

## 1.2 令和時代の数値予報<sup>1</sup>

### 要旨

1959年に数値予報業務が開始されてから60年、高解像度化や物理過程改良の改善により数値予報は発展を遂げてきました。平成の時代は予報モデルの改良のみならず、データ同化やアンサンブル予報技術の発展が特に顕著であり、ガイダンスをはじめとする応用技術も大幅に進歩し、数値予報プロダクトは天気予報の基礎資料としての地位は確固たるものとなりました。一方、数値予報システムは肥大化・複雑化し続け、地球システムモデル開発やモデル統合化、評価指標の充実、開発支援基盤の整備などが大きな課題として残されています。

これからの令和の時代、数値予報が社会基盤としてさらに発展するためには、ひとつひとつの開発を着実に進めるとともに、幅広い連携を進めて新しい技術や研究成果の現業への導入を積極的に進め、また複数の開発成果を最終的に統合することをより一層意識して取り組む必要があります。

### 1. はじめに

令和時代の数値予報という題目で今後の数値予報の展望を述べたいと思います。しかしながら、そうした展望や明るい未来を目指してなどということは、公式には気象分科会の提言や数値予報技術開発重点計画ですすでにお示ししているところです。そこで、これまでの数値予報課の取り組みを振り返りながら、残された検討課題や後世に期待する取り組みを書き記し、令和時代に期待する将来の展望に変えたいと思います。

数値予報50周年の際に、日本気象学会2009年度公開気象講演会「数値予報の過去・現在・未来～数値予報現業運用開始50周年記念～」が開催されており、その報告がまとめられています(隈, 2009、新田, 2009、小泉, 2009、木本, 2009)。以下の報告ではこれらと現在の取り組みとを対比させつつ、これからの数値予報技術の発展の方向性を述べたいと思います。

### 2. 高解像度化と将来のコンピュータ

1959年に数値予報業務が開始された当初から、物理法則を数値的に解くという基本を持ち、精度の高い天気予報を支援することを目的としたため、数値予報の高度化の方向性としてこの60年間、数値予報モデルの高解像度化を目指してきたのは必然でした。高解像度化すると計算量が大幅に増えるため、数値予報の高解像度化はスーパーコンピュータの能力向上とともにありました。平成の時代においても、2004年の非静力学モデルのメソ数値予報システムへの導入、全球モデルが2007年に約20kmメッシュへと高解像度化がその顕著な成果でした。

現在の局地モデルの水平解像度は2km、全球モデルの水平解像度は約20kmです。より精度の高い気象情報を求めるニーズが高まっているほか、先行研究でも100～500mメッシュ程度の雲解像スケールとすることで精度向上できる可能性が数多く示されており、今後も高解像度化への挑戦は続いていくでしょう。次世代の局地モデルは1km、全球モデルは5kmあるいはそれ以下の解像度を目指すことが目標となるべきであり、全球モデルの非静力学化も当然視野に入ってくること

---

<sup>1</sup> 室井 ちあし(数値予報課長)

になります。

積雲対流などモデルで直接解像できないスケールの現象は、パラメタリゼーションによりモデルで表現がされています。従来は、概ね 5km 以上の水平解像度では積雲対流の効果をパラメタリゼーションで考慮する必要があるとされてきたため、水平解像度 2km の気局地モデルでも当初は積雲対流パラメタリゼーションが用いられていませんでした。しかし、対流の立ち上がりが遅れる、上昇流が強すぎるといった課題があり、対流の発生(イニシエーション)を表現する手法が導入されています。どの程度までメッシュを細かくすればパラメタリゼーションが不要になるのか、決着は着いていませんが、数値予報課でも 2km 以下の水平解像度のモデル開発にも取り組んでいるところです。

これまではスパコンの能力向上を背景に、天井知らずに高解像度化を目指してきましたが、このまま 10mメッシュ、あるいは 1m メッシュ・気象シミュレーションとして当面目指す解像度はどのくらいか? という議論は当然されていくでしょう。降水予測精度向上のために雲を解像することの重要性には共通理解があると思いますが、力学過程と物理過程のカップリング、あるいは計算時間がいくらかかっても許容される研究としては意味があっても、リアルタイムで速報的にプロダクト提供が求められる現業数値予報としてコストパフォーマンスが極大となる、実用上ふさわしい解像度の上限が、もしかするとあるのかもしれない。

コンピュータの動向も目が離せません。これまではムーアの法則によってノイマン型コンピュータの発展に支えられてきました。しかし平成の終わりからムーアの法則にも限界が見え始め、省電力化の追求とともに計算性能を高める工夫が求められるようになりました。現業数値予報を開発・運用する数値予報課としては、スーパーコンピュータの性能を最大限に発揮すべくプログラムの最適化にも力をいれてきましたが、国家プロジェクトである「京」においても、システムとアプリケーションとを協調的に開発する co-design の思想が取り入れられてきました。次世代コンピュータに注目が集まっており、中でも長期的に最も大きな期待が寄せられているのは量子コンピュータです。エンドユーザーに与える影響については今のところその動向は不透明ですが、今後の開発動向によっては数値予報で量子コンピュータを活用する時代が意外と早く到達し、超高解像度化が実現し、気象予測にブレークスルーがもたらされる時代が意外と早く到達するかもしれません。

### 3. 予報時間延長とモデル系統誤差の減少

気象予報はより先のことを知りたいというニーズにより発展を遂げてきました。また近年は頻発する豪雨災害を受けて、より早い段階からの避難行動が求められ、それを支援するための早期の防災気象情報が求められています。また農業や漁業、様々な社会経済活動を支援するためにも、これまでよりも長期の予測が求められています。言うまでもなく大気現象はカオスであり、先のことまで正確にすることは限界がありますが、数値予報はこれまでチャレンジを続け、2013 年には高解像度全球モデルの予報時間は 11 日まで延びました。その予報時間を今後2週間先、1か月先を目指していくためには、これまでは不可能と言われていた MJO の予測の成否がカギを握ると言われています。

予報時間延長を果たすためには様々な取り組みが必要になりますが、中でも重要なのがモデル系統誤差の減少です。長い数値予報の歴史の中でも、モデル高解像度化や物理過程改良等によって系統誤差の大幅な減少が達成できました。系統誤差はモデルが不完全であることに起因する

との考えから物理過程の精緻化には大きな開発コストをかけて取り組んできましたが、近年は compensation errors への対策が大きな問題となっています。Compensation errors とは適切な和訳が見つかりませんが、複数の過程の誤差が大きかつこれらが打ち消し合って、全体としては誤差が小さくなっている状態を指します。このような状況においては、ある物理過程を改良して誤差を減らしたとしても他の物理過程が以前のままであれば、合計としては誤差が増大してしまい悪化しているように見えるという状況が見られるようになっていきます。数値予報モデルが精緻化・複雑化した現在やこれからにおいて、さらに系統誤差を減少させるうえで compensation errors への対策が必要になります。単一の改良による実験とその評価にとどまるのではなく、最初から複数の開発課題を統合して完成させることを念頭におき、調整することが望まれています。

#### 4. 地球システムモデル

前章の予報時間延長と深く関係することとして、大気海洋の相互作用、大気化学や陸面、さらには海洋の炭素循環、生物の過程を含んだ「地球システムモデル」、あるいは「統合地球環境モデル」の開発があります。より時間スケールの長い季節予報や地球温暖化予測では早くからこの課題に取り組んでおり、また黄砂や大気汚染については天気予報と同じ時間・空間スケールでこのモデル化に取り組まれてきています。数値予報の天気予報から地球環境監視予測への拡張については、数値予報の 50 周年の節目においても木本(2009)においても将来の飛躍が大きく期待され、短期予報から長期予報、地球温暖化予測まで統一したモデルで行う、シームレス予測についても言及されていました。

それから 10 年たった今、地球システムモデルの必要性は変わらず、重要性については増大していると言えます。地球温暖化の影響が局地的な大雨や台風強度に影響を与えている可能性が議論される中で、海面水温や二酸化酸素量を外部から与えるという手法では十分ではないのは明らかです。実際にも気象研究所では大学や研究機関と協力して、地球温暖化予測を主目的とした地球システムモデル MRI-ESM2 の開発に注力し、IPCC へのインプットなど大きな成果をあげてきました。

それでもこの 10 年で、数値予報課が担う全球大気モデルと気候モデル、地球システムモデル開発との連携は期待されたほどは十分ではなく、「統一モデル」への動きは鈍かったと言わざるを得ません。理由は、①天気予報のスケールでは海洋や大気化学と大気との相互作用のモデル化について解決に至らず、初期値作成の問題も含めて課題が残っていること、②大気と海洋・化学とでは最適なパフォーマンスが得られる解像度が一般に異なるため、モデルのパラメタリゼーションや結合部分で必要となるカップラー等の共用が難しく「統一モデル」を目標とする共通認識が十分に持てなかったこと、③マネージメント上の課題として、「統一モデル」を複数の部署で開発することとなれば、それぞれの現業モデルに対して必要な要件の絞り込み、開発計画の作成や現業化方針等の決定について組織を超えて行わなければならない、それに見合った体制が十分とれなかったこと、などが挙げられます。

しかしながらモデル開発の立場としてはもちろん、社会の期待としても気候変動、地球温暖化による将来の顕著現象への影響の解明、台風強度の予測精度向上に対するニーズは極めて大きく、残された課題についてはこれからのモデル関係者が知恵を出して解決していくことが強く望まれて

います。例えば海洋結合の効果について短期から長期まで合理的な取り扱いをする手法として、予報初期は偏差固定 SST を用い、徐々に別モデルで計算された予測 SST を利用する、二段階 SST 法が提案されています。全球大気モデルの開発をリードしてきた数値予報課の果たすべき今後の役割は非常に大きいと考えています。

## 5. データ同化とアンサンブル、観測ビッグデータ

平成時代の数値予報は、データ同化の重要性がひととき大きく認識されたと言ってよいでしょう(小泉, 2009)。変分法データ同化の実用化による衛星データの同化が飛躍的に進歩し、初期値の精度が大幅に向上、予測精度にも大きなインパクトがありました。またデータ同化に深く関係することとして、アンサンブル予報技術も大きく進歩し、予想の不確実性を示す資料として予報現場にも浸透したと言えます。一方、世界気象機関(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 は、アンサンブル予報データの高度利用を図り、観測システムと数値予報とが双方向型気象予測システムを目指しました。これらの取り組みは、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現業とが効果的にリンクした成功例と言えるでしょう。

数値予報で利用する観測データに目を移すと、「観測ビッグデータ」という言葉で代表されるとおり、高分解能・高精度の気象衛星「ひまわり」やフェーズドアレイ気象レーダーなど詳細な観測データが入手・利用可能となっており、数値予報でまだ十分利用できていない観測データが依然として数多く残されています。特に水蒸気のデータの活用は、降水予測の精度向上に大きな効果があることが様々な研究によりわかってきましたが、現業での利用はまだ課題があります。予報モデルのバイアス軽減の取り組みとも連携して、利用する観測データの数と質を向上させていくことが必要です。観測データの品質管理については、できるだけ多くの観測データを利用するという基本コンセプトのもとで、長年の現業数値予報の経験を元に、品質の悪い観測データをはじく処理も重要な役割を果たしてきました。今後は品質管理部分においても AI 技術の導入が期待されます。

また観測データに関する大きな流れとして、WMO で全球基本観測ネットワーク GBON(Global Basic Observing Network)の構想が打ち出されています。その役割として、世界全体の共通の技術基盤である数値予報に必要な観測を維持、発展させていくことに重点が置かれています。これまでも例えば、ラジオゾンデや漂流ブイによる観測の減少(一時的で、その後回復したものもあります)などがありました。こうした動きは事前連絡があることは少なく、その度に世界の数値予報関係者間においてほぼリアルタイムで情報を共有し、状況を打開するように努めました。このように、数値予報にとって重要な観測をいかに維持するかが、将来にわたって重要な課題になると考えられ、数値予報センター間のみならず観測ネットワークの維持運用に関わる他の宇宙機関や観測機関とも協力して進めていくことが期待されます。

データ同化技術については、全球解析において 2019 年 12 月に、4 次元変分法の背景誤差として気候値とアンサンブル予報から得られた値とを組み合わせるハイブリッド同化の実用化により、現業システムとしては成熟した形を築くことができたとと言えます。ただ、研究目的ではより簡便なアンサンブル同化が用いられることが多く、複雑なデータ同化手法は研究と現業との連携の妨げになることがあるほか、現業システムの評価そのものを難しくしている面もあります。

アンサンブル予測技術については、初期値・境界値・予報モデルの不確実性をより合理的に考

慮したアンサンブル予測手法の確立が求められます。それには、データ同化から得られた解析誤差に関する情報、予報モデルの物理過程改良から得られた知見などを役立てる必要があります。研究開発に従事する職員の垣根を越えた連携がより一層求められることとなります。2019年6月、新たにメソアンサンブル予報の運用も開始されました。これまでの全球アンサンブル予報で長年培った開発経験や利用上のノウハウを活かして、大雨のポテンシャル、不確実性の高い領域が事前に把握できるように、メソアンサンブル予報の改良や高度利用について今後の発展が期待されます。

これらの取り組みが実現できれば、THORPEX が目指した「双方向型気象予測システム」の現業での実現に大きく近づくことになるでしょう。

## 6. 応用技術

物理法則を数値的に解き、精度の高い予測を行うのが数値予報の王道です。しかし、モデルと実際の地形の違いなどによって系統的なバイアスが存在するため、簡便な方法で数値予報結果を修正することが、ガイダンスの考え方でした。ガイダンスをはじめ、数値予報技術を応用することで、より精度の高い予測資料作成を目指したのが、応用技術です。

1977年にガイダンスの運用開始、数値予報課アプリケーション班が1991年に発足、その後も様々なプロダクト開発やそれにあわせた体制強化が行われてきました。1996年に随次学習型のニューラルネットワーク、カルマンフィルターの登場・実用化され、ガイダンスの運用開始から40年あまり経過し、予報業務におけるガイダンスの地位を確固たるものになり、応用技術の重要性は日に日に増してきました。これまで数値予報30周年、50周年の節目においてもガイダンスや応用技術が深く語られる機会は多くはなかったかもしれませんが、これからは数値予報の歴史を振り返り、また展望を語る上では、ガイダンス・応用分野を抜きにすることはできません。

近年、第3次AIブームの到来と言われており、気象分野においても最新AI技術の活用が期待されています。スーパーコンピュータにおいても、それまで用途が限定的で利用のハードルが高かったGPUがAIブームによって汎用的なものへと飛躍しつつあります。AI技術は実況監視、異常検出など様々な分野での活用ができそうですが、中でも気象予測においても広がりが見込まれます。物理法則に立脚した数値予報と最新AI技術とが対決するのか、それとも共存するのかは大変興味深いところです。AI技術で高い精度を上げるにはデータ数を増やすことが重要であり、特に、頻度の少ない現象を予測するためには小手先のデータ収集では足りないと考えられ、気象においてもビッグデータの蓄積が重要な要素と考えられます。ビッグデータといえばGAF A、ビッグテックが頭をよぎります。データを巡る競争はこれから熾烈になると考えられ、彼らが本気を出すと中途半端な取り組みは駆逐される可能性もあるでしょう。第1次AIブームの1950～60年代が数値予報の導入期と、第2次AIブームの1980年代が数値予報とその応用技術の発展期と、重なったことも印象的です。第3次ブームによりどのように進化をとげるのかは、非常に興味深いところです。

物理法則に立脚する部分を数値予報班、応用技術の部分をアプリケーション班で、技術的なアプローチの違いによって分担するというやり方は、それぞれの技術発展を開拓してきた上で、いかにも数値予報課流であると言え、成功に導いた大きな要因と考えることができます。数値予報の長い歴史の中で、数値予報の利用はどんどん広がり、応用技術も進化してきました。一方、一般の方からは、「モデルの降水予測と降水ガイダンス、ナウキャストや短時間予報といろいろあるけれど、

何が違うのか？」と問われることもあり、ひとたび道を間違えると様々な資料が乱立し、情報の受け手が混乱することも考えられます。数値予報とその応用技術が社会に受け入れるためには、よりわかりやすい説明が必要になると思われます。

## 7. 評価指標の充実

これまで述べたように、数値予報はその精度向上とともに利用が広がり、予報業務に着実に貢献し続けることができました。さらなる予測精度向上のために物理過程の精緻化が進められ、より予報時間の長い気候モデルや、より複雑な地球システムモデルの開発も進められ、さらにガイダンスなど応用技術も発展しました。その結果、モデルの開発項目は極めて多岐にわたることになり、また数値予報を改良したことによる影響範囲も大幅に広がりました。

一方、ある物理過程を改良したからといってモデル全体が改良されるとは限らず、観測データを多く利用したことでかえって予測精度が悪化する(小泉, 2009)、また予報モデルを改善してもガイダンスではむしろ悪化するという事態も見られるようになり、総合システムとしての数値予報の開発・評価は困難度を増しています。

数値予報の予測精度を見る尺度として長年、北半球や南半球の 500hPa 高度面の高度と地上気圧などが標準的に用いられており、雨や台風に着目した検証も充実してきました。これらは数値予報の標準的なプロダクトあるいは予報業務における重要な指標であるとともに、数値予報の精度を客観的に見るに適したものと考えることができます。一方で、予想精度が向上した現代において、短期予報から長期予報まですべての指標で改善を目指すことは非常に困難です。目的を明確にして何らかの一部改良することを目指すしかありませんが、何を重視するかを開発者自らの価値観のみで判断することは好ましくありません。対客観解析の評価指標を見る上では、モデルの誤差によって過小評価がされていないかを考慮する必要もあり、数値予報の様々な過程について科学的に考察した上で指標を明確にし、その中で目的に応じて指標を使い分ける工夫が求められています。そうした状況になってもなお、得られた指標からモデル改良へのフィードバックを得ることは今後も困難を極めるでしょう。数値予報システムが成熟した現在においては、ひとつひとつの開発成果による改善幅が小さくなりつつあります。実験を行った結果は事例や実験期間に依存することが多く、事例依存性があることに留意し誤差幅も考慮する必要があります。

週間アンサンブル予報、台風アンサンブル予報と季節アンサンブル予報は、2017年3月にシステムが統合されました。これらを統合によって、開発コストや維持管理コストを大幅に下げることができ、また運用面においても重複したルーチン運用が回避できるため、大きな効果があったと言えます。一方、これら3つのアンサンブル予報システムは、週間予報、台風予報、季節予報と異なる目的を持ち、モデルや初期値作成手法を改良したところで、すべての指標・すべての業務が改善されるとは限りません。そこで、改良時において重視すべき指標について議論を行い、アンサンブル予報システムの改良に関するガイドラインを策定しました。例えば、先に述べた大気海洋結合の効果、地球システムモデルについても、大気海洋を結合させることにより台風強度、海面水温の低下がより精度良く表現されることは先行研究により十分にわかってきました。しかしながら大気下層のプロファイルや大気の循環にも大きな影響があり、現業モデルとしての実用化を目指すためには、台風以外の指標も重視し改善を目指す必要があります。今後、天気予報のモデルから地球システ

ムモデルまで幅広く開発も視野に入れるのであれば、評価すべき指標について議論を深め、こうしたガイドラインを作成することが期待されます。

## 8. 開発支援基盤の整備

数値予報に限らず、目標達成のためには計画・実行・評価・改善を繰り返す PDCA サイクルによって、業務を継続的に改善していくことが有効です。数値予報についても、誤解を恐れずに述べると、高解像度化すれば結果は確実に改善されると考えていた時代もあったかもしれませんが。しかしながら、データ同化の品質管理やモデルの物理過程の精緻化などの重要性が高まり、数値予報システムが高度化・複雑化しており、モデルを高解像度化すれば確実に改善されるとは言えなくなってきたと考えられます。特に 2007 年に全球モデルの水平解像度を 20km に向上させた際には、セミラグランジュ法を導入して大幅な解像度増強にもかかわらず、その後の予測精度向上にかなり苦しみました。

この反省から数値予報課では開発支援基盤の整備に取り組みました。ひとつはプロジェクト管理ツール、プログラムのバージョン管理ツールの導入であり、これによって、開発、評価、現業化までの開発者支援・チェック体制強化を行うこととしました。これによって開発の進捗状況やプログラムの変更の履歴などがひとめでオンライン上でわかるようになり、進捗管理やプログラムのバグ発見などが効率的にできるようになりました。あわせて、数値予報改良のガイドラインを策定し、数値予報モデル等を更新して改善するための標準的な実験設定(実験期間の目安)を定め、その改善をしっかりと評価ができる仕組みを整えました。

数値予報課内の動きとして、2011 年に数値予報班に基盤整備グループが新たに発足、開発者が共通で利用する実験システムの維持管理を中心に開発支援基盤を専門で担当することになりました。現業システムの維持管理を担うプログラム班と、数値予報モデルやデータ同化の開発を行う数値予報班とが互い協力する体制が構築できたことも効果的でした。専門的な課題に取り組むことが、ともすれば専門家を育てることと認識されることがありますが、それだけではなく、専門家同士が以下に活発に議論ができるか、協力ができる仕組みが用意できるかが、その後の研究開発の成果を束ねて大きくしていく上でますます重要となっていくでしょう。

## 9. 幅広い連携・マネジメント

数値予報は、気象学、物理学、計算科学などの最新の技術を結集させ実利用を目指してきました。中でも、数値予報の実現と業務化にあたっては、正野重方教授を中心と大学、気象研究所、中央气象台(のちの気象庁)などの研究者・技術者大学等と連携した数値予報グループ(通称:NPグループ)によって成し遂げられました(新田, 2009)。その後も最新の成果を業務化するために、大学等と気象庁との連携は継続してきましたが、数値予報モデルの複雑化や肥大化とともに、現業と研究とのギャップが時折感じられるようになりました。また数値予報の活躍の広がりとともに、短期予報から季節予報、地球温暖化予測まで様々な分野で数値予報技術が利用されるようになり、その改良の着眼点もそれぞれの分野で独自に議論されることが多く、気象モデルと気候モデルとでほとんど同じ技術を利用しているながら、なかなか話がうまくかみ合わないという場面も見られました。

こうしたギャップを埋めるため、WMO の数値実験作業部会(WGNE)で気象・気候分野の共通プ

プロジェクトが検討されるようになり、積雲対流のパラメタリゼーションにおけるグレーズン問題をはじめ、物理過程に関するワークショップで一緒に議論を交わすなど、様々な取り組みも行われています。国内においても気象・気候が垣根を越えて共同でモデル開発を進めるべきであって、これから数値予報がさらに発展するためには、短期予報から地球温暖化予測まで多くの研究者・開発者がより一層連携することが求められます。気象庁でも大学等の研究機関との連携を強化するため、「数値予報モデル開発懇談会」を 2017 年から立ち上げたところですが、これまで述べた課題を解決するためには気象・気候に限らず、計算機科学や AI、衛星観測など、より幅広い分野の専門家との連携が必要です。

数値予報が気象予測の基盤技術となり、またインターネットやスマホの普及で気象庁以外の民間気象会社あるいは外国の数値予報結果等が手軽に閲覧できるようになりました。それとともに気象庁の予報精度、数値予報の予測精度にも関心が高まっており、欧米との予測精度の差が議論されることも増えてきました。全球モデルの精度については欧米とは差がつけられていると認識しています。詳細な分析を述べているスペースは残念ながらありませんが、これまで述べてきたとおり、数値予報のさらなる精度向上は一筋縄ではいかず、複数の課題をトータルとして解決していくことが求められています。しかしながら日本人の本来得意とする几帳面さ、緻密さがこの数値予報開発では十分に活かされていない気がしています。これまでは個人の意志や能力を重視するあまり、全体としての優先度を踏まえた取り組み、先を見据えた研究開発、その成果を現業化につなげる努力がいずれも十分でなかった面があります。

欧米の数値予報のリーダーと会うたびに、彼らはみな科学者として優秀であるとともに、強いリーダーシップを備えていると感じます。我が国においても今後は、開発者・リーダーを想定した個人の能力開発や人材育成を行うとともに、優先度の高い開発により網羅的に取り組めるよう、オールジャパンでの開発戦略の策定とフォローアップ、組織運営・マネジメントの強化が必要と考えられます。

## 10. おわりに～社会の基盤となるために～

数値予報はこの 60 年で大幅な精度向上を果たし、天気予報の基礎資料としての地位は確固たるものとなりました。これはひとえに、コンピュータを用いて物理法則に基づき客観的な予測を行うことが正しい道であると、世代を超えて強い信念を持ち実行し続けて実用可能なことを示した成功の物語と言えます。

気象は人々の日常生活や社会経済活動に大きな影響を与えて続けています。天気予報・防災気象情報は生活により密着なものとして、さらに気象災害を防止あるいは被害を軽減する重要な情報として定着していますが、数値予報の精度向上はこれらにも大きく貢献してきました。テレビの天気予報でも低気圧や台風の接近が予想される場合、従来は等圧線が主体の天気図によって解説されることが主流でしたが、最近では数値予報の量的・面的な結果がアニメーションによって詳細にわかりやすく示されることが増えました。

正確で詳細な気象情報に対するニーズは、近年の大雨災害・台風災害や地球温暖化の影響に対する国民の関心の高まりもあり、ますます増大していると言えます。数値予報はこれからも気象予測において不可欠な資料としてありつづけるとともに、単なる気象予測資料からさらに飛躍して、あ

らゆる場面で数値予報の予測結果が社会基盤情報として利用されるべく、今後も技術開発に取り組む必要があります。

目指すところは、リアルタイムで得られる観測データをできるだけ多く収集し、科学的な手法によって予測データをはじき出すこと、に尽きます。これまで王道と考えてきた、物理法則に基づく数値予報技術とともに、従来とは違う新たなアプローチ、それが果たして人工知能なのかビッグデータ活用なのかは、あるいは量子コンピュータなのかは現時点では不透明ですが、イノベーションを切り開く可能性がある新たな手法も複合的に組み合わせて、国民の命と財産を守るために、令和の時代においてさらなる飛躍を目指し、気象予測情報の価値をより一層高めていくことが望まれています。

なるべく未来の話をわかりやすく考えたあまり、過去の振り返りや平易な解説が多くを占めてしまいましたが、これも筆者の力不足によるものです。次世代のリーダーがここに述べた以上の問題意識を持って、様々な分野の方々と協力しながら力強く未来の数値予報を牽引していただくことを期待し、この稿を閉じたいと思います。

#### 参考文献

- 木本 昌秀, 2009: 2009 年度春季大会 公開気象講演会「数値予報の過去・現在・未来—数値予報現業運用開始 50 周年記念—」の報告3. 今後の数値予報への期待, 天気, 11, 908-913.
- 隈 健一, 2009: 2009 年度春季大会 公開気象講演会「数値予報の過去・現在・未来—数値予報現業運用開始 50 周年記念—」の報告はじめに, 天気, 11, 893.
- 小泉 耕, 2009: 2009 年度春季大会 公開気象講演会「数値予報の過去・現在・未来—数値予報現業運用開始 50 周年記念—」の報告2. 最新の数値予報, 天気, 11, 900-907.
- 新田 尚, 2009: 2009 年度春季大会 公開気象講演会「数値予報の過去・現在・未来—数値予報現業運用開始 50 周年記念—」の報告1. 数値予報の歴史—数値予報開始 50 周年を迎えて—, 天気, 11, 894-899.

#### (追記)

本稿をまとめている 2019 年 12 月に、気象庁の体制強化の方針がまとめられ、数値予報モデルを分野横断的に開発する体制を整備することになりました。これは、本稿で述べている数値予報モデルの高度化、地球システムモデルの開発や気象研究所・大学等との連携、開発支援基盤の整備等を進めていく上で非常に有効な体制となります。

数値予報課は新たに予測技術基盤課となります。これを契機に、数値予報が気象予測の基礎資料のみならず社会の基盤として確固たる地位を築いていくべく、さらに発展することを切に願っています。