

---

## 解 説

---

### 新しい日射放射観測の開始について

地球環境・海洋部環境気象管理官\*

#### 1. はじめに

気象庁では、1930年代からの長期にわたり、日射観測を実施してきた（詳細については、付録1「日射放射観測の歴史」参照）。近年、地球温暖化に代表される気候変動が社会的な問題となっており、気候についての基礎データとして、詳細な放射観測（日射+赤外放射）の必要性が高まった。このため、地球環境・海洋部環境気象管理官では、2010年（平成22年）3月31日から、札幌、館野（つくば）、福岡、石垣島、南鳥島の全国5地点において、観測要素を拡充した高精度な日射と赤外放射の観測（直達日射、散乱日射、下向き赤外放射の3要素の観測。以後、日射放射観測という）を新たに開始した。

本稿では、日射放射観測の目的、観測装置の概要を含む日射放射観測業務について報告する。また、これまで気象庁で実施してきた日射観測の成果及び日射放射観測の観測例についても併せて紹介する。

#### 2. 日射放射観測の目的

地球温暖化予測の不確実性の原因の一つに、エアロゾルや温室効果ガス等の増減が、気温を変化させる原動力である日射放射に及ぼす効果について、まだ十分に解明されていないことがあげられる。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)においても、太陽放射の変動や大気中の雲・エアロゾ

ル等について、科学的理解の推進の必要性が報告されている(IPCC, 2001, 2007, 詳細については、参考「日射放射及びエアロゾルの気候変動との関係」参照)。これらの理解を進めるため、世界気候研究計画(WCRP)/全球エネルギー・水循環観測計画(GEWEX)の下に基準地上放射観測網(BSRN)が設立され、世界中の約40地点で高精度な日射放射観測が行われている。

高精度な日射放射観測は、温暖化予測モデルの放射過程を検証する上で貴重な検証用データとして利用されている。さらに、近年、高性能化・高解像度化が進んでいる短期予報モデルにおいても、大気状態のより正確な予測のため、放射過程における雲量の診断スキームの改良が求められており(吉田ほか, 2011)、検証用データとして高精度な日射放射観測が必要とされている。

気象庁では、気候変動の監視および地球温暖化予測における不確実性の低減に資するため、2010年（平成22年）3月31日から、札幌、館野（つくば）、福岡、石垣島、南鳥島の全国5地点において新たに日射放射観測を開始した。

#### 3. 日射放射観測業務

##### 3.1 新たに開始した日射放射観測業務の概要

日射放射観測では、①太陽の方向から直接地表に届く日射（直達日射）と大気分子、雲粒、エアロゾルなどで散乱されて太陽の方向以外から地表

---

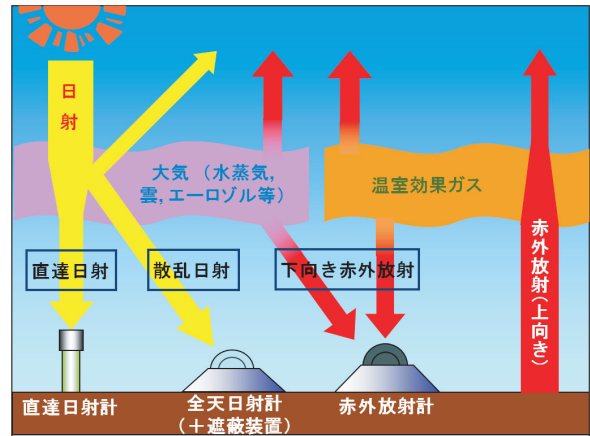
\* 間宮 嘉久（現 予報部予報課大気汚染気象センター）、居島 修（現 高層气象台）、石井 憲介（現 予報部数値予報課）、大河原 望、辰己 弘

に届く日射（散乱日射）を別々に観測する、②上空から地表に届く赤外線（下向き赤外放射）を観測する、という点により、これまでの日射観測より精確にエネルギーの出入りが把握可能である。第3.1図に日射放射観測の概念図を示す。気候変動の微細なシグナルを捉えるためには、高い観測精度が要求される。このため、日射放射観測では、精度の高い測器を使用し、温度特性を考慮した十分な測器の較正を行うことにより、これを実現している。各要素は、単位時間あたりに単位面積が受け取った日射や大気放射のエネルギー量を表す放射照度（単位： $W/m^2$ ）として観測され、その最小単位は $1W/m^2$ である（従来実施されていた直達日射観測では、観測精度の限界から、観測の最小単位は $10W/m^2$ ）。

観測結果として、日射と大気放射の各観測要素の他、直達日射照度の水平面成分と散乱日射照度から全天日射照度（合成全天日射照度）が算出される。また、直達日射照度からは、大気透過率及び大気混濁係数（ホイスナー・デュボアの混濁係数）が算出される。このことは、日射放射観測業務実施要領（平成22年3月31日制定）に基づき、気象官署で行う日射放射観測に係る作業手順など細目的事項を定めた日射放射観測指針に規定されている。

観測結果については、本庁でデータの精査などの品質管理を行った後に統計処理し、気象業務支援センター等を通じて公開している。今後、気象庁のホームページや定期刊行物等に解析結果を公開する予定である。

第3.2図に国内における日射放射観測網を示す。観測点は、これまでの直達日射観測の継続性と日本の気候区の代表性をあわせもち、さらに放射エネルギーを把握する上で重要な上空までの水蒸気量等を直接測定する高層気象観測も実施している5地点（札幌、つくば、福岡、石垣島、南鳥島）が選択された。また、札幌は北日本地域を代表し、シベリアなどアジア大陸の高緯度地方の影響を監視する観測点、つくばは東日本地域を代表する観測点、福岡は西日本地域を代表し、アジア大陸中緯度地方の影響を監視する観測点、石垣島は南西諸島地域を代表し、アジア大陸低緯度地方の影響



第3.1図 日射放射観測の概念図

を監視する観測点、南鳥島は海洋上の孤島で、人為起源の大気汚染の影響を受けにくく、バックグラウンドの状態を監視する観測点である。このように、5地点は日本周辺の異なる気候における日射放射の分布を正確に把握するとともに、大陸から飛来するエロゾルによる日射放射に対する影響を捉えられるよう配置している。

観測データは、BSRNの世界放射モニタリングセンター（WRMC：World Radiation Monitoring Center（ドイツ、Alfred Wegener Institute））に定期的に報告され、世界中の研究者により気候に関する貴重な基礎データとして活用されている。（BSRNについては付録1「日射放射観測の歴史」参照）。

### 3.2 精密日射放射観測装置

#### (1) 精密日射放射観測装置の概要

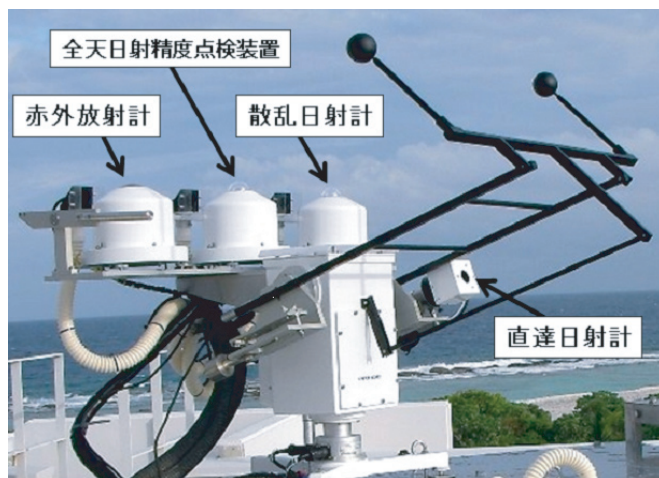
精密日射放射観測装置は、直達日射照度、散乱日射照度及び下向き赤外放射照度を高精度に24時間連続で1秒ごとに観測するための装置である。本装置は、測定部、データ収録部、データ処理部から構成され、南鳥島を除き国内基盤通信網を経由して測定値を準リアルタイムで本庁へ転送している（南鳥島のデータは航空機により磁気媒体で定期的に本庁へ送付している）。第3.3図に精密日射放射観測装置の外観を、第3.4図に各データの流れと全体の構成を示す。

測定部は、太陽追尾式遮蔽装置、直達電気式日射計（以下、直達日射計という）、散乱電気式日

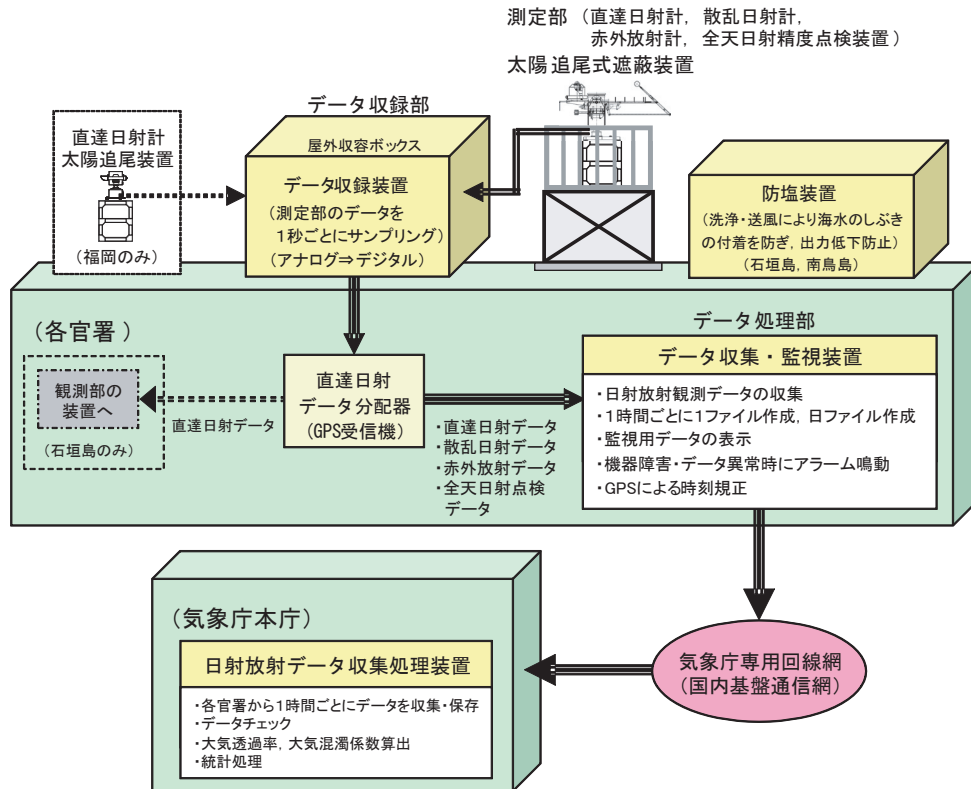




第 3.2 図 国内における日射放射観測網  
赤矢印は、精密日射放射観測装置の設置場所を示す。



第 3.3 図 精密日射放射観測装置の外観



第 3.4 図 精密日射放射観測装置の各データの流れと全体の構成

射計（以下、散乱日射計という）、赤外電気式放射計（以下、赤外放射計という）及び全天日射精度点検装置から構成される。測定部は日射放射の各要素を測定し、それらの測定データ及び測器温度、太陽追尾式遮蔽装置の方位角及び高度角、太陽追尾のモード（太陽光を感知して追尾するサンセンサーモード、曇天時の太陽位置計算モード）をアナログ電圧信号としてデータ収録部に出力する。第 3.1 表に測定部の各観測測器の性能を示す。

太陽追尾式遮蔽装置は、太陽追尾部と遮蔽部から構成され、直達日射計を脇に、散乱日射計、赤外放射計及び全天日射精度点検装置を水平に搭載している。

太陽追尾部は、直達日射計の法線面に常に太陽光が入射するように太陽を自動的に追尾する装置である。また、遮蔽部は、直達日射が散乱日射計及び赤外放射計の受光面に直接入射しないように遮るための装置である。遮蔽部を構成する遮蔽球及び周辺のフレームについては、太陽光の反射を防ぐため、つや消し黒色塗装を施している。

また、全天日射精度点検装置は全天日射照度を測定し、直達日射照度の水平面成分と散乱日射照度から算出した全天日射照度（合成全天日射照度）とを比較することにより、直達日射照度及び散乱日射照度を点検するための装置である。

データ処理部は、GPS 受信機能を有し、定期的に正確な時刻を受信して装置各部の時刻を規正している。

(2) 防塩装置等の付属設備

海に近い石垣島及び南鳥島では測器の入射窓及びドームに海水のしぶきが付着するため、しぶきの汚れによる出力低下を防ぐ防塩装置を設置している。防塩装置は、入射窓及びドームに定期的にノズルから純水を噴射して洗浄後、風をドームに吹きつけ、ドームに付着した水滴を吹き飛ばす装置で、動作時間の間隔(2段階:1時間又は3時間)、洗浄時間、送風時間を調節することができる。第 3.5 図に防塩装置を示す。

冬季に降雪の多い札幌では各日射計や赤外放射



第 3.1 表 観測測器の性能

観測種目		直達日射照度	散乱日射照度	全天日射照度	赤外放射照度
測器名		直達日射計 Pyrheliometer (Kipp & Zonen CHP1)	散乱日射計 Pyranometer (Kipp & Zonen CMP22)	全天日射精度点検装置 Pyranometer (Kipp & Zonen CMP21)	赤外放射計 Pyrgeometer (Kipp & Zonen CGR4)
測定波長範囲		200 ~ 4000 nm	200 ~ 3600 nm	310 ~ 2800 nm	4.5 ~ 42 μm
応答時間	95%応答	5秒	5秒	5秒	18秒
ゼロオフセット	200W/m <sup>2</sup> 正味熱放射 での応答(通風時)	/	±3W/m <sup>2</sup>	±7W/m <sup>2</sup>	/
	周囲温度の5K/h 変化での応答	±1W/m <sup>2</sup>	±1W/m <sup>2</sup>	±2W/m <sup>2</sup>	/
安定性	変化量 / 年	±0.5%	±0.5%	±0.5%	< ±1%
非直線性	0 ~ 1000 W/m <sup>2</sup>	±0.2%	±0.2%	±0.2%	/
	-250 ~ 250 W/m <sup>2</sup>	/	/	/	< ±1%
温度依存性	-20 ~ 50°C	±0.5%	±0.5%	±0.5%	< ±1%
感度		7 ~ 14 μV/W/m <sup>2</sup>	7 ~ 14 μV/W/m <sup>2</sup>	7 ~ 14 μV/W/m <sup>2</sup>	5 ~ 10 μV/W/m <sup>2</sup>
入射窓材質		水晶窓	/	/	/
ドーム材質		/	二重水晶ドーム	ガラス二重ドーム	シリコンドーム



第 3.5 図 防塩装置 (左: 通常時 右: 洗浄動作中)

計の通風ファンに防雪，防霜用のヒーターを設置している。また，札幌では積雪によるケーブル類の凍結を防ぐため，通常停止している夜間について，2時間おきに太陽追尾式遮蔽装置が動作するプログラムを組み込んでいる。

福岡では，周辺の高層ビルや気象レーダー塔などの障害物によって精密日射放射観測装置が日陰になる時間帯がある。このため，これらの障害物の影響を受けない離れた場所に2台目の直達日射計を設置し，精密日射放射観測装置の直達日射計が日陰となる時間帯は2台目の直達日射計で直達日射照度を観測する。なお，2台目の直達日射計は遮蔽部のない太陽追尾装置に搭載している（第3.6図）。

また，それぞれの感部には通風ファンが設置されており，入射窓及びドームの汚れや着露，着雪，着塵を防いでいる（第3.7図）。

### （3）点検及び品質管理

精密日射放射観測装置の定期的な点検，データ収集・監視装置（現地官署）及び日射放射データ収集処理装置（本庁）を用いたデータの品質管理及び監視を以下の要領で行っている。

#### ①定期点検（現地官署）

精密日射放射観測装置は機械的に動作する部分が多く，また，ドームの汚れは直接観測データに影響を及ぼすため，現地官署の職員によって定期的に清掃・点検を実施している。

日射放射観測の定期点検では，週一回の入射窓及びドームの清掃を行うが，黄砂飛来時や降水後など汚れが付着しやすい場合は，状況に応じて清掃を行っている。

#### ②異常の検出

現地官署に設置したデータ収集・監視装置及び本庁に設置した日射放射データ収集処理装置では，収集したデータについて自動的に品質管理を行っている。品質管理は，観測データの他に装置の動作状況についても行っており，運用状態の異常を早期に検出することができる。

##### a) データ収集の状態及びデータ保存の監視

現地官署では，屋外のデータ収録装置から屋内のデータ収集・監視装置へのデータ収集状態を監視し，本庁では，毎時保存されるデータに抜けがないことを監視している。

##### b) 太陽追尾の監視

太陽の位置を計算し，計算結果と太陽追尾式遮蔽装置（または太陽追尾装置）が示す方位角及び高度角とを比較し，太陽追尾の状態を監視している。

##### c) 通風ファンの監視

通風ファンが故障した場合は電圧降下を起こすことから，通風ファンの電圧を監視している。これにより，通常気が付きにくい通風ファンの停止を早期に発見することができる。

##### d) 測器温度の監視

現地官署では，各測器温度を相互に比較して測器温度の異常を監視している。また，本庁では，地上気温データと各測器温度の温度差を監視している。測器温度は，測器の温度特性を補正するために用いられており，測器温度に異常があると測定値を適切に補正することができなくなる。

### ③本庁による品質管理

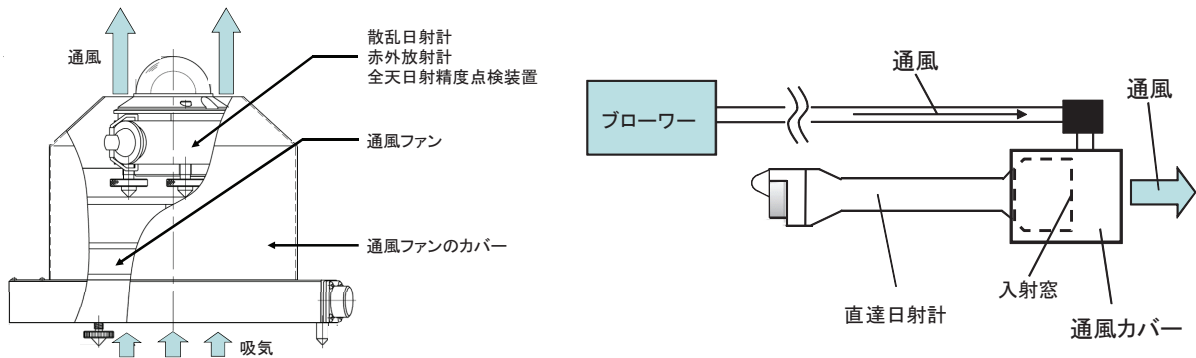
本庁では，輻射係によって1秒データを点検し，異常があった場合はデータを削除している。ここで行うデータ精査は，防塩装置や現地職員による入射窓及びドーム清掃の時間帯，合成全天日射照度と全天日射照度の差に測定誤差以上の差がないかを点検している。第3.8図に日々の清掃時のデータ及び欠測処理する箇所を示す。また，第3.8図の清掃時のデータを，欠測処理せずにそのまま各日射放射照度に変換した値を第3.9図に示す。欠測処理を行わなかった場合，1秒データから作成される1分平均値に，測定誤差以上の異常なデータが混入するため，日々の点検における異常データの削除は重要である。

### 3.3 観測精度

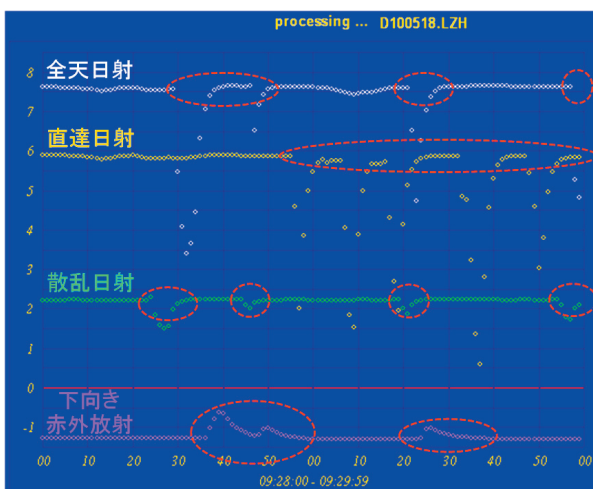
精密日射放射観測装置では，気候変動に影響を及ぼす日射放射の経年変化の正確な把握及び監視のため，BSRNが目標とする観測精度を満たす仕様としている。また，BSRNでは，気候変動の監



第3.6図 福岡の2台目の直達日射計

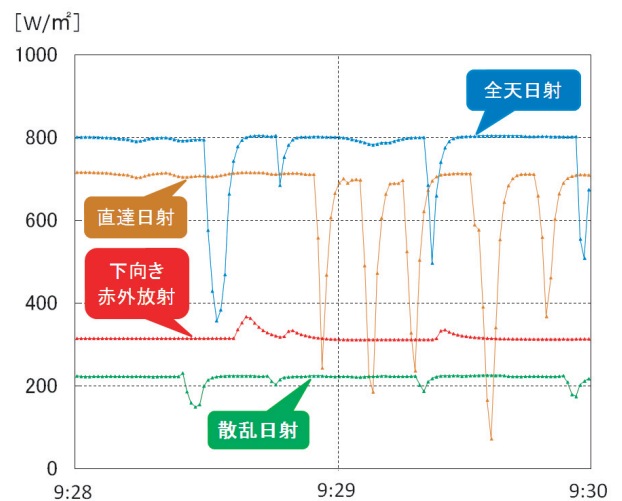


第3.7図 通風ファン（左：散乱日射計用，赤外放射計用，全天日射精度点検装置用 右：直達日射計用）



第3.8図 入射窓及びドーム清掃による観測データへの影響及び欠測処理範囲

横軸：時刻，縦軸：出力電圧 mV，赤点線部分について欠測処理を行う。



第3.9図 欠測処理前の各日射放射照度



視に要求される観測精度を設定しているが、測器の観測精度には限界があり、現在達成が可能な最高水準の観測精度を目標精度としてきた。

第3.2表にBSRNが目標とする観測精度の変遷を示す(WCRP, 2004)。1991年のBSRN開始当時に比べて、2004年は技術革新による測器の観測精度が向上し、気候変動の監視に要求される目標精度が得られるようになった。

また、日射放射観測の各測器は、日射および赤外放射の世界共通の観測基準に基づいた厳密な較正が行われ、観測に使用される。詳細については、付録2「日射放射観測測器の較正」を参照された。

また、世界気象機関／測器観測法委員会(WMO/CIMO)が気象測器や観測方法について規定したCIMO Guide 第7章(放射観測)には、第3.3表に示す観測精度が要請されている。一般の観測網として許容できる観測精度は[Good quality]区分に相当し、[High quality]区分は『最

高水準に近い』となっているが、[High quality]でもBSRNの観測精度は満たしていない。

BSRNの分単位での測定値に対する目標精度は、直達日射0.5%(1.5W/m<sup>2</sup>)、全天日射2%(5W/m<sup>2</sup>)である。BSRNの目標精度は、[High quality]の測器のままでは達成できないため、直達日射については温度補正(\*1)を行って目標精度を達成し、全天日射については直散合成法(\*2)で求めて目標精度を達成している。これは、単体の全天日射計では、太陽高度角が低くなると入射角特性(\*3)によって実際の出力よりも低下してしまうためである。

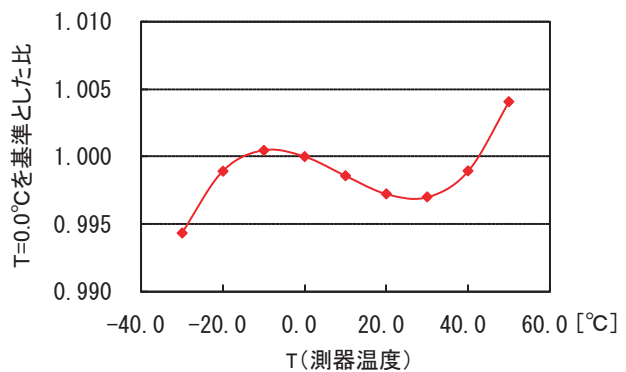
散乱日射成分が全天日射に占める割合を約0.4以下と仮定した場合、[High quality]の測器を使うと、

$$0.9\% \times 0.6 (\text{直達日射水平面成分}) + 3.6 \times 0.4 (\text{散乱日射成分}) = 1.98\%$$

となり、2%というBSRNの目標精度を達成することができる。

(\*1) 温度補正

全天日射計には、全天日射照度が同じであっても測器温度の違いによって出力する値が変化する特性があり、これを温度特性という。このため、恒温槽を用いて測器温度を変化させながら一定の光量を全天日射計に照射し、測器温度の変化に伴う出力変化を検査した温度特性検査をもとに、観測値を補正している。第3.10図は、全天日射計の温度特性の検査例を示したもので、基準をT=0.0℃としたときの各測器温度における出力比をプロットしたものである。



第3.10図 全天日射計の温度特性(例)

(\*2) 直散合成法

$$GL = DF + DH, \quad DH = DR \times \sin H$$

ここで、GL:全天日射量、DF:散乱日射量、DH:直達日射量の水平面成分、DR:直達日射量、H:太陽高度角である。

なお、直散合成法は、直達日射計や太陽追尾式遮蔽装置の動作不良時は大きな誤差を生じる。BSRNでは太陽追尾式遮蔽装置の不具合や測器の異常を監視するため、全天日射精度点検装置(全天日射計)による並行観測が必須となっている。

第 3.2 表 BSRN が目標とする観測精度の変遷

観測要素	1991 年	1997 年	2004 年
1. 直達日射	-	1%または 2W/m <sup>2</sup>	0.5%または 1.5W/m <sup>2</sup>
2. 散乱日射	10W/m <sup>2</sup>	4%または 5W/m <sup>2</sup>	2%または 3W/m <sup>2</sup>
3. 全天日射	15W/m <sup>2</sup>	2%または 5W/m <sup>2</sup>	2%または 5W/m <sup>2</sup>
4. 反射日射	15W/m <sup>2</sup>	5%	3%
5. 下向き赤外放射	30W/m <sup>2</sup>	5%または 10W/m <sup>2</sup>	2%または 3W/m <sup>2</sup>
6. 上向き赤外放射	30W/m <sup>2</sup>	5%または 10W/m <sup>2</sup>	2%または 3W/m <sup>2</sup>

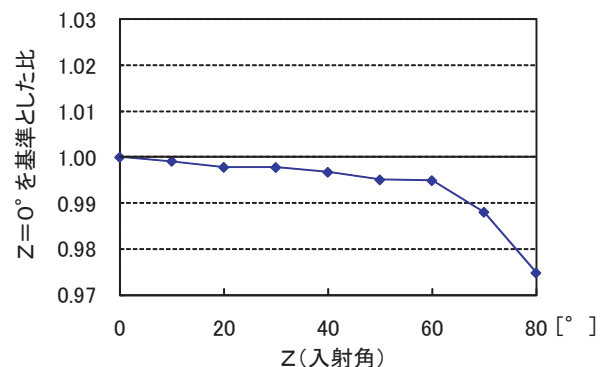
第 3.3 表 BSRN 及び CIMO Guide が目標とする観測精度 (95%信頼水準の不確かさ)

CIMO High は [High quality] を, CIMO Good は [Good quality] を示す. また, (\*) を付加した観測精度 (全天日射の分積算値) は, 直達日射の分積算値と時間積算値の割合から推測したものである.

	直達日射			全天日射		
	BSRN	CIMO High	CIMO Good	BSRN	CIMO High	CIMO Good
1 分平均値 又は 分積算値	0.5%	0.9%	1.8%	2.0%	3.6% (*)	9% (*)
時間積算値		0.7%	1.5%		3%	8%
日積算値		0.5%	1.0%		2%	5%

(\*3) 入射角特性

全天日射計は, 太陽光が入射する角度が水平方向になるほど測定誤差が大きくなる. これは, 入射角が水平に近くなるほど日射が受光面で反射されてすべてが熱に変換されず, また, 受光面黒色塗料の入射角による短波と長波の反射率の違いなどが影響している. 第 3.11 図は, 全天日射計の入射角特性の検査例を示したもので, 基準を Z=0 (真上) としたときの各入射角における出力比をプロットしたものである. 入射角が大きくなる (太陽高度が低くなる) ほど誤差が大きくなっている.



第 3.11 図 全天日射計の入射角特性 (例)

#### 4. 日射放射観測の観測例

日射放射観測は平成 22 年 3 月 31 日から開始したため、各日射放射データの経年変化を示すまでのデータが蓄積されていないが、日々のデータからエアロゾルや雲の日射への影響について特徴的な観測事例を次項に示す。

これまで長期にわたって蓄積された直達日射データについては、気候変動監視に利用されており、今後蓄積される日射放射観測データが、長期モニタリングによる気候変動監視の役割を担うことになる。

##### 4.1 精密日射放射観測装置による観測事例

###### (1) 黄砂による影響 [2010 年 3 月 19 日 福岡 (第 4.1 図)]

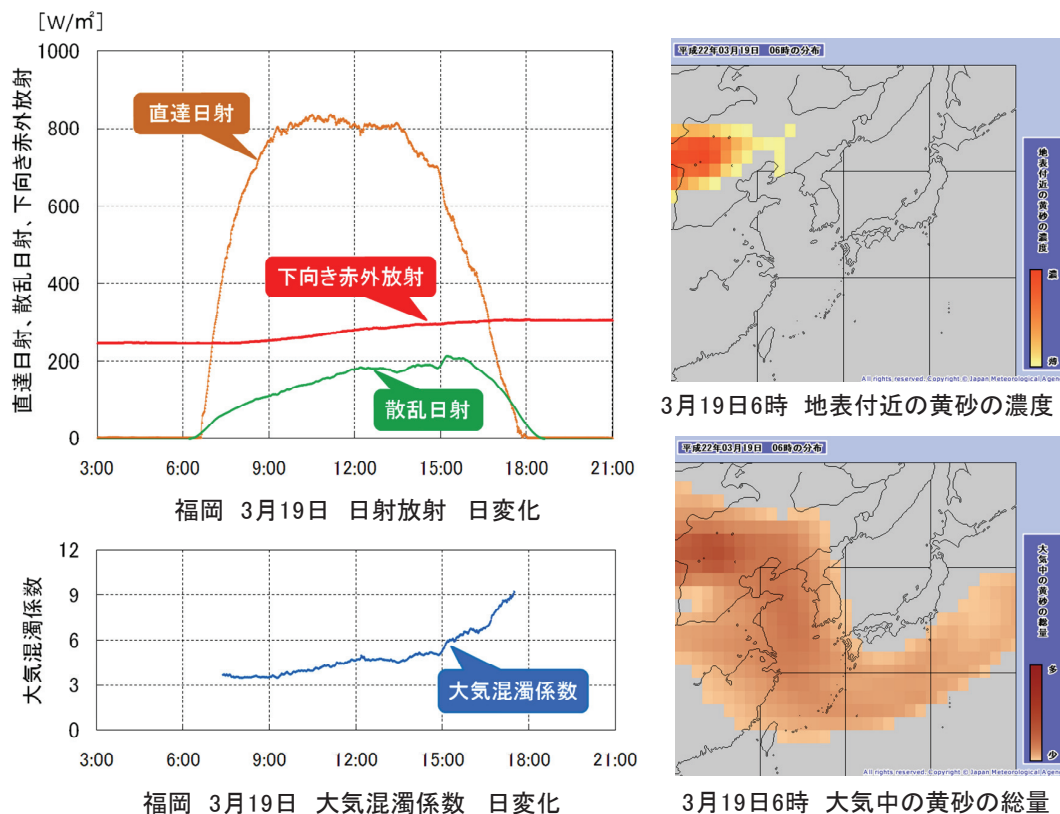
黄砂などのエアロゾルが飛来すると、その影響が日射放射データに明瞭に表れる。精密日射放射観測装置試験運用中の 2010 年 (平成 22 年) 3 月 19 日の福岡は、地上気象観測によると 1 日中快晴であった。一方、当日の黄砂予測では、黄砂は

地表付近まで降下せず (右上図)、上空にのみ飛来してくる予想 (右下図) であった。

日射放射観測データによれば、19 日は太陽高度角が最も高くなる南中時 (12 時 26 分) 前から直達日射は減衰し、散乱日射は次第に増加 (左上図) している。また、直達日射から計算される大気混濁係数 (左下図) から見られるように、早朝は濁りが少なく比較的清浄な状態だったが、昼前から次第に濁ってきた。また、15 時以降は顕著に大気混濁係数が大きくなった。

黄砂などのエアロゾルは、太陽からの光を散乱するため、直達日射は減衰し散乱日射が増加する。日射放射データにはこの傾向が明瞭に表れており、上空に黄砂が流入してきた影響と考えられる。このように、大気中のエアロゾルの増減は、日射に影響を及ぼしていることがわかる。

また、19 日の午前から午後にかけてみられる下向き赤外放射の増加は、対流圏の気温の上昇に対応している。



第 4.1 図 左上：各日射放射照度の変化 左下：直達日射照度から算出される大気混濁係数 (大気が混濁しているほど高い値を示す) 右上：地表付近の黄砂の濃度の予測 右下：大気中の黄砂の総量の予測



(2) 雲による影響[2010年11月2日 館野(第4.2図)]

2010年(平成22年)11月2日の館野は、早朝は快晴であったが、10時頃から雲が広がり、昼前には曇りとなった。雲により太陽光が散乱されたため、昼前から直達日射は減少し、散乱日射については増加した。また、雲の広がりとともに雲から放出される下向き赤外放射も増加した。

4.2 直達日射観測の成果(長期モニタリング)

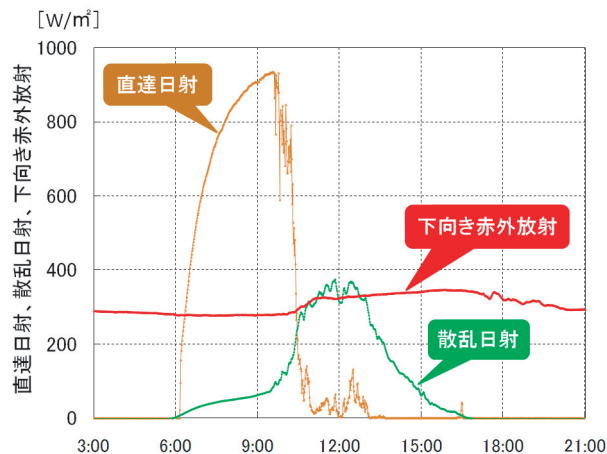
直達日射照度からは大気混濁に関する指標であるホイスナー・デュボアの混濁係数(以下、大気混濁係数)を算出することができる。大気混濁係数は、エアロゾルのほか、水蒸気・オゾン・二酸化炭素等の日射の散乱・吸収に寄与する種々の物質を含む現実の大気の光学的厚さ(日射に対する大気の不透明さ、濁り具合)が、酸素や窒素など

の空気分子のみが存在すると仮定した大気の光学的厚さの何倍であるかを表す。つまり大気混濁係数が大きいほど大気を濁す物質が多いことを示している。

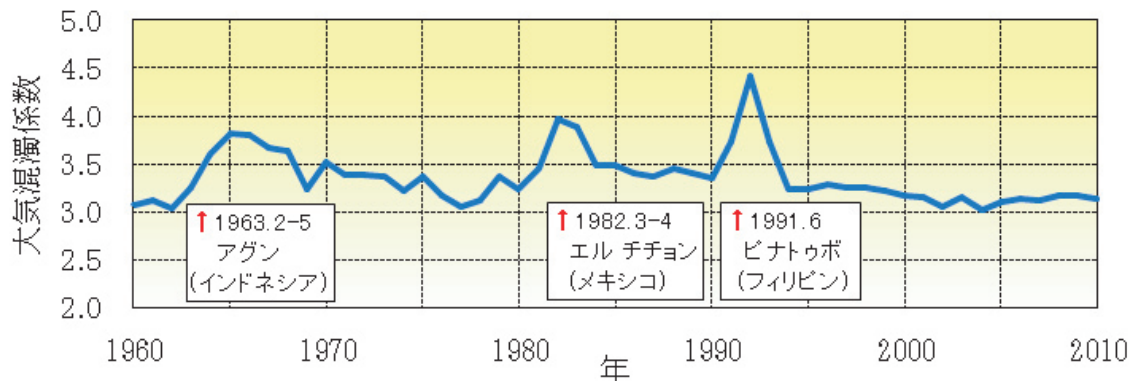
第4.3図に、気候への影響をみるため直達日射量から算出した1960～2010年までの大気混濁係数の経年変化を示す。ここでは、日々大きく変動する水蒸気や黄砂の影響等を少なくするため、大気混濁係数の月最小値を用いて国内全地点の平均値を求め、年平均値を算出している。

1963年から数年継続しているやや大きな値と1982～83年と1991～93年にみられる大きな値は、それぞれ1963年2～5月のアグン火山噴火(インドネシア)、1982年3～4月のエルチジョン火山噴火(メキシコ)、1991年6月のピナトゥボ火山噴火(フィリピン)によって硫酸塩エアロゾルの生成につながる二酸化硫黄が成層圏に大量に注入され、成層圏が長期間にわたって混濁した結果である。ピナトゥボ火山噴火以降は大規模な火山噴火が発生していないため、日本における大気混濁係数はアグン火山噴火前のレベル付近まで戻っている。

このように、長期にわたる直達日射観測データには大規模な火山噴火による火山性エアロゾルの気候への影響が明瞭に表れている。



第4.2図 各日射放射照度の変化



第4.3図 大気混濁係数の経年変化(1960～2010年)

## 5. おわりに

気象庁が1932年(昭和7年)から開始した直達日射観測は、多くの観測者の努力によって80年もの貴重なデータが蓄積され、気候変動の長期モニタリングの一つとして利用されてきた。今後は、従来からの直達日射に散乱日射及び下向き赤外放射を加えた日射放射観測によって、引き続き気候変動を監視するとともに、温暖化予測の検証や気候予測モデルの放射過程の改善などに寄与し、その結果地球温暖化予測の不確実性の低減に貢献する。

日射放射観測の開始にあたって、札幌管区気象台、高層気象台、福岡管区気象台、沖縄気象台及び石垣島地方気象台並びに本庁各関係官のご支援とご協力に感謝する。また、精密な観測データを定常的に取得するためには、管理官署における日々の適切な観測装置の保守・管理がより一層重要となっており、引き続きご協力をお願いする。

## 参 考 文 献

- 大河原望(2008):長波長放射観測の世界基準への移行. 高層気象台彙報, 68, 37 - 41.
- 気象庁 高層気象台(1996):日射・放射資料集.
- 気象庁 高層気象台(2007):日射・放射資料集.
- 志村英洋(1993):日射観測の基準化の変遷—第7回国際日射計比較の報告—. 測候時報, 60, 9 - 30.
- 志村英洋(1996):気象測器-地上気象観測篇第8章放射計. 気象研究ノート, 185, 105 - 118.
- 関根正幸, 志村英洋, 鈴木宣直(1973):日射・放射観測の基準化と観測網の展開. 天気, 20, 653 - 679.
- 廣瀬保雄(1996):気象測器-地上気象観測篇第7章日射計. 気象研究ノート, 185, 73 - 92.
- 吉田龍平, 沢田雅洋, 山崎剛, 岩崎俊樹(2011):放射量連続観測とAMeDASを利用した宮城・山崎・福島県北部における非静力学モデル放射量の評価. 天気, 58, 599 - 605.
- IPCC(2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ.Press, ISBN 0-521-80767-0.
- IPCC(2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ.Press, ISBN 978-0-521-88009-1.
- Kiehl, J. T., and K. E. Trenberth(1997): Earth's annual global mean energy budget. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78, 197 - 208.
- WCRP(2004): Baseline Surface Radiation Network (BSRN). Operations Manual, Version 2.1
- Wild, M.(2008): Short-wave and long-wave surface radiation budgets in GCMs: a review based on the IPCC-AR4/CMIP3 models. Tellus, 60, 932 - 945.
- WMO(1977): World Radiometric Reference(WRR), CIMO VII, Annex IV Recommendation 3, WMO-No.490.
- WMO(2008): Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, seventh edition. WMO No-8, I.7.

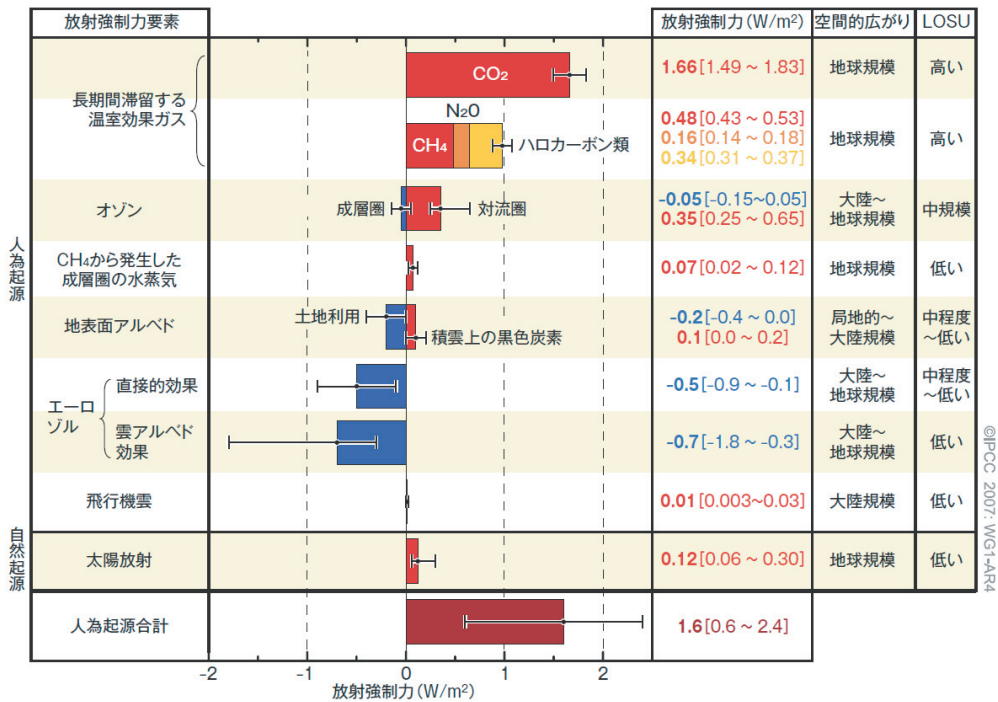
参考 日射放射およびエアロゾルの気候変動との関係

気候変動に関する政府間パネル第4次評価報告書 (IPCC, 2007) によると、気候変動を起こす要因のなかで、太陽放射、エアロゾルの効果（積雪面上も含む）は科学的理解の水準（LOSU）が低いとされている（参考図）。

特にエアロゾルの変化は、直達日射や散乱日射の増減に影響を及ぼすことに加え、エアロゾルは雲の核になることから、雲量の増減および雲の寿命にも影響を及ぼしている。雲量の増加や雲の寿命が長くなると、日射を遮り、地表が受け取るエネルギーが減少する。これらの雲やエアロゾルと日射放射との関係については、科学的理解が不十分であると報告されている。

また、同報告書には各国の気候予測モデルにより地表面が受け取る短波放射（日射）や下向き赤外放射の計算結果が報告されているが、ほとんどの気候予測モデルにおいて、短波放射は過大に、下向き赤外放射は過小に計算されているとの指摘がある（M.Wild, 2008）。

このように気候予測モデルには放射の取扱に起因する不確実性が含まれており、精度の高い観測値による検証や放射過程の改善が温暖化予測の精度向上に必要とされている。



参考図 放射強制力をもたらす要素 (IPCC:2007)



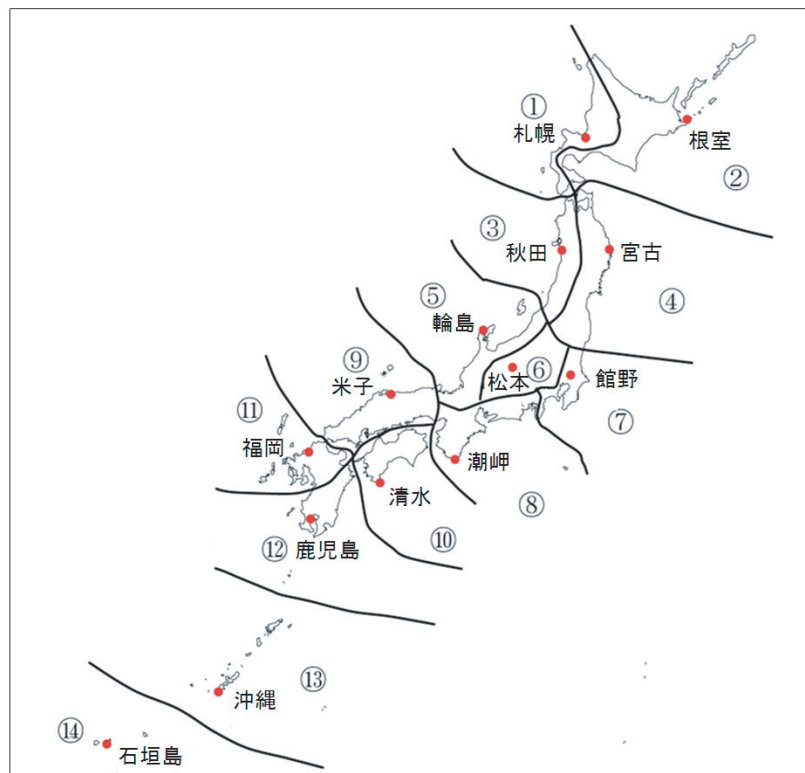
## 付録1 日射放射観測の歴史

## 1. 日本における日射放射観測の歴史

全天日射観測は、1931年（昭和6年）に東京で開始した。1935年（昭和10年）から全国展開が始まり、一時は60地点に達したが、終戦時には30地点以下になった。観測開始当時の測器はバイメタル型日射計を使用していたが、精度に問題があったため、1957年（昭和32年）の国際地球観測年（International Geophysical Year [IGY]）を機に、一部の官署では熱電堆型（エプリー型）全天日射計を採用した。1970年（昭和45年）からの地上気象観測装置の整備を機に、1971年（昭和46年）までに熱電堆式全天日射計を67地点に整備した。2010年（平成22年）は49地点で全天日射観測を行っている。

直達日射観測は、1932年（昭和7年）からの第2回国際極年（International Polar Year）の国際協同観測を機に国産の銀盤式直達日射計が開発され、全国15地点で開始した。1940年（昭和15年）には87地点で観測されたが、その後戦争等で直達日射計の保守等が困難となり、1952年（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1953年（昭和28年）に観測業務の大幅な改正が実施され、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地点に再編された。また、1957年のIGYでは大気の放射バランスを解明するため、札幌、つくば（館野）、鳥島、鹿児島において、全天日射、直達日射、大気放射（全波放射）の観測を実施し、IGY以後は館野においてこれらの観測を継続して行っている。

再編された12地点は、1959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。1964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、1972年には沖縄が復帰して2地点増の13地点となり、1977年からは館野が調査観測を開始し、直達日射観測は14地点となった。付図1.1に1980年頃の直達日射観測網を示す。



付図1.1 1980年頃の直達日射観測網

2007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、館野、福岡、石垣島の4地点に直達日射観測網を再編し、2010年3月31日からは、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。

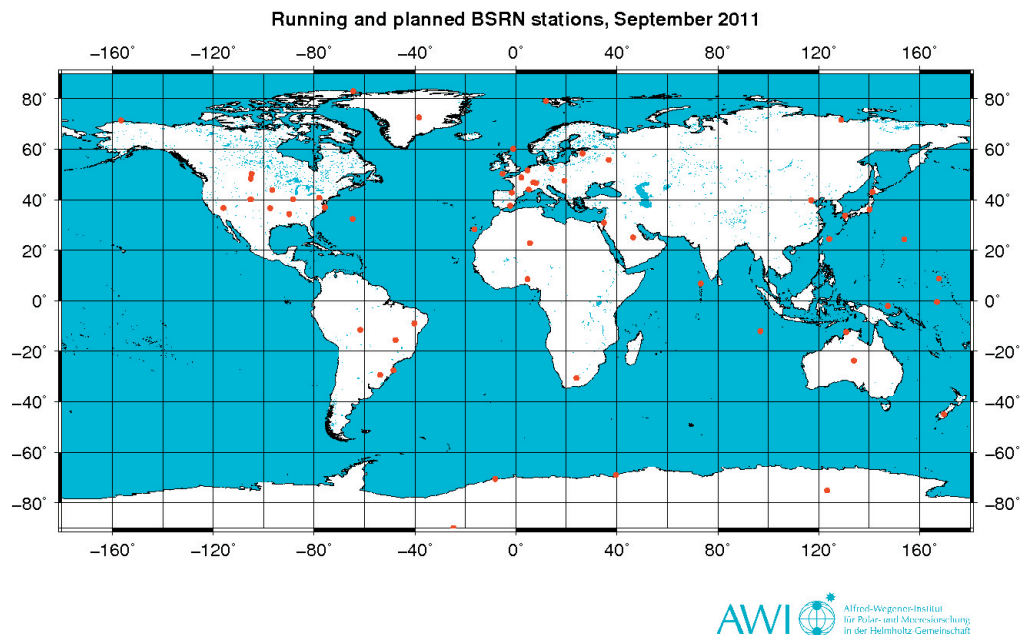
## 2. 全球的な日射放射観測網（基準地上放射観測網：BSRN）

### 2.1 BSRN とその歴史的経緯

1985年にアメリカ航空宇宙局（NASA）/世界気候研究計画（WCRP）/気候・大気物理国際連合（IAMAP）のワークショップで気候変動研究における地表面放射収支データの重要性が指摘された。1988年には、世界気象機関（WMO）/国際科学会議（ICSU）の合同科学委員会の「放射フラックスに関する作業委員会ジュネーブ会議」において、WCRPの中で地上面放射収支の長期モニタリングのため短波長、長波長放射の観測網設置が勧告された。1990年6月にWCRP/全球エネルギー・水循環観測計画（GEWEX）の副計画の一つとしてBSRN（Baseline Surface Radiation Network）が発足し、各国気象機関に計画に対する協力要請が出された。

気象庁においてもその要請に応えるため、高層気象台が中心となりBSRNへの参加準備を進め、高層気象台と南極昭和基地の2地点がBSRN観測地点に登録された。高層気象台は「Tateno（館野）」という地点名で1996年2月から、南極昭和基地は「Syowa（昭和）」という地点名で1994年1月からデータの報告を開始し、高品質なデータは国際的に高い評価を得ている。さらに、2010年4月に開催された「基準地上放射観測網（BSRN）第11回科学及び評価ワークショップ」において、札幌、福岡、石垣島、南鳥島の4地点がBSRN観測地点として承認された。この4地点は2010年4月からBSRN観測地点として正式に登録され、BSRNのホームページでデータを公開している（<http://www.bsm.awi.de/>）。

BSRNは2004年から全球気候観測システム（GCOS）の日射放射観測を担っており、現在世界で約40の観測点が登録されている。付図1.2にBSRN観測地点を示す。



付図 1.2 BSRN 観測地点（2011年9月現在，AWI ホームページより）

## 2.2 BSRN で要求される観測環境

BSRN 運用規定 (BSRN Operations Manual, 2004) によると, BSRN が要求する観測環境は,

- a) 地域代表性があること (100km<sup>2</sup>).
- b) 長期的 (10 年以上) に観測環境の変化が小さいこと.
- c) 人為的, 局所的な影響を受けにくい場所であること.  
(主要な道路, 空港, 駐車場, 熱源となるビル等がないこと)
- d) 天空が開けていること (仰角 5 度以上の障害物がないこと).
- e) 有人観測点で, メンテナンスが行き届くこと.
- f) 地上観測点であること.
- g) 高層観測点が 50km 以内に存在すること.
- h) 電気や通信などのインフラが整っていること.

とされており, BSRN 観測地点は, 長期にわたり人為的な影響を受けず, 気候変動の監視に適した高品質な観測データが得られなければならない. なお, 観測環境に変更があった場合は, 速やかに報告することとなっている.

## 付録 2 日射放射観測測器の較正

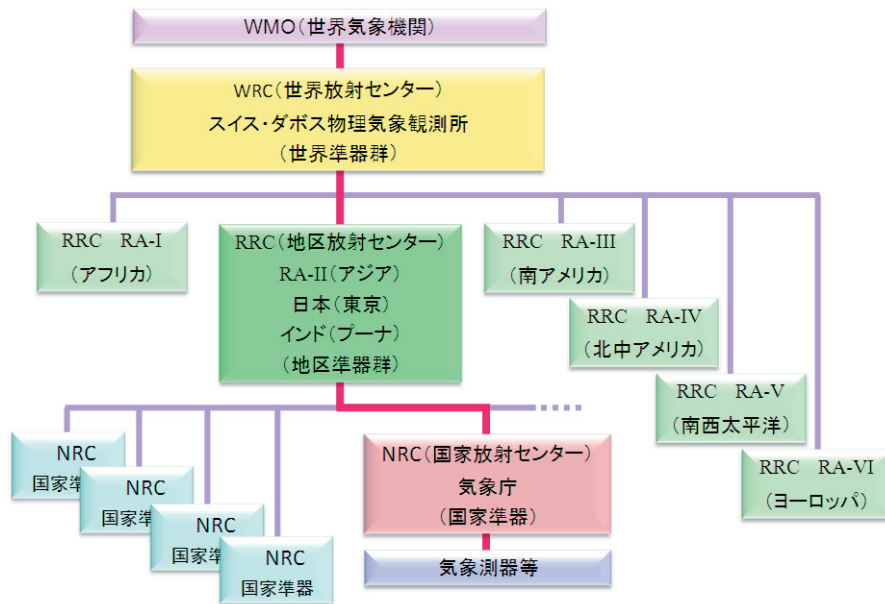
### 1. 日射計の較正体系

気象学の分野で行われる放射測定は, 放射気候における僅かな変動や差異を検出することを目的としているため, 時間的・空間的に非常に均質に行わなければならない. 均質なデータを得るためには, 統一した基準で検定された測器を用い, 統一した方法で観測を行う必要がある. 一般に, 物理量の測定基準は度量衡で定められているが, 放射測定に関しては, 度量衡による放射基準が低い放射照度レベルに限られているため, 太陽放射 (日射) 測定には適合しなかった. このため, 気象学における放射基準は, 度量衡とは別の独立した変遷があった.

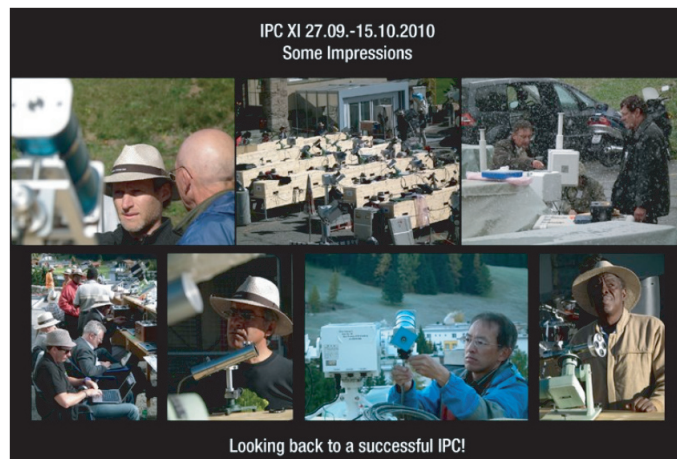
日射観測の基準を維持・管理し, 全球的に均質で精度の高い直達日射観測データを得る目的で, 1971 年スイスにあるダボス物理気象観測所が世界気象機関 (WMO) の世界放射センターに指名され, 直達日射計の較正体系が確立された. 世界放射センターは, 5 年ごとに WMO が定める世界 6 地区協会 20 カ国の各地区放射センターや各国の基準となる測器 (以下, 準器という.) を較正する国際日射計比較を開催しており, 各々の測器に世界放射基準を伝達することにより日射観測の精度を世界的に均質に保っている. 付図 2.1 に WMO の日射計較正体系を, 付図 2.2 に第 11 回国際日射計比較観測風景を示す.

日本 (気象庁) は, 1965 年 (昭和 40 年) に開催された WMO 第 II 地区 (アジア) 第 4 回会議において, インドとともに WMO 第 II 地区放射センターに指名され, 国際日射計比較観測には, 第 3 回 (1970 年) から第 11 回 (2010 年) まで継続して参加している. また, 地区放射センターとして, 地区準器群の維持・管理に努めるとともに, 地区内各国の国家準器との相互比較 (地区日射計比較) を実施し, 地区内の日射観測の精度維持に貢献している. 付図 2.3 に第 3 回 WMO 第 II 地区日射計比較観測風景を示す.

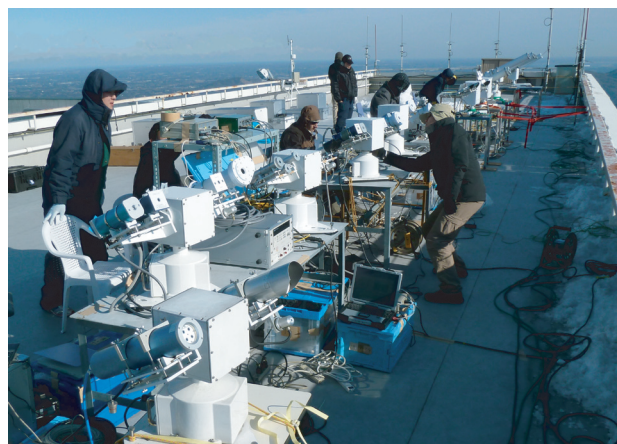
日本の地区放射センターは国家放射センターの役割も担っており, 日本国内で使用される直達日射計の較正も担当している. 気象庁において観測に使用している直達日射計については, 国家準器との比較観測による較正や温度変化に対する出力の検査 (温度特性検査) を 5 年ごとに実施し, 精度を維持している. また, 全天日射計については, 直達日射計の国家準器と気象測器検定試験センターが維持・管理する全天日射計国内準器を比較較正し, この国内準器によって国内の全天日射計を較正している.



付図 2.1 WMO の日射計較正体系



付図 2.2 第 11 回国際日射計比較観測風景 (世界放射センター HP (<http://www.pmodwrc.ch/>) より転載)



付図 2.3 第 3 回 WMO 第 II 地区日射計比較観測風景 (2012 年 1 月 : 筑波山)



## 2. 日射スケールの変遷

### 2.1 世界の日射スケールの変遷

日射スケールとは、放射エネルギーである日射量を測定するための基準となる単位日射量のこと、そのスケールの基準となっている日射計の器械常数によって決定される。ここでは、世界放射基準が確立されるまでの日射スケールの変遷と世界放射基準に基づいた測定値への換算について述べる。

#### (1) 1956年以前【2つの日射スケール】

1956年以前は、オングストローム補償日射計を基準としたオングストローム・スケール（欧州：Angstrom Scale 1905）と流水式直達日射計及び銀盤式直達日射計を基準としたスミソニアン・スケール（米国：Smithsonian Scale 1913）が存在していた。しかし、2つのタイプの測器は比較の結果、構造上の違いによる系統的な差（3.5%）があった。付図2.4にオングストローム補償日射計の外観と受光部を示す。

#### (2) 1957年～1970年【IPS-1956】

1950年代後半の国際地球観測年（IGY）準備期間中に、各国の日射測定値の整合を図る目的で、国際放射会議（1956年）が開催された。この会議では、前述の2つの日射スケールを平均化し、オングストローム・スケールには+1.5%、スミソニアン・スケールには-2.0%の補正を加え、これを世界共通の『1956年国際日射スケール（International Pyrheliometer Scale 1956：IPS-1956）』として導入することを決議し、CIMO-II（1957年）において採用された。なお、IPS-1956は、1台のオングストローム補償日射計を準器として日射スケールを決定していた。

また、国際日射スケールに関する委員会によって、5年に一度、国際日射計比較を実施することが定められ、1959年に第1回国際日射計比較がダボス物理気象観測所（スイス連邦ダボス）において実施された。

#### (3) 1971年～1980年【“IPS-1956”】

第3回国際日射計比較（1970年）において、第1回（1959年）、第2回（1964年）の準器としてきた1台のオングストローム補償日射計の制御・測定装置に問題があることが判明した。このため、器械常数が安定していると認められた7台のオングストローム補償日射計の平均値を改めて『1956年国際日射スケール（“IPS-1956”）』とした。“IPS-1956”の「”」は、当初決定したIPS-1956と区別するため付加している。この集合準器による日射スケールは1980年の第5回国際日射計比較まで精度良く維持された。なお、“IPS-1956”はIPS-1956よりも約1%大きかった。

また、第3回国際日射計比較に初めてアメリカで開発された高精度の2台の空洞型絶対放射計が参加し、それ以後、スイスやベルギーなどでも絶対放射計（\*）の開発が進んだ。

#### (4) 1981年～【世界放射基準：WRR】

世界放射センターにおいて、1970年～1976年に“IPS-1956”を代表するオングストローム補償日射計と絶対放射計の比較が数多く行われた。その結果、10タイプ15台の絶対放射計の間で観測結果に非常に良い一致がみられた（付図2.5）。これらの絶対放射計のうち、5台を世界準器群（WSG：World Standard

---

#### （\*）絶対放射計

絶対放射計は、あらゆる誤差要因を理論的及び実験的に評価し、それに対する補正を加えることによって、他の測器との比較検定を受けることなく器械常数を決定することができ、それ自体で日射量を絶対値で測定できる測器（直達日射計）である。

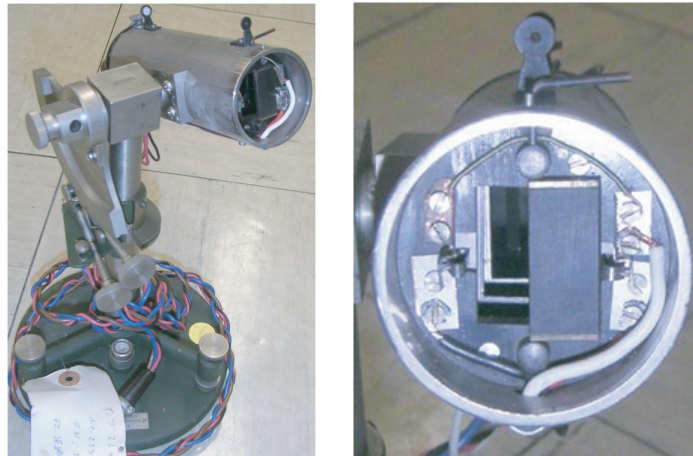
Group) とし、これらの平均を気象学における世界放射基準 (WRR : World Radiometric Reference) として採用することが WMO 技術規則に盛り込まれ、1981 年ようやく WRR が確立された。第 11 回国際日射計比較観測 (2010 年) では、6 台の WSG によって WRR が決定された。付図 2.6 に WRC が維持管理する世界準器群を示す。

各日射スケールと WRR の関係は以下のとおりである。

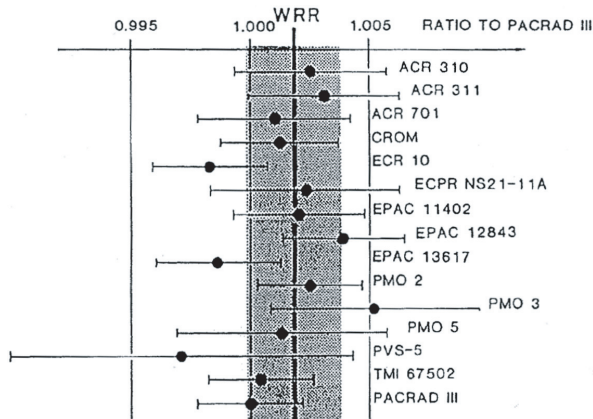
$$\text{WRR}/\text{Angstrom1905} = 1.026$$

$$\text{WRR}/\text{Smithsonian1913} = 0.977$$

$$\text{WRR}/\text{"IPS-1956"} = 1.022$$

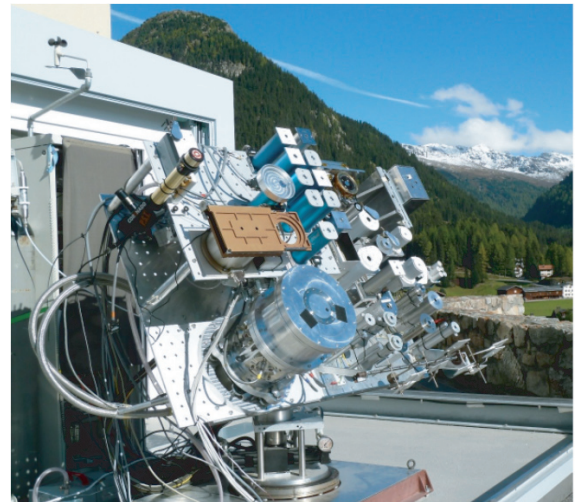


付図 2.4 オングストローム補償日射計の外観 (左) と受光部 (右)



付図 2.5 絶対放射計による世界放射基準 (WRR) の確立

出典 : WMO(1997) : Commission for Instruments and Methods of Observation Abridged Final Report of the Seventh Session Hamburg, 1-12 August 1977, WMO-No.490.



付図 2.6 日射計の世界準器群 (WSG)

## 2.2 日本の日射スケールの変遷及び WRR への換算係数

日本は銀盤式直達日射計をオングストローム補償日射計で校正したため、まず、スミソニアン・スケールをオングストローム・スケールに変換する必要がある。世界放射基準への換算係数は以下のとおりである。

なお、WRR の単位は  $W/m^2$ 、1980 年まで使用された“IPS-1956”の単位は  $cal/cm^2/min$  のため、両日射スケールによる測定値を比較するには、WRR に換算した後、さらに以下の単位の変換が必要となる。

【単位変換】

[瞬間値]

$$1 [cal/cm^2/min] = 1/1.433 [kW/m^2]$$

[積算量]

$$1 [cal/cm^2] = 1/23.89 [MJ/m^2]$$

なお、カロリーは計量法による「温度を指定しないカロリー」で、 $1[cal] = 4.18605[J]$  として単位変換している。

### (1) 1956 年以前

日本には標準となる測器がなかったため、最初に作成した銀盤式直達日射計の中の 1 台 (No.757) を準器とし、外国から購入したオングストローム補償日射計 (No.234) と比較検定を行っていた。

また、IPS-1956 より、銀盤式直達日射計とオングストローム補償日射計との差 (3.5%) を補正するため、比較検定後の銀盤式直達日射計の検定値に以下の補正を行っていた。

$$\text{SmithsonianJMA} = \text{Angstrom1905} \times 1.035$$

(ここで、補正した日射スケールを Smithsonian1913 と区別するため、SmithsonianJMA と表記する。)

$$\text{JMA}(1956 \text{ 以前}) = \text{SmithsonianJMA}$$

$$= \text{Angstrom1905} \times 1.035$$

$$\text{Angstrom1905} = \text{JMA}(1956 \text{ 以前})/1.035$$

$$\text{WRR}/\text{Angstrom1905} = 1.026 \text{ より}$$

$$\text{WRR} = \text{Angstrom1905} \times 1.026$$

$$= [\text{JMA}(1956 \text{ 以前})/1.035] \times 1.026$$

$$= \text{JMA}(1956 \text{ 以前}) \times 0.9913$$

[瞬間値]

$$\text{WRR} [kW/m^2] = \text{JMA}(1956 \text{ 以前})[cal/cm^2/min] \times (1/1.433) \times 0.9913$$

$$= \text{JMA}(1956 \text{ 以前}) \times 0.6918 [kW/m^2]$$

[積算量]

$$\text{WRR} [MJ/m^2] = \text{JMA}(1956 \text{ 以前})[cal/cm^2] \times (1/23.89) \times 0.9913$$

$$= \text{JMA}(1956 \text{ 以前}) \times 0.04149 [MJ/m^2]$$

### (2) 1957 年～1970 年【IPS-1956】

IPS-1956 は、Smithsonian1913 より 2.0%小さいことから

$$\text{JMA}(1957 \sim 1970) = \text{SmithsonianJMA} \times 0.98$$

$$= [\text{Angstrom1905} \times 1.035] \times 0.98$$

$$\text{WRR}/\text{Angstrom1905} = 1.026 \text{ より}$$

$$\text{WRR} = [\text{JMA}(1957 \sim 1970)/1.035/0.98] \times 1.026$$

$$= \text{JMA}(1957 \sim 1970) \times 1.012$$

[ 瞬間値 ]

$$\begin{aligned} \text{WRR} [\text{kW/m}^2] &= \text{JMA}(1957 \sim 1970) [\text{cal/cm}^2/\text{min}] \times (1/1.433) \times 1.012 \\ &= \text{JMA}(1957 \sim 1970) \times 0.7062 [\text{kW/m}^2] \end{aligned}$$

[ 積算量 ]

$$\begin{aligned} \text{WRR} [\text{MJ/m}^2] &= \text{JMA}(1957 \sim 1970) [\text{cal/cm}^2] \times (1/23.89) \times 1.012 \\ &= \text{JMA}(1957 \sim 1970) \times 0.04236 [\text{MJ/m}^2] \end{aligned}$$

(3) 1971年～1980年【“IPS-1956”】

1970年の第3回国際日射計比較には、気象庁の測器が参加し、“IPS-1956”による較正を受けた地区準器によって、以後1980年まで“IPS-1956”スケールを使用した。

$$\text{WRR} / \text{“IPS-1956”} = 1.022 \text{ より}$$

$$\text{WRR} = \text{“IPS-1956”} \times 1.022$$

[ 瞬間値 ]

$$\begin{aligned} \text{WRR} [\text{kW/m}^2] &= \text{“IPS-1956”} [\text{cal/cm}^2/\text{min}] \times (1/1.433) \times 1.022 \\ &= \text{“IPS-1956”} \times 0.7132 [\text{kW/m}^2] \end{aligned}$$

[ 積算量 ]

$$\begin{aligned} \text{WRR} [\text{MJ/m}^2] &= \text{“IPS-1956”} [\text{cal/cm}^2] \times (1/23.89) \times 1.022 \\ &= \text{“IPS-1956”} \times 0.04278 [\text{MJ/m}^2] \end{aligned}$$

(4) 1981年～【世界放射基準：WRR】

1981年1月1日からWRRを採用した。地区準器群は5年に1度開催される国際日射計比較で世界準器群と比較較正を行い、WRRのトレーサビリティを確保している。

## 2.3 太陽定数

直達日射瞬間値から大気混濁係数を計算するために平均太陽地球間距離における大気外直達日射照度が用いられ、この直達日射照度を太陽定数と呼ぶ。気象庁では1932年に銀盤式直達日射計を用いた直達日射観測の開始以来、大気混濁係数算出のためにその時々のもっとも確からしい値を採用してきた。これまで気象庁が採用してきた太陽定数の変遷は以下のとおりである。現在気象庁が採用している1367 W/m<sup>2</sup>は、1981年にWMO/測器観測法委員会（CIMO-VII）において勧告された値である。

【太陽定数の変遷】

～1956年12月31日	: 1.940 cal/cm <sup>2</sup> /min
1957年1月1日～	: 1.901 cal/cm <sup>2</sup> /min
1964年1月1日～	: 1.980 cal/cm <sup>2</sup> /min
1981年1月1日～	: 1382 W/m <sup>2</sup> (単位の変更のみ)
2006年4月1日～	: 1367 W/m <sup>2</sup>

## 3. 赤外放射計の較正体系

### 3.1 赤外放射計の較正の歴史

日射に関しては古くから国際的な観測基準（IPS-1956及びWRR）が存在するが、赤外放射に関しては黒体放射（温度基準）を用いるのが元々の考えであり、これまで世界的に統一された観測基準は存在しなかった。このため、赤外放射を観測する放射計（全波放射計および赤外放射計）の較正は各国に任されており、気象庁は独自の較正基準を用いて較正を行っていた。1990年代後半には、高精度な赤外放射



計が普及し、世界放射センター（WRC）を担っているダボス物理気象観測所では、赤外放射観測の絶対誤差を見積るため、自己校正機能を有する絶対天空走査型放射計（ASR）の開発が進められた。1999年と2001年に、各国で校正された赤外放射計とASRとの国際比較（IPASRC-I, -II）が行われ、赤外放射観測の絶対誤差が十分小さいこと（夜間で $\pm 2\text{W/m}^2$ 以内）が確認された。これらの成果を踏まえて、2002年のWMO測器観測法委員会（CIMO）第13回会合において、赤外放射についての統一した観測基準の制定が勧告された。これに基づき、2004年にWRC内に赤外放射部門（IRS）が設立され、4台の赤外放射計からなる世界赤外準器群（WISG）が整備された。これらによる平均値が、赤外放射観測についての世界基準として制定され、全球的に均質な赤外放射観測データが得られる体制が整った。付図2.7に赤外放射計の世界準器群を示す。また、付図2.8にWRCが開発した絶対天空走査型放射計の外観を示す。

絶対天空走査型放射計は、高感度の絶対放射計で、内部に校正用の基準黒体を持ち、天空と基準黒体を交互に測定することにより、逐次自己校正を行いながら全天を走査する。天頂、高度角4点、方位角8点の合計33点を測定し、全天に渡る放射輝度分布を求め、これを高度角の正弦を掛けて積分すれば、所要の放射照度が得られる。観測は放射輝度が安定した夜間に行われる。

### 3.2 日本における全波放射計及び赤外放射計の校正

日本における全波放射計は、赤外放射観測の開始から1990年代初めにかけて使用された測器である。全波放射計の校正は、高層気象台が独自に開発した $180^\circ$ 自動走査直達大気放射計、気象測器工場（当時）が製作した全天走査型放射計（付図2.9）及び気象研究所の放射計検定装置を用いて行われた。これらの装置によって校正された全波放射計と観測に使用する全波放射計を夜間快晴時の風が弱い条件下で比較観測することにより校正を行った。

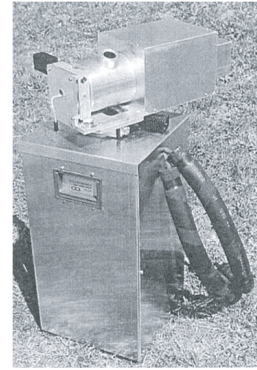
1993年以降から観測に用いられている赤外放射計の校正には、気象研究所及び高層気象台において開発した低温黒体炉を用いた赤外放射計検定装置（付図2.10）によって行われた。これは、一定温度に制御された放射源（黒体炉）を用いて、実験室内において理論的に校正を行うことができる装置である。

高層気象台では世界基準に移行するため、2006年に世界放射センター（WRC）に赤外放射計を送り、赤外放射計世界準器群による校正を受けた。WRCで校正を行った測器について、高層気象台で再度実施した校正結果と比較を行った結果、両者の差は1%未満であり、高層気象台での校正精度が世界基準と同等であることが確認された。

現在、高層気象台における赤外放射計の校正は、赤外放射計検定装置を用いた温度特性検査により温度特性を決定し、WRCで校正した赤外放射計の国内準器群との屋外比較により測器の感度を決定する方法で行っている。付図2.11に屋外での赤外放射計の比較校正風景を示す。

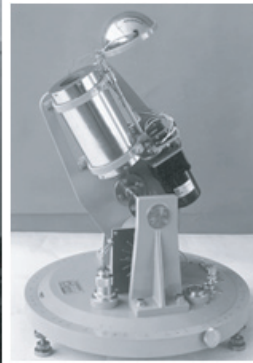


付図 2.7 赤外放射計の世界準器群 (WSG)



付図 2.8 絶対天空走査型放射計の外観

出 典 : Stoffel, T., I. Reda, J. Hickey, E. Dutton and J. Michalsky(2006): Pyrometer Calibrations for the Atmospheric Radiation Measurement Program: Updates Approach, In proceedings of the Sixteenth Annual ARM Science Team Meeting Proceedings. U.S. Department of Energy, Richland, Washington.



付図 2.9 全天走査型放射計の外観



付図 2.10 赤外放射計検定装置



付図 2.11 屋外における赤外放射計比較較正