

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第2756号

土 木 研 究 所 資 料

降雨減衰項導入に関する研究

平成元年 3 月

建設省土木研究所
河川部水文研究室

Copyright © (1989) 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、複写は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

降雨減衰項導入に関する研究

水文研究室 室長 吉野文雄
研究員 水野雅光
部外研究員 阿部英志
同 玉本昌司

要 旨

レーダ雨量計は、降雨の時間分布を直接かつ連続して定量的に観測出来るので、河川管理者や道路管理者にとって今や不可欠なものになっている。この降雨観測システムを有効に利用するためには、レーダ雨量計の観測精度を更に向上させることが重要である。

レーダ雨量計の観測精度と密接な関係があるものは、降雨換算定数 B 、 β と電波の降雨減衰である。そこで本調査は降雨減衰に着目し、降雨減衰定数の推定並びに降雨減衰項導入の必要条件である B 、 β の較正法の確立を行うことを目的として、感度分析法、AF法、逐次検定法による降雨換算定数 B の較正法の効果について検討した。また、合わせて雨量の空間分布の較正方法についても検討した。その結果、 B を毎時較正することで観測精度を約20%程度向上させることができること、又、較正方法は計算時間が短く計算の容易なAF法で良いことがわかった。空間分布補正については、クリージング法により良好な補正結果が得られたが、さらに検討を加える必要がある。

キーワード：レーダ雨量計、降雨減衰、降雨換算定数 B 、毎時較正、AF法、赤城山レーダ

はじめに

レーダ雨量計による降雨観測は、広範囲の降雨を短時間に定量的に測定出来ると言う特長を有し、ハード、ソフト面での改良を通じて精度もかなり向上してきていることから、気象予報、河川・道路管理等の分野で重要な位置を占めるようになってきている。この降雨観測システムを有効に機能させるためには、観測精度の一層の向上が望まれるところである。

レーダによる雨量観測においては、特に強降雨時において、雨滴による到達電波の減衰が問題となる。この雨滴による減衰を正確に把握出来れば精度をさらに向上させることが出来ることは、既往の研究において明らかにされている。しかし、減衰量が雨量強度に関係することから、降雨減衰項の導入に当たっては、雨量強度の正確な推計が前提となる。

本報告は、降雨減衰項の導入に際して、雨量強度の推計の精度を向上させるために、地上における雨量観測結果を用いたレーダ雨量の較正手法について検討を行なったものである。

本検討の中で対象としたものは較正手法の中の一部であり、又、必ずしも十分な検討は行なえていないが、今後の調査の一助となれば幸いである。

第1章 レーダによる雨量観測の現況	1
1.1 観測の原理及び観測状況	1
1.1.1 観測の原理	1
(1) レーダ方程式	1
(2) レーダ反射因子	1
(3) 電波の減衰	3
1.1.2 観測状況	4
1.2 観測の精度	6
1.2.1 観測精度と誤差構造	6
(1) 精度の考え方	6
(2) 誤差の構造	6
(3) 精度の評価例	8
1.2.2 精度向上への期待	10
第2章 精度向上方法の検討	11
2.1 精度向上の基本方針	11
(1) 精度向上の目的	11
(2) 精度向上の目標	11
2.2 精度向上方法	13
(1) 降雨換算定数 B , β の較正	13
(2) レーダ雨量の空間補正	14
第3章 降雨換算定数 B , β の較正による精度向上方法	15
3.1 感度分析による毎時較正	15
3.1.1 較正方法	15
3.1.2 解析方法と資料	16
(1) 資料	16
(2) レーダ雨量の計算	18
(3) 最適 B の算定	18
(4) 精度の評価	18
3.1.3 解析結果と評価	19
(1) 平均的精度	19
(2) 個別の精度	25
(3) 較正指標の特性	25
3.1.4 降雨換算定数の許容範囲	28
(1) B の経時変化	29
(2) B の出現特性	30
(3) 考察	32
3.2 B の時間外挿	33
3.2.1 時間外挿の方法	33

3.2.2 解析方法と資料	33
(1) 資料	33
(2) 時間外挿Bの計算	33
(3) レーダ雨量の算出	33
(4) 精度の評価	33
3.2.3 解析結果と評価	34
(1) 最適なBの変化傾向	34
(2) 精度	35
(3) 時間外挿の可能性	38
3.3 Adjustment Factor を用いた感度分析	39
3.3.1 較正方法	39
(1) Adjustment Factor (AF) の定義	39
(2) AFによる定数Bの較正方法	39
3.3.2 解析方法と資料	40
(1) 資料	40
(2) 最適なBの算定	40
(3) 精度の評価	40
3.3.3 解析結果と評価	41
(1) AFの特性	41
(2) 全体的な精度評価	46
(3) AFの特性を考慮したサンプルによる精度評価	47
(4) 考察	50
3.4 逐次検定法によるBの較正	51
3.4.1 較正方法	51
(1) 逐次検定法 (Sequential Analysis Method) の理論	51
(2) オンライン補正への適用方法	53
3.4.2 解析方法と資料	56
(1) 資料	56
(2) AFの算定	56
(3) 精度の評価	56
3.4.3 解析結果と評価	58
(1) 特性検討	58
(2) 定数 α , β 及び δ の検討	75
(3) 考察	83
第4章 空間補正による精度向上方法	84
4.1 二宮法による補正曲面あてはめ	84
4.1.1 較正方法	84
4.1.2 解析方法と資料	85

(1) 資料	85
(2) F 値の算定	85
(3) 補正曲面推定定数 α , β	85
(4) 補正の有効性の検証	86
(5) 較正用ゲージ雨量計密度と補正効果の検討	86
(6) 補正係数時間外挿の可能性の検討	86
4.1.3 解析結果と評価	87
(1) 補正係数の時間的, 空間的变化特性	87
(2) 較正の有効性の検証	89
(3) 較正用ゲージ雨量計密度と補正効果	92
(4) 補正係数の時間外挿の可能性	95
(5) 考察	96
4.2 Kriging 法による空間補正	97
4.2.1 較正方法	97
(1) Kriging 法の理論	97
(2) レーダ雨量の空間補正方法	99
4.2.2 解析方法と資料	101
(1) 資料	101
(2) モデル解析	102
(3) 実際データによる解析	102
(4) 精度の評価	103
4.2.3 解析結果と評価	104
(1) 空間特性の検討	104
(2) モデル解析による評価	108
(3) 実際データによる解析	114
(4) 考察	126
4.3 Co-kriging法による空間補正	127
4.3.1 較正方法	127
(1) Co-kriging法	127
(2) レーダ雨量の空間補正方法	131
4.3.2 解析方法と資料	132
(1) 資料	132
(2) モデル解析	132
(3) 実際データによる解析	132
(4) 精度の評価	132
4.3.3 解析結果と評価	132
(1) 降雨のバリオグラム	132
(2) モデル解析による評価	134

(3) 実際データによる解析	138
(4) 考察	138
第5章 最適な較正方法について	142
5.1 指標間の精度等比較	142
5.1.1 降雨換算定数 B , β の較正の精度比較	142
(1) 精度	142
(2) オンライン情報提供への適用性	142
5.1.2 レーダ雨量の空間補正の精度比較	148
(1) 精度	148
(2) オンライン情報提供への適用性	148
5.2 実運用を考慮した精度検討	153
5.3 最適な較正方法の提案	158
(1) 基準とする B , β によるレーダ雨量の算定	158
(2) $AF = 1/n \sum \log(Rg/Rr)$ の算定	159
(3) $AF \sim B$ の補正量の関係を用いた B の補正	159
(4) 補正後の B によるレーダ雨量の算定及び直交メッシュ化	159
第6章 まとめ	169

第1章 レーダによる雨量観測の現況

1.1 観測の原理及び観測状況

1.1.1 観測の原理

レーダ雨量計とは、レーダを利用した降雨観測システムである。降雨観測をレーダにより行なうようになったのは、昭和16年のことであり、その後、電子技術の進歩と降雨現象に関する研究が進められ、次第に重要度も増してきた。降雨観測は従来から地上に設置した雨量計による測定が行なわれているが、レーダ雨量計は、

- ・ 雨量を面分布として直接把握することが出来る。
 - ・ 短時間に雨量情報を収集し処理出来る。
 - ・ 雨域の移動や雨量強度の変化などを画面上で確認出来る。
 - ・ 広範囲の雨量を1ヶ所の遠隔値から測定出来る為、設置や管理が容易である。
- 又、危険箇所への立ち入りも不要となる。

等の特長を有し、今後気象観測の中心的役割が期待される。

以下に、観測の原理について概説する。詳しくは、文献1を参照されたい。

(1) レーダ方程式

レーダによる降雨測定は、図1.1.1に示されるように、ビーム幅とパルス長の1/2で決められる空間（目標体積）に存在する雨滴の瞬間的な総量を測定し、これから雨量強度を求めようとするものである。

レーダ空中線から発射された電波は、雨滴などの目標に当たって減衰し、その一部は後方散乱波として受信機へ返ってくる。この受信波の電力の大きさは、送信電力、目標までの距離、波長、空中線の大きさ、途中の減衰などにより決まるが、これ等の関係を表わしたものをレーダ方程式といい、次のように表わされる。

$$Pr = \frac{C \cdot F \cdot B \cdot R^{\beta}}{r^2} \cdot 10^{-0.2 \int_0^r (K_a + K_R + K_c) dr}$$

ここに、 Pr は受信電力の平均値、 R は雨量強度、 r はレーダサイトからの距離、 K_a, K_R, K_c はそれぞれ大気、雨滴、雲による電波の減衰係数、 C はレーダ定数（レーダ装置の特性から決まる定数）、 F は補正係数、 B, β は降雨換算定数と呼ばれるものである。尚、雲による減衰は、波長が極端に短いミリ波以外では非常に小さく、レーダ雨量計では無視して差支えない。

(2) レーダ反射因子

レーダ方程式の中で BR^{β} で示される値はレーダ反射因子と呼ばれ、通常 Z で表わされる。 Z と雨量強度 R の関係を表わす降雨換算定数 B, β には、数多くの観測結果がある。その1例を図1.1.2に示す。Marshallは、 B が70~400、 β が1.0~2.0の間に広くばらついており、平均的には $B=200, \beta=1.6$ であるとしている。この値は、現在基準的な値として一般的に使用されている。

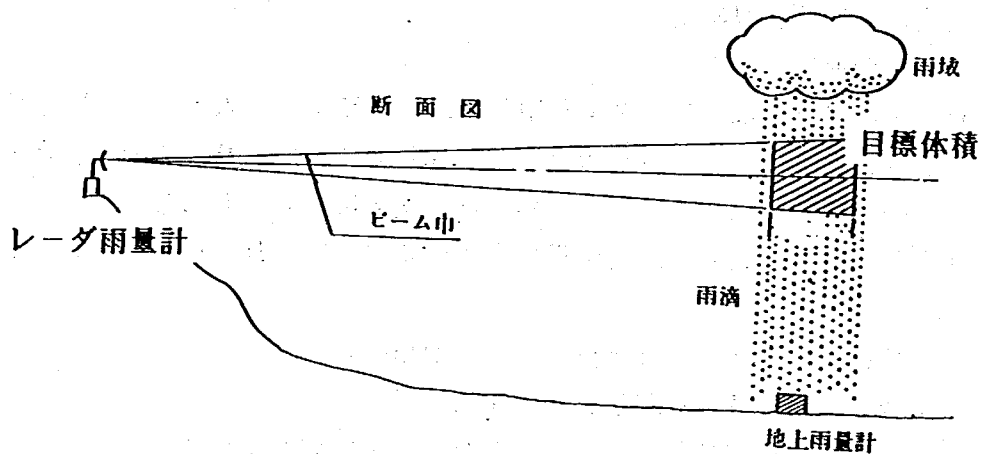


図1.1.1 レーダ雨量計による雨量計測概念図

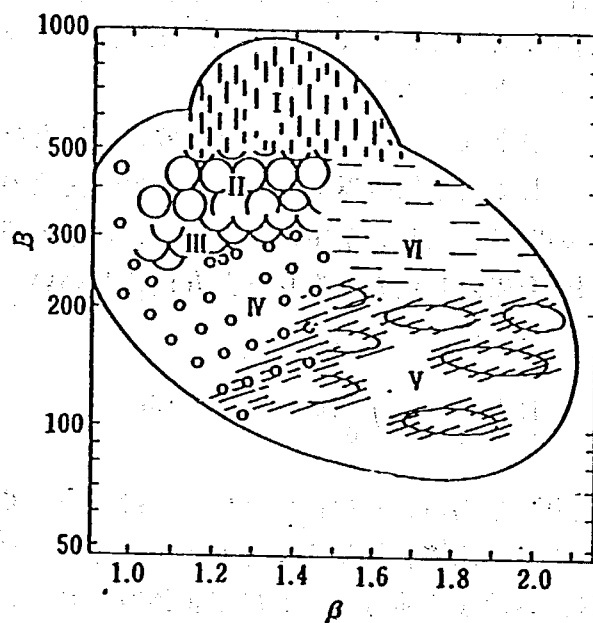


図1.1.2 B, β 分布図 (藤原, 文献2による)

- I: 雷雨エコーの拡散状のやや重厚な部分, または乾燥大気中の高い孤立した対流エコー (雨滴の蒸発が大さい)
- II: 雷雨エコーの強い中心部またはいくらか拡散状を呈している強い団塊状エコー
- III: 対流性セルの発生ないし成長段階
- IV: 小さな固い感じの対流性エコーで散乱状ないし線状に並んでいるエコー
- V: 一様に拡がった層状エコーまたは弱い拡散状エコー
- VI: 雷雨から完全に拡散してしまった終りの段階または拡散した部分

(3) 電波の減衰

① 大気ガスによる減衰

大気ガスによる吸収は、主に酸素と水蒸気により生じる。図1.1.3は、単位距離当たりの減衰量を示したものである。レーダで使用する波長は5.6cm波であり、水蒸気に対する減衰は比較的小さい。

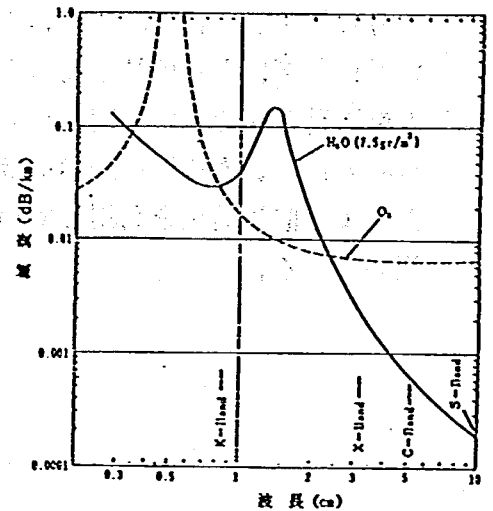


図1.1.3 酸素と水蒸気による減衰。
水蒸気は含水量7.5g/m³
(気象研究ノート112号P.264)

② 降雨による減衰

降雨強度Rと減衰係数K_Rの関係は、レーダビーム中の雨滴の分布により異なり、次のように表わされる。

$$K_R = 0.4343 \int_0^{D_{\max}} N_D Q_i dD$$

ここで、Q_i、N_Dは、直径Dの雨滴による減衰量と雨滴数である。図1.1.4は、降雨減衰の実測例である。5.6cm波では、雨量強度の増加に比例して減衰量も大きくなっている。

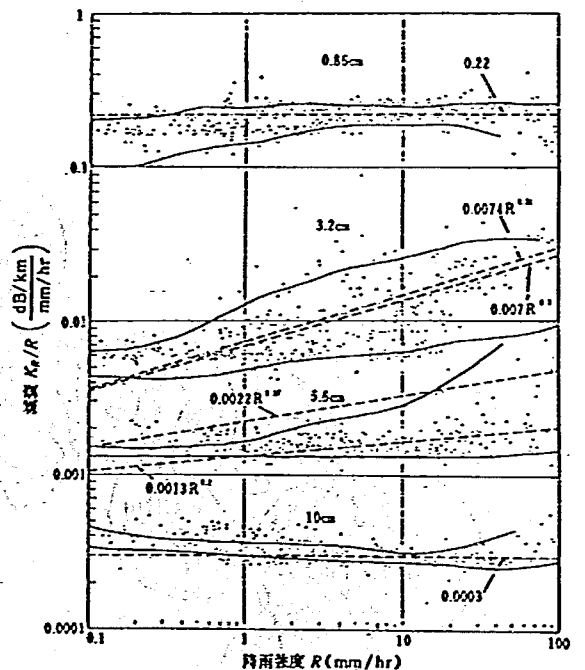


図1.1.4 降雨強度Rと減衰係数
k_R/Rの関係
(気象研究ノート112号P.266)

1.1.2 観測状況

現在レーダによる降雨観測は、建設省をはじめとして、気象庁、航空自衛隊、電力会社などで行なわれている。建設省では、昭和42年度から利根川流域に於いてレーダによる雨量観測の実用化研究を開始し、昭和50年から実際のシステムを稼動させてきた。図1.1.5 は、建設省のレーダ雨量計観測域を概略示したものである。本検討に於いては、これ等の中から関東地方建設局の赤城山レーダによる観測結果を利用している。図1.1.6 及び表1.1.1 は、赤城山レーダの概要である。

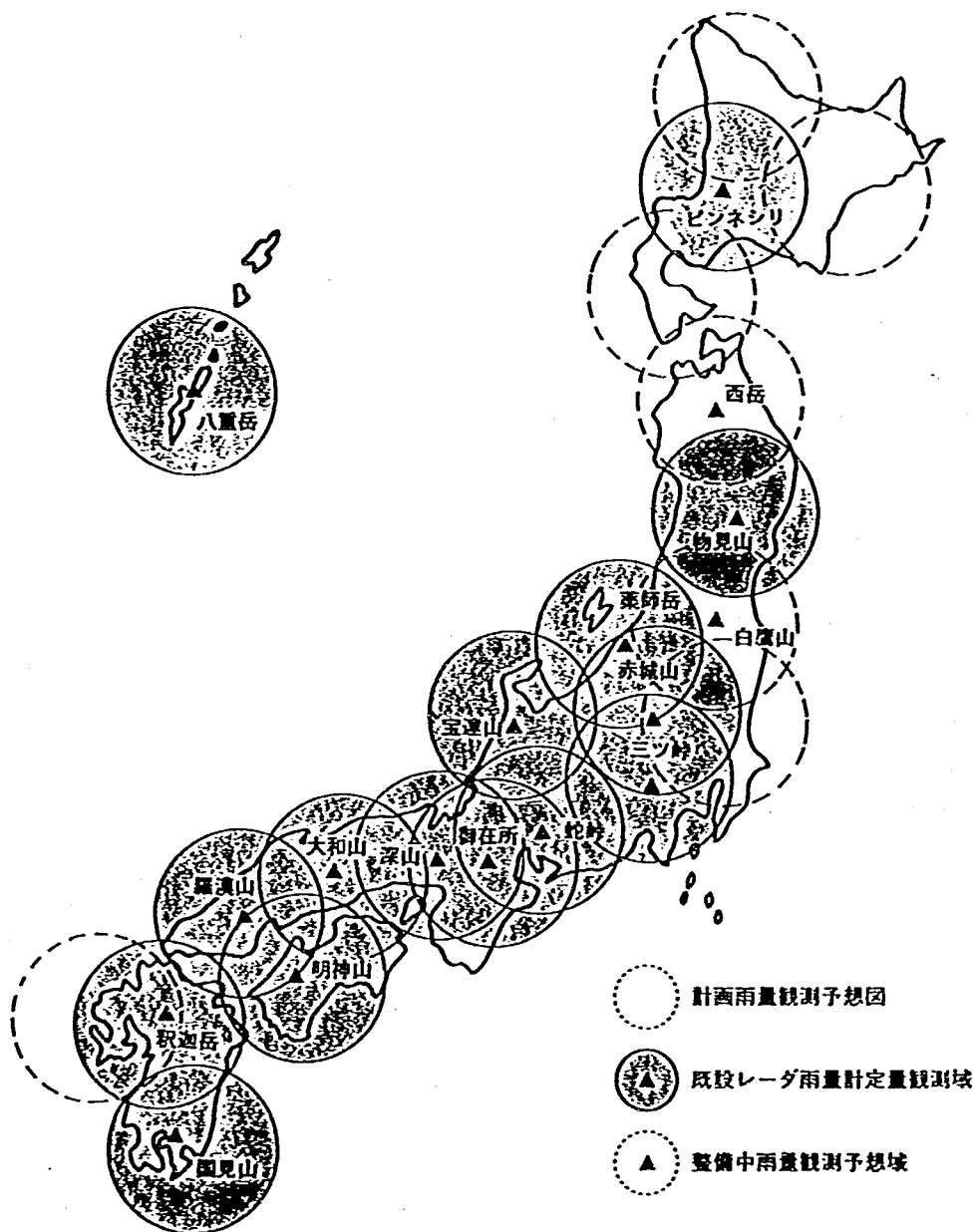


図1.1.5 建設省レーダ雨量観測域概要図

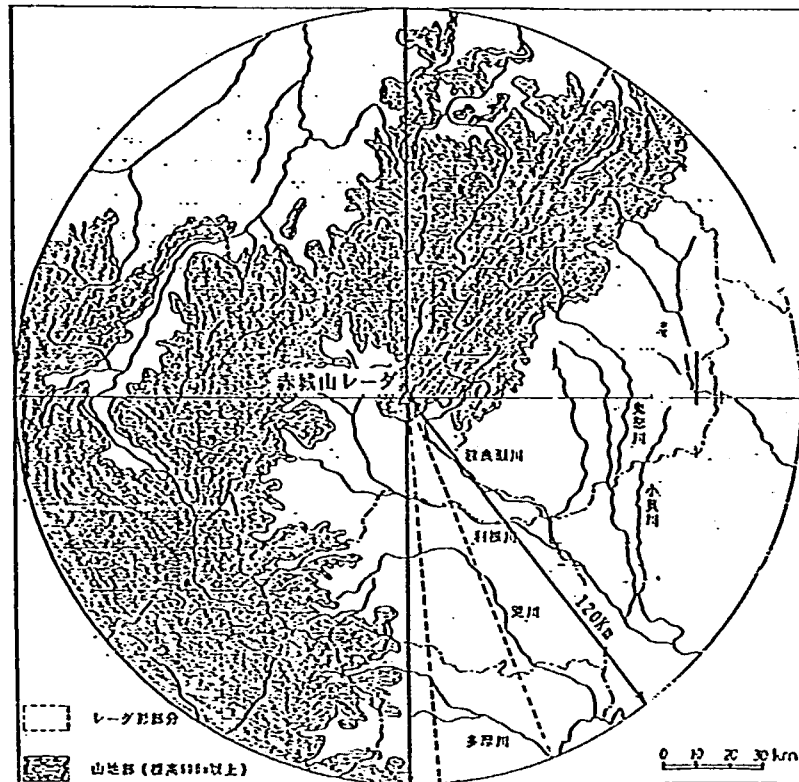


図1.1.6 赤城山レーダ観測域概要図

表1.1.1 赤城山レーダ装置及び観測諸元表

水平ビーム幅	1.6° 以下	レーダサイト位置
垂直ビーム幅	1.6° 以下	北緯 36度32分10秒
空中線回転数	10rpm	東経 139度10分46秒
送信周波数	5300MHz	標高 1691.8 m
送信尖頭出力	250KW	観測範囲
送信パルス幅	2μ S	定量 半径120km
繰り返し周波数	約450PPS	定性 半径198km
P P I 指示	12inchP7特性	分解能
データ加算スキャン数	48スキャン	距離方向 3 km
データ更新時間	5分	角度方向 2.8125° (定量)
		1.40625° (定性)

1.2 観測の精度

1.2.1 観測精度と誤差構造

(1) 精度の考え方

観測の精度を論じる場合に重要なのは、何を真の値と考えるか、言い換えれば何を求めたいのかという立場によって、評価が異なる事である。即ち、レーダ雨量計による雨量の観測で言えば、レーダで把えることの出来る大気中を落下する雨量を求めたいのか、地上に降る雨量（以下地上雨量と呼ぶ）を求めたいのかの違いである。

ところで、河川管理や道路管理において、レーダ雨量計を用いて直接的に知りたい情報は、地上に降る雨の量である。また一方で、大気中における雨量を対象とした場合には、大気中における雨量の真値を測定することが困難であることから、精度の評価が難しい。このようなことから、本検討においては、レーダ雨量計による観測値を地上雨量値に較正して行くことを基本として検討を進めている。但し、地上雨量の真値は得られないため、地上に設置された雨量計による雨量（以下ゲージ雨量と呼ぶ）を地上雨量の代替に用いている。

(2) 誤差の構造

(1) の立場に立てば、レーダ雨量計の誤差は、次のようなもので構成されることとなる。

イ) レーダ雨量とゲージ雨量との間で、測定対象や測定方法が異なることによる誤差

ロ) レーダ雨量計により大気中の雨量を観測する場合に生じる誤差

ハ) ゲージ雨量計により地上雨量を観測する場合に生じる誤差

各々はさらに、図1.2.1 のように分けられ、その誤差特性は、表1.2.1 となろう。

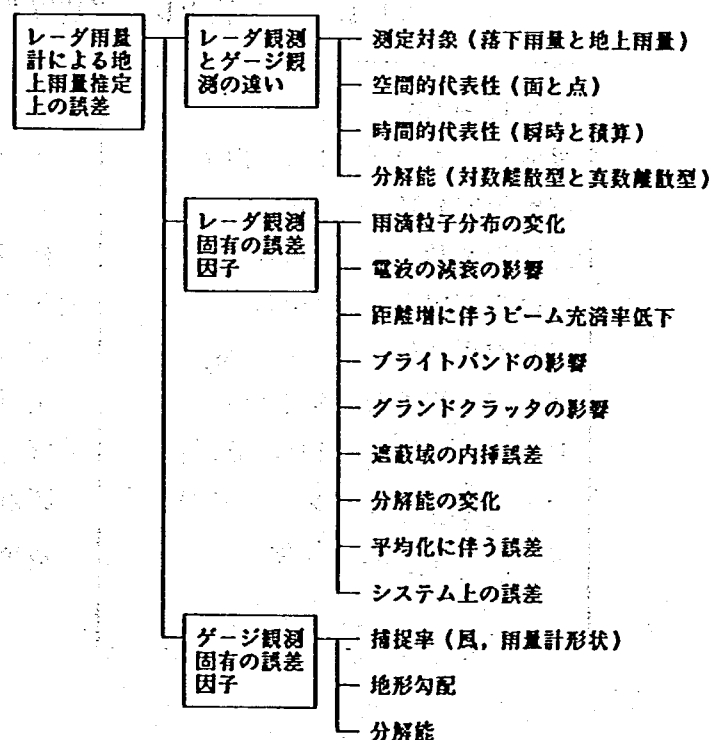


図1.2.1 レーダ雨量とゲージ雨量を比較する場合の誤差の構造

表1.2.1 レーダ雨量計の誤差特性 (その1, レーダ観測とゲージ観測の違い)

誤差項目	誤差内容	誤差出現特性	誤差除去の可能性(ソフト的対応)	備考(ハード的対応)
測定対象の違い	レーダ雨量計が大気中の雨滴などからの反射電力を雨量に換算するのに対し、ゲージ雨量計は地上に到達した雨を直接計測するものである。従って、レーダ雨量計には雨滴以外のものも含まれる。又、大気中の雨滴が必ずしも地上に到達しない(移流、上昇流、蒸発等)ことによる誤差を生じる。	風の状況や擾乱の発達過程など気象のダイナミックな状態に影響される。空間的にはレーダサイトから遠い程レーダのメッシュ当たりの代表域が広がるため移流による誤差が小さくなると期待される。逆にレーダサイトから遠い程ビーム高度が高くなり、上昇流・蒸発の影響による誤差が大きくなる。	誤差の分離は難しい。B、 β の算定においてレーダサイト近傍及び遠方の値を除くことでやや改善出来る。	仰角を下げる。
空間的的代表性の違い	レーダ雨量計が目録体積中の平均的な値を測定しているのに対し、ゲージ雨量計はレーダ雨量計の代表域から見れば点と言っても良いような小さな範囲(雨量計)の代表値である。従って、大気中の雨滴がそのまま直下の地上に到達したとしても、雨量強度の空間的な変化に起因する誤差を生じる。	大気中の雨滴が直下の地上に落下するとすれば、レーダサイトに近いメッシュほどレーダ雨量計の代表域が小さく誤差が小さい。雨量強度の空間変動が大きいほど影響が大きい。	レーダ雨量計メッシュに対するゲージ雨量計の位置関係がランダムであれば、ある程度大きな空間を対象とする場合には平均化によって除去出来る。	ゲージ雨量計密度の増加。 レーダ雨量の直交メッシュ平均化。
時間的的代表性の違い	レーダ雨量計(赤城山レーダ)が6秒毎にサンプリングした値の5分間平均値(即時値の平均値)であるのに対し、ゲージ雨量計は1時間毎の積算値である。	雨量強度の時間的な変動が大きいほど誤差が大きい。	B、 β 算定対象が1時間雨量であることから誤差は殆ど相殺されており影響は小さい。	特に無し。
分解能の違い	レーダ雨量計が受信電力を対数交換した後256ステップの離散量に変換しているのに対し、ゲージ雨量計は0.5~1.0mm/h単位である。	レーダ雨量計は雨量強度の増加にともない分解能が落ち、概ね雨量強度の3%程度である。これに対しゲージ雨量計は、雨量強度に係わり無く一定である。	B、 β を求めるに当たっては、レーダ反射因子を対数的に取り扱うことで影響を除くことが出来るが分解能の違い自体を除くことは出来ない。	特に無し。

表1.2.2 レーダ雨量計の誤差特性 (その2, レーダ観測固有の誤差因子)

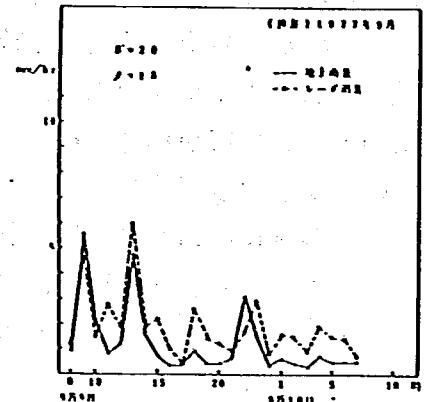
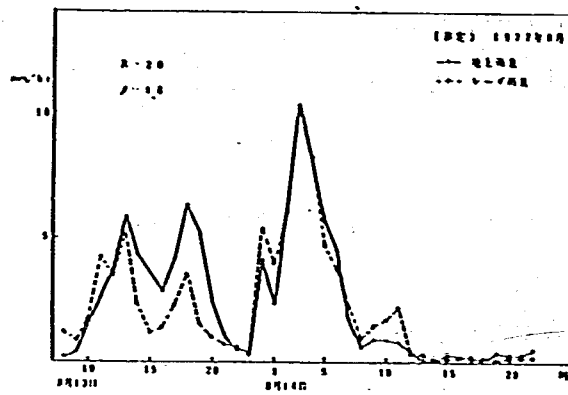
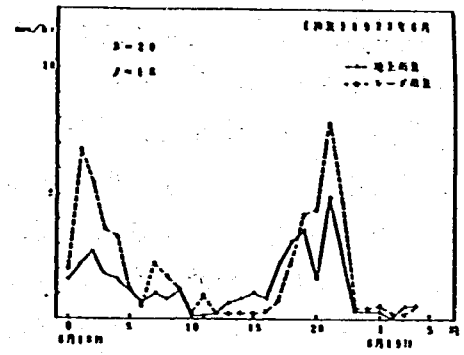
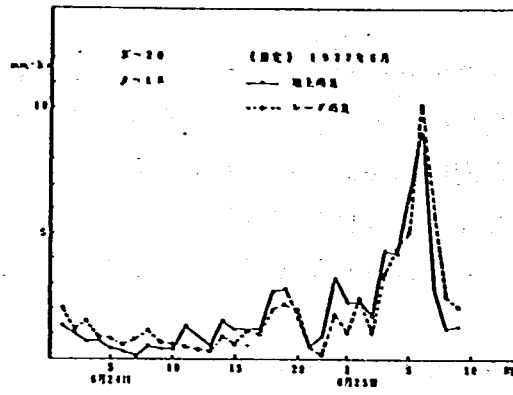
誤差項目	誤差内容	誤差出現特性	誤差除去の可能性(ソフト的対応)	備考(ハード的対応)
雨滴粒子分布の変化	レーダ反射因子は、同じ雨量強度であっても雨滴粒子分布の違いにより異なる。	降雨成因によって異なる。又、同じ降雨成因でも時間的・空間的に変動する。	雨滴粒子分布を測定出来ない現行のレーダでは、誤差の分離は難しい。	偏波レーダにより雨滴分布を測定する。
電波の減衰の影響	電波が大気や雨滴粒子中を通る時の電波の減衰量の見積りの誤差。特に雨滴による減衰が誤差として大きい。	誤差が積算されるため、レーダサイトから遠いほど誤差が大きくなる。	減衰の影響の小さいレーダサイト近傍の値を使うことで、B、 β 算定における誤差は除去出来るが、減衰量の見積りが適正でなければ反射因子自体が誤差を含むことになる。	波長を長くする。
距離増に伴うビーム充満率の低下	レーダの電波が仰角を持つことから、地球が球体であることから、レーダサイトから離れるほど電波の中心高度が高くなり、電波が雨の下にある確率が小さくなる。	レーダサイトから遠いほど充満率が小さくなる確率が増す。これは観測高度にも関係する。	レーダサイト近傍の値を用いることで、B、 β 算定における誤差は除去出来る。充満率の低下を距離関数で表わすことで誤差を小さく出来る。	CAPPI観測。
ブライトバンドの影響	氷晶から雨滴に融解する境界域で誘電率が大きく、強い後方散乱が生じる。この為反射因子が大きくなる。高度は擾乱季節により異なるが概ね2000~3000mm程度。	常に現われるものではない。気温により出現高度が異なってくる。	比較的明確に区別出来るため除去しやすい。又、レーダサイト近傍の値を使うことで、B、 β 算定における誤差は除去出来る。	仰角を上げる。 CAPPI観測。
グランドクラック(GCと記す)の影響	レーダの電波が鉛直方向にも広がりをもち、地上の物体に反射した電波も検出される。これを有効に分離出来ないことによる誤差。	GCが大きいほど誤差も大きくなる。又、GCが時間的に変化する。ことから、GC計算方式による場合には、最小検出雨量強度が変化する。	GCの小さい観測所のデータを用いることで、B、 β 算定における影響は除去出来る。	仰角を下げる。 CAPPI観測。 MTIによるGC除去。
遮蔽域の内挿誤差	レーダサイト近傍の建造物や山などの背後は電波が届かない為観測不能となる。この地域を周辺の値から内挿することによる誤差。	内挿方式により異なる。単純な比例内挿では、やや小めの値となる可能性が大きい。	除去することは難しい。精度は内挿方式によって異なる。	他のレーダによる補填。
分解能の変化	受信電力を対数交換した後離散量で記録していることによる誤差。	受信電力(雨量強度)が大きいほど大きくなる。	特に無し。	特に無し。
平均化に伴う誤差	6秒毎のサンプルを対数値で5分間平均することによる誤差。	雨量強度の時間的な変化が大きいほど大きくなる。	特に無し。	特に無し。
システム上の誤差	送受信系、データ処理系における電気的機械的な誤差。	全体として15%程度という報告がある。	特に無し。	特に無し。

表1.2.1 レーダ雨量の誤差特性（その3、ゲージ観測固有の誤差因子）

誤差項目	誤 差 内 容	誤差出現特性
捕捉率等	地物による遮蔽、乱流、風によるジェボンス効果（雨滴が受水楕を避ける流れが生じる）、雨滴の飛び出し飛び込み、受水楕の大きさによる捕捉確率、受水口の変形、蒸発、受水口のぬれ等による誤差	風速が大きいと捕捉率が小さくなる。他にも各種の要素が考えられる。
地形勾配	地形に勾配がありかつ風により雨滴が斜めに落下している場合に、雨量楕と地表面の受水面積が異なることによる誤差。	地形勾配が急である程、また風速が大きい程誤差が大きくなる。風上斜面では計測値が小さめに、また風下斜面では大きめに評価される。
分解能	転倒楕の計測が離散的に行なわれていることによる誤差。	均等。
転倒楕転倒時のロス	転倒楕が転倒しているときにも雨滴は流入しているが、転倒中はこの量が漏れてしまうことによる誤差。	雨量強度が大きいほど転倒中のロス、即ち誤差が大きくなる。

(3) 精度の評価例

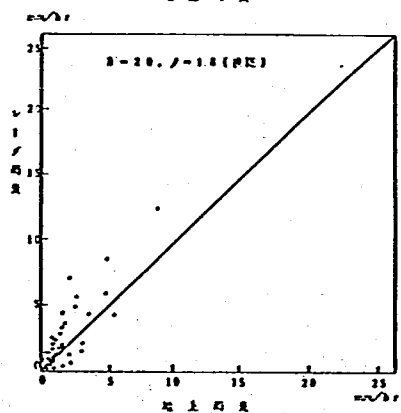
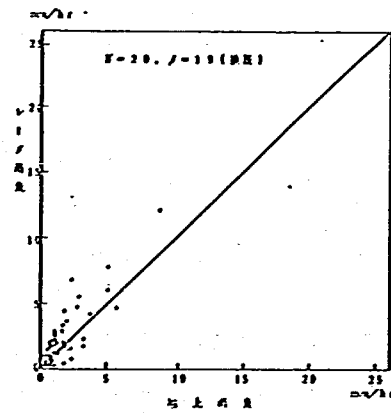
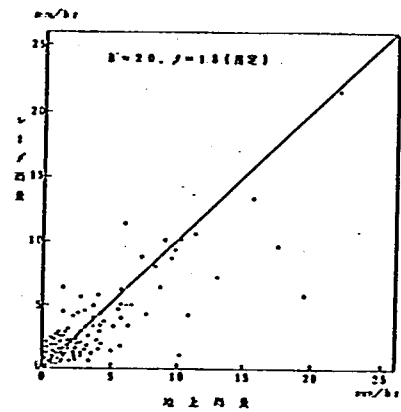
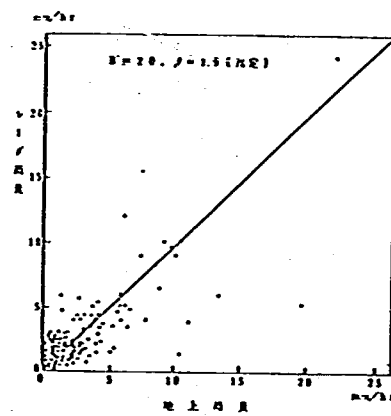
レーダ雨量の精度を評価した例は数多く見られ、レーダ雨量計により異なる他、空間的・時間的にも異なる。一例として、文献1に示されたものを図1.2.2及び図1.2.3に示しておく。平均的には変化傾向を良く捉えているが、個々の観測値はかなりばらついている。



(降雨による減衰を考慮した場合)

(降雨による減衰を考慮しない場合)

図1.2.2 ゲージ雨量(地上雨量)とレーダ雨量の経時変化比較



(降雨による減衰を考慮した場合)

(降雨による減衰を考慮しない場合)

図1.2.3 ゲージ雨量(地上雨量)とレーダ雨量の相関

1.2.2 精度向上への期待

降雨減衰項を導入することによって、レーダ雨量の観測精度が向上することは、既に文献3に報告されている。この降雨減衰項の影響は、レーダ反射因子からレーダ雨量値を算定するに当たっては、距離方向に積算的に現われる。従って、 B 、 β が適正な値を取らず、例えば雨量が過大となるように設定されていれば、当然降雨減衰も大きく評価され、遠方の雨量はさらに大きく推定される。極端な場合には、雨量値が発散することもあると考えられる。

ところで、既に文献1にも報告されているように、レーダ雨量とゲージ雨量を比較した場合に、その比は時間的空間的に大きく変動している。このようなことから、降雨減衰項を導入して精度の向上を図る場合には、オンラインでレーダ雨量の時間変化や空間変化を補正して、誤差を極力小さくする必要がある。この為、次のような対応が期待される。

① 事前の検討事項

- ・観測精度の高い地域の資料を用いた B 、 β の設定（感度分析、レーダ反射因子 Z とゲージ雨量 R_g の関係の検討）
- ・この B 、 β を用いた適正な降雨減衰係数の設定。

② オンライン上での対応

- ・ゲージ雨量とレーダ雨量の比較による降雨換算定数 B 、 β の較正（空間一様の補正）
- ・レーダ雨量値の空間補正（面分布）

第2章 精度向上方法の検討

2.1 精度向上の基本方針

(1) 精度向上の目的

レーダ雨量観測は、先述のように、面的分布の観測、リアルタイムでの観測、雨域移動の把握、遠隔値からの観測というような観測上の特性を持つ。このような特性を生かして、リアルタイム（5分毎）での降雨情報の提供が行なわれ、防災上役立っているほか、降雨予測や河川、下水道の流出予測への適用も検討されている。

しかし、現状では降雨量にかなりの誤差を伴っていることも否定出来ず、得られた情報は主に降雨域の定性的な把握に使われているものと思われる。

このレーダ雨量観測の精度をさらに向上させることが出来れば、上記のような目的に使用する場合にも、信頼度の向上による新たなシステムの提供や利便性の向上を図ることが可能となる。

(2) 精度向上の目標

それでは、この目的にかなう精度向上の目標はどこに置けば良いであろうか。

この問題に対しては、未だ明確な答えは得られていない。もちろん精度は可能な限り向上させることが望ましい訳であるが、分離不能の誤差を含むこと、システムに制約のあること、さらには実際の利用側での要望などを勘案して決める必要がある。

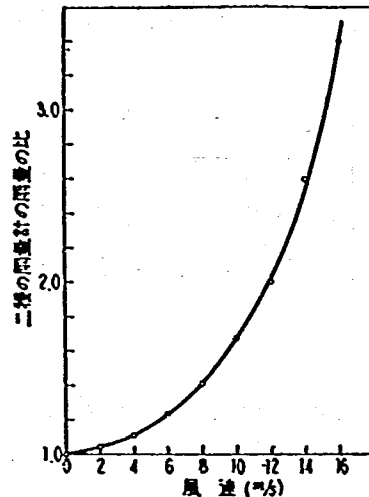
本検討では、レーダ雨量の精度をゲージ雨量との比較で行なっていることを考慮し、ゲージ雨量観測による精度と同程度の精度を目安値としてあげ、最終的な評価は、補正を行なわない場合との比較で、精度指標の改善度合いを検討することとした。

ゲージ雨量の観測精度については、既往研究においても各種の値が提示されている。先ずゲージ雨量観測点における誤差の因子として特に重要なものは、風によるジェボンス効果と地形の傾斜による捕捉率の変化である。これらについて、文献4を引用して述べる。

図2.1.1 は、Koschmieder. H(1934) が行なった、風のジェボンス効果による雨滴の捕捉率の減少の研究結果である。この値は、表2.1.1 に示す Rostad. A (1925) の研究からもわかるように、風除けを付けても2割程度しか改善されない。又、表2.1.2 は、地形に傾斜がある場合の理論的な誤差を計算したものである。これらの結果から、風速5 m/s 程度と考えれば、ジェボンス効果が2割、傾斜が3割程度の誤差を生むこととなる。この他の誤差因子や、ゲージ雨量から面積雨量を推定する場合の誤差（例えば文献1では降雨強度等により異なり数%～十数%程度）及びゲージ雨量観測の無い地域の雨量を推定する場合の誤差を考えれば、相対誤差を5割程度と考えることは妥当であろう。

本検討では、相対誤差の他に、自乗平均誤差、相関係数、適合率（雨量強度をランク表示した時の一致度合い）などによる評価も行なっている。自乗平均

誤差については、相対誤差を5割程度と考えれば、10mm/h程度の雨で5mm/h程度が目安となる。適合率は、リアルタイムでの情報提供におけるランク表示において、実際の降水量と著しく異なることは望ましくないことから、9割程度の以上のものがランク差1位内に入ることを目安とする。相関係数は基準を設けにくい、0.7～0.8以上を一応の目安と考えた。



風速	比	風速	比
2	1.00	10	1.67
4	1.04	12	2.0
6	1.11	14	(2.6)
8	1.23	16	(3.4)

風速の単位は
m/s

図2.1.1 ジェボンス効果の有無による雨量計測値の違い
(埋め込み式と普通の雨量計の比較、ヘルマンフース型口径16cm)

表2.1.1 ナイファー型風除けを付けた場合の計測雨量の増加比率

風 速 m/s	雨 と み ぞ れ		霧 雨	
	比	測定回数	比	測定回数
0～4.0	1.05	21	1.13	20
4.1～8.0	1.07	34	1.25	12
8.1～12.0	1.08	8	1.27	4
12.1～16.0	1.10	2		

表2.1.2 傾斜のある場合の計測雨量の補正率計算例

風 速 Vm/sec	0	10	20	30
風 上 斜 面 $\delta=0$ 度	1	1.6	2.2	2.8
" $\delta=45$ 度	1	1.4	1.9	2.3
" $\delta=90$ 度	1	1	1	1
風 下 斜 面 $\delta=90$ 度	1	1	1	1
" $\delta=135$ 度	1	0.6	0.1	(-0.3)
" $\delta=180$ 度	1	0.4	(-0.2)	(-0.8)

地形の傾斜20度の場合の計算例

δ は、最大傾斜方向を含む鉛直面と雨滴の落下経路のなす角度

2.2 精度向上方法

オンライン上でのレーダ雨量の補正は、 B 、 β の補正（空間一様補正）と、算定されたレーダ雨量の空間補正である。 B 、 β を空間的に補正する方法、即ち、観測域を幾つかの領域に分割しこの領域別に B 、 β を求める方法は、 B 、 β を求めるための資料数が小さくなり誤差が入り易いことや、同一の B 、 β を持つ領域の設定が難しいこと、さらには降雨減衰項の導入を前提とした場合他の区域の影響を受けることなどから、妥当な補正方法とは考えられない。

(1) 降雨換算定数 B 、 β の較正

降雨換算定数 B 、 β を求める方法としては、 $Z \sim R_g$ 関係による方法も考えられるが、 $Z \sim R_g$ 関係のバラツキが大きいことからオンライン化が難しい。この為、感度分析により求めることを基本とし、感度分析に要する計算時間が非常に大きくなることから、本検討では β を固定(1.6)した上で B のみの感度分析を行なう方法を採用した。

感度分析を行なうための指標としては、自乗平均誤差、相対誤差、相関係数の他に AF (Adjustment Factor, レーダ雨量とゲージ雨量の比の対数平均値)を用いた方法を検討した。AFの採用は、さらにAFの値と B の補正量の関係から、感度分析を行なわないで B 値を較正する方法の可能性を与えるものである。

経時的な補正については、毎時較正を行なうことが最良の結果を得ると期待出来るが、オンラインでの情報提供を考えると、感度分析を行なう回数は極力少なくするほうが良い。又、較正に用いるゲージ雨量は通常1時間単位で入手されることから、較正の結果は較正後の1時間に対して適用される。即ち、少なくとも1時間程度の外挿が行なわれることとなる。このようなことから、得られた B を時間外挿する方法及び逐次検定法により必要最低限の B の較正を行なう方法についても検討を行なった。

補正方法の概略は次の通りである。

イ) 感度分析による B の毎時較正

自乗平均誤差、相対誤差、相関係数を指標とした感度分析を毎時行なって、降雨換算定数 B を求め、レーダ雨量を計算する方法。

ロ) B の時間外挿

当該時間の前数時間において感度分析により求めた B を用いて、当該時間の B を設定し、この B によりレーダ雨量を計算する方法。

ハ) AFによる毎時較正

AFを指標とした感度分析を毎時行なって、降雨換算定数 B を求め、レーダ雨量を計算する方法。

ニ) 逐次検定

逐次検定法により、AFの値を用いて観測誤差以外の B の変化を把握、 B の補正を行なう方法。 B の補正方法は、感度分析によるものと、AFと B の補正量関係によるものと考えた。

(2) レーダ雨量の空間補正

レーダ雨量の空間補正を行なう方法としては、補正係数を用いる方法と、レーダ雨量とゲージ雨量とをなんらかの手法で重ね合わせる方法(マージング)とが考えられる。

補正係数としてはレーダ雨量とゲージ雨量の比が採用されており、この比の空間分布を推定する方法について研究が行なわれている。本検討では、二宮による補正曲面あてはめ法とクリージング法による空間分布の推定について検討している。さらに、レーダ雨量とゲージ雨量の差を補正量として、この空間分布をクリージング法により推定する方法についても検討を行なった。

レーダ雨量とゲージ雨量とを重ね合わせる方法としては、コクリージング法による方法を検討している。

イ) 二宮法による補正曲面あてはめ

レーダ雨量とゲージ雨量の観測値の比を曲面の任意の実現値として把え、この曲面が実現値に近いことと曲面が滑らかであることを条件として、曲面を推定する方法。

ロ) クリージングによる補正

レーダ雨量とゲージ雨量の観測値の比(又は差)から、比(又は差)の空間分布を、推定分散が最小となるように決める方法。具体的には、各メッシュにおける補正值を観測値の比(又は差)の重み付け平均値で表わすこととし、この重みを推定分散が最小となるようにクリージング法を用いて求める。

ハ) コクリージング法による合成

レーダ雨量とゲージ雨量から地上雨量の分布を、推定分散が最小となるように決める方法。具体的には、各メッシュにおける地上雨量を、レーダ雨量とゲージ雨量の重み付け平均値で表わすこととし、この重みを推定分散が最小となるようにクリージング法を用いて求める。

第3章 降雨換算定数 B 、 β の較正による精度向上方法

3.1 感度分析による B の毎時較正

3.1.1 較正方法

レーダ雨量とゲージ雨量を用いたキャリブレーションにより、毎時最適な降雨換算定数 B 、 β を求め、この B 、 β によりレーダ雨量を算定する方法である。

キャリブレーションは、レーダ雨量とゲージ雨量の相関や誤差を評価指標として行なわれる。既往の研究では、図3.1.1に例示するように、 B 、 β を、ある範囲で離散的に変化させ、評価指標が最適となる B 、 β を求める試みが行なわれている。しかし、本調査の対象がオンライン補正であることから、キャリブレーションを毎時実施することとなり、 B 、 β の各々を独立に変化させることは計算時間の面から適当でないと判断された。そこで、降雨換算定数 B 、 β のうち、 $Z \sim Rg$ 関係で見た場合に、変化の大きい B のみを変化させる方法について検討を行なうこととした。

但し、現行のシステムでは、ゲージ雨量は毎正時（実際には数分の遅れを伴う）に1時間の積算値が入手されるのみであり、少なくとも次のゲージ雨量が入手されるまでの1時間については、前時間の値を外挿して用いることとなる。従って、3.2において外挿を行なった場合の精度を調査している。

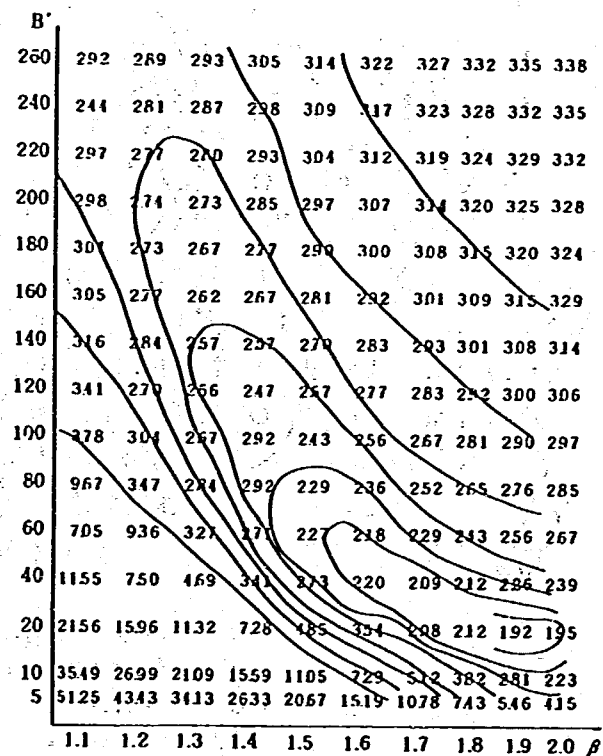


図3.1.1 既往のキャリブレーションの例

「レーダ雨量の観測特性と精度向上に関する
調査報告書, S. 59.3 建設省土木研究所」より

3.1.2 解析方法と資料

(1) 資料

解析の対象区域は、図3.1.2 に示す建設省赤城山レーダの定量観測範囲とした。又、対象降雨は、表3.1.1 に示すように、台風6、低気圧7、前線2、雷雨24の計39降雨（744時間）とした。

レーダ受信電力は、距離補正並びにグランドクラッタ減算が施されたものを入手した。ゲージ雨量は、上記区域内に設置されている、巻末資料に示す 131 地点のテレメータ（資料収集の都合で関東地建管内のみである）の値を入手した。

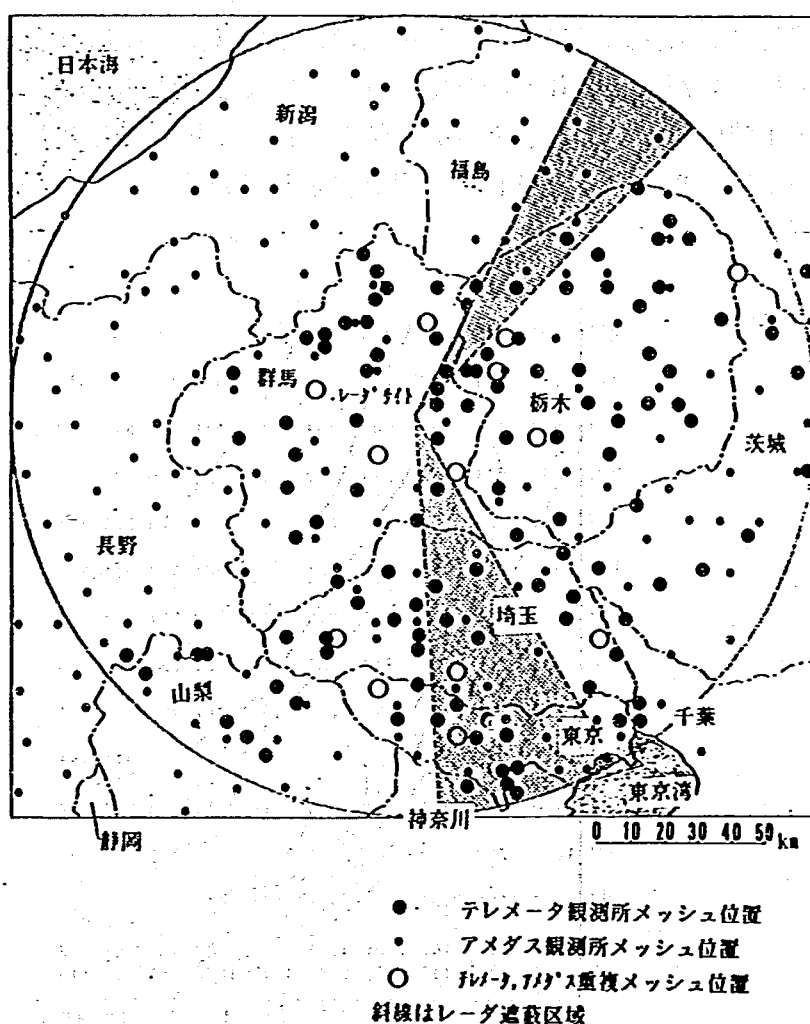


図3.1.2 赤城山レーダ定量観測範囲

表3.1.1 検討対象降雨一覧表

種 別	No	開始時刻				終了時刻				時間数	備 考
		年	月	日	時	年	月	日	時		
台 風	1	81	8	22	5	81	8	23	9	29	台風15号 台風24号 台風10号 台風18号 台風 5号, 6号 台風10号
	2	81	10	22	5	81	10	22	23	19	
	3	82	8	1	1	82	8	2	5	29	
	4	82	9	10	11	82	9	12	21	59	
	5	83	8	15	6	83	8	18	7	74	
	6	83	9	27	11	83	9	29	1	39	
低気圧	1	81	6	21	20	81	6	23	19	48	
	2	81	9	24	21	81	9	28	19	95	
	3	82	8	15	1	82	8	18	0	65	
	4	82	9	19	13	82	9	20	23	35	
	5	83	5	15	19	83	5	18	0	54	
前 線	1	81	6	25	11	81	6	26	13	27	
	2	82	9	8	1	82	9	10	0	48	
雷 雨	1	81	7	13	15	81	7	14	3	13	
	2	81	7	14	15	81	7	14	19	5	
	3	81	7	15	20	81	7	15	22	3	
	4	81	7	16	19	81	7	16	23	5	
	5	81	7	17	18	81	7	18	3	10	
	6	81	7	18	16	81	7	18	20	5	
	7	81	7	19	16	81	7	19	20	5	
	8	81	7	20	13	81	7	20	18	6	
	9	81	7	21	13	81	7	21	18	6	
	10	81	7	22	15	81	7	22	20	6	
	11	82	6	19	17	82	6	19	21	5	
	12	82	6	20	18	82	6	20	21	4	
	13	82	6	21	17	82	6	21	18	2	
	14	82	7	9	19	82	7	9	22	4	
	15	82	7	10	14	82	7	10	16	3	
	16	82	8	7	13	82	8	7	22	10	
	17	82	8	8	14	82	8	8	16	3	
	18	82	8	10	17	82	8	10	19	3	
	19	82	8	11	19	82	8	11	20	2	
	20	82	8	19	14	82	8	19	19	6	
	21	83	6	9	19	83	6	9	21	3	
	22	83	6	10	15	83	6	10	20	6	
	23	83	7	9	11	83	7	9	18	8	
計		台風249時間, 低気圧297時間, 前線75時間, 雷雨123時間 計744時間									

(2) レーダ雨量の計算

降雨換算定数 B を、 $\log B$ が 1 から 3 の間 (B で 10~1000) でキザミ幅 0.02 で等分に変化するように設定し、各々の B に対するレーダ雨量を求めた。 β は 1.6 とし、降雨減衰項は小平の下限式 ($Kr=0.0013$, $\alpha=1.0$) を用いた。

(3) 最適 B の算定

各時間毎に、ゲージ雨量とその直上極座標メッシュのレーダ雨量とを比較し、自乗平均誤差、相対誤差、相関係数の各々が最良となる B を求めた。

$$\text{自乗平均誤差 } SE = \{1/n \cdot \sum (R_g - R_r)^2\}^{1/2} \quad (\text{mm/h})$$

$$\text{相対誤差 } RE = 1/n \cdot \sum |R_r - R_g| / R_r \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{相関係数 } CC = \frac{\overline{R_r \cdot R_g} - \overline{R_r} \cdot \overline{R_g}}{\{(\overline{R_r^2} - \overline{R_r}^2)(\overline{R_g^2} - \overline{R_g}^2)\}^{1/2}}$$

評価指標値の算出に際しては、レーダ雨量、ゲージ雨量に次のような条件を与えた。

① レーダ雨量

- ・ 評価対象地点の最小検出降雨強度が、0.5mm/h となるように、グランドクラッタの $B=200$, $\beta=1.6$ での降雨換算値が 2.5mm/h 以上の点を、対象から除外する。
- ・ 降雨強度が、0.5mm/h 未満は除外する。
- ・ ゲージ雨量と同精度となるように、四捨五入により 1mm/h 単位にまるめる。

② ゲージ雨量

- ・ 0mm/h は除外する。

(4) 精度の評価

精度の評価は、現行定数によるレーダ雨量及び相関係数、相対誤差、自乗平均誤差の各々をキャリブレーション指標とした場合の最適定数 B によるレーダ雨量について行なった。

精度評価指標は、各時間の平均雨量と累加雨量、自乗平均誤差、相対誤差、相関係数とし、他に空間的な精度を見る意味から、散布状況を採用した。評価に用いた観測所は、キャリブレーションに用いた 131 観測所である。

3.1.3 解析結果と評価

(1) 平均的精度

時間毎の平均的な精度の評価結果を整理して表3.1.2 に、又、各々の評価結果を表3.1.3 に一覧して示した。さらに、計算されたレーダ雨量とゲージ雨量の平均値及び累加値の経時変化を、図3.1.3～図3.1.6に示した。これらの結果から、次のことが言えよう。

イ) ゲージ雨量との時間毎の平均的な一致度合いは、自乗平均誤差により定数Bを毎時較正することで、現行定数を用いる場合よりも向上する。

ロ) 逆に、相関係数や相対誤差により較正を行なった場合には、現行定数によるよりも、精度が悪くなる。

ハ) 降雨強度の大きいものを重視してBを決める手法であるところの自乗平均誤差による較正が、最適である。

表3.1.2 平均的精度の評価結果一覧表

擾乱種別	現行定数	自乗平均誤差による最適B	相対誤差による最適B	相関係数による最適B
台風	変化傾向は似ているが、量はかなり異なる。 Rr>Rgの時間が多く、比は最大2.5程度。	変化傾向、量ともに、良く一致している。	変化傾向は一致していない。 Rr>Rgの時間が多く、比は最大6程度。	変化傾向は一致していない。 Rr>Rgの時間が多く、比は最大10程度。
低気圧	変化傾向は似ている。量の差も台風ほど多きくない。 Rr>Rgの時間が多く、比は最大1.5程度。	変化傾向、量ともに、良く一致している。	変化傾向、量ともに、良く一致している。 Rr/Rg比が10程度の時間が僅かに有る。	変化傾向は一致していない。 Rr>Rgの時間が多く、比は最大15程度。
前線	変化傾向は似ている。量はやや異なる。 Rr>Rgの時間が多く、比は最大2程度。	変化傾向、量ともに、良く一致している。	変化傾向、量ともに、良く一致している。	変化傾向は一致していない。 Rr>Rgの時間が多く、比は最大10程度。
雷雨	変化傾向は似ているが、量はかなり異なる。 Rr>Rgの時間が多く、比は最大3程度。	変化傾向は一致しているが、量はやや異なる。	変化傾向は一致している。 Rr>Rgの傾向にあり、比は最大10程度。	変化傾向は、他の擾乱よりは一致している。 Rr>Rgの時間が多く、比は最大15程度。
全体	変化傾向は似ているが、量はやや異なる。 Rr>Rgの傾向にあり、比の最大は1～3程度。 平均雨量の大きい時に精度が悪くなる。	変化傾向、量ともに、良く一致している。	変化傾向、量ともにかなり一致している。 Rr>Rgの傾向が大きく現われる時間が僅かに有る。 平均雨量の大きい時に精度が悪くなる。	変化傾向、量ともに大きく異なる。 精度の時間的変動が激しい。

表3.1.3 レーダ雨量の精度評価結果

B の設定			現行定数	毎時間算出		
評価項目				自乗平均誤差	相対誤差	相関係数
平均雨量	変化傾向	台 風	○	◎	○	×
		低気圧	○	◎	○	×
		前 線	○	◎	○	×
		雷 雨	○	○	○	△
	雨量比	台 風	2	1.25	6	4
		低気圧	4	1	10	15
		前 線	2	1	2	10
		雷 雨	2	1.8	10	15
	誤差量	台 風	-10~ 5	-5~ 1	-1~ 112	-15~ 84
		低気圧	-2~ 12	-1~ 3	-2~ 42	-8~ 50
		前 線	0~ 3	-1~ 2	-1~ 2	-3~ 26
		雷 雨	-5~ 22	-4~ 6	-2~ 24	-9~ 53
雨量差	台 風	-3~ 1	-1~ 0	0~ 11	-2~ 19	
	低気圧	0~ 2	0	0~ 2	1~ 6	
	前 線	1	-1~ 0	0	0~ 1	
	雷 雨	-1~ 15	-1~ 1	0~ 7	-2~ 28	
誤差指標	自乗平均誤差	台 風	17.7	16.1	—	—
		低気圧	21.2	6.9	—	—
		前 線	4.4	3.1	—	—
		雷 雨	38.2	13.9	—	—
	相対誤差%	台 風	431.0	—	112.0	—
		低気圧	365.7	—	89.8	—
		前 線	58.6	—	51.3	—
		雷 雨	220.6	—	88.7	—
	相関係数	台 風	-0.47~ 0.97	—	—	0.10~ 0.99
		低気圧	-0.42~ 1.00	—	—	0.17~ 1.00
		前 線	-0.44~ 0.96	—	—	1.15~ 1.00
		雷 雨	-0.59~ 0.99	—	—	0.11~ 1.00

注) 変化傾向

変化の山と谷の位置が

◎: 全て一致している。

○: 8割以上一致している。

△: 3割以上一致している。

×: 一致は3割未満である。

雨量比 R_r/R_g 誤差量 $R_r - R_g$ (mm/h)雨量差 各降雨毎の平均
の差

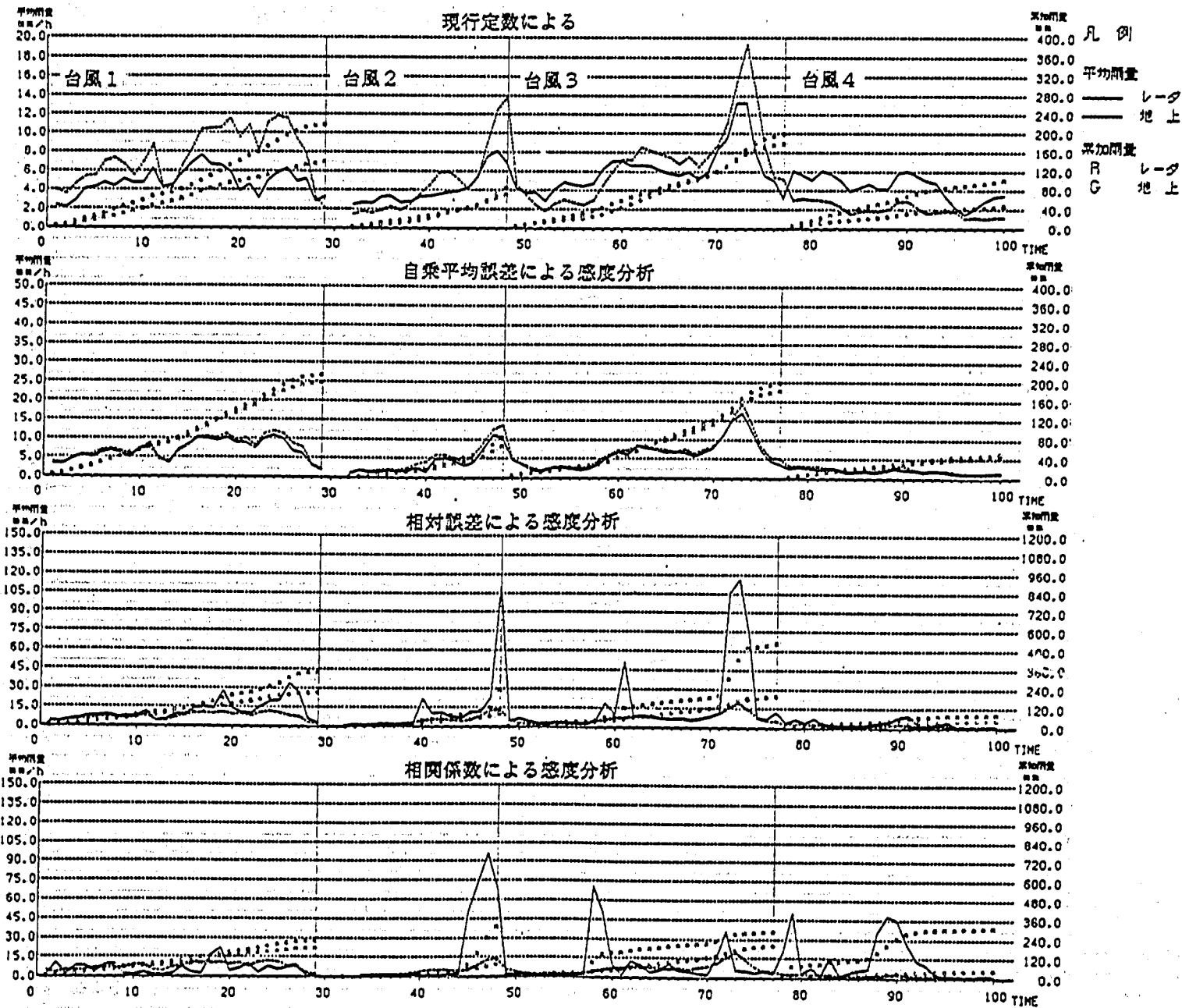


図3.1.3 レーダ雨量とゲージ雨量の比較(台風の一部)

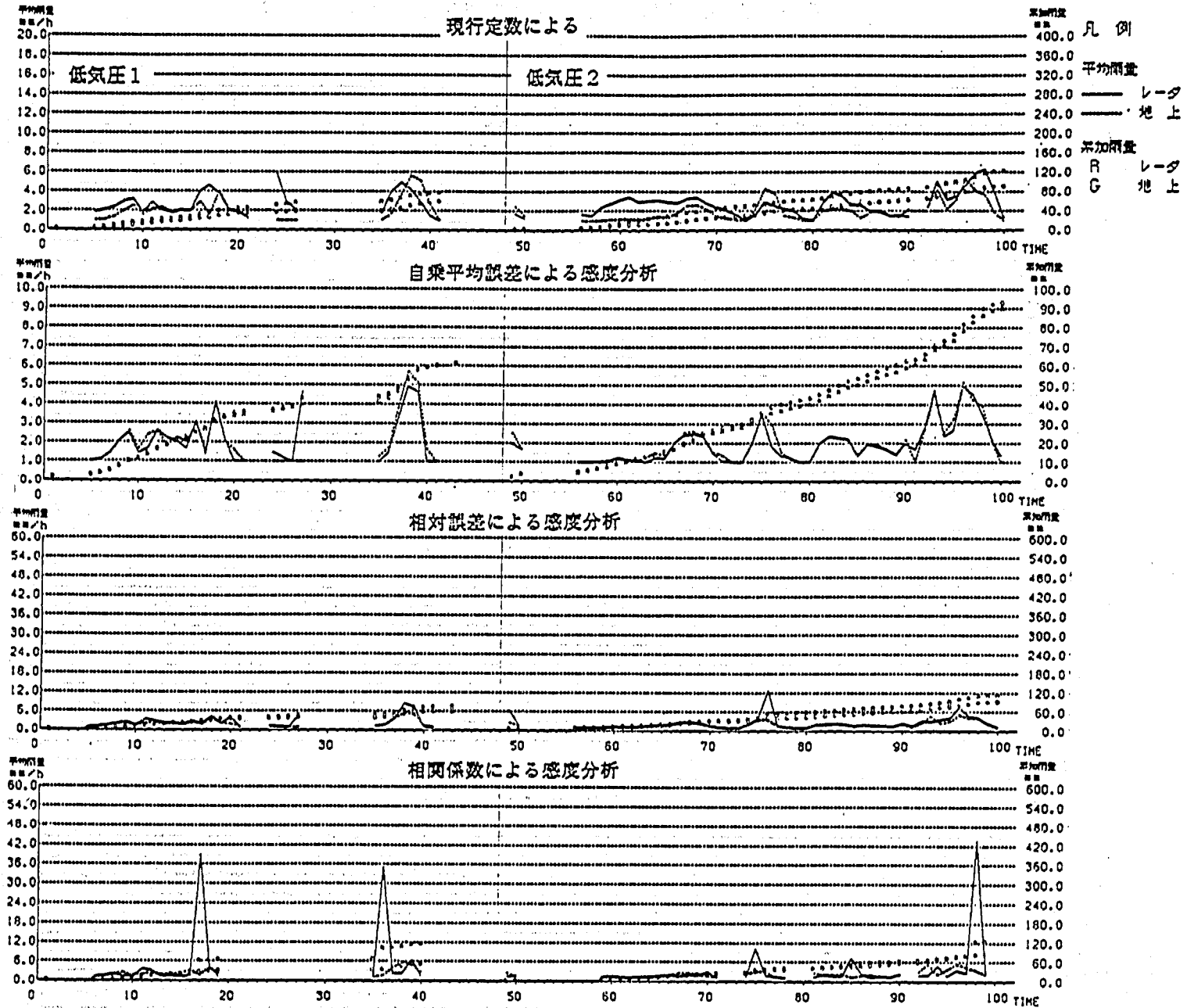


図3.1.4 レーダ雨量とゲージ雨量の比較(低気圧の一部)

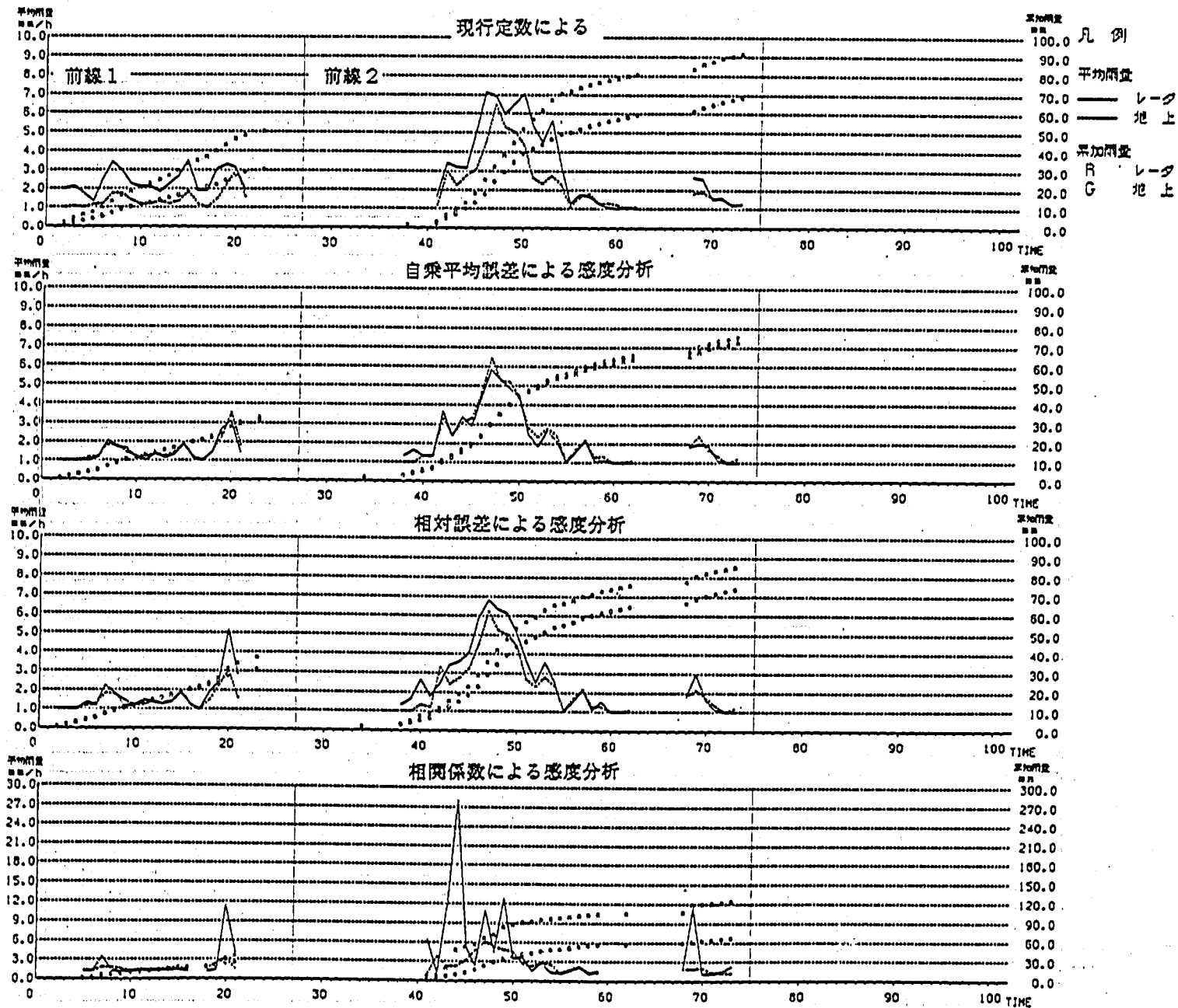


図3.1.5 レーダ雨量とゲージ雨量の比較(前線の一部)

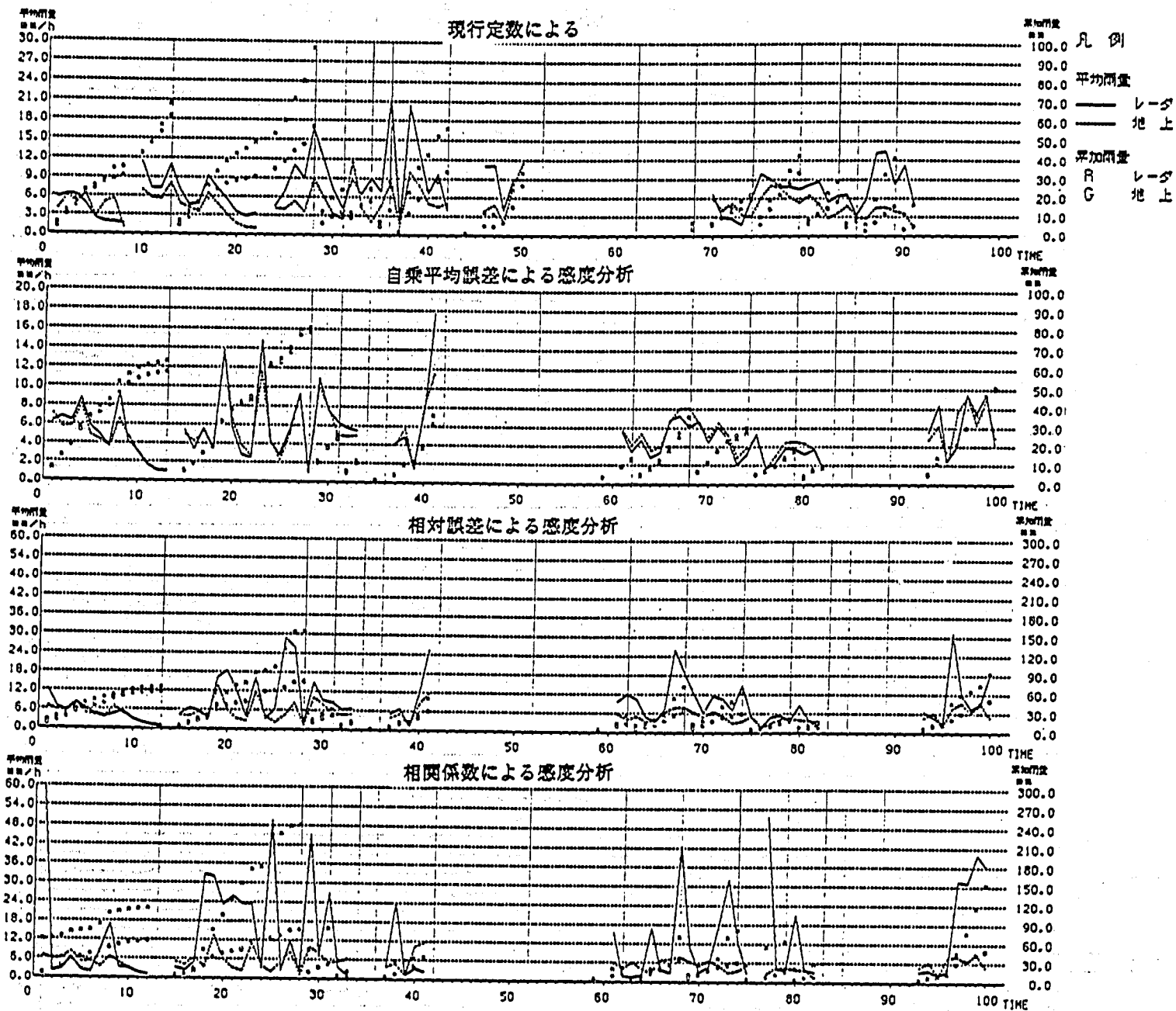


図3.1.6 レーダ雨量とゲージ雨量の比較(雷雨の一部)

(2) 個別の精度

表3.1.6～3.1.9は、現行定数及び毎時較正を行なった場合の、ゲージ雨量 R_g とレーダ雨量 R_r の対応を 5mm/h毎のランクに分けて、散布させたものである。又、表3.1.4 は、1ランク以内のずれを「一致」とし、それ以上のずれがある場合には、 $R_g > R_r$ の時を「負」、 $R_g < R_r$ の時を「正」として、整理したものである。さらに、表3.1.5 には、ランクを 5mm/h未満、30mm/h未満、30mm/h以上に区分した場合及び全体の精度を示した。これらより、次のことが言えよう。

イ) 低気圧と前線で一致率が高い。この傾向は、時間的な精度の低い指標による較正に於いても同様である。これは、低気圧や前線では、台風や雷雨に比べて雨量強度が小さい為に、降雨換算定数が大きく異なっても、雨量強度の値がそれ程変わらないことによる。

ロ) 「一致」しない時間では、自乗平均誤差による較正の場合以外は、「正」即ち、レーダ雨量の方が大きくなる傾向が強い。自乗平均誤差による場合は、「負」となる傾向がやや強い。

ハ) 全体的に見て、最も精度の良いのは、自乗平均誤差による較正を行なった場合である。精度指標毎には、自乗平均誤差と相関係数に対しては、自乗平均誤差による較正が、相対誤差に対しては、相対誤差による較正が、最適である。又、自乗平均誤差による較正によっても、相対誤差による較正と大差無い相対誤差となっている。尚、相関係数による較正が、相関係数による精度評価にあっても、最も精度が劣っている。このことは、相関係数は他の指標と違って、各時間の単純な合計でなく全体的なバラツキを捉えていることから、各時間における一致度の劣ることが現われたものである。

(3) 較正指標の特性

以上の検討結果から、較正指標の特性を整理して、以下に記す。

イ) 自乗平均誤差による較正は、雨量強度の大きいものに支配される。

ロ) 相対誤差による較正は、雨量強度の発生頻度の高いものに支配される。通常、雨量強度の小さいサンプルが多いことから、雨量強度の小さいものに支配されることとなる。

ハ) 相関係数による較正も、相対誤差による較正と類似した補正傾向を有する。

表3.1.4 レーダ雨量とゲージ雨量の一致率

単位は(%)

擾乱 Bの設定	台 風			低気圧			前 線			雷 雨		
	一致	正	負	一致	正	負	一致	正	負	一致	正	負
現行定数	67.0	15.2	17.8	82.5	14.5	3.0	83.3	13.7	3.0	58.8	31.4	9.7
自乗平均誤差	73.3	11.1	15.6	93.6	2.3	4.1	89.3	5.1	6.8	71.4	13.9	14.7
相対誤差	59.4	29.6	7.7	87.5	9.7	2.3	87.1	9.5	3.4	58.2	33.8	7.9
相関係数	56.0	24.2	16.7	81.9	13.0	4.7	81.1	13.6	6.2	48.9	38.5	11.0

R_g および R_r を5mm/hでランク分けしたとき、

- 一致 : 1ランク以内の違いのデータ
- 正 : 2ランク以上の違いがあり、 $R_g < R_r$ のデータ
- 負 : 2ランク以上の違いがあり、 $R_g > R_r$ のデータ

$R_r > 100\text{mm/h}$ を除外した。

表3.1.5 精度評価結果一覧表

雨量ランク 項目 擾乱		5mm/h>				5mm/h以上 30mm/h以下				30mm/h<				総 合			
		①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
台風	サンプル数	12578	11358	11946	11108	6593	6467	6529	6213	216	211	214	175	19387	18036	18689	17496
	Rg平均	2.1	2.1	2.1	2.1	10.1	10.1	10.1	10.0	38.3	38.0	38.1	38.5	5.2	5.4	5.3	5.3
	Rr平均	3.3	2.5	5.0	6.9	7.6	8.3	25.8	21.2	15.6	21.0	70.3	23.4	4.9	4.8	13.0	12.2
	自乗平均誤差	2.51	1.75	10.20	15.63	6.78	5.61	39.19	38.77	26.28	21.70	63.55	31.77	5.24	4.33	25.48	26.44
	相対誤差	48.54	45.31	44.96	62.25	127.95	110.17	6737	159.96	592.77	372.52	113.85	390.84	81.61	72.40	53.57	100.23
	相関係数	0.37	0.42	0.23	0.20	0.33	0.56	0.31	0.02	0.16	0.30	0.02	0.05	0.56	0.74	0.50	0.21
低気圧	サンプル数	5868	4991	5228	4789	713	689	7.9	674	1	0	0	0	6582	5680	5937	5463
	Rg平均	1.7	1.8	1.8	1.8	7.0	7.0	7.0	7.0	39.0	-	-	-	2.3	2.4	2.4	2.5
	Rr平均	3.2	1.8	2.7	4.2	7.5	5.3	13.8	9.7	1.0	-	-	-	3.7	2.3	4.1	4.9
	自乗平均誤差	2.70	1.03	5.27	10.05	5.23	3.26	27.03	19.86	38.00	-	-	-	3.12	1.49	10.57	11.71
	相対誤差	45.15	33.72	31.51	45.39	80.37	85.72	57.15	122.33	379.00	-	-	-	49.54	40.03	34.57	54.88
	相関係数	0.40	0.55	0.22	0.14	0.24	0.52	0.19	0.00	-	-	-	-	0.50	0.74	0.37	0.17
前線	サンプル数	1301	1087	1135	1084	228	227	228	230	0	0	0	0	1529	1314	1363	1314
	Rg平均	1.6	1.7	1.7	1.7	8.4	8.4	8.4	8.4	-	-	-	-	2.6	2.9	2.8	2.9
	Rr平均	2.8	1.8	2.2	2.5	10.0	7.1	9.0	12.4	-	-	-	-	3.9	2.7	3.3	4.3
	自乗平均誤差	2.08	1.10	1.51	3.85	5.03	3.12	3.45	15.39	-	-	-	-	2.73	1.64	1.97	7.33
	相対誤差	41.28	31.13	26.49	36.32	4645	48.32	38.63	77.93	-	-	-	-	42.05	34.10	28.57	43.60
	相関係数	0.57	0.58	0.60	0.30	0.64	0.76	0.73	0.28	-	-	-	-	0.79	0.86	0.85	0.51
雷雨	サンプル数	1560	1311	1385	1331	600	541	545	534	42	41	41	37	2202	1893	1971	1902
	Rg平均	1.8	1.9	1.8	1.8	10.3	10.3	10.3	10.2	40.6	40.7	40.7	41.4	4.9	5.1	5.0	5.0
	Rr平均	4.6	3.0	6.0	9.0	13.7	8.2	15.2	22.4	35.5	23.7	36.0	52.4	7.7	4.9	9.1	13.6
	自乗平均誤差	5.03	2.54	9.08	17.05	13.27	6.75	14.69	29.83	23.70	19.54	20.43	44.55	8.75	5.08	11.24	22.18
	相対誤差	54.30	44.13	48.1	56.44	102.45	129.81	58.94	123.84	178.03	177.57	66.64	212.31	69.78	71.51	51.84	78.40
	相関係数	0.37	0.38	0.21	0.19	0.31	0.47	0.33	0.26	0.22	0.69	0.16	-0.04	0.59	0.73	0.52	0.40

B の設定： ① 現行定数 ② 自乗平均誤差 ③ 相対誤差 ④ 相関係数

単位 : Rg平均, Rr平均, 自乗平均誤差 ; mm/h
相対誤差 ; %

表3.1.6 レーダ雨量とゲージ雨量の分布(現行定数, 台風)

mm Rd (mm/h)	1	5	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101
1 - 5	11809	1784	237	41	10	3															
6 - 10	1340	901	478	122	36	8	4														
11 - 15	443	384	234	104	34	6	2														
16 - 20	164	164	135	67	10	11	1	1													
21 - 25	68	71	39	43	21	11	3	1	1												
26 - 30	41	37	30	36	18	7	3	1	1												
31 - 35	23	15	21	6	9	6	4	1	2												
36 - 40	13	9	5	5	10	5	2	2	2	1											
41 - 45	7	5	5	5	7	7	1		3												
46 - 50	3		1	1	2	1		1		1											
51 - 55	1	1	1								1										
56 - 60	3	1		2				1													
61 - 65	2																				
66 - 70									1												
71 - 75																					
76 - 80																					
81 - 85									1												
86 - 90																					
91 - 95																					
96 - 100																					

表3.1.8 レーダ雨量とゲージ雨量の分布(相対誤差による感度分析, 台風)

mm Rd (mm/h)	1	5	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101
1 - 5	9785	1504	717	313	120	64	42	34	17	17	9	11	11	12	7	5	5	3	4	6	97
6 - 10	700	978	515	275	148	71	71	40	36	21	27	20	20	10	6	6	8	4	6	12	176
11 - 15	134	169	219	204	170	93	37	22	15	6	3	16	4	5	7	5	4	6	2	3	142
16 - 20	49	45	65	92	80	56	19	19	10	5	1	1	4	3	2	2	3	2	2	2	79
21 - 25	6	17	17	41	35	24	20	9	6	2	1	5	1	2	4	2	1	1	1	1	50
26 - 30	5	5	11	18	29	11	11	6	7	2	2		4	2	2		2		3	1	47
31 - 35	2	6	5	5	13	7	9	4	5	4	3	1	1	3					1	1	30
36 - 40	1	2	1	4	2	1	4	5	2	2	3			1	1	2	1				27
41 - 45	1	1		2	5	2	5	2	1	3	1										13
46 - 50	2			1	1	1	1	1	1		1										2
51 - 55		1				1									1						
56 - 60				1		1															5
61 - 65	1																				
66 - 70															1						
71 - 75																					
76 - 80																					
81 - 85														1							
86 - 90																					
91 - 95																					
96 - 100																					

表3.1.7 レーダ雨量とゲージ雨量の分布(自乗平均誤差による感度分析, 台風)

mm Rd (mm/h)	1	5	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101
1 - 5	11343	1050	100	14	1																
6 - 10	1295	1203	485	89	21	1	1														
11 - 15	251	362	379	152	31	10	1														
16 - 20	110	90	170	120	41	11	3														
21 - 25	39	29	57	77	41	22	7														
26 - 30	21	19	28	37	36	17	6	1													
31 - 35	16	13	14	12	14	6	7	1													
36 - 40	9	6	5	3	6	6	7	0	3	1	1										
41 - 45	6	2	2	5	4	5	3	2	2	3											
46 - 50	2			1		2	3				1										
51 - 55		1				1						1									
56 - 60	1	2	1	1		1	1														
61 - 65																					
66 - 70																					
71 - 75																					
76 - 80																					
81 - 85																					
86 - 90																					
91 - 95																					
96 - 100																					

表3.1.9 レーダ雨量とゲージ雨量の分布(相関係数による感度分析, 台風)

mm Rd (mm/h)	1	5	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101
1 - 5	9071	1133	564	303	240	140	110	104	65	61	40	39	31	27	21	11	11	12	11	10	120
6 - 10	1430	515	275	157	61	47	30	26	30	23	21	19	17	12	12	10	6	9	14	12	250
11 - 15	415	260	139	79	52	29	14	10	5	11	1	7	3	6	7	3	4	6	3	3	94
16 - 20	103	119	67	41	26	19	11	10	5	4	2	2	1	3	2	2	1	1	1	2	32
21 - 25	56	70	33	16	25	15	11	3	2	2	2	2		4					2		11
26 - 30	34	40	21	14	12	3	3	3			5	1	1			4			1	1	10
31 - 35	19	19	12	7	6		5	2	2	2	1	1			1						3
36 - 40	4	10	7	4	3	1	2	2	1	1				1		1					1
41 - 45	4	6	3	1	1	1	1						1		1	1	1				2
46 - 50		3	1			1	1	1													
51 - 55		1				1									1						
56 - 60	3	1		1									1								1
61 - 65	1																				
66 - 70			1																		
71 - 75																					
76 - 80																					
81 - 85									1												
86 - 90																					
91 - 95																					
96 - 100																					

3.1.4 降雨換算定数の許容範囲

Bのオンライン補正を行なった場合でも、図3.1.7に例示するように、誤差を伴う。そこで、一定の誤差を許容することとして、この許容範囲に含まれるBの出現状況を整理した。結果を表3.1.10に一覧して示した。以下、Bの出現特性を個別に考察する。

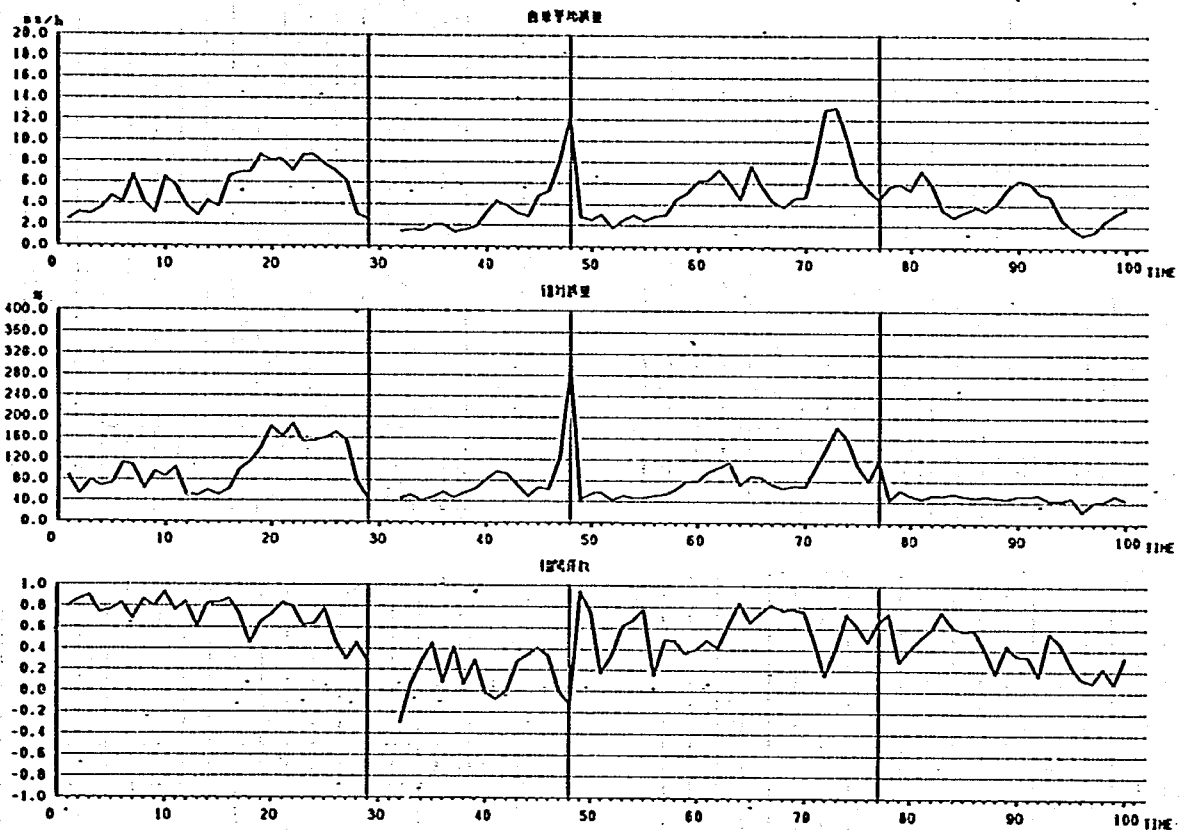


図3.1.7 誤差変動(自乗平均誤差を用いた感度分析による、台風の一部)

(1) Bの経時変化

図3.1.8 は、誤差の許容範囲を、自乗平均誤差については 2mm/h 以下、相対誤差については50%以下、相関係数については 0.8以上に設定して、この許容範囲に入るBの値を求めたものである。同図は、台風の一部のみ示してある。他のものについては、割愛した。以下、同様に台風の一部のみ図を示すこととした。

イ) 自乗平均誤差による較正

Bは概ね 100~1000までの範囲で変動する。低気圧では、比較的安定した変動状況にある。雨量強度の小さい、低気圧や前線では、Bは、かなりの許容範囲を持つが、雨量強度の大きい、台風や雷雨では、自乗平均誤差が 2mm/h 以内の範囲に入る時間は少ない。

ロ) 相対誤差による較正

Bは50~1000までの範囲で変動する。変化傾向は、自乗平均誤差による場合と類似している。又、許容範囲に入るBも自乗平均誤差による場合と同様である。

ハ) 相関係数による較正

Bは10~1000までの範囲で変動し、変動も激しい。経時的な変化傾向は、自乗平均誤差や相対誤差による場合とは、明らかに異なる。許容範囲に入るBの出現状況も、他の2指標とは異なる。

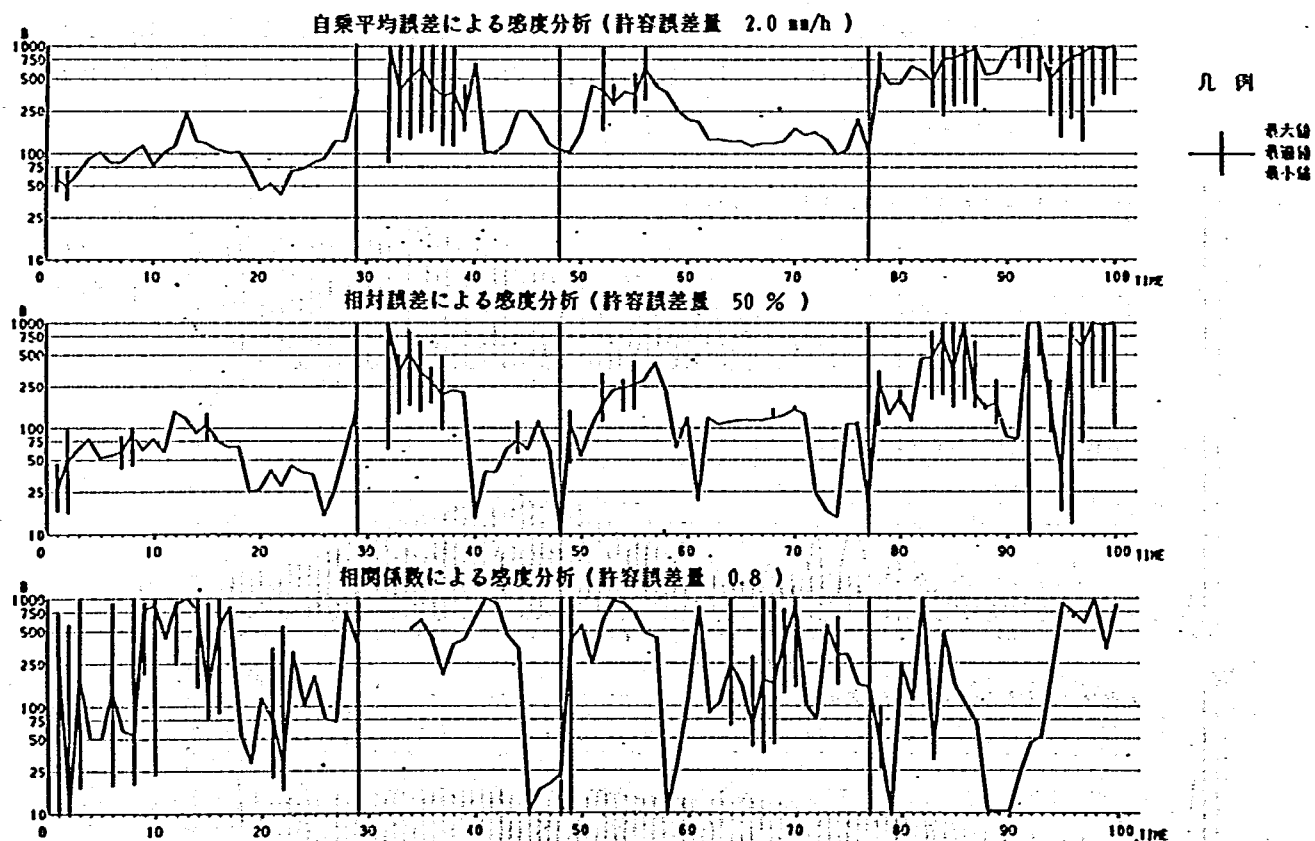


図3.1.8 最適定数Bの変動と許容変動幅(台風の一部)

(2) Bの出現特性

図3.1.9 は、最適なB及び許容範囲に入るBの発生頻度を、図3.1.10, 11は、各時間のサンプル数、平均雨量と最適Bの関係を散布図として示したものである。

イ) 自乗平均誤差による較正

最適となるBは、広範囲に分布している。又、許容範囲に入るBの発生頻度のピークは 200～ 600までの範囲にあり、ピーク付近の発生頻度は、ピークと大差無い。

最適なBと許容範囲に入るBのピークの間には、ずれがあり、前者のほうが小さい。

最適なBは、サンプル数が大きくなると 100以上となり、又、雨量強度が大きくなると、ある一定値に収束する傾向が見られる。

ロ) 相対誤差による較正

最適となるBは、広範囲に分布している。又、許容範囲に入るBの発生頻度のピークは 200程度であり、ピークは、自乗平均誤差による場合とくらべると、明瞭なものも見られる。

最適なBと許容範囲に入るBのピークの間には、ずれがあり、前者のほうが小さい。

最適なBと、サンプル数及び雨量強度との間には、明瞭な関係は見られない。

ハ) 相関係数による較正

最適となるB及び許容範囲に入るBは、広範囲に分布しており、ピークは無い。又、最適なBと、サンプル数及び雨量強度との間には、明瞭な関係は見られない。

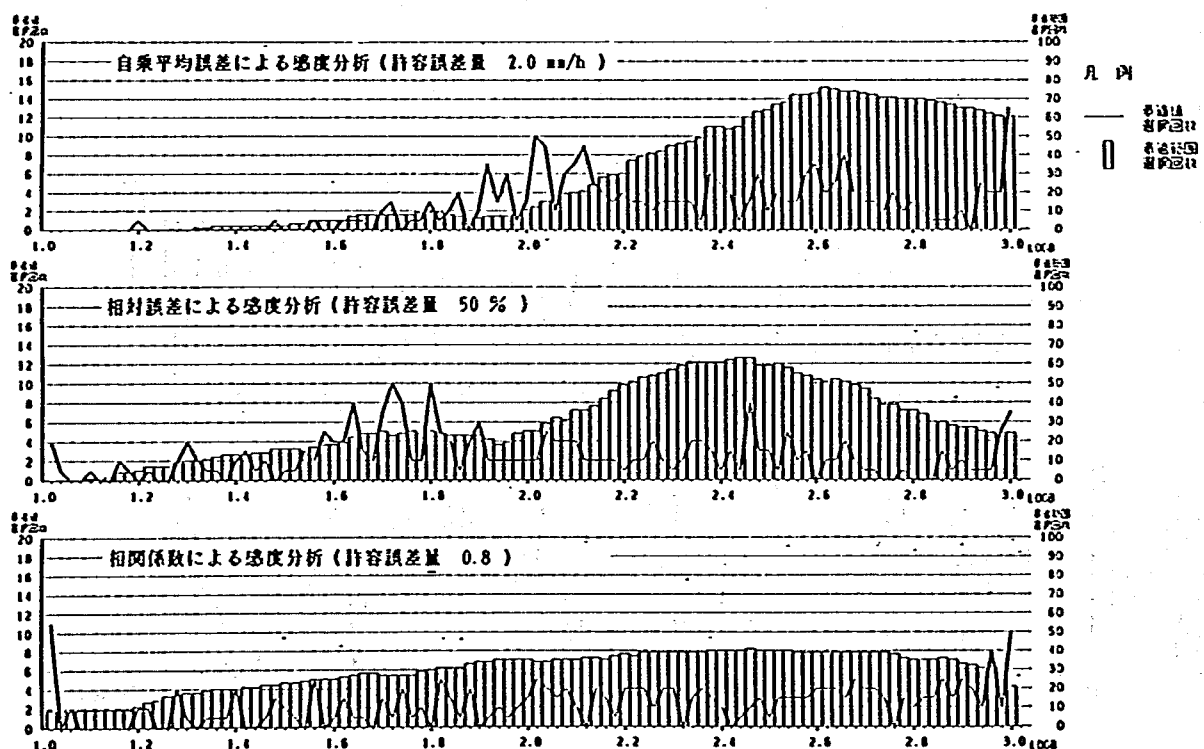


図3.1.9 最適定数Bと許容変動幅の出現頻度(台風)

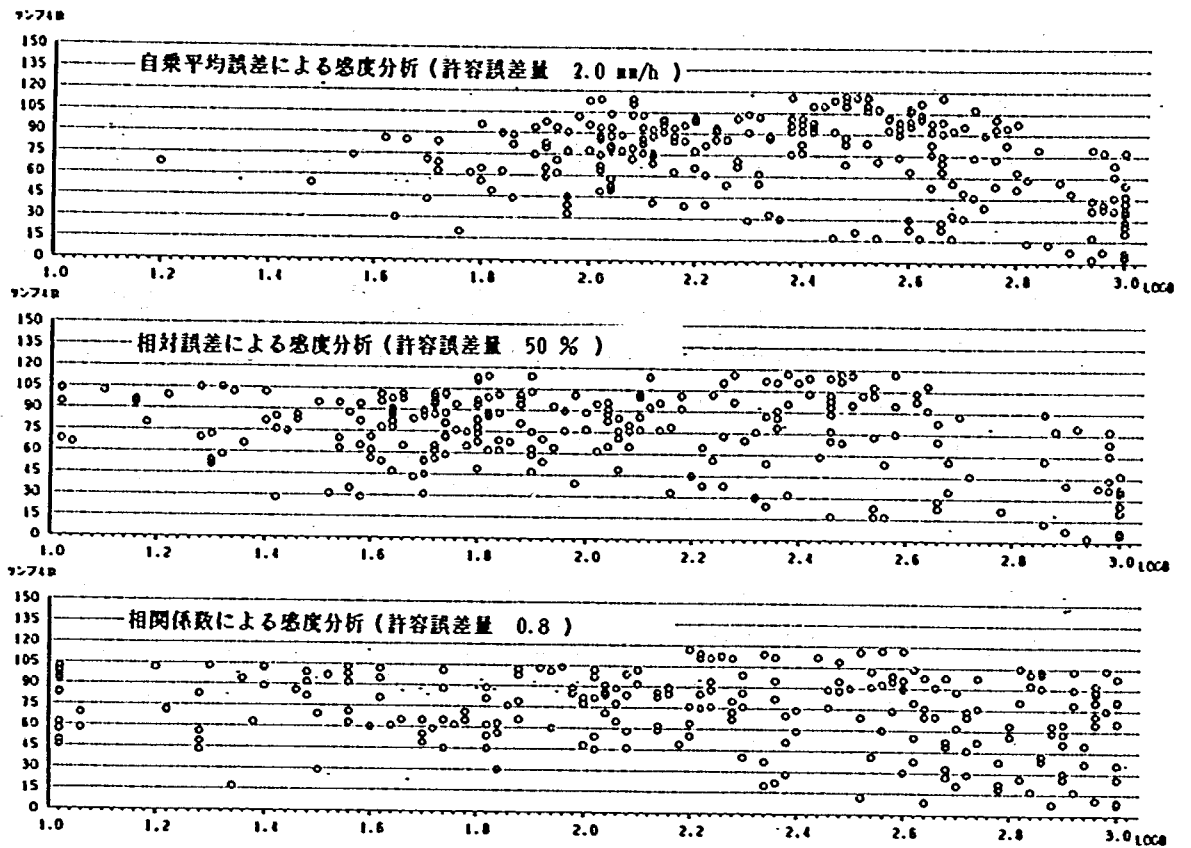


図3.1.10 最適定数Bと計算サンプル数の関係(台風)

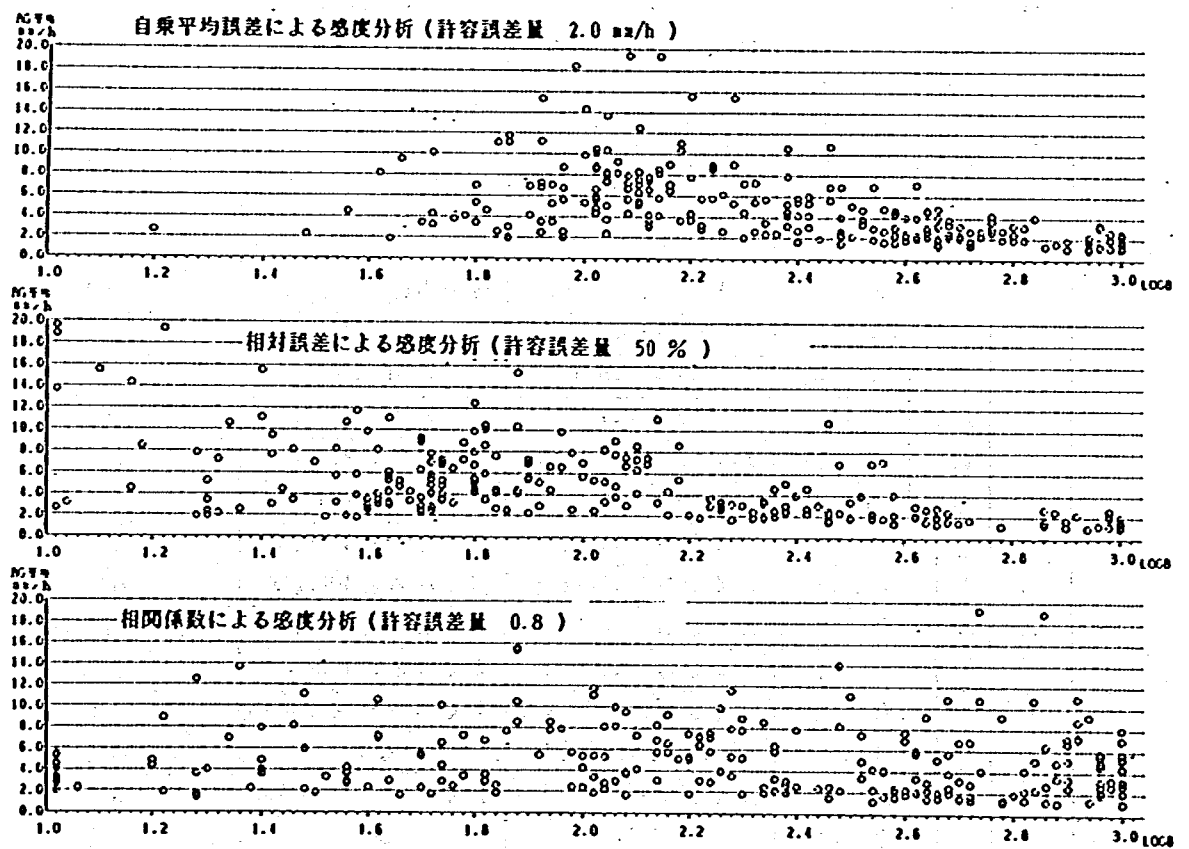


図3.1.11 最適定数Bと平均ゲージ雨量強度の関係(台風)

(3) 考察

毎時間の較正を行なうことで、各時間の誤差を最小に出来る。しかし、誤差は、時間によって異なる。

又、較正に用いられるサンプルは、各時間毎に異なっており、Z~Rg関係のバラツキが大きいことから、最適なBの変動が、統計的な誤差に起因している場合がかなり有ると推察出来る。従って、毎時較正によって得られたBの値は、単に当該時間の誤差を最小にするために設定したと言う意味しか持たない。

このことから、毎時間の較正でなく、Bの値が一定時間の間変化しない、或いは変化が小さいと考えて、Bを較正して行く方法も、妥当性を持つことになる。

尚、誤差に、ある一定の許容限度を設けるとした場合には、この許容限度値によって、許容されるBの範囲が大きく異なることが予想される。従って、このような方法によって、較正を行なう場合には、許容限度値をどの様にするかが、大きな課題となろう。

図3.1.10 感度分析指標別の最適Bの特性

項目	Bの設定		自乗平均誤差	相対誤差	相関係数
B の 変 化	Bの変化		100~1000	50~1000	10~1000
	擾乱毎の傾向		特に無し	特に無し	特に無し
	他指標との類似		相対誤差に似ている	自乗誤差に似ている	他と違う
	類似中の相違		変化幅小	変化幅大	—
	Bの許容範囲				
B の 出 現 回 数	出現時間	台 風	30%	同 左	20%
		低気圧	ほぼ100%		50%
		前 線	ほぼ100%		50~60%
		雷 雨	10%未満		80%
		上下幅	上下ほぼ等しい	Bの小の方が大きい	全域
	ピークの範囲		60~1000	40~1000	全域
	最適範囲	台 風	400 (2.6)	250 (2.4)	なし
		低気圧	500 (2.7)	200 (2.3)	なし
		前 線	160~320 (2.2~2.5)	160 (2.2)	なし
		雷 雨	630 (2.8)	250 (2.4)	なし
	サンプル数	台 風	多くなると100以上	多くなると400以下	なし
		低気圧	多くなると100以上	多くなると400以下	なし
		前 線	多くなると160以上	多くなると400以下	多くなると60以上
		雷 雨	多くなると160以上	多くなると160~400	なし
	Rg	台 風	多くなると160~200	多くなると10に近付く	なし
		低気圧	多くなると40以上	なし	なし
		前 線	多くなると160~320	多くなると160~250	なし
		雷 雨	なし	なし	なし

() : logB

3.2 Bの時間外挿

3.2.1 時間外挿の方法

3.1.4 の検討により、Bを毎時較正すること無く、ある一定の精度を確保出来ることが解かった。又、オンライン補正においては少なくとも1時間の時間外挿が必要である。そこで、各時間に於いて較正されたBが、任意時間後まで適用出来ると考えて、当該時間の降雨を、前時間までのBを用いて設定したBにより計算する方法について、精度等の評価を行なうこととした。

3.2.2 解析方法と資料

(1) 資料

解析の対象区域及び資料は、3.1 と同様である。

(2) 時間外挿Bの計算

時間外挿Bは、3.1 で得られた自乗平均誤差を指標とした最適なBの値から、次のように5ケースを与えた。又、当該時間の最適なBを対照ケースとし、これをケース1とした。

ケース1 ; 当該時刻の最適なB (比較対照ケース)

ケース2 ; 1時間前の最適なB

ケース3 ; 2時間前の最適なB

ケース4 ; 3時間前の最適なB

ケース5 ; 1時間前と2時間前の最適なBの平均値 (対数平均)

ケース6 ; 1, 2, 3時間前の最適なBの平均値 (対数平均)

(3) レーダ雨量の算出

(2) の6ケースについて、 β を1.6、降雨減衰項を小平の下限式として、レーダ雨量受信電力より計算した。

(4) 精度の評価

精度評価指標は、各時間の平均雨量と累加雨量、自乗平均誤差、相対誤差、相関係数とした。但し、3.1 と同様に、

・ グラントクラッタの $B=200$, $\beta=1.6$ での降雨換算値が、 2.5mm/h 以上の点

・ 計算されたレーダ雨量強度が、 0.5mm/h 未満

・ ゲージ雨量が、 0mm/h

は、評価対象から除外した。対象観測所も 3.1 と同様の 131 観測所である。

3.2.3 解析結果と評価

(1) 最適なBの変化傾向

統計的な誤差によるBの変動を除去してBの変化傾向を見るために、Bの移動平均を行なった。図3.2.1は、1時間～5時間の移動平均を施したものである。

台風は、降り始めに於いて、Bの値が小さく、次第に大きくなった後、再び小さくなって終わっている。1983年8月16日の値が、他の台風と違った傾向を示すのは、この雨が、台風5、6号の複合によるものであることによると考えられる。台風における、このようなBの変化は、

- ・ 台風の最盛時に、雨滴粒径が大きくなり、同一雨量強度に対するレーダ反射因子が大きくなる。

- ・ β の設定値が妥当でない。

等に起因すると考えられる。

低気圧と雷雨は、雨量強度が小さいこともあり、最適なBが得られていない時間がかかなりあり、変化傾向も明確ではない。

雷雨は、一定のレベルが維持される場合と、急激な変化を示す場合の双方が見られる。

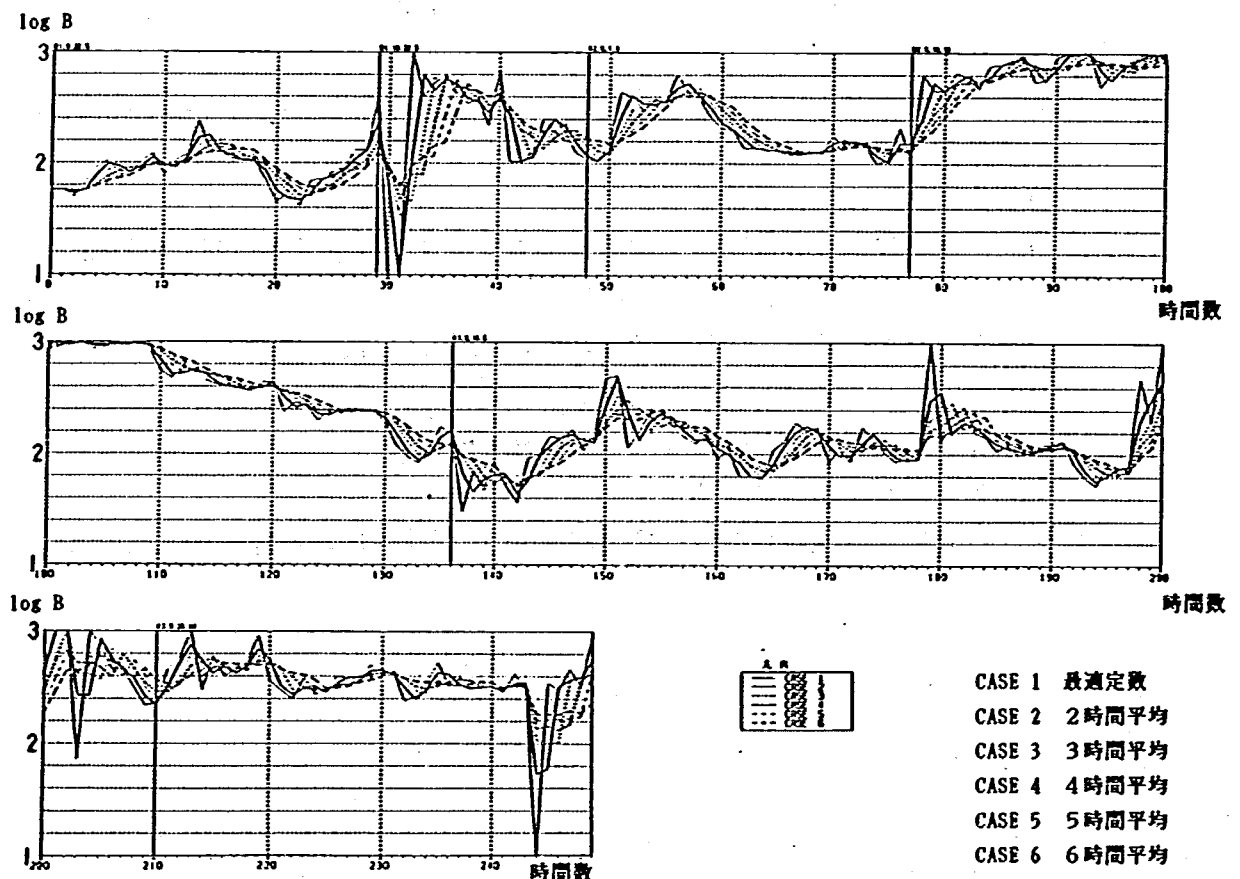


図3.2.2 最適定数Bの移動平均値（台風、自乗平均誤差による感度分析）

(2) 精度

図3.2.2 及び表3.2.1 は、各ケースの精度の評価結果を整理したものである。又、図3.2.3 は、台風について各ケースの平均雨量と累加雨量をゲージ雨量と比較したものである。

各ケースの精度を平均的に見ると、各評価指標共に、当該時刻の最適なBによる場合と、大差無い。このことは、3.1 で示されたように、ある一定値以上の精度を有するBの値が、最適なBの周辺に、かなり広く分布しているということからも推察されることである。

自乗平均誤差は、台風で3~5mm/h、低気圧と前線で1~2mm/h、雷雨で4~7mm/hである。相対誤差は、台風で70~80%、低気圧で40~60%、前線で30~50%、雷雨で70~100% である。相関係数は、台風と低気圧で0.5、前線と雷雨で0.6程度である。このように、雨量強度の大きい、台風と雷雨は、雨量強度の小さい、低気圧と前線よりも、精度が劣っている。

各ケースの精度を、各時刻毎に見た場合には、当該時刻の最適なBによる場合の精度が悪い時間（例えば '81.8.22台風の後半）に於いて、精度が著しく悪化する傾向がある。

表3.2.1 擾乱別精度一覧表

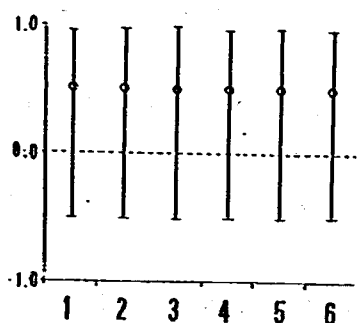
項目	ケース	1	2	3	4	5	6
台 風	平均有効時間数	74	74	74	74	74	74
	平均Rr(mm/h)	5.2	5.1	5.1	5.2	5.4	5.2
	平均Rg(mm/h)	4.9	4.9	5.0	5.0	4.9	4.9
	相関係数	平均	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51
		最大	0.96	0.98	0.99	0.97	0.98
		最小	-0.50	-0.51	-0.51	-0.50	-0.51
	相対誤差 (%)	平均	68.4	75.2	78.1	79.2	75.3
		最大	4.7	9.3	16.7	14.3	9.8
		最小	259.5	384.0	540.0	454.8	433.3
	自乗平均誤差 (mm/h)	平均	3.6	3.9	4.1	4.4	4.2
		最大	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6
		最小	17.5	21.8	21.9	28.7	56.9
低 気 圧	平均有効時間数	33	32	32	32	31	31
	平均Rr(mm/h)	2.3	2.1	2.2	2.2	2.5	2.8
	平均Rg(mm/h)	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
	相関係数	平均	0.49	0.47	0.46	0.46	0.45
		最大	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		最小	-0.53	-0.53	-0.51	-0.53	-0.53
	相対誤差 (%)	平均	37.3	52.1	55.1	60.7	53.5
		最大	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		最小	300.0	525.0	390.0	525.0	390.0
	自乗平均誤差 (mm/h)	平均	1.2	1.6	1.8	1.9	2.0
		最大	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		最小	7.1	15.9	13.9	15.9	12.6
前 線	平均有効時間数	35	32	34	34	33	32
	平均Rr(mm/h)	2.6	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4
	平均Rg(mm/h)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3
	相関係数	平均	0.65	0.58	0.60	0.59	0.57
		最大	0.95	0.98	0.98	0.98	0.98
		最小	0.00	0.00	-0.11	0.00	-0.37
	相対誤差 (%)	平均	32.5	42.2	47.9	47.2	45.0
		最大	0.0	0.0	6.3	0.0	6.3
		最小	61.6	160.0	185.7	181.2	160.0
	自乗平均誤差 (mm/h)	平均	1.3	1.5	1.7	1.7	1.7
		最大	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3
		最小	3.8	4.6	4.9	4.6	4.7
雷 雨	平均有効時間数	22	21	21	21	20	21
	平均Rr(mm/h)	5.8	5.3	5.2	5.7	5.6	6.3
	平均Rg(mm/h)	5.2	5.3	5.4	5.3	5.3	5.3
	相関係数	平均	0.62	0.57	0.57	0.56	0.57
		最大	-0.99	1.00	1.00	0.99	0.99
		最小	-0.79	-0.90	-0.74	-1.00	-0.85
	相対誤差 (%)	平均	66.2	89.6	97.6	92.3	89.4
		最大	6.8	6.7	8.3	11.3	4.6
		最小	190.7	437.5	437.5	643.5	437.5
	自乗平均誤差 (mm/h)	平均	4.4	5.6	5.8	6.1	5.9
		最大	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6
		最小	14.2	17.8	22.7	22.3	23.6

相関係数

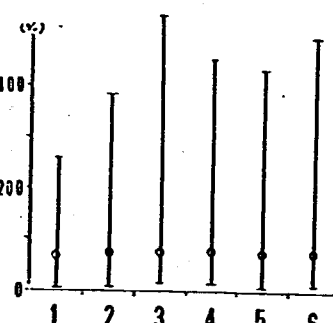
相対誤差

自乗平均誤差

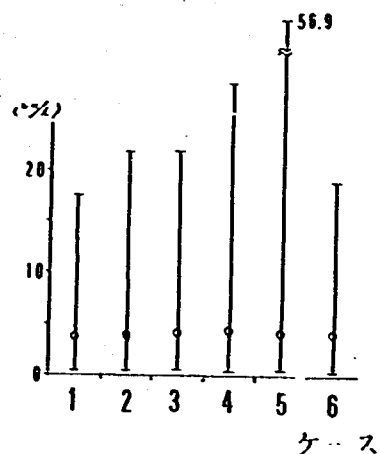
台
風



ケース

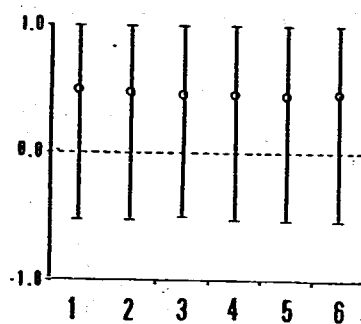


ケース

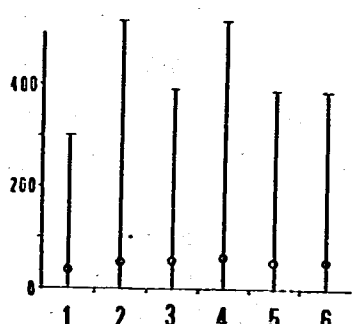


ケース

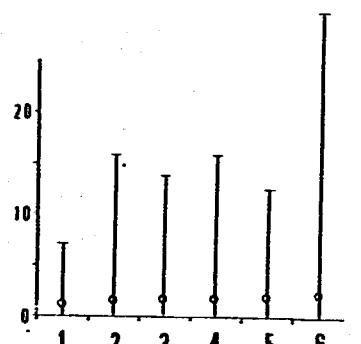
低
気
圧



ケース

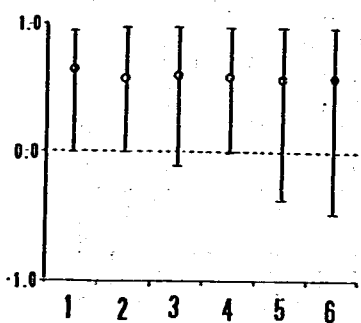


ケース

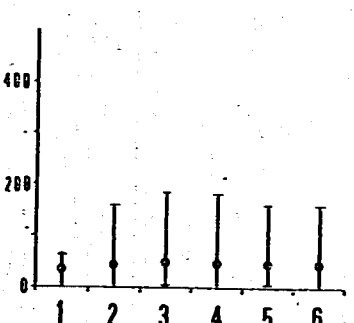


ケース

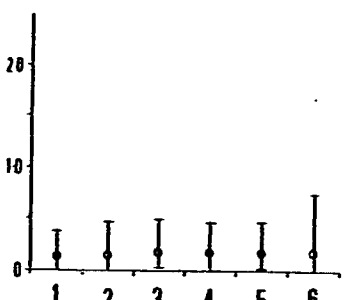
前
線



ケース

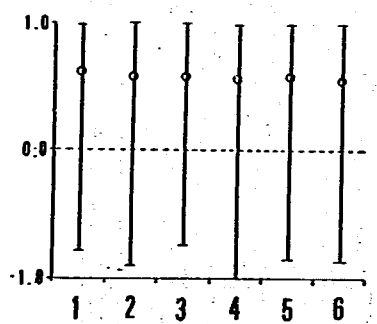


ケース

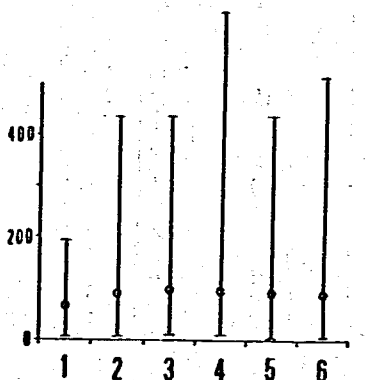


ケース

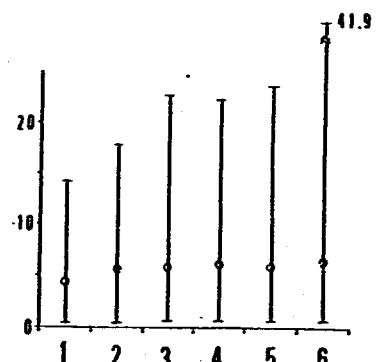
雷
雨



ケース



ケース



ケース

図3.2.2 擾乱別各ケース精度比較図

- ケース1 : 当該時刻の観測値B (比較対象ケース)
- ケース2 : 1時間前の観測値B
- ケース3 : 2時間前の観測値B
- ケース4 : 3時間前の観測値B
- ケース5 : 1時間前と2時間前の観測値Bの平均値 (片数平均)
- ケース6 : 1, 2, 3時間前の観測値Bの平均値 (片数平均)

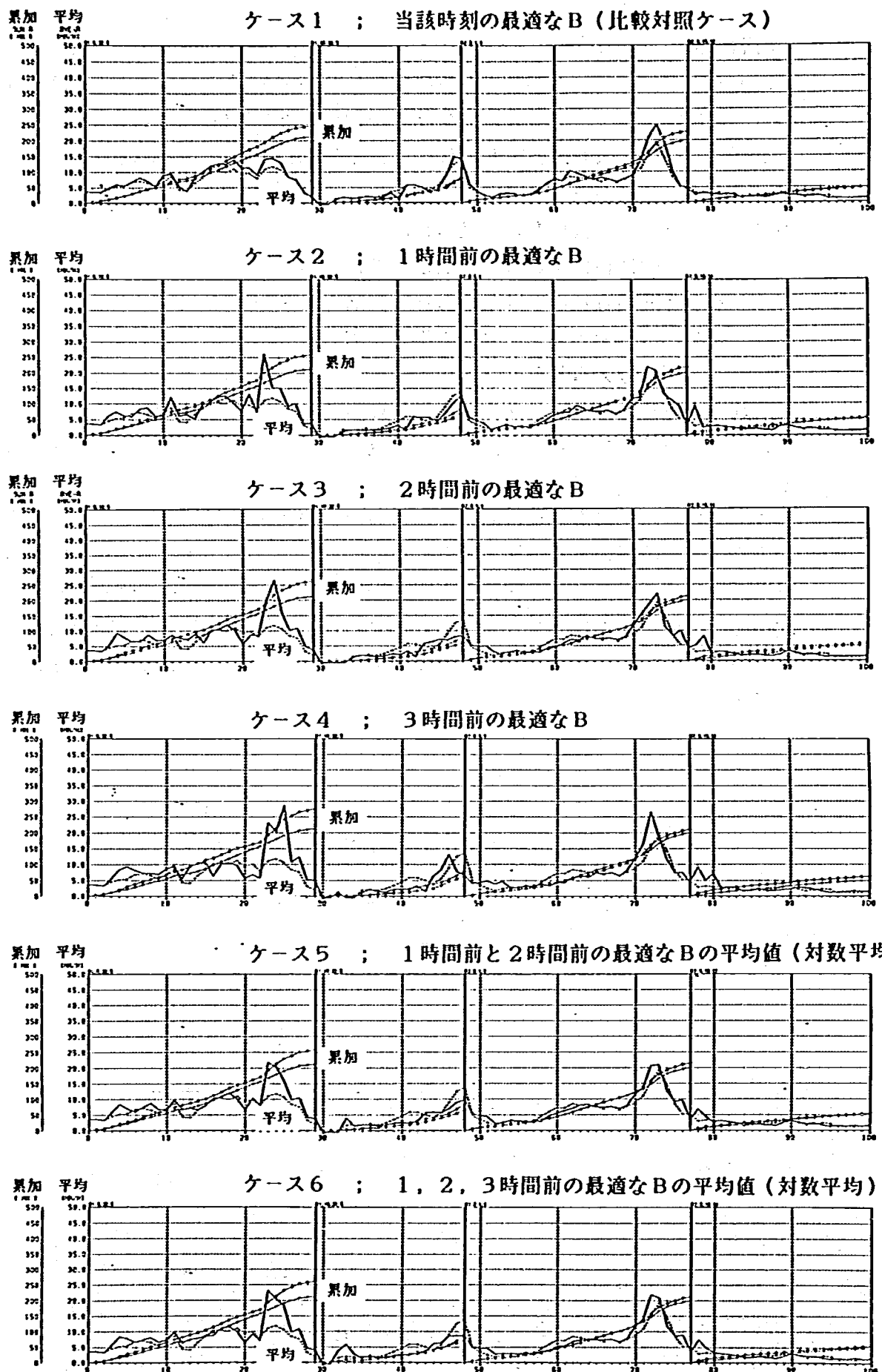


図3.2.3 平均雨量，累加雨量のレーダ雨量とゲージ雨量の比較（台風の一部）

(3) 時間外挿の可能性

以上のように、レーダ雨量の計算に用いるBの値を、前時間までの最適なBの値から推定する方法は、今回対象とした程度の外挿時間であれば、精度に大きな差はない。これらを比較した場合に、平均的に見ると1時間前の最適Bを用いる方法の精度が最も良い。しかし、誤差の最大値を見ると、前2～3時間の平均をとった方が良いものも見られた。

従って、時間外挿による校正方法としては、

イ) 前1時間の資料により求められる最適なBを用いる。

ロ) 前2～3時間の最適なBの平均値を用いる。

の2ケースが、考えられる。

これらの方法では、レーダ雨量の計算に当たって当該時刻の値を必要としない為、オンラインでのレーダ雨量の校正及びレーダ雨量情報提供には有効である。

イ), ロ) の他にも、前時間までの最適なBの変化傾向などから、回帰手法により、当該時間のBを予測する方法などが考えられる。ただ、本検討での結果から推定する限りでは、複雑な手法を用いたとしても、イ), ロ) の方法と比べて、精度の向上はあまり望めないと思われる。何故なら、前時間の最適なBを用いる方法と、当該時刻の最適なBを用いる方法との精度の差が小さいからである。

3.3 Adjustment Factor を用いた感度分析

3.3.1 較正方法

(1) Adjustment Factor (AF) の定義

定数Bを、自乗平均誤差を指標とする感度分析により較正することで、精度を現行定数によるよりも向上させることができる。しかしながら、この指標は、雨量強度の大きなデータに支配されるため、雨量強度の大きなデータの誤差が大きい時には、雨量強度の小さな多くのデータを過った方向に補正する危険性を含んでいる。

さらに、雨量強度の大きなデータは、定数Bの変化による降雨減衰量の変化によって大きく変化することから、降雨減衰量の見積りを誤ると、定数Bの算定に与える影響は更に大きくなる。

このようなことから、定数Bをオンラインで補正し、レーダ雨量の較正を行なう場合に、当該時刻における数多くのサンプルから、サンプル数の多いZ~Rg分布域に共通でかつ平均的なBを決定することを重視し、その一手法であるところの Adjustment Factor (以下AFと略す)の導入を検討するものである。

AFは、レーダ雨量強度とゲージ雨量強度の比の対数値の平均値で表わされる。即ち、

$$AF = \frac{1}{n} \sum \log(Rg/Rr)$$

である。

(2) AFによる定数Bの較正方法

AFによる較正は、任意の定数Bの下で計算したRrと、ゲージ雨量RgからAFの値を求め、AF=0に最も近くなるBを最適なBと考えるものである。これは次の考え方に基づいている。

レーダ雨量計では、受信電力を対数アンプを通して平均化した後、AD変換を行なって、ダイナミックレンジ80dBを256分割した尺度によって数値化している。

対数アンプは、受信電力を対数化しdB単位に直してから平均化を行なうことから、受信電力値の誤差が偶然誤差としてランダムに出現するとすれば、平均化によって得られた受信電力の誤差は、対数正規分布を持つ。即ち、受信電力の誤差を $\log K$ と表わせば、これを打ち消す誤差、 $-\log K$ が同じ頻度で発生することになる。

次に、AD変換による数値化に際しては、各digit 値の増分の比は全て

$$80/256 = 0.3125 \text{ dB}$$

である。ここで、受信電力を数値化したときの値をD (digit)とし、区間D-1~D+1 において、受信電力の誤差 ΔD がランダムに出現するとすれば、Dが対数値であることから、 ΔD の分布は対数正規分布となる。即ち、

$$\Delta D = \log k$$

と表わせば、これを打ち消す誤差、 $-\log k$ が同じ頻度で発生することになる。
従って、真値を R とすれば、レーダ雨量 R_r は、

$$\log R_r = \log R + \log K + \log k$$

と表わされ、 AF は、 $R_g = R$ の仮定の下に、

$$\begin{aligned} AF &= \frac{1}{n} \sum \log (R_g / R_r) = \frac{1}{n} \sum (\log R_g - \log R_r) \\ &= \frac{1}{n} \sum \{ \log R - (\log R + \log K + \log k) \} \\ &= \frac{1}{n} \sum \{ -(\log K + \log k) \} \end{aligned}$$

となり、 $\sum \log K = 0$ 、 $\sum \log k = 0$ であるから、 $AF = 0$ が成立する。

3.3.2 解析方法と資料

(1) 資料

解析の対象区域及び資料は、3.1 と同様である。又、レーダ雨量は、3.1 において計算された値を用いた。

(2) 最適な B の算定

各時間毎に B を変えて求めた 100 ケースのレーダ雨量の各々に対して、テレメータ雨量との間で AF 値を求め、 AF が最も 0 に近い値を取る B を最適な B とした。但し、使用したデータには、次のような条件を与えた。

① レーダ雨量

- ・ グランドクラッタの $B = 200$ 、 $\beta = 1.6$ での降雨換算値が、 2.5 mm/h 以上の点は除く。
- ・ 降雨強度が 0.5 mm/h 未満は除く。
- ・ 雨量強度の小さいときは AF に与える影響が大きいことから、3.1 で行なったような 1 mm/h 単位へのまるめは行なわない。

② ゲージ雨量

- ・ 降雨強度が 0 mm/h は除く。

(3) 精度の評価

精度の評価は、現行定数によるレーダ雨量及び AF 並びに自乗平均誤差による較正を行なった定数により計算されるレーダ雨量について行なった。精度評価指標は次の 3 指標とし、3.1 同様の 131 観測所を用いて算定した。

一致度； R_g と R_r の差の絶対値が 5 mm/h 以下のデータ数が、総サンプル数に占める割合

R_g と R_r の差の最大値と最小値

3.3.3 解析結果と評価

(1) AFの出現特性

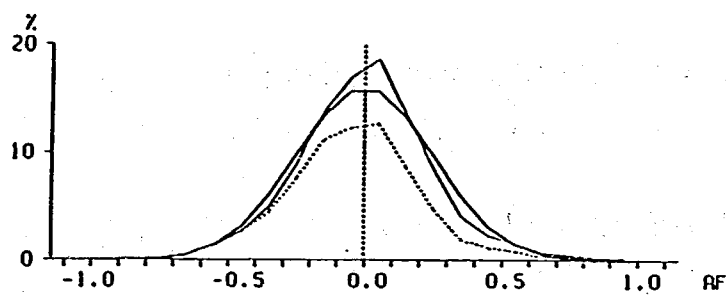
AFは、レーダ雨量(R_r)とゲージ雨量(R_g)の相対的な値によって決まる指標であり、ゲージ雨量が真値であるとすれば、その分布は正規分布となると考えられる。

図3.3.1 は、自乗平均誤差を指標とした感度分析によりBを較正して求めたレーダ雨量とゲージ雨量から算定したAFの頻度分布である。

AFの分布は、いずれの擾乱に於いても、標準正規分布とほぼ一致しており、標準偏差は、0.2~0.3程度である。但し、全擾乱共に、中央部の頻度が標準正規分布よりも小さくなっている事から、分布から大きく外れる値が存在していることになる。

表3.3.1 は、AFの分布を、 R_g の強度と出現頻度との関係で示したものである。

AFの平均値は、 $R_g \leq 5 \text{ mm/h}$ で負、その他は正となっている。又、AFの分布域は、 R_g が小さいほど広がる傾向を持っている。特に、AFが負の領域は過半数を $R_g \leq 5 \text{ mm/h}$ のデータが占めており、逆に $R_g > 5 \text{ mm/h}$ の時はAFは正に偏っている。このことから、 R_g の大きさによってAFの分布域が異なる事が解かる。このような特性は、レーダ雨量観測における最小検出降雨強度の影響であると考えられレーダサイトからの距離の遠い地点及びグラウンドクラッターの大きい地点はAFの計算対象から除くほうが良い。

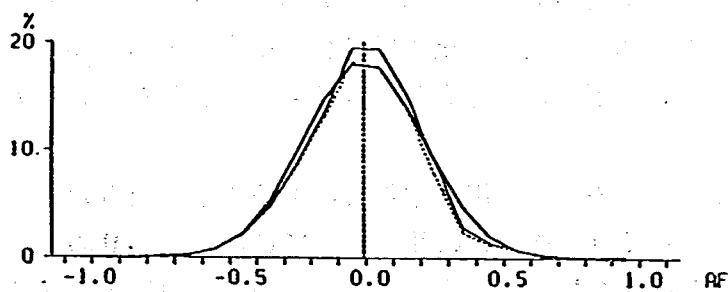


台風

データ数 16159

平均値AF -0.0013

標準偏差 0.2486

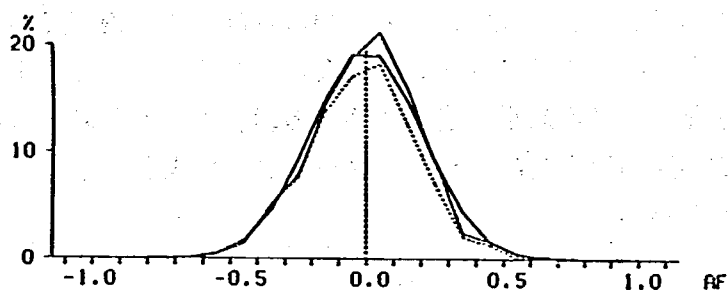


低気圧

データ数 5453

平均値AF -0.0071

標準偏差 0.2181

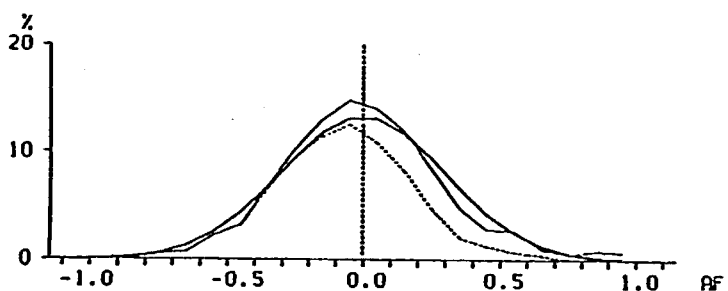


前線

データ数 1311

平均値AF -0.0006

標準偏差 0.2031

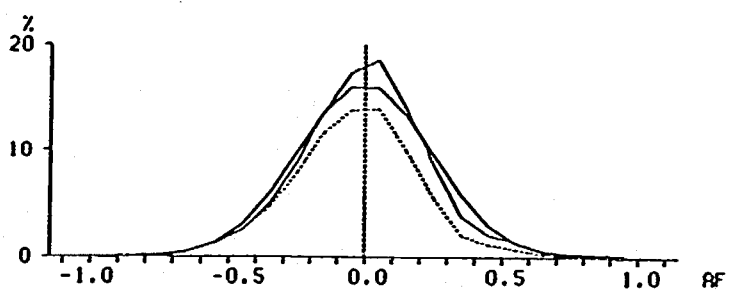


雷雨

データ数 1697

平均値AF -0.0022

標準偏差 0.3005



全降雨

データ数 : 24620

平均値AF -0.0026

標準偏差 0.2440

図3.3.1 擾乱別AFの分布

—— Rg 5 mm/h 以下
 全データ
 - - - 標準正規分布

表3.3.1 擾乱別AFの分布

台風 N : 16159 AF : -0.0013 SD : 0.2486

AF	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	平均
1-5	7	7	23	35	97	219	424	723	1222	1853	2019	1382	761	253	184	123	47	22	9	2	-0.03
6-10					2	6	15	32	178	328	472	551	405	274	156	76	55	25	17	14	0.07
11-15						1	13	23	63	130	223	315	358	335	231	121	61	31	11	6	0.12
16-20							1	1	22	55	94	112	77	51	20	8	4	2	1	1	0.19
21-25								1	3	23	53	51	49	28	10	3	2	1	1	1	0.20
26-30									1	20	34	22	12	18	6	4	3	2	2	2	0.23
31-35									1	8	10	11	12	11	6	6	6	2	2	2	0.31
36-40									1	4	6	5	5	5	3	3	2				0.32
41-45									1	2	2	4	3	4	5	2	3				0.33
46-50														1	1	1	1				0.34
51-55									1												0.39
56-60																					0.57
61-65																					1.20
66-70																					0.12
71-75																					
76-80																					
81-85																					0.36
86-90																					
91-95																					
96-																					

低気圧 N : 5453 AF : -0.0071 SD : 0.2181

AF	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	平均
1-5																					-0.02
6-10																					0.11
11-15																					0.19
16-20																					0.25
21-25																					0.28
26-30																					0.33
31-																					

前線 N : 1311 AF : -0.0006 SD : 0.2031

AF	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	平均
1-5																					-0.03
6-10																					0.10
11-15																					0.19
16-20																					0.27
21-25																					0.18
26-30																					
31-																					

雷雨 N : 1697 AF : -0.0022 SD : 0.3005

AF	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	平均
1-5																					-0.05
6-10																					0.12
11-15																					0.19
16-20																					0.28
21-25																					0.19
26-30																					0.18
31-35																					0.48
36-40																					0.52
41-45																					0.31
46-50																					0.49
51-55																					0.25
56-60																					0.57
61-65																					0.36
66-70																					
71-																					

全降雨 N : 24620 AF : -0.0026 SD : 0.2440

AF	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	平均
1-5																					-0.00
6-10																					0.06
11-15																					0.13
16-20																					0.19
21-25																					0.28
26-30																					0.19
31-35																					0.20
36-40																					0.34
41-45																					0.26
46-50																					0.12
51-55																					0.48
56-60																					0.57
61-65																					0.37
66-70																					0.12
71-75																					
76-80																					
81-85																					0.36
86-90																					
91-95																					
96-																					

AFの感度分析による決定の過程では、定数Bを変化させることで、Rrの値や降雨減衰量の変化によるRg~Rr関係が変化する。その態様は、次のように表わされる。尚、図3.3.2は、実際のデータでの変化状況を例示したものである。

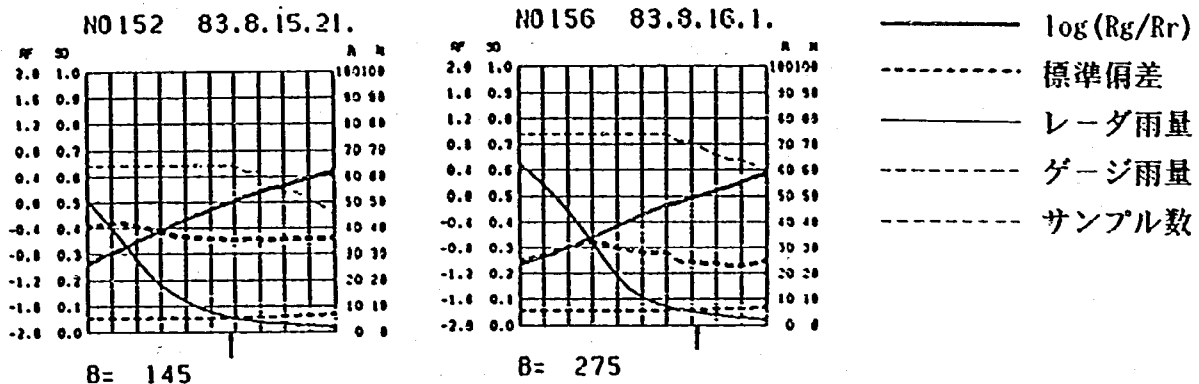


図3.3.2 Bの変化の影響例(台風)

イ) サンプル数の変化

本検討では、有効とするRrの下限値を0.5mm/hとしていることから、定数Bが大きくなるとRrが小さく計算されるため、Bが大きくなるに従ってRrの小さなグループが棄却され、サンプル数は減少する。

例えば、B=10においてRr=5mm/hと計算されるデータは、降雨減衰を無視すると、B=400で0.5mm/h以下となり、棄却される。

ロ) Rgの変化

個々のRgは、定数Bによらず一定である。しかし、Rg~Rrの関係が概念的には線形であるため、イ)に述べたようなRrの棄却にともない、Rgの小さいグループが棄却され、Bが大きくなるほどRgの値は大きくなる。

ハ) Rrの変化

Rrが定数Bの増加にともない減少することは、先述の通りである。降雨減衰項を無視すると、B=1000の時のRr₁₀₀₀とB=10の時のRr₁₀との関係は、 $\beta=1.6$ の下で、

$$Rr_{10} = 17.78 Rr_{1000}$$

である。ここで、小平の下限式を用いた降雨減衰項を採用すると、r km地点に於ける降雨減衰量Kは、降雨Rrが流域全体で一様であるとすれば、

$$K = 2 \times 0.0013 Rr \times r = 0.0026 r Rr \quad (\text{dB})$$

となる。又、雨量は、 $(10^{K/10})^{1/\beta}$ 倍となる。

例えば、r=120km 地点に於いて、降雨減衰が無い場合には、Rr₁₀₀₀=1mm/hに対して、Rr₁₀=17.78mm/hである。又、上記のような降雨減衰を考えれば、降雨減衰量が各々K₁₀₀₀=1.05dB, K₁₀=2.22dBであり、雨量強度は各々Rr₁₀₀₀=1.05mm/h, Rr₁₀=39.47mm/hとなる。このように、RrはBが小さくなるに従って指数的に増大する。

二) AFの変化

降雨減衰量が全データで同じであるならば、AFはBに対して線形となる。実際には、レーダサイトからの雨の降り方でKはまちまちになるが、通常Kの影響が有るとされる20mm/h以上の雨の占める割合は小さいので、AFは、Rrの平均値ほどには指数特性を持たないと推察される。

AFの標準偏差を見た場合には、AFの標準偏差は、Bが小さいほど大きくなっている。この原因としては、

- ・ 降雨減衰による補正が大きくなりすぎた為にRg~Rrの直線的な関係から外れるデータが増加した
- ・ 偏差自体が増加した

ことが考えられる。

(2) 全体的な精度評価

表3.3.2 は、現行定数、AFによる較正、自乗平均誤差による較正の三者について、精度指標値の比較を行なったものである。

一致度を見ると、現行定数で7割～9割程度となっているのに対し、AF又は自乗平均誤差による較正を行なった場合では、概ね9割以上となっている。又、いずれも低気圧や前線での一致度が高い。これは、低気圧や前線の雨量強度が小さく、Bを変えても、雨量強度が5mm/hを超えるものが少ないことによるものである。

RgとRrの差の絶対値を見ると、AFでの較正による場合が現行定数による場合と同程度であるのに対し、自乗平均誤差での較正による場合は、現行定数による場合よりも、やや小さくなっている。特に雷雨でこの傾向が著しい。

このように、AF又は自乗平均誤差を用いて定数Bの毎時間較正を行なうことで、各擾乱共に、9割程度を±5mm/hの精度で地上雨量に整合させることが出来る。但し、RgとRrの差の絶対値は、最大50mm/hを超えており、このようなレーダ雨量の値は、使用目的によっては危険性が高い。

表3.3.2 精度の比較結果一覧表

擾乱	較正指標	サンプル数	一致度(%)	Rg-Rrの最大値(mm/h)	Rg-Rrの最小値(mm/h)
台風	現行	16707	83.88	60.1	-28.8
	AF	16720	89.34	58.7	-27.9
	SE	16699	90.21	58.3	-26.1
低気圧	現行	6013	90.79	37.9	-42.2
	AF	6205	96.52	38.4	-34.9
	SE	6103	98.83	38.5	-9.3
前線	現行	1396	92.84	15.1	-19.2
	AF	1437	96.17	14.8	-12.0
	SE	1428	97.90	14.8	-6.7
雷雨	現行	1961	72.36	49.0	-109.4
	AF	1807	87.66	57.7	-58.3
	SE	1804	87.86	40.6	-31.4

(3) AFの特性を考慮したサンプルによる精度評価

① $\log(Rg/Rr)$ と誤差の出現特性

AFによる毎時較正を行なった場合の誤差の出現特性は次のようなものである。

イ) 誤差の時間的変動 (図3.3.3 参照)

・ 時間毎の計算サンプル数及び雨量強度の変化が異なる事から、AFの出現範囲があまり大きな変動をしないにもかかわらず、標準偏差は常に大きな変動を示す。このようにAFのバラツキが大きいのは、雨量強度の小さい時であり、 Rg が 0.5mm/h 単位であることなどの誤差が影響していると考えられる。

・ Rg と Rr の差の出現範囲が大きい時間では、 $\log(Rg/Rr)$ の絶対値は正のもの ($Rg > Rr$)の方が大きい。このことは、誤差の大きなデータは雨量強度の大きいものであり、標準偏差はそれほど大きくないことから、ごく僅かの特異なデータが存在していることを示している。

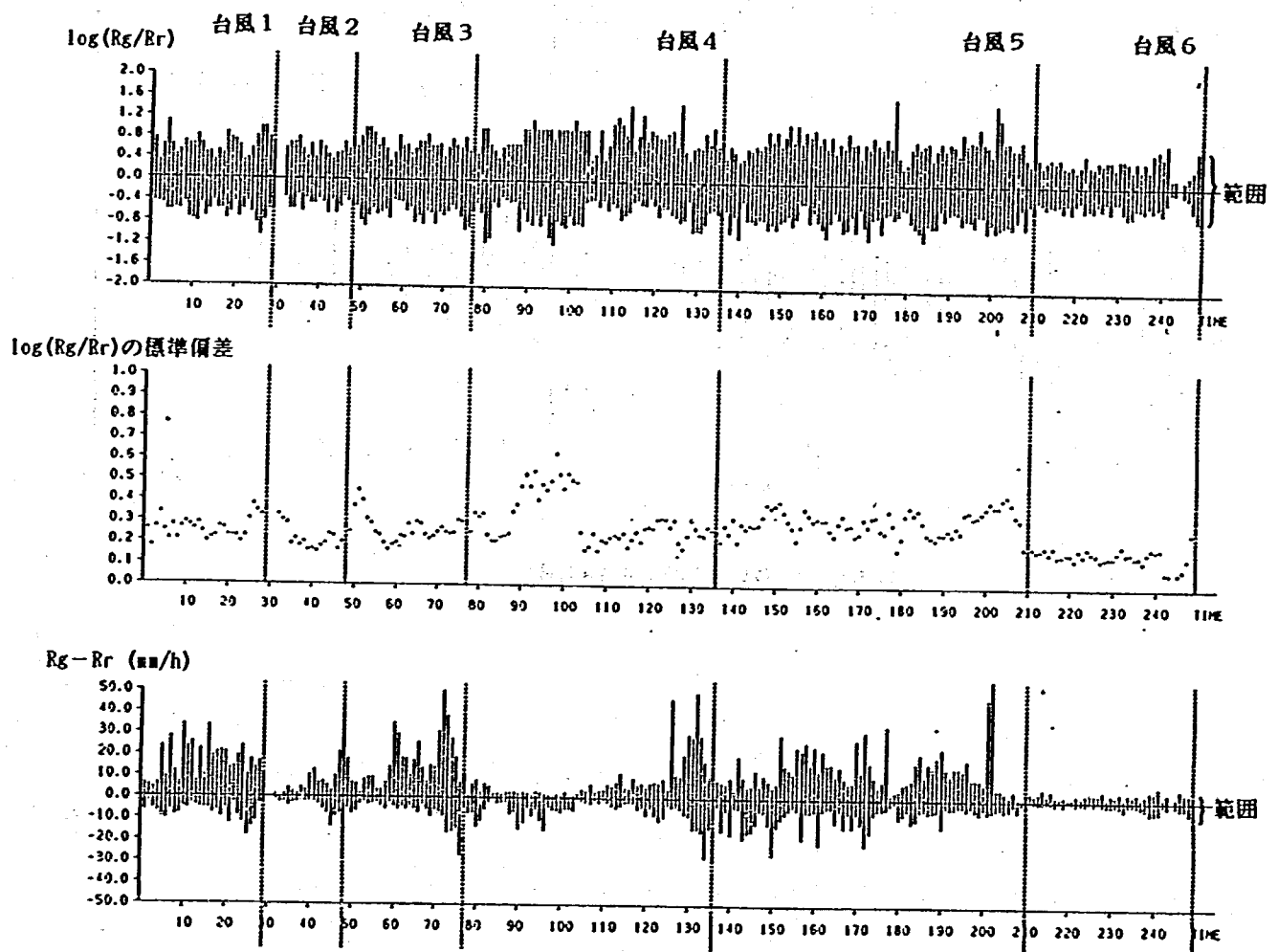


図3.3.3 補正後レーダ雨量の精度 (台風)

ロ) 地点, サンプル数, 雨量強度と $\log(Rg/Rr)$ の関係 (図3.3.4 参照)

- ・レーダサイトからの距離と方向によって、AFの出現範囲が大きくなる地点も見られるが、この傾向は擾乱毎に異なる。従って、地点固有の特徴として、明確に分離することは出来ない。
- ・サンプル数とAFの出現範囲との間には、明確な関係は見られない。
- ・いずれの擾乱に於いても、 Rg が大きくなるほどAFの出現範囲は狭くなる。

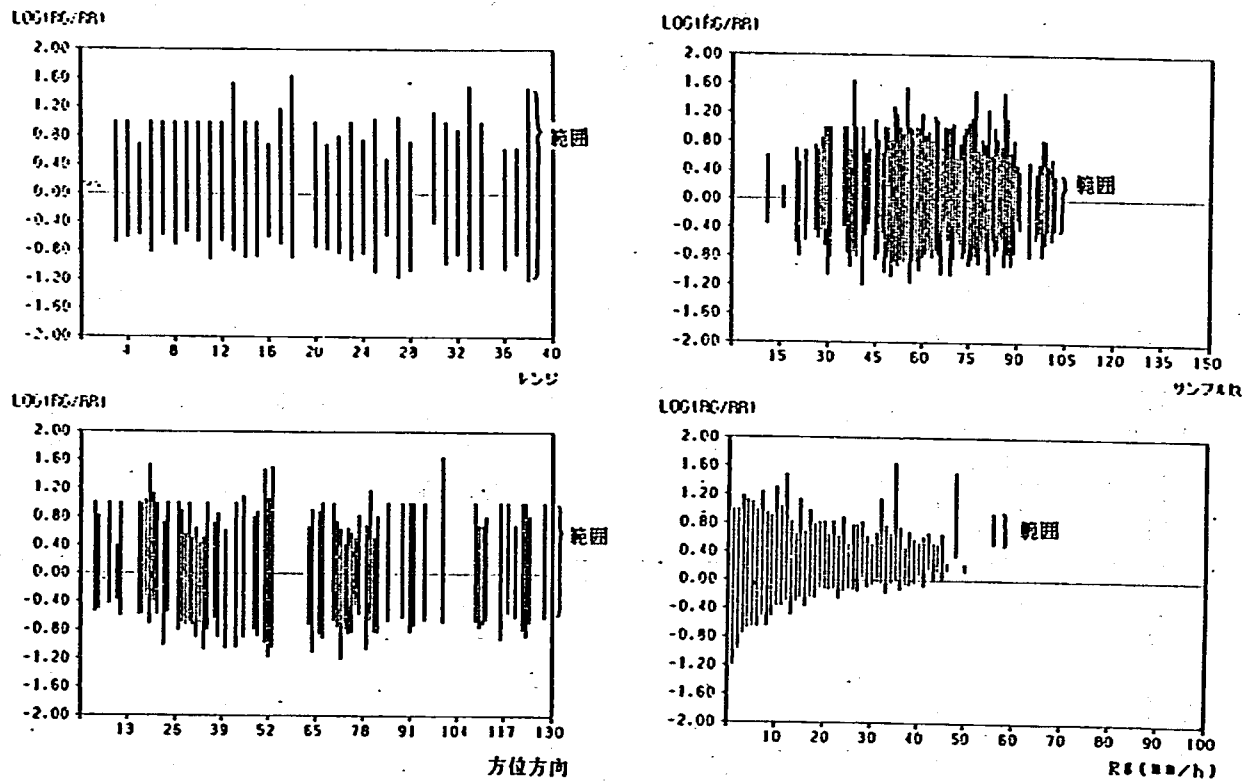


図3.3.4 補正後レーダ雨量の精度 (台風)

ハ) 地点, サンプル数, 雨量強度と誤差の関係 (図3.3.5 参照)

- ・ レーダサイトからの距離の増加に伴って、 R_g と R_r の差の出現範囲がやや大きくなる傾向が見られる。
- ・ サンプル数と、 R_g と R_r の差の出現範囲との間には、明確な関係は見られない。
- ・ いずれの擾乱に於いても、 R_g の強度別の R_g と R_r の差の出現範囲はほぼ等しいが、 R_g が増加するほど $R_g > R_r$ の側に偏る傾向がある。この関係は、定数 B のみでは補正できず、 β 又は降雨減衰量の見積りの誤差と考えられる。

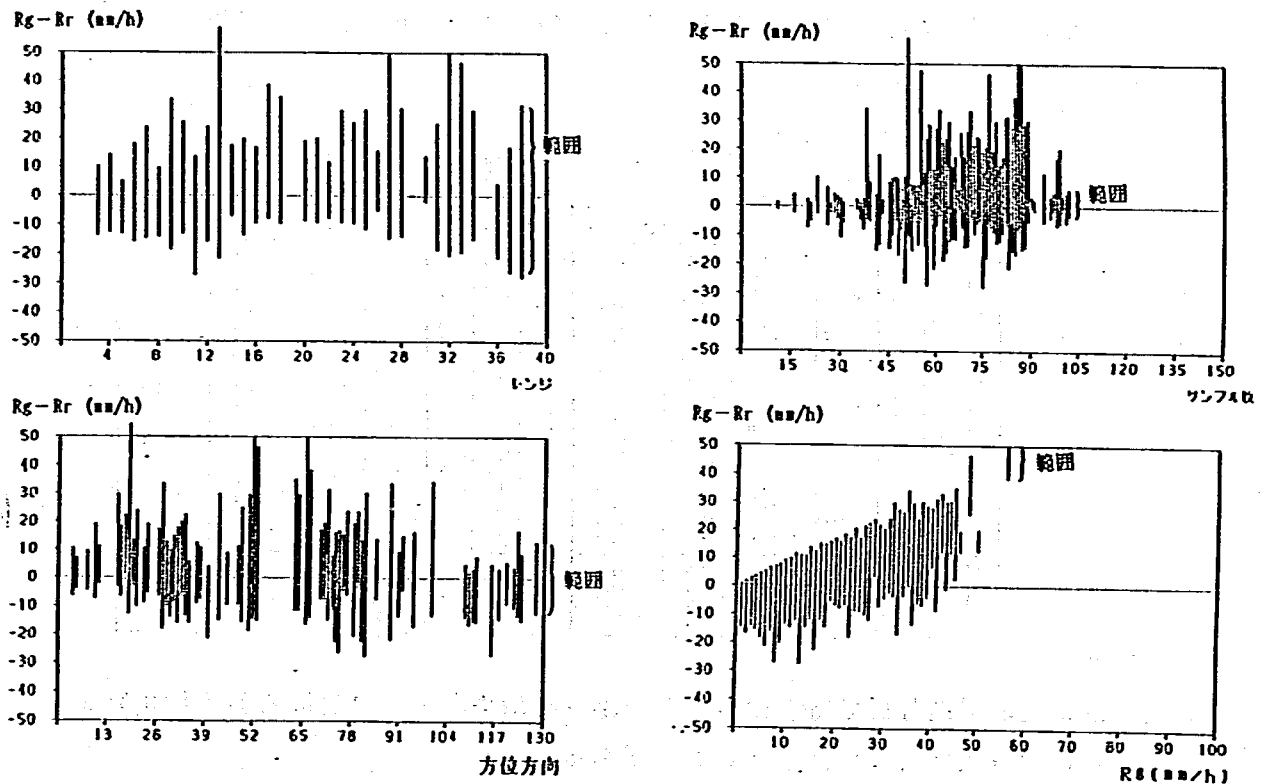


図3.3.5 補正後レーダ雨量の精度 (台風)

② 精度評価

①の検討から、レーダ雨量の精度が悪くなる原因が主に雨量強度とレーダサイトからの距離によるものであると推察された。そこで、定数Bの決定に使用するデータとして次の4ケースを考え、精度の比較検討を行なった。結果は表3.3.3に示した。

ケース1 特に条件は設定しない。(①と同じ)

ケース2 Rgが5mm/h以上のデータを使用

ケース3 距離が60km以内のデータを使用

ケース4 距離が60km以内で且つRgが5mm/h以上のデータを使用

Rgの大きさによる棄却(ケース2)では、全ての擾乱で一致度が悪くなる。距離による棄却(ケース3)では、それほど精度は低下せず、擾乱によっては精度が向上する場合もある。但し、RgとRrの差の出現範囲は、どのケースに於いても増加する時間が見られた。

表3.3.3 ケース別精度一覧表

擾乱	修正指標	ケース	サンプル数	一致度(%)	Rg-Rrの最小値(mm/h)	Rg-Rrの最大値(mm/h)
台風	AF	現行	—	16707	83.88	68.1
		1	16720	89.34	58.7	-27.9
		2	14891	84.56	54.6	-43.6
		3	16716	87.89	57.5	-46.1
		4	12853	83.72	54.6	-81.5
	SE	1	16699	90.21	58.3	-26.1
		2	14870	86.83	54.6	-35.8
		3	16700	89.54	54.6	-30.7
		4	12853	85.11	54.6	-55.9
	現行	—	6013	90.79	37.9	-42.2
	AF	1	6205	96.52	38.4	-34.9
		2	3629	92.67	35.3	-104.4
		3	6141	94.32	38.1	-145.8
		4	2760	94.10	35.3	-104.4
	SE	1	6103	98.83	38.5	-9.3
低気圧	AF	1	3413	96.43	36.1	-23.3
		2	6064	97.67	38.1	-72.8
		3	2750	96.15	36.1	-21.7
	SE	1	1804	87.85	40.6	-31.4
		2	1666	83.31	38.2	-45.7
		3	1773	88.84	40.5	-32.2
		4	1454	85.01	47.5	-32.2
	現行	—	1961	72.36	49.0	-109.4
	AF	1	1807	87.66	57.7	-58.3
		2	1667	78.89	39.6	-57.1
		3	1779	87.41	60.5	-85.8
		4	1455	82.20	47.1	-66.1
	SE	1	1804	87.85	40.6	-31.4

(4) 考察

AFによる感度分析では、雨量強度の小さな値や各地点に於ける最小検出降雨強度の取り扱いなどに注意する必要がある。

本検討での結果からは、AF若しくは自乗平均誤差によって毎時間定数Bの校正を行なうことによって、各擾乱共に9割程度のデータを誤差±5mm/hでゲージ雨量と整合させることができた。この場合、レーダによる観測精度の良いと考えられる近距離のデータのみによって定数Bを算定しても、精度上殆ど問題はないと考えられる。

ところで、定数Bのみの補正では、全ての誤差を平均化することになり、個々のデータの全ての誤差を無くすことは出来ない。この誤差量は、主にβの校正によって減少させることが出来ると思われるが、本検討の結果からは、全擾乱で誤差の特徴がほぼ同じ関係であることから、βの変動は無視出来ると考えられる。従って、βは全データに共通の最適値を求め、これを固定的に扱えば良いであろう。

3.4 逐次検定法によるBの較正

3.4.1 較正方法

(1) 逐次検定法 (Sequential Analysis Method) の理論

逐次検定法 (Sequential Analysis Method) の理論は、1947年にA. Waldにより紹介されて以来、特に工場製品や実験データの品質管理に用いられてきた。基本的な過程は、誤差が平均値の回りにランダムに出現する母集団から、逐次1個ないしは数個のランダムなサンプリングを行ない、その都度ある計算を行なって、その結果から、

(i) 検定を受けている仮説 (帰無仮説; null hypothesis) を採択する。

(ii) 仮説を棄却し、対立仮説 (alternative hypothesis) を採択する。

(iii) さらにサンプリングを行なって採択或いは棄却の判定を行なう。(判定を保留する。)

の何れかを選択するものであり、(i)若しくは(ii)が選択された場合には、サンプリングは打ち切られる。

本調査では、降雨換算定数BのAF (Adjustment Factor) による補正の判定に適用することを踏まえ、

分散 σ^2 が既知の正規分布を持つ母集団 $N(\mu, \sigma^2)$ から得られたサンプル $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ の平均値 $\bar{x}$ が得られたとき、この母集団の平均値 μ が、

帰無仮説 $H_0; \mu = \mu_0$

であるとする仮説が、

対立仮説 $H_1; \mu = \mu_1 \neq \mu_0$

という仮説に比べて妥当であるか否かを検定する。

場合について述べることにする。

$N(\mu, \sigma^2)$ の確率密度関数を $f(x, \mu)$ で表わすものとすれば、 $N(\mu_0, \sigma^2)$ 、 $N(\mu_1, \sigma^2)$ の確率密度関数は、それぞれ $f(x, \mu_0)$ 、 $f(x, \mu_1)$ で表わされる。以下便宜的にこれらを $f_0(x)$ 、 $f_1(x)$ と表記することとする。

今、第 m 番目のサンプルが入った場合に、第1～ m 番目までのデータ群が $N(\mu_0, \sigma^2)$ に属する確率 (尤度) を P_0 、 $N(\mu_1, \sigma^2)$ に属する確率を P_1 とすれば、

$$P_0 = f_0(x_1) \cdot f_0(x_2) \cdot \dots \cdot f_0(x_n)$$

$$P_1 = f_1(x_1) \cdot f_1(x_2) \cdot \dots \cdot f_1(x_n)$$

である。ここで、あらかじめ設定しておいた値 a 、 b を用いて、次の判定を行なう。 P_1/P_0 は尤度比と呼ばれるものである。

(i) $P_1/P_0 \geq a$ ならば H_1 を採択し、 H_0 を棄却する。

(ii) $P_1/P_0 \leq b$ ならば H_0 を採択する。

(iii) $b < P_1/P_0 < a$ ならば、第 $n+1$ 番目の観測値を入れて、再度 P_1/P_0 を計算し、検定を行なう。

a 、 b は次のように与えられる。

検定に際しては、次の2種の誤りを犯す可能性がある。

第1種の誤り (type I error) ; H_0 が正しいのに H_0 を棄却する誤り

第2種の誤り (type II error) ; H_1 が正しいのに H_0 を採択する誤り

これらを確率表現すれば、

第1種の誤りの確率 ; $P(|\bar{x} - \mu_0| > k | \mu = \mu_0)$

第2種の誤りの確率 ; $P(|\bar{x} - \mu_0| \leq k | \mu = \mu_1 \neq \mu_0)$

である。第1種、第2種の誤りの確率をそれぞれ α , β とすれば、尤度比に対
する先のA, Bの値は、 α , β が実用的に用いられる程度に小さければ、

$$a \simeq (1 - \beta) / \alpha \quad , \quad b \simeq \beta / (1 - \alpha)$$

である。

尤度比Lは、次のように計算される。まず、 $f_0(x)$, $f_1(x)$ の定義から、

$$f_0(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{x - \mu_0}{\sigma} \right\}^2\right]$$

$$f_1(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{x - (\mu_0 \pm \Delta \mu)}{\sigma} \right\}^2\right]$$

であり、

$$\begin{aligned} \frac{f_1(x)}{f_0(x)} &= \exp\left[\frac{1}{2} \left\{ \frac{x - \mu_0}{\sigma} \right\}^2 - \frac{1}{2} \left\{ \frac{x - (\mu_0 \pm \Delta \mu)}{\sigma} \right\}^2\right] \\ &= \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \{- (x - \mu_0)^2 + (x - \mu_0 \pm \Delta \mu)^2 \pm 2(x - \mu_0) \Delta \mu + (\Delta \mu)^2\}\right] \\ &= \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \{\pm 2(x - \mu_0) \Delta \mu + (\Delta \mu)^2\}\right] \\ &= \exp\left\{-\frac{(\Delta \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \exp\left\{\pm \frac{\Delta \mu}{\sigma^2} (x - \mu_0)\right\} \end{aligned}$$

従って尤度比Lは、

$$\begin{aligned} L &= \frac{P_1}{P_0} = \frac{f_1(x_1) \cdot f_1(x_2) \cdot \dots \cdot f_1(x_n)}{f_0(x_1) \cdot f_0(x_2) \cdot \dots \cdot f_0(x_n)} = \frac{f_1(x_1)}{f_0(x_1)} \cdot \frac{f_1(x_2)}{f_0(x_2)} \cdot \dots \cdot \frac{f_1(x_n)}{f_0(x_n)} \\ &= \exp\left\{-\frac{n(\Delta \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \exp\left\{\pm \frac{\Delta \mu}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_0)\right\} \end{aligned}$$

両側検定で起こり得る事象は、左右均等であると考えられるから、

$$\begin{aligned} L &= \exp\left\{-\frac{n(\Delta \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \times \frac{1}{2} \left[\exp\left\{\frac{\Delta \mu}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_0)\right\} + \exp\left\{-\frac{\Delta \mu}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_0)\right\} \right] \\ &= \exp\left\{-\frac{n(\Delta \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \cosh\left\{\frac{\Delta \mu}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_0)\right\} \end{aligned}$$

となる。実際の検定に際しては、自然対数を取ることで計算を簡略化出来る。

尤度比の自然対数は、

$$\log_e L = \log_e (P_1/P_0) = -\frac{n(\Delta\mu)^2}{2\sigma^2} + \log_e [\cosh\{\frac{\Delta\mu}{\sigma^2} \sum_1^n (x_i - \mu_0)\}]$$

第2項を Y_n と置けば、前記検定条件は、次のように表わすことが出来、これによって、検定を行なえば良い。

$$(i) Y_n \leq \log_e b + \frac{n(\Delta\mu)^2}{2\sigma^2} \text{ の時 } H_0 \text{ を採択する。}$$

$$(ii) Y_n \geq \log_e a + \frac{n(\Delta\mu)^2}{2\sigma^2} \text{ の時 } H_0 \text{ を棄却する。}$$

$$(iii) \log_e b + \frac{n(\Delta\mu)^2}{2\sigma^2} < Y_n < \log_e a + \frac{n(\Delta\mu)^2}{2\sigma^2} \text{ の時第 } n+1 \text{ 番目のサンプルを加えて検定を行なう。}$$

(2) オンライン補正への適用方法

① 補正の基本的考え方

レーダで雨量を観測するのに際して、レーダ反射因子 Z から $Z = B R r^\beta$ の関係により雨量 Rr を求めている。この B 、 β は、 Z とゲージ雨量 Rg を用いて、感度分析などの手法により求めている。この立場は、ゲージ雨量値が真値であるとする立場と類似するが、ゲージ雨量も観測誤差などの誤差を含むことから、その誤差が真値を中心にバラツキていると考え、レーダ観測により得られた降雨分布を尊重しつつ、平均的な雨量レベルをゲージ雨量に合わせたものである。従って、レーダ反射因子から地上雨量を求める場合の B 、 β を、雨滴粒径からの理論的解法でなく、ゲージ雨量を便宜的に取り込んだ統計的手法により求めたものと言うこともできよう。

B 、 β の値は、雨滴の分布などにより、空間的、時間的に異なるものであるが、空間的な変動については、別途の検討に委ねることとし、時間的な変動の補正のみ考える。先に行なった検討からは、ゲージ雨量との対応で最適と考えられる B (β は一定と仮定している)は、毎時変化しているが、この変化には降雨の全体的な発達、衰弱に伴うと考えられる大きな変化と、観測上及び統計上の誤差と考えられる小さな変化が見られる。一方で毎時最適な B を求めるには、その手法によっては多大な計算時間を要し、オンライン化が難しい。このようなことから、ゲージ雨量とレーダ雨量とを比較する指標値を求め、この指標値から見て、観測精度上の誤差であると考えられる場合には B をそのまま使い、観測精度以外の誤差が入っていると考えられる場合には B が変化したものと考えて、新たに B を設定した上で当該時刻以降のデータについて検定作業を継続する方法を考えた。この為の統計的手法として逐次検定法を用いる。

② 逐次検定法による検定の流れ

検定の流れは、図3.4.1に示す通りである。逐次検定法は、検定のために取り込んだサンプルを用いて、そのサンプルが属する集団について採択、棄却の

判定を行なうものである。しかし、降雨換算定数Bのオンライン補正にあっては、判定のために取り込んだサンプルの集団が棄却と判定されたとしても、これ等を時間を遡って修正することが出来ないことは、逐次検定の品質管理への使われ方とは異なるものである。

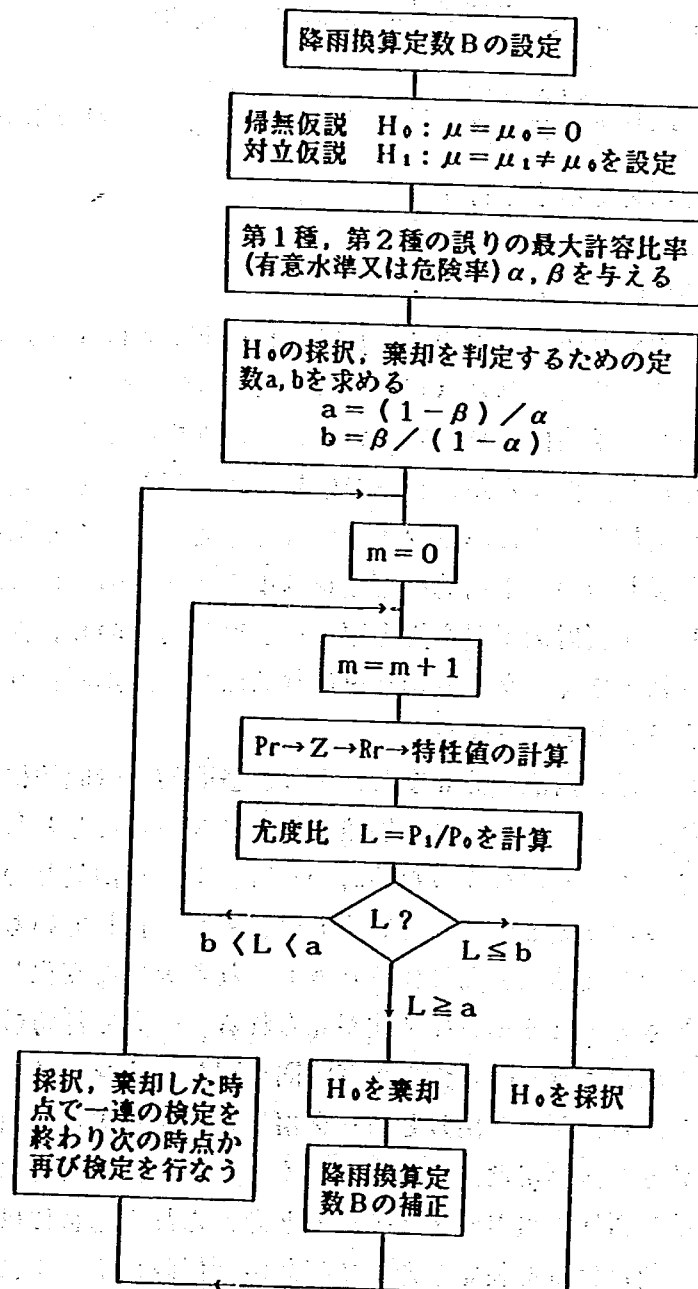


図3.4.1 降雨換算定数Bの逐次検定の流れ

③ 検定に用いる指標AF (Adjustment Factor)

逐次検定を行なうサンプルが具備すべき条件は、

- ・ 平均値の回りに正規分布すること
- ・ サンプル値が安定かつ容易に入手出来ること

である。3.3 に紹介したAF及び個々の値である $\log(Rg/Rr)$ は、これ等の条件を満たすものである。今、Adjustment Factorとして次のものを考える。

イ. 毎時の観測所別のゲージ雨量～レーダ雨量比の対数値

$$AF_{ij} = \log_{10}(Rg_{ij}/Rr_{ij}) \quad (\text{以下AF1と呼ぶ})$$

ロ. イ. の各時間毎の平均値

$$AF_j = (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n \log_{10}(Rg_{ij}/Rr_{ij}) \quad (\text{以下AF2と呼ぶ})$$

ここに、 i は観測所、 j は時間、 Rg はゲージ雨量値、 Rr はレーダ雨量値である。但し、イ. において任意の時刻に n 個 (ゲージ雨量計観測所数) のサンプルは同時に得られるものであり、仮に1観測所ずつ順次求めて検定に供するとすれば、個々の値には空間的な分布傾向が入っていることから、取り込む順序はランダムでなければならなくなる。従って、イ. の場合には、 n 個ずつ逐次サンプリングし検定を行なうこととなる。このことから、イ. ロ. の方法は類似の結果となることが予想された。従って、本検討ではロ. を中心に検討を行ない、イ. についてはロ. との比較を行なうに留めた。

④ B の補正方法

AFによりBの棄却が行なわれた場合の、Bの補正方法は、

- イ. 棄却を判定した母集団のAFの平均値による補正
- ロ. 棄却を判定した時点のAFによる補正
- ハ. 棄却を判定した時点の最適Bを求める (感度分析を行なう)

の3方式を考えた。イ., ロ. の方法では、Bの補正は棄却された母集団のAFの値を用いて次のように行なうこととした。

今、棄却前のBを B_0 、棄却後のBを B_1 とすれば、同じZから求められるレーダ雨量値 Rr_0 、 Rr_1 は、

$$Rr_0 = (Z/B_0)^{1/\beta}, \quad Rr_1 = (Z/B_1)^{1/\beta}$$

で表わされる。ところで棄却前後に於けるAFは、

$$AF_0 = \log_{10}(Rg/Rr_0), \quad AF_1 = \log_{10}(Rg/Rr_1)$$

で計算され、

$$\begin{aligned} AF_0 - AF_1 &= \log_{10}(Rg/Rr_0) - \log_{10}(Rg/Rr_1) \\ &= \log_{10}\{(Rg/Rr_0)/(Rg/Rr_1)\} \\ &= \log_{10}(Rr_1/Rr_0) \\ &= \log_{10}\{(Z/B_1)^{1/\beta}/(Z/B_0)^{1/\beta}\} \\ &= 1/\beta \log_{10}(B_0/B_1) \end{aligned}$$

より、 $AF_0 = k$ の時、 $AF_1 = 0.0$ とする為には、

$$B_1 = B_0 \cdot 10^{-\beta k}$$

の補正を行なえば良い。

3.4.2 解析方法と資料

(1) 資料

解析の対象区域及び資料は、3.1と同様である。又、レーダ雨量は、3.1において計算された値を用いた。

(2) AFの算定

先ず1時間目について、Bの値を200として求めたレーダ雨量に対して、テレメータ雨量との間でAF値を求める。次に同じBを用いて2時間目のレーダ雨量を求め逐次検定を行ない、棄却が行なわれた場合には3.4.1の(2)④に示した方法によりBを修正して、当該時刻におけるレーダ雨量を算定し直す。以降、前時間のBにより当該時刻のレーダ雨量を求めて検定作業を続行する。但し、この方法によった場合には、毎回レーダ雨量とAFの計算が必要となる。そこで本検討では、他の手法による場合と同様に、Bの値を $\Delta \log B = 0.02$ で100ケース離散的に変化させてレーダ雨量とAFを求め、これを磁気テープに記録しておいて、検定途上で必要となった値を呼び出す形をとっている。従って、3.4.1④のBの補正は、 $\Delta \log_{10} B = 0.02$ を最小単位として行なっていることになる。即ち、 $\Delta \log_{10} B = \log_{10} B_1 - \log_{10} B_0 = -\beta k$ であるから、 βk の値を0.02単位に切り上げて用いている。

(3) 精度の評価

精度の評価は、逐次検定法によるレーダ雨量と自乗平均誤差による毎時較正を行なった定数により計算されるレーダ雨量について行なった。精度評価指標は、次のものを適宜組み合わせて用いた。

平均雨量と累加雨量

平均雨量の差

相関係数、相対誤差、自乗平均誤差

一致度 (RgとRrの差の絶対値が1, 5, 10mm/h以下のデータ数が、総サンプル数に占める割合)

ところで、精度指標を求める場合に、当該時刻に於けるデータ数(観測所数)が少ないと数少ない観測所の値が指標に大きな影響を与えることとなり、解析結果が安定的に得られない。図3.4.2は、サンプル数とAFの分布例を示したものである。サンプル数が少ないときにバラツキが大きくなる傾向がある。又、図3.4.3は、精度指標を有効とするデータ数を変えた場合の評価結果の違いを例示したものである。これらから、指標値を有効とするデータ数を10以上とした。

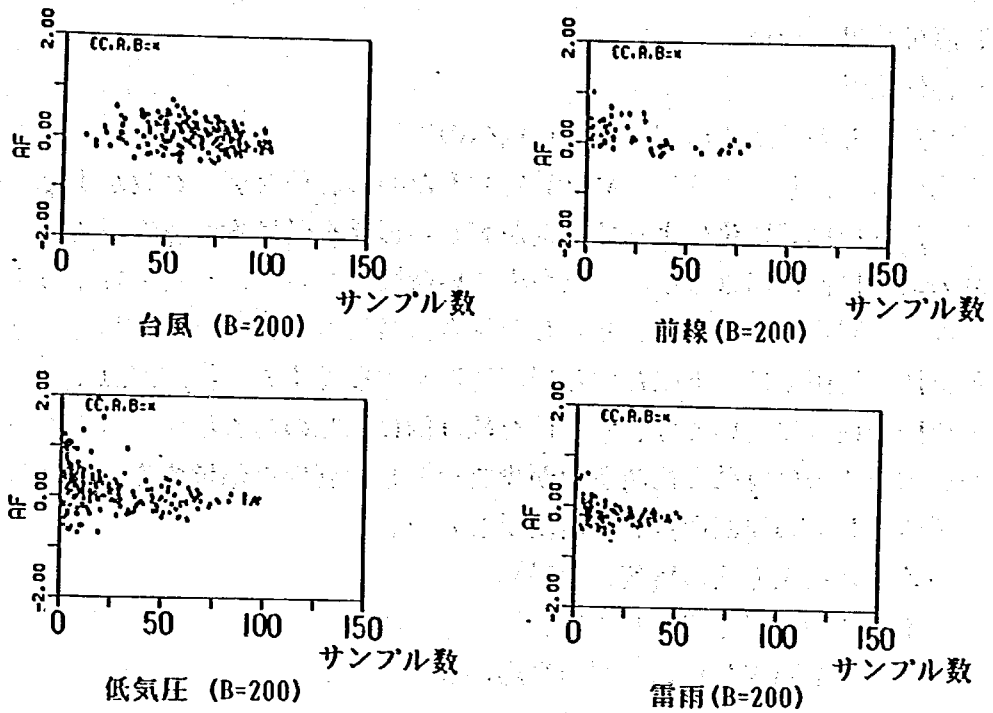


図3.4.2 サンプル数とAFの分布例

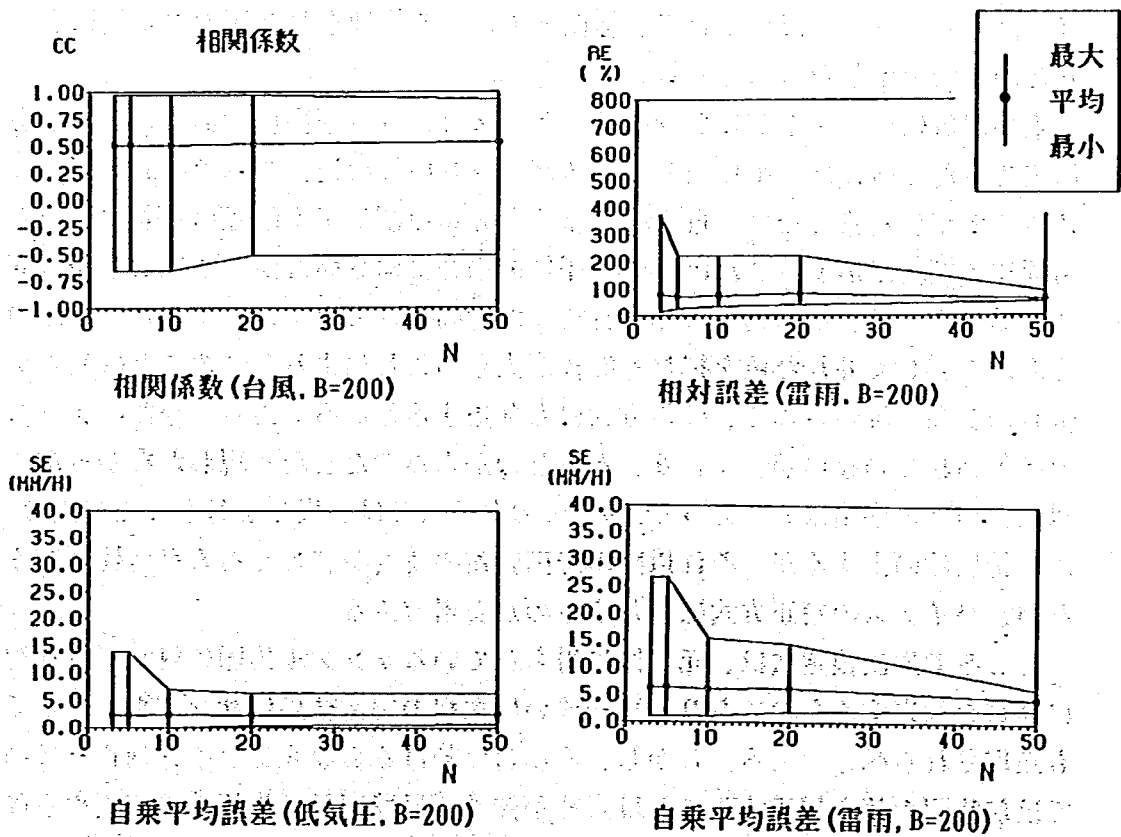


図3.4.3 精度指標値を有効とするデータ数と精度の関係例

3.4.3 解析結果と評価

(1) 特性検討

① 検定を有効とする観測所数の精度への影響

先にも指摘したように、AFを算定するための有効なデータ数が少ない場合には、数少ない異常値によって検定が著しい影響を受ける可能性がある。そこで、AFの算定に使用出来る観測所数が少ない時間については判定を行わず、次の時間まで判定を保留することとした場合の精度への影響を検討した。その結果、低気圧、雷雨では、下限とする観測所数を少なくすると精度が悪くなった。従って以降の検討に於いては、AFの値を統計的に意味のある数値とするためにも、AFを求めるのに有効な観測所数が少ないときは判定を保留することとし、その下限値としての観測所数を10観測所とした。

② バイアス補正方式の精度への影響

バイアスの補正方式としては、

イ. 棄却を判定した母集団の平均のAF

ロ. 棄却を判定した時点のAF

ハ. 棄却を判定した時点の最適B（感度分析を行なう）

の3方式が考えられた。表3.4.1及び図3.4.4は、検定定数 $\alpha=0.01$ 、 $\beta=0.01$ 、 $\delta=0.50$ の下で、バイアスの補正方式による精度の違いを比較したものである。又、図3.4.5は、台風について、感度分析による最適なBと逐次検定法によるBとの比較を示したものである。

棄却回数はケース1が最も少なく、ケース2、3は同程度である。自乗平均誤差で見た場合には、平均値と最大値が、低気圧性の擾乱のみではあるが、ロ.の方式の精度が良くない。自乗平均誤差の分布並びに平均雨量の誤差についても同様の傾向がある。これは、低気圧性の場合に雨量強度が小さいことからAFの変動が大きく、その為、棄却を行なった時間のみの値で補正すると、全体の傾向から著しく外れた値を把む可能性が大きいことによる。このことは最適定数Bの変動状況からみて、ハ.の方式にも共通するところである。今回のケースでは現われていないが、 α 、 β 、 δ 等とのからみてたまたま現われなかったに過ぎないと推察出来る。従って、ロ.、ハ.のケースでは、棄却を行なった時点のみの精度は向上するが、それ以降の降雨強度の精度が著しく劣る可能性が有るため、バイアスの補正方式はイ.とするのが妥当である。

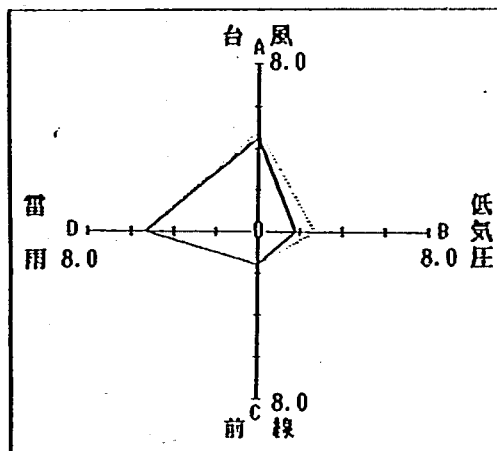
ところで逐次検定法は、元々既に得られているサンプル集団に対して統計的に品質を検定するものであり、棄却或いは採択の判定結果はサンプルに対しても適用されるべきである。しかし、本検討に於ける様なオンライン補正に於いては前時間の値を補正することは意味が無く、累積雨量の推算値の修正や事後の解析にのみ有効である。従って、棄却と判定された場合のB値の補正は、当該時刻及びそれ以降の降水量の推算をにらんで行なう必要がある。このことから、棄却、採択の頻度が少ない場合には、当該時刻前数時間の平均値を取った

方が精度が良くなる可能性もある。

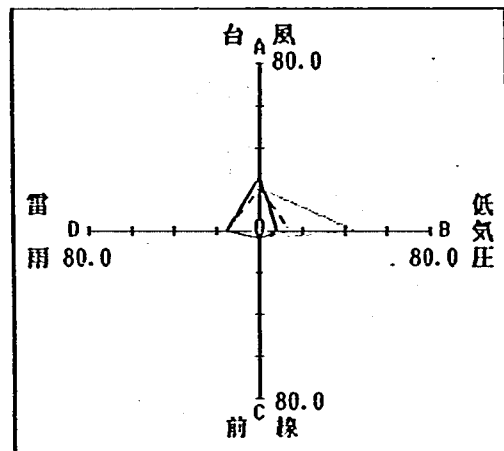
表3.4.1 計算結果の評価一覧表

$\alpha = \beta = 0.01$, $\delta = 0.50$, 有効データ数10

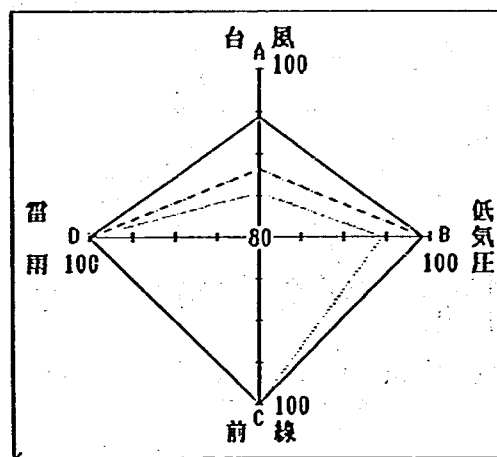
ケース No.	擾乱種別	バイアス 補正方法	検定 回数		自乗平均誤差 (mm/h) 及び超過回数 (回)					平均値の絶対誤差の出現頻度 (左側) と比率 (右側%)									
			棄却	採択	平均	最大	5mm/h	10mm/h	20mm/h	1mm/h未済		5mm/h未済		10mm/h未済		全 数			
1 2 3	台風	イ ロ ハ	6 12 13	2 0 0	4.5 4.8 4.6	25.5 20.5 20.5	76 102 87	13 17 15	2 1 1	74 69 73	30.2 28.2 29.8	231 209 216	94.3 85.4 88.2	240 242 241	98.0 98.8 98.4	245 245 245	100 100 100		
1 2 3			低気圧	イ ロ ハ	4 7 6	2 1 1	1.8 2.7 1.8	8.0 45.4 14.0	3 13 6	0 5 1	0 3 0	77 86 90	60.2 67.2 70.3	127 121 127	99.2 94.5 99.2	128 125 127	100 97.7 99.2	128 128 128	100 100 100
1 2 3					前線	イ ロ ハ	1 1 1	1 1 1	1.6 1.6 1.6	3.5 3.5 3.5	0 0 0	0 0 0	0 0 0	24 24 24	75.0 75.0 75.0	32 32 32	100 100 100	32 32 32	100 100 100
1 2 3	雷雨	イ ロ ハ					1 2 2	1 0 0	5.3 5.3 5.3	15.4 15.4 15.4	31 28 28	3 3 3	0 0 0	29 28 28	49.2 49.1 49.1	59 57 57	100 100 100	59 57 57	100 100 100



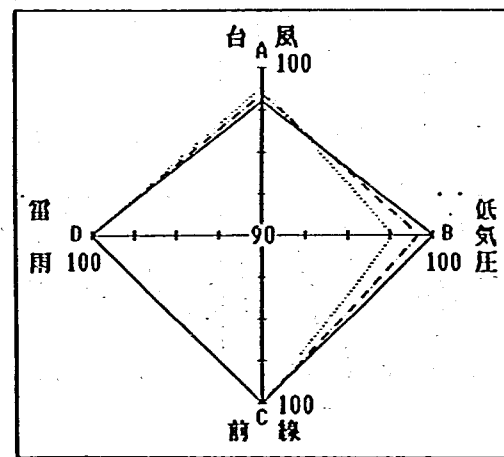
自乗平均誤差の平均値 (mm/h)



自乗平均誤差の最大値 (mm/h)



平均誤差の出現率 (5mm/h未済)



平均誤差の出現率 (10mm/h未済)

図3.4.4 擾乱別各ケース精度評価結果一覧図

— 母集団平均AF

--- 当該時間 AF

--- 感度分析実施

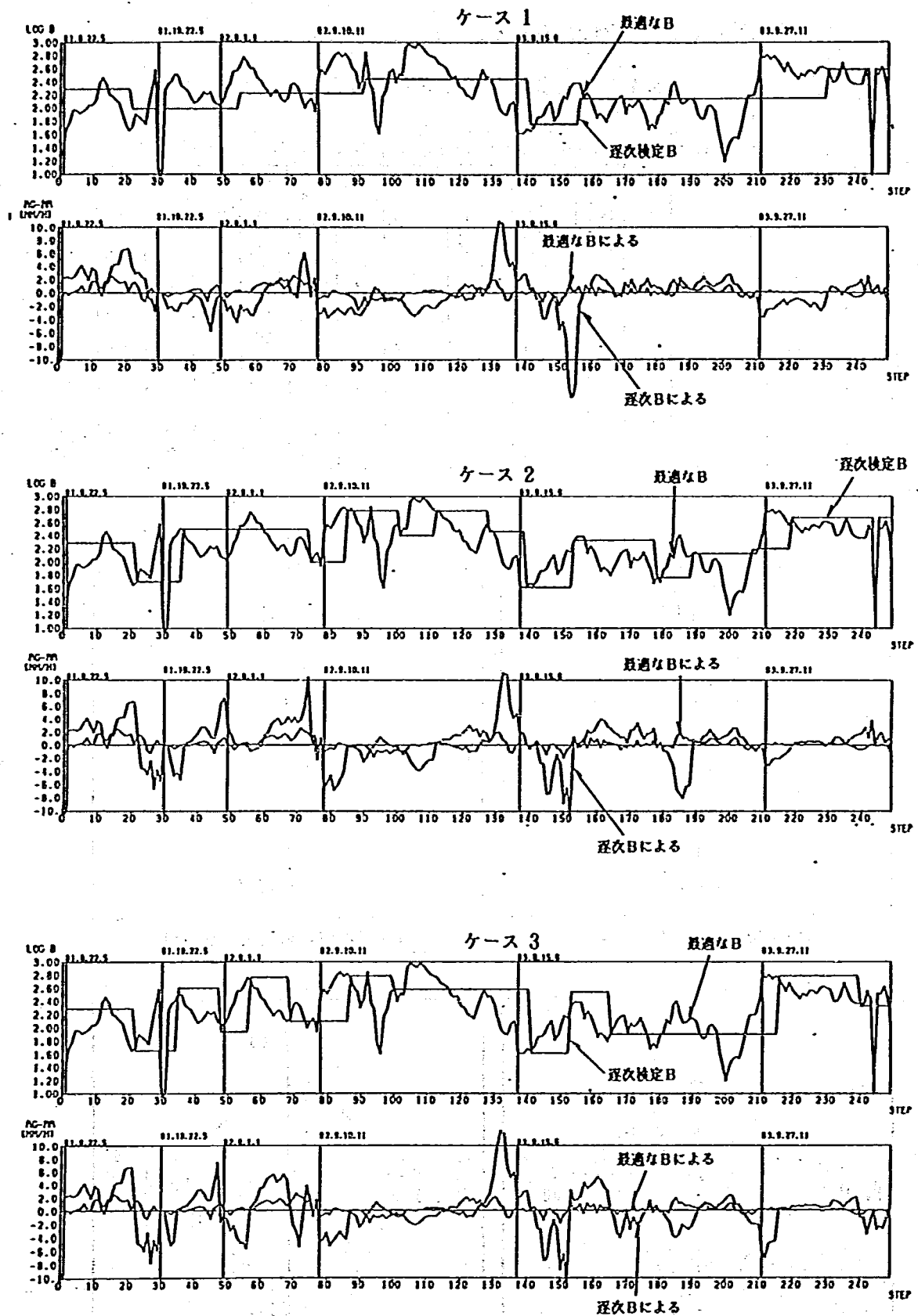


図3.4.5 感度分析と逐次検定法との比較（台風）

③ 検定定数 α , β 及び δ の特性

α , β は、検定による棄却及び採択の判定を行なう場合に生じ得る誤りの確率であり、 α を大きくすることは、降雨定数 B が誤差の範囲で変化している時にも、過って B を棄却して新たな B を求め直す可能性が大きくなる。逆に、 β を大きくすることは、 B が変化しているのに、その変化を捉え切れない可能性が大きくなる。従って単純に考えれば、 B の変化を正しく捉えるためには、 α を大きく又 β は小さくした方が良いと思われるが、実際には、 AF の変化の度合いとも関係し、どの程度の差異が生じたときに棄却して新たな B を求めることとするかによって異なる。

今、帰無仮説 $H_0; \mu = \mu_0$ と対立仮説 $H_1; \mu = \mu_1 = \mu_0 \pm \Delta\mu = \mu_0 \pm \delta\sigma$ との比較を行なう場合について考えよう。降雨換算定数 B が、 n dB 変化した場合の δ の変化は、次のようになる。

変化する前の B を B_0 、変化後のそれを B_1 とすれば、

$$n = 10 \log_{10} (B_1/B_0)$$

より、

$$B_1/B_0 = 10^{0.1n}$$

となる。ここで $Z = B R^\beta$ であるから、 Z から求められる降雨強度を R_{r0} , R_{r1} とすれば、

$$R_{r1}/R_{r0} = (B_0/B_1)^{1/\beta}$$

となる。Adjustment Factor AF は、 $AF = \log_{10} (R_g/R_r)$ で求められるから、 AF の差分 ΔAF は、

$$\begin{aligned} \Delta AF &= AF_1 - AF_0 = \log_{10} (R_g/R_{r1}) - \log_{10} (R_g/R_{r0}) \\ &= \log_{10} \{ (R_g/R_{r1}) / (R_g/R_{r0}) \} = \log_{10} (R_{r0}/R_{r1}) \\ &= (1/\beta) \log_{10} (B_1/B_0) = (1/\beta) (0.1n) \end{aligned}$$

で求められる。一例として、 $\sigma = 0.25$, $\beta = 1.6$ とした場合の $n = 1, 2, \dots$ dB について $\Delta AF (\Delta\mu)$, δ の値を求めて、表 3.4.2 に示した。これより、例えば 3 dB の変化、即ち B の値が 2 倍或いは 1/2 になった場合に棄却を行なうとすれば、 $\delta = 0.75$ とすれば良いことがわかる。

表 3.4.2 AF と B との関係

n	B_1/B_0	$\Delta\mu$	δ
1	1.259	0.0625	0.25
2	1.585	0.1250	0.50
3	1.995	0.1875	0.75
4	2.512	0.2500	1.00
5	3.162	0.3125	1.25
⋮	⋮	⋮	⋮

図3.4.6 は、 $\delta = 1.0$ とした時の、サンプルの平均値 $\bar{x}$ と、 α 、 β がサンプル数が増すに従って棄却、採択にどの様に係ってくるかを、 α 、 β の一例により模式的に表わしたものである。これからわかるように、 α 、 β が大きいほど、 $\bar{x}$ が $\bar{x} = \sigma$ から外れている場合の棄却、採択が頻繁に行なわれる。又、 $\bar{x}$ が $\bar{x} = \sigma$ から外れているほど、少ないサンプルで棄却、採択の判定が行なわれる。

又、 α を変化させることは、棄却の判定の早さに、 β を変化させることは、採択の判定の早さに大きく影響する。

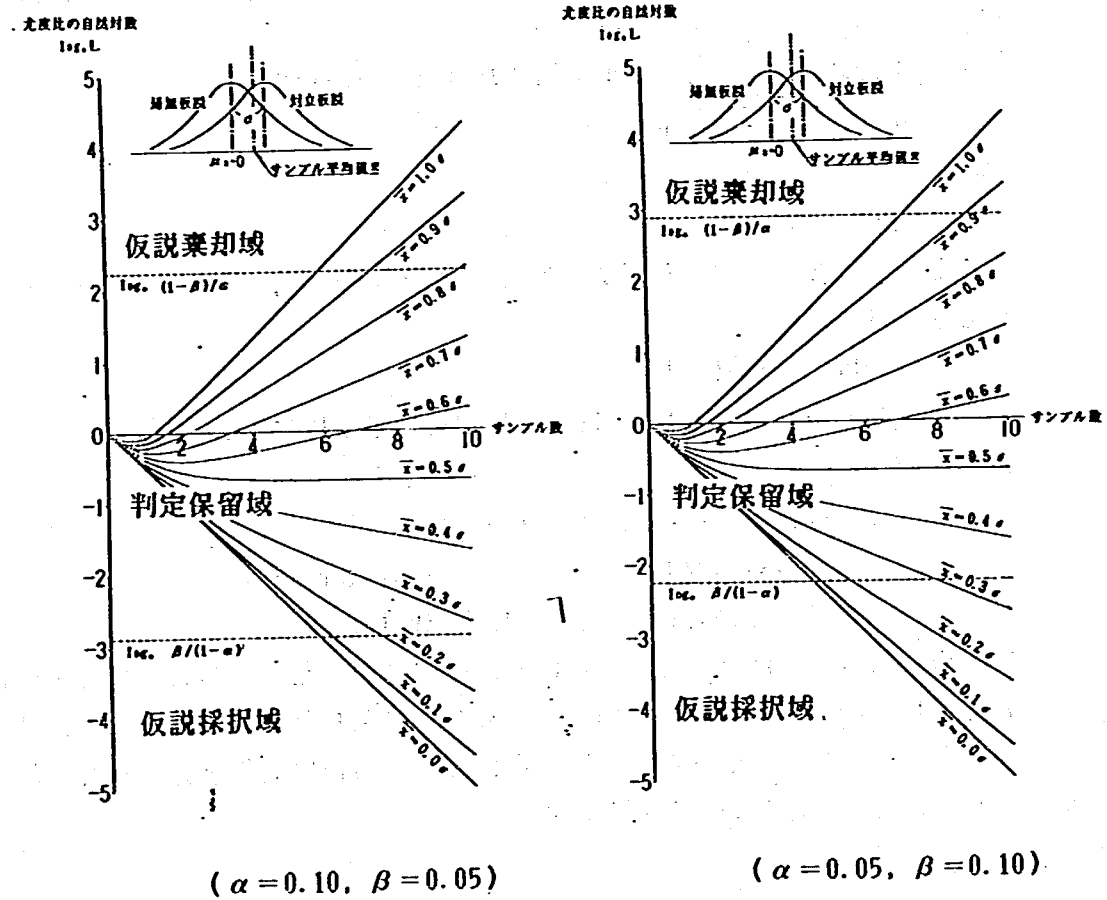


図3.4.6 α 、 β 、サンプル数及びサンプル平均値が検定に与える影響

④ δ と精度の関係

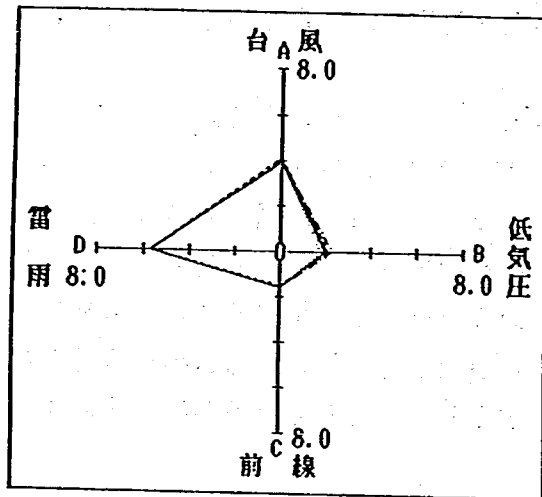
同じ α 、 β の下で検定を行なう場合には、 δ が大きいほど、判定の頻度が多くなる。表3.4.3及び図3.4.7は、 $\alpha = \beta = 0.01$ の下で、 δ を0.25から1.00まで変化させた場合の精度への影響を比較したものである。又、図3.4.8は、台風について、感度分析による最適なBと逐次検定法によるBとの比較を示したものである。

台風性の擾乱では、自乗平均誤差の最大値が $\delta = 0.50$ 程度で最も大きくなっている。平均雨量の誤差も同様の傾向を持つが明確ではない。低気圧性の擾乱では、逆に $\delta = 0.50$ 程度で最も精度が良くなっている。台風性の擾乱では、Bの変化が比較的緩やかであり、検定の頻度を増加させることで精度向上が期待出来る半面、Bを一定とする方が誤差の最大値を小さく出来ることの可能性を示している。低気圧性の擾乱ではBの変化が激しく、補正後のBの代表性が悪いのにもかかわらず棄却の頻度を大きくすると、かえって誤差が拡大する場合が生じるものと思われる。

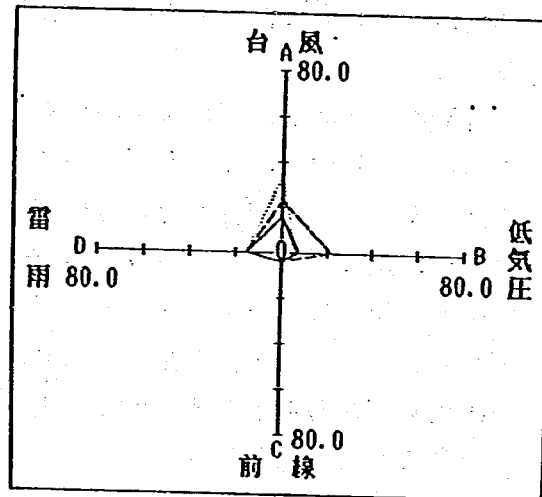
表3.4.3 計算結果の評価一覧表

$\alpha = \beta = 0.01$, バイアス補正方法(4), 有効データ数10

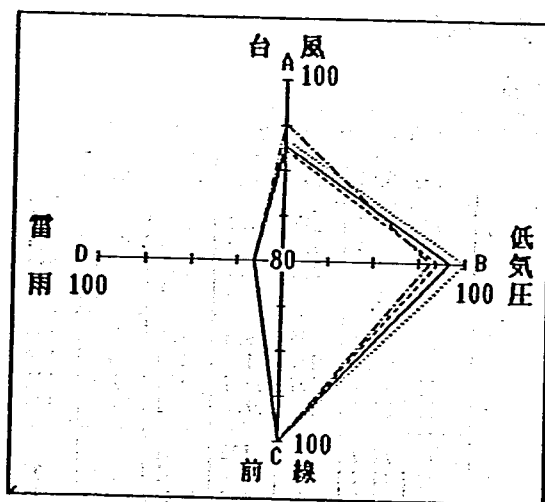
ケース NO.	擾乱種別	δ	検定回数		自乗平均誤差(mm/h)及び超過回数(回)					平均値の絶対誤差の出現頻度(左欄)と比率(右欄%)							
			棄却	採択	平均	最大	5mm/h	10mm/h	20mm/h	1mm/h未満	5mm/h未満	10mm/h未満	全数				
1	台風	0.25	3	0	3.9	15.6	58	6	0	76	31.0	227	92.7	243	99.2	245	100
2		0.50	7	0	4.0	33.5	61	13	1	73	29.9	228	93.4	240	98.4	244	100
3		0.75	10	3	4.0	22.2	65	10	1	76	31.3	231	95.1	241	99.2	243	100
4		1.00	10	6	4.1	23.4	69	10	1	83	34.2	224	92.2	243	100	243	100
1	低気圧	0.25	1	0	2.0	7.6	5	0	0	69	53.9	126	98.4	128	100	128	100
2		0.50	4	0	1.8	5.7	2	0	0	81	62.3	130	100	130	100	130	100
3		0.75	7	4	2.3	22.0	9	3	1	78	59.1	127	96.2	131	99.2	132	100
4		1.00	8	8	2.1	22.0	5	3	1	81	60.9	129	97.0	132	99.2	133	100
1	前線	0.25	0	0	1.6	3.7	0	0	0	23	74.2	31	100	31	100	31	100
2		0.50	0	0	1.6	3.7	0	0	0	23	74.2	31	100	31	100	31	100
3		0.75	1	1	1.6	3.7	0	0	0	26	74.3	35	100	35	100	35	100
4		1.00	2	2	1.5	3.7	0	0	0	26	76.5	34	100	34	100	34	100
1	雷雨	0.25	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100
2		0.50	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100
3		0.75	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100
4		1.00	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100



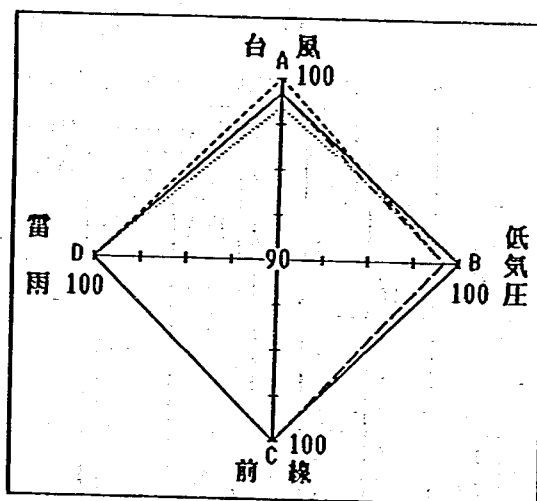
自乗平均誤差の平均値 (mm/h)



自乗平均誤差の最大値 (mm/h)



平均誤差の出現率 (5mm/h未満)



平均誤差の出現率 (10mm/h未満)

図3.4.7 擾乱別各ケース精度評価結果一覧図

- $\delta = 0.25$
- $\delta = 0.50$
- - - $\delta = 0.75$
- $\delta = 1.00$

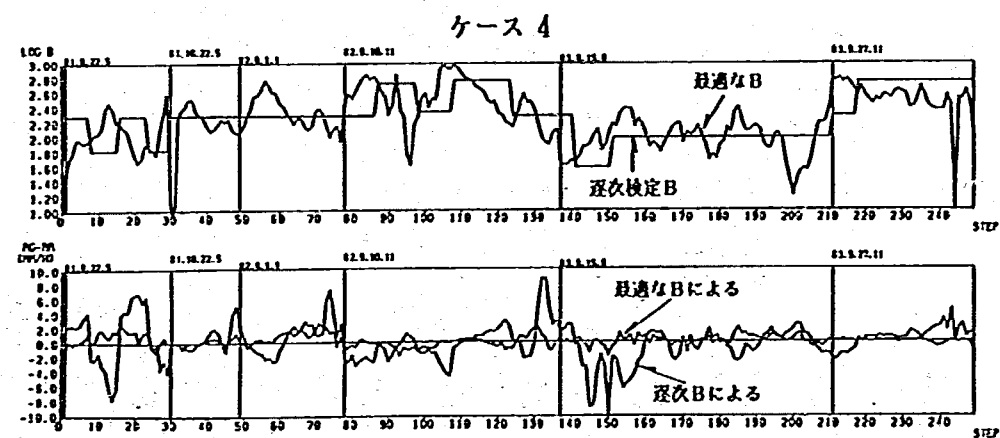
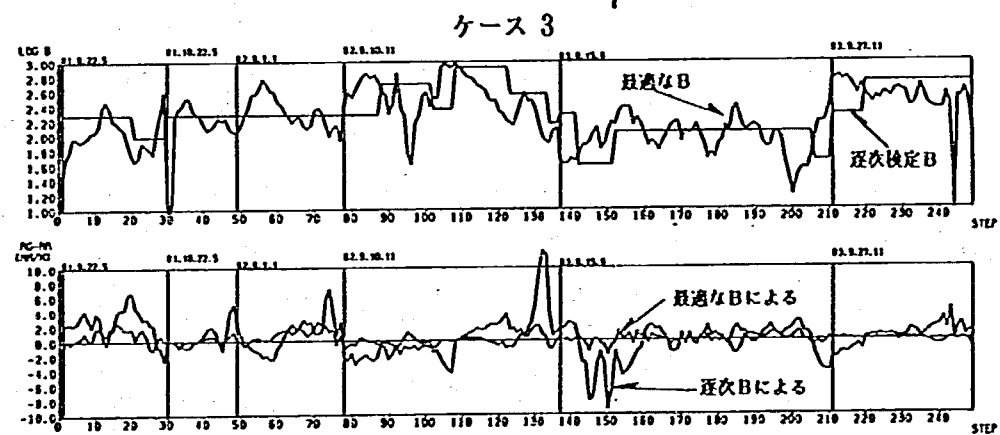
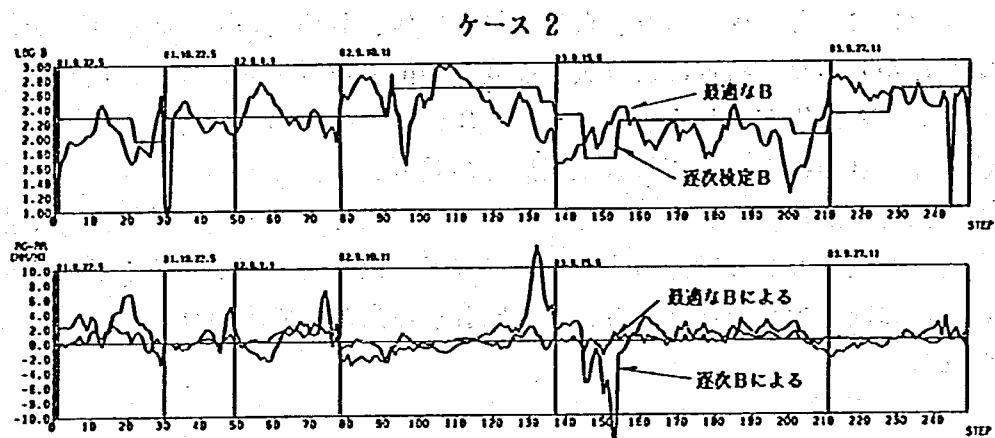
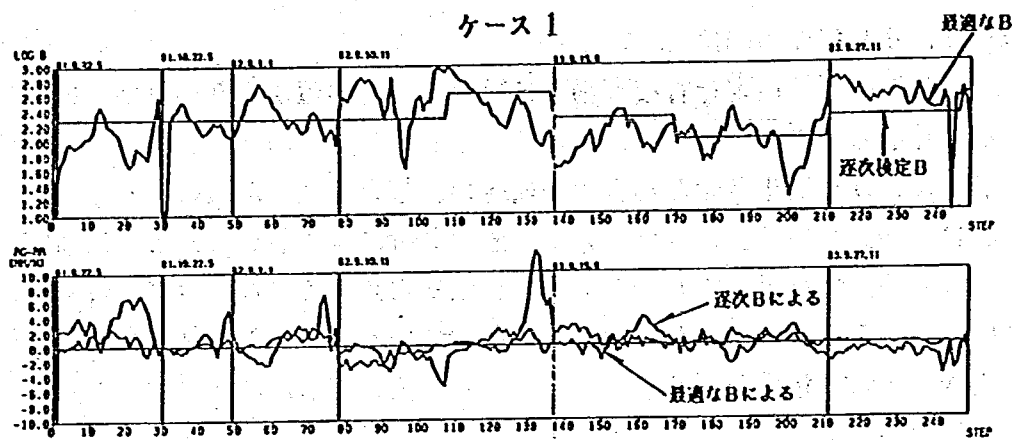


図3.4.8 感度分析と逐次検定法との比較（台風）

⑥ α , β と精度の関係

同じ δ の下で検定を行なう場合には、 α , β の値が大きいほど、検定の頻度が多くなる。表3.4.4, 表3.4.5及び図3.4.9, 図3.4.10は、 $\delta=0.5$ 及び1.0の下で α , β を変化させた場合の精度への影響を比較したものである。又、図3.4.11, 図3.4.12は、台風について、感度分析による最適なBと逐次検定法によるBとの比較を示したものである。自乗平均誤差でみた場合に、台風性擾乱では、 α を大きくした方が精度が良くなっているが、低気圧性擾乱では逆に α を大きくすると精度が悪くなっている。 β を大きくした場合には、低気圧性擾乱で精度が悪くなっている。平均雨量の誤差で見ても同様の傾向がある。

δ の検討でも述べた通り、台風性擾乱では、Bの値の時間的な変化が比較的なだらかであり、検定により大きな変化傾向を把握出来れば、精度がかなり向上することが推察される。一方、低気圧性擾乱については、Bの時間的な変化が激しく、Bの補正が必ずしも補正以降の状態を代表していない事が考えられる。この様な点から、 α を変化させた場合に、台風性擾乱と低気圧性擾乱で相反する結果が生じたものであろう。 β は過って採択される確率であるが、元々採択される頻度が少ないことから、余り顕著な傾向として現われなかったものと思われる。

表3.4.4 計算結果の評価一覧表

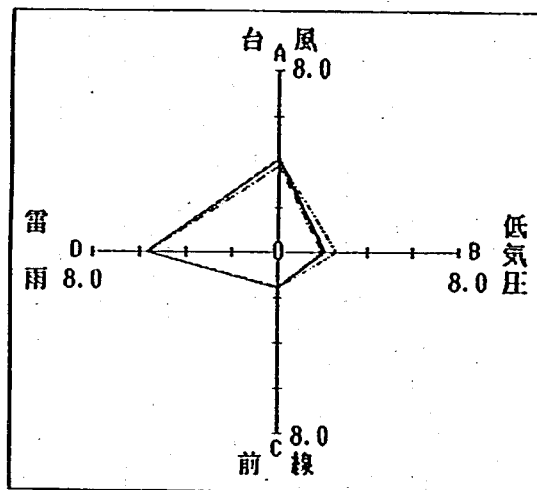
 $\delta=0.50$, バイアス補正方法(1), 有効データ数10

ケース NO.	擾乱 種別	α	β	検定回数		自乗平均誤差(mm/h)及び超過回数(回)					平均値の絶対誤差の出現頻度(左欄)と比率(右欄%)							
				棄却	採択	平均	最大	5mm/h	10mm/h	20mm/h	1mm/h未満	5mm/h未満	10mm/h未満	全数				
1	台風	0.01	0.01	7	0	4.0	33.5	62	12	1	73	29.9	228	93.4	240	98.4	244	100
2		0.05	0.01	11	0	4.1	23.4	72	11	1	81	33.2	221	90.6	242	99.2	244	100
3		0.10	0.01	14	0	3.9	15.1	64	10	0	98	40.2	226	92.6	242	99.2	244	100
4		0.01	0.05	7	1	4.0	33.5	61	13	1	73	29.9	228	93.4	242	99.2	244	100
5		0.01	0.10	7	1	4.0	33.5	62	13	1	74	30.3	229	93.9	241	98.8	244	100
1	低気圧	0.01	0.01	4	0	1.8	5.7	2	0	0	81	62.3	130	100	130	100	130	100
2		0.05	0.01	12	0	2.3	22.0	9	3	1	77	59.2	126	96.9	130	100	130	100
3		0.10	0.01	12	0	2.1	22.0	4	2	1	77	59.2	127	97.7	129	99.2	130	100
4		0.01	0.05	4	2	1.8	5.7	2	0	0	81	62.3	130	100	130	100	130	100
5		0.01	0.10	7	4	2.4	22.0	13	3	1	74	56.1	124	93.9	131	99.2	132	100
1	前線	0.01	0.01	0	0	1.6	3.7	0	0	0	23	74.2	31	100	31	100	31	100
2		0.05	0.01	0	0	1.6	3.7	0	0	0	23	74.2	31	100	31	100	31	100
3		0.10	0.01	0	0	1.6	3.7	0	0	0	23	74.2	31	100	31	100	31	100
4		0.01	0.05	0	0	1.6	3.7	0	0	0	23	74.2	31	100	31	100	31	100
5		0.01	0.10	1	1	1.6	3.7	0	0	0	23	69.7	33	100	33	100	33	100
1	雷雨	0.01	0.01	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100
2		0.05	0.01	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100
3		0.10	0.01	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100
4		0.01	0.05	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100
5		0.01	0.10	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100

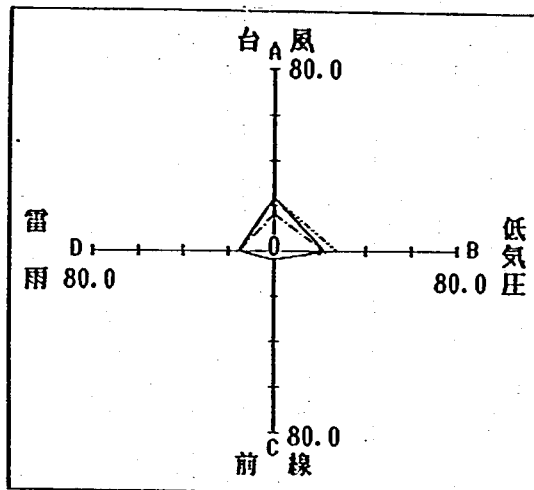
表3.4.5 計算結果の評価一覧表

 $\delta=1.00$, バイアス補正方法(1), 有効データ数10

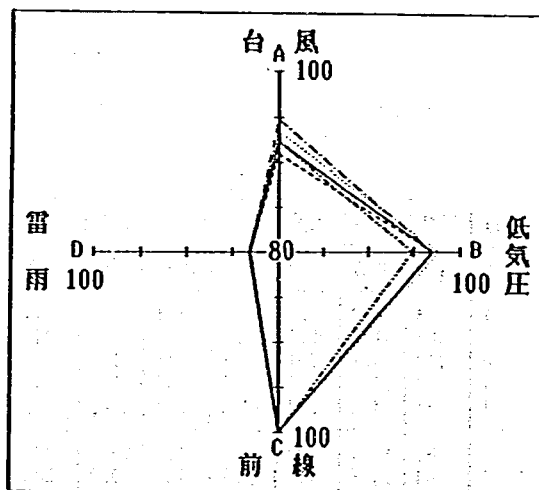
ケース NO.	擾乱 種別	α	β	検定回数		自乗平均誤差(mm/h)及び超過回数(回)					平均値の絶対誤差の出現頻度(左欄)と比率(右欄%)							
				棄却	採択	平均	最大	5mm/h	10mm/h	20mm/h	1mm/h未満	5mm/h未満	10mm/h未満	全数				
6 7 8 9 10	台風	0.01	0.01	10	6	4.1	23.4	70	10	1	83	34.2	224	92.2	243	100	243	100
		0.05	0.01	11	7	3.9	16.3	67	11	0	102	41.8	228	93.4	244	100	244	100
		0.10	0.01	11	7	3.8	16.3	61	10	0	110	45.1	231	94.7	244	100	244	100
		0.01	0.05	12	7	4.2	23.4	73	10	1	80	32.9	221	90.9	243	100	243	100
		0.01	0.10	10	11	4.1	23.4	69	10	1	83	34.2	224	92.2	243	100	243	100
6 7 8 9 10	低気圧	0.01	0.01	8	8	2.1	22.0	5	3	1	81	60.9	129	97.0	132	99.2	133	100
		0.05	0.01	11	6	1.9	22.0	3	2	1	84	64.6	127	97.7	129	99.2	130	100
		0.10	0.01	11	6	2.0	22.0	4	3	1	86	65.2	128	97.0	131	99.2	132	100
		0.01	0.05	8	13	2.1	22.0	5	3	1	81	60.9	129	97.0	132	99.2	133	100
		0.01	0.10	10	14	2.6	27.4	9	6	2	80	59.7	127	94.8	130	97.0	134	100
6 7 8 9 10	前線	0.01	0.01	2	2	1.6	3.7	0	0	0	26	76.5	34	100	34	100	34	100
		0.05	0.01	2	2	1.6	3.7	0	0	0	26	76.5	34	100	34	100	34	100
		0.10	0.01	2	2	1.5	3.7	0	0	0	27	77.1	35	100	35	100	35	100
		0.01	0.05	1	2	1.5	3.7	0	0	0	27	75.0	36	100	36	100	36	100
		0.01	0.10	1	4	1.6	3.7	0	0	0	26	74.3	35	100	35	100	35	100
6 7 8 9 10	雷雨	0.01	0.01	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100
		0.05	0.01	1	0	5.7	15.4	29	4	0	15	25.4	49	83.1	59	100	59	100
		0.10	0.01	2	0	5.6	15.4	29	4	0	16	27.1	49	83.1	59	100	59	100
		0.01	0.05	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100
		0.01	0.10	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100



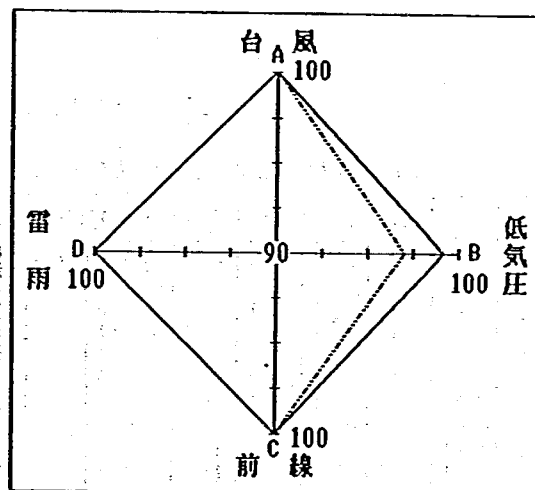
自乗平均誤差の平均値 (mm/h)



自乗平均誤差の最大値 (mm/h)



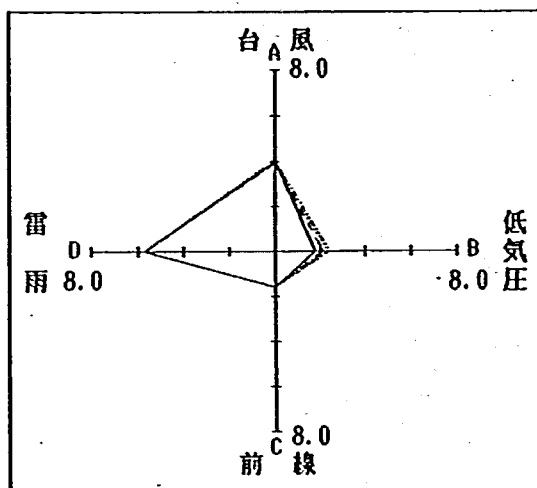
平均誤差の出現率 (5mm/h未満)



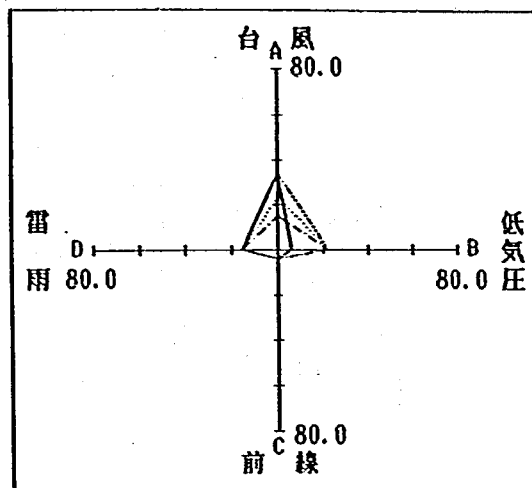
平均誤差の出現率 (10mm/h未満)

図3.4.9 擾乱別各ケース精度評価結果一覧図 (ケース1～5)

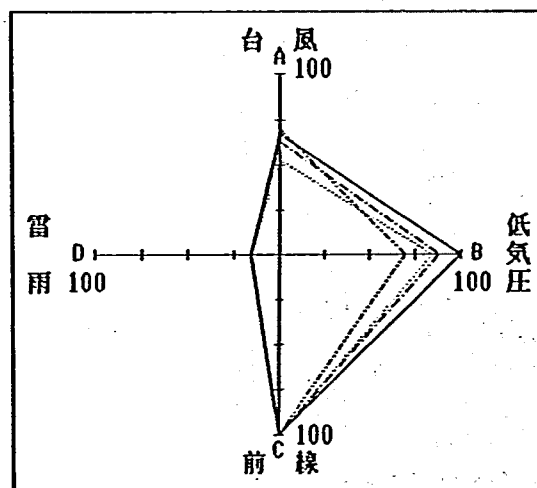
- $\alpha=0.01, \beta=0.0$
- $\alpha=0.05, \beta=0.0$
- $\alpha=0.10, \beta=0.0$
- $\alpha=0.01, \beta=0.0$
- 5.70.01, $\beta=0.1$



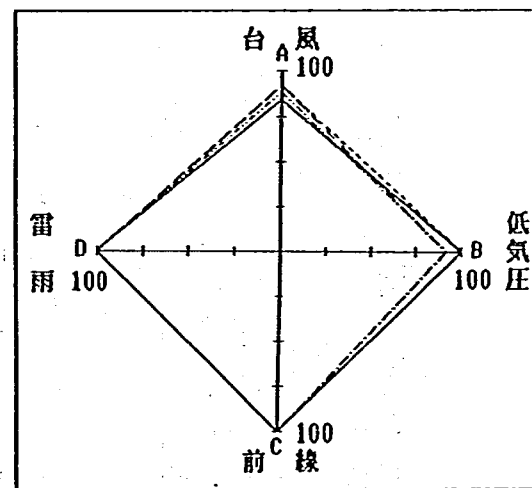
自乗平均誤差の平均値(mm/h)



自乗平均誤差の最大値(mm/h)



平均誤差の出現率(5mm/h未満)



平均誤差の出現率(10mm/h未満)

図3.4.10 擾乱別各ケース精度評価結果一覧図(ケース6~10)

— $\alpha=0.01, \beta=0.0$

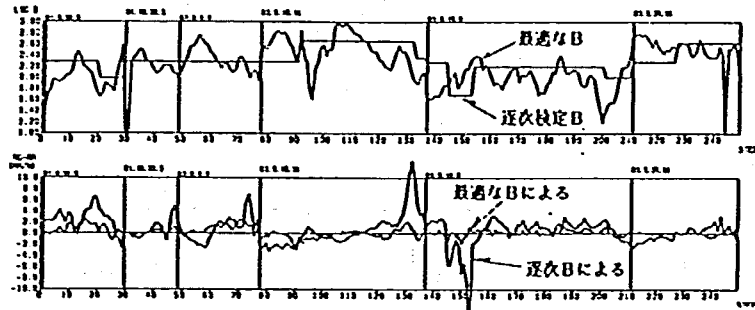
— $\alpha=0.05, \beta=0.0$

--- $\alpha=0.10, \beta=0.0$

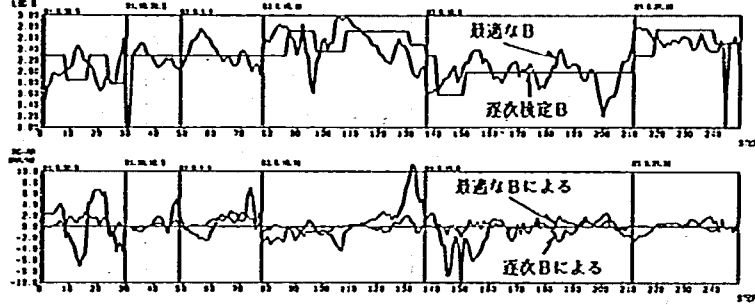
----- $\alpha=0.01, \beta=0.0$

— 5.70.01, $\beta=0.1$

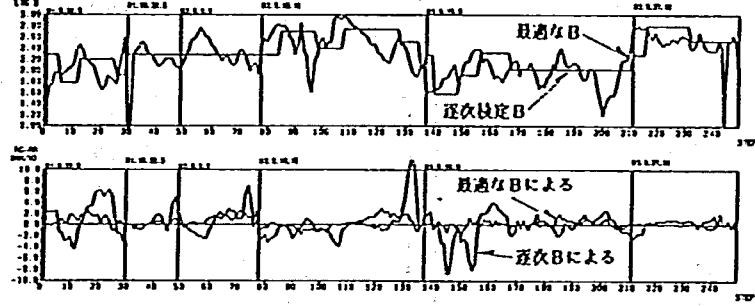
ケース 1



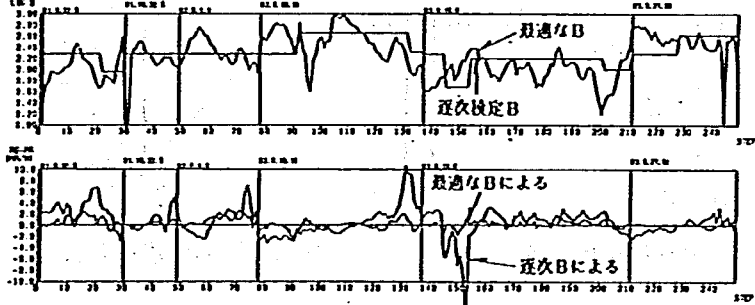
ケース 2



ケース 3



ケース 4



ケース 5

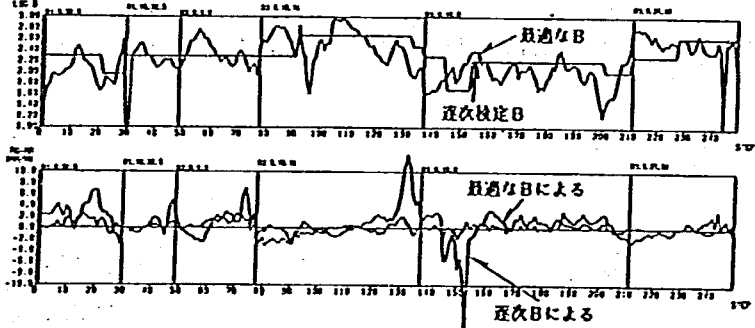


図3.4.11 感度分析と逐次検定法との比較（台風，ケース1～5）

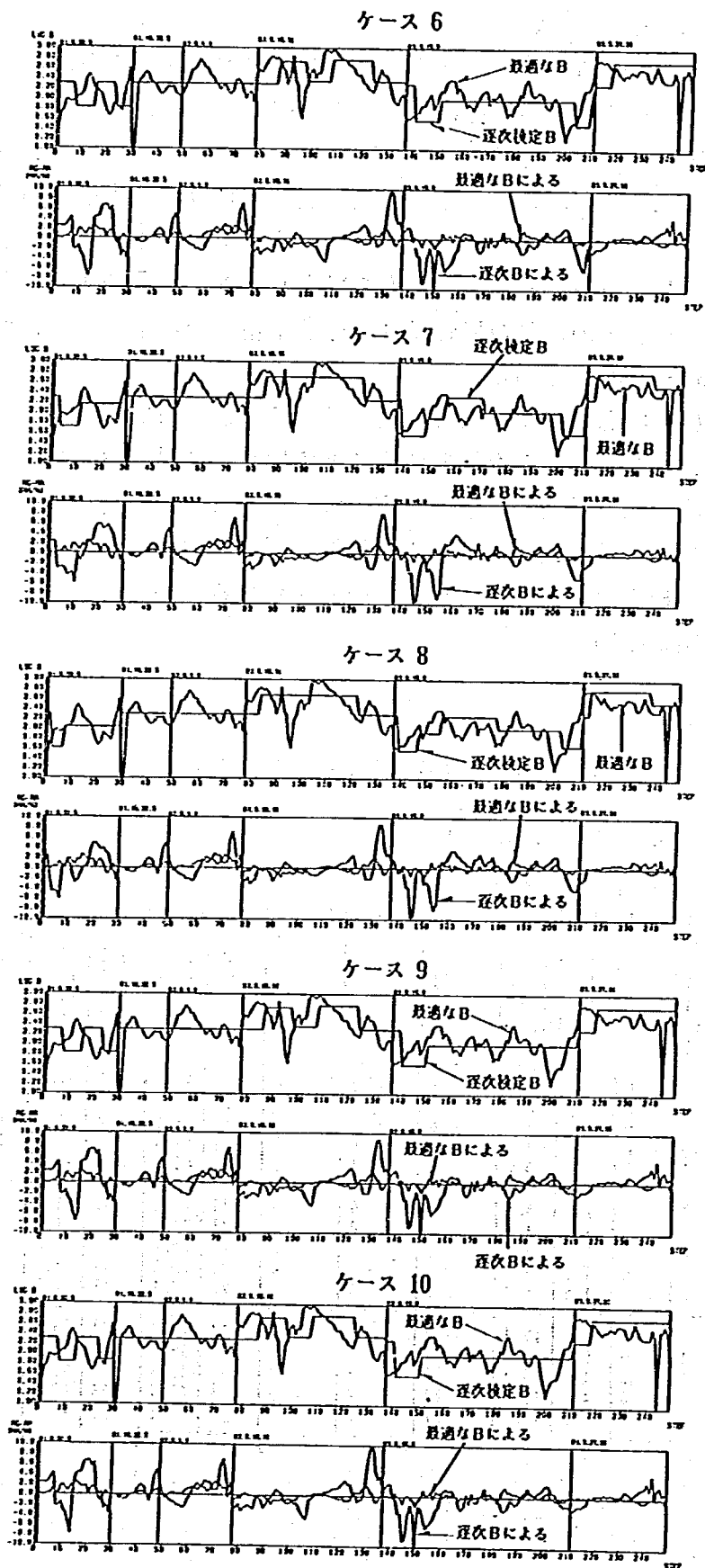


図3.4.12 感度分析と逐次検定法との比較（台風，ケース6～10）

⑥ 時間別観測所別AFの評価

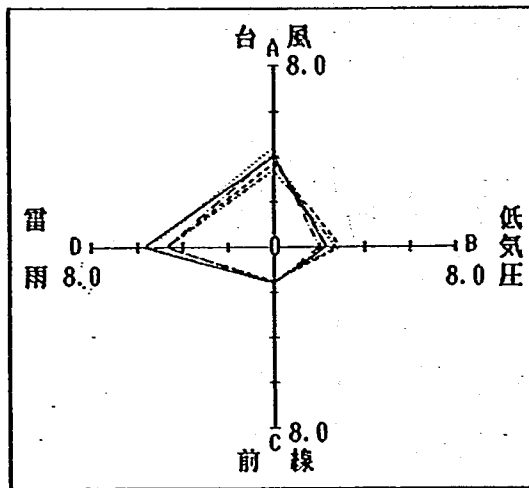
AFを時間別観測所別の値とすることで、見掛け上サンプル数が多くなり、検定の感度を高めることが期待される。そこで参考のために、時間別観測所別のAFを用いて検定を行なった場合の δ の精度への影響について検討を行ない、結果を表3.4.6及び図3.4.13に示した。又、図3.4.14は、台風について、感度分析による最適なBと逐次検定法によるBとの比較を示したものである。 δ と精度の傾向は3.4.3の(1)④と類似したものであり、 δ を大きくすることにより判定の頻度が増し、その結果台風性擾乱では若干精度が向上し、逆に低気圧性擾乱では精度が悪くなっている。

このように、時間別観測所別AFによる検定結果は、時間別AFによる検定結果と類似する特性を有し、 δ を調節することで同等の結果が得られると考えられる。又、時間別観測所別AFによる検定では、観測所数が検定の感度に直接影響するため、検定の簡略化やシステム化に際して検定に用いる観測所を変更した場合などに、検定の定数を再度見直す必要が生じる。即ち、定数を普遍的に定めることが出来ない。

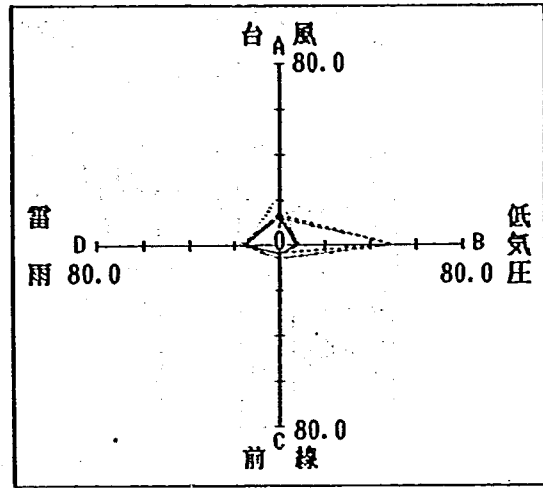
表3.4.6 計算結果の評価一覧表

$\alpha = \beta = 0.01$, バイアス補正方法(1), 有効データ数10

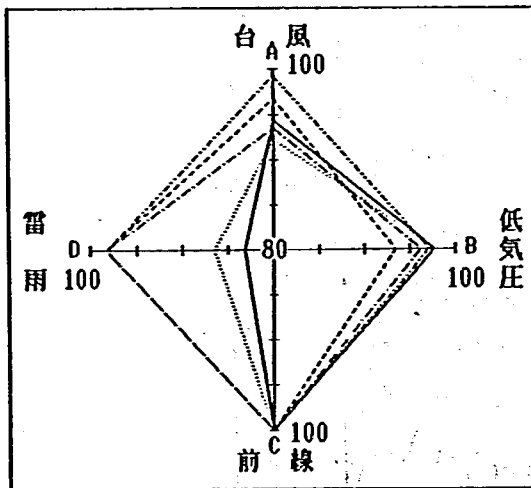
ケース NO.	擾乱種別	δ	検定 回数		自乗平均誤差 (mm/h) 及び超過回数 (回)					平均値の絶対誤差の出現頻度 (左欄) と比率 (右欄%)							
			棄却	採択	平均	最大	5mm/h	10mm/h	20mm/h	1mm/h未済		5mm/h未済		10mm/h未済		全 数	
1	台風	0.001	0	0	4.0	12.5	60	7	0	59	24.1	231	94.3	245	100	245	100
2		0.005	9	0	4.4	22.5	64	15	2	65	26.5	226	92.2	239	97.6	245	100
3		0.010	14	0	4.1	14.5	71	8	0	80	32.5	230	93.5	244	99.2	246	100
4		0.050	58	0	3.7	13.3	65	6	0	119	48.6	237	96.7	244	99.6	245	100
5		0.100	80	0	3.4	11.8	58	2	0	140	57.1	243	99.2	245	100	245	100
1	低気圧	0.001	0	0	2.3	7.6	9	0	0	62	46.3	131	97.8	134	100	134	100
2		0.005	0	0	2.3	7.6	9	0	0	62	46.3	131	97.8	134	100	134	100
3		0.010	4	0	2.0	8.6	8	0	0	80	60.6	127	96.2	132	100	132	100
4		0.050	22	0	2.9	50.2	17	6	2	84	61.3	128	93.4	135	98.5	137	100
5		0.100	35	0	2.7	50.2	10	4	2	85	61.2	135	97.1	137	98.6	139	100
1	前線	0.001	0	0	1.6	3.7	0	0	0	23	74.2	31	100	31	100	31	100
2		0.005	0	0	1.6	3.7	0	0	0	23	74.2	31	100	31	100	31	100
3		0.010	0	0	1.6	3.7	0	0	0	23	74.2	31	100	31	100	31	100
4		0.050	6	0	1.5	3.4	0	0	0	26	78.8	33	100	33	100	33	100
5		0.100	8	0	1.5	5.7	1	0	0	27	77.1	35	100	35	100	35	100
1	雷雨	0.001	0	0	5.7	15.4	29	4	0	14	23.7	49	83.1	59	100	59	100
2		0.005	1	0	5.4	15.4	26	4	0	21	35.6	51	86.4	59	100	59	100
3		0.010	1	0	4.7	15.4	20	2	0	28	47.5	58	98.3	59	100	59	100
4		0.050	3	0	4.7	18.0	20	2	0	28	47.5	58	98.3	59	100	59	100
5		0.100	7	0	4.7	17.6	21	2	0	29	49.2	58	98.3	59	100	59	100



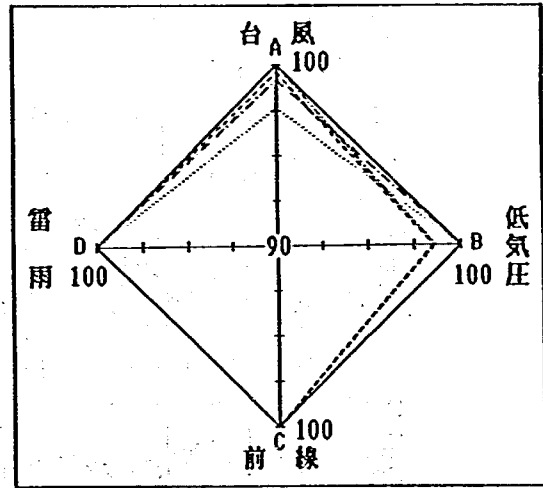
自乗平均誤差の平均値 (mm/h)



自乗平均誤差の最大値 (mm/h)



平均誤差の出現率 (5mm/h未満)



平均誤差の出現率 (10mm/h未満)

図3.4.13 擾乱別各ケース精度評価結果一覧図

- $\delta = 0.001$
- $\delta = 0.005$
- $\delta = 0.010$
- $\delta = 0.050$
- $\delta = 0.100$

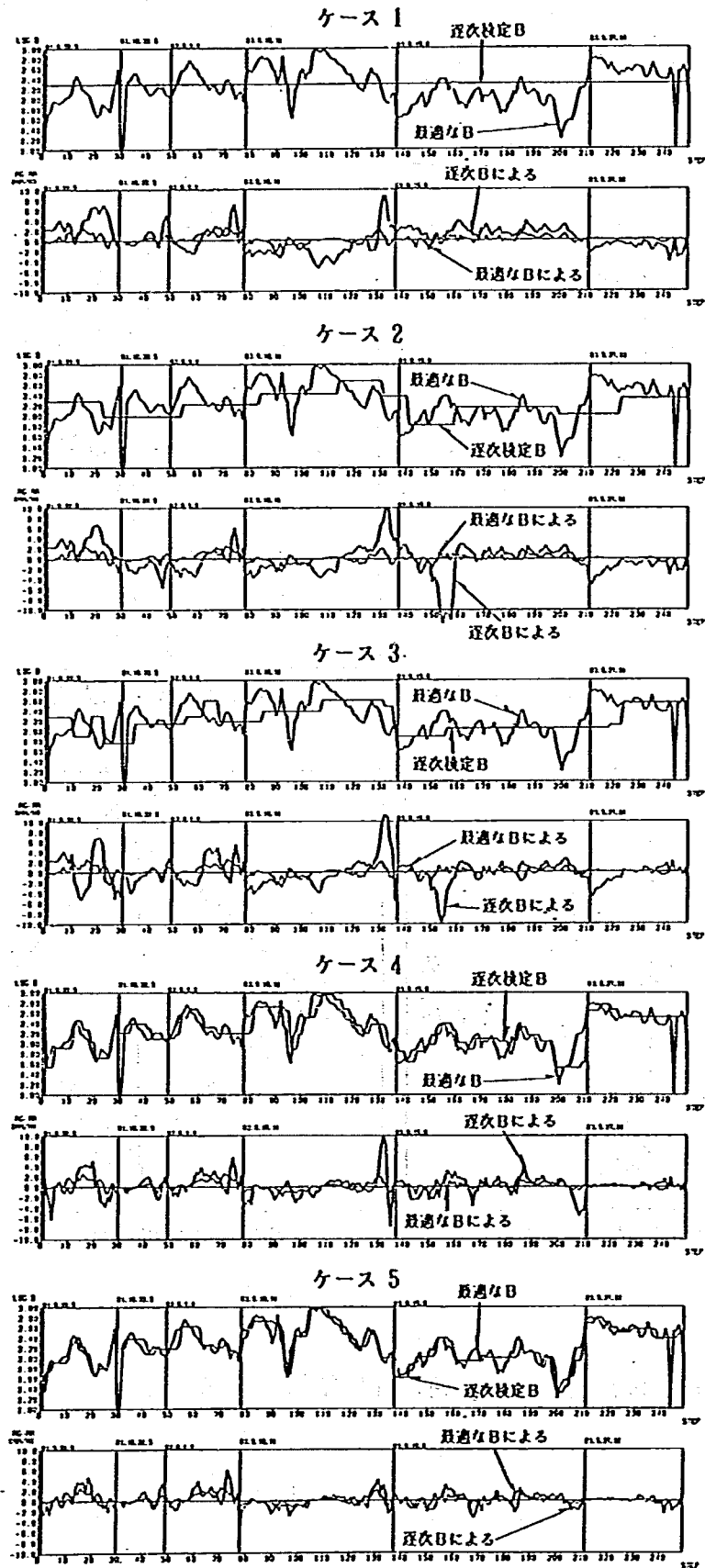


図3.4.14 感度分析と逐次検定法との比較（台風）

(2) 定数 α 、 β 及び δ の検討

① 定数検討の方法

(1) における特性の検討からも解かるように、検定の定数 α 、 β 、 δ は検定に際して互いに強く影響し合い、個別に取り扱うことが難しい。一方、図3.4.15及び図3.4.16に見られるように、 α 、 β 、 δ が複合的に関係する棄却回数と精度の間に相互関係がある。この棄却回数に対する影響の強いのは、 α 及び δ である。従って α 及び δ を変数とした感度分析を行ない最適値を求めるものとし、感度分析を行なう指標は、レーダ雨量（推算値）と地上雨量（観測値）の自乗平均誤差及び一致度とした。

感度分析の対象とする擾乱としては、前線性の擾乱は降雨数が少ないことから、又、雷雨性の擾乱は継続時間が短いことから定数を変化させても結果は余り変わらない状況にある事を考え、台風性及び低気圧性の擾乱を対象とすることとした。

バイアスの補正方式は、1. 棄却を判定した母集団の平均のAFによる方法を用い、検定に於けるAF算定の有効データ数は10以上、検定定数 $\beta = 0.01$ とした。

尚、感度分析は擾乱の種別毎に行なったが、検定は各擾乱毎に個別に行っており、擾乱の種別が順不動に現われる実際の現象に於いても、本検討に於いて得られた精度は保証される。

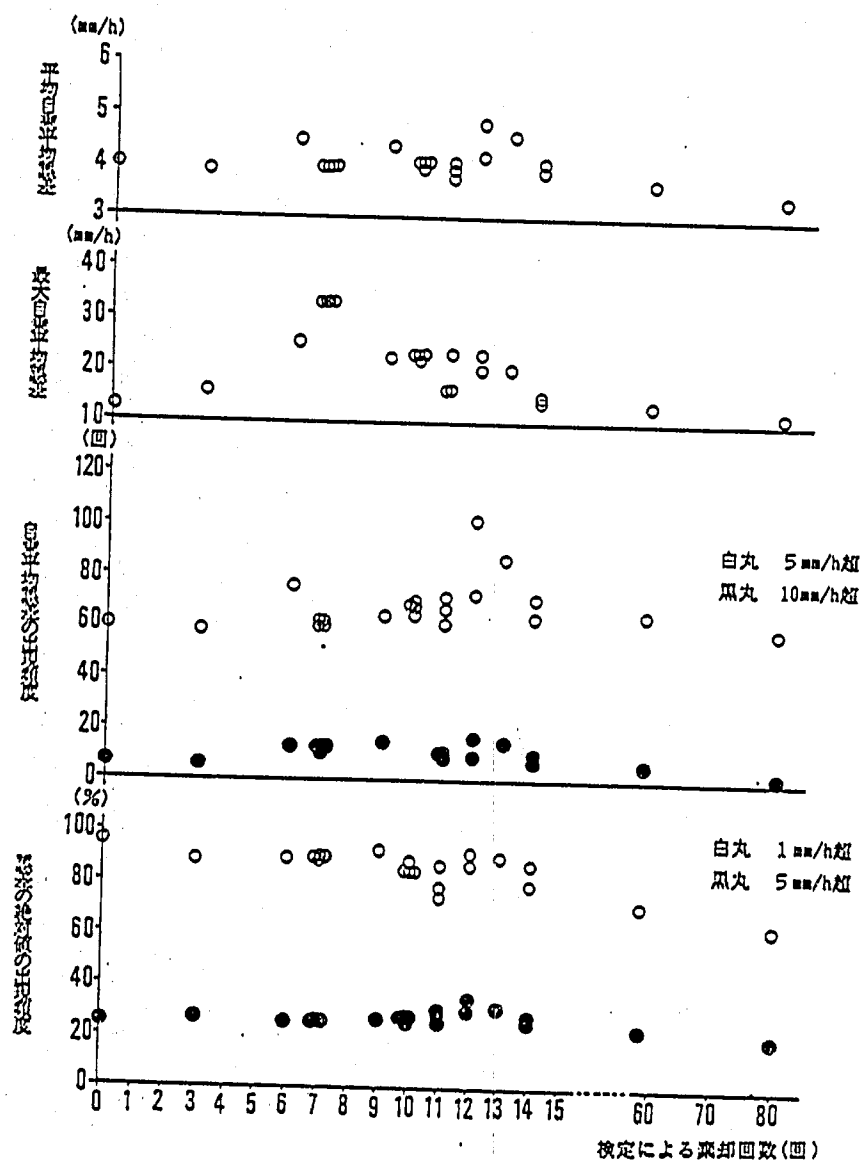


図3.4.15 検定による来却回数と精度指標値 (台風)

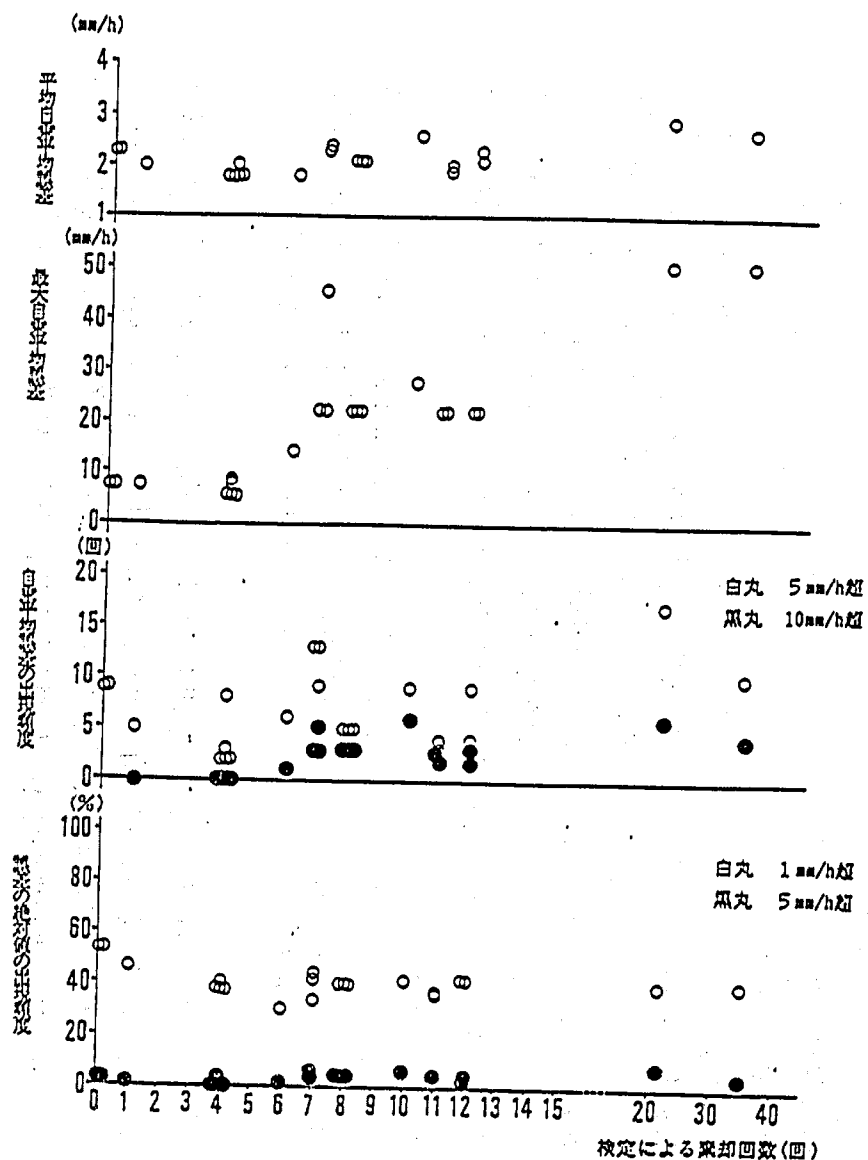


図3.4.16 検定による来却回数と精度指標値 (低気圧)

② 計算ケース

計算ケースは、

$\alpha = 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, 0.20$

$\delta = 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.00$

のマトリックスとし、計 $11 \times 10 = 110$ ケースとした。

③ 計算結果

計算結果を各指標別のコンター図として、図3.4.17～図3.4.26に示した。

イ) 検定による棄却回数

棄却回数は、 α 、 δ の値を大きくしても、ある範囲を越えると逆に減少する傾向が出ている。棄却回数がピークを示す δ の値は、 α が大きいほど小さくなる傾向があるが、台風性擾乱では $\alpha = 0.16 \sim 0.20$ においてピークが明確でない。

ロ) 自乗平均誤差の平均値

台風性擾乱では、 $\alpha = 0.18 \sim 0.20$ 、 $\delta = 0.9$ において自乗平均誤差が最小(3.7mm/h)となっている。一方低気圧性擾乱では、 α 、 δ が比較的小さいときに自乗平均誤差が小さくなっている。但し α 、 δ が非常に小さくなると再び誤差が大きくなる傾向を持つ。誤差の最大(2.6mm/h)と最小(1.7mm/h)が隣あって存在しているのも低気圧性擾乱の特徴である。

ハ) 自乗平均誤差の最大値

台風性擾乱では、 α 、 δ が小さいときに誤差が大きくなるが、非常に小さくして棄却が行なわれないうにすれば誤差の最大値は最小となる。即ち、検定を行なってBの値を変化させた場合には、全体的な精度は向上させることが出来たとしても、誤差が非常に大きくなる時間の生じる可能性もあるということである。台風性擾乱では、 α と δ をバランス良く大きくしていけば比較的安定した結果が得られそうである。

低気圧性擾乱では、棄却回数が4程度となる定数の組合せに於いて比較的良好な結果が得られているが、誤差の大きい区域が隣接しており、やや少ない目の棄却回数となる範囲を取ったほうが良い結果が得られそうである。

二) 平均雨量の誤差

全観測所の毎時平均値の誤差は、台風性の擾乱で90%以上、低気圧性擾乱で96%以上が5mm/h以内に含まれている。自乗平均誤差で見た場合の良好な範囲では、台風性の擾乱で40%以上、低気圧性擾乱で60%以上が1mm/h以内となっている。これら一致度の良い範囲は、自乗平均誤差でみた場合の精度の良い範囲にほぼ一致している。

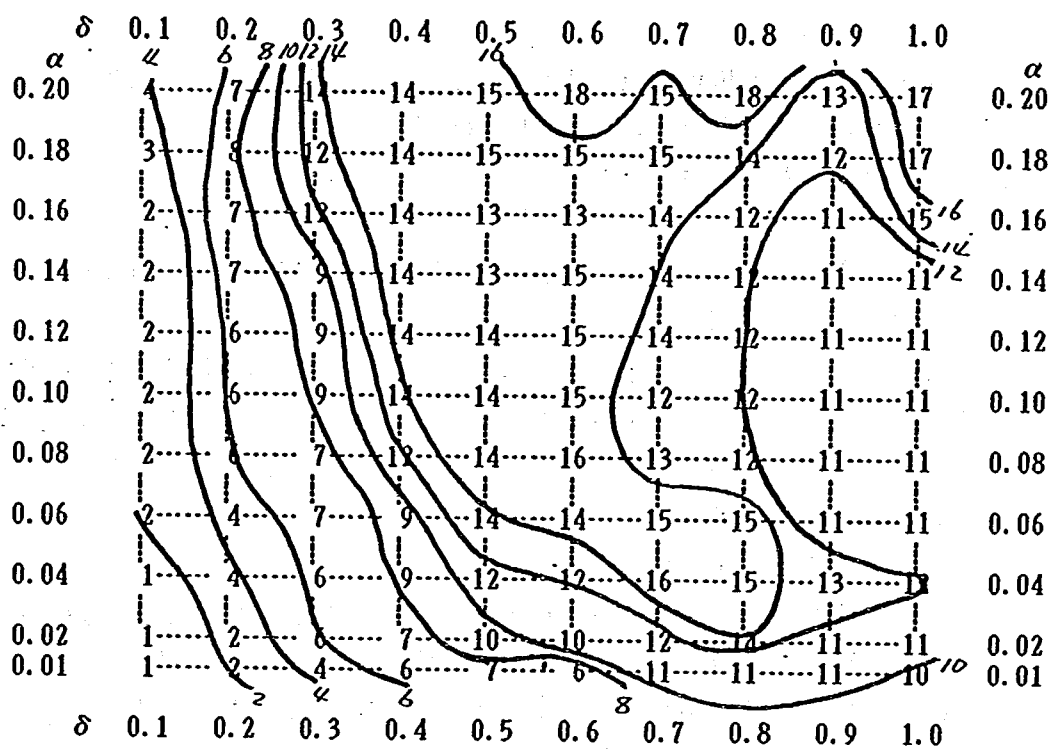


図3.4.17 検定による棄却回数 (台風)

(単位; 回)

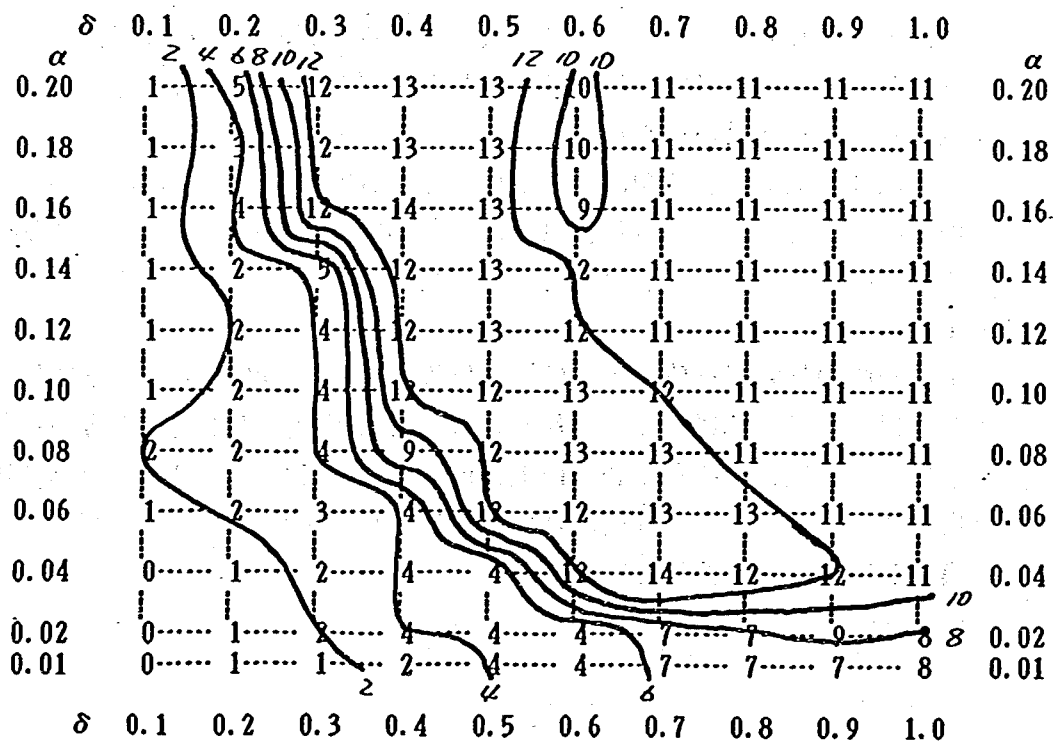


図3.4.18 検定による棄却回数 (低気圧)

(単位; 回)

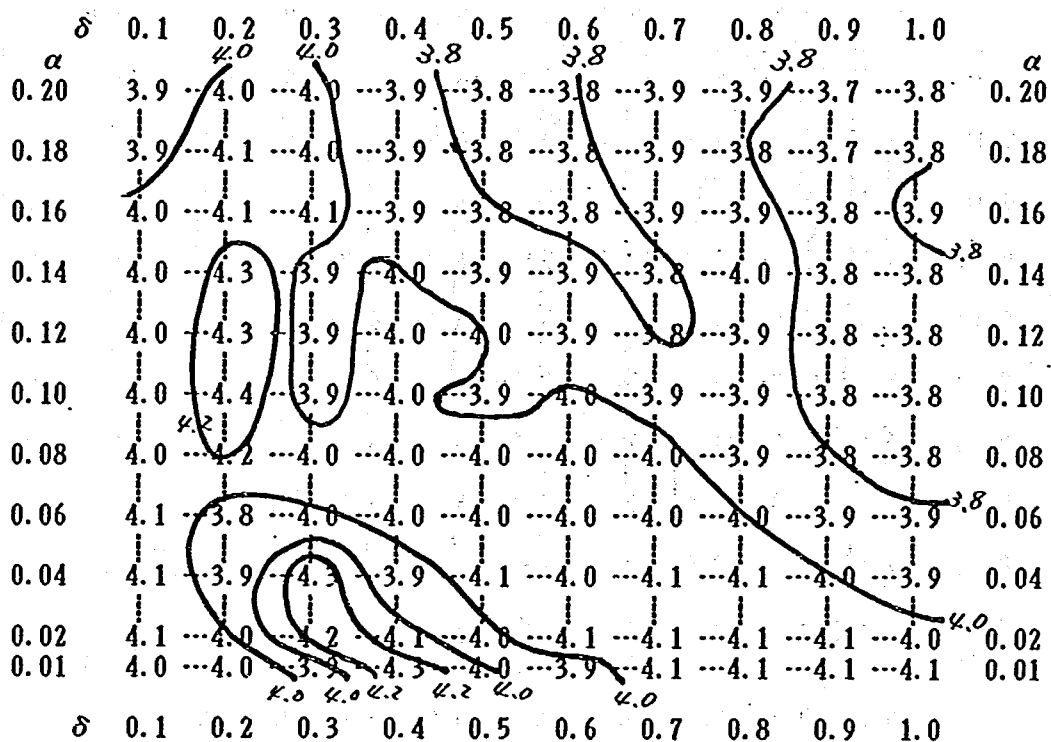


図3.4.19 自乗平均誤差の平均値 (台風)

(単位 ; mm/h)

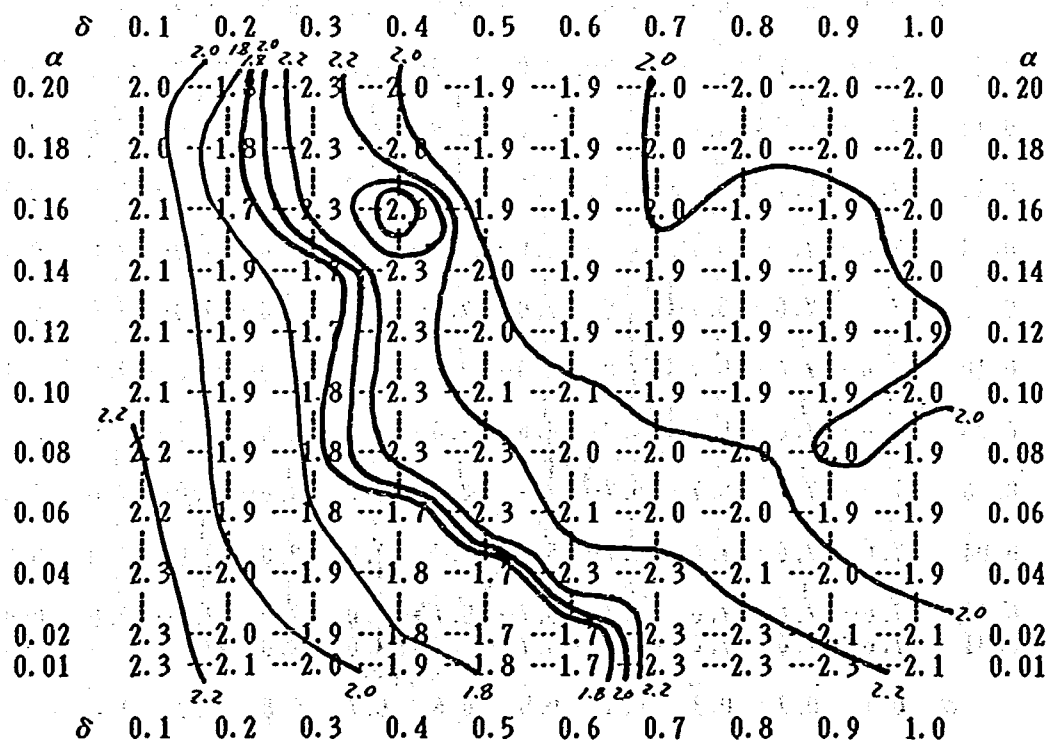


図3.4.20 自乗平均誤差の平均値 (低気圧)

(単位 ; mm/h)

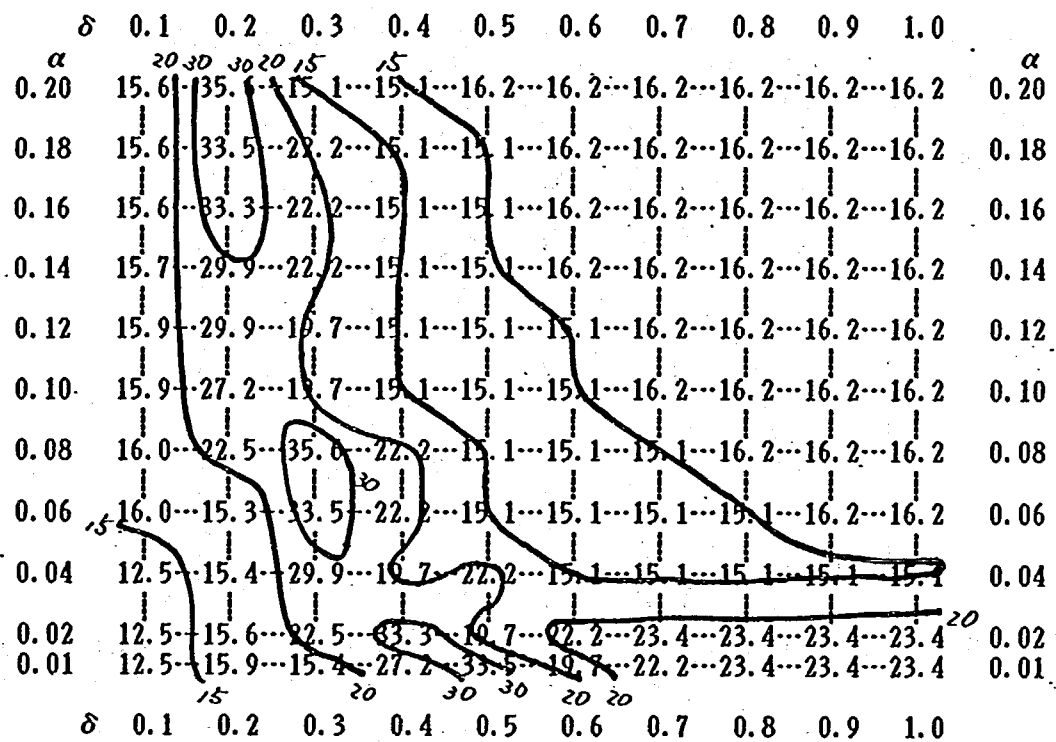


図3.4.21 自乗平均誤差の最大値 (台風)

(単位 ; mm/h)

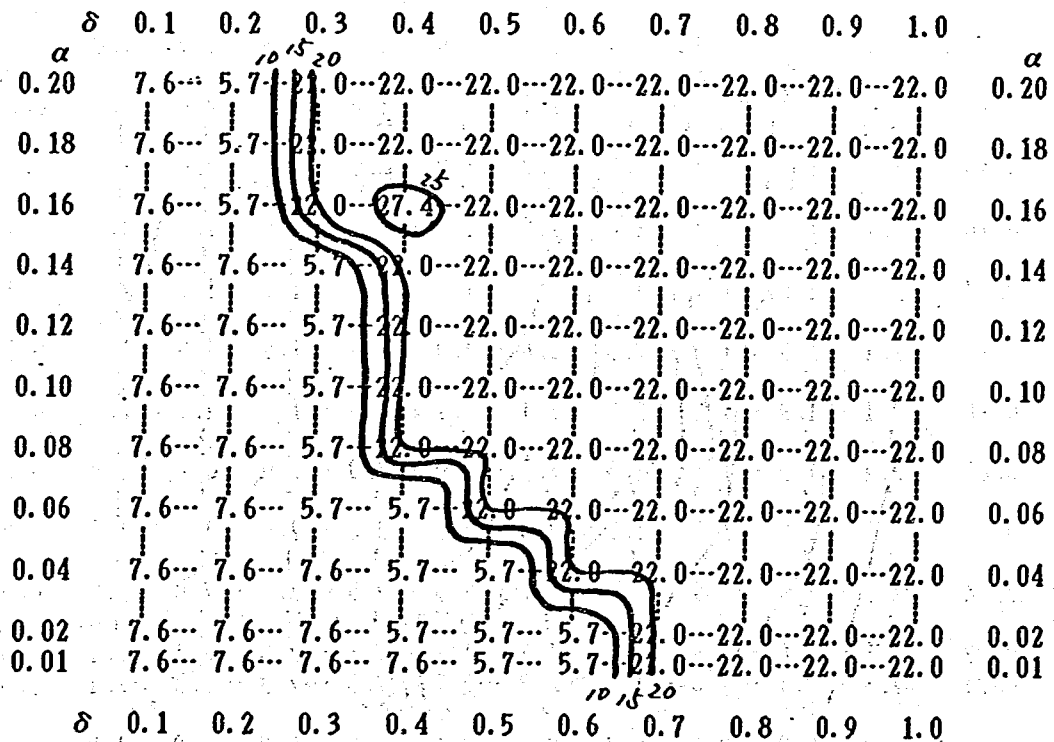


図3.4.22 自乗平均誤差の最大値 (低気圧)

(単位 ; mm/h)

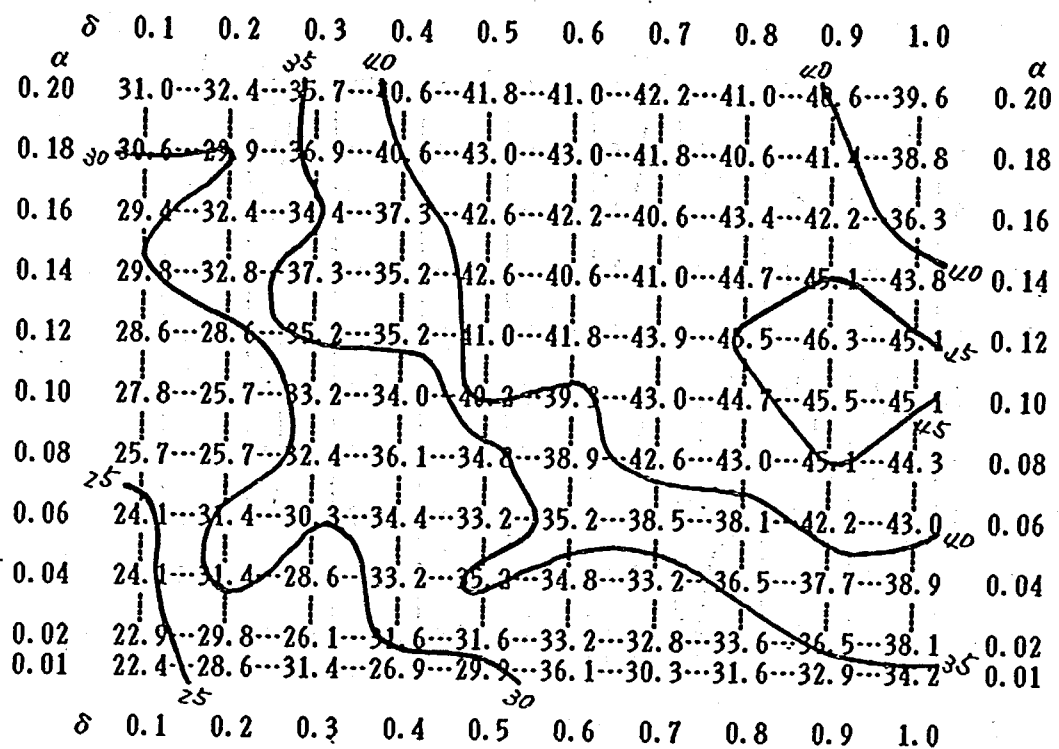


図3.4.23 平均雨量の誤差 1mm/h未満の時間数比率 (台風)
(単位; %)

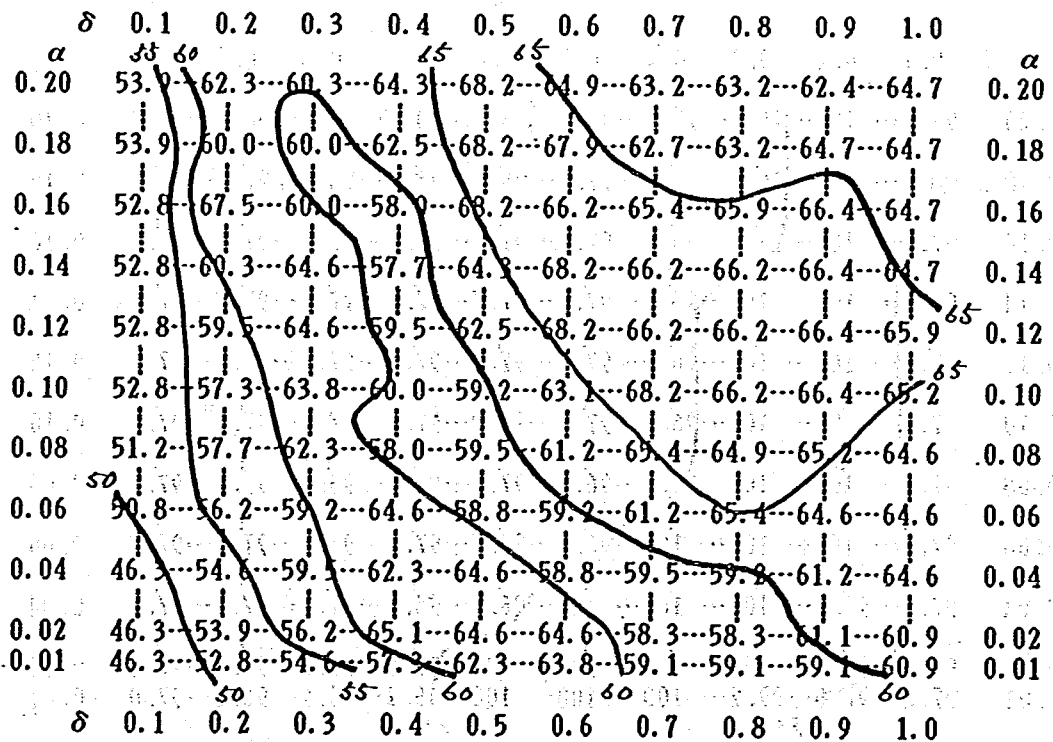


図3.4.24 平均雨量の誤差 1mm/h未満の時間数比率 (低気圧)
(単位; %)

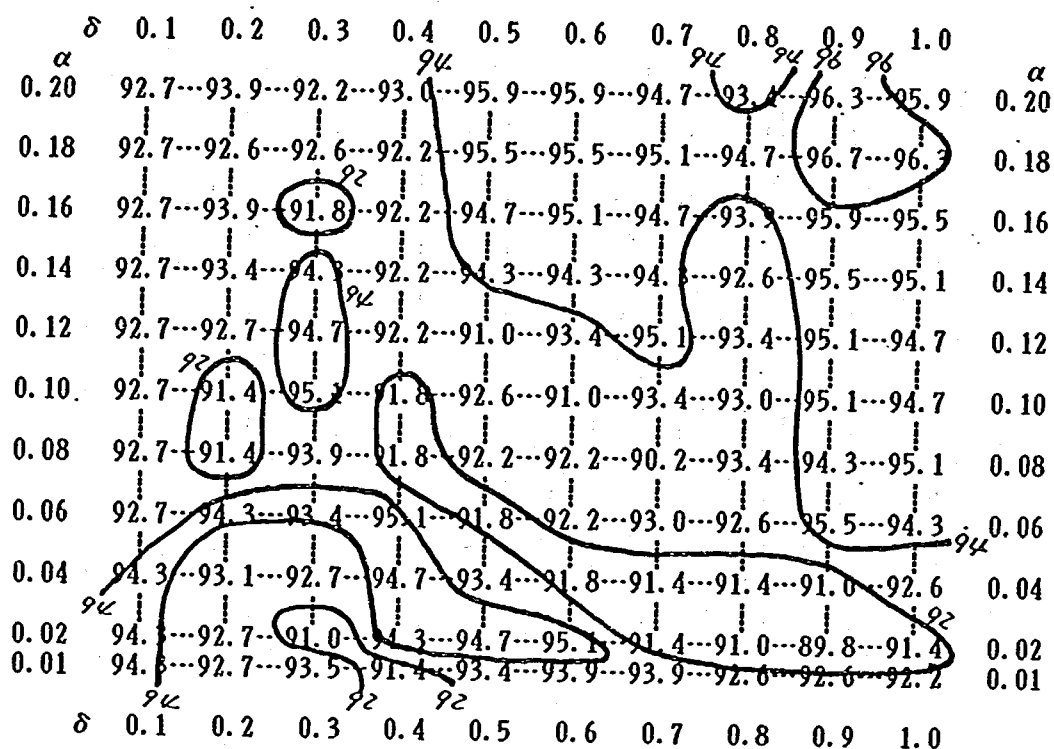


図3.4.25 平均雨量の誤差 5mm/h未満の時間数比率 (台風)
(単位 ; %)

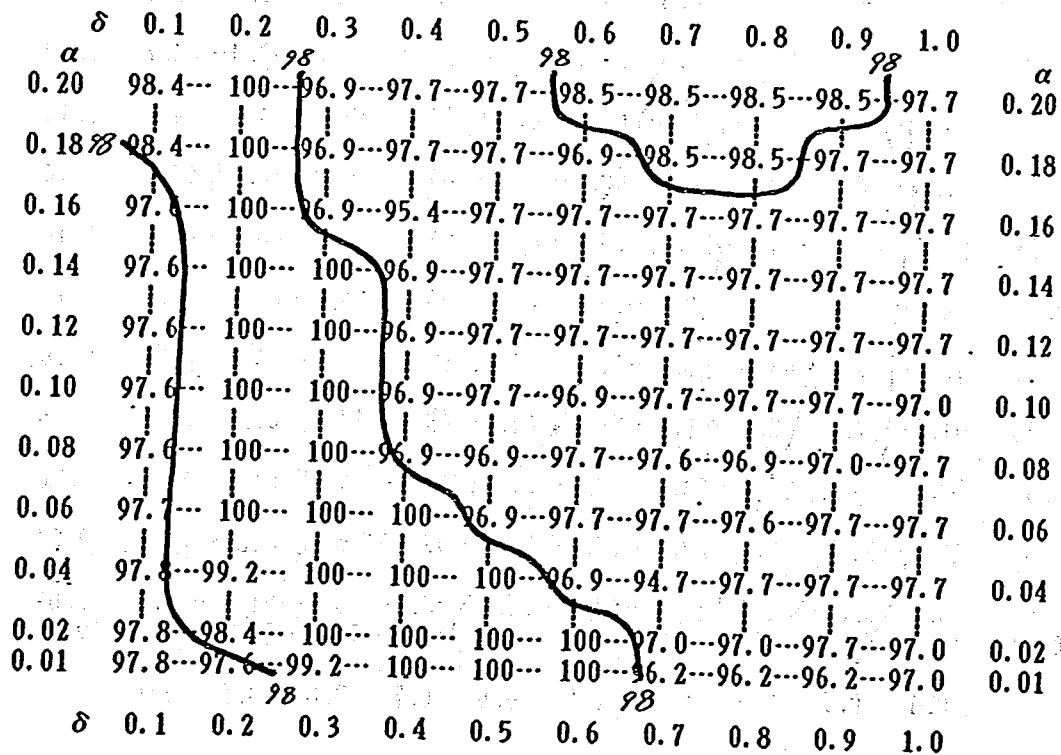


図3.4.26 平均雨量の誤差 5mm/h未満の時間数比率 (低気圧)
(単位 ; %)

(3) 考察

以上の結果から次のことが言えよう。

- ・台風性の擾乱では、 α 、 δ はある程度大きくした方が全体的な精度が向上する。最適値は本検討の結果のみによれば、 $\alpha=0.18\sim0.20$ 、 $\delta=0.9$ である。
- ・低気圧性擾乱では、棄却回数が少ないほうが良好な結果となるが、全く棄却の行なわれないような状態では、返って誤差が増す。
- ・何れにしても平均的な誤差を見た場合には、本検討で試みた定数の範囲内であれば大差無い。
- ・逐次検定法は、既に取り込んだサンプルの属する集団の、母集団への帰属を判定するものである。本検討での適用は、オンライン補正であり時間を遡った修正が困難である。この為、検定による降雨換算定数B値の追従に於いて、時間的な遅れが生じ、降雨換算定数Bを固定した場合よりも、かえって精度の悪くなる時間も見られた。このことから、逐次検定法による降雨換算定数Bの較正は、結果のフィードバックが可能な事後の検討に於いては有効な手法と言えるものの、オンラインで情報を提供するような場合には問題が残る。

第4章 空間補正による精度向上方法

4.1 二宮法による補正曲面あてはめ

4.1.1 較正方法

レーダ雨量の空間補正を行なう方法として、レーダ雨量とゲージ雨量の比 F を求めて、これによりレーダ雨量を補正する方法が考えられる。この方法では、ゲージ雨量観測点が少ないため、又、ゲージ雨量観測点は流域の大きさから見れば一点に等しいことから、空間全体の F の値を何らかの方法で推定する必要がある。この推定方法には、平均値法、代表範囲法、曲面あてはめ法等が考えられている。4.2 に述べるクリージング法もその一つである。ここでは、二宮によって提案された補正曲面あてはめ法について検討を行なった。

今、観測されたレーダ雨量とゲージ雨量との比を $F_{\text{OBS}}(x, y)$ 、求めたい曲面を $F(x, y)$ とする。補正曲面は、次の条件を満足するように設定する。

- ・ゲージ雨量観測点での補正係数は、実測により求められた値に最も近いものであること。
- ・曲面が滑らかであること。

$F(x, y)$ と $F_{\text{OBS}}(x, y)$ の差に関する重みを α 、滑らかさに関する重みを β として定式化すると、

$$\alpha (F(x, y) - F_{\text{OBS}}(x, y))^2 \rightarrow \min.$$

$$\beta \left\{ \left(\frac{\partial}{\partial x} F(x, y) \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y} F(x, y) \right)^2 \right\} \rightarrow \min.$$

となり、これらを同時に満足する条件は、

$$\iint \left[\alpha (F(x, y) - F_{\text{OBS}}(x, y))^2 + \beta \left\{ \left(\frac{\partial}{\partial x} F(x, y) \right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y} F(x, y) \right)^2 \right\} \right] dx dy$$

を最小にすることである。変分法によってこれを解くことが出来る。

上式の[]内を関数 f で表わす。 f は、

$$f(x, y, F(x, y), \frac{\partial}{\partial x} F(x, y), \frac{\partial}{\partial y} F(x, y))$$

と記述できる。従って、 $\iint f dx dy$ を最小とする条件は、

$$\frac{\partial f}{\partial F} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f}{\partial p} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial f}{\partial q} \right) = 0$$

ここに、

$$p = \frac{\partial}{\partial x} F(x, y), \quad q = \frac{\partial}{\partial y} F(x, y)$$

である。今、 $F = F(x, y)$ 、 $F_{\text{OBS}} = F_{\text{OBS}}(x, y)$ と表わせば、

$$f = \alpha (F - F_{\text{OBS}})^2 + \beta (p^2 + q^2)$$

であり、

$$\frac{\partial f}{\partial F} = 2\alpha F - 2\alpha F_{\text{OBS}}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f}{\partial p} \right) = \frac{\partial}{\partial x} (2\beta p)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial f}{\partial q} \right) = \frac{\partial}{\partial y} (2\beta q)$$

より、

$$\alpha (F(x, y) - F_{\text{OBS}}(x, y)) + \beta \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} F(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} F(x, y) \right) = 0$$

が、 $\iint f \, dx dy$ を最小とする条件となる。この式は、ポアソン型の偏微分方程式であり、数値解を求めることが出来る。

4.1.2 解析方法と資料

(1) 資料

対象区域は、赤城山レーダ定量観測範囲（半径 120km）とし、対象降雨は、次の6降雨とした。

昭和56年 8月22日 8時～ 8月23日 7時の24時間（台風15号）

昭和56年10月22日 8時～10月22日23時の16時間（台風24号）

昭和57年 8月 1日 5時～ 8月 2日 5時の25時間（台風10号）

昭和57年 9月10日14時～ 9月12日21時の56時間（台風18号）

昭和58年 8月15日 9時～ 8月18日 7時の71時間（台風5,6号）

昭和58年 9月27日14時～ 9月29日 1時の36時間（台風10号）

レーダ雨量は、現行定数を用いて求めた雨量値を、3km×3kmの直交メッシュ化（直交メッシュ中心点に対応する極座標メッシュの値を用いる）したもの、又、ゲージ雨量は、テレメータ 132地点、アメダス91地点の値を直交メッシュ化（当該メッシュに属する観測所の値を用いる）したものを用いた。

(2) F値の算定

Fの値は、レーダ雨量／ゲージ雨量の形で、毎時、各観測点毎に求めた。但し、テレメータとアメダスの観測単位がそれぞれ 0.5mm/h, 1.0mm/hであることから、ゲージ雨量が小さい場合には観測誤差がFの値に大きな影響を及ぼすこととなる。従って、ゲージ雨量が 1mm/h未満のものは、F=1.0 とした。又、求めたF値が5を超えるものについては、F=5.0 とした。

(3) 補正曲面推定定数 α , β

4.1.1 により補正曲面を求める場合には、個々のF値を重視するか、滑らかさを重視するかによって、曲面が変わる。

F値は、1.0 を中心に分布することが期待され、 $F - F_{\text{OBS}}$ のオーダーは、 10^{-1} 程度と仮定出来る。直交メッシュの1辺の長さは 3kmであるから、

$$\iint [\alpha (F(x, y) - F_{\text{obs}}(x, y))^2 + \beta \{(\frac{\partial}{\partial x} F(x, y))^2 + (\frac{\partial}{\partial y} F(x, y))^2\}] dx dy$$

の [] 内の各項のオーダーは、

$$\alpha \text{ に関して } \alpha \cdot (10^{-1})^2 = 0.01 \alpha$$

$$\beta \text{ に関して } \beta \cdot \{(1/3)^2 + (1/3)^2\} = 0.22 \beta$$

となる。従って、 $\alpha : \beta = 22:1$ 程度の時に等価な重み付けがなされたことになる。本検討では、 $\alpha : \beta = 100:4 = 25:1$ とした。

(4) 補正の有効性の検証

建設省テレメータ観測所38地点の値を用いて毎時補正曲面を求め、アメダス観測所の雨量との適合性の評価を行なった。評価は、空間的な精度を見る意味から観測所別に、又、時間的な精度を見る意味から時間別に精度指標値を求めることとした。精度指標は、自乗平均誤差、相対誤差、相関係数である。

(5) 較正用ゲージ雨量計密度と補正効果の検討

補正曲面を求めるために使用する観測所の数を減らした場合の精度への影響を検討した。観測所の数は、38地点、19地点、9地点の3ケースとし、精度の評価指標は自乗平均誤差とした。

(6) 補正係数時間外挿の可能性の検討

降雨の予測に補正曲面あてはめ法を用いる場合には、Fの時間的保存性が問題となる。そこで、F値の時間外挿を行なった場合について、精度の検討を行なった。

時間外挿のケースは、①1時間前のF値を用いる、②2時間前のF値を用いる、2時間前と3時間前のF値の平均値を用いる、の3ケースを考えた。精度評価指標は、自乗平均誤差、相対誤差、相関係数である。

4.1.3 解析結果と評価

(1) 補正係数の時間的、空間的变化特性

図4.1.1 は、昭和57年の18号台風について、地点別の補正係数 F を降雨強度との関係で整理したものである。全般にレーダ雨量がゲージ雨量よりも小さく算定されており、 F 値が1よりも小さくなるものが多い。 F 値のバラツキは、降雨強度が大きくなるほど小さくなる傾向が見られる。

補正係数 F の時間的な変化は、地点によってかなり異なる。図4.1.2 は、 F の時間変化が小さい例と大きい例を比較して示したものである。このように F の値は、空間的にも大きな違いを有している。

F の時間持続性については、2時間程度が限度となるようである。これは、積雲スケールの強雨の寿命程度であり、降雨原因の変化或いは擾乱の盛衰を表わすものと言えよう。

図4.1.3 は、 F の空間的特性を見るために、月間のレーダ雨量とゲージ雨量の比を求めて、等値線図として表わしたものである。 F は、レーダサイトに近いほど、又、標高が低いほど1に近くなる傾向を持つ。このことから、長いタイムスパンで見れば、ビーム充填率や降雨減衰さらにはグランドクラッターなどがレーダ観測の誤差を生じる原因となっていると考えられる。

Fの平均値

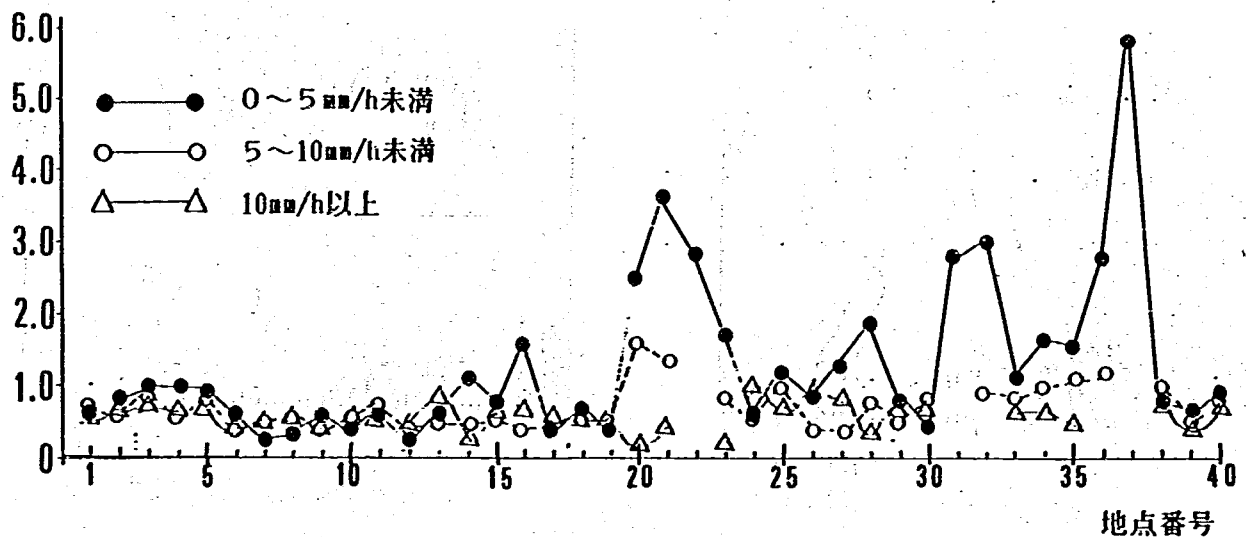
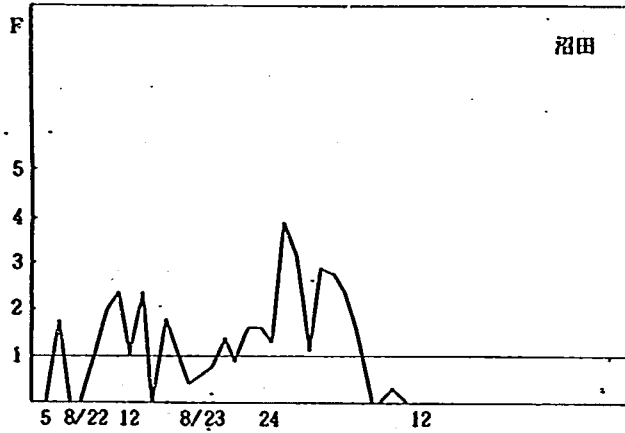


図4.1.1 地点別、降雨強度別補正係数(昭和57年台風18号)

時間変化の小さい例
(沼田観測所)



時間変化の大きい例
(草木観測所)

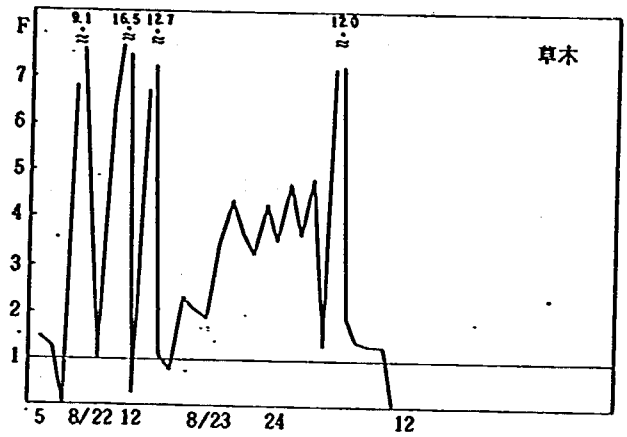
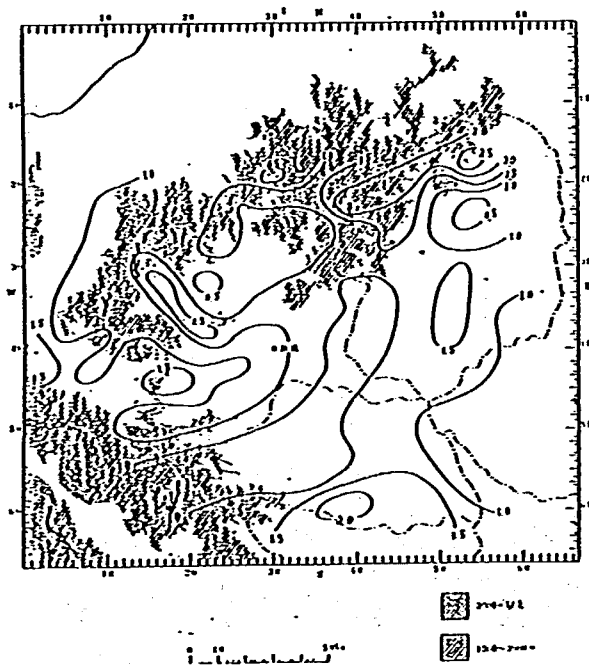


図4.1.2 補正係数の時間変化(昭和56年台風15号)

昭和56年 7月



昭和56年 8月 (台風15号を含む)

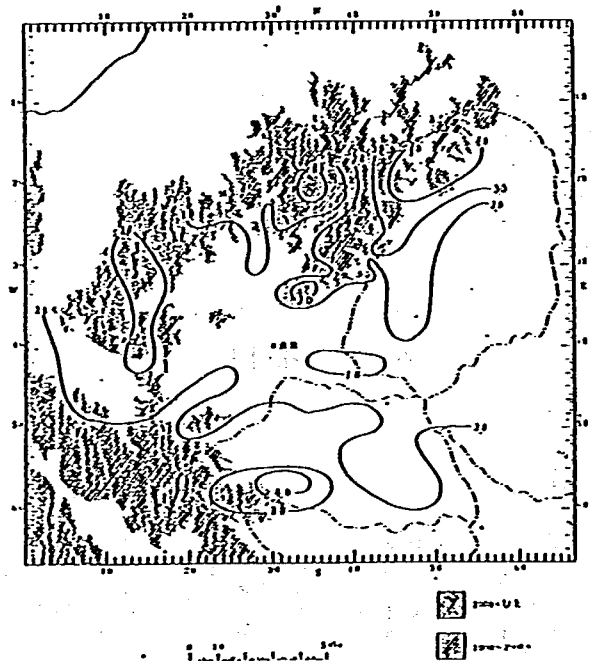


図4.1.3 月間雨量のゲージ雨量/レーダ雨量比率

(2) 較正の有効性の検証

図4.1.5 は、昭和57年18号台風について、補正曲面あてはめ法による補正を行なったレーダ雨量の精度評価結果である。又、図4.1.4 は、効果の大きい万場観測所地点の補正前後の平均雨量と累加雨量を比較したものである。殆どの地点で、効果的な補正が行なわれていることがわかる。しかし、自乗平均誤差で5mm/h超が2割強、相対誤差で50%超がやはり2割強、相関係数では0.5未満がわずかにある。

図4.1.6 は、時間毎にアメダス全地点での精度を見たものである。自乗平均誤差で5mm/h超が1割強、相対誤差で50%超が2割強、相関係数では0.5未満が3分の1程度ある。

この台風は、前半は10mm/h未満の比較的弱い雨が続き、次第に雨量強度が増している。この雨量強度の大きいときに精度が悪くなる傾向が見られる。各地点別に見ても、雨量強度の大きい地点に於ける精度が劣っている。このようなことから、強雨域が通過する時のように流域の雨量強度が空間的に大きな差を生じる場合には、あまり精度の向上が見込めないと考えられる。

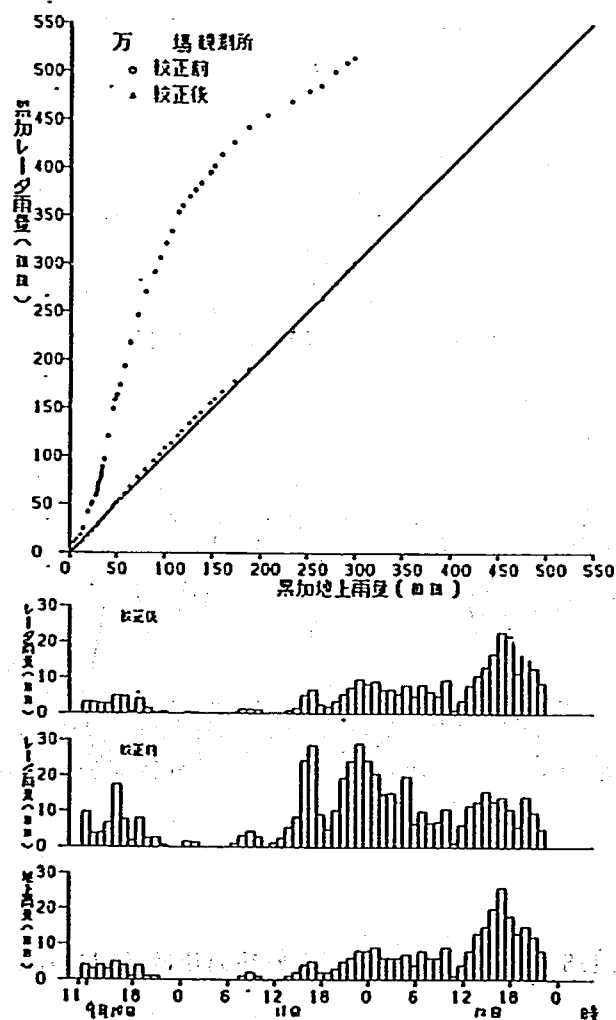
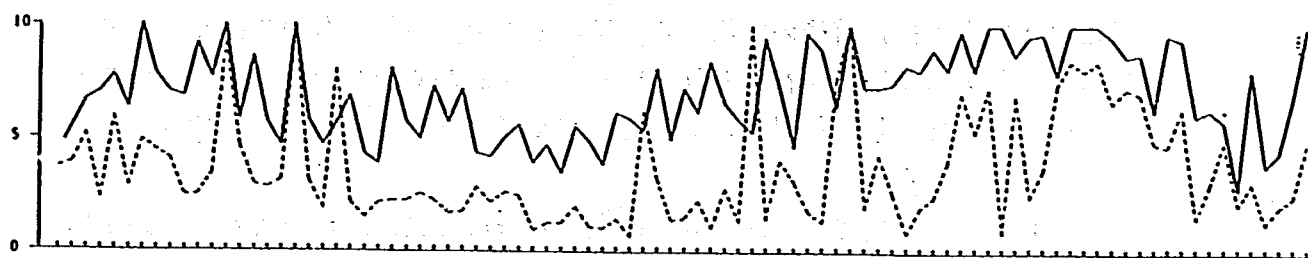


図4.1.4 ゲージ雨量とレーダ雨量の比較（昭和57年台風18号）

自乗平均誤差

(mm/h)

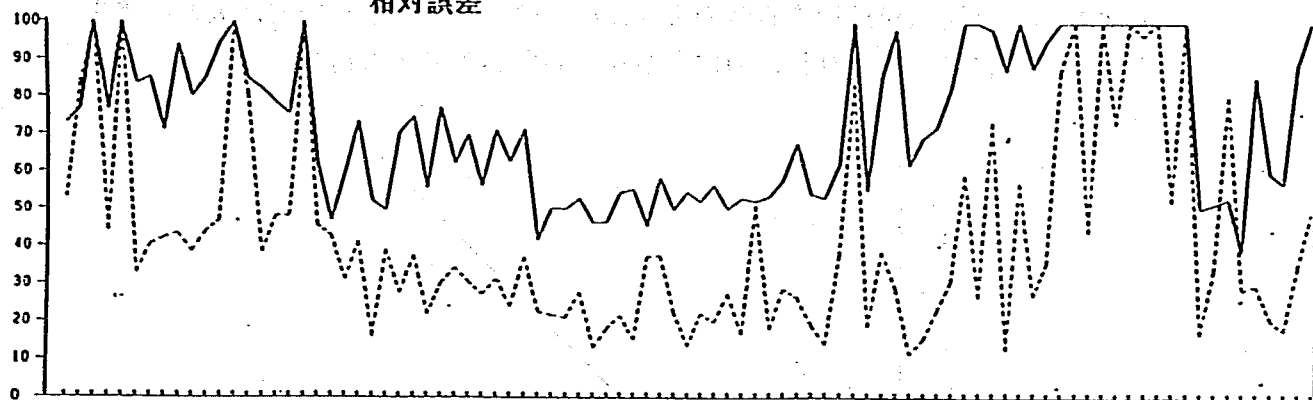
自乗平均誤差



相対誤差

(%)

相対誤差



相関係数

相関係数

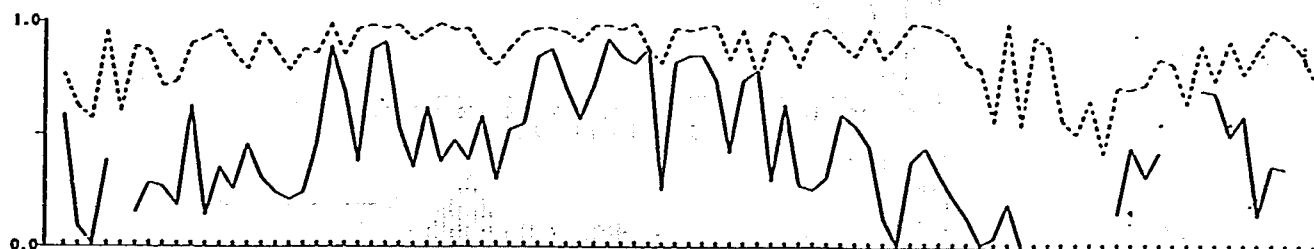


図4.1.5 各地点精度の補正前後の比較 (昭和57年台風18号)

91個観測所(アノダス)

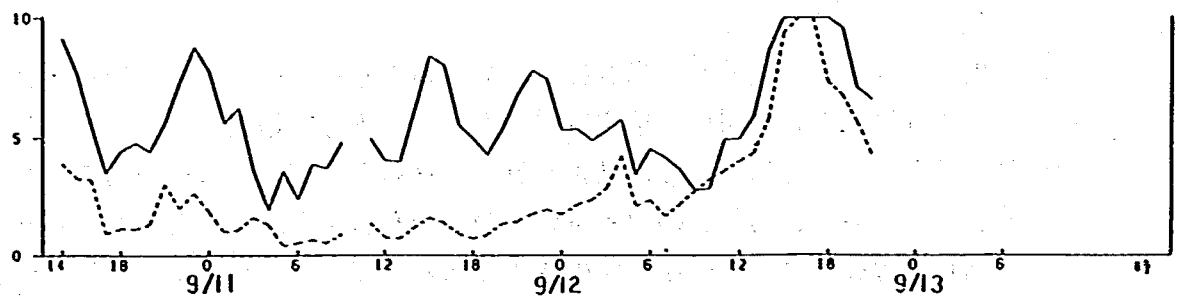
—— 修正前

----- 修正後

自乗平均誤差

(mm/h)

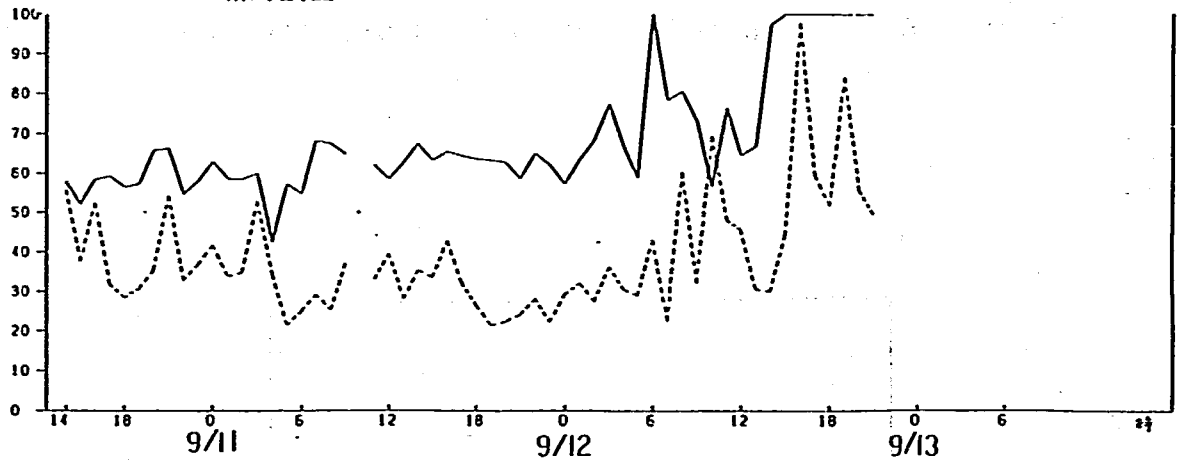
自乗平均誤差



相対誤差

(%)

相対誤差



相関係数

相関係数

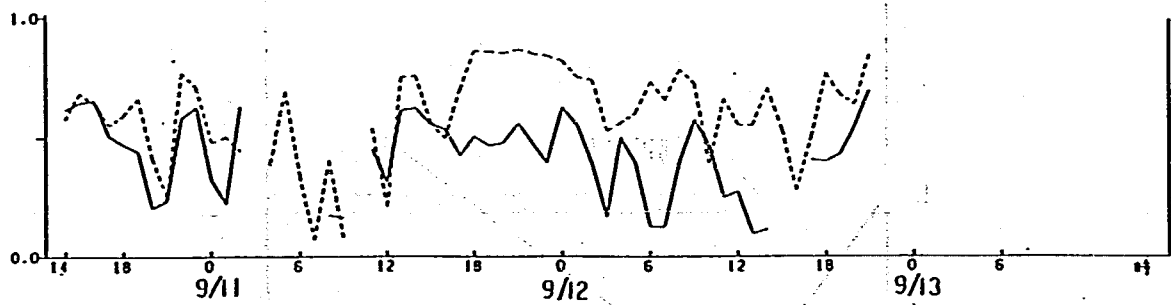


図4.1.6 各時間精度の補正前後の比較 (昭和57年台風18号)

91個観測値
—— 校正前
----- 校正後

(3) 較正用ゲージ雨量計密度と補正効果

図4.1.7 は、較正用ゲージ雨量計密度と補正効果の関係を検討したものである。又、図4.1.8 は、この時のゲージ雨量とレーダ雨量の散布状況を示したものである。

補正用雨量計を9地点とした場合には、補正前よりも誤差が大きくなっている。このように、補正に用いる地点数が少ないと、十分な補正の効果が得られないだけでなく、場合によっては補正を行なわないものよりも精度が劣ることとなる。この結果は、雨量計の配置や雨量分布とも密接な関係があると思われるが、補正を行なう場合には注意すべき点である。即ち、実システムで補正用雨量計の配置などに関して検討を行なう場合には、入手し得る全てのゲージデータを収集し、その補正効果を雨量計の台数や配置に関しても調査し、補正方法を選定する必要があることを示唆するものである。

図4.1.9 は、テレメータが群馬県に集中しており、群馬県内は空間的内挿、その他は空間的外挿の結果とも見ることが出来ることから、県別に精度を求めたものである。この結果からは、内挿、外挿による違いは見られない。

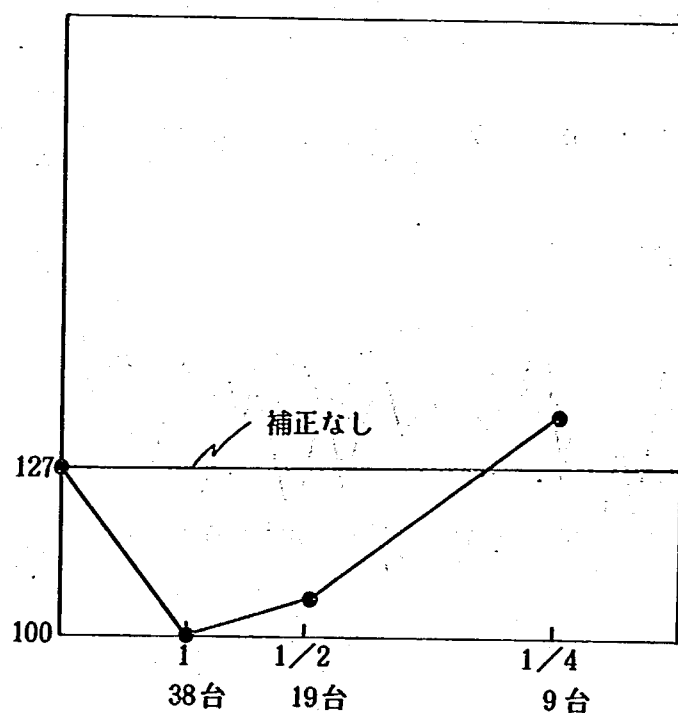
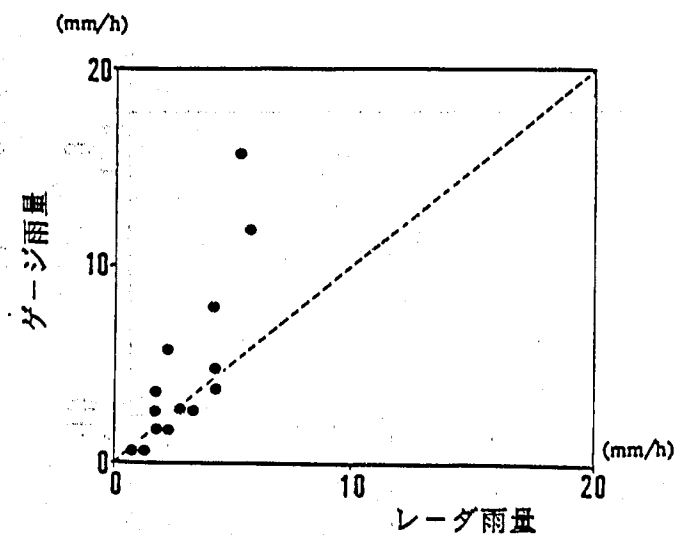
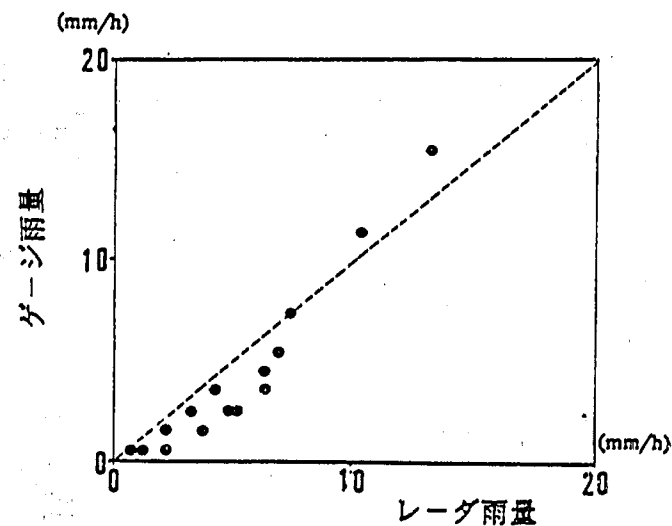


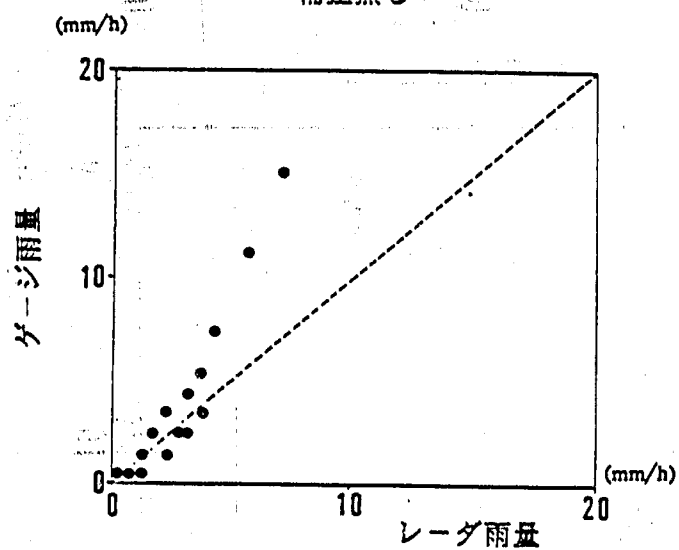
図4.1.7 38台のテレメータを使った場合を
100とした補正効果



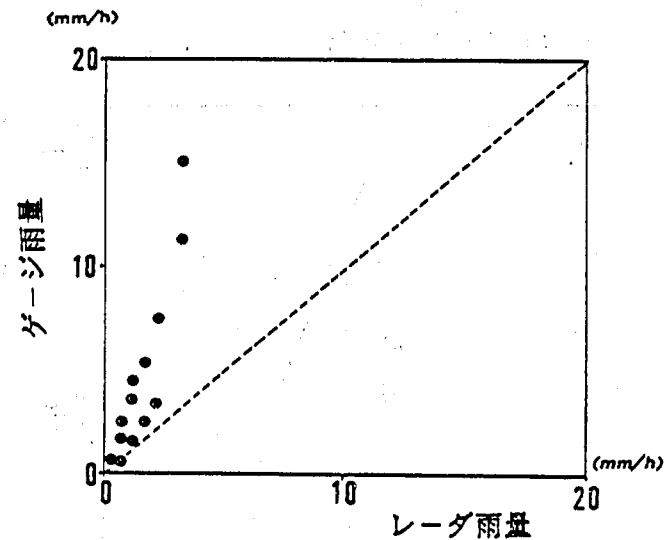
補正無し



38台による補正



19台による補正



9台による補正

図4.1.8 テレメータの台数別 ゲージ雨量～レーダ雨量散布図
(昭和57年8月2日14時, 熊谷観測所)

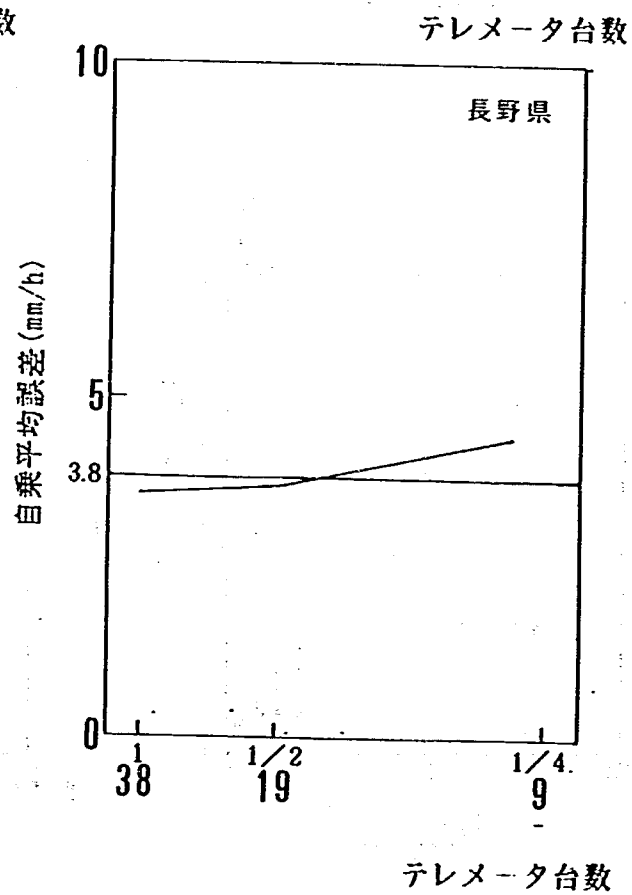
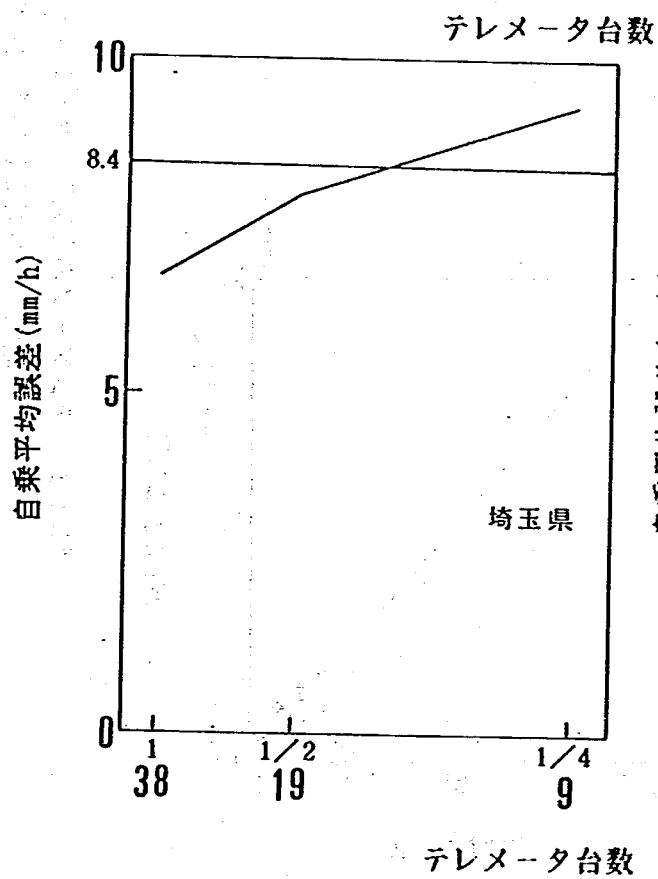
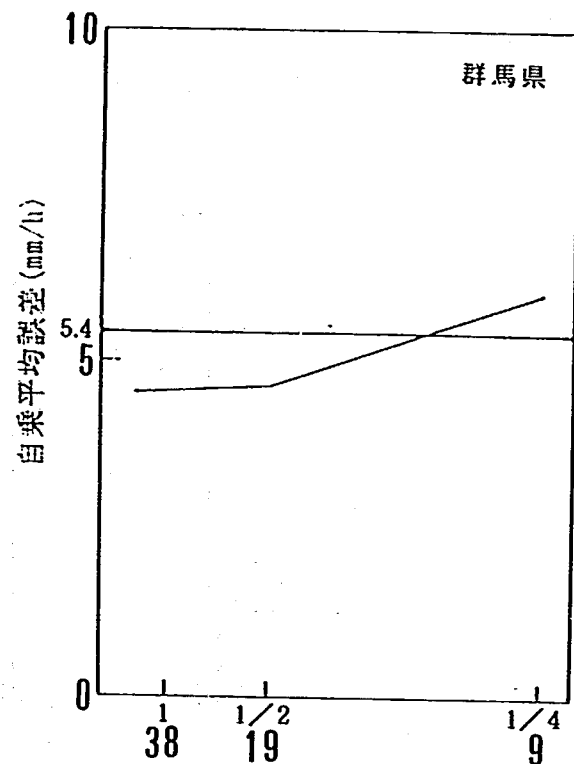
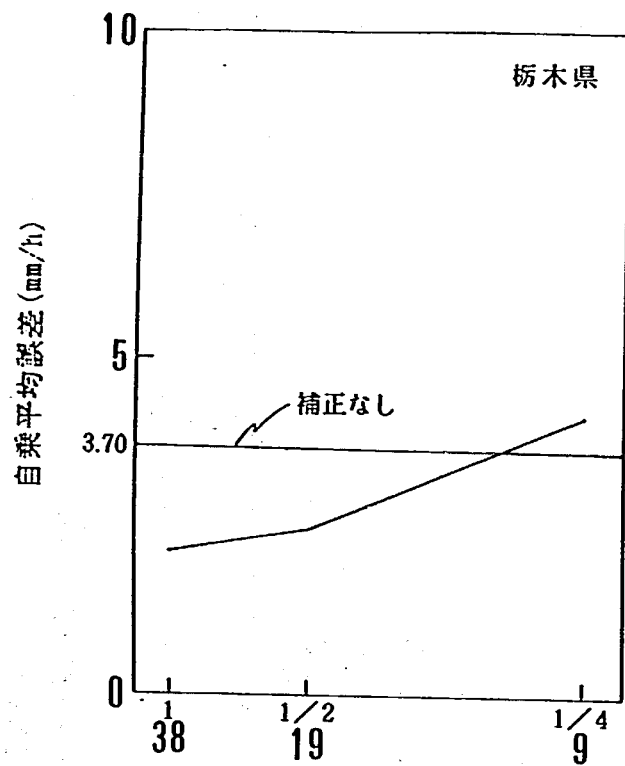


図4.1.9 補正用雨量計台数と補正効果

(4) 補正係数の時間外挿の可能性

レーダ雨量は5分間隔で得られており、このオンライン情報に空間補正を行なうとすれば、ゲージ雨量が1時間毎にしか得られない現状では、最低でも1時間の外挿が必要となる。又、補正のための計算にもある程度の計算時間を要することから、情報の遅れに繋がる可能性が大きい。

(1) の検討からは、F値は2時間程度の継続性を有すると見られており、時間外挿による精度の変化を検討した。

図4.1.10は、外挿時間と精度の関係自乗平均誤差を指標として示したものである。この結果からは、次のことが言えよう。

- ・ 1時間程度の外挿であれば比較的良好な精度を保つことが出来る。外挿時間が2時間以上になると補正を行なわない場合よりも精度が劣るものが見られるようになる。
- ・ 2時間外挿よりも、2時間前と3時間前の平均値を用いるほうがやや精度が良い。このことは、Fが時間的に一定方向の変化をするのではなく、振動しながら徐々にある傾向を持って変化していることによると考えられる。

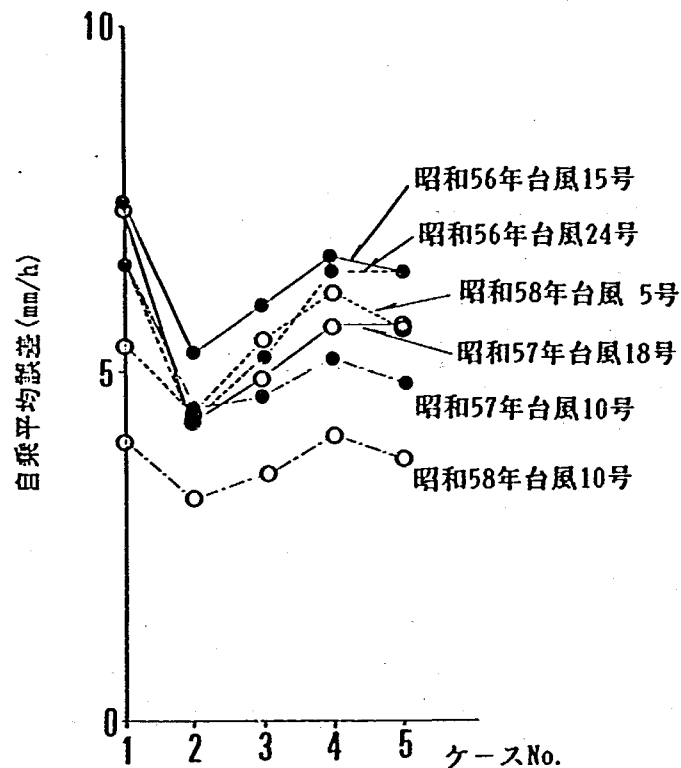


図4.1.10 台風別、外挿時間別自乗平均誤差の比較

ケース1	補正無し	ケース4	2時間外挿
ケース2	当時間補正	ケース5	2,3時間平均外挿
ケース3	1時間外挿		

(5) 考察

以上の結果から次のことが言えよう。

- ・日本における降雨の特性は地形要因などによって複雑なものとなっており、補正係数は、時間的空間的に変動が激しく、レーダ雨量観測の精度向上のためにはオンライン補正が必要である。
- ・補正曲面あてはめ法は、効果的に補正を実施することが出来る。しかし、雨量強度の大きい時間に於ける効果がそれほど望めなかったことから、この点に関して、補正曲面を求めるための定数 α 、 β も含めた検討が望まれる。
- ・補正係数は、1時間程度の外挿であれば、比較的良好な精度を維持出来ることから、オンラインのレーダ雨量補正・情報提供においても有効である。

4.2 Kriging 法による空間補正

4.2.1 較正方法

(1) Kriging法の理論

Kriging法（以下クリージング法と呼ぶ）は、地球統計法の一つである。地球統計法は、D. G. Krigeにより基礎的な研究が行なわれ、その後、Matheronによって理論の確立がなされた。

クリージング法は、複数のサンプルの値を用いて、特定の点又は領域の値を統計的に最も誤差が小さくなるように推定する方法である。即ち、求めたい未知の値を、既知のサンプル値の重み付け平均値で表わすこととして、この重み（重量係数と呼ぶ）を統計的手法により求める手法である。従って、例えば流域平均雨量を求める場合の単純平均法やティーセン法等と類似した方法とも言える。

クリージングは、単純なクリージング法に始まり、ユニバーサルクリージング、非線形クリージング等があり、理論も複雑である。ここでは、本検討の中で用いた線形の単純なクリージング法について、簡単に理論を記すに留める。

① クリージングの一般式

クリージング法の適用に当たっては、二次安定性の仮説若しくはイントリンシック仮説が成立することが必要である。即ち、 x を位置のパラメータ、 h を2点間の距離、 $Z(x)$ を対象領域に於けるランダム関数とすれば、

期待値 m の存在

$$E\{Z(x)\} = m$$

及び、共分散 $C(h)$ の存在（二次安定性の仮説）

$$E\{Z(x+h)Z(x)\} - m^2 = C(h)$$

若しくは、バリオグラム $\gamma(h)$ の存在（イントリンシック仮説）

$$E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} = 2\gamma(h)$$

が成立しなければならない。イントリンシック仮説は、二次安定性の仮説が成立すれば当然成立することから、緩やかな条件といえることができる。

クリージング法では、領域 V の平均値 $Z_v = \frac{1}{V} \int_V Z(x) dx$ を n 個のサンプル値により、 $Z_v^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i$ で求める。 Z_v^* は、最善線形推定値（BLUE, Best Linear Unbiased Estimator）と呼ばれている。

Z_v と Z_v^* の誤差 $\sigma^2_E = E\{[Z_v - Z_v^*]^2\}$ （推定分散と呼ぶ）が最小となるように、 λ_i を決定すれば、 Z_v^* は Z_v の最も正確な推定値と言うことが出来る。この時、 $\sum \lambda_i = 1$ とすることによって、 $E\{Z_v^*\} = E\{Z_v\}$ となる。これをノンバイアス条件と呼ぶ。

推定分散 σ^2_E は、次のように展開される。

$$\sigma^2_E = E\{[Z_v - Z_v^*]^2\} = E\{Z_v^2\} - 2E\{Z_v Z_v^*\} + E\{Z_v^{*2}\}$$

支点 v_1, v_2 の間の共分散を $C(v_1, v_2)$ とし、

$$C(v_1, v_2) = \int_{v_1} \int_{v_2} C(|x-x'|) dx dx'$$

で表わせば、上式の各項は、

$$E\{Z_v^2\} = \frac{1}{V^2} \int_V \int_V E\{Z(x)Z(x')\} dx dx' = C(V, V) + m^2$$

$$\begin{aligned} E\{Z_v Z_{v_i}\} &= \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{1}{V v_i} \int_V \int_{v_i} E\{Z(x)Z(x')\} dx dx' \\ &= \sum_{i=1}^n \lambda_i C(V, v_i) + m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E\{Z_{v_i}^2\} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \frac{1}{v_i v_j} \int_{v_i} \int_{v_j} E\{Z(x)Z(x')\} dx dx' \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C(v_i, v_j) + m^2 \end{aligned}$$

となり、 σ^2_E は、

$$\sigma^2_E = C(V, V) - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i C(V, v_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C(v_i, v_j)$$

となる。ここで、 $C(V, V)$ 、 $C(V, v_i)$ 、 $C(v_i, v_j)$ は、 V 、 v が特定の形状となっていることから、ある一定の値をとる。従って、係数 λ を変数と見なして、 λ で σ^2_E を微分することで、 σ^2_E を最小とするような係数 λ を決定することが出来る。尚、 $\sum \lambda = 1$ という制約条件があり、Standard Lagrange Technique を利用して解くことになる。即ち、Lagrangeのパラメータを μ とし、 $Q = \sigma^2_E$ 、 $F = Q - 2\mu P$ （但し、 $P = \sum \lambda - 1$ とする）とすれば、

$$F = C(V, V) - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i C(V, v_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C(v_i, v_j) - 2\mu (\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1)$$

であり、 F を変数 λ 及び μ でそれぞれ微分して、

$$\partial F / \partial \lambda_i = 0 \quad (i = 1 \sim n)$$

$$\partial F / \partial \mu = 0$$

とおけば、

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j C(v_i, v_j) - \mu = C(v_i, V) \quad (i = 1 \sim n)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

となる。これをクリージングシステムと呼ぶ。

② クリージング分散（最小推定分散）

①のクリージングシステムを満たす推定分散 σ^2_E をクリージング分散と呼び、

$$\min. \sigma^2_E = C(V, V) + \mu - \sum_{i=1}^n \lambda_i C(v_i, V)$$

で表わされる。

③ バリオグラムによる記述

本検討ではイントリンシック仮説の下に、バリオグラムを用いた検討を行なうことを基本としたことから、バリオグラムによる表現を以下に記す。

クリージングシステム

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(v_i, v_j) + \mu = \gamma(v_i, V) \quad (i = 1 \sim n)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

クリージング分散

$$\min. \sigma^2_E = -\gamma(V, V) + \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(v_i, V)$$

ここで、 $\gamma(v_1, v_2)$ は、支点 v_1, v_2 の間のバリオグラム $\gamma(v_1, v_2)$ であり、

$$\gamma(v_1, v_2) = \int_{v_1} \int_{v_2} \gamma(|x-x'|) dx dx'$$

である。

④ クリージングシステムの特徴

上記のように表わされるクリージングシステムは、次のような特徴を持つ。

イ) データの支点 v_i, v_j と推定される支点 V がどのような形状を成していても適用出来る。若干のデータの支点が重複していても良い。但し、完全に同一であってはならない。

ロ) データの支点 v_i が推定される支点 V に含まれていても良い。

ハ) バリオグラム $\gamma(h)$ のモデルに特徴付けられる空間構造は、どのようなものであっても良い。

ニ) クリージングシステムとクリージング分散は、データ値 Z_i には無関係であり、 v_i, v_j, V の幾何学的な形状と位置関係のみに依存している。

(2) レーダ雨量の空間補正方法

クリージング法を、サンプルや推定対象の条件或いは推定手法により分類してみると、図4.2.1 のようになる。これ等を用いたゲージ雨量の空間分布の推定やレーダ雨量の較正方法については、既往研究も多い。それらを参考としつつ、ここでは新たに次のようなレーダ雨量の空間補正方法を考えた。

イ) レーダ雨量とゲージ雨量の比を求め、この比の空間分布をクリージング法により推定し、レーダ雨量の補正を行なう。

ロ) レーダ雨量とゲージ雨量の差を求め、この差の空間分布をクリージング法により推定し、レーダ雨量の補正を行なう。

尚、コクリージング法を用いた方法は、4.3 において検討を行なっている。

クリージング法を適用する場合には、サンプル或いは推定対象の空間的形状や位置関係は出来るだけ単純なほうが良い。これらが複雑であると、サンプル値の代表性に関する理論が複雑になるだけでなく、計算時間が大幅に増す為に、適用が困難となる可能性が大きいからである。そこで、レーダ雨量、ゲージ雨量ともに、直交メッシュ化してからクリージング法を適用することとした。以下、較正方法の流れを記す。

① レーダ雨量、ゲージ雨量の直交メッシュ化

レーダ雨量ゲージ雨量の双方を直交メッシュ化する。レーダ雨量については直交メッシュのメッシュ平均値を、ゲージ雨量についてはメッシュ内に存在するゲージの観測値を用いるものである。但し、レーダ雨量のメッシュ平均値については、現業のレーダにならない、直交メッシュの中心点が属する極座標メッシュの観測値を用いることとした。

② レーダ雨量とゲージ雨量の比若しくは差の算定

ゲージ雨量の得られたメッシュで、レーダ雨量とゲージ雨量の比若しくは差を求める。レーダ雨量を較正してゲージ雨量に整合させる意味合いから、比は（ゲージ雨量／レーダ雨量）、差は（ゲージ雨量－レーダ雨量）で求める。求めた値は、ゲージ観測の支点がメッシュの大きさに比べて無視出来る程度に小さいことから、ポイント値として扱うこととする。

③ バリオグラムの算定

地点間の距離 h の等しいグループ毎に、比若しくは差の値 Z から

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E \{ [Z(x+h) - Z(x)]^2 \}$$

を求め、最小自乗法により曲線回帰を行なってバリオグラムを求める。

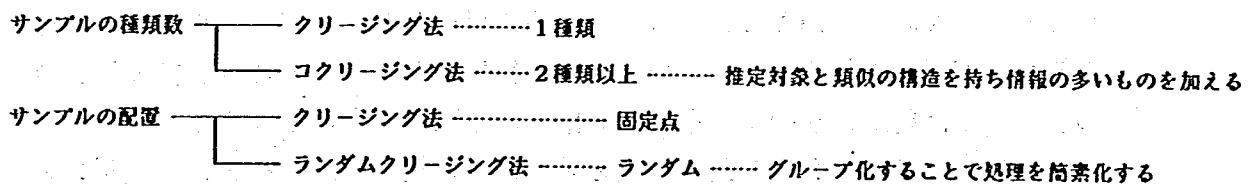
④ 比若しくは差の空間分布の計算

③で得たバリオグラムを用いて、ブロッククリージング法により、比若しくは差の空間分布（直交メッシュ平均値）を求める。

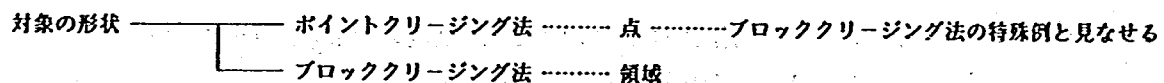
⑤ レーダ雨量の補正

求めた空間分布により、レーダ雨量を補正する。即ち、比による場合には、レーダ雨量に比を乗じる。又、差による場合には、レーダ雨量に差を加える。

使用するサンプルに関して



推定する対象に関して



推定式に関して

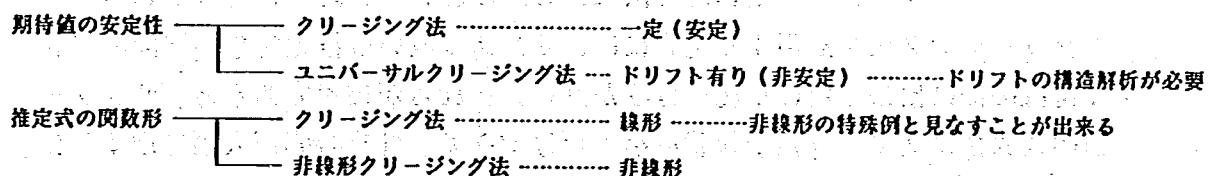


図4.2.1 クリージング法の分類

4.2.2 解析方法と資料

(1) 資料

解析の対象区域は、赤城山レーダ雨量定量観測範囲（半径120km）に外接する正方形の区域である。直交メッシュは、これを3km×3kmのメッシュに分割したものであり、メッシュ数は80×80の計6400メッシュである。

対象降雨は、3.1 に示されている降雨の中から、モデル解析では4時間を、実際データによる検証では擾乱の種類別に各々10時間の計40時間を選定した。

レーダ雨量は、3.1 のものを用い、ゲージ雨量は、テレメータ及びアメダスの観測値を用いている。

図4.2.2 は、対象区域の概要図であり、同図にはテレメータ及びアメダスの観測位置も示してある。

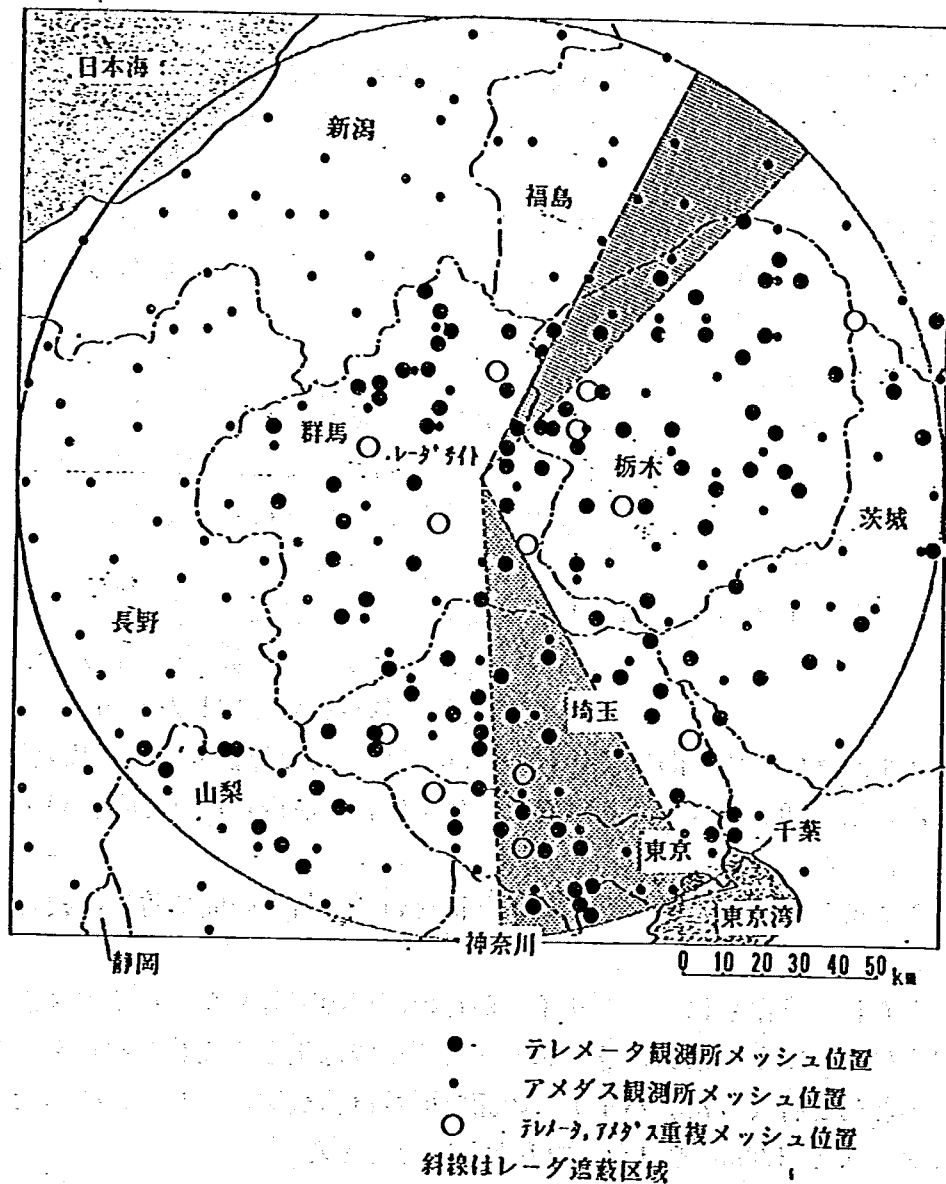


図4.2.2 検討対象区域概要図

(2) モデル解析

モデル解析は、それ自体測定誤差を含むゲージ雨量でなく、モデル作成した真値との間で精度指標を求めることにより、クリージング法の持つ補正特性を把握しようとしたものである。

レーダ雨量、ゲージ雨量の降雨強度や空間分布特性、特にバリオグラムの特性から次の4時間を選定した。

1981年 7月21日16時 雷雨性、バリオグラム急増、等方性

1982年 9月12日16時 台風性、なだらかなバリオグラム、等方性

1983年 5月16日20時 低気圧性、ナゲット ($h \rightarrow 0$ でバリオグラムが0とならない状態)の有るなだらかなバリオグラム、等方性

1983年 9月28日18時 台風性、なだらかなバリオグラム、異方性

選定した時間について、ゲージ雨量には欠測が有るため、ゲージ雨量からポイントクリージング法によりゲージ観測点のある直交メッシュ中心点の値を求め、この値をポイントにおける真値(以下、点真値と呼ぶ)とする。又、ゲージ雨量からブロッククリージング法により求めた空間分布を、メッシュ平均の真値(以下、面真値と呼ぶ)とする。

次に、点真値にゲージ雨量の観測誤差をランダムに重ね合わせて、ゲージ雨量のモデル観測値を作成する。又、面真値にレーダ雨量の観測誤差を重ね合わせて、レーダ雨量のモデル観測値を作成する。

ゲージ雨量

$$R_g = \alpha \cdot R_p$$

R_g ;ゲージ雨量 R_p ;点真値

α ; $N(1, 0.1^2)$ のランダム数。偏差 0.1は、ゲージ雨量の誤差を控え目に見積もって設定したもの。

レーダ雨量

$$R_r = 10^{-\beta} \cdot R_a$$

R_r ;レーダ雨量 R_a ;面真値

β ; $N(0, 0.25^2)$ のランダム数。偏差0.25は、3.3のAFの標準偏差に基づいて設定したもの。

モデル観測値は各時間毎に100ケース作成し、精度評価の面から代表性を検討した結果、30ケースによる評価で十分な代表性が得られたため、30ケースを解析に供した。

このモデル観測値を用いて較正を行ない、真値との間で精度の検討を行なった。

さらに、真雨量にレーダサイトからの距離の関数となるバイアスを加算した場合についても、同様のランダムなモデル観測値を作成し、較正を行なって精度の評価を行なった。バイアスの距離関数は指数関数とし、120kmで2倍となるケースと 120km で 1/2となるケースを考えた。

(3) 実際データによる解析

台風、低気圧、前線、雷雨の各擾乱種別に、降雨強度の大きいことを基準と

して表4.2.1 に示す40時間を選定し、選定した雨量に対して、テレメータ雨量とレーダ雨量を用いて較正を行ない、アメダス雨量との間で精度評価を行なった。

(4) 精度の評価

精度の評価は、次の6指標について行なった。ここで、 R_R は真の雨量強度、 R_C は計算雨量強度、 N はメッシュ数である。

平均値の差 絶対値： $(\sum R_C - \sum R_R) / N$ (mm/h)

相対値： $(\sum R_C - \sum R_R) / \sum R_R / N \times 100$ (%)

自乗平均誤差 $\{\sum (R_C - R_R)^2 / N\}^{1/2}$ (mm/h)

相対誤差 $\sum (R_C - R_R) / R_R / N \times 100$ (%)

相関係数及び適合率 (雨量強度ランクの一致度)

表4.2.1 実際降雨解析対象時間

擾乱種別	年	月	日	時	R _g	擾乱種別	年	月	日	時	R _g
台風	81	8	23	4	11.6	前線	81	6	25	18	1.4
	81	10	22	22	12.5		82	9	8	18	1.1
	81	10	22	23	13.5		82	9	8	19	2.6
	82	8	1	24	15.9		82	9	8	20	5.2
	82	8	2	1	19.7		82	9	8	21	4.8
	82	8	2	2	14.6		82	9	8	22	4.0
	82	9	12	15	15.4		82	9	8	23	3.7
	82	9	12	16	19.4		82	9	8	24	2.0
	82	9	12	17	18.5		82	9	9	1	1.7
	82	9	12	18	15.0		82	9	9	2	1.6
	平均				15.6		平均				2.8
低気圧	81	6	23	8	3.5	雷雨	81	7	13	16	2.8
	81	6	23	9	5.7		81	7	13	17	3.0
	81	6	23	10	3.6		81	7	13	18	3.6
	81	9	26	20	3.1		81	7	13	22	3.4
	83	5	16	12	2.5		81	7	13	23	2.5
	83	5	16	20	4.5		81	7	22	17	4.0
	83	5	16	21	4.4		82	6	19	20	3.1
	83	5	16	22	3.7		82	6	20	18	3.1
	83	5	16	23	2.6		82	6	20	19	3.1
	83	5	17	3	2.7		82	6	20	20	2.6
	平均				3.6		平均				3.1

注) R_gはテレメータの平均雨量強度 (mm/h)

4.2.3 解析結果と評価

(1) 空間特性の検討

① 降雨の空間特性

ここでは直交メッシュ化したゲージ雨量とレーダ雨量のデータを用いて、降雨のバリオグラムの安定性を確認し、クリージング法の適用可能性を検討した。その上で、種々のバリオグラム関数による回帰を行ない、その適合性からクリージングに用いるバリオグラム関数の形を決定した。

イ) バリオグラムの特性の検討

バリオグラムを方向別 (N-S, W-E, NNW-SSE, SSW-NNE) に求め、距離との関係や異方性を検討した。

ゲージ雨量によって求めたバリオグラムは、図4.2.3 (左2列)に例示するように距離方向での振動が激しく安定していない。但し、これはバリオグラム関数の存在を否定すると言うよりも、各距離に於けるデータ数が少ないためにバラツキしていると考えられる。このように、ゲージ雨量によるバリオグラム関数の検討は困難であったが、実際のクリージング法の適用においては、等方性を仮定した上でバリオグラムを距離のみの関数として扱ったことからデータ数が増し、比較的安定したバリオグラムが得られている。

レーダ雨量により求めたバリオグラムの例を図4.2.3 (右2列)に示した。バリオグラムは、擾乱の種類によって特徴が有る他、各時間によっても異なる。又、10km程度の範囲であれば方向別には殆ど差が無い。

ロ) バリオグラム関数の検討

バリオグラム関数の適合性を、次の6種類の関数について評価した。評価は自乗平均誤差によった。

・ Linear Model	$r(h) = a h + b$
・ De Wijis Model (Log Linear)	$r(h) = a \ln h + b$
・ Monomial Model	$r(h) = b h^a$
・ Spherical Model	$r(h) = b \left\{ \frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right\} \quad h \leq a$ $= b \quad h > a$
・ Exponential Model	$r(h) = b \{1 - \exp(-h/a)\}$
・ Gaussian Model	$r(h) = b \{1 - \exp(-h^2/a^2)\}$

評価結果を表4.2.2 と表4.2.3 に示した。平均的な誤差で見ると、Monomial Model が最も良く、次いで De Wijis Modelがよい。但し、雷雨については、Exponential Model が最適であった。最適となる時間数で比較した場合にも同様なことが言えるが、雷雨は、De Wijis Modelが最適となる。

このようなことから、Monomial Model をバリオグラムの関数型として採用することとした。尚、比及び差についてはこのような検討は行なっていないが、後に紹介するようにMonomial Modelにより良好な回帰が行なわれている。

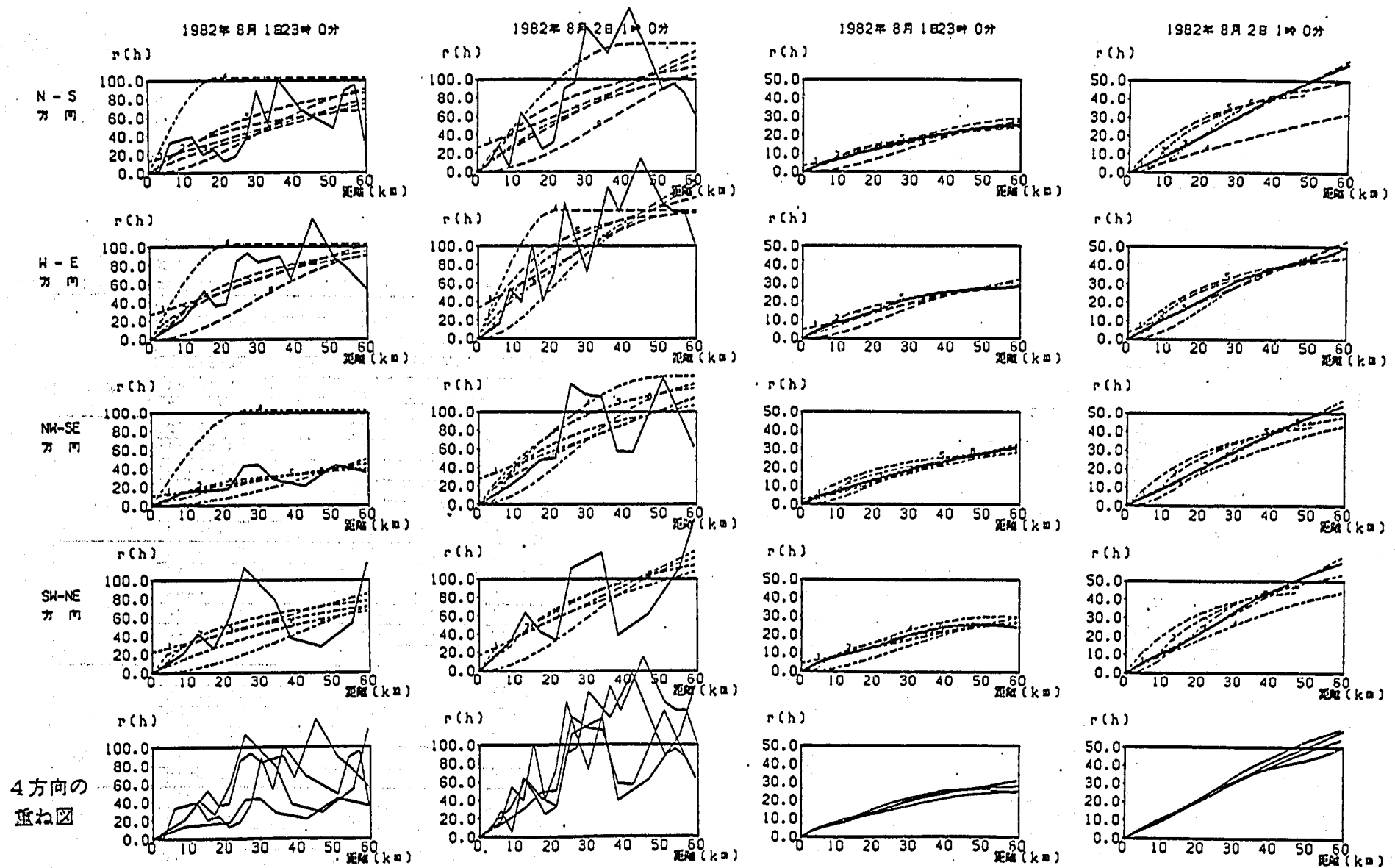


図4.2.3 時刻別の降雨のバリオグラム ($r(h)$ mm/h) 例
(左2列がゲージ雨量, 右2列がレーダ雨量によるもの)

— 計算値
--- 回帰式

ケース1 LINEAR
ケース2 DE WIJIS
ケース3 MONOMIAL

ケース4 SPHERICAL
ケース5 EXPONENTIAL
ケース6 GAUSSIAN

表4.2.2 モデル回帰の二乗平均誤差一覧表
(mm/h)

擾乱種別	パ・リオン・ラムモデル	平均	最大	最小
台風	Linear	1.033	2.125	0.311
	De Wjls(log)	2.222	4.633	0.739
	Monomial	0.969	2.109	0.234
	Spherical	4.301	10.448	0.833
	Exponential	2.470	5.823	0.339
	Gaussian	2.545	4.063	1.267
低気圧	Linear	1.819	4.083	0.152
	De Wjls(log)	1.455	3.298	0.333
	Monomial	0.769	1.890	0.153
	Spherical	5.247	15.063	0.774
	Exponential	2.124	5.812	0.369
	Gaussian	4.668	12.525	0.788
前線	Linear	1.951	4.832	0.180
	De Wjls(log)	1.279	3.150	0.266
	Monomial	1.241	4.648	0.127
	Spherical	3.961	9.448	0.391
	Exponential	1.674	5.056	0.307
	Gaussian	2.727	7.185	0.345
雷雨	Linear	8.909	22.951	2.214
	De Wjls(log)	3.786	13.374	0.940
	Monomial	5.140	11.746	1.170
	Spherical	14.136	34.205	3.263
	Exponential	5.115	18.792	1.451
	Gaussian	10.211	40.584	3.406
平均	Linear	3.428	22.951	0.152
	De Wjls(log)	2.186	13.374	0.266
	Monomial	2.030	11.746	0.127
	Spherical	6.911	34.205	0.391
	Exponential	2.846	18.792	0.307
	Gaussian	5.038	40.584	0.345

注) 平均の欄の最大、最小は各々のモデルの最大、最小である。
太枠は最良値を示す。

表4.2.3 二乗平均誤差による適合性評価

台風						低気圧						前線						雷雨					
時刻	回帰式ケース					時刻	回帰式ケース					時刻	回帰式ケース					時刻	回帰式ケース				
NO	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5
1	4	2	1	5	3	6	1	1	4	2	6	5	3	1	4	1	3	5	2	6	1	5	1
2	2	3	1	6	5	4	2	2	4	1	6	5	3	2	4	1	3	5	2	6	2	5	1
3	2	4	1	6	5	3	3	1	4	2	6	5	3	3	6	1	3	4	5	2	3	4	1
4	2	4	1	6	5	3	4	3	2	1	6	4	5	4	5	1	4	6	2	3	4	1	2
5	1	4	2	5	6	3	5	3	2	1	5	4	6	5	4	2	3	6	5	1	5	4	1
6	2	4	1	6	5	3	6	4	2	1	5	3	6	6	1	4	2	6	5	3	6	3	2
7	3	4	2	6	1	5	7	2	3	1	5	4	6	7	3	2	1	5	4	6	7	4	1
8	1	4	2	6	5	3	8	2	3	1	6	4	5	8	2	5	1	6	4	3	8	4	1
9	1	5	2	3	6	4	9	3	2	1	6	4	5	9	1	4	3	6	5	2	9	5	2
10	2	3	1	6	4	5	10	4	2	1	5	3	6	10	5	1	3	6	2	4	10	4	1
11	3	4	1	6	2	5	11	4	2	1	5	3	6	11	4	2	3	5	6	1	11	5	1
12	3	4	1	6	2	5	12	4	2	1	6	3	5	12	3	2	1	5	4	6	12	4	1
13	1	5	2	6	3	4	13	4	2	1	6	3	5	13	2	3	1	5	4	6	13	4	2
14	1	5	2	6	4	3	14	4	2	1	6	3	5	14	4	3	1	6	2	5	14	4	2
15	1	5	2	6	3	4	15	4	2	1	5	3	6	15	4	3	1	6	2	5	15	5	2
16	2	3	1	5	4	6	16	2	3	1	6	4	5	16	4	1	2	6	3	5	16	5	1
17	4	2	1	6	3	5	17	4	2	1	5	3	6	17	4	2	1	6	3	5	17	4	1
18	2	5	1	3	4	6	18	4	2	1	5	3	6	18	4	2	1	5	3	6	18	3	2
							19	2	4	1	5	3	6	19	4	2	1	5	3	6	19	4	1
							20	2	3	1	5	4	6	20	4	2	1	6	3	5	20	5	1
							21	4	2	1	6	3	5	21	4	2	1	6	3	5			
							22	3	2	1	5	4	6										
							23	3	2	1	5	4	6										
平均	2	4	1	6	4	4	平均	3	3	1	6	4	5	平均	4	2	2	5	3	4	平均	4	1
一位	6	0	1	1	0	1	一位	2	0	2	1	0	0	一位	2	6	1	1	0	0	一位	0	1
二位	7	2	7	0	2	0	二位	6	1	5	2	0	0	二位	2	9	2	0	6	2	二位	0	6
三位	3	3	0	2	4	6	三位	5	4	0	0	1	3	三位	2	3	7	0	6	3	三位	2	0
四位	2	8	0	0	4	4	四位	10	4	0	0	9	0	四位	12	2	1	1	4	1	四位	11	0
五位	0	5	0	3	5	5	五位	0	0	0	1	2	3	五位	2	1	0	8	3	6	五位	7	0
六位	0	0	0	1	2	2	六位	0	0	0	1	1	0	六位	1	0	0	1	2	1	六位	0	0

注) 二乗平均誤差の小さい順位である。下6行は、各順位の頻度。
対象時刻は、擾乱の種別に雨量強度の大きいものから20時間程度を選定したものである。

② 比及び差の空間特性

レーダ雨量とゲージ雨量との比及び差は、観測の特性から考えて等方性として差支えない。実際降雨による解析に用いた40降雨について求めた比及び差のバリオグラムを例を図4.2.4、図4.2.5に示した。このように比及び差のバリオグラムは安定して得られることから、クリージング法の適用に問題は無いと考えられる。

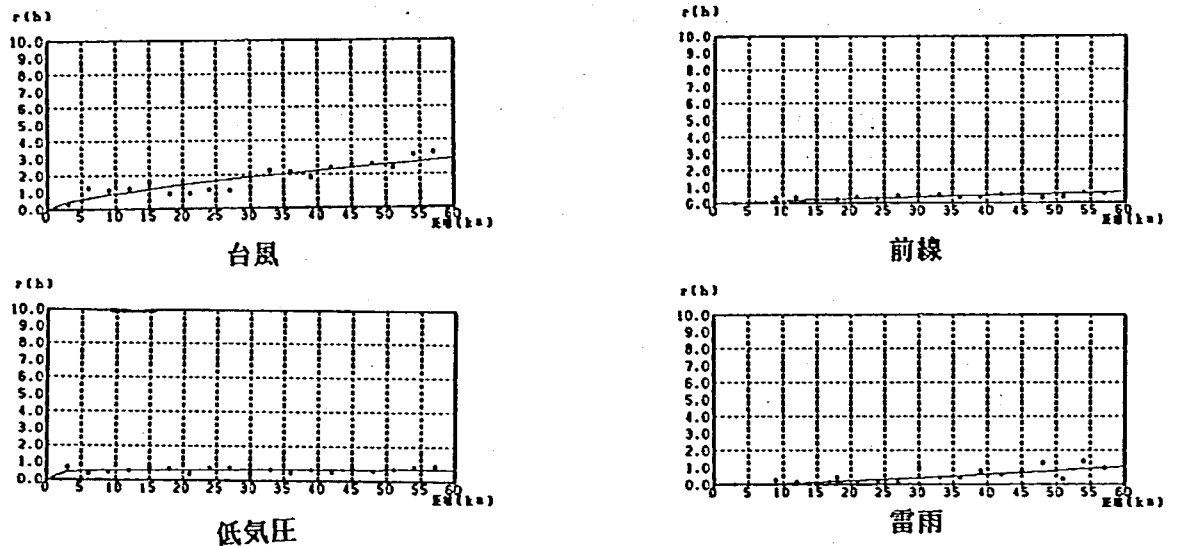


図4.2.4 レーダ雨量とゲージ雨量の比のバリオグラム例
($r(h)$ の単位: mm/h)

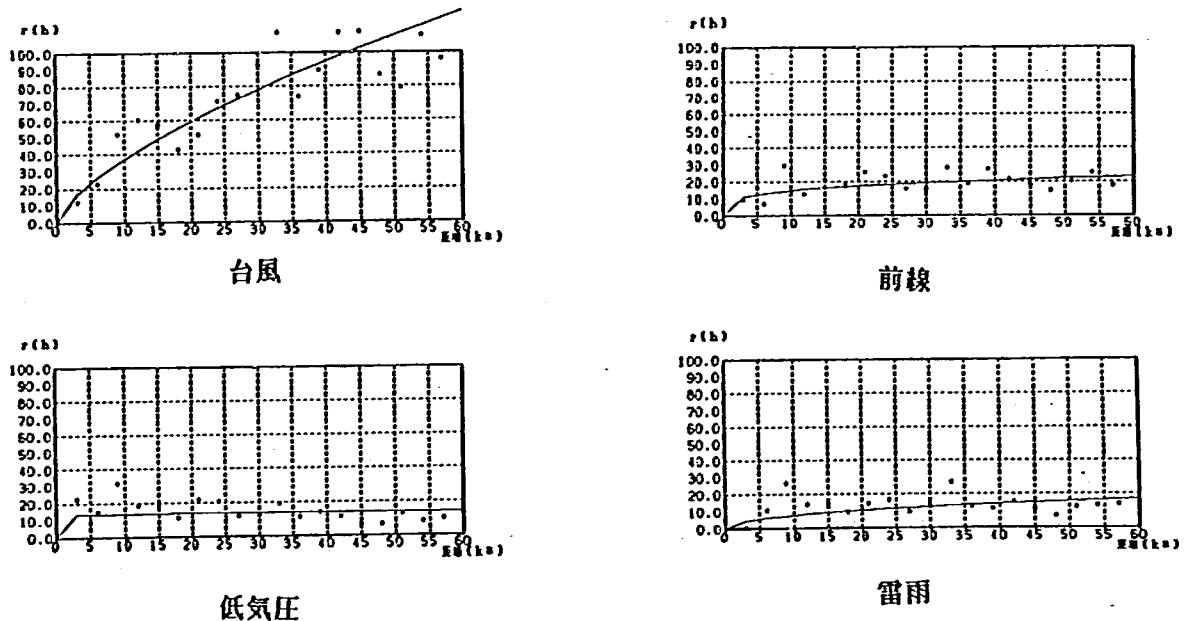


図4.2.5 レーダ雨量とゲージ雨量の差のバリオグラム例
($r(h)$ の単位: mm/h)

(2) モデル解析による評価

① モデル降雨の特性

モデル解析に供した4時間の降雨について、ゲージ雨量、レーダ雨量、点真値（ゲージ雨量値からポイントクリーニング法により欠測点の値を補填したもの）、面真値（ゲージ雨量値からブロッククリーニング法により各メッシュの平均値を推定したもの）のランク表示値とバリオグラムを図4.2.6～図4.2.8に示した。

1981年 7月21日16時は雷雨によるもので、局所的に非常に大きな雨量強度を持っている。バリオグラムは不安定なものとなっている。

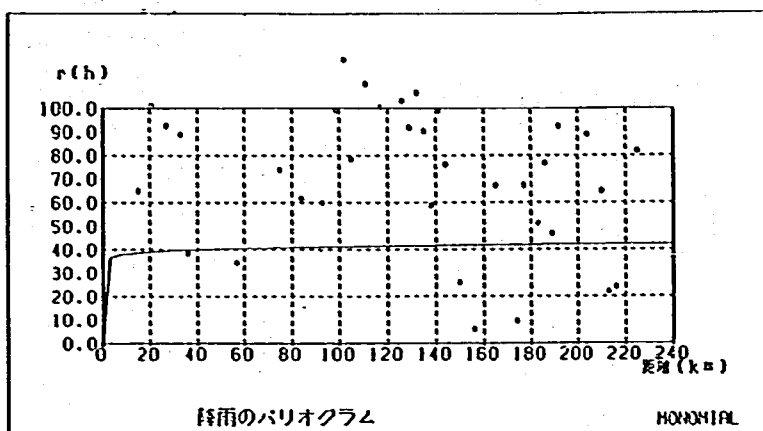
1982年 9月12日16時は台風によるもので、広域的に強い雨量強度を持っている。バリオグラムは比較的安定している。

1983年 5月16日20時は低気圧によるもので、雨量強度はそれ程大きくないが広域的であり、バリオグラムは比較的安定している。

1983年 9月28日18時は台風によるものであるが、雨量強度はそれ程大きくない。降雨域は広く、バリオグラムは安定している。

以上の結果は、4.2.2(2)に述べたバリオグラムの状態と若干異なるところも見られる。これは、4.2.2(2)がレーダ雨量のデータを用いて求めた4方位別のバリオグラムであるのに対し、ここで求めたものがゲージ雨量の全方位によるバリオグラムであることによる。

尚、ここに示したゲージ雨量、レーダ雨量の値は実際に観測された値であり、これに対してモデル解析に用いる値は、観測値から作られた真値にランダム誤差を重ね合わせたものであり、両者は異なる。



7/20 1.0mm/h未満

1 ~ 3.0mm/h未満

2 ~ 5.0mm/h未満

3 ~ 10.0mm/h未満

4 ~ 20.0mm/h未満

5 ~ 30.0mm/h未満

6 ~ 50.0mm/h未満

7 ~ 70.0mm/h未満

8 ~ 100.0mm/h未満

9 ~ 100.0mm/h以上

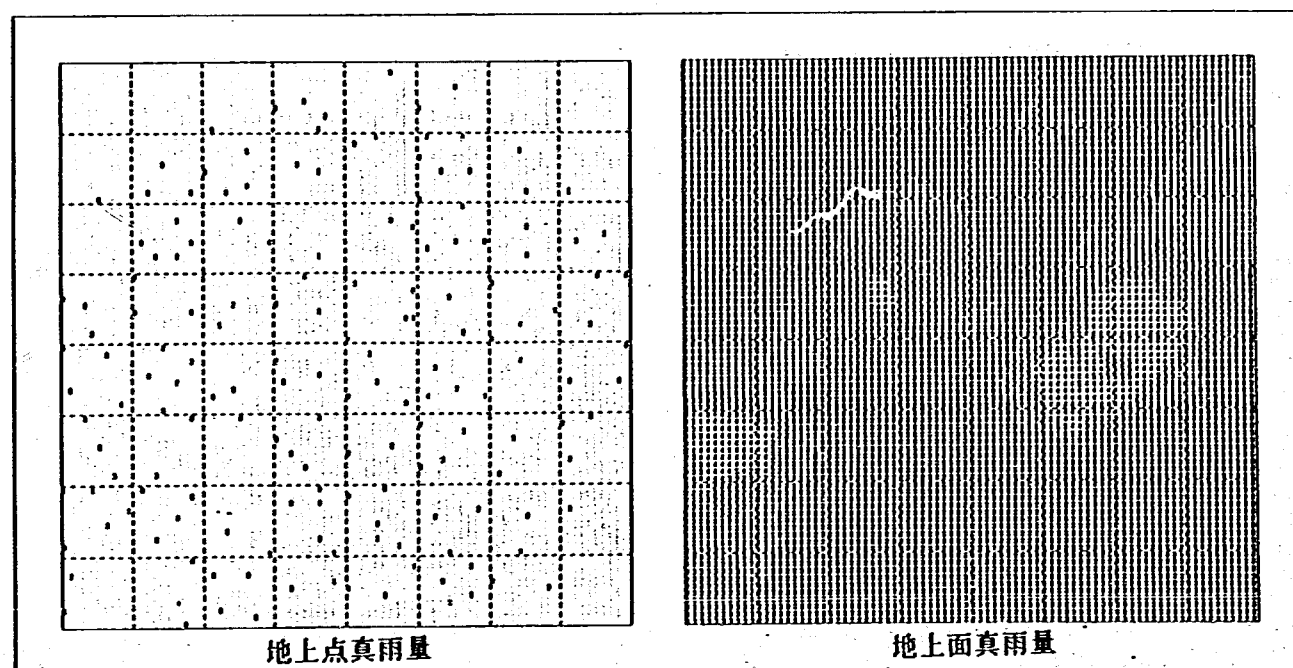
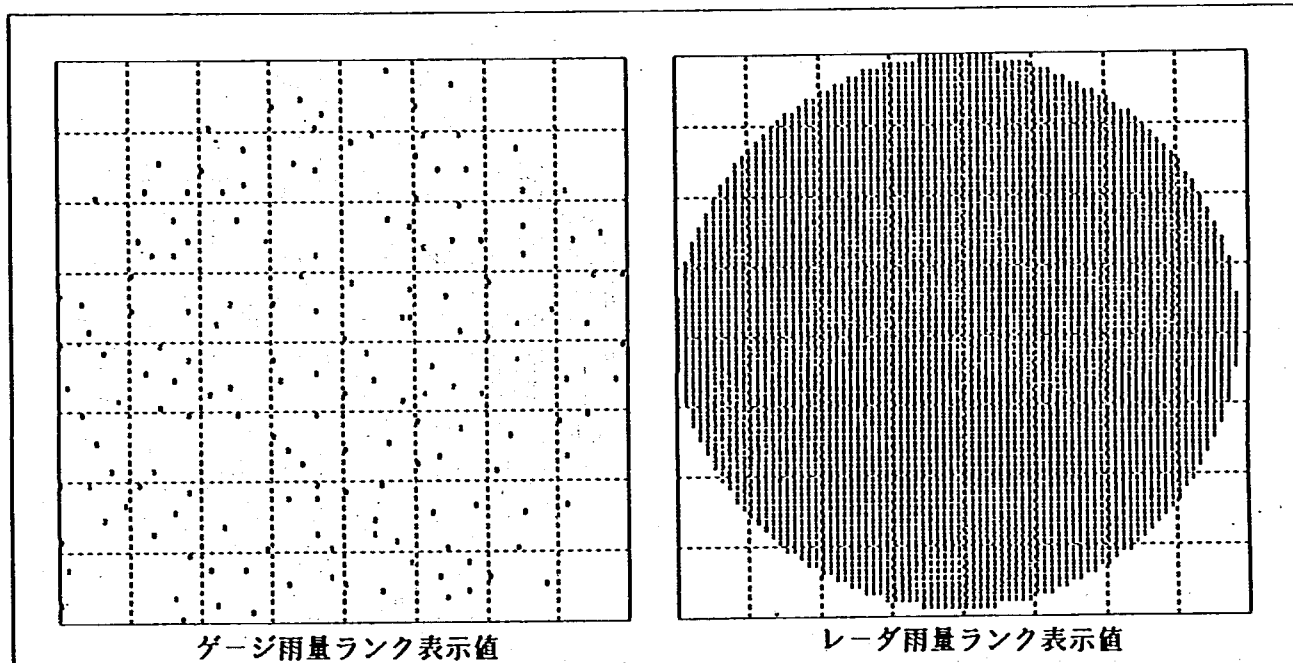
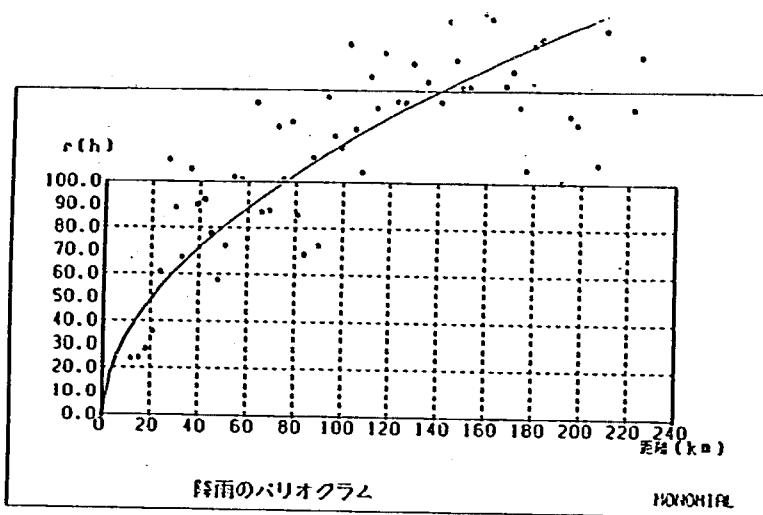


図4.2.6 モデル降雨の状況一覧図 (1981年 7月21日16時)



- ランク 1.0mm/h未満
- 1 ~ 3.0mm/h未満
 - 2 ~ 5.0mm/h未満
 - 3 ~ 10.0mm/h未満
 - 4 ~ 20.0mm/h未満
 - 5 ~ 30.0mm/h未満
 - 6 ~ 50.0mm/h未満
 - 7 ~ 70.0mm/h未満
 - 8 ~ 100.0mm/h未満
 - 9 ~ 100.0mm/h以上

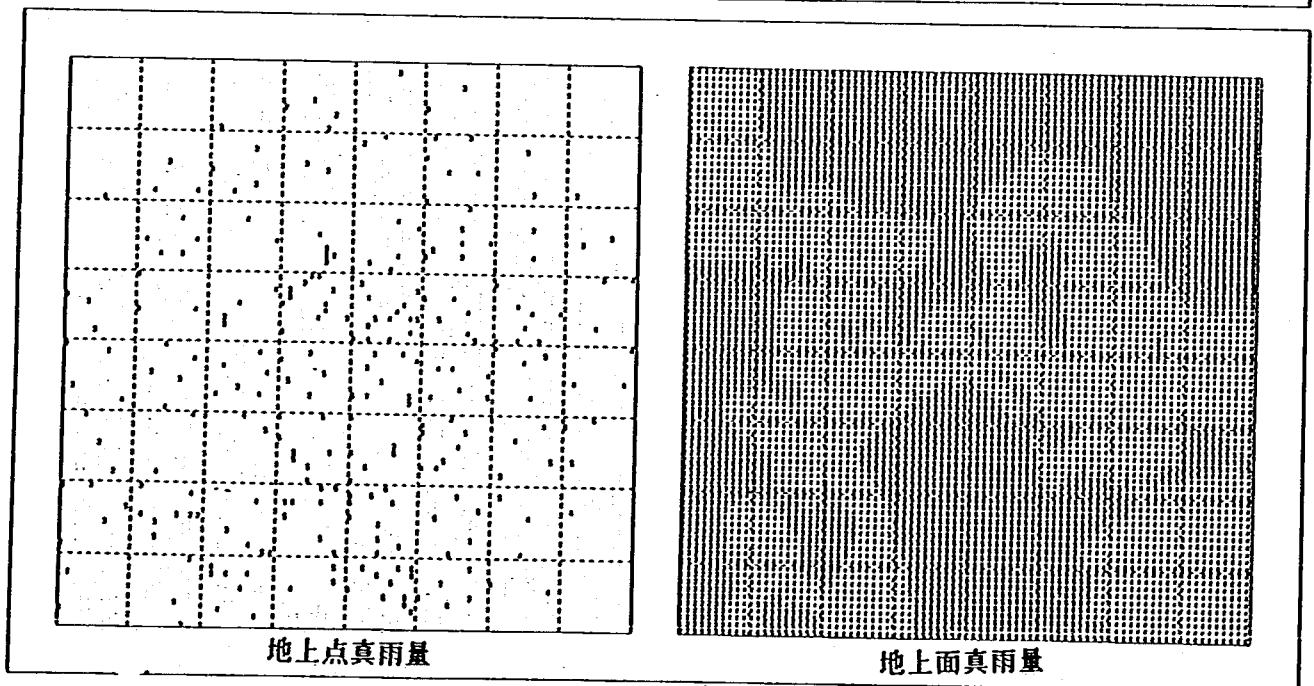
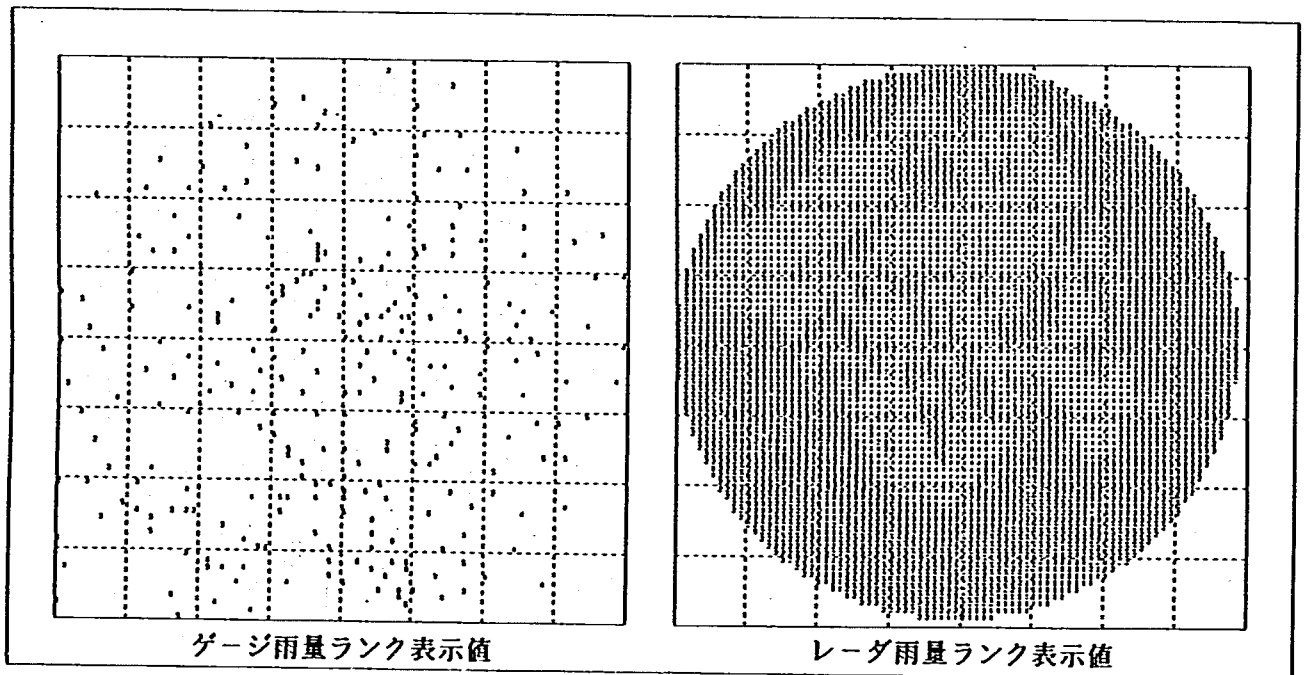
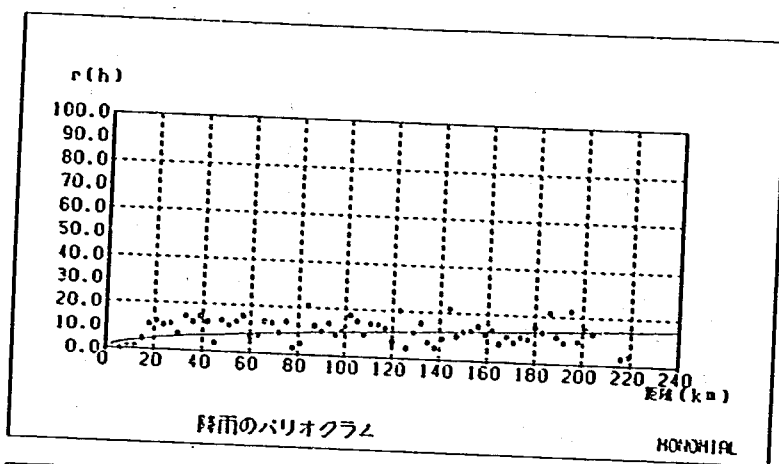


図4.2.7 モデル降雨の状況一覧図(1982年 9月12日16時)



- ランク 1.0mm/h未満
- 1 ~ 3.0mm/h未満
 - 2 ~ 5.0mm/h未満
 - 3 ~ 10.0mm/h未満
 - 4 ~ 20.0mm/h未満
 - 5 ~ 30.0mm/h未満
 - 6 ~ 50.0mm/h未満
 - 7 ~ 70.0mm/h未満
 - 8 ~ 100.0mm/h未満
 - 9 ~ 100.0mm/h以上

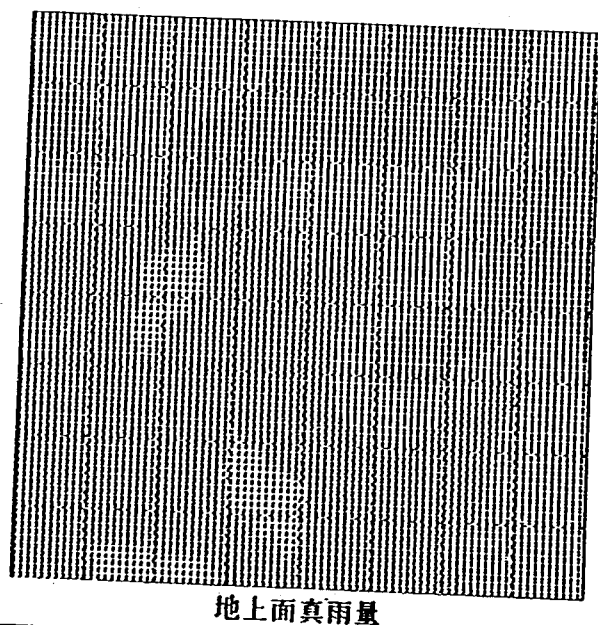
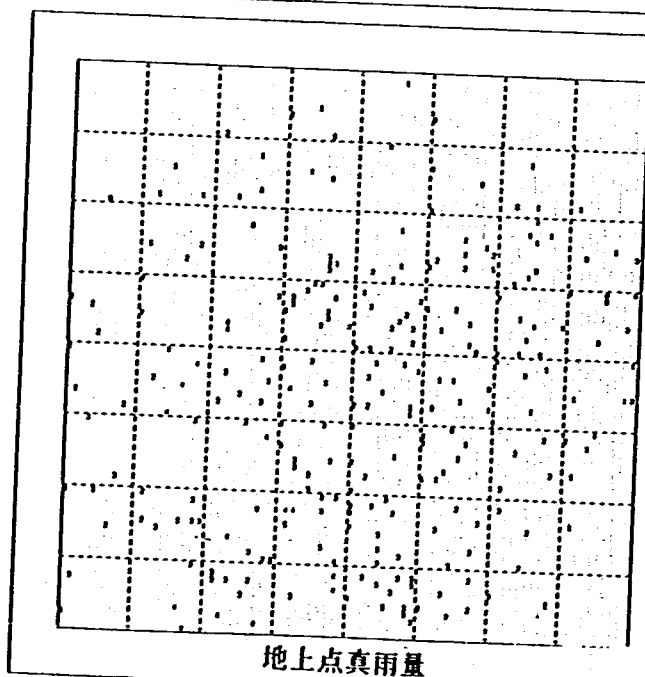
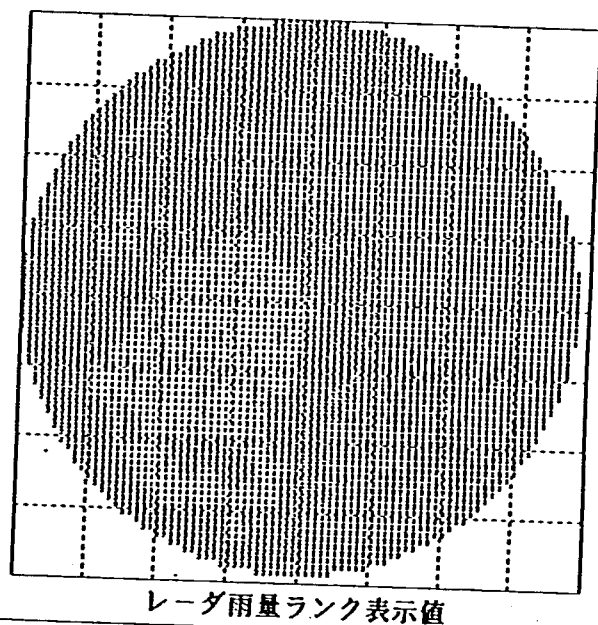
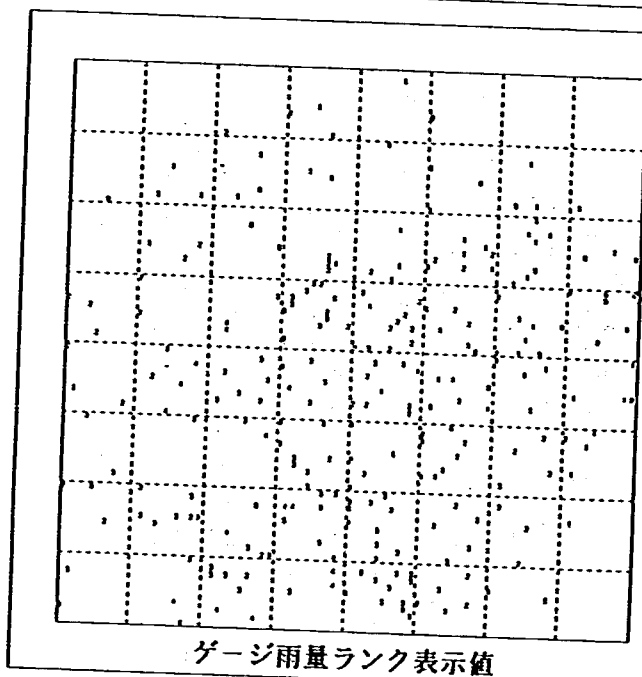
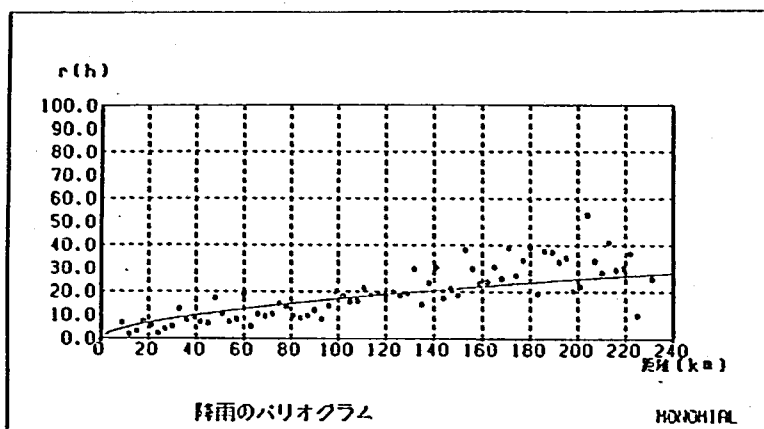


図4.2.8 モデル降雨の状況一覧図 (1983年 5月16日20時)



ランク 1.0mm/h未満

1 ~ 3.0mm/h未満

2 ~ 5.0mm/h未満

3 ~ 10.0mm/h未満

4 ~ 20.0mm/h未満

5 ~ 30.0mm/h未満

6 ~ 50.0mm/h未満

7 ~ 70.0mm/h未満

8 ~ 100.0mm/h未満

9 ~ 100.0mm/h以上

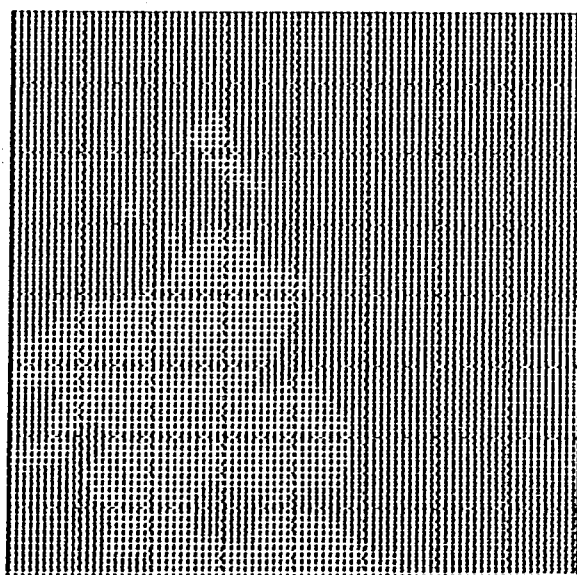
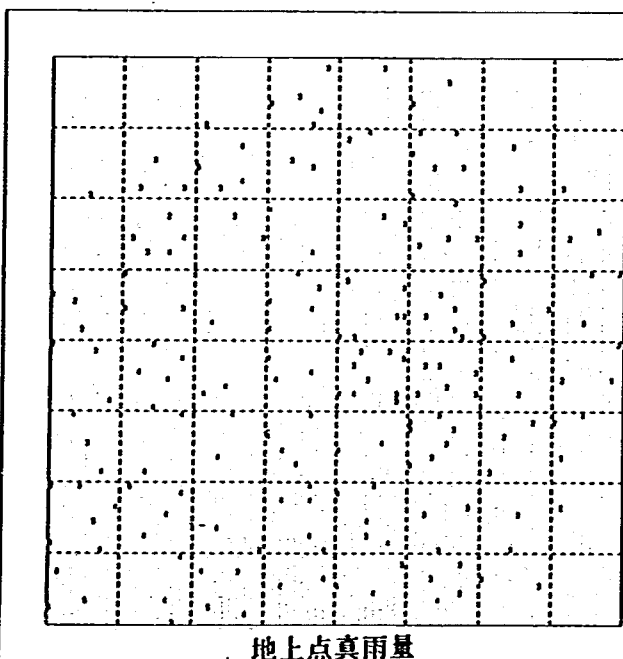
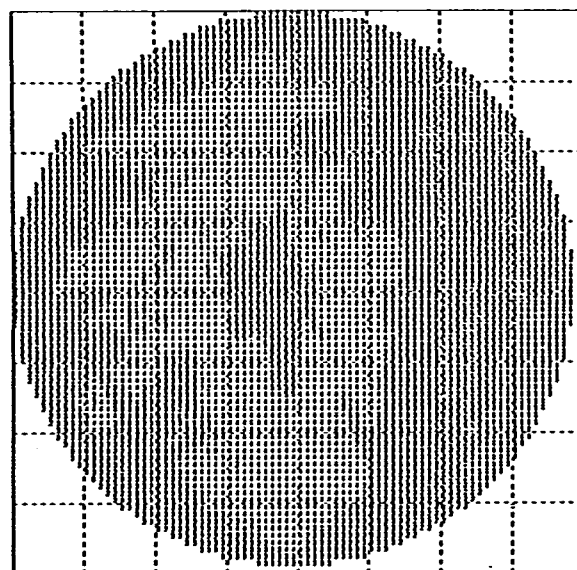
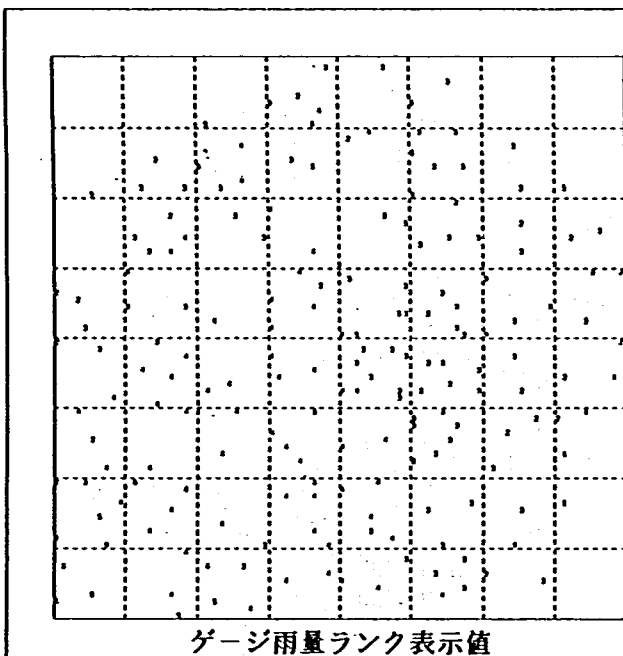


図4.2.9 モデル降雨の状況一覧図(1983年 9月28日18時)

② 精度評価結果

イ) 地上雨量観測点真値(点真値)との対応

表4.2.4～表4.2.6及び図4.2.10～図4.2.12は、地上観測値に対する精度を見る意味で、点真値との間で精度指標値を求めたものである。

比、差による補正共に、顕著な改善効果が見られる。バイアスを距離比例で増加させたものは比による補正の方が良好であり、又、距離比例で減少させたものは両者同程度の補正効果である。

適合度で見た場合には、補正を行うことで、ランク差1以内にほぼ9割が入る。

ロ) 真雨量(面真値)との対応

表4.2.7～表4.2.9及び図4.2.13～図4.2.15は、真雨量に対する精度を見る意味で、面真値との間で精度指標値を求めたものである。

レーダ雨量にバイアスがかかっていない場合には、補正の効果は殆ど無い。バイアスがかかっている場合には顕著な改善効果が有り、バイアスのかかり方と補正方法の優劣の関係は、イ)と同様である。

適合度で見た場合には、各ケースともにランク差1以内にほぼ8割が入っている。

(3) 実際データによる解析

① 降雨の特性

解析に用いた40時間の降雨のバリオグラムの例を、図4.2.16、図4.2.17に示した。このうち図4.2.16はテレメータ雨量値によるものであり、図4.2.17はアメダス雨量値によるものである。テレメータとアメダスでは類似した傾向を示すが、明らかに異なるものも僅かに見られる。これは、観測所の設置位置の違いによるものと思われる。

擾乱毎に比較してみると、台風と雷雨のバリオグラムが大きく、低気圧と前線では小さい。これは、時間雨量強度の違いが反映されたものと考えられる。又、雷雨では、距離の増加に伴ってバリオグラムの値が指数的に増加するものが見られる他、他の擾乱と比べると、全体的に不安定である。先に4.2.3(1)で行った検討においては、この傾向を示すものが数多く見られた。これは、ここで選択した雨が、降雨強度の大きいものであり、極地的な降雨があまり取り込まれなかった為とも考えられる。

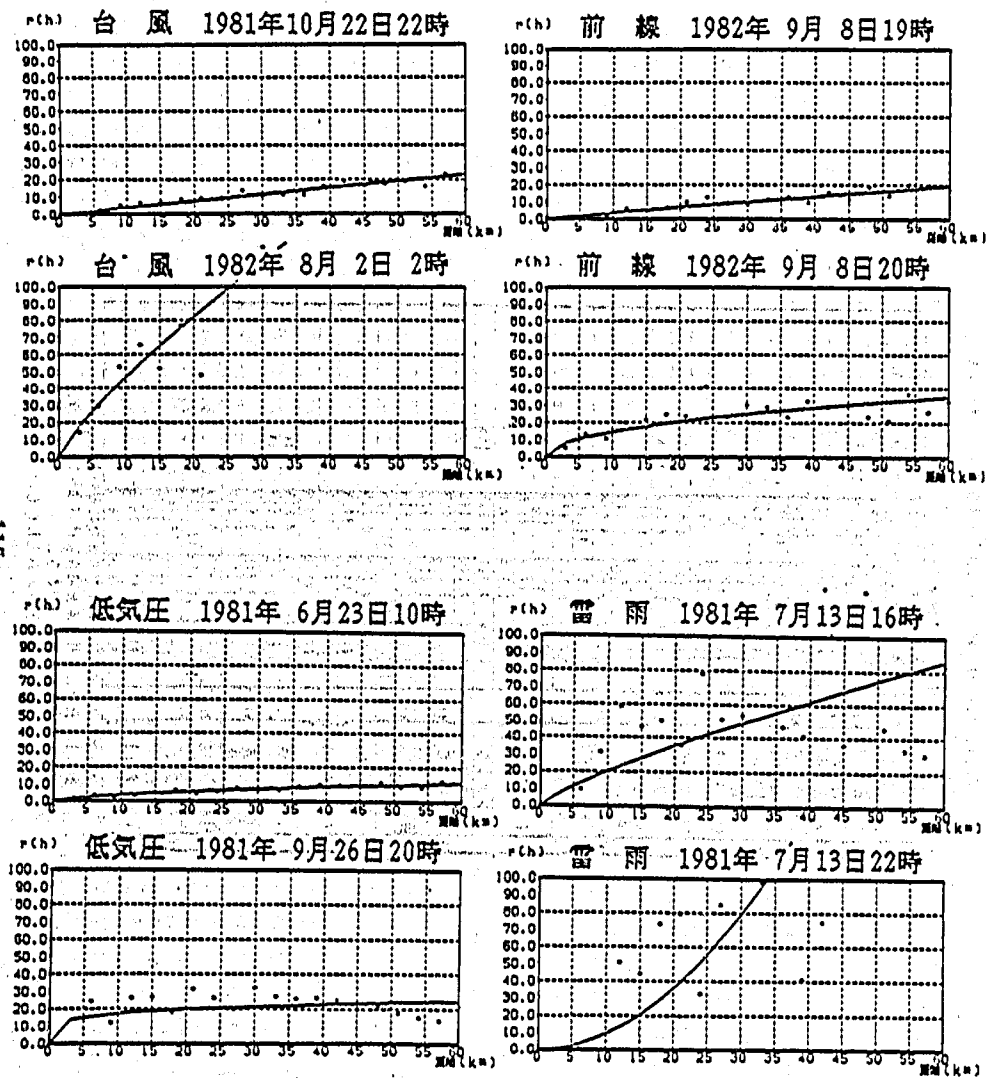


図4.2.16 降雨のバリオグラム (テレメータ)

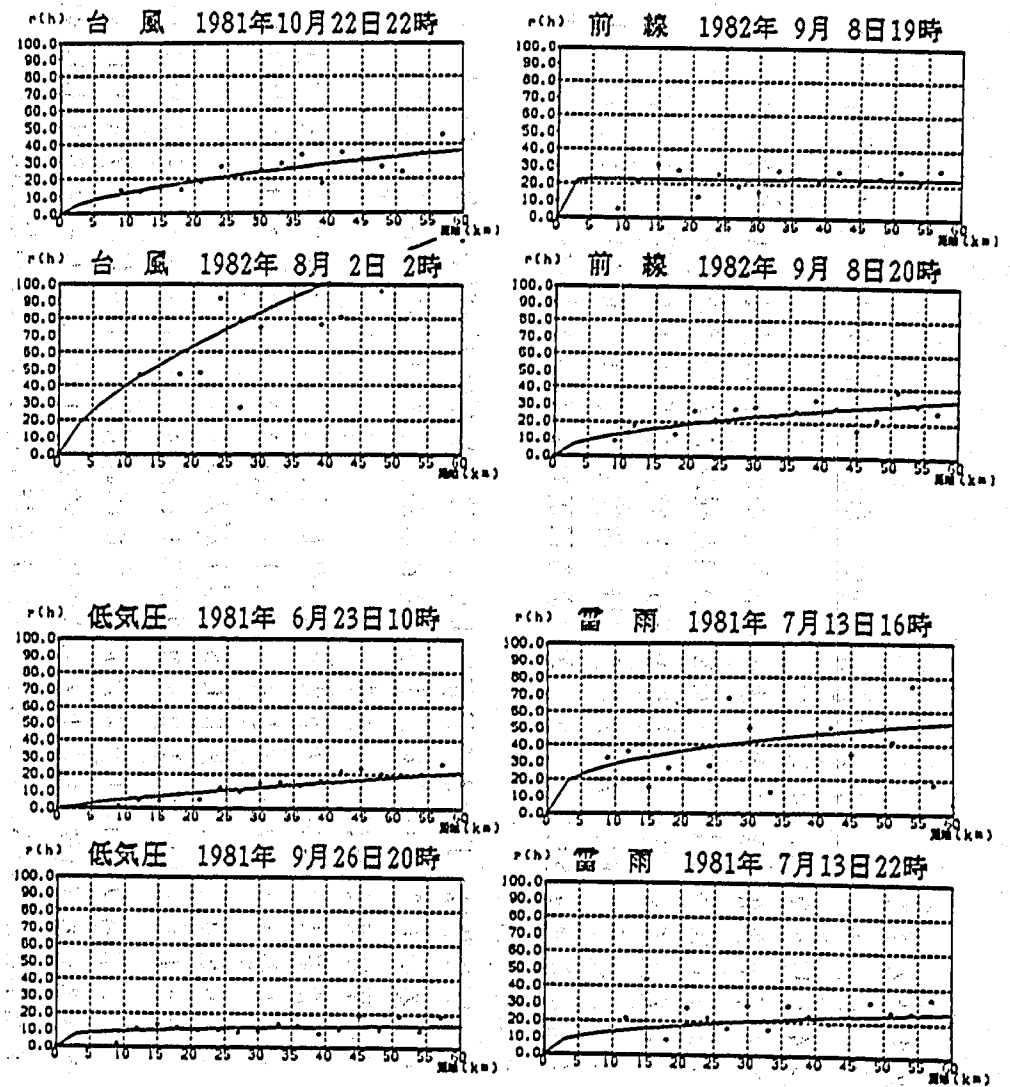


図4.2.17 降雨のバリオグラム (アメダス)

② 精度の評価

図4.2.18～図4.2.20及び表4.2.10に、精度指標値を示した。又、適合率表を表4.2.11～表4.2.13に示した。

自乗平均誤差は、補正によって小さくなる。特に台風に於いて効果が著しく、補正前で10mm/h以上であったものが 1/2程度に改善されている。

相対誤差は、比による補正を行うことで、各擾乱共に50%程度に改善されている。補正を行わなかった場合には、前線や雷雨では 100%以上となっており、補正の効果は著しい。一方、差による補正ではあまり効果は無く、むしろ誤差が増している。

相関係数は、比による補正により、各擾乱ともに 0.7以上となっている。差による補正でもかなりの向上が見られるが、台風を除いては比による補正の場合の半分程度の改善度である。

適合率は、比による補正の効果が著しく、又、差による補正によっても台風ではかなりの改善が見られる。比による補正では、ランク差1以内に雷雨を除いて9割以上が入る。雷雨も8割以上が入る。

このように比による補正の効果が著しいのは、現行のレーダ雨量観測に於いては、雨滴の分布、ビーム充満率、降雨減衰項など空間的に一定方向の補正を要するものが誤差を支配しているためと考えられる。又、レーダの観測が対数を基本としていることから、比による補正が有効なことは推察出来る。

表4.2.10 精度評価結果一覧表

		(対アメダス観測値)			備 考
号	計算ケース	ケース1 単位補正無し	ケース2 比で補正後	ケース3 差で補正後	
台	サンプル数	4,865	4,865	4,865	167
	全平均	mm/h 0.660	12.428	13.376	12.339
	全平均の差	mm/h -5.679	0.870	1.038	
	全平均の比	0.536	1.007	1.035	
	自乗平均誤差	mm/h 11.310	6.133	6.143	
	相対誤差	% 58.228	48.264	61.862	
	相関係数	0.400	0.821	0.811	
前	適合度	0 25.7	50.0	50.3	
	(ランク差)	1 66.9	91.2	92.3	
	2 88.1	99.3	98.9		
	サンプル数	4,865	4,865	4,865	156
	全平均	mm/h 3.883	3.358	4.769	3.165
	全平均の差	mm/h 0.716	0.194	1.605	
	全平均の比	1.238	1.058	1.524	
雷	自乗平均誤差	mm/h 2.974	2.053	3.040	
	相対誤差	% 77.757	48.216	91.168	
	相関係数	0.592	0.745	0.688	
	適合度	0 49.0	60.6	58.9	
	(ランク差)	1 89.2	94.9	91.0	
	2 99.4	100.0	99.9		
	サンプル数	4,865	4,865	4,865	169
雨	全平均	mm/h 3.523	2.245	4.146	2.185
	全平均の差	mm/h 1.335	0.661	1.957	
	全平均の比	1.721	1.022	1.972	
	自乗平均誤差	mm/h 3.222	2.055	3.516	
	相対誤差	% 112.957	49.205	130.125	
	相関係数	0.690	0.798	0.725	
	適合度	0 44.9	64.4	39.3	
其	(ランク差)	1 88.3	94.2	85.8	
	2 99.0	99.4	98.9		
	サンプル数	4,865	4,865	4,865	165
	全平均	mm/h 4.036	2.432	4.684	1.987
	全平均の差	mm/h 2.051	0.445	2.697	
	全平均の比	2.119	1.290	2.469	
	自乗平均誤差	mm/h 4.965	4.522	5.374	
台	相対誤差	% 158.194	70.154	177.599	
	相関係数	0.636	0.708	0.664	
	適合度	0 35.4	52.7	33.7	
	(ランク差)	1 79.7	83.9	74.4	
	2 96.4	96.0	96.4		

注) 各ケースのサンプル数は、全平均算定に用いた数である。
 有効とした値は、相対誤差と適合度が 1.0～200.0mm/h、
 それ以外が 0.0～200.0 mm/hである。
 太字は、補正無しよりも精度の向上したものを示す。

表 4.2.4 精度評価結果一覧表

(対地上観測点真値)		バイアス無し				備考	
計算ケース	指標	単位	ケース 1 補正無し	ケース 2 比で補正	ケース 3 差で補正	ゲージ 雨 量	真 値 その他
昭和56年7月21日	サンプル数		6.400	6.400	6.400	166	296
和	全平均	mm/h	2.413	2.387	2.318	2.196	2.567
56	全平均の差	mm/h	-0.154	-0.180	-0.250	-0.372	
年	全平均の比		0.940	0.930	0.903	0.855	
7	自乗平均誤差	mm/h	5.024	4.139	3.209	0.746	
月	相対誤差	%	104.898	41.098	32.658	7.924	
21	相関係数		0.703	0.870	0.906	0.995	
日	適合度	0	43.0	56.5	65.4	88.7	
16	(ランク差)	1	77.5	87.9	92.1	100.0	
時		2	94.2	98.0	99.0	100.0	
昭和57年9月12日	サンプル数		6.400	6.400	6.400	266	296
和	全平均	mm/h	16.495	18.297	14.579	16.546	16.517
57	全平均の差	mm/h	-0.023	1.780	-1.938	0.029	
年	全平均の比		0.999	1.108	0.883	1.002	
9	自乗平均誤差	mm/h	13.512	5.319	8.512	2.001	
月	相対誤差	%	57.391	13.968	15.374	8.191	
12	相関係数		0.657	0.899	0.826	0.985	
日	適合度	0	38.0	77.3	80.5	86.4	
16	(ランク差)	1	84.2	97.9	96.8	100.0	
時		2	97.3	99.5	98.7	100.0	
昭和58年5月16日	サンプル数		6.400	6.400	6.400	256	296
和	全平均	mm/h	4.213	4.316	3.444	4.039	4.207
58	全平均の差	mm/h	0.006	0.109	-0.763	-0.168	
年	全平均の比		1.001	1.026	0.819	0.960	
5	自乗平均誤差	mm/h	4.035	1.615	1.631	0.648	
月	相対誤差	%	55.602	15.405	13.131	8.612	
16	相関係数		0.721	0.920	0.920	0.988	
日	適合度	0	50.3	65.1	80.3	84.5	
20	(ランク差)	1	90.8	98.7	98.7	100.0	
時		2	99.4	99.9	99.9	100.0	
昭和58年9月28日	サンプル数		6.400	6.400	6.400	187	296
和	全平均	mm/h	10.435	11.714	8.786	9.160	9.228
58	全平均の差	mm/h	1.207	2.487	-0.441	-0.068	
年	全平均の比		1.131	1.269	0.952	0.993	
9	自乗平均誤差	mm/h	7.605	5.782	5.109	1.152	
月	相対誤差	%	52.396	29.177	24.819	8.400	
28	相関係数		0.581	0.673	0.725	0.982	
日	適合度	0	41.1	65.7	68.0	85.1	
18	(ランク差)	1	87.6	93.5	92.9	100.0	
時		2	98.6	98.8	98.4	100.0	

注) 各ケースのサンプル数は、全平均算定に用いた数である。

有効とした値は、相対誤差と適合度が 1.0~200.0 mm/h、

それ以外が 0.0~200.0 mm/hである。

太枠は、補正無しよりも精度の向上したもの。

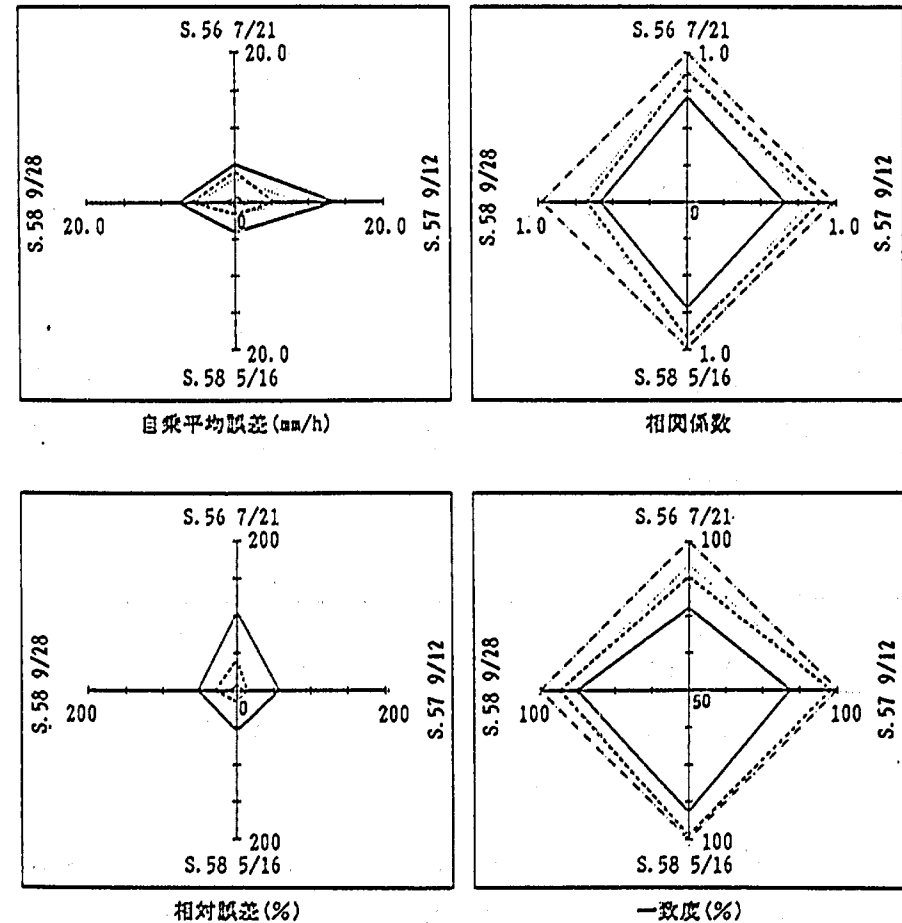


図 4.2.10 指標別精度評価結果比較図
(対地上観測点真値、バイアス無し)

— 補正無し
--- 比で補正
... 差で補正
- . - ゲージ雨量

(対地上観測点真値) バイアス距離比例指数関数減少

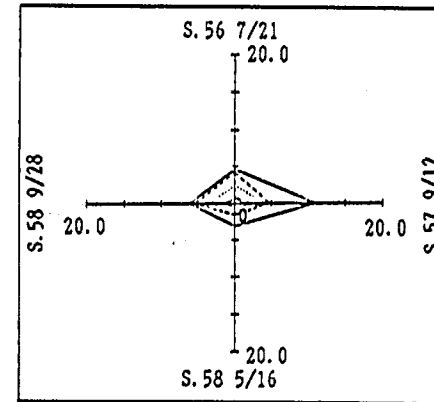
計算ケース	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ゲージ	備考
指標	単位補正無し	比で補正	茲で補正	雨量	真値
サンプル数	6,400	6,400	6,400	166	296
全平均	mm/h 1.577	2.261	2.161	2.196	2.567
全平均の差	mm/h -0.990	-0.306	-0.407	-0.372	
全平均の比	0.614	0.881	0.842	0.855	
自乗平均誤差	mm/h 4.543	4.089	2.328	0.746	
相対誤差	% 82.269	42.534	25.896	7.924	
相関係数	0.693	0.862	0.943	0.995	
適合度	0	38.1	55.9	69.9	88.7
(ランク差)	1	75.1	86.6	94.8	100.0
	2	93.3	97.7	99.7	100.0
サンプル数	6,400	6,400	6,400	266	296
全平均	mm/h 10.253	17.871	13.638	16.546	16.517
全平均の差	mm/h -6.264	1.354	-2.880	0.029	
全平均の比	0.621	1.082	0.826	1.002	
自乗平均誤差	mm/h 10.853	4.709	4.125	2.001	
相対誤差	% 47.873	14.012	11.361	8.191	
相関係数	0.617	0.917	0.935	0.985	
適合度	0	30.0	76.9	82.4	86.4
(ランク差)	1	75.2	97.8	98.8	100.0
	2	95.7	99.5	99.7	100.0
サンプル数	6,400	6,400	6,400	256	296
全平均	mm/h 2.591	3.982	3.303	4.039	4.207
全平均の差	mm/h -1.616	-0.225	-0.904	-0.168	
全平均の比	0.616	0.947	0.785	0.960	
自乗平均誤差	mm/h 3.134	1.522	1.054	0.648	
相対誤差	% 46.667	16.178	11.633	8.612	
相関係数	0.685	0.928	0.963	0.988	
適合度	0	39.6	64.4	80.4	84.5
(ランク差)	1	82.1	98.4	99.2	100.0
	2	98.9	99.9	100.0	100.0
サンプル数	6,400	6,400	6,400	187	296
全平均	mm/h 6.245	11.339	8.568	9.160	9.228
全平均の差	mm/h -2.983	2.111	-0.659	-0.068	
全平均の比	0.677	1.229	0.929	0.993	
自乗平均誤差	mm/h 5.981	5.302	3.338	1.152	
相対誤差	% 45.296	27.711	19.573	8.400	
相関係数	0.452	0.697	0.828	0.982	
適合度	0	31.6	63.6	70.8	85.1
(ランク差)	1	76.3	94.2	96.2	100.0
	2	97.3	99.1	99.4	100.0

注) 各ケースのサンプル数は、全平均算定に用いた数である。

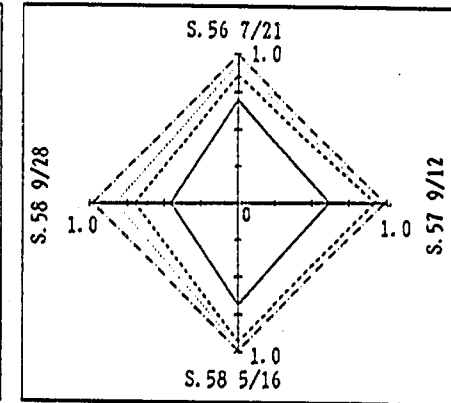
有効とした値は、相対誤差と適合度が 1.0~200.0 mm/h、

それ以外が 0.0~200.0 mm/hである。

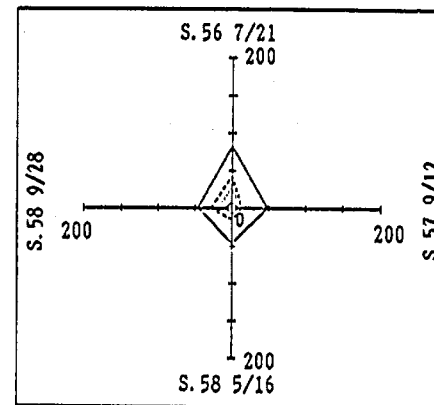
太枠は、補正無しよりも精度の向上したもの。



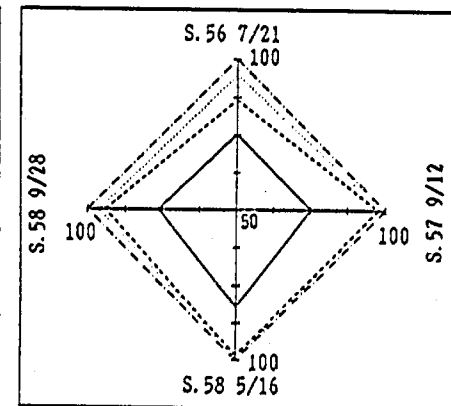
自乗平均誤差 (mm/h)



相関係数



相対誤差 (%)



一致度 (%)

図 4.2.12 指標別精度評価結果比較図

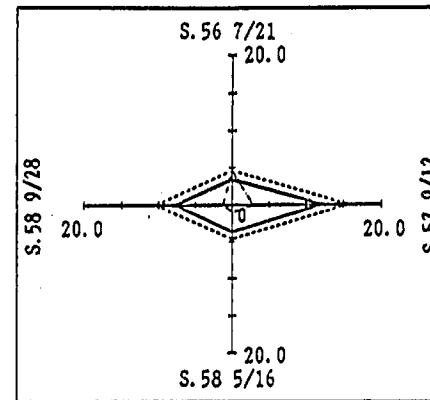
(対地上観測点真値, バイアス距離比例指数関数減少)

— 補正無し
 ---- 比で補正
 茲で補正
 -.-.- ゲージ雨量

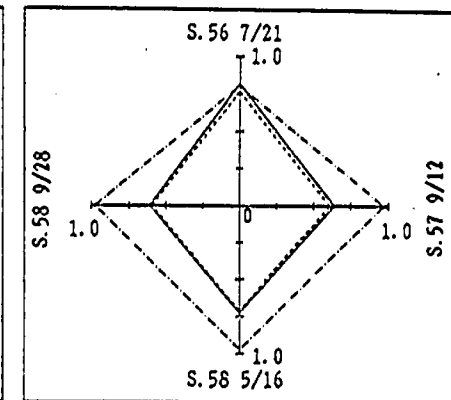
表4.2.7 精度評価結果一覧表

(対真値)		バイアス無し				備考	
計算ケース	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ゲージ	真値	備考	
指標	単位	補正無し	比で補正	差で補正	雨量	備考	
サンプル数		6.400	6.400	6.400	166	6.400	
全平均	mm/h	2.413	2.387	2.318	2.196	2.039	
全平均の差	mm/h	0.374	0.348	0.278	0.156		
全平均の比		1.183	1.170	1.136	1.077		
自乗平均誤差	mm/h	3.299	4.594	3.635	4.501		
相対誤差	%	51.549	59.247	56.185	70.335		
相関係数		0.819	0.768	0.810	0.803		
適合度	0	52.3	46.5	48.4	41.8		
(ランク差)	1	89.7	84.0	86.9	70.2		
	2	99.0	97.4	98.3	98.3		
サンプル数		6.400	6.400	6.400	266	6.400	
全平均	mm/h	16.495	18.297	14.579	16.546	14.034	
全平均の差	mm/h	2.461	4.264	0.545	2.512		
全平均の比		1.175	1.304	1.039	1.179		
自乗平均誤差	mm/h	12.155	15.613	12.337	2.842		
相対誤差	%	51.164	60.257	52.332	12.949		
相関係数		0.640	0.609	0.627	0.971		
適合度	0	40.6	38.7	37.9	80.2		
(ランク差)	1	85.5	81.6	79.5	99.6		
	2	97.8	96.1	95.1	99.8		
サンプル数		6.400	6.400	6.400	256	6.400	
全平均	mm/h	4.213	4.316	3.444	4.039	3.571	
全平均の差	mm/h	0.642	0.746	-0.127	0.469		
全平均の比		1.180	1.209	0.964	1.131		
自乗平均誤差	mm/h	3.646	4.552	3.696	0.941		
相対誤差	%	51.534	53.961	50.747	14.048		
相関係数		0.730	0.710	0.674	0.973		
適合度	0	54.7	53.2	52.9	81.1		
(ランク差)	1	91.3	89.6	88.6	100.0		
	2	99.4	98.9	99.1	100.0		
サンプル数		6.400	6.400	6.400	187	6.400	
全平均	mm/h	10.435	11.714	8.786	9.160	8.856	
全平均の差	mm/h	1.579	2.859	-0.069	0.304		
全平均の比		1.178	1.323	0.992	1.034		
自乗平均誤差	mm/h	7.682	10.295	7.902	1.276		
相対誤差	%	51.215	61.440	52.382	10.182		
相関係数		0.609	0.593	0.582	0.978		
適合度	0	42.1	39.7	38.8	83.3		
(ランク差)	1	87.9	84.4	81.6	100.0		
	2	98.7	97.3	97.1	100.0		

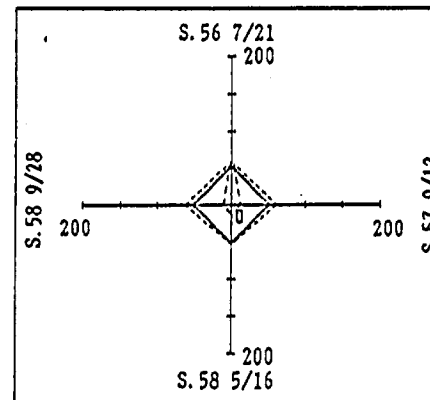
注) 各ケースのサンプル数は、全平均算定に用いた数である。
有効とした値は、相対誤差と適合度が 1.0~200.0 mm/h。
それ以外が 0.0~200.0 mm/h である。
太枠は、補正無しよりも精度の向上したものの。



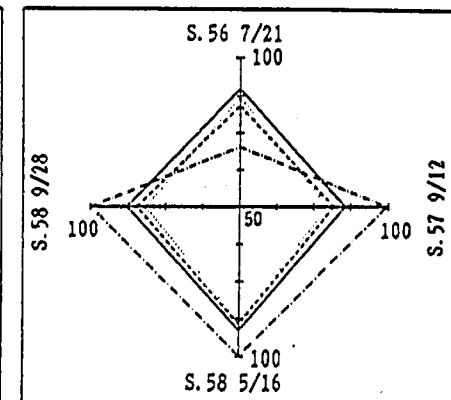
自乗平均誤差 (mm/h)



相関係数



相対誤差 (%)



一致度 (%)

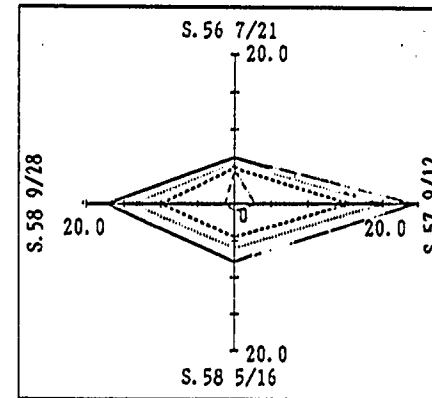
図4.2.13 指標別精度評価結果比較図
(対真値, バイアス無し)

— 補正無し
..... 比で補正
- - - 差で補正
- · - · - ゲージ雨量

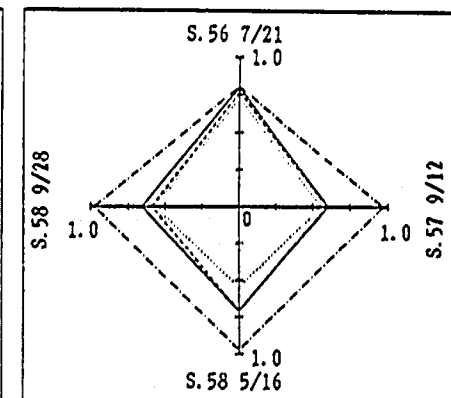
表 4.2.8 精度評価結果一覧表

		(対真値)		バイアス距離比例指数関数増大				備 考	
降	計算ケース	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ゲージ	真 値	備 考		
雨	指 標	単位	補正無し	比で補正	差で補正	雨 量	真 値	其 他	
昭	サンプル数		6,400	6,400	6,400	166	6,400		
和	全平均	mm/h	3.834	2.456	2.724	2.196	2.039		
56	全平均の差	mm/h	1.795	0.416	0.685	0.156			
年	全平均の比		1.880	1.204	1.336	1.077			
7	自乗平均誤差	mm/h	6.264	4.728	5.527	4.501			
月	相対誤差	%	109.106	61.600	92.574	70.335			
21	相関係数		0.801	0.766	0.732	0.803			
日	適合度	0	36.5	45.7	36.8	41.8			
16	(ランク差)	1	75.2	83.4	75.1	70.2			
時		2	94.6	97.2	94.5	98.3			
昭	サンプル数		6,400	6,400	6,400	266	6,400		
和	全平均	mm/h	27.356	18.814	18.295	16.546	14.034		
57	全平均の差	mm/h	13.322	4.780	4.261	2.512			
年	全平均の比		1.949	1.341	1.304	1.179			
9	自乗平均誤差	mm/h	24.137	15.592	19.737	2.842			
月	相対誤差	%	113.245	64.323	86.526	12.949			
12	相関係数		0.601	0.596	0.557	0.971			
日	適合度	0	27.9	38.3	30.1	80.2			
16	(ランク差)	1	67.8	80.9	68.2	99.6			
時		2	89.1	95.7	89.1	99.8			
昭	サンプル数		6,400	6,400	6,400	256	6,400		
和	全平均	mm/h	7.148	4.391	4.005	4.039	3.571		
58	全平均の差	mm/h	3.578	0.821	0.434	0.469			
年	全平均の比		2.002	1.230	1.122	1.131			
5	自乗平均誤差	mm/h	7.911	4.430	6.048	0.941			
月	相対誤差	%	115.389	56.905	88.118	14.048			
16	相関係数		0.707	0.707	0.545	0.973			
日	適合度	0	37.9	52.7	42.7	81.1			
20	(ランク差)	1	77.6	88.9	79.2	100.0			
時		2	95.3	98.8	96.3	100.0			
昭	サンプル数		6,400	6,400	6,400	187	6,400		
和	全平均	mm/h	17.976	11.986	10.993	9.160	8.856		
58	全平均の差	mm/h	9.120	3.131	2.137	0.304			
年	全平均の比		2.030	1.354	1.241	1.034			
9	自乗平均誤差	mm/h	17.346	9.995	13.738	1.276			
月	相対誤差	%	113.673	64.491	86.567	10.182			
28	相関係数		0.652	0.585	0.568	0.978			
日	適合度	0	29.6	39.4	31.5	83.3			
18	(ランク差)	1	73.4	84.2	72.3	100.0			
時		2	91.9	97.2	92.6	100.0			

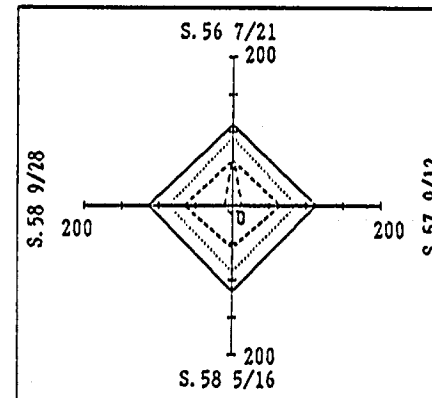
注) 各ケースのサンプル数は、全平均算定に用いた数である。
有効とした値は、相対誤差と適合度が 1.0~200.0 mm/h、
それ以外が 0.0~200.0 mm/h である。
太枠は、補正無しよりも精度の向上したもの。



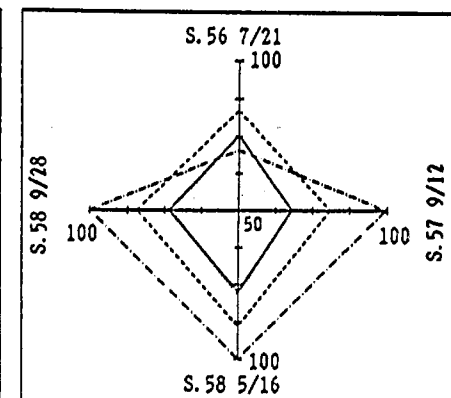
自乗平均誤差 (mm/h)



相関係数



相対誤差 (%)



一致度 (%)

図 4.2.14 指標別精度評価結果比較図
(対真値、バイアス距離比例指数関数増大)

— 補正無し
..... 比で補正
----- 差で補正
- . - . - . ゲージ雨量

表 4.2.9 精度評価結果一覧表

		(対真値) バイアス距離比例指数関数減少				備考	
降	計算ケース	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ゲージ	真値	その他
雨	指標	単位	補正無し	比で補正	差で補正	雨量	
昭和	サンプル数		6,400	6,400	6,400	166	6,400
56	全平均	mm/h	1.577	2.261	2.161	2.196	2.039
年	全平均の差	mm/h	-0.463	0.222	0.121	0.156	
7	全平均の比		0.773	1.109	1.059	1.077	
月	自乗平均誤差	mm/h	2.397	4.282	2.558	4.501	
21	相対誤差	%	42.606	56.429	37.550	70.335	
日	相関係数		0.811	0.769	0.875	0.803	
16	適合度	0	47.6	46.2	60.4	41.8	
時	(ランク差)	1	84.4	83.3	94.0	70.2	
		2	98.7	97.7	99.5	98.3	
昭和	サンプル数		6,400	6,400	6,400	266	6,400
57	全平均	mm/h	10.253	17.871	13.638	16.546	14.034
年	全平均の差	mm/h	-3.781	3.837	-0.396	2.512	
9	全平均の比		0.731	1.273	0.972	1.179	
月	自乗平均誤差	mm/h	9.113	15.397	8.264	2.842	
12	相対誤差	%	46.670	58.399	35.401	12.949	
日	相関係数		0.630	0.616	0.726	0.971	
16	適合度	0	28.3	38.6	48.9	80.2	
時	(ランク差)	1	73.3	81.4	90.0	99.6	
		2	95.7	96.2	98.3	99.8	
昭和	サンプル数		6,400	6,400	6,400	256	6,400
58	全平均	mm/h	2.591	3.982	3.303	4.039	3.571
年	全平均の差	mm/h	-0.980	0.412	-0.268	0.469	
5	全平均の比		0.726	1.115	0.925	1.131	
月	自乗平均誤差	mm/h	2.661	4.213	2.396	0.941	
16	相対誤差	%	42.476	49.971	33.955	14.048	
日	相関係数		0.713	0.720	0.800	0.973	
20	適合度	0	46.8	52.8	62.9	81.1	
時	(ランク差)	1	84.0	89.8	94.7	100.0	
		2	99.3	99.0	99.8	100.0	
昭和	サンプル数		6,400	6,400	6,400	187	6,400
58	全平均	mm/h	6.245	11.339	8.568	9.160	8.856
年	全平均の差	mm/h	-2.611	2.483	-0.287	0.304	
9	全平均の比		0.705	1.280	0.968	1.034	
月	自乗平均誤差	mm/h	5.716	9.850	4.755	1.276	
28	相対誤差	%	46.157	58.481	35.069	10.182	
日	相関係数		0.517	0.607	0.729	0.978	
18	適合度	0	30.3	39.7	50.3	83.3	
時	(ランク差)	1	74.5	84.4	91.2	100.0	
		2	97.8	97.6	99.2	100.0	

注) 各ケースのサンプル数は、全平均算定に用いた数である。

有効とした値は、相対誤差と適合度が 1.0~200.0 mm/h、

それ以外が 0.0~200.0 mm/hである。

太枠は、補正無しよりも精度の向上したもの。

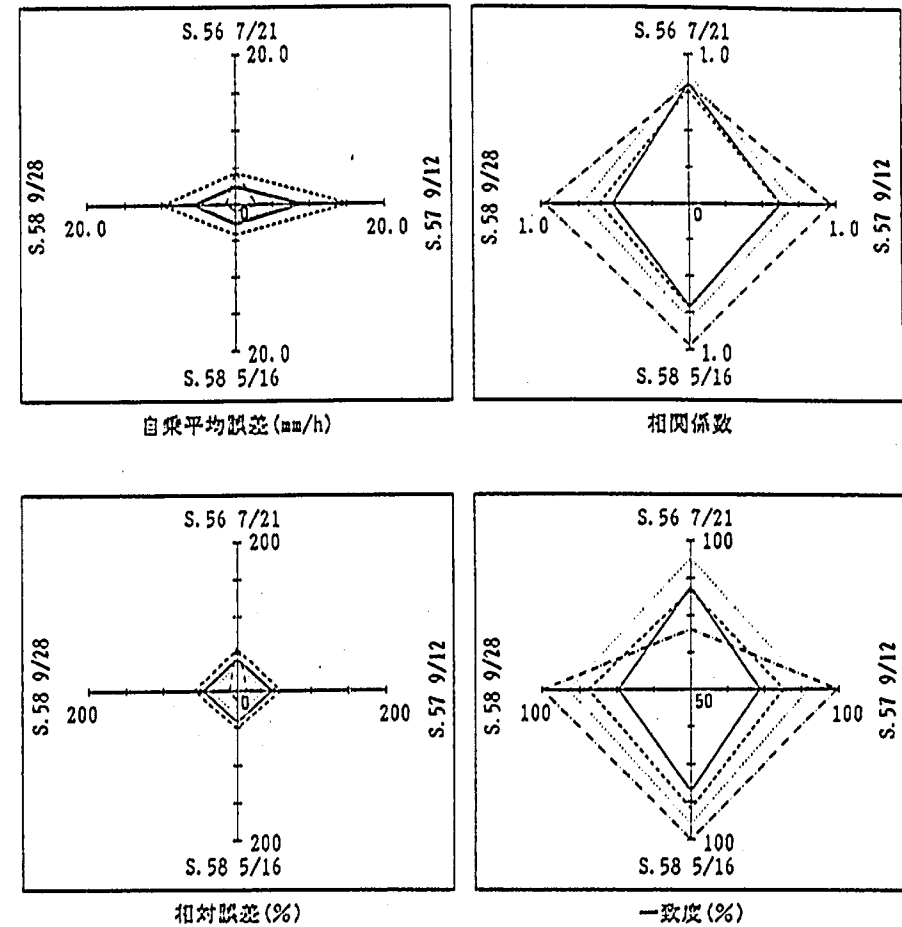


図4.2.15 指標別精度評価結果比較図
(対真値, バイアス距離比例指数関数減少)

— 補正無し
..... 比で補正
----- 差で補正
- . - . - . ゲージ雨量

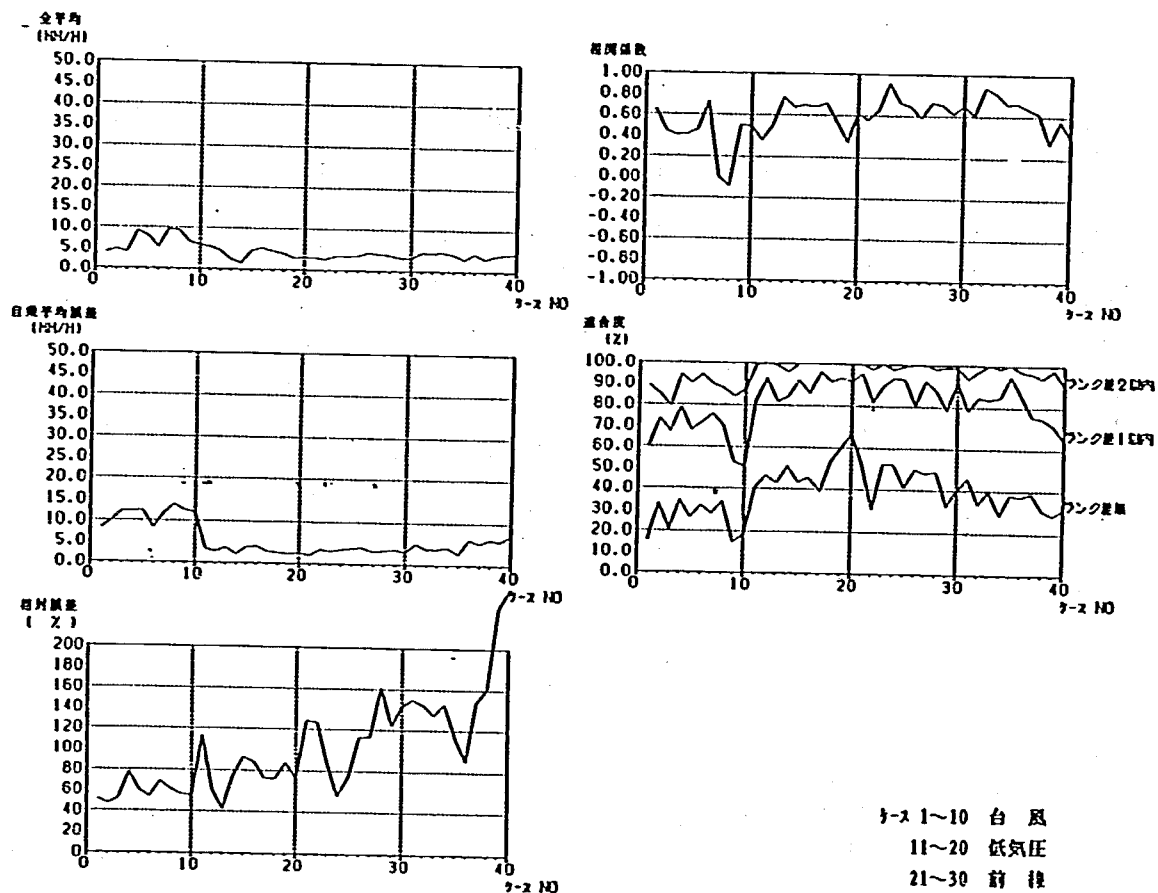


図4.2.18 各ケース(時間別)の精度一覧図(レーダ雨量補正無し)

台風

RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	N
1	10.0	2.0	4.0	5.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	100.0	193
2	15.0	3.0	6.0	8.0	15.0	25.0	35.0	45.0	55.0	110.0	275
3	20.0	4.0	8.0	12.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	120.0	321
4	25.0	5.0	10.0	15.0	25.0	35.0	45.0	55.0	65.0	130.0	371
5	30.0	6.0	12.0	18.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	140.0	421
6	35.0	7.0	14.0	20.0	35.0	45.0	55.0	65.0	75.0	150.0	471
7	40.0	8.0	16.0	22.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	160.0	521
8	45.0	9.0	18.0	24.0	45.0	55.0	65.0	75.0	85.0	170.0	571
9	50.0	10.0	20.0	26.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	180.0	621
10	55.0	11.0	22.0	28.0	55.0	65.0	75.0	85.0	95.0	190.0	671
11	60.0	12.0	24.0	30.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0	200.0	721
12	65.0	13.0	26.0	32.0	65.0	75.0	85.0	95.0	110.0	210.0	771
13	70.0	14.0	28.0	34.0	70.0	80.0	90.0	100.0	120.0	220.0	821
14	75.0	15.0	30.0	36.0	75.0	85.0	95.0	105.0	130.0	230.0	871
15	80.0	16.0	32.0	38.0	80.0	90.0	100.0	110.0	140.0	240.0	921
16	85.0	17.0	34.0	40.0	85.0	95.0	105.0	115.0	150.0	250.0	971
17	90.0	18.0	36.0	42.0	90.0	100.0	110.0	120.0	160.0	260.0	1021
18	95.0	19.0	38.0	44.0	95.0	105.0	115.0	125.0	170.0	270.0	1071
19	100.0	20.0	40.0	46.0	100.0	110.0	120.0	130.0	180.0	280.0	1121
20	105.0	21.0	42.0	48.0	105.0	115.0	125.0	135.0	190.0	290.0	1171
21	110.0	22.0	44.0	50.0	110.0	120.0	130.0	140.0	200.0	300.0	1221
22	115.0	23.0	46.0	52.0	115.0	125.0	135.0	145.0	210.0	310.0	1271
23	120.0	24.0	48.0	54.0	120.0	130.0	140.0	150.0	220.0	320.0	1321
24	125.0	25.0	50.0	56.0	125.0	135.0	145.0	155.0	230.0	330.0	1371
25	130.0	26.0	52.0	58.0	130.0	140.0	150.0	160.0	240.0	340.0	1421
26	135.0	27.0	54.0	60.0	135.0	145.0	155.0	165.0	250.0	350.0	1471
27	140.0	28.0	56.0	62.0	140.0	150.0	160.0	170.0	260.0	360.0	1521
28	145.0	29.0	58.0	64.0	145.0	155.0	165.0	175.0	270.0	370.0	1571
29	150.0	30.0	60.0	66.0	150.0	160.0	170.0	180.0	280.0	380.0	1621
30	155.0	31.0	62.0	68.0	155.0	165.0	175.0	185.0	290.0	390.0	1671
31	160.0	32.0	64.0	70.0	160.0	170.0	180.0	190.0	300.0	400.0	1721
32	165.0	33.0	66.0	72.0	165.0	175.0	185.0	195.0	310.0	410.0	1771
33	170.0	34.0	68.0	74.0	170.0	180.0	190.0	200.0	320.0	420.0	1821
34	175.0	35.0	70.0	76.0	175.0	185.0	195.0	205.0	330.0	430.0	1871
35	180.0	36.0	72.0	78.0	180.0	190.0	200.0	210.0	340.0	440.0	1921
36	185.0	37.0	74.0	80.0	185.0	195.0	205.0	215.0	350.0	450.0	1971
37	190.0	38.0	76.0	82.0	190.0	200.0	210.0	220.0	360.0	460.0	2021
38	195.0	39.0	78.0	84.0	195.0	205.0	215.0	225.0	370.0	470.0	2071
39	200.0	40.0	80.0	86.0	200.0	210.0	220.0	230.0	380.0	480.0	2121
40	205.0	41.0	82.0	88.0	205.0	215.0	225.0	235.0	390.0	490.0	2171
41	210.0	42.0	84.0	90.0	210.0	220.0	230.0	240.0	400.0	500.0	2221
42	215.0	43.0	86.0	92.0	215.0	225.0	235.0	245.0	410.0	510.0	2271
43	220.0	44.0	88.0	94.0	220.0	230.0	240.0	250.0	420.0	520.0	2321
44	225.0	45.0	90.0	96.0	225.0	235.0	245.0	255.0	430.0	530.0	2371
45	230.0	46.0	92.0	98.0	230.0	240.0	250.0	260.0	440.0	540.0	2421
46	235.0	47.0	94.0	100.0	235.0	245.0	255.0	265.0	450.0	550.0	2471
47	240.0	48.0	96.0	102.0	240.0	250.0	260.0	270.0	460.0	560.0	2521
48	245.0	49.0	98.0	104.0	245.0	255.0	265.0	275.0	470.0	570.0	2571
49	250.0	50.0	100.0	106.0	250.0	260.0	270.0	280.0	480.0	580.0	2621
50	255.0	51.0	102.0	108.0	255.0	265.0	275.0	285.0	490.0	590.0	2671
51	260.0	52.0	104.0	110.0	260.0	270.0	280.0	290.0	500.0	600.0	2721
52	265.0	53.0	106.0	112.0	265.0	275.0	285.0	295.0	510.0	610.0	2771
53	270.0	54.0	108.0	114.0	270.0	280.0	290.0	300.0	520.0	620.0	2821
54	275.0	55.0	110.0	116.0	275.0	285.0	295.0	305.0	530.0	630.0	2871
55	280.0	56.0	112.0	118.0	280.0	290.0	300.0	310.0	540.0	640.0	2921
56	285.0	57.0	114.0	120.0	285.0	295.0	305.0	315.0	550.0	650.0	2971
57	290.0	58.0	116.0	122.0	290.0	300.0	310.0	320.0	560.0	660.0	3021
58	295.0	59.0	118.0	124.0	295.0	305.0	315.0	325.0	570.0	670.0	3071
59	300.0	60.0	120.0	126.0	300.0	310.0	320.0	330.0	580.0	680.0	3121
60	305.0	61.0	122.0	128.0	305.0	315.0	325.0	335.0	590.0	690.0	3171
61	310.0	62.0	124.0	130.0	310.0	320.0	330.0	340.0	600.0	700.0	3221
62	315.0	63.0	126.0	132.0	315.0	325.0	335.0	345.0	610.0	710.0	3271
63	320.0	64.0	128.0	134.0	320.0	330.0	340.0	350.0	620.0	720.0	3321
64	325.0	65.0	130.0	136.0	325.0	335.0	345.0	355.0	630.0	730.0	3371
65	330.0	66.0	132.0	138.0	330.0	340.0	350.0	360.0	640.0	740.0	3421
66	335.0	67.0	134.0	140.0	335.0	345.0	355.0	365.0	650.0	750.0	3471
67	340.0	68.0	136.0	142.0	340.0	350.0	360.0	370.0	660.0	760.0	3521
68	345.0	69.0	138.0	144.0	345.0	355.0	365.0	375.0	670.0	770.0	3571
69	350.0	70.0	140.0	146.0	350.0	360.0	370.0	380.0	680.0	780.0	3621
70	355.0	71.0	142.0	148.0	355.0	365.0	375.0	385.0	690.0	790.0	3671
71	360.0	72.0	144.0	150.0	360.0	370.0	380.0	390.0	700.0	800.0	3721
72	365.0	73.0	146.0	152.0	365.0	375.0	385.0	395.0	710.0	810.0	3771
73	370.0	74.0	148.0	154.0	370.0	380.0	390.0	400.0	720.0	820.0	3821
74	375.0	75.0	150.0	156.0	375.0	385.0	395.0	405.0	730.0	830.0	3871
75	380.0	76.0	152.0	158.0	380.0	390.0	400.0	410.0	740.0	840.0	3921
76	385.0	77.0	154.0	160.0	385.0	395.0	405.0	415.0	750.0	850.0	3971
77	390.0	78.0	156.0	162.0	390.0	400.0	410.0	420.0	760.0	860.0	4021
78	395.0	79.0	158.0	164.0	395.0	405.0	415.0	425.0	770.0	870.0	4071
79	400.0	80.0	160.0	166.0	400.0	410.0	420.0	430.0	780.0	880.0	4121
80	405.0	81.0	162.0	168.0	405.0	415.0	425.0	435.0	790.0	890.0	4171
81	410.0	82.0	164.0	170.0	410.0	420.0	430.0	440.0	800.0	900.0	4221
82	415.0	83.0	166.0	172.0	415.0	425.0	435.0	445.0	810.0	910.0	4271
83	420.0	84.0	168.0	174.0	420.0	430.0	440.0	450.0	820.0	920.0	4321
84	425.0	85.0	170.0	176.0	425.0	435.0	445.0	455.0	830.0	930.0	4371
85	430.0	86.0	172.0	178.0	430.0	440.0	450.0	460.0	840.0	940.0	4421
86	435.0	87.0	174.0	180.0	435.0	445.0	455.0	465.0	850.0	950.0	4471
87	440.0	88.0	176.0	182.0	440.0	450.0	460.0	470.0	860.0	960.0	4521
88	445.0	89.0	178.0	184.0	445.0	455.0	465.0	475.0	870.0	970.0	4571
89	450.0	90.0	180.0	186.0	450.0	460.0	470.0	480.0	880.0	980.0	4621
90	455.0	91.0	182.0	188.0	455.0	465.0	475.0	485.0	890.0	990.0	4671
91	460.0	92.0	184.0	190.0	460.0	470.0	480.0	490.0	900.0	1000.0	4721
92	465.0	93.0	186.0	192.0	465.0	475.0	485.0	495.0	910.0	1010.0	4771
93	470.0	94.0	188.0	194.0	470.0	480.0	490.0	500.0	920.0	1020.0	4821
94	475.0	95.0	190.0	196.0	475.0	485.0	495.0	505.0	930.0	1030.0	4871
95	480.0	96.0	192.0	198.0	480.0	490.0	500.0	510.0	940.0	1040.0	4921
96	485.0	97.0	194.0	200.0	485.0	495.0	505.0	515.0	950.0	1050.0	4971
97	490.0	98.0	196.0	202.0	490.0	500.0	510.0	520.0			

Figure 1 consists of five subplots showing meteorological data over a 40-day period. The x-axis for all plots is labeled '日' (Day) and ranges from 0 to 40. The y-axis for the first two plots is 'mmHg/H' (0.0 to 50.0). The third plot is '相対湿度 (%)' (0.0 to 100.0). The fourth plot is '適合度 (Z)' (0.0 to 100.0). The fifth plot is '相対湿度 (Z)' (0.0 to 200.0). A legend at the bottom right indicates the following periods: 1~10 台風 (Typhoon), 11~20 低気圧 (Low Pressure), 21~30 前線 (Front), and 31~40 雷用 (Thunderstorm).

台風

		PMH:1.0MM - PMH:200.0MM									
PA	PO	3.0	5.0	10.0	20.0	50.0	100.0	200.0	500.0	999.0	B
1	3.0	28	18	13	10	8	6	5	4	3	81
2	5.0	22	15	11	8	6	5	4	3	2	74
3	10.0	18	12	9	7	5	4	3	2	1	65
4	20.0	12	8	6	4	3	2	1	1	0	47
5	50.0	8	5	4	3	2	1	1	0	0	30
6	100.0	5	3	2	1	1	0	0	0	0	18
7	200.0	3	2	1	1	0	0	0	0	0	11
8	500.0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	6
9	999.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
B		90	118	139	155	182	191	11			1341

222mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
222mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R(%)	4.4	11.8	8.6	6.7	5.1	4.5	3.6	2.7	2.0	1.0	100.0

低気圧

		PMH:1.0MM - PMH:200.0MM									
PA	PO	3.0	5.0	10.0	20.0	50.0	100.0	200.0	500.0	999.0	B
1	3.0	283	120	25	10	5	3	2	1	0	431
2	5.0	185	81	15	6	3	2	1	0	0	262
3	10.0	111	41	8	3	2	1	0	0	0	165
4	20.0	68	22	4	2	1	0	0	0	0	103
5	50.0	41	13	2	1	0	0	0	0	0	58
6	100.0	25	8	1	0	0	0	0	0	0	35
7	200.0	15	5	0	0	0	0	0	0	0	21
8	500.0	9	3	0	0	0	0	0	0	0	13
9	999.0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	6
B		355	304	233	53	4					834

222mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
222mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R(%)	65.3	35.1	15.1	6.7	3.0	1.5	0.7	0.3	0.1	0.0	100.0

前線

		PMH:1.0MM - PMH:200.0MM									
PA	PO	3.0	5.0	10.0	20.0	50.0	100.0	200.0	500.0	999.0	B
1	3.0	283	120	25	10	5	3	2	1	0	431
2	5.0	185	81	15	6	3	2	1	0	0	262
3	10.0	111	41	8	3	2	1	0	0	0	165
4	20.0	68	22	4	2	1	0	0	0	0	103
5	50.0	41	13	2	1	0	0	0	0	0	58
6	100.0	25	8	1	0	0	0	0	0	0	35
7	200.0	15	5	0	0	0	0	0	0	0	21
8	500.0	9	3	0	0	0	0	0	0	0	13
9	999.0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	6
B		283	184	155	50	5	2				613

222mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
222mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R(%)	65.4	35.2	15.2	6.8	3.1	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	100.0

雷雨

		PMH:1.0MM - PMH:200.0MM									
PA	PO	3.0	5.0	10.0	20.0	50.0	100.0	200.0	500.0	999.0	B
1	3.0	103	35	24	18	14	11	9	7	5	218
2	5.0	55	22	16	12	10	8	6	5	4	139
3	10.0	35	14	10	8	6	5	4	3	2	93
4	20.0	22	9	7	5	4	3	2	1	1	58
5	50.0	14	6	4	3	2	1	1	0	0	35
6	100.0	9	4	3	2	1	1	0	0	0	21
7	200.0	6	3	2	1	1	0	0	0	0	13
8	500.0	4	2	1	1	0	0	0	0	0	8
9	999.0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	5
B		185	93	101	49	17	9	11	1	1	422

222mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
222mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R(%)	53.2	31.0	12.6	2.6	0.4	0.2					100.0

全球用

		PMH:1.0MM - PMH:200.0MM									
PA	PO	3.0	5.0	10.0	20.0	50.0	100.0	200.0	500.0	999.0	B
1	3.0	233	243	85	10	5	3	2	1	0	1033
2	5.0	135	225	111	23	10	5	3	2	1	614
3	10.0	81	135	68	15	7	4	3	2	1	359
4	20.0	41	68	35	8	4	2	1	1	0	203
5	50.0	25	35	18	4	2	1	1	0	0	118
6	100.0	15	18	9	2	1	1	0	0	0	74
7	200.0	9	10	5	1	1	0	0	0	0	47
8	500.0	5	6	3	1	0	0	0	0	0	30
9	999.0	3	3	2	0	0	0	0	0	0	18
B		817	703	413	112	216	112	12	1	1	3410

222mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
222mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R(%)	55.4	36.0	17.1	0.7	0.1	0.0					100.0

表4.2.12 適合度一覧表（比による補正）

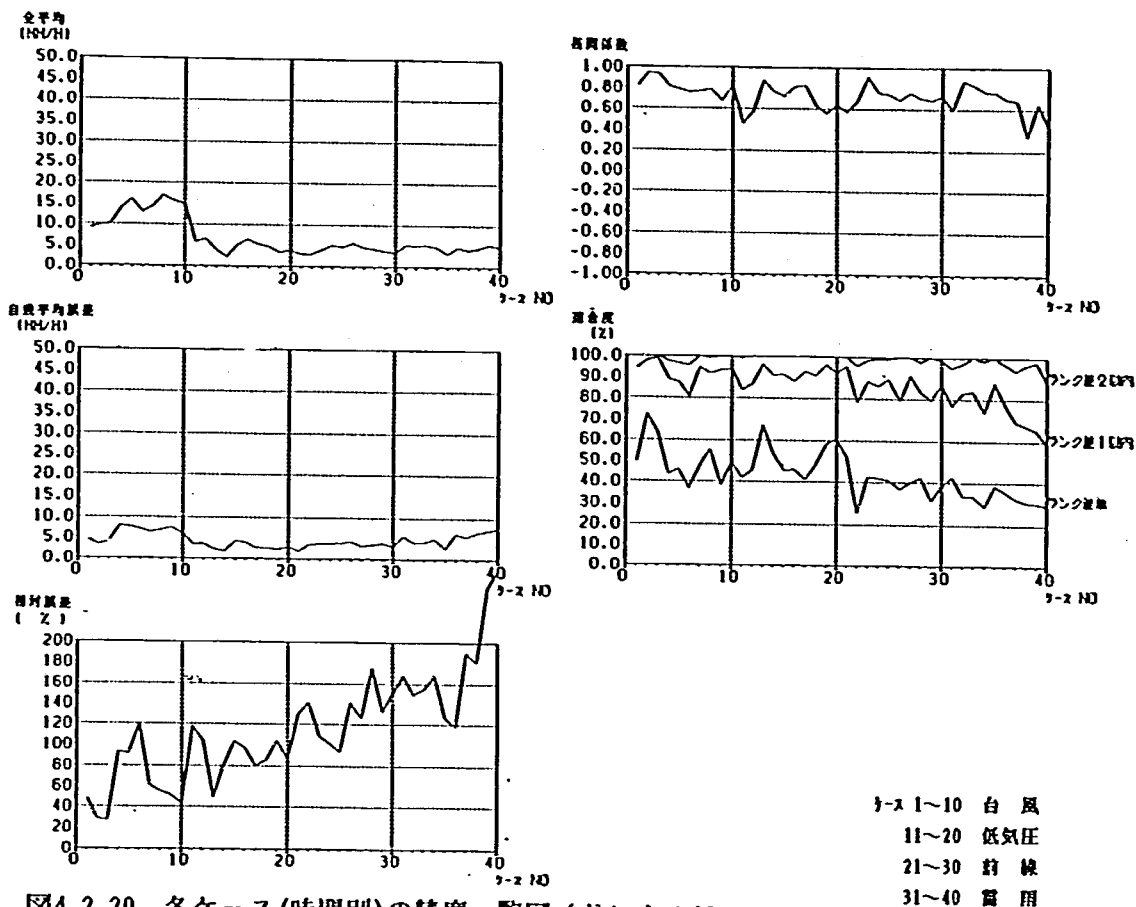


図4.2.20 各ケース(時間別)の精度一覧図(差による補正)

台風

RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	B
1	10.0	21	18	15	12	10	8	6	4	3	2	1
2	15.0	22	19	16	13	11	9	7	5	4	3	2
3	20.0	23	20	17	14	12	10	8	6	5	4	3
4	25.0	24	21	18	15	13	11	9	7	6	5	4
5	30.0	25	22	19	16	14	12	10	8	7	6	5
6	35.0	26	23	20	17	15	13	11	9	8	7	6
7	40.0	27	24	21	18	16	14	12	10	9	8	7
8	45.0	28	25	22	19	17	15	13	11	10	9	8
9	50.0	29	26	23	20	18	16	14	12	11	10	9
10	55.0	30	27	24	21	19	17	15	13	12	11	10
11	60.0	31	28	25	22	20	18	16	14	13	12	11
12	65.0	32	29	26	23	21	19	17	15	14	13	12
13	70.0	33	30	27	24	22	20	18	16	15	14	13
14	75.0	34	31	28	25	23	21	19	17	16	15	14
15	80.0	35	32	29	26	24	22	20	18	17	16	15
16	85.0	36	33	30	27	25	23	21	19	18	17	16
17	90.0	37	34	31	28	26	24	22	20	19	18	17
18	95.0	38	35	32	29	27	25	23	21	20	19	18
19	100.0	39	36	33	30	28	26	24	22	21	20	19
20	105.0	40	37	34	31	29	27	25	23	22	21	20
21	110.0	41	38	35	32	30	28	26	24	23	22	21
22	115.0	42	39	36	33	31	29	27	25	24	23	22
23	120.0	43	40	37	34	32	30	28	26	25	24	23
24	125.0	44	41	38	35	33	31	29	27	26	25	24
25	130.0	45	42	39	36	34	32	30	28	27	26	25
26	135.0	46	43	40	37	35	33	31	29	28	27	26
27	140.0	47	44	41	38	36	34	32	30	29	28	27
28	145.0	48	45	42	39	37	35	33	31	30	29	28
29	150.0	49	46	43	40	38	36	34	32	31	30	29
30	155.0	50	47	44	41	39	37	35	33	32	31	30
31	160.0	51	48	45	42	40	38	36	34	33	32	31
32	165.0	52	49	46	43	41	39	37	35	34	33	32
33	170.0	53	50	47	44	42	40	38	36	35	34	33
34	175.0	54	51	48	45	43	41	39	37	36	35	34
35	180.0	55	52	49	46	44	42	40	38	37	36	35
36	185.0	56	53	50	47	45	43	41	39	38	37	36
37	190.0	57	54	51	48	46	44	42	40	39	38	37
38	195.0	58	55	52	49	47	45	43	41	40	39	38
39	200.0	59	56	53	50	48	46	44	42	41	40	39
40	205.0	60	57	54	51	49	47	45	43	42	41	40
41	210.0	61	58	55	52	50	48	46	44	43	42	41
42	215.0	62	59	56	53	51	49	47	45	44	43	42
43	220.0	63	60	57	54	52	50	48	46	45	44	43
44	225.0	64	61	58	55	53	51	49	47	46	45	44
45	230.0	65	62	59	56	54	52	50	48	47	46	45
46	235.0	66	63	60	57	55	53	51	49	48	47	46
47	240.0	67	64	61	58	56	54	52	50	49	48	47
48	245.0	68	65	62	59	57	55	53	51	50	49	48
49	250.0	69	66	63	60	58	56	54	52	51	50	49
50	255.0	70	67	64	61	59	57	55	53	52	51	50
51	260.0	71	68	65	62	60	58	56	54	53	52	51
52	265.0	72	69	66	63	61	59	57	55	54	53	52
53	270.0	73	70	67	64	62	60	58	56	55	54	53
54	275.0	74	71	68	65	63	61	59	57	56	55	54
55	280.0	75	72	69	66	64	62	60	58	57	56	55
56	285.0	76	73	70	67	65	63	61	59	58	57	56
57	290.0	77	74	71	68	66	64	62	60	59	58	57
58	295.0	78	75	72	69	67	65	63	61	60	59	58
59	300.0	79	76	73	70	68	66	64	62	61	60	59
60	305.0	80	77	74	71	69	67	65	63	62	61	60
61	310.0	81	78	75	72	70	68	66	64	63	62	61
62	315.0	82	79	76	73	71	69	67	65	64	63	62
63	320.0	83	80	77	74	72	70	68	66	65	64	63
64	325.0	84	81	78	75	73	71	69	67	66	65	64
65	330.0	85	82	79	76	74	72	70	68	67	66	65
66	335.0	86	83	80	77	75	73	71	69	68	67	66
67	340.0	87	84	81	78	76	74	72	70	69	68	67
68	345.0	88	85	82	79	77	75	73	71	70	69	68
69	350.0	89	86	83	80	78	76	74	72	71	70	69
70	355.0	90	87	84	81	79	77	75	73	72	71	70
71	360.0	91	88	85	82	80	78	76	74	73	72	71
72	365.0	92	89	86	83	81	79	77	75	74	73	72
73	370.0	93	90	87	84	82	80	78	76	75	74	73
74	375.0	94	91	88	85	83	81	79	77	76	75	74
75	380.0	95	92	89	86	84	82	80	78	77	76	75
76	385.0	96	93	90	87	85	83	81	79	78	77	76
77	390.0	97	94	91	88	86	84	82	80	79	78	77
78	395.0	98	95	92	89	87	85	83	81	80	79	78
79	400.0	99	96	93	90	88	86	84	82	81	80	79
80	405.0	100	97	94	91	89	87	85	83	82	81	80
81	410.0	101	98	95	92	90	88	86	84	83	82	81
82	415.0	102	99	96	93	91	89	87	85	84	83	82
83	420.0	103	100	97	94	92	90	88	86	85	84	83
84	425.0	104	101	98	95	93	91	89	87	86	85	84
85	430.0	105	102	99	96	94	92	90	88	87	86	85
86	435.0	106	103	100	97	95	93	91	89	88	87	86
87	440.0	107	104	101	98	96	94	92	90	89	88	87
88	445.0	108	105	102	99	97	95	93	91	90	89	88
89	450.0	109	106	103	100	98	96	94	92	91	90	89
90	455.0	110	107	104	101	99	97	95	93	92	91	90
91	460.0	111	108	105	102	100	98	96	94	93	92	91
92	465.0	112	109	106	103	101	99	97	95	94	93	92
93	470.0	113	110	107	104	102	100	98	96	95	94	93
94	475.0	114	111	108	105	103	101	99	97	96	95	94
95	480.0	115	112	109	106	104	102	100	98	97	96	95
96	485.0	116	113	110	107	105	103	101	99	98	97	96
97	490.0	117	114	111	108	106	104	102	100	99	98	97
98	495.0	118	115	112	109	107	105	103	101	100	99	98
99	500.0	119	116	113	110	108	106	104	102	101	100	99
100	505.0	120	117	114	111	109	107	105	103	102	101	100
101	510.0	121	118	115	112	110	108	106	104	103	102	101
102	515.0	122	119	116	113	111	109	107	105	104	103	102
103	520.0	123	120	117	114	112	110	108	106	105	104	103
104	525.0	124	121	118	115	113	111	109	107	106	105	104
105	530.0	125	122	119	116	114	112	110	108	107	106	105
106	535.0	126	123	120	117	115	113	111	109	108	107	106
107	540.0	127	124	121	118	116	114	112	110	109	108	107
108	545.0	128	125	122	119	117	115	113	111	110	109	108
109	550.0	129	126	123	120	118	116	114	112	111	110	109
110	555.0	130	127	124	121	119	117	115	113	112	111	110
111	560.0	131	128	125	122	120	118	116	114	113	112	111
112	565.0	132	129	126	123	121	119	117	115	114	113	112
113	570.0	133	130	127	124	122	120	118	116	115	114	113
114	575.0	134	131	128	125	123	121	119	117	116	115	114
115	580.0	135	132</									

(4) 考察

以上の結果から次のことが言えよう。

- ・比若しくは差の補正曲面をクリージング法により求めて補正を行なう方法により、精度をかなり向上させることが出来る。
- ・特に比による補正では、各擾乱共にほぼ同一の精度まで改善出来る。
- ・差による補正は擾乱によって特性が異なる。
- ・レーダ雨量にビーム充填率や降雨減衰に起因するひずみがあっても、比若しくは差による補正によって、精度がかなり改善出来る。

4.3 Co-kriging 法による精度向上

4.3.1 較正方法

(1) Co-kriging 法

Co-kriging 法（以下コクリージング法と呼ぶ）は、クリージング法の一つであり、推定したい値をこれと同一の種類他の値（以下主変数と呼ぶ）及びこれと空間的に何等かの相関関係を有する他の種類の値（以下副変数と呼ぶ）により推定するものである。逆に言えば、クリージング法は、コクリージング法の副変数の無い場合に相当する。以下①でコクリージング法の一般式の概説を行ない、②においては、ゲージ雨量（地上雨量）とレーダ雨量から任意の平面に於ける地上雨量を推定することに対応する2変数によるコクリージング法について述べることにする。

① コクリージング法の一般式

空間的に互いに何等かの相関関係を有する $K+1$ 個のランダム関数 $R F \quad Z_k(x)$ に対して、一次、二次のモーメントが安定性である（存在する）とする。即ち、 $k=0 \sim K$ なる全ての k に対して、

平均値（一次モーメント）の存在

$$E \{Z_k(x)\} = m_k$$

交差共分散若しくは交差バリオグラム（二次モーメント）の存在

$$E \{Z_k'(x+h) \cdot Z_k(x)\} - m_k \cdot m_k = C_{k \cdot k}(h)$$

$$E \{[Z_k(x+h) - Z_k(x)][Z_k(x+h) - Z_k(x)]\} = 2 \gamma_{k \cdot k}(h)$$

が満たされたとする。推定したい主変数は $k=0$ で表わす。

支点 $V_0(x_0)$ におけるポイント $R F \quad Z_0(x)$ の平均値を Z_{v_0} とすると、

$$Z_{v_0} = \frac{1}{V_0} \int_{V_0} Z_0(x) dx$$

である。又、第 k 項目について、 n_k 個のデータ Z_{a_k} が利用出来るものとし、支点の大きさを u_{a_k} とすれば、

$$Z_{a_k} = \frac{1}{u_{a_k}} \int_{u_{a_k}} Z_k(x) dx \quad (a_k = 1 \sim n_k, \quad k = 0 \sim K)$$

である。

Z_{v_0} の推定パラメータを $Z^*_{v_0}$ として、この値が、利用可能なデータの線形結合で表わされたとすると、

$$Z^*_{v_0} = \sum_k \sum_{a_k} \lambda_{a_k} Z_{a_k}$$

となり、誤差の期待値は、

$$\begin{aligned} E \{Z_{v_0} - Z^*_{v_0}\} &= E \{Z_{v_0}\} - \sum_{a_0} \lambda_{a_0} E \{Z_{a_0}\} - \sum_{k \neq 0} \sum_{a_k} \lambda_{a_k} E \{Z_{a_k}\} \\ &= m_0 - m_0 \sum_{a_0} \lambda_{a_0} - \sum_{k \neq 0} m_k \sum_{a_k} \lambda_{a_k} \\ &= m_0 \left\{ 1 - \sum_{a_0} \lambda_{a_0} \right\} - \sum_{k \neq 0} m_k \sum_{a_k} \lambda_{a_k} \end{aligned}$$

で表わされる。ここで、ノンバイアス条件 $E\{Z_{v_0} - Z^*_{v_0}\} = 0$ は、

$$\sum_{a_0} \lambda_{a_0} = 1, \quad \sum_{a_k} \lambda_{a_k} = 0 \quad (\forall k \neq 0)$$

であるが、 $n_0 = 0$ では成立しないことから、主変数 Z_0 のデータは1つ以上必要である。

推定分散 $\sigma^2_{v_0}$ は、

$$\begin{aligned} \sigma^2_{v_0} &= E\{[Z_{v_0} - Z^*_{v_0}]^2\} \\ &= E\{[Z_{v_0} - \sum_k \sum_{a_k} \lambda_{a_k} Z_{a_k}]^2\} \\ &= \overline{C}(V_0, V_0) - 2 \sum_k \sum_{a_k} \lambda_{a_k} \overline{C}(V_0, u_{a_k}) \\ &\quad + \sum_k \sum_{b_k} \sum_{a_k} \lambda_{a_k} \lambda_{b_k} \cdot C(u_{a_k}, u_{b_k}) \end{aligned}$$

Lagrangeのパラメータ μ を用いて、推定誤差を最小にすると、次の連立方程式が得られる。これをクリージングシステムと呼ぶ。

$$\sum_k \sum_{b_k} \lambda_{b_k} \cdot \overline{C}_{k \cdot k}(u_{b_k}, u_{a_k}) - \mu_k = \overline{C}_{0k}(V_0, u_{a_k})$$

($\forall a_k = 1 \sim n_k, \forall k = 1 \sim K$)

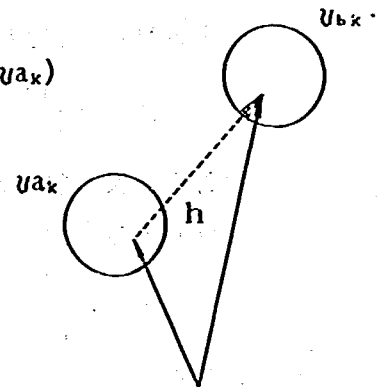
$$\sum_{b_0} \lambda_{b_0} = 1$$

$$\sum_{b_k} \lambda_{b_k} = 0 \quad (\forall k \neq 0)$$

クリージング分散は次式で与えられる。

$$\sigma^2_{v_0} = \overline{C}_{00}(V_0, V_0) + \mu_0 - \sum_k \sum_{a_k} \lambda_{a_k} \overline{C}_{0k}(V_0, u_{a_k})$$

ここに、 $C_{k \cdot k}(u_{b_k}, u_{a_k})$ は、右図のように二つのベクトルが各々 u_{b_k}, u_{a_k} に含まれるベクトルの差分 h の交差共分散に等しい。



又、クリージングシステム、クリージング分散をバリオグラムで表わせば、次のようになる。

クリージングシステム

$$\sum_k \sum_{b_k} \lambda_{b_k} \cdot \overline{\gamma}_{k \cdot k}(u_{b_k}, u_{a_k}) + \mu_k = \overline{\gamma}_{0k}(V_0, u_{a_k})$$

($\forall a_k = 1 \sim n_k, \forall k = 1 \sim K$)

$$\sum_{b_0} \lambda_{b_0} = 1$$

$$\sum_{b_k} \lambda_{b_k} = 0 \quad (\forall k \neq 0)$$

クリージング分散

$$\sigma^2_{v_0} = -\overline{\gamma}_{00}(V_0, V_0) + \mu_0 + \sum_k \sum_{a_k} \lambda_{a_k} \overline{C}_{0k}(V_0, u_{a_k})$$

② 2変数によるコクリージング法

空間的に互いに何等かの相関関係を有する2個のランダム関数 $R F \quad Z_1(x)$, $Z_2(x)$ に対しても、一次、二次のモーメントが安定性である（存在する）ならば、同様にコクリージング法が適用出来る。この場合には、クリージングシステムは以下のように記述されよう。

平均値（一次モーメント）の存在

$$E \{Z_k(x)\} = m_k$$

交差共分散若しくは交差バリオグラム（二次モーメント）の存在

$$E \{Z_k(x+h) \cdot Z_k(x)\} - m_k \cdot m_k = C_{k \cdot k}(h)$$

$$E \{[Z_k(x+h) - Z_k(x)][Z_k(x+h) - Z_k(x)]\} = 2 \gamma_{k \cdot k}(h)$$

ここで、 $k = 0, 1$ である。

支点 $V_0(x_0)$ におけるポイント $R F \quad Z_0(x)$ の平均値を Z_{v_0} とすると、

$$Z_{v_0} = \frac{1}{V_0} \int_{V_0} Z_0(x) dx$$

である。又、第 k 項目について、 n_k 個のデータ Z_{a_k} が利用出来るものとし、支点の大きさを u_{a_k} とすれば、

$$Z_{a_k} = \frac{1}{u_{a_k}} \int_{u_{a_k}} Z_k(x) dx \quad (a_k = 1 \sim n_k, \quad k = 0, 1)$$

であるから、 Z_{v_0} の推定パラメータ $Z^*_{v_0}$ は、

$$Z^*_{v_0} = \sum_{a_0} \lambda_{a_0} Z_{a_0} + \sum_{a_1} \lambda_{a_1} Z_{a_1}$$

となり、誤差の期待値は、

$$\begin{aligned} E \{Z_{v_0} - Z^*_{v_0}\} &= E \{Z_{v_0}\} - \sum_{a_0} \lambda_{a_0} E \{Z_{a_0}\} - \sum_{a_1} \lambda_{a_1} E \{Z_{a_1}\} \\ &= m_0 - m_0 \sum_{a_0} \lambda_{a_0} - m_1 \sum_{a_1} \lambda_{a_1} \\ &= m_0 \left\{ 1 - \sum_{a_0} \lambda_{a_0} \right\} - m_1 \sum_{a_1} \lambda_{a_1} \end{aligned}$$

で表わされる。また、推定分散 $\sigma^2_{v_0}$ は、

$$\begin{aligned} \sigma^2_{v_0} &= E \{[Z_{v_0} - Z^*_{v_0}]^2\} \\ &= E \{[Z_{v_0} - \sum_k \sum_{a_k} \lambda_{a_k} Z_{a_k}]^2\} \\ &= C(V_0, V_0) - 2 \sum_k \sum_{a_k} \lambda_{a_k} C(V_0, u_{a_k}) \\ &\quad + \sum_k \sum_{b_k} \sum_{a_k} \sum_{b_k} \lambda_{a_k} \lambda_{b_k} C(u_{a_k}, u_{b_k}) \end{aligned}$$

で与えられる。Lagrangeのパラメータ μ を用いて、推定誤差を最小にすると、次のようにクリージングシステムが得られる。

$$\sum_k \sum_{b_k} \lambda_{b_k} \cdot \overline{C}_{k \cdot k}(u_{b_k}, u_{a_k}) - \mu_k = \overline{C}_{0k}(V_0, u_{a_k})$$

$$(\forall a_k = 1 \sim n_k, k=1, 2)$$

$$\sum_{b_0} \lambda_{b_0} = 1, \quad \sum_{b_1} \lambda_{b_1} = 0$$

クリージング分散は次式で与えられる。

$$\sigma^2_{V_0} = \overline{C}_{00}(V_0, V_0) + \mu_0 - \sum_k \sum_{a_k} \lambda_{a_k} \overline{C}_{0k}(V_0, u_{a_k})$$

又、バリオグラムを用いるとクリージングシステム、クリージング分散は、次のように表わされる。

クリージングシステム

$$\sum_k \sum_{b_k} \lambda_{b_k} \cdot \overline{\gamma}_{k \cdot k}(u_{b_k}, u_{a_k}) + \mu_k = \overline{\gamma}_{0k}(V_0, u_{a_k})$$

$$(\forall a_k = 1 \sim n_k, k=1, 2)$$

$$\sum_{b_0} \lambda_{b_0} = 1, \quad \sum_{b_1} \lambda_{b_1} = 0$$

クリージング分散

$$\sigma^2_{V_0} = -\overline{\gamma}_{00}(V_0, V_0) + \mu_0 + \sum_k \sum_{a_k} \lambda_{a_k} \overline{\gamma}_{0k}(V_0, u_{a_k})$$

③ コクリージングシステムの特徴

コクリージングシステムは、基本的には 4.2 に述べたクリージングシステムと同様の特徴を有する。他に次のような特徴を持つ。

イ) 主変数の値を 1 個以上利用しなければならない。

ロ) 交差バリオグラムによる表示は、 $C_{kk} \cdot (h) = C_{k \cdot k}(h)$ が成立するときのみ可能である。

ハ) 利用するデータ値が完全に重複してはならない。

ニ) 主変数のサンプル密度よりも副変数のサンプル密度の方が大きい場合のみ有効である。

(2) レーダ雨量の空間補正方法

コクリージング法は、サンプル密度の小さい主変数の値を、サンプル密度の大きい副変数の値を加えて推定しようとするものである。従って、主変数がゲージ雨量（地上雨量）、副変数がレーダ雨量であり、推定される値は地上雨量である。コクリージング法の適用に於いても、サンプルの空間形状は出来る限り単純化する必要がある。従って、4.2 と同様に、レーダ雨量、地上雨量とも直交メッシュ化する。

ところで、コクリージング法の場合には、変数が増すために利用するサンプル数が多くなり、クリージングシステムが大きくなって、計算時間が大きくなる。又、ゲージ雨量に比べてレーダ雨量の存在するメッシュが著しく多いため、推定したいメッシュの近傍のサンプルを同数選ぶとしても、ゲージ雨量に比べてレーダ雨量のサンプル間或いは推定したいメッシュとの距離が著しく小さくなる。このことが、重量係数の推定に於いて異常に大きな値或いは小さな値（負の値）を生じ、推定値が異常な値となる一因となっている。

そこで、このような問題点を除く意味から、あらかじめポイントクリージング法によりゲージ雨量を全メッシュに於いて求め、これとレーダ雨量とを用いてコクリージング法を行なうこととした。この場合には、全メッシュに於いてゲージ雨量、レーダ雨量の双方が与えられているため、推定域に対するサンプルの空間構造は同一となり、バリオグラムが決まれば全メッシュで唯一つの重量係数の組合せを求めれば良いことになる。

推定に用いるサンプルは、図4.3.1 に示すように、2変数について推定メッシュを含む近傍9メッシュをとり、計18サンプルとした。

尚、推定対象区域の境界に於いては、上記とは異なるサンプル構造となる。しかし、全体の精度への影響が小さいと考えられることから、別途の重量係数を求めることはせず、サンプルの無いメッシュを除いて重量係数の比が同一となるような重みを与えた。

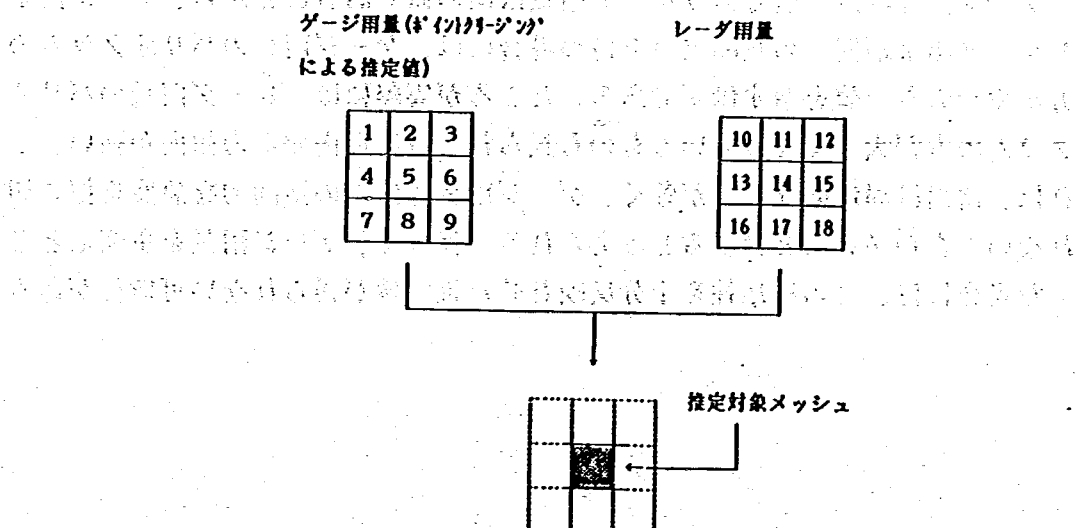


図4.3.1 コクリージング法のメッシュ構成

4.3.2 解析方法と資料

(1) 資料

対象区域、対象降雨等は、4.2 と同等である。

(2) モデル解析

4.2 に作成した4降雨×30ケースのゲージ雨量及びレーダ雨量を用いることとし、ゲージ雨量の無いメッシュについては、ポイントクリージングにより各ケース毎に値を推定した。

(3) 実際データによる解析

4.2 と同様の40時間について、解析を行なった。ゲージ雨量もポイントクリージングにより全メッシュ値を推定して与えた。

(4) 精度の評価

4.2 と同様、次の6指標について行なった。ここで、 R_R は真の雨量強度、 R_G は計算雨量強度、 N はメッシュ数である。

平均値の差 絶対値： $(\sum R_G - \sum R_R) / N$ (mm/h)

相対値： $(\sum R_G - \sum R_R) / \sum R_R / N \times 100$ (%)

自乗平均誤差 $\{\sum (R_G - R_R)^2 / N\}^{1/2}$ (mm/h)

相対誤差 $\sum (R_G - R_R) / R_R / N \times 100$ (%)

相関係数

適合率（雨量強度ランクの一致度）

4.3.3 解析結果と評価

(1) 降雨のバリオグラム

図4.3.2 は実際降雨による解析に用いた40時間の降雨の、ゲージ雨量、レーダ雨量のバリオグラムと交差バリオグラムの例である。

全体的には、台風と雷雨のバリオグラムの値が大きく、雷雨では距離の増加に伴って指数的な増大をするものも見られる。

ゲージ雨量は点の値でありレーダ雨量は面の値であることから、ゲージ雨量とレーダ雨量が同一の空間構造を持つ場合には、ゲージ雨量のバリオグラムの方がやや大きな値を示すはずである。ところが実際には、レーダ雨量のバリオグラムの方が大きくなっているものも見られ、特に雷雨でこの傾向が強い。これは、雷雨は局地的な傾向が強く、ゲージ雨量ではこの空間的な急変を捉え切れない場合が多いことによると考えられる。従って、ゲージ雨量を主変数と考えた場合には、この局地性を十分反映させた推定値が得られない可能性がある。

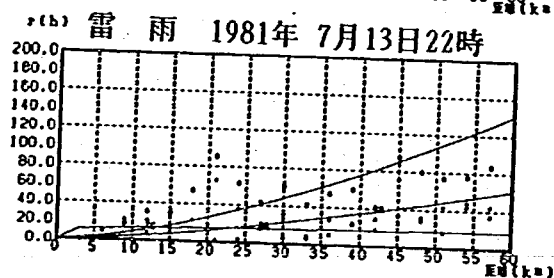
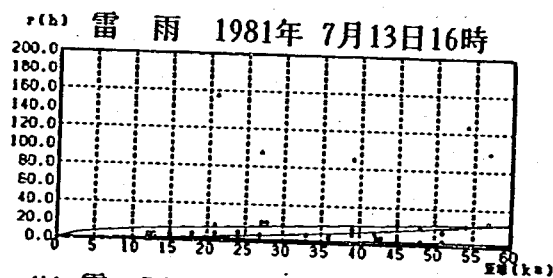
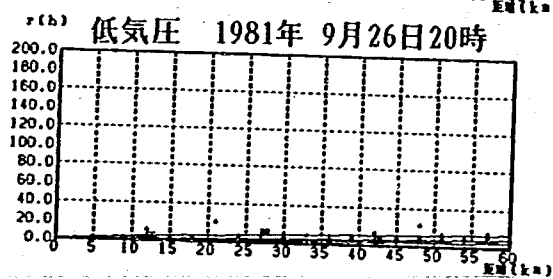
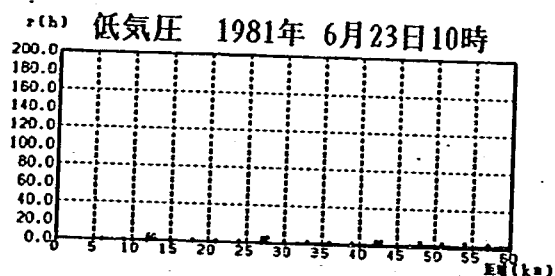
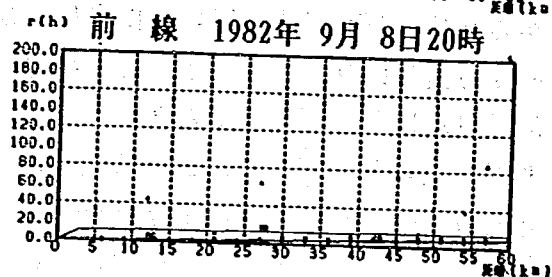
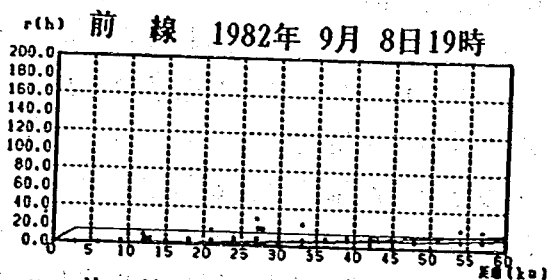
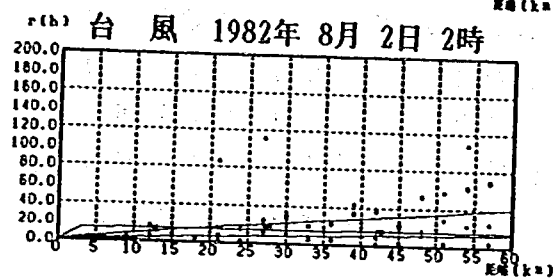
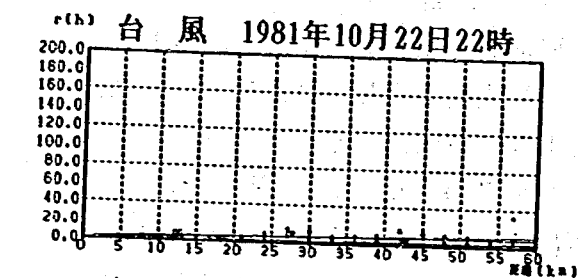


図4.3.2 降雨のバリオグラム

○, GG ゲージ雨量
 △, RR レーダ雨量
 +, GR 交差バリオグラム

(2) モデル解析による評価

表4.3.1～表4.3.3及び図4.3.3～図4.3.5は、コクリージングによる補正值の精度評価結果である。同表にはクリージング法を用いてゲージ雨量から求めた値の精度もあわせて示してある。これから次のことが言えよう。

バイアスの有無にかかわらず、レーダ雨量補正前よりもかなり精度が向上している。しかし、ゲージ雨量のクリージング値と比較すると、コクリージング法の方がやや精度が劣っている。これは次のように説明出来る。コクリージング法を用いた補正による精度の向上は、ゲージ雨量のクリージング値の精度に依存している。ところでモデル解析に於いては、真の雨量分布は、観測点雨量からクリージング法を用いて作成したものである。従って、ゲージ雨量がこの観測点雨量にランダムな誤差を重ね合わせて求めたものであるとしても、平均的に見ればゲージ雨量からクリージングにより求めた分布は、真の雨量分布に非常に近いものとなる。これにゲージ雨量とは独立の誤差を持たせたレーダ雨量をコクリージング法により重ね合わせても、ゲージ雨量のクリージングと同等かそれ以下の精度しか期待できない。

このように、モデル解析の結果からは、コクリージング法が有効であるとは言えない。

表4.3.1 精度評価結果一覧表

		(対真値)		バイアス無し			
年	月	日	時	計算ケース		地上	地上雨量
				指標	単位	修正無し	クリージング
昭和56年7月21日	16時			サンプル数		6.400	6.400
				全平均	mm/h	2.413	2.031
				全平均の差	mm/h	0.374	-0.008
				全平均の比		1.185	0.996
				自乗平均誤差	mm/h	3.299	2.436
				相対誤差	%	51.549	45.471
				相関係数		0.819	0.855
				適合度	0	52.3	55.2
				(ランク差)	1	89.7	89.1
					2	99.0	99.1
昭和57年9月12日	16時			サンプル数		6.400	6.400
				全平均	mm/h	16.495	13.791
				全平均の差	mm/h	2.461	-0.243
				全平均の比		1.175	0.983
				自乗平均誤差	mm/h	12.155	1.014
				相対誤差	%	51.164	5.415
				相関係数		0.640	0.994
				適合度	0	40.6	91.2
				(ランク差)	1	85.5	100.0
					2	97.8	100.0
昭和58年5月16日	12時			サンプル数		6.400	6.400
				全平均	mm/h	4.213	3.350
				全平均の差	mm/h	0.642	-0.220
				全平均の比		1.180	0.938
				自乗平均誤差	mm/h	3.646	0.439
				相対誤差	%	51.534	9.589
				相関係数		0.730	0.993
				適合度	0	54.7	91.5
				(ランク差)	1	91.3	100.0
					2	99.4	100.0
昭和58年9月28日	18時			サンプル数		6.400	6.400
				全平均	mm/h	10.435	8.653
				全平均の差	mm/h	1.579	-0.202
				全平均の比		1.178	0.977
				自乗平均誤差	mm/h	7.682	0.792
				相対誤差	%	51.215	6.815
				相関係数		0.609	0.988
				適合度	0	42.1	87.1
				(ランク差)	1	87.9	100.0
					2	98.7	100.0

注) 各ケースのサンプル数は、全平均算定に用いた数である。

有効とした値は、相対誤差と適合度が 1.0~200.0 mm/h、

それ以外が 0.0~200.0 mm/hである。

太枠は、修正無しよりも精度の向上したものの。

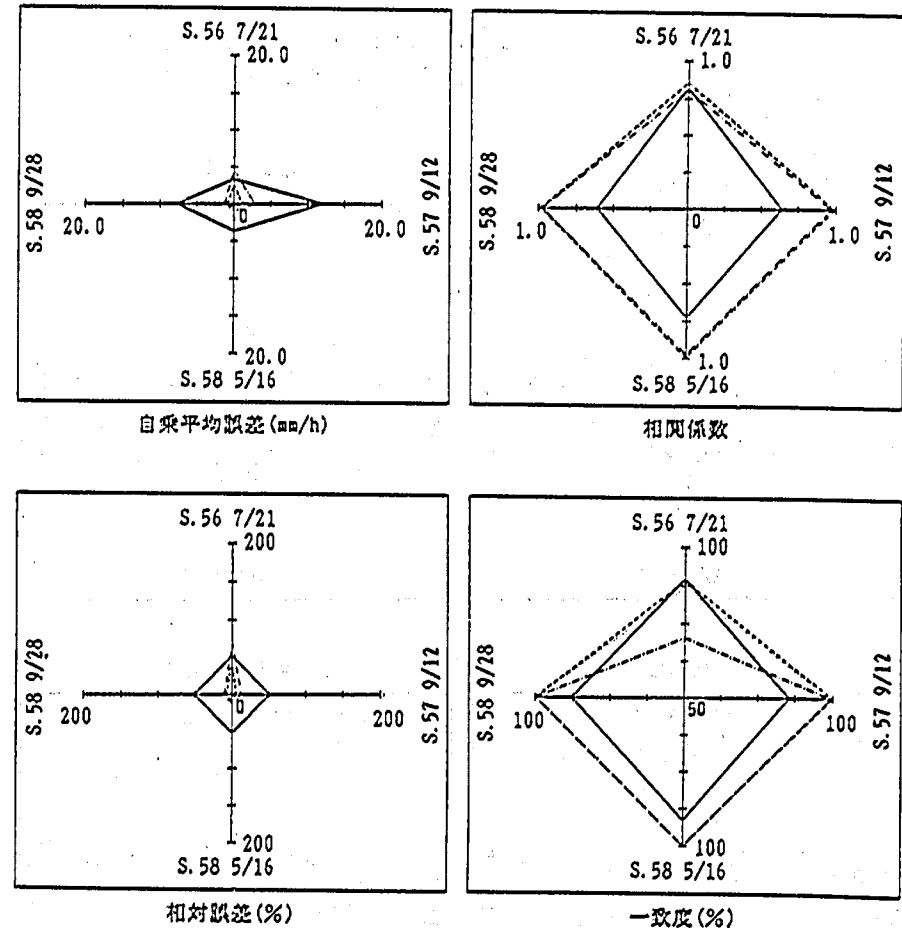


図4.3.3 指標別精度評価結果比較図
(対真値、バイアス無し)

— 修正無し
..... クリージング
----- コクリージング
- . - . - ゲージ雨量

表4.3.2 精度評估結果一覽表

		(対真値)		バイアス距離比例指数関数増大					
年 月 日 時	計算ケース		レーザ	地上	レーザ地上	地上雨量	備 考		
	指 標	単位	補正無し	クリージング	クリージング		真値	その他	
昭和56年7月21日16時	サンプル数		6.400	6.400	5.988	166	6.400		
	全平均	mm/h	3.834	2.051	2.188	2.196	2.039		
	全平均の差	mm/h	1.795	-0.008	0.148	0.156			
	全平均の比		1.880	0.996	1.073	1.077			
	自乗平均誤差	mm/h	6.264	2.436	3.035	4.501			
	相対誤差	%	109.106	45.471	56.971	70.335			
	相関係数		0.801	0.855	0.829	0.803			
	適合度	0	36.5	55.2	49.8	41.8			
	(ランク差)	1	75.2	89.1	85.8	70.2			
		2	94.6	99.1	98.0	98.3			
昭和57年9月12日16時	サンプル数		6.400	6.400	6.287	266	6.400		
	全平均	mm/h	27.356	13.791	14.414	16.546	14.034		
	全平均の差	mm/h	13.322	-0.243	0.381	2.512			
	全平均の比		1.949	0.983	1.027	1.179			
	自乗平均誤差	mm/h	24.137	1.014	2.602	2.842			
	相対誤差	%	113.245	5.415	13.171	12.949			
	相関係数		0.601	0.994	0.963	0.971			
	適合度	0	27.9	91.2	84.5	80.2			
	(ランク差)	1	67.8	100.0	97.5	99.6			
		2	89.1	100.0	99.2	99.8			
昭和58年5月16日20時	サンプル数		6.400	6.400	6.249	256	6.400		
	全平均	mm/h	7.148	3.350	3.652	4.039	3.571		
	全平均の差	mm/h	3.578	-0.220	0.082	0.469			
	全平均の比		2.002	0.938	1.023	1.131			
	自乗平均誤差	mm/h	7.911	0.439	1.361	0.941			
	相対誤差	%	115.389	9.589	23.364	14.048			
	相関係数		0.707	0.993	0.954	0.973			
	適合度	0	37.9	91.5	83.5	81.1			
	(ランク差)	1	77.6	100.0	97.6	100.0			
		2	95.3	100.0	99.1	100.0			
昭和58年9月28日18時	サンプル数		6.400	6.400	6.286	187	6.400		
	全平均	mm/h	17.976	8.653	10.202	9.160	8.856		
	全平均の差	mm/h	9.120	-0.202	1.347	0.304			
	全平均の比		2.030	0.977	1.152	1.034			
	自乗平均誤差	mm/h	17.346	0.792	3.608	1.276			
	相対誤差	%	113.673	6.815	32.307	10.182			
	相関係数		0.652	0.988	0.931	0.978			
	適合度	0	29.6	87.1	79.3	83.3			
	(ランク差)	1	73.4	100.0	96.6	100.0			
		2	91.9	100.0	97.7	100.0			

注) 各ケースのサンプル数は、全平均算定に用いた数である。
有効とした値は、相対誤差と適合度が 1.0~200.0 mm/h、
それ以外が 0.0~200.0 mm/h である。
太枠は、補正無しよりも精度の向上したものの。

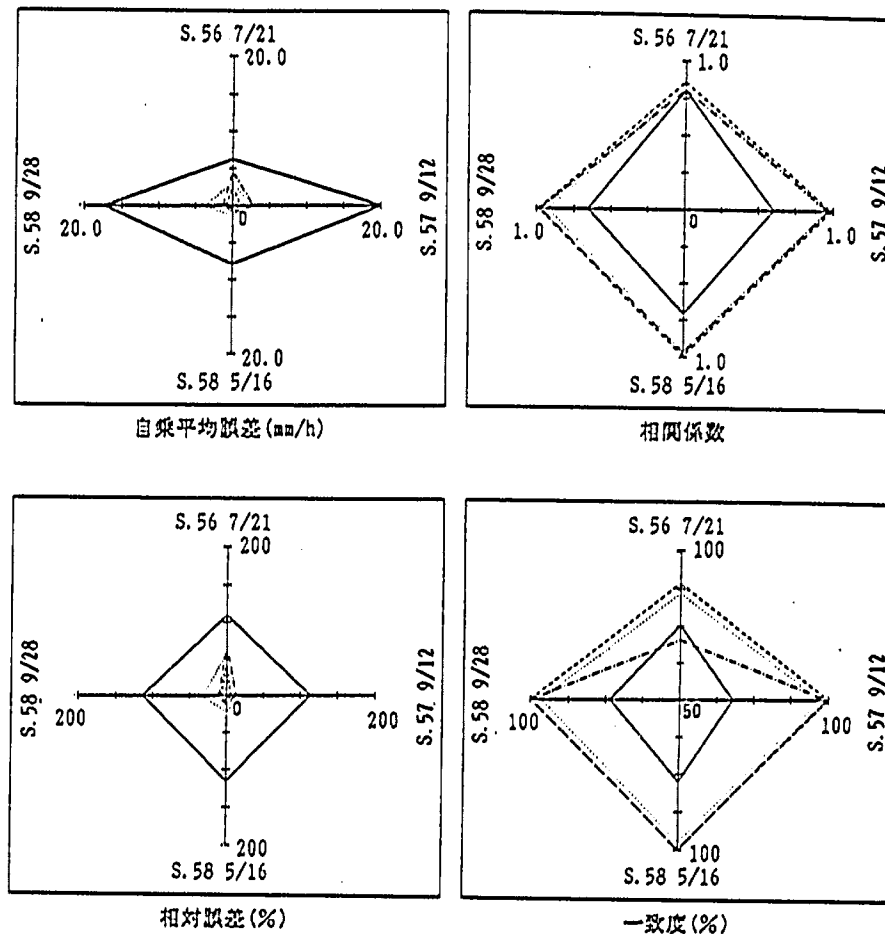


図4.3.4 指標別精度評価結果比較図
(対真値，バイアス距離比例指数関数増大)

— 補正無し
 クリージング
 ... コクリージング
 --- ゲージ用紙

表4.3.3 精度評価結果一覧表

		(対真値)				バイアス距離比例指数関数減少		備 考	
計算ケース		レーダ	地上	レーダ地上	地上雨量	真値	その他		
指 標	単位	補正無し	クリージング	コクリージング					
サンプル数		6,400	6,400	6,112	166	6,400			
全平均	mm/h	1.577	2.031	2.060	2.196	2.039			
全平均の差	mm/h	-0.463	-0.008	0.021	0.156				
全平均の比		0.773	0.996	1.010	1.077				
自乗平均誤差	mm/h	2.397	2.436	2.646	4.501				
相対誤差	%	42.606	45.471	50.104	70.335				
相関係数		0.811	0.855	0.839	0.803				
適合度	0	47.6	55.2	52.3	41.8				
(ランク差)	1	84.4	89.1	87.5	70.2				
	2	98.7	99.1	98.6	98.3				
サンプル数		6,400	6,400	6,381	266	6,400			
全平均	mm/h	10.253	13.791	13.744	16.546	14.034			
全平均の差	mm/h	-3.781	-0.243	-0.290	2.512				
全平均の比		0.731	0.983	0.979	1.179				
自乗平均誤差	mm/h	9.113	1.014	1.834	2.842				
相対誤差	%	46.670	5.415	8.972	12.949				
相関係数		0.630	0.994	0.971	0.971				
適合度	0	28.3	91.2	85.4	80.2				
(ランク差)	1	73.3	100.0	99.3	99.6				
	2	95.7	100.0	99.9	99.8				
サンプル数		6,400	6,400	6,397	256	6,400			
全平均	mm/h	2.591	3.350	3.316	4.039	3.571			
全平均の差	mm/h	-0.980	-0.220	-0.255	0.469				
全平均の比		0.726	0.938	0.929	1.131				
自乗平均誤差	mm/h	2.661	0.439	0.566	0.941				
相対誤差	%	42.476	9.589	11.016	14.048				
相関係数		0.713	0.993	0.985	0.973				
適合度	0	46.8	91.5	89.6	81.1				
(ランク差)	1	84.0	100.0	99.9	100.0				
	2	99.3	100.0	100.0	100.0				
サンプル数		6,400	6,400	6,284	187	6,400			
全平均	mm/h	6.245	8.653	9.255	9.160	8.856			
全平均の差	mm/h	-2.611	-0.202	0.399	0.304				
全平均の比		0.705	0.977	1.045	1.034				
自乗平均誤差	mm/h	5.716	0.792	2.441	1.276				
相対誤差	%	46.157	6.815	17.945	10.182				
相関係数		0.517	0.988	0.942	0.978				
適合度	0	30.3	87.1	80.5	83.3				
(ランク差)	1	74.5	100.0	97.2	100.0				
	2	97.8	100.0	98.8	100.0				

注) 各ケースのサンプル数は、全平均算定に用いた数である。
有効とした値は、相対誤差と適合度が 1.0~200.0 mm/h、
それ以外が 0.0~200.0 mm/h である。
太枠は、補正無しよりも精度の向上したものの。

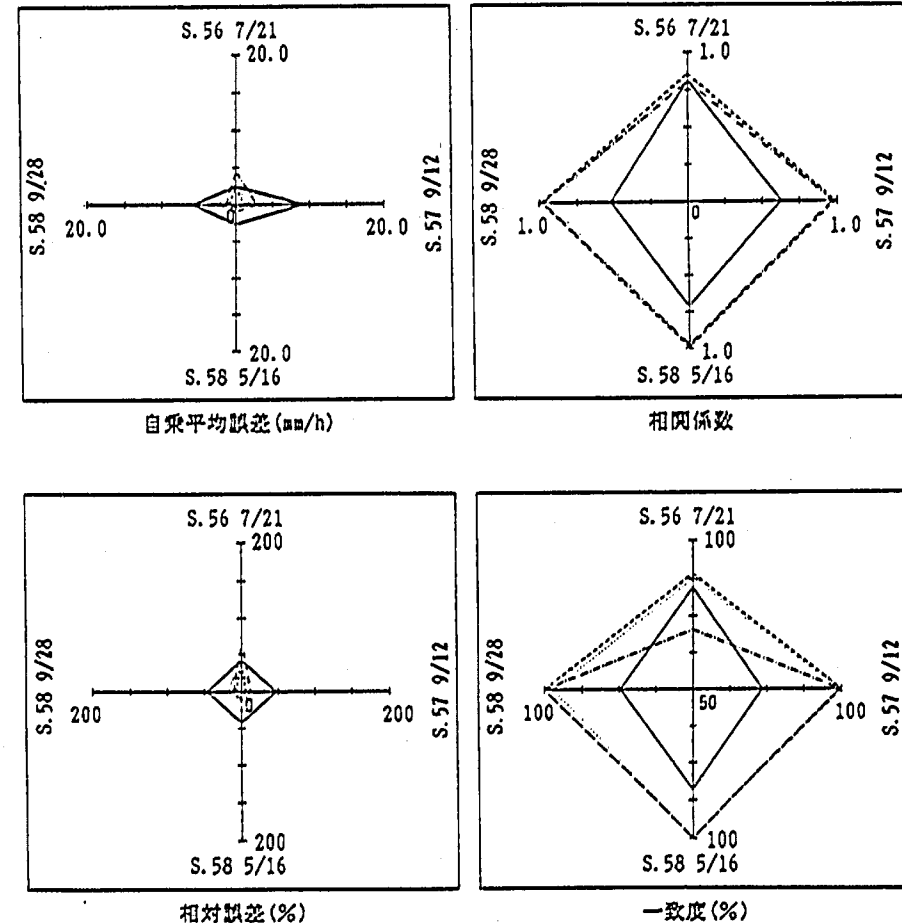


図4.3.5 指標別精度評価結果比較図
(対真値、バイアス距離比例指数関数減少)

— 補正無し
--- クリージング
... コクリージング
-.- ゲージ雨量

(3) 実際データによる解析

図4.3.6 にはレーダ雨量（補正無し）の精度を、図4.3.7 にはテレメータ値を用いてブロッククリージングにより面分布を求めた場合の精度を、図4.3.8 にはテレメータ雨量値とレーダ雨量値を用いたコクリージングによる面分布の精度を示した。これらの評価値は表4.3.4に一覧して示した。又、表4.3.5～表4.3.7 は、各擾乱毎に適合度を見たものである。

コクリージングによる精度がゲージ（テレメータ）雨量のクリージング値の精度と同等であることは、モデル解析による場合と同様である。即ち、コクリージングの精度は、地上雨量のクリージングの精度に依存している。

全般に、平均値はアメダスの値よりも大き目になっている。又、台風では、相対誤差が補正前よりも大きくなっている。これはクリージング法が分散を最小にするように決定されるものであることから、雨量強度の大きい値に引かれて全体的に大き目に評価されることに依ると考えられる。

適合度は、台風で顕著な改善が見られる以外は、補正前と比べて特に大きな変化は無い。

(4) 考察

以上の結果から考えて次のことが言えよう。

- ・本検討で用いたようなコクリージング法による較正では、ゲージ雨量のクリージングの精度に支配されてしまう。
- ・従って、単純にゲージ雨量のみからクリージング法によって空間分布を求めても、精度上大差無く、計算時間を考えれば、コクリージング法による較正を行なうメリットは無い。

表4.3.4 精度評価結果一覧表

		(Hアメダス観測値)				備 考	
計算ケース	レーダ	地上	レーダ地上	アメダス	その他		
サンプル数	4,865	6,330	6,330	159			
全平均	6.640	14.603	14.319	12.333			
全平均の差	-5.479	2.365	1.985				
全平均の比	0.536	1.193	1.169				
日最大平均誤差	11.310	7.889	7.651				
相対誤差	53.22%	99.61%	96.55%				
相関係数	0.400	0.725	0.732				
適合度	25.7	44.0	45.5				
(ランク差)	64.9	84.2	84.7				
	89.1	95.4	95.9				
サンプル数	4,865	6,330	6,330	159			
全平均	3.833	3.762	3.722	3.165			
全平均の差	0.718	0.595	0.563				
全平均の比	1.238	1.200	1.191				
日最大平均誤差	2.974	2.711	2.697				
相対誤差	77.75%	74.48%	73.87%				
相関係数	0.592	0.684	0.682				
適合度	49.0	53.9	54.2				
(ランク差)	89.2	89.3	88.9				
	99.4	99.2	99.2				
サンプル数	4,865	6,113	6,090	169			
全平均	3.523	2.495	2.443	2.185			
全平均の差	1.335	0.365	0.275				
全平均の比	1.724	1.103	1.105				
日最大平均誤差	3.222	2.640	2.644				
相対誤差	112.95%	63.56%	63.11%				
相関係数	0.692	0.655	0.667				
適合度	46.9	57.2	57.9				
(ランク差)	88.3	91.3	92.4				
	99.0	98.6	98.5				
サンプル数	4,865	5,910	5,865	165			
全平均	4.035	3.718	3.689	1.987			
全平均の差	2.051	1.731	1.814				
全平均の比	2.119	1.889	1.914				
日最大平均誤差	4.965	5.544	5.793				
相対誤差	158.19%	149.61%	142.04%				
相関係数	0.639	0.495	0.474				
適合度	35.4	43.7	43.3				
(ランク差)	79.7	77.9	76.9				
	96.4	94.4	94.4				

注) 各ケースのサンプル数は、全平均算定に用いた数である。
 本表とした値は、相対誤差と適合度が 1.0～210.0%である。
 それ以外は 0.0～210.0%である。
 太字は、補正前よりも精度の向上したものの。

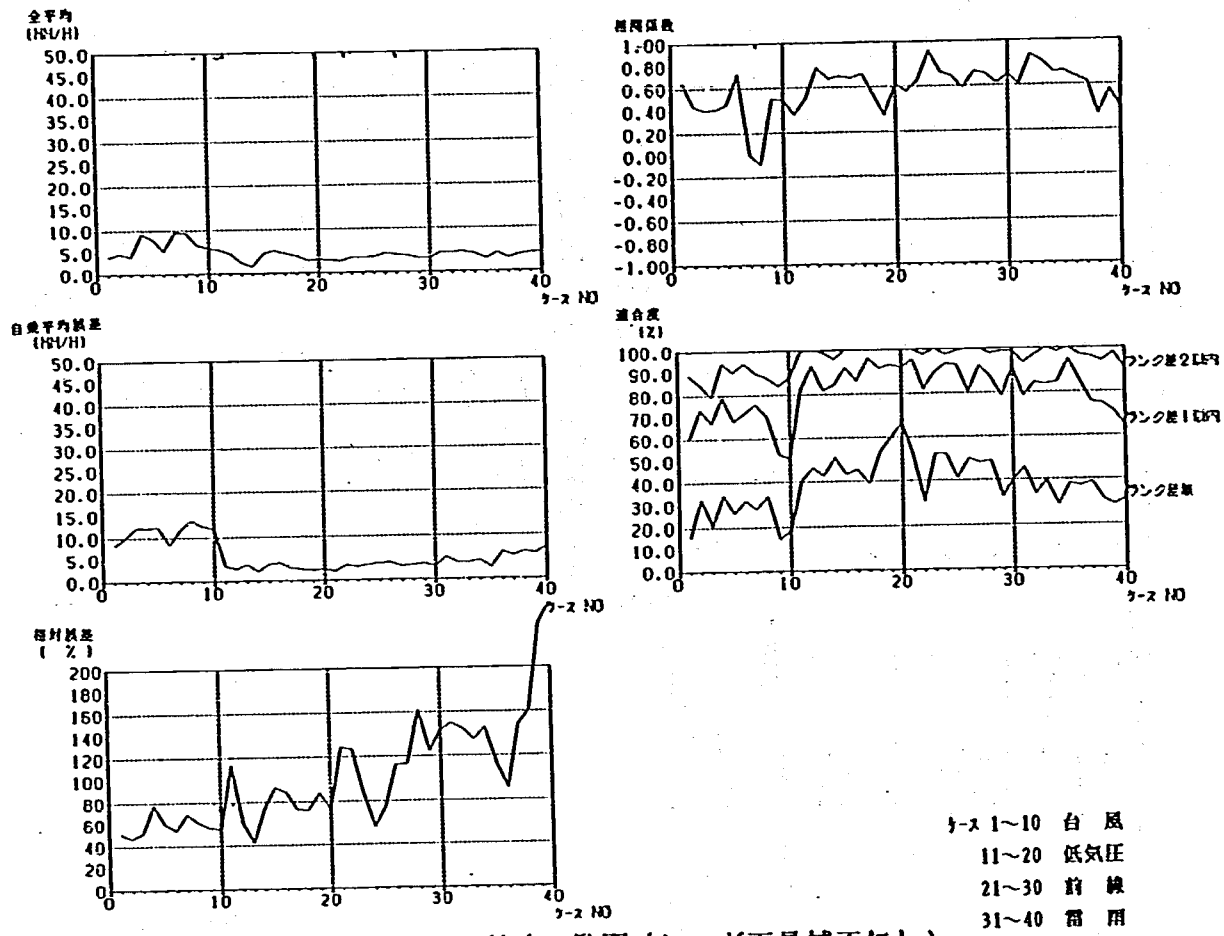


図4.3.6 各ケース（時間別）の精度一覧図（レーダ雨量補正無し）

台風												
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N
1	<3.0	51	45	53	25	9	4	2	1			132
2	<5.0	24	33	123	114	45	23	2				325
3	<10.0	2	2	122	192	74	35	2				274
4	<20.0	2	2	51	111	49	23	1				62
5	<30.0		2	11	18	14	14	3				3
6	<50.0					1	2					
7	<70.0											
8	<100.0											
9	<999.0											
N		65	117	355	458	192	101	11				1330
コンジ		0										0
コンジR		312	245	290	110	35	5	6	3	8		1330
R.R.(%)		25.7	41.0	21.8	8.3	2.7	0.4	0.2				100.0

低気圧												
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N
1	<3.0	21	104	31	13							405
2	<5.0	12	113	24	12							297
3	<10.0	42	78	116	25	2						283
4	<20.0	1	11	32	10							52
5	<30.0			2	3							5
6	<50.0											
7	<70.0											
8	<100.0											
9	<999.0											
N		412	305	258	53	4						1033
コンジ		0										0
コンジR		200	223	105	4	4	5	6	7	8		1033
R.R.(%)		18.4	49.9	10.5	0.4							100.0

前線												
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N
1	<3.0	213	23	11	4							258
2	<5.0	115	63	61	17							272
3	<10.0	45	63	61	17	1						200
4	<20.0	3	18	44	19							81
5	<30.0			6	2							13
6	<50.0											
7	<70.0											
8	<100.0											
9	<999.0											
N		423	193	159	50	5	2					832
コンジ		0										0
コンジR		381	358	85	37	4	5	6	7	8		832
R.R.(%)		15.4	41.0	19.2	0.8	0.1						100.0

雷雨												
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N
1	<3.0	108	19	3	1							133
2	<5.0	113	30	20	3							151
3	<10.0	53	44	19	13							78
4	<20.0	2	12	28	19							24
5	<30.0	1	2	6	10							15
6	<50.0		1	3	3							
7	<70.0											
8	<100.0											
9	<999.0											
N		283	115	162	52	18	9	1				578
コンジ		0										0
コンジR		204	159	93	18	4	5	6	7	8		578
R.R.(%)		35.8	44.6	18.1	2.6	0.7						100.0

全降用												
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	N
1	<3.0	638	197	104	36	10						943
2	<5.0	402	220	120	12	47						1114
3	<10.0	145	212	120	12	47						1014
4	<20.0	1	42	100	149	55						468
5	<30.0		1	2	37	19						100
6	<50.0			2	5	8						22
7	<70.0											
8	<100.0											
9	<999.0											
N		1200	731	835	613	219	112	12	1			3773
コンジ		0										0
コンジR		1223	1565	574	332	41	5	6	7	8		3773
R.R.(%)		37.9	43.0	15.2	3.6	1.1	0.1	0.1				100.0

表4.3.5 適合度一覧表（レーダ雨量補正無し）

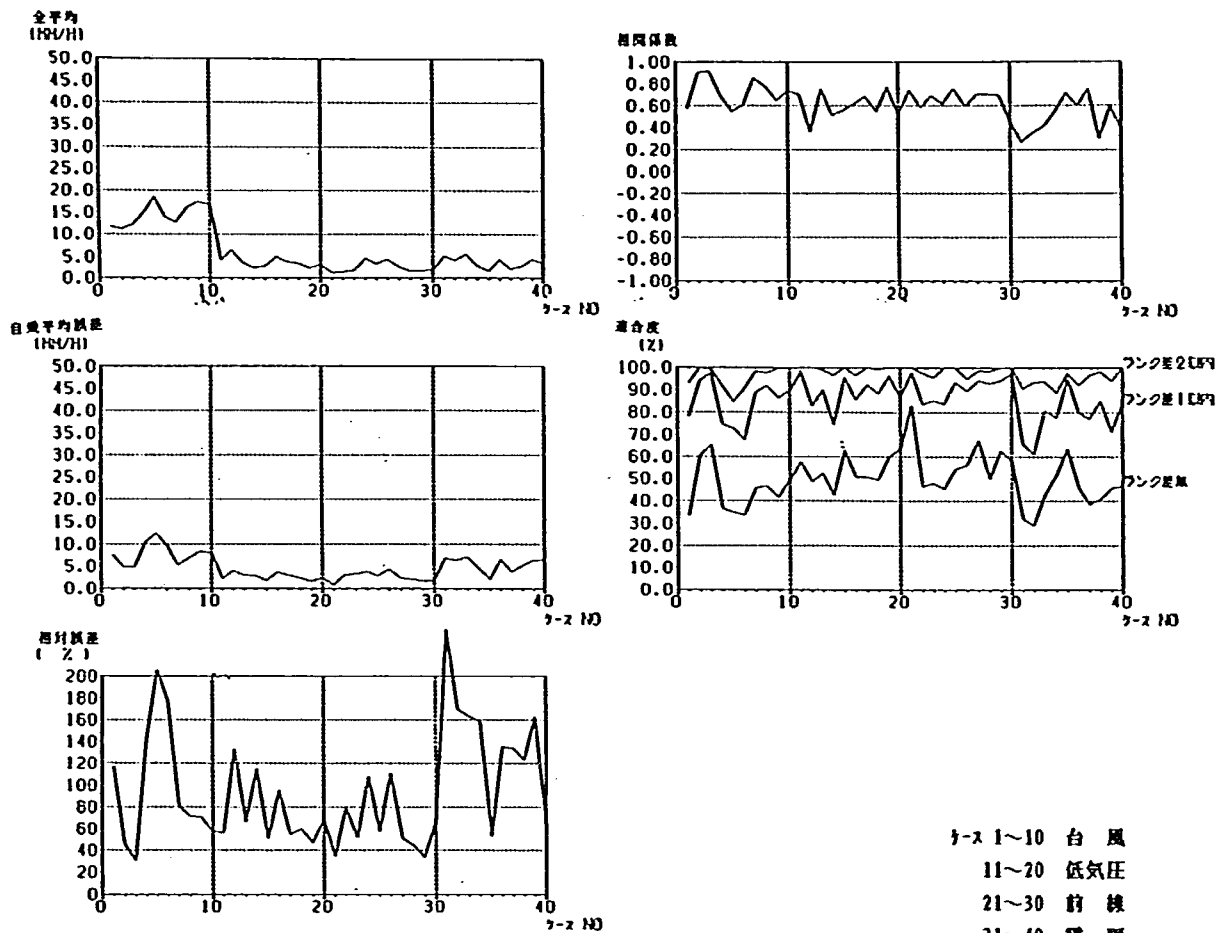


図4.3.7 各ケース（時間別）の精度一覧図

（テレメータのブロッククリーニング）

台風										
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<3.0	28	11	7	1					
2	<5.0	18	21	26	1					
3	<10.0	48	65	186	61	6				
4	<20.0	34	40	172	307	74	11			
5	<30.0	10	10	35	78	92	47	2		
6	<50.0		5	14	29	37	59	10		
7	<70.0									
8	<100.0									
9	<222.0									
R		135	152	420	501	216	117	13		1555
ラフ度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ラフ度	6.1	120	180	59	15					
R(%)	43.8	32.9	11.6	3.6	1.0					100.0
低気圧										
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<3.0	28	11	7	1					
2	<5.0	18	21	26	1					
3	<10.0	48	65	186	61	6				
4	<20.0	34	40	172	307	74	11			
5	<30.0	10	10	35	78	92	47	2		
6	<50.0		5	14	29	37	59	10		
7	<70.0									
8	<100.0									
9	<222.0									
R		447	355	311	71	5				1193
ラフ度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ラフ度	6.0	123	114	8						
R(%)	54.2	35.6	9.5	0.7						100.0
前線										
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<3.0	28	11	7	1					
2	<5.0	18	21	26	1					
3	<10.0	48	65	186	61	6				
4	<20.0	34	40	172	307	74	11			
5	<30.0	10	10	35	78	92	47	2		
6	<50.0		5	14	29	37	59	10		
7	<70.0									
8	<100.0									
9	<222.0									
R		350	214	177	60	6	2			819
ラフ度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ラフ度	4.7	176	57	10						
R(%)	58.1	31.7	7.0	1.2						100.0
雷雨										
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<3.0	28	11	7	1					
2	<5.0	18	21	26	1					
3	<10.0	48	65	186	61	6				
4	<20.0	34	40	172	307	74	11			
5	<30.0	10	10	35	78	92	47	2		
6	<50.0		5	14	29	37	59	10		
7	<70.0									
8	<100.0									
9	<222.0									
R		212	103	100	49	13	9	1	1	432
ラフ度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ラフ度	2.3	159	82	23	5					
R(%)	43.3	31.3	16.1	4.7	1.0					100.0
全降雨										
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<3.0	28	11	7	1					
2	<5.0	18	21	26	1					
3	<10.0	48	65	186	61	6				
4	<20.0	34	40	172	307	74	11			
5	<30.0	10	10	35	78	92	47	2		
6	<50.0		5	14	29	37	59	10		
7	<70.0									
8	<100.0									
9	<222.0									
R		1155	834	1043	651	244	128	14	1	4055
ラフ度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ラフ度	20.0	1492	433	100	20					
R(%)	49.1	34.1	10.7	2.5	0.5					100.0

表4.3.6 適合度一覧表（テレメータのブロッククリーニング）

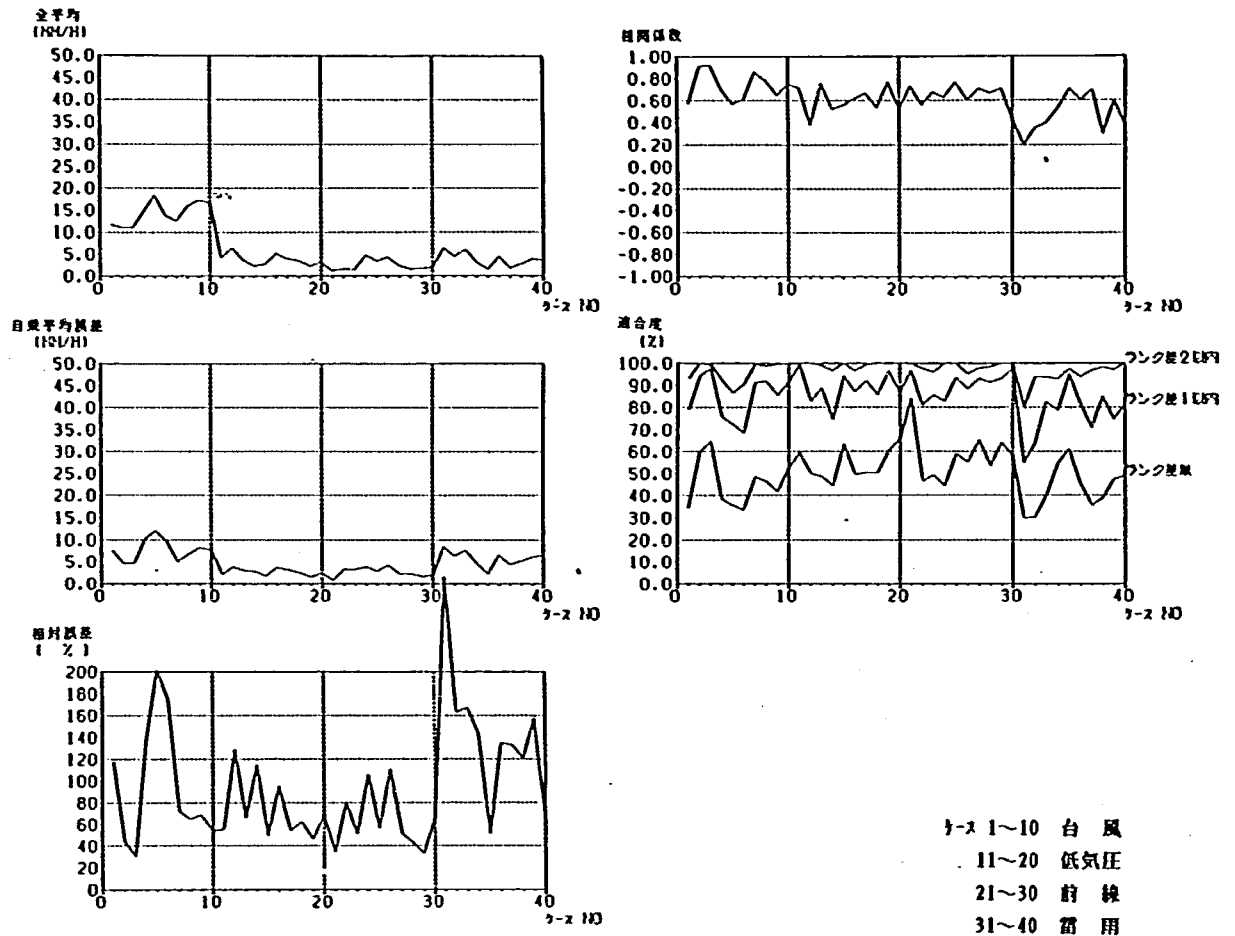


図4.3.8 各ケース（時間別）の精度一覧図（コクリージング）

台風										
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<3.0	27	33	23	1					45
2	<5.0	48	63	73	83	6				76
3	<10.0	48	63	131	83	8				350
4	<20.0	28	35	189	359	71	12			625
5	<30.0	10	11	37	73	109	46	2		279
6	<50.0		4	11	28	37	59	10		149
7	<70.0							1		1
8	<100.0									
9	<222.0									
#		135	152	420	501	216	117	13		1555
222F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
222Fb	631	616	173	52	14					1555
R#(%)	47.8	32.6	11.5	3.3	0.9					100.0

低気圧										
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<3.0	316	124	22	3					472
2	<5.0	281	125	18	5					264
3	<10.0	64	192	181	5					264
4	<20.0	4	11	14	21					51
5	<30.0									1
6	<50.0									
7	<70.0									
8	<100.0									
9	<222.0									
#		441	353	311	71	5				1191
222F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
222Fb	659	417	116	8						1191
R#(%)	54.8	35.0	9.3	0.7						100.0

前線										
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<3.0	251	75	19	3					355
2	<5.0	71	107	59	20	2				259
3	<10.0	16	28	87	18	4				149
4	<20.0	8	4	12	20	2				49
5	<30.0									1
6	<50.0									
7	<70.0									
8	<100.0									
9	<222.0									
#		351	214	132	59	6	2			620
222F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
222Fb	492	164	81	11						620
R#(%)	59.8	37.2	7.7	1.3						100.0

雷雨										
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<3.0	123	33	14	3	2	1			125
2	<5.0	32	56	15	4	2				65
3	<10.0	32	56	41	18	4				125
4	<20.0	14	18	29	20	6	3			68
5	<30.0	3	2	2	4	1	1	1		17
6	<50.0									3
7	<70.0									1
8	<100.0									
9	<222.0									
#		214	103	89	50	17	9	1	1	494
222F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
222Fb	212	170	84	22	5	1				494
R#(%)	42.9	34.4	17.0	4.5	1.0	0.2				100.0

全降雨										
RA	PO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<3.0	731	222	69	10	2	1			1057
2	<5.0	189	225	180	30	1				621
3	<10.0	189	225	180	30	1				1057
4	<20.0	13	13	39	350	80	11			810
5	<30.0				28	102	48	3	1	293
6	<50.0				4	39	60	10		152
7	<70.0									2
8	<100.0									
9	<222.0									
#		1152	832	1027	622	244	128	14	1	4050
222F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
222Fb	2031	1457	422	93	19	5				4050
R#(%)	50.2	35.1	10.9	2.3	0.5	0.0				100.0

表4.3.7 適合度一覧表（コクリージング）

第5章 最適な較正方法について

5.1 指標間の精度等比較

第3章、第4章において、各較正手法の精度等について検討を行なってきた。精度の検討は必ずしも統一した基準（対象、指標）で行なわれてはいないが、以下に各手法間の精度比較を行なってみる。

5.1.1 降雨換算定数 B 、 β の較正の精度比較

表5.1.1 には精度検討の条件を、表5.1.2 には精度評価結果を、表5.1.3 にはオンライン情報提供に於ける適用性を比較して示した。又、図5.1.1 には精度を各指標毎に比較して示した。これらの精度評価の対象はほぼ統一されているが、各精度指標の算定に当たって若干の違いが生じている。

(1) 精度

① 自乗平均誤差

各手法共に大差無い改善度である。改善度は、低気圧→前線→雷雨→台風の順に大きい。各擾乱の精度評価対象降雨の平均雨量強度と誤差を比較すると、目標とした平均雨量強度の半分程度の誤差までは改善されておらず、特に台風と雷雨では概ね平均雨量強度程度の誤差が残っている。これは雨量強度が大きいほど誤差が大きくなっていることから、誤差の自乗平均値が平均的な誤差よりも大きくなる為である。

② 相対誤差

B の毎時較正による方法が現行よりもやや精度が増している程度である。雷雨では全く改善が見られず、 B の時間外挿を行なった場合には若干精度が悪くなっている。改善目標である相対誤差50%以下は、低気圧と前線で達成されているが台風と雷雨では満たされていない。

③ 相関係数

B の毎時較正によって現行よりもかなり高くなり、改善目標である0.7～0.8 以上は達成されている。時間外挿の場合は現行と同程度であるが、前線のみやや劣る。AFによる毎時較正と逐次検定法では相関係数は算定されていない。

④ 一致度

逐次検定法→AFによる毎時較正法→ B の毎時較正の順に精度が良い。特に台風と雷雨で大きな改善が見られる（但し逐次検定法では、他と評価指標が若干異なる）。一致度の評価方法がオンライン情報提供におけるランク分類（1.0～3.0～5.0～10.0～20.0…）とは異なるが、逐次検定法では、台風を除き、ランク差1以内が9割以上となっている。

(2) オンライン情報提供への適用性

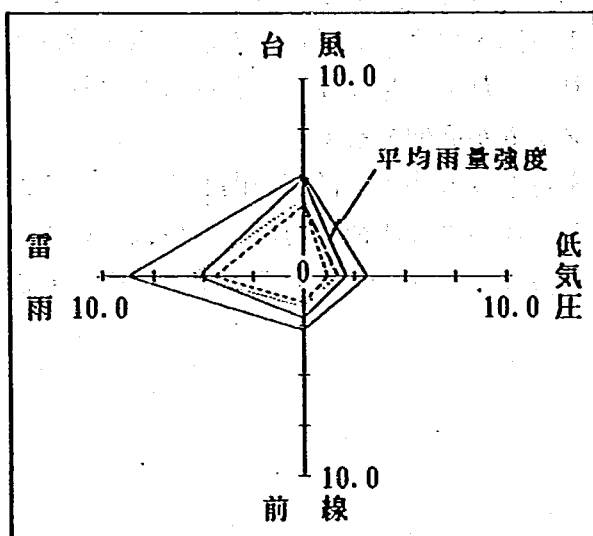
毎時感度分析を行なう②と④の方法は、計算時間が大きい。計算時間を小さくするためには、

- ・感度分析の対象とする B の値の範囲を小さくする。
- ・感度分析の対象とする B の値を粗くとる。

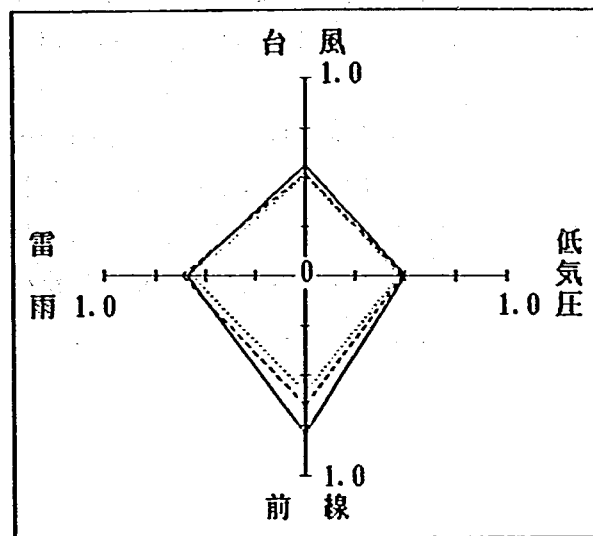
などの方法も考えられるが、計算時間と精度とのトレードオフとなる。

オンライン較正においては、時間外挿が必要である。②、④は時間外挿によって若干精度は落ちるが、オンライン上で最低限必要となる1時間程度の外挿であれば、大きな問題はない。但し、1時間後のデータ供給のために当該時間のデータを用いた感度分析が必要となり、これをオンライン情報提供と平行して処理する必要がある。この為のシステムが必要となる。

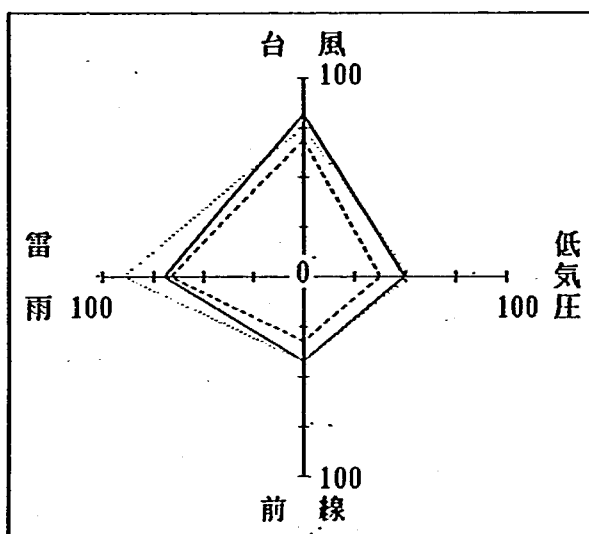
AFを用いて逐次検定法により較正を行なう方法は、計算時間も小さく、また平均的な精度も良いことから、検討した4つの方法の中では最も優れている。但し、感度分析による方法と比べて、誤差が非常に大きくなる時間が生じることが欠点である。



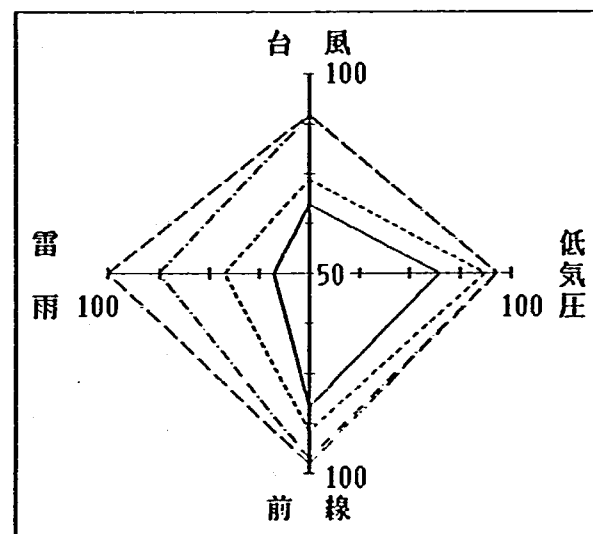
自乗平均誤差 (mm/h)



相関係数



相対誤差 (%)



一致度 (%)

図5.1.1 降雨換算定数 B , β の較正法の精度比較

- 現行
- AFによる毎時較正
- B の毎時較正
- 逐次検定法
- B の時間外挿

表 5. 1. 1 校正手法の比較一覧表 (検討条件)

校正手法	手法の概要	検討対象区域	検討対象降雨	校正使用地点	精度評価地点	精度評価指標	備 考
① 現行 (校正無し)	B, β 固定 R (mm/h) B β 5 未満 33 2.71 5 ~ 30 400 1.15 30 超 43 1.8	赤城山レーダ 雨量計定置観 測範囲、極座 標メッシュ	S. 56 ~ S. 58 の 台風 6、低気 圧 5、前線 2 雷雨 23 降雨 (計 744 時間)	—	テレメータ 131 地点	平均雨量比と差 累加雨量、自乗 平均誤差、相対 誤差、相関係数 雨量ランク一致度	一致度：時間別平均雨量強度 5 mm/h 毎に分割 してランク表示した場合の、ランク の一致する度合い。 平均雨量強度は、台風 5.0、低気圧 2.1、前線 2.1、雷雨 5.2 mm/h である。
② 誤差指標を用いた感度分析による B の毎時校正	β を固定した上で、毎 時感度分析を行なって 誤差が最小となる B を 求める。	赤城山レーダ 雨量計定置観 測範囲、極座 標メッシュ	S. 56 ~ S. 58 の 台風 6、低気 圧 5、前線 2 、雷雨 23 降雨 (計 744 時間)	テレメータ 131 地点	テレメータ 131 地点	平均雨量比と差 累加雨量、自乗 平均誤差、相対 誤差、相関係数 雨量ランク一致度	一致度及び平均雨量強度は①と同じ。
③ B の時間外挿 (②の時間外挿)	前時間の資料により感 度分析を行なって求め た B を用いる。	同上	同上	同上	同上	平均雨量比と差 累加雨量、自乗 平均誤差、相対 誤差、相関係数	平均雨量強度は①と同じ。
④ AF を用いた感度分析による B の毎時校正	β を固定した上で、 $AF = 1/n \sum \log(Rg/Rr)$ を 指標とする感度分析を 行なって $AF = 0$ となる B を求める。	同上	同上	同上	同上	平均雨量差、雨 量ランク一致度	一致度及び平均雨量強度は①と同じ。
⑤ AF を用いた逐次検定法による B の校正	レーダ雨量とゲージ雨 量の差が観測誤差以上 か否かを、AF を用いて 統計的に判定し、必要 な B の補正を行なう。	同上	同上	同上	同上	平均雨量差、累 加雨量、自乗平 均誤差、雨量ラ ンク一致度	一致度及び平均雨量強度は①と同じ。

表 5. 1. 2 校正手法の比較一覧表 (精度評価結果)

校正手法	全体的な精度	自乗平均誤差 (mm/h)	相対誤差 (%)	相関係数	一致度又は適合率 (%)	その他
① 現行 (校正無し)	変化傾向は似ているが量はやや異なり、全体的にレーダ雨量の方がゲージ雨量より大きい。	(5. 2. 3. 1. 2. 7. 8. 8)	(81. 6. 49. 5. 42. 1. 69. 8)	(0. 56. 0. 50. 0. 79. 0. 59)	5mm/h 毎区分した場合に1ランク以内の差で一致するもの (67. 0. 82. 5. 83. 3. 58. 8)	雨量強度が大きいほど精度が劣る傾向がある。
② 誤差指標を用いた感度分析によるBの毎時校正	感度分析指標は自乗平均誤差が最適 (右記) でゲージ雨量との精度が良い。相対誤差や相関係数を指標とした場合には現行定数よりも精度が劣ることがある。	(3. 6. 1. 2. 1. 3. 4. 4)	(68. 4. 37. 3. 32. 5. 66. 2)	(0. 52. 0. 49. 0. 65. 0. 62)	5mm/h 毎区分した場合に1ランク以内の差で一致するもの (73. 3. 93. 6. 89. 3. 71. 4)	雨量強度が大きいほど精度が劣る傾向がある。
③ Bの時間外挿 (②の時間外挿)	②の自乗平均誤差を指標とした場合と大差無い。②で誤差の大きい時間では、外挿によってさらに著しく誤差が増している	1～3時間程度の外挿 (3～5. 1～2. 1～2. 4～7) 1時間の外挿 (3. 9. 1. 6. 1. 5. 5. 6)	1～3時間程度の外挿 (70～80. 40～60. 30～50. 70～100) 1時間の外挿 (75. 2. 52. 1. 42. 2. 89. 6)	1～3時間程度の外挿 (0. 5. 0. 5. 0. 6. 0. 6) 1時間の外挿 (0. 51. 0. 47. 0. 58. 0. 57)	—	
④ AFを用いた感度分析によるBの毎時校正	②の自乗平均誤差を指標とした場合と大差無い。	—	—	—	5mm/h 毎区分した場合に1ランク以内の差で一致するもの (89. 3. 96. 5. 96. 2. 87. 7)	誤差が50mm/h以上のものもある。②よりも精度がやや劣るが現行①よりは精度が良い。
⑤ AFを用いた逐次検定法によるBの校正	B値の補正方法は、当該時刻までのAFの平均値を用いたものが最適 (右記) である。精度は②と大差無いが、検定の時間遅れにより大きな誤差となる場合もある。	$\alpha=0.01\sim0.2$, $\delta=0.1\sim1.0$ で台風3.7～4.4, 低気圧1.7～2.6 最適値をとる α , δ は台風と低気圧で異なる	—	—	$\alpha=0.01\sim0.2$, $\beta=0.1\sim1.0$ で、平均雨量差5mm/h以内のもの (89. 8. 96. 7. 97. 6. 100)	

注) 精度指標値の欄の () 内の数値は、順に台風、低気圧、前線、雷雨の値を示す。

表 5. 1. 3 校正手法の比較一覧表（オンラインへの適用性）

校正手法	計 算 の 構 成	計算時間	レーダ雨量再計算	オンライン 上の影響	備 考
① 現行（校正無し）	1. 予め設定した B 、 β によるレーダ雨量の算定→直交メッシュ化	小さい。	不要。	特に無し。	
② 誤差指標を用いた感度分析による B の毎時校正	1. 感度分析に用いるレーダ雨量の算定 2. 誤差指標値の算定 3. 誤差の最小値（最適な B 値）の選定 4. （最適な B 値によるレーダ雨量の算定→直交メッシュ化）	大きい。1. が大部分を占めるため感度分析に供する B のケースに支配される。 B を粗くした内挿も考えられる。	必要。（感度分析に用いたレーダ雨量を保存しておけば不要）	時間外挿（③）が必要。	一定以上の精度を持つ B の値がかなりの幅を持っていることから、時間外挿を行なっても精度は落ちない。
③ B の時間外挿（②の時間外挿）	A: 1. 前時刻の最適な B によるレーダ雨量の算定→直交メッシュ化 B: 1. 感度分析に用いるレーダ雨量の算定 2. 誤差指標値の算定 3. 誤差の最小値（最適な B 値）の選定	②と同じである。	不要。	特に無し。	
④ AFを用いた感度分析による B の毎時校正	1. 感度分析に用いるレーダ雨量の算定 2. AFの算定 3. AFが 0 に最も近くなる最適な B の選定 4. （最適な B 値によるレーダ雨量の算定→直交メッシュ化）	大きい。②とは指標が異なるだけであり、同等の計算時間を要す。	必要（②と同じ）	②と同じ。	時間外挿の可能性は②と同等と考えられる。
⑤ AFを用いた逐次検定法による B の校正	1. 前時刻の B を用いたレーダ雨量の算定 2. 逐次検定に用いる検定指標値の算定 3. 検定（棄却された場合以下を行なう） 4. 棄却された場合には B 値の補正 5. 新たな B 値によるレーダ雨量の算定→直交メッシュ化	小さい。（感度分析による B の補正は②と同等の時間を要すること等から、補正は AF 値により行なう）	棄却された場合のみ必要。	時間外挿が必要	検定にはデータの集積が必要なので、 B の校正が遅れて結果的に大きな誤差を生じる可能性がある。

5.1.2 レーダ雨量の空間補正の精度比較

表5.1.4 には精度検討の条件を、表5.1.5 には精度評価結果を、表5.1.6 にはオンライン情報提供に於ける適用性を比較して示した。又、図5.1.2 には精度を各指標毎に比較して示した。これらの精度評価の対象は、クリージング方とコクリージング法は同じであるが、他はまちまちである。特に、二宮法は台風のみ扱っていること、又、クリージング法とコクリージング法では雨量強度の大きい限られた時間のみ扱っていることに注意が必要である。

(1) 精度

① 自乗平均誤差

誤差を平均雨量強度と比較すると、二宮法では概ね平均雨量強度程度の誤差である。又、クリージング法とコクリージング法では、台風が 1/2未満、低気圧と雷雨がやや小さく、雷雨では平均雨量強度を超えている。

② 相対誤差

クリージング法を用いた比による補正では、雷雨(7割)を除き、誤差は5割以下である。他は精度が悪い。対象が異なることもあるが、台風以外は現行よりも精度が劣っている。特に雷雨では、150 %もの誤差となっている。

③ 相関係数

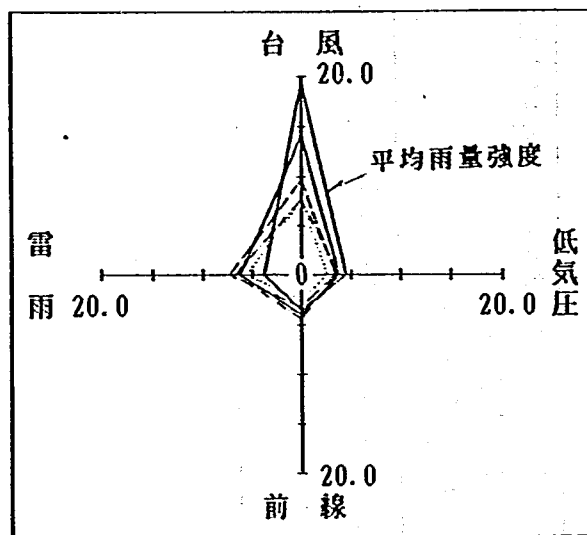
台風は、補正前の相関が低かったこともあり、大きな改善が見られる。他の擾乱の改善度は小さい。これは補正無しの状態でも比較的相関が高かったことによるものであり、コクリージング法を除いては、相関係数が概ね 0.7程度となっている。低気圧、前線は同程度の改善であり、雷雨はこれよりやや劣っている。特に、コクリージング法では、前線と雷雨で補正前よりも相関が悪くなっている。全般には、クリージング法を用いた比による補正が、最も相関が高い。又、二宮法は、台風のみの評価であるが、これと同程度の相関を得ている。

④ 一致度

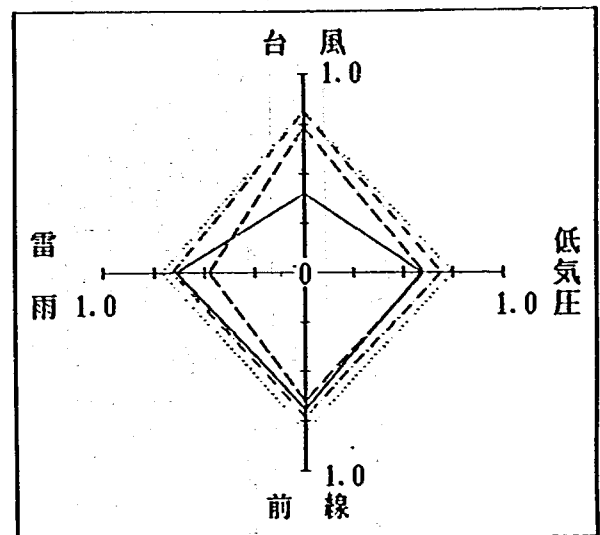
クリージング法を用いた比による補正では、雷雨(84%)を除き、9割以上がランク差1以内となっている。クリージング法を用いた差による補正とコクリージング法も大差無く、8割以上はランク差1以内である。

(2) オンライン情報提供への適用性

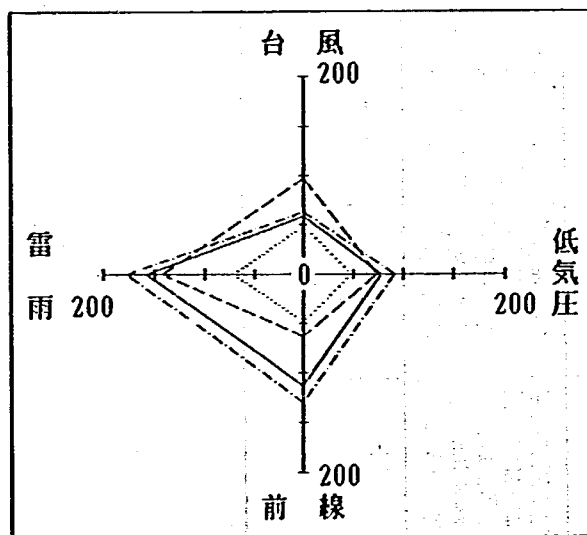
オンラインへの適用性の面からは時間外挿が必要となるが、各手法とも大差無いと考えられる。



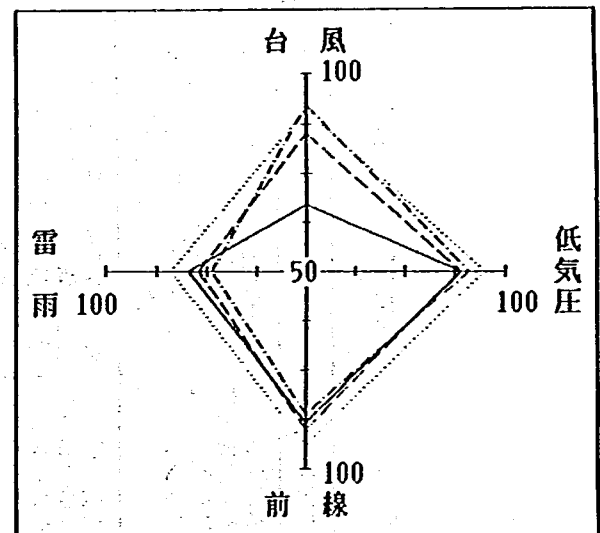
自乗平均誤差 (mm/h)



相関係数



相対誤差 (%)



一致度 (%)

図5.1.2 レーダ雨量の空間補正の精度比較

- 現行
- クリシツク法差補正
- 二宮法補正曲面
- コクリシツク法
- クリシツク法比補正

表 5. 1. 4 校正手法の比較一覧表（検討条件）

校正手法	手法の概要	検討対象区域	検討対象降雨	校正使用地点	精度評価地点	精度評価指標	備 考
①現行（校正無し）	B, β 固定 R (mm/h) B β 5未満 33 2.71 5～30 400 1.15 30超 43 1.8	赤城山レーダ 雨量計定置観 測範囲、直交 メッシュ	モデル降雨解析 4h×30ケース 実際降雨解析 4擾乱各10 時間	モデル降雨解析 テレメータ 142 アメダス 230 実際降雨解析 テレメータ 142	モデル降雨解析 真雨量 実際降雨解析 アメダス 230	平均雨量差, 自 乗平均誤差, 相 対誤差, 相関係 数, 雨量ランク の適合率	適合率: オンライン情報提供に於けるランク 分類を行なった場合のランクの一致 度合い。 実際降雨の平均雨量強度は、台風15.6、低気 圧3.6、前線2.8、雷雨3.1mm/h(テレメータ)である
②二宮法によ る補正曲面あ てはめ	ゲージ雨量とレーダ雨 量の比の分布を曲面と して把え、この曲面を 推定してレーダ雨量の 補正を行なう。	同上。但し、 3km×3kmの直 交メッシュ。	S.56～S.58の 台風6降雨 (計 228時間)	テレメータ 38地点	アメダス 91地点	自乗平均誤差, 相対誤差, 相関 係数	平均雨量強度は、6台風順に、6.3, 3.1, 8.1, 2.7, 1.9, 2.6mm/hである。
③クリージ ング法による補 正	ゲージ雨量とレーダ雨 量の比又は差の分布を 推定分散が最小となる ように推定し、レーダ 雨量の補正を行なう。	定置観測範囲 に外接する正 方形区域。 3km×3kmの直 交メッシュ。	モデル降雨解析 4h×30ケース 実際降雨解析 4擾乱各10 時間	モデル降雨解析 テレメータ 142 アメダス 230 実際降雨解析 テレメータ 142	モデル降雨解析 真雨量 実際降雨解析 アメダス 230	平均雨量差, 自 乗平均誤差, 相 対誤差, 相関係 数, 雨量ランク の適合率	適合率及び平均雨量強度は①と同じ。
④コクリージ ング法による 合成	レーダ雨量を反映出来 る コクリージング法により 推定分散が最小となる ようにゲージ雨量から 空間分布を求める。	同上	同上	同上	同上	同上	適合率及び平均雨量強度は①と同じ。

表 5. 1. 5 校正手法の比較一覧表 (精度評価結果)

校正手法	全体的な精度	自乗平均誤差 (mm/h)	相対誤差 (%)	相関係数	一致度又は適合率 (%)	その他
①現行 (校正無し)	変化傾向は似ているが量はやや異なり、全体的にレーダ雨量の方がゲージ雨量より大きい。	(11. 3. 3. 0. 3. 2. 5. 0)	(58. 2. 77. 8. 113. 0. 158. 2)	(0. 40. 0. 59. 0. 69. 0. 64)	オンライン情報提供におけるランク差 1 以内で一致するもの (66. 9. 89. 2. 88. 3. 79. 7)	雨量強度が大きいほど精度が劣る傾向がある。
②二宮法による補正曲面あてはめ	補正前に比べて自乗平均誤差や相対誤差が 1/2 程度に改善されている。精度は時間的空間的にかなり異なる。	6 台風順に、5. 3. 4. 3. 4. 5. 4. 3. 4. 3. 3. 2	6 台風順に、65. 38. 39 40. 51. 31	6 台風順に、0. 82. 0. 78. 0. 86. 0. 78. 0. 89. 0. 74	—	補正曲面作成に用いるゲージ雨量観測点を減らすと校正前よりも精度の劣る場合がある。
③クリージング法による補正	モデル降雨解析ではレーダ雨量の観測ひずみをうまく補正出来ている。実際降雨解析 (右記) では、比による補正が有効で、差による補正は効果が少ない。	比による補正 (6. 1. 2. 1. 2. 1. 4. 5) 差による補正 (6. 1. 3. 0. 3. 5. 5. 4)	比による補正 (48. 3. 48. 2. 49. 2. 70. 2) 差による補正 (61. 9. 91. 2. 130. 1. 177. 6)	比による補正 (0. 82. 0. 75. 0. 80. 0. 71) 差による補正 (0. 81. 0. 69. 0. 73. 0. 66)	オンライン情報提供におけるランク差 1 以内で一致するもの 比補正 (91. 95. 94. 84) 差補正 (92. 91. 86. 74)	
④コクリージング法による合成	モデル降雨解析は③と同様。実際降雨解析 (右記) では、補正の効果がゲージ雨量のクリージングの精度に支配されており、コクリージングを行なうメリットは小さい。	(7. 7. 2. 7. 2. 6. 5. 8)	(96. 6. 73. 9. 63. 1. 142. 0)	(0. 73. 0. 60. 0. 65. 0. 48)	オンライン情報提供におけるランク差 1 以内で一致するもの (85. 89. 90. 77)	

注) 精度指標値の欄の () 内の数値は、順に台風、低気圧、前線、雷雨の値を示す。

表 5. 1. 6 校正手法の比較一覧表（オンラインへの適用性）

校正手法	計算の構成	計算時間	オンライン上の影響	備 考
①現行（校正無し）	1. 予め設定した B , β によるレーダ雨量の算定→直交メッシュ化	小さい。	特に無し。	
②二宮法による補正曲面あてはめ	1. 基準 B , β によるレーダ雨量の算定→直交メッシュ化 2. 補正係数 F の算定 3. F の補正曲面の推定 4. 各メッシュの補正值の算定 5. レーダ雨量の補正	やや大きい。3, 4 に時間を要す。	補正曲面の時間外挿が必要。	1 時間程度の外挿であれば精度は現行よりも向上する。
③クリージング法による補正	1. 基準 B , β によるレーダ雨量の算定→直交メッシュ化 2. ゲージ雨量, レーダ雨量比（又は差）の算定 3. 比（又は差）のバリオグラム関数の推定 4. 比（又は差）の各メッシュ補正值の算定 5. レーダ雨量の補正	やや大きい。4 に時間を要す。	同上	時間外挿の可能性は②と同等と考えられる。
④コクリージング法による合成	1. 基準 B , β によるレーダ雨量の算定→直交メッシュ化 2. ゲージ雨量, レーダ雨量のバリオグラム, 交差バリオグラム関数の推定 3. コクリージングによる各メッシュ雨量値の算定	やや大きい。2 に時間を要す。	同上	

5.2 実運用を考慮した精度検討

オンライン情報提供に於ける較正手法は、降雨換算定数 B 、 β の較正と、算定されたレーダ雨量の空間補正とで構成される。本検討の結果では、 B の較正のみでは、改善目標であるゲージ雨量と同程度の誤差までは精度を向上出来ていない。さらに精度を向上させるためには、 β の値の見直しや空間補正を取り入れる必要がある。

先ず β の見直しについてであるが、先に3.1の図3.1.1に示した B 、 β の感度分析結果を見ると、 β の変化は B を変えることでかなり補填出来ている。又、 B 、 β 双方の感度分析は、 $Z \sim R_g$ 関係のパラツキや計算時間の面から適当でない。さらには、計算時間を小さくするために、 AF と B の補正量の関係から B を補正していく方法を取る場合には、 β が固定されていることが必要である。このようなことから、 β の見直しは、 B のオンライン補正における誤差を最小とする β の値を事前に求めておくことを意味する。

次に空間補正については、本検討の結果では、クリージング法を用いた比による補正が最も精度向上に適している。レーダ雨量が対数的な観測を行なっていることから妥当な結果である。しかし、クリージング法による空間補正は、やや大きな計算時間を有することから、さらに他の空間補正方法ともあわせて検討が必要となろう。従って、現段階で空間補正を行なうのは難しい。

ここでは、実際の運用では、ゲージ雨量値の入手が毎正時となることを考慮し、最大1時間の遅れをもって較正が行なわれるとした場合の精度を、

感度分析法

AF 法

逐次検定法

の3手法について比較した。対象とした降雨は、降雨強度の大きい台風性及び雷雨性の降雨である。また、精度指標は、アメダスによる地上観測値との比較により求めた。結果は、表5.2.1に示した。

現行運用でも、1ランク差以内の一致度は8～9割程度あり、実用的な精度は確保されていると言えよう。また、感度分析法や AF 法による較正を行なうことで、精度の改善が期待出来る。精度の改善度は、表5.2.2の通りであった。ランク差1以内の一致度は、現行方式でも既に9割程度の一致となっていることから、改善度合いは小さい。その他の指標で見ると、10～34%の改善度となっている。逐次検定法は、雷雨には有効である。特に、自乗平均誤差や平均誤差の改善度が大きい。

図5.2.1は、台風性降雨について、現行の B 及び較正後の B を用いたレーダ雨量とアメダスによる地上雨量の累加平均雨量とを対比したものである。ここに、累加平均雨量とは、アメダス観測地点もしくはこれに対応するレーダメッシュの雨量の平均値の累加値である。

これによれば、感度分析法及び AF 法は、現行定数を用いた場合に比べ、地上

雨量の値との誤差が小さい。また、較正後の降雨換算定数Bの時間変化は、図5.2.2であり、感度分析法とAF法はほぼ同じ値となっている。一方、逐次検定法は、較正される回数が少なく、全般的には感度分析によるBを時間平均した値となっている。

以上のことから、Bの較正は毎時行なうことが有効であり、計算時間の大きい感度分析によらず、簡便なAF法で較正を行なえば良い。

表5.2.1 各種較正法による観測精度

	較正方法	ランク一致度	1mm差1以内一致度	自乗平均誤差	平均誤差
台風性	現行	41.0%	88.4%	4.14mm/h	2.87mm/h
	感度分析法	47.7	91.3	3.68	2.50
	A F 法	47.0	91.0	3.73	2.53
	逐次検定法	40.2	87.1	4.45	3.04
雷雨性	現行	31.2	78.2	4.70	2.27
	感度分析法	39.7	84.1	3.53	1.53
	A F 法	40.5	83.9	3.48	1.51
	逐次検定法	32.1	78.8	3.41	1.48

平均誤差：地上雨量との差の絶対値の平均値

表5.2.2 各種較正法による観測精度の改善度（単位：％）

誤差指標	台風性			雷雨性		
	感度分析法	A F 法	逐次検定法	感度分析法	A F 法	逐次検定法
ランクの一致度	16.3	14.6	-2.0	27.2	29.8	2.9
1mm差1以内の一致度	3.3	2.9	-1.5	7.5	7.3	0.7
自乗平均誤差	11.1	9.9	-7.5	24.9	26.0	27.4
平均誤差	12.9	11.8	-5.9	32.6	33.5	34.8

$$\text{改善度} = |X_1 - X_0| / X_0 \cdot 100 (\%)$$

但し、精度が改善した場合を正とする。

X_0 ：現行のB, β を用いた場合の誤差指標値

X_1 ：較正後のB, β を用いた場合の誤差指標値

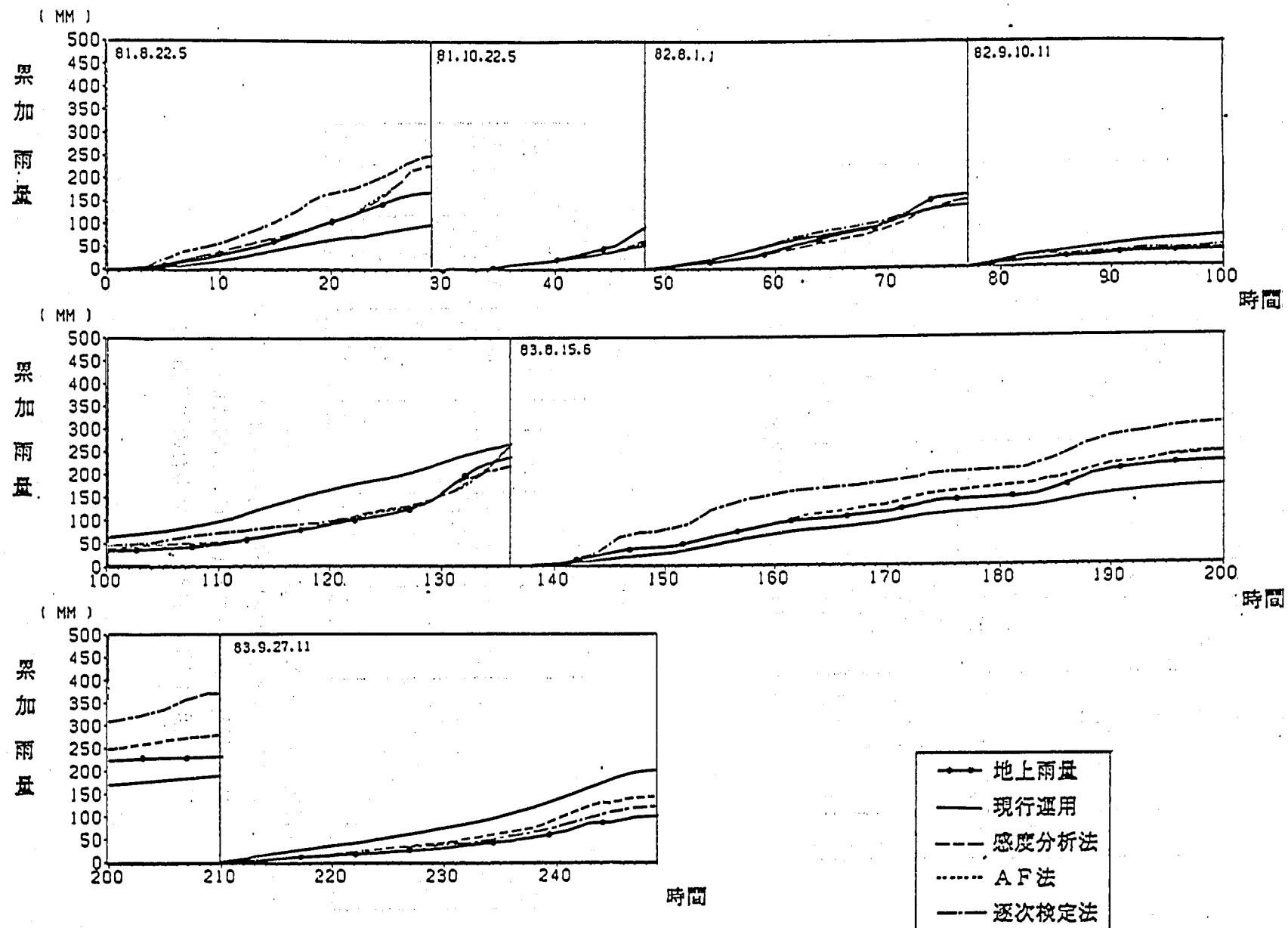


図5.2.1 各種較正法による累加雨量比較図

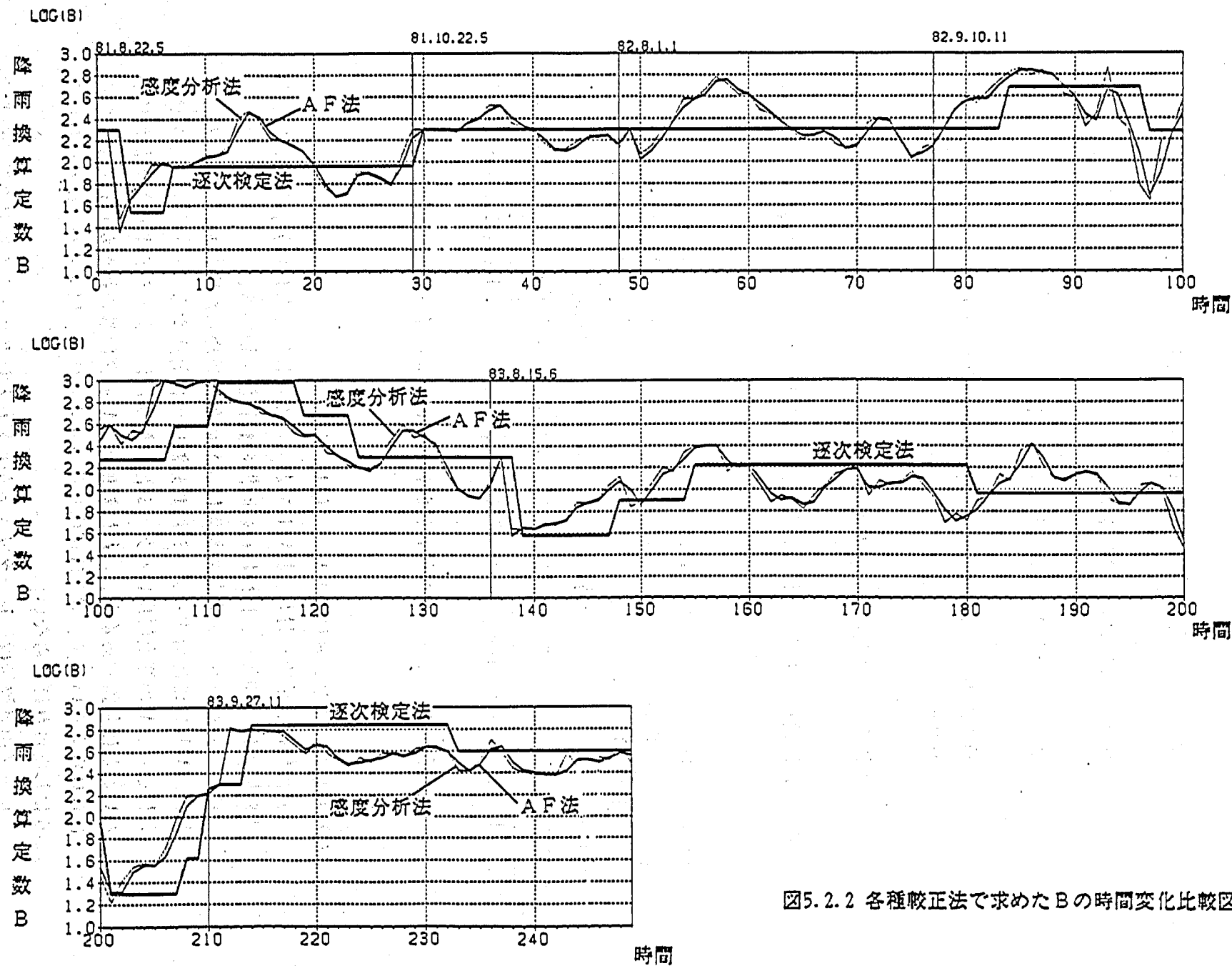


図5.2.2 各種較正法で求めたBの時間変化比較図

5.3 最適な較正方法の提案

以上の検討結果を踏まえ、最適な較正方法として次のものを提案する。

①設定した降雨換算定数 B 、 β による前時刻のレーダ雨量の算定

↓

② $AF = 1/n \sum \log(R_g/R_r)$ の算定

↓

③ $AF \sim B$ の補正量の関係を用いた B の補正

↓

④補正後の B 、 β による当該時刻のレーダ雨量の算定
及び直交メッシュ化

↓

⑤以下逐次②から④の繰り返し

図5.3.1 に較正のイメージ図を示し、又、各項目について若干の説明を加える。

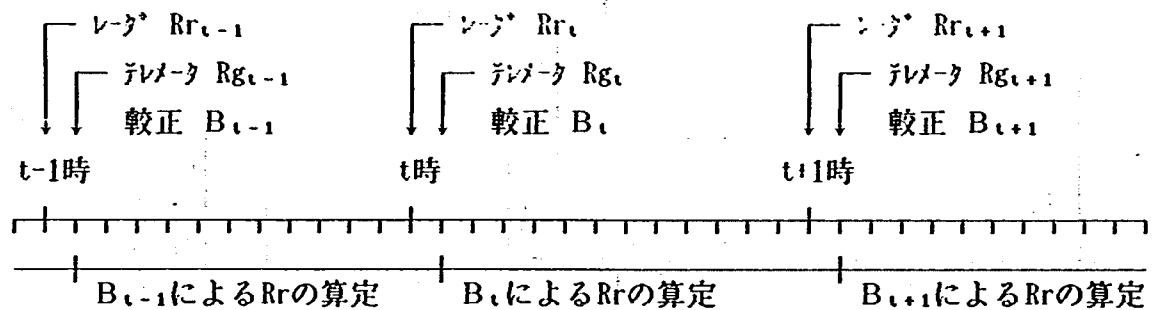


図5.3.1 オンライン較正における B の較正のイメージ

(1) 基準とする B 、 β によるレーダ雨量の算定

β の値は、予め検討し、設定しておく ($\beta = 1.6$ でも良い)。 B の値は、第1時間めは 200 とし、以降は前の時間の較正值を用いる。

ここで行なうレーダ雨量の算定は、 AF の値を求めるためのものであるから、最低限 AF 算定に使用するゲージ雨量観測所のに対応するメッシュのみで良いことになる。 AF の算定に用いるゲージ雨量観測所は、ゲージ雨量観測の信頼度が高いことは勿論であるが、これに対応するレーダ雨量の精度が良い観測所でないといけない。又、対象区域内を代表する為には、出来るだけ偏りの無いようにしなければならない。

レーダ雨量観測は、レーダサイトから離れるほどビーム充满率の低下や電波の減衰の見積り誤差によって、誤差が大きくなる可能性が高くなる。逆に近過

ぎると、レーダメッシュが小さいことによる雨滴粒子の移流等の誤差やサイドロープの影響でやはり精度が悪くなる。さらに距離とは関係無く、グランドクラッターの影響も大きい。これらの点を事前に評価し、使用する観測所を決定する。

なお、ここでのレーダ雨量の算定に当たっては、必ずしも降雨減衰を考慮する必要はない。即ち、雨量強度が小さいとき、或いは、近傍の観測所のみによりAFが算定される場合である。仮に降雨減衰を無視するとすれば、AF算定対象メッシュのみレーダ雨量を算定すれば良く、計算時間をかなり節約出来る。

(2) $AF = 1/n \sum \log(Rg/Rr)$ の算定

(1) に選定した地点に於けるレーダ雨量 Rr とゲージ雨量 Rg から計算する。計算に当たっては、当然 Rg 若しくは Rr が0の地点は計算不能となる。又、ゲージ雨量観測の分解能が、テレメータやアメダスを考えれば、0.5若しくは1.0であることから、雨量強度がこの程度の値のときはAFの算定誤差が大きくなる。従って、少なくとも Rg が1.0mm/h以下の地点は除いたほうが良いであろう。さらに、AFの値が極端に大きい(或いは小さい)地点は除いたほうが良いであろう。

このように考えると、雨量強度が小さい場合や局所的な雨の場合には、AF算定に用いるサンプルがかなり小さくなることも考えられる。これに関しては、本検討の中で、AFの値がサンプル数が小さいほどバラツキが大きくなることが確認されている。又、 $\log(Rg/Rr)$ の標準偏差は0.25程度であった。このことから、AFの推定値の偏差を1割未満におさえようとすれば、

$$0.25/n^{0.5} < 0.1$$

より、サンプル数は7以上必要となる。同様に5%未満におさえようとすれば、サンプル数は25以上必要である。サンプル数については、処理能力の問題もあわせて、検討が必要であるが、サンプル数が設定した値に足りない場合には、Bの補正を行なわない。

(3) AF~Bの補正量の関係を用いたBの補正

3.4 で述べたように、AFの値を k とおけば、

$$B_{i+1} = B_i \cdot 10^{-\theta k}$$

である。

(4) 補正後のBによるレーダ雨量の算定及び直交メッシュ化

補正したBを用いて、降雨減衰を含めて、現行と同等の方法でレーダ雨量を算定する。

提案した方法によるレーダ雨量の精度の評価結果を、図5.3.2~図5.3.9及び表5.3.1及び表5.3.2に示した。以下、擾乱別に評価結果を述べる。

(台風)

- ・ Bの最適値の変化を良好に追従出来ている。
- ・ 地上雨量との誤差の絶対値は、最大8mm/h程度であり、累加値で見ると地上雨量と良く整合している。

- ・ 自乗平均誤差は平均 3 mm/h 程度（最大 13 mm/h 程度）、相対誤差は平均 70% 程度（最大 250% 程度）であり、改善目標を若干下回る。
- ・ 相関係数は、平均で 0.75 であり、目標を満足する。
- ・ ランク差 1 以内の適合率は約 91% で良好。

（低気圧）

- ・ B の最適値の変化が激しいことや、雨量強度が小さくデータ数が少ない時間が多いことから、追従性の評価は難しい。
- ・ 上記のようなことから、地上雨量との誤差が大きくなる時間が生じている。誤差の絶対値は最大 12 mm/h 程度であり、雨量強度からみて大きな値となっている。累加値で見ても整合性はあまり良くない。
- ・ 自乗平均誤差は平均 1 mm/h 強（最大 20 mm/h 程度）、相対誤差は平均 110% 程度（最大 200% 程度）であり、改善目標を下回る。但し、データ数が少ない場合の処理を工夫（例えば平均的な B の値を使用する等）することで、かなり改善出来ると思われる。
- ・ 相関係数は、平均で 0.83 であり、目標を満足する。
- ・ ランク差 1 以内の適合率は約 91% で良好。

（前線）

- ・ B の最適値の追従性は、低気圧と同様の傾向を持ち、地上雨量との誤差が大きくなる時間が生じている。但し、解析対象の時間数が少ないこともあって、低気圧ほど明確ではない。以下の誤差指標も同様である。
- ・ 誤差の絶対値は最大 6 mm/h 程度であり、雨量強度からみて大きな値となっている。累加値で見ても整合性はあまり良くない。
- ・ 自乗平均誤差は平均 1 mm/h 弱（最大 4 mm/h 程度）、相対誤差は平均 50% 程度（最大 70% 程度）であり、改善目標は概ね満たしている。
- ・ 相関係数は、平均で 0.87 であり、目標を満足する。
- ・ ランク差 1 以内の適合率は約 87% で良好。

（雷雨）

- ・ B の最適値の追従性は、低気圧と同様の傾向を持ち、地上雨量との誤差が大きくなる時間が生じている。
- ・ 誤差の絶対値は最大 12 mm/h 程度であり、雨量強度からみて大きな値となっている。累加値は、降雨の継続時間が短いことから評価が難しい。
- ・ 自乗平均誤差は平均 1 mm/h 強（最大 18 mm/h 程度）、相対誤差は平均 90% 程度（最大 200% 程度）であり、改善目標を下回る。
- ・ 相関係数は、平均で 0.82 であり、目標を満足する。
- ・ ランク差 1 以内の適合率は約 95% で良好。
- ・ 以上のことから全体的に見て、降雨強度の強い時間については、良好な補正が可能であるが、データ数が不足するような雨量強度の弱い時間については、平均的な B を用いるなどの特殊な処理が必要である。

表5.3.1 精度評價結果一覽表

	誤差指標		指標値		誤差指標		指標値	単位
台風	平均值		3.390	前線	平均值		1.386	mm/h
	Rr-Rg		-0.567		Rr-Rg		0.528	mm/h
	Rr/Rg		0.857		Rr/Rg		1.616	—
	自乗平均誤差		3.052		自乗平均誤差		0.821	mm/h
	相對誤差		69.3		相對誤差		46.3	%
	相關係數		0.749		相關係數		0.866	—
	適合率	0	55.3		適合率	0	51.0	%
		1	91.0			1	87.0	%
		2	99.0			2	97.4	%
低気圧	平均值		1.271	雷雨	平均值		2.366	mm/h
	Rr-Rg		0.406		Rr-Rg		0.567	mm/h
	Rr/Rg		1.469		Rr/Rg		1.315	—
	自乗平均誤差		1.202		自乗平均誤差		2.460	mm/h
	相對誤差		108.8		相對誤差		87.2	%
	相關係數		0.825		相關係數		0.819	—
	適合率	0	62.0		適合率	0	69.9	%
		1	90.6			1	95.3	%
		2	98.8			2	99.9	%

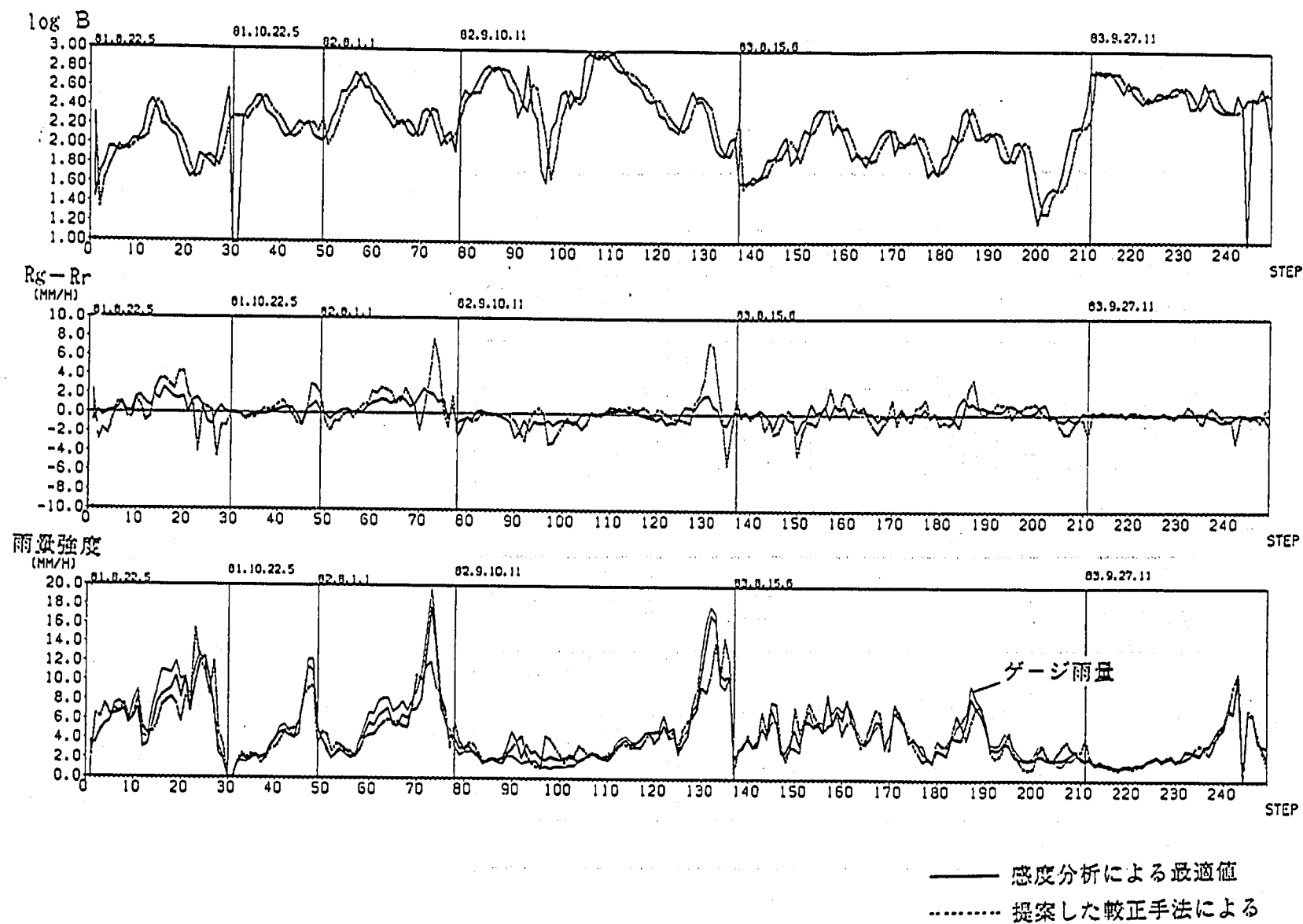


図5.3.2 校正結果一覧図（感度分析による最適値との比較，台 風）

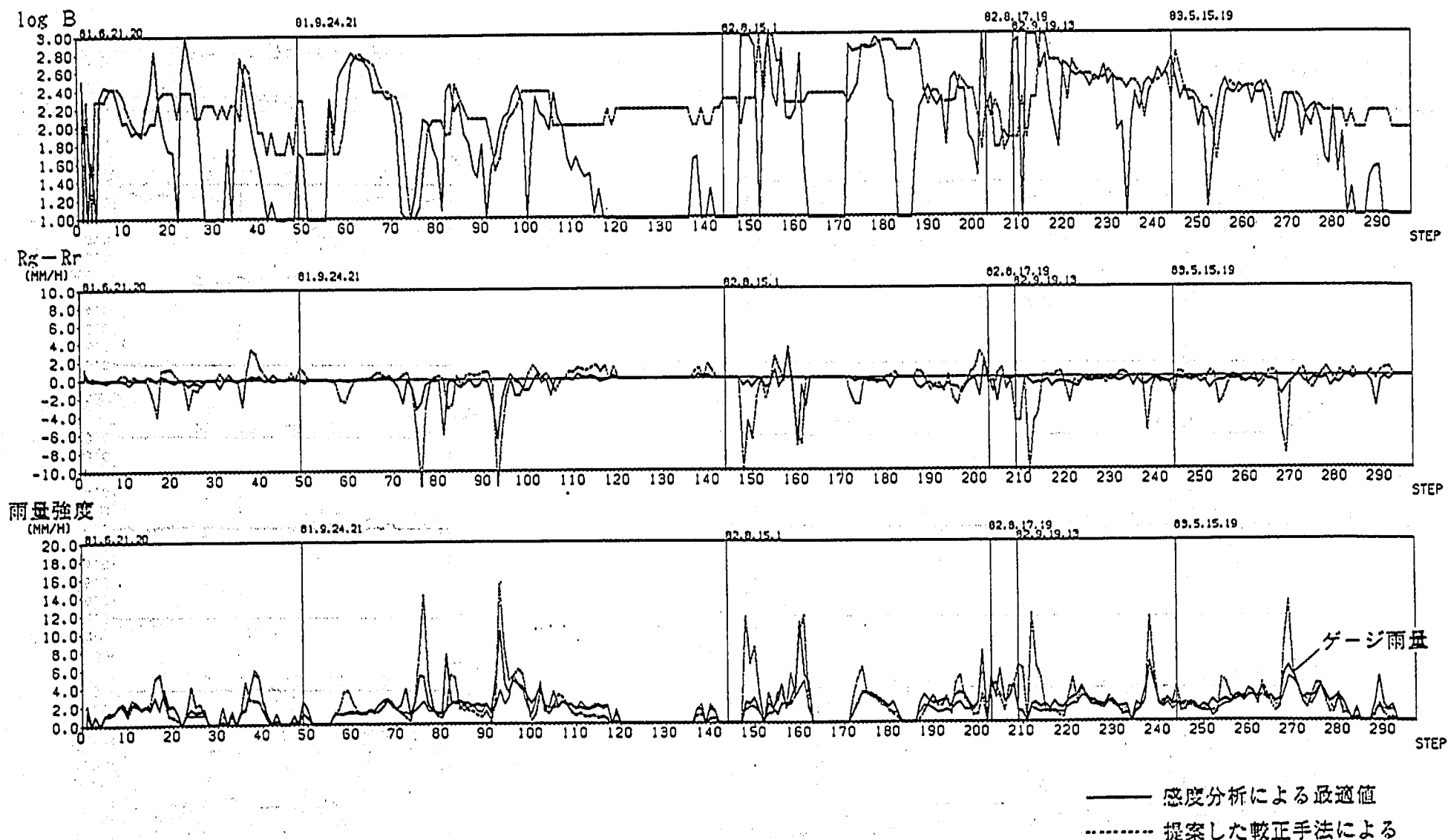


図5.3.3 較正結果一覧図（感度分析による最適値との比較，低気圧）

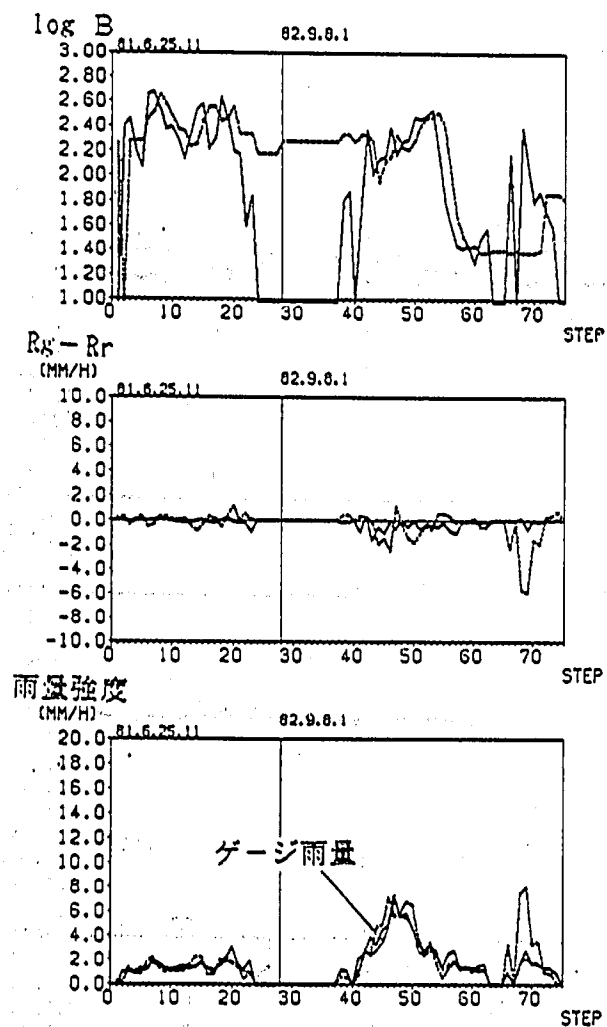


図5.3.4 較正結果一覧図

(感度分析による最適値との比較, 前線)

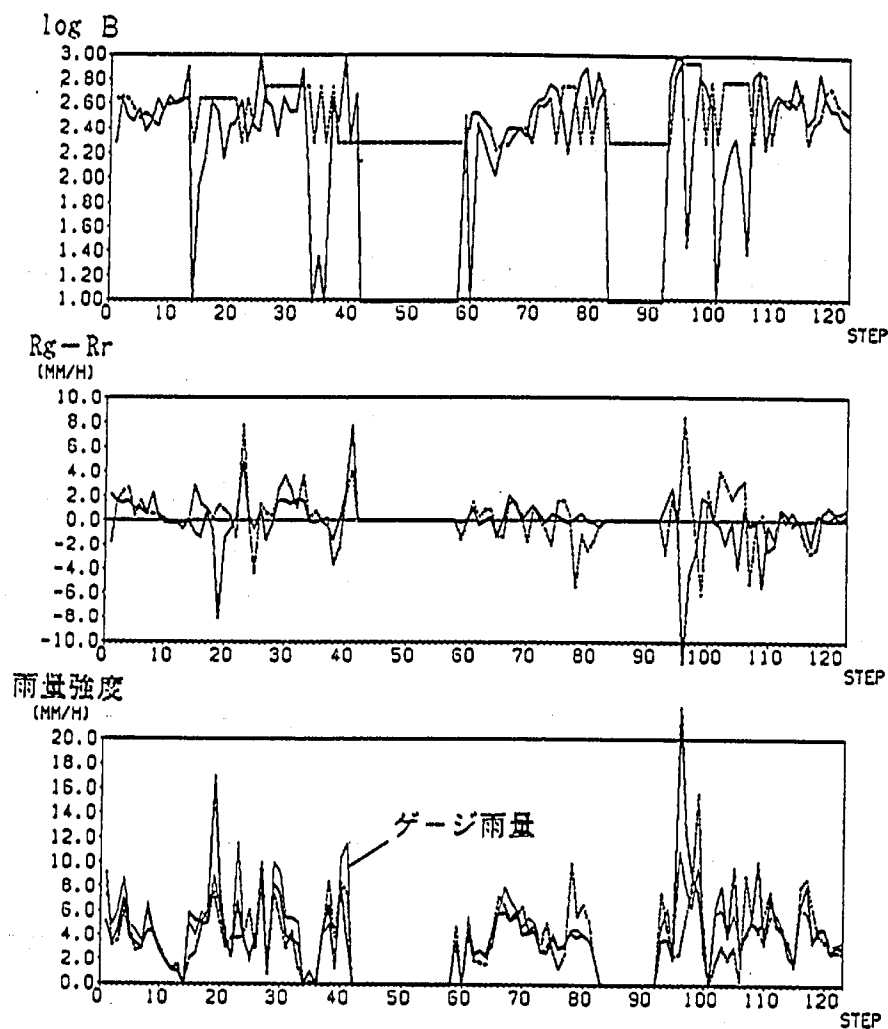
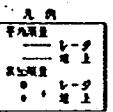
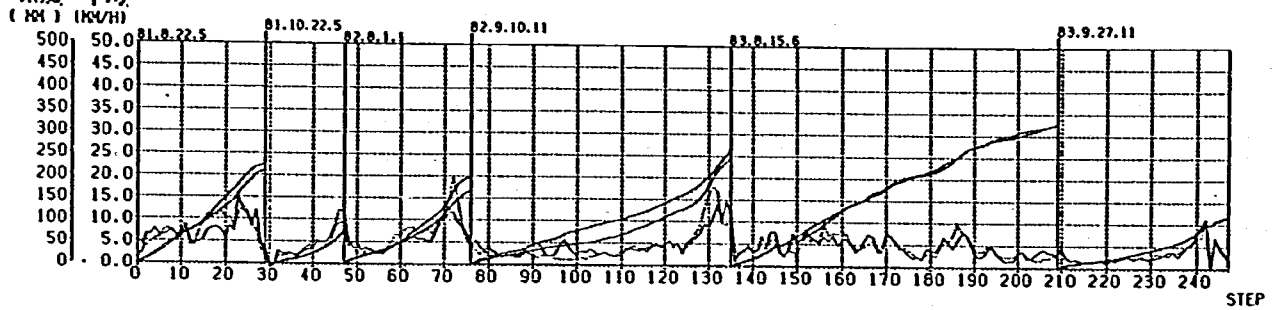


図5.3.5 較正結果一覧図

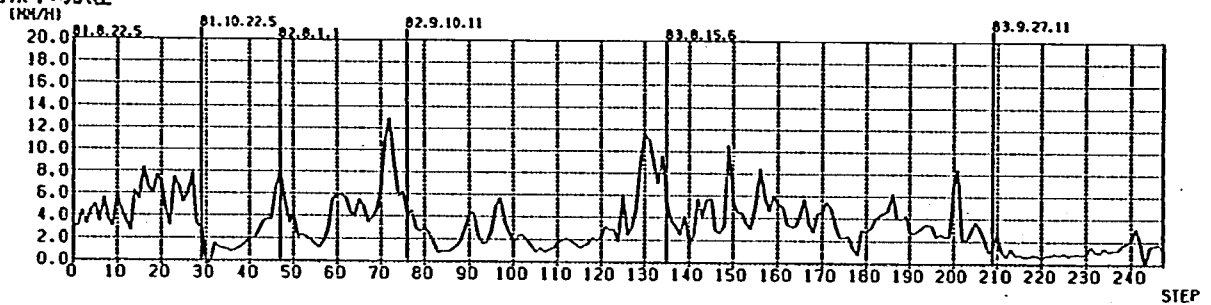
(感度分析による最適値との比較, 雷雨)

—— 感度分析による最適値
 ----- 提案した較正手法による

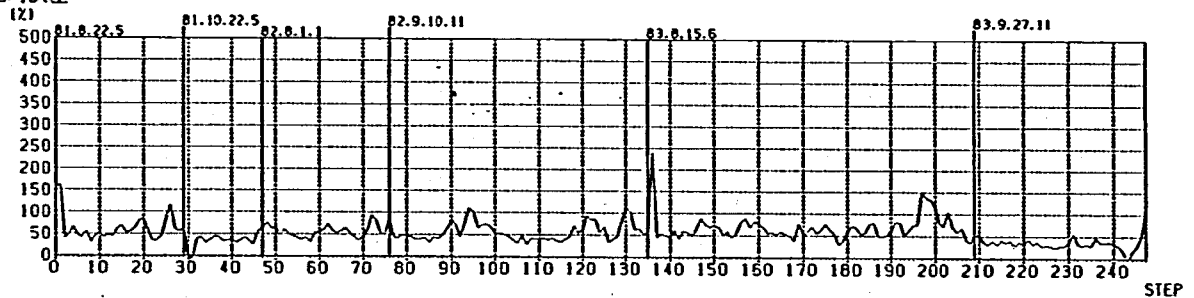
累加 平均



自乗平均誤差



相対誤差



相関係数

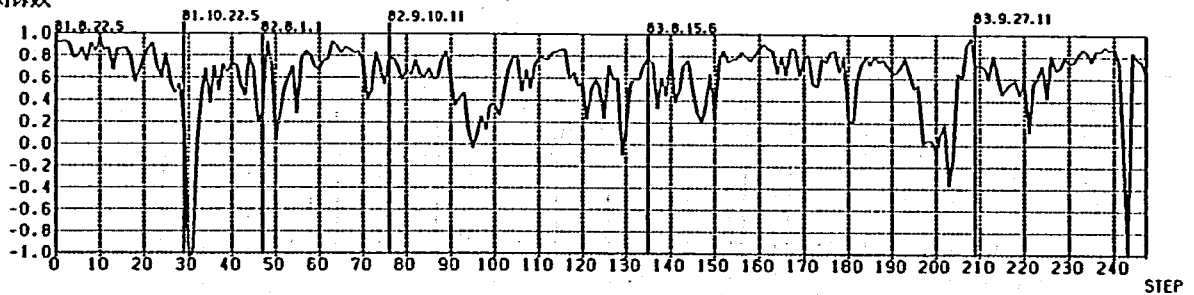


図5.3.6 誤差指標一覧図 (台風)

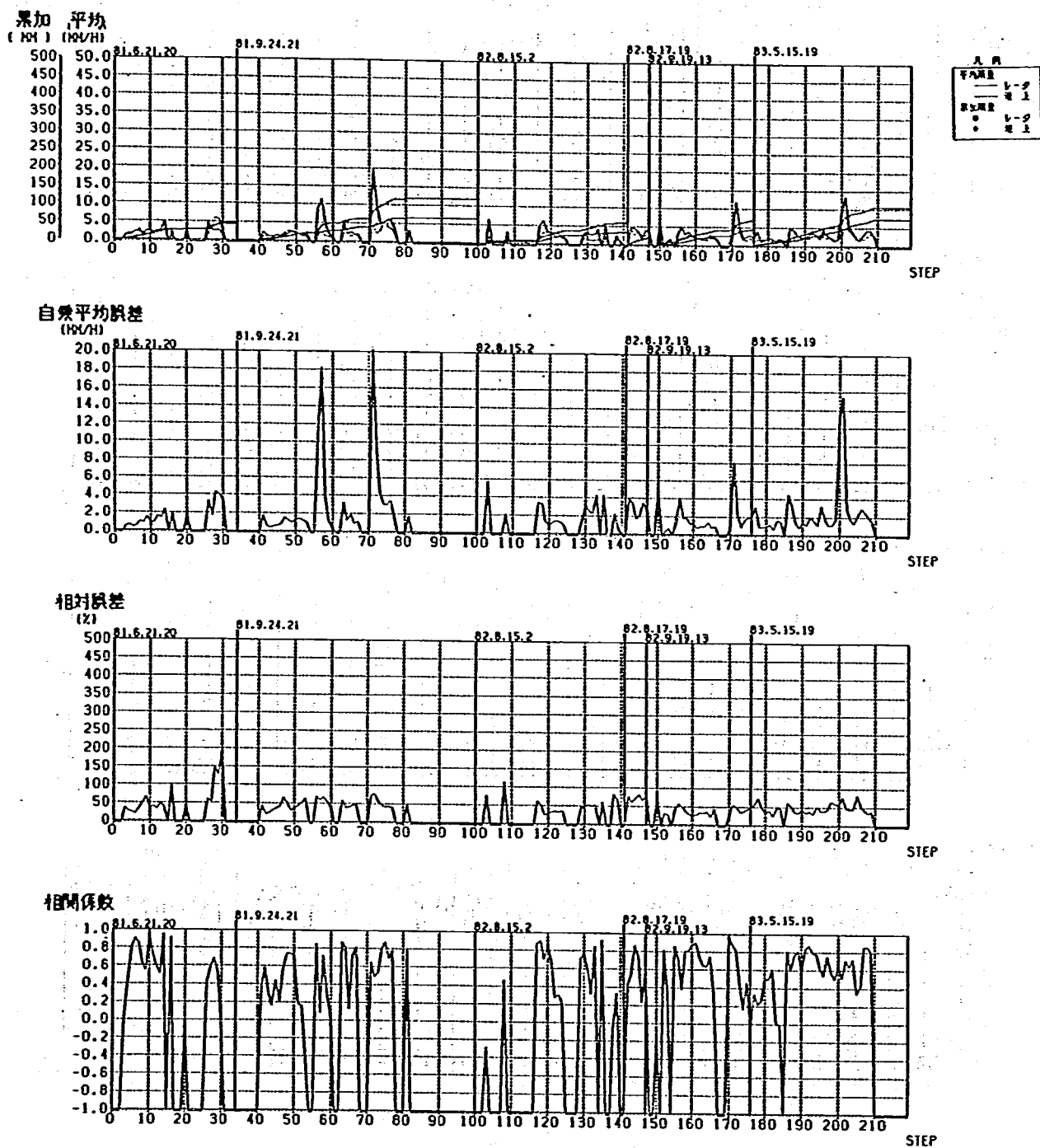


図5.3.7 誤差指標一覧図 (低気圧)

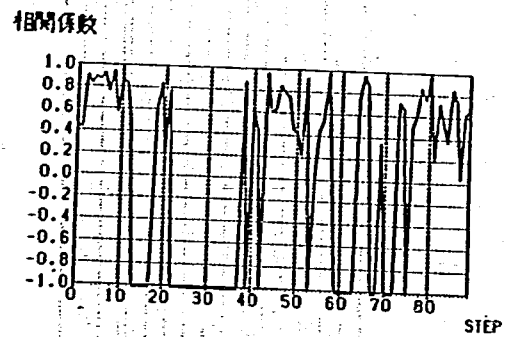
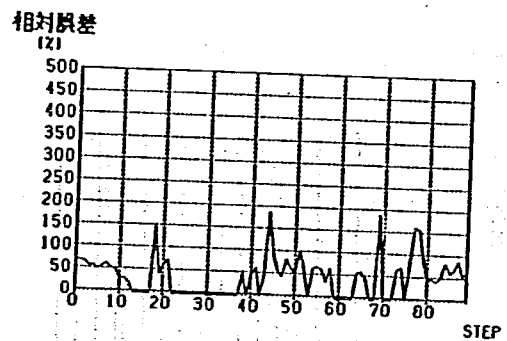
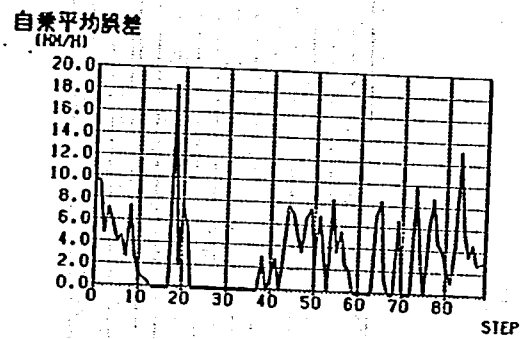
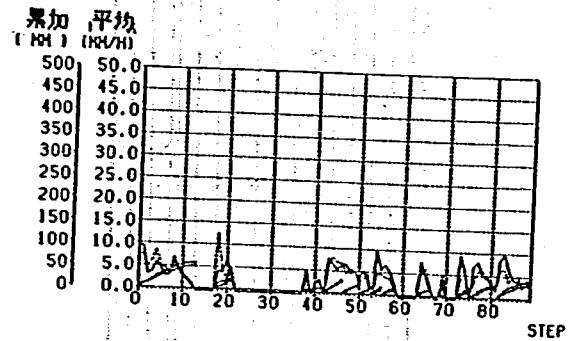
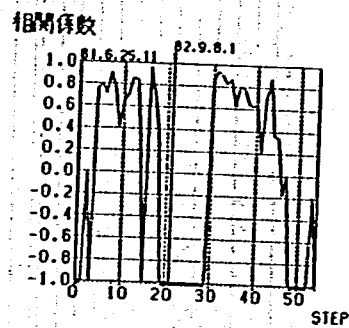
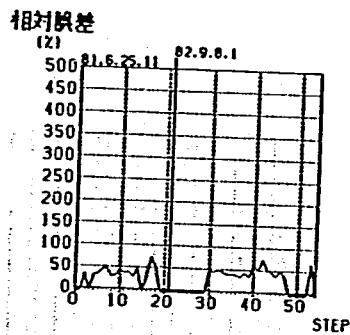
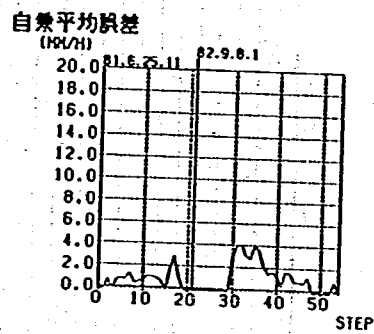
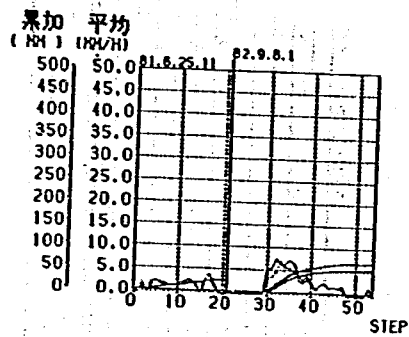


図5.3.8 誤差指標一覧図 (前線)

図5.3.9 誤差指標一覧図 (雷雨)

表5.3.2 適合率一覧表

台風

		AMIN=1.0MM/H , RMAX=200.0MM/H									
RR	RO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	#
		<3.0	<5.0	<10.0	<20.0	<30.0	<50.0	<70.0	<100.0	<999.0	
1	<3.0	4175	1255	353	39	1	2				5825
2	<5.0	907	1140	807	122	13	2	2			2993
3	<10.0	336	519	1493	709	105	25	1			3188
4	<20.0	34	76	348	690	200	78	1			1427
5	<30.0	1	6	19	87	69	60	4			246
6	<50.0			5	5	7	11	1	1		30
7	<70.0				1	1	2	2			6
8	<100.0										
9	<999.0										
#		5453	2996	3026	1652	396	180	11	1		13715
ワンク*		0	1	2	3	4	5	6	7	8	#
ワンフル数		7580	4902	1100	123	6	4				13715
比率(%)		55.3	35.7	8.0	0.9	0.0	0.0				100.0

前線

		AMIN=1.0MM/H , RMAX=200.0MM/H									
RR	RO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	#
		<3.0	<5.0	<10.0	<20.0	<30.0	<50.0	<70.0	<100.0	<999.0	
1	<3.0	469	78	45	12	2	1				607
2	<5.0	167	103	68	14	1					354
3	<10.0	58	79	113	51	4	2	1			308
4	<20.0	9	10	37	95	16	11	3			121
5	<30.0	1	1	2	10	8	5	1			28
6	<50.0			3	4	1	5	2			15
7	<70.0			1			9				4
8	<100.0										
9	<999.0										
#		704	271	269	126	32	28	7			1437
ワンク*		0	1	2	3	4	5	6	7	8	#
ワンフル数		733	517	149	51	6	1				1437
比率(%)		51.0	36.0	10.4	2.2	0.4	0.1				100.0

低気圧

		AMIN=1.0MM/H , RMAX=200.0MM/H									
RR	RO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	#
		<3.0	<5.0	<10.0	<20.0	<30.0	<50.0	<70.0	<100.0	<999.0	
1	<3.0	2170	389	79	11						2649
2	<5.0	395	279	146	20						840
3	<10.0	205	197	173	21						596
4	<20.0	17	30	61	21	4					133
5	<30.0	5	3	14	4	2					28
6	<50.0		4	6	2	1					13
7	<70.0	1	1	9		1					6
8	<100.0										
9	<999.0										
#		2793	903	482	79	8					4265
ワンク*		0	1	2	3	4	5	6	7	8	#
ワンフル数		2645	1218	351	37	12	1	1			4265
比率(%)		62.0	28.6	8.2	0.9	0.3	0.0	0.0			100.0

雨

		AMIN=1.0MM/H , RMAX=200.0MM/H									
RR	RO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	#
		<3.0	<5.0	<10.0	<20.0	<30.0	<50.0	<70.0	<100.0	<999.0	
1	<3.0	511	57	9							577
2	<5.0	79	69	24	3						175
3	<10.0	25	50	88	17	1					181
4	<20.0		8	21	27	4					60
5	<30.0		1		1	3					5
6	<50.0										
7	<70.0										
8	<100.0										
9	<999.0										
#		615	185	142	48	8					998
ワンク*		0	1	2	3	4	5	6	7	8	#
ワンフル数		698	253	46	1						998
比率(%)		69.9	25.4	4.6	0.1						100.0

第6章 まとめ

本検討は、レーダ雨量観測における降雨減衰項の導入に際して雨量強度を出来るだけ正確に推定する必要があることに鑑み、各種のレーダ雨量較正法について、精度の評価並びに適用性の検討を行なったものである。検討の結果、次のようなことが得られた。

イ) 降雨換算定数 B 、 β の較正による精度向上について

- ・レーダ反射因子 Z とゲージ雨量 R_g の関係のバラツキが大きいことから、同程度の精度が期待出来る B 、 β の組合せが幾通りもある。従って、較正を行なう場合の計算時間を考えれば、 β を固定した上で B の較正を行なうのが妥当である。

- ・毎時感度分析により B の較正を行なえば、現行定数によるよりもかなりの精度向上が期待出来るが、オンライン上ではテレメータ値が毎正時のみの入手であるため、前時刻のデータにより求めた B を用いる時間外挿法が必要である。外挿について検討した結果からは、1時間程度の外挿であれば、外挿を行なわない場合と大差無い精度が得られることが解かった。但し、感度分析が必要なことには変わりはなく、システムは大きくなる。

- ・感度分析に多大な計算時間を要することから、レーダ雨量とゲージ雨量の比の対数平均値 AF を求め、これと B の補正量の関係を理論的に求めて補正を行なう方法が考えられた。この方法で求めた B は感度分析により求めた B と大差無いため、同程度の精度が期待出来る。

- ・サンプル誤差に起因する B のみかけの変動を除去し、雨滴分布の変化など気象条件による B の変化を追跡する方法として、逐次検定法による較正の検討を行なった。その結果、平均的な精度は毎時較正と大差無いが、追跡に時間的遅れが生じることから誤差が非常に大きくなる時間が生じた。これは、オンライン情報提供に当たって降雨減衰項を導入する場合には問題である。

ロ) 空間分布の補正による精度向上方法について

- ・レーダ雨量とゲージ雨量との比を求め、この比の空間分布を推定してレーダ雨量の補正を行なう方法として、二宮法による曲面あてはめ法とクリージング法の検討を行なった。その結果、双方とも良好な補正が期待出来、レーダ雨量に何等かの原因で歪みが生じた場合にも良好に補正が行なわれた。

- ・比の代わりにレーダ雨量とゲージ雨量の差を求めて、その空間分布を推定して補正する方法は、比による補正に比べて精度が劣っている。これは、レーダ雨量観測が対数による処理を基本としていることから、誤差が差よりも比の形で現われる傾向にあることによると考えられる。

- ・コクリージング法によりレーダ雨量とゲージ雨量とを直接合成する方法の精度は、クリージングによるゲージ雨量分布の推定精度に支配される。従って、複雑な手続きを行なってコクリージングを行なう利点は殆ど無い。

- ・比による補正に於いて、オンライン上で必要となる比の分布の1時間程度の

外挿では、外挿を行わない場合に比べて精度はあまり落ちず、現行よりも精度の向上が望める。

ハ) 最適な較正手法について

- ・最適な較正手法として、AFを用いてBを毎時単純に変化させる方法を提案した。この方法による計算時間は、現行システムで降雨減衰を導入した場合と大差無い。又、精度の向上はかなり期待出来る。

- ・空間補正方法は、レーダ雨量とゲージ雨量との比の空間分布を推定して補正する方法が良い。しかし、空間分布を作成する場合の手法に各種のものがあつた。その一部しか検討されていないこと、対象とした手法についても用いる定数や誤差の特性について詳細な検討が行われていないこと、さらには、精度評価対象や指標が不統一でありかつ限られたものであることなどの問題がある。従つて、空間補正については今後さらに検討が必要である。

このように一応最適な較正手法について目安を示したが、尚課題は多い。即ち、

- ・提案した較正方法を適用する場合における、誤差の時間的、空間的な出現特性を詳細に把握すること

- ・空間補正方法について、一貫した精度の評価を行なうこと

- ・時間補正と空間補正を組み合わせた較正手法の検討

- ・実際システムへの適用性（データの収集、処理など）の検討とシステムづくり

などである。他にも、レーダ雨量観測で目標とする精度についても明確な基準づくりが望まれる。これらを今後の検討課題とする。

参考文献

- 1) 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
——レーダ雨量計を利用した流出予測シミュレータの開発——
(土研資料第2078号, 昭和59年3月, 建設省土木研究所)
- 2) Fujiera M.; Raindrop-size distribution from individual storms: Jour. of Atmos. Science. 22, P.585 1965.
- 3) 降水現象のレーダ観測に関する調査報告書
(土研資料第2353号, 昭和61年3月, 建設省土木研究所)
- 4) 川畑 幸夫 著 「水文気象学」(昭和38年8月, (株) 地人書館)
- 5) D.E.Cain and P.L.Smith, Jr.; Operational Adjustment of Radar Estimated Rainfall with Rain Gage Data: A Statistical Evaluation, 17th Radar Meteor. Conf. 1976.
- 6) W.F.Krajewski; Cokriging Radar-Rainfall and Rain Gage Data
- 7) A. Journel and C.H.Huijbregts; Mining Geostatistics: Academic Press, 1978

巻末資料

1. テレメータ観測所メッシュ位置
2. アメダス観測所メッシュ位置

テレメータ観測所メッシュ位置

番号	r	θ	x	y	観測所名
1	0	0	0	0	沢
2	16	123	36	25	良木
3	15	123	37	27	八木
4	13	124	38	28	八木
5	13	122	37	29	八木
6	11	120	36	31	八木
7	12	112	32	33	八木
8	13	109	30	33	八木
9	11	110	32	34	八木
10	11	116	34	32	八木
11	6	111	36	29	八木
12	12	5	43	29	八木
13	12	10	46	30	八木
14	9	4	42	32	八木
15	8	8	43	34	八木
16	6	15	44	37	八木
17	4	128	40	37	八木
18	4	17	43	38	八木
19	18	100	23	37	八木
20	18	92	23	44	八木
21	13	95	28	42	八木
22	10	100	31	39	八木
23	6	91	35	42	八木
24	7	77	37	45	八木
25	15	79	31	51	八木
26	10	20	48	35	八木
27	12	21	51	34	八木
28	9	21	47	36	八木
29	7	21	46	37	八木
30	9	28	49	39	八木
31	6	32	46	40	八木
32	13	89	29	45	八木
33	15	85	28	48	八木
34	17	80	29	53	八木
35	18	74	33	57	八木
36	7	118	37	35	八木
37	11	63	41	51	八木
38	14	27	53	37	八木
39	18	31	58	40	八木
40	22	48	56	55	八木
41	17	51	51	53	八木
42	20	37	60	45	八木
43	8	59	43	48	八木
44	18	45	55	51	八木
45	9	24	49	37	八木
46	12	48	49	48	八木
47	8	49	45	46	八木
48	8	35	48	42	八木
49	10	38	50	43	八木
50	14	38	53	44	八木

番号	r	θ	x	y	観測所名
51	5	51	43	44	間々
52	3	30	43	40	大谷
53	31	51	59	64	越谷
54	22	52	53	58	野田
55	31	49	62	62	川
56	17	14	51	28	加
57	0	0	0	0	仁
58	14	11	47	28	五
59	21	19	56	28	中
60	23	16	56	24	三
61	0	0	0	0	光
62	13	19	50	33	岡
63	36	40	74	53	道
64	31	46	65	59	石
65	34	43	69	57	水
66	40	35	80	46	松
67	10	76	35	48	水
68	38	51	63	70	高
69	24	32	64	40	須
70	27	32	67	40	石
71	24	28	64	35	祖
72	27	29	66	36	大
73	28	34	68	42	高
74	24	40	63	50	益
75	22	61	44	62	川
76	23	64	41	63	越
77	25	64	41	65	谷
78	17	67	38	56	名
79	20	70	35	60	野
80	18	62	43	58	上
81	17	56	47	56	鹿
82	24	71	33	63	川
83	0	0	0	0	谷
84	0	0	0	0	三
85	20	64	41	60	平
86	24	59	47	63	ヶ
87	26	61	45	66	能
88	21	66	39	61	坂
89	24	72	32	63	二
90	26	71	32	65	柳
91	26	75	28	63	三
92	33	53	58	68	柳
93	38	53	61	72	岩
94	32	66	39	72	小
95	28	67	37	68	柳
96	32	63	43	72	小
97	33	62	45	73	松
98	0	0	0	0	袋
99	35	59	50	73	袋
100	35	61	47	74	多

番号	r	θ	x	y	観測所名
101	31	61	45	70	摩
102	28	64	41	68	上
103	33	60	48	72	橋
104	37	59	49	76	野
105	39	59	50	78	川
106	0	0	0	0	長
107	25	50	57	59	津
108	37	60	49	77	杉
109	0	0	0	0	本
110	37	59	51	76	寺
111	0	0	0	0	家
112	39	62	46	79	橋
113	43	25	80	26	下
114	36	24	73	26	八
115	0	0	0	0	子
116	37	27	76	32	天
117	40	30	79	36	大
118	33	19	66	21	坂
119	31	17	63	19	大
120	34	21	68	23	坂
121	25	18	59	25	大
122	30	20	65	23	坂
123	28	23	65	29	大
124	24	21	60	28	坂
125	25	24	63	30	大
126	33	27	71	31	坂
127	27	52	56	62	大
128	38	82	12	65	坂
129	32	72	29	70	大
130	32	79	20	65	坂
131	32	73	27	69	大
132	37	81	14	66	坂
133	33	79	19	65	大
134	38	72	26	75	坂
135	37	74	24	73	大
136	37	75	22	72	坂
137	17	27	57	36	大
138	21	33	61	41	坂
139	15	37	55	44	大
140	32	50	61	65	坂
141	25	47	59	57	大
142	39	52	63	71	坂

注) 空欄は対象外

アメダス観測所メッシュ位置 (その1)

番号	アメダス番号	r	θ	x	y	観測所名
1	36252	40	8	56	4	飯谷山
2	36341	36	7	51	7	金山
3	36422	29	1	42	12	六里越
4	36426	31	3	45	11	只見峠
5	36436	33	8	52	11	古尾峠
6	36446	34	11	57	11	博南峠
7	36536	29	8	51	14	駒止峠
8	36541	29	10	54	16	駒止峠
9	36561	37	15	65	13	駒止峠
10	36641	31	13	58	16	駒止峠
11	36666	38	20	72	19	駒止峠
12	36716	20	7	47	23	駒止峠
13	36726	24	10	51	20	駒止峠
14	36736	26	15	57	21	駒止峠
15	36801	19	11	50	24	駒止峠
16	36821	40	24	77	25	駒止峠
17	40061	37	27	76	31	駒止峠
18	40066	41	28	80	31	駒止峠
19	40091	35	31	75	38	駒止峠
20	40126	40	33	80	41	駒止峠
21	40181	27	38	66	48	駒止峠
22	40191	33	36	72	46	駒止峠
23	40201	40	35	79	46	駒止峠
24	40221	21	46	57	53	駒止峠
25	40241	33	40	71	52	駒止峠
26	40243	31	40	68	52	駒止峠
27	40251	37	39	75	51	駒止峠
28	40281	27	43	64	54	駒止峠
29	40326	29	47	62	59	駒止峠
30	40341	36	42	72	57	駒止峠
31	40426	40	46	72	64	駒止峠
32	41011	34	18	66	19	駒止峠
33	41076	22	17	56	26	駒止峠
34	41081	25	20	60	26	駒止峠
35	41091	31	21	66	24	駒止峠
36	41101	36	24	73	26	駒止峠
37	41116	18	15	52	27	駒止峠
38	41141	29	24	66	28	駒止峠
39	41166	13	19	50	33	駒止峠
40	41171	17	24	55	34	駒止峠
41	41181	23	24	61	32	駒止峠
42	41211	10	23	49	37	駒止峠
43	41216	11	26	50	37	駒止峠
44	41241	25	30	65	38	駒止峠
45	41246	30	30	70	36	駒止峠
46	41271	17	30	57	39	駒止峠
47	41276	21	32	61	40	駒止峠
48	41311	14	39	53	44	駒止峠
49	41331	25	34	65	43	駒止峠
50	41356	13	48	49	49	駒止峠

番号	アメダス番号	r	θ	x	y	観測所名
51	41361	14	44	52	48	野木山
52	41371	18	40	56	47	野木山
53	41376	22	40	60	48	野木山
54	42046	13	123	37	28	野木山
55	42091	12	118	35	31	野木山
56	42102	9	123	38	33	野木山
57	42106	9	5	42	32	野木山
58	42121	18	100	23	38	野木山
59	42126	17	104	25	35	野木山
60	42136	11	107	31	35	野木山
61	42146	6	115	37	36	野木山
62	42186	10	100	31	39	野木山
63	42201	1	27	41	40	野木山
64	42221	22	94	19	43	野木山
65	42241	10	91	31	43	野木山
66	42251	7	77	37	45	野木山
67	42261	4	41	44	42	野木山
68	42266	7	49	45	46	野木山
69	42276	17	89	25	47	野木山
70	42286	11	84	32	46	野木山
71	42301	8	63	41	48	野木山
72	42326	18	83	26	51	野木山
73	42341	12	70	37	51	野木山
74	42366	16	49	51	52	野木山
75	42391	17	77	31	54	野木山
76	42396	18	74	33	56	野木山
77	43051	16	64	41	56	野木山
78	43056	16	56	47	55	野木山
79	43091	19	71	35	58	野木山
80	43121	21	54	51	58	野木山
81	43126	22	50	54	57	野木山
82	43151	24	71	33	63	野木山
83	43156	21	68	37	61	野木山
84	43157	24	67	37	63	野木山
85	43161	22	64	41	62	野木山
86	43171	22	60	46	61	野木山
87	43231	27	61	45	66	野木山
88	43241	28	55	53	65	野木山
89	43256	31	51	59	64	野木山
90	43266	30	59	48	69	野木山
91	44046	28	67	37	68	野木山
92	44051	30	66	39	70	野木山
93	44056	29	61	45	68	野木山
94	44076	34	55	55	70	野木山
95	44112	33	62	45	73	野木山
96	44116	33	59	50	72	野木山
97	44126	37	57	54	74	野木山
98	44131	37	54	58	72	野木山
99	44136	39	53	61	74	野木山
100	44166	41	55	58	76	野木山

アメダス観測所メッシュ位置 (その2)

番号	アメダス番号	r	θ	x	y	観測所名
101	44171	66	63	47	106	大島
102	45056	36	48	66	65	我孫子
103	45101	39	50	65	70	船橋
104	45212	45	51	69	75	千葉
105	45281	49	55	63	83	木更田
106	45346	57	57	62	93	佐原
107	45401	62	57	62	98	久留山
108	46001	35	64	41	75	館原
109	46046	37	61	46	76	相模原
110	46061	40	57	55	77	相模原
111	46076	42	66	36	82	日原
112	46091	42	61	47	81	厚木
113	46106	44	58	55	81	横浜
114	46136	44	63	45	84	平塚
115	46161	49	66	36	89	箱根
116	46166	48	65	40	88	小田原
117	46181	47	60	50	86	江ノ島
118	46211	53	59	54	91	三浦
119	48031	27	108	19	26	野田
120	48061	32	103	11	31	飯沼
121	48066	28	106	17	28	飯沼
122	48097	39	102	3	30	山谷
123	48141	40	100	1	34	白馬
124	48146	37	100	4	35	野馬
125	48156	30	100	11	36	野馬
126	48172	23	101	19	36	大井町
127	48191	41	96	1	41	大井町
128	48196	36	97	5	39	大井町
129	48216	26	96	15	41	大井町
130	48247	34	95	7	42	大井町
131	48256	29	93	13	45	大井町
132	48296	40	93	2	47	大井町
133	48321	25	92	17	46	大井町
134	48331	21	89	22	48	大井町
135	48361	38	91	4	51	大井町
136	48371	33	91	9	49	大井町
137	48381	28	89	15	50	大井町
138	48386	24	87	19	51	大井町
139	48426	37	88	6	55	大井町
140	48456	23	81	24	57	大井町
141	48466	48	89	-4	57	大井町
142	48491	37	86	8	59	大井町
143	48501	33	84	14	59	大井町
144	48531	53	88	-6	62	大井町
145	48541	46	87	1	61	大井町
146	48546	42	86	5	61	大井町
147	48561	36	84	12	61	大井町
148	48571	31	80	19	62	大井町
149	48606	52	86	-4	66	大井町
150	48626	43	83	7	66	大井町

番号	アメダス番号	r	θ	x	y	観測所名
151	48631	39	83	10	64	入笠山
152	48681	49	84	1	69	笠原
153	48691	45	81	8	70	笠原
154	48716	55	84	-4	71	笠原
155	48717	59	84	-6	75	笠原
156	48731	51	82	2	73	笠原
157	48737	50	80	6	77	笠原
158	48761	56	83	-2	75	笠原
159	48766	56	81	1	78	笠原
160	48796	61	82	-3	80	笠原
161	48826	63	81	-4	83	笠原
162	48836	62	80	0	85	笠原
163	48841	59	79	3	85	笠原
164	49036	35	80	17	65	笠原
165	49051	31	76	24	67	笠原
166	49076	39	80	14	68	笠原
167	49086	38	77	19	71	笠原
168	49106	32	71	30	70	笠原
169	49141	38	75	22	73	笠原
170	49151	36	73	27	73	笠原
171	49161	36	69	33	75	笠原
172	49171	34	66	39	74	笠原
173	49186	44	76	17	77	笠原
174	49196	41	73	23	78	笠原
175	49236	46	75	18	80	笠原
176	49251	41	71	28	79	笠原
177	49256	42	70	30	81	笠原
178	49316	52	73	19	87	笠原
179	50056	49	72	22	86	笠原
180	50106	57	75	12	89	笠原
181	50111	55	74	15	89	笠原
182	50136	47	68	33	86	笠原
183	50196	53	70	26	91	笠原
184	50206	54	67	33	93	笠原
185	50226	68	78	0	94	笠原
186	50231	68	76	4	97	笠原
187	50241	62	76	8	94	笠原
188	50246	62	74	13	95	笠原
189	50261	59	72	20	95	笠原
190	50281	56	65	38	96	笠原
191	50296	73	78	-3	99	笠原
192	50316	65	74	10	98	笠原
193	50331	63	72	17	98	笠原
194	50341	62	68	29	101	笠原
195	50386	75	77	0	102	笠原
196	50391	72	76	3	101	笠原
197	50426	62	67	33	101	笠原
198	50427	62	66	36	102	笠原
199	50466	75	75	4	105	笠原
200	50476	73	74	9	105	笠原

アメダス観測所メッシュ位置(その3)

番号	アメダス番号	r	θ	x	y	観測所名
201	50491	68	68	28	106	松崎
202	50506	66	66	37	105	堀
203	50551	78	73	11	112	堀
204	50561	73	67	30	112	堀
205	51076	68	80	-5	89	堀
206	52561	64	83	-9	79	堀
207	52626	66	82	-8	83	堀
208	54462	39	128	39	2	堀
209	54471	39	4	47	2	堀
210	54501	36	123	31	7	堀
211	54506	36	125	35	6	堀
212	54511	33	127	38	8	堀
213	54541	36	117	22	10	堀
214	54566	31	126	37	10	堀
215	54586	36	113	15	15	堀
216	54596	32	115	21	16	堀
217	54606	32	119	27	13	堀
218	54616	27	124	34	15	堀
219	54621	25	126	37	16	堀
220	54651	35	110	13	19	堀
221	54661	31	112	19	19	堀
222	54671	28	115	24	19	堀
223	54676	27	118	27	18	堀
224	54721	40	107	6	20	堀
225	54736	30	109	17	23	堀
226	54761	21	119	31	22	堀
227	54816	32	106	12	26	堀
228	54836	23	114	26	23	堀
229	54841	19	116	30	26	堀
230	54891	30	105	14	28	堀

降雨減衰項導入に関する研究

ISSN 0386-5878
土研資料第2756号
平成元年3月(1989)
吉野文雄・水野雅光
阿部英志・玉本昌司

要 旨

レーダ雨量計は、降雨の時間分布を直接かつ連続して定量的に観測出来るので、河川管理者や道路管理者にとって今や不可欠なものになっている。この降雨観測システムを有効に利用するためには、レーダ雨量計の観測精度を更に向上させることが重要である。

レーダ雨量計の観測精度と密接な関係があるものは、降雨換算定数 B 、 ρ と電波の降雨減衰である。そこで本調査は降雨減衰に着目し、降雨減衰定数の推定並びに降雨減衰項導入の必要条件である B 、 ρ の校正法の確立を行うことを目的として、感度分析法、AF法、逐次検定法による降雨換算定数 B の校正法の効果について検討した。また、合わせて雨量の空間分布の校正方法についても検討した。その結果、 B を毎時校正することで観測精度を約20%程度向上させることができること、又、校正方法は計算時間が短く計算の容易なAF法で良いことがわかった。空間分布補正については、クリージング法により良好な補正結果が得られたが、さらに検討を加える必要がある。

キーワード：レーダ雨量計、降雨減衰、降雨換算定数 B 、毎時校正、AF法、赤城山レーダ

郵便はがき

四十円切手
をはいて
下さい

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

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 2756 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印