

1. はじめに

気象業務では、科学的知見に基づき解析・予測を行い、その成果を国民、関係機関に情報提供する。業務の基盤は科学技術であり、予測精度の向上等を図るため、必要な技術開発は自ら行うとともに、研究コミュニティの知見あるいは成果の反映を図ることが重要である。地球温暖化問題に加え、東日本大震災を経て高まった防災への国民意識も踏まえつつ、気象・気候分野において、大学等との連携を通じて何を指すのかをここで述べることにしたい。

2. 背景

東日本大震災で国民の防災への意識が大きく変わった。平成 23 年台風第 12 号災害等国内外で気象災害も相次ぎ、地震災害のみならず、気象災害への関心も高まってきている。日本は、地震国、火山国であるのみならず、モンスーンアジアにあり、豪雨、豪雪、台風といった気象災害の宿命を持った国土であることを認識する必要がある。また、従前から地球温暖化対策等を背景に推進されていた再生可能エネルギーについては、今後の電力需給対策として、さらに拡大をはかる必要があり、立地検討や需給調整における気象・気候情報への期待が高まりつつある。国際的には、GFCS（Global Framework for Climate Services）が立ち上がり、気候情報の様々な分野への利活用推進が図られようとしている。

防災・減災から気候変動対策、さらには再生可能エネルギー推進等に向けて、気象庁は気象業務の実施機関としての役割を果たしていく必要がある。気象庁自ら実施する情報発信だけでなく、民間も含めた気象情報の利活用に向け、

その基盤技術である気象解析・予測が重要であり、数値モデルによる精度向上を様々な時間スケールで実現していくことが重要である。

数値モデルは、高分解能化、物理過程の精緻化、データ同化技術の高度化が進められ、システムが巨大化し、多くの関係者の組織的な取り組みがないと持続的な発展は不可能となってきた。様々な時間スケールの現象に対して、統一モデルでシームレスに予測することは、限られた計算資源、人的資源で開発を進めていく上で目指すべき方向性である。また、サイエンスとしても、様々な時空間の階層が相互作用して時間発展していく系を予測するため、シームレスな取り組みは重要と考えている。

気候予測と天気予測とのシームレス化、物理過程のプロセス研究とモデル開発との連携、観測研究と予測研究との連携、予測可能性研究と情報利活用推進との連携等、様々な観点での連携が必要であり、THORPEX（観測システム研究・予測可能性実験計画）もその一翼を担っているものと認識している。

3. 国際競争と海外の状況

シームレスなモデル技術開発は、英国気象局をはじめ世界各国で取り組まれており、現業数値予報から地球温暖化予測に至るまで、国際競争が展開されている。様々な時間スケールについての予測の中で、客観的に比較が容易な週間スケールの全球数値予報については、WGNE（数値実験作業部会）で検証結果の相互比較を実施しており、各国のモデリング技術の健全な競争を促している。

図 1 にその結果の一部を示す。どの数値予報センターも精度向上が著しく、図には示さない

が20年前の1日予報の精度で3日予報が実施できるようになっている。また、気象庁でもそうであるが、モデルの力学過程・物理過程・データ同化手法の改良、新たな衛星データの利活用等様々な取り組みの成果として着実な精度向上が実現している。なお、2009年以前にはECMWFを先頭に、英国、米国、日本の3センターが第2グループであったが、その後、英国気象局が一步抜け出していることがわかる。

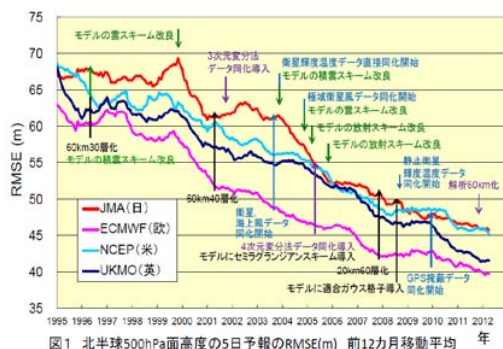


図1 北半球500hPa面高度の5日予報のRMSE(m) 前12カ月移動平均 年

英国気象局においては、以前から UM と呼ばれる統一モデルで様々なタイムスケールの予測を実施する仕組みがあったものの、モデルの部品はそれぞれの目的に特化したものを利用して実態があった。近年、気候研究部門と天気研究部門に加え、非常勤取締役の Brian Hoskins 教授や Julia Slingo 首席科学官の指導のもと、シームレスな取り組みを推進するため、双方に共通する力学や物理過程の基盤技術を開発する部門を新設し、一つのモデルで短期予報から気候予測まで実施する目標を掲げて開発を進めている。また、部外資金を活用した大学との共同研究用計算機を通じて、英国内の英知を結集した共同開発を行うとともに、韓国やオーストラリア等との国際連携により英国モデルの共同開発も行っている。

米国気象局においては、古くからプリンストンの GFDL やオクラホマのシビアストーム研究等、大学と政府研究機関との連携が進められており、最近では EMC (数値予報)、CPC (気

候予測) 等の現業機関がメリーランド大学構内に移転している。米国では、しばしば R2O O2R という用語で、現業と研究との連携が強調されている。これは放置しているとなかなか連携が進まないからなのかもしれないが、様々な会合等を通じて互いを意識して仕事を進めることの重要性が徹底されていることが背景にある。

その他、ドイツ、韓国、オーストラリア等各国で気象機関と大学等との連携は戦略的に各国のモデリング技術を世界レベルとすることを目標に取り組まれている。

4. 連携に関する現状と将来展望

日本においても、数値予報開始当初は、大学と気象庁と分担を決めて定期的に会合を持ちながら進めていた。それが世界的にも早期の数値予報の開始となったほか、その後の米国のモデル研究等を支える人材を輩出する結果ともなった。

近年では気象研究コンソーシアムという形で気象学会と気象庁との連携の仕組みが構築され、また異常気象分析検討会等、大学の研究者と気象庁の業務関係者との連携が図られている。しかし諸外国の状況や我が国が直面する様々な課題を踏まえ、さらに連携を強化してオールジャパンでの取り組みを目指していく必要がある。ただし、海外においては、気象研究資金を気象機関が支援する仕組みがあることなど、我が国と異なる状況も認識する必要がある。

連携のありかた、推進方策を考えるに当たっては、数値予報の開始時のように、日本として何を目標とするのかを明確にすることが重要であり、その観点からの展望を示す。

まず、豪雨や台風といったモンスーンアジアの課題に取り組み、これらの現象の予測技術で

世界の最高水準を達成することが第 1 の目標ではないか。これらの現象の予測は直接日本の防災減災に貢献するだけでなく、東南アジア等のモンスーンアジア地域の防災への国際貢献としても波及する。また、熱帯のクラウドクラスターの解析・予測技術は、MJO や ENSO 等の予測精度の向上にもつながり、気候変動予測技術としても重要である。さらに、地球温暖化に伴い、豪雨災害、台風災害がどのように影響を受けるかといった社会的要請の高い課題に対する貢献も重要である。

第 2 の目標としては、IPCC に対して世界最高水準の解析・予測情報を提供することおよび地域気候の解析・予測情報を提供することである。これにより、地球温暖化問題に対する日本の貢献を高めていくとともに、気候変動対策の地域における具体化の推進が図られる。

当庁は IPCC の発足当初からモデル予測結果を提供し、また過去の気候変動については当庁の数値予報技術を応用した再解析を実施し、現在も JRA55 のプロダクト作成を進めているところである。どちらも庁外の研究コミュニティとの連携が進められており、国際的にも大きな貢献となっている。今後も解析・予測精度の向上を図るとともに、関係機関、地域との対話を通じた情報利活用の推進を図っていく必要がある。

第 3 の目標としては、産業や国民の暮らしを支える気象情報である。交通、農業、水資源等の分野に加え、今後は、太陽光、風力等の再生可能エネルギーのコスト削減、安定的運用への貢献が重要となろう。今後、太陽光・風力発電量を拡大すると、天気による変動を水力等他の調整可能な発電により吸収し、それを天気に左右される需要とマッチングさせる運用を行うことが求められる。このため、観測技術、予測技術を発展させ、これらの目的に適したきめ細

かな高精度の気象予測を行うことが必要である。また、気象予測の誤差情報についても、リスクマネジメントとして活用する仕組みが必要である。我が国のきめ細かな気象情報はエネルギー問題に限らず、農業も含めた産業の興隆、豊かな国民の暮らしにもつながるものである。特にこの分野は特に社会応用部分について、民間の貢献を期待したい分野でもある。

3 つの柱は、可能な限り共通基盤技術に集約して、その解析・予測精度の向上を図ることで、目標を実現できるよう努める必要がある。たとえば、全球を対象に積雲スケールを直接予測する全球雲解像モデルは、将来はその基盤技術の一つとなろう。メソモデルについては、防災にも地域気候にも、さらには再生可能エネルギーにも、きめ細かく予測精度の高いアウトプットが求められている。また、観測ネットワークの持続的発展とともに、リモートセンシングの技術革新等を図り、集中豪雨の原因となる、海上からの下層の暖湿流の解析精度を飛躍的に向上させるなど、観測面の基盤技術も重要である。

さらにブレイクダウンしていくと、次世代計算機に適合した高精度の力学過程の開発、気象衛星・地球観測衛星利活用技術の開発、観測データを最大限活用するデータ同化手法、不確定性を予測するアンサンブル予測手法、プロセス研究から物理過程の改善を図る技術開発、熱帯域や極域、成層圏等の検証研究、再解析技術の応用として、地域の気候変動の記述、過去の災害の分析、再生可能エネルギーの立地検討材料等を目的とするダウンスケール技術等、様々な観点からの研究開発が必要である。

これら目標達成に向けて連携を進めて実施していくことで、人材育成の輪が広がっていくことが期待されるが、人材の活躍の場を広げていくことも重要である。我が国で鍛えた技術をもとに発展途上国等へ支援していくことは我

が国の国益にもつながり、産学官の連携のもと推進を図る必要がある。一方、国内の地域レベルでは、過去の気象災害や地球温暖化に伴う地域気候変動等の分析を進め、これらを地域の防災施策、適応施策の推進に生かしていくことが重要であり、ここでも産学官の連携のもと専門的人材の活躍が期待される。産業界における気象情報の活用等では、民間で活躍する人材の拡大を図ることも重要である。

また、情報利用の立場、社会への貢献という観点では、気象分野だけではアウトカムとなくにくい一方、気象分野が情報作成の上流部分であることを認識することが重要である。各分野への応用を図りつつ、これらの分野と気象予測精度向上の必要性についてのコミュニケーションを深め、不確定性についての情報の活用方策の推進を進めていく必要がある。このため、気象学と他の専門分野との連携推進を図ることが重要であり、農業や水文、防災分野等との連携に加え、今後は再生可能エネルギーについての電気分野との連携等も候補となろう。

今後、連携の具体化を進めるに当たっては、気象庁、大学、研究機関、さらに民間も含め認識の共有を図ることから出発するのがよいのではないか。そのなかで目標そのものを磨きあげつつ取組みを進め、気象分野全体として次世代に向けた人材育成を図る必要がある。

もちろん、気象学の分野は多方面に拡大しており、ここで述べた柱は気象業務の観点からの記述であり、別の観点では別の柱があるものと理解している。また、少子高齢化、世界経済の低迷、我が国の国際競争力の低下といった厳しい背景があり、今後の厳しい行財政事情のもとで、産官学含めた気象事業がどう生き抜いていくのか、という観点も必要である。

具体化に向けては、大学等におけるデータやモデル利用について、その運用管理面や教育支

援等も含め気象庁と大学等との役割分担や知的所有権の扱い、気象庁と大学等の認識共有を図る仕組み等、現状の課題、予算や制度面の課題も踏まえつつ、取り組んでいく必要がある。

今までも異常気象分析検討会等様々な取組みで推進されているが、まずは気象庁の関係者と気象学研究コミュニティとの間でのコミュニケーションをさらに深めることが第一歩であろうと考えている。THORPEX は 2014 年までの計画であるがその後継プロジェクトが検討されており、また WWRP（世界天気研究計画）では、WCRP（世界気候研究計画）とも連携しつつ PPP（極域予報プロジェクト）と S2S（季節内から季節スケール）を立ち上げている。このような国際プロジェクトの推進を通じて連携を深めていくこともできよう。

5. おわりに

気象庁と大学等との連携について、我が国において何を目標として連携するのかという観点から一部私見も交えつつ述べた。連携を通じて、我が国の解析・予測技術の基盤が強化され、それが様々なアウトカムに反映されるとともに、一人でも多くの気象専門家が民間も含めその専門性を活用して活躍できるような社会になることを期待している。

気象庁はその専門性を国民、社会から期待されている組織である。庁内において専門家を育成することはもちろんであるが、物理・数学の基礎力を持ち気象学をしっかりと勉強された方を気象庁の技術開発人材の候補として採用し育成していくことも重要である。また、大学院教育の中で、より実践的な研究が推進されることにより、結果的に博士課程修了者等の採用も拡大していくものと考えている。