

ISSN 0386—5878

土木研究所資料第2406号



土木研究所資料

●レーダ雨量計による短時間降雨予測に関する調査報告書

●
昭和61年10月

建設省土木研究所
河川部水文研究室

Copyright © 1986 by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted,
nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

レーダ雨量計による短時間降雨予測に関する調査報告書

河川部水文研究室

要 旨

本研究はレーダ雨量計を利用して短時間降雨予測を行うモデルである雨域追跡法の、予測特性とその精度を多数の実測例で評価したものである。雨域追跡法の降雨予測手法の概要を第1章で紹介する。第2章では、雨域支配率が33%の時の移動ベクトルが大多数の例では良い結果を与えるが、関連係数が0.7以下の時には精度が悪いことを示し、この欠点を補う修正単純移流モデルを提案した。第3章では、一般に知られているような地形条件による降雨の発達・衰弱について明白な関係は認められないこと、レーダエコーから定義される発達・衰弱量は地形、気象の各要因とは明白な関係を持たないこと、が重相関解析結果から類推された。これらから、雨域追跡法は約1時間先の予測には実用上十分な精度を有するが、2～3時間先の予測は困難であること、が第4章で明らかにされた。

キーワード：レーダ雨量計、降雨予測、雨域追跡法

レーダ雨量計による短時間降雨予測に関する調査報告書

—— 雨域追跡法の予測特性と予測精度の評価 ——

【まえがき】

レーダ雨量計による降雨観測は既に10年以上の歴史を有し、河川管理や道路管理の面から必要不可欠のものとなっている。従来の地上雨量計では地点雨量は正確に求められるが、面的な雨量の観測には不十分であって、この欠点を補い、かつ雨域の移動状況を実時間で監視しうるものとしてレーダ雨量計の果たす役割は大きい。

土木研究所ではレーダによる降雨量観測の研究を昭和40年代始めから開始し、関東地方建設局と共同で現在のレーダ雨量計システムを実用化してきた。この間に昭和53年度から土木研究所の特別研究として、「レーダ雨量計を用いた流出予測シミュレータの開発」が採択され実施されている。その研究成果のひとつに、本報告書で分析した雨域追跡法による降雨の短時間予測がある。

降雨量の量的な予測は科学技術が高度に発達してきている現在にあっても非常に困難な課題のひとつである。降水現象は大気の物理諸現象の相互作用の結果として生起するもので、大気乱流構造、熱力学過程等の時空間変化を記述する方程式系で表現されるが、未解明の問題が数多く残されていることから、降雨量の予測は単純なモデル化に依存することが多い。現実的には雨域が大気流と共に移流されるという現象に着目した雨量予測がとられており、このための手段としてレーダエコーの移動を利用する方法が世界各国で研究されてきている。

本報告書は土木研究所の特別研究「レーダ雨量計を用いた流出予測シミュレータの開発」で開発実用化された「雨域追跡法」の特性と予測精度を詳細に多量のデータを用いて分析評価したものである。「雨域追跡法」は前水文研究室長石崎勝義、前水文研究室研究員中尾宏臣の両氏が構想し開発した、非常に実用的な方法であり、短時間降雨予測に充分活用可能な方法である。

本報告書ではこの雨域追跡法の予測特性と予測精度の評価を中心に、対象降雨例を増し、評価基準を明らかにして分析したものである。この報告書は水文研究室部外研究員兪朝夫（現在 ㈱建設技術研究所）が中心となってとりまとめたものである。ここに利用したレーダデータ、地上データは全て関東地方建設局、およ

び利根川ダム総合管理事務所の方々の御協力により入手したものであって、記して深く謝意を表したい。本資料が同様な問題に携わる方々の参考になれば幸いである。

昭和61年10月

水文研究室 室 長 吉野文雄

研究員 水野雅光

齋 朝夫

レーダ雨量計による短時間降雨予測に関する調査報告書

—— 雨域追跡法の予測特性と予測精度の評価 ——

目次

第1章	雨域追跡法に基づく短時間降雨予測手法の概要	1
1-1	短時間降雨予測の現状	1
1-2	雨域追跡法に基づく短時間降雨予測手法	4
第2章	移動ベクトルに関する調査	6
2-1	雨域支配率と移動ベクトルに関する検討	6
2-2	移動ベクトルの時系列分析	33
2-3	移動ベクトルに関するまとめ	34
第3章	発達・衰弱に関する調査	39
3-1	発達・衰弱の特性	39
3-2	発達・衰弱の外挿に関する検討	57
3-3	発達・衰弱量と地形量、気象量の関係	60
3-4	地形性降雨について	66
3-5	発達・衰弱に関するまとめ	69
第4章	予測精度の評価	70
4-1	予測精度の定性的評価	70
4-2	予測精度の定量的評価	84
4-3	他の予測手法による予測精度	95
第5章	今後の課題	100
参考文献		101
付属図集		105

第1章 雨域追跡法に基づく短時間降雨予測手法の概要

1-1 短時間降雨予測の現状

現在提案されている短時間降雨予測はほとんど運動学的手法に基づくものである。短時間降雨予測の方法には他に物理的手法、統計的手法があるが、これらは次の理由であまり用いられていないようである。すなわち物理的手法においては、方程式系の記述、初期条件の設定が困難なうえ、数値計算に多大な時間を要するため即時性を要求される短時間降雨予測には不向きである。また降水現象と地形量、各種気象量の間到现在までのところ明確な相関関係が見つかっていないため、統計的手法の適用も困難である。

近年のレーダ雨量計の実用化が運動学的手法に基づく短時間降雨予測の有用性を大いに高めたと言えよう。すなわち運動学的手法に基づく短時間降雨予測を行うには、広範囲の面的な降雨状況が連続的かつ即時的に入手できることが重要となるが、レーダ雨量計はこのような要請に十分答えることができる。

運動学的手法に基づく短時間降雨予測手法を移動ベクトルの求め方に着目して分類すると次のように大別される。

- ① 雨域追跡法
- ② 移流方程式に基づく方法
- ③ その他の方法

以下簡単にこれらの方法について述べる。

1) 雨域追跡法

現在用いられている雨域追跡法には相互相関関数法、ミニマムディファレンス法、関連係数法、重心追跡法がある。相互相関関数によるものは、 Δt 時間離れた2枚のエコー図（エコー図とはレーダ雨量計などから得られた空間的な降雨分布図を指すものとする。）の間で、 $T - \Delta t$ のエコー図を種々の方向にずらして、これら2枚のエコー図の間で相互相関関数を算出し、これらのうち最も大きな相互相関関数を示す移動方向を雨域の移動ベクトルとするものである。¹⁾ 通常 Δt は15分～60分のいずれかに固定することが多いが、前30分間の10分間ずつの移動ベクトルの和によって設定している例もある。²⁾

また、上記のような方法で移動ベクトルが設定されても相互相関係数の最大値 r_{max} がある値以下では予測を行わないという判定条件が導入されている例も多い。

1)・2) 通常追跡される雨域はレーダ観測域全体を対象にしており、各セルの移動を追跡するものでない。しかしながらエコー域全体が一様な動きをしないと認められる場合には対象域をsub-areaに分割し各sub-area毎に移動ベクトルを算出することもある。1)・3)

ミニマムディファレンス法は相互相関関数の代わりに $\sum |E(T) - E(T - \Delta t)|$ なる指標を用いるものである。ただし $E(T - \Delta t)$ はある一つの方角へ移動させた後の $T - \Delta t$ 時刻の降雨強度である。関連係数による方法はある降雨強度(いき値と呼ぶ)以上の降雨強度を示すメッシュを1, それ以下のメッシュを0として全メッシュを2値化する。次にこの2値化した $T - \Delta t$ 時刻のエコー図を種々の方角にずらして、 T 時刻のエコー図と重ね合わせ関連係数を求め、最大の関連係数を示す移動方向、距離を移動ベクトルとするものである。4) いわば相互相関関数に代えて関連係数を用いるものである。

重心を追跡する方法はエコー域の重心の動きで移動ベクトルを設定するものである。まず個々のエコー域を判別した後、各エコー域について重心を求め移動ベクトルを求める方法が一般的である5)・6)

2) 移流方程式に基づく方法

移流方程式(1)式の各偏微分項をエコー図用いて差分化し、未知量(u, v, Q)を最小2乗法で求めるものである。7) 椎葉らの方法は各未知量を位置座標の一次式で表現しこの係数値を同定する方法となっている。8)

$$\frac{dZ}{dt} + u \frac{dZ}{dx} + v \frac{dZ}{dy} = Q \quad (1)$$

ここに Z :降雨強度, Q :発達・衰弱量

また移流方程式に拡散項を加えた移流拡散モデルにより短時間降雨予測を行うとする試みもあるが、9) 現在のところ Δt を1分間とし5分後の予測を行っている段階にとどまっている。

3) その他の方法

その他の方法のまず第1には上層風(700mb)の風向、風速をそのまま移動ベクトルとして採用する方法が挙げられる。10) この方法はエコーの移動と上層風の相関が高いことを利用したものであるが、上層風のデータは時空間的に非常に疎なものしか得られず実際の予測に用いるのは困難と言えよう。

人間のパターン認識能力と電算機の演算能力を組合わせた予測手法をマン・マシーンシステムと呼ぶが、この方法を利用した方法に利根川ダム統管のベクトル内挿法¹¹⁾、竹内の線形速度場における補外¹²⁾がある。ベクトル内挿法は Δt 時間離れた2枚のエコー図の対応する10点以内の特徴点を人間が指定し、これらによって設定されたベクトルを変分法で内挿する方法である。また竹内の方法は時刻 $T - \Delta t$ の降雨強度面を $f_{T-\Delta t}(x, y, z)$ 、時刻 T での降雨強度面を $f_T(x, y, z)$ とし $f_{T-\Delta t}$ から f_T への変形を線形と仮定し、これを変形テンソルで記述するものである。(ただし x, y は平面位置座標、 z は降雨強度である。)この方法のパラメータは移動速度(u, v, w)とテンソル成分の計12個である。これらパラメータの決定にあたっては先のベクトル内挿法と同様に Δt 時間隔てた2枚のエコー図で対応する雨域を4つ以上指定するものである。これら2方法は雨域の伸縮・回転を表現できる点で優れているが対応する雨域の指定に経験を必要とする点、また個人差の生じる可能性のあることが問題となる。

上記以外の独創的な予測手法には、カルマンフィルターを用いた下垣らの方法¹³⁾と日野の方法¹⁴⁾がある。下垣らの方法は降雨量の空間分布のパターンを分類し、これら分類された各パターンの定量化された特徴にカルマン理論を適用し降雨量の空間分布を予測するものである。一方日野の方法は降雨強度の空間的分布を仮想的な弾性平板の撓みに対応させ仮想荷重の変動により降雨分布の変化を表現しようとする方法である。荷重点の位置、移動速度、仮想荷重の値を記述する状態方程式を作成し、これらの係数をカルマンフィルターによって決定する。予測はこれら係数を用いた外挿となる。

これら2方法は適用例が少なくその予測精度が明らかでない。また長大な演算時間を要求するうえ基本となる概念も難しい。このため現場での適用には多くの課題があると考えられる。

1-2 雨域追跡法に基づく短時間降雨予測手法

運動学的手法による降雨予測の基本は、予測開始時点における移動ベクトルを設定し、この移動ベクトルにより降雨域を時間的に外挿するものである。この移動ベクトルの設定方法には、前記1-1で述べたように多くの方法がある。水文研究室では次のような理由から関連係数を用いた雨域追跡法に基づく短時間降雨予測手法を開発した。（土木研究所資料第2078号 レーダ雨量計の観測特性と精度向上に関する調査報告書）

- ① メソスケールの雨域を対象とすること。気象現象のスケールとその継続時間の関係を考えると、降雨予測は中規模程度現象（メソスケール、 100km^2 のオーダー）を対象にすべきであり、個々のエコーの追跡は必ずしも必要でない。建設省では実用的な観点から数時間先の予測を目途としており、ライフスケールが数時間以上の現象を対象とする必要がある。スケールが大きくなる程現象の寿命が長くなるが、 10km のオーダーではそれは数10分程度であり^{5), 6), 7)}補外の基本となる予測時間内の現象の持続性という条件が満足されないことになる。
- ② モデルが理解しやすく計算も簡易な方が望ましい。
- ③ 発達・衰弱項をモデルに導入しやすい。
- ④ 降雨パターンの形状によって移動ベクトルの推定精度が変わらないこと。

この雨域追跡法による降雨予測手法を簡単に述べれば次のようである。

- 1) エコー図においてある降雨強度（いき値と呼ぶ）以上の降雨強度を示すメッシュを1、それ以下のメッシュを0とし全メッシュを2値化する。
- 2) この2値化した $T - \Delta t$ 時刻のエコー図を Δx 、 Δy だけ移動させて T 時刻の2値化したエコー図と重ね合わせ、関連係数の最大値を示す方向、距離を移動ベクトルとする。
- 3) この設定した移動ベクトルを用いて $T - \Delta t$ 時刻のエコーを移流させて、 T 時刻のエコー図と重ね合わせるにより $E(T) - E(T - \Delta t)$ を求め Δt 間の発達・衰弱量とする。
- 4) 前記2)で求めた移動ベクトルで T 時刻のエコーを5分間隔で移流するとともに、前記3)で求めた発達・衰弱量も定値外挿して、各時刻のエコー図を予測する。予測雨量はこれらエコー図から降雨強度を5分間の降雨量に変換し累加して求める。

このように本予測方法ではみかけの発達・衰弱に惑わされることなく、中規模の降水現象に着目して移動ベクトルを求めている。そのうえエコー図を2値化して関連係数を算出しているため、相互相関関数法に比べ計算も比較的容易で演算時間も短縮される。なおここに示した発達・衰弱量の算定法、外挿法はその一例として示したものであり、必ずしもこの方法にこだわることはない。また発達・衰弱を考慮しない場合は3)のステップが省略されることになる。発達・衰弱を考慮しない予測方法をここでは「単純移流モデル」と呼ぶことにする。

雨域追跡法に基づく短時間降雨予測の精度は、移動ベクトルの設定及び発達・衰弱量の見積りをいかに正確に行うかに依存することは言うまでもない。本調査でもこの2点について考慮を加え、予測モデル改良の可能性を検討した。この結果を次章以降に示す。

第2章 移動ベクトルに関する調査

2-1 雨域支配率と移動ベクトルに関する検討

(1) 従来の単純移流モデルの評価

前述したように水文研究室で開発したモデル（以降「土研モデル」と呼ぶ）は発達・衰弱を考慮できる予測手法となっているが、本章では雨域支配率と移動ベクトルの関係のみを検討することを目的とし、発達・衰弱を考慮しない単純移流モデルを用いることにする。まず最初に従来の方法に基づく単純移流モデルの精度評価を行う。従来の方法とは全雨域のうち降雨強度が上から33%までの雨域の移動に着目しこれによって移動ベクトルを設定するものである。（以降この着目する雨域のパーセンテージを「雨域支配率」と呼ぶ。）

レーダ雨量データは建設省赤城山レーダのものを用いた。また計算対象とする降雨は1979～1982年の間に生起した比較的規模の大きい8降雨であり、低気圧、台風、前線など種々の降雨成因によって構成されるよう配慮した。ただし雷雨性降雨については、継続時間が短いうえ雨域も小さく予測精度を十分評価することができないため対象降雨から除外した。表2-1に対象降雨の一覧表を示す。

従来型の単純移流モデルによる予測精度は表2-2に示す通りである。なお本調査での予測精度の評価方法をここでまとめて記しておくことにする。

① 予測値と比較する実測値はレーダ雨量値とする。（地上雨量は用いない。）

従って地上雨量によるキャリブレーションは行わない。

② レーダ雨量計は通常3km×3kmのメッシュ値で表示されることが多い。しかし現在の降雨予測の精度及び使用目的から考えるとこのような小さな領域での適合度評価はあまり意味がない。一方評価対象面積が大きくなる程、予測精度は上昇する傾向がある。本報告では25メッシュ（15×15=225km²）の平均雨量で予測精度を評価することにした。これはダム流域の規模を目安にしたものであり、利根川上流6ダムの平均流域面積292km²から見て妥当であると言える。

③ 特にことわらないかぎり、1時間予測とは予測時点から1時間後の1時間雨量を、2時間予測とは予測時点1時間後から2時間後までの1時間雨量を予測しているものとする。3時間雨量も全く同じである。

表2-2から明らかなように、1時間予測では相関係数0.62～0.86とかなり高いが、2時間以上は予測精度が大巾に低下することがわかる。

表 2-1 予測計算対象降雨一覧

No.	降雨名	降雨成因	計算対象期間
1	19790514	低気圧	14日 5時～15日 4時
2	19791018	台風20号	18日 2時～19日 17時
3	19801019	前線	18日 19時～20日 15時
4	19810625	前線	25日 12時～26日 9時
5	19810822	台風15号	22日 0時～23日 1時
6	19820729	前線	29日 15時～30日 8時
7	19820801	台風10号	31日 15時～ 1日 19時
8	19820912	台風18号	11日 11時～13日 0時

表 2-2 (1) 従来型単純移流モデルによる予測結果の精度 (カテゴリ-表)
(1時間予測)

予測 実測	～2mm	2～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～	計
～2mm	18648	1741	14						20403
2～ 5	1528	7023	708	38	5	1			9303
5～10	30	512	649	95	12				1298
10～20	10	27	59	52	12	7	1	2	170
20～30	1	3	7	6	4	2	1		24
30～40	1	3	2	3	1				10
40～50									
50～		1							1
計	20218	9310	1439	194	34	10	2	2	31209

(2時間予測)

予測 実測	～2mm	2～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～	計
～2mm	12467	1928	144	26	2	1			14568
2～ 5	1790	3814	728	107	17	4	1		6461
5～10	98	483	252	43	4	2		2	884
10～20	37	38	28	8	2	1			114
20～30	8	7	1						16
30～40	1	1	1						3
40～50									
50～									
計	14404	6271	1154	184	25	8	1	2	22046

表 2-2 (1) 従来型単純移流モデルによる予測結果の精度 (カテゴリー表)
(3 時間予測)

予測 実測	～2mm	2～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～	計
～2mm	9017	1567	191	43	6	3	2		10829
2～5	1539	2373	506	70	14	1			4503
5～10	133	325	128	10	3	3			602
10～20	26	30	19	7	1			2	85
20～30	5	2	2	1		1			11
30～40	1		1						2
40～50									
50～									
計	10721	4297	847	131	24	8	2	2	16032

15X15=125km²のメッシュの平均値で評価している。また実測、予測とも0mmの雨は除いている。

表 2-2 (2) 従来型単純移流モデルによる予測結果の精度 (相関係数など)

降雨名	1 時間予測		2 時間予測		3 時間予測	
	サンプル数	相関係数	サンプル数	相関係数	サンプル数	相関係数
19790514	1975	0.71	1430	0.35	1128	0.26
19791018	5391	0.86	4084	0.63	3262	0.42
19801019	4578	0.86	2684	0.56	1377	0.40
19810625	2518	0.82	1344	0.57	889	0.67
19810822	4018	0.76	2958	0.42	2044	0.42
19820729	2662	0.63	2099	0.32	1604	0.24
19820801	3926	0.62	2905	0.29	2202	0.23
19820912	5063	0.81	3558	0.53	2750	0.36
1)的中率	84.5		75.0		71.9	
2)C. S. I.	73.5		57.9		49.9	
3)表現率	85.5		74.1		67.2	
4)一致率	84.0		72.5		65.9	

1)的中率 ランク一致サンプル数を全サンプル数で除したもの×100

2)C. S. I. Critical Success Index = $\frac{X}{X+Y+Z} \times 100$

3)表現率 $\frac{X}{X+Z} \times 100$

4)一致率 $\frac{X}{X+Y} \times 100$

実測 2mm	予測 2mm	
	W	Y
	Z	X

なお上記 4 指標は全降雨のデータによる。

(2) 関連係数と精度の関係について

エコー図を2値化パターンにするためのいき値は、雨域支配率を与えればエコー図の雨量強度分布より自動的に決定される。既往の検討成果^{8)・9)}では雨域支配率を33%とした時に安定した移動ベクトルが得られるとしている。図2-1は雨域支配率を33%に固定した場合の関連係数と予測精度(予測精度は相関係数で代表させている)の関係を示したものである。1時間予測の場合両者には弱い相関があり、関連係数を上昇させると予測精度が向上する可能性を示唆している。図2-2は1時間予測の場合について洪水毎にこの関係をみたものである。洪水によってはこれら両者に全く関連のみられないものもあるが、19790514降雨、19791018降雨のようにこれら両者に強い相関関係が見られるケースもある。いずれにしても関連係数の小さいことは雨域の移動ベクトルがあまり明確に検出されていないことを意味するため、関連係数の上昇は予測精度の向上に寄与するものと考えられる。なお2時間、3時間予測では関連係数と予測精度の間に、ほとんど相関関係がなく、関連係数を上昇させても2時間、3時間予測の精度上昇につながらないことがわかる。すなわち2時間、3時間予測では移動ベクトルが正しく設定されても、それ以外の要素によって予測精度が支配されることを意味してしている。それ以外の要素とは、エコーの発達・衰弱や予測時間内における移動ベクトルの変化が考えられる。

関連係数は雨域支配率を与えれば2枚のエコー図から自動的に算出されるため、関連係数を上昇させるためには雨域支配率をトライアル的に変化させる必要がある。よって本調査では、関連係数(以後CAと記述する)0.7を一つの目安とし、CAがこれを下回った時には雨域支配率を変化させCAを算出し直し、CAが0.7を上回った場合の雨域支配率と移動ベクトルを採用して予測を行った。雨域の支配率は33%, 25%, 20%, 40%, 50%の5通りとし、この順序で雨域支配率を変化させた。(CAが0.7以上になればその時点で移動ベクトルが設定されるので、この雨域支配率の変更の順序は重要である。)またいずれの雨域支配率でもCAが0.7以上とならない場合には最大のCAを与える雨域支配率によって定まる移動ベクトルを採用する。ただし対象とする降雨は図2-2で関連係数と予測精度の間に全く相関関係の見られなかった19810625, 19810822, 19820729の3降雨を除く5降雨としている。

このような方法で予測した結果を図2-1と同様に関連係数と対比し図2-3

に示すように描いた。この図を先の図2-1と比較すれば、雨域支配率を種々変化させてもCAが0.7を上回らないケースがかなり見られること、関連係数を上昇させると予測精度が大巾に向上するケースが見られることがわかる。このことを一層明らかにするため、相関係数を先の雨域支配率を33%に固定した場合と比較したのが図2-4である。なお図中には両者の相関関数の差が0.01以上のもののみプロットしている。この図より次のことがわかる。1時間予測では精度上昇するケースが多いが、2時間、3時間予測では精度が上昇するケースと低下するケースがほぼ同程度である。また雨域支配率50%はトライアル計算において最後に置いたのかかわらず、良く採用されている。これは雨域支配率50%が最も良い関連係数を与えることが多いことを示している。なお2、3時間予測において関連係数を上昇させても予測精度の上昇しないことは当初の予想通りである。

次に採用された雨域支配率及び移動速度の変化傾向と予測精度の関係を示せば表2-3のようである。これより1時間予測では雨域支配率が33%より大きくなり、かつまた設定された移動速度が33%の時に比べて減少すれば予測精度の上昇する傾向のあることがわかる。また図2-4中に□印で示したものは、①雨域支配率が50%で、②移動速度が減少し、③関連係数が0.04以上上昇する、という3つの条件が満たされたケースを示すが、ほとんど全ての予測ケースで精度の向上することがわかる。

これらより上記のような仮説をたてることが可能である。

1. CAが大きく上昇した時のみ精度向上が顕著であり、CAがあまり上昇しない場合（本調査では0.04をその目安とした。）には33%の雨域支配率で移動ベクトルの設定が十分可能である。
2. 雨域支配率が50%の時に良好な関連係数となるのはいき値を小さくすることにより発達・衰弱の影響を受けずに安定した移動ベクトルを検出できるためである。
3. 移動速度が雨域支配率33%の時に比べて遅くなった場合に予測精度が上昇するのは雨域全体の移動速度に比べて強雨域の移動速度の早い場合があるためである。

上記の仮説を検証するため雨域支配率を50%に固定し予測計算を行うとともに、移動ベクトル設定の様子をエコー図から実際に見てみた。

図 2 - 5 は雨域支配率を 33%と 50%に固定した際の関連係数を比較したものである。これより関連係数自体は、雨域支配率を 50%した方が高い値を示す傾向がある。しかし図 2 - 6 から明らかなようにこれが直接予測精度の向上に結びつかない。これより基本となる雨域支配率は従来の検討成果通り 33%で良いと考えられる。

図 2 - 7 は雨域支配率を 33%から 50%に変化させた時に予測精度が向上するケースについて雨域の移動ベクトル設定の模様を見たものである。これより雨域支配率を 33%とした際には発達・衰弱の影響を受けていき値以上のエコー形状がかなり変形していること、および実際の移動速度よりかなり大きな移動速度を与えていることがわかる。

以上の検討より上記の 3 つの仮定はほぼ妥当であることが確かめられた。よって移動ベクトルの設定方法としては次のような方法が望ましいことになる。

- ① 雨域支配率を 33%とし関連係数、移動ベクトルを求め、関連係数が 0.7 以上の場合はそのままこれを移動ベクトルとして採用する。
- ② 雨域支配率 33%時の関連係数が 0.7 以下の場合には、雨域支配率を 50%とし関連係数、移動ベクトルを再び求める。これを先の関連係数、移動ベクトルと比較し、関連係数が 0.04 以上上昇しかつ移動速度が減少した時のみ 50%雨域支配率によって求めた移動ベクトルを採用する。

このような方法（以後「修正単純移流モデル」と呼ぶ）によって予測した結果を表 2 - 4 に示す。この結果を雨域支配率を 33%に固定した場合（表 2 - 2）と比較すると、1 時間、2 時間予測の相関係数は若干上昇しているが的中率、C.S.I.などの指標に関してはほとんど有意な差はない。しかし個々の予測ステップでの予測精度を見れば、図 2 - 8 に示すように従来型モデルに比べ修正モデルの予測精度が上昇していることがわかる。

次に修正モデルについてさらに詳しく精度を見てみよう。表 2 - 5 は 19820801 降雨を例にとり各予測ステップでの相関係数の時系列的推移を示したものであるが、1 時間予測ではほぼ安定した予測精度が得られており実用性の高いことがわかる。一方 2 時間、3 時間予測では時おり負の相関係数が見られるなど予測精度が大きく変動するうえ、その精度自体も低いと言える。次に C.S.I.に着目してみる。C.S.I.はその定義から明らかなようにある降雨強度に着目した的中率と考えられる。図 2 - 9 は C.S.I.と着目する降雨強度の関係を示したものであるが、通

常言われているように着目する降雨強度の増大にともない、C.S.I.が急速に低下することがわかる。

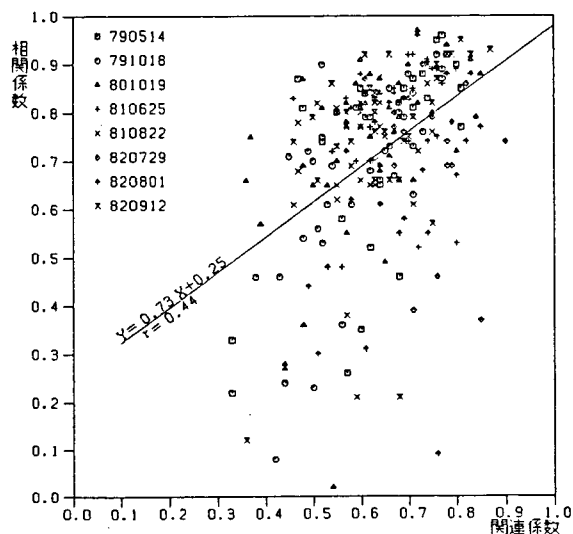


図 2-1 (1)
関係係数と予測精度の関係 (1 時間予測)
(従来型単純移流モデルによる)

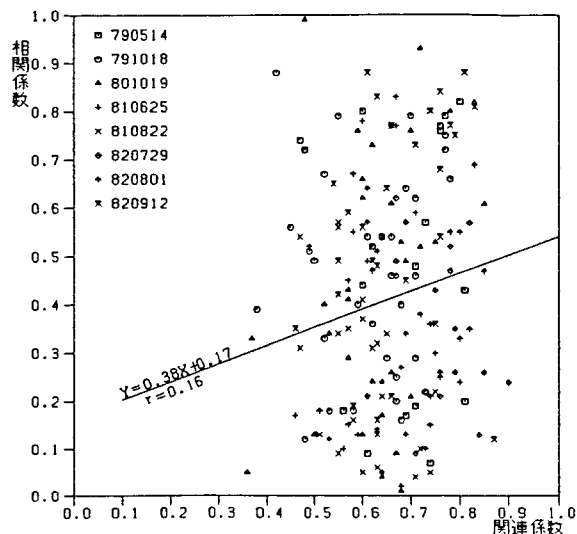


図 2-1 (2)
関係係数と予測精度の関係 (2 時間予測)
(従来型単純移流モデルによる)

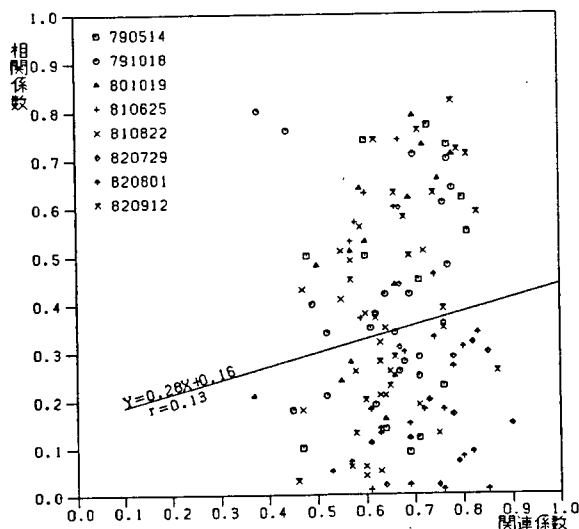


図 2-1 (3)
関係係数と予測精度の関係 (3 時間予測)
(従来型単純移流モデルによる)

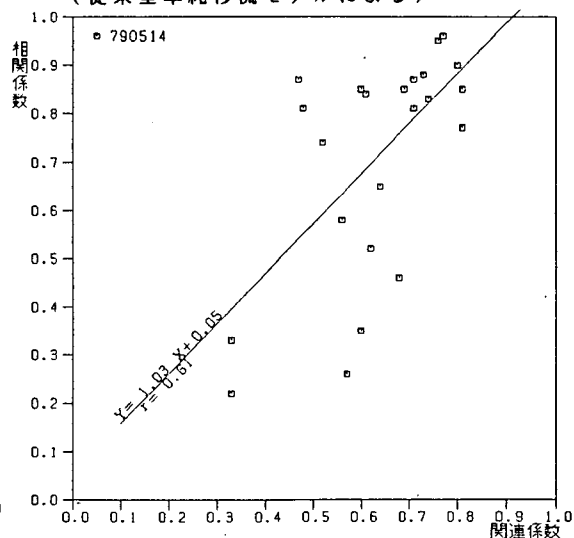


図 2-2 (1) 降雨毎の関係係数と
予測精度の関係 (1 時間予測)

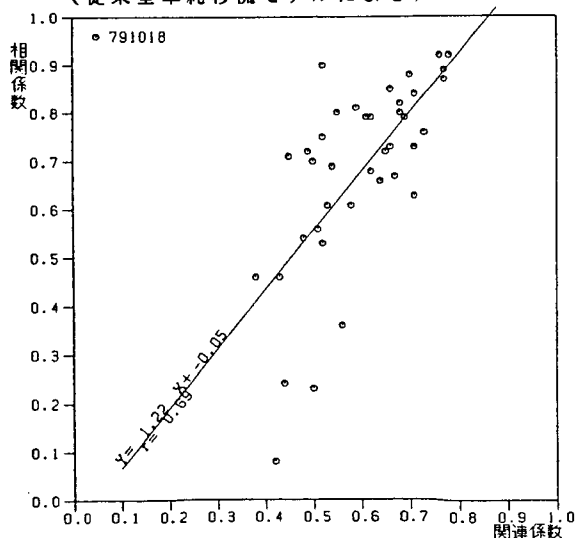


図 2-2 (2) 降雨毎の関係係数と
予測精度の関係 (1 時間予測)

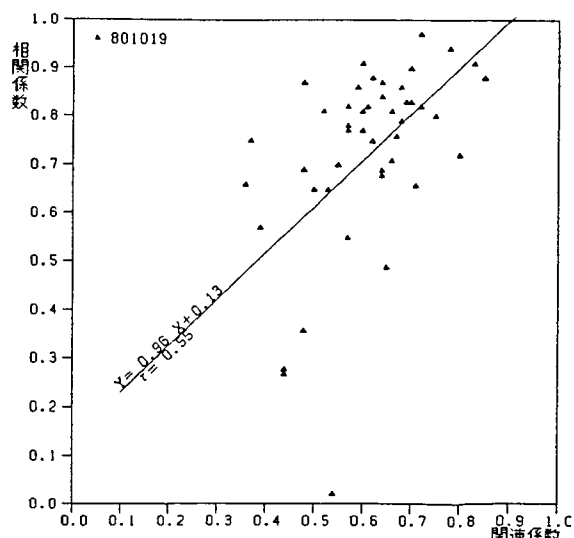


図 2-2 (3) 降雨毎の関係係数と
予測精度の関係 (1 時間予測)

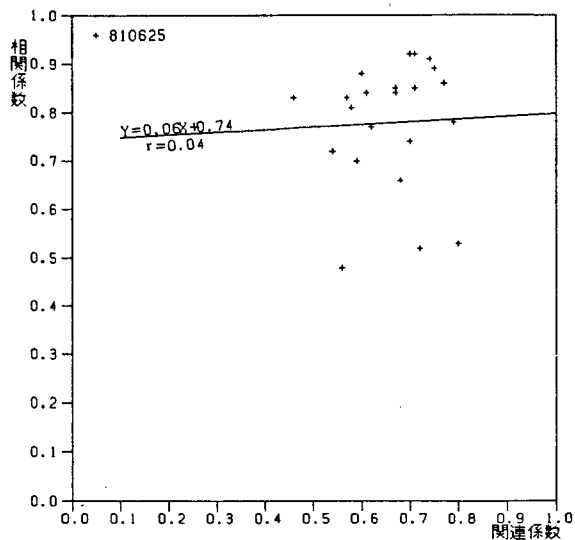


図 2-2 (4) 降雨毎の関連係数と
予測精度の関係 (1 時間予測)

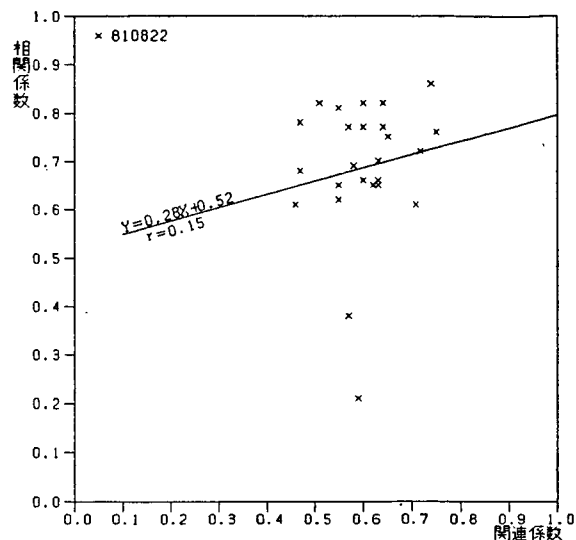


図 2-2 (5) 降雨毎の関連係数と
予測精度の関係 (1 時間予測)

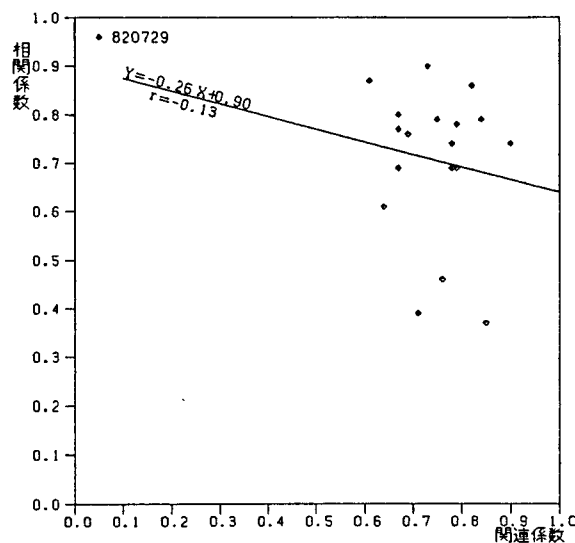


図 2-2 (6) 降雨毎の関連係数と
予測精度の関係 (1 時間予測)

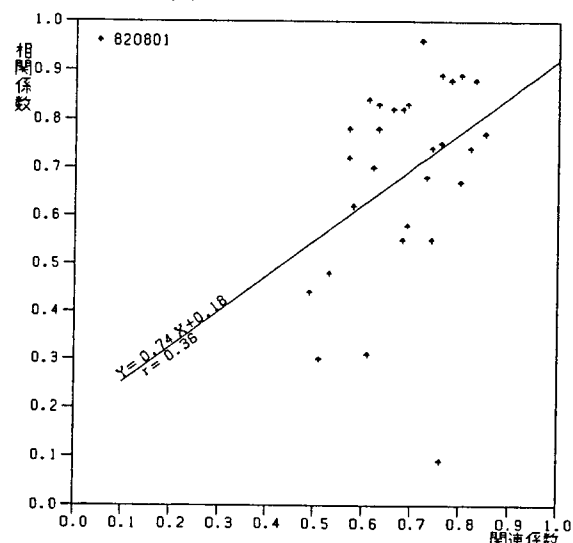


図 2-2 (7) 降雨毎の関連係数と
予測精度の関係 (1 時間予測)

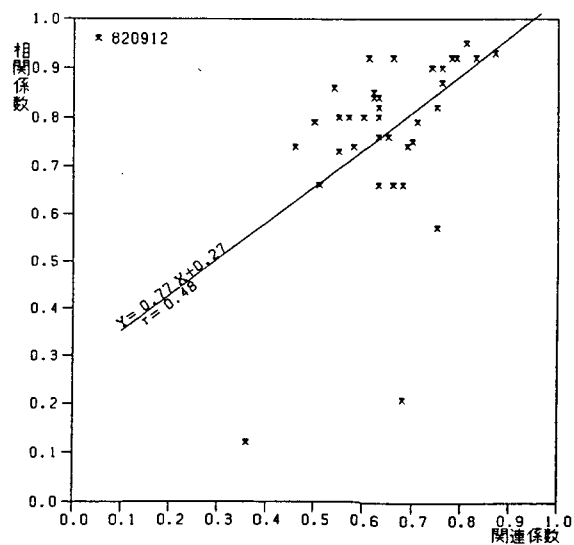


図 2-2 (8) 降雨毎の関連係数と
予測精度の関係 (1 時間予測)

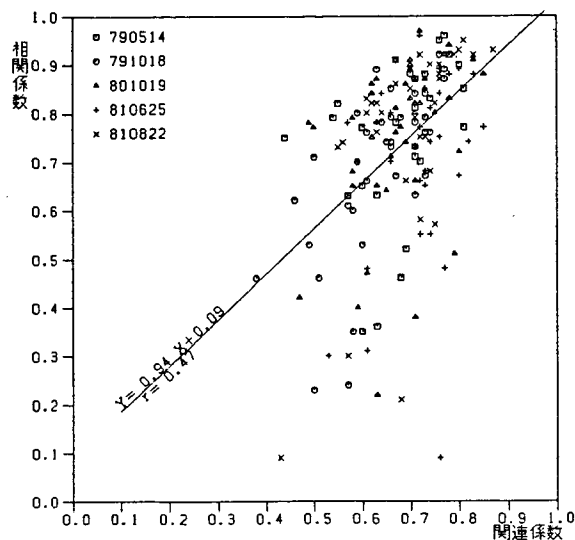


図 2-3 (1) 関連係数と予測精度の関係 (1 時間予測)

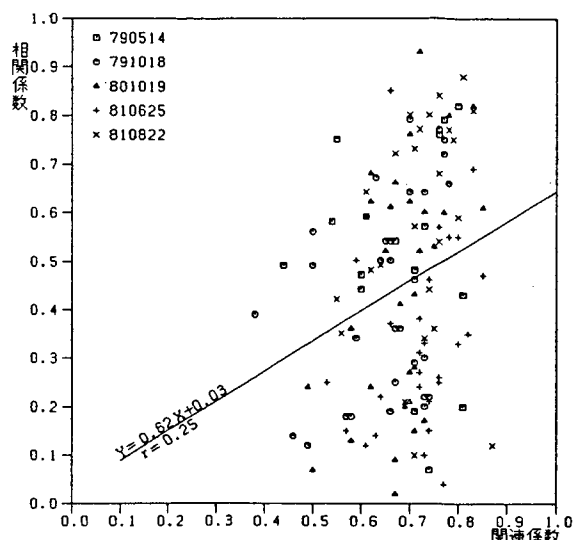


図 2-3 (2) 関連係数と予測精度の関係 (2 時間予測)

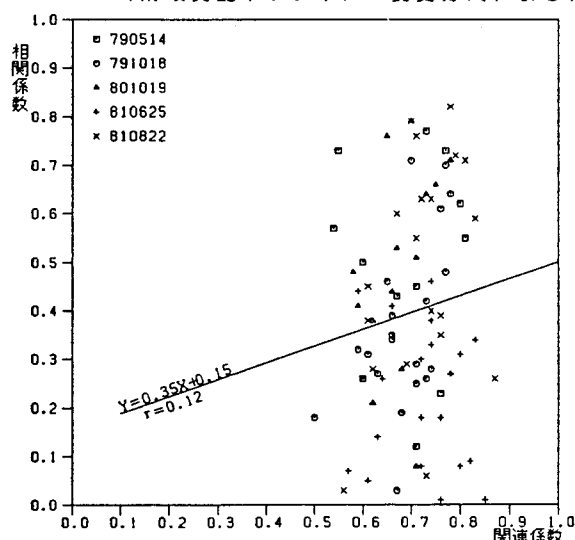


図 2-3 (3) 関連係数と予測精度の関係 (3 時間予測)

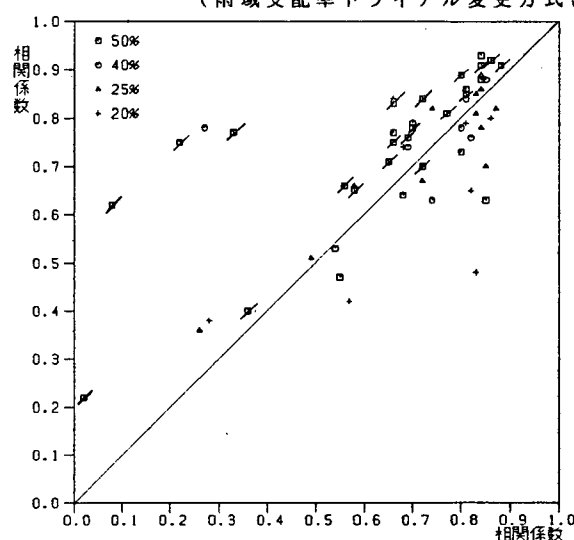


図 2-4 (1) 相関係数比較図 (1 時間予測)

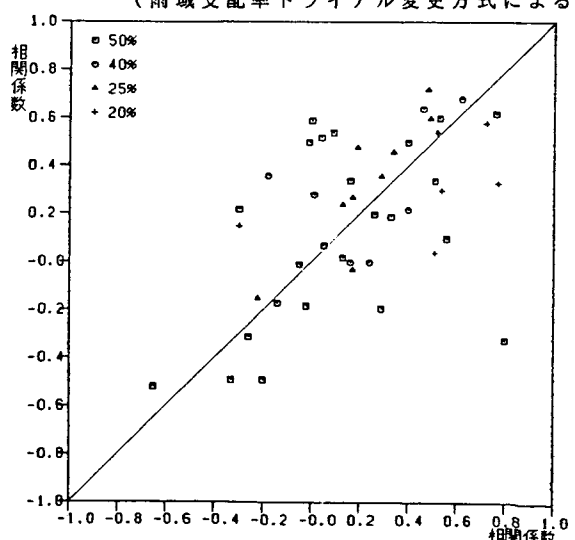


図 2-4 (2) 相関係数比較図 (2 時間予測)

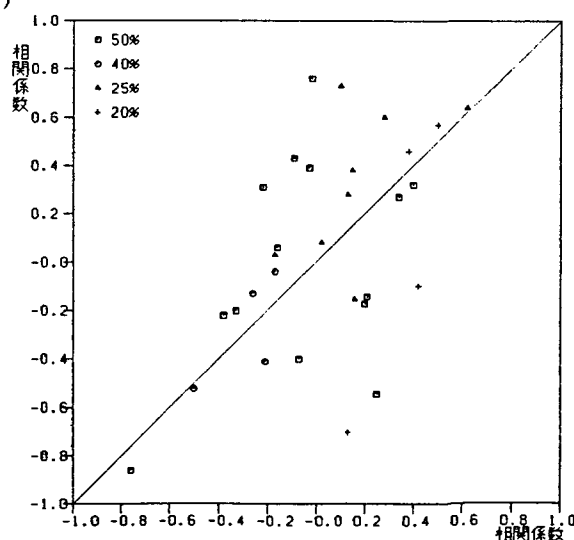


図 2-4 (3) 相関係数比較図 (3 時間予測)

(横軸; 従来型, 縦軸; 雨域支配率トライアル変更方式)

表 2-3 雨域支配率、移動速度の変化と精度変化の関係

予測時間		雨域支配率				移動速度の変化		
		50%	40%	25%	20%	減少	変化無	増大
1 時間	精度上昇	23	5	7	3	31	0	7
	精度下降	6	3	5	5	8	2	9
2 時間	精度上昇	11	4	8	2	20	0	5
	精度下降	13	3	1	4	9	1	11
3 時間	精度上昇	7	2	7	2	15	0	3
	精度下降	7	2	1	2	7	1	4

従来型モデル（雨域支配率33%）に対して雨域支配率をトライアルで設定した予測方法の精度変化を示したもの。精度上昇、下降、移流速度の変化の基本となるのは従来型モデル。精度は相関係数による判定。数字は予測回数。

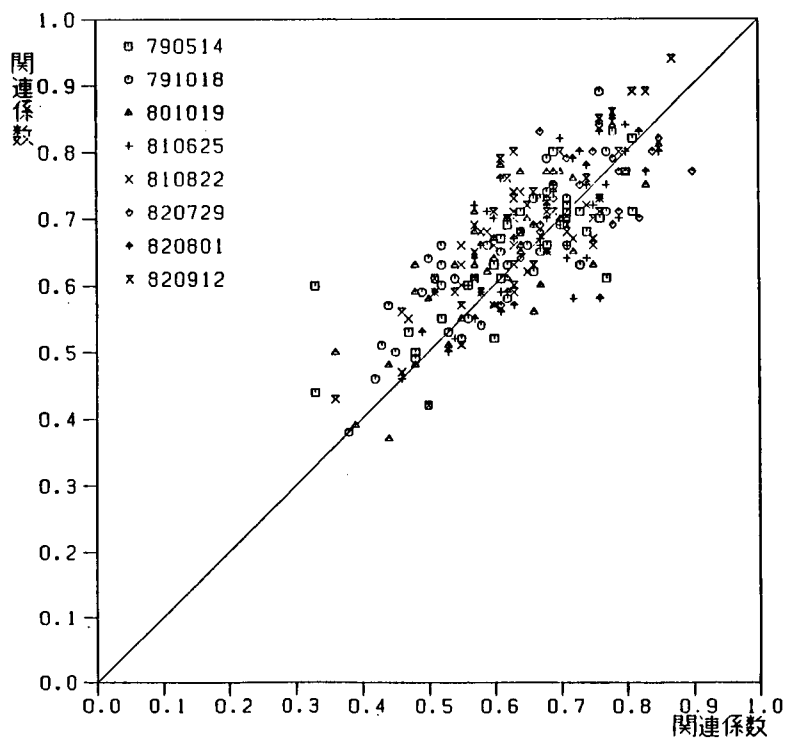


図 2-5 相関係数散布図
(横軸；従来型，縦軸；雨域支配率50%)

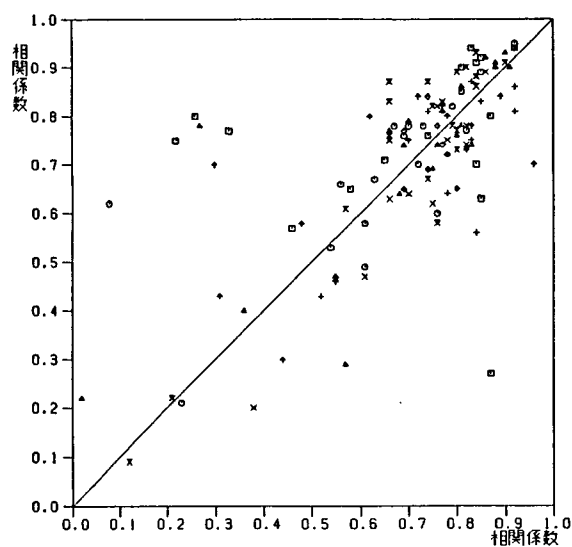


図 2-6 (1) 相関係数比較図 (1 時間予測)
(横軸；従来型，縦軸；雨域支配率 50%)

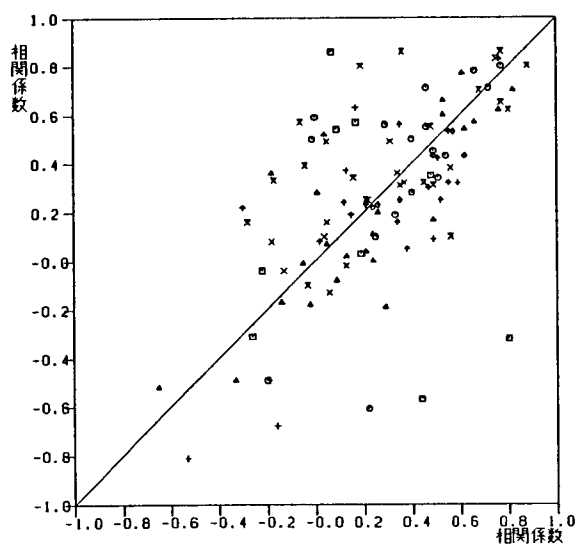


図 2-6 (2) 相関係数比較図 (2 時間予測)
(横軸；従来型，縦軸；雨域支配率 50%)

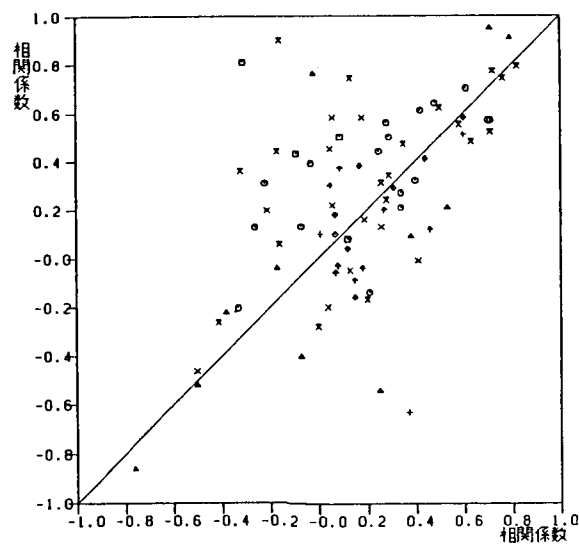
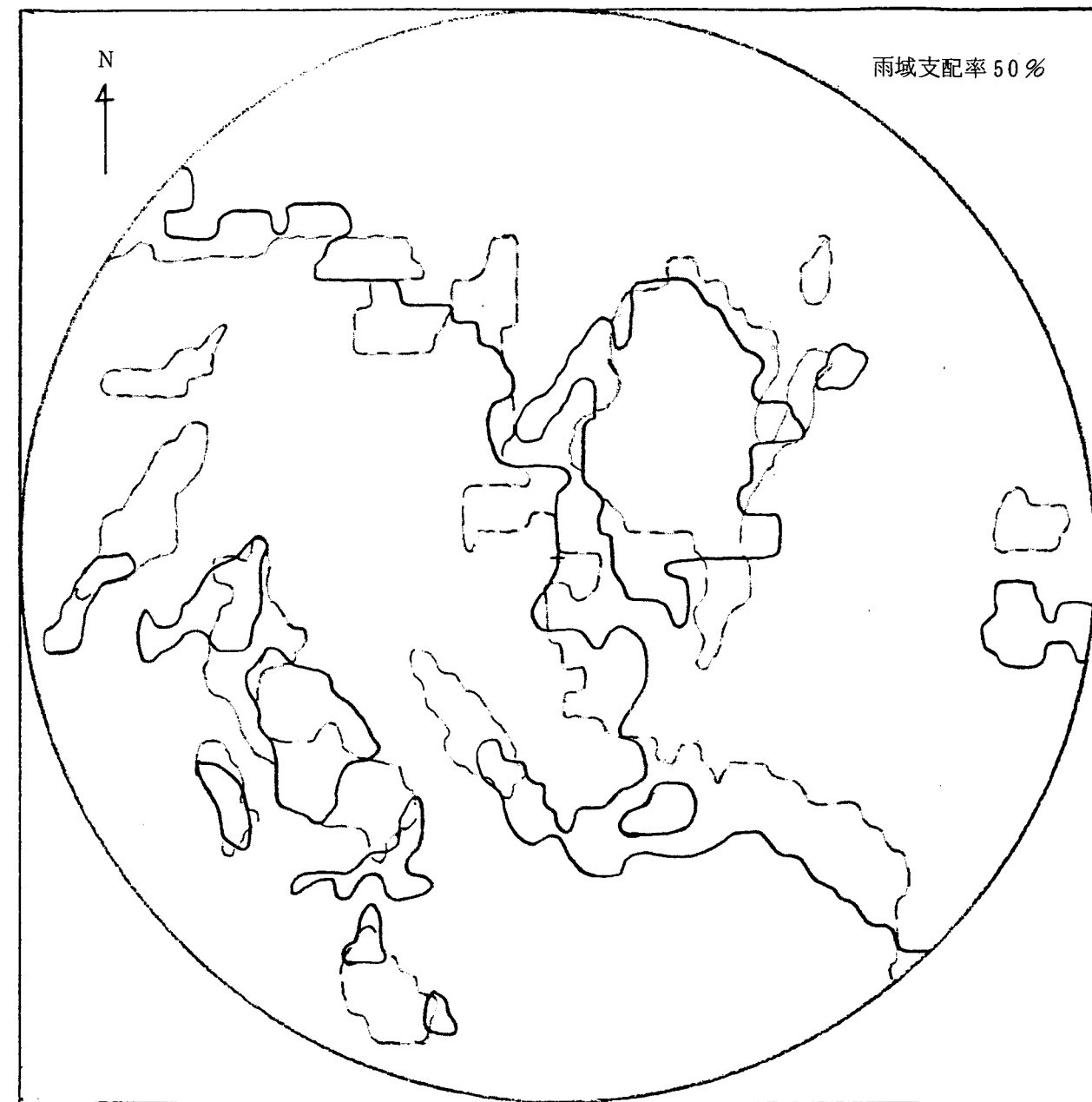


図 2-6 (3) 相関係数比較図 (3 時間予測)
(横軸；従来型，縦軸；雨域支配率 50%)

図2-7(1) 雨域の移動の様子

1982年8月1日15時45分～16時00分



0 50km

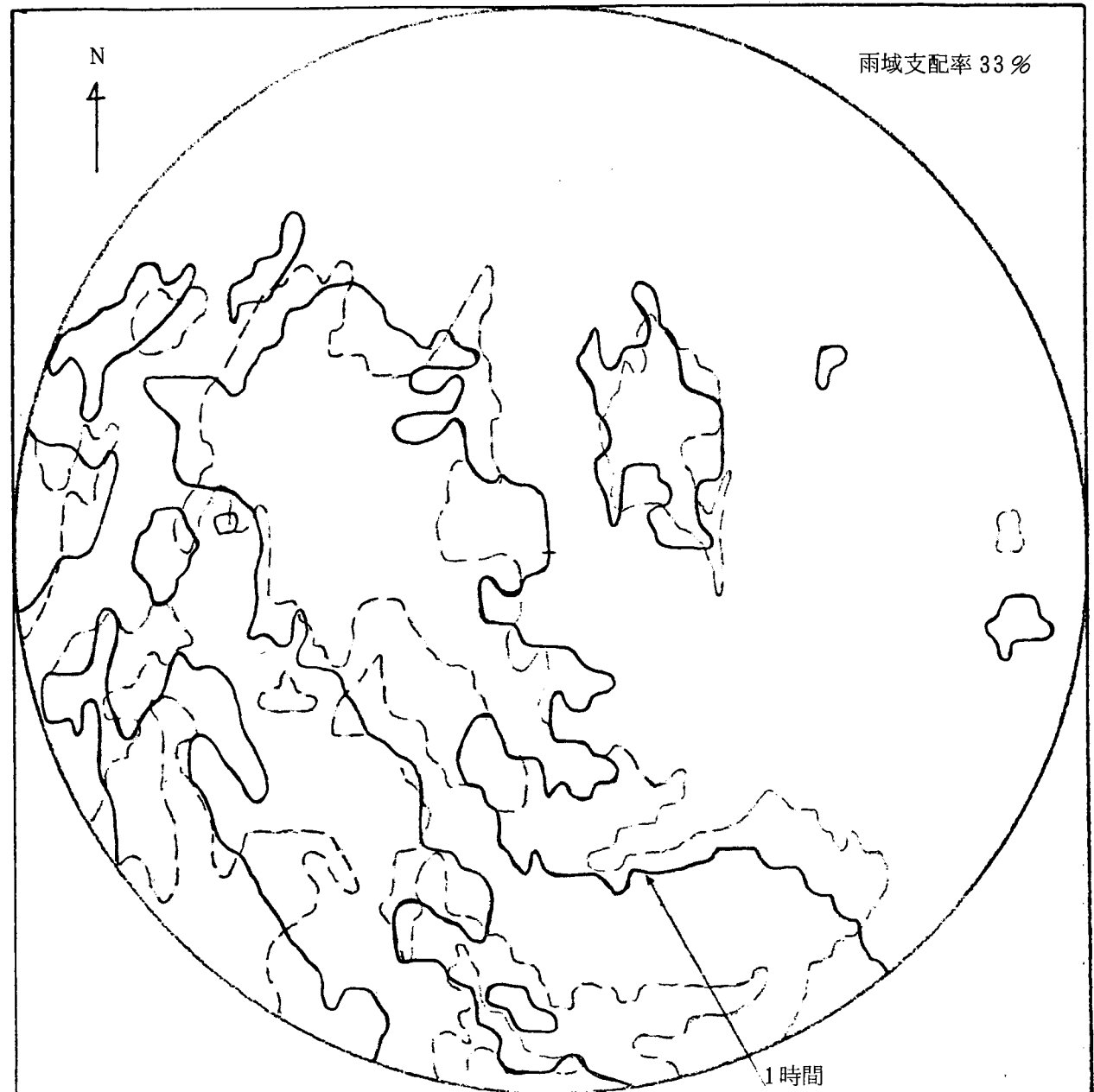
15時45分

16時00分

移動ベクトル	—°
	0 km/h
	0 km/15min
関係数	0.66

図2-7(2) 雨域の移動の様子

1982年8月1日15時45分～16時00分



0 50 km

15時45分

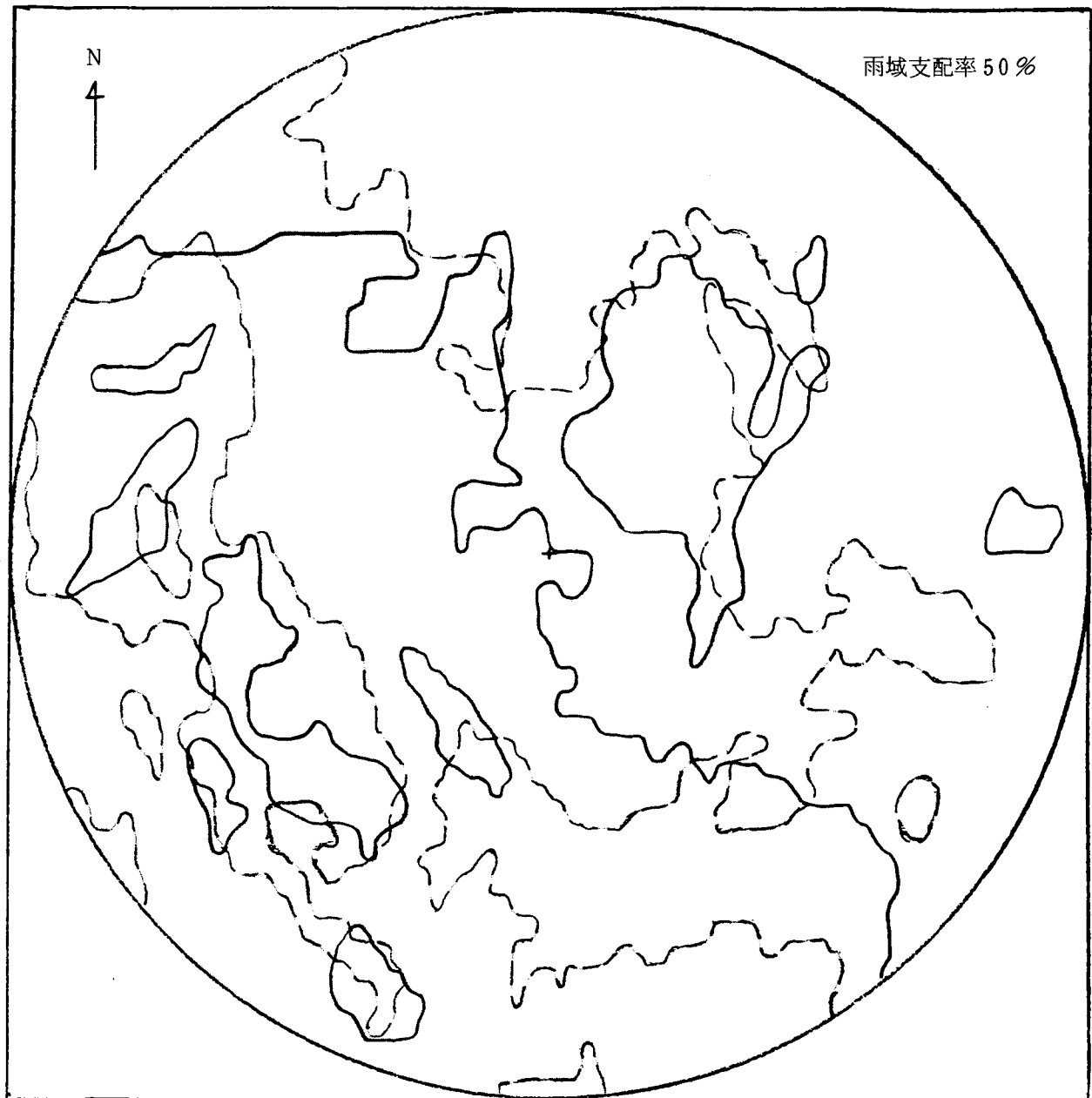
16時00分

移動ベクトル
15分

移動ベクトル	150.3°
	96.8 km/h
	26.9 km/15min
関係数	0.58

図2-7(3) 雨域の移動の様子

1982年8月1日16時00分～17時00分



0 50 km

16 時 00 分

17 時 00 分

図2-7(4) 雨域の移動の様子

1982年8月1日16時00分～17時00分

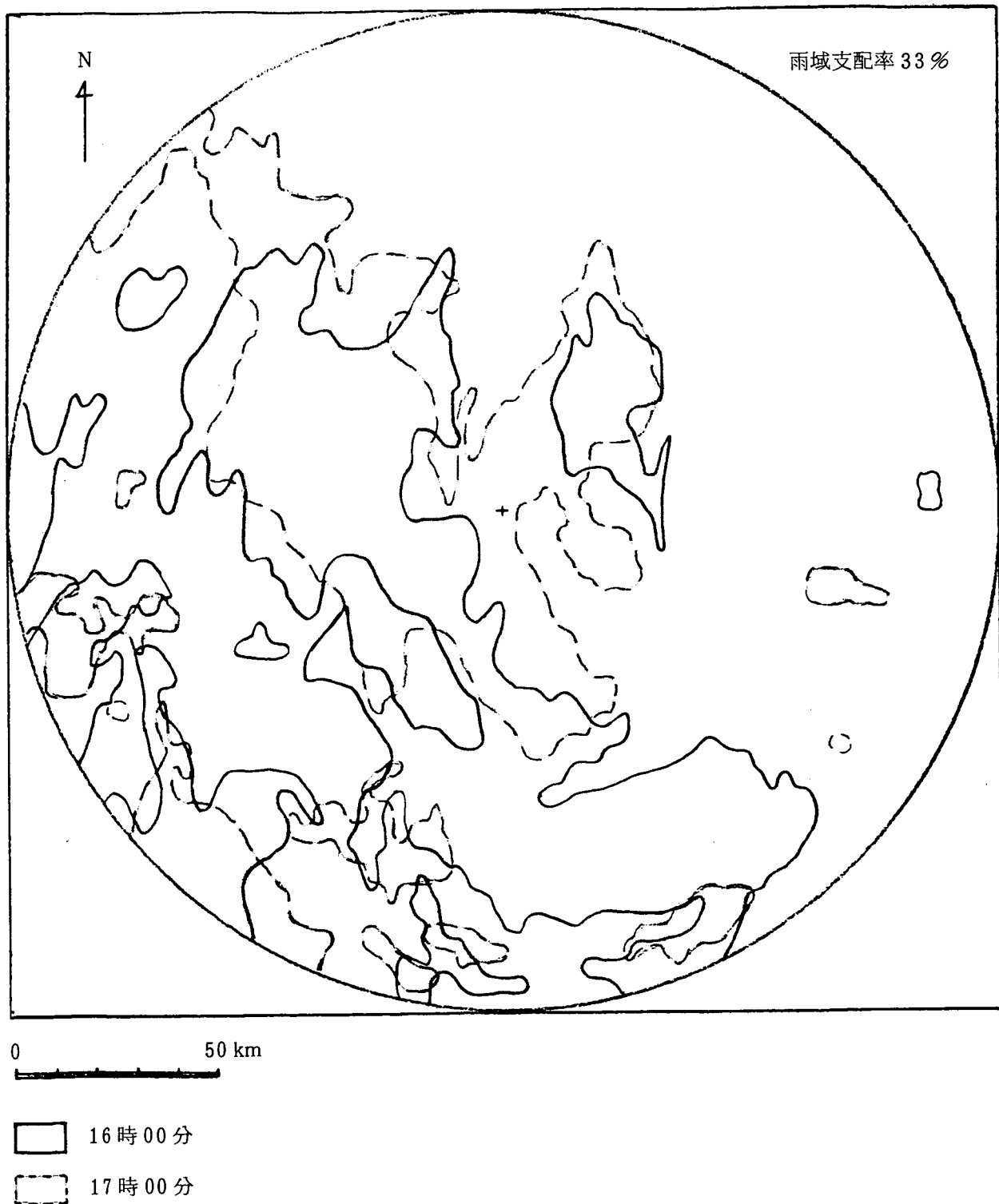
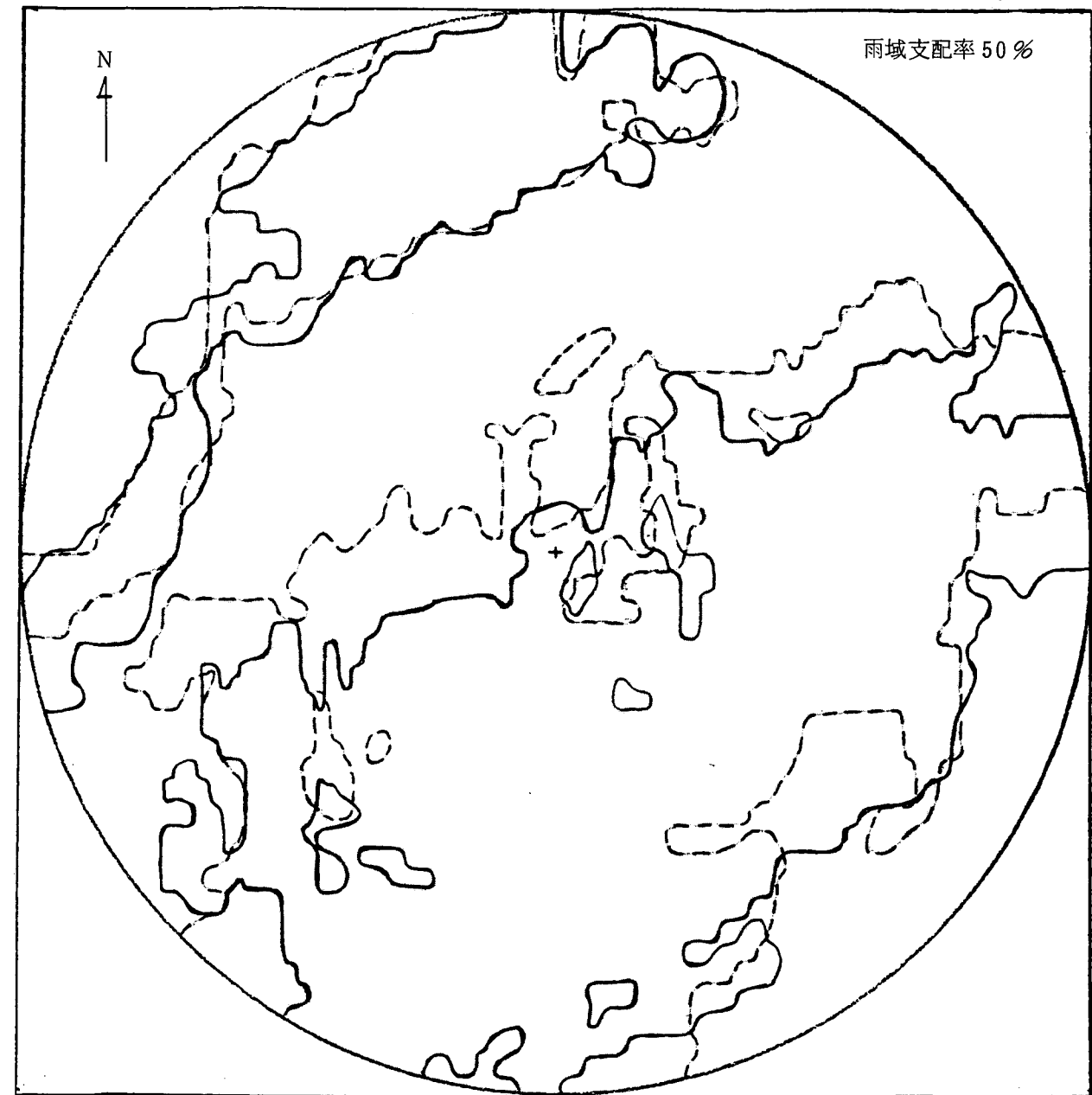


図2-7(5) 雨域の移動の様子

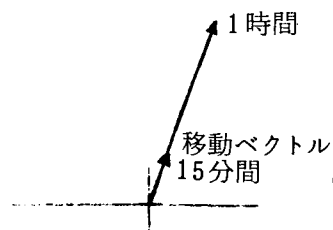
1982年8月1日10時45分～11時00分



0 50 km

10時45分

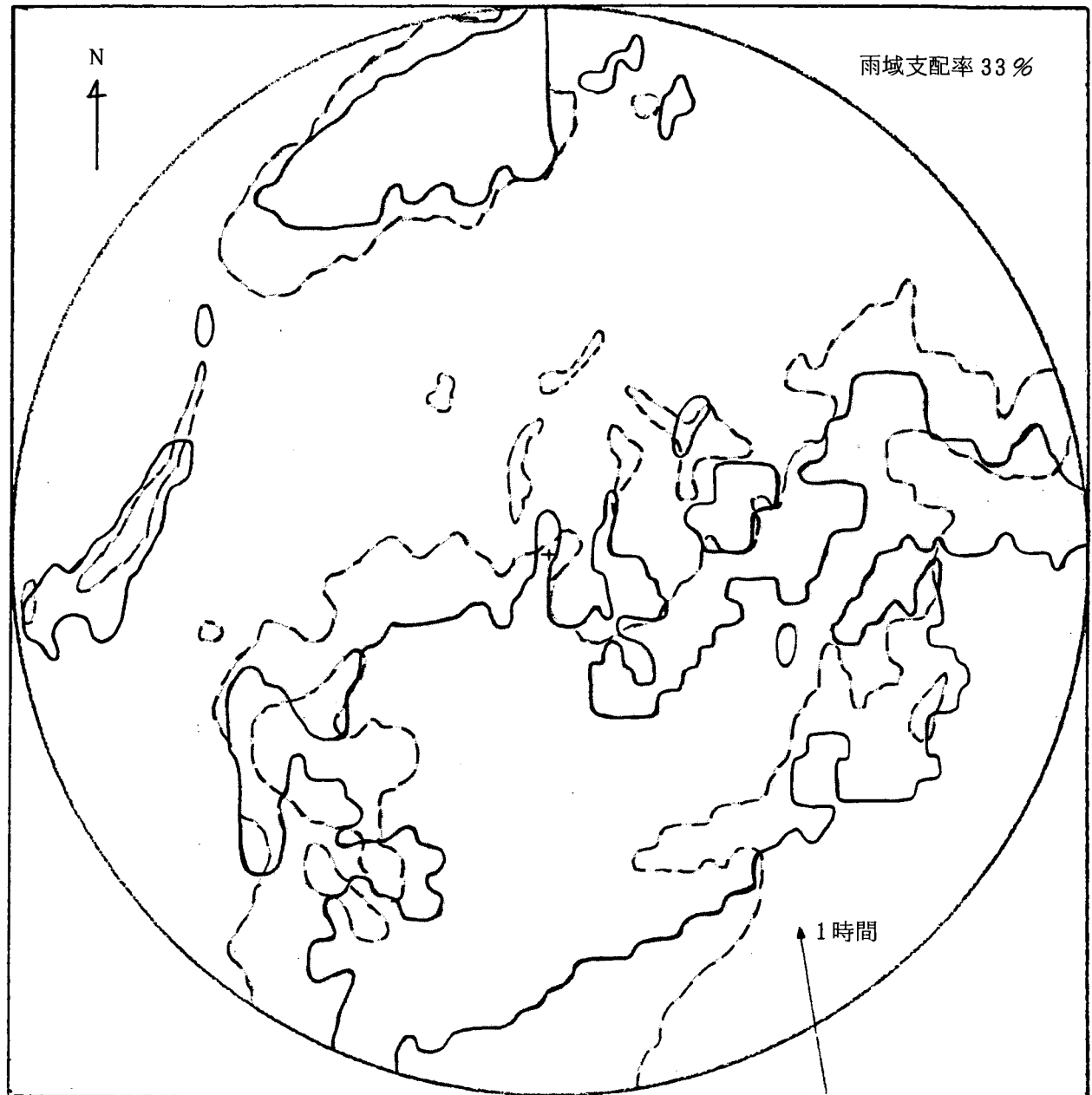
11時00分



移動ベクトル	198.4°
	37.8 km/h
	10.5 km/15min
関係数	0.64

図2-7(6) 雨域の移動の様子

1982年8月1日10時45分～11時00分



雨域支配率 33 %

0 50km

10時45分

11時00分

1時間

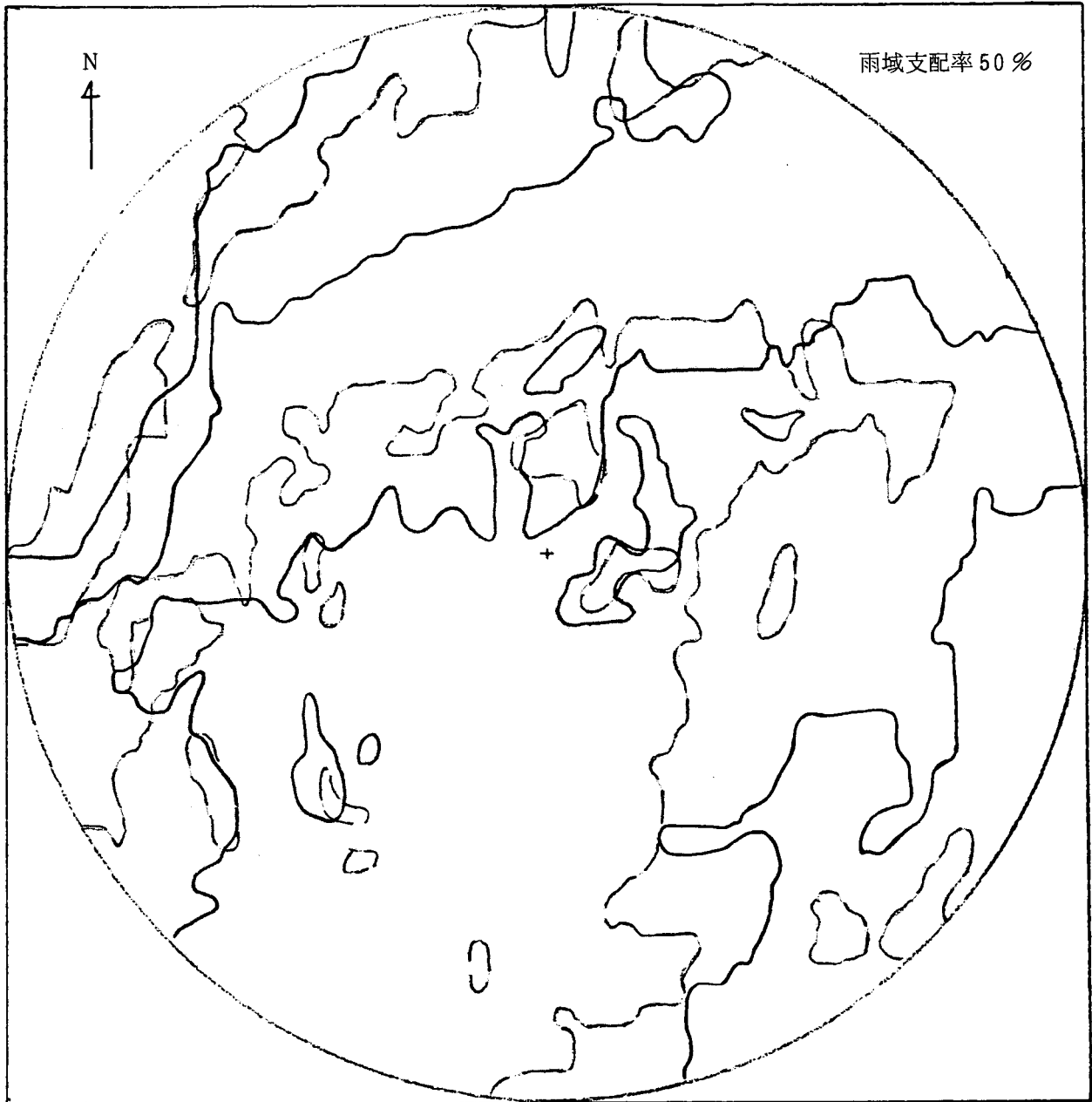
移動ベクトル

15分

移動ベクトル	170.5°
	73.1 km/h
	20.3 km/15min
関係数	0.57

図2-7(7) 雨域の移動の様子

1982年8月1日11時00分～12時00分



0 50 km

11時00分

12時00分

図2-7(8) 雨域の移動の様子

1982年8月1日11時00分～12時00分



0 50 km

11時00分

12時00分

表 2-4 (1) 修正単純移流モデルによる予測結果の精度 (カテゴリー表)

(1 時間予測)

予測 実測	～2mm	2～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～	計
～2mm	19174	1757	12						20943
2～ 5	1608	7277	699	41	2	1			9628
5～10	31	497	677	96	13				1314
10～20	10	25	59	54	12	8	1	2	171
20～30	1	3	5	10	4			2	25
30～40	1	3	2	3				2	11
40～50									
50～		1							1
計	20825	9563	1454	204	31	9	1	6	32093

(2 時間予測)

予測 実測	～2mm	2～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～	計
～2mm	13273	2065	134	26	2	1			15501
2～ 5	1952	4153	756	105	17	4	1		6988
5～10	105	512	296	48	4	2		2	969
10～20	37	39	35	10	2	2			125
20～30	8	7	1	1	1				18
30～40	1	1	1					4	7
40～50									
50～									
計	15376	6777	1223	190	26	9	1	6	23608

(3 時間予測)

予測 実測	～2mm	2～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～	計
～2mm	9869	1736	221	43	7	3	2		11881
2～ 5	1787	2669	529	76	14	1		2	5078
5～10	155	377	165	15	3	3			718
10～20	26	31	20	9	1	1		4	92
20～30	5	2	2	1		1			11
30～40	1		1						2
40～50									
50～									
計	11843	4815	938	144	25	9	2	6	17782

225km² のメッシュの平均値で評価している。

表 2-4 (2) 修正単純移流モデルによる予測結果の精度 (相関係数など)

降雨名	1 時間予測		2 時間予測		3 時間予測	
	サンプル数	相関係数	サンプル数	相関係数	サンプル数	相関係数
19790514	2088	0.72	1624	0.37	1289	0.28
19791018	5448	0.86	4238	0.63	3489	0.39
19801019	4662	0.86	2835	0.53	1502	0.34
19810625	2620	0.82	1522	0.57	1069	0.61
19810822	4042	0.76	3011	0.42	2119	0.43
19820729	2676	0.63	2132	0.32	1642	0.24
19820801	4151	0.64	3322	0.44	2659	0.23
19820912	5241	0.82	3865	0.55	3099	0.41
1)的中率	84.7		75.1		71.5	
2)C. S. I.	73.5		58.1		49.6	
3)表現率	85.2		74.1		66.5	
4)一致率	84.3		72.9		66.1	

1)的中率 ランク一致サンプル数を全サンプル数で除したものの×100

2)C. S. I. Critical Success Index = $\frac{X}{X+Y+Z} \times 100$

3)表現率 $\frac{X}{X+Z} \times 100$

4)一致率 $\frac{X}{X+Y} \times 100$

実測 2mm	予測 2mm	
	W	Y
	Z	X

なお上記 4 指標は全降雨のデータによる。

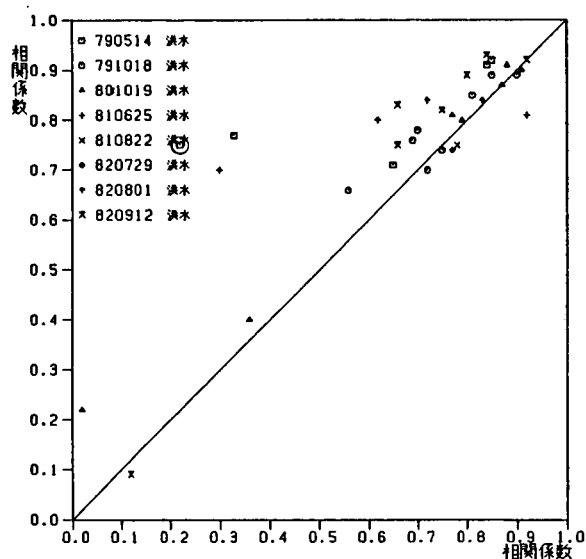


図 2-8 (1) 相関係数比較図 (1 時間予測)
(横軸；従来型，縦軸；修正モデル)

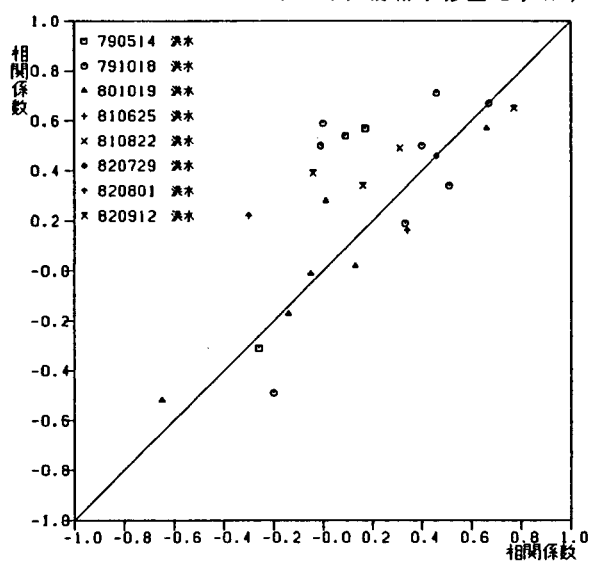


図 2-8 (2) 相関係数比較図 (2 時間予測)
(横軸；従来型，縦軸；修正モデル)

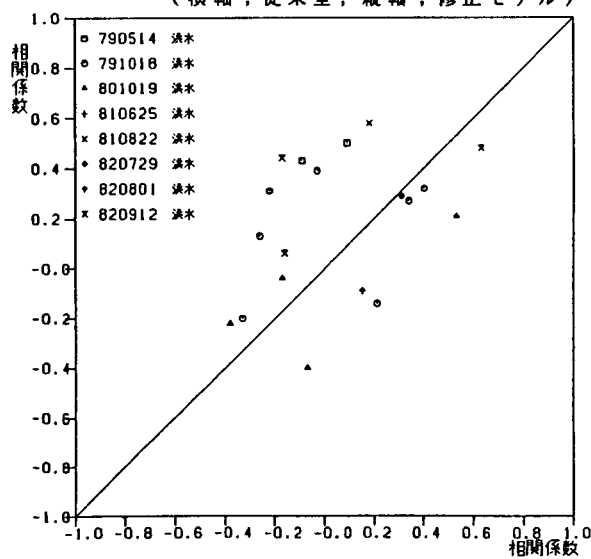


図 2-8 (3) 相関係数比較図 (3 時間予測)
(横軸；従来型，縦軸；修正モデル)

表 2-5 各予測ステップでの予測精度 (相関係数、19820801降雨)

予測開始時間	1 時間予測		2 時間予測		3 時間予測	
	サンプル数	相関係数	サンプル数	相関係数	サンプル数	相関係数
7月31日16時	168	0.48	147	0.12	130	0.05
17	180	0.58	180	0.13	180	0.02
18	166	0.74	156	0.15	142	0.33
19	166	0.55	156	0.21	142	0.33
20	156	0.67	134	0.33	108	0.31
21	155	0.74	128	0.35	103	0.09
22	142	0.77	108	0.47	72	0.01
23	156	0.75	134	0.25	108	0.18
8月 1日 0時	156	0.96	134	0.38	108	0.18
1	167	0.84	147	0.16	130	-0.09
2	156	0.88	134	0.69	108	0.34
3	142	0.88	108	0.55	78	0.27
4	131	0.68	84	0.10	43	-0.13
5	131	0.55	84	0.27	43	0.30
6	154	0.84	125	0.57	103	0.18
7	154	0.78	125	0.14	103	0.14
8	142	0.83	108	0.51	78	0.13
9	126	0.89	76	0.26	34	-0.15
10	142	0.89	108	0.55	78	0.08
11	142	0.84	108	0.22	72	0.26
12	166	0.82	156	0.77	142	0.60
13	103	0.70	34	0.47	0	—
14	118	0.82	60	0.02	14	-0.01
15	103	0.44	34	0.52	0	—
16	180	0.80	180	0.85	180	0.41
17	89	0.31	14	0.64	0	—
18	180	0.78	180	0.15	180	0.07
19	180	0.70	180	0.50	180	0.44
全データ	4151	0.64	3322	0.44	2659	0.23

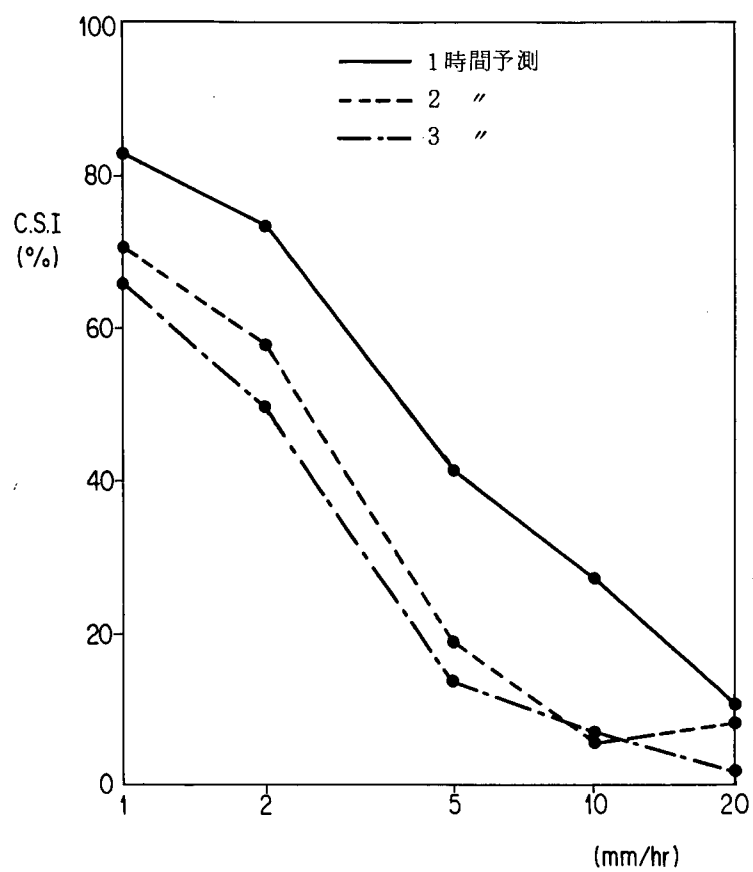


図 2 - 9 いき値と C . S . I . の関係

(3) 複数のいき値設定による移動ベクトルの検討

これまでに見てきたように強雨域は雨域全体の動きとやや異なった動きを示す場合がある。従って複数のいき値を設定し強雨域とそれ以外の雨域を別個に追跡すれば精度の上昇する可能性がある。ここでは次のような方法によって複数いき値の設定、移動ベクトルの検出、及び雨域の移動予測を行った。

- ① 雨域支配率を2通り設定する。これを A_1 、 A_2 とする。本調査では $A_1 = 33\%$ 、 $A_2 = 16.7\%$ とした。
- ② それぞれの雨域支配率 A_1 、 A_2 、に対するいき値をエコー図から算出する。これを、 T_1 、 T_2 [mm/hr]とする。当然 $T_1 < T_2$ である。
- ③ T_1 によってエコー図を2値化し、関連係数を算出し T_1 に対応する移動ベクトル V_1 を求める。同様に T_2 に対応する移動ベクトル V_2 を求める。
- ④ 予測にあたっては雨域全体を V_1 で移流させる。ただし降雨強度 R が T_2 を上回るメッシュに対しては T_2 [mm/hr]のみ移流させる。
- ⑤ 次に降雨強度 R が T_2 を上回るメッシュの残りの降雨強度 $R - T_2$ [mm/hr]を V_2 で移流させる。
- ⑥ ④で移流させた T_2 以下のエコーと⑤で移流させた $R - T_2$ のエコーを加算し、予測エコーとする。

すなわち強雨域と雨域全体それぞれ別個の移動ベクトルを設定するが、予測にあたってはまず T_2 以下(T_2 以上のエコーでは T_2 だけ)のエコーを V_1 で移流させた後、 $R - T_2$ のエコーを V_2 で移流させ加算する便宜的な方法をとるものである。

このような方法で予測した結果を表2-6に示す。また比較のため表2-6中に修正単純移流モデルの予測精度を記すとともに表2-7に1時間予測のカテゴリ-表を掲げた。表2-6からわかるように、いき値を複数設定することにより1時間予測では若干、予測精度の向上することがわかる。しかし表2-7、8のカテゴリ-表により修正単純移流モデルと複数移動ベクトルモデルを比較すると、期待していたような降雨強度の大きい部分での適合度の向上は見られない。例えば10mm以上の表現率を計算してみると前者は47%、後者は49%とわずかしき上昇していないことがわかる。また2時間、3時間予測では修正単純移流モデルより精度の下降する例も見られ、複数のいき値設定が予測精度の向上につながっていないことがわかる。

表 2-6 いき値複数設定した場合の精度

予測時間	指 数	19810822	19820729	19820801	19820912
1 時間	相 関 係 数	0.78	0.63	0.64	0.83
		0.76	0.63	0.64	0.82
	自乗平均誤差 (mm)	1.43	2.19	2.48	1.30
		1.49	2.16	2.55	1.31
2 時間	相 関 係 数	0.43	0.32	0.29	0.58
		0.42	0.32	0.44	0.55
	自乗平均誤差 (mm)	2.33	3.07	3.17	2.10
		2.42	3.09	3.23	2.21
3 時間	相 関 係 数	0.44	0.22	0.20	0.45
		0.43	0.24	0.23	0.41
	自乗平均誤差 (mm)	1.75	3.57	3.42	2.36
		2.01	3.56	3.93	2.53

上段はいき値複数設定時、下段は修正単純移流モデル

表 2-7 複数移動ベクトルモデルによる予測結果の精度 (カテゴリー表)

(1 時間予測 19810822, 19820729, 19820801, 19820912 の 4 降雨分)

予測 実測	～2mm	2～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～	計
～2mm	7175	868	8	1					8052
2～5	767	4603	508	37	2	1	1		5919
5～10	33	394	575	77	8				1087
10～20	10	21	57	53	8	9		3	161
20～30	1	2	4	10	5			1	23
30～40		4	1	3	1	1			10
40～50									
50～									
計	7986	5892	1153	181	24	11	1	4	15252

表 2-8 修正単純移流モデルによる予測結果の精度 (カテゴリー表)

(1 時間予測 19810822, 19820729, 19820801, 19820912 の 4 降雨分)

予測 実測	～2mm	2～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～	計
～2mm	7510	861	12						8383
2～5	876	4892	582	38	2	1			6391
5～10	31	442	600	90	13				1176
10～20	10	25	58	54	12	8	1	2	170
20～30	1	3	5	10	4			2	25
30～40	1	3	2	3				2	11
40～50									
50～		1							1
計	8429	6227	1259	195	31	9	1	6	16157

2-2 移動ベクトルの時系列分析

前記2-1における移動ベクトルの設定にあたっては Δt を15分とし、15分の間隔をおいた2枚のエコー図から関連係数を算出し移動ベクトルを求めたものである。このように Δt を15分に固定したのは既往の検討成果¹⁸⁾に基づいたものである。本節では移動平均法による時系列分析を行い、移動ベクトルの外挿の方法及び最適な移動平均期間の検討を行った。検討にあたっては Δt を15分に固定し、移動ベクトルの時系列データを修正単純移流モデル法に基づき作成した。また外挿方法としては次のような定値および一次外挿の2方法を検討した。

(Ⅰ) 定値外挿 $y = a$ (Ⅱ) 一次外挿 $y = ax + b$

移動平均期間は15分～2時間、また予測期間は15分～3時間とした。図2-10は時系列分析結果の一例を示したものであるが、これより一次外挿はかえって誤差の増大をもたらすこと、また定値外挿では移動平均期間は45分ぐらいが望ましいことがわかる。図2-11は実測と予測の移動ベクトルを比較したものであるが、これからも一次外挿の危険性は明らかである。表2-9は45分間の移動平均移動ベクトルを用いて予測した結果を示したものである。比較のため修正単純移流モデルの予測精度も表中に記した。これより1時間予測では修正単純移流モデルに比べ明瞭に精度向上の見られることがわかる。2時間、3時間予測ではむしろ精度は低下傾向である。

2-3 移動ベクトルに関するまとめ

本章では前節までに次のような検討を行った。

- (1) 従来型単純移流モデルの予測精度を明らかにした。
- (2) 関連係数と予測精度の関係を考慮し、関連係数の低い場合には、雨域支配率を変化させて移動ベクトルを設定する修正単純移流モデルを提案した。
- (3) 強雨域と雨域全体の動きが異なることに着目し、複数のいき値、複数の移動ベクトルを設定する方法で予測を行った。
- (4) 上記の3手法は全て定値外挿に基づくものである。この外挿方法の妥当性を検証するとともに、最適な移動ベクトル平均期間を検討するため移動平均法に基づく時系列分析を行った。この結果定値外挿の妥当性が確かめられるとともに、移動平均期間は45分程度が望ましいことがわかった。この結果を受けて45分間の移動平均移動ベクトルを用いて予測を行った。

すなわち本章では

- ① 従来型単純移流モデル
- ② 修正単純移流モデル
- ③ 複数移動ベクトルモデル
- ④ 移動平均単純移流モデル

の4つの単純移流モデルにより降雨の短時間予測を行った。この結果を表2-10にまとめて示す。これより予測結果を概括すると、1時間予測ではこれら4つのモデルに有意な差が見られ、①から④の順で予測精度が向上することになる。しかしこれら予測精度の差はわずかであり、計算時間の増大（予測計算における計算時間の大部分は移動ベクトルの設定で占められており、必ず複数の移動ベクトルの設定を行う③と3つの15分ピッチの移動ベクトルを計算する④の方法は①、②の方法に比べ計算時間がかなり長くなる。）を考えるとけっして③、④のモデルが①、②に比して優れているとは言えない。また③のモデルでは発達・衰弱の概念を既に内包したモデルとなっており、今後の発展性に乏しいと言える。よって現在のところ①あるいは②のモデルが望ましいと言えよう。

また2時間、3時間予測ではいずれのモデルが優れているかは明瞭でない。これは2、3時間予測の場合、予測精度はかなり偶然的要素が強く移動ベクトルをいかに設定しようとあまり意味を持った変動傾向を示さないためと考えられる。

逆に言えば単純移流モデルでは1時間程度が予測の限界と言えよう。

表 2-9 45分間の移動平均移動ベクトルによる予測結果 (相関係数)

降雨名	1 時間	2 時間	3 時間
19790514	0.72	0.20	0.05
19790514	0.72	0.37	0.28
19791018	0.86	0.61	0.39
19791018	0.86	0.63	0.39
19801019	0.86	0.52	0.22
19801019	0.86	0.53	0.34
19810625	0.82	0.58	0.55
19810625	0.82	0.57	0.61
19810822	0.77	0.41	0.39
19810822	0.76	0.42	0.43
19820729	0.65	0.34	0.27
19820729	0.63	0.32	0.24
19820801	0.67	0.32	0.20
19820801	0.64	0.44	0.23
19820912	0.83	0.57	0.48
19820912	0.82	0.55	0.41

上段は移流平均ベクトルによるもの、下段は修正単純移流モデルによるもの。

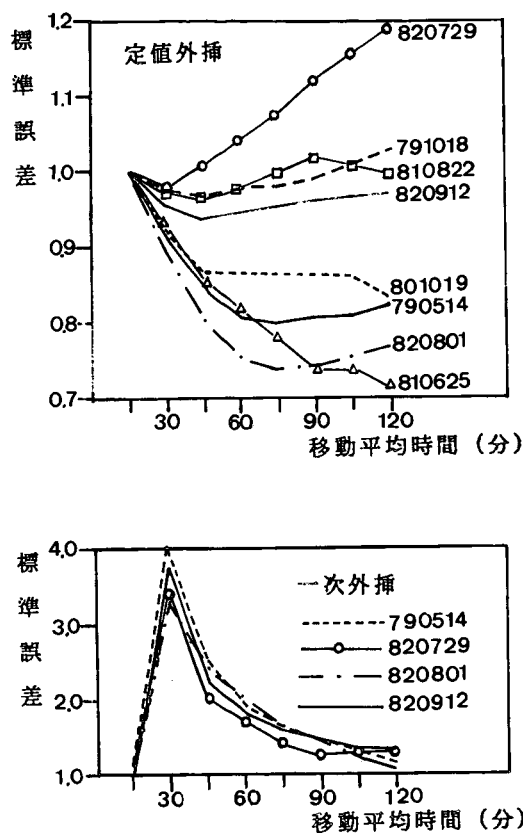


図 2-10 移動ベクトルの時系列分析結果
(1 時間先の予測値の標準誤差を比較したもの、
標準誤差は移動平均期間 15 分の時の値を基準
にし無次元化している)

表 2-10 単純移流モデルの予測精度 (相関係数)

降雨名	1 時間予測				2 時間予測				3 時間予測			
	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
19790514	0.71	0.72	—	0.72	0.35	0.37	—	0.20	0.26	0.28	—	0.05
19791018	0.86	0.86	—	0.86	0.63	0.63	—	0.61	0.42	0.39	—	0.39
19801019	0.86	0.86	—	0.86	0.56	0.53	—	0.52	0.40	0.34	—	0.22
19810625	0.82	0.82	—	0.82	0.57	0.57	—	0.58	0.67	0.61	—	0.55
19810822	0.76	0.76	0.78	0.77	0.42	0.42	0.43	0.41	0.42	0.43	0.44	0.39
19820729	0.63	0.63	0.63	0.65	0.32	0.32	0.32	0.34	0.24	0.24	0.22	0.27
19820801	0.62	0.64	0.64	0.67	0.29	0.44	0.29	0.32	0.23	0.23	0.20	0.20
19820912	0.81	0.82	0.83	0.83	0.53	0.55	0.58	0.57	0.36	0.41	0.45	0.48

① 従来型単純移流 ② 修正単純移流
③ 複数ベクトル ④ 移動平均単純移流

図 2 - 1 1 (1) 移動速度の時系列変化図 (820912 洪水)

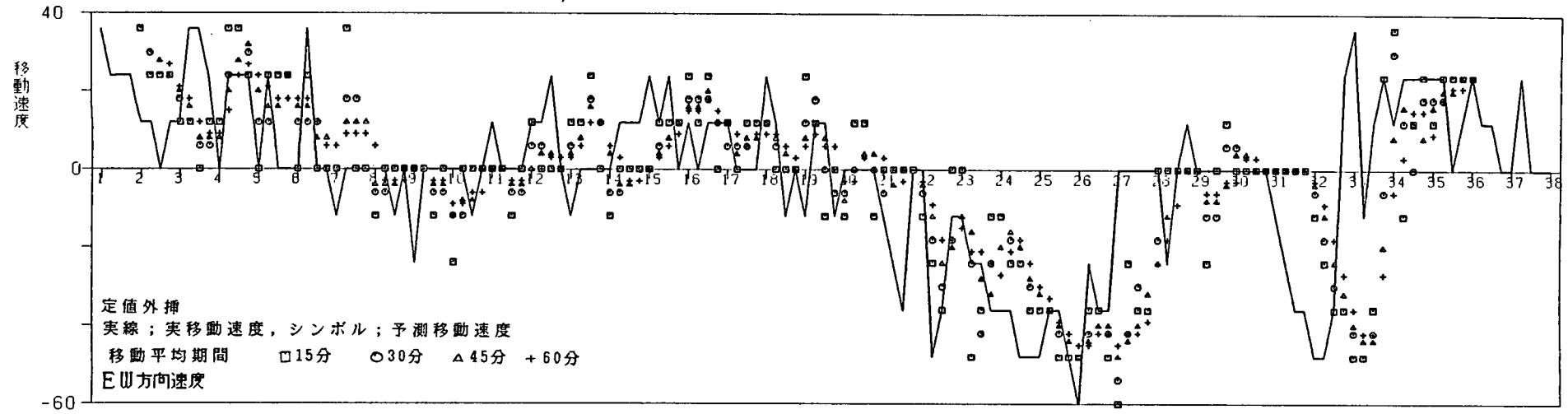


図 2 - 1 1 (2) 移動速度の時系列変化図 (820912 洪水)

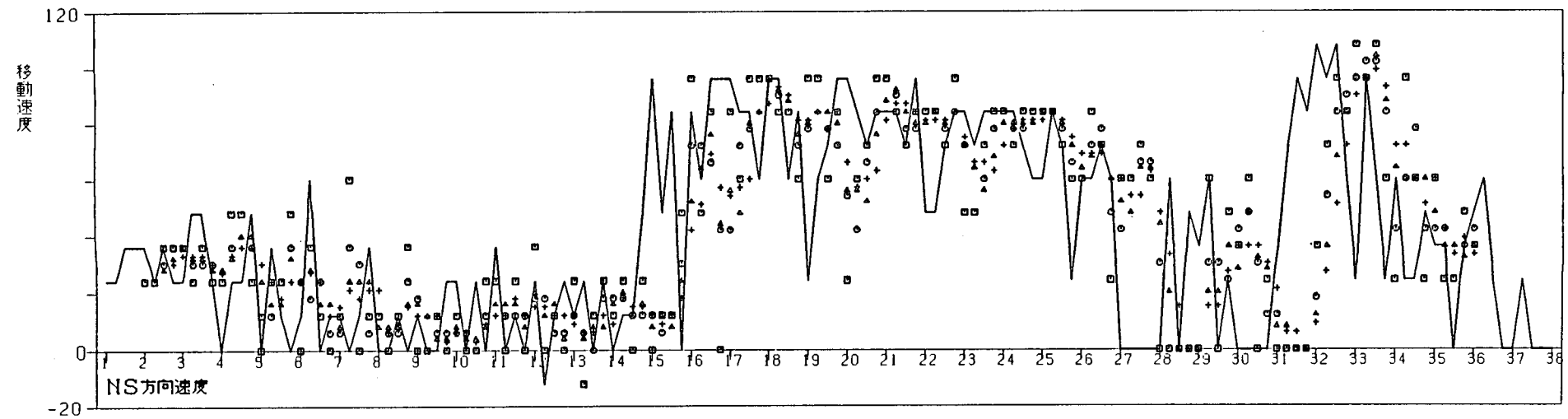


図 2 - 1 1 (3) 移動速度の時系列変化図 (820912 洪水)

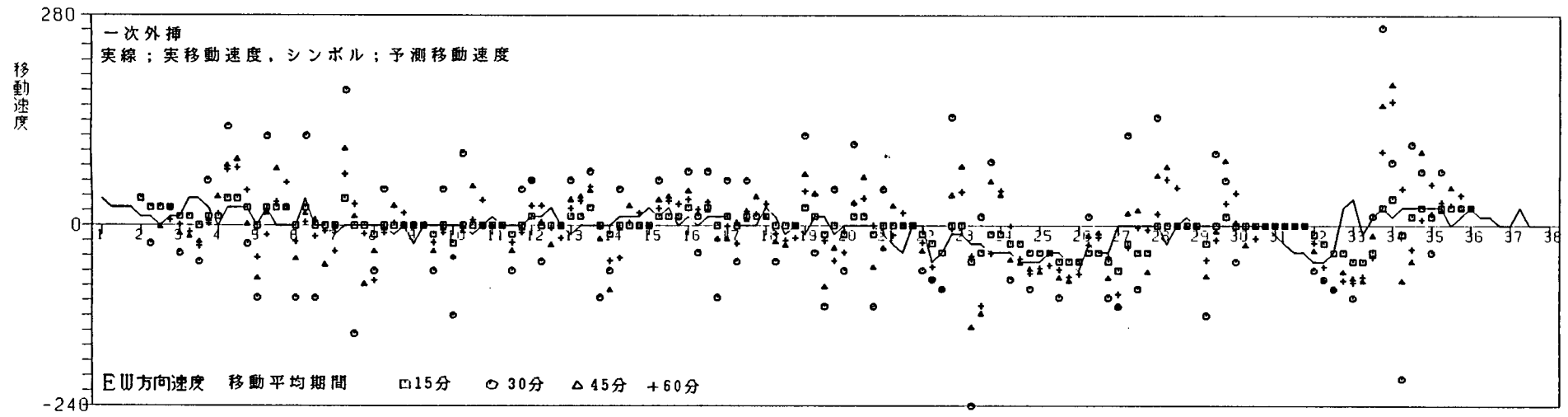
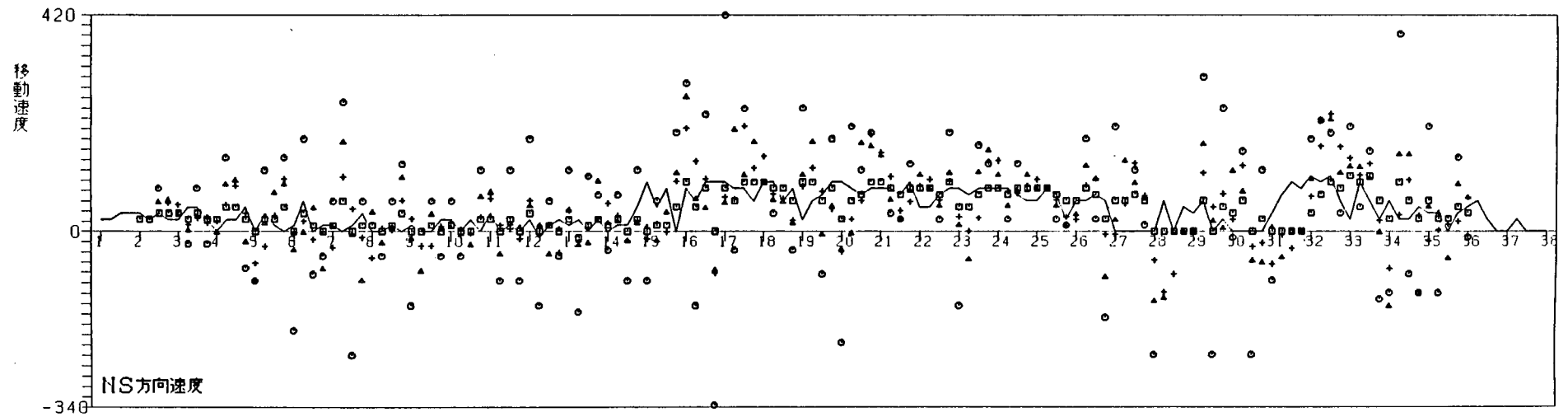


図 2 - 1 1 (4) 移動速度の時系列変化図 (820912 洪水)



第3章 発達・衰弱に関する調査

前章での予測は全てエコーを移動ベクトルで単純に移流させて予測を行ったものであり発達・衰弱は一切考慮していない。前章で検討したように移動ベクトルの設定方法を改良することによって予測精度をこれ以上向上させることは困難であり、更なる予測精度の向上を図るには発達・衰弱を考慮する必要があるだろう。

3-1 発達・衰弱の特性

本調査における発達・衰弱量 Q は $T - \Delta t$ 時刻のエコー $E(T - \Delta t)$ を移動ベクトルで移流させ T 時刻のエコー $E(T)$ と重ね合わせることににより $Q = E(T) - E(T - \Delta t)$ として定義する。移動ベクトルは雨域全体の平均的な動きを表すものであり、個々のエコーの動きは必ずしも正確には表現していない。従ってこのように求めた発達・衰弱量はもともと誤差を含んでいることを認識しておく必要があるだろう。なお本来、雨域の移動と発達・衰弱は密接に絡んでおり、エコーの変化傾向を単純に移動と発達・衰弱に分けて記述するには難しい側面があることも指摘しておく。例えば、あるセルが衰弱しこれに隣接したセルが同時に発達するという現象が生じればエコー全体はあたかも一つの方向に移動したように見えるはずである。

図3-1は $\Delta t = 15$ 分間で 10mm/hr 以上の発達あるいは衰弱の生起頻度を示したものであるが、両者の分布は良く類似しており、発達が活発な地域は同時に衰弱も多いことがわかる。次に発達・衰弱量の平均値（全対象期間の発達・衰弱量を平均したもの）を地形との関連で示したのが図3-2である。これより全体としてやや衰弱場の傾向がみられること、また山岳部で発達・衰弱現象が顕著であることがわかる。また図3-3は洪水毎に平均発達・衰弱量と移動ベクトルの散布状況を示したものであるが、やはり山岳部での発達・衰弱が盛んなことがわかる。また19810822降雨と19820801降雨は良く似た発達・衰弱状況を示しているが、これら2降雨の雨域の移動方向が他の降雨と異なり東南から西北であることは興味深い。

次に図3-4に示した3つのメッシュ($6\text{km} \times 6\text{km}$)について時系列的な発達・衰弱量の変化を図示したのが図3-5である。赤城山レーダの観測域では西南から北東へ雨域が移動することが多いが、その際Aメッシュは上り斜面となり、Bメッシュは下り斜面となる。Cメッシュは平地である。図3-5から発達・衰弱量

はかなりランダムに発生していることがわかる。発達・衰弱がこのように時間的、空間的に大きく変動することは椎葉らも指摘している。⁸⁾ また平地より山岳部の方が発達・衰弱とも活発なようであるがあまり明瞭でない。また通常言われているエコーが斜面に沿って上昇する際、発達するという現象もこれらの図からは見られない。

図3-1(1) 赤城山レーダによる発達・衰弱の状況

10 mm/hr以上の発達・衰弱の生起状況

凡例

	0 - 5
.	5 - 10
•	10 - 30
•	30 - 50
•	50 - 100
○	100 - 200
○	200 - 9999

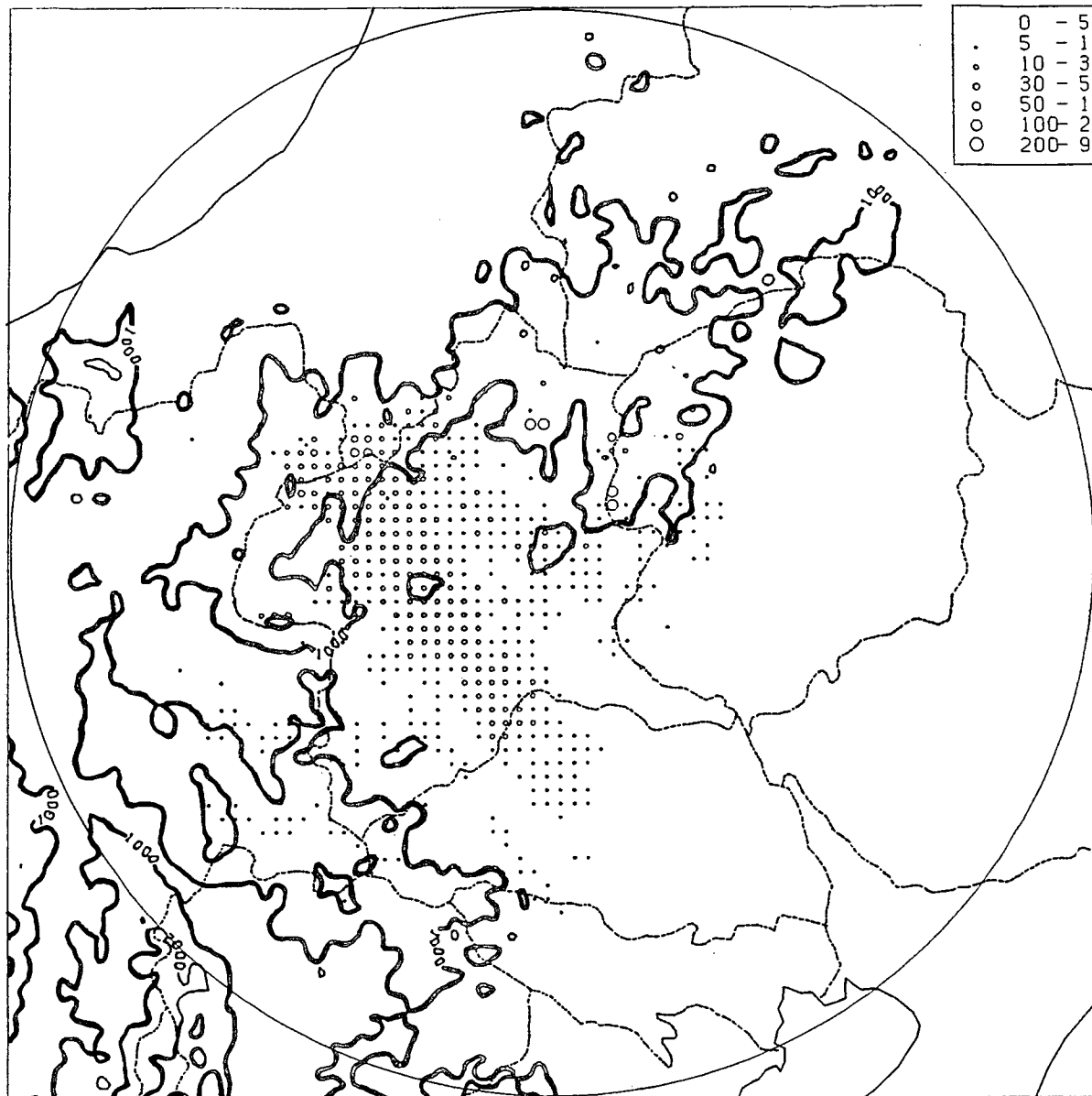
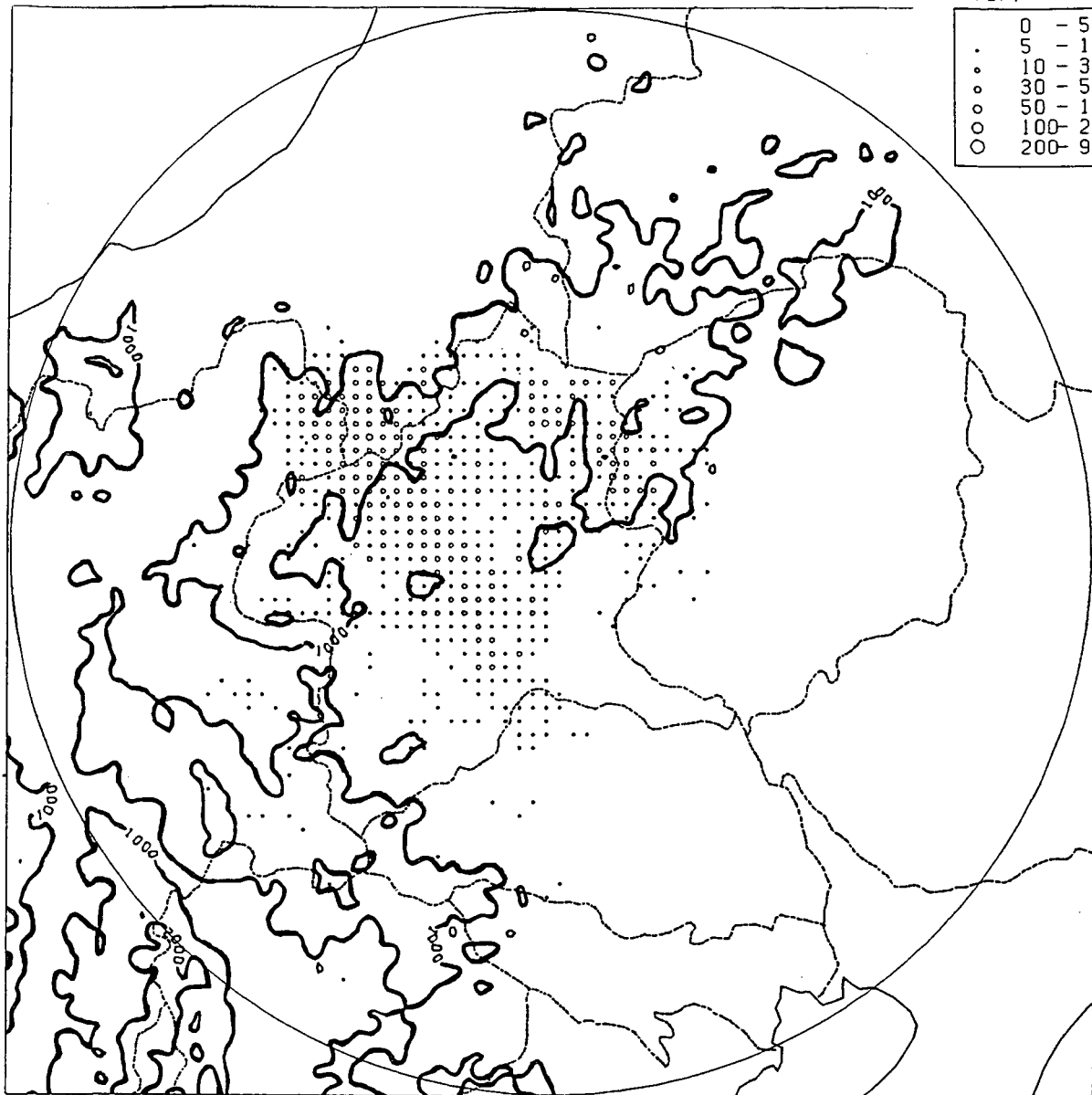


図3-2(2) 赤城山レーダによる発達・衰弱の状況

-10mm/hr以上の発達・衰弱の生起状況

凡例

○	0 - 5
●	5 - 10
●	10 - 30
●	30 - 50
○	50 - 100
○	100 - 200
○	200 - 9999



赤城山レーダによる発達・衰弱の状況(平均値)

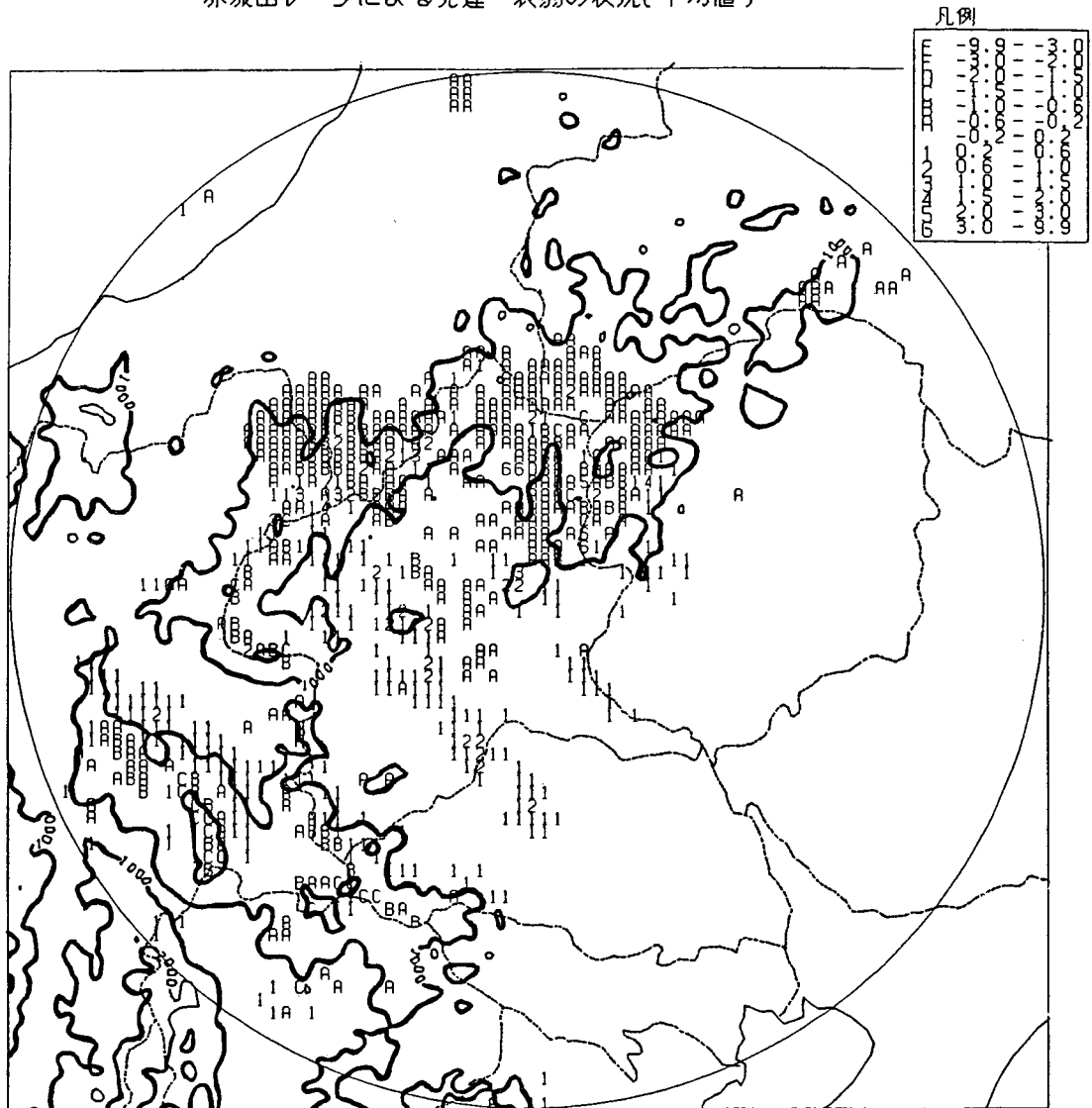


図 3 - 2 発達・衰弱量の平均値と地形の関係
(太線は1000m, 2000mの等高線)

図 3 - 3 (1) 赤城山レーダによる発達・衰弱の状況(平均値)

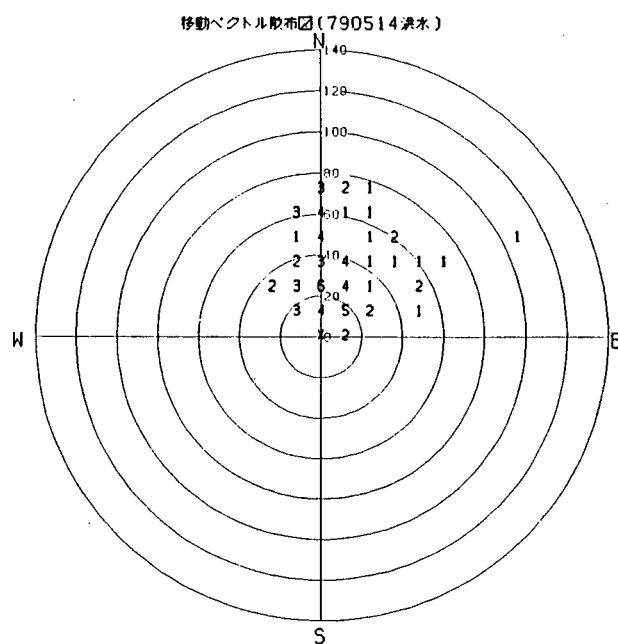
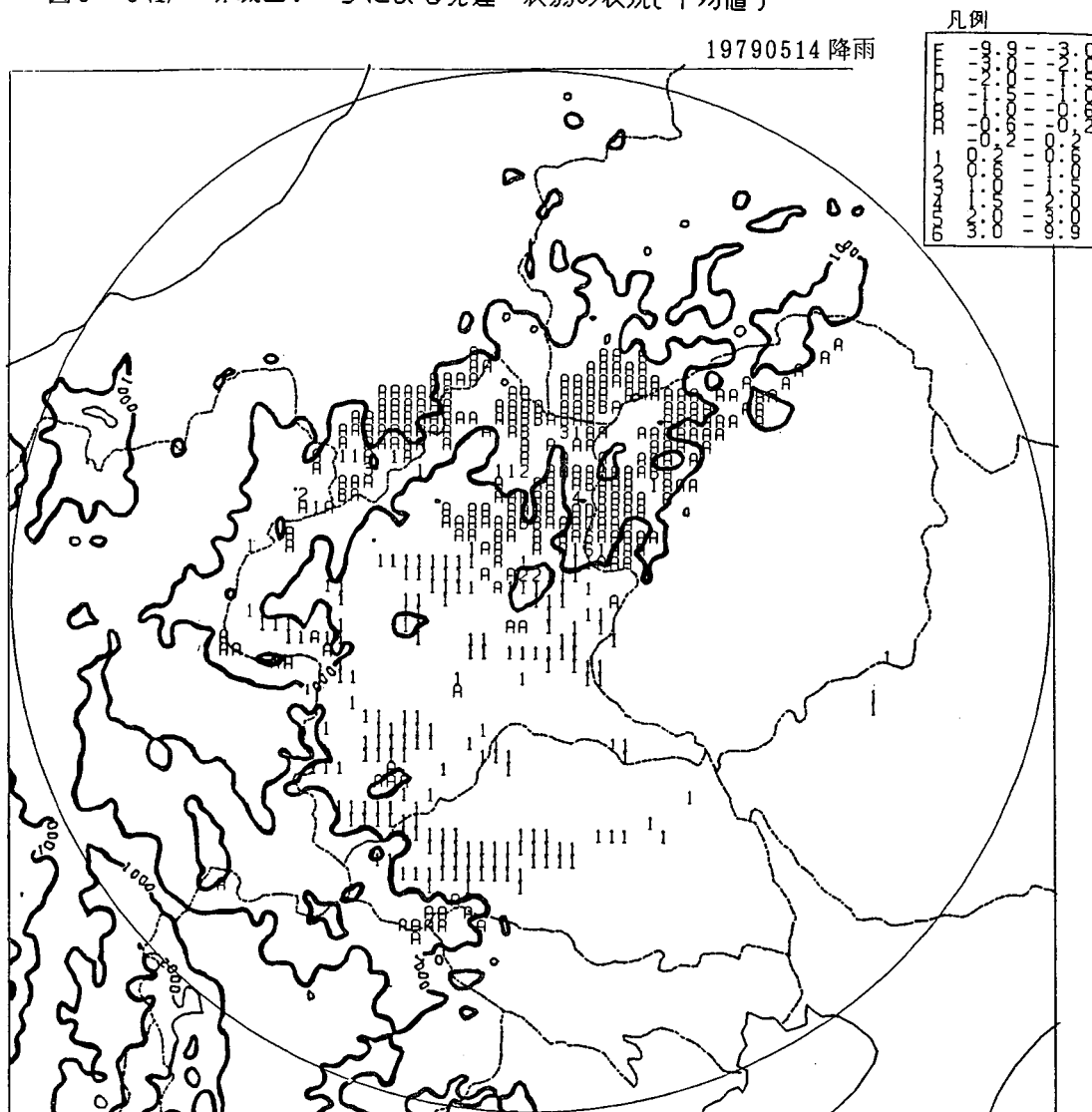
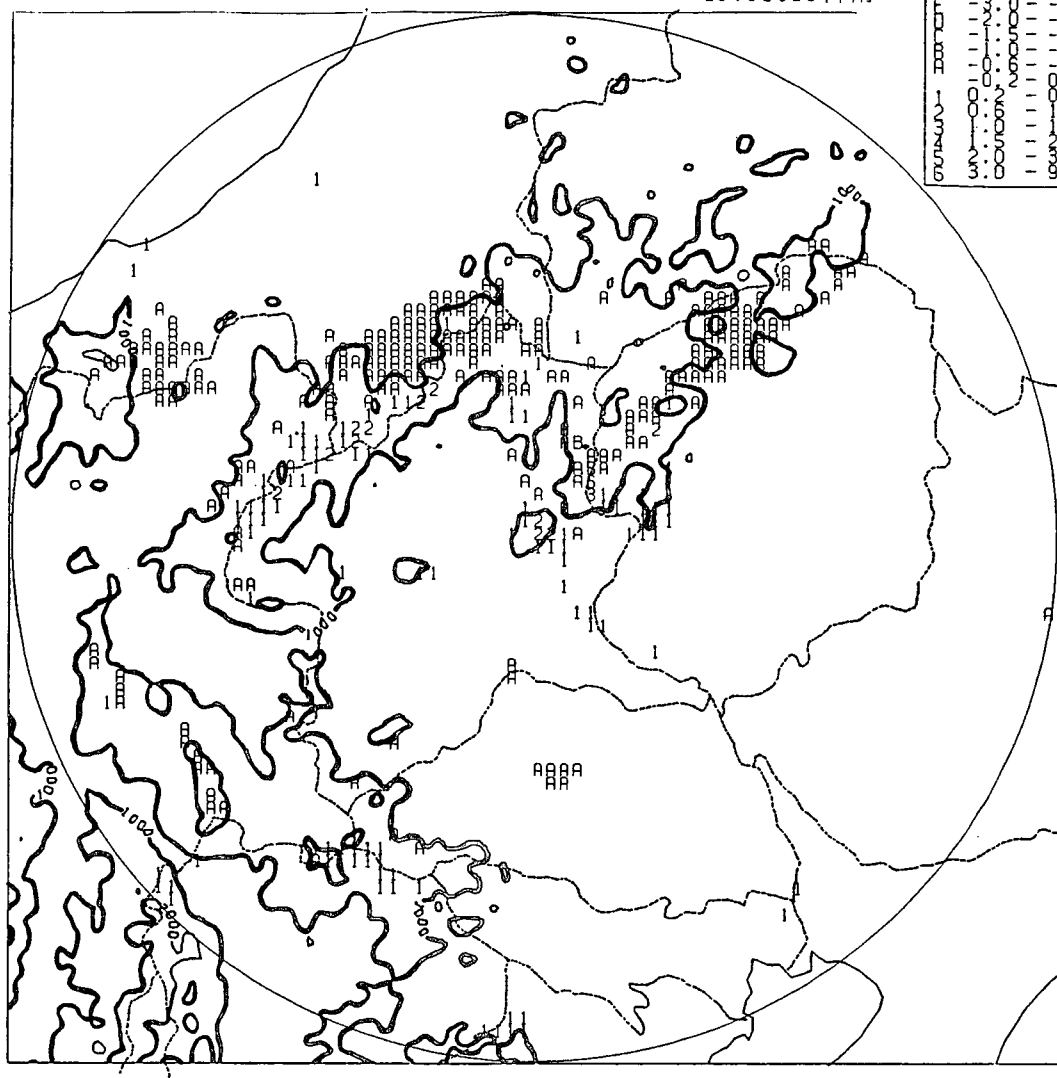
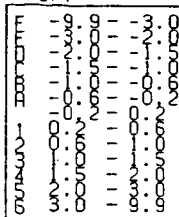


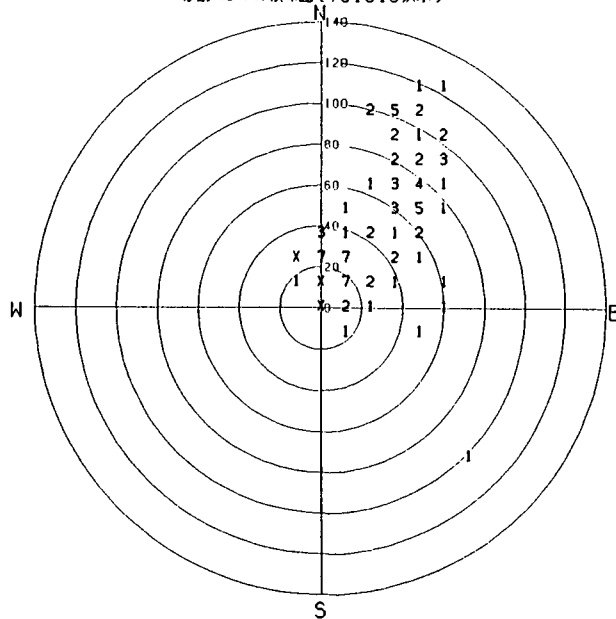
図 3-3 (2) 赤城山レーダによる発達・衰弱の状況(平均値)

19791018 降雨

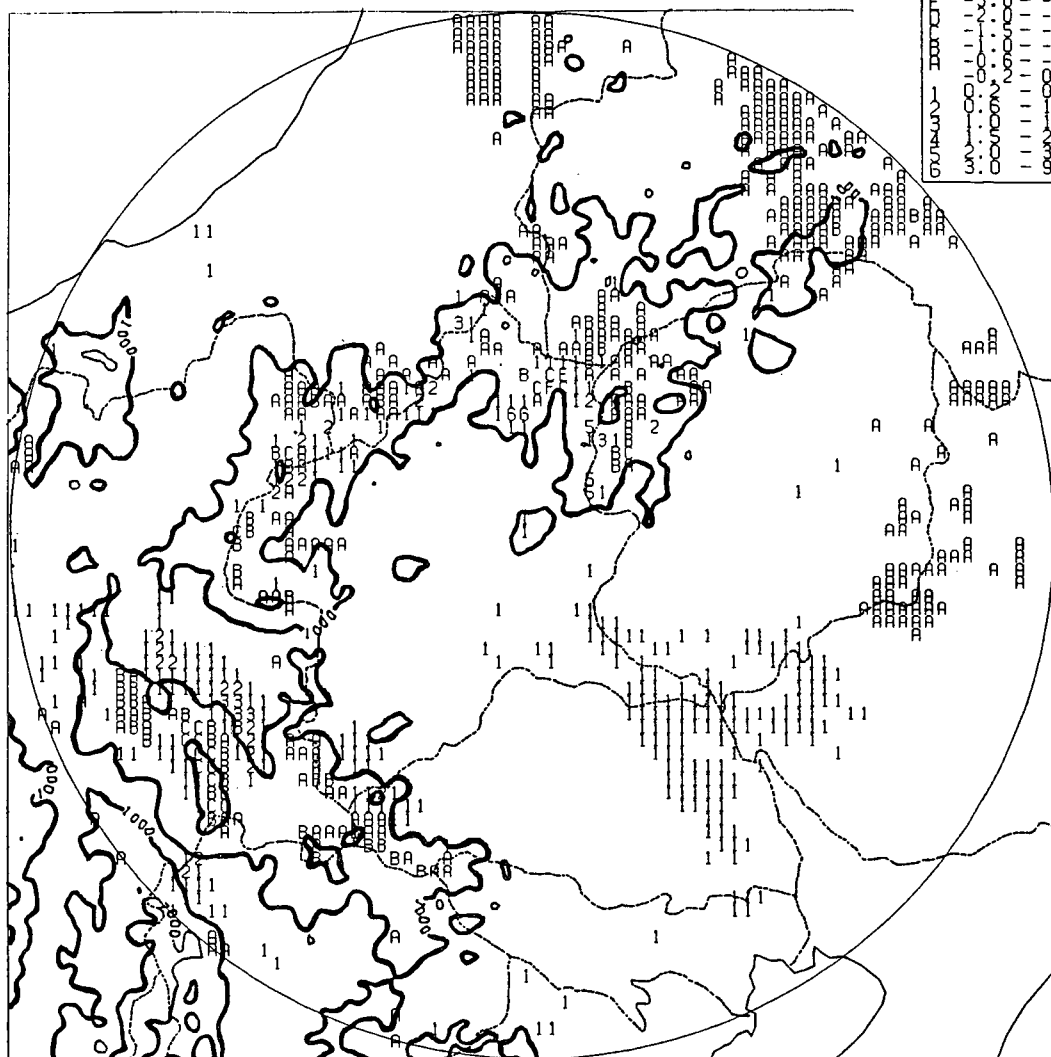
凡例



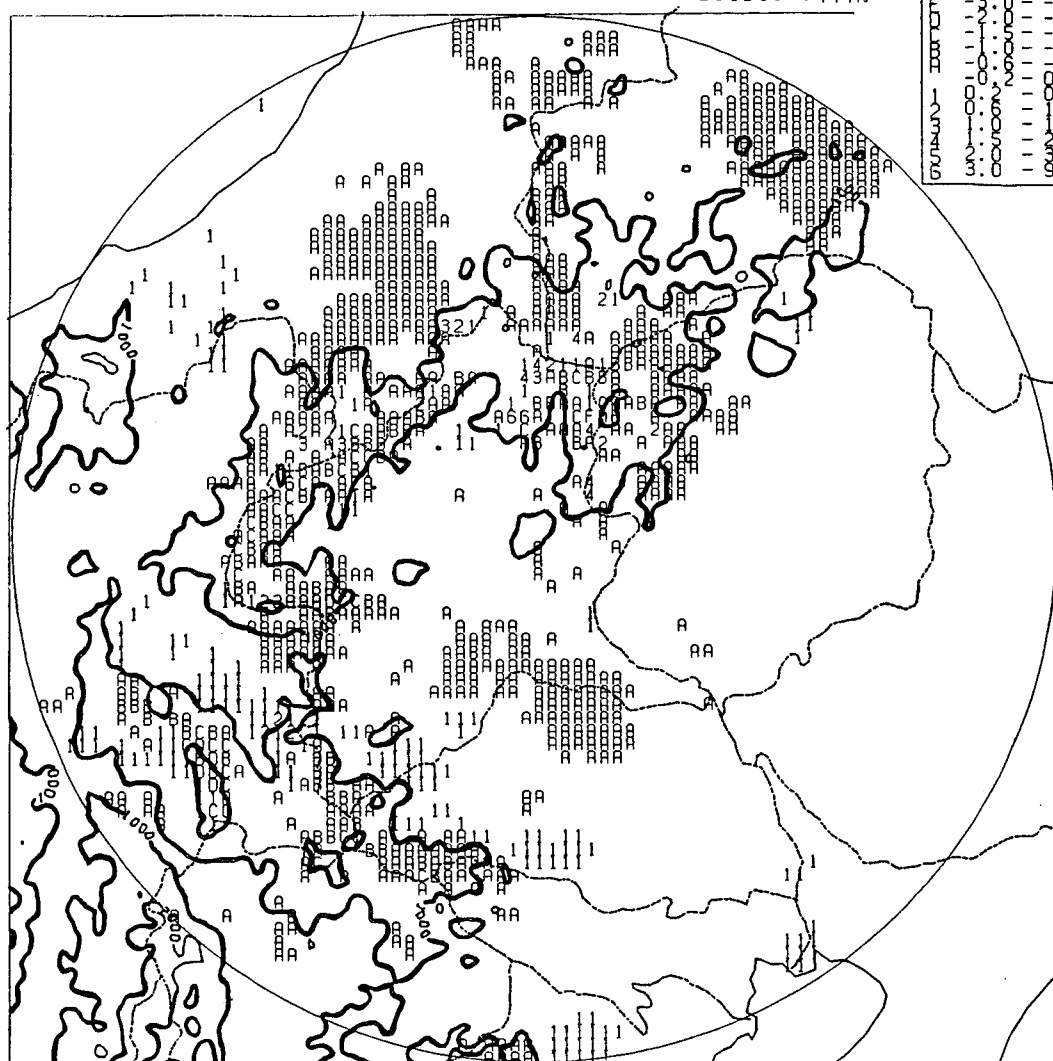
移動ベクトル散布図(791018洪水)



凡例

[illegible]

凡例

[illegible]

移動ベクトル散布図(810625洪水)

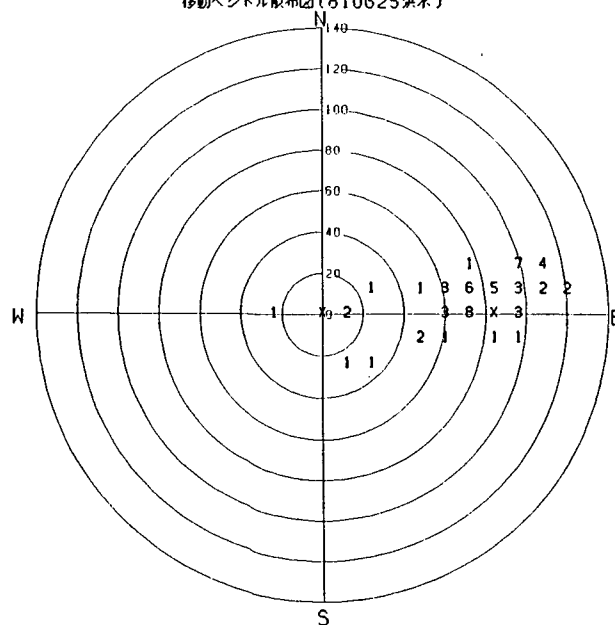


図 3 - 3 (5) 赤城山レーダによる発達・衰弱の状況(平均値)

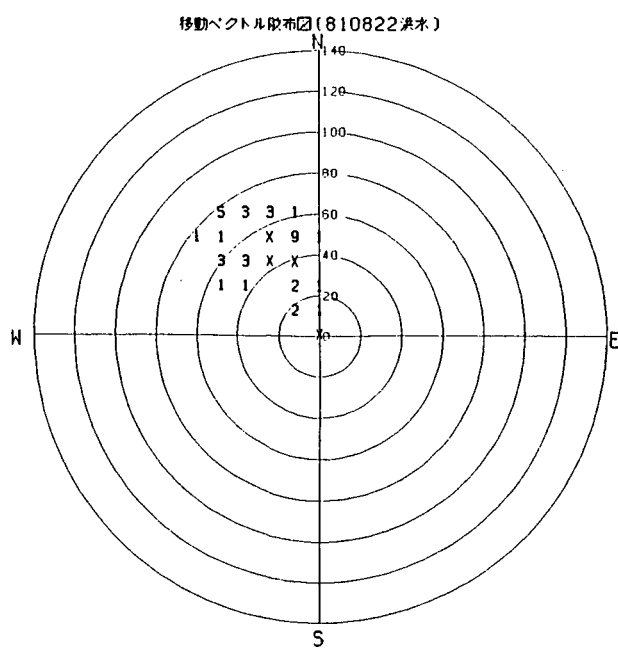
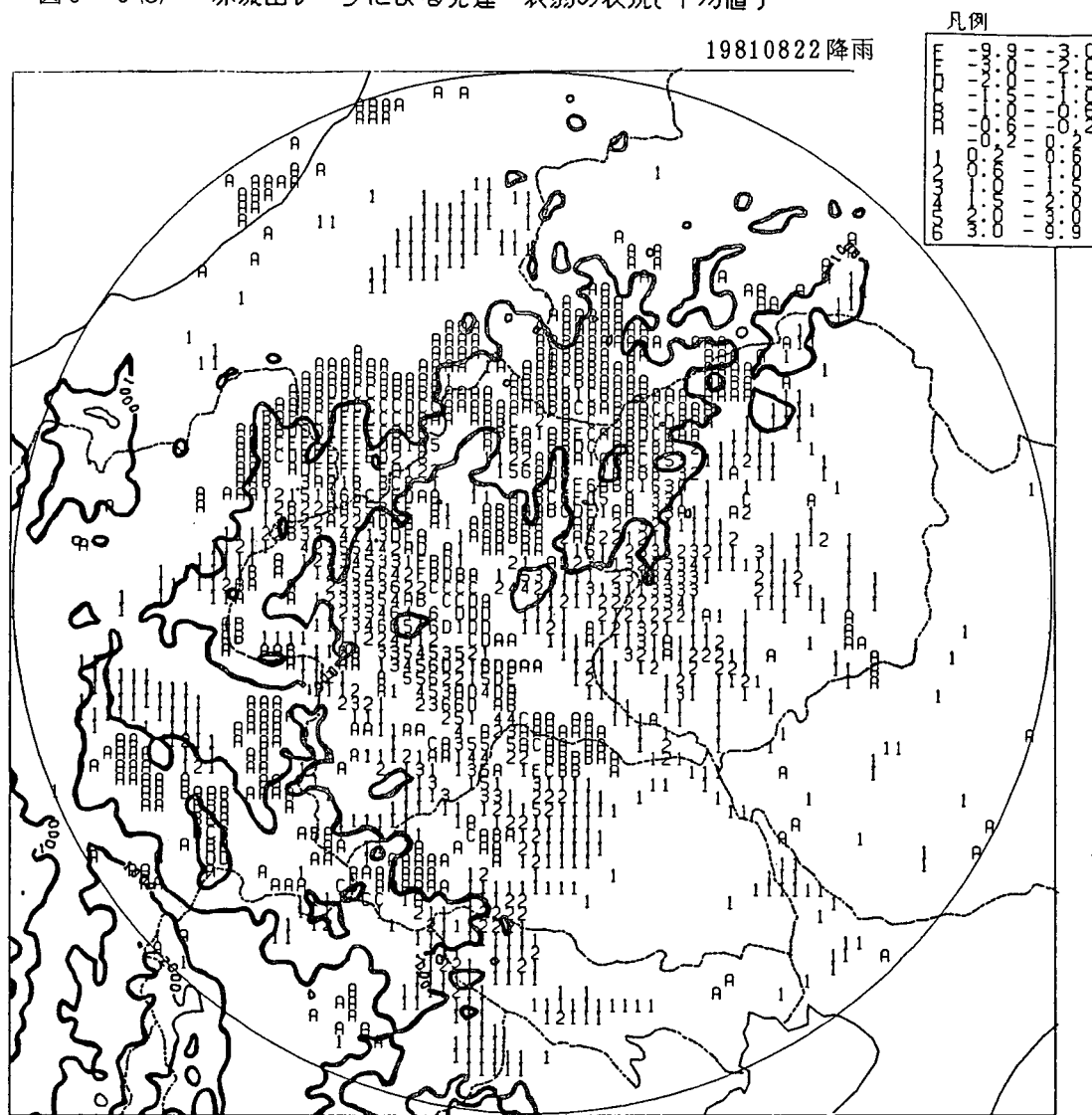
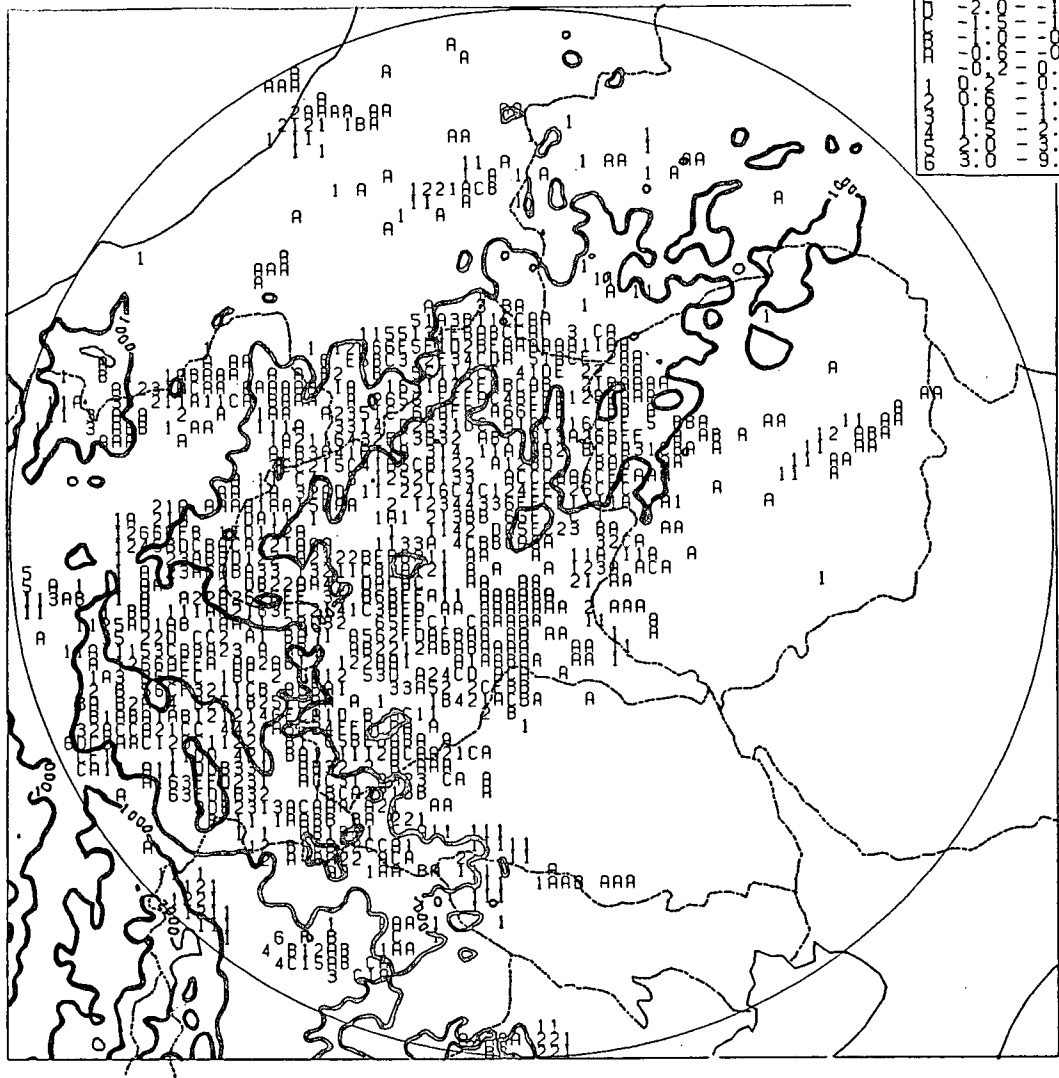
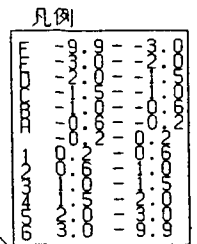


図3-3(6) 赤城山レーダによる発達・衰弱の状況(平均値)

19820729 降雨



移動ベクトル散佈図(820729洪水)

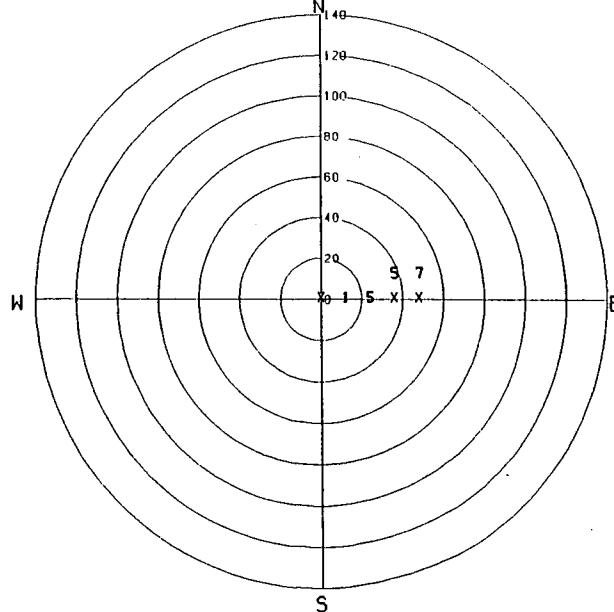
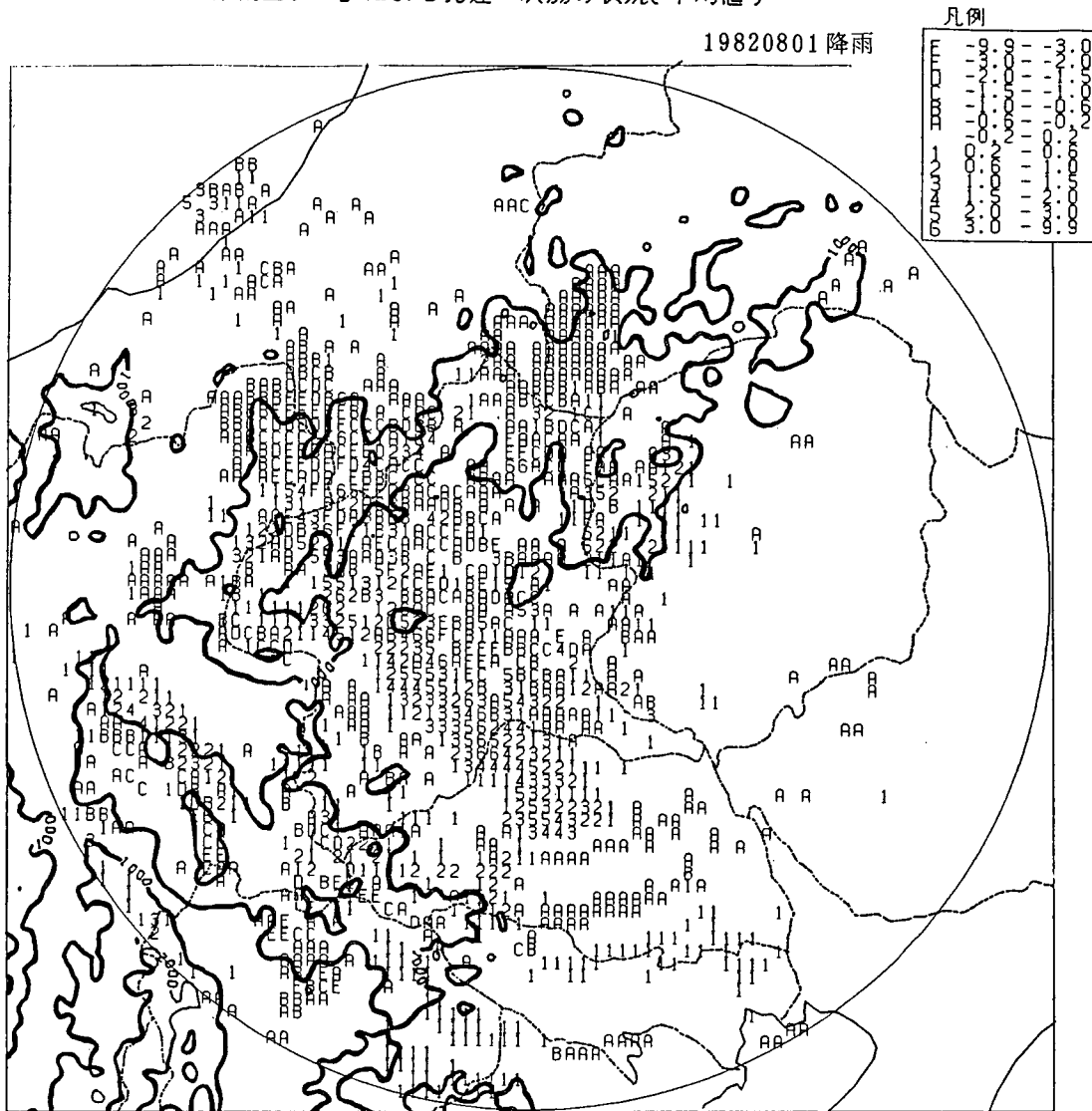


図3-3(7) 赤城山レーダによる発達・衰弱の状況〔 平均値 〕



移動ベクトル散布図 (820801洪水)

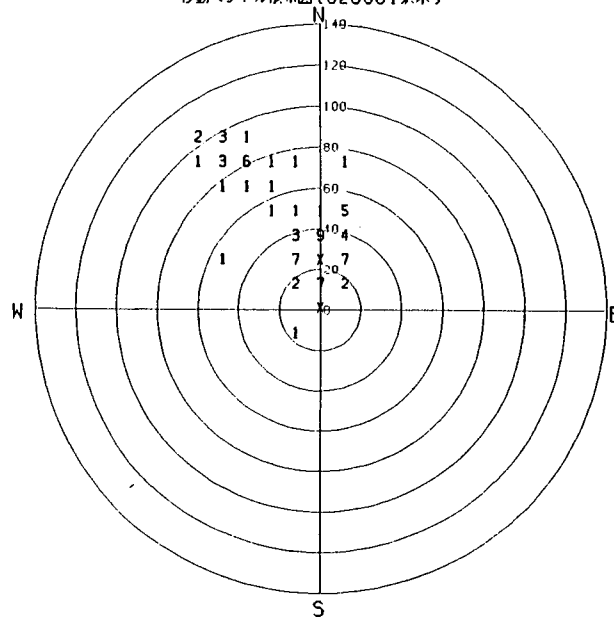
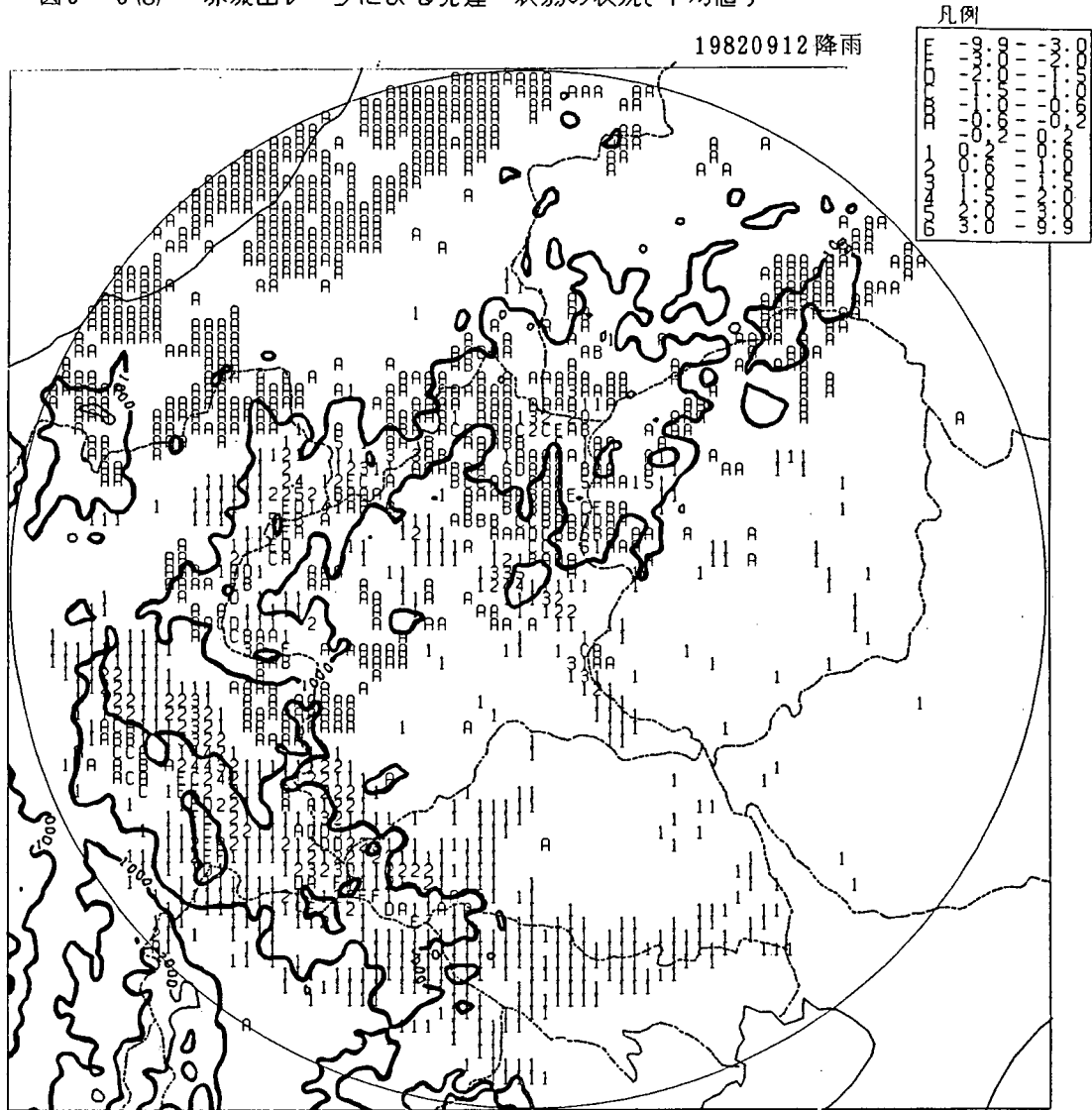
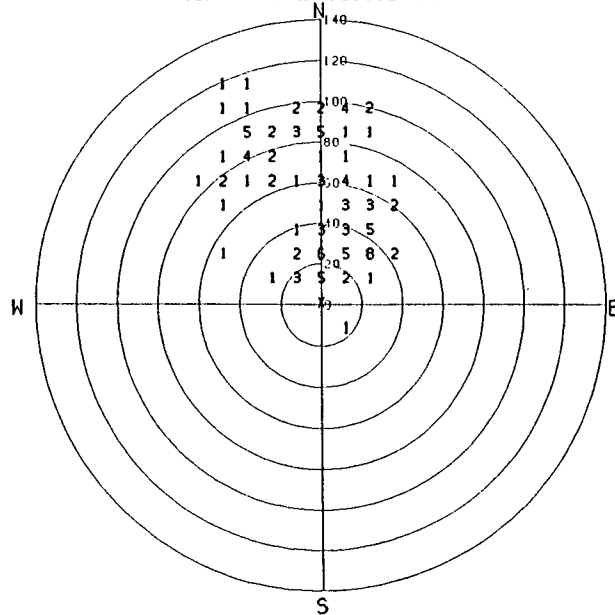


図3-3(8) 赤城山レーダによる発達・衰弱の状況(平均値)



移動ベクトル散布図(820912洪水)



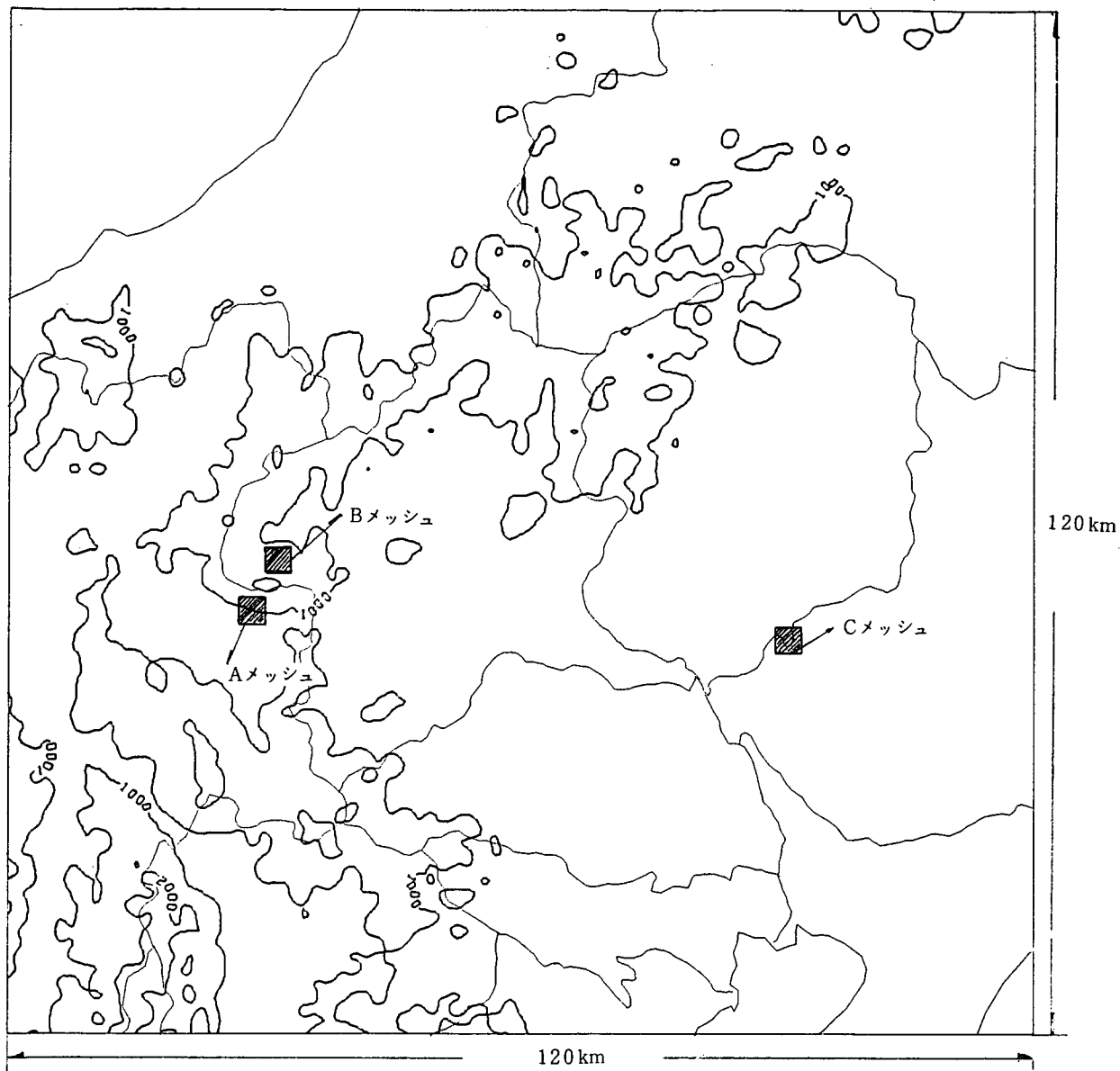


図 3 - 4 発達・衰弱量時系列変動図作成メッシュ位置

図 3-5 (1) 発達・衰弱の時系列変化図 (790514 洪水)

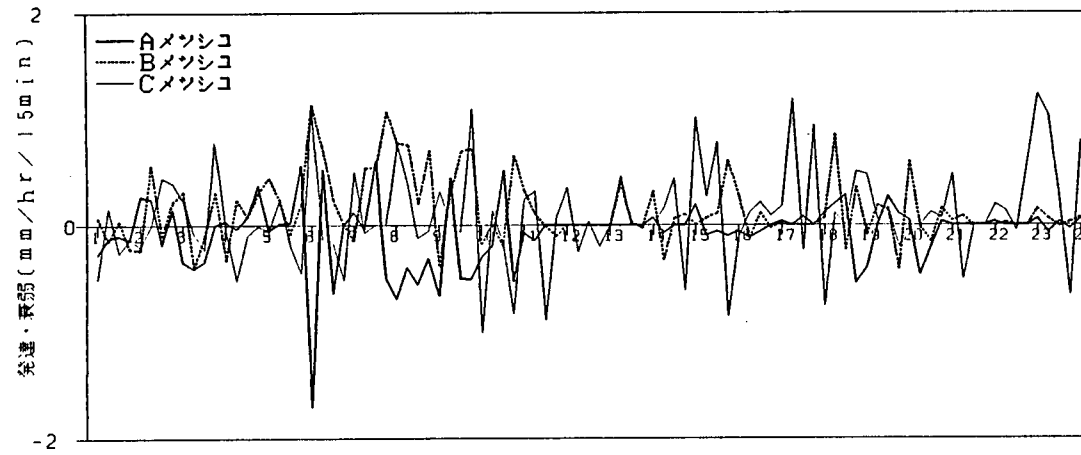


図 3-5 (2) 発達・衰弱の時系列変化図 (791018 洪水)

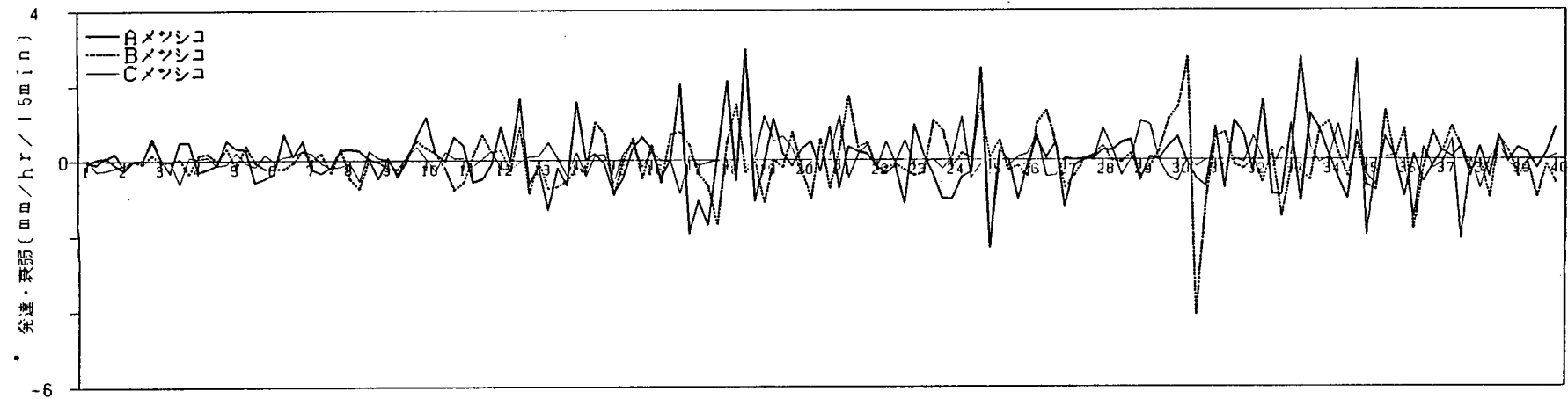


図 3-5 (3) 発達・衰弱の時系列変化図 (801019 洪水)

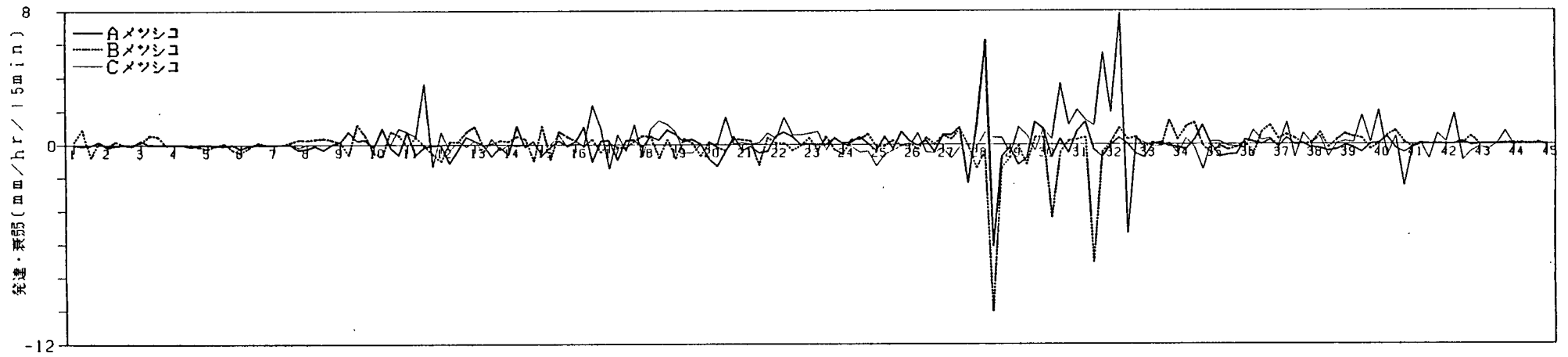


図 3-5 (4) 発達・衰弱の時系列変化図 (810625 洪水)

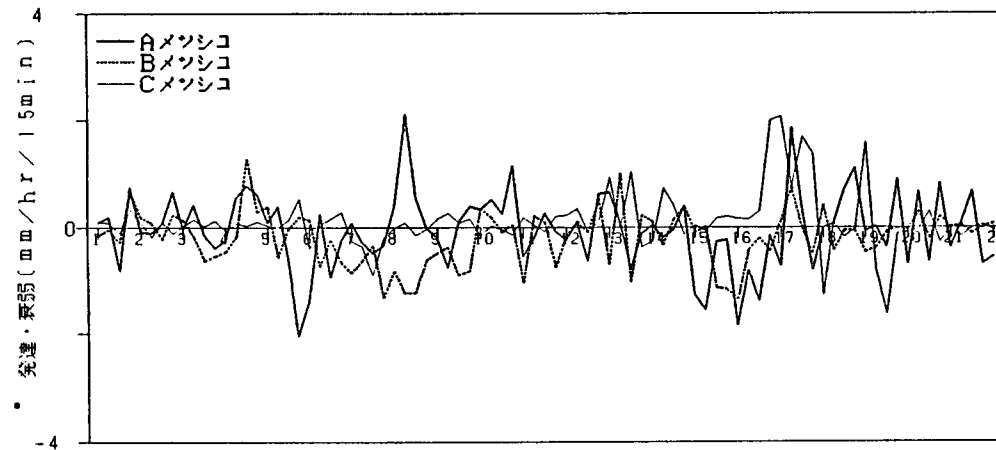


図 3 - 5 (5) 発達・衰弱の時系列変化図 (810822 洪水)

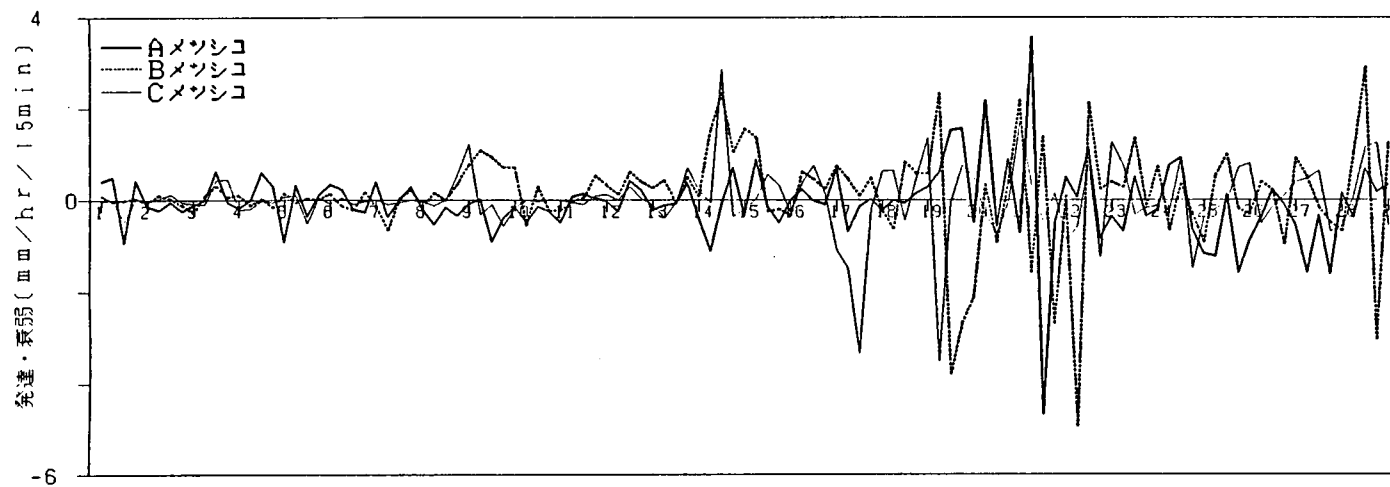


図 3 - 5 (6) 発達・衰弱の時系列変化図 (820729 洪水)

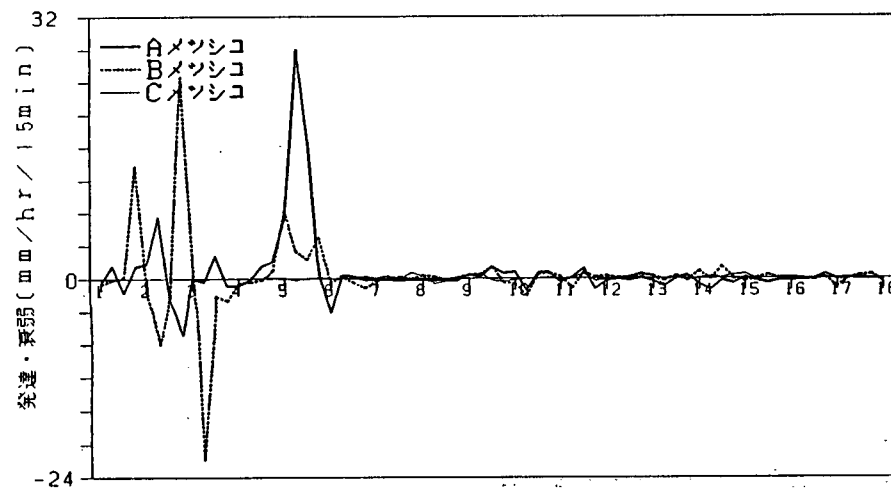


図 3-5 (7) 発達・衰弱の時系列変化図 (820801 洪水)

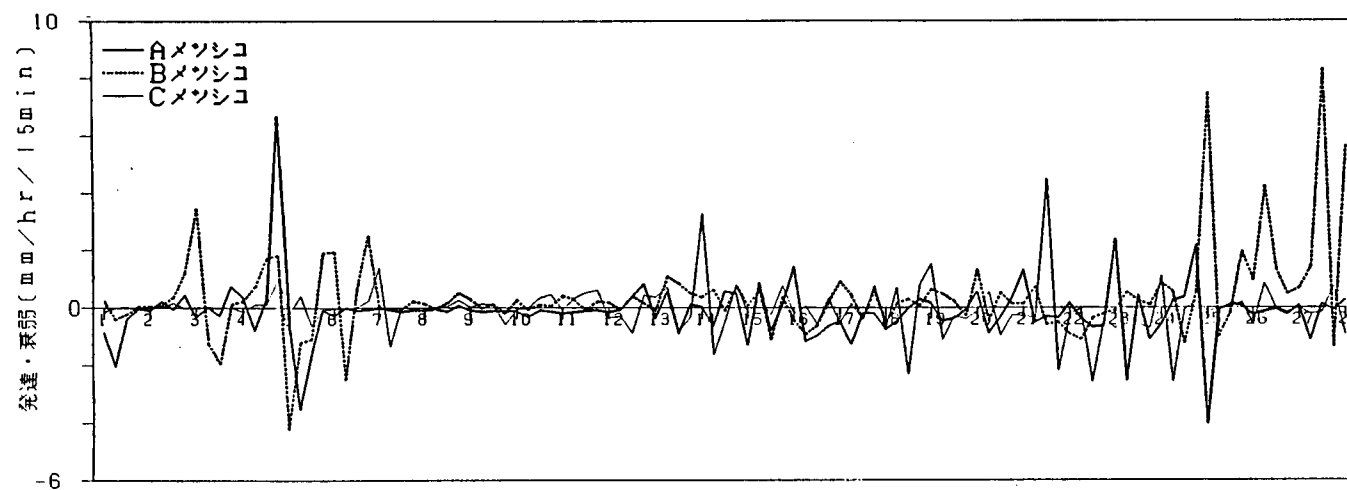
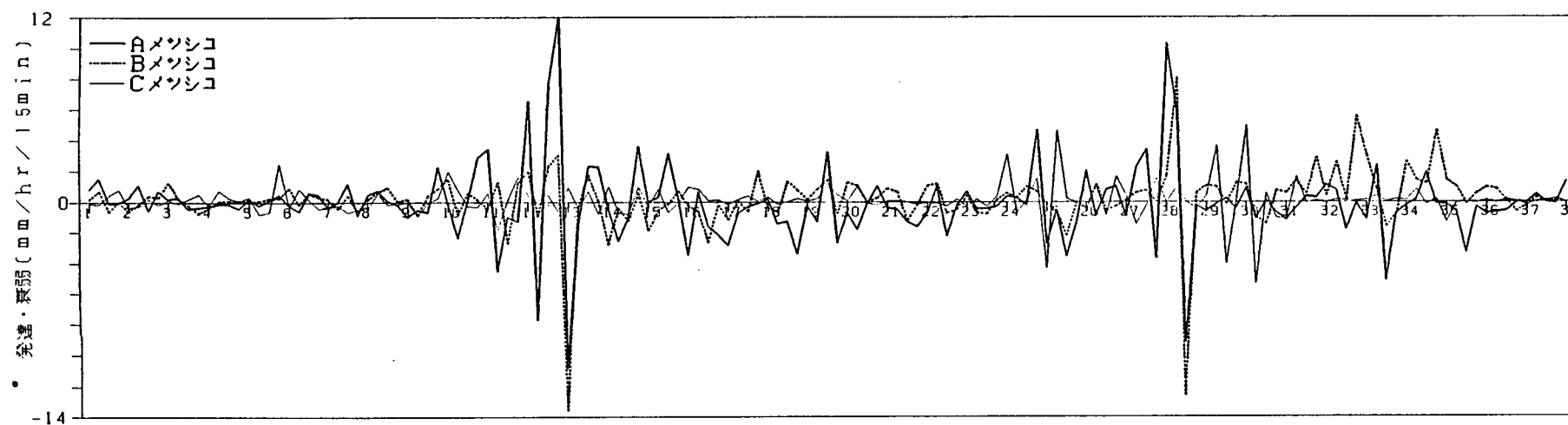


図 3-5 (8) 発達・衰弱の時系列変化図 (820912 洪水)



3-2 発達・衰弱の外挿に関する検討

移動ベクトルの設定に用いた $T - \Delta t$, T 時刻 ($\Delta t = 15$ 分) の 2 枚のエコー図から, 発達・衰弱量を算出しこれを定値外挿し予測を行った。この結果を表 3-1 に示すがこのような方法で発達・衰弱量を導入しても予測精度の上昇につながらないことがわかる。

次に外挿の方法及び適切な移動平均期間を検討するため時系列分析を行った。この際外挿の方法は定値外挿と一次外挿とした。時系列分析のための時系列データは次のように作成する。

前述したように発達・衰弱量 Q は $Q = E(T) - E(T - \Delta t)$ で定義される。(ただし $E(T - \Delta t)$ は $T - \Delta t$ 時刻のエコーを移動ベクトルで移流させたもの。) 従って追跡しているエコーがレーダの観測域外に出た場合は発達・衰弱量の時系列データが途切れることになる。よって本調査では計算期間を 5 時間間隔で分割し, その分割された 5 時間毎にできるだけ連続した長期間の発達・衰弱の時系列データを抽出することにした。なおここでは $\Delta t = 15$ 分に固定し, 15 分間の発達・衰弱量の時系列データとした。また移動平均期間は 15 分 ~ 2 時間, 予測期間は 15 分 ~ 3 時間とした。従って最低連続 5 時間のデータが必要となる。これが 5 時間を 1 つの対象時間単位として設定した理由である。なお発達・衰弱量は $6 \times 6 = 36 \text{ km}^2$ の平均値を用いた。

時系列分析の結果の一例として予測期間を 1 時間とした時の移動平均期間と標準誤差の関係を図 3-6 に示す。なお他の予測期間でも図 3-6 とほぼ同じ傾向の図が得られる。この図より発達・衰弱量の一次外挿は誤差を増大させるだけで全く意味がないこと, 定値外挿では移動平均期間を長くすればする程, 標準誤差が減少することがわかる。移動平均期間を長くする程, 標準誤差が減少するということは発達・衰弱量の時系列データが全くのランダムデータであることを意味しており外挿の困難さを示唆している。

発達・衰弱量の時系列データが全くランダムデータであることを明らかにするため, 発達・衰弱量の自己相関係数を算出した。この結果を表 3-2, 3 に示すが, いずれの降雨でも自己相関係数は非常に低い値であることがわかる。また自己相関係数の時系列的変動を見ても全くランダムに変動しており, 発達・衰弱量を単純に外挿することは降雨予測においてあまり意味を持たないことがわかる。

また表3-2には発達・衰弱量を単に2時点のエコ-強度の差，すなわち移動ベクトルで $T-\Delta t$ 時刻のエコ-を移流させずに $E(T)-E(T-\Delta t)$ で定義し，同様に自己相関係数を算出した結果も記してある。このように発達・衰弱量を定義してもやはりこれらの時系列データは全くランダムデータであることがわかる。

上記の検討結果を総括すると今考えている $6 \times 6 = 36 \text{ km}^2$ 程度の空間スケールでは，発達・衰弱のライフスケールは15分より短いことになる。例えば自己相関係数が負となるのは，15分の間に発達から衰弱，あるいは衰弱から発達に転じたサンプルが多いことを意味しており，このことから直観的に発達・衰弱の外挿の困難さを理解することができよう。

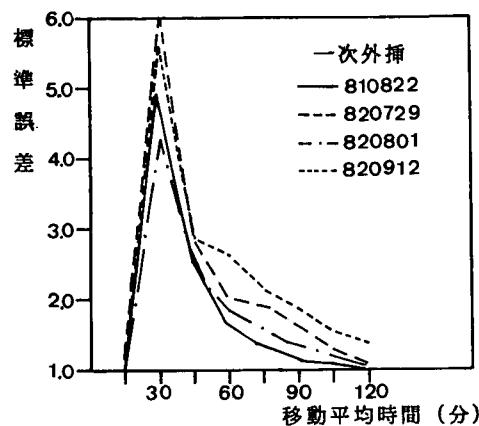
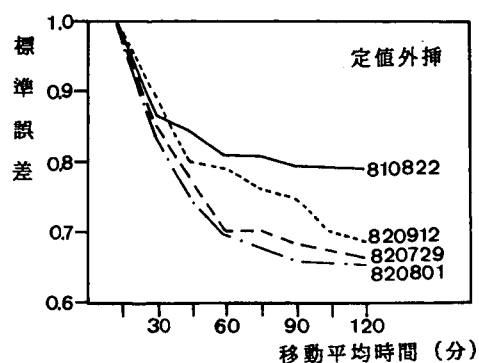


図 3-6 発達・衰弱の時系列分析結果
(1 時間先の予測値の標準誤差を比較したもの、
標準誤差は移動平均時間 15 分の時の値を基準
にし無次元化している)

表 3-2 自己相関係数算定結果 (15分ずらし)

降 雨 名	移 流 後		移 流 せ ず	
	サンプル数	相 関 係 数	サンプル数	相 関 係 数
19790514	6335	0.088	77555	-0.029
19791018	21315	-0.068	107185	-0.125
19801019	—	—	106319	0.177
19810625	—	—	94723	0.182
19810822	11514	-0.289	108097	0.121
19820729	11808	-0.055	81329	0.055
19820801	8876	-0.008	108173	-0.100
19820912	15238	-0.075	114537	-0.101

- ・「移流後」は移動ベクトルで移流後に発達・衰弱量を求めたもの
(通常の方法)
- ・「移流せず」は単に 2 時点のエコー強度の差を発達・衰弱量としたもの
- ・—は算定せず

表 3-1 15 分間の発達・衰弱を定値
外挿した場合の予測結果 (相関係数)

降雨名	1 時間	2 時間	3 時間
19810822	0.77	0.41	0.41
19820729	0.62	0.32	0.24
19820801	0.64	0.37	0.26
19820912	0.80	0.52	0.37

表 3-3 自己相関係数の時系列変化の例
(19790514降雨)

日 時	サンプル数	相 関 係 数
14日 5時 0分	415	-0.29
15分	415	0.07
30分	415	-0.37
45分	415	-0.26
6時 0分	415	-0.75
15分	415	-0.40
30分	415	0.35
45分	415	0.31
7時 0分	415	-0.12
15分	415	0.34
30分	415	0.47
45分	348	0.56
8時 0分	233	0.04
15分	233	-0.22
30分	233	-0.42
45分	144	-0.08
9時 0分	144	0.12

3-3 発達・衰弱量と地形量，気象量の関係

発達・衰弱量と地形量，気象量の関係は気象庁において精力的に研究されている。ここではまず既往のこれらの研究を概観する。

中井ら²⁰⁾はレーダの観測スケッチ図をデジタル化し，相互相関関数法で移動ベクトルを設定した後，これらを移流させ発達・衰弱量を算出しこの特性を見た。その結果，①エコーのステージ（発達期にあるか衰弱期にあるか）や発現場所（海上か陸地か）によってQ分布は異なること，②山系の風上斜面でエコーは発達すること，を示した。

昭和53年度全国予報技術検討会報告²¹⁾では発達・衰弱と風の収束量，収束域が強い関連を有していることが指摘された。

昭和55年度全国予報技術検討会報告²²⁾では，①発達・衰弱と収束，渦度の対応が良いこと，②また気温傾度の急な地域との関連が認められること，が報告されている。

永井ら²³⁾は30分間隔のエコー写真を10km格子で7段階のデジタル化を行った後，ミニマムディファレンス法を用いて30分間のエコーの移動速度と発達・衰弱分布を求めた。この結果，①エコーの発達し易い地域は山岳斜面や河川部というように地形的特徴の著しい地域となっていること，②エコーパターン（発達・衰弱量ではない）と最も良い相関を示す風解析データは渦度の1時間変化量であることを示した。

昭和56年度全国予報技術検討会報告²⁴⁾では実際の短時間降雨予測にあたって発散，収束あるいは渦度を用いて発達・衰弱を補正した例を示している。これは発散あるいは渦度がある値以上を示した場合，単純移流したレーダ雨量を1ランク強めたり，弱めたりする簡易的な方法である。この方法による発達・衰弱の補正効果はあまりなかったことが報告されている。

露木ら²⁵⁾は7段階にデジタル化された30分間隔のエコーパターンを用いて，相互相関関数法で移動ベクトルを求め発達・衰弱の特性を検討した。その結果エコーの発達しやすい地域では降雨によってはレーダエコーと発散，渦度及びこれらの1時間変化量との間に有意な相関があることを示した。

これら既往の発達・衰弱に関する研究成果を概括すると次のようなことが言えよう。

- ① 発達・衰弱量の算出法は相互相関関数法やミニマムディファレンス法で雨域全体の移動ベクトルを算出した後、エコーを移流させて $T-\Delta t$ と T の2枚のエコー図を重ね合わせ差し引く方法であり、本調査で用いた方法とほぼ同じである。
- ② しかしデジタル化したデータは Δt を30分と固定しているうえ、雨量強度を7段階で表示しておりかなりラフなデータとなっている。
- ③ 発達・衰弱量と地形及び風、温度場との関連が共通して指摘されている。
- ④ しかしこれらの関係はかなり定性的な記述に終始しており、これを直接予測に使うことは困難である。

よって本調査ではこのような点を踏まえ、前記3-2で作成した豊富な発達・衰弱量の時系列データを用いて、地形量、気象量との関係を検討し予測への適用可能性を考察することにした。検討方法としては統計的手法に基づくことにし発達・衰弱量を目的変数、各種地形量、気象量を説明変数とした重相関解析を行った。説明変数とする地形量、気象量としては既往の研究成果で発達・衰弱との関係を指摘されている次の諸量とした。

① 地形量

- 1) 平均標高 2) 起伏量 3) 傾斜度

② 気象量

- 4) 発散,収束 5) 渦度 6) 気温傾度 7) 発散,収束の時間変化量
- 8) 渦度の時間変化量 9) 平均気温の時間変化量 10) 移動速度
- 11) 前1時間の発達・衰弱量

なお各種地形量は国土数値情報(KS-110-1ファイル)から、各種気象量(10,11を除く)はアメダスデータから $6 \times 6 = 36 \text{ km}^2$ メッシュを空間単位として算出した。

以下各種地形量、気象量の算出方法を整理しておく。

1) 平均標高

KS-110-1ファイルは3次メッシュ(約 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$)をさらに東西南北方向にそれぞれ4等分した格子点の点標高を収録している。従ってほぼ 250 m メッシュの格子点の点標高が得られることになる。3次メッシュは南北方向を緯度 $30'$ 、東西方向を $45'$ ピッチで分割したものであり、当然、レーダメッシュとは一致しないことになる。よってレーダメッシュの格子点に最も近いKS-110-1ファイルの点を抽出してレーダメッシュに対応する点標高データを作成した。この際レーダメッシュ

は1 kmメッシュとしたので6×6=36km²のメッシュ内には49点の点標高が存在する。これら49点の標高に重みを乗じて平均することにより平均標高を求めた。重みの付加のしかたは国土数値情報KS-114ファイルの方法に準じた。

2) 起伏量

起伏量は最高標高－最低標高で定義した。なお最高、最低標高は49点の点標高から抽出した。

3) 傾斜量

メッシュの傾斜量は平均15°ピッチで24方向について次式で定義した。

$$G(X^\circ) = \tan^{-1} \{ (H_2 - H_1) / \ell \}$$

例えば $X^\circ = 45^\circ$ の時は右図のように H_1 , H_2 , ℓ が定義される。重相関解析時にはこの24方向のうち移動ベクトルの移動方向に最も近い方向を判定し採用している。

4) 発散, 収束

赤城山及び三ッ峠両レーダ雨量計の定量範囲にある全アメダス観測所（230観測所）を対象にし風向・風速, 気温データを収集した。これら230観測所（降雨によっては欠測していることもあり, 必ずしも230観測所全てのデータを用いているとは限らない。）の風向, 風速データから変分法で6 kmメッシュの格子点の風速（ u ）, 南北方向の風速（ v ）を内挿し次式で発散, 収束を計算した。

発散・収束＝

$$\frac{u_{i,j,j} - u_{i,j} + u_{i+1,j+1} - u_{i,j+1} + v_{i+1,j} + v_{i,j} - v_{i+1,j+1} - v_{i,j+1}}{2 \Delta x}$$

ここに i は東西方向（ x 方向）の添字, j は南北方向（ y 方向）の添字
このように定義すると収束は正, 発散は負となる。

5) 渦度

前記4)の風速（ u , v ）のデータを用いて次式で計算した。

$$\begin{aligned} \text{渦度} = & \frac{(v_{i+1,j} + v_{i+1,j+1}) - (v_{i,j} + v_{i,j+1})}{2 \Delta x} \\ & - \frac{(u_{i,j} + u_{i,j,j}) - (u_{i,j+1} + u_{i+1,j+1})}{2 \Delta y} \end{aligned}$$

6) 気温傾度

アメダスデータから変分法によって格子点における気温を内挿し東西，南北それぞれの方向の気温傾度を次式で定義し，いずれかその絶対値の大きい方をそのメッシュの気温傾度とする。

$$grad_x = \frac{T_{i+1,j} + T_{i+1,j+1} - T_{i,j} - T_{i,j+1}}{2 \Delta x}$$

$$grad_y = \frac{T_{i,j+1} + T_{i+1,j+1} - T_{i,j} - T_{i+1,j}}{2 \Delta y}$$

7), 8) 発散・収束の時間変化量，渦度の時間変化量

5), 6)で求めた発散，収束と渦度の1時間変化量として定義する。

9) 平均気温の時間変化量

4格子点の気温を単純平均し平均気温とし，この1時間変化量として定義する。

このように定義した諸量と発達・衰弱量の重相関解析の計算ケースとその結果を表3-4，5に示す。なお表3-4に示した計算条件は次のような意図で設定した。

① 対象とする発達・衰弱量の下限

発達・衰弱量Qの算定は何段階のステップを経たものであり，あまり小さなQには値そのものが有意であると考えられないので棄却した。

② 発達・衰弱量の積算時間

発達・衰弱量はアメダスデータとの整合を考え1時間積算値としたが，発達・衰弱のライフスケールを考慮するとともに気象量とのより直接的な対応を意図し，気象量の得られる時刻の直後15分間の発達・衰弱量を1ケースのみ対象とした。

③ 関連係数の下限

関連係数の低い時は，雨域の移動が明瞭でなく，その際に算出された発達・衰弱量は当然誤差を有していることが考えられる。よってこれを棄却することにした。

④ 平均標高1000m以上のメッシュを対象

発達・衰弱量と特に地形量の関係を見るために設定した条件である。

表3-4，5の結果から11種の説明変数では発達・衰弱量を十分説明できないことがわかる。すなわちここに示した地形量，気象量を用いて重回帰式で発達・

衰弱量を推定するのは困難といふことができる。実際各ケース、各降雨毎の重相関解析結果をつぶさに見てもある降雨で発達・衰弱量と有意な関係があると見られた説明変数が他の降雨では全く相関がなかったり、あるいは相関係数が正から負へ変動しているなどランダムな変化傾向を示しており、このような統計的方法では発達・衰弱量を予測できないことがわかる。

なお発達・衰弱が発散、収束や渦度などとあまり良く対応していない例^{22), 26)}も報告されていることを付記しておく。

表 3-4 重相関解析の計算ケースと結果

ケースNo	IQ1	Q時間	CA $\geq$ 0.7	H $\geq$ 1000	対 象	サンプル数	重相関係数
1	3.0	1hour	×	×	降雨毎	2037	0.52
2	3.0	1hour	○	×	降雨毎	204	0.57
3	3.0	1hour	○	×	全降雨	7011	0.08
4	5.0	1hour	○	×	降雨毎	68	0.77
5	1.0	15min	○	×	降雨毎	525	0.48
6	1.0	1hour	○	○	降雨毎	781	0.48
7	10.0	1hour	○	○	全降雨	488	0.22

1. IQ1: 対象とする発達・衰弱量の絶対値の下限

2. Q時間: 発達・衰弱量の積算時間

3. CA $\geq$ 0.7: 発達・衰弱量データのうち関連係数が0.7以上で得られたもののみを対象

4. H $\geq$ 1000: 平均標高が1000m以上のメッシュのみを対象

5. 対象: 降雨毎に計算を行ったか、全降雨のデータを一括して計算を行ったか

6. サンプル数、重相関係数: 降雨毎に計算した場合最大の相関係数を示したケース

表 3-5 重相関解析結果の例 (ケース2、19790514降雨)

説明変数	単相関係数	偏回帰係数
平均標高	-0.356	-0.0058
起伏量	-0.261	0.0028
傾斜度	0.196	0.559
発散・収束	-0.026	-0.051
渦度	0.056	0.051
気温傾度	-0.222	-0.168
発散変化量	-0.071	-0.092
渦度変化量	-0.041	-0.128
気温変化量	0.408	6.789
移動速度	0.213	0.291
前1時間発達	0.079	0.019
サンプル数	204	重相関係数 0.569

3-4 地形性降雨について

前節までの検討では発達・衰弱の有効な外挿方法，推定方法を特定することができなかった。一方あらためて指摘するまでもなく発達・衰弱と地形に強い関係があるところは多くの研究で報告されている。この地形による降雨の発達メカニズムを合理的に表現したモデルに立平の地形性降雨モデル²⁹⁾がある。本節ではこのモデルの導入方法とその導入効果について検討を加える。なお地形性降雨モデルの導入については本研究室で既に検討済¹⁹⁾であるが，本調査ではより厳密な形で地形性降雨を土研モデルへ導入した。（厳密ではあるがより単純明解である。）

具体的な地形性降雨の導入方法は次の通りである。

- ① 初期エコーから地形性降雨と非地形性降雨を分離する。今時刻 T におけるエコーを $E(T)$ とすると

$$E(T) = E_N(T) + E_o(T) \quad (1)$$

この地形性降雨 $E_o(T)$ は非地形性降雨 $E_N(T)$ によってもたらされたものである。今風速 10m/S ，非地形性降雨 4mm/hr という条件で求めた地形性降雨を O_R とし，風速，降雨強度に関して線形関係が成立すると仮定すれば

$$E_o(T) = O_R \times E_N(T) / 4 \times |V| / 10 \quad (2)$$

ただし V は雨域の移動速度を用いる。

(2)式を(1)式に代入すると次式が得られる。

$$E(T) = E_N(T) \times (1 + O_R \cdot |V| / 40) \quad (3)$$

(3)式によって非地形性エコーが分離できることになる。

- ② 次に非地形性エコー $E_N(T)$ のみ移動ベクトルで移流させる。これを $E_N(T + \Delta t)$ とする。

- ③ $E_N(T + \Delta T)$ によって誘起される地形性エコー $E_o(T + \Delta t)$ を次式により算出する。

$$E_o(T + \Delta t) = O_R \times E_N(T + \Delta t) / 4 \times |V| / 10 \quad (4)$$

- ④ $E_N(T + \Delta t) + E_o(T + \Delta t)$ が $T + \Delta t$ 時刻の予測降雨強度となる。

上記①～④のステップで地形性降雨を導入した結果を表3-6に示す。表3-7は修正単純移流モデルによる結果である。これら両者を比較すると明らかに地形性降雨を導入した方が予測雨量が過大となっていることがわかる。この理由としては，地形性降雨 O_R の算出にあたって水蒸気量を飽和状態としていることが考

えられる。すなわち通常地形性降雨モデルでは地形性降雨として落下した水蒸気量があれば気塊から除去する操作を含んでいるが、本モデルではこのような操作を一切行っていないため結果として過大な地形性降雨を予測降雨に加えていることになる。今後地形性降雨を合理的に導入するには水蒸気量など気象面からの情報をモデルに与える必要があろう。

表 3-6 地形性降雨を導入した場合の予測結果の精度 (カテゴリー表)
(1 時間予測 19820801 の 1 降雨分)

予測 実測	～2mm	2～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～	計
～2mm	1850	262	13						2125
2～5	304	1154	218	28	3				1707
5～10	8	71	101	29	10	3	1		223
10～20	4	12	14	15	4	6	2	1	58
20～30		3	3	4	2	2	1	1	16
30～40		3		2			1	1	7
40～50									
50～									
計	2166	1505	349	78	19	11	5	3	4136

表 3-7 修正単純移流モデルによる予測結果の精度 (カテゴリー表)
(1 時間予測 19820801 の 1 降雨分)

予測 実測	～2mm	2～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	50～	計
～2mm	1839	286	5						2130
2～5	267	1285	147	15	1				1715
5～10	8	72	119	22	4				225
10～20	4	15	11	17	3	7	1		58
20～30		3	4	5	3			1	16
30～40	1	2	2	1				1	7
40～50									
50～									
計	2119	1663	288	60	11	7	1	2	4151

3-5 発達・衰弱に関するまとめ

本章では、まず発達・衰弱量の特性を調べこの外挿の可能性を検討した。次に発達・衰弱量と地形量、気象量との間で重相関解析を行いこれらの関連を検討した。これらの結果を概括すると、残念ながら本調査で考えた方法では発達・衰弱量を予測に導入することはできないか、あるいは導入しても予測精度の向上につながらないことがわかった。また地形性降雨の考えを導入するためには水蒸気量などの気象面からのアプローチが必要であることがわかった。今後新たな視点から発達・衰弱量の導入法を調査することが望まれる。新たな視点とはマクロ的な発達・衰弱のステージの評価、水蒸気量の情報の導入などである。なお単純な外挿で発達・衰弱を考慮しても予測精度の上昇につながらないことはこれまでの研究でも報告されている。^{24), 27), 28)}

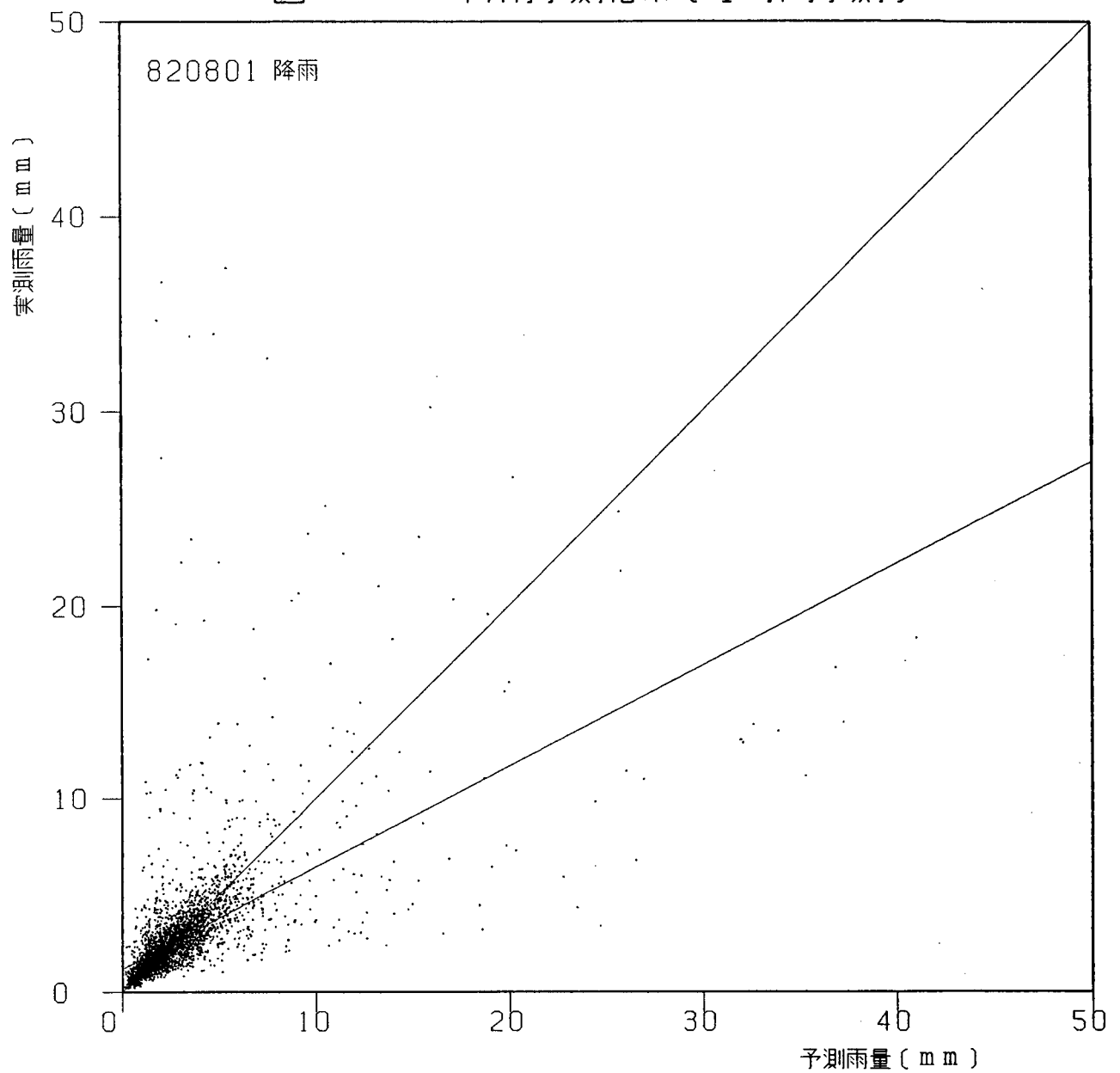
第4章 予測精度の評価

4-1 予測精度の定性的評価

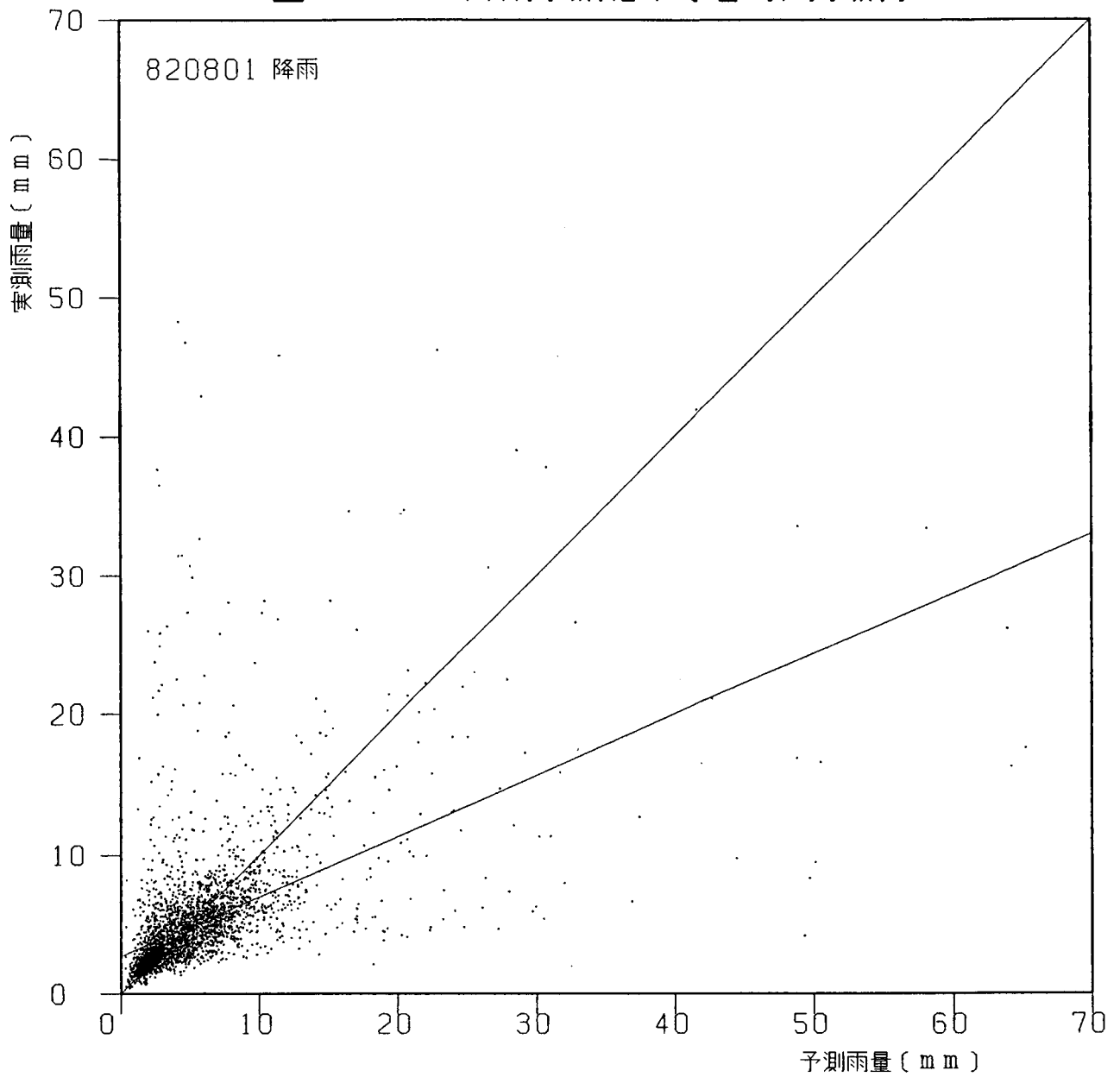
降雨予測の精度を直観的に把握するため、予測雨量と実測雨量の散布図及び時系列比較図を図4-1, 2に示した。ここでは散布図を2降雨分だけ掲げたが、残りの降雨については巻末に掲載している。また図4-1の2時間, 3時間雨量は予測開始時刻から2時間後, 3時間後までの累加雨量であり、これまでの定義とは異なることをことわっておく。

図4-1から明らかなように予測精度は降雨によつて大きく変動することがわかる。19820912降雨では1時間予測なら実用上十分な精度を有しているといえるのに対し、19820801降雨では試料は大きくばらついておりあまり精度の良い予測ができていない。特に実測雨量が大きいところで予測雨量が過小になっている傾向が目立つ。このように大きな実測雨量を予測雨量が表現できない例は他の降雨でもしばしば見られ、実用的な観点から今後の大きな課題とすることができよう。図4-2は任意に抽出した2流域 ($A=225\text{km}^2$) について予測雨量と実測雨量の時系列比較を行ったものである。1時間予測ではかなり精度良く実測値の動きを表現していることがわかる。また予測時間が2時間, 3時間と増大するにともない予測精度が急激に低下していく様子がわかる。なお図中予測値が描かれていないのは、予測時間内の雨域の移動により対象流域の予測が不可能になったことを示している。

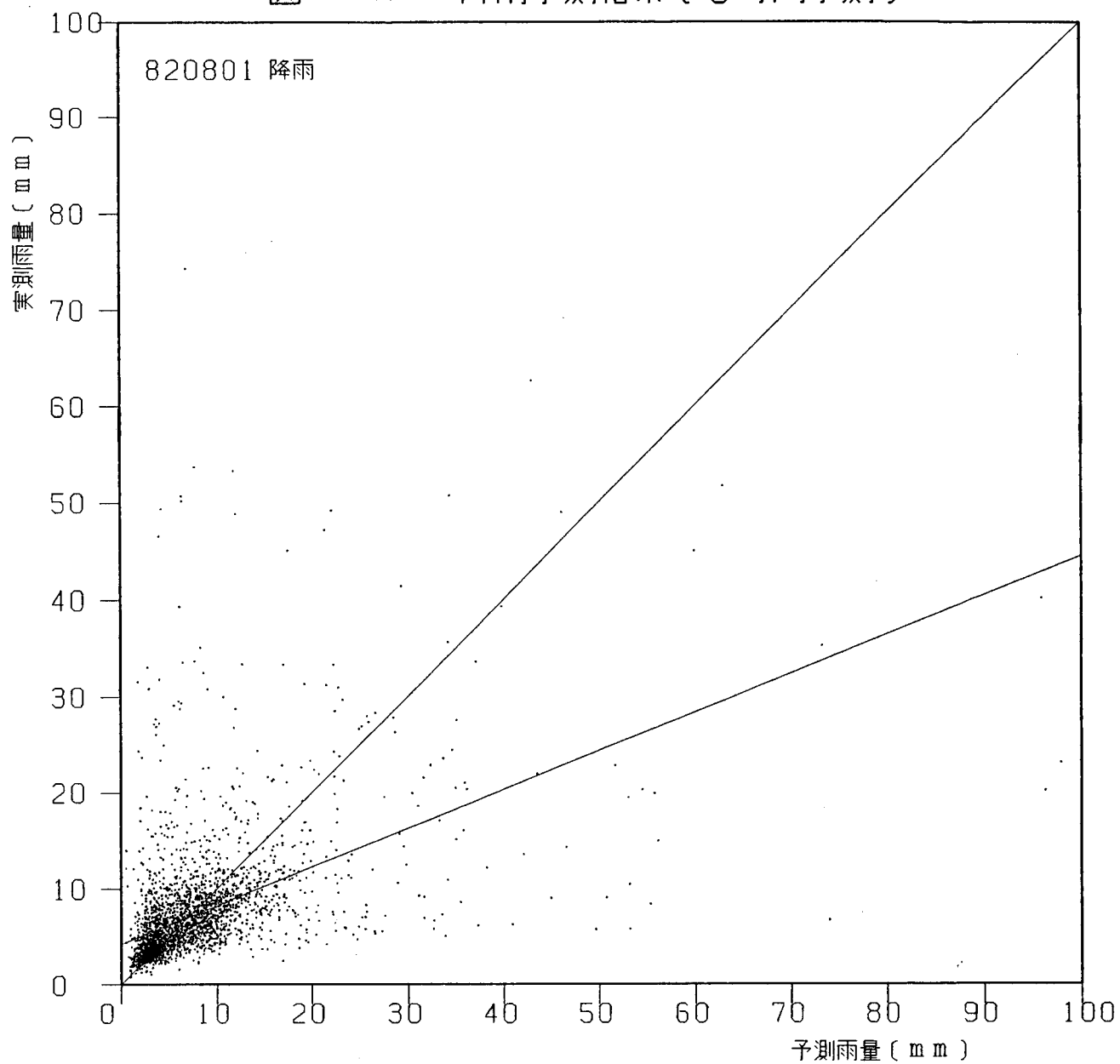
☒ 4-1(1) 降雨予測結果 (1 時間予測)



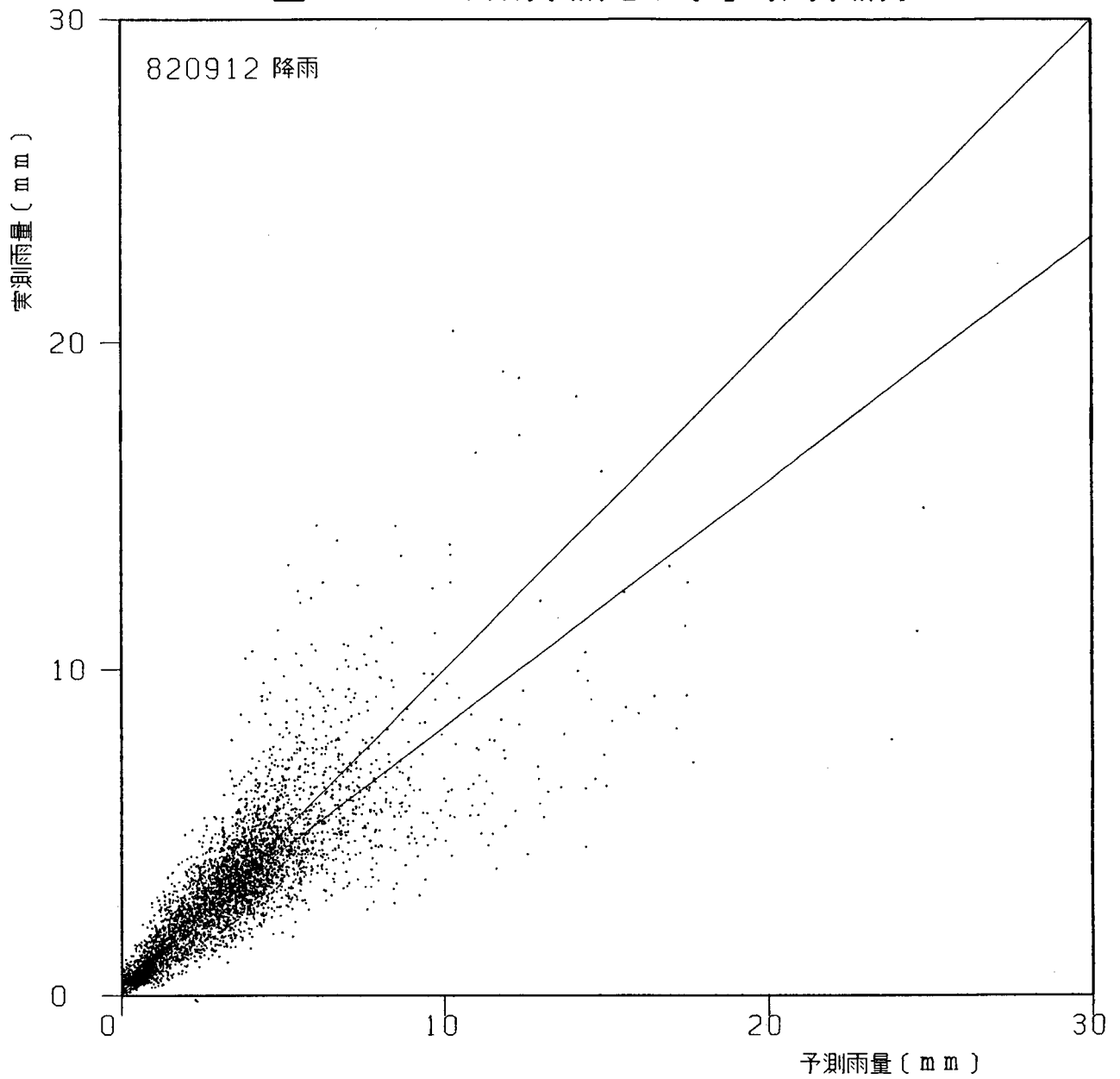
☒ 4-1(2) 降雨予測結果 (2時間予測)



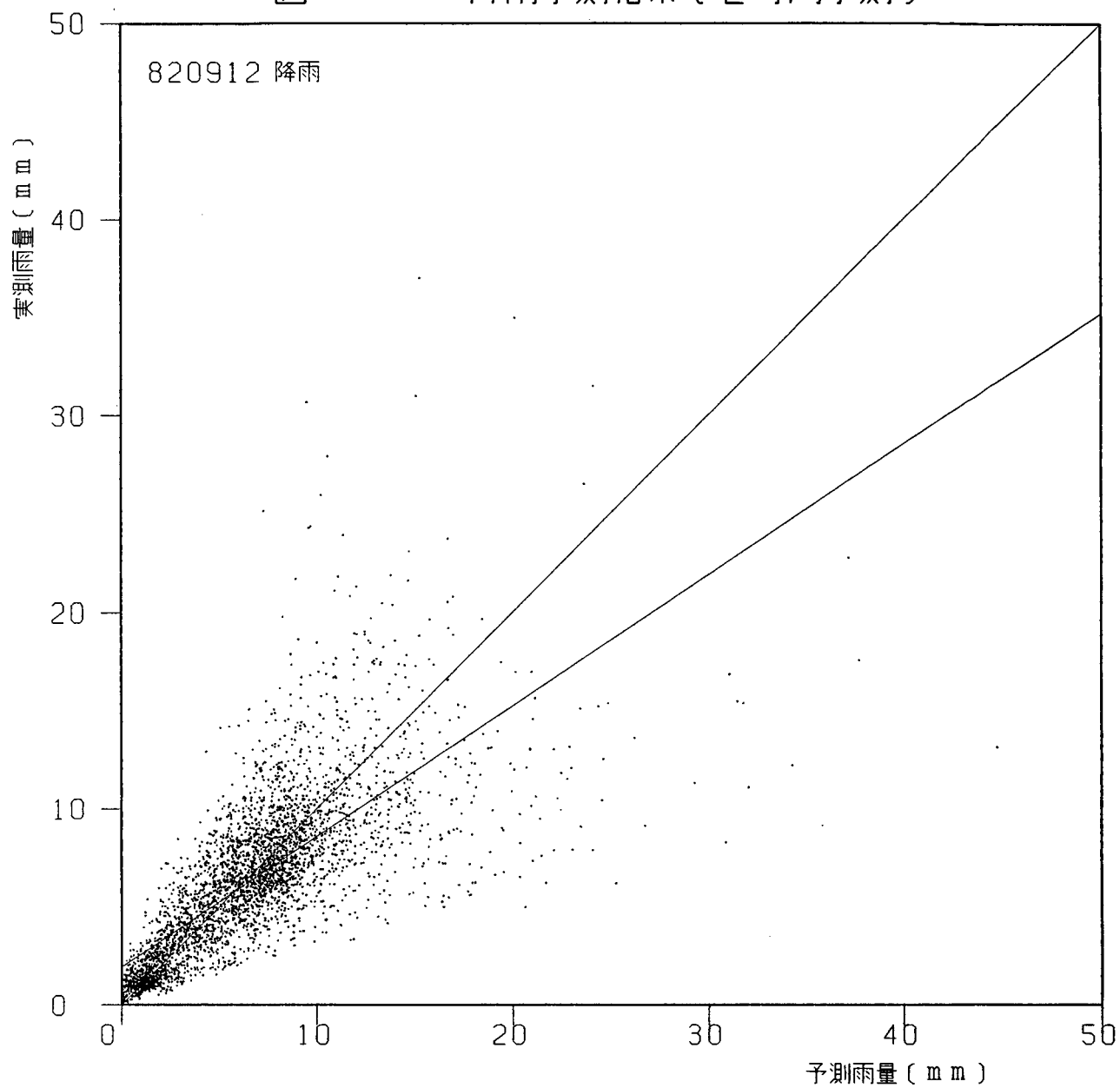
☒ 4-1(3) 降雨予測結果 (3時間予測)



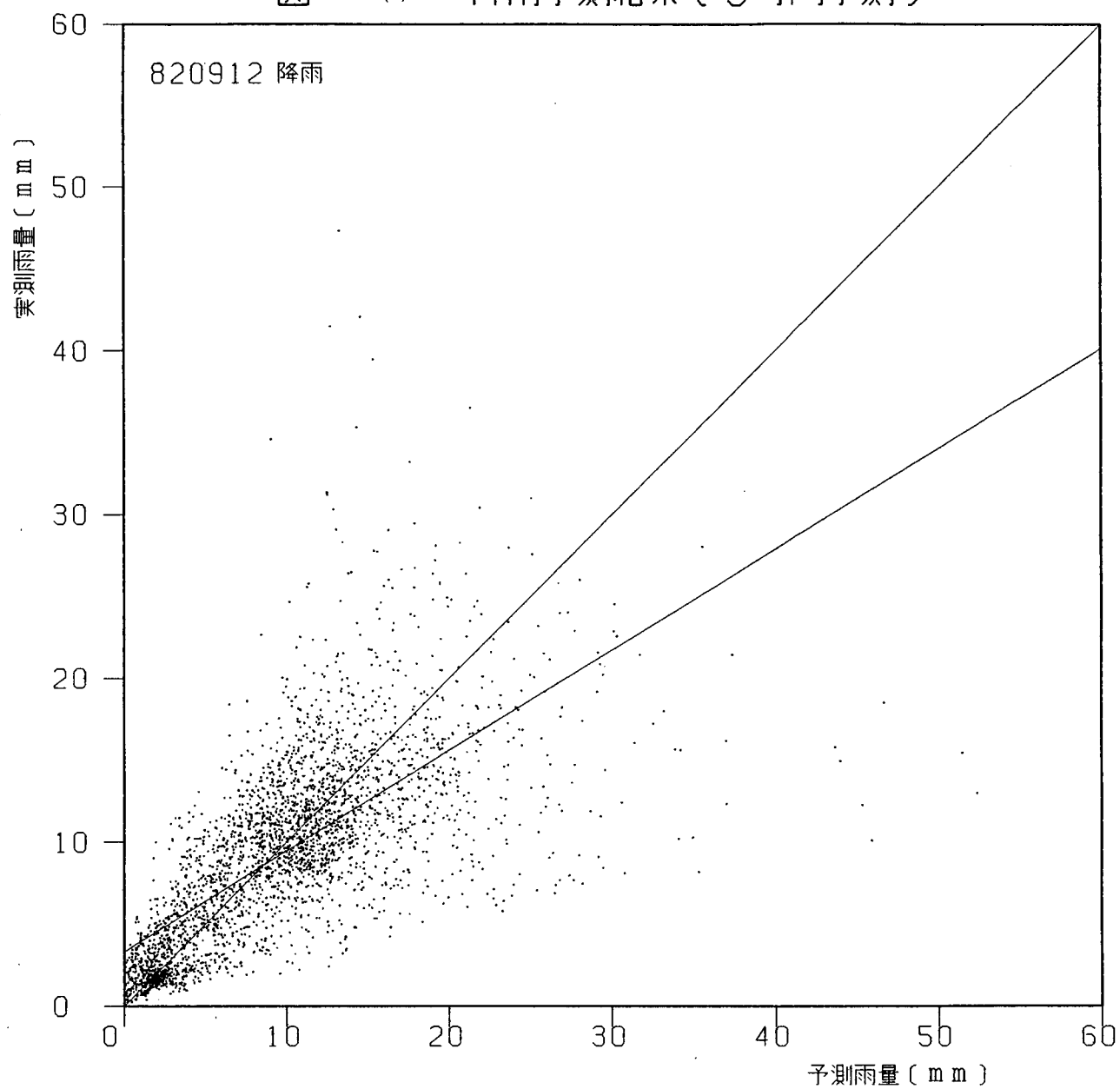
☒ 4-1(4) 降雨予測結果 (1 時間予測)



☒ 4-1(5) 降雨予測結果 (2時間予測)



☒ 4-1(6) 降雨予測結果〔3時間予測〕



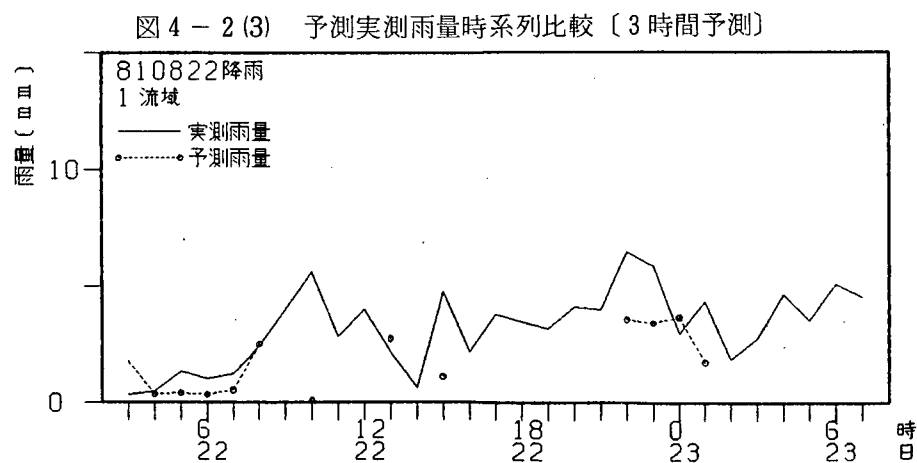
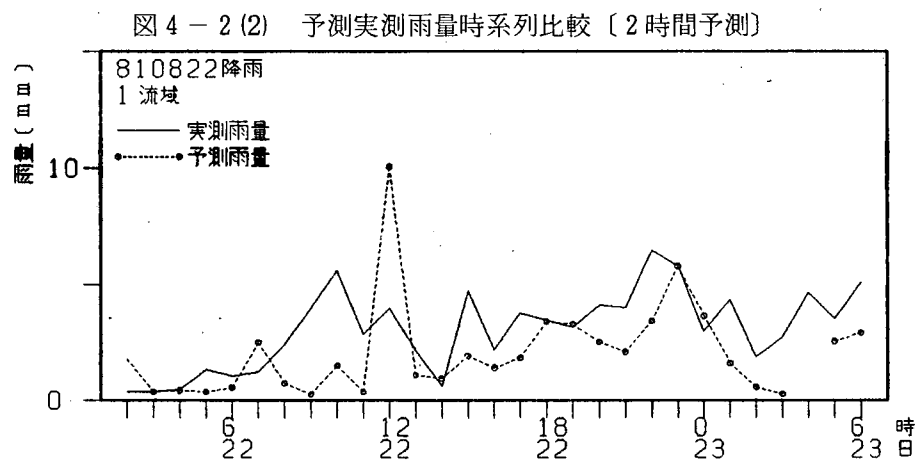
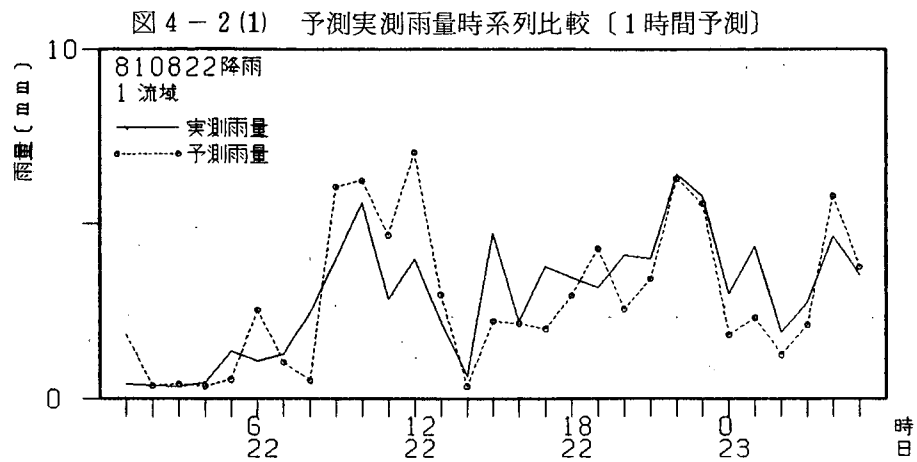


図 4 - 2 (4) 予測実測雨量時系列比較〔1 時間予測〕

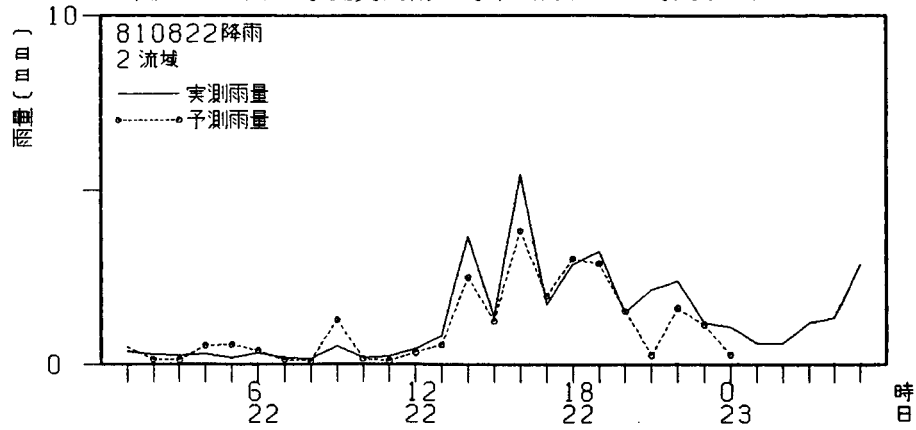


図 4 - 2 (5) 予測実測雨量時系列比較〔2 時間予測〕

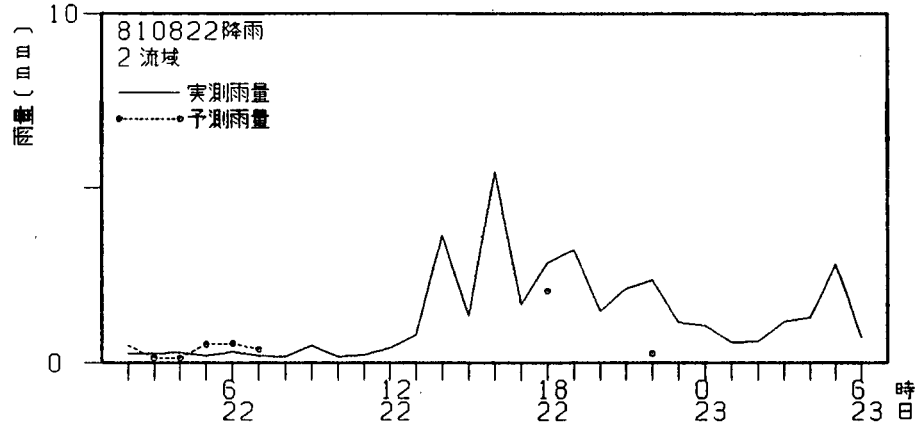


図 4 - 2 (6) 予測実測雨量時系列比較〔3 時間予測〕

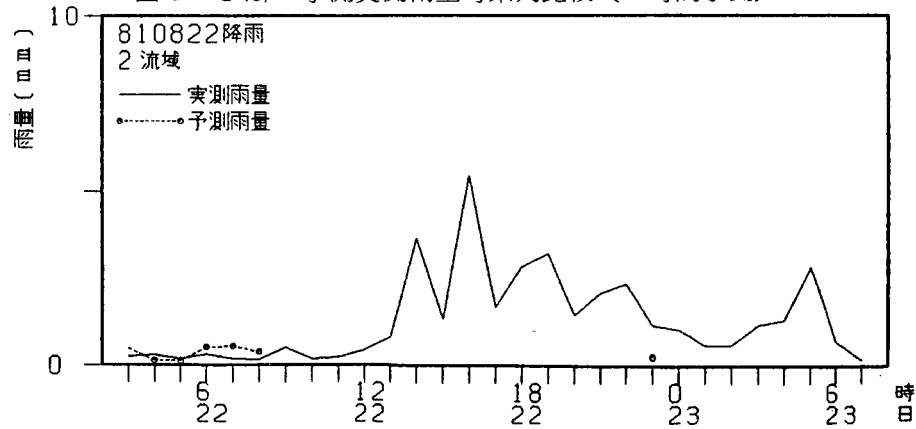


図 4 - 2 (7) 予測実測雨量時系列比較〔1時間予測〕

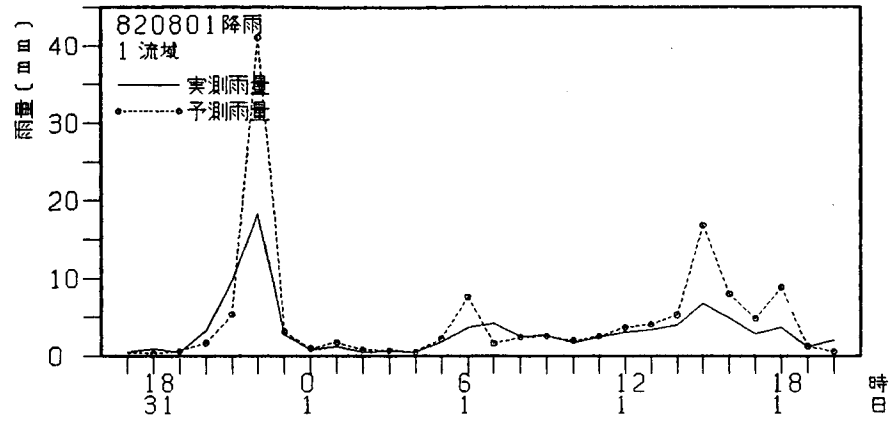


図 4 - 2 (8) 予測実測雨量時系列比較〔2時間予測〕

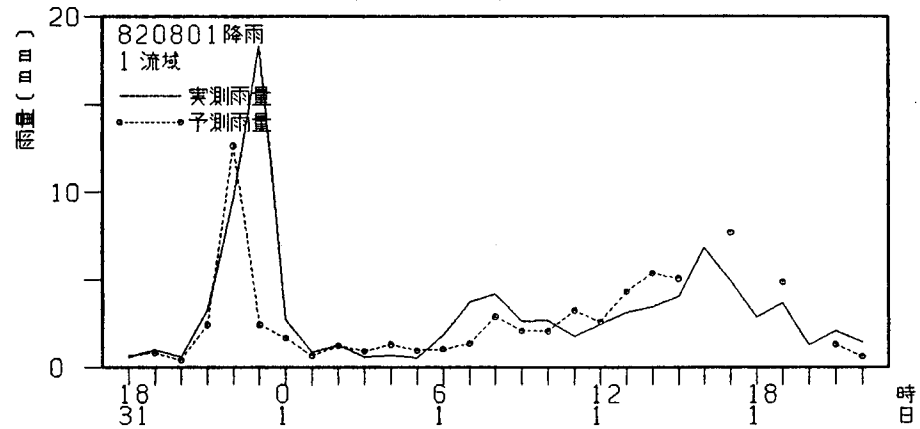
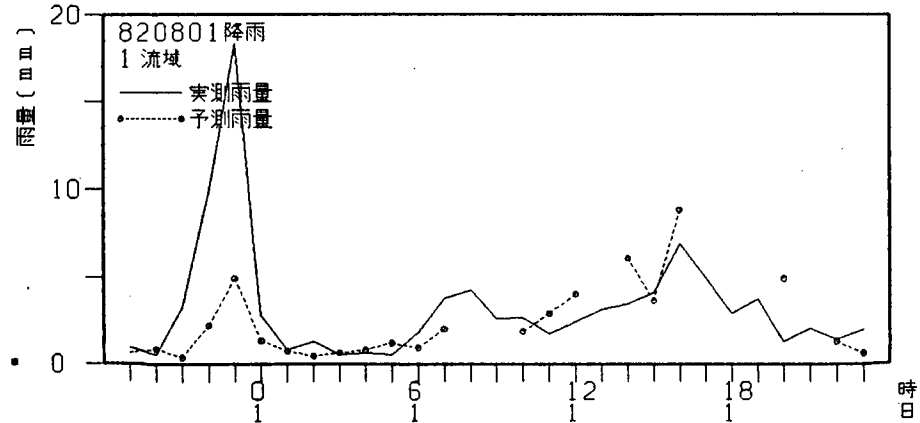


図 4 - 2 (9) 予測実測雨量時系列比較〔3時間予測〕



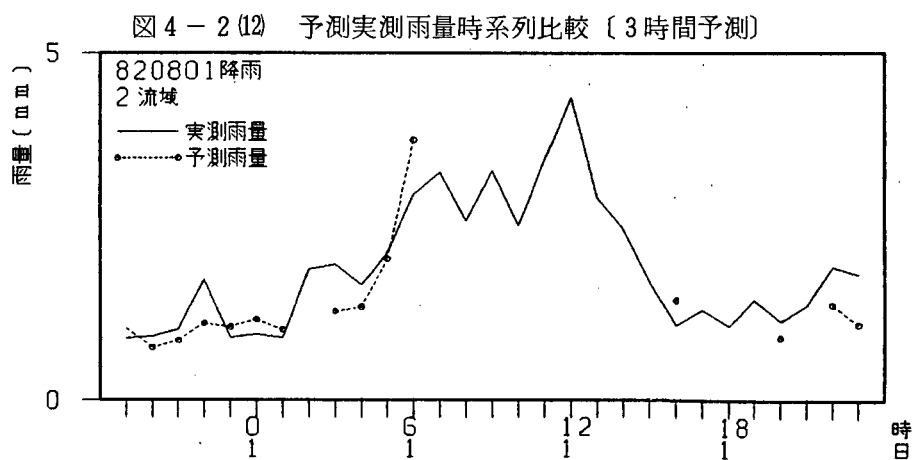
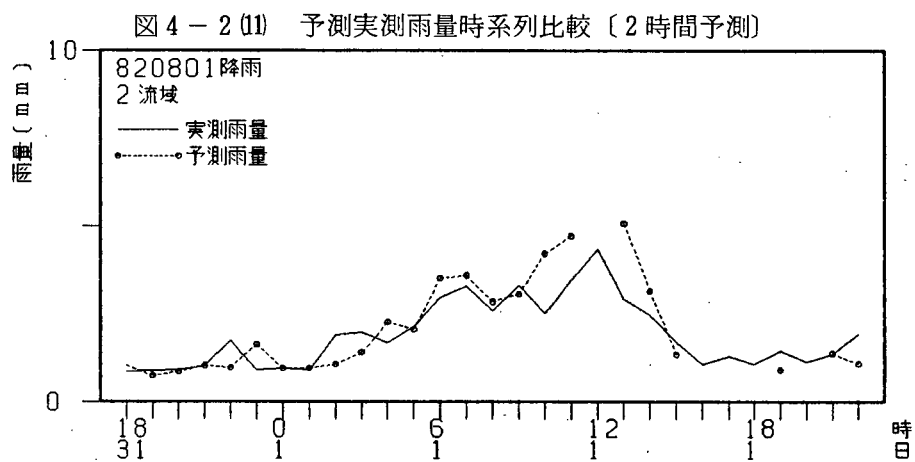
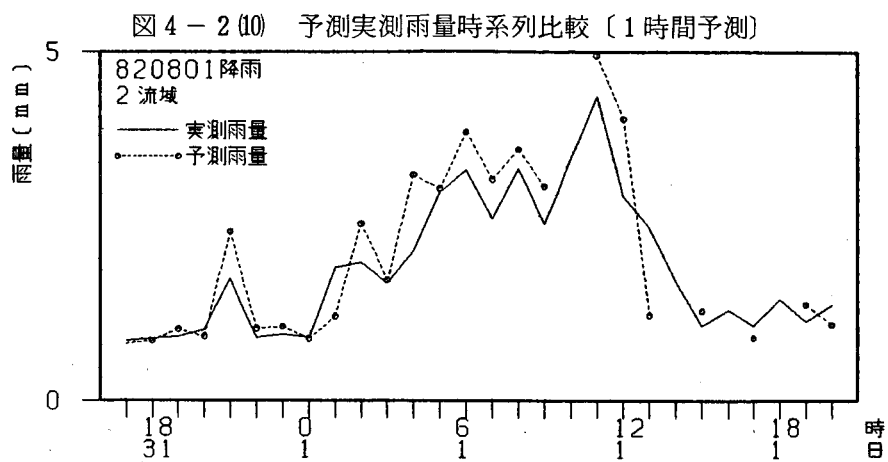


図4-2(13) 予測実測雨量時系列比較〔1時間予測〕

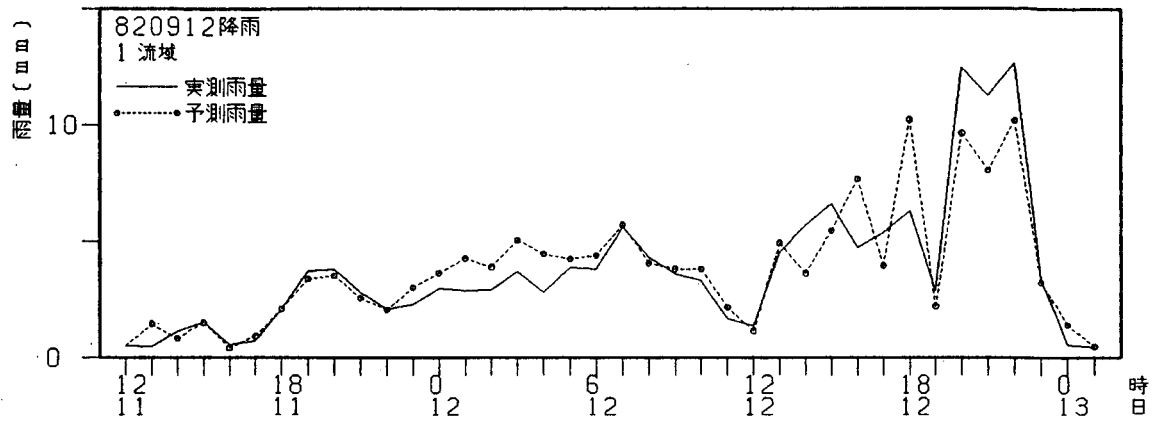


図4-2(14) 予測実測雨量時系列比較〔2時間予測〕

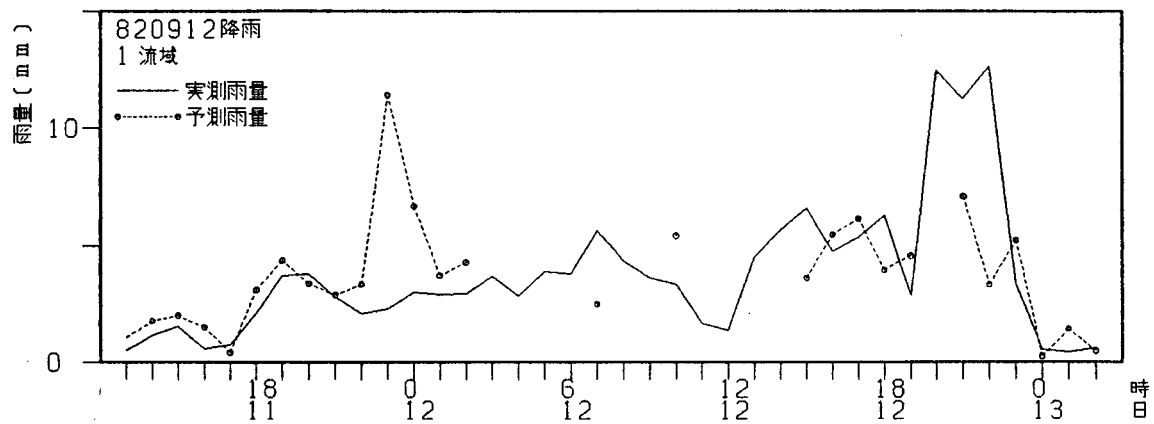
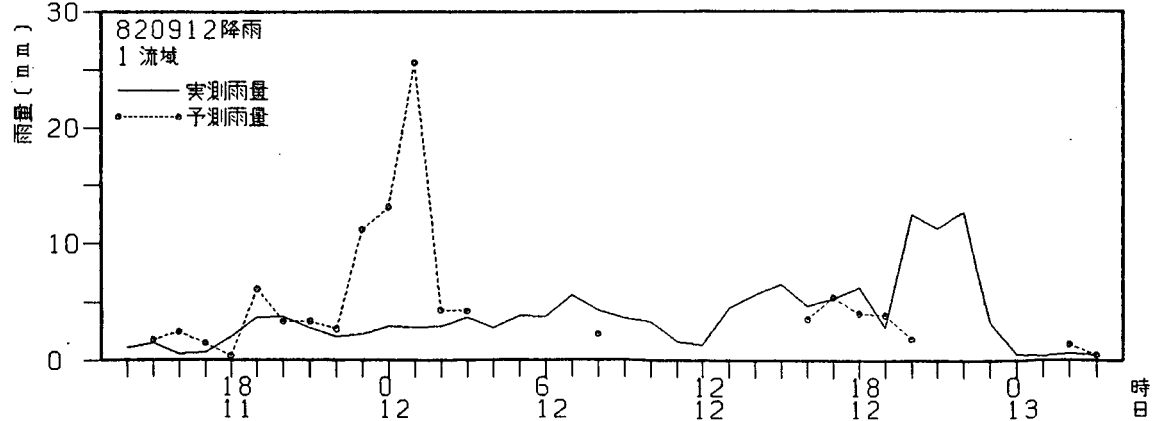
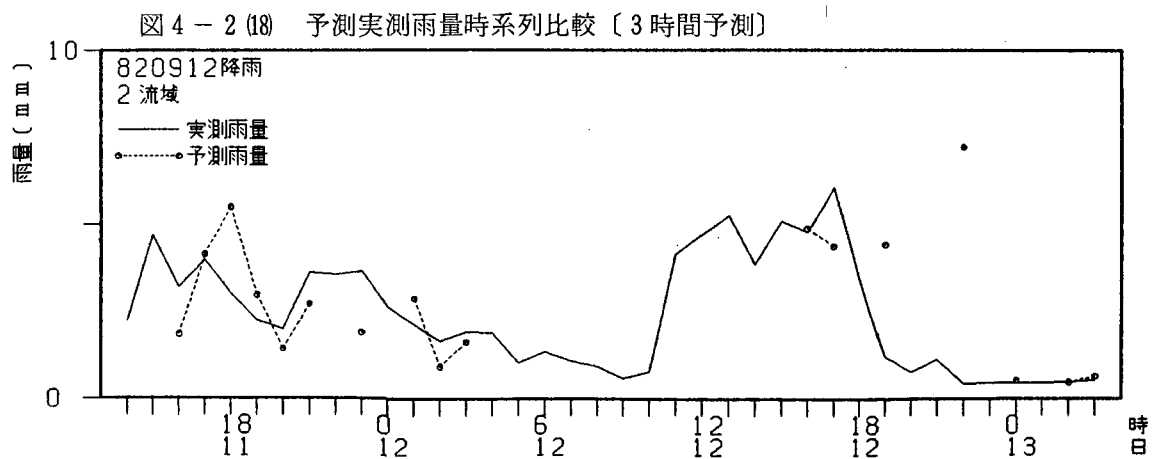
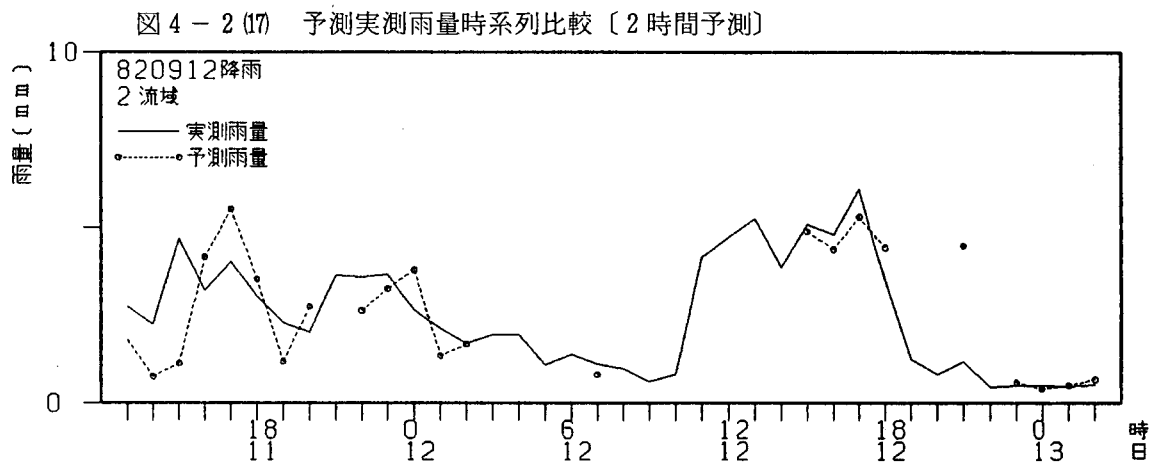
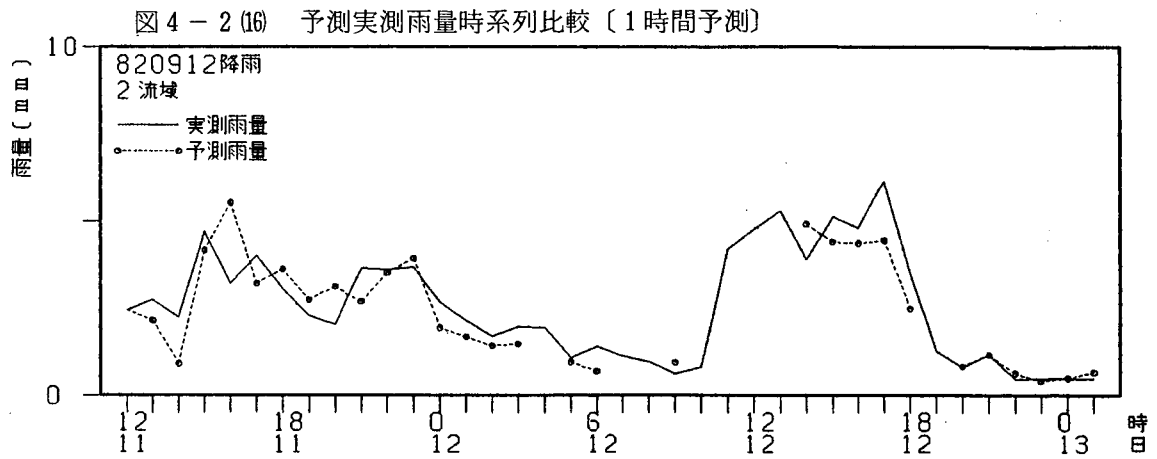


図4-2(15) 予測実測雨量時系列比較〔3時間予測〕





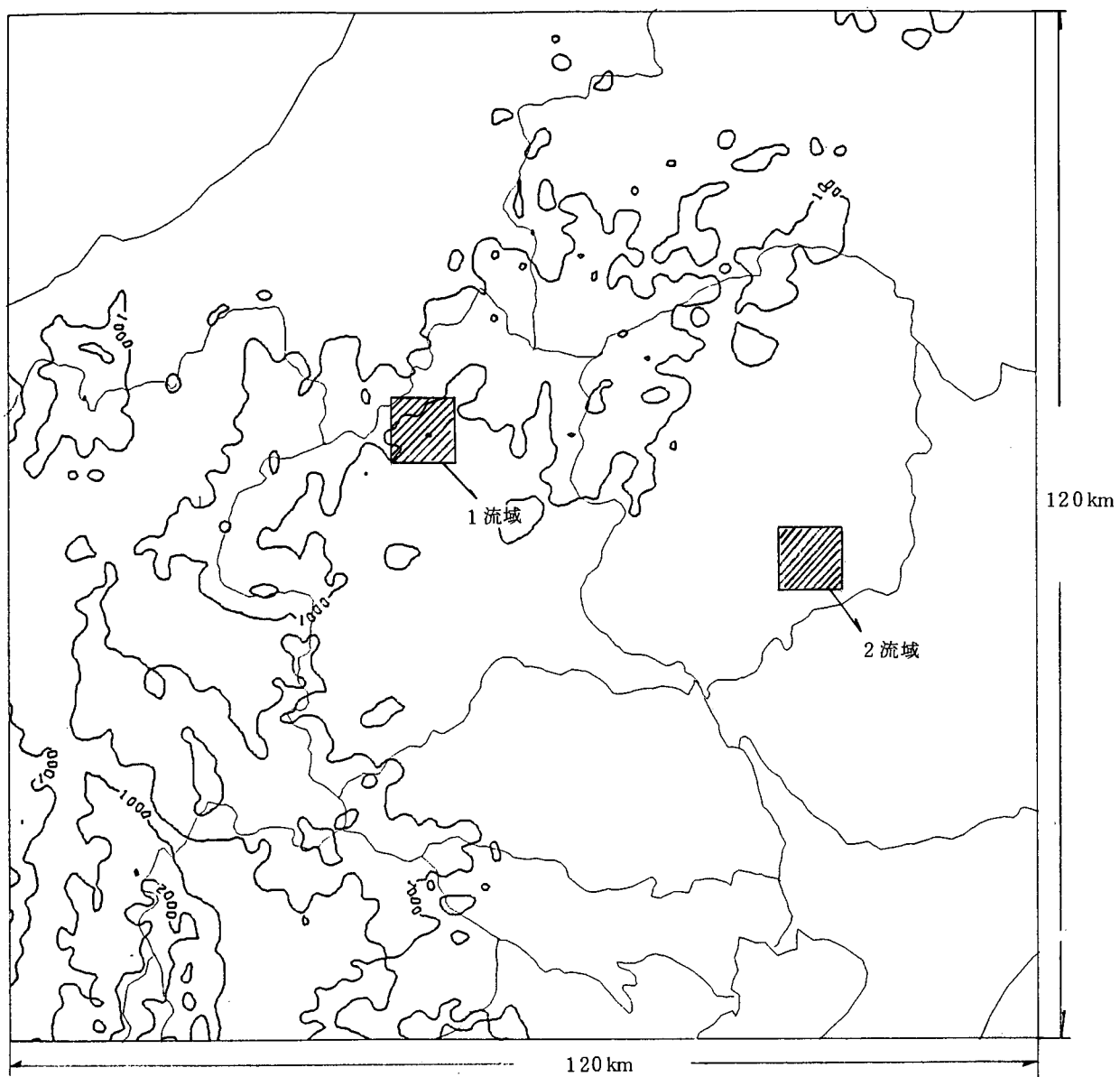


図 4 - 2 (19) 実測・予測雨量時系列比較流域位置図

4-2 予測精度の定量的評価

予測精度を評価する統計的指標としては第2章、表2-2に記述したように相関係数、的中率、C.S.I.、表現率など種々のものがある。現状では評価指標に関して統一された見解はなく研究者がそれぞれの立場で目的にあった評価指標を採用しているようである。本調査ではモデルの違いによる予測精度を直観的に把握するため専ら相関係数をその評価指標として用いてきたが、強雨に的を絞った予測精度を判定する場合にはC.S.I.や表現率などの指標が望ましいと思われる。また実際に降雨予測結果を利用する立場からは降雨予測モデルの信頼性が明らかである必要がある。よってここでは修正単純移流モデルで行った予測結果を統計的に処理し土研モデルの信頼限界を明らかにした。また予測精度と評価単位面積の関係を明らかにするため81km²～900km²まで面積を変化させて統計処理を行った。この結果を表4-1、図4-3に掲げた。これらより面積を大きくするほど予測結果が安定してくること、総体的に実測値に比べて予測値が大きい値を示していること、降雨規模が大きくなるほど信頼限界の巾が広がることがわかる。この結果は図4-1の散布図からも十分推測できたことである。今後降雨予測の実用性を高めるためにはせめて19820912降雨程度の精度を確保する必要がある。表4-2は19820912降雨の結果だけを用いて信頼限界を明らかにしたものであるが実用上十分な精度で予測のできていることがわかる。

表4-1 (1) 予測結果を統計処理した結果 (A = 81km²)

1 HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 1.0	0.5	32500	0.7	0.66	0.01 1.33	-0.41 1.75
2	1.0- 2.0	1.5	25445	1.5	1.23	0.28 2.74	-0.51 3.53
3	2.0- 4.0	3.0	23192	2.8	1.29	1.49 4.07	0.66 4.89
4	4.0- 6.0	5.0	6939	4.4	1.93	2.50 6.37	1.27 7.60
5	6.0-10.0	8.0	2089	6.1	3.33	2.76 9.42	0.62 11.55
6	10.0-15.0	12.5	419	8.3	6.18	2.15 14.52	-1.80 18.47
7	15.0-20.0	17.5	160	10.4	8.39	2.02 18.80	-3.35 24.17
8	20.0-30.0	25.0	100	14.5	9.98	4.57 24.53	-1.82 30.92
9	30.0-****	****	51	13.0	7.68	5.37 20.72	0.46 25.64

2 HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	25020	1.5	1.55	-0.05 3.04	-1.04 4.03
2	2.0- 4.0	3.0	18556	3.2	2.59	0.57 5.75	-1.09 7.40
3	4.0- 6.0	5.0	10575	4.8	2.48	2.35 7.32	0.77 8.90
4	6.0- 8.0	7.0	6660	6.4	2.61	3.76 8.99	2.09 10.66
5	8.0-10.0	9.0	3526	7.9	3.53	4.37 11.43	2.11 13.69
6	10.0-15.0	12.5	2722	9.7	5.09	4.60 14.77	1.34 18.03
7	15.0-20.0	17.5	591	11.4	6.84	4.54 18.22	0.16 22.60
8	20.0-30.0	25.0	374	12.4	9.14	3.27 21.56	-2.58 27.42
9	30.0-50.0	40.0	163	16.0	12.50	3.51 28.51	-4.49 36.51
10	50.0-****	****	39	16.7	15.13	1.54 31.81	-8.14 41.49

3 HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	11796	1.9	2.24	-0.38 4.11	-1.82 5.54
2	2.0- 4.0	3.0	14716	3.6	3.02	0.62 6.65	-1.31 8.58
3	4.0- 7.0	5.5	9820	5.7	3.75	1.91 9.40	-0.49 11.80
4	7.0-10.0	8.5	6577	7.9	3.66	4.22 11.54	1.88 13.88
5	10.0-15.0	12.5	5657	10.4	4.86	5.57 15.30	2.46 18.42
6	15.0-20.0	17.5	1847	12.7	5.79	6.94 18.52	3.23 22.22
7	20.0-25.0	22.5	605	14.6	8.24	6.31 22.79	1.04 28.06
8	25.0-35.0	30.0	436	15.2	9.70	5.48 24.87	-0.72 31.08
9	35.0-50.0	42.5	164	16.0	12.26	3.77 28.30	-4.08 36.14
10	50.0-****	****	92	19.9	16.53	3.36 36.43	-7.22 47.01

RANGE; 予測値の範囲

MEDIAN; 予測値の中央値

SUMPLE; サンプル数

MEAN; 実測値の平均値

DEVIATION; 標準偏差

MEAN±DEV; 平均±標準偏差

MEAN±1.64D; 平均±1.64×標準偏差

表 4 - 1 (2) 予 測 結 果 を 統 計 処 理 し た 結 果 (A = 144km²)

1HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SAMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 1.0	0.5	17998	0.7	0.57	0.08 1.23	-0.28 1.59
2	1.0- 2.0	1.5	13661	1.5	1.16	0.35 2.67	-0.39 3.41
3	2.0- 4.0	3.0	12637	2.8	1.21	1.57 3.98	0.80 4.75
4	4.0- 6.0	5.0	3832	4.5	1.99	2.48 6.46	1.21 7.73
5	6.0-10.0	8.0	1116	6.1	3.22	2.90 9.34	0.84 11.41
6	10.0-15.0	12.5	249	8.8	5.62	3.21 14.45	-0.39 18.05
7	15.0-20.0	17.5	77	9.9	6.82	3.07 16.72	-1.30 21.08
8	20.0-30.0	25.0	51	14.5	8.88	5.60 23.36	-0.08 29.04
9	30.0-****	****	27	12.8	7.35	5.44 20.14	0.74 24.84

2HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SAMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	13776	1.4	1.42	0.02 2.87	-0.89 3.78
2	2.0- 4.0	3.0	9912	3.1	2.38	0.76 5.52	-0.77 7.04
3	4.0- 6.0	5.0	5724	4.9	2.57	2.31 7.45	0.67 9.09
4	6.0- 8.0	7.0	3615	6.4	2.61	3.81 9.04	2.14 10.71
5	8.0-10.0	9.0	1940	8.0	3.78	4.20 11.76	1.78 14.18
6	10.0-15.0	12.5	1451	9.7	4.76	4.96 14.48	1.92 17.53
7	15.0-20.0	17.5	347	11.1	6.04	5.06 17.15	1.19 21.02
8	20.0-30.0	25.0	218	13.2	9.23	3.93 22.39	-1.97 28.30
9	30.0-50.0	40.0	79	14.8	10.83	4.00 25.65	-2.93 32.58
10	50.0-****	****	20	19.3	12.87	6.40 32.13	-1.83 40.37

3HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SAMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	6655	1.8	2.07	-0.27 3.87	-1.60 5.20
2	2.0- 4.0	3.0	7869	3.6	2.87	0.76 6.50	-1.08 8.34
3	4.0- 7.0	5.5	5188	5.7	3.60	2.06 9.27	-0.24 11.58
4	7.0-10.0	8.5	3520	7.9	3.72	4.16 11.61	1.78 13.99
5	10.0-15.0	12.5	3075	10.6	4.76	5.80 15.32	2.75 18.36
6	15.0-20.0	17.5	997	12.8	5.65	7.16 18.45	3.54 22.07
7	20.0-25.0	22.5	344	14.9	8.19	6.67 23.04	1.42 28.28
8	25.0-35.0	30.0	240	15.3	9.60	5.75 24.94	-0.40 31.08
9	35.0-50.0	42.5	88	15.5	10.00	5.49 25.48	-0.91 31.88
10	50.0-****	****	47	21.6	17.10	4.45 38.65	-6.49 49.59

RANGE; 予 測 値 の 範 囲

MEDIAN; 予 測 値 の 中 央 値

SAMPLE; サンプル数

MEAN; 実 測 値 の 平 均 値

DEVIATION; 標 準 偏 差

MEAN±DEV; 平均±標準偏差

MEAN±1.64D; 平均±1.64×標準偏差

表 4 - 1 (3) 予測結果を統計処理した結果 (A = 225km²)

1HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 1.0	0.5	11266	0.6	0.52	0.12 1.17	-0.21 1.50
2	1.0- 2.0	1.5	8553	1.5	0.91	0.59 2.41	0.01 2.99
3	2.0- 4.0	3.0	7904	2.8	1.48	1.32 4.27	0.37 5.21
4	4.0- 6.0	5.0	2399	4.5	1.90	2.58 6.39	1.37 7.60
5	6.0-10.0	8.0	735	6.0	2.79	3.20 8.78	1.41 10.56
6	10.0-15.0	12.5	161	9.0	5.70	3.34 14.73	-0.31 18.38
7	15.0-20.0	17.5	45	11.1	6.67	4.41 17.74	0.14 22.01
8	20.0-30.0	25.0	32	11.6	6.18	5.45 17.82	1.49 21.78
9	30.0-****	****	13	15.2	6.72	8.52 21.97	4.22 26.27

2HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	8602	1.4	1.36	0.08 2.79	-0.79 3.66
2	2.0- 4.0	3.0	6141	3.1	2.05	1.05 5.14	-0.26 6.45
3	4.0- 6.0	5.0	3572	4.9	2.98	1.94 7.91	0.03 9.82
4	6.0- 8.0	7.0	2234	6.4	2.54	3.87 8.96	2.25 10.58
5	8.0-10.0	9.0	1209	7.9	3.07	4.82 10.97	2.86 12.93
6	10.0-15.0	12.5	958	9.7	4.61	5.08 14.30	2.13 17.25
7	15.0-20.0	17.5	209	11.5	6.63	4.83 18.10	0.59 22.34
8	20.0-30.0	25.0	137	12.9	8.09	4.84 21.01	-0.34 26.19
9	30.0-50.0	40.0	47	14.6	10.12	4.45 24.69	-2.03 31.17
10	50.0-****	****	9	18.7	6.78	11.92 25.49	7.58 29.83

3HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	4190	1.8	1.93	-0.16 3.70	-1.40 4.93
2	2.0- 4.0	3.0	4863	3.6	2.59	1.01 6.18	-0.64 7.84
3	4.0- 7.0	5.5	3220	5.7	3.87	1.86 9.61	-0.62 12.08
4	7.0-10.0	8.5	2178	7.8	3.45	4.36 11.26	2.15 13.47
5	10.0-15.0	12.5	1918	10.6	4.59	5.97 15.15	3.04 18.08
6	15.0-20.0	17.5	660	12.8	5.90	6.89 18.70	3.11 22.48
7	20.0-25.0	22.5	205	15.1	7.31	7.74 22.36	3.06 27.04
8	25.0-35.0	30.0	163	14.6	8.46	6.15 23.07	0.74 28.48
9	35.0-50.0	42.5	45	16.8	11.26	5.51 28.04	-1.70 35.24
10	50.0-****	****	25	19.9	11.76	8.15 31.67	0.62 39.20

RANGE; 予測値の範囲

MEDIAN; 予測値の中央値

SUMPLE; サンプル数

MEAN; 実測値の平均値

DEVIATION; 標準偏差

MEAN ± DEV; 平均 ± 標準偏差

MEAN ± 1.64D; 平均 ± 1.64 × 標準偏差

表 4 - 1 (4) 予測結果を統計処理した結果 (A = 324km²)

1HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 1.0	0.5	7582	0.6	0.54	0.10	1.18 -0.25 1.53
2	1.0- 2.0	1.5	5620	1.5	0.78	0.72	2.27 0.22 2.77
3	2.0- 4.0	3.0	5278	2.8	1.40	1.40	4.20 0.51 5.10
4	4.0- 6.0	5.0	1614	4.5	1.91	2.59	6.41 1.37 7.64
5	6.0-10.0	8.0	504	6.1	2.96	3.17	9.10 1.28 10.99
6	10.0-15.0	12.5	114	8.0	4.10	3.88	12.07 1.26 14.70
7	15.0-20.0	17.5	42	12.0	6.62	5.41	18.65 1.17 22.89
8	20.0-30.0	25.0	16	12.5	5.05	7.41	17.51 4.18 20.74
9	30.0-****	****	4	10.7	3.43	7.29	14.15 5.09 16.35

2HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	5764	1.4	1.33	0.09	2.76 -0.76 3.61
2	2.0- 4.0	3.0	3960	3.1	2.01	1.11	5.12 -0.18 6.41
3	4.0- 6.0	5.0	2362	4.9	2.72	2.19	7.62 0.45 9.36
4	6.0- 8.0	7.0	1502	6.5	2.86	3.68	9.40 1.85 11.23
5	8.0-10.0	9.0	797	7.9	3.04	4.82	10.90 2.87 12.85
6	10.0-15.0	12.5	656	9.8	4.27	5.55	14.08 2.82 16.81
7	15.0-20.0	17.5	144	11.0	5.39	5.63	16.42 2.18 19.87
8	20.0-30.0	25.0	93	13.7	9.32	4.35	22.99 -1.62 28.96
9	30.0-50.0	40.0	28	14.5	8.46	6.04	22.95 0.62 28.36
10	50.0-****	****	4	19.8	9.57	10.20	29.35 4.08 35.47

3HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	2862	1.7	1.86	-0.12	3.60 -1.31 4.79
2	2.0- 4.0	3.0	3160	3.6	2.68	0.93	6.29 -0.78 8.00
3	4.0- 7.0	5.5	2148	5.7	3.35	2.30	9.00 0.16 11.14
4	7.0-10.0	8.5	1415	8.0	3.84	4.16	11.84 1.70 14.30
5	10.0-15.0	12.5	1288	10.6	4.66	5.95	15.27 2.97 18.25
6	15.0-20.0	17.5	453	12.9	5.30	7.59	18.20 4.20 21.59
7	20.0-25.0	22.5	151	14.5	7.20	7.34	21.74 2.73 26.34
8	25.0-35.0	30.0	105	16.1	9.61	6.45	25.66 0.30 31.81
9	35.0-50.0	42.5	39	15.7	10.15	5.55	25.85 -0.94 32.35
10	50.0-****	****	8	26.5	15.62	10.90	42.13 0.90 52.12

RANGE;予測値の範囲

MEDIAN;予測値の中央値

SUMPLE;サンプル数

MEAN;実測値の平均値

DEVIATION;標準偏差

MEAN±DEV;平均±標準偏差

MEAN±1.64D;平均±1.64×標準偏差

表 4 - 1 (5) 予測結果を統計処理した結果 (A = 441km²)

1HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 1.0	0.5	5408	0.6	0.51	0.13	1.14 -0.20 1.47
2	1.0- 2.0	1.5	3966	1.5	0.80	0.69	2.29 0.17 2.81
3	2.0- 4.0	3.0	3769	2.8	1.22	1.57	4.01 0.79 4.79
4	4.0- 6.0	5.0	1147	4.5	1.69	2.82	6.20 1.73 7.29
5	6.0-10.0	8.0	358	6.2	2.57	3.59	8.74 1.95 10.38
6	10.0-15.0	12.5	85	8.8	5.08	3.76	13.92 0.51 17.16
7	15.0-20.0	17.5	25	10.6	5.64	4.94	16.23 1.33 19.84
8	20.0-30.0	25.0	11	10.9	4.14	6.72	15.01 4.07 17.66
9	30.0-****	****	1	23.3	0.0	23.26	23.26 23.26 23.26

2HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	4083	1.4	1.25	0.16	2.65 -0.63 3.45
2	2.0- 4.0	3.0	2812	3.1	1.87	1.22	4.96 0.02 6.15
3	4.0- 6.0	5.0	1652	4.8	2.35	2.49	7.20 0.99 8.70
4	6.0- 8.0	7.0	1061	6.5	2.30	4.16	8.76 2.69 10.23
5	8.0-10.0	9.0	534	8.2	3.11	5.06	11.28 3.07 13.28
6	10.0-15.0	12.5	465	9.8	4.31	5.46	14.09 2.70 16.85
7	15.0-20.0	17.5	118	11.5	6.19	5.30	17.67 1.35 21.63
8	20.0-30.0	25.0	60	11.7	7.83	3.85	19.50 -1.16 24.51
9	30.0-50.0	40.0	23	16.0	8.25	7.78	24.28 2.50 29.56
10	50.0-****	****	0	0.0	0.0	0.0	0.0 0.0 0.0

3HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	2020	1.7	1.78	-0.05	3.51 -1.19 4.65
2	2.0- 4.0	3.0	2216	3.6	2.54	1.04	6.11 -0.59 7.74
3	4.0- 7.0	5.5	1465	5.6	3.08	2.54	8.70 0.57 10.67
4	7.0-10.0	8.5	1015	7.9	3.50	4.43	11.44 2.19 13.68
5	10.0-15.0	12.5	887	10.6	4.40	6.24	15.03 3.43 17.84
6	15.0-20.0	17.5	316	13.0	5.33	7.70	18.37 4.29 21.78
7	20.0-25.0	22.5	113	14.7	7.08	7.59	21.74 3.06 26.27
8	25.0-35.0	30.0	63	14.3	8.35	5.98	22.68 0.63 28.02
9	35.0-50.0	42.5	28	20.2	14.14	6.08	34.35 -2.97 43.40
10	50.0-****	****	8	19.2	10.10	9.07	29.27 2.60 35.73

RANGE;予測値の範囲

MEDIAN;予測値の中央値

SUMPLE;サンプル数

MEAN;実測値の平均値

DEVIATION;標準偏差

MEAN±DEV;平均±標準偏差

MEAN±1.64D;平均±1.64×標準偏差

表 4 - 1 (6) 予測結果を統計処理した結果 (A = 576km²)

1HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 1.0	0.5	3870	0.6	0.45	0.18	1.08 -0.11 1.37
2	1.0- 2.0	1.5	2777	1.5	0.99	0.51	2.50 -0.13 3.14
3	2.0- 4.0	3.0	2715	2.8	1.08	1.71	3.87 1.02 4.56
4	4.0- 6.0	5.0	867	4.5	1.62	2.90	6.13 1.86 7.17
5	6.0-10.0	8.0	271	6.2	2.69	3.53	8.92 1.81 10.65
6	10.0-15.0	12.5	65	9.0	5.05	3.97	14.07 0.74 17.30
7	15.0-20.0	17.5	15	11.0	4.60	6.44	15.63 3.50 18.58
8	20.0-30.0	25.0	5	10.3	2.85	7.40	13.10 5.58 14.93
9	30.0-****	****	3	13.9	1.28	12.60	15.16 11.78 15.98

2HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	2944	1.4	1.16	0.23	2.54 -0.51 3.28
2	2.0- 4.0	3.0	1949	3.2	2.10	1.07	5.27 -0.28 6.61
3	4.0- 6.0	5.0	1233	4.8	2.36	2.48	7.20 0.98 8.70
4	6.0- 8.0	7.0	763	6.4	2.26	4.13	8.66 2.68 10.11
5	8.0-10.0	9.0	415	8.0	2.72	5.26	10.70 3.52 12.44
6	10.0-15.0	12.5	359	9.8	4.12	5.68	13.92 3.04 16.56
7	15.0-20.0	17.5	83	11.9	5.99	5.92	17.90 2.09 21.73
8	20.0-30.0	25.0	47	13.8	8.95	4.83	22.72 -0.89 28.45
9	30.0-50.0	40.0	11	13.2	5.88	7.27	19.03 3.51 22.79
10	50.0-****	****	3	29.2	4.65	24.58	33.89 21.61 36.87

3HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	1456	1.7	1.72	-0.01	3.42 -1.11 4.52
2	2.0- 4.0	3.0	1490	3.5	2.38	1.16	5.93 -0.36 7.46
3	4.0- 7.0	5.5	1069	5.6	3.32	2.29	8.94 0.16 11.06
4	7.0-10.0	8.5	703	7.9	3.36	4.58	11.31 2.43 13.46
5	10.0-15.0	12.5	643	10.7	4.38	6.35	15.12 3.54 17.92
6	15.0-20.0	17.5	242	13.4	5.46	7.92	18.83 4.42 22.32
7	20.0-25.0	22.5	87	13.7	6.10	7.62	19.83 3.72 23.73
8	25.0-35.0	30.0	54	16.4	9.00	7.41	25.41 1.66 31.16
9	35.0-50.0	42.5	18	17.8	13.15	4.65	30.95 -3.77 39.37
10	50.0-****	****	3	18.9	7.15	11.76	26.07 7.19 30.64

RANGE; 予測値の範囲

MEDIAN; 予測値の中央値

SUMPLE; サンプル数

MEAN; 実測値の平均値

DEVIATION; 標準偏差

MEAN±DEV; 平均±標準偏差

MEAN±1.64D; 平均±1.64×標準偏差

表 4 - 1 (7) 予測結果を統計処理した結果 (A = 729km²)

1HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 1.0	0.5	3007	0.6	0.49	0.14 1.12	-0.18 1.43
2	1.0- 2.0	1.5	2129	1.5	0.99	0.51 2.49	-0.12 3.12
3	2.0- 4.0	3.0	2144	2.8	0.98	1.80 3.75	1.18 4.37
4	4.0- 6.0	5.0	665	4.6	1.69	2.88 6.26	1.80 7.34
5	6.0-10.0	8.0	209	6.4	2.74	3.64 9.12	1.89 10.87
6	10.0-15.0	12.5	46	8.0	3.79	4.17 11.75	1.74 14.18
7	15.0-20.0	17.5	9	9.7	2.38	7.34 12.10	5.81 13.62
8	20.0-30.0	25.0	6	10.9	2.92	7.98 13.81	6.11 15.68
9	30.0-****	****	1	20.8	0.0	20.82 20.82	20.82 20.82

2HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	2276	1.4	1.24	0.15 2.63	-0.65 3.43
2	2.0- 4.0	3.0	1468	3.1	1.97	1.14 5.07	-0.11 6.33
3	4.0- 6.0	5.0	938	4.8	2.08	2.72 6.88	1.39 8.21
4	6.0- 8.0	7.0	590	6.7	2.48	4.20 9.16	2.61 10.75
5	8.0-10.0	9.0	343	8.0	2.92	5.07 10.90	3.21 12.77
6	10.0-15.0	12.5	261	10.0	4.33	5.69 14.35	2.92 17.12
7	15.0-20.0	17.5	65	11.9	5.62	6.26 17.49	2.66 21.09
8	20.0-30.0	25.0	35	10.9	5.50	5.40 16.40	1.88 19.93
9	30.0-50.0	40.0	7	14.5	7.04	7.51 21.58	3.01 26.09
10	50.0-****	****	1	39.6	0.0	39.64 39.64	39.64 39.64

3HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	1138	1.7	1.71	-0.03 3.38	-1.12 4.48
2	2.0- 4.0	3.0	1165	3.5	2.35	1.18 5.88	-0.32 7.38
3	4.0- 7.0	5.5	812	5.6	3.07	2.57 8.72	0.60 10.68
4	7.0-10.0	8.5	546	8.0	3.17	4.84 11.18	2.81 13.21
5	10.0-15.0	12.5	521	10.7	4.38	6.30 15.06	3.50 17.86
6	15.0-20.0	17.5	173	13.5	5.64	7.86 19.15	4.25 22.76
7	20.0-25.0	22.5	68	14.3	6.12	8.19 20.43	4.28 24.34
8	25.0-35.0	30.0	43	15.8	7.42	8.33 23.18	3.58 27.93
9	35.0-50.0	42.5	9	14.0	6.49	7.54 20.52	3.38 24.68
10	50.0-****	****	4	24.2	10.33	13.85 34.51	7.24 41.12

RANGE;予測値の範囲

MEDIAN;予測値の中央値

SUMPLE;サンプル数

MEAN;実測値の平均値

DEVIATION;標準偏差

MEAN±DEV;平均±標準偏差

MEAN±1.64D;平均±1.64×標準偏差

表 4 - 1 (8) 予測結果を統計処理した結果 (A = 900km²)

1HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 1.0	0.5	2096	0.6	0.44	0.18 1.07	-0.10 1.35
2	1.0- 2.0	1.5	1538	1.5	0.68	0.82 2.17	0.38 2.61
3	2.0- 4.0	3.0	1528	2.9	1.08	1.77 3.93	1.08 4.62
4	4.0- 6.0	5.0	476	4.6	1.64	2.97 6.26	1.92 7.31
5	6.0-10.0	8.0	159	6.1	2.76	3.35 8.88	1.58 10.65
6	10.0-15.0	12.5	42	9.3	4.14	5.14 13.42	2.48 16.08
7	15.0-20.0	17.5	6	8.8	2.35	6.48 11.19	4.98 12.70
8	20.0-30.0	25.0	2	9.3	2.76	6.59 12.11	4.82 13.88
9	30.0-****	****	1	17.2	0.0	17.23 17.23	17.23 17.23

2HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	1541	1.4	1.13	0.26 2.52	-0.47 3.25
2	2.0- 4.0	3.0	1013	3.1	1.81	1.29 4.90	0.14 6.06
3	4.0- 6.0	5.0	644	5.0	2.18	2.79 7.15	1.39 8.55
4	6.0- 8.0	7.0	417	6.6	2.24	4.37 8.84	2.94 10.28
5	8.0-10.0	9.0	223	8.3	2.85	5.43 11.12	3.61 12.94
6	10.0-15.0	12.5	203	9.8	3.93	5.90 13.76	3.39 16.28
7	15.0-20.0	17.5	58	11.5	6.46	5.07 17.99	0.94 22.12
8	20.0-30.0	25.0	20	14.7	7.44	7.22 22.10	2.46 26.86
9	30.0-50.0	40.0	5	14.0	1.40	12.56 15.36	11.67 16.25
10	50.0-****	****	1	41.4	0.0	41.45 41.45	41.45 41.45

3HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	779	1.7	1.63	0.08 3.35	-0.96 4.39
2	2.0- 4.0	3.0	782	3.6	2.53	1.10 6.15	-0.52 7.77
3	4.0- 7.0	5.5	520	5.6	3.11	2.52 8.74	0.53 10.73
4	7.0-10.0	8.5	384	8.2	3.41	4.78 11.61	2.60 13.79
5	10.0-15.0	12.5	365	10.8	4.52	6.30 15.34	3.41 18.23
6	15.0-20.0	17.5	143	13.2	5.38	7.84 18.61	4.40 22.05
7	20.0-25.0	22.5	42	14.6	7.68	6.93 22.29	2.02 27.21
8	25.0-35.0	30.0	29	14.5	5.93	8.54 20.40	4.75 24.19
9	35.0-50.0	42.5	10	22.3	12.51	9.82 34.85	1.81 42.86
10	50.0-****	****	2	18.9	2.63	16.31 21.57	14.63 23.25

RANGE; 予測値の範囲

MEDIAN; 予測値の中央値

SUMPLE; サンプル数

MEAN; 実測値の平均値

DEVIATION; 標準偏差

MEAN±DEV; 平均±標準偏差

MEAN±1.64D; 平均±1.64×標準偏差

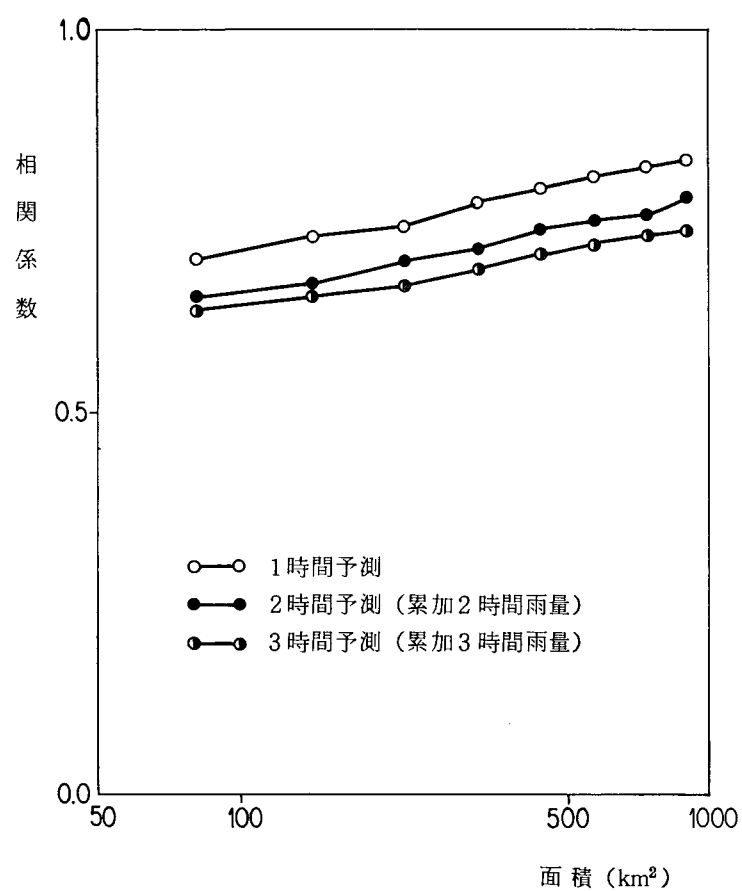


図 4 - 3 面積と相関係数の関係

表 4 - 2 予測結果を統計処理した結果 (19820912降雨, A = 225km²)

1HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 1.0	0.5	945	0.7	0.35	0.36 1.06	0.13 1.28
2	1.0- 2.0	1.5	760	1.7	0.67	1.04 2.38	0.61 2.80
3	2.0- 4.0	3.0	1897	3.2	0.98	2.21 4.17	1.58 4.79
4	4.0- 6.0	5.0	1202	4.6	1.40	3.17 5.97	2.27 6.86
5	6.0- 8.0	7.0	278	6.2	1.93	4.23 8.09	3.00 9.32
6	8.0-10.0	9.0	82	6.7	2.29	4.37 8.95	2.91 10.41
7	10.0-15.0	12.5	63	8.4	4.06	4.33 12.45	1.74 15.04
8	15.0-****	****	14	10.2	2.28	7.93 12.50	6.47 13.96

2HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	734	1.5	0.82	0.68 2.32	0.15 2.84
2	2.0- 4.0	3.0	501	3.5	1.58	1.91 5.07	0.91 6.08
3	4.0- 6.0	5.0	580	5.7	2.06	3.68 7.79	2.36 9.11
4	6.0- 8.0	7.0	806	7.2	2.27	4.97 9.52	3.52 10.97
5	8.0-10.0	9.0	606	8.5	2.87	5.67 11.41	3.84 13.25
6	10.0-15.0	12.5	479	10.6	3.80	6.81 14.40	4.38 16.83
7	15.0-20.0	17.5	105	11.6	5.19	6.40 16.78	3.08 20.10
8	20.0-30.0	25.0	41	12.5	6.08	6.41 18.56	2.52 22.45
9	30.0-****	****	10	14.2	4.13	10.05 18.31	7.41 20.95

3HOUR PREDICTION

NO	RANGE	MEDIAN	SUMPLE	MEAN	DEVIATION	MEAN-+DEV	MEAN-+1.64D
1	0.0- 2.0	1.0	367	2.2	1.30	0.87 3.48	0.04 4.31
2	2.0- 4.0	3.0	398	3.6	2.29	1.29 5.88	-0.18 7.35
3	4.0- 6.0	5.0	246	6.0	2.64	3.41 8.69	1.72 10.38
4	6.0- 8.0	7.0	260	8.4	3.37	5.03 11.77	2.87 13.93
5	8.0-10.0	9.0	372	10.2	3.30	6.93 13.54	4.82 15.65
6	10.0-15.0	12.5	922	12.0	4.34	7.69 16.37	4.91 19.14
7	15.0-20.0	17.5	330	14.6	5.19	9.43 19.81	6.10 23.13
8	20.0-30.0	25.0	166	15.2	5.82	9.34 20.99	5.61 24.71
9	30.0-****	****	25	16.0	5.12	10.91 21.16	7.63 24.44

RANGE;予測値の範囲

MEDIAN;予測値の中央値

SUMPLE;サンプル数

MEAN;実測値の平均値

DEVIATION;標準偏差

MEAN±DEV;平均±標準偏差

MEAN±1.64D;平均±1.64×標準偏差

4-3 他の予測手法による予測精度

第1章で現在提案されている種々の短時間降雨予測手法を紹介したが、これらのうちの多くは予測例を示すのみでその予測精度までは明らかにしていない。これは短時間降雨予測には長大な演算時間が必要となるため、統計的な予測精度が有意なほど多くのケースを対象にしていなかったためと考えられる。ここでは予測精度を明らかにしている例をできるだけ紹介し、現在の短時間降雨予測の精度を明らかにするよう努めた。

図4-4, 5はElevander³⁰⁾による予測結果の例である。図4-4はパターン認識した後個々のエコー域の移動ベクトルを設定する方法で予測した結果である。また図4-5は相互相関関数法に拠ったものである。図中の数字はエコー強度のいき値を表しているが、これら両図とも降雨強度の大きい部分での予測精度の悪いことを示している。本調査で既に掲げた表2-4, 図4-1でも全く同様の傾向が見られ、強雨域の予測の難しいことがわかる。

図4-6, 7はBellon³¹⁾らの相互相関関数法による予測結果である。図4-6からは面積が小さくなるほどまたいき値が大きくなるほど予測精度の低下することを示している。また図4-7からは移動ベクトルをいくら正確に設定しても予測精度には限界があることがわかる。

表4-3はHuffら³²⁾による個々のエコーを追跡する手法を用いた予測結果の精度である。平均誤差, 相対誤差が指標となつているが予測対象雨量の規模が明らかでないのでその精度は直感的にわかりづらい。しかし予測時間30分と60分の間での急激な予測精度の低下は理解できる。

図4-8, 9はTsonisら²⁸⁾による発達, 衰弱の導入効果の検討結果である。発達, 衰弱を導入しても予測精度の上昇に結びつかないことがわかる。なおTsonisらは移動ベクトルを相互相関関数法により設定し, 発達・衰弱は $\Delta t = 30$ 分間の発達・衰弱量を定値外挿している。

表4-4は椎葉ら⁸⁾による予測結果の例である。表中の値は1降雨について木津川流域(約1600km²)を対象に算出したものであり, 数値そのものの意味はあまりない。しかし各ケース間の相対的な大小は大きな意味を有していると考えられる。これによるとU, Vは各地点で座標の一次式で与えるよりむしろ一様な値, すなわち単一の移動ベクトルを与えた方が良いことがわかる。土研モデルの妥当

性の証左と考えられる。また発達・衰弱を導入しても予測精度の上昇しないことも表4-4より理解できよう。

図4-10は筑後川ダム統管での予測結果である。³³⁾ 松原ダム上流域(491km²)を対象に実測、予測雨量の散布図を示したものである。2時間予測になると予測精度が大巾に低下することがわかる。なお予測方法は土研モデルに地形性降雨を導入したものを採用している。

表4-5は気象庁の予測精度の例である。³⁴⁾ 予測手法は米子、福岡の700mb風でエコー強度を流したものと広島と福島のエコー速度の平均で流したものである。なお評価面積は400km²である。これより降雨により予測精度は大きく変動すること、相関係数で見ると土研モデルとほぼ同程度の予測精度であることがわかる。

以上他の予測手法の予測精度について言及したが、上記の内容を概括すると次のようなことが言えよう。

- ① 予測結果の精度は予測手法によってそれほど大きく変わらない。
- ② 予測時間の増大とともに予測精度は急速に低下する。
- ③ 強雨域を予測することは難しい。
- ④ 発達・衰弱を外挿しても予測精度の向上にはつながらない。ただし地形性降雨の導入の有効性を指摘している調査成果は2例ある。^{33)、34)}
- ⑤ エコー毎や地点毎に移動ベクトルを設定しても予測精度は上昇しない。
- ⑥ 移動ベクトルの設定だけでは予測精度の上昇に限界がある。

これらの内容は本調査によって得られた成果とよく一致している。

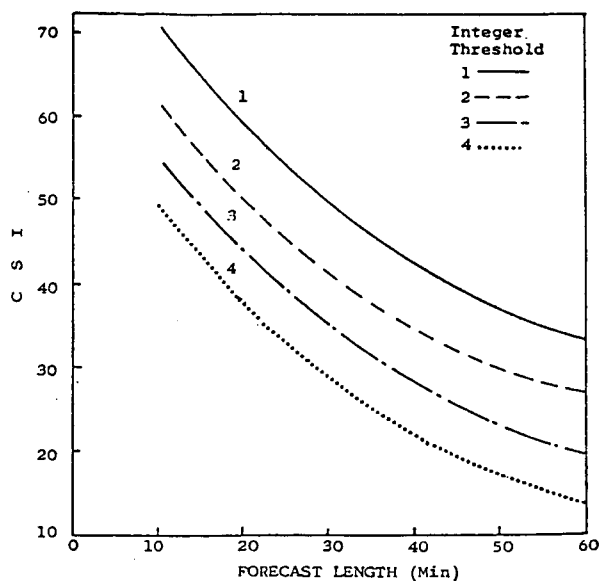


Figure 2. The range of forecast skill, measured by the Critical Success Index (CSI), for forecasts made by the Stanford Research Institute model, using integer threshold data from 1 to 4, verified on a 64 n mi² area.

図 4-4 いき値、予測値と CSI の関係³⁰⁾
(1, 2, 3, 4 の順でいき値は大きくなる)

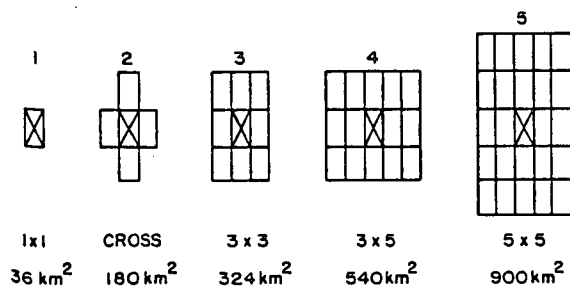


FIG. 6. Size and shape of the five verifying areas.

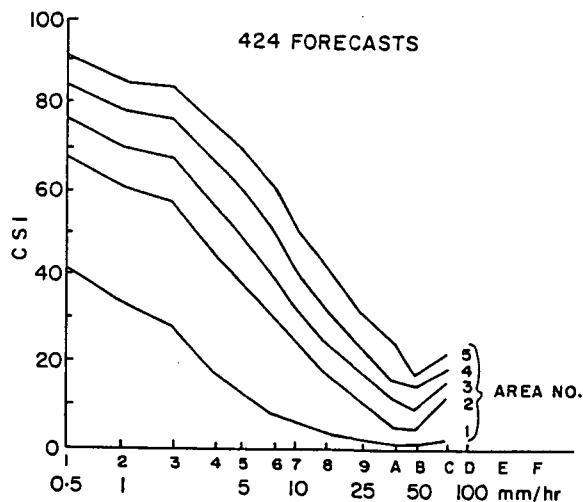


FIG. 7. CSI (Critical Success Index) as a function of rainfall rate with the verifying areas as a parameter. Characters 1-F indicate the rainfall intensity scale for 1976.

図 4-6 面積と CSI の関係³¹⁾

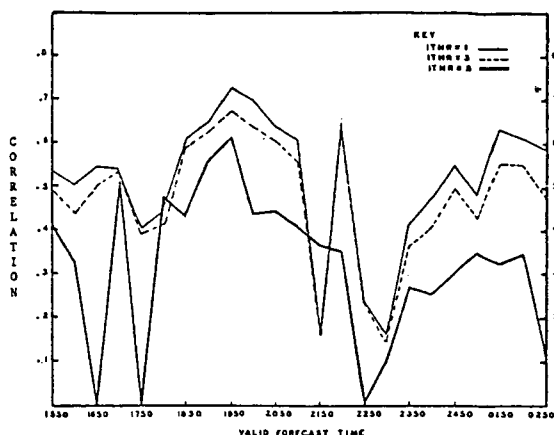


Figure 3. Graphs of the correlation coefficients between PPIs at the valid forecast time and those thirty minutes earlier, computed from the April 19, 1972 NSSL digital data archives of zero degree reflectivity. The integer intensity threshold (ITHR) varies from one to five.

図 4-5 30分予測の予測精度の時系列変化³⁰⁾
(1, 3, 5 の順でいき値は大きくなる)

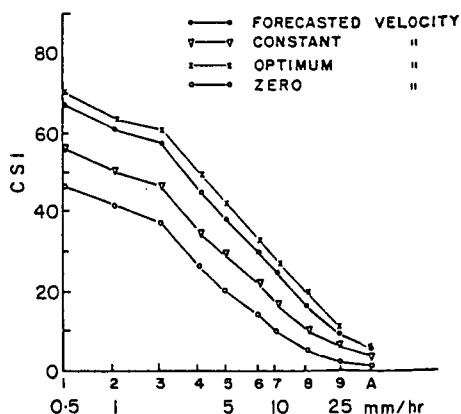


FIG. 9. CSI scores as a function of rainfall rate for four forecast methods (1976 data).

図 4-7 移動ベクトルの予測法と CSI の関係³¹⁾

表 4-3 Huffらによる予測結果の精度³²⁾

Table 4. Verification of forecasts for 30 July 1979.

	Forecast (min)	Average Error (mm)	Error Range (mm)	Percent Error Forecast ≥5 mm	Percent Error of All Forecasts
Area 1 (492 km ²)	30	2.3	0.8- 4.6	29	183
	60	1.8	0.3- 4.3	23	55
	120	3.8	1.3-10.9	102	286
Area 2 (532 km ²)	30	3.3	1.3- 5.8	14	163
	60	3.8	1.0- 5.8	134	164
	120	6.4	1.0-18.5	92	260
Area 3 (924 km ²)	30	3.6	0.3- 7.1	42	41
	60	5.8	0.3-18.2	69	65
	120	6.6	0.3-19.0	124	270
All 3 Areas	30	3.0	0.3- 7.1	32	129
	60	4.3	0.3-18.2	84	96
	120	5.0	0.3-19.0	107	272

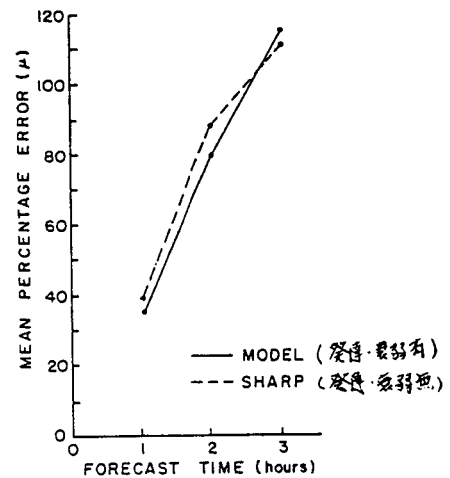


Fig. 4. Mean of the percentage error of the accumulated amount of rain at a point as a function of the forecast time.

図 4-8 発達・衰弱の有無による予測精度比較³⁸⁾

表 4-4 椎葉らによる予測の精度⁸⁾

表 木津川流域時間雨量系列の予測と実測との相関係数

		U, V 項		
		0	一次式	二 次 式
W 項	0	0.948	0.954	0.958
		0.766	0.794	0.824
		0.638	0.679	0.747
	一次式	0.944	0.953	0.952
		0.791	0.798	0.825
		0.715	0.683	0.741
	地点ごと	0.916	0.896	0.926
		0.672	0.689	0.704
		0.626	0.576	0.641

上 段: 1 時間後
中 段: 2 時間後
下 段: 3 時間後

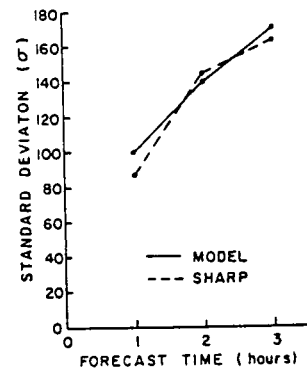


Fig. 5. Standard deviation of the percentage error of the accumulated amount of rain at a point as a function of the forecast time.

図 4-9 発達・衰弱の有無による予測精度比較³⁸⁾

表 4-5 気象庁による予測結果の例³⁴⁾
表 格子点のエコー強度を流して得た平均雨量の計算値と実測値との相関係数

		A: 南岸, 瀬戸内低				B: 日本海, 黄海低				C: 梅 雨 前 線			
		R ₀₋₁	R ₁₋₂	R ₂₋₃	R ₃	R ₀₋₁	R ₁₋₂	R ₂₋₃	R ₃	R ₀₋₁	R ₁₋₂	R ₂₋₃	R ₃
米 子	F R R	0.52	0.35	0.34	0.45	0.68	0.56	0.23	0.61	0.86	0.48	0.13	0.57
	F R o R o	0.53	0.36	0.35	0.46	0.69	0.55	0.24	0.62	0.86	0.52	0.16	0.60
福 岡	F R R	0.51	0.18	0.15	0.35	0.72	0.57	0.20	0.64	0.88	0.58	0.46	0.71
	F R o R o	0.52	0.20	0.15	0.36	0.72	0.57	0.21	0.65	0.88	0.60	0.47	0.72
エ コ ー	F R R	0.62	0.52	0.50	0.63	0.74	0.58	0.38	0.67	0.91	0.64	0.54	0.76
	F R o R o	0.63	0.53	0.51	0.64	0.75	0.58	0.39	0.68	0.92	0.65	0.55	0.78
a b	a	0.38	0.34	0.36	0.36	0.38	0.34	0.26	0.33	0.76	0.67	0.55	0.69
	b	0.30	1.10	0.68	2.04	-0.09	0.19	1.14	1.24	-1.67	-1.17	-0.77	-4.07
異 常	大	6	3	0	3	1	1	2	2	1	6	6	7
	小	3	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	1

(注) R₀₋₁ は初期時刻から1時間後までの, R₁₋₂ はその後の1時間雨量, R₃ は3時間雨量,
F R o R o は地形性降雨を加えたもの, a, b は回帰係数, 異常値大(小)は実測値の方が大
(小)すぎるもの(%)

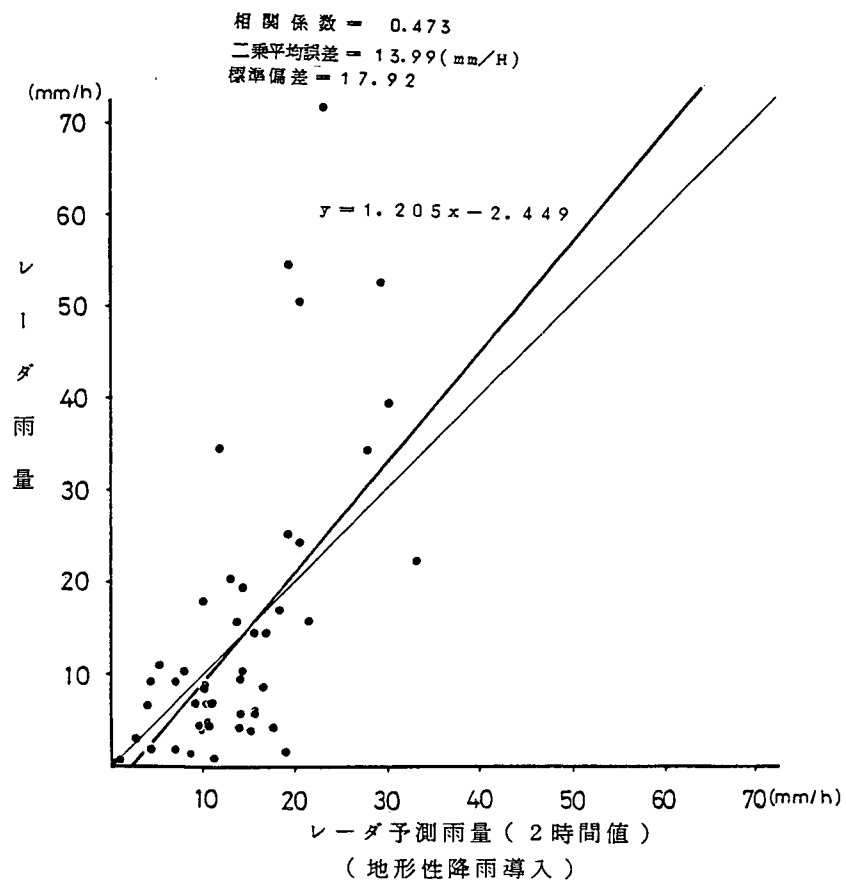
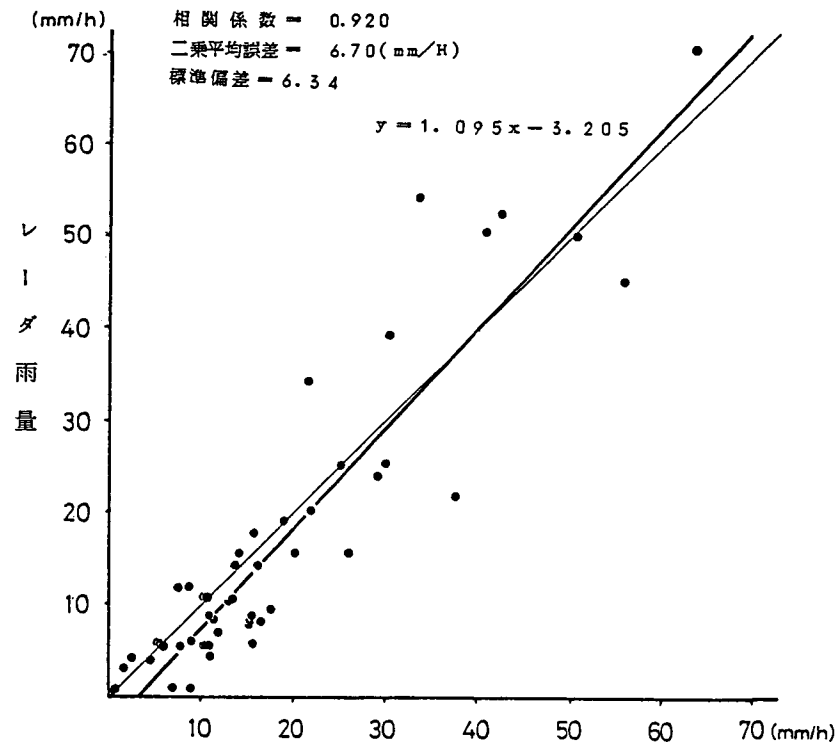


図 4 - 1 0 筑後川ダム統管の予測結果の例³³⁾

第5章 今後の課題

前章まで土研モデルの精度及びモデル改良の可能性を明らかにしてきた。この成果を踏まえ短時間降雨予測モデルの今後の課題を挙げれば次のようになるだろう。

- ① 移動ベクトルの設定方法の改良だけで、これ以上予測精度の向上を図るのには無理があろう。他の要素による予測精度向上策を考える必要がある。
- ② 発達・衰弱を外挿しても予測精度は上昇しない。従って外挿に代わる発達・衰弱の推定方法を考える必要がある。本調査で示したように発散、収束、渦度などから単純に発達・衰弱量を推定するのは困難なようである。また地形性降雨モデルの有効性は度々指摘されているが、本調査ではあまり良い結果をもたらさなかった。地形性降雨モデル自体は気象学的に地形の影響を考察した合理的なモデルであり、今後何らかの気象情報を加味して導入すれば予測精度を上昇させる可能性はあると言える。
- ③ 発達・衰弱を推定するには時空間的にマクロな視点からアプローチする方法が有効と考える。例えば対象としている雨域全体が発達・衰弱のどのステージにあるかという状況からマクロ的に発達・衰弱の動向を推定するのも一方法である。
- ④ 強雨域の予測精度を高めるために、強雨域の移動特性及び出現特性そのものに検討を加える必要があるだろう。

[参考文献]

- 1) Asai, T., Yoshizaki, M. and K. Ishikawa: Some Results on an Objective Analysis for Tracking Radar Echoes of Convective Clouds; Jour. Met. Soc. Japan Vol. 55 No. 5, 1977
- 2) Bellon, A. and G. L. Austin: The Accuracy of Short-Term Radar Rainfall Forecasts; 21th Radar Met. Conf., 1983
- 3) Bellon, A. and G. L. Austin: Short Range Precipitation Forecasting Using Digital Radar Records; 16th Radar Met. Conf., 1976
- 4) 吉野, 水野, 河関: レーダ雨量計による降雨の短時間予測; 土木技術資料 Vol. 27 No. 7, 1985
- 5) Wilk, K. E. and K. C. Gray: Processing and Analysis Techniques Used with the NSSL Weather Radar System; 14th Radar Met. Conf., 1970
- 6) Smith, D. L.: The Application of Manually Digitized Radar Data to Short-Range Precipitation Forecasting; 16th Radar Met. Conf., 1976
- 7) Merritt, M. W.: Use of Computer Vision Techniques in Estimating Echo Motion; 20th Radar Met. Conf., 1981
- 8) 椎葉, 高棹, 中北: 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, 1984
- 9) 森山, 平野他2名: 移流拡散モデルによる短時間降雨予測; 第29回水理講演会論文集, 1985
- 10) 立平, 牧野: デジタル化されたエコーパターンの予報への利用; 研究時報 26巻 1974
- 11) 建設省利根川ダム統合管理事務所: レーダ雨量計による降雨予測システム開発業務報告書; 1982, 1983
- 12) 竹内邦良: 降雨の短時間自動予測手法について; 山梨大学工学部研究報告, 1978
- 13) 下垣, 室田, 江藤: 雨量観測レーダーによる降雨量分布の解析とそのオン・ライン予測, 第22回水理講演会論文集, 1978
- 14) 日野幹男: " 仮想荷重法 " による降雨の短時間予測; 第29回水理講演会論文集, 1985

- 15) 立平良三:降水の予測;天気 25巻,1978
- 16) 二宮,秋山:豪雨監視のためのレーダおよび雨量計観測網に基づく雨量分布と雨域移動の客観解析;天気 26巻,1979
- 17) Turpeinen,O. and M.K.Yau:Statistics of Radar Echoes on Day 261 of Gate and Comparison with Results From a Three-Dimensional Cloud Model ;19th Radar Met. Conf.,1980
- 18) レーダ雨量計の観測特性と精度向上に関する調査報告書;土木研究所資料 第2078号,1984
- 19) 建設省筑後川ダム統合管理事務所:雨量レーダ解析検討業務委託報告書;1982
- 20) 中井公太,横山博:レーダーエコーの発達・衰弱について;研究時報 31巻 7-8,1979
- 21) 気象庁予報部予報課:数値予報資料の利用と問題点の検討;研究時報 31巻 7-8,1979
- 22) 気象庁予報部予報課:アメダスとレーダーの短時間予報への利用および数値予報資料の週間予報への利用;研究時報 33巻 5-6,1981
- 23) 永井章,武野康弘:寒冷前線が東海地方を南東進する場合におけるレーダーエコーとアメダスデータとの関係;研究時報 34巻 1,1982
- 24) 気象庁予報部予報課:レーダー,アメダス,衛星を使った雨の短時間予測法とその検証(地域細分を含む);研究時報 34巻 5,1982
- 25) 露木義,武野康弘:レーダーエコーの発達しやすい地域におけるエコー強度とアメダスの風から求めた渦度・発散との関係について;研究時報 35巻 6,1983
- 26) 田畑,権藤,下島:レーダーエコーの発生・発達と豪雨の関係について;測候時報 49.6,1982
- 27) Bellon,A.:Geographical Distribution of Radar Echoes' Growth and Decay;20th Radar Met. Conf.,1981
- 28) Tsonis,A.A., Bellon,A. and G.L.Austin:The Evaluation of Predictive Schemes for the Growth or Decay of Rain Areas;20th Radar Met. Conf., 1981
- 29) 立平良三:雨滴成長を考慮した地形性降雨の計算,天気 23巻,1976
- 30) Elvander,R.C.:An Evaluation of the Relative Performance of Three

- Weather Radar Echo Forecasting Techniques;17th Radar Met. Conf.,1976
- 31) Bellon,A. and G.L.Austin;The Evaluation of Two Years of Real-Time
Operation of a Short-Term Precipitation Forecasting Procedure(SHARP),
Jour. of Applied Met. Vol.17,1978
- 32) Huff,F.A., Changnon,S.A. and J.L.Vogel:Convective Rain Monitoring
and Forecasting System for an Urban Area;19th Radar Met. Conf.,1980
- 33) 建設省筑後川ダム統合管理事務所:雨量レーダによる降雨予測検討業務報告書
,1984
- 34) 気象庁予報部予報課:数値予報資料及びガイダンスの天気翻訳への利用につい
て(主として降水現象の有無を対象);研究時報 36巻 6,1984

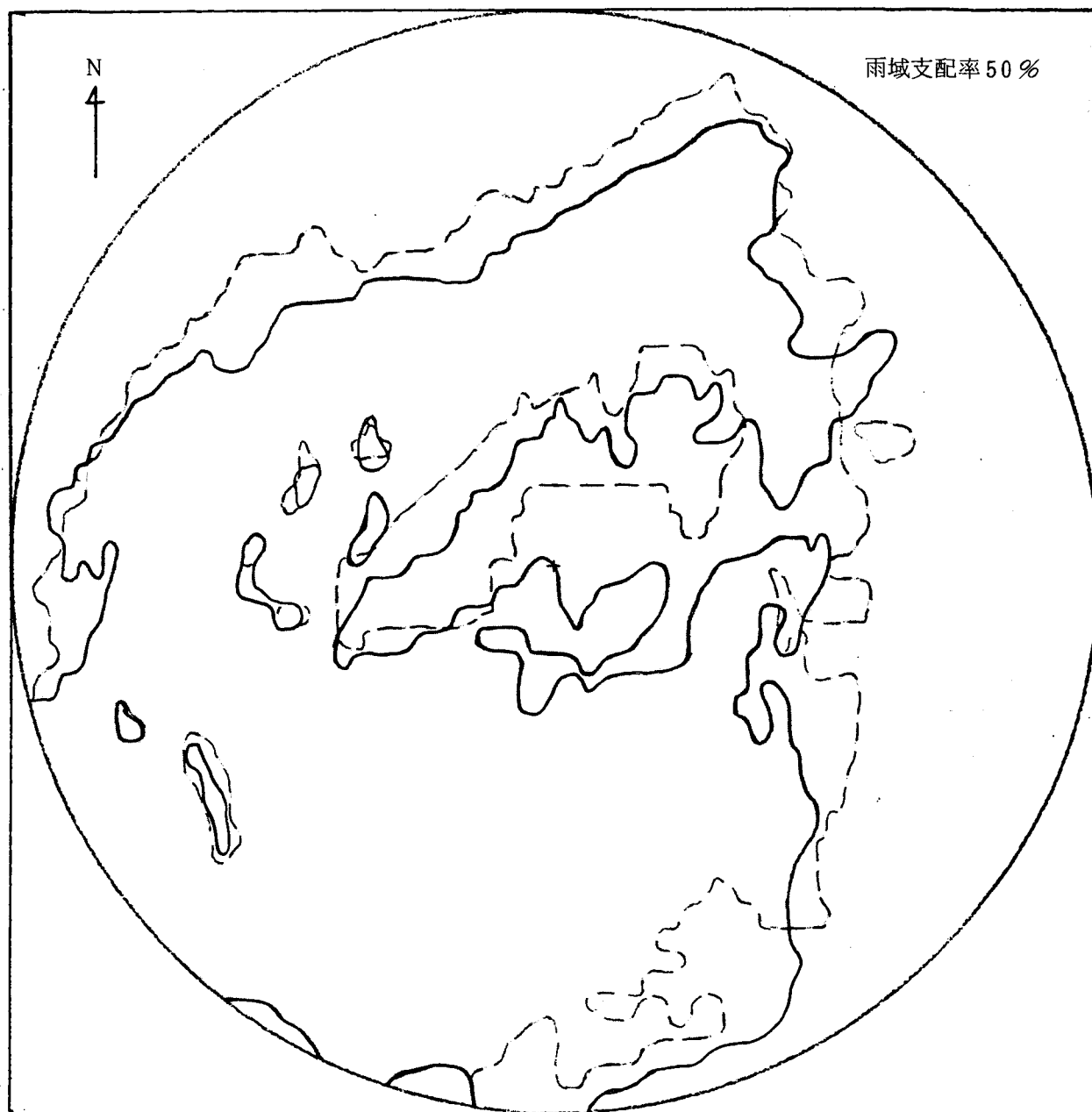
付 属 図 集

- 1。雨域の移動の様子（1982年9月11日19時45分～21時）
- 2。移動速度の時系列変化図
（19790514,19791018,19801019,19810625,19810822,
19820729,19820801降雨）
- 3。降雨予測結果（散布図）
（19790514,19791018,19801019,19810625,19810822,
19820801降雨）
- 4。予測実測雨量の時系列比較
（19790514,19791018,19801019,19810625降雨）



図 雨域の移動の様子

1982年9月11日19時45分～20時00分



0 50 km

19時45分

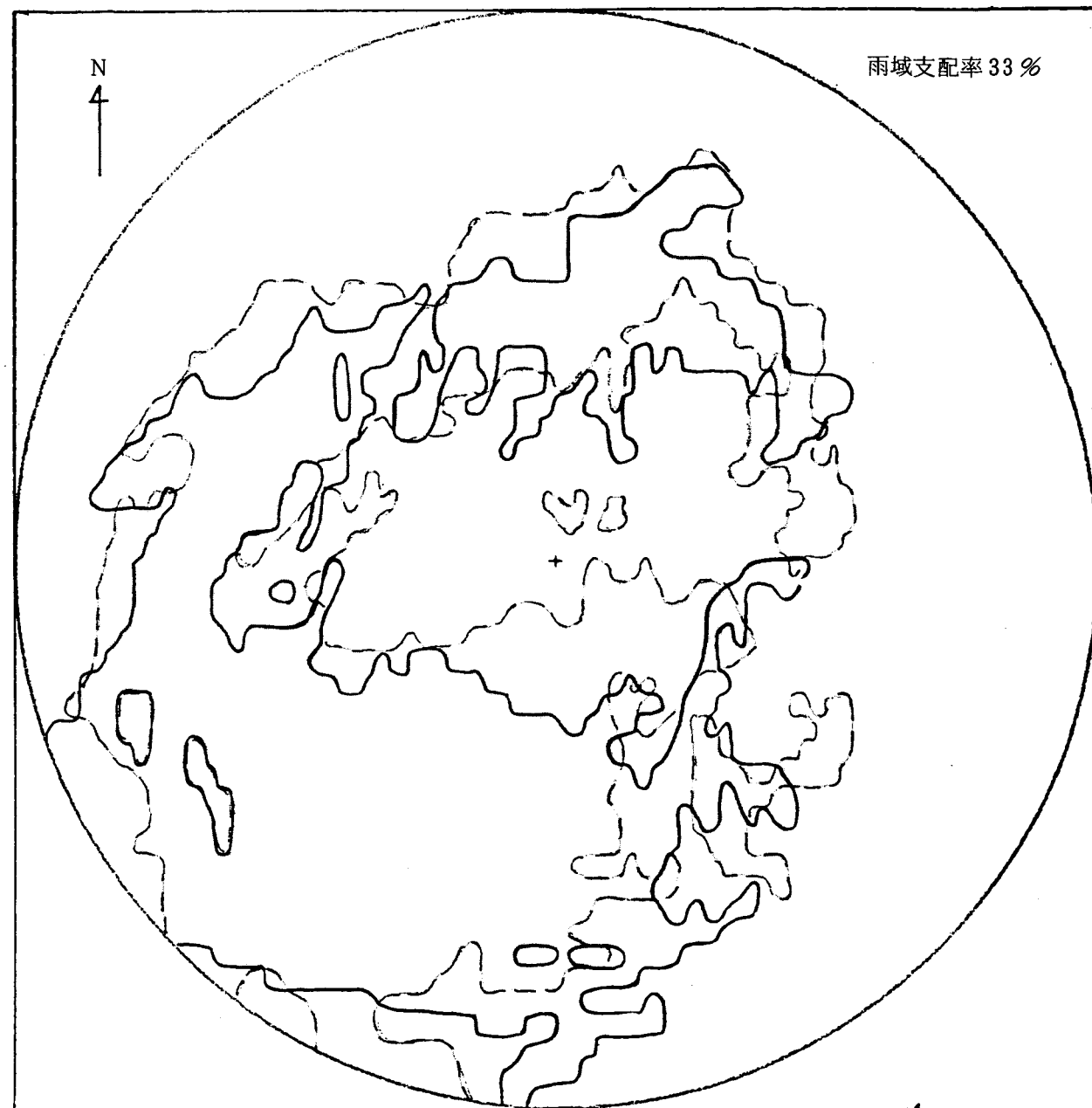
20時00分

1時間
移動ベクトル
15分

移動ベクトル	180.0°
	22.7 km/h
	6.3 km/15min
関連係数	0.73

図 雨域の移動の様子

1982年9月11日19時45分～20時00分



0 50 km

19時45分

20時00分

1時間

移動ベクトル

15分

移動ベクトル	198.4°
	37.8 km/h
	10.5 km/15min
関係数	0.63

図 雨域の移動の様子

1982年9月11日20時00分～21時00分

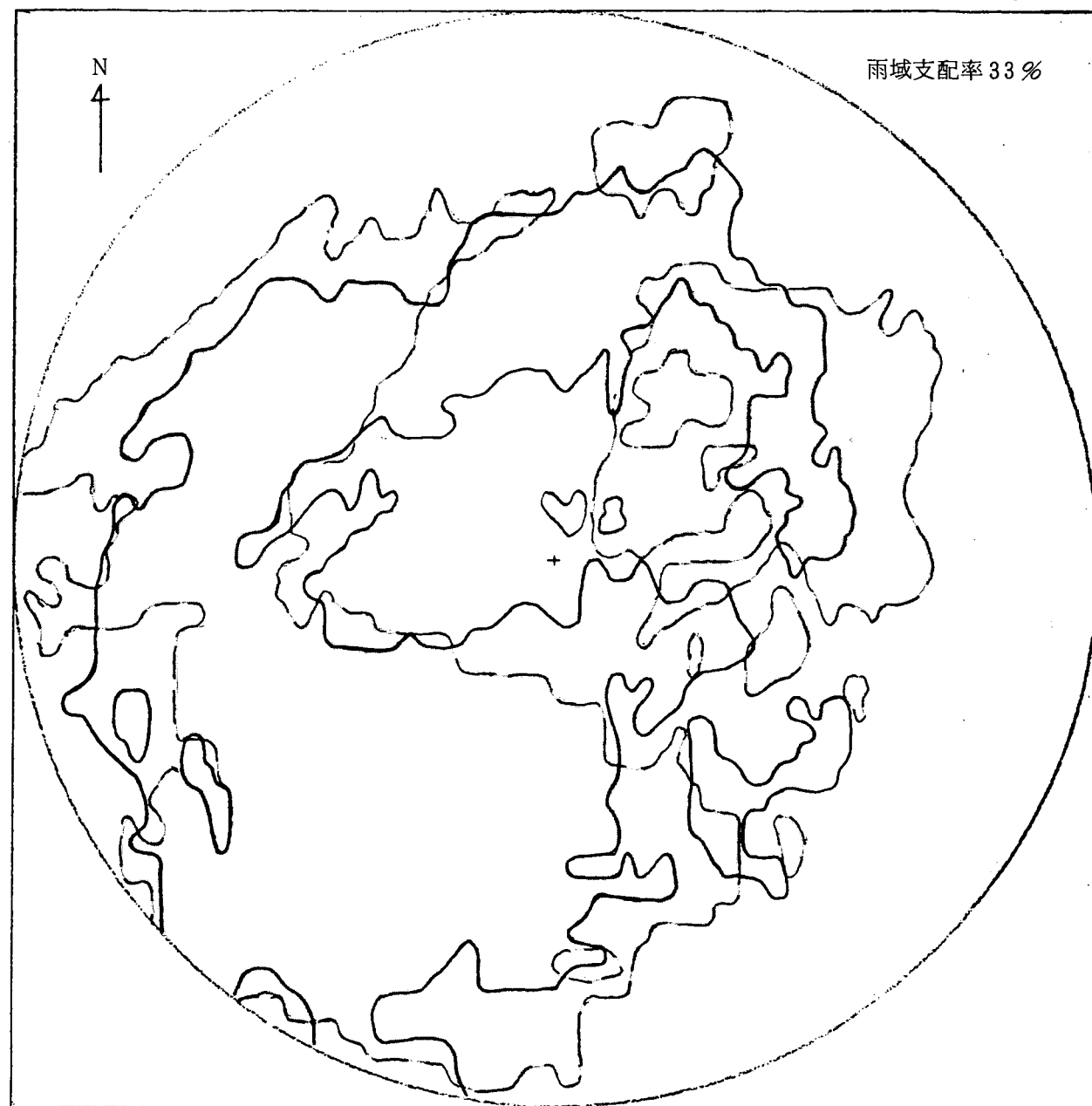
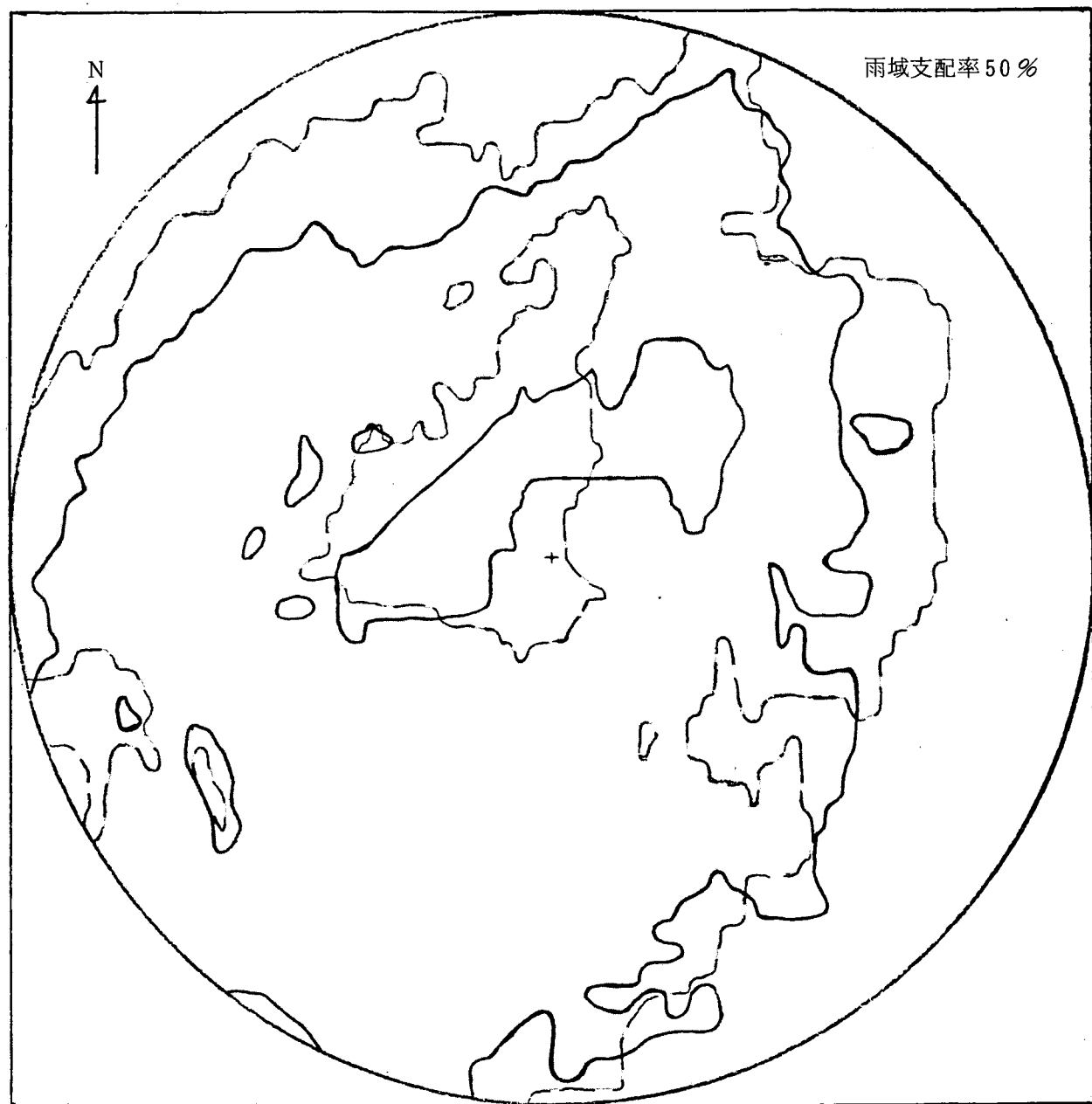


図 雨域の移動の様子

1982年9月11日20時00分～21時00分

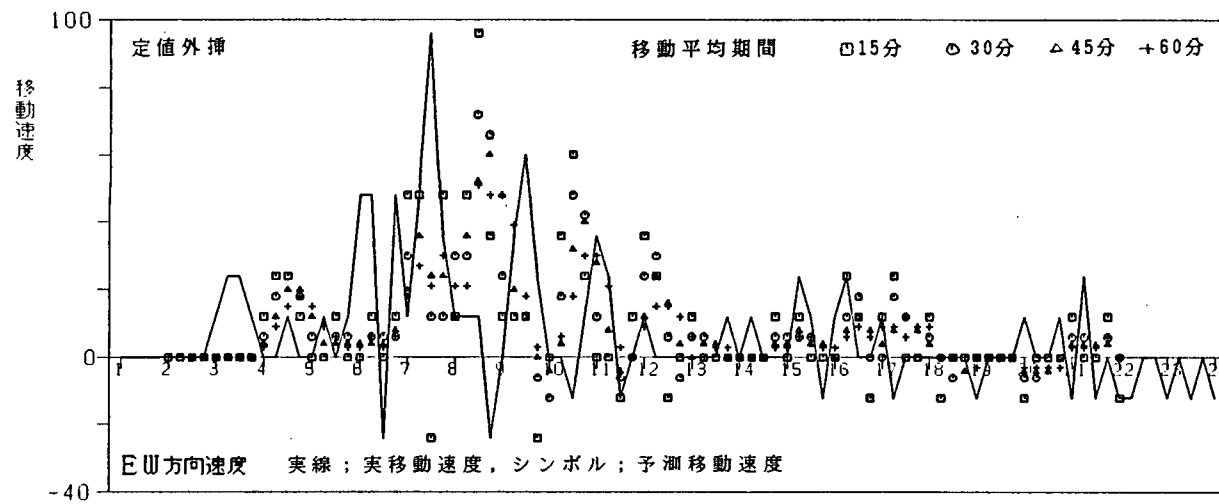


0 50 km

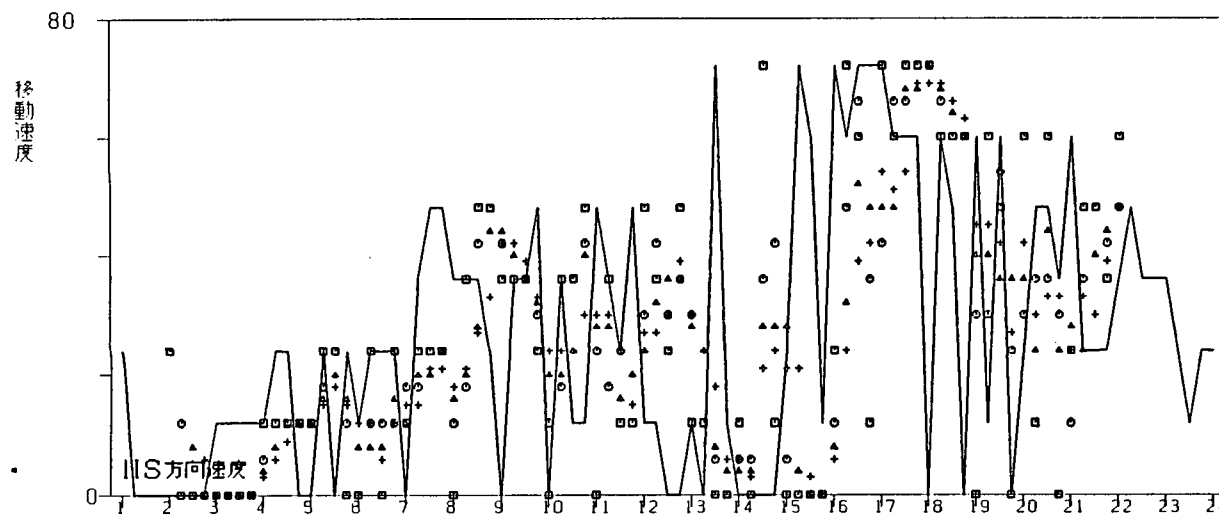
20時00分

21時00分

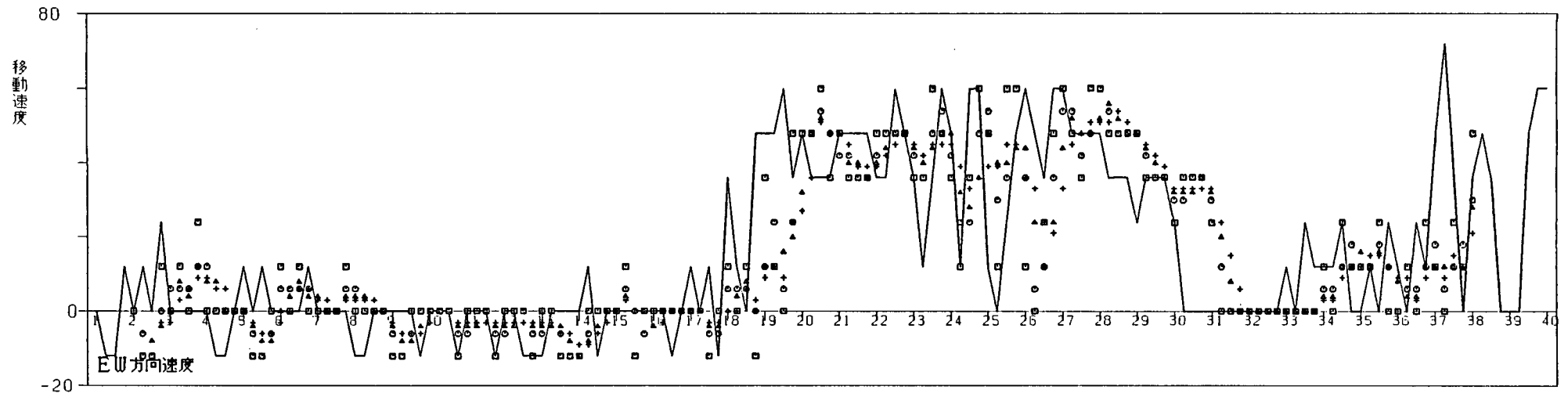
移動速度の時系列変化図(790514 洪水)



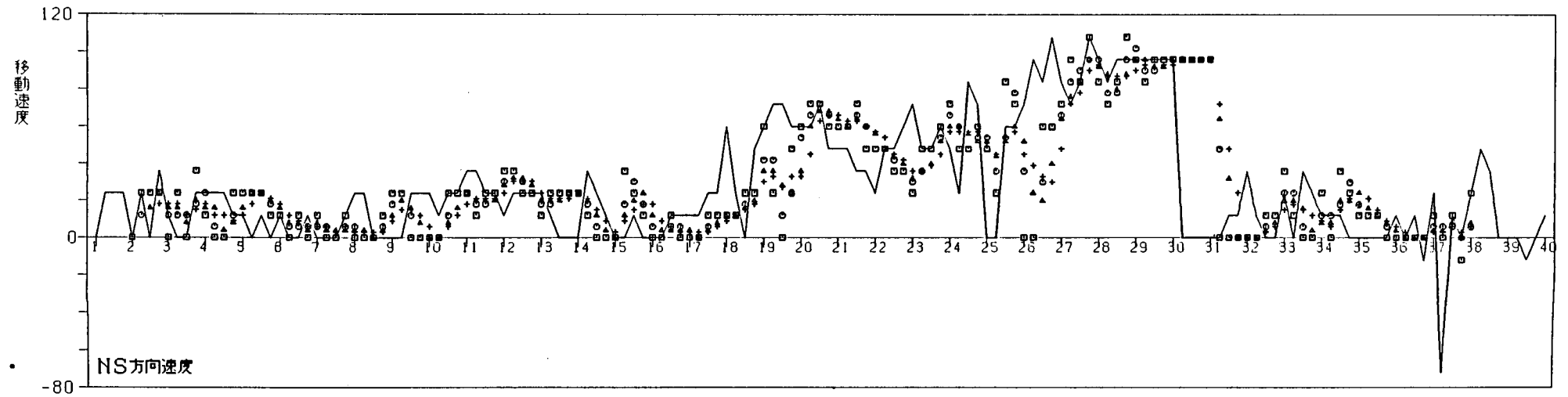
移動速度の時系列変化図(790514 洪水)



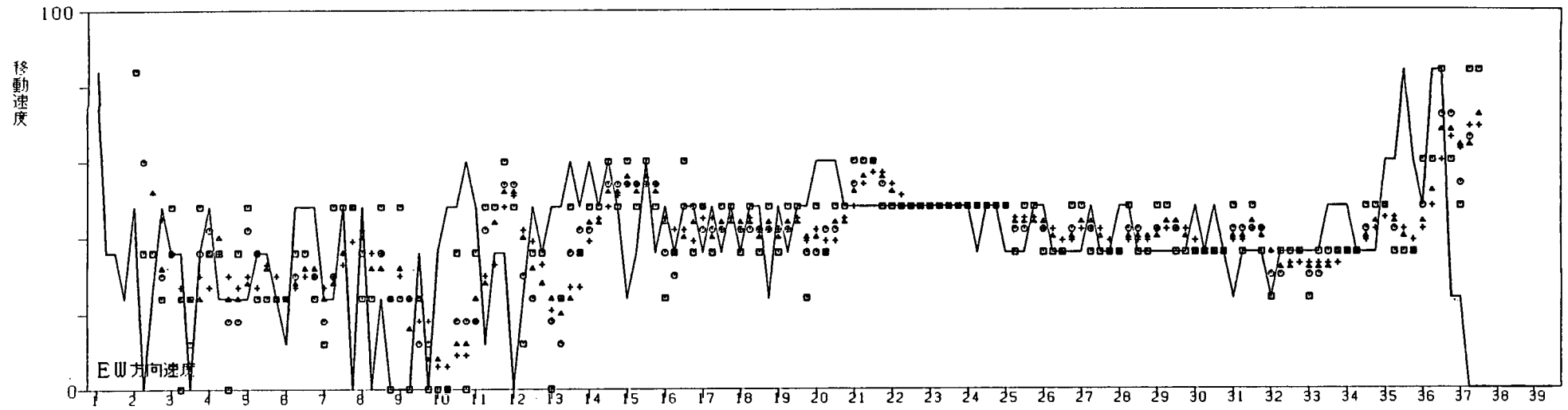
移動速度の時系列変化図(791018 洪水)



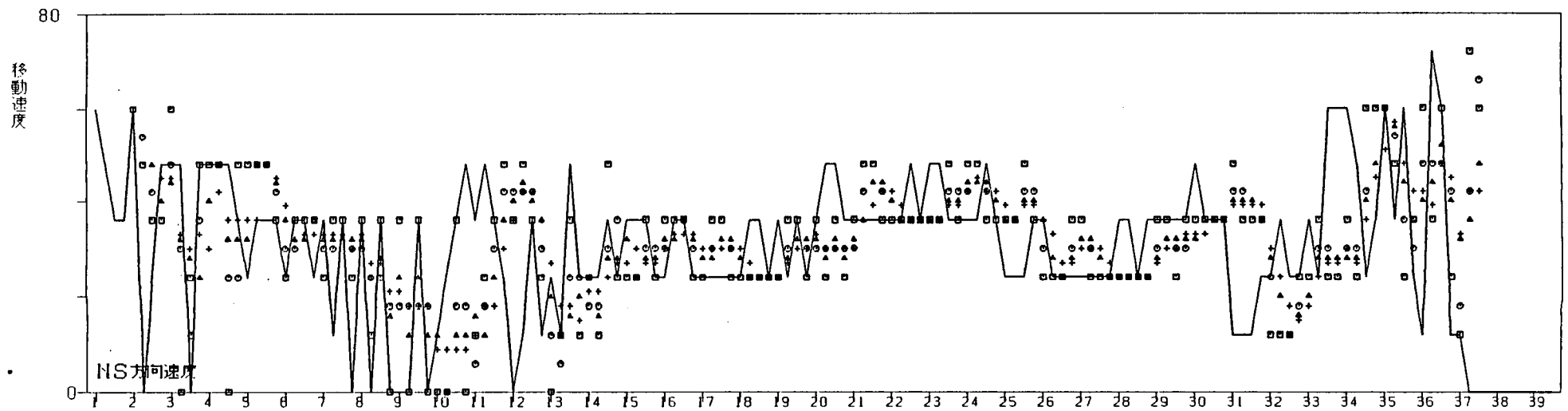
移動速度の時系列変化図(791018 洪水)



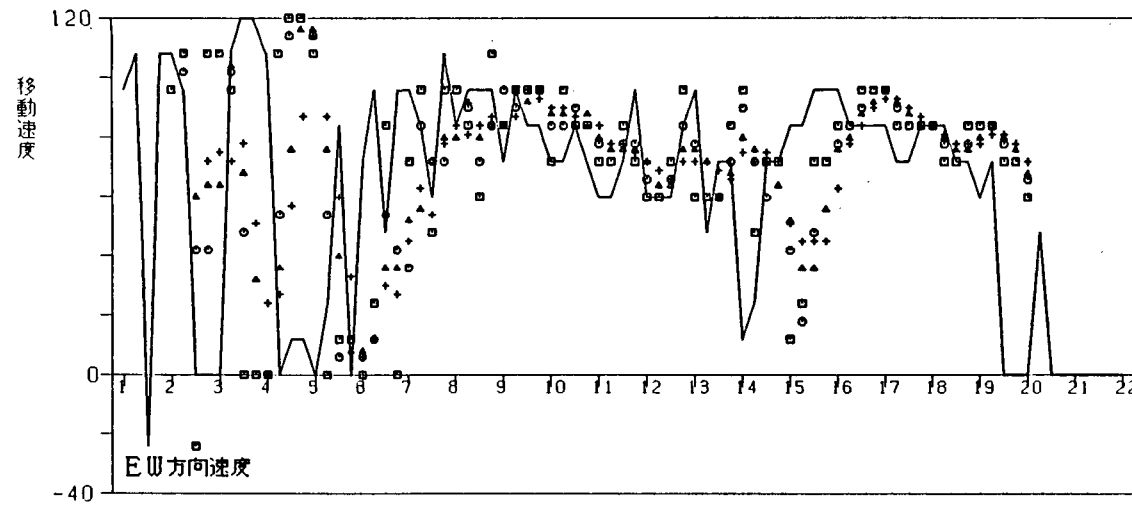
移動速度の時系列変化図(801019 洪水)



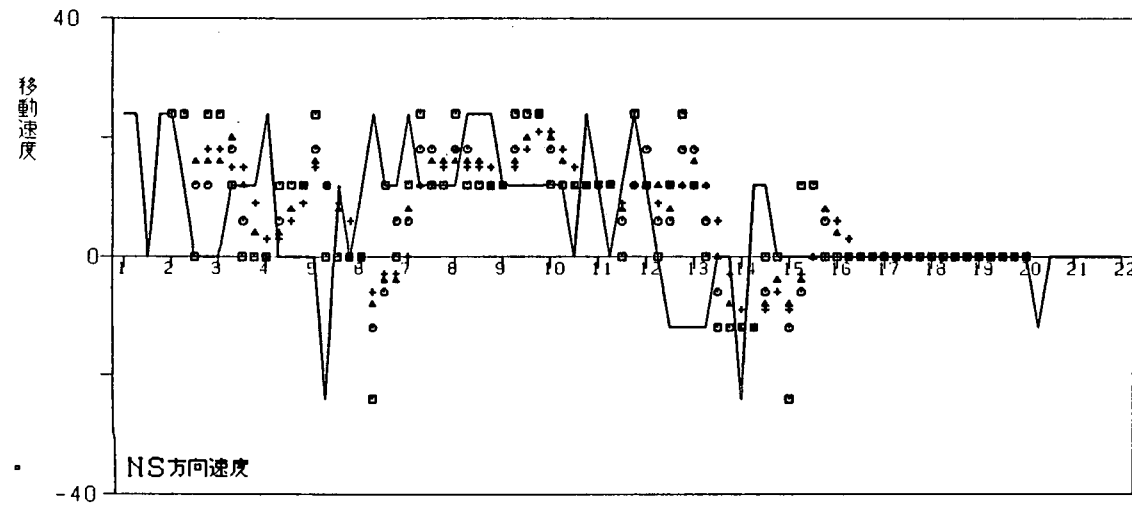
移動速度の時系列変化図(801019 洪水)



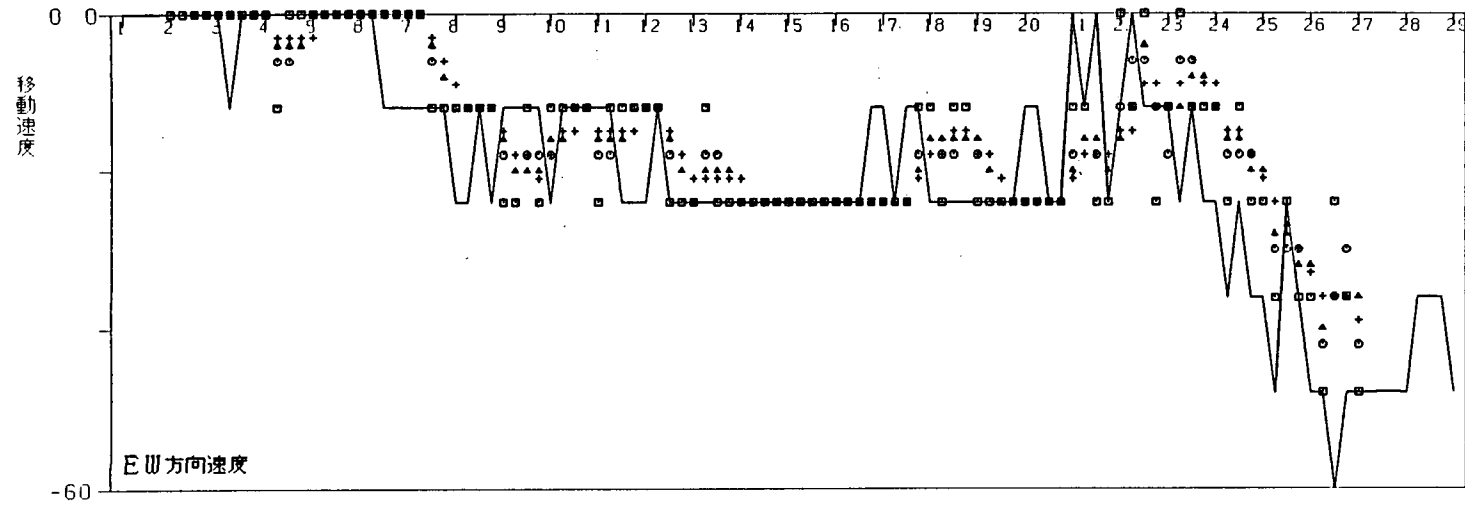
移動速度の時系列変化図(810625 洪水)



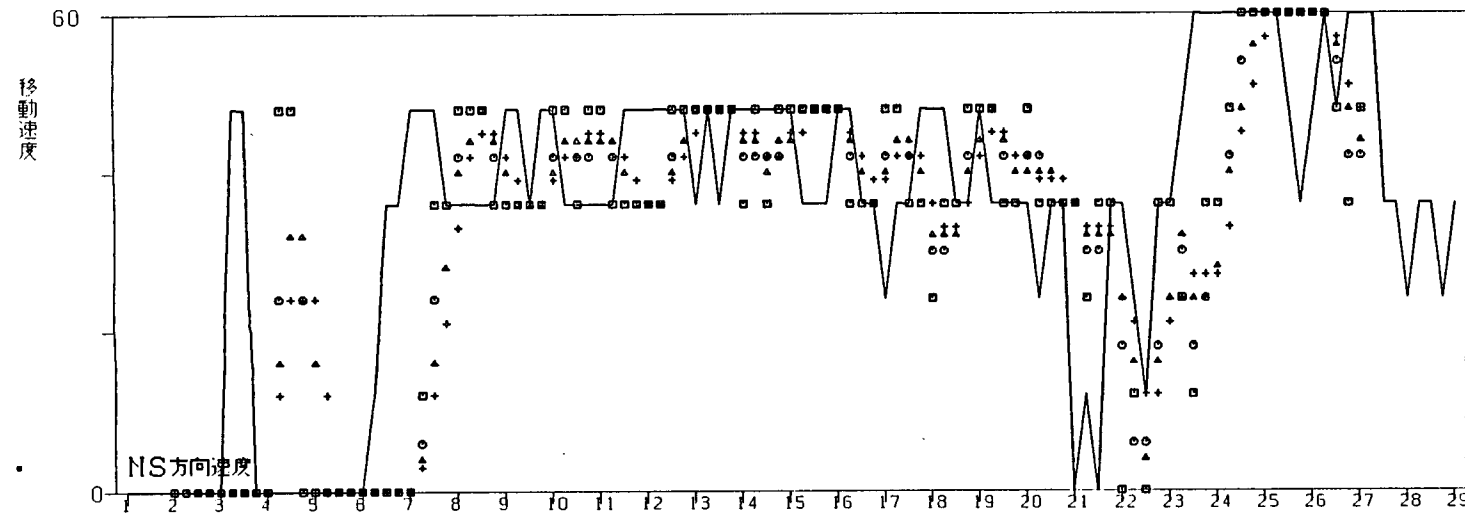
移動速度の時系列変化図(810625 洪水)



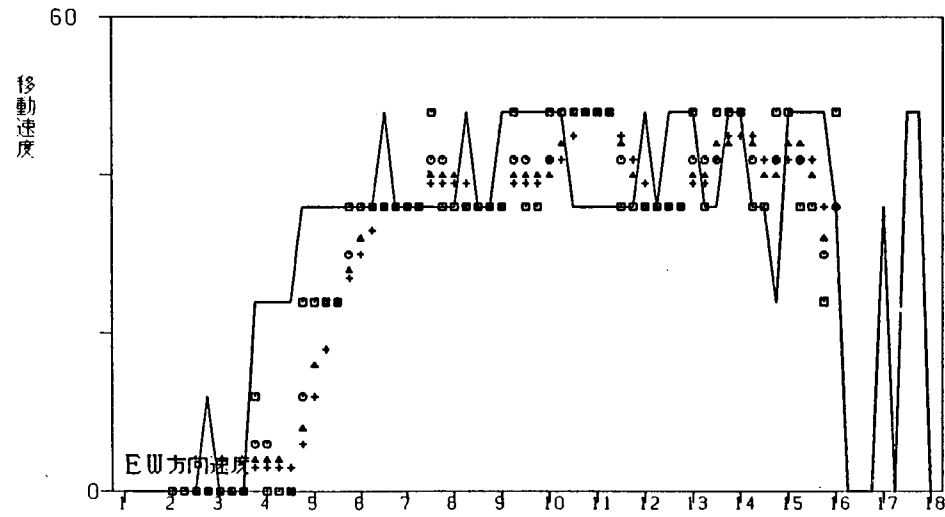
移動速度の時系列変化図(810822 洪水)



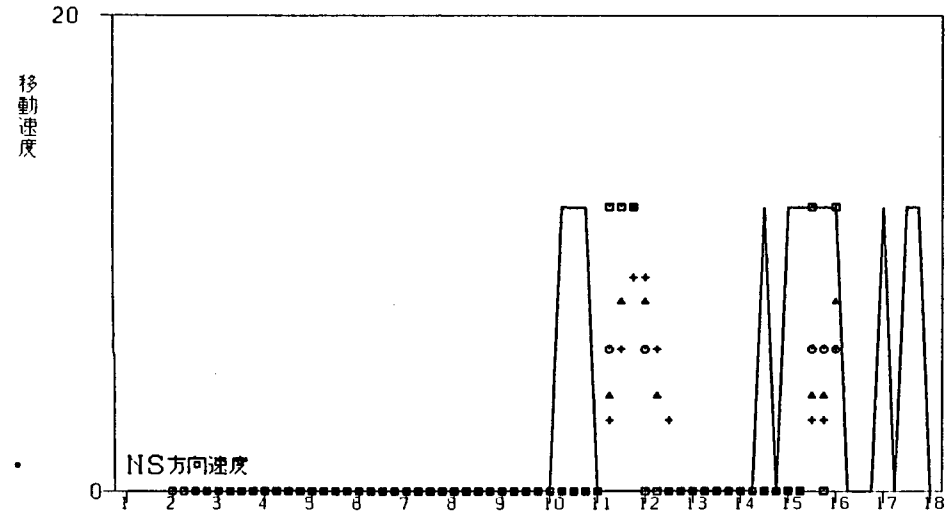
移動速度の時系列変化図(810822 洪水)



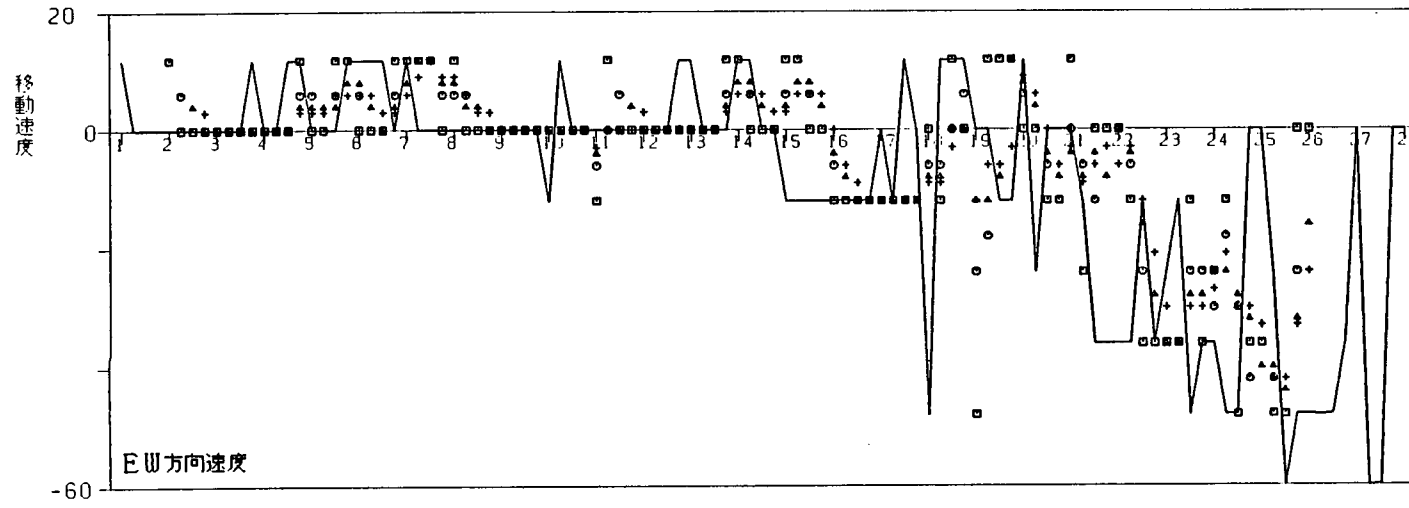
移動速度の時系列変化図(820729 洪水)



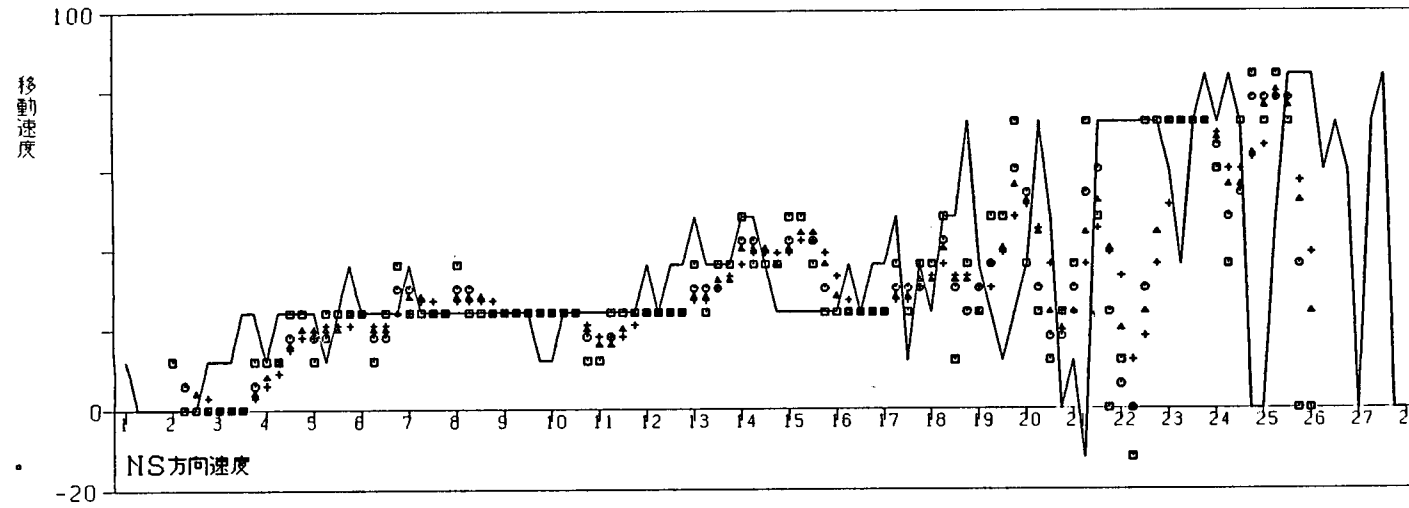
移動速度の時系列変化図(820729 洪水)



移動速度の時系列変化図(820801 洪水)

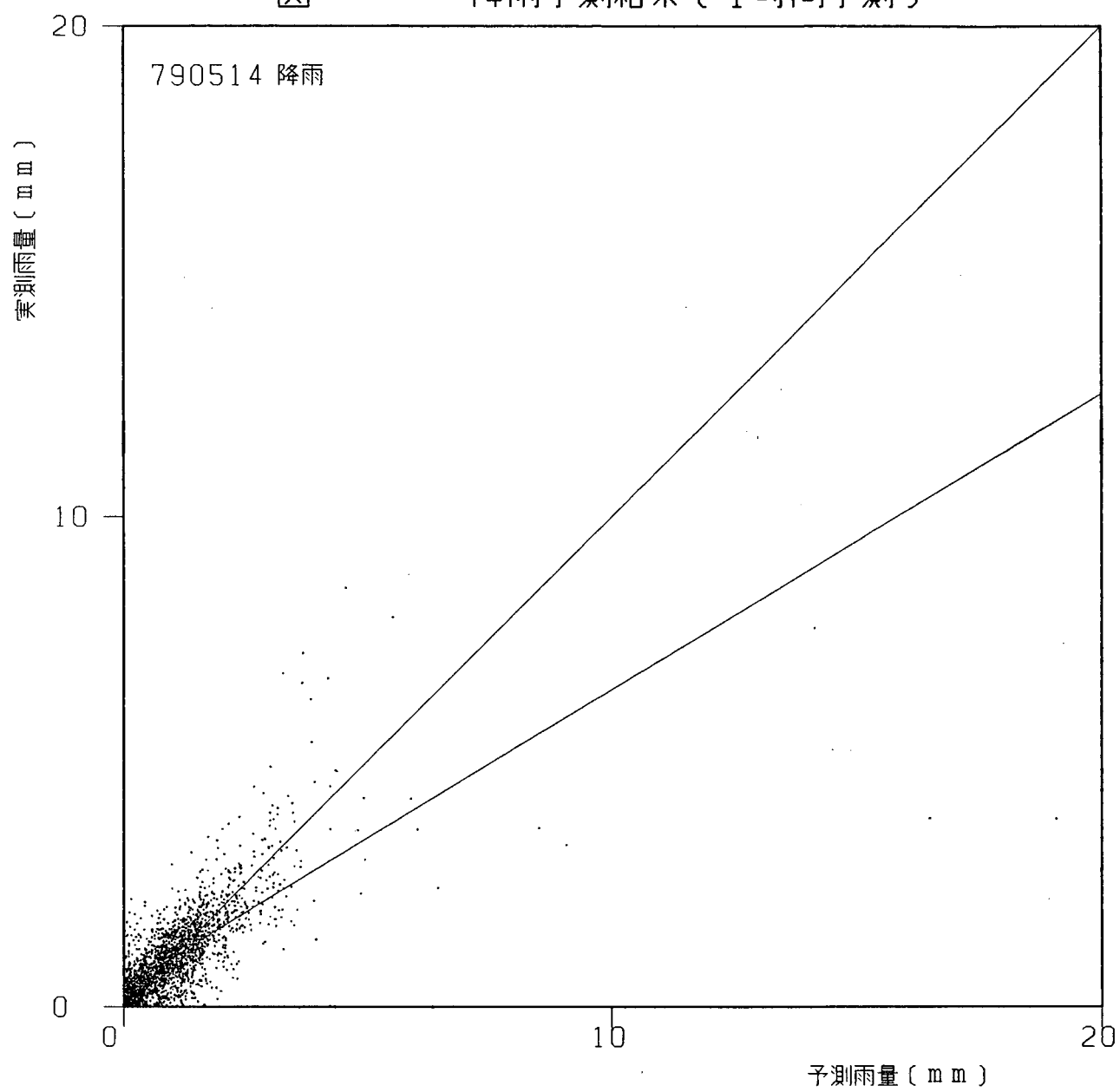


移動速度の時系列変化図(820801 洪水)



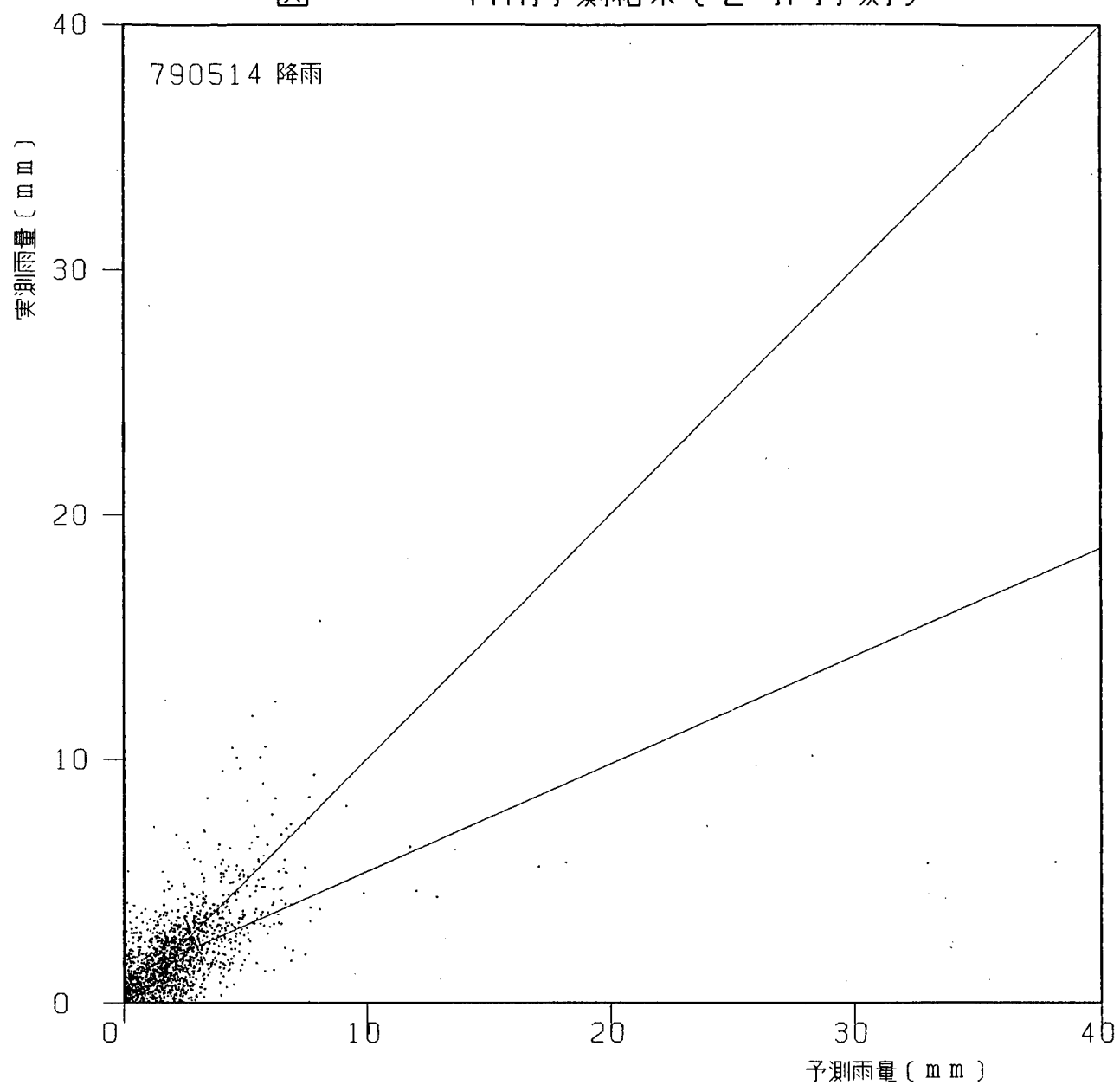


降雨予測結果 (1 時間予測)



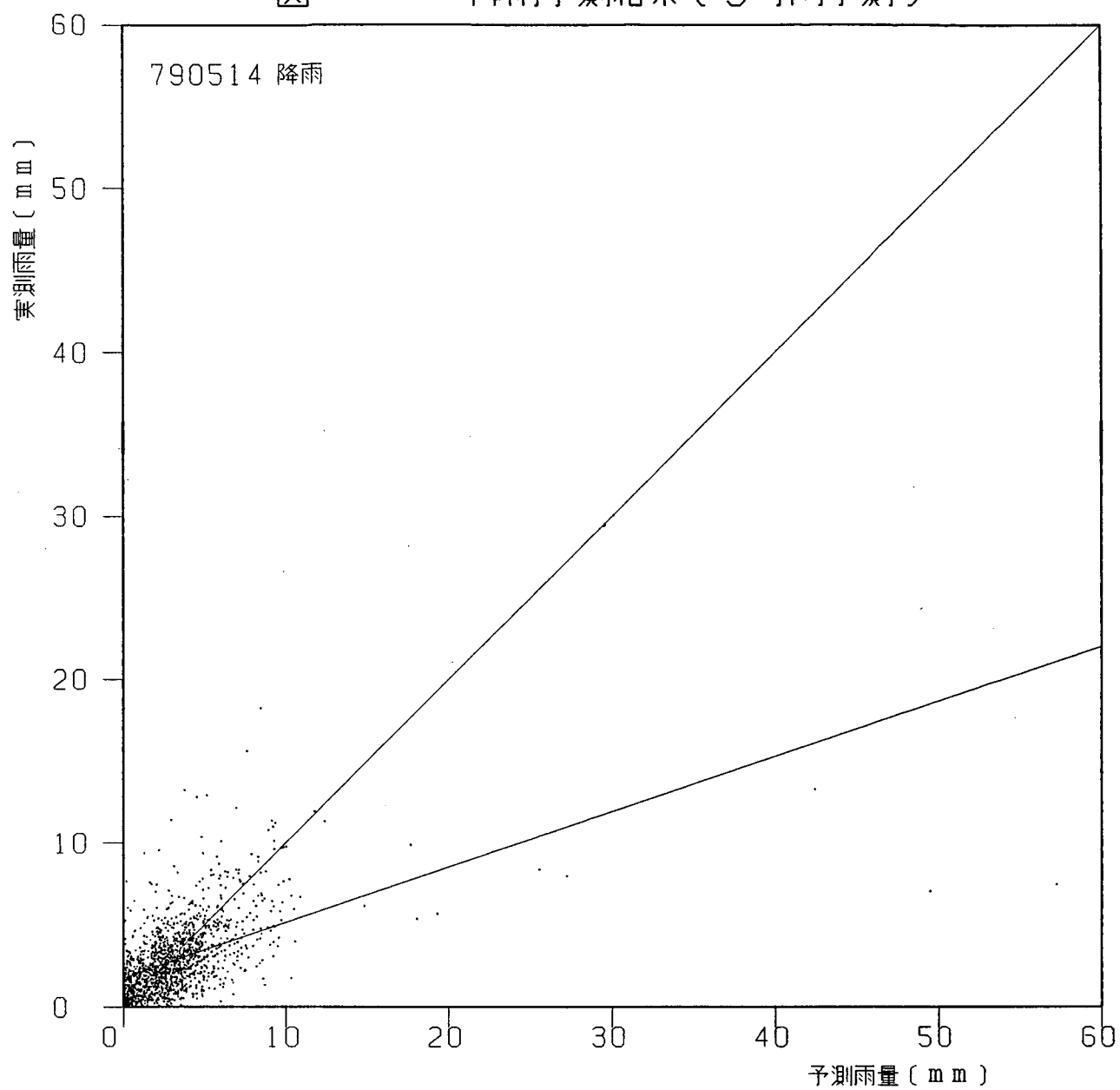


降雨予測結果 (2時間予測)



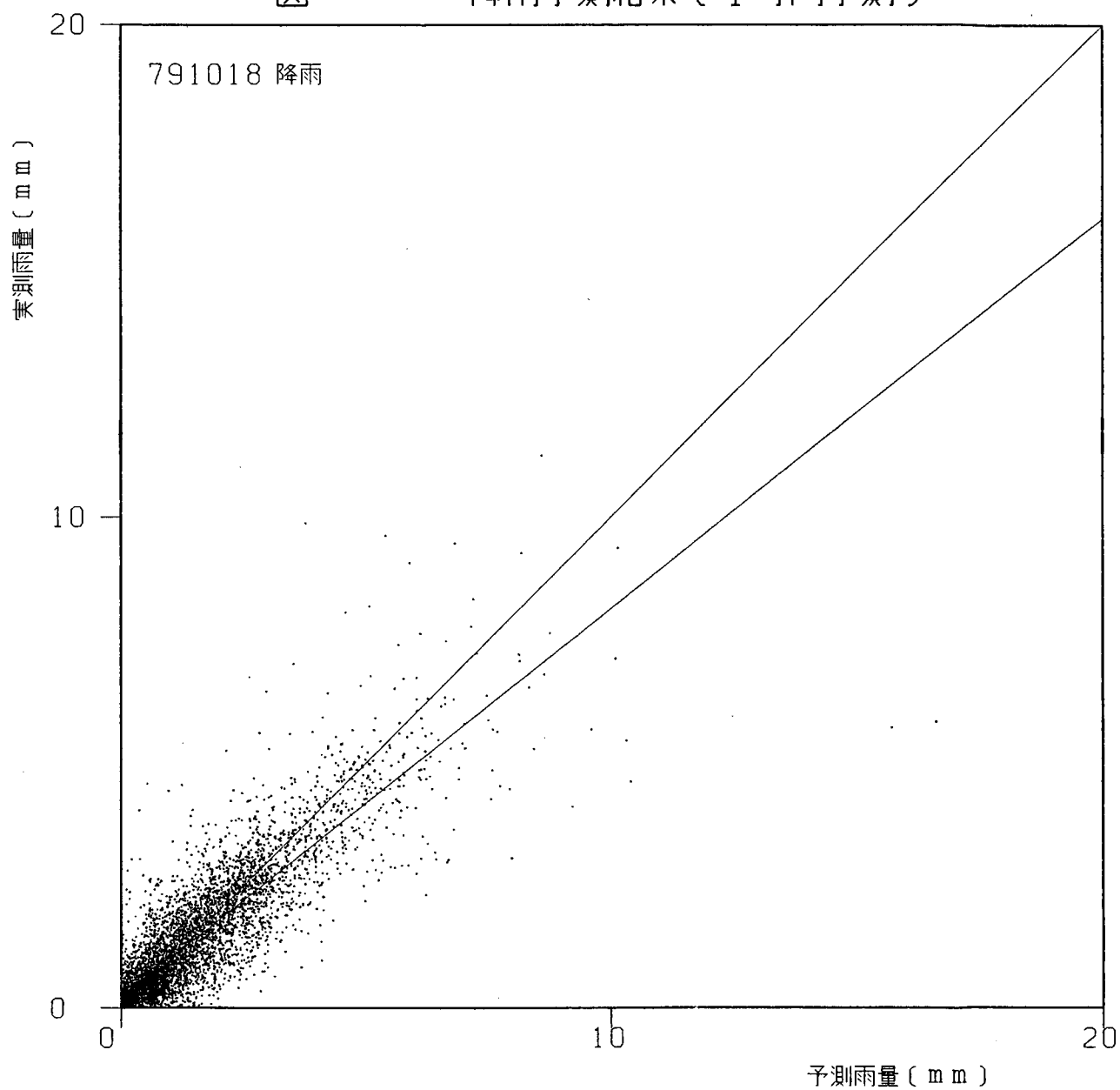


降雨予測結果 (3時間予測)



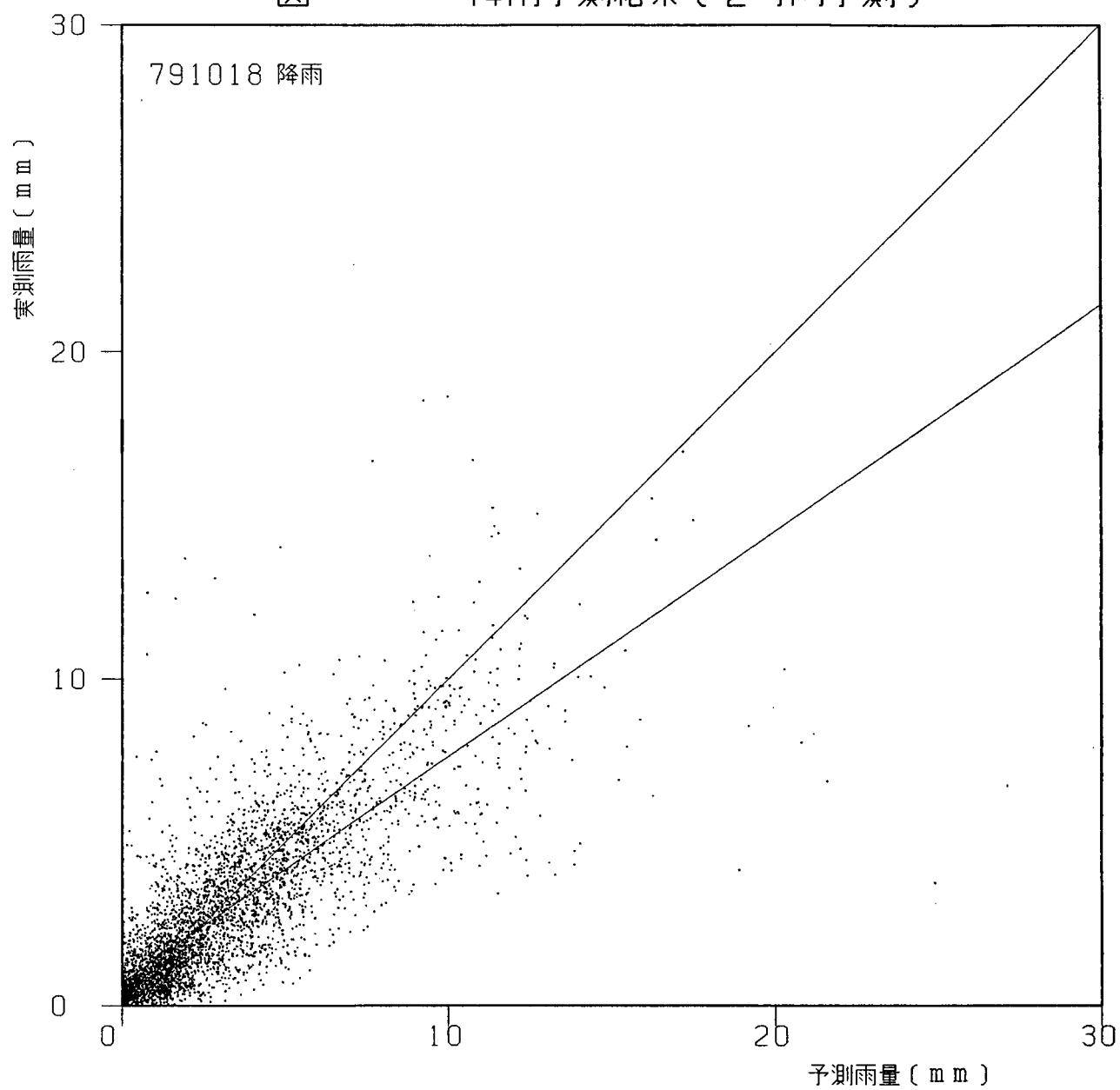


降雨予測結果 (1 時間予測)



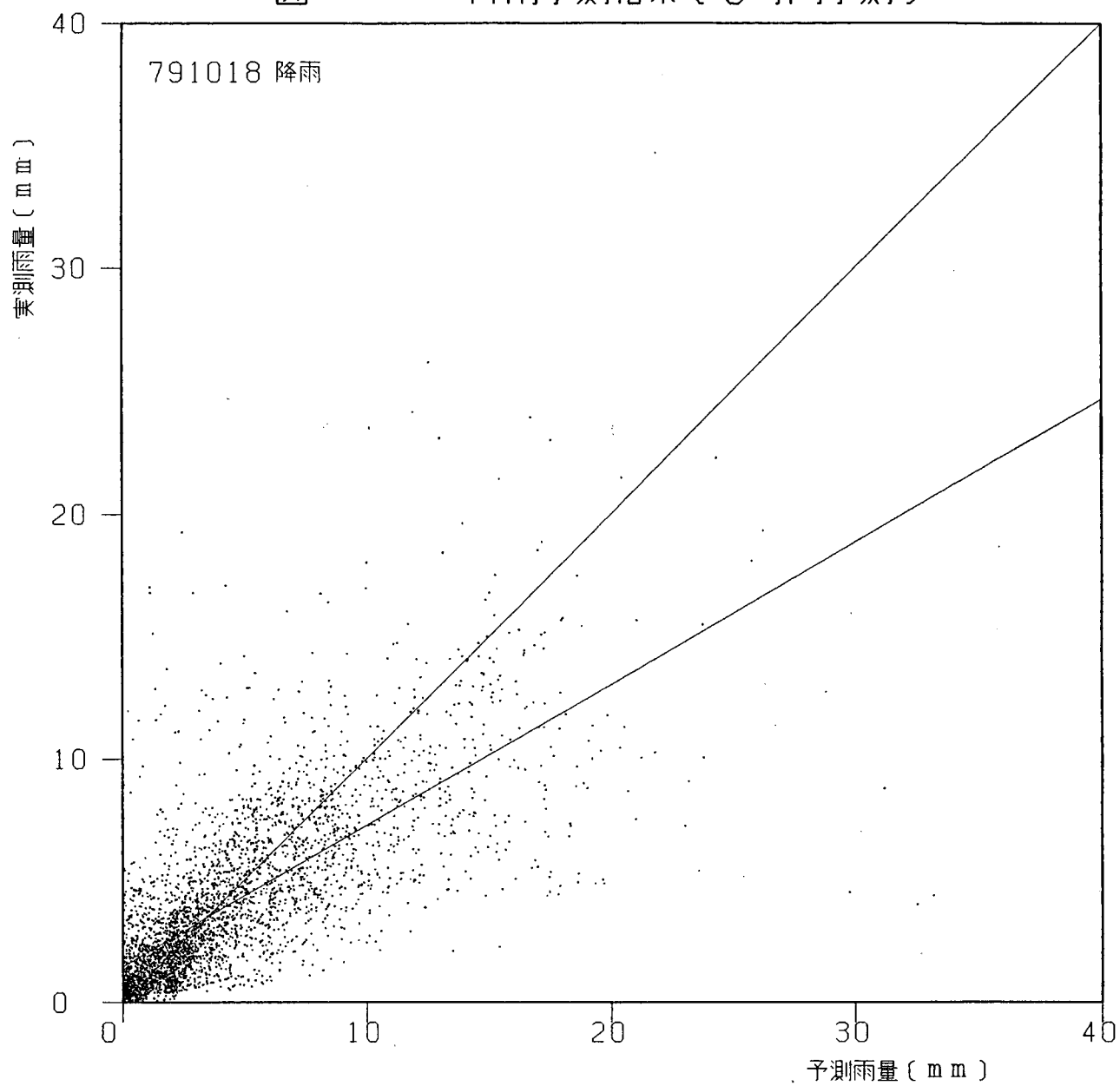


降雨予測結果 (2 時間予測)



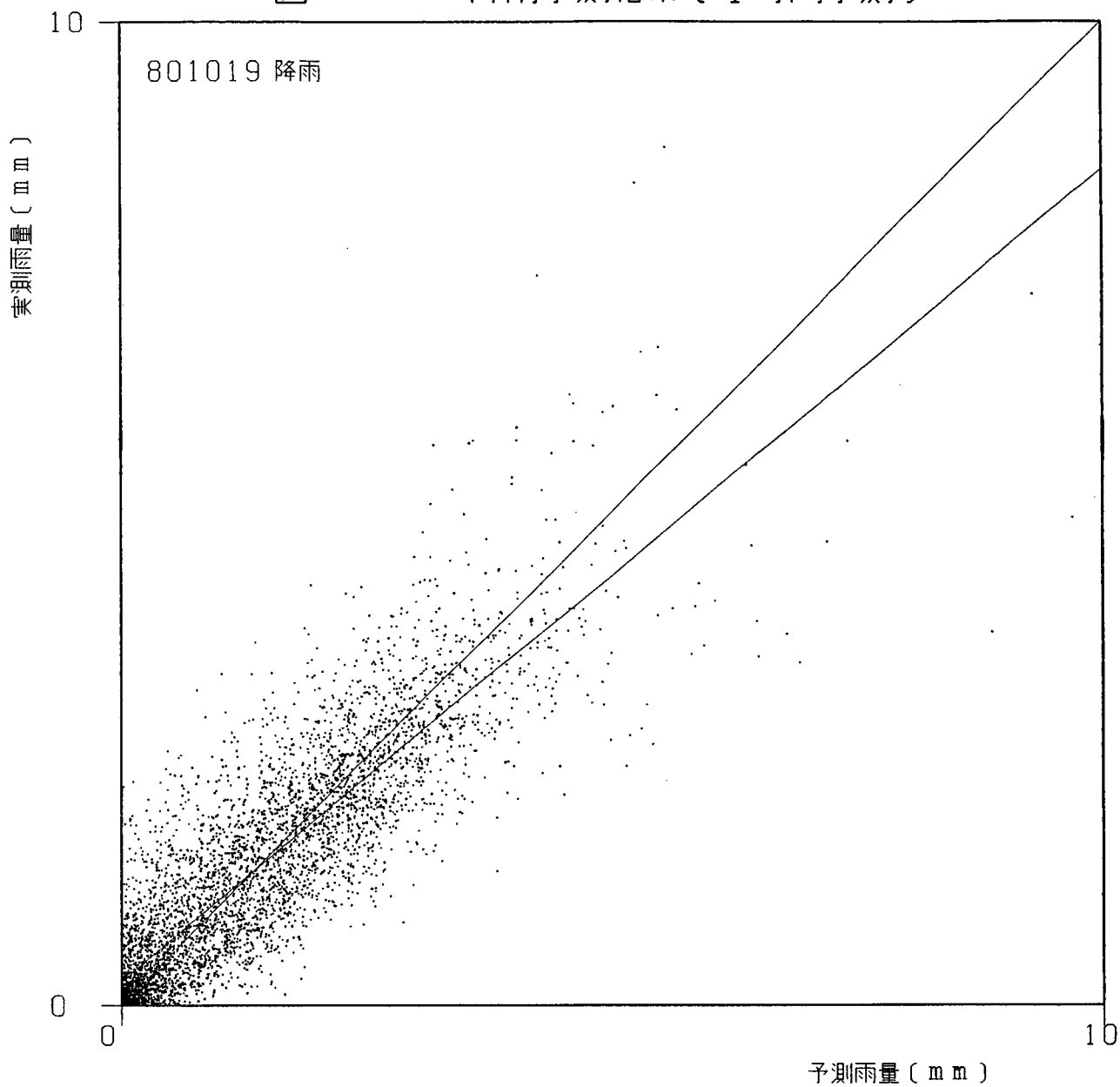


降雨予測結果 (3時間予測)



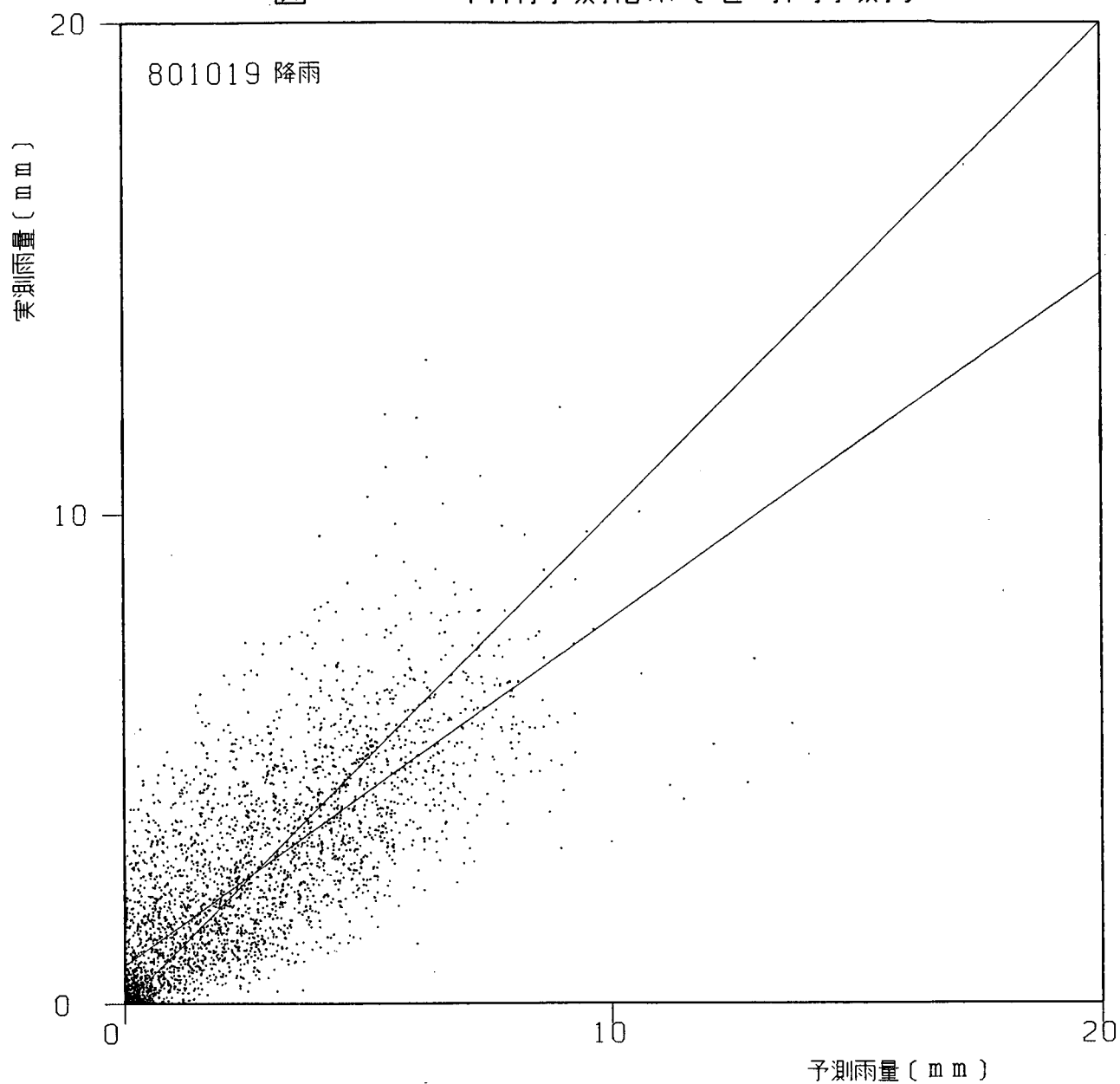


降雨予測結果 (1 時間予測)



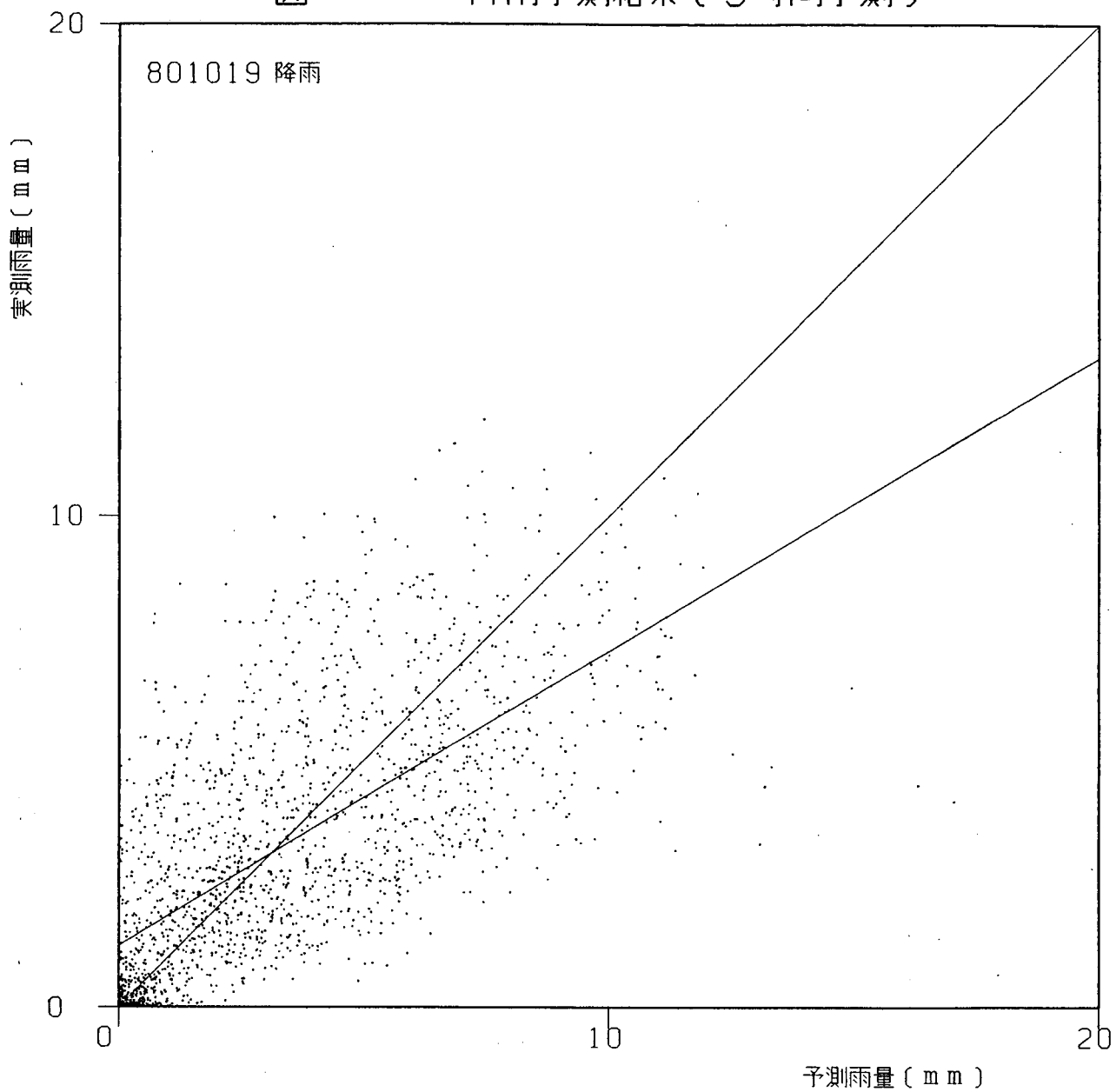


降雨予測結果 (2 時間予測)



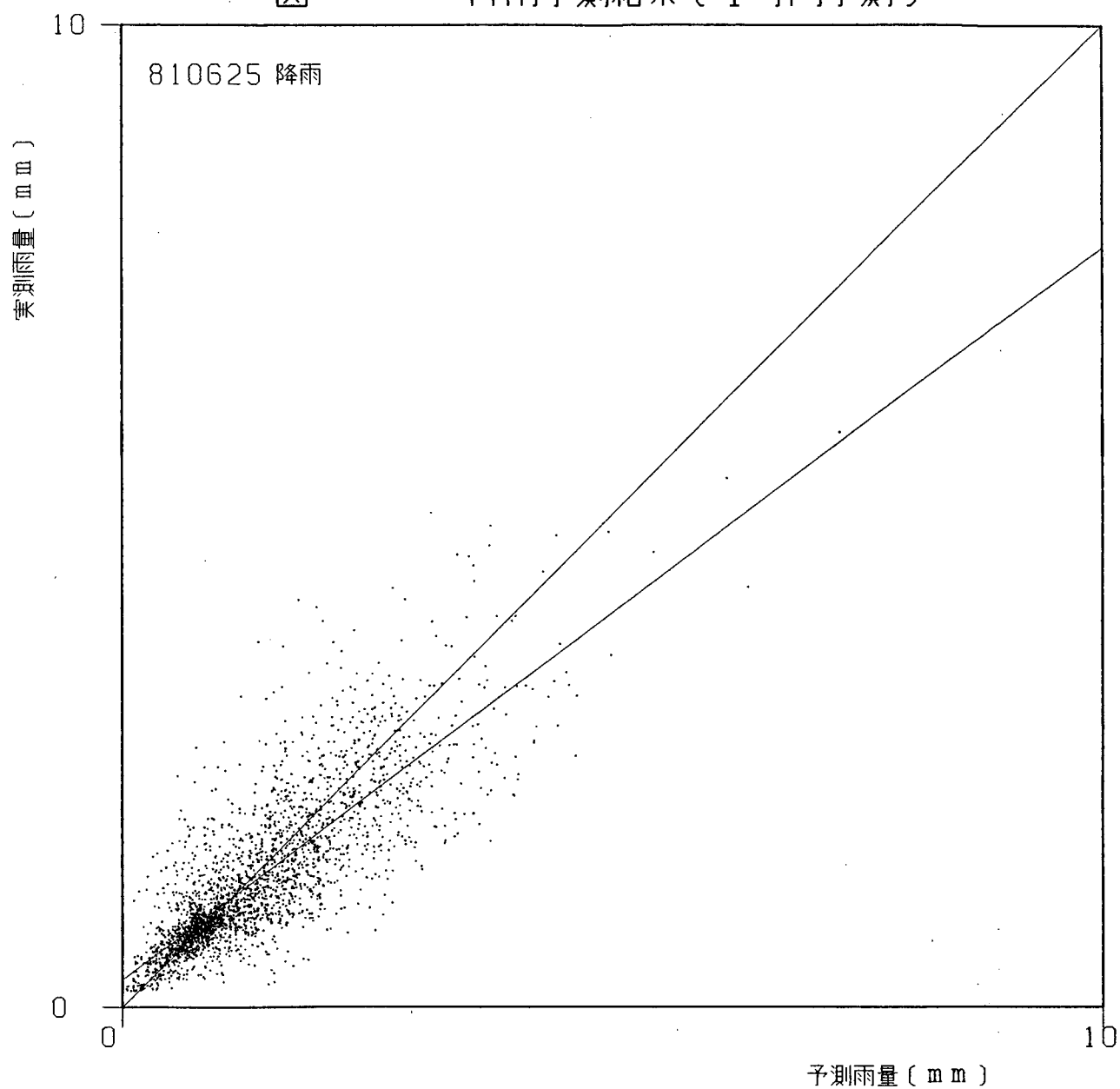


降雨予測結果 (3 時間予測)



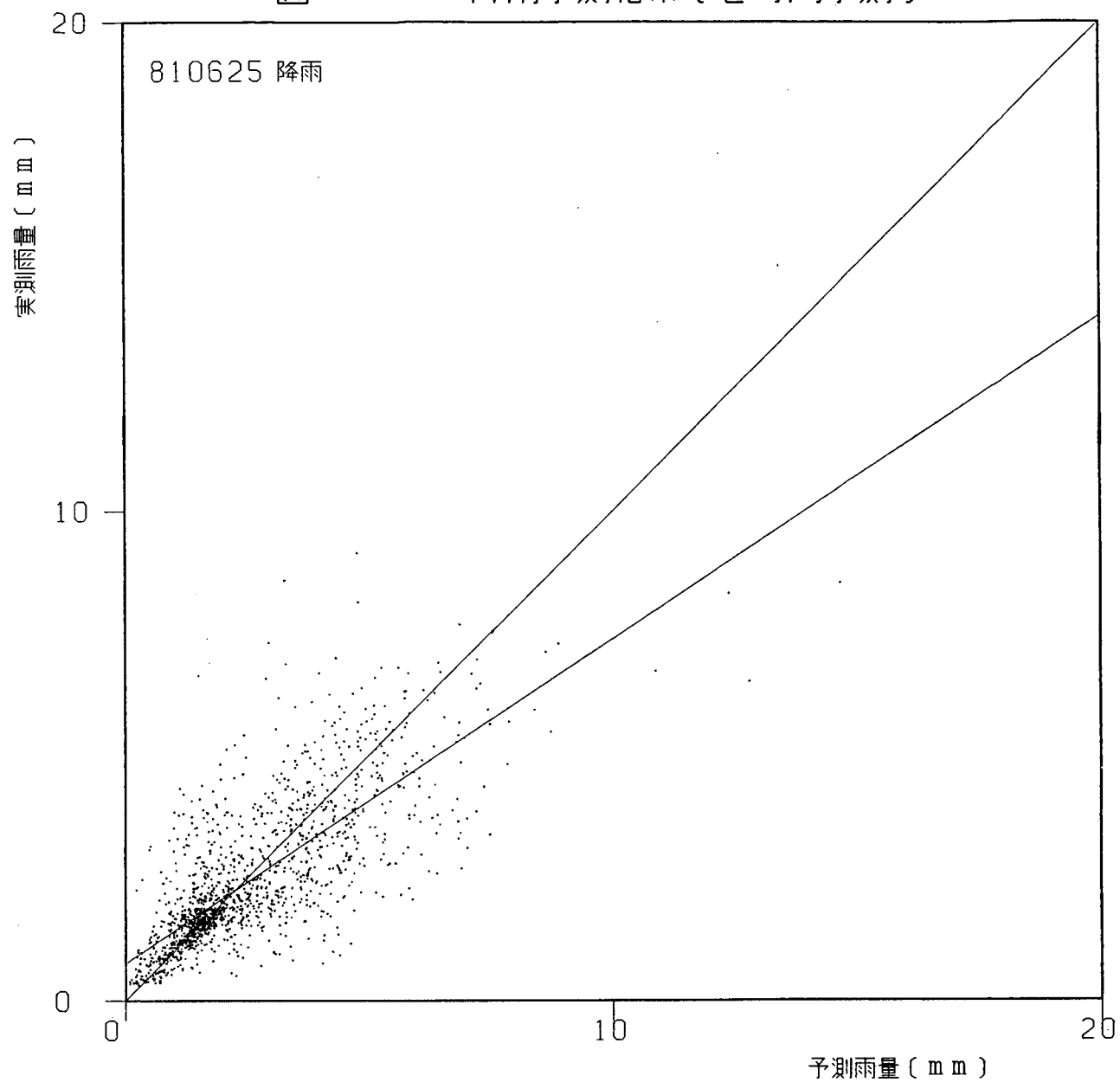


降雨予測結果 (1 時間予測)



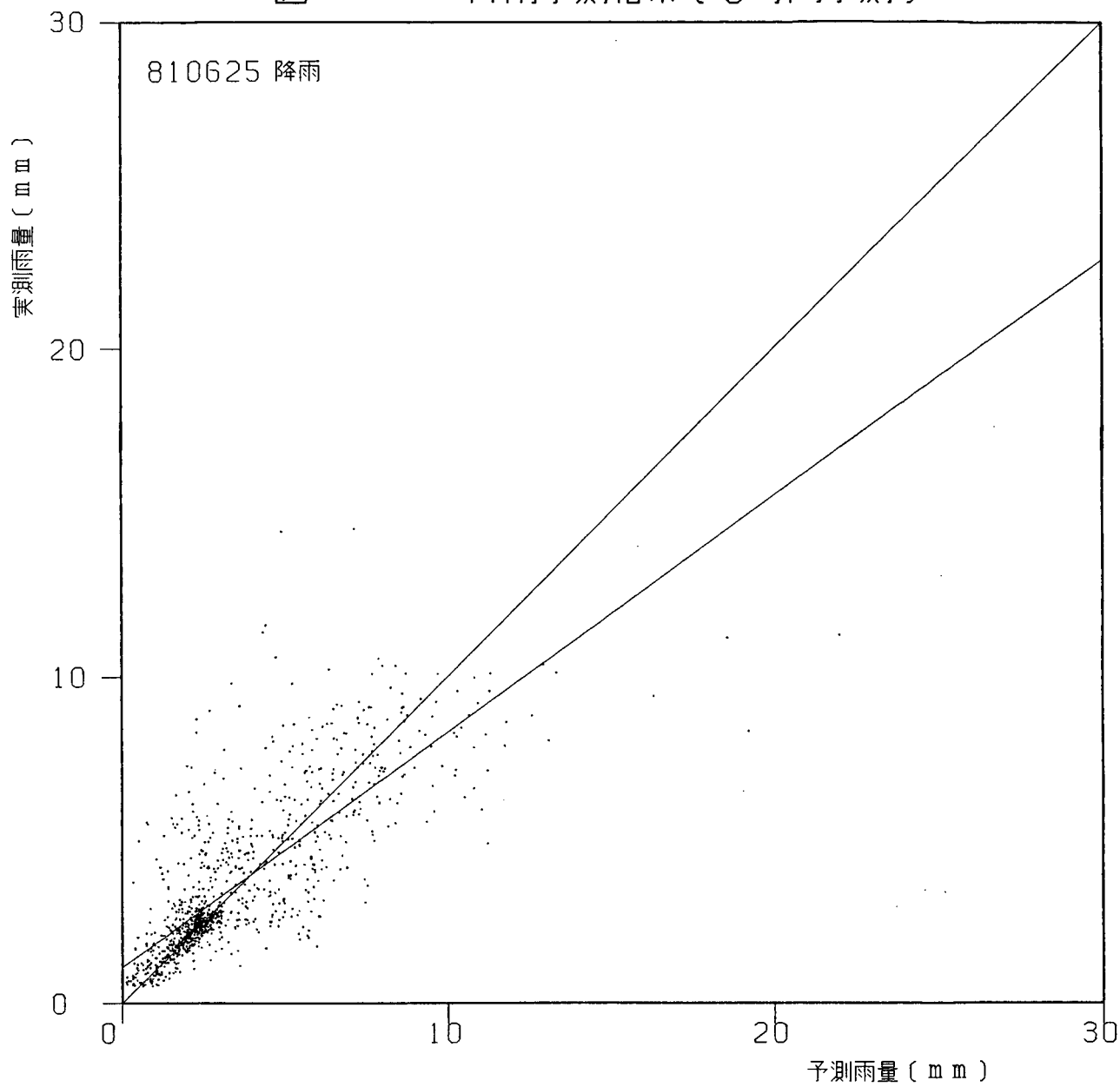


降雨予測結果 (2 時間予測)



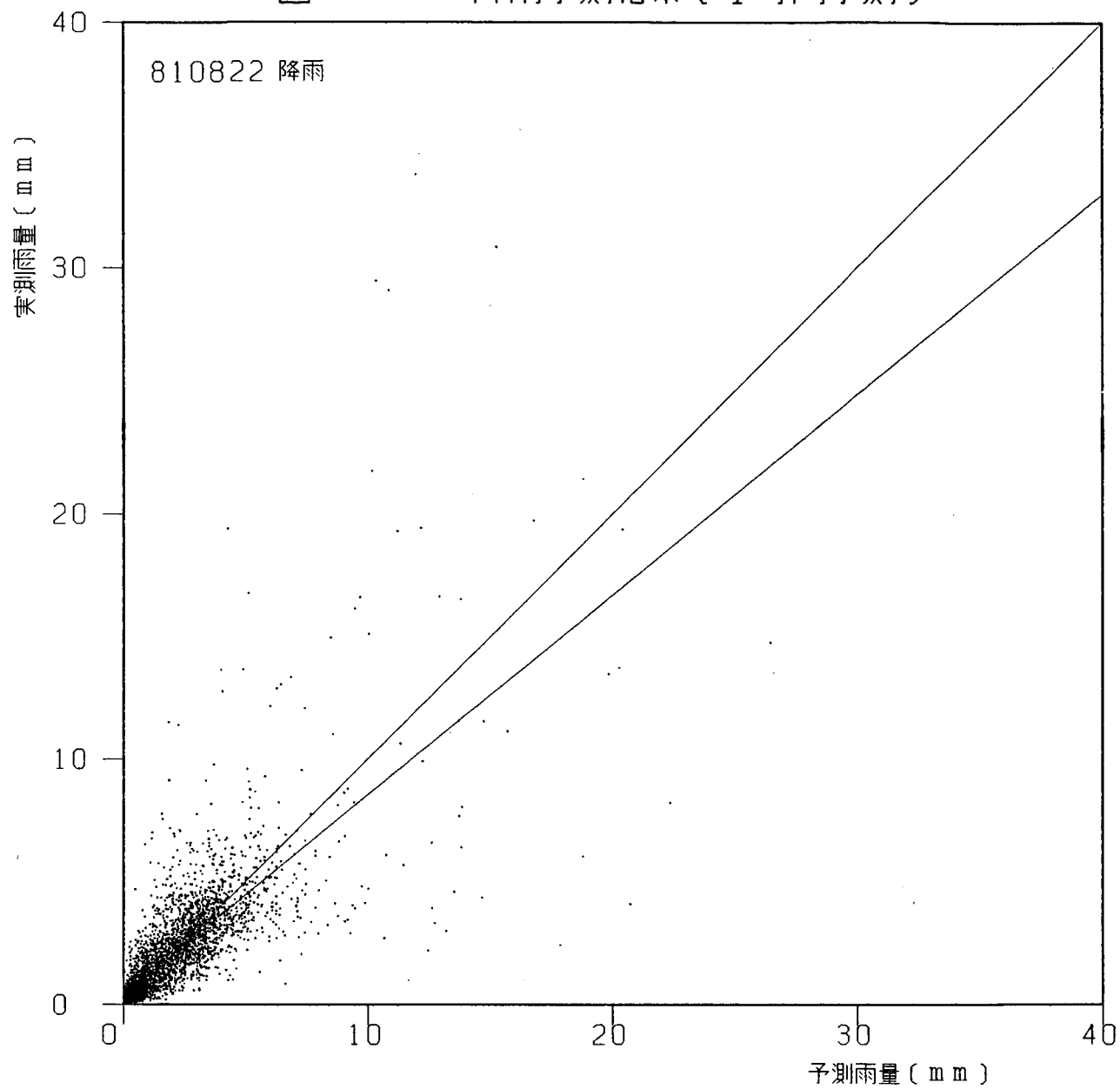


降雨予測結果 (3時間予測)



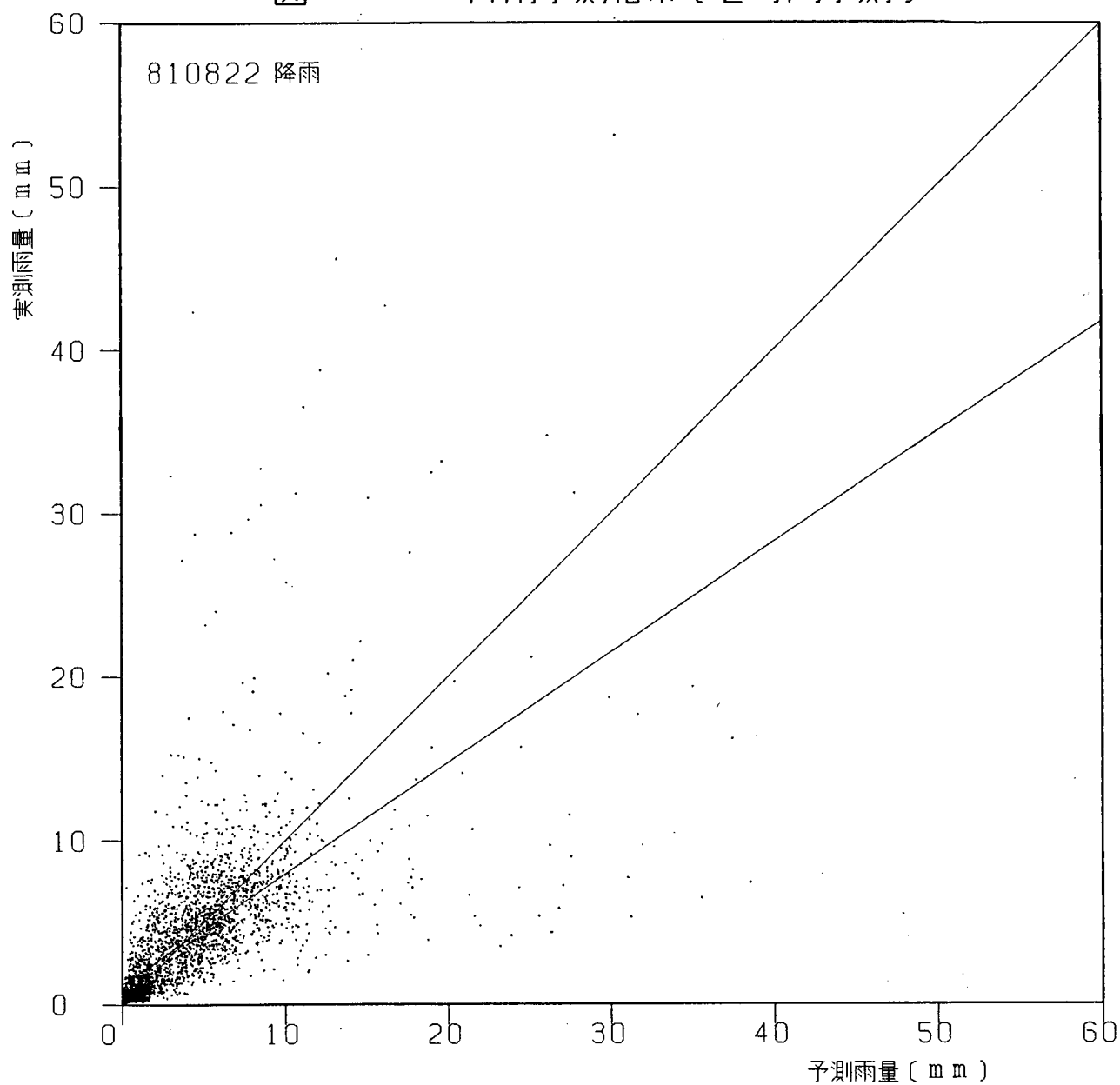


降雨予測結果 (1 時間予測)



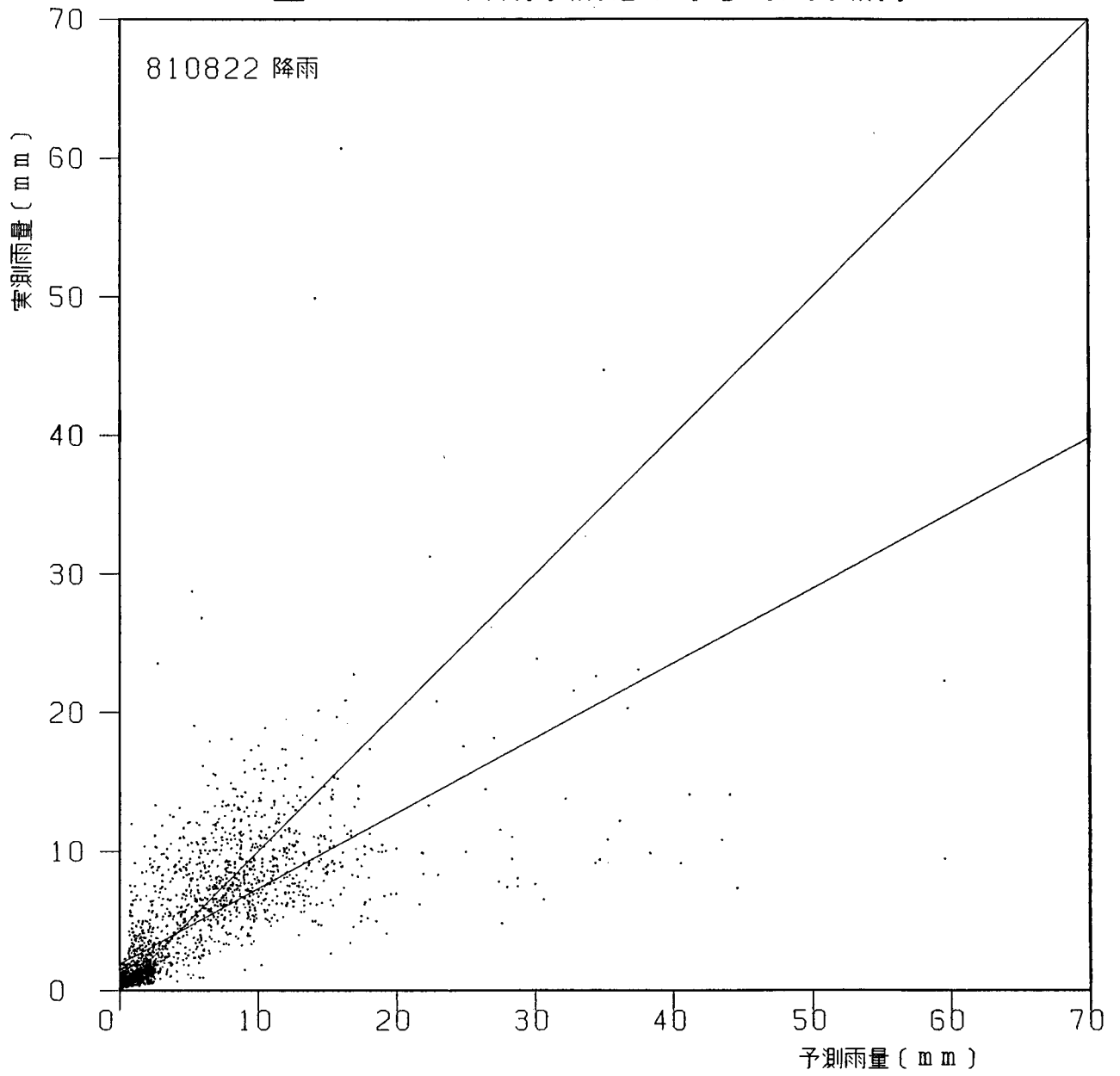


降雨予測結果 (2 時間予測)



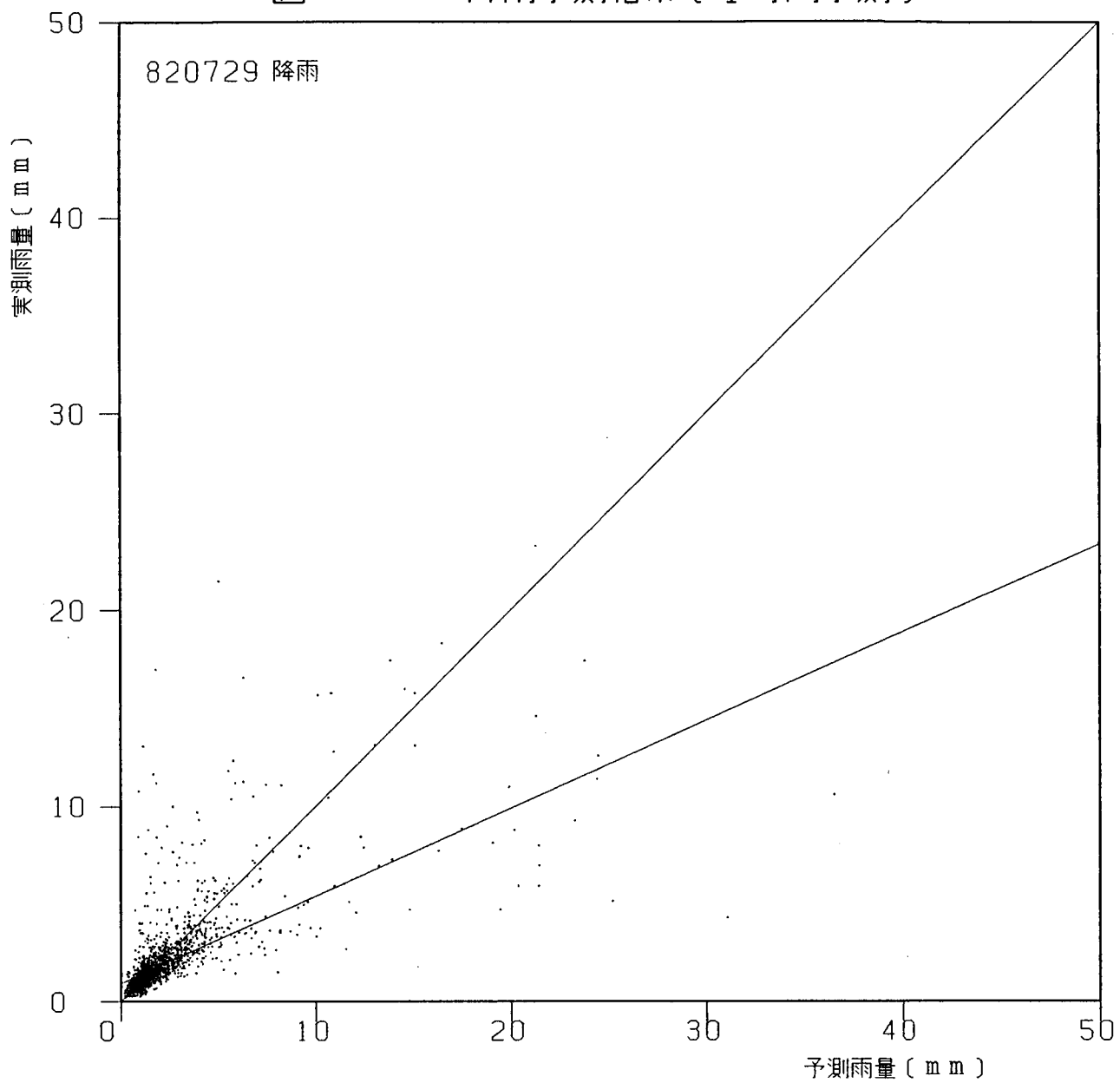


降雨予測結果 (3時間予測)



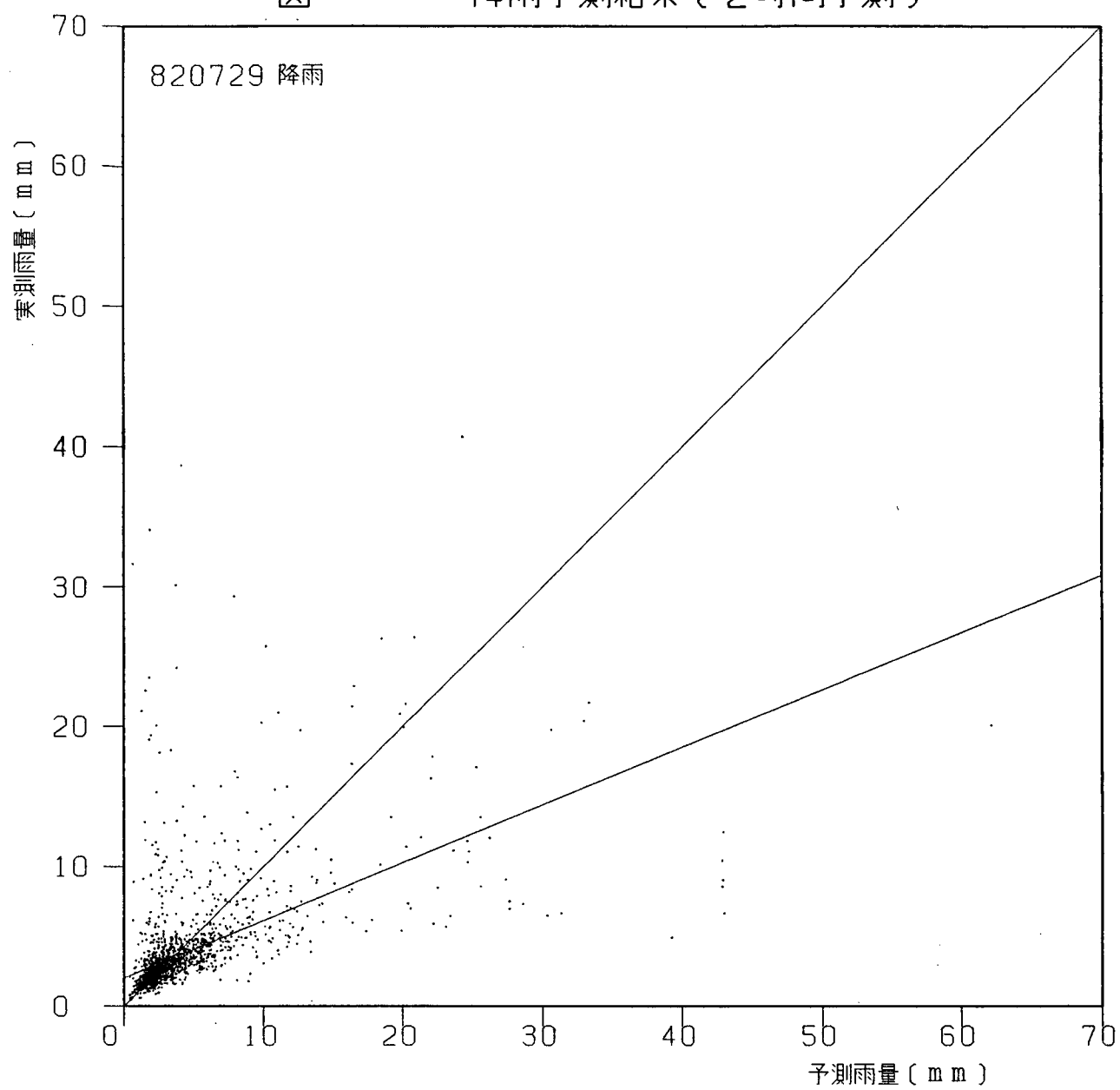


降雨予測結果 (1 時間予測)



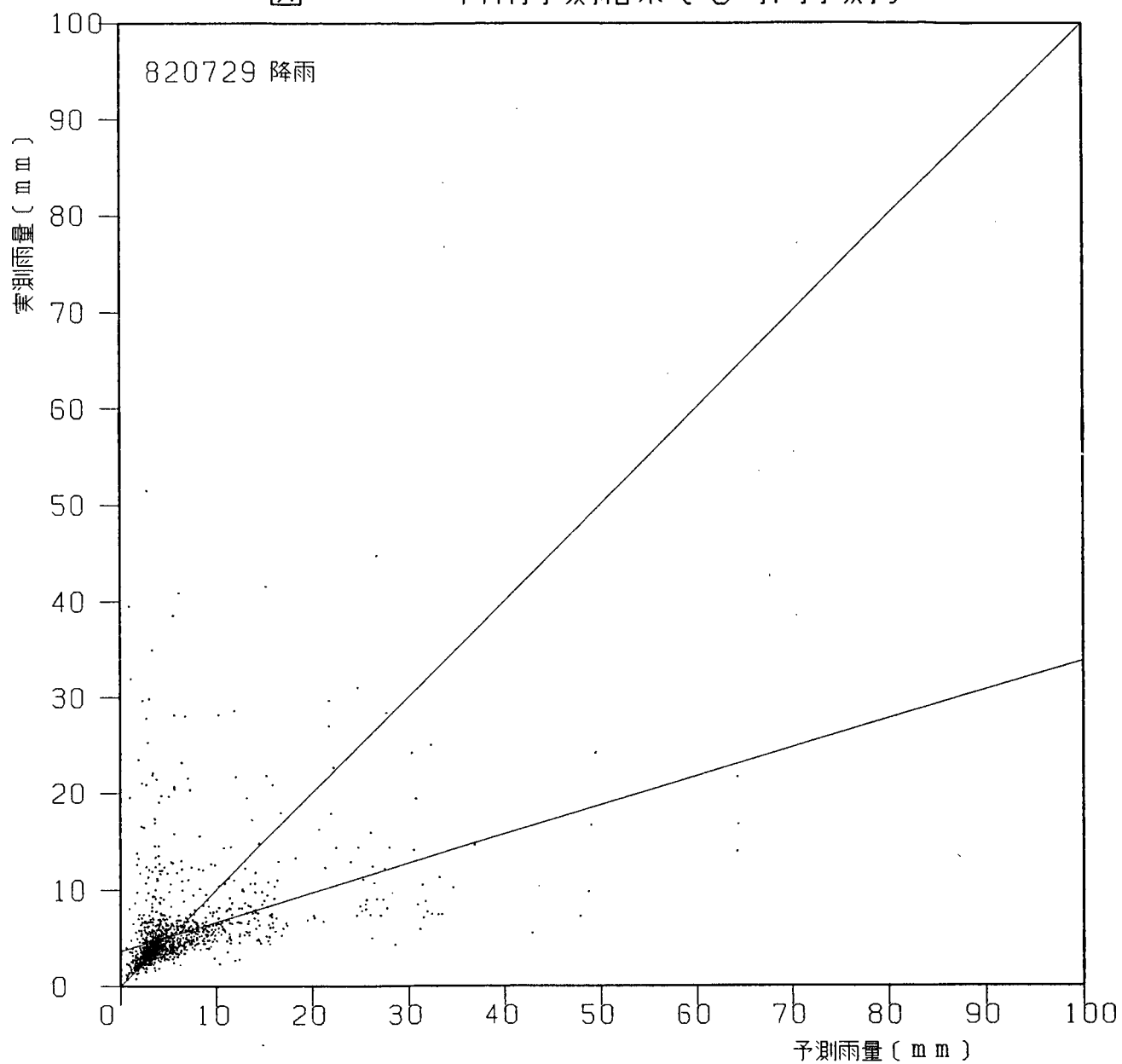


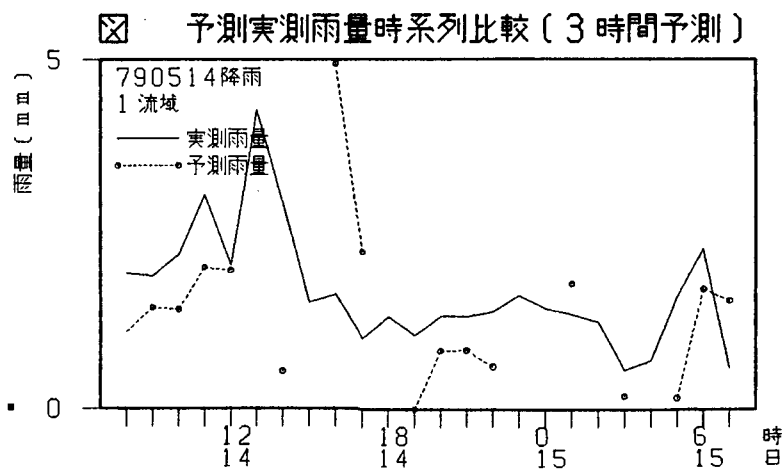
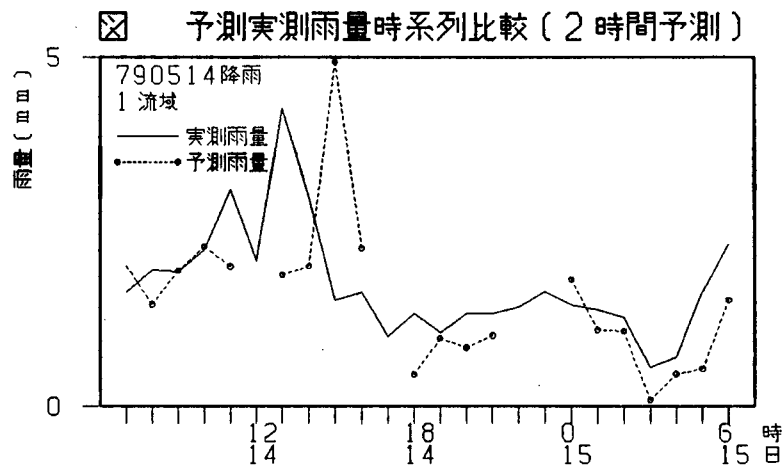
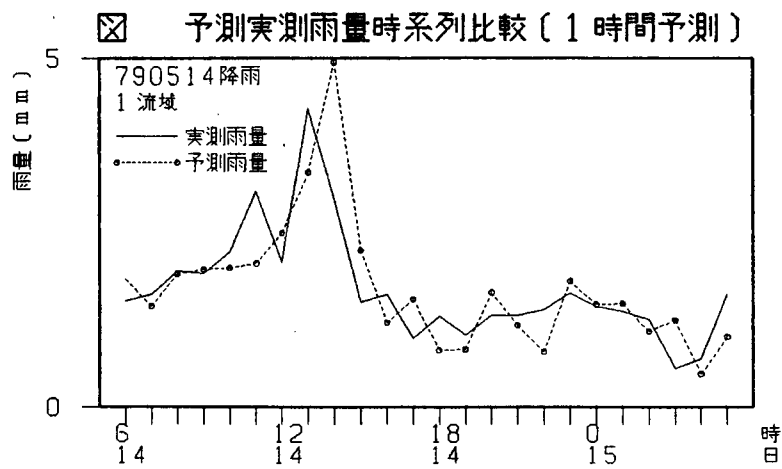
降雨予測結果 (2時間予測)



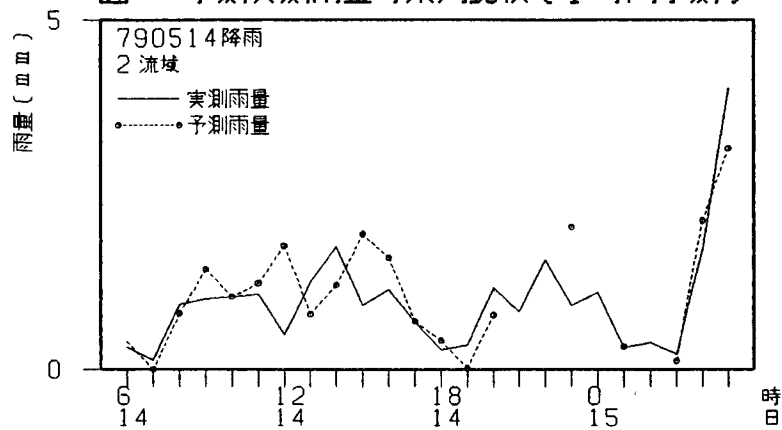


降雨予測結果 (3時間予測)

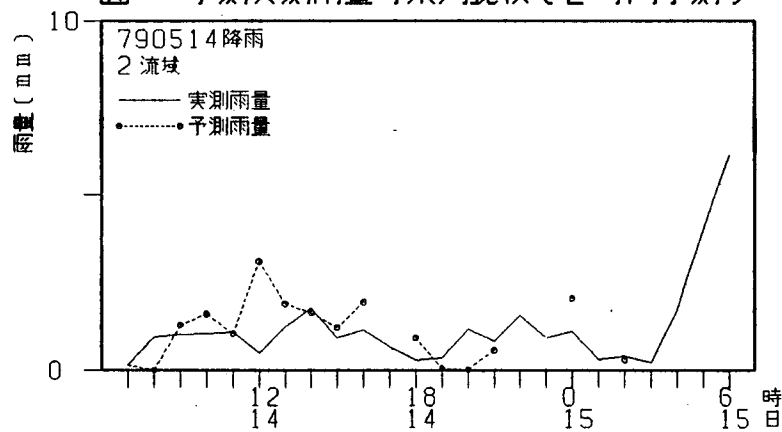




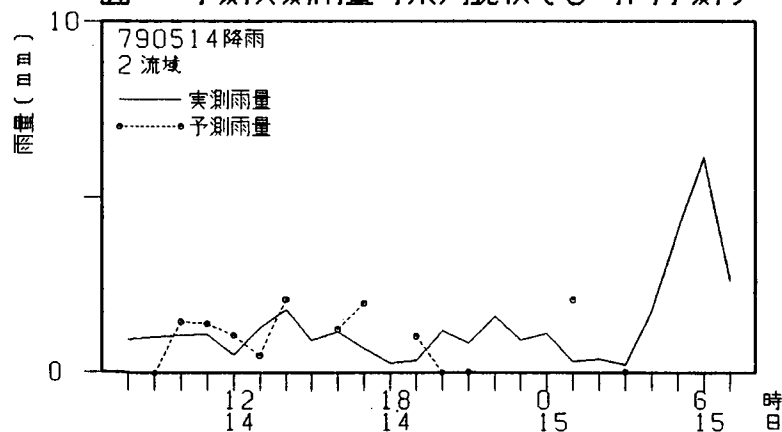
☒ 予測実測雨量時系列比較 (1 時間予測)



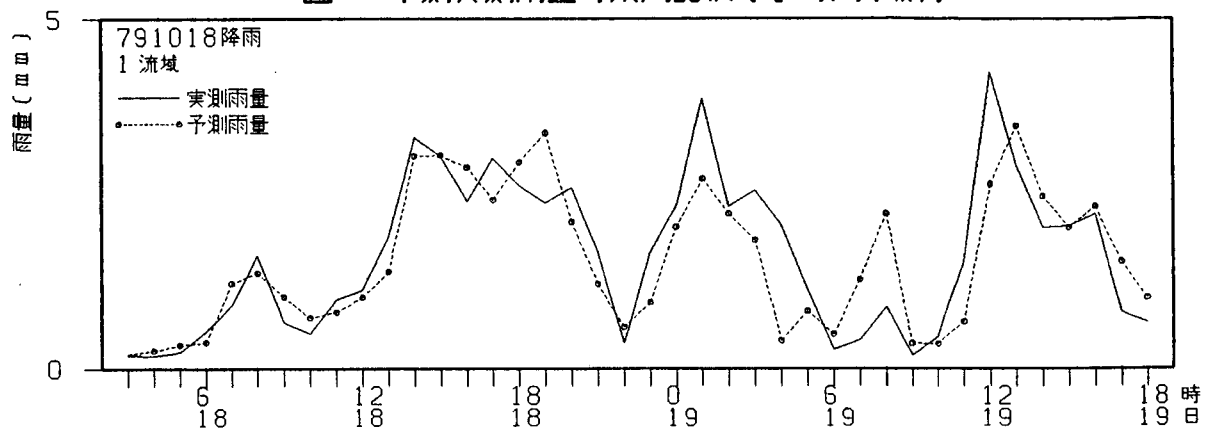
☒ 予測実測雨量時系列比較 (2 時間予測)



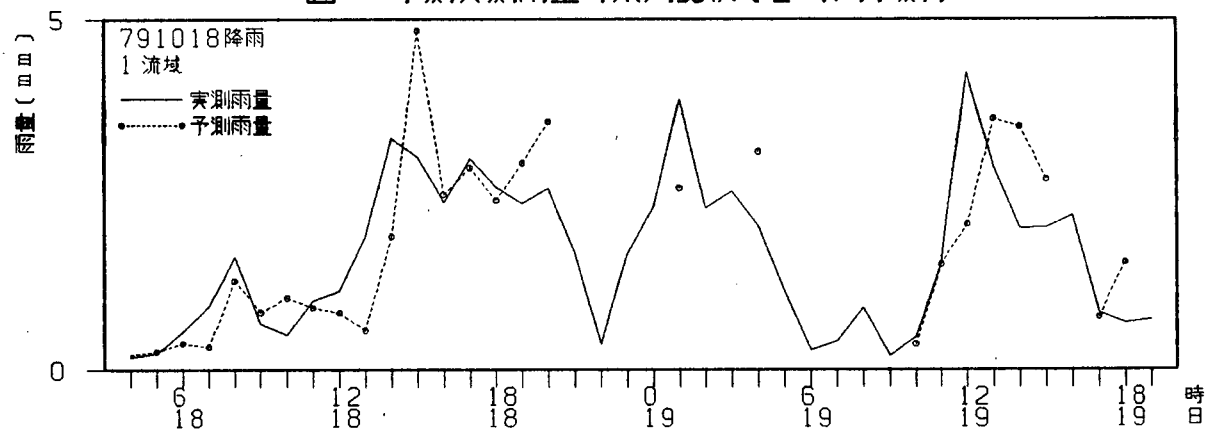
☒ 予測実測雨量時系列比較 (3 時間予測)



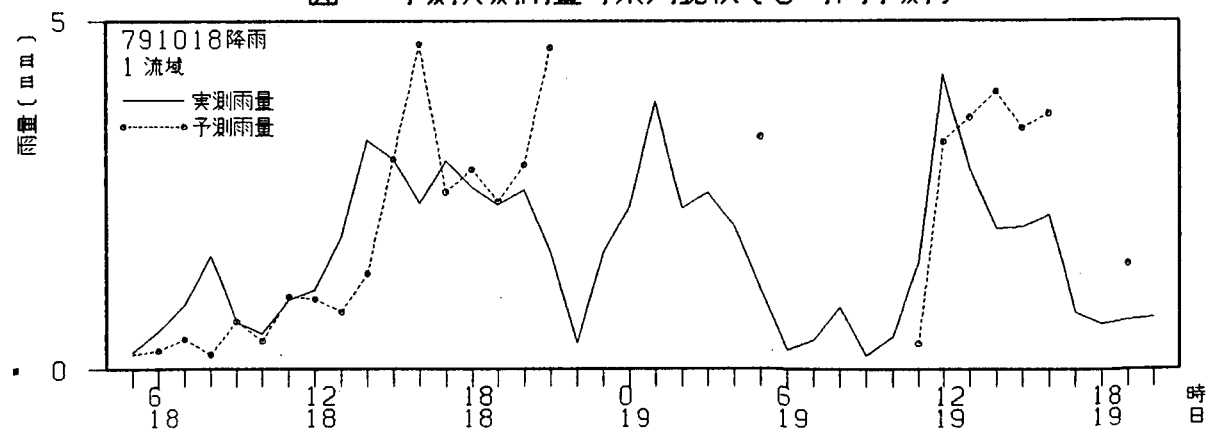
☒ 予測実測雨量時系列比較 (1 時間予測)



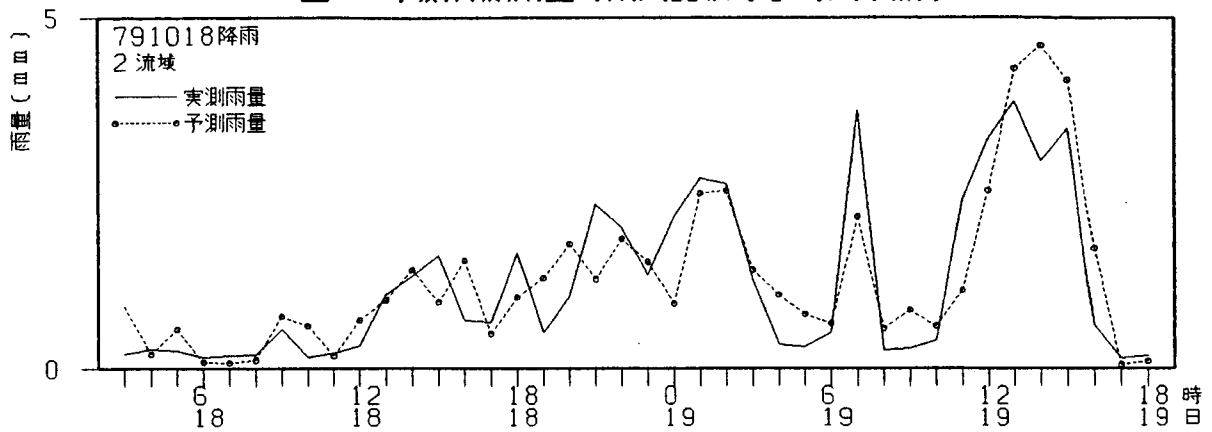
☒ 予測実測雨量時系列比較 (2 時間予測)



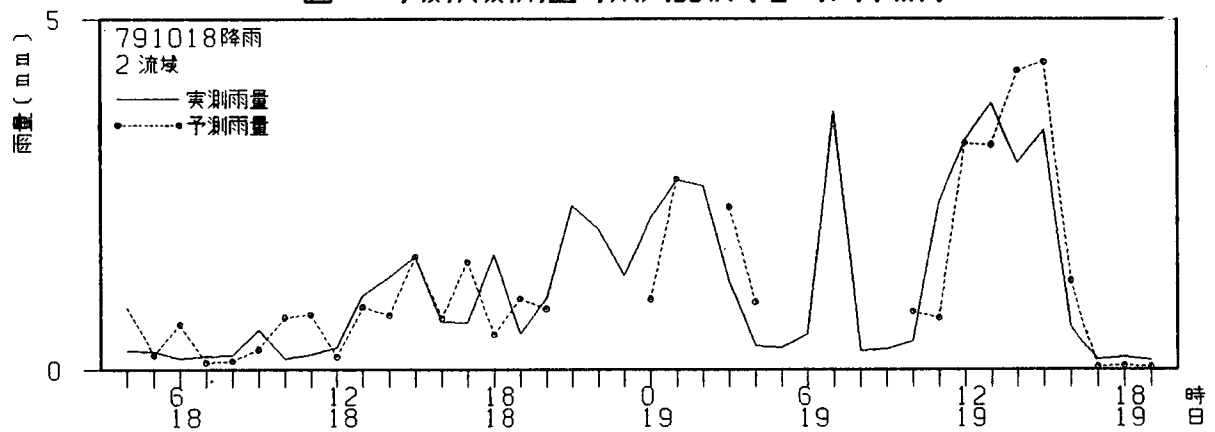
☒ 予測実測雨量時系列比較 (3 時間予測)



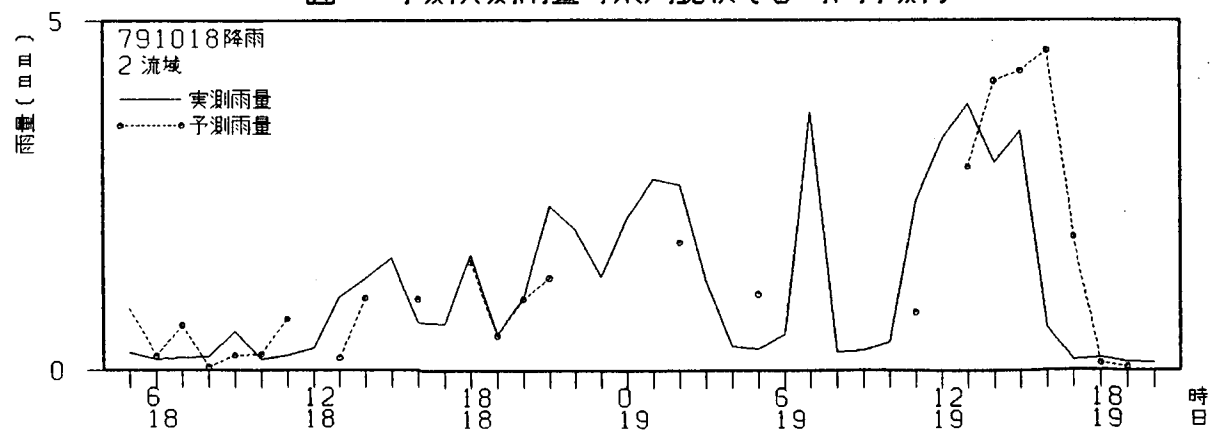
☒ 予測実測雨量時系列比較 (1 時間予測)



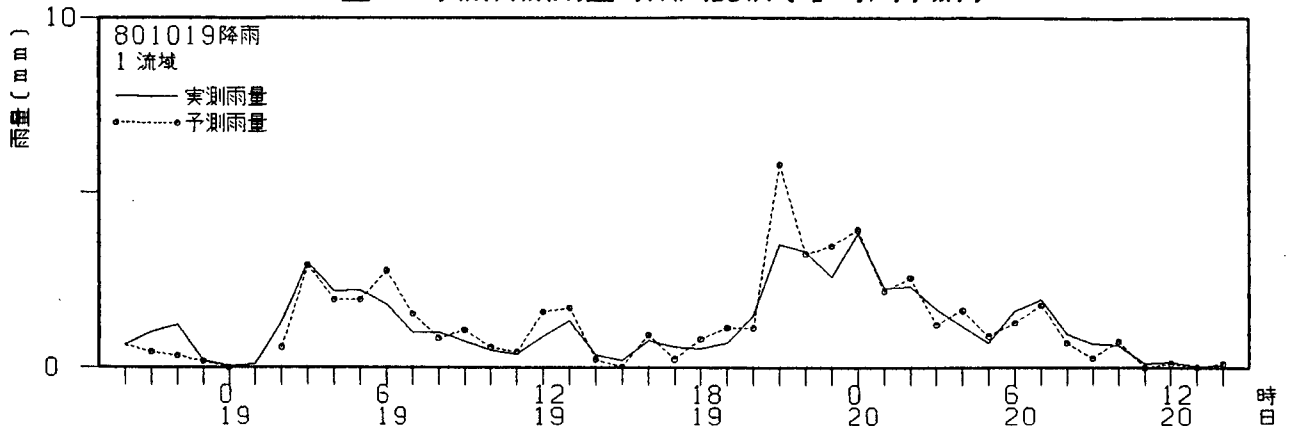
☒ 予測実測雨量時系列比較 (2 時間予測)



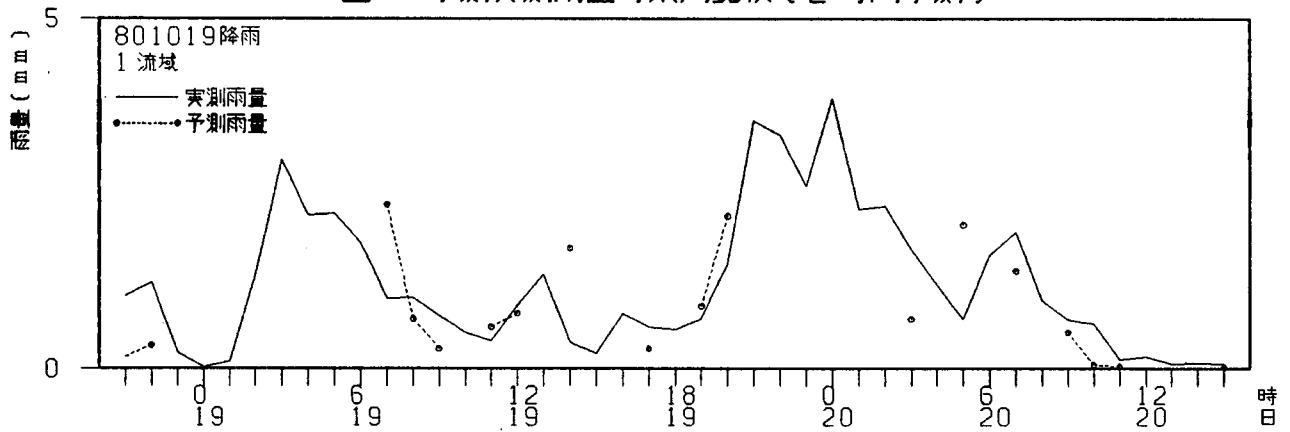
☒ 予測実測雨量時系列比較 (3 時間予測)



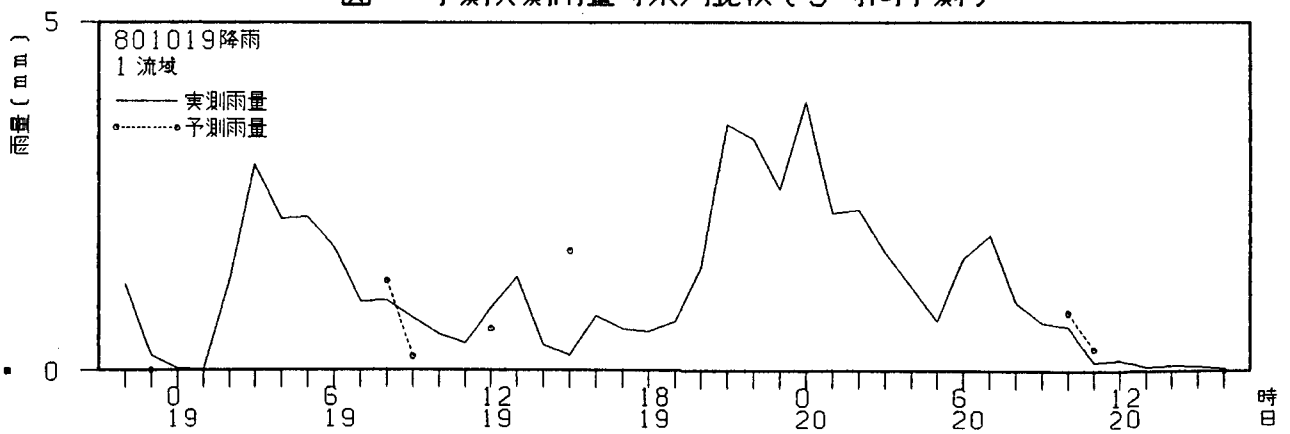
☒ 予測実測雨量時系列比較 (1 時間予測)

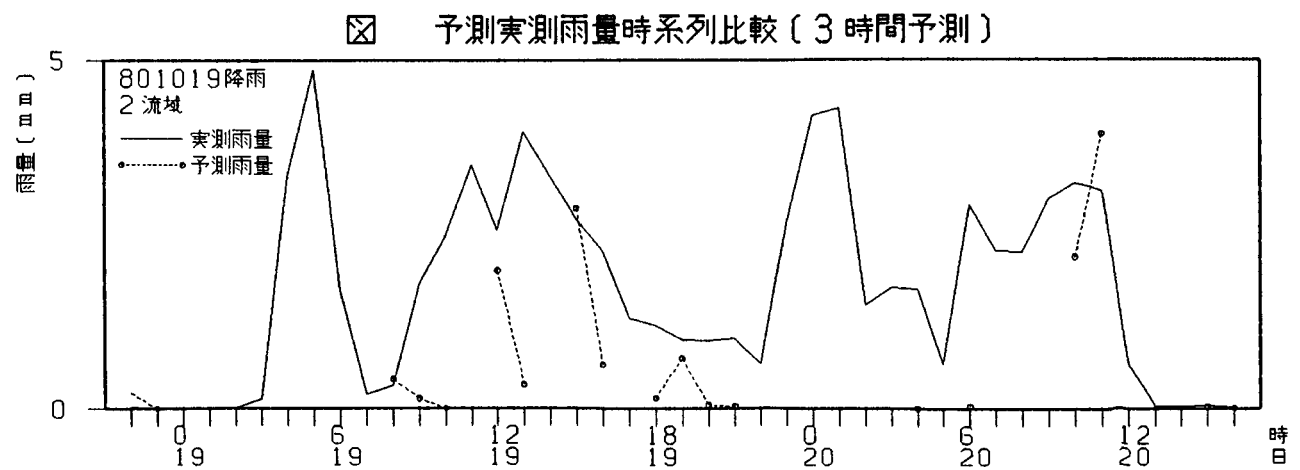
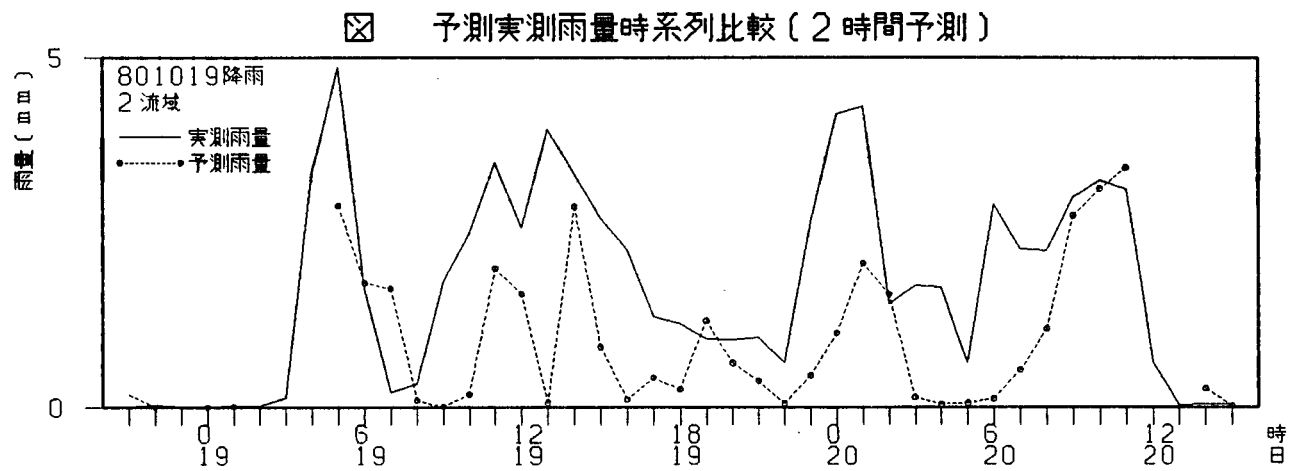
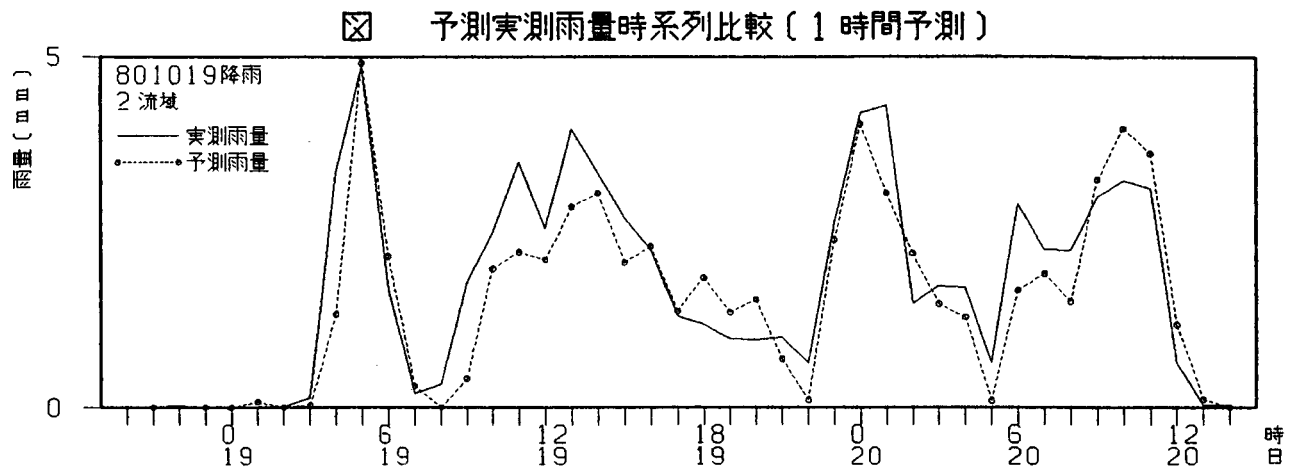


☒ 予測実測雨量時系列比較 (2 時間予測)

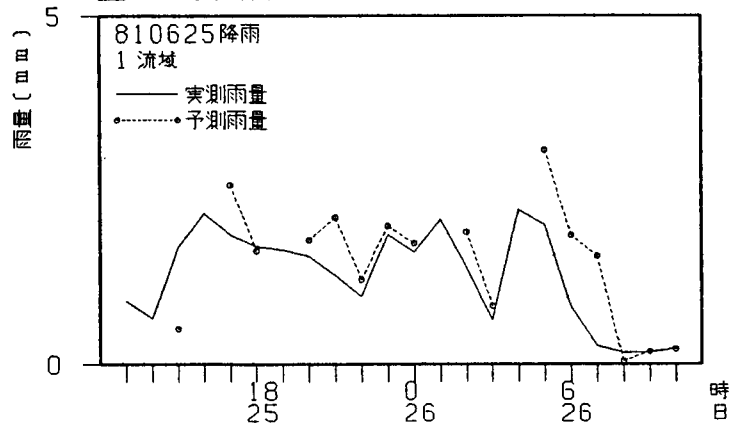


☒ 予測実測雨量時系列比較 (3 時間予測)

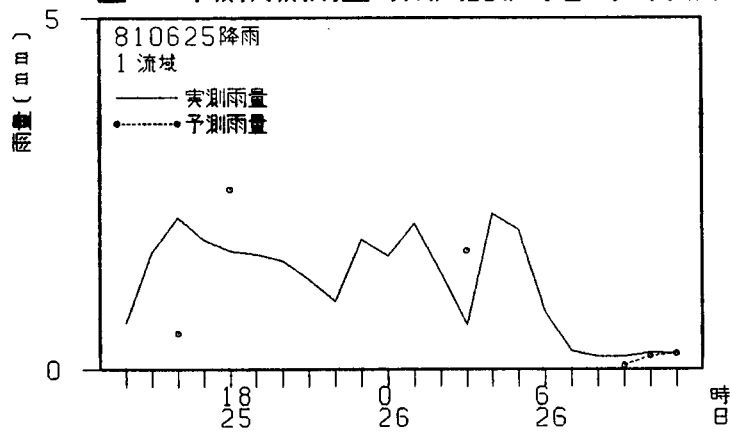




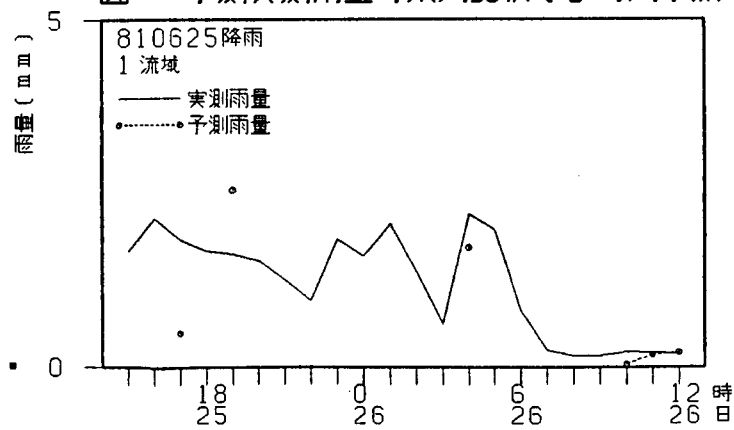
☒ 予測実測雨量時系列比較 (1 時間予測)



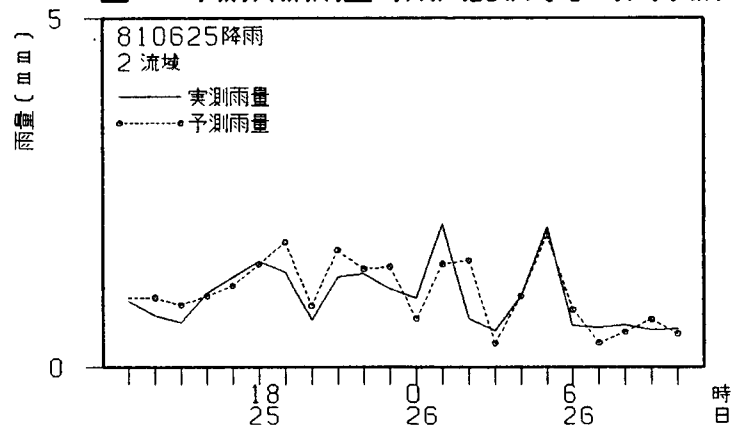
☒ 予測実測雨量時系列比較 (2 時間予測)



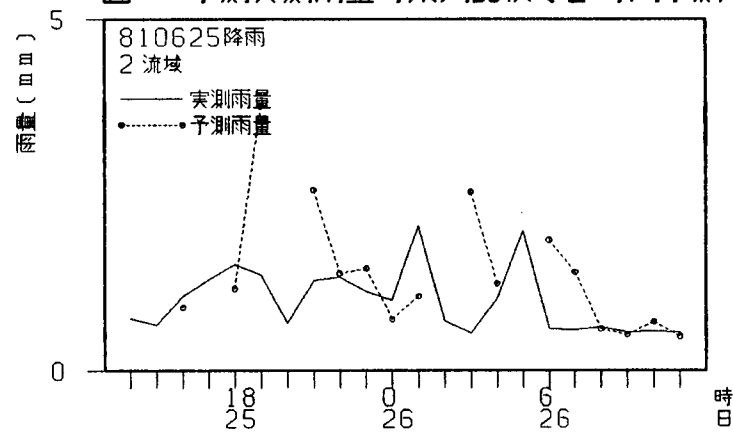
☒ 予測実測雨量時系列比較 (3 時間予測)



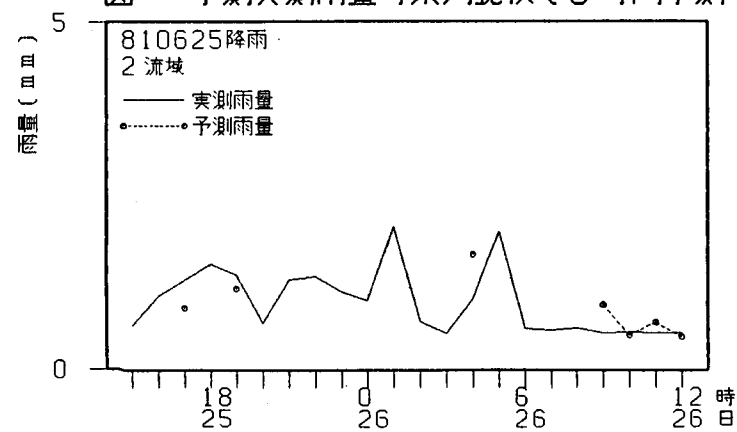
☒ 予測実測雨量時系列比較 (1 時間予測)



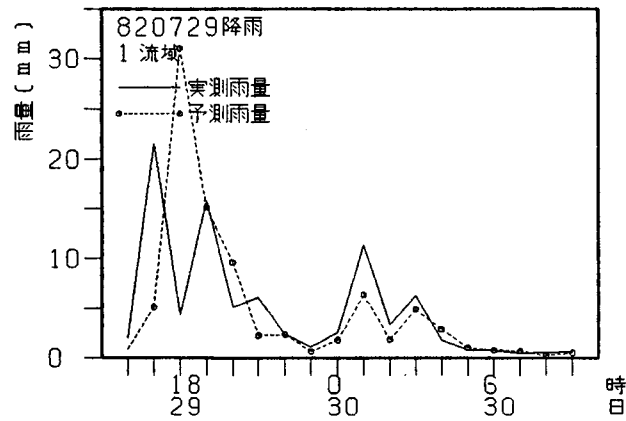
☒ 予測実測雨量時系列比較 (2 時間予測)



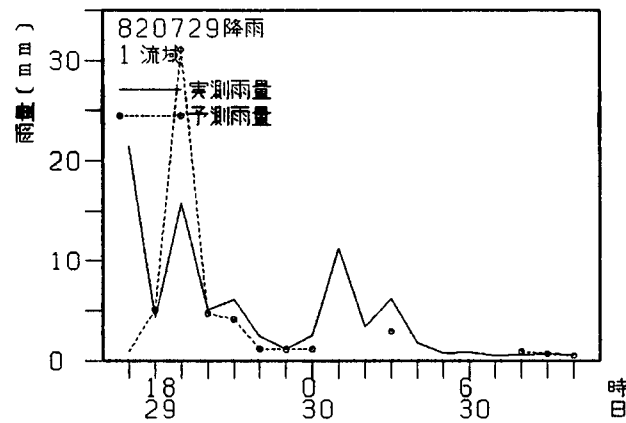
☒ 予測実測雨量時系列比較 (3 時間予測)



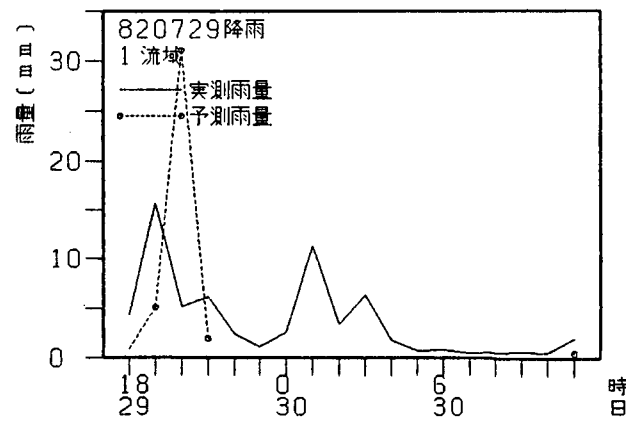
☒ 予測実測雨量時系列比較 (1 時間予測)



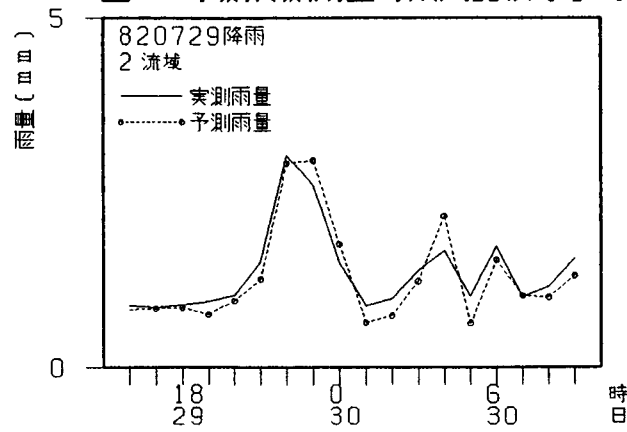
☒ 予測実測雨量時系列比較 (2 時間予測)



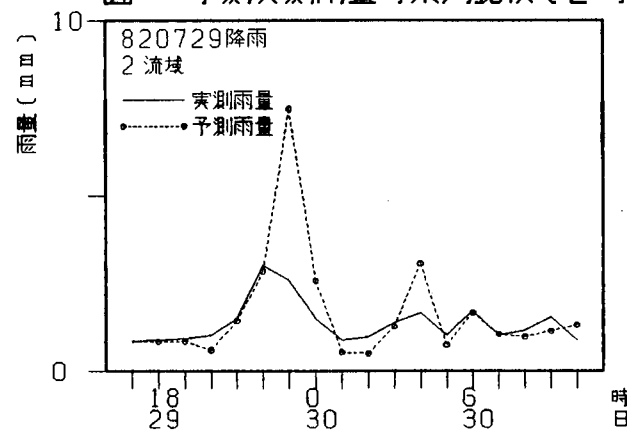
☒ 予測実測雨量時系列比較 (3 時間予測)



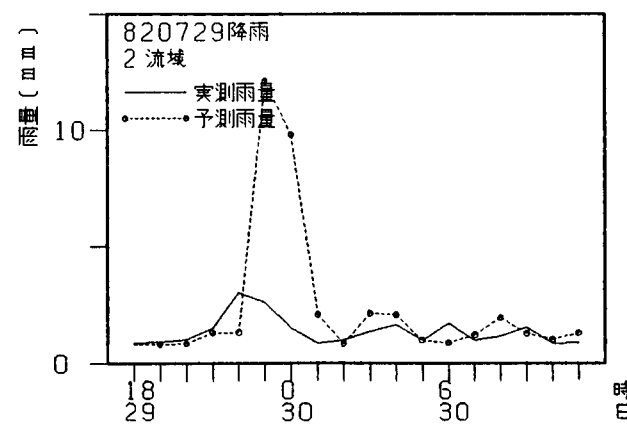
☒ 予測実測雨量時系列比較 (1 時間予測)



☒ 予測実測雨量時系列比較 (2 時間予測)



☒ 予測実測雨量時系列比較 (3 時間予測)



レーダ雨量計による短時間降
雨予測に関する調査報告書

ISSN 0386-5878
土研資料第2406号
昭和61年10月(1986)

要 旨

水 文 研 究 室

本研究はレーダ雨量計を利用して短時間降雨予測を行うモデルである雨域追跡法の予測特性とその精度を多数の実測例で評価したものである。本報告書では、雨域支配率が33%の時の移動ベクトルが大多数の例では良い結果を与えるが、関連係数が0.7以下の時には精度が悪いことを示し、この欠点を補う修正単純移流モデルを提案した。また、レーダエコーから定義される発達・衰弱量は地形、気象の各要因とは明白な関係を持たないこと、が重相関解析結果から類推された。これから、雨域追跡法は約1時間先の予測には実用上十分な精度を有するが、2～3時間先の予測は困難であることを明らかにした。

キーワード：レーダ雨量計，降雨予測，雨域追跡法



郵便はがき

四十円切手
をはいて
下さい。

305-□□

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

河川部水文研究室

御中

No. _____

No. _____

配布先氏名



配布先住所

土木研究所資料第 2406 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印