

レーダ雨量計を利用したニューラルネットワークによる短期流出計算

Flood Runoff Calculation by Neural Networks Using Radar Rain Gauge Data

松島 淳†

四俵 正俊††

Atsushi MATSUSHIMA and Masatoshi SHIDAWARA

Abstract: A surface pluviometer can measure accurate rainfall, but it is difficult to obtain the spatial distribution of rainfall, which is especially important for such a basin as mountainous area, only by ground measurement. The radar rain gauge is not accurate but is good at getting spatial figure of rainfall. To combine these two measuring methods is easy in neural network computation, because it does not require the knowledge of physical relationship between quantities. The results show the improvement of flood estimation at Toyokawa basin compared to the calculation with surface rain data only.

1. はじめに

雨量から流量への過程は極めて複雑で、流域内部の表面・中間・基底流出などの現象とそれらの相互関係については十分に解明されていない。ニューラルネットワークは、動物の神経細胞（ニューロン）を単純な数値モデルで表し、それを多数結合したものであり、単純に入力と出力の関係のみを学習させて解を得ようとするものである。それによって出来るニューラルネットワークは入出力関係をブラックボックス的に表現するため、物理的に明確でない現象でも容易に適用できる特徴を持っている。こういったニューラルネットワークの特徴に注目し、雨量から流量への過程の洪水到達時間や中間流出・地下水流出などの影響を取り入れることを検討する。

また、地上雨量計は地上の正確な測定値を求めることができるが、雨量の空間分布を把握するには難しい面が多い。例えば、雨は山地に多く降るのに対して、観測点は平地に多く山地に少なく、大切な山地の雨量が計測されていないことや、と観測点の隙間に局所的な雨が降る場合などが考えられる。以上のことから、面的な雨量情報が得られるレーダ雨量計を利用することによって流出計算の精度向上を図ることを検討する。

† 愛知工業大学建設システム工学専攻（豊田市）

†† 愛知工業大学 土木工学科（豊田市）観測点

2. ニューラルネットワーク

ニューラルネットワークは、既知の入力-出力セットの学習によってネットワーク内部の定数（重み、しきい値）を調整し、入力から出力を算出するシステムを構築するというものである。

本研究では、雨量という入力値を与えることにより中間層を算出し、さらに出力層を算出するが、この出力値が実測流量である教師データに近づくようにこの間の重み、しきい値といった係数を調整する。これがニューラルネットワークの学習である。そして、この出来上がったネットワークで、学習には用いていない雨量の入力によって流出計算をする。図1にニューラルネットワークの概念図を示す。

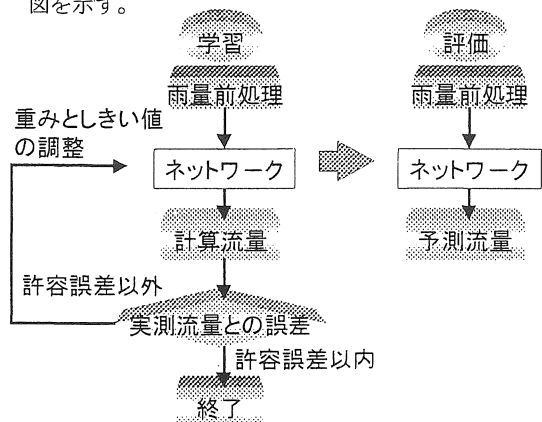


図1 ニューラルネットワークの概念図

3. 解析方法

3. 1 対象流域

図5に対象流域を示す。本研究では豊川石田地点流域(流域面積556km²)を対象とし、流域内の5地点の地上雨量データ、流域内の28メッシュのレーダ雨量データおよび布里、石田地点の流量データを使用した。

3. 2 使用する出水

本研究に使用する出水を表1に示す。計算には1983年から1993年までの8出水を用い、その内の3出水を学習、残りの5出水を評価に用いた。この分け方は336通りあるがそのうちの6通りを解析に用いた。

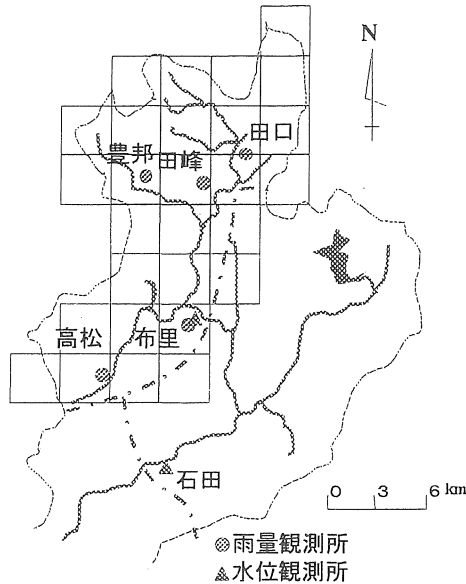


図2 豊川石田地点流域図

表1 出水データ

	年	月	日	時	~	月	日	時	時間	最大流量(m ³ /s)			
①	1983	8	15	12		8	18	23	84	布里	533	石田	1348
②	1988	9	24	0		9	26	23	72		778		1610
③	1989	9	1	12		9	4	17	78		878		1810
④		9	18	12		9	20	20	57		906		1469
⑤	1990	9	17	0		9	20	19	92		1424		2450
⑥	1991	6	22	1		6	26	23	119		196		817
⑦		9	13	14		9	16	23	82		769		879
⑧	1993	7	2	1		7	7	11	131		369		657

3. 3 レーダ雨量データ

本研究で使用するレーダ雨量データは御在所

レーダで観測されたものである。磁気テープから取り出した5分間強度の反射電力値からレーダ方程式により雨量強度を求め、これの1時間平均値をレーダ雨量とする。レーダ雨量値は3km×3kmの直交メッシュの平均値を用いた。式3-1に使用したレーダ方程式を示す。

$$Pr = \frac{C \times F \times B \times R^{\beta} \times \alpha}{r^2} \dots\dots\dots (3-1)$$

ここで、Pr:反射電力値, C:レーダ定数 0.339×10⁻⁷, F:補正係数 0.25, B×R^β:反射強度因子 B=200 β=1.6, α:減衰項, r:御在所から目標までの距離

レーダによる観測は面全体に及ぶが、性質上精度に欠ける。このことからレーダ雨量は地上雨量を補うというかたちで流出計算のインプットデータとした。

3. 4 洪水到達時間

一つ一つのレーダメッシュの洪水到達時間を算定するために、比較的大きな流域で山腹における到達時間が流路における洪水到達時間に比べて無視できるときに使われる Kraven(クラーベン)の式を用いた。表2にKravenの表、式3-2にKravenの式を示す。

表2 流路勾配と洪水の到達速度

S	1/100以上	1/100~1/200	1/200以下
W	3.5m/s	3.0m/s	2.1m/s

$$T_p = L/W \dots\dots\dots (3-2)$$

ここに、S:流路勾配, W:洪水の到達速度(m/s), L:流路長(m), T_p:洪水到達時間(s)

メッシュの平均標高と、メッシュから水位観測所までの流路長から流路勾配を求め、表2から洪水到達速度を決定した。その到達速度から式3-2により洪水到達時間を求めた。この場合、布里から石田までは1.5時間であった。また、本研究で使用した出水データすべてに、布里と石田のピーク流量の発生時に1~2時間の差が現れた事からも裏付けられる。

図3に表1の①の出水の布里と石田のピーク流量の発生時、表3にkravenの式より算定した洪水到達時間を示す。

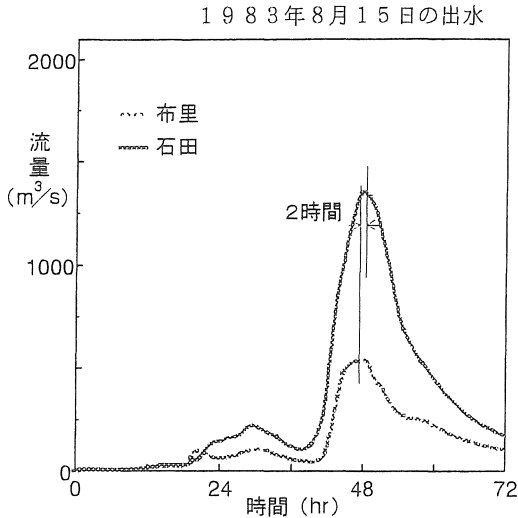


図3 布里と石田のピーク流量の発生時

表3 kravenの式による洪水到達時間の算定

布里～石田	標高差(m)	流路勾配(m)	到達時間(hr)
	143	0.00892	
	流路延長(m)	到達時間(m/s)	1.5
	16030	3.0	

3. 5 入力データの前処理

過去数時間の雨量データをそのまま入力値とするよりも、累加処理を施すことにより計算時間の短縮や予測結果が向上することが解っている。本研究で用いる累加方法は図4に示す従来の6時間累加処理と図5に示すような今回新たに考えた24時間累加処理などで行った。

時間	雨量	累加処理(6時間)
1時	r(1)	r(6)
2時	r(2)	r(6)+r(5)
3時	r(3)	r(6)+r(5)+r(4)
4時	r(4)	r(6)+r(5)+r(4)+r(3)
5時	r(5)	r(6)+r(5)+r(4)+r(3)+r(2)
6時	r(6)	r(6)+r(5)+r(4)+r(3)+r(2)+r(1)
7時	r(7)	r(7)
:	:	r(7)+r(6)
:	:	r(7)+r(6)+r(5)
:	:	r(7)+r(6)+r(5)+r(4)
:	:	r(7)+r(6)+r(5)+r(4)+r(3)
:	:	r(7)+r(6)+r(5)+r(4)+r(3)+r(2)

図4 6時間累加処理

時間	雨量	累加処理(24時間)
1時	r(1)	r(24)
2時	r(2)	r(24)+r(23)
3時	r(3)	r(24)+r(23)+r(22)
:	:	r(24)+r(23)+r(22)+r(21)+r(20)+r(19)
6時	r(6)	r(24)+r(23)+r(22)⋯r(15)+r(14)+r(13)
:	:	r(12)+r(11)+r(10)⋯r(3)+r(2)+r(1)
12時	r(12)	r(25)
:	:	r(25)+r(24)
24時	r(24)	r(25)+r(24)+r(23)
25時	r(25)	r(25)+r(24)+r(23)+r(22)+r(21)+r(20)
:	:	r(25)+r(24)+r(23)⋯r(16)+r(15)+r(14)
:	:	r(13)+r(12)+r(11)⋯r(4)+r(3)+r(2)

図5 24時間累加処理

3-6. ネットワーク

本研究に用いた学習用ネットワークを図6に示す、学習用ネットワークは前回の中間層と教師データを保持する。

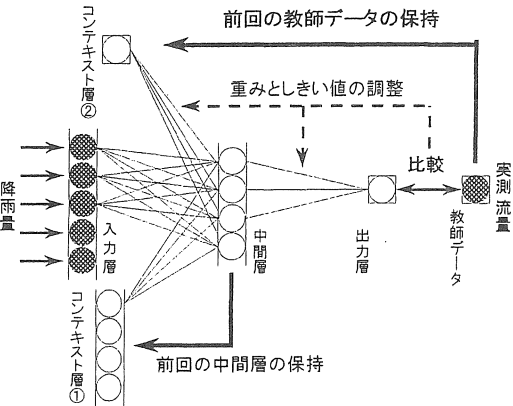


図6 学習用ネットワーク

予測用ネットワークを図7に示す。予測用ネットワークでは教師データの代わりに出力層を保持する。入力層のユニット数は、計算する地点数などによって異なるが、1つの雨量観測地点について6個の累加雨量データを入力とするので、2カ所の雨量観測所のデータを用いた場合には12個、4カ所雨量観測所のデータを用いた場合には24個が入力層ユニットの個数となる。中間層のユニット数は入力層のユニットの半分とし、出力層のユニットは流量地点と比較するため1つとした。

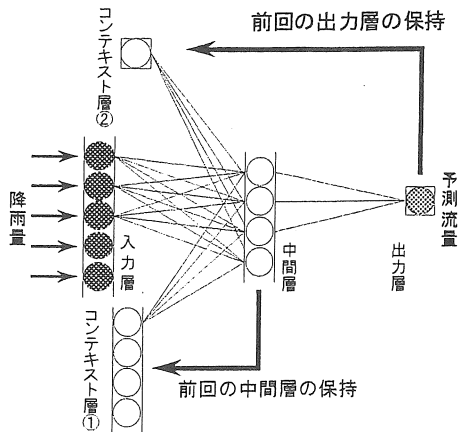


図7 予測用ネットワーク

4. 解析結果

4.1 地上雨量をレーダ雨量で補った場合

まず、流域内の5地点の地上雨量データをすべてを6時間累加処理をし、それを入力としたネットワークを作り布里の流量を予測した。次に5地点の地上雨量にレーダ雨量を補った流出計算を試みた。流域内の28メッシュのレーダ雨量を5ブロックに分け、ブロックの平均値と5地点の地上雨量を入力とした。このブロックの分け方は1つのブロックの中に1地点の地上雨量計が入るようにした。雨量は6時間累加処理をした。地上雨量のみを用いた場合と比較すると、予測精度が向上した。それぞれの評価例を図8に示す。評価例は表1の③の出水で、学習には④⑤⑥の出水を用いた。

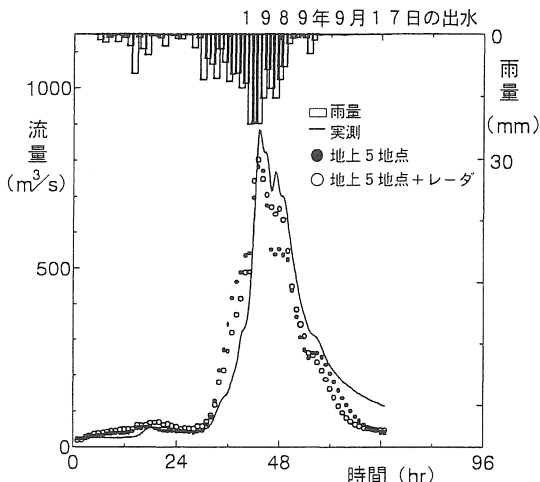


図8 5地点の地上雨量をレーダ雨量で補ったもの

4.2 洪水到達時間を考慮した場合

次に洪水到達時間を考慮することによって流出計算が向上するか否かを検討した。解析方法の3.4により28メッシュすべてのメッシュの重心から布里の水位観測所までの洪水到達時間を算定した。洪水到達時間を考慮した5地点の地上雨量と5ブロックのレーダ雨量を入力とした。雨量は6時間累加処理をした。洪水到達時間を考慮することによって予測精度が向上した。以後の解析には洪水到達時間を考慮することにした。5地点の地上雨量をレーダ雨量でを補ったもので洪水到達時間を考慮したものと考慮しないものとの評価例を図9に示す。評価例は表1の③の出水で、学習には④⑤⑥の出水を用いた。

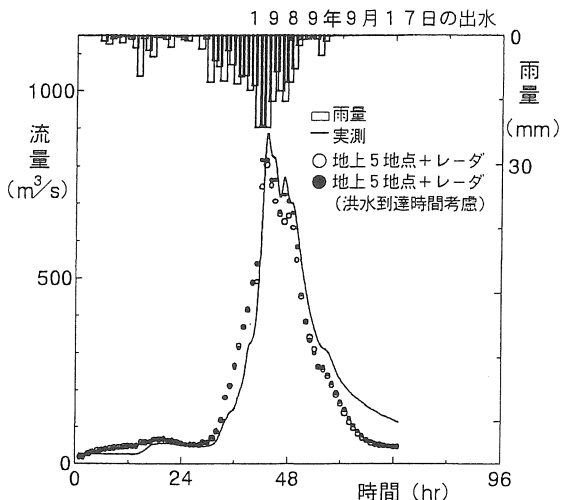


図9 洪水到達時間を考慮したもの

4.3 1地点の地上雨量を考えた場合

この流域内に地上雨量計が1地点だけ設置されている場合を仮定する。これは、流域の大半が急峻な山地で、地上雨量計は河口付近にしか設置できないことを想定している。水位観測所が設置されている布里を考え、布里の1地点の地上雨量をレーダ雨量で補ったものを入力とした。雨量は6時間累加処理をした。その結果、1地点の地上雨量をレーダ雨量で補ったものは5地点の地上雨量のみで計算したものに近い精度が出た。5地点の地上雨量と1地点の地上雨量をレーダ雨量で補ったものとの評価例を図10に示す。評価例は表1の③の出水で、学習には④⑤⑥の出水を用いた。

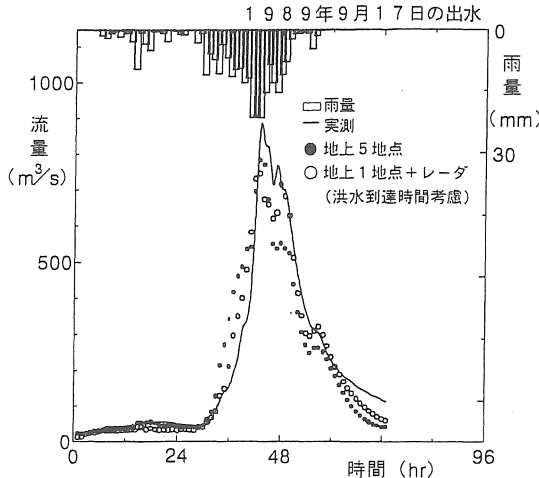


図10 1地点の地上雨量をレーダ雨量で補ったもの

4.4 新しい降雨の前処理の検討

図11は、本研究の解析結果の一つである。この図を見ると、洪水の立ち上がりと減衰をうまく捉えていない。洪水の立ち上がりが大きく出るのは過去の濁水状況を減衰が小さく出ているのは過去の大雨が影響されていないと考えられる。従来の降雨の前処理では降雨量を6時間累加処理という過去6時間までの短い影響時間を考えていたが、今回は降雨の影響時間をより長い時間のものを検討した。

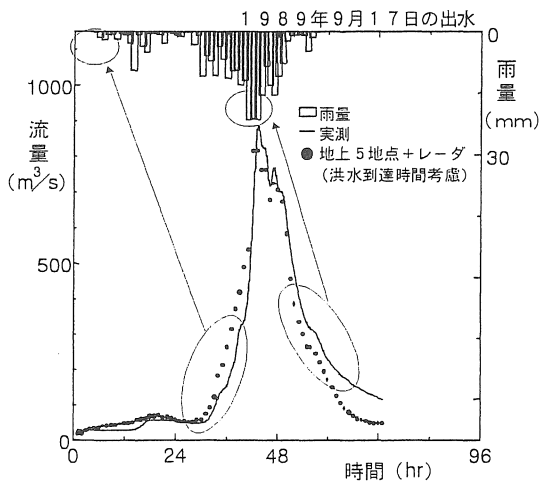


図11 解析結果

4.5 24時間累加処理

洪水の減衰が急になっていることは、雨が降り止んでからの流出、数日前の中間流出・地下水流

出が影響されていないと考え、数日前の降雨を考慮することによって洪水の減衰が緩やかになると考えた。そこで、降雨の影響時間を12、24、48時間と変化させ流出計算を行った。5地点の地上雨量と5ブロックのレーダ雨量を入力とした。影響時間を24時間としたもののがもっとも精度が向上した。影響時間が6時間と24時間の5地点の地上雨量をレーダ雨量で補ったものの評価例を図12-a、図12-bに示す。学習には表1の④⑤⑥の出水を用い、図12-aの評価には表1の③、図12-bの評価には表1の②出水を用いた。

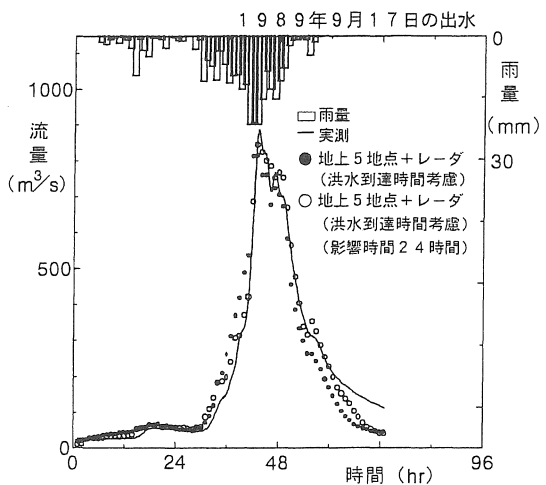


図12-a 影響時間が24時間のもの

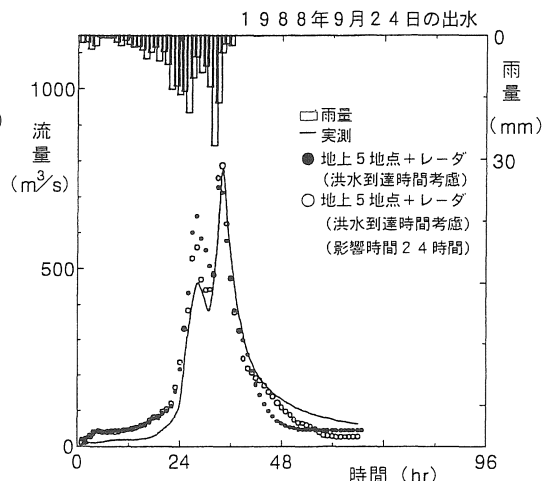


図12-b 影響時間が24時間のもの

5. まとめ

本研究では、解析に地上雨量のみを用いた場

合、地上雨量をレーダ雨量で補った場合などいくつかの解析方法を試みた。8 出水の出水データを3 出水を学習に、残りの5 出水を評価に用い、3 3 6 通りある内の6 通りを解析に用いた。1 通りの解析で5 出水を評価をするので、1 つの解析方法について3 0 個の評価ができた。そして、その予測値の評価に建設省土木研究所で用いられている式3-3と式3-4で定義される波形誤差 Ef およびピーク誤差 Ep を用いて行った。それぞれの計算誤差の平均値を表3に示す。

$$Ef = \frac{1}{n} \sum \left(\frac{\text{予測流量}(t) - \text{実測流量}(t)}{\text{実測ピーク流量}} \right)^2 \dots\dots\dots (3-3)$$

$$Ep = \frac{\text{予測ピーク流量} - \text{実測ピーク流量}}{\text{実測ピーク流量}} \dots\dots\dots (3-4)$$

ここで、n : 時間数、t : 時間

表3 流出予測計算誤差

解析方法	波形誤差	ピーク誤差
地上5地点(影響時間6時間)	0.0189	0.143
地上5地点+レーダ(影響時間6時間)	0.0152	0.137
地上5地点+レーダ (洪水到達時間考慮・影響時間6時間)	0.0146	0.133
地上5地点+レーダ (洪水到達時間考慮・影響時間24時間)	0.0125	0.123
地上1地点(影響時間6時間)	0.0724	0.349
地上1地点+レーダ (洪水到達時間考慮・影響時間6時間)	0.0168	0.171

地上雨量計は1 0 0 km²に1 地点という流域が多いが、本研究の対象流域内には約5 0 km²に1 地点ある。比較的多く地上雨量計が設置された流域でも地上雨量をレーダ雨量で補うことにより流出計算の精度が向上した。

大まかな算定ではあるが、洪水到達時間を考慮することにより、流出計算の精度が向上した。

流域の大半が急峻な山地になっており、地上雨

量計が河口付近にしか設置できない場合を想定した。1 地点の地上雨量をレーダ雨量で補った流出計算を行なったが、比較的良好な精度が出た。

降雨の影響時間を過去2 4 時間にとることにより、流出計算の精度が向上した。6 時間では、地下水流出・中間流出の影響を取り入れることができなかったのではないかと考えられる。

参考文献

- 1)四俣正俊著：ヨーロッパの水害報告, 土木学会 関東支部山梨会, 1995
- 2)木村勝行著：水理学, 愛知工業大学, 1993
- 3)菅原正巳著：流出解析法, 共立出版, 1972
- 4)江川太郎著：河川工学入門, 河川情報センター, 1997
- 5)西原巧著：洪水予報, 全日本建設技術協会, 1976
- 6)土木学会著：水理公式集, p.154, 1983
- 7)建設省土木研究所水文研究室著：レーダ雨量計の観測特性と精度向上に関する研究調査報告書ーレーダ雨量計を利用した流出予測, シミュレータの開発, 1984
- 8)小泉耕著：ニューラルネットワーク 天気, Vol.44,No.1, pp.51-55, 1997
- 9)村井基弘著：流出計算用ニューラルネットワークの学習用データの選択について, 愛知工業大学修士論文, 1995
- 10)岡田晋作著：レーダ雨量を考慮したニューラルネットワークによる流出計算, 愛知工業大学修士論文, 1996
- 11)寺西隆司著：流出解析用ニューラルネットワークにおけるリカレント構造の考察, 愛知工業大学修士論文, 1996

(受理 平成10年3月20日)