Meteorological Society of Japan

国境を越える天気予報*

古　川　武　彦**

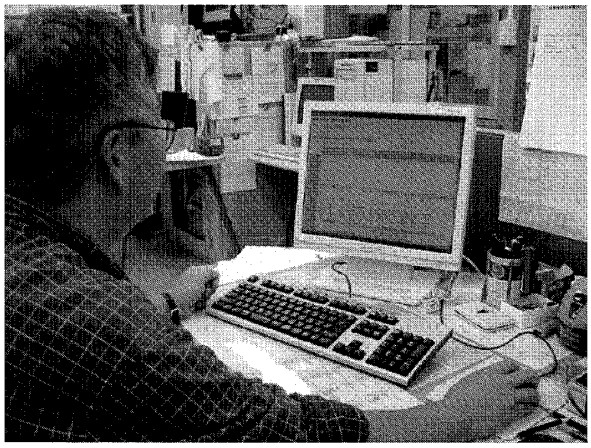
1．はじめに

天気予報に代表される日本の予測技術は今や世界のトップクラスにある．一方，近年の大気科学の発展，コンピュータの高性能化と低廉化，さらに国際テレビ放送およびインターネットの劇的な進展は，これまで国境という壁で閉じていた天気予報の世界に種々の影響をもたらしつつある．ここでは日本の天気予報の第一線の技術と天気予報を巡る国際的な動向について述べる．

2．日本の天気予報技術

日々の天気予報は，観測データの入手から，数値予報モデルでの予測計算，計算結果の後処理，予報の作成支援まで，巨大なシステムの中で生産されている．予報官が天気図と睨めっ子しながら，予報や警報を書き上げた時代はもはや過去のものとなった．

まず，天気予報の最新の仕組みを地元の気象台から発表される予報を例に見てみよう．毎日，午後1時を過ぎると，午前9時の定時的な世界一斉の観測および非定時の観測とそれらの総合的な解析に基づいて作成された初期値から「領域数値予報モデル」を用いて計算した，約2日先までの予測が20 km間隔の立体的な空間の格子点上で数値として出力される．慣用的にGPV（格子点値）とよばれる．ついでGPVを用いて，「ガイダンス」とよばれる予報の支援資料が自動的に計算される．天気・降水量・風・気温・降水確率・発雷確率などのガイダンスが20 kmメッシュの地域あるいは多数の特定地点を対象に，また時間的にも細かく計算されて，気象庁部内への配信のみならず民間の気象事業者に公開されている．1コマが3時間単位の各種ガイダンスとそれに対する予報作業者の必要な修正に基づいて，「今夜北の風晴れ，明日南の風曇り，昼過ぎ一時雨，最高気温27度」のような天気予報文が，コンピュータ上で自動的に組み立てられ，予報担当者のパソコン画面に表示される（第1図参照）．気象の状況によっては「大雨警報」などの気象注・警報文も同様に表示される．担当者がボタンをクリックすれば気象庁の公式の予報や警報として，自動的に発信される．これが午後5時発表の天気予報として，夜のテレビやラジオなどで報道され，翌日の朝刊にも載る．同様に午後9時初期値に基づくモデルの結果を利用して翌朝5時に予報が発表される．



第1図　地方気象台の予報現業風景（気象庁提供）．

予報技術の発展を世代として顧みれば，明治初期までの長い「経験的時代」，1980年代までの天気図と経験に基づいた「経験的天気図時代」を経て，現在は数値予報モデル，ガイダンス，人間の総合判断の三位一体で行われる「客観的数値予報時代」にある．

ここでガイダンスという聞きなれない言葉について説明しておく必要がある．数値予報モデル（以下，モ

* Weather forecast across the border.

** Takehiko FURUKAWA，気象コンパス．
takefuru@eos.ocn.ne.jp

© 2007　日本気象学会

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

デルと略称する）の計算結果（GPV）が即「天気予報」じゃないかとの疑問が湧くが，そうではない．何故ならモデルは，「低気圧が四国沖に発達しながらやって来る」ことを予想してくれるが，それはあくまでもモデルの計算（時間積分）を実行するために必要な要素（気圧，気温，密度，風向・風速，水蒸気）や降水量が対象である．したがって，天気予報の要素として必須な，晴れ具合（雲量など）や霧，最高・最低気温，雨が降るか否か，降るとしたらその量は，降水確率は，風向きはどうかはなどの情報を，予報対象である細かい地域や都市ごとに与えるものではない．また，モデルで表現されている都市や県域の地形は実際とは異なる．さらに，モデルそのものが系統的な誤差を持つ場合がある．このためモデルの結果を「後処理」して，必要な修正を行い，天気予報に必要な要素へ「翻訳」する過程が不可欠であり，その資料が「ガイダンス」に他ならない．

ガイダンスの一般的考え方は，「基本となる場（広域的な場など）」が同じであれば，その環境下の「局所的な場や事象（天気予報の要素）」も，常に（過去も将来も）同じであると見なす．一般的な手法は，過去のデータを用いて，あらかじめ両者の関係を統計的に求めておき，その関係式に予想されたGPVを代入する．したがって，ガイダンスは，一般に最大公約数的な性質を持っているため，普段よく起きるような場（低気圧が通常の形態で日本列島にやって来るなど）に対しては良い成績を持つが，時々あるいはたまにしか起きないような場は表現しにくい．実際は広域場がほんの少し異なるだけで，地上の天気がまったく異なる場合が多々ある．客観的数値予報時代といえども，モデルは万能ではなく，予報の成績はモデル，ガイダンス，予報技術者の三者の切れ味の相乗に支配される．

モデルに関連して，「アンサンブル（集団的）予報」とよばれる新しい予報モデルの動きに触れる必要がある．従来の数値予報モデルでは，観測値から導かれた初期値を最も真に近いと見なしてモデルを走らせる．初期値が一組，予測値も一組である．しかしながら1週間や1か月先まで計算を続けて行くと，初期値に含まれている誤差が次第に拡大してしまう．このことは大気が，本来，運動の出発点（初期値）がほんの僅か異なるだけで，その後の発展の道筋がまったく異なる「カオス（混沌）」とよばれる性質を持っていることに起因する．カオスの中からもっとも確からしい予測値を得るとともに，予測誤差を推定する方法がアンサンブル予報に他ならない．アンサンブル予報では方程式系は従来と同じだが，例えば，もっともらしい観測値の周りに，人為的に少しずつ違う初期値を例えば50組与え，それぞれを初期値として数値予報を実行する．この場合は計算時間も50倍かかる．結果が良く似ているグループが実現する確率が高いと考えるが，他のグループも確率は低いが起こりうる．50組のそれぞれのGPVから雨のガイダンスを計算したとき，35組が雨を，残り15組が雨なしを予測していれば，雨の確率は70％となる．この手法は台風の進路予報にも使われる．アンサンブル予報は，天気予報を断定的に唯一つと見るのではなく確率的に捉えようとする新しい考え方である．

つぎに近年の防災情報のトピックスを1つ挙げておこう．気象庁は2006年から大雨時などにインターネットを利用した市町村等へのきめ細かい緊急防災情報の提供を始めた．防災専用のカラフルなホームページが開設されて随時更新され，電子メールでタイムリーに注意喚起がなされる．市町村では大雨や土砂災害などの切迫度などが時々刻々把握できるので，避難勧告などの意思決定がより迅速的確に行えるメリットがある．こうした防災情報の地域的絞込みと災害ポテンシアルが高い現場への情報提供は，インターネット時代の新しい防災サービスとして大いに評価されよう．

最後に民間の天気予報について触れたい．天気予報は長らく気象庁の専管的業務として続いてきたが，平成時代の初期に始まった規制緩和による自由化の潮流と，民間で気象予報を行う場合に必要な技術やデータの提供体制などの条件が整ったことから，1993年に「気象予報士」，「民間気象業務支援センター」などの創設を中心とする法律改正が行われた．民間事業者は予報業務を行う事業所ごとに気象予報士を置き，気象現象の予想については気象予報士に行わせなければならないと規定された．予報士活躍の場の誕生である．現在，民間気象事業者は約60にのぼっている．予報士試験は，1994年の第1回以来，2006年8月の第26回まで受験者総数は93,608人，合格者は延べ5,839人，合格率の平均は6.2％となっている．また，気象庁は国内外の観測データやGPVなどを全面的に公開しており，それらの提供サービスを（財）「気象業務支援センター」に担わせている．民間気象事業者や一般の者は，通信経費（情報料は無料）を負担すれば必要なデータを入手できる．ガイダンスも入手可能である．

一般のテレビなどで見る限り，天気予報が民間と気

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

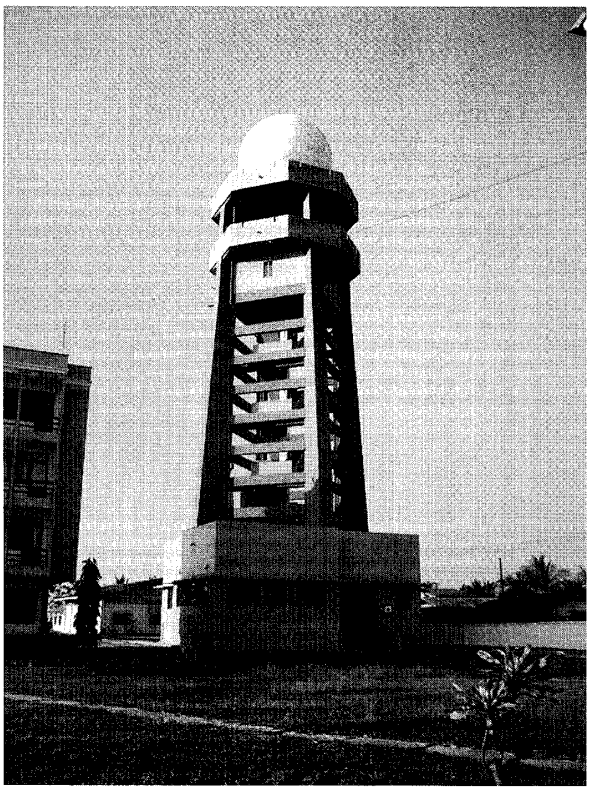
象庁のいずれのものか，気象庁の解説かなどが必ずしも明らかではなく，また，両者の間の差もあいまいである．さらに，予報結果の検証も十分ではない．たとえ，ガイダンスは共通でも，民間の予報の根拠が気象庁と異なる独自予報がある筈である．気象予報士制度創設の精神に照らしても，また，一般への気象の啓発の観点からも，関係者間のさらなる連携と説明責任の向上が期待されるところである．

3．国境を越える天気予報

世界各国の天気予報は国際的な協調や援助の下に成り立っている．気象に関する国際的な組織は国連の下部機関であるWMO（世界気象機関：本部スイスのジュネーブ）と航空の接点でICAO（国際民間航空機関）の2つである．WMOは種々の役割を持っているが，天気予報に絞れば，観測方法などの国際的な統一を定めた「技術規則」や「国際気象通報式」の採択の他，「国際気象専用回線網」の構築，さらに「世界気象センター（WMC）や「特別地域責任センター（RSMC）」とよばれる目的を特化した支援センターの設置であろう．統一的な観測・通報と国際回線のお陰で，日本でも日々の数値予報モデルの運用に必須の観測データ（初期値）の迅速な入手が可能である．一方，途上国などはRSMCが提供する数値予報モデルのデータを国際回線やインターネットを通じて入手し，ガイダンスなどを作成し，自国の天気に役立てている．

世界規模の支援では，例えばアメリカとイギリスがそれぞれ「世界空域予報センター」を分担して，国際線の飛行計画や運航に不可欠な上空の風や気温の24時間予測図を作成し各国に提供している．気象庁は数多くの支援センターを引き受けて，東アジアに対する支援を行っている．東京の「太平洋台風センター」が提供する進路予測などを手がかりに，フィリピンやベトナムなどの関係国は自国の台風情報を作成している．国境を越えた天気予報である．ちなみに日本はWMOに対して毎年約10億円の分担金を支払っており，第1位の米国（22%）に次ぐ第2位（19%）の分担率である（2006年現在）．ジュネーブの本部では気象庁関係者が部長職を含め3名働いている．

気象における国際的な援助のチャンネルには，WMOおよび2国政府間の援助プログラムがあるが，ここで強調したいのはODA（海外開発援助）とよばれる政府の財政的支援を受けた民間レベルによる援助である．日本ではJICA（日本国際協力機構）がこれに該当し，隣の韓国ではKOICA（Korea International Corporation Agency），その他アメリカ，ドイツ，フランスなども同様の機構を持っている．気象分野の日本に対する期待は大きく，JICAは技術者を招聘した研修のほか，短期および長期の気象専門家の派遣，さらに観測システムの無償供与や気象局の人材強化プログラムなどの援助を行っている．これらのプロジェクトには，気象庁の職員をはじめ少なからぬ数のOB，民間コンサルタントが関わっている．最近の例では，バングラディシュにおける気象レーダー網の更新のほか，筆者も一部かかわったラオスの首都ビエンチャン国際空港へのドップラー気象レーダーの新設（第2図）やモンゴル気象組織に対する技術援助プログラムなどが上げられる．



第2図　ビエンチャン国際空港近傍のドップラー気象レーダー（日本気象協会提供）．

今，こうした天気予報の世界に2つの波が押し寄せている．第1は国際テレビ放送およびインターネットによる「天気予報のグローバル化」である．すでに大手の民間気象会社は，世界の気象機関や自社の観測データおよび数値予測モデルなどを用いて，あらゆる国の天気予報を作成し，インターネットあるいはメディアと共同して，公衆や個別ユーザーに届けることが可能になっている．ちなみにアメリカの大手気象情

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

報会社であるAccuWeather社は，驚くなかれ，有料だが詳細な15日予報を毎日更新している．ちなみに日本では気象庁は8日先以上の日別の天気予報は行っておらず，民間に対しても制限されている．このようなグローバルな天気予報は，情報源や予報技術，信頼性などが非常に見えにくい．特に，災害をもたらすような現象の場合，民間気象事業者やメディア，責任国家機関の予報が異なっていれば受け手に混乱を及ぼす．国境を越えたグローバルな天気予報の出現は，その利便性や商業性とは裏腹に，天気予報に対する人々の関心や国家による天気予報サービスの信頼性や存続を脅かしかねない両刃の剣となりつつある．世界気象機関（WMO）では，情報の混乱を緩和する試みとして，インターネットのウェブサイト上で全世界の主要都市の週間予報および災害を起こしうるような顕著現象について，世界各地における公式の予報・防災情報を提供している．

第2の波は，国家による気象サービスの有料化，すなわち「気象業務の商業化」の流れであり，財政当局の公共サービスの見直しや緊縮に対応して，気象機関がコストを挽回しようとする政策である．商業化の極端な国がニュージーランドであり，政府が100%株式を保有する政府企業が有料で情報を提供している．イギリスも同様で，国の気象機関は従来からイギリス気象局（Met Office）であるが，1996年に国防省に属するTrading Fund（一種の独立採算的な組織）に移行した．Met Officeはホームページで天気予報などを一部公開しているが，顧客であるユーザーは情報の入手に当たって対価を払わなければならず，情報ごとに料金表が設定されている．このような枠組はメディアは勿論のこと，たとえ国の機関同志であっても適用される．また，西ヨーロッパではEC諸国がECOMET（気象に関する欧州経済団体）を結成して，民間気象会社に有料で情報を提供している．

このような商業化の対極にあるのがアメリカや日本であり，いずれも情報に対する対価を払わないで通信料などを負担するだけで入手可能である．アメリカではNOAA（米国大気海洋庁）の機関にコンピュータを接続することにより，日本では「気象業務支援センター」を通じて同様に可能である．しかしながら，商業化を進めている国といえども，情報料だけでは到底，機関の運営費を賄かなうのは困難である．ちなみに民間気象ビジネスの年間の規模（売上高）をEU全体とアメリカで比較してみると，EUの50億円規模に対してアメリカでは700億円規模と言われている．また，日本は約300億円規模と推定される．このような気象サービスの商業化政策には，気象情報の種々のセクターにおける有効利用や開発の意欲を阻むものとして組みし難い．

4．あとがき

今後，数値予報モデルの改良およびガイダンスの精緻化がますます進み，よりきめ細かい天気予報が可能になることは間違いない．気象庁は勿論，民間の予報技術者は，モデルが描き出す気象現象の姿をきちんと理解し，説明できる能力を有しなければ，ガイダンスの隷属者に陥る危険性がある．また，異常気象時には，時々変化する天気と社会活動の両面を鋭敏に感じとり，的確な情報を提供する能力と責務が求められる．どちらも人間しか出来ない営為である．

前述のアンサンブル予報と関連して，今期から台風の進路予報にもその手法が適用される計画である．これまで我々は天気予報の答えは“単一で断定的である”ことに慣れてきた．しかしながら，短期予報ではまだしも，中・長期予報のように予報期間が長くなるにつれて，大気の運動が本来的に持つ不確定性が無視できない．今後，ユーザー側もアンサンブル予報に代表される“確率”を念頭においた対応が必要であろう．

一方，社会活動の高度化が一層進展する中で，天気予報に対する国民の期待の増大と共に評価も厳しさを増してくる．他方，「グローバル天気予報技術」の発展は国境の壁をさらに低くし，日本に対する国際的なコミットメントの要請も強まる．

いずれにしても日々の天気予報とその向上こそは，社会の利便性と気象サービス全体に対する信頼性を高め，そしていざという時に発表される気象警報などの有効性を保つために，最も重要だと考える．21世紀は，先達の並々ならぬ努力と国際協力の中で獲得してきた日本の予測や観測技術を，国境を越えて広く世界に還元すべき時代であろう．

参考文献

1）世界気象機関（WMO）ホームページ：http://www.wmo.ch
2）古川武彦，酒井重典，2004：アンサンブル予報，東京堂出版．

NII-Electronic Library Service