

# 津波警戒・減災のための国際協力と気象庁の貢献

## International Cooperation and JMA's Contribution in the Development of a Tsunami Warning and Mitigation System

原田 智史<sup>1</sup>  
Satoshi HARADA<sup>1</sup>

(Received November 1, 2017; Accepted December 21, 2017)

**ABSTRACT:** Countries around the Pacific Rim have suffered from tsunamis since ancient times. Following the 1960 Chilean tsunami, the International Coordination Group for the Pacific Tsunami Warning System was established. Under this framework, the Japan Meteorological Agency (JMA) has been issuing tsunami advisories in relation to the Japan Sea region since 2001 and the northwest Pacific region since 2005. After the Indian Ocean tsunami of 2004, the JMA provided tsunami information on an interim basis to the Indian Ocean region together with the Pacific Tsunami Warning Center in Hawaii until 2013. The JMA has also contributed to the Japan International Cooperation Agency (JICA) project launched to promote capacity development for the Indonesia Tsunami Early Warning System. The JMA has also been cooperating in various projects for earthquake and tsunami disaster mitigation in developing countries.

### 1 はじめに

1900年代後半より、海溝型地震により発生した津波が、近隣諸国のみならず大洋を挟んだ対岸の国においても深刻な被害をもたらす状況が明らかになり、世界的な津波警戒・減災システムの重要性が認識されるようになった。

気象庁は、世界に先駆け全国的かつ組織的な津波警報発表体制を敷いており、その技術力から、近隣諸国への津波情報の提供を求められてきた(草野・横田, 2011)。こうした要望に応えるため、気象庁においても2006年4月に地震津波監視課に国際地震津波情報調整官(以下、調整官)及び国際津波情報係を設置し、津波警戒・減災のための国際協力の任にあたっている。

本稿では、津波警戒・減災分野における気象庁の国際協力の経緯と、それに対する気象庁の貢献について紹介する。

### 2 太平洋における国際協力枠組の成立

#### 2.1 ICG/ITSU の設立

太平洋の周辺諸国は、例外なくプレート境界に隣

接しており、そのプレート境界の運動に起因する巨大地震とそれが引き起こす津波の被害に太古から見舞われている。

特に、1960年に発生したチリ地震は、モーメントマグニチュード9.5と、近代観測が始まって以降最大級のものであり、発生した津波は、震源に近いチリの沿岸のみならず、大なり小なり、太平洋周辺諸国及び島嶼国に想定外の被害をもたらした。日本においても、地震発生からほぼ丸一日が経過した後に、東北地方の太平洋沿岸を中心に数メートル級の津波の襲来を受け、142名の死者・行方不明者を数えている。

このチリ地震を契機として、国際連合教育科学文化機関(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: UNESCO)の政府間海洋学委員会(Intergovernmental Oceanographic Commission: IOC)は、1965年に太平洋津波警報組織の設立準備会議をハワイで開催した。その会議の勧告に基づき、太平洋津波警報組織国際調整グループ(International Coordination Group for the Pacific

<sup>1</sup> 地震火山部地震津波監視課, Earthquake and Tsunami Observations Division, Seismology and Volcanology Department

Tsunami Warning System : ICG/ITSU) 及び国際津波情報センター (International Tsunami Information Center : ITIC) を設立し, 太平洋沿岸の関係国が地震・津波に関する情報を相互に交換することとした (Kong et al., 2015).

表 1 これまでの ICG/ITSU・ICG/PTWS 会合

回	開催年	開催都市 (開催国) ○は気象庁が参加した会合
1	1968	○ホノルル (米国)
2	1970	○バンクーバー (カナダ)
3	1972	○東京 (日本)
4	1974	○ウェリントン (NZ)
5	1976	リマ (ペルー)
6	1978	○マニラ (フィリピン)
7	1980	ヴィーニャ・デル・マル (チリ)
8	1982	○スバ (フィジー)
9	1984	○ホノルル (米国)
10	1985	○シドニー (カナダ)
11	1987	北京 (中国)
12	1989	○ノボシビルスク (ソ連)
13	1991	○エンセナダ (メキシコ)
14	1993	○東京 (日本)
15	1995	○パペーテ (仏領ポリネシア)
16	1997	○リマ (ペルー)
17	1999	○ソウル (韓国)
18	2001	○カルタヘナ (コロンビア)
19	2003	○ウェリントン (NZ)
20	2005	○ヴィーニャ・デル・マル (チリ)
21	2006	○メルボルン (オーストラリア)
22	2007	○グアヤキル (エクアドル)
23	2009	○アッピア (サモア)
24	2011	○北京 (中国)
25	2013	○ウラジオストク (ロシア)
26	2015	○ホノルル (米国)
27	2017	○タヒチ (仏領ポリネシア)

なお, ICG/ITSU は, 後述する ICG/IOTWMS を含む 3 つの政府間調整グループが 2005 年に新設されたことに歩調を合わせ, 2006 年の第 21 回メルボルン会合において太平洋津波警戒・減災システムのための政府間調整グループ (Intergovernmental

Coordination Group for the Pacific Tsunami Warning and Mitigation System : ICG/PTWS) に改組することが発議・合意され, 2007 年の第 22 回グアヤキル会合において承認された。

これまでに行われた ICG/ITSU・ICG/PTWS の会合を表 1 に示す。会合は原則として 2 年に一度行われており, 気象庁は日本政府の代表として, 2017 年の第 27 回タヒチ会合までのうち, 計 24 回の会合に出席している。また 2007 年の第 22 回グアヤキル会合以降は, 調整官が連続して副議長に就任している。グループ内にはそれぞれ個別事項を検討・協議するワーキンググループやタスクチームが設けられているが, 調整官はこれらの多くに参加し, 議論をリードして来ている。

## 2.2 米国による貢献

1946 年のアリューシャンにおける地震津波でハワイにおいて 158 名もの犠牲者が出たことを受けて, 米国は 1948 年から, ハワイを対象とした 24 時間体制の地震津波警報システム (Seismic Sea Wave Warning System : SSWWS) の運用を開始した。SSWWS はその後 1953 年に警報対象範囲を米国本土西海岸に拡大し, 更に ICG/ITSU の設立とともに, 太平洋津波警報センター (Pacific Tsunami Warning Center : PTWC) として, その警報対象範囲を太平洋全体に拡大した。なお PTWC は, 1970 年から米国海洋大気庁 (National Oceanic and Atmospheric Administration : NOAA) の機関として運営されている。

また 1964 年のアラスカ地震津波を契機に, 西海岸・アラスカ津波警報センター (West Coast & Alaska Tsunami Warning Center : WC/ATWC) が設立された。同センターは, 2004 年のインド洋大津波以降, 警報発表の対象を米国・カナダの大西洋岸, メキシコ湾, プエルトリコ, ヴァージン諸島に拡大している。なお WC/ATWC は, 2013 年 10 月からは米国津波警報センター (National Tsunami Warning Center) に改組されている (Kong et al., 2015)。

## 2.3 日本による貢献

### 2.3.1 日本海津波情報の提供

平成 5 年 (1993 年) 北海道南西沖地震により発生した日本海沿岸各国での津波被害を受けて, 同年 9

月に開催された第14回 ICG/ITSU 東京会合において、日本海で発生する津波の予測情報を日本が提供するよう韓国が要請した。その後、1999年に国内向けに量的津波予報（量的津波予報検討会、1998）を開始する際に、併せて日本海についても同じシステムにより量的予測が可能になったことを受け、関係国・機関との調整を経て、2001年1月より、日本海津波情報の提供を開始した。

日本海津波情報の責任領域を図1に示す。この情報は、国内向けの津波予報と同様に津波予報区を設定し、予測される津波の高さも提供している。なお2017年現在、同情報の提供国は韓国とロシアのみである。

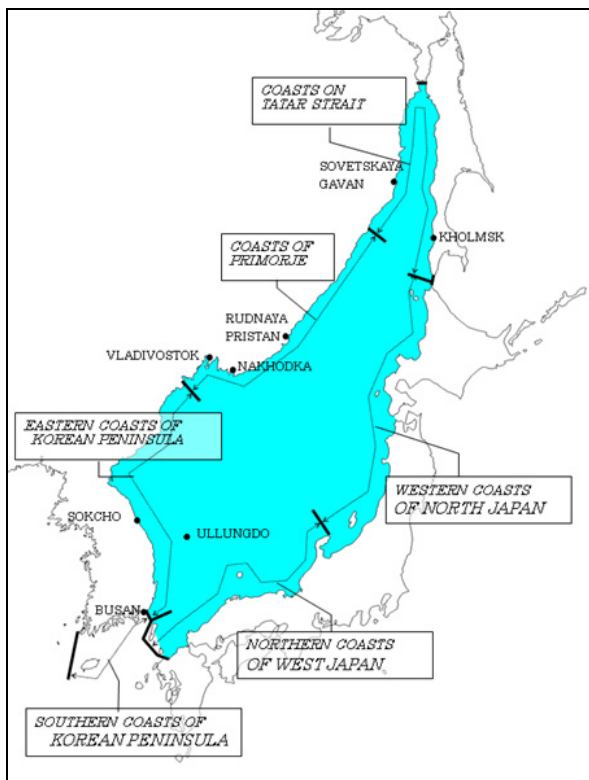


図1 日本海津波情報の責任領域（水色）

### 2.3.2 北西太平洋津波情報の提供

日本海津波情報の提供を開始した後、気象庁は、2003年の第19回 ICG/ITSU ウェリントン会合において北西太平洋地域の地域センターの設置を提案するとともに、同地域への情報発表のために必要なシステムの整備を進めた。2004年の第37回 IOC 運営委員会において、北西太平洋津波情報センター（Northwest Pacific Tsunami Advisory Center :

NWPTAC）の設置と、我が国気象庁による運営が承認されたことを受け、2005年3月より北西太平洋津波情報の提供を開始した（UNESCO, 2011）。

北西太平洋津波情報は、あらかじめ指定した沿岸地点における津波の予想到達時刻及び予想される津波の高さを提供する定量的な情報として、当時、まだ定性表現にとどまっていたPTWCの情報を補完するものであった。

2017年現在、北西太平洋津波情報の受領国はブルネイ、カンボジア、中国、ミクロネシア、フランス（仏領ポリネシア）、インドネシア、マレーシア、パラオ、パプアニューギニア、フィリピン、韓国、ロシア、シンガポール、ソロモン諸島、タイ、ベトナムの16カ国となっている。

北西太平洋津波情報の責任領域及び暫定責任領域を図2に示す。北西太平洋津波情報及び日本海津波情報は、それぞれの責任領域内で発生したマグニチュード6.5以上の地震に対して発表される。また、情報発表後も北西太平洋域の潮位データをリアルタイムで収集・監視し、実際に津波が観測された場合はその観測値もあわせて発表される。

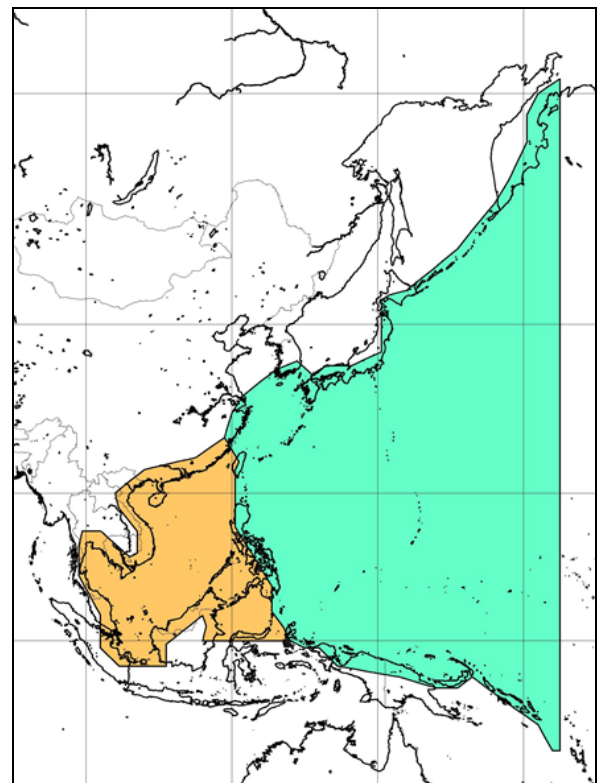


図2 北西太平洋津波情報の責任領域（緑色）及び南シナ海における暫定責任領域（黄色）

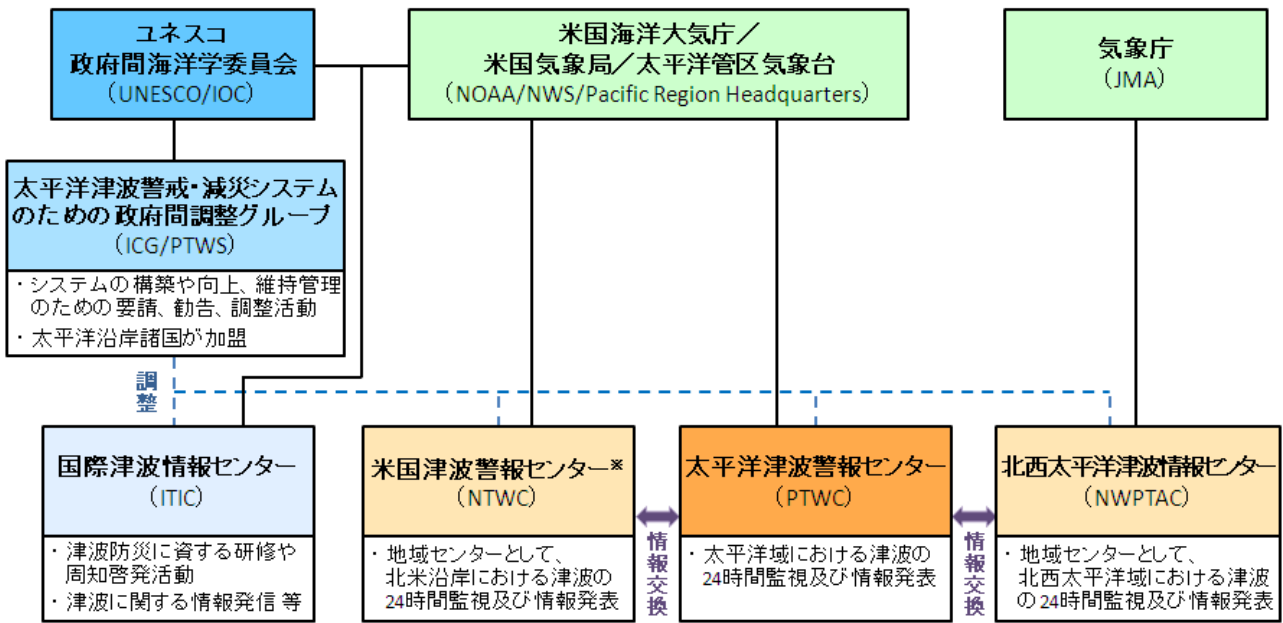


図 3 太平洋における津波警報体制

NWPTAC は太平洋の一部をカバーする地域センターであることから、北西太平洋津波情報の責任領域内（以下、北西情報領域）で発生した地震については、PTWC と NWPTAC の両方が情報を発信することになる。その際、用いる震源要素はできるだけ齟齬がないようにしてほしいという受領国の要望があったことから、北西情報領域内の日本付近で発生した地震については NWPTAC が決定した震源要素を、それ以外の地域で発生した地震については PTWC が決定した震源要素を用いることとしている。

太平洋における津波警報体制の体系を図 3 に示す。NWPTAC は米国の NTWC とともに、太平洋地域における地域センターとして、PTWC と協力し ICG/PTWS の活動に貢献している。

#### 2.4 NWPTAC プロダクトの現状

太平洋地域における津波情報発表の先駆けとなった PTWC の情報は、発生した規模に応じて太平洋地域における津波の影響が、震源付近にとどまるものか、あるいは太平洋全体に及ぶものかという定性的な情報であった。他方、後発の北西太平洋情報においては、量的な津波シミュレーションのデータベース検索により、あらかじめ設定した予測地点における津波の規模を量的に予測する、より詳細な情報で

あった。

その後 PTWC は、潮位データの充実、解析手法の高度化、計算機の性能向上、数値予測モデルの高速改良化により、予測される津波の規模を定量的かつわかりやすく報じるための図情報を含む新たなフォーマットの情報提供を 2013 年より試験的に開始した。その後、利用国によるレビューを経て、第 25 回 ICG/PTWS ウラジオストック会合において新プロダクトへの移行の承認を受け、2014 年に新プロダクトに完全に移行した (UNESCO, 2014)。

このため、気象庁においても北西太平洋津波情報をより高度化した、図情報を含む新プロダクトの開発を進め、2016 年と 2017 年にそれぞれ行われた太平洋津波訓練 (PacWave16 及び PacWave17) における訓練プロダクトの提供と利用国からの要望収集を経て、第 27 回 ICG/PTWS タヒチ会合において、2017 年からの新プロダクトの試験提供が承認された。なお、新プロダクトの正式運用とともに、NWPTAC の担当領域も東側に経度 5 度分拡大するほか、いくつかの予測地点について追加・更新が行われる。

北西太平洋津波情報の責任領域及び暫定責任領域において発生した M6.5 以上の地震に対して発表する最初のテキスト情報（発生後約 20 分を目安に発表）については、緊急に決定した震源要素をもとに

量的津波データベースから最適解を取り出し、あらかじめ設定した沿岸地点における津波の予測値を発表する。この点においては従前のテキスト情報と大きな違いはない。

その後収集した波形により CMT 解（セントロイド・モーメント・テンソル解）が得られた後、リアルタイムシミュレーションを実行し、得られた結果に基づいて、指定された予測地点における津波の到達予測時刻と、予想される津波の高さを5つのカテゴリ（0.3-1m, 1-3m, 3-5m, 5-10m, over 10m）によって、地震発生から50分後を目処にテキスト情報の続報として発表するほか、以下の3種類の図情報を新たに提供する。

津波伝播図（Tsunami Travel Time Map：図4）は、震源付近から伝播する津波の経過時間毎の到達予測線を30分毎（赤色は2時間毎）の等時線により表現する。ただし、津波波源域や水深データの不確実性、非線形性の効果や津波第一波の検知可能性による誤差に留意する必要がある。

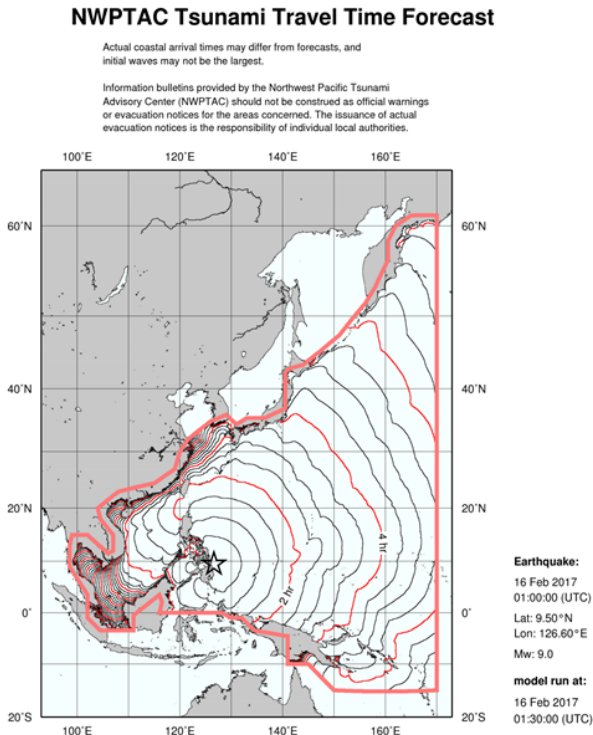


図4 津波伝播図

沿岸津波高予測図（Coastal Tsunami Amplitude Forecast Map：図5）は、各予測地点における予想さ

れる津波の最大振幅を、カテゴリ毎に色分けして示したものである。CMT解析により求められる地震のメカニズムは、2通りの断層面が予測される。そのため、北西太平洋津波情報におけるリアルタイムシミュレーションにおいては、それぞれの断層面においてシミュレーションを実施し、得られた各点における2つの津波高予測値のうち、振幅の大きい方の値を示すようにしている。

**NWPTAC Coastal Tsunami Amplitude Forecast**

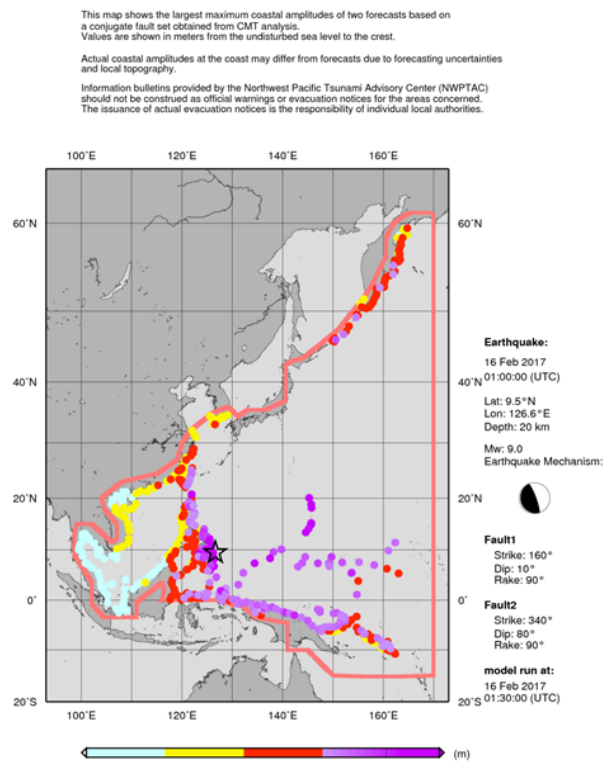


図5 沿岸津波高予測図

沖合津波高予測図（Deep-Ocean Tsunami Amplitude Forecast Map：図6）は、津波の伝播する深海域における最大の津波振幅を現すもので、津波が波源域から発散し、海底地形により収束、拡散し、消散する様子を示している。

沖合津波高予測図は、2通り考えられる断層面のそれぞれについて、2つの予測図を併記して示している。いずれの場合にせよ津波波源域の不確実性により、観測値は予測値と大きく異なる可能性がある。また、この予測図の結果を沿岸における津波振幅予測に用いてはならないことを明記している。

### NWPTAC Deep–Ocean Tsunami Amplitude Forecast

The amplitudes shown on these maps are maximum values in meters from the undisturbed sea level to the crest.  
 Maps should not be used to estimate coastal tsunami amplitudes or impacts. Deep–ocean tsunami amplitudes are usually much smaller than coastal amplitudes.  
 Information bulletins provided by the Northwest Pacific Tsunami Advisory Center (NWPTAC) should not be construed as official warnings or evacuation notices for the areas concerned. The issuance of actual evacuation notices is the responsibility of individual local authorities.

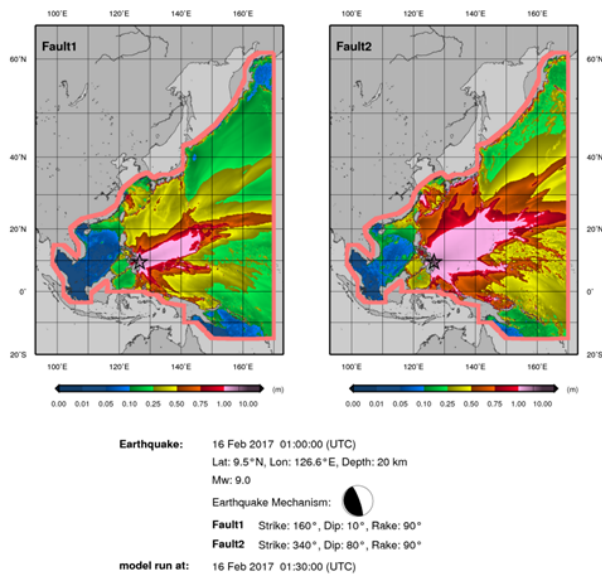


図 6 沖合津波高予測図

## 3 太平洋以外の国際協力枠組

### 3.1 インド洋大津波（2004）を受けた国際津波協力の世界への拡大

2004 年 12 月にスマトラ島沖で発生したモーメントマグニチュード 9.0 の地震は、インドネシア沿岸をはじめ、インド洋全域にわたり大規模な津波を発生させた。犠牲者はインドネシアをはじめ、南アジアからアフリカに至るインド洋沿岸諸国全体で 20 万人以上を数えた。

この地震の直後の 2005 年 1 月に神戸で開催された国連防災世界会議において、インド洋津波災害特別セッションが開催され、日本などによりインド洋における国際的な津波早期警戒メカニズムの構築が提案された。その後、UNESCO/IOC のもと、インド洋津波警戒・減災システムのための政府間調整グループ（International Coordination Group for the Indian Ocean Tsunami Warning and Mitigation System : ICG/IOTWMS）が設立され、インド洋諸国が協力して津波警戒体制を構築するための取り組みが進められた。なお同年には、このほかにカリブ海及び隣接海域における津波・その他沿岸災害警戒システムのための政府間調整グループ（International

Coordination Group for the Tsunami and Other Coastal Hazards Warning System for the Caribbean and Adjacent Regions : ICG/CARIBE-EWS）及び北東大西洋、地中海及び隣接海域における早期津波警戒・減災システムのための政府間調整グループ（Intergovernmental Coordination Group for the Tsunami Early Warning and Mitigation System in the North-Eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas : ICG/NEAMTWS）が設置され、ICG/ITSU から改組された ICG/PTWS とあわせ、2017 年現在、4 つの津波警戒・減災システムのための政府間調整グループが設置されている。それぞれの政府間調整グループの対象地域を図 7 に示す。

### 3.2 インド洋地域における暫定的な情報提供

ICG/IOTWMS 設置当時においては、インド洋領域に津波情報を発する機関は存在しなかったため、そのような地域津波情報センターの設置が急務であるとともに、そうした情報センターが運用されるまでの間に、同地域に津波の情報を提供することが喫緊の課題であった。このため、既に太平洋地域で津波情報の提供の実績があり、またインド洋地域における地震検知能力を持った PTWC と NWPTAC が、それぞれインド洋沿岸諸国に対して暫定的な津波情報の提供を行うこととなった。

その後、2011 年 3 月から、インド国立海洋情報センター、インドネシア気象気候地球物理庁、オーストラリア気象局が、それぞれ津波情報提供機関として情報発表を開始し、同体制の円滑な運用を確認した ICG/IOTWMS の要請を受け、PTWC と NWPTAC は 2013 年 3 月をもって同地域における暫定的な情報提供を終了した。

### 3.3 各 ICG における国際情報提供の現状

既に津波情報提供機関が情報発表を開始している ICG/PTWS 及び ICG/IOTWMS に次いで、その他の ICG においても津波情報提供機関の設置が検討されている。ICG/CARIBE においては、2017 年現在、PTWC が暫定的に同地域に対する情報提供を行っている。ICG/NEAMTWS においては、フランス・イタリア・ギリシア・トルコの各機関が、2017 年に津波情報センターとしての認証を受け、地域センターとしての活動を開始しようとしている。

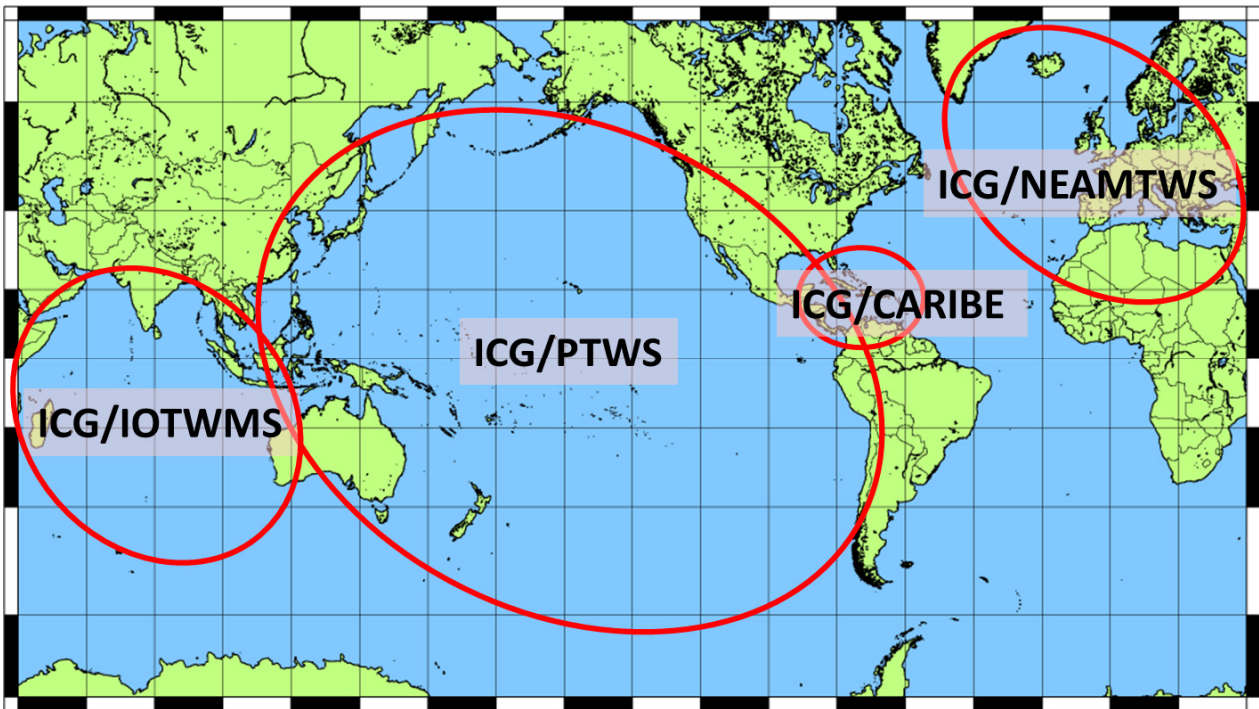


図7 各政府間調整グループの担当領域

#### 4 JICA を通じた国際協力

2004年12月のインド洋大津波は、各地域における政府間調整グループ設置の契機になると同時に、各国における独自の地震津波警戒システムの整備を促すものとなった。とりわけ、この津波の最大の被害国となったインドネシアでは、津波被害からの復興とともに、国内の津波早期警戒システムの整備が急務であった。

インドネシアに対しては、日本のほかドイツや中国が無償資金協力を含む津波予警報システムの構築に関する協力を手を挙げた。特にドイツは、インド洋各地のリゾートで自国民が多数犠牲になったこともあり全面的な支援を表明、インドネシア政府や関係ドナーとの調整の結果、津波予警報システムのハードウェアは主にドイツの援助により整備されることとなった。しかしながら、ドイツには津波警報業務の実績が無かったため、気象庁はシステムの設計段階からこれに全面的に協力した。また、2007年8月から2009年5月にかけて実施された、国際協力機構（Japan International Cooperation Agency：JICA）による津波予報システムの運用能力向上を目的とした技術協力にあたっては、気象庁は事前調査団への参

団に始まり、短期専門家派遣、長期専門家派遣にかかるサポート、カウンターパート研修など多岐にわたる支援を行った。

こうした地震津波防災にかかる各開発途上国からの支援要請は、インド洋大津波以降、日本に対して数多く寄せられている。気象庁は、これまで培ってきた地震津波早期検知と情報発表業務の経験をもとに、JICAから要請があった場合、短期専門家派遣や本邦研修の実施といった形で協力を行っている。これまでに気象庁が関与してきた地震津波防災に関するJICAを通じた国際協力案件を表2にまとめる。

このような、一対一の直接の支援のほか、JICAが協力するプロジェクトへの参画による間接的な国際協力も多数行っている。例えば、建築研究所の国際地震工学センターがJICAの協力を受けて実施している国際地震工学研修・グローバル地震観測研修では、例年、講義・実習の一部を担当している。また、科学技術振興機構（JST）とJICAが共同で実施している地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）に採択されたプロジェクトの活動の一環で、研修受け入れや短期専門家派遣をした例もある。

表 2 気象庁が関与した地震津波関係の JICA 案件

(技術協力プロジェクト)

期間	件名	協力内容
2007年8月～2009年5月	インドネシア「津波早期警報能力向上プロジェクト」	詳細計画策定調査団員派遣, 短期専門家派遣, 研修
2009年3月～2011年3月	インドネシア「津波早期警報アドバイザー(個別専門家派遣)」	長期専門家推薦・協力
2010年2月～2013年2月	トルコ「地震観測能力強化プロジェクト(円借款付帯)」	研修
2010年11月～2011年3月	チリ「地震観測データ解析技術」	短期専門家派遣, 研修
2014年3月～2017年3月	エクアドル「津波に伴う地震のモニタリング能力向上プロジェクト」	短期専門家派遣, 研修
2016年10月～2019年6月	ニカラグア「中米津波警報センター(CATAC)能力強化プロジェクト」	詳細計画策定調査団員派遣, 短期専門家派遣

(無償資金協力)

期間	件名	協力内容
2012年	フィリピン「広域防災システム整備計画」	技術的助言
2012年～2013年	エルサルバドル「広域防災システム整備計画」	技術的助言

## 5 おわりに

古くから近地・遠地の地震による津波被害を受けてきた日本において、気象庁は早くから実践的な津波警報発表体制を敷いており、その後も大きな地震、津波を経験するたびにハード面、ソフト面の改善を進めてきた。その経験の蓄積から行われる指導・助言は、津波警戒・減災システムのための政府間調整グループや、地震・津波監視体制の整備を求める途上国において、敬意を持って尊重されている。先人のなしてきた同分野における国際的貢献に敬意を表するとともに、今後もこの分野における気象庁のプレゼンスの向上に努めていくよう、自身も研鑽を積み重ねつつ、人材育成を含めた庁内関係各位の理解と協力を求める次第である。

## 謝辞

本稿は、5 人目の調整官に就いた筆者が、過去の調整官の残した紙資料を整理・電子化する過程において、これまでの国際津波業務を振り返る形でまとめたものである。本稿を記す契機を与えていただいた松森敏幸地震津波監視課長をはじめ、企画課国際室、地震津波監視課津波班の諸氏からは、多くの情報及び示唆をいただいた。また小泉岳司元調整官(現宮崎地方気象台長)からは、豊富な国際業務経験の観点から、本稿の改善に資する多くのご指摘をいただいた。記して感謝の意を表する。

## 文献

- 草野富二雄・横田崇(2011): 津波予報業務の変遷, 験震時報, 74, 35-91.
- 量的津波予報検討会(1998): 量的津波予報検討会検討結果報告, 71pp.
- Kong L. P. Dunbar, Arcos N. (2015): Pacific Tsunami Warning System - A Half-Century of Protecting the Pacific 1965-2015, 188pp.
- UNESCO (2011): IOC Technical Series 87 - Operational Users Guide for the Pacific Tsunami Warning and Mitigation System (PTWS) Second edition, 163pp.
- UNESCO (2014): IOC Technical Series 105 - Users Guide for the Pacific Tsunami Warning Center Enhanced Products for the Pacific Tsunami Warning System, 90pp.

(編集担当 西前裕司)