

## MSM で予想された降水パターンの検証

### —降水予報精度改善への試み—

立 平 良 三\*

#### 1. まえがき

従来の予想精度検証は、メッシュごとに予想値と実況値を対比して、適中状況を分割などで評価するものが殆どであった。このような手法では、例えば局地豪雨の場合、豪雨メッシュがピタリ予想されていないと、「見逃し」と「空振り」の両面から「ハズレ」と評価される。むしろ局地豪雨を全く予想しない方が、「見逃し」だけとなり、かえって評価が高くなったりする。しかし、豪雨予報への利用の観点からすると、情報価値は逆であろう。このような問題は、数値予報モデルの分解能の向上に伴い注目されるようになった。

上のような事情も含め、予想結果を多方面に利用するためには、メッシュごとの検証のほかに、予想値の空間的（降水予想の場合は地域的）な分布を、実況のそれと対比して検証することが必要になる。場合によっては、時間軸も含めた検証が必要となろう。

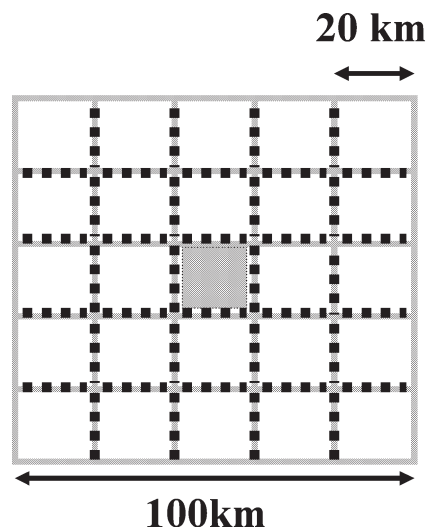
米国では、この問題に取り組むべく、Spatial Forecast Verification Methods Intercomparison Project が発足し、様々な検証手法のテスト（主として降水予想について）が試みられている (Gilleland *et al.* 2009)。主要な検証手法の一つは、帯状降水域などのシステムに着目して、これがどのように予想されているかを評価するものである (e.g., Ebert and Gallus Jr. 2009)。また、予想が地域的あるいは時間的にズレていても、その程度に応じて一定の評価をする手法 (e.g., Ebert 2009) があり、日本の MSM について検証した立平 (2010 a) および立平 (2010 b) もこの方向に沿ったものである。

そのほか、当該メッシュの周辺領域における降水分布の特性（被覆率、降水パターンの類似度など）に着目して検証する手法も試みられている。降水パターンは色々のスケールの変動により構成されているが、これを Variogram によって数量化して類似度を検証しようという研究 (Marzban and Sandgathe 2009) はその一例である。

本調査では、Variogram に代えてもっと簡単かつ実用的な尺度を導入し、周辺領域内における降水強度の変動に着目した検証を試みた。

#### 2. 降水強度の地域変動の指標 RMSDif

降水の分類として、対流性と層状性に大別することがある。これは降水強度の地域変動に着目した分類と



第1図 降水の地域変動の検証に用いる領域。中央の20 km メッシュ (影域) の周辺に 100×100 km の領域を設定する。

\* Ryozyo TATEHIRA, NPO 法人気象環境教育センター。

© 2011 日本気象学会

いえる。本調査では検証のメッシュサイズとして20 km メッシュを用いているので、地域変動は第1図に示す100×100 km の領域について考えることにした。この領域内には25個の20 km メッシュが存在する。

第1図の25個の20 km メッシュには■■■■で示される縦横40の境界がある。降水量の地域変動があると*i*番目の境界で降水量に差  $D_i$ が生ずる。そこで、100×100 km 領域内の変動の尺度として、次式で定義される一種の平均値 RMSDif (Root Mean Square Difference) を用いることにした。

$$\text{RMSDif} = \sqrt{\sum D_i^2 / 40} \quad (1)$$

第2図にモデル化した100×100 km 域内の降水量分布の例を示す。影をつけた20 km メッシュには、簡単のため1 mm/3 hr の降水があるものとする。上図はランダムに作成した実況降水量分布で、これを下図のように予想したとしよう。予想1は、領域内に対流性降水がランダムに散在しているような状況を予想しており、パターンとしては上図の実況とよく類似している。

一方、予想2の方は、層状性の降水を予想しており、実況とは大きく違っている。しかし、100×100 km 域内で20 km メッシュごとの適中率を計算すると、共に13/25である。

予想1と予想2の差は、(1) 式の RMSDif に明瞭に現れている。実況と予想1の RMSDif は共に  $\sqrt{26/40}$  mm/3 hr であるが、予想2では  $\sqrt{10/40}$  と半分以下である。ちなみに、変動の程度を示すのによく使われる標準偏差 (Standard Deviation) は本調査の目的には適合しない。例えば第2図の下側の二つの予想について、標準偏差を計算すると同一の値となる。

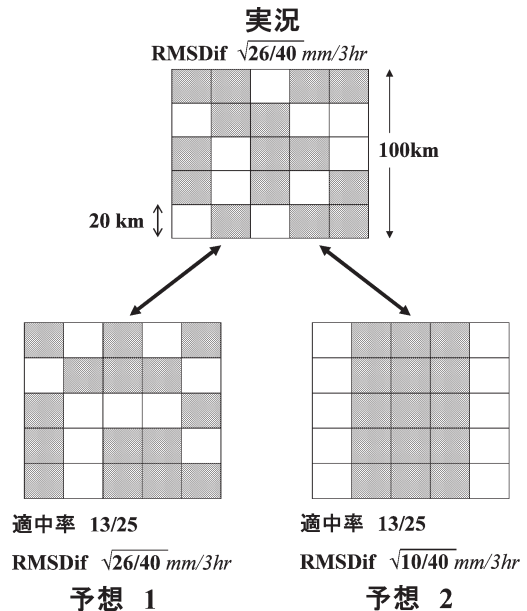
RMSDif は Variogram と違って、20 km 程度のスケールの変動に限られた尺度でしかないが、この程度のスケールは降水パターンによくみられるものなので、実用的な近似としては意味があると考ええる。

数値予報の適切な利用には、従来のメッシュごとの検証のほか、RMSDif のようなパターン的な精度検証も有用である。例として、2010年3月のMSM降水量予想について RMSDif による統計的検証を試みた。統計標本の詳細は次のとおりである。

#### ・MSM 予想降水量

日時…2010年3月中の FT=09~12の3時間予想降水量 (1日8回)。

地域…日本全域 (沖縄を除く) の1656個の20 km



第2図 降水の地域変動のモデル的予想例。影をつけた各20 km メッシュに1 mm/3 hr の降水があるものとする。上の実況降水パターンに対して、下の二通りの予想があり、これを適中率および RMSDif で検証している。

メッシュ。20 km メッシュ内の予想降水量 (5 km メッシュ) の最大値を20 km メッシュの代表値とする。標本数は410,688。

#### ・レーダーアメダス解析雨量

日時…MSM 予想降水量に対応するレーダーアメダス解析雨量の3時間積算値

地域…MSM 予想降水量と同じ20 km メッシュ。20 km メッシュ内のレーダーアメダス解析雨量 (1 km メッシュ) の最大値を20 km メッシュの代表値とする。

MSM による RMSDif の予想精度を多重分割表で示すと第3図のようになる。比較のため、20 km メッシュごとの3時間予想降水量の多重分割表を第4図に示す。正確な比較は困難だが、RMSDifの方がややバラツキが大きく、過小予想の傾向もやや大きい。

### 3. RMSDif で区分した20 km メッシュ降水予想

空間的 (あるいは地域的) な検証手法を導入する目的は色々考えられるが、本調査ではこれを従来のメッシュごとの降水予想の精度改善に利用することを試みた。RMSDif は降水の対流性の目安と考えられるの

mm/3hr	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40
< 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0
< 20	0	0	0	0	0	3	4	6	5	3	4	6	4	9	2	3	3	7	7	9	0	0
< 15	0	0	0	2	4	3	4	0	1	1	2	3	5	3	2	6	4	5	4	3	1	0
< 14	0	0	0	1	2	6	1	5	1	2	9	9	8	3	3	7	6	11	5	1	0	0
< 13	0	0	0	2	5	6	5	4	5	9	7	5	4	7	9	2	3	12	4	2	0	0
< 12	0	0	0	1	11	14	8	7	14	17	6	7	12	6	8	4	6	20	10	0	0	0
< 11	0	3	1	4	13	20	12	13	18	23	10	13	7	4	4	6	1	30	12	2	2	2
< 10	0	7	4	10	24	15	19	22	35	28	25	27	14	11	7	6	29	9	4	1	0	0
< 9	0	11	6	12	24	22	56	46	56	48	35	26	29	22	17	8	11	25	14	1	0	0
< 8	0	9	22	25	47	56	75	66	72	72	44	43	32	35	17	13	10	28	4	0	0	0
< 7	0	7	26	38	72	112	106	117	90	89	67	63	58	42	21	21	15	30	1	0	0	0
< 6	0	10	39	73	147	195	161	173	158	138	94	61	47	33	27	15	12	23	22	0	0	0
< 5	1	20	48	121	334	484	372	342	221	178	139	85	56	30	20	22	12	30	13	1	0	0
< 4	2	37	108	472	1056	910	703	494	292	215	114	97	65	52	41	21	15	27	14	5	0	0
< 3	2	86	344	2219	2820	1915	1003	575	334	234	164	97	69	55	25	16	6	26	24	5	0	0
< 2	70	817	2900	11473	7790	3054	1243	656	445	333	173	156	91	64	57	33	37	75	15	0	0	0
< 1.0	380	4495	14333	19154	7073	2306	949	452	307	203	111	79	73	40	24	18	9	34	7	0	0	0
< 0.5	19855	47024	87138	27521	7172	2370	1187	688	404	225	137	76	65	51	25	28	19	80	12	1	0	0
0.0	56250	18159	49222	7337	2298	1225	555	267	203	149	125	103	71	72	25	33	21	37	9	0	0	0
予想/実況	0.0	< 0.5	< 1.0	< 2	< 3	< 4	< 5	< 6	< 7	< 8	< 9	< 10	< 11	< 12	< 13	< 14	< 15	< 20	< 25	< 30	< 40	

第3図 MSMで予想したRMSDif (Root Mean Square Difference) の分割表 (2010年3月)。

mm/3hr	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40
60 ≧	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	2	2	0	0	2	4	1	0
55 ≧	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
50 ≧	0	0	1	1	0	0	2	0	1	2	0	0	2	1	1	3	0	1	0	1	1	1
45 ≧	1	3	1	1	1	2	3	0	2	3	9	4	4	3	1	4	2	2	5	5	5	5
40 ≧	1	1	3	3	4	1	3	1	4	8	4	4	7	7	6	4	5	0	13	13	13	13
35 ≧	0	2	4	5	4	11	0	2	15	12	4	11	14	6	9	4	4	2	13	13	13	13
30 ≧	0	5	8	9	12	11	4	5	23	23	15	20	19	18	16	13	5	7	5	5	5	
25 ≧ < 30	3	14	21	13	16	21	8	6	43	47	40	41	33	19	23	5	8	3	6	6	6	
20 ≧ < 25	6	24	33	27	36	34	17	16	92	101	84	63	43	34	26	11	21	11	15	15	15	
15 ≧ < 20	6	39	69	95	99	114	71	52	260	277	168	120	83	30	27	17	13	3	10	10	10	
11 ≧ < 15	7	46	162	183	322	354	184	194	589	491	226	122	63	46	30	10	5	0	7	7	7	
10 ≧ < 11	3	20	69	123	185	167	98	118	282	146	54	32	16	5	3	2	1	2	3	3	3	
9 ≧ < 10	7	39	101	197	266	264	140	129	318	205	73	47	20	16	5	4	0	2	3	3	3	
7 ≧ < 9	25	133	437	703	929	922	428	335	800	429	130	73	54	21	14	5	5	1	6	6	6	
5 ≧ < 7	42	408	1231	1742	1958	1414	523	404	896	383	153	77	41	27	15	6	7	6	4	4	4	
3 ≧ < 5	223	1700	4076	3831	3042	1674	525	444	839	404	174	93	64	32	15	10	13	5	11	11	11	
1 ≧ < 3	2218	9679	12291	7131	3654	1826	519	430	804	440	217	109	47	36	15	14	10	4	10	10	10	
1ミリ未満	34827	49210	23426	6487	2560	1225	376	286	583	336	141	92	46	35	13	5	5	5	13	13	13	
降水なし	180390	39601	7530	1424	528	253	106	71	135	93	46	19	5	3	0	1	0	0	0	0	0	
予想/実況	降水なし	1ミリ	未	1 ≧	・3 ≧	・5 ≧	7 ≧	9 ≧	10 ≧	11 ≧	15 ≧	20 ≧	25 ≧	30 ≧	35 ≧	40 ≧	45 ≧	50 ≧	55 ≧	60 ≧		

第4図 MSMによる3時間予想降水量の分割表 (2010年3月)。

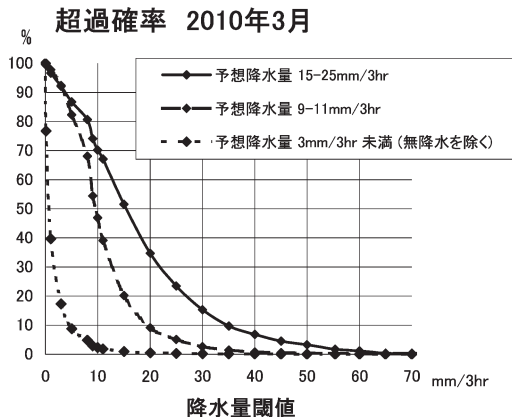
で、MSMによる予想降水量が同じ場合でも、RMSDifが違えば対応するレーダーアメダス解析雨量に差が生ずる可能性がある。

具体的には、RMSDifに閾値を設定して、標本をそれ「以上」と「未満」の2グループに区分して精度を検証する。精度は確率形式の予報に便利のように、超過確率図で表現することにする(立平 2010 a)。

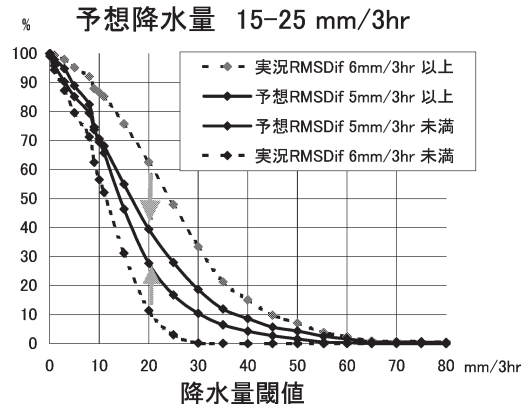
第5図は、区分前の予想降水量の超過確率図である。上の曲線は予想降水量15~25 mm/3 hrの場合で、対応するメッシュの解析雨量が20 mm/3 hrを超過する確率は35%であることが分る。下の曲線は予想降水量が3 mm/3 hr以下の場合である。対応するメッシュの解析雨量が20 mm/3 hrを超過する確率は殆ど0%となる。

20 kmメッシュの予想降水量が15~25 mm/3 hrの標本数は、2247であったが、そのメッシュの周辺100×100 km領域内のRMSDifが6 mm/3 hr以上の標本は1072あった。第6図の上の曲線はこの1072に限定して計算した超過確率である。区分しない場合(中間の曲線)と比較すると、例えば20 mm/3 hr以上の実況降水量のある確率は35%(無区分)から62%に増大する。つまり、MSMはRMSDifが大きい場合(降水の対流性が強い場合)過小予想になるということである。

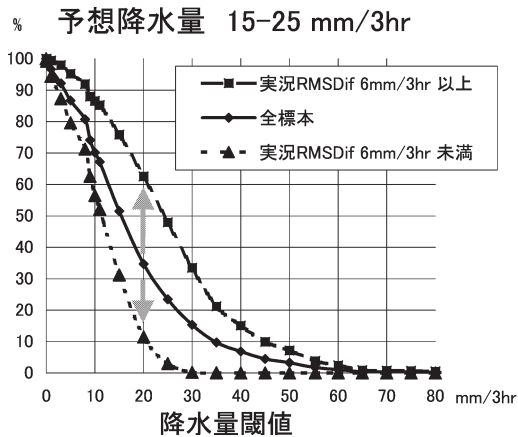
一方、RMSDifが6 mm/3 hr未満の標本(1175)の場合(下の曲線)は、35%から11%へ大幅に低下する。これは、第5図の予想降水量9~11 mm/3 hrの超過曲線とほぼ同じである。つまり、RMSDifが小



第5図 MSMによる予想降水量が15-25mm/3hr, 9-11mm/3hr および3mm/3hr未滿(無降水を除く)の場合の超過確率曲線(2010年3月)。



第7図 MSM予想降水量が15-25mm/3hrの標本を, 予想RMSDif=5mm/3hrを閾値として区分した場合の超過確率曲線(実線). 比較のため実況RMSDifを閾値とした場合も記入してある(点線). 予想の閾値を用いると, 実況に比べ閾値以上と未滿の差が大幅に減少する。



第6図 MSM予想降水量が15-25mm/3hrの標本を, 実況RMSDif=6mm/3hrを閾値として区分した場合の超過確率曲線. 閾値以上と未滿で超過確率に大きな差が生ずる。

さい場合, MSMが15~25mm/3hrと予想されても, 実際は予想降水量9~11mm/3hr相当の降水しかないということである。

確率予報の精度はBrier Scoreで検証されるが, Brier Scoreは信頼度と分離度によって構成されている(Sanders 1967)。第6図のように, 標本を高確率と低確率に仕分けすることは, つまりは分離度を高めることであり, 確率予報の精度向上を示している。

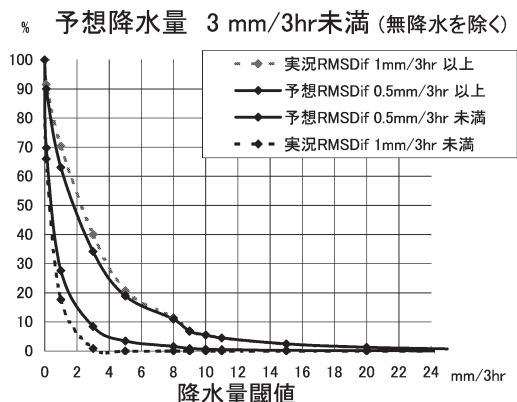
第6図は20kmメッシュの予想降水量が15~25

mm/3hrの場合の区分結果であるが, 予想降水量9~11mm/3hrおよび3mm/3hr以下の場合も, 超過確率曲線はRMSDifの閾値によって類似した分離を示す(図省略)。ただし15~25mm/3hrの場合はRMSDifの閾値を6mm/3hrとしていたが, 9~11mm/3hrおよび3mm/3hr以下の場合の閾値は, それぞれ4mm/3hrおよび1mm/3hrに変えている。これは, 標本数がほぼ等分されるように閾値を選んでいるからである。

第6図では, 各20kmメッシュ周辺のレーダーアメダス解析雨量から計算されたRMSDifを閾値として使っている。つまり, 第3図の横軸の「実況RMSDif」を用いている。第6図のような結果を実際の予報改善に利用するには, 第3図縦軸のMSMによる「予想RMSDif」を用いなくてはならない。

#### 4. 予想RMSDifによる20kmメッシュ降水予想の改善

MSM予想降水量による「予想RMSDif」で区分した場合の超過確率図を第7図に示す。これは20kmメッシュの予想降水量が15~25mm/3hrの場合の標本を, 予想RMSDif=5mm/3hrで区分したものである。比較のために, 実況RMSDifで区分した第6図の曲線も記入してある。実況RMSDifによる分離幅に比べ, 予想RMSDifによる分別幅は約1/4に減



第 8 図 MSM 予想降水量が 3 mm/3 hr 未滿の標本を、予想 RMSDif = 0.5 mm/3 hr を閾値として区分した場合の超過確率曲線 (実線)。比較のため実況 RMSDif を閾値とした場合も記入してある (点線)。予想の閾値を用いても、閾値以上と未滿の差はあまり減少していない。

少している。従って予想精度向上の幅も減少することになる。第 6 図で期待されるような精度改善の実現には、予想 RMSDif の精度を改善する必要がある。つまり、第 3 図に示す実況 RMSDif : 予想 RMSDif の分割表をもっとバラツキの小さいものに改善しなければならない。

予想降水量 9 ~ 11 mm/3 hr の場合も、予想 RMSDif を用いると第 7 図と同様に分離幅は減少する。しかし、予想降水量 3 mm/3 hr 以下の場合、第 8 図のように予想 RMSDif に変えても分離幅はあまり縮小しない。つまり、現在の予想 RMSDif のままでもかなりの精度改善が見込めるといえる。

なお、第 7 図および第 8 図で、予想 RMSDif の閾値が実況 RMSDif の場合より小さいのは、RMSDif 予想が第 3 図に見られるように過小であることに対応する。

## 5. まとめ

本調査では降水予想精度の地域的検証の一例として、各 20 km メッシュ周辺の 100 × 100 km 領域内における降水の地域変動を表す目安として、RMSDif (Root Mean Square Difference) を提案し、MSM がこれをどれくらいの精度で予想できるかを検証し

た。さらに、この RMSDif を従来の 20 km メッシュの降水予想精度の向上に利用することを試みた。

RMSDif を閾値として標本を区分することにより、降水予想の精度向上が認められた。特に弱い降水 (3 mm/3 hr 以下) の場合は、現在の RMSDif の予想精度でも、かなりの精度改善が期待できる。強い降水の場合は、RMSDif の予想精度をもっと向上させる必要がある。RMSDif は 100 × 100 km という比較的大きい領域で定義されているので、改善は比較的容易ではないかという期待をもたせる。

RMSDif を MOS (Model Output Statistics) の予測因子に利用して精度改善を図る手法も考えられる。数値予報の精度向上により、MSM モデルの予想降水量は、他の予想値 (気温、湿度、風など) を予測因子として加えて MOS 処理をする必要のないレベルにほぼ達していると考えられている。しかし、RMSDif のような周辺領域について定義された量の場合は、新型の予測因子として精度改善に寄与できる可能性を残している。

本調査で用いた MSM 降水量予想値およびレーダーアメダス解析雨量のデータは、(株) アルファ・プラネットから提供を受けた。

## 参考文献

- Ebert, E. E., 2009 : Neighborhood verification : A strategy for rewarding close forecast. *Wea. Forecasting*, 24, 1498-1510.
- Ebert, E. E. and W. A. Gallus Jr., 2009 : Toward better understanding of the contiguous rain area (CRA) method for spatial forecast verification. *Wea. Forecasting*, 24, 1401-1415.
- Gilleland, E., D. Ahijevych, B. G. Brown, B. Casati and E. E. Ebert, 2009 : Intercomparison of spatial forecast verification methods. *Wea. Forecasting*, 24, 1416-1430.
- Marzban, C. and S. Sandgathe, 2009 : Verification with variograms. *Wea. Forecasting*, 24, 1102-1120.
- Sanders, F., 1967 : The verification of probability forecasts. *J. Appl. Meteor.*, 6, 756-761.
- 立平良三, 2010 a : 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.
- 立平良三, 2010 b : 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〜. *天気*, 57, 163-166.