

第6部

地震火山

第1章 行政組織から見た地震火山業務

地震火山業務は、明治維新後の近代科学の萌芽期以来、内務省地理寮（ほどなく地理局と改称）、東京気象台を経て中央気象台の業務として定着することとなった。当初は大気現象に関する業務と同様、近代科学に基づく観測機器を開発すること、それを用いて現象を観測、記載することが業務の主体であった。しかし、地震火山現象は、その多くが気象現象に比べ発生頻度が低いことに加え、変化に要する時間が長く、かつ観測項目も多岐にわたることもあって、現象の科学的な解明や、情報発信体制の構築等をはじめとする行政組織としての体系化に長い時間が必要であった。また現在、我が国における地震火山の警報等の情報発表は気象庁が一元的に行っているが、そこに至る科学的探究や技術開発、体系構築過程では、多岐にわたる機関が関わってきた。

地震火山業務を行う組織が官制上現れるのは、明治8年の内務省地理寮量地課である。その後改組を経て、明治18年、地理局第4部に観象、測候、予報、驗震、調査、編歴の6課が作られる。驗震課長は東京帝国大学教授の関谷清景の兼任であった。明治20年に中央気象台が創立された後、昭和15年に地震課が設置（同課に火山掛も置かれた）され、昭和19年に改めて部制が布かれて観測部地震課と改称、昭和21年に地震課に調査掛、驗震掛、火山掛が、昭和24年に業務掛、昭和31年に技術係、昭和44年に火山調査係が置かれるなど徐々に細分化が進んでいく。昭和45年になると地震課に地震活動検測センターが、昭和50年には火山室が、昭和53年には地震活動検測センターを改組し地震予知情報室が置かれ、現在の原型となる組織が出来上がってきた。続いて昭和58年に地震防災係が置かれた。

気象庁の前身である東京気象台が生まれ、かつ近代地震学が始まって約100年が経った昭和50年代頃から、地震火山業務は扱うデータが急増し、コンピュータの導入も始まった。また、学界では地震予知計画の進展とプレートテクトニクスのパラダイムの受容という変革期が訪れた。さらに昭和58年（1983年）日本海中部地震、同年の三宅島噴火、平成5年（1993年）北海道南西沖地震、平成7年（1995年）兵庫県南部地震、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震、あるいは、平成3年（1991年）雲仙岳噴火、平成12年（2000年）有珠山噴火、平成12年三宅島噴火、平成26年御嶽山噴火などの相次ぐ重大な地震・火山災害への対策強化がなされ、その業務内容は飛躍的な拡大を遂げることになる。昭和57年、地震予知情報室は地震予知情報課に昇格、昭和59年に観測部地震課、観測部地震予知情報課を基に地

震火山部が新設され、地震火山業務課、地震火山業務課火山室、地震津波監視課、地震予知情報課の体制となった。その後、火山室は平成2年に火山対策官、平成4年に火山対策室を経て、平成7年に火山課へ昇格、地震火山業務課は同時に管理課へ名称を変更した。その後、令和2年の本庁組織再編に当たり、火山課は火山監視課へ改称され、地震予知情報課を改組して地震火山技術・調査課が置かれ、現在に至っている。

一方、地方官署においては、明治初期以来、地震火山の観測業務は官署での観測が主体であったが、都市化に伴うノイズの回避を趣旨としたテレメータによる観測の遠隔化が順次進むとともに集約化が進み、昭和63年から各管区気象台等に地震津波火山監視センターが設置され（平成5年から福岡を皮切りに順次、地震火山課に改組）、管区気象台等における業務の指揮、指導系統を明確にすることで地震火山業務を強化した。また、平成7年に総理府（現在は文部科学省）に地震調査研究推進本部が設置されたことを受け、本庁及び各管区気象台等は地域地震情報センターの役割を担うこととなり、地域に係る地震に関する観測、測量、調査又は研究を行う関係行政機関、大学等の調査結果等の収集を行うこととなった。その後、本庁及び各管区気象台等で実施していた地震、津波の情報発表については、平成21年から本庁及び大阪管区気象台の二中枢で実施することとなった。また、平成13年に本庁、札幌、仙台、福岡管区気象台に火山監視・情報センター（平成28年に（地域）火山監視・警報センターに改組）が設置されたことで、地震津波業務と火山業務が明確に分業された。令和6年に文部科学省に火山調査研究推進本部が設置されたことを受け、本庁及び各管区気象台等は地域火山情報センターの役割を担うこととなった。令和7年時点で、地震津波監視に係る業務は本庁・大阪、火山監視に係る業務は本庁・札幌・仙台・福岡が担っており、地方気象台等においては普及啓発、地域防災支援を中心とする業務体制で地震津波、火山業務を行っている。

第2章 地震津波業務

【第1節】地震津波観測

地震津波業務は、近代的な地震計が開発される前は、職員の感覚に基づく地震動の観測結果の記載が業務の中心であった。明治時代後半に機械式地震計の開発が進むにしたがい、地震現象は突然発生するという特性から24時間観測が各気象官署で実施された。その後、観測された地震波形に基づく地震現象の解明が大学の研究者と競い合って進められ、地震波の位相の同定、震源やマグニチュード（以下「M」という。）の決定、発震機構の解析と地震カタログ作成、それらの統計的分析が順次業務として取り入れられていった。その後、更なる科学技術の発展とともに、津波予報、大規模地震予知、地震動予報等の業務が形作られ、その根拠となる観測の精度と信頼性の確保が重視されるようになっていく。

1. 地震観測

地震観測業務は体感による揺れ(地震動)の観測とその記載から始まった。明治6年に始まった函館気候測量所の観測も人体感覚によるものである。明治初期にフルベッキやクニッピンングらのいわゆるお雇い外国人による萌芽的な地震計の開発や、ジョイネルによる地震の観測が行われたが、近代科学的な観測技術の導入、あるいは長時間の安定した連続観測が可能となるまでには時間を要した。その後、ユーイングや 그레이、ミルンらによる機械式地震計の開発があり、大森房吉や今村明恒ら日本人による機械式地震計の改良がなされていった。このような地震波の観測により、震源の決定、地震波の伝播速度の測定、続いて地震の規模を表すマグニチュード(M)、発震機構等の決定がなされていくことになる。その後、機械式地震計と振り子やぜんまい式の時計による観測方式は徐々に陳腐化し、昭和中期以降、電磁式地震計を用いた集中テレメータ方式へと徐々に近代化を遂げていくことになる。

(1) 日本の標準地震観測網としての成熟

フルベッキやクニッピンングらは地面の動きに対する不動点を作ることで地震動を記録することを試みたが、これらはなかなか成功しなかった。地震動を記録すると一口に言っても、近代科学的な物理学的観測機器としての地震計は、不動点の作成ばかりでなく、連続的常時観測を可能とする記録装置、刻時装置、制振装置など多くの開発要素が必要であった。明治8年にジョイネルがパルミエリ地震計による地震観測を行ったが、これも現代から見ると感震器による観測であった。

明治13年2月の横浜地震を機に同年3月に世界初の地震学会が創設され、日本における近代的な地震学は幕を開ける。その後の機械式地震計の祖ともなる水平振り子を利用したユーイングやミルンの機械式地震計や、上下動成分を観測できるようにした 그레이の地震計が次々と考案された。これらの地震計は地震動を感じてから一定時間動作するもので、まだ地震波の初動、つまりP波を観測できるものではなく、刻時精度も極めて低かったものの、ミルン・グ

レイ式の地震計を明治 16 年 8 月には東京に、次いで明治 17 年 7 月に前橋、明治 18 年 5 月に水戸にそれぞれ設置し、3 地点での地震観測が始まった。

明治 24 年 10 月に濃尾地震が発生したことにより、明治 25 年 5 月、全国の一等及び二等測候所に地震計が順次設置されることになった。また、地震と震災防止の研究を目的として文部省に震災予防調査会が発足し、その第 1 回の委員会にて、刻時精度向上を企図した気象官署への電話線の架設が決議される。震災予防調査会のメンバーであった大森房吉は機械式地震計の改良に取り組み、明治 31 年頃、地震波の連続的常時観測に成功する。これにより地震波の初動の観測が可能となり、地震波速度の観測や震源決定、発震機構の研究が可能となっていく。刻時装置が振り子やぜんまい式の時計であり、刻時精度の保持が困難であったという震源決定にとっての重大な制約を除けば、機械式地震計による標準地震観測網は大正初期にはほぼ完成されつつあった。大正 4 年には「地震観測法」(初版)が発行されている。大正 12 年 9 月の関東地震前には地震計の設置官署は 70 近くに及んだ。

関東地震後には、既に一部で使用されていたウィーヘルト式地震計を大量購入し大正 15 年 2 月に全国展開することによって観測網は更に強化された。ウィーヘルト式地震計は約 80 倍の倍率(波形を記録する際の拡大率)で、有感地震の際には容易に振り切れてしまうので、中央気象台式簡単微動計や大森式強震計等も併置された。一方、昭和初期、米国ではベニオフによって電磁式地震計が開発された。電磁式地震計は機械式地震計に比べて取り扱いが容易かつ高倍率の観測が可能であったが、第二次世界大戦と終戦後の混乱もあって導入は進まなかった。

(2) 全国的な津波警報体制の確立と地震予知計画の開始

第二次世界大戦中の昭和 18 年に鳥取地震、昭和 19 年に昭和東南海地震、昭和 20 年に三河地震と被害をもたらす地震が相次いだが、戦時下であった我が国は予算や資材に限られる時期が続き、地震観測は現状を維持することも困難な状況となっていく。終戦直後に発生した昭和 21 年のアリューシャン地震や昭和南海地震による津波災害を目の当たりにした連合国軍は、昭和 24 年に日本政府に対し、津波警報を発表・伝達するための津波警報組織の確立と、大地震発生時に震源や津波の来襲が予測される地域と高さ等の報告を要求した。その結果、同年 12 月に閣議決定された津波予報伝達総合計画のもと全国的な津波警報体制を確立し、全国を 15 ブロックに区分けした津波予報業務を開始した(詳細は、本章第 2 節第 4 項第 1 目「津波予報業務体制の変遷」を参照)。この業務を遂行するため、昭和 25 年 1 月から大森式強震計、今村式強震計、中央気象台式強震計は 50 型、51 型、52 型と呼ばれる機械式強震計(1 倍)への置き換えが順次進められることになった。同様に、昭和 35 年から機械式のウィーヘルト式地震計は 59 型直視式電磁地震計への置き換えが順次進められた。震源決定精度の制約となっていた刻時精度も、昭和 37 年頃から水晶時計装置が順次採用されるなどして徐々に向上していった。

これとは別に、中央気象台は昭和南海地震の直後、地電流観測所の新設を企図した。これは連合国軍の容れるところとならなかったが、これを機に、中央気象台と東京大学地震研究所(以下「地震研究所」という。)が協力し、地震予知に関する計画を立案する機運が生じた。この動きは、昭和 35 年の地震学会の有志による「地震予知計画研究グループ」の誕生、昭和 37 年 1 月の「地震予知－現状とその推進計画」(いわゆる地震予知のブループリントと呼ばれる。

以下「ブループリント」という。)に結びついていく。この頃、プレートテクトニクスの概念は大半の研究者にはまだ受容されておらず、地震学は地震波速度構造や発震機構、地震活動の統計学的な解析が盛んに行われていた。ブループリントは、地震予知の実現可能性を明らかにするためにはどの程度の観測研究が必要であるかを、時の科学技術の水準で実現可能な計画として提案したものであった。ブループリントを策定する中で地震の大きさ別の呼び方が定義され、気象庁は大地震・中地震・小地震(M3.0以上)を取り扱い、大学等の研究機関はM3.0未満の微小地震や極微小地震を研究観測として行うという、いわば区分が生じたのはこの時である。「地震予知研究計画」は昭和39年の新潟地震による地殻変動への関心、昭和40年から始まった松代群発地震での合同観測など、その後の地震津波、地殻変動の観測の流れに大きな影響を与えていく。

(3) 微小地震観測網の発達と波形伝送、隔測化の萌芽

「第1次地震予知研究計画」が開始された昭和40年8月に松代群発地震が始まった。この群発地震活動は、松代の気象庁地震観測所に世界標準地震計が設置された数日後に始まり、3年に及ぶ活動の間、関係機関による地震、地殻変動、重力、電磁気、地質、地球化学等の合同観測が行われた。さらに、気象庁地震課が事務局となって北信地域地殻活動情報連絡会が作られ、住民の不安や混乱に対して地震活動の解説や見通し情報を出したことなど、観測研究、防災対応において多くの成果がみられた。

この群発地震活動を契機に、微小地震観測は脚光を浴び、観測技術、システム開発が大学や研究機関によって競い合って進められることとなった。大学や研究機関では既存の大・中・小地震観測装置の運用管理がない分、観測機器や波形伝送方式などを白紙から設計することが出来た。これはその後の電磁式地震計への転換、波形伝送技術やコンピュータを用いた自動震源決定技術等の進展につながっていく。

この頃、59型電磁式地震計の整備が一段落しつつあった気象庁は、地震予知計画によってM3.0以上の地震を日本全国で監視する役割を担うことになり、電磁式の短周期高感度地震計(固有周期1秒、最大3,000倍)を持つ67型磁気テープ記録式地震観測装置を、昭和43年4月から全国に整備することになった。67型は電磁式の高感度速度型地震計だけではなく、磁気ドラムにより信号を遅延しFM変調方式のデータレコーダを用い磁気テープに再生可能な形で信号を記録するトリガー記録方式を取り入れたこと、対数圧縮によるダイナミックレンジ拡大、埋設型かつ隔測化などの斬新なアイデアが多く盛り込まれたが、構成が複雑であり運用には課題も多かった。その後、設置地点周辺での急激な都市化に伴うノイズ増大による地震検知力の低下が課題となり、昭和52年4月から76型電磁式地震計を、昭和63年度から88型電磁式地震計を整備した。これらは全国内陸で発生したM3.0以上の地震を全て検知するという目標を達成するためのものであった。検知能力の向上は、昭和54年から運用が始まった地震資料伝送網によって、67型や76型ばかりではなく既存の機械式地震計の波形データも遠隔地から自動収集することで順次解決に向かっていく。これは、津波予報実施官署である津波予報中枢(札幌、仙台、本庁、大阪、福岡、沖縄)における集中的な波形処理、つまり、単独観測点ごとの波形による地震の同定ではなく、複数観測点による波形から地震の同定を行う業務設計変更も相まっていたことでもあった。また、それは大量のデータ処理時代の幕開けでもあった。

地震観測の強化は陸上ばかりではなかった。昭和 43 年に発生した十勝沖地震の際、地震研究所が三陸沖の海底地震計で十勝沖地震の前震を捉えたという報道が契機となり、地震研究所、国立防災科学技術センター（後の国立研究開発法人防災科学技術研究所）、海上保安庁水路部及び気象庁が共同して「海底地震観測施設整備委員会」を設け、海底地震計の実用実験を行うことになった。昭和 49 年からは海底地震常時監視システムの研究開発が気象研究所地震火山研究部において始まり、昭和 54 年 4 月、東海沖における「海底地震常時監視システム」の運用が開始された。この海底地震常時監視システムは、耐圧容器内に地震計、津波計（先端装置のみ）、信号伝送機器等が収納された中間点装置 3 個と先端装置 1 個を海底同軸ケーブルで直列につなぎ、御前崎測候所の沖合百数十 km の海底に敷設した海底システム、御前崎測候所内の信号受信・中継装置、本庁内の信号受信装置及びシステム自動管理装置等による陸上システムで構成された。海底地震計の開発は、日本全土の小地震に対する検知能力を高めるためにも、また海底におけるオンライン、リアルタイムでの観測技術を得るためにも先端的で重要な意味を持つものである。その後、昭和 56 年からの房総沖ケーブル式常時海底観測システム、平成 20 年からの東南海沖ケーブル式常時海底観測システムの整備につながっていく。

（4）日本海中部地震、北海道南西沖地震の発生と津波地震早期検知網の整備

昭和 58 年（1983 年）日本海中部地震では、遠足に来ていた小学生が津波によって多数犠牲になるなど、秋田県を中心に甚大な被害を生じた。その際、仙台管区気象台が津波警報の発表に要した時間は地震発生から 15 分で、津波波源域に近いところでは津波の到達に間に合わなかった。その後、気象庁では電磁式地震計の導入や一部隔測化によって近代化が進められ、昭和 62 年には、地震計データの津波予報中枢への集約を実現した。本庁への地震活動等総合監視システム（以下「EPOS」という。）の整備をはじめとして、平成 2 年以降、順次、各管区・沖縄気象台へ地震津波監視システム（以下「ETOS」という。）を整備し、コンピュータ上での地震波の位相読み取りと震源、M 決定ができるようになったことから、地震発生後 7～8 分程度で津波警報を発表できるようになった。平成 5 年（1993 年）北海道南西沖地震では、北海道の奥尻島を中心に甚大な被害を生じた。その際、札幌管区気象台が津波警報に発表に要した時間は、当時のシステムの想定より早い地震発生から 5 分後であったが、津波波源域にあった奥尻島には警報の発表前に津波が到達したことから、更なる津波警報等の迅速化を目指し、平成 5 年度補正予算により「津波地震早期検知網」を整備することとなった。「津波地震早期検知網」は、従来、官署設置型が多かった地震計を全て隔測化した「津波地震観測施設」として全国約 180 か所（おおむね 60km 間隔）に整備した。各「津波地震観測施設」には強震計として電磁式の加速度型地震計、高感度地震計として電磁式の数値型地震計を設置した。また、全国約 180 か所のうち 20 か所の「津波地震観測施設」にはモーメントマグニチュード（以下「Mw」という。）を算出するために電磁式の広帯域速度型地震計を追加設置した。この整備により、従来、整備年度により仕様が統一されていなかった気象庁の地震観測網は一新された。また、観測局から最寄りの NTT 回線集約局まで専用回線で波形を送り、NTT 回線集約局から全国 6 か所にある津波予報中枢まで高速デジタル回線を利用する独自回線を設けることとした。これらにより、それまで地震発生後最短で 7～8 分を要していた津波警報発表までの時間を、地震発生後最短で 2～3 分程度に短縮することを目指した。事実、平成 23 年（2011

年)東北地方太平洋沖地震では、地震発生後3分で津波警報を発表している。また、全国的なテレメータ網の完成は、その後の緊急地震速報実現への契機となったものでもある。

(5) 兵庫県南部地震の発生と地震調査研究推進本部の設置

平成7年(1995年)兵庫県南部地震は地殻浅部での大地震であり、発生が早朝であったことから、死者・行方不明者は6,000人を超えるなど、神戸市を中心に甚大な被害が生じた。このような状況を受け、全国的かつ総合的な地震防災対策を推進するため総理府(現在は文部科学省)に地震調査研究推進本部が設置された。

地震予知計画の中で各大学・研究機関で実施されてきた微小地震研究は、地域的な特性を探る一面を持っており、観測点配置も地域により粗密があったため、全国的な地震活動を評価するには不十分であった。地震調査研究推進本部では、地震に関する基盤的調査観測網の整備や機関の壁を越えた調査観測データの流通・公開の方針策定、被害を伴うような大きな地震発生時の速やかな現状評価の公表、地震発生可能性の長期評価や強震動予測手法の検討、更にはそれらの結果等を踏まえた全国を概観した地震動予測地図の作成等を行うこととなった。気象庁は、防災科学技術研究所や大学等が整備・運用する地震に関する基盤的調査観測網から得られた地震波形を一元的に処理(以下「一元化処理」という。一元化処理の詳細は、本節第7項第5目「一元化処理」を参照。)し、地震調査研究推進本部に報告することとなった。これは、従来大学や研究機関で行われてきた地震学的な解析処理が気象庁に新たに導入された一面も持っていた。基盤的調査観測網の一つである防災科学技術研究所が運用する「高感度地震観測網」(以下「Hi-net」という。)の気象庁の震源決定業務への寄与は大きく、一元化処理開始後は2000年代には年間約10万、自動処理の導入がなされた平成28年以降は年間約20万前後の地震を処理することとなった。また一元化処理により、低周波地震(微動)の発見がなされたほか、震源決定に関する自動処理など、新たな技術開発が進められる契機となった。

(6) 緊急地震速報のための多機能型地震観測装置の整備

緊急地震速報を実現するために平成15年から、多機能型地震観測装置の整備が始まった。多機能型地震観測装置は、検知網型と呼ばれるものと官署型と呼ばれるものの2種類がある。前者は平成5年整備の津波地震早期検知網のテレメータと通信関係の装置を更新したもので、後者は、気象官署に整備された計測震度計の一部を更新したものである。最大の特徴は単独観測点で地震の規模や震源の位置を推定する演算機能が強化されたことである。また、あわせて、データ伝送手段の高度化(一元化処理による各大学・研究機関で利用実績のある地震波形フォーマット(WINフォーマット)を用いたIPパケット化、Hi-netのデータ伝送等で実績のあるFR網によるデータ収集)、GPSによる観測局側での時刻校正、中枢局側からの監視制御などの機能を加え、既存のテレメータを一新した。これらにより、処理装置側での正確な波形の再現が容易になり、多地点欠測の危険性が減少したほか、常に高い時刻精度が保証されることになった。なお、平成27年には首都圏直下の地震に対応した緊急地震速報の高度化を図るため防災科学技術研究所が運用する「基盤強震観測網」(以下「KiK-net」という。)のうちおおむね500m以上の深さに設置された南関東にある地震計データ(15点)の利用を開始した。

(7) 東北地方太平洋沖地震と海底地震観測網の充実

平成23年(2011年)に東北地方太平洋沖地震が発生した。気象庁は地震波検知の5.4秒

後に緊急地震速報（予報）を、同 8.6 秒後に岩手県と宮城県、及び福島県、山形県、秋田県の一部に対して緊急地震速報（警報）を、また同 3 分後に岩手県、宮城県、福島県の沿岸に津波警報（大津波）を発表するなど、当時有する技術、知見から可能な限りの範囲において情報を発表した。しかし、発生した地震の規模があまりにも大きく、このような大きな自然の脅威に対して保有する技術が十分及ばなかったという面があった。例えば、緊急地震速報では、本震における広大な断層のずれに対応できず関東地方には警報が発表できなかったこと、その後の地震の多発や地震後に発生した広域の停電によって予測精度が大幅に低下したこと、津波警報では、地震波の振幅が国内の広帯域地震計の測定範囲を超えてしまったことで、地震発生後約 15 分後に計算する M_w を求めることができず、警報を迅速に更新できなかったことが課題として挙げられた。これを受けて、緊急地震速報のアルゴリズムの改良を進めるとともに、平成 23 年度第 3 次補正予算によって強震動まで測定できる広帯域強震計を 80 か所に整備した。また、大規模かつ長時間の停電を経験し、最大 72 時間の駆動を可能とするバッテリーを整備することとなった。

その後も平成 27 年には、海洋研究開発機構が設置し、防災科学技術研究所が運用する「地震・津波観測監視システム」（以下「DONET」という。）の海底地震計データ（2 点）、令和元年には、DONET 及び平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震を受けて防災科学技術研究所が整備し運用する「日本海溝海底地震津波観測網」（以下「S-net」という。）の一部の観測点の観測データ、さらに令和 2 年 3 月には S-net の全ての観測点の観測データの緊急地震速報への活用を開始するなど、他機関が整備運用する観測網の様々な業務への利活用を順次進めている。

2. 震度観測

前述のように日本における地震観測は明治 6 年に函館気候測量所で始まった。全国的な震度観測は内務省地理局が明治 17 年 12 月に観測報告の書式を定めた「地震報告心得」を制定したことにより始まった。その中で地震動の強弱を体感に基づき微、弱、強、烈の 4 階級で区別すると記載された。明治 31 年から、震度階級は震度 0～6 までの 7 階級となった。その後、昭和 23 年の福井地震を契機として、中央气象台は翌昭和 24 年 1 月に「地震観測法」を改正し、それまでの震度階級に、新たに震度 7（激震）を加えた新しい震度階級を制定した。

そして、平成 8 年には震度 5 及び 6 について階級を分割するとともに、震度は計測震度で求めるものとされ、体感（震度 7 については被害状況からの判定）による震度の観測は終了した。

（1）強震観測と震度の計測化

初期の機械式地震計ではダイナミックレンジや観測可能な周期帯に限られ、あらゆる地震動を記録することは不可能であることから、倍率や観測可能な周期を変えた多数の地震計を置くことで地震動の記録を行ってきた。その中で、低倍率で振り切れにくい地震計として考案された大森式強震計や今村式強震計、中央気象台式強震計が整備されたが、当初は地震計による観測がまだ十分でなく、体感に基づく各地の地震動の強さ、すなわち震度から地震の震源等の要素を推定し、地震活動に関する客観的な記録を残そうと努めた。

明治 37 年には 71 か所の測候所と 1,437 か所の区内観測所（測候所が観測を委託した観測所）から震度データが中央气象台に収集された。

その後、第二次世界大戦後に強震計は50型、51型、52型機械式強震計に置き換えられるとともに、機械式地震計も電磁式地震計への置き換えが順次進められるなど地震計の整備が進んだ。このような地震計による観測を中心とした業務の構築を進めてきたことから、地震活動に関する記録を残すことを目的とした震度観測は規模を縮小し、昭和63年には、全国158か所の気象官署において震度観測を行うのみとなった。一方、度重なる地震災害によって震度が防災関係機関の初動対応の基準として極めて重要なものと認識されたこともあり、より客観的かつ迅速な震度情報、震度観測点数の増強への要望が高まった。

そのため、震度を客観的かつ迅速に把握する方法について、昭和60年3月から昭和63年2月にかけて「震度観測検討委員会」において検討が行われ、報告書がまとめられた。この報告に基づき、強震計を使用した震度の機械観測を開始し、それにより求められた震度を計測震度と名付けた。また、計測震度の自動算出機能を持つ90型震度計が開発された。90型震度計は波形収録機能を有していなかったが、平成6年に展開を開始した93型震度計はデジタル波形収録機能を持っており、87型電磁式強震計と同等の性能でICメモ리카ードにデータ収録を行うことができるようになった。

その後、平成7年（1995年）兵庫県南部地震が発生した際には、震度7が震度計により自動計測されていない、震度の説明文が現代社会に適合しておらず、特に震度5以上の説明については実際に出現する被害状況の幅が大きすぎるため適切な防災対応には十分でないなどの問題点があることが明らかにされた。

そのため、「震度問題検討会」において検討が行われ、平成7年11月に報告書がまとめられた。この報告書では、気象庁が発表する震度は計測震度で観測すること、震度5及び6については階級を分割すること、地震による被害状況から判定することとしていた震度7は事後の調査によるものではなく、計測震度6.5以上を観測したものとすること、「震度階級表」にある各階級の名称（微震、軽震、弱震等）は取り除くこととされた。この検討会では、「震度観測検討委員会」において検討された震度観測を計測化する場合の算出方法についても見直しが行われ、建物被害との相関を考慮し、震度算出に用いる地震動の周期の範囲を長周期側へ広げること、計測震度の値が連続量として扱えるよう継続時間の考慮の方法を改めること、及び成分ごとに震度を算出していたものをベクトル量として扱うことが適切とされた。こうして、平成8年4月、震度7を含めた震度観測を、計測震度計による観測へ完全に切り替え、体感による震度観測を終了した。この新たな気象庁震度階級の定義に伴い、それ以前の震度階級（旧震度階級）を定める揺れや被害の状況を記した説明表に替え、ある震度の揺れがあった場合、その周辺で実際にどのような現象や被害が発生するかを示す資料として、平成8年10月に「震度階級関連解説表」を公表した。

また、この検討会の報告に基づいて95型震度計が開発された。平成7年（1995年）兵庫県南部地震における経験や教訓をもとに、震度観測網の強化と震度情報の速報化を目的として、震度計の信頼性向上と観測網の高密度化などについて検討を進め、平成7年度に約20km間隔の全国的な震度観測網の構築（約600か所）を実施するとともに、震度計の一層の耐震化、静止気象衛星「ひまわり」の通信回線を用いた震度データ収集の二重化を行った。加えて地方公共団体は独自に震度計を設置し自らの初動防災対応への活用を始めるとともに、防災科学技

術研究所でも強震観測網が整備された。

令和 6 年 1 月現在、気象庁は地方公共団体が整備した震度計や防災科学技術研究所の強震観測点も合わせて、全国 4,375 か所の震度計の観測データを集約して一元的に震度を発表している。また、迅速かつ大量に震度の収集が可能になったことから、地震発生直後から震度速報や地震情報の即時的提供が可能となった。その後、震度推定の研究等の進展もあり、平成 16 年 3 月からは面的な推計震度分布図の提供も始まった。

気象庁における強震波形観測業務は、震源決定等のための地震観測として、大森式強震計、今村式強震計や中央気象台式強震計によって行われていた。これらの強震計は、第二次世界大戦後に 50 型、51 型、52 型機械式強震計に置き換えられた。昭和 63 年に気象官署の機械式強震計を廃止したのと同時に 87 型電磁式強震計が整備され、気象庁におけるデジタル強震観測・波形収集業務が開始された。平成 7 年には 95 型震度計が整備され、平成 19 年には 07 型強震計に更新されている。

令和 6 年 1 月時点で、全国の 671 か所に設置している計測震度計と多機能型地震観測装置によって強震波形観測業務を行っており、収集された強震波形はホームページ掲載や DVD による配布という形で一般に公開している。また、収集された波形は震源過程解析や長周期地震動階級の計算にも用いている。

(2) 「気象庁震度階級関連解説表」の改定

平成 8 年 10 月公表の「気象庁震度階級関連解説表」は、作成から 10 年以上が経過するとその間の社会情勢の変化もあり、その内容には必ずしも時代に合わない点が生じていた。このため、気象庁は総務省消防庁と共同で、平成 20 年 12 月に、学識経験者及び行政委員で構成される「震度に関する検討会」において、震度観測に関する課題について整理・検討を行った。そして、平成 21 年 3 月に取りまとめられた検討結果に基づき、「気象庁震度階級関連解説表」を改定した。また、今後 5 年程度で定期的に内容の点検を行うこととされたことから、気象庁では解説表の定期的な点検に資するため、顕著な被害地震の発生時に実施する現地調査の一環として揺れの程度を把握するためのアンケート調査を実施しており、アンケート結果は「気象庁震度階級関連解説表」の表現とおおむね一致している。

加えて、一般向けの「震度と揺れ等の状況（概要）」及び防災担当者向けの「気象庁震度階級の解説」を作成した。

(3) 検定制度

震度観測の信頼性を確保するため、震度計の規格の統一と測器としての性能を確保することを目的に気象庁では震度計が満たすべき性能の技術基準を定めており、気象業務法第 43 条に基づく委託検定を平成 8 年から開始、検定に合格した震度計には検定証書を交付することとした。この検定のため、平成 7 年度に震度計の検定に用いる装置（被検定震度計に規定の振動を与える装置及び被検定震度計が算出した震度データを受信し評価を行う装置）を高層気象台敷地内に整備し検定を行っている。このような委託検定制度に加え、後述する設置場所等についても設置基準を定め、これらの技術指導を通じて、震度観測の適切な普及に努めている。

(4) 震度計設置環境調査

震度は、隣接する場所であっても地盤等の影響によって値は異なる。そのため、観測した震

度を地域の防災対応の基準として用いるためには、その地域の揺れを代表する場所に震度計を設置することが望ましく、局所的に特殊な揺れとなるような地盤や通行車両による震動が大きな場所などを避ける必要がある。また、落下物の衝突など、地震以外の影響による誤った観測を行わないように震度計を設置、保護しておくことも重要である。

平成 16 年 2 月に「震度計設置環境評価指針」を作成し、本指針に基づき、同年 12 月に地方公共団体の震度計の設置環境調査の実施結果を公表した。さらに平成 18 年 4 月に設置環境の改善状況を取りまとめ公表した。

しかし、平成 20 年 7 月に発生した岩手県沿岸北部の地震において、最大震度 6 強を観測した岩手県洋野町大野について、その後の現地調査で、震度計台と地面の間に隙間が確認され、その後の比較観測でも震度が過大であった。そのため、岩手県洋野町大野での観測結果を「不明」と修正して岩手県沿岸北部の地震の最大震度が 6 強から 6 弱に修正されることとなった。この原因について気象庁にて調査した結果、震度計の設置地点は斜面に近く、盛り土かつ緩い地盤であったことなどが分かった。一方、当該観測点は、設置環境評価では B ランク（即時の震度情報で発表するには、問題のない設置環境）となっており、当時の評価指針では上記の原因が検知できないことが分かった。

上記のような背景もあり、「震度に関する検討会」において、不適切な観測点の改善点を明確化することなど、指針における課題の見直しが提言された。これを踏まえ、地震防災上不可欠な震度を正しく観測するために望ましいと考えられる設置場所や設置方法等を取りまとめ、平成 21 年 5 月に現行の「震度計設置環境基準」を定めた。この震度計設置環境基準をもとに、気象庁、地方公共団体、防災科学技術研究所の震度計の設置環境調査を行い、気象庁が発表する地震情報に利用するかどうかの判定を実施している。また、平成 24 年 11 月までに気象庁が震度情報に活用している全ての震度観測点の設置環境を調査しその結果を公表するとともに、その後も定期的な調査を行っている。さらに、地震発生時に震度 5 強以上を観測した震度計については、その設置環境に異常が生じていないかの調査をその都度行っている。また、地方公共団体等が行う設置環境調査の際の利便のため、平成 17 年 8 月に「正確な震度観測を行うために」を作成し、適宜改訂を行っている。

3. 津波観測

津波現象は地震、火山噴火、海や湖等への山体崩壊、海底地すべり等によって発生する。このうち地震によって発生する津波は、津波より伝播速度が速い地震波を解析することによってその襲来時刻や高さがある程度予測できる。津波予報のアイデア自体は古くから存在しており、昭和 24 年に全国的な津波警報体制が確立したこともあり、次第に津波警報等の発表は気象庁の重要な業務となってきた。一方、津波観測は主に検潮儀によって行われてきた。検潮儀は海洋潮汐を測定する目的で港等の施設に古くから設置されているものであり、データを即時的に収集することは考えられていなかった。このため現地観測及び自動記録紙による観測が行われてきた。地震時にリアルタイムで潮位の状況を監視し、津波観測によって津波警報等の切替及び解除を行うようになったのは、潮位データのテレメータ伝送が行われ、処理システムに取り込まれるようになってからである。ここでは、地震火山業務に特化した部分について述べる（潮

汐・波浪の観測全般については、第 5 部第 6 章第 1 節第 3 項「潮汐・波浪」を参照。

(1) 観測の歴史

津波観測は昭和 26 年の気象官署観測業務規程に定められて以降、検潮所にある検潮儀と呼ばれる機器による現地観測という業務形態が長く続いた。昭和 45 年頃より前は、海岸近くの潮位観測を担当していた気象官署では地震発生時に津波の状況を確認するため検潮所に職員を派遣していたが、昭和 45 年前後からは徐々に検潮所から気象官署まで自動収集される潮位データによって観測を行うようになった。このような津波観測は、実際に津波の有無を現認する点では確実かつ有効であるが、津波予報中枢で直接データを監視できていなかったため、津波警報等の迅速な切替や解除に利用することは困難であった。

昭和 62 年の EPOS 導入時に地殻活動の監視として潮位データが津波予報中枢にある中枢システム上で取り扱えるようになり、以降、EPOS 及び ETOS でリアルタイム潮位データを用いることで迅速な津波観測情報の発表、津波警報等の切替や解除への活用が徐々に可能となっていた。なお、全国を網羅する潮位データの本格的なシステムへの導入は、津波地震早期検知網の導入時にあわせ、津波観測計や巨大津波計を整備した以降である。また、まれな現象ではあるが、令和 4 年のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の大規模噴火に伴って引き起こされた気圧波による潮位変化、あるいは令和 5 年に発生した^{そうふ}婦岩西方での海底火山活動の影響が示唆されている津波など、地震以外の原因で発生する津波への警戒の呼びかけも津波の実況監視から行われている。

なお、平成 8 年 3 月に巨大津波計の整備に伴って気象官署での目視観測は終了したが、地震発生時等、万が一、観測施設の障害等により津波の観測値が得られない場合には、当該津波予報区の津波警報等の切替・解除が適切に行われなことが想定される。平成 31 年 3 月から、そのような津波観測施設が障害等で観測値が得られない場合、各地の気象官署は必要に応じて目視等によって津波の状況確認を行うこととしている。目視等による津波の状況確認に当たっては、現地の状況に応じて自衛隊や海上保安庁の協力を求めている。

(2) 津波情報に活用する観測地点の拡充

津波情報に活用する観測地点については、気象庁自ら整備する観測点のほか、関係機関の協力も得て、順次活用地点数を増やしてきている。平成 14 年には海上保安庁の験潮所、平成 20 年には国土交通省港湾局の検潮所及び国土地理院の験潮場について津波情報への活用を開始した。また、平成 20 年には、国土交通省港湾局が沖合に設置した GPS 波浪計のデータの津波情報への活用も開始した。GPS 波浪計とは、GPS 衛星を用いて沖に浮かべたブイの上下変動を計測し、波浪や潮位をリアルタイムで観測する機器であり、沿岸から 15km ～ 20km の沖合に設置されていることから、沿岸に津波が到達する前に津波を検知することができる。

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震では GPS 波浪計の観測値を用いて津波警報を更新したこともあり、沖合の津波観測の重要性が改めて認識された。これを受けて平成 24 年から、計 35 地点の海底津波計（気象庁の房総沖・東海沖・東南海沖、地震研究所の釜石沖、海洋研究開発機構の釧路沖・室戸沖、海洋研究開発機構の DONET（現在は防災科学技術研究所が運用）、防災科学技術研究所の相模湾海底地震観測施設）の津波警報等の更新及び津波情報への活用、そしてブイ式海底津波計（東北地方太平洋沖）の設置及び活用を開始した。ま

た、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震を受けて海域で発生する地震及び津波をリアルタイムで観測するために防災科学技術研究所が整備した S-net、平成 24 年以降に観測が開始された DONET の観測点、合わせてケーブル式海底津波計 156 地点のデータについては、平成 28 年 7 月から活用を開始した。さらに同研究所が整備した南海トラフ海底地震津波観測網（N-net）沖合システムの 18 地点のデータについて、令和 6 年 11 月から活用を開始した。N-net 沖合システムの活用により、沖合での津波の検知が最大 20 分程度早くなり、津波警報等の更新及び沖合の津波観測に関する情報の発表において迅速化や精度向上が図られている。

4. 地殻変動観測

昭和 48 年 6 月、文部省測地学審議会により建議された第 3 次地震予知計画では、気象庁は埋込型体積^{ひずみ}歪計（以下「体積ひずみ計」という。）やケーブル式海底地震計、地震観測の隔測化など新たな観測技術の開発に取り組むこととなった。このうち、体積ひずみ計は、地震直前の地殻内のひずみの急激な変化、つまり大地震の前兆現象を捉える機器として期待されるものであった。当初、体積ひずみ計による観測は、降雨や海洋潮汐など様々なノイズを取り除く必要があったが、昭和 53 年の伊豆大島近海の地震や昭和 61 年（1986 年）伊豆大島噴火、繰り返し発生した伊豆半島東方沖の群発地震活動に伴うデータ変化など、地殻活動現象の監視に有効であることが徐々に明らかになっていった。その後、平成 10 年代にプレート境界が数か月から 1 年程度の間隔で繰り返す、数日から 1 週間程度かけてゆっくりすべる現象、いわゆる「短期的ゆっくりすべり」が発見され、プレート境界の固着状況を捉える測器としてひずみ計を用いた監視が続けられるようになった。

（1）体積ひずみ計の設置

体積ひずみ計が出来る以前は、地殻変動の連続観測には水晶や金属の長い棒を用いた伸縮計、あるいは水管傾斜計が用いられていたが、これらは地震前後の急激なひずみ変化を観測するには不適切だった。そのため、昭和 46 年頃、サックス・エバートソン型と呼ばれる、岩盤の伸び縮みによる検出部の体積の変化（体積ひずみ）を測定する体積ひずみ計が開発され、気象庁地震観測所で試験観測が行われた。小学校のプールにビー玉を落とすと増える程度の微小な体積変化を検出できるとされた高感度の観測機器であったこの体積ひずみ計は、地震予知連絡会により観測強化地域に指定された東海及び南関東を対象として昭和 50 年に 5 地点から整備が開始され、昭和 56 年までに東海、伊豆、南関東地域に 31 地点設置された。高感度の地殻変動の連続観測は新たな観測であったため、観測開始から 10 年ほどの間は、初期埋設時の擾乱、永年及び年周変化、気圧や降水による変化、潮汐による変化など原因特定と補正処理が検討された。

昭和 53 年の伊豆大島近海の地震では、震央に近い石廊崎と網代の体積ひずみ計で地震の約 1 か月前からデータに普段とは異なる変化が生じた。気象庁はこの観測データと有感地震の頻発を根拠として伊豆大島近海の地震の発生直前に地震活動について注意を促す情報を発表した。また、地震直後から約 20 か月にわたって不規則な縮み変化も観測された。これらの変化は、昭和 54 年 9 月頃には定常状態に戻った。前述のような原因不明の様々なデータ変化の中であったこともあり、これらの見出された変化が地震前後に現れる特徴的なものかどうかの確証は残

念ながら得られなかった。

昭和 61 年に発生した伊豆大島の噴火では、同年 7 月中旬頃から伊豆大島測候所に設置してあった体積ひずみ計のデータに噴火現象に伴う顕著な変化が繰り返し見られていた。その状況の中で 11 月 21 日に大規模な噴火が発生し、その際、伊豆大島周辺の三浦、土肥、湯河原、東伊豆等の体積ひずみ計のデータにも顕著な変化が現れた。この広範囲にわたる地殻変動は、解析の結果、伊豆大島の噴火に伴うものと解釈された。

これとは別に、昭和 53 年頃から平成 23 年まで、伊豆半島東方沖では群発地震活動が繰り返し発生し、昭和 55 年には M6.7 (最大震度 5) の地震も発生した。この群発地震では、その活動の消長と東伊豆の体積ひずみ計のデータに明瞭な関係があることが明らかとなった。解析の結果、マグマ貫入と地震活動に相関関係が見いだされ、その後、地震調査研究推進本部地震調査委員会において地震活動の推移・見通しについて予測的な評価手法が検討され、平成 23 年 3 月から「伊豆東部の地震活動の見通しに関する情報」を運用することとなった(詳細は、本章第 2 節第 1 項第 4 目「伊豆東部の地震活動の見通しに関する情報」を参照)。

(2) 多成分ひずみ計の展開

体積ひずみ計の変化が周辺の地殻活動と関連があることが明らかになりつつあった平成 7 年に兵庫県南部地震が発生した。この地震は東海地震のようなプレート境界で発生する大規模地震とは異なる内陸部の地殻浅部で発生した地震であったが、定性的な前兆現象による短期地震予知に関する疑問や批判が学界や社会で生じる契機となった。気象庁では、従来、個々の観測点のひずみ変化に着目して前兆現象を監視していたが、加藤・平澤モデルと呼ばれる岩石実験から明らかになった物理に基づく「前兆すべり」を計算機上でシミュレーションすることによって、地震前に発生するであろう前兆的な地殻変動がどのように現れるかについてノイズレベルとの比較や発生パターンなど詳細な調査を行った。この前兆すべりの考え方をもとに、前兆すべりと関連する可能性のある複数の観測点の変化を監視することとした。

平成 9 年度から東海地震監視体制の強化を目的として、静岡県協力の得た静岡県中西部を中心に、従来から観測可能であった岩盤の膨張・収縮に加えて、伸びや縮みの力が加わった方向まで計算できる多成分ひずみ計 5 地点(うち 3 地点は気象庁、2 地点は静岡県)の整備を開始し、データの蓄積を待って異常検出のための適切な設定を行い、平成 14 年度から 17 年度にかけて活用を開始した。また、東海地震の「前兆すべり」の検知能力の強化を図るため、平成 20 年度補正予算において新たに 6 地点の多成分ひずみ計を整備し、平成 22 年度から 23 年度にかけて活用を開始した。現在は、静岡県、産業技術総合研究所といった他機関のひずみ計も用いて地殻変動データを 24 時間体制でリアルタイムに監視し、南海トラフ地震に関連する情報の発表のために使用している(以下体積ひずみ計、多成分ひずみ計を合わせ、「ひずみ計」という)。

(3) フィリピン海プレートの短期的ゆっくりすべりの発見と監視

気象庁では平成 9 年から地震データの一元化処理を開始しており、このカタログ作成過程で、従来知られていた火山地帯の地下以外でも、S 波が卓越する低周波地震が発生することを発見した。この低周波地震はフィリピン海プレートの等深度線に沿って発生しており、プレートの沈み込みと何らかの関係が示唆された。その後、防災科学技術研究所により、この現象はフィ

リピン海プレートの固着域の深部で発生するプレートのずれに伴う現象であることが明らかにされた。さらに、この深部低周波地震（微動）（P波やS波が明瞭でなく震動が継続するものは「微動」と呼ばれる）が発生すると、同期して複数のひずみ計の変化が観測され、その地殻変動源の位置が深部低周波地震（微動）の震源域と重なることも分かってきた。深部低周波地震（微動）の発見から25年近くが経過した現在、これらの現象は前兆すべりとは異なり、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界部で数日から1週間程度かけてゆっくりとすべる現象（短期的ゆっくりすべり）で、数か月から1年程度の間隔で繰り返すことが明らかになっている。以前は一地点のひずみ計の変化で見出そうとしていた地震の前兆現象は、令和6年時点で、深部低周波地震（微動）とひずみ計によるゆっくりすべりの状況として監視され、毎月行われる南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会及び地震防災対策強化地域判定会でも評価されている。

5. 地震津波現業

地震津波現業では、津波予報等の実施や地震情報の発表、南海トラフ沿いの地殻活動の監視、システムの監視等を行っている。このうち津波予報業務は、昭和27年4月以降は気象官署津波業務規程に基づき、また平成7年4月以降は地震津波業務規則に基づき行われている。昭和37年8月の気象官署津波業務規程改正により、津波業務は他の業務に優先するとされ、今日においても、地震津波現業における津波警報等の発表は、気象庁の業務でも特に優先度の高い業務と位置付けられている。ここでは、地震津波現業の業務の一例として、津波予報業務の側面から変遷について述べる。

（1）中枢における津波予報業務

昭和27年4月、津波予報は中央气象台、札幌、仙台、大阪及び福岡の各管区气象台並びに新潟及び名古屋地方气象台で行うこととされた。昭和37年8月の気象官署津波業務規程改正では、本庁又は管区气象台が実施するよう改められた。なお、我が国沿岸からおおむね600km以遠の地震についての津波予報は、本庁が行うこととした。

平成7年4月に、津波地震早期検知網の整備及びEPOSの更新整備により、地震波形の伝送（テレメータ）が一般的になるまでは、地方气象台や測候所で読み取った記録を電報で中枢官署に送信する形が取られていた。有感地震や有感地震相当の地震が発生すると、管内の地震観測を行う気象官署から、震度やP波の発現時刻等を、10分以内に電報で報告する。強震計の振幅が一定以上の場合や震度4以上のときは、5分以内に非常電報で報告する。これらの報告をもとに震源を決定し、津波予報作業が必要な場合は、各地の地震計で記録された最大振幅をもとに「津波予報図」を用いて津波の有無を判定する。津波警報又は注意報を行う場合は、警報文等を作成し、これを有線通信課、通報課、無線課等所定の部署に持参して関係機関への伝達を依頼する。その後、震源第1報を関係気象官署に伝送する。さらに、震源要素や各地の震度等を盛り込んだ地震情報文や地震連絡電文を作成し、関係官署や部外機関に伝達する。このように、津波警報や地震情報等の発表には多くの時間を要した。昭和27年4月に制定された気象官署津波業務規程では、発震（地震の体感又は感震器の鳴りはじめ）から15分以内に津波予報を行うものとされていた。昭和32年1月に改正した気象官署津波業務規程では、

当時の津波電報の入電にかかる時間等の実情も踏まえ、津波予報の発表は発震後 20 分以内とされた（なお、昭和 44 年 2 月の改正で、津波来襲に 1 時間以上の余裕がある場合は発震後 20 分以内に限らないとする規定を追加している）。昭和 37 年 8 月の気象官署津波業務規程の改正では、30 分以内に来襲する津波予報区に対して予報が効果的に伝わらない場合の免責も規定している。昭和 50 年までの統計でも、津波予報の発表までに平均して 16 ～ 17 分を要していた。

その後、地震資料伝送網と気象資料伝送網の一本化を進め、昭和 56 年 3 月に L-ADESS が運用開始となり、各管区气象台等にも順次展開されるなどした。管区气象台等では、P 波の発現時刻や最大振幅等の読み取り、震源決定、各地点で予想される津波規模の計算、津波警報文の作成、警報文の伝送といった一連の作業が、一部自動化も含めて効率化された。昭和 62 年 3 月に本庁及び管区气象台等に津波予報のための EPOS を導入したことで、予報発表時間は 7 ～ 8 分程度に短縮した。平成 2 年 3 月から平成 6 年 3 月にかけて順次、管区气象台等における津波予報業務等を、従来の L-ADESS の地震処理機能から、ETOS により行うようになった。

平成 7 年 4 月に、津波地震早期検知網の整備及び EPOS の更新整備により、地震や津波の観測は、テレメータ観測を主体にしたものに移行した。平成 11 年 4 月に量的津波予報を開始し、予報発表までにかかる時間を更に短縮した。平成 21 年 3 月から、各管区气象台等の ETOS を EPOS の更新整備により統合し、津波予報等の発表は全国を担当区域とする本庁及び大阪管区气象台の現業（2 中枢）で一元的に実施することとし、大阪以外の管区气象台等は津波の検測等を担うこととなった。平成 30 年 3 月に、EPOS の更新整備により、津波の検測等も含めて、一連の津波予報等の業務は 2 中枢に集約された。

（2）その他の緊急業務等

津波予報業務以外にも、現業班（交替制勤務職員）は、震度 1 以上を観測した場合等の地震情報の発表、北西太平洋津波情報の発表等を担っている。この際、自動で発表される緊急地震速報や震度速報に誤りがあった場合には取り消し報（震度速報）やキャンセル報（緊急地震速報）による訂正を行う。また、東海地震予知のために東海地域の地殻活動を監視し、異常な現象が発生した場合には速やかにデータの解析や地震予知情報課長への連絡、情報発表等を行っていた（平成 29 年 11 月以降は南海トラフ沿いの地殻活動の監視となった）。これらの業務は全て EPOS を用いて行う。

このほか現業班では、休日・夜間でも突発的に対応が生じうる資料の作成作業も担っている。例えば最大震度 4 以上が観測された場合等には地震解説資料（速報版）を作成する。また、平成 20 年 12 月以降は、大地震の発生後直ちに招集される政府の緊急参集チーム協議時に必要な資料の作成等を担っている。

平常時においては、5 交替制勤務職員は、システム監視、南海トラフ・地殻監視、近地地震の検測・震源決定、遠地地震の検測等に分かれて、それぞれの業務を担当する。地震予知に関する社会的要請の高まりと情報通信技術の発展を受け、昭和 57 年 2 月からは、一般調査観測のうち地震観測表の報告発送期日を、それまで旬ごととしていたものを毎日とするなど、精密な震源決定業務も時代を追うごとに徐々に迅速化された。

また、観測点の移設や障害、ノイズ等の状況を踏まえ、緊急地震速報や地震情報の情報発表

に活用する観測点の運用管理も行っている。さらに、震源と震度を結びつける作業（還元震度作業）等を行うほか、各現業班に割り振られた業務として、例えばマニュアルの整備、緊急作業の訓練の立案等の様々な業務を行っている。

特に訓練は重視されており、津波予報業務等の手順を確認する全国地震津波訓練を様々なシナリオで実施する。また、南海トラフ地震に関連する情報に係る訓練及び北海道・三陸沖後発地震注意情報に係る訓練も実施する。このほか、各現業班単位で、日頃から緊急業務の習熟に努めている。また、特異な現象に対する緊急作業の検討を通して技術レベルの向上や課題等の洗い出し等を行う緊急作業シナリオ検討会も行っている。

（３）現業の体制

地震津波現業業務は 24 時間休むことなく対応する必要があることから、現在は、5 班編成による 5 交替制勤務を基本としている。また、昼間の時間帯に、土・日曜日や祝日も含めて交替で業務に当たる特殊日勤という勤務形態の職員もいる。

気象庁本庁における 5 班編成の各班は、全国班長 1 名、東京班長 1 名とその他の現業班員から構成される。全国班長は本庁及び大阪管区気象台の緊急作業全体を指揮・調整し、東京班長は本庁の緊急作業を指揮する。特に津波予報等の承認に関して、後述する現業運営統括会議事務局長たる地震津波監視・警報センター所長、そして全国班長及び東京班長は、地震津波監視課長が不在の場合等の承認代行者に指定されており、地震検知後数分以内に発表する津波警報等の第 1 報は全国班長の判断で発表する場合が多いなど、重要な責任を負っている。

平成 7 年 4 月に、津波地震早期検知網の整備及び EPOS の更新整備が行われ、地震や津波の観測は、地方気象台や測候所を含む気象官署を主体とし、その読み取り結果を電報により本庁及び管区気象台等に送信する方法から、観測網によるテレメータ観測を主体にした観測に移行した。これにより、地震津波現業業務を本庁及び管区気象台等に集約した。

平成 9 年 4 月から、週休 2 日制の導入を契機に、地震火山部各課で構成していた業務を現業の一体運営により、増員なしで 4 交替制勤務から 5 交替へ移行する現業体制を見直し、現業運営統括会議（統括議長：管理課長）の下で、現業運営統括会議事務局（統括事務局長：地震津波監視課主任技術専門官）が各課の現業運営の指揮系統の一本化の事務的な実現を図ることとした。現業運営統括会議事務局は、原則として毎月、全国中枢班長会議を開催し、現業業務にかかるシステムの更新や運用変更、緊急作業の課題検討などを行っている。令和 2 年の組織改正により、地震津波監視課の下に地震津波監視・警報センターが設置され、本庁において地震津波監視・地震精密解析・南海トラフ沿いの地殻活動監視を行う職員は同センターに集約され、現業運営統括会議事務局長には同センター所長が就いた。

平成 21 年 3 月に、各管区気象台等の ETOS を、EPOS の更新整備により統合し、地震津波情報等の発表、緊急に行う震源決定、津波予測のための解析等の業務について、全国を担当区域とする本庁及びその代行を行う大阪管区気象台の現業の二中枢で実施するよう変更した。管区気象台等では、引き続き、管内の地震・津波・震度の観測データの監視及び報告や、詳細な震源及び発震機構の決定等の精密解析を担った。平成 30 年 3 月に、EPOS の更新整備により、津波検測処理等の安定的な運用体制が確立して地震津波監視業務の効率化が可能となったことなどを受け、5 交替制勤務による地震津波現業業務を、本庁及び大阪管区気象台に集約した。

これにより、大阪管区気象台を除く管区気象台等での 5 交替制の地震津波現業業務は終了した。

(4) 業務継続

昭和 45 年 3 月、消防に関する重要事項を調査審議し、消防庁長官に意見を述べる組織である消防審議会は東京地方における大震災火災対策を答申した。この答申で対象にされている程度の大地震が関東に発生すれば、本庁もその機能を一時的に失う可能性があることから、本庁が実施する地震・津波業務の代行の考え方を整理した。具体的には、大阪管区気象台を代行官署とし、大阪管区気象台もその機能を失ったときは仙台管区気象台を代行官署とした。また余震回数その他必要な資料は長野県内の松代にある地震観測所が長野地方気象台を経由して代行官署に通報することとした。業務代行は、震源の位置や地震の規模、通信系の障害状況等を踏まえ、自動的に開始することとした。

平成 21 年 3 月に、津波予報や地震情報等の発表を、本庁現業で全国を担当区域として一元的に実施するよう変更した際、大阪管区気象台に本庁の業務を継続できる機能を整備した。大きな地震が発生すると、本庁と大阪管区気象台で並行して震源決定作業を行い、全国班長がどちらかの震源を選択して地震情報の発表に用いる。緊急地震速報や震度速報等の自動で発信される情報や津波警報等は、一方の中枢官署からのみ部外へ発信される仕組みとなっている。このため、業務代行する場合を想定し、平常時においても発信する中枢官署を月ごとに交替するとともに、「震源・震度情報」等の地震情報の発表については、基本的に東日本の地震を本庁現業、西日本の地震を大阪現業が分担する。津波の監視・検測については、津波予報区や沖合と沿岸の観測で分担する。こうした作業を行うため、大阪管区気象台の現業には大阪班長が置かれ、東京班長とほぼ同等の業務を行う。仮に本庁と大阪管区気象台との間の連絡が途絶し、かつ本庁から一定時間以上経過しても情報発信が確認できない場合等は、大阪管区気象台は自らの判断により、津波予報や地震情報等を発表する。

6. 機動観測と現地調査

地震火山業務の創成期の頃は観測網も不十分なうえ震源決定精度も悪かったことから、現地調査を行って地震津波に関わる現象、更には被害状況を記載することは、地震現象を明らかにするうえで重要なことであった。実際、震源や断層の状況、発震機構などは、現地での観察が解明のきっかけとなったことも少なくない。

その後、震源決定の数や精度の向上、地震発生回数の把握、震度情報の発表などを目的として可搬型の観測機器による機動観測が行われたが、近年、観測網が充実するにしたがって、このような補完的な地震観測の必要性は減りつつある。現在は、強い揺れ等による震度観測環境の点検や震度階級関連解説表の点検等のための聞き取り調査などを主な目的として現地調査を実施している。また、津波により浸水又は被害が発生した沿岸では、津波情報に活用している検潮所付近、顕著な被害や痕跡が見られた地域で、被害の状況を把握するための現地調査を行う。

(1) 地震・震度機動観測

ア. 陸域の地震・震度機動観測

規模の大きな地震が発生した場合等は、余震活動の把握等を目的として、臨時的に地震の観

測を行っている。例えば、昭和 39 年の新潟地震では、海洋気象観測船により震源域に近い新潟県粟島に地震計を運搬・設置し、余震を観測した。昭和 40 年以降の松代群発地震では、地震活動を監視するために地震観測所に自記傾斜計を、長野地方気象台に可搬型地震計を設置した。

被害を伴う地震が発生した場合や、体に揺れを感じる地震が群発した場合等で社会的に不安な状態が続く場合、地震活動状況等の把握に努め、当地における適切な防災対応に資することが求められる。そこで、臨時に観測班を編成して現地に出動し、当該地域を管轄する気象官署と連絡を取りながら地震観測や地震災害の調査等を行うため、昭和 63 年 10 月から地震機動観測実施要領を定めた。地震機動観測は全国の地域を対象とし、機動性を確保する観点から、観測車、運搬が容易な地震機動観測装置等を整備した。データはフロッピーディスクへの収録のほか、計測震度の観測と中枢官署への伝送機能を持たせた。これにより、地震活動が発生した地域に計測震度計が未設置で現地の震度が分からない場合でも、機動観測を行うことにより震度が観測できるようになった。例えば平成元年 6 月以降の伊豆半島東方沖の群発地震活動で、職員が静岡県伊東市に出動し、現地の震度情報を提供した。

機動観測の例を挙げると、平成 5 年（1993 年）北海道南西沖地震では、震源域内に位置する奥尻島内に地震計を設置し、観測データを専用回線で札幌管区気象台に常時伝送することにより地震活動状況の監視に活用した。さらに、計測震度計も島内に設置し、気象官署で震度 1 以上を観測していなくても、奥尻島で震度 3 以上の場合は地震情報を発表した。平成 10 年 8 月の長野・岐阜県境の地震活動では、長野県の上高地に臨時の震度観測点を設置して観測強化を図り、最大震度 5 弱を含む多くの震度を観測した。平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震では、津波の影響等により一部の地方自治体で震度が観測できない状態となったことから、宮城県、福島県、岩手県に臨時の震度観測点を順次設置し観測を行った。

イ. 海域の地震等機動観測

海域で大規模な地震が発生した際、震源域周辺の余震活動等を把握するため海底地震計による地震観測を行う。また、海域の地殻構造の解明を行い、震源決定能力の向上を図るとともに、津波予報の精度向上や地震予知の基礎データの収集を通して地震予知計画の推進にも寄与することから、大規模な地震が発生していないときでも必要に応じて地震観測を行った。海底地震計による観測は大きく分けて、ケーブル式海底地震計による常時観測、自己浮上式海底地震計による機動観測、ロープ係留方式による機動観測がある。このうち、ロープ係留方式は、ロープの切断の可能性や漁業との兼ね合いからあまり用いられず、機動観測には主に自己浮上式海底地震計が用いられる。自己浮上式とは、地震計と記録器を耐圧ガラス等のカプセルに納め、重りをつけて海底に沈め、一定期間後に重りを切り離してカプセルを回収するものである。リアルタイムにデータを取得することはできないが、経費が安価で機動的に観測できる特徴がある。

気象庁は、例えば、第 6 次地震予知計画（平成元年度から 5 年度）の推進のため、平成 3 年に八丈島東方沖において地震研究所との共同観測を開始し、平成 5 年には神津島近海での調査観測等を行った。平成 10 年代には、東南海・南海地震を重点的調査観測の対象として調査観測を行った。また、平成 5 年（1993 年）北海道南西沖地震や平成 6 年（1994 年）三陸

はるか沖地震、平成 15 年（2003 年）十勝沖地震、平成 16 年の紀伊半島沖・東海道沖の地震活動等の際に、緊急観測等を行った。緊急観測では、大学や独立行政法人等と共同で行われることもあった。得られた詳細な余震活動分布等の成果は、震源域の特定、詳細なプレート構造の把握等に役立てられた。

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震において、大学等と連携して余震観測を行ったのを最後に、常時観測が可能な海底地震計の整備が進んだことなどから本庁や管区气象台等では自己浮上式海底地震計による観測は行っていない。一方その後も、本庁及び仙台管区气象台は東京大学及び東北大学との共同調査観測として、両大学の自己浮上式海底地震計の設置及び回収作業に協力した。

（2）現地調査

近代的な現地の被害状況等の調査は明治期から行われており、震源決定や震度の判定を目的とした被害状況の把握、断層等による地変や地下水、地割れ、噴砂の調査、墓石の転倒方向等の記載がなされ、地震学の発展に寄与した。戦後も例えば昭和 39 年の新潟地震、1968 年十勝沖地震、1973 年根室半島沖地震、1978 年宮城県沖地震等、顕著な地震の際には現地に行き被害状況等を詳細に調査した。

地震に関する現地調査の事例として代表的なものを挙げる。平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震では、神戸市及び淡路島北部等に被害実態の把握等のため、地震機動観測班を延べ 50 班体制で現地調査を行った。その結果、特に被害が激しかった地域を中心に兵庫県神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市や淡路島の一部（北淡町、一宮町、津名町）で震度 7 の分布があることを明らかにした。当時の震度階級では家屋の倒壊率が 30% 以上で震度 7 と定義していたものの、震度 7 と判定するのは初めてのことであったため、倒壊（全壊）の定義、ビル等も含めた全壊率の定義、必要なサンプル数等の定義を行い調査した。また、淡路島においては露出した野島断層の調査も行った。平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震では、気象庁地震火山部、仙台・東京管区气象台及び管内各地方气象台は、この地震により震度 5 強以上を観測（推計された地点も含む）した震度観測点のうち、津波により流失した 6 地点、震度計を設置している庁舎が被災した 1 地点、福島第 1 原子力発電所の事故による立ち入り規制区域内の 7 地点の計 14 地点を除いた 491 地点の観測環境の調査・点検及び周辺における被害の状況について現地調査を実施した。この調査に加えて、千葉県浦安市では、液状化による顕著な被害が発生したため、気象庁地震火山部が現地調査を実施した。

津波に関する現地調査としては以下の事例などがある。昭和 58 年（1983 年）日本海中部地震において、北海道地方から九州地方にかけて津波の痕跡調査や聞き取り調査を行った。平成 5 年（1993 年）北海道南西沖地震において北海道地方から中国地方にかけて津波の痕跡調査や聞き取り調査を行い、奥尻島では最大 29m の痕跡高を得た。また、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震では、津波による被害が東日本を中心とした広範囲に及んだため、「東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ」として、気象庁の 16 官署、各地の大学、行政機関、研究機関等で調査を実施し、得られたデータも同グループの成果として公表した。

その後、平成 27 年 4 月には、現地調査の実施基準を、震度 5 強以上を観測したときや、液状化その他の地震による顕著な現象が発生したとき、津波による被害があったとき等に、気象

庁職員が現地に出向いて又は電話等により調査を行うことと明確化した。震度5強以上を観測したときの調査内容は、震度観測点の点検、周辺の被害調査、また外観被害が無い場合は聞き取り調査等である。これらの結果は、気象庁震度階級関連解説表の見直し等の判断にも資するものである。また津波による被害等があった場合の調査は、津波痕跡、津波による被害状況の調査等を行う。

7. 地震精密解析等

気象庁では、中央气象台の頃から研究者が開発した震源やM決定等の地震学的解析手法を徐々に業務として取り入れていった。その結果はカタログとして当初は気象要覧、Seismological Bulletin、地震年報等で、昭和26年1月からは地震月報、平成9年10月からは地震月報（カタログ編）でまとめられた。当初のカタログには震源と地震波の位相の観測時刻などが記載されていたが、その後、Mや発震機構解が加えられた。また観測網が徐々に高密度になるとともに、震源計算に使用する地震波速度構造やマグニチュード式が改善されていった。

(1) 震源決定

震源決定は、近代的な地震観測が始まった時の大きな目的の一つであった。地震計も萌芽期の開発がなされたばかりで現在に比べて刻時精度も低かった明治19年の地震報告の中にも、既に「震原図」が描かれている。その後、地震計の改良や設置官署の増加、地震波速度の解明、走時表の作成、刻時精度の向上等が進み作業が徐々に洗練された。昭和中期までは各官署で観測された地震記象から地震波の位相を検測して本庁に送り、本庁ではこれを時間順に整理して地震調査原簿に転記、S-P時刻から円を描いて震央を決めることで震源決定が行われていた。昭和20年から30年代においては、最大有感距離が100kmを超えた場合、あるいは、無感であっても地震の規模が大きいと判断された場合は、深さ別の走時曲線にあてはめ、良くあてはまらない場合には震央を変えて作業を繰り返した。この作業は結果に個人差があり、また大きな地震の場合には一日にせいぜい1～2個しか決められないほど大変な作業であったという。

昭和36年からは、調査業務における震源計算に電子計算機を用いるようになった。計算は最小二乗法を使うもので、1つの震源を決めるのに必要な時間は1分ほどに短縮されたが、電子計算機に検測結果を読み込ませ、その結果を出力することは、当時の電子計算機の能力、入出力デバイスでは多大な労力を必要とするものであった。また、緊急業務において震源計算が電子計算機で行われるようになったのは昭和57年からである。その後、電子計算機は能力が飛躍的に向上するとともに廉価化が進み、震源計算自体は高速に処理されるようになった。一方、地震予知計画による地震計のテレメータ化、一元化処理の開始を経て、処理に用いる観測地点が増加するとともに、より規模の小さな地震についても取り扱うことが可能になった。

震源計算処理は省力化されたものの、ARなどを用いた自動処理は一元化処理開始当時から導入されていたが、誤検知や誤検測が多く、解析者による手動検測やチェックが解析作業の大部分を占める時期が長くつづいた。

平成28年4月から、PF（Phase combination Forward search）法を用いた自動震源決

定手法を導入し、それまでの人手による検測、震源計算された震源に加え、地域ごとに設定した M の閾値より小さな地震については、自動処理により検測及び震源計算がなされた震源についてもそれを示すフラグを付して採用することとした。その直後に発生した平成 28 年(2016 年)熊本地震においては、従来の手動検測による一元化処理ではリアルタイムで捉えられなかった小さな規模の地震までほぼリアルタイムで地震活動を把握できたことから、震源が既知の活断層に沿うように分布していることや地震活動の範囲が広がったことを早期に把握することができた。検測作業効率が向上し、主として微小地震の震源データ数が大幅に増加した。平成 30 年 3 月からは深部低周波地震(微動)に対しても MF (Matched Filter) 法による自動震源決定を導入し、検測作業の効率化を図り、深部低周波地震(微動)の震源データ数も増加した。

これらの電子計算機による処理によって、気象庁の震源決定数は年間 20 万前後に達するようになった。ただし、ノイズや時空間的に近接して多発する地震による自動震源決定精度の低下は未だに完全には解決していない。

(2) 走時表の変遷

震源決定の際、震源から観測点まで地震波が伝播するのにどれだけの時間がかかったか(走時)を知る必要がある。この計算には波線計算が必要で、計算に時間がかかる。気象庁では、震源から観測点までの理論走時の計算時間を短縮するために走時表を使用して震源計算を行っている。走時表は球殻成層の一次元地震波速度構造モデルを仮定して計算されている。第二次世界大戦後、P 波の走時表は昭和 5 年の北伊豆地震の日本各地の観測結果から求めた P 波の地下の速度分布などから昭和 8 年に作成され、S 波の走時表は昭和 10 年に作成されたものを使用していたが、理論走時と観測走時の乖離から、昭和 48 年からは近畿地方以东の各地で行われた爆破地震動の観測結果から推定した速度構造から求められた走時表を、昭和 58 年からは修正が加えられた走時表(83A)を用いるなど改定を重ねてきた。

平成 13 年 10 月からは、震央距離 2,000km 以内の観測点では一つの均一な速度構造で震源決定を行うために地域による速度構造の違いに考慮してより中間的な速度構造を持つよう改良された走時表(JMA2001)、震央距離 2,000km を超える観測点では別の走時表を使用した。ただし、千島列島付近の浅い地震にはより海洋性のプレートの構造を加味した走時表を使用した。この際、観測点の設置標高は海拔 0m であるとして震源計算を行った。なお、この際に平成 9 年 10 月以降の震源は、同様の手法を用いて再計算を行った。

令和 2 年 9 月以降は、内陸の観測点とは地下の地震波速度構造が大きく異なる海域観測点を震源計算に活用するため、①陸域の観測点、②日本海溝の陸側の海底観測点、③日本海溝の外側の海底観測点、④南海トラフ領域の海底観測点の 4 種類の走時表を用意し震源計算に使用している。震央距離が 2,000km を超える観測点では、令和 2 年 8 月までと同様の走時表を用いている。この際、理論走時の計算において、観測点の設置標高を加味できるようにした。なお、海域の観測点では、観測点直下に存在する未固結堆積層の影響で、観測走時は理論走時より大幅に遅れるため、海域の観測点の走時を補正する観測点補正值を求め、震源計算で使用している。

(3) マグニチュード (M)

地震の規模を示す指標である M は、昭和 10 年に米国のリヒターによって提唱された。中央気象台は昭和 26 年に発刊した地震月報において、地震の規模を有感半径に応じて、顕著、^{やや}稍顕著、小区域、局発と分類していた。昭和 28 年からは震度と震央距離の関係から A から E のランクに分類して地震の規模と対応させるようになり、昭和 32 年から観測点の最大振幅から計算される M を掲載するようになった。この M は 60km よりも浅い地震については変位最大振幅を用いた坪井の式を、それ以外の地震についてはグーテンベルクの式を経て、勝又の式を採用した。一方、小規模の地震では、変位を記録する地震計では地震波信号がノイズよりも小さくなるために最大振幅の観測ができない。このため、地面が動く速度を測る高感度な地震計の記録を用いて M を計算している。この速度記録から M を決定する式は、高感度な地震計が導入された 1970 年代に変位 M に整合するように決められた。これらは合わせて「気象庁マグニチュード」（以下「Mjma」という。）と呼ばれ、日本の標準的な M として利用されてきた。

1990 年代になって、気象庁の地震観測網の全面的な変更が行われるとともに、他機関のデータを一元的に処理するようになり、大量の地震のデータが蓄積されるようになった。その結果、Mjma について、①平成 5 年度末の津波地震早期検知網の整備により地震計及びその設置環境が一新されてから、変位 M が系統的にやや小さく決定されるようになったことに加え、②90km よりも深い地震については、速度 M の計算式がないため、速度 M の計算ができなかった。また、1970 年代に定められた速度 M の経験式については、非常に限られた当時のデータをもとに式が決められたため、細部において変位 M とのずれが生じること等が見出されていた。これらの課題について、平成 13 年 1 月から 4 月にかけて開催された「気象庁マグニチュード検討委員会」によって、①変位 M については、津波地震早期検知網以前の M と津波地震早期検知網以降の M との系統的な差を統計的に吸収することができるよう計算式を改良する、②速度 M については、防災科学技術研究所の Hi-net などのデータの蓄積を待って、変位 M と更に良く一致し、かつ、90km よりも深い地震に対しても適用可能な経験式を導入する、という対処方針が示された。

気象庁では、この方針に沿って Mjma の改善の検討を行った。まず、地震観測網の全面的な変更の影響を吸収し、過去との整合性を確保することができる変位 M の計算式を作成した。その過程で、平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震など、新しい観測網整備以降に発生し、社会的に注目度の高かった顕著な 17 の地震については、気象官署の震度計の波形データにより、変更前の観測網の地震計の特性や地盤の特性を再現することができたため、従来からの Mjma の計算式を用いて再計算し、上記委員会の検討結果とあわせ、平成 13 年 4 月に公表した。また、それまでに蓄積された全国の Hi-net などのデータに基づき、変位 M に対して整合性がある、なおかつ深い地震に対しても適用可能な速度 M の計算式を作成した。そして、平成 15 年 9 月から、新しい Mjma の計算式を導入した。新しい Mjma は、従来の Mjma と比較して、震源が浅く規模の大きな地震では、津波早期検知網整備以前の場合にはほとんど変化なく、整備以後の場合には 0.2 程度大きくなる。M2 程度の小さな地震では 0.5 程度小さくなるなどの特徴がある。

令和 2 年 9 月以降は海域観測点の活用にあわせ、S-net については速度センサーの 3 成分ごとの最大振幅を合成した値を従来の速度 M の計算式に適用し、設置条件にあわせた補正値を適用している。

なお、M を計算するためには、地震計の種類や設置環境、観測網の状況などに応じた様々な経験式が用いられているが、国際的に統一されたものはない。しかし、現在、物理的に地震の規模を示す M と考えられているのは、「モーメントマグニチュード (Mw)」である。これは、断層の面積と断層すべり量の積の対数に比例する量であり、Mjma が M8 前後から飽和するのに対し、Mw は飽和を起さないという点で利点がある。ただし、Mw を算出するには地震波全体を使った複雑な計算が必要なため、地震発生直後に行う地震の規模の推定には使えないこと、小規模な地震では計算することが困難なこと、更には、データの蓄積が最近 30 年間程度に限られるという欠点がある。Mjma は、地震発生後、比較的早く容易に求められることに加え、基本的に Mw と良く一致するという利点もあり、現在の地震活動と過去の地震活動との比較や、耐震工学的な基準を作る際のデータベースなどにも幅広く利用されている。気象庁では、地震の規模を表す代表値としては、Mjma を使用することを基本としているが、平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震のように、Mjma では地震の規模を適切に表せない場合等には Mw の値を代表値とする場合がある。

(4) 発震機構 (地震のメカニズム)

明治 31 年頃、大森房吉は地震の連続観測に成功し、近代的な地震の研究が進んでいくが、その中に地震波の初動を使って地震の原因を探る試みがあり、明治から昭和中期にかけては地震学の最先端の話題の一つであった。中央気象台及び気象庁においても、地震波の初動に関する初期の研究では重要な成果をあげている。発震機構、つまり地震発生の理論的背景に決着がついたのは昭和 35 年であった。P 波の初動極性 (押し引き) の分布から地震を起こした断層を推定する初動発震機構は、昭和 51 年 12 月の地震月報から、その 3 年前の昭和 48 年の 1 年分を掲載するようになり、平成 4 年から地震月報に各月分を掲載するようになった。

その後、津波地震早期検知網における広帯域地震計の導入に伴い、平成 6 年から地震波形全体を用いて、観測された地震の波形を最もよく説明する地震の位置と時刻、規模、及び発震機構を推定するセントロイド・モーメント・テンソル解 (以下「CMT 解」という。) を求める CMT 解析を試験的に導入した。平成 14 年 1 月から地震・火山月報 (カタログ編) に解析結果の掲載を始めた (平成 6 年 9 月以降の CMT 解を公表)。さらに、不均質なすべりの時空間分布を推定する震源過程解析は平成 21 年 9 月以降の大きな地震について解析を開始し、ホームページで公表している。

(5) 一元化处理

中央気象台、気象庁が作成してきた地震年報や地震月報というカタログは、日本の地震カタログとして使用されてきたが、地震予知計画によって微小地震の震源が決められるようになると、地震のカタログが気象庁や様々な研究機関で複数存在する状況となった。平成 9 年 10 月以降、気象庁では、気象庁や防災科学技術研究所、大学等の関係機関からの地震観測データを一元的に収集し、大・中・小地震ばかりでなく微小地震も含む地震について震源、M、発震機構など精密な解析処理を開始している (一元化处理の経緯については、同章第 2 節第 7 項第

2 目「地震調査研究推進本部」を参照)。

使用する観測点は当初、気象庁と大学及び防災科学技術研究所の観測網から開始され、平成 12 年 10 月からは防災科学技術研究所の Hi-net 観測点が本格的に加わり、令和 6 年時点では、国立研究開発法人防災科学技術研究所、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国土地理院、国立研究開発法人海洋研究開発機構、公益財団法人地震予知総合研究振興会、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、2016 年熊本地震合同観測グループのオンライン臨時観測点（河原、熊野座）、2022 年能登半島における合同地震観測グループによるオンライン臨時観測点（よしが浦温泉、飯田小学校）、米国大学間地震学研究連合（IRIS）の観測点（台北、玉峰、寧安橋、玉里、台東）のデータ、約 1,800 地点の地震観測点のデータを使用している。この一元化処理にともない、地震の検知能力、また震源決定精度は大きく向上し、内陸では M が 0 以下の小さな地震も数多く決定されることとなった。

また火山付近等の低周波地震に加えて、平成 11 年頃に発見された低周波地震（微動）に平成 11 年 9 月から低周波地震であることを示すフラグを付して地震カタログに記載している。

(6) カタログの品質管理

地震のカタログは年代ごとに精度や品質が均質なものではない。過去に公表された震源等については誤りの訂正が必要な部分がある他、その後のデータ処理方法の改善や資料の補足により精度を改善する余地が残されている。これら過去の資料を統一した基準で短期間に全面的に見直すことはその作業量から困難であることから、順次改定作業が進められている。

8. 松代地震観測所における観測

第二次世界大戦末期に長野県埴科郡西条村（現在の長野市松代町）に大本営の機能を移転する計画が立てられ（松代大本営）、昭和 20 年 8 月 15 日の終戦とともに未完成のまま工事が中断された。その松代大本営跡地の移管を受けて中央气象台松代分室（後の気象庁松代地震観測所）は、昭和 22 年 5 月に設置された（昭和 23 年 2 月に中央气象台松代地震観測所、昭和 24 年 6 月から地震観測所と改称された）。松代は本州の中央部に位置し、波浪ノイズの原因となる太平洋、日本海からも遠く離れ、また鉄道・自動車・工場などによる雑振動も少なく、地震・地殻変動など地球物理学的な様々な精密観測を行うには絶好の場所と考えられた。実際、その後、様々な地震計の比較観測、群発地震、遠地地震、地殻変動等の観測や研究が行われた。

松代地震観測所では昭和 24 年 5 月にウィーヘルト式地震計による地震観測を開始した。その年の 7 月には長周期電流計を用いた電磁光学記録式のガリッチン地震計の観測も開始した。これらは微弱な遠地地震の観測に効果を上げた。8 月からはシリカ傾斜計による傾斜観測を開始し、12 月には 100m の鉛管を用いた水管式傾斜計が設置され、観測を開始した。昭和 25 年 8 月には測器工場製の 1 トン長周期地震計の南北成分の、昭和 26 年 6 月には東西成分の観測を開始し、9 月には 51 型強震計による観測を開始した。昭和 28 年にはひずみ地震計の前身とも考えられるシリカ伸縮計を設置し、地盤伸縮の経年変化の連続観測を開始した。昭和 29 年には可変容量型の電磁式地震計による観測が加わり、昭和 30 年には短周期上下動地震計による観測を開始した。昭和 31 年からはウッドアンダーソン地震計が近地地

震の M を決める標準測器として観測に加わった。昭和 32 年 8 月には国際地球観測年（IGY: International Geophysical Year）に参加する一環としてベニオフ地震計（短周期成分約 10 万倍、長周期成分約 7,000 倍）を設置し、その後の観測でも重要な役割を果たした。昭和 36 年、52B 型強震計による観測を開始した。米国が提唱した世界標準地震観測網（WWSSN: World-Wide Standardized Seismograph Network）の設立により昭和 40 年 8 月にベニオフ短周期地震計（固有周期 1 秒）とプレスユースイング長周期地震計（固有周期 15 秒）から構成される世界標準地震計（WWSS）を設置し、国際協力観測点となった。さらに横穴式としては世界一の規模を持つひずみ地震計を設置し、地殻変動の連続観測及びひずみ地震波の観測を開始した。

その直後の昭和 40 年 8 月 3 日から松代群発地震が始まった。現地では地震研究所を中心とする各大学、気象庁、その他関係機関によって各種の観測、調査などが行われ、気象庁に事務局を置いた北信地域地殻活動情報連絡会も発足して、その成果は地震活動の推移の予測や各種の地震防災対策に役立てられた。一方、地震活動は日を増して活発になり、社会的に深刻な影響を及ぼし、昭和 42 年 2 月の事務次官会議において「松代地震センター」の設立が決定し、松代地震観測所構内に、関係機関からなる協議体として、後述する松代地震センターが開所された（本章第 2 節第 7 項第 3 目「松代地震センター」を参照）。この地震について、機械的に震度を測定する試みも行われた。

昭和 42 年には遠地地震に対する観測能力の強化を目的に、長周期磁気テープ式地震計を設置し、観測データの磁気テープによる収録や各種の解析処理が可能となった。昭和 45 年には大地震による津波災害を軽減するための震源の即時決定が気象庁の重要業務を担っていた。

昭和 50 年代には地震予知への関心が社会的にも大きくなり、昭和 55 年には第 4 次地震予知計画の一環としてひずみ地震計が、昭和 56 年には水管傾斜計が更新され、観測データをデジタル収録し計算機で処理するシステムとなり観測精度の向上が図られた。昭和 58 年には地震の検知能力の強化及び気象庁本庁の東海地震予知業務における非常時支援を目的として、新たに群列地震観測システム（詳細は、本部第 4 章第 1 節第 4 項「群列地震観測システム」を参照。）が整備、試験運用が開始され、翌 59 年度から本運用を開始し、地震の検知能力が大幅に向上した。昭和 63 年から平成元年にかけて 87 型電磁式強震計の運用、通報を開始した。以後、平成 7 年 4 月には組織改編のため、気象庁の施設等機関であった地震観測所は気象庁地震火山部地震津波監視課精密地震観測室となった。

一方、国際的にも優秀な観測所が数多く設立され、汎世界的に地震の分野での数多くの業務的な協力がなされる中、昭和 48 年に米国地質調査所（USGS）の委託により高感度長周期地震計（HGLP）が設置され、以降、マントル波を含めた長周期波動の高倍率観測が行われた。この地震計は昭和 52 年に改良型高感度長周期地震計（ASRO）に置き換えられ、昭和 63 年には世界標準地震計と改良型高感度長周期地震計との機能を併せ持つ広帯域地震計（STS-1）が設置され、国際地震観測網（GSN）の観測点 MAJO として地震波形を世界に提供することとなった。令和 5 年に、この STS-1 はボアホール型の STS-6 に更新された。

精密地震観測室では、平成 14 年には米国地質調査所が運営する LISS（Live Internet Seismic Server）から世界の地震観測網の地震波形データをインターネット経由で取得し、

世界各地の地震の震源と規模を迅速かつ高精度で決定する LISS システムを整備し、平成 17 年から北西太平洋津波情報センター（詳細は、本章第 3 節第 3 項第 2 目「北西太平洋津波情報センターの設立」を参照。）の支援業務を実施した。また、自然地震でない可能性のある震動波形の解析・判断に要する時間を短縮するため、平成 18 年度補正予算により平成 20 年 3 月にボアホール型の広帯域地震計を設置して観測を行った。

平成 26 年 4 月に気象庁地震火山部地震津波監視課松代地震観測所となり、平成 28 年 4 月には、EPOS 更新により、松代地震観測所の地震解析業務を気象庁本庁へ移管するとともに職員の出駐は終了し、長野地方気象台内に松代地震観測所連絡事務所を設置した。その後、松代地震観測所連絡事務所は、令和 6 年度から東京都港区（気象庁本庁）に移転した。

【第 2 節】地震津波防災情報と防災支援

1. 地震情報

（1）震源や震度に関する情報

地震が発生した際の揺れの大きさは、震源以上に国民の関心が高い。震度の観測は地震業務とともに始まったものであるが、長らくはカタログへの記載や津波予報への活用が主たる業務内容となっていた。昭和 28 年に震源、各地の震度を積極的に放送局へ提供するようになるが、体感で震度を観測していた頃は迅速性に限界があった。そのため、地震が発生した後に問い合わせに答える形での提供が主であった。大地震後は、津波予報中枢では、津波予報に係る作業（内陸の地震等で「ツナミナシ」の津波予報を発表する場合を含む）を優先し、その後に震度に関する情報を発表していた。そのため、特に津波警報等を発表する地震では、管内の震度について発表するまで 10 分以上、状況によっては 20 ～ 30 分程度を要する場合もあった。ただし地震発生から数分で、大きな地震があった事実や当該官署の震度を端的に発表することもあった。このほか、地震活動が活発な場合は余震回数を取りまとめて発表するなどしていた。1990 年代に計測震度計による震度の自動計測化とその集信が行われ、迅速な地震情報の発表を行うようになった。

気象審議会答申第 19 号「今後の地震・津波情報の高度化のあり方について」（平成 6 年 10 月）を踏まえ、平成 7 年 4 月から、地震発生後 2 分程度で、その観測地点を含む地域の名称を用いた「震度速報」の発表を開始した。また、先に述べたとおり、平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震における経験や教訓を踏まえ震度の計測化が行われ（本章第 1 節第 2 項第 1 目「強震観測と震度の計測化」を参照）、震度情報の速報化のために、震度観測網の構築に加えて、静止気象衛星「ひまわり」の通信回線を用いた震度データ収集の二重化が図られている。

平成 6 年度以前、震度の情報は、本庁、本庁以外の津波予報中枢、地方気象台等が、それぞれの管轄範囲の情報を発表することを基本としていた。平成 7 年 4 月の「震度速報」や「震源・震度に関する情報」の運用開始に当たっては、地方気象台等はこれらを発表せず、津波予報中枢が発表することとした（「震源・震度に関する情報」については本庁が全国分を発表）。「各地の震度に関する情報」は引き続き、本庁、本庁以外の津波予報中枢、地方気象台等が、それぞれの管轄範囲の情報を発表することとした。平成 21 年 3 月に津波予報等の 2 中枢化（本章第 1 節第 5 項「地震津波現業」を参照。）が図られると、「震度速報」や「震源・震度に関す

る情報」の発表作業も 2 中樞に集約され、気象庁本庁名で発表することとなった。

ア. 震度速報

国、地方公共団体、報道機関等における緊急の初動立ち上がりに寄与するため、地震発生から約 2 分後に震度 3 以上を観測した地域名（当時全国を 152 地域に区分。令和 6 年現在は 188 地域）と地震の揺れの検知時刻を「震度速報」として発表することとした。平成 21 年 10 月以降は、発表までの時間を短縮し、地震発生から約 1 分 30 秒後に発表している。

イ. 震源に関する情報

気象庁が津波警報（大津波、津波）又は津波注意報を発表しない場合であって震度 3 以上を観測した場合には、「津波の心配はない」ことなどを迅速にお知らせすることで、海浜等において揺れによる応急活動を速やかに取ることができる。そこで、平成 14 年 3 月より、「震源・震度に関する情報」よりも早く、地震発生から 3 分程度で、震源と津波による被害の心配がないことを伝える「震源に関する情報」を発表することとした（津波による被害の心配がないことを伝える津波予報については、本節第 4 項第 2 目「津波警報等に関する情報体系の変遷」を参照）。

ウ. 震源・震度情報

震度は被害発生推定の基準となり、国、地方公共団体等の機関における職員待機や職員参集の基準となっている。そのため地震時の初動対応用情報、災害応急対策用情報、状況を確認するための情報として、震度 1 以上を観測した場合には「震源・震度情報」を発表している。「震源・震度情報」では、震度 3 以上の地域名と市町村ごとの観測した震度等を発表する「震源・震度に関する情報」と震度 1 以上を観測した地点等を発表する「各地の震度に関する情報」を合わせて発表している。

（2）長周期地震動に関する情報

一般的に、地震の規模（M）が大きい地震ほど、長い周期の揺れが大きくなり、震源が浅い（地表面に近い）ほど、長周期地震動の主成分である表面波が卓越する。このため、震源が浅くて規模の大きな地震ほど長周期地震動が発生しやすくなる。また、長周期地震動は、短い周期の波に比べて減衰しにくく、遠くまで伝わるという性質がある。

平成 15 年（2003 年）十勝沖地震では苫小牧市の石油タンクで、スロッシングによりタンク設備が損傷して火災が発生した。また、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の際、震源から約 700km 離れた大阪市は震度 3 であったにもかかわらず、一部のビルの高層階では大きく長く揺れ続けたため、内装材や防火扉の破損、エレベーターの停止による閉じ込め事故が発生するなど、長周期地震動による被害が問題となった。このため、気象庁は平成 23 年度以降、有識者による検討会を開催し、長周期地震動に関する情報の提供について検討を進めてきた。大阪市の例のように、高層ビルにおける長周期地震動による揺れの大きさは、地表における震度では十分に表現できないため、「長周期地震動階級」という 4 つの階級を持つ別の指標で表すこととし、平成 25 年 3 月から、観測された長周期地震動階級などを気象庁ホームページで試行的に提供するとともに、防災科学技術研究所と共同で、平成 29 年から長周期地震動の予測情報を提供する実証実験を行った。その後、平成 31 年 3 月、「長周期地震動に関する観測情報」の本運用を開始し、観測された長周期地震動階級等の情報を気象庁ホームページで

提供するようになった。さらに、令和 5 年 2 月からはオンラインによる配信を開始し、情報提供の迅速化を図った。

また、高層ビルや免震建物の増加、長周期地震動階級の予測技術の実用化を受けて、平成 29 年 3 月に「長周期地震動に関する情報検討会」は、長周期地震動に関する警戒・注意を広く国民に呼びかける予測情報を気象庁が担う必要があること、安全な場所で揺れに備えるという行動は長周期地震動でも緊急地震速報と同じであることなどを報告した。これを受けて、令和 5 年 2 月、緊急地震速報の発表基準に長周期地震動階級を加える形で、予想される長周期地震動に関する予測情報の提供を開始した。

(3) 推計震度分布図

平成 16 年 3 月、気象庁は、内閣府と共同で、震度 5 弱以上の強い揺れが観測された地震が発生した場合に、震度が面的に表示される「推計震度分布図」の提供を開始した。推計震度分布図は、平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震を受けて、気象庁と国土庁防災局（後の内閣府）において、震度の広がりや速やかに把握するための技術開発として続けられてきたものである。

地表で観測される震度は、軟弱な地盤では揺れが大きくなり、固い地盤では揺れが小さくなる傾向があるなど、地盤の影響を大きく受ける。「推計震度分布図」は、震度計で観測された震度をもとに、地表付近の揺れの増幅を表す指標（地盤増幅度）を用いて、約 1km メッシュ（平成 16 年の提供開始当時）で震度を推計する。推計震度分布図には、震度 5 弱以上の震度分布に加え、参考のため、その周辺の震度 4 の分布も含めて表示されている。それまでのように、震度計の置かれた観測点の震度だけでなく、震度計のない場所の震度についても、推計された揺れの大きさが面的な図として表現されている。これにより、地震に伴う強い揺れの広がりが迅速かつ的確に捉えられるため、防災機関の応急対策に効果的に役立つことが期待された。推計震度分布図は、地震発生後約 1 時間を目途に、都道府県等の関係防災機関に提供されるとともに、気象庁ホームページに掲載され、気象庁が行う緊急の報道発表においても解説することとした。

令和 5 年 2 月、高解像度化・高精度化した推計震度分布図（250m メッシュ）の提供を開始した。使用する地盤情報を 1km メッシュから 250m メッシュに変更して高解像度化したほか、緊急地震速報の震度予測技術を用いることにより、停電等で震度データが入手できない観測点があつた場合でも、高精度の推計震度分布図を作成し、地震発生後 15 分を目途に、地方公共団体等関係防災機関に提供するとともに、気象庁ホームページに掲載している。

(4) 伊豆東部の地震活動の見通しに関する情報

伊豆半島東部の伊東市の沿岸から沖合にかけての領域では、1980～90 年代には毎年のように群発的な地震活動が繰り返し発生していた。この群発的な地震活動域は伊東市の市街地に近く、M5 クラスの地震が発生すると伊東市を中心として震度 5 弱程度の強い揺れに見舞われ、被害を伴うことが考えられる。地震・地殻変動観測データや研究成果が多く得られており予測的な評価が可能と考えられたことから、平成 21 年から地震調査研究推進本部地震調査委員会（以下「地震調査委員会」という。）において評価手法の検討・取りまとめが行われた。具体的には、群発的な地震活動の原因は地下のマグマ活動であるとの考えに基づき、体積ひずみ計で観測されたひずみ変化量から総マグマ貫入量を推定し、総マグマ貫入量等と地震活動の相関関

係から地震活動の見通し（最大規模、回数、活動期間）を予測するというものである。一方、この情報は、活火山に位置付けられた伊豆東部火山群の領域を対象としたものであり、静岡県で群発地震活動及び噴火に対する防災対応を検討する必要もあったため、平成 21 年 1 月、気象庁等の関係機関も参加した「伊豆東部火山群の火山防災対策検討会」を設置して検討を行った。この検討会において、気象庁が発表する情報と具体的な防災対応等について検討が進められ、平成 23 年 2 月の第 4 回の検討会で、気象庁が発表する「地震活動の予測情報」及び「噴火警戒レベル」と、それに対する避難行動等の防災対応について、委員の意見が取りまとめられた。このことから、気象庁では、伊豆東部火山群における「伊豆東部の地震活動の見通しに関する情報」及び「噴火警戒レベルを付した噴火警報」を平成 23 年 3 月から運用することとした。

（5）大地震後の地震活動の見通し

大きな地震が発生した場合、そのほとんどが余震を伴う。総理府が平成 7 年 9 月から 10 月に実施した地震に関する世論調査では、多くの住民が地震発生直後に余震の見通しを知りたいことが明らかになった。そこで、地震調査委員会は、本震－余震型の活動における余震について確率的な表現を用いた評価が可能との考えから、平成 10 年 4 月に「余震の確率評価手法について」として検討結果を取りまとめた。気象庁はこれに基づき、平成 10 年 9 月の岩手県内陸北部の地震以降、大地震後の防災上の呼びかけで余震確率を用いた注意喚起を適宜行ってきた。しかし、平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震では、報道関係者や防災関係者から、「確率の大小と防災対応の関係が不明確で発表された数値をどう受け取って良いかわからない」「何日以内にマグニチュードいくつ以上の地震が発生する確率は何%という表現がわかりにくい」等の意見が寄せられたほか、M6.8 の本震をはじめとして、M5～6 クラスの余震が活動開始の 1 週間で複数発生し、余震確率が激しく上下したことなどが課題となった。このことから、気象庁では余震確率の発表方法の検討を行い、情報の受け手側がどう行動したらよいかがわかるような定性的な表現を用いて記述する、可能な限り M ではなく震度で説明する、余震発生確率の発表頻度や発表終了時期を見直すなどの改善を平成 17 年 2 月に行った。

また、平成 28 年（2016 年）熊本地震において、最初の大きな地震（M6.5）を本震とみなし余震確率を発表したが、翌々日にはより大きな地震（M7.3）が発生したため、①上述の報告書の手法における本震－余震型の判定条件が妥当でなくなったこと、②「余震」という言葉が、先に発生した地震に比べてより強い揺れは生じないと受け取られた可能性があること、③余震確率値が、通常生活の感覚からするとかなり低い確率であり、安心情報と受け取られた可能性があること、などの課題が明らかになったことを受け、平成 28 年 8 月に地震調査委員会から「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」報告書が公表された。報告書で示された新たな防災上の呼びかけでは、地震発生直後においては過去事例や地域特性に基づき、地震発生から 1 週間程度は最初の地震と同程度の地震への注意の呼びかけを基本とし、特に地震発生から 2～3 日程度は大地震が引き続き発生しやすいことや、続発事例がある地域ではより大きな地震の発生もありうるなどの地域特性に応じた注意喚起を付加することとした。周辺に活断層等があれば、地震調査委員会の長期評価結果に基づいてその存在について留意を呼びかけることとなった。また、1 週間程度経過後からは、これに加えて余震確率に基づいた数値

の見通しを地震発生当初や平常時との比較（余震確率の倍率）で示すこととされた。前述の報告書を踏まえて、気象庁では、大地震が発生した場合には、地震発生の約1～2時間後から、地震活動の見通しや防災上注意すべきこと等を発表することとしている。これに基づき、例えば令和6年能登半島地震の1月1日のM7.6の地震においては、発生2時間後の報道発表から今後の地震活動の見通しや防災上の留意事項を呼びかけた。発生1週間後の報道発表からは地震発生確率について地震発生当初との比較や平常時との比較も加え、おおむね1週間ごとに発表した。

（6）遠地地震の地震情報発表の迅速化及び充実化

昭和30年代頃以降、環太平洋地域などで発生する大地震について、地震の震源や規模、日本への津波の影響の有無（調査中である場合はその旨）等を、必要に応じ、地震情報として発表していた。震源や規模（M）は、日本の地震観測データとデータ交換により入手していた数少ない海外の観測点のデータだけでは、正確に決定できないこともあり、米国津波警報センターや米国地質調査所等の各国関係機関の情報に頼ることも多かった。

その後、インターネットの発達に伴い、精密地震観測室における海外の地震の観測体制の充実、米国大学間地震学研究連合（IRIS）の地震観測データの国際的な流通等が進み、気象庁が震源や規模を迅速に推定できるようになった。ただこの情報は国内で発生する地震や津波の情報と異なり、高い迅速性を求められることがなく、地震発生から情報発表までの時間は、平成時代初期においても、2時間程度を要していた。平成16年12月のスマトラ島北部西方沖の地震による津波被害を受けて、国外の地震についても、その発生の事実等を速やかに公表することが求められたこと及び平成17年3月から北西太平洋沿岸諸国に対する「北西太平洋津波情報」の提供を開始したことから、同月、「遠地地震の地震情報」の運用を変更した。具体的な変更内容は、①大きな地震が発生した事実を速やかに報じるため、地震発生からおおむね30分以内を目途として第1報を発表すること、②「遠地地震の地震情報」の付加文の中に、従来からの日本への津波の影響に関する記述に加え、国外への津波の影響に関する記述もあわせて発表すること、③国外において、津波が観測されたことが分かった場合は、その内容を続報で発表すること、である。「遠地地震の地震情報」は、平成18年頃からは「遠地地震に関する情報」と呼称している。

（7）海外における火山の大規模噴火が発生した際の情報

令和4年1月に南太平洋のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山（トンガ諸島）で大規模な噴火が発生した。この噴火に伴う気圧波により、日本各地で潮位変化が観測され、船舶の転覆・沈没などの被害があった。地震に伴う通常の津波とは異なる現象であったものの、当日は、津波警報の枠組みを利用して潮位変化に対する注意・警戒を呼びかけた。この一連の対応で見られた課題について、「火山噴火等による潮位変化に関する情報のあり方検討会」を開催し、潮位変化のメカニズム等の分析とともに、情報発信のあり方について検討した。

検討の結果、気象庁では、（海外の）火山噴火等により津波発生の可能性がある場合は、「遠地地震に関する情報」の枠組みを利用してお知らせするとともに、必要に応じ津波警報等を発表し、警戒・注意を呼びかけることとした。

2. 緊急地震速報

明治 13 年に日本地震学会（第一期）が創設された際に、ジョン・ミルンは、津波や地震動よりも速く伝わる電信によってこれらをいち早く報知すること（現在の津波予報や緊急地震速報に相当）が実現すれば、人類を地震の災禍から救うことができると演説した。その後、津波予報に関しては昭和初期からその実現への取組が始まったが、緊急地震速報については繰り返しいアイデアは出たものの、地震波の伝播速度が相対的に速いことに加え、地震波とノイズとの瞬間的な判別の困難さから実現にはなかなか結び付かなかった。その後、様々な技術開発により、平成 19 年から緊急地震速報の発表を開始した。これはミルンが演説で語ったことの実現であったとともに、これまでの地震現象の結果に関する情報提供に対し、断層のずれが時々刻々成長する様子と、そこから予測される揺れの予報をリアルタイムで提供できるようになったことを象徴するものであった。

（1）試験運用開始まで

我が国では昭和 40 年に「地震予知研究計画」が始められ、この計画に基づき大学や研究機関、気象庁において地震観測の高感度化、隔測化が競って進められた。その後、1970 年代から 1990 年代にかけてコンピュータの小型化や通信の高速化、これらの廉価化が進んだことで、地震波形の伝送や処理のデジタル化、地震の震源や規模（M）決定処理のシステム化・自動化に関する研究開発が進んだ。これらの研究開発は、緊急地震速報の実現を直接の目的としたものではないが、その基礎となる科学技術を数多く生み出した。

地震計のデータが一か所にオンラインリアルタイムに収集され、震源や M の決定ができるようになった平成 4 年頃から、気象庁では日本気象協会、三菱総合研究所とともに、後年緊急地震速報となるナウキャスト地震情報の構想を模索し始めた。当時、先行していた新幹線で実用化されたユレダスの技術は、特許問題も絡んで共同事業として進まなかった。平成 7 年頃になると米国でもリアルタイム地震学の提唱がなされたり、平成 10 年からは土木学会でもリアルタイム地震防災研究小委員会の調査がなされたりするなど、ナウキャスト地震情報の実現に向けた機運が醸成され始めた。気象庁は、平成 11 年度から平成 15 年度までナウキャスト地震情報の実用化のための調査を続けた。

その中で、平成 12 年度から気象庁と鉄道総合技術研究所との共同研究を開始し、ナウキャスト地震情報の基礎になる解析技術の開発を行った。その結果、地震波の最初の数秒間のデータから震央位置を迅速に推定する手法を開発し、この手法を実装した地震計を、平成 15 年に東南海、南海地域を中心に九州東岸から関東地方の 80 か所に設置し、平成 17 年度にかけて全国に展開した。また、平成 15 年からは防災科学技術研究所と気象庁等が新たに「高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト」を実施し、防災科学技術研究所が運用する Hi-net の観測データやリアルタイム地震情報の処理手法もあわせて用いるようにするなど準備を進め、平成 16 年 2 月からナウキャスト地震情報の試験提供を開始した。この時、新しい情報の名前を緊急地震速報と定め、試験提供の範囲は平成 18 年 3 月までに全国に拡大した。

（2）先行的な提供と一般運用の開始

地震の揺れを感じる前に情報を提供する新たな試みは、社会には容易に理解されないことが予想された。そこで、学識経験者や関係機関からなる「緊急地震速報の本運用開始に係る検討

会」を平成 17 年 11 月から開催し、また二度にわたって国民にも直接意見を求め、一般利用者に対する緊急地震速報の発表基準や情報内容、提供方法、利用の心得、普及・広報の方策等を検討し、平成 19 年 3 月に「緊急地震速報の利用に当たっての心得」等を盛り込んだ報告書を取りまとめた。この中で、広く一般に提供する緊急地震速報は、最大震度 5 弱以上が推定された場合に震度 4 以上が推定される地域に発表することなどが整理された。報告書の取りまとめに先立つ平成 18 年 8 月、強く揺れる前に予測情報が入手できる利点と、揺れの予測には誤差があることや震源付近では強い揺れに情報受信が間に合わないという緊急地震速報の性質を理解した特定利用者に対して、先行的な提供を開始した。全国の気象台においても、地方自治体に加え、各地の商工会議所や集客施設等を運営する機関等に直接説明を行うなど、周知・広報に取り組んだ。しかし、平成 19 年 3 月時点でなお国民に広く浸透するには至っていなかったことから同月に内閣府において緊急地震速報の周知・広報及び利活用推進関係省庁連絡会議を設け、気象庁にとどまらず政府一体となった集中的な周知啓発を行った。この間、平成 18 年 12 月には緊急地震速報の伝達手段や利活用方策等について情報交換する緊急地震速報利用者協議会が設立された。

平成 19 年 6 月の中央防災会議において緊急地震速報の一般への提供開始が同年 10 月と決まり、同月から一般向けの提供を開始した。運用開始当初から、NHK 及び民放による放送や J アラートによる伝達が行なわれ、同年 12 月以降順次、携帯電話向けの緊急速報メールでの伝達を開始された。運用開始時点では気象業務法第 11 条に基づく情報の扱いであったが、気象庁以外の機関からも整合の取れない複数の類似情報が出されることによる混乱が懸念されたことから、同年 12 月に気象業務法を改正し、一般向けの緊急地震速報を地震動警報に、特定利用者向けの緊急地震速報を地震動予報に位置付け、あわせて気象庁以外の者による地震動警報の禁止及び地震動予報業務の許可制度を設けた。

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の際には、気象庁は地震波検出の 5.4 秒後に緊急地震速報（予報）第一報を、同 8.6 秒後に岩手県と宮城県、及び福島県、山形県、秋田県の一部に対して緊急地震速報（警報）を発表し、およそ所定の機能は発揮できた。緊急地震速報によって身の安全を図った事例や列車等の制御を行った事例が数多く見られたことに加え、主に東日本では緊急地震速報の受信後に強い揺れが来る実体験をした人が非常に多く、誤差や誤報の相場観も含めて緊急地震速報に関する理解は急速に広まった。一方、本震時に関東地方に対して警報を発表できなかったこと、また地震後に発生した通信回線の途絶や活発な地震活動によって震度を過大に予測するなど緊急地震速報（警報）が適切に発表できない事例が多数発生したこと、といった課題が明らかになった。

（3）巨大地震及び活発な地震活動に対する対策やその後の技術開発

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震で直面した巨大地震、及び活発な地震活動による揺れの予測精度低下という課題に対して、緊急地震速報はその後、更なる技術改善が進められた。例えば、地震波の検知時刻ばかりではなく、振幅等の情報も加味することで、時空間的に近接して発生する複数の地震に対して、従来より精度よく震源推定が可能な IPF（Integrated Particle Filter）法を平成 28 年に導入し、さらに令和 5 年には震源推定手法を IPF 法に一本化することで過大予測の改善を行った。また、震源や M を推定してから揺れを

予測する従来の手法に加え、震源や M の推定を行うことなく、地震計で観測された揺れの強さから周辺の揺れを直接予想することで、広い震源域を持つ巨大地震であっても精度よく震度を予想することができる PLUM (Propagation of Local Undamped Motion) 法を平成 30 年に導入した。

さらに、震源により近い観測点で地震波を検知し、情報発表の更なる迅速化を図るために、平成 27 年 3 月から防災科学技術研究所が運用する大深度の KiK-net 及び紀伊半島沖の海域の DONET の地震観測データ、令和元年 6 月からは日本海溝・千島海沿いの海域の S-net のデータの利活用をそれぞれ開始した。加えて、令和 5 年 2 月には長周期地震動による被害を軽減するため、予想される長周期地震動に関する予測情報を緊急地震速報の発表基準に追加した。

(4) 誤報の防止

人の判断によって不適切な情報の発信を抑止できないという緊急地震速報の特性から、意図しない誤報への対策は運用開始当初から取っている。例えば、様々な手法を用いてノイズデータの除去を行っているが、1 観測点のみのデータを使っている段階では、除去しきれないノイズのために、落雷等を地震と誤認して情報を発信する可能性がある。このような場合を想定し、発表した緊急地震速報をキャンセルする仕組みを取り入れるとともに、一般向けの緊急地震速報（警報）では 2 観測点以上のデータに基づくこととしている。

平成 21 年 8 月、震度計機能についてのシステム改修作業により生じた不具合を原因として、地震観測点から異常な観測値が送信されたことによって、緊急地震速報の誤報を発表した。平成 25 年 8 月には海底地震計のデータのノイズ処理の不具合により、過大な震度を予想した緊急地震速報を発表した。こうした事例を受け、システム全体の動作確認の徹底や十分な試験運用、ノイズ除去等の一層の対策を進め、信頼性を向上させている。

3. 大規模地震対策

昭和 37 年に「ブループリント」が公表され、昭和 40 年に地震予知研究計画（後に第 1 次地震予知計画と呼ばれる）が、昭和 44 年に研究の文字が抜けた地震予知計画（第 2 次地震予知計画）が実施に移され、地震予知に対する機運が高まった（地震予知計画については、同節第 7 項第 1 目「地震予知・火山噴火予知研究計画と科学技術・学術審議会測地学分科会」を参照）。昭和 44 年には地震予知連絡会（事務局：国土地理院）が設置され、第 5 回地震予知連絡会において東海沖地震の可能性が指摘された。昭和 54 年 8 月から気象庁長官の諮問機関として「地震防災対策強化地域判定会」（以下「判定会」という。）が発足した。東海地域の観測データの常時監視、判定会の招集・開催、判定結果に基づく地震予知情報の内閣総理大臣への報告などの業務が気象庁により法的な位置付けをもって行われることとなり、「東海地震に関連する情報」として発表することとしてきた。

その後、中央防災会議防災対策推進検討会議の下で南海トラフにおいて、科学的に想定される最大規模（M9 クラス）の地震の検討が行われ、それを基に南海トラフ巨大地震への対策が進められることとなった。平成 29 年度には、現在の科学的知見では、南海トラフで発生する大規模地震には多様性があり、現行の地震防災応急対策が前提としている確度の高い地震の予測はできない一方で、地震発生の可能性が相対的に高まっていることは評価可能であると取り

まとめられ、その後、具体的な防災対応が整理された。これら防災対応が国で示す基本計画（南海トラフ地震防災対策推進基本計画）に位置付けられた令和元年5月から、「南海トラフ地震に関連する情報」を「南海トラフ地震臨時情報」と「南海トラフ地震関連解説情報」として発表することとした。

また、日本海溝及び千島海溝沿いの領域においても、令和4年3月に大規模地震の発生時期や場所・規模を確度高く予測することは困難であるものの、日本海溝・千島海溝沿いにおける巨大地震の想定震源域及びその周辺でMw7.0以上の地震が発生した場合には、後発の巨大地震への注意を促す情報発信が必要であるとの提言がなされた。この提言を受けて、気象庁は北海道の根室沖から東北地方の三陸沖の巨大地震の想定震源域やその周辺でMw7.0以上の地震が発生した際に、後発地震の発生可能性が平常時より相対的に高まっているとして「北海道・三陸沖後発地震注意情報」を令和4年12月から発表することとした。

（1）東海地震に関連する情報

「東海地震」は、駿河湾から静岡県の内陸部を想定震源域とするM8クラスの大規模地震である。昭和48年には地震空白域や地殻変動の進行から地震発生が危惧されていた根室半島沖でM7.4の地震が発生し、長期予知の成果であると大きな話題を呼んだ。プレートテクトニクス説が社会的に徐々に受容されるとともに、昭和50年2月の中国における海城地震の直前予知の成功があるなか、昭和51年の地震学会秋季大会における「東海地震」説がきっかけとなって東海地域判定会が設置されるなど短期的地震予知体制がスタートした。昭和53年に制定された大規模地震対策特別措置法及び同法による地震防災対策強化地域の指定に対応するため、気象庁は昭和54年に判定会を発足させるとともに、東海地域の観測データの常時監視、判定会の招集・開催、判定結果に基づく地震予知情報の内閣総理大臣への報告などの業務を気象庁が法的な位置付けをもって行うこととなった。

気象庁長官から内閣総理大臣へ報告する地震予知情報を、一般及び関係機関の利用に供するため、そして、地震予知情報の報告を受けて地震防災応急対策を実施する緊急の必要があると認める場合に内閣総理大臣から発せられる警戒宣言後の地震・地殻活動の状況や推移等を知らせるため、地震予知情報に係る技術的事項の解説や警戒宣言後の地震・地殻活動の状況等の観測成果を「大規模地震関連情報」として発表することとした。また、関係機関等の防災対応に資するため、判定会が招集された事実とその時刻、招集に至った異常現象の状況を関係機関等に連絡する「判定会招集連絡報」を関係機関、気象官署及び報道機関に通報することとした。平成9年2月26日には藤枝市花倉に設置したひずみ計に昼過ぎに基準値以上の伸びの変化が見られ、機器の故障も含めて検討し現地に職員を派遣しつつ、地震の前兆現象である可能性も考慮し同日18時に記者会見を実施した。現地調査により同日18時30分過ぎには機器障害によるものと判明した。

その後、平成10年4月に判定会招集要請基準の改定を行い、地殻変動の異常判定レベルをそれまでの約10分の1に引き下げ、より小さなレベルの変動まで監視を行うこととし、また、地震活動に関する基準は削除した。地震活動に関する基準は削除したが、様々な発現様式を念頭に置いたうえでの地震活動の監視が必要であることを意味するものであり、速やかに実施する震源計算結果に基づき、地震の規模（M）や発生の時空間パターン等に着目した異常監視を

行っていた。平成 10 年 12 月からは、観測データに何らかの変化が現れたときに観測事実とその評価等の結果を、解説情報、観測情報に区分した「東海地域の地震・地殻活動に関する情報」として発表することにした。

平成 16 年 1 月からは、平成 15 年に中央防災会議が取りまとめた「東海地震対策大綱」を踏まえ、近年の科学的な知見により、前兆すべりによる変化に沿った現象が観測されている場合には、警戒宣言よりもある程度前に今後の推移について説明可能な段階が設定できると考えられたことから、①東海地震予知情報：東海地震の発生のおそれがあると認められ、警戒宣言が発せられた場合に発表する情報（従前の大規模地震関連情報に対応）、②東海地震注意情報：観測された現象が東海地震の前兆現象である可能性が高まったと認められた場合に発表する情報（従前の観測情報のうち、前兆現象の可能性が高まった場合に発表するものに対応）、③東海地震観測情報：観測された現象が東海地震の前兆現象であると直ちに判断できない場合や発生した地震が東海地震に直ちに結びつくものではないと判断した場合に発表する情報（従前の解説情報及び観測情報の低レベルのものに対応）の 3 段階の情報体系に改めた。これにより、判定会招集連絡報で知らせることとしていた判定会の開催については、東海地震注意情報で知らせることになった。平成 21 年 8 月に駿河湾で発生した地震（M6.5）により地震防災対策強化地域判定会委員打ち合わせ会を開催して想定される東海地震との関連性の検討を行い、東海地震観測情報により想定される東海地震に結び付くものではないと判断した旨の発表を行った。

平成 21 年 8 月に初めて発表した「東海地震観測情報」について、静岡県内の自主防災組織にかかわる人々を対象に実施したアンケートでは「東海地震が発生（を観測）したときの情報と思った」、「観測された現象と東海地震との関連性について調査中である内容の情報とは思わなかった」との意見も少なくなく、情報に対する理解度や分かりやすさ等についての問題が明らかとなった。このため大学関係者、報道関係者及び行政関係者からなる「東海地震に関する情報の理解促進のための検討会」を開催して東海地震に関する知識や関連する情報の理解促進を図るための具体的な方策を検討し、平成 23 年 3 月からは、「東海地震観測情報」を「東海地震に関連する調査情報（臨時）」に名称変更するとともに、毎月開催している定例の判定会の調査結果を「東海地震に関連する調査情報（定例）」として発表し、各情報の危険度に応じて、赤・黄・青のカラーレベルを情報文に示すことにした。さらに、臨時の判定会の開催については、東海地震に関連する調査情報（臨時）で知らせることになった。平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の発生を受け、短期的地震予知の可能性とそれに基づく一部の地震防災対策に対する検討が行われ、東海地震のみを対象とする、地震予知体制の見直しが行われることとなった。その後、平成 29 年 11 月から東海地震の想定震源域を含む南海トラフ全域で地震発生の可能性を評価した結果をお知らせする「南海トラフ地震に関連する情報」（後述）の運用を開始するに伴い、東海地震のみに着目した「東海地震に関連する情報」の発表は行われなくなった。

（2）南海トラフ地震に関連する情報

平成 28 年 6 月、駿河湾から日向灘沖にかけてのプレート境界を震源域としておおむね 100 ～ 150 年間隔で繰り返し発生してきた大規模地震である「南海トラフ地震」について、前回（昭

和東南海地震（昭和 19 年）及び昭和南海地震（昭和 21 年）の発生から 70 年以上が経過し、次の南海トラフ地震発生の切迫性が高まってきたことから、南海トラフ地震が発生した際に想定される被害を少しでも軽減する観点で、中央防災会議防災対策実行会議の下に「南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ」（以下この項において「ワーキンググループ」という。）が設置され、地震発生予測の現状を踏まえた防災対応の検討が開始された。

ワーキンググループの下に「南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会」（以下「調査部会」という。）が設置され、現行の地震防災応急対策が前提としている確度の高い地震の予測はできない一方で、地震発生の可能性が相対的に高まっていることは評価可能であると取りまとめられた。調査部会が平成 29 年 8 月に公表した報告を受けて、平成 29 年 9 月に公表されたワーキンググループの報告で、南海トラフ地震の予測可能性の現状を踏まえた防災対応のあり方について、気象庁に、迅速に対応できる学識経験者による評価体制の整備が必要であることや、地震発生予測の現状を踏まえた新たな防災対応の検討を計画的に着実に実施する必要があること、などの指摘があった。また、この防災対応が決まるまでの間にも南海トラフ沿いで異常な現象が観測される可能性があるため、当面の暫定的な防災体制を国・地方公共団体はあらかじめ定める必要があるとの提言があった。

以上を踏まえ、気象庁では、新たな防災対応が定められるまでの当面の対応として、平成 29 年 11 月から「南海トラフ地震に関連する情報」の発表をすることとし、南海トラフ全域を対象として地震発生の可能性を評価するに当たって、「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」を開催することとした。南海トラフ全域の地震活動や東海地域とその周辺の地殻変動の観測データを監視し、異常な現象を観測した場合や地震発生の可能性が相対的に高まっていると評価した場合等に「南海トラフ地震に関連する情報（臨時）」の発表を行い、定例会合において評価した調査結果を発表する場合には「南海トラフ地震に関連する情報（定例）」の発表を行うこととした。

その後、平成 30 年 12 月に中央防災会議の有識者会議において「南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について」が取りまとめられ、平成 31 年 3 月には、内閣府が「南海トラフ地震の多様な発生形態に備えた防災対応検討ガイドライン（第 1 版）」を公表し、防災対応をとるべき 3 つのケース（「半割れ（大規模地震）/被害甚大ケース」、「一部割れ（前震可能性地震）/被害限定ケース」、「ゆっくりすべり/被害なしケース」）ごとの具体的な防災対応が整理された。例えば、最初の地震発生後、最も警戒した防災行動を実施する期間は、科学的知見からではなく避難等の継続期間に対する社会的な受忍限度をもとに 1 週間と定められ、ゆっくりすべりのケースの場合には変化していた期間とおおむね同程度の期間と定められた。また、対象となる地域は、南海トラフ地震防災対策推進地域である。

気象庁では、これら防災対応が国で示す基本計画（南海トラフ地震防災対策推進基本計画）に位置付けられた令和元年 5 月から、「南海トラフ地震に関連する情報」を「南海トラフ地震臨時情報」と「南海トラフ地震関連解説情報」として発表することとした。また、「南海トラフ地震臨時情報」では、情報の受け手が防災対応をイメージし、適切に実施できるよう防災対応等を示すキーワード（（調査中）、（巨大地震警戒）、（巨大地震注意）、（調査終了））を情報名

に付記して発表することとした。令和 6 年 8 月に日向灘で発生した地震（M7.1）により南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会を臨時に開催し、この地震と南海トラフ地震との関連性について検討を行った。南海トラフ地震の想定震源域内における陸のプレートとフィリピン海プレートの境界の一部がずれ動いたことにより発生した Mw7.0 の地震と評価したため、「南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）」の発表を行い、その後の推移等について「南海トラフ地震関連解説情報」の発表を行った。運用開始後初めて「南海トラフ地震臨時情報」を発表したことにより認知度は以前より高まったと思われるものの、この情報の制度そのものに対する理解度は十分ではないため、関係機関とも連携して普及啓発の取組を続けている。

（3）北海道・三陸沖後発地震注意情報

日本列島の下には太平洋プレートが沈み込み、その沈み込み口では深い海溝を形成している。房総沖から青森県東方沖の海溝は日本海溝と呼ばれ、十勝沖から択捉島沖及びそれより東の海溝は千島海溝と呼ばれている。「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震」とは、房総半島の東方沖から三陸海岸の東方沖を経て択捉島の東方沖までの日本海溝及び千島海溝沿いの領域で発生する大規模な地震のことを指す。この日本海溝及び千島海溝沿いの領域では、M7～9 クラスの大小様々な規模の地震が多数発生しており、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震では死者・行方不明者が 2 万人を超えるなど、主に津波により甚大な被害が発生した。また、それ以前にも、明治 29 年（1896 年）の明治三陸地震や 869 年の貞観地震など、巨大な津波を伴う地震が繰り返し発生している。

中央防災会議において、日本海溝・千島海溝で想定すべき最大クラスの地震・津波の検討が進んだことから、これに対する被害想定、防災対策の検討を行うために、令和 2 年 4 月、「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ」が設置され、日本海溝・千島海溝沿いの地震における防災対応に資する情報発信の必要性が検討された。令和 4 年 3 月に、大規模地震の発生時期や場所・規模を確度高く予測することは困難であるものの、日本海溝・千島海溝沿いにおける巨大地震の想定震源域及びその周辺で Mw7.0 以上の地震が発生した場合には、後発の巨大地震への注意を促す情報発信が必要であるとの提言がなされた。

この提言を受けて、同年 9 月の中央防災会議において、国の日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進基本計画が変更され、気象庁は北海道の根室沖から東北地方の三陸沖の巨大地震の想定震源域やその周辺で Mw7.0 以上の地震が発生し、大規模地震の発生可能性が平常時より相対的に高まっている際に、「北海道・三陸沖後発地震注意情報」を発表することとし、令和 4 年 7 月に設置された「日本海溝・千島海溝沿いの後発地震への注意を促す情報発信に関する検討会」において、情報の内容や防災対応の呼びかけ、情報の周知・広報等について検討した上で、令和 4 年 12 月からこの情報の運用を開始した。この情報に対する認知度は低いため、関係機関とも連携して認知度向上に向けた取組を続けている。

4. 津波予報・情報

（1）津波予報業務体制の変遷

我が国における津波警報体制は、その前身となる三陸津波警報組織の発足に端を発する。明治三陸地震及び昭和三陸地震による津波の経験は、組織的な津波警報や避難体制の必要性を認

識させ、三陸沿岸を所管する気象官署（青森、八戸、盛岡、宮古、仙台、石巻、福島及び小名浜）では、仙台地方気象台が中心になって、昭和 14 ～ 15 年頃から気象官署における津波警報の実施に向けた検討を重ねた。そして、昭和 16 年 9 月、津波の判定方法、警報の種類、及び伝達の要領などで構成される「津波対策に関する件決定条項」を定め、三陸沿岸に対する津波予報を実施するための組織「三陸津波警報組織」が発足した。これが、我が国における津波警報体制の始まりである。昭和 21 年 4 月には中央気象台も参加し、三陸津波警報組織は 9 気象官署による体制となった。

昭和 24 年には、連合国最高司令官から日本政府宛てに津波警報組織を確立すること等を要求する覚書が出され、これを受けて中央災害救助対策協議会事務局（中央防災会議の前身）を中心とする検討が進められた。同年 12 月に日本国政府は「津波予報伝達総合計画」を閣議了承し、ここに全国的な津波警報体制が確立され、全国を 15 ブロックに区分けした津波予報業務が開始された。また、昭和 27 年 4 月には「気象官署津波業務規程」が制定されるとともに、同年 12 月には気象業務法が施行され、津波警報体制が法律上も明確なものとなった。さらに、昭和 35 年のチリ地震では、日本への津波来襲後に津波予報を発表し甚大な被害が発生したことから、海外で発生する地震への津波対策が講じられた。それまでの津波予報は、日本近海で発生した地震を対象としていたが、昭和 37 年 8 月、日本沿岸からおおむね 600km 以遠で発生した地震による津波予報は本庁が一括して行うこととなり、外国で発生した地震に対する日本の津波警報体制が確立された。

津波警報等を発表する担当気象官署は、当初、中央気象台、札幌・仙台・大阪・福岡管区気象台及び新潟・名古屋地方気象台の 7 官署であった。昭和 47 年 5 月からは、札幌・仙台・本庁・大阪・福岡・沖縄の 6 官署（津波予報中枢）による体制となった。現在の津波警報等の発表体制は、システムの集約に伴う迅速な情報発表の実現及び地震津波業務の継続計画を踏まえ、平成 21 年 3 月から、本庁と大阪の 2 中枢に集約された体制となった。

（2）津波警報等に関する情報体系の変遷

ア．津波警報等津波情報の変遷

昭和 24 年 12 月に閣議決定された「津波予報伝達総合計画」では、津波の予報文は「オオツナミ」「ヨワイツナミ」「ツナミナシ」の 3 種類の警報と、「ツナミカイジヨ」の 1 種類の解除報の計 4 種類とされ、その解説も定められた。これらは全て警報として扱われた。昭和 27 年 4 月には気象官署津波業務規程を施行し、「津波予報とは、津波の有無及びその規模の程度の予想（重大な災害の起こるおそれのある場合には、その旨警告を附する）をいう」と定義し、「予報文は警報文を含む」とした。津波予報の種類、予報文及び解説は、「津波予報伝達総合計画」で定められたものが掲載されている。

昭和 27 年 12 月、気象業務法、気象業務法施行令、気象業務法施行規則が施行された。この新たな法令において、津波警報に「オオツナミ」、「ヨワイツナミ」など複数の種類があることは定められていなかったが、「津波予報伝達総合計画」の存在もあり、円滑な運用が可能であった。昭和 32 年には、「オオツナミ」「ヨワイツナミ」「ツナミナシ」のいずれであるか判断できない場合として、新たに「ツナミオソレ」が加えられた。しかし、住民へ誤解を与えるおそれがあることから、乱用は避けることとなった。

気象業務法施行令が施行された当初は、予報警報の種類は「津波注意報」「津波警報」の 2 種類であったが、運用として津波注意報の内容は全て警報として発表された。津波注意報として運用が始まるのは、被害のおそれのない小さな津波を含む「ツナミナシ」を警報から注意報の区分に変更した昭和 46 年 8 月以降である。昭和 52 年 2 月からは、「ツナミチュウイ」の新設、「ツナミオソレ」の廃止が行われた。「ヨワイツナミ」は“弱い”という表現が警報として適当ではないことから、単に「ツナミ」に変更となった。あわせて、「ツナミチュウイ」の解除に対応する「ツナミチュウイカイジヨ」の注意報が新設され、「ツナミカイジヨ」は「ツナミケイホウカイジヨ」に名称変更し、警報から注意報に変更された。平成 7 年 4 月からは、「オオツナミ」等のカタカナ文字を止め、「大津波」等の漢字かな文字で情報を発表することとした。さらに、平成 11 年 4 月には、同項第 3 目「津波警報等の改善」において後述のとおり、津波の数値シミュレーション技術を導入して、予想される津波の高さを具体的な数値で発表する量の津波予報業務を開始した。

気象庁では、近海で発生した地震に伴い、被害が生じるような津波が発生するおそれがある場合には、速やかに津波警報等を発表し、それ以外の場合には、地震発生から 5 ～ 10 分後に震度情報を取りまとめた「震源・震度に関する情報」等で、「津波の心配はない」あるいは「若干の海面変動はあるが被害の発生のお心配はない」旨を発表していた。しかし、気象庁が津波予報を発表していない場合においても、地震による強い揺れ（震度 4 程度以上）を感じたとき又は弱くても長い時間ゆっくりとした揺れを感じたときは、津波対策に万全を図るため、直ちに海浜から離れ安全な場所に避難するよう対応がとられていた。そのため、「津波の心配はない」という情報発信まで地震発生から 5 ～ 10 分かかると、海浜等における揺れの被害による応急活動等に遅れが生じる可能性がある。このことを踏まえ、平成 14 年 3 月から、「津波の心配なし」の津波予報を、震度 3 以上の揺れが観測されたときに発表される「震源に関する情報」の中で発表をすることとした。また、予想される津波の高さが 20cm 以上に至らず、被害のおそれのない海面変動が予想される場合についても、防災関係機関が応急活動等を適切に実施するために、迅速な情報提供が必要と考えられたことから、平成 15 年 12 月から、微弱で被害の心配がない海面変動が予想される場合にも、「震源に関する情報」にその内容を付加して、地震発生から約 3 分後に発表する運用を開始した。

平成 19 年 12 月には政令を改正し、「津波注意報」が新たに、注意を喚起する「津波注意報」と、津波の有無を予想する「津波予報」に区分され、予報警報の種類は「津波予報」「津波注意報」「津波警報」の 3 種類となった。地震津波業務規則での定めは、「津波警報の大津波」「津波警報の津波」「津波注意報」「津波予報」であった。新設された「津波予報」は、地震情報あるいは津波情報に含めて発表することとされ、これにより「被害はないが若干の海面変動がある」と「津波の心配はない」を地震情報で発表していた従来からの運用が、法令としても適正化された。また、「津波警報解除」を警報扱いに変更した。その後、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の課題を踏まえ、平成 25 年から「津波警報（大津波）」「津波警報（津波）」から「大津波警報」「津波警報」へと名称変更がなされ、現在に至る。

また、気象庁では、船舶の運航に必要な海上の津波の情報として、ナブテックスや海上保安庁の無線電話等により、津波に関する海上予報・警報の提供を行っている。

イ、津波予報区の変遷

気象業務法施行規則により、予報警報を行う予報区等を定めている。昭和27年12月(施行時)には、津波予報区は海に面する二以上の府県を含む区域又はこれに相当する区域(沿岸の海域を含む)を範囲とするものとされた。平成4年2月には、対象予報警報に、津波に関する海上予報及び海上警報を加える改正を行った。また、平成11年4月には、津波予報区を、原則都道府県単位とする改正がされ、それまでの18予報区から、66予報区に細分化された。

(3) 津波警報等の改善

ア、津波警報等の迅速化

地震発生から津波警報等を発表するまでの時間は、昭和24年の時点では地震発生後15分以内としていたが、昭和32年1月に津波警報等の発表時間を20分以内に改めた。なお昭和47年の沖縄復帰後しばらくの間は、沖縄気象台については20分以内にこたわず速やかに発表することとされた。昭和57年1月にL-ADESS端末を用いた地震資料処理業務を開始し、それまで手作業により地図上で行っていた震源決定や津波判定を計算機処理で行えるようになると同時に、判定結果もL-ADESS端末から電文として発信するようになり、津波予報の迅速化が図られた。昭和58年(1983年)日本海中部地震では、地震発生後15分で仙台管区気象台が津波警報を発表したが、震源に近い沿岸域では7~8分後に引き波の津波が来襲していた。このため、より早期に津波に対処できるように地震波形データの自動処理等を導入した計算機処理システム(EPOS)を開発し、昭和62年8月からは地震発生後約7分での発表を目指した。L-ADESS端末を用いた業務並びにその後のEPOSによる業務は、管区気象台及び沖縄気象台においてもETOS(地震津波監視システム)が導入されることにより、本庁に準じた形態で行われた。平成5年(1993年)北海道南西沖地震では当時のシステムの想定より早い地震発生後約5分で札幌管区気象台が津波警報を発表したが、既に3分後には奥尻島に津波が来襲していた。このため、津波予報発表時間の更なる短縮を目指して、地震津波観測施設を全国約180か所におおむね60km間隔で整備(津波地震早期検知網)し、平成6年8月からは、沿岸に近い場所で発生した地震については、地震発生後約3分で津波予報の発表を可能とした。平成18年10月からは、緊急地震速報の自動震源処理技術を活用し、日本近海で発生した地震について、十分な精度の震源とMが得られた場合にはそれらを津波警報等の発表へ活用する運用を開始しており、早い場合には地震発生後約2分で津波警報等の発表が可能な体制となっている。このように情報発表の迅速化を進めてきたが、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の事例では、断層のずれの進行に要した時間が、地震発生後3分で発表した津波警報とほぼ同じとなる状況となった。これは、地震発生後3分で津波警報を発表するためには、断層のずれが終わらないうちに警報発表作業に着手しなくてはならないことを意味し、巨大地震に対する津波警報迅速化の限界であった。このように、巨大地震の場合には津波の過小評価につながりかねないことから、後述のとおり情報発信及び技術面における改善を行う必要が生じた。

イ、津波警報等の高度化

平成10年度以前は、経験的な手法で作成された津波予報図を用いて、想定される津波の高さ及び範囲を判定していた。また、検潮所等の沿岸のある地点から津波が沖合に伝播していく

時間の等時線の資料（津波の逆伝播図）を用いて津波到達予想時刻を求めてきた。津波予報図は、その時代の要求や最新の技術により改善が図られてきたが、数値計算による津波予報により、基本的にはその役割を終えた。

平成 5 年（1993 年）北海道南西沖地震を受け、気象審議会答申第 19 号（平成 6 年 10 月）では、津波予報の高度化に向けて「津波の量的予測」のための技術開発を進め、津波予報の改善を図ることが求められた。計算機の性能向上により大規模、精密な津波数値計算が可能となり、その精度について詳細な研究が行われていたこと等を背景として、数値計算に基づき津波の高さを量的に予測する手法の技術開発を進めた。さらに、平成 9 年 7 月から 12 月にかけて、学識経験者や津波防災関係機関等から構成される「量的津波予報検討会」を設けて量的津波予報の技術的手法、津波予報区の見直し、津波予報基準の見直し、津波予報内容、発表タイミング等の見直しについて検討が行われた。技術的手法の検討としては従来の経験的、定性的な津波予報に代わり、地震の断層モデルによる津波の発生、及び津波の伝播に数値モデルを適用して、予報精度の向上を図るものであり、あらかじめ設定した断層モデルについての津波シミュレーション結果をデータベース化しておき、地震発生直後に計算した震源要素から必要な津波予測値を検索することにより迅速性を高めた。津波シミュレーション計算に用いた断層モデルと、実際に発生した地震の断層モデルが完全には一致しないこと等から、運用に当たっては、実際に観測される津波の高さと必ずしも一致しない点を考慮し安全サイドに立った予報を行うことが必要であるとされた。津波予報区については、津波予測の水平分解能が格段に向上すること、従前の数県にまたがる予報区では津波の影響範囲が狭い場合でも広い範囲に同一の津波予報が発表される等、従前の津波予報区が抱えていた問題点、及び地方公共団体の要望から、原則として都道府県単位として見直すことが提言された。

この提言を踏まえ、「量的津波予報システム」の開発及び予報区の細分化を行い、平成 11 年 4 月には「量的津波予報システム」により予測される津波の高さを基に、津波警報や津波注意報を発表する量的津波予報業務を開始した。このシステムは、あらかじめ設定した約 10 万通りのケースの地震について、津波の高さの数値計算を行った結果をデータベース化し、実際に地震が発生した場合には、そのデータベースから発生した震源要素に最適な津波予測値を直ちに検索し、予測される津波の高さ（0.5m、1m、2m、3m、4m、6m、8m、10m 以上）等を推定するものであった。平成 19 年には、短時間で CMT 解を計算することにより求められた地震のメカニズムと規模（Mw）を用いた津波警報・注意報の切替・解除を開始するとともに、数値シミュレーション技術の進展及び経度 1 分（約 1.5km）間隔に細分化された海底地形の活用による、津波予報データベース（第 2 世代）への更新を行った。

ウ、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震を踏まえた津波警報等の改善

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震では、揺れによる被害もさることながら、甚大な津波被害が生じた。これを受けて、当時発表した津波警報の内容及びタイミング等を検証し、今後どのように改善すべきかについて検討を行うため、有識者及び関係防災機関等からなる「東北地方太平洋沖地震による津波被害を踏まえた津波警報改善に向けた勉強会」を平成 23 年 6 月から 9 月にかけて開催した。

勉強会の中で、当時の津波警報等について四つの課題を整理した。一つ目の課題は、津波警

報の第1報において推定した地震の規模(M)が過小評価となり、これを基に予測した津波の高さも実際の観測値を大きく下回るものであったことである。このため、M8を超えるような巨大地震について、迅速にその規模を推定する手法を導入し津波警報第1報に活用することが必要となった。二つ目の課題は、津波警報の第1報における予想される津波の高さの発表のあり方についてである。当時、地震規模を過小評価した中で岩手県、福島県に発表した「予想される津波の高さ3m」が、かえって避難の遅れにつながった例があったとされた。三つ目の課題は、大きな揺れによって国内のほぼ全ての広帯域地震計の測定範囲を超えたためMwが計算できず、津波警報の続報が迅速に発表できなかったことである。また、GPS波浪計のデータに基づき津波警報の更新を行ったものの、より沖合に設置しているケーブル式海底津波計のデータを警報更新に反映させる方法が不十分であった。このため、Mwを迅速に求められるような大きな揺れでも振り切れない広帯域地震計の活用とともに、沖合における津波観測の強化とその利用技術の開発が必要とされた。四つ目の課題は、津波情報で発表した津波の観測結果「第1波0.2m」等を見聞きし、今回の津波はたいしたことはないと思ったなど、避難の遅れや中断につながった例があったことである。

勉強会における指摘や提言、更には一般からの意見を踏まえ、平成23年9月に「東北地方太平洋沖地震による津波被害を踏まえた津波警報の改善の方向性について」として技術的課題に対する改善策を取りまとめた。津波警報等での津波の高さ予想の区分や情報文での具体的な伝え方等については、平成23年10月から平成24年1月にかけて「津波警報の発表基準等と情報文のあり方に関する検討会」を開催して別途検討した。改善内容に対する国民等から意見も踏まえ、平成24年2月に「津波警報の発表基準等と情報文のあり方に関する提言について」として提言を公表した。

そして、平成25年3月に改善された津波警報の運用を開始した。避難に要する時間をできるだけ確保できるよう、地震発生後3分程度以内に第1報の発表を目指す従来の方針は堅持するとともに、津波の波源(海底の地殻変動)の推定に不確定要素がある場合は、安全サイドに立って津波警報を発表し、その後、得られるデータや解析結果に基づき、より確度の高い警報に切り替えることを基本方針とした。具体的には、地震規模の推定は3分程度で計算可能なMjmaを用いることを基本とするが、地震の規模を過小評価している可能性を速やかに認識できる監視手法(強震域の広がり、長周期成分の卓越など)を導入し、より規模の大きな地震の可能性がある場合には、当該海域における最大の津波想定などをもとに津波警報第1報を発表するように改善した。その後、最新の観測データが明らかになり次第、より確度の高い津波警報に更新することとした。このため、大きな揺れでも振り切れない広帯域地震計の整備やケーブル式海底津波計等の活用を行った。

津波警報及び情報文等の改善については、従前0.5m、1m、2m、3m、4m、6m、8m、10m以上の8段階の区分であった津波の高さ予想を、津波予測の誤差やとりうる防災対応等を踏まえて1m、3m、5m、10m、10m超の5段階とした。そして、情報で発表する予想高さは、簡潔で単一の数値とし危機感を喚起するため、高さ予想の区分の幅の高い値とした。また、地震規模の過小評価の可能性を検知し、当該海域で想定される最大Mを適用するなどして津波警報を発表する場合は、予想高さは数値ではなく、「巨大」「高い」といった定性的な表

現とすることにより、通常の地震とは異なる非常事態であることを伝えることとした。なお、約 15 分後に求まる Mw 等に基づき更新を行う第 2 報以降の津波の高さは不確定性が少ないことから、予想される津波の高さの区分に従ってその数値を発表する。津波観測値の発表に関しては、観測された津波の高さが低い間はこれが最大だと誤解を与えないように、津波の最大波の高さが予想区分よりも十分小さい場合は、津波の高さを数値で表さずに「観測中」と発表することとした。さらに、沖合の津波観測データはそれまで沿岸の観測データと合わせて発表していたが、これまでの観測情報とは別に「沖合の津波観測に関する情報」を新設し、沖合で津波を検知し、沿岸に顕著な津波が押し寄せるおそれが認められた場合には、直ちに発表することとした。

平成 31 年 3 月からは、気象研究所が開発した、より精度良く津波の高さを予測する手法（tFISH、本部第 4 章第 1 節第 2 項第 8 目「第 5 世代の地震活動等総合監視システム（EPOS5）の運用開始」を参照。）を導入して、津波警報等の更新へ活用することとした。

地震発生直後に初期水位分布を求めることができないため、警報には必ず誤差が含まれることや、地震以外を要因とする津波は予測が極めて困難であり、潮位変化を観測した後の警報発表となりうること等の留意点はあるものの、これまで述べてきたような変遷をたどって津波警報等の発表は大いに迅速化・高度化された。

5. 情報提供の変遷

地震や津波の情報は、防災機関や国民等に迅速かつ確実に提供するため、各時代で様々な方法により提供されてきた。ここでは、津波警報等の提供について特有の手段について述べる（それ以外の提供手段については、第 2 部第 1 章第 1 節第 2 項第 2 目中「イ．警報事項の伝達」及び第 4 部第 1 章第 2 節「気象情報の部外提供業務等」を参照）。

（1）標識による津波警報等の伝達手段の変遷

ア．鐘音、サイレン音

気象業務法第 24 条では、形象、色彩、灯光又は音響による標識によって津波等の予報事項又は警報事項を発表し、又は伝達する者は、運輸省令（国土交通省令）で定める方法に従ってこれをしなければならないことが定められている。昭和 27 年 7 月の同法制定時に、津波注意報については鐘音、津波警報は鐘音又はサイレンと定められた。昭和 51 年 11 月、気象業務法施行規則第 13 条の改正が行われ、鐘音のみであった津波注意報の伝達手段にサイレン音が加えられた。これは、津波警報のみにサイレン音を用いていたが、ほかの津波予報についても鐘音とサイレン音を併用すべきであるという意見に答えたものであった。

イ．津波フラッグ

気象庁が津波警報等を発表すると、様々な手段で対象地域にいる人々に伝達されるが、海水浴場等においては、聴覚による伝達手段と比較して視覚による伝達手段が少ないことから、海水浴場等を利用する聴覚障害者等に対し津波警報等を一層確実に伝達できるよう、令和元年 10 月から令和 2 年 2 月にかけて「津波警報等の視覚による伝達のあり方検討会」を開催し、津波警報等の視覚による伝達方法について検討を行った。検討の背景としては、平成 23 年の東日本大震災では、岩手県、宮城県及び福島県における聴覚障害者の死亡率が聴覚障害のない

者の2倍にのぼったとのデータがあったほか、東日本大震災における聴覚障害者への情報伝達の問題点として、①防災行政無線、サイレン、広報車による呼びかけが聞こえなかった、②停電によりテレビ（字幕）や携帯メール等が使えなかった、といった点が挙げられる。検討の結果、海水浴場等では携帯電話を所持していないことも多く、防災行政無線やサイレンでは、聴覚に障害のある方に情報を伝達することができないことや、聴覚に障害がなくても、海に入っている場合など、波や風でこれらの音が聞こえない場合も考えられることから、「赤と白の格子模様の旗」（国際信号旗におけるU旗）による視覚的な伝達が海水浴場等における津波警報等の伝達手段として望ましいと取りまとめられた。赤白の格子模様のデザインは、実際に視認性の検証も経て決定した。取りまとめを受け、令和2年6月、規程類を改正し、津波警報等の伝達に赤と白の格子模様の旗「津波フラッグ」を用いることを定め、運用の参考となる『津波フラッグ』による津波警報等の伝達のためのガイドライン」を公表するとともに、関係機関とも連携し、津波フラッグの周知広報に努めることとした。このための具体的な取組として、全国の海水浴場における「津波フラッグ」の活用を推進すべく、地方自治体等への働きかけや周知広報活動を中心に取り組みを行い、数値目標としては、令和7年度までに、海水浴場を有する全国の市区町村のうち、80%以上の市区町村で「津波フラッグ」による津波警報等の伝達を実施されることを目指した（令和6年6月末現在、71%）。

（2）緊急警報放送の開始

深夜等テレビやラジオの放送が視聴されていないときでも、津波警報や大規模地震の警戒宣言が発せられた場合に、緊急警報信号を使用して待機状態にあるテレビやラジオ受信機を自動的に立ち上げ、防災に関する情報を伝達できるシステムとして、「緊急警報放送システム（EWS: Emergency Warning System）」がある。昭和60年6月、電波法施行規則等を改正する郵政省令が公布・施行されるとともに、同年9月からNHKで放送が開始され、民放でも順次開始された。緊急警報放送により津波警報が迅速かつ正確に伝達されるよう、各気象台では、津波警報の通知を求める放送事業者にこれを確実に通知することとしている。

6. 解説業務

気象庁は地震が発生した後、その現象にかかる情報を逐次発表してきた。また現象終了後、地震や津波の観測データを時間をかけて解析した後には作られる震源要素や津波検測値等の確定値は、地震年報、地震月報といったカタログを作成し公表してきた。一方、近年は、解析にかかる時間が短縮されたこと、情報提供の媒体もラジオやテレビ放送、インターネット等と多様化してきたことから、それに合わせて解説業務（関係地方公共団体、報道機関その他の関係者が行う防災活動を支援するための地震活動及び津波に関する資料の提供及び解説）の内容も変化してきている。平成7年4月の地震観測業務規則の改正では、刊行物の発行、関係機関が実施する地震防災に関する訓練の支援その他の方法により、地震津波情報の種類及び内容その他の地震防災に関する知識の関係地方公共団体等及び一般への普及に努めることが定められた。

また、平成24年には管理課に地震津波防災対策室、令和2年には地震津波監視課に地震津波防災推進室が設置され、各種シンポジウムや講演会などをはじめとする集中的な解説、周知

啓発が行われている。

(1) 報道発表

気象庁は顕著な地震が発生した場合などには速やかに報道発表を行い、発生した地震や津波の特徴を解説し、防災上の留意事項等の周知を行ってきた。事象によっては、夜間や休日に関わらず緊急の記者会見を開催し、発表している情報や現象の解説とともに、適切な防災対応をとることを広く呼びかけている。また、地震の発生状況や津波避難の呼びかけ、気象状況についても逐次発表し、注意喚起を行っている（緊急記者会見については、第 1 部第 7 章第 3 節第 2 項第 2 目「緊急会見」を参照）。

最大震度 5 弱以上が観測された場合などは、引き続き地震活動（余震活動等）への関心が高まることから、どのくらいの期間注意すべきか、震度はどの程度になるか、どのようなことに留意しておくべきかなど、今後の地震活動の見通しについて地震解説資料や報道発表の中で解説している。

また、各月上旬（原則として地震調査委員会の前日）には、前月の地震及び火山活動状況について、国土地理院と共に定期的に記者会見を開いて説明している。

地震予知情報等（詳細は、本節第 3 項「大規模地震対策」を参照。）については、社会の関心が極めて高いことから、報道のあり方が詳細に整理された。大規模地震対策特別措置法が成立する以前の昭和 52 年 6 月頃には既に、東海地域判定会の開催について報道機関に公開する一方で、社会の混乱を防ぐ観点から報道機関も報道の仕方に配慮することなどの調整が始まっていた。同法成立後は、記者会見を含む取材対応について、気象庁記者クラブから要望がなされ、これを受けて、昭和 55 年 3 月に気象庁、防災関係省庁及び気象庁記者クラブは、地震予知情報の内閣総理大臣への報告を終え次第、その内容を気象庁記者クラブに発表することに合意した。また、昭和 52 年 4 月からは、毎月開催される東海地域判定会（後の地震防災対策強化地域判定会）の定例会合の後に記者会見を行い、東海地域の地殻活動について、判定会長と地震予知情報課長が説明を行っていた。この定例記者会見は、毎月上旬に開催されるようになった南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会及び判定会の定例会合後の記者会見に引き継がれている。さらに、南海トラフ地震の想定震源域とその周辺で M6.8 以上の地震が発生した場合や観測データに異常が現れた場合には、南海トラフ地震との関連性を緊急に評価するための臨時の会合を開催し、検討した結果について南海トラフ地震臨時情報で発表するとともに、記者会見を開いて説明している。

(2) 地震解説資料

L-ADESS の整備等に伴い、管区気象台において地震波形データに基づく震源決定を迅速に行い、地震活動状況を速やかに把握できるようになったことから、昭和 59 年度より、管内の地震活動の監視強化を図るため、「管内地震活動図」を毎月作成し部外機関に配布することとした。沖縄気象台はやや遅れ、昭和 64 年 1 月より、「管内地震活動図」の作成及び提供を正式運用した。また同じく昭和 59 年 4 月より、地方気象台における地震調査の一環として、15 の地方気象台で「県内地震活動図」の作成を開始し、対象官署を順次拡大した。「県内地震活動図」は、平常時は毎月 1 回作成し、地震活動が活発化した時にはその状況に応じて随時作成することで、各県内のより詳細な地震活動の現状把握を行い、きめ細かい防災対応と府県地

震調査の基礎資料として役立てることを目的とした。

平成 7 年 4 月に地震観測業務規則を改正し、最大震度 4 以上の地震が発生した場合や、津波警報等を発表した場合などには、地方自治体や防災関係機関の救助活動や避難などの対応を支援するため、地震解説資料を発表して提供することを定めた。また、地方自治体や防災関係機関のハザードマップの作成や災害予防に係る活動を支援するため、全国の地震の発生状況について、定期的に取りまとめ、その期間に発生した主な地震活動についての解説資料を作成し、発行することも定めた。

平成 25 ～ 26 年度に地方自治体の意見を聞きながら地震解説業務のあり方を見直し、地震解説資料は地震発生後 30 分程度で提供する速報版と、1 ～ 2 時間程度で提供する詳細版を発行することとした。速報版は管区气象台（東京管区气象台を除く）、沖縄气象台及び各地方气象台で作成し提供作業を行った。詳細版は、地方气象台が地方自治体の防災対応支援のため適宜情報解説を行うことから、作成する主体は本庁・管区气象台が担い、地域に特化した内容のみ適宜地方气象台が作成するよう役割を分担した。

平成 30 年 3 月には地震津波現業体制の変更に伴い、速報版を本庁地震現業にて一括して作成・提供することとした。

令和 2 年 3 月には地元の地方气象台がより一層、解説業務に注力することを目的に運用変更した。種類を全国速報版、地域速報版、全国詳細版、地域詳細版の 4 種類とし、このうち、全国速報版、地域速報版、全国詳細版は本庁にて一括作成・提供することとした。

（3）地震解説、地方自治体等支援

昭和 40 年以降の松代群発地震は大きく注目され、的確な情報発信と解説が求められた。活動初期に本庁と現地官署それぞれで発表した情報で、表現上の違いが意見の食い違いと受け取られ問題となったこともあった。昭和 41 年 4 月、気象庁は文部省測地学審議会の支援を得て、北信越地殻活動連絡会を設置し、毎月 2 回、関係機関が討議し見解を統一するとともに、以降は必要な場合は気象庁（長野地方气象台）が統一的に情報発表（地震活動の解説）を行った。昭和 43 年のえびの地震においても、関係機関が異なった見解を表明すると現地が混乱することが危惧され、えびの地震総合観測班を設け、福岡管区气象台が統一的に情報発表（地震活動の解説）を行った。

遅くとも昭和 60 年代には、津波予報や地震情報の解説内容の充実、ローカルな地震に関する解説の実施、県内の地震活動調査の結果の関係機関への解説等を、地方气象台等の業務の一つと位置付けていた。平成 7 年 4 月に地震解説資料の提供を開始するに当たっては、地方气象台等は官署長の判断により防災関係機関に解説をすることとした。

平成 25 ～ 26 年度の地震解説業務の見直しの際には、大地震や津波の際に地方自治体を支援できるよう、普段から定期的にあるいは必要に応じて地方公共団体との勉強会や打合せ等を行い、地域の地震活動の特徴や情報・資料等を読み解くために必要となる知識や相互の業務体制等についての理解を深めることとした。そのために、地震や津波に関する資料を容易に取得できる仕組みの構築や、地震・津波業務における情報解説の職員向けガイドラインの作成等を通じて、地方气象台等の地震解説業務の環境整備を行った。

平成 30 年 5 月に気象庁防災対応支援チーム（JETT）が創設された後は、大地震や津波が

発生した際は JETT として地方自治体の災害対策本部に職員を派遣し、解説等を行っている。

平成 31 年 1 月に始まった「あなたの町の予報官」の取組以降は、地域の状況を踏まえ平時から地方自治体の防災担当者に対して地震活動状況の解説や打合せ会等を実施し、信頼関係を構築することで、短時間で様々な対応を行う必要のある緊急時への準備を行っている（詳細は、第 2 部第 2 章第 2 節「平時における災害に備えての取組」を参照）。

（4）地震・火山月報（防災編・カタログ編）、週間地震概況等

地震のカタログは明治 18 年の地震報告が始まりである。明治 31 年からは中央気象台年報戊の部となった。明治 33 年から地震観測の資料は各月の資料を和文で気象要覧にも掲載を始め、大正 11 年からは英文の地震年報も発行した。昭和 26 年 1 月、気象要覧に観測資料を生のまま掲載することは不相当であることから、気象要覧には地震の概報のみを掲載することとし、新たに地震月報の発刊を開始するとともに、地震年報及び海外機関向けの英文速報を廃刊した。地震月報には日本付近の局所的地震及び国際的に問題となるような顕著な地震及び遠地地震の資料を掲載した。昭和 35 年 12 月までは地震月報に和文の「地震概況」の記事を掲載していたが、その後は英文のみのカタログ的な刊行物となった。昭和 39 年 4 月には「地震火山概況」の発行を開始した。昭和 62 年以降、3 か月ごとの国内及び海外の地震活動を「地震・津波防災季報」として発行した。平成 9 年 11 月、それまで刊行してきた「地震火山概況」及び「地震・津波防災季報」の内容を統合して、新たに「地震・火山月報（防災編）」として毎月刊行を開始した。また、観測成果を研究機関等での広範な利用に供するため、「地震月報」を発展させ、「火山報告」の内容を取り込んで、新たに「地震・火山月報（カタログ編）」として刊行を開始した。平成 26 年からは再び火山の内容と分け、地震月報（カタログ編）として気象庁ホームページに掲載している。管区気象台、沖縄気象台、地方気象台でも毎月「地震概況」を発行している。

このほか、毎週の刊行物としては、平成 9 年 5 月に全国の地震等を対象とした「週間地震・火山概況」の発行を開始し、平成 22 年 2 月以降は「週間地震概況」として原則毎週金曜日に発行している。また、東海・南関東地域の週間の地震概況に関しては、昭和 43 年 7 月の測地学審議会建議「第 2 次地震予知計画」を踏まえて昭和 45 年 2 月に地震予知連絡会が観測強化地域に指定した南関東地域と、昭和 49 年 2 月に同連絡会が観測強化地域に指定した東海地域の地震活動を取りまとめ、昭和 59 年 7 月から「東海・南関東地域の週間地震活動概況」として発行した。その後、平成 20 年 2 月の地震予知連絡会で指定地域が解消されたことを受け、平成 22 年 2 月以降は地震予知の対象となっている東海地域に絞った「東海地域の週間地震活動概況」とした。さらに平成 29 年 11 月以降は「南海トラフ周辺の週間地震活動概況」として発行を続けている。

（5）地震津波防災に関する知識の普及

気象庁では、地震や津波に関する情報等の普及啓発のみならず、地震津波防災に関する一般的な知識の普及にも取り組んでいる。

昭和 58 年（1983 年）日本海中部地震を受けて、同年 7 月に関係省庁において沿岸地域における津波警戒の徹底について申合せが行われた。これを踏まえ、気象庁では津波防災に関する国民への知識の普及を継続的に行っており、例えば毎年海水浴シーズン前には各気象官署で

津波防災対策に関する知識の普及に一層努めることとした。申合せは平成 5 年 11 月に改定され、その後も知識の普及活動を継続している。

地震防災に関する知識の普及についても、遅くとも昭和 60 年代には地方気象台等の業務の一つと位置付けていたが、平成 7 年 4 月に地震観測業務規則を改正し、地震防災に関する知識の関係地方公共団体等及び一般への普及に努めることを明確に定めた。

平成 21 年に交通政策審議会気象分科会において、安全知識の普及啓発の強化が提言されると、住民に対する安全知識の普及啓発の取組が庁横断的に一層進められた。この中で、地震津波分野についても、テーマを定めて普及啓発に取り組んでいる。例えば、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震で被害が生じた長周期地震動や、発生の切迫性が高まっていると考えられる南海トラフ地震などについて重点的に普及啓発を行っている。また、主要活断層帯の活動により発生したと評価される平成 28 年（2016 年）熊本地震後は「陸域の浅い地震」について普及啓発に取り組んだ。

7. 他機関との連携

（1）地震予知・火山噴火予知研究計画と科学技術・学術審議会測地学分科会

古来より大地震や火山噴火に見舞われてきた我が国では、地震及び火山噴火の予知の実現を通じた災害の軽減を目指し、文部省の測地学審議会（現在の文部科学省の科学技術・学術審議会測地学分科会）の建議に基づいて、昭和 40 年度から地震予知計画が、昭和 49 年度から火山噴火予知計画が開始された。同審議会では、おおむね 5 年ごとに関係各大臣に建議を行ってきており、気象庁も実施機関として参画している。

地震学会の外部に有志の集まりである「地震予知計画研究グループ」により作成された「地震予知－現状とその推進計画（ブループリント）」を受け、昭和 38 年 11 月に日本学術会議から、勧告「地震予知研究の推進について」が発出され、文部省の測地学審議会がこの勧告の具体化を担当した。昭和 39 年に測地学審議会より「地震予知研究計画の実施について」が建議され、これを受け昭和 40 年度から、国家プロジェクトとして地震予知計画が正式に開始された。その後、平成 7 年の阪神・淡路大震災を契機に行われた総括を踏まえ、平成 11 年度からは地震発生の物理過程の解明とモデル化に基づき地殻活動の推移予測を目指す「地震予知のための新たな観測研究計画」を開始した。一方、火山噴火予知計画に関しては、昭和 48 年に同審議会において「火山噴火予知研究計画の推進について」が建議された。昭和 49 年から火山噴火予知計画の下で観測体制は順次整備され、特定の火山では前兆現象をほぼ確実に検出可能となるなど、多大な成果を上げてきた。これらの研究成果を踏まえて、気象庁は、平成 19 年 12 月から噴火警報・噴火予報を業務として開始した。

地震と火山現象は、地球科学的背景や観測研究手法に共通する部分が多く、必要な観測網とデータを有効活用しつつ、地震と火山の相互作用や物理過程の理解を深めるため、平成 21 年度から両予知計画は「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」に統合された。こうした状況下で、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震を受けて平成 24 年 10 月にまとめられた外部評価では、地震や火山噴火に関する観測研究への社会的な要請自体は極めて強いとされた。一方で、それまでの計画では社会の防災・減災に十分に貢献できておらず、国民の命を

守る実用科学としての研究の推進、低頻度かつ大規模な地震及び火山噴火の研究の充実、中長期的なロードマップの提示、社会要請を踏まえた研究と社会への関わり方の改善などが求められた。これを受け、5 年計画途中の平成 24 年 11 月に計画内容の部分的見直しが建議された。さらに、平成 25 年 1 月の「東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策の在り方について（建議）」では、地震学・火山学分野だけでなく工学分野や人文科学・社会科学分野を含めた災害科学としての学際的研究の必要性が指摘され、これに基づいて平成 26 年度に抜本的な見直しが行われて「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」が開始された。令和 5 年 12 月には令和 6 年度からの 5 年間に実施する観測研究計画として「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 3 次）」が取りまとめられた。これらの研究計画は、国が地震・火山現象に関して行う情報発表や、国や地方自治体の施策の科学的・技術的裏づけとなるものであり、気象庁はこれらの研究計画に実施機関として参画して複数の研究課題を実施しているほか、地震火山部長が測地学分科会の臨時委員として研究計画の立案や進捗に関する審議に携わるなど、積極的な関与を行っている。

（2）地震調査研究推進本部

平成 7 年 1 月に発生した阪神・淡路大震災を踏まえ、平成 7 年 6 月、全国にわたる総合的な地震防災対策を推進するため、「地震防災対策特別措置法」（平成 7 年法律第 111 号）が議員立法によって制定された。そして、行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし、これを政府として一元的に推進するため、同法に基づき、同年 7 月、政府の特別の機関として、地震調査研究推進本部（以下「地震本部」という。）が総理府（現在は文部科学省）に設置された。これに伴い、内閣に設置されていた地震予知推進本部は廃止された。

地震本部は、「地震防災対策の強化、特に地震による被害の軽減に資すること」を基本的な目的として、①地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進について総合的かつ基本的な施策の立案、②関係行政機関の地震に関する調査研究予算等の事務の調整、③地震に関する総合的な調査観測計画の策定、④地震に関する観測、測量、調査又は研究を行う関係行政機関、大学等の調査結果等の収集、整理、及び分析、並びにこれに基づく総合的な評価、⑤上記の評価に基づく広報を担っている。

地震本部の下には、関係行政機関の職員及び学識経験者から構成される政策委員会と地震調査委員会が設置されており、このうち地震調査委員会について、気象庁は地震本部令に基づき文部科学省や国土地理院と共同で庶務を担当している。各委員会の下には、部会や小委員会等が置かれ、それぞれ専門的な事項の検討を行っている。気象庁を含む関係省庁や研究機関などの関係機関は、地震本部が定めた総合的かつ基本的な施策及び総合的な調査観測計画に基づき調査観測等を推進しており、関係機関から提供された調査観測データ及び研究成果については、地震調査委員会において審議し、地震に関する評価として公表している。

気象庁は地震に関する観測、測量、調査又は研究に他の関係機関とともに参画し、地震本部の報告や決定に基づいて以下のような業務を行うほか、地震本部の観測計画に基づいた観測の実施とその成果の流通や地震調査委員会の成果の広報活動など、地震本部と連携して施策を進めている。

ア. 地震調査委員会への参画

地震調査委員会は毎月定例の会合を開催して総合的な評価を取りまとめ、公表している。また、被害を伴うような大きな地震が発生した場合などには、その社会的な影響に応じて臨時の地震調査委員会が開催される。気象庁は調査観測結果等を取りまとめた上で報告を行い、当該地震の評価に用いられている。定例及び臨時の地震調査委員会で気象庁は委員として総合的な評価を作成する議論に参画するほか、委員会後に実施する記者会見にも同席している。

イ. 地震観測データの一元化業務

地震防災対策特別措置法の趣旨に沿って、気象庁は本部長からの要請に基づき、「地域地震情報センター」として大学や関係機関から地震観測データの提供を受け、科学技術庁（現在は文部科学省）と協力してこれを整理した。平成 9 年 10 月、本庁及び、札幌、仙台、大阪、福岡の各管区気象台に、第一世代の地域地震情報センターデータ処理システム（REDC: Regional Earthquake Data Center system）を整備し（詳細は、本部第 4 章第 1 節第 3 項「地域地震情報センターデータ処理システム（REDC）」を参照）、防災科学技術研究所や大学等が整備した地震計のデータを順次気象庁に一元化する業務を開始した。

地震計データの一元化により、格段に地震検知能力の向上と震源決定精度の向上が図られた。これにより、地震観測データを整理・分析した結果等は、地震調査委員会の資料として活用されるとともに、地震に関する調査研究の推進のため大学等関係機関へ提供されるようになった。

ウ. 地震活動の予測的な評価手法の検討

平成 21 年 8 月に地震調査委員会における現状評価の高度化に資することを目的とし、過去の地震活動から特徴の抽出・整理、地震活動の推移・見通しについての評価手法を検討するために、地震調査委員会の下に地震活動の予測的な評価手法検討小委員会が設置された。この小委員会において、伊豆半島東部の伊東市の沿岸から沖合にかけての領域で発生する群発的な地震活動については評価手法の検討が行われ、平成 22 年 9 月にまとめられた「伊豆東部の地震活動の予測方法」報告書を踏まえ、気象庁では平成 23 年から「伊豆東部の地震活動の見通しに関する情報」を発表することとしている（詳細は、本節第 1 項第 4 目「伊豆東部の地震活動の見通しに関する情報」を参照）。

また、大きな被害を伴う地震が発生した場合に発生する余震について、科学的に評価できる内容については、積極的に評価を実施し発表すべきであるという基本的な考え方の下、地震調査委員会では余震確率評価手法検討小委員会を設置し、平成 10 年に「余震の確率評価手法について」報告書が取りまとめられた。気象庁では、この報告書に基づき、大地震発生後の余震について注意を呼びかけてきた。

しかし、平成 28 年（2016 年）熊本地震を受け、大きな地震の後に引き続き地震活動の様々な事例に対応可能な防災上の呼びかけを行うための指針として、地震調査委員会に設置されている地震活動の予測的な評価手法検討小委員会で検討が行われ、平成 28 年 8 月に「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」報告書が公表された。これを踏まえて、気象庁では、大地震が発生した場合には地震活動の見通しや防災上注意すべきこと等を発表している（詳細は、本節第 1 項第 5 目「大地震後の地震活動の見通し」を参照）。

(3) 松代地震センター

昭和 40 年 8 月 3 日から始まった松代群発地震は、国会においても関心を集め様々な対策が検討された。昭和 40 年 11 月には、国会議員調査団が現地視察に訪れ、地元が必要としているものは何かと尋ねたところ、当時の松代町長が「何よりも学問がほしい」と答えた。そして、昭和 41 年 5 月、内閣総理大臣による現地視察の際に、松代町長は地震センターの設置を陳情した。松代群発地震発生から 1 年後、再び活動が活発化し、大量の湧水や地すべりの発生へと事態は重大化した。このような中、地震センターの問題が国会においても検討され、昭和 42 年 2 月、総理府、科学技術庁、文部省（東京大学、京都大学、信州大学）、農林省、通商産業省、運輸省気象庁、建設省、長野県、長野市から構成される協議体により、松代群発地震に関する資料センターとして、気象庁地震観測所（後の松代地震観測所）内に「松代地震センター」が設立された。地震観測所長がセンター長を兼務し、松代群発地震の現地の観測、調査、資料の収集整理、談話会の開催、一般向けの情報の提供や解説など広報活動等を実施していた。その後、次第に地震活動は終息に向かい、昭和 45 年 4 月に長野県が群発地震の終息を宣言した。以降、平成 22 年度には業務を縮小し、平成 28 年 4 月には松代地震観測所の無人化に伴い、職員のセンターへの派遣も終了した。

【第 3 節】地震津波に関する国際協力

第二次世界大戦が終わって社会が安定を取り戻していた 1960 年頃、モロッコやチリの地震による相次ぐ被害を受け、国連及び国連教育科学文化機関（UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization）は発展途上国援助に関し、地震関連の問題に関心を抱いた。昭和 40 年、UNESCO の政府間地震学及び地震工学国際会議の勧告に基づき、グルジア（現在のジョージア）のトビリシ市で開催された地震学及び地震工学諮問委員会において、世界的地震観測網の整備や地震観測の標準化、国際地震センター（現 ISC: International Seismological Centre）の設置、津波警報組織との連携等、政府間で議論すべき課題について話し合いが行われた。この中で議論された事業は、その後地震火山部の国際関連業務の起源となっているものが多い。

また日本においても、国際研修を引き受ける意思はないかとの打診があったことを受け、昭和 35 年から東京大学が世話役となって地震学と地震工学の国際研修が行われ、気象庁も講師を引き受けることになった。これはその後、建築研究所の事業となったが、現在も継続して実施されており、世界中の研修生に対して地震や津波の知識を広めている。

1. 国際地震センター（ISC）

昭和 45 年 10 月、地震・地震予知及びそれらの応用の科学的知識を進歩させるため、世界の地震現象の資料収集・照合及び解析を行うことを目的として、イギリスにある国際地震センター（ISC）が国際的な非政府機関として活動を開始した。同年 11 月には、7 か国の参加による第 1 回管理理事会（設立総会）がロンドンで開催された。ISC の主要事業は、世界のあらゆる地域から得られた地震資料を集めて、速やかに世界の地震の震源・規模などを決め、その成果を定期的に刊行するとともに、地震関係の文献目録を作成・配布することである。

UNESCO の呼びかけで同年 5 月パリにおいて開催された設立準備のための専門家会議には、気象庁から地震課長が参加した。日本の ISC の代表機関として、文部省が設置している日本ユネスコ国内委員会の推薦と国内関係機関の了解のもと、業務として最も充実した地震観測網を有する気象庁が加入する方向で検討され、気象庁は昭和 47 年 9 月に ISC に正式に加入した。気象庁では地震カタログの公開に合わせ、ISC に対しても検測値等の送付を行っており、その結果は ISC の震源カタログ作成に用いられている。

2. 包括的核実験禁止条約（CTBT）への協力

気象庁は核兵器の実験的爆発及び他の核爆発を禁止する包括的核実験禁止条約（CTBT）の成立前から、特に地震波による地下核実験探知について技術的な国際協力を行ってきた。

日本政府は、昭和 39 年に米国による「世界の各地に同型の地震計を配置して地震観測を行う」という地下核実験探知計画（VELA UNIFORM 計画）へ参加し、世界標準地震計観測網（WWSSN）の地震計の設置を長野市松代町の気象庁地震観測所で受け入れたほか、昭和 40 年に多国間での軍縮交渉会議である 18 개국軍縮委員会で提言された、地震学的方法による地下核実験探知の構想を支持した。気象庁は、昭和 41 年に開催された「地震資料交換についての国際会議」に外務省の依頼を受けて職員を派遣したほか、昭和 46 年に軍縮委員会会議（CCD：Conference of Committee on Disarmament）の非公式会議で、職員が地震学的手法による地下核実験の探知・識別方法の有効性に関する作業文書を提出した。昭和 51 年には、CCD に「地震現象を探知・識別する国際的協力方法を研究する特別専門家グループ」（GSE：Ad Hoc Group of Scientific Experts to Consider International Cooperative Measures to Detect and Identify Seismic Events）が設置され、第 1 回会合に気象庁の末廣重二地震課長が出席した。GSE では、地下核実験探知のための国際地震観測網の基本概念が取りまとめられ、国際的なデータ交換実験には気象庁が提案した WMO の GTS 回線を用いる方法が採用された。昭和 59 年に、気象庁の地震観測所が参加した GSE 技術テスト 1（GSETT-1：Group of Scientific Experts' First Technical Test）が実施され、P、S 波の到着時刻や振幅等の基本的なパラメータの交換だけでは、震源計算はできるが、地下核実験か自然地震かの識別は極めて困難であることが明らかになった。平成 3 年に実施された GSETT-2 では、基本的なパラメータに加えて地震波形データが交換され、気象庁は地震観測所のデータを提供した。最終段階となる GSETT-3 では、全球で地震を監視する実験システム（国際データセンター、連続的に地震波形データを送信する主要地震観測施設（50 か所）、随時地震波形を送信する補助地震観測施設（120 か所）等で構成）の開発とテストが行われた。このシステムによって、陸域ではマグニチュード（M）4 以上の地震を検出し、震源を 20km 以内の精度で特定することが可能とされた。GSETT-3 の実施のため、米国はプロトタイプ国際データセンター（pIDC：prototype International Data Center）を提供し、各国の協力によりシステム開発が進められた。GSETT-3 は平成 8 年 1 月に本格的な常時運用体制に入り、包括的核実験禁止条約機関準備委員会（CTBTO）に業務が移管された平成 12 年に終了した。

CTBT は平成 9 年に国連総会で採択され、日本も批准したが、令和 6 年 1 月現在で発効要件国（核兵器保有国を含む 44 개국）の批准が完了していないため未発効である。CTBT は核

実験の検証制度の一つとして、核実験の実施を 24 時間監視する国際監視制度の設置を規定しており、条約発効後速やかに監視機能確立するため、CTBTO が観測施設のデータを集約している。日本国内の国際監視制度施設は、地震学的監視観測所としては、主要観測所（松代）及び補助観測所（大分、国頭、八丈島、上川朝日、父島）が設置されており、一部は気象庁の地震観測点に設置されている。

CTBTO では、核実験の探知・識別のための国際監視制度のデータを科学研究や防災等の民生目的に応用する議論が行われており、平成 16 年 12 月に発生したスマトラ島北部西方沖の地震による津波被害を踏まえ、CTBTO は国連教育科学文化機関（UNESCO）と協力して、平成 17 年から日本の気象庁が運用する北西太平洋津波情報センターを含む 4 つの津波警報センター（ハワイの太平洋津波警報センター、オーストラリア合同津波警報センター、及びマレーシア気象局）にリアルタイムで継続的なデータの試験提供を開始した。その後、有効性が確認され CTBTO は正式なデータ提供を行うこととなり、平成 20 年に気象庁は世界各国に先駆けて CTBTO と合意文書を締結して、国際監視制度の地震観測網データの北西太平洋津波情報への活用を開始した。

3. 津波警戒のための国際協力

(1) ICG/ITSU の設立と ICG/PTWS への改称

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、昭和 35 年に発生したチリ地震は、Mw9.5 と、世界で近代観測が始まって以降最大のものであり、発生した津波は震源に近いチリの沿岸のみならず、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、東北地方の太平洋沿岸を中心に高いところで 2m を超える津波の襲来を受け、142 人の死者・行方不明者を数えている。

このチリ地震を契機として、UNESCO の政府間海洋学委員会（IOC: Intergovernmental Oceanographic Commission）は、昭和 40 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、IOC は各国の津波災害の防止・軽減を目的として、太平洋津波警報組織国際調整グループ（ICG/ITSU: International Coordination Group for the Tsunami Warning System in the Pacific）及び国際津波情報センター（ITIC: International Tsunami Information Center）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なった。

なお、ICG/ITSU は、平成 17 年の第 20 回 ICG/ITSU ビーニャ・デル・マール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（ICG/PTWS: Intergovernmental Coordination Group for the Pacific Tsunami Warning and Mitigation System）に改称することが提案・決定された。

気象庁は、平成 19 年の第 22 回 ICG/PTWS グアヤキル会合以降、継続して副議長や議長を務め、同グループでの議論に貢献している。

(2) 北西太平洋津波情報センターの設立

ア. 日本海津波情報

平成 5 年（1993 年）北海道南西沖地震により発生した津波で、日本海沿岸各国では、津波被害を受けた。韓国は、同年の第 14 回 ICG/ITSU 東京会合において、極東津波警報センター（Far East Tsunami Warning Center）の設立を提案し、センター設置の可能性のある場所のひとつとして日本の気象庁をあげた。その後、気象庁は、平成 11 年に国内向けに量的津波予報を開始する際に、あわ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、平成 13 年 1 月から、韓国とロシアに対して日本海津波情報の提供を開始した。

この情報では、国内向けの津波予報と同様に日本海沿岸各国に設定した津波予報区に対し、予測される津波の高さと指定した沿岸地点の津波の予想到達時刻を提供している。

イ. 北西太平洋津波情報

日本海津波情報の提供が可能になったことに続き、ICG/ITSU は、平成 11 年の第 17 回 ICG/ITSU ソウル会合において、日本に、黄海、東シナ海、北西太平洋への拡大の可能性の検討を続けることを強く要請した。これを受け、気象庁は、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、平成 16 年の第 37 回 UNESCO/IOC 執行理事会において、北西太平洋津波情報センター（NWPTAC: Northwest Pacific Tsunami Advisory Center）の設置と、気象庁による運営が承認されたことを受け、平成 17 年 3 月から北西太平洋津波情報の提供を開始した。現在、北西太平洋津波情報は、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、パラオ、パプアニューギニア、フィリピン、韓国、ロシア、ソロモン諸島の 10 か国に提供されている。

北西太平洋津波情報は、北西太平洋域内で発生した M6.5 以上の地震に対して、震源、M、予想される津波の高さ及び予想到達時刻を発表し、関係国へ提供するものである。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している。

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」という。）で発生した地震については、米国・ハワイの太平洋津波警報センター（PTWC: Pacific Tsunami Warning Center）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。

北西情報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、あらかじめ計算した津波シミュレーションデータベースから最適な津波シミュレーション結果を取り出し、設定した沿岸地点における津波の予測値と予想到達時刻を発表する。

平成 26 年 10 月に PTWC が津波情報を津波予測高さや図情報を追加したものへと高度化したことを受け、NWPTAC でも図情報を追加した新たな情報の準備を進めた。その後、太平

洋津波訓練を通して受領国との調整を行い、平成 31 年 2 月から、ICG/PTWS の承認のもと、新たな情報の提供を正式に開始した。新たな情報では、最初のテキスト情報に続き、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発表するほか、3 種類の図情報（津波伝播図、沿岸津波高予測図、沖合津波高予測図）を提供する。

ウ. 南シナ海領域への暫定提供

平成 17 年の第 20 回 ICG/ITSU ビーニャ・デル・マール会合において、ICG/PTWS は、気象庁と PTWC に対し、南シナ海領域に対し、暫定的に津波情報を提供するように要請した。これを受け、気象庁は、北西太平洋津波情報の対象領域を北西太平洋域に加えて南シナ海に拡大し、平成 18 年 6 月の UNESCO/IOC 執行理事会において合意されたため、平成 18 年 7 月から 13 年間にわたり、南シナ海を対象とした情報についても暫定的に提供を実施した。平成 25 年の第 25 回 ICG/PTWS ウラジオストク会合において、南シナ海津波情報センターの設置と中国によるセンター運用が合意され、平成 31 年の第 28 回 ICG/PTWS マナグア会合において、中国から「南シナ海津波情報センター」の運用準備が整い 11 月に正式運用を開始する旨の報告があり、7 月の UNESCO/IOC 総会において合意されたことから、気象庁が暫定的に行ってきた南シナ海沿岸各国への津波情報の提供は、そのタイミングで終了となった。

(3) インド洋津波監視情報の提供

平成 16 年にインドネシアのスマトラ島北部西方沖で発生した巨大地震による津波は、インド洋全域に渡り、インドネシアを中心に 22 万人以上の死者・行方不明者を出すなど、未曾有の大被害を発生させた。大きな被害が出た要因の一つとして、インド洋に太平洋のような津波警報組織がなかったことが挙げられた。平成 17 年 1 月に神戸で開催された国連防災世界会議における、内閣府・外務省・気象庁等主催の特別セッション「インド洋沿岸地域における津波被害軽減の推進」の議長報告を踏まえ、平成 17 年 3 月にパリで開催されたインド洋津波警戒体制に関するユネスコ国際調整会議を経て、インド洋で本格的な津波早期警報システムが稼働するまでの当面の暫定的な措置として、気象庁はインド洋沿岸諸国へ「インド洋津波監視情報」を提供することとなった。気象庁は平成 17 年 3 月から、シンガポール・スリランカから情報の受領希望を受けて正式に情報提供を開始した。この情報提供は、既存の通信手段、地震・潮位データ、及び太平洋におけるこれまでの経験を生かし、PTWC と協力して行うこととなった。

その後、平成 23 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（ICG/IOTWMS: International Coordination Group for the Indian Ocean Tsunami Warning and Mitigation System）の要請を受け、平成 25 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。

(4) JICA を通じた国際協力

平成 16 年のスマトラ島北部西方沖の地震によって発生したインド洋大津波の災害は、世界各地における津波の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津波早期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早期警戒システムの構築に関する協力を表明した。津波早期警戒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が、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、平成 19 年 8 月から平成 21 年 5 月にかけて実施された、国際協力機構（JICA: Japan International Cooperation Agency）による津波早期警報能力向上を目的とした技術協力に当たっては、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等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。

第3章 火山業務

【第1節】気象庁の常時火山観測体制の構築

1. 戦前の気象庁の火山業務

気象庁による火山業務は明治時代にまで遡る。明治16年に東京気象台が全国の地震・火山などの異常現象について年報への掲載を開始したのがその始まりである。その後、全国地震観測網整備の一環で、明治21年には鹿児島測候所にミルン式普通地震計が設置され、その地震計は大正3年桜島噴火に伴う地震活動を捉えることになる。火山に比較的近い気象官署での定常地震観測を活用することにより、火山に関連する地震活動を把握した最初の事例となった。また、明治42年からの浅間山噴火では長野測候所の地震計が噴火による爆発地震を、明治43年の有珠山噴火では札幌測候所の地震計が噴火前後に発生した規模の大きな地震を捉えた事例もある。しかしながら、いずれの事例も火山活動の推移を詳細に把握するには観測データが不十分であり、より火山近傍での観測の実施が不可欠であった。

明治44年8月26日、当時我が国で最も活発な噴火活動を続けていた浅間山に、文部省震災予防調査会と長野測候所の共同で、我が国初の火山観測所である浅間火山観測所が浅間山の湯の平に設置され、連続観測が開始された。この観測所は、我が国最初の火山観測所であり、その後、様々な変遷を経て、軽井沢測候所へと引き継がれた。令和5年、活動火山対策特別措置法の一部が改正され、国民の間に広く活動火山対策についての関心と理解を深めるため、この火山観測所が設置された8月26日が「火山防災の日」に定められた。

その後、大正12年に長崎測候所温泉岳観測所（後の雲仙岳測候所）、昭和6年に熊本測候所支所（後の阿蘇山測候所）、昭和12年に森町観測所（後の森測候所）、昭和13年に大島測候所が設置された。しかし、昭和17年に設置された三宅島測候所には地震計は設置されず、ほかの観測所も含め、人的予算的にも非常に厳しいものであった。

2. 常時火山観測体制の整備

戦後になり、昭和25年から昭和26年の伊豆大島噴火前後の火山観測研究の気運の盛り上がりもあって、中央気象台は諏訪彰（当時火山係長）が中心となって火山観測体制の強化計画を進めた。まず、諏訪らは、火山の観測について標準化を進め、昭和27年に火山観測法を刊行した。ただし、当時の気象台の常時観測は、火山の最寄りの気象官署に地震計を設置して、気象官署からの目視観測と定期的な現地観測を行うというもので、軽井沢、大島及び阿蘇山のように火山の観測を主な目的に設置された測候所を除くと、いずれも火山から離れた場所に気象官署があり、地震計の感度も低いものであった。

1960年代に入ると、気象庁は、全国の火山の監視を行う責任を持つという立場から、全国的に常時観測体制の整備を進めた。諏訪彰は、過去の火山活動の噴火履歴等とその社会的影響を考慮し、活動監視の必要度をA（精密観測火山）、B（普通観測火山）、C（その他の火山）

の3つの級に分類した。気象庁は、その考えをもとに、A級火山及びB級火山について、電磁式高感度地震計を主軸とした観測施設を火山近傍に設置し、地元の気象台や測候所、あるいは新たに設けた付属の火山観測所にデータをテレメータにより伝送し、目視観測と現地観測を合わせた常時観測体制を整備するとともに、B級火山、C級火山を対象とした火山機動観測班を設置した。常時観測体制の整備は、昭和37年から昭和41年にかけて年次的に行われ、火山観測法発刊当時から常時観測火山であった10火山（樽前山、有珠山、北海道駒ヶ岳、那須岳、浅間山、伊豆大島、伊豆鳥島、阿蘇山、雲仙岳、桜島）に雌阿寒岳、十勝岳、吾妻山、安達太良山、磐梯山、三宅島、霧島山を加えた全国17火山における常時観測を開始した（ただし、伊豆鳥島は昭和41年に観測を廃止したため実質は16火山）。本庁に3班設置された火山機動観測班は、火山異常時に緊急機動観測を行うとともに、平常時の火山活動状況についても把握するため、年次計画的に基礎調査観測を実施した。その後、常時観測体制が整備された昭和43年には、「火山観測法」は大幅改訂され、「火山観測指針」として発行された。

【第2節】火山監視・情報センターと監視体制の強化

1. 火山監視・情報センター発足までの経緯

全国17火山における常時観測体制整備の後も順次観測体制の強化が進められ、浅間山、伊豆大島、阿蘇山、桜島の4精密観測火山については、昭和61年までに地震観測点を5点化して震源決定が可能な観測網が構築された。精密観測火山以外の「普通観測火山」（B級火山）についても、一部の火山で観測点を複数点化することにより火山性地震や火山性微動を的確に検知できるよう震動観測点の増設を行った。また、草津白根山（昭和53年）、御嶽山（昭和63年）、伊豆東部火山群（平成2年）、九重山（平成9年）が常時観測火山に追加された。

火山機動観測については、昭和49年から昭和51年に全国火山機動観測班の機材の更新が進められ、次いで昭和54年から昭和56年に札幌・仙台・福岡管区気象台に地域火山機動観測班が設置された。また、全国の普通観測火山の震動データを各管区気象台及び本庁へテレメータ化して監視するなどの改善が図られた（遠望観測や現地観測は現地官署が引き続き行った）。

1980年代後半からは、伊豆大島や雲仙岳の噴火があり、社会的に火山災害に対する関心が高まったこともあり、予備費や補正予算などによる機器の整備が進んだ。特に全島避難となった昭和61年（1986年）伊豆大島噴火に伴う観測体制強化は、初めて国の予備費支出によってなされ、その後は重大な火山災害が起きるたびに予備費支出による観測体制強化が行われるようになった。平成7年には、雲仙岳が普通観測火山から精密観測火山に強化された。

しかしながら、火山観測の定員は少なく、1つの普通観測火山に対して職員1名体制であった。少人数が分散配置されている体制では、技術の継承や相互の研鑽が困難であったことから、1990年代半ば頃から、気象庁内外に火山監視を専門とするセンターの設置を望む声が高まった。第6次火山噴火予知計画（平成11～15年度）において「地域火山監視センター」設置が建議され、地方官署の職員も含めて気象庁内でその具体化に向けた検討を進めた。平成12年（2000年）有珠山噴火や平成12年三宅島噴火を経験して、気象庁の火山監視能力や防災機関等に対する対応能力のより一層の強化が必要であるとの認識が広がった。このため、平成13年10月、火山監視や評価を円滑かつ効率的に実施することを目的として、火山観測デー

タを集中処理する「火山監視・情報センター」を本庁、札幌・仙台・福岡管区气象台に設置し、平成 14 年 3 月から正式に運用を開始した。それまで、火山の近隣の地方气象台等が火山活動の監視や火山情報の発表を単独で行っていたが、地方の定員をセンターに集約するとともに増員を行い、各センターは 13 名体制（本庁は 22 名体制）で、火山を専門とする職員が、火山監視・情報センターに集約された多種多様なデータをもとに、監視対象の火山の活動状況を 24 時間監視して迅速に診断を行えるようになった。火山の観測種目についても見直しを行い、GNSS（全地球航法衛星システム、Global Navigation Satellite System、当時は全地球測位システム、Global Positioning System（GPS）と呼称）観測、空振観測を全ての常時観測火山に導入するとともに、全磁力観測や GNSS の繰り返し観測なども導入された。

また、火山監視・情報センター発足後も、浅間山、伊豆大島、三宅島及び阿蘇山の 4 火山については、地元測候所による火山観測を継続してきたが、火山業務を地元自治体と連携して行うことを目的として、平成 20 年 4 月、それぞれの地元自治体庁舎内に「火山防災連絡事務所」を設置して、本庁又は福岡管区气象台の火山監視・情報センターと一体となって火山業務を実施することとなった。それぞれの測候所は、平成 21 年 10 月に無人化（特別地域気象観測所へ移行）したが、火山防災連絡事務所は、火山防災業務に加え、火山観測業務（火山機動観測）を引き続き行っている。平成 28 年 10 月には口永良部島火山防災連絡事務所を新たに設置した。

鹿児島地方气象台については、桜島の活発な火山活動が続いていたことから、火山監視・情報センター発足後も引き続き火山観測業務を福岡管区气象台の火山監視・情報センターと一体となって実施することとし、後述の御嶽山噴火後の全国的な火山監視体制強化に併せて予報官の増員等を実施した。

2. 全国 47 火山の常時観測化

火山監視・情報センター発足後も、火山機動観測による地震計等の観測機器を用いて、常時観測火山における観測点の多点化を進め、常時観測火山以外でも火山活動の活発化を受けた観測強化が進められた。それにより、センター発足前からの常時観測火山 20 火山に加え、鹿児島県の離島火山など 14 火山で連続監視が行われるようになった。大学等関係機関の観測データの活用も進んだ。

そうしたなか、平成 19 年の噴火予警報業務の開始を契機として、更に観測体制強化が望まれるようになり、火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会において監視体制の強化が必要な火山の選定作業が進められた。検討の結果「監視・観測体制の充実等の必要がある火山」として検討会が選定した 47 火山において、平成 21 年度補正予算により観測強化を実施し、平成 23 年 3 月に常時観測火山に指定した。整備した機器は、火山総合観測装置、火山遠望観測装置（火口タイプを含む）及び機動観測装置である。火山総合観測装置は、地震計、傾斜計、空振計、GNSS 観測装置で、地震計及び傾斜計は、原則として深さ 100m の観測井を掘削して埋設することとした。47 火山のうちの 13 火山は、新たに連続監視が行われるようになった火山であった。

平成 23 年 3 月時点の常時観測火山は以下の 47 火山である。
アトサヌプリ、雌阿寒岳、大雪山、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山、北海道駒ヶ岳、恵山、

岩木山、秋田焼山、岩手山、秋田駒ヶ岳、鳥海山、栗駒山、蔵王山、吾妻山、安達太良山、磐梯山、那須岳、日光白根山、草津白根山、浅間山、新渥焼山、焼岳、乗鞍岳、御嶽山、白山、富士山、箱根山、伊豆東部火山群、伊豆大島、新島、神津島、三宅島、八丈島、青ヶ島、硫黄島、鶴見岳・伽藍岳、九重山、阿蘇山、雲仙岳、霧島山、桜島、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島

3. 御嶽山噴火を受けた火山監視強化

平成 26 年 9 月に発生した御嶽山の噴火は、死者・行方不明者 63 人という惨事となった。

御嶽山噴火を受けて火山噴火予知連絡会の「火山観測体制等に関する検討会」では、水蒸気噴火の兆候をより早期に把握するため、火口付近への観測機器を設置する等の観測体制の強化、御嶽山の火山活動の推移を把握するための観測強化、常時監視が必要な火山の見直し（八甲田山、十和田、弥陀ヶ原の追加）が緊急提言された。さらに、気象庁の監視・評価体制の改善と強化、観測データの品質向上のための技術開発の推進と新たな観測技術の導入、調査研究の着実な推進、人材育成を含めた調査研究体制の強化に対する貢献が提言された。気象庁ではこれらの提言を踏まえ、必要な観測機器の整備や評価体制の改善等を行い、火山観測体制の強化に取り組んだ。

この噴火を受けて取りまとめられた火山噴火予知連絡会の提言や中央防災会議火山防災対策推進ワーキンググループの報告を踏まえ、気象庁は、火山の観測、監視、活動評価、情報発表等の業務実施体制を強化するため、平成 28 年 4 月、本庁の「火山監視・情報センター」を「火山監視・警報センター」に、札幌・仙台・福岡管区気象台の「火山監視・情報センター」を「地域火山監視・警報センター」に強化するとともに、本庁火山課に「火山機動観測管理官」を設置した。また、火山の監視・情報発表、活動評価、機動観測等を行う要員として、「予報官」や「火山活動評価官」を配置するなどの人員の拡充を行った。さらに、大学等の火山研究者や火山に関する専門的な知見を習得した人材の火山活動評価への参画とともに、火山業務に従事する気象庁職員の人材育成を図るため、平成 28 年 4 月 1 日付で火山専門家 5 名を「気象庁参与」として任命した。また、同年 7 月には気象研究所火山研究部で増員した研究官のうち 4 名を本庁、札幌・仙台・福岡管区気象台に駐在させるようにした。このほか、火山業務に関する研修を充実させ、火山業務に従事する職員の技術力向上を図り、火山の観測、監視、活動評価、情報発表等の業務を的確に実施するとともに、火山防災協議会を通じた平素からの地元自治体との情報共有、地元自治体への支援、火山防災知識の普及啓発等の取組を強化した。

一連の火山業務体制の強化を背景に、平成 30 年 1 月の草津白根山（本白根山）の噴火の教訓も踏まえて、平成 30 年 12 月に地震火山部は火山業務において実施すべき主要事項を取りまとめた「今後の火山業務の基本方針」を決定した。

【第 3 節】気象庁の火山観測種目の変遷

1. 火山の多項目観測の重要性

火山活動を監視し、それを評価するためには、火山の地下深くから地表に至るまでの状態の把握、噴火に代表される地表からのエネルギーや物質の放出現象の把握が必要であり、そのためには、多項目の火山観測が必要になる。前述のように、1960 年代に、気象庁は、火山近傍

官署からの遠望観測（目視観測）、火山体に設置した地震計による震動観測と現地に赴く現地観測の3本柱の常時観測体制を整備した。当初の3本柱を重視しつつ、気象庁の火山観測は、火山学や観測・通信技術等の発展を受けて時代とともに進歩してきた。特に、近年は、観測データの高品質化と多項目化を進めてきた。また、気象庁独自の観測施設だけでなく、大学や研究機関、行政機関などが設置している観測施設からのリアルタイムデータ、オフラインデータも活用している。大学のデータの火山監視へのリアルタイム活用は、昭和61年（1986年）伊豆大島噴火直後の東京大学地震研究所の地震データが最初であるが、火山監視・情報センター発足後は、大学等関係機関からのデータの提供が進み、24時間監視に活用されるようになった。さらに、火山機動観測における上空からの火山観測は、国の機関や自治体の航空機に気象庁職員が搭乗して実施する等、関係機関の協力の上に成り立っている。

以下、それぞれの観測種目についてその変遷を述べる。

2. 遠望観測

噴火時などの諸現象はもちろんのこと、静穏な活動期にも噴煙等の観測を行い基礎データを蓄積することは極めて重要であり、気象庁は遠望観測を火山観測の3本柱のうちの一つとしてきた。火山の常時観測が開始された当初は、目視により、噴煙の色、量、高さ、流向等を定期的に遠望観測していた。噴煙の量は、火山ごとに定めた噴煙量階級図に基づいて、0～6の7階級で表現されていたが、昭和57年に、噴煙の垂直断面積から求める方法に改善されたのを機に、全国一律の基準で噴煙観測を行うようになった。観測項目自体は、現在も基本的に変わっていない。

データ伝送技術等の進歩に伴い、映像の長距離伝送が比較的安価に行えるようになり、火山から遠い気象官署であっても、カメラによる遠望観測が遠隔で行えるようになった。当初は、約30秒間隔の静止画伝送であったが、昭和61年の草津白根山への整備を皮切りに、数多くの火山で用いるようになった。一部の火山では、赤外線映像も同時に伝送され、特に平成3年（1991年）雲仙岳噴火の際に発生した火砕流の監視のためにカメラの多点化を進め、夜間の監視についても、ある程度実用的に行えるようになった。平成12年（2000年）有珠山噴火の前後からは、高感度カメラが採用されると同時に、光ケーブル等の高速回線を用いた動画伝送が可能になった。高感度カメラは、夜間も月明かり程度で、噴煙の色の判別を可能にした。映像データ収録技術の進歩により、映像記録の巻き戻し再生が簡便に行えるようになったことから、噴火等の異常検知能力は飛躍的に向上した。また、国土交通省や地方自治体、大学等が設置した監視カメラの活用も進み、複数のカメラの画像から噴煙の高さを算出するシステム（噴煙監視装置）の導入も行われた。「監視・観測体制の充実等の必要がある火山」として47火山が火山噴火予知連絡会により選定された際には、草津白根山、伊豆大島、霧島山、口永良部島に火口近傍に設置して火口内を監視するカメラ（火口カメラ）が設置された。さらに御嶽山噴火を受けた火口近傍の監視体制強化では、各火山に火口監視カメラと熱赤外カメラが整備された。なおこの整備を契機に、平成28年12月以降は「遠望カメラ」「火口カメラ」の名称に代わり、総称として「監視カメラ」を用いている。

高感度カメラは、国土交通省の砂防関係の工事事務所等でも火山に設置しており（火口近傍

に設置されている火山もある)、そのデータの一部分が、火山監視・情報センターに分岐されて火山活動監視に活用されている。気象庁の監視カメラを含むこれらの映像データは、内閣府等の防災関係機関ともネットワーク接続により共有され、噴火災害等に対する危機管理に役立てられている。

3. 震動観測

火山性地震や火山性微動の観測は、火山監視の最も重要な項目の一つであり、常時観測体制構築当初からの3本柱のひとつである。

1960年代の常時観測体制の整備以降、気象庁は、一部の火山を除き、長らく1火山1観測点で観測してきた。各観測点における火山性地震の着震時、S-P時間、最大振幅等を検測している(多点化してからも基準観測点における検測項目はほぼ同じである)。しかし、1観測点では得られる情報は限られており、1990年代からは更新された火山機動観測機器を運用して多点化を進めるようになった。また、常時観測対象でなくとも、活動的な火山については、機動観測点を長期に運用して連続監視を行うようになった。大学等の関係機関のデータのリアルタイム分岐を受けて監視に活用されている火山も多い。観測点の密度が増したため、1点観測時代には不可能であった火山性地震の震源決定も多くの火山で可能となっている。使用する地震計も長らく地上設置型、短周期(固有周期1秒)の地震計が中心であったが、基礎研究分野で有用性が認められてきた広帯域地震観測、ボアホール観測の導入も徐々に進められ、平成21年度から整備した「火山総合観測装置」でボアホール型の地震計を、御嶽山噴火後の監視強化では広帯域地震計(固有周期120秒)を多くの常時観測火山で採用している。

データの処理手法についても、1960年代の常時観測体制整備以降、煤書き直視式の記録計(いわゆるドラム記録)が用いられてきたが、1990年代からは解析システムとして、システム上で検測等が行える「火山解析処理装置(VolPAS)」が導入され、火山監視・情報センター業務の開始にあわせて、「火山監視・情報センターシステム(VOIS)」が整備された(詳細は、本部第4章第2節「火山関連の業務システム」を参照)。

また、平成9年以降、気象庁が関係機関からの地震観測データを一元的に収集し、処理を行うようになったことで、微小地震の震源決定能力は飛躍的に向上し、火山周辺においても火山性地震の検知力が向上した。火山観測のための観測点の少ない火山については、火山観測点に加えてこれらの広域のデータも総合的に監視することにより、地震活動を監視することができるようになった。また、火山観測のための観測点がない火山であっても、顕著な群発地震など、ある程度の監視が可能になっている。

4. 地殻変動観測

火山活動を評価する上で、地殻変動観測は有効である。気象庁は、火山監視・情報センター発足以前から、精密観測火山を中心に傾斜計を設置して連続観測を実施してきたが、地表近くに設置されているため、温度変化等によるノイズが大きく、規模の大きな変化しか捉えられなかった。昭和61年(1986年)伊豆大島噴火の際は、多点による傾斜観測が行われ、1990年代からは、雲仙岳や伊豆東部火山群にボアホール式傾斜計も設置されたが、このような多点、

高品位の傾斜観測は、一部の火山に限られていた。岩手山等における気象研究所等の試験観測の成果を踏まえ、平成 12 年度から、比較的安価なボアホール式傾斜計（深度約 10m）が順次導入され、浅間山では噴火直前の前兆変化を捉えるなどの成果を上げた。平成 21 年度から整備した「火山総合観測装置」では、全国的に本格的なボアホール式傾斜計（深度約 100m）を採用している。加えて御嶽山噴火後の監視強化（火口近傍での傾斜観測の必要性）では、設置と維持が比較的容易な深度約 10m の傾斜計を採用し、各火山で標準的に総合観測装置と合わせて傾斜計 2 台による観測が行われている。

火山監視・情報センター業務開始とともに、気象庁は、常時観測火山に GNSS 連続観測を導入した。そして、国土地理院が全国展開している GEONET（GNSS Earth Observation NETwork System：GNSS 連続観測システム）や大学等のデータも統合して処理している。また、現地観測（火山機動観測）において、連続観測より小さい密な観測網を用いて火口を取り囲むような繰り返し観測を行っている火山もある。

これらに加え、火山監視・情報センター発足前から、測角測量や光波測距を一部の火山で導入していた。伊豆大島では、昭和 61 年の噴火以来、連続自動光波測距観測を実施しており、長期的な地殻変動を記録し続けている。平成 3 年から始まった雲仙岳の噴火においては、溶岩ドームの成長過程の観察や山体変形の観測が行われ、これらのノウハウは、平成 12 年（2000 年）有珠山噴火、平成 16 年の浅間山の噴火における観測にも活用され、連続自動光波測距観測は浅間山でも行われている。

また、火山観測の目的で設置された測器ではないが、気象庁が東海・南関東地域に設置している体積ひずみ計には、これらの地域に存在する活火山（例えば、伊豆大島、伊豆東部火山群、箱根山）の活動に関連した地殻変動が記録されることから、これらのデータも監視に活用している。

5. 空振観測

噴火に伴う空振や音響の観測は、以前は全国の気象官署で体感によって行われていた。体感に加え、気象観測のための自記気圧計や微気圧計といった測器が用いられることもあったが、自記気圧計や微気圧計は火山観測用の測器ではないため、周波数特性等に問題があった。このため、気象庁は、大学で用いられていた低周波マイクロフォンによる観測を、1980 年代から手始めに桜島で取り入れた。十勝岳や雲仙岳の噴火の際にも、低周波マイクロフォンを正式な空振計として順次採用した。雲仙岳では、多点空振観測による波源決定手法が開発され、平成 12 年（2000 年）有珠山噴火に伴う空振の観測にも利用された。空振計は、1990 年代後半から各地の火山で採用するようになり、現在は、全国の常時観測火山に設置し、一部の火山には複数の空振計を設置している。

6. 全磁力観測

マグマの上昇や熱水系の発達などにより、岩石の磁化が弱まり地磁気に変化が現れることがある。地磁気観測所や気象研究所が草津白根山などで観測実績を挙げたことを受けて、火山監視・情報センター発足を契機に火山機動観測に全磁力の繰り返し観測が導入された。

さらに、御嶽山の噴火を受けて、水蒸気噴火の兆候をより早期に把握するため、6 火山（樽前山、吾妻山、安達太良山、御嶽山、九重山、霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）で全磁力連続観測を開始した。いくつかの火山では火山活動の高まりに応じた全磁力変化が捉えられており、活動評価に活用されている。

7. 火山ガス観測

マグマから脱ガスする揮発性成分は、噴火の駆動力となることから、火山ガスの観測が火山活動の観測には有用である。また、火山ガスの挙動は、水蒸気噴火の原因となる熱水の活動とも関係が強いと考えられている。気象庁では、1960 年代に北川式検知管による噴気孔ガス濃度観測を導入した。しかし、精度が悪く、定量的な評価が難しかった。

火山監視・情報センターの発足後は、三宅島における相関スペクトロメーター（Correlation Spectrometer (COSPEC)）観測の経験を踏まえて、二酸化硫黄（ SO_2 ）の放出量の観測を導入した。現在は、小型紫外線スペクトロメーター（COMPASS）を用いて繰り返し観測が行われており、噴火警戒レベルの判定等、火山活動評価の重要な指標の一つとなっている。

また、いったんは廃止された火山ガス成分観測であったが、御嶽山の噴火を受けて、火山ガスの成分比を連続観測できる多成分火山ガス観測システムを、吾妻山、草津白根山、御嶽山、九重山に設置して試験的な観測等を開始した。吾妻山や草津白根山では、火山活動の高まりに応じて火山ガスの成分比に変化が検出されている。

8. その他の現地観測等

現地観測とは、テレメータ技術に頼らず、現地に出かけて行う観測であり、常時観測体制構築当初からの 3 本柱のひとつである。火山の地元の気象官署は、定期的に現地観測を実施してきた。その内容は、火口内の変化を確認する目視観測のほか、噴気地帯の温度観測やガス観測、温泉の温度観測や pH 観測が中心であった。火山監視・情報センターの発足を機に、現地観測についても大幅な見直しが行われ、一部の火山を除き、現地観測は、火山監視・情報センターの火山機動観測班が行う「火山機動観測（基礎調査観測）」の一環として行うことになった。

熱観測については、1970 ～ 1980 年代に技術の進歩があった「熱赤外映像観測」を、1980 年代から火山機動観測に導入していた。近年は軽量でデータ処理が容易な機器が開発され、従来からの温度計による直接観測とともに熱的状态を可能な限り面的に捉えられるよう、熱赤外映像装置による遠隔観測を大幅に導入した。

このほか、航空機やヘリコプターによる上空からの観測も重要で、平成 3 年から始まった雲仙岳の噴火や平成 12 年（2000 年）有珠山噴火、平成 12 年三宅島噴火の際は、頻繁に上空からの観測が行われ、観察や写真撮影だけでなく、熱映像や火山ガス観測なども行われるようになった。上空からの観測は、異常時だけでなく、多くの火山で、平常時から、関係機関の協力を得て実施している。

また、噴火後には、大きな噴石や火砕流の到達範囲、火山灰が降灰した範囲や量等を把握するための観測や調査を、地元の地方気象台等や関係機関の協力の下で実施している。これらの結果は、噴火警報や降灰予報の適切な発表や予測精度向上の取組に欠かせないものとなっている。

9. 衛星データの活用

火山の噴火等の活動時には、気象衛星「ひまわり」のデータ（可視、赤外、8号以降の火山灰用 RGB 合成等）を、噴煙や地表の熱活動の監視に活用している。例えば西之島など、リアルタイム監視手段が他にない海域の火山では、非常に重要なデータである。また、宇宙航空研究開発機構の陸域観測技術衛星「だいち」（2006～2011年）及び「だいち2号」（2014年～）の合成開口レーダー（SAR）のデータを用いた、干渉 SAR 解析・時系列解析及び強度画像解析の成果も、火山周辺の地殻変動や噴出物の範囲、地形の変化等の評価に活用されてきた。

【第4節】火山防災情報と防災支援

1. 火山情報から噴火警報、速報へ

（1）火山情報の発表開始

常時観測体制を整備した1960年代以降、防災のための情報が望まれるようになった。社会的な要求に応えられる火山情報を適時・適切に発表するためには、当時の火山情報では、様々な点で不備が多いと考えられていたが、昭和33年10～12月の浅間山噴火が始まる前に、軽井沢測候所から火山情報を通じて地元自治体等への登山規制の働きかけが行われ、事前の登山規制により登山者への被害が生じなかったこと、昭和39年12月下旬～昭和40年1月上旬の三原山噴火の際に、大島測候所から数度発表された臨時火山情報は、防災上、かなり有効であったことが示された。

このため、気象庁は、昭和40年1月から、それまで非公式に自治体等に伝えられていた火山情報を公式に発表することとした。新たな火山情報は、常時観測火山を対象とした「火山情報（定期）」、及び異常時に発表する「火山情報（臨時）」の2つで構成された。最初の火山情報（定期）は、昭和40年1月にA級火山（浅間山、伊豆大島、阿蘇山、桜島）及び三宅島を対象として発表された。昭和53年の「活動火山対策特別措置法」の改正以降は、「定期火山情報」「臨時火山情報」「火山活動情報」の3種類の火山情報を発表してきた。

昭和末期から平成初期にかけて、伊豆大島、十勝岳、伊豆東部火山群、雲仙岳など社会的に大きな影響を与える噴火が相次いだ。その際、「臨時火山情報」に比べて、より上位の「火山活動情報」という名称が与える印象に切迫性が低いため、わかりづらいという意見が多く寄せられた。また、噴火活動が続いている火山において、火山活動の軽微な変化に対して「臨時火山情報」を頻繁に発表することが問題視されるなど、防災情報として火山情報の更なる改善が求められた。

このことから、平成4年11月、気象庁は、学識経験者、防災行政関係者、報道関係者で構成される「火山情報検討会」（座長：下鶴大輔東京大学名誉教授）を開催し、火山情報に対する防災上のニーズとともに、火山学や火山観測技術の評価等を行い、火山情報拡充のための方策や名称変更について検討した。その結果に基づき、平成5年5月から、人命等に影響を与える可能性のある火山活動が発生した場合に、その重大性と緊急性を伝えるために発表する情報の名称を、「火山活動情報」から「緊急火山情報」に変更した。また、「緊急火山情報」又は「臨時火山情報」が発表された後、これらの情報を補完して、きめ細かく活動状況を伝える「火山観測情報」を新たに導入した。

(2) 火山活動度レベルの提供

火山活動には噴火活動による火山灰や噴石の放出、溶岩の流出、火砕流など、様々な災害の要因が含まれているため、それらを伝える火山情報の内容が多岐にわたること、専門的であること、文章表現では分かりにくいといった指摘があった。このことから、火山活動の状態と防災対応の必要性を考慮して、火山の活動度を次の0～5の6段階で簡潔に表現した「火山活動度レベル」の提供を平成15年11月から、浅間山、伊豆大島、雲仙岳、阿蘇山、桜島の5火山で開始した。

- 5 極めて大規模な噴火活動等。広域で警戒が必要。
- 4 中～大規模噴火活動等。火口から離れた地域にも影響の可能性があり、警戒が必要。
- 3 小～中規模噴火活動等。火山活動に十分注意する必要がある。
- 2 やや活発な火山活動。火山活動の状態を見守っていく必要がある。
- 1 静穏な火山活動。噴火の兆候はない。
- 0 長期間火山の活動の兆候がない。

火山活動度レベルは、火山噴火予知連絡会が平成11年に「火山活動度レベルの一般的指針(試行段階の案)」として気象庁に提言した内容をもとに、5火山の地元防災機関や有識者の意見を聞きながら具体化したもので、気象庁ホームページに常時掲載するとともに、「緊急火山情報」にはレベル4～5を、「臨時火山情報」にはレベル3を、「火山観測情報」には0～5を付加して提供した。

火山活動度レベルの対象は、その後12火山まで拡大した。

(3) 噴火警報・噴火予報・噴火警戒レベルの運用開始

平成12年から平成13年にかけて、富士山において低周波地震が多発したことを受けて、火山防災体制の確立に向けて様々な検討が開始され、学識経験者、関係都県及び関係府省から構成される「富士山火山広域防災検討会」において、富士山の具体的な広域防災対策のあり方が取りまとめられた。一方、北海道駒ヶ岳等の一部の活火山でも、複数の市町村にまたがった整合のとれた具体的な避難計画等の作成が進められてきた。

これら富士山や北海道駒ヶ岳における広域的な防災対策の成果を踏まえ、平成18年11月から「火山情報等に対応した火山防災対策検討会」(事務局：内閣府(防災担当)、総務省消防庁、国土交通省砂防部、気象庁)において火山防災対策の検討が進められた。その中で「火山活動度レベル」は、具体的な防災対応との関連が必ずしも明確でなく、避難準備や避難指示等の判断に利用しにくいとの指摘があった。このため、火山の活動度を避難行動等の具体的な防災行動に結びつける形で5段階にレベル化して発表することとし、平成19年6月の検討会で名称を「噴火警戒レベル」とすることが提言された。

また、平成19年秋の臨時国会において、気象業務法の一部を改正し気象庁が火山現象警報等を実施することとなった。これらを踏まえ、気象庁は新たに「噴火警報」等の名称で火山現象警報等を発表し、とるべき防災対応との関係を明確化した噴火警戒レベルも合わせて発表することとした。平成19年12月の噴火警報の開始時は、それ以前に火山活動度レベルが設定されていた12火山について、防災対応を含めた考え方に従って見直す作業を行い、新たな4火山を加えて16火山で運用を開始した。

その後、上記検討会で更に検討が進められ、「噴火警戒レベル」は、気象台及び地元関係機関（自治体・砂防部局等）と火山研究者が、噴火シナリオと火山ハザードマップを検討し、火山活動の影響範囲に応じた避難等の対応について検討した上で運用することや、地域防災計画等に噴火警戒レベルと防災対応との関係を位置付ける必要性が示され、検討の結果は、平成 20 年 3 月に「噴火時等の避難に係る火山防災体制の指針」（以下「指針」という。）として公表された。

これを受けて気象庁は、噴火警戒レベルが発表された際にとるべき防災対応が地域防災計画等に定められた火山に対して、噴火警戒レベルの運用を開始することとし、火山防災協議会が未設置の火山もある中、指針を抛り所として、本庁・管区及び地方気象台が、地元関係機関及び研究者等と協議を重ねて、1 年に数火山ずつ運用を始めた。協議会が法的に位置付けられてからは、噴火警戒レベルはその正式な協議事項とされ、令和 3 年度までに協議会が設置された全 49 火山で運用が開始された。

噴火警報及び噴火予報は全国の活火山（開始当時 108 火山、現在 111 火山）を対象に、警戒等を要する市町村等を明示して発表しており、このうち噴火警報は、大きな噴石、火砕流、融雪泥流等、噴火に伴って生命に危険の及ぶ火山現象の発生が予想される場合に発表する。わかりやすさと速報性の観点から、噴火警報には警戒等を必要とする対象範囲を表す語（火口周辺、居住地域等）を付した名称を使用するとともに、火山防災協議会で合意された避難計画等に基づき、5 段階の噴火警戒レベルあるいは警戒事項等のキーワードを付して発表している。噴火予報は、火山活動の状況が静穏あるいは噴火警報には及ばない程度と予想される場合に、噴火警戒レベル 1 あるいは警戒事項等として「活火山であることに留意」※を付して発表している。また、海底火山については「噴火警報（周辺海域）」として発表している。なお、「噴火警報（居住地域）」は、平成 25 年 8 月以降、特別警報に位置付けられている。さらに、噴火警報・予報を補完するため火山性地震の回数等の火山活動の状況や警戒事項をお知らせする場合には、「火山の状況に関する解説情報」を発表する。

噴火警戒レベルは、以下のキーワード（括弧内）とともに発表される。

レベル 5（避難）

居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生、あるいは切迫

レベル 4（高齢者等避難）

居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生すると予想される（可能性が高まっている）

レベル 3（入山規制）

居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす噴火が発生、あるいは発生すると予想される

レベル 2（火口周辺規制）

火口周辺に影響を及ぼす噴火が発生、あるいは発生すると予想される

レベル 1（活火山であることに留意）

火山活動は静穏。火山活動の状態によって、火口内で火山灰の噴出等が見られる

※噴火警戒レベル運用当初のキーワードは、レベル 4 は「避難準備」、レベル 1 は「平常」。

（4）御嶽山噴火災害を踏まえた噴火速報の発表等

平成 26 年 9 月に発生した御嶽山噴火を受け、火山噴火予知連絡会の「火山情報の提供に関する検討会」において、①わかりやすい火山情報の提供、②火山活動に変化があった場合の情

報伝達の方法が検討された。平成 27 年 3 月にまとめられた「火山情報の提供に関する報告」では、噴火警報の発表基準の公表、火山活動の変化を観測した段階での臨時的発表であることを明記した「火山の状況に関する解説情報」の発表、噴火警戒レベル 1 におけるキーワードの「平常」から「活火山であることに留意」へ変更、噴火速報の発表などの改善策が提言された。

この提言を踏まえた噴火警報の発表基準については、噴火警戒レベルの判定基準を精査し、平成 28 年の浅間山、御嶽山、桜島を皮切りに、令和 4 年にかけて、火山防災協議会が設置されている全国 49 火山全てにおいて公表した。

平成 27 年 8 月から運用を開始した噴火速報は、火山名と噴火した時間のみの情報とし、登山者や周辺の住民に対して、火山噴火が噴火したことを端的にいち早く伝え、身を守る行動を取れるようにしている。当初の噴火速報は、気象庁の監視データ（震動・カメラ等）で噴火を確認して発表する運用だったが、平成 30 年 1 月の草津白根山（本白根山）噴火では、監視データでは噴火を確認できず、関係機関から得た噴火の情報を確認するのに時間を要し、噴火速報を発表できなかった。このため、火山防災協議会の構成機関からの通報やインターネット上の Web カメラで得た情報なども、噴火速報に活用して発表することとした。噴火速報は、気象庁ホームページ、テレビやラジオのほか、携帯端末などを通じて知ることができる。令和 5 年 3 月現在、携帯端末サービスの事業者数は、当初の 2 社から 6 社に増加した。

2. 降灰予報と火山ガス予報

（1）降灰予報及び火山ガス予報の発表開始

桜島の噴火が活発であった 1980 年代、県内の関係機関から降灰の予測に関する要望を受けた鹿児島地方気象台は、噴火が発生した場合の降灰の予想に役立ててもらう目的で、昭和 58 年 9 月から、「177 天気予報電話サービス」を通じた高層風の実況の提供を開始した。そして、昭和 60 年 2 月から、数値予報モデルの高層風の予報結果を用いて、桜島上空の風向風速の予報値を提供する業務を開始した。この情報は、鹿児島県内の報道機関では幅広く活用され、ローカル天気予報の一部として放送され、住民の生活に欠かせないものとなっており、30 年以上利用された（現在は、降灰予報（定時）が利用されている）。

噴火の発現時刻や噴煙高度などの噴煙柱の状態を初期条件として、メソスケールの数値予報モデル（MSM）の予報値を利用して火山灰の移流・拡散・降下・沈着の予測計算を行う移流拡散モデルの開発が進められ、平成 16 年の浅間山の噴火を通じて検証が行われた。このような降灰予測に関する技術開発とともに、平成 19 年の気象業務法の改正も踏まえ、平成 20 年 3 月から「降灰予報」及び「火山ガス予報」の提供を開始した。

火山ガス予報は、居住地域に長期間影響するような多量の火山ガスの放出がある場合に発表することとし、発表条件に該当した伊豆諸島の三宅島を対象として、平成 20 年 3 月から運用が開始された（三宅島を対象とした発表は平成 27 年 11 月に終了）。

（2）量的降灰予報の運用開始

交通やライフライン、農作物、人体等に対する被害の程度は、降灰量ごとに異なり、とるべき対応も異なる。このことから、降灰の範囲だけでなく降灰量を予報することが防災上、重要な情報となる。降灰量の予測に向けた技術的な進展、及び防災情報としてより適切な内容とす

るため、桜島、霧島山及び浅間山周辺を中心とする防災担当者、各利用分野、一般住民等を対象として気象庁が行った降灰予報に関するニーズ調査を踏まえ、「降灰予報の高度化に向けた検討会」において検討した結果が「降灰予報の高度化に向けた提言」として平成 25 年 3 月に取りまとめられた。この提言を受け、平成 27 年 3 月、降灰量分布（検討会で提言された降灰量階級で表現、以下同様）や小さな噴石の落下範囲を予測する新しい降灰予報（量的降灰予報）の運用を開始するとともに、担当する予報官を気象庁本庁に配置した。

当初の降灰予報は、噴火発生からおおむね 6 時間後までに火山灰の降下があると予想される地域を図で示した降灰予想図を作成して、降灰が予想される地域（府県予報区）に対して予報文とともに発表していた。新たな量的降灰予報では、噴火の前と後や時間経過に応じて、「降灰予報（定時）」「降灰予報（速報）」「降灰予報（詳細）」の 3 種類で発表することとした。「降灰予報（定時）」は、噴火警報発表中の火山で、噴火により人々の生活に影響を及ぼす降灰が予想される場合に、3 時間ごとに発表する。「降灰予報（速報）」は、噴火後速やかに（5 ～ 10 分程度）発表し、噴火発生から 1 時間以内に予想される、降灰量分布や小さな噴石の落下範囲を提供する。「降灰予報（詳細）」は、噴火後 20 ～ 30 分程度で発表し、噴火発生から 6 時間先まで（1 時間ごと）に予想される降灰量分布や、降灰開始時刻を提供する。また、降灰量の状況や影響、必要な対応行動をわかりやすく利用者へ伝えるために、降灰量を降灰の厚さによって「多量」「やや多量」「少量」の 3 階級で表現するとともに、従来の都道府県ごとの予報から市町村ごとの予報に変更した。

3. 航空路火山灰情報

航空路火山灰情報（VAA）は、火山の噴火で噴き上げられ上空を浮遊する火山灰から、航空機の運航を守るため、航空路火山灰情報センター（VAAC）から発表される情報である。気象庁は世界の 9 つの VAAC の一つ東京 VAAC として、平成 9 年から VAA の発表を行っている（航空路火山灰情報センター業務については、第 3 部第 2 章第 6 節「航空路火山灰情報センター業務」を参照）。

4. 活動火山対策特別措置法 制定・改正の経緯

昭和 47 年から昭和 48 年にかけて、桜島の噴火活動が活発になり、周辺地域の農作物にかなりの被害が生じた。また、昭和 48 年 2 月、浅間山が噴火して、噴石により、周辺地域の住家の屋根や窓ガラスなどに被害が生じた。これらを背景にして、昭和 48 年 7 月、議員立法により、「活動火山周辺地域における避難施設等の整備等に関する法律」（昭和 48 年法律第 61 号。以下「旧法」という。）が制定された。

昭和 52 年 8 月、有珠山が 33 年ぶりに噴火し、火山噴火のもたらす災害に改めて人々の注目が集まった。また、昭和 47 年以来活動が活発化し、周辺市町村に毎年大量の降灰をもたらしている桜島や、しばしば山頂周辺への立ち入りが規制されている阿蘇山等のほかの火山についても、火山噴火の予知、降灰対策、避難対策等の総合的な対策が必要であるとの考え方が固まり、昭和 53 年 4 月、旧法が改正され「活動火山対策特別措置法」と改められた。この改正により、降灰の除去及び防除事業に対する国庫補助、周辺地域の警戒避難体制の整備等に関す

る規定が加えられた。気象庁に関連する主な改正点としては、火山現象の研究及び観測のための施設及び組織の整備並びに大学その他の研究機関相互間の連携強化、情報の収集及び伝達、避難等、警戒避難体制について都道府県の地域防災計画に定めること、火山現象による災害から国民の生命及び身体を保護するため必要があると認めるときの火山現象に関する情報の関係都道府県知事への通報の義務付けとそれを受けた知事や市町村長の防災対策を定めることが挙げられる。

平成 27 年には、前年に発生した御嶽山噴火災害の教訓や、火山災害の特殊性などを踏まえ、活動火山対策の強化を図るべく、火山地域の関係者が一体となって、登山者を含めた警戒避難体制の整備を行うための改正が行われ、基本指針の策定や火山災害警戒地域の指定が規定された。このほか、火山防災協議会が指定地域を含む都道府県・市町村における設置義務として法的に位置付けられ、気象台も構成員として規定され、噴火シナリオや火山ハザードマップ、噴火警戒レベルの設定について、都道府県及び市町村と協力して検討することとされた。

令和 5 年には、富士山の想定火口の範囲拡大や桜島で大規模噴火の可能性が近年指摘されたことなどから、噴火災害が発生する前の予防的な観点から、活動火山対策の強化を図るための改正が行われた。火山現象に関し専門的な知識又は技術を有する人材の育成及び継続的な確保、火山調査研究推進本部の設置、火山防災の日の制定などが定められた。

5. 火山防災協議会

平成 20 年 3 月に公表された指針において、市町村長は気象庁が発表する噴火警報（噴火警戒レベル）に応じた入山規制や避難勧告等の防災対応を行うこと、地元の関係機関で構成される「火山防災協議会」で、平常時から関係機関との共同検討を推進することなどが示された。その後、国が策定する防災基本計画（中央防災会議が作成する政府の防災対策に関する基本的な計画）においても、火山防災協議会の設置等の体制の整備や平常時からの共同検討が定められた（平成 23 年 12 月）。これを受けて、気象庁をはじめとする国の火山関係府省庁は、各火山周辺の地方公共団体等の防災関係機関に働きかけて火山防災協議会の設置や運営を推進し、火山災害から登山者や住民の生命を守るための取組（噴火シナリオ、火山ハザードマップ、噴火警戒レベル、避難計画、防災マップ、防災訓練等の作成や実施）を共同で進めてきた。そして、前述した平成 27 年の活動火山対策特別措置法改正により、火山災害警戒地域を含む都道府県・市町村における火山防災協議会の設置が義務となり、これらの取組が協議事項となった。

火山防災協議会は、都道府県、市町村、気象台、砂防部局及び火山専門家等の地元関係機関で構成され、その役割は、平常時には噴火警戒レベルに対応した「避難計画」（誰が・いつ・どこからどこへ・どのように避難するか等）の共同検討を進め、緊急時には避難対象地域の拡大等の助言を市町村長に対して行うことである。また、避難訓練の実施や避難計画の住民への周知も火山防災協議会で行われる。火山防災協議会におけるこのような共同検討は、地域の関係者の間で「顔の見える関係」（相手が決めることについてもお互いに意見を言い合える信頼関係）と「防災対応のイメージ共有」（噴火警戒レベルに応じた具体的な防災対応についての認識の共有）を確立することにつながり、噴火時等に関係機関が連携して避難計画に基づく防災対応を行うために不可欠となっている。また、指針では、「国は、全国の火山に関係する都

道府県及び市町村との間で連絡会議を開催し、情報交換を活性化する。」としていることから、気象庁は内閣府等とともに事務局となって、平成 24 年から毎年、火山防災協議会等連絡・連携会議を開催している。

火山防災協議会をはじめとする地域における火山防災支援の充実にあわせ、気象庁では、関係する都道県を所管する气象台に火山防災官や火山防災調整係長を順次配置した。また、浅間山、伊豆大島、三宅島、阿蘇山には平成 20 年 4 月から、口永良部島には平成 28 年 10 月から、火山防災連絡事務所を設置、職員 2 名を勤務させて、地元自治体と連携した火山業務を、本庁又は福岡管区气象台と協力しながら実施している。

【第 5 節】火山噴火予知連絡会

1. 火山噴火予知連絡会の発足

噴火活動が活発になった桜島火山の活動に鑑み、火山研究の成果を火山防災に役立てるとともに、科学的な根拠に基づく火山噴火予知の実現を目指して、昭和 48 年に文部省測地学審議会（現 文部科学省科学技術・学術審議会測地学分科会）において「火山噴火予知計画の推進について」がまとめられ、関係大臣に建議された。その建議に基づき、火山噴火の予知に関する観測の情報を交換するとともに、それらの情報の総合的な判断を行い、かつ研究・観測の体制を調整し、それぞれの立場における研究及び業務を円滑に進めるため、大学、気象庁並びに関係省庁間に火山噴火予知連絡会を設け、事務局は気象庁に置くこととなった。

これを受け、昭和 49 年 6 月に火山噴火予知連絡会が発足し、同年 7 月に初代会長に永田武氏（国立極地研究所所長）を選出して第 1 回の連絡会が開催された。以降、年に 3 回（令和元年以降は 2 回）ずつ定例会が開催され、令和 5 年度までに 153 回となった。定例会では、前回開催以降の主な火山活動についての評価が検討され、会議後の記者会見でその検討結果が説明された。第 72 回（平成 8 年）からは、全国の活火山の活動評価の取りまとめも報道に公表された。平成 14 年頃からは、TV 会議システムを用いて、各管区气象台の地域火山監視・情報センターも定例会に参加、また地方自治体の防災担当者も最寄りの気象官署で傍聴できるようにした。令和 6 年度の火山調査研究推進本部・火山調査委員会の設置を受けて、153 回を最後に定例会は開催しないこととなった。

気象庁は、火山噴火予知連絡会の委員である各大学等の研究者と、定例会資料の検討を通して火山活動評価の議論を行い様々な助言を受け、観測データの解析及び解釈の技術と、火山活動評価に資する資料の内容を着実に向上させてきた。当初は本庁が一括で行っていた会議での説明と質疑対応も、平成 30 年の定例会から TV 会議で各管区气象台の火山活動評価官等が行った。後述の「あり方」検討においても、「火山活動評価ではこれまでのような予知連での研究者の助言を必ずしも求めずに気象庁単独で実施可能な範囲が確実に増えている」（報告書）ことを前提として、新体制が検討された。

2. 火山活動への対応

火山噴火予知連絡会では、研究成果を実社会に応用することを念頭に、観測データや現地調査の成果に基づき、火山学の知見を用いた火山活動の科学的な評価を行い、統一見解やコメ

ントなどといった形で発表し、火山災害の軽減に資する情報発信に努めてきた。例えば、昭和 61 年（1986 年）伊豆大島噴火に際しては、山腹割れ目噴火の発生を受けて、全島避難の契機となるような助言を行い、平成 12 年（2000 年）有珠山噴火に際しては、地元の火山噴火予知連絡会委員が火山噴火の可能性を地元自治体に伝え、住民避難のきっかけを作るなど、防災対応を支援する役割を果たしてきた。また、昭和 52 年の有珠山噴火の際の「有珠山総合観測班」、昭和 61 年（1986 年）伊豆大島噴火の際の「伊豆大島部会」、平成 2 年からの雲仙岳噴火の際の「雲仙岳ワーキンググループ」など、令和 4 年に終了した「口永良部島部会」に至るまで、必要に応じて部会や観測班などを設置して、気象庁や大学等による観測を強化し、火山活動を集中的に検討し、きめ細かい判断を行ってきた。

3. 検討会による提言

火山噴火予知連絡会の下に設けられた各検討会等では、活火山及び中長期的な噴火の可能性の評価に基づく火山防災のために監視・観測体制の充実等が必要な火山（現在 51 火山）の選定や、噴火現象の即時的な把握手法、観測データの流通及び共有体制、優先度を踏まえた火山毎の具体的な観測網のあり方等について検討を行ってきた。最近では、平成 26 年の御嶽山噴火や平成 30 年の草津白根山（本白根山）の噴火を受けて、火山観測体制等や火山情報の提供、調査研究のあり方の検討を行い、評価や観測等の体制強化、火山防災情報の改善、火山防災に関する情報共有の強化等の必要性についても提言した。

このほか、「富士山ワーキンググループ」（報告書：平成 15 年 5 月）による富士山の基礎データ収集や「伊豆大島の火山活動に関する勉強会」（報告書：平成 20 年 9 月）による中長期的観点からの伊豆大島の噴火シナリオの検討なども行われてきた。

4. 活火山の選定と活火山総覧の発行

火山噴火予知連絡会は、昭和 49 年に設置されて以来、その任務の一環として、活火山の定義の見直しや選定作業を進めてきた。

昭和 50 年には、当時の活火山の定義であった「噴火の記録のある火山及び現在活発な噴気活動のある火山」に該当する 77 活火山に関する資料をまとめて「日本活火山要覧」を刊行し、昭和 59 年にはこれを改訂し「日本活火山総覧」を刊行した。

平成 3 年には、活火山の定義を「過去およそ 2000 年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」に変更した。この定義に該当する 83 活火山のカタログとして「日本活火山総覧（第 2 版）」を刊行、より多くの方々に利用していただくために、平成 8 年には一部を改訂して刊行した。

さらに、火山噴火予知連絡会は、「火山噴火の長期的な予測に関するワーキンググループ」や「活火山ワーキンググループ」による検討を経て、平成 15 年 1 月、国際的にも一般的になってきていた「概ね過去 1 万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」を活火山と定義し、108 の火山を活火山として選定した。それらを反映した「日本活火山総覧（第 3 版）」を平成 17 年に刊行した。

その後、平成 23 年に 2 火山、平成 29 年に 1 火山を新たに活火山として選定している。

平成 25 年には、活火山をとりまく各方面の変化に対応して、特に防災面での内容を充実させるとともに、新たな知見等も合わせ、「日本活火山総覧（第 4 版）」を刊行した。

5. 衛星解析グループ

火山噴火予知連絡会では、宇宙航空研究開発機構（以下「JAXA」という。）の陸域観測技術衛星「だいち」等の防災利用実証実験を通じ、衛星データの利用方法を調査・検討するため、平成 18 年に衛星解析グループを設置した。当初は気象庁と JAXA の共同研究協定に基づき、また平成 29 年からは、防災分野での利活用の定着を目的とする協定に基づき、参加機関（国土地理院、防災科学技術研究所、各大学等）が衛星データによる火山活動監視の高度化と解析結果の火山活動評価、火山学の研究等を進めている。参加機関による解析結果は火山噴火予知連絡会における検討に活用され、また気象庁の防災資料等にも活用されている。

6. 火山噴火予知連絡会のあり方の検討

平成 13 年の中央省庁再編に伴う文部省測地学審議会の文部科学省科学技術・学術審議会測地学分科会への改組、同年の国立試験研究機関（現 国立研究開発法人）の独立行政法人化及び平成 16 年の国立大学の法人化、平成 19 年の気象業務法の改正による噴火警報の発表開始など、火山噴火予知連絡会を構成する各機関の体制の変化や、火山災害への社会的関心が高まり、これまで火山噴火予知連絡会の果たしてきた役割の一部を担う機関が整備されてきたことから、令和元年に「あり方検討作業部会」を設置し、今後の火山噴火予知連絡会のあり方についての検討が進められた。

令和 4 年にその最終報告がまとめられ、それを具体化するための「あり方報告の具体化作業部会」において、各検討会の構成や開催条件などが検討された。これらの検討を経て、令和 5 年度から、火山活動評価検討会等からなる新体制による運営を開始した。

7. 火山調査研究推進本部の設置と火山噴火予知連絡会

活動火山対策特別措置法が改正され、火山に関する観測、測量、調査及び研究を推進することにより、活動火山対策の強化に資することを目的として、我が国の火山調査研究を一元的に推進する司令塔として火山調査研究推進本部が、令和 6 年 4 月に文部科学省に設置された。

令和 6 年 4 月には本部会議、政策委員会、火山調査委員会の第 1 回会議が開催され、総合的かつ基本的な施策及び調査観測計画の要点を同年夏頃までに策定することや、関係行政機関、大学等の調査結果等を収集、整理、分析し、火山活動の現状を評価することなどが当面の活動とされた。

火山噴火予知連絡会は、火山調査研究推進本部による取組等を踏まえて、役割の見直しについて検討を行った結果、令和 6 年 11 月 27 日の第 154 回火山噴火予知連絡会をもって終了した。

第4章 地震津波火山業務システム

【第1節】地震津波関連の業務システム

現在の地震津波業務システムは、地震観測から各種解析処理、そして処理結果の出力及び情報発表までをオンラインリアルタイムで総合的に行うものとして確立されてきた。地震津波業務システムが誕生したのは、地震計等地震観測技術の発展、地震観測網の拡充のもと、通信技術の発達に伴うテレメータ技術と高性能なコンピュータの出現によるところが大きい。以下にその変遷を述べる。

1. 初期の処理システム、テレメータ等

(1) 初期の処理システム

地震津波に関するシステムは、明治期以来、昭和30年代頃まで、各官署で煤書きあるいはインク書き直視式の地震波形（いわゆるドラム記録）から手作業で位相や振幅を読み取って、それらの値を郵便や電信で各管区・沖縄気象台に送り、表やコンパスを利用して震源を決めるというアナログシステムの時期が長く続いた。また、観測に使用する時計についても振り子式やぜんまい式のものが使われており、震源精度は現在に比べるべくもないものであったが、これらのアナログシステムは、当時の標準地震観測網としては世界最高レベルの水準であった。

一方、第二次世界大戦後、都市の人口増加及び集中が起きると、都市部にある気象台での地震観測環境の悪化が問題となりつつあった。また、津波警報組織の確立のため、機械式地震計から電磁式地震計への置き換えが順次進められたことに加え、地震予知計画による小地震観測の必要もあり、テレメータによる遠隔観測への技術開発が進められることとなった。

(2) 磁気テープ記録式電磁地震観測装置（67型、76型電磁式地震計）

昭和40年代に入り整備された磁気テープ記録式電磁地震観測装置は、観測点に設置する67型（又は速報装置付67型）電磁式地震計もしくは76型電磁式地震計と各中枢に設置する「速報受信装置（速報装置付67型からの信号受信用）」、「テレメータ用記録器」、「等P差表示器」、「半自動解析装置（解析用記録器付）」等から成る。

67型電磁式地震計の特徴は、1秒短周期の高感度地震計（倍率1,000）であること、周波数変調方式（FM方式）のデータレコーダを用いて磁気テープに再生可能な形で信号を記録するトリガ記録方式を導入したことなどである。76型電磁式地震計についても同様で、1秒短周期の高感度地震計（倍率10,000）であること、アナログの磁気テープ収録、再生記録による読み取りを可能にしていることが特徴である。高感度地震計により地震検知力が向上し、小地震（本邦沿岸から200km以内、M3以上）の検知が可能となった。また、速報装置付電磁式地震計は全国20か所（1管区4か所）に整備され、それらの地震波形データは、専用電話回線を用いて管区等中枢で自動収集できるようになった。

各中枢では、地震発生直後に速報受信装置で地震波形を受け、テレメータ用記録器に波形を

出力するとともに、自動収集される 2 観測点間の地震到達時間差（P 差）から交会法により管内の大まかな震央地を等 P 差表示器に表示させた。それまでの、地震発生後、管内各官署の観測データの入手（電報入電）を 10 分程度待ってから津波予報業務を開始していた時代に比べ、少なくとも地震発生直後に各中枢の津波予報業務を開始できるようになったことは画期的なことであり、地震津波業務の迅速化に大いに寄与した。

各官署で観測された地震波形データ（速報装置付 67 型地震計のデータを含む）は磁気テープに保存され、磁気テープは、各官署から 10 日ごとに、67 型は各中枢へ、76 型は直接本庁へ郵送された。半自動解析装置（解析用記録器付）は、郵送されてくる磁気テープを再生し手動にて地震識別、解析するためのものである。なお、昭和 50 年 1 月に「地震記録自動処理装置」が整備され、これら共有された磁気テープのデータを電子計算機で集中処理できるようになった。このような磁気テープ記録式電磁地震観測装置の機能には、データの集約を視野に入れた津波予報業務の迅速化、定常業務の効率化などの目的が背景にあり、現在の地震津波業務システムの先駆けであったといえることができる。

（3）テレメータ技術

テレメータ技術は、いわゆる隔測での 1 観測点のデータ収集・保存に限らず、多数の遠隔観測点の地震波形を、即時に 1 か所で同一時間軸上に記録（集中記録）することに意義がある。これにより、データ伝送が迅速化（データがリアルタイム取得）され、そのため観測網維持のための労力は減少（観測保守の省力化）し、また容易に高い時刻精度を得られるなど、データ品質の向上とともに、データ処理の多様化と効率化等が図られた。気象庁における隔測・テレメータ技術の研究・開発は、古くは 1950 年代後半にさかのぼる。最初に隔測技術を実用化したのは、皇居の地震計の観測波形を本庁で記録するために整備した「63 型直視式電磁地震計観測装置」である。この装置の特徴は、気象庁の地震観測としては初めて専用電話回線を利用した周波数変調方式（FM 方式）のアナログテレメータを導入したことである。FM 方式は、その後、松代群発地震時の「可搬型地震計」の開発、67 型磁気テープ式電磁地震計の展開などにより普及した。ただし、この時期の気象庁は、テレメータ技術を用いた観測に早期に取り組んだものの、その利用は観測点個別のデータ収集にとどまるなど、必ずしもテレメータ方式（集中方式）の利点を十分に生かしたものではなかった。

全国を覆うような観測網の本格的なテレメータ化が始まったのは、地震予知計画を契機としてのことであり、1970 年代に入って各機関が続々とテレメータ化を進めた。

1970 年代半ばまでは、テレメータにおけるデータ伝送はアナログの FM 方式が主流であったが、通信技術、コンピュータ性能の飛躍的な進歩により、テレメータ観測網においても、A/D（アナログ→デジタル）変換したデータを時分割多重 PCM（パルス符号変調）方式によりデジタル伝送することが可能となり、コンピュータによるデジタルデータの保存、オンラインリアルタイム処理、集中処理などが可能となった。

一方、気象庁においては、磁気テープ記録式電磁地震観測装置（67 型、76 型電磁式地震計）の展開により、津波予報業務の迅速化や小地震の検知力向上、解析業務の計算機処理が定着したもの、リアルタイムでのデータ収集、集中処理ができておらず、津波予報のより一層の迅速化や処理結果資料の早期提供など、社会の厳しいニーズに応えられなくなったことから、

67 型、76 型電磁式地震計、強震計などのテレメータ化とコンピュータによる集中処理が検討された。その結果、気象資料と地震資料の伝送にかかる「気象資料伝送網整備計画」が策定され、地震波形データの本庁・管区等中枢への集約、流通が実現した。

(4) L-ADESS と地震資料伝送網

昭和 56 年から気象資料伝送網整備計画に基づき、国内気象通信系の改善と地震資料伝送及び津波予報業務の高度化のために、本庁に「C-ADESS（全国中枢気象資料自動編集中継システム）」、各管区・沖縄気象台に「L-ADESS（地方中枢気象資料自動編集中継システム）」を整備した。また、同時に「地震波形伝送システム（地震資料伝送網）」を整備し、全国気象官署の 67 型、76 型電磁式地震計、強震計が所属の管区地方中枢にデジタル方式（PCM 方式）により遠隔自動収集され、L-ADESS においてリアルタイムで地震識別できるようになった。これにより津波予報業務のより一層の迅速化とともに、L-ADESS と C-ADESS を介した本庁までのデータ共有が可能となったことから、定常業務の効率化が図られた。

特に、津波予報作業は、長らく手作業によって、各気象官署から電報等で送られてくる震度や検測結果（P、S 時刻、最大振幅値等）の地震観測値をもとに震源決定（S-P 時間をコンパスで地図上に標示）や津波予報図を用いた津波判定を行い、その結果を津波警報等として関係機関に伝達していたが、昭和 57 年 1 月に L-ADESS 端末を用いた地震資料処理業務が開始され、ペンレコーダーに記録された地震波形からデジタイザで P、S 時刻や最大振幅を読み取り、各地の官署から電報等で送られてくる地震観測値と合わせて計算機処理し、震源計算や津波判定を行うようになった。同時に、津波警報等も L-ADESS 端末から電文として発信できるようになった。

(5) 東海地域等常時監視網と東海監視装置

1970 年代後半になると、東海地震予知を目的とした常時監視のため、東海地域の気象庁、大学等の地震計データや地殻変動データ、海底地震計データが遠隔地から本庁に自動収集され、昭和 54 年 4 月に「東海監視装置（東海地域等常時監視システム）」が整備された。これにより、トリガ処理による地震の識別、波形検測、震源決定を行い、東海地震観測網の地震検知力、震源決定精度の確認を可能にし、常時活動監視をより一層の精度をもって実施できるようになった。

2. 地震活動等総合監視システム（EPOS）及び地震津波監視システム（ETOS）

(1) 地震活動等総合監視システム（EPOS）の運用開始

昭和 62 年 3 月、津波予報の発表の迅速化を図るとともに、東海地震の予知に有効な資料を地震防災対策強化地域判定会へ迅速に提供すること等を目的として、昭和 60 年度から 2 か年計画で本庁に整備が進められてきた第 1 世代の「地震活動等総合監視システム（EPOS: Earthquake Phenomena Observation System）」の運用を開始した。EPOS の導入により、L-ADESS での各種業務処理、東海監視装置での処理が EPOS に吸収され、L-ADESS ではできなかった地震データのオンラインリアルタイムでの自動検測と震源の自動決定が可能となることで津波予報作業の更なる迅速化が図られるとともに、地震活動の推移をリアルタイムで監視することが可能になった。EPOS の整備に向けて、昭和 60 年 9 月には、地震火山部長及び

地震火山部各課室長と担当官で構成される「地震活動等総合監視システム整備委員会」を発足し、整備計画の立案や EPOS の整備を担当するメーカーとの調整を図った。地震予知を行うためには、地震活動の監視だけでなく、地殻変動データをリアルタイムに処理して、総合的に異常の判別を行うことが重要である。また、津波による被害の軽減のためには、検潮データから津波の発生を自動検出することにより、的確な津波の実況把握を行い、各種情報を迅速かつ適切に発表できるようにすることが不可欠である。気象庁における地震・津波監視業務は、EPOS の導入により飛躍的な進歩を遂げた。

(2) 地震津波監視システム (ETOS) の運用開始

平成 2 年 3 月、仙台管区気象台において、「地震津波監視システム (ETOS: Earthquake and Tsunami Observation System)」の運用を開始した。以後、年度を追って札幌、福岡、大阪、沖縄の順で整備した。ETOS は、EPOS で導入された地震処理、津波判定にかかる緊急処理のノウハウをもとに、L-ADESS で実行していた地震津波業務処理の形態を改良・更新したシステムである。EPOS 同様、これまで多くの時間が必要であった手作業による地震波形データの検測や震源決定等が自動化され、津波判定、情報作成等、一連の作業において、自動処理とその結果の確認・修正を行うマンマシン処理との併用により、大幅な省力化が図られ、各地方中樞での津波予報作業の迅速化と精度向上が図られた。また、平常時の地震波形の検測処理の質的な向上とともに、地震活動監視の強化や管内の地震活動図も充実した。

(3) 第 2 世代の地震活動等総合監視システム (EPOS2) の運用開始

平成 7 年 4 月、第 2 世代の地震活動等総合監視システム (EPOS2) の運用を開始した。気象庁は、昭和 62 年 10 月から、①関東及び中部地方の津波予報業務、及び②東海地震の直前予知のための地震活動監視業務を行うため、EPOS を運用してきた。EPOS2 は、これらの EPOS の業務に、③南関東地域の地震活動監視業務、④関東及び中部地方の火山監視業務を加えた 4 つの防災業務を行うことを目的とした、UNIX と X-Window によるサーバ&クライアントシステムである。津波予報及び地震情報業務に関しては、津波警報等の発表時間を大幅に短縮するために、平成 6 年 4 月から運用が開始された「津波地震早期検知網」、「津波地震処理装置」及び「緊急情報衛星同報システム」の整備に対応した。地震活動監視に関しては、それまでの東海地域の監視体制を充実させるとともに、平成 4 年 8 月に中央防災会議において決定された「南関東地域直下の地震対策に関する大綱」に沿って、南関東地域の監視体制を強化するため、東京大学地震研究所、防災科学技術研究所、海上保安庁の協力を得て、新たに必要な観測データのテレメータを整備した。火山監視業務に関しては、伊豆東部火山群、那須岳、草津白根山、御嶽山及び三宅島の 5 つの火山について、EPOS2 により総合的な監視体制を構築した。これらのほか、津波地震早期検知網と同時に整備された津波地震処理装置において津波警報等を 3 分程度で発表することを目標にした津波判定用のマグニチュード (M_p : P 波部分での M_w 近似値) を導入し、EPOS2/ETOS と連携し津波判定の迅速化を図った。さらに、非常時に本庁から地方中樞への支援を可能にするため、津波地震早期検知網のデータを東京管区気象台管内だけでなく全国的な規模で取り込めるようにした。

また、EPOS2 運用開始にあわせて、震度 3 以上が観測された場合に地震発生後 2 分程度で、その観測地点を含む地域の名称を用いて発表される「震度速報」をはじめ、震源の位置、地震

の規模、震度 3 以上の地域名、津波予報の発表状況を発表する「地震情報（震源・震度に関する情報）」や、震源の位置、地震の規模、震度 1 以上の地点を発表する「各地の震度に関する情報」などの新しい地震防災情報の提供を開始した。なお、平成 8 年度には「震度データ編集装置」を全国に整備し、その後、増加する震度計データの品質管理や震度計監視の機能強化を図るとともに、EPOS2 及び ETOS の処理負荷軽減等のため、本装置が震度速報の発信を担った。本装置は平成 14 年度に更新した後、第 4 世代の EPOS4 に吸収、統合された。

さらに、気象庁では、気象審議会答申第 19 号「今後の地震・津波情報の高度化のあり方について」（平成 6 年 10 月）を受け、「量的津波予報システム」の開発及び予報区の細分化などの作業に着手し、平成 11 年 4 月に「量的津波予報システム（全国）」を用いた、予測される津波の高さをもとに津波警報等を発表する業務（量的津波予報業務）を開始した。その後、量的津波予報システムは、平成 17 年度に「北西太平洋津波監視システム」（本庁のみ）として更新された後、第 4 世代の EPOS4 に吸収、統合された。

（4）第 2 世代の地震津波監視システム（ETOS2）の運用開始

平成 11 年 3 月、仙台管区気象台において、第 2 世代の地震津波監視システム（ETOS2）の運用を開始した。以後、年度を追って札幌、福岡、大阪、沖縄の順で整備した。ETOS2 は、基本的な設計思想は EPOS2 を踏襲しており、震度データ編集装置や量的津波予報システムと連携した各管内津波予報業務、地震活動監視業務に加え、札幌、仙台、福岡における火山活動監視業務を加えた防災業務を目的とした UNIX と X-Window によるサーバ&クライアントシステムである。なお、火山活動監視業務を追加したのは、札幌、仙台、福岡に整備されていた「火山解析処理装置（VolPAS: Volcanic data Processing and Analysis System）」が老朽化のため更新することになったが、ETOS の更新タイミングと合致していたことから、VolPAS の機能を火山処理として ETOS に追加することになったためである。また、サーバ&クライアントシステムの導入により、緊急処理サーバと通信処理サーバを分離するなど、システムの処理負荷を分散し処理の効率化を図った。テレメータ受信については、火山処理が追加されたことから火山波形の取り込み分を拡張するとともに、フィルタ処理の適用、WIN フォーマットでの波形収録を実現した。その他、津波地震処理装置で実行していた Mp 計算の採用、二次自動処理、最大振幅の監視、M 成長曲線、周期及び継続時間による M 計算（スペクトル解析の採用）など、緊急業務処理の機能を強化した。札幌、福岡では火山処理機能の強化、ハードウェアの増強も実施した。大阪においては、火山業務がないが、BCP に鑑み、本庁代行機能（本庁支援モード）を採用した。大阪において全国の地震波形の取り込み、トリガ・震源計算の全国対応の切替、外電等の送信・応答機能、本庁同等の配信電文の追加等を実現した。その後、ETOS2 は、第 4 世代の EPOS4 に吸収、統合された。

（5）第 3 世代の地震活動等総合監視システム（EPOS3）の運用開始

平成 15 年 10 月、第 3 世代の地震活動等総合監視システム（EPOS3）の運用を開始した。EPOS3 は、気象庁、大学、防災科学技術研究所等の地震波形データ、地殻データ等を取り込み、処理することにより、地震・津波等に関する監視、東海地震に関連する地殻・ひずみデータの監視、並びにこれらに関する防災情報の作成・発表及びデータの保存等を行うことを目的として、気象庁本庁に整備されたシステムである。EPOS2 整備以降、取り込まれるデータ量が増

加するとともに、処理する情報量も大量となり、EPOS2 では処理能力に限界がきていた。また、迅速な情報発表が求められる緊急地震速報等にかかる新規業務のため、高速かつ高度なシステムへの更新が望まれていた。このため、EPOS3 は、①業務処理ごとのサーバ分散と、内蔵ディスク及び LAN 構成の二重化などによる障害時の危険分散、②迅速で正確な情報の発表を可能とするための、画面やデザインの統一と操作性の向上、③最新のサーバと処理端末の採用による業務処理の高速化と情報発表の迅速化、④各種データ等の増加に対応するためのデータ保存用サーバの増設を簡便にする拡張性の確保を設計に取り入れ、地震業務の持つ緊急性や特殊性を考慮した高速かつ高度なシステムとした。

EPOS3 の運用開始後の平成 16 年 2 月から「緊急地震速報」の試験運用を開始し、平成 18 年 8 月から先行的な提供を、平成 19 年 10 月から一般への提供を開始した。また、平成 16 年 3 月から、観測された計測震度をもとに、地盤増幅度を使って約 1km 四方の格子間隔で推計した震度 5 弱以上の震度分布を示す「推計震度分布図」の提供を開始した。推計震度分布図の提供に当たり、本庁の震度データ編集装置の面的震度処理部を機能強化して推計震度分布図を作成し、部外に提供した。震度データ編集装置は、第 4 世代の EPOS4 に吸収、統合され、推計震度分布図は EPOS で作成されるようになった。

さらに、平成 17 年 3 月からの北西太平洋津波情報センター業務開始に当たり、本庁の量的津波予報システムを更新し、新たに「北西太平洋津波監視システム（本庁）」として整備した。北西太平洋域で M6.5 以上の地震が発生した場合、その発生時刻、震源の位置、規模、推定される津波到達予想時刻及び津波波高の予測値等を「北西太平洋津波情報」として関係国へ提供した。なお、北西太平洋津波監視システム（本庁）は、第 4 世代の EPOS4 に吸収、統合された。

（6）業務・システム最適化計画

「電子政府構築計画」（平成 15 年 7 月 17 日各府省情報化統括責任者（CIO）連絡会議決定）においては、業務・システムの最適化により費用対効果を高め、行政の簡素・合理化を図ることにより、予算効率の高い簡素な政府を実現することを主要目標とした。この目標を実現するため「業務・システム最適化指針」（平成 18 年 3 月 31 日各府省情報化統括責任者（CIO）連絡会議決定）に基づき、新たなシステム整備に当たっては、予算要求時までには業務形態及びシステム整備のあり方を見直して「業務・システム最適化計画」を策定することが、原則として義務付けられた。

地震火山部では、これを受け平成 18 年度に「地震津波監視等業務・システム最適化計画」を策定し、①業務・システムの安定性、信頼性の確保、②情報通信の効率化とトータルコストを抑止した処理能力の向上、③情報発表の迅速性、確実性の確保を基本理念・目標とした。その後、後述の EPOS4 及び REDC2（第 2 世代の地域地震情報センターデータ処理システム）の整備において、システム統合・集約による効率的な処理の実施（二中枢化）、最新の情報通信及び情報処理技術を踏まえたシステム構築と地震津波防災情報の高度化を図り情報発表の迅速・確実性を確保するなどして業務・システム最適化計画の所期の目標を達成した。なお、「政府情報システムの整備及び管理に関する標準ガイドライン」（平成 26 年 12 月 3 日各府省情報化統括責任者（CIO）連絡会議決定）の運用開始をもって、業務・システム最適化指針は廃止された。

(7) 第4世代の地震活動等総合監視システム（EPOS4）の運用開始

平成21年10月1日、第4世代の地震活動等総合監視システム（EPOS4）の本格運用を開始した。EPOS4の整備に係る準備作業は「業務・システム最適化計画」策定作業などを含め運用開始の5年前に始まり、大阪に整備されたEPOS4及び各管区・沖縄気象台の端末の運用については、平成21年3月に先行して開始されていた。EPOS4の整備により、本庁のEPOS、北西太平洋津波監視システム（本庁）、及び、札幌・仙台・大阪・福岡の各管区気象台と沖縄気象台のETOS並びに量的津波予報システムが統合され、本庁、大阪の二中枢体制で運用を開始した。

EPOS4運用開始後の平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の際に課題となった緊急地震速報（警報）の関東地方への続報の未発表、地震多発や停電による予測精度の低下、巨大地震に対する地震規模の過小評価と津波警報等の更新の遅れ等を受け、ハードウェアの増強による処理性能の向上を図るとともに、適切な緊急地震速報発表のためのロジックの改善、巨大地震の地震規模監視機能の追加、津波警報等の発表内容の見直し・改善等に伴い業務ソフトウェアを改修した。平成23年度には、海外で発生した地震による日本への津波の影響を評価するために津波シミュレーションを実行し観測データと比較した予測の評価を行うため、「津波評価解析装置」が整備された。本装置は、後に第5世代のEPOS5に吸収、統合された。同じく平成23年度に、首都圏直下の地震対策として関東周辺の大深度の基盤強震観測網（KiK-net）のデータを、南海トラフ地震対策として熊野灘沖の海底地震計（DONET）のデータを緊急地震速報に活用できるよう、「大深度地震計処理装置」を整備し、EPOS4の緊急地震速報に係る機能を強化した。

さらに、「長周期地震動分析装置」を整備し、平成25年3月から「長周期地震動に関する観測情報」の試行（平成31年3月本運用に移行）に対応した。長周期地震動分析装置は、後に第6世代のEPOS6に吸収、統合され、令和5年2月から、新たに長周期地震動に関する観測情報のオンライン配信を開始した。

(8) 第5世代の地震活動等総合監視システム（EPOS5）の運用開始

平成28年3月、第5世代の地震活動等総合監視システム（EPOS5）の運用を開始した。EPOS5は、津波評価解析装置等の統合、地震識別等自動処理のための新規機能追加（同時多発地震対策（IPF法）、巨大地震・見逃し対策（リアルタイム震度の導入、PLUM法等））、及び津波警報等の更新に係る機能強化（CMT・W-phase解析によるMwの活用強化、沖合津波計を利用した新たな津波予測手法（tFISHの導入））のために必要な処理能力を確保するとともに、防災科学技術研究所が整備したS-net等の観測データの大幅増に対応すべく処理能力を増強した。また、業務の信頼性確保、作業者の操作習熟及びソフトウェア変更時の評価・動作確認等のため、本庁及び大阪に試験環境を新たに整備した。

さらにEPOS5の運用開始後、平成28年（2016年）熊本地震の課題を受け、地震活動等の推移をリアルタイムで監視し、迅速かつ的確に地震活動状況を把握するため、「地震活動推移監視装置」を整備した。その他、平成29年には、「中央防災会議防災対策実行会議（南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ）」の検討結果を受け、新たに「南海トラフ地震に関連する情報」の発表を開始するため、EPOSの情報発表機能を強

化した。平成 31 年 3 月から、沖合津波観測網により観測される津波波形データから波源を推定し、その波源から遠方まで津波が伝わる過程を、沿岸への津波の到達前に、コンピュータシミュレーション（数値計算）によって把握し、沿岸の津波の高さを予測する手法（tFISH）を新たに開発し、津波警報等の更新に活用している。

（9）第 6 世代の地震活動等総合監視システム（EPOS6）の運用開始

令和 4 年 10 月、第 6 世代の地震活動等総合監視システム（EPOS6）の運用を開始した。厳しい予算事情のため、気象庁が有する情報システムの整備・更新に係る経費の圧縮（庁全体でのシステムライフサイクルコストの削減）を目指すべく、「気象庁情報システム最適化等検討委員会」において全庁情報システムの再編・統合について検討され、「気象庁情報システム基盤」（以下「システム基盤」という。）として仮想化技術等を用いて集約・統合することとなった。このため、EPOS6 は、サーバ等の主たるハードウェアを「システム基盤（第Ⅱ期（その 1））」に含めて情報基盤部が調達し、別途、地震火山部が EPOS6 の業務ソフトウェア、及びクライアント機器（端末、ネットワーク機器、映像系装置等）をそれぞれ分離して調達した。なお、システム基盤第Ⅱ期（その 1）に搭載するシステムは EPOS6 のみであり、運用管理については情報基盤部と地震火山部が協働することとした。

システム基盤は、基本的に東局は清瀬、西局は大阪、に配置されるが、地震津波業務は大地震などの非常災害時に極めて高い信頼性（可用性）を必要とするため、官執業務、現業、システム運用管理を一体的に行う必要があるという特殊性があることから、システム基盤Ⅱ期（その 1）は虎ノ門に整備することとなった。また、緊急地震速報関連処理や収録機能などの仮想化すると要求要件を満たさないものや、津波即時演算機能（津波シミュレーション用）などの高スペックのサーバリソースが必要なものについては、仮想化ソフトウェアによるサイジングができないことから、これらについては例外的に仮想化せず、物理サーバを専有（専有処理方式）して整備した。業務処理ソフトウェアについては、交通政策審議会気象分科会の提言「2030 年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」の防災行動・防災対応を支援するための目標（「揺れの状況や今後の地震活動の見通しを提供」、「津波の時間的推移や解除の見通しについて提供」）を達成すべく、新規に「250m メッシュの推計震度分布図」や「津波到達予想時刻の図情報」などを提供する機能を搭載したほか、従前の処理・機能についても機能要件を見直し、ロジックの最適化・強化を図った。ハードウェアの性能向上も相まって、処理が効率化し、操作性も向上した。また、これまでの EPOS 整備の際にも各課系の個別業務に関する内製化を図ってきたが、より一層の整備経費圧縮・業務変更に伴う柔軟かつ迅速なシステムの機能強化、機能追加への対応のために、業務処理全般にわたって処理の内製化を進めた。その他、大阪の試験系サーバは廃止されたが、仮想化技術により、大阪から本庁の試験系サーバを自由に操作できるようにした。

3. 地域地震情報センターデータ処理システム（REDC）

（1）地域地震情報センターデータ処理システム（REDC）の運用開始

平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震を契機として設置された地震本部の重要な役割の一つは、気象庁、大学、防災科学技術研究所、国土地理院などの観測データを一元的に収集してそ

の総合的な評価を行い、成果に基づく必要な広報を行い、地震に関する調査研究の推進等、地震防災対策の強化に役立てることである。

この役割を果たすため、本庁と札幌、仙台、大阪、福岡の各管区气象台にそれぞれ新たに「地域地震情報センターデータ処理システム（REDC: Regional Earthquake Data Center system）」を整備し、関係機関から膨大な地震観測データをリアルタイムで収集した上で、整理・分析を行い、その成果を地震本部に提供することになった。また、気象庁では収集・整理・分析した結果は、防災情報として適宜発表する等活用するとともに、大学等関係機関へも提供することになった。

気象庁は平成7年度に REDC のテレメータ部を整備・調整するとともに、科学技術庁からの支出委任を受けて、平成7～9年度に REDC のデータ処理部の整備・調整を行った。データ処理部の整備・調整においては、EPOS で培った自動処理機能、地震解析機能等を移植し、新たに WAN を介した会話処理などの REDC 専用の業務処理ソフトウェア等を開発し導入した。これにより、センター業務の中心となる地震業務処理は完成し、関係機関が有する観測データのリアルタイムでの収集及びその処理結果としての地震の規模、震源等データ提供を行うことが可能となり、平成9年10月から第1世代の地域地震情報センターデータ処理システム（REDC）の運用を開始した。

本システムにより、従来行ってきた地震業務の処理形態が本庁主体から管区主体に大きく変化し、微小地震を含めた最終的な震源の決定を各管区气象台（システムが導入されなかった沖縄气象台も含む）で行うことになった。

なお、沖縄气象台は、地域地震情報センターであるにも関わらず、管内に関係機関による常時地震観測網がないことから REDC が整備されなかった。そのため、既存の地震処理システムである ETOS による処理結果をそのまま利用することとした。沖縄での処理結果と他管区の処理結果との整合性を取るため、「地震資料交換装置（SIDE）」を整備し、WAN を介した会話検測などのセンター業務に当たった。平成20年度に当該装置は更新し、第2世代の REDC2 と処理を統合した。第3世代の REDC3 整備の際、正式に REDC に組み入れられ、新たに REDC 端末が整備された。これにより当該装置は廃止となった。

（2）第2世代の地域地震情報センターデータ処理システム（REDC2）の運用開始

平成21年12月、第2世代の地域地震情報センターデータ処理システム（REDC2）の運用を開始した。この整備により、本庁・各管区气象台等の REDC は本庁と大阪の二拠点に集約された。

第1世代の REDC の運用開始当初は、中枢間の伝送回線が 64kbps と低速であったこと、大学や研究機関とのデータ交換は各地域で個別に行われていたこと、また、全国の波形データを1か所に集約して受信・処理するだけの性能がなかったことから、管区ごとにサーバを整備して管内で発生した地震のみを処理していた。このため、各管区の境界付近では、処理する観測点の相違から、地震検知能力や震源位置等に差異が生じることがあったが、REDC2 では、計算機処理能力の飛躍的な向上や伝送ネットワークの高速化・広帯域化により、本庁と大阪に整備された処理サーバで、全国の地震観測点の波形データをリアルタイムに受信し、全国一律に処理することが可能となり、管区の境界を意識せず nationwide の処理が行えるように

なった。本庁、札幌、仙台、大阪、及び福岡管区気象台には、地震端末及び監視端末が整備され、沖縄気象台においては SIDE を更新整備した。札幌、仙台、本庁が本庁の処理サーバに、大阪、福岡、沖縄が大阪の処理サーバにクライアントとして接続して負荷分散を図り、日々の業務が行われるようになった。

REDC2 には、地震発生を検知する「地震検知処理」、地震波形データの位相等を自動的に検測する「自動検測処理」、震源を自動的に計算する「自動震源決定処理」等からなる自動処理機能が搭載された。REDC から REDC2 へのシステムの更新に伴い、平成 22 年 1 月から、これらの自動震源の部外への即時的な提供について、処理面・精度面の検討を行い、平成 23 年 3 月末から一定の精度を満たした自動震源の提供を気象庁ホームページで開始した。

(3) 第 3 世代の地域地震情報センターデータ処理システム (REDC3) の運用開始

平成 28 年 3 月、第 3 世代の地域地震情報センターデータ処理システム (REDC3) の運用を開始した。REDC3 は、地震多発時でも M2.0 以上の地震を確実に処理できるよう、サーバ機能を増強し、地震識別等自動処理機能を強化し、これまでのグループトリガ方式（対象とする領域において複数点でほぼ同時に地動の振幅変化があったと識別された場合に、何らかの事象（地震イベント）が成立したとみなす手法。）に加え、PF（Phase combination Forward search）法（検測時刻だけではなく、最大振幅を併用して震源を決定する手法）を追加した。これにより、震源決定数は従来の倍以上に増え、かつ準リアルタイムで処理することが可能となった。また、EPOS と REDC との間で機能（システム監視、データ収録等）を共通化し、サブシステムを集約・再配置することで経済性も確保した。平成 30 年には、深部低周波地震の自動検出のため、MF（Matched Filter）法（過去に観測された地震の震源、波形データからテンプレートを作成し、テンプレートと解析波形の間の相関を計算することにより相関の高いイベント検出する手法）を導入し、REDC3 運用開始後に整備された「地震活動推移監視装置」に処理機能を搭載した。

(4) 第 4 世代の地域地震情報センターデータ処理システム (REDC4) の運用開始

令和 4 年 3 月、第 4 世代の地域地震情報センターデータ処理システム (REDC4) の運用を開始した。REDC4 は文部科学省からの支出委任により整備されたシステムであること、システム基盤に搭載するための追加改修経費が大きくなること等から、システム基盤に含めず単独で整備した。

REDC4 整備に当たっては、近い将来に発生が危惧される南海トラフ地震のメカニズム解明やモニタリングのため、プレート間の固着状況把握の高度化が求められていることから、REDC の新規業務処理機能として浅部・深部低周波地震の解析強化を図ることとした。

浅部低周波地震解析については、ECM（Envelope Correction Method）法（概観波形（エンベロープ波形）を用いて周辺観測点との相互相関を計算し相対的な走時を求め、震源位置を推定する方法）による浅部低周波地震解析を自動化する機能を、深部低周波地震解析については、MF 法による深部低周波地震解析を自動化する機能を、また、浅部超低周波地震の自動検出・解析機能を REDC4 に搭載した。業務処理強化に伴い、それまでの一拠点 2 サーバ構成から 4 サーバ構成に増強した。REDC4 整備によりサーバ性能が向上したほか、各サーバで波形を受信し処理できるようにしたことから波形取得先・処理結果登録先の選択肢が増え、処理の負荷

分散を可能にし、また一部サーバを試験利用できるようにした。会話検測や初動発震機構解析などの主たる業務処理の操作方法、運用形態は REDC3 を継承した。ただ、サーバが増加したことで機器監視画面、構成制御の操作が追加されているほか、内製化により各動的パラメータ画面が統合されブラウザ表示画面が追加された。

4. 群列地震観測システム

M8 クラスの巨大地震の発生が東海地域に想定され、地震防災対策の強化を図るため、「大規模地震対策特別措置法」が昭和 53 年に制定された。さらに、南関東地域にも大地震の発生が懸念されている。これらの地震により、東海又は南関東地域の地震観測を目的としたテレメータ系及び気象庁本庁の処理システムに障害が発生することが危惧されることから、余震活動の把握及びその地震情報の迅速・的確な発表を行えるよう、技術面での体制の整備が要望されていた。このため、昭和 56 年度から 57 年度にかけ、長野市松代町にある地震観測所（以下「松代」という。）により、アレー観測による「群列地震観測システム」が整備された。アレー観測の原理は、常時微動の影響を避け、検知能力を上げる手段としてアンテナ理論を地震観測に応用し、レーダーのアンテナのように数多くの地震計を規則的に配列して、その各々の記録を処理することにより、地下からやってくる微弱な地震波を検出するというものである。本システムは、松代のほか、観測網に設置した地震計の観測データを収集・処理するための装置を含めたものである。

観測点は松代周辺の直径約 10km の円周上に 2 組の三角形を星形に配列し、データの信頼性を高めるため、円形のほぼ中心に 1 点を配置するパターンを採用した。後に円の中心付近に 1 か所を追加し計 8 か所に設置した。8 か所の地震観測点のうち、松代の観測点には、大坑道内部に短周期地震計を設置し、松代以外の 7 か所の観測点には、短周期地震計を地表の雑振動を軽減するため地下 40 ～ 70m に設置して観測を行った。

なお、平成 28 年度に松代の地震解析業務を気象庁本庁へ移管したことに伴い、観測データは松代に設置している装置を経由せず、本庁、大阪に集約できるよう変更された。

【第 2 節】火山関連の業務システム

1. 初期の処理システム

火山データの処理手法について、1960 年代の常時観測体制整備以降、煤書き直視式の記録計（いわゆるドラム記録）が用いられてきたが、1980 年代から精密観測火山の地震観測点が 5 点化されたときに合わせて早送りペンレコーダーの整備による震源決定が可能なシステムが導入され、各観測点の地震回数や火山性微動の継続時間を自動的に計数する震動データ計数装置が導入された。

1990 年代からは解析システムとして、システム上で検測等が行える「火山解析処理装置 (VolPAS)」と呼ばれるワークステーションシステムが、精密観測火山等に順次導入された。普通観測火山については、本庁、管区气象台へのデータのテレメータ化が進められ、本庁では EPOS2 に、札幌・仙台・福岡管区气象台では ETOS2 に VolPAS の機能が追加された。

2. 火山監視情報システム (VOIS)

平成 14 年 3 月、火山監視・情報センター業務の正式運用を開始した。この業務を円滑に運用するため、火山監視・情報センターシステム (VOIS: Volcanic Observations and Information Center System) を整備した。同システムの名称については平成 29 年の VOIS3 への更新の際に、火山監視情報システム (VOIS: Volcanic Observation and Information System) に変更している。VOIS は、従来の震動観測や遠望観測に、空振計や GNSS の観測を加えた多種目のデータ監視に対応したシステムである。火山監視・情報センター (以下「火山センター」という。) において、他機関のデータも監視や解析に利用できるようにするため、地震計のデータフォーマットは、汎用の通信手順 (TCP/IP) で利用可能な WIN フォーマットとし、他機関とのデータ交換を容易にした。また、映像データの収録や解析を行える機能を用意し、過去の現象を容易に確認できるようにした。この機能により、震動データと映像データを対比して確認することが可能となり、映像データを利用した定量的な解析も行うことが可能となった。さらに、全国の火山センターがネットワークで接続されたことにより、各種データが共有され、各火山センターと火山噴火予知連絡会委員等の間で、解析結果や監視カメラ映像等の WEB による情報共有が可能となった。

平成 22 年、VOIS を VOIS2 に更新した。それまでの VOIS は、各火山センター及び鹿児島地方気象台に整備したものであったが、VOIS2 では各官署の VOIS を集約し、気象庁本庁と福岡管区気象台にサーバを置くクライアントサーバシステムの二中枢システムにしたことで BCP に対応できるようになった。また、全体システム管理を確実にを行うため、構成制御、システム状態の監視及び異常等の報知の機能に EPOS や REDC で実績のあるミドルウェア等を導入したことで、より安定したシステム運用が行えるようになった。さらに、EPOS の地殻業務処理を導入し、震動データの処理だけでなく、地殻変動データの処理も行えるようになった。VOIS 更新に合わせてテレメータ装置の更新及びデータ伝送経路の見直しを行い、全国の火山観測データを本庁と福岡管区気象台の処理装置に並行して伝送することで、当該火山センターでしかできなかった火山活動の監視・解析が、ほかの火山センターでも可能となった。

平成 29 年、VOIS を VOIS3 に更新した。システムの基本構成は VOIS2 と同様のクライアント・サーバシステム (システムの二中枢化) としつつも、中枢拠点を本庁から仙台へ変更し、大地震等による首都機能喪失時の業務継続 (BCP) に対応できるようにした。また、平成 26 年御嶽山噴火災害を契機とする火山業務の見直しでは、迅速で適切な火山防災情報の発表や火山専門家との連携による活動評価体制の充実、地元自治体等との平時からの情報共有や支援強化が求められた。VOIS2 では、警報発表業務に支障をきたしかねない不十分なクライアント・サーバ間通信機能、時系列データによる監視が中心のため空間的なイメージがしにくい、多項目データの監視・解析が行えない、といった課題があった。そのため、①独自ネットワークの構築等によるインフラの強化、②時系列表示だけでなく平面表示も可能な多項目データの統合的解析機能を基本とするシステムへの移行、③最新の観測データや解析結果等の部外ユーザとの共有強化、④管区間でのツールの共通化 (多項目データの解析結果のデータベース共通化や解説資料作成ツール等の共通化など) をシステム設計の主眼と強化事項として、機能の強化が図られた。

平成 30 年の草津白根山（本白根山）の噴火を踏まえた火山噴火予知連絡会の提言及び気象分科会による提言では、「火山体深部のマグマの挙動を監視」することにより、噴火に至るプロセスを把握し火山活動の推移をよりの確に予測することにつながるとされている。このため火山体周辺の観測機器に加え、広範囲の観測機器（地震観測用機器等）のデータを補完的に活用し、火山体内部構造に関する解析を進め、火山体深部のマグマの挙動に関する知見を積み重ねた。令和 5 年度から令和 6 年度にかけ、広範囲の他火山用観測機器や地震観測用機器等のデータを取り込む広域監視機能を新たに搭載し、VOIS の監視機能を強化するため VOIS4 の更新整備を進めている。なお、前述の EPOS6 と同様に仮想化技術等を用いサーバ等の主たるハードウェアはシステム基盤（Ⅲ期）に含めて情報基盤部が調達し、業務ソフトウェア、回線、クライアント端末等は地震火山部が調達を行っている。

VOIS は観測データを監視中枢に集約して 24 時間監視が行えるようにしたシステムであり、上記のように更新により機能強化を進め、平成 28 年以降、火山監視・警報センターでも引き続き使用している。

3. 火山灰情報提供システム（VAFS）

平成 9 年 4 月に航空路火山灰情報センター業務を開始したことを踏まえ、当該業務を実施するため、気象衛星画像などから火山灰を検出・解析し、航空路火山灰情報（VAA）を作成、送信するシステム「航空路火山灰監視装置」を整備した。平成 11 年 4 月からは、数値予報課の協力を得て 2 年計画で開発した移流拡散モデルを当該装置に組み込み、新たに火山灰拡散予測業務を開始した。衛星画像や拡散予測計算に用いる GPV データは NAPS から取得した。

火山灰の検出・解析のための衛星画像は、当初は可視（VIS）、赤外（IR）、赤外差分（SP）の 3 種類の波長の画像を用いたが、「ひまわり」が更新されるごとに火山灰を解析できる波長の種類が増え、現在は、可視、近赤外、赤外、赤外差分 1～4、Ash RGB の 8 種類の画像に拡充されている。また、衛星画像の解析可能頻度も、業務開始当初の「ひまわり 5 号」の 1 時間に 1 回から、最新の「ひまわり 8 号・9 号」では 2 分半に 1 回と格段に向上した。さらに、拡散予測計算もより高度な計算を行うため、NAPS 上で行う形に移行され、計算に用いる数値予報モデルは当初全球モデル（GSM）のみであったが、その後メソモデル（MSM）や局地モデル（LFM）を用いて、空間解像度及び時間解像度の高い、数値予報モデル計算結果を用いた、より精度の高い予測結果を反映できるようになった。

一方、平成 20 年 3 月に運用を開始した降灰予報業務は、VOIS 上に降灰予報を作成、送信する機能を組み込んで対応していたが、平成 27 年 3 月から量的降灰予報の運用を開始するためのシステムとして、「火山灰情報提供システム（VAFS: Volcanic ash advisory and Ash fall Forecast distribution System）」を整備した。

VAFS は、降灰予報を作成・提供する「降灰予報業務」、及び航空路火山灰情報（VAA）を作成・提供する「航空路火山灰情報業務」の 2 つの業務処理を行うシステムである。これらの業務処理は、ともに NAPS 上で数値予報モデルを用いて降灰量や火山灰拡散の予測計算を行う方針であったなど共通点が多かったこと、及び量的降灰予報のシステム整備と VAA 改善のための航空路火山灰監視装置の更新が重なったため、1 つのシステムとして効率的な整備を行った。