

地域・時間的ズレを許容した降水予想検証の試み (続)

～予想確率と捕捉率～

立平良三*

従来 of 予想検証は、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。前回の調査 (立平 2010) では、MSM の 3 時間予想降水量として 20km mesh 内の最大値をとり、その mesh 周辺に拡大した 100km mesh 内のレーダーアメダス解析雨量の最大値と対比する検証を試みた。時間的には ± 3 時間のズレを許容した。その結果に基づき、地域・時間的ズレを許容した降水予想検証、いわゆるニアミス予想の精度を考察した。

前回の検証は、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ものでもあった。今回の調査では、これと逆の視点から次のような検証を試みた。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が得られるかの検証である。

1. 多重分割表と超過確率図

検証対象は前回と同じく MSM (1 日 8 回) による予報時間 FT=09~12 の 3 時間降水量である。検証領域も前回と同じく南西諸島を除く全日本域で (立平 2010, 第 1 図), この中の 1656 mesh についての検証を一つの多重分割表にまとめたものを基本資料とする。

第 1 図は、2009 年 7~8 月の多重分割表である。縦軸の MSM 予想降水量については、50mm/3hr 以上は一括して示してある。また、横軸のレーダーアメダス解析雨量の 60mm/3hr 以上は省略してある。この分

割表に示される誤差の状況を利用しやすい形で表現する手法として、前回同様「超過確率図」を用いることにする。

第 2 図の (1) の曲線 (一番上) は第 1 図の分割表から作成された超過確率で、降水量が 3 時間に 50mm 以上と予想された場合、実況値が横軸の降水量閾値を超える確率を示している。このような超過確率曲線は、第 1 図の分割表の一番上の行から計算される。つまり、この行の数値の総標本数に対し、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。この曲線から、MSM が 50mm/3hr 以上の降水量を予想していても、実際に 50mm/3hr 以上の豪雨のある確率は約 16% であることが分かる。

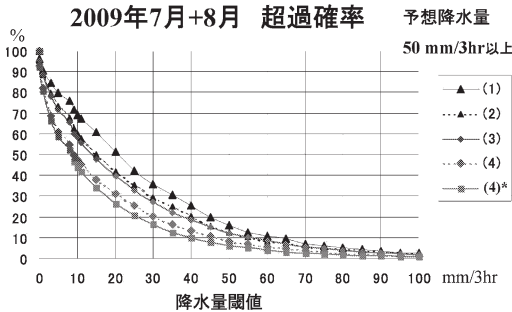
この超過確率曲線は確率的降水量予想の手段として利用できることを前回の調査 (立平 2010) で述べた。16% という予想確率を何とか大きくしたいというのは前回調査 (立平 2010) の目的の一つであった。しかし、第 2 図の超過確率曲線 (1) を予報に利用するには、予想確率と共にいわゆる「捕捉率」も把握しておかねばならない。つまり、3 時間の解析雨量が 50mm 以上の標本数のうち、MSM が降水量 50mm/3hr 以上と予想していたのは何%かということである。

3 時間の解析雨量が 50mm 以上の標本数は、多重分割表 (第 1 図) の合計回数 of 行で横軸「50 ≦」から右の数値 (点線の枠内) の和で示され、4100 である。このうち、MSM が 50mm/3hr 以上と予想していた標本数は、MSM 「50 ≦」 of 行 (最上行) で横軸「50 ≦」から右の数値 (破線の枠内) の和で、131 と計算される。捕捉率は両者の比で、僅か 3.2% (100 × 131 / 4100) に過ぎない。つまり、約 97% の豪雨が見逃されてしまうということである。一般に、豪雨のように大きな災害を伴う現象の場合、「捕捉率」を極力増やす

* Ryozo TATEHIRA, NPO 法人気象環境教育センター。

50 ≤	33	47	50	39	32	37	19	14	54	79	75	54	45	41	46	35	計 131	28	12
45 ≤ < 50	5	14	22	11	17	13	6	3	30	26	23	29	20	16	15	8	7	9	
40 ≤ < 45	11	16	32	29	25	30	10	10	39	48	29	43	34	22	27	15	9	6	
35 ≤ < 40	10	28	50	32	36	36	12	12	61	72	45	37	47	40	28	21	17	16	
30 ≤ < 35	25	64	75	72	70	59	23	27	92	110	97	89	63	70	40	26	15	19	
25 ≤ < 30	31	85	144	111	115	80	28	41	137	129	140	152	106	83	62	48	25	34	
20 ≤ < 25	62	177	267	164	181	149	75	81	220	253	207	170	131	114	103	58	39	52	
15 ≤ < 20	103	355	501	361	301	286	117	118	401	488	307	264	189	145	108	79	60	52	
11 ≤ < 15	192	528	720	500	446	370	222	185	611	625	426	307	234	162	122	97	77	67	
10 ≤ < 11	89	206	246	187	183	146	63	94	204	207	138	87	70	47	37	34	20	9	
9 ≤ < 10	113	249	323	214	177	185	76	76	232	233	143	83	75	53	30	30	28	22	
7 ≤ < 9	317	658	944	629	516	439	228	165	605	511	360	227	165	120	82	69	53	30	
5 ≤ < 7	460	1038	1498	1069	851	718	268	243	851	623	386	273	205	155	94	95	66	45	
3 ≤ < 5	1208	2126	2788	1786	1327	1011	423	352	1063	845	518	386	298	197	148	93	87	59	
1 ≤ < 3	4004	6729	7227	3917	2565	1779	683	629	1709	1325	880	580	386	299	206	150	137	101	
1ミリ未満	25384	24933	16199	6197	3602	2271	782	745	2122	1589	1075	762	471	341	268	187	134	97	
降水なし	163433	47639	14663	3820	1911	1125	469	344	1035	794	555	344	276	147	135	100	89	50	
合計回数	195480	84292	45749	19138	12335	8734	3504	3099	9466	7937	5404	3887	2815	2052	1551	1145	891	680	
MSM / レーダ	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1図 MSM降水量予想の多重分割表（2009年7月と8月の合計）。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（解析雨量の60mm以上は省略）。



第2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)~(4)*については第1表参照。

第1表 MSM降水予想の地域・時間的ズレの許容幅。

mesh	予報時間
(1) 20km	FT=09~12 ……ズレ許容なし
(2) 20km	FT=06~09, ~12, ~15
(3) 100km	FT=09~12
(4) 100km	FT=06~09, ~12, ~15
(4)*	(4)に，予想降水量20mm/3hのズレも許容

最大値と100km mesh内のMSM降水予想の最大値を対比して，第1図と同じ形式の分割表を作成する。時間的なズレについては，各20km mesh内のFT=09~12の解析雨量の最大値を，当該meshにおけるFT=06~09，FT=09~12 およびFT=12~15の時間帯内のMSM降水予想最大値と対比して分割表を作成する。つまり，±3時間のズレを許容するわけである。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の実況値を，第1表の(2)~(4)の3種類のMSM予想値と対比して分割表を作成することになる。つまり，meshの周辺領域のどこかで，しかも時間的なズレも許容してMSM

ことが要求される。

2. 地域，時間および強度のズレの許容

「捕捉率」を増やす手法を探すため，次のような「地域・時間的ズレを許容した検証」を試みた。まず，当該20km meshを中心とする100km meshを設定し，20km mesh内のレーダーアメダス解析雨量の

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（(4)*については後で説明する）。

第2図には、上記(2)～(4)*の5種類のズレを許容したMSM予想値について検証した結果に基づく超過確率曲線を記入してある。時間的・地域的ズレの許容度が大きいほど曲線は下方に位置している。つまり豪雨の予想確率が低下し、いわゆる「空振り」が増大することになる。その反面、捕捉率は第2表のように向上傾向を示し、見逃しが減少する。

利用者にとっては、予想確率と捕捉率が共に大きい%であることが好ましいが、両者はトレードオフの関係にあり、捕捉率を上げれば予想確率は低下する。第1表(4)のMSM予想値の場合、捕捉率は25.7%にまで上がるが、予想確率は8.4%に低下する。

もっと大きい捕捉率を必要とする場合は、地域的・時間的ズレの許容に加えて、予想降水量にもズレを許容するという手がある。例えば、予想降水量に20mm/3hrのズレを許容する、つまりMSMが30～50mm/3hrと予想した場合も50mm/3hr以上と予想したものと見做して検証するわけである。

第2図にはこのような強度のズレも追加した場合の超過確率曲線を(4)*として示してある。この曲線は(2)～(4)の下方に位置し、予想確率は約6%に低下する。その代わり捕捉率は50%強に増加する。米国ではトルネード警報に関連して、時間・地域・強度のズレを考慮した精度検証の必要性が強調されているが(Barnes *et al.* 2007)、上記(4)*の検証はその初歩的な例と考えることができよう。

3. 予想確率と捕捉率の選択

前節までで議論してきた「予想確率」と「捕捉率」について理解を深めるために、毎日テレビでも放映されている地方天気分布予報（分布予報と略称）の「予想確率」と「捕捉率」を考察してみよう。これは気象庁がMSM降水量予想に基づいて発表しているもので、20km meshごとに「3時間に1mm以上の降水の有無」「3時間に10mm以上の降水の有無」などの予想である。

分布予報の精度は第3図のような分割表で示すことができる。ただし、分割表の数字は頻度そのものではなく全標本数に対する比率(%)で示されている。分布予報は降水の「有か無」を予想するカテゴリ予報であるが、第3図を利用すると確率予報に変換でき

第2表 第1表の地域・時間的ズレを許容した場合の予想確率および捕捉率（2009年7～8月）。

MSM 予想	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)*
予想確率	15.8%	12.6%	12.1%	8.4%	6.2%
捕捉率	3.2%	6.9%	16.3%	25.7%	52.3%

計	88.8%	11.1%		
降水アリ	6.6%	6.3%	12.9%	
降水ナシ	82.2%	4.8%	87.0%	
予報 実況	降水ナシ	降水アリ	計	

第3図 地方天気分布予報の分割表の例。2005年の全国の20km mesh について、「3時間に1mm以上の降水の有無」の予想(FT=18～21)を検証(気象庁予報部提供)。

る。「降水アリ」と予報された場合は12.9%であるが、そのうち6.3%で降水があったわけだから、「予想確率」は $6.3/12.9 \approx 0.49$ 、つまり49%ということになる¹¹。また、このように49%の確率で予想できる降水は、実況の「降水アリ」11.1%のうちの6.3%であるから、「捕捉率」は $6.3/11.1 \approx 0.57$ 、つまり57%ということになる。

結局、第3図の分布予報は「予想確率49%」と「捕捉率57%」で「降水の有無」情報を与えるものである。今回調査した「50mm以上の降水」の予想の場合は、第2表に見られるように、「予想確率」「捕捉率」は共に大きく低下している。豪雨のような稀な現象の予想であるから当然のことである。「捕捉率」を何とか分布予報並にしようとするれば、第2表の(4)*のように「予想確率」は数%程度に低下してしまう。

前回の調査では、地域・時間的ズレを許容することによって「予想確率」の増大を試みた。予想確率の増大はできたが、捕捉率は低下している。例えば、20km mesh のMSM降水予想をその周辺100km mesh

¹¹ 一方、「降水ナシ」と予報された場合は、予想確率は $4.8/87.0 \approx 0.06$ 、つまり6%と計算される。このように第3図のようなカテゴリ予報から導かれるのは49%と6%といった2値の確率予報であって、0～100%の値を取れる本来の降水確率予報の情報には及ばない。

内の解析雨量で検証した場合、予想確率は55%程度に引き上げられるが、捕捉率を計算すると2%程度になってしまう¹²。

4. 短期の豪雨予報へ利用

前節までに調査した「ズレを許容した精度検証」の結果は、MSM 降水量予想を豪雨予報へ利用する際の有効な手段を提供する。通常の精度検証結果だけを利用する場合は、第2表の(1)のように予想確率15.8%、捕捉率3.2%であるから、「見逃し」が重大な損失につながるような場合の意思決定には適さない。「見逃し」を減らすには捕捉率52.3%の(4)*が適しているが、予想確率が6.2%と低いので空振りが多くなり、コストのかかる防災対策はとり難いといった短所がある。要するに、ケースバイケースで選ぶことになるが、第2表を利用すれば選択肢が増えるというメリットがある。

第2表はFT=09~12の短期予報についての結果で、予想確率や捕捉率が低いために利用分野は制限されよう。しかし、目先6時間程度の短時間予報の場合なら、予想確率や捕捉率は全体として増加することが期待され、利用分野は拡大するものと思われる。

本調査は2009年7~8月のデータに基づくものである。その検証結果を今後のいわゆる独立期間の予報に利用する場合には、標本数がこれで十分かとか、季節変化や地域変化がどの程度あるかなど、検証を継続する必要がある。

とりあえず、本調査の対象期間に続く2009年9~11月について、第1表の(1)~(4)*に対する予想確率と捕捉率を計算してみると、第3表のようになった。

第3表 第2表と同じ。ただし、2009年9~11月の予想確率および捕捉率。12月以降についても3ヶ月ごとに計算し、気象環境教育センターのホームページ (<http://npo-weed.com>) に掲載する予定である。

MSM 予想	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)*
予想確率	27.4%	18.8%	13.8%	8.4%	5.6%
捕捉率	10.2%	17.6%	20.6%	36.3%	59.5%

第2表と比較すると、(1)から(4)*へのズレ拡大と共に予想確率が低下、捕捉率が上昇という傾向は同じである。予想確率・捕捉率の数値そのものは第2表に比べ全体としてかなり大きい値を示す。しかし、その差はズレ拡大と共に縮小し、(4)*ではほぼ同程度の値となる。つまり(4)*の予想確率・捕捉率は独立期間にも適用できる可能性が高いということである。このことはまた、MSM 予想を利用する際、ある程度大まかに見た方が適切な場合があることを示唆する。なお、第2表の予想確率・捕捉率が第3表より全体的に小さいのは、7~8月が対流活動の最盛期であることと関連している可能性がある。

第2表や第3表の(4)*を通常の予報表現に直せば「当該20km mesh を中央とする100km mesh 内、および当該3時間帯±3時間内にMSMが30mm以上の降水を予想した場合、当該20km mesh・3時間帯に50mm以上の降水のある確率は6%程度。ただし40%程度のケースは見逃される。」ということになる。

終わりにあたり、本調査について有益なコメントを頂いた牧原康隆会員にお礼申し上げる。なお、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

- 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.
- 立平良三, 2010: 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~. *天気*, 57, 49-53.

¹² ただし、この捕捉率の計算では、分母は「100km mesh 内のどこかで50mm/3hr以上の豪雨のあった頻度」である。第2表の捕捉率は「20km mesh 内のどこかで50mm/3hr以上の豪雨のあった頻度」を分母としているという差があることに留意する必要がある。当然、前者は後者より大きく、約6倍である。100km mesh には20km mesh が25含まれるのだが、各20km mesh 内の豪雨発生の間には相関があるので、25倍にならず6倍に止まっている。