

## レーダ雨量情報を用いた短時間降雨予測

野口 正人\* ・ 園田 一弘\*\*  
後藤 修二郎\*\*\*Prediction of Rainfall by RADAR Rain Gauge  
for Short Term Basis

by

Masato NOGUCHI\*, Kazuhiro SONODA\*\*  
and Shujiro GOTOH\*\*\*

Nagasaki is located at the western part of Japan, wherein rainstorm frequently attacked this region such as Isahaya Flood in 1957 and Nagasaki Flood in 1982. In order to prevent and/or mitigate the damages of flood, early warning system using RADAR rain gauge becomes necessary. In Japan, the Foundation of River & Basin Integrated Communications abbreviated FRICS is serving information obtained by RADAR rain gauge to the several kinds of organizations. Therefore, a local government can use its information for mitigating the flood disaster through the terminals. Even though lots of local governments have been registered to FRICS, its information is not necessarily utilized effectively because its information presently does not include the predicted one.

In this paper, a method for prediction of rainfall on short term basis is proposed using the information furnished by FRICS. The proposed method controlled by Fuzzy rules uses the GIS data as well as the RADAR data. The predicted rainfall of this method can be used in an urban storm drainage model such as NUMEROUS, which is available for a prediction of inundating region on a real time basis.

## 1. 緒 論

長崎県は日本の西端に位置し、三方が海に面しているために集中豪雨に襲われ易く、また、事前に豪雨襲来を予測することが非常に困難である。したがって、過去には、1957年7月25日の諫早豪雨災害や1982年7月23日の長崎豪雨災害といった数多くの豪雨災害に見舞われている。このような状況下で耐水性に富んだ街づくりを進めるためには、豪雨の発生予測と共にその移動経路を実時間で予測することが重要である。しかしながら、対象が自然現象であるために決定論的な手法だけを適用して将来の降雨経路を予測することは難

しい。また、豪雨の侵入経路が海上で適切な位置に雨量計を設置できないこと等の理由から、短時間降雨予測モデルを作成した場合にもモデルパラメータを同定することが困難である。

いずれにしても、豪雨襲来を事前に知ることはその被害を軽減する上で非常に重要である。このようなことから、1985年10月1日に(財)河川情報センター( Foundation of River and Basin Integrated Communications, 略称: FRICS)が設立され、レーダ雨量データといった防災情報を自治体等に実時間で配信している。これらのデータを有効に利用することに

平成6年4月28日受理

\* 社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

\*\* 諫早市 (Isahaya City)

\*\*\* 社会開発工学科研究生 (Research Student, Department of Civil Engineering)

より、降雨予測を行う上で必要なリードタイムが保証されれば、大雨洪水警報が適切に発令されると共に有効な避難行動をとることができ、豪雨被害の防止・軽減に大いに役立てられる。また、豪雨が襲来した非常時だけでなく、日頃から住民にこの種の情報を提示しておけば、非常時の防災・減災行動が円滑に進められるものと思われる。

上述されたことから、本論では、各自治体の防災行政担当者が容易に扱える短時間降雨予測法として、

(財) 河川情報センターのデータを用いたファジィ推論による方法を提案し、検討した。

## 2. 短時間降雨予測の現状

レーダ雨量計の発達により、近未来の降雨状況が段々に予測できるようになってきた。この種の短時間降雨予測法は、①移流モデルと、②物理モデルの2種類に大別される。ここに、移流モデルとは、以下に示された移流方程式を解くことにより雨域の移動を予測しようとするものである<sup>1)</sup>。

$$\frac{\partial r}{\partial t} + u \frac{\partial r}{\partial x} + v \frac{\partial r}{\partial y} = W_r \quad (1)$$

式中の記号は、 $r$ ：降雨強度、 $u$ 、 $v$ ：雨域の移動速度の $x$ -、 $y$ -成分、 $W_r$ ：降雨セルの生成速度、であり、 $x$ 、 $y$ 、 $t$ は空間ならびに時間変数である。しかしながら、上式を用いて降雨強度の時空間変化を知るためには、雨域の移動速度や降雨の発生・発達・減衰・消滅の過程を別途求めなければならない。他方、物理モデルにおいては上述された降雨の物理過程を合理的に追跡するために、降雨現象を支配する基礎方程式である連続方程式、運動方程式、熱力学方程式、水蒸気の保存式、水分の保存式、状態方程式、等々を数値的に解析する必要がある。本手法は厳密な予測法と考えられるが、膨大なデータの計算が不可避であり、時々刻々変化する気象状況を実時間で予測することはスーパーコンピュータを用いてもたやすいことではない。

上述された降雨の予測においては、予測精度や計算時間等々に大きな問題を残している。これは、降雨現象が非常に複雑な自然現象の一つであり、将来予測の問題を取り上げれば当然のことである。しかしながら、予測精度の程度はともかくとして、豪雨襲来がある確からしさで知られれば、豪雨被害の防止・軽減に大いに役立てられるであろうことは間違いない。このようなことから、1985年に(財)河川情報センターが設立されたことは既に述べられた。本センターは、豪雨災害の防止・軽減策を支援するため、建設省によって全

国に設けられたレーダ基地局の雨量情報を NTT 回線を用いて利用者に提供している。九州管内では、釈迦岳(福岡)、国見山(鹿児島)、八本木山(長崎)の3ヶ所にレーダ基地局が設置されているが、最も新しく1991年5月に開設された長崎県五島の八本木山レーダは、西海上からの豪雨襲来を予測する上で大いに威力を発揮するものと期待されている<sup>2)</sup>。

上で述べられたように、(財)河川情報センターが設立されてまもなく10年が経過しようとしており、配信されるデータが有効に利用される体制が整ってきた。しかしながら、未だ近未来の降雨予測情報を提供するまでには到っていない。そのため、主たる利用者である防災行政の担当者は、降雨の履歴情報<sup>3)</sup>を参考にし、各自の判断で豪雨域の動きを予想しなければならない。このようなことから、FRICSのデータを用いた簡単な降雨予測手法の開発が望まれている。

## 3. レーダ雨量データを用いた降雨域予測

### 3.1 FRICSのレーダ雨量データ<sup>4)</sup>

(財)河川情報センターは建設省のレーダ基地局から送られてくるレーダ雨量データをコンピュータ処理した後に、利用者に各種の形で提供している。長崎県において豪雨襲来を監視し、治水施策を講じると共に水防活動を支援するためには、FRICSのデータの内でも特に①九州西部、ならびに、②長崎県南部の降雨情報が役立てられる。とりわけ、前者は五島列島付近の海上をも含めた長崎県全体とその周辺部を東西方向：6 km、南北方向：9 kmの58×30個の格子に分割し、その格子毎に降雨強度を1から9までの指標で段階的に表している。ここに、1：1～5、2：5～10、3：10～20、4：20～30、5：30～40、6：40～50、7：50～70、8：70～100、9：100～(単位：mm/h)である。したがって、現時刻までに得られているこれらのデータを有効に利用すれば、近未来の降雨域の移動予測を行うことができる。なお、後者のデータは上述されたものに比べて大縮尺の地形図に対応させられているために、洪水予測を行う際の入力データとして適している。本論では、短時間降雨予測の問題を取り上げているので、本学の社会開発工学科環境開発工学講座(河川工学研究室)に設置されているFRICSの端末機を使って九州西部の降雨データを取得し、後述されるモデルの検証を行った。

### 3.2 短時間降雨予測の簡略モデル

降雨域の移動について取り上げれば、一般に、時刻 $t=t$ に存在した降雨セルは、 $\Delta t$ 時間後には次式で表さ

れる位置に移動する。

$$x(t+\Delta t) = x(t) + u(x, y, t) \cdot \Delta t + \xi(x, y, t) \quad (2)$$

$$y(t+\Delta t) = y(t) + v(x, y, t) \cdot \Delta t + \eta(x, y, t) \quad (3)$$

これらの式は、式(1)が Euler 的方法で示されているのに対して、Lagrange 的に表されている。この場合にも、降雨の将来予測を行う観点からは、降雨域の移動速度ベクトル； $\mathbf{q}=(u, v)$ ，ならびに、位置偏差ベクトル； $\xi=(\xi, \eta)$ を何らかの方法で適切に求めなければならない。これらの予測に関連した問題点については、既に前節で述べられた。以下では、短時間降雨予測の簡略モデルとして、まず、①2点間予測法と②3点間予測法を取り上げた。

①2点間予測法

未来の降雨域の位置を、現時刻ならびに1時刻前の降雨の状況より簡単に求めようとするものであり、 $\mathbf{q}=(u_0, v_0)$ ， $\xi=(0, 0)$ と取られた。ただし、 $u_0, v_0$ は前述された時刻間の降雨域移動速度ベクトルの x-, y-成分である。

②3点間予測法

未来の降雨域の位置を求めるために、前述された雨量情報に加えて2時刻前の雨量情報をも活用しようとするものであり、 $\mathbf{q}=(u_0, v_0)$ ， $\xi=(\Delta u_0 \cdot \Delta t, \Delta v_0 \cdot \Delta t)$ と取られた。すなわち、3点間予測法では、雨域移動の加速・減速状況をも考慮しようとしている。

上述された予測法は、いずれも非常に簡単な構造をしているために、その適用は容易であるが、後述される事例からも明らかなように降雨の移動の仕方によっては予測的中率が必ずしも高くはならない。

3. 3 ファジィ推論を用いた短時間降雨予測

前述された短時間降雨予測法では、今後の降雨域の動きを現在までに得られている情報のみを使って決定論的に求めようとしている。しかしながら、実際には、今後の降雨の挙動が時々刻々変化する気象条件や降雨が通過する地域の性状に依存することは当然である。このようなことを厳密に考慮すれば物理モデルの適用が避けられないが、この手法がいずれの機関でも容易に扱えるものでないことは前述されたとおりである。それゆえ、一定の予測精度を保持しながら簡単な操作で短時間降雨予測を行うためには、降雨現象に関与する上述された因子を少しでも多く考慮して降雨予測をすることが望ましい。したがって、降雨が通過する地

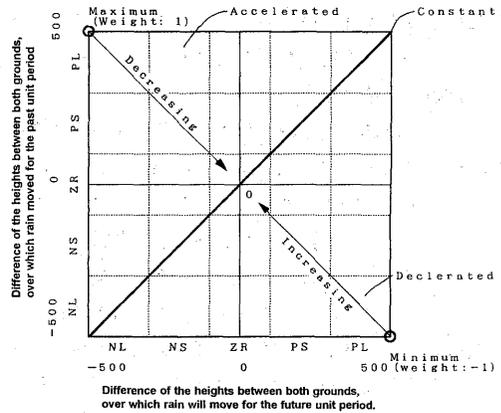


Fig. 1 The weight of Fuzzy rule depending on the terrain of topography.

域の性状や、気象衛星により実時間で得られる雲頂温度等を用いた予測手法が直ちに考えられるが、以下では前者のみを取り上げて近未来の降雨移動の状況をファジィ推論により求める方法を示す。

ここに、③ファジィ推論を用いた予測法、として示される短時間降雨予測手法では、移動速度ベクトル； $\mathbf{q}$ については前の方法と同じく現時刻のもので評価するが、位置偏差ベクトル； $\xi$ は降雨が通過する地域の性状を参照してファジィ推論により求める<sup>5)</sup>。すなわち、降雨が通過する地域が陸域・海域のいずれであるか、また、陸域の場合にはその標高差がどのようであるかを地理情報 (Geographical Information System : GIS) の一つである国土数値情報 (標高データ) を用いて判別させる。この場合、それらの性状を雨域の移動速度に影響を及ぼす因子として取り扱い、ベクトルの大きさ、および、方向の変化を位置偏差ベクトル； $\xi$ で評価する。一例として、位置偏差ベクトルの大きさを地形情報と関連させて、1時刻前と現時刻の状態変化を現時刻と1時刻後の状態変化と対比させて求める際の重みが Fig. 1 に示されている。もちろん、このような方法により式(2)、(3)で次時刻の雨域の位置を求めるにしても、最初の段階では雨域の移動速度ベクトルが未知であるために、繰り返し計算が必要である。

4. 適用例と結果の考察

4. 1 対象降雨と予測法の適用

前節で取り上げられた短時間降雨予測モデルの妥当性を検討するために、1992年8月12日の降雨を対象にして計算を行った。Fig. 2には、この雨域の移動経路が示されており、Fig. 3には、FRICSより提供された

画像情報の一例が示されている。Fig. 3の図中に示された数字は降雨強度を段階的に表したときの指標である。ここでは、研究目的から、降雨強度指標が4以上の雨域のみに着目した。

つぎに、前述された短時間降雨予測法を適用する前に、それぞれのレベルの降雨セルからなる雨域をブロック単位に分割するようパーソナルコンピュータで前処理を行う。この結果、対象降雨では雨域を2つのブロックに分割することが妥当であるとみなされた。ところで、緊急時には前述されたような画像情報は15分間毎に更新されるが、種々の理由から、今回は計算処理のための最小時間間隔を30分間に選んだ。これより、2点間予測法では、現時刻ならびに1時刻前の雨域の重心位置をそれぞれ求めることにより移動速度ベクトルを計算し、次時刻の雨域の位置を算出した。この方法は、雨域を単純に平行移動したものであるが、空間的な対象範囲を定められた格子網で覆い、それを基準にしてデータ処理を行っているために、一般的には予測された雨域は現時刻のものと相似形にはならない。3点間予測法においても、その適用法は上述されたものと原理的に同じである。

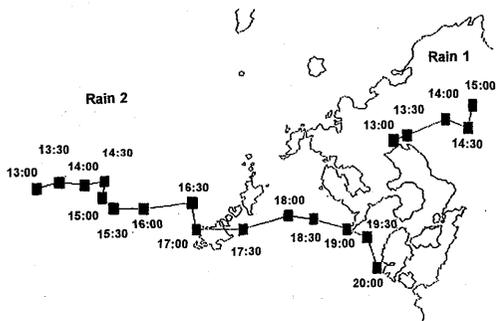


Fig. 2 The path of the rain observed on August 12, 1992.

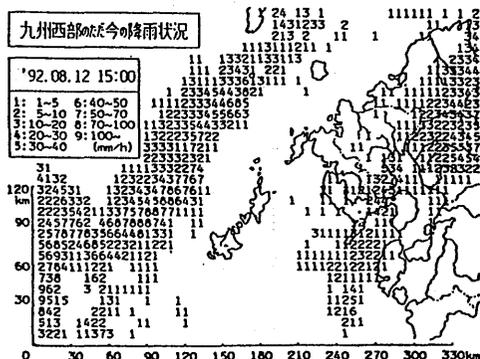


Fig. 3 Displayed example on CRT by FRICS.

一方、ファジィ推論を用いた予測法では、第1段階の計算は2点間予測法と同様にして行い、1時刻後に雨域が通過するであろう地域の性状を国土数値情報を用いて判別し、Fig. 1に示されたファジィ規則を適用して位置偏差ベクトル； $\xi$ を求めた。ここでは、データ処理について更に詳しく述べることは省略するが、国土数値情報とレーダ雨量情報とが異なる格子系で与えられているために、それらを同一の格子系で処理しなければならないことや、最小単位の格子毎に予測された移動後の雨域を基準格子系で処理しなければならない、等々の問題に対処する必要がある。

4. 2 予測結果と考察

前述された各予測法の結果について考察するため、予測的中率を用いる<sup>6)</sup>。すなわち、a: あたり判定, b: はずれ判定, c: 見逃し判定, としたときに、予測的中率; CSI (Critical Success Index) を次式で定義する。

$$CSI = \frac{a}{a+b+c} \times 100 (\%) \quad (4)$$

Fig. 4には、2点間予測法ならびに3点間予測法を用いて予測された降雨域を観測された結果と対比させたときの予測的中率が示されている。この図より分かるように、3点間予測法的の中率は2点間予測法的の中率より必ずしも勝っているとは言えない。これは、今回対象としている降雨がFig. 2に示されたように進路を頻繁に変えており、予測のための単位時間を30分間に行っていることによるものと思われる。このことを裏付けるように、17時の雨域を予測したときの的中率は最低になっている。このようなことは、対象降雨の性格から予想されなくもないが、それにしても予想が容易であると思われる時間帯でさえ予測的中率が必ずしも高くないことは問題である。Fig. 5には、

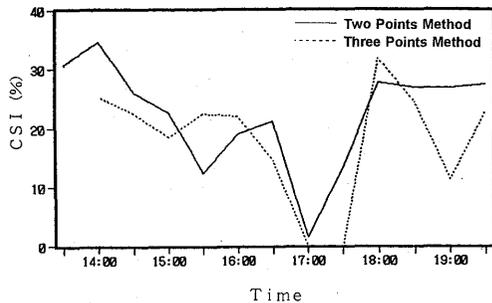


Fig. 4 Temporal variations of the right prediction by means of Two and Three Points Methods.

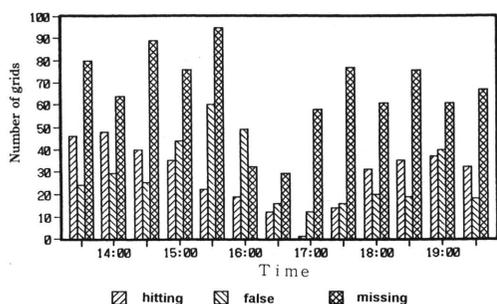


Fig. 5 Numbers of hitting, false, and missing grids by Two Points Method.

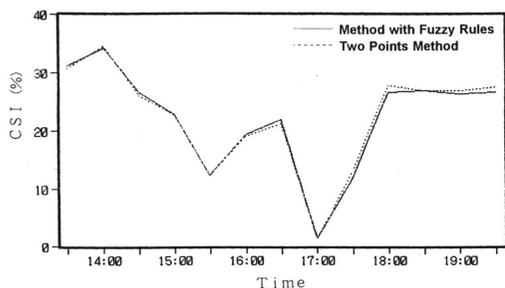


Fig. 6 Temporal variations of the right prediction by means of Two Points Method and Method with Fuzzy Rules.

前述された判定の種類に応じた格子数が示されている。この図から明らかのように、上の結果が得られた原因は、見逃し格子数が指標4以上の雨域が存在する全体の格子数の半分近くを占めているためである。これは、データ処理上、雨域の外縁における降雨強度の低下が避けられないことや、ごく少数の格子からなる雨域を主たる予測対象からはずしていることによっている。これらのことから、式(4)で算出された予測的中率は低くなっているが、降雨の中心域の予測的中率の数値で判断される程には悪くない。

一方、2点間予測法ならびにファジィ推論を用いた予測法で求められた予測結果的中率を示せば Fig. 6 のようである。期待した程には両者の結果に差異が認められない。これは、地理情報を目下のところ雨域の移動速度ベクトルの大きさのみに対する影響因子として扱っていることや、対象降雨の進路が急激に変化したこと、あるいは、殆どが海域上を移動する降雨の予測をせねばならず他の支配因子を考慮していないこと、等々によるものと思われる。Photo 1 には、18時の段階で30分後の降雨域予測を行った結果が示されている。楕円で予測値を、矩形で18時30分の観測値が示されて



Photo 1 Comparison between the predicted and the observed distributions of rain.

いる。もちろん、これは予測的中率が高い時間の結果であるが、予測値は実際の降雨分布をかなりの確度で説明していることが分かる。今後は上述された問題を解決し、予測的中率を更に向上させることが望まれる。

### 5. 結 論

本論においては、(財)河川情報センターのレーダ雨量データを用いて簡単に短時間降雨予測を行うため、①2点間予測法、②3点間予測法、③ファジィ推論を用いた予測法の3手法を示し、1992年8月12日の降雨に適用した結果の検討を行った。目下のところ、ファジィ推論を用いた予測法においても、高い予測的中率が得られていないが、前節に示された問題の解決を図ることにより十分に実用に耐える方法になるものと考えている。レーダ雨量データと国土数値データを併用して近未来の降雨移動状況を予測する試みは、雨域移動に影響する他の要因を考慮する際にも有効なものである。なお、本論で取り上げられた簡単な短時間降雨予測法の開発は、既に第一著者らが提案している都市域雨水排除モデルの機能向上を目指して実施されたものである。これらの成果は、1994年5月23～27日に横浜で開催されるIDNDR (International Decade for Natural Disaster Reduction) の世界会議である「1994年国連防災世界会議；“WORLD CONFERENCE ON NATURAL DISASTER REDUCTION”」<sup>7)</sup>でも発表されるが、多数の防災行政担当者に少しでも関心を持たれ、豪雨襲来時の被害の防止・軽減に役立てられることを願っている。

最後に、本研究を進めるにあたっては、平成4年度文部省科学研究費<重点領域研究(1)>(代表者：荒生公雄長崎大学教育学部教授)、ならびに、平成5年度の(財)河川情報センターの研究助成金(河情セ研5第

44号, 研究代表者:野口正人) の補助を受けたことを記し, 関係各位に深甚の謝意を表します。また, FRICSの専用端末機の利用に格別のご配慮を戴いている(財)河川情報センター福岡センターの関係各位に深謝致します。また, 本論の予測モデルで使用された地理情報は日本地図センターから提供されたものである。ここに記して, 謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 中北英一: 地形が降雨場に及ぼす影響を考慮した短時間降雨予測手法と3次元レーダー情報の利用に関する研究, 京都大学工学博士学位論文, 1990.
- 2) (財)河川情報センター: 川のMONTHLY INFORMATION, NEWS INDEX 5月号, pp. 22-23, 1991.
- 3) (財)河川情報センター: 河川・流域総合情報システム専用端末機操作マニュアル, 第4版, 1989.
- 4) (財)河川情報センター, 福岡センター: 河川・流域総合情報システム提供画面解説書, 1993.
- 5) 矢川元基: ファジィ推論, 培風館, 1991.
- 6) 西原 巧: 河川の拾遺録 (IX), 水利科学 No. 196, Vol. 34, No. 5, pp. 77-97, 1991.
- 7) M. Noguchi, T. Nakamura, W. Nishida, H. M. Tahat, H. Hanada and S. Gotoh: An Early Warning System to Mitigate the Flood Disaster in Urban Areas, WORLD CONFERENCE ON NATURAL DISASTER REDUCTION, 1994.