第４部
情報基盤

第１章　気象情報に関する政策

【第１節】情報技術の進展

１．情報技術の進展の概要

気象庁の発表する防災情報が効果的に利用されるためには、その情報の精度が高く、ニーズに応じていることはもちろんのこと、防災情報を広く周知・利用する防災機関・報道機関・民間事業会社等にとって、届けられた防災情報が取り扱いやすいことが重要となる。

天気予報をはじめとする気象情報は、今も昔も、自然現象の観測に始まり、観測データの収集と観測データの解析による監視や予測、情報の作成と伝達という一連の情報処理を通じて国民に伝えられている。気象庁は、最新の技術を取り入れながら、情報通信技術の変遷に合わせて気象情報の作成と提供を行ってきている。

戦前・戦後期から 1990 年代までの情報通信社会の黎明期において、国際通信網がなかった時期の外国の気象情報の入手は無線放送の受信が唯一の手段であったが、その後、国内外の観測データ、予報・警報及び気象の実況図や予測図等を国内の気象官署や外国気象機関に配信するためのシステムとして全国中枢の役割を担う「気象資料自動編集中継装置（C-ADESS)」と全国 6 か所の「地方中枢気象資料自動編集中継装置（L-ADESS)」が昭和 62 年までに整備された。この時代、気象官署間の気象通信網は急速に発展したが、人々が気象情報を入手する手段は新聞・ラジオ・テレビや 177 天気予報電話サービス等に限定されており、気象情報の利用の多様化は高度情報化社会の到来を待たなければならなかった。

1990 年代に入ると、パソコンが一般にも普及し、家庭でもインターネットが利用されるようになった。このようなオンラインコミュニケーションは、当初は技術者や研究者、学生などの人々による議論や情報交換への利用に限られていたが、回線の高速・大容量化と利用者の増加を受けてその姿に大きな変化が生じた。インターネットが普及し始めた 1990 年代後半の通信環境は、電話回線によるダイヤルアップ接続が主流であったが、通信速度が十分ではないこと、従量課金型であること、インターネット接続中は通話を行えないことといった課題があった。2000 年代前半からは ADSL の普及が急速に進み、2000 年代後半からは光ファイバーを活用するより高速な FTTH サービスの普及が進んだ。我が国における移動通信システムは、昭和 54 年に第 1 世代となるサービスが開始されて以降、令和 2 年に開始された第 5 世代に

至るまで、約 10 年周期で世代交代が行われていった。世代交代に伴い移動通信システムの性能が改善した結果、通信品質の向上に加えて通信の高速大容量化により、第 1 世代では最大通信速度が約 10kbps であったのに対し、平成 22 年に開始された第 4 世代では最大通信速度が 1Gbps になるなど、この 30 年間で約 10 万倍にまで向上している。平成 22 年には国内で初めてモバイル端末からのインターネット利用者数がパソコンからの接続者数を超えた。以降、年々その差は拡大傾向にあり、我が国におけるインターネット利用の中心はパソコンからモバイル端末へ移行している状況となっている。

コンピューティング分野においては、CPU（中央演算処理装置）等の計算能力が指数関数的に向上するとともに、データを蓄積するストレージの大容量化も進んできた。また、ネットワークが大容量化されていなかった時代には単体の端末でデータの蓄積と処理・解析が行われていたが、ネットワークの急速な大容量化を一因としてクラウドコンピューティングが進展・普及した。

このような情報通信技術の進展や観測・予測技術の高度化に伴って、気象情報・データは質（精度）、量（種類、容量）ともに大幅に向上してきている。気象庁から提供する気象情報・データは、古くは天気予報や気象警報等に関する文章形式の情報や天気図などの図形式の画像であったが、現在はそれら情報に加えて、その作成過程で利用されるアメダスや気象レーダー、気象衛星等の観測データやスーパーコンピュータを用いた数値予報による詳細な予測データなど機械処理に適した形式のデータも増えてきている。

2．国の取組

（1）情報技術

通信の分野では、昭和 27 年以来、日本電信電話公社による独占事業として運営されてきた電信電話事業について、競争原理に基づく民間活力の導入による効率化等を目指し、昭和 59 年 12 月に通信改革関連三法案が成立、翌年に施行された。これにより、通信市場が発展し、料金の低廉化やサービスの多様化が進んだ。その後、平成 6 年 5 月の電気通信審議会答申に基づく光ファイバー網の全国整備、平成 13 年 1 月の e-Japan 戦略に基づく高速インターネットアクセス網の普及、携帯電話等の普及に伴う周波数共用基準の随時見直し等により通信環境が整備された。

高速通信環境の整備・普及とあわせて、社会の高度情報化が進展した。特に 1990 年代後半から 2000 年代初頭のそれは IT 革命と呼ばれ、これを受けて科学技術や行政分野で急速に電子化・ネットワーク化が進んだ。平成 20 年代以降は、公共データのオープン化や、デジタル化に伴う新しい価値の創出（デジタルトランスフォーメーション）に係る様々な政策が打ち出されている。

大型計算機については、昭和 50 年代半ば頃以降、日米がその性能を激しく競い合う時代が続いた。昭和 60 年頃から日米スパコン貿易摩擦が生じ、昭和 62 年にはスーパー 301 条（米国の通商に対する不当な貿易障壁等を持つ外国の特定、調査及び措置の発動等について規定）の対象となった。平成 5 年には航空宇宙技術研究所の「数値風洞」の運用が開始されて世界最高の計算能力を持つと評価され、その後も海洋研究開発機構「地球シミュレータ」（平成 14

年運用開始)、理化学研究所「京」及び「富岳」が続いた。この「京」や「富岳」を中核として全国の大学・研究機関が保有するスーパーコンピュータや大規模ストレージシステムを高速ネットワークで結んだ「革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ（HPCI)」の運用が平成 24 年 9 月から開始され、多様な利用者のニーズに応える計算環境を構築し利用を促進することで、科学技術の発展や産業競争力の強化に貢献している。

（2）世の中における情報セキュリティ

平成 12 年 1 月、科学技術庁のホームページが改竄された事件を皮切りに、官公庁の Web サイトに対する不正アクセスが相次いで発生した。この事件をきっかけとして、同年 2 月、政府は内閣官房に「情報セキュリティ対策推進室」を設置した。

それまでの各省庁の情報セキュリティ対策は自己責任のもと行われており、総合的な戦略はなかったが、政府機関の情報セキュリティ対策を強化するため、平成 12 年 7 月に「セキュリティポリシーガイドライン」が策定されるとともに、同年 12 月には「重要インフラのサイバーテロ対策に係る特別行動計画」が策定された。

また、平成 13 年 1 月には、「我が国が 5 年以内に世界最先端の IT 国家となること」を目指した「e-Japan 戦略」が、平成 15 年 7 月に、「e-Japan 戦略Ⅱ」が、翌平成 16 年 2 月には「e-Japan 戦略Ⅱ加速化パッケージ」が策定された。

この「e-Japan 戦略Ⅱ加速化パッケージ」を受け、官民における情報セキュリティ対策を一層推進することを目的として、同平成 16 年 4 月までに内閣官房に情報セキュリティ対策についての助言・支援を行う情報セキュリティ補佐官が設置された。

さらに、平成 17 年 4 月には、情報セキュリティ対策推進室を改組した内閣官房情報セキュリティセンター（以下「旧 NISC」という。）が、同年 5 月には政府の IT 戦略本部に情報セキュリティ政策会議が設置された。

旧 NISC は、情報セキュリティ政策に関する基本戦略の策定や、情報セキュリティ対策の官民連携を推進するなど、国の情報セキュリティ対策において重要な役割を担ってきたが、あらゆる活動のサイバー空間への依存の高まりにより、サイバー攻撃のリスクが深刻化していたこと、また東京オリンピック・パラリンピック開催の決定を受け、サイバーセキュリティに係る国家戦略を策定・推進するための司令塔機能の強化や体制整備が急務となってきたことから、平成 26 年 11 月に、我が国のサイバーセキュリティ政策に関し、総合的かつ効率的に推進することを目的とした、基本理念、国、事業者等の責務を定める「サイバーセキュリティ基本法」が制定されるとともに、同法の施行に伴い、平成 27 年 1 月にサイバーセキュリティ政策に係る政府の司令塔として内閣の下にサイバーセキュリティ対策本部が新たに設置され、旧 NISC を改組して内閣サイバーセキュリティセンター（NISC）が設置された。

また、令和 3 年 9 月には、サイバーセキュリティ戦略が閣議決定されるとともに、令和 4 年 6 月には「重要インフラのサイバーセキュリティに係る行動計画」が策定された。

3．気象庁全体の動き

（1）情報システム最適化

平成 6 年 12 月に「行政情報化推進基本計画」が閣議決定され、その後平成 9 年 12 月の「行

政情報化推進基本計画の改定について」が閣議決定されたことを受け、「行政情報システム各省庁連絡会議」において「行政情報化の取組方針」及び「行政情報化推進共通実施計画」（ともに平成 10 年 2 月 26 日）が策定された。また、「運輸省行政情報化推進委員会」は、「運輸省行政情報化推進計画」及び「運輸省行政情報化実施計画」（ともに平成 10 年 6 月 16 日）を策定した。これらの諸計画では、今後政府、各省庁が取り組むべき課題として、白書等のインターネット利用、GIS の活用、霞ヶ関 WAN の活用、クリアリングシステムの整備、申請・届出等手続の電子化、総合的文書管理システム及び省庁間電子文書交換システムの整備、白書、統計等のデータベース化・省庁間利用、情報システムのアウトソーシング等の施策が提示された。

このような状況に鑑み、気象庁としても、行政情報化に係る各種課題に対し、遺漏なきよう取り組む必要があるため、「気象庁行政情報化等推進委員会」（平成 12 年 6 月 15 日庁議了承）（以下「推進委員会」という。）を設置し、以下に掲げる課題について調査・検討を行うこととなった。

① 気象庁 WAN とグループウェアに関すること。
② 霞ヶ関 WAN との接続・活用に関すること。
③ 総合的文書管理システムの整備に関すること。
④ 届出・申請等手続の電子化に関すること。
⑤ 情報セキュリティ対策に関すること。
⑥ 情報公開の適切かつ円滑な運用方策に関すること。
⑦ その他、政府等の行政情報化に関する計画、指針等に基づき必要な事項に関すること。

さらに、「電子行政推進に関する基本方針」（平成 23 年 8 月 3 日高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部決定）において、「必要な行政情報等の国民への迅速な提供、国民のニーズの把握等の手段として、情報通信技術を活用することが極めて効果的」、「技術革新による新しい技術やサービスの出現、行政の電子化に伴う高レベルのリスク管理の必要性の高まりなど様々な環境変化に適切に対応することが必要」などとされた。また、情報システムの構築にあたっては、費用対効果の検証や業務運営の効率化等、業務・システムの最適化の推進について、より一層厳しく求められるようになってきている状況を踏まえ、最新の情報通信技術の動向について必要な調査等を実施するとともに、庁内システムへの活用方針を検討し、業務・システムの効率的・合理的な運用等について調整・検討を行うための各部横断的な体制を確保し、着実に実施していくため、気象庁行政情報化等推進委員会の調査・検討項目として以下の 2 項目が追加され、これらを所掌事務とする「最適化検討部会」（部会長：企画課長）を設置した。（平成 23 年 9 月 15 日庁議了承）

・行政情報化の推進に資する情報通信技術の活用に関すること
・情報システムの効率化・合理化・高度化に関すること。

その後、気象庁行政情報化等推進委員会設置当時の目的であった「行政情報化の推進」が一定の役割を終え、同委員会の主要な検討事項は、行政情報ネットワークの更新計画、情報セキュリティ対策及び情報システムの最適化となった。このうち、情報セキュリティ対策については、情報セキュリティ対策の重要性を踏まえ、専門的に扱う委員会を別途設置することが適当であるとの判断から、推進委員会がその役割を兼ねている気象庁情報セキュリティ対策委員会を独

立させたうえで、推進委員会を「気象庁情報システム最適化等検討委員会」として改組し、以下の課題について調査・検討することとした。（平成 26 年 6 月 12 日庁議了承）

（1）気象庁行政情報ネットワークに関すること。
（2）霞ヶ関 WAN との接続・活用に関すること。
（3）届出・申請等手続の電子化に関すること。
（4）情報公開の適切かつ円滑な運用方策に関すること。
（5）行政情報化の推進に資する情報通信技術の活用に関すること。
（6）情報システムの効率化・合理化・高度化に関すること。
（7）その他、政府等の行政情報化に関する計画、指針等に基づき必要な事項に関すること。

全体最適化を推進するにあたっては、情報システムに関して各部が個別に整備を行うのではなく、庁全体として横断的に関連施策の企画立案・調整を行う必要があり、また、その検討は短期ではなく、システム更新の 2 サイクル（12 年間）程度を見越して中長期的に検討することが不可欠である。この「気象庁情報システム最適化等検討委員会」のもと、中長期的に庁全体として情報通信システム体系及びその運用体制を最適化していくことにより、効率的かつ信頼性の高い観測･予測･通信基盤を構築していくこととなった。また、気象庁行政情報ネットワークについては、コロナ禍におけるワークスタイルの変革も念頭におきつつ対応を行っている。

行政情報システム（グループウェア）については、令和 2 年度第 1 回最適化等検討委員会において、当時利用していたグループウェアにはテレワークによる業務の利便性や効率性に重要な「テレビ会議」や「庁外からのリモートアクセス」等の機能がない課題を挙げ、次期グループウェアにおいてはワークスタイル改革を実現するグループウェアを整備する方針を決定した。その後、令和 3 年度にかけて次期グループウェアへの移行や運用管理方法を議論し、令和 4 年 3 月に行政情報システム（グループウェア）の更新が完了した。このグループウェアシステムでは、コロナ禍に導入したクラウドサービスの資源を生かしつつ、より高度な利用が行えるライセンス形態への変更も行った。また、コロナ禍において緊急的に整備したテレワーク用のメールアドレスと既存のメールアドレスを一本化し、既存のアドレスのみで利用できるよう変更を行った。

また、新しいグループウェアのテレビ会議など通信量の多い機能も遅延等無く利用するため、本庁及び各官署を適切に分散した経路でインターネット上のグループウェアシステムに接続できるよう庁内ネットワークの強化を行った。

これらの整備により、テレワーク時の情報共有など利便性が向上し、より一層テレワークを行い易い環境が整ってきている。

（2）情報セキュリティ

ア．セキュリティ関連規定の決定

政府機関における情報セキュリティ対策のための統一的な基準を策定し、政府全体の情報セキュリティ水準の向上を図るため、情報セキュリティ政策会議では、平成 17 年 12 月に「政府機関の情報セキュリティ対策のための統一基準」（第 1 版）を策定した。各政府機関は本統一基準を踏まえて省庁ポリシーを策定して情報セキュリティ対策を実施し、NISC によって対策実施状況を検査・評価する体制が構築された。

本統一基準の策定を受け、国土交通省では、平成 18 年 4 月に「国土交通省情報セキュリティポリシー」を策定した。この国土交通省情報セキュリティポリシーの規定に基づき、気象庁では同年 9 月に気象庁情報セキュリティ対策委員会（委員長：総務部長）を設置し、同委員会において、「気象庁情報セキュリティポリシー実施手順」を決定した。

この気象庁情報セキュリティポリシー実施手順に基づき、気象庁においては、国土交通省情報セキュリティポリシーで定めるサイバーセキュリティ対策の省内実行体制のもと、情報セキュリティ対策委員会の委員（一部除く）、施設等機関の長及び各管区・沖縄気象台長を情報セキュリティ担当官とするサイバーセキュリティ対策実施体制を構築した。

イ．情報セキュリティ管理官の設置

我が国においても政府機関や企業に対する外部からのサイバー攻撃が複雑化・巧妙化し、個人情報の流出や不正アクセスなどの事案が発生する状況の中、気象庁においても、平成 28 年度に本庁総務部企画課に「情報セキュリティ対策企画官」を設置し、庁内の情報セキュリティ対策を確実に実施する体制を整備した。さらに、翌平成 29 年度には、各管区・沖縄気象台に「情報セキュリティ管理官」を設置するほか情報セキュリティ対策に携わる要員を増員し、本庁と各管区・沖縄気象台とがより緊密に連携することで、全庁的なセキュリティ水準の底上げを確実に行う体制を構築した。このことにより、管区単位での強力な指導ときめ細やかな対応が可能となるとともに、地方気象台を対象としたセキュリティ監査を開始し、地方における情報セキュリティ対策を一層強化した。

また、情報セキュリティ管理官の設置に伴い、平成 29 年度以降、これまでの通信課長会議に代えて情報セキュリティ管理官会議を毎年開催し、「情報セキュリティ」「情報通信業務」を二本柱として議論を行うこととなった。

この情報セキュリティ管理官会議は、政府全体のワークスタイル改革の取組や世界的な新型コロナウイルス感染拡大によりテレワークが広く実施されるようになったことを受けて、令和 2 年度以降は、対面開催ではなく、Microsoft Teams を活用し、チャネルスレッド会議による意見交換及び Web 会議による懇談の形式で開催した。

表 4-1-1-1　情報セキュリティ管理官会議の懇談テーマ

開催年度	懇談テーマ
平成29年度	○地方における情報セキュリティ対策強化 ○気象庁情報システム最適化計画に伴う対応
平成30年度	○今後の情報セキュリティ対策への取り組み ○気象庁情報システム基盤及び次期アデス等整備に関わる対応
令和元年度	○2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会を見据えた政府機関のサイバーセキュリティ体制と気象庁におけるリスク管理策について
令和2年度	（新型コロナウイルス感染症のため、懇談は非開催）
令和3年度	○2030年に向けた情報基盤戦略を見据えた今後のソフトウェア開発の取組について ○ワークスタイル改革に資するテレワーク推進と実現に向けた技術検討や問題点について
令和4年度	○2030 情報基盤戦略を見据えた今後のソフトウェア開発のための人材育成 ○「遠隔臨場」による今後の情報システム整備（地方官署）等のリモート支援体制について
令和5年度	○組織再編後の課題と今後の取り組み ○2030年情報基盤戦略に向けた体制作り

【第２節】気象情報の部外提供業務等

１．情報提供の考え方

（１）気象審議会答申第６号以降の考え方～国内気象監視推進の観点から～

昭和 41 年 5 月に気象審議会は答申第 6 号「今後の社会的要請に対応する気象業務について」を行った。その中では、国民全般が利用しうるような一般サービスは原則として国が行うことが妥当としつつ、公衆への周知等附帯的業務は公益法人（民法に基づき主務官庁の許可を得て設立され、非営利かつ公益的な事務・事業を行うこととされた法人）等にも実施させて気象利用の促進を図ることが示された。また、一般サービスでは充足しえないような利用者に対しては特殊サービスを提供することとし、気象庁がサービスを行うべきかを判断する基準も示された。

その後は、答申第 6 号の趣旨に基づき気象情報の提供が進められた。例えば昭和 44 年から気象資料自動編集中継装置（ADESS）による気象資料の部外提供が始められた。昭和 40 年代以降、特に情報提供を率先して進めたのは、公共性が高いとされた日本放送協会、財団法人日本気象協会や、空港整備特別会計により作成された情報を提供する旅客航空会社等であった。

昭和 46 年 7 月の気象審議会答申第 9 号「気象事業整備 5 ヶ年計画（47 ～ 51 年度）の大綱について」でも、気象庁内外の詳細な観測結果と解析された結果の情報を、必要とする航空、航海、漁業、農業等の部外利用機関に即時的に提供するシステム等を設立し、また、需要に応じた統計処理及びその結果の提供等の業務を一元的に行える体制を早急に整備し、長年の資料の利活用を図ることとされた。

昭和 51 年 5 月、国内気象監視を推進する NWW（National Weather Watch）委員会が気象庁内に発足した。加えて、利用者とのシステム接続による情報提供に関して具体的な計画策定を進めるため、昭和 54 年 4 月に NWW 委員会に気象サービス分科会を設置し、部外機関に対する気象情報提供について、基本的な考え方の検討や具体的計画の策定に当たった。昭和 54 年度の NWW 委員会や庁議では、気象審議会答申第 6 号を踏まえ、以下の指摘がなされた。すなわち、気象庁の行うサービス（気象サービス）は、各種社会の利用に適合する気象情報を提供することにあり、気象情報の質の向上を図るとともに、これが有効に利用できるよう伝達されなければならないことや、気象サービスの改善のうち特に情報提供システムの改善については、情報の提供先、提供方法、制度上の問題、経費負担の問題を検討する必要があることの指摘である。当時既に多数の機関に回線分岐によるデータ提供がなされていた実態を踏まえ、情報提供に関する統一的な考え方を整理する必要に迫られていた。昭和 55 年 2 月に気象サービス分科会は、利用者と情報の種類、それぞれの情報の提供方法と経費負担等の現状を分析するとともに、社会的要請等に対応して新しい情報が生まれたこと等も踏まえつつ、気象サービスについては、最終製品としての情報はもとより、それに至るまでの資料についても気象庁がその任務を遂行するうえで支障がない限り全て提供可能であること、情報提供のうち気象庁長官の義務を超えるものは合理的負担を求めることなどを、基本的な考え方として示した。さらに、ADESS の回線分岐による情報の部外配信については、公共的色彩の強い機関に限ること、提供する情報は既製のものとすること、原則として特別の施設整備を行わず現有施設の余

力の範囲で行うことなどの考え方を示した。この考え方は、気象衛星資料、地域気象観測施設（AMeDAS）データ、レーダー情報等の部外提供に踏襲された。

昭和 56 年 3 月に気象資料伝送網の運用を開始し、その設備の余力の範囲内で回線分岐による気象資料の部外配信を行った。昭和 59 年 6 月には、オンライン情報提供に関する基本的な考え方を整理し、法定通知義務がある情報や、気象庁と当該機関が協力して行う業務で特別な編集・障害対策を要するものは協定を結んで配信すること、それ以外の配信については優先順位をつけて対応すること、経費は原則として情報の受け手（利用者）負担とすることなどを示した。

情報提供と合わせて、情報の蓄積や検索性の向上のニーズもあった。昭和 42 年 7 月に気象審議会が答申した「今後の社会的要請に対応する気象業務の推進方策について」（答申第 6 号の 2）では、様々な気象資料の提供の要求に対応するために、従来からの統計に加え、電子計算機等を整理し、必要に応じて資料を臨機に処理、提供できるよう資料センターを確立し、資料の利活用を図るべきとされた。一方、例えば昭和 55 年度から 56 年度にかけて、気象資料提供の改善を図るための資料保管、検索システムについて、外部のシステムを用いた効率化も含めて検討したが、実現には至らなかった。

以下に、当時の代表的な部外機関である日本放送協会と日本気象協会への昭和 50 年代前後の気象情報の提供について触れておく。

ア．日本放送協会（NHK）

気象庁は、気象業務法第 15 条に基づき警報事項を NHK に通知しなければならないこととされている（平成 25 年 8 月以降は、同法第 15 条の 2 に基づき特別警報に係る警報事項についても通知の義務を負っている）。加えて、NHK の放送は公共性が強く、公衆の利便のための気象観測の成果と情報の発表を具体化するのに有効であることなどの理由から、積極的に情報提供を行ってきた。例えば、昭和 47 年 2 月頃より、ADESS から予報電文の分岐配信を開始した。昭和 49 年 12 月に ADESS 分岐回線を増強し、地震・津波・火山も含めた 60 種類のデータを NHK に提供することとした。NHK はこれをミニコン等で迅速かつ自動で処理する仕組みを構築している。昭和 50 年 2 月からは AMeDAS データの配信を、昭和 55 年 8 月には静止気象衛星「ひまわり」写真の観測後 30 分での配信を始めた。

イ．財団法人日本気象協会

気象業務の健全な発達を図るうえで気象資料は広く社会の利用に供すべきものであるが、気象庁のシステム上の制約もあるため、現実的な対処方法として、社会に広く公平かつ確実に配信できる能力を有し、運輸大臣の所管する気象業務に係る唯一の公益法人であった財団法人日本気象協会に社会への気象資料の提供を行わせてきた。

昭和 52 年 3 月に日本気象協会に気象情報センター（MICOS センター）が設立された。同年 12 月には日本初の気象情報オンライン提供（MICOS）が開始され、顧客ごとのニーズに応じた気象資料・情報の提供が行われた。MICOS システムには気象庁の ADESS からデータが配信され、報道機関、国、自治体及び民間の利用者に気象情報が提供された。

昭和 63 年 10 月に NWW 委員会は気象資料のオンライン配信について、原則として配信事業体としての日本気象協会を通じて行うこととした。平成 3 年 3 月には、オフラインデータ

についても、磁気媒体データ等による提供について日本気象協会の事業として実施させることとした。平成 5 年に民間気象業務支援センター制度が創設されると、気象庁のデータ提供の役割は同センターに受け継がれた。

（2）気象審議会答申第 18 号～高度情報化社会における気象情報提供の推進～

昭和 60 年頃以降、従来の新聞、ラジオ、テレビ、電話等とは異なる電子技術を利用した新しい情報媒体（ニューメディア）が社会に普及した。これに伴い、パソコン通信（通信事業者のホストコンピュータに電話回線で接続した利用者同士が通信する会員制のサービス）等を用いた各種ニューメディア・システムへの気象情報提供の依頼が多く寄せられるようになった。また、パソコン通信等の通信手段の多様化を受けてか、航空、海洋、農業、水産業等様々な分野を対象とした民間気象事業が活発化した。

このような情報技術の進展と気象情報の利用の急速な広がりに対応するため、昭和 61 年 3 月に NWW 委員会サービス分科会は、法定情報を除く全ての情報を新規に設定する気象資料センター（仮称）を通じて提供すること、同センターは気象庁の保有する情報を一元的に取り扱い、ニーズに合った情報に加工・編集し、合理的な料金の負担を求めて資料提供することを提案した。昭和 63 年 10 月には、NWW 委員会は、気象資料のオンライン配信について、気象庁の保有する気象情報の積極的な配信や、配信に係る当庁の負担軽減と利用者間の公平性担保のための配信事業体（日本気象協会）を通じて実施することなどを、暫定的な基本方針として定めた。その後、平成 2 年 3 月、NWW 委員会は気象資料のオンライン配信について、配信対象情報の拡充や、一定の条件のもとでの孫分岐（配信事業体から情報の配信を受けた者が、さらに他者に配信をすること）を認めるなどの方針を示した。さらに、平成 3 年 3 月、NWW 委員会サービス分科会は、オンライン配信に係る費用の受益者負担の原則の下、積極的に部外提供を推進する具体的方策を整理した。

また、社会の高度情報化と各種情報メディアの拡充、情報に関するニーズの高度化・多様化等を背景に、平成 3 年 3 月、気象審議会へ「社会の高度情報化に適合する気象サービスのあり方について」を諮問し、平成 4 年 3 月に「社会の高度情報化に適合する気象サービスのあり方について」が答申された（答申第 18 号）。この答申は、防災気象情報や一般向けの天気予報等の発表は気象庁が、各種メディアへの適合や局地的な天気予報・付加価値情報の作成・提供は民間気象事業者等が行うという、官民の役割分担を示すものであった。この中で、気象庁の保有するデータは、ナショナル・ミニマムとしての予報、警報の発表等、気象庁が専ら自らの業務を遂行するために取得・作成したものであり、これらのデータは国民の共有財産として広く利用されるために公開されるものであるとされた。その際、気象庁の保有するデータを民間気象事業者に対してオンラインで提供するに当たっては、情報伝送を巡る環境の変化、受信者の増減や利用者の機器の相違及び更新等への柔軟な対応が求められることや、データ提供体制の整備に当たっては、様々な立場を持つデータ受信者の総意を的確に反映しつつ、受益者負担の原則の下に、合理的なデータ提供体制を確立するよう努める必要があることの指摘がなされた。さらに、民間気象事業全般の振興に寄与するような新たなデータの作成が求められた場合には、情報の作成に係る経費について民間気象事業者応分の負担の下に、気象庁が情報の作成・提供を行うことも考えられることや、将来、民間部門の応分の負担の下に、官民の連携

による総合的な気象事業を推進する可能性についても言及がなされた。

この答申を受けて、平成４年５月にその具体化方策の庁内検討体制を立ち上げ、データ配信体制については気象庁配信データ利用者協議会と気象庁の協議により検討を進めた結果、平成５年１月に今後の気象情報提供のあり方として、情報提供法人が必要な実費を徴収しつつ実施する案をまとめた。情報通信技術の進歩は著しく、利用者の変動も予測しがたいことから、その都度気象庁自ら利用者のニーズにきめ細かく応えていくことは困難であり民間気象サービスの発展を阻害するおそれがある。そこで、法人に気象情報の提供を行わせることにより、個々の事情に応じた適切な提供が可能となるとした。特に、数値予報の格子点値（GPV）は極めて多量なデータであり、気象庁の当時の施設の余力の範囲で提供することは不可能であったが、法人が利用者から実費を徴して提供体制を整備すればこうした有用なデータを民間事業者等に提供できると期待するものであった。しかし、日本民間放送連盟から「実費」の定義があいまいなことや、全ての気象情報提供サービスを新法人に移管することにより気象情報有料化構想に結びつくことを危惧する旨の見解が示されたことから、指定法人制度を設ける法改正は気象情報有料化を企図したものではなく、法人の設立・運営に当たっては報道機関との合意を前提とするよう気象庁の責任で監督していくとの見解を示した。

平成５年３月に指定法人としての民間気象業務支援センター制度（後述）などを盛り込んだ気象業務法の一部を改正する法律案が国会に提出された。平成５年４月の参議院運輸委員会及び同年５月の衆議院運輸委員会での審議において、「民間気象業務支援センターが行う情報提供業務に対する料金については、気象情報の公共的性質にかんがみ、経理を公開して、関係者と協議の上、同業務の遂行に必要とされる最小限度の費用を賄うものに限ること」や、「民間気象業務の発展に寄与するため、気象庁は、民間気象業務支援センターに提供する情報の内容の高度化に努めること」等の付帯決議が付されたうえで、同年５月に改正法が成立し公布された。

同法成立を受けて、平成６年５月、NWW 委員会サービス分科会は、気象資料の部外提供の見直し方針を示して、これまで日本気象協会が実施してきた情報提供に係る事業を民間気象業務支援センターに移管することとした（印刷物は除く）。また、「気象庁情報総覧」を策定することや、気象情報部外提供業務を気象庁として総合的かつ適正に推進するための体制として総務部長を長とする気象情報部外提供推進委員会を設置することとした。なお、民間気象業務支援センター制度が発足しても気象庁が自ら情報提供する場合もあり、例えば、共同研究による場合、法令に基づく政府機関・地方公共団体等の事業に直接利用される場合、地方自治体等との観測データの相互交換、世界気象機関（WMO）等による国際計画による場合等がそれに該当するとした。また、刊行物について、同センターのほか、日本気象協会、大蔵省印刷局等、刊行物の趣旨等に照らして適正な機関を指定して頒布することとした。これとあわせて、印刷物の電子媒体化と気象情報の電子媒体による提供を促進することとし、特に気象観測データ等を一覧編集した印刷物は特別な理由がない限り電子媒体に移行していくこととした。当時、気象官署における印刷された気象資料の閲覧者は年間５万人近くに及んでいたことから、民間気象業務支援センターが各気象官署に整備する複写コピー機等を活用することとしたほか、各気象官署における閲覧システム整備の具体化等を速やかに進めた。観測データのほとんどは

CD-ROM により民間気象業務支援センターを通して提供するとともに、気象官署での閲覧業務でもパソコンを利用できるようにした。CD-ROM による気象データ提供は、印刷物に比べて利用者の金銭的負担が大幅に低減するため、好意的に報道された。民間気象業務支援センター（財団法人気象業務支援センター）からの申請を受けて、平成 8 年 6 月に、CD-ROM 等による非即時的な情報提供が承認され、同センターでこうした情報の取扱いが始まった。こうした情報提供のあり方の改善と合わせて、GPV をはじめとして提供する情報の拡充も進めた。

平成 4 年 3 月の気象審議会答申第 18 号の趣旨は、平成 12 年 9 月の答申「21 世紀における気象業務のあり方について」（答申第 21 号）にも受け継がれている。この答申ではこれまでの考え方を継承し、気象庁は防災対応を行うために必要な防災気象情報や条約等に基づく気象情報を発表するとともに、民間活力の導入を図りつつ、国の政策等に必要な基盤的情報であって中長期的な技術開発を要するものやあまねく国民が享受すべき気象情報の発表を行うこととされた。また、民間等の多様なニーズに応えるため、民間気象業務支援センターを通して気象情報を積極的に提供することとされた。

（3）世界気象機関（WMO）の動き

国際的には、1980 年代に入り一部の国家気象機関で商業活動を開始又は拡大し収益を歳入予算に充当する動きが出てきたことなどを受け、平成 3 年 5 月の第 11 回世界気象会議で、気象に関する商業活動は気象機関間の気象データやプロダクトの無料交換を阻害する可能性があるとの懸念が示された。そこで世界気象機関（WMO）では作業部会を設置し、データポリシーを明文化することとなった。平成 7 年 6 月、WMO では、気象データの無料かつ無制約の交換の拡大を約束し加盟国は生命及び財産の保護に必要な基本的な気象データの無料かつ無制約の交換を行う等を定めた決議を採択した。同決議では基本的な気象データ及びプロダクトの交換や学術目的での交換を除き、データ等を国際交換する際にはそのデータ等を第三国へ再提供することを禁じる条件を付すことを許容することで、国家気象機関間でのデータ等の無料の国際交換を守ったとも言える。また WMO 加盟国に対しては、本決議の内容を民間企業等に説明することなどを求めた。

平成 7 年の決議の基本的な考え方は令和 3 年 10 月に WMO 臨時総会で採択された新しい決議にも踏襲され、今日に至っている。

（4）インターネット時代の気象情報提供の推進

平成 4 年に我が国でインターネットの商用サービスが開始され、利用が急激に進んだ。平成 8 年 11 月、気象情報部外提供推進委員会は、インターネットによる気象情報の提供についての暫定的な考え方を取りまとめた。気象庁自らがホームページを運用し情報提供する場合、気象業務法第 13 条第 3 項に定める「自ら予報事項及び警報事項の周知の措置を執る」によるものと捉えることができる一方、24 時間の安定的な運用が求められることやインターネットによる提供については民間活力に委ねる方法も考えられることを指摘し、これを踏まえて気象庁では慎重な対応を取ることとなった。また、気象台が都道府県等に提供した気象情報を都道府県等がホームページに掲示することについては、それが防災対策の一環として行われる場合は当庁としても積極的に協力し活用することが適当とし、その際、気象情報は常に最新の情報が掲示される必要があることや、最新の情報を利用するよう注意書きを掲示することを要請す

ることとした。

その後もしばらくの間、気象庁は自らホームページで気象情報の提供は行わなかったが、外部の研究機関等が様々なデータをホームページで積極的に公開していること、民間気象業務支援センター制度や閲覧制度で国民への情報提供の機会を確保しているとの説明が理解されにくいことなどから、このことについては気象庁内でも議論があった。平成 12 年 4 月の有珠山の噴火に際しては、火山情報の掲載を日本気象協会に行わせつつ、気象庁の動きに関する報道発表を気象庁ホームページに掲載し、また同年 9 月には三宅島の噴火に伴う火山観測情報を報道発表として気象庁ホームページに掲載した。

平成 12 年 11 月に成立した高度情報通信ネットワーク社会形成基本法（IT 基本法）及び IT 基本戦略に基づき、各省庁が保有する電子情報をホームページに掲載することにより積極的に提供することとされた。そこで、平成 13 年 11 月に、警報、天気予報、日常的な観測記録等幅広く国民一般の利用に資するものについては積極的に気象庁ホームページに掲載する方針を決め、平成 14 年 5 月の報道発表を経て、平成 14 年 8 月に気象庁ホームページで予報や観測データの公開を開始した。気象庁としては、必ずしも報道されない情報や伝達義務のない情報も含めて国民に提供できることや、放送されない情報でも見たい時に見られることなど、インターネットの特長に期待するとともに、気象情報をホームページで公開することで資料照会等への対応業務の軽減も期待していた。なお、気象庁ホームページでの気象情報の提供開始に際しては、気象庁ホームページのトップページに民間気象事業者のサービスを紹介するページを設けることとした。また、インターネットの活用を進めるにあたっては、民間気象業務支援センターとの役割分担として、広く国民等一般の利便に供する気象情報については気象庁ホームページにより積極的に提供することとし、特定の利用者に対するもので提供に相当の経費のかかるものについては従前の枠組みのとおり、民間気象業務支援センターを通した提供によることと改めて整理した。

なお、空港整備特別会計により整備した情報については航空関係者に限定して提供していたが、国が保有する情報を積極的に提供することとした国の IT 戦略や、空港の天気を知りたいという旅行関係者、空港関係者の要望を踏まえ、平成 18 年 3 月から、航空気象業務に支障の無い範囲で各空港の気象実況値を民間気象業務支援センターへ提供するとともに気象庁ホームページへの掲載も行った。

その後、パソコンではなく携帯電話等の移動端末からのインターネットの利用が増加したことを背景に、平成 21 年 3 月には一部の気象情報について移動端末に配慮した移動体用のホームページに掲載することとした。対象情報は気象警報、台風情報、地震情報等の一部の防災情報に限定し、さらに文字のみによる情報とした。

平成 23 年 8 月に「電子行政推進に関する基本方針」が IT 戦略本部で決定され、国民が必要とする行政情報を容易に利用できるようにする観点から、防災情報等について 2 次利用が可能な標準的な形式での情報提供を推進する必要があるとされた。これに先立ち気象庁では、近年の急速な ICT 技術の進展の中で汎用的に広く扱われる XML フォーマット（気象庁防災情報 XML フォーマット）に基づく電文（XML 電文）の提供を平成 23 年 5 月に開始した。さらに平成 24 年 7 月に IT 戦略本部で決定された「電子行政オープンデータ戦略」において、

公共データは機械判読可能な形式での公開が原則とされたことを受け、気象庁ホームページにおいても閲覧型のデータ公開に加えて csv 形式等での公開等を推進した。

また、平成 26 年度から平成 27 年度にかけて、情報通信技術の進展やオープンデータ推進の動き等を踏まえ、気象庁ホームページを活用した情報提供の強化、庁外の大学や研究機関が運営する情報提供システムを通した研究・教育機関向けの気象データ提供の拡充、これまで非公開としていた気象情報の提供拡充、気象情報に関する技術資料（配信資料に関する技術情報）の気象庁ホームページへの公開等を進めた。

平成 29 年 3 月には気象庁ホームページに気象データ高度利用ポータルサイトを開設するとともに、同サイトで気象庁防災情報 XML フォーマット形式電文の提供を開始した。その後も、同サイトでは、サンプルデータの提供や気象データの利活用事例の紹介、予報区等の地理情報データの機械処理しやすい形（シェープファイル形式）での提供等、産業界を中心とした気象データの高度利用に役立つ内容を充実させた。

平成 30 年 8 月に交通政策審議会気象分科会が取りまとめた提言「2030 年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」では、観測・予測精度向上のための技術開発と、気象情報・データの利活用促進を「車の両輪」として一体的に推進することとし、後者については気象庁ホームページや民間気象業務支援センターを通じて提供している気象庁のデータを拡充することや、気象データの提供環境の構築、機械可読形式による提供、データアクセスの方法の解説などのデータ取得に係る環境整備について、政府や民間におけるオープンデータの取組とも呼応し、促進することとされた。

同分科会が令和 2 年 12 月に取りまとめた「気象業務における産学官連携の推進」では、産学官における気象業務の取組の相乗効果が一層期待できる施策を実施することとされた。その一つとして、気象庁がクラウド技術を活用し、大容量化する気象情報・データを共有できる環境を構築すること、またその安定的な維持のため、必要経費について利用者にも負担を求めることなどが示された。これを受けて、令和 6 年 3 月から運用を開始したスーパーコンピュータシステム（NAPS11）に、データ共有・提供の機能を担うクラウド部（気象庁クラウド環境）を新たに導入した。気象庁クラウド環境上に保存された気象データは、気象庁自らが技術開発等に用いるほか、民間気象業務支援センターを通して利用者に提供している。データの「配信」とは異なる「共有」の考え方により、これまで庁内利用にとどまっていた大容量データを提供できるようになったほか、今後、利用者それぞれがデータ蓄積することが不要となり、気象庁・利用者全体でデータの維持・管理の効率化が期待される。なお、気象庁クラウド環境の運用に必要な経費の一部は、実費として民間気象業務支援センターを通じて利用者に負担を求めている。

ア．気象庁ホームページ広告

政府内における民間の資金やノウハウの活用を促進・推進した官民の強みを生かした公共サービスの提供に対する機運の高まりもあり、令和元年、気象庁は国民の負担を増やすことなくホームページを効率的に維持、運営することを目的とし、ホームページへのウェブ広告掲載の検討や準備に着手し、令和 2 年 9 月にウェブ広告の掲載を開始した。

掲載開始時は、ウェブ広告の業界では一般的である閲覧者や媒体ごとに最適化された広告を

自動的に表示する「運用型広告」方式を採用し、不適切な広告を排除するため広告のジャンルごとにフィルターを設定した。しかし、掲載開始直後から不適切と考えられる広告が複数確認され、翌日には広告の掲載を一時停止することとなった。原因等の分析を行った結果、運用型広告では不適切な広告を完全に排除できないとの結論に達した。

このため、気象庁自らが審査、確認した広告のみが特定の広告枠に固定して掲載される「純広告」方式へと改め、翌令和３年１月に広告の掲載を再開した。その後は大きなトラブルや方式の変更等なく今日まで広告掲載を継続している。

なお、広告掲載にあたっては報道機関等と意見交換を行い、防災気象情報の速報性や視認性を損なわぬよう、広告バナーのファイル容量、配色やデザイン等に一定の条件を設けるとともに、広く国民に避難を呼びかける事象が発生する際には広告の掲載自体を停止することとしている。

イ．気象情報の部外提供・利活用を促進する気象庁内の体制

平成６年度の NWW 委員会サービス分科会における検討により、気象庁の保有する各種気象情報の部外提供業務を総合的かつ適正に推進するため、当該業務の指針を審議することを目的として、気象情報部外提供推進委員会（会長：総務部長）を設置した。気象情報部外提供推進委員会においては、設置当時の課題である民間気象業務支援センターによる情報提供の検討をはじめ、社会情勢や情報技術の変化等に合わせて議論を行い、平成 14 年度の気象庁ホームページによる気象情報の提供開始、平成 22 年度の気象庁防災情報 XML フォーマットの運用開始に向けた議論等を行った。

平成 26 年には、気象情報部外提供推進委員会は任務・目的が気象情報利活用推進に移ってきたことから名称の変更も行うこととし、気象情報利活用促進委員会（委員長:総務部参事官）に改組した。

平成 30 年度気象分科会提言「2030 年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」（平成 30 年８月）では、観測・予測精度向上のための技術開発、気象情報・データの利活用促進、これらを「車の両輪」とする防災対応・支援の推進について、利用者目線に立ち、社会的ニーズを踏まえた目指すべき水準に向けて、取組を進めることとされた。これを受けて令和２年 10 月の組織再編により情報基盤部を発足させたことに伴い、気象情報利活用促進委員会は情報基盤部長を委員長とする構成に再編した。

ウ．情報総覧

気象情報の部外提供は長い間、印刷刊行物又は原簿等からの書き写しによって行われてきたが、平成に入ると社会の高度情報化に伴い、利用者数及び利用資料の種類が増加し、さらに磁気媒体での提供依頼が求められるようになった。これを受け平成２年５月から、提供方法の検討が進められた。その結果、平成３年３月に（財）日本気象協会を通じて磁気媒体による提供を行うこととなった。そこでは（財）日本気象協会による提供を円滑に行うため、提供対象情報を一覧表に整理した「気象庁データベース総覧」を平成３年度上半期までに整備することとなった。

平成６年５月に（財）気象業務支援センターが民間気象業務支援センターに指定されると、日本気象協会が担ってきた部外提供業務は民間気象業務支援センターたる（財）気象業務支援

センターに移管されることになり、これに伴う見直しでオンラインデータ、オフラインデータ及び情報処理プログラムまで総合的に扱う「気象庁情報総覧」を作成することになった。そこには情報の名称、内容、管理者、部外提供の方法及び担当部署を明記することとし、刊行物等の方法で公表することとなった。これは、気象庁情報総覧として平成 9 年 3 月に刊行した。

気象庁情報総覧は平成 12 年からは CD-ROM による配布となり、さらに平成 18 年からは気象庁情報カタログとして気象庁ホームページに掲載するようになった。

平成 26 年になると、情報通信技術の発達で大容量データを高速で処理・伝達できるようになってきたことを背景に情報提供の仕組みの見直しが行われたが、その中で情報のアクセスの改善も図られた。それまで気象庁情報総覧は情報の一覧表であったが、気象分野以外の利用者から情報提供の内容が分からないという声があったことを踏まえ、情報の種類や内容、入手方法、関連する技術資料を参照できるものに改善することになった。また、平成 26 年度に具体的な検討を行った結果、気象庁が作成・保有している情報・データのマスターとして位置づけること、メタデータをカテゴリ情報、基礎情報及び拡張情報の三階層に整理することとなった。これらを踏まえた新たな気象庁情報総覧は平成 27 年 3 月に完成した。

エ．情報提供の多言語化

平成 25 年に訪日外国人が初めて 1,000 万人を超える等、訪日・在留外国人が大幅に増加する中、災害発生時における外国人の安全確保が課題となっていた。これを受けて気象庁では、内閣府及び観光庁と連携し、平成 27 年 3 月に緊急地震速報の多言語辞書を、同年 10 月に津波警報を提供する際に必要となる表現の多言語辞書を公表した。多言語辞書は、情報配信事業者等が多言語で提供する際に必要となる防災関連の用語、伝達文を多言語に翻訳した用語集として、民間事業者のウェブサイトやアプリ等における活用のために作成された。対象言語は、当初は、訪日・在留外国人数に即して英語、中国語、韓国語、ポルトガル語、スペイン語、及び「やさしい日本語」の 6 か国語であった。翻訳作業に際しては在日公館等にもボランティアで確認の協力を得た。公表した多言語辞書は観光庁の外国人旅行者向けプッシュ型情報発信アプリ「Safety tips」、NTT ドコモの多言語提供アプリでの活用や、東京都及び内閣官房により設置された「2020 年オリンピック・パラリンピック大会に向けた多言語対応協議会」の第 4 回会合（平成 27 年 12 月）でも各機関･団体が推進する先進的取組の一つとして紹介された。

一方、政府においては、「外国人材の受入れ・共生に関する関係閣僚会議」が開かれ、平成 30 年 12 月に「外国人材の受入れ・共生のための総合的対応策」、令和元年 6 月に「外国人材の受入れ・共生のための総合的対応策の充実について」が閣議決定される等、我が国として共生社会の実現に向けた取組が進められた。本閣議決定において、防災・気象情報に関する多言語辞書の充実（11 か国語）及び気象庁ホームページの多言語化（11 か国語）、並びに対応言語の拡充（14 か国語）が明記されたことを受け、気象庁においても必要な対応を行った。令和元年 3 月に 6 か国語（日本語・英語・中国語（簡体字・繁体字）・韓国語・スペイン語・ポルトガル語）の多言語辞書を公開した。同年 7 月には気象庁ホームページの危険度分布及び雨雲の動きのページについて同 6 か国語での対応を開始し、同じく 7 月には、多言語辞書とタイミングを合わせて、インドネシア語、ベトナム語、タガログ語、タイ語、ネパール語を追加した 11 か国語への拡充を行った。同年 9 月には気象（天気、大雨、高温等）・地震・津波・

火山に関する防災気象情報についても 11 か国語での対応を開始する等、立て続けに対応を実施した。さらに、令和 2 年 3 月には多言語辞書を 14 か国語に拡充（クメール語・ビルマ語・モンゴル語追加）し、同年 4 月には防災気象情報の提供も 14 か国語に拡充し、現在の 14 か国語 15 言語での提供体制が出来上がった。同年 9 月には台風情報に関する用語を多言語辞書に追加し、ホームページにおいても 14 か国語で台風情報の提供を開始した。その後も、多言語辞書への用語の追加や気象情報の変更に合わせたホームページの更新などを行っている。

2．部外提供手段の変遷

（1）情報媒体の変遷

昭和 35 年 4 月の気象審議会答申第 3 号「防災気象情報の伝達組織の強化と利用体制の向上について」では、現状として、ほとんど全ての気象官署が防災気象情報を一対一で伝達し多くの時間を要しているため、専用電話を集約して同時伝達する装置を設備し迅速化を図ることや、有線回線は災害時に障害が起こるので無線通信等による伝達を検討する必要があることなどが指摘された。加えて、昭和 26 年 7 月に日本電信電話公社が新設した気象通知電報の利用も有効とされた。

昭和 40 年代後半に企業や団体等が気象庁から直接気象情報を得る手段としては、一般向け無線放送のほか、文書・電話による通報、177 電話サービス、電話による問合せ、直接説明を受ける、直接データ分岐を受けるといった選択肢があった。また、気象庁以外の者から気象情報を得る手段としては、テレビ、ラジオ、電話、新聞が一般的であった。一般向け無線放送も多くの企業・団体に認知されていた。

昭和 55 年頃の気象情報の提供方法として、防災関係機関、地方自治体、研究機関等に対しては、オンライン配信（データ通信、電話ファックス）のほか、電話通報（同送電話、専用電話、加入電話）、刊行物の配布等により行われていた。同送電話については、ラジオ・テレビ・新聞等関係者、都道府県、交通機関、日本電信電話公社関係などに分けて接続し、その地方の警報、台風情報等を、気象台からの一方通話で迅速に伝えていた。

同じく昭和 55 年頃、個人や一般企業に対する気象情報の提供は、テレビ、ラジオ、電話（177 を含む）、無線通報（FAX 放送等）、閲覧等により行われていた。ダイヤル 177 電話の利用数は昭和 54 年頃に 1 日約 90 万件、昭和 57 年頃に約 80 万件で時報サービスに次ぐ利用者数を誇り、気象庁としても一般向けへの情報提供手段として、NHK 放送と共に電話サービスを重要視していた。昭和 58 年 4 月には、日本電信電話公社との間でダイヤル 177 電話に降水確率予報や降水短時間予報を盛り込むことや、気象庁と公社との連絡会を設置して 177 の改善に努めるという覚書を交換し、連絡会を開催した。昭和 63 年 10 月には NTT 週間天気予報電話サービスが開始された（なお、177 は、昭和 30 年の開始以来気象情報を電話で確認する手段として活用されてきたが、テレビの他スマートフォン、インターネット等の普及に伴い、気象情報の確認手段が多様化したことや、固定電話の利用減少に伴って、利用数が大幅に減少し今後もこの傾向が継続する見込みであることから、令和 7 年 3 月末に廃止された）。

また、庁内各部署で気象情報を記録し保存する磁気テープを、要望に応じて貸し出していた。例えば統計室での磁気テープの貸出件数は、昭和 56 年から 61 年の間でもおよそ 4 倍にも増

えており、貸出先は企業が多かった。

画像データについては取扱いが難しく、昭和 53 年 4 月から本格運用を開始した静止気象衛星「ひまわり」の資料配布について、当初は、写真の掲示、印刷物の配布、磁気テープの配布、資料貸出等にとどまっていた。昭和 55 年 8 月以降、気象衛星センターから一部の部外機関に対し、低分解能ファクシミリの電気信号を分岐配信するなどしたが、画像データの提供が本格的に進むのは、後述するニューメディアの活用が一般的になってからである。

オンライン提供については、通信関連法令の変遷とも関連が深い。昭和 46 年に公衆電気通信法の一部を改正する法律が成立し、利用者が自ら設置するコンピュータと接続して電気通信回線を使用する場合には、一定の条件のもと他人使用が認められることとなった。さらに昭和 60 年に電気通信事業法が施行され、日本電信電話公社（同法の施行に伴い民営化）以外も第 2 種電気通信事業者として電気通信事業を行うことが可能となった。

昭和 60 年代頃からニューメディアの活用が進んだ。例えばファクシミリ通信、ビデオテックス、パソコン通信、文字多重放送、ケーブルテレビ等により、画像情報を中心とする多品種、大量の情報を、対話方式により個々の利用者に提供できるようになった。これにより、気象情報についても、マスメディアを通した提供や 177 電話サービス、個別の電話照会以外の様々な需要に応えられるようになった。チャンネルボタンを押すと知りたい情報が文字や図形となって家庭のテレビに映し出される文字多重放送は昭和 60 年 11 月に開始され、各放送局とも、気象等の情報の位置付けを高く見ていた。また、昭和 60 年 9 月には、東海地震に関する警戒宣言や津波警報が発表された場合等に警報音を兼ねた信号が送出され自動的に受信機が起動する緊急警報放送システムの運用が開始された。平成 9 年頃になると、民間の気象情報サービスはインターネット、ケーブルテレビ、パソコン通信、電話、ファクシミリといった多様な提供媒体により行われており、マルチメディア対応を謳う民間気象事業者も複数存在していた。

我が国でインターネットの利用が広がり始めた平成 7 年当時、例えば日本気象協会や情報通信関連企業等において、気象衛星画像をパソコン通信やインターネットで提供するサービスや実験が開始され、広くアクセスされるようになった。平成 8 年当時、複数の新聞社、テレビ局、民間気象事業者、その他の情報関連企業等が、インターネットによる気象情報の提供を行っており、地方公共団体でも提供予定の状況であった。天気予報やひまわり画像を掲載する場合が多いが、既にゴルフ場の天気等の専門的な情報を扱うホームページも存在した。その後、IT 基本戦略に基づき、平成 13 年 3 月に行政情報化推進各省庁連絡会議にて「行政情報の電子化提供に関する基本的考え方（指針）」が了承されると、気象庁もその趣旨を踏まえ、平成 14 年 8 月に気象庁ホームページで予報や観測データの公開を開始した。印刷物についても国内外で電子化（オンライン出版化）が進んだことから、気象庁も平成 15 年 4 月に既存の印刷物の気象庁ホームページでの提供を開始した。

国民が最新の気象情報を入手する手段としては、携帯電話の普及等を受けて、モバイル端末が重要な手段となってきている。平成 9 年 9 月に、日本気象協会が気象庁の支援・協力のもとでインターネットによる「防災気象情報サービス」を開始し、防災気象情報を無償かつ地域格差なく広く全ての国民に提供開始した。平成 11 年に株式会社 NTT ドコモが i モードサービスを開始すると、その後数年で、携帯電話に月額 100 円程度で気象情報を配信するサービ

スが多数生まれるなど、民間事業者によるモバイル端末向けのサービスが拡大した。平成 19 年に緊急地震速報の運用を開始すると、携帯電話は 24 時間常に緊急地震速報を入手できる環境を実現できる媒体として注目され、大手携帯電話事業者は、緊急地震速報を同報通知するサービスを開発し運用を開始した。その後、平成 24 年には各社の同報通知サービス（緊急速報メール）の対象に津波警報が追加されるなど対象情報が拡充した。さらに平成 20 年代以降は、民間事業者によって、スマートフォン等で動作するアプリケーション（アプリ）や、ソーシャルネットワーキングサービス（SNS）を利用した気象情報・サービスの提供が増えている。気象庁が国民に行った調査でも、平成 19 年度は 96％がテレビで、次いで 59％が新聞で天気予報を入手していたが、平成 27 年度の調査ではテレビが 79％で、次いでパソコンが 63％、携帯電話が 36％となっていた。

一方、気象庁から非即時的に行う気象情報の提供の方法は、平成 8 年 1 月に計算機ディスプレイ等による閲覧、電子媒体（磁気テープ、フロッピーディスク、CD-ROM 等）等の複製の提供、印刷物や電子媒体等の貸出、商用情報通信ネットワークを利用した送信・開示の 4 つに大別した。民間気象業務支援センターを活用した提供も含めて、CD-ROM がよく使われたほか、カセット磁気テープ（CMT）も用いられた。印刷物については、平成 8 年度までに、アメダス・地上気象、地震、海洋の観測データのほとんどや天気図について CD-ROM 化するなど、電子媒体への移行が進んだことで、電子媒体化されていない過去データを除き、気象等の観測データ提供といった観点では、明治以来の歴史的な役割を終えつつあった。なお、印刷物に関しては、官報の資料欄の充実のため、大蔵省官報課からの相談を受けて平成 3 年 4 月から前月の日本と世界の気候資料が毎月 20 日頃の官報に掲載されるといった取組もあった。

（2）データフォーマットの変遷

気象データの提供や交換において、かつては文字形式の電報が用いられた。気象衛星資料のように文字形式では扱うことができないデータは、写真の掲示、印刷物の配布、磁気テープの配布といった形で行われた。数値予報の格子点値（Grid Point Value：GPV）のように文字形式の情報や写真等に比して極めて大容量なデータは、民間気象業務支援センター制度が創設されるまで、多数の部外利用者に配信することは、気象庁の施設の余力の範囲では不可能であり、提供は行われなかった。

その後、昭和 60 年代から平成初頭にかけての高度情報化社会の到来に伴い、データの伝送速度が向上するとともに、データを手軽に機械処理できる環境が整備されると、それに対応した情報へのニーズが高まった。そのため、従来の限られた文字・数字からなる情報ではなく、面的な分布を示す格子点データを拡充し、積極的に提供することとした。例えば数値予報の GPV については、昭和 59 年 2 月から欧州中期予報センター（ECMWF）に提供していたが、平成 7 年 3 月に台風委員会加盟国の気象機関へ提供開始するなど平成時代に入り提供先を拡大した。また、予報業務許可事業者が気象の予報を行うためにも数値予報の GPV が必要になることから、平成 8 年 3 月に気象業務支援センターが独自のオンライン配信システムの運用を開始した当初から同センターを通じてこれを即時的に提供している。その他、降水短時間予報業務を昭和 63 年 4 月から開始し、解析雨量等の GPV を扱っているほか、平成 8 年から気象業務支援センターを通じてレーダー・アメダス解析雨量の GPV の提供を開始した。

さらに近年では、気象衛星画像をはじめとする画像データを拡充しているほか、防災気象情報についても危険度分布（キキクル）といった面的な防災気象情報の提供を充実してきている。

ア．データフォーマットの種類と採用状況

気象情報･データは、国内防災機関や海外気象機関など多くの関係者に迅速かつ確実に伝達･共有されることが肝要であり、これを実現するためにデータフォーマットが早くから定められてきた。例えば、気象庁をはじめとする気象業務で用いられるデータの形式は、気象通報式に定められている。昭和 30 年代頃は、モールス通信や電動式タイプライタ（テレタイプ）の使用を前提にしていたが、その後の情報技術の進展に伴い、後述の様々なフォーマットが反映されている。通報式には、国際気象通報式、国内気象通報式、航空気象通報式がある。国際通報式の第 6 版が昭和 50 年 12 月に、第 7 版が昭和 56 年 10 月に、第 8 版が平成 2 年 3 月に定められた。また国内通報式は初版が昭和 33 年 5 月に、第 2 版が昭和 44 年 7 月に、第 3 版が昭和 56 年 9 月に定められた。さらに、航空機の運航に必要な細目的事項を定めた航空気象通報式の第 3 版が、平成 3 年に開催された第 43 回 WMO 執行理事会の決議に合わせて、同年 7 月から実施されている。これらの通報式は、制定後も順次改訂されている。

国際的には、WMO ではデータ交換に伝統的文字形式通報式（TAC: Traditional Alphanumeric Code）が古くから用いられてきた。TAC 通報式は 1970 年代に現在の形に整理され、データの種類に応じて、地上実況気象通報式（SYNOP）、海上実況気象通報式（SHIP）、地上高層実況気象通報式（TEMP）が普及した。その後、TAC よりも柔軟性と拡張性を持つ通報式である二進形式汎用気象通報式（BUFR: Binary Universal Form of Representation）が昭和 63 年に定められた。BUFR では、データを数値、符号、文字列といったデータに分解し、多様なデータを扱うことができる。さらに WMO では、既存の文字形式の通報式では扱うことができない情報を扱う場合に利用するため、汎用型の文字通報式を検討し、平成 5 年に文字形式汎用通報式（CREX: Character form for the Representation and Exchange of data）と命名し、平成 6 年にオゾン観測データを交換する際に CREX を実験的に使うことを推奨した。気象庁では、世界に先駆けて平成 7 年 2 月にオゾンデータの CREX による国際的な試験送信を開始した。また、平成 9 年 7 月から台風 72 時間進路予報の提供を開始するに際して、CREX を採用するとともに、今後は電文を従来のバイナリ型の通報式（BUFR）又は CREX に統一することとした。平成 20 年代に入ると、WMO においても、気象観測データ等の国際交換について、BUFR や CREX への移行計画を推進したが、送受信双方のシステムで準備を完了させる必要がある等の事情から、現在も TAC 形式の通報は残っている。

格子点値については、平成元年に定められた GRIB（Grid Binary）が普及している。当初は 2 次元格子点値を表現する形式だったが、平成 13 年に第 2 版が定められ、多次元格子点値を表現できるようになった。気象庁から提供される格子点値も原則として GRIB 第 2 版の形式である。前述の BUFR、CREX や GRIB はいずれも、手続きを経ることなくデータフォーマットを変更することを許さないため、国際的に統一された形式で情報が流通するという利点がある。

国内でのみ流通する気象データには、気象庁独自のフォーマットも使われている。代表的なものは、文字情報を伝える「かな漢字電文」や、その実質的後継となる気象庁防災情報 XML

である（詳細は後述）。ただし、極めて迅速な提供が求められる緊急地震速報については、データ容量が小さいことを重視し、定型のフォーマットで各要素を英数字や記号を用いて内容を示すことで伝送量を抑えたコード電文が気象庁防災情報 XML と併せて使われている。

また、気象庁の数値予報システムでは、様々な観測報をスーパーコンピュータでの処理により適合するよう、BUFR に独自の変更を加えたデータ形式により保存している。格子点値についても、国際的に用いられる GRIB 形式に対して、平成 13 年に気象庁の数値予報ルーチンに特化した NuSDaS と呼ばれる独自の形式が生まれた。これら独自のフォーマットは、国際的なデータ交換に供するには不向きである。特に NuSDaS に関しては気象庁外とのデータ交換について逆に支障になりかねないことから、使い方に関する資料の整備等が進められている。このほか、気象衛星データについては、「ひまわり標準フォーマット」と呼ばれる独自形式や、米国研究機関の汎用配列データ形式である NetCDF 形式等が用いられている。

民間気象業務支援センターを通じて部外提供される気象情報は、緊急地震速報や気象衛星データを除き、そのほとんどが気象庁防災情報 XML、GRIB、PDF の形式になっている。また、平成 24 年 7 月に IT 戦略本部で決定された「電子行政オープンデータ戦略」の趣旨等を踏まえ、政府機関の有する公共データを機械判読可能な形式で広く公開する観点から、統計データ等を気象庁ホームページからダウンロードできる機能を設けることとし、平成 26 年度以降順次、txt 形式や csv 形式等の機械処理可能な形で提供している。

イ.「かな漢字電文」と気象庁防災情報 XML

電文とは電信で送受する電報であり、古くは明治時代から使用されてきた。電文は、その用途に合わせて様々なフォーマットが規定され、国内でのみ流通する気象データには、気象庁独自のフォーマットも使ってきた。中でも、日本語の平文を直接記したものは「かな漢字電文」と呼び、各種気象情報の発信に広く使ってきた。

平成 16 年 3 月に、気象警報・注意報・予報の改善・拡充の一環として、タグを用いてデータを論理的に構造化して記述することができる XML（Extensible Markup Language）を当庁で初めて採用した。その後、平成 22 年度からの市町村を単位とした気象警報の発表などの計画を控えて、より詳細で高度化された防災情報の提供様式を検討すべき時節の到来と捉え、平成 19 年 3 月に庁内の気象情報部外提供推進委員会の下に、部外における気象情報の更なる有効活用に資する提供形式の検討・決定を目的とした「気象情報提供形式検討部会」（部会長：総務部企画課企画調整官）を設置した。

同部会では、既に多様な分野で応用が盛んであることなどを理由に XML に的を絞って具体的な技術検討を進めるとともに、気象庁の電文の XML 化による利便性を探求し、約 3 年にわたって仕様策定作業を行った。策定にあたっては、XML 技術の専門家が集う XML コンソーシアムの協力を仰ぐとともに、利用者からの声を検討に反映させるなど、従前のフォーマット策定過程にない取組を行った。また、この頃、既に米国では “CAP” という名の XML を用いた警報等の伝達が開始され、具体的な実装や利活用が進んでいたという国際動向も仕様を策定する上での大きな背景となった。

同部会で仕様策定の結果、「かな漢字電文」などの実質的な後継として、平成 21 年 5 月に「気象庁防災情報 XML フォーマット」の仕様を公開した。この仕様は、民間気象業務支援センター

の利用者に限らず、ホームページを用いて一般に公開した。従来の形式である「かな漢字電文」では、電文種別ごとにフォーマットが異なっていたが、この XML フォーマットは当庁における各種防災情報を一元的に取扱うための情報基盤として、仕様と管理を一元化した。特に、ヘッダ部では防災情報を各電文共通的に取得可能としたことで情報の主たる部分の選別処理や取得処理が共通化可能となっており、内容部では電文間で類似の要素の処理の流用・統一化が図られるようにしている。また、XML のツリー構造により、情報量が増えて複雑化した情報であっても、必要な要素を容易に取り出すことができる。同フォーマット公開後には、解説資料などの充実や各種部外機関に対する同 XML フォーマットの普及啓発のための説明等を行い、同フォーマットによる XML 電文の運用を平成 23 年 5 月（気象警報・注意報は先行して平成 22 年 5 月）に開始した。さらに、平成 24 年 12 月から、より一層の利活用の促進を図るため、気象庁ホームページにおいて XML 電文のデータ公開を試行的に始めた。平成 30 年 3 月には XML 電文の利用が十分に図られてきていることを踏まえ、部外へのかな漢字電文の配信をおおむね終了した。

3．民間気象業務支援センター

社会の高度情報化に伴い、気象情報に寄せられる国民の要望は多様化し、一方で気象の予測技術も情報処理技術の進展により高度化が進むとともに、情報提供手段も多様化、高度化してきた状況に鑑み、平成 5 年 5 月に、気象庁をはじめとする関係者の役割分担と連携協力により時代の要請に適合した気象情報サービスの高度化を図ること、民間における新たな気象サービスの提供に適切に対応するための資格制度の創設をすることを目的とした気象業務法の一部改正法が公布された。本改正では、気象庁が保有する気象情報であって予報業務の実施に関する許可を受けた者等の利用に適合するものの提供等に関する事務を指定する法人に行わせることができることとなり（法第 24 条の 28）、指定された法人は「民間気象業務支援センター」として「情報提供業務」の実施とともに「情報提供業務及び気象情報の利用に関する調査及び研究を行うこと」、「民間における気象業務の健全な発達を支援し、及び気象情報の社会活動における利用の促進を図るために必要な業務を行うこと」（法第 24 条の 29 の 1 ～ 5 号）とされた。これに伴い、平成 6 年 3 月に（財）気象業務支援センターが設立された。そして、平成 6 年 5 月の改正法施行と同時に（財）気象業務支援センターは「民間気象業務支援センター」に指定された。その後（財）気象業務支援センターは、公益法人改革により平成 24 年 4 月には「一般財団法人」に移行して今日に至っている。以下は、一般財団法人気象業務支援センターが、民間気象業務支援センターとして今日実施している業務である。

（1）情報提供業務

気象業務支援センターでは、その設立以来、情報提供業務として、天気予報や警報・注意報、観測データ、数値予報結果、緊急地震速報など気象庁が保有する各種気象情報の提供を受け、それらを民間気象事業者、報道機関、大学研究機関、自治体などの利用者に対して実費によるデータ提供サービスを実施している。

現在、気象業務支援センターでは、気象庁虎ノ門庁舎内に設けられたオンコールセンター等に配信システムを整備し、オンライン接続している気象庁の各種システムから受信した各種気

象情報を利用者のシステムに即時配信している。これらの業務が 24 時間 365 日確実に実施されることにより、気象庁の発表する情報が適時適確に社会、国民へ伝達されている。

ア．オンラインによる提供

平成 7 年 3 月から平成 8 年 3 月までは、オンライン配信サービスについては同センターから（財）日本気象協会に業務委託され MICOS を通して実施されていたが、平成 8 年 3 月の気象資料総合処理システム（COSMETS）の更新にあわせて気象業務支援センターが独自のオンライン配信システム（現在の「電文形式配信システム」）を整備し運用を開始した。その後、数値予報格子点値（GPV）等の大容量化に伴い、平成 12 年 9 月にはファイル形式配信システムの運用を開始し、GPV 等の配信はファイル形式での配信へ順次移行した。平成 18 年 8 月には「緊急地震速報配信システム」を整備し緊急地震速報の配信を開始した。また平成 27 年 7 月にはそれまでの静止気象衛星「ひまわり 7 号」に比べデータサイズが大きくなることから、静止気象衛星「ひまわり 8 号」の運用開始にあわせて、気象衛星センターの庁舎内に静止気象衛星配信システムを整備し、ファイル形式配信システムに加えて本システムからデータサイズが大きい気象衛星観測データの配信を開始した。さらに令和 6 年 3 月から気象庁のスーパーコンピュータシステム（NAPS11）に整備されたデータ共有･提供の機能を担うクラウド部（気象庁クラウド環境）から利用者へ情報提供を始めた。これにより、気象庁クラウド環境上に保存された気象データを利用者に共有する形で、これまで庁内利用にとどまっていた大容量データを提供できるようになった。

イ．オフラインによる提供

オフラインデータ（非即時データ）の部外提供については、平成 2 年 5 月に庁内の「第 1 回オフラインデータ部外提供検討部会」（部会長：観測部管理課統計室長）にて本格的な議論が行われるようになった。それまでの非即時提供は、原簿類、刊行物からの書き写し、あるいは気象協会を通してのコピーによる「紙」の媒体を主として実施していた。その後は、気象資料の磁気テープ化が徐々に進展したことに伴い、平成に入ると磁気テープ、フロッピーディスクによる非即時提供の要望が増加傾向となった。この要望の高まりを受けて、オフラインデータ部外提供検討部会において議論を進め、平成 3 年 3 月に磁気テープ、フロッピーディスクによる非即時提供は（財）日本気象協会が行うこととなった。平成 6 年 5 月に気象業務支援センターが改正気象業務法における民間気象業務支援センターとして指定されたことに伴い、これらの業務は（財）日本気象協会から気象業務支援センターに移管されることになった。

（2）情報利用支援業務

気象業務支援センターでは気象予報士、気象事業者をはじめとする情報利用者の利便の向上を図るため、気象情報のデータフォーマット、処理技術等に関する相談等に対応している。また、新規に気象情報の提供を希望する事業者や気象に関心を持つ一般の方からの気象情報の利用等に関する幅広い相談にも対応している。気象業務支援センターの発足当初は情報の利用者は圧倒的に行政機関や予報業務許可事業者が多かったが、2010 年代後半以降、企業・団体の利用者が増えた。これに伴い、相談内容がセンター発足当初に比べて多様化してきている。

（3）研修教育業務

気象業務支援センターでは、気象予報士及び民間気象事業者で気象事業に従事する気象技術

者の技術力向上を支援するため、気象情報の利用に関する研修を実施している。令和元年度以前は受講者を会場に集め講義する形式で研修を実施していたが、新型コロナウイルス感染防止対策として令和2年度から研修をオンラインで実施するようになった。これにより受講生の居住地に関わらず受講できるようになり利便性も向上した。

（4）閲覧支援業務

平成8年に、法第24条の29第5号の規定による民間気象業務支援センターの業務の一環として、気象官署における気象資料の閲覧業務に関する複写や印字等経費を伴う閲覧者の個別的要望への対応を行うこととした。この業務は、個別的な経費を要するサービスへの要望に対し、受益者負担の原則により応えるため、支援センターの機器を全国の気象官署に設置することで行うこととした。以後、平成9年にかけて、（財）気象業務支援センターが全国の気象官署に複写機を設置したが、平成13年の「行政機関の保有する情報の公開に関する法律」の施行、平成14年の気象庁HPによる気象資料の提供、そのほかデジタルカメラの発達等に伴い地方官署での閲覧支援業務の利用実績が少なくなったことから、平成16年から19年にかけて本庁以外での閲覧支援業務を順次終了した。現在では、本庁内の図書館及び天気相談所において引き続き複写機の設置が行われている。

（5）普及促進その他の業務

気象情報の普及や利用促進を図るための講演会の開催・後援や各種図書の刊行等を行っている。

（6）（参考）気象振興協議会及び緊急地震速報利用者協議会について

民間気象業務支援センターの業務ではないものの、下掲の協議会の事務について、要請を受けて一般財団法人気象業務支援センターが事務局を担当している。

ア．気象振興協議会

平成12年9月に、気象審議会の答申第21号「21世紀における気象業務のあり方について」があり、その中で「気象情報の利活用の促進に向けて、産業界と民間気象事業者間の連携・協力を強化するための協議会等の設立とその積極的な活動が期待される」とされた。「産業界と民間気象事業者間の連携・協力を強化するための協議会」としては気象事業振興協議会、気象庁配信データ利用者協議会、産業気象利用者協議会があったものの、産業界と民間気象事業者間の連携・協力が重要となってきたこと、各協議会に重複加入している事業者等も多かったこと、より広範な課題について対応できる体制をとる必要があることから、平成14年1月にこれらの協議会を統合して気象振興協議会が発足した。気象振興協議会の主な会員は予報業務許可事業者、報道機関、情報通信関係事業者等である。気象振興協議会は気象情報の利用拡大を目的とする者による共同の場であり、気象情報を取り巻く急速な情報伝達や解析技術の進化に対応して、実務的な情報交換と意見交換を行っている。

イ．緊急地震速報利用者協議会

緊急地震速報利用者協議会は、平成18年8月の緊急地震速報の配信開始に伴い、緊急地震速報の特性を正しく理解し地震災害の軽減に混乱なく有効な活用を図るため、緊急地震速報の提供に係る気象庁からの情報収集、緊急地震速報の住民等への伝達手段や利活用方策についての情報交換及び緊急地震速報に関する気象庁に対する要望事項についての提言等を行うことを

目的として平成 18 年 12 月に発足した。主な会員は予報業務許可事業者、建設・鉄道・情報通信関係事業者等となっている。

【第 3 節】図書管理業務

1．気象庁図書館の組織

（1）概要

気象庁図書館は、気象庁の業務上必要とされる気象学、海洋学、地震学、火山学、地球環境問題などの図書資料を収集・所蔵する専門図書館である。図書資料の収集及び閲覧、貸出、複写サービス、国立国会図書館、他支部図書館の利用窓口、レファレンスサービス、気象庁図書館システムの管理、気象庁刊行物の電子化等である。気象庁図書館が保管している資料には、気象庁の前身である中央気象台資料も含まれており、古い蔵書の保全を図る処置を施している。気象庁図書館にのみ存在する資料もある。これらの業務を行うことにより、気象の専門家から一般にまで利用され気象業務に貢献している。

現在、気象庁図書館の蔵書の図書資料の書誌情報が気象庁図書館システムにあるデータベースに蓄積されており、蔵書の検索・貸出・返却等の業務を運営している。

（2）変遷

昭和 39 年、東京都千代田区大手町に気象庁庁舎が完成し、気象庁図書課の業務を継続した。昭和 47 年には総務部企画課図書資料管理室となった。

気象庁予報部で作成した原図からトレースされた版下をもとに図書資料管理室にあった印刷工場において天気図を印刷していたが、担当職員の定年退職を機に、平成元年 3 月分から外注とした。

平成 17 年 4 月に、それまでの図書資料管理室の業務を企画課内で引き継いだ。その際、図書資料管理室で扱っていた気象庁刊行物については、企画課内の技術開発推進を受け持つ組織の所掌となった。

令和 2 年 10 月の気象庁組織再編に伴い、図書館業務は、総務部企画課から情報基盤部情報政策課に移管した。また、東京都千代田区大手町から港区虎ノ門への庁舎移転により、令和 3 年 1 月から新庁舎での業務を開始した。

2．気象庁図書館の業務

（1）図書・文献及びその情報の提供

ア．気象庁図書館の運営

気象庁図書館の蔵書等の貸出手順は、利用者の請求に基づき、書庫から蔵書を取り出して提供するという閉架式であったが、主な利用者である気象庁職員の利便性向上のため、昭和 57 年 1 月から気象庁職員に対して書庫を開架式での運用に切り替えた。また、気象庁職員及び一般利用者からの要望に応え、平成 22 年 4 月から、昼休み時間帯の開館を実施した。

虎ノ門庁舎への移転に伴い、書庫スペースが縮小（1,114m^2 から 438m^2）するため、気象衛星センター内に新たに第二書庫（141.28m^2）を設けた。そして、平成 30 年 2 月に気象庁刊行物の予備資料等を第二書庫に移送した。

図書資料の収集は、寄贈交換・購入・気象庁刊行物の納本等により行っている。12 万冊余りの蔵書のうち約半数が外国の図書資料である。古い気象庁刊行物のうち国立国会図書館等に所蔵のない図書資料は、気象業務における利便性向上及び資料劣化防止のために順次電子化している。

なお、新型コロナウイルス感染症の感染拡大防止及び庁舎移転作業のため令和 2 年 4 月から令和 3 年 12 月の間、断続的に臨時休館した。

イ．気象庁刊行物の電子化と電子化資料の提供

平成 7 年に全ての地方気象台へ CD-ROM ドライブを備えたパソコンが整備されることになり、気象庁刊行物のうち長年にわたり刊行されており業務の参考となる「測候時報」については平成 9 年 3 月及び平成 11 年 3 月に、「気象庁研究時報」については平成 13 年 6 月にそれぞれ CD-ROM 化し、再刊行した。平成 14 年に過去の印刷天気図の電子化を 4 か年計画で開始した。

平成 8 年に開始された国立国会図書館中央館・支部図書館電子化推進基本計画に基づき、平成 17 年から、紙媒体で発行された過去の気象庁刊行物のうち、本庁各部において必要性が高い図書資料について順次電子化を行うこととなった。電子化された気象庁刊行物は、業務参考資料として活用されている。

ウ．気象庁図書館システムの運用

気象庁図書館では、全ての蔵書管理を目録カードにより行ってきた。気象庁調査研究誌、和雑誌、洋雑誌の文献情報を提供するため、昭和 37 年からその基礎となる文献の件名抽出を行い、昭和 43 年頃から、ある程度有効利用が可能となった文献データベースを利用した文献情報の提供について試行運用を開始した。昭和 58 年から JICST や DIALOG といった商用データベースも併用しながら、文献情報を拡充してきた。平成 12 年 3 月に気象庁図書館システムの導入と書誌情報の電子化を行い、同年 8 月に運用を開始した。これにより気象庁行政情報ネットワークの端末による図書・資料等の検索が可能となった。平成 15 年度に蔵書管理にバーコードを利用するため書誌情報へのバーコードの追加登録が完了した。

平成 25 年 3 月から蔵書管理と文献検索を統合した気象庁図書館システムの運用を開始した。このシステムでは、全国気象官署の職員が自席から、貸出予約及びオンラインジャーナル、電子ブック、電子図書館掲載文献へのアクセスが可能となった。また、気象庁刊行物や部外の学術雑誌の論文タイトル等の文献情報と書誌情報を横断的に検索することが可能となった。

さらに、平成 25 年度から書誌情報を政府共通ネットワーク上に公開し、国立国会図書館中央館・支部図書館分散型総合目録データベースシステムに参加することで、他支部図書館等との書誌情報の共有化を図った。

エ．オンラインジャーナル・電子ブックの購入管理

平成 18 年 1 月から、気象庁で利用頻度の高い外国雑誌について、オンラインジャーナルによる購読を開始した。また、平成 27 年度の選書からは電子ブックを選出して購入し気象庁行政情報ネットワーク端末から閲覧できるようにした。

（2）国立国会図書館支部図書館業務

国立国会図書館法の目的の一つは行政及び司法の各部門に対して図書館サービスを提供する

ことであり、各府省庁及び最高裁判所に現在 27 館の支部図書館及び 6 分館が設置されている（支部図書館制度）。このため、気象庁図書館は国立国会図書館の支部図書館としての役割も担っている。昭和 26 年 11 月に国立国会図書館法に基づき国立国会図書館支部中央気象台図書館となり、昭和 31 年 7 月に国立国会図書館支部気象庁図書館に改称した。国立国会図書館の支部図書館と気象庁の図書館としての役割の他に、気象庁刊行物の国立国会図書館への納本及び各支部図書館を通じ、各府省等の刊行物との交換、図書資料の相互貸借、レファレンス等の図書館協力業務を行っている。気象庁図書館には江戸、明治時代の古地図などの資料が関東大震災、東京大空襲を免れ 100 年にわたり保存されており、国立国会図書館の調査が行われ貴重な資料であることが判明した「大日本沿海輿地全図」、その他貴重図書類の一部を保存環境のよい国立国会図書館へ寄贈を行っている。

第２章　情報通信

【第１節】情報通信業務の変遷

本章では部門史を遡るうえで「情報通信」という表現を使用しているが、これまで気象通報、無線通信、有線通信、国際通信等と呼ばれていた各種業務が幾多の技術革新や整理統合を経て、現在では当庁内の「情報基盤」として総合的なサービスを担う分野に変貌を遂げている。

昭和初期においては無線通信を用いた電信電話による気象通報、さらに有線通信によるモールス音響通信や印刷電信を用いた電報の送受信が主流の時代であったが、昭和中期からはテレタイプ網や初代気象資料自動編集中継装置（ADESS）の整備及び予報解析用電子計算機システムの導入、さらに昭和後期からは気象資料伝送網整備計画による高度化されたシステムの展開により、これまで「気象通信」と言われていた分野はその時々の情勢に合わせて進化を遂げてきた。

本節では、これまで通報や電報の送受信を主体としていた昭和 50 年頃から、通信手段の高度化や計算機技術の向上により気象業務をサポートする「情報通信」と言われる時代へ、さらに戦略的な面も兼ね備え、当庁全体の情報基盤を支える「情報基盤」と言われる時代までの情報通信業務の変遷について説明する。

１．気象資料伝送網整備計画の検討

「社会の要求に応えるため、時間的、地域的にきめ細かい的確な気象情報の迅速な提供を図る」という国内気象監視計画（National Weather Watch 計画）の目的に基づき、昭和 51 年度に入って、この構想の具体化のために必要な施設整備、業務上の組織系列、技術開発等の計画について NWW 委員会が設置され全庁的な検討が開始された。NWW 委員会の分科会の一つとして気象資料伝送網分科会が設置され、気象情報の処理及び伝送の自動化・迅速化、さらに各種システムとの接続と気象資料の相互利用等が検討された。

当時の主な気象通信システムは、テレタイプ網により各通信中枢（当時、本庁、各管区（東京除く）、沖縄気象台及び新潟・名古屋・広島・高松・鹿児島地方気象台。）と結び、本庁の ADESS を中心とした制御により、気象資料の集信、配信、中継を行っていた有線通信系があった。次に有線通信系ではない官署から気象資料を集信することや地方予報中枢間等での業務連絡、天気図等の画像情報の放送、気象観測資料や海上を対象とする警報の放送、ボルメット放送、非常通信用等としての VHF や短波帯の無線設備による無線通信系があった。この無線通信系には、モールス通信を用いる気象庁国内気象無線通報（JMB）や気象庁船舶気象無線通報（JMC）、無線テレタイプを用いる気象庁国際地区気象無線通報（JMG）や気象庁国際北半球気象無線通報（JMI）、無線 FAX を用いる気象無線模写通報（JMH）、航空用無線模写通報（JMJ）、無線電話によるボルメット放送があり、これらを放送系としていた。

しかし、当時の気象通信システムでは NWW 計画による今後の気象業務全般を遂行するに

は不十分であったことから気象資料伝送網整備計画の検討が進められることとなった。

2．通信手段から情報システムへ

気象資料伝送網整備計画は、昭和 49 年に予報部案としてその構想が明らかにされ、その後も検討を重ね昭和 54 年度予算に盛り込まれて、気象情報の国際交換や全国気象官署の中枢を担う C-ADESS 及び東京管内の各官署端末との間で情報の収集や配信を行う東京 L-ADESS の整備が開始された。この整備に合わせて、設置場所の確保や空調等の環境整備も必要だったことから、本庁庁舎では増改築工事や電源諸設備の増設工事も実施され、本庁 C-ADESS 及び東京 L-ADESS は昭和 56 年 3 月から運用を開始した。その後も各管区 L-ADESS 等の整備が進められ、第 1 期目の気象資料伝送網整備計画は、昭和 62 年 3 月に運用開始した沖縄 L-ADESS の展開をもって完了している。

この気象資料伝送網整備計画における主な改善点は、本庁 C-ADESS と各管区 L-ADESS による分散システムを実現したこと、通信方式を高速化したこと、アナログ方式による FAX 伝送をデジタル FAX 化（CDF）したこと、ディスプレイや制御装置を持つ一種の電子計算機を端末としたこと等が挙げられる。また、各種システム接続と情報の相互利用として地震波形データの収集（CDF 上り回線利用）や L-ADESS 中枢（待機系）による震源決定処理、さらにレーダー観測システムや AMeDAS とも接続し、レーダー・アメダス雨量合成図等のプロダクトを配信したこと等も挙げられ、従来の通信という概念は、通信手段と計算機システムを統合した情報システムの構成要素に大きく変化することとなった。

また、第 1 期目の最終となる沖縄 L-ADESS の整備においては、予報作業支援のためのワークステーションの導入や次の C-ADESS や予報解析用電子計算機システムの更新を見込んだ GPV データ配信など、次の世代の ADESS 機能を見据えた新しい機能も導入された。また、端末もより汎用的な電子計算機が整備されることとなり、日本語ワードプロセッサーや表計算、グラフ作成等の処理機能も搭載され、これまで気象庁規格（電電公社規格に準拠）であったキーボード配列が一般的な JIS 規格のキーボード配列に変更となった。

3．システム更新に伴う業務の変化

沖縄 L-ADESS の運用開始時には、国内外との通信等を行う C-ADESS と数値予報などを行うスパコンとを統合し、互いの機能を有効利用する気象資料総合処理システム（COSMETS）としての整備が進められ、翌年の昭和 63 年 2 月に運用開始している。

次の気象資料伝送網整備計画については、昭和 63 年度の東京 L-ADESS を皮切りに開始され、平成 5 年度の沖縄 L-ADESS の展開をもって完了している。この気象資料伝送網整備計画は、コンピュータ・ネットワークを駆使した当時の情報処理技術をふんだんに取り入れた効率的かつ新たな可能性を見据えたものであり、特に地方気象台での情報処理機能を大幅に向上させている。主な特徴としては、地震処理、FAX、レーダー情報伝送の機能を分離（合理化）、情報処理機能を持つ端末の整備（ワークステーション導入）、FAX 配信の汎用化（G3FAX 採用）、通信回線の集約（多重化や地域ごとの回線集約）が挙げられる。

これらの情報処理機能を持つ端末により、実況監視や予報作業等における電文作成・発信も

対話形式で行われることとなり、これまでは気象情報の作成元から提供される手書きの電報をもとに本庁や管区等の通信中枢で入力し発信を行っていた作業（電報頼信）は、現局発信による形態に移行して行った。

気象資料伝送網整備計画による情報処理や汎用技術の導入は、各分野におけるこれまでの作業形態を大幅に刷新した。これは通信中枢も同様であり、現局発信による電報頼信の減少、電報入力作業の自動化等により、システム監視や障害対応を主体とした業務に移行していくこととなった。そしてさらにその後の気象資料伝送網整備計画により、システム監視の更なる集約化や東西二中枢化の礎にもなった。また、当庁内の各分野においても各種データの利用や開発、更にシステム間との接続も頻繁に行われることとなり、これまでのメカニカルな対応から情報処理やネットワーク、更にソフトウェア開発に関わる業務も移行していくこととなる。

4．清瀬庁舎による運用と合理化対応

平成 8 年 3 月に新しい COSMETS の運用が開始され、翌年の平成 9 年 3 月には東京 L-ADESS（第Ⅲ世代）の運用も開始され、気象資料伝送網更新計画も順次行われてきた。

COSMETS の更新に際しては、清瀬に新庁舎（第二庁舎）を建設し、これまで大手町庁舎で対応していた運用部門と管理部門が地理的に離れることとなった。

この時点までの主だった合理化対応を以下に示す。

・国際通信業務の見直し（JMC 等放送系業務整理、現業業務から国際調整業務へ移行）
・国際通信現業の無線通信現業への移管
・無線通信現業と有線通信現業の一体運営（本庁庁舎にて対応）
・管区通信課監視対応の本庁集約（管区 L-ADESS 更新後から順次実施）

5．東西アデス構想と組織再編

これまでの C-ADESS や L-ADESS といった全体構成の刷新、通信回線の整理・統合、TCP/IP 化、リクエストリプライ方式の導入等、気象資料伝送網整備に関連した今後の方向性として東西アデス構想について本庁・管区の有識者で検討を行った。これは平成 16 年度の予算要求で次世代気象情報通信網（東日本アデス）として認められ、本庁 C-ADESS や東京、仙台、札幌 L-ADESS 中枢と同管内の端末等の整備を行うというこれまでにない大がかりなプロジェクトとして全国的な体制により対応が進められた。東西アデスの初代となった東日本アデスは、平成 17 年 10 月 5 日に運用開始予定であったが運用切替後の予期せぬサーバ負荷の高騰や設定等の誤りもあり、同月 25 日に運用開始を延期した経緯もある。当時は更新整備に関わる対応の傍ら、組織再編も同時に進められており、情報通信業務に関わる本庁内の組織は、これまでの情報システム課、システム運用室、通信管理官（旧通信課）、無線通信室、国際通信室の組織構成から大きく刷新され、情報通信課、データネットワーク管理室、システム運用室の 3 課室の新体制に整理統合された。この 3 課室では、情報通信課は「計画」、データネットワーク管理室は「実行」、システム運用室は「運用」を主に受け持つこととし、その後の情報通信業務の本庁内の体制は、この 3 課室の体制で進められることとなった。

6．東西二中枢システムの運用体制

平成 16 年度の東西アデス構想においては、システム等の整理統合や機能向上の他、BCP を想定したシステムの運用・管理も検討されている。情報通信業務においては、平成 20 年 3 月に西日本アデスが運用開始し、これによりシステム運用室（清瀬）、大阪管区気象台を主体とした東西二中枢システムの運用体制が整いつつあった。その後、本庁各部が運用するシステムについても、システム運用室と大阪管区気象台に東西システムを整備し、運用体制を整えていくこととなる。

7．ソフトウェア内製化への取組

昭和 63 年度に整備された東京 L-ADESS からは、L-ADESS 端末としてワークステーションが各官署に整備され、データ処理機能が強化された。現在では常識であるがデータを文字として扱うだけではなく、画情報に加工して端末で表示することも可能であり、プログラム作成環境も搭載されており、各官署において必要に応じてソフトウェア開発も可能となった。

東日本アデスの更新整備においては、これまで L-ADESS 端末において利用していた実況監視ソフトウェア（業者開発）について、本庁と管区通信課による開発体制により「統合ビューワ」として内製開発を行い、Web アプリケーションとして生まれ変わることとなった。本庁と管区通信課による同ソフトウェアの維持管理はその後も引き継がれることとなり、他ソフトウェアの開発にも生かされることとなる。

8．気象庁情報システム基盤と組織再編

汎用機器を活用したシステム設計、システムの集約化、業務整理等、各分野のシステムはそれぞれ合理化を進め、最適に整備運用されてきた。これに引き続き全体のシステムの効率化・合理化を達成しつつ更なるコスト削減を実現するため、当庁全体のシステム基盤上に各分野の仮想システムを再編・統合を行うこととし、平成 31 年度から気象庁情報システム基盤の導入が始まった。

令和 2 年 10 月には、これまでの予報部、観測部及び地球環境・海洋部を整理統合し、技術開発系の業務を情報基盤部に、気象に関する業務を大気海洋部が担うとした組織再編があった。情報通信業務の本庁内の体制は情報基盤部に属することとなり、情報通信基盤課（旧情報通信課）、データネットワーク管理室及びシステム運用室の 3 課室により引き続き対応することとなった。また同年 11 月から 12 月にかけて本庁庁舎が千代田区大手町から港区虎ノ門へ移転となり、新組織と新庁舎により再スタートを切った。

以上の各項が昭和 50 年頃からの情報通信業務の変遷についての説明となる。これまでの対応を振り返っても、システム整備では通信手段に特化したシステムから各分野が利活用できる情報システムに変化を遂げてきたこと、本庁・管区体制では合理化を恐れず最適な体制を整えてきたこと、組織体制としては情報基盤部として当庁全体を支える立場に再編されたこともあり、この間の技術革新と共にまったく異なる分野に変貌したといっても過言ではない。

【第２節】データ交換と気象情報の伝達

１．国際通信業務

昭和 40 年代後半には GTS 主通信網の構築が一段落し、昭和 50 年代に入ってからは各回線の高速化、通信手順の導入、専用線から国際閉域 IP 網サービスの利用など、増え続けるデータ交換への要望に応えるべく高度化が進められた。また、データ形式についても気象衛星観測データや数値予報プロダクトの高密度化及び高頻度化に対応するため、二進形式通報式（BUFR や GRIB）の開発・移行が進められてきた。平成から令和にかけては、次世代の国際通信について国際的な検討を進められており、間もなく 60 年間続いてきた GTS から新しい国際通信時代への移行が開始される。

（１）国際通信網の変遷

ア．国際通信網の黎明期

国際的な気象資料交換は、近隣の国々と自然発生的に双務的なものとして始まった。外国の気象情報の入手には、電報による情報入手という手段があったものの、主には無線放送の傍受が代表的な手段であった。当庁では昭和 29 年から、WMO の準大陸放送と航空放送を兼ね、電動式タイプライタ（テレタイプ）による気象庁国際地区気象無線通報（JMG）を開始した。送信所は臼井無線送信所であった。当時、同種の放送として、日本近辺では北京、ハバロフスク、バンコク、ニューデリーなどから国際気象通報式で放送が行われていた。

第 2 回 WMO 総会（昭和 30 年）において、北半球資料交換中枢の設置の計画が示された。これはフランクフルト、モスクワ、ニューデリー、東京、ワシントンを環状に結ぶものである。第 3 回 WMO 総会（昭和 34 年）では、この北半球通信網の早期設立が強く求められ、気象庁は、この通信網の一部を構成する東京～ニューデリー間を昭和 36 年 1 月に、また東京～ワシントン（ホノルル経由）間を同年 3 月に運用を開始した。

イ．コンピュータ時代の到来と GTS

昭和 30 年代に入ると、コンピュータ及び気象衛星の出現に伴い全世界規模での国際協力による気象観測の機運が高まった。当時、コンピュータは必要なデータを判別・編集・交換・チェック等総合的に処理することに利用され始めていた。WMO にデータ・プロセッシング作業委員会が設置され、気象報のコード、通信形式をコンピュータで処理しやすくする検討がなされた。国連による昭和 36 年の決議 1721（XVI）に基づき、WMO は昭和 38 年に開催された WMO 総会（Cg-4）において世界気象監視（WWW: World Weather Watch）計画を勧告した。WWW は全球観測システム（GOS: Global Observing System）、全球データ処理システム（GDPS: Global Data Processing System）、全球通信システム（GTS: Global Telecommunication System）のサブシステムから構成される。GTS は、全球をカバーする気象通信網、30 か所の地区通信中枢（RTH: Regional Telecommunication Hub）がおかれ、日本は昭和 42 年に WMO から RTH に指定された。

GTS は、今日においても世界中の気象観測データや数値プロダクトなどを迅速かつ安定的に交換する機能を担っている気象業務に不可欠な重要なインフラであり、WMO すべての加盟国がすべての情報に確実にアクセスできるよう構築されている。世界中の気象機関は WMO

技術規則第 3 付属書（GTS マニュアル）に準拠して通信システムを構築している。当庁の場合はアデスが GTS マニュアルで規定されている手順や機能を実現してきた。

GTS では電文の GTS ヘッダ（"SMJP01 RJTD" など）に基づいて電文が振り分けられ、データ提供者から RTH を中継して利用者へ提供する仕組みであった。この振り分けはアデスの配信管理によって行われている。なお、各 GTS 電文がどんな内容を含んでいるかについても、全世界で情報を共有するため、WMO において電文カタログである WMO カタログ No.9 Volume C1 を管理している。新しい電文を配信する場合や観測地点の変更がある場合などには、当庁から WMO へ電文カタログの修正を依頼し、適宜その内容を全世界に通知している。

当庁の GTS 網への接続は、初代 ADESS と合わせ整備が行われた。昭和 44 年 12 月にはワシントンと、昭和 45 年 4 月にはメルボルンと接続するに至った。通信帯域は 75bps であった。ワシントン回線は太平洋津波警報組織によるホノルルの太平洋津波警報センター（PTWC）及びパーマーのアラスカ津波警報センター（ATWC）との警報伝達を担っていた。昭和 46 年 7 月にはソウルと 50bps で繋がった。昭和 47 年 3 月にはハバロフスクと 50bps で接続した。ハバロフスクの接続をもって RTH の基幹網の完成をみた。以降、WMO の GTS 主通信網（MTN: Main Telecommunication Network）及び第Ⅱ地区（アジア域）地区通信網の実施計画に沿って、順次回線構築を進め、昭和 52 年末には東京～北京回線の運用開始をもって、当庁の初期 GTS を完成した。これにより、GTS 主通信網としてニューデリー、メルボルン、北京、ワシントン、地区通信網としてソウル、ハバロフスク、バンコク、香港、マニラの計 9 の GTS センターとデータ交換を実施している。

以後、通信帯域の拡張が回線ごとに実施されてきた。重要な回線のひとつであるワシントン回線の通信帯域の変遷をみていくと、昭和 44 年 12 月に 75bps で始まった回線は、昭和 45 年 11 月には 2,400bps、昭和 60 年 3 月には 9,600bps、平成 8 年 6 月には 64kbps、平成 15 年 1 月には 768kbps、平成 21 年 9 月には 1Mbps、平成 26 年 5 月には 50Mbps と、技術の進歩に合わせ通信帯域の拡張が実施されてきていることがよくわかる。なお、昭和 44 年から昭和 45 年のわずか 1 年の間に大幅に拡張されているが、これは WMO の計画として主要回線は 2,400bps で計画されていたものの昭和 44 年の段階では技術的な問題があり導入が見送られたことによる。2,400bps の導入によりピーク時の遅延解消につながった。

GTS は全球的な通信網であることは前述のとおりだが、技術の進歩に合わせて、歴代の国際通信担当は相手国と調整・合意して、継続して回線の高速・高度化を実施してきた。GTS は 2033 年を目途に、後述の WIS2.0 への置き換えが計画されている。

ウ．GTS における通信の品質管理

GTS 上の通信において正しくデータが交換されているかを評価するため、WMO ではモニタリングを行っていた。第 7 回 WMO 総会決議 4（Cg-7、昭和 50 年開催）において加盟国に対し、WWW モニタリングへの参画、観測データのデータ可用率の監視（モニタリング）手順の開発、また、WMO 事務局長へのモニタリング結果を執行理事会へ報告することを求めた。これに基づき昭和 51 年開催の WMO 基礎システム委員会（CBS）臨時会合では、WWW モニタリング計画の勧告案がまとめられ、第 29 回 WMO 執行理事会（EC-29、昭和 52 年）で承認された。以降、特別主通信網モニタリング（SMM）の追加、共通モニタリングアプリ

ケーションの導入など改善・補強が行われ、全球年次モニタリング（AGM）、南極地域特別モニタリング（SAM）、SMM の各種モニタリング実施において、WMO 全球主通信網（GTS）センターによって運用されてきた。当庁では、C-ADESS の待機系を利用して当時の予報部通報課がモニタリング業務を担当しており、その結果から、全ての気象機関でデータが正しく交換されるよう改善を行っていた。平成 8 年 10 月から 11 月にかけて開催された CBS ではモニタリング活動を実施するために利用できるリソースが限られていることを考慮し、SMM の作業を分担することに合意した。当庁は各 RTH から集められる地上観測報及び高層観測報のデコード及び事前解析処理を担当した。WWW モニタリングは、令和 3 年 4 月に開催された INFCOM-1（第 3 部）において停止することが承認され、当庁数値予報課も参画するリアルタイムでのモニタリングを行う WIGOS データ品質監視システム（WDQMS: WIGOS Data Quality Monitoring System）へ置き換えられた。

エ．GTS における通信技術の変遷

GTS が構築された当初は無手順が用いられていたが、回線の増速に対応するため、CBS 臨時会合（昭和 55 年）において X.25 を採用することとして GTS マニュアルの改正案を勧告した。当庁もこれに従って X.25 手順による GTS 回線の整備を進め、北京、バンコク、ワシントン、ソウル、ハバロフスク、メルボルンとの通信に X.25 を用い運用していた。

その後、WMO の各国際計画の発展に見合う効率的なデータ交換、柔軟なデータ利用の必要性が高まり、CBS の通信作業部会等において、既存の電文交換を維持しつつ要求される新規のデータ交換を行う GTS の高度化の検討がなされてきた。その結果、急速に発展してきた TCP/IP 手順とそれをベースにした汎用のデータ交換ソフトウェアを利用することが、最も経済的な高度化策と認められ、平成 9 年の CBS 臨時会合において TCP/IP 手順の採用を GTS 高度化の基本方針とすることが承認された。このため、GTS の主通信網上の主要な地域通信中枢を担当する当庁は、国際的な要請に応えて早急に GTS 回線の TCP/IP 化に着手した。なお、平成 16 年 9 月の東京～マニラ間の TCP/IP 化により、東京と接続する 9 センター（ワシントン、メルボルン、北京、ニューデリー、ソウル、バンコク、香港、ハバロフスク、マニラ）すべてが TCP/IP 手順への移行を完了した。

平成 14 年頃には、TCP/IP によるソケット通信ソフトウェアの開発コストが増していることに国際的に懸念がでてきており、WMO が主体となり、汎用アプリケーションを利用したデータ交換の仕組みとして FTP による電文データ交換手法が GTS マニュアルに追加された。当庁では、平成 25 年にメルボルンとのデータ交換を FTP 形式でのデータ交換に置き換え、その後、順次、エクセター、ワシントン、北京、ソウル、オッフェンバッハ、香港、ハバロフスクとのデータ交換を FTP 形式に移行を行った。

インターネット通信の爆発的な利用増加により IP アドレス（IPv4）の枯渇が世界的な懸案となり、平成 18 年頃、WMO 専門家チームでもその対応について検討されるようになった。平成 24 年には IPv6 移行のためのパイロットプロジェクトが立ち上げられ、平成 25 年から試験環境による配信試験を開始した。平成 28 年の WMO 専門家チームでの調査では、WMO メンバー国の IPv6 移行が停滞していることが確認されており、その後、IPv6 移行対応については、検討対象から外れている。

2000 年代初頭には MPLS（Multi Protocol Label Switching）の普及が進み、GTS の世界でも、近年では高速かつ安価な MPLS へと移行が進んでいる。

平成 10 年、WMO 第 6 地区協会（ヨーロッパ）と ECMWF 評議会は、既存のポイント・ツー・ポイント回線に代わり MPLS を用い地域気象データ通信ネットワーク（RMDCN）を構築することに合意し、平成 12 年 3 月に運用を開始した。当初、ヨーロッパ地域のみを接続するネットワークであったが、平成 14 年 6 月にヨーロッパ以外も参加が可能となり、当庁も参画し、ワシントン、エクセター、トゥールーズ、メルボルン、北京、ソウル、モスクワの回線が RMDCN に置き換えられた。RMDCN は当初 3Mbps で接続されていたが、その後通信帯域の拡張が行われ、現在では 20Mbps となっている。ワシントンは平成 27 年に RMDCN を脱退したため、当庁とはインターネットで接続している。

また、バンコク、香港、マニラとは、当庁が構築した MPLS 網（NTT）によって接続している。

平成 7 年以後、インターネットの普及が進み、GTS ではインターネットの利用が制限されていたが、これまで専用回線を持つことができず繋がっていなかった国々と専用線に代わりインターネットを用い、TCP/IP や FTP を用いた気象データ交換の運用が進んだ。

平成 28 年 3 月には、これまで専用回線を持たなかったアジア地域との接続を目指し、インターネット GTS の検証を実施するため AMDCN（Area Meteorological Data Communication Network）検証装置の整備が行われた。同年 11 月の AMDCN 検証装置においてネピドーとのデータ交換開始を皮切りに、平成 29 年にはダッカとウランバートル、平成 30 年にはマニラ、セブ（マニラのバックアップ）、ハノイとの間でデータ交換を開始した。AMDCN 検証装置で仮運用が行われていたネピドー、マニラ、セブ、ウランバートル、ダッカ回線は、令和 2 年 11 月に第 2 世代の WIS 装置（詳細は後述）に移植され、本運用となった。続いて同年 12 月にはプノンペン回線を設置した。これにより、全球情報システムセンター（GISC: Global Information System Centre）東京責任域（詳細は後述）の全ての気象機関との直接データ交換を開始したことになる。GISC 責任域外においても、2 国間連携でバングラディシュ、モンゴルと接続している。ベトナムは RMDCN による専用回線で接続された。

また、GISC ブラジリアとは GISC 間接続としてインターネットを経由して WIS 装置とデータ交換を実施している。GISC オッフェンバッハのバックアップとしてキプロス、イスラエル、ヨルダン、ノルヒェーピング（スウェーデン）、ラトビア、リトアニア、エストニア、ノルウェー、デンマーク、フィンランド、プラハ（チェコ）、ポーランド、ローマ（イタリア）、ギリシャ、トルコ、ウィーン（オーストリア）、クロアチア、ハンガリー、スロバキア、スロベニア、チューリッヒ（スイス）ともインターネット経由で WIS 装置へ接続されている。

オ．インターネット環境への対応

（ア）WMO 情報システム（WIS）

平成 7 年以降、発展途上国を含む全世界的にインターネットの普及が進んだ。これにより、誰でも情報に容易にアクセス可能な環境が整った。また、気象情報をオープンデータとして気象機関以外に開放する機運が高まった。そこで、平成 19 年の WMO 総会（Cg-15）において、WMO 情報システム（WIS）が提唱された。既存の GTS の仕組みを継承しつつ拡充する部分を Part-A、インターネットを利用してデータの検索・取得サービスを実現する部分を Part-B とし

て定義し、両者を合わせてWMO情報システム（WIS）としてサービスしていくこととなった。

情報通信課では、GISCへの指名を受けるため、平成22年度にPart-Bを搭載するWIS装置を整備し、GISCの責務として、全球交換対象データの提供機能、データカタログの蓄積、公開、ハーベスト機能、各国の通信状況を監視するモニタリング機能の開発を行い、平成22年に実施されたWMOの監査に合格した。この監査結果を受けて当庁はWMO総会（Cg-16）にてWISセンターにより指名を受けた（第51号決議）。当庁は、国家気象機関（NC）、8つのDCPCとGISCにそれぞれ指名され、平成23年8月から世界で最初のGISCとして運用を開始した。なお、WMOでは平成24年（2012年）1月にWIS運用開始を宣言した。

（イ）次世代の気象データ交換システム構築の取組

約60年の歴史を持つGTSだが、多様化する観測装置、データフォーマットのため、各種課題が顕在化してきた。ルーティングにおいては、ヘッダの枯渇やルーティング管理の複雑化が深刻な状況にある。また、GTS回線網は通信帯域の拡張を定期的に実施してきたものの、令和4年において、1ファイル最大50MBまでの制限がある。気象衛星や数値モデルなどのデータは通信帯域の拡張をはるかに上回る速度で大容量化が進み、GTSでの流通が困難な状況が生じている。また、専用回線の維持経費が割高であることも問題視された。そこで様々な仕組みの検討が行われてきた。

平成28年頃には、WMOの専門家チームであるET-CTS主導でヨーロッパのパブリッククラウドを用いセントラルなシステムの検討、検証されたが、性能評価においてレイテンシーの問題が解決できなかった。また、運用費用をいかに分担するかの課題が解決できなかった。これらの反省を踏まえ、分散型でオープンな規格を用いたWIS2.0が令和4年10月に第2回観測・インフラ・情報システム委員会（INFCOM-2）で提唱された。これに合わせて既存のWISはWIS1.0と呼ばれることになった。

（ウ）WIS2.0への取組

WIS1.0 GTSでは、「専用回線を用い、WMO地区通信中枢（RTH）が中継を繰り返し配信する方式」だったが、WIS2.0では「インターネットを用い、気象機関等ユーザ自らが必要なデータを選別して取得する方式」へと移行する。WIS2.0は、グローバル・ブローカー（GB）、グローバル・キャッシュ（GC）、グローバル・ディスカバリ・カタログ（GDC）、グローバル・モニタリング（GM）の4機能を各国が分担して運用する仕組みである。GBは、IoT分野で実績のあるMQTTプロトコルを用いデータ提供者からデータが公開されたことをユーザ通知する機能である。GCは、HTTPSプロトコルを用い、データ提供者に代わり、ユーザに提供するための機能である。GDCはメタデータを保存し、検索機能を提供することにより、ユーザがデータを発見することを支援する機能である。GMは通信の品質担保を目的とし、サービスの監視を行う機能である。

WIS2.0は初めから仕様をきっちり決めるのではなく、プロトタイプのシステムを作成し、試行錯誤を繰り返しながら仕様を固める開発スタイルがとられた。おおよその仕組みの要件はWMOから令和4年9月頃に示された。同年10月に開催されたINFCOM-2において、WIS2.0のコンセプトを示したWIS2マニュアル及び実施計画がそれぞれWMOの総会及び執行理事会に勧告され、要件を明らかにするパイロットフェーズ、令和6年に本番運用を見

据えた準運用フェーズ、令和 7 年に運用フェーズを実施していくこととなった。当庁は運用フェーズでの GC 運用を見据え、パイロットフェーズ及び準運用フェーズに参画をしている。

（2）気象観測資料交換の変遷

観測データを交換する場合、送り側と受け側で共通の形式を採用しなければデータの解読ができない。技術の変遷に伴い、気象情報も時代の流行を存分に取り入れてきた。

ア．国際気象通報式

観測情報は規則に従って記録、交換されており、この規則を通報式と呼ぶ。昭和 22 年ワシントンにおける世界気象台長会議の勧告に基づき、現在につながる世界中の全ての気象機関で共通形式である国際気象通報式が現 WMO の前身の IMO により昭和 24 年 1 月に全面的に改訂された。通報式を区別するために先頭に FM（Forms of Message）で始まる FM 方式として番号を付していた。地上実況通報式（FM11 SYNOP）、海上実況通報式（FM21 SHIP）などがあった。観測された気象現象は通報式で定められた符号に従いアルファベットと数字で気象資料として記録され、交換された。国際気象通報式は WMO に引き継がれ、「WMO 技術規則第 2 付属書（通報式マニュアル：Manual on codes）」として今日でも更新が行われている。

昭和 24 年の気象通報式は、各国から WMO に対し、形式や内容などについて幾多の要望が提議されていた。昭和 28 年 10 月の執行理事会（Ec-4）に改定が決議され、中央気象台でも昭和 29 年から対応を始めた。中央気象台予報部では、このマニュアルを国内向けに「国際気象通報式 第 1 版」として昭和 31 年に翻訳し、国内事情を踏まえて制定・刊行し、その内容を国際気象通報式として「通達」している。以後、今日に至るまで、改定がある度、翻訳・刊行を行っている。

昭和 37 年、WMO は気象資料のなかでもっとも使用頻度の高い地上・海上実況気象報をコンピュータに適合させる研究開発に着手した。これはデータ伝送及び利活用に関する新しいデータ処理方式への発端であった。開発以来 20 年を経て昭和 54 年の WMO 執行理事会（EC-31）は新通報式の昭和 57 年 1 月からの実施を決定した。新通報式は従来の地上と海上の観測資料を通報するための 7 つの通報式（FM11、FM14、FM21、FM22、FM23、FM24、FM26）を一本化し、地上と海上を共通の通報式としたものであった。新通報式の実施に伴い、「国際通報式 第 6 版」を昭和 51 年に刊行した。我が国では新通報式は、当時、新地上・海上実況気象通報式と呼ばれた。

昭和 59 年に開催された第 6 回全球データ処理システム（GDPS: Global Data-Processing System）において、二進数を用いた観測資料の蓄積や交換について討議され、二進数表示は文字表示に比べて資料を平均 60 ～ 80％圧縮できることが報告された。これを受け、表参照通報式（TDCF: Table-Driven Code Forms）として非格子点データを格納可能な BUFR、格子点データを格納可能な GRIB の開発、検討が開始された。GRIB 通報式（FM92）については昭和 61 年 6 月の執行理事会（EC-38）において同年 11 月から利用することが議決された。我が国においては、昭和 63 年 3 月に「国際気象通報式第 7 版 追録第 3 号」として刊行された。BUFR 通報式（FM94）については昭和 63 年の執行理事会（EC-40）において同年 11 月から利用することが議決された。我が国においては、平成元年 3 月に「国際気象通報式第 7 版 追録第 4 号」として刊行された。これらの新通報式の基本的な部分は国際気象通報式第 7 版

の追録として既に刊行されていたが、その後追加された関連する表なども含め完全な形で掲載した国際気象通報式第 8 版が平成 2 年に刊行された。これらの通報式の使用により従来の文字列形式による通信量を 20％程度まで圧縮することができ、通信量を節約できるため当時としては画期的であった。また、拡張が容易であり、自己記述的な機能をもつ。

平成 15 年、WMO 総会（Cg-14）は GTS で国際的に交換されるすべての観測データを伝統的文字形式通報式（TAC: Traditional Alphanumeric Codes）から TDCF に移行する方針を承認した。WMO では TDCF の採択とともに TAC の廃止を決議したものの、現在でも扱いが容易であることもあり TAC の廃止には至っていない。

平成 27 年には WMO 総会（Cg-17）にて航空気象情報を表現するために拡張可能なマークアップ言語である XML 形式の採用が議決された。現在、気象庁では航空 XML 通報式（IWXXM）による電文交換試験の最終段階であり、本格的な運用はアデスの更新（令和 7 年度末）以降から開始する見込みである。

同様に、観測点の位置情報についても全世界で共通な情報が必要となることから、観測点情報をまとめ、国際地点番号表として昭和 32 年から「通達」している。今日でも「WMO カタログ No.9 Volume A」を国内向けにまとめている。当庁に関する変更事項、例えば、気象庁のある観測所で気圧計を移設した場合などは、当該カタログを変更することによって全世界へ通知していた。

「WMO カタログ No. 9 Volume A」で管理していた 5 桁の国際地点番号は枯渇してきたため、WMO は平成 28 年に WIGOS 地点番号（WIGOS Station Identifier）を開発し、OSCAR/Surface へ移行した。国際地点番号は WIGOS 地点番号に置き換えられた。WIGOS 地点番号は数字と英数字を使用した 4 ブロックの構造で作成され、実質的に無制限に観測所を登録することができる。

イ．メタデータ

WIS メタデータはデータに関する情報を記載したもので、データセットが増える中、情報を利用する上で不可欠なものである。

WIS1.0 においてはメタデータの重要性が認識され、各国により整備が行われることになった。GISC 東京の役割としてメタデータの保存、検索、他 GISC からのメタデータ交換の機能を持つこととなった。メタデータの交換には Open Archives Initiative によって開発されたメタデータ交換のプロトコル（OAI-PMH: Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting）が用いられた。WIS は中央集権的なシステム構造を持たないため、全 GISC とのフルメッシュのデータ交換であった。そのため、メタデータ交換相手が多くメタデータの同期には苦労することになった。

WIS2.0 では WIS1.0 での解決できなかった 15 の GISC 間でのメタデータ同期を可能とするため、GDC は 2 か国程度で運用することになっている。また、GDC 間の同期を行わずともメタデータセットの差異が生じないような工夫がなされている。

ウ．データポリシー

データ交換に関する考え方は各国で異なる。自国で所有する気象データを基本的に公開する国もあれば、気象データを販売して利益を得たいと考えるイギリスやニュージーランドのよう

な国もある。日本はアメリカ同様に、通信料の負担のみでデータそのものについては無料で配布を行っている。そのような背景の中、WMO は、平成 7 年に開催した第 12 回総会にて気象データの国際交換に関する基本的な方針（決議 40、データポリシー）を採択した。実施要項では、人命、財産を守るために必要な無料･無制約で交換すべきエッセンシャルデータの特定、商業的な再配布を認めない条件が付与されたアディショナルデータの承認､非商業目的の教育･研究活動には無料・無制約でデータ提供を行うことなどを取り決めとしたガイドラインが示された。各国はデータポリシーを踏まえて気象データの国際交換を実施してきた。気象庁では、WMO が公開しているアディショナルデータ一覧を考慮し、アデスのデータ配信では配信先の設定、WIS 装置からのデータダウンロードでは、アクセスコントロールを行い、データ提供を管理している。

その後の観測技術や通信技術、数値予報技術などの科学技術の進展に伴い、気象業務に利用可能な気象機関以外の観測データも増加し､従来のデータポリシーを見直す必要が生じてきた。そこで、WMO は気象に限らず様々な分野も含めたデータの国際交換に関するポリシーの検討を行い、令和 3 年 10 月にオンラインで開催された臨時 WMO 総会において、WMO の新たな統合データポリシーが採択（第 1 号決議）された。データポリシーでは、気象、気候、水文、大気組成、雪氷圏、海洋、宇宙天気の 7 分野を対象とし、あらゆる気象業務の基盤となる全球数値予報に必要不可欠な観測データと、全球数値予報による予測結果（プロダクト）の世界的な共有を目的とし、各分野における国際交換されるべきデータの要件が定められた。このポリシーは、交換する必要があるデータの種類として「コアデータ」（無料・無制約）と、任意に制約条件を設定可能な「推奨データ」（レコメンデッドデータ）とされた。データの詳細については、各技術規則等で規定され随時更新される予定である。新しいデータポリシーに基づいたデータの国際交換は、民間と公的部門双方によるより良いサービス実現を促し、社会経済活動の発展につながるとともに、技術研究の更なる推進が期待された。

（3）国際通信業務を支える情報システムの変遷

ア．ADESS

昭和 44 年に初代 ADESS の整備が実施され､同年 12 月にワシントンとの国際回線網（75bps）が整備されている。ADESS 整備に関しては､当初､昭和 45 年要求として計画していたところ、WMO の第 5 回総会（昭和 42 年 4 月）における WWW 計画の早期実施決定に伴い、1 年前倒しで計画が実行されている。その後、国際的なデータ交換を担っていたシステムは昭和 56 年 3 月に ADESS から C-ADESS へと変わり、更には平成 17 年 10 月に東西アデスの国際通信サーバへと移り変わり、平成 20 年 3 月の西アデスの運用開始により、国際回線の地域冗長性が確保できるようになった（アデス国際系システムの変遷については、本節第 2 項「国内通信業務」を参照）。

イ．WIS 装置

平成 23 年 8 月、初代 WIS 装置は GTS では流通できない国際流通が必要なデータを配信する目的で整備が行われた。WIS1.0 に関する WMO の要件では地理的冗長性を取ることが求められていたが、当初は清瀬のみでの運用であった。平成 30 年 3 月に更新を行い第 2 世代 WIS 装置の運用を開始、このとき大阪に DR サイトを設置した。

WIS 装置では、WIS1.0 をはじめ、外国気象機関向けに高解像度 GSM や衛星画像データの提供、東南アジアレーダープロジェクトにおける東南アジア各国とのデータ交換、台風委員会のモニタリング結果の提供、インターネット GTS のデータ交換、WIS1.0 の情報を掲載した WIS ポータルなど、多彩なサービスを行っている。

ウ．第 3 世代 WIS 機能

政府情報システムは原則ガバメントクラウドで整備を行うとした方針に従い、令和 3 年、第 3 世代 WIS 装置の機能をデジタル庁が運用するガバメントクラウドに移行することが決まった。ガバメントクラウドは、Amazon、MicroSoft、Google、Oracle の 4 社がサービスを行っており、利用側の政府機関は選択ができる仕組みであった。当庁は最終的に AWS を選択し、整備を行っていくことを決めた。ガバメントクラウドでは、「政府情報システムにおけるクラウドサービスの適切な利用に係る基本方針」に準拠する必要があった。単純移植は認められず、モダン化対応が求められた。オンプレミスでの整備と異なり、検討事項が多く、人材開発から進める必要があり困難を極めたが、令和 7 年 3 月の運用開始にこぎつけた。

（4）国際協力

開発途上国では、新しいシステムを導入してもその維持管理が十分に行えない、部品調達が容易でないといった課題を抱えている。

ア．GISC 東京開始の経緯

WIS1.0 の導入にあたり、地域を代表する国が能力向上を図ることが WMO により決定した。GISC 業務開始に先立ち、当庁は企画課国際室が中心となってアジア域内の責任域調整を進めた。気象庁は平成 23 年 3 ～ 6 月にかけて職員をインドシナ半島各国、及びフィリピン（第Ⅴ地区）に派遣して、WIS 計画の説明、GISC サービスの紹介、要望の把握などにあたり、平成 24 年 12 月の第 15 回第Ⅱ地区協会総会において、当庁が想定したインドシナ半島各国（タイ・ベトナム・ラオス・カンボジア・ミャンマー）とフィリピンを責任域として確保することが内定し、翌平成 25 年 5 月までに責任域各国と日本の WMO 常任代表（PR）との間で合意文書を交換し、連名で WMO 事務局長への報告を完了して、GISC 東京と責任域の国家気象機関の正式な運用を開始した。平成 23 年 5 月に開催された WMO 総会（Cg-16）では、WIS の中核的な役割を担う全球情報システムセンター（GISC）指名の議論が行われ、日本は中国、ドイツ、英国及びフランスのセンターとともに正式に GISC として指名を受けるに至った。当庁及び中国に設置される GISC については、8 月には本運用開始の技術的準備が整ったことから、地区内の全ての国が WIS の裨益を享受できるよう各国への支援を行うとともに、責任域の正式決定（平成 24 年）に先立って暫定的な責任域を設定して早期に GISC 運用を始めた。以降、現在まで当庁責任域に変化はない。

イ．GISC 責任域への支援

当庁は GISC 東京として、フィリピン、タイ、ベトナム、カンボジア、ラオス及びミャンマーへの地域気象データ通信網の構築、業務継続を実現するバックアップ手法の確立及び運用、メタデータの運用・管理、WMO が推進する表参照形式通報式への移行などを進めるため技術指導を行ってきた。また、当庁では平成 22 年から 2 年ごとの定期的に責任域国を招いて WIS ワークショップを開催して、対象国の能力向上に努めている。

ウ．他 GISC との技術協力

WIS の運用開始後、各 GISC には他 GISC と連携したサービス継続が求められた。平成 25 年、中国、オーストラリア及びドイツの 3 センターとの間で GISC 相互バックアップなどの技術協力の合意がなされた。これら GISC とはシステム障害等発生時に備え、確実なバックアップや、運用を実現するため運用状況や課題等を定期的に共有し合うなど連携強化を図り、今日も継続して実施している。さらにドイツ気象局（DWD）とは、同年から現在に至るまで、月例でオンライン会議を実施し情報交換や課題検討を行うなど強力な連携を行っている。WIS プロジェクトの中で確実・安定的な運用を重視し、確実に機能開発・実用化を目指して活動する DWD の方針は当庁と近く、技術レベルも同程度で協力することで相互に利益が得られるとした判断があった。

2．国内通信業務

昭和後期から平成前半にかけて、それまで人手に頼っていた観測データ集配信や天気図プロット、予報文の配信など日々の気象業務を支える作業は、電子計算機や通信回線の高度化・低価格化により、急速に機械化・自動化が進められた。気象データ集配信や予報作業等がアデス及びそのサブシステム群へ集約され、人手を介することなく高速かつ確実に実施できるように改善が進められた。これに伴い、通信部門の業務は、これらシステムを通した気象業務の改善、開発・整備・運用へとシフトしていく。

（1）アデス

現在の東西アデスをベースとした東西二中枢によるシステム構成とその運用体制は、平成 17 年度から始まり 20 年近くが経過しようとしている。

この間には様々な技術革新や利用者のニーズを背景としたシステムの機能向上、通信回線のアップグレード、汎用技術の導入、更に運用・管理体制の合理化等、様々な事情を乗り越えて現在に至っている。

ここでは昭和後期から運用が始まった C-ADESS 及び L-ADESS の変遷について説明する。

ア．オンライン系システム（ADESS）の系譜

気象資料自動編集中継装置（ADESS）は、昭和 44 年 3 月に予報部通報課に設置され、運用が開始された。その後、現在に至るまでの ADESS は何度か更新された。各世代の系譜は次のとおりである。

Ⅰ世代 ADESS	昭和 44 年 3 月		
Ⅱ世代 ADESS	昭和 45 年 3 月		
Ⅲ世代 ADESS	昭和 49 年 3 月		
Ⅳ世代 C-ADESS	昭和 56 年 3 月	Ⅰ世代 L-ADESS	昭和 56 年 3 月
Ⅴ世代 C-ADESS	昭和 63 年 2 月	Ⅱ世代 L-ADESS	平成元年 3 月
Ⅵ世代 C-ADESS	平成 8 年 3 月	Ⅲ世代 L-ADESS	平成 9 年 3 月
Ⅰ世代東西アデス	平成 17 年 10 月（東アデス）、平成 20 年 3 月（西アデス）		
Ⅱ世代東西アデス	平成 25 年 10 月（東アデス）、平成 27 年 3 月（西アデス）		
Ⅲ世代東西アデス	令和 3 年 3 月		

Ⅳ世代の ADESS では、地方気象官署への L-ADESS の設置による気象資料伝送網の展開に伴い名称が変更され、予報部通報課に設置されているものは C-ADESS と呼称されるようになり、ADESS は、C-ADESS と L-ADESS との総称となった。そしてⅤ世代のシステムでは、気象資料総合処理システム（COSMETS）を構成するオンライン系として設計された。

イ．気象資料総合処理システム（Ⅴ世代 C-ADESS）

気象業務における電子計算機への要求がますます増大の一途をたどる中、C-ADESS 及び予報解析用電子計算機（NAPS）を総合システムとして整備することで予算要求の準備が進められ、昭和 61 ～ 62 年度の整備として認められることとなった。

この統合システムは、各系に機能分化した分散処理型総合システムであり、オンライン系として機能する C-ADESS とバッチ系として機能する NAPS の 2 系から構成され、両系間のデータ授受は、高速の磁気テープ装置 I/F を模した系間接続装置（CCA）で行っている。

C-ADESS は、通信回線を通してデータの送受信を主として行う通信制御装置（ミニコン）と、データの中継、収集、編集処理を主として行う通信処理装置（大型汎用コンピュータ）から構成され、オンライン・リアルタイムで 24 時間連続して稼働するシステムである。

NAPS は、客観解析や数値予報を主として行う高速演算装置（スーパーコンピュータ）と、降水短時間予報、観測データの解析、分類、画像処理及び庁内の計算業務を主として行うバッチ処理装置（大型汎用コンピュータ）から構成されている。また、光ファイバを伝送路とする庁内ネットワーク（LAN）をサポートしており、庁内各課（室）が保有するパソコン/ミニコンをネットワーク端末として、パソコン間通信や TSS 端末としての利用を可能にしている。

Ⅴ世代 C-ADESS 及び NAPS は、「気象資料総合処理システム」と呼ばれることとなり、昭和 63 年 2 月から運用を開始した。

ウ．気象資料伝送網（Ⅱ世代 L-ADESS）

昭和 63 年 2 月から運用開始した気象資料総合処理システムは、従前にも増して時間的・地域的により詳細な各種予測資料が作成されるようになり、これらの予測資料は、予警報の主担当官署である地方気象台等に迅速に配信され、更に加工されて各利用者に送り届けられるべきものであった。しかし、高度情報化社会を迎えようとしている中で、昭和 54 ～ 61 年度にかけて全国展開してきた初代の気象資料伝送網では、十分な対応ができなくなる事態が想定された。このような事態に備えるため、Ⅱ世代の気象資料伝送網の構築が急がれることとなり、昭和 63 年度に本庁・東京管内の L-ADESS 更新が行われ、平成元年 3 月に運用を開始することとなった。また、分散型システムとして地方予報中枢の通信課に地方システムが配置された。

この新しい気象資料伝送網は、多重通信技術、高機能ワークステーションの導入等、当時の最新の電子工学技術及び高度な情報処理技術を導入した気象情報処理システムとして構築され、多量な気象データを迅速かつ効率的に処理・配信する設計となっていた。更に加えて地方気象台等の第一線官署にもデータ処理機能を持たせている所に大きな特色があった。

府県予報区担当官署等においては、これまでのテレタイプに替わり情報処理機能を持ったワークステーションを、そして CDF に替わり汎用の G3FAX が整備された。また、新たにレーダー画像モニター装置を導入し、レーダー情報及び衛星データの即時入手を図り、実況監視機能を強化するとともに、アメダス定時報の処理も行えるようにした。

これまで地方気象台等に対して、FAX（4,800bps）と文字情報（200bps）を個別の通信回線で送っていたが、多重通信技術の導入により 3.4kHz1 本の通信回線に集約し、この中を文字情報（2,400bps）、FAX（4,800bps）、レーダー（2,400bps）、地震データ（4,800bps）に分割して効率的に利用することとなった。

エ．気象資料交換処理システム（Ⅲ世代 L-ADESS）

平成 9 年 3 月に運用開始したⅢ世代 L-ADESS においては、これまでの中枢システムや端末システムの構成が大幅に見直しされた。中枢システムにおいては、これまでのミニコンと言われホスト型コンピュータによる一連の処理から、通信処理、公衆回線接続、衛星雲画像処理、監視･管理等といった機能単位の処理に見直しされ､汎用 UNIX サーバが用いられることとなった。

端末システムは、これまでの全ワークステーションによる構成を改め、通信処理部、画像処理部といった 2 台の汎用サーバと、汎用の電子計算機（Windows95）による X Window System を用いた利用形態に変更となった。

通信回線の利用については更に高速化を図り、これまで物理的な多重化方式から、論理多重化方式としたパケット交換機を用いた伝送方法に改められ、プロトコルも L/A HDLC から X.25 に変更された。

オ．TCP/IP 化への対応

Ⅵ世代 C-ADESS 及びⅢ世代 L-ADESS は、当時の最新技術を取り入れたシステムとして運用していたが、平成 8、9 年頃にはインターネット技術の普及も目覚ましく、予報作業支援システムや土砂災害警戒情報作成システム等といったアデスでは実現できない業務がサブシステムとして構築されている。

C-ADESS 及び L-ADESS も次期システムへの移行も視野に、平成 11 年度には両システムの TCP/IP 化の実装（改修）を行い、GTS ソケット通信手順をベースとした気象庁ソケット通信手順を定め、以降の部内外機関等の接続にはこれを用いることとした。

現在のアデスによる接続には、そのほとんどが気象庁ソケット通信手順を用いており、当時の改修が功を奏して今日までの整理に至ったといっても過言ではない。

カ．気象情報伝送処理システム（Ⅰ世代東西アデス～）

これまでの C-ADESS 及び L-ADESS については、平成 16、17 年度に東アデスとして構築準備が進められ、平成 17 年 10 月に C-ADESS と札幌、仙台、東京 L-ADESS 中枢システムと同管内 L-ADESS 端末の更新が行われた。

特筆すべき点は、これまで管区 L-ADESS 中枢システムの運用監視体制をシステム運用室及び大阪通信課の東西 2 中枢に集約したことと､地方気象台等の業務処理の利用形態をサーバー･クライアント方式による Web アプリケーションによる方法に改めたことである。

中枢システムの構成は、これまで C-ADESS 及び L-ADESS が受け持っていた各種業務を国際通信、国内通信、基本業務、喚起通信等に分類したサーバ構成（クラスタ構成）に整理し、端末システムの業務処理は、Web/Ap サーバ（負荷分散）を利用する形態とした。

端末システムは全て汎用の電子計算機（Windows）により構成し、Web ブラウザの利用を前提とした業務処理に変更となった。また、これまで地方気象台や航空気象官署等における部

内外接続は、東西アデスと直接通信を行う方式に変更すると共に、L/A HDLC、X.25、航空配信等のレガシーな通信手順については、プロトコルコンバータを新たに整備し、アデスの標準的な通信手順に吸収することとした。

現在、Ⅲ世代目の東西アデスの運用が行われており、気象庁情報システム基盤の仮想システムの一つとして順調に運用されている。

平成 17 年 10 月に運用開始したⅠ世代の東アデスの運用開始においては、サーバへのリソース配分が適切で無かったことから想定どおりの動作が出来ず、切替作業が一度失敗している。

東アデス整備においては、我々も、また、我々以上に受注業者においても未知数の部分が多く、これらの苦い教訓は、Ⅱ、Ⅲ世代の東西アデスの整備対応や運用管理に貴重な経験として生かされている。

（2）アデスサブシステム

ア．防災情報提供システム

防災情報提供システムについては、気象業務法第 15 条による警報事項等の通知、防災担当者向けメールや Web コンテンツによる防災気象情報の提供等を行っていたが、現時点においてはアデスや気象庁ホームページに大半の機能やサービスは取って代わり、防災担当者向けインターネットメールのサービスが残るのみとなっている。

市町村を拡大した画面による気象レーダーやナウキャスト情報、メッシュ情報などの表示を確認することについては、今でこそ気象庁ホームページにより一般の国民が閲覧できるようになったが、そこに至るまでには、実際の災害経験を踏まえた防災情報自体の改善や幾多のシステム改良・更新を経た長い道のりでもあった。

本項では、これまでの防災情報提供システムに関連したシステム等について紹介する。

（ア）予警報一斉伝達装置

気象業務法第 15 条による警報事項等の通知においては、気象台から複数の関係機関に対して迅速かつ正確に通知を行うため、同時送話装置（予警報一斉伝達装置）が整備されていた。

同装置は、気象台と関係機関を専用線で結び一つの電話交換機を形成し、電話による同時送話や個別発着信等の機能を有していた。

同装置は昭和 35 年度から整備が始まり、以降予算成立に従い全国展開を行い、昭和 59 年 12 月末の時点で設置官署数は 57、全国の加入機関数は 822 にも及んでいた。

昭和 59 年度以降の改良・更新では、電磁回路式の交換機からソフトウェアを書き換えることで機能の追加改訂を行うことができる電子交換機への移行、さらにこれまであまり利用されていなかった FAX 送画機能（昭和 44 年以降に機能付加）も加入機関からのニーズに応じて利用されることとなり、平成 4 年度には全国の予警報一斉伝達装置における FAX 化も完了した。

平成 7 年度の第一次補正予算で認められた本庁･大阪管区の予警報一斉伝達装置の更新では、L-ADESS からオンラインデータを受信し、自動的に加入機関に送信する機能や伝達確認行為の効率化の試みも行われた（相手機関から受領証を FAX 受信する等の運用面での変更も含む）。

（イ）緊急防災情報ネットワークの整備

平成 10 年の豪雨災害で課題となった状況に即応した的確な防災対応では、気象台が発表す

る記録的な豪雨に関する情報などを、迅速かつ的確に入手できる措置が求められるようになった。このため都道府県などの防災活動を支援するための情報提供機能の強化を図るため平成10年度第3次補正予算において、緊急防災情報ネットワークの整備が認められることとなった。

この整備では、防災気象情報の送達の迅速・確実化を図るため、地上系及び衛星系の2ルート化を図ると共に、地方気象台と防災機関の担当者が、画像形式の分かりやすい情報を共有しつつ、防災対応に必要な具体的な情報を的確に交換することを実現するものであった。

主な機能を以下に示す。

① 地上系

・接続・情報提供形態

地震情報・津波予報及び気象注警報等を県などの法定伝達機関へオンラインで送達する機能並びに防災活動などを支援する各種予報・解析資料などをリクエスト・リプライ方式で提供する機能を有する。また、法定機関などへの送達には高速デジタル専用線又はフレームリレー回線を用いる。また、防災活動を支援するために新たに作成する各種気象情報の有効活用を促進するため、防災機関の内部部局などからのリクエスト･リプライ対応もできるよう、専用線以外に公衆デジタル回線（ISDN）にも対応可能とする。

・画像による防災気象情報

迅速な判断を必要とする防災活動をより一層、的確に支援するため、量的な予測情報、実況解析情報に予報官のコメントなどを付加し、防災機関に提供する。

・簡便な送達確認実現

従来、FAX又は電話で行っている送達確認を、オンライン処理対応にするため、気象庁が準備したソフトウェアを各法定伝達機関に貸与し、送達確認の簡素化･迅速化を推進する。

② 衛星通信系

地上の回線が不通となるような緊急時における情報伝達を確保するため、商用通信衛星（CS）を介した同報機能を整備し、各気象官署及び防災機関に対する緊急報伝達の2ルート化を図る。

防災情報提供システムはここで示す地上系のシステムであり、その前身である防災情報提供装置としてこの時点で整備された。

防災情報提供装置は予警報一斉伝達装置の後継機として今後運用されていくことになるため、これまでの予警報一斉伝達装置の利用者（F-netサービス含む）に対してFAX送画するFAXサーバ機能があり、これにより予警報一斉伝達装置から防災情報提供装置への移行措置を順次行っていった。この他にも専用ソフトウェアを用いた送達確認や予報官コメント等、これまで予警報一斉伝達装置というFAX送画機能や音声通話では実現できなかった新たなサービスをセールスポイントとして利用者への移行を促した。

（ウ）防災情報提供システムの整備

平成17年度予算防災情報提供システムの整備が認められ､市町村の担当者や「地域防災リーダー」などと気象に関する防災情報を共有できる体制を構築された。

緊急防災情報ネットワークについては、これまで地上系と衛星系の2ルート化として運用

してきたが、平成 17 年度には異なる通信事業者による広域網の二重化で構成された国内基盤通信網の展開もあり、緊急防災情報ネットワークの地上系と衛星系はこの時点で整理されることとなる。

これまでの防災情報提供装置の機能については、送達報、Web コンテンツ提供、メール配信機能等はそのまま継承し、新たな市町村担当者への情報提供を目的としたインターネット上でのコンテンツ提供とメール配信サービスが加わることとなった。

システム構成としては、これまで官署に設置したシステムとして運用されていたが、清瀬・大阪設置による東西二中枢システムと（これに伴い官署ではプロキシサーバを整備)、インターネット上のコンテンツ提供やメール配信サービスを行うためのホスティングによる運用となった。

（エ）気象情報伝送処理システムの整備による機能整理

令和 2 年度予算において、気象情報伝送処理システム（アデス）の更新整備が認められ、この整備に合わせてこれまでの防災情報提供システムの機能も整理集約されることとなった。

① 送達機能

専用線等利用者に対して暫定継続

（平成 23 年度よりアデスによるオンライン配信による伝達へ移行）

② Web コンテンツ

専用線等利用者向けは廃止、気象庁ホームページによる Web コンテンツへ移行

（特定利用者向け Web コンテンツへ移行）

③ メール配信

専用線等利用者向け及びインターネットメール配信は継続

以上の防災情報提供システムに関連した各種取組は、防災気象情報の改善や充実を目的とした中に各分野の組織の活性化へも役立ってきたものと考える。

防災情報提供システムの機能の大部分は、アデスや気象庁ホームページに移行・統合されているが、先人の方々の「伝達」に関わる様々な取組はこの中で生き続けていくことになる。

イ．洪水予報に関わるシステム

指定河川洪水予報は、国土交通省が指定する河川（二以上の都府県の区域にわたる河川又は流域面積の大きい河川で洪水により国民経済上重大な損害を生ずるおそれがあるもの）及び都道府県知事が指定する河川（国土交通大臣が指定した河川以外の流域面積が大きい河川で洪水により相当な損害を生じるおそれがあるもの）について、河川管理者（国土交通省又は都道府県）と気象庁が共同で発表することとしている。

指定河川洪水予報のそれぞれの役割分担としては、気象庁側では気象実況の監視や予測を担当し、河川管理者側では河川状況の監視や予測を担当し、洪水予報を発表することとしている。

現在、これらの対応を行うにあたり、国土交通省が整備する洪水予警報等作成システムと気象庁が整備するシステムにより洪水予報の作成や相互間のデータ交換を行っている。

本項では洪水予報指定河川の拡大に伴い、高度化されたデータ処理やデータ交換が可能となってきた頃からの洪水予報に関わるシステムについて紹介する。

（ア）河川・雷データ交換装置

洪水予報指定河川の拡大に伴い、L-ADESS での電文作成・発信作業と一般向け予警報作業と重複することも多く、指定河川数の多い官署では電文作成が大きな負担となりつつあった。このため L-ADESS のオンライン化による作業と洪水予報に必要な各種データ交換を行うため、平成 8 年度に河川データ交換装置が本庁に整備され、関東地方整備局（北陸、中部地方整備局含む）とのオンライン接続が進められた（平成 13 年 1 月までは「地方建設局」であるが、ここでは「地方整備局」として記載している）。

これにより、洪水予報文案の交換、地方整備局が保有する雨量データ入手、当庁保有のアメダスデータや各種プロダクトの配信も開始され、平成 10 年度には部外観測データの利用も始まった。

これと同時期に、電力気象連絡会が保有する落雷位置評定データのオンライン入手に関わる調整も進められ、翌平成 11 年度から各管区においては、河川・雷データ交換装置として整備が進められ、洪水予報に関わる地方整備局との接続と落雷位置評定データ入手に関わる電力会社との接続が順次行われることとなった。

本システムは、平成 20 年度まで運用され、その後、河川データ交換システムへその機能を移行した。

（イ）河川データ交換システム

気象庁と地方整備局が共同で実施する洪水予報を行うため、これまでの管区単位で運用していた構成を改め、清瀬と大阪による運用に改めることとした。それぞれを関東地方整備局と近畿地方整備局と接続し、河川局のレーダー、雨量データ、当庁のレーダー及びアメダスデータ並び洪水予報文案等の相互交換を行う。

本システムは、平成 20 年度に整備され、その後、河川洪水予報データ交換システムの整備によりその機能を移行した。

（ウ）統合洪水予報システム（共同洪水予報システム）

各都道府県と気象庁が共同で実施する洪水予報を行うため、平成 13 年度に共同洪水予報システムが整備された。各都道府県との洪水予報作業は Web 形式により実現し、データ交換については、市販のソフトウェア（HULFT）を用いてその機能を実現した。

平成 17 年度には、国が管理する河川の洪水予報業務及び都道府県が管理する河川の洪水予報業務を統合して実施するため、統合洪水予報システムが整備された。その後、国土交通省整備の洪水予警報等作成システム及び平成 21 年度に当庁が整備した洪水予報データ変換装置にその機能を移行した。

（エ）洪水予報データ変換装置

洪水予警報等作成システムで作成された洪水予報電文（国土交通省フォーマット）等を受信し、気象庁防災情報 XML フォーマットにもとづく気象庁フォーマットの洪水予報電文に変換する。また、HULFT によるファイル転送機能を有し、各都道府県とのデータ交換を実現する。

本システムは、国土交通省による洪水予警報等作成システムの整備・運用開始に合わせて当庁側にて整備し、平成 29 年度の河川洪水予報データ交換システムの整備によりその機能を移行した。

（オ）河川洪水予報データ交換システム

地方整備局又は各都道府県との共同で実施する洪水予報は、国土交通省整備の洪水予警報等作成システムに委ね、河川データ交換システムと洪水予報データ変換装置の機能を受け継ぎ、平成 29 年度に統合整備した。

（カ）洪水予警報等作成システム

洪水予警報等作成システムは、関東地方整備局と近畿地方整備局に設置され、地方整備局、各都道府県、気象庁と共同で実施する洪水予報に関わる作業環境（発表文の作成・修正・承認）を提供する。また、当庁の河川洪水予報データ交換システムと洪水予報電文（国土交通省フォーマット）をはじめとした洪水予報に関するデータ交換を行う。

本システムは、平成 25 年 3 月から運用開始され、洪水予報に関わるシステムの中核として現在も利用されている。

ウ．土砂災害警戒情報に関わるシステム

多数の人的被害を伴う土砂災害から人命を守るための総合的な土砂災害対策の一環として、平成 14 年度から国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部が連携し、関係省庁やモデル県の協力を得ながら土砂災害への警戒に関する情報の提供に向けた検討を行っていた。

その結果、気象庁の持つ降雨予測等の気象情報と都道府県砂防部局が持つ国土情報を適切に組み合わせた情報である「土砂災害警戒情報」を都道府県と各気象台等が共同で発表することとなり、全国で運用に向けた準備が進められることとなった。

ここでは土砂災害警戒情報に関わるシステムについて紹介する。

（ア）平成 14 年度の試行

土砂災害警戒情報の提供に向けた検討について、神奈川、兵庫、長崎、鹿児島をモデル県とした試行が平成 14 年度に実施された。初年度ということもあり県の砂防部局と地方気象台が共同で土砂災害警戒情報の作成・発表について FAX による情報交換により実施している。この試行結果に基づき有識者による検討委員会からは、利用者の迅速・的確な判断を支援するため文章と図を組み合わせた分かりやすいものとすること、都道府県砂防部局と気象台をオンラインで結び土砂災害警戒情報に必要なデータの交換と情報の迅速な作成を可能とすること等の提言もあった。

（イ）平成 15 年度の試行とシステム整備

有識者による検討委員会からの提言に基づき、平成 15 年度の試行実施のため、昨年度のモデル県（4 県）とオンラインデータ交換を行い、降水短時間予報などの気象庁の予想データと組み合わせることにより、土砂災害警戒情報の自動作成を行うためのシステム整備を行うこととなった。

このシステム整備に関連し、本庁に関連サーバの設置、試行官署に端末やプロキシサーバ設置が検討され、データ交換に関しては一般的なファイル転送（FTP）を採用することとした。また、防災活動を支援する分かりやすい土砂災害警戒情報を伝達・提供するため、当時の防災情報提供装置の新しい取組としていた図形式気象情報の作成・発表する機能やメールを送受信する機能を用いることとした。

同年度には新たに愛知県、三重県、和歌山県、島根県、熊本県がモデル県として加わり、合

わせて 9 県による試行が行われることとなった。

（ウ）土砂災害警戒情報作成支援システムと全国整備

「土砂災害警戒情報作成支援システム」として平成 16 年度に予算化され、本庁・大阪に整備することとなった。同年 12 月には国土交通省「豪雨災害対策緊急アクションプラン」において、平成 17 年度以降 3 年間で全都道府県で土砂災害警戒情報の運用を開始する方針が示されたことから、平成 16 年度までの試行官署（9 箇所）に引続き、平成 17 年度は残り 44 箇所の全国整備を行うこととなった。

（エ）土砂災害警戒情報作成システムへ

平成 23 年 3 月から気象庁防災情報 XML フォーマットによる新しい土砂災害警戒情報の提供が予定されており、また、提供情報の増加や更なるシステム機能の高度化等にも対応すべく平成 22 年度にシステム更新が行われた。平成 22 年度の整備においては、東日本大震災による影響から運用開始が延期されたことを除き、本システムについては特段影響もなく運用移行が行われた。

平成 25 年 10 月には伊豆大島、平成 26 年 8 月には広島市でそれぞれ発生した土砂災害においては、多数の尊い人命が失われている。こうした災害を受け、平成 26 年 11 月に「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」が改正され、土砂災害警戒情報を市町村における避難判断基準として提供することが明確に位置づけられ、防災基本計画及び「避難勧告等に関するガイドライン」（内閣府）には、土砂災害警戒情報及び土砂災害警戒判定メッシュ情報の市町村における避難勧告等への具体的な活用方法も示されている。

近年、局地化、集中化、激甚化する雨から国民の生命・財産を守るためには、高精度かつ分かりやすい情報への更なる改善を進めるとともに、迅速かつ安定的に情報を提供するため、本システムについて平成 22 年度の整備から「土砂災害警戒情報作成システム」と名称を変え、平成 29 年度に再びシステム更新を迎え現在に至っている。

3．インターネットによるデータ交換

気象資料伝送網の展開においては、国内外を問わず通信回線のアップグレードが進められる一方で、数値予報プロダクト等の大量の格子点情報の国際機関向け配信においては、回線速度の制約により配信先を限定せざるを得ない状況でもあった。このためインターネット又は総合デジタル通信網（ISDN）を経由した当庁データへのアクセスが可能となる環境を平成 7 年度に整えている。

本項では、インターネットによるデータ交換に関連したシステム等について説明する。

（1）情報交換装置

気象庁の国際関連業務では全球通信システム（GTS）上で交換される情報以外にもインターネットのみで提供又は交換されている情報も多数あった。これは GTS 上の回線制約に起因するものであり、各国担当者間の業務連絡や調整等も含めてインターネットへ移行するものが多くなっていた。インターネットでは国際的な情報交換ネットワークとして、電子メールによる情報交換のほか、各国の気象機関、研究所、大学等が有用なデータを提供又は交換しており、国際的な情報交換のみならず国内においても情報交換の手段としても重要なメディアとなって

いた。このことから、国内外の関係機関、特に世界気象機関（WMO）における各種業務計画の一層の推進を図るため、庁内関係各課室がインターネットを利用可能とする情報交換装置が整備され、平成 7 年 2 月に運用開始している。

同装置については、グローバル IP アドレスを持ち、外部に対してオープンな外部ネットワークと、プライベートアドレスを持つ内部ネットワークとに区別し、両方のネットワークをゲートウェイ用サーバにより接続した構成となっている。また、インターネットとの通信においては、インターネットプロバイダを介して各国の気象機関、研究所、大学等と各種情報交換を行うため、十分なセキュリティの保全・管理機能及び内部ネットワークの管理機能を提供する。

同装置については、後述の気象データ収集・提供装置（MDCDS）の整備まで運用され、平成 14 年 7 月に運用終了となる。

（2）庁内光ファイバ網の整備

平成 13 年度第 2 次補正予算により、庁内光ファイバ網の整備が認められた。この整備に関連し、庁内有識者による光ファイバ敷設タスクフォースが平成 14 年に設置され、以下の検討を行った。

・庁内各課室の独自回線等を整理し、可能な限り今回の庁内光ファイバ網に統合する。
・高速大容量通信に対応可能とする（基幹 1000BASE-SX、各課室 100BASE-TX 等）。
・関係する全課室の協力のもと全庁的な整備として検討する（電話、庁内放送等含む）。
・管区気象台内における基盤通信インフラもあわせて検討する。

この庁内光ファイバ網については、平成 14 年 3 月に整備が完了し、インターネットをはじめとした各種サービスの利用、行政情報ネットワークや各課室サーバ等での接続において活用されることとなる。

（3）気象データ収集・提供装置（MDCDS）

気象データ収集・提供装置（MDCDS: Meteorological Data Collect and Distribute System）は、GTS 上でのデータ交換の制約や RSMC データサーバを始めとする WMO センター業務として、インターネット上の情報提供環境として情報交換装置の後継機として平成 13 年 3 月に整備・運用開始された。

整備にあたっては、インターネット接続機能の強化（回線増速、2 プロバイダ採用）、サーバ等主要部分の冗長化、公開領域（DMZ）の設置や侵入検知機能及びファイアウォール機能等の情報セキュリティ対策の強化を行った。

また、平成 15 年度には林野火災予防方策の一つとして消防本部の観測する気象データの提供を受け、気象台の作成する図形式火災気象情報を提供することとなり、これに伴う増強も行っている。

本装置については、後述の気象データ交換動作環境（MDCS）に機能が引き継がれることとなる。

（4）気象データリアルタイムサーバ（MDRS）

気象データリアルタイムサーバ（MDRS: Meteorological Data Real time Server）は、本庁内の基幹ネットワークに位置し、インターネットによる外部からの情報や NAPS 等の内部のプロダクト等を収集し、ファイル形式により迅速かつ効率的に配信するサーバとして

MDCDS と同時期である平成 13 年 3 月に運用を開始している。

当時の気象資料伝送網である C-ADESS や L-ADESS では業務としてファイル形式のデータを集配信する機能が無かったことから、本システムでは要望の多かったファイル形式による各種データの集配信を担当した。

同サーバでは、Oracle（データベースソフトウェア）、JP1（統合システム運用管理ソフトウェア）等を導入し、汎用ソフトウェアによるデータ利用やリソース管理を取り入れている。

その後、同機能については後述の気象データ交換動作環境（MDCS）に引き継がれ、さらに平成 17 年度にはファイル配信機能を有した東アデスにその役割自体を引き継ぐこととなる。

（5）気象データ交換動作環境（MDCS）

気象データ交換動作環境は、気象データ収集・提供装置（MDCDS）の後継サービスとして、平成 20 年度に MDCS（Meteorological Data Communication System）の名称で更新された。同システムについては気象庁内に整備したオンプレミスのシステムであったが、平成 28 年度の更新ではホスティングサービスに見直しを行い、気象データ交換動作環境（MDCS: Meteorological Data Communication Service）の名称として整備した。

同環境については、インターネットを介した HTTP（S)/FTP/SSH/メールなどのインターネットとの通信や情報セキュリティを含む管理・制御機能を主クラウドと DR クラウド上に配置し、内部ネットワーク接続機能（クラウド接続用の広域 LAN）を用い、本庁（虎ノ門)、本庁（清瀬)、大阪管区気象台とそれぞれ接続し、安全かつ安定的なインターネット利用環境を利用者に提供する。

令和 5 年度の更新では、インターネットアクセスの向上を図り、再びクラウドサービスとして構築を行い現在に至っている。

4．一般利用者向け気象情報等の提供

一般利用者向け気象情報等の提供方法として、現在では気象庁ホームページが一般的であるが、平成 8 年 7 月 8 日に開設された当初においては、広報活動の一環として気象庁の業務内容や講演会の紹介等、オフラインコンテンツの提供のみであった。翌年には日本気象協会がインターネットによる防災気象情報（気象注意報、警報、台風予報、地震・津波情報など）の提供を行う「防災気象情報サービス」の運用を開始し、気象庁ホームページではこの情報サービスをリンクすることとした。

（1）リアルタイムコンテンツの公開

平成 13 年度に東京管内の気象官署における部外からの電話照会業務の軽減のため、気象庁ホームページに観測実況報をリアルタイムコンテンツとして掲載する取組が本庁と東京管区気象台にて行われた。本庁では L-ADESS による観測電報の取得と東京管区気象台への提供を行い、これを受けた東京管区気象台（調査課）はホームページ用のコンテンツを作成し、ホスティングサービス上にアップロードするという自動処理の流れであった。

翌年の平成 14 年 8 月には予報、注意報を含む各種気象情報についてもホームページへの掲載を行うこととなり、リアルタイムコンテンツの作成に必要な情報を C-ADESS から委託業者へ配信し、ホスティングサービス上に公開することとなった。また、その他自ら公開する情報

については、気象データ収集・提供装置（MDCDS）の DMZ 領域に公開サーバを設置し、ここにコンテンツを配置して気象庁ホームページからリンクを張ることとした。

（2）コンテンツ配信サービス（CDN）の導入

インターネット利用者数の増加とともに、（台風、地震、津波など）異常気象発生時には想定を上回るアクセスを受け、コンテンツ提供の遅延や不能となるケースが発生するようになった。このため、コンテンツ配信を効率化かつ高速化するため、コンテンツ配信サービスを導入することとした。本サービスはサービス提供事業者がインターネットサービスプロバイダの施設に複数のキャッシュサーバを配置し、最適なキャッシュサーバから応答させることによりコンテンツ提供能力を格段に高めるもので、平成 16 年 8 月末から導入している。

（3）インターネット提供環境（IDSI）

その後、気象庁ホームページは、広く国民のほか地方公共団体の防災関連業務を実施する機関に対して、当庁が発表・提供する情報やその利用者の特性に応じて以下の 4 つのシステムにてインターネットを通じた情報提供を行うこととなり、これらを総称してインターネット提供環境（IDSI: Internet Data Service Infrastructure）と呼ばれることとなる。

・気象庁ホームページ
・気象庁データ提供システム
・各気象台等ホームページ
・気象情報伝送処理システム（提供系システム）

政府方針を踏まえたシステムの共通化・一元化を推進するため、これらのインフラ環境の整理・統合を進めることとし、庁内接続機能を除くクラウドサービスによるインターネット提供環境を令和 2 年 6 月に構築、その後コンテンツ移植作業を経て同年 11 月から情報提供を開始した。

気象庁ホームページは防災上非常に重要な気象情報等をアクセスユーザ（国民）へ遅滞なく情報提供することが責務のシステムであり、アクセス集中した状況でも安定した情報提供を行う必要があった。しかし、令和 3 年 8 月、全国的な悪天状況の発生に伴い、気象庁ホームページへのアクセスが集中し、処理可能なアクセス数を超えたことにより閲覧しにくい状態となった。

このため、運用中のサービスへ影響がないように急遽 Web サーバの増設作業を実施した。さらにアクセス負荷の軽減を目的とした軽量版コンテンツの準備も行った。

これらの増強されたサーバリソースや軽量版コンテンツの運用については、アクセス集中時にも十分に活用できるよう運用体制を整えている。

5．無線通信による通報業務

無線通信による通報業務の歴史は古く、即時情報の提供に用いるシステムとして気象庁気象無線模写通報（JMH）及び気象庁船舶気象無線通報（Safety NET）が現在もなお運用されている。

本項では気象官署間の無線電話等に用いられていた VHF 通信網のほかに無線通信による通報業務を代表するいくつかのサービスについて、機能や運用状況等について紹介する。

（1）気象庁気象無線模写通報（JMH）

気象庁気象無線模写通報（JMH）とは国内及び国外の気象業務を行う機関並びに船舶等において利用されることを目的とする無線ファックス通報である。

この通報の始まりは、昭和 33 年 2 月に特別業務の局として郵政省から承認を受け、本庁（無線通信課現業）に設置した送画機の出力を電電公社の東京気象無線調整所を経て千葉県佐倉市にある同社臼井送信所の短波送信機に供給され放送された（昭和 61 年 7 月 名崎送信所（現茨城県古河市）に移転）。

・JMH（3,847.5kHz/1kW）※周波数 / 送信出力
・JMH2（7,305kHz/1kW）
・JMH3（9,970kHz/1kW）
・JMH4（13,597kHz/1kW）
・JMH5（18,220.0kHz/1kW）
・JMH6（220.0kHz/1kW）

JMH2（7,305kHz）及び JMH4（13,597kHz）については、平成 4 年の世界無線通信主管庁会議（WARC-92）の決定により、その使用期限が平成 19 年 3 月までと決められた。新たな周波数割当てを受け、平成 19 年 3 月から JMH2（7,795kHz）及び JMH4（13,988.5kHz）は、新周波数での JMH 放送を行うこととなった。

一方、気象官署の受画装置は、放電破壊方式とホーガン方式を採用し、福岡、大阪、名古屋、仙台、札幌及び本庁から順次整備・運用が開始された。

・送画原稿の有効面積　457.2mm×558.8mm（18 インチ ×22 インチ）
・送画円筒の直径　152.4mm（6 インチ）
・送画円筒回転数　60 回転/分及び 120 回転/分
・走査線密度　3.77 線/mm（96 線/インチ）及び 1.88 線/mm（48 線/インチ）
・協動係数　576 及び 288
・最高画周波数　900c/s
・1 枚の電送時間
　約 36 分〔60 回転/分 3.77 線/mm（96 線/インチ）〕
　約 18 分〔60 回転/分 1.88 線/mm（48 線/インチ）〕
　約 9 分〔120 回転/分 1.88 線/mm（48 線/インチ）〕

これまでモールス信号を解読して天気図を作成していた作業が無線通報によるファックスを受画することによりスピードアップできることから、その後他官署へも受画装置の展開も行われた。

昭和 40 年の台風第 29 号においては、マリアナ諸島で日本漁船が遭難して多数の犠牲者が出たことから無線模写放送の強化が求められることとなり、放送内容やスケジュールの拡充、さらに WMO の勧告に基づき無線模写放送の使用周波数の増波も行われた。

気象庁気象無線模写放送（JMH）については 1 枚の天気図を受信する場合でも数十分の時間を要することや、電波障害により安定した受画ができないという問題点もある。このため当庁内の利用においては、第 1 期目の気象資料伝送網整備計画（昭和 56 年 3 月運用開始）を契

機にデジタル FAX 化（CDF）を用いた専用線接続（有線方式）へ移行していくこととなる。

現在は、気象無線模写通報は当庁の特別業務の局として、以下 3 波（周波数 / 送信出力）で主に船舶運航関係者など特定の利用者向けに運用されている。

・JMH（3,622.5kHz/5kW）
・JMH2（7,795kHz/5kW）
・JMH4（13,988.5kHz/5kW）

（2）東京ボルメット無線電話通報（とうきょう）

ボルメット通報とは国際民間航空機関（ICAO）の定めで、短波又は超短波を使用した通報により、飛行中の航空機に気象情報を提供するものである。この通報は世界を 17 地域に分けて、それぞれの地域の主要空港の気象情報を 30 分ごとに放送している。

・コールサイン
　東京（とうきょう）
・周波数 / 送信出力
　2,863kHz/1.5kW、6,679kHz/1.5kW、8,828kHz/1.5kW、13,282kHz/1.5kW
・電波型式
　J3E
・送信時刻
　毎時 10 分及び 40 分

ボルメット通報は昭和 34 年に東京航空地方気象台（羽田）で運用開始され、新東京国際空港の開港（昭和 53 年）からは新東京航空地方気象台（成田）で担当することとなった。運用開始から 28 年間は放送原稿を読み上げるマニュアル放送により実施されたが、昭和 62 年 4 月から音声合成を採用した自動化方式となった。

当時のボルメット通報には付加文に平文があったため使用が予想される単語（航空情報用略語、航空標識地点、都市名、山岳名など）を全て登録する必要があり、登録語数は約 9,600 語に達した。これらの単語を組み合わせたブロック又は文の作成は膨大な数になるため、当時は単語単位で登録を行い、それをつないで放送を行っていた。そのため、語と語のつなぎとイントネーションに難があったが、人が翻訳し、発音の違う複数の人が放送したのに比べ、数秒で自動翻訳を行い一定の発音で放送されたことは画期的なことであった。

平成 5 年 7 月からの航空気象通報式の改訂に伴いボルメット通報形式もまた変更され、付加文の記事を放送しないことになったため使用する単語も限られるようになった。このことから音声合成方式は変わらないが音声録音波形を可能な限り自然に近い形で処理することによりイントネーションが大幅に改善されたことと、音声波形をデジタル化する時に音声の始まりと終わりの音声波形のカッティング技術も向上したことにより自然に近い発声音となった。この音声合成部には英国製品（GEC マルコーニ社製）が導入され、英国製品の日本政府機関への導入の好例として、英国首相の関心を引き、気象庁長官との懇談が行われたという話もある。

東京ボルメット無線電話通報は当庁の特別業務の局として運用されており、主要空港周辺の気象情報を音声により飛行機向けに現在も提供している。

（3）国内気象無線通報（JMB）

予報部無線通信課では、南鳥島観測所と短波無線設備により南鳥島の地上観測電報、高層観測電報及び事務連絡等の受信を行っており、その受信電報は通報課に送られ人手を介して実況天気図に転記されていた。この天気図は再び無線通信課へ持ち込まれ、気象無線模写通報（JMH、JMJ）として有線回線を介して電電公社の短波送信機に送られ、国内外の気象官署、船舶及び航空機関等に対して放送されていた。

また、南鳥島とはモールス通信を用いており、南鳥島からの電波の受信は気象庁本庁のアンテナと清瀬のログペリアンテナを切り替えて運用し、南鳥島への電波の送信は、本庁～筑波山中継所のマイクロ通信設備を介して気象送信所（千葉県我孫子市）のログペリアンテナから500W の電波を発射していた。

昭和 59 年度に南鳥島との短波無線設備の更新に伴い、電波型式 SSB・送信出力（1kW）が追加されて音声通話による交信ができるようになり、本庁と南鳥島観測所に 2 周波セルコールにより電話ライクに呼び出して通話を行っていた。

これらの運用については、平成 11 年度まで続けられ、衛星通信等の通信手段に置き換わることとなる。

（4）非常無線通信（本庁・管区・旧地台）

非常災害時の短波無線設備として、本庁、管区及び旧地台（各通信中枢）に無線設備（送信出力 500W）を配置して、モールス通信による災害時の通信手段を確保していた。また、気象庁は非常通信協議会のメンバーとして、警察庁、海上保安庁などの協議会の機関との非常通信訓練を定期的に行い、広域災害時に相互の非常通信に備えていた。

これらの運用については、平成 11 年度まで続けられ、衛星通信等の通信手段に置き換わることとなる。

（5）その他通報業務（JMB、JMC、JMG、JMI 等の廃止）

無線通信による通報業務が最も盛況であった時代（昭和 52 年頃）のサービスを以下に示す。

・国内気象無線通報（JMB）
　国内気象機関向け日本周辺気象通報（実況天気図記入データ用）
・船舶気象無線通報（JMC）
　東アジア、北西太平洋向け船舶気象通報
・国際気象無線通報（JMG）
　準大陸気象放送及び航空気象放送として高層実況報、解析報（地上、高層）を通報
・第 1 気象無線模写通報（JMH）
　国内、周辺気象天気図等を通報
・第 2 気象無線模写通報（JMJ）
　航空気象天気図等の通報
・国際北半球気象無線通報（JMI）
　北半球（地上、海上、高層）実況
　国外（主としてアジア地域）の気象官署が北半球天気図を作成するための資料
・東京ボルメット無線電話通報（とうきょう）

飛行中の航空機向け空港気象通報

これらのサービスのうち、現在も運用しているのは気象無線模写通報（JMH）と東京ボルメット無線電話通報（とうきょう）の２局であり、他の通報業務の局については気象資料伝送網計画の展開等により業務終了（停波・廃局）に至っている。

なお、船舶気象無線通報（JMC）については、平成11年２月に完全実施されたGMDSS（Global Maritime Distress and Safety System）により、海上遭難通信システムの中の一つのサービスであるセーフティネットを用いることとなり、これまでのモールス通信による通報は、インマルサット衛星を介した通報に変貌して新たな役割を担うことになる。

50年以上にわたる船舶気象無線通報（JMC）は、当庁におけるモールス通信の最後の運用でもあった。これまで長きにわたり気象通信を支えてきたモールス通信は、以下の電報の打電を最後に長い歴史に幕を閉じることとなった。

> JMA EXTENDS SIN―CERE THANKS TO THE LIS―TENERS WHO HAVE KEPT RECEIVING OF JMC BROAD―CAST FOR OVER 50 YEARS. JMA HEARTILY EXPECTS SAEFTY YOUR VOYAGE. THANK YOU VERY MUCH AND FAREWELL. VA VA VA
> JMC通報を50年以上にわたって受信し続けてこられた聴取者の皆様に厚くお礼申し上げるとともに、皆様方の航海の安全を心から祈念いたします。大変ありがとうございました。さようなら。以上

（6）無線局運用の委嘱

気象庁本庁にて運用していた気象無線模写通報（JMH）と東京ボルメット無線電話通報（とうきょう）の特別業務の局については、無線局自体の運用を外部委託するため平成19年度に通信サービスの調達が行われた。

具体的には免許人は気象庁のままとし、通信サービスを提供する受注者が無線局の運用を委嘱するものである。

調達手続の結果、鹿児島県無線漁業協同組合が受注し、平成21年３月からこれらの特別業務の局の運用を委嘱している。

６．その他の気象情報等の提供

（1）気象情報自動応答装置

業務輻輳時の対策の一環として、部外からの電話照会に対応するため、L-ADESS端末から受信した電文を音声変換し、自動応答する装置が制作された。

本装置は、一般官署用として気象情報自動応答装置、航空気象官署用として飛行場気象状況電話応答装置として整備されることとなり、地元の漁業関係者等からの問い合わせが多い官署が選ばれ、平成６年10月には佐渡空港出張所、平成７年４月には御前崎測候所、静岡地方気象台、石廊崎測候所、石巻測候所での運用が始まった。

その後も府県予報区担当官署に気象情報自動応答装置が順次整備され、部外からの電話照会対応に一役買っている。

テレビやスマートフォン、インターネットなどの普及に伴い、気象情報の入手手段が多様化し、NTT が提供する天気予報サービス「177」が終了となる中で、本装置は令和 6 年度に更新を迎え、本庁と各管区・沖縄気象台にシステム集約されて現在もなお運用を続けている。

（2）航空気象情報配信装置

航空気象官署における場内への航空気象情報の通報や提供として、テレメールという装置が平成初期の頃まで運用されている。テレメール装置は、観測員が手書きした内容をそのまま複数の相手に瞬時にプロットして伝えるという一種の手書き電話、今風で言えば筆談チャットのようなものであった。

しかし、テレメール装置の製造中止の報を受け、平成 2 年度からはデータ通信による伝達を行う航空気象情報配信装置に順次更新されることとなった。

航空気象情報配信装置は、L-ADESS 端末や空港気象常時監視通報装置とも接続され、航空気象情報の通報や提供等、航空部外配信の要となっていく。

平成 9 年 3 月から運用開始したⅢ世代の L-ADESS からは、同装置の機能が各航空気象官署に設置された L-ADESS 端末に集約され、さらに平成 17 年 10 月から運用開始した Ⅰ 世代のアデスからは、東西アデス中枢にその機能が集約された。

アデスによる航空部外配信は、今なお継続しているところであるが、航空気象情報提供システム（MetAir）の利用やアデスとの直接接続によるデータ提供方法に移行しつつある。

（3）飛行場内気象情報提供装置

平成 10 年度第 3 次補正予算において、緊急防災情報ネットワークの整備が認められることとなった。この中で地方気象台等には予警報一斉伝達装置の後継機として防災情報提供装置が整備されることとなるが、航空気象官署においてもこれまで L-ADESS 端末によるデータ分岐（航空配信）や FAX 分岐の提供、更に飛行場警報の通知方法を見直すべく、飛行場内気象情報提供装置（通称「場内イントラ」）が整備された。

本装置は飛行場内の利用者を専用回線又は構内回線で結び、防災情報提供装置と同様にリクエスト・リプライ方式による天気図等の図形式情報の提供や送達報による飛行場警報の通知を行うものであり、平成 17 年度の東アデス整備において、後述の航空気象情報提供システム（MetAir）に移行することとなる。

（4）航空気象情報提供システム（MetAir）

航空気象官署からのオンラインによる情報提供は、平成 14 年度末（利用者の意向によっては 15 年度末）に飛行場内気象情報提供装置に一元化する計画を進めていたが、これまで L-ADESS 端末からデータ分岐や FAX 分岐を受けていた利用者からは、飛行場内気象情報提供装置によるリクエスト・リプライ方式ではなく、従前どおり自動的に紙が出力される機能が必要との要望を受け、技術的検討を重ねてきた。

平成 15 年度に東京・成田・関西航空地方気象台に整備した航空気象情報提供装置（MetAir の前身）においては、既に飛行場内気象情報提供装置に接続している利用者はそのままの環境で FAX 情報の自動入手が可能となることに加え、TAF・METAR 等の文字情報についてもあ

らかじめ設定したものを自動印刷するという、従来の TAF 表に相当する機能も実現した。また、接続形態として新たにインターネット経由も可能としており、利用者は希望の方式を選択することが可能となった。

本装置については、平成 17 年度の東アデス整備時に航空気象情報提供システム（MetAir）に整理されることになる。

【第３節】数値予報システム

１．スーパーコンピュータシステム

（１）概要

気象庁は、気象・水象・地象等に関するデータの解析及び予測等を遂行するために、昭和 34 年 3 月以来、一貫して高性能なコンピュータシステムを導入してきた。

昭和 62 年度からは、気象資料総合処理システム（COSMETS: Computer System for Meteorological Services）のバッチ系（NAPS: Numerical Analysis and Prediction System）として、スーパーコンピュータを導入・運用してきた。

一方、台風や梅雨前線等の監視に重要な役割を果たす静止気象衛星「ひまわり」等の衛星観測データを処理するため、昭和 52 年以来、静止気象衛星資料処理局電子計算機システム（DPC: Data Processing Center System）を運用し、衛星資料の作成を行ってきた。

平成 16、17 年度からは、衛星観測データによる高度実況解析処理と気象予測の基盤技術である数値予報処理を緊密に連携させるため、「NAPS」と「DPC」を統合一体化し、新たな「スーパーコンピュータシステム」として運用している。

気象庁は、こうした歴代の高性能なコンピュータシステムの更新とともに、最新の気象学の研究成果に基づく計算手法の開発・実用化、新しい観測データの利用等によって、気象予測の精度向上・予測期間延長等の改良を進めてきた。気象庁のスーパーコンピュータは今や、国民の生命・財産を守るための気象警報・注意報や天気予報の発表に不可欠なものとなっており、気象庁業務の根幹を支える極めて重要な役割を担うものとなっている。

近年、台風・集中豪雨・突風等による気象災害の防止・軽減及び航空機の安全運航に資するため、防災機関、国民、企業等に提供する特別警報等の防災情報について、一層の改善が強く要請されているところである。そうした要請に応えるために、更新の都度、前世代の計算能力を大きく上回る高性能なスーパーコンピュータの導入を行ってきた。

（２）整備年度と仕様概要

ア．第一世代

機種名：IBM704

理論性能：84 μ sec（加減算演算 1 回当たり時間）

ノード数：1

CPU 数（コア数）：1（1）

メモリ量：8kw （1word = 36bit）

ストレージ：磁気ドラム装置 8kw

昭和 34 年 4 月に気象庁予報部に電子計算室が設立され、当時としては日本に 2 台しかない

最新鋭の計算機として竹平町（現在の大手町一丁目）の気象庁本庁構内に導入した。

イ．第二世代

機種名：HITAC5020/5020F

理論性能：3.25 μ sec（加減算演算 1 回当たり時間）

ノード数：1

CPU 数（コア数）：1（1）

メモリ量：131kw （1word = 32bit）

ストレージ：磁気ドラム装置 768kw

昭和 42 年 4 月に導入。新たに XY プロッター 2 台が導入された。

ウ．第三世代

機種名：HITAC8700/8800

理論性能：0.22 μ sec（加減算演算 1 回当たり時間）

ノード数：1

CPU 数（コア数）：1（1）

メモリ量：2MB

ストレージ：磁気ドラム装置 8.6MB、磁気ディスク装置 232MB、M/T（磁気テープ装置）10 台

昭和 48 年 8 月に導入。OS7 という OS によって制御されたメモリ共有マシンであった。新たに容量 232MB の磁気ディスク装置が導入された。

エ．第四世代

機種名：HITAC・M-200H（2 台）

理論性能：0.084 μ sec（加減算演算 1 回当たり時間）

ノード数：1

CPU 数（コア数）：1（1）

メモリ量：16MB

ストレージ：磁気ディスク装置 7,620MB、M/T（磁気テープ装置）6 台

昭和 57 年 3 月に同一の計算機 2 台が導入された。2 台あったこと、内部アレイプロセッサ(IAP)があったため実質的には前世代の 10 倍以上の能力を発揮した。OS は大型メインフレーム M シリーズ向けに開発された VOS3/SP21。この時に TSS 端末装置が 19 台導入され、ソフトウェアの開発能率も大幅に向上した。

オ．第五世代

機種名：HITAC・M680H

理論性能：30MIPS（1 秒当たりの命令実行回数）

ノード数：1

CPU 数（コア数）：1（1）

メモリ量：32MB

本体定格電力：36kVA

機種名：HITAC・S810

理論性能：630MFLOPS（1 秒当たりの浮動小数演算回数）
ノード数：1
CPU 数（コア数）：1（1）
メモリ量：64MB、512MB（ES（拡張メモリ。低速のメモリであるが超高速の磁気ディスクとして使用可能））
本体定格電力：120kVA
ストレージ：磁気ディスク装置 35GB、光ディスク装置 40GB、M/T（磁気テープ装置）8 台

昭和 62 年 9 月に汎用計算機 HITAC・M680H、12 月に初めてのスーパーコンピュータ S-810/20K が導入された。このスーパーコンピュータは、日立製作所開発のカスタム LSI を 41 個配置したロジックボードでベクトルプロセッサを構成したベクトル型スーパーコンピュータであった。OS は VOS3/ES1。

また、昭和 63 年 2 月に、新しい ADESS と合わせて気象資料総合処理システム（COSMETS）として正式に発足した。

カ．第六世代

機種名：HITAC S-3800/480
理論性能：32GFLOPS（1 秒当たりの浮動小数演算回数）
ノード数：1
CPU 数（コア数）：4（4）
メモリ量：2GB、12GB（ES）
本体定格電力：424kVA
ストレージ：磁気ディスク装置 205GB、サーバ共有ディスク 79GB、CMT（Cassette Magnetic Tape）ライブラリ装置 2TB

平成 8 年 3 月に導入。前世代の性能アップした上位互換のベクトル型スーパーコンピュータで、最大構成の 4 台マルチプロセッサ構成として導入された。OS は VOS3/AS。

この世代から清瀬庁舎（第二庁舎）に整備することとなり、あわせて数値予報課も大手町庁舎と清瀬庁舎の 2 か所でそれぞれシステム監視と数値予報品質監視を行うこととなった。

キ．第七世代

機種名：HITACHI SR8000E1
理論性能：768GFLOPS（1 秒当たりの浮動小数演算回数）
ノード数：80
CPU 数（コア数）：640（640）
メモリ量：640GB
本体定格電力：324kVA
ストレージ：高速ストレージ 4.8TB、サーバ共有ディスク 743GB、CMT（Cassette Magnetic Tape）ライブラリ装置 80TB、DVD ライブラリ装置 5.6TB

平成 13 年 3 月に導入。日立製作所開発の PowerPC ベースの RISC プロセッサを用いた並列コンピュータであった。ベクトル機からスカラー機への変更に伴い、数値予報モデルの

MPI 並列化対応を行った。また、本世代で初めてスパコンの OS に UNIX 系 OS が採用されることとなった（HP-UX/MPP）。OS の機能が充実したことによる利便性が増した一方、処理の実装に自由度が生まれたことによるルーチン構築、運用に対しての問題が発生した。また、平成 15 年 3 月に豪雨災害対策高度化のためにサーバ（TRaPS）を増強し、それまで 1 時間ごとに計算していた降水短時間予報を 30 分ごとに計算することとなった。

また、本庁の課室単位に整備した PC 端末に Linux を導入し、その後の Linux サーバ利用への先鞭をつけることとなった。数値予報の重要度の高まりから、夜間休日の障害対応が可能なようリモートメンテナンス装置を導入した。

ク．第八世代

機種名：HITACHI SR11000J1（サブシステム 1（サブ 1））

理論性能：6.08TFLOPS（1 秒当たりの浮動小数演算回数）

ノード数：50

CPU 数（コア数）：800（1,600）

メモリ量：3.1TB

本体定格電力：235kVA

ストレージ：高速ストレージ 6TB

機種名：HITACHI SR11000K1（サブシステム 2（サブ 2）、サブシステム 3（サブ 3））

理論性能：21.5TFLOPS（1 秒当たりの浮動小数演算回数）

ノード数：80×2

CPU 数（コア数）：1,280（2,560）×2

メモリ量：5TB×2

本体定格電力：909kVA

ストレージ：高速ストレージ 6.8TB×2、高速共有ディスク 15.6TB、ネットワーク共有ディスク 31TB、CMT（Cassette Magnetic Tape）ライブラリ装置 2PB、フロントディスク 36TB

平成 17 年 3 月に HITACHI SR-11000 J1（サブ 1）が、平成 18 年 3 月に HITACHI SR-11000 K1 が 2 台（サブ 2 及び 3）導入された。SR11000 は、IBM 開発の POWER5（サブ 1）及び POWER5+（サブ 2 及び 3）プロセッサを搭載した並列コンピュータで、サブ 1 が衛星データ高度処理システムとして先行導入され、翌年に数値予報業務処理用にサブ 2 及び 3 が導入された。この世代から、正式名称をスーパーコンピュータシステムと呼称することとなった。スパコン OS は IBM 製の AIX、業務処理サーバの OS は Linux が採用された。UNIX 系 OS による自由度の高い記述法に関するルーチン構築の困難については、数値予報ルーチン使用する文法の限定化や、限定することによって実行モジュール＝定数＝可変データの依存関係を整理し、データベースに登録する仕組み（RENS: Routine Environment for Numerical weather prediction System）を構築し、活用することで克服した。

可用性を確保するため、初めて複数のスーパーコンピュータを冗長構成で導入し、ルーチン稼動系（通常はサブ 1 又はサブ 3）が障害やメンテナンスのため全系止める必要が生じた場合は、待機系（サブ 2）で業務を継続できる方式を採用した。ただし、高速ストレージを他方の

系のスパコンにマウントし直す方式であったため、多数の高速ストレージを接続するスーパーコンピュータの系の切替えは数時間を要する大掛かりな作業であった。

また、この世代からオープンIO室が無くなり、利用者は事務室の自席に端末を用意しての利用となった。

気象庁業務の多様化により、スパコンで出力するデータを用いて可視化するような小規模なデータ処理のニーズが大きくなり、各課業務処理サーバ（PCサーバ）を課室単位で整備した。

分散したスパコンや各課業務処理での運用や開発を効率的に実施するため、階層型ストレージの大容量保存装置を導入した。フロントディスクやサブ2へのデータ転送用ストレージのファイルシステムとしてCXFSを採用したが「書き込んだデータがビット欠けする」等の問題が発生し、ルーチンデータの保存の際には都度チェックを走らせざるを得ない等、運用で苦労をした。加えて、バックエンドのテープライブラリ装置についても、多数回のI/Oによりテープ切断が発生する等のトラブルも発生した。

ケ．第九世代

機種名：HITACHI SR16000M1（2式）

理論性能：847TFLOPS（1秒当たりの浮動小数演算回数）※主副合計

ノード数：864 ※主副合計

CPU数（コア数）：3,456（27,648）※主副合計

メモリ量：108TB ※主副合計

本体定格電力：1,956kVA

ストレージ：高速ストレージ348.9TB ※主副合計、共用ストレージ754TB、データバンクストレージ2.9PB、バックアップストレージ1.5PB

平成23年3月11日に発生した東日本大震災の影響で整備が遅れつつも、平成24年6月に導入された。前世代に引き続き、IBM開発のPOWER系プロセッサ（POWER7）を搭載した並列コンピュータ（OSはIBM整のAIX）となった。このころから、世の中のCPUはRISC系[*1]からCISC系[*2]へとシフトしつつあり、第九世代スパコンの検討にあたってはx86系をベースとしたPCクラスタも候補として検討を進めた。

（＊1）RISC系：縮小命令セットコンピュータ。単純な命令を高速に処理できる。

（＊2）CISC系：複雑命令セットコンピュータ。複雑で高度な命令をこなせるが実行速度は比較的遅くなる。

この世代から、スーパーコンピュータシステムを設置するために新営した、水冷設備や縦横免震機構を備えた清瀬第三庁舎に整備することとなった。

主副の2式冗長構成とし、前世代と同様一方の系が利用できない場合でも他方の系で業務を継続できる方式を採用。本世代の冗長方式は、高速ストレージを付け替える方式ではなく、数値予報ルーチン側でデータを主副で同期させ、ジョブの投入先を切り替える方式に変更したことにより、系切替は数秒で実現できるようになり、より可用性が高まった。可用性が十分確保できたことから、この世代からスパコンの24時間運用が可能となった。

各課業務処理サーバについては、「課室ごと」の構成から「（全員で使う）クラスタ」構成に変更した。

大容量保存装置については、前回の反省を踏まえ全て磁気ディスク構成とした。

コ．第十世代

機種名：HPE（調達当時 Cray）XC50（2 式）

理論性能：18.16PFLOPS（1 秒当たりの浮動小数演算回数）※主副合計

ノード数：5,632 ※主副合計

CPU 数（コア数）：11,264（270,336）※主副合計

メモリ量：528TiB ※主副合計

本体定格電力：4,076kVA

ストレージ：高速ストレージ 9.6PB ※主副合計、共用ストレージ 6.06PB、大容量ストレージ 9.12PB、長期保存ストレージ（磁気テープライブラリ装置）80PB、フロントディスク 16.02PB

平成 30 年 6 月に導入。これまでの日立製作所製のスパコンから HPE 社（当時 Cray Japan Inc.）に切り替わった。CPU は Intel 社製の Xeon プロセッサが採用されており、長年使ってきた RISC 系から初めて CISC 系となるとともに、スパコン OS も Linux 系（CLE、SUSE）になり、他の業務処理サーバ系も全て Linux 系に統一された。CPU の変更に伴い、数値予報ルーチンをはじめとした気象庁作成のプログラムにおいて、バイトオーダー[*3] を Big Endian から Little Endian に変更することが課題となり、数値予報課を中心に一大プロジェクトを立ち上げ変更作業を実施した。

（*3）バイトオーダー：コンピュータ（メインメモリ）上で取り扱うデータの並び順のルールであり、Big Endian は上位バイトから下位バイトへの順で書き込み、読み出しを行う。Little Endian はその逆の順でのデータ取り扱いとなることから、プログラム全体の見直しが必要となった。

大容量保存装置について、ニーズ（保存容量）増大に伴い、再び「フロントディスク」+「テープライブラリ」構成とし、スパコン本体よりも耐用年数の長いテープライブラリの特徴を活かし、次世代のスパコンでも利用できるよう整備した。NAPS8 の反省を踏まえ、「フロントディスクの大容量化」及び「テープライブラリの運用設計の見直し」を行うことで、NAPS8 時代ほどのトラブルはなく運用をすることができた。スーパーコンピュータは引き続き主副の 2 式冗長構成で可用性を担保するとともに、本世代から大阪にも数値予報業務及び衛星データ処理業務の業務継続のための機器を整備することとなった。業務継続と言っても、大阪に整備した機器の規模は清瀬に比べるべくもなく、数値予報 BCP は、米国国立環境予測センター（NCEP）から GPV データをダウンロードし最低限のプロダクトを作成するもので、衛星データ業務処理 BCP は、清瀬とは異なり、最低限の画像作成を行うものであった。

スーパーコンピュータ上で数値予報ルーチンのジョブを確実かつ効率的に実行させるための制御ツールとして、長い間日立製作所作成のジョブスケジューラ「JNOS（JMA Nwp Operating System）」が運用されてきた。数値予報ルーチンが巨大化・複雑化するにつれ、制御が重要になる一方、更新の都度の移植で苦労を伴い、JNOS が整備スケジュールのボトルネックとなることもあった。このため、第八世代の頃から数値予報課プログラム班による内製ジョブスケジューラ「ROSE（Routine Operation and Scheduling Environment）」の開発を開始し、本世代からは数値予報ルーチン及び各課ルーチン用のジョブスケジューラとして利用を開始した。

令和元年頃に発生した COVID-19 の拡大を受け、令和 2 年度に、テレワーク時に自宅からスーパーコンピュータシステムにアクセスできるリモートアクセス環境を構築し、出勤できなくても開発計画に支障をきたさず開発業務を継続することが出来るようになった。

地方官署の研究開発の目的として、平成 30 年 6 月から業務処理サーバの地方利用を、令和元年 6 月からはスパコン副系の利用を開始した。

令和 4 年度から、前年度の気象庁グループウェアシステム更新で利用が開始された Microsoft Teams を活用して利用者向けのシステム窓口環境を構築し、ユーザ管理やユーザ間の互助の効率化を図った。

令和 4 年度には、線状降水帯予測精度向上の加速化に向け、館林市に線状降水帯予測スーパーコンピュータ（NAPS11s）を構築した（詳細は後述）。第十一世代スーパーコンピュータシステム（NAPS11）の整備にあたり、その電力確保のため、令和 5 年 9 月に第十世代スパコンの副系を停止して主系単独での運用とした。このため NAPS11 の運用開始までの主系障害時に備えて、NAPS11s 上にバックアップルーチンを構築した。

サ．線状降水帯予測スーパーコンピュータ

機種名：FUJITSU PRIMEHPC FX1000（2 式）

理論性能：31.1PFLOPS（1 秒当たりの浮動小数演算回数）※主副合計

ノード数：9,216 ※主副合計

CPU 数（コア数）：9,216（442,368）※主副合計

メモリ量：288TiB ※主副合計

本体定格電力：2,809kVA

ストレージ：高速ストレージ 43.5PB ※主副合計、共用ストレージ 24TB

令和 3 年度の補正予算が認められ、線状降水帯予測の高精度化を加速させることを目的に、NAPS11 に先行して、令和 5 年 3 月に線状降水帯予測スーパーコンピュータを群馬県館林市の富士通のデータセンターに導入した。性能評価にあたっては、線状降水帯予測に向く局地モデルと、スーパーコンピュータのベンチマークとして世界的に利用されている LINPACK を中心としたベンチマークを課した結果、当時世界最高の性能を有していた理化学研究所のスーパーコンピュータ「富岳」（令和 2 年 6 月から令和 3 年 11 月まで世界的なスーパーコンピュータの性能ランキング「TOP500」において 1 位）の商用機「FX1000」を提案した富士通が落札、導入された。

シ．第十一世代

機種名：FUJITSU PRIMERGY CX2550（2 式）

理論性能：6.756PFLOPS（1 秒当たりの浮動小数演算回数）※主副合計

ノード数：992 ※主副合計

CPU 数（コア数）：1,984（111,104）※主副合計

メモリ量：124TiB ※主副合計

本体定格電力：1,346.9kVA ※清瀬第三庁舎合計

ストレージ：高速ストレージ 27.2PB ※主副合計、共用ストレージ 9.5PB、大容量ストレージ 19PB、長期保存ストレージ 80PB、フロントディスク 8PB

第十一世代スパコンは令和 6 年 3 月に運用を開始した。当初、業務の可用性向上や、主要数値予報モデルの規模の頭打ち（超大規模な決定論予報の実施より、相応規模のアンサンブル実行への志向）により、「同一の計算機を 4 式」導入を目指したものの、折からの COVID-19 の世界的拡大やウクライナ問題等による部材や原料、人件費の高騰や、流通網の混乱、更には不利な為替変動等により初度調達は不落となり、4 式構成から従前の主副 2 式構成を継続するなど要件を見直した結果、当初計画から遅れること 5 か月、令和 4 年 10 月末に契約することが出来た。本世代から、外部データセンターに高性能 AI 用計算機（GPU 搭載サーバ）を整備するとともに、交通政策審議会気象分科会の令和 2 年 12 月提言「気象業務における産学官連携の推進」を踏まえ、大容量化が進む気象情報・データを社会に流通させ利活用の促進を図るため、クラウド技術を活用した新たな気象情報・データの共有環境（気象庁クラウド環境）も構築した。また、別途気象研究所に整備、運用されていた気象研スパコンを統合した。

リモートアクセス環境をスーパーコンピュータシステムの整備にあわせて正式に導入した。これにより、地方利用者も含めてスパコンシステムユーザがリモート環境からアクセスできる体制が整った。

2．関連機器の整備と仕様概要

スーパーコンピュータシステムの整備に関連して、スーパーコンピュータシステムとは別に数値予報ルーチンの精度向上への貢献､必要なデータの蓄積を目的とする装置を導入してきた。

（1）並列同化実験装置

平成 11 年 3 月利用開始。日立 SR2201（8 ノード）を本庁 3 階に設置した。

NAPS7 移行に向けて、数値予報モデルの UNIX 化、MPI 並列化対応作業に利用した。

（2）防災情報モデル開発システム（本庁ミニスーパー）

平成 13 年 7 月利用開始。日立 SR8000（8 ノード）を本庁 3 階に設置した。本庁のメソモデル開発及び地方官署の NHM を使用した研究に利用した。

（3）気象データ処理ソフトウェア開発支援装置（清瀬ミニスーパー）

平成 15 年 10 月利用開始。日立 SR8000（8 ノード）を清瀬第二庁舎に設置した。セミラグランジュ全球モデルや全球 4 次元変分法の現業化に向けた開発作業に利用した。

（4）飛行場予報プロダクト開発支援装置（飛行場ミニスーパー）

平成 21 年 3 月利用開始。NEC SX-9F（3 ノード）を本庁 3 階に設置した。LFM 現業化に向けた開発作業に利用した。

（5）高分解能航空ガイダンス開発アーカイブ装置（航空アーカイブ）

平成 26 年 2 月利用開始。日立 HA8000/RS210-h（Xeon E5-2690×2）（8 台）と 1.2PB のストレージを清瀬第二庁舎に設置した。LFM が出力する膨大な予報データの蓄積と統計処理に利用した。

（6）首都圏空港及び周辺空域予報高度化開発用ストレージ

平成 28 年 3 月利用開始。富士通 RX2540M1（Xeon E5-2670v3×2）（24 台、うち 4 台は NVIDIA Tesla K40 を 1 台搭載）と 9.6PB のストレージを清瀬第二庁舎に設置した。空港気象ドップラーレーダー、静止気象衛星等の観測データや、数値予報モデルにおける計算手法の

高度化を進めるうえで必要な過去データや計算結果のデータの蓄積に利用した。

（7）下層ウィンドシアー予測情報作成装置

平成 30 年 12 月利用開始。DELL R940xa（Xeon Gold 6138×4、NVIDIA Tesla V100×4）（1 台）、R640（Xeon Gold 6138×2）（11 台）と 10.2PB のストレージを清瀬第二庁舎に設置した。高頻度・高解像度の観測データや数値予報データを蓄積、解析処理の実行に利用した。

（8）飛行場予報プロダクト開発支援装置

令和 3 年 3 月利用開始。DELL R640（Xeon Gold 6252×2）（16 台）、DELL R740xd（Xeon Gold 6252×2）（1 台）、DELL R740（Xeon Gold 6226×2、NVIDIA Tesla V100×1）（2 台）、DELL R640（Xeon Gold 6246×2）（2 台）、DELL R6525（AMD 7402×2）（16 台）、DELL C4140（Xeon Gold 6226×2、NVIDIA Tesla V100×4）（1 台）、DELL R740（Xeon Gold 6226×2、NVIDIA Tesla V100×1）（2 台）と 32.2PB のストレージを清瀬第一庁舎に設置した。大量の観測データと数値予報モデル結果の蓄積、機械学習や深層学習を用いたビッグデータ解析に利用した。

【第 4 節】気象庁情報システム基盤へのシステム集約

1．経緯

気象庁では、情報作成や提供などに用いる業務システムを必要に応じて整備、運用してきた。その結果、増え続けた各業務システムの運用や管理が複雑化し、新たな業務処理の開発や近年の情報技術の進展に対応することが困難な状況となってきた。また、業務システムごとに類似したデータを配信し、記録・保存することはシステムリソースの無駄な消費につながる他、貴重な予算財源をも浪費する結果となり得る。

これらの課題を解決するために、これまで整備、運用してきた業務システムの形態を大きく見直し、全ての業務システムを集約することの検討が進められた。

平成 28 年度、29 年度の気象庁情報システム最適化等検討委員会及びその後の庁議において、原則として全ての業務システムを「気象庁情報システム基盤」（以下「情報システム基盤」という。）へ順次再編・統合する方針が示され、平成 31 年度から全庁的に対応が進められることとなった。

2．再編・統合の方針

情報システム基盤の整備を進める上で、再編・統合の方針を以下に示す。

・搭載業務システム「サーバ」を仮想化技術により「仮想マシン」として構成する。
・搭載業務システム単位で専用「物理サーバ」を割り当て、複数の仮想マシンを集約して搭載する。
・可用性を確保しつつ、ハードウェアを効率的に利用する構成とする（正副構成分のリソース確保と物理サーバ配置の適切な分散）。
・ストレージを性能の高い「共有データストレージ」、性能はやや劣るが大容量の「統合ストレージ」に集約し、利用目的により適したストレージを選択する構成とする。
・庁外ネットワーク接続を集約する（観測ネットワークやデータ交換等の庁外接続及びリモー

トアクセス環境の集約)。
・これまでシステムごとに実施していたハードウェア整備、インフラ構築、業務構築を分離ハードウェア整備、インフラ構築部分について、情報システム基盤が一括して整備・提供を行う。

3．情報システム基盤の構成

情報システム基盤は、気象庁の保有する情報システムを効率化・合理化するための各種システムの基盤であり「仮想マシン稼働環境」、「統合ストレージ」、「庁外接続ネットワーク機器」により構成する。

情報システム基盤は整備時期ごとを集約単位とし、各々のシステム基盤内の業務システムは3段階のSLA（Service Level Agreement）によりグループ化され、将来的な業務システム追加や業務処理データ量の増加に伴い、柔軟に拡張できることを目標とした。

（1）仮想マシン稼働環境

仮想マシン稼働環境は「仮想化ソフトウェア」、「サーバハードウェア」、「サーバ間を接続するネットワーク機器」及び「システム基盤の運用管理に必要な機器」により構成される。搭載する仮想マシンの業務要件が求める可用性に応じて、シングル構成や冗長構成を選択できるようになっており、仮想マシンの切り替え時には最小限の業務停止時間で切り替えが行える機能を有する。

ア．仮想化ソフトウェア

仮想化ソフトウェアは、サーバハードウェアに直接搭載するハイパーバイザ型、及びサーバに搭載したOSが提供するホストOS型の方式に対応している。またこれらは単一の仮想化ソフトウェアの利用に限らず、業務面及び運用面並びにコスト面を考慮して、サーバ群単位で異なる仮想化ソフトウェアを組み合わせることができるものとした。

仮想化ソフトウェアは次のような要件を有するものとし、仮想マシン上に搭載するOSはWindows又はLinuxとした。

・仮想マシンは別の仮想マシンに影響を与えない。
・全体及び個々の仮想マシンでリソース管理ができる。
・仮想マシンをシステム基盤内の別サーバハードウェアへ移動し、業務を継続できる。
・仮想マシンをテンプレートなどで管理し、容易に複製が作成できる。
・仮想マシンのリソース（CPU、メモリなど）の割り当てが容易にできる。
・仮想マシン単位での制御（停止・起動など）ができる。

イ．サーバハードウェア

同一のCPUを採用する同一機種の複数台構成で、システム基盤に集約した仮想化業務システムが処理するのに充分な性能のCPUを想定する。また、内蔵ストレージには、仮想化ソフトウェアで実現する機能によって、より高速なIO性能が必須となるため、HDDの他SSDに対応し、拡張可能なものを要件とする。

ウ．サーバハードウェア間を接続するネットワーク機器

ネットワーク機器及び経路は耐障害性を高めるために冗長化できるものとし、これを実現す

るためにスタックと呼ばれる複数のネットワーク機器を 1 つの機器として取り扱う仕組みを持つものを採用した。また、スタックを行う事で見た目上の機器の台数が減る事から、運用負荷の軽減にもつながる効果がある。

エ．情報システム基盤の運用管理に必要な機器

物理サーバ及びシステム基盤、仮想化ソフトウェアの統合的な運用管理に必要なソフトウェア及びシステム基盤の維持・管理に必要な端末については、以下の要件をもとに選定した。

・情報システム基盤及び仮想マシン群の単位で一元的に運用管理する。
・維持・管理に必要な端末は、管理用端末及び監視用端末を想定する。
・統合管理ソフトウェアを有し、WEB 画面等で仮想マシンの動作状況や監視データ等の表示ができる。

（2）統合ストレージ

即時的利用を終え利用頻度が低下したデータ及び非即時的利用を目的としたデータなどをストレージ領域に保存し、仮想マシン間でファイル共有することを想定する。また、ストレージのバックアップ機能を有し、低速であるが大容量の外部記憶装置へ保存を可能とする。

（3）庁外接続ネットワーク機器

庁内外のシステム等と接続するにあたりセキュリティを確保する必要があること、また障害時の迅速な対応のために以下の機能を備える。

・ファイアウォール

（4）仮想マシン共通ソフトウェア

データベース機能、Web/AP サーバ機能などのソフトウェアやアデスで制作した共通ソフトウェアを仮想マシンのテンプレートなどで提供する。また、ミドルウェア相当の共通ソフトウェアは、可能な限り OSS を利用し、選定にあたっては仮想マシンで十分な実績があり、運用期間中の保守経費等が安価なものを選定した。

4．情報システム基盤の全体構成と維持・管理

情報システム基盤は本庁（虎ノ門）、清瀬、大阪へ設置し、情報システム基盤全体、拠点単位、仮想マシン群単位で維持・管理する。

5．仮想マシン共通ソフトウェア

（1）仮想マシンのテンプレートにて提供するソフトウェア

仮想化ソフトウェアにより共通ソフトウェア（ミドルウェア相当含む）をあらかじめインストールなどを行った仮想マシンをテンプレートで提供する。

想定ソフトウェアにはデータベース、Web/AP サーバ、クラスタリングソフト等がある。

（2）システム基盤として搭載するソフトウェア

システム基盤として仮想マシン化などして共通ソフトウェアを提供する。

想定ソフトウェアにはセキュリティ対策ソフト（サーバ機能）、認証サーバ機能、DNS サーバ機能、NTP サーバ機能などがある。

（3）その他、アデスで制作する共通ソフトウェア

アデス整備時に制作したミドルウェアなどをコンポーネントとして提供する。

想定ソフトウェアにはJMA ソケット通信機能、気象庁 FTP 通信機能などがある。

6．統合監視

システム基盤、各拠点、仮想マシン群の単位で統合的にシステム基盤及び業務システムの維持・管理を行う機能を提供する。

また、整備年度が異なるシステム基盤も統合的に監視できるものとした。

7．運用管理基本方針に従った対応

情報システム基盤運用管理方針に従い、情報システム基盤の整備や運用管理についてはシステム基盤管理組織である情報通信基盤課が担当、情報システム基盤の運用監視業務はシステム基盤運用実施者であるシステム運用室が東局を担当、西局は大阪通信課が担当、搭載業務システムの整備及び運用管理は搭載業務システム管理組織としてそれぞれ担当課室が担当する。なお、情報システム基盤（第Ⅱ期）の本庁 EPOS については、虎ノ門庁舎に設置・運用していることから、その運用監視業務は地震火山部が担当する。

令和 7 年 3 月までに集約した業務システムは、表 4-2-4-1 のとおりである。

表 4-2-4-1　集約した主な業務システム一覧

第Ⅰ期	気象情報伝送処理システム（アデス）、潮位データ総合処理装置、海洋情報処理装置、 航空気象情報提供システム（MetAir）、アメダスデータ等統合処理システム（AMeDAS）、 雷監視システム（LIDEN）、火山灰情報提供システム（VAFS）
第Ⅱ期	地震活動等総合監視システム（EPOS）、予報作業支援システム（YSS）、 空港気象ドップラーレーダー観測処理装置（ADRAS）
第Ⅲ期	河川洪水予報データ交換システム、土砂災害警戒情報作成システム、 気象レーダー観測処理システム（突風部、レーダー部）、火山監視情報システム（VOIS）
第Ⅳ期	高層気象観測データ処理システム、気象資料提供システム、気候変動情報処理システム

【第 5 節】通信ネットワーク

1．国内基盤通信網

国内基盤通信網は、気象情報伝送処理システムの整備（平成 17 年度に東アデス、平成 19 年度に西アデス）と合わせて、これまで各種業務で利用されていた通信網を統合し、再構築した当庁の情報通信基盤である。

現在は、令和元年度、令和 2 年度のアデス更新に合わせ整備された第三世代目の国内基盤通信網が運用されている。

本項では、国内基盤通信網の展開と運用に至るまでの経緯等について説明する。

（1）気象資料伝送網計画による通信回線の高度化

昭和 51 年度に入り、国内気象監視計画（National Weather Watch 計画）の構想に基づく気象資料伝送網計画の検討が始まっている。この検討の根底には相手に対していかに早く情報を届けるかという課題があり、テレタイプ通信のアップグレードが検討されている。当時のテレタイプ通信は 50bps（1 分間に 375 文字）であり、緊急を要する地震・津波電報の送受信においても時間を要していた。気象資料伝送網計画では、これを 200b/s（1 分間に 1,200 文字（非同期通信方式））のデータ通信に改めるほか、本庁～管区等の主要回線のアップグレード（50bps から 4,800bps)、ファクシミリのアナログ伝送からデジタル伝送、通信回線（4 線式）の上り・下り伝送による効率的活用、中枢システム単位での編集機能による効率的な集配信等も検討されている。この第 1 期目の気象資料伝送網計画では、昭和 55 年から昭和 61 年度にかけて C-ADESS 及び各管区 L-ADESS の整備が行われた。なお、この時代の通信網は C-ADESS ～管区 L-ADESS 中枢～官署端末を通信回線でそれぞれ接続したツリー型の構成であり、データ通信、ファクシミリ伝送（CDF）はそれぞれ別の通信回線を用いていた（地震波形データは CDF 回線の上りを利用)。

第 2 期目の気象資料伝送網計画（昭和 62 年から平成 6 年度整備）では、通信速度の更なる向上とこれに伴う通信回線のアップグレードが求められることとなった。しかし、これまでの目的別の通信回線を準備していては通信料がかさむことから、単一の通信回線による多重通信技術の伝送方法が取り入れられた。具体的にはデータ通信 2,400bps、ファクシミリ伝送 4,800bps、レーダー・SDUS 画像伝送 2,400bps、地震波形データ伝送 4,800bps（一般官署のみ）の各種通信について多重モデムを用い、1 本の通信回線「3.4kHz（S)」（NTT の通信サービス）により分割して伝送するものである。この通信回線「3.4kHz（S)」による伝送は、9,600bps まで保証されるが、地震波形の伝送のある一般官署ではこの保証を超えての運用となっていた。また、第 2 期の気象資料伝送網計画では地方予報中枢にも L-ADESS 中枢が設けられ、更に分散した集配信と回線多重化装置の設置による伝送の集約が図られた。

（2）津波地震早期検知網の展開による通信回線の集約

平成 5 年 7 月に発生した北海道南西沖地震では、極めて短時間で奥尻島を含む北海道沿岸に津波が来襲したことから、平成 5 年度補正予算（第 2 号）では「国民の生活を守る津波対策のための緊急情報基盤の整備」として、2 ～ 3 分程度で津波予報を発表できる津波地震早期検知網と緊急情報衛星同報システムの整備が認められ、その後整備が進められることとなった。この中の津波地震早期検知網の整備では、観測点から全国 6 か所の津波予報中枢にテレメータすることから、気象資料伝送網を含めた通信回線の見直しが行われた。具体的には NTT 拠点に観測点との通信を行う伝送機器（モデム）を設置し、それぞれ NTT 拠点と当庁のシステムを接続するものである。この NTT 拠点には官署との通信に用いる L-ADESS 用の伝送機器も設置して運用することにより、これまで L-ADESS 中枢と官署を個々で結んでいた通信回線を更に集約化することとした。

（3）新たな通信サービスの導入

平成 10 年度第 3 次補正予算では緊急防災情報ネットワークの整備が認められることとなった。この緊急防災情報ネットワークは、本庁と各地方気象台の防災情報提供装置をネットワー

クで結び、これまでの L-ADESS では成し得なかった汎用メールの配信や防災情報コンテンツの充実を図ることとした。この際に用いられた通信回線は FR（フレームリレー）回線であり、通信事業者のパケット交換機を通じて広域網を構築し、高速で低コストな通信サービスを提供するものであった。さらに FR 回線は都道府県との指定河川洪水予報に関わる接続や第 3 期の気象資料伝送網計画の西日本管内（大阪、福岡、沖縄）の L-ADESS による通信回線としても用いられた。

次に平成 15 年度に整備した予報作業支援システムについては、L-ADESS による対話型の予報作業とは異なるサーバ・クライアント方式による形態となり、電文等の伝送を主体として利用されている L-ADESS の通信網とは異なる本庁～各地方気象台等とのネットワークが必要となった。当時、広域イーサネットと呼ばれる通信サービスが普及しており、通信事業者における閉域網を利用し、柔軟性のあるネットワークの構築が可能であったことから、これを導入することとなった。この通信網は予報作業支援システムや航空共有環境にも用いられ、L-ADESS の通信網とは併用（共有）できない各種業務に先行して導入されることとなった。

（4）国内基盤通信網への整理・統合

ア．通信網の再構築に向けての検討と整備

東日本管内 L-ADESS との通信を含む津波地震早期検知網、緊急防災情報ネットワークや西日本管内 L-ADESS における FR 回線網、予報作業支援システムや航空共有環境、更には行政情報ネットワークにおける広域 LAN サービス等々、ここまで乱立したネットワークの整理・統合や混在した各種システムのネットワーク収容に関して、平成 15 年頃には通信網の再構築に向けて以下の検討が行われた。

・業務目的により個別の整備をしてきた回線の集約
・ピーク時のデータ増への柔軟な対処
・ネットワークの耐障害性及び運用効率の向上
・汎用技術（TCP/IP）の導入
・異なる通信事業者が提供するネットワークサービスの並行利用

これらの条件が達成可能との結論を得て、全庁的な同意を庁議に諮り、国内基盤通信網として整備が進められることになる。整備にあたっては、国内基盤通信網検討プロジェクトチームによる所要の検討が進められ、平成 17 年度の東アデス整備に合わせて通信網を構築し運用開始に至った。

新しい通信網によって、その後も安定的なネットワーク運用を行っていたところ、平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震発生時においては、東北・関東地方を中心に通信回線の障害が多発し、アメダスや検潮データ等の多くが欠測した。この通信障害の原因は、個々の通信回線の断線の他、主要拠点間を結ぶ幹線ルートの回線障害、更には燃料枯渇によるデータセンターの停電によるものもあったが、国内基盤通信網は「異なるネットワークサービスの並行利用」という前述のコンセプトに基づき、A、B 網を別々の通信事業者のネットワークサービスにより構築したことから、津波被害を直接受けた仙台航空や一部の官署を除き通信が確保され、災害にも強い堅牢な情報通信基盤であることを実証した。

令和 2 年度の更新においては、セキュリティ面の強化（業務系/行政系ネットワークの分離）

や大容量データの取り扱いを実現するため、A、B 網の帯域を見直すとともに、新たなベストエフォートの回線である C 網を追加した。また、これまでデータセンターを拠点とした構成やルーティングプロトコルの見直し（EIGRP から BGP-4 へ）を行うとともに、気象官署等に設置するネットワーク機器については、これまでの L3SW からルータに変更を行った。

イ．基本機能

国内基盤通信網における基本的な機能を以下に示す。

・常時 2 経路の利用

コストパフォーマンスの向上のため、従来の通常系、バックアップ系ではなく、常時 2 経路を利用したネットワークシステムとする。

・障害時における経路切り替え時間の短縮

キャリア網及びネットワーク機器の障害時における、回線切り替え時間を従前（L-ADESS 時代）の 1 分から 30 秒以内に短縮させる。

・システム構成の柔軟性の確保

様々なシステム構成に対応可能とし、また、IP 電話を利用可能にするために、フルメッシュ型のネットワーク構成を持つこととする。

・帯域制御

アクセス回線の速度差によるパケットロスを防止するため、また、業務ごとの優先度に則した優先度処理を可能とするため、帯域制御が可能な構成とする。

ウ．運用

国内基盤通信網は、異なる通信事業者による三つの通信回線 A 網、B 網、C 網により運用される。

A・B 網は警報事項の伝達等、当庁基幹業務に利用している重要回線である。不適切な通信により利用帯域を占有（圧迫）した場合、警報事項の伝達に遅延等が発生し、適切な防災措置がとられなくなるなど当庁業務の信頼性を著しく損ねることとなる。このため定常業務に影響を与えるような利用（不要な通信、過度な負荷となる通信）を行わないように運用上の周知を行っている。国内基盤通信網（A・B 網）では、業務ごとにきめ細かな制御までは実施せず、より重要な業務の通信を優先させる設計としていることから、各利用者やシステムにも配慮することとしている。

一方、事務系通信（行政情報ネットワークやインターネット利用等）は令和 2 年度整備により新たに国内基盤通信網（C 網）を利用している。C 網はベストエフォート型の通信回線を用いており A・B 網と比べ回線品質は低いが、より広帯域の利用が可能となる。ただし、ここでの通信は帯域制御を行っていないため、長時間・大容量の通信にて占有することは避け、他の利用者もいることに配慮しつつ適切な運用を行うよう周知している。

エ．業務見直し

国内基盤通信網の展開は、これまでの通信網の整理・統合を図ったほか、各官署の業務見直しにも貢献した。その一つとして気象庁行政情報ネットワークの接続官署が測候所等まで拡張されたことにより、各官署では気象法規データベースの利用や気象証明に関わる電子申請が利用可能となり、平成 17 年度には関係訓令の改廃も行われることとなった。

（5）今後の取組

令和３年 12 月に閣議決定された「デジタル社会の実現に向けた重点計画」においては、府省など行政機関の業務用 PC やネットワーク環境などの業務実施環境を、政府共通の標準的な環境としてデジタル庁が提供するサービス「ガバメントソリューションサービス（GSS）」への移行が計画されており、気象庁行政情報ネットワークもこれに移行することで対応が進められている。

国内基盤通信網の展開までには様々な経緯があったが、今後もより効率的な通信網やネットワークの導入と運用に向けて、市場調査や技術的な検討等について積極的に取り組んでいく。

２．汎用サービス等の導入

（1）専用電話

電話や通話と言われるものは、音声を電気的信号に変え、離れた場所に伝達し、これをふたたび音声に戻して相互に通話できるようにした基本的な通信手段であるが、その方法にはアナログ回線やデジタル回線を用いた固定電話回線から最近では 050 で始まる IP 電話回線等に分類され、その中には利用者間に限った通話に限定するため専用電話として用いる場合もある。本目では当庁がこれまで運用してきた専用電話について紹介する。

ア．予報中枢間専用電話の整備

台風等の異常気象時を含む予報、警報についての連絡指示を予報中枢間で緊密に行うため、昭和 37 年度から電話回線の合理化として整備が開始され、翌年の本庁～大阪・福岡の専用電話の運用が始まった。昭和 40 年３月には本庁、札幌、仙台、大阪、福岡を専用回線で結び、各管区等に設置されている電話交換機を介した電話機による呼び出しや通話の運用も始まった。

公衆電話の利用と異なり通話料が無料（toll-free）であることから、「市外トール」や「トール電話」、又は、電話機の色がさんご色に統一されていることから「あか電話」の愛称としても親しまれ、その後も地方予報中枢、海洋気象台、航空官署等への展開や専用回線の増設、見直し等も行われ、気象庁独自の専用電話として運用されていった。

イ．行政電話網への移行

行政事務の効率化、行政サービスの向上等の観点から電話・ファクシミリ・データ通信等による通信回線の利用も増大した。また、行政の複雑化・多様化等に伴って、行政機関相互間における情報交換の必要性がますます高まってきたこともあり、通信回線の効率的利用、通信経費の節減、情報処理の迅速化等を図る観点から、行政機関が共同利用する専用の通信網として昭和 54 年から行政電話網の整備が当時の総務庁主管によりスタートし、さらに昭和 60 年からは行政データ伝送網の整備が進められている。

行政電話網は電話及びファクシミリ用のネットワークとして経済効果が大きく、その必要性の高い地区（県庁所在都市）から順次設置・拡大が図られていった。

当庁ではこれまで独自に運用してきた予報中枢間専用電話から行政電話網への移行を平成３年に行った。

ウ．IP 電話への移行

平成 12 年頃には、FR 回線を代表とする距離に依存しない通信サービスの展開や広帯域の LAN サービスが比較的安価に借りられるようになったこともあり、これまで総務庁が運用してきた行政電話網も整理（廃止）の計画が浮上した。これを契機に行政電話網から再び当庁独自のネットワークを用いた専用電話の構築が行われることとなる。具体的には IP-VPN サービスにより運用している行政情報ネットワーク内に VoIP ゲートウェイや SIP サーバ等の関連機器を整備し、これを各官署の電話交換機と接続して全国的な IP 電話網を構築するに至った。平成 22 年度には機器等の老朽化により関連機器の更新及び国内基盤通信網との接続に変更された。

平成 30 年度～平成 31 年度には機器の老朽化に伴い、清瀬と大阪管区気象台に SIP サーバを構築すると共に VoIP ゲートウェイ等の関連機器の更新整備を行っている。

（2）緊急連絡用衛星電話

現在、非常災害時等において地上回線が途絶した場合の通信手段として、全国の気象官署に緊急連絡用衛星電話が設置・運用されている。

これまで当庁では、超短波無線電話（VHF）や短波無線電信・電話（A1A、SSB）等による無線通信が活用され、特に VHF 通信網については、平成 7 年の兵庫県南部地震において地上回線が途絶、輻輳する中で本庁との連絡手段として活躍した。また、非常災害時の通信確保以外にも本庁等による一斉呼出や官署間の音声通話、更にはレーダー合成画像や FAX 画像のデータ伝送にも広く利用された。

VHF 通信網については、狭帯域化や 2 周波セルコールの導入、複信化等、その後も改良・更新を進める反面、無線設備の老朽化、無線局の運用・維持管理に要する無線従事者の確保、無線設備・無線中継所の維持管理等、数々の問題を抱えていたことも事実である。また、様々なデータや情報の集配信等のニーズも高まりつつある中で、自ずと限界が見え始めてきたのも事実である。さらに平成 10 年度には緊急防災情報ネットワークによる地上系・衛星系の通信回線や伝達手段の充実等もあったことから、VHF 通信網については地上回線途絶時の非常通信手段に限定した連絡手段として、通信事業者から提供される衛星通信サービスに平成 11 年度に移行し、VHF 通信網は整理（廃止）されることとなった。

大規模な災害においては、専用回線や公衆回線網等の様々な通信サービスの途絶や輻輳が想定され、平成 23 年の東北地方太平洋沖地震には緊急連絡用衛星電話が活躍したことは記憶に新しい。

緊急連絡用衛星電話は、今後も本庁及び全国官署における重要な通信手段でもあり、最良の通信手段として運用していくためには、日頃からの操作習熟や訓練に努めることが必要である。また、現状の通信サービスに満足することなく、最新の技術動向の把握に努め、より良い通信サービスの導入に向けて今後も取り組んでいく必要もある。

（3）部外接続

部外接続については、その業務背景に基づき、接続方法、回線、通信手順、障害対応等、様々な観点から検討し、適切な対応を行う必要がある。

ここで主としてアデスで取り扱ってきた部外接続に関して簡単に紹介する。

ア．部外分岐接続

昭和 56 年 3 月にスタートした気象資料伝送網では、その設備の余力の範囲内において部外の気象資料利用機関に対して部外分岐を行っている。その方法については、通信制御装置から単向通信としてデータ出力される情報を提供するものであり、複数の相手がある場合、分岐装置を介すことにより複数の相手へデータ出力（分岐）することが可能であった。しかし、この部外分岐では相手から肯定応答（ACK）をもらうものではないことから、確実に相手に届いたことが保証されない。また、アデスの構成によっては保守作業時には分岐できないという問題もあった。

このため、端末システムの分岐接続から中枢システムの分岐接続に、通信手順を用いた対向通信による接続に改められ、東西アデス（平成 17 年に東アデス、平成 20 年に西アデス）からは全て中枢システムによる分岐・接続となった。

イ．都道府県接続

平成 5 年の北海道南西沖地震を契機に、気象庁は平成 5 年度第 2 次補正予算により津波地震早期検知網及び緊急情報衛星同報システムを整備し、迅速・確実な津波予報の発表・伝達を実現した。また、平成 12 年 3 月には都道府県が保有する雨量観測データを中心に防災気象情報への活用を進めることとしている。

このような業務背景の後押しにより、当庁からは防災情報を、都道府県からは震度データや雨量水位データ等のデータ交換が全国的に進められていくことになる。

平成 23 年 5 月には、気象庁防災情報 XML 電文の普及にも関連し、アデスによるオンライン配信による伝達が開始された。具体的には気象庁防災情報 XML 電文の利用と所定の通信手順（気象庁ソケット又は気象庁 SOAP 手順）を都道府県で実装してもらうことにより、当庁からの警報事項等の通知と見なすこととした。

このような各種取組もあり、現在では全ての都道府県との接続を完了している。

（4）回線統合

平成 17 年度からの都道府県との指定河川洪水予報業務の開始、平成 14 年度からの土砂災害警戒情報の都道府県との共同発表、さらに平成 23 年度からのアデスのオンライン配信による警報事項等の伝達、これらの業務に関連し都道府県との接続が行われることとなるが、それぞれの業務に専用回線を準備し接続を行うことは当庁及び都道府県相互に負担となる。このため通信回線については、気象台を当庁接続のアクセスポイントとした回線接続及び整理統合も合わせて接続の際には調整することとした。この場合の通信回線の選定においては、県保有の自営回線も許容することとし、これまでは受益者負担として都道府県側で通信回線を負担することを前提としていたが、洪水や土砂の共同発表業務が伴う場合には、当庁側も回線経費を負担することとなった。

（5）行政情報ネットワーク

昭和 50 年代後半から平成初頭にかけて、これまで電卓や複写機などの事務処理専用機器に代わって、ワープロ、パソコンなどの登場により、OA 化（Office Automation：事務的作業の自動化）が進みつつあった。しかし、当時は文書作成のために共用ワープロ使用の順番待ちがあったり、私物のパソコンを持ち込んで作業する場面なども見られ、まだまだ OA 化の環

境整備が進んでいるとは言い難い状況にあった。

平成 6 年度に閣議決定された「行政情報化推進基本計画」を受け、気象庁においても「気象庁行政情報化推進計画」が平成 8 年度に策定され、本庁に事務情報処理システム（庁内 LAN）が整備されることとなった。この庁内 LAN は、本庁内のインターネット接続を行う情報交換装置と前年度に整備された管区 LAN（気象データの閲覧を目的に L-ADESS 端末とも接続）を取り込む形で整備され、各管区とは公衆デジタル回線（ISDN）によりダイアルアップ接続し、現在の行政情報ネットワークの前身を築くこととなった。また、電子メール、電子掲示板及びスケジュール管理機能等を統合したグループウェア（Groupmax）も初めて導入し業務の効率化を図った。平成 13 年度にはグループウェアを LotusNotes に更新し行政情報ネットワークの運用も本格的に始まった。

一方で、平成 28 年頃から国が推進している「働き方改革」への取組として、気象庁においてもフレックスタイム制勤務や試行的テレワークの導入を進め、職員が多様なワークスタイルで業務を実施できるよう進められてきた。しかしながら、行政事務の中心となる文書管理・決裁、会計・人事事務などを行う各種システムは庁内ネットワークからしか利用できないという制約があり、これら情報システムにより業務を実施する必要がある職員については、限られた人数ではあるが、リモートアクセスサービス（自宅などの PC から専用のインターネット回線を通じて接続するサービス/MagicConnect）を利用し、テレワークを実現した。

令和 2 年 1 月頃から新型コロナウイルス感染症（COVID-19）が世界中で猛威を振るい、国の機関や多くの企業などでは、感染症拡大防止の観点から出勤の抑制が行われ、当庁においてもテレワークの拡充による業務の維持・継続が求められた。このためリモートアクセスサービスの利用可能数を追加するとともに、インターネット上のクラウドサービスとして提供されるグループウェア（Office365）を導入し、職員が自宅等からでも業務を実施できる環境を緊急的に構築した。

令和 4 年 3 月には、グループウェアの更新が行われ、LotusNotes から Office365 に完全に移行し、より高度なクラウドサービスを利用できるようライセンス形態の変更も行った。さらに、新しいグループウェアのテレビ会議など通信量の多い機能も遅延等無く利用するため、本庁及び各官署を適切に分散した経路でインターネット上のサービスに接続できるよう庁内ネットワークの強化（バイパス回線の新設）を図った。

これまで、行政情報等のシステムやネットワーク環境は、各省庁ごとに整備され、各省庁間との連携やリモートワーク時の利便性などの観点から課題が顕在化している。また、近年、サイバー攻撃等の高度化に伴いリモートワークに対する攻撃も増加しており、高度化する攻撃に対するセキュリティ対策についても喫緊の課題となっている。これらへの対応として、デジタル庁が各省庁に統一的な行政事務環境を提供する「ガバメントソリューションサービス（GSS）」の整備を進めており、当庁の行政情報ネットワークについても令和 7 年度末に移行する計画である。

【第６節】情報通信業務における近年の取組

１．ソフトウェア開発の内製化

ソフトウェア開発の「内製化」とは近年使われて来た言葉であり、それ以前は自主的にソフトウェア開発を行う要素が強かったのか、「自主開発」という言葉が多用されていた。

「内製化」とは外部に委託していた業務を自社内で行うことであり、近年では利用者ニーズにあわせて迅速かつ柔軟に対応できることから、広く一般的にソフトウェア開発を内製化する動きが加速している。

当庁におけるソフトウェア開発の内製化については、本庁内では数値予報プロダクトの作成や管理等によりそれ以前からも組織的に維持管理されているところであるが、本項では地方官署も含めたソフトウェア開発が本格化する昭和 63 年度以降（本庁・東京 L-ADESS 運用開始後）からの主な事例について紹介する。

（１）L-ADESS 端末による自主開発ソフトウェア

ア．概要

昭和 63 年度から整備を開始した第二世代の本庁・東京 L-ADESS では、これまでの気象データの自動編集中継装置としてだけではなく、本庁・各管区に設置する L-ADESS 中枢と各地方気象台等に設置する L-ADESS 端末を分散配置し、データ処理も可能なシステムとして整備された。この L-ADESS 端末では、データ処理機能を強化したワークステーションを採用し、プログラム作成環境が搭載されたことにより、各地方気象台においても各種気象データを、文字としてではなく図形式情報として取り扱うこと等ができるようになった。

イ．開発環境

L-ADESS 端末として導入されたワークステーションの OS は、UNIX　SystemV シリーズをベースとした、日立製作所仕様の HI-UX/G であり、開発環境も日立製作所仕様の C 言語、FORTRAN、グラフィックライブラリ（GKS）が搭載された。取り扱う気象データは、かな漢字（A/N）データと格子点値（Grid Point Value）に代表されるバイナリデータに区別されるが、それらは、随時、L-ADESS 中枢から配信されており、通信制御部にて受信処理を行い、LAN を通じて、各処理部と呼ばれるワークステーションの業務管理プロセスに送られ、ファイル管理機能を通し、通称リアルタイムファイルと呼ばれるファイルに保存された。

各地方気象台等では、このリアルタイムファイルに対し準備されたライブラリを利用し、定められたアクセス方法によりデータ取得することで、安全かつ確実に気象データを利用することができるようになり、C 言語によりグラフィックライブラリ（GKS）及び複数のウィンドウの動作を管理するマルチウィンドウ機能を用いた自主開発ソフトウェアの作成が可能となった。

ウ．開発手続・管理

L-ADESS 端末におけるソフトウェアの開発やその運用については、指定された範囲内でのデータアクセスやリソースの割り当てを行い、既存の業務に影響を与えないように実施する必要がある。このため、開発の作法から登録・管理までのルールを定める必要があった。

L-ADESS の運用開始後であったが、福岡管内の第 2 世代 L-ADESS 運用が始まる平成 4 年

3 月にようやく「新 L-ADESS ソフトウェア管理指針」が策定され、開発手順、申請手続、搭載等の必要手続について厳正に行われることとなる。

以上、L-ADESS 端末による自主開発ソフトウェアは、これまで本庁や予報中枢に限られていたデータ利用やソフトウェア開発について、地方官署での取組を可能とし、各分野における新たなデータ利用の可能性を見出す契機になったと思われる。また、ソフトウェア開発に関わった職員のスキルやモチベーション向上、更には技術者の育成・輩出にも貢献したものと思われる。

（2）本庁・地方による共同開発体制の確立

ア．概要

第 3 世代の L-ADESS から第 1 世代の東西アデス（C-ADESS/L-ADESS 機能統合）への移行においては、東西二中枢への集約やサーバ・クライアント方式への変更もあり、Web アプリケーションへの移植、開発が必要となった。

この移植、開発にあたっては、この当時 Web アプリケーション用に広く普及しつつあった Java 言語を用いることとし、本庁・地方（管区）における共同開発体制を確立するとともに、研修、教育からのスタートであった。

イ．開発環境と移植作業

ソフトウェアの移植･開発にあたっては、行政情報ネットワークからアクセス可能な開発サーバを構築し、必要なデータを配置し、本庁・管区による開発環境を整えた。

ソフトウェア移植・開発の分担としては、全国共通ソフトウェアは本庁各部課室の開発担当が、自官署ソフトウェアは管区通信課を中心に対応することとし、この作業の前にソフトウェアの共通化や整理もあわせて行うこととした。

ウ．共同開発体制の確立

これまで全国共通ソフトウェアとして利用していたレーダー・アメダス・解析雨量データや数値予報ガイダンスの利用、表示のためのソフトウェアについては、本庁担当分として対応することが業務繁忙等により困難であったことから、業者発注の検討も行ったが予算、工期共に現実的な数字には収まらなかった。

このため、東西アデスの実況監視を行うソフトウェアの内製化として「統合ビューワ」として移植・開発ソフトウェアの対応を整理し、これを本庁・管区の通信課による共同開発体制として新たに確立し、進めることとした。また、この共同開発体制は、第 2 世代の東西アデス（防災情報提供システム機能）の市町村ページ開発にも活用されることとなった。

平成 29 年には管区通信課が廃止されたことにより、大阪管区気象台通信課を除く各管区（東京、沖縄を含む）との共同開発体制は解消され、ソフトウェア開発業務は本庁・大阪へ集約されることとなるが、ソフトウェア開発を通じた業務の改善、効率化が飛躍的に進んだ。

（3）その他の取組

ア．情報共有カレンダー（障害報告、現業日誌等含む）

気象通信取扱細則には、障害の発生した機器の状況や対処等を報告することが定められており、昭和までは官署から管区経由本庁へ紙面の報告物として扱われ、管理されていた。

この報告は、昭和 63 年度の本庁・東京 L-ADESS 更新後、L-ADESS 端末の自主開発ソフト

ウェアを用いたオンライン形式による報告に移行することとなる。当時のオンライン形式による報告は、L-ADESS 端末の GUI による報告様式に入力し、この内容が電文形式により管区や本庁の L-ADESS 端末に配信され、電文から障害報告を再び取り出し、表示等を行うというものであった。

平成 8 年度の本庁・東京 L-ADESS 更新以降は、官署（L-ADESS 端末）～本庁・管区（中枢システム）間で TCP/IP 通信の利用が可能となり、一般的なサーバ・クライアントによる Web アプリケーションによる報告に改められ、平成 11 年には行政情報ネットワークの端末からも報告や閲覧が可能となるように措置した。

平成 12 年からはシステム運用室、データネットワーク管理室、大阪通信課の各現業班にて利用する現業日誌についても同様に Web アプリケーションによる方式に順次改められることとなり、平成 20 年度の通信課長会議における情報通信部門の情報共有のあり方の検討では、本庁・管区・各官署における作業計画の報告やスケジュール等の機能も追加され、「情報共有カレンダー（つっぷす）」として一元化されていく。

令和 3 年にはコロナ禍による出勤制限の都合から、クラウドサービス上に情報共有カンレンダーの機能を構築し、テレワーク環境からでも利用可能としたことから、テレワークの推進や働き方改革にも大きく貢献することとなった。

令和 6 年度からはシステム運用室と気象衛星センターの現業一体運営も始まることから、気象衛星センターにおいてもシステム運用室と同様の現業日誌が使われることとなった。

情報共有カレンダーは、情報通信業務に必要な機能がまとめられた一種のグループウェアと言っても過言ではなく、その時々のニーズに合わせて内製ソフトウェアという利点と開発担当者の努力により、市販のアプリケーションでは実現し得ない機能を今後も提供し、広く活用されるものと思われる。

イ．船舶気象通報ソフトウェア

昭和 40 年 10 月のマリアナ付近海域の漁船の集団遭難をきっかけとして、主な漁業無線局内に漁業用海岸局が昭和 41 年に設置され、気象資料の入手や気象情報の提供が始まっている。この通信方式は、当庁内でも利用されていたテレタイプ端末と同様の通信方式が用いられたが、電話のように通信相手の端末を指定して通信が行われるテレックスが用いられていた。

平成 8 年度の本庁・東京 L-ADESS 更新時には、当時、PC-VAN、NIFTY-Serve 等のパソコン通信やインターネット接続が普及していることもあり、これまでのテレックスによる通信方式を改めて、公衆回線と汎用電子計算機を用いた当庁独自の通信方式に改めることとなった。

この通信方式への変更には、L-ADESS 中枢システムと漁業用海岸局に設置した電子計算機（当時は PC-9821 シリーズ/Windows95）間で公衆回線を通じて電文の送受信を行うソフトウェアが必要であり、本庁・東京 L-ADESS 整備体制の中で船舶気象通報ソフトウェアの自主開発が行われ運用が開始された。

運用開始当初は、電文抜け、文字化け、通信中断等の不具合も認められ、その都度改善が必要であったが、市販の遠隔操作ソフトウェア（LAPLINK）を導入していたこともあり、不具合調査やソフトウェアインストールも比較的スムーズに行われた。

平成 17 年度の東アデス更新時には、ACK、NAK、BCC 等の伝送制御コードを用いた

BASIC 手順に改めて、通信上の信頼性を向上させている。

その後インターネット利用が普及する中で、平成 26 年はこれまでのパソコン通信から電子メールによる通報に改められることになる。これ以降、漁業用海岸局との通信には専用の公衆回線や端末は用いず、漁業用海岸局で準備したインターネット回線と端末が用いられることになる。

漁業用海岸局から電子メールによる通報については、必要なソフトウェアは引き続き当庁から貸与し、これまでと同様の操作により船舶気象報の発信を行ってもらい、漁業用海岸局への電文の配信については、アデス（防災情報提供機能）のインターネットメール配信により、漁業用海岸局で汎用メールソフトを用いて海上警報等の電文を受信してもらうこととなった。

漁業用海岸局との通信の必要性は今後も変わることは無いが、時代と共に更に合理的な通信への見直しは続いていくものと思われる。

ウ．業者ソフトウェアのメンテナンスやデータのオフライン処理

C-ADESS や L-ADESS といった通信処理を主体とするシステムについては、データ入出力や識別、収集・編集、画像処理などオンライン処理として稼働するソフトウェアは業者開発であったが、このソフトウェアのメンテナンスは職員対応により行われていた。

一方でオンライン処理後のジャーナルテープに保管されたデータや送受信記録については、庁内の利用者からのデータ内容の照会、航空機の事故調査等による部外からの要請に応じて、データの切り出しや電文調査等、職員によるオフライン処理も行われていた。

業者ソフトウェアのメンテナンスやデータのオフライン処理については現在も受け継がれている重要な業務でもあり、職員により内製化したソフトウェアを用い要請に応じて柔軟に対応している。

エ．配信テーブル管理とチェック作業

アデスにおける電文･ファイルの送受信に関わる配信テーブルは莫大なレコード数を管理し、間違いのないよう配信設定を行う必要がある。

パソコンが普及する以前では、大量の配信テーブルをプリンタにより帳票出力し、これに定規を当てて目視で確認し、赤ペンでチェックしていくという地道なチェック作業が行われていた。

昭和後期に入り、まだ高価であるがパソコンが庁内各課室に普及し始めると、配信テーブルもテータベース化され、職員による配信設定やチェック作業もパソコンを用いた対応に進化しつつあった。

配信テーブル管理とチェック作業については、現在にも受け継がれている重要な業務でもあり、職員により内製化したソフトウェアを用い、作業の効率化と共に信頼性向上に努めている。

２．気象庁ホームページの開発・改修

（１）コンテンツ作成・拡充

気象庁では、気象業務に関する各種情報や報道資料及び予報、警報等を含む各種気象情報、地震・津波・火山情報をインターネット上のホームページを通じて、国民へ公開している。

平成 21 年度に整備した気象コンテンツ作成装置は、気象情報伝送処理システム、突風等短

時間予測システム等から提供される気象データをもとに、防災情報提供システム等を通じて部外提供する降水ナウキャスト、雷ナウキャスト、竜巻発生確度ナウキャストなど各種 Web コンテンツ（図情報）を作成するため、気象庁自主開発のコンテンツ作成業務処理ソフトウェアを搭載し業務を行っている。

平成 26 年 8 月「高解像度降水ナウキャスト」、「記録的大雨警戒メッシュ」を追加し、既存コンテンツのうち「気象情報」、「気象警報・注意報」及び携帯版「気象情報」の改修を行った。平成 27 年 2 月には、更に「火山速報」及び「量的降灰予報」を追加し、これらを現在稼働中のハードウェア環境で動作させるための設定及び調整を行うことにより、気象庁ホームページで提供する情報について利便性の向上、情報の拡充及び防災対応への活用を図った。

また、インターネットを利用した気象情報の公開においては、台風の接近、上陸などの国民の注目度の高い現象の発生時や地震発生時、また、津波情報発表の際などに多数のアクセスを受けることが想定され、サーバ処理能力の限界への到達あるいは接続回線帯域の圧迫によりコンテンツ提供の遅延や提供不可となりうる状況が発生しかねない。このような状況に陥らないようにするため、コンテンツ配信ネットワーク（CDN: Contents Delivery Network）を導入し、アクセス集中時において負荷の分散を図ることとしていた。

平成 27 年 12 月、新たなリアルタイムコンテンツ「地方海上分布予報」の運用を開始するとともに、既存コンテンツにおいては、静止気象衛星「ひまわり 8 号」の運用開始に伴い「衛星画像」を改修し、津波警報等の英語表記を適正化するため「英語版気象庁ホームページ」を改修した。

平成 28 年 3 月には、「竜巻注意情報」及び「土砂災害警戒判定メッシュ情報」の提供情報の高度化を行うための改修を行った。

なお、これまでの気象庁ホームページのコンテンツ等管理作業にあたっては、行政情報端末から行政情報ネットワークを介してアクセスを行っていたが、セキュリティ事情に鑑み、別途整備するネットワークによって行政情報ネットワークと業務ネットワークを分離した。また、CDN のシステム障害時においても防災気象情報の提供を継続することを可能とするため CDN の二重化を実施した。

平成 30 年 3 月、相次ぐ台風の上陸等に伴い気象庁ホームページへのアクセスが増加したことにより、トラフィック量が当初の想定を超過することが判明したため追加対策を行った。しかし、同年 7 月に西日本豪雨、7 月から 8 月にかけて台風が相次いで上陸し、気象庁ホームページへのアクセス数が急激に増加し、一時閲覧不能となる事態に陥った。このため、更なる増強を行い、増大するアクセス数への対応をとった。

平成 31 年 3 月、「台風 5 日強度予報」コンテンツ及び「台風暴風警戒域」コンテンツの提供情報を高度化するための改修を行った。あわせて天皇の退位等に関する皇室典範特例法（平成 29 年 6 月）に伴う改元の影響を受けるコンテンツについて改修を行うこととなった。

令和元年は、気象庁ホームページの多言語化の取組が本格化し、7 月には危険度分布及び雨雲の動きについて 11 か国語化、9 月には他の防災気象情報の 11 か国語化を開始した。

令和 2 年 4 月には、防災気象情報の 14 か国語（15 言語）化が開始し、同年 9 月には台風情報も 14 か国語（15 言語）での提供を開始した。同年 9 月「大雨危険度」コンテンツの新

規追加及び「台風情報」コンテンツ等の提供情報の拡充を行った。また、気象庁ホームページをウェブ広告媒体として活用することでホームページによる持続的・安定的な情報提供を効率的に維持・推進するべく、同年 9 月 15 日からウェブ広告の掲載を開始した。気象庁ホームページは、令和 3 年 2 月のリニューアルにて導入したリアルタイムコンテンツの内製化により、新しい情報の開始や情報の変更等について迅速な対応が可能となった。一方、ホームページのコンテンツを提供するクラウド上のウェブサーバについては、令和 3 年 8 月 14 日に停滞する前線の影響で西日本を中心とした記録的大雨の発生時にアクセスが集中したことによりシステムの負荷が高騰し閲覧しにくい状況となったことから、アクセス集中によるシステム負荷高騰の対策として、令和 3 年度にウェブサーバの増強による機能強化や軽量コンテンツを活用する運用を開始するとともに令和 3 年度補正予算による更なるウェブサーバ増強などの機能強化を進め、令和 4 年 6 月末に作業が完了した。これらの対策により、令和 4 年 8 月と 9 月の大雨特別警報発表時にも安定運用したことを確認しており、今後の情報提供の強化・改善においても安定運用が可能な状況となっている。

（2）コンテンツ内製化

気象庁ホームページのコンテンツは、平成 8 年 7 月の開設当初は、気象庁の組織や制度の概要、広報誌などの一般的な行政情報をはじめ、気象の知識などの情報を公開するのみだったが、平成 14 年からは、気象業務法第 13 条 3 項の「自ら周知」の措置の要として位置づけられ、天気予報や気象警報・注意報、地震、津波、火山情報などを掲載するなど随時充実をはかってきた。平成 28 年時点で 1 日当たり 1,800 万 PV（Page View）ものアクセスのある国民生活に欠かせない情報源であるとともに、災害発生時に国民の安全・安心確保のための重要なツールとなっていた。この頃から、防災分野ではこれまでの公助に加え自助・共助の重要性が叫ばれるようになり、この観点で気象庁ホームページの役割がより大きく短時間のサービス停止も許されない非常に重要なシステムとして一般に認識されるようになっていった。

この頃の気象庁ホームページは、防災気象情報などのリアルタイムコンテンツは業者作成・業者保守で運用されていた。業者作成・業者保守での運用によることで、コンテンツは一定の品質を確保することが出来る一方で、新たなコンテンツの追加や業務変更に伴うコンテンツ改修にはかなりの時間と費用が必要であり、柔軟性を欠いたものであった。このような状況を改善すべく、平成 28 年に気象庁情報システム最適化等検討委員会及び気象情報利活用促進委員会の両委員会の下に次期気象庁ウェブシステム検討ワーキンググループを設置し、令和 2 年度を目途とした気象庁におけるインターネット関係情報システムの再編、コンテンツの整理、及びコンテンツ作成、運用、保守体制の強化についての検討を開始した。

業務改善への対応の機動性を向上させつつソフトウェアの運営及び改修経費を抑えるため、次期気象庁ウェブシステム検討ワーキンググループでは、業者発注でのコンテンツ作成を廃止し、コンテンツ作成や改修等の作業は原則として内製で実施する（自主管理化）こととし、自主管理化するコンテンツの開発及び運用（障害対応含む）の要件について検討を進めた。この頃から、多くのコンテンツを一体的に表示する方法や、ブラウザ上の描画によってサーバ負荷を要さずに任意の位置にスクロール・ズーム可能な地図（インタラクティブな地図）上へのデータ表示方法について期待が示されており、先行して内製していたコンテンツでは平成 26 年に

高解像度降水ナウキャスト、平成 28 年に土砂メッシュ（現 土砂キキクル）、平成 29 年に浸水・洪水危険度分布（現 浸水、洪水キキクル）のインタラクティブな地図コンテンツの提供を行っていた。

ワーキンググループの報告を受けた両委員会において、気象庁ホームページのコンテンツ内製化が決定され、平成 29 年度から開発すべきコンテンツの全貌やデータの流れを分析しつつ、新たに導入した開発環境を利用し基本的なソフトウェア設計を進め、平成 30 年度以降の本格的なコンテンツ作成に向けて準備を進めた。

（3）コンテンツ内製化作業

平成 30 年度はコンテンツ内製化に必要なサーバや端末などの開発環境を構築しつつ、内製化の全体的な計画、設計を進め、令和元年度から本格的な内製化を開始した。これまで気象庁では、一般国民向けのホームページと、防災担当者向けの防災情報提供システムの 2 つのウェブサイトを運用してきたが、内製化を機にこれらをホームページに一本化することとなった。このためホームページの各コンテンツは、従来のホームページと防災情報提供システムの両方の機能を包括する仕様とした。

これまでの気象庁ホームページの多くのコンテンツでは、全国又は地域ごとにあらかじめ作成した固定画像による地図を用いていたが、内製化ホームページではインタラクティブな地図を用いるように改め、視認性や操作性を大きく向上させた。また、文字や表による情報表示ではレスポンシブデザインを採用し、スマートフォンなどの幅の狭いデバイスでも見やすく表示できるように配慮した。システム面では、これまでは「データ」（発表した情報や観測値など）と「見せ方」（表示色や表示の配置など）を一つの HTML ファイルにまとめて配信していたが、内製化ホームページでは、データと見せ方をそれぞれ分離して配信する方法に改めた。これによりコンテンツの拡張性を高め、コンテンツの保守性や耐障害性を向上させた。

これまでの気象庁ホームページは、警報や天気予報など情報ごとのコンテンツにより構成されていたため、自分の住んでいる地域の様々な情報を横断的に見ることが難しかった。そこで内製化ホームページでは、特定の地域の様々な情報を一つのページでまとめて見ることができる「あなたの街の防災情報」コンテンツを新規に作成した。これにより自分が住んでいる地域の情報を素早く横断的に確認できるようになり、防災情報への「我が事感」を高められるようにした。

また、「あなたの街の防災情報」コンテンツでは、各情報の表示、非表示の切り替えや、情報の表示位置などを細かく変更できるカスタマイズ機能を搭載し、一般国民から防災担当者までの幅広いユーザが気象情報を活用できるよう工夫した。

内製化 2 年目の令和 2 年度には新型コロナウイルスの感染拡大により、テレワークを基本とするなど開発の進め方の変更を余儀なくされたが、テレワークでも効率を落とさず共同開発ができる仕組みを速やかに構築し、工程を遅らせることなく開発を進めることができた。

こうして令和 3 年 2 月に内製化が完了し、新たなホームページの運用を開始した。運用開始当初はユーザからの意見や改善提案が多く寄せられ、この中から要望が大きいものを取り入れながら改良を続けた。また、災害発生時の過去のホームページの表示を閲覧することができるコンテンツや、気象防災アドバイザー向け支援コンテンツなどの新しいコンテンツを追加し

た。また、知識、解説などのコンテンツへの CMS の導入など、既存のコンテンツの刷新を進めた。

令和 3 年 8 月には特別警報の発表を機に気象庁ホームページへの閲覧が集中し、ウェブサーバがダウンして全コンテンツが参照できなくなる大規模障害が発生した。この障害を受けて、コンテンツの仕組みの工夫により CDN キャッシュをより活用できるようにしたほか、ウェブサーバを強化するなどの対策を行った。また、一部のコンテンツについて表示を簡略化した軽量版コンテンツを準備し、閲覧集中時に通常コンテンツの代わりに軽量版コンテンツを表示するようにした。これらの対策により、大雨時などでも安定してコンテンツを配信できるようになり、その後は閲覧の集中によるサーバのダウンは発生していない。

令和 5 年 6 月には、ホームページの内製化による迅速な情報提供への対応とコスト削減に貢献した功績で、長官表彰を受賞した。

3．AI 技術の試行

（1）情報システム基盤障害対応支援装置及び航空業務運用支援装置の構築

情報システム基盤による業務システムの集約に関連し、機器性能やリソースが効率的に利用される反面、多数の業務システムが搭載されることにより、情報システム基盤及び各搭載システムの関係が複雑になり障害発生時の原因箇所の特定や対処方法の検討により多くの時間を費やすこととなる。さらに空港や飛行場の運行に必要な情報が障害により滞った場合、部内外の利用者から多数の問い合わせがあり、この電話応対による業務輻輳も想定される。

情報システム基盤障害対応支援装置及び航空業務運用支援装置は、これらの問題を AI 機能による解決することを目的とし、令和 2 年 3 月から構築を始めた。その後、令和 5 年度当初から試行を開始し、「プライムアシスタンス」の呼称を与え令和 6 年 3 月に運用開始するに至った。

（2）プライムアシスタンスの概要

「プライムアシスタンス」は、令和 5 年度から試行を行っている情報通信業務における連絡・支援体制の強化として確立した「プライムサポート」の補助機能として AI 機能を活用するものである。

具体的には、コンピュータが自動で返答する機能（以下「チャットボット」という。）や、本庁担当者への直接質問機能（以下「問合せチケット」という。）を備え、各官署等の利用者からの情報通信業務に関する質問や簡易な障害対応を効率的に処理するものである。

（3）プライムアシスタンスの機能

「プライムアシスタンス」の主な機能を以下に紹介する。

ア．チャットボット

プライムアシスタンスで利用できるチャットボットは、ユーザが入力した質問文に対してテキストで返答を行う。このやり取りを本庁担当者が分析し、得られたフィードバックをナレッジへ反映させることで、より正確で有益な回答が可能となる。

イ．問合せチケット

チャットボットが回答を持ち合わせていない質問の場合、利用者から本庁情報通信担当者へ

問合せチケットを発行することも可能である。この問合せチケットでのやり取りは、後にチャットボットが回答出来るよう順次ナレッジに追加を行う。

ウ．問合せカルテ

官署における部外接続機関への送信エラー（不達）発生時の切り分けなどでは、これまで障害箇所の特定のため何度も通信現業等の担当と電話等でやり取りをする必要があった。問合せカルテ機能ではこのような障害に対し、チャットボットで何度も問い合わせをすることへ置き換えるのでは無く、定型フォーマット（カルテ）で各器機の状態を一括して入力することで効率的な問い合わせが可能となる。

エ．FAQ

プライムアシスタンスでは、これまでによせられた質問を取りまとめたうえでナレッジとして FAQ（よくある質問）を公開する。

（4）今後の取組

情報システム基盤障害対応支援装置及び航空業務運用支援装置の AI 機能は、過去のナレッジにより行う定型ロジックの会話であり、正常に成立した会話を元に学習させていく必要がある。このため今後も情報通信業務における連絡・支援体制の強化の補助機能として活用していくには、会話におけるバリエーションの向上やナレッジの充実を図っていく必要がある。また、AI 機能については生成 AI の活用や更に情報通信業務以外の分野での活用も模索する等、新しい技術の導入や利活用について今後も積極的に取り組んでいくこととする。

第３章　情報利用の推進

【第１節】民間気象業務の興隆

１．予報業務許可制度の導入と変遷（平成５年以前）

昭和 22 年に当時の連合国軍最高司令官総司令部（GHQ）から気象台の機構の縮小、人員整理が命令され、これを実施せねばならない状況になった。しかし、荒廃した国土の開発、産業の復興に気象業務は切り離せない仕事であるという見地から、中央気象台の外郭団体を作り、縮小された気象業務を側面から応援するとともに、気象知識の普及啓発を図ることが考えられた。昭和 24 年、中央気象台の事業を支援する組織として「気象協会」が設立され、昭和 25 年に公益法人化された。

さらに、戦後の産業・経済活動の発展に伴い、測候所の設置要望等、気象情報へのニーズも高まってきたが、行財政事情から全て国営で賄うことは困難であり、地方自治体あるいは民間活力の活用へ繋がっていった。

昭和 27 年、「気象業務法」が制定され、気象庁以外の者による予報業務について、一定の品質を確保し社会的な混乱の回避や公共の福祉を守るため、許可制度を導入した。また、気象の実況といえども無線通信により航空機、船舶等に速報されると混乱するおそれがある、つまり予報類似行為とみられることから、無線通信による観測成果の発表についても許可制度を導入した。

昭和 28 年には、「茨城県水産試験場」とともに、現在の「日立市（天気相談所）」、最初の民間気象会社「（株）トウジョウ・ウェザー・サービス・センター（現在の「いであ（株）」）」が予報業務許可を取得した（茨城県水産試験場は後に予報業務を廃止）。気象協会は、２年後の昭和 30 年に許可を取得した。

なお、具体的に許可対象となった予報業務は、一般向けには気象庁発表の予報の解説（「解説予報」と呼ばれた）に限られる一方、利用者が個別に特定された場合には事業者が独自に作成する予報（特定向け予報）を認めることとし、平成５年の気象業務法の改正まで続けられた。

２．官民の役割分担

予報業務許可制度の導入の際、防災対策における気象庁の国としての責務の明確化と民間気象業務の利用者の利益を守るため、気象庁以外の者による気象等の警報を原則的に禁止（気象業務法第 23 条）し、予報業務許可事業者に対して当該業務にかかわる警報事項の利用者への伝達に努めること（気象業務法第 20 条）を義務付けた。これにより、国（気象庁）と気象庁以外の者（民間気象事業者等）との役割が制度化され、現在に至るまで、その意義は変わっていない。

予報業務許可制度導入以降も、２節・３節に記述するように、技術の発展に合わせて規制緩和を進めることで民間の活力を発揮できるようにし、官民双方による気象業務が災害の予防、交通の安全の確保、産業の興隆等により一層貢献するよう取り組んだ。

【第２節】民間気象事業の拡大

１．気象審議会答申第 18 号「社会の高度情報化に適合する気象サービスのあり方について」

平成４年３月、気象審議会答申第 18 号がなされ、多様な気象サービスの実現にあたっては、気象庁以外の民間気象事業者や関係機関に対しても天気予報等の業務を開放し、国民の多様で個別的なニーズに応える気象サービスの仕組みを構築することとされた。

答申第 18 号を受けた施策の具体化にあたっては、技術面のみならず、気象データ利用者の費用負担も含めた制度面のあり方について予報業務許可事業者、報道機関、情報通信事業者、測器関連事業者等とも連携して検討を行った。

平成５年５月、気象業務法の一部改正が行われ、気象予報士制度及び民間気象業務支援センターによる情報提供業務体制などの制度を整備し、平成６年５月に施行した。これを支えるものとして同年３月に「(財) 気象業務支援センター」が設立され、同年５月に気象庁長官が「指定試験機関」及び「民間気象業務支援センター」として指定し業務を開始した。

気象情報の提供においては、予報・警報やアメダスによる観測データ等の気象庁の最終製品のみならず、数値予報 GPV 等の気象業務の基盤となる気象情報についても原則公開とし、気象データ利用者による受益者負担（配信に必要な経費の応分の負担）の仕組みと併せてより公平かつ透明な体制を整えた。

さらに、気象予報士制度を導入して予報業務許可の審査基準を明確にし、情報提供体制とともに民間の事業活動における公平な環境が整えられた。

この制度は報道等で取り上げられ、多くの予報業務許可事業者の活動が国民等に認知されることとなった。

２．気象予報士制度の導入

(１) 気象予報士制度の創設

防災情報と密接な関係を持つ気象情報が不適切に利用されると社会に混乱を引き起こすおそれがあり、これを防ぐため、気象庁から提供される数値予報資料等高度な予測データを適切に利用できる技術者を確保することを目的として気象予報士制度を創設することにした。

予報の精度は、現象の予想をどのような方法で行うかに左右される。気象や波浪の現象の予想には、数値予報資料の解釈など高度な技術を要することから、民間が行う予報の一定の技術水準を担保するため、民間気象事業者が気象などの予報業務を行う際には気象予報士に現象の予想を行わせることを義務付けることとした。ただし、テレビのお天気キャスター等については、予報行為そのものを行うのではなく、国民に気象情報をわかりやすく伝える解説行為であることから、気象予報士の資格は必要としないこととした。

気象予報士は、気象庁長官又は指定された指定試験機関が実施する試験に合格し、気象庁長官の登録を受けた人とした。また、気象予報士は、資格に対する社会的な信頼性と気象予報士の設置義務の実効性を確保する観点と、予報に関する基本的な情報である数値予報資料の理解力や防災気象情報等との整合性の確保等気象庁の業務と密接不可分といった観点から国家資格とした。

（2）気象予報士の登録状況、取り巻く状況の推移

気象予報士試験は年 2 回（平成 6 年度のみ年 3 回）実施することとし、平成 6 年 8 月 28 日に最初の試験が実施された。この最初の試験では、2,777 人が試験を受け、500 人が合格した。試験の受験者数や合格者数は実施ごとに変動するが、令和 5 年度末までに実施された 61 回の平均では、1 回の試験での受験者数が 3,732 人、合格者数が 205 人で、合格率は 5.5％となっている。また、気象予報士になるには、合格者が気象庁長官に申請し登録を受ける必要があることとし、令和 5 年度末現在、12,095 人が気象予報士として登録されている。

令和 2 年度に、今後の民間気象事業の振興策や気象予報士の更なる活躍の場の検討の基礎資料とするため、気象予報士全員を対象に気象予報士の現況に関するアンケート調査を行った。調査の結果、気象予報士の 75％が就業し、全体の 12％が予報業務許可事業者に就業していることが分かった。また、全体の 8 割は気象予報士の資格に満足しており、全体の 6 割が気象予報士の資格取得が業務や社会活動に役立ったと回答した。気象予報士の資格は、気象等の現象の予想に加えて、教育活動、報道機関における情報伝達や気象解説、地方自治体における防災の現場でも役立てられていることがわかった。

また、調査結果からは、地域における防災活動に気象予報士の資格を役立てたいと考えている方が多いことや、気象予報士の資格を防災関連の資格だけでなくデータ分析・情報処理系の資格と組み合わせて活用できると考える方が一定程度いることも分かった。

このことから、気象予報士が、その専門的な知見を活かし、地域における防災活動の支援（「気象防災アドバイザー」等）や、産業界の気象データ利活用の分野（「気象データアナリスト」等）などにおいて活躍する機会が広がることが期待されることとなった。

3．予報業務許可制度の発展

（1）技術の進展を踏まえた予報業務許可制度

気象予報士の設置などの平成 5 年の気象業務法改正に伴う予報業務許可制度の体制整備を受けて、平成 7 年 5 月には、予報業務許可事業者による市町村程度の範囲の局地を対象とした一般向けの予報（一般向け予報）を許可した。一方、解説予報については許可対象ではなく自由とした。さらに、平成 8 年 3 月には気象庁からも府県天気予報に加えて新たに地方天気分布予報と地域時系列予報の提供を開始し、官民が役割分担しつつ一般向けの天気予報が充実した。

平成 12 年 7 月、気象審議会答申「21 世紀における気象業務のあり方について」がなされ、民間の気象業務の振興にあたっては、規則は必要最小限のものとし、また、各種の気象情報を積極的に公開・提供することにより、民間の主体性により多様で利便性の高いサービスを実現していくことが示された。このため、平成 12 年に気象予報の予報区設定を局地に限定せず府県予報も可能になるよう自由化するとともに、1 か月予報等の長期予報も許可した。その後も、平成 24 年に「10 日予報」までの日々の予報を許可するなど、気象庁による観測・予報技術の高度化に伴う気象情報の充実と予報業務許可事業者による利用技術の向上などから規制等が順次緩和され、気象業務法改正時の天気予報にかかわる官民の役割分担の考え方が発展的に整理されてきた。

高潮予報については、平成 30 年台風第 21 号による高潮被害等を契機に更に詳細な高潮の予測情報への社会のニーズが高まったことを捉え、令和元年に気象予報士の設置に基づく許可を開始した。

地震火山の分野についても、気象庁による観測・予測技術の高度化を捉えて順次許可した。平成 19 年には、気象庁での緊急地震速報や噴火警報の開始を捉えて地震動と火山現象（小さな噴石の落下等）の予報を許可した。平成 25 年には、津波の予報を許可した。さらに、令和 2 年には、火山現象として降灰の予報を、地震動として長周期地震動の予報をそれぞれ許可対象に追加した。これら地震火山関連の現象での審査基準は、気象予報士の設置ではなく、予測手法を技術上の基準として整備することとし、平成 19 年と平成 25 年には気象業務法が一部改正された。

（2）技術の進展を踏まえた審査基準の見直し

平成 30 年 8 月、交通政策審議会気象分科会提言「2030 年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」が示され、ICT 等の技術進展や社会情勢の変化に伴う気象ビジネスの更なる発展のため、予報業務許可制度についての見直しをすることとされた。これを踏まえて、観測・予測技術の進展等により民間で高頻度の降水短時間予報の提供が可能になったこと、また、研究開発の成果を公表するために予報業務許可を受ける研究機関が増えたことなど、予報業務の態様が変化していることに対応するため、平成 31 年に気象予報士の設置基準を一部緩和した。

さらに、令和 5 年 3 月、交通政策審議会気象分科会提言「DX 社会に対応した気象サービスの推進」が示され、予報業務許可制度についてより高解像度・高頻度の予報など多様なニーズに対応できるようにすべきとされた。予報での適切な品質を確保しつつ予報作業において機械化・自動化できる範囲を拡大可能とするよう、令和 4 年に自動出力予報等の導入を想定して気象予報士の設置基準を更に緩和するなど、予報業務許可に関する規制を見直した。

（3）令和 5 年気象業務法の一部改正に伴う審査基準の見直し

頻発・激甚化する気象災害を背景に社会全体として防災対応や事業継続に対する意識が高まり、洪水や土砂災害の予報技術の更なる高度化とともに、利用者の多様なニーズに対応した情報が求められていたことから、令和 3 年 10 月、国土交通省と気象庁が共同で運営する「洪水及び土砂災害の予報のあり方に関する検討会」において、洪水や土砂災害での適切な防災行動や多様なニーズへの対応に向けた予報のあり方が提言された。これを踏まえて、令和 5 年に気象業務法が一部改正され、土砂崩れ・洪水・高潮・波浪の予報業務について技術上の基準に基づく許可等を行うための審査基準を新設し令和 5 年 11 月に施行した。

この制度見直しでは、災害に関係するなど社会的な影響が大きい現象の予報の業務（噴火、火山ガスの放出、土砂崩れ、津波、高潮又は洪水の予報業務。）について、気象庁の予報等との相違による防災上の混乱を防止するため、利用者への事前説明を義務付けることとした。

また、交通政策審議会気象分科会提言「DX 社会に対応した気象サービスの推進」において、気象観測について、利用目的に応じて民間気象事業者等における IoT センサー等を用いたより多地点・低コストの観測データの取得・活用を可能とすることが示された。このため、令和 5 年の気象業務法の一部改正を経て、検定済みでない気象測器であっても、気象庁が行った観測又は検定済み測器を用いた観測（本観測）の正確な実施に支障を及ぼすおそれがなく、かつ、

当該予報業務の的確な遂行に資するものである場合は、気象庁長官の確認を受けることで補完的に用いる観測として利用することを可能にした。

（4）民間気象事業者等に対する指導等

気象庁は国土交通省設置法に基づき、また、民間気象業務支援センターである（財）気象業務支援センターは気象業務法に基づき、気象情報を利用する者に対する研修を行うこととした。平成 22 年の総務省による気象行政評価・監視を受けて、平成 23 年からは、東京で実施していた民間気象事業者等への研修をインターネット等で共有できるようにし、地方に所在する事業者にも研修の機会を充実させることとした。また、気象業務法に基づき民間気象事業者に対する立入検査を定期的に実施し、民間の予報業務の適切な運営確保に取り組んでいる。

図 4-3-2-1　予報業務許可等の変遷

【第３節】気象情報の利活用推進と産学官連携

１．産業界における気象データの利活用状況（その推移）

昭和 50 年代前半には民間事業者においても計算機導入が開始され、昭和 52 年に、公益法人であった（財）日本気象協会が運営する「オンライン気象情報提供システム（MICOS）」を経由して気象庁から民間事業者への気象データのオンライン配信を開始し、民間における気象情報・データの利活用が始まった。その後、民間の利用者から見ての中立性や公平性等の確保の観点から、気象審議会答申第 18 号を踏まえて、民間気象業務支援センターを経由した気象情報の提供体制を整備し、平成８年３月から（財）気象業務支援センターによる気象データのオンライン配信を開始した。これにより、気象庁の持つ情報の原則公開と気象データ配信の利用者の受益者負担による公平かつ透明な情報提供の体制が構築され、民間による気象情報・データの利活用が年々進展する環境が出来上がった。

その一方で、令和２年版情報通信白書（総務省）によると、企業活動に気象データを活用している企業の割合は、５年前の 1.3％から大きく進展したが、いまだ１割未満となっていた。また、令和元年度に、気象庁が産業での気象データの利活用実態を把握するため、様々な産業の 10,000 社を対象としたアンケート調査を行った。回答のあった企業のうち約７割が事業活動に気象の影響を受けているものの、そのうち約半数は影響を受けることを認識していても気象に応じた事業活動の変更を行っておらず、変更を行っている企業も、大半が経験と勘をもとにしたもので、気象データを定量的に分析してサービスを変更する等の事業運営を行えている企業は全体の約１割と多くないことが分かった。気象データが十分に企業で活用されていない課題として、気象データを扱える専門的な人材の不足や気象データの利活用方法が分からないこと等が挙げられ、気象データの利活用に関しては未だ課題があることが分かった。

２．産学官連携

気象情報・データを産業に活かすには、産業界等の対話が重要となり、気象庁は従来からこれに取り組む努力をしてきた。

昭和 61 年９月に、産業界における気象情報ニーズ及び利用状況の把握並びに気候情報の効果的な利活用を目的に「産業気象利用者協議会」が発足し、各種産業関係団体・企業及び気象業界との意見の交換や相互の指導・援助などを通じて、産業界での気象情報の効果的な利活用や気象庁の施策の拡充・強化に役立てられることが期待された。これと並行して、平成３年２月には、気象データ配信の利用者と気象庁とが気象データの配信についての調整や協議を行う「気象庁配信データ利用者協議会」が発足した。さらに平成４年 11 月には、予報業務許可事業者、報道機関、情報通信事業者及び測器関連事業者等と連携して、気象審議会答申第 18 号を受けた施策の具体化のための技術面や制度面の検討を行うための「気象事業振興協議会」が発足した。その後平成 13 年 12 月には、これら３つの協議会が統合され「気象振興協議会」として活動することになった。また、地震分野においても、平成 18 年に開始した緊急地震速報の正しく有効な活用を促進するため、予報業務許可事業者や建設・鉄道・情報通信事業者等が参加する緊急地震速報利用者協議会が平成 18 年 12 月に発足し、活動を開始した。

平成の終わりになって社会においては、ICT（情報通信技術）の急速な進展を背景に、データ活用社会が到来するとともに、気象業務に活用できる新たな技術が登場していた。また、災害の頻発・激甚化に伴い、社会全体の防災意識は高まりを見せるなど、気象業務に対する社会のニーズは増大・多様化していた。一方で、これらのニーズに対応すべく、気象業務の基盤となる気象学等の分野では、気象庁のみならず大学や研究機関において研究や技術開発が進められ、民間気象事業者においては様々な気象サービスが展開されているほか、これ以外の民間事業者においても気象データの利活用が進みつつあった。

このような背景から、平成 30 年 8 月、交通政策審議会気象分科会提言「2030 年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」が示され、一人一人の生命・財産が守られ、しなやかで、誰もが活き活きと活力のある暮らしを享受できるような社会（安全、強靱で活力ある社会）の実現に、気象庁のみならず様々な主体によって営まれる気象業務が貢献すべきとされた。また、観測・予測精度向上に係る技術開発と気象情報・データの利活用促進の取組を進めるとともに、これらを「車の両輪」とする防災対応・支援の推進について、気象業務の貢献の面では気象庁が中核となって取組を進めるべきとされた。そして、急激に変化する社会環境や増大・多様化する社会のニーズに的確に対応していくためには、産学官が連携し総力を結集することで、気象業務全体の社会に対する効果を最大化していくことが重要であるとされた。

3．気象ビジネス推進コンソーシアム（WXBC）

（1）生産性革命プロジェクト「気象ビジネス市場の創出」の選定

平成の終わりの時代になって、IoT（Internet of Things）、ビッグデータ、人工知能、ロボット・センサーの技術的ブレークスルーを活用する「第 4 次産業革命」により、社会的課題の解決や、消費者の潜在的ニーズを呼び起こす、新たなビジネスの創出が期待されてきた。

このような社会状況を捉え、国土交通省は、平成 28 年を「生産性革命元年」と位置づけ、社会全体の生産性向上に繋がる施策として国土交通省「生産性革命プロジェクト」を推進することにした。そのプロジェクトの一つとして、「気象ビジネス市場の創出」が選定され、気象庁はこれに取り組むことにした。

（2）WXBC の設立と概要

「気象ビジネス市場の創出」を進めるため、産学官関係者の対話・連携の強化を図り、産業界と気象サービスのマッチングや気象データを高度利用した新たな気象ビジネスの創出を実現するための課題解決を行うため、平成 29 年 3 月に、気象事業者に加えて、情報通信、農業、小売、金融等の関係する産業界や先端技術に知見のある学識経験者等を構成員とした「気象ビジネス推進コンソーシアム（WXBC）」が 207 者の会員により設立された。なお、英語の略称である WXBC は、気象ビジネス推進コンソーシアムの英語名が Weather Business Consortium であることに加え、WX が航空や無線の世界で気象や天気を意味していること、また、気象「×」ビジネス＝気象情報とビジネス（社会）の「掛け算」による生産性向上、気象＋×（様々な要素）＋ビジネス＝気象情報ともうひとつの「何か」による社会全体の生産性向上という意味合いを込めて決定した。

WXBC では、IoT、AI 等の先端技術を活用した先進的なビジネスモデルを創出するため、

気象衛星・レーダー等の技術的進歩に対応した新しい気象情報の利活用を促進するため、利用者にとって使い勝手のよい気象情報の提供や気象サービスを支援する環境整備など、新たな気象ビジネス市場の創出・活性化を促進する取組を進めることにし、継続的な情報改善や人材育成などの環境整備を実施することにした。

具体的には、会員と気象庁が連携して、気象データに関する概要や利活用方法のセミナー等を開催し、気象データの情報・知見を共有するほか、気象データ利活用に向けた課題に関するヒアリングと対応策の検討、気象ビジネスを展望する場である気象ビジネスフォーラムの開催などを行うことにした。また、WXBC では、二つのワーキンググループ（WG）を設置し（人材育成 WG、新規気象ビジネス創出 WG）、それぞれの WG で人材育成や新規ビジネスに資する情報交換などを行うことにした。

（3）WXBC の運営状況

ア．気象ビジネスフォーラム

気象ビジネスの将来を展望する場として「気象ビジネスフォーラム」を毎年開催することにし、第 1 回を平成 29 年 3 月に開催した。気象データを活用したビジネス事例の紹介のほか、毎回テーマを設け、産学官によるトークセッションも実施した。

イ．人材育成 WG

人材育成 WG では、気象ビジネスの創出と市場拡大の礎となる人材の育成に資する取組を行うことにした。

WXBC セミナーや、気象データとオープンデータをかけあわせて分析する「気象データ分析チャレンジ！」、AI・IoT 関連のテクノロジー研修を企画・運営し、気象ビジネスの構想と実現に必要な以下 3 つのスキルを身に付けてもらうことを目指すことにした。

①気象データ理解力　② IT 活用力　③ビジネス発想力

ウ．新規気象ビジネス創出 WG

新規気象ビジネス創出 WG は、新規気象ビジネス創出に向けた具体的取組を各種実施することにした。

○アイデアコンテスト、ビジネスマッチングイベントの開催
○気象庁過去データの試用提供の実施
○気象データを活用したビジネス事例集の作成・周知
○気象データを扱うハッカソンやワークショップの検討…等

また、定期的に開催する WG では、気象ビジネスに関する具体的なニーズ、シーズやビジネス事例の紹介を WG メンバーから行うことにし、メンバー間で意見交換等を実施することで新たな気づきや共創が生まれる企業間交流の貴重な場とした。

4．「気象データアナリスト育成講座」の認定制度

令和の時代になって、産業界では急速にデジタルトランスフォーメーション（DX）が進んできた。そして、この DX の進展に伴って、あらゆるビジネスの 6 割以上に影響を与える気象のデータについても、活用の可能性が高まっていた。一方で気象データは、データ自体の種類の多さや、観測や予測といった概念、予測誤差があるため確定論的に扱うことができないな

ど、他のデータと異なる特徴がある。実際に、気象データを扱っている方々からも、気象データを適切に扱うためには、気象データ特有の専門的な知識について学ぶ必要があることが指摘されていた。

これらの状況を踏まえて、気象庁と WXBC は、気象データの知識とデータ分析の知識を持ち、気象データとビジネスデータを分析して新規事業創出や課題解決ができる人材「気象データアナリスト」の育成に向けて議論を重ねた。

令和 3 年 2 月に、経済産業省「第四次産業革命スキル習得講座認定制度」（Re スキル）と連携して、気象庁が気象データアナリストを育成できる講座を認定する制度を創設した。この制度は、気象庁と WXBC が検討したスキルセットや標準的なカリキュラムに準ずる民間講習を認定し、一定以上の品質が担保された民間講習の実施を後押しし、このことを通じて、気象データアナリストを増やしていくことを期待するものとした。令和 3 年 10 月以降、気象庁の認定を受けた講座が順次開講している。

5．気象情報・データの利用促進の取組

令和の時代になって、進化したデジタル技術が社会経済活動をより良い方向に変化させる DX という概念が注目され、気象情報･データは DX 社会におけるデジタル技術を活用したサービスにおいて基盤的なデータセットとして非常に重要な要素であり、事業データと組み合わせて事業予測や事業判断を行うサービスが一層発展していくものと期待された。

このような背景のもとで、令和 5 年 3 月、交通政策審議会気象分科会提言「DX 社会に対応した気象サービスの推進」が示され、前述のようなサービスを発展させるためには、気象情報･データの利活用を検討している事業者等が、気象情報・データの持つ意味や活用方法等を理解し、自身のニーズに合致した信頼できる気象サービスを選択できるよう、気象情報・データに関する「利用ガイド」を策定し、気象情報・データの利活用に関する周知啓発の取組において活用していくべきであるとされた。このため、令和 6 年 3 月に WXBC と連携して、気象データの活用事例や利用手順、入手方法等をとりまとめた「気象データ利用ガイド～先を読むビジネスへ～」を作成し気象庁ホームページに公表した。

また、前述の提言では、利用が広がってきているクラウド技術を活用して、ビッグデータとしての気象情報･データを保存し、民間事業者や大学･研究機関等の利用者が容易にこれらデータを利用できる環境を構築すべきであるとされた。このため、令和 6 年 3 月に気象庁のスーパーコンピュータシステムの更新整備に併せてデータ共有・提供の機能を担うクラウド部（気象庁クラウド環境）を導入し、民間気象業務支援センターを通した民間事業者への大容量の気象情報・データの提供を開始した。

これらにより、利用者側での情報リテラシーとデータ取得手法の両面から、気象情報・データの利用を促進できるようになった。

6．花粉症対策のための気象情報利活用

花粉症の有病率は年々増加傾向にあり、例えば花粉症対策に早くから着手した東京都のスギ花粉症推定有病率の調査においては、昭和 58 ～ 62 年度の調査においては 10.0％であったも

のが、平成 8 年度は 19.4％、平成 18 年度は 28.2％、そして平成 28 年度は 48.8％と、増加傾向にあることが報告されている。

気象庁は、気象情報利活用の観点から政府の一員として花粉症対策に関与しており、現在では関係閣僚会議でまとめられた「花粉症対策の全体像」の中の施策として、民間事業者による花粉飛散予測に資する詳細な気象データの提供を行っている。

本項では政府の花粉症対策の下での気象情報利活用の変遷について述べる。

（1）スギ花粉症に関する関係省庁担当者連絡会議の設置

平成 2 年 4 月、当時社会問題として認識されるようになっていたスギ花粉症の諸問題について検討を行うことを目的として、環境庁、厚生省、林野庁及び気象庁を構成員とする「スギ花粉症に関する関係省庁担当者連絡会議」（以下「連絡会議」という。）が設置された。また、国会に関連して、平成 7 年 6 月に、花粉症をはじめとするアレルギー症の克服を目指して「自由民主党花粉症等アレルギー症対策議員連盟」（通称「ハクション議連」）が設立される動きがあった。

平成 13 年度の連絡会議及びハクション議連における検討により、関係省庁が連携協力して花粉の自動観測装置を展開することが決まり、気象庁は他省庁が開発又は購入した観測装置を設置する場合の敷地の貸与等の協力をすることとなった。

（2）関係府省庁による花粉症対策への協力

平成 14 年度に、環境省は、花粉の飛散データを自動的に収集し、花粉の飛散状況をリアルタイムで表示する花粉観測システム（のちの愛称は「はなこさん」。民間気象事業者による花粉飛散に関する情報の充実等に伴い、令和 3 年の情報提供を最後に廃止。）を新たに稼働させ、平成 16 年度には、環境省花粉情報サイトを開設して、「花粉症保健指導マニュアル」、「花粉飛散予測」及び「はなこさん」の情報を統合し、関係省庁や自治体の情報もあわせて掲載する運用を開始した。「はなこさん」では、花粉量の観測だけでなく、アメダス観測地点の気象データと組み合わせて花粉の飛散しやすい方向なども表示され、気象庁の観測データが活用された。

また、気温の経過と花粉飛散量・飛散開始時期に密接な関係がある（例えば、環境省の公表している「花粉症環境保険マニュアル」によると、スギは 11 ～ 12 月の気温が低いほど、また、1 ～ 2 月の気温が高いほど飛散開始が早くなることが分かっている）ことから、環境省花粉情報サイトにおいて公開される花粉飛散開始時期等の予測（平成 28 年の情報提供を最後に終了）においては、気象庁の季節予報が活用された。

（3）花粉症に関する関係閣僚会議の開催

その後も、関係府省庁がそれぞれの所掌に基づき花粉症対策を進め、関係省庁担当者による連絡会議も継続的に開催されてきたが、政府あげての花粉症対策としては不十分であるとの指摘が一部国会議員から出ていたのも事実である。そのようななか、岸田内閣総理大臣は、令和 5 年 4 月の国会答弁において、花粉症について「我が国の社会問題と言っていいような問題」との認識とともに、政府において関係閣僚会議を開催し、情報共有と効果的な対策の組み合わせに取り組んでいく意思を示し、同月、花粉症に関する関係閣僚会議（第 1 回）を開催するに至った。

第 1 回会議では、関係閣僚から花粉症対策に関する取組状況が報告された。また、岸田内

閣総理大臣からは、「発生源対策」、「飛散対策」及び「曝露・発症対策」を３本柱とする対策の全体像のとりまとめ指示がなされ、この翌月に開催された第２回会議において、「花粉症対策の全体像」がとりまとめられた。気象庁については、「飛散対策」の一環として、スーパーコンピュータやAIを活用した、花粉飛散予測に特化した詳細な三次元の気象情報の提供を行うこととされた。

「花粉症対策の全体像」のとりまとめを受け、民間気象事業者等による花粉飛散予測に資するため、気象庁では、民間気象会社からニーズの聞き取り結果等を踏まえて施策の具体化に向けた準備を進め、令和６年３月に、低い空域の風・気温・降水等の予測データについて、リアルタイムでの提供を開始した。

第４章　数値予報

【第１節】数値予報システムの変遷

気象庁は昭和 34 年 3 月に官公庁として初めて科学計算用の大型計算機を導入し、同年 6 月から数値予報業務を開始した。その後、コンピュータの技術革新の成果を反映させるべく、段階的にコンピュータシステムを更新するとともに、数値予報技術の開発・改良を継続的に行ってきた。この不断の努力により、数値予報の予測精度は大きく向上し、今日、数値予報は、気象、気候、海洋、火山など各分野で気象・海洋にかかる業務の根幹となっている。本章ではこうした数値予報技術の発展について述べる。また、本節で数値予報システムの変遷について概説する。

なお、本章ではコンピュータシステムの世代を明確に表現するため、数値解析予報システム（NAPS）という名称を用いることにする。例えば現在運用しているスーパーコンピュータシステムは、昭和 34 年に導入した初代数値解析予報システムから数えて 11 番目に当たるため、第 11 世代数値解析予報システム（NAPS11）と称する。

気象庁に最初に導入した現業数値予報モデルは 500hPa 高度面のみを予測対象とする北半球バランス・バロトロピックモデルであり、昭和 34 年 3 月の大型計算機の導入から約 3 か月後の昭和 34 年 6 月に運用を開始した。その後、気象に関する数値予報システムは、電子計算室、数値予報課、長期予報課、気候情報課が開発の主体となり、鉛直層数の増強、水平高解像度化、計算領域拡大、物理過程の改良・実装、解析システム（手法）の高度化、予報時間の延長、計算回数の高頻度化や確率的予測のための多メンバー化など、多岐にわたる改良や高度化を継続的に実施してきた。現在運用している数値予報システム運用開始年を NAPS の世代数とともに列挙すると、全球モデル（GSM）は昭和 62 年（NAPS5）、メソモデル（MSM）は平成 13 年（NAPS7）、季節アンサンブル予報システムは平成 15 年（NAPS7）、全球アンサンブル予報システム（GEPS）の前身である週間アンサンブル予報システム及び 1 か月アンサンブル予報システムはそれぞれ平成 13 年（NAPS7）、平成 8 年（NAPS6）、局地モデル（LFM）は平成 24 年（NAPS9）、メソアンサンブル予報システム（MEPS）は令和元年（NAPS10）となる。

気象庁では気象に関する数値予報モデルに加えて、海洋及び物質輸送に関する数値予報モデルも開発・運用してきた。海洋現象のうち気象庁が数値予報の対象としているのは、波浪、高潮、海況（海流・海水温）、海氷等であり、初めて現業利用を開始した海洋モデルは昭和 52 年（NAPS3）に導入した外洋波浪モデルであった。その後、気象研究所、海上気象課・海洋課、海洋気象情報室、数値予報課が主体となり海洋モデルの開発・改良を進めてきた。現在運用している各海洋モデルの運用開始年は、沿岸波浪モデルは昭和 58 年（NAPS4）、全球波浪モデルの前身である外洋波浪モデルは昭和 52 年（NAPS3）、海氷モデルは平成 2 年（NAPS5）、高潮モデルは平成 10 年（NAPS6）、日本沿岸海況監視予測システムの前身である海洋総合解析システム（COMPASS-K）は平成 13 年、浅海波浪モデルは平成 20 年（NAPS8）、波浪ア

ンサンブルシステムは平成 28 年（NAPS9）である。また、物質輸送モデルでは、大気中の物質の変化や移動などを扱うが、気象庁ではエーロゾル（黄砂）、オゾン、二酸化炭素及び大気汚染物質輸送等を対象にモデルを運用しており、気象研究所、環境気象課、環境気象管理官、数値予報課が主体となって開発・改良を進めてきた。各モデルの運用開始年は、エーロゾル輸送モデルは平成 16 年（NAPS7）、化学輸送モデルは平成 17 年（NAPS7）、二酸化炭素輸送モデルは平成 21 年（NAPS8）である。

本章の構成は次のとおりである。まず、第 2 節第 1 項「運用を終了したモデル」では、運用を終了したモデルの導入目的やモデル改良履歴、廃止の経緯について記述する。続いて、第 2 節第 2 項以降では、現在運用中の数値予報システムを中心に、その導入目的や改良について記述する。第 3 節「数値予報での観測データの利用」では、数値解析予報システムの精度を保ち、高精度の予報を実現するために不可欠である、観測データ利用手法の変遷について記述する。第 4 節「ガイダンス」では、数値予報モデルの出力結果をもとに、系統的誤差の補正や予報作業で参照する要素の算出等を統計的手法や診断的手法により行うガイダンスについて、その変遷を記述する。第 5 節「数値予報を支えるソフトウェア環境」では、数値予報の変遷を計算機システムの面から記述する。数値予報ルーチンの効率的な運用に資するソフトウェア環境、プログラム開発環境、管理ツール等の変遷に加えて、数値予報システムの効率的な開発を目的として構築した数値解析予報実験システム（NAPEX）、数値予報の出力結果としての格子点データや FAX 図の変遷についても記述する。第 6 節「数値予報モデル開発に関する連携・イベント」では、数値予報の高度化・精度向上に向けた外部機関との連携の取組や、様々な公的・学術機関と連携した広報活動について記述する。

【第 2 節】気象庁の数値予報モデル

1．運用を終了したモデル

（1）北半球モデル

昭和 34 年 6 月、気象庁は最初の現業数値予報モデルとして、500hPa の北半球バランス・バロトロピックモデルの運用を開始した。モデルの予報領域は北半球で、水平格子間隔は 381km、実行回数は 1 日 1 回、予報時間は 48 時間という仕様で運用していた。大気の構造に順圧性（バロトロピック）を仮定した方程式系を用いる数値予報モデルであり、現在の数値予報モデルに比べるとごく簡便な仕様であった。

昭和 36 年 9 月にアジア準地衡風モデル（水平格子間隔 304.8km）、昭和 45 年 4 月に北半球 3 層バランス・バロクリニック・モデル（水平格子間隔 381km）の運用をそれぞれ開始し、大気の傾圧性（バロクリニック）を考慮する数値予報モデルへと発展していった。昭和 48 年 8 月に NAPS2 を NAPS3 へと更新し、同年 10 月に実行回数を 1 日 1 回から 1 日 2 回へと増強した。

昭和 50 年 1 月には、プリミティブ方程式系を用いる水平格子間隔 381km の北半球 4 層プリミティブモデル（NHM: Northern Hemispheric primitive equation Model）の運用を開始した。昭和 57 年 3 月の NAPS4 への更新に伴い、鉛直層数を 8 層に増強した。

昭和 58 年 3 月、これまでの NHM に代えて、水平方向の離散化にスペクトル法を採用した

北半球スペクトルモデル（HSM: northern Hemispheric Spectral Model、水平格子間隔約270km、鉛直層数 12 層）の運用を開始した。スペクトル法とは、これまで NHM 等で用いていた、大気の状態を有限個の格子点値で代表させる格子点法よりも計算精度が高く、大気の状態を様々な波長の波の重ね合わせで表現する手法である。

昭和 63 年 3 月に HSM を全球モデル（GSM）に更新した。この更新では、予報領域の北半球域から全球域への拡張、水平・鉛直解像度の強化や物理過程の改良を実施した。気象庁はその後幾多の改良を加えながら GSM を現在まで運用し続けてきた（GSM の改良については、本節第 2 項「全球モデル」を参照）。

（2）領域モデル

昭和 48 年 10 月に、当時運用していた数値予報モデルが対象としてきた気象現象よりも空間スケールの小さな気象現象に対する予測精度の向上を目的として、アジア・プリミティブ・ファインメッシュモデル（FLM: asian area, Fine-mesh, Limited area Model、水平格子間隔 152.4km、鉛直層数 6 層）の運用を開始した。FLM は、我が国で初めて実用化されたプリミティブモデルである。特に水平格子間隔の高解像度化により、当時運用中の北半球 3 層バランス・バロクリニック・モデルに比べて予測精度が著しく改善した。モデルの予報領域はアジア域であり、当初はその側面境界値としてアジア準衡風モデル（当時、予備的に運用）の予測結果を利用していたが、予報領域内部（プリミティブモデルである FLM）との予報特性の違いによる境界付近の予報精度への悪影響が認識されていた。そのため、NAPS3 でプリミティブモデルである NHM の運用を開始したことを背景に、昭和 57 年 3 月、NAPS4 への更新に合わせて、側面境界値を NHM に変更することで予報誤差の軽減を図った。このほか水平格子間隔 127km、鉛直層数 10 層への高解像度化も実施した。翌年には鉛直層数を 12 層に増強した。昭和 58 年 3 月に、日本付近のメソ α スケール現象を予測することや、FLM の予測結果を補足することを主な目的として、日本域微格子モデル（VFM: Very Fine Mesh Model、水平格子間隔 63.5km、鉛直層数 11 層）の運用を開始した。

昭和 63 年 3 月に、FLM をアジア域モデル（ASM: Asia Spectral Model）へ更新した。水平格子間隔が約 75km に高解像度化されたことで、上述の VFM（水平格子間隔 63.5km）に相当する格子間隔で予報領域のアジア域を覆うことが可能となった。予報時間も 36 時間から 48 時間に延長し、短期予報に一層役立つ資料の提供を目指した。また、ASM ではスペクトル法を採用し、世界で初となるスペクトル法を用いた領域モデルの実用化を行った。同時に、より詳しい量的な予報のための改善を目的として、VFM を日本域モデル（JSM: Japan Spectral Model）に更新し、水平解像度約 40km への高解像化、鉛直層数の増強、物理過程の精緻化を実施した。また、航空予報への役割も期待されていたことに関連して、鉛直層数の増強を対流圏下層のみならず 200hPa 付近でも実施した。平成 4 年 3 月には、JSM の水平格子間隔を約 30km に高解像度化した。

平成 8 年 3 月に、NAPS6 への更新に伴い、GSM の水平格子間隔を約 110km から約 55km に更新したが、ASM（水平格子間隔約 75km）よりも細かい格子間隔となるため、ASM の予測対象である総観スケールからメソ α スケール現象に関する予測資料の提供や、ASM よりも狭い領域モデルへの側面境界値提供といった役割は、高解像度化後の GSM が担

えるようになると考えられた。このため、NAPS6 では ASM に対応するモデルを作らず、領域モデルとしては RSM（領域モデル：Regional Spectral Model）ただ一つのモデルを開発・運用することにした。このことは、モデルのメンテナンスや開発効率上でのメリットをもたらすとともに計算機資源の節約にも繋がった。この利点を活かし、RSM では水平解像度 20km、予報時間 51 時間に設定した。この改良により、JSM よりも高解像度で ASM の予報時間を保証し、メソスケールの擾乱や降水予測、地上風や気温予想のための資料提供が可能となった。これを受けて、気象庁では新たに天気分布予報と時系列予報を開始した。

平成 13 年 3 月の NAPS7 運用開始とともに、RSM の鉛直層数を 36 層から 40 層へと高解像度化した。同時に、防災気象情報の高度化を目的として、メソ解析とメソモデル（MSM）から成るメソ数値予報システムの運用を開始した。メソ数値予報システムは現在運用中のシステムである（その改良等については、本節第 3 項「領域モデル」を参照）。平成 19 年 11 月に GSM の水平格子間隔を約 55km から約 20km へと大幅に高解像度化したことに伴い、RSM の運用を終了した。

（3）台風モデル

数値予報モデルの解像度が十分に高くなるまでは、モデルにおいて台風の扱いが困難であった。このため台風予報向けに、台風予測専用のモデルを開発し、運用していた。

昭和 38 年 9 月から、水平格子間隔 381km のバランス・バロトロピックモデルを用いた台風の進路予測を開始した。単一層のみの予測であり、台風の 3 次元構造はモデル内で考慮されていなかった。

昭和 57 年 3 月に、NAPS4 の運用開始とともに、台風 3 次元モデル（MNG: Moving Nested Grid model）の運用を開始し、台風の 3 次元構造を考慮するモデルへと発展した。MNG は双方向ネスト方式の格子系を用いたモデルで、その格子間隔は外側から内側（台風域）に向かって 381km、190.5km、95km と小さくして、最も内側のモデル領域は予測される台風中心とともに移動する仕様としていた。このような工夫を取り入れることで、当時としては高解像度の台風の取り扱いを可能としていた。

昭和 63 年 3 月に MNG を台風モデル（TYM: TYphoon Model）に更新した。計算機の大幅な性能向上に伴い、MNG で実装していたモデル領域の移動に代えて、TYM では十分なモデル領域を確保し、台風の初期位置に応じて予報領域や投影法を設定する仕様とした。また、TYM ではモデル内で直接水蒸気を予報する改良（MNG では省略されていた）を実施し、積雲対流等による加熱の効果を新たに考慮できるようになった。平成 8 年 3 月には NAPS6 への更新に合わせ、TYM を水平格子間隔 40km、鉛直層数 15 層に高解像度化した。また、台風 72 時間進路予報の実施に資するため、TYM の予報時間を 60 時間から 78 時間に延長した。平成 13 年 3 月には NAPS7 への更新に合わせ、TYM を水平格子間隔 24km、鉛直層数 25 層に高解像度化した。この改良により台風強度の予測精度は大きく向上し、同年 6 月より、台風の強度予報を 24 時間先から 48 時間先まで延長した。

平成 19 年 11 月、GSM の水平格子間隔を約 55km から約 20km へと大幅に高解像度化したことに伴い、TYM の運用を終了した。翌年の平成 20 年に導入した台風アンサンブル予報システム、さらに台風、週間及び 1 か月アンサンブル予報システムを統合し、平成 29 年に導

入した全球アンサンブル予報システムにより、台風の進路予報について確率的な扱いや複数シナリオの検討が可能となった。全球アンサンブル予報システムは現在運用中のシステムである（その改良等については、本節第 2 項「全球モデル」を参照）。

2．全球モデル

（1）全球数値予報システム（全球モデル（GSM）と全球解析）

気象庁は昭和 62 年 12 月に全球を計算対象とする全球モデル（GSM: Global Spectral Model）の試験運用を開始した。翌年の昭和 63 年 3 月には北半球スペクトルモデル（HSM）の運用を終了し、GSM の本運用を開始した。GSM は HSM に対して、計算領域の全球への拡張や分解能の向上、物理過程の改良が加えられた数値予報モデルであった。GSM の運用開始以降も分解能など基本仕様の向上や物理過程の改良、データ同化システムの改良等、長年にわたって多くの改良がなされてきた。GSM の改良とともに気象業務における利用分野も広がっていき、現在の GSM は台風予報、天気予報、週間天気予報、航空気象情報、メソモデルの境界値提供等と多様な業務で利用されており、気象庁の業務の基盤となるモデルとなっている。以下では全球モデルの水平解像度の向上がなされたバージョンを節目として段落を区切り、改良項目や改良の狙い等をまとめる。なお、以下で用いる「GSMyymm」との表記は GSM に改良が導入された西暦の下二桁（yy）と月（mm）を示している。このことから、本項の一部では和暦と西暦を一部併記することとする。分解能の表記については、TLXXX は切断波数（一次格子）、TXXX、TQXXX は切断波数（二次格子）、LXXX は鉛直層数を示す。

運用開始時の GSM8803 の仕様は T63L16（水平約 180km、最上層 10hPa）であった。主に中期予報（3 ～ 8 日）の精度向上を目的としており、前項の HSM では赤道に剛体壁を仮定し予測対象は北半球に限られていたが、GSM ではそれまで予測対象となりえなかった両半球に広がる大気現象を表現できるようになった。また、昭和 63 年（1988 年）から平成元年（1989 年）にかけて、全国で週間予報が毎日発表されるようになったが、その支援のため、HSM で週 2 回だった 8 日（192 時間）予報も GSM では毎日実行することとした。一方、一般的に数値予報モデルで表現可能なスケールは格子間隔の 5 ～ 8 倍とされているように、「少なくても 1,000km 以下の波長を持つ波のふるまいは信頼性が無いと考えるべきであろう」と当時の数値予報解説資料に利用の際の注意点が記載されている。なお、解析の解像度は 1.875 度 ×1.875 度の等緯度等経度格子であった。

GSM8911 では、GSM の仕様を T106L21（水平約 110km）に向上し、上層で等気圧面、下層で地表面に沿ったモデル面を持つハイブリッド座標系と新陸面過程を導入した。切断波数 106 は当時のヨーロッパ中期予報センター（ECMWF）のモデルと同等で、ECMWF のモデルは鉛直層数が 19 層であり、GSM8911 は当時世界で最高の分解能を持つに至ったこととなる。

GSM9603 では、週間予報の精度向上と台風進路予報支援を目指し、GSM の仕様を T213L30（水平約 55km）に向上し、新積雲対流スキームを導入した。GSM9912 では雲水スキームを導入し、積雲対流過程と放射過程の改良を実施した。21 世紀最初の GSM の大規模更新である GSM0103 では、GSM の仕様を T213L40（最上層を 10hPa → 0.4hPa）に向

上し、上部境界の影響の緩和や 10hPa より上空の衛星データの同化により、大気の立体構造をより忠実に表現できるようにした他、積雲対流過程の改良を実施した。また、1 日最大 4 回の TYM84 時間予報を可能にするため、00UTC 初期値においても 90 時間予報、12UTC 初期値では主にシステム障害時の業務継続のため、24 時間延長して 216 時間予報とした。さらに、平成 13 年（2001 年）9 月には解析手法としてそれまで用いられてきた全球 3 次元最適内挿法（OI）に代わり、衛星観測データの有効利用、特に衛星輝度温度の直接同化が可能となる全球 3 次元変分法（3D-var）を新たに導入した。平成 14 年度（2002 年度）から平成 16 年度（2004 年度）前半まで実施された「全球モデル開発推進プロジェクト」では、「短期予報の精度を世界のトップレベルに」というビジョンのもと、「500hPa 高度の 24 時間予報誤差の前 12 か月平均値を、プロジェクト開始時点（平成 14 年度当初）に比べて 25％減らすこと」という具体的な数値目標を設定して様々な開発に取り組んだ。GSM0305 では積雲対流過程の更なる改良、及び雪の近赤外アルベドの調整を実施し、GSM0407 では層積雲スキームの導入、雲氷落下・積雲対流スキームの改良、氷床アルベドの調整を実施し、プロジェクトが終了した平成 16 年（2004 年）9 月には、数値目標に対する達成率が北半球は 78％、南半球は 100％という成果を挙げた。その後、GSM0412 では晴天放射スキームの改良を実施した。GSM0502 では、GSM の仕様を TL319L40（格子上の解像度は約 55km で変わらず）に向上し、計算安定性のための CFL（Courant-Friedrichs-Lewy）条件の制約がなく、タイムステップ幅をより大きくとることができ、計算効率が向上するセミラグランジュ移流スキームを導入した。また、上記プロジェクトの開発課題の一つであった全球 4 次元変分法（全球 4D-Var）を全球解析に導入した。GSM0507 では放射過程における雲の取扱いの改良、オゾン気候値の改定を実施した。平成 18 年（2006 年）3 月には、GSM 航空悪天 GPV 作成を支援するために、新たに 06、18UTC を初期時刻とする 36 時間予報の運用を開始した。

GSM0711 では、GSM の仕様を当時としては世界最高の水平解像度を誇る TL959L60（水平約 20km、最上層 0.1hPa）に向上した。この水平解像度は当時の領域モデル（RSM：約 20km）や台風モデル（TYM：約 24km）（いずれも GSM0711 運用開始と同時に廃止）と同程度であり、RSM と TYM にあった側面境界条件の技術的な難しさや、利用上の特別な留意（GSM との予報特性や解像度の違いから生じる不自然な表現など）からの解放を狙ったものであった。特に、側面境界付近から移動してくる動きの速い台風や、複数の台風が相互作用する場合など、RSM や TYM では予報精度に影響する場合があったが、統合により側面境界に関わるこれらの問題は生じなくなった。また、GSM に統合することで、短期から週間予報まで、均質な予報特性を持ったプロダクトを利用できる等の利点もあった。予報時間も 00、06、18UTC 初期値ではそれまでの TYM と同じく 84 時間に統一された。その後も GSM0801 では積雲対流過程の改良を実施し、GSM0808 では高緯度域における格子点の過度な集中を緩和し、計算量を削減する適合ガウス格子を採用した力学過程の改良を実施した。GSM1212 では層積雲スキームの改良を実施した。GSM1304 では放射過程（エーロゾル気候値、水蒸気吸収係数）の改良を実施した。また、全球解析のインナーモデル（解析修正量を求めるモデル）の水平解像度は、既に GSM に実装されていたセミラングランジュ法などの技術を導入することで、平成 23 年（2011 年）10 月に T159 から TL319（約 55km）に更新された。平成 21

年（2009 年）以降は開発管理の高度化を背景に、仮説と検証を繰り返すいわゆる「科学的な手法」による GSM 改良が精力的に行われるようになった。すなわち、「予測誤差はモデルの諸過程が持つ問題が複雑に絡み合った結果生じている」という認識のもと、モデル予測の誤差の原因やモデルの挙動を既知の事実や知見を論理的に積み上げることによって理解し、その理解に基づいてモデルの修正を試みる科学的なアプローチを重視するように変化してきた。平成 25 年（2013 年）3 月からは全球モデル（12UTC 初期値）と（後述する）週間アンサンブル予報モデルの予報時間を 216 時間（9 日）から 264 時間（11 日）へと延長しているが、これは、それまで「1 週間（7 日）先」までしか許可していなかった民間気象事業者による一般向けの日々の天気予報を「10 日先」までできるよう制度が見直されたことを受け、数値予報資料の拡充により民間気象事業者の予報業務を支援するものであった。GSM1403 では、GSM の仕様を TL959L100（最上層 0.01hPa）に向上し、大気の成層圏・対流圏における鉛直構造の表現の精緻化や、人為的な上部境界の影響の低減を狙い、衛星観測データの更なる利用を目指せるものとした。あわせて放射や重力波、境界層等の各物理過程も改良された。GSM1603 では、積雲対流・雲・放射・海面などの多くの物理過程を改良し、長年の課題であった中層乾燥バイアスや下層低温バイアスなどの予測特性の改善に成功した。NAPS9 の最後の更新となる GSM1705 では、前回の更新時（GSM1603）に認識はされつつも改善出来ていなかった問題に取り組み、再び積雲対流、雲、放射、陸面、海面等多くの物理過程を改良した。平成 30 年（2018 年）6 月には、それまで 3 日先までを対象に行ってきた台風強度予報（GSM の予測が台風強度予測のガイダンス作成に用いられる）を、5 日先まで延長するため、00、06、18UTC 初期値の予報時間は 84 時間から 132 時間まで延長した。平成 30 年以降は、交通政策審議会気象分科会提言「2030 年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」（平成 30 年（2018 年）8 月）を受け、同年 10 月に策定した「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」（以下「重点計画」という。）に沿って GSM の開発を進めることとした。重点計画では、台風の 3 日先の進路予測誤差を 100km 程度（当時の 1 日先の誤差程度）とすること等を目標とし、基盤モデルとして GSM においては更なる高精度化（高分解能化とそれに適した物理過程の開発、高解像度・高頻度観測データの利用とそれを可能にするデータ同化システムの開発等）を進めた。令和元年（2019 年）12 月に全球解析に導入したハイブリッド同化は、変分法で用いる背景誤差について、気候学的に事前に見積もった値に加えてアンサンブル予報から見積もられる予報摂動（ばらつき）を利用することで、実際の大気の状態に応じた誤差情報も考慮する手法であり、同計画の直近かつ精度向上へのインパクトの大きい課題の一つであった。GSM2003 では地形性抵抗過程、非地形性重力波過程、陸面過程、極域の海氷や層積雲の扱いの改良を行い、大気の循環場の予測改善に大きく貢献した。なおこの際、00UTC 初期値の予報時間も 264 時間に延長され、現在と同じ予報時間となった。GSM2103 では、GSM の仕様を TL959L128（最上層 0.01hPa は継続）に向上し、積雪・土壌水分といった地表面解析の改良、ハイブリッド同化の改良を実施した。

GSM2303 では、GSM の仕様を TQ959L128（水平約 13km）に向上し、GSM0711 以来、15 年ぶりの水平高解像度化を実施した。また、高解像度化に合わせて、地形性抵抗過程、非地形性重力波過程、雲放射過程の改良、モデル標高作成のオリジナルデータの更新を実施した。

GSM2303 の改良により、台風進路予測精度、北半球の循環場予測精度の大幅な向上を実現した。GSM2503 では、放射過程・陸面過程を改良するとともに、気象研究所で開発された並列計算手法の改善を導入し、将来の計算機動向も見据えた数値予報モデルのフレーム改良を実施した。

（2）全球アンサンブル予報システム（GEPS）

平成 13 年 3 月に NAPS7 の運用とともに、週間天気予報の支援を目的として、週間アンサンブル予報システム（週間 EPS）の運用を開始した。この週間 EPS は 1 か月アンサンブル予報システム（詳細は、本節第 4 項「季節予報モデル」を参照。）と統一したシステムであり、週間 EPS の一部のメンバーの予報を延長することでそれを実現していた。 運用開始当初の解像度は T106L40（水平約 110km）、メンバー数は 25 であったが、平成 18 年 3 月に TL159L40（格子上の解像度は変わらず）、メンバー数を 51 に増強、平成 19 年 11 月に TL319L60（約 55km）に向上、平成 26 年 2 月には TL479L60（約 40km）に解像度を向上させるとともに、それまでの 1 日 1 回（51 メンバー）から 1 日 2 回（27 メンバー）に高頻度化（代償としてメンバー数減）した。また、運用開始当初は、初期値摂動を成長モード育成法で作成していたが、平成 19 年 11 月に特異ベクトル法（SV 法）による摂動を導入した。さらに、予報モデルの不確実性を考慮するためにモデルアンサンブル手法として、平成 22 年 12 月には確率的物理過程強制法（SPPT 法）を導入した。加えて、平成 23 年 3 月には初期値摂動（SV 法）の対象領域を日本付近の予測精度へのインパクトを期待した北半球及び熱帯から南半球にまで広げ、南半球の予測パフォーマンスの大幅な向上を遂げた。

平成 20 年の台風第 1 号（平成 20 年 2 月）から、台風への適切な防災対応判断の支援に向けて台風進路情報を充実させるため、アンサンブル予報による不確実性の情報を付加し、また、アンサンブル平均による台風進路予報の精度向上を期待して、台風アンサンブル予報システム（台風 EPS）の運用を開始した。台風 EPS は、TYM と同様、気象庁予報部予報課の予報担当者による熱帯低気圧の解析に基づいて熱帯低気圧が日本付近に発生する場合に、1 日 4 回 00,06,12,18UTC を初期時刻として実行された。台風 EPS の運用開始を踏まえ、台風進路予報は平成 21 年 4 月から 5 日（120 時間）先まで延長された。運用開始当初の解像度は TL319L60（約 55km）で、平成 26 年 3 月には TL479L60（約 40km）に解像度を向上するとともに、それまでの 11 メンバーから 25 メンバーに増強した。前段の週間 EPS との間でシステム構成の共通化を図っているが、初期摂動に用いる SV 法の評価領域が熱帯低気圧周辺＋北西太平洋域という点が台風 EPS 特有のものであった。

気象庁は、週間 EPS と台風 EPS に加えて、1 か月予報支援のために 1 か月アンサンブル予報システム（平成 18 年 3 月に週間 EPS と分離。）を運用していた。これらは構成上の共通点が多いものの、割り当てられた計算機資源内でそれぞれの予報業務を支援するのに適したシステム構成と運用形態にする必要性から、仕様が異なる独立のシステムとなっていた。これらのシステムを一体的に開発し、開発成果の共有や相互活用を促進するとともに、システム間の数値予報資料の整合性の向上や、運用に必要な計算機資源の効率的な利用を図るため、平成 29 年 1 月に週間 EPS と台風 EPS を置き換える形で全球 EPS の運用を開始し、同年 3 月には予報時間を 1 か月先まで延長した。これに伴い、1 か月 EPS の運用は終了した。全球 EPS を導

入するにあたり、大きな改良を実施した。具体的には、鉛直層数を 60 層から 100 層に増強し、予報モデルも導入当時の最新のバージョンに更新し、初期値摂動作成手法として、新たに局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF）を SV 法との組み合わせという形で導入した。また、海面水温摂動を新たに導入し、下部境界の不確実性も考慮し始めた。そしてこれ以降、GSM の物理過程等の改善を全球 EPS に原則として同時に適用するようになり、令和 3 年 3 月には 27 メンバーから 51 メンバーに増強し、令和 4 年 3 月には TQ479L128（約 27km）へ水平解像度の向上を実施した。令和 7 年 3 月には、確率的水蒸気プロファイル参照法（SHPC 法）を導入し、それまで不足していた熱帯域の予測のばらつきを改良した。

3．領域モデル

（1）メソ数値予報システム（メソモデル（MSM）とメソ解析）

メソ数値予報システムは、主に天気予報や防災気象情報、航空気象情報の作成支援に利用されている。平成 13 年 3 月の NAPS7 の運用開始とともに、防災気象情報の高度化を目的にメソ解析とメソモデル（MSM: Meso-Scale Model）から成るメソ数値予報システムの運用を開始した。当初は領域モデル（RSM）をもとにした静力学スペクトルモデルによるシステムであり、RSM を側面境界値として、水平格子間隔は 10km、鉛直層は 10hPa までの 40 層、1 日 4 回の実行で 18 時間予報を実施した。平成 14 年 3 月には、メソ解析に静力学 MSM にもとづく 4 次元変分法を導入した。これは、領域解析としては世界初、また、気象庁の数値予報システムとしても初の 4 次元変分法の現業化である。平成 16 年 9 月には、MSM に気象庁非静力学モデル（JMA-NHM: JMA Non-Hydrostatic Model）を導入した。これにより、静力学近似を用いず、かつ、格子点法による予報モデルとなった。JMA-NHM は、気象研究所と数値予報課の共同開発として、気象研究所において 1980 年代から開発が継続されてきた NHM に数値予報課での現業モデルのための開発成果を取り込み、1999 年に完成した気象研究所/数値予報課統一非静力学モデルをもとにして現業化に向けて開発されたモデルである。またこのとき、鉛直層は約 22km（約 40hPa）までの 38 層に更新された。

平成 18 年 3 月の NAPS8 の運用開始においては、MSM の水平格子間隔を 5km に高解像度化、鉛直層を約 22km までの 48 層に更新するとともに、15 時間予報に短縮しつつ実行頻度を 1 日 8 回に倍増し、最新の観測データを取り込んだ予報を高頻度に提供する構成とした。平成 19 年 5 月に、翌日の予報に資するよう、1 日 8 回の実行のうちの 4 回、03,09,15,21UTC 初期値の予報時間を 33 時間に延長した。同年 11 月には、全球モデル（GSM）が RSM の役割を継承しつつ高解像度化を伴う高度化を実施したことから、以降のメソ数値予報システムは GSM を側面境界値に用いることとなった。平成 21 年 4 月、JMA-NHM にもとづく非静力学メソ 4 次元変分法（JNoVA: "JMA Nonhydrostatic model"-based Variational Data Assimilation）を現業化し、解析と予報モデルとも非静力学モデルによるシステムとなった。

NAPS9 導入直後の平成 24 年 8 月に局地数値予報システムの運用が始まり、同システムに側面境界値を提供することがメソ数値予報システムの役割に加わった。平成 25 年 3 月に、メソ数値予報システムは予報領域を拡張した。領域を拡張することで、側面境界値の影響を日本

近辺から遠ざけ、本邦の予報精度の向上を図るとともに、同年5月に予報領域を日本全国に拡張する局地モデルへの適切な側面境界値の提供を可能とした。さらに平成25年5月には、予報支援とTAF（運航用飛行場予報）の運用変更に資するため、1日8回の実行の全てについて39時間予報とした。1日8回の実行のうち、00,12UTC初期値の予報時間については、いずれもNAPS10運用中の平成31年3月及び令和4年6月に、それぞれ51時間及び78時間に延長した。前者は防災気象情報等の作成支援へのMSMの利活用を更に進めるため、後者は台風接近を想定した3日先までの予報に活用するためである。この間、最先端の知見を取り入れ、データ同化も一体に効率的な開発を可能とする現業数値予報システムの構築を目指して開発を進めてきた次世代非静力学モデル（asuca: Asuca is a System based on a Unified Concept for Atmosphere）を平成29年2月にMSMに導入した。このとき、asuca導入にあわせて、鉛直層を約22kmまでの76層に高解像度化した。asucaにもとづく4次元変分法（asuca-Var）も令和2年3月にメソ解析に導入し、メソ数値予報システムは、asucaにもとづく一貫したシステムとなった。令和4年3月には、メソ解析における衛星観測の利用拡充を主な目的として、モデル上端高度の引き上げを行い、鉛直層は約38kmまでの96層となった。また、各運用拡張とあわせて予測精度向上に資する物理過程の改良も継続的に導入した。

（2）メソアンサンブル予報システム（MEPS）

メソアンサンブル予報システム（MEPS: Meso-scale Ensemble Prediction System）は、MSMの予測に対して信頼度や不確実性の情報を付加する目的で運用している。令和元年6月に運用を開始したMEPSは、MSMをコントロールランとして水平格子間隔5kmの21メンバーで構成し、39時間予報を1日4回実施する。予報モデルはMSMと同様にasucaであるため、MSMの開発成果を順次取り入れることが可能である。運用当初から、アンサンブル予報のための摂動を、初期値と側面境界値に対して特異ベクトル法によって与えており、令和5年3月には予報モデル自体が持つ不確実性も考慮するように改善した。

（3）局地数値予報システム（局地モデル（LFM）と局地解析）

局地数値予報システムは、防災気象情報や航空気象情報、降水短時間予報等の作成支援での利用のため、空間・時間スケールの小さい現象を予測することを目指して運用している。同システムは、局地解析と局地モデル（LFM: Local Forecast Model）から成り、MSM予報値を側面境界値としている。平成24年8月の運用開始においては、東日本を中心とした領域を対象に、水平格子間隔は2km、鉛直層は約20kmまでの58層で1日8回の9時間予報を実施した。平成25年5月には、日本全域を対象とした1日24回の毎時実行に高度化した。運用当初、予報モデルは当時のMSMと同じくJMA-NHM、解析はJNoVAによる3次元変分法を用いたが、平成27年1月には、メソ数値予報システムに先んじて、次世代モデルasucaの現業化を行い、予報モデルをasuca、解析をasuca-Varによる3次元変分法に更新した。

平成31年3月には、航空交通管理のための気象情報提供における利便性の向上を目的に、10時間予報に延長した。令和3年3月に鉛直層を約22kmまでの76層に増強し、令和4年3月には解析システムの変分法において、気象場に応じた予測誤差も考慮するハイブリッド同化を現業化した。令和6年3月には、線状降水帯の半日前からの予測情報に資するため、1日8回の3時間ごとの実行について、18時間予報に延長した。

（4）三十分大気解析

三十分大気解析は、航空気象情報などの作成支援のため、大気の実況監視を目的に、風と気温に関する客観解析を高頻度で実施している。平成 13 年 4 月に運用を開始した WINDAS の予警報作業における効果的な利用を図るため、平成 14 年 1 月に毎時下層風解析として運用を開始し、平成 15 年 11 月には、前年にメソ解析でも利用を開始した ACARS（航空機自動観測）データの活用を進めて航空ユーザ向けに上層風の解析を開始したことにより毎時風解析と称することとなった。次いで NAPS8 に更新した平成 18 年 3 月からは、格子間隔を 10km から 5km に高解像度化するとともに解析要素に気温も加えた毎時大気解析に拡張した。この間、その名のとおり 1 時間ごとに、MSM を第一推定値にした最適内挿法により解析を実施した。平成 19 年 3 月に解析手法を JNoVA による 3 次元変分法に更新した。さらに平成 29 年 7 月には、asuca-Var による 3 次元変分法に更新するとともに、第一推定値を asuca による MSM に変更した。そして令和 4 年 12 月に、三十分大気解析として、LFM を第一推定値とする 2km 格子の解析を 30 分ごとに実行する運用に更新した。

4．季節予報モデル

本項では、1 か月予報、3 か月・暖寒候期予報等の季節予報を支援する季節予報モデルについて記述する。1 か月予報を支援する 1 か月アンサンブル予報システム（EPS）は平成 8 年に気象庁で初めての EPS として運用を開始し、3 か月・暖寒候期予報を支援する季節 EPS は平成 15 年に運用を開始し、それぞれこれまでに多くの改良を重ねて予測精度を向上させてきた。その変遷を以下に述べる。

（1）1 か月アンサンブル予報システム

気象庁の 1 か月予報を支援する 1 か月 EPS は、平成 8 年 3 月に導入して以降、多くの改良を重ねてきた。運用開始当初は、T63L30（水平約 180km、鉛直 30 層）の大気モデルを用いて、特異ベクトル法（SV 法）による初期摂動を利用し、1 初期時刻 5 メンバー（1 か月予報プロダクトとしては 24 時間ごと 2 初期時刻の組み合わせにより 10 メンバー）であった。また、海面水温（SST）は予測初期の平年偏差を予報時間中固定する手法であった。平成 9 年 1 月にはモデル上端の引き上げを行い、平成 13 年 3 月には週間 EPS と統合して週間予報からの延長とするとともに、物理過程改良と解像度増強（T106L40; 水平約 110km、鉛直 40 層）、メンバー数増強（13 メンバー ×2 初期時刻による 26 メンバー）を行った。平成 14 年 2 月には、それまでの北半球域に加えて熱帯域にも初期摂動を導入した。同年 4 月には陸面解析を開始し、平成 15 年 6 月、平成 17 年 3 月にも物理過程改良を行った。平成 18 年 3 月には、モデル更新時の系統誤差計算等に時間を要する 1 か月 EPS を週間 EPS から分離し、独立した EPS として運用を開始するとともに、モデルの更新（TL159; 水平約 110km）とメンバー数の増強（25 メンバー ×2 初期時刻による 50 メンバー）を行った。その後も平成 19 年 3 月には物理過程改良や京都大学防災研究所との共同研究による熱帯初期摂動の改良、平成 20 年 3 月には鉛直層数増強（60 層化）と物理過程改良、平成 23 年 3 月には適合ガウス格子導入、平成 26 年 3 月には水平高解像度化（TL319; 約 55km）や確率的物理過程強制法の導入を行った。平成 29 年 3 月には、週間予報から 1 か月予報までを一体的に支援するため、1 か月 EPS、週

間 EPS、台風 EPS の統合を行い「全球 EPS」として運用を開始した（水平解像度は予測 18 日まで TL479（約 40km）、それ以降は TL319、鉛直 100 層）。さらに令和 2 年 3 月からは、季節 EPS で予測された SST を予測途中から用いる 2 段階 SST 法を熱帯域に導入し、令和 3 年 3 月には物理過程改良とあわせて鉛直層数増強（128 層化）、令和 4 年 3 月にもモデル更新（予測 18 日まで TQ479（約 27km）、それ以降は TQ319（約 40km））と 2 段階 SST 法の適用期間前倒し、令和 5 年 3 月には 2 段階 SST 法の適用領域拡張（全球域）を行い、着実に予測精度を向上させてきた。

（2）季節アンサンブル予報システム

3 か月・暖寒候期予報を支援する季節 EPS は、平成 15 年 3 月に運用を開始した。当時のモデルは T63L40（水平約 180km、鉛直 40 層）の全球大気モデルであり、エルニーニョ予測システムによる SST 事前計算結果を利用する 2 段階 SST 法を採用して 31 メンバーで運用した。その後、平成 18 年 3 月にモデルの更新（TL95; 水平約 180km）、平成 19 年 9 月にモデルの更新とメンバー数の増強（51 メンバー）を行った。

気象庁では、1980 年代の後半からエルニーニョ予測のための大気海洋結合モデルの開発を進め、平成 10 年 7 月にエルニーニョ予測システム（JMA-CGCM）として現業化し、平成 15 年 7 月には JMA-CGCM2 へと更新し、この間エルニーニョ現象監視業務等に利用した。当時の大気海洋結合モデルはエルニーニョ予測には有効であったものの、大気予測精度が不十分であったため、季節予報には利用しなかった。しかし、平成 20 年 2 月にエルニーニョ予測システムとして導入した大気海洋結合モデルでは、SST に加えて大気の予測精度も当時の季節 EPS を改善することが確認されたため、平成 22 年 2 月にエルニーニョ予測システムと統合する形で大気海洋結合モデルを使用する季節 EPS（JMA/MRI-CPS1：大気 TL95L40、海洋 1×1-0.3 度 L50）の運用を開始した。海洋初期値の作成には、海洋データ同化システム（MOVE/MRI.COM-G）を用いた。平成 27 年 6 月には海氷モデルの導入、大気海洋結合モデルの高解像度化や物理過程改良、海洋モデルにおける全球域への海域拡張、海洋データ同化システムの改良（MOVE/MRI.COM-G2）等を行い、2 代目となる JMA/MRI-CPS2（大気 TL159L60、海洋 1×0.5-0.3 度 L52+ 海底境界層、5 日毎 13 メンバー）へ更新した。さらに令和 4 年 2 月には海洋 4 次元変分法や海氷 3 次元変分法の導入、水平鉛直高解像度化（海洋・海氷モデルでは渦許容解像度までの引き上げ）、物理過程改良等を行い、3 代目となる JMA/MRI-CPS3（大気 TL319L100、海洋 0.25×0.25 度 L60、毎日 5 メンバー）を運用している。JMA/MRI-CPS3 では、マッデン・ジュリアン振動（MJO）やブロッキング現象などの季節内変動からエルニーニョ現象に至るまで、幅広い時間スケールの変動の表現が改善した。

5．波浪モデル

数値波浪予報モデルは、各周波数及び波向ごとの波浪エネルギーの分布（方向スペクトル）が、時間・空間的にどのように変化するか、エネルギー平衡方程式を基礎方程式として数値的に求めるものである。歴史的には、波の非線形相互作用を考慮しない第一世代、非線形相互作用の影響をパラメータ化して簡略計算する第二世代、より厳密計算に近い方法を用いて直接的に計算する第三世代へと発展してきた。気象庁では、気象研究所で開発した第一世代の波浪モデル

MRI をもとに、昭和 52 年 3 月から北西太平洋域を予報対象とした外洋波浪モデル（格子間隔 381km）の現業運用を開始した。また、昭和 58 年 3 月からは同じく MRI を用いて、日本近海を対象とした近海波浪モデル（格子間隔 127km）の運用も開始した。昭和 61 年 9 月には、第二世代モデルである MRI-Ⅱを外洋波浪モデルと近海波浪モデルに導入した。近海波浪モデルは、平成 8 年 3 月に格子間隔を 127km から約 50km（0.5 度）へと細かくし、平成 14 年まで運用した。

（1）全球波浪モデル

全球波浪モデルは、上述の MRI-Ⅱを用いた外洋波浪モデルから平成 6 年 10 月に計算対象領域を北西太平洋域から全球領域へと拡張するとともに、直角座標系から球面座標系へ変更し、格子間隔約 250km（2.5 度）に高解解像度化して試験運用を開始した。その後、平成 10 年 4 月に第三世代波浪モデル（MRI-Ⅲ）を導入し、平成 13 年 3 月には格子間隔を約 250km（2.5 度）から約 125km（1.25 度）に高解像度化した。平成 19 年 5 月には、モデルの全面的な更新を行い、格子間隔を約 50km（0.5 度）へ高解像度化、波のエネルギーの入出力を表現する外力項の改良、移流計算の改良を実施した。平成 21 年 12 月から波浪客観解析、平成 24 年 10 月からデータ同化を導入し、モデルの予測精度を改善した。さらに、平成 29 年 5 月には浅海効果の導入や海上風の取り扱いの精緻化を行い、令和 5 年 1 月には格子間隔約 25km（0.25 度）への高解像度化を実施した。また、近年には予報時間の延長を平成 25 年 3 月（12UTC 初期値で 192 時間から 264 時間へ）、平成 30 年 6 月（00, 06, 18UTC 初期値で 84 時間から 132 時間へ）、令和 5 年 1 月（00UTC 初期値で 264 時間へ）に実施し、現在の予報時間は 00, 12UTC 初期値で 264 時間先まで、06, 18UTC 初期値で 132 時間先までとしている。

（2）沿岸波浪モデル

日本の沿岸海域については地形等の局地的影響が強いため、上述の近海波浪モデルよりも高解像度の波浪予測情報が望まれていた。そのため、格子間隔約 10km（0.1 度）の沿岸波浪モデルの運用を昭和 58 年 3 月に開始した。このモデルにおいては、近海波浪モデルの結果をもとにして各タイムレベルで診断的に計算する手法を用いた。平成 14 年 3 月には沿岸波浪モデルにおいても第三世代モデル（MRI-Ⅲ）を採用し、格子間隔約 10km（0.1 度）の時間積分モデルを導入した。その後、平成 19 年 5 月には格子間隔約 5km（0.05 度）へ高解像度化し、物理過程等も大幅に変更した。平成 21 年 12 月からは波浪客観解析、平成 24 年 10 月からはデータ同化を導入し、モデルの予測精度を改善した。このように改善した全球波浪モデルと沿岸波浪モデルの予測結果を活用し、平成 29 年 3 月からは、多重波や逆向きの流れに伴う波の変形による突然の大波などが発生しやすい「航行に危険な海域」情報の提供を開始した。同年 5 月には浅海効果の導入を実施した。

（3）波浪アンサンブル予報システム

波浪アンサンブル予報システムは、複数の予測結果を利用することにより週間予報における早期注意情報（警報級の可能性）に必要な信頼度付きの情報を得ることを目的として、格子間隔約 125km（1.25 度）の全球波浪モデルを使用し、大気外力に週間アンサンブル予報システム（EPS）を用いメンバー数 27、予報時間 264 時間（00, 12UTC 初期値）として平成 28 年 6 月に運用を開始した。その後、令和 2 年 3 月に浅海効果導入、格子間隔約 50km（0.5 度）

へ高解像度化し、令和 3 年 3 月にアンサンブルメンバー数を全球 EPS の全メンバーを用いて 51 メンバーに増強した。波浪アンサンブル予報システムの予測結果は、台風委員会メンバー（国及び地域）や WMO の荒天予測計画（SWFP）の支援としても提供している。

（4）浅海波浪モデル

浅海波浪モデルは、国土交通省河川局（現在の水管理・国土保全局）との連携の枠組みとして平成 20 年 8 月に試験運用を開始した。一部海域のみを対象としており、現在でも試験運用の位置付けである。日本周辺海域全体ではなく水深の浅い特定の内海や内湾を対象とし、ヨーロッパの波浪研究者を中心とした WAMDI group による第三世代モデルである WAM cycle 4 をベースに、港湾空港技術研究所で改修し、国土技術総合政策研究所等が改良を施した波浪モデルである。格子間隔約 2km 弱（1 分）の解像度で詳細な地形と港湾を表現し、浅海効果も表現されている。当初は東京湾など 5 海域を対象としていたが、順次海域を追加して現在は 22 海域となっている。

6．高潮モデル

（1）日本域高潮モデル

高潮は風、気圧に駆動された海水の運動によって生じるため、海水の運動を支配する方程式を数値的に解くことにより、その時間変化を予測することができる。気象庁では、高潮による被害軽減に資する正確かつ詳細な予報を即時的に行うため、平成 10 年 7 月から数値予報モデルを用いた高潮予測を開始した。運用当初は、関東から九州にかけての沿岸を対象とし、モデルの格子間隔は緯度経度ともに 1 分（東西方向約 1.6km、南北方向約 1.8km）であった。モデルによる予測計算は、台風接近時のみ行い、台風場の外力はパラメトリックモデルを利用し、台風が予報円中心と予報円上の 4 点を通る場合の 5 つのケースについて、1 日 4 回、24 時間先まで実施した。平成 11 年 8 月からは計算領域に東北・北陸地方を追加し、その後、沖縄、北海道を順次追加した。平成 16 年 1 月からは温帯低気圧に伴う高潮も予測するためメソ数値予報モデル（MSM）の格子点値を外力として利用し、日本全国を対象に毎日運用へと変更した。また、同年 5 月からは予報時間を 33 時間に延長した。平成 19 年 5 月からは 1 日 8 回実行へと運用頻度を増加させた。平成 21 年 5 月には高潮モデルを更新し、水平格子間隔は最小で緯度方向 30 秒、経度方向 45 秒（約 1km×1km）へと高解像度化した。格子間隔を変化させることができるアダプティブ・メッシュと呼ばれる手法により、格子間隔は沿岸から離れるにつれ約 1、2、4、8、16km の 5 段階に変化する。高潮モデルでは潮位偏差の予測のみ行うが、平成 22 年 5 月には面的天文潮位（潮位観測データが存在しない格子でも天文潮位を算出する手法）を開発し、潮位偏差と天文潮位を加算した潮位として情報提供を開始した。平成 25 年 11 月には予報時間を 39 時間に延長し、令和 4 年 9 月には 00, 12UTC 初期時刻の予報時間を 78 時間へ延長した。

また、5 日先までの高潮の早期注意情報（警報級の可能性、令和 4 年 9 月運用開始）の基礎資料を提供するため、台風予報の信頼度も考慮した高潮予測を行う日本域台風時高潮確率予報システム（日本域高潮 PFS）を開発し、令和 4 年 8 月に試験運用、同年 9 月に本運用を開始した。このシステムでは、米国海洋大気庁ハリケーンセンターがハリケーン接近時の高潮確

率予測を行うために運用しているP-Surgeの手法の簡略版として、高潮モデルの外力としては気象モデルの風・気圧の予測値は用いず、台風予報に基づいて作成される台風ボーガスの風・気圧により高潮モデルを駆動している。

（2）アジア域高潮アンサンブル予報システム

気象庁では、平成20年までの大きな高潮災害を経て作られたWMOの高潮監視スキームの枠組みのもと、台風委員会メンバー（国及び地域）への高潮情報提供を目的として、平成23年6月にアジア域高潮モデルの運用を開始した。

運用開始当初は、東南アジアを含む領域を対象とし、気象庁全球モデルを大気外力とした決定論予報を台風時のみ実施した。予報時間は72時間であった。平成25年には計算領域を東経160°までに拡張し、平成28年1月からは冬季モンスーン等による高潮にも対応するため常時運用を開始した。平成28年6月には、気象庁全球モデルに加え、全球アンサンブル予報システムの予報結果から5メンバーを選択し大気外力とする（計6メンバー）複数コースの高潮計算を開始した。令和4年8月には、高潮防災に有効な数日前からの高潮確率予測プロダクトの提供に向けて、沿岸部の解像度を3.7kmから約1.5kmへ向上させるとともに、計算領域を東経180°まで拡張、予報時間を72時間から132時間に延長し、アンサンブルメンバー数を従来の6から52に増強した。これによって本格的なアンサンブル予報が可能となったことから、システムの名称をこれまでの「アジア域高潮モデル」から「アジア域高潮アンサンブル予報システム」に変更した。

7．海況監視予測システム

気象庁では、日本近海を中心とした北西太平洋の海況監視を行うため、平成13年1月から気象庁第一世代の海洋総合解析システム（COMPASS-K: Comprehensive Ocean Modeling, Prediction, Analysis, and Synthesis System in the Kuroshio region）の現業運用を開始した。本システムでは、現場観測による海面水温・表層水温データと衛星観測による海面水温・海面高度データの客観解析結果を束縛値として海洋データ同化を行い、水温・塩分・流速場を解析した。水平解像度は領域によって異なり、最も細かい日本近海で0.25度（約25km）、鉛直層数は21層であった。

平成20年3月からは、北西太平洋を対象とする解析システムをそれまでのCOMPASS-Kから、気象研究所で新たに開発した海洋データ同化システムMOVE/MRI.COM（Multivariate Ocean Variational Estimation/Meteorological Research Institute Community Ocean Model）を用いた3次元変分法による北西太平洋海洋データ同化システム（MOVE/MRI.COM-WNP）に変更し、その現業運用を開始した。このシステムの水平解像度は日本近海で0.1度（約10km）、鉛直層数は54層である。また、平成28年6月から令和3年3月まで、4次元変分法による北西太平洋同化システムに水平解像度約2kmの瀬戸内海モデルが単方向ネスト（広域・狭域モデル間での境界を介した情報伝達）された、瀬戸内海監視予測システム（MOVE/MRI.COM-Seto）を、後述の日本沿岸海況監視予測システムのプロトタイプとして運用した。

令和2年10月には、北西太平洋の海況監視だけでなく日本周辺の詳細な海況情報の提供も

可能な、日本沿岸海況監視予測システム（MOVE/MRI.COM-JPN、以下「MOVE-JPN」という。）の現業運用を開始した。本システムのうち解析システムは、3 次元変分法による全球海洋同化システム（水平解像度約 100km）と、これに単方向ネストされた、4 次元変分法による北太平洋海洋同化システム（同約 10km）で構成され、日本近海モデル（同約 2km）の初期値は Incremental Analysis Update（IAU）の手法を用いて作成される。予測システムは、全球モデルと北太平洋モデルが双方向ネスティングで、日本近海モデルが単方向ネスティングで実行され、各モデルの鉛直層数はいずれも 60 層である。この MOVE-JPN では、従来は扱うことが難しかった沿岸域の水温、海流、潮位変動をより詳細に表現することが可能となった。

また、気象庁では海氷情報の支援を目的として、海氷数値モデルに関するそれまでの研究成果を利用し、平成 2 年 12 月にオホーツク海南部とその隣接海域を対象とした数値海氷モデル（水平解像度 12.5km）の現業運用を開始した。近年になり、上述の MOVE-JPN に、従来の海氷モデルを高度化した水平解像度 2km の海氷モデルも組み込まれ、海況予測と整合の取れた海氷予測を行うことが可能となった。このことから、従来の海氷モデルに替えて、海氷予測への MOVE-JPN の導入を令和 3 年 12 月に実施した。

MOVE-JPN ではその後、令和 5 年 2 月には海洋モデル本体更新と時間積分法変更を行い、また、衛星データ同化に用いる海面高度の補正値に対して定数ではなく日々の観測データから更新されるように変更することで、予測精度を向上させた。

なお、気象庁では船舶からの油の大規模流出事案に対する油の漂流予測業務（平成 11 年開始）において「漂流予測モデル」を即応的に運用している。このモデル計算に用いる外力の一つとして、海流の情報は COMPASS-K（平成 15 年利用開始）以降、改良を加えてきた上述の海況監視予測システムによるデータを利用している。

8．長期再解析

異常気象の監視、季節予報の精度向上、地球温暖化の監視等の業務では、過去と現在の気候を定量的に評価することが求められるため、長期間にわたって高品質で均質なデータセットが不可欠である。このため気象庁では、これまで第 1 次（JRA-25;（一財）電力中央研究所との共同研究プロジェクトとして実施）、第 2 次（JRA-55）、第 3 次（JRA-3Q）の全球長期再解析を実施してきた。これらの長期再解析データは、上記業務での利用のほか、気象・気候・海洋学等の学術研究や、農業気象学や再生可能エネルギー等の応用分野における基盤データとして、国内外で広く活用されている。

（1）JRA-25

JRA-25 長期再解析は、平成 16 年 3 月時点の気象庁現業全球数値予報システムを用いて昭和 54 年～平成 16 年の 26 年間を解析対象とした（平成 18 年完成）。また、同システムを用いて気候解析値の作成を継続する準リアルタイム運用を平成 26 年 2 月まで行った。モデルの水平解像度は T106（約 110km）、鉛直層は上端 0.4hPa までの 40 層であり、データ同化手法に 3 次元変分法（3D-Var）を用いた。JRA-25 の大きな特徴は、降水量プロダクトの精度が当時の他の再解析よりも優れていたことである。また、北東太平洋などで熱帯低気圧を検出できる割合が他の再解析より高く、熱帯低気圧に関して領域によらない均質な解析値が得られた。

（2）JRA-55

気象庁 55 年長期再解析（JRA-55）は平成 21 年 12 月時点の気象庁現業全球数値予報システムを用いて、昭和 33 年～平成 24 年の 55 年間を解析対象として実施し（平成 25 年完成）、その後準リアルタイムでの運用を令和 6 年 1 月まで継続した。水平解像度は TL319（約 55km）、鉛直層は上端 0.1hPa までの 60 層である。放射スキーム等の物理過程の改良や 4 次元変分法の採用、衛星輝度温度のための変分法バイアス補正（VarBC）など、JRA-25 実施以降の現業システムの開発成果を取り入れた。JRA-55 では、JRA-25 で見られた下部成層圏の低温バイアスは解消し、時間的な不連続も改善した。また、アマゾン領域における乾燥バイアスは、JRA-25 と比べて緩和した。

JRA-55 のサブプロダクトとして、従来型観測データのみを使用した再解析（JRA-55C）、大気モデル相互比較プロジェクト（AMIP）型シミュレーションとして境界条件のみを与えた JRA-55AMIP、JRA-55C に高解像度の海面水温を与えた JRA-55CHS を実施、公開した。また、日本域における顕著現象の長期変化等の気候特性の把握や顕著事例の事例解析を行うことを目的とした JRA-55 領域ダウンスケーリング（DSJRA-55）も実施し、データを公開した。

（3）JRA-3Q

気象庁第 3 次長期再解析（JRA-3Q）は、平成 30 年 12 月時点の気象庁現業全球数値予報システムを用いて、昭和 22 年 9 月以降を解析対象として実施し（令和 4 年完成）、その後準リアルタイムでの運用を開始した。水平解像度は TL479（約 40km）、鉛直層は上端 0.01hPa までの 100 層である。積雲対流をはじめとする物理過程の大幅な改良を含む JRA-55 以降の現業システム及び海面水温解析の開発成果や、国内外の気象機関等によるデータレスキュー、衛星運用機関による衛星データの再処理による過去の観測データ拡充の成果等を活用することにより、品質が大幅に向上した。解析期間も JRA-55 から 10 年以上遡ったことにより、昭和 22 年台風第 9 号（カスリーン台風）等の事例調査も可能となった。熱帯低気圧の解析においては、JRA-55 まで利用していた熱帯低気圧周辺風の算出方法から、気象庁現業システムに基づく熱帯低気圧ボーガスデータ作成手法に変更したことにより、JRA-55 で見られた現実にはない長期的な弱化傾向が解消し、一貫性が大幅に改善した。また、大気上端・地表面におけるエネルギー収支が JRA-55 と比べて改善した。

9．物質輸送モデル

気象庁における物質輸送モデル（又は大気化学モデル）は 1990 年代後半から気象研究所・観測部環境気象課を中心に、研究・開発が進められた。2000 年代以降は地球環境問題・気候変動問題への対応として気象研究所の気候モデルに組み込まれる形で開発され、黄砂情報、紫外線情報、大気汚染気象業務に業務利用されるようになった。また、物質輸送モデルによる情報は地球システムモデル要素として数値予報の境界値情報としても利用されている。このほか、昭和 61 年のチョルノービリ（チェルノブイリ）原子力発電所事故を契機として移流拡散モデルの開発が予報部数値予報課で開始された。移流拡散モデルは、環境緊急対応（EER: Environmental Emergency Response）地区特別気象センター（RSMC: Regional Specialized Meteorological Centre）として、原子力発電所の事故等発生時に、国際原子力

機関（IAEA）等の要請に応じて、大気中に放出された有害物質の拡散予測情報に利用されるようになった。

（1）全球エーロゾルモデル

気象庁では、平成 16 年 1 月から黄砂情報提供業務に合わせて、全球エーロゾルモデルを使用する黄砂解析予測システムを運用開始した。運用開始時の全球エーロゾルモデル MASINGAR（Model of Aerosol Species IN the Global AtmospheRe、水平解像度約 110km、鉛直 20 層）は、全球大気大循環モデル MRI/JMA98 AGCM にエーロゾル過程を組み込み、黄砂現象の原因となる鉱物ダスト粒子（石英、長石などの鉱物の微小粒子）のみを対象とする第一世代のものであった。大気場の計算は全球解析値・予報値へのナッジング手法による同化を用いている。平成 26 年 11 月には、全球エーロゾルモデルを第二世代の MASINGAR mk-2（TL159L40）へ更新した。このモデルは気象研究所の温暖化予測地球システムモデル MRI-ESM1 のサブセットとなり、気象研究所全球大気大循環モデル（MRI-AGCM3）と結合する構成となっている。エーロゾル過程では、鉱物ダスト粒子の発生・予測の定量的な改良や、鉱物ダスト以外の粒子（硫酸塩・有機炭素・黒色炭素・海塩）を扱う変更が施された。また、全球数値予報モデルの放射過程で使用されていた 2 次元月別エーロゾル気候値に代わり、MASINGAR mk-2 によるエーロゾル種類別の 3 次元月別エーロゾル濃度気候値を衛星観測値により補正したデータが平成 29 年 5 月から現業利用されている。平成 29 年 2 月には、水平解像度の約 40km への増強（TL479L40）や春季における過大な黄砂粒子の舞い上がりを調整する改良を行った。さらに令和 2 年 1 月には、静止気象衛星「ひまわり」可視・近赤外チャンネルの観測データから作成されたエーロゾル光学的厚さプロダクトの二次元変分法によるエーロゾルのデータ同化（ひまわり AOT 同化）を新規導入し、日本付近における黄砂の解析予測精度が向上した。令和 4 年 12 月には、データ同化に利用しているひまわりエーロゾルプロダクトについて、ひまわり 8 号から 9 号への切り替えを行った。

（2）全球及び領域化学輸送モデル

気象庁では、平成 17 年 5 月から紫外線情報提供業務にあわせて、紫外線予測システムを運用開始した。このシステムでは大気大循環モデルと全球化学輸送モデルを結合させてオゾン量を予測し、衛星観測オゾン全量のナッジングによるデータ同化でオゾン解析値を作成する。運用開始時の全球化学輸送モデルは成層圏を対象とした MRI-CCM1（Chemistry Climate Model;T42L68）であり、平成 26 年 10 月に MRI-ESM1 のサブセット構成の MRI-CCM2（TL159L64）へ更新し、対流圏オゾン光化学も対象とする化学過程の精緻化が行われるとともに水平解像度が向上した。その後、オゾン全量のナッジングに利用する衛星の寿命に伴い、利用する衛星を平成 28 年 11 月に Aura/OMI から Suomi-NPP/OMPS へ、さらに令和 5 年 1 月には Suomi-NPP/OMPS から NOAA-20/OMPS へ更新した。また、紫外線予測システムによるオゾン解析値・予測値について、平成 26 年 9 月には全球解析（衛星データ同化）で MRI-CCM1 のものを気候値に代えて利用開始し、平成 31 年 4 月には MRI-CCM2 のものに更新した。その他、長期再解析で使用するため、全球化学輸送モデルによるオゾン再解析データを作成し、JRA-25 及び JRA-55 に MRI-CCM1 で、JRA-3Q に MRI-CCM2 であらかじめ計算したものが使用されている。

スモッグ気象情報及び大気汚染気象通報にて実施される大気汚染気象予報業務支援には、大気汚染気象予測システムを利用してきた。平成 22 年 2 月から大気大循環モデルと MRI-CCM2 を組み合わせた全球大気汚染気象予測モデル（T106L30）を運用開始し、平成 25 年 4 月に大気大循環モデルを MRI-AGCM3 に更新するとともに鉛直解像度が向上（TL159L48）した。平成 27 年 3 月以降は全球大気汚染予測モデルにネスティングされた領域化学輸送モデル NHM-Chem（水平解像度 20km、鉛直層数 18 層）が大気汚染気象予報業務の支援を担うこととなった。全球域を担う全球大気汚染予測モデルは紫外線予測システムと平成 28 年 8 月に統合した。さらに、令和 2 年 3 月からは東日本や西日本を対象とする高解像度版領域化学輸送モデル ASUCA-Chem（水平解像度 5km、鉛直層数 19 層）の利用を開始し、地上オゾン濃度観測データ（環境省大気汚染物質広域監視システム）のナッジングによるデータ同化（AEROS 同化）を実装した。令和 5 年 2 月には NHM-Chem の運用を終了するとともに ASUCA-Chem の計算領域を日本周辺域に拡大して領域化学輸送モデルを一本化した。領域化学輸送モデルの運用は、大気汚染気象予報業務の終了に伴い、令和 7 年 2 月に終了した。

（3）二酸化炭素輸送モデル

気象庁では、平成 21 年 2 月から二酸化炭素解析システムによる二酸化炭素分布情報を気象庁ホームページ等で提供開始した。本システムは、二酸化炭素輸送モデルと、ベイズ統合逆解析手法による二酸化炭素放出吸収量解析で構成される。逆解析に使用される二酸化炭素濃度の観測値には、気象庁が運営する温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）に収録されるデータを用い、解析結果は年一回更新している。当初運用していた二酸化炭素輸送モデル CDTM（水平 2.5 度、鉛直 32 層）は気象場に JRA-25/55 を用いてオフラインで輸送計算を行うモデルであった。平成 28 年 3 月には、全球数値予報モデルに二酸化炭素輸送過程を組み込んだ GSAM-TM（TL95L60、水平約 180km、鉛直 60 層）へ更新し、さらに令和 2 年 2 月には TL159L60（水平約 110km）へ高解像度化を行った。

（4）移流拡散モデル

環境緊急対応（EER）地区特別気象センター（RSMC）業務では IAEA 等における原子力事故対策を支援するため、あらかじめ指定された WMO の環境緊急対応 RSMC が、その気象データ等を使って放射性物質の予測情報等を提供する。これはチョルノービリ原子力発電所事故における対応を受けて提案されたもので、気象庁は、平成 9 年 7 月から同 RSMC 業務を開始した。同 RSMC 業務で利用される移流拡散モデルは全球モデル（GSM）の解析値・予報値でトレーサーを流すラグランジュモデルで、放出された多数のトレーサー粒子が水平、垂直移流と乱流拡散によって移動し、乾性・湿性沈着によって堆積する。大気中の放射性物質の核崩壊の過程は各物質の半減期に基づいて計算する。平成 23 年の福島第一原子力発電所の事故では、気象庁は同年 3 月 11 日から 5 月 23 日まで 40 回以上の IAEA からの要請を受け、IAEA が仮定する放出条件に基づいたシミュレーションを行った。

また、本モデルは火山に関する情報においても、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た、全球及びメソスケールの数値予報モデルの解析値・予報値を利用した火山灰・火山ガスの移流・拡散等の予測計算（航空路火山灰予測、降灰予報、火山ガス予報）にも活用されている。

【第３節】数値予報での観測データの利用

数値予報モデルの実行には、地表面や大気上端、側面などの適切な境界条件に加えて、その対象領域となる３次元空間のすべての格子点で、予報の初期時刻における大気の気温、風、水蒸気量などや海洋・陸地の海面水温、地中温度、土壌水分量などの初期値を与える必要がある。観測データは、時間、空間的に不規則に分布しているので、観測データに含まれる情報を適切に反映しつつ、すべての格子点における初期値を作成する処理が必要となる。このように、不規則に分布した観測データと直近の数値予報の結果を適切に組み合わせて、規則的な数値予報モデルの格子点での初期値を作成することを客観解析又はデータ同化という。また、過去の観測データに含まれる情報を反映するため、数値予報とデータ同化を繰り返す手法を解析予報サイクルという。この節では全球モデルやメソモデルなどの大気モデルの客観解析に利用される観測データ及びデータ同化手法の変遷を述べる。客観解析で利用される観測データは、

・直接観測：地上（気象官署、アメダス、空港など）、海上（船舶、ブイなど）、ラジオゾンデ、航空機
・リモートセンシング（遠隔観測）：
  - 地上設置：ウインドプロファイラ、気象レーダー、全球航法衛星システム（GNSS）受信機
  - 人工衛星：静止軌道衛星（ひまわり、GOES、Meteosat など）、低軌道衛星（NOAA、MetOp、GNSS 掩蔽（えんぺい）衛星など）
・疑似観測：台風ボーガス

と分類できる。

2000 年代以前にデータ同化に利用されていた関数当てはめ法や最適内挿法では、高度や気温、風、湿度などしか利用できなかったため、直接観測データの重みが大きかった。直接観測は陸上を中心に分布していたため、海上を観測できる衛星データの利用は重要である。このため、衛星データとしては、「ひまわり」をはじめとする静止軌道衛星のイメージャから雲の動きにより得られた大気追跡風データ、低軌道衛星の散乱計から海面にできる風浪の状態より得られる海上風データ、NOAA 衛星など低軌道衛星が観測した輝度温度から変換された層厚や気温データを利用していた。

2000 年代以降は、衛星データが増大したことにより、数値予報の予測精度は衛星データの効果的利用が精度向上の鍵になった。従来の衛星データの利用では、特に輝度温度から変換したデータは、何かしらの前提条件のもとに算出されており、その前提条件に起因する誤差等が、品質のよい初期値を作成する上で大きな制約になっていた。そこで、衛星データのような、高度や気温、風、湿度以外の観測データを直接利用できるデータ同化手法として、変分法が採用されるようになり、観測データ利用において大きな転機となった。全球モデルの初期値を作成する全球解析では平成 13 年９月に３次元変分法、平成 17 年２月に４次元変分法を導入した。メソモデルの初期値を作成するメソ解析では平成 14 年３月に４次元変分法を導入した。平成 24 年８月から運用開始した局地モデルの初期値を作成する局地解析では当初から３次元変分法を導入した。変分法の導入により気象要素以外の観測データが直接利用できるようになり、

数値予報の精度向上に大きく貢献している。また、それぞれの数値予報モデルの特性・運用形態や利用用途を踏まえて、より効果的に数値予報の精度向上が見込まれる観測データを優先的に利用するようになった。

全球解析では、広域で均質な情報を与える衛星からの輝度温度データを利用するための開発が優先的に行われている。変分法導入以降、まずは平成 15 年 5 月に低軌道衛星に搭載されているマイクロ波サウンダの輝度温度データの利用を開始した。輝度温度データの利用には、各衛星・測器固有かつ経年変化する系統誤差の補正が必要である。このため平成 18 年 5 月に変分法バイアス補正を導入し、以降より多くの衛星輝度温度データを利用できるようになった。平成 19 年 6 月に「ひまわり 6 号」（MTSAT-1R）の晴天輝度温度データの利用を開始した。平成 26 年 9 月に低軌道衛星に搭載されている赤外放射計データの利用を開始し、これによって、観測データの利用数が飛躍的に増大した。令和元年 12 月に低軌道衛星の水蒸気に感度のあるマイクロ波センサーに対して、輝度温度データの全天同化を開始し、これまで利用していた晴天域のデータに加え、雲・降水域のデータが利用できるようになり、より多くの情報が初期値に反映できるようになった。輝度温度データ以外にも、平成 15 年 5 月に低軌道衛星搭載マイクロ波散乱計から算出された海上風データの利用を開始、平成 19 年 3 月に GNSS 衛星からの電波を低軌道衛星で受信することによって得られた掩蔽データの利用を開始、平成 21 年 11 月に航空機気温データの利用を開始、平成 27 年 10 月に METAR 地上気圧データの利用を開始、令和 3 年 6 月に航空機気温データバイアス補正手法の改良など、新規データ利用や既存利用データの改良を行っている。

メソ解析では、日本域のより詳細な大気の状態を解析するため、国内に設置されたリモートセンシングデータを利用するための開発が優先的に行われている。特にメソ解析では降水量データが利用できることが特徴である。平成 14 年 3 月の 4 次元変分法の導入と同時に、解析雨量データの観測誤差を考慮した同化を開始した。平成 17 年 3 月にドップラーレーダーのドップラー速度の利用を開始、平成 21 年 10 月に国土地理院が運用する電子基準点で得られる GNSS 大気遅延量から算出した可降水量データの利用を開始、平成 23 月 6 月にレーダーの反射強度から推定した相対湿度の利用を開始した。衛星についても、降水量や水蒸気の情報を持つ観測データを活用しており、平成 15 年 10 月に低軌道衛星のマイクロ波イメージャから算出された降水量や可降水量の利用を開始した。平成 16 年 7 月に低軌道衛星搭載マイクロ波散乱計から算出された海上風データの利用を開始、平成 22 年 12 月に衛星の赤外及びマイクロ波輝度温度データの利用を開始した。令和 2 年 3 月にデータ同化手法を更新し、asuca に基づく 4 次元変分法を導入すると同時に、変分法バイアス補正を導入することで、衛星の輝度温度データの利用を高度化した。令和 3 年 8 月に線状降水帯の予測精度向上のための取組の一環として整備された、船舶 GNSS の可降水量データの利用を開始し、令和 5 年 3 月にアメダス湿度計の湿度データの利用を開始した。

局地解析では、高解像度な初期値を作成できることを生かし、平成 24 年 8 月の運用開始当初からアメダスの気温・風データを利用していた。平成 29 年 1 月に衛星の赤外及びマイクロ波輝度温度データの利用を開始、同時に衛星から算出された土壌水分データの利用を開始した。その他、降水量データはデータ同化手法の制約から利用できていないものの、それを除けばお

おむねメソ解析と同じような観測データを利用している。

【第４節】ガイダンス

気象庁では、地形など様々な要因によって生じる数値予報の系統的な誤差を補正したり、数値予報で直接には計算しない降水確率などの要素を算出したりすることによって、予報作業を支援するためのプロダクトを作成している。このプロダクトを「ガイダンス」という。ガイダンスを作成するため、長期間の実況値と数値予報の結果から統計的な手法により決めた予測式に基づく線形重回帰やロジスティック回帰、逐次学習が可能な予測式に基づくカルマンフィルタやニューラルネットワークを用いるほか、統計的な手法ではなく経験的な手法により決めた予測式に基づく診断手法を用いている。

気象庁では、昭和 40 年代後半から線形重回帰を用いたガイダンスの開発を進め、昭和 52 年に降水確率、大雨確率、降水型（予測される降水が層状性か対流性かの判別）、昭和 53 年に平均降水量（当時の名称は平均雨量）、最大風速、昭和 54 年に最高気温、最低気温の各ガイダンスの気象官署への配信を始めた。その後も様々な要素のガイダンスの開発を続け、昭和 56 年に発雷確率（当時の名称は雷雨確率）、昭和 57 年に日照確率（昭和 60 年に名称を曇天率に変更）、雪確率（「降水あり」の条件下でそれが雪になる確率）を追加した。さらに、平成 2 年に最小湿度、気温確率（最高気温が基準値を上回る確率、最低気温が基準値を下回る確率）、風確率（最大風速が基準値を超える確率）の各ガイダンスを追加した。また、平成 5 年に航空気象予報ガイダンスとして視程確率（視程が 10km 未満になる確率）、最小視程、雲底高度などの運用を始めた。当時のガイダンスの作成には線形重回帰を用いていたため、入力となる数値予報モデルの更新のたびに新しいモデルによる予測値の蓄積を待ってガイダンスの予測式を作りなおさなければならなかった。

数値予報モデルの更新への柔軟な対応を可能にするため、平成 8 年にカルマンフィルタとニューラルネットワークによる手法を導入し、天気、時系列気温及び最大降水量のガイダンスの運用を始めた。これと合わせて、大雨の捕捉率向上を目的に実況値の頻度に応じて予測値の頻度を補正する頻度バイアス補正を平均降水量ガイダンスに適用した。続いて、平成 9 年に定時風と降雪量のガイダンスの配信を始めた。また、平成 19 年に確率型のガイダンスに適したロジスティック回帰による発雷確率ガイダンスを追加した。その後も数値予報モデルの改良やアンサンブル予報システムの導入に合わせて各種のガイダンスの開発を続け、平成 23 年に診断手法による格子形式の視程ガイダンス（当時の名称は視程分布予想）の運用を始めた。さらに、線状降水帯による大雨の半日程度前からの呼びかけを支援するため、令和 4 年に 3 時間降水量が 100mm/3h 以上となる確率と 150mm/3h 以上となる確率を予測する大雨発生確率ガイダンスの運用を始めた。

気象業務支援センターに配信しているガイダンスの要素とその形式及び作成手法の一覧は表 4-4-4-1 のとおり。

表 4-4-4-1　気象業務支援センターに配信しているガイダンスの一覧（令和 7 年 3 月現在）

要素	形式	作成手法
平均降水量	格子	カルマンフィルタ、頻度バイアス補正
降水確率	格子	カルマンフィルタ
最大降水量	格子	1時間最大降水量と3時間最大降水量はニューラルネットワーク、24時間最大降水量は線形重回帰
大雨発生確率	格子	ロジスティック回帰
降雪量	格子	ロジスティック関数による非線形回帰で予測した雪水比と平均降水量ガイダンスとの積
時系列気温、最高気温、最低気温	アメダス地点	カルマンフィルタ
定時風、最大風速	アメダス地点	カルマンフィルタ、頻度バイアス補正
天気	格子	平均降水量ガイダンスとニューラルネットワークを用いる日照率ガイダンス、診断手法を用いる降水種別ガイダンスにより判別
発雷確率	格子	ロジスティック回帰
最小湿度	気象官署（特別地域気象観測所を含む）	ニューラルネットワーク
視程	格子	診断手法

【第 5 節】数値予報を支えるソフトウェア環境

1．ソフトウェア環境

気象庁の数値予報の歴史をソフトウェア面から語る場合、最も大きな時代の区切りは NAPS6（平成 8 年 3 月運用開始）から NAPS7（平成 13 年 3 月運用開始）への更新である。オペレーティングシステム（OS）は長らくメインフレーム用 OS だったが、NAPS6 の OS であった VOS3 を最後として、NAPS7 で初めての商用 UNIX である日立 HI-UX/MPP となった。NAPS8（平成 18 年 3 月運用開始）及び NAPS9（平成 24 年 6 月運用開始）では IBM 製の UNIX である AIX が用いられ、NAPS10（平成 30 年 6 月運用開始）以後は UNIX と互換の Linux を基とした OS となっている（各計算機システムのハードウェアについては本部第 2 章第 3 節「数値予報システム」で記述している）。

階層型ファイルシステムなどの現代では一般的となっている UNIX 系 OS の機能が使えるようになったのは NAPS7 からで、現在の数値予報ルーチン管理の仕組みは NAPS7 でほとんど一新されたものをもとにしている。

NAPS7 以後のスーパーコンピュータは主記憶が分散した並列計算機であり、数百から数千の多数のノードと呼ばれる計算機から構成される。各ノードは個別の OS とファイルシステムを持つので、すべてのノードが共有するファイルシステムは OS 本体とは別の機構であり、システムの性能を決める重要な選択である。NAPS7 では日立「ストライピングファイル機構」、NAPS8 では IBM GPFS、NAPS9 では日立 HSFS が用いられたが、NAPS10 以後はオープンソースの Lustre が用いられている。

2．プログラム開発環境

数値予報で用いられるプログラム言語は初代 NAPS 以来基本的に Fortran であり、一部には C 言語と、NAPS7 以後は Ruby が一部併用されている。

Fortran 言語については、NAPS2 から NAPS9 までの約 50 年にわたって、日立製のコンパイラが使われた。以後は商用と GNU コンパイラを併用している（商用は NAPS10 では Cray 及び Intel、NAPS11s では富士通、NAPS11 では Intel）。近年では富士通や Intel のコンパイラ製品は長年継続した版に加えオープンソースのコンパイラ基盤 LLVM を基にしたものの 2 本立てとなっており、OS やコンパイラなど汎用性の高いシステムソフトウェアはオープンソースで維持するように転換する傾向である。

コンパイラの変遷に伴い、同じ Fortran でも言語仕様の細部は変化してきた。NAPS7 以後は Fortran90 で拡張された仕様（モジュールなど）がサポートされるようになり、これによりよく適応するために標準コーディングルールが策定された。NAPS10 では日立固有の機能（サービスサブルーチンなど）からの書き換えを要したが、文法機能で ISO 規格外あるいは Fortran95 以後廃止されたものは、今後のコンパイラへの可搬性に懸念が出てきているため、ISO 規格に準拠するようプログラム改修に努めている。

プログラム高速化に係る開発環境の支援についてみると、NAPS6 で登場した「自動並列化機能」は共有メモリ型マルチプロセッサを活用する機能のはしりで、NAPS7 以後は多種の計算機間のプログラム移植を容易にするために OpenMP 標準仕様により指示行を記載する方法も併用されるようになった。NAPS7 以後の分散メモリ型並列計算機を活用するためには MPI（Message Passing Interface）が利用されている。今後は GPU などのアクセラレータを活用するため、OpenACC 等新たな指示行機能を使うべく調査を進めている。

近年の新しい動きはプログラム言語 Python の利用である。近年急速に発達した AI では、特に Python を中心としたオープンソース AI フレームワークの利用が広く普及しつつあり、令和 4 年 10 月、ガイダンスの数値予報ルーチンで Python によるプログラムを導入した。従来のコンパイル言語とは異なる特徴や、バージョン間の非互換性などの問題への対処は今後の課題である。

3．データ形式

格子点データのファイルについては、NAPS6 までは直接編成の GVD1 及び順編成の GVS1 という形式が用いられていた。これら 2 つの形式は、UNIX 系 OS とは異なり、レコード長をあらかじめ決めねばならない代わりに位置順ではないランダムアクセスが可能な直接編成ファイルと、ストレージが節約できる代わりにファイル先頭から順次読む必要がある順編成ファイルが OS の上で区別されていたことに対応している。

NAPS7 ではこの制約がなくなることをうけて、格子点データ用の新しいデータフォーマット NuSDaS（Numerical Prediction Standard Dataset System）が開発された。ファイル形式はファイルの先頭にインデックスを置くことによってランダムアクセスを可能とした ISAM（Indexed Sequential Access Method）である。数値予報課プログラム班が C 言語で書かれたライブラリを提供し、開発者はこれを Fortran から呼び出して利用する。最初のバー

ジョンは日立 HI-UX でだけ動作したが、数値予報課内有志により Linux 及びリトルエンディアン機への対応や Pandora 拡張（ファイルシステムを共有していない機器から HTTP API 経由でアクセスする機能）が設けられ、NAPS だけではなくアデスなど庁内他システムなどでも利用されるようになった。その後、ファイルサイズ 2GB 超え対応やより圧縮効率の良いデータ圧縮形式（複合差分圧縮）の追加などの改良が続けられている。

様々な形式で通報され入電する観測データを数値予報システムで統一的に扱うために、DCDF（Decode File の略）という独自フォーマットが用いられている。また、データ同化のための各種処理により品質管理関連情報が追加された独自のデータベース形式 CDA（Comprehensive Database for Assimilation）を用いている。これらは形式としては順番探査ファイルの一種である。

ECMWF では当庁における NuSDaS にあたるファイル形式として、WMO 標準通報式 GRIB を用いてきた。機関の内外で同じファイル形式を使うことにより、ソフトウェアの簡素化など一定の効果はあるが、数値予報モデルの開発に伴って新しい種類のデータを作成しようとすると、年単位での WMO 通報式の改正手続きを経る必要がある。

4．数値予報ルーチン管理

数値予報ルーチンは約 3 万のバッチジョブからなる巨大なものである。これらバッチジョブを記述するために NAPS6 まで使われていた JCL（Job Control Language）と比べて、NAPS7 以後は UNIX シェルが用いられるようになった。これにより近代的な制御構文など自由度は飛躍的に向上したが、一方でジョブの再実行可能性（べき等性）のためのルーチンルール（定型的な可変データ取り回し記述）は長大になりがちであり、記述誤りによる数値予報ルーチン障害が多発することとなった。NAPS8 に向けてバッチジョブの記述のために必要最小な機能を絞り込んで、かつての VOS3 JCL を模した文法の NAPS JCL が開発され、これでバッチジョブを記述してシェルに変換して投入するようにすることによって、ジョブの記述を簡素にして（現在運用されている JCL は約 130 万行）、申請者の誤りやプログラム班の作業に起因する障害を桁違いに減少させることができた。

Fortran や C によるプログラムは約 700 万行ある。これらを構築するために NAPS7 以後は UNIX 標準の Makefile が用いられるが、Fortran 90 のモジュールへの対応や、数値予報ルーチンのディレクトリ構造やビルド管理ルールへの対応のため、記法ルールが特殊かつ複雑になっている。記述誤りを避けて習得を容易にするため、端的にソースコードやコンパイルオプションを列挙する PBF（Program Build File）という簡素化文法を開発し、独自ツールにより PBF から Makefile を生成して使っている。NAPS8 への更新時には、JCL、PBF 等に含まれる情報をまとめてリレーショナルデータベース（PostgreSQL）とバージョン管理（Subversion）で一括管理を行うシステム「RENS（Routine Environment for Numerical weather prediction System）」が構築され、数値予報ルーチン管理業務の効率化が図られた。

数値予報ルーチンのバッチジョブは約 70 のジョブグループに編成される。これらジョブグループやジョブには相互間に依存関係があり、一部のものは特定時刻まで実行を抑止する必要があり、また障害時には一部ジョブを代替ジョブに入れ替えるなどの工夫がなされてい

る。このような運用を明瞭・的確に実施するため、NAPS9 までの長期間にわたって業者整備ソフトウェア JNOS（JMA Nwp Operating System）が使われてきた。整備経費をなるべく機器本体に振り向けたい、またスパコン機種変更への対応をスムーズにしたい、などの発想から、ECMWF での SMS（Supervisor Monitor Scheduler）の開発事例を参考にしつつ、内製でのジョブフロー制御ソフトウェア ROSE（Routine Operation and Scheduling Environment）の開発を平成 20 年頃に開始した。NAPEX（後述）での適用等により改良を重ね、安定稼働の実績を確認して、NAPS10 において正式に業務利用されることになった。この ROSE の開発、実用化の功績により令和元年の長官表彰を受けている。

5．NAPEX

平成 13 年の NAPS7 更新後、OS が UNIX に切り替わったことを契機として、解析予報サイクル実験を効率的に行うために、ECMWF の事例を参考として、数値解析予報実験システム（NAPEX: Numerical Analysis and Prediction EXperiment system）の構築が数値予報班の有志により開始された。標準の実験環境が管理者によって準備され、ユーザは指定の設定ファイルを編集して環境構築のためのシェルスクリプトを実行すれば、その設定に従って標準の実験環境がユーザの開発環境へコピーされ、必要な修正が自動的に行われるようになった。これにより、モデル開発者が複雑な解析予報サイクル実験の構築に煩わされることなく、実験の実施及び評価に集中できるようになった。

NAPS8 ではルーチン管理ツールとして利用が開始された JCL 及び PBF を NAPEX でも利用可能とすることで、数値予報ルーチンの実行モジュールやバッチジョブをほぼそのまま用いてサイクル実験を行えるようになった。また、一部の種類の実験では JCL、PBF 等のバージョン管理も導入された。

NAPS9 では更にジョブフロー制御ソフトウェアにプログラム班開発の ROSE を組み込むとともに、実験設定をデータベース管理することで、全種類の実験でのバージョン管理を導入することで、実験履歴の記録及び参照を可能とし、サイクル実験の再現性を確保した。

6．FAX 図情報作成処理

数値予報の結果は、大きく分類すると FAX 図などの図情報と、GPV（格子点データ Grid Point Value）と呼ばれる数値データに二分される。近年は情報通信技術の発展により GPV を他システムや他機関に提供するのが基幹業務となってきたが、古くは図情報が重要であった。

明治 16 年 2 月 16 日の天気図作成開始以来約百年はほとんどの資料が手書きで、天気図作成にはプロットと解析の二つの工程があった。プロットについては昭和 40 年代から自動化が試みられ、ちょうど天気図作成 105 周年の昭和 63 年 2 月 16 日を期して運用開始した気象資料総合処理システム（COSMETS：ADESS と NAPS5 で構成される）で、すべてのプロットが自動化されるに至った。解析については、数値予報の発展に伴い、実況の高層天気図が自動化されるとともに新しく自動作成の予想天気図が発信される形で発展した。数値予報初の FAX 放送は初代 NAPS 運用開始直後の昭和 34 年 6 月 10 日であるが、試験的な性格といえる。多くの指定気圧面をカバーする 24 時間予想図が一日 2 回放送されるようになったのは

NAPS3 運用開始直後の昭和 48 年 10 月 1 日である。NAPS4 運用開始（昭和 57 年 3 月）直後には現行にかなり近い FAX 図体系が放送されるようになり、手解析は地上実況と 24 時間予報だけとなった。のちに NAPS6 と同時整備された天気図解析システムにより、紙と鉛筆による作業が消滅することとなった。

ごく初期の図情報作成プログラムは機種変更のたびに移植する必要があったが、NAPS5 からは当時の ISO 標準の GKS（Graphical Kernel System）が NAPS のライブラリとして整備されて、ほぼ同じプログラムがシステム世代を超えて継承しやすくなった。時代の変化により NAPS8 からは GKS が市場調達できなくなったため、平成 14 年から 4 年かけてオープンソースの Ghostscript をもとにした図情報作成ライブラリを内製して置き換えた。これはきわめて安定しており現在に至っている。

【第 6 節】数値予報モデル開発に関する連携・イベント

1．懇談会等

気象庁では、平成 11 年 11 月に新たな数値予報モデル開発体制の確立のため、モデル技術開発推進本部を設け、地球科学分野での技術発展への貢献とモデル技術の知見を取り込むため、国内諸機関との連携強化を図ることとした。このため、国内開発担当者間のモデル開発に関する定期的な技術交流の場として、気象庁モデルフォーラムを年 1 回計 5 回開催した。その後、平成 17 年から「気象庁数値モデル研究会」を開催し、気象庁が現在検討を進めている数値予報モデル開発の考え方を紹介し、今後の現業数値予報モデル開発及びこれに関連する研究のあるべき方向性について意見交換を行ってきている。

その後、更なる数値予報開発体制の強化策の一つとして、数値予報モデル開発における現業と研究の知見を結集し、現業気象予報の精度向上に資することを目的に、外部委員会として「数値予報モデル開発懇談会」を平成 29 年から毎年開催し、気象庁の現業数値予報モデルの現状と課題を共有し、大学や研究機関と気象庁の連携等について議論してきている。

特に、数値予報モデル開発懇談会委員から多大な協力を得て、気象庁は平成 30 年に「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」を策定した。同重点計画は、交通政策審議会気象分科会提言「2030 年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」を踏まえ、今後 10 年程度の中長期を展望し、気象業務の根幹である数値予報の開発を更に推進するための計画である。同重点計画では、自然災害の変化、社会情勢の急速な変化、科学技術の飛躍的発展といった環境認識のもと、数値予報を安心・安全で豊かな社会を支える新たな社会基盤として確立するビジョンを持ち、①豪雨防災、②台風防災、③社会経済活動への貢献、④温暖化への適応策という重点目標を掲げた。また、これらを実現するためには、数値予報が物理学、化学、応用数学、計算機科学、数値流体力学など、多くの分野にまたがる総合科学としての性格をますます強めていることから、その開発においては各分野の専門家との連携を強化し、最新の研究成果を取り込むことがより重要になっていることを示した。

2．広報イベント

前述のとおり数値予報は多くの分野にまたがる総合科学であることから、様々な公的・学術

機関と連携して継続的に広報活動を行ってきている。特に近年、気象庁主催の広報イベント例としては、平成 28 年にシンポジウム「数値予報～日々の生活に密着したソフトインフラ～」を開催した。同シンポジウムでは、今後一層効果的な利用を進めるにあたり、数値予報の更なる精度向上、新たな予測データの公開への期待、数値予報をもとにした予測情報の伝え方に更なる工夫の必要性、大学等の研究機関と連携してオールジャパンで技術開発に取り組むことの重要性等が示された。

3．国際会議、海外気象機関への派遣及び国際プロジェクトへの参画

（1）国際会議の主催

戦後我が国が独立を回復し、国際社会に復帰した以後、数値予報の分野においても国際会議を日本で開催してきている。例えば、昭和 35 年には第 1 回数値予報東京シンポジウムを、昭和 43 年には世界気象機関（WMO）/国際測地学地球物理学連合（IUGG）数値予報シンポジウムを開催している。その後も、定期的に開催されている数値予報に関連する国際会議について、時機を捉えて気象庁が主催し、他国の気象機関等の連携を促進してきている。例えば近年では、平成 11 年に数値予報実験作業部会（WGNE）メソ数値予報モデルの国際相互比較実験（COMPARE）の台風強度予測のメソスケールモデル相互比較に関する国際ワークショップ、平成 20 年に第 3 回 WCRP（世界気候研究計画）再解析国際会議、平成 21 年にアジア・太平洋域における衛星資料の交換と利用に関する会議（APSDEU）、平成 22 年に CAS（世界気象機関大気科学委員会）JSC-WCRP（世界気候研究計画合同科学委員会）WGNE 第 26 回会合、平成 30 年に WGNE 第 33 回会合、令和 6 年に第 6 回 WCRP 再解析国際会議を気象庁が主催している。

（2）海外気象機関等への派遣

国際連携強化のため、長年にわたり海外気象機関に数値予報に係る開発者を派遣（原則として 2 年間）している。派遣中は派遣先の数値予報の開発等に携わって派遣先に貢献するとともに、帰国後は派遣先で得られた知見を持ち帰って気象庁の数値予報の改善等に貢献している。例えば 1990 年代の欧州中期予報センター（ECMWF）再解析プロジェクトに関連した派遣で得られた知見は、我が国最初の長期再解析（JRA-25）の実施等に大きく役立てられた。以降の継続的な海外派遣としては、平成 9 年から米国環境予測センター（NCEP）に派遣を開始し、平成 18 年から ECMWF と英国気象局（UKMO）に対して派遣を開始した。これらは新型コロナ等の影響により一時途絶えたことはあったものの、現在まで継続している。さらに、人事院による長期在外研究員制度等も活用して、積極的に諸外国の大学院等への派遣を実施しており、これまでの派遣者数は 40 名を超えている。

（3）国際プロジェクトへの参画

様々な数値予報に係る国際プロジェクトに参加し、国際協力や技術開発に生かしてきており、以降、代表的な取組を示す。

チョルノービリ原子力発電所事故（昭和 61 年）における対応を受けて、WMO では環境緊急対応（EER）地区特別気象センター（RSMC）が設置され、当庁は平成 9 年から同 RSMC 業務を開始した。国際原子力機関（IAEA）等からの要請を受け、指定された計算条件により

地球全体の放射性物質の拡散のシミュレーションを実施して、その結果を IAEA に提供している。

世界気候研究計画（WCRP）共同科学委員会（JSC）及び WMO 大気科学委員会（CAS）の合同で設置した数値予報実験作業部会（WGNE）には、数値予報センター及び研究機関が参画し、数値予報モデル開発に関する最新情報の共有やモデル評価情報の相互比較等を行っている。そのうちの 1 つの活動である熱帯低気圧予測検証について、平成 3 年から気象庁が主導的な役割を果たし WGNE 会合に毎年報告してきている。また、WGNE の下で実施された COMPARE のうち平成 2 年の台風第 19 号を対象とした事例では、気象庁が台風特別観測や初期値など共通データセットを参加機関に提供し、平成 11 年に国際ワークショップを主催し、それら知見を台風予報の精度向上に結び付けた。

平成 3 年から WMO の基礎システム委員会（CBS）地上気象観測品質監視リードセンターとして、WMO 第Ⅱ地区（アジア）の地上気象観測データの品質を監視し、品質が疑わしい観測地点のリストを報告することで改善を促すなどに活用されている。

平成 16 年から WMO の全球アンサンブル予報システム検証リードセンターとして、世界の各数値予報センターから WMO で標準化されたアンサンブル予報の様々な検証結果の報告を受け、それらの可視化結果を公開している。

世界気候研究計画（WCRP）全球エネルギー・水循環実験（GEWEX）において陸面過程の理解を目的とした、地球エネルギー・水循環統合観測プロジェクト（CEOP）研究計画（平成 13 年～平成 22 年）について、気象庁、東京大学及び国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）で協力して推進するとともに、気象庁において CEOP の観測データを陸面過程の検証に活用した。

WMO 観測システム研究・予測可能性実験国際研究プロジェクト（THORPEX）（平成 17 年～平成 26 年）では、予報モデルとデータ同化、アンサンブルの分野において、研究コミュニティと気象庁とが連携して研究を実施し、様々な知見が得られた。

開発途上国における防災気象業務の改善を目的として WMO が推進する荒天予報実証プロジェクト（SWFDP)/荒天予報計画（SWFP）（平成 18 年～/令和元年～）に参画し、アンサンブル予報を用いて不確実性を添えるなど高度な技術を活用して、台風・大雨等の数値予報プロダクトを負荷が小さいウェブブラウザで閲覧できる画像情報で提供してきている。

4．大学や研究機関との連携

（1）数値予報モデル開発プラットフォーム/モデル貸与

部外研究者へ数値予報モデルを提供して研究成果の還元を求めることにより新たな知見を得ることがモデル開発にとって大きなメリットになると捉え、平成 12 年からは気象庁モデルを大学・研究機関に貸与している。モデル利用者との開発情報・成果の交換の実効性を高め、かつ、モデル利用者のモデル更新への追随を迅速・確実にすることを目的として「数値予報研究開発プラットフォーム」を設置し、モデル貸与を継続してきている。

（2）気象研究コンソーシアム

また、気象庁の数値予報による解析・予測データや気象衛星による観測等についても、大学

や研究機関における気象学に関連する研究開発と組み合わせて、より具体的で大きな研究成果が期待された。このことから、気象庁と日本気象学会は平成 19 年に包括的な共同研究契約を締結し、「気象研究コンソーシアム」を運営し、以後、気象庁が収集・作成したデータを基盤とした様々な共同研究や最新の研究に関する情報交換等を行ってきている。

（3）二者など大学や研究機関との直接的な連携

このような包括的な協力関係を構築する枠組の他、大学や研究機関と直接連携をしてきている。例えば、米国海洋大気庁国立気象局の米国気象センター（NMC）（現在の米国環境予測センター）が地球回転観測事業の補助機関の役割を担い、主要な気象センターの大気角運動量関数（AAM）を集めていたことから、当庁も NMC からの提供依頼に基づき平成 5 年から AAM を提供してきている。

文部科学省が研究推進策として実施した新世紀重点研究創生プラン（RR2002）「人・自然・地球共生プロジェクト」（平成 14 ～ 18 年度）における「高精度・高分解能気候モデルの開発」課題では、気象庁気象研究所や地球科学技術総合推進機構（AESTO）などが参加した。同課題において、地球シミュレータを用い、台風等を世界規模で再現する 20km メッシュの全球気候モデルと、集中豪雨・雪等を広域で再現する数 km メッシュの雲解像大気モデルを開発した。

国土地理院と相互に密接な連携のもとそれぞれの業務の推進を図るため、平成 19 年から保有する防災情報の相互交換を行い、特に平成 21 年からは国土地理院が全国約 1,300 地点で運用する電子基準点の観測データから算出される水蒸気データについてメソ数値予報に利用している。

JAXA とは、JAXA が運用する、あるいはしていた衛星データの利用についての共同開発を実施し、その定常利用という成果につなげた。例えば近年では、全球降水観測計画（GPM）主衛星のマイクロ波イメージャデータの利用に係る調査及び技術開発を進めた成果として、平成 28 年 3 月から同衛星の観測データを定常的に利用している。

線状降水帯の予測精度向上のための数値予報技術の開発を加速化するため、文部科学省・理化学研究所の全面的な協力により、世界トップレベルの性能を有するスーパーコンピュータ「富岳」を活用して数値予報モデル開発を令和 3 年度から進めている。高解像度（水平解像度 1km 以下）の領域モデル、高解像度（水平解像度 2km 以下）の領域アンサンブル予報、観測データの利用高度化、高解像度（水平解像度 10km 以下）の全球モデルの開発に関する知見を得ることを目的とし、高速化を含む開発成果を活かし、令和 6 年 3 月に予報時間を 18 時間に延長した水平解像度 2km の局地モデルの現業運用を開始した。

（4）数値予報開発センターの発足に伴う連携強化

令和 2 年 10 月の気象庁組織再編において設置した数値予報開発センターは、隣接する気象研究所を含めて、気象庁として一体的に数値予報モデルの開発を進める体制を構築するとともに、研究機関が集積しているつくば市の地の利を生かして、大学や研究機関との更なる連携を目指している。

数値予報開発センターの発足に伴い、令和 2 年度から年度末に前年の 1 月から 12 月までの 1 年間に行われた開発や活動を網羅的にまとめた年報として開発成果の報告を行っている。従

前は、毎年テーマを決めて最近の数値予報システムに関わる開発成果について報告を行う数値予報課報告・別冊などを発行していたところ、年ごとのテーマに左右されず、数値予報の開発や現業数値予報システムの変更を適時に理解され、より連携推進に資するようにしている。

第５章　気象衛星

【第１節】気象衛星の開発・運用

１．気象衛星の開発（昭和 48 年～）

昭和38年４月の第４回世界気象機関（WMO）総会において承認された世界気象監視（WWW）計画から始まり、その後の４機の静止気象衛星を配置し全世界を監視する計画となった地球大気開発計画（GARP）及び第１次 GARP 全球実験（以下「FGGE」という。）に基づき、昭和 48 年には、我が国においても、雲観測と船舶等からの気象資料収集の役割を担う静止気象衛星を打ち上げる計画を具体的に進めることとなった。

（１）静止気象衛星本体の開発着手

我が国初となる静止気象衛星（以下この衛星を「GMS」という。）は、昭和 48 年までに気象庁が進めてきた技術調査及び予備設計をもとに、昭和 51 年度の打上げを目指して宇宙開発事業団（NASDA、現 宇宙航空研究開発機構 JAXA）が開発作業を進めることとなった。GMS 開発のメーカは日本電気株式会社となり、米国の技術提携会社であるヒューズ社によって基本設計が行われ、衛星開発が進められることとなった。開発の過程で、衛星本体と地上機器との接続試験が重要であるという観点から、衛星メーカとの間で試験実施方法に関する調整に労力が割かれた期間もあったが、昭和 51 年 12 月の打上げに向けて衛星製作は進められた。一方、衛星打上げ時期については、FGGE を構成するヨーロッパの衛星打上げが昭和 52 年前半になることが明らかになったこともあり、昭和 50 年３月、宇宙開発委員会において GMS の打上げ目標を昭和 51 年度から昭和 52 年度に変更することが決定された。また、当時の国産ロケットの打上げ重量の制限から、衛星打上げは米国航空宇宙局（NASA）に依頼することとなった。なお、世界各国の衛星システムの調整を図るため、第１回気象衛星調整会議が昭和 47 年９月に米国ワシントンで開催され、この場において各国又は機関の５機の静止気象衛星（当初の計画の後にソ連が加わり、米国２機、日本、欧州、ソ連各１機）をほぼ等間隔に配置することになり、続く第２回気象衛星調整会議（昭和 48 年１月スイスで開催）において、日本の静止気象衛星は東経 140°±5° に配置することとなった。この計画に基づき、米国は昭和 49 年５月に世界初の静止気象衛星（SMS）を打ち上げ、日本は昭和 52 年７月に GMS を、欧州では昭和 52 年 11 月に METEOSAT を打ち上げた。

（２）地上局の整備

衛星の状態を監視し制御するためには、衛星との信号を送受信する地上局が必要であり、また、衛星から受信した観測データの信号を復調し、計算機により所定の形式に整え画像化する必要がある。このため、気象庁は衛星の開発と並行して地上局の整備を進めた。

ア．指令資料収集局

指令資料収集局（CDAS: Command and Data Acquisition Station、後の気象衛星通信所）は衛星と交信するための施設で、昭和 47 年秋頃から、気象条件、国有地の所在、航空路の状態、

マイクロ波回線配置等条件により、設置場所について複数の候補地を検討し、最終的に埼玉県鳩山村（現在の鳩山町）の国有地に整備することとなった。用地の確保、庁舎工事、通信機器の据付調整等を経て、昭和 51 年 12 月に GMS の運用準備が整った。

イ．データ処理センター

データ処理センター（DPC: Data Processing Center）は、GMS を運用し、衛星からの観測データの信号を電子計算機で雲画像や気象データに変換処理する機能を有する施設である。DPC の設置場所の検討は、気象庁本庁、東京都清瀬市（当時の気象通信所構内、現在の気象衛星センター）、茨城県つくば市の 3 か所について比較を行った。昭和 48 年 6 月には清瀬を設置場所として具体的な設計や関係機関等との調整を進め、昭和 51 年 3 月に庁舎が完成し、庁舎内への電子計算機の据付も完了した。昭和 52 年 4 月には気象庁の附属機関として気象衛星センターが発足した。

（3）国際協力による測距局の整備

測距局は、衛星の制御や観測データ処理に欠かせない情報である衛星の詳細な位置を、衛星との電波の送受信によって測定するための通信施設である。静止衛星の場合、当時は、衛星と通信可能な地理的範囲内に測距局 3 地点を設け（1 地点は CDAS）、衛星と各測距局間を往復する電波の所要時間を測定することにより正確に衛星の位置を決定する必要があったため、豪州や東南アジアの複数国に測距局の設置可能性を打診した。その後の交渉を経て、昭和 49 年 12 月に豪州政府の協力を得て測距局の 1 地点を設置することに合意がなされ、昭和 52 年 6 月に首都キャンベラに近いオローラル・バレーに測距局が完成し、残る 1 地点は石垣島に測距局を設置することとなった。

2.「ひまわり（初号機）」から「ひまわり 5 号」まで（GMS シリーズ）

（1）ひまわり（初号機）

静止気象衛星「ひまわり（初号機）」（GMS）は、昭和 52 年 7 月 14 日に米国フロリダ州ケープカナベラルからデルタ 2914 型ロケットで打ち上げられた。「ひまわり（初号機）」は、直径 216cm、高さ 270cm、重量が 315kg（静止軌道上初期）であり、これほど大きな衛星を打ち上げる国産ロケットは当時我が国にはまだなかったことから、衛星打上げは NASA に依頼することになった。「ひまわり（初号機）」は、スピン制御方式により衛星自体を「コマ」のように回転（1 分間に約 100 回転）させることにより衛星の姿勢を安定させる方式が採用されたが、衛星打上げ後の機能確認試験において、衛星のスピン軸が本来の位置から約 2 度傾いていることが判明し、この影響で取得された地球画像も楕円形となっていた。このため、画像歪修正対策が衛星メーカにより取られることになり、この経験が次の衛星である「ひまわり 2 号」に反映されることになった。「ひまわり（初号機）」は太陽光の地球からの反射（可視光線）と、地球から放射されるエネルギー（赤外線）の 2 種類（2 バンド）の観測を行う観測機器を搭載しており、衛星の軌道上での機能確認試験終了後、昭和 52 年 11 月 4 日に宇宙開発事業団（JAXA の前身）から気象庁に引き渡され、1 日 1 回の観測を開始した。その後、衛星と地上設備を合わせて全体的な機能を確認する結合試験が予定どおり進み、気象衛星センターの 24 時間運用体制が整ったことから、昭和 53 年 2 月 6 日に 1 日 8 回の観測を開始し、同年 4 月 6 日には

本格運用開始となった。「ひまわり（初号機）」は、東経 140 度付近の赤道上空約 35,800km の静止軌道上から、日本を中心とする広範囲の雲観測と船舶等からの気象資料収集を行い、台風の監視等気象状況の把握には不可欠なものとなり、気象防災に大きな役割を果たすことになった。「ひまわり（初号機）」の打上げを機に、観測範囲に含まれる東南アジア各国が、域内の利用局（衛星中継で送信された画像データを受信し、映像化する地上局。高分解能画像を受信する中規模利用局（MDUS）と低分解能の小規模利用局（SDUS）の 2 種類があった。）について強い関心を示したことから、昭和 52 年 6 月には気象庁本庁及び気象衛星センターにおいて利用局に関する講習会を開催し、「ひまわり」の利用の普及に努めた。なお、「ひまわり」の名称の由来は、打上げが 7 月であったこと、常に地球を見ていることから、気象と関係の深い太陽を連想させる夏の花にちなんで名付けられた。

（2）ひまわり 2 号

「ひまわり（初号機）」の設計寿命等を考慮して、「ひまわり 2 号」準備の検討が昭和 49 年度から本格化した。「ひまわり 2 号」は「ひまわり（初号機）」と基本的に同型、同機能とすることで検討していたが、衛星打上げについては、当時、国産の N ロケットの改良型の開発が進められており、「ひまわり 2 号」はこのロケットの搭載能力に合わせた重量にする必要があった。このような経緯により、昭和 51 年 3 月の宇宙開発委員会において開発衛星として認められることとなった。その後、「ひまわり 2 号」は開発が進められ、昭和 56 年 8 月 11 日に種子島宇宙センターから国産の N-Ⅱロケット 2 号機（N ロケット 8 号機）で打ち上げられた。観測機能と運用形態は「ひまわり（初号機）」と同様であったが、昭和 58 年 11 月に衛星に搭載している可視赤外走査放射計（VISSR）のスキャンミラー動作に不具合が生じ、観測できないケースがしばしば発生すようになった。このため、昭和 59 年 1 月に「ひまわり 2 号」の運用を中止し、「ひまわり（初号機）」の再登板による観測運用を行うことになったが、「ひまわり（初号機）」も機器の経年劣化などにより観測を制限せざるを得なくなったことから、昭和 59 年 6 月に「ひまわり 2 号」による 6 時間ごと（1 日 4 回）の観測を再開した。台風が日本付近に接近している状況でも 6 時間ごとの観測の制限を継続せざるを得ない状況が続いたが、防災上の観点から、運用面での工夫によって台風接近時には 3 時間ごとに観測を行う運用を実施した。「ひまわり 2 号」の実質的な運用期間は約 2 年であったが、「ひまわり 2 号」が打ち上げられた同時期には、新聞天気図に雲画像が併載されるようになり、以降、地方紙も含めて掲載社も増え、衛星画像が日常的に国民の目に親しまれるようになった。

（3）ひまわり 3 号

「ひまわり 3 号」は、昭和 59 年 8 月 3 日に種子島宇宙センターから N ロケット 13 号機で打ち上げられた。「ひまわり 2 号」の VISSR 不具合のため、打上げからわずか 2 か月弱の 9 月下旬に運用を開始することになった。運用開始当初は「ひまわり 2 号」と同様に衛星から見える地球全体を撮像する観測（フルディスク観測）を 1 日に 8 回行っていたが、昭和 62 年 3 月からは、計算機システムの更新によって毎時の北半球観測（フルディスクの北側半分の観測）を追加した。当初の 3 時間ごとの観測に追加して北半球では毎時の観測を得られるようになり、気象監視機能が大きく向上した。また、平成元年には、毎時のフルディスク観測を開始し、1 日 4 回の風計算のためのフルディスク観測とあわせて、1 日 28 回のフルディスク観

測を開始した。これにより北半球に加え、南半球でも気象監視機能が大きく向上した。「ひまわり３号」は、GMS シリーズの中で観測回数等の形態が最も大きく変わった衛星であった。

（4）ひまわり４号

「ひまわり４号」は、平成元年９月６日に種子島宇宙センターから H-Ⅰロケット５号機 F で打ち上げられ、平成４年 12 月から運用を開始した。観測回数等の観測スケジュールは「ひまわり３号」と同様で、運用期間中に大きなトラブルもなく、約５年半にわたり観測を継続した。

（5）ひまわり５号

「ひまわり５号」は、平成７年３月 18 日に種子島センターから H-Ⅱロケット試験機３号機で打ち上げられた。３月 30 日には暫定静止位置である東経 160 度赤道上に静止化し、各種機能確認試験を実施した後、東経 140 度赤道上に移動し、６月 21 日には「ひまわり４号」に代わって定常運用を開始した。また、運用に先立ち６月 13 日には地上の新計算機システムへの切り替えを実施した。「ひまわり５号」の観測機器は、赤外バンドの二分割化とともに、大気の水蒸気を観測することができる水蒸気バンドを追加し、可視バンドと合わせて４バンドと観測の種類を増やした。これにより、水蒸気の分布から大気上・中層の流れを把握することが可能になった。また、観測頻度が北半球観測では 30 分ごとの観測が可能となるなど大きな機能向上を図った。これらにより台風や集中豪雨など変化の激しい気象現象をより的確に捉えることが可能になったほか、赤外バンドの２分割化を利用した画像では火山の噴煙が明瞭に識別され、航空機の安全運航のための情報提供に寄与するとともに、夜間の下層雲の検出能力も向上した。

「ひまわり５号」の後継機は、本来であれば、航空ミッションと気象ミッション機能を併せ持つ運輸多目的衛星（MTSAT: Multi-functional Transport Satellite）となる計画であったが、平成 11 年 11 月、MTSAT を搭載した H-Ⅱロケット８号機の不具合により打上げが失敗した。このため、平成 11 年度末に「運輸多目的衛星新１号（MTSAT-1R）」の製作を急遽開始することになったが、打上げまでは数年かかるため、「ひまわり５号」が観測運用を継続することになった。しかし、「ひまわり５号」は設計寿命の５年を超え、走査鏡の駆動範囲の両端で軸受けベアリング部の固体潤滑剤に偏りが生じたことで、南極付近の撮像時には通常よりも走査鏡駆動モーターに負荷がかかっていた。このため、その負荷を抑えるべく平成 12 年６月からは、南極付近が欠ける程度にまで観測範囲の縮小を行い、これに加えて、これ以上の観測範囲縮小となる事態を避けるための処置として、南半球については毎時間の観測を３時間ごととして動作回数を減らすなど延命を図りつつ観測運用を継続した。

３．米国 GOES-9 号によるバックアップ観測

運輸多目的衛星（MTSAT）の打上げ失敗後、延命措置を続けてきた「ひまわり５号」だったが、観測運用の継続が困難になることが予想され、このままでは、我が国をはじめとして多くの国々の気象防災に影響を与えることが懸念されたことから、気象庁から米国海洋大気庁（NOAA）に赴き、同国の静止気象衛星（GOES）の予備機（米国の静止軌道上で待機中）を借用した「ひまわり５号」のバックアップ観測について協議を進めた。その結果、日米両国間の合意が得られ、平成 14 年５月に、「静止運用環境衛星九号による静止気象衛星五号の支

援を通じた西太平洋地域の気象衛星観測の維持に係る協力に関する日本国政府とアメリカ合衆国政府との間の交換公文」の締結について閣議決定がなされるとともに、同交換公文に基づく気象庁と NOAA との間で具体的な協力内容を定めた「実施取決め」の署名がなされ、日米衛星間のバックアップ協力が開始されることとなった。これにより、西経 105 度の静止軌道上で待機運用していた米国の静止気象衛星「GOES-9 号」を、平成 14 年 12 月から西太平洋上の東経 155 度に約 4 か月かけて移動させて、衛星や地上機器等の各種調整を経て、平成 15 年 5 月 22 日 15 時から観測を開始し、その後約 2 年間にわたり観測を実施することになった（愛称：パシフィックゴーズ）。米国アラスカ州のフェアバンクスにあった地上施設（NOAA 所有）を改修し、GOES-9 号の観測データを受信し、処理を行った後、再び GOES-9 号に向けて観測データを送信し、衛星経由で送信された観測データを気象衛星センター（清瀬市）で受信した。受信データは必要な変換を施した後、気象庁の業務に活用するとともに、従来の国内外の SDUS（小規模利用局）利用者向けに WEFAX（画像データ）を「ひまわり 5 号」経由で配信するとともに、MDUS（中規模利用局）を利用していた国内及びアジア・オセアニア各国気象局利用者向けにはインターネットにより観測データの配信を行った。

4．運輸多目的衛星（MTSAT）シリーズ

米国とのバックアップ協力によって、「ひまわり 5 号」の代わりに GOES-9 号による観測を継続することになったが、バックアップ協力は「ひまわり 5 号」の後継衛星が運用開始した時点で終了することとしており、当面の衛星観測の継続を確保したものの、打上げが失敗した運輸多目的衛星の代替機である運輸多目的衛星新 1 号（MTSAT-1R）を早急に打ち上げる必要があった。運輸多目的衛星はその名の示すとおり、「ひまわり 5 号」の後継機としての気象観測等の気象ミッション機能と、航空管制のための航空ミッション機能を兼ね備えた（当時の運輸省所管の）多目的衛星であり、衛星の管制運用及び航空ミッションは航空局が役割を担い、気象庁は気象ミッションに係る衛星運用を担うこととなった。また、「ひまわり 5 号」までの GMS シリーズと異なり、完全に実用衛星となったことから、一般競争入札（国際入札）での衛星調達となった。

（1）運輸多目的衛星新 1 号（MTSAT-1R、「ひまわり 6 号」）

MTSAT-1R の製作は米国スペース・システムズ・ロラル社が受注し、MTSAT の打上げ失敗後 5 年 3 か月を経て平成 17 年 2 月 26 日に種子島宇宙センターから H-ⅡA ロケット 7 号機により打ち上げられ、打上げは成功した。MTSAT-1R は、静止気象衛星「ひまわり」という名称が広く定着していたことから愛称は「ひまわり 6 号」とされ、静止軌道上において種々の機能確認試験を経て、6 月 28 日に正式運用を開始した。「ひまわり 6 号」の気象ミッションは「ひまわり 5 号」に比べて、北半球の観測を従来の 1 時間ごとから 30 分ごとの観測に強化するとともに、画像の解像度の向上や赤外バンド数の拡充により、大雨や台風等の観測機能の強化を図った。また、GMS シリーズでは衛星の姿勢を安定させるために衛星本体を回転させるスピン方式が採られていたが、「ひまわり 6 号」からは、米国 GOES でも採用され世界的な趨勢となっていた、衛星内部の回転体により衛星の姿勢を保つ三軸姿勢制御方式が採用された。

（2）運輸多目的衛星新２号（MTSAT-2、「ひまわり７号」）

MTSAT-1R の打上げと並行して、衛星観測の継続を確実なものとするとともに、航空ミッション機能の２機体制を確立するべく、運輸多目的衛星新２号の製作が進められた。衛星製作は三菱電機株式会社が受注した。平成 18 年２月 18 日、MTSAT-1R の打上げから約１年後、MTSAT-2 が H-ⅡＡロケット９号機により種子島宇宙センターから打ち上げられた。打上げ後、東経 145 度の赤道上空の静止軌道上での機能確認試験を経て、平成 18 年９月４日から気象ミッションの待機運用を開始し、愛称は「ひまわり７号」とされた。「ひまわり７号」は「ひまわり６号」と同じ性能の気象ミッション機能を有しており、「ひまわり６号」が観測運用中は静止軌道上で待機し、「ひまわり６号」の気象ミッション運用中に不測の事態が生じた場合等に備えた。「ひまわり６号」の約５年間の観測運用終了後の平成 22 年７月１日、観測を「ひまわり７号」にバトンタッチし、「ひまわり７号」が観測運用を開始し、次世代の静止気象衛星である「ひまわり８号・９号」による観測開始までの約５年間、観測を継続した。なお、「ひまわり７号」の観測運用期間中は「ひまわり６号」が不測の事態に備えて待機運用を行った。

５．静止地球環境観測衛星「ひまわり８号・９号」

運輸多目的衛星（「ひまわり６号・７号」）の運用が順調に経過する一方、並行して後継機調達の検討を進めていた。衛星整備の当初からではあるが、気象衛星に係る経費は気象庁予算と比べて極めて大きなものであったことから、衛星調達について掛かる経費を軽減すべく、「ひまわり６号・７号」と同様に気象ミッション以外の役割を衛星に搭載する相乗りミッションの検討を継続していた。また、平成 20 年１月には、今後の静止気象衛星の整備に向けた課題等について方向性を得るべく、有識者による「第１回静止気象衛星に関する懇談会」を開催し、それ以降、第５回までの懇談会を経て方向性がとりまとめられた。これまでの検討結果として、適当な相乗りミッションは見つからなかったが、「ひまわり８号・９号」は進行しつつある地球温暖化等の地球環境問題をより適切に監視する目的を有する気象ミッションに特化し、衛星の設計寿命を長寿命化した「ひまわり８号・９号」の衛星２機を同時に調達することにより経費の効率化を図り、2 機により 15 年間の長期間にわたる観測体制を確立した。「ひまわり８号・９号」は同じ機能を有する同型機であり、これまでになく多くの種類の観測を短時間で行うことが可能となった。具体的には、可視３バンド、近赤外３バンド、赤外 10 バンドの計 16 バンドの観測とし、10 分ごとにフルディスク観測を行うほか、日本付近については 2.5 分ごとに観測し、遠く離れた洋上の台風も 2.5 分ごとに追跡しながら観測が可能になる等、観測機能の大幅な向上を図った。また、衛星画像と地球上の地理との位置合わせ等画像処理については気象庁が精度向上に寄与した。データ配信に関しては、「ひまわり（初号機）」から「ひまわり７号」までは、観測したデータを気象衛星センターで画像データとして処理し、再び、衛星搭載の中継機能を用いて国内外の受信局に直接配信していたが、世界的にインターネットが普及しつつあったことから、ひまわり８号・９号からはランドラインによるデータ配信とし、これまで雲画像データ配信用に衛星に搭載してきた S バンド中継器は搭載しないこととした。ただし、世界各国の主要な気象機関等からインターネットの普及が十分でない地域での観測データの直接配信の要望があったことから、民間の通信衛星を利用した「ひまわりキャスト」と呼

ばれる通信衛星経由での観測データ配信を行い、また、各国の気象・水文機関向けには、「ひまわりクラウド」としてインターネットによる配信環境を整備し、アジア太平洋諸国の気象防災に貢献することとなった。国内外の研究機関､研究者に対しては国内 4 機関の協力を受けて、データ提供環境を整えた。

「ひまわり 8 号・9 号」の衛星運用は、衛星分野で国内初めての PFI（Private Finance Initiative）事業となる「静止地球環境観測衛星の運用等事業」を導入し、8 号・9 号運用のための地上設備の整備、その後の 15 年間にわたる運用事業について入札を行った結果、特別目的会社として「ひまわり運用事業株式会社（HOPE)」が担うこととなった。「ひまわり 8 号･9 号」による観測データは大容量であることから、衛星から受信局へのデータ送信は、これまで用いてきた S バンドより波長の短い Ka バンドを用いることとなった。ただし、Ka バンドは降雨減衰と呼ばれる、伝送経路上の雨滴によって信号強度が減衰する特性があるため、地上の受信局は、1 つの受信局に降雨減衰が生じて受信不可となった場合でも他局が受信し観測を継続できるようにするため、埼玉県鳩山町（主局）と北海道江別市（副局）の 2 局を配置し地域冗長性を確保することとなった。

（1）ひまわり 8 号

「ひまわり 8 号」は、平成 26 年 10 月 7 日に種子島宇宙センターから H-ⅡA ロケット 25 号機により打ち上げられた。打上げは成功し、10 月 16 日には所定の静止軌道である東経 140.7 度の赤道上空に投入された。その後の軌道上試験を経た後、100 日間の連続観測運用試験を実施して画像データ処理の微細な調整を行い、地上設備を含む全系に問題がないことを確認して平成 27 年 7 月 7 日に正式な運用を開始した。その後「ひまわり 8 号」は順調に観測運用を継続し、令和 4 年 12 月 13 日に、それまで軌道上で待機していたひまわり 9 号に観測運用をバトンタッチし、軌道上で待機運用に入った。

（2）ひまわり 9 号

「ひまわり 8 号」と同型、同機能機であり、並行して製作が進められた「ひまわり 9 号」は、「ひまわり 8 号」打上げの約 2 年後の平成 28 年 11 月 2 日に種子島宇宙センターから H-ⅡA ロケット 31 号機により打ち上げられた。打上げは成功し、11 月 11 日に「ひまわり 8 号」と同じ静止軌道上で静止化した。その後、静止軌道上での機能確認試験を経て、平成 29 年 3 月 10 日に待機運用を開始し、令和 4 年 12 月 13 日には観測運用を開始した。

6.「ひまわり 8 号・9 号」の後継衛星の整備

「ひまわり 8 号・9 号」は 2 機一括での調達であったが、衛星に搭載する観測機器の機能は年ごとに進化する一方、2 機一括調達とすると次の衛星整備までに相当の期間が経過してしまい、最新の観測機能の衛星への搭載が不可能となってしまうことから、次期衛星は 1 機単独での調達計画として作業を進めた。次期衛星に期待される重要な役割として、時に大きな災害をもたらす気象現象として注目される「線状降水帯」の正確な予測に寄与することが求められ、これに対応するために、大気を立体的に観測する「赤外サウンダ」を世界的にもほぼ先頭を走る形で静止気象衛星に搭載する計画となった。また、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）が開発する宇宙環境センサを「相乗り」として搭載することになった。次期衛星は「ひ

まわり 10 号」として、三菱電機株式会社により衛星製作が進められることとなった。

【第 2 節】気象衛星センター

1．電子計算機システム管理の変遷

昭和 52 年 4 月に気象衛星センターが発足する以前、「ひまわり（初号機）」のデータを処理するための電子計算機システムの機種選定作業が進められていた。昭和 47 年に気象研究所を中心に、データ処理用プログラムの規模、計算機メーカ各社の実績、将来性などを調査し、技術的観点からは外国メーカ製品が有力であったが、当時、国策として国産品を選定することが奨励されていた。その結果、国策に沿うとともに機種選定に客観性を持たせるため、学識経験者を含めた機種選定専門委員会を設け評価を行うこととなった。同委員会では、機種選定の評価基準として、システムの切替え、マンマシン装置の導入、運用性、サポート体制等が具体的に設定され、昭和 48 年 12 月の第 6 回委員会での審査の結果、富士通 - 日立製作所案、日本 CDC 案及び日本 IBM 案の 3 つが条件をほぼ満たしていると結論され、気象庁長官あてに報告書が提出された。この報告をもとに、昭和 49 年 1 月、導入する電子計算機システムは、富士通 - 日立製作所によるシステム（富士通の FACOM 230-75×4 台を中心とし、周辺装置のほとんどは富士通、ディスク装置は日立製作所）を採用することと決定した。昭和 51 年 3 月、当時としては日本一の規模の電子計算機システムによって「ひまわり（初号機）」の観測データを気象衛星センターでデータ処理を行う準備が整い、その後、運用に必要な各種電子計算機システム用プログラムの開発を進め、通信機器などの関係機器の据付調整などの整備業務も並行して行った。

気象衛星センターの電子計算機システムは、その後の「ひまわり」の機能向上（観測頻度、観測種類の増加）、観測時に画像配信サービスを可能とするストレッチド VISSR 運用（後述）導入に対応する処理能力の向上を図るためにシステムを更新し、昭和 62 年 3 月に第 2 世代のシステム（FUJITSU M-360R×2 台、M-380S×2 台をホスト間通信装置で接続したデータ通信ネットワークによる疎結合分散システム）による運用を開始した。これにより、3 時間ごとの観測から毎時観測（3 時間ごとはフルディスク、その他は北半球）の実施、風観測を 2 回/日から 4 回/日に増加、雲解析情報図（狭域・広域）・海面輝度温度分布図・海氷分布図などの新規作成、台風プロダクトを 4 回/日から 8 回/日に増加（ただし強度は 4 回のまま）、写真による画像解析から計算機による画像解析作業に移行などの改善を行った。

「ひまわり 5 号」の世代には、センサ増による更なる観測種類の増加、観測精度の向上が期待されたことから、その対応のため、電子計算機システムのレンタル契約期限（8 年）どおり更新することとなった。一方で、「ひまわり 5 号」の打上げが 1 年延期されたことから、平成 7 年は、衛星の切替えと電子計算機システムの移行のタイミングが重なる年となった。電子計算機システムはベンチマークテストの結果、第 3 世代の計算機システムも富士通がシステムを構築することとなり（平成 7 年 6 月運用開始）、同じメーカということもあって、基本的にはシステムの概念を踏襲しながら最新の M シリーズ計算機が採用された。

この後の気象衛星センター電子計算機システムは、平成 13 年 8 月に数値解析予報システム（NAPS）と高度連携の必要性から、新電子計算システム「衛星データ高度処理システム」と

して NAPS との一体整備が進められることとなった。このうち、運輸多目的衛星（「ひまわり 6 号・7 号」）のデータ処理等の衛星業務を処理するためのシステムは「衛星データ処理システム及び共用装置群」（HITACHI 製）として平成 17 年 3 月に運用を開始した。

「ひまわり 8 号・9 号」の世代になると、観測データ量はそれまでの 50 倍以上に増加したことから、その準備のために気象衛星センター第一庁舎運用室のレイアウトを変更し、気象衛星ひまわり運用事業株式会社から気象衛星センターに伝送される大容量の「ひまわり 8 号・9 号」を画像データに処理するための「静止気象衛星画像作成システム」を整備し、画像データを処理して得られる各種プロダクトを作成する NAPS とともに気象衛星センターでその機能が引き継がれていった。

2．極軌道気象衛星データの受信

極軌道気象衛星は、地球の両極を経由して地球を周回する衛星で、地球上の同じ領域を常時観測できる静止気象衛星とは違い、同一地点における 1 日あたりの観測回数は限定されるが、静止気象衛星に比べ低軌道であるため、高分解能の精密な画像が得られる特徴がある。また、衛星に搭載する観測センサによって種々のデータ取得が可能であり、気象解析や数値予報に大きな役割を果たしてきている。

静止気象衛星「ひまわり（初号機）」の運用開始の翌年（昭和 53 年）、気象衛星センターでは、米国の極軌道気象衛星である TIROS-N（昭和 53 年 10 月打上げ）及び引き続き打ち上げられた極軌道気象衛星 NOAA による観測データを直接受信し利用するために、敷地内に NOAA 塔と呼ばれる受信設備を整備し受信データの利用を開始した。その後も、米国 NOAA 衛星は継続的に打ち上げられるとともに、新たに欧州の極軌道気象衛星 MetOp の初号機が平成 18 年に打ち上げられて以降はシリーズ化し、NOAA 塔で受信する衛星数の増加に対応した施設設備を更新してきている。

3．衛星資料の変遷

「ひまわり（初号機）」運用開始以来、気象衛星センターが処理し作成してきた衛星資料には、衛星が観測した生データや画像データ（1 次データ）、それを処理した 2 次データ、更にそれらを加工・処理した 3 次データなど様々なものがある。また、「ひまわり」の中継機能を用いて利用者に直接衛星画像を配信するものには FAX 画像があった。FAX 画像は、衛星で取得した画像データを扱いやすいように写真形式にしたもので、より詳細な HR-FAX と簡易的な LR-FAX の 2 種類があり、それぞれ中規模利用局（MDUS）と小規模利用局（SDUS）向けに配信された。衛星が「ひまわり 3 号」となり、地上機器が更新された昭和 63 年 3 月には、それまでの FAX 画像から、MDUS 利用者向けにストレッチド VISSR（S-VISSR）と呼ばれる、より詳細な画像データの配信を開始した。S-VISSR は「ひまわり」から受信した超高速の VISSR データを気象衛星センターで MDUS 向けにリアルタイムで高品質な低速度のデータに変換し、時間的に引き延ばして出力されることからその名がついている。MDUS 向け S-VISSR の配信開始から半年後、SDUS 向け LR-FAX は WEFAX に名称を変更した。

平成 17 年 6 月、「ひまわり 6 号」の運用開始に合わせて、CGMS で共有仕様として調整が

行われた形式に従った、MDUS 向けの HRIT（High Rate Information Transmission、高速データ伝送）データと SDUS 向けの LRIT（Low Rate Information Transmission、低速データ伝送）データの配信を開始した。また、HRIT データは平成 14 年 12 月から開始した気象業務支援センターを経由した S-VISSR のランドライン配信に替えてランドライン HRIT データとして配信を開始した。HRIT と LRIT の受信には利用者設備の更新が必要なことから移行期間を考慮して、S-VISSR 互換の HiRID（High Resolution Imager Data、高分解能画像データ）と WEFAX の配信も並行して行い、HiRID と WEFAX の配信は平成 20 年 3 月まで続いた。

「ひまわり 8 号・9 号」では、観測バンドの増加、観測の高頻度化及び解像度も向上などの大幅な性能向上によってデータ量が格段に増加した。これらのデータを利用者に届ける手段として、平成 27 年 7 月の「ひまわり 8 号」の運用開始にあわせて、インターネット等による静止気象衛星画像データ配信サービス（ひまわりクラウド）による提供を開始した。また、大規模自然災害による被災現場や山間僻地及び島嶼国等、ランドラインのインフラが脆弱な地域へは引き続き衛星による配信が不可欠であることから商用通信衛星による静止気象衛星画像データ配信サービス（ひまわりキャスト）による配信も開始した。ひまわりクラウドでは、ひまわり標準データによるフルディスクや日本域などの各観測バンドのデータをはじめ、カラー画像データの提供も行っている。また、一部のデータは NetCDF 形式でも提供している。ひまわりキャストでは、HRIT や LRIT データによる観測データの配信と画像解析に活用できる各種観測データや数値予報 GPV 等のデータについてもあわせて配信を行っている。

また、気象衛星センターでは、伝送された衛星観測データを利用者の要望に沿って様々な手法を用いて加工・処理し提供を行ってきた。昭和 53 年 2 月からは雲量分布資料、昭和 54 年からは VISSR 格子点データ、昭和 55 年からは基本ヒストグラム等の作成を開始しており、衛星の機能向上、計算機の性能向上につれて、気象衛星業務実施要領に示されるとおりプロダクトの種類は多数に上っている。

【第 3 節】気象衛星に関する国際的な会議等

1．気象衛星調整会議

「ひまわり（初号機）」の製作に向けた世界的な動きとして、第 1 回及び第 2 回気象衛星調整会議（CGMS: Coordination Group for Meteorological Satellites）の開催については本章第 1 節「気象衛星の開発・運用」に記載したが、第 3 回 CGMS は昭和 48 年 10 月に気象庁で開催された。この会議は、打上げが計画された 5 機の静止気象衛星の当事国、機関である、日本、米国、欧州（ESRO）、ソ連の衛星打上げに必要な連絡調整を行うことを目的として、関係各国の代表をはじめ、WMO、JOC（GARP 合同組織委員会）などの関係機関の出席のもと開催された。我が国からは、気象庁のほか、科学技術庁、宇宙開発事業団の関係者が参加した。CGMS はその後も定期的に開催され、衛星運用国又は機関を構成メンバーとして、共通する技術的課題や運用について意見交換し、必要な相互調整機能の役割を果たしてきた。近年では平成 25 年 7 月には第 41 回 CGMS が、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の協力も得て、茨城県つくば市において開催され、令和 5 年 6 月には気象庁において第 51 回 CGMS がオンライン併用で開催された。

2．アジア・オセアニア気象衛星利用者会議

アジア・オセアニア地域での国際的な活動については、「ひまわり」の観測機能の強化が順次図られ、観測データの利用技術に焦点が当てられるようになったことを背景に、平成 6 年 11 月には、アジア・オセアニア地域の気象機関の専門官を気象庁に招聘し、衛星運用の先進国である米国海洋大気庁（NOAA）から講師も招いて、静止気象衛星利用技術の高度化に関する国際セミナーを開催した。また、平成 22 年 11 月には、主に日中韓の気象衛星運用機関が持つ最新情報を気象衛星データ利用者に提供することを目的として、第 1 回アジア・オセアニア気象衛星利用者会議（AOMSUC）が中国北京市で開催された。これに引き続き、平成 23 年 12 月には気象庁主催、地球観測に関する政府間会合（GEO）、世界気象機関（WMO）等の共催のもと、第 2 回 AOMSUC を東京で開催し、衛星観測の現状と将来、衛星データの利用、衛星データへのアクセスの利便性等について最新情報の交換、議論が行われた。平成 27 年 11 月に東京で開催された第 6 回 AOMSUC では、「ひまわり 8 号」の高度な観測機能の紹介と画像データの利用技術実習を行い、近年では、令和 4 年 11 月に第 12 回 AOMSUC が気象庁ホストにより、新型コロナウイルス感染症の影響を考慮して完全オンライン形式で開催され、「ひまわり」データ利用状況の報告、意見交換が行われた。

3．「ひまわり」による国際貢献

「ひまわり」が観測するデータの活用範囲は国内にとどまらず、「ひまわり」の観測範囲内の多くの国と地域で「ひまわり」データが利用されており、諸外国における気象災害リスクの軽減に貢献している。観測データ量が大幅に増加した「ひまわり 8 号・9 号」では、各国気象機関の異なる通信事情を考慮し、インターネットを利用した「ひまわりクラウド」と通信衛星を利用した「ひまわりキャスト」と称する 2 つの観測データの提供サービスを開始した。特にインターネット環境の脆弱な地域の気象機関に対しては、世界気象機関（WMO）や国際協力機構（JICA）の支援によって「ひまわりキャスト」の受信システムが整備されるよう両機関と技術的な協力を行い、20 か国に受信システムを整備するとともに、気象庁から専門家を派遣し観測データの利用技術について研修を実施するなどの貢献を行った。さらに、平成 30 年 1 月からは「ひまわり 8 号・9 号」の観測機能の一部を使って、各国気象機関から要請（リクエスト）された領域に対して、1,000km 四方を 2.5 分ごとに観測する高頻度機動観測「ひまわりリクエスト」を開始した。「ひまわりリクエスト」の開始以降、観測範囲内の諸外国において、火山噴火の早期検出・噴火直後の噴煙や熱帯低気圧の構造変化の詳細監視等、「ひまわり」の観測データが災害リスク軽減により一層活用されている。令和 2 年 1 月にはオーストラリア気象局（BoM）のリクエストにより同国内で発生した大規模な森林火災の様子を捉え、その観測データが火災対応に役立てられた。