雨域の移動を考慮した伊那谷における短時間降雨予測について

著者	中根 和郎
雑誌名	国立防災科学技術センター 研究報告
巻	27
ページ	89-108
発行年	1982-03
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00000859

国立防災科学技術センター研究報告　第27号　1982年3月

551.577.21

雨域の移動を考慮した伊那谷における短時間降雨予測について

中　根　和　郎*

国立防災科学技術センター

Short Term Rainfall Prediction in the Ina Valley, Chubu Region, using moving heavy-rainfall zones.

By

Kazuro Nakane

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

Hourly isohyetal maps of heavy rainfalls in Chubu region were made by the Upper Tenryu River Construction Office, Ministry of Construction, and the Tenryu Reservoir Integrated Control Center, Ministry of Construction.

In these maps, many moving heavy-rainfall zones, with life time from two to five hours, were found.

The existence of such zones indicates the possibility of short term rainfall prediction by a simple extrapolation using the movement of heavy-rainfall zones.

Many telemetric raingauges have been installed up to the density of about one in 50km^2 to 300km^2 throughout Japan, which are possessed by the Japan Meteorological Agency and the Ministry of Construction. Thus, minor heavy-rainfall zones and their movements have come to be accurately traced.

In this report, a new method of short term rainfall prediction is proposed. The method consists of two steps:

1. Estimating the direction and speed of moving heavy-rainfall zones using hourly isohyetal maps.
2. Making short term prediction by calculation with two simple formulas.

This method was tested by predicting the short term rainfalls in June 1979, June 1970 and June 1961 in Ina Valley, Chubu region. In the case of one hour prediction, good results were obtained.

* 第1研究部　風水害防災研究室

1. はじめに

近年，神奈川の鶴見川，静岡の巴川，愛知の日光川などに代表されるごとく都市化されつつある中小河川の洪水災害が増加しており（吉野，1981；入澤，1980），早急な河川改修事業，総合治水事業等が望まれている．それにも増して，適切な水防活動と安全な避難対策がますます重要となって来ている．水防活動や避難を適切に行うためには，洪水災害に対する予警報が確かな洪水予測に基づいて，水防管理者・一般住民に伝えられる必要がある．ここで必要な洪水予測は，雨量・水位データの収集と分析，洪水予測計算，予警報の立案と伝達，水防活動及び避難の準備等の所要時間を考慮した2～3時間先の洪水予測である．一方，中小河川での洪水到達時間はおおよそ1時間であるから，3時間先までの洪水予測を行うには2時間先までの降雨予測が必要となる．そこで，本報告は1～2時間先の短時間降雨予測法について述べるものである．

短時間の降雨予測法としては，レーダーエコーの移動方向，速度およびその強度から外挿して予測する方法が多く試みられている（例えば，竹内（1978））．この方法は強雨域を平面的に把握でき，その移動を短い間隔で即時的に追跡し，しかも海岸地帯では海上の強雨域が把握できる等の利点がある．反面，レーダーエコーの強さと雨量強度との間に1対1の関係を得るのは困難であり，実際の雨量を把握するのに難点がある．さらに，追跡される個々のエコーセルの生存時間は，その規模にもよるが対流性エコーでは20分程度であり，個々のエコーセルの移動から求められる雨量の予測時間はその程度の予測時間長しか期待できないことになる（竹内・田辺（1981）ら）．一方，地上雨量観測では気象庁のアメダス観測網と建設省の雨量テレメータ観測網を併用することにより，時間単位の降雨実況が広域的かつ1観測所あたり50～300km^{2}の密度で観測できる．また，洪水予測の多くは時間単位で行われており，必要とされる雨量予測は2時間先までの時間単位の雨量である．そこで，ここでは建設省および気象庁の雨量観測網を用いて，毎時の時間雨量分布図を作成し，それより推定される強雨域の移動方向および移動速度を求めた後，強雨域の移動を考慮した外挿式で1～2時間先の雨量を予測する方法を用いた．以下その手法と結果について報告する．

2. 調査対象地点

本調査が伊那谷の雨量予測作業の内の1つの手法として試みられたものであり，予測対象地点は中央アルプス（木曽山脈）と南アルプス（赤石山脈）の3,000m級の山々に挟まれた伊那谷の代表地点とした．したがって，時間雨量分布調査区域は，強雨域の移動を用いた1～2時間先の雨量予測を目的とするため，琵琶湖から伊那谷の間の東西約200km，南北約150kmの中部地域とした．この地域は西側に鈴鹿山脈，養老山脈，伊吹山地等の500～1,000m級の山々があり，北側は白山，御岳山，乗鞍岳，東側は木曽山脈，赤石山脈を控え，南側は

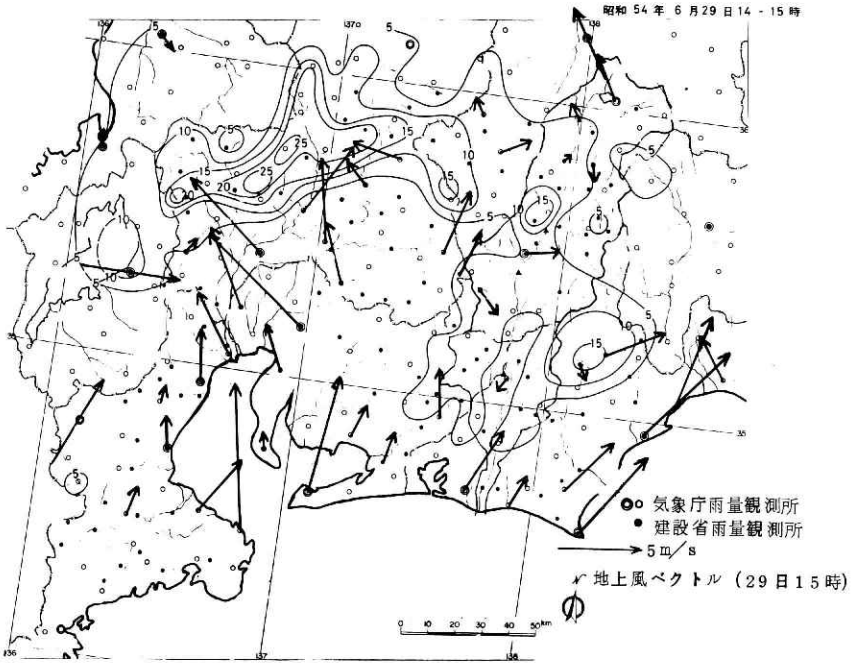

図 1 時間雨量分布と地上風の分布

太平洋に臨んでいる．したがって，この地域は南西海上からの暖湿気流を受け入れ易く，また，山間地方では風上側斜面で図1のように地形性降雨の強まり易いところとなっている．

3. 強雨域の移動図からみた強雨域の移動

短期間降雨予測を行うために，実際の降雨域がどのように移動しているのかを明らかにすることは，重要なことであり，ここでは中部地域で得られた強雨域の移動について述べる．強雨域の移動は次のようにして求めた．

中部地域に大雨をもたらした梅雨前線性豪雨について，昭和36年から昭和54年の間の主な大雨12ケースを選び，それぞれについて，気象庁雨量観測所168カ所，建設省雨量観測所122カ所の観測データから，天龍川ダム統合管理事務所（1980）が作成した毎時の時間等雨量線図より強雨域の移動状況を求めた．

3.1 強雨域の移動

一連の降雨現象の中で抽出できる個々の雨域の移動状況を大きく分類すると次の4つに分けられる．

(1) 強雨域の移動が1～2時間みられた後消滅するもの．

昭和50年7月12日の17～19時にみられた強雨域の移動がその例である．その時の強雨

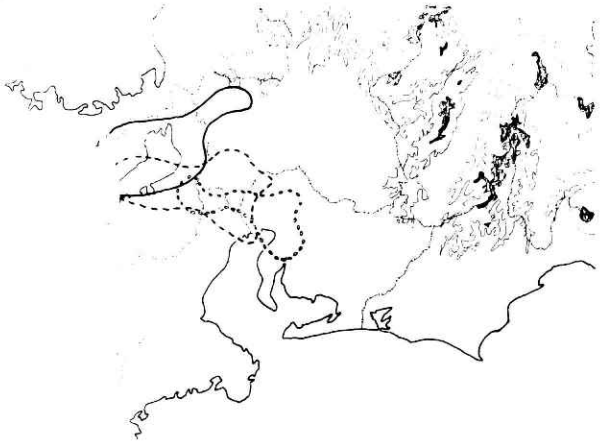

図　2　5mm／時以上の強雨域の移動
(1700-1900) JST
12 Sep.,1975

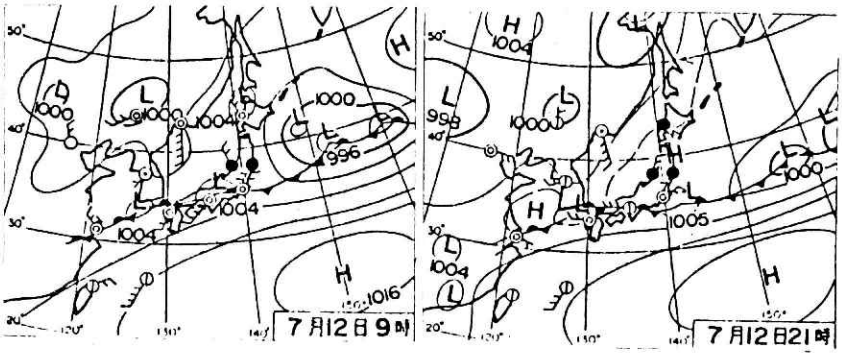

図　3　地上天気図（1975年）

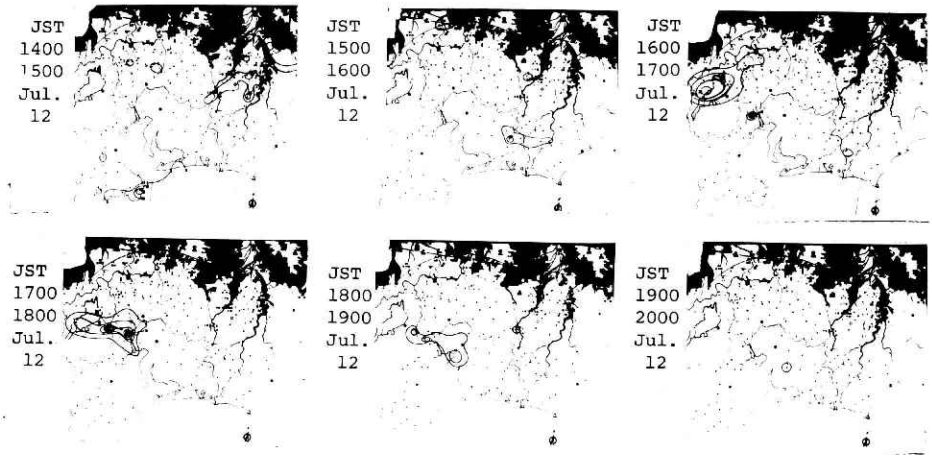

図　4　時間等雨量線図（1975年）

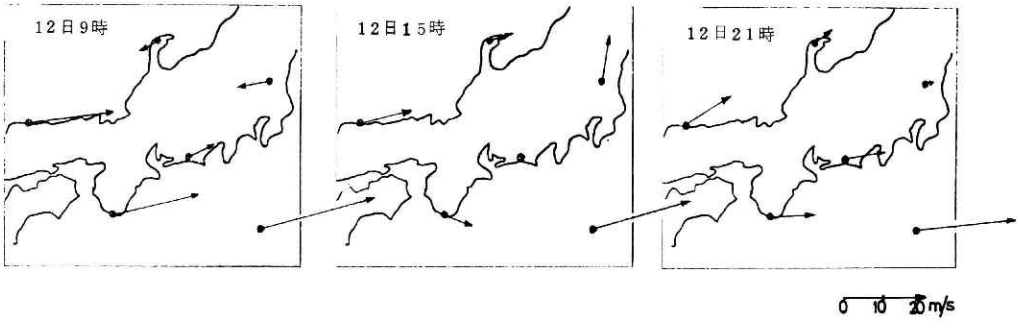

図　5　900mb面風ベクトル（1975年6月）

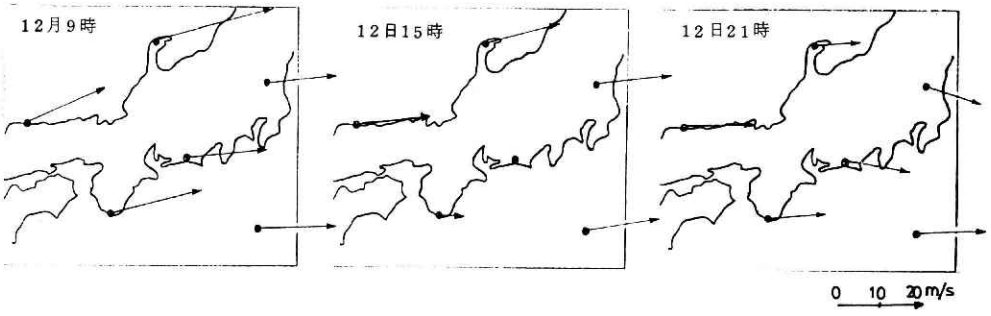

図　6　700mb面風ベクトル（1975年6月）

域の移動は図2に示すように琵琶湖から名古屋の方向に移動している．この状況を5mm／時の強度間隔で作成した時間等雨量線図で見ると図4のようになる．この時の天気は図3に示すように中部地域の南部から中国地方の南岸，九州北部にかけて梅雨前線が停滞している状況にあった．図5はその時期の900mb面（上空約1,000m）での風ベクトルを現わしたものであり，梅雨前線に沿って低気圧が通過するのに伴い風ベクトルの変化が見られる．図6は700mb面（上空約3,000m）での風ベクトルを現したものであるが，風向は非常に安定しており強雨域の移動方向ともほぼ一致している．

(2)　5時間以上強雨域の移動が追跡できるもの．

昭和53年6月23日の20~24時にみられる強雨域の移動がその例である．この時の強雨域の移動は図7に示すように滋賀県南部から長野県の木曽郡の方向に移動している．図9は5mm／時の強度間隔で作成した時間等雨量線図であり，全体的な降雨域の広がりを良く現してはいるが，図7のように10mm／時以上の強雨域を抽出した方が，強雨域の移動がより明らかになることが解る．この時の天気は図8に示すように梅雨前線が中部から九州にかけての太平洋岸沿いにあり，低気圧が西日本を通過するに伴って前線は南下する状況にあった．

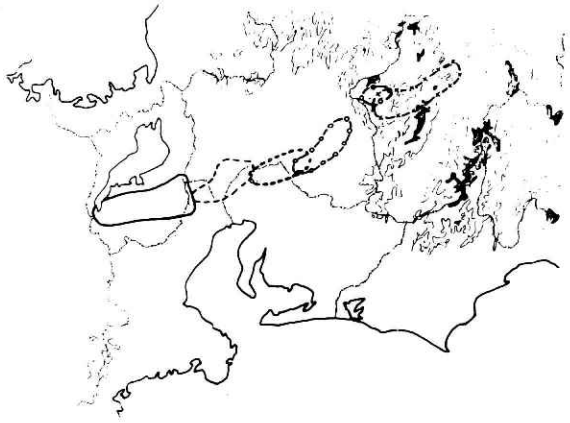

図　7　１０ｍｍ／時以上の強雨域の移動

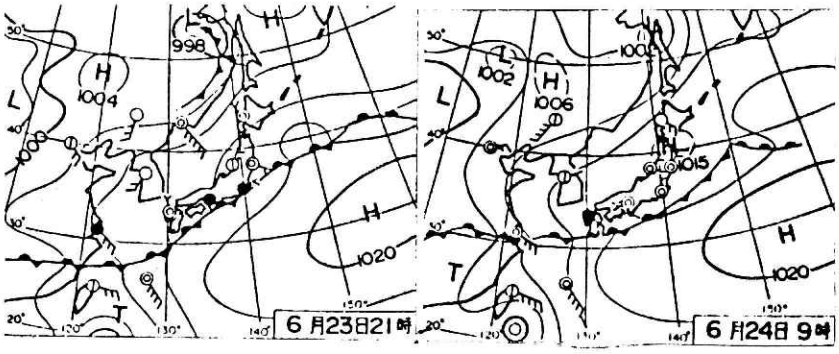

図　8　地上天気図（1978年）

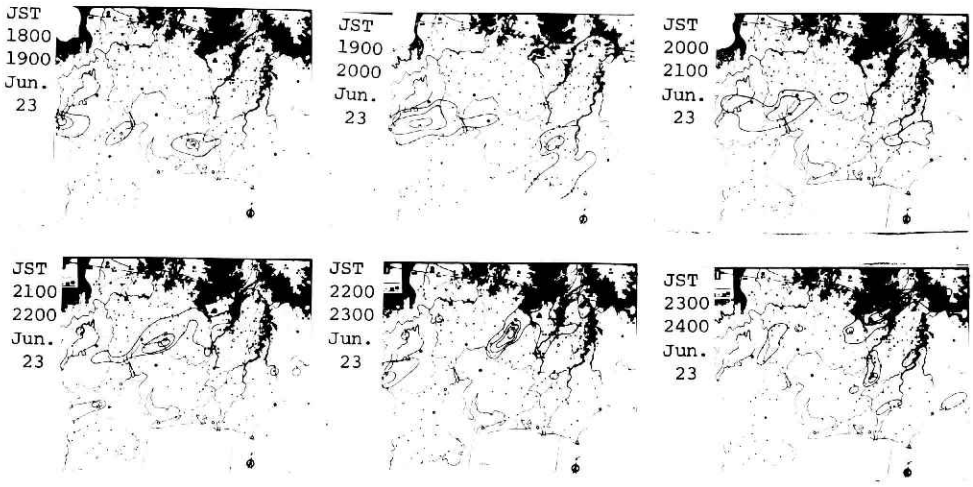

図　9　時間等雨量線図（1978年）

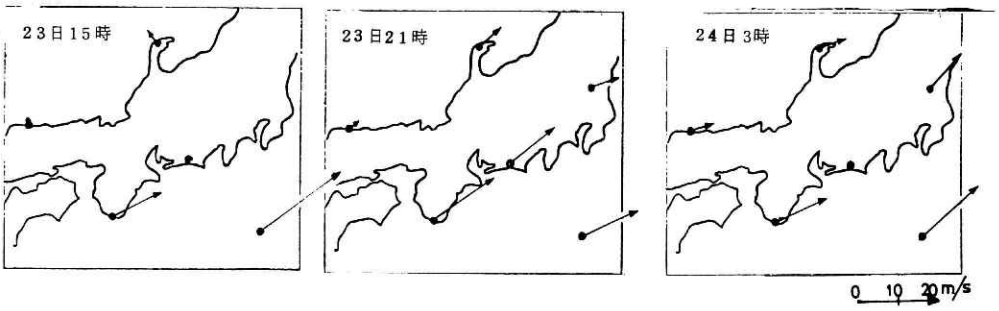

図 10　900mb 面風ベクトル（1978年6月）

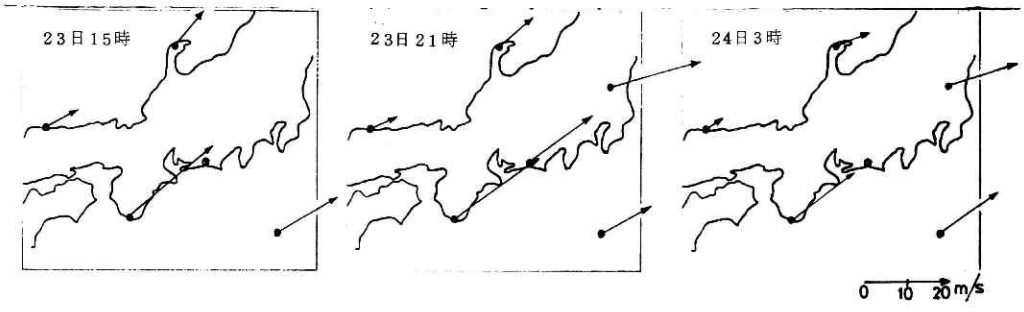

図 11　700mb 面風ベクトル（1978年6月）

図10はその時期の900mb面での風ベクトルを現したものであり，低気圧の通過に伴って日本海側での風ベクトルの変化が見られる．図11は700mb面での風ベクトルを現したものである．風向は比較的安定しており，23日20時から24時にかけての強雨域の移動方向ともほぼ一致している．

(3)　3時間以上強雨域が同一地点に位置し，その後移動して2～3時間で消滅するもの．

昭和47年7月の12日23時から13日5時にかけてみられた強雨域の移動がその例でありその時の強雨域は図12に示すように三重県の志摩半島西部から岐阜県の恵那郡にかけて延びており，強雨域の広がり方向(長軸方向)とその移動方向が重っているため，移動速度は非常に把握しにくくなっている．図14はこの時の降雨状況を5mm／時の強度間隔で作成した時間等雨量線図である．この時の天気は図13に示すように関東南部から九州北部にかけて梅雨前線が横たわっており，それに沿って低気圧が通過する状況にあった．図15は当時の900mb面での風ベクトルを現したものであり，低気圧の通過に伴い日本海側では風向の変化が見られる．図16は同じ時の700mb面での風ベクトルを現したものである．風向は安定しており強雨域の長軸方向とも良く一致している．

図　12　１０ｍｍ／時以上の強雨域の移動

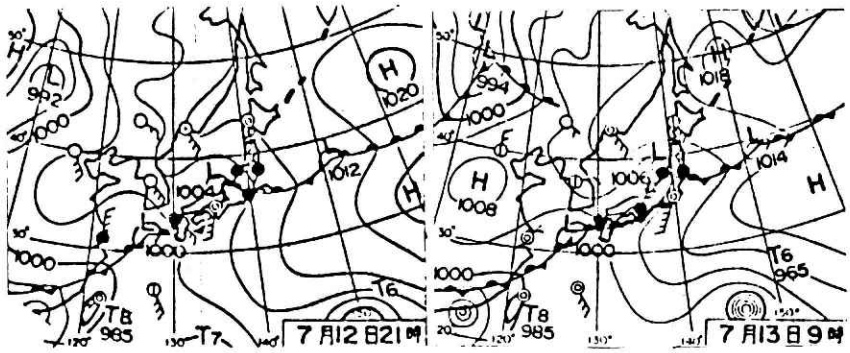

図　13　地上天気図（1972年）

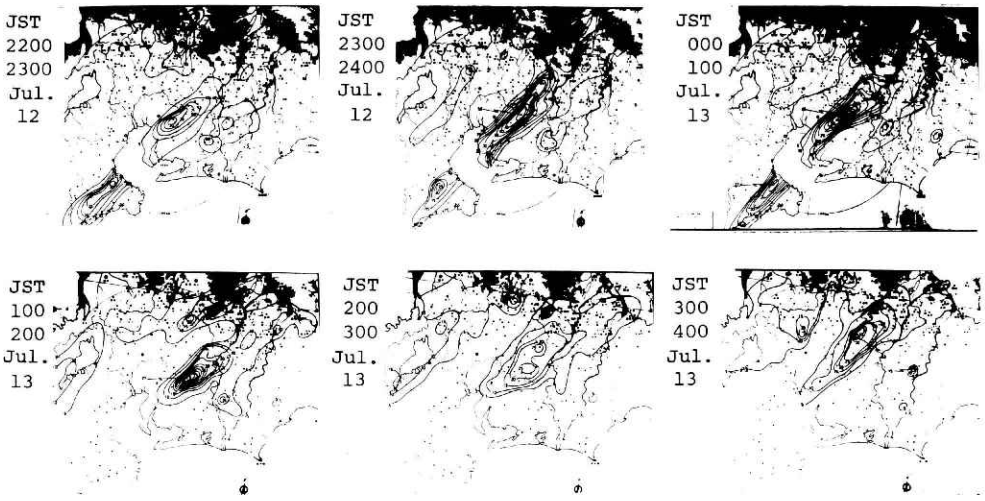

図　14　時間等雨量線図（1972年）

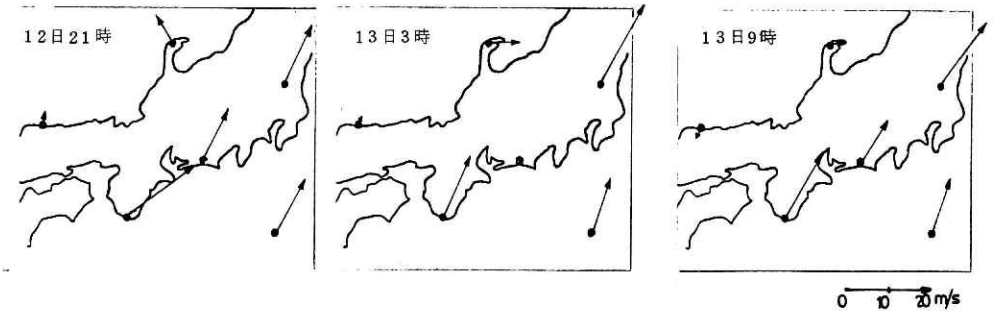

図　15　900mb 面風ベクトル（1972年7月）

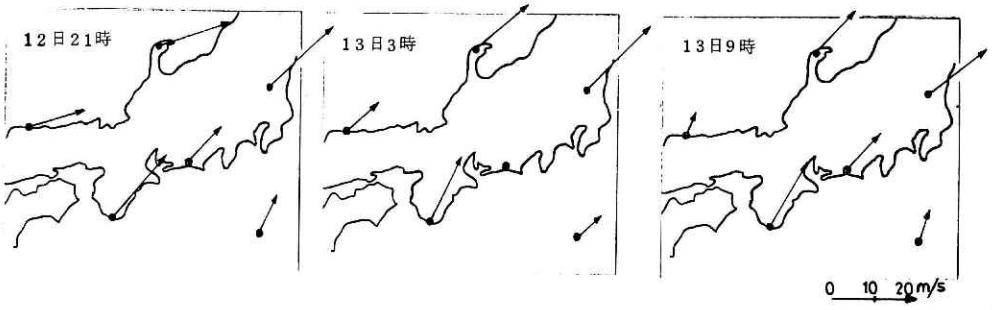

図　16　700mb 面風ベクトル（1972年7月）

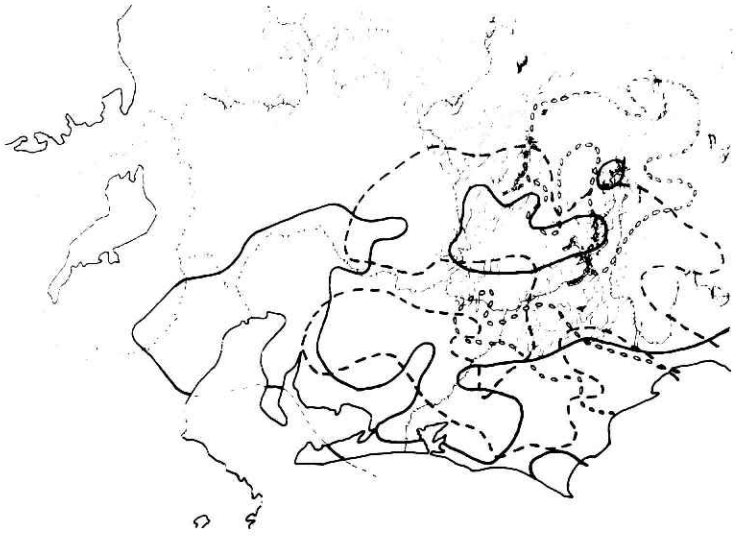

図　17　10mm／時以上の

(300-500)JST 25
Jun.,1977
—— 3JST
--- 4 〃
∞∞ 5 〃

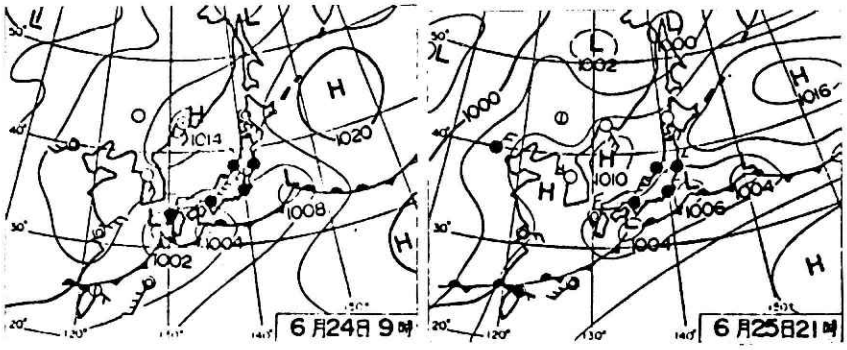

図　18　地上天気図（1977年）

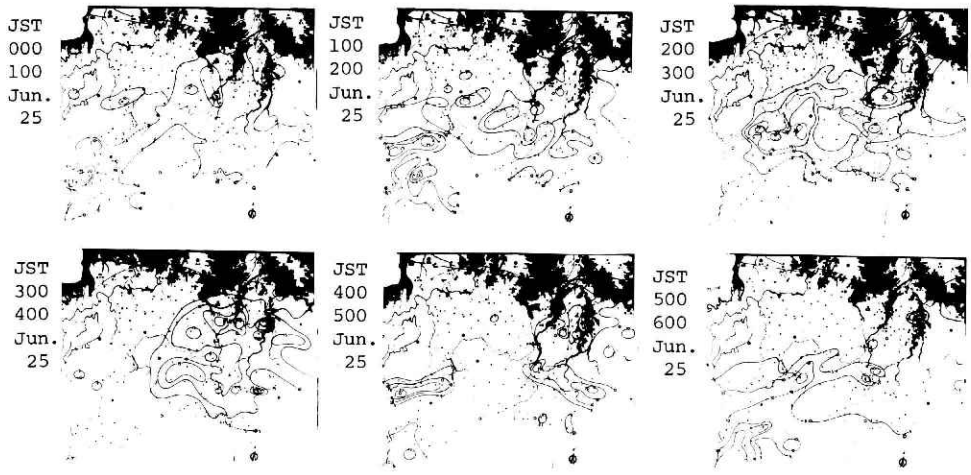

図　19　時間等雨量線図（1977年）

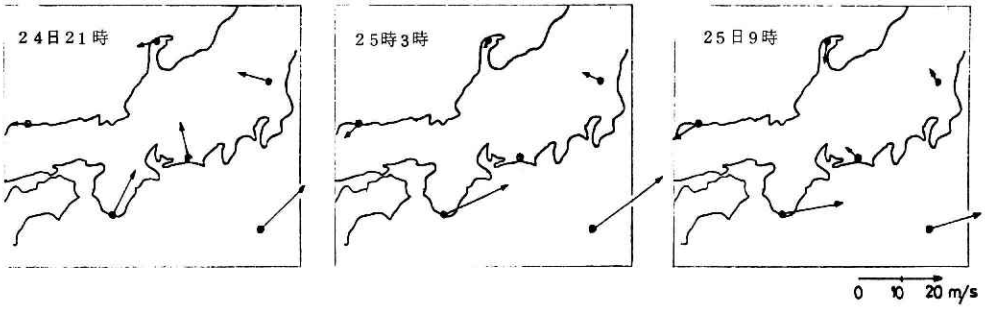

図　20　900mb 面風ベクトル（1977年6月）

(4) 強雨域の移動の把握が困難なもの．

昭和52年6月25日の3～5時に見られた強雨域の移動がその例である．強雨域の移動は図17に示すように，全体的に北東方向に移動しているが，はっきりした移動方向とその速度を求めるのは困難である．図19はこの時の降雨状況を5mm／時の強度間隔で作成した時間等雨量線図であり，強雨域がアメーバのように複雑に変化しながら全体的に北東方向に移動していることが解る．この時の天気は図18に示すように西日本南岸に梅雨前線があり，それに沿って低気圧が東進し，前線自体もその影響を受け北上，南下を繰り返す状況にあった．図20は当時の900mb面での風ベクトルを現したものであり，低気圧の通過に伴う顕著な風向の変化が見られる．図21は同じ700mb面での風ベクトルを現したものである．風向に少

図 21 700mb 面風ベクトル（1977年6月）

し変化がみられるが全体として北東方向を示しており，強雨域の全体的な動きとほぼ一致している．

これらの現象は一連の大雨に対して上述の一つの現象が現れるのではなく，4つの事象が組み合わさって一連の降雨現象となる場合が多い．図22は昭和40年5月27日の7時から12時にかけての強雨域の移動図であるが，このことをよく現している．

3.2 強雨域の移動と700mb面での風との関係

レーダーエコーの移動方向と大気の平均的な流れ（おおよそ500mb～700mb面の風）の方向との相関が良い事は多くの人に指摘されていることであり，八木（1979）は

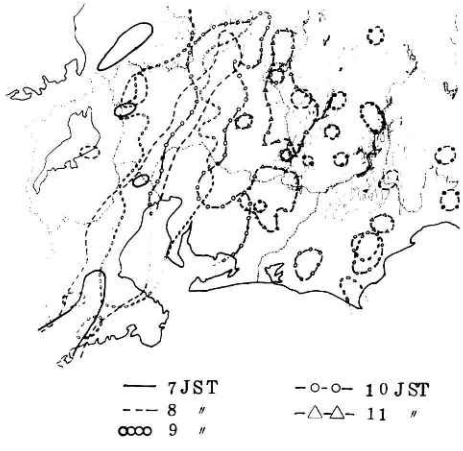

図 22 15mm／時以上の強雨域の移動（1975年5月）

雷雲のレーダー観測により，エコーセルの移動方向は，観測されたエコー強度が偏在している場合，その偏在している側に大気平均流の方向から偏位し，エコー強度が偏在していない場合は大気平均流の方向に移動すると指摘しており，竹内・田辺（1981）は関東地域における強雨域の移動調査から総観場の風（700mb面での風）を用いた強雨域の移動予測の可能性を示唆している．そこで，実際の降雨予測時に高層風データが使用可能な場合を想定し，700mb面での風向を利用して雨域の移動方向を推定する目的で，中部地域で得られた強雨域の移動方向・速度と700mb面での風向・風速との関係を調べた．ここで，700mb面の風は中部地域に最も近くしかも6時間間隔に観測している潮岬のデータを用い，それらを内

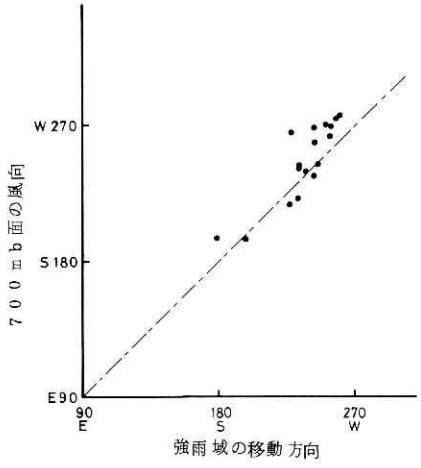

図　23　強雨域の移動方向と700mb面の風向との相関

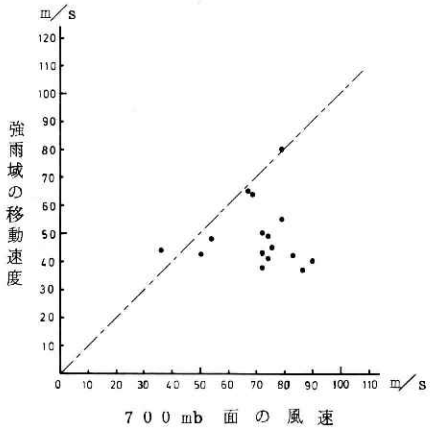

図　24　強雨域の移動速度と700mb面の風速との相関

挿して当該時刻の値とした．図23はその結果求められた700mb面の風向と強雨域の移動方向との相関関係であり，良い相関が得られている．このことから，強雨域の移動方向を700mb面の風向で代表させても大きな誤りはないように考えられる．しかし，700mb面の風速と強雨域の移動速度との関係は図24に示すように両者の間に相関関係は認められず，強雨域の移動速度は700mb面の風速では現せないことが解る．

4.　強雨域の移動方向および速度の推定

降雨域の移動方向と速度の推定法としては(1)レーダーエコーの強度分布とその移動方向・速度から推定する方法，(2)大気の平均的な風（700mb～500mb面での風）の風向・風速から推定する方法，(3)1時間ごとの時間雨量分布図から強雨域の移動方向と速度を推定する方法，(4)気象衛星写真の雲の動きから推定する方法等が考えられる．

(1)ではレーダーエコーセルの移動と降雨域の移動が必ずしも一致しないこと（二宮・秋山，

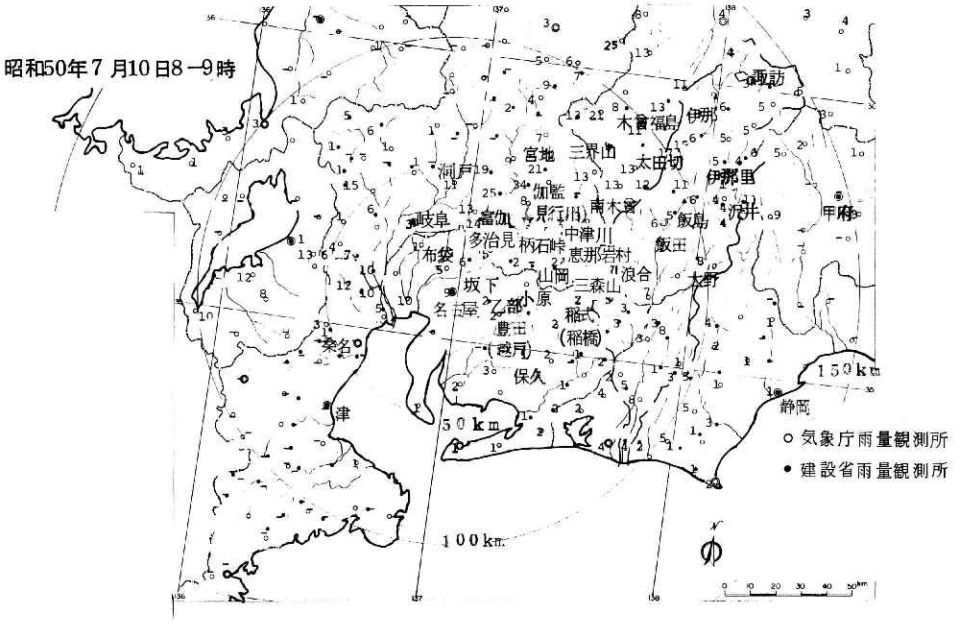

図 25 広域時間雨量分布

1979）(2)では700 mb面での風速と降雨域の移動速度との相関が悪いこと，(3)ではレーダーエコーほど高密度に面的な雨量分布を把握できないが，実況の強雨域の移動を直接判読できる場合が多いこと，(4)では衛星写真の雲と雨域との対応付けが現段では必ずしも良くなく，今後の研究に期待されること等の評価により，ここでは(3)の方法を選んだ．

作業手順としては図25のような広域時間雨量分布図から人によるパターン認識を用いて強雨域の移動方向と速度を推定する．即ち，各地点雨量の分布図から，全体的な雨量分布状況が把握できるよう時間等雨量線図を描く．この場合，地点雨量の特異性にこだわらず，全体的な分布が把握できるように描く．また，強雨域の移動状況を把握し易くするため，ある降雨強度（例えば，10 mm／時）について等雨量線を描き，毎時の強雨域を図26のように数時間分重ね合わせて，全体的な強雨域の移動方向と速度を求め，移動ベクトル V（km／時）を定める．なお，短時間予測時には

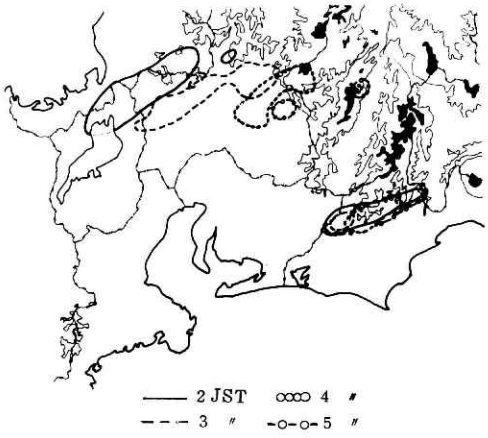

図 26 15 mm／時以上の強雨域の移動
（1972年7月）

全区域において雨域はベクトルVで平行移動するものと仮定する．

時間等雨量線図から強雨域の移動方向の速度の推定が困難な場合には，移動方向については次の(i)，(ii)の方法を用い，移動速度については(iii)の方法を用いる．

(i) 天龍川ダム統合管理事務所（1980）の調査によると雨域の移動方向と強雨域の広がり方向（長軸方向）との間に良い相関が得られており，ここではその結果を用いて，強雨域の走向を移動方向と仮定する．

(ii) 3.2で述べたように，強雨域の移動方向と700 mbの風向との相関が良いことから，ここでは700 mbの風向を雨域の移動方向と仮定する．　ただし，実際の短時間予測を行う場合，現在の高層気象観測が6時間間隔で行われており，しかも，そのデータは観測時点から数時間を要して使用者に伝えられていることに注意しなければならない．

(iii) 移動速度については多くの人により各地で様々な値が得られている．例えば，八木ら（1976）・八木（1979）は雷雨のレーダーによる130回の観測から平均21 km／時のエコーの移動速度を得ている．竹内・田辺（1981）は赤城山のレーダーにより熱雷12.6 km／時，熱界雷17.6 km／時，低気圧および停滞前線性26.9 km／時を観測している．小楠（1979）は福井および大阪レーダーのスケッチ図から1978年9月16日の台風7818のエコーの移動速度47 km／時を観測している．舟田・岡村（1978）は1976年8月14日の北陸の大雨について，強雨群に関連する強エコー群の中心の移動速度を60～90 km／時，平均値として76 km／時と推定している．Matsumoto and Akiyama（1969）は1967年7月9日12時から19時にかけての中規模じょう乱による西日本での雨域の移動から72 km／時の移動速度を確認している．天龍川ダム統合管理事務所（1980）の中部地域における調査では前線性降雨20～50 km／時，台風性降雨10～40 km／時を得ている．また，1978年4月6日15時から19時にかけて静岡から水戸方向へ移動した強雨域の速度は71 km／時と推定される．

このように移動速度は降雨の種類や規模，地形等によって異なるため，ここでは，中部地域において昭和36年から昭和54年の間の12降雨の中で強雨域の移動速度が判読できた場合について調べた結果，移動速度の頻度分布が図27のようになっていることから，移動速度を45 km／時と仮定する．

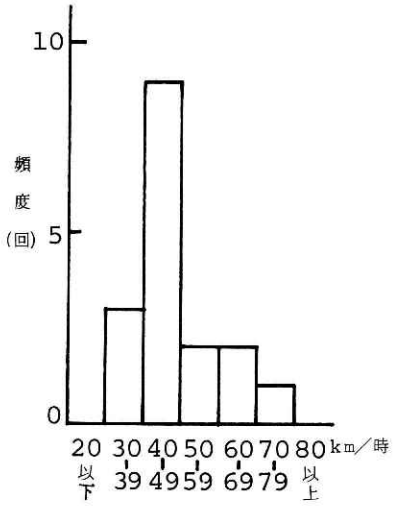

図　27　強雨域の移動速度頻度図

5. 外挿法による短時間降雨予測法

強雨域が一定時間持続性を保って，一定の方向

に移動する多くの例を述べて来た．それらの現象は，単純外挿法による1～2時間先の短時間降雨予測の有意性を示唆しているものと考えられる．そこで，ここでは強雨域の移動方向（またはその長軸方向）に沿って，移動の方向に対して上流にある地点（以下，上流地点という）の降雨の盛衰は，移動の方向に対して下流にある地点（以下，下流地点という）の降雨の盛衰と強い相関を持つと仮定する．しかし，地点雨量予測を行う場合，各雨量観測地点はそれぞれ地形・標高が異なるため，上流地点雨量に時間遅れを与えたものを下流地点の雨量としたのでは，各観測所の影響が大きく現われて良好な予測値を得ることはできない．そこで，ここでは上流地点での毎時の時間雨量変化率の平方根が下流地点での時間雨量変化に比例すると仮定した．

上流地点観測所の時間雨量変化率を取ったのは各観測所の地形，標高等による雨量強度の違いを補う意図があり，その平方根を取るのは上流地点の時間雨量変化率そのものを用いると，下流地点の予測値に大きな雨量強度変化を与えるため，それを緩和する意図がある．

この仮定を用いた予測計算は次のように行う．4.の方法により求められる強雨域の移動ベクトルV（km／時）を用いて，当該予測地点をE地点とし，ここから1時間の移動距離を持つ上流地点をF地点，さらに2時間の移動距離を持つ上流地点をG地点とする．図28はE地点を原点としたそれぞれの位置関係を現わしたものであり，F地点は－Vの位置，G地点－2Vの位置となる．各地点の近傍観測地点を選びt，（$t-1$）時刻における地点雨量をそれぞれ$R_E(t)$，$R_F(t)$，$R_G(t)$，$R_E(t-1)$，$R_F(t-1)$，$R_G(t-1)$とすると，E地点での1時間先の予測雨量$R_E(t+1)$，2時間先の予測雨量$R_E(t+2)$は次式から求められる．

$$R_E(t+1)=R_E(t)\times\left[R_F(t)/R_F(t-1)\right]^{\frac{1}{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$R_E(t+2)=R_E(t+1)\times\left[R_F(t+1)/R_F(t)\right]^{\frac{1}{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

ここで，

$$R_F(t+1)=R_F(t)\times\left[R_G(t)/R_G(t-1)\right]^{\frac{1}{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

(1)，(2)，(3)式より，

$$R_E(t+2)=R_E(t)\times\left[R_F(t)/R_{F_1}(t-1)\right]^{\frac{1}{2}}\times\left[R_G(t)/R_G(t-1)\right]^{\frac{1}{4}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

ただし，R_Eがゼロの場合およびR_F，R_Gが2mm／時以下の場合予測値が不安定となるので，それを避けるためR_Eがゼロの場合は0.5mm／時とし，R_F，R_Gが2mm／時以下の場合

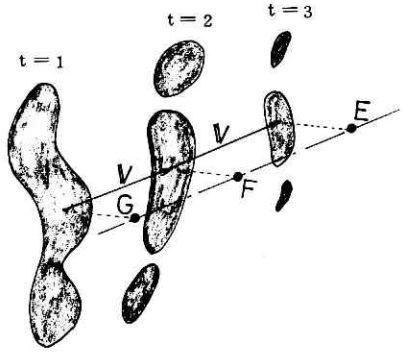

図　28　強雨域の移動ベクトル

はそれぞれ2mm／時と仮定している．

6. 短時間降雨予測結果

毎時の時間等雨量線図より求められる強雨域の移動方向と移動速度（ただし，時間等雨量線図から強雨域の移動状況が把握できない場合は，移動方向を強雨域の広がり方向または潮岬の700mb面での風向とし，移動速度は45 km／時と仮定する．）を用いた単純外挿法により，(1)昭和54年6月29日1時～21時，(2)昭和45年6月14日15時～16日16時，(3)昭和36年6月27日2時～28日9時の3ケースについて短時間予測を行ったので，その結果を紹介する．

(1) 昭和54年6月29日の予測結果

この間の天気は，関東から九州北部にかけて梅雨前線が横たわっており，それに沿って幾つもの低気圧が通過し，前線自体もそれによって北上南下を繰り返す状況にあった．

強雨域の移動方向は，時間等雨量線図から求められる移動方向および強雨域の長軸方向から東北東進とし，移動速度は，時間等雨量線図から推定される移動速度が30～80 km／時と大きく変動するため，ここでは45 km／時と仮定する．

予測対象地点は図25に示すように，伊那谷の諏訪・伊那・太田切・飯島・飯田・伊那里・沢井・大野と木曽山脈の西側の恵那とした．

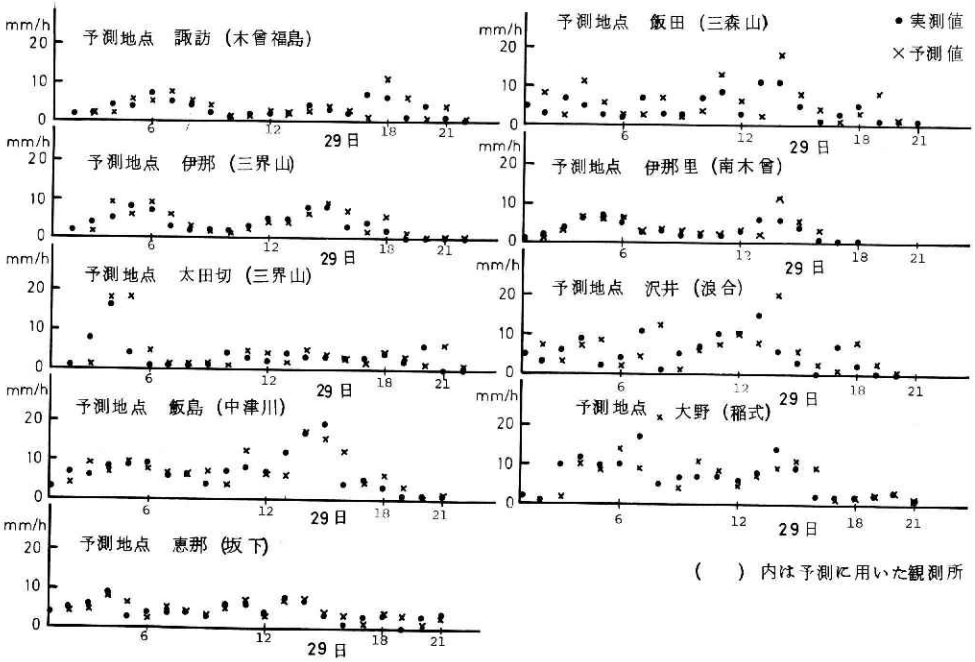

図 29　1時間先降雨予測結果（1979年6月29日1時～21時）

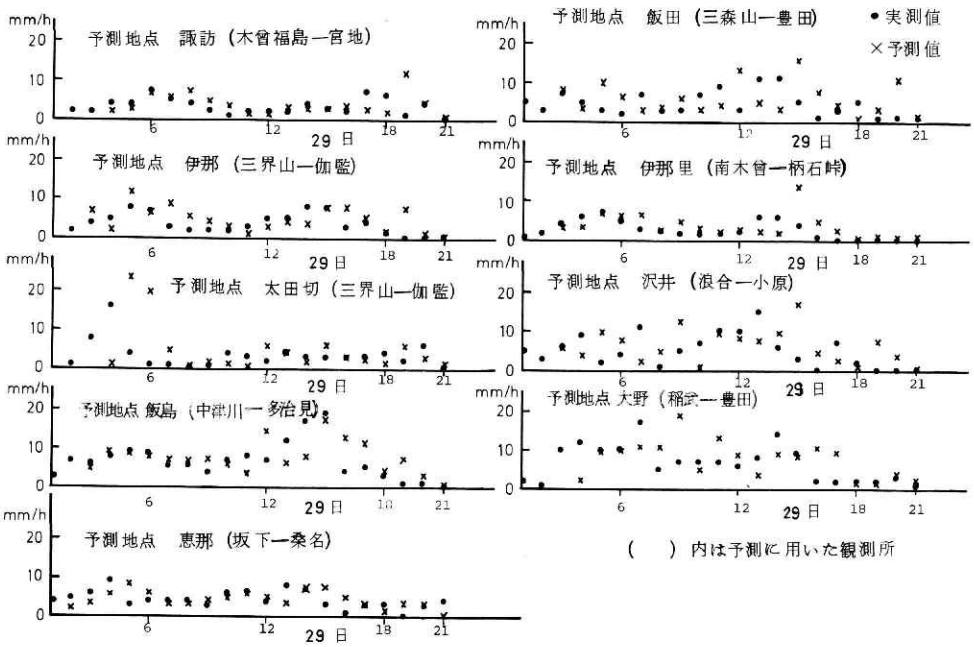

図　30　2時間先降雨予測結果（1979年6月29日1時～21時）

図29は1時間先の予測結果であり，全体的にほぼ妥当な結果が得られており，特に飯島地点での予測結果はパターン的にも良く合っている．ただし，沢井地点の7～8時，13～14時に見られるように予測値の方が遅れて現れる場合もあるので注意を要する．この原因としては時間単位の降雨によるピークの1時間のずれ，または強雨の速い伝搬等が考えられるが，はっきりした事は不明であり今後の課題と言える．

図30は2時間先の予測結果であり，全体的に良い結果は得られず，今後さらに検討を加える必要がある．

(2)　昭和45年6月14日～16日の予測結果

この間の天気は，日本の南岸沿いに前線が横たわり，南方海上には熱帯性低気圧があって，九州に近づいて来ており九州から中部の広い範囲に高温多湿の下層の大気が流れ込んでいる状況にあった．

強雨域の移動方向は，強雨域の長軸方向から15日10時まで東北東進，15日21時まで東進，16日15時まで東北東進と推定した．強雨域の移動速度は，時間等雨量線図からの推定が困難なため45 km／時と仮定した．

予測対象地点は伊那谷の飯田と木曽山脈の西側の恵那とした．

図31は予測結果を示したものであり，1時間先の予測ではほぼ良好な結果が得られている．しかし，飯田地点の15時と18時，恵那地点の13時～18時が予測不良となっている．飯田地点

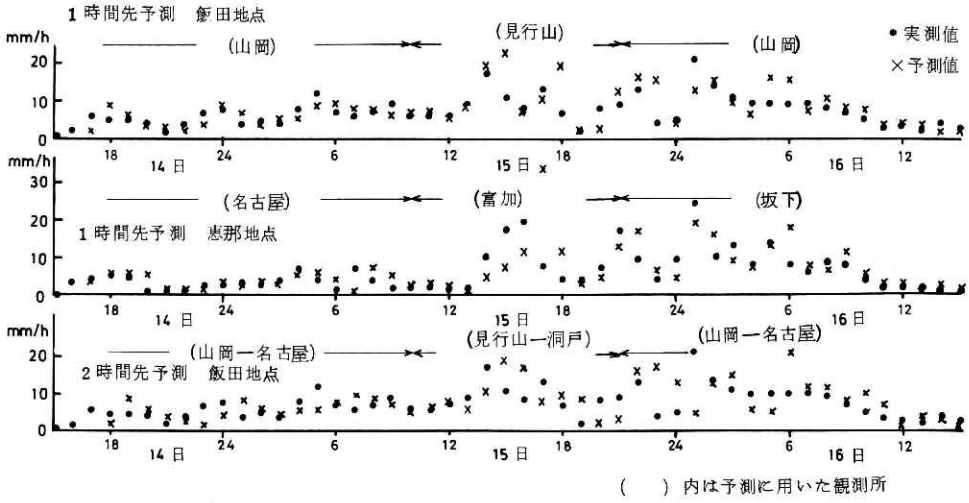

図　31　短時間降雨予測結果（1970年6月14日15時～16日16時　）

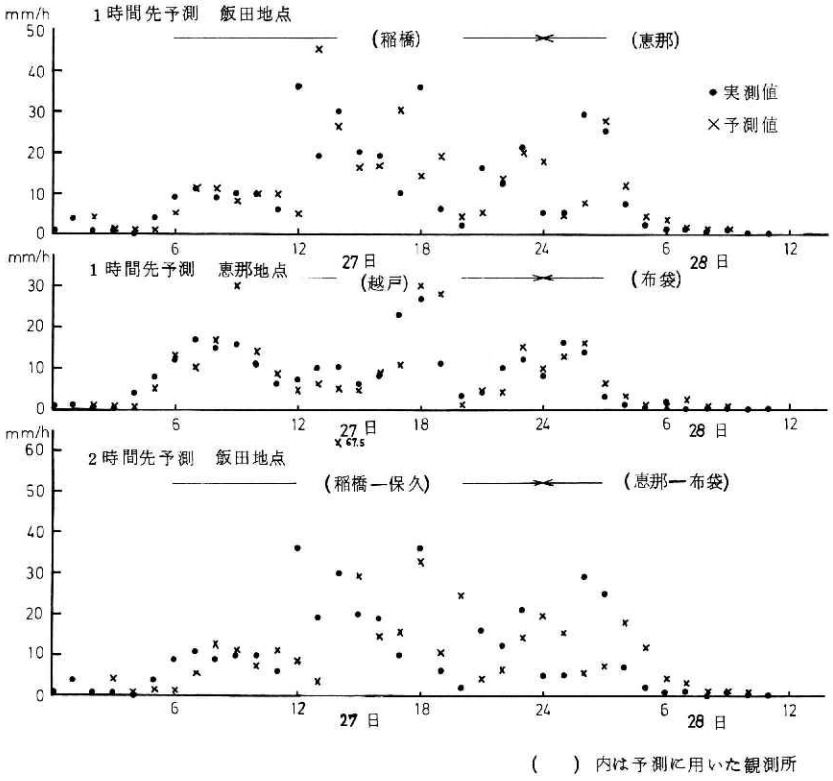

図　32　短時間降雨予測結果（1961年6月27日2時～28日9時）

の２時間先の予測は図に示すように良好な結果は得られなかった.

(3) 昭和３６年６月２７日～２８日の予測結果

この間の天気は，関東から九州にかけて梅雨前線が横たわっており，日本の南方海上には台風６号があって北上し，日本の南岸に近づくに従って弱まり熱帯低気圧となり，その後前線に沿って北東に移動するという状況にあった．このため，南方海上の温暖湿潤な下層の大気が中部から関東地方にかけて入り込み，各地に大雨を降らせた．特に，伊那谷は厚い積乱雲におおわれ未曽有の集中豪雨に見舞われた.

強雨域の移動方向は，時間等雨量線図から判読される強雨域の移動方向および強雨域の長軸方向から27日24時まで北東進，28日９時まで東進と推定した．移動速度は強雨域の移動状況から推定が困難なため45 km／時と仮定した．予測対象地点は伊那谷の飯田と木曽山脈の西側の恵那とした.

図32は予測結果を示したものであり，１時間先の予測では昭和54年６月，昭和45年６月の予測結果と同様に良好な予測結果となっている．しかし，飯田地点の27日12～13時の予測に見られるように予測値が遅れている場合もあるので注意する必要がある．なお，２時間先の予測では良好な結果は得られなかった.

7. むすび

中小河川のような洪水到達時間の短いところでの洪水予測には，１～２時間先の時間単位の降雨予測が必要であり，この短時間降雨予測手法として，実況の時間等雨量線図を用いた単純外挿法による予測手法を紹介した．この根拠となったのは3.で述べたように，広域の時間等雨量線図を眺めた時，強雨域の移動が２～５時間程度追跡できたことによる.

この手法により予測計算した結果，１時間先の予測ならば，ほぼ妥当な結果が得られる．ただし，豪雨の立上り部で予測が遅れることがあり，この点については今後検討を加える必要がある．また，２時間先の予測については，この手法では良い結果が期待できないことも明らかとなった．この原因が伊那谷という特殊な地形によるのか，複雑な降雨の発達・減衰過程によるものかは今後検討を加えて行く必要がある.

8. 謝　　辞

この研究を進めるに当たって，快く資料を提供して下さり，また，適切な助言をして下さった天龍川ダム統合管理事務所の管理課の方々，天龍川上流工事事務所の調査課の方々に深く感謝の意を表す．さらに，論文を取りまとめるに当たって，専門的な立場から指導・助言をして下さった国立防災科学技術センター第１研究部の木下部長，八木室長に深く感謝する.

参考文献

1) 舟田久之・岡村敏夫（1978）：レーダーとアメダスの1時間雨量について（3）（1976年8月14日北陸の大雨についての予測）．東京管区地方気象研究会誌，No. **11** 259−261．

2) 入澤実（1980）：水害防止における非構造物手法の必要性について．国立防災科学技術センター研究報告，第**24**号，45−68．

3) Matsumoto S. and T. Akiyama （1969）: Some characteristic features of the hearey rainfalls observed over the western Japan on July 9.（part 1），J. Met. Soc. Japan **47**，52−266

4) 二宮洸三・秋山孝子（1979）：豪雨監視のためのレーダーおよび雨量計観測網に基づく雨量分布と雨域移動の客観解析．天気**26**，19−26．

5) 小楠純一（1979）：レーダーおよびアメダスを利用した短時間雨量予報．東京管区地方気象研究会誌，No. 12，102−104.

6) 竹内邦良（1978）：雨域・雨量強度分布変化の短時間予測．第22回水理講演会論文集，161−168.

7) 竹内邦良・田辺　（1981）：赤城山レーダーにより観測された強雨域の特性．第25回水理講演会論文集，183−190.

8) 天龍川ダム統合管理事務所（1980）：天龍川流域降雨予測システム解析報告書.

9) 八木鶴平（1979）：雷雨の等エコー構造と移動方向の関係について，　国立防災科学技術センター研究報告，第**22**号，39−47.

10) 八木鶴平・清野　・小元敬男（1976）：雷雨の等エコー構造と移動方向の関係について．国立防災科学技術センター研究報告，第**15**号，1−8．

11) 吉野文雄（1981）：洪水防御（治水事業の体系，土地利用と治水総合的な治水対策の内容）．第1回防災科学技術セミナー，47−74．

（1981年12月3日　原稿受理）