

第5部

大気海洋

第1章 防災気象情報

【第1節】特別警報・警報・注意報

1. 運用開始と拡充

気象庁の発表する警報等は、明治16年に東京気象台が「暴風警報」の制度を定め、同年5月26日に発表したことが始まりである。その後昭和9年の室戸台風による被害を拡大させた要因である「暴風警報」の軽視などの教訓を契機に大幅な改訂を行い、昭和10年にはそれまでの暴風警報を、現行の警報に相当する「暴風警報」と注意報に相当する「気象特報」に分離し、さらに気象知識の普及に力をいれた。その後昭和25年に気象警報の担当官署・担当区域の改正、気象警報の発表要領・定量的気象警報発表基準の制定が行われ、気象警報としては暴風雨・暴風雪・大雨・大雪の4種の警報を設け、気象特報として風雨・風雪・強風・大雨・大雪・濃霧・雷雨・高潮・異常乾燥・雪崩・着水・着雪・気温の急変・霜などが設けられた。また、風、雨、雪についての警報・特報には基準が設けられるようになった。その後昭和27～29年にかけて気象業務法、気象業務法施行令、気象業務法施行規則、中央气象台予報警報規程（現在の気象庁予報警報規程）が制定され、昭和27年には気象特報の名称が注意報と改められた。昭和28年には高潮、波浪、洪水の3種の警報が追加され、昭和29年には過去の災害時の観測値をもとに求めた具体的な数値基準をもとに警報・注意報が発表されるように変更となった。

昭和46年には短時間強雨による災害も捕捉するために大雨警報・注意報の基準に短時間雨量の基準を導入し、昭和53年には洪水警報・注意報についても同様に短時間雨量基準を導入した。

昭和63年には「暴風雨警報」を廃止し「暴風警報」を新設した。これにより、従来の「暴風雨警報」の標題のみでは、大雨についての警戒の程度が不明確であった（雨の降らない場合でも大雨警報相当の雨でも同じく暴風雨警報）ことを改善した。あわせて注意報名の変更を行い、雷雨注意報を雷注意報、異常乾燥注意報を乾燥注意報、異常低温注意報を低温注意報とし、風雨注意報は廃止した。

平成4年には警報・注意報の発表方法を改善し、大雪と大雨、強風・暴風と大雪の並列発表を可能とした。平成25年には警報の発表基準をはるかに超える大雨等が予想され、重大な災害の起こるおそれが著しく高まっている場合に最大級の警戒を呼びかけるために、特別警報

を創設した。

2. 注意警戒文の改善

昭和 57 年 7 月豪雨及び昭和 58 年 7 月豪雨を契機に大雨に関する警報及び情報の発表形式について検討がなされ、昭和 58 年には記録的な 1 時間雨量が観測されたときにその状況を簡潔に表現して速報する情報の運用を開始した。また、本文冒頭に防災上特に必要とする事項を新たに付すこと（二重括弧で括った「見出し的警告文」の付加）等の改善が行われた。その後、平成 13 年には警報の「見出し的警告文」の名称を「注意警戒文」とし、100 文字程度で重要事項を記述するようにした。あわせて本文の簡略化を進めた。

平成 12 年にはそれまで試験的運用としていた土砂災害と対応の良い指数である土壌雨量指数を正式運用とし、土壌雨量指数の履歴第一位が多数格子で発生した場合、大雨警報を更新し「見出し的警告文」で「過去数年で最も土砂災害の起こる可能性が高くなっている」旨を発表することとした。その後、平成 16 年には土砂災害の危険性が高まった場合に行う警報の更新を明示するよう、「注意警戒文」の冒頭に『重要変更!』のキーワードを付けることとした。平成 17 年 9 月から鹿児島県で発表を開始した土砂災害警戒情報により、大雨警報の切り替え（重要変更）の役割を果たすことができるようになったため、鹿児島県では平成 18 年に土砂災害について大雨警報の切り替え（重要変更）の運用を終了し、平成 19 年に全国で土砂災害警戒情報の発表が開始されるとともに大雨警報の切り替え（重要変更）の運用は終了した。

3. 発表区域の細分化

明治 41 年にそれまで対象地域を日本全域として区分なく発表していた「暴風警報」を中央气象台が発表する「全国暴風警報」と地方官署（測候所）が担当区域に発表する「地方暴風警報」に分離した。これにより地方官署でも警報を発表できるようになった。また、担当区域を最大 4 区域まで細分して警報を発表でき、当時の地方暴風警報を発表する官署の総数は 62 で、地域区分数は 159 であった。その後、昭和 10 年に警報等の種類を「全般気象特報」「全般暴風警報」「地方気象特報」「地方暴風警戒」の 4 種類としたことにあわせて、全般暴風警報・気象特報は全国 10 区域から 29 区域に分けた。また、地方官署数は 83 となり、対象区域数は 211 となった。その後何度かの府県予報区の小区域分割の変更を経た後、昭和 60 年には府県予報区を 135 の一次細分区（一つの府県で最大 4 区域）と 183 の二次細分区（北海道を除き一つの府県で最大 7 区域）に分割し、注警報の標題に付加する地域名を一次細分地域、二次細分区域及び「沿岸の海域」とした。昭和 62 年に各官署が担当する府県予報区などを最大 7 区域（北海道では最大 9 区域）に細分して、細分地域ごとに警報・注意報を発表する「地域細分発表」を開始した。平成 13 年には防災関係機関の防災活動に直結するきめ細やかな防災気象情報発表の推進を図るため、一次細分・二次細分の見直しなどを行った。平成 22 年には警報・注意報を市町村単位で発表することとし、発表地域をそれまでの 375 地域から 1,777 地域に細分化することにより、市町村の防災担当者や住民により効果的に警戒を呼びかけることができるようにした。一方、平成 20 年には小笠原諸島（父島と母島及びその沿岸の海域を含む区域。）を対象とした予報、警報業務を拡充し、これまで発表していた「今日・明日・明後日」の天気

予報や台風情報に加えて、警報・注意報、時系列予報、週間予報を発表することとした。

平成 11 年には防災気象情報提供装置を整備し、FAX 等のアナログ形式の伝達に加えて予警報等の伝達をオンライン方式でも行えるようになるとともに、図形式の府県気象情報や予報官コメントなどを部外機関へ提供することが可能となった。

平成 14 年には気象庁 HP で注警報、予報、観測実況等の即時情報の提供を開始した。

平成 16 年には警報・注意報の書式を定型化し、二次細分予報区ごとにそれぞれの現象の発現時間帯、量予報を記述するよう変更した。また、予報作業支援システムによる作業を開始し、クライアントサーバ方式による警報・注意報作業を行えるようにした。

平成 19 年には、市町村等が行う避難勧告等の防災対応を的確に支援していくため、防災気象情報提供システムの機能を強化し、市町村向けの防災気象情報の内容充実を図った。

4. 指数基準の導入・キキクル（危険度分布）の提供

大雨災害との対応の良い指数の開発は、まず死者の多い土砂災害で先行して行った。気象庁では、昭和 58 年頃から土砂災害の新たな指標の開発に着手し、解析雨量を入力値としたタンクモデルの総貯留高を「SFIR（雨による斜面崩壊インデックス）」として、部内での試験運用を開始した。その後、斜面崩壊の免疫性に着目した基準設定（履歴順位の導入）を経て、平成 11 年 6 月 29 日に広島県で発生した大規模な土砂災害を契機に、平成 12 年 7 月から、SFIR を「土壌雨量指数」として正式に運用を開始した。そして、土壌雨量指数や気象状況から総合的に判断して、重大な土砂災害の危険性が高まった場合に、大雨警報を切替えて、見出しや本文において「過去数年間で最も土砂災害の危険性が高まっている」といった表現で土砂災害に対する一層の警戒を呼びかける情報改善を行った（土砂災害に関する大雨警報の切替運用）。平成 17 年 9 月からは、土壌雨量指数等を活用して、市町村長による避難勧告等の発令判断や住民の自主避難に資する新たな防災情報として、都道府県と気象庁が共同で発表する「土砂災害警戒情報」の運用を開始した。また、平成 24 年度「土砂災害への警戒の呼びかけに関する検討会」報告書を受けて、平成 25 年 6 月からは、市町村単位で警戒を呼びかける土砂災害警戒情報に加え、危険度が高い地域を 5km メッシュごとに把握することができる「土砂災害警戒判定メッシュ情報」の提供を開始した。また、平成 28 年 5 月には気象庁ホームページでの表示方法を、従来の領域ごとの固定方式から、地理情報（道路・鉄道・河川等）と重ね合わせて表示領域の移動・拡大・縮小をスムーズに行える方式に変更し、自分のいる地域の土砂災害発生の危険度を把握しやすくなるよう改善した。

一方、洪水に関しては、平成 12 年 9 月に発生した東海地方での記録的な大雨を契機に、きわめて甚大な洪水害に対する予測精度を向上させるため、流域内の降雨分布の影響や洪水の流下時間を考慮することができる新たな指標「流域雨量指数」の開発に着手した。流域雨量指数は、水文・水理計算に基づき算出した流量の平方根をとったものであるため、流量の二次式で近似されることの多い河川水位との相関が高いという特徴がある。そこで、洪水警報・注意報の発表基準への導入を目指し、平成 16 年頃から流域雨量指数による新たな基準の作成に着手した。

土砂災害も含め、大雨・洪水警報等の新たな基準設定の検討を進めていた平成 16 年は、平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨をはじめ 10 個の台風が日本に上陸するなど、多くの豪雨災害が

発生した年だった。これら豪雨災害を受けて、内閣府では「集中豪雨時における情報伝達及び高齢者等の避難支援に関する検討会」を設置して検討を行い、平成 17 年 3 月に「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン」が策定された。また、この検討会報告書において「避難勧告等の判断基準（具体的な考え方）に適合した基準で、気象官署が警報等の防災関係情報を発表すること」とされたことを踏まえ、土壌雨量指数、流域雨量指数による新基準の作成にあたっては、自治体の避難勧告等の判断に資する警報を発表するための、新たな考え方による基準設定の検討も同時に進めた。そして、平成 20 年出水期から、大雨・洪水警報等の発表基準に従来の 24 時間雨量に代えて、土壌雨量指数及び流域雨量指数を導入し、さらに平成 22 年出水期からは警報・注意報の発表対象区域を原則市区町村ごととした。

浸水に関する新たな指標である「表面雨量指数」に関しては、本格的に開発に着手したのは平成 22 年頃からである。表面雨量指数についても、土壌雨量指数や流域雨量指数と同様、タンクモデルをベースとした手法を採用しているため、概念的には、「タンクモデルを柱として 3 つの指数－土壌雨量指数（タンク総貯留高）、表面雨量指数（タンク流出量）、流域雨量指数（タンク流出量をもとに流下・合流・分流）を包括的に算出している」という説明が可能となった。なお表面雨量指数の開発に際しては、流域雨量指数の精緻化（計算格子の高解像度化や計算対象河川の拡大等）に関する検討も並行して進めた。

平成 29 年 7 月には、これら指数を大雨・洪水警報等の発表基準に導入することで警報等の精度向上を図った。この際、大雨・洪水警報等の基準要素は以下のとおり変更している。

- ・浸水害を対象とした大雨警報等の基準は、雨量（1 時間雨量、3 時間雨量）から表面雨量指数に変更。
- ・湛水型の内水氾濫を対象とした洪水警報の複合基準は、流域雨量指数と雨量（1 時間雨量、3 時間雨量）の組み合わせから流域雨量指数と表面雨量指数の組み合わせに変更。
- ・流路長 15km 未満の河川の外水氾濫については、洪水警報・注意報の雨量基準（1 時間雨量、3 時間雨量）でカバーしてきたが、流域雨量指数の精緻化に伴い、多くの中小河川が指数計算対象となったことから、雨量基準は廃止。

これらの変更によって、大雨・洪水警報等の発表基準は、土壌雨量指数、表面雨量指数、流域雨量指数という「災害との相関の高い指数」のみとなり、長年用いてきた雨量基準を廃止することとなった。そしてこの改善にあわせて、従来の土砂災害警戒判定メッシュ情報（「大雨警報（土砂災害）の危険度分布」に名称変更）に加え、「大雨警報（浸水害）の危険度分布」、「洪水警報の危険度分布」についても、気象庁ホームページで地理情報と重ね合わせて表示する方式での提供を開始した。危険度分布をより多くの方に知ってもらい、避難の判断に活用していただくことを目的として、令和 3 年 3 月に「キキクル」という愛称をつけた（以下、愛称決定前の危険度分布も「キキクル」という）。なお、キキクルの提供は、指数の開発や基準設定といった技術的検討に加え、交通政策審議会気象分科会提言「『新たなステージ』」に対応した防災気象情報と観測・予測技術のあり方」、中央防災会議「水害時の避難・応急対策検討ワーキンググループ」、避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドラインに関する検討会等、多くの検討・議論を踏まえたうえでその実現に至っていることを付言しておく。

その後、平成 30 年 7 月豪雨を受けて内閣府により設置された「平成 30 年 7 月豪雨による

水害・土砂災害からの避難に関するワーキンググループ」報告書を踏まえ、国全体の取組として、令和元年出水期から避難情報等に「警戒レベル」が導入されるとともに、キキクル等の防災気象情報も「警戒レベル相当情報」として位置づけられることとなった。これらを受けて、気象庁では、キキクルの「注意」（黄）を警戒レベル 2 相当、「警戒」（赤）を警戒レベル 3 相当、「非常に危険」（うす紫）及び「極めて危険」（濃い紫）を警戒レベル 4 相当と位置づけた。

東北、関東甲信越を中心に広域かつ甚大な被害をもたらした令和元年東日本台風を受けて内閣府により設置された「令和元年台風第 19 号等による災害からの避難に関するワーキンググループ」では、避難対策の強化を目的とした災害対策制度の見直し等が検討された。この検討を踏まえて、令和 3 年 4 月に災害対策基本法が改正され、それまで避難勧告及び避難指示がともに位置付けられていた警戒レベル 4 が避難指示に一本化されるとともに、警戒レベル 5 緊急安全確保の運用が新たに始まった。このような避難情報の制度変更に対応するべく、気象庁においても令和 4 年 6 月から、キキクルの警戒レベル 4 相当を「危険」（紫）に統合し、警戒レベル 5 相当の「災害切迫」（黒）を新設して警戒レベルとの関連をより分かりやすく伝えるようにする改善を行った。

平成 30 年 11 月から令和 3 年 4 月にかけて開催された「防災気象情報の伝え方に関する検討会」では、防災気象情報の伝え方を中心に改善方策が議論され、キキクルに関する課題や改善方策についても検討が行われた。検討会での議論を踏まえて実施したキキクルに関する近年の改善事項を下表にまとめた。

表 5-1-1-1 防災気象情報の伝え方に関する検討会を踏まえたキキクル（危険度分布）の改善事項

実施時期	改善内容	
令和元年6月	土砂キキクルの高解像度化	5kmメッシュ単位から1kmメッシュ単位に高解像度化
令和元年7月	キキクルの通知サービス	キキクルの危険度の変化を伝えるプッシュ型通知サービスを事業者と連携して実施
令和元年12月	キキクルの表示改善	キキクルに洪水浸水想定区域や土砂災害警戒区域等のリスク情報を重ね合わせて表示
令和2年5月	洪水キキクルの表示改善	湛水型内水氾濫の危険度を、本川流路の周辺にハッチをかけて表示
令和3年3月	危険度分布の愛称決定	認知度を上げるため、危険度分布の愛称を「キキクル」と定め、周知広報
令和3年10月	最大危険度予測	1日先までの雨量予測を用いて算出した「最大危険度予測」の運用を開始
令和4年6月	キキクルの色変更	警戒レベル4相当を「危険」（紫）に統合し、警戒レベル5相当の「災害切迫」（黒）を新設

5. 特別警報の導入

平成 23 年台風第 12 号による大雨災害等において、気象庁は警報により重大な災害への警戒を呼びかけたものの、災害発生の危険性が著しく高いことを有効に伝える手段がなく、関係市町村長による適時的確な避難勧告・指示の発令や、住民自らの迅速な避難行動に必ずしも結

びつかなかった。そのため、地方公共団体及び住民等から、直ちに防災対応をとるべき状況である旨のわかる、危険性を明確に示した情報の提供が望まれた。災害から多くの生命を守るため、平成 25 年に重大な災害の起こるおそれが著しく大きい旨を警告する「特別警報」（大雨、暴風、高潮、高波、波浪、暴風雪、大雪）の制度を創設した。気象等に関する特別警報について、発表基準や警戒レベルの位置づけ等について記載する。

（１）雨を要因とする特別警報

台風や集中豪雨により数十年に一度の降雨量となる大雨が予想され、若しくは、数十年に一度の強度の台風や同程度の温帯低気圧により大雨になると予想される場合に大雨特別警報を発表することとした（雨を要因とする特別警報）。具体的には、48 時間降水量及び土壌雨量指数において、「50 年に一度の値」を超過した 5km 格子が、共に府県程度の広がり範囲内で 50 格子以上出現すると予想され、かつ、更に雨が降り続くと予想される場合（長時間指標）、又は 3 時間降水量及び土壌雨量指数において、「50 年に一度の値」を超過した 5km 格子が、共に府県程度の広がり範囲内で 10 格子以上出現（ただし、3 時間降水量が 150mm を超える格子のみをカウント対象とする）すると予想され、かつ、更に雨が降り続くと予想される場合（短時間指標）に大雨特別警報を発表することとした。また、当初は府県内のすべての地域を対象に大雨特別警報を発表することが多かったが、危険度分布の技術の活用により、平成 29 年から大雨特別警報を、危険度が著しく高まっている地域をより明確にして発表することで災害発生との結びつきにおける「空振り」を減らす改善を行った。また、令和 2 年から令和 3 年にかけて、土砂災害の短時間指標について、「50 年に一度の値」から 1km 格子の土壌雨量指数の基準値を用いて大雨特別警報（土砂災害）を発表することとした。令和 4 年には、短時間・長時間指標に代わり、1km 格子の表面雨量指数及び流域雨量指数を用いて大雨特別警報（浸水害）を発表することとした。これらの改善により、更に対象地域を大幅に絞り込んで大雨特別警報を発表できるようになった。また、平成 25 年台風第 26 号による伊豆大島での土砂災害など、多大な被害発生にも関わらず大雨特別警報の発表に至らなかった島嶼部における局所的な大雨に対しても発表できるようになった。大雨特別警報は、平成 31 年に内閣府の避難勧告等に関するガイドラインが改定された際に「警戒レベル 5（既に災害が発生している状況であり、命を守るための最善の行動をとる必要がある）相当情報」に位置付けられたが、市町村長は警戒レベル 5 の災害発生情報の発令基準としては用いないとされた。その後令和 3 年 5 月に避難情報に関するガイドライン（避難勧告等に関するガイドラインを名称も含めて改定したもの）が改定された際には、警戒レベル 5 は「災害発生または切迫している状況であり、命の危険があり、直ちに安全確保する必要がある」と「災害の切迫」がある状況も含まれるようになり、大雨特別警報は警戒レベル 5「緊急安全確保」の発令基準例となった。

（２）台風等を要因とする特別警報

数十年に一度の強度の台風や同程度の温帯低気圧により、大雨、暴風、高潮、高波になると予想されるときにそれぞれ、大雨、暴風、高潮、波浪の特別警報を発表することとしたほか、台風と同程度の温帯低気圧により雪を伴う暴風が吹くと予想される場合には暴風雪特別警報を発表することとした（台風等を要因とする特別警報）。具体的には、「伊勢湾台風」級（中心気圧 930hpa 以下、風速 50m/s 以上）の台風や同程度の温帯低気圧が来襲する場合に、これら

の特別警報を発表することとした。ただし、沖縄地方、奄美地方及び小笠原諸島については、中心気圧 910hPa 以下、風速 60m/s 以上とした。その後、平成 31 年 3 月に導入された「警戒レベル」では、雨を要因とする大雨特別警報は「警戒レベル 5 相当」と位置付けられた一方、台風等を要因とする大雨特別警報は、「警戒レベル 3 相当」の大雨警報を大雨特別警報として発表し、早い段階から警戒を呼びかけるものと整理された。そのため、令和 2 年に大雨特別警報と「警戒レベル」の関係をより明確化し、「警戒レベル」に基づく自治体や住民の防災行動をより一層的確に支援するため、令和 2 年 8 月から大雨特別警報の発表基準は雨を要因とする基準に一元化し、台風等を要因とする特別警報の基準は暴風・高潮・波浪・暴風雪についてのみ用いることとした。また、高潮特別警報は「警戒レベル 4 相当」情報と位置付けられた。

(3) 大雪特別警報

数十年に一度の降雪量となる大雪が予想される場合には、大雪特別警報を発表することとした。具体的には、府県程度の広がりをもって 50 年に一度の積雪深になり、かつ、その後も警報級の降雪が丸一日程度以上続く予想される場合を指す。

6. 注意報や警報を補完する情報の改善

気象庁は注意報や警報を補完する情報として全般気象情報、地方気象情報、府県気象情報を発表しており、平成 10 年に、2～3 日先の現象を対象とした気象情報の発表、大雨警報・注意報の発表中の府県気象情報の改善を行った。その後、平成 18 年には府県気象情報における警戒事項等を図やグラフなどで簡潔に示した形式の情報として、図形式府県気象情報の一般向けの提供を開始した。その後平成 23 年台風第 12 号による大雨（紀伊半島大水害）の被害を受けて、平成 24 年には重大な災害の危険が高まっている場合に簡潔な文章で警戒を呼びかける短文形式の気象情報の提供を開始した。その後、平成 30 年には全般気象情報、地方気象情報に関しても図形式情報の提供を開始した。また、平成 30 年 2 月に福井県を中心とした大雪により被害が発生したことを受けて、令和元年に顕著な大雪に関する気象情報の運用を開始したほか、「平成 26 年 8 月豪雨」、「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」、「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」、「平成 30 年 7 月豪雨」、「令和 2 年 7 月豪雨」などの大雨により被害が発生したことを受けて、令和 3 年には顕著な大雨に関する気象情報の運用を開始した。

【第 2 節】その他の防災気象情報

1. 早期注意情報

気象庁では、平成 27 年 7 月の交通政策審議会気象分科会提言「『新たなステージ』に対応した防災気象情報と観測・予測技術のあり方」を受け、数日先までの警報級の現象のおそれを積極的に伝える「警報級の可能性」及び気象警報等の危険度を分かりやすくした「危険度を色分けした時系列」の提供を平成 29 年 5 月から開始した。その後、外部有識者で構成される「防災気象情報の伝え方に関する検討会」における防災気象情報の改善を踏まえ、令和元年に「警報級の可能性」の名称を「早期注意情報（警報級の可能性）」に改めた。令和 4 年 9 月には、高潮予測技術の改善により、台風に伴う高潮予測の精度が向上したこと及び台風以外の要因による高潮も含め警報級の高潮となる可能性をより具体的に評価することが可能となったことか

ら、早期注意情報（警報級の可能性）の要素（大雨、大雪、暴風（雪）、波浪）に高潮を追加した。

2. 指定河川洪水予報

我が国において、本格的な洪水予報が始まったのは、昭和 22 年のカスリーン台風が契機とされる。

利根川では埼玉県北埼玉郡東村（現在の加須市）栗橋付近で堤防が決壊し、そこからあふれた濁流は、荒川からあふれた濁流と合流し東京都へ流れ込み、東京の下町地区ではほとんどの家屋が浸水被害を受けた。関東地方では明治 43 年の大水害以来の大きな被害となった。

昭和 30 年 7 月に、水防法と気象業務法の一部改正が行われ、気象業務法では、第 13 条に「洪水についての一般の利用に・・・」が加わり、第 14 条の 2 で「水防活動の利用に適合するための予報及び警報」が新たに設けられた。また、水防法第 10 条及び気象業務法第 14 条の 2 第 2 項で「2 つ以上の都道府県の区域にわたる河川又は、流域面積の大きな河川で、洪水により国民経済上重大な損害を生じるおそれがあるもの」を洪水予報指定河川とし、気象庁と建設省（現 国土交通省）が共同で洪水予報を発表することとした。この時点で対象となったのは、石狩川、北上川、最上川、阿武隈川、阿賀野川、信濃川、利根川、荒川、木曾川、揖斐川、大和川、淀川、紀の川、太田川、吉野川及び筑後川である（昭和 30 年 9 月 28 日告示）。

昭和 32 年には、気象庁と建設省が共同して行う洪水予報業務の基本協定が河川局長と気象庁長官の間で締結され、本格的に共同での洪水予報が始まることになる。

昭和 30 年に指定された 16 河川に加え、昭和 37 年には由良川、天竜川が洪水予報河川として指定された。

技術進展により、きめ細やかな観測監視体制の強化が図られると、それまでに指定された以外の河川に対しても洪水予報が可能になってきたため、昭和 63 年の多摩川等を皮切りに洪水予報河川の指定が拡大していった。平成 14 年 3 月には菊川が洪水予報河川として指定され、これにより全国の一級水系（109 水系）の全てで洪水予報が行われることになった。

平成 10 年の新潟や高知での豪雨、平成 11 年には福岡の豪雨、平成 12 年には「東海豪雨」等、都市部における中小河川の氾濫が目立つようになった。このような災害に対しては河川改修等のハード対策だけでは対応に限界があるため、情報提供などのソフトの対策が重要になった。

平成 13 年 6 月には、水防法と気象業務法が改正され、新たに都道府県知事が気象庁長官と共同して洪水予報が可能になり、平成 14 年 5 月 31 日から愛知県庄内川水系新川において、同じく 6 月 1 日から岐阜県木曾川水系長良川上流部及び神通川水系宮川において、洪水予報業務が開始された。令和 6 年 5 月現在、66 水系 132 河川で洪水予報を行っている。

平成 16 年の度重なる災害において避難勧告等が発令されても避難しない住民が多数に上ったことで、自治体職員や住民が容易に理解できない用語が用いられていることや、災害の危険度のレベルがわかりにくいなど、洪水時の情報提供の課題が浮き彫りになった。そのことを踏まえた「洪水等に関する防災用語改善検討会」による提言「洪水等に関する防災情報体系のあり方について」（平成 18 年 6 月）を受け、平成 19 年 4 月に、国の洪水予報について市町村や住民がとるべき避難行動等との関連が理解しやすいようにするため、洪水予報の標題と水位

の名称を洪水の危険に応じてレベル化するなどの発表形式の改善を実施した。その後、都道府県管理河川でも順次、発表形式の改善を実施した。

平成 30 年 7 月豪雨においては、気象状況等の悪化に伴い、多くの被災地では自治体から避難勧告が発令されるなど、避難行動を促す情報が出された。しかし、実際の避難行動に結びつかずに自宅にとどまる等して、多くの方が亡くなる状況であった。そのことを踏まえ、平成 31 年 3 月に「避難勧告等に関するガイドライン」(内閣府)が改定され、住民の取るべき行動と、その行動を促す避難勧告等の情報を 5 段階の警戒レベルに区分し、それぞれを対応させて提供することとなったことを受け、指定河川洪水予報でも「見出し」及び「主文」に、相当する警戒レベルを追記するように改善した。令和 3 年 6 月には、国管理河川の指定河川洪水予報で提供している水位又は流量の予測情報を、従来の 3 時間先から 6 時間先までに延長した。これにより、警戒レベル 3 (高齢者等避難) の発令の判断に資する「氾濫警戒情報」を、これまでよりも早い段階から発表し、警戒を呼びかけることが可能になった。

「避難情報に関するガイドライン」(令和 3 年 5 月内閣府(防災担当))では、市区町村長による避難情報の発令の設定基準として基準地点における氾濫開始相当水位(危険箇所における堤防天端高(又は背後地盤高)等の氾濫が開始する水位を、その箇所を受け持つ水位観測所の水位に換算したもの)の活用が示された。これを受け、令和 4 年 6 月には、国の洪水予報河川では、予測水位を更に活用し、急激な水位上昇の際にも的確なタイミングで避難指示の発令を支援できるよう、「氾濫する可能性のある水位」を定め、河川の特性を踏まえつつ基本的に 3 時間先までにこれに到達すると見込まれる場合は、「氾濫危険情報」を予測で発表するよう改善を行った。

令和 5 年 5 月には、気象業務法及び水防法の一部を改正する法律が公布及び一部施行され、自然災害の頻発等により洪水等の予測の重要性が増大していることに鑑み、気象業務に関する技術の進展に対応した洪水等の予報の高度化を図るため、都道府県知事が行う洪水予報に資する国土交通大臣による河川の水位又は流量に関する情報の提供等の措置を新たに講じた。

3. 土砂災害警戒情報

多数の人的被害を伴う土砂災害から人命及び身体を守る警戒避難体制を整備するため、都道府県は昭和 57 年 7 月豪雨をきっかけに導入された「警戒避難基準雨量」の市町村への提供や、平成 11 年の広島県での豪雨災害を受けて制定された「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」(以下「土砂災害防止法」という。)に基づく土砂災害警戒区域等の指定、土砂災害特別警戒区域における土地利用規制等を図ってきた。

気象庁は大雨に関する気象警報等を都道府県等の防災機関へ提供するほか、テレビ・ラジオ等を通じて住民への周知を図り、その中で土砂災害への注意警戒を呼びかけてきた。さらに平成 11 年の広島県での豪雨災害を受けて、「降った雨が土壌中に水分量としてどれだけたまっているかを、タンクモデルを用いて数値化したもの(以下「土壌雨量指数」という。)」を用い、土砂災害の危険度の高まりを加味した大雨警報の切替えを行うという改善を平成 16 年から実施した。

このような取組の中、平成 14 年度からは、国土交通省河川局砂防部(現 水管理・国土保全

局砂防部）と気象庁予報部（現 大気海洋部）が連携して、土砂災害の警戒に関する情報の伝達の迅速・確実化や、地方公共団体の防災活動や住民の警戒避難行動等のより迅速・適切な実施について検討を進めた。その結果、都道府県と気象台が連携して「土砂災害警戒情報」という新たな情報の提供について、モデル県及び関係省庁の協力を得ながら検討を進めた。

その検討の成果を受けて、はじめに平成 17 年 9 月に鹿児島県において土砂災害警戒情報の運用を開始した。その後、準備の整った都道府県から土砂災害警戒情報の運用を拡大していき、平成 20 年 3 月からは全ての都道府県において運用を開始した。

運用開始当初は災害対策基本法と気象業務法に基づいて運用されていたが、平成 26 年 8 月豪雨において広島市北部で発生した土砂災害等を踏まえ、土砂災害防止法が改正されたことにより平成 27 年から土砂災害防止法と気象業務法に基づいて運用されることになった。この土砂災害防止法の改正により、都道府県知事に対してこの情報の市町村への通知、住民への周知が義務付けられた。また、市町村長に対しては、土砂災害防止対策基本指針により、土砂災害の警戒情報を避難勧告（令和 3 年の災害対策基本法の改正により、避難指示）の判断指標とすることが求められるようになった。

土砂災害警戒情報の発表基準は、短時間の降雨の指標として 60 分間で降る雨量と長時間の降雨の指標として土壌雨量指数の 2 つの指標を用いる。この指標に基づいて、過去の降雨事例から土石流や同時多発的に発生するがけ崩れの発生・非発生の境界を求め、その境界を基準線として格子単位に設定している。ただし、運用開始当初は、都道府県で設定した基準と、地方気象台等で作成した基準の 2 つを用いて運用を行う所もあった。

4. 記録的短時間大雨情報

昭和 57 年 7 月の長崎を中心とした「昭和 57 年 7 月豪雨」や昭和 58 年 7 月 23 日の島根県を中心とした「昭和 58 年 7 月豪雨」を契機とし、警報や情報について外部から改善要望等が上がり、防災気象情報のあり方が議論された。昭和 56～57 年の気象官署の観測資料によると、日最大 1 時間降水量の累年順位の第 1 位を更新するものや、上位を占めるものがかなり現れており、これらの記録的な短時間雨量を含む大雨が「昭和 57 年 7 月豪雨」や「昭和 58 年 7 月豪雨」のように大きな災害に結びついていた。このことから担当予報区の過去の記録から見て、記録的な 1 時間雨量が観測されたときには、その状況を簡潔に表現して速報する情報である「記録的短時間大雨情報」の運用を昭和 58 年 10 月に開始した。

昭和 59 年の運用状況をみると、雷雨等の突発的でかつ降雨継続時間が短い場合に発表した例が多く、発表基準もやや低いことから、当初意図した災害発生予告的な特別な情報としての役割を十分果たしているとは言い難いと判断された。このことから、昭和 61 年 4 月に発表基準と運用方法を改善した。発表基準については、「アメダス資料から累年の 1 位又は 2 位程度の 1 時間雨量を決めておき随時見直す。」とした。運用方法については、「記録的な短時間雨量の発現時に大雨警報を発表していない場合は直ちに大雨警報を発表し、記録的な短時間雨量に関する事項は警報に含めて行い、改めて記録的短時間大雨情報は発表しない。」「記録的短時間大雨情報の発表基準を超える大雨を繰り返し観測した場合も、その都度、この情報を発表し、さらに一般的大雨情報等で内容を補完するよう努める。」などと定めた。

運用当初は気象官署及びアメダス観測所の観測値のみを記録的短時間大雨情報の運用に用いてきたところ、昭和61年11月からは、一定の条件を満たした部外機関の観測値を用いることとした。また、平成元年3月にはアメダス回線による部外への配信を開始した。

平成6年6月からは、それまでアメダス資料から累年の1位又は2位程度の1時間雨量を参考として発表基準を設けた。また、レーダー・アメダス解析雨量（以下「解析雨量」という。）の利用を開始した。その際の発表基準については、「アメダス資料から累年の1～2位程度、又は、レーダー・アメダス解析雨量から数年に1回程度発現する1時間雨量のうち大きいほうで決めておき随時見直す。」とした。

平成10年3月からは、運用基準について「記録的短時間大雨情報を一度発表した後、同一時刻、同一市町村で記録的な短時間雨量を観測又は解析した場合には、先に発表した雨量よりも20mm以上多い場合のみ再度、記録的短時間大雨情報を発表する。」という条件を追加した。解析雨量はその後、平成13年3月には、解析単位の精緻化（5km格子から2.5km格子へ）、平成15年6月には、提供間隔の短縮化（1時間間隔から30分間隔へ）、平成18年3月には解析単位の更なる精緻化（2.5km格子から1km格子へ）が行われた。記録的短時間大雨情報もこれらの改良に合わせ、判定単位及び判定間隔の改善が図られた。

大雨警報未発表時における記録的短時間大雨情報の発表方法について、当初は、記録的短時間大雨が観測・解析された旨を注意警戒文に記述して大雨警報を発表し、記録的短時間大雨情報は改めて発表しないこととしていた。しかし、記録的短時間大雨が発現したことを利用者へ確実に伝達するため、「大雨警報未発表時に記録的短時間大雨が観測・解析された場合、直ちに大雨警報を発表し、その後すみやかに記録的短時間大雨を発表する」という方法に改め、平成18年4月にその運用を開始した。

平成27年7月の交通政策審議会気象分科会提言『「新たなステージ」に対応した防災気象情報と観測予報技術のあり方』では、実況情報の提供の迅速化の必要性が指摘された。例えば、局地的な大雨の場合、あらかじめ時間や場所を特定して予測することは困難である。このように予測が困難でリードタイムを十分に取れない状況においては、実際に大雨となっているという実況に関する情報が、市町村長の避難指示等の発令や住民の安全確保行動を促す観点では重要である。そのため、情報提供の迅速化が重要であるとのことから、記録的短時間大雨情報の発表のための面的な雨量の算出を迅速化し、かつ、高頻度に行うことが期待された。これを踏まえ、平成28年9月からは、30分ごとに作成される解析雨量に加え、10分ごとに作成される速報版解析雨量も利用することとした。これにより、記録的短時間大雨情報は最大で30分早く発表することが可能となった。

平成29年7月には、浸水害とより結びつきの強い表面雨量指数を大雨警報（浸水害）の基準として導入し、これまでの雨量基準を廃止した。これにより記録的短時間大雨情報の基準が、大雨警報（浸水害）の基準よりも必ずしも高くなるわけではなくなることから、記録的短時間大雨情報の基準到達時に大雨警報未発表の場合には、大雨警報発表の妥当性を判断した後に記録的短時間大雨情報の発表判断を行うこととなった。その結果、記録的短時間大雨情報の基準に到達した場合であっても大雨警報を発表する状況にない場合には記録的短時間大雨情報は発表しないこととなった。

令和 2 年 3 月にまとめられた「防災気象情報の伝え方に関する検討会」報告書においては、「記録的短時間大雨情報について、当該市町村が警戒レベル 4 相当の状況となっている場合にのみ発表することで、避難行動が必要な状況下で災害発生の危険度が急激に上昇し、真に深刻な状況になっていることを適切に伝えることができるよう改善すべき」という提言を受けた。これを踏まえ、大雨警報発表中に雨量基準に達した場合に、記録的短時間大雨情報を発表していたものを、土砂キキクル・浸水キキクル・洪水キキクルのいずれかで「非常に危険（うす紫）」以上が出現している中で雨量基準に達した場合にのみ発表することとし、令和 3 年 6 月にその運用を開始した。そして、令和 4 年 6 月には、警戒レベル 4 相当であるキキクル「非常に危険（うす紫）」と「極めて危険（濃い紫）」が統合されたことに伴い、キキクル「危険（紫）」が出現している中で雨量基準に達した場合に記録的短時間大雨情報を発表することとした。

5. 顕著な大雨（線状降水帯）に関する気象情報

大雨により顕著な被害が発生した「平成 26 年 8 月豪雨」、「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」、「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」、「平成 30 年 7 月豪雨」及び「令和 2 年 7 月豪雨」は、いずれも線状降水帯による大雨が土砂災害や洪水災害等につながった事例である。この線状降水帯について、予測精度向上の取組を順次進めていたところだが、「令和 2 年 7 月豪雨」でも線状降水帯を予想することは困難であった。そのような中、気象庁が令和 2 年 12 月に実施した住民向けアンケートでは、約 5 割が「線状降水帯とはどのような現象か知っている」と回答し、「線状降水帯という言葉聞いたことがある」と回答した住民も含めると約 8 割にのぼるなど、線状降水帯という言葉が社会に浸透しつつあることが分かった。また、9 割以上が「線状降水帯に関する情報を提供してほしい」と回答し、線状降水帯による大雨が発生している場合はそれを知らせてほしいという要望があることも分かった。

このため、まずは線状降水帯による大雨を検知したときに、その旨をいち早くお知らせできるような情報のあり方について検討した。ここで、情報の発表基準については、内閣府 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）と連携して線状降水帯による大雨の検出基準の候補を検討した。また、防災気象情報としての役割については、有識者検討会「防災気象情報の伝え方に関する検討会」において令和 2 年から令和 3 年にかけて議論を行った。議論の中では、「危険な線状降水帯が発生していることを気象庁が発信してくれれば、伝え手としてしっかりと伝えることができる」「警報等を補完する解説情報として発表すべき」「情報を出すのであれば、今後シンプルなものに整理・統合していくという方向性は必要」等の意見が示された。また、情報の名称についても、線状降水帯そのものより、線状降水帯によってもたらされる大雨に目を向ける必要性が重視されたことから、「顕著な大雨に関する気象情報」という名称が候補となった（ただし、これについては、「線状降水帯情報」として出していく方が分かりやすいのでは、などといった意見も寄せられた）。

このような議論を経て、令和 3 年 6 月から、大雨による災害発生の危険度が急激に高まっている中で、線状の降水帯により非常に激しい雨が同じ場所で降り続いている状況を、「線状降水帯」というキーワードを使って解説する「顕著な大雨に関する気象情報」の提供を開始した。また、この情報の発表基準を満たしたとき、どの雨域が線状降水帯なのか解説がしやすく

なるよう、気象庁ホームページの「雨雲の動き」と「今後の雨」に赤い楕円で線状降水帯の雨域を表示することとした。

その後、運用を開始して出水期を経た時点で改めて、自治体及び住民を対象に当該情報の受け止めをアンケート調査したところ、「もっと早いタイミングで出してほしい」という回答が約3割あるなど、線状降水帯に関する予測情報に対するニーズが引き続き存在することが分かった。このような社会のニーズを踏まえつつ、線状降水帯による大雨の危機感を少しでも早く伝えることで早めの防災対応に資するよう、情報の高度化に係る取組を継続し、令和5年5月からは、予測技術を活用し、これまでより最大30分程度前倒しして「顕著な大雨に関する気象情報」を発表することとした。あわせて、気象庁ホームページに表示する線状降水帯の雨域（赤い楕円）についても10～30分先の解析結果を表示する改善を実施した。

加えて、線状降水帯発生に係る予測情報として、令和4年6月からは、「顕著な大雨に関する気象情報」の発表基準を満たすような線状降水帯による大雨の可能性がある程度高い場合には、半日程度前から地方気象情報及び府県気象情報において地方予報区単位等で呼びかけることとした。また、令和6年5月からは、呼びかけの対象地域を府県予報区単位に絞って呼びかける運用とした。

6. 顕著な大雪に関する気象情報

平成30年2月に福井県を中心とした大雪により被害が発生したことを受けて、大雪についても、何らかの観測・解析結果を迅速に情報で提供することが防災対応を支援する観点で有効ではないかとの指摘があった。そのため、大雪警報発表中において、短時間に集中する降雪があった場合等を対象に、その旨を発表することについて検討を行った。

この検討により、短時間に顕著な降雪が観測され今後も継続する見込みの場合に、短時間の大雪に対する一層の警戒を呼びかける府県気象情報として、「顕著な大雪に関する気象情報」の表題で発表することとなった。平成30年冬に情報改善の契機となった北陸地方で試行し、令和元年冬から山形県、福島県（会津地方）、新潟県、富山県、石川県、福井県で運用開始した。その後、令和3年冬には、滋賀県、京都府、兵庫県、鳥取県、島根県、岡山県、広島県に運用を拡大し、令和6年冬からは岐阜県（関ヶ原町付近）でも運用を開始した。

7. 竜巻注意情報

平成17年12月に山形県庄内町で発生した突風による羽越線列車脱線事故を契機として、気象庁は平成22年度を目途に、突風などの積乱雲に伴う激しい現象に関する気象情報として、ナウキャスト形式の情報提供を新たに開始する方針を決め、予測技術の開発を開始した。そうした中、平成18年9月には宮崎県延岡市において竜巻が発生し、死者3名、負傷者143名、住宅全壊79棟に及ぶ甚大な被害が発生した。さらに同年11月には北海道佐呂間町において竜巻が発生し、工事現場の仮設建築物が吹き飛ばされるなどにより、死者9名、負傷者31名、住宅全壊7棟に及ぶ甚大な被害が発生した。このため、竜巻などの激しい突風に関する気象情報の改善が喫緊の課題となった。

上記の突風災害を受けて、気象庁は気象ドップラーレーダーの整備を加速させるとともに、

突風に関する気象情報の改善に向けた技術開発を進めた。平成 19 ～ 20 年度に開催した「突風等短時間予測情報利活用検討会」での議論を踏まえ、平成 20 年 3 月に予告的に発表する気象情報と雷注意報について竜巻などの激しい突風に注意を呼びかけるキーワードを追加する改善と、新たな情報である「竜巻注意情報」の提供を開始した。竜巻注意情報は、「今まさに、竜巻、ダウンバーストなどの激しい突風をもたらすような発達した積乱雲が存在する気象状況である」という現況を府県単位に速報する気象情報で、雷注意報を補足する情報である。

また、平成 22 年 5 月には竜巻発生確度ナウキャストの発表を開始した。竜巻発生確度ナウキャストは、竜巻等の現象が発生する可能性の高さを 2 つの階級（発生確度 2、1）で示し、10 分ごとに分布図形式で提供するものである。発生確度 2 が出現した府県に有効時間約 1 時間の竜巻注意情報を発表することとした。これは、竜巻注意情報の発表により激しい突風の発生可能性が高まっていることを覚知し、刻々と変わる発生可能性の高い領域は気象庁 HP の竜巻発生確度ナウキャストで確認するといった利用形態としたものである。

その後、平成 24 年 5 月に茨城県つくば市等で竜巻による甚大な被害が発生したことを受け、「竜巻等突風予測情報改善検討会」を開催し、竜巻注意情報や竜巻発生確度ナウキャストなどの情報の現状及び住民への伝達と利活用における課題等を整理し、情報の改善に向けた検討を行った。この検討会での提言を踏まえ、平成 25 年 4 月には、防災啓発ビデオ「急な大雨・雷・竜巻から身を守ろう！」や積乱雲に伴う激しい現象の住民周知に関する自治体向けガイドラインを公表したほか、同年 5 月に竜巻注意情報が発表された際の対応行動をわかりやすく記述する改善を行った。また、平成 26 年 9 月からは、目撃情報を活用した竜巻注意情報の提供を開始した。さらに平成 28 年 12 月から、竜巻発生確度ナウキャストの精度改善によって、天気予報と同じ発表単位である一次細分区域での竜巻注意情報の提供を開始した。

8. 高温注意情報・熱中症警戒アラート

熱中症の予防・軽減については、平成 19 年の記録的猛暑を受けて、環境省、厚生労働省、文部科学省、消防庁、気象庁による熱中症対策関係省庁連絡会議が設置され、各省庁が連携して対策の取組を行うこととした。平成 21 年度の同連絡会議では、関係省庁の対策の効果を高める施策の一環として、気象台が気温の予想とともに一般的な注意事項として熱中症も含めた健康管理への注意を呼びかけることについて調整が図られ、天気予報の天気概況や週間天気予報、週間天気予報スケールの府県気象情報（天候情報（当時））に“熱中症など健康管理に注意”等と記述し、注意喚起を行うこととした。

その後、平成 23 年の東日本大震災の影響により、ピーク時の電力需給の逼迫が懸念される中、節電にも配慮した熱中症対策が求められ、特段の注意喚起が必要とされた。そのため、平成 23 年 7 月から新たな情報として、北海道と沖縄を除く地域に「高温注意情報」の発表を開始した。さらに、節電の呼びかけの有無にかかわらず、高温に対する注意喚起を行う情報として高温注意情報は有効と判断したことから、平成 24 年度からは北海道及び沖縄を含む全国を対象として発表することとした。

平成 30 年の記録的高温などの影響による熱中症の発生状況を踏まえ、環境省と気象庁は令和 2 年 4 月に、有識者による「熱中症予防対策に資する効果的な情報発信に関する検討会」

を開催し、これまでよりも更に効果的かつ実践的な熱中症予防情報の発信について、具体的な方法について検討を行った。その結果、両省庁が連携し、それぞれが別々に運用していた「暑さ指数（WBGT）」と「高温注意情報」を掛け合わせた「熱中症警戒アラート」を発表していくこととなった。これを踏まえ、まず関東甲信地方で令和2年7月から先行的に熱中症警戒アラートの試行を開始し、令和3年4月からは全国的に発表することとなった。気象庁で運用してきた高温注意情報は、熱中症警戒アラートの創設にあたって発展的に解消された。

【第3節】今後の防災気象情報の改善

我が国では数々の自然災害を経験しており、その都度、防災気象情報やその伝え方を改善する取組を行ってきた。この結果として、個々の情報の高度化や市町村の防災対応支援強化に一定の効果があった一方、情報数の増加や運用の複雑化にも繋がった。

令和元年には、災害発生の危険度ととるべき避難行動を住民が直感的に理解できるよう、5段階の「警戒レベル」が導入され、関連する防災気象情報は警戒レベルに相当する情報（警戒レベル相当情報）として位置づけられた。しかし、同じ現象を対象とした情報でも相当する警戒レベルによって発表主体や発表基準が異なっていたり、現象によって警報、特別警報の警戒レベルの位置付けが異なっていたりする等の課題があった。

このような状況を踏まえ、シンプルでわかりやすい防災気象情報の再構築に向け、警戒レベル相当情報を中心に、情報の体系整理や個々の情報の見直し・改善方策、情報のより一層の活用に向けた取組等の検討事項を中心に議論を行うため、学識者、報道関係者等を構成員とする「防災気象情報に関する検討会」を、令和4年1月から令和6年5月まで、計8回にわたり開催した。

検討会での議論の成果については、令和6年6月に「防災気象情報の体系整理と最適な活用に向けて」と題したとりまとめとして公表した。とりまとめの概要は以下のとおりである。

1. 警戒レベル相当情報の体系整理

洪水、土砂災害及び高潮に係る警戒レベル相当情報については、以下のような改善事項が示された。

- ・洪水については、氾濫による社会的な影響が大きい河川（洪水予報河川、水位周知河川）の外水氾濫を対象とし、河川ごとの情報とする。これ以外の河川の外水氾濫については、内水氾濫と併せて市町村ごとに発表する「大雨浸水に関する情報」とする。
- ・土砂災害については、土砂災害警戒情報と土砂災害に係る大雨特別警報・警報・注意報の発表基準の考え方を統一し、災害発生の確度に応じて段階的に発表する情報とする。
- ・高潮については、潮位に加えて沿岸に打ち寄せる波の影響を考慮し、災害発生又は切迫までの猶予時間に応じて段階的に発表する情報とする。

上記を踏まえ、警戒レベル相当情報の新しい体系及び名称については、表5-1-3-1のように整理された。名称の最終的な決定は、法制度や実際の情報の運用、伝え方、検討会での意見なども踏まえ、気象庁及び国土交通省にて行うこととされた。なお、警戒レベル相当情報以外の防災気象情報については、当該情報を活用する分野によって防災対応が必要となる現象の強

さが異なるものと考えられることから、それら情報の体系整理については改めて検討の場を設けて検討することとされた。

表 5-1-3-1 新しい体系の防災気象情報

		洪水に関する情報 「洪水危険度」 (洪水予報河川、水位周 知河川の外水氾濫)	大雨浸水に関する情報 「大雨危険度」 (内水氾濫及び左記以外 の河川の外水氾濫)	土砂災害に関する情報 「土砂災害危険度」	高潮に関する情報 「高潮危険度」
発表単位		河川ごと	基本的に市町村ごと	基本的に市町村ごと	沿岸ごと又は 市町村ごと
警戒レベル相当情報	5 相当	レベル5 氾濫特別警報	レベル5 大雨特別警報	レベル5 土砂災害特別警報	レベル5 高潮特別警報
	4 相当	レベル4 氾濫危険警報	レベル4 大雨危険警報	レベル4 土砂災害危険警報	レベル4 高潮危険警報
	3 相当	レベル3 氾濫警報	レベル3 大雨警報	レベル3 土砂災害警報	レベル3 高潮警報
	2	レベル2 氾濫注意報	レベル2 大雨注意報	レベル2 土砂災害注意報	レベル2 高潮注意報

2. 気象情報（解説情報）の体系整理

これまで「気象情報」として伝えていた各種情報（解説情報）については、利用者が情報の特性を理解しやすく、また、利用する情報にアクセスしやすい名称とすることが望まれた。

そこで、これまでいくつかの種類の「気象情報」として伝えていた情報については、線状降水帯をはじめとした具体的な極端現象が発生又は発生しつつある場合にその旨を伝える「極端な現象を速報的に伝える情報」と、現在及び今後の気象状況等を網羅的に伝える「網羅的に解説する情報」に分類して提供し、それぞれについて統一的な名称とすることが提言された。前者の情報を「気象防災速報」、後者の情報を「気象解説情報」とし、名称には「気象防災速報（線状降水帯発生）」のように、情報内容を把握できるキーワードを付すことにより、情報へのアクセスを改善することとされた。

3. 防災気象情報の最適な活用

防災気象情報の体系や名称が改善されたとしても、情報の受け手に活用されなければ適切な防災対応は実現できないとされ、防災気象情報の最適な活用に向け、以下3点について方向性が提示された。

- ・防災気象情報の基盤となるデータの提供の更なる推進とともに、コンピュータで容易に処理できるよう機械可読性の改善も進めることが必要
- ・「プッシュ型」の防災気象情報とあわせて、ホームページ等に掲載する「プル型」のコンテンツの活用を推進するとともに、当該コンテンツの充実を図ることが重要

- ・防災気象情報を受け取った者が自ら考え主体的に行動することができる社会の実現を目指すべく、防災気象情報の特徴・特性に対する理解が社会において深まるよう、平時から知見を積み上げられる環境の構築（ホームページへの解説資料の掲載等）や、国による普及啓発活動に加え、様々な関係主体（教育機関、専門家、報道機関等）による普及啓発活動の推進が必要

検討会のとりまとめを踏まえた新たな体系に基づく防災気象情報については、令和8年度出水期の運用開始を目指して、気象庁と国土交通省が連携し、その具体的な運用に係る検討・準備を進めている。

第2章 天気予報

【第1節】天気予報業務の沿革と現状

1. 天気予報

明治16年1月、東京気象台は1日1回、気象電報を無料で東京に集めることを許された。気象電報を集め、2月16日には天気図の作成、3月1日には天気図の印刷・配布を開始した（現存する最古の天気図）。5月26日には初めての暴風警報（「大凡48時間ヲ予察スルモノニ付右時間ヲ経過スレハ警戒ニ不及」（原文））を発表した。

明治17年5月に1日3回の気象電文の集信が無料扱いとなり、天気図を1日に3回作成できるようになったことを受けて、同年6月1日、東京気象台は臨機の暴風警報に加えて、1日3回（午前6時、午後2時、午後9時）、向こう8時間を対象とした定期的な天気予報を開始した。初めての予報は、「全国一般風ノ向キハ定リナシ 天気ハ変リ易シ 但シ雨天勝チ」という日本全体をひとつの文章で表現する予報だった。

明治21年には全国を7気象区に分けて予報警報を行い、毎日一度、向こう24時間の予報を発表した。明治25年には測候所が管内の天気予報を発表できるようになり、明治33年末には57か所の測候所が実施した。昭和5年1月、天気予報は1日3回（今日・今晚・明日）の発表となった。

昭和25年7月、気象予報規程が制定され、地方予報区は北海道・東北・関東甲信・東海・北陸・近畿・中国・四国・九州の9予報区となり、府県予報区単位の天気予報が開始された（海は海岸線からおおむね20海里を対象）。気象予報とは天気予報・気象特報（現在の注意報のようなもの）・気象警報、台風注意報・台風警戒報であった。昭和39年12月、全国11の主要都市を対象に都市予報通報を開始。昭和55年には東京都を対象に降水確率予報を開始。翌昭和56年には全国の10都市を対象に、昭和57年には全国で降水確率予報が発表となった。昭和60年には天気予報で、昭和62年には注意報や警報で1次細分による地域細分発表を開始した。また、平成22年には気象に関するすべての警報・注意報について、原則として市町村を単位に発表することとした。その後も予報要素の充実や延長を重ね、現在府県予報は、都道府県をいくつかに分けた一次細分区域ごとに、明日までの天気や風・波、雨量などを1日3回（必要に応じて追加）発表している。

2. 天気分布予報と地域時系列予報

平成4年の気象審議会答申第18号「社会の高度情報化に適合する気象サービスのあり方について」を受ける形で、平成8年には天気分布予報と地域時系列予報を開始した。天気分布予報は24時間先までの3時間ごと20km格子ごとの天気、降水量、気温、最高・最低気温の予報で、また地域時系列予報は一次細分区域の代表地域における24時間先までの3時間ごとの天気、気温の予報で、どちらも1日3回（6時、12時、18時）発表した。なお、平成

16年には発表時刻が府県天気予報と同じ5時、11時、17時に変更となった。天気分布予報では、降雪量分布予報が平成10年に、時系列予報では風の時系列予報が平成11年に開始となった。当初の対象地域は北海道・東北・北陸であったが、平成13年には関東甲信・東海・近畿・中国地方のそれぞれ一部も含む領域に拡大した。令和2年には20km格子を5km格子に、予報対象期間を向こう24時間から翌日の24時まで延長して翌日朝の最低気温や日中の最高気温の発表、降雪量予報の対象地域を全国に拡大して通年に期間拡大、天気の種類の追加や降水量の階級の増加、小笠原諸島を対象領域とする改善を行った。

また、上記の平成4年の気象審議会答申第18号では、官・民の役割分担による気象情報サービスの推進が答申された。これを受け、平成6年気象予報士制度が制定となり、民間気象会社が一般向けの天気予報を行えるようになった。

3. 「予報作業支援システム」の構築

平成12年の気象審議会答申第21号を受けて気象庁は、①防災対応の各段階に適合した防災気象情報を発表すること、②防災気象情報を実施するために整備した基盤を利用して効率的に作業してあまねく国民が成就すべき共有財産として天気予報を提供することを目的に注意報・警報・予報に関わる成果物の発表形式や作業体系の見直しを行うこととした。

このような状況を踏まえて、新しい予報作業のあり方を検討するとともに、膨大な実況資料の監視、実況・予測資料の理解しやすい表示、発表プロダクトの整合等のチェックなど、従来予報官が多くの時間を割いていた比較的単純な作業部分をシステムが肩代わりし、予報官は総合的な予報判断や防災気象情報の適切な運用など、より高度な予報作業に専念できる環境を目指して「予報作業支援システム」を構築し、平成16年以降、本システムを用いて予報警報等の情報を作成している。

予報作業支援システムとは、警報・注意報や天気予報などの予報警報業務を実施するにあたり、部外に提供する電文等プロダクトの編集及び送信を行う機能全体の総称である。広義にはアデス（気象情報伝送処理システム）の統合ビューによる観測・数値予報データの表示機能などを含み、予報担当者の行う予報作業を文字どおり支援する仕組み全体を指すものである。

4. 防災気象情報の改善と地域防災支援の強化

平成16年には大雨等による気象災害が多発し、避難に係る課題が指摘された。気象庁には、市町村の避難勧告等の判断や住民の避難行動を支援する防災気象情報の発表が求められた。防災気象情報の作成を軸とした予報作業形態に天気予報作業を組み合わせる考え方を踏襲しつつ、警報・注意報の指標の変更（災害との対応の良い指数に変更）や、市町村を対象とする警報・注意報の実施に向け、予報作業支援システムの大幅な機能の見直しを行い、平成22年に2次細分区域（おおむね市町村に対応）を対象とする警報注意報の発表を開始した。

平成23年台風第12号による紀伊半島を中心とする大雨により極めて甚大な被害が出たことを受けて、気象庁では大規模な災害の発生が切迫していることを伝えるために平成25年から特別警報を発表することになった。また、平成27年に行われた交通政策審議会気象分科会では、『「新たなステージ」に対応した防災気象情報と観測・予測技術のあり方』について審議

が行われ、社会に大きな影響を与える現象については、可能性が高くなくともその発生のおそれを積極的に伝えていくこと、とされ、警報級の現象が生じる可能性を提供することになった。

平成 29 年 8 月に有識者会議「地域における気象防災業務のあり方検討会」において、「①気象防災の関係者と一体となって平時からの取組を強化すること、②自治体や住民に自らその地域特性に応じた災害リスクの認知を高め、緊急時に気象情報を「読み解き」、防災対応に活かすことができるようにすること」等、地域防災支援の一層の強化を強く求められた。そこで、地方気象台において TV 会議システムによる日々の気象解説や悪天時の自治体への職員派遣、発災後の自治体等防災関係機関との災害発生時の気象状況の解説やそれに伴う防災対応の改善を話し合う「振り返り」など地域防災支援の強化を図る一方、従来地方気象台で行っていた作業のうち、気象現象の解析、天気予報・警報等の電文作成、警報・注意報の関係機関への送達確認等を、地方予報中枢官署へ集約することとした。作業体制移行を実施するにあたっては、地方予報中枢官署に専任の解析者を配置して管内の気象現象を高頻度で解析した上で、その分析結果を管内の地方気象台で即時に閲覧できるように、最新の ICT 技術を活用したシステムを構築した。また、地方気象台と地方予報中枢官署との間を常時 TV 会議システムで接続し、双方の担当者がいつでも連絡できる体制をとりつつ、地方予報中枢官署が地方気象台に代わって天気予報や警報・注意報の入力・発信・送達確認等を実施するシステムを構築した。

令和 3 年 5 月に「避難情報に関するガイドライン」が改訂され、住民の適切な避難の判断・行動につながるよう、防災気象情報の伝え方の改善がなされた。これを受けて警戒レベル相当情報の見直しがなされ、気象庁が発表する注意報や警報などの情報と、5 段階に整理した「住民がとるべき行動」と「行動を促す情報」との関連を明確化して伝えることで、住民の主体的な行動を促すこととしている。

5. 天気予報の評価

明治 17 年 6 月の天気予報業務開始と同時に「採点表」による評価業務が始まった。採点表による評価は形式を変えながら昭和 37 年に中止されるまで続いた。中止の理由は当時の担当者の他業務への振替と、採点方法による弊害が現れ始めたためである。採点表とは、「晴れ」「晴れ時々曇り」「曇り時々雨」など複数の天気について、予報と実況の関係によりあらかじめ決められた点数を掲載した表である。予報が「晴れ時々曇り」の場合、実況に応じて 84 点（晴れ）、100 点（晴れ時々曇り）、70 点（曇り）、46 点（曇り時々雨）、18 点（雨）等となる。「曇り時々晴れ、一時雨」などの全天候型の予報を発表すると、平均して比較的良好な点数を得られるため、このような予報が多くなった。昭和 46 年には、採点表に変わる新しい評価として、「予報成績評価業務実施要領」に基づく新採点基準法による採点と雨の重点評価を開始した。

しかし、昭和 54 年の行政管理庁による行政監察によって、採点表による評価は客観性・妥当性を欠き業務として不十分と指摘された。この業務改善勧告を受け、客観的な検証・評価業務の遂行に向けて、昭和 60 年からは「降水の有無」、「最高・最低気温」、「降水確率」の検証・評価業務を東京管区内で開始した。平成 3 年には府県天気予報と府県週間天気予報の検証・評価業務を全国展開し、平成 14 年には検証結果を気象庁ホームページに公表した。平成 17 年には精度検証を拡大し、降水確率予報の精度検証と降水あり/なしの適中率の検証を開始した。

【第2節】予報官が作成する海上予報警報プロダクト

1. 天気図

現在、気象庁ではアジア太平洋域の広範囲にわたる気象状況を把握する手段として、天気図解析作業を行っている。天気図には、「気象情報等の理解を補助する資料」「総観規模の気圧系の推移を概観できる記録資料」という2つの重要な役割がある。一つ目は、報道等により解説される場合や利用者自身がホームページ等で閲覧する場合などが該当し、実況図として発表している「アジア太平洋地上天気図（ASAS）」や「速報天気図」、及び予想図として発表している「海上悪天24時間予想図（FSAS24）」、「海上悪天48時間予想図（FSAS48）」がこれを担っている。二つ目は、事後解析（「修補」と呼ぶ）により手直しを加えた天気図がこれを担っている。修補済みの天気図は、気象庁で10年間保管した後、国立公文書館に移管して永年保存される。

気象庁の天気図の歴史は明治16年に始まっている。当時から電報により収集した実況観測値を紙の地図に手描きでプロットし、手描きで等圧線等を解析していた。その後、昭和46年に最初の作画機としてX-Yプロッターを導入し、プロットに必要なプログラムの開発を進めながら、北半球地上天気図から段階的に対象とする天気図の種類を増やし、昭和59年にはアジア太平洋地上天気図もX-Yプロッターに対応した。これにより、天気図解析作業は、世界各地から専用回線で集めた実況観測資料を人の手ではなく、機械で用紙の地図上にプロットするようになったが、予報官が色鉛筆と消しゴムを用いて等圧線や高気圧、低気圧、前線等を手描きにより解析する作業形態には変わりなかった。この点を大きく変えたのは平成8年の天気図解析システムにおけるマン・マシンシステム、すなわち計算機を用いて人間の解析を補助するシステムの導入である。天気図解析システムの導入により、コンピュータの画面上で、数値予報の結果や衛星画像、気象レーダー画像などを重ね合わせることで、大気の立体的な構造の把握が容易になったとともに、天気図は数値予報モデルの等圧線を原型とし、実況観測値などに合わせて等圧線に修正を加えつつ高気圧や低気圧、前線を解析するような作業形態に変わった。これにより、関与が必要な部分では十分な手作業による解析を行える一方で、全体としては手作業の負担を軽減し効率化を図ることができ、また、作業者によらずできるだけ均質な天気図を作成できるようになった。

天気図解析システムの開発の背景には、数値予報技術の発展に伴い、数値予報モデルによる客観解析が大規模現象やデータ密集域では解析者が行う解析にかなり近づいてきたことが挙げられる。客観解析を利用するシステム作成の検討に際しては、各種データの入手から天気図の発信までをオンライン化した一貫処理システムとすること、マン・マシン対話型処理と電子媒体での保存を行うことを目標とした。

予報課では、平成3年から計算機を介した天気図解析作業を実現できるか検討を始め、数値予報課の協力により、客観解析の等圧線の修正試験を行い、マン・マシン対話型解析作業の可能性を調査した。その結果、マウスとキーボードを使ったマン・マシン対話型解析作業形態ならば、将来の端末の性能向上を見込めば、計算機を介した解析作業に移行できるとの技術的見通しを得た。天気図解析システムのソフトウェア開発は試行結果の反映や仕様変更に柔軟

に対応するために自主開発で行い、平成 4 年 10 月にソフトウェアの開発をはじめ、平成 6 年 10 月には最初の天気図解析ソフトが完成した。その後も、開発担当者が動作確認を行うとともに操作性の向上や確実性に向けた開発を進め、平成 8 年 3 月の COSMETS（気象資料総合処理システム）の更新に伴い、平成 8 年 3 月 1 日 00UTC から天気図解析システムの運用を開始した。

天気図解析システム運用開始後も、新規業務開始に合わせて、ソフトウェアの改修を行っている。また、以前から作成していた「アジア地上天気図（ASAS）」（当時の ASAS は現在の「アジア太平洋地上天気図」よりも領域がやや狭い天気図であったため、「アジア地上天気図」と呼んでいた）に加え、平成 9 年 3 月には、日本周辺の「速報天気図」の提供を開始した。また、予想図は 24 時間先の「海上悪天 24 時間予想図（FSAS24）」に加えて平成 13 年 3 月から 48 時間先の「海上悪天 48 時間予想図（FSAS48）」の提供を開始した。その後、平成 24 年 7 月から民間気象事業者や報道からの要望に応え、天気図の二次加工に適した天気図情報ベクトルデータの提供を開始し、平成 26 年 10 月には、全般海上警報領域をすべてカバーするよう ASAS の領域を拡大し、名称を「アジア太平洋地上天気図」に変更した。平成 27 年 12 月には天気図の視認性を高めるため、気象庁 HP でカラー天気図の提供を開始した。

2. 海上予報・警報

現在、気象庁では、海上を対象とした予報や警報として、北西太平洋を対象とした「全般海上予報、全般海上警報」、日本の近海（海岸線からおおむね 300 海里）を対象とした「地方海上予報、地方海上警報」、沿岸（海岸線からおおむね 20 海里）を対象とした「天気予報、注意報、警報」を作成し、外洋を航行する船舶向けに衛星通信や、日本付近を航行中の船舶に対し、海上保安庁が運航に必要な情報を無線放送するシステムであるナブテックスにより放送するほか、海上保安庁の無線電話や NHK ラジオ放送などでも提供している。

気象庁における海上の船舶向けの予報・警報の歴史は、明治 16 年に初めて発表した暴風警報にさかのぼる。当時は低気圧や台風の来襲の際に、高い柱の上に赤い球を上げて警戒を呼びかけていた。明治 21 年には全国を 7 気象区に分けて、中央气象台が暴風警報を発表した。大正 3 年には中央气象台が発表する暴風警報を、通信省海岸無線電信局から船舶向けに放送を開始した。昭和 25 年にはラジオ気象放送要領が制定され、中央气象台は 9 時、16 時、22 時にラジオで全国天気概況漁業気象を発表した。昭和 27 年には気象業務法が施行され、全般海上警報（全般海上予報区）と地方海上警報（地方海上予報区 10 区）が実施されるようになった。昭和 28 年 1 月から従来各海岸局あてに発信していた全般船舶気象通報が廃止され、以後は海上保安庁が代わってこの業務を行うことになった。昭和 31 年には地方海上予報区の東海海域を神戸から名古屋に移し 11 区域に変更、さらに平成 4 年には地方海上予報区の細分海域を明確化した。警報の文面についても、段階的に全国で統一し、定型化を進め、作業の効率化を図りつつ現在に至っている。平成 4 年には英文の国際ナブテックス業務や衛星通信を開始し、平成 7 年には日本語ナブテックス業務を開始、平成 11 年には従来のモールス無線電信が廃止され、国際的な枠組みである GMDSS に完全準拠した（無線通信による通報の変遷については、第 4 部第 2 章第 2 節「データ交換と気象情報の伝達」を参照）。

近年の海上予報・警報の高度化として、平成 27 年 3 月からは「風（風向・風速）」、「波（波の高さ）」、「視程（霧）」、「着氷（着氷の程度）」に関する解像度 1 度格子の分布で表示する「地方海上分布予報」を気象庁ホームページで提供開始し、平成 28 年 5 月には格子を 0.5 度に高解像度化して平成 29 年 3 月には「天気」を追加のうえ、同時に文字情報である地方海上警報や地方海上予報の内容を詳細化した。また、平成 30 年 6 月には全般海上警報の内容の時間変化の記述を詳細化した。さらに、令和元年 6 月には地方海上分布予報に小笠原諸島近海を加えた「海上分布予報」の提供を開始した。また、業務の効率化も進め、令和 4 年 3 月から、各地方海上中枢官署において実施してきた地方海上予報及び地方海上警報の現業作業を本庁に集約し、現在に至っている。

3. 台風予報

（1）1989 年まで：台風進路予報誤差の予報円方式での表示開始（昭和 57 年）等

戦後、昭和 27 年から中央気象台独自の台風進路・強度の 1 日（24 時間）先までの予報を再開し、昭和 28 年頃から台風の進行方向の誤差を扇形で表示するようになった。扇形表示では台風の進行速度の誤差が表現できないという課題を改善するため、昭和 57 年 6 月から台風進路予報の誤差表示を予報円方式に変更した。昭和 61 年 5 月に台風に関する予報・情報の利用者への周知のあり方について気象審議会で審議された結果が答申第 16 号として示された。答申では、暴風域及び暴風警戒域を実線で表示する等の台風進路予報の表示方式が示され、同年 6 月にこれに対応した台風進路予報の表示形式に変更した。平成元年には、台風進路予報を 1 日（24 時間）先から 2 日（48 時間）先まで延長した。

（2）1990 年代：暴風域に入る確率の提供開始（平成 4 年）等

平成 3 年台風第 19 号等の被害を踏まえ、国土庁防災局において開催された「テレビ放送を通じて住民に提供する防災情報の整備に関する検討委員会」の検討結果に基づき、暴風の襲来をより具体的に住民に伝える手段として台風の「暴風域に入る確率」の発表を平成 4 年 4 月から開始（29 地点、24 時間先まで）した。

平成 8 年 3 月の第 6 世代数値解析予報システム（NAPS6）導入に伴い、全球数値予報モデル及び台風モデルを高度化したことにより、平成 9 年 7 月から台風進路予報を 3 日（72 時間）先まで延長するとともに、予報円に台風中心が入る確率を 60% から 70% に変更した。

（3）2000 年代：台風進路予報を 5 日先まで延長（平成 21 年）等

平成 11 年 8 月の台風ではない熱帯低気圧（当時は「弱い熱帯低気圧」と表現）による大雨被害を踏まえ、平成 12 年 6 月から「弱い」の形容詞を外し、単に熱帯低気圧と呼ぶこととした。また、台風の強さや大きさの階級でも、「弱い」、「小さい」、「並」などの表現を用いないこととした。加えて、同年、進路予報精度の向上を踏まえて予報円半径を小さくする改善を実施した。

平成 13 年 3 月の第 7 世代数値解析予報システム（NAPS7）導入に伴い、高度化した台風モデル（平成 19 年 11 月廃止）による 1 日 4 回の台風予報支援が可能となったこと等により、同年 6 月から台風強度予報を 2 日（48 時間）先まで延長した。

平成 13 年に実施した「防災気象情報の満足度に関する調査」の結果を踏まえ、平成 15 年 6 月に台風が日本付近にある場合の 1 時間後の推定値の提供、暴風域に入る確率の全ての二次

細分区域（平成 22 年 5 月以降は「市町村等をまとめた地域」）への拡大、対象時間の 2 日（48 時間）先までの延長、3 時間ごとの確率提供及び台風強度予報の 3 日（72 時間）先までの延長、平成 16 年 6 月に予報円半径を小さくする改善を実施した。

平成 16 年台風第 11 号が日本近辺で発生し、既存の台風情報では事前に適切な防災対応が取れなかったことから、平成 17 年 6 月から台風に発達する熱帯低気圧の 1 日（24 時間）先までの進路・強度予報を開始した。

平成 17 年 12 月に有識者等による「台風情報の表示方法等に関する懇談会」を設け、「台風予報の図表示方法の指針」を作成した。本指針に基づき、平成 19 年 4 月から暴風警戒域の通過する範囲を線で表示するよう変更するとともに、暴風域に入る確率の分布図の発表、最大瞬間風速の発表を開始した。平成 20 年 5 月には予報円半径を小さくする改善を実施した。

平成 20 年 2 月の台風アンサンブル予報システム（TEPS）の運用開始を踏まえ、平成 21 年 4 月から台風進路予報を 5 日（120 時間）先まで延長した。4 日（96 時間）先以降の予報円半径は、TEPS の積算スプレッドに基づく信頼度情報を用いて設定した。

（4）2010 年以降：台風強度予報を 5 日先まで延長（平成 31 年）等

平成 27 年から、気象庁の他、欧州中期予報センター（ECMWF）・米国環境予測センター（NCEP）・英国気象局（UKMO）の主要な 4 つの数値予報センターの全球数値予報モデルの進路予測を平均するコンセンサス手法を第一推定値とした進路予報を開始した。

平成 28 年 8 月に国土交通省によりタイムライン（防災行動計画）策定・活用指針（初版）が示され、台風接近時の防災関係機関等の対応をこれまでより早い段階からより効果的に支援するための強度予報精度向上の必要性が高まってきた。そのため、平成 29 年 7 月に台風予報専任の現業当番を配置し、平成 30 年 6 月に更新したスーパーコンピュータシステムによる計算能力の向上や台風強度予報ガイダンスの導入を踏まえ、平成 31 年 3 月に台風強度予報を 5 日（120 時間）先まで延長した。

令和元年房総半島台風（令和元年台風第 15 号）が日本近辺で発生し、十分事前から具体的な対策が取れずに大きな被害をもたらしたため、令和 2 年 9 月から台風に発達する熱帯低気圧の進路・強度予報を従来の 1 日（24 時間）先から 5 日（120 時間）先まで延長した。令和 3 年 6 月には暴風域に入る確率の運用を台風に発達する熱帯低気圧にも拡張した。

予報円については、平成 28 年 6 月に予報円半径を小さくする改善を実施した。平成 29 年 1 月の全球アンサンブル予報システム（GEPS）の運用開始に伴い、同年 6 月に GEPS の積算スプレッドに基づく信頼度情報を用いて予報円半径を設定した。令和元年 6 月には、GEPS に加え、ECMWF、NCEP、UKMO のアンサンブル予報の積算スプレッドに基づく信頼度情報を用いて予報円半径を設定した。令和 5 年 6 月には予報円半径を小さくする改善を実施した。

【第 3 節】気象予報に関する国際協力

本節では、海上予報警報や台風予報について、国際的な連携の側面から記述する。

1. 海上予報・警報

明治 45 年のタイタニック号の遭難事故が契機となり、昭和 4 年（1929 年）の「海上にお

ける人命の安全のための国際条約」(SOLAS 条約)により確立された国際的な搜索救難活動の枠組みに基づいて、気象庁は北西太平洋域の全般海上警報等を受け持ち、気象庁船舶気象通報として無線通報(JMC)や無線模写通報(JMH)等により通報してきた。昭和 63 年(1988 年)には、SOLAS 条約が改正され、衛星通信等を用いた「海上における遭難及び安全のための世界的な制度」(GMDSS)が制定された。改正同条約及び「海上における搜索及び救助に関する国際条約」(SAR 条約)に基づき、平成 11 年 2 月に GMDSS が完全実施され、気象庁もこれらに準拠した海上予報、海上警報等の発表を行うこととなった。国際的な責務として気象庁が海上予報や海上警報の発表を担当しているのは北西太平洋を中心とした海域(METAREA XI として定義されている)である。このように、近年の海上予報・警報業務は、国際条約に準拠した国際業務としての側面が強いものとなっている。

現在気象庁では、遠洋の船舶向けに、METAREA XI を対象とした海上予報、海上警報を衛星通信により、日本の近海(海岸からおおむね 300 海里)を対象とした海上予報、海上警報をナブテックスにより、それぞれ発表している(ただし、衛星通信はシンガポールが放送を担当し、ナブテックスは海上保安庁が放送を担当している)。METAREA XI を対象とした海上予報、海上警報には、オーストラリア、香港が作成する海上警報等も掲載している。

2. 台風予報

WMO は、熱帯低気圧による災害を軽減するため、熱帯低気圧の地域性に応じた海域ごとに地区委員会を設置しており、北西太平洋及び南シナ海においては、昭和 43 年に国連アジア極東経済委員会(現 国連アジア太平洋経済社会委員会)と合同で台風委員会を設置した。台風委員会には、日本を含む 14 の国と地域が加盟しており、気象に加え、水文、防災、研修・研究をテーマとした部会が設置されている(台風委員会の詳細については、第 3 部第 1 章第 2 節「台風委員会」を参照)。気象庁は、昭和 59 年 6 月から静止気象衛星の雲画像から解析された台風諸元を気象衛星資料解析気象報(SAREP 報)として提供している他、昭和 63 年には台風委員会で合意された現業作業のための基本情報や熱帯低気圧に関する各国・地域の観測・予報・データ交換などの仕様や手順を収録した気象部門のマニュアル(TOM: Typhoon Committee Operational Manual, Meteorological Component)をとりまとめ、以降毎年更新を続けるなど台風委員会の中で中心的役割を果たしている。

また、WMO は、昭和 45 年のベンガル湾のサイクロン災害を契機として昭和 47 年に熱帯低気圧プロジェクト(Tropical Cyclone Project)を設置した(昭和 54 年の第 8 回世界気象会議において、熱帯低気圧計画(Tropical Cyclone Programme)と改称)。同計画の枠組みの下、昭和 63 年 7 月に各海域の熱帯低気圧の解析・予報の中核として WMO 地区特別気象センター(RSMC)を設置すること、そのうちの一つを東京に設置することが承認された。東京の RSMC が担当する領域は、台風委員会からの要請を受けて北西太平洋及び南シナ海と決まった。平成元年 6 月には WMO において RSMC の名称を RSMC Tokyo - Typhoon Center とすることが承認され、国内での名称については太平洋台風センターとすることとした。平成元年 7 月から暫定的に台風委員会加盟国等に対して台風解析報、台風予報報、数値予報台風予報報等の発表を開始するとともに、同年 10 月には定員の措置をとって RSMC Tokyo -

Typhoon Center の運用を開始した。平成 2 年 7 月から台風予報根拠報やベストトラック報の発表、RSMC の活動報告として RSMC 年報の発行を開始（1989 年版から）するとともに、同年 10 月には組織として予報部予報課の下に太平洋台風センターを設置（平成 25 年 5 月にアジア太平洋気象防災センターに組織変更、令和 2 年 10 月の組織再編に伴い大気海洋部気象リスク対策課の下に設置）した。また、平成 8 年から RSMC 技術指導書の発行、平成 13 年から責任領域内の予報官を対象とした RSMC 予報官研修の実施、平成 16 年 10 月から予報の根拠や気象衛星による解析結果などの情報を提供する台風数値予報ウェブサイトの運営、令和 3 年 5 月から台風委員会加盟国等が熱帯低気圧の解析予報に関する情報を交換できる専用のプラットフォームである TC コミュニケーションの運用を開始するなど、責任領域内の国や地域が行う熱帯低気圧の解析や予報を支援している。

この他、RSMC Tokyo - Typhoon Center は、平成 5 年 8 月から国際民間航空機関（ICAO）の下で「熱帯低気圧アドバイザリーセンター（TCAC）」として熱帯低気圧に関するシグメット支援情報の発表を開始した。

令和元年 10 月には、RSMC Tokyo - Typhoon Center の運用開始から 30 周年を記念して「台風に関するハイレベル東京会議」を開催した。会議には、責任領域内各国の気象局長官や他海域 RSMC 所長、WMO 事務局長ら関係者が参加し、30 年間の台風防災の成果を振り返りつつ今後に必要な取組を検討した。その成果として、国家気象機関が、国全体の防災対応のトリガーという役割を再認識し、関係機関や住民一人一人の、台風による被害を最小化する意思決定と防災行動につながる情報を提供し、その利活用を促進することにより、台風に強い社会を実現するという「台風から命と財産を守る 10 年ビジョン」をとりまとめ、「東京宣言」として世界に発信した。

【第 4 節】自動作成のプロダクト

1. 雨に関するプロダクト

（1）降水短時間予報・降水 15 時間予報

降水短時間予報は実況補外型予測と数値予報の予測を組み合わせるものであり、1 時間降水量を予報するものである。構想としては昭和 48 年度に総務部企画課がまとめた「気象業務における諸問題 長期的観点からの展望」の中の最重要課題として、国内気象監視（NWW）システムの構築というものがあった。この NWW システム構想の中で、防災上重要な短時間のきめ細かい降水予測は最重要の課題に位置付けられていた。レーダー、アメダスなどの観測体制や伝送網の整備が進んだことが技術的な後押しとなった。

NWW システム構想の開始から約 15 年を経て、降水短時間予報は昭和 63 年 4 月から正式に業務を開始した。対象領域は東京・大阪・福岡管区で、予報時間は 3 時間先まで、格子間隔は 5km、作成頻度は 1 時間ごとであった。以降、降水短時間予報は解析雨量（詳細は、本部第 5 章第 10 節第 1 項「解析雨量」を参照。）とセットで開発してきた経緯があり、対象領域の拡大や格子間隔の変更は共通して行うことが多かった。対象領域は気象レーダーのデジタル化が進むにつれて拡大し、平成 6 年 3 月に石垣島レーダーが移設・デジタル化されたことにより、ほぼ全国をカバーする領域が降水短時間予報の作成対象となった。

平成 13 年 3 月にはメソ数値予報モデル（MSM）を利用して、予報時間を 3 時間から 6 時間へと延長した。平成 15 年 6 月には急激に変化する強雨の監視のために解析雨量と共に 30 分間隔で提供するようになった。平成 18 年 3 月に分解能を 1km に精緻化した。それに先立つ平成 17 年 3 月から、分解能 5km のデータを 1km メッシュに内挿して GRIB2 形式（世界気象機関が定める国際標準のグリッドデータのフォーマット）での提供を開始した。平成 20 年 5 月には、国土交通省（河川局・道路局）の設置するレーダ雨（雪）量計を利用するようになった。

平成 30 年 3 月から、10 分間隔の土壌雨量指数の予測計算に利用するため、10 分間隔で従来よりも迅速に提供する速報版降水短時間予報の提供を開始した。

平成 30 年 6 月には、6 時間先までの降水短時間予報に加えて、7 時間先から 15 時間先までの前 1 時間降水量を、5km の格子で予報する降水 15 時間予報の提供を開始した。降水 15 時間予報は、メソ数値予報モデル（MSM）のガイダンスと局地数値予報モデル（LFM）のガイダンスを組み合わせる手法を用いる。このため、実況補外と数値予報を組み合わせた 6 時間先までの降水短時間予報とは手法や解像度が異なるが、気象庁ホームページ上では「今後の雨」として一連のプロダクトとして見られるようにした。

NWW システム構想開始以来の開発や昭和 63 年 4 月の業務開始以来の運用は予報部予報課と気象研究所で行ってきたが、令和 2 年 10 月の組織改編後は大気海洋部業務課気象技術開発室で実施している。

（2）降水ナウキャスト・高解像度降水ナウキャスト

都市型災害においては、激しい雨が降り出してから 30 分以内といったごく短時間で中小河川が増水し、浸水するなどの被害をもたらすことがある。こうした背景から、当時 6 時間先までを 30 分間隔で予測する降水短時間予報よりも更にきめ細かいプロダクトが求められるようになった。集中豪雨に対する的確な防災気象情報などの発表に資するため、平成 16 年 6 月から 1 時間先までの 10 分間雨量を 1km 格子で 10 分ごとに予測する降水ナウキャストの提供を開始した。予測は主に 1km メッシュ全国合成レーダーエコー強度による実況補外型予測により行った。

当初は GRIB2 形式のデータを、気象業務支援センターを通して提供するのみであったが、平成 17 年 1 月からは 1km メッシュ全国合成レーダーエコー強度とともに気象庁ホームページでの掲載を開始した。平成 23 年 3 月には提供間隔を 5 分とするプロダクトを追加し、急激に発達する雨雲をより的確にとらえることができるようにした。

その後、局地的な大雨の監視・予測能力を強化するため、平成 24 年度から 25 年度にかけて気象ドップラーレーダーの処理装置を更新して降水強度の観測を 250m 解像度のデータとして処理できるようになった。気象庁気象ドップラーレーダーに加えて、国土交通省 X バンド MP レーダ雨量計の観測データも利用し、より高密度かつ高精度な降水分布を解析・予測するプロダクトとして、平成 26 年 8 月に高解像度降水ナウキャストの提供を開始した。プロダクトは瞬間的な降水強度である「高解像度降水ナウキャスト」と、5 分間積算降水量である「高解像度降水ナウキャスト（5 分間降水量）」の 2 種類があり、いずれも提供間隔を 5 分、1 時間先までを 5 分間隔で予測し、30 分先までを 250m 格子、以降を 1km 格子の細かさで作

成する。データは GRIB2 形式で気象業務支援センターを通して提供するとともに、気象庁ホームページに掲載している。

以後、降水ナウキャストの開発は凍結、高解像度降水ナウキャストを中心に改良を進め、令和 2 年 6 月に解析値の改善、令和 5 年 3 月に国土交通省 C バンド MP レーダ雨量計利用開始などを行った。両プロダクトは将来的に後者へ一本化する計画で、令和 3 年 2 月の気象庁ホームページ更新時には、掲載プロダクトを高解像度降水ナウキャスト（「雨雲の動き」）のみに整理した。

当初、降水ナウキャストは開発・運用を予報部予報課、高解像度降水ナウキャストは開発を観測部観測課観測システム運用室、運用を予報部予報課で行ってきたが、令和 2 年 10 月の組織改編後はいずれも大気海洋部業務課気象技術開発室で開発・運用を実施している。

2. 雪に関するプロダクト

平成 18 年豪雪では全国各地に甚大な被害（死者 152 名等）が生じた。当時、雨に関しては面的情報である解析雨量が存在したが、雪に関しては点の情報であるアメダスなどの積雪深計の観測値しかなく、実況の把握や災害との関連を検討するのに不十分で、面的情報の必要性が認識された。これを契機に、積雪変質モデルと解析雨量、数値予報の気象データを組み合わせて、積雪の面的情報の開発が始まった。積雪変質モデルでは、新たに積もる雪の量、とける雪の量、時間の経過により積雪が沈み込む深さなどを計算することで積雪の深さを求める。この計算過程の中で得られる情報を用いた短時間の降雪量分布の予測も視野に入れて開発が進められた。しかしながら積雪内部には様々な変質過程があるため検討すべき点が多く、積雪の面的情報は開発初期に精度面で実用化の目途が立たなかった。

平成 26 年 2 月に関東甲信を中心とした記録的な大雪が発生したことで開発を加速させ、観測値補正の導入などで精度向上に取り組んだ。その後も平成 30 年 1 月の首都圏での大雪や同年 2 月の北陸地方での大雪など、雪による社会活動への影響が問題となった。これを受けて令和元年 11 月から、道路管理者や事業者、国民が交通などに影響を及ぼす積雪・降雪の分布を把握するための情報として、現在の積雪の深さと降雪量を 1 時間ごとに約 5km 格子で面的に推定する解析積雪深及び解析降雪量の提供を開始した。気象庁ホームページでは「現在の雪」として公開した。

さらに、雪による影響などを前もって判断するための情報を拡充するため、令和 3 年 11 月から、積雪の深さと降雪量について、1 時間ごとに約 5km 格子で 6 時間先まで予測する降雪短時間予報の提供を開始した。降雪短時間予報は解析積雪深を初期値とし、物理的に新たに降り積もる量を推定すると共に統計的な補正を加えて行っている。気象庁ホームページでは「今後の雪」として解析積雪深及び解析降雪量と一体的に表示するようリニューアルし、現在（過去 24 時間を含む）から 6 時間先までの雪の予想を確認できるようにした。

令和 4 年 10 月には積雪変質モデルとして気象研究所が開発した積雪変質モデル（SMAP: Snow Metamorphism and Albedo Process）を導入することで精度向上を図った。

また、解析積雪深、解析降雪量及び降雪短時間予報の GPV データについて、GRIB2 形式で気象業務支援センターを通して提供している。

開発・運用は当初から予報部予報課で行ってきたが、令和2年10月の組織改編後は大気海洋部業務課気象技術開発室で実施している。

3. 突風・雷に関するプロダクト

雷に関する情報は、長らく気象業務法に基づく電力気象通報の一環として提供してきた。その前身は昭和4年5月に中央气象台が関東地方の電力会社や鉄道を対象として雷雨警報を開始したことが始まりである。昭和8年夏からは雷雨予報も行うようになった。平成4年度からは気象レーダーの観測と降水短時間予報の結果を用いて、およそ50km四方に細分された領域ごとの2時間先までの発雷の可能性を予測する「雷雨警戒報」の毎時提供を開始した。平成8年から平成12年にかけて、関東、北陸、東北、及び北海道においては電力会社から提供を受けた落雷位置評定データ（LLS）を利用した、5km格子ごとに1時間先までの発雷の可能性を予測する新雷雨警戒報の提供を開始した。しかし、電力事業者の財政上の理由や新雷雨警戒報が期待に応えられなかったことから、関東、北海道では平成13年にLLSのデータ提供が終了することとなり、新雷雨警戒報も終了することになった。

その後、雷雨警戒報の提供は継続したが、雷雨警戒報よりも以下に記述する空間分解能、時間分解能ともに高い雷ナウキャストを発表することになったことから、雷雨警戒報は平成22年7月に廃止した。

平成17年12月に山形県庄内町で発生した顕著な突風による羽越線列車脱線事故を契機に、発達した積乱雲に伴うシビア現象（雷、突風、ひょう、急な強い雨等）に関する気象情報として、ナウキャスト形式の情報提供を新たに開始する方針を決め、観測部・予報部・気象研究所が共同で開発を行う「レーダープロダクト開発プロジェクトチーム」を立ち上げ、シビアウェザーナウキャストを含むレーダー関連プロダクトの開発体制を強化した。そうした中、平成18年9月に宮城県延岡市や同年11月に北海道佐呂間町で相次いで甚大な竜巻被害が発生し、シビア現象に関する気象情報の改善が喫緊の課題となった。このため、気象庁は、竜巻の親雲となる積乱雲内部にあるメソサイクロンを捉える気象ドップラーレーダーの整備を加速するとともに、平成19年2月には関係省庁と共に行った米国における竜巻の早期警戒体制の現地調査や予測技術を参考に新たな技術開発を行った。平成19年度に「突風等短時間予測情報利活用検討会」（以下「利活用検討会」という。）の議論を踏まえ、平成20年3月には新たに「竜巻注意情報」（詳細は、本部第1章第2節第7項「竜巻注意情報」を参照。）の提供を開始した。その後も技術開発を続け、平成20年度の利活用検討会による議論を経て、平成22年5月から分布図形式の「竜巻発生確度ナウキャスト」、「雷ナウキャスト」の提供を開始し、既に提供していた「降水ナウキャスト」とあわせてシビア現象を予測するナウキャストは三本柱となった。

竜巻発生確度ナウキャストは、数値予報による大気の状態と気象ドップラーレーダー観測を組み合わせて、竜巻やダウンバーストなど激しい突風の発生する可能性を10km格子で解析して二つの階級（発生確度2、1）で表し、1時間後までの予測を10分間隔で提供している。発生確度2となった地域には有効時間約1時間の竜巻注意情報を発表している。

雷ナウキャストは、雷監視システムによる雷放電の検出及び気象レーダー観測をもとに、雷

の激しさや雷雲に発達する可能性を 1km 格子で解析して活動度 1 ～ 4 で表し、1 時間後までの予測を 10 分間隔で提供している。平成 29 年 7 月には、気象衛星「ひまわり 8 号」の観測データから積乱雲を早期に検出する手法を導入し、活動度 1 のリードタイムを改善した。

これらの情報は気象庁ホームページで提供するとともに、気象業務支援センターを通じて報道機関や民間事業者などに提供している。

開発・運用は当初から予報部予報課で行ってきたが、令和 2 年 10 月の組織改編後は大気海洋部業務課気象技術開発室で実施している。

第3章 気候情報

気象庁気候情報課では、主に大気の長期的な状態（気候）を対象として、1週間先までの週間天気予報業務、半年先までの季節予報業務、数か月～数十年スケールの気候系解析・監視業務、19世紀頃から21世紀末までの気候変動の監視・予測業務を実施している。また、各業務で作成された情報を国民や関係機関、産業界に提供するとともに、世界気象機関（WMO）の地区気候センターとしてアジア太平洋域の各国気象機関に情報提供や技術支援を行っている。

本章では、各業務の概要や沿革を紹介する。なお、気候変動に関する国内外の動向や、その中で気象庁の役割、気候変動の監視・予測業務の概要については本部第4章「気候変動」を参照されたい。

【第1節】気候系解析・監視

1. 気候系監視報告・速報

気候情報課では、世界各地で起こった異常気象をはじめとする天候の偏りの背景となっている大気大循環や海洋などの状態を監視・解析しており、診断を行っている。「気候系監視速報」は、その診断結果を月・季節ごとにコンパクトに速報的にとりまとめ、国内の関係機関及び広く一般利用者へ提供することにより、異常気象等の天候に対する理解や気候系に関する調査・研究への利用を促進することを目的として作成しており、毎月15日頃に定期的に気象庁ホームページに掲載している。また、国外の気象機関との気候系の情報交換等を図るため、気候系監視速報の英語版も作成しており、月の診断結果は「Monthly highlights on Climate System」、季節の診断結果は「Seasonal highlights on Climate System」（以下「highlights」という。）として、Tokyo Climate Center（TCC）のホームページに掲載している。さらに、国内外の刊行物としての配信希望者には、気候系監視速報やhighlightsの本文をPDF化してメールで送付している。以下では、気候系監視速報及び関連する過去の刊行物に関するこれまでの変遷を述べる。

昭和62年3月～平成19年2月の期間、日本の天候、世界の天候、熱帯の循環と対流活動、海況、北半球の積雪と海水等に関して「気候系監視報告」としてまとめ、月1回印刷刊行物として発行していた。この気候系監視報告に用いられた図表類等のデータは、気象庁ホームページにも掲載していた。また、各年3月～翌年2月の気候系監視報告及び図表類をまとめてCD-ROMに収録し、年1回発行していた。さらに、平年値の統計期間や気候監視に用いるデータセットを変更する際には、関連する解析結果を「気候系監視報告別冊」としてまとめ、印刷刊行物とCD-ROMを組み合わせ、年1～2回刊行していた。当時は、気象庁独自の再解析データは存在せず、世界気候研究計画（WCRP）による支持のもとで1990年代初期から実施されていたヨーロッパ中期予報センター（ECMWF）による再解析データ（ERA: ECMWF Reanalysis）や米国海洋大気庁（NOAA）の環境予測センター（NCEP）/大気研究センター（NCAR）による再解析データ（NCEP/NCAR Reanalysis等）を入手し、これらを

気象庁作成の全球客観解析値と組み合わせていた。また、これらの再解析データを、品質を考慮しつつ可能な限り長期間で平均したものを「平年値」と定義し、気候系の監視・解析を行っていた。

平成 19 年 3 月以降は気候系監視速報と改名し、それ以降現在に至るまで気象庁ホームページへの掲載及び PDF 形式でのメール配信のみとなっている。気候系監視速報の発行を開始した時期には、国産かつアジア初の再解析データとなる、気象庁と（財）電力中央研究所の共同で実施された再解析データ「長期再解析（JRA-25）と気象庁気候データ同化システム（JCDAS）」が利用可能となった。そして、平成 23 年 5 月には、JRA-25/JCDAS の単一の再解析データに基づく 1981～2010 年の 30 年平年値の使用を開始し、データが統一されたことにより一貫性の高い気候系監視解析の環境がようやく実現した。その後、平成 26 年 1 月号まで JRA-25/JCDAS が使用され、気象庁の再解析データの更新に伴い、平成 26 年 2 月号～令和 5 年 4 月号では「気象庁 55 年長期再解析（JRA-55）」、令和 5 年 5 月号以降は「気象庁第 3 次長期再解析（JRA-3Q）」に基づき、結果をまとめている。なお、平年値の期間も、令和 3 年 5 月号からは 1991～2020 年の 30 年平均値を用いている。気候系監視速報に用いる図表類を含む、半旬・旬・月・3 か月平均の天気図や指数類をまとめた気象庁ホームページ「大気の循環・雪氷・海況図表類」は、再解析データで利用可能な過去すべての期間について掲載しており、気候系監視速報とあわせて国内の関係機関及び広く一般利用者に幅広く利用されている。PDF 形式で国外の気象機関向けにメールで送付した highlights が現地気象機関における気候監視業務に活用されており、気象庁から定期的に気候系の診断結果を公表することは、WMO の地区気候センターである TCC として、国外の気象機関に対する支援の観点からも重要と言える。

2. 異常気象分析検討会

気象庁は、平成 19 年 6 月から、大学・研究機関に所属する異常気象に関わる大気・海洋科学の専門家で構成される「異常気象分析検討会」（以下「検討会」という。）を運営している。検討会の目的は、猛暑や豪雪等の社会経済に大きな影響を与える異常気象が発生した場合に、大学・研究機関等の専門家の協力を得て、異常気象に関する最新の科学的知見に基づく分析検討を行い、その発生要因等に関する見解を迅速に公表することである。平成 18 年豪雪、平成 30 年 7 月豪雨及び同年 7 月中旬以降の記録的な高温など、大気大循環の異常が主要因で、比較的長期（2 週間程度）にわたって持続した異常気象を検討の対象としている。また、検討会で用いる資料の作成等を支援するため、同じく大気・海洋科学の専門家で構成される「異常気象分析作業部会」を平成 19 年 10 月から運営している。検討会の分析を踏まえて、気象庁はこれまでに多くの異常気象の発生要因等に関する見解を発表してきた。

検討会発足の直接の契機となったのは、甚大な被害をもたらした平成 18 年豪雪（平成 17 年 12 月～平成 18 年 3 月）である。この時、気象庁には豪雪の要因や今後の見込みについての問い合わせが多く寄せられた。そして気象庁は、大学の研究者の協力を得て速やかに分析を進め、平成 18 年 1 月に報道発表を行った。この際の、気象庁と研究者との協働による異常気象の分析及び情報発表を成功事例として、平成 19 年 6 月に検討会が発足した。

他方、検討会発足の背景には、長年にわたって培われてきた官学連携の下地や異常気象分析

のための道具立ても不可欠であった。前者については、例えば長期予報グループ（L.F. グループ；平成 20 年から日本気象学会 長期予報研究連絡会に移行）が挙げられる。L.F. グループでは、機関誌「グロースベッター」（昭和 36 年 9 月～平成 19 年 7 月）や定例の会合などを通じ、45 年以上にわたって、長期予報に携わる有志（気象庁職員や研究者）らの官学の研究交流が促進されていた。また、後者については、例えば検討会発足前年の平成 18 年に、気象庁と（財）電力中央研究所によって国産かつアジア初となる長期再解析（JRA-25）データが完成し、さらに気象庁気候データ同化システム（JCDAS）によって JRA-25 と均質な解析データをリアルタイムに得られるようになって、異常気象分析のための基盤データが整ったことが挙げられる。

気象庁は検討会を通じて、我が国における第一線の研究者である各委員により、研究成果や分析ツール、気象庁の解析や情報に対する助言・提案を数多く受け、気候系監視・解析技術の高度化と情報の改善に大いに役立ててきた。気象庁担当職員と検討会委員が共同して異常気象分析を行う環境として、気象庁は、検討会発足当初の平成 19 年 6 月から検討会専用のポータルサイトを運営し、異常気象に関する専門家向けの図表や異常気象分析ツール（iTacs: 詳細は、本章第 5 節第 2 項「異常気象分析ツール（iTacs）」を参照。）の提供を行ってきた。このポータルサイトの資料や委員より提供いただいた分析ツールを用いながら、専用のメーリングリストを通じた議論が常時行われている。平成 20 年度からは、気象庁の月例の気候系診断会議に委員がオンラインで参加できるようにし、定常的に議論を行っている。他方、検討会における議論を発展させた科学論文作成も度々行われており、検討会を背景にした、気象庁から我が国の研究コミュニティに対する貢献もあると言える。

気象庁の発表する異常気象分析の内容は、社会の要請や研究の進展に応じて変化してきた。例えば、かつては個々の異常気象に対する地球温暖化の影響を評価することはできなかったが、平成 30 年 7 月豪雨及び同年 7 月中旬以降の記録的な高温事例についての分析（平成 30 年 8 月報道発表）において、気象庁は専門家から最新の科学的知見を得ながら、初めて地球温暖化の影響を個別の異常気象の発生要因の一つに挙げた。これ以降検討会において、その時々々の異常気象に対する地球温暖化の影響を評価し、社会に発信することが通例となってきた。地球温暖化の進行とそれに伴う極端な高温や大雨のリスクの増大を背景に、異常気象に関する社会の認識と歩みをともしてきた検討会の役割は引き続き重要である。

3. 成層圏突然昇温

成層圏突然昇温は、対流圏での惑星規模の波動が成層圏に伝わることにより、成層圏の高緯度域を流れるジェット気流が減速し、成層圏極域の気温がわずかに数日で数十℃上昇する現象である。また、成層圏突然昇温は、発生後、数か月にわたってその影響が対流圏の循環場にまで及び、冬の天候を支配する北極振動等のテレコネクションパターンにも影響を及ぼすことが知られており、気候系の監視における重要な現象の一つと言える。このため気候情報課では、気候系監視業務の中で成層圏突然昇温の監視も行っている。また国際的にも、成層圏を対象とした研究活動への貢献等を目的として同現象を監視し、情報提供を行う枠組みが存在した。これらの国際的枠組みとの関連も含めた気象庁での成層圏突然昇温の監視業務について、これまで

の変遷を述べる。

昭和 39 年～昭和 40 年の太陽活動極小期国際観測年 (IQSY) に際し、成層圏を対象とした研究活動への貢献を目的として、WMO の枠組みにおいて、成層圏突然昇温に関する情報提供 (成層圏突然昇温警報 (ストラトアラート) の提供) を実施することが計画され、昭和 39 年の第 16 回 WMO 執行委員会において、成層圏警報センターと 4 つの地区成層圏警報センターが設置された。これに関連して、気象庁は日本 (東京) の地区成層圏警報センターとして、昭和 39 年 1 月に活動を開始した。当時、成層圏突然昇温の観測は十分ではなく、成層圏突然昇温が発生した際、重点的に観測が行えるよう、こうした警報システムが整備された。

IQSY の終了後も本活動の必要性が認識され、昭和 40 年に開かれた WMO 第 17 回執行委員会において、本活動を昭和 41 年まで継続することが、関連する WMO 地区協会長に対して要請された。その後も同執行委員会において、繰り返し活動の継続が要請され、昭和 62 年の第 39 回執行理事会 (昭和 58 年から執行委員会から名称変更) において、本活動の継続が無期限で要請された。この間気象庁では、昭和 39 年から昭和 46 年までは、超音速輸送機の到来を見据えて昭和 38 年に成層圏の天気図解析の現業化開発計画を立て、早くから漸進的に技術開発を推進していた東京航空地方気象台が、IQSY の成層圏警報 (STRATWARM) 計画に基づき、本庁及び東京管区気象台からの依頼を受け、その開発成果に基づいて地区成層圏警報センター (東京) としての活動を担当した。その後、昭和 47 年から平成 7 年までは長期予報課が、平成 8 年以降は気候情報課がそれぞれ同業務を引き継いだ。長期再解析データ等もなく、また現象の理解が十分ではなかった IQSY 実施時には、「10mb で -30℃、30mb で -35℃より暖かい区域が存在すること」等が成層圏突然昇温を地区成層圏警報センターが検知 (ストラトアラートを提供) する基準となっていたが、現在では、北半球については、「成層圏の極付近で 1 週間に 25℃以上の昇温がみられた場合」を小規模昇温と判定し、加えて、「帯状平均気温が極域に向かうほど高くなり、帯状平均東西風が 60°N 以北、10hPa 付近かそれより下の気圧面で東風となった場合」は大規模昇温と判定している。気象庁では、成層圏突然昇温発生時に毎日、全球通信システム (GTS) を通じた電文により周知するとともに、平成 19 年以降は GTS に加えて TCC ホームページ上にその電文を掲載してきた。

成層圏に関する気候学的理解は着実に進み、ストラトアラートの提供の活動はこの理解の進展に一定の貢献をしたと評価されている。第 39 回執行理事会の決議及び平成 14 年の WMO 大気科学委員会 (CAS) 第 13 回会合では本活動の継続が要請されたが、その後 WMO の枠組みとしての本活動は不明確な状況となるとともに、平成 16 年には本活動の中心的役割を果たしていたドイツ・ベルリン自由大学がストラトアラートの提供を終了した。気象庁はその後もしばらく成層圏突然昇温発生時に GTS に電文配信する活動を続けたが、平成 31 年 3 月に上記状況を踏まえて GTS への電文配信を終了した。対流圏の大気の流れにもしばしば影響を及ぼす成層圏突然昇温は、日本のみならず世界の異常気象の監視にも重要であるため、現在も TCC ホームページ上に成層圏突然昇温開始時及び終了時に、当該内容を記載したメッセージを掲載する対応を行っている。

4. 世界の異常気象速報

気象庁では、1960年代に、「異常気象」という用語を「30年間に1回以下の頻度で発生する現象」と定めた。しかし、気象庁では、それまでにも「異常気象」という用語を、昭和19年に、昭和14～16年にわたって起こった月ごとの干ばつ、豪雨、台風などの注目すべき事象を気象技術者のメモとして日記風にまとめた「異常気象覚書」や、昭和25年以降、中央气象台が刊行した「異常気象報告」等で使っていた。

世界の異常気象速報の開始までに、全球的な天候について、世間の関心が高まる、大きなきっかけが二つあった。一つは、昭和38年1月に起きた、全球的な異常気象だった。この時、北半球では、異常な低温域、高温域が交互に三か所ずつ現れ、日本では、「昭和38年1月豪雪」として知られる、特に北陸地方を中心にした大雪となった。

もう一つは、昭和47年から世界の主要な穀倉地帯で起きた干ばつで、食料自給率が低下していた日本は、食糧輸入先等の天候の影響を受けた。そのような状況下で、気象庁が、昭和48年4月に「近年の世界の天候について」という見解を発表すると、大きな反響があった。そこで、気象庁は、農林省と共同して、「世界の食糧需給の構造変化とその見通しに関する調査」を行い、昭和49年3月に、気象庁は「近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通し」を発表した。さらに、気象庁では、地上月気候値気象通報（CLIMAT 報）を用いた、世界の異常天候の監視業務を開始し、その結果を年二回まとめることとし、昭和49年10月に「異常天候監視報告」第1号を刊行した。その後、速報性を高めるため、昭和59年に「異常天候監視報告」は季刊となり、昭和62年3月以降は、他資料と統合して「気候系監視報告」と改称し、毎月刊行となった。

天候監視においては、その地点の気候を表す基準の値として、統計期間を30年とする平年値が必須である。当初は、WMOにより1971年に刊行された平年値「Climatological normals (CLINO) for CLIMAT and CLIMAT SHIP stations for the period 1931-1960」を利用していたが、気象庁は昭和60年に1951～1980年の観測値による新たな平年値(1980年平年値)の作成を企画し、昭和62年にこれを完成させた。平成2年3月以降、世界の異常天候の監視では、気象庁で作成した平年値を用いている。1980年平年値、1961～1990年の観測値による平年値(1990年平年値)、1971～2000年の観測値による平年値(2000年平年値)は、米国から入手したデータを中心に気象庁が保持しているデータ等も用いて作成したが、気象庁におけるデータの蓄積やCLIMAT 報の流通を拡大させるための国際的な取組の進展(次項で詳細を示す。)を背景に、1981～2010年の観測値による平年値(2010年平年値)以降は、気象庁で品質管理・蓄積したCLIMAT 報を主要なデータとして作成している。

その後、日本の経済活動のグローバル化や緊急援助活動などを受けて、世界各地で発生する異常気象の迅速な情報提供が求められるようになった。このため、気象庁では、これまで「気候系監視報告」等により提供してきた月単位の世界の天候に関する情報に加え、平成12年3月から、週単位の情報を「世界の異常気象速報」(別名「全球異常気象監視速報」)として提供することとした。「世界の異常気象速報」では、地上実況気象通報(SYNOP 報)を利用した異常な気温や降水の実況、及び、気象災害の状況を、異常気象の状況を記述した概況文と、異常気象発生地域を示した分布図にまとめて、発表している。

そして令和 4 年 6 月には、世界の異常気象を、より詳細に把握できるようにすることを目的に、「世界の異常気象速報」において、異常気象が発生した地点ごとの観測データ、及び異常気象の発生地点の位置を示す分布図の提供を開始した。

5. GCOS のための CBS リードセンター

平成 2 年にスイスのジュネーブで開催された第 2 回世界気候会議での提言に基づき、平成 4 年に全球気候観測システム（GCOS）が発足した。GCOS は気候監視、気候変動の検出、及び気候変動の影響と対応の監視のための全球的な観測の状況を定期的に評価し、その改善のためのガイダンスを作成するための国際的な枠組みである。平成 9 年には、高品質かつ信頼できる気候データを提供する地上観測地点のネットワークである GCOS 地上観測網（GSN）が構築されるとともに、GSN として選出された代表的な地点のパフォーマンスを定常的に評価する GSN 監視センター（GSNMC）の必要性が提起された。同年の第 12 回 WMO 気候委員会において気象庁はドイツ気象局とともに GSNMC の請負を表明し、気候情報課にセンターを設置した。平成 11 年 1 月にドイツのオッフエンバッハで開催された GSNMC 導入会合にて GSNMC の委託事項が決定し、正式に GSNMC 業務を開始した。

GSNMC は GSN 地点から送られる各国の地上月気候値気象通報（CLIMAT 報）データについて、通報割合や通報式の系統的な誤りを監視し、気温については気象庁が、降水量についてはドイツ気象局が、それぞれデータ品質を評価する。また、気象庁は受信する CLIMAT 報地点数について、気象庁—ドイツ気象局間の差異を評価し、その原因を調査することで CLIMAT 報の国際交換の問題解決に貢献している。これらの監視結果はドイツ気象局の管理する GSNMC ウェブサイトで毎月公開される。

各国気象機関は GSNMC の監視レポートを参照することで、自国の CLIMAT 報の問題を認識し改善することが期待される。しかしながら GSNMC の発足後当初は CLIMAT 報の通報割合や系統的な誤りが大きく改善されることはなく、GSNMC と各国気象機関を直接つなげ、技術的なアドバイスを提供する仕組みの必要性が認識された。

このような認識のもと、平成 14 年 5 月に開催された第 1 回 GSN と GCOS 高層観測網（GUAN）の調整に関する WMO 基礎システム委員会（CBS）/GCOS 専門家会議は、安定的な GCOS データの流通促進のため、GCOS のための CBS リードセンター（CBS-LC-GCOS）を設立する必要があると勧告した。同年 12 月の CBS 臨時会合はこの勧告に合意し、気象庁は平成 15 年 8 月から試験的なリードセンターとして全球を対象とした業務を開始した。平成 16 年 1 月に CBS 委員長（代理）に CBS-LC-GCOS として指名された気象庁は、気候情報課にセンターを設置し、正式な業務を開始した。

平成 18 年 4 月に開催された気候のための大気観測パネル第 12 回会合において、リードセンター業務が地域分割され、気象庁は東アジア・東南アジアを中心とする領域に変更となった。現在、全世界に 9 つの CBS-LC-GCOS が設置されている。各センターは責任領域内の問題を診断し、必要に応じて該当国のフォーカルポイントに連絡し、CLIMAT 報及びメタデータの通報数や品質の向上を図る。CBS-LC-GCOS は、各責任領域内の CLIMAT 報の改善状況や懸念される問題を年次レポートとしてまとめ、ドイツ気象局の運営するウェブサイトで公開する

ことで情報を共有する。また新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的な流行及びその拡大防止のための渡航制限以前には、平成 30 年の第 6 回会合まで WMO の主催する CBS-LC-GCOS 調整会合が開催されていた。調整会合では、各センターの活動を評価するとともに、CBS-LC-GCOS に関連する多くの勧告が承認され、WMO や GCOS 事務局を通して関係機関へ伝達される。

【第 2 節】週間天気予報等

週間天気予報は、明日から 7 日先までの日々の天気、降水確率、最高・最低気温とその誤差幅及び降水の有無等の信頼度を発表するものである。我が国においては、戦後間もない頃から一般向けに週間天気予報を発表している。本節では、週間天気予報の業務的な変遷及び週間天気予報の手法の歴史等について振り返る。また、梅雨の入り・明けは、速報的には当日までの天候の経過及び数日から 1 週間程度の天候の予想に基づいて発表していることから、梅雨入り・明けの発表の遍歴についても本節で扱う。

1. 週間天気予報

（1）週間天気予報の業務的な変遷

週間天気予報は、昭和 14 年頃から実用化に向けた研究が開始され、昭和 16 年に「旬日予報」として発表が開始された。ただし、当時は第二次世界大戦中で、一般向けへの発表は行われていなかった。その後、戦争が終結し、昭和 21 年になると「旬日予報」の一般向けへの発表が開始された。発表回数については、昭和 25 年時点で毎週 2 回の発表だった。なお、プロダクトの名称が「旬日予報」だったこともあり、「予報期間は向こう 10 日間」とされていたが、実際に発表する予報期間は 7 日間だったようである。昭和 29 年には、全般、地方、府県週間天気予報は毎週火曜日に金曜日に発表することとなり、予報期間も正式に 7 日間となった。その後、しばらくの間は業務的に大きな変更は行われなかったが、昭和 63 年 10 月からは北海道、東北、関東甲信、東海、北陸、近畿、中国地方において、平成元年 6 月からは四国、九州北部、九州南部・奄美、沖縄地方において、週間天気予報の毎日発表が実施されるようになった。なお、毎日発表を実施する前は、「春の連休」や「年末年始」などの大型連休の際は週間天気予報における延長予報を行っていたが、毎日発表としたことで、これらの延長予報は発展的解消となった。週間天気予報が毎日発表となった時点では、発表時刻は毎日 16 時であったが、平成 8 年 3 月からは毎日 11 時の 1 回、平成 16 年 12 月からは毎日 11 時と 17 時の一日 2 回の発表となり、現在と同様の発表体制となった。

現在の週間天気予報では、明日から 7 日先までの日々の天気、降水確率、最高・最低気温（誤差幅含む）、降水の有無等の信頼度を発表している。過去における週間天気予報で発表されていた内容について振り返ると、昭和 29 年に全般週間天気予報、地方週間天気予報、府県週間天気予報を発表することとなり（それまでは「週間天気予報」でなく「旬日予報」という名称）、この当時は、当日から 7 日間の予報についての「概況」を発表していた。昭和 30 年になると、府県週間天気予報は短期予報と同様の発表形式となり、日々の天気を予報するようになった。一方で、全般週間天気予報や地方週間天気予報は引き続き「概況」を記載していた。その後、

府県週間天気予報においては、平成元年に日々の気温の予報が開始されたが、この当時は、量的な予報ではなく、「高い」「並」「低い」の表示による予報だった。週間天気予報における気温の量的予報については、平成 6 年 3 月から実施されている。また、平成 4 年には日々の降水確率の予報が開始された。週間天気予報における日々の予報の信頼度については、平成 13 年 7 月から運用が開始された。運用開始時の信頼度は、アンサンブル予報が示す主に気圧配置のばらつきの程度などをもとに算出した情報だったが、天気との対応が必ずしも良くなかったことから、平成 20 年 3 月に、発表予報における「予報の降水の有無の確からしさ」及び「予報の日変わりのしにくさ」を示す情報に変更され、現在と同様の発表内容となった。

令和 4 年 1 月に全般週間天気予報、令和 5 年 3 月に地方週間天気予報について、それぞれの役割を、気象庁ホームページにおける地図表示や、週間天気予報解説資料における予報の着目点の概要の提供を開始する形に移し、これに伴い提供を終了した。

なお、気象庁本庁における週間天気予報業務は予報部予報課が行っていたが、大気海洋部が設置されたことに伴い、令和 2 年 10 月以降は大気海洋部気候情報課が行うこととなった。

(2) 週間天気予報の手法の歴史

週間天気予報は、昭和 21 年から旬日予報として一般向けに発表が開始された。当時は、数値予報は実施されておらず、統計的手法など様々な知見を活かして予報を行っていた。その後、数値予報が登場してからは、それまでの手法及び数値予報を駆使し週間天気予報が実施されている。ここでは、数値予報が登場するまでの週間天気予報の手法の歴史をたどっていく。なお、以下では「旬日予報」と称していた期間についても、「週間天気予報」と書くことにする。

週間天気予報の一般向けの予報を開始した昭和 21 年頃は、地上の北半球天気図、日本及びアジアの一部の高層気象の資料を用いて、高気圧や低気圧を追跡し、「周期法」、「外挿法」、「類似法」と呼ばれる手法によって予報が行われたと推測される。以下にこれらの手法の概要に関する予報研究ノート第 3 号の記述を示す。周期法や外挿法は、予報研究ノート第 3 号では「週期分析」と呼ばれており、「天気の変化や気圧の変化にはしばしば週期的の変化があらはれる」とされ、「気象要素、たとえば気圧などをいくつかの週期に分解して外挿し、これを合成したら将来の気圧が分かり、各地のこの予報値から気圧配置がわかるだろう」としている。また、類似法については、同様に気象研究ノート第 3 号によれば、「今日の天気図とよく似た天気図を過去の天気図からさがし出し、その気象状況の変化を参考として予報する方法」とする一方、「将来の状況を定めるには少なくとも加速度の分布も必要である。さらにまた天気図は地上における状況をあたえるだけであり、これが似ているからと云って上空の状況が似ているとはかぎらない」ともしている。

その後、昭和 20 年代後半になると、北半球の高層資料が利用できるようになるとともに、我が国における数値予報の開発初期で、予報資料に渦度や発散等の力学的な物理量を取り入れるようになってきた。昭和 30 年代前半には、電子計算機の導入と数値予報業務の開始など、気象業務の近代化が急速に進められ、このような背景の中で、週間天気予報の資料や手法もより一層高度化していった。この中で、現在でも用いられている資料をいくつか紹介すると、

- ・北半球 500mb の 5 日平均図。このうち 2 日間は数値予報による 48 時間予報を含んでいる（現在は「週間予報支援図」に掲載）。

- ・北半球 500mb の北緯 35、45、55 度圏に沿う高度のプロファイル（現在の週間予報支援図の Latitude – Time Cross Section of 500hPa_Height (m) along 135E for 4 Weeks に相当）。

などが挙げられる。

昭和 40 年代後半以降は、数値予報モデルの予報期間も徐々に延長され、昭和 54 年 9 月には、数値予報モデルによる予報期間が 192 時間先まで延長された。これは、週間天気予報の予報期間を完全にカバーする予報期間である。数値予報モデルの高度化と予報期間の延長により、週間天気予報は数値予報を基本に予報を組み立てることとなった。ただし、モデルの予報期間が長くなると誤差が生じる問題がある。これをカバーするために、予測された日々の天気図をもとに、総観規模擾乱に着目し、それぞれの特性や移動の予測を加味し、これにモデルが出力したデータから推定される天気分布を適用していた。また、当時の問題意識として、「資料の集積を待って MOS 手法等の統計的手法による天気翻訳技術の開発に期待される」とあり、後のガイダンスの開発が進んでいくことがうかがえる。

その後、平成 14 年 3 月に「週間アンサンブル予報システム」による数値予報が開始され、アンサンブル手法を用いた予想資料が週間天気予報の基礎的な予想資料となった。なお、季節予報では平成 8 年 3 月から、「1 か月アンサンブル予報システム」によるアンサンブル予報を実施している。21 世紀に入り、週間天気予報においても「予報期間が長くなると誤差が生じる」ことを考慮し、複数の初期値から数値計算を実施し将来を予測するアンサンブル予報が実施され、より信頼度の高い予報を提供できるようになった。

2. 梅雨の入り・明け

梅雨は、春から夏に移行する過程で、その前後の時期と比べて雨が多くなり、日照が少なくなる季節現象である。梅雨期は大雨による災害の発生しやすい時期であり、また、梅雨明け後の盛夏期に必要な農業用の水等を蓄える重要な時期でもある。一方、梅雨期は曇りや雨の日が多くなって、日々の生活等にも様々な影響を与えることから、社会的にも関心の高い事柄であり、気象庁では、現在までの天候経過と 1 週間先までの見通しをもとに、梅雨の入り明けの速報値を「梅雨の時期に関する気象情報」に掲載して発表している。また、梅雨の季節が過ぎてから、春から夏にかけての実際の天候経過を考慮した検討を行い、その結果を、梅雨の入り・明けの確定値として公表している。梅雨の入り・明けの確定値は、平成 29 年度までは「梅雨入り・明けと梅雨の時期の特徴について」において公表していたが、平成 30 年度以降は「夏（6～8 月）の天候」のまとめにおいて公表している。以降、本項では、梅雨の入り・明けの発表の遍歴について紹介する。

気象庁は、昭和 39 年から梅雨の入り・明けを「お知らせ」として発表し、必要に応じ部外に周知していた。また、この当時から、速報的な発表とは別に、梅雨期間終了後に天候の経過等をもとに事後の検討を実施していた。しかしながら、梅雨の入り・明けの発表は、数日から 1 週間先までの天候予測に基づいて行うものであり、本来予報行為であることから、昭和 61 年からは「気象情報」として発表することとなった。なお、昭和 38 年以前については、各地方で独自に発表が行われていた。

梅雨の入り明けには、平均的に5日間程度の「移り変わり」の期間があるため、現在は移り変わりの期間のおおむね中日を示し「○月○日ごろ」のような形式で発表しているが、過去には、「○月○日」と特定の日を梅雨入り・明けの日として発表していた。

梅雨入り・明けの日をどのように表現するのが適切かは、様々な議論が繰り返されてきた。その象徴的な出来事が、平成5年の梅雨明けの発表（速報値）についてである。この年の夏は、当初、各地方で7月に梅雨明けの発表を行ったが、梅雨明け発表後も8月にかけて前線が日本付近に停滞し、全国的に記録的な冷夏、長雨、日照不足となった。これにより、水稻の作柄作況指数は74で、全国的に「著しい不良」となった。さらに、台風第4号、第6号、第7号、第11号、第13号など、度重なる台風の接近・上陸により、各地で大雨や暴風などの被害が発生した。このため、天候経過を考慮した事後の検討を行った結果、沖縄地方と奄美地方以外の地方では梅雨明けを特定できなかった。当初の7月に梅雨明け発表していたにもかかわらず、梅雨のような天気が続いたことで、社会的な物議を呼んだ。さらに、翌平成6年は、前年とは対照的に記録的な猛暑となり、渇水となったところが相次いだ。

これらのことを受け、これまで梅雨入り・明けを特定の日として発表していたところ、一般からの十分な理解が得られないとして、平成7年の発表からは「7月上旬前半」などのように、特定の日ではなく、ある時期に梅雨入り・明けしたという表現に変更した。しかしながら、この表現が一般には非常に分かりづらく、このことを説明するため、気象庁長官が国会答弁する事態となった。このような経緯から、平成9年の発表からは移り変わりの期間のおおむね中日を示す「○月○日ごろ」という表現を採用し、現在に至るまでこの表現の使用が続いている。

【第3節】季節予報

1. 1か月予報、3か月予報、暖・寒候期予報

我が国で気象観測が行われるようになった明治から昭和16年にかけて、東北地方を中心に、夏の気温が低いことが原因とみられる大凶作に何度も見舞われた。この対策のために季節予報に強い関心がもたれ、また、凶冷（凶作をもたらす冷害）を対象とした調査研究が盛んになった。しかし調査研究の一部は長期予報の発展に寄与したものの、基本的な資料の不足が研究の大きな壁になっていた。そのような中、昭和9年以後、東北地方では測候所の設立や観測船の配属が続いて陸・海・山岳の観測網が展開された。同時期には、中央气象台で凶冷研究室や長期予報研究室が順次設立され、予報課では5日（半旬）予報について調査を進めつつ、週や旬、月への拡大を目指していた。

昭和16年4月の第1回東北地方気象官署連絡打合会で冷害予報について議論し、昭和17年4月に東北地方の長期予報の発表を開始した。また、昭和17年6月に中央气象台予報課に長期予報掛が設けられ、同年8月から1か月予報などの発表を順次開始した。当時、軍事秘であったこれらの予報は軍関係、農林省などに配布された。昭和20年2月、中央气象台に長期予報課が設置され、記録的な梅雨寒であった同年は梅雨特別予報を季節予報号外として発表し、また同年12月には長期予報のラジオ放送が開始されて一般の人が長期予報を利用できるようになった。昭和21年に大阪管区气象台は週間予報の延長のようなかたちで季節予報を発表し、昭和22年に札幌管区气象台は北海道における暖候期予報を試みとして初めて発表した。

また、この頃には北半球の月平均、半旬平均 500mb 天気図及びその偏差図が整備されていた。しかし、記録的な高温となった昭和 24 年 1 月と 2 月を低温になると予想したことから、長期予報の精度に対して社会の強い批判を受け、長期予報はまだ正式に発表する段階にはないという空気が醸成された。また職員的大幅削減という当時の行政事情もあり、同年 10 月末には長期予報課が廃止された。この時代の季節予報は周期性外挿法（いわゆる和差法）と呼ばれる手法が主流であったが、翌 11 月に気象研究所予報研究室で長期予報の基礎的研究が進められることになった。その成果は「季節予報の研究」にまとめられ、後年にも「グロースベッター」という研究誌へと発展し、官学連携による長期予報の研究の発展の場となった。他方で、長期予報の発表が無い間も農業関係者からの切実な要望があったため、天候予想調査報告という資料で関係先への報告を継続した。地方においては、天候予想調査報告で予報を報告した場合と、季節予報としての発表を継続した場合があり、琉球気象庁は昭和 26 年 8 月頃から、梅雨期と台風期に向こう 1～2 か月の季節予報を不定期に発表した。

農業方面からの要望を反映し、中央気象台予報課において 1 か月予報、3 か月予報作業のための体制を整え、昭和 28 年 2 月から季節予報の発表を順次再開した。その予報内容は、予想される気圧配置や、晴れの日が多い・気温がやや高い・降水量が多いなどの傾向を文章で示した。この時代の季節予報の手法としては相関法、周期法、類似法などの過去のデータを統計的に処理する手法を用い、これらを総合して検討された。昭和 28 年以降も北海道地方や東北地方で冷害が発生し、季節予報への関心は高まり、昭和 29 年 6 月には気象研究所の分室の季節予報研究室が仙台に設置された。昭和 32 年に始まった国際地球観測年を契機として気象資料が充実し、また昭和 34 年には気象庁で電子計算機の使用を開始した。昭和 33 年 6 月には長期予報管理官が、昭和 49 年 4 月には長期予報課が設置され、平成 8 年 7 月には気候情報課となった。また、各地方にも担当予報官が順次配置され、各気象台では予報作業の体制が整い次第、地方季節予報を定常的に発表し、平成 11 年 9 月から全般・地方 1 か月予報、3 か月予報、暖・寒候期予報すべてを全地方で同じ日に発表するようになった。各地方の季節予報の予報作業に資する指針や研修資料も順次充実し、予報技術などの検討会も適時開催された。

平成 2 年 3 月に 15 日先までの数値予報による 10 日平均予想天気図の配信が開始され、平成 8 年 3 月には数値予報アンサンブルモデルによる力学的手法が 1 か月予報に導入された。これにより、向こう 1 か月の気温、降水量、日照時間、降雪量（冬季の日本海側の地方のみ）の確率予報を開始し、予測対象期間についても、それまで旬別に発表していたものを、社会的により有効に利用できる 1 週目、2 週目、3～4 週目に分けて発表するように変更した。また、気圧配置など厳密な意味で予測できない事柄の記述は終了した。平成 15 年 3 月と 9 月には力学的手法と統計予測手法を併用した 3 か月予報、暖・寒候期予報を開始し、3 か月予報でも確率予報の発表を開始した。また、平成 20 年 9 月には気象庁の長期再解析の提供を開始し、平成 22 年 2 月には 3 か月予報、暖・寒候期予報に大気海洋結合モデルが導入されるなど、予測技術・手法は現在に至るまで多数の改善・拡大が重ねられ、エルニーニョ現象や熱帯の季節内変動など、日本の季節予報に影響を与えうる中高緯度以外の気象現象も加味した予報の検討が実施されている。予報内容も順次充実し、平成 18 年 9 月から現在と同様の 1 か月、3 か月、暖・寒候期予報の発表を開始した。また、季節予報を詳細に解説するための解説資料も作成し、数

値予報モデルによる予測結果の説明文や図を記載するなど、内容の改善・拡充を重ねている。

2. エルニーニョ監視速報

エルニーニョ現象やラニーニャ現象は、日本を含め世界中の異常な天候の要因となり得ると考えられ、世界各国の社会・経済活動にも大きな影響を与えることから、季節から年の規模の気候予測において重要な判断材料となる。

気象庁では、昭和 60 年以前から気象研究所においてエルニーニョ現象やラニーニャ現象の監視や海面水温の解析が行われていた。他方で、1980 年代から 1990 年代にかけて気候変動に関わりのある様々な海洋データの観測・解析などの国際的な枠組み（熱帯海洋全球大気変動研究計画（TOGA）ほか）が構築された。気象庁は、このような国際的な活動への貢献を行い、それに加え季節予報の精度向上や防災の観点から平成 4 年 4 月にエルニーニョ監視センターを設置し、同年 10 月から「エルニーニョ監視速報」を毎月発行して、エルニーニョ現象等の実況と見通しに関する情報を発表している。

気象研究所で、昭和 58 年にエルニーニョ現象などの太平洋熱帯域の海洋変動をシミュレートする数値モデル開発が開始されて以降、気象庁でも大気海洋結合モデルほかによる予測手法の開発が次々と進められている。「エルニーニョ監視速報」の発行開始当初は実況に基づいて今後の見通しを検討していたが、平成 11 年 8 月から大気海洋結合モデルほかによる予測手法に移行し、エルニーニョ現象を監視する海域の海面水温の予測グラフの掲載を開始したほか、平成 15 年 12 月から、大気循環に係る各種指数や分布図などの大気に関わる資料を充実し、平成 18 年 3 月には COBE-SST と呼ばれる歴史的な全球海面水温解析値を導入するなど、逐次掲載資料の拡大や改善を進めた。

3. 異常天候早期警戒情報、早期天候情報、2 週間気温予報

我が国は、平成 15 年の冷夏で大きな農業被害を、平成 18 年の豪雪で記録的な大雪と除雪中の事故等による甚大な被害を経験した。気象庁は、平成 15 年の冷夏等の際も気象状況に応じ種々の情報発表を行ったが、異常な天候の影響を直接的に受けやすい農業分野にとっては必ずしも十分に有効な情報であったとはいえない状況であり、情報の充実が求められた。その後、平成 20 年 9 月に気象庁長期再解析データの提供を開始したことで、これを用いた研究・調査で前述のような異常な天候をもたらす気象学的なメカニズムに関する理解が進み、また数値予報精度や計算機資源も向上したことで、アンサンブル数値予報の予測可能性についての理解も進展した。これらを受け、1 週間程度先の顕著な低温や高温の持続を予報対象とした異常天候早期警戒情報を作成し、情報の主要な利用者と想定される農業やエネルギー関係の協力機関に対して約 1 年間、試行的に提供し、情報の有効性についての評価を得たうえで、平成 20 年 3 月から一般への情報提供を開始した。

異常天候早期警戒情報は、原則火曜日と金曜日に、地方季節予報区ごとに情報発表日の 5 日から 8 日後を初日とする 7 日間平均気温が、異常な天候の目安として 10 年に一度の発現頻度に相当する「かなり高い（低い）」を超える確率が 30% 以上と見込まれる場合に発表し、また同情報内で注意事項等も呼びかけた。その後、数値予報精度や計算機資源の向上もあり、平

成 25 年 11 月に情報の対象として冬季日本海側のかなり多い降雪量を追加し、平成 26 年 3 月に発表曜日の 1 日前倒しを経て、令和元年 6 月から予報対象期間を時間解像度が更に細かい 8 日先から 12 日先までのいずれか 1 日を中心とする 5 日間として、情報の名称を早期天候情報に変更した。

異常天候早期警戒情報の運用開始から 10 年を経過した頃に、この情報の利用実態や要望の聞き取り調査を実施したところ、5 日先以降に限らず目先も含めた気温の変動を知りたい、見通しに変化があれば週 2 回に限らず情報を提供してほしい、顕著な気温のピークの時期を知りたい、平均気温の階級だけでなく、最高・最低気温を知りたいなどの要望があった。このため、令和元年 6 月の早期天候情報の運用開始に合わせて、8 日先から 12 日先までの各日を中心とする 5 日間平均で、地域別の気温の階級や地点別の気温を予報する 2 週間気温予報の毎日発表を開始し、気象庁ホームページで、最近 1 週間の実況から 2 週間先まで予測した気温の推移を示すこととした。

2 週間気温予報は、全般 2 週間気温予報と地方 2 週間気温予報の二つがある。全般 2 週間気温予報では、2 週間先にかけての概括的な大気の流れの状況とそれに伴う気温等の全般的傾向を概況文として発表する。地方 2 週間気温予報では、8 日先から 12 日先までの各日を中心とする 5 日間平均について、地方季節予報の予報区ごとの地域平均気温の階級（かなり高い/高い/平年並/低い/かなり低い の 5 階級に加え「かなり」となる確率を 50% 以上と 30% 以上の 2 段階で表す）の出現率、全国約 70 地点の最高・最低気温と予測範囲（予測範囲に入る確率は 80%）及び階級の確率（上記出現率と同様）を、気象庁本庁が一括で発表する。

【第 4 節】気候情報の応用

平成 21 年の第 3 回世界気候会議で示されたように、明日明後日の天気予報と比べ季節予報などの気候情報は定性的には使われているものの定量的利用が十分ではないという問題意識は世界的に高まってきた。このような流れを受けて、平成 24 年の交通政策審議会気象分科会提言のもとに、当庁では、以下に示した 3 つを「気候リスク管理技術の実用化に向けた枠組み」として、気候情報の利活用促進に取り組んだ。本節では、本取組の具体とその成果を示す。

- ① 気候情報の作成者（気象庁側）と利用者が対話の機会を設けて知見を出し合い、利用分野における気候変動や異常気象による影響（気候リスク）の認識を共有し、気候情報を利用した対応策の実施可能性を検討すること。
- ② 両者は気候情報を利用して気候変動や異常気象の影響に対応する手法（以後、気候リスク管理技術）の確立に向けて共同開発を行い、成功事例を創出すること。
- ③ 他の分野への普及につなげるため、共同開発した成功事例を、具体的な技術情報を含め公表すること。

1. 産業界との連携

平成 24 年以降、当庁では、アパレル・ファッション分野、ドラッグストア分野、家電販売分野、清涼飲料分野における産業の関係機関からの協力を得て、各分野における気候リスクを認識し、2 週間先の気温予測を用いた気候リスク管理技術を開発し、公表した。

平成 24 年度～平成 25 年度の（一社）アパレル・ファッション産業協会との共同調査では、気象データと販売データをもとに解析を行い、秋冬用の肌着トップ、肌着ボトムなどの季節商品やサンダルやブーツといったファッションアイテムには、販売数が大きく伸びる気温が存在し、また、販売構成比（販売シェア）と気温との間に明瞭な関係がある商品があることを見出した。平年から大きく隔たる気温が 2 週間程度先に予想された場合に、販売店舗では、本来展開すべきアイテム以外でどのような別アイテムを代替展開するべきかの参考になり、店舗でのより効果的な販売促進や在庫管理につなげることができることを示した。

平成 26 年度の日本チェーンドラッグストア協会との共同調査では、ドラッグストアで扱う様々な商品の販売数と気温との間には明瞭な関係があることが分かり、陳列棚の配置変更や在庫調整をより適切に行うことができることを示した。

平成 28 年度～平成 30 年度には、大手家電流通協会及び全国清涼飲料連合会の協力を得て、2 週間先までの気温予測データを販売計画に活用するための調査や実証実験を行った。これにより、エアコンや電気ストーブといった家電、自動販売機でのコーヒー飲料やスポーツ飲料などの販売数と、気温の間には関係があり、その特徴は品目や地域によって異なることが示された。これらの結果に基づき 2 週間先の気温予測を利用することで、前もって自動販売機での缶コーヒーの温冷の切替時期や補充量増減の判断、商品調達の増減による倉庫在庫の調整が可能になることがわかり、社内会議等での販売計画の立案・修正に関わる提案の根拠になることが見出された。

2. 農研機構との連携

平成 23 年度～平成 27 年度には、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）と「気候予測情報を活用した農業技術情報の高度化に関する研究」をテーマとして、水稻や小麦等を対象に、2 週間先や 1 か月先の気温予測を用いた気候リスク管理技術を開発するための共同研究を実施した。その結果、水稻の冷害対策のための深水管理や小麦の開花日予測をもととした農業散布計画といった気候リスク管理技術を見出した。これらの技術は、利用者が予測の性質を十分に理解した上で、精度も踏まえて確立されているのが特徴である。

このような気候リスク管理技術を参考として、都道府県の農政機関が提供する各地域を対象とした農業技術情報（公的サービス）での気温予測の活用が広がっている。例えば、山形県、香川県、新潟県での水稻の刈り取り適期予測、岩手県や栃木県、沖縄県での病虫害発生予察情報、山梨県や福島県等でのモモなどの果樹の開花予想には、従来、気温の実況部分にはアメダスの観測値が、気温の予測部分には平年値が用いられていたが、平年値の代わりに 2 週間先や 1 か月先の気温予測値を用いることによって、予測の精度が向上するという結果が得られている。

農研機構では、気象の実況から約 1 か月先の予測までをシームレスにつなげ、さらに 1km 格子に高分解能にした「メッシュ農業気象データ」を開発した。このデータは平成 30 年から農業データ連携基盤（WAGRI；気象や農地、収量予測など農業に役立つデータやプログラムを提供する公的なクラウドサービスのこと）を通じて提供され、社会実装されている。このデータを用いた営農管理技術の開発が進み、これを用いた民間サービスも展開されており、気象予測の活用促進につながっている。

現在は、年々の気候変動に対応した地域の営農事業計画策定での3か月予報の活用ニーズの高まりも受けて、気象庁と農研機構は、引き続き連携を深めながら令和4年から新たな共同研究「長期の気候予測情報を活用した農業支援情報の高度化に関する研究」を実施し、数週間先から数か月先までをシームレスに見通した気候リスク管理技術の開発の検討を進めている。

3. 様々な産業分野への普及

上述した農研機構との共同研究も含めた産業界の関係者との連携によって見いだされた気候リスク管理技術は、平成26年度～平成28年度に様々な産業界の関係者を集めて開催された「産業分野の気象情報利用のためのワークショップ」や、平成29年度に設立された気象ビジネス推進コンソーシアム（WXBC）のイベントを通じて普及が進められた。その結果、例えば、（公社）日本観光振興協会、（一社）全国スーパーマーケット協会における商品の販売・在庫調整に、2週間気温予報も用いた充実の可能性が見いだされた。さらに、これらの協会や（一社）家電製品協会からは、販売計画の充実のために3か月や半年先までの気候情報の予測精度向上と活用に関する要望が上がるなど、これまでの様々な普及の取組が、更なる産業ニーズの掘り起こしにつながっている。このような産業ニーズに対して、令和3年からは、3か月予報などを用いた事業者の気象サービス（シーズ）の現状と課題の整理を行いつつ、民間主導で気候情報活用を促進する方策の検討を進めている。

【第5節】気候情報に関する各種ツール等の開発

1. 世界の天候データツール「Climat View」

世界の異常気象の発生状況の適時的確な把握と公表を目的として、世界各国の気象機関間で国際交換されている地上月気候値気象通報（CLIMAT 報）及び地上実況気象通報（SYNOP 報）を収集し、その結果を日、週、月、季節、年別に統計処理を施してデータベース化している。平成12年3月、このデータをもとに世界の異常気象の状況を分析した情報及び関連する図表類を「全球異常気象監視速報」として気象業務支援センターを通じて提供を開始し、平成15年9月からは気象庁ホームページ（HP）での提供に移行した。その時点では、天候の分布図のほか、限られた地点の観測値の提供にとどまっていたため、旅行や出張の計画を立てる際の参考や教育の場での利用など様々な目的で、一般の方からの世界各地の観測値の照会やデータ提供の要望が大幅に増加した。

そこで、世界の天候データを広く様々な用途に適う形式での提供を目指し、かねてより天候監視業務にて運用していた天候データの各種可視化ツールの改良を基本として、Webアプリケーション「世界の天候データツール（Climat View）」を開発した。Climat View を動かすプログラムはJavaを用いた。また、図形式に Scalable Vector Graphics（SVG）を採用し、ベクトルグラフィックならではの長を活かして画像の操作を可能とした。

平成20年3月、本ツールを気象庁HP内のページ「世界の天候」の新たなコンテンツとして公開した。当時の名称は「世界の月天候データ表示」（現在は「Climat View 月統計値」）であり、公開対象は世界各地の月平均気温や月降水量である。このサービスにより、利用者は

過去の天候データのうち必要な地点や期間等について図又はグラフの表示で活用できるようになった。平成 25 年 10 月、プログラムに PHP を用いるなどの全面的な改訂を行った。それまでは特定のブラウザによるプラグインが必要となる条件があったが、この改訂によりプラグインは不要となり、利用者の利用環境の条件は緩和した。

平成 30 年 3 月、「気象ビジネス市場の創出・拡大」の取組の一環として、これまでの月統計値と同じ表示技術を用いて日別の表示を可能とするツール「Climat View 日別値」を公開した。これにより世界約 8,000 地点の毎日の気温と降水量についてもビジネスをはじめとする様々な場面で簡便に表示・取得できるようにした。

平成 31 年 3 月、干ばつによる世界の農作物の生育への影響評価や大規模森林火災発生リスク評価等の関連ビジネスへの貢献を目的に、「Climat View 月統計値」の要素として各地点・各月の降水の頻度分布に基づく干ばつ監視情報（標準化降水指数）を追加した。令和 3 年 5 月、「Climat View 月統計値」、「Climat View 日別値」それぞれに用いる平年値の統計期間を「1981～2010 年」から「1991～2020 年」に更新した。

2. 異常気象分析ツール (iTacs)

平成 18 年の冬、特に前年 12 月から 1 月上旬を中心とした記録的な大雪は除雪中の事故等による甚大な被害をもたらした（平成 18 年 3 月に「平成 18 年豪雪」と命名）、気候情報課は大雪の要因に関する多くの問い合わせが殺到するという事態となった。これをきっかけに、社会・経済に大きな影響を与える異常気象が発生した際の気象庁の見解の発表という社会的要請に一層的確に応えられるよう、検討会（詳細は、本章第 1 節「気候系解析・監視」を参照。）の立ち上げとともに大学・研究機関等の専門家と連携した要因の分析を可能とするツール「異常気象分析ツール (iTacs: Interactive Tool for Analysis of Climate System)」の開発・整備を目標とした。

iTacs は長期再解析や海洋解析データ、気候観測データ（CLIMAT 報）等の多種多様なデータの描画及び統計解析の機能を有し、その利用に必要な環境（ユーザー・インターフェース）はウェブブラウザのみで追加のソフトウェアやプラグインのインストールは不要、利用上の操作はパラメータの選択あるいは入力、ボタンの押下とウェブブラウザ上の簡便な対話式、として実際の開発は外注にて進められた。

平成 19 年 6 月、iTacs を検討会の共用ツールとして運用を開始した。平成 21 年 6 月、iTacs の統計解析機能を充実させるとともに iTacs の利用者にアジア太平洋諸国の国家水文気象機関（NMHS）を加えるなどで活用範囲を拡げて外国気象機関の支援強化を目的とした役割も担うこととなった。毎年気象庁で開催している TCC（Tokyo Climate Center）研修セミナーや国際協力機構（JICA）集団研修等において、iTacs の操作方法に関する実習形式の講義を行っている。平成 23 年 6 月、ユーザー・インターフェース部のプログラム言語を Ruby、PHP、Javascript の混合から Ruby のみに統合し、その後は自主開発とした。平成 26 年 8 月には、画像を鮮明化するとともに、数値予報データの描画機能も追加した。令和 5 年 5 月には、最新の第 3 次長期再解析（JRA-3Q）や海洋解析データ（MOVE-G3、COBE-SST2）が利用できるよう改良した。

【第6節】気候情報に関する国際的な連携

1. アジア太平洋気候センター (Tokyo Climate Center)

アジア太平洋地域の各国気象機関に対し、基盤的な気候情報の提供や各国が自国に適した気候情報を作成できるよう必要な技術支援・人材育成を行うため、平成14年4月に気候情報課にアジア太平洋気候センター（英語名：Tokyo Climate Center）を設置した。一方、世界気象機関（WMO）は世界各地域に地域気候センターを設置し、各国気象機関による気候情報作成・提供の支援及び地域の気候データや気候研究に関する活動を推進する国際的な枠組み作りを進めていたことから、アジア太平洋気候センターはこうしたWMOの枠組みへの貢献を担う取組として期待された。こうした中、平成14年7月に気象庁はアジア太平洋地域気象機関の長官又は気象業務担当の幹部及びWMO事務局等の関係者を招聘し、「気候サービスの高度化に関するアジア太平洋気象庁長官会議」を東京で開催した。この会議では、異常天候による被害を軽減して社会・経済の持続的な発展の実現を目指し、気候サービスの現状やアジア太平洋地域における国際協力体制等について意見交換を行った。また、アジア太平洋気候センターによる基盤的な気候情報の提供や気候情報の作成を担う人材の育成活動はアジア太平洋域各国の気候サービス向上に貢献するものとの理解と支持が得られた。さらにアジア太平洋気候センターは平成14年10月から各国気象機関に対して、インターネットによる「1か月数値予報資料」、「エルニーニョ監視・予測資料」、「気候系の監視情報」、「異常天候の監視情報」などの提供を開始し、その4年後の平成18年には、WMO基礎システム委員会（CBS）の臨時会合においてGPC-LRF（Global Producing Center for Long Range Forecast）に指名され、季節予報の数値予報データの提供を開始した。

平成20年度から、アジア太平洋気候センターでは気候業務に必要な技術・人材育成の支援として、アジア太平洋地域の各国気象機関から担当官を招聘し、気候監視・解析、季節予報、地球温暖化監視・予測等の気候業務を円滑に遂行できるようになることを目的に研修セミナーを開始した。令和2年度は新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的な流行及びその拡大防止のため中止となったが、毎年実施している。また、平成22年には、当研修セミナーに参加していたベトナム気象局から季節予報の数値予報データの利用方法などの技術支援の要望があり、当センターから職員を派遣した。その後も研修セミナーと合わせ、フォローアップという形で各国気象局に職員を派遣し、技術支援を行っている。

平成21年8月31日から9月4日にかけて開催された第3回世界気候会議（WCC-3）において、アジア太平洋気候センターによる季節予報支援資料の提供や研修セミナー実施等の活動が地区気候センター（RCC）に求める水準を満たすものとして評価され、北京気候センターとともに世界で初めてRCCとして正式に指名された。

平成25年5月、気候情報課に設置していたアジア太平洋気候センターは廃止され、新たに異常気象情報センターが設置されたが、引き続き、気候情報課ではTokyo Climate Centerとして、WMOのRCCの役割を担っている。

2. 世界各地における気候予測の枠組み

世界気象機関（WMO）が設置を推進している地域気候予測フォーラム（RCOF）は地域を対象とした季節予報の統一見通しの作成及び関連する情報交換が主な役割であり、WMO 第 II 地区の RCC として、アジア地域気候監視・評価・予測フォーラム（FOCRA II）、東南アジア諸国連合気候予測フォーラム（ASEANCOF）、南アジア気候予測フォーラム（SASCOF）、北ユーラシア気候予測フォーラム（NEACOF）及び東アジア冬季気候予測フォーラム（EASCOF）といった RCOF に参加又は資料提供により対応してきた。このうち、EASCOF は気候学的に共通した特徴を持つ東アジア地域（中国、韓国、モンゴル、日本）の気象機関の専門家らが参加し、中国を除く 3 か国の持ち回りで開催運営している。その前身はアジア太平洋気候センターが設置される前の平成 12 年から「東アジア冬季モンスーンの季節予報に関する合同会議」として、冬季モンスーンの季節予報に関する解析と予報について実務者間の情報交換と技術交流が行われていたもので、平成 25 年から RCOF の一つとして開催している。

第4章 気候変動

気候変動は現在世界的に喫緊の課題として認識されており、その対策については国際的な枠組があり、それに基づき国内の政策が施され、その一翼として気象庁の役割がある。しかし、このような体制が確立するまでには長い歴史的経緯がある。本章では第1節でその歴史を俯瞰し、個別の話題の詳細は第2節及び第3節に譲ることとする。特に世界的な動向に関しては気象庁の業務とは直接関係のないものもあるが、業務の背景や位置づけの理解のために必要なものとして記述する。なお、本章は国際的な取組を多く含むことから、和暦と西暦を併記している。

【第1節】総論

1. 気候変動問題の認識以前

大気中の温室効果ガスの増加に伴って地球の気温が上昇することは、19世紀には既に見出されていた。1824年にフランスのジョゼフ・フーリエが放射の計算から大気が地球を温めうることを推察し、1859年にはアイルランドのジョン・ティンダルが、大気中の水蒸気と二酸化炭素が赤外放射を吸収することを発見した。1896年にはスウェーデンのスヴァンテ・アレニウスが、大気中の二酸化炭素の濃度が増加すると気温が上昇することを指摘した（「気候感度」の研究の嚆矢とされる）。しかし、当時は地球温暖化自体がほとんど進行しておらず、裏付けとなる理論も観測も十分でなかった。気候変動が地球規模の深刻な課題であると広く認識されるようになるには、ここから半世紀以上を要することとなる。

また、1940年代から1970年代前半にかけては、世界平均気温が一時的に低下傾向を示しており、世界各地で記録的な低温や干ばつなどの異常気象がみられていた。このような異常気象やそれに伴う食糧需給等への影響を踏まえ、気象庁は昭和48年（1973年）に「気候変動調査研究会」を設置し、翌年に「近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通しについて」として調査結果を報告した。この報告は世界の異常気象の大規模な調査として注目を集め、その後の異常気象に関する調査の先駆けとなった一方で、人為起源の温室効果ガスの増加に伴う気候の温暖化に主眼を置いたものではなかった。

2. 問題提起 ～ストックホルム会議から世界気候会議～

地球の気候のメカニズムに関心を持った先駆的な科学者たちは、この期間も着実に知見を積み重ねていた。米国スク립ス海洋研究所のチャールズ・キーリングらは昭和32年（1957年）に南極で、昭和33年（1958年）にハワイのマウナロア山頂で二酸化炭素濃度の観測を開始しており、米国海洋大気庁地球流体力学研究所（昭和43年（1968年）以降はプリンストン大学）の眞鍋淑郎らは1960年代以降、コンピュータシミュレーションによる気候予測のための数値モデルを開発し、地球の気候の物理的理解を深める成果を1960年代以降に数多く発表していた（眞鍋はこの功績により、令和3年（2021年）にノーベル物理学賞を受賞する）。

このような先駆的な科学者たちの貢献が、続く 1970 年代以降の国際的な取組に科学的根拠を提供し、現在に至るまで気候変動に関する科学の礎となっている。

昭和 47 年（1972 年）6 月、第二次世界大戦後の経済発展に伴い、地球環境問題が深刻な課題として世界的に認識されるようになったことを背景に、スウェーデンのストックホルムで「国連人間環境会議（ストックホルム会議）」が開催された。国連環境計画（UNEP: United Nations Environment Programme）設立の契機となった会議である。ストックホルム会議で採択された「人間環境宣言」では気候変動への言及はなかったが、出席した世界気象機関（WMO）は環境問題のための気候情報の必要性を報告していた。続いて WMO は昭和 49 年（1974 年）に「気候変動に関する専門家パネル」を設置、昭和 51 年（1976 年）には「気候変動に関する WMO 声明」を発表、人為起源の気候変動に対する懸念を示した。さらに昭和 54 年（1979 年）2 月にスイスのジュネーブで「第 1 回世界気候会議（WCC: World Climate Conference）」を開催した。この会議では、気候に関連する資料の収集、気候予測情報の提供、気候変動に関連する研究の推進を図るための「世界気候計画（WCP: World Climate Programme）」が検討され、WMO はこれを同年 5 月に採択した。

このような世界の動向に鑑み、気象庁は昭和 52 年（1977 年）に「気象災害にかかわる気候調査研究体制整備の方針について」気象審議会に諮問し、その答申を踏まえ、各分野の学識経験者及び関係省庁からなる「気候問題懇談会」を昭和 54 年（1979 年）から開催し、気候変動の原因と影響について学際的な検討を進めるとともに、昭和 56 年（1981 年）には WCP の一翼を担うものとして「気候変動対策基本計画」を策定した。さらに、昭和 56 年（1981 年）に北西太平洋において海洋気象観測船凌風丸による二酸化炭素分圧の観測を開始（昭和 43 年（1968 年）から昭和 47 年（1972 年）にかけて気象研究所が実施した東京大学の白鳳丸による研究観測をもとに、測定方法を改善して定常観測化）し、昭和 62 年（1987 年）には岩手県三陸町綾里において大気中二酸化炭素濃度の観測を開始するなど、定常的な温室効果ガス観測網の整備を進めた（海洋気象観測船による海洋観測については本部第 6 章第 1 節「海洋観測」を、大気中の温室効果ガス観測については本部第 7 章第 1 節「大気環境の観測と情報」を参照）。

3. 危機感の高揚 ～フィラハ会議から国連気候変動枠組条約～

気候変動に対する危機感が国際的に広がったのは、昭和 60 年（1985 年）に WMO、UNEP 及び国際科学会議（ICSU: International Council for Science）によってオーストリアのフィラハで開催された「気候の変動及びその影響に対する二酸化炭素及び他の温室効果ガスの役割の評価に関する国際会議（フィラハ会議）」が契機であったとされる。この会議において、「21 世紀前半には、地球の平均気温の上昇が人類未曾有の規模で起こり得る」との声明が出された。

さらに昭和 63 年（1988 年）6 月にはカナダのトロントで、第 14 回先進国首脳会議の直後に各国の政策決定者と科学者が一堂に会し、「変化する地球大気に関する国際会議（トロント会議）」が開催され、気候変動問題が国際的に政策上の重要課題として認識された。このような情勢を踏まえ、同年 11 月に WMO と UNEP は、各国政府の気候変動に関する政策に科学的な基礎を与えることを目的として、「気候変動に関する政府間パネル（IPCC:

Intergovernmental Panel on Climate Change)」を設立した。

IPCC は平成 2 年（1990 年）8 月に「第 1 次評価報告書（FAR）」を公表し、「人為的な温室効果ガスが大気中に蓄積し続けると、自然及び人間システムに対して重大な影響を及ぼしかねない気候変化が生じるであろう」との見解を示した。そして、この報告を重要な科学的根拠として、平成 4 年（1992 年）5 月に「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させること」を究極の目的とした「国連気候変動枠組条約（UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change）」が国連本部で採択され、平成 6 年（1994 年）3 月に発効した。

この頃には気候変動に限らず、オゾン層の破壊、熱帯林の破壊や生物多様性の喪失などを含む地球環境問題への世界的規模での早急な対策の必要性が指摘されており、平成 4 年（1992 年）6 月にブラジルのリオデジャネイロにおいて「国連環境開発会議（地球サミット）」が開催され、環境分野での国際的な取組に関する行動計画である「アジェンダ 21」が採択された。

このような国際的な情勢を背景に、日本では平成 5 年（1993 年）11 月に、公害対策基本法を発展的に継承し、環境政策の新たな理念と基本的な施策の方向を示す「環境基本法」が制定された。平成 6 年（1994 年）12 月には同法に基づく「環境基本計画」が閣議決定され、気候変動対策を含む長期的な目標の実現のための施策の大綱、各主体の役割、政策手段のあり方などが定められた。

こうして気候変動対策のための国内外の枠組が整えられる中で、環境庁をはじめ多くの省庁が連携しながら課題に取り組むようになり、気象庁もその一翼を担う形で、気候変動の自然科学的根拠や観測体制に関して、国際会議における議論や国内の政策を担当するようになった（現在は特に文部科学省と連携）。以降、国際的な枠組と国内の政策の進展を経ながらも、日本政府の気候変動政策全体における気象庁の基本的な役割は変わらずに現在に至る。

4. 国際的枠組の下での気候変動対策 ～京都議定書からパリ協定～

UNFCCC に基づき、平成 7 年（1995 年）から毎年、全ての条約締結国が参加する締約国会議（COP）が開催されるようになった。こうして気候変動対策の枠組の整備に向けた議論が進められ、平成 9 年（1997 年）12 月に京都で開催された「UNFCCC 第 3 回締約国会議（COP3）」において、「京都議定書」が採択された。これは、UNFCCC の目標を達成するための第一歩として、先進国に対して法的拘束力のある温室効果ガス排出削減の数値目標を定めたものである。

日本では平成 10 年（1998 年）10 月に「地球温暖化対策の推進に関する法律（地球温暖化対策推進法）」が成立し、翌年 4 月には、地球温暖化対策推進法に基づく「地球温暖化対策に関する基本方針」が閣議決定された。こうして、京都議定書の採択をはじめとする温室効果ガスの排出削減に関する世界的な潮流の中で、日本の気候変動対策が本格化した。

一方で、京都議定書の発効には、55 か国以上の締結が必要であるなどの発効要件を満たす必要があったため、日本は関係国への締結の働きかけを継続し、平成 17 年（2005 年）2 月ようやく京都議定書が発効した。

こうして気候変動対策の枠組が整えられていく間に、気候変動に関する科学的知見が着実に

積み重ねられてきたことで、IPCCが平成19年(2007年)に公表した「第4次評価報告書(AR4)」では、「気候システムの温暖化には疑う余地がない」との評価が示され、さらに平成25年(2013年)から翌年にかけて公表した「第5次評価報告書(AR5)」では、「人間による影響が20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった可能性が極めて高い」、「ここ数十年、気候変動は、全ての大陸と海洋にわたり、自然及び人間システムに影響を与えている」との評価が示されるに至った。これは同時に、気候変動が確実に進行し、その影響が顕在化していること、より迅速な対策が必要であることを示唆するものでもあった。

京都議定書は、世界全体として温室効果ガスの排出削減にどのように取り組むか道筋を示してはいたが、途上国の削減目標には言及されていなかった。先進国だけでなく途上国の排出削減を含めた包括的かつ実効的な法的枠組を構築するため、精力的な議論が重ねられ、平成27年(2015年)12月にフランスのパリで開催された「UNFCCC第21回締約国会議(COP21)」において、2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな国際的な枠組である「パリ協定」が採択、翌年11月に発効した。パリ協定では、「世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保つとともに、1.5℃までに抑える努力を追求する」ことが掲げられ、主要排出国を含む全ての国が削減目標を5年ごとに提出・更新することなどが定められた。

これに先立つ平成27年(2015年)11月に、日本は温室効果ガスの排出量を2030年度に2013年度水準から26.0%削減する目標を掲げた「日本の約束草案」をUNFCCC事務局に提出しており、その目標の実現に向けて、平成28年(2016年)5月に地球温暖化対策推進法に基づく「地球温暖化対策計画」を閣議決定した。さらに日本は令和2年(2020年)10月、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「カーボンニュートラル」を目指すことを宣言し、令和3年(2021年)4月には、温室効果ガスの削減目標を引き上げ、排出量を2030年度に2013年度水準から46%削減し、更に50%の高みに向けて挑戦を続けることを表明した。同年10月には、2050年カーボンニュートラルに向けた基本的考え方、ビジョン等を示す「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」、及び具体的な施策をまとめた「地球温暖化対策計画」の改定が閣議決定された。そして、この新たな「地球温暖化対策計画」に基づく日本の「自国の貢献」がUNFCCCに提出された。

一方でパリ協定では、このような温室効果ガスの排出を削減する「緩和策」と同時に、気候変動の影響を軽減又は回避する「適応策」の推進も図られており、適応に関する能力の向上並びに気候変動に対する強靱性の強化及び脆弱性の減少という「適応に関する世界全体の目標」が掲げられている。このような背景の下で、国内では平成30年(2018年)6月に「気候変動適応法」が成立し、適応策の推進における国、地方公共団体、事業者、国民の役割が示されるとともに、おおむね5年ごとに気候変動影響評価を実施し、それを踏まえて「気候変動適応計画」を変更することが定められた。これにより、地球温暖化対策推進法及び同法に基づく地球温暖化対策計画並びに気候変動適応法及び同法に基づく気候変動適応計画を礎に、緩和策と適応策を車の両輪として気候変動対策を着実に推進していく体制が法的に整備された。

なお、気候変動適応計画は、気候変動適応法の附則第2条(施行前の準備)に基づき、同法施行前の平成30年(2018年)11月に閣議決定されており、令和2年(2020年)12月

に公表された、同法に基づく最初の「気候変動影響評価報告書」を踏まえて、令和3年（2021年）10月に変更された。

このように国を挙げて気候変動対策が推進されるようになってきたことや、気候変動適応法によって国に適応計画の策定が義務付けられるとともに、地方公共団体にも適応計画の策定が努力義務とされたことなどを踏まえ、気象庁は、昭和54年（1979年）から平成27年（2015年）にかけて79回にわたって開催した気候問題懇談会を発展的に改組し、平成30年（2018年）6月から文部科学省と共同で「気候変動に関する懇談会」を開催し、日本の気候変動対策の推進に資するよう、気候変動の実態と見通しについての最新の科学的知見を総合的に検討している。また、同年8月には、交通政策審議会気象分科会において「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方～災害が激甚化する国土、変革する社会において国民とともに前進する気象業務～」がとりまとめられ、「地球温暖化の予測情報について、国や自治体等における適応策策定に必要なきめ細かな予測を提供する」ことなどが提言された。この提言や気候変動に関する懇談会の助言に基づき、日本の気候の観測成果及び将来予測に関する科学的知見をとりまとめた「日本の気候変動2020」を令和2年（2020年）12月に公表し、様々な分野で気候変動対策に活用できるデータをとりまとめた「気候予測データセット2022」を令和4年（2022年）12月に公表した。

5. 顕在化する気候変動と更なる対策の推進

近年気候変動に対する危機感が盛んに訴えられている背景の一つに、世界中で大雨や高温などの極端現象が頻発しており、時に大規模な災害をもたらしていることが挙げられる。奇しくも1970年代に極端現象の頻発によって気候の寒冷化に関心が寄せられた情勢に似ているところがあるが、観測成果の地道な蓄積と数値計算技術の目覚ましい発展により、極端現象の詳細な分析が可能になっている。特に、実際に発生した極端現象に対する人為起源の地球温暖化の影響を定量的に示す手法（イベント・アトリビューション）の開発が近年著しく進展し、多くの事例をもって気候変動の影響が既に顕在化していることが明らかにされている。また、一般に地球温暖化の進行に伴い極端現象の頻度と強度が増加することも予測されている。

このような科学的知見の積み重ねにより、令和3年（2021年）から令和5年（2023年）にかけてIPCCが公表した「第6次評価報告書（AR6）」では、「人間活動が主に温室効果ガスの排出を通して地球温暖化を引き起こしてきたことには疑う余地がない」と評価された。地球が温暖化していることのみならず、その主要因が人間活動であることについても「疑う余地がない」とされたのである。また、早期警戒システムが短期の防災策だけでなく、長期の気候変動適応策としても有効であることが示されたほか、現在の各国の削減目標に基づく気温上昇の見通しも評価されるなど、最新の科学的知見が総合的に示されている。

これらを重要な根拠かつ共通の認識として、UNFCCCの下で国際的な気候変動対策のための精力的な議論が続けられている。国内でも、環境基本計画に紐づく地球温暖化対策計画及び気候変動適応計画をはじめ、宇宙基本計画、海洋基本計画、科学技術・イノベーション基本計画等の様々な分野の政府計画において気候変動対策に資する施策が盛り込まれており、まさに政府一丸となって喫緊の課題として気候変動対策が推進されている。

【第2節】国際的な動き

1. 世界気候会議

WMO は、昭和 44 年(1969 年)の第 21 回執行理事会で初めて人間と環境の問題を取り上げ、昭和 46 年(1971 年)の第 6 回世界気候会議において人間と環境の相互作用について議論した。昭和 47 年(1972 年)6 月に環境問題に関する初めての重要な国際会議である国連人間環境会議(ストックホルム会議)が開催され、WMO も出席して環境問題のための気候情報の必要性について報告した。WMO は昭和 49 年(1974 年)の第 26 回執行理事会で「気候変動に関する専門家パネル」を設置し、翌年の第 7 回世界気候会議で気候変動に関する国際的な活動の調整を WMO が実施することを決定した。昭和 51 年(1976 年)の第 28 回執行理事会では気候変動に関する WMO 声明を発表し、翌年の第 29 回執行理事会で「気候変動に関する専門家パネル」が作成した世界気候計画(WCP)を検討し、「世界気候会議(WCC: World Climate Conference)」を開催することを決定した。

昭和 54 年(1979 年)2 月、WMO は国連教育科学文化機関(UNESCO)、国連食糧農業機関(FAO)、世界保健機関(WHO)、国連環境計画(UNEP)、国際科学会議(ICSU)等と協力して、ジュネーブにおいて第 1 回世界気候会議(FWCC)を開催した。気候の変化と変動、及びそれらと人間活動の関わり合いについての知識をとりまとめ、それらに基づいて WCP を検討することを目的として、大気科学者のみでなく、気候に関わりのあるエネルギー、水資源、土地利用、食糧、農業、林業、漁業、海洋資源、保健、社会及び経済の専門家が世界の 53 か国から約 350 名参加した。日本からは気象庁長官をはじめ 7 名が参加した。この会議で WCP を支持するよう勧告した会議宣言が採択され、同年の第 8 回世界気候会議で WCP が決議された。この世界的な動きを受けて、気象庁も昭和 56 年(1981 年)に気候変動対策室を設置し、「気候変動対策基本計画」を作成するなど、気候変動対策業務を本格化させている。

平成 2 年(1990 年)10 月から 11 月にかけて、WMO、UNEP、UNESCO、ユネスコ政府間海洋学委員会(IOC)、FAO 及び ICSU の主催により、ジュネーブにおいて第 2 回世界気候会議(SWCC)が開催され、日本からも気象庁長官を含む政府代表団が出席した。この SWCC に向けて気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第 1 次評価報告書の第 1・第 2 作業部会の報告書がまとめられており、会議ではこの IPCC 報告書の確認も行われた。気候変動防止のための枠組条約に向けての動きも会議の焦点のひとつであったが、この FWCC から SWCC までの 11 年間のひとつの決算としての性格を持っていた。この間に気候変動が重要な問題として国際政治の場においても活発に検討されることとなり、SWCC では科学技術会合に加えて、世界各国の閣僚を集めた閣僚級会合も開催され、気候変動が人類の共通の関心事であることを認識し積極的で建設的な措置をとることを約束した「閣僚宣言」を発表した。また、科学技術会合では、WCP を強化し、「全球気候観測システム(GCOS: Global Climate Observing System)」を設立することなどが提言された。

第 3 回世界気候会議(WCC-3)は、平成 21 年(2009 年)8 月から 9 月にかけてジュネーブで開催された。155 の国・地域的首脳・閣僚級やその他政府代表者をはじめ、国際機関や気候問題の専門家など約 2,000 名が参加し、日本からも気象庁長官を含む政府代表団のほか、

気候変動や気候情報の利用分野の専門家が参加した。WCC-3 は、季節予報等の気候情報が気候変動への適応や気候リスク管理に有効に活用されるための世界的な枠組をどのように構築したら良いかが主なテーマとなり、気候問題の専門家が参加する専門家会合と首脳・閣僚級が参加するハイレベル会合で構成された。その結果、気候サービスの提供者と利用者間の連携強化を通じて、利用者が意思決定に活用しやすい気候情報の提供を推進する「気候サービスのための世界的枠組み（GFCS: Global Framework for Climate Services）」を構築することが決定された。

2. 気候変動に関する政府間パネル

昭和 60 年（1985 年）10 月に WMO 及び UNEP 等が主催したフィラハ会議をきっかけに、地球温暖化問題に対する危機感が国際的に広がった。こうした危機感を背景として、昭和 63 年（1988 年）11 月、WMO と UNEP は、人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」を設立し、スイスのジュネーブにおいて第 1 回総会を開催した。この会合に日本は環境庁、外務省、農林水産省、通商産業省、気象庁からなる政府代表団を結成して参加した。この第 1 回会合にて、「気候変動に関する利用可能な科学的知見の評価」を担当する第 1 作業部会（WG1）、「気候変動の環境及び社会経済への影響評価」を担当する第 2 作業部会（WG2）、「対応戦略」を担当する第 3 作業部会（WG3）が設置された。これ以降、気象庁は日本政府における WG1 の担当省庁として、IPCC 会合への参加、IPCC 報告書の原稿執筆、とりまとめ等により、IPCC の活動に貢献してきた。

平成 2 年（1990 年）8 月にスウェーデンのストックホルムで開催された第 4 回総会において、各 WG からの報告書が IPCC 第 1 次評価報告書（FAR: First Assessment Report）としてまとめられ、同年 11 月の第 2 回世界気候会議に報告された。FAR では「人為的な温室効果ガスが大気中に蓄積し続けると、自然及び人間システムに対して重大な影響を及ぼしかねない気候変化が生じるであろう」との見解が示された。特に WG1 報告書のとりまとめにあたっては、気象研究所の職員が気候モデルによる予測に関する章の執筆責任者を務めたほか、執筆や査読に多くの職員が関与するなど、気象庁も貢献した。各作業部会の報告書には「政策決定者向け要約（SPM: Summary for Policymakers）」が含まれ、この形式はその後の評価報告書でも踏襲された。さらに平成 4 年（1992 年）2 月にスイスのジュネーブにおいて開催された第 7 回総会では、新たな科学的・技術的成果を取り入れた FAR の補遺がとりまとめられた。FAR 及びその補遺は、同年 5 月の「気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）」の採択に決定的な役割を果たした。

IPCC は平成 4 年（1992 年）11 月にジンバブエのハラレで開催された第 8 回総会において、第 2 次評価報告書（SAR）の作成を決定した。また、UNFCCC の採択を踏まえて 3 つの作業部会が再編成され、WG1 は「科学的知見の高度化と温室効果気体の国別総排出量・吸収目録作成手法の開発」、WG2 は「影響評価と対応戦略」、WG3 は「横断的事項」を担当することとされた。

平成 6 年（1994 年）11 月にケニアのナイロビで開催された第 10 回総会では、当時作成中

であった SAR 案の中から、UNFCCC の実施、特に発展途上国の国別報告の支援等に必要な資料がとりまとめられ、「特別報告書」として「気候変動の影響と適応策の評価のための技術ガイドライン」、「気候変化を引き起こす放射強制力に関する特別報告」、「IPCC1992 年排出シナリオの評価に関する特別報告」及び「温室効果ガス目録のための IPCC ガイドライン」が作成され、平成 7 年（1995 年）3 月の UNFCCC 第 1 回締約国会議（COP1）へ提出された。その後も IPCC は政策決定者や UNFCCC からの需要に応えるため、特定の課題に関する技術報告書や特別報告書を公表している。

SAR は、各 WG の報告書及びそれらをとりまとめた統合報告書として、平成 7 年（1995 年）12 月にイタリアのローマで開催された第 11 回総会で受諾された。SAR では「識別可能な人為的影響が地球全体の気候に現れていることが示唆される」との見解が示され、平成 9 年（1997 年）12 月の UNFCCC 第 3 回締約国会議（COP3）における京都議定書の採択に向けて、各国政府が参考にすべき重要な根拠を提供した。なお、SAR では WG1 報告書の政策決定者向け要約を中心に、気象研究所の予測実験結果が反映された。

その後、平成 9 年（1997 年）9 月にモルディブのマレで開催された第 13 回総会において、WG2 と WG3 の分担が再度整理され、WG2 は気候変動に対する脆弱性と影響評価を、WG3 は気候変動の緩和と横断的事項を所掌することとなり、さらに翌年 10 月にオーストリアのウィーンで開催された第 14 回総会では国別の温室効果ガスのインベントリ（排出量・吸収量目録）に関するタスクフォースが新たに設置された。こうして成立した、3 つの作業部会及びインベントリタスクフォース（TFI）という組織構成と、それらの所掌事項が現在まで続いている。また、TFI の共同議長及び技術支援ユニット（TSU）は、設置以来現在に至るまで日本が担っている。

新しい分担に基づき作成された第 3 次評価報告書（TAR）は、各 WG の報告書が平成 13 年（2001 年）4 月にケニアのナイロビで開催された第 17 回総会で、統合報告書が同年 9 月に英国のウェンブリーで開催された第 18 回総会で審議され、順次公表された。TAR では、「地球温暖化の大部分は、温室効果ガス濃度の増加によるものであった可能性が高い」と評価されたほか、気候変動の影響と適応の必要性に焦点が当てられた。これが重要な科学的根拠となり、同年 10 月から 11 月に開催された UNFCCC 第 7 回締約国会議（COP7）におけるマラケシュ合意を経て、平成 17 年（2005 年）2 月の京都議定書発効に至っている。

平成 18 年（2006 年）4 月にモーリシャスのポートルイスで開催された第 25 回総会では、TFI によって作成された、各国が温室効果ガスの排出量・吸収量を算出するための方法論をまとめた「2006 年 IPCC 国別温室効果ガスインベントリガイドライン」が採択され、同年 11 月の UNFCCC 第 12 回締約国会議（COP12）に提出された。平成 19 年（2007 年）5 月にタイのバンコクで開催された第 26 回総会では第 4 次評価報告書（AR4）の各 WG の報告書が、同年 11 月にスペインのパレンシアで開催された第 27 回総会では統合報告書が審議され、順次公表された。AR4 は前回の TAR の内容を支持するとともに、「人為起源の温室効果ガス濃度の増加によってもたらされた可能性が非常に高い」と地球温暖化の原因などについてより踏み込んだ内容となっており、地球温暖化を 2℃に抑えることに焦点をあてた「ポスト京都議定書」の合意に向けた土台を築いた。

地球温暖化に疑う余地がないとした AR4 は社会に大きなインパクトをもたらし、気候政策決定のための情報を提供し世界中で公衆の意識を喚起したことを理由に、IPCC は米国のゴア元副大統領とともに平成 19 年（2007 年）のノーベル平和賞を受賞した。ところが、平成 21 年（2009 年）に IPCC の報告書に関連した一部の研究者のメールの文面を根拠に地球温暖化に対し疑惑が投げかけられる事件（「クライメートゲート事件」と呼ばれた）など、IPCC の信憑性に疑問を投げかける事象がいくつか起こったことをきっかけとして、IPCC の手続きや手順に関する独立した機関によるレビューが行われ、平成 22 年（2010 年）8 月に国際科学組織であるインターアカデミーカウンスル（IAC: InterAcademy Council）からレビュー結果が公表された。IPCC は、IAC による勧告を踏まえ、平成 23 年（2011 年）5 月にアラブ首長国連邦のアブダビで開催された第 33 回総会において、報告書のプロセス、ガバナンス、マネジメント、広報戦略、及び利益相反ポリシーについて対応を決定した。そして翌年 6 月にスイスのジュネーブで開催された第 35 回総会までに、執行委員会の設置（総会間に IPCC として迅速に意思決定できるようにするため平成 23 年（2011 年）に新たに設置）などを含む IPCC 統治原則の改訂やガイダンスの制定などの必要な作業を終えた。

新しいガイダンスは第 5 次評価報告書（AR5）の作成過程で適用された。このガイダンスにおいて、IPCC の報告書中における不確実性の表現について、全ての WG が「確信度」と「可能性」の 2 種類の指標を用いることとなった。また、評価報告書の作業部会報告書及び特別報告書については政策決定者向け要約（SPM）の承認と報告書本体の受諾を経ることなど、報告書の作成から審議までのプロセスも定められた。

こうして AR5 は、平成 25 年（2013 年）9 月にスウェーデンのストックホルムでの第 36 回総会で WG1 報告書が、平成 26 年（2014 年）3 月に横浜での第 38 回総会で WG2 報告書が、同年 4 月にドイツのベルリンでの第 39 回総会で WG3 報告書が、同年 10 月のデンマークのコペンハーゲンでの第 40 回総会で統合報告書がそれぞれ審議の上、公表された。AR5 では、気候システムに対する人間の影響は明瞭であり、近年の人為起源の温室効果ガスの排出量が史上最高になっていることや、近年の気候変動が人間及び自然システムに対し広範囲にわたる影響を及ぼしていることが結論づけられており、平成 27 年（2015 年）11 月から 12 月にかけて開催された UNFCCC 第 21 回締約国会議（COP21）におけるパリ協定の採択に際して、重要な科学的根拠を提供した。

COP21 では、1.5℃の気温上昇による影響及びそれに関する温室効果ガス排出経路に関する報告書を作成することを IPCC に招請することも決定された。IPCC は第 6 次評価報告書（AR6）の計画を始めていたが、平成 28 年（2016 年）4 月にケニアのナイロビで開催された第 43 回総会において、UNFCCC の招請に応じることを決定した。こうして平成 30 年（2018 年）10 月に韓国の仁川で開催された第 48 回総会で審議され、公表されたのが「1.5℃特別報告書」（正式名称は「1.5℃の地球温暖化：気候変動の脅威への世界的な対応の強化、持続可能な開発及び貧困撲滅への努力の文脈における、工業化以前の水準から 1.5℃の地球温暖化による影響及び関連する地球全体での温室効果ガス（GHG）排出経路に関する IPCC 特別報告書」）である。この報告書により、1.5℃の気温上昇と 2℃の気温上昇とでは、生じる影響に有意な差があることが示され、気候変動対策の議論を一層推し進めることとなった。

令和元年（2019 年）5 月には京都で第 49 回総会が開催され、「2006 年 IPCC 国別温室効果ガスインベントリガイドラインの 2019 年改良」が採択され、パリ協定の実施に向けて、温室効果ガスの排出量・吸収量を算出する方法論の更新、補足及び精緻化がなされた。

同年 8 月にはスイスのジュネーブでの第 50 回総会における審議を経て「土地関係特別報告書」（正式名称は「気候変動と土地：気候変動、砂漠化、土地の劣化、持続可能な土地管理、食料安全保障及び陸域生態系における温室効果ガスフラックスに関する IPCC 特別報告書」）、さらに同年 9 月にはモナコでの第 51 回総会における審議を経て「海洋・雪氷圏特別報告書」（正式名称は「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関する IPCC 特別報告書」）が続々と公表され、AR6 の作成に向けて着実に科学的知見が積み上げられていった。しかしながら、令和 2 年（2020 年）以降の新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行により、執筆作業に大幅な遅れが生じ、報告書を審議するための総会も当初予定よりも延期された上に、オンラインで開催されることとなった。

こうして第 54 回総会が令和 3 年（2021 年）7 月から 8 月にかけてオンラインで開催され、WG1 報告書が公表された。同報告書では「人間活動が主に温室効果ガスの排出を通して地球温暖化を引き起こしてきたことには疑う余地がない」と、地球が温暖化していることのみならず、その主要因が人間活動であることについても「疑う余地がない」と評価された。

令和 4 年（2022 年）2 月には第 55 回総会がオンラインで開催され、WG2 報告書が公表された。同報告書では「極端な気象と気候の増加により、自然と人間のシステムはそれらの適応能力を超える圧力を受け、それに伴い幾つかの不可逆的な影響をもたらしている」と評価され、影響の不可逆性や適応の限界が強調された。さらに、早期警戒システムが短期の防災策だけでなく、長期の適応策としても有効であることが示された。

続いて同年 3 月から 4 月にかけて第 56 回総会がオンラインで開催され、WG3 報告書が公表された。同報告書では「2020 年末までに実施されるものを超える政策の強化がなければ、GHG 排出量は 2025 年以降も増加すると予測され、そうなれば 2100 年までに中央値で 3.2℃ の地球温暖化をもたらす」と評価され、パリ協定の目標を達成するには一層の排出削減が必要であることが示唆されている。

各 WG 報告書には、COVID-19 の世界的流行から得られた知見も盛り込まれている。COVID-19 の影響が徐々に収束するにつれて、国際会議の実地開催が可能になり、統合報告書を審議するための第 58 回総会は令和 5 年（2023 年）3 月にスイスのインターラーケンで開催された。こうして公表された統合報告書は、現時点で最新の気候変動に関する科学的知見の集成となっている。

現在 IPCC では、第 7 次評価報告書（AR7）のほか、気候変動と都市に関する特別報告書及び短寿命気候強制力因子（SLCF: Short-lived Climate Forcers）に関する方法論報告書等の作成に向けた議論が進められている。

3. 気候変動に関する国際連合枠組条約

平成 2 年（1990 年）8 月に IPCC により公表された「第 1 次評価報告書（FAR）」を踏まえ、同年 12 月の第 45 回国連総会において、地球温暖化防止に向けた条約策定のための政府間交

渉会議を開始することが決定された。この交渉会議は平成3年（1991年）2月から平成4年（1992年）5月にかけてのべ6回開催され、平成4年（1992年）5月に「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させること」を究極の目的とした「気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）」が採択された。気象庁は第1回からこの交渉会議に政府代表団の一員として参画し、特に「研究及び組織的観測（同条約第5条に規定）」に関する条約案及び付属書案に関する議論に貢献した。同条約は同年6月にブラジルのリオデジャネイロで開催された国連環境開発会議（地球サミット）で署名が開始され、平成6年（1994年）3月に発効した。同条約では、当面の目標として先進国が温室効果ガスの排出量を2000年までに1990年レベルまで戻すことを定めていた。なお、交渉会議は条約発効後も同条約の一部の実施方法等について審議するため、平成7年（1995年）2月の第11回会合まで継続された。

UNFCCCに基づき、平成7年（1995年）から毎年、締約国会議（COP）が開催されるようになった。COPは、全ての条約締約国が参加して条約の実施に関するレビューや各種決定を行う、UNFCCCにおける最高意思決定機関である。平成7年（1995年）3月から4月にかけて、ドイツのベルリンで開催された第1回締約国会議（COP1）には、約120の締約国のほか、国連関係機関、非政府組織（NGO）、報道関係者等、約4,000名が参加した。日本からは、環境庁、外務省、農林水産省、通商産業省、運輸省、気象庁ほか総勢28名が参加した。COP1では、2000年以降の温室効果ガス排出抑制の検討、温室効果ガス排出量の抑制に関する共同実施のあり方などが合意された。また、UNFCCCのもとに「科学上および技術上の助言に関する補助機関（SBSTA: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice）」と「実施に関する補助機関（SBI: Subsidiary Body for Implementation）」が設置され、平成7年（1995年）8月から9月にかけてこれら補助機関の第1回会合が開催された。これ以降、気象庁も政府代表団の一員としてSBSTAを中心に会合に参加し、「研究及び組織的観測」に関する議論やIPCCの報告書に関する評価等に貢献している。

平成9年（1997年）12月の第3回締約国会議（COP3、日本では「地球温暖化防止京都会議」と呼ばれた）では、温室効果ガス排出削減に関する法的拘束力を持つ初めての国際枠組として、「京都議定書」が採択された。京都議定書の採択を受け、平成10年（1998年）に日本においても「地球温暖化対策推進法」が制定され、日本の地球温暖化対策が具体的に始まった。また、COP3が日本で開催されるのを機会に、気象庁と（財）日本気象協会は平成9年（1997年）12月に神戸で「気候変動の監視・予測及び情報の利用に関する国際ワークショップ」を開催した。同ワークショップでは、IPCC議長、WMO事務局長をはじめ内外の気候関連の研究者、各国の気象機関等から約120名が出席し、各国の気象水文機関による科学的評価活動の継続・強化の必要性を謳った「神戸ステートメント」を採択した。

京都議定書の発効には55か国以上の締結が必要であるなどの発効要件を満たす必要があった。平成10年（1998年）11月にアルゼンチンのブエノスアイレスで開催された第4回締約国会議（COP4）において、京都議定書の詳細な実施細目の策定作業を第6回締約国会議（COP6）までに完了させることを盛り込んだ「ブエノスアイレス行動計画」が採択された。しかしながら、平成12年（2000年）11月にオランダのハーグで開催された第6回締約国会議（COP6）

では合意が成立せずに会議が中断され、平成 13 年（2001 年）7 月にドイツのボンで再開され、実施細目の骨格要素について合意に至った。そして同年 10 月から 11 月にかけてモロッコのマラケシュで開催された第 7 回締約国会議（COP7）において、森林吸収量の算入上限や、各国の数値目標を達成するための補助的手段としての「京都メカニズム」（クリーン開発メカニズム、共同実施、排出量取引）に関する規定など、詳細な京都議定書の実施細目が決定され（マラケシュ合意）、京都議定書運用のための準備がおおむね整った。これを受けて、日本は京都議定書を平成 14 年（2002 年）6 月に締結した。最終的に、判断を見送っていたロシアが平成 16 年（2004 年）に締結したことにより、京都議定書は平成 17 年（2005 年）2 月に発効された（ただし、世界第 2 位の温室効果ガス排出量を持つ米国は締結しなかった）。

京都議定書では、先進国は 2008 年から 2012 年まで（第一約束期間）に 1990 年比で一定値（日本は 6%）を削減することが規定されており、日本はこれを踏まえて平成 17 年（2005 年）4 月に「地球温暖化対策推進法に基づく京都議定書目標達成計画」を閣議決定し、基準年比 6% 減の目標を掲げた（この目標は、森林吸収量と京都メカニズムによるクレジットを加味した上で、達成された）。

一方で、京都議定書には 2013 年以降の具体的な温室効果ガスの削減については規定されていなかったため、平成 19 年（2007 年）12 月にインドネシアのバリ島で開催された第 13 回締約国会議（COP13）において、2013 年以降の枠組を第 15 回締約国会議（COP15）までに合意を得て採択することとされた。しかしながら、平成 21 年（2009 年）12 月にデンマークのコペンハーゲンで開催された COP15 において、先進国は、京都議定書を締結していない先進国（米国）や同議定書の下で義務を負わない主要途上国（中国、インド等）の排出削減を含めた包括的かつ実効的法的枠組を構築すべしと主張したため、議論が継続されることとなった。また、世界全体の気温の上昇が 2℃以内にとどまるべきであるとの科学的見解を認識し、長期の協力的行動を強化する「コペンハーゲン合意」が日本を含む 30 近くの国・機関の首脳級会合でなされた。

平成 23 年（2011 年）11 月から 12 月にかけて南アフリカのダーバンで開催された第 17 回締約国会議（COP17）では、第二約束期間（2013 年～2018 年）の設定に関する合意がなされた一方で、全ての国が参加しない京都議定書は公平性、実効性に問題を抱えているとの観点から、日本はロシア、カナダと共に第二約束期間に参加しないことを正式に表明した。また、新しいプロセスである「強化された行動のためのダーバン・プラットフォーム特別作業部会（ADP: Ad hoc Working Group on Durban Platform for Enhanced Action）」が立ち上げられ、可能な限り早く、遅くとも 2015 年中に作業を終えて、議定書、法的文書又は法的効力を有する合意成果を 2022 年から発効させ、実施に移すとの道筋に合意した。

平成 25 年（2013 年）11 月にポーランドのワルシャワで開催された第 19 回締約国会議（COP19）において、全ての国に対して 2020 年以降の削減目標を COP21 に十分先立ち作成することが招請されたことから、日本は平成 27 年（2015 年）7 月に、温室効果ガスの排出量を 2030 年度に 2013 年度水準から 26.0% 削減するという目標を提出した（他の多くの国も、同年に削減目標を提出した）。

そして平成 27 年（2015 年）11 月から 12 月にかけて、フランスのパリにおいて第 21 回

締約国会議（COP21）が開催された。ADP における事務レベルの交渉を経て、閣僚間で更に協議を重ねた結果、2020 年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな法的枠組である「パリ協定」が採択された（平成 28 年（2016 年）発効）。パリ協定は、歴史上初めて先進国、途上国を問わず全ての国が参加する公平な気候変動対策の枠組であり、「世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2℃より十分低く保つとともに、1.5℃までに抑える努力を追求する」ことが世界共通の長期目標として掲げられた。また、全ての国が削減目標を 5 年ごとに提出・更新すること、5 年ごとに世界全体の気候変動対策の進捗状況を評価すること（グローバルストックテイク）なども定められた。

さらに COP21 では、1.5℃の気温上昇による影響及びそれに関する温室効果ガス排出経路に関する報告書を作成することを IPCC に招請することが決定された。これを受けて IPCC は平成 28 年（2016 年）4 月に報告書の作成を決定し、平成 30 年（2018 年）10 月に「1.5℃特別報告書」として公表した。この報告書により、1.5℃の気温上昇と 2℃の気温上昇とでは、生じる影響に有意な差があることが示され、気温上昇を 1.5℃に抑えることの重要性が一層強調されるようになった。日本は令和 2 年（2020 年）10 月、2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「カーボンニュートラル」を目指すことを宣言し、翌年 4 月には、温室効果ガス排出量を 2030 年度に 2013 年度水準から 46%削減し、更に 50%の高みに向けて挑戦を続けることを表明した。

パリ協定では、このような緩和策の推進に加えて、適応に関する能力の向上並びに気候変動に対する強靱性の強化及び脆弱性の減少という「適応に関する世界全体の目標」（GGA: Global Goal on Adaptation）も掲げられるなど、適応策の推進も盛り込まれた。

令和 3 年（2021 年）8 月公表の IPCC 第 6 次評価報告書（AR6）第 1 作業部会報告書では更に知見が集積され、「一部の極端現象の発生は、地球温暖化の進行に伴い、1.5℃の地球温暖化でさえも、観測史上例のないほどに増加する」、「向こう数十年の間に CO₂ 及び他の温室効果ガスの排出が大幅に減少しない限り、21 世紀中に 1.5℃及び 2℃の地球温暖化を超える」ことなどが示された。令和 3 年（2021 年）10 月から 11 月にかけて英国のグラスゴーで開催された第 26 回締約国会議（COP26）では、改めて 1.5℃の努力目標を追求する決意が確認された。

続く令和 4 年（2022 年）2 月公表の AR6 第 2 作業部会報告書では、「人為起源の気候変動は、極端現象の頻度と強度の増加を伴い、自然と人間に対して、広範囲にわたる悪影響と、それに関連した損失と損害を、自然の気候変動の範囲を超えて引き起こしている」ことなどが示され、同年 11 月にエジプトのシャルム・エル・シェイクで開催された第 27 回締約国会議（COP27）では、ロス＆ダメージ（気候変動の悪影響に伴う損失と損害）に対する支援のための基金を設立することなどが決定された。

令和 5 年（2023 年）11 月から 12 月にアラブ首長国連邦のドバイで開催された第 28 回締約国会議（COP28）では、パリ協定に基づく最初のグローバルストックテイクが実施され、1.5℃目標達成のための緊急的な行動の必要性などが決定文書に盛り込まれた。このグローバルストックテイクを踏まえ、各国は 2035 年までの排出削減目標を提出することとされている。また、GGA の達成に向けて、国主導かつ自主的なものとして、テーマ別の 7 つの目標と適応サイクルについての 4 つの目標を設定した「UAE フレームワーク」が採択された。

【第3節】国内の動き

1. 検討会等

(1) 気候問題懇談会

昭和54年2月にスイスのジュネーブで第1回世界気候会議が開催され、同年5月にWMOが世界気候計画を採択するなどの世界的な動向も踏まえ、気候問題の実態を把握し、国内・国外の気候問題の施策の方向を学際的に検討するため、気象庁は同年11月に関係省庁及び学識経験者からなる「気候問題懇談会」の第1回懇談会を開催した。本懇談会の事務局は、昭和55年7月に総務部企画課に設置された気候調査企画室、さらに翌年4月に総務部企画課に設置された気候変動対策室が担っていた（気候変動対策室は平成8年7月に気候・海洋気象部が設置されるまで存続し、以降は同部が事務局を担った）。

昭和54年度以降、気候問題懇談会は、平成2年度（第46回）までは年4回程度、平成3年度から平成18年度まで（第47回～第72回）は年2回程度開催され、専門家と関係行政機関の気候問題に関する情報交換の場として機能してきた。昭和63年9月には、専門的事項を検討する場として懇談会の下で「温室効果検討部会」を開催し、温室効果気体の実態と今後の気候の見通しについての知見をとりまとめた「温室効果気体の増加に伴う気候変化（Ⅰ）、（Ⅱ）」を平成元年、平成2年に公表した。しかしながら、平成9年12月の国連気候変動枠組条約（UNFCCC）第3回締約国会議（COP3）における京都議定書の採択を受けて平成10年10月に地球温暖化対策推進法が制定されるなど、この間、関係行政機関がそれぞれの担当分野の気候変動対策を開始し、国を挙げて気候変動対策が行われるようになってきたことに伴い、平成19年度から平成27年度まで（第73回～第79回）は、主として気象庁の気候関連の取組について懇談を行い専門家の意見を聴取する場へと変化し、開催頻度は年1回程度となっていた（なお、平成17年7月の地球環境・海洋部の設置に伴い、以降は同部が事務局を担った）。

(2) 気候変動対策関係省庁連絡会及び気候情報連絡会

気象庁は、世界気候計画（昭和54年の第8回世界気象会議で採択）を踏まえ、気候情報の社会・経済活動への有効利用及び政策決定への活用を目的として、独自の「気候変動対策基本計画」を昭和56年6月に策定した。同年7月には同計画に基づき、行政機関が気候変動の影響を軽減・防止するのに役立つ気候情報を提供することを目的として、気象庁総務部長を座長として12の省庁が参加する「気候変動対策関係省庁連絡会」を設置し、気象庁から関係省庁に対して定期的に気候情報等の解説が行われるようになった。さらに、昭和59年には管区・沖縄気象台及び新潟・高松・鹿児島地方気象台において、各地域の関係機関に対して気候情報等の有効利用を図るため、「気候情報連絡会」を設置した。

これらの連絡会は、地球温暖化対策推進法（平成10年10月成立）や気候変動適応法（平成30年6月成立）をはじめとして、具体的な気候変動対策のための枠組が整備されるにつれて縮小していった（気候情報連絡会は令和3年度末に廃止）。現在は地球温暖化対策推進本部（本部長は内閣総理大臣）や気候変動適応推進会議（議長は環境大臣）などの下で、気象庁は政府の一員として、気候変動の科学的根拠を提供する役割を担っている。また、地方では「地域エネルギー・温暖化対策推進会議」（経済産業省及び環境省）や「気候変動適応広域協議会」（環

環境省）などに管区・沖縄気象台が参画し、気候変動に関する情報提供を続けている。

（３）気候変動に関する懇談会

平成 28 年 11 月にパリ協定が発効し、日本でも気候変動適応法（平成 30 年法律第 50 号）が成立するなど、国内外で気候変動に関する政策策定の動きが加速する中、国内各地域における気候変動対策の取組の支援を関係機関とともに積極的に推進するため、気象庁は気候問題懇談会を発展的に改組し、新たに気候変動研究プロジェクトを推進する文部科学省と「気候変動に関する懇談会」を共催することとした。懇談会の事務局は気象庁地球環境・海洋部地球環境業務課（令和 2 年 10 月の組織改編以降は大気海洋部気象リスク対策課）及び文部科学省研究開発局環境エネルギー課が担うこととなった。

第 1 回懇談会（平成 30 年 6 月）では、会長に花輪公雄東北大学名誉教授が選出され、日本の気候変動に関する取組や今後の取組の方向性について議論が行われた。気候変動情報に関するニーズ及び課題に対応し、政府・自治体等による地球温暖化対策の推進に貢献するため、文部科学省及び気象庁は、懇談会の助言を踏まえつつ、気候変動の研究、分析・評価、情報提供までを体系的に取り組むこととした。これを受けて、当面の取組として、令和 2 年度までに日本の気候変動の実態と見通しに関する統一的な見解をまとめた報告書を作成することとした。この報告書の作成のため、同懇談会の下に評価検討部会を立ち上げることとなった。

第 2 回懇談会（平成 31 年 2 月）では、第 1 回懇談会で了承された報告書の作成に向けて気候変動に関する懇談会評価検討部会とよく相談しながら作業を進めることや、各地域・各分野の適応に必要な要素・解像度・予測対象期間を踏まえた気候予測データセット（以下「気候予測データセット 2022」という。）を整備するとともに、影響評価研究者や地方公共団体、事業者等のデータセット利用者に向けた解説書を作成することとした。

第 3 回懇談会（令和 2 年 2 月）では、報告書の進捗や気候予測データセット 2022 の検討状況について意見交換が行われた。

第 4 回懇談会（令和 2 年（2020 年）12 月）では、報告書の名称を「日本の気候変動 2020」とすることや気候予測データセット 2022 の具体化等について意見交換が行われた。なお、日本の気候変動 2020 は令和 2 年 12 月 4 日に公表され、環境省が気候変動適応法に基づき同年同月 17 日に初めて公表した「気候変動影響評価報告書」へのインプットとなった。

第 5 回懇談会（令和 3 年 11 月）では、気候予測データセット 2022 の準備状況や日本の気候変動 2020 公表後の周知広報活動等について説明が行われ、これらについて意見交換が行われた。また、次回報告書の公表時期について、気候変動影響評価報告書の公表（おおむね 5 年ごと）等を考慮して検討することになった。

第 6 回懇談会（令和 4 年（2022 年）11 月）では、気候予測データセット 2022 及び解説書の公表に向けて最終的な意見交換が行われた（同年 12 月公表）。また、「日本の気候変動 2020」の後継にあたる「日本の気候変動 2025」を、令和 6 年度の公表を目指して作成を開始すること、また、作成にあたって評価検討部会を開催して助言を受けることについて了承された。

第 7 回懇談会（令和 6 年 2 月）では、気候予測データセット 2022 の更新に関する検討状況や、日本の気候変動 2025 の作成状況が報告された。また、大雨等の極端現象の頻度と強度の変化

について、観測データを用いた現在までの統計や、気候モデルによる計算結果を用いた将来予測をとりまとめ、日本の気候変動 2025 に盛り込む方針についても報告された。

2. 気候変動に関する科学的知見の提供

(1) 「異常気象レポート」

昭和 47 年に世界各地で発生した干ばつ等による世界的な食糧需給の逼迫を契機として、気象庁は昭和 48 年 4 月に「近年の世界の気候について」と題した当面の見解を発表した。一方、農林省においては、作物生産と異常気象の関係及び世界的需給の構造変化について検討を進めていた。このため、気象庁は「気候変動調査研究会」（学識経験者、農林省、気象庁の専門家で構成。会長は福井英一郎東京教育大学名誉教授。）を、農林省は「世界食糧需給問題研究会」をそれぞれ設置し、両省庁は協同して、国の政策実施に緊急に措置する必要がある調査研究として、昭和 48 年度政策推進調査調整費により「世界の食糧需給の構造変化とその見通しに関する調査」を実施することとなった。この調査において、気象庁は海外現地調査やアンケート調査を含む「世界の異常気象の実態とその見通しについての調査」を分担し、その成果として、昭和 49 年 3 月に「近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通しについて」（通称「異常気象レポート」）を発表した。

昭和 51 年 6 月に WMO が「気候変動に関する WMO 声明」と「気候変動に関する WMO 執行委員会専門家会議による技術報告」を発表するなど、国際的な気候変動への関心の高まりや社会の要請を踏まえ、気象庁は同年 10 月に「気候変動調査委員会（観測部長を委員長とし、庁内各部と研究所の職員から委員を選出。）」を設置し、調査結果を昭和 54 年 3 月に「近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通しについて（Ⅱ）」として発表した。

以降、気象庁は平成 27 年までに計 8 巻の「異常気象レポート」を発表した（正式に「異常気象レポート」と題されるのは第 3 巻以降であり、第 4 巻から副題が変更されたが、便宜上いずれも「異常気象レポート」という）。

異常気象レポートの作成は、第 2 巻（昭和 54 年 3 月発表）から第 4 巻（平成元年 3 月発表）まで気候変動調査委員会が担い、第 5 巻（平成 6 年 3 月発表）では「気候変動対策推進委員会」、第 6 巻（平成 11 年 9 月発表）では「異常気象レポート編集委員会」へと作成が引き継がれた。以降はレポート作成のための委員会を置かず、第 7 巻では気候問題懇談会及び気候問題懇談会検討部会、第 8 巻では気候問題懇談会検討部会から助言を受けながら作成された。

なお、各レポートのタイトルとその発表年月は表 5-4-3-1 のとおり。

表 5-4-3-1 異常気象レポートのタイトルと発表年月

タイトル	発表年月
近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通しについて	昭和49年3月
近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通しについて（Ⅱ）	昭和54年3月
異常気象レポート'84 近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通しについて（Ⅲ）	昭和59年3月
異常気象レポート'89 近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—（Ⅳ）	平成元年3月
異常気象レポート'94 近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—（Ⅴ）	平成6年3月
異常気象レポート'99 近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—（Ⅵ）	平成11年9月
異常気象レポート2005 近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—（Ⅶ）	平成17年10月
異常気象レポート2014 近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—（Ⅷ）	平成27年3月

第1巻「近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通しについて」（昭和49年（1974年）3月）の背景には上述の世界的な干ばつ等による食糧需給の逼迫があり、主に1940年頃からの北半球の極地方を中心とした寒冷化傾向と異常気象の関連に焦点が当てられ、19世紀以前の低温期にも言及するなど、温暖化よりも寒冷化の観点での解説が中心であった。将来予測については、一説として二酸化炭素による温室効果も紹介されたものの、多くの説があり確定的な学説はないと結論づけられていた。

第2巻「近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通しについて（Ⅱ）」（昭和54年（1979年）3月）では第1巻に引き続き寒冷化に焦点が当てられたが、1970年代には北極地方の著しい寒冷化が平均の水準に回復したことが報告された。また、将来的に人間活動が気候に及ぼす影響として二酸化炭素の増加に注目すべきと報告されるなど、温暖化の観点にも焦点が当てられるようになった。

第3巻「異常気象レポート'84 近年における世界の異常気象の実態調査とその長期見通しについて（Ⅲ）」（昭和59年（1984年）3月）では、前巻以降の異常気象及び気候変動の実態調査に加え、昭和58年7月から9月にかけて気候変動調査委員会がWMO加盟主要国の気象機関及び国内外の気候の専門家に対して実施したアンケート調査の結果も盛り込まれた。同レポートでは、北半球で1960年代後半以降温暖化傾向が続いていることが報告された。また、アンケートによると、多くの外国気象機関が気候変動の要因として二酸化炭素を挙げ、今後、天候に対する社会の脆弱性が増大するとの見解を示したことが報告されるなど、明確に寒冷化から温暖化に軸足を移した内容となった。

第4巻「異常気象レポート'89 近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—（Ⅳ）」（平成元年（1989年）3月）では、異常気象よりも時間スケールの長い気候変動がより重視され、二酸化炭素等による温暖化の兆候や予想される海面水位の上昇にも触れられ、さらにオゾン層破壊や異常気象の要因のひとつとしてエルニーニョ現象についても取り上げられた。

第5巻「異常気象レポート'94 近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—（Ⅴ）」（平成6年（1994年）3月）では、月平均気温と月降水量の定量的な評価が示されるとともに、気候を変動させる様々な要因の科学的理解と、気候変動の実態把握と予測にお

ける不確実性の低減に向けて、また異常気象や気候変動への対応のために気候系の監視・予測及びその成果の提供についての課題も挙げられた。

第6巻「異常気象レポート'99 近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—(VI)」(平成11年(1999年)9月)では、地球温暖化と最近の気候との関係性について、「監視結果や研究成果に基づき総合的に検討すると、現在の気候に二酸化炭素等の増加による人為的影響が現れていることが示唆される」との見解が示された。

第7巻「異常気象レポート2005 近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—(VII)」(平成17年(2005年)10月)では、特に地球温暖化と異常気象との関係に焦点が当てられ、世界や日本の長期的な気温の上昇傾向には地球温暖化の影響が現れている可能性が高く、日本の大雨の日数の長期的な増加傾向には地球温暖化の影響が現れている可能性があるとの見解が示された。なお、地球温暖化に伴う異常気象の増加の懸念を踏まえ、平成18年度には気象庁ホームページに「異常気象リスクマップ」として、極端な大雨の発生頻度及び強度、並びに大雨の発生回数の長期変化傾向に関する情報がまとめられた。

第8巻「異常気象レポート2014 近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—(VIII)」(平成27年(2015年)3月)では、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書第1作業部会報告書(平成25年9月)などの情報に基づき、日本の長期的な気温の上昇傾向は地球温暖化が主要因であると考えられるとの見解が示された。また、当時研究の進展が注目されていた、個々の異常気象に対する地球温暖化の影響を定量化する手法である「イベント・アトリビュション」の事例が紹介された。

異常気象レポートが担ってきた日本の気候変動に関する科学的知見の提供の役割は、社会の関心の中心が当初の目的であった気候変動の実態解明から、気候変動への具体的な対策に資する情報(特に、気候変動適応法(平成30年法律第50号)に基づく気候変動影響評価報告書や気候変動適応計画へのインプット)へと移ってきたことを背景として、後述の「日本の気候変動2020」(文部科学省・気象庁)等の取組に引き継がれている。

(2)「地球温暖化監視レポート」及び「気候変動監視レポート」

平成2年にIPCC第1次評価報告書がとりまとめられるなど、地球温暖化に関する社会的関心の高まりを受け、気象庁は平成4年(1992年)3月に「地球温暖化監視レポート1991」を公表した。同レポートは、気候問題懇談会の下に設置された温室効果検討部会がそれぞれ平成元年と平成2年に公表した「温室効果気体の増加に伴う気候変化(I)、(II)」を気象庁の業務として引き継いだものであり、同検討部会の助言を受けながら、平成2年に観測部管理課統計室に設置された「温暖化情報センター」が中心となり、温室効果ガス濃度等の観測成果をまとめたものである(平成8年7月の組織再編により、温暖化情報センターの業務は観測部環境気象課へ引き継がれた)。

地球温暖化監視レポートは、「異常気象レポート'94」を公表した平成6年(1994年)を除き毎年公表しており、平成9年からは気候変動全般の監視とその動向について公表するという内容により即した「気候変動監視レポート」と名称を変更し、現在に至るまで毎年公表している。

なお、地球温暖化監視レポート及び気候変動監視レポートには、平成2年に気象庁に設置

された「温暖化情報センター」を中心とした気象庁の地球温暖化関連の活動成果に加えて、「オゾン層の保護に関するウィーン条約」（昭和 60 年採択）及び「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」（昭和 62 年採択）に対応して、平成元年に気象庁に設置された「オゾン層解析室」による活動成果もまとめていたが、令和 3 年（2021 年）4 月公表の「気候変動監視レポート 2020」以降には掲載せず、気象庁ホームページの「オゾン層・紫外線の年のまとめ」で報告することとしている。

（３）「地球温暖化予測情報」

1990 年代以降、地球温暖化予測技術に関する研究が進んだ。平成 8 年 7 月、気象庁は気象研究所で開発された全球大気・海洋結合モデルによる気候変動予測計算の結果を「地球温暖化予測情報」として公表した。その後も気象研究所において継続的に気候変動予測の研究が進められ（平成 7 年度から平成 11 年度の特定研究「地球温暖化予測技術の高度化」、平成 12 年度から 16 年度の特定研究「地球温暖化によるわが国の気候変化予測に関する研究」、平成 17 年度から 22 年度の特定研究「温暖化による日本付近の詳細な気候変化予測に関する研究」）、平成 17 年度からの特定研究では、地球システムモデル及び雲解像地域気候モデル（水平解像度 4km）が開発された。

このような地球温暖化予測技術の向上と連動して、最新の予測計算の結果を解析して「地球温暖化予測情報」としてとりまとめ、平成 8 年 7 月の第 1 巻公表以降、第 9 巻まで公表した。

第 1 巻（平成 8 年 7 月）では、大気中の二酸化炭素濃度が年率 1% で増加する場合の今後 100 年間の気候の変化についてとりまとめ、世界全体の気温、降水量、海面水温等の地理的分布の変化を掲載した。

第 2 巻（平成 10 年 7 月）では、大気中の二酸化炭素濃度が年率 0.5% で増加する場合の 150 年先までの地球温暖化に関する予測情報をとりまとめ、世界全体の気温、降水量、海面水温等の地理的分布の変化を掲載した。

第 3 巻（平成 11 年 11 月）では、大気中の二酸化炭素濃度を年率 1% で増加させるとともに、産業活動によって排出され、冷却効果をもたらす硫酸エアロゾルの濃度分布の変化を新たに考慮した場合の 100 年先までの地球温暖化に関する予測情報をとりまとめた。

第 4 巻（平成 13 年 4 月）では、第 1 巻と同じシナリオを使用しつつ、新たに気温の日較差や降水量がどう変化するかに着目した予測実験の結果を提供した。加えて、これまでは全球気候モデルによる予測結果だけであったが、日本付近に領域を限った地域気候モデル（水平解像度 40km）による予測実験結果も新たに提供した。

第 5 巻（平成 15 年 3 月）では、IPCC による SRES（Special Report on Emission Scenarios）シナリオに基づき、新たに開発した全球気候モデルを用いた世界全体の気温、降水量、海面水温等の予測結果を掲載した。

第 6 巻（平成 17 年 5 月）では、IPCC の SRES シナリオに基づいて、従来よりも解像度の高い地域気候モデル（水平解像度 20km）を使用し、日本付近の通年の詳細な気候の変化を初めて示すとともに、新たに都市気候モデルを用いた関東地方の夏季の気候の変化の予測結果も提供した。

第 7 巻（平成 20 年 3 月）では、IPCC の SRES シナリオのうち、将来の温室効果ガスが高

排出の場合と低排出の場合で約 100 年後の日本付近の気候にどのような違いが現れるかに着目し、日本の気温や降水量、海面水温等の予測結果を提供した。

第 8 巻（平成 25 年 3 月）では、予報現業での実績がある非静力学モデルをベースとし、従来に比べて大幅に解像度を高められた非静力学地域気候モデル（水平解像度 5km）を使用して、21 世紀末の日本の気温や降水量等の予測結果を提供した。特に、高解像度の領域気候モデルを使用したことで、短時間強雨の発生頻度の将来予測が初めて可能となった。

第 9 巻（平成 29 年 3 月）では、第 8 巻と同様に高解像度の非静力学地域気候モデル（水平解像度 5km）を使用し、新たに IPCC の RCP8.5 シナリオに基づいて予測計算を行い、21 世紀末における日本の気温や降水量等の予測結果を提供した。さらに第 9 巻については、レポートで用いられた気候予測データセットが平成 30 年に文部科学省の「データ統合・解析システム（DIAS）」に掲載されるとともに、利用者向けのマニュアルとして『地球温暖化予測情報第 9 巻』データセット解説書』もあわせて提供された。

地球温暖化予測情報が担った役割は、後述の「日本の気候変動 2020」及び「気候予測データセット 2022」（文部科学省・気象庁）に引き継がれている。

（4）「日本の気候変動とその影響」

平成 21 年 10 月、気象庁は、文部科学省及び環境省と共同して、地球温暖化に関する体系立った情報の提供及び省庁や地方自治体が気候変動適応策を立案するための科学的根拠の提供を目的として、「温暖化の観測・予測及び影響評価統合レポート『日本の気候変動とその影響』」を公表した。同レポートは、気象庁が関係省庁と連携して、適応策への活用を意識し、日本を対象とした気候変動の観測・予測から影響評価に至るまでの知見を統合した最初のレポートであった。レポートの内容は平成 19 年公表の IPCC 第 4 次評価報告書（AR4）を踏まえており、作成にあたっては専門家委員会が開かれ、レポートの構成等の検討や査読等が実施された。

平成 25 年 4 月には、気候変動により現在生じている影響及び将来予測される影響に関する記述を拡充し、改訂版として「気候変動の観測・予測及び影響評価に関する統合レポート『日本の気候変動とその影響（2012 年度版）』」を公表した。さらに平成 30 年（2018 年）2 月には、平成 25 年から平成 26 年にかけて公表された IPCC 第 5 次評価報告書（AR5）を踏まえて再度改訂し、「気候変動の観測・予測・影響評価に関する統合レポート 2018～日本の気候変動とその影響～」を公表した。平成 30 年の改訂においては、気象庁、文部科学省及び環境省に加えて、農林水産省及び国土交通省も作成に加わった。

同レポートの果たした役割のうち、気候変動の観測・予測に関しては「日本の気候変動 2020」（文部科学省・気象庁）に、影響評価に関しては気候変動適応法に基づく気候変動影響評価報告書（環境省）に引き継がれている。

（5）「日本の気候変動 2020」及び「気候予測データセット 2022」

平成 27 年に国連気候変動枠組条約（UNFCCC）第 21 回締約国会議（COP21）で「2℃目標」を世界共通の長期目標とする「パリ協定」が採択されて以降、国内では地球温暖化対策推進法に基づく地球温暖化対策計画が策定され、さらに令和 2 年には新たな目標として「2050 年カーボンニュートラル」が示され、気候変動適応法に基づく気候変動適応計画も策定されるなど、気候変動対策の取組が進められてきた。こうした中で、文部科学省及び気象庁は、共同

で運営する「気候変動に関する懇談会」の助言を受け、気候変動適応法に基づく国の責務として、国や地方公共団体、事業者、あるいは国民が、気候変動緩和・適応策や気候変動影響評価の基盤情報（エビデンス）として使えるよう、気候変動に関する最新の科学的知見を総合的にとりまとめることとなった。

このようにして、文部科学省及び気象庁は、同懇談会の下に立ち上げた評価検討部会からの助言を得ながら、日本及びその周辺における大気中の温室効果ガスの状況や、気候システムを構成する諸要素（気温や降水、海面水位・水温など）の観測成果と将来予測をとりまとめた「日本の気候変動 2020—大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書—」（以下「本報告書」という。）を令和2年（2020年）12月に公表した。

また、各管区及び沖縄気象台は、本報告書で用いた観測・予測データに基づき、各都道府県における気候変動の観測成果及び将来予測に関する情報をとりまとめたリーフレットを作成し、令和4年2月から3月にかけて公表した。

さらに、地方公共団体における地域気候変動適応計画の策定や施策の推進の進展に加え、民間企業における環境等に配慮した投資（ESG投資）の拡大やTCFD（気候関連財務情報タスクフォース）等の枠組に基づく気候関連リスクの開示の取組の活発化も踏まえて、文部科学省及び気象庁は、「気候変動に関する懇談会」の助言を受け、国内の気候変動研究プログラム等において作成された気候変動予測データをとりまとめた「気候予測データセット2022」及び当該データセットの内容や利用上の注意点等をまとめた解説書を令和4年（2022年）12月に公表した。

3. 気候講演会

気象庁は、平成元年度から毎年、一般を対象に地球環境問題に関する最新の科学的知見やその対策などについての知識を深めていただくために、「気候講演会」を日本各地で開催してきた。平成元年8月には、「21世紀の気候はどうなる」と題した講演会を東京で開催し、地球温暖化やオゾン層破壊等の地球規模の気候問題について科学的な側面から周知を図った。以降の気候講演会は地球温暖化の科学や異常気象等をテーマとして毎年東京で開催してきたが、平成14年11月には、気候変動に対する地域レベルでの問題意識の高まり等も踏まえ、初めての試みとして、首都圏以外の方々にも参加いただけるよう、開催地を東京から神戸に移して開催した。以降、気候講演会は、地域における気候変動の影響や対策等も話題に含めつつ、全国各地で開催されるようになった。近年では、平成30年に高校生を招いたパネルディスカッションを初めて開催するなど、若者を主な対象とした講演会も開催するようになった。また、気象キャスターや防災の専門家等を招いて、気候変動に伴う防災対策の重要性について取り上げる講演会も多く開催するようになった。令和2年からの新型コロナウイルス感染症の拡大以降は、従来の会場に人を集めて実施する形式だけでなく、オンラインによる講演動画の配信も行いうようになった。

4. 気候予測データ及び研究参画

気象庁では、気象研究所で開発された気候モデルによる予測計算の結果を解析し、気候変動

対策の検討に資する基盤的情報として公開している。

平成 24 年度から 26 年度には環境研究総合推進費「CMIP5 マルチモデルを用いたアジア域気候の将来変化予測に関する研究（研究代表者は東京大学大気海洋研究所の高藪緑教授）」においては、気候情報課職員が研究協力者として参画し、新しい温室効果ガス濃度シナリオによる複数モデルの予測結果を利用して、温暖化に伴う将来の日本付近の気候について調査した。

「地球温暖化予測情報」第 5 巻（平成 15 年 3 月）及び第 6 巻（平成 17 年 3 月）で用いられた気候予測データは、内閣府総合科学技術会議の地球温暖化研究イニシアティブによる「温暖化影響・リスク評価研究プログラム」において、「気候統一シナリオ」として活用された（第 1 版は平成 15 年度、第 2 版は平成 16 年度公表）。

平成 26 年度には、気候変動適応計画策定に向けた気候変動影響評価のための気候変動予測情報を整備することを目的として、気象庁は環境省と共同して日本周辺の気候の予測計算を実施し、平成 27 年 3 月にパンフレット「21 世紀末における日本の気候」を公表した。

平成 29 年 3 月公表の「地球温暖化予測情報」第 9 巻で用いられた気候予測データは、気候変動影響評価や緩和策及び適応策の検討等に広く活用されるよう、平成 30 年に文部科学省のデータ統合・解析システム（DIAS）に掲載された。これに際して気象庁は解説書を作成し、あわせて提供した。令和 4 年（2022 年）12 月に気象庁と文部科学省が共同して「気候予測データセット 2022」及び解説書を公表した際も、解説書のうち気象庁のデータに関する部分は気象庁が執筆した。

5. ヒートアイランド現象に関する情報

ヒートアイランド現象は、都市部が周辺の地域よりも気温が高くなる現象であり、人為起源の温室効果ガス等の排出により地球全体の平均気温が上昇する地球温暖化とはメカニズムが異なる現象である。しかしながら、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 6 次評価報告書で「都市は人為的な温暖化を局所的に強め、（中略）熱波の深刻度が更に増大する」と報告されているとおり、都市では地球温暖化に加えて都市化の影響で熱中症等の健康リスクが一段と高まる懸念が指摘されていることを踏まえ、本章に節を設けて、気象庁のヒートアイランド現象に関する取組について記述する。

はじめに、ヒートアイランド現象研究の黎明期について述べる。1930 年代の文献では都市における各気象要素の水平分布の調査が主流で、1950 年代になると係留気球等による気温の 3 次元分布の観測的研究が行われた。1970 年代には高度経済成長期における急激な都市化がもたらした環境問題を背景に、都市化に伴って発生するヒートアイランド現象として、大気境界層や局地循環の研究が盛んに行われ、「ヒートアイランド現象」という言葉がよく聞かれるようになった。ヒートアイランド現象は地上気温では晴れて風の弱い夜に最も顕著であることから、当時は夜間の高温域が研究の主対象であった。1980 年代になり、夜間のヒートアイランドを中心とする従来型の都市気候研究は下火となる一方で、夏の暑さが厳しくなるにつれて、都市の暑さとその対策が社会的な関心事となり、ヒートアイランド現象のモデル化と緩和対策に関する研究が盛んになった。

平成 6 年の夏は、北・東・西日本で顕著な高温・少雨となり、特に東・西日本では、当時

で統計開始（昭和 21 年）以降 1 位の高温と少雨の記録を更新した。全国的に深刻な水不足と農業被害が発生し、都市部の極端な高温についても大きな社会問題となった。気象庁がこの年の高温・少雨についてとりまとめた「気象庁技術報告」（平成 8 年 3 月）では、異常天候をもたらした総観的特徴とフェーン現象等の特徴のみならず、都市気候の観点から「都市化の影響」という独立したセクションを設けて、ヒートアイランド現象の一般的な解説と都市気候モデルを用いた人工熱の昇温への寄与量の解析結果を示した。当時のヒートアイランド現象に対する関心の高さを反映していると言える。

平成 13 年（2001 年）に実施した 2000 年平年値への更新時に、気候情報課では地上気象観測データの変化率と各官署の宅地率との関係の調査結果を庁内の技術資料（平成 12 年度全国季節予報検討会資料）にとりまとめている。このような都市化の指標と気象要素の変化率の関連という切り口の解析は、現在の気象庁ホームページ掲載の「ヒートアイランド現象」にも引き継がれている。

その後、地球温暖化対策の施策の一つとして、各省庁が連携してヒートアイランド対策に取り組む動きが出てきた。内閣に設置された地球温暖化対策推進本部にて平成 14 年 3 月に決定された「地球温暖化対策推進大綱」において、地球温暖化防止活動の一つとしてヒートアイランド対策が盛り込まれた。政府全体としては「ヒートアイランド対策関係府省連絡会議」（内閣官房、警察庁、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省）を設置し、平成 16 年 3 月に「ヒートアイランド対策大綱」をとりまとめた。気象庁は、本大綱において、ヒートアイランド現象の実態把握のための「観測・監視と実態把握」及びヒートアイランド現象の「原因・メカニズム・影響に関する調査」を担うこととなった。

同大綱を受けて、気候情報課では、平成 17 年 3 月に関東地方における平均気温・猛暑日数等の長期変化傾向と都市化率との関係、都市気候モデルによるヒートアイランド現象の解析結果等を取りまとめ、「ヒートアイランド監視報告（平成 16 年夏季・関東地方）」として公表した。その後、都市気候モデルの高度化（非静力学モデル化、都市陸面過程の改良等）や解析対象の拡充を進めながら、平成 30 年にかけて、毎年ヒートアイランド監視報告を公表した。令和元年以降は気象庁ホームページ上に「ヒートアイランド現象」のページを開設することで利便性を向上させ、毎年更新している。本情報は、気候変動監視レポートのほか、国土交通白書（国土交通省）や気候変動影響評価報告書（環境省）などで引用されるなど、行政機関や研究機関等におけるヒートアイランド対策を講じるうえでの基盤的情報として利用されている。

第 5 章 気象観測

【第 1 節】地上気象観測

明治 5 年 8 月 26 日^{*1}、北海道函館市に気候測量所（現 函館地方气象台）が開設されて以降、我が国の気象観測は 150 年を超える歴史を持つ。この間、四つの大きな変更が行われた。一つ目は明治 19 年に気象観測法を制定して観測方法を統一したこと、二つ目は国営移管後の昭和 15 年に気象観測法を改め 3 回観測を採用したこと、三つ目は昭和 28 年に観測の目的によって通報観測と気候観測に分けたこと、そして四つ目は昭和 46 年から順次観測の自動化を導入したことである。三つ目までは「気象百年史」に記載のあることでもあり、ここでは、1970 年代以降の観測の変遷について触れる。

（*1）明治五年十一月九日公布の詔書により、太陰暦（太陰太陽暦）を廃して太陽暦を採用することとなり、旧暦の明治五年十二月三日を新暦の明治 6 年 1 月 1 日とすることとされた。気候測量所が観測を開始したのは旧暦における明治五年七月二十三日であるが、ここでは太陽暦に相当する日付を記載している。

1. 観測の自動化

古くから行われていた観測作業では、露場にある計器の表示を職員が直接読み取り記録していた。観測データを庁舎内で集中表示し、確認・記録できるように統合化するところから、観測の自動化が始まった。

昭和 55 年度から展開された JMA-80 型地上気象観測装置では、自動的に 10 分ごと、1 時間ごとに各観測データが、24 時には一日の極値・平均値等がプリンタで印字されるほか、他の機器へのデジタル出力が可能となった。これにより、それまで L-ADESS 端末に手動入力して気象通報していた観測データは、自動的に気温、湿度、降水量、風向・風速等を取り込むことができるようになり、目視による雲や大気現象などの項目を追記入力することで、地上気象観測報の作成・通報が可能となった。これらに加え、その後、平成 7 年度から展開された JMA-95 型地上気象観測装置では、自動的に取り込まれる要素が拡充し、データ変換能力が向上したことにより、10 秒ごとに観測データをコンピュータモニタ画面上に、グラフや一覧表、実況監視画面表示として表示することが可能となった。さらに、後述する平成 20 年度に導入したアメダスデータ等統合処理システムでは、直接センターシステムに観測 10 秒値を送信することが可能となり、全国の気象官署や特別地域気象観測所のデータがリアルタイムに集信できるようになった。

2. 目視観測項目の自動化

従来から職員が実施していた目視による視程や大気現象の観測についても、新しい観測技術の導入により自動化が進展していった。JMA-95 型地上気象観測装置導入後には、積雪の深さについても自動観測が可能となった。

昭和 51 年 4 月、最も多い官署で 1 日 24 回の目視を含む観測・通報だった観測回数を 8 回に改正した。その後、平成 7 年には 24 時の目視を含む観測・通報を自動観測によるものとした。

また帯広及び名瀬以外の測候所については、平成 8 年度から 22 年度にかけて、観測・通報の完全自動化を行うことで無人化（特別地域気象観測所化）を実現した。

特別地域気象観測所における観測・通報の完全自動化では、視程障害現象などを把握するために視程計を整備した。完全自動化の開始当初には晴と曇の判別を必要とする天気の情報は無かったが、一部での通報成果の利用状況に鑑み、晴曇自動判別方法の開発が求められることとなった。そのため、静止気象衛星「ひまわり」の雲画像データと日照時間を組み合わせて晴曇判定を行うこととし、平成 19 年 10 月から利用を始めた。

加えて、平成 31 年以降、新潟、名古屋、高松、広島及び鹿児島地方気象台を除く全国の地方気象台及び測候所において、晴曇自動判別に加えて、雷監視システム（LIDEN）と気象レーダーの組み合わせによる雷関連の自動観測を実現し、観測・通報の完全自動化を図った。その後も順次対象を拡大し、令和 6 年には東京、大阪管区気象台以外において、観測・通報の完全自動化を実現している。

3. 地上気象観測装置（測器含む）

（1）地上気象観測装置の変遷

ア. 第 1 世代 昭和 46 年～平成元年

装置名称：（特に呼称等は無く、地上気象観測測器という位置付け）

変換部等の構成：指示記録部などを 1 つの計器盤として構成

測器：風車型風向風速計（発電式）、白金抵抗温度計（3 線式、通風筒付き）、塩化リチウム露点計（通風筒付き）、転倒ます型雨量計、降雨計、アネロイド型自記気圧計、アネロイド型指示気圧計、熱電堆式全天日射計

イ. 第 2 世代 昭和 56 年～平成 18 年

装置名称：JMA-80 型地上気象観測装置

変換部等の構成：3 式のデータ変換部、データ処理部、接続盤で構成

測器：風車型風向風速計（パルス式）、白金抵抗温度計（4 線式、通風筒付き）、塩化リチウム露点計（通風筒付き）、転倒ます型雨量計（温水式と溢水式）、降雨強度計、感雨器、円筒振動式気圧計、回転式日照計、熱電堆式全天日射計（通風ファン付き）、超音波式積雪計

ウ. 第 3 世代 平成 8 年～平成 27 年

装置名称：JMA-95 型地上気象観測装置

変換部等の構成：データ変換部、データ処理部で構成

測器：風車型風向風速計（パルス式）、白金抵抗温度計（4 線式、通風筒付き）、電気式湿度計（通風筒付き）、転倒ます型雨量計（温水式と溢水式）、感雨器、静電容量式気圧計、太陽追尾式日照計、熱電堆式全天日射計（通風ファン付き）、超音波式積雪計、レーザー式積雪計

エ. 第4世代 平成23年～現在

装置名称：JMA-10型地上気象観測装置

変換部等の構成：データ処理部、信号変換部、電源部で構成

測器：風車型風向風速計（パルス式）、白金抵抗温度計（4線式、通風筒付き）、電気式湿度計（通風筒付き）、転倒ます型雨量計（温水式と溢水式）、感雨器、静電容量式気圧計、回転式日照計、熱電堆式全天日射計（通風ファン付き）、レーザー式積雪計

（2）地上気象観測装置の測器

ア. 気圧計

明治15年から使用されてきたフォルタン型水銀気圧計は、昭和時代まで使用されたが、平成15年度末に水銀による環境汚染の観点及び保守維持管理の軽減のため廃止した。昭和59年からは円筒振動式気圧計が使用された。平成8年から展開が始まったJMA-95型地上気象観測装置以降は、静電容量式気圧計が採用された。

イ. 温度計

第二次世界大戦以降に使用されてきた白金抵抗温度計は、昭和時代以降も使用されている。測温抵抗体の抵抗値を気温に変換する主な方法として3線式や4線式があるが、昭和56年から展開が始まったJMA-80型地上気象観測装置以降は、4線式の白金抵抗温度計が採用された。

ウ. 湿度計

昭和40年代に全国に展開された塩化リチウム露点計は平成初期頃まで使用された。相対湿度は、露点計により得られた露点温度と白金抵抗温度計により得られた気温から計算される。平成8年から展開が始まったJMA-95型地上気象観測装置以降は、電気式湿度計が採用された。電気式湿度計は高分子膜を誘電体とした一種のコンデンサを使った静電容量型湿度センサと呼ばれ、露点計とは異なり、相対湿度値を出力する。また、水銀を用いたガラス製温度計を使った携帯型通風乾湿計（アスマン）は、平成29年に発効となった水銀に関する水俣条約により水銀の使用を取りやめる必要があることから、令和5年までに4線式の白金抵抗温度計を使ったデジタルアスマンに順次切り替えた。なお、デジタルアスマンは電気式湿度計の現地点検時の比較用測器として使用している。

エ. 雨量計

昭和20年代から使用されている転倒ます型雨量計は、昭和、平成及び令和の時代で使用されている。地上気象観測で使用している転倒ます型雨量計には、普通式、温水式、溢水式の3種類がある。

オ. 風速計、風向風速計

昭和33年からダインス式風圧計を風車型風速計又は風杯型風程式風速計（3杯型）に、昭和36年からロビンソン風速計（4杯型）を風杯型風程式風速計（3杯型）に変更し、昭和42年までに順次切り換えた。昭和56年から展開が始まったJMA-80型地上気象観測装置以降の地上気象観測装置では、風車型風向風速計が使用された。

カ. 積雪計

昭和40年代以降、積雪の深さの観測は雪尺や雪板が用いられてきた。雪尺や雪板による観測は、測定時に観測者が必要であり、データ収集が出来なかったが、超音波やレーザーを使っ

た積雪計の登場により、自動化が可能となった。

地上気象観測においては、平成4年から超音波式積雪計による積雪深の観測が開始された。平成8年から展開が始まったJMA-95型地上気象観測装置を設置した官署のうち一部ではレーザー式積雪計が使用され、JMA-10型地上気象観測装置では、全てレーザー式積雪計となった。

キ. 全天日射計

昭和6年以降、バイメタル（ロビッチ）式日射計による全天日射量の観測が開始され、昭和35年からは、札幌、仙台、館野、大阪及び福岡ではエプリー型日射計に切り替えられた。昭和46年から昭和49年にかけて、順次、熱電堆式日射計に切り替えられた。その後、JMA-80型地上気象観測装置以降の地上気象観測装置では、熱電堆式日射計が採用されている。

ク. 日照計

明治以降のカンベル式日照計やジョルダン式日照計による日照時間の観測は、測定時に観測者が必要であることからデータ収集が出来なかったが、昭和61年から回転式日照計に順次切り替えられ自動化された。平成8年から展開が始まったJMA-95型地上気象観測装置では、太陽追尾式日照計又は直達日射観測装置が使用された。平成23年から展開が始まったJMA-10型地上気象観測装置では、回転式日照計が使用されている。

ケ. 視程計等

視程の観測は、長らく観測者が目視により行ってきたが、光学的な原理を使い小型で精度の良い観測が出来る視程計が実用化されたことにより、平成3年から、河口湖、秩父、上野及び日光において、視程計（現象判別付）による観測が開始された。平成23年以降、特別地域気象観測所の一部では、JMA-10型地上気象観測装置への更新を機に、視程計（現象判別付）による自動観測から、視程計等による自動観測に切り替えた。平成31年/令和元年及び令和2年、各管区・沖縄気象台と名古屋、新潟、広島、高松及び鹿児島各地方気象台を除く官署で、視程計等による自動観測に切り替えた。

その後、令和6年には東京、大阪管区気象台を除く官署で、視程計等による自動観測に切り替えた。

4. 富士山頂における気象観測

(1) 富士山測候所の変遷

富士山頂における気象観測は、明治13年から研究者や中央気象台により随時実施されてきた中、昭和7年には中央気象台臨時富士山頂観測所を設立し職員を常駐させ通年の気象観測を開始した。昭和11年には観測所を山頂剣ヶ峰に移転し、中央気象台富士山頂観測所と改称、昭和22年には東京管区気象台所管となり、昭和24年に「富士山観測所」、昭和25年に「富士山測候所」となった。昭和40年には太平洋上の台風を監視するため、富士山レーダーの観測が開始されており、ここまでの変遷については、「気象百年史」においても詳しく述べられている。

その後、昭和53年にはレーダーの更新が行われ、気象衛星観測による台風監視の充実によりその役目を終える平成11年まで山頂でのレーダーの運用が行われた。なお、解体撤去されたレドームについては、山梨県富士吉田市に移設され体験学習施設として利用されている。

レーダー運用終了後も、職員が山頂に常駐し、地上気象観測、気象・火山観測機器の保守点検及び庁舎管理を行ってきたが、種々の高層気象観測手段が充実したことや自動観測技術の進展により、職員の常駐なしに必要な地上気象観測及び火山観測を実施できる状況となってきたことから、平成 16 年 9 月末日をもって山頂庁舎における職員の常駐を終了し、平成 20 年に特別地域気象観測所化された。

(2) 山頂庁舎の貸付

職員の非常駐化に伴い、山頂庁舎内にスペースの余裕が生じることや、富士山頂という極めて特殊な場所に存在する庁舎であることから、庁舎の有効活用を検討するため、関係省庁及び地方公共団体から構成される「富士山測候所山頂庁舎等有効利用検討委員会」を平成 15 年に設置し、議論が行われた。その結果、山頂庁舎の利用方法として、富士山頂の特異・特殊な自然環境条件を活かした「富士山頂極地高所研究の拠点」とする中間報告を平成 17 年にとりまとめた。

平成 18 年の国有財産法改正により、庁舎の空きスペースの貸付が可能となったことから、上記検討委員会の報告の趣旨を踏まえ、公共性の高い研究・教育目的に使用することを基本条件として山頂庁舎の一部貸付を平成 19 年から行うこととした。企画公募を経て NPO 法人「富士山測候所を活用する会」に貸付を開始し、その後、貸付期間の更新ごとに企画公募を行い、同 NPO 法人に対する貸付を現在まで継続している。同法人では、富士山頂という特殊性を活かし、大気化学をはじめとした様々な分野の研究活動を実施している。

【第 2 節】地域気象観測

1. 観測体制

昭和 49 年 4 月、地域気象観測システムの運用を主な目的とする地域気象観測センター（アメダスセンター）が観測部測候課に新設された。地域気象観測センターの総人員は所長以下 17 名で、その構成は、所長、調査官 1 名、現業班 12 名及び業務係 3 名であった。日本電信電話公社（以下「電電公社」という。）東京データ通信局（東京都千代田区大手町）にはセンター機械室が建設されて各種装置を設置。昭和 49 年 5 月には気象庁本庁に仮設されていた事務室も電電公社東京データ通信局に移転し、昭和 49 年 11 月から正式に業務を開始した。

本システムの観測所は、地域雨量観測所（自記雨量計）、地域雨量観測所（無線ロボット雨量計）、地域気象観測所（有線ロボット気象計）及び気象官署（地上気象観測装置）の 4 種類で構成され、いずれの観測所においても観測データはデータ変換装置で変換されたうえ、符号送信器によって地域気象観測センターに自動遠隔伝送されていた。

地域気象観測センターではオンライン業務として、全国の観測所から観測データを自動集信し、地域気象観測センターで処理して気象官署のデータ宅内装置にオンライン配信する業務、観測データの照会に回答する業務、雨雪通報業務を担った。

2. アメダス中枢システム

(1) 第 1 世代 昭和 49 年 11 月～昭和 58 年 3 月

アメダスセンターと観測所及び気象官署間を一般電話回線で接続し、符号送信器（TRP:

TRansPonder、観測装置から受信したデータをアメダスセンターに送信する機器）を用いてデータを集信し、アメダスセンターと気象官署間を専用回線で接続し、アメダスセンターで処理をしたデータを気象官署の宅内装置に配信した。

(2) 第2世代 昭和58年4月～平成6年3月

気象官署への配信を専用回線からデジタルデータ交換網（DDX: Digital Data Exchange、旧電電公社等が提供するパケット交換サービス）に変更した。

(3) 第3世代 平成5年2月～平成13年1月

データ集信の拡充として、10分ごとのデータ集信を開始した。

(4) 第4世代 平成13年2月～平成20年3月

データ配信の拡充として10分ごとの地域気象観測報の配信を開始した。

(5) 第5世代 平成20年3月～平成27年3月

業務・システム最適化計画に基づき経済性の高いシステムとするため、従前の電気通信事業者によるデータ通信サービス契約は行わず、中枢システムと通信ネットワークを分離して調達し、全体名称は「アメダスデータ等統合処理システム」とした。通信ネットワークは閉域性の高い専用IP網を利用した。TRPをルータと通信処理装置に更新し、常時接続のデジタル専用線サービス（DA: Digital Access、メタル回線を用いた64kbps又は128kbpsのデジタルアクセス回線）に変更した。DA提供不可の観測所はINSネット（INS: Information Network System、NTT東日本及びNTT西日本が提供するISDN（Integrated Services Digital Network）統合デジタル通信網のこと）又はアナログ回線とし、センター発呼（DOD: Data On Demand、KDDIネットワークを利用した拠点間通信サービス）で集信した。

中枢システムは最新の情報通信・情報処理技術を活用したシステムの最適化と運用の効率化を図り、高い品質の観測データを安定的に提供するとともに、防災利用の要求に対応するために観測データに最大瞬間風速、最高・最低気温を追加した。また、観測データの高度な防災利用に必要な観測所のメタ情報の提供・管理を行うシステムを整備した。

(6) 第6世代 平成27年3月～令和3年3月

通信ネットワークは閉域性の高い専用IP網を利用した。DOD集信の観測所回線を衛星通信回線（インマルサットBGAN）に変更した。データ集信の拡充として集信間隔を10分ごとから1分ごとに変更した。

(7) 第7世代 令和3年3月～現在

通信ネットワークは第6世代と同様の閉域網を利用している。ルータと通信処理装置を観測所通信機器に集約し、LTE回線（携帯電話通信網）を導入した。

3. 観測地点

昭和49年11月のアメダスの運用開始当初の観測地点数は、923地点であった。その後、昭和50年に1,000地点を越え、現在は約1,300地点（約17km間隔）である。

各観測地点について、観測機器の定期的な点検と観測環境の維持のために、年1回及び必要に応じた追加の現地確認を実施している。しかしながら、京都府内に設置した京田辺地域気象観測所において、平成22年9月に気温を観測する機器につる草が絡みつくことによる観測

環境の悪化を覚知。観測値の精査により、平成 22 年 8 月 25 日から 9 月 6 日までの気温の観測値について統計を求める値として利用しない措置を取るに至り、当時観測した同観測所における歴代最高気温である 39.9℃も取り消された。その後に全国的に行った調査では、観測環境が不適切な箇所が全国で 15 か所確認されて、以後も同様の事例が発生した。これらを受けて、観測環境の監視を強化して観測値の品質向上を図るため、令和元年から令和 2 年にかけて行った通信ネットワークの更新整備の際には、観測地点に環境監視装置（監視カメラ）の追加整備を行い、適切な観測環境の維持に資するものとなっている。

4. 地域気象観測装置（測器含む）

（1）地域気象観測装置の変遷

ア. 第 1 世代 昭和 49 年～平成 5 年

装置名称：JMA-74 型有線ロボット気象計、JMA-74A 型有線ロボット気象計、JMA-75 型有線ロボット気象計

変換部等の構成：データ変換装置、データ収録装置、電源装置、接続盤で構成

測器：風車型風向風速計（発電式）、白金抵抗温度計（3 線式、通風筒付き）、太陽電池式日照計、転倒ます型雨量計、超音波式積雪計

イ. 第 2 世代 昭和 64 年/平成元年～平成 21 年

装置名称：JMA-89 型有線ロボット気象計、JMA-89A 型有線ロボット気象計

変換部等の構成：データ変換処理部、電源部、接続盤で構成

測器：風車型風向風速計（パルス式）、白金抵抗温度計（4 線式、通風筒付き）、太陽電池式日照計、転倒ます型雨量計、超音波式積雪計

ウ. 第 3 世代 平成 17 年～現在

装置名称：JMA-04 型有線ロボット気象計、JMA-04B 型有線ロボット気象計

変換部等の構成：データ変換処理部、電源部、接続盤で構成

測器：風車型風向風速計（パルス式）、白金抵抗温度計（4 線式、通風筒付き）、回転式日照計、転倒ます型雨量計、超音波式積雪計、レーザー式積雪計

エ. 第 4 世代 令和 3 年～現在

装置名称：JMA-19 型アメダス気象計

変換部等の構成：データ処理部、信号変換部、電源部で構成

測器：超音波式風速計、白金抵抗温度計（4 線式、通風筒付き）、電気式湿度計、転倒ます型雨量計、レーザー式積雪計

（2）地域気象観測装置の測器

ア. 温度計

地上気象観測装置と同様に、地域気象観測装置でも白金抵抗温度計が使用されている。昭和 64 年/平成元年から展開が始まった JMA-89 型有線ロボット気象計以降は、4 線式の白金抵抗温度計が採用されている。

イ. 湿度計

地域気象観測における湿度観測は、令和 3 年から展開が始まった JMA-19 型アメダス気象

計から始まった。地上気象観測と同様に、電気式湿度計が採用されており、デジタルアスマンを電気式湿度計の現地点検時の比較用測器として使用している。

ウ．雨量計

地上気象観測装置と同様に、地域気象観測装置でも転倒ます型雨量計が使用されている。地域気象観測で使用している転倒ます型雨量計には、普通式、温水式、電子制御式の３種類がある。このうち、電子制御式は受水筒ヒータの保温機能を電子回路で制御するもので、令和３年から展開が始まったJMA-19型アメダス気象計で採用された。電子制御式の使用により、不凍液が不要となったことから、雨量計本体の重量も軽量化され、雨量計交換作業時の作業者の負担が軽減されている。

エ．風向風速計

風車型風向風速計がJMA-75型有線ロボット気象計以降採用されてきたが、令和３年から展開が始まったJMA-19型アメダス気象計では、超音波式風速計が採用された。超音波式の使用により、風速計本体に可動部がなくなり感部凍結による欠測がなくなった。また、定期的な部品交換が不要となったことから、故障時以外に感部の交換が不要となり高所作業等が軽減されている。

オ．積雪計

地域気象観測においては、昭和54年から超音波式積雪計による積雪深の観測が始まり、平成16年から展開が始まったJMA-04型有線ロボット気象計のうち、平成20年以降に整備されたものは超音波式に加えてレーザー式積雪計が採用された。令和３年から展開が始まったJMA-19型アメダス気象計では、レーザー式積雪計が採用された。

カ．日照計

地域気象観測における日照時間の観測は、JMA-89型有線ロボット気象計では太陽電池式日照計、JMA-04B型有線ロボット気象計では回転式日照計がそれぞれ使用された。令和３年３月に、日照計による観測を終了し、推計気象分布（日照時間）の推計値による日照時間の提供を開始した。

【第３節】測器検定

1．部内検査業務の変遷

気象庁が使用する観測測器の検査は観測開始当初から行われてきたが、昭和33年7月に気象官署気象測器部内検査規則（昭和33年気象庁達第16号）が施行され、部内検査業務を開始した。

部内検査の対象となる気象測器は、当初は気象官署観測業務規程（昭和26年9月中央气象台達第23号）及び観測所観測業務規程（昭和27年5月中央气象台達第14号）の定めにより使用する気象測器としていたが、観測体制の変更等に合わせ、昭和42年に航空気象観測を行う気象官署、農業気象観測を行う気象官署及び観測所（気象官署の観測点として農業観測を定常的に行う施設をいう。）の気象測器が追加（昭和42年気象庁訓令第12号）され、昭和55年に地域気象観測業務規則（昭和55年気象庁訓令第7号）の定めにより使用する気象測器の追加と、観測所観測業務規程の定めにより使用する気象測器及び農業気象観測を行う気象

官署及び観測所で使用する気象測器が削除（昭和 55 年気象庁訓令第 7 号抄）され、現在に至っている。

また、対象となる気象測器の種類は、部内検査規則（昭和 44 年気象庁制令第 8 号）制定時は、大きく分けて 43 種類あり、種類によっては更に細かく分類されていた。ちなみに温度計を例にあげると、ガラス製温度計、金属製温度計、電気式温度計の 3 種類があり、ガラス製温度計の中にも、銀盤式日射計用温度計、被圧型転倒式温度計、防圧型転倒温度計、その他のガラス製温度計に分かれ、さらにその他のガラス製温度計は二重管のもの、棒状のものに分類されたうえで温度範囲によっても分かれており、その総数は 113 分類にも及んでいた。その後、技術の発展に伴い測器は様変わりし、現在対象としている気象測器は 17 種類で、ガラス製温度計、電気式温度計、電気式気圧計、露点式湿度計、電気式湿度計、風車型風向風速計、超音波式風速計、全天電気式日射計、直達電気式日射計、転倒ます型雨量計、積雪計、ラジオゾンデ、太陽電池式日照計、回転式日照計、降雨強度計、検潮儀及び磁気儀となっており、細かな分類の記載は無くなっている。

部内検査を実施する部局は、部内検査業務を開始した当初、気象庁本庁、札幌・仙台・大阪・福岡管区气象台、函館・神戸・長崎・舞鶴海洋气象台、地磁気観測所、気象測器製作所（現在の気象測器検定試験センター（以下「測器センター」という。）であった。その後、昭和 44 年 4 月に液柱型水銀気圧計及び各種風速計を残し、気象庁が実施していた部内検査業務を東京管区气象台に移管（昭和 44 年気象庁政令第 8 号）し、昭和 47 年 5 月には沖縄の本土復帰に伴い沖縄气象台で部内検査業務を開始している。また、平成 9 年 4 月に各海洋气象台で実施していた部内検査業務は廃止した。その後、部内検査業務は、平成 19 年気象官署気象測器部内検査規則改正（平成 19 年 4 月）により、検査技術・方法の一元化及び作業効率の向上並びに検査装置の有効利用を図ることを目的に、それまで各管区气象台と沖縄气象台において実施していたものを廃止し、測器センターに集約した（全天電気式日射計及び太陽追尾式日照計は、従前も測器センターで実施）。これにより現在、環境・海洋気象課が実施している直達電気式日射計、検潮儀と地磁気観測所が実施している磁気儀以外は測器センターが唯一の部内検査実施部局となっている。

部内検査は、測器をそれぞれ管轄する検査実施部局に送って検査を行うことを基本としていたが、昭和 55 年 8 月に一部の測器（アネロイド型気圧計や貯水型雨量計など）については、気象官署により点検を行い気象測器保守点検報告書を作成し、測器センターがその内容を確認することで部内検査とすることが可能となった（昭和 55 年気象庁訓令第 15 号）。現在は、巡回用気圧計による点検なども実施されるようになり、電気式温度計、電気式気圧計、露点式湿度計、電気式湿度計、超音波式風速計、積雪計、検潮儀、磁気儀については、気象測器保守点検報告書の提出により、部内検査とすることができるようになっている。これは、経年劣化等による精度変化が発生しない測器については、わざわざ集める必要もなく観測施設で定期的に行う点検によりその精度が担保できるようになったためであり、これにより部内検査による測器の交換や輸送が必要なくなり、管理官署はもとより検査実施官署の負担軽減にも寄与することとなった。

測器センターでは、地上気象観測、地域気象観測及び航空気象観測に使用する気象測器の部

内検査を実施しており、測器数は現在約 6,600 台（地上：約 1,800、地域：約 3,700、航空：約 1,100）である。そのうち、測器センターで実器を検査しているものは約 3,500 台（地上：約 900、地域：約 2,100、航空：約 500）で残りは気象測器保守点検結果報告により検査を行っている。現在の部内検査の実績数は、実器検査が約 700 件、書類検査が約 11,900 件となっている。

2. 検定装置・手法の変遷

（1）検定装置

昭和 27 年 6 月の気象業務法の制定により、気象庁以外の者が気象観測を行うためには、一定の構造及び性能を有し、検定に合格した気象測器を使用する必要があるとした。検定では、その気象測器の種類に応じて材料、部品及びその組み合わせなどが適切であるかを調べる「構造検査」と、個別の精度を調べる「器差検査」の 2 種類の検査を行う。検定開始当初に対象とした気象測器は、温度計、気圧計、湿度計、風速計、日射計、比重計、海水ビュレット、海水ピペット、雨量計及び雪量計の 10 種類であった。

検定は、中央气象台、管区气象台（東京除く）及び各海洋气象台が担当した。昭和 44 年 4 月には東京管区气象台に測器課が新設され、昭和 47 年 5 月の沖縄が本土に復帰後は、沖縄气象台でも管区气象台と同様に行われるようになった。

各検定所の設備は、その製作の時期その他の理由により、その構造・特性が多少とも異なっていたが、昭和 52 年時点で使用されていた設備は、ガラス製温度計検定槽、恒温槽、恒湿槽、自動気圧検定装置、温度計検定装置、自動湿度検定装置などであった。

平成 4 年に、規制緩和施策の一つとして検定業務の効率化を図るため、気象庁があらかじめ構造・性能の検査をした気象測器については、検定の検査のうち「構造検査」を省略することができるとする型式証明が導入され、本庁及び気象測器工場が担当した。その後、検定対象測器の削除（平成 5 年：風圧型風速計、浮秤型比重計、海水ビュレット、海水ピペット）と追加（平成 8 年：電気式気圧計、電気式湿度計）、感部検定の導入（平成 8 年）などが行われた。

平成 9 年に各海洋气象台の検定・検査業務が管区气象台に集約された。

平成 10 年に測器センター（平成 8 年に気象測器工場から改称）の装置が更新され、温度検査槽（気槽、液槽）、熱衝撃試験槽、気圧検定槽、湿度検定槽（二圧力式）及び恒温恒湿試験槽（分流式）が導入された。

平成 13 年に、気象業務法が改正され、型式証明を除く検定実務は、気象庁ではなく指定検定機関（気象業務支援センター）により行われるようになった。平成 16 年には登録検定機関制度へ変更され、必要な要件を満たして登録申請すれば誰でも検定を行うことができるようになった。

（2）風洞設備

風速計の検査は、明治 23 年を始まりとする。この時は、実際に観測している風速計の隣に検査する風速計を並べて比較して検査するものであった。

その後、検査の作業能率を上げ、精度を高めるため、風洞施設の必要性が認められ、昭和

18 年に初代風洞（風速範囲 1 ～ 75m/s）が中央气象台に作られた。戦時中という世相を反映して、鋼材の調達めどが立たず、風洞の本体や風を起こすプロペラは木材で作られた。

昭和 34 年に伊勢湾台風の猛烈な風等により甚大な被害が発生したことを考慮し、より強風での風速計検査に対応するため、昭和 39 年に、大手町の気象庁庁舎の建設にあわせて二代目の風洞（風速範囲 0.5 ～ 90m/s）が製作された。二代目の風洞は約 50 年にわたり運用されたが装置の老朽化と気象庁庁舎の移転計画を機に、平成 24 年に茨城県つくば市の測器センターに隣接する場所に三代目の風洞（風速範囲 0.35 ～ 108m/s）が移転・更新された。

（3）基準器

気象庁は、各検定所において検定、委託検定及び部内検査に用いる検定用基準器及びその保守について、昭和 52 年に気象測器検定検査指針（以下「検定検査指針」という。）で定め、その種類は、温度計検定用基準器、水銀気圧計検定用基準器、アネロイド型及び振動式気圧計検定用基準器及び日照計検定用基準器の 4 種類であった。また、検定用基準器を用いた検定方法も同検定検査指針で定めた。これらの検定用基準器は、温度計については旧通産省工業技術院計量研究所（以下「計量研」という。現 産業技術総合研究所計量標準総合センター）が保有する国家標準に対して直接検査を行い、気圧計については測器センターが保有する気象庁基準器に対して検査を行い、そして気象庁基準器は計量研が保有する国家標準に対して検査を行うという体制であった。

平成 10 年 11 月以降、気象庁が使用している基準ガラス製温度計が計量研で行う基準器検査の対象外となったことから、平成 11 年 11 月に標準白金測温抵抗体及び基準白金抵抗温度計をそれぞれ、気象庁の基準器及び各検定所の検定用基準器とし、以降は各検定所の検定用基準器をこの気象庁の基準器により定期的に校正することとした。

また、気圧計の検定体制は、標準精密型水銀気圧計を気象庁の基準器、及び精密型水銀気圧計を各検定所の検定用基準器とし、気象庁の基準器に対して校正された精密型水銀気圧計（移動用の基準器）を用いて、各検定所の検定用基準器を校正していた。しかし、移動用の基準器を持参する職員の負担を軽減するため、平成 8 年度に振動式気圧計を移動用基準器とした。さらに平成 11 年 11 月に、気象庁の基準器を「空気式重錘型圧力計」に変更した。

平成 17 年 3 月に、温度計、気圧計及び日照計以外の測器も含めた基準器や検査用機器の校正・検査方法及び国家標準に対するトレーサビリティの維持方法について、気象庁準器等の校正・検査指針で包括的に定めた。

平成 24 ～ 25 年にかけて、測器センターでは、校正機関に適用される国際規格 ISO/IEC17025（試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項）の認定を温度、気圧、湿度の分野で取得し、気象庁が所有する気象庁副準器の校正、国内の登録検定機関及び認定測定者が使用する測定器に対して行う校正、並びに WMO 構成員等の諸外国の基準器に対して行う校正について適用し、国際的にも信頼性の高いトレーサビリティを確保している。

【第 4 節】レーダー気象観測

1. 観測ネットワークの変遷

気象庁で初めての現業用気象レーダーは、昭和 29 年に大阪管区气象台構内（現在の生野

区勝山通)に設置された大阪レーダーである。アンテナ高は海拔36mと低く、観測範囲は200km程度で、波長はXバンドであった。これは当時の送信管として輸入品のXバンドのマグネトロンしか入手できなかったためである。

大阪以降は、福岡(脊振山)、東京(中央气象台)、沖縄(琉球气象台)、種子島(中種子)、名瀬(本茶峠)、室戸岬(室戸岬測候所)、名古屋(名古屋地方气象台)、函館(函館山)、新潟(弥彦山)、宮古島(宮古島地方气象台)、札幌(札幌管区气象台)、仙台(仙台管区气象台)、富士山(富士山頂)、福井(東尋坊)、松江(三坂山)、広島(灰ヶ峯)、石垣島(石垣島地方气象台)、秋田(秋田地方气象台)及び釧路(釧路地方气象台)と順次設置し、昭和46年に全国20基のレーダー観測ネットワークが完成した。福岡以降の気象レーダーについては、日本の地勢や気象状況等を考慮してCバンドを標準とすることを決定したが、室戸岬レーダーと富士山レーダーには、遠方の台風観測を目的として、より降雨減衰の少ないSバンドを採用した。大阪レーダーについても、大阪管区气象台の合同庁舎への移転に合わせて、昭和43年に現在の高安山(空中線海拔高498m)に移設した際に、XバンドからCバンドへ変更した。なお、福岡レーダーのように山岳に設置したレーダーの場合には、最寄りの气象台までレーダー画像を伝送するために、レーダーリレーと呼ばれるマイクロ波回線も同時に整備した。富士山レーダーについては、レーダーリレーを通じてレーダーの操作も可能であった。

函館、新潟、富士山、大阪(高安山)、松江、広島及び福岡は山岳設置のレーダーであったため、数名の観測員が常時レーダーサイトに勤務し、レーダーの運用を行っていたが、冬期は観測員の交代や資材の輸送が非常に困難で、命の危険を伴うものであった。しかしながら、レーダーを無人で運用するためには、周波数が規定値から逸脱した際の送信周波数の調整、消耗部品の交換、停電時の自家発電機の運用、という課題を解決する必要があり、当時の技術では困難だった。

気象レーダーは、气象台の合同庁舎への移転や、設置場所周辺の都市化等の影響により、移設やネットワークの見直しを余儀なくされてきた。昭和39年に東京レーダー(中央气象台:千代田区一ツ橋→気象庁新庁舎:千代田区大手町)、昭和43年に大阪レーダー(大阪管区气象台:生野区勝山通→高安山:八尾市大字服部川)、昭和47年に沖縄レーダー(沖縄气象台:那覇市天久→糸数:南城市玉城)、昭和48年に宮古島レーダー(宮古島地方气象台現業庁舎:宮古島市平良→气象台庁舎:宮古島市平良)、昭和56年に仙台レーダー(仙台管区气象台宮城野区鉄砲町→合同庁舎:宮城野区五輪)と移設が行われた。1980年代になると、気象レーダーの重要性の増大に伴い観測環境がこれまで以上に重視されるようになり、地形や高層建築物等による遮蔽ができるだけ少なくなるよう積極的に移設の検討が行われるようになった。また、周波数自動調整器の設置、半導体の採用による消耗部品の長寿命化、遠隔操作可能な発電機の設置等によって、レーダーの遠隔からの運用が可能になった。これを受け、平成元年には大手町の気象庁本庁にあった東京レーダーを、千葉県柏市の気象大学校構内に移設し、初の無人運用を開始した。平成3年には新潟レーダーを山岳レーダーとして初めて無人化し、その後、機器の更新にあわせて各山岳レーダーの無人化を進めた。さらに函館レーダーを平成4年度に横津岳(空中線海拔高1,142m)に、石垣島レーダーを平成5年度に於茂登岳(同534m)に(同時に宮古島は廃止)、札幌レーダーを平成7年度に毛無山(同749m)に、それぞれよ

り標高の高い山岳に移設して機器を更新した。また、静止気象衛星「ひまわり」の運用開始により、南海上から接近する台風の早期検知という富士山レーダーの役割が薄れ、陸上や沿岸部で発生する大雨などの定量的な観測に適したレーダーを富士山の代替として設置する方が、レーダー更新にかかる経費や維持管理の負担の面でも望ましいことから、平成 11 年に富士山レーダーの運用を終了し、新たに長野と静岡にレーダーを設置して運用を開始した。平成 12 年には釧路レーダーを昆布森に移設し、現在のレーダーネットワークとなった。

2. 現業用気象レーダー初号機

日本初の現業用気象レーダーは、昭和 29 年 9 月に大阪管区气象台（現在の生野区勝山通）に設置された。発振管はマグネトロンで、周波数は X バンド、送信出力は 270kW、最大観測範囲は 200km、アンテナの直径は 2m であった。実験用に製作された気象研究所の気象レーダーと同型であったが、研究所にあった RHI と A スコープ表示の指示器^{*2}は省かれ、PPI 表示（水平から 45 度までのいずれかの仰角で固定）の指示器^{*3}が 2 台の構成になっており、新たに反射波積算装置（降水エコーを電氣的に積算して任意範囲、任意時間内の総雨量を求める電子計算機）やエコーボックス（送受信装置の総合特性を監視するための擬似反射波発生装置）を搭載していた。X バンドレーダーは C バンドレーダーと比べて降水による減衰が大きいという特性があり、レーダーの近くに強い降水があるとその遠方の降水の強さを実際よりも過小評価しやすい。このため、運用開始当初は大阪付近で広範囲の雨が少なく、孤立した積乱雲等の観測に有効性を示していたが、昭和 36 年の第 2 室戸台風時に、台風が大阪付近を通ったにもかかわらず、降水による電波減衰の影響で台風の目を捕捉できず、X バンドレーダーの課題が浮き彫りになった。

（*2）RHI 表示の指示器は縦軸に高さ、横軸に距離で受信電力を表示する装置。A スコープ表示の指示器は、縦軸に受信電力、横軸に距離を表示する装置。

（*3）レーダーを中心に極座標で受信電力を表示する装置。

大阪以降のレーダーは前述のとおり C バンド（5.3GHz 帯）が標準となったが、当時世界中で 5.3GHz 帯のレーダーを実用化している国はなかったため、マグネトロンは国内メーカーが新たに開発したものを利用した。アンテナ直径は 3m でビーム幅は 1.7° 以下と現状よりも大きかったが、平成 6 年の石垣島レーダーからアンテナ直径が 4m となりビーム幅 1.2° 以下に改善した。これにより、海面からの反射エコー（シークラッター）を分離することができ、遠方の降水雲をより低い高度で捉えることが可能となった。

当時のレーダーにはレドームがなく、アンテナやアンテナの走査部はむき出しの状態になっており、風雨や雷等にさらされた状態になっていた。富士山レーダーで初めてレドーム付きのレーダーを設置してからは、レーダーの設置時にレドームを付けるのが標準となった。富士山以前の一部のレーダーには、後からレドームだけを設置した。

3. スケッチ図によるレーダー観測

運用開始当初、レーダーの観測成果はブラウン管に映ったエコー分布を観測者が白地図にスケッチしたものだった。程なくして透明なシートをブラウン管に貼り付けてダーマトグラフ（外

科手術で皮膚にマークするもの)を使ってトレースする方法に変わったが、視差やスケッチ作業中のエコーの変動等による観測誤差が大きかった。スケッチ図はレーダーを持つ官署で見られなかったが、エコーの形状を多角形に近似した頂点(方位と距離)、エコーの移動速度、強いエコーの強度や高さ、台風の中心(推定可能な場合)を記入したレーダー観測通報電報を作成し、府県予報区担当官署にテレタイプで通報していた。

1970年代には、レーダー観測通報電報ではエコーの詳細な分布までは分からなかったため、スケッチを予報中枢官署(各管区気象台、新潟、名古屋、広島、高松、鹿児島、沖縄気象台)に伝達するFAX網が整備された。これにより、予報作業へのレーダーの利用が大きく進むこととなった。

前述のように、スケッチ図は観測誤差が大きく、またスケッチに時間を要するため観測開始から官署にFAXが着信するまでに30分近くかかるなど課題が多かった。しかし、当時は地形エコーを自動的に除去する技術が確立されておらず、また除去処理を実行する計算機的能力も不足していたことから、人手による降水エコーの判別に頼らざるを得なかった。

4. レーダーエコーデジタル化装置

1980年頃になると、次第に気象状況に対する社会的要求が高度化し、時間的、地域的にきめ細かな情報を適時適切に伝送することが急務となってきた。このためには、レーダー情報の集信の迅速化とレーダー画像のデジタル化を行い、各レーダーのエコーの合成図や短時間雨量予測図などを作成して配信することが必要となった。このため、オンラインでレーダー情報を伝送可能なレーダーエコーデジタル化装置(以下「デジタル化装置」という。)を開発し、昭和57年度以降、順次既設の気象レーダー装置に付加した。デジタル化装置は、一次処理装置(主として信号処理)、二次処理装置(主としてデータ処理)、通信制御装置、磁気テープ装置、ディスプレイ装置、プリンタ装置等で構成され、気象レーダー装置とは接続箱^{*4}を介して接続された。作成されたデータには2種類があり、ひとつは実況監視用の7.5分ごとのエコー強度と1時間ごとのエコー頂高度のデータ、もうひとつはレーダーエコー合成図や解析雨量(当時は「レーダー・アメダス雨量合成図」が正式名称)作成用の1時間積算降水強度データであった。実況監視用のデータは直接地方予報中枢官署に伝送され、エコー情報としてカラー表示された。1時間積算降水強度データは、C-ADESS(気象資料自動編集集中継装置)に送信され、エコー合成図が作成された。これにより、レーダーのない気象官署でも、リアルタイムにレーダーの合成画像を表示することが可能となった。

(※4) レーダー装置からの映像信号や空中線角度信号、レーダーの状態信号等をデジタル化装置に伝送したり、デジタル化装置からの空中線動作制御信号や電波発射制御信号等をレーダー装置に伝送するためのインターフェース装置。

平成9年から、レーダーのデータ処理と機器の監視等の作業が、各レーダーサイトや基地となる気象官署ごとではなく、それぞれのレーダーを管轄する管区気象台・沖縄気象台に集約されることとなり、デジタル化装置も管区集約型のデジタル化装置に更新された。この管区集約は平成14年の沖縄気象台で完了し、2.5kmメッシュの全国合成の配信が開始された。平成15年にはデジタル化装置の改修と1kmメッシュレーダーエコー合成装置の整備により鉛直1

～15kmの15層で水平1kmメッシュのエコー強度の収集が可能となり平成16年に1kmメッシュの全国合成の配信が開始された。

5. 気象ドップラーレーダー

気象レーダー観測は降水の強さの分布をターゲットに行われていたが、1960年代にはドップラー機能（受信周波数の変化から降水域の詳細な風の三次元分布を観測する機能）の検討が始まり、昭和55年、56年には気象研究所にCバンドと、Xバンドの気象ドップラーレーダーを設置し、研究に利用された。

現業用の気象ドップラーレーダーは、航空機の安全運航に重大な影響を及ぼす空港周辺の風の急変を検出するために、まずは平成7年に関西国際空港に初めて設置され（空港気象ドップラーレーダー）、一般の予報業務に用いられる気象レーダーについては、平成17年度に整備した東京レーダーが最初で、平成25年の名瀬で全国展開が完了した。

ドップラー速度データ利用にあたっては、最初に羽田空港と成田空港の空港気象ドップラーレーダーを数値予報モデルに同化する調査（関東メソスケール研究観測：KAMEX）が行われ、その成果を受けて平成17年に現業用数値予報モデル（MSM）の初期値作成（メソ解析）に新千歳、成田、羽田、大阪、関西及び那覇のドップラー速度データが取り込まれるようになった。当初はVVP法で計算された風ベクトルが利用されたが、その後メソ解析に4次元変分法が採用されたため、世界に先駆けて現業のモデルにドップラー速度を直接同化できるようになり、メソスケール降水現象の予測精度向上に寄与した。

平成18年には日本で過去最大級の竜巻被害が発生した（宮崎県延岡市、北海道佐呂間町）。これを契機に一般気象レーダーのドップラー化が加速し、ドップラーレーダーを利用したメソサイクロン検出アルゴリズムの開発により、平成20年から竜巻注意情報の発表を開始した。

気象ドップラーレーダーでは、観測可能なドップラー速度の範囲と観測範囲が反比例する課題があったが、気象研究所を中心に開発したHMP法（Hybrid Multi-PRF法）の採用によりそれらの両立が可能になったことがドップラー速度の利用において非常に大きかった。なお、気象ドップラーレーダーでは、Cバンド気象レーダーが使用する5GHz帯の周波数を5GHz帯の無線LANと共有を図るため、従来の発振管であるマグネトロンではなく、種信号を増幅し、不要電波の発射が少ないクライストロンを採用した。

6. 気象レーダー観測処理システム

平成17年には、東日本の気象レーダー管理官署（札幌、釧路、函館、秋田、仙台、新潟、長野、東京、静岡、名古屋、福井）のレーダーの運用とデータ処理を本庁に集約する「気象レーダー観測処理システム」（通称ROPS: Radar Observation and Processing System）を整備し、データ処理システムと、遠隔監視用の端末を本庁に設置した（平成24年の2代目からは処理システムを清瀬の気象衛星センター内に設置）。また、システムの地域冗長性を確保するためバックアップ用のシステムとして1kmメッシュレーダーエコー合成装置を大阪管区气象台に移設した^{*5}。これにより、管区で実施していたデータ処理と各レーダーの監視等を本庁で行うことになった。平成20年には西日本（大阪、松江、広島、室戸岬、福岡、種子島、名瀬、沖縄、

石垣島)の気象レーダーも同様に本庁でデータ処理・監視するようになり、全国集約の体制が完成した。集約するレーダーデータは全仰角の極座標エコー強度とドップラー速度データ(距離方向500m、方位方向0.7度)に変更され、ドップラー速度を活用したプロダクト等を作成・提供することが可能になった。また、平成20年夏に発生した神戸の都賀川や東京の雑司ヶ谷等の局地的な大雨による災害に鑑み、突発的な雨の強まりへの実況監視等に活用するため、10分ごとだったエコー強度データを平成21年には5分ごとに出力する改修を行った。さらに、平成24年には大地震等の災害が発生した場合に、離島では地理的要因により通信回線の復旧に時間がかかることが予想されるため、種子島、名瀬、石垣島にバックアップ用の衛星回線を整備した。また、令和4年からは250mメッシュの全国合成を配信している。

(※5) レーダーエコーデジタル化装置は、気象レーダー観測処理システムの一部として更新された。

7. レーダー観測所処理装置

平成25年には、気象レーダー観測処理システムからレーダーサイト側の装置を分離し、レーダー近傍の都市域を中心に高解像度化させることで局地的大雨等の実況監視機能の向上を図るためレーダー観測所処理装置(通称ROPES: Rader Observation and Processing Equipments on Sites)という名称で更新整備した。レーダーサイト側装置等の更新と通信回線を512kbpsに増強したことにより、距離方向250m、方位方向0.7度のオリジナルのレーダーデータが気象レーダー観測処理システムに送られるようになった。これにより、国土交通省のXRAINのデータも使用して250mメッシュ(陸域と沿岸の海上以外は1kmメッシュ)の高解像度降水ナウキャストの作成が可能となり、平成26年に運用を開始した。また、福井、室戸岬、福岡、名瀬では、レーダーで初めて光回線化を行った。光回線は雷災を受けにくく、通信利用料の減額にも寄与することから、光回線化は急速に進み、平成29年までに札幌、釧路、長野、静岡、松江、広島、種子島及び沖縄でも光回線に移行した。一方で、函館、新潟、大阪及び石垣島では、光回線の敷設に大規模な工事が必要であったため、二重偏波レーダーへの更新に合わせて実施することになった。

8. 二重偏波気象ドップラーレーダー

従来の気象レーダーでは、レーダーの近くに強い降水があると、電波がそこを通過するときと、遠方から反射してくる電波が、強い降水域を通過する際に減衰してしまい、降水の強さを実際より小さく捉えてしまう、また、層状性の雨を仮定して雨量に換算しているため、対流性の雨では降水の強さが正しく得られないという課題があり、地上にある雨量計により補正を行うことで面的に精度の高い降水の強さを確保していた。二重偏波気象ドップラーレーダー(以下「二重偏波レーダー」という。)では、従来の水平方向に振動する電波だけでなく、垂直方向に振動する電波(それぞれ水平偏波、垂直偏波という。)を用いることで、降水の強さをより正確に推定することができるため、雨量計のない海上から移動してくる強雨や、設置された雨量計の間で起きる局地的な強雨なども高精度な観測が可能となった。これにより、解析雨量や降水短時間予報、キキル等のメッシュ情報の高精度化、数値予報モデルへの同化による予報精度改善が期待されることから、線状降水帯予測精度向上に寄与する最重要な観測装置の一

つとして二重偏波レーダーの更新整備が進んでいる。

なお、水平偏波と垂直偏波の違いを検出することで、気象レーダーに映る山や建物、空を飛ぶ虫、波しぶきや野焼きによる灰などの非降水エコーを、これまで以上に正確に見分けることができ、非降水エコーとの判別が困難だったごく弱い雨も観測することができるようになった。それぞれの改善は些細なことに見えるかもしれないが、このような非降水エコーが正確な実況監視の妨げや、誤った防災気象情報の原因になりかねず、気象レーダーデータの信頼性の観点で非常に重要な改善である。

気象庁の二重偏波レーダーは固体素子送信機を採用している。これは、ITU（国際電気通信連合）において、5GHz 帯の無線 LAN の周波数が日本の C バンド気象レーダーの周波数と重複したことから更なる狭帯域化の要請を受け、送信機の検討を行った結果、固体素子送信機にすれば狭帯域化に加え使用電力量の節減や、高額な消耗品である電子管を使用しないことによる運用コストの低減、固体素子の並列接続による耐障害性の強化、送信波の位相・振幅が安定しているため高精度な二重偏波観測が可能となる、高速観測による 1 仰角あたりの観測時間の短縮など様々なメリットがあることが分かった。固体素子は従来の電子管と比べて出力が桁違いに小さく感度が大幅に低下することから、周波数を徐々に変化させながら長いパルスを発射することで従来と同等の送信エネルギーを確保し、周波数に応じて受信時間を調整することで強い受信信号と高い距離分解能を得ることを実現した。しかし、当初は実際には存在しないエコーを観測するなどの課題が多数発生したため、気象研究所に試験機を設置して、長年にわたり研究を行い課題を解決することで現業化に至った。固体素子送信機には、前述のとおり狭帯域化以外に、電子管を使用しないことによる運用コストの低減、1 仰角あたりの観測時間の短縮など様々なメリットがあり、気象庁の二重偏波レーダーは高性能と経済性を両立したレーダーとなった。

9. 気象レーダーと風力発電施設との共存

2000 年代に入り、気候変動対策やエネルギー需給構造の変化を背景に、再生可能エネルギーの導入が積極的に推進されている。風力発電施設については、「再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法」（平成 24 年 7 月施行）や「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針」（令和元年 5 月閣議決定）に基づき、従来に比べてはるかに巨大な発電用風車を多数設置する計画が国内各地で進められるなど、導入が加速化している。

風力発電施設の風車が気象レーダーの観測機器の近傍に設置された場合、その距離、設置高度、規模等に応じて、レーダー受信機の破損、電波の遮蔽や偽エコーの発生等、観測データに大きな影響を及ぼす場合があり、気象庁が発表する防災気象情報や地方自治体による避難勧告等の発表に支障をきたす地域が生じかねない。このため、平成 29 年以降、風力発電事業者団体や国の関係機関、地方公共団体への説明会や、関係機関の発行するガイドブック・マニュアル等への掲載、気象庁 HP への掲載等を通じて、風車立地検討の際に配慮すべき事項について周知を図っている。

【第5節】高層気象観測

1. はじめに

我が国における上空の大気を測る試みは、地上気象観測の延長として高山山頂での気象観測として始まった。古くは明治13年8月に富士山山頂で観測を行った記録がある。大正9年には高層気象台が創設され、高層気象観測を開始した。当時は、係留気球又は風に気圧、気温、湿度センサと自記記録部からなる観測器をつるし、紐（係留索）を昇降させて行う観測のほか、小型の自由気球（水素ガスをつめたゴム気球）を測風経緯儀で追跡しながら一定時間ごとに方位角と高度角（仰角）を読み取り、気球の動きから上空の風を観測する「パイボール観測」を実施していた。なお、係留気球や風による観測では係留索の長さにより測定高度に限界があった。また係留気球は風が強いと観測を行えず、パイボール観測は気球が雲に入ると観測が出来なかった。大正12年からは、より高い高度までの高層気象資料を得るため「探測気球観測」が行われた。この観測は、気圧、気温、湿度を記録するメテオログラフを自由気球に付けて飛ばし、気球破裂後にパラシュートでゆっくり降下、落下後に観測器を回収して記録を読み取っていた。このため探測気球観測は、観測データをリアルタイムに入手し天気予報へ利用することはできなかったが、高層大気の構造を調べる調査研究には大きく貢献した。他方、天候により回収が難しかったため、定常的に観測を実施することは困難であった。昭和13年6月、中央気象台は千葉県布佐（現千葉県我孫子市）で無線技術により回収の必要がない「ラジオゾンデ」により、本格的な高層気象観測を開始した。その後ラジオゾンデは、観測精度やデータ取得密度の向上、国際比較によるトレーサビリティの確認等により、各種センサや処理装置の向上と改良が重ねられた。現在ではGPSを搭載するなど、より正確で細かいデータを取得できる小型・軽量のラジオゾンデを使用している。

本節では、ラジオゾンデ観測、気象ロケット観測のほか、近年、気象庁で実施しているリモートセンシング技術を使用した高層気象観測（ウィンドプロファイラ観測、GPS（GNSS）可降水量解析、地上マイクロ波放射計観測）を第2項から第6項に記述した。なお、本節では海洋気象観測船や小笠原諸島を除く国内で行っている高層気象観測を中心に記述した。

2. ラジオゾンデ観測

（1）観測地点及び地上設備

無線技術を利用した定常的な高層気象観測は、昭和13年6月に中央気象台布佐出張所（千葉県布佐）におけるラジオゾンデ観測により開始された。その後、ラジオゾンデによる高層気象観測地点は増加したものの短期に廃止した地点もあり、国内観測網として確立したのは、根室、八丈島、名瀬で観測が開始された昭和32年だった。同年より上空の気温・湿度・気圧及び高層風を観測する「レーウィンゾンデ観測」を09時（00UTC）と21時（12UTC）に、高層風を観測する「レーウィン観測」を03時（18UTC）と15時（06UTC）に実施する体制となり、この時点では18地点で観測を行っていた。平成16年にレーウィン観測が終了し、平成20年には仙台、那覇の観測が終了して16地点での観測となった。

当初、観測に用いた受信設備は、ラジオゾンデ観測にはラジオゾンデ受信機を、レーウィン

観測には手動で追跡を行う方向探知機（D44 型最大感度方式及び D49 型等感度方式）を使用していたが、レーウィンゾンデの導入に伴い、在日米軍から移管された GMD-1A 型自動追跡記録型方向探知機を昭和 30 年から使用した。さらに昭和 32 年には GMD-1A 型をモデルに日本で改良製作された D55A 型自動追跡記録型方向探知機が、昭和 39 年には D55A 型を更に改良した D55B 型を導入した。その後、それまで自動追跡記録型方向探知機で使用されていた円錐走査方式よりも測角精度の高いモノパルス方式の方向探知機（MOR-22 型）を那覇（1987 年）、秋田（1990 年）に導入した。平成 4 年 2 月からはモノパルス方式の空中線部に受信部、ゾンデ信号変換器、データ処理部で構成した「JMA-91 型高層気象観測装置」の整備が開始され、電波の受信から観測処理・通報まで一貫して行った。さらに GPS により高層風観測を行うラジオゾンデ（GPS ゾンデ）を導入した平成 15 年以降は、自動で気球への水素ガス充填、GPS ゾンデの起動、放球を実施し観測処理・通報を行う「集合型 GPS 高層気象観測装置（Automatic Balloon Launcher、以下「ABL」という。）」を離島官署中心に導入し、業務効率化を図った。ABL には使用する GPS ゾンデの種類に合わせて明星電気社製とヴァイサラ社製のものがあった。ABL は平成 15 年に八丈島において整備され、以降平成 19 年にかけて、南大東島、石垣島及び名瀬に整備した。その後、平成 21 年から 22 年にかけては測候所の廃止に伴い、根室から釧路、及び米子から松江へと地点の再配置を行うとともに釧路、輪島、松江及び潮岬に ABL を整備し、本庁において観測を遠隔で監視した。令和 5 年からは館野（高層気象台）、福岡及び鹿児島においても ABL による観測を開始した。また、ABL の導入に合わせ、一部の官署を除いてボンベを束ねたカードル等で水素ガスを搬入・貯蔵する方式から、現地で水を電気分解して貯蔵タンクに水素ガスを蓄えて ABL へ供給する「水素ガス供給システム（HGS : Hydrogen Generator System）」へと水素ガスの供給方式を切り替えた。ABL 運用開始後、令和 4 年 2 月に釧路 ABL で、令和 5 年 1 月には輪島 ABL において火災が発生したため、この 2 地点では現在まで ABL での運用を停止している。また、同型の ABL で観測を行っていた松江・潮岬 ABL についても令和 5 年 1 月より令和 6 年 5 月まで運用を停止した。

（2）使用するラジオゾンデ

中央気象台布佐出張所で開始されたラジオゾンデの定常観測には気象要素の切換えとともに搬送周波数が連続的に変化する「中央気象台 1 号型ラジオゾンデ」が用いられた。搬送周波数変化式は周波数の使用帯域が広く、無線電信や電話等との混信があったため、昭和 24 年から搬送周波数を固定し各気象要素の測定値をモールス符号として送信する「符号式ラジオゾンデ」を開発・使用した。符号式ラジオゾンデはその後種々のセンサ改良等が図られ、S50 型、S52 型、S53 型、S56 型等が導入された。また、これらの符号式ゾンデにレーウィン観測も可能な、RS52 型、RS53 型、RS56 型、RS II 56 型レーウィンゾンデを開発・導入した。その中でも搬送周波数に 1680MHz 帯を使用した RS II 56 型はその後昭和 56 年 3 月まで使用した。昭和 56 年には搬送波を気象要素の変化に応じ変調して伝送する変調周波数変化式の RS2-80 型レーウィンゾンデを導入した。これは高層気象観測の自動化を目指して開発したもので、RS2-80 型レーウィンゾンデからの信号を計算機処理することにより観測の効率化を図った。平成 4 年には小型・軽量、かつセンサ類の見直しを行った RS2-91 型レーウィンゾ

ンデを導入し、前述のJMA-91型高層気象観測装置を用いてデータ処理を行った。平成15年以降はGPSにより高層風観測や気温日射補正を行う(後に気圧・高度もGPSにより算出)「GPSゾンデ」の導入が進められ、平成22年3月に全ての地点がGPSゾンデ観測に移行した。現在は観測地点により明星電気社製又はヴァイサラ社製のGPSゾンデを使用しており、これまで明星電気社製RS-01G型、RS-06G型、RS-11G型、iMS-100型、ヴァイサラ社製RS80-15GA型、RS92-SGPJ型、RS41-SG型のGPSゾンデを使用してきた。

(3) 使用するゴム気球

気象観測用ゴム気球の大きさは、350g気球等その自重によって表す。気球の到達高度は、主に気球の大きさ、ラジオゾンデ等懸垂物の総重量、及び気球の上昇速度を決める水素ガスの量(=浮力)によって定まる。昭和26年から昭和50年の定常観測に使用された気球は800g気球であった。昭和51年のゾンデ軽量化(1,150gが950gへ)にあわせ、昭和53年までに順次、600g気球に変更した。

なお、平成7年にGUAN(GCOS Upper-Air Network、GCOSについては後述)観測地点に選定され、5hPaまでの気温気候値の取得を目標として「高高度レーウィンゾンデ観測」が行われた館野では、600g気球から1000g気球、又は1200g気球を使用した。詳細については第7部第3章「高層気象台」に記載した。

観測周辺環境の変化による落下ゾンデへの懸念等を背景に、気球に吊り下げる懸垂物(GPSゾンデ他)の軽量化が進み、RS-11G型GPSゾンデ以降に使用するGPSゾンデは重量が100g以下となったことから、平成25年以降は気球への水素ガスの必要充填量が大幅に減った。これによりRS-11G型GPSゾンデを使用していた館野では、それまでの1200g気球から600g気球に変更した。さらにiMS-100型GPSゾンデは40g程度の重量であるため、令和5年以降、後述のGRUAN官署(館野)以外のiMS-100型GPSゾンデ使用官署では気球の重量を350gとした。

(4) GCOS 基準高層観測網 (GRUAN)

平成2年に開催された第2回世界気候会議において、大気、雪氷、生物圏等気候系全体に及ぶ総合的な観測網が提唱されたことをうけ、平成4年に気候変動の監視や影響評価等の実施に必要な総合的な観測を実現するための国際的なネットワークである全球気候観測システム(GCOS: Global Climate Observing System)が発足した。

平成7年に気象庁で開催されたGCOSの気候のための大気観測パネル(AOPC: Atmospheric Observation Panel for Climate)では、GCOS高層観測網(GUAN: GCOS Upper-Air Network)の観測所として、世界で約150か所の高層気象観測所を選定した。日本からは、札幌、館野、鹿児島、沖縄(のちに石垣島に変更)、父島、南鳥島及び南極昭和基地の7か所が選定された。

しかし、GUANを構成する観測所で行われている高層気象観測においては、必ずしも長期にわたる気候変動を目的とした高高度・高品質・高精度・再解析可能なデータが担保されておらず、さらに観測値自体の「不確かさ」や「トレーサビリティ」などの特性が把握されたものではなかった。

このためGCOSでは、長期にわたる気候変動監視のための基準となる高精度の高層気象観

測データの取得、GUAN や衛星観測等のより空間的に密な観測、監視システムへの校正データ提供などを目的として、平成 18 年に AOPC の下に WG-ARO (Atmospheric Reference Observations of the AOPC/現 WG-GRUAN) といった作業部会を作り GCOS 基準高層観測網 (GRUAN: GCOS Reference Upper-Air Network) を設置した。

GRUAN では、ネットワークの調整、科学的、技術的指導、観測データの収集、提供、解析などを中心となって行うリードセンターにドイツ気象局リンデンベルク気象観測所が決定されたほか、世界の 14 観測点が初期候補地点として選定され、地点登録や地点認証手続きが進められた。気象庁では平成 21 年に館野を GRUAN 官署として登録し、平成 30 年に GRUAN 認証地点となった。この他、平成 29 年に南鳥島及び南極昭和基地を GRUAN 官署として登録した (令和 6 年 3 月時点 33 地点が GRUAN 登録地点)。この 3 地点の観測データは、リードセンターへ提供されたあとに米国海洋大気庁 (NOAA) の NCEI (National Centers for Environmental Information) で公開されている。

また館野は明星電気社製の GRUAN 認証ゾンデのデータセンターの役割を担っており、海外の登録地点が観測した明星電気社製 GPS ゾンデの観測データを元に GRUAN Data Product (以下「GDP」という。)を作成する作業を実施している。GDP は実験室や研究の現場での相互比較によるセンサの特性評価に基づき、個々の観測データについて既知のエラーやバイアスを修正して最良の推定値を出力するとともに、含まれる測定「不確かさ」やメタデータなどを併せて提供するものである。GDP は衛星システムや地球規模のラジオゾンデネットワークなど、空間的に広範囲にわたる観測システムからの測定値を検証し、校正するためのデータとなり、衛星データの品質改善に繋げることを目的としている。また、更に精密な高層気象観測データを取得することで気候変動と変化についての理解を深めることを目指している。

3. 気象ロケット観測

昭和 35 年以前の高層気象観測は、気球による観測が主であったが、自由気球による観測ではその到達高度に限界 (平均で 25 ~ 30km) があるため、当時、気象ロケットによる上部成層圏から中間圏までの風及び気温の観測を行う世界的規模の気象観測網の整備が進んでいたことから、我が国においてもロケットを使用した高層気象観測を開始することが決まり、昭和 45 年 4 月に岩手県気仙郡三陸町綾里 (現 大船渡市三陸町綾里) に気象庁観測部高層課附置の気象ロケット観測所が発足した。気象ロケット観測所では昭和 45 年 7 月の観測開始から平成 13 年 3 月の観測終了までに 1,119 機の気象ロケットが打ち上げられた。観測開始当初の気象ロケット観測業務の目的は、次の 4 項目であった。

- ・成層圏から下部中間圏の大気構造の解析
- ・成層圏循環の機構解明
- ・長期予報の精度向上
- ・北半球規模の長周期気候変動の解析

これらの目的の一環として、WMO の取決めにに基づき、気象ロケット観測所の観測データなどをもとにした成層圏の突然昇温監視業務を当初東京航空地方気象台で担当していたが、昭和 47 年から長期予報課 (後の気候情報課) が担当した。これは成層圏に関心を持つすべての

関係機関に成層圏の最新情報を提供することを目的としており、成層圏循環の実況と成層圏突然昇温の発生を知らせる警報文（STRATALERT）を全球気象通信システム（GTS: Global Telecommunication System）で、発信するものであった。また、1980年代中頃には世界的に地球温暖化の監視体制の強化が求められるようになり、気象ロケット観測は成層圏の気候変動の監視に貴重なデータを提供することとなった。このように所期の目的に対して以下のような成果を上げた。

- ・データは成層圏天気図作成などに利用され、成層圏の平均的な基本構造の解析に寄与した。
- ・成層圏循環の変動解明のための調査資料・研究資料として利用された。
- ・当初は梅雨明けの資料として利用された。
- ・突然昇温警報発表用資料として利用された。
- ・気候変動の監視のための資料として利用され、近年における成層圏の継続的な気温低下などを検知した。

また、気象ロケットの打上げと観測の実施状況を見ると、全期間をとおしての気象ロケット観測の成功率は95%という高い値を示した。

気象ロケット観測所で気象ロケット観測業務が開始された1970年代は、世界の17～18か所で気象ロケット観測が定常的に行われていたが、1990年代に入るとその数は次第に減少して5～6か所となった。これは、気象ロケット観測が、経済的負担が大きいこと、観測の目的である成層圏から下部中間圏の動向の解明がほぼできたこと、気象衛星により気温が測定できるようになってきたこと、超高層大気レーダーによって風向・風速が観測可能になってきたことが背景と考えられる。

1990年代後期に入ると、こうした気象ロケット観測の世界的な縮小傾向の中で、気象庁内においても気象ロケット観測の将来についての検討が開始された。

平成11年の観測部観測課高層気象観測室による調査結果では、

- ・対象高度の基本的構造の解析が終わった。
- ・成層圏循環の変動解明の成果が得られた。
- ・観測データは使用されていない及び今後の利用見込みがない。
- ・数値予報による成層圏突然昇温の監視能力が向上した。
- ・高高度ゾンデ観測、オゾン観測・温室効果ガス観測等気候監視のための観測手段が整備された。

以上のことと平成12年に気象ロケット観測の定常観測を実施している国は我が国のみとなったことから、平成13年3月の第1119号の打上げを最後に終了した。

4. ウィンドプロファイラ（WPR）観測

ウィンドプロファイラは、「上空の風（wind）を測定し、そのプロファイル（profile：側面図、鉛直断面）を描くもの」という意味の合成語である。ウィンドプロファイラは、地上から上空に向けて電波を発射し、大気中の屈折率の不均一（ゆらぎ）や降水粒子によって後方に散乱された電波を受信し、大気や降水粒子の移動に起因する電波のドップラー効果を利用して、上空の風向・風速を測定する一種のレーダーである。このため、ウィンドプロファイラレーダー

(wind profiler radar) と呼ぶこともあり、頭文字を取って WPR と表記することが多い。使用する周波数によって観測する対象範囲が異なる。

ウィンドプロファイラは、対流圏から成層圏、中間圏更に熱圏までの風や乱流を研究するため昭和 40 年代後半から昭和 50 年代に開発された「大気レーダー」に由来している。昭和 59 年に完成した京都大学（現 生存圏研究所）の MU レーダー（Middle And Upper Air Radar）は代表的な大気レーダーである。当初、大気レーダーは対流圏界面より高い高度を主な観測対象としていたが、昭和 50 年代後半に入ると対流圏の風の測定能力に着目した気象関係者が、対流圏を観測対象とする大気レーダーを「ウィンドプロファイラ」と呼ぶようになった。昭和 60 年代頃から平成初頭には各国の気象研究機関や大学がウィンドプロファイラの研究を始めた。日本国内では、昭和 63 年に気象研究所に 400MHz 帯ウィンドプロファイラが整備され、さらに平成初頭～10 年頃には京都大学、郵政省通信総合研究所（現 国立研究開発法人 情報通信研究機構、略称：NICT）等は、「境界層レーダー」と呼ばれる小型の 1.3GHz 帯ウィンドプロファイラを整備した。

気象庁においては、前述のとおり、気象研究所が昭和 63 年に 400MHz 帯ウィンドプロファイラを整備し、基礎研究を開始した。その後、ウィンドプロファイラの業務的利用を念頭に置いた仕様の検討を進め、平成 6～8 年に「ウィンドプロファイラによる風観測の定常化に関する業務実験」等を経て、平成 11 年度第二次補正予算（平成 11 年 11 月）及び平成 12 年度一般会計予算（平成 12 年 3 月）によって 1.3GHz ウィンドプロファイラ観測網を整備することが認められた。平成 12 年 11 月には気象庁本庁に中央監視局を開設、1 号機を名古屋地方気象台に設置し、順次整備を行い、平成 13 年 3 月に総務省関東総合通信局による電波検査に合格し、25 台のウィンドプロファイラと中央監視局による複合システムの無線局としての運用が認められた。同年 4 月には観測部高層気象観測室に現業班を新設して中央監視局に配置し、「局地的気象監視システム」として運用を開始した。同年 7 月には庁内からの応募案をもとに WINDAS (Wind Profiler Network and Data Acquisition System) の略称が与えられた。さらに台風と大雨の観測を強化することを目的に 6 台のウィンドプロファイラを平成 13 年度補正予算によって追加し 31 台での観測体制がしばらく継続した。

その後、平成 23 年の東日本大震災を契機に被災地域への防災情報提供能力を強化することを目的として、同年度中に仙台及び若松にウィンドプロファイラを追加で設置した。平成 12～15 年に設置した 31 台のウィンドプロファイラは平成 25 年度の本体更新を経て、現在は合計 33 台での運用を行っている。この他に自然災害等による商用電源の停電時にも観測を継続する目的から、管理官署庁舎の発動発電機から非常時に給電がされない 23 観測局については、平成 25 年度、平成 28 年度及び令和 2 年度にウィンドプロファイラ用発動発電機を整備し、可用性を高めた。

ウィンドプロファイラの観測データは、高度分解能 300m、時間分解能 10 分で高度約 5km（年平均）までの風向風速が得られることから、これまでのラジオゾンデ観測では得られなかった高い時間・空間解像度の高層風データを提供することが可能となった。数値予報をはじめとする気象庁業務に利用されるとともに、国内外の関係機関に配信され、更には気象庁のホームページにおいて公開されている。

ウィンドプロファイラの運用開始後の他機関との連携について、まず NICT とは平成 14 年度に最初の共同研究契約を締結し、NICT が運用する 3 地点（北海道稚内市、東京小金井市、沖縄県大宜味村）の観測データとの相互提供を行っていたが、NICT におけるウィンドプロファイラ観測終了に伴い令和 3 年 1 月に相互提供を終了した。NICT とはこの他に平成 18 ～ 20 年度の「気象業務における風観測データの利用に関する調査」や平成 30 年度～令和 2 年度の「アダプティブクラッタ抑制技術」に関する研究を共同で行った。平成 23 ～ 24 年度には観測範囲の高々度化、乾燥域への拡大や高度分解能向上等を目的とした、「航空安全運航のための次世代ウィンドプロファイラによる乱気流検出予測技術の開発」を NICT、京都大学とで共同研究を行った。

無線局としてのウィンドプロファイラは、無線標定陸上局（一次業務）としての周波数割当を行うよう運用開始前から総務省に要望していたが、同一周波数での実績がないこと及び他のウィンドプロファイラの取扱いを含めて設備規則等の基準を作成しなければならないとの理由から、実験試験局として運用を開始することとなった。その後、実験試験局での運用成果を報告するなど、ウィンドプロファイラ以外の既存の無線局（一次業務）と同等の立場で安定した運用が行えるよう、また一次業務としての周波数割当が受けられるよう総務省への働きかけを継続し、平成 28 年 3 月に実用局（無線標定陸上局）としての免許が交付された。

ウィンドプロファイラの ISO 規格は令和 4 年 12 月に成立した。ウィンドプロファイラの ISO 規格策定において日本からの提案を行うことを目的とした国内審議委員会の委員には気象庁職員も参画しており、観測データフォーマットや品質管理、装置設置方法や保守に関して、前述した経験を踏まえた知見を提供することでその成立に貢献している。

5. GPS (GNSS) 可降水量解析

GPS 可降水量とは、GPS (Global Positioning System) 衛星からのマイクロ波が地表付近に伝搬するときに、電離層や大気の影響を受けて電波の到達時間に遅れが生じる性質を利用して解析した受信機上空の水蒸気の総量のことを指す。GPS 衛星だけでなく、他の測位衛星も利用して解析することができるため、一般化されて GNSS (Global Navigation Satellite System) 可降水量とも呼ばれることがある。

平成 9 年度から 13 年度にかけて、科学技術振興調整費によって実施された「GPS 気象学：GPS 水蒸気情報システムの構築と気象学・測地学・水文学への応用に関する研究」により、気象業務における GPS 可降水量の利用可能性が広く理解されることとなった。そして、気象庁では、平成 15 年度から 17 年度にかけて、観測部が技術開発課題「次世代高層気象観測手法の調査」を実施し、気象研究所の協力を得て、GPS 可降水量の観測業務への利用方法を検討した。

平成 19 年 9 月には、国土地理院が運用する GPS 連続観測システム（GEONET: GPS Earth Observation NETwork system、平成 24 年に GNSS 連続観測システムに改名。）の電子基準点で観測した GPS 衛星データと、気象官署の地上気圧・気温、さらにインターネット経由で取得する衛星軌道情報等を用いて、全国の電子基準点（現在は約 1,300 地点）の上空の GPS 可降水量を 30 分ごとに推定解析することを目的として、GPS 可降水量解析装置（VapAS:

GPS-derived integrated Water Vapor Analysis System)を整備した。また、国土地理院の GEONET データを即時かつ定常的に解析するため、平成 19 年 12 月には「国土地理院と気象庁とのオンラインによる防災情報の相互交換に関する協定」を締結している。

さらに、その後も GPS 可降水量データを即時に気象業務に利用するためのツール等の開発が進められ、平成 21 年 10 月には、メソモデル (MSM) の初期値を作成するメソ解析において、国土地理院が運用する電子基準点の観測データから解析して得られた GPS 可降水量データの利用を開始することとなった。なお、平成 22 年 8 月からは、局地モデル (LFM) でもデータの利用を開始している。

平成 30 年 2 月には、新たに 10 分ごとの可降水量解析を可能とすることや GPS 衛星以外の測位衛星による解析を可能とすること等の解析機能の強化を図るため、高層気象観測データ統合処理システムの一部として機能統合し、解析装置の更新を実施した。

また、GPS/GNSS 可降水量データは、当初は気象庁内での利用にとどまっていたが、海外気象機関からの要請を受け、令和 2 年 5 月からは GTS を通して海外気象機関へのデータ配信を行っている。

6. 地上マイクロ波放射計観測

地上マイクロ波放射計は、大気中の水蒸気・雲水・酸素が放射するマイクロ波放射強度（輝度温度）を、1 秒から数分間隔で地上から測定する受動型の観測機器である。これにより観測した輝度温度をもとに、高層気象観測データや数値予報モデルの結果等と組み合わせることで、可降水量や高度 10km 程度までの水蒸気・気温の高度分布（鉛直プロファイル）を高精度に推定することが可能である。

気象庁では、線状降水帯が多数発生するも事前予測が不十分であった令和 2 年 7 月豪雨によって、線状降水帯の予測精度に関わる課題があらためて明らかとなったことから、その予測精度向上に向けて「観測の強化」、「予測の強化」及び「情報の改善」に関する取組の強化・加速化を推進させることとなった。このうち、「観測の強化」に係る取組の一つとして、気象研究所が中心となり、令和 3 年度補正予算を活用することで地上マイクロ波放射計を整備した。この整備では、大雨の原因となる水蒸気の流入をより正確に把握するため、上空の風と水蒸気を同時に観測できるよう、西日本及び太平洋南側沿岸域の 17 か所のウィンドプロファイラ観測局に地上マイクロ波放射計を併設した。また、地上マイクロ波放射計による観測データの収集等を遠隔で行うため、情報基盤部情報通信基盤課システム運用室（東京都清瀬市）にデータ収集制御装置を設置した。これにより、地上マイクロ波放射計観測網の構築が令和 5 年 3 月に完了した。令和 6 年 1 月からは、気象研究所が運用する線状降水帯データベース装置を利用し、庁外の研究者等に対して、輝度温度や機器付属ソフトウェアでの解析による可降水量や水蒸気・気温の高度分布等の観測データの提供を開始している。

また、地上マイクロ波放射計観測データの利用については、気象技術開発室が機器付属ソフトウェアとは異なる手法を使って可降水量を解析し、その可降水量データを数値予報システムの準ルーチン（部内試験運用）で利用することから進められた。その後、令和 6 年 3 月には、地上マイクロ波放射計観測業務規則、地上マイクロ波放射計観測業務実施要領を制定すると

もに、数値予報システムにおける地上マイクロ波放射計観測データの正式利用を開始している。

【第6節】統計

1. 統計業務の体系

我が国で最初に測候所が開設されたのは明治5年の函館であり、その後明治18年までに函館も含めて30か所の測候所が設けられたが、当初は観測の方法や統計のとり方はそれぞれの測候所で異なっており、それらが全国的に統一されたのは明治19年1月に刊行された「気象観測法」（第1版）による。

昭和25年の第5版から名称変更した「地上気象観測法」では、地上気象観測の規定から実施・統計・記録の方法までを広範に扱っていたが、昭和26年に「気象官署観測業務規程」を制定することで、規定に関することを分離し、技術的な指針を定める内容となった。

昭和28年には地上気象観測を、気候調査を主な目的とする気候観測と電報をもって通報するために行う通報観測に分け、さらに気候観測を普通気候観測と気候の永年変化を調べるため観測方法や測器を変更しない特殊気候観測に分けた。特殊気候観測は昭和34年に名称を永年気候観測と改め、昭和35年に「永年気候観測指針」も刊行している。

気象観測の結果の統計・整理の方法などは、この「地上気象観測法」及びその他の諸規定に分散されていたが、普通気候観測と観測業務を委託していた区内気象観測に関しては、昭和40年にこれらを一括して「普通気候観測・観測所観測統計指針」として刊行した。

その後、普通気候観測と永年気候観測の統計方法については、昭和48年に「地上気象観測統計指針」として整理し、普通気候観測部分を廃止した「普通気候観測・観測所観測統計指針」については、観測所観測業務がすべて地域気象観測業務に移行した昭和55年に廃止した。また、平成3年には、普通気候観測と永年気候観測を区別せずに気候観測と位置づけた。

一方で、昭和49年には地域気象観測が開始し、その定義や観測種目といった規定に関しては「地域気象観測業務規則」で定めた。当初、この観測値の統計については指針や要領に相当するものを用意していなかったが、平成8年に「地上気象観測統計指針」を準用し「地域気象観測統計要領」を制定した。また、高層気象観測についても、気象官署観測業務規程で規定に関することを定め、その細目的事項を定めるものとして「高層気象観測統計要領」を制定していた。

このように、地上気象観測、地域気象観測及び高層気象観測は、規定に関することと統計に関することは、それぞれで別に定めていたが、統計に関することは多くの共通事項があるため、平成17年には統計に関する「地上気象観測統計指針」、「地域気象観測統計要領」及び「高層気象観測統計要領」を1つにまとめ、「気象観測統計指針」として体系を整理した。

2. 統計値の変遷

前述のとおり、明治19年に刊行された「気象観測法」（第1版）において、観測時刻を地方時の1つである京都時による6回（2、6、10、14、18、22時）とするなど、統計値の作成方法が全国的に統一された。観測時刻は明治21年に日本中央標準時を採用しており、国営移管が行われた昭和14年まで、この時定めた方法が基本となっていた。昭和15年からは当

時の人員不足を観測の精度を落とさずに補うため観測時刻を3回（6、14、22時）としたが、その後は第2次世界大戦が終わって気象事業が国際的な影響を受け、昭和21年から8回（3、9、10、12、15、18、21、24時）を加えて11回としている。また、平成3年からJMA-80型地上気象観測装置の導入に伴い毎時の24回となった。

日平均値の算出では、この観測時刻の変更を受け、例えば気圧は6回平均（明治19年から）、3回平均（昭和15年から）、4回平均（昭和28年から）、24回平均（平成3年から）と変遷している。

一方、アメダスでは昭和49年の観測開始から毎時の24回の観測が行われ、データの品質が安定した昭和51年からこれを元に統計している。また、平成15年からは10分ごとの観測結果を元に統計している。

統計値の作成方法について大きな変化があったのは、平成17年の「気象観測統計指針」の刊行時で、主に2つの特徴がある。

1つは、統計開始からの極値・順位値の求め方で、官署移転時の統計の接続可否の判定を廃止し、観測測器の変更などにより全国一律に観測値の不連続が生じる場合を除き、極値・順位値は観測開始から求めるようにした。これにより、できる限り長い期間を対象に比較可能となり、観測開始以降これまでにどのような特異な現象があったかを知ることができ、防災の観点からも更に有用な情報になった。

もう1つは、資料不足値の導入である。それまで資料数が一定の基準に満たない場合は欠測としていたが、そのような場合でも統計値として記録するようにした。これは、平成16年の台風第21号によりアメダスの宮川（三重県）において9時40分までの1時間で139mmとそれまでの極値である101mmを大きく上回る降水を観測したが、そのあと障害により欠測となり、日最大1時間降水量の統計値は欠測となった事例があったため、これを資料不足値として欠測とは別に扱うことで、少なくともこの値以上になったという情報が活かせるとともに、欠測率の情報を合わせて提供することにより、利用者がその目的に応じて利用可否を判断できるようになった。また、地上気象観測は1991年以降、アメダスは1976年以降を対象に新しい方法で再統計を行い、過去に遡って資料不足値を導入した。

平成18年には、アメダスの統計にN時間降水量を導入した。それまでも1時間降水量を統計していたが、これだけでは大雨災害の発生状況を適確に表すことができないため、新たに2、3、6、12、24、48、72時間降水量を求め、その日最大値等の統計値を求めることにした。これは、平成30年にはN時間降雪量として降雪量にも拡張した。

3. 平年値

平年値は、その時々気象や天候を評価する基準として利用されるとともに、その地点の気候を表す値として用いられてきた。

平年値の統計期間の長さについては古くから議論が重ねられ、昭和10年に世界気象機関（WMO）の前身である国際気象機関（IMO）の会議で1901～1930年の30年間を平年値の統計期間とすることが勧告された。その後昭和31年に、10年ごとに計算しなおすことをWMOが勧告し、我が国では昭和32年（1957年）10月に1921～1950年の30年間の値

を用いた平年値を「月別平年値気候表」（気象庁観測技術資料第4号）として公刊したあと、10年ごとに平年値を求めている。

昭和36年（1961年）には、「1960年までの地上気象観測累年統計実施要領」を定め、観測法、測器などの変更による累年値の統計への影響を吟味するとともに、気象官署の移転による接続の可否判定基準等を定めた。これにより、従来は移転の有無にかかわらず続けて統計していたものを、大きな違いを生じる場合には接続しないこととした。これを元に1931～1960年の30年間の値を用いた平年値を「日本気候表」（7冊のシリーズ）として、昭和38年（1963年）までに公刊した。

1941～1970年の30年間の値を用いた1970年平年値は、昭和47年（1972年）10月から使用を開始した。新たに日平均気温、日最高気温、日最低気温、日平均湿度を追加した。

1951～1980年の30年間の値を用いた1980年平年値は、1～6月分の主要要素を昭和56年（1981年）1月から使い、昭和59年（1984年）までに順次、日本気候表1980年版として刊行された。これまで半旬別平滑平年値を元に計算していた日別平滑平年値は、日別値を元にするよう計算方法を変更した。また、高層気象観測の平年値を昭和58年（1983年）に初めて作成した。さらに、昭和63年（1988年）には、1979～1987年の9年間の値を用いて、アメダスの準平年値（有効なデータが8年以上24年未満）を初めて作成した。

1961～1990年の30年間の値を用いた1990年平年値は、1980年平年値と同様に平年値期間の終了後、平成3年（1991年）1月から利用を開始した。この更新では、積雪の深さ、梅雨期間降水量などを追加するとともに、富士山や昭和（南極昭和基地）の平年値を新たに掲載している。また、1956～1985年の値を用いていた生物季節観測の平年値も、他の観測値と期間を合わせるようにした。

1971～2000年の30年間の値を用いた2000年平年値も、1990年平年値までと同様に平年値期間の終了後、平成13年（2001年）1月から利用を開始した。この更新では、観測環境の悪化等により観測所の移転を行うケースが増えてきたことから、統計切断による平年値が無い状態を避けるため、気温等の一部要素では、ステップ関数を用いた補正を行って、移転をまたいで平年値を作成できるようにした。平年値の計算に際して、このような補正方法を導入したのは我が国が最初である。さらに、準平年値を廃止し、有効なデータが8年あれば平年値を求めることとした。また、階級区分値の出現率を、これまでの（30%、40%、30%）から出現率が全て同じ（33%、33%、33%）になるよう変更した。なお、平成17年（2005年）に制定した「気象観測統計指針」では平年値補正に十分な資料が蓄積されたあと速やかに平年値を補正するようにした。

1981～2010年の30年間の値を用いた2010年平年値では、これまでのように複数回に分けて更新するのではなく、平成23年（2011年）5月に1～12月分を全て更新する方法に変更した。これは、平年値を利用している企業等において、年2回の平年値更新の作業が負担となること、また、作業ミスを防ぐ面からも一度の作業で実施することが望まれたためである。

1991～2020年の30年間の値を用いた2020年平年値では、平年値作成期間で気温の時刻別値が揃うようになったことから、時刻別気温の平年値を3時間ごとから毎時に変更するなど

の拡張を行った。また、その地点の気候を表す値として利用されることから、観測の終了により統計を終了した項目や、統計を切断したため統計年数が足りない場合においても、一部要素については統計の終了や切断までの統計値を用いて平年値を作成する参考値を導入した。

これらは観測地点ごとに求めたものであるが、この平年値を用いて等値線を引いた日本気候図を作成するなど、観測点の情報を面的に拡張する試みを行ってきた。そして、国土に関するデジタルデータ整備事業の一環として、旧国土庁の協力を得て、昭和 59 年度（1984 年度）から昭和 63 年度（1988 年度）に平均気温・日最高気温・日最低気温・降水量・最深積雪の 5 気象要素について 1km 格子のメッシュ気候値を公表した。これは平成 14 年（2002 年）には 2000 年平年値を利用し、日照時間と全天日射量を追加したメッシュ気候値 2000 に更新した。その後、平成 24 年（2012 年）には 2010 年平年値を利用し、名称も気候値から平年値に改めたメッシュ平年値 2010 を公表し、令和 4 年（2022 年）には 2020 年平年値を利用し、気温の日別値を追加したメッシュ平年値 2020 に至っている。

4. 統計処理の電子化

ここでは、気象台・測候所が行う地上気象観測における統計処理の電子化の変遷について述べる。

前述のとおり、明治 19 年の「気象観測法」により観測の方法や統計のとり方が全国的に統一され、各観測所において処理した結果を様々な形式の報告資料にまとめ、中央気象台に報告していた。

第二次世界大戦後、報告は計算機で読み取り可能なパンチカードでも実施するようになり、パンチカードシステムによる月別値等の統計処理や統計結果を用いた調査等に成果があった。しかし、パンチカードの数が増えるに従って効率的な処理が困難になり、大型計算機を用いて統計処理とその磁気テープを作成するようになった（詳細は「気象百年史」II 部門別史第 3 章を参照）。

平成元年 4 月には、観測装置からの出力結果を直接コンピュータに自動で取り込み、新たに導入した地上気象観測データ処理プログラム（PSDP: Program of Surface Data Processing）において、観測所において手作業で行っていた日別値の統計も電子化した。これにより、地上気象観測日原簿に記載されている内容すべてが電子化され、それまで紙の原簿の郵送により実施してきた報告をフロッピーディスクやオンラインで行うこととなり、観測を実施してから気象資料として利用できるまでの時間を大幅に短縮できた。また、平成 3 年 1 月からはこの結果を用いて月統計と累年統計は本庁で一括して行うこととし、従来気象台・測候所で作成していた地上気象観測月原簿と地上気象観測累年原簿を廃止した。さらに、平成 6 年 3 月には L-ADESS の全国展開が完了し、全国の気象台・測候所で観測したデータは、翌日には本庁で統計処理を行えるようになった。

平成 20 年には、アメダスデータ等統合処理システムを導入し、観測装置からの出力結果を取り込むことで、10 分値や時別値を作成することとした。日統計はこれらを用いて気象資料提供システムにて実施し、これで全ての統計を本庁で行うこととなった。

このような発展を経て、現在では観測を実施した後、約 20 分で日別値等を利用でき、翌朝

には月別値等を利用できるようになっている。

また、日別値の統計処理を電子化した PSDP、これを用いた月統計や累年統計の処理、後述の気象資料ライブラリで提供する多様なコンテンツ、気象庁ホームページから統計値を提供する「最新の気象データ」や「過去の気象データ検索」等の統計業務の変遷を語る上で重要なものを含む多くのプログラムが、当時の統計室等の職員により開発されたものであることも特記すべき点である。

5. 統計値の利用

大型計算機を用いて統計した結果は、磁気テープにより気象庁内部で利用に供していたが、次第に地方気象台等にもパーソナルコンピュータ（パソコン）が導入され、観測データや統計資料などの機械可読データの利用が可能となった。このため、昭和 62 年にはパソコンで読み取るために変換が必要だった大型計算機で作成したフロッピーディスクをそのまま読み取る手法を開発し、フロッピーディスクの地方気象台等への送付を開始した。

その後、媒体は CD-ROM に代わりつつも、統計値の利用は本庁・各気象官署を問わず統計値ファイルを直接読むことで行っていたが、リレーショナルデータベース（RDB）や Web API といった新たなデータ利用手段が広まってきたことから、平成 13 年度に導入した気象資料提供システムを用いて、これらの庁内利用を開始した。

気象資料提供システムでは、後述の電子閲覧室で用いる中間ファイルの作成も行ったが、ここでは主に庁内利用の拡充について記す。

1 つは、基盤データとしての統計値を提供する FTP、RDB、Web API の仕組みを用意した。FTP はフロッピーディスクや CD-ROM に代わり統計値ファイルをネットワークからダウンロードするもので、統計値ファイルを扱う従来のプログラムにおいても最新のデータを扱うことが可能となった。RDB はデータベース言語である SQL を用いて統計値を抽出・集計するもので、条件に見合った統計値を横断的に検索することが可能となった。Web API は HTTP プロトコルを用いてリクエストされたデータを返すもので、簡便に指定した統計値を取得できる。

もう 1 つは、統計値を記した帳票やグラフ・図といったユーザーフレンドリーな応用コンテンツを Web アプリケーションとして展開した。これらは各管区気象台の協力を得て順次拡張を続け、本庁や各気象官署において、報道対応、資料作成、調査研究等の様々な用途において活用されている。

これらは気象資料ライブラリとして庁内に提供しているほか、気象官署の独自サーバにおいても、前述の FTP、RDB、Web API により統計値を取得し、ニーズに応じた多様なコンテンツが開発・運用されている。

6. 統計値の公開

統計値は、明治 19 年開始の気象庁年報、明治 33 年開始の気象要覧等、印刷物による公開が長く続いたが、電子計算機の普及に伴って機械可読データのニーズが高まり、平成 8 年 3 月から CD-ROM による公開が始まった。また、機械可読データの存在する範囲で、過去データも遡って刊行することが行われた。

平成 6 年には、3 月に L-ADESS の全国展開が完了し、全国の気象台・測候所で観測したデータが翌日には本庁で統計処理を行うことができるようになったことから、翌月初めに前月の天候に関する統計情報を「気候統計値からみた月の天候」として 4 月から発表することとした。これは平成 13 年 2 月に総観的な情報を追加し名称も「月の天候」と改め、月々の天候の特徴を解説する資料として公開している。

気象官署においては閲覧という形で原簿や自記紙を公開していたが、これらの電子媒体化に伴い、CD-ROM 等をコンピュータ上で表示・印刷するための閲覧システムを平成 8 年から全国の気象官署に展開した。また、平成 16 年には地方気象台等の閲覧システムを本庁のサーバに接続し、2 日前までの気象観測データが迅速に閲覧できるようになった。

1990 年代後半にインターネットが普及したことで、統計値の主な公開方法も（一財）気象業務支援センターからの CD-ROM の販売や気象台・測候所における閲覧という方法から気象庁ホームページへの掲載という形に変わった。平成 14 年には気象庁ホームページに電子閲覧室を開設し、地上気象観測とアメダスの統計値の公開を始めた。その後、当日の観測史上 1 位の値の更新状況等の拡充を行い、平成 18 年には「最新の気象データ」と「過去の気象データ検索」の 2 つのグループに再編した。最新の気象データは、今日の最高・最低気温、24 時間降水量、観測史上 1 位の値の更新状況など即時的な気象データを表示しており、平成 30 年に大雨や台風の際に降り始めからの総降水量等を掲載する「特定期間の気象データ」を追加するなど適宜拡張を行い、大雨や台風時の気象状況の把握など防災活動や支援に欠かせないコンテンツとなっている。また、過去の気象データ検索は、過去の観測データや統計データの検索や表示が可能で、操作性を向上するとともに対象とする統計値を大幅に拡大し、いつでも、どこでも、だれでも、社会の基盤データである気象観測結果を得ることができるようになった。このように気象庁ホームページによる統計値の提供の促進・増強に伴い、気象要覧は平成 14 年 12 月分を最後に、閲覧システムは平成 22 年 3 月に、気象庁年報 CD-ROM は平成 22 年分を最後に、それぞれ廃止している。21 世紀の最初の 10 年は、統計値の公開が長く続いた刊行物による方法からインターネットを用いた方法へ大きく舵を切った変革期であった。

7. 気象資料提供システム

観測部では、気象データ及び気象災害データの保存並びにこれらのデータを庁内外に提供するため、平成 13 年度に「気象資料提供システム」を整備し、庁内向けの気象資料電子データベースと、気象庁ホームページで気象データを部外に提供する「電子閲覧室」の運用を開始した。気象資料電子データベースは、平成 14 年度に運用が開始された気象災害データベース、気象観測、注意報・警報、台風ベストトラック、天気図、解析雨量及び土壤雨量指数の各データベース、平成 17 年度開始の部外雨量、気象観測所の各データベースで構成された。様々なデータが一朝所に集められたことにより、調査・研究などに簡便に利用できるようになった。これらのデータベースを有効に利用するため、観測課統計室で必要なアプリケーションを作成するとともに、地方官署が開発したアプリケーションについても各官署が共有して利用できるよう環境を整備した。一方、部外向けには平成 14 年度、気象庁ホームページ内に「電子閲覧室」を開設し、地上気象観測とアメダスの統計値をインターネット上で見られるようにした。これにより国民

が気象データを閲覧する利便性は飛躍的に向上し、官署での気象資料の閲覧者は激減した。

平成 18 年度に「気象資料提供システム」を更新し、それまでは NAPS(数値解析予報システム)で行っていた統計処理を専用環境で行い、地上気象、アメダス、高層気象等に加えてレーダー、ウィンドプロファイラ等の観測データを新たに収集し気象資料ライブラリとして保存、気象庁内で利用されるようになった。また、気象庁ホームページで提供する「電子閲覧室」の後継として「最新の気象データ」、「過去の気象データ検索」の提供を開始した。

平成 23 年度及び平成 29 年度に、機能の維持・強化のために同システムを更新し、気象庁ホームページの「最新の気象データ」のコンテンツや気象資料ライブラリの充実を行った。日々増大する気象資料の安定的な蓄積を行い、防災作業支援や気象資料の資料庫としての役割を果たしている。

8. 他機関観測データ収集・高度利用装置

他機関観測データ収集・高度利用装置は、国土交通省の機関や都道府県がそれぞれの目的に応じて観測している雨量観測データ（以下「他機関雨量観測データ」という。）を収集・処理するためのものであり、平成 22 年 4 月に運用を開始した。

オンラインで入手した他機関雨量観測データは、予報業務における気象実況の把握や「解析雨量」、「土壌雨量指数」、「流域雨量指数」など防災気象情報の発表に不可欠な資料の作成に利用している。気象庁における他機関観測データ収集は、平成 3 年 4 月から気象庁本庁が東京都の雨量観測データ収集を開始したことに始まり、平成 14 年の都道府県との共同洪水予報の開始と平成 15 年 6 月の防災情報提供センターの開設を契機に、本格的な雨量観測データ収集に拡充された。この拡充にあたり、気象庁は平成 15 年 3 月末に他機関雨量観測データ及び国土交通省のレーダー雨量計の利用を推進するために、予報部で「観測データ交換システム」を整備した。また、観測部では、平成 15 年に「雨量データ品質管理情報処理装置」を整備し、他機関雨量観測データの一元的な収集・品質管理を開始した。平成 20 年度には、すべての都道府県から雨量観測データのオンライン収集を実施し、気象庁の雨量観測データを含め全国約 1 万カ所の雨量観測データを収集するに至った。これらの観測データは、ほぼリアルタイムで防災気象情報に利用されるようになったため、より早く雨量観測データの正誤判定を行い、誤データが情報に利用されないようにすること、更には疑わしいデータに対しては利用上の注意情報を付加すること等の対応が必要となった。このため雨量観測データに対する自動品質管理をより高度化し、職員が行う観測データチェックを支援する機能を拡充し、品質管理体制の強化を図ることを目的として「観測データ交換システム」の観測データ収集処理機能及び「雨量データ品質管理情報処理装置」の品質管理処理機能を統合した「他機関観測データ収集・高度利用装置」を整備した。

「他機関観測データ収集・高度利用装置」は、予報部情報通信課システム運用室（東京都清瀬市）に設置したメインシステムと、大阪管区气象台に設置したバックアップシステムからなり、各システムは、観測データ収集処理部、品質管理処理部、閲覧処理部及び運用監視端末等で構成された。

メインシステムは、観測データ収集処理部サーバ及び品質管理処理部のサーバからなり、観

測データ収集処理部は、アメダスの観測データを収集するとともに、国土交通省や地方自治体の観測データを収集し、即時的な自動品質管理処理（AQC: Automatic Quality Control）を施した後、共通フォーマットと呼ばれる書式に変換したファイルに集約し、この共通フォーマットファイルから BUFR3 形式と呼ばれる書式に変換、BUFR（二進形式汎用気象通報式：Binary Universal Form for the Representation of meteorological data）ファイル（以下「BUFR 報」という。）をアデス経由で庁内の各種システムへ配信した。このとき即時的 AQC の結果は、AQC 識別符として BUFR 報に含まれた。観測データ収集処理部で即時的 AQC（限界値チェック等）を実施する一方で、品質管理処理部では非即時的 AQC（雨量の面的チェック等）を実施した。また地方官署の品質管理担当者により設定されるデータの利用不適等に関する設定情報の AQC 識別符への反映処理も品質管理処理部で実施した。

閲覧処理部では、品質管理処理部において処理した品質管理結果を一覧表・分布図の形で閲覧に供し、必要に応じて利用不適の設定・解除の操作を行う機能を持った。

他機関観測データ収集・高度利用装置で収集する雨量観測データは、システム障害や定期点検のため収集できない場合があり、そのため本装置では、それらシステムからのオンラインデータファイルがどの程度収集・処理されたかを把握する機能及び障害などの原因を調査するためにデータファイルの内容を解析する機能を閲覧処理部に搭載した。

他機関観測データ収集・高度利用装置の機能はアメダスデータ等統合処理システムに統合され、平成 29 年 3 月に運用を終了した。

9. 雨量・レーダー情報コンテンツ作成装置

雨量・レーダー情報コンテンツ作成装置は、防災情報提供センターホームページのコンテンツ「リアルタイムレーダー」の作成、提供を行うために平成 15 年度に運用を開始した。

（1）リアルタイムレーダーコンテンツの作成

気象庁内のレーダー統合プロダクト作成装置で作成されたレーダー統合プロダクト（国土交通省河川局・道路局の全国のレーダーデータと気象庁の全国のレーダーデータを合成し 1km メッシュの GRIB2（二進形式格子点資料気象通報式（第 2 版）：General Regularly-distributed Information in Binary form）フォーマット形式のデータとなったファイル）が毎 10 分の観測時刻の約 6～7 分後に雨量・レーダー情報コンテンツ作成装置に送られ、このデータを用いて作画したコンテンツが「リアルタイムレーダー」であった。このコンテンツを広く防災関係者や国民に公開するため、専用回線により、センターのトップページサーバへ送り込むとともに、庁内向け Web サーバにも格納していた。

（2）統合雨量コンテンツの作成

観測データ交換システムにおいて、BUFR 報として変換・統合された気象庁、河川局、道路局及び各都道府県の各雨量データが、雨量・レーダー情報コンテンツ作成装置に送られて、前 10 分の雨量、前 1 時間の雨量を 10 分ごとに、前 3 時間及び前 24 時間の雨量を 1 時間ごとに、それぞれ「統合雨量」の画像コンテンツを作成していた。この統合雨量の画像は、観測時刻後の毎 5 分後、毎 9 分後、毎 13 分後に編集された BUFR 報のデータにより作画された。これは、データ提供機関によって、また同じ機関のデータであっても観測所によって、BUFR

報を作成する観測データ交換システムに集信されるまでの時間に差があるため、10分間隔で観測されたデータを可能な限り多く利用できるよう、1回の観測時刻につき各3回のBUFR報の編集とコンテンツの作画を実施していたものである。

(3) 更新及び運用の終了

平成22年度に老朽化による更新が行われ、装置の設置場所を気象庁内から清瀬（システム運用室）に移した。更新にあたって、表示拡大機能の充実（市町村レベルで精細に表示）、地理情報との重ね合わせ及びスクロールマップ機能追加、気象庁レーダー観測頻度の5分化に対応し5分間隔でレーダー画像を提供等の機能強化を行った。

その後、雨量・レーダー情報コンテンツ作成装置の機能は気象レーダー観測処理システム（ROPS）に統合され、平成30年3月に運用を終了した。

10. 防災情報提供センター

防災情報提供センター（Webサイト）は、国土交通省の各部局（河川局、道路局、国土地理院及び気象庁）が保有する防災情報の所在地や問合せ先を容易に検索できるとともに、複数部局の防災情報を重ね合わせてインターネットを通じてわかりやすく提供することを目的として、平成15年6月に開設された。

本サイト開設にあたっては、運営主体である気象庁が中心となって、省内関係部局が共有すべき防災情報提供センターに関連するサイトの運用、リンク情報の変更に伴う手順等を定めた。また、システム障害時の連絡体制及びデータ交換に係る技術情報の共有化のための連絡体制を、共管部局（河川局、道路局、国土地理院及び気象庁）及び大臣官房技術調査課電気通信室（気象庁、河川局及び道路局の雨量・レーダーデータの交換に係る集約中継サーバの運用を担当）において確立した。

本サイトのトップページでは、防災担当者や国民に分かりやすく防災情報を提供するため、独自に提供するコンテンツとして「リアルタイム雨量」と「リアルタイムレーダー」を公開、平成16年6月からは「過去の観測情報」の提供を開始した。「過去の観測情報」では、国土地理院の電子国土Webシステムを利用し、選択したデータ（気象・河川・海岸のデータ等）を地図上で表示したり重ね合わせたりすることができた。

また、省内の防災情報の一元的提供を確保するため、トップページは「国土交通省防災情報リンク」として省内各部局（土地・水資源局、都市・地域整備局、河川局、道路局、港湾局、北海道局、国土地理院、国土技術政策総合研究所、気象庁、海上保安庁）が提供する防災情報に直接リンクを張ることにより、容易に防災情報を入手できる構成とした。さらに、入手したい防災情報の検索のため、任意のキーワードを入力し検索する機能や、情報名や提供部局を選択し情報ページを検索する機能を搭載した。このほか、トップページには、災害時の関連情報の閲覧や日ごろの防災知識の習得など、利用者が必要とする情報の入手を容易とするため、省内の各部局が提供する防災情報を災害ごとなどに一覧した各種のリンク集ページも格納し、提供している。

平成21年度、共管部局で運用を見直し、よりわかりやすく情報を提供することを目的に、トップページのデザインの変更やコンテンツを整理した。

その後、「リアルタイム雨量」は「レーダ雨量」に、「リアルタイムレーダー」は「リアルタイムレーダー/雨量」にリニューアルするなど、各コンテンツの利便性が向上した。

【第7節】部外指導

1. 法的背景

気象庁以外の者の行う気象観測については、気象業務法（昭和27年12月施行）第6条及び第9条により、政府機関又は地方公共団体が気象観測を行う場合（研究や教育のための観測を除く）、若しくはそれ以外の者が観測の成果を発表するため、又は災害の防止に利用することを目的として気象観測を行う場合には、①技術上の基準に従って行うこと、②気象観測施設の設置の届出を気象庁長官に行うこと、③検定に合格した気象測器を使用することを義務付けている（届出・検定制度）。「技術上の基準」については、気象業務法施行規則第一条の三において、観測の種目ごとに指定した手段で、指定した最小位数の観測値が得られるものでなければならないとしている。例えば、気圧を観測する場合は、気圧計（自由大気にあつては、ラジオゾンデ等）を用いてhPaで測定し、最小位数1hPaの観測値が得られる必要がある。

届出・検定制度は規制緩和や技術革新を背景に変更が行われてきた。気象業務法の一部を改正する法律（平成19年12月施行）により、電気事業者が行う気象観測のうち、その成果を発表するための気象の観測又はその成果を災害の防止に利用するための気象の観測以外について、技術上の基準に従って観測を行わなければならない対象から除外した（届出・検定制度の対象外となった）。これは、気象業務法制定時は観測網を確立するために電気事業者の観測データを活用していたが、国土交通省や自治体等の観測データを活用できるようになり、必要性が極めて薄くなっていったためである。届出対象の観測種目については、気象業務法施行規則及び気象測器検定規則の一部を改正する省令（平成30年3月施行）により、観測の実施者が少なく、その利用範囲がそれぞれの用途で限定的である「蒸気圧」、「露点温度」、「風力」、「雲」及び「天気」が削除され、気象業務法施行規則の一部を改正する省令（令和6年3月施行）により、水防活動の利用に適合する予報及び警報に活用する気象レーダーに係る観測の品質を将来にわたって確保するため「降水粒子の分布及び状態」が追加された。これにより届出対象の観測種目は、「気圧」、「気温」、「相対湿度」、「風向」、「風速」、「降水量」、「積雪の深さ」、「視程」、「日照時間」、「日射量」及び「降水粒子の分布及び状態」となった。

観測成果の利用に関しては、気象業務法第6条第4項において、気象庁長官は気象に関する観測網を確立するため必要があると認めるときは、届出をした者に対し、気象の観測の成果を報告することを求めることができると規定している。東日本大震災（平成23年3月11日）により、東北地方の多数のアメダスが長期間にわたり観測できなくなったことから、気象庁では観測網を補完するため、届出があった株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモに対し、観測の成果の報告（降水量、気温、風向及び風速）を求め、平成23年3月23日から同年10月4日まで観測データを気象庁ホームページで公開した。また、これらの観測データを気象実況の監視に用いることにより気象庁の防災気象情報の発表に利用した。

観測の実施方法に関しては、気象業務法第10条において、気象庁長官は同法第6条の技術上の基準に従って気象の観測を行う者に観測の実施方法について指導をすることができること

を規定している。

2. 業務概要

部外データの利用促進を図るため、平成 8 年 7 月の組織再編により、気象庁以外の者が行う気象（海上気象を除く）の観測の成果の報告のための技術指導及び助言に関する事務をつかさどる観測技術指導官、及び指導係を観測部観測技術課に設置した。その後の組織再編で観測技術指導官等を平成 17 年 7 月に観測部計画課へ、平成 25 年 4 月に観測部計画情報管理室へ、令和 2 年 10 月に大気海洋部観測整備計画課へ配置した。

部外指導業務として、届出手続の対応業務や届出・検定制度の周知・広報のほか、オンラインでデータ交換を行っている他機関観測所のメタ情報の管理及び雨量と積雪について観測環境調査を実施している。気象観測測器の設置や維持管理を円滑に実施するために必要な基本事項を取りまとめた資料「気象観測ガイドブック」（初版平成 14 年 12 月）や気象業務法で定められている制度の趣旨・目的や、制度の対象とする気象観測の範囲と守るべき事項等についてわかりやすく解説した資料「気象の観測を行う場合に」（初版平成 30 年 3 月）などを作成した。また、他機関観測所に対しては、より正確な観測値が確保できるよう次のような取組を行った。部外データの利用に向け平成 10 年度から自治体等観測システムの調査を実施していたが、データの相互交換の開始に伴い観測環境に重点をおいた雨量観測所等の「観測環境調査」を平成 15 年度から開始した。当初は職員が観測所に直接出向いて調査を実施したが、国土交通省水管理・国土保全局及び道路局は平成 27 年度から、自治体は平成 28 年度から、観測環境調査に必要な観測所周辺の写真等を提供してもらうよう変更を行い、観測環境調査の効率化を図った。平成 29 年度に提供された写真等の情報から観測所観測環境について客観的な評価と報告を行う WEB ツールを導入した。平成 30 年度には写真から天空開放度を客観的に解析する仰角の解析用ツールを導入した。雨量計の検定有効期間の確認について、気象情報（記録的短時間大雨情報、府県気象情報等）に利用している自治体に対して、平成 30 年度から毎年度実施した。

気象観測施設の届出のオンライン化について、それまでの書面・FAX・FD 等での届出に加え、国土交通省オンライン申請システムによるオンラインでの届出を平成 15 年 3 月に開始した。この届出の受理作業に必要な「気象庁電子申請個別システム」を国土交通省の契約するサーバ上に整備して、平成 15 年 8 月から運用を開始した。「気象庁電子申請個別システム」は、届出申請された情報の一元管理及び共有化、並びに届出の受理作業の効率化を図るために利用していたが、サーバのリース契約の終了に伴い、新たに平成 25 年 11 月に整備した「気象庁行政手続き処理機能」に機能を移行した。

【第 8 節】品質管理

観測データの自動的な品質管理（AQC）は、昭和 49 年の地域気象観測センター（アメダスセンター）発足時に始まり、気象官署の累年の気象データや極値をもとに限界値を作成し、この値を超えるものは欠測として取り扱った。この当時は、1 時間降水量、風速、風速 1 時間差、気温及び気温 1 時間差について限界値が求められた。

その後、昭和 58 年、平成 5 年及び平成 13 年のアメダスセンター設備等の更新にあわせた見直しのほか、富士山及び航空官署をアメダスとして取り込むことを踏まえた見直しも行われた。また、平成 20 年 8 月末豪雨では、限界値を超える降水量が観測されその値が配信されなかったことから、誤観測データを発信しないようにしながらも、雨量については極力正常値として配信されるような限界値の設定方針に転換した。現在は、累年の極値更新などに伴い、毎年、限界値を更新している。

現在では、アメダスデータ等統合処理システムでは以下のような品質管理が行われており、重大なものは自動的に無効フラグが付加されるとともに、軽微なものは疑問等のフラグが付加され、それらの情報をシステム画面上に表示することで、観測担当者に注意が喚起されている。

- ・降水量（限界値、範囲異常、無降水転倒、降水時日照あり）
- ・風向・風速（限界値、変動無し（一定値継続）、範囲異常）
- ・気温（限界値、変動無し（一定値継続）、範囲異常）
- ・日照（範囲異常、可照時間外日照、降水時日照あり）
- ・積雪（限界値、範囲異常）
- ・気圧（変動無し（一定値継続）、範囲異常）
- ・湿度（変動無し（一定値継続）、範囲異常）
- ・日射量（範囲異常、可照時間外日射）

上記の AQC では対応が難しいものに対しては、品質管理用のツール等を活用し、人間の総合的な判断による品質管理（HQC）も行うことで、品質管理の精度を高めている。

品質管理は気象庁の観測データだけでなく、他機関（都道府県や国土交通省等）とオンラインで交換している降水量や積雪の観測データも対象としており、他機関の観測の特性に合わせた AQC も行っている（この品質管理のシステムについては、本章第 6 節第 8 項「他機関観測データ収集・高度利用装置」を参照）。

業務体制としては、平成 17 年の本庁観測部計画課情報管理室の設置にともない、同室にデータ品質管理係を設置した。また、平成 19 年には観測データ品質管理官を設置した。これらは、令和 2 年 10 月の本庁組織改編により、大気海洋部観測整備計画課に配置となった。平成 22 年には各管区・沖縄気象台の気候・調査課に観測データ品質管理官を設置し、地方官署における観測データの品質管理体制を強化することとした。令和 5 年の管区組織改編により、観測整備課に配置となった。

【第 9 節】生物季節観測

気象官署で行う生物季節観測は、植物及び動物が季節によって状態を変化させる現象、具体的には、植物の開花や動物の出現等を記録するもので、その目的は、その観測結果を元に季節の遅れ進みや気候の違いなど、総合的な気象状況の推移を知ることにある。

明治時代には気象観測法が定められ既に観測が始まっていたが、昭和 28 年に生物季節観測指針が制定されたことにより、観測種目や方法等が全国的に統一された。観測種目としては、規定種目（全国的に分布する生物）と参考種目（特定の地域に分布又は密接な関係のある生物、のちに選択種目と改名）が指定され、観測対象・現象は、植物季節、動物季節、生活季節の 3

つに分類された。当初、植物季節については、規定種目はすいせん、たんぽぽ、すみれ、やまつつじ、のだふじ、はぎ、つばき、うめ、そめいよしの、くわ及びたかおかえで（いろはかえで）の11種目、参考種目は16種目、動物季節については、規定種目はひばり、うぐいす、つばめ、もず、まがん、とかげ、へび、かえる、ちょう、とんぼ、ほたる及びせみの12種目、参考種目は4種目が指定された。ちなみに生活季節については、夏の服装、冬の服装、かや、火鉢、こたつ等の初日・終日を観測していたが、昭和39年の生物季節観測指針の改訂時に廃止された。

時代の流れとともに少しずつ変更されてきた観測種目であったが、令和3年に大幅な見直しがなされ、動物季節は全廃、植物季節はあじさい（開花）、いちよう（黄葉・落葉）、うめ（開花）、かえで（紅葉・落葉）、さくら（開花・満開）及びすすき（開花）の6種目9現象を残して廃止した。これは、官署周辺の都市化に伴って生物の生態環境が変化しており、植物季節においては適切な場所に標本木を確保すること、動物季節においては対象を見つけること自体がそれぞれ困難になり、生物季節観測の目的が果たせなくなってきたためであった。また、観測以外でも、関東地方の紅葉の見ごろ予想（昭和40年開始）や全国（南西諸島を除く）のさくらの開花予想（昭和30年開始）を行っていたが、民間で同様の予想がされるようになったことに伴い、それぞれ、平成20年及び21年に終了した。

このように営まれてきた観測の結果は、季節情報・生活情報として広く利用されるようになり、迅速に提供してほしいという社会からの要望が強まったことを受け、昭和62年11月、観測報告の収集・統計処理・さくら及びかえでの観測報告の部外配信といった作業がパソコンやネットワークの活用により高速化された。現在では、すべての観測種目・現象についてオンラインで部外配信されるとともに、資料として、令和2年に観測を終了した種目・現象も含め、過去から現在に至る観測結果が気象庁ホームページに掲載されている。

【第10節】観測データを用いた面的プロダクト

1. 解析雨量

解析雨量は気象レーダーの面的な情報と雨量計の離散的な情報を組み合わせて降水分布を作成するプロダクトであり、昭和58年6月に「レーダー・アメダス雨量合成図」の名称で、中部日本領域を対象にFAX図の配信を開始したのが最初である。昭和57年から平成6年にかけて順次行われた気象レーダーのデジタル化とともに対象領域を拡大してきた。構想は昭和48年度に総務部企画課が発案した国内気象監視（NWW）システムにおいて、最重要課題の一つとして短時間のきめ細かい降水予測が挙げられたことに始まる。この中で、現在の雨量を面的に解析した分布と、その未来への延長である降水短時間予報はセットで開発が行われてきた。このため、対象領域の拡大や格子間隔の変更は共通して行われることが多かった。

昭和63年4月には、降水短時間予報の運用開始に伴って、「レーダー・アメダス合成図」と名称変更し、5km格子、1時間間隔で配信を開始した。この際、対象領域は東京・大阪・福岡管内とした。その後何度か領域を拡大し、平成6年3月に石垣島レーダーが移設・デジタル化されたことにより、ほぼ全国をカバーする領域が作成対象となった。平成7年6月には「レーダー・アメダス解析雨量」を正式名称とした。

平成13年3月に格子間隔が2.5kmとなった。同年7月には東京都の設置する雨量計を皮

切りとして、部外雨量計の利用が開始され、その後拡大していった。平成 15 年 6 月には急激に変化する強雨の監視のために降水短時間予報とともに 30 分間隔で提供するようになった。

平成 15 年度にレーダーデジタル化装置の改修が行われて 1km 解像度のデータ作成が開始され、平成 16 年 6 月から約 1km 解像度のレーダー全国合成が行われるようになったことを受けて、平成 18 年 3 月に解析雨量の分解能を 1km に精緻化した。それに先立つ平成 17 年 6 月から、分解能 2.5km のデータを 1km 格子に内挿して GRIB2 形式（世界気象機関が定める国際標準のグリッドデータのフォーマット）でデータの提供を開始した。平成 18 年 11 月から、函岳レーダ雨（雪）量計を皮切りとして、国土交通省（河川局・道路局）の設置するレーダ雨（雪）量計の利用を開始し、平成 20 年 3 月には全てのレーダ雨（雪）量計を利用できるようになった。このことに伴い、平成 18 年 11 月から、「解析雨量」を正式名称とした。

平成 28 年 9 月から記録的短時間大雨情報に速報版解析雨量が利用されるようになった。速報版解析雨量は平成 29 年 7 月から、表面雨量指数及び精緻化された流域雨量指数の計算に用いることとし、10 分間隔で部外に提供を開始した。速報版解析雨量は正規版と比較すると多少精度は落ちるが、即時的に防災に利用できるようにすることを優先するものである。

解析雨量は平成 6 年 6 月からは記録的短時間大雨情報において「〇〇市付近で約〇〇〇ミリ」のような表記で実観測に準じて用いられ、予報警報作業などで活用されている。また、解析積雪深、土壌雨量指数などの指数、といった多くのプロダクトが解析雨量を用いて作成されており、防災気象情報にとってなくてはならないプロダクトとなっている。

開発・運用は当初から予報部予報課と気象研究所で行ってきたが、令和 2 年 10 月の組織改編後は大気海洋部業務課気象技術開発室で実施している。

2. 解析積雪深・解析降雪量

解析積雪深・解析降雪量は現在の積雪の深さと降雪量を 1 時間ごとに約 5km 格子で面的に推定するもので、令和元年 11 月に運用を開始した。開発は降雪短時間予報と一体となって行われてきた経緯があるため、詳細については本部第 2 章第 4 節「自動作成のプロダクト」にまとめて記載することにする。

3. 推計気象分布

推計気象分布は地上・地域気象観測の実況値を面的に拡張した情報である。開発は、平成 18 年度に総務部、予報部、観測部、地球環境・海洋部で構成された「地上気象観測における目視観測項目のあり方検討 PT」において、「時間・空間的に離散的な目視観測に代わる、面的・客観的に大気を把握する技術の開発」を進めることが重要、とされたことを受けて、平成 21 年度から観測部技術開発課題における「地上気象観測データの分布情報の開発」として開始した。PT で議論された目視観測に基づく天気と技術的に作りやすい気温を先行しつつ、他の要素についても必要性和技術的可能性の検討を進めた。平成 23 年 3 月には東日本大震災により多くのアメダス観測所が被災し、観測データの空白域が生じたことを受けて、アメダスが広域に被災した場合の代替としての役割の重要性を再確認した。平成 28 年 3 月にプロダクトの名称を「推計気象分布」として、1km 格子の気温、天気の面的情報を 1 時間間隔で提供を開始

した。

令和2年9月には新たに日照時間（1時間合計値）の提供を開始した。令和3年3月のアメダス気象計の更新に伴い、気象官署・特別地域気象観測所以外での日照時間の観測を廃止したことを受けて、推計気象分布（日照時間）はこれらを代替する役割を担い始めた。推計気象分布（日照時間）から、日照時間の観測を廃止したアメダス地点の推計値を抽出し、他のアメダス観測データと同一のBUFR4形式ファイルに格納・配信する措置を取ることで、利用者の便宜を図っている。

推計気象分布のデータはGRIB2形式で気象業務支援センターを通して提供するとともに、気象庁ホームページに全国、各地域の分布図を掲載している。

開発は当初は観測部観測課で開始し、その後観測システム運用室に移管し、運用を開始した。平成30年4月に計画課気象技術開発室の発足に伴い同室に移管し、令和2年10月の組織改編後は大気海洋部業務課気象技術開発室で実施している。また日照時間については、当初は気象衛星センターデータ処理部システム管理課、後に気象技術開発室で開発を進め、運用を開始した。

4. 積乱雲情報プロダクト

航空機の安全運航に資するため、平成24年6月から、「ひまわり6号」の5分ごとの高頻度衛星雲観測データを利用して、観測が行われた夏季・日中限定で航空関係機関向けに積乱雲情報プロダクトの提供を開始した。本プロダクトは急速に発達し、今後1時間以内に発雷をもたらすであろうと考えられる積雲（積雲急発達域：水平解像度は0.1度）、積乱雲域（水平解像度は0.04度）及びかなとこ巻雲域（中下層雲不明域：水平解像度は0.04度）から成り、航空気象情報提供システム（MetAir）に向けて5分ごとに図情報として提供した。平成26年9月には、「ひまわり6号」の高頻度衛星雲観測が終了したため、プロダクトの提供を一旦中断した。平成27年7月、「ひまわり8号」の運用開始に伴い、その日本域観測データを利用してプロダクトを作成し、夏季日中のみの提供を再開した。平成28年6月からは、「ひまわり8号」の多バンドの観測データを利用して、精度向上を図るとともに、通年終日の提供を開始した。平成30年4月には、「ひまわり8号」のフルディスク観測データを利用して、アジア・西太平洋域を対象としたプロダクトも別途作成し、空域気象情報（シグメット情報）に関する東南アジア諸国との国際協力枠組みに提供を開始した他、MetAirでも平成31年3月から提供している。また、令和元年6月からは気象庁ホームページの「航空気象情報」のページにおいて日本域観測データを利用したプロダクトを画像として公開している。

平成29年度までは気象衛星センターで開発していたが、平成30年度以降は気象技術開発室が開発・運用を担っている。

5. 霧プロダクト

霧による視程障害は、海上における船舶の航行、空港周辺における航空機の運航及び陸上における交通に大きな影響を与えることがあることから、その実況を把握することは重要であるが、直接観測を行う地点は限られるためその面的な広がり把握することは困難であった。こ

のため、「ひまわり 8 号」（平成 27 年 7 月運用開始）のデータを利用して、予報の実況監視用に夜間の霧を自動判別するプロダクトの開発が行われた。

このプロダクトを改良して 24 時間使えるようにし、目的を航空機の安全運航に絞ることにより、平成 31 年 3 月に MetAir 向けに面的な霧域の情報提供を開始した。また、令和元年 6 月から気象庁ホームページの「航空気象情報」のページで画像として公開している。プロダクトの水平解像度は 0.02 度、更新間隔は 5 分である。「ひまわり 8 号・9 号」の観測データに加えて地表付近の数値予報データも考慮して霧の有無を判定する。衛星観測に基づくため雲の下に隠れた霧域を判別することはできない。

開発は平成 29 年度までは気象衛星センターで行い、平成 30 年度以降は気象技術開発室が引き継いで開発・運用を行っている。

【第 11 節】気象観測における国際協力

1. 地区測器センター（RIC つくば）

高品質な気象データへの要求に応えるためには、気象測器の定期的な校正及び保守を行う必要がある。このため、昭和 61 年（1986 年）、世界気象機関（WMO）執行理事会は、WMO 構成員（国・地域）が保有する気象測器と国際的に認定された基準器との校正、気象測器の校正及び保守に関する研修の支援等を目的に、地区測器センター（RIC: Regional Instruments Centre）を設立することを決議した。

平成 8 年（1996 年）に WMO 第 II 地区（アジア）協会（RA II: Regional Association II (Asia)）から日本と中国が RA II の RIC に指名され、日本では平成 10 年（1998 年）に観測部観測課気象測器検定試験センターが「RIC つくば」として活動を開始した。平成 18 年（2006 年）の WMO 測器観測法委員会会合において、RIC の業務能力の担保のために国際規格 ISO/IEC17025（試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項）の認定を得ることを推奨することが決議され、RIC つくばでは、平成 24 年（2012 年）から平成 25 年（2013 年）にかけて、温度、圧力及び湿度に関して当該の認定を取得した。

RIC つくばは、平成 12 年（2000 年）のタイの気圧計、温度計の校正を皮切りに、各国気象機関からの要望に応じて基準器の校正を随時行ってきた。平成 25 年（2013 年）以降は、気象分野での JICA 技術協力プロジェクトに協力し、相手国の基準器の校正、日本から供与する校正設備への助言、現地や日本での測器に関する研修等も行っている。これらの活動により、RA II のみならず RA I（アフリカ）、RA V（南西太平洋）の各国気象機関の能力向上に貢献してきた。

また、その他にも、WMO と協力して気象測器専門家向けのワークショップを開催したり、アジア各国の気象観測や使用測器、データの品質管理の状況等を WMO の報告書（測器及び観測法レポート）として公表するなど、RA II の地区プロジェクト等として各国の技術力向上に取り組んできた。平成 22 年（2010 年）には RIC つくばホームページを開設し、測器関係の研修資料等を掲載している。

2. 地区 WIGOS センター (RWC 東京)

平成 19 年 (2007 年) 5 月の WMO 総会第 15 回会合において「WMO 統合全球観測システム (WIGOS: WMO Integrated Global Observing System)」の設置を目指すことが決定された。WIGOS は、気象、気候、水文及び環境など様々な分野ごとに構築されている観測ネットワークを統合して取り扱い、より効率的な観測の実施や観測ネットワークの発展及び様々なデータの利用を可能にすることを目的とした枠組みである。その後、平成 27 年 (2015 年) 5 月の WMO 総会第 17 回会合において、地区における WIGOS に関する取組を促進するため「地区 WIGOS センター (RWC: Regional WIGOS Centre)」を設置することが決議され、平成 28 年 (2016 年) 6 月の WMO 執行理事会第 68 回会合にて、RWC は WMO の観測地点データベースへの各国によるメタデータ (観測場所、要素、方法、頻度等) の管理の支援と各国の観測通報の状況の監視を行うこと等が決議された。

日本は平成 30 年 (2018 年) 6 月に RA II の RWC に立候補し、パイロットモードの RWC として、一部の国における地上気象観測所のメタデータの改善の試行、WIGOS に関するワークショップの開催等の活動を行った。令和 3 年 (2021 年) 9 月の RA II 総会第 17 回会合第 2 部において中国とともに RWC として指名され、大気海洋部観測整備計画課が「RWC Tokyo」として正式に運用を開始した。

RWC 東京では、RA II 構成員の観測通報の流通状況や観測値と数値モデルの予測値とのずれを監視し、異常が見られた場合、各構成員にデータベースへのメタデータ登録の確認・修正など問題の対処を促すとともに、作業の支援を行っている。RWC の正式指名に先立つ令和 3 年 (2021 年) 3 月の RA II 管理部会第 16 回会合において、RA II では日本と中国の RWC が共同運営を行うことが決定され、RWC 東京と RWC 北京では、RA II 構成員全体を分けた 2 つのグループを交互に担当して業務を行っている。

3. 東南アジアの気象レーダーネットワーク構築の取組

東南アジアでは、台風等による大雨災害が多く発生しており、気象レーダーを的確に活用し、地域でデータを合成するレーダーネットワークを構築することが防災に有効である。気象庁では、地域からの要望をきっかけに、平成 23 年 (2011 年) 以降、各国の能力向上とデータ交換の取組を進めている。

平成 22 年 (2010 年) 1 月の台風委員会第 42 回会合において、台風による大雨災害が深刻となっていることを背景に、タイ気象局が中心となってラオス、マレーシアなどとレーダーデータを交換してレーダー合成図を作成する年次プロジェクトが立ち上げられ、気象庁も技術的な協力を行うこととなった。平成 23 年 (2011 年) の年次プロジェクトではタイと日本が参加メンバーとなり、同年 9 月に気象庁及び京都大学の専門家がタイ気象局を訪問し、まずはタイ国内でのレーダー観測の品質向上、データ合成を目指すこととなった。その後、平成 28 年 (2016 年) にかけて毎年東京又はバンコクにおいてタイとの技術会合が行われた。

一方、平成 26 年 (2014 年) にはマレーシアから気象庁に個別にレーダーの技術協力の依頼があった。平成 28 年 (2016 年) には上記の台風委員会の年次プロジェクトにマレーシアも参加し、気象庁とタイ、マレーシアで毎時のレーダーデータ (国内合成降水強度) の試験的

なりリアルタイム交換が開始された。平成 29 年（2017 年）には三者による技術会合が行われ、平成 30 年（2018 年）以降は同プロジェクトへの参加国が徐々に拡大し、ほぼ毎年、技術会合が日本で開催されている。

また、東南アジア諸国連合（ASEAN）の枠組みにおいても、平成 23 年（2011 年）10 月の気象・地球物理小委員会第 33 回会合で、タイとマレーシアが、日本の支援によるレーダーの研修ワークショップを提案した（平成 26 年（2014 年）2～3 月にタイで開催）。同様の動きとして、WMO の枠組みでは、平成 24 年（2012 年）2 月の RA II 総会第 15 回会合で、日本の支援により東南アジアのレーダー関連の技術力向上を目指す RA II と RA V（南西太平洋）の合同地区 WIGOS プロジェクトが立ち上げられた。平成 29 年（2017 年）の RA II 総会第 16 回会合では、日本、タイ、マレーシア、インドネシアが主導し、レーダーの技術力向上に加えてリアルタイムデータ交換等を目指す地区 WIGOS プロジェクトが決定された。プロジェクトの一環として、WMO と ASEAN の合同レーダーワークショップが平成 30 年（2018 年）2 月と令和 6 年（2024 年）1～2 月にタイ・バンコクで開催され、気象庁をはじめ日本の専門家が ASEAN 各国の参加者に技術的な研修を行うとともに、東南アジアでのデータ交換の実現に向けた議論が行われた。

平成 28 年（2016 年）に台風委員会の年次プロジェクトにおいて日本、タイ、マレーシアで開始したレーダーデータの試験交換は、その後、地区 WIGOS プロジェクトの活動ともなり、令和 6 年（2024 年）時点でベトナム、シンガポール、インドネシアを加えた 6 か国に広がっている。

第6章 海洋気象

【第1節】海洋観測

1. 海洋気象観測

(1) 海洋気象観測船

気象庁に所属する海洋気象観測船は、水産庁や海上保安庁等の行政機関あるいは大学等の研究機関がもつ調査船・測量船・研究船等とともに、日本周辺海域や北西太平洋域での海洋観測の一翼を長年にわたって担ってきた。人工衛星によるリモートセンシングや、アルゴフロートに代表される自動観測機器が広く用いられるようになった現在でも、船舶による観測は、現場において精度の高いデータが取得できることや、他の手段ではいまだ代替できない化学成分等の観測が可能であることなどから、海洋観測ネットワークの中で重要な位置を占めている。

現在、気象庁が保有する海洋気象観測船は2隻（凌風丸・啓風丸）だが、ここでは近年まで在籍した観測船についても簡単に記述している。

なお、かつての海洋気象部海務課から現在の大気海洋部業務課に至るまで、陸上における観測船の運航・保守に係る諸々の業務は、船員によって構成される船務班（観測船運用管理官、運航係、保船係）が担っている。

ア. 凌風丸

東北地方の冷害対策に資する海洋観測や我が国南方海上の気象観測のために建造された凌風丸Ⅰ世（昭和12年建造、総トン数1,180トン）、海洋観測のための機器をより充実させるとともに、気象レーダーも装備したⅡ世（昭和41年建造、総トン数1,599トン）に続き、平成7年にはⅢ世（総トン数1,380トン）が建造され、我が国周辺海域及び北西太平洋における海洋気象観測を実施してきた。

令和6年3月には凌風丸Ⅳ世が竣工し、これまでⅢ世が担ってきた観測を継承している。

主な観測機器は電気伝導度水温水深計（CTD: Conductivity Temperature Depth profiler）で、深さ6,000mまでの水温、塩分を観測している。また、海水を任意の深度で採取し、溶存酸素をはじめ化学成分や二酸化炭素関連物質の分析を行うとともに、航走中も洋上大気や表面海水中の二酸化炭素を観測している。さらに、昨今、我が国各地で大雨災害をもたらしている線状降水帯の予測精度向上に貢献するべく、東シナ海などにおいて海上水蒸気観測を実施している。

なお、凌風丸Ⅱ世によって昭和42年冬季に開始された、東経137度線に沿って三重県志摩半島沖からニューギニア沖に至る海洋観測は、現在も毎年実施しており、その成果はIPCC（気候変動に関する政府間パネル）評価報告書に引用されるなど、近年の地球温暖化に伴う海洋環境の変動把握に大きく貢献している。

イ. 啓風丸

洋上の気象観測所として、主に我が国南方海域で台風、低気圧、梅雨前線などを監視するた

め、昭和 44 年に啓風丸Ⅰ世（総トン数 1,795 トン）が建造された。高層気象観測装置、気象レーダーなど当時最新の気象観測機器を装備していた。昭和 63 年には CTD を装備し、以降、凌風丸と同様の海洋観測も実施した。平成 12 年にはⅡ世（総トン数 1,483 トン）が建造された。設計思想はⅠ世とは異なり、凌風丸Ⅲ世の準同型船として、主に海洋観測を実施することを目的とし、そのための機器を装備している。建造年度は気象庁本庁所属であったが、平成 13 年 4 月春風丸Ⅲ世の退役とともに神戸海洋気象台所属となった。平成 22 年 4 月には、再び気象庁本庁所属となっており、それ以降は凌風丸Ⅲ世、Ⅳ世と同じく、我が国周辺海域及び北西太平洋における海洋気象観測に従事している。

ウ. 海洋気象台に所属していた観測船

以下に述べる中型の海洋気象観測船は、いずれも海洋気象台に所属し、それぞれの管轄海域を中心に気象や海洋の観測に長らく従事していた。気象庁として主に北西太平洋域における大型船による海洋気象観測に資源を集中させるという方針に基づき、春風丸は平成 13 年度末、他の三船は平成 22 年度末に退役した。

（ア）高風丸

函館海洋気象台所属の高風丸は、オホーツク海・日本海・三陸沖等において気象・海洋の観測に従事した。

Ⅰ世（総トン数 346 トン）は、昭和 38 年建造、昭和 63 年退役。Ⅱ世（総トン数 487 トン）は、長風丸Ⅱ世の準同型船として、昭和 63 年に建造された（平成 22 年 3 月退役）。

なお、高風丸Ⅰ世は、「昭和 61 年（1986 年）伊豆大島噴火」の際、火山観測機器の輸送に従事し、高風丸Ⅱ世も「平成 5 年（1993 年）北海道南西沖地震」の発生直後から、奥尻島への物資輸送などの被災地支援を行った。

（イ）清風丸

舞鶴海洋気象台所属の清風丸は、主に日本海において気象・海洋の観測に従事した。

Ⅰ世（総トン数 62 トン）は昭和 16 年、旧海軍の曳船^{えいせん}として建造され、昭和 23 年に舞鶴海洋気象台に移管された（昭和 35 年退役）。Ⅱ世（総トン数 355 トン）は昭和 39 年建造、平成 5 年退役。Ⅲ世（総トン数 484 トン）は、長風丸Ⅱ世、高風丸Ⅱ世に続く準同型船として平成 5 年に建造された（平成 22 年 3 月退役）。「平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震」（阪神・淡路大震災）の際には、大阪湾に急派され、被災地等への観測機器の運搬や物資の補給作業に従事した。

（ウ）春風丸

神戸海洋気象台所属の春風丸は、主に本州南方において気象・海洋の観測に従事した。

Ⅰ世（総トン数 125 トン）は、我が国でも最初期の本格的な海洋観測船として昭和 2 年に建造された（昭和 29 年退役）。続いてⅡ世（総トン数 150 トン）が昭和 29 年に建造（昭和 49 年退役）された後、Ⅲ世（総トン数 373 トン）が昭和 49 年に建造され、長らく本州南方海域等の海洋気象観測に従事した（平成 13 年退役）。

（エ）長風丸

長崎海洋気象台所属の長風丸は、主に東シナ海、沖縄近海において気象・海洋の観測に従事した。

I 世（総トン数 266 トン）は昭和 35 年に建造された（昭和 62 年退役）。

II 世（総トン数 480 トン）は、当初から CTD を装備するなど、新しい世代の海洋气象台所属中型船の先駆けとして、昭和 62 年に建造された。昭和 62 ～ 63 年と平成 3 ～ 4 年には日中共同観測で上海・青島に、平成 6 ～ 11 年には東経 130 度線観測でセブ（フィリピン）に寄港する外航も実施した（平成 22 年 3 月退役）。

（2）各層観測

海洋観測のうち、海洋中に設定したいくつかの深さ（基準層）において水温・塩分などを測定し、また酸素や栄養塩などの化学物質分析用の海水を採取するものを各層観測と呼んできた。近年では、後述のように水温や塩分などについては連続的に鉛直分布を観測することも可能となっている。これらの観測項目は多岐にわたるため、以下、項目ごとに観測手法の変遷について述べる。

ア．水温・塩分の現場観測

気象庁における海洋観測は昭和 2 年に始まったが、水温や水質等の鉛直分布を把握する手段として、ノルウェーの探検家フリチョフ・ナンセンが考案したナンセン式採水器に転倒温度計を付けて行う方法が長く採用された。これは、所定の観測点に停船し、観測用ウインチによって海中に降下させるワイヤーの途中に取り付けた採水器が、ワイヤーに沿って落とされるおもり錘（メッセンジャー）によって転倒する際に弁が閉じることで、その深度での海水を採取できるというものであった。同時に、採水器に取り付けた転倒式温度計も回転してその深度での水温を保持することで、その深度での水温を計測できた。しかしながら、いくつかの深度における離散的な観測値を取得するにとどまり、詳細な鉛直分布の把握は難しかった。

このナンセン式採水器を用いた観測は、昭和 62 年から平成元年にかけて導入した CTD によって、連続的な水温・塩分の測定が可能となったことから、その役割を終えた。

その後、気象庁においては、CTD を用いて、おおむね深さ 6,000m までの各層観測を実施している。導入当初の CTD は、米国 NBIS 社（Neil Brown Instrument Systems, Inc.）製 Mark III B であった。同機種は世界の海洋調査・研究機関で広く使用されたが、水温・電気伝導度各センサーの応答速度の違いに起因する塩分値のスパイク発生といった課題があった。その後、平成 4 年に凌風丸 II 世に米国 FSI 社（Falmouth Scientific, Inc.）製の水温・電気伝導度センサーを導入したが、飛躍的な精度の改善は見られなかった。

平成 9 年、長風丸 II 世（長崎海洋气象台所属）に米国 SBE 社（Sea-Bird Electronics, Inc.）製の 911Plus が導入された。平成 16 年までに気象庁の海洋気象観測船全ての CTD がこの機種に更新され、現在に至っている。本機種では各センサーの性能自体が向上しただけでなく、従来の機種にあったスパイク発生という課題が解決され、センサーをモジュール化することで多項目の観測が可能となるなど拡張性が増した。現在、国内外の多くの海洋調査研究機関で本機種が導入されている。

イ．水質（塩分・溶存酸素・栄養塩）の分析

かつての塩分の定義は「海水 1kg 中に含まれる塩類の質量を g 数で表したもの」であったが、海水中に含まれる塩化ナトリウムなどの塩類を実際に測定することは困難であるため、海洋の塩分測定が始まった当初は、「海水中に溶けている主要成分イオンの存在比は一定である」と

いう仮定のもとに、塩素量を測定し、その結果を塩分の値としていた（硝酸銀による銀滴定法）。その後、昭和 40 年になって UNESCO により電気伝導度と塩分の関係が定義されたため、これをもとに電気伝導度計を用いて、塩分が既知の標準海水と海水試料との電気伝導度比で塩分を求めることとなった。さらに、前述のとおり 1980 年代後半から CTD による海洋観測が広く行われるようになってからは、より高精度に船内の実験室で電気伝導度を測定できる機器（カナダ Guildline 社 AUTOSAL）が開発されたため、これを使用して塩分を求め、CTD の電気伝導度センサーの較正にも活用している。

溶存酸素の定量には、本格的な海洋観測が始まった頃からウィンクラー法が用いられていたが、気象庁では平成 6 年から改良型カーペンター法を採用している。分析機器については、従来の手分析に代わって平成 19 年に自動滴定装置が導入され、滴定終点の決定がそれまでのヨウ素デンプン反応を用いた観測員の目視によるものから光学センサーを用いたものに改良され、分析における客観性がより高く確保された。なお、現在では CTD に溶存酸素センサーを取り付けて、溶存酸素の連続的な鉛直分布の観測も行っている。

海水中の栄養塩類（リン酸塩・ケイ酸塩・アンモニウム塩・硝酸塩・亜硝酸塩）については、かつては光電比色計を用いて手分析で行っていた。しかしこの方法では一成分につき数 10 ～ 100mL の試料水を要するため、前述のナンセン式採水器（容量約 1.5L）を用いていた時代には、多くの成分の分析を行う場合には採水量の少なさが問題となっていた。これを解決するため、気泡分節連続流技法を用いた自動分析機器（オートアナライザー）が開発され、少量の試料水で同時に多成分の分析が可能となり、気象庁でも昭和 47 年にこの機器の使用を開始した。昭和 55 年以降は全ての海洋気象観測船で同機器を使用することになり、現在では約 10mL の試料水でリン酸塩・ケイ酸塩・硝酸塩・亜硝酸塩の分析を行っている。

ウ. プランクトン

昭和 4 年に海洋气象台（神戸海洋气象台の前身）、昭和 5 年に中央气象台（気象庁の前身）によって、プランクトンの観測が開始された。昭和 30 年代後半から、より大型の観測船が各海洋气象台に配備され、プランクトン観測が我が国周辺の広域にわたって行われるようになった。

これは、プランクトンの種類ごとに水温等の条件によって生息する海域が異なることから、大まかな海域ごとの性質の違いを示す指標を得るため、顕微鏡を用いて動物プランクトン（対象は毛顎動物）、植物プランクトン（対象は珪藻）の種類の同定・計数を行ったものである。プランクトンの採取は、動物プランクトンは北太平洋標準ネット（NORPAC ネット）を用いて、植物プランクトンは各層観測によって得られた海水試料により行った。動物プランクトンについてはネットで得られた試料を用いて湿重量も測定した。また、植物プランクトンの現存量や分布を簡易的に把握するため、昭和 44 年から植物色素量（クロロフィル a 及びフェオフィチン）の測定を蛍光法（酸添加法）で開始した。

海況指標の取得という観点からは、人工衛星によるリモートセンシングの発達等に伴って、プランクトン観測の必要性は減少したため、平成 18 年に同定・計数による動植物プランクトン観測は終了した。

エ. 水色・透明度

簡便に海洋の状況を把握するために、かつては水色・透明度の観測を行っていた。

水色観測は白昼に各層観測を実施している際、海面の真上から目視で海水の色を確認するものである。後述する透明度観測と同時に、フォーレル・ウーレ水色標準液（海水の色を段階的に再現した溶液のセット）と実際の海水色を見比べ、合致した標準液の番号を観測値としていた。

透明度観測は水色観測と同時並行的に、海水の清濁の程度を示すものとして実施していた。小型のウインチによって透明度板（Secchi 板）と呼ぶ直径 30cm の白色の平らな円盤を海水中に降ろし、海面真上からの視認ができなくなった限界の深さを透明度とし、m を単位とする深さで示した。

人工衛星によるリモートセンシングの発達などの海洋観測手法の充実に伴って、目視による水色・透明度の観測の必要性が乏しくなり、平成 18 年度をもってこれらの観測を終了した。

（3）表層水温観測

気象庁では、表層水温観測と称して、海洋表層（深さ 400m 程度まで）の水温の観測を行っている。観測手段としては、かつて各層観測がナンセン採水器を用いて行われていた時代には、連続的な水温鉛直分布が得られる機械式水温水深計（MBT: mechanical Bathythermograph）、次いでメモリ内蔵型のデジタル水温水深計（DBT: digital Bathythermograph）が用いられていたが、前述のとおり CTD が用いられるようになると、それらの機器は CTD で代替できるようになった。現在では航走中の観測船から迅速かつ手軽に海洋表層の水温を観測できる利点を活かし、投下型水温水深計（XBT: expendable BathyThermograph）を黒潮の状況把握などに適宜活用している。

観測データの通報は、前述の各層観測によって得られた水温と塩分の鉛直分布（深さ数百 m まで）も含めて、WMO 国際気象通報式のうち海洋観測通報式（FM64 TESAC）を用いて行っている。平成 12 年 5 月に、それまで使用していた表層水温通報式（FM63 BATHY：深さ数百 m までの水温の鉛直分布と海面の流向・流速が対象）から変更した。

（4）海潮流観測

海洋気象観測船による海潮流観測は、地磁気と電磁誘導の法則を利用した電磁海流計（GEK: Geomagnetic Electro-Kinetograph）が用いられていたが、昭和 62 年以降、船底部送受波器から発射された超音波が海水中の懸濁物やプランクトンから反射されて受信される際のドップラー効果を利用した超音波海流計が用いられるようになった。平成 12 年から使用されている機種（米国 Teledyne RD 社の表層海流計（ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler））では深さ 1,000m 程度までの流向・流速を最大 128 層にわたり観測することが可能である。

なお、停船して行う各層観測においては前述の海洋観測通報式により、また航走中には航路海面観測通報式（FM62 TRACKOB）を用いて、海潮流の観測結果を通報している。

（5）海洋バックグランド汚染観測

海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律（海洋汚染防止法；昭和 46 年施行）に基づいて、海洋汚染の防止及び海洋環境の保全に資するために、昭和 47 年に日本近海及び北西太平洋における海洋バックグランド汚染観測を本庁と各海洋気象台で開始した。

この業務の内容は、海面浮遊汚染物質（プラスチック類）及び油膜を対象とした目視観測と

記録、ニューストンネットによる浮遊タールボール（油塊）^{ひょうりょう}の採集と秤量、海水中の油分及び重金属（水銀、カドミウム）の分析である。なお、これらの観測項目のうち、油分はおおむね平成 17 年以降、また重金属はおおむね平成 7 年以降、自然界において人為的な汚染が検出されないレベルの数値が維持されていることが確認できたため、令和 2 年をもって油分及び重金属の観測は終了した。

また、平成元年度から、洋上大気中及び表面海水中の温室効果ガス（CO₂、メタン、一酸化二窒素、フロン）の観測業務を行っている。

（6）海洋における温室効果ガスの観測

人間活動に起因する大気中の二酸化炭素（CO₂）等の温室効果ガスの増加に対して、昭和 50 年代に国の内外から観測データの収集や研究活動の促進の重要性が指摘された。これを受けて気象庁は昭和 58 年 9 月、庁内に検討会を設置し、陸上及び海洋において温室効果ガスの観測を行う具体案を作成、昭和 59 年 3 月の庁議においてこれを承認した。海洋課汚染分析センターは平成元年度に、それまで気象研究所の研究観測として昭和 56 年度から行っていた東経 137 度の CO₂ 観測を引き継ぐ形で、凌風丸 II 世による洋上大気中及び表面海水中の温室効果ガス（CO₂、メタン、一酸化二窒素、フロン）の観測業務を開始した。平成 3 年度には、海洋の中・深層での温室効果ガスとその関連物質（全炭酸、アルカリ度、海水フロン・メタン、一酸化二窒素）の、平成 5 年度には有機炭素、有機窒素の観測を開始した（有機炭素、有機窒素は令和 2 年度に観測を終了）。平成 12 年度には、その年に就航した啓風丸 II 世において CO₂ の観測を開始した。平成 22 年度からは平成 20 年交通政策審議会気象分科会「今後の地球環境業務の重点施策」についての議論を踏まえ、地球温暖化予測の不確実性低減のための海洋 CO₂ 観測に重点を置くため、これまで凌風丸 III 世でのみ実施していた海洋の中・深層での観測を啓風丸 II 世でも開始して観測船による海洋観測体制の強化を図った。この間、平成 7 年には、表面海水中の CO₂ が増加傾向にあることを世界に先駆けて実証し、国内外に発表した。また、海洋の CO₂ 吸収による海洋酸性化が海洋生態系や水産資源に広汎な悪影響を及ぼす可能性が指摘され始めた平成 10 年頃より後、これらの観測は海洋酸性化長期モニタリングとしての重要性も高まっており、IPCC の評価報告書にもそのデータが引用されている。

凌風丸・啓風丸以外では、平成 9 年度に革新的ブイシステムの海域総合観測実験として東シナ海に設置した海洋気象ブイロボットに CO₂ 観測装置を搭載、観測試験を実施した。同じく平成 9 年度に北太平洋亜寒帯循環と気候変動に関する国際共同研究（SAGE）による太平洋亜寒帯域の海洋構造の把握のため、高風丸 III 世による CO₂ 観測を開始、平成 13 年度まで実施した。平成 10 年度から平成 12 年度まで、交通エコロジー・モビリティ財団が篤志船による大気及び海水中の CO₂ 観測を実施するにあたって、気象庁から支援・指導を行った。

（7）海上気象観測

昭和 22 年、海洋気象業務の拡充を図るため、新たに長崎・舞鶴の両海洋気象台を設置するとともに、日本近海における洋上定点での気象観測を開始することとした。この定点観測に使用する船舶として、凌風丸と旧海軍の海防艦（商船護衛用の小型艦）4 隻の計 5 隻が充てられた。同年 10 月、まず北方定点（北緯 39 度、東経 153 度）の観測が始まり、翌昭和 23 年 8 月からは南方定点（北緯 29 度、東経 135 度）の観測も開始された。しかし、昭和 28 年には、主

に経費負担の問題からいったん定点観測業務は中断された。

その後、昭和 29 年 1 月に定点観測に用いられていた旧海防艦が海上保安庁に移管されて巡視船となったことを契機に、同年 3 月に中央气象台と海上保安庁との間で南方定点実施要領が取り決められ、同年 5 月には南方定点における観測が夏季（5 ～ 10 月）のみ再開された。定点観測に用いられる巡視船には中央气象台職員も乗り組み、海上気象観測に従事していた。定点観測は、観測地点の少ない海洋上での気象観測及び通報の実施という観点から貴重なものであったが、海洋気象ブイロボットの実用化などもあり、昭和 56 年の観測をもって終了した。

海洋気象観測船による海上気象観測（気温、露点、風向・風速、気圧、天気、海面水温）は、長らく観測員が 3 時間ごとに観測機器の自記記録を読み取り、目視観測結果と合わせて電文を作成し、無線電信により気象庁へ送信していた。その後気象データ自動送信装置が整備され、電文は昭和 61 年から静止気象衛星「ひまわり」経由で送信されるようになった。また昭和 62 年からは総合海上気象観測装置が順次整備され、観測機器や航海計器のネットワーク化が図られたことから、目視観測結果を除き自動的な電文の作成・送信が可能となり、これまでの 3 時間ごとの通報とあわせて毎時自動観測通報を行えるようになった。

海上気象観測の項目の一つである波浪（風浪・うねり）については、観測員による目視で高さ・周期・方向について観測するとともに、船用波浪計と呼ばれる機器も用いて把握し、上述の観測通報に含めて送信している。この船用波浪計とは海洋気象観測船上において海上の波（波高・周期）を計測する装置であり、凌風丸Ⅱ世に水圧計と加速度計とを組合せたタッカー式波浪計が搭載されたのが始まりである。その後長風丸Ⅱ世には、タッカー式に加えて、船首に取付けたセンサーから海面までをマイクロ波で計測した距離と、加速度計による船位変動量とから、航走中でも波を計測できるマイクロ波式波浪計が搭載された。それ以降、現在の海洋気象観測船ではマイクロ波式波浪計のみを搭載している。

近年、線状降水帯によってもたらされる豪雨災害が頻発しており、その要因となる海上からの水蒸気流入状況を把握することが重要になっている。このため、マストに設置したアンテナと、船内の受信機及び解析装置から構成される全球測位衛星システム（GNSS）観測装置を海洋気象観測船に設置して、出水期に九州西方等の海域で水蒸気観測を実施している。この装置は、GPS 等の測位衛星から信号電波を受信した際の、大気中の水蒸気に起因する電波の遅れ（大気遅延量）を測位解析で推定し、その結果をもとに海上の鉛直積算水蒸気量（可降水量）を算出するものである。気象庁は、この装置を用いて令和 3 年に海洋気象観測船による水蒸気観測を開始した。さらに関係機関の協力を得て、同年、海上保安庁測量船 4 隻に、令和 4 ～ 5 年には貨物船及びフェリー計 10 隻にこの装置を搭載して観測を開始した。

（8）高層気象観測

海洋気象観測船による高層気象観測は、啓風丸Ⅰ世によって初めて行われた。その後、長風丸Ⅱ世、高風丸Ⅱ世、清風丸Ⅲ世には竣工当時から高層気象観測装置を搭載し、これらの海洋気象台所属船でも高層気象観測を行った。なお、前述の定点観測においても、全期間で高層気象観測が行われた。

また、凌風丸Ⅲ世にも平成 7 年の竣工時から高層気象観測装置を搭載し、観測航海中には高層気象観測を実施している。さらに令和 4 年 5 月、啓風丸Ⅱ世にも高層気象観測装置を搭

載した。凌風丸Ⅲ世（令和 6 年 4 月以降はⅣ世）、啓風丸Ⅱ世の両船は、前述の GNSS 観測装置を用いた海上水蒸気観測の際、高層気象観測もあわせて実施している。

（9）レーダー観測

静止気象衛星が実用化される以前、台風への早期警戒・監視等のために洋上の観測空白域を埋めるべく、海洋気象観測船での気象レーダー観測が凌風丸Ⅱ世、啓風丸Ⅰ世で行われた。昭和 62 年には両船のレーダー関連装置を更新し、デジタル化したレーダー画像を気象庁に送信できるようになった。その後、人工衛星によるリモートセンシング観測の充実により、相対的に洋上でのレーダー観測の重要性が低下したこともあり、各船の更新時に船用気象レーダーを搭載せず、現在は実施していない。

2. 港湾気象業務

（1）篤志観測船

海上輸送や漁業等に従事する海事関係者にとって、気象情報は船舶の安全かつ効率的な運航には非常に重要なものである。一方、この気象情報を作成するにあたり、一般船舶による海上気象観測・通報は欠くことのできないものである。昭和 49 年の「海上における人命安全のための国際条約」（SOLAS: International Convention for the Safety of Life at Sea）では、船舶に対して、海上気象観測・通報を奨励するとともに、各国の気象機関に対して、船舶に対する的確な情報の提供と国際観測通報船舶の体制整備を義務付けている。また、昭和 39 年に開催された第 4 回世界気象機関（WMO）海洋気象委員会（CMM-4）において、CMM 加盟国に対して、気象観測網の一部を担う篤志観測船による海上気象観測を支援することを目的として、港湾気象官の配置及び港湾気象業務の確立を図るよう求められている。このような枠組のもと、我が国においては、昭和 43 年 10 月に港湾気象業務暫定実施要領を定め、横浜・名古屋地方気象台及び函館・舞鶴・神戸・長崎海洋気象台において港湾気象業務を開始した。港湾気象官は昭和 46 年に横浜地方気象台に、昭和 47 年に名古屋地方気象台及び神戸海洋気象台に配置された。平成 25 年の気象庁の組織改編により海洋気象台が廃止となり、札幌・仙台・大阪・福岡管区気象台及び沖縄気象台において港湾気象業務を開始した。令和 3 年 4 月には港湾気象業務の再編が行われ、横浜・名古屋・神戸地方気象台における港湾気象業務は終了、本庁、東京・大阪管区気象台に移行した。令和 5 年 4 月における港湾気象業務の再編により、全ての港湾気象業務を本庁が執り行うこととなった。

WMO では、篤志観測船計画（Voluntary Observing Ships Scheme）により、組織的な海上気象観測データの収集、国際交換の促進を図っている。

我が国では、無線通信設備を備えることを義務付けられた船舶に対して、気象業務法第 7 条第 1 項で気象測器の備え付け、同条第 2 項、同法施行規則第 4 条、第 5 条で北西太平洋域での気象観測の実施とその成果の報告（船舶気象報による通報及び船舶気象観測表の提出）を義務付けている。このため、気象庁では気象業務法施行規則第 50 条に定める報告書の提出を該当する船舶に求め、この 50 条報告書を提出した船舶を、WMO の国際観測通報船舶リストに登録し、国際的な海上気象観測データの収集・交換に貢献してきた。しかし、昭和 50 年代後半頃から船舶会社の管理船の外国籍（便宜置籍）化が進み、昭和 40 年代後半頃には約 500

隻登録されていた日本国籍船は、平成初期には 100 隻近くまで減少した。実際には外国籍化した船舶に対しても船舶会社を介した観測データの収集の働きかけは継続しており、そうした実態をふまえた国際観測通報船舶リストとなるよう、我が国の船舶会社が管理する外国籍船のうち、観測・報告への協力を得られる船舶を含めて、我が国の篤志観測船として WMO に登録することとしている。令和 5 年 3 月現在、我が国から約 600 隻の船舶を篤志観測船として WMO に登録している。

(2) 海上気象統計

昭和 38 年の第 4 回 WMO 総会において、「世界気候図帳の海洋編刊行を目標とする海洋気候一覧表と資料収集のための国際計画」(海洋気候概要計画 (MCSS: Marine Climatological Summaries Scheme)) が決議されたことに基づき、我が国では昭和 39 年に国際海上気象資料統計業務を開始した。この計画の中で、気象庁は北西太平洋海域の責任国 (RM) として、海上気象観測データの収集・国際交換を行っている。

令和 5 年における国際海上気象資料統計業務の主な内容は、我が国の一般船舶による海上気象観測データの収集、観測データの品質管理及び国際交換、我が国の一般船舶の観測・報告に関する管理・指導等である。

各船舶では観測したデータを、観測後すぐに船舶気象報という形式でインマルサット衛星等を経由して気象庁に通報し、気象庁では、WMO の全球通信システム (GTS: Global Telecommunication System) を通じてリアルタイムで国際的に交換するようにしているほか、航海終了後に、各船舶は船舶気象観測表という形式でも気象庁に提出している。船舶気象観測表のデータは、MCSS を近代化して実装した海洋気候データシステム (MCDS: The Marine Climate Data System) のもと、各国での品質管理の後、英国気象局とドイツ気象局が運営する全球収集センター (GDAC: Global Data Assembly Centre) に集められ、米国海洋大気庁 (NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration) の ICOADS (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) といった全球的な海上気象資料として気候変動等の調査研究の目的に利用されている。

(3) 神戸コレクション

神戸海洋気象台では、明治 23 年以降の商船、漁船、観測船による海上気象の観測表を収集・保管してきた。世界的にデータの少ない時代及び海域をカバーしているこれらのデータは、気候変動や海洋の研究者の間で、貴重な歴史的海上気象資料として「神戸コレクション」と呼ばれている。

昭和 36 年に、昭和 8 年以降の商船等の観測データ (約 270 万通) について、気象庁と NOAA の共同事業によってデジタル化を行った。デジタル化されたデータは、世界的に広く利用されている海上気象観測のデータセットである「統合海洋気象データセット (COADS: Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (NOAA と米国大気研究センター (NCAR) で作成))」にも収録され、様々な研究・解析に活用されている。

昭和 8 年以前のデータについてはマイクロフィルムで保管していたが、これらのデータをコンピュータで容易に処理できるようデジタル化し、気候変動等の調査・研究を実施・推進する事業を、日本財団助成の公益事業として、(財) 日本気象協会が気象庁の支援のもと、平成

7 年度に開始し、平成 15 年に完了した。

3. 潮汐・波浪

(1) 潮位観測（高潮・津波）

潮の満ち引きである潮汐に関する観測の歴史は古く、満潮・干潮の時刻を知ることは航海に重要で、日本においても 19 世紀から天文潮位の予測に必要な潮汐調和定数を計算するために 1 時間ごとの潮位を計測することから始まり、現在では、津波や高潮などの防災情報に必要不可欠な観測値としてその利用価値が高まっている。

気象庁における潮位観測の強化が図られてきた背景としては、伊勢湾台風（昭和 34 年 9 月 26 日）での甚大な高潮災害を契機に高潮が発生しやすい内湾（東京湾、伊勢湾、大阪湾、有明海）での観測の重要性が社会的な要請となり、その後も日本海中部地震（昭和 58 年 5 月 23 日）、北海道南西沖地震（平成 5 年 7 月 12 日）、阪神・淡路大震災（平成 7 年 1 月 17 日）の相次ぐ地震津波災害を契機に津波観測の強化策として島嶼部や岬のより津波が高くなる場所を中心に津波観測情報の高度化に資する観測地点の拡充を行ってきた。また、高潮や津波監視のための遠隔監視（テレメータ）については、1980 年代までは一部の観測点に限られていたが、相次ぐ津波災害を受けて、全地点のテレメータ化を平成 6 年にかけて実施し、リアルタイムでの潮位の監視体制を構築、平成 14 年には気象庁ホームページに潮位の時系列表示を追加し、5 分ごとにリアルタイムで情報を更新する体制を整備した。また、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（東日本大震災）では、甚大な津波被害が発生したことから、それまでの地上回線に衛星回線を追加した通信方式など、より一層の観測・監視体制の強化を図った。

(2) 検潮儀

検潮儀は潮位を計測する測器で、技術革新に伴い浮き（フロート）式から音波式、電波式へと変遷してきた。検潮儀は検潮所にある井戸の上部に設置し、海面までの距離を測定することで、潮位を計測している。

検潮所内の井戸には導水管を通じて海水が自由に外と交換している。浮き式の計測は井戸にフロートを浮かべその上下動を自記紙にペンで記録する方式で定期的に自記紙を回収し職員が読み取る方式であった。検潮所の導水管は一定程度の波浪の影響を取り除くアナログフィルターの役割を果たしている。

現在ではデジタル技術の進展にあわせ、音波式を平成 8 年から、電波式を平成 22 年からそれぞれ導入し、計測値のデジタル処理によって波浪などの影響によるノイズ成分を取り除くことで、潮位の観測を実現している。

(3) 津波観測計

津波観測の強化のため、平成 10 年 3 月から従来の検潮所がない地点で観測できるよう、港湾や漁港等の岸壁に当初は音波式、現在は電波式の潮位観測機器を設置している。検潮所のような建物や井戸を作る必要がないため、整備までの期間短縮、経費低減を図っている。音波式では海面までの距離を測定することで、潮位を計測しており、音速補正のために自然通風式の温度計も併設している。その後、平成 22 年にはセンサーを電波式に変更することで、音速補正を必要としない計測方法となっている。これらの機器は、測定手法としては音波式や電波式

の検潮儀と同じだが、整備の目的に照らして津波観測計と呼んでいる。

また、東日本大震災（平成 23 年 3 月 11 日）により、東北地方沿岸を中心に複数の潮位観測地点が壊滅的な被害を受けたことから、観測の早期復旧を図るために、機動型津波観測装置の導入を図った。岸壁などに設置し、台風や地震でも観測できるよう重量化を図りつつ移動可能な装置として設計している。さらに、震災等一時的な装置の障害等にも対応できるよう職員が持ち運び可能な可搬型津波観測装置を平成 30 年から導入しており、津波監視に支障をきたさないよう障害対策の強化を進めている。

（４）巨大津波観測計

従来型の検潮所では井戸の上端を超えるような大きな津波が襲来した場合は、それ以上の高さの海面を計測できないことから、平成 7 年度の補正予算によって、津波警報の運用に合わせ 20 メートル程度までの津波を観測できる水圧計を巨大津波観測計として導入した。当初、巨大津波観測計は陸上部に設置し、陸を超えた津波を観測対象としていたが、平成 20 年以降は岸壁にはしご状防舷材を設置し、防舷材の海中部に水圧センサーを固定する計測方式に変更を行っている。

（５）遠地津波観測計

チリ沖地震等で発生する遠地津波の早期検知の必要性から日本の最南東端に位置する南鳥島に津波観測計を整備し、遠地津波観測計として平成 8 年 3 月から運用を開始した。海中に設置したセンサーには大気圧補正を精度よく自動で行うために差圧式の圧力計を用いており、大気解放された空気をセンサー内まで接続している。遠地津波観測計としての活用以外にも太平洋で数少ない海面水位の観測地点として、地球温暖化による海面水位上昇を監視するための重要な観測地点の一つとして、UNESCO 傘下の政府間海洋学委員会（IOC）で運営している全球海面水位観測システム（GLOSS）に登録し活用している。

（６）ブイ式海底津波計

東日本大震災（平成 23 年 3 月 11 日）により東北地方太平洋沖の日本海溝沿いで津波を伴う地震の発生が危惧されていたことから、早期に津波を検知するために、宮城県沖から岩手県沖にかけて 3 基のブイ式海底津波計を平成 25 年 12 月に設置した。ブイ式海底津波計は海底 4,000m 付近にセンサーを定置し水圧の変化で海面変動を検知するもので、直上の海面に係留したブイに音波通信を使ってデータ通信を行い、津波を検知した場合にブイに搭載した衛星通信機能を使って気象庁まで観測値を送信する。この計測システムは早期に導入を図るため、当時、米国海洋大気庁（NOAA）が太平洋各地で運用していた津波検知用の DART 方式ブイと同じ仕様の装置を導入した。

このブイ式海底津波計は、東北地方太平洋側の地震津波の監視のために防災科学技術研究所が整備した海底ケーブル式の地震津波観測網（s-net）が運用を開始するまでの期間、津波監視に活用された。

（７）潮位データ総合処理装置

平成 16 年 9 月台風第 16 号により瀬戸内海沿岸域で広域に発生した甚大な高潮災害を契機に、高潮監視の強化のため国土交通省内の関係機関（水管理・国土保全局、港湾局、国土地理院、気象庁、海上保安庁）により、潮位データの共有に関する協定が締結された。具体的には

平成 16 年 12 月にまとめられた「豪雨災害等緊急アクションプラン」の中で、潮位データについて「平成 17 年度以降 5 年間で、瀬戸内海、東京湾、伊勢湾、大阪湾、有明海の高潮のおそれのある主要な 5 地区について、各機関の潮位・波高データについてデータ形式を標準化し、共有化するシステムを整備」することと提言している。この共有した潮位データは国土交通省防災情報センターの一つの情報として、気象庁が管理することとなり、そのための情報システムとして、潮位データ総合処理システムを平成 18 年 3 月に導入した。また、潮位データ総合処理システムは、想定される首都直下地震等発生時にもシステム稼働を確保するために、大阪管区气象台に同様のデータ集配信機能を持ったシステムを整備し、BCP 対策を講じている。

(8) 沿岸波浪観測

波浪観測は 1970 年代に発生した海難事故を契機に沿岸における波の高さを計測する必要性が議論され、昭和 46 年 5 月運輸技術審議会は政府に対し「波浪の観測および予報のシステム確立」を答申した。この答申では、近代的な波浪観測システムの確立と並んで迅速かつ的確なデータ処理体制確立、各機関相互の観測データの交換も求めている。気象庁では、この答申に沿って沿岸波浪観測施設の整備を計画し、昭和 50 年に石廊崎（静岡県）に最初の波浪観測施設を整備し、以後毎年 1 か所ずつ昭和 55 年までに 6 か所の整備を行った。また、昭和 59 年までに 3 地点の追加整備を行い、最終的に全国 11 地点における沿岸波浪観測体制を構築した。

施設整備以前の波浪観測は船舶からの通報による目視観測が主体で、沿岸域では観測そのものが少なく、観測頻度も限られていた。最初に導入した波浪観測装置は水深 50m 付近の海底に超音波式のセンサーを固定するタイプで、センサーから頑丈な^{がい}鎧装ケーブルで陸上部の計測装置まで接続し、地上回線で最寄りの気象官署へ観測値を送信する仕様だった。その後に整備された波浪観測装置は、陸上の岬などの高台に波浪観測用のレーダーを設置し、マイクロ波を海面（水深約 50m の地点付近）に発射し、その反射波で波浪を計測する仕様で、それまでの超音波式に比べ、設置やメンテナンスにおける海中作業を無くすなど大幅な軽減を図り運用面でのコスト低減に寄与した。また、マイクロ波式の沿岸波浪装置は、それまでの超音波式に代わって平成 22 年から平成 24 年にかけて 6 地点において更新整備が行われ、それまでの有義波高、周期の観測に加え、方向別の波浪スペクトルの観測機能を備えたことにより、数値波浪モデルの改良にも寄与した。

(9) 海洋気象ブイロボット

海洋気象ブイロボットは、昭和 43 年に開発を開始し、昭和 48 年以降は定置型のブイを日本周辺の海域に係留し、気象・海象の自動観測通報を行ってきた。この整備は、国際的には世界気象機関（WMO）の世界気象監視計画（WWW）及び全世界海洋情報サービスシステム（IGOSS）計画の一環として行っており、海洋上のデータ空白域を埋める観測であるとともに、我が国に影響を及ぼす台風や発達した低気圧、梅雨前線の活動、季節風の吹き出し等を監視する防災の目的を担うものであった。観測に用いたブイは、直径 10m、重さ約 50 トンの円盤型（鋼板製）で、途中設置数の増減や設置位置の変更があったものの、最終的には日本海、東シナ海及び四国沖の 3 か所に設置し、1 ～ 2 年ごとに工場へ^{えいこう}曳航して保守、修理を繰り返しながら観測を続けた。その後、ブイ本体、観測機器、通信機器等の老朽化が進み、機能を維持するための保守、修理は困難になってきた。このため、平成 5 年から平成 7 年には海流の把握を目

的とする漂流ブイに気圧計、3軸加速度計を用いて波浪の方向スペクトルのデータ取得を狙った波浪ブイを製作して業務実験を行い、新技術の実証、業務化の可能性の検討を行った。このような状況を踏まえ、気象庁は平成12年度にブイの運用を従来の定置型ブイから新たな小型の漂流型ブイに変更し、運用を続けている。

4. 海水

(1) 沿岸海水観測

我が国では、組織的な海水観測を、明治25年1月から北海道庁により網走・根室の測候所、宗谷・枝幸・沙那の戸長役場、落石岬灯台の6か所で一斉に開始した。明治38年には観測点は26か所に増加した。さらに、明治44年には領有となった北緯50度以南の樺太の10か所の測候所・観測所で海水観測を行うこととなった。

昭和14年、測候所の国営移管があり、海水観測業務も中央气象台が管理することとなった。昭和17年11月には、海水観測の方法が気象官署によりまちまちであったことから、中央气象台は海水観測の基準として「海水観測要項」を制定した。同月、海水業務を所管することとなった函館海洋气象台は、この要項の実施規程として「海水観測規程」を定めた。昭和18年9月、函館海洋气象台は「流水電報式」を制定、同年度から通報（有線）が開始された。翌昭和19年には軍の要求に基づき、「海水実況通報式」を定めた。

しかし、戦局の悪化により、昭和20年冬期には通報も途絶えがちとなり、同年夏の終戦後、観測網を北海道沿岸に局限することとなった。

昭和21年冬期からは、北海道沿岸の7か所の測候所（稚内・枝幸・雄武・網走・根室・釧路・浦河）が「観測要項」による観測を続けた。昭和26年には、「気象官署観測業務規程」を定めた。また同年、従来の「海洋観測法」を改訂し、「海洋観測指針」を刊行することが中央气象台観測委員会海洋分科会で発議し、海水観測の事項については、函館海洋气象台に一任した。

同台の複数回の協議により観測法を定め、昭和30年3月に中央气象台が制定した「海洋観測指針」の「第12章 海水観測」に収録した。沿岸観測の結果は、速報として昭和30年から「函館海洋气象台旬報」、昭和44年から同台「海水概報」として発表した。昭和31年には、新たに設置した紋別測候所でも沿岸海水観測を開始した。

昭和35年、札幌・函館両气象台は「海水観測実施基準」を作成したが、昭和41年には「海水業務暫定実施要領」を定めた。この実施要領は昭和48年に改正したが、この要領に則り実際の沿岸海水観測を実施した。その後昭和59年に、札幌管区气象台が「管内海水業務実施要領」を定め、現在に至っている。

以上のように、戦後も多く地点で長期にわたり沿岸海水観測を実施してきたが、測候所の無人化に伴い、北見枝幸と雄武では平成16年、紋別では平成19年、根室では平成22年に観測を終了した。稚内・網走・釧路の3地方气象台では引き続き沿岸海水観測を実施してきたが、既に利用が進められていた衛星データとともに、海水業務への導入を新たに予定していた日本沿岸海況監視予測システム（令和3年12月から利用開始）の利用により有効な現状把握が可能となることから、気象庁における海水業務の見直しを行い、令和3年に全水量、沿岸海水の分布状況の定時観測及び海水現象の流水終日、海明けの観測を終了した。現在での沿岸海水

観測種目は流水初日と流水接岸初日のみとなっている。

(2) 航空機観測

海軍水路部は、昭和 5 年 2 月～3 月に軍艦大泊によるオホーツク海の海水調査を行った。昭和 10 年から昭和 18 年まで、毎冬艦船による調査を大規模に行い、昭和 10 年、14 年、15 年の調査では、飛行機も投入した。

一方、昭和 9 年、北日本は大冷害に見舞われ、同年 12 月の臨時国会では、農林省の冷害対策事業として飛行機による流水観測を取り上げ、中央气象台にその実施を委託した。観測は、昭和 10 年 3 月から昭和 19 年まで行った。観測資料の大部分は火災や空襲により失われてしまったが、函館海洋气象台は残っていた飛行機による流水観測資料を可能な限り収集して昭和 30 年に「流水図 (1937-1944)」を刊行した。

昭和 21 年冬期からは、沿岸海水観測のみ続けていた。昭和 32 年 1 月～3 月の間、気象庁からの依頼業務として陸上自衛隊の航空機が 25 回の海水観測を行った。この観測計画には海上保安庁も参画した。昭和 34 年からは航空自衛隊が、昭和 35 年からは海上自衛隊も海水観測に協力することとなった。昭和 45 年 3 月の択捉島単冠（ヒトカップ）湾における流水による漁船の集団海難を契機として、自衛隊機による 1 年当たりの観測回数を増加したが、航空自衛隊の航空機による海水観測は昭和 58 年で終了した。陸上自衛隊と海上自衛隊の航空機による海水観測については、情勢の変化に対応しながら観測回数や観測コースが幾度も変更されつつ実施を続け、海上自衛隊の航空機の観測については合計で 1,000 回以上にわたって行ったが、令和 3 年に陸上自衛隊と海上自衛隊による海水観測はともに終了した。

一方、現在も海上保安庁（第一管区海上保安本部）は、航空機観測を引き続き行っており、12 月～4 月の間に 15 回程度実施している。観測結果は速やかに公表となっており、気象庁では海水解析業務にとって重要な情報の 1 つとして活用している。

5. 沿岸観測 ～沿岸水温と比重の観測～

函館海洋气象台が昭和 46 年に公表した「函館海洋气象台沿革誌」に「明治 18 年 1 月以降毎日 7 時および 15 時ごろ当区仲浜町水上警察署構内、水深およそ 5 尺の処で海水温度を測定した」との記述があり、これが沿岸水温観測の最古の記述である。明治時代に沿岸水温観測を実施した官署は函館を含め 8 地点あり、海水温の観測を重視していたことがうかがえる。以後、観測地点数は約 10 地点で推移したが、昭和 10 年代に大きく増え、昭和 18 年から昭和 24 年まで約 70 地点で推移した。

気象庁では、沿岸の定位置で定期的に行う水温、比重、波浪及び海水の観測を沿岸観測と呼び、観測の手法や頻度の基準を定めた。沿岸での水温・比重の観測結果は、海洋の調査及び予想の重要な資料となり、特に観測船及び一般船舶による資料を得にくい時期及び海域において重要であった。沿岸水温観測は、海岸に近い気象官署のほとんどで実施しており、函館、宮古、御前崎、浜田では複数の地点で行っていた。その後、観測環境の変化などの理由で気象官署での沿岸水温観測地点を整理し、昭和 30 年代は約 45 地点、昭和 40 年代は約 30 地点で推移した。

沿岸水温は、職員がバケツ採水した海水の温度を測定していたが、昭和 47 年 8 月に八丈島で自記観測化したのを皮切りに、昭和 50 年代に年次計画で自記観測化を進め、昭和 61 年 8

月に 20 地点の自記化を完了した。沿岸水温観測を実施していた気象官署では、旬後に自記紙を回収して毎日 10 時の水温を読み取って旬平均値を計算・通報し、月ごとに「沿岸水温観測月表」を手書き又はワードプロセッサで作成して気象庁海洋気象部海洋課や管轄の海洋気象台に送付していた。平成 7 年 4 月には、沿岸水温観測地点を 22 地点から 7 地点（江差、宮古、小名浜、御前崎、八丈島、浜田、石垣島）に整理した。平成 8 年 4 月には、上述 7 地点で沿岸水温の自動毎時観測通報を開始した。リモートセンシング技術の発達により沿岸域を含む広域の海面水温を解析することが可能となったことや設備の老朽化などにより、平成 18 年 3 月で沿岸水温観測を終了した。観測の結果については、気象要覧（昭和 10 年 10 月以降）、海況旬報、気象庁海洋月報に掲載していた。

比重の観測は、バケツ採水による水温観測の際に同様に採水した海水の比重を海水用うきばかり型比重計（赤沼比重計と同じ）により測定することにより行っていた。昭和 18 年 7 月の観測結果の報告によると、水温 61 地点に対して比重の観測は 55 地点で行われていた。水温観測の終了や自記化と前後して、比重の観測は終了し、昭和 62 年の足摺岬を最後にすべての地点で観測を終了した。観測の結果は昭和 53 年 12 月まで気象要覧に掲載していた。

【第 2 節】海洋情報

1. 情報発信の手段

（1）海況概報・海況旬報・海洋月報

中央気象台海洋課は、昭和 21 年 8 月、戦後間もない日本の食糧確保のため、米どころの北日本の凶冷対策、及び水産資源の増獲・開発などのために、日本近海、特に三陸沖の海洋観測資料を収集・解析した「海況概報」第 1 号を発行した。当初は月報としての計画であったが第 3 号から旬報（昭和 21 年 9 月上旬）となった。当時の資料は紙不足の影響から別の資料の裏紙を利用した号もあった。昭和 24 年 9 月下旬（第 107 号）から様式が定型化されて B4 表裏 1 枚となった。資料の名称は、昭和 26 年 1 月上旬（第 153 号）から「全国海況旬報」に、昭和 34 年 7 月下旬（第 461 号）から「気象庁全国海況旬報」に、昭和 61 年 4 月上旬（第 1422 号）から「気象庁海況旬報」と改称、同時に B4 表裏 2 枚組となった。観測データの充実、解析技術の向上により掲載内容は充実の一途をたどったが、エルニーニョ現象などの海洋変動の監視や気候変動との関連などの新たな社会的ニーズに対応すべく平成 4 年 12 月下旬（第 1664 号）で発行を終了し、内容を刷新した「気象庁海洋月報」へその役割を譲った。

気象庁海洋月報は、平成 5 年 1 月から発行を開始し、「海洋の健康診断表」に移行するかたちで、平成 17 年 12 月（第 156 号）で終了した。

海洋気象台においても、各担当海域を対象とした海況旬報を発行した。長崎海洋気象台では「西日本海況旬報」を昭和 23 年 1 月上旬から平成 25 年 3 月下旬（第 2349 号）まで、舞鶴海洋気象台では「日本海海況旬報」を昭和 46 年 6 月上旬から平成 25 年 3 月下旬（第 1506 号）まで、神戸海洋気象台では「南日本海区海況旬報」を昭和 61 年 6 月上旬から平成 17 年 12 月下旬（第 705 号）まで発行した。また、函館海洋気象台では「函館海洋気象旬報」を昭和 29 年 4 月上旬から昭和 43 年 6 月下旬（第 513 号）で発行した後、平成 6 年 3 月上旬から再開し、平成 23 年 1 月中旬（第 608 号）で終了した。

(2) 気象無線模写通報 (JMH)

船舶向けの無線 FAX である気象無線模写通報 (JMH) は、昭和 33 年に放送を開始した (JMH の詳細は、第 4 部第 2 章第 2 節第 5 項「無線通信による通報業務」を参照)。海洋関係では、平均表面水温 (APPA) が毎月 4 日、14 日及び 24 日に、局部海況図 (APPA1) が毎月 9 日、19 日及び 29 日にスケジュールされた。水温図を含む海洋情報の FAX 放送は、世界でも気象庁が最も早かった。

海水温・海流の JMH は、昭和 48 年 4 月からは海流図 (SXJP) と 100m の深さの水温図 (SOJP) を追加し、昭和 61 年 3 月からは北西太平洋の旬平均海面水温の予想図 (FOPN1) と偏差の予想図 (FOPN2) を追加して 6 種類となった。平成 6 年 2 月からは、北西太平洋旬平均海面水温偏差図 (COPQ2) が追加され、実況図が北西太平洋旬平均海面水温図 (COPQ1)、北西太平洋海流図 (SOPQ)、北西太平洋表層 (100m の深さ) 水温図 (SOPN)、太平洋旬平均海面水温・同偏差図 (COPA) をあわせた 5 種類、予想図が北西太平洋旬平均海面水温・海流予想図 (FOPN1)、北西太平洋旬平均海面水温偏差予想図 (FOPN2) の 2 種類の計 7 種類が放送された。平成 16 年 3 月から、そのうち 5 種類を気象庁ホームページからの提供に変更し、現在では、毎週火・金曜日に前日の北西太平洋海面水温 (COPQ1) と北西太平洋海流・表層水温 (SOPQ) の実況図を JMH により提供している。

波浪関連では、昭和 47 年 1 月から、1 日 1 回外洋波浪図 (AXPN、昭和 54 年 7 月から AWPN に名称変更) の JMH を開始した。昭和 52 年 3 月から、外洋波浪 24 時間予想図 (FXPN、昭和 54 年 7 月から FWPN に名称変更) を開始し、昭和 62 年 3 月から 1 日 1 回沿岸波浪図 (AWJP) と沿岸波浪 24 時間予想図 (FWJP) を追加して 4 種類となった。平成 17 年 3 月から、1 日 2 回外洋波浪 12・24・48・72 時間予想図 (FWPN07) の提供を開始して 5 種類となった。平成 21 年 12 月から、外洋波浪図・沿岸波浪図の提供は 1 日 2 回となり、平成 26 年 1 月から、外洋波浪 24 時間予想図・沿岸波浪 24 時間予想図の提供も 1 日 2 回となった。平成 29 年 3 月から、外洋波浪 24 時間予想図に複数の波向きが存在して海面状態が複雑になる海域、沿岸波浪 24 時間予想図に波向きと逆向きの海流により波高が 5% 以上増大する海域の情報を追加し、内容の充実を図った。

海水関連では、昭和 45 年 12 月から毎月 2、7、12、17、22、27 日に、昭和 53 年 12 月から毎週火・金曜日にオホーツク海と周辺海域の海水解析図 (SXPAN、昭和 54 年 7 月から STPN に名称変更) の FAX 放送を開始した。平成 2 年 12 月から、毎週水曜・土曜日に北海道周辺海域の海水予想図 (FIOH04・FIOH16) の提供を開始した。令和 4 年 1 月から、海水予想図 (FIOH に名称変更) は、週 5 回 (月・水・木・土・日) 発表へ、1 日間隔で 8 日後までの予想図を掲載することとして、内容を大きく改善した。

(3) 海洋の健康診断表

「海洋の健康診断表」は、地球環境監視強化、地球温暖化などへの対策に寄与するため、地球環境の変化に密接に関わる海洋の変化や天候に影響する海洋の状態とその変化の見通しなどを、様々なデータと最新の知見に基づいて診断し、わかりやすく解説した情報であり、平成 17 年 10 月から提供を開始した。10 日ごとや月ごとなど定期的に最新の海洋の状況を提供する「定期診断表」と、黒潮大蛇行や異常潮位など顕著な海洋現象が発生又は予測される場合に

提供する「臨時診断表」についてホームページに掲載している。

平成 18 年 3 月に、海洋の各種変動や変化を詳しく分析し、総合的に取りまとめて提供する「総合診断表」を公表した。「総合診断表」は、気候問題懇談会検討部会の協力を得て作成し、一般の方にわかりやすいように、各節を統一した構成で記述し、可能な限り専門用語の使用を避け、使用する場合にも本文や付録に説明を付している。地球環境問題の視点から海洋の現象をとらえ、「地球温暖化に関わる海洋の長期変化」、「気候に関連する海洋の変動」、「北西太平洋の海洋汚染の状況」の三つの章を設け、現象ごとの診断の要約を冒頭にまとめて記述している。また、これらの章に関わりの深い最近の研究成果や技術動向をコラムに記述している。

平成 25 年 10 月に、最新の知見を体系的な情報として提供するため、改めて「総合診断表第 2 版」として、気候問題懇談会検討部会の協力を得て作成した。

それ以降、内容の更新は新たな見解がまとまった際に、項目ごとに随時行うこととした。項目の見直しとして、近年では、令和 3 年 3 月に、「地球温暖化等に関わる海洋の長期変化」の分野の表面海水中の pH の長期変化傾向（日本近海）などの診断を開始し、「北西太平洋の海洋汚染の状況」の分野の油分・重金属の診断を終了した。

令和 5 年 3 月、総合診断表の各項目を以下のとおり見直した：海水温、日本沿岸の海面水位、海水、海洋の温室効果ガス、海洋酸性化、北太平洋の海洋変動、日本近海の海洋変動、エルニーニョ現象、北西太平洋の海洋汚染の状況。

2. 海水温・海流

(1) 海面水温

船舶からの観測データをもとに作成し定期的に発表された表面水温図のはじまりは、海洋気象台（現 神戸地方気象台）が作成した「日本近海水温分布図」で、第 1 号は昭和 15 年 8 月上旬の図である。第 27 号の昭和 16 年 4 月上旬まで毎旬作成されていたが、その後いつまで発行が続いたか資料が残されていない。

中央気象台は、昭和 21 年 8 月に海況概報を発刊し、翌年 8 月上旬から毎号日本近海の旬平均表面水温図を掲載した。昭和 24 年 1 月上旬からは各号の一面を飾るようになり、さらに旬平均表面水温の平年差の図が追加された。昭和 43 年 6 月下旬からは表面水温は海面水温に名称を改めた。昭和 46 年 6 月上旬から前月の日本近海の月平均海面水温図、昭和 49 年 2 月上旬から日本近海の月平均海面水温の平年差の図を追加した。昭和 61 年 4 月から日本近海の月平均海面水温図と平年差の図は毎月下旬の掲載に変更し、さらに各月下旬に全球の月平均海面水温図と平年差の図を新たに追加した。昭和 62 年 10 月上旬から、平年差の図のコンターには 1℃ごとの実線に 0.5℃ごとの破線を追加した。平成 2 年 1 月から客観解析を導入し、実況図は旬ごとの全球緯度 1 度×経度 1 度のデータセットから作成するようになった。平成 5 年 1 月に刊行開始した気象庁海洋月報には、全球は月平均の海面水温図と平年差の図、北西太平洋は旬平均と月平均の海面水温図と平年差の図と、新たに追加された北西太平洋を 21 に区切った海域の海面水温偏差時系列図の掲載を開始した。

平成 16 年 4 月からは衛星データと現場データを組み合わせた新たな客観解析である MGDSST (Merged satellite and in-situ data Global Daily Sea Surface Temperature) を

導入し、実況図は日ごとの全球緯度 0.25 度×経度 0.25 度のデータセットから作成するようにした。平成 28 年 5 月から、「ひまわり 8 号」のデータを利用した解像度 0.02 度の日本近海の海面水温画像を 1 日 2 回作成することになり、同年 10 月から MGD SST と「ひまわり」のデータを組み合わせた HIMSST (High-resolution Merged satellite and in-situ data SST) の運用を開始し、北西太平洋の実況図は緯度 0.1 度×経度 0.1 度のデータセットから作成するようにした。現在、気象庁ホームページでは過去 5 日間の実況と日本沿岸海況監視予測システムによる 30 日後までの北西太平洋の海面水温予想図を閲覧することができる。また、JMH では北西太平洋海面水温図 (COPQ1) を毎週火・金曜日に放送している。

(2) 表層水温

気象庁では、海面から水深 500m くらいまでを「表層」としている。表層水温図は海洋概報第 1 号から掲載 (凌風丸三陸沖海洋観測水深 100 米層水温図) しており、以後、気象庁海洋気象観測船など官庁船により行われた観測線に沿った鉛直方向の水温分布図や、観測海域の水深 25m、50m、100m などの水温図を全国海況旬報に不定期に掲載した。昭和 33 年 5 月中旬からは海域を日本近海に固定し、水温図の深さは 100m に一本化された。昭和 45 年 1 月から定期化され、毎月上旬の全国海況旬報に、前月の日本近海の水深 100m の水温図を掲載するようにした。昭和 46 年 6 月から毎月下旬に変更、昭和 61 年 4 月から再び毎月上旬に変更し、毎月中旬には北緯 60 度から南緯 20 度までの太平洋海域の水深 100m の水温図を新たに追加した。平成 2 年 1 月から主観解析から客観解析に移行した。平成 5 年 1 月に刊行を開始した気象庁海洋月報では従来からの日本近海の水深 100m の水温図を掲載することにした。平成 7 年 1 月からは太平洋海域の水深 100m 水温図が復活し、平成 9 年 1 月からは、日本近海と太平洋海域の水深 200m と 400m 水温図を新たに追加した。平成 13 年 1 月からは日本近海と太平洋海域の水深 100m、200m、400m の水温図は、海洋総合解析システムによる解析図に置き換えた。

平成 18 年 1 月、気象庁海洋月報から気象庁ホームページへの移行後、水深 50m の水温図を追加し、令和 5 年現在、日本近海は日別と旬平均、北西太平洋域は旬平均と月平均、太平洋海域は月平均の表層水温図を掲載している。令和 2 年 10 月、日本沿岸海況監視予測システムの運用開始により、水深 100m の水温図は 30 日後までの 1 日ごとの予想図を掲載するようにした。また、JMH では、前日の北赤道海流と黒潮・黒潮統流の流路と合わせた北西太平洋域の水深 100m の水温図 (SOPQ) を毎週火・金曜日に放送している。

(3) 海流

昭和 29 年 6 月下旬の全国海況旬報に、海上保安庁測量船の GEK (電磁海流計) の観測に基づく海流を観測点ごとにプロット (流向を矢印で表し、流速を数値で記入) した図を掲載した。これが最初の海流図である。以後、気象庁海洋気象観測船や海上保安庁測量船、各都道府県の水産試験場調査船などによる海流観測データをプロットした図を不定期で全国海況旬報に掲載した。昭和 45 年 1 月から定期化し、毎月下旬の全国海況旬報の裏面に、前月の船舶による海流観測をもとにした日本周辺海域の海流図を掲載するようにした。昭和 46 年 6 月から毎月中旬に変更、昭和 61 年 4 月から毎月上旬に変更し、海流プロット図に黒潮と対馬暖流の流路の表示を加え、前月各旬の黒潮流軸図を新たに追加した。平成 5 年 1 月に刊行を開始した

気象庁海洋月報からは領域を北西太平洋に拡張し、黒潮と対馬暖流に加え北赤道海流の流路も示した海流図を掲載した。平成9年1月から TOPEX/POSEIDON 衛星の力学的海面高度と表層水温の分布から算出した北西太平洋海流ベクトル図を新たに追加し、海流図は面的な図へ大きく飛躍した。長年続いた船舶観測をもとにした海流図は、平成12年12月で終了となり、翌月からは海洋総合解析システムによる北西太平洋海流ベクトル図に加え、日本周辺海域の海面、100m 深、200m 深、400m 深の4種の海流図を新たに掲載した。

平成18年1月、気象庁海洋月報から気象庁ホームページへの移行後、海流図の掲載は日本近海の50m 深の海流に整理された。現在、気象庁ホームページでは日本沿岸海況監視予測システムによる過去5日間の実況と30日後までの予想図を閲覧することができる。また、JMHで毎週火・金曜日に放送される北西太平洋海流・表層(100m 深)水温図(SOPQ)には、前日の北西太平洋域の100m 深の等水温線と合わせて北赤道海流と黒潮・黒潮続流の流路を表示している。

3. 海水

(1) オホーツク海

沿岸海水観測は1890年代から、船舶や航空機による海水観測は1930年代から行われていたが、広範囲にわたるオホーツク海の海水域の状況を面的に観測できるようになったのは、人工衛星の利用ができるようになった1960年代からである。

世界最初の気象衛星は昭和35年4月に打ち上げられた TIROS1 号であった。TIROS1 号が撮影した写真を用いて海水・雲分布を解析したのが、日本で最初の気象衛星写真を用いた海水解析であった。続いて、昭和39年2月の TIROS8 号の写真からオホーツク海の海水解析を試みたが、カメラ光軸の向きや画質に問題があり、海水解析にはあまり利用されなかった。昭和41年2月から実用気象衛星として ESSA シリーズが打ち上げられた。ESSA は分解能が直下1.9km まで高められ、カメラ光軸の向きも改良されたので、画像解析が容易となった。昭和41年12月から、気象庁は気象研究所が受信した ESSA2 号の画像を利用してオホーツク海の海水分布の解析を開始した。昭和45年3月17日、発達した低気圧の接近により択捉島の単冠(ヒトカップ)湾に緊急避難していた漁船19隻を流水群が襲い、11隻は脱出したものの8隻は座礁・航行不能・沈没に至り、死者・行方不明者30名という流水による海難としては最悪の惨事となった。この悲劇を契機に海水観測・海水情報提供の体制が強化され、気象庁は、沿岸観測と船舶、航空機、北海道大学の沿岸海水レーダー及び人工衛星による観測資料を基に、オホーツク海と日本海北部の海水を解析し、昭和45年12月から毎月2、7、12、17、22、27日について翌年5月までのオホーツク海の半月平均海水図のJMHを開始した。

ESSA シリーズの成功を受け、昭和45年12月から気象衛星 NOAA シリーズがスタートした。搭載するセンサーは更に改良され、直下分解能は0.9km にまで高められた。昭和52年11月、日本の静止気象衛星 GMS が運用を開始し、その定置的かつ即時的な画像により、気象庁の海水解析は飛躍的に進歩した。このため、昭和53年1月から海水域の密接度を1-3/10、4-6/10、7-8/10、9-10/10の4段階で解析し、同年12月からは半月平均海水図のJMHを週2回(毎週火曜日・金曜日)に増やし、昭和54年1月からはオホーツク海の実況・情報文(和文・

英文)を追加することで海水情報のタイトルを付加した。昭和55年2月からはウラジオストク周辺・渤海・カムチャツカ半島東岸にも海水解析範囲を広げ、平成9年12月から海水の解析手法にパソコン上での対話型処理を導入し、解析結果の電子媒体化を実現した。パソコンでの対話処理による解析作業は、主に衛星画像をもとに解析者が海水域や海水密接度を主観的に決定する手法であり、解析結果の評価や改良に結びつけるためには客観化の導入が必要であった。SSM/I、AMSR-E等のマイクロ波放射系の輝度温度データから客観的に海水分布図を作成する手法を開発したが、陸地付近では疑似の海水域が解析されたり、海水の融解期には実際の海水域・密接度より小さく解析されるなどの問題があった。また、日々の海水解析図を衛星画像等から自動処理で作成する方法についても研究、調査を行い、平成26年/平成27年海水シーズンに、Metop-B、NOAA-19等の極軌道衛星データを用いた海水自動解析の試行を行った。平成27年に正式運用を開始した「ひまわり8号」はMetop-B、NOAA-19で利用していたバンド帯を含む多くの観測バンドを備えており、10分間隔の高頻度の観測が可能になった。平成27年/平成28年海水シーズンから、「ひまわり8号」のデータを用いた海水自動解析システムの運用を開始した。

平成4年12月から気象庁発表の海水情報のタイトルは「全般海水情報」となった。また、オホーツク海南部を対象とした札幌管区気象台発表の「北海道地方海水情報」は平成3年11月に取扱いを定め、稚内・網走・釧路地方気象台が府県海水情報としてそれぞれ発表する「宗谷地方海水情報」、「網走・紋別地方海水情報」、「釧路・根室・十勝地方海水情報」は平成5年1月に良質な観測の成果が得られた時等は積極的に発表することになった。平成20年12月から府県海水情報は流水の初終日の観測と陸上自衛隊の航空機観測があった時のみ発表となった。

海水予報業務については、昭和34年に札幌・函館両気象台協議の上、「海水予報実施要領」を定め、海水予報・地方海上海水予報・週間海水予報・長期海水予想などの内容を決めた。翌35年には「気象官署予報業務細則」の改正で、府県予報区・地区予報区・特区予報区それぞれの予報担当官署で冬季間毎日1回海水予報を行うことになったが、予報区の見直しにより、平成9年3月から地区海水予報、特区海水予報を廃止し、府県海水予報のみ行うこととし、発表官署は稚内・網走・釧路の各気象台のみとなった。地方海水予報は昭和57年1月に施行を行い、対象海域に海水が存在する場合のみ細分ごとにその旨を地方海上予報に報じる内容で、昭和59年1月から正式に運用した。

これらの海水予報は、当初は経験や統計的手法に基づく定性的なものでしかなく、利用者にとって必ずしも満足のいくものではなかった。このため、週間海水予報に関しては客観的に海水の分布を予想する手段として海水の運動を表す力学過程と海水の生成・融解をもたす熱力学過程からなる数値海水モデルの開発に着手し、2年間の業務実験を経て、平成2年12月から数値海水モデルに基づく海水予報を開始した。この数値海水予報は、海水が北緯48度以南に存在する場合北海道周辺海域を対象として1週間先までの海水の変化を計算して図形式の予想図として発表し、毎週水・土曜日にJMHなどで利用者に提供していた。また、長期海水予想に関しては、過去の海水域面積と気象の統計的関係をもとに海水域の実況と予想される気象から1か月ごとのオホーツク海の海水域を予想する客観的手法を開発した。オホーツク海

の海水の1か月後の予想を内容とした「北海道地方海水情報」を12月～3月の月1回・年4回発表した。令和4年/令和5年海水シーズンから、日本沿岸海況監視予測システムの予測値を用いて情報を作成することとした。

平成14年12月から、気象庁が発表する全般海水情報・数値海水予報などはインターネット上で閲覧できるようになり、あらゆる方面のユーザーに利用しやすいものとなった。海洋の健康診断表では海水に関する診断表、予報として公開している。

気象庁では、昭和58年から平成12年まで毎年、航空機や船舶、気象官署による目視観測、レーダーや衛星によるオホーツク海の海水観測の成果及び北極域や南極域の海水データを取りまとめ、「気象庁海水観測資料」として印刷物として刊行した。また、各種の海水データを統計的にまとめた「気象庁海水統計資料」を刊行してきた。「気象庁海水観測資料」は平成13年（第19号）から平成18年（第24号）まで、「気象庁海水統計資料第3号」を平成13年に電子媒体(CD-ROM)で発行した。平成19年以降、これらの資料は、海洋の健康診断表に海水のデータとして公開している。

海水業務への導入を新たに予定していた日本沿岸海況監視予測システム（令和3年12月から利用開始）の利用により有効な現状把握が可能となることから、気象庁における海水業務の見直しを行い、1週間先の予報は、オホーツク海全域を対象とし、12月から5月までの毎週日・月・水・木・土曜日にJMHなどで利用者に提供している。全般海水情報及び海水予想図は日本沿岸海況監視予測システムをもとに作成することとし、府県海水予報は日本沿岸海況監視予測システムを利用して自動作成された解説文を海洋の健康診断表に掲載することにした。

（2）北極・南極域

海水域の状況を面的に広範囲に観測できるようになったのは、人工衛星の利用ができるようになった1960年代初めからである。昭和47年にはNOAA-2による可視・赤外センサー(VHRR)による観測データを得るようになり、また、同年、地球資源技術衛星ERTS-1（後にLANDSAT-1と改名）も打ち上げられ、衛星データの海水調査への利用も盛んになり、北極全域の海水状況の把握が可能となった。昭和48年にはNIMBUS-5のマイクロ波による観測(ESMR)が行われるようになり南極域でも昼夜・天候に関係なく海水状況の把握が可能となった。マイクロ波による観測はNIMBUS-7のSMMR、米国の軍事気象衛星DMSPのSSM/Iに引き継がれた。

昭和59年に気象庁は、米国海軍-海洋大気庁合同海水センター(JIC: NAVY-NOAA JOINT ICE CENTER)、平成7年から米国国立海水センター(NIC: U.S. National Ice Center)と海水データ(海水図及び出版物)を郵送により交換を開始した。気象庁は、JICの海水図から海水縁データかいひようえんを抽出し、北極域や南極域の海水図を作成した。

気象庁で印刷物として刊行した「気象庁海水観測資料」の平成元年（第7号）と平成2年（第8号）にJICの海水図から作成したベーリング海及び南極の海水図と海水面積時系列を掲載した。平年値は、ベーリング海はNOAA、南極域は米海軍が作成したデータを利用した。平成3年（第9号）からの「気象庁海水観測資料」及び「気象庁海水統計資料第2号」では、対象領域は北極域及び南極域となり、平年値、最大値、最小値等は、全球海水データデジタルバンクの世界雪氷データセンターAである米国雪氷データセンター(NSIDC)から入手した

JIC の海水格子点データをもとに作成した。平成 8 年（第 14 号）から地球温暖化を考慮して統計開始（北極域：昭和 47 年、南極域：昭和 48 年）からの北極域、南極域及び全球の海水域面積の経年変化図を掲載した。平成 11 年（第 17 号）から、1972 年～1994 年のデータについては、NSIDC から入手した JIC の海水格子点データをもとに作成し直している。

平成 12 年（第 18 号）から平成 18 年（第 24 号）までの「気象庁海水観測資料」及び「気象庁海水統計資料第 3 号」の両極域の海水域面積の経年変化図には NASA 提供の SMMR 及び NSIDC 提供の SSM/I データを用いることとし、統計開始年を昭和 53 年に変更した。

当初、NSIDC の SSM/I の確定値データは、電子媒体を郵送で受領していたが、インターネット取得に変わっていった。

平成 19 年以降、北極域・南極域データは、海洋の健康診断表に海水のデータとして公開している。NSIDC の確定値データは作成に 3～6 か月かかるため、前年分の北極域・南極域のデータ更新が平成 20 年まで 9 月末頃、平成 21 年及び平成 22 年は 6 月末頃だったが、即時的に発表するため、平成 22 年から NSIDC のデータの速報値の利用を開始し、毎年 9 月頃に観測される北極域の最小海水域面積の診断を 10 月に発表し、北極域・南極域の診断とデータの更新を翌年の 1 月末頃に行うことになった。平成 29 年度より NSIDC のデータの速報値による半月ごと海水分布図の毎月掲載を開始した。

気象庁では、DMSP の SSM/I の北極・南極データのインターネットによる取得と海水域算出までを自動化する開発を平成 8 年に開始し、平成 18 年 3 月に気象庁のスーパーコンピュータシステムの数値予報ルーチンで運用を開始した。しかし、DSMP の打上げは平成 26 年で終了し、後継機の打上げは早くても令和 6 年頃の計画となっており、DMSP が故障した場合全球海水データが作成できなくなる可能性があったため、平成 28 年に JAXA の AMSR2 のデータも利用するように修正した。

4. 潮汐

（1）予報業務との関係

昭和 9 年の室戸台風後の臨時気象協議会では、潮汐の予報について検討し、この時の中央気象台の諮問案の一つに高潮予報資料充実に対する良法如何が挙げられた。高潮予報や高潮警報が規定されたのは昭和 27 年の気象業務法施行時で、当初の高潮注意報・警報は気象警報の発表文に含めていたが、昭和 33 年からは独立発表することとし、昭和 44 年には東京地方を対象に、高潮注意報・警報の基準を量的に示すこととなった。

平成以降では、平成 10 年に高潮数値予測モデルの運用を開始し、平成 25 年には、高潮特別警報の運用を開始した。平成 27 年には高潮モデルの結果に波浪効果や海況要因、浅海潮などの補正を行ったものである高潮ガイダンスの運用を開始した。平成 23 年から、これらに基づき、沿岸防災解説資料の作成を開始し、全国予報中枢官署及び地方予報中枢官署が予報業務に利用しており、令和元年には一般財団法人気象業務支援センターへの提供を開始した。

（2）潮位表

潮位は、月や太陽の運行に支配的な影響を受けるが、時に気象及び地象の影響を受け、災害を引き起こすこともある。これら現象の因果関係を明らかにするためには、推定される潮汐の

満ち引きと実測値とを照らし合わせる必要がある。この一助とするため、また、地域の海事関係者にも便益を提供することを目的として、昭和6年に中央気象台は初めて「潮汐表」を発行した。当初の掲載港は布良・横浜の2港であり、ロードケルビン式潮候推算機を導入し描いた潮高曲線から値を読みとり潮位表を作成した。翌年、掲載港は花咲（北海道根室市）、岩崎（青森県深浦町）、鮎川（宮城県石巻市）、布良（千葉県館山市）、横浜、輪島、串本（和歌山県串本町）、神戸、外ノ浦（島根県浜田市）、油津、深堀（長崎県長崎市）、基隆（台湾）の12港となった。昭和17年からは、「潮位表」として名を改め、戦後に外国領土となった港の廃止により掲載地点を縮小することもあったが、各地からの希望に応える形で観測結果をもとに調和定数を計算、掲載地点を増加させた。発行以来、潮位表は書籍での発行であったが、デジタル化、オープンデータの流れもあり、電子媒体（CD-ROM）による刊行を経て、平成19年からは気象庁ホームページでの公開となり、現在では200か所を超える地点を掲載している。

（3）潮汐観測資料

ア. 概要

大正13年12月に、検潮所が海洋気象台に移管され、大正14年に、海洋気象台は「潮汐観測」第1号を発刊した。現在は、気象官署観測業務規程に定める原簿として、「潮汐観測原簿」があり、気象庁本庁が作成している。

潮汐観測原簿においては「潮汐観測原簿の様式について（依命通達）」（令和2年9月 気洋情第17号）に基づき、潮汐観測原簿（毎時・満干潮、毎時偏差、年）、高潮記録整理表を、また「津波観測の統計、調査結果の資料様式について（依命通達）」（令和2年9月 気洋情第18号）に基づき、「津波記録整理表」を作成している。

イ. 潮汐観測原簿

潮汐観測原簿は、検潮所及び津波観測点ごとに作成するものである。潮汐観測原簿（毎時・満干潮）は、「毎時潮位」、「日合計潮位」、「日平均潮位」、「月合計潮位」、「月平均潮位」、「満干潮の時刻・潮位」、「月最高・最低潮位の起時・潮位・回数」及び「検潮所等の緯度・経度・観測基準面の標高」を記載する。潮汐観測原簿（毎時偏差）は、「毎時潮位偏差」、「偏差日合計」、「偏差日平均」、「偏差過高・過低の起時・潮位・回数」、「観測基準面－潮位表基準面」及び「検潮所等の緯度・経度・観測基準面の標高」を記載する。潮汐観測原簿（年）は、当該年次における「各月の平均潮位」、「最高・最低潮位」、「朔望潮位」、「最大偏差」、「顕著副振動」、「5年統計値」及び「検潮所等の緯度・経度・観測基準面の標高」を記載する。

潮汐観測原簿に記載している内容のうち、主要な項目については気象庁ホームページの「潮汐観測資料」に掲載している。また、平成9年以降の値を「各月の潮汐」に、平成10年以降の値を「各年の潮汐」に、それぞれ掲載している。このほか、気象業務支援センターへの提供を平成9年から実施している。

ウ. 高潮記録整理表

高潮記録整理表は、高潮が発生した台風等の気象現象ごとに、最大潮位偏差（3分平均値）が50cm以上となる高潮を観測した各検潮所及び津波観測点の観測値をまとめて記載するものである。観測値は、最大潮位偏差及びその起時、最高潮位（東京湾平均海面上及び観測基準

面上) 及びその起時について、3 分平均値並びに平滑値を記載する。平成 17 年 12 月から高潮記録整理表の作成を開始し、気象業務支援センターへの提供を平成 19 年から実施している。

エ. 津波記録整理表

津波記録整理表は、津波が発生した地震等の現象ごとに津波を観測した各検潮所及び津波観測点の観測値をまとめて記載する。観測値として、第一波についてはその日付、時刻、初動とその高さ、最大波高（全振幅）及び最大の高さの波についてはその日付、時刻、周期、高さを記載する。また、津波を発生させた地震等の現象について、震源地、発震日、時刻、地震のマグニチュード、深さ、震源の緯度経度、記事等を記載する。平成 21 年以前は、津波終了時刻も記載していた。記載する地点は、原則として最大波高が 5cm 以上とする。気象庁ホームページには、津波記録整理表と同様の内容を「各年の潮汐」に、平成 10 年の値から掲載している。また、気象業務支援センターへの提供を平成 19 年から実施している。

(4) 潮位情報

昭和 46 年 9 月、関東から九州にかけての太平洋沿岸の広範囲で、台風第 23 号通過後の陸棚波を要因とする潮位上昇が発生し各地で浸水等の被害が発生した。それまでの高潮注意報は台風等の気象擾乱による海面の上昇を対象として発表されていたことから、これを契機とし、昭和 46 年 9 月に、台風等の気象擾乱によらない潮位上昇によって浸水等の災害のおそれがある場合でも高潮注意報を発表するよう扱いを変更した。次いで、昭和 46 年 11 月に高潮注意報とは別に、気象擾乱によらない潮位上昇を対象とする「異常潮情報」を発表する運用を開始した。

昭和 62 年 3 月には異常潮に加えて、副振動に関する情報も含んだ「異常潮に関する情報」の運用を開始した。なお、この時点では「異常潮に関する情報」は気象官署予報業務規則に基づく「気象情報等」ではなく、気象業務法第 11 条の規定に直接ぶら下がるものとして整理していた。

平成 16 年 3 月には、「潮位に関する情報取扱要領」を制定し、「異常潮に関する情報」の名称を「潮位に関する情報」に変更した。また、人工衛星や漂流型海洋気象ブイロボット等による観測技術や、データ同化手法などの解析技術の進展に伴い、異常潮の要因に関する知見が充実したことを背景として、「異常潮」と「副振動」を区別し発表することとした。同時に、長期的な海面水位の上昇を背景とし、「異常」と言えなくても夏～秋の大潮で浸水する例が増加したことを受け、「大潮による高い潮位に関する潮位情報」の発表を開始した。

平成 21 年 12 月には、現象を視覚的にわかりやすく伝えることを目的に、代表的な地点の観測値等をグラフ、防災上の留意事項等を簡潔に記した図形式の潮位に関する情報の提供を開始し、平成 23 年には他の気象情報等と同様に XML 電文による配信を開始した。

令和 2 年 10 月には、潮位情報を気象官署予報業務規則に基づく「気象情報等」の一つとして整理し、「潮位情報取扱要領」を新たに制定した。また、同年 10 月に運用開始した日本沿岸海況監視予測システムの予測値を用いて、潮位情報に現象の要因、持続期間や見通しに関する情報を新たに追加するなど、情報の改善を図っている。

(5) 予報支援業務（沿岸防災解説資料・高潮ガイダンス）

ア．業務概要

沿岸防災解説業務は、海洋気象情報室が全国予報中枢官署及び地方予報中枢官署に対して波浪及び潮位に関する解説を行うことで、府県予報区担当官署の的確な予報及び警報等の発表に資することを目的とする。沿岸防災解説資料とは、海洋気象情報室が前述の目的で、全国予報中枢官署及び地方予報中枢官署に提供する、波浪及び潮位に関する解説資料をいう。

イ．業務発足の経緯～海洋気象台での業務開始・管区移管（波浪と共通）

平成 13 年 1 月の省庁再編に際し、本庁海洋課と海上気象課を統合して海洋気象課と海洋気象情報室が新設された。海洋気象情報室は平成 22 年 4 月に海洋気象台での沿岸防災業務強化に関わる業務実験を開始し、平成 23 年 4 月に沿岸防災業務強化に係る試行を開始し、平成 24 年 3 月に沿岸防災解説業務の本運用を開始した。平成 25 年 10 月に各管区気象台・沖縄気象台へ地球環境・海洋課を新設し、沿岸防災解説業務の地方解説を本庁海洋気象情報室及び各管区気象台（東京を除く）・沖縄気象台が実施することとした。

ウ．統合・本庁集約

平成 31 年 3 月に、沿岸防災業務体制を変更し、沿岸防災解説業務を本庁海洋気象情報室に集約して実施することとした。

エ．業務内容の変遷

平成 23 年 4 月から、波浪に関する地方官署向けの沿岸防災解説資料、潮位に関する全般解説資料及び地方解説資料を、1 日 2 回提供した。平成 28 年から、波浪に関して、地方解説資料に加えて全般解説資料を 1 日 2 回提供することとした。平成 31 年 3 月における沿岸防災解説業務の本庁海洋気象情報室への集約後、波浪及び潮位に関する全般解説資料は 1 日 3 回の提供とした。令和元年 12 月には、予報業務の許可等に関する審査基準の一部改正があり、「波浪に関する全般解説資料」「潮位に関する全般解説資料」の部外配信を開始し、気象業務支援センターへ資料提供を実施した。

オ．予報支援資料

海洋気象情報室では、平成 31 年 3 月から、全国予報中枢官署及び地方予報中枢官署に対し、潮汐の実況や今後の見通しに関して、全国予報区を対象とした全般解説資料を 1 日 3 回、地方予報区担当官署の担当区域を対象とした地方解説資料を 1 日 2 回、作成、提供している。また、台風臨時編成時等、必要に応じて潮位に関する臨時解説資料を提供することとなっている。内容としては、高潮予測プロダクト（「高潮モデル格子点値」、「高潮ガイダンス格子点値」）の解釈のポイント等を解説した資料となっている。

カ．高潮ガイダンス

高潮ガイダンスの庁内利用は、平成 27 年 3 月に開始した。令和元年 12 月には、高潮予測プロダクトの提供を開始した。

気象庁の高潮モデルは、主として海上の風が沖から岸に向かって吹くことによる「吹き寄せ効果」と、台風や温帯低気圧による気圧低下に伴う「吸い上げ効果」により生じる潮位の変動を予測している。一方、実際に生じる潮位変動は、波浪効果、海況要因、浅海潮の効果により発生する場合があるが、高潮モデルではこれらの効果は考慮されていない。過去の潮位観測値

や実験式等をもとに、これらの効果を補正量として見積もり、高潮モデルの計算結果を補正したものを、高潮ガイダンスとして提供している。

5. 波浪

(1) 予報業務との関係

昭和 27 年施行の気象業務法において、波浪警報と波浪注意報を規定し、気象庁が予報を行うこととなった。当初は、沿岸部の波浪のみを予報の対象としていたが、昭和 46 年と昭和 47 年に相次いで発生した千葉県野島崎沖合の海難事故を契機に、外洋の波浪予報の実施とともに精度の高い予報方式の研究・開発が求められた。

その後、外洋における波浪実況図（昭和 47 年）及び 24 時間予想図（昭和 52 年）の気象無線模写通報（JMH）を実施し、外洋の波浪予報を開始した。また、昭和 50 年に数値波浪モデル MRI（第 1 世代波浪モデル）の開発を開始し、昭和 52 年に現業への導入を開始した。これにより、波浪予報の精度が向上した。さらに、昭和 61 年には波浪予報を量的表現に変更し、昭和 63 年には予報対象海域内で予想される有義波高の最大値を発表することとした。

平成 25 年には、波浪特別警報の運用を開始した。これは、波浪により重大な災害の起こるおそれが著しく高まっている場合に発表し、最大級の警戒を呼びかけるためのものである。

現在、気象庁は、数値波浪モデルの改良や観測データの充実などにより、波浪予報の精度向上に努めている。

(2) 沿岸・外洋波浪図

昭和 47 年 1 月に、北西太平洋を中心とする外洋における波浪実況図、昭和 52 年 3 月に同 24 時間予想図の提供（1 日 1 回（日本時間午前 9 時））を、JMH により、開始した。その後、昭和 62 年 3 月に日本沿岸域の波浪実況図及び同 24 時間予想図の提供を開始し、平成 5 年 9 月には台風時の日本時間午後 9 時の日本沿岸域の実況図及び予想図の臨時配信の開始、平成 21 年 12 月には実況図、平成 26 年 1 月には予想図の 1 日 2 回の常時配信の開始等、提供する情報を拡充してきた。

各波浪図には有義波高、波向、周期などの情報を掲載している。さらに、平成 29 年 3 月以降、海面状況の変化が激しく突然の大波が出やすい「航行に危険な海域」の情報を波浪予想図に付加し、船舶の航行や漁業等の海上作業における安全を支援している。

ア. 波浪モデルの開発の変遷

気象庁が運用している波浪モデルは、気象研究所が開発・改良を行ってきた。昭和 52 年に初の波浪モデルとして第 1 世代波浪モデルである MRI の運用を開始し、昭和 61 年に第 2 世代の MRI- II を導入した。平成 10 年に第 3 世代の MRI- III に移行後、平成 19 年に物理過程の改善、水平解像度の向上及び 2 次元スペクトルの方向分解能の向上等、モデルの全面的な更新を行って精度の向上を図り、その後も改良を重ねている。

現在、気象庁では極域を除くほぼ全海域（75°S ～ 75°N）を対象とした緯度 0.25 度 × 経度 0.25 度の全球波浪モデルと、日本近海・沿岸海域を対象とした緯度 0.05 度 × 経度 0.05 度の沿岸波浪モデルの 2 つの数値波浪モデルを運用している。

イ. 主観解析～客観解析

提供開始当初の外洋波浪実況図は、毎日入電する船舶気象報をもとにマニュアル（手書き）により作成していた。その後、MRI の導入により提供を開始した外洋波浪 24 時間予想図では、数値波浪モデルにマニュアルによる修正を加えて作成することとした。

平成 8 年 3 月に予報現業支援ワークステーション（EMS）を使った対話型のマンマシン波浪解析・予想システムを構築し、波浪モデルの予測値を第一推定値として EMS 上で波高を修正することにより、波浪の実況図及び予想図を作成した。その後、波高の客観解析の導入及び波浪モデルの改良に伴いモデルの信頼性が向上したことから、平成 21 年 12 月に実況図を、平成 26 年 1 月に予想図を、人の手を介することなく自動で作成することとした。

（3）予報支援業務（沿岸防災解説資料）

波浪の実況や今後の見通しに関して、全国予報区を対象とした全般解説資料を 1 日 3 回、地方予報区担当官署の担当区域を対象とした地方解説資料を 1 日 2 回、作成、提供している。また、台風臨時編成時等、必要に応じて波浪に関する臨時解説資料を提供することとなっている。支援資料の内容としては、波浪の実況の着目点及び今後の見通しを、図を用いて解説するものとなっている。

波浪に関する予報業務支援業務の業務概要、業務発足の経緯～海台廃止・管区移管、統合・本庁集約～組織改編、業務内容の変遷については、本節第 4 項「潮汐」と同様である。

6. 漂流予測

平成 5 年、WMO 第 11 回海洋気象委員会（CMM）において、「海洋汚染事故緊急対応システム（MPERSS）」の枠組みが提唱され、気象庁は MPERSS の地域気象センター（AMOC）を担当することを表明した。このため、平成 8 年から流出油の漂流予測モデルの開発を開始した。

平成 9 年 1 月、日本海でロシア船籍のタンカー「ナホトカ号」が寒波による強風で遭難した。船体は島根県近海で浸水により沈没し、分離した船首部分は漂流をはじめた。その数日後、流出した重油が福井県に漂着し、続いて島根県から秋田県にかけての広い範囲に漂着した。油の漂着が厳冬期だったため、回収作業は過酷を極めた。

この事故を受け、同年は国際的に油流出事故への緊急対応体制を構築する機運が高まった。WMO-CMM は国際海事機関（IMO）との連携を促進した。国連環境計画（UNEP）の北西太平洋地域における環境保全・管理・開発のための行動計画（NOWPAP、日中韓露）では、海洋汚染に係る準備・対応に関するフォーラムを開催した。油濁事故対策協力（OPRC）条約においては「国家的緊急時計画」を改定し、気象庁は拡散漂流予測分野の専門家として登録、参画することとした。

国内でも、同年 12 月に運輸技術審議会総合部会流出油防除体制総合検討委員会報告書「流出油防除体制の強化について」が建議され、気象庁は 1 週間程度先までの長期漂流予測を、海上保安庁は 3 日後までの短期漂流予測を実施し、警戒本部等を通じた漂流予測結果の一元的公表を行うこととなった。気象庁は、平成 10 年度に流出油の漂流予測モデルを開発して予測体制を整備し、平成 11 年 10 月に海上保安庁水路部長と気象庁気候・海洋気象部長による

申合せを締結し、海上保安庁と連携した漂流予測業務を開始した。

【第3節】海洋観測に関する国際的役割

海洋観測や海洋データ交換のうち、国際的な枠組みの中で気象庁が実施している事項について、本節で概説する。

海洋における国際的な観測については、国連教育科学文化機関政府間海洋学委員会（UNESCO/IOC）が大きな役割を果たしてきた。平成2年の第2回世界気候会議で、地球温暖化に関連して世界気候計画の拡充・強化するシステムの構築が勧告され、その中で全球の海洋観測システムの構築も必要とされたことを受けて、平成3年にIOC主導の下、全球海洋観測システム（GOOS: Global Ocean Observing System）が発足し、現在もGOOSの枠組みの下で様々な活動が行われている。

本節では、国際協力の下で行われている様々な活動の中から、UNESCO総会決議を契機として構築、参画している北東アジア地域・全球海洋観測システム（第1項）、政府間海洋学委員会等の協力関係の下で参画しているアルゴ計画（第2項）、海洋気象観測船による様々な二国間、多国間枠組みへの協力（第3項）について述べる。

1. 北東アジア地域・全球海洋観測システム

北東アジア地域・全球海洋観測システム（NEAR-GOOS: North-East Asian Regional Global Ocean Observing System）は、世界で15ある全球海洋観測システム地域連合（GOOS Regional Alliance）の一つである。平成5年の第27回UNESCO総会でGOOSの北東アジア地域でのプロジェクトの構築を求める決議が採択され、この決議を受けて作成された実施計画が平成8年の第3回政府間海洋学委員会西太平洋地域小委員会（IOC/WESTPAC: Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO/Sub-Commission for the WESTern PACific）会合で承認され、中国、韓国、日本及びロシアの4か国の参加により発足した。NEAR-GOOSは、参加国から2名、計8名の調整委員において企画・調整を行っており、日本からは気象庁と海上保安庁からそれぞれ1名を委員に選出している。

参加各国はリアルタイムデータベースと遅延データベースを設置し、これらを包括する形で気象庁が地域リアルタイムデータベース（RRTDB）を、海上保安庁が地域遅延データベース（RDMDB）を運用している。RRTDBは、GTS経由で入電したSHIP、BATHY、TESAC、TRACKOB、BUOY報などの海洋データやGTSP（Global Temperature and Salinity Profile Programme）から提供される水温・塩分プロファイルデータを編集して30日間公開し、以降はRDMDBからアーカイブデータとして公開している。また、気象庁が毎日作成している全球日別海面水温解析（MGDSST: Merged satellite and in-situ data Global Daily Sea Surface Temperature）や北西太平洋高解像度日別海面水温解析（HIMSST: High-resolution Merged satellite and in-situ data Sea Surface Temperature）などの海面水温解析プロダクトも画像やGPVでRRTDBから公開しており、総合的な海洋データ提供サイトとしてユーザーに広く認知されている。

2. アルゴ計画

(1) アルゴフロート

アルゴ (Argo) 計画は、政府間海洋学委員会 (UNESCO/IOC)、世界気象機関 (WMO) 等の国際機関が推進する、全球海洋観測システム (GOOS) の主要な計画として位置づけられ、水温や塩分などを観測する無人フロートを全世界の海洋に展開し、その状況をリアルタイムで監視する計画である。アルゴ計画は平成 12 年に開始され、令和 4 年には我が国を含む 20 か国以上が参加し、約 3,800 台のフロートが稼働中である。気象庁では、海洋気象観測船による北西太平洋域でのフロートの展開及び運用を行うとともに、国別データセンターを運営するなどして貢献を続けている。気象庁が投入したフロートは令和 4 年中に通算 400 台に達した。

(2) アルゴ計画国別データセンター

平成 12 年度から平成 16 年度にわたる 5 年計画のミレニアム・プロジェクト (新しい千年紀プロジェクト) の一つとして、「高度海洋監視システム (ARGO 計画) の構築」を気象庁や他の政府機関、研究機関等が連携して実施した。気象庁は、国際的なアルゴデータシステムとの整合性を持つものとして、国内のフロートからの観測データを国際標準に基づきリアルタイムで処理するシステム (観測終了後 24 時間以内のデータ公開) の構築を担い、平成 14 年 5 月から国別データセンターとしての運用を開始した。気象庁や国立研究開発法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC) 等が投入した国内のフロートを対象に処理した総数は、令和 5 年までに約 1,900 台に達した。また、国内のフロートだけでなく、外国のフロートのデータも含めアルゴ計画リアルタイムデータベースとしてウェブでデータ等を提供し、遅延品質管理を担う JAMSTEC とともに、全世界の海洋をモニターする上で不可欠なツールとしてアルゴのデータ管理システムの充実化を図っている。当初、水深 2,000m までの水温・塩分の観測が主だったフロートは近年、溶存酸素などの生物地球化学パラメータを測定できるセンサーを搭載したものや水深 6,000m までの観測を行うものなど、多種多様なものが運用されており、国別データセンターでは新たな観測要素についても国際標準に基づき対応している。

3. 海洋気象観測船による国際協力

海洋気象観測船によるものをはじめ、気象庁の海洋観測は我が国周辺海域における実施が主になることは当然であるが、全球的な海洋環境の把握のためには、国際協力に基づいたより広がりのある観測の実施、またその成果の流通や交換が不可欠である。このため、従来から多くの国際共同観測・調査計画が立案・実施されてきたので、ここにそのいくつかを記述する。

(1) 黒潮及び隣接水域協同調査 (CSK)

1960 年代に、海洋研究における国際協力の必要性の認識が高まり、昭和 35 年にコペンハーゲンで開催された海洋研究の国際会議後、国連教育科学文化機関 (UNESCO) は、共同活動によって海洋とその資源の知識を増すことを目的として政府間海洋学委員会 (IOC: Intergovernmental Oceanographic Commission) を内部組織として設置し、昭和 36 年に IOC は最初の総会を開いた。

昭和 40 年には、IOC は、黒潮を含んだ西太平洋の海洋循環を調査するため我が国が中核となって黒潮及び隣接水域共同調査 (CSK: Co-operative Study of the Kuroshio and

Adjacent Regions) を公式計画として承認した。CSK には 11 か国が参加し、東シナ海、南シナ海、日本海、太平洋の南緯 4 度から北緯 43 度、東経 160 度までの範囲内の重点海域で多数の船による大規模な観測を実施するとともに、測定標準化及び相互比較、船上研修等の相互訓練を行った。気象庁では、昭和 41 年に凌風丸 II 世が竣工し、昭和 42 年から CSK の一環として冬季の東経 137 度線の定線観測を開始、同年 10 月には CSK 特別観測として、本庁と函館、神戸、舞鶴、長崎の各海洋気象台の観測船が共同で 15 日間の尾鷲沖黒潮短期変動の観測を行い、流速の短期変動が顕著なこと、強流帯の幅がそれまで考えられていたものよりも狭いことを明らかにした。

CSK による調査は昭和 51 年まで続き、昭和 54 年に我が国で開催された第 4 回シンポジウムで 15 年にわたる共同調査・研究を終了した。

(2) 海洋汚染監視パイロット計画 (MAPMOPP)/全世界海洋汚染監視計画 (MARPOLMON)

海洋環境の汚染防止に関する国際的な取組として、1950 年代からタンカーへの規制が行われてきたが、海洋汚染に関する包括的な国際条約が発効したのは 1970 年代半ばからである。WMO と IOC は、即時的・現業的な海洋環境データを取り扱うために昭和 42 年に設立した全世界海洋情報サービスシステム (IGOSS: Integrated Global Ocean Service System) のもとで、1970 年代当初に国際的な課題となっていた全球的な海洋汚染の現状把握を目的として、昭和 50 年から昭和 55 年に海洋汚染監視パイロット計画 (MAPMOPP: Marine Pollution (Petroleum) Monitoring Pilot Project) を実施した。MAPMOPP は昭和 55 年から、海洋汚染全球調査 (GIPME: Global Investigation of Pollution in the Marine Environment) のプロジェクトとして全世界海洋汚染監視計画 (MARPOLMON: Marine Pollution Monitoring Network) に移行した。

我が国でも海洋汚染に関する国際動向や国内の社会情勢に対応して、「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律」が昭和 46 年に施行された。これを受けて気象庁は、昭和 47 年から日本周辺海域に汚染定線を設け、東経 137 度線の観測を冬季と夏季の年 2 回の観測に強化し、重金属 (水銀、カドミウム) を対象とした海洋バックグランド汚染観測を開始した。昭和 50 年からは MAPMOPP に参加して、油類、浮遊物等の観測を追加した。海洋気象観測船の観測データは昭和 55 年までは MAPMOPP のデータセンターに、それ以降は MARPOLMON のデータセンターに提供した。その後、観測体制の見直しにより、令和 3 年度以降、海洋汚染観測として、海面浮遊汚染物質 (プラスチック類) の目視観測と浮遊タールボールの観測のみ継続している。

(3) 黒潮の開発利用調査研究 (KER)/日中黒潮共同調査研究 (JRK)

CSK による観測終了後、我が国の海洋開発の一つの柱として、黒潮の開発利用調査研究 (KER: Kuroshio Exploitation and Utilization Research) が昭和 52 年に国内で始まり、気象庁は、本庁と函館、神戸、舞鶴、長崎の各海洋気象台が海上保安庁、水産庁、海洋科学技術センター (現海洋研究開発機構) 等とともに参加した。KER は黒潮海域の総合的調査研究を一元的かつ計画的に進め、海域特性の把握及び開発利用ポテンシャルの検討を行い、黒潮の開発利用方策の策定に資することを目標としていた。

昭和 61 年までの KER 第一期では、昭和 50 年と昭和 56 年に黒潮大蛇行が発生したため、

大蛇行の発生、消滅、維持機構の解明を第一目標として調査研究を進め、大蛇行・冷水渦の発生・維持・消滅機構の全容を明らかにした。気象庁の5隻の海洋気象観測船は黒潮を横切る定線で、他機関の観測船とともに四季単位の集中観測を実施し、大蛇行の実態解明に貢献した。

昭和62年からはKERの成果を引き継ぎ、日中科学技術協力委員会の提案をもとに、日中黒潮共同調査研究(JRK: Japan-China Joint Research Programme on the Kuroshio)がKERの第二期として開始された。KERは、第二期が平成4年、第三期が平成10年に終了し、JRKはKER第三期が終了する平成10年末まで継続した。KER/JRKでは、大気-海洋相互作用の研究が実施され、気象庁からは、電気伝導度水温水深計や超音波海流計等、最新の観測機器を装備して昭和62年に竣工した長崎海洋気象台の長風丸Ⅱ世が主となって、数値モデルの検証のため、トカラ海峡や九州南方に新しく観測定線を設けて黒潮の流量を把握したほか、東シナ海の黒潮に準2年周期の変動があることを示した。

(4) 熱帯海洋全球大気計画(TOGA)

昭和54年にWMOなどが主催した世界気候会議で、気候変動研究の推進が提言され、同年10月にはIOCと国際学術連合会議(ICSU: International Council of Scientific Unions)の海洋研究科学委員会(SCOR: Scientific Committee on Oceanic Research)が合同で、気候変動と海洋に関する委員会(CCCO: Committee on Climate Changes and the Ocean)を組織し、昭和56年のCCCOの第2回委員会で全球規模の海洋研究計画が提案された。昭和55年には、気候の予測可能性及び人間活動の気候への影響の程度を評価するために必要な、基礎的な気候システム及び気候プロセスの科学的理解を発展させるため、WMO、ICSUが後援して世界気候研究計画(WCRP: World Climate Research Program)が発足した。平成5年にIOCがWCRPの支援に加わるまでは、海洋に関した計画をWCRPの合同科学委員会とCCCOが協議のうえ、共催計画として実施した。

WCRPの計画を現象の時間スケールで分けると、(1)海面水温のアノマリの生成消滅に関わる数週間スケールでの大気の気候予測の研究、(2)熱帯の大気との結合系の変動現象など数年スケールのエルニーニョ・南方振動(ENSO: El-Niño and Southern Oscillation)の研究、(3)数十年の時間スケールで長期の気候変動の予測ができる海洋循環モデルの開発及びそれを検証できる海洋観測データの取得の三つである。(2)については昭和60年から10年計画で熱帯海洋全球大気計画(TOGA: Tropical Ocean Global Atmosphere)を開始し、(3)については、平成2年から平成9年にかけて30か国の参加により史上最大規模の海洋観測計画を柱とする海洋研究プロジェクトとして世界海洋循環実験計画(WOCE: World Ocean Circulation Experiment)を実施した。

昭和60年から観測・研究が進められたTOGAは、気象と海洋の研究者が共同で、初めて本格的に取り組んだ国際プロジェクトで、全球の異常気象に影響を及ぼすと考えられているENSOのモデルによる予測可能性を探ることを目標とした。TOGAの前半では、海洋表層の温度構造及び海上気象データをリアルタイムに把握することを目的として、太平洋赤道域に係留ブイによる観測網が展開されたほか、漂流ブイや篤志観測船による表層水温観測等、広域観測システムが構築された。東経137度線の観測等で気象庁の凌風丸も貢献した。海面水温が特に高く大気に大きな影響を与えると考えられる西太平洋熱帯域は、陸地が少なく気象・海洋

両面ともデータが少ないため、研究の進展に伴ってその支障となっていた。そのため、平成 2 年から後半となった TOGA の中心的なプロジェクトとして、熱帯海洋・全球大気研究計画－海洋・大気結合応答実験（TOGA-COARE: Tropical Ocean Global Atmospheres/Coupled Ocean Atmosphere Response Experiment）が実施された。これは西太平洋熱帯域の暖水プールの季節内振動に伴う大気変動と海洋変動に焦点を当てた計画で、平成 4 年から平成 5 年にかけて集中観測が実施された。気象庁からは啓風丸が参加して、海上気象観測、レーダー気象観測、高層気象観測、海洋観測を実施した。これらの観測により、ENSO の理解が進み、その予測が可能となる等、TOGA では多くの成果が得られた。

（5）世界海洋循環実験計画（WOCE）

前項で記述したとおり、WOCE は、気候変動研究を推進するため WCRP の海洋研究プロジェクトとして立案されたものであった。

WOCE 実施案で設定された目標（ゴール）は 2 つあり、ゴール 1 が「気候変動予測を目的とする海洋モデルの開発と、その検証に必要なデータを収集すること」、ゴール 2 が「収集されたデータセットが海洋の長期的ふるまいをどれだけの確に示しうるかの代表性の調査と、海洋循環の長期変動を明らかにする方法を見いだすこと」であった。

プロジェクトの実施期間は、計画段階では平成 2 年から平成 11 年の 10 年で、前半の平成 2 年から平成 7 年を第 1 期として、ゴール 1 のデータ取得部分に重点を置き、後半の平成 8 年から平成 11 年を第 2 期として、取得データの解析、モデルへの同化、統合にあてた。しかしながら、実際には TOPEX/POSEIDON 衛星の打上げの遅れと、他国の観測船の建造や配置の遅れが原因で第 1 期が平成 9 年まで延長されたのに伴い、第 2 期は平成 14 年までとなった。

気象庁は、気候変動予測のためのモデル開発を最終目標とする WOCE の重要性に鑑み、本庁海洋気象部、気象研究所海洋研究部及び同地球化学研究部がプロジェクトに参加した。本庁海洋気象部は、観測船による定線観測（WOCE 各層観測プログラム（WHP: WOCE Hydrographic Programme）と呼ばれる）、篤志船舶による表層水温観測を行い、気象研究所地球化学研究部は WHP の化学トレーサー（海水流動を追跡するために用いられる炭素 14 などの化学物質）の分析を担当した。さらに気象研究所海洋研究部は、中層フロートによる西部太平洋での流れの測定と、太平洋の海洋大循環モデルの開発を実施した。

WOCE 観測網のなかで、WHP は世界の海に約 70 の基準測線を設定し、観測船による均質な観測を行うという計画で、このプロジェクトの中核をなすものであった。WHP は、変動の激しい海域や水塊の形成域で年 1 回以上の観測を繰り返すリピータ観測と、WOCE の期間中、特別に高精度・高密度な観測を 1 回実施するワンタイム観測とに分けられる。西部北太平洋においては、気象庁が定常業務として実施している観測定線の多くをリピータ観測定線として位置づけていたため、海洋気象部と各海洋気象台は、各定線での観測を実施しながら測器の整備や技術の改良に努めた。そして、その集大成として平成 6 年に P9（東経 137 度線）、平成 7 年に P24（九州南東沖）と名付けられた定線のワンタイム観測を完遂した。

（6）全球海洋各層観測調査プログラム（GO-SHIP）

WOCE の観測終了後、観測船による全球的な海洋観測のための正式な国際的組織は存在せず、観測時期や内容は実施機関に任されていた。観測船による全球のワンタイム型の高精度

観測は、各国の参加機関の観測計画の調整を行う機関が存在しないと、観測線の重複、欠落、観測項目や観測技術の違いによる観測データの品質の不整合等、効果的な観測成果が得られなくなる懸念があった。そこで、ワнтаイム型の観測を持続的に実施するための戦略と 1990 年代前半に書かれた WOCE の海洋観測マニュアルを最新の観測環境に適応したものに改訂するために平成 19 年に国際海洋炭素観測連携計画（IOCCP: International Ocean Carbon Coordination Project）と気候変動及び予測可能性研究計画（CLIVAR: Climate Variability and Predictability）は、全球海洋各層観測調査プログラム（GO-SHIP: Global Ocean Ship-based Hydrographic Investigations Program）を設立した。

GO-SHIP は、全球の WOCE ワンタイム観測線の中から観測線を選択し、約 10 年単位で繰返し観測をすることにより高品質の時系列を蓄積し、海洋における二酸化炭素蓄積量や深層までの循環の変化を検出しようとするものである。観測機器類が精密になり、GO-SHIP で求めるデータの品質基準が WOCE ワンタイム観測時よりも更に高品質のものとなったため、気象庁は平成 21 年から最新の観測機器類を導入するとともに観測技術の向上を図り、平成 22 年に P9（東経 137 度線）、平成 23 年に P13（東経 165 度線）の WOCE ワンタイムの再観測を実施し、それ以降も継続して観測している。我が国からは、気象庁と国立研究開発法人海洋研究開発機構が GO-SHIP に参加している。

WOCE や GO-SHIP によって取得された高品質の観測データは、CCHDO（CLIVAR and Carbon Hydrographic Data Office）が収集、共有し、公開している。また、それらの二酸化炭素に関連するデータは、その他の観測航海によって収集された高品質の観測データと合わせて品質管理した後、データベース GLODAPv2 として公開しており、海洋における二酸化炭素の蓄積動向の全球的な解析などに活用されている。これらのデータ公開は、アルゴフロートの展開や、そのデータ品質管理を行う上でも、重要なものとなっている。

第7章 環境気象

本章では、気象庁がこれまで取り組んできた地球規模、地域規模の大気環境に関連する業務についてまとめた。まず、温室効果ガス、エアロゾル、輻射、オゾン層・紫外線、酸性雨といった、国際的な枠組みに基づく観測業務（第1節）、次に厚生省（現在の所管は環境省）からの依頼に基づき実施してきた大気汚染気象予報業務（第2節）、日本学術会議の決定した方針に基づき実施した放射能観測（第3節）について記載した。続いて、世界気象機関（WMO）全球大気監視（GAW: Global Atmosphere Watch）計画の下で運営する世界/地区センターとしての業務（第4節）、近傍の人間活動の影響を受けない大気のバックグラウンドを監視する上で重要な位置づけである小笠原諸島（第5節）や南極（第6節）における業務についてまとめている。

【第1節】大気環境の観測と情報

気象庁では、地球温暖化やオゾン層破壊などの地球環境問題に対し、その原因となっている大気組成の変化を的確に把握するため、WMO/GAW 計画の下で、温室効果ガス、エアロゾル、日射・赤外放射、オゾン層・紫外線などの高精度な観測を実施している。

GAW 計画（平成元年6月、WMO 第41回執行理事会において承認）は、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨などの地球環境問題に対する世界的な関心の高まりを背景にして、既に設立されていた二つの観測網「全球オゾン観測システム」（GO3OS: Global Ozone Observing System、1950年代に設立）と「大気バックグラウンド汚染観測網」（BAPMoN: Background Air Pollution Monitoring Network、1960年代に設立）を統合し発展させた、地球規模の環境の長期的な監視及びその結果の提供を行う枠組みである。これらの観測結果や解析結果は、世界各国のデータと合わせて国内外の研究者や政策決定者に利用され、国際的な気候変動対策やオゾン層保護対策に貢献している。また、気象庁では日々の黄砂や紫外線の解析・予測情報を提供しており、生活情報として役立てられている。

1. 温室効果ガス

（1）気象庁における温室効果ガス等の観測

気象庁では温室効果ガスの排出に伴う地球温暖化問題などに対する関心の高まりを受け、岩手県気仙郡三陸町綾里（現 大船渡市）の気象ロケット観測所（現在の大気環境観測所。以下「綾里」という。）において GAW 計画の前身である BAPMoN の地域観測所として、昭和 62 年から大気中の二酸化炭素（CO₂）濃度の観測を開始した。また、オゾン層破壊物質に関するモントリオール議定書（昭和 62 年）を受けた「特定物質の規制などによるオゾン層保護に関する法律（オゾン層保護法）」の制定（昭和 63 年）により、フロン等のオゾン層破壊物質の観測を行うこととし、平成 2 年に綾里において特定フロンの観測を開始した。その後、メタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O）等の主要な温室効果ガスについても順次観測を開始した。

一方、WMO では既存観測網の拡充とともに、北西太平洋域等のデータ空白域に BAPMoN

基準観測所（現在の全球観測所に相当）を設立するよう、加盟国に要請しており、その要請に応える形で、気象庁は南鳥島気象観測所（東京都小笠原村）に BAPMoN 基準観測所を設置し、平成 5 年 3 月に二酸化炭素等の温室効果ガス観測を開始した。次いで、平成 9 年 1 月には沖縄県八重山郡与那国町の与那国島観候所（現在の与那国島特別地域気象観測所。以下「与那国島」という。）において、GAW 計画の地域観測所として二酸化炭素等の温室効果ガス等の観測を開始した。その後、与那国島は平成 20 年 10 月、綾里は平成 31 年 4 月に無人観測所とし、気象庁本庁からの遠隔監視制御による観測を継続した。与那国島における温室効果ガス観測は令和 6 年 3 月に終了した。

平成 23 年 2 月には、地球温暖化の将来予測精度向上を目標に、上空を含めた温室効果ガスの分布の把握のため、防衛省の協力のもと航空機による北西太平洋上空（海上自衛隊厚木航空基地から南鳥島の航路上、高度 6000m 付近）における温室効果ガス観測を開始した。観測は、機外の大気を除湿して容器に採取し、気象庁に持ち帰って主要な温室効果ガス濃度を分析する形で実施した。

令和 2 年 4 月には、モントリオール議定書のキガリ改正により、代替フロンである 18 種のハイドロフルオロカーボン（HFC）が新たに議定書の規制対象となったことを受け、南鳥島においてそのうち地球温暖化への寄与が大きい 8 種の HFC の観測を開始した。

令和 6 年 4 月には、温室効果ガスの効率的、持続的な監視を行うことを目的に、南鳥島での観測強化を中心とした観測網の再構築を行った。南鳥島で一酸化二窒素やフロン類の観測を新たに開始するなど観測項目を拡充する一方で、綾里の観測は主要な温室効果ガスである二酸化炭素、メタンに絞って観測を継続し、与那国島及び航空機による温室効果ガス観測については令和 6 年 3 月をもって終了とした。

これらの観測成果は気象庁ホームページや WMO 温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）を通じて公開されており、WMO が発行する温室効果ガス年報等の刊行物に使用されるなど、気候変動の監視及び予測精度向上に重要な貢献を果たしている。

表 5-7-1-1 気象庁の温室効果ガス観測の変遷

観測項目	綾里	南鳥島	与那国島	航空機
二酸化炭素	昭和62年1月～	平成5年3月～	平成9年1月～ 令和6年3月	平成23年2月～ 令和6年3月
メタン	平成3年1月～	平成6年1月～	平成10年1月～ 令和6年3月	平成23年2月～ 令和6年3月
一酸化炭素	平成3年1月～ 令和6年3月	平成6年1月～	平成10年1月～ 令和6年3月	平成23年2月～ 令和6年3月
地上オゾン	平成2年1月～ 令和6年3月	平成6年1月～	平成9年1月～ 令和6年3月	
一酸化二窒素	平成2年1月～ 令和6年3月	令和6年4月～		平成23年2月～ 令和6年3月
フロン	平成2年1月～ 令和6年3月	令和6年4月～		
四塩化炭素	平成3年1月～ 令和6年3月	令和6年4月～		
1,1,1-トリクロエタン	平成3年1月～ 令和6年3月	令和6年4月～		
HFC		令和2年4月～		

(2) 温室効果ガスに関する情報

ア. 温室効果ガス監視情報

地球温暖化の主要因である大気中の温室効果ガスの濃度変動の監視に資するため、大気中の温室効果ガスの観測結果を昭和 63 年から「大気バックグラウンド汚染観測年報」(昭和 52 年～平成 12 年刊行)、「大気・海洋環境観測報告」(平成 13 年～平成 23 年刊行)及び「大気・海洋環境観測年報」(平成 24 年以降刊行)に掲載している。

平成 21 年からは大気中の温室効果ガスの観測及び解析結果を一元化して気象庁ホームページで公開しているほか、各種刊行物でも公表している。本情報では、国内 3 地点(綾里、南鳥島、与那国島)の陸上観測及び航空機観測による北西太平洋上空の大気中の温室効果ガス濃度の経年変化や季節変動及び長期トレンド等の観測及び解析結果にて構成している。対象要素は、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、一酸化炭素、地上オゾン(陸上のみ)及びハロカーボン類(陸上のみ)である。また、当庁が運営を担う世界気象機関(WMO)の温室効果ガス世界資料センター(WDCGG)による世界の大气中の温室効果ガス濃度の解析結果も併せて公表している。対象要素は、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、一酸化炭素、ハロカーボン類等である。これらの観測及び解析成果は、国内の気候変動対策の政策判断や適応計画等の策定・推進のための科学的根拠であるとともに、その一部については、令和 3 年(2021 年)に公表された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第 6 次評価報告書(AR6)第 1 作業部会(WG1)報告書でも引用されており、WMO 温室効果ガス年報(Greenhouse Gas Bulletin)にも掲載され国連気候変動枠組条約(UNFCCC)締約国会議(COP)で毎年配布されるなど、国際的な気候変動対策にも活用される基盤的情報となっている。

イ. 二酸化炭素分布情報(地上、上空)

平成 10 年に成立した地球温暖化対策の推進に関する法律(地球温暖化対策推進法)及び平成 30 年に成立した気候変動適応法等に基づき、数値シミュレーションにより解析した世界全体の大气中二酸化炭素濃度分布を二酸化炭素分布情報として気象庁ホームページを通じて公表を行っている。本情報は平成 21 年に地上の二酸化炭素濃度分布の情報提供を開始し、その後平成 24 年には上空約 6km 付近の大气中の二酸化炭素濃度分布の公開を行い、気象庁ホームページにおけるコンテンツの拡張を行ってきた。その後も、数値モデルの高精度化(平成 28 年)や高解像度化(令和 2 年)による情報拡充を行ってきた。これらの情報に関しては、気象研究所地球システムモデル(ESM)の地球温暖化予測実験における二酸化炭素濃度分布の再現性評価にも利用されており、その研究成果は IPCC AR6 WG1 報告書でも引用されている。また、平成 20 年に国立研究開発法人国立環境研究所と気象庁間で締結された「温室効果ガス観測技術衛星のデータ利用および気象データの衛星データ処理・検証利用に関する基本協定」に基づいたデータ提供を行っている。このほか、本情報の格子点データの公開を行っており、当庁と社団法人日本気象学会の包括的な共同研究契約「気象庁データを利用した気象に関する研究」に基づく気象研究コンソーシアムの枠組みを通じた国内外の研究者をはじめとする科学コミュニティによる学術的な研究用途でも幅広く利用されている。

ウ. 後方流跡線解析

大気中の温室効果ガスの濃度変動の把握のため、気象庁長期再解析データを用いた空気塊の

輸送経路を数値シミュレーションにより解析した後方流跡線解析の統計結果を気象庁ホームページで公開している。本情報は、令和2年から定期的な情報として気象庁ホームページにおいて更新を行っており、大気中の温室効果ガス等の大気微量成分の変動要因解釈のため幅広い分野において利活用されている。

2. エーロゾル

(1) エーロゾルの観測

ア. エーロゾル観測の歴史的背景と変遷

(ア) 大気混濁度観測測器と観測地点

気象庁は、WMO による BAPMoN の設立を受け、我が国における大気バックグランド汚染観測の第一歩として、昭和48年から昭和50年にかけて岩手県気仙郡三陸町綾里の気象ロケット観測所に観測施設などの整備を行い、昭和51年1月から我が国最初の WMO 大気バックグランド汚染観測網の地域観測所として（株）英弘精機製の波長別直達日射計による大気混濁度観測を開始した。

その後、波長別直達日射計では開口角の問題から観測誤差が大きいことを確認したため、昭和62年1月から波長別直達日射計に代わって（株）英弘精機製の MS-110 型サンフォトメータによる観測を開始した。

一方、昭和54年4月から5月には WMO 第8回世界気象会議において、BAPMoN 観測点を追加するよう勧告され、昭和55年には WMO 第32回執行委員会において、特に、アジア・太平洋域で BAPMoN 観測点を追加するよう勧告されるなど、更なる観測点の増加が望まれた。これを受けて気象庁では、平成7年1月から日本最東端に位置する南鳥島（東京都小笠原村）において大気バックグランド汚染観測を開始することとし、南鳥島気象観測所において MS-110 型サンフォトメータによる観測を開始した。さらに、平成10年1月からは中国大陆に近い与那国島にて MS-110 型サンフォトメータによる大気混濁度観測を開始した。

しかし、MS-110 型サンフォトメータは干渉フィルター（波長選択フィルター）の感度変化が大きく、年1回の較正では測器定数（直達日射照度と出力電圧の比）を把握することが困難であることを確認したことから、平成18年4月からは綾里で、平成19年4月からは南鳥島及び与那国島において、MS-110 型サンフォトメータをスイス国ダボス物理気象観測所（PMOD: Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos）製の PFR（Precision Filter Radiometer）型サンフォトメータに切り替えた。

さらに、平成27年9月には台風第21号によって与那国島の観測機器に大きな被害があったことを契機に、観測地点を与那国島から石垣島の石垣島地方気象台（沖縄県石垣市）に改めるとともに、サンフォトメータよりも多くのエーロゾルの観測情報が得られる（株）プリード製 POM-02 型スカイラジオメーターによる観測を開始した。エーロゾルの量や粒径を高精度観測し放射に与える影響を評価するため、平成30年4月には残る2地点についても測器をスカイラジオメーターに変更し、綾里から札幌（北海道札幌市）に観測地点を移転した。これにより大気混濁度観測よりも多くのエーロゾルに関する情報を得ることができるようになったことから、観測名称を大気混濁度観測からエーロゾル観測に改めた。札幌の観測環境悪化に伴い、

令和 3 年 3 月に札幌の観測を網走（北海道網走市）に移転した。

（イ）エーロゾル鉛直分布観測

サンフォトメータや直達日射計のデータから算出される大気混濁度データ、気象衛星のデータから算出されるエーロゾルの水平分布の情報と組み合わせて、より高度なエーロゾル情報を提供することによる、地球温暖化予測の精度向上等を目的として、平成 14 年 3 月から綾里において、エーロゾルの鉛直分布を観測するため、ライダーによるエーロゾル観測を開始した。現業用ライダーの導入としては国内初となるものである。この観測は平成 23 年 12 月まで継続された。

（ウ）WMO/GAW からの依頼による綾里での PFR 観測協力

WMO/GAW 計画の下に、平成 8 年に世界光学的厚さ研究校正センター（WORCC: World Optical Depth Research and Calibration Center）が設立され、PMOD が運営することとなった。平成 14 年 4 月から平成 18 年 3 月まで、気象庁は WMO/GAW 計画の PFR 観測ネットワークに協力するため、PMOD/WORCC から貸し出された PFR 型サンフォトメータによる試験観測を実施した。

（エ）国際機関等へのデータ提供

前述した PFR 型サンフォトメータによる綾里での観測開始を契機として、平成 14 年 4 月から WORCC へ PFR 型サンフォトメータによる観測データの送付を開始し、移転に伴い綾里での大気混濁度観測を終了する平成 30 年 3 月まで継続した（ただし、平成 14 年 4 月～平成 18 年 3 月は試験的観測という位置づけとなっている型）。

このほかにも PFR 型サンフォトメータを含め気象庁が運用した PFR 型サンフォトメータ及びスカイラジオメーターによる観測データは WMO/GAW 計画によって運営されているエーロゾル世界資料センター（WDCA: World Data Centre for Aerosols）に提供している。

加えて、スカイラジオメーターによる観測データについては、世界的なスカイラジオメーターの観測ネットワークである SKYNET にデータを提供している。

イ. エーロゾル観測機器の校正

（ア）大気混濁度観測機器の校正

エーロゾル観測機器は年に一度以上の間隔で校正を実施することが推奨されており、平成 6 年までは綾里、平成 7 年及び 8 年には南鳥島においてラングレー法による校正を実施していた。しかし、ラングレー法による校正は人間活動による大気汚染の影響と地表面付近で生じる自然由来のエーロゾルの影響を受けない清澄な環境で実施する必要がある、いずれの地点も校正に必要なデータ数を確保することに難渋したため、平成 9 年から長野県木曽駒ヶ岳のホテル千畳敷にて MS-110 型サンフォトメータの基準器を校正することとした。PFR 型サンフォトメータの基準器は二年に一度、PMOD に校正を委託した。現在運用している POM-02 型スカイラジオメーターの基準器は、同型器の校正を実施した実績のある米国海洋大気庁（NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration）マウナロア観測所（米国ハワイ州）にてラングレー法による校正を実施している。

運用器は年に一度、高層気象台にて基準器との比較観測により測器定数を転写することで、校正を行っている。

(イ) スカイラジオメーターの国際比較への参加

平成 27 年 9 月から 10 月に第 12 回国際日射計比較にあわせて PMOD で開催された第 4 回フィルター型放射計比較に、気象庁で保有するスカイラジオメーターを参加させ、気象庁の測器は WMO の基準内で較正されていることを確認した。令和 3 年に開催された第 5 回フィルター型放射計比較は後述するとおり新型コロナウイルス感染症の影響で参加しなかった。

(2) 黄砂に関する情報

ア. 気象庁の黄砂情報

平成 12 年から平成 14 年にかけて黄砂観測日数が急増したことを受け、平成 15 年 8 月に降下物質情報作成装置（黄砂情報解析・検証装置）を整備し、平成 16 年 1 月に黄砂に関する情報の提供を新規に開始した。気象庁ホームページ内に黄砂情報ページを設け、地上気象観測通報による「黄砂観測実況図」と、気象研究所にて開発された黄砂予測モデルを利用した「黄砂予測図」の提供を開始した。また、FTP 方式による黄砂予測 GPV の提供と、黄砂に関する気象情報及び天気概況の運用を開始した。平成 31 年 1 月には「ひまわり黄砂監視画像（トゥルーカラー再現画像、ダスト画像）」の提供を開始。令和 2 年 1 月、黄砂解析予測モデルへ気象衛星ひまわりのエーロゾルプロダクト同化を開始し、黄砂情報の表示領域も拡大した黄砂情報の改善を行い、「黄砂解析予測図」の提供を開始した。これらにより、ゴビ砂漠などの黄砂発生源を含む広範囲の黄砂の発生・飛来の状況を把握できるようになった。

イ. 黄砂に関する他機関との連携

気象庁及び環境省では、黄砂の飛来状況への関心が高まっていることを受け、黄砂情報をそれぞれのホームページ上で提供していたところ、その利便性を高めるため、両省庁それぞれが提供する黄砂情報を収集した、共同のホームページ（黄砂情報提供ホームページ）を平成 20 年 4 月に開設した。

ウ. 黄砂に関する国際協力

砂塵嵐警戒評価システム（SDS-WAS: Sand and Dust Storm Warning advisory and Assessment System）は、各国気象機関及び研究コミュニティにおける砂塵嵐の予測・観測・知識の適時適確な共有を促進することを目的に、WMO/GAW 計画と世界天気研究計画（WWRP: World Weather Research Programme）が共同で推進する計画であり、平成 19 年に WMO 総会で承認された。SDS-WAS は、地域的な活動を統括する 4 つのノード（北アフリカ・中東・ヨーロッパ、アジア、南北アメリカ、湾岸協力理事会諸国）のもと活動を行っている。日本は、アジア地区運営グループに気象研究所を中心とした当庁の職員が平成 20 年の第 1 回会合から継続して参加しており、中国・韓国と持ち回りで議長を務めるほか、平成 24 年、平成 30 年、令和 5 年には日本で地区運営グループ会合を開催している。平成 30 年からは SDS-WAS アジアノードにおけるデータ公開指針の策定に伴い、SDS-WAS アジア地区センターへ黄砂予測データを準リアルタイムで提供している。

3. 輻射

(1) 日射・赤外放射の観測

ア. 日射・赤外放射観測の歴史的背景と変遷

(ア) 直達日射観測の測器と観測地点

昭和7年に、直達日射の観測を全国15地点で国産の銀盤式直達日射計を用いて開始した。昭和15年には87地点での観測になっていたが、その後の戦争で直達日射計の保守等が困難となり、昭和27年には16地点となった。同年の気象業務法の制定を機に、翌昭和28年に観測業務の大幅な見直しを実施し、気象官署周辺の環境・永続性を考慮し、各気候区に1つの観測点を設置するという観点で12地点に再編した。

再編された12地点は、昭和34年にWMOの基準気候観測所に関する勧告を受け、永年気候観測という位置づけとなった。昭和39年10月に東京が永年気候官署から外され直達日射観測が打ち切られたが、昭和47年5月には沖縄が日本に復帰して2地点増の13地点となり(日本復帰前から琉球気象台により直達日射観測自体は再開していた)、昭和51年12月からは高層気象台(現在のつくば市長峰)が調査観測(それまでは研究観測だった)を開始し、直達日射観測は14地点となった。

昭和53年から昭和57年にかけて測器を自記直達日射計(当庁気象測器工場の製作)に更新した。さらに平成5年から平成9年にかけて直達日射観測装置に更新し、測器は(株)英弘精機製MS-33又はKipp and Zonen社製CH-1を使用した。

平成19年10月に全球的な日射放射観測網の構築に貢献するため、長期的に観測を継続した観測点で、なおかつ日本域の代表的な気候区を網羅できる札幌、高層気象台、福岡、石垣島の4地点に直達日射観測網を再編し、平成22年3月からは、南鳥島を含めた全国5地点において日射放射観測へ移行した。

(イ) 日射放射観測の測器と観測地点

平成22年3月に精密日射放射観測装置を整備し、全国5地点(札幌、高層気象台、福岡、石垣島、南鳥島)で日射放射観測を開始した。精密日射放射観測装置では、それ以前に実施していた直達日射に加えて、散乱日射と赤外放射を同時に観測することから、直達日射の鉛直成分と散乱日射の和から全天日射を算出できるようになり、全天日射量をより高精度で観測できるようになった。測器は直達日射計がCHP-1、散乱日射計がCMP-22、赤外放射計がCGR-4、全天日射点検装置として、CMP-21(いずれもKipp and Zonen社製)を使用した。令和3年3月には、観測環境悪化により札幌での観測を網走に移転した。令和6年3月には、高層気象台と同じ緯度帯にある、福岡での観測を終了した。

(ウ) 国際機関等へのデータ提供

気象庁の日射放射観測地点は、南極昭和基地が平成7年から、高層気象台は平成9年から、札幌、福岡、石垣島、南鳥島は平成22年から(ただし札幌と福岡は既に観測終了)、網走は令和3年から基準地上放射観測網(BSRN: Baseline Surface Radiation Network)の観測地点として登録され、ほぼ毎月、定期的にデータを提供している。BSRNは、WMOの世界気候研究計画(WCRP: World Climate Research Programme)/全球エネルギー・水循環観測計画(GEWEX: Global Energy and Water Exchanges)の中で地上における精密な放射観測

網を担う世界的ネットワークであり、そのデータは気候変動に取り組む各国の研究者等に活用されている。この他にも、気象庁の日射観測データ（全天日射量、散乱日射量、日照時間）は、世界放射資料センター（WRDC: World Radiation Data Centre、WMO/GAW 計画におけるデータセンターも担っている）にも昭和 39 年から定期的に送付している。

イ. 日射・赤外放射観測測器の較正

（ア）日射・赤外放射測定基準の変遷

日射観測においては、日射量を観測する際の基準の目盛りとなる単位日射量のことをスケールと呼ぶ。現在そのスケールは PMOD が務める WMO 世界放射センター（WRC: World Radiation Centre）が維持管理する複数台の世界基準器群（WSG: World Standard Group）の器械定数によって決定され、5 年ごとに PMOD/WRC で開催される国際日射計比較（IPC: International Pyrheliometer Comparison）の結果を受けて更新されている。WSG により決定するスケールを「世界放射基準（WRR: World Radiometric Reference）」と呼ぶ。当庁では昭和 31 年以前はオングストローム補償日射計（No.234）を補正した Smithsonian JMA と呼ばれる独自の日射スケールを使用した。それ以降は国際的に定められた日射スケールを使用し、昭和 31 年から昭和 45 年は、「1956 年国際日射スケール（IPS-1956: International Pyrheliometer Scale 1956）」を、昭和 46 年から昭和 55 年はこの「IPS-1956」の数値が改められた「IPS-1956」を使用した。昭和 56 年から現在までは WRR を使用している。また、単位は昭和 55 年まではカロリー（cal）を使用していたが、昭和 56 年以降は国際単位系（ワット及びジュール）を使用している。

赤外放射観測においては、観測する波長範囲が日射とは異なることから別のスケールが必要となるため、WMO は平成 18 年に赤外放射量の世界基準を制定し、PMOD/WRC が維持管理する 4 台の世界赤外放射計基準器群（WISG: World Infrared Standard Group）の器械定数によって赤外放射量の基準を決定することとした。この基準も WRR と同様に、IPC と同時に開催される国際赤外放射計比較（IPgC: International Pyrgeometer Comparison）の結果を受けおおむね 5 年ごとに更新されている。

（イ）直達日射計及び赤外放射計の比較観測

気象庁は昭和 40 年に WMO 第Ⅱ地区放射センター（RRC）に任命され、WMO 第Ⅱ地区内の各国へ WRR を伝達する義務を有することから、昭和 45 年の IPC-Ⅲ以降毎回 IPC に参加して WSG と比較観測を行い、地区基準器群（RSG: Regional Standard Group）の WRR に対するトレーサビリティを維持している。

第Ⅱ地区内においては、地区日射計比較（RPC: Regional Pyrheliometer Comparison）の開催場所として筑波山の中腹に位置する筑波山京成ホテルが認められた平成元年以降、当庁の RSG の動作確認と日射放射観測等に用いる直達日射計の較正を目的に同ホテル屋上にて日射計比較を実施している。なお、地区日射計比較が開催される年はこれに加えて、WMO 第Ⅱ地区内の国家基準器群の較正も実施している（筑波山で比較観測を行う前は、RSG の較正は富士山中腹の太郎坊や河口湖測候所で、それ以外の測器の較正は、昭和 46 年までは東京、昭和 50 年までは布川（現在の茨城県相馬郡利根町）、昭和 63 年まで高層気象台で行っていた）。

また、赤外放射計についても、当庁が地区赤外放射計基準器群を維持管理しており、基準器

群の中から毎年 1 台を PMOD/WRC へ送付し、WISG との比較観測を行い較正することで、WISG とのトレーサビリティを確保している。そのうえで、高層気象台の屋上において日射放射観測等に用いる赤外放射計は地区赤外放射計基準器群と比較観測を行うことで較正を実施している。

(ウ) 特性試験

日射観測では、国際的な日射スケールの採用及び更新などにより統一的な観測基準を維持してきた一方、測器が一台ずつ異なる出力特性を有することで、同じ日射量でも出力される観測値が異なる問題を解決する必要がある。そこで、昭和 46 年度に日射計検査装置を整備し、これらの特性が観測値として出力される日射量に与える影響を調査することとした。

この時点では直達日射計については、基準器との比較のみによって測器定数を決定していたが、平成 17 年からは基準器比較とともに必要に応じて温度特性検査を実施している。

赤外放射計については平成 3 年から黒体炉を用いた赤外放射計較正装置によって温度特性を調査して、必要に応じて観測値の補正に使用している。

4. オゾン層・紫外線

(1) オゾン層・紫外線の観測

ア. オゾン観測（地上）

気象庁のオゾン全量・オゾン反転観測については、昭和 32 年 7 月に高層気象台（現在のつくば市長峰）、その後昭和 33 年にかけて鳥島、南鳥島、札幌及び鹿児島においてドブソン分光光度計による定常観測を開始した。昭和 36 年には南極昭和基地で、那覇は沖縄返還後の昭和 49 年に開始した。南鳥島は昭和 38 年、鳥島は昭和 40 年に全観測引き揚げに伴いこの定常観測を終了している。

昭和基地における昭和 57 年 10 月のオゾン全量の大幅な低下に関する報告以降、国際的なオゾン層保護の機運が高まり、昭和 60 年に「オゾン層の保護のためのウィーン条約」が、昭和 62 年に「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」が採択された。国内でも昭和 63 年に「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」が施行されている。

昭和 64/平成元年以降、オゾン層観測の信頼性向上を目的として、高層気象台、那覇、札幌及び鹿児島のドブソン分光光度計を順次更新したのち、制御を自動化している。誤操作や個人差を排除する高層気象台自主開発の自動化プログラムは平成 6 年に改良型が正式運用となり、国内及び昭和基地へ展開した。その後 Windows OS 動作のソフトウェア制作に取りかかり、平成 18 年に高層気象台に導入したのち、他の官署にも適用した。このソフトウェアを用いた自動化システムは、世界 10 地点程度に技術移転されている。

平成 6 年には南鳥島において全天候全自動型のブリューワー分光光度計でオゾン観測を再開したが、鹿児島は平成 17 年 3 月に観測を終了している。平成 30 年 1 月にはオゾン・紫外域日射観測の再編が行われ、オゾン観測用測器をドブソン分光光度計からブリューワー分光光度計に移行するとともに、南鳥島のオゾン観測を終了している。令和 4 年 1 月には再度の再編により札幌及び那覇のオゾン観測を終了し、現在、高層気象台及び昭和基地で定常観測を継続している。

昭和 36 年の WMO の要請により、世界オゾン紫外線資料センター (WOUDC) にオゾン観測データを毎月報告している。平成 5 年 9 月には速報として GTS 回線での CREX(Character Exchange; キャラクタ形式によるデータ通報) によるデータ交換が提案され、高層気象台では平成 7 年に試験通報開始、平成 12 年 5 月に正式運用となり、平成 13 年に札幌、鹿児島及び那覇で、平成 19 年には南極昭和基地でもこの通報が開始された。

イ. オゾン観測 (高層)

オゾンゾンデ観測においては、昭和 39 年に光学式オゾンゾンデを用いた観測を開始したが、気象研究所で開発されたヨウ化カリウム (KI) 溶液を用いた化学式の KC 型オゾンゾンデが昭和 43 年末から札幌、高層気象台及び鹿児島で定常観測に用いられた。平成元年 9 月には那覇で KC 型での定常観測を開始、鹿児島は平成 17 年 3 月に観測を終了している。

KC 型オゾンゾンデとしては、昭和 43 年末から RS II-KC68 型が用いられ、昭和 54 年 10 月には、オゾン測定部を小型軽量化し、回路に IC を用いた RS II-KC79 型の運用を開始した。平成 6 年には気圧・気温の高度分解能を向上させた RS2-KC96 型の飛揚試験を行ったのち平成 9 年に運用を開始した。一方、鹿児島においては平成 17 年 3 月に観測を終了している。

気象庁はその後、オゾンゾンデ国際比較で得られた KC 型の特性把握に加え、データ品質、データ処理作業への影響などを総合的に考慮して、南極昭和基地を含む気象庁の全オゾンゾンデ観測官署において、平成 20 年から平成 22 年にかけての GPS ゾンデと簡易型 GPS 高層気象観測装置による高層気象観測開始に合わせて、オゾンゾンデを KC 型から世界で多く用いられている ECC 型に切り替えている。平成 25 年からは観測装置の出力形式の仕様を規定したことで使用する GPS ゾンデが入札対象となり、その年に調達する GPS ゾンデの型に合わせた ECC 型オゾンゾンデを調達している。平成 30 年 1 月にはオゾン・紫外域日射観測の再編により札幌及び那覇のオゾンゾンデ観測を終了したが、高層気象台及び昭和基地において定常観測を継続している。

平成 19 年に、オゾンゾンデ内蔵ポンプの低圧下での効率を測定するポンプ効率測定装置を高層気象台で開発し、個々のオゾンゾンデに対してポンプ効率補正を開始した。令和 4 年には国内で得られたポンプ効率測定結果をもとにポンプ効率補正気象庁代表値を作成してこれを観測に用いることとしたが、高層気象台では高精度観測、オゾンゾンデ特性把握のためにポンプ効率測定を継続している。

オゾンゾンデは重量が重いため、主要空港周辺や大都市市街地等への落下が予測される場合、安全を考慮して飛揚を延期している。飛揚可否判断には、高層気象台が開発した落下位置予測プログラムを用いている。

ウ. 紫外域日射観測

気象庁の紫外域日射観測は高層気象台の全天紫外線量の研究観測で始まり、平成元年度からは波長別紫外域日射観測を加えて人体に有害な紫外線 B 領域 (280-315nm) を対象とした定常観測として実施している。

高層気象台の全天紫外線量観測は、昭和 51 年開始の WMO 全球オゾン研究・監視計画において全球規模の組織的な B 領域紫外線の観測が提案されたことを受けて、昭和 54 年に測定波長域 310-350nm (B 領域紫外線と A 領域紫外線 (315-400nm) の一部) のエプリー型全

天型紫外域日射計を用いて日に2回の試験観測を開始した。昭和56年には通風装置を取り付けて連続観測を開始したが、測器不調により中止している。その後、昭和60年に波長300-380nmを観測できる全天型紫外域日射計MS-140により研究観測を再開、平成2年1月には波長域をB領域(280-315nm)に狭めたMS-210で定常観測を開始した。平成14年にMS-212Wに、平成31年以降はUV-S-AB-T、UV-S-B-Tに更新して紫外線B領域の全量観測を現在まで継続している。

これとは別に、B領域紫外線の波長別強度を観測する波長別紫外域日射の定常観測を平成元年度から実施している。平成2年1月に高層気象台、平成3年1月に札幌、鹿児島、沖縄及び南極昭和基地でブリュワー分光光度計(MKⅡ型)を用いて観測を開始した。各官署において感度校正を定期的に行うとともに、高層気象台で各地点の測器感度監視等も行っており、観測データの精度を維持している。平成13年2月には昭和基地で、平成14年1月には札幌、高層気象台、鹿児島及び那覇において、分光で生じる迷光の影響及び測器感度の経年変化が少ない、より高精度なブリュワー分光光度計(MKⅢ型)の運用を開始した。その後、鹿児島は平成17年3月、札幌及び那覇は平成30年1月に波長別紫外域日射観測を終了し、高層気象台及び昭和基地においては現在も定常観測を継続している。令和2年3月、高層気象台の紫外線観測用ブリュワーの更新が認められたことから、新型のMKⅢ型の運用を開始している。

波長別紫外域日射量の観測データは観測開始からWUODCに報告されて世界の研究者が利用可能となっており、紫外線量のトレンド評価やオゾン層回復傾向との関係評価などに使われている。

エ. オゾン層・紫外線の観測機器の校正

WMOは、ドブソン分光光度計の精度維持のため、昭和51年に国際第一準器に定められたNOAA所有のドブソン分光光度計83号機を用いて世界準器、地区準器、地区内測器で構成する校正体系を定めている。

昭和52年米国ボルダーでの国際相互比較において、気象庁の国内準器116号機が、国際第一準器との比較校正をととして第Ⅱ地区(アジア)の国際二次標準分光光度計(地区準器)に指定された。その後、WMOが推奨している3年ごとにオゾン分光光度計国際相互比較に12回参加して、第Ⅱ地区(アジア)準器を適切に維持管理してきている。

WMO/GAW計画の枠組みのもと、ブリュワー分光光度計においてもカナダ環境・気候変動省保有の世界準器を頂点とした校正体系を確立している。気象庁では平成3年以降、日加二国間技術協力として、ブリュワー国際相互比較に参加している。平成6年には米国ボルダーで開催された国際相互比較に気象庁所有のブリュワー分光光度計113号機を持ち込み世界準器と比較できたことから、これを国内準器として国内測器の校正体制を構築した。その後、気象庁は計6回、WMOの勧告にしたがって紫外域日射観測用測器として実質4年ごとに国際相互比較に参加してきた。その後オゾン観測用測器としても用い始めたことからWMOの勧告にしたがって基本2年ごとに国際相互比較に参加することとし、令和元年に国際相互比較に参加している。

オゾンゾンデにおいては、データの均質性確保や各測器の特性を把握するため、国際オゾン

委員会と WMO が昭和 39 年以降、オゾンゾンデ国際相互比較を行ってきている。気象庁は、昭和 45 年及び 53 年に西ドイツの国際比較に RS II-KC68 型で、平成 3 年にはカナダの国際比較に RS II-KC79 型で、平成 8 年及び 12 年にはドイツの室内比較実験にそれぞれ RS II-KC79 型及び RS2-KC96 型で参加した。平成 16 年には、各国ゾンデと基準器をゴンドラごと飛揚する米国の国際比較観測に RS2-KC96 型で参加した。気象庁は、過去の国際比較の実験結果に基づいて、オゾンゾンデ観測データの均質性向上に取り組んでいる。

(2) オゾン層・紫外線に関する情報

ア. オゾン層・紫外線に関する解析・監視情報

(ア) 衛星観測によるオゾン全量解析

昭和 63 年 12 月から、米国航空宇宙局 (NASA) や米国海洋大気庁 (NOAA) 等の人工衛星に搭載された観測装置によるデータを用いて全球のオゾン全量解析を行っている。解析結果は「オゾン層・紫外線の年のまとめ」等の各種報告資料や気象庁ホームページにて公表している。

(イ) オゾンホールに関する監視情報

衛星観測や南極昭和基地でのオゾン層観測結果をもとに南極オゾンホールの監視を行っており、平成元年の「オゾン層観測速報」にて解析結果の公表を開始した。また、平成 23 年からは気象庁ホームページにて、web ページ形式で南極オゾンホールの状況を 9 月から翌年 1 月まで毎月公表している。

(ウ) オゾン層観測速報

平成元年 5 月に設置した観測部高層課オゾン層解析室の業務の一環として、前月のオゾン層の観測結果をまとめた「オゾン層観測速報」の発表を平成元年 7 月から開始した（毎月 20 日頃発表）。広報室経由で記者クラブへ提供するほか、関係省庁や大学等に手渡しや郵送で提供していたが、インターネット環境が普及した状況を踏まえ、平成 17 年 5 月発行分から気象庁ホームページへの掲載のみとした。その後内容の見直しを行い、平成 20 年 1 月から月ごとの「オゾン層と紫外線」として発表することになった。

(エ) オゾン層・紫外線の監視情報（月ごとの「オゾン層と紫外線」）

「オゾン層観測速報」の後継として、平成 20 年 1 月発表の「2007 年 12 月のオゾン層と紫外線」から本情報の発表を開始した。前月のオゾン層と紫外線の状況をまとめ、毎月 20 日頃に広報室経由で記者クラブへ掲示するほか、気象庁ホームページに PDF 形式で掲載していた。その後、国内のオゾン全量の観測推移（横ばいか徐々に増加）や情報への問い合わせ状況等を勘案した結果、気象庁ホームページに本情報で使用していた図や表を掲載することとし、平成 23 年 4 月発表の「2011 年 3 月のオゾン層と紫外線」をもって本情報を廃止した。

(オ) オゾン層観測報告

前年のオゾン層の観測結果をまとめた「オゾン層観測報告」について、平成 2 年から報道参考資料として発表していたが、平成 4 年及び平成 5 年は「地球温暖化監視レポート」の一部として発表し、平成 6 年から単独刊行物として発表を開始した。その後、地球環境・海洋部内における刊行物が「気候変動監視レポート」に統合されたことに伴い、平成 23 年発行を最後に廃刊となった。ただし、一部内容については平成 24 年から「オゾン層・紫外線の年のまとめ」として気象庁ホームページにて発表することになった。

(カ) オゾン層・紫外線の年のまとめ

平成 24 年から「オゾン層観測報告」の後継として、前年のオゾン層と紫外線の状況をまとめた本情報の発表を開始した。PDF 形式で気象庁ホームページに掲載する形で発表していたが、内容を見直し、令和 2 年から web ページ形式で発表している。

(キ) (WMO/UNEP) オゾン層破壊の科学アセスメント：総括要旨の和訳

モントリオール議定書の下に設置されている科学評価パネルでは、世界気象機関 (WMO) や国連環境計画 (UNEP) と連携し、オゾン層破壊に関する状況を総合的にまとめた「WMO/UNEP オゾン層破壊の科学アセスメント」を平成元年からおおむね 4 年ごとに報告している。気象庁ではその総括要旨を和訳し、気象庁技術報告や測候時報、オゾン層観測報告の付録として発表したほか、気象庁ホームページに PDF 形式で掲載している。

(ク) 他機関との連携（環境省との連携など）

環境省が開催する「成層圏オゾン層保護に関する検討会」に委員として参画しており、環境省が発行する「オゾン層等の監視結果に関する年次報告書」の平成元年度報告書からオゾン層・紫外線の観測結果等の資料を毎年提供している。

イ. 紫外線情報

オゾン層破壊に伴い生物に有害な紫外線が増加し、白内障や皮膚がんの発症率の増加が危惧されたことから、平成 14 年 7 月に世界保健機関 (WHO)、WMO 等は共同で「UV インデックスの運用ガイド」を刊行し、UV インデックスを活用した紫外線対策の実施を推奨した。我が国においても、平成 15 年 6 月に環境省が紫外線に係る保健指導のあり方を示した「紫外線保健指導マニュアル」を発刊した。

一方、気象庁では平成 2 年以降、国内観測所において波長別紫外線観測を行い、観測データを蓄積していた。また、気象研究所において放射伝達モデルや、化学輸送モデルの開発・改良が進められ、紫外線量を予測するための技術的な基盤が整備されていた。さらに、気象庁は気象や地震の情報をリアルタイムで報道機関等に提供する仕組みを有しており、国際的にも WMO に加盟している気象機関が紫外線の観測や予測を実施していたため、気象庁で紫外線情報の提供を行うこととした。

紫外線情報は国民の紫外線対策の効率的な実施を目的とすることから、紫外線対策を行うための指標として国際的に広く利用されていた UV インデックスを用いることとした。紫外線情報を発表している諸外国の中にはスキントypes (紫外線に対する肌の特性) 別に情報を提供している国もあったため、気象庁においてもスキントypes 別の情報提供が検討されたが、環境省との協議の結果、スキントypes による区別は難しく、UV インデックスのみを提供することとした。また、発表する情報は全国民が利用できるよう面的とし、事前の対策を検討するための予測情報と日々の紫外線量を把握するための実況情報を提供することとした。このような検討を経て、平成 17 年 5 月に紫外線情報として晴天時紫外線予測情報、天気考慮紫外線予測情報、紫外線観測情報、紫外線解析情報の提供を開始した。平成 26 年 10 月には化学輸送モデルの更新 (高解像度化や化学種・反応過程の追加等) を行い、オゾン全量の予測精度が向上したことで、紫外線情報 (UV インデックス) の予測精度が改善した。

(ア) 晴天時紫外線予測情報

天気の変化が大きい場合に紫外線量の上限の目安を与えるため、紫外線が最も強くなる晴天時の UV インデックスを晴天時紫外線予測情報として提供している。毎正時の日本周辺の分布図及び主な地点の特別変化図を提供しており、平成 17 年 5 月から現在まで継続して発表している。

(イ) 天気考慮紫外線予測情報

紫外線は天気の影響を強く受けるため、予想される天気を考慮した UV インデックスを天気考慮紫外線予測情報として提供している。毎正時の全国分布図及び主な地点の特別変化図を提供しており、平成 17 年 5 月から現在まで継続して発表している。令和 2 年 3 月、情報作成に利用している天気分布予報が詳細化され、予報の対象地域に「小笠原諸島」が追加されたことに伴い、令和 3 年 10 月から天気考慮紫外線予測情報の対象地域にも「小笠原諸島」を追加した。

(ウ) 紫外線観測情報

平成 17 年 5 月から、札幌、つくば、那覇において観測された毎正時の UV インデックスを紫外線観測情報として提供していた。紫外線解析情報が天気の実況をもとに推定した紫外線量であるため、観測機器により直接測定した実測値を提供する目的で発表していた。平成 29 年 12 月、紫外線解析情報が紫外線観測データと比べて十分な精度であることが確認できたため、提供を終了した。

(エ) 紫外線解析情報

当日の天気を考慮して解析した UV インデックスを紫外線解析情報として提供している。毎正時の全国分布図及び主な地点の特別変化図を提供しており、平成 17 年 5 月から現在まで継続して発表している。平成 29 年 12 月には 1 日 1 回であった配信を日中の毎時間に変更した。また、情報作成に利用しているアメダスの日照時間観測の終了に伴い、令和 3 年 3 月から気象衛星「ひまわり」の観測データを用いた推計気象分布（日照時間）を利用することとした。

5. 酸性雨

酸性雨とは、化石燃料の燃焼（人為起源）や火山活動（自然起源）などにより放出される二酸化硫黄（ SO_2 ）や窒素酸化物（ NO_x ）が雨・雪・霧などに溶け込み、通常より強い酸性を示す現象である。

気象庁では、WMO/GAW 計画のもと、大気中の化学成分などの組成の指標となる酸性沈着の長期的な地球規模の状況を監視するため、大気環境観測所（岩手県大船渡市三陸町綾里）では昭和 51 年 1 月から平成 23 年 12 月、南鳥島気象観測所（東京都小笠原村南鳥島）では平成 8 年 1 月から令和 2 年 12 月の期間、降水及び降下じん試料の採取、採取試料の pH と主なイオン濃度の分析を行った。

降水試料の採取は日ごとに行い、月ごとに気象庁本庁へ送付し、送付された降水試料を分析、品質管理を行った後にデータを気象庁ホームページ等で公表した。降水試料の採取から分析までの処理及び分析値の品質管理については、平成 16 年に WMO が示した手法に準拠している。

【第2節】大気汚染気象予報

1. 大気汚染気象予報の変遷

我が国では、昭和30～40年代の高度経済成長期に、工場のばい煙や自動車の排ガス等により、大気汚染が深刻な問題になった。

昭和37年6月に「ばい煙の排出の規制等に関する法律」が公布され、昭和38年12月には、厚生省から気象庁に協力依頼があり、昭和39年に各官署において地方自治体に協力する形で大気汚染気象予報業務を開始した。

昭和42年8月に「公害対策基本法」、昭和43年6月に「大気汚染防止法」が公布されていたが、昭和45年7月に東京都杉並区で光化学スモッグによる健康被害が発生したことで大気汚染が大きな社会問題となった。

昭和45年のいわゆる「公害国会」を経て、昭和46年に環境庁が発足しているが、同年、気象庁は大気汚染気象センターを東京と大阪に設置し、その後、昭和52年までに名古屋、広島、福岡、高松、札幌、仙台の各中枢気象官署に設置し、各官署の業務を指示、支援した。また、各官署は、地方自治体への協力として、大気汚染対策に必要な気象データ等を「大気汚染気象通報」として提供し、また、光化学スモッグの発生しやすい気象条件になった時には、「スモッグ気象情報」の発表を行った。

大気汚染対策により、光化学スモッグの発生が大幅に減少したこともあり、平成6年の気象行政監察における勧告を受けて、平成14年までに東京以外の大気汚染気象センターを廃止し、その機能は各中枢気象官署の予報課で担うこととした。その後、東京の大気汚染気象センターは、本庁の環境・海洋気象課による運営に移った。

各種の気象資料や、大気汚染物質の濃度そのものを予測対象とする数値モデルの結果を、インターネットで容易に確認できるようになり入手できる状況となったことを背景として、令和6年度をもって「大気汚染気象通報」と「スモッグ気象情報（全般スモッグ気象情報を含む）」、光化学オキシダント関連情報提供ホームページを廃止し、大気汚染気象予報業務は終了した。

2. 大気汚染気象予報に関する情報等

(1) 大気汚染気象通報

各官署は大気汚染防止法に基づき地方自治体が実施する大気汚染緊急時対策（光化学オキシダント注意報の発令/解除等）の意思決定を支援するため、大気汚染気象業務に関する協定を締結した地方自治体に対し、大気汚染気象通報を1日に1～2回提供していた。主な内容は、天気予報などの気象要素、光化学スモッグ等の大気汚染が発生しやすい気象状態となる可能性を示した大気汚染気象ポテンシャル及びその根拠等、協定で定めた気象資料である。

(2) スモッグ気象情報

光化学スモッグの発生しやすい気象状態（晴れて、気温が高く、風が弱いなど）が予想される場合に、府県予報区ごとに注意喚起のために発表する情報である。

スモッグ気象情報第1号は、昭和46年6月に、東京で梅雨の中休みに光化学スモッグの発生しやすい気象状態になったため発表した。

平成 19 年 6 月からは、光化学スモッグの発生頻度が特に高い関東地方南部 4 都県（埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県）を対象として、光化学スモッグの発生しやすい気象状態をより詳細に予想したスモッグ気象情報の発表を開始した。その後、平成 22 年 8 月からは九州北部地方（山口県を含む）を対象として、平成 23 年 7 月から関東地方北部を含めた関東地方を対象として発表していた。

（3）全般スモッグ気象情報

光化学スモッグは従来工業地域やその周辺地域を中心として発生していたが、平成 19 年には、これまで光化学スモッグが発生していない地域を含めて、広範囲に光化学スモッグが発生し、長距離の越境大気汚染に対する関心が高まった。これを受け気象庁では平成 21 年 10 月に広域大気汚染情報の担当を設けるとともに数値予報モデルを活用し、光化学スモッグの発生が予測される前日の午前中に、「全般スモッグ気象情報」を発表することとし、平成 22 年 8 月 17 日に第 1 号を発表した。この情報により、地域住民への早い段階での注意喚起となり、地方自治体にとっては翌日の対応策定や監視強化の参考となっていた。

3. 大気汚染気象に関する他機関との連携

国として大気汚染問題へ一体的に取り組む一環として、気象庁と環境省は共同で平成 20 年 4 月に光化学オキシダント関連情報提供ホームページを開設した。気象研究所及び環境省が所管する独立行政法人国立環境研究所が独自に研究開発を行う大気汚染物質の予測を目的とした数値予測モデルの予測結果や、測定結果などを一元的に掲載していたが、大気汚染気象予報業務の終了にあわせてホームページの公開を終了した。

【第 3 節】放射能観測等

1. 気象庁における放射能観測の変遷

昭和 29 年 3 月に南太平洋ビキニ環礁で行われた核実験の被害を受けた第五福竜丸事件を契機として、昭和 29 年 5 月、日本学術会議は「放射線影響調査特別委員会」を設置し、気象庁（当時、中央气象台）が放射能の常時観測を行うという方針を決定した。この決定を受け、当庁は昭和 29 年 7 月から観測部測候課において測定方法と測器の検討を行い、翌昭和 30 年 4 月から、全国 15 か所の气象台、測候所、南方定点観測船及び海洋観測船で、雨及び雪の放射能、塵あい（ちり、ほこり）の放射能、海水の放射能の観測を開始し、昭和 32 年に放射能係を観測部測候課に設置した。

放射能観測は、この観測部測候課の放射能係を中心として業務遂行していた。昭和 33 年 11 月から昭和 36 年 8 月末までの 3 年間は主な核保有国が核実験を停止したものの、昭和 36 年 9 月には核実験が再開されたことに伴う業務量の増加に対応するため、昭和 37 年 4 月に測候課内に班長、調査官、放射能係、資料係からなる原子力気象班を設置した。その後、平成 8 年 7 月の全庁的な組織改正で放射能係を含む原子力気象班を測候課から環境気象課に移管した。

昭和 55 年を最後に大気圏内核実験が終息する一方、チョルノービリ原子力発電所事故や JCO 事故といった原子力施設事故への対応が重要となり、安全保障の観点での放射能対策が

ら、生活安全、環境保全の観点での放射能対策へ、放射能観測業務の必要性が変質してきたことから、原子力気象班は平成 12 年 4 月に廃止した。その後、文部科学省は、当庁の放射能観測を他機関の観測で代替することとし、当庁は放射能観測業務を平成 18 年 3 月に終了した。

(1) 大気放射能観測

当庁が行った放射能観測は、大気中に浮遊する放射能を持つ物質（試料）を採取し、試料に含まれる放射性物質が発する電子線（ β 線）を測定するものであった（以下「全 β 測定」という）。この手法は、放射能に関する概略の情報を比較的短時間で得ることができる。大規模な観測システムなどを要せず、試料採取のための装置と、放射能測定機器（各種カウンター）のみで完結することから、昭和 30 年 4 月の放射能観測の開始から平成 18 年 3 月の終了までの 50 余年間分、一定品質のデータが揃っているのが特徴である。この全 β 測定によるもののほか、昭和 44 年以降、モニタリングポストと呼ばれる全自動全天候型の測器による空間の γ 線の連続測定観測も導入した。

降雨、降雪、落下塵あい及び浮遊塵の放射能観測を行う「基準観測」は 5 管区気象台（札幌、仙台、東京、大阪、福岡）で、降雨、降雪の放射能観測を行う「簡易観測」は稚内、釧路、秋田、輪島、八丈島、室戸岬、米子、鹿児島及び鳥島で実施した。そのほか、灰取紙（粘着性物質が塗布された酢酸セルロース製の紙）による海上大気放射能観測を本庁海洋課により南方定点観測を行う船上又は海洋気象観測船凌風丸の船上にて実施した。

上層大気における放射能の観測も実施した。気象研究所では、昭和 29 年の夏頃から、放射能の観測が可能なゾンデ（放射能ゾンデ）による上層大気中の放射能の鉛直分布を測定する試みを始め、昭和 35 年度から高層気象台で観測業務としての放射能ゾンデ観測を開始した。おおむね、春、夏、秋～冬の期間に 1 回ずつ、年 3 回程度の観測であった。昭和 53 年からは、ゾンデが首都圏の陸上に落下する可能性のある夏期にあっては、綾里の気象ロケット観測所において放球・観測した。平成 12 年に気象ロケット観測所を閉鎖した後、平成 12、13 年の夏期は八丈島測候所で放射能ゾンデ観測を行った。平成 14 年以降は、春、秋～冬の年 2 回程度の観測とし、平成 18 年 3 月まで継続した。

(2) 水中放射能観測

1940 年代から 50 年代にかけて大気圏内の核爆発実験が繰り返し行われたことを背景に、中央気象台定点観測部は、昭和 30 年から南方定点（詳細は、本部第 6 章第 1 節第 1 項中「(7) 海上気象観測」を参照。）において、また昭和 34 年から 4 か所の海洋気象台で海面海水中の全ベータ放射能観測（以下「水中全 β 測定」という。）を開始し、日本周辺海域及び北西太平洋の放射能モニタリングを強化した。その後、海洋気象観測船による海洋観測時に水中全 β 放射能測定用の試水を採取し、本庁及び各海洋気象台に持ち帰った後に分析する業務が続けていたが、気象庁以外の機関による放射能モニタリング体制の整備が進んだことにより、平成 18 年 3 月末で水中全 β 測定は終了した。

(3) 微気圧観測

微気圧振動の観測は、放射能観測業務における観測項目の一つとして、大気中に発生する異常微気圧振動を観測するために、昭和 31 年 4 月から平成 18 年 3 月まで、稚内、釧路、秋田、輪島、東京、米子、室戸岬及び鹿児島島の 8 官署において行われた。これは、核爆発によって

生じた衝撃波が大気中を伝搬し本邦に到達することから、この衝撃波による異常微気圧振動を検知するために行われた観測である。

2. 原子力施設事故

気象庁が大気放射能観測を実施した昭和30年4月から平成18年3月末までの間、国内において大きな反響があった原子力施設の事故は以下のとおり。

- ・昭和61年（1986年） チョルノービリ（チェルノブイリ）原子力発電所事故（ソ連）
- ・平成11年 JCO ウラン加工工場臨界事故（日本）

チョルノービリ原子力発電所事故は昭和61年（1986年）4月26日に発生した。日本に情報が伝えられたのは4月28日だった。4月30日に政府の放射能対策本部の拡大幹事会では関係機関の観測強化を決定し、当庁は4月30日9時から降水放射能、浮遊塵放射能、モニタリングポストの臨時観測を開始した。5月4日には米子と東京の降水放射能及び大阪と東京の浮遊塵放射能に高い値を検知し始め、5月8日の秋田では平常の変動幅のおよそ40倍の降水放射能を確認した。凌風丸は5月3日から12日にかけて関東南方海上の4点の海水を採取し全 β 測定を行い、異常値を検出できないことを確認した。その後、降水放射能、浮遊塵放射能ともに値は低下傾向となり、5月22日の政府の放射能対策本部幹事会は放射能観測の態勢緩和を決定し、6月6日の政府の放射能対策本部にて日本に降下した放射性物質の量は健康へ影響するレベルではないことを公表し、放射能観測の体制強化を終了した。

平成11年9月30日、茨城県東海村にあるウラン核燃料加工会社JCO 東海事業所において、ウラン加工作業の工程で核分裂が臨界に達し、作業員や救急隊員、周辺住民が中性子線で被ばくする事故が発生した。当庁は10月1日9時から γ 線核種分析、降水放射能、モニタリングポストの臨時観測を開始したが、全ての観測で異常な値は見られなかった。気象研究所が行った浮遊塵放射能の分析においても、セシウム137、ヨウ素131ともに不検出であった。これらの結果をまとめ、「異常は認められず」との旨を科学技術庁に報告するとともに、10月1日18時30分に報道発表を行った。同日9時20分に原子力安全委員会委員長が発表した「臨界状態の終息」を踏まえ、当庁の臨時観測も10月1日のみで終了した。

3. 成果の公表

大気放射能観測の成果は「大気放射能観測成績」としてまとめて刊行した。第1号（昭和30年4－6月）から第51号（昭和42年10－12月）までは3か月ごとの年4回、第52号（昭和43年）以降は年1回の刊行であった。第76号（平成4年）からは「放射能観測成績」に、第85号（平成13年）からは「放射能観測報告」に名前を変え、第86号（平成14年）以降はCD-ROMでの配布となった。

国際学術連合（ICSU: International Council of Scientific Unions）主催の国際地球観測年（IGY: International Geophysical Year）が開催された昭和32年、第2回IGY放射能勧告委員会において、スウェーデンと日本に放射能に関する世界データセンター（WDC: World Data Center）を置くことが決議された。これを受け、国内では日本学術会議が気象庁に放射能のWDCを置くことを決定し、昭和33年4月から観測部測候課においてアジア・オースト

ラリア地区（C2 地区）の放射能世界データセンター（WDC C2 for Nuclear Radiation）の業務を開始した。平成 18 年 3 月末での放射能観測業務の終了に伴い、その一環として活動してきたデータセンターも ICSU に閉鎖を通知して業務を終了した。

【第 4 節】環境気象業務に関する国際的役割

1. 世界気象機関（WMO）全球大気監視（GAW）計画

平成元年 6 月、WMO 第 41 回執行理事会において全球大気監視（GAW）計画が承認された。これは、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨などの地球環境問題に対する世界的な関心の高まりを背景にして、既に設立されていた二つの観測網「全球オゾン観測システム」（GO3OS: Global Ozone Observing System、1950 年代に設立）と「大気バックグラウンド汚染観測網」（BAPMoN: Background Air Pollution Monitoring Network、1960 年代に設立）を統合し発展させた、地球規模の環境の長期的な監視及びその結果の提供を行う枠組みである。

（1）GAW と気象庁の役割

気象庁は、昭和 62 年に開始した大気中の温室効果ガス観測をはじめ、オゾン層・エアロゾルなどの各種観測について、GAW 計画開始当初から参加している。また、次項以降に示すとおり、GAW の中枢施設（Central Facilities）として設置されている中央校正施設（CCL）、品質保証科学センター（QA/SAC）、全球大気監視校正センター（世界校正センター（WCC）と地区校正センター（RCC））及び世界資料センター（WDC）のうち、複数のセンターの運営を担当するほか、多くの専門家グループに職員が委員として参加している。これらのセンターは、設立時から、環境気象課（現 環境・海洋気象課）の業務の一つとして運営を続けている。

平成 18 年 3 月に、GAW は WMO 温室効果ガス年報（WMO Greenhouse Gas Bulletin）の第 1 号を発行した。この年報は、原則として気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）における締約国会議（COP）の開催前に WMO が公表しており、世界の温室効果ガスの状況を示す基礎的な資料となっている。気象庁が運営する WMO 温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）は、この年報中で報告される大気中二酸化炭素、メタン等の全球平均濃度や増加速度の変化等についての解析を、第 1 号から継続して担当している。また、各号の内容は WMO 温室効果ガス年報（気象庁訳）として公開している。

（2）品質保証科学センター（QA/SAC）

QA/SAC は、データの品質基準や品質管理手法を定めるとともに、各国が均質なデータを得られるための支援を行う GAW の中枢施設の一つである。

平成 5 年 4 月、WMO 事務局長から気象庁に対し、アジア・南西太平洋地区の QA/SAC の設置要請があった。要請を受諾した気象庁は、平成 7 年 10 月に二酸化炭素、メタン、オゾン全量を対象としたアジア・南西太平洋地区の QA/SAC を設立した。

ア. アジア・南西太平洋地区の GAW 観測所との技術協力

気象庁は、これまで上述の QA/SAC 活動として、温室効果ガス、オゾン層監視に関する国際セミナーの開催（平成 11 年）、地区内の GAW 観測所への技術的支援を実施している。これまでに関係した観測所としては、Mt.Waliguan 観測所、北京オゾン観測所、香港天文台（以上中国）、Seoul オゾン観測所、韓国気象庁等（以上韓国）、Issyk-Kul 観測所（キルギス）、

Cape Grim 観測所（オーストラリア）、Bukit Kototabang 観測所（インドネシア）、Danum Valley（マレーシア）、Manila オゾン観測所（フィリピン）である。

イ．品質評価科学活動懇談会

気象庁は、WMO の推奨を踏まえ、平成 11 年 2 月に品質評価科学活動委員会（平成 31 年 3 月に品質評価科学活動懇談会と改称）を設置した。品質評価手法の調査、解析作業、担当地域への現地調査や技術支援等について、年 1 ～ 2 回懇談会を開催し委員から科学的・技術的助言を受け QA/SAC 活動を進めている。

（3）世界較正センター（WCC）

WCC は、各観測所の観測基準が、観測要素ごとに定められた世界基準のスケールと一致するようにし、各観測所の観測データが比較可能であることを担保するための活動を行う GAW の中枢施設の一つである。

平成 13 年 6 月、WMO 事務局長から気象庁に対し、アジア・南西太平洋地区の WCC の設置要請があった。要請を受諾した気象庁は、平成 14 年 3 月にメタンを対象としたアジア・南西太平洋地区の WCC を設立した。気象庁が担当するメタンの WCC は、メタン標準ガススケールのトレーサビリティの確保のための標準ガスの比較実験（アジア・南西太平洋地区におけるメタン参照ガス巡回比較実験）や他機関標準ガスの較正、技術指導といった活動を行っている。標準ガスの比較実験結果については、気象庁ホームページや WMO 刊行物に定期的に掲載している。

また、令和 2 年から、WMO/GAW 大気成分測定の高品質に関する専門家チーム（ET-ACMQ）が環境汚染・大気化学に関する科学運営委員会（EPAC-SSC）の下に設置された。メタンの測定と品質評価の専門家として気象庁の担当者が参加して、観測手順や観測データの品質評価手法の標準化に取り組んでいる。

（4）地区較正センター（ドブソン分光光度計）（RDCC）

RDCC は、気柱に含まれるオゾン量（オゾン全量）の観測に用いるドブソン分光光度計の地区較正センター（RCC）である。

WMO 全球オゾン研究・監視計画において、昭和 51 年に NOAA 所有のドブソン分光光度計 83 号機が国際第一準器と定められた。

昭和 52 年には、世界のオゾン全量観測を均質化するため、二次準器（地区準器）を複数定めることを目的として米国ボルダーで国際相互比較が開催され、これに参加した気象庁の国内準器 116 号機が第Ⅱ地区（アジア）の国際二次標準分光光度計（地区準器）に指定された。気象庁は、平成 14 年に WMO の要請を受けて、アジアを担当する WMO 第Ⅱ地区 RDCC の責務を担うこととなった。その後はほぼ 3 年に 1 度、ドブソン分光光度計国際相互比較に参加して国際第一準器と比較することで、地区準器を維持管理している。

GAW 計画では、オゾン観測の精度維持のため、各 RDCC 地区相互比較をおおむね 4 年に 1 度実施することを推奨している。平成 4 年の地球サミット（国連環境開発会議）以降、開発途上国へのオゾン観測の支援が求められたことから、平成 8 年 2 月に第 1 回（インド、韓国、フィリピン、タイ、NOAA の WMO 専門家）、8 月に第 2 回（中国、パキスタン、マレーシア）のアジア・太平洋地域オゾンワークショップ（IWOAP）が企画され、第Ⅱ地区準器を用いて

参加国測器の較正を行った。その後、気象庁は平成 15 年（中国）、18 年（フィリピン、タイ、パキスタン、イラン、インド）、28 年（中国、タイ、パキスタン）のアジア地区のドブソン分光光度計の相互比較を開催し、RDCC として第Ⅱ地区内オゾン観測値の均質化を行っている。

（5）世界資料センター（WDC）

GAW は、GAW 計画に参加する観測所から観測データの報告を受け、データの保管、管理及び提供を行うことを目的とした GAW の中枢施設として世界資料センター（WDC）を設立した。観測要素ごとに運用されている七つのセンターのうち、気象庁は温室効果ガス及びこれに関連するガスを担当する WDCGG を運営している。GAW は WDC 及び GAW 地点情報システム（GAWSIS）の活動を調整するため、これらの代表者で構成する専門家チーム（ET-WDC、令和元年には大気組成のデータ管理に関する専門家チーム（ET-ACDM）に再編）を設置し、おおむね隔年で会合を開催している。平成 26 年 1 月の ET-WDC 会合は、気象庁がホストとなり東京で開催した。

GAWSIS は、GAW とその関連の観測所に関するメタデータを統合管理しているシステムで、WDCGG で取り扱う各観測所についても GAWSIS に登録された観測点であることを原則としている。緯度経度などの、WDC に共通する観測所情報に加え、近年では各観測に関する測器や観測スケジュール等の情報へも拡張しつつある。WDCGG では、独自に収集した観測情報を GAWSIS へ反映させる要請に対応するため、平成 30 年頃から手法の開発に取り組んでいる。

（6）温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）

WDCGG は、次の四つの役割を担う GAW の中枢施設の一つである。

- ・ GAW 計画又は関連する国際研究プログラムの下で行われた温室効果ガス観測データ及び関連する微量ガスの観測データと付随するメタデータを収集すること
- ・ 収集したデータを長期利用のため保管すること
- ・ 保管データを利用者が利用できるように配布すること
- ・ 付加価値プロダクトを配布すること

平成元年 3 月、WMO 事務局長から我が国政府に対し、GAW 計画の下の世界資料センターの一つである温室効果ガスに関する世界センター設置の要請があった。要請を受諾した日本政府と WMO との間で、同年 9 月に WDCGG 設立に関する書簡の交換が行われた。これを受け、気象庁は平成 2 年 6 月に地球規模の気候情報を収集解析し成果を発表する「温暖化情報センター」を設置し、同年 10 月から同センターは WDCGG の活動も開始した。

平成 14 年 10 月には、WDCGG はノルウェー大気研究所から地上オゾン世界資料センターを引き継いだ。一方、平成 28 年 1 月に、反応性ガス世界資料センター（WDCRG）が開設されたことにより、WDCGG で保管していた一部データ（地上オゾン等）を WDCRG に移管した。

WDCGG では収集したデータの解析を実施しており、その解析結果をまとめた「データサマリー」を平成 7 年 3 月から刊行している。収集データを基に算出された二酸化炭素やメタンなどの全球・半球・緯度帯別の平均値及びその増加率、全球的な温室効果ガスの分布状況などの基本的な解析結果を掲載しており、各観測所や WMO、国内外の関係研究機関などに配布している。

収集したデータ及び「データサマリー」は、ウェブサイト上で公開している。

2. 世界気象機関（WMO）世界放射センター（WRC）

（1）スイス・ダボスでの国際日射比較

WRC は、全球的に均質で高精度の日射観測データを得るため、スイスのダボスにおいて世界の日射観測の基準となる世界基準器群（WSG）を維持管理し、世界の各地区放射センターが保有する基準器（地区基準器：RSG）に対して WSG との比較観測により較正を行う場を提供している。昭和 45 年にスイスのダボス及びロカルノで開催された第 3 回 WMO 国際日射計比較に、気象庁からは職員 1 名と測器 2 台が参加した。それ以降、5 年ごとにダボス物理学気象観測所で開催される国際日射計比較には気象庁は毎回参加し、地区基準器群の較正を行っている。ただし、第 13 回 WMO 国際日射計比較については、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の影響により、開催が 1 年延期で令和 3 年開催となり、気象庁からの職員の派遣はなく、測器 1 台のみの参加となった。

第 11 回 WMO 国際日射計比較からは国際赤外放射計比較も同時に開催されている。気象庁は、平成 22 年の第 1 回国際赤外放射計比較から毎回、地区赤外放射計準器を持参して参加している。なお、令和 3 年の第 3 回国際赤外放射計比較については新型コロナウイルス感染症の影響で測器のみの参加となった。

（2）地区放射センター（RRC）

ア．筑波山での地区日射計比較

我が国は、昭和 40 年にインドと共に WMO 第Ⅱ地区（アジア）放射センター（RRC）に指名された。RRC は、RSG を維持管理し、地区内及び国内の日射観測測器に対して RSG との比較観測により較正を行う場を提供することにより、地区内の日射観測の精度維持を図る機関である。昭和 59 年 6 月の WMO 第 36 回執行理事会では、「第Ⅱ地区は、できるだけ早い時期に、できれば昭和 60 年又は昭和 61 年に、地区日射計比較を実施すること」との要請を採択した。翌昭和 60 年 6 月の WMO 第 37 回執行理事会において、「我が国は昭和 63 年に、地区日射計比較を主催する計画である」ことを表明した。昭和 62 年 6 月の WMO 第 39 回執行理事会では、第Ⅱ地区/第Ⅴ地区合同の地区日射計比較を実施することを採択したものの、その後、WMO 事務局長は当庁に対して豪州では合同の地区比較が実施できなくなったことから日本で実施することを要請したため、我が国で開催することとなった。

開催に先立って、昭和 63 年 10 月から 11 月にかけて、第 1 回第Ⅱ地区及び第Ⅴ地区日射計比較の第 1 セッションとして、地区比較国際組織委員会が東京（気象庁）で開催された。比較の方法や比較観測を行う候補地点の視察等を進め、筑波山京成ホテル（茨城県つくば市）を地区日射計比較の実施に良好な地点として認めた。翌平成元年 1 月から 2 月に第 1 回第Ⅱ地区及び第Ⅴ地区日射計比較の第 2 セッションとして同所での地区日射計比較を実施した。

その後しばらくの間我が国での地区日射計比較の開催は無く、第 10 回国際日射計比較までは国際日射計比較が地区日射計比較を兼ねていた。しかし、会場（ダボス物理学気象観測所）のスペースや旅費の問題により参加できない国家放射センターが存在し、第Ⅱ地区各国の国家放射センターが有する国家放射基準群が十分に較正できなかったことから、平成 19 年 1 月から 2 月にかけて第 2 回 WMO 第Ⅱ地区日射計比較を開催した。

その後、翌々年に第 3 回を開催し、平成 29 年の第 4 回及び令和 5 年の第 5 回は、より多

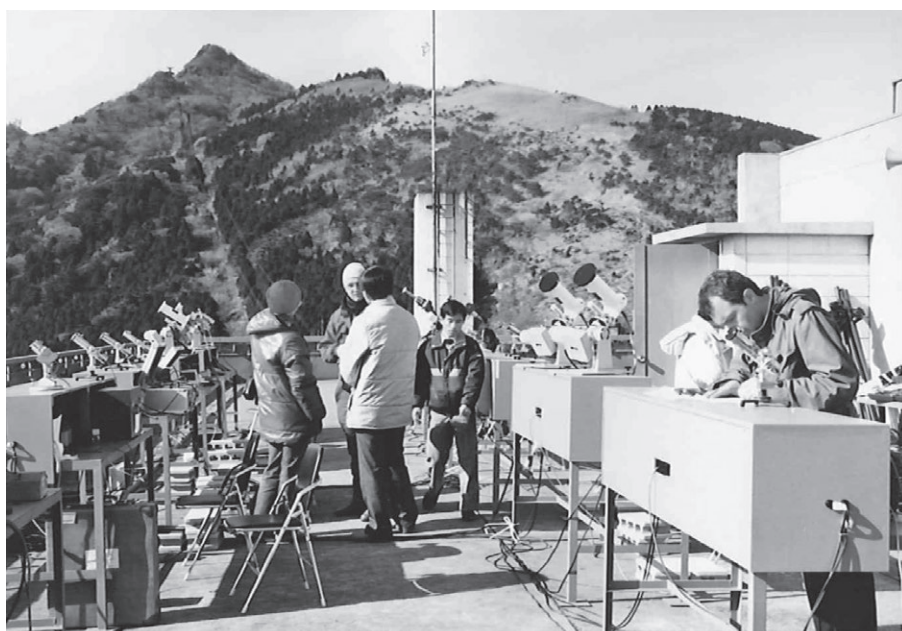


図 5-7-4-1 第1回地区日射計比較（第2セッションでの観測風景）

くの国家放射センターに国家準器の較正の機会を与えるため、WMO 第Ⅴ地区（オセアニア及び南西アジア）の放射センターである豪州気象局との共同開催とした。

これまで気象庁が開催した地区日射計比較とその参加国を表 5-7-4-1 に示す。

表 5-7-4-1 気象庁が開催した地区日射計比較とその参加国

	開催年月	参加国（日本を除く）	備考
第1回	平成元年（1989年） 1月から2月（第2セッション）	中国、韓国、香港、インド、ソ連、豪州、マレーシア、ニュージーランド*、スイス	第Ⅱ地区/ 第Ⅴ地区合同開催
第2回	平成19年（2007年） 1月から2月	中国、韓国、香港、スイス	
第3回	平成24年（2012年） 1月から2月	中国、韓国、香港、タイ、スイス	
第4回	平成29年（2017年） 1月から2月	中国、韓国、香港、豪州、ソロモン諸島、ニュージーランド*、スイス	第Ⅴ地区との共催
第5回	令和5年（2023年）1月	中国*、韓国、香港、豪州、インドネシア、ニュージーランド*、スイス	第Ⅴ地区との共催

*印は測器のみ参加した国を示す。

イ. 第Ⅱ地区内日射計比較

気象庁では昭和 39 年でのプネ気象台（インド）での日射計比較を皮切りに平成 14 年までに WMO 第Ⅱ地区内の各国からの要請により、表 5-7-4-2 のとおり地区日射計基準群と各国の国家日射計基準群との比較を開催した。

表 5-7-4-2 第Ⅱ地区内日射計比較の開催履歴

開催年	参加国	開催場所	備考
昭和39年（1964年）	インド	プネ気象台（インド）	
昭和43年（1968年）	タイ	高層気象台	
昭和45年（1970年）	インド	高層気象台	
昭和50年（1975年）	中国	気象測器工場（布川、現茨城県北相馬郡利根町）	
昭和58年（1983年）	香港	高層気象台	
昭和58年（1983年）	韓国（延世大学）	高層気象台	測器のみが送付され、気象庁職員が操作を代行した。
平成6年（1994年）	タイ	高層気象台	
平成7年（1995年）	中国	筑波山京成ホテル	
平成7年（1995年）	韓国	高層気象台	測器のみが送付され、気象庁職員が操作を代行した。
平成9年（1997年）	韓国、香港、フィリピン	筑波山京成ホテル	フィリピンは研修目的で参加した。
平成14年（2002年）	韓国、香港	筑波山京成ホテル	

【第5節】小笠原諸島気象業務

1. 南鳥島気象観測所

（1）南鳥島の概要

南鳥島は東京から南東へ約 1,860km の珊瑚礁でできた小さな島で、日本の最東端の北緯 24 度 17 分 20 秒、東経 153 度 59 分に位置している。海拔は高い場所でも約 9m、周囲は約 6km、面積は約 1.51km² という太平洋上の島となっている。

（2）気象観測業務

南鳥島の気象観測業務は、昭和 10 年海軍水路部気象班により観測が開始されたが、昭和 20 年 9 月に米軍極東進駐軍の占領軍政下となり気象観測を終了した。気象庁（当時の中央気象台）は、米軍が南鳥島にロラン C 局を整備するまでの一時期、米軍の委託を受けて気象観測（地上気象・高層気象観測）を行っていたが、その後、昭和 43 年 6 月 26 日の小笠原諸島の返還に伴い、気象庁は父島と南鳥島に観測所を設置し気象業務を開始し現在に至っている。

南鳥島は、太平洋上に浮かぶ絶海の孤島であり、人的活動の影響が少ない地理的な利点を生かし、近年の地球環境問題への取組の一環として平成 5 年 3 月から、世界気象機関（WMO）の全球大気監視計画（GAW）に基づき、全球観測所（世界で 31 か所）に指定され、大気バックグラウンド汚染観測所を設置し、大気中の温室効果ガス濃度等の監視業務を実施している。

また、南半球等の遠地における地震による津波到来の観測をいち早く捕らえる事を目的として、平成 8 年に遠地津波観測計が設置され津波注意報・警報等の防災情報へ反映されている。

（3）気象災害

南鳥島は低緯度に位置し、近海で台風が発生する事があるが、平成 18 年 8 月下旬に猛烈に

発達した台風第 12 号の接近が予想され、硫黄島に一時全島避難することとなった。この台風は最盛期を過ぎていたが、非常に強い勢力を保ったまま 9 月 2 日から 3 日にかけて南鳥島の北海上を西北西進し、観測露場の機器が海水につかる等甚大な被害をもたらした。庁舎等の施設の復旧のため、地上気象観測は 9 月 1 日 10 時から 28 日 24 時まで欠測となり、高層気象観測は 09 月 1 日 21 時から 30 日 21 時まで観測を休止した。平成 21 年にも全島避難を行ったが、甚大な被害となったのはこの台風が戦後唯一となった。

2. 父島気象観測所

我が国における天気予報の精度向上のためには、南方海上におけるより多くの気象データの観測が不可欠である。

東京から南に 1,000km 離れた父島に位置する父島気象観測所は、小笠原諸島が日本に返還された昭和 43 年 6 月「小笠原諸島における気象業務の暫定実施に関する訓令」（昭和 43 年 6 月 26 日 気象庁訓令第 9 号）に基づいて開所し、地上気象観測・高層気象観測を開始した。

この当時は宿舎も完備しておらず、本庁や地方官署から派遣された職員が 1 年交代で勤務していた。また、現地採用の職員も勤務していた。

また、基地・補給業務は当時の本庁海洋気象部海務課が行っており、現在でも大気海洋部業務課が受け継いでいる。

父島気象観測所の開所以降の業務変遷については、表 5-7-5-1 のとおりである。

令和 5 年 4 月現在は、所長以下 8 名が、特殊日勤体制のもと、地上気象観測・高層気象観測等の業務にあたっている。高層気象観測は、全庁的に自動放球（ABL）化が進んでいる中、稚内・札幌・秋田・南鳥島・昭和基地に並んで数少ない人の手による放球（MBL）官署となっている。

また、開所当時に比べ生活や宿舎の事情も格段に向上し、昭和 56 年 2 月完成の清瀬住宅に始まり、宮之浜、東町にそれぞれ宿舎を整備している。

表 5-7-5-1 父島気象観測所の変遷

昭和46年1月	父島三日月山、地磁気観測開始
昭和49年7月	父島三日月山、地震観測開始
昭和50年3月	父島二見湾、検潮観測開始
昭和59年10月	新庁舎完成
平成7年4月	父島西町（観測所）、地震観測開始
平成12年3月	波地震早期検知網整備（父島及び母島に計4か所の観測点）
平成12年3月	父島桑ノ木山・北袋沢及び母島中ノ平、地震観測開始
平成15年4月	新測地系移行による緯度・経度の変更
平成17年3月	父島三日月山・桑ノ木山・北袋沢、母島中ノ平、多機能型地震計化
平成19年7月	父島三日月山・桑ノ木山・北袋沢、母島中ノ平、震度観測開始
平成23年2月	父島桑ノ木山・北袋沢の震度観測点廃止
平成31年4月	地上気象観測の目視観測を自動化

【第6節】南極観測

1. 南極地域観測（制度・体制・歴史）

（1）制度・体制

我が国の南極地域観測は、文部科学省に設置（昭和30年11月4日閣議決定）された「南極地域観測統合推進本部」（以下「南極本部」という。）のもと実行されている。

南極地域観測に係る計画は、第7次隊（昭和41年）の派遣において日本学術会議が立案し南極本部が策定した基本の方針が基礎となっている。

当庁は、定常観測（気象部門）の担当部局として、地上気象観測、高層気象観測、オゾン観測（オゾン全量・反転観測、オゾンゾンデ観測、地上オゾン濃度観測）、紫外域日射観測、日射放射観測、エーロゾル観測に従事するほか、大陸上の航空拠点における観測や天気解析等を通じて隊の活動を支援している。また、第7次隊以降特殊ゾンデ観測（輻射ゾンデ、電気ゾンデ、エーロゾルゾンデなど）も実施していた。

（2）観測隊への派遣の歴史

我が国の南極地域観測の歴史は、昭和27年の国際学術連合会議（ICSU）による第3回極年（のちに国際地球観測年（IGY）となる。）の実施の提唱に始まる。国内で南極観測への関心が高まる中、昭和30年にICSUのIGY特別委員会でIGYへの日本からの参加を申し入れ、我が国が12番目の国として南極観測への参加を認められることとなる。同年、日本学術会議は南極観測の具体化に向け政府に要望書を提出し、南極本部の文部省への設置が閣議決定される。翌年に予備観測隊（後に第1次観測隊と呼称変更）が組織され、昭和32年1月にオングル島に上陸、昭和基地を建設し、地上気象観測を開始、11名の越冬隊が成立（内、気象庁は1名）となった。

IGY終了後、我が国の南極地域観測事業は終了することとされ第6次隊（昭和37年）をもって打ち切られたが、昭和38年8月の閣議決定により、常時観測体制を確立することとなり、昭和39年6月の南極本部副本部長会議において、関係省庁へ南極観測の恒久的実施に協力要請があり、気象庁は定常観測（気象部門）を担当することが決定した。南極観測は昭和41年の第7次隊から再開され、気象庁では同年の庁議で定常気象観測担当として2名体制で越冬することとした。その後、第9次隊（昭和43年）から3名体制、第15次隊（昭和49年）から4名体制、第31次隊（平成2年）から現在まで5名体制となっている。

2. 南極地域観測（観測項目）

日本の南極地域観測事業は、IGYを契機として昭和32年に始まり、気象庁は第1次隊から毎年職員を派遣（昭和基地を閉鎖した一時期を除く）し、昭和基地を中心とする定常気象観測を継続して実施している。当初は地上気象観測のみを行い、その後、徐々に観測要素を増やし、現在では5名の越冬隊員を毎年派遣して、通年で地上気象観測、高層気象観測、オゾン観測及び日射放射観測を実施している。これらの観測は、世界気象機関（WMO）の国際観測網の一翼を担って実施されており、得られた観測データは直ちに各国の気象機関等に送られ、日々の気象予報等に利用されている。

(1) 地上気象観測

地上気象観測は、昭和 32 年 2 月から気温の観測を開始し、風、気圧及び目視を順次開始した。第 1 次隊（昭和 32 年）の越冬活動が開始する同年 3 月には、気温、風、気圧を 6 時間ごと（00、06、12、18UTC）に 1 日 4 回、目視観測は 00UTC を除いて 1 日 3 回実施した。第 6 次隊の昭和基地閉鎖により昭和 37 年 2 月以降観測を中断したが、第 7 次隊から観測を再開した。

(2) 高層気象観測

高層気象観測は、第 3 次隊（昭和 34 年）の昭和 34 年 2 月からラジオゾンデ観測（気圧、気温、湿度）を開始し、週 2 回（月、木）実施された。第 4 次隊（昭和 35 年）からは自動追跡型方向探知機を導入し、レーウィンゾンデによる風向・風速の観測も追加し、第 15 次隊には 1 日 2 回の観測となり、第 48 次隊（平成 19 年）で GPS ゾンデを導入した。

(3) オゾン全量・反転観測

地表付近から大気の上端までのオゾンの量（オゾン全量）及び鉛直分布の観測のためオゾン全量・反転観測を実施している。オゾン全量観測は装置内に直射光又は天頂散乱光を取り込み、オゾン全量を測定する観測で、第 5 次隊（昭和 36 年）によりドブソン分光光度計を用いて開始し、基地閉鎖及び昭和 48 年の測器整備による欠測期間を除いて長期間観測を継続している。

第 63 次隊（令和 4 年）によりドブソン分光光度計からブリュワー分光光度計へ移行し、全自動化された。また、月光を利用したオゾン全量観測は、第 10 次隊（昭和 44 年）において集光レンズを用いた方法により試験的に実施され、その後第 23 次隊（昭和 57 年）から現業化した。

反転観測は日の出直後又は日の入り直前に連続実施した天頂散乱光による観測データを用いて反転曲線を算出し、その反転曲線からオゾンの垂直分布を求める観測で、第 23 次隊において研究観測として行われ、第 28 次隊（昭和 62 年）から定常観測として実施している。

(4) オゾンゾンデ観測

詳細なオゾンの鉛直分布の観測のため、オゾンゾンデ観測を実施している。

オゾンゾンデ観測は、第 7 次隊により試験的に実施し、第 9 次隊から定常観測となった。オゾンセンサについては気象研究所が開発した KC 型 (KI solution and Carbon electrode 型) を使用していたが、世界的に ECC 型 (Electrochemical Concentration Cell 型) が実質的な標準となり、第 51 次隊（平成 22 年）の観測から ECC 型へ移行した。

(5) 地上オゾン濃度観測

地表付近のオゾン濃度を連続的に観測するため、地上オゾン濃度観測を実施している。地上オゾン濃度観測は、第 5 次隊で研究観測として KI 溶液を用いた化学的方法によって測定する装置を使用して観測を実施した。その後、数回、研究観測を実施し、第 38 次隊（平成 9 年）により、紫外線吸収式オゾン濃度計を用いた地上オゾン濃度観測装置を持ち込み、平成 9 年 1 月から旧水素ガス発生器室にて定常観測を開始した。第 49 次隊（平成 20 年）からは基地の中で主風向の風上側に位置する清浄大気観測小屋に観測場所を移動した。

(6) 紫外域日射観測

全天の紫外線量及び波長別の有害な B 領域紫外線量観測のため、紫外域日射観測を実施している。紫外域日射観測は、第 32 次隊（平成 3 年）により全天型紫外域日射計を用いた全量

観測が定常観測として開始され、また、第 32 次隊では極地研と共同でブリュワー分光光度計を用いた波長別観測を試験的に開始し、第 35 次隊（平成 6 年）から定常観測となった。

（7）日射放射観測

太陽からの放射（日射）、大気からの赤外放射、地上に到達した太陽放射のうち、地表面で反射される日射（反射日射）と地表面から上空へ放出される赤外放射（上向き赤外放射）を観測している。全天日射観測は、第 5 次隊に開始し、昭和基地を再開した第 7 次隊以降は、地上気象観測の一要素として観測を再開し、これまで継続して観測している。直達日射観測は、第 5 次隊の昭和 36 年 2 月からオングストローム日射計によって観測を開始し、第 9 次隊の昭和 43 年 3 月に自記直達日射計へ移行した。

第 32 次隊では、基準地上放射観測網（BSRN: Baseline Surface Radiation Network）の観測点としての条件を満たすため、極地研と協力して従来の全天日射、直達日射に加え、散乱日射、下向き赤外放射の観測を開始し、平成 6 年 1 月から世界放射モニタリングセンター（WRMC: World Radiation Monitoring Center）へデータを報告している。また、第 39 次隊（平成 10 年）から積雪上において反射日射及び上向き赤外放射の観測項目を追加した。

（8）エアロゾル観測

大気中に浮遊し、地上に到達する太陽放射に影響を与える微粒子であるエアロゾル観測を実施している。エアロゾル観測は、第 15 次隊に大気混濁度の予備観測として波長別直達日射計（530nm、630nm、700nm）を用いて開始した。第 26 次隊（昭和 60 年）から英弘精機社製サンフォトメータ（MS-110）が導入され、エアロゾルの光学的厚さの観測を開始し、第 52 次隊（平成 23 年）からスイス連邦ダボス物理気象観測所製サンフォトメータ（PFR）に更新した。その後、第 61 次隊（令和 2 年）からエアロゾルの光学的厚さのほかに一次散乱アルベド及び気柱当たりの粒子径別体積濃度の情報が得られるプリード社製スカイラジオメータに移行している。

（9）特殊ゾンデ観測

昭和基地においては研究目的にあわせて様々な特殊ゾンデ観測を実施した。

大気循環や大気物理の重要な因子である大気中の輻射（赤外放射）を観測する輻射ゾンデを第 7 次隊から第 39 次隊にかけて飛揚した。大気中の電気伝導率や電流の強さを測定するため電気ゾンデを第 8 次隊（昭和 42 年）から第 13 次隊（昭和 47 年）に飛揚した。成層圏の微量な水蒸気量の鉛直分布を観測するため露点ゾンデを第 7 次隊から第 9 次隊に飛揚した。大気中の様々な粒径のエアロゾルの鉛直分布を観測するためエアロゾルゾンデを第 38 次隊から第 48 次隊にかけて飛揚した。平成 29 年から GRUAN（GCOS Reference Upper-Air Network）の観測地点として登録した昭和基地は GRUAN の要件である精密な水蒸気量や気温の観測のため GRUAN 用基準ゾンデを第 59 次隊（平成 30 年）から第 62 次隊（令和 3 年）において飛揚した。

（10）その他の観測

雪尺を用いた積雪の観測は第 1 次隊で開始し、その後、観測場所や雪尺の設置方法などの変遷はあったが、数本の竹竿を用いて海氷上で行う方式に大きな変わりはない。第 15 次隊までは雪氷部門の研究観測の一環として実施し、第 16 次隊（昭和 50 年）以降は定常気象観測

の一項目として行い、現在は週 1 回観測を行っている。また、南極大陸上に位置する S17 航空拠点においてロボット気象計を運用しているほか、船上、みずほ基地、あすか基地及びドームふじ基地の一部期間の観測、及びこれら基地の往復の旅程においても気象観測を行っている。