

予測降雨の推定誤差評価について

Evaluation of estimation errors for forecasted rainfall amounts

(財)北海道河川防災研究センター ○正員 東海林 勉 (Tutomu Tohkairin)
 (財)北海道河川防災研究センター フェロー 星 清 (Kiyoshi Hoshi)
 北海道開発局帯広開発建設部 渡邊 和好 (Kazuyoshi Watanabe)

1. はじめに

実時間洪水流出予測に関わる最大の課題は降雨予測精度をいかに向上させるかにあると言っても過言ではない。近年、アメダスや雨量レーダ等の観測体制の整備に伴い、それらの情報を取り入れた短時間降雨予測モデルの開発が進められてきているが、実用面での適用にあたっては、まだ越えなければならない壁がいくつか残されている^{1,2)}。

現在、実用化されている降雨予測手法は、雨量レーダを用いることにより降雨分布の移動パターンを捉えて予測する運動学的手法が主流であり、「移流モデル」はその代表例である³⁾。

運動学的手法による降雨予測精度は、実用上精々1時間先程度が限界であり⁴⁾、一級河川水系の流域規模で必要となる実時間洪水予測においては、より長いリードタイムでの降雨予測精度の向上が必須条件であり、そのための短時間降雨予測手法の開発が望まれている。

現在、北海道開発局では日本気象協会から3時間おきに24時間分の予測雨測データの配信を受け、その予測データを基に洪水流出予測を行っている例が多い。しかしながら、これらの予測降雨がどの程度の推定誤差を有しているかは不明である。したがって、本報告の第一の目的は、洪水流出予測精度が予測降雨精度に強く依存していること

から、予測降雨の精度を定量的に把握することにある。その方法としては、江藤らのレーダ雨量計(沖縄 八重岳レーダ、中部地方 御在所レーダ)の誤差評価解析法⁵⁾に準拠して、確率モデルにガンマ分布を用いて、気象協会から配信される予測降雨データの推定誤差分散を求める算定式を提案する。また、既往洪水においては予測降雨のデータが入手困難であることから、実測雨量の過去3時間移動平均雨量を予測雨量の代用とする場合の推定誤差に関しても評価することを試みる。

2. 予測雨量算定方法

現在の気象予測はコンピュータによる数値予報が主力である。日本気象協会の予測雨量算定方法は、気象庁の数値予報の結果(GPV)を気象協会独自の地域予報モデルに再入力して精度の向上を図るとともに、天気図や気象衛星資料及びレーダ資料、地上雨量資料等をもとに気象予報士による総合解析等を行って、予測雨量を算定している。その予測雨量解析フローを図-1に示す⁶⁾。

このフロー図を詳査すると、資料収集から解析及び予測作業等が広範にわたり、様々な方法と総合的判断により、予測降雨に関する情報が配信されていることがわかる。

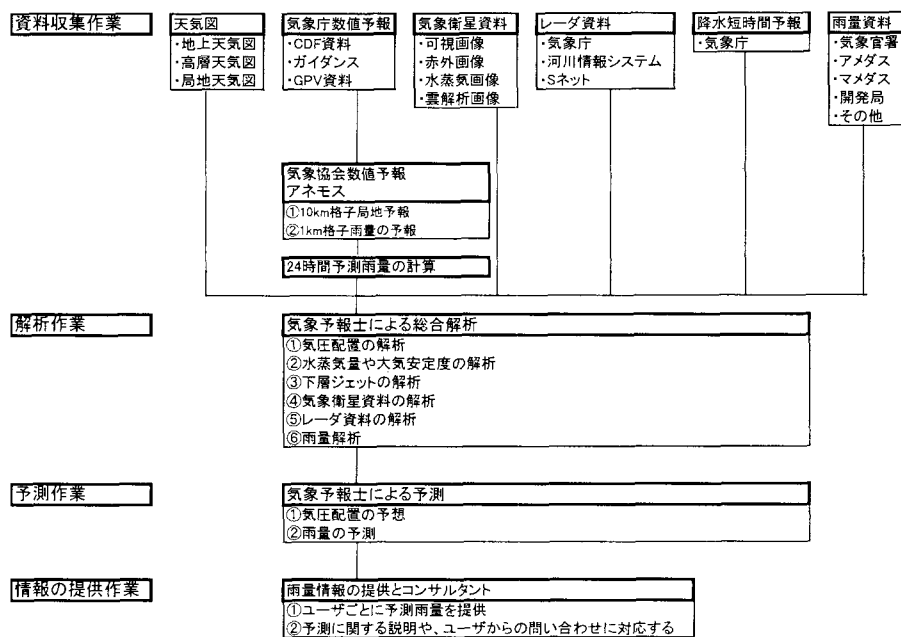


図-1 気象協会による予測雨量算定法概要フロー⁶⁾

3. 気象協会予測雨量の誤差評価

本節では対象洪水を2001年9月洪水とし、全道1級河川11水系43地点における予測降雨の解析を行う。その1例として、気象協会配信による予測雨量値と地上の雨量計による実測値を対比して表-1に示す。

予測値は3時間おきに24時間分の予測降雨データが配信されるが、本報告では予測降雨の3時間分の予測値を対象として解析を行う。

表-1 実測雨量と予測雨量の関係(一例)

日	時	実測 時間雨量	予測		
			9月10日 12時発表 時間雨量	9月10日 15時発表 時間雨量	
9/10	13	1	0	1時間先	
	14	1	2	2時間先	
	15	0	6	3時間先	
	16	0	8	2	1時間先
	17	2	8	2	2時間先
	18	8	8	3	3時間先
	19	4	7	5	

まず、気象協会による1～3時間先の予測値をリードタイム l ($l=1, 2, 3$) 毎に分類する。それぞれのリードタイム毎に、その実測値と予測値を同じ階級幅で分類し、その範囲のデータ数(標本数)に基づき、標本統計量を計算する。階級分けした予測降雨と実測雨量を整理して、統計量を算定した結果を表-2に示す。

なお、各階級の予測降雨に対応する実測雨量の標本平均値 μ と標本標準偏差 σ はそれぞれ、式(1)と式(2)で求められる。

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - \mu^2 \quad (2)$$

ここに、 μ : 平均値、 σ : 標準偏差、 N : 標本数

表-2に示される階級別統計量において、予測雨量がゼロで、実測値がゼロとなっていない例が数多く見られた。本報告では、長期的な雨量データではなく、洪水時における予測降雨が解析対象となるので、小さい雨量は無視できる。したがって、表-2における予測降雨と実測雨量が0～2mmの範囲内にあるとき、予測雨量ゼロの標本は除外されている。

実測雨量の平均値 μ は、予測雨量階級区分の範囲内にはほぼ収まっている。すなわち、統計的には、予測降雨の期待値は実現値に等しいと言える。また、リードタイム別の平均値 μ を比較すると、その値はほぼ同程度であることがわかる。

予測雨量はリードタイムが長くなるほど、その推定誤差分散は大きくなるのが容易に推測される。表-2の標準偏差値をみると、予測雨量の増加に伴って、その誤差が大きくなる傾向にあることが分かる。しかしながら、本報告での解析対象データ数は少ないため、今後は多くの資料を収集して、その特性を検討する必要がある。

表-2 実測雨量と予測雨量の階級別統計量

1時間先予測 (リードタイム $l=1$)

実測 ↓	予測 →	0 ~	2 ~	4 ~	6 ~	8 ~	10 ~
		2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm	15 mm
0 ~	2 mm	94	71	26	3	3	1
2 ~	4 mm	12	36	32	14	5	2
4 ~	6 mm	2	16	37	26	9	3
6 ~	8 mm	0	2	13	16	10	0
8 ~	10 mm	0	4	8	5	7	3
10 ~	15 mm	0	1	4	3	1	2
15 ~	20 mm	0	0	0	0	2	1
20 ~	30 mm	0	0	0	0	0	0
30 ~	50 mm	0	0	0	0	0	1
50 ~	100 mm	0	0	0	0	0	0
標本数		108	130	120	67	37	13
平均値 μ		0.571	1.899	4.032	5.020	6.297	8.619
標準偏差 σ		0.958	2.125	2.691	2.347	3.637	7.501

2時間先予測 (リードタイム $l=2$)

実測 ↓	予測 →	0 ~	2 ~	4 ~	6 ~	8 ~	10 ~
		2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm	15 mm
0 ~	2 mm	103	67	21	6	1	1
2 ~	4 mm	9	33	37	17	2	0
4 ~	6 mm	1	21	33	27	9	1
6 ~	8 mm	1	7	7	16	13	3
8 ~	10 mm	1	7	3	8	8	3
10 ~	15 mm	0	1	3	1	3	2
15 ~	20 mm	0	0	0	1	0	1
20 ~	30 mm	0	0	0	0	0	0
30 ~	50 mm	0	0	0	0	1	0
50 ~	100 mm	0	0	0	0	0	0
標本数		115	136	104	76	37	11
平均値 μ		0.490	2.448	3.487	5.004	7.257	8.505
標準偏差 σ		1.252	2.525	2.290	2.614	4.918	4.431

3時間先予測 (リードタイム $l=3$)

実測 ↓	予測 →	0 ~	2 ~	4 ~	6 ~	8 ~	10 ~
		2 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm	15 mm
0 ~	2 mm	96	78	18	15	4	1
2 ~	4 mm	6	37	34	18	4	0
4 ~	6 mm	2	28	30	24	10	3
6 ~	8 mm	0	6	11	15	13	1
8 ~	10 mm	0	2	5	8	5	0
10 ~	15 mm	0	1	0	1	3	0
15 ~	20 mm	0	1	2	2	0	0
20 ~	30 mm	0	0	1	0	1	0
30 ~	50 mm	0	0	1	0	0	0
50 ~	100 mm	0	0	0	0	0	0
標本数		104	153	102	83	40	5
平均値 μ		0.434	2.174	4.381	4.600	6.252	4.190
標準偏差 σ		0.900	2.453	4.381	3.175	3.791	1.547

次に、表-2に示されるヒストグラムにガンマ分布をあてはめて、その適合度を評価する。ガンマ分布として、形状母数 α 、尺度母数 β の2つの母数をもつ確率分布モデルを採用する。ガンマ分布の確率密度関数 $f(x)$ 及び理論積率(μ と σ)は次式で与えられる。

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\beta x} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\mu^2}{\sigma^2}, \quad \beta = \frac{\mu}{\sigma^2} \quad (4)$$

ここに、 α : 形状母数、 β : 尺度母数、 $\Gamma(\cdot)$: ガンマ関数、 μ : 理論平均値、 σ : 理論標準偏差

ガンマ分布は形状母数 α の値により、非負の逆J字型分布、指数分布、正のひずみ係数を持つ単峰分布、正規分布と幅広い分布形に適用できる特徴を持っている。

積率法による分布母数 α と β の推定値は、式(1)と(2)によって求められた標本積率値 μ と σ を式(4)に代入すれ

ば容易に算定される。表-2 に示されるヒストグラムにガンマ分布をあてはめた結果を図-2 に示す。図中には母数推定値も示されている。小降雨の場合は指数形分布で近似でき、また、大きな降雨の場合は非対称単峰分布を示している。ガンマ分布のヒストグラムへの適合度は形状及びピーク値ともに良好であることが分かる。

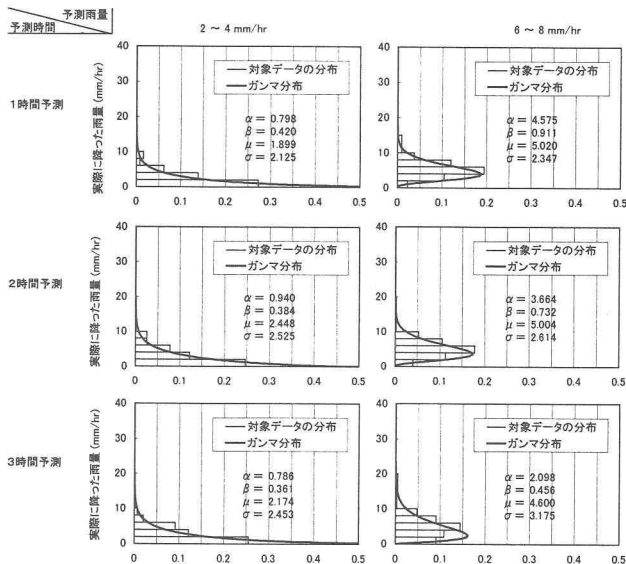


図-2 ガンマ分布のヒストグラムへのあてはめ

江藤らは八重岳レーダ（沖縄）と御在所レーダ（中部）による豪雨情報量を整理して、1～3 時間先の実測雨量データにガンマ分布をあてはめた結果、式(5)に示される予測雨量の誤差分散算定式を提案している⁵⁾。

$$\sigma = a \cdot \sqrt{\ell} \cdot \mu^b \quad (5)$$

ここに、 σ ：標準偏差、 a, b ：予測定数、 μ ：平均値、 ℓ ：リードタイム(h)

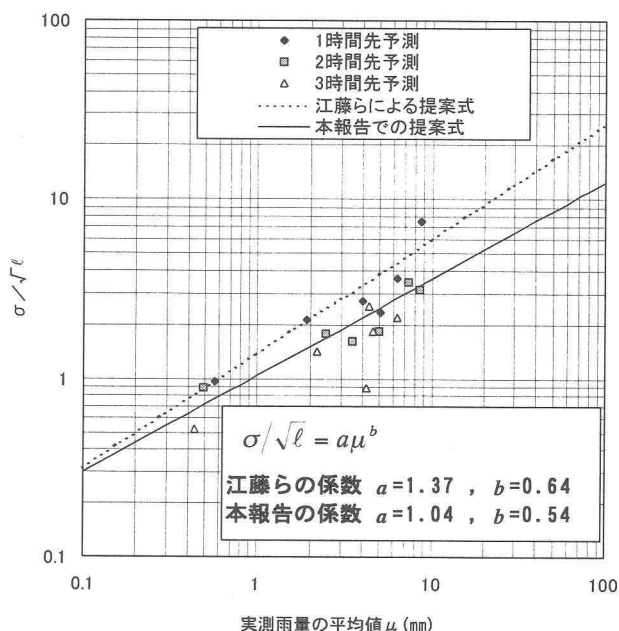


図-3 $\sigma/\sqrt{\ell}$ と μ の関係

本報告の解析例における $\sigma/\sqrt{\ell}$ と μ の関係が図-3 に示されている。江藤らによる式(5)の回帰直線では、定数 $a = 1.37$, $b = 0.64$ の値が決定されている。本報告での提案式では、定数 $a = 1.04$, $b = 0.54$ の値となり、江藤らの提案式とも整合性がよいことが分かる。

4. 過去 3 時間移動平均雨量を予測雨量の代用とする場合の誤差評価

この手法は、実際に観測された過去 3 時間の移動平均雨量を将来予測降雨(1～3 時間先)の代用とする方法であり、その 1 例を表-3 に示す。データ処理は前節の予測雨量の算定方法が異なるだけで、評価方法は前節と同じである。

表-3 実測値と予測値の比較 (1 時間先予測値の一例)

年月日時	納内		石狩大橋	
	実測値	予測値	実測値	予測値
1975/8/22 19:00	0.02		0.48	
1975/8/22 20:00	0.88		1.37	
1975/8/22 21:00	0.61		1.98	
1975/8/22 22:00	0.64	0.50	1.52	1.28
1975/8/22 23:00	1.95	0.71	1.95	1.62
1975/8/23 0:00	0.55	1.07	0.61	1.82
1975/8/23 1:00	0.56	1.05	0.31	1.36

表-4 実測雨量と予測雨量の階級別統計量

1時間先予測 (リードタイム $\ell = 1$)

実測 ↓ 予測 →	納内					
	0 ~ 2 mm	2 ~ 4 mm	4 ~ 6 mm	6 ~ 8 mm	8 ~ 10 mm	10 ~ 15 mm
0 ~ 2 mm	10029	925	284	117	55	55
2 ~ 4 mm	769	653	271	137	44	38
4 ~ 6 mm	190	343	250	171	66	43
6 ~ 8 mm	84	94	172	79	79	62
8 ~ 10 mm	34	69	70	78	49	63
10 ~ 15 mm	42	54	69	71	63	105
15 ~ 20 mm	15	18	9	16	25	46
20 ~ 30 mm	8	5	7	6	3	18
30 ~ 50 mm	3	0	3	2	2	5
50 ~ 100 mm	0	0	0	0	0	0
標本数	11174	2161	1135	677	386	435
平均値 μ	0.709	3.016	4.655	5.708	7.227	9.328
標準偏差 σ	1.725	3.091	3.865	4.434	5.134	6.546

2時間先予測 (リードタイム $\ell = 2$)

実測 ↓ 予測 →	納内					
	0 ~ 2 mm	2 ~ 4 mm	4 ~ 6 mm	6 ~ 8 mm	8 ~ 10 mm	10 ~ 15 mm
0 ~ 2 mm	9744	1075	376	175	72	95
2 ~ 4 mm	823	522	257	130	56	55
4 ~ 6 mm	256	304	199	147	67	53
6 ~ 8 mm	119	110	120	77	67	63
8 ~ 10 mm	64	55	80	57	48	53
10 ~ 15 mm	71	68	75	62	47	77
15 ~ 20 mm	26	12	19	22	24	29
20 ~ 30 mm	12	7	7	6	3	10
30 ~ 50 mm	2	4	2	1	2	0
50 ~ 100 mm	0	0	0	0	0	0
標本数	11117	2157	1135	677	386	435
平均値 μ	0.830	2.880	4.360	5.224	6.639	7.064
標準偏差 σ	2.012	3.488	4.123	4.572	5.289	5.705

3時間先予測 (リードタイム $\ell = 3$)

実測 ↓ 予測 →	納内					
	0 ~ 2 mm	2 ~ 4 mm	4 ~ 6 mm	6 ~ 8 mm	8 ~ 10 mm	10 ~ 15 mm
0 ~ 2 mm	9561	1136	426	214	96	131
2 ~ 4 mm	827	487	230	131	64	52
4 ~ 6 mm	294	268	190	117	68	61
6 ~ 8 mm	142	120	99	66	58	63
8 ~ 10 mm	80	62	63	62	47	41
10 ~ 15 mm	101	62	87	56	34	55
15 ~ 20 mm	31	12	28	28	14	20
20 ~ 30 mm	18	6	10	2	4	11
30 ~ 50 mm	7	4	2	1	1	1
50 ~ 100 mm	0	0	0	0	0	0
標本数	11061	2157	1135	677	386	435
平均値 μ	0.937	2.742	4.329	4.942	5.587	6.073
標準偏差 σ	2.371	3.460	4.588	4.667	4.849	5.739

解析対象地点は石狩川流域の26地点であり、対象洪水は1975年8月洪水から2001年9月洪水までの9洪水である。リードタイム別に階級分けした予測降雨と実測雨量を整理して、統計量を算定した結果を表-4に示す。予測雨量ゼロのデータ処理方法は、前節で述べた手段に準拠している。

前節と同様に、予測雨量階級別の平均値 μ は、予測雨量階級範囲内に収まる割合が多い。また、標準偏差の値は予測雨量が増加するにつれて、大きくなっている。

リードタイム別の平均雨量を比較すると、降雨規模別には大きな変動は見られない。また、標準偏差の値はリードタイムに比例して、大きくなる傾向が伺える。

表-4のヒストグラムにガンマ分布をあてはめた結果を図-4に示す。前節の図-2と同じように、分布形状やピーク値の適合性は良い。

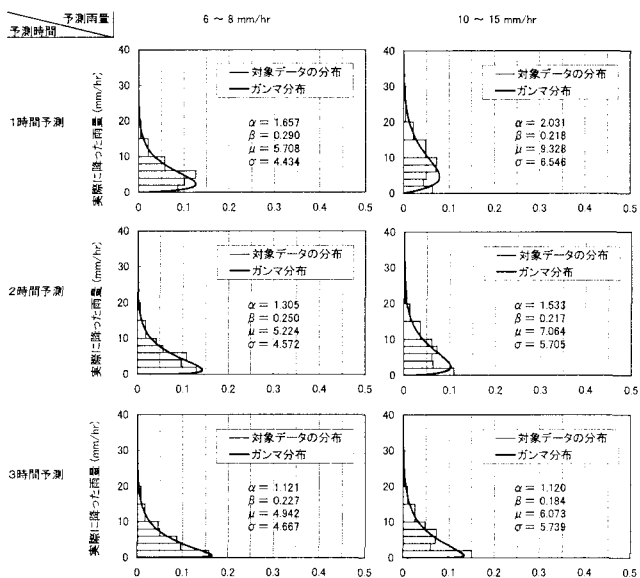


図-4 ガンマ分布のヒストグラムへのあてはめ

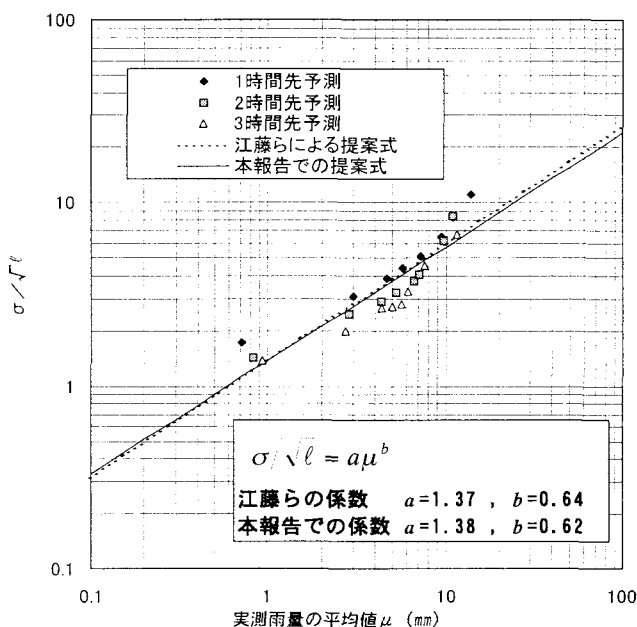


図-5 σ/\sqrt{l} と μ の関係

次に σ/\sqrt{l} と平均値 μ の関係を図-5に示す。式(5)の回帰直線の定数は、 $a=1.38$ 、 $b=0.62$ と算定される。これらの定数は、江藤らによって得られている定数 $a=1.37$ 、 $b=0.64$ にほぼ一致している⁵⁾。過去3時間移動平均雨量を予測雨量の代用とする誤差算定式も前節で得られた関係式と大きな差異は見られないことが判明した。

5. まとめ

本報告では気象協会配信の予測降雨と過去3時間実測雨量の移動平均値を予測雨量として代用する2方法を用いて、江藤らが提案した推定誤差算定式の検証を行った。

その結果、予測降雨階級別に分類された実測雨量のヒストグラムへのガンマ分布のあてはめは適合度も良好であった。また、江藤らによる予測雨量の推定誤差算定式は、本報告での解析結果においても整合性が良いことが分かり、その有用性が示された。

気象協会予測雨量データとして用いた洪水事例は雨量規模が余り大きなものではなく、また1洪水のみの解析であったため、今後は数多くの洪水例に関して解析を継続して、提案式の信頼度を高める必要がある。

過去3時間移動平均雨量を予測雨量の代用とする場合、多数の洪水例が入手可能である。本報告での解析結果も江藤らの提案式にほぼ一致しており、整合性がよい。したがって、予測雨量の推定誤差算定式として使用することは可能であると考えられる。

2003年8月の台風10号は、日高地方において既往最大降雨量を大幅に上回る記録的な豪雨をもたらした。この洪水における降雨資料を収集して、式(5)の適合度を検証する計画である。

参考文献

- 1) 上林好之：レーダ雨量情報を利用した洪水流出予測に関する研究，学位論文，早稲田大学，215p.，1990.
- 2) 中北英一：レーダ技術の現状と今後，雨水技術資料，Vol. 38，pp.25-31，2000.
- 3) 椎葉充晴・高棹琢馬・中北英一：移流モデルによる短時間降雨予測手法の検討，第28回水理講演会論文集，第28巻，pp.423-428，1984.
- 4) 吉野文雄：レーダ水文学，森北出版，175p.，2002.
- 5) Etoh,T., Kamibayashi,Y., Nakanishi,M. and Yoshida,M.: A study on prediction error in rainfall forecasting and its application to on-line operation of detention storage, Proc. of International Conference on Water Resources & Environment Research : Towards the 21st Century, Vol. I, pp.531-538, 1996.
- 6) 松岡直基：気象協会による予測降雨配信概要(私信)，(財)日本気象協会北海道支社，2003.