

## 地域・時間的ズレを許容した降水予想検証の試み

～特に豪雨予想について～

立 平 良 三\*

目先の豪雨予想については降水ナウキャストや降水短時間予報が重要な情報であるが、約6時間より先の予想では数値予報、特にMSMモデル予想値が主要な情報となる。予想値の一つとして降水量が出力されているが、従来は他の予想値も加えた統計的手法(MOSなど)で降水量予想の精度向上を図ってきた。しかし、最近の数値予報の精度向上により、降水量以外の予想値を利用する必要性は小さくなったように思われる(第2節参照)。

数値予報の予想降水量を適切に利用するためには、その精度を把握しておく必要がある。精度検証の手法は色々あって、予報精度改善のための基礎資料として必要なものもあるが、ここでは、予想降水量を豪雨予想に利用することを狙いとした検証手法を提案し、またそれを利用した豪雨情報のあり方を考える。

### 1. 多重分割表と超過確率図

予報精度検証の基本的な手法の一つは、分割表であろう。降水量予想のような量的予報の場合は、予想値および実況値を適当に区分し、予想値がある区分に入った時、対応する実況値がどの区分に入ったかを調べ、調査期間についての出現度数を表にすれば多重分割表が得られる。

この調査では、検証meshのサイズを20km×20kmとした。MSMモデルの場合、予想降水量は5km meshで与えられているので、20km mesh内16個の中の最大値をこのmeshの予想値とした。対比する実況値は、20km mesh内のレーダーアメダス解析雨量の

最大値とした。平均値でなく最大値をとったのは、豪雨の集中性を考慮してのことである。

検証エリアは第1図の日本域で、この中の1656 meshについての検証を一つの分割表に積算して表示する。もっと地域を細分したほうが分割表に地域特性を反映できるが、豪雨の標本数が少なくなるので、日本域で一括することにした。

第2図に、多重分割表の例として2009年7月のものを示す。予報時間FT=09~12の3時間予想降水量(1日8回)について作成したものである。対角線(赤点線)上に数値が集中しておれば完全適中であるが、実際は図のように広く散布しており、かなりの誤差を含むことが分る。

このような誤差の状況を利用しやすい形で表現する手法の一つに「超過確率図」がある。第3図は2009年7月の分割表(第2図)と8月の分割表から作成された超過確率図で、降水量が3時間に30mm、10mm、2mmと予想された場合、実況値が横軸の降水量閾値を超える確率が示されている。このような超過確率曲線は、例えば30mm/3hrの場合なら、第2図のMSM予想降水量(縦軸)が「 $25 \leq < 30$ 」と「 $30 \leq < 35$ 」の2行の数値(赤枠内)から計算される。つまり、赤枠内の総標本数に対し、横軸のそれぞれのレーダーアメダス解析雨量値(降水量閾値)を超過する標本数がそれぞれ何%に相当するかを求めればよい。

第3図には、参考のため気候統計的な超過確率も記入してあるが、この曲線(黒線)は当然のことながら最も下方に位置している。何も予想がなければ、例えば30mm以上の降水のある確率は第3図の黒線から2%程度であるが、MSMが30mm/3hrと予想している場合は、赤い曲線から約30%弱にまで引き上げられていることが分かる。

第3図の最も上にある太青線は、MSMが50mm/3

\* Ryozo TATEHIRA, NPO 法人気象環境教育センター。

hr 以上という豪雨と見なせるような降水を予想した場合の超過確率曲線で、やはり第2図のような分割表から計算したものである。この場合でも、実際に50mm/3hr以上の豪雨のある確率は約16%に過ぎない。

小さな発生確率しか予報されない場合でも、利用目的あるいは利用手法によっては豪雨対策に有効である可能性はある。しかし一般には60%とか70%といった豪雨情報の方が利用されやすいのではなからうか。そのような豪雨情報を出すにはどうしたらよいか第3節で提案するが、その前にまず次節で第3図を利用した降水量の確率予報について具体的に説明する。

2. 超過確率を利用した確率的降水量予報

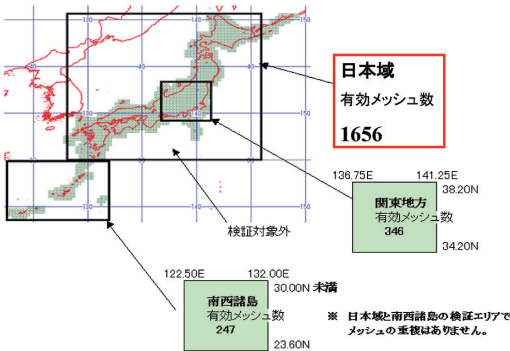
気象予報には誤差が避けられない。適切な利用の促進には確率予報のような誤差情報を含む予報を充実することが必要である。米国でも事情は同じで、米国気象学会 (American Meteorological Society, AMS) の声明でも、確率予報の拡充は大きな社会的・経済的便益をもたらすとし、確率予報関連の技術開発の必要性を強調している (AMS

2008)。

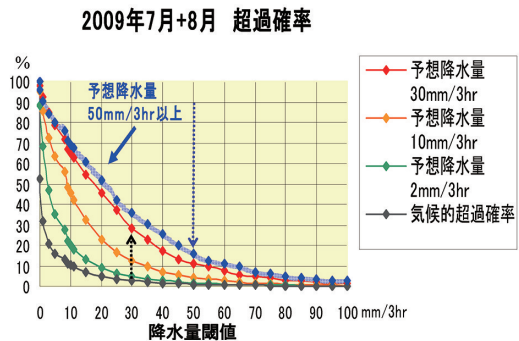
これからの確率予報はアンサンブル予報を主軸とした手法になるものと思われるが、Gahrs *et al.* (2003) は MOS など従来の統計的手法で日降水量の確率予報を試み、その精度を比較している。Linear Regression (直線への回帰)、Logistic Regression (Logistic curve への回帰、確率予測に適している)、Binning の3手法について精度を比較した結果、Linear Regression は Logistic Regression より劣るが、Binning の精度は Logistic Regression に匹敵することが分かった。

36	65 ≤	2	0	1	5	1	1	3	2	3	10	6	5	3	4	8	3	2	2
36	60 ≤	4	2	8	6	3	1	3	1	6	8	14	9	8	13	4	4	7	0
37	45 ≤	3	9	17	7	7	7	4	2	17	18	13	19	10	9	8	7	4	8
38	40 ≤	5	12	16	16	12	19	3	8	27	29	18	27	22	15	14	10	7	4
39	35 ≤	4	19	35	14	19	23	8	9	44	46	28	26	31	26	20	11	11	8
40	30 ≤	9	45	41	40	37	33	14	19	49	66	68	57	43	44	28	17	10	15
41	25 ≤ < 30	12	55	95	78	69	45	18	28	89	88	96	102	63	48	41	28	17	23
42	20 ≤ < 25	17	112	152	114	113	96	60	59	164	174	144	106	82	86	74	25	26	31
43	15 ≤ < 20	47	217	307	234	206	197	79	84	291	325	214	174	128	93	76	39	31	31
44	11 ≤ < 15	87	339	462	329	306	263	173	141	448	446	298	215	156	103	76	61	41	40
44	10 ≤ < 11	43	127	164	126	112	95	49	33	139	158	97	60	41	27	21	17	14	5
46	9 ≤ < 10	53	151	207	140	125	130	50	48	167	161	101	58	50	39	20	15	19	18
47	7 ≤ < 9	170	414	596	426	345	304	152	104	416	356	242	151	103	76	50	35	29	16
48	5 ≤ < 7	222	613	965	627	558	487	181	161	582	418	228	169	141	106	62	53	41	24
49	3 ≤ < 5	606	1328	1757	1030	959	694	284	207	693	561	338	246	177	110	89	54	52	31
50	1 ≤ < 3	2055	3831	4938	2384	1594	1139	441	403	1047	857	526	346	223	161	107	80	72	49
51	1ミリ未満	13001	13862	9394	3548	2047	1259	441	384	1192	937	608	415	247	176	127	79	68	51
52	降水なし	70652	21163	6950	1760	877	515	199	160	461	363	235	148	118	46	40	36	30	27
53	回数	86996	42110	25516	10943	7299	5316	2169	1855	5859	5042	3294	2352	1667	1196	882	589	492	385
54	MSM/レーダー	降水なし	1ミリ未満	1 ≤ < 3	3 ≤ < 5	5 ≤	7 ≤	9 ≤	10 ≤	11 ≤	15 ≤	20 ≤	25 ≤	30 ≤	35 ≤	40 ≤	45 ≤	50 ≤	55 ≤

第2図 MSM 降水量予想の多重分割表。縦軸：FT=09~12の降水量予想，横軸：対応する時間帯のレーダーアメダス解析雨量。



第1図 MSM 降水量予想を「日本域」内の1656 mesh について検証した。



第3図 予想降水量が「50mm/3hr以上」「30mm/3hr」「10mm/3hr」「2mm/3hr」の4区分について、実際の降水量が降水量閾値を超過する確率を示す (http://npo-weed.com の教室2 参照)。

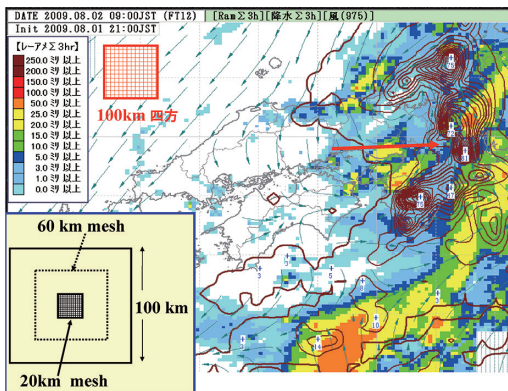
ここで Binning というのは、まず数値予報の予想降水量をその値に応じて幾つかの Bin (枠) に区分する。各枠ごとに過去の一定期間について、実況降水量の度数分布を統計する。各枠内の実況降水量のうち指定された降水量閾値を越えるものが何%あったかを計算する。この%を、降水量がその閾値を越える確率として予報するという手法である。

この Binning 手法というの、実は前出の第2図から第3図を導く手順と同一であり、第3図を利用して降水量確率予報を発表すれば、それは Binning 手法そのものなのである。第3図では、Bin として具体的には、「50mm/3hr 以上」「 $30 \pm 5\text{mm}/3\text{hr}$ 」「 $10 \pm 1\text{mm}/3\text{hr}$ 」「 $2 \pm 1\text{mm}/3\text{hr}$ 」を設定して超過確率を描いている。

この手法は数値予報の出力のうち降水量予想値のみを利用するという点でこれまでの MOS 手法と異なる。このような手法が MOS の一種である Logistic Regression に匹敵する精度を示すということは、数値予報の降水量予想の精度が著しく向上したことを裏付けるものであろう。ただし、Gahrs *et al.* (2003) の論文は、寒候期の日雨量でしかも降水量閾値が小さい場合を扱っており、暖候期の大雨には当てはまらない可能性もあることに留意する必要がある。

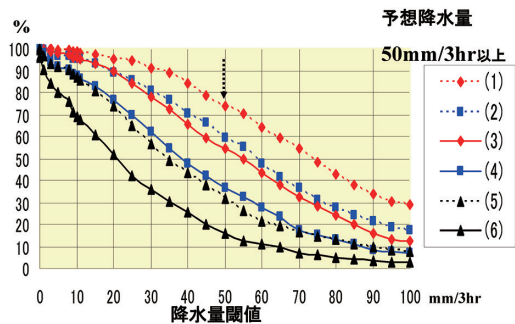
### 3. ニアミスの豪雨予想の利用

第2図は20km mesh ごとに予想と実況を対比して作成された分割表である。予想された mesh に豪雨がなくても、近傍の mesh で豪雨の場合もあるはずだが、それについては何の情報も与えない。例えば第4図では、MSM がピーク値70~80mm/3hr と予想している地域 (赤矢印) に豪雨はなくても北東数十 km には50~100mm/3hr の降水域 (褐色) が解析されているが、分割表には反映されない。このような地域的なズレ、さらに時間的なズレのある予想、いわゆるニアミス予想は、それなりに豪雨対策に利用できる可能性がある。予報精度検証に際して、このようなニアミス予想を考慮する必要のあることは、米国のトルネード



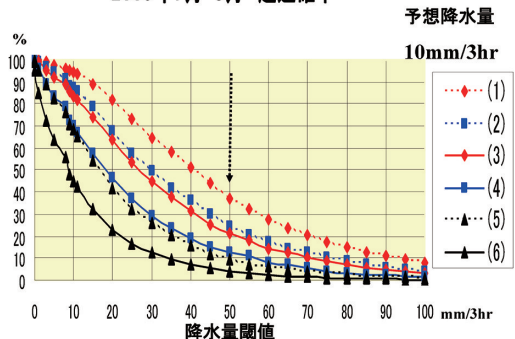
第4図 2009年8月2日06~09時における予想降水量 (FT=09~12) とレーダーアメダス解析雨量の比較。予想降水量は5mmごとの等値線 (茶) で示してある (<http://npo-weed.com> の教室1より引用)。左下に、地域的ズレを許容する場合の mesh の設定を示す。

### 2009年7月+8月 超過確率



第5図 予想降水量が「50mm/3hr 以上」の場合について、地域的・時間的ズレを許容したときに実際の降水量が降水量閾値を超過する確率を示す。ズレの設定(1)~(6)については本文参照。

### 2009年7月+8月 超過確率



第6図 第5図と同じ。ただし予想降水量が「10mm/3hr」の場合。



予報に関連しても強調されている (Barnes *et al.* 2007).

MSM がどのようなニアミス予想を提供できるかを次のような手法で調べてみた。第 4 図左下の挿入図のように当該 20km mesh を囲む 60km mesh および 100 km mesh を設定し、20km mesh 内の MSM 降水予想の最大値と、60km mesh あるいは 100km mesh 内のレーダーアメダス解析雨量の最大値を対比して、第 2 図と同じ形式の分割表を作成するという手法である。

時間的なズレについては、各 20km mesh 内の FT = 09~12 の MSM 降水予想最大値を、当該 mesh における FT = 06~09, FT = 09~12 および FT = 12~15 の 3 予報時間帯内の解析雨量の最大値と対比して分割表を作成した。つまり、± 3 時間のズレを許容したわけである。さらに、地域と時間の双方のズレを許容した分割表も作成した。

結局、20km mesh FT = 09~12 の予想値を、次の 6 種類の実況値と対比する分割表を作成して、それぞれ超過確率の形で精度を検証したわけである。

mesh	予報時間
(1) 100km	FT = 06~09, ~12, ~15
(2) 60km	FT = 06~09, ~12, ~15
(3) 100km	FT = 09~12
(4) 60km	FT = 09~12
(5) 20km	FT = 06~09, ~12, ~15
(6) 20km	FT = 09~12

第 5 図は MSM が 50mm/3hr 以上と予想したとき、実際の降水量が横軸の閾値を超える確率を上記(1)~(6)の条件の下で計算したものである。実況値(1)のように地域・時間の双方にズレを許容すれば、実際に 50 mm/3hr 以上の降水があった確率は、70%強までに増大する (曲線(1))。ズレを全く許容しなければ曲線(6)が示すように 16%に過ぎない。

気象関係の情報の確度は 70~80%程度のもので多いので、(1)のような 70%程度の確率の情報は扱いやすいのではなからうか。参考までに、100km mesh のサイズを降水量予想図 (第 4 図) に赤線で記入してある。

豪雨災害への対策には、予測情報の時間的なズレは許容できるもの、あるいは地域的なズレなら許容できるものなど様々であろう。第 5 図の曲線(2)と(3)は共に 60%程度の確率の情報であるが、地域のズレが許容し難い場合は、(2)の 60km mesh FT = 06~15 を用い、時

間のズレが困る場合は(3)の FT = 09~12 の情報を使うと言った対応が可能である。

第 5 図と同様にして、予想降水量が例えば  $10 \pm 1$  mm/3hr の Bin (枠) に入ったとき、上記(1)~(6)の条件の下で計算すると、第 6 図ようになる。予想降水量が小さいのだから、第 5 図に比べ全体に下方にシフトしているが、曲線(1)~(6)の大小関係は同じである。

#### 4. 確率的降水量予報のテスト

本格的な短期の確率的降水量予報には、現行の MSM のようなモデルのアンサンブル予報 (およびその補正) の実用化まで待たねばならない。しかし、第 5 図や第 6 図を利用した Binning 手法によってもある程度の精度で確率的降水量予報が試行できる。

6 時間に 1 mm 以上の降水のある確率を予報する「降水確率予報」は発表開始から約 30 年を経過し、ようやく適切な利用が定着したようだ。確率的降水量予報も効果的に利用されるまでには時間がかかるであろうから、当面 Binning 手法による試行を積み重ねて利用法を開発しておくことは意義あることと考える。

Binning 手法による確率的降水量予報を試行するためには、第 5 図や第 6 図のような超過確率図を予想降水量の各 Bin (枠) ごとに用意しておく必要がある。MSM から降水量予想が出力されたら、予想値が入る Bin の超過確率図から所要の降水量閾値を超える確率を読み取って予報とすればよい。

例えば、豪雨対策のために 50mm/3hr 以上の降水発生確率が必要とされる場合を考えてみよう。もし予想降水量が 50mm/3hr 以上であれば、第 5 図から発生確率は 70%強と予想される (時間的・地域的ズレを許容した場合)。もし予想降水量が  $10 \pm 1$  mm/3hr であれば、第 6 図から予想発生確率は 40%弱に低下する (時間的・地域的ズレを許容した場合)。ズレを許容しなければ確率はさらに低下して、僅か数%となる。もし豪雨が発生すれば大きな損害を生ずる場合は、このような小さな確率でも何らかの対策をとる必要がある。

あらかじめ利用者側で、確率の大小に応じてどのような対策を取るか、考えておく必要がある。現実にはいわゆるコスト/ロス・モデルが適用できるような単純なケースは希で、事前の綿密な調査が必要であろう。これは米国気象学会の声明でも強調されているところである (AMS 2008)。確率的降水量予報に基づいて各種対策の意思決定を行い、断定的降水予報に比べどれくらいの効果があるのかシミュレーションを重

ねることが望まれる。

## 5. あとがき

第3節で提案したニアミス検証の狙いは、ある mesh で MSM が豪雨を予想した場合、その周辺領域内の豪雨発生についてどのような情報が得られるかを明らかにすることでもあった。これと逆の視点から、次のような検証も MSM を豪雨予想に利用ための有用な情報を与えよう。つまり、ある mesh の周辺領域のどこかで MSM が豪雨を予想した場合、当該 mesh における豪雨発生にどのような情報を与えるかの検証である。この視点からの検証についても引き続き調査する予定である。

従来の検証は、各 mesh の予想値をその mesh の実況値と対比するものであって、mesh の周辺でどのような予想値・実況値の分布があったかは無視していた。この調査は周辺の状況を検証に組み込む試みの第1歩と考えられる。将来は周辺領域内の最大値だけで

なく、パターン的な情報も取り入れることが期待される。

本調査に使用した MSM 予想降水量および解析雨量は(株)アルファ・プラネットから提供されたものである。

## 参考文献

- American Meteorological Society, 2008: Enhancing weather information with probability forecasts. Bull. Amer. Meteor. Soc., 89, 1049-1053.
- Barnes, L. R., E. C. Grunfest, M. H. Hayden, D. M. Schultz and C. Benight, 2007: False alarms and close calls: a conceptual model of warning accuracy. Wea. Forecasting, 22, 1140-1147.
- Gahrs, G. E., S. Applequist, R. L. Pfeffer and X.-F. Niu, 2003: Improved results for probabilistic quantitative precipitation forecasting. Wea. Forecasting, 18, 879-890.