

1. 豪雨に関する防災情報を支える観測・予測技術の現状

小 泉 耕*

1. はじめに

10年後を展望しようとするこのシンポジウムの前提として、まず現状を確認しておくことにする。

内閣府の「避難勧告等に関するガイドライン」(内閣府 2018改定)では、地方公共団体等が採るべき防災体制と、気象庁等の防災機関が発表する防災情報とが明確に関連づけられている。たとえば、土砂災害に関わる避難勧告等の発令の判断については第1表のように整理されている。

地方公共団体等がこれに従って防災体制を採ろうとする場合、防災体制を採るということはコストのかかることだから、発表される防災情報が災害の発生可能性を指し示すものになっていなければ、その情報を信頼して行動を起こすことは難しいと言わざるを得ない。

2008年に気象庁は大雨や洪水の警報・注意報の発表基準として、土壌雨量指数と流域雨量指数を導入した(気象庁 2008)。さらに2017年には大雨警報(浸水害)の発表基準として表面雨量指数を導入するとともに、これらの指数の図示による「危険度分布」の表示を行っている(気象庁 2017)。発表基準が変更されたのは、それ以前に基準として用いられていた降水量に比べて各指数の方が災害の発生可能性をより良く表現することができるからである、と説明されている。つまり、情報の発表にあたってその「使われ方」が意識されるようになったのである。

では、そもそもこれらの情報の基準となるこうした指数類は、どのような観測資料や予測資料に基づいているのだろうか。防災気象情報にはいくつかの種類が

あるが、以下では土砂災害に関わる情報の一つである大雨警報(土砂災害)を例として考えてみたい。

2. 実況把握のための観測技術

2.1 背景

大雨警報(土砂災害)の発表基準は土壌雨量指数である(気象庁 2008)。これは、土壌(特に斜面)がどのくらいの水を含んでいるかを表す量であるから、そこにどのくらいの降水があったか、また、今後どのくらいの降水が予想されるか、が重要な問題になってくる。

このうち、「これまでどのくらい降ったか」と「今どのくらい降っているか」の把握には解析雨量が使われている。これは、気象レーダーで観測した降水強度

第1表 避難勧告等の発令を判断するための情報
(内閣府(2018)の第4.2節から整形して引用)

①	大雨注意報	防災体制の設定、避難準備・高齢者等避難開始の発令の判断材料とする
②	大雨警報(土砂災害)	避難準備・高齢者等避難開始の発令の判断材料とする
③	土砂災害警戒情報	避難勧告の発令の判断材料とする
④	記録的短時間大雨情報	避難勧告等の発令の判断材料とする
⑤	大雨特別警報(土砂災害)	避難勧告・避難指示(緊急)の対象領域の再検討のトリガーとする
⑥	土砂災害警戒判定メッシュ情報	避難勧告等の発令の判断材料とする(5kmメッシュで提供されている)
⑦	都道府県が提供する土砂災害危険度をより詳しく示した情報	避難勧告等の発令の判断材料とする(1~5kmメッシュで提供されている)

* 気象庁気象研究所(現:気象庁)

kkoizumi@met.kishou.go.jp

© 2019 日本気象学会

を積算して降水量に換算し、さらにそれを地上雨量計の観測値で補正したものである（気象庁 2018a）。

2.2 気象レーダーによる降水量観測：長所と短所

気象レーダーは、アンテナを回転させながらマイクロ波を放射し、反射波が返ってくるまでの時間で降水までの距離を、反射波の強さで降水の強さを測定する。

気象レーダーの観測は、降水の水平的な広がりを比較的短時間で得られるという強みを持っているが、電波の反射の強さと降水強度の関係は厳密には一定でないので、見積もられた降水強度には誤差が含まれる。加えて、反射波の強さそのものにも測定誤差がある（たとえば、レーダーから見て、強い降水域の向こう側にある降水からの反射波は、手前の降水のために減衰し、本来の強さよりも弱くなる）。

また、降水分布が比較的短時間で得られるといっても、アンテナの回転には一定の時間がかかるものであるし、雨雲の高さを知るためにアンテナを上下に動かすと、さらにその時間が必要になる。

2.3 地上雨量計による降水量観測：長所と短所

ある一地点で考えるとレーダーがその場所の降水強度を観測するのはアンテナがそちらの方向を向いたときだけであり、アンテナが回転して再びそちらを向くまではその降水についての情報は得られない。それに比べると、雨量計は時間的に連続なデータを取り続けることができる。また、風が強い時に捕捉率が下がるといった問題はあるとはいえ、測定誤差はレーダーに比べてはるかに小さい。

一方で、気象庁のアメダス雨量計の設置間隔は約17 km 間隔であり、気象庁以外の雨量計のデータを合わせても、大きさが数 km 程度の積乱雲から降る降水量の分布をもれなく捉えることは難しい。

2.4 解析雨量

そこで、面的な降水分布の把握が得意なレーダー観測から推定される降水量（レーダー雨量）を、測定誤差の小さな地上雨量計と比較して補正するという手法が考案された。これが解析雨量である。地上雨量計が設置されている場所で見積もられた補正量を、雨量計の無い場所にも適用するわけだから、レーダー雨量の誤差の傾向が局所的に大きく変化しているような場所では精度が下がることになる。また、雨量計が存在しない海上での精度も相対的に低い。

2.5 将来への期待

雨量計の弱点は観測技術そのものではなく、測定地

点の不足にあるので、すぐに解決できるものではないように思われる。レーダーなどのリモートセンシング技術については、高速かつ高精度（雨量計による補正が不要になるほどの）の雨量観測ができるようになれば、実況把握の精度や効率は格段に向上すると思われる。

3. 降水量の短時間予測技術

3.1 背景

大雨警報（土砂災害）の発表のためには、その基準となる土壤雨量指数が現状どのような値であるかを把握するとともに、それが今後どのように推移するかを予測しなければならない。これには土壤内での水の移動の予測も含まれるが、主には今後どこにどの程度の降水があるか、の予測が重要である。

3.2 降水短時間予報

レーダー画像の動画を眺めていると、雨雲としてとらえられている領域が少しずつ形を変えながら動いていくように見える。実際には、ある瞬間にレーダーの電波を反射した雨粒はその後には落下していくはずだから、雨粒そのものが水平に移動しているわけではないのだが、雨粒を作り出すシステムが形や移動速度をある程度保ちながら動いていると解釈することができる。

形や移動速度が一定なのであれば、短時間であれば未来の状態が外挿できそうな気がしてくる。気象庁の降水短時間予報は、簡単に言えば、この発想を洗練させたものである（気象庁 2018b）。具体的には、解析雨量を前時間のもものと比較して雨雲の移動ベクトルや発達・衰弱の度合いといった変化傾向を求め、最新の解析雨量にこれらの変化傾向を適用して未来の状態を求めるのである。

現在気象庁では降水短時間予報を6時間先まで行なっているが（シンポジウム後の6月20日に15時間に延長された）、雨雲の変化傾向が6時間ずっと一定ということはないから、予報時間が先に進むほど誤差は大きくなる。気象庁ではこれへの対応策として、予報の後半では次に述べる数値予報の結果を加味するようになっている。

3.3 数値予報

上でも触れたとおり、レーダー観測で雨雲が動いているように見えていたとしても、「動いている実体」といえるものが存在しているわけではない。大気の三次元的な流れによって生み出される降水域の変化が、そのように見えているのに過ぎない。

だとすれば、降水域を作り出す大気の流れそのもの

を予測することが正当な方法ということになる。気象予測の技術の一つとして「数値予報」と呼ばれる大気の数値シミュレーションがあり、天気予報の基礎資料として使われているから、これを短時間の降水予測に使うということが自然な発想である。実際、前項で述べた通り、降水短時間予報は解析雨量の時間外挿と数値予報とを組み合わせられており、特に予測時間（6時間）の後半では数値予報の割合が大きくなっている。

では、時間外挿などに頼らず、初めから数値予報だけで予測することはできないのだろうか？現状でそれが難しい主な理由は、数値予報の予報初期の降水が実況の降水とうまくつながらないことにある（多すぎる、少なすぎる、場所が異なる、など）。これは、数値予報の初期値を作成する技術の不完全性や、初期値作成に用いる観測データの不足に起因していると考えられる。後者については次節で少し詳しく見る。

その他にも技術的な理由が二つある。

一つは予測にかかる時間である。数値予報を行うためには、大気の三次元的な初期状態をあらかじめ求める必要がある。これには、観測データの収集とそれを用いた初期状態の解析が必要だが、観測データの収集には測定と通信にそれぞれ一定の時間がかかる上、解析自体にも計算時間がかかる。加えて、予測計算にも時間外挿より多くの計算時間が必要となるため、予測結果が得られる時点ですでに予測の開始時刻から1-2時間が経過してしまっている。

数値予報の予測精度の低下はゆるやかなので、予測時間が長くなれば数値予報の精度が時間外挿の精度を上回るが、最初の1~2時間は時間外挿の精度もそれなりに高いので、数値予報だけを使うよりは両者を組み合わせた方が適切ということになっている。

二つめの理由は解像度である。解析雨量は1kmメッシュで算出されており、これの外挿も同じメッシュ間隔で行われている。これに対して現在使われている数値予報は格子間隔2kmの局地モデルと5kmのメソモデルである。予測時間が長くなると降水域の場所の誤差が大きくなるので解像度は次第に問題にならなくなるが、予測の初期では観測されたものと同じ細かさで予測が行われる方が良い。

3.4 将来への期待

差し迫った危険を予測するにはごく短時間の予測が重要である一方で、たとえば、夜中に発生する災害の可能性を前日の夕方に予測して明るいうちの避難につ

なげる、といったことに役立てるためには、数時間から十数時間の予測が必要であり、それは数値予報に多くを頼る必要がある。数値予報の精度向上が強く望まれるところである。ひとくちに数値予報の精度向上といっても、そこには数値予報に使われるシミュレーションモデルの改善のほか、初期値の精度の向上や初期値解析の高速化、といったことも含まれる。このうち初期値の精度向上には初期値解析に用いる観測データの充実が必須であり、これについては次節で述べる。

集中豪雨の予測を十数時間にわたって行うということになると、いかに高性能の数値予報を行ったとしても、完全な予測を行うことは期待できない。そうした場合には、予測誤差のふるまいを見積もることができれば、様々な判断に有用である可能性がある。

予測誤差（予測のばらつき）を見積もる方法として「アンサンブル予報」というものがある。これは、観測データの誤差や観測データの不足に由来する初期値の誤差を見積もって、その範囲内でわずかに異なる複数の初期値を用意し、それらの初期値からの複数の予測を行うことで予測のばらつきを見るものである。この手法はすでに長期予報では実用化されているが、これを高解像度の短時間の数値予報にも適用しようという取り組みが気象庁でも行われている。

これが実用化されると、たとえば一つだけの数値予報では強い雨が「降るか/降らないか」しかわからなかったものが、「複数の数値予報のうち10%で強い雨が降る」といった予測が可能になる。災害に備える行動というものは「行動するか/しないか」が問われる場面が多いから、このような確率情報をどのように活用すれば良いのかはさらに検討を進める必要があるとはいえ、「ほぼ安心」なのか「わずかながらでも危険な可能性がある」のかを区別できることが意味を持つ場面もあるように思う。

4. 予測のために必要な観測

4.1 背景

第2節で述べた降水量の観測は、それ自体は実況の把握のために重要なものではあるが、観測される降水というのはすでに大気から吐き出されてしまったものと言えるので、その後の予測には実はあまり役に立たない。特に数値予報の改善ポイントの一つである初期値の改善には、降水を作り出す「もと」をきちんと観測することが必要になる。

雨は大気中の水蒸気が凝結したものだから、そのも

とになる水蒸気がどこにどのくらい分布しているか、そしてそれがどのように移動しているかを把握することは非常に重要である。水蒸気の移動という点では風の観測も重要だし、積乱雲が発達するかどうかは気温の状態に左右されるのではあるが、ここでは水蒸気の観測に的を絞って考察する。

4.2 直接観測

上空の大気中の水蒸気を直接観測する手段は非常に限られている。というより、事実上ラジオゾンデによる観測しかない、と言って良い。気象庁は国内に16箇所の高層観測地点を持っているが、水蒸気分布の空間スケールから見るとかなり粗いし、1日2回という観測頻度もその変化を捉えるには不十分と言わざるを得ない。しかし、以下で述べるリモートセンシングデータの精度を確認するための基準としては貴重なものになっている。

4.3 リモートセンシング

定期的に行われている水蒸気のリモートセンシングには大きく分けると二つの種類がある。一つは、人工衛星に搭載された探査計または放射計と呼ばれる測定装置によって水蒸気による放射輝度を観測するもの、もう一つは測位衛星の電波を地上で受信し、その遅延量から伝播経路上の水蒸気量を推定するものである。

前者にはたとえば気象衛星ひまわりによる水蒸気チャンネルの観測がある。これは比較的高頻度にデータが得られるが、主に中層より高い高度の水蒸気の情報しか得られない。極軌道衛星に搭載されているマイクロ波イメージャやサウンダといった測器を使えば、より下層の水蒸気を得られたり、水蒸気鉛直分布が得られたりするが、衛星の軌道の関係で日本の周辺が観測される頻度は低くなる。

後者については、わが国には国土地理院が展開したGEONET (<http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/eiseisokuchi41012.html> 2019.4.15閲覧) という観測網があるため、高頻度・高密度のデータが得られる。ただし、現状で定常的に算出されているのは可降水量(鉛直方向に積算した水蒸気量)であって鉛直分布の情報はなく、また、観測できるのは陸上のみである。我が国の場合、降水の予測には海上から流入する水蒸気の情報も重要なので、その点ではまだ十分とは言えない。

以上のように、予測を精度よく行うために水蒸気の観測を充実させていく余地はまだ大きいと言える。特に、降水の予測には下層の水蒸気の動向が重要

であるので、これを的確に観測することがきわめて重要である。

5. まとめ

本稿では大雨警報(土砂災害)という防災情報を例として、その発表に関連する観測と予測の技術の現状を概観してきた。

最初に述べたとおり、今日の防災情報は防災行動に結び付きやすい情報であることが求められている。そのためには、情報の出し方を工夫するといった努力が必要だし、そうした努力がこれまでなされてきた。しかし、情報の出し方をどれほど洗練したとしても、その基本となる「今何が起きているのか」「これから何が起ころのか」が不正確なものだったとしたら、結局のところその情報は「あてにならないもの」として顧みられなくなってしまうだろう。

以下の講演では、このような現状をいかに改善していくか、という展望が語られる。実況の把握であれ予測であれ、その精度を上げるということは容易なことではないが、地道な努力を今後も続けていきたい。

気象庁, 2008: 大雨・洪水警報注意報基準の新しい指標～土壌雨量指数と流域雨量指数基準の導入～. https://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownbosai/shisu_kaisetsu.pdf (2018.3.8閲覧).

気象庁, 2017: 雨による災害発生の危険度の高まりを評価する技術を活用した大雨・洪水警報や大雨特別警報の改善、及び危険度分布の提供について. <https://www.jma.go.jp/jma/press/1704/28b/20170428riskmap.html> (2018.3.29閲覧)

気象庁, 2018a: 解析雨量. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownkurashi/kaiseki.html> (2018.3.8閲覧).

気象庁, 2018b: 降水ナウキャスト, 降水短時間予報. https://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownkurashi/kotan_nowcast.html (2018.3.8閲覧).

内閣府, 2018: 避難勧告等に関するガイドラインの改定(平成28年度). http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/h28_hinankankoku_guideline/index.html (2018.3.8閲覧).