

II-24 山地流域における降雨の分布特性と石狩川流域の降雨量予測について

北海道大学工学部 山 田 正

北海道大学工学部 茂 木 正

北海道開発局 中津川 誠

はじめに

本論文は、次の1, 2の2つの研究から構成される。

1. 山地流域における降雨観測と降雨の分布特性に関する研究。本研究は降雨の時間的、空間的分布特性を明らかにする目的で行われたもので、標高200mから1400mまでをもつ山地斜面に高密度に雨量計を設置して得た観測結果を基に、降雨強度や総降水量に与える標高の影響や、その時間的変動についてまとめている。

2. 天気図の数量化による石狩川流域への降雨量の統計的予測。本研究は石狩川流域の降雨量を、過去の天気図を数量化理論で処理して、統計的に予測することを目的としている。本研究は現在も継続中であり、現在までに得た結果を以下で報告する。

上記2つの研究は、今後筆者らが降雨の物理的メカニズムを研究していくうえで、降雨の特徴、特性などを理解するための基礎的研究として位置づけられる。

1. 山地流域における降雨観測と降雨の分布特性について。

1・1. 降雨観測の位置と方法

本研究で対象とした山地流域は図1に示すような北海道の中央部に位置した夕張岳（標高1667m）の西斜面にあり、観測対象とした流域の面積は約100km²である。この流域にはダム管理用の雨量計が8台設置されており、これらの雨量計の他に、分刻みの雨量計10台を1988年6月から現在まで設置しており、合計18台の雨量計が稼働している。本論文では1988年7月1日から10月31日および1989年7月1日から10月7日までの降雨を対象とし、時間スケールを5分単位から10分、1時間、1日、1雨、1週間、1カ月及び4カ月の単位までいくつかに変えてデータ整理を行い、降雨時間に及ぼす標高の影響及び観測時間による降雨特性の変化について検討を行っている。

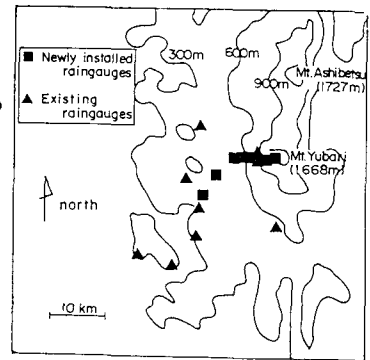


図1 観測地点の地形図（△印は8箇所、□印は10箇所）

1・2. 観測結果

上述のように本研究で用いた降雨観測データは、著者らが設置した1分単位の記録インターバルをもつ天倒柵型雨量計と既設の1時間単位の同じく天倒柵型雨量計によって測定されたものである。降雨特性に与える要因としては標高、観測時間長、気象のタイプ（低気圧性降雨、前線性降雨、雷雨性降雨等）などがあるが、以下に観測時間の長いものの順にデータ整理をした結果を示す。

(1)日雨量の4カ月間の時系列特性：図2, 3はそれぞれ1988, 1989年の日雨量の4カ月に渡る時系列を示している。この図より、この地方には8月末から9月にかけて降雨の大部分が集中していることがわかる。

(2)3カ月総雨量と標高の関係：図4, 5はそれぞれ1988, 1989年の3カ月間（7月中旬～10月中旬）の総雨量と標高の関係を示している。この図より3カ月間総雨量は標高に対して線形に増加しており、標高1000m地点の総雨量は0～200m地点の総雨量の1.5～2倍程度多いことがわかる。

(3)1カ月総雨量と標高の関係：図6(a)～(b)は1989年の8月及び9月の1カ月総雨量と標高の関係を示したものである。この図より、8月、9月ともに月降水量は標高に対してほぼ線形に増大している。

(4)7日間総降水量（雷雨性降雨を除く）と標高の関係：図7(a), (b)は1週間総雨量と標高の関係を示している。この場合は標高に対してほぼ完全な

On the Field Observations of Precipitation and It's Prediction

By Tadashi YAMADA, Tadashi MOGI and Makoto NAKATUGAWA

線形性を示していることがわかる。(5)日雨量と標高の関係：図8、9、10、11は、観測期間中の前線性の降雨における日雨量あるいは一雨雨量と標高の関係を示している。この場合もほぼ線形に増大していることがわかる。一方、図8、10、11では著者らの設置した雨量計のデータ(●印)はほぼ線形性を示しているのに対して、標高800m以下の既設雨量計(ダム管理用雨量計)のデータ(低気圧性降雨)は標高に対して、無相関となっている。これは著者らの雨量計は1つの谷の谷すじに設置されているのに対して、既設の雨量計は最大20km程度離れたいくつかの地点に設置されているためであると思われる。この例のように、1日雨量では20km程度離れた地点間においても観測降雨の多くは標高に対して線形に増大している。しかし、低気圧性の降

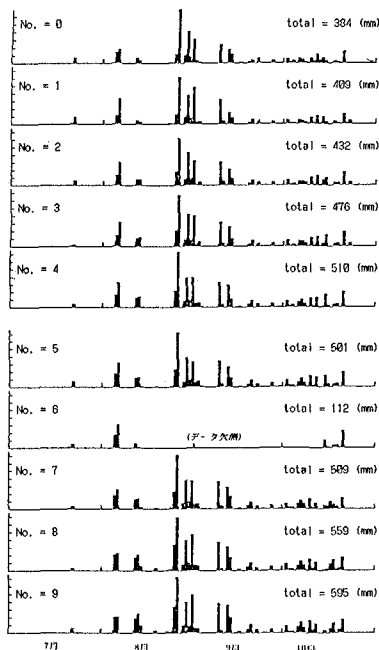


図2 3ヶ月間の日降水量の時系列(1988,7/25~10/15)

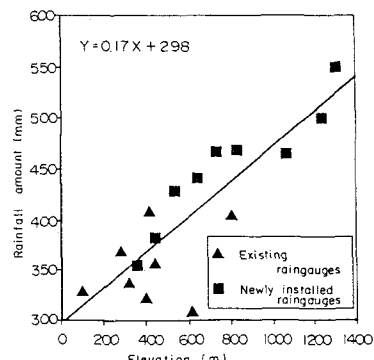


図4 3ヶ月間の総降水量と標高との関係(1988)

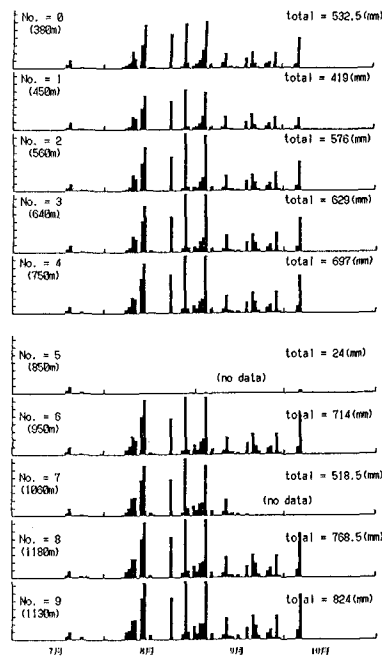


図3 3ヶ月間の日降水量の時系列(1989,7/15~10/7)

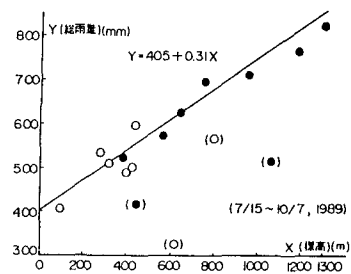


図5 3ヶ月間の総降水量と標高との関係(1989)

雨で、40mm/day以下の少ない降雨量でかつ標高の低い所では1日降雨量は標高に対して無相関になっていると言えよう。(6)観測期間中の月及び時間最大降水量の標高別最大値：図12、13は1989年の7月下旬から10月中旬のほぼ3ヵ月間の日降雨量の標高別最大値及び時間降雨強度の標高別最大値を示したものである。これらの図より日及び時間降雨強度の最大値は標高に対してほぼ無相関であり、日降雨量の最大値は標高に係わりなく70mm/day、時間降雨強度の最大値も同じく標高に係わりなく、30mm/hr程度を示していた。これらの値は本州の多雨地帯の値と比べて低い値になっている。(7)観測期間中の10分間降水強度の標高別最大値：図14、15はそれぞれ雷雨性の降雨及び前線性の降雨における地点別10分間降水量の最大値と標高の関係を示したものである。この図より時間スケールを短くしても図15に示すように前線性や低気圧性降雨の場合には標高とともに降雨強度は線形に増大しているが、図14の雷雨性の場合には標高に対し負の相関がある。しかし、この特性は雷雨性降雨に一般的ではなく、雷雨の場合には積乱雲の発生、発達する位置によって決ってくると思われる。(8)一雨降雨の瞬間降雨強度の時系列特性：図16、17、18は、5分間の移動平均をかけた標高別の瞬間降雨強度を示したものである。図16は雷雨性の場合であり、図17、18はともに前線性の場合である。降雨強度は最小5分程度の変動成分を持ち、次に20分から40分の周期的変動がみられ、これが何波もき

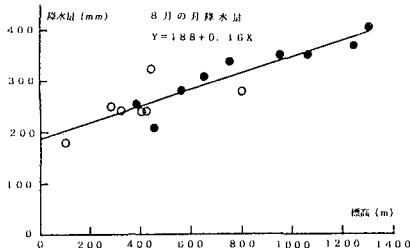


図6 (a) 月降水量と標高との関係 (1989.8月)

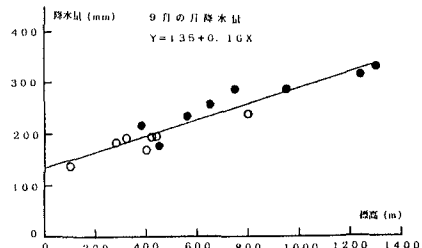


図6 (b) 月降水量と標高との関係 (1989.9月)

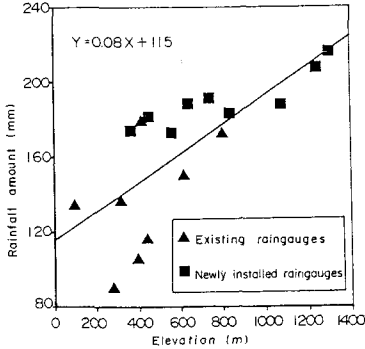


図7 (a) 7日間降雨量と標高の関係 (1988)

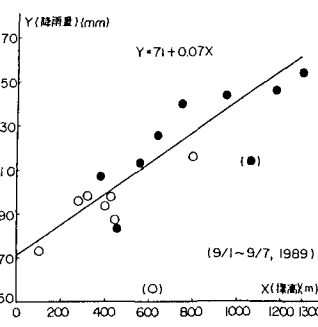


図7 (b) 7日間降雨量と標高の関係 (1989)

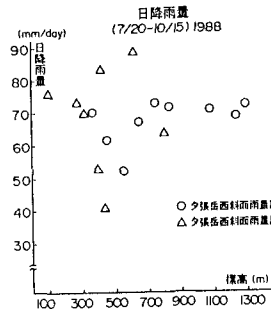


図12 観測期間中の日最大降雨量と標高の関係 (1988)

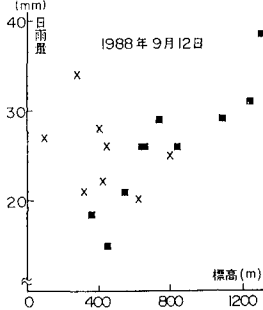


図8 日降雨量と標高の関係

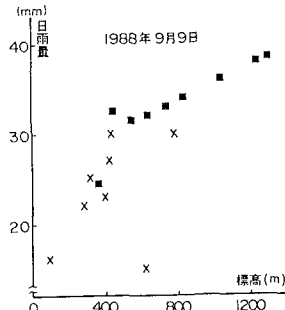


図9 日降雨量と標高の関係

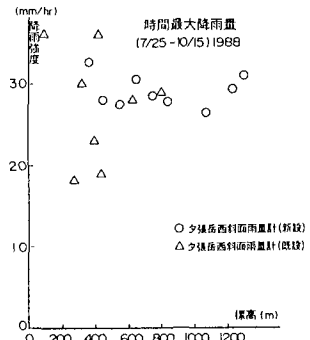


図13 観測期間中の時間最大降雨量

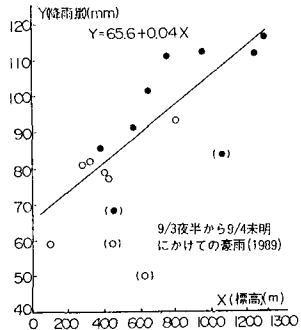


図10 一雨降雨量と標高の関係

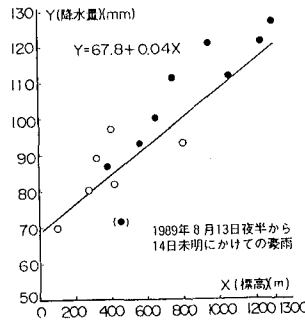


図11 一雨降雨量と標高の関係

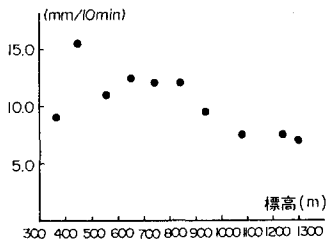


図14 10分間降雨強度と標高の関係 (雷雨性降雨)

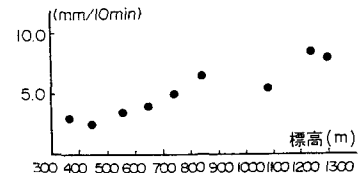


図15 10分間降雨強度と標高の関係 (前線性降雨)

ていることがわかる。降雨強度の変動パターンは標高の低いところから順次高い方へ移動する場合と、その逆の場合、及び全て同じパターンを示す場合とがある。図19はこのとき (前線性降雨) の瞬間最大降雨強度と標高との関係を示している。この図より、時間スケールを短くすればするほど降雨強度は標高とともにより大きく増大しており、ふもとで瞬間値として20mm/hrあれば1200m地点では4倍の

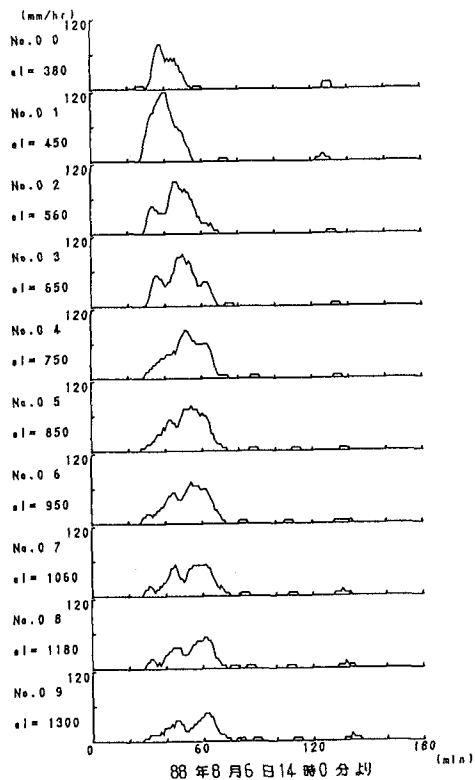


図16 瞬間降雨強度の時間変化(雷雨性降雨)

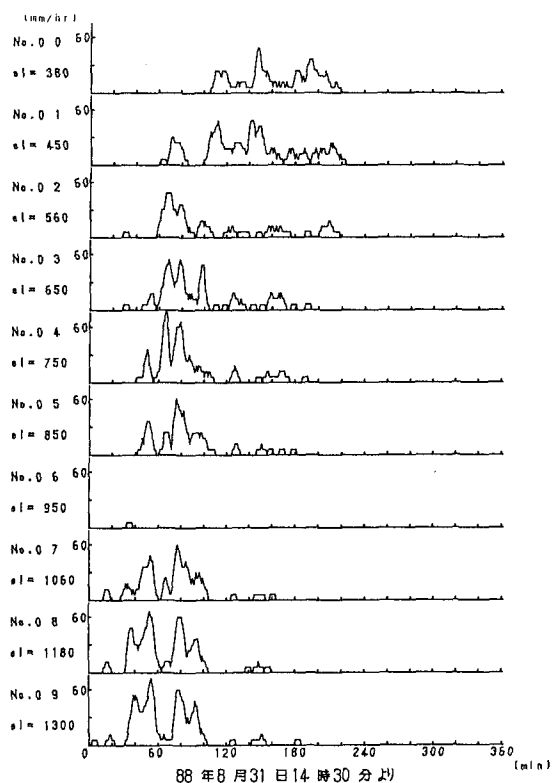


図17 瞬間降雨強度の時間変化(前線性降雨)

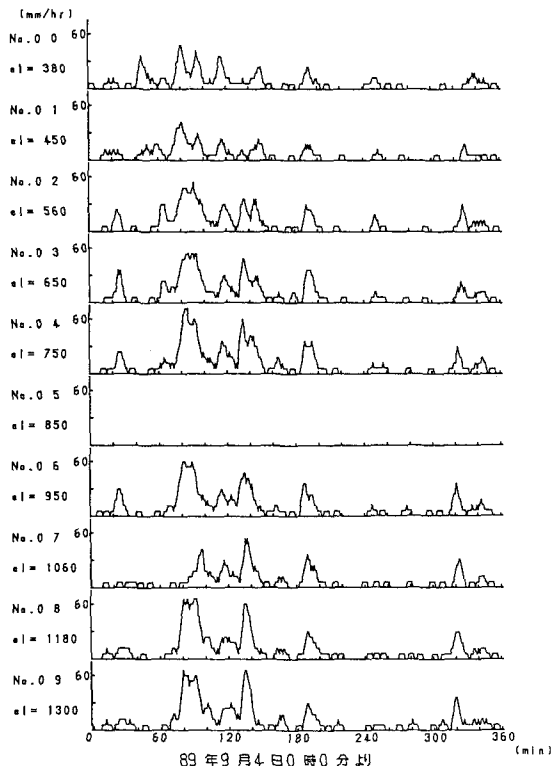


図18 瞬間降雨強度の時間変化(前線性降雨)

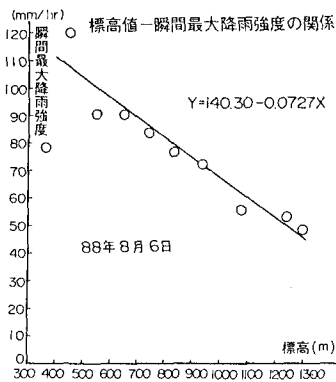


図19 瞬間降雨強度と標高値の関係(前線性降雨)

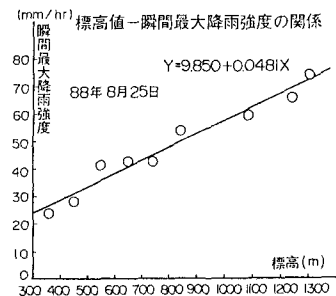


図20 瞬間降雨強度と標高値の関係(雷雨性降雨)

80mm/hrの降雨があることになる。図20は上記の雷雨性の降雨の場合であるが、既述のようにこのときの雷雨では標高とともに瞬間最大降雨強度は線形に減少している。(9)平均時間と最大降雨強度：図21は1雨降雨中の5分(300秒)、10分(600秒)、1時間(3600秒)平均の降雨強度の最大値とその平均時間との関係を示したものであり、図中の黒丸は上から標高が高い地点のものである。この図より、降雨強度の最大値は平均時間(T)に対して、Tに逆比例して減少していることがわかる。よって、1時間降雨量で20mm/hrあったとしても、10分間雨量では $20\text{mm/hr} \times 3600(\text{s})/600(\text{s})=50\text{mm/hr}$ もあることになる。このように10分間降雨強度の増大は、降雨にともない地滑りや斜面崩壊を考慮する場合には重要である。

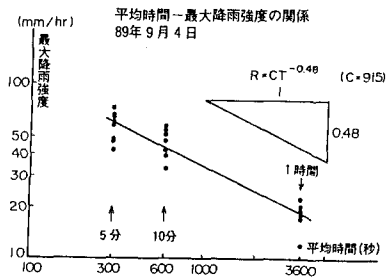


図21 降雨強度と平均時間の関係

2. 数量化理論第2類を用いた石狩川流域への降雨量予測と要因分析

2・1 分析方法

本研究の分析は図2・1のようなフローで行われている。天気図は新聞発表の東アジアの天気図を用い、降雨日から数日間さかのぼって入手する。その後、表2・1の各々のアイテムに着目して天気図を分類し、外的基準には総雨量を用いて、数量化理論Ⅱ類によって分析する。以上のようにして得た結果を用いて、これを新たに得られた天気図に適用し、それが外的基準群のいずれに属するかで雨量を予測する。

2・2 結果

実際の分析では、北海道の降雨の分析という観点から、アイテム2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 13, 14の9個を用いた。

(1) 要因分析

説明アイテムにうちのどのアイテムが判別に寄与しているかの尺度となる偏相関係数は、大きい順に表2・2のようになっている。

(第1軸で①と②③の判別をし、第2軸で②と③の判別を行う。)これより、①と②③の判別に対しては、台風に関する項目が最も寄与の度合いが高いことが分かる。すなわち、台風が日本に接近したり、上陸したりといった事が、大雨の降る大きな要因になるという、極めて妥当な結果となっている。また前線が太平洋側を移動するのか、日本海側を移動するのかといった前線の進路も、大雨と小雨を分ける要因となっている。一方、第2軸より②と③の判別にはオホーツク海の高気圧の寄与度がかなり高いと言える。これはオホーツク海高気圧の発達に伴ってオホーツク方面から吹き出す北東の寒気が、北海道の南側に顕著な前線を作り、そこへ南海上の台風などから暖湿な気流が入ることで、前線の活動が活発化し、かなりの大雨になることを表している。

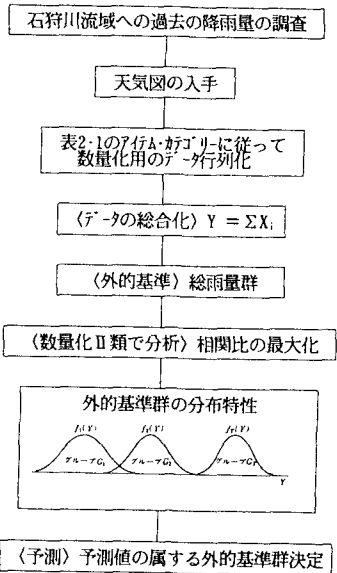


図2・1 数量化理論による分析のフロー

7桁ANo.	アイテム名
1	天気図の型
2	前線の形状
3	前線の位置
4	前線の進路
5	台風あるいは温帯低気圧
6	太平洋高気圧
7	大陸方面の高気圧
8	オホーツク海高気圧
9	移動性高気圧
10	日本海低気圧
11	大陸方面の低気圧
12	東シナ海の低気圧
13	オホーツク海の低気圧
14	日本南岸沖の低気圧

外的基準 … 石狩川水系のいずれか1地点の総雨量
①30mm以下②30mm～60mm③60mm以上

表2・1 アイテム一覧

(2)予測：

予測モデルの評価として、

(a)的中率……予測した雨量群と実測の雨量群が一致した場合

(b)空振り率…予測した雨量より実測雨量の方が小さかった場合

(降ると予測したのに、降らなかった場合)

(c)見逃し率…予測した雨量よりも実測雨量が大きかった場合

(降らないと予測したのに、降った場合)

の3つの率を算出した。

	η_1 (第1軸)	η_2 (第2軸)
1	台風	林-ツ海高気圧
2	前線の進路	台風
3	林-ツ低気圧	前線の位置

表2・2 7行Aの偏相関係数

	モデル1	モデル2	モデル3	モデル4	モデル5
的中率	17%	27%	33%	33%	45%
空振り率	44%	46%	27%	28%	22%
見逃し率	39%	27%	40%	39%	33%

表2・3 予測モデルの評価

モデル1ではアイテム14を除いた8個のアイテムを用いて分析をしたが的中率は大変低かった。これは台風直撃の天気図がデータベースになく、その予測が出来ていなかったためで、データベースにこの例を加え(モデル3)、さらに数日間のうちに移り変わってしまう前線の形状のアイテムを削除(モデル2)してみた。また、この時点ではデータベースの数が少ないためか、カテゴリー数量の変動が大変大きかった。そこでデータベースの数を倍に増やしたものがモデル4である。これによってカテゴリー数量の変動は小さくなった。さらに日本の南岸沖の低気圧による前線への暖湿な気流の流入をあらわすためにアイテム14を加えたところ、的中率は45%に増加し、空振り率を加えた安全側の予測では67%となった。

3. まとめ—問題点と今後の課題

本研究では山地流域における降雨の観測と、天気図を用いた降雨特性の抽出、及び降雨の予測モデルを検討している。結果の詳細は上述しているが、以下に問題点と今後の課題を記す。

1. 低気圧、前線の移動を的確に表しきれない。
2. 危険なパターンの天気図も過去の例が少ない場合は予測がしにくい
3. 特に台風が日本に接近した場合は、その後の進路予測ができないため、ほとんどが大雨側に予測をしてしまう。

以上のような問題点を解決するために、今後はデータの偏りをなくすこと、高層天気図を組み合わせること、さらに季節や天気図の型等によって予測モデルを選択したり、エキスパート・システムとの結合も検討している。

謝辞 本研究は重点領域研究(1)「気象解析とレーダ雨量計を補完的に組み合わせた豪雨災害の予測手法に関する研究」(代表 山田正, 北大)の補助のもとに行われている。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献：1)山田正、中津川誠、その他2名：第33回水理講演会論文集、pp. 109-114, 1989.

2)Tateya, K., Nakatugawa, M. and Yamada, T. : Proceedings of Pacific International Seminar on Water Resources Systems, Hokkaidou, Tomamu, pp. 385-403, 1989.

3)金丸昭治・高棹琢馬：「水文学」、朝倉書店.

4)川畑幸夫編著：「水文気象学」、地人書館.

5)駒澤勉・橋口捷久：「パソコン数量化分析」、朝倉書店