

II-7

A I 手法による降雨域追跡の流出予測への適用

北海道大学大学院 学生員 吉武 英樹
 北海道大学工学部 正員 藤田 睦博
 北海道開発局 正員 中津川 誠

1 はじめに

近年の気象レーダ網の整備にともない、レーダ情報を用いた降雨量の予測に関する研究が精力的に進められている。レーダによる観測資料は、2次元の情報であり状況を面的に捉えることが可能である。著者ら¹⁾は、その特徴を活かし、ニューラルネットを用いた降雨予測を行ってきた。ニューラルネットは、脳神経の情報処理をモデル化したもので、学習能力がありパターン識別に優れている。本研究では、ニューラルネットを用いて、気象レーダにより得られた面的なデータの経時変化をパターンとして学習し、降雨域を追跡する。本手法は、力学的にモデルを構築し降雨域を追跡するものに比べ同定すべきパラメータの数が少なく、その計算時間から実用的な手法といえる。一方、朱ら²⁾の研究によると流域面積100~200km²程度において流出予測を行う際、予測降雨量を全く用いない場合その最大リードタイムは、ほぼ3時間であった。そこで、今回は、予測降雨量を用いて、流出予測の最大リードタイムの精度を高めることを目的とする。流出予測においても降雨と流出の複雑な関係を過去の情報を学習することにより、予測可能となるニューラルネットを用いる。特に、誤差を含んだ予測降雨量を扱うためファジィ・ニューラルネットを用いた。また、レーダ情報としては、北海道開発局により運用されている道央レーダにより得られた観測資料を用いた。

2 降雨予測

2-1 使用データ

道央レーダは、図-1に示すレーダサイトを中心に半径120kmを定量観測範囲とする降水観測レーダである。このレーダにより得られるデータは、半径方向に3kmづつの同心円を128個に分割したメッシュ情報であり、5分間隔のデータである。流出予測の際に扱い易くするために、得られたデータは降雨量に換算して用いた。降雨予測にあたり、1993年10月24日0:00~10月26日12:00のデータを使用した。計算対象領域は、図-1に示す小樽内流域を含む60km×60kmとする。極座標を直行座標に変換し、1メッシュを2km×2kmとしているので、計算領域は、30×30メッシュである。予測降雨量を流出予測に用いることから、対象領域を図-2に示すように移動平均し、6×6メッシュ(42km×42km)の範囲とする。対象とする流域における雨量を把握し、流出予測に適用するためである。移動平均後の1メッシュがほぼ流出予測の対象流域となる。

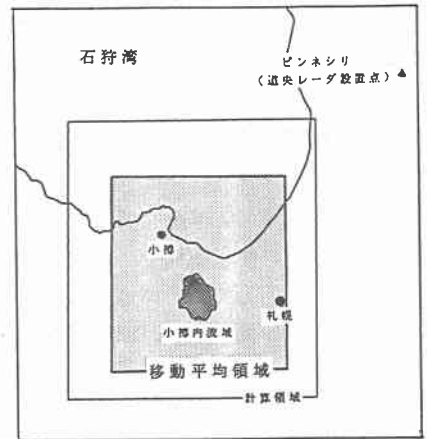


図-1 計算領域 (60km×60km) とレーダーサイト

2-2 ニューラルネットの構成

処理したデータの1メッシュをニューラルネットの1ユニットに対応

Runoff forecasting using weather radar based on AI method
 by Hideki YOSHITAKE, Mutuhiro FUZITA and Makoto NAKATUGAWA

させる。よって1シーンは6×6ユニットから構成される。入力層は、連続する8シーン(24×24ユニット)とした。出力層は、連続する4シーン(6×24ユニット)とした。これは、過去のデータの連続するパターンから、大まかな流れを捉えることにより将来のデータ4シーンを予測しようとするものである。このことにより実測データのみによって数シーン先の予測が可能となる。中間層は、種々の計算より1×24のユニットとした。また、各層間のユニット間の結合状態は、完全結合とした。ニューラルネット構成図を図-3に示す。



移動平均前 (30×30メッシュ) 移動平均後 (6×6メッシュ)

図-2 移動平均

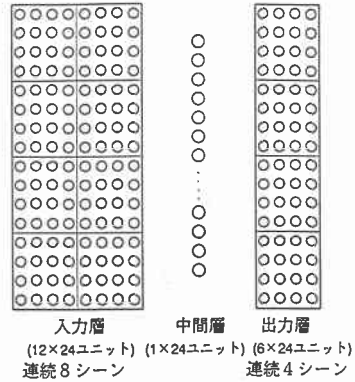


図3 ニューラルネットの構成

2-3 教師信号

大まかな流れを捉えるために、データの時間間隔を15分とした。これは、表-1より誤差が最小となった。今回のニューラルネットにおいて、10分間隔のデータではパターンが細かくなりすぎ誤差が大きくなった。ニューラルネットの構成から、過去2時間を入力し将来1時間を出力することとなる。表-2に示すような2組の入出力関係を教師信号とする。計算にあたり、シグモイド関数のuの値はu=1.2とした。また、学習効率eは、e=0.5とした。これは、学習誤差の収束性がよいためである。学習誤差は500回とした。収束状況を図-4に、再現結果を図-5に示す。

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(x/u)}$$

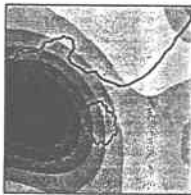
表-1 予測データと実測データとの誤差比較

予測時間		誤差
10分間隔	12:30	87.317001
	12:40	119.892734
	13:00	112.832138
	13:20	71.023514
15分間隔	12:30	55.086372
	12:45	113.007197
	13:00	77.956299
	13:15	68.192575
20分間隔	12:30	74.414574
	13:00	135.002104
	13:30	135.133374
	14:00	51.628677
	14:00	187.087643

(ここでの誤差とは、1メッシュ当たりにおける誤差の平均とする。)

(実測)

19:15



19:30



19:45

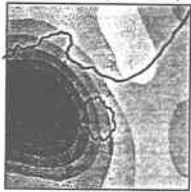


20:00



(再現)

19:15(Eluc)



19:30(Eluc)



19:45(Eluc)



20:00(Eluc)



図-5 再現状況

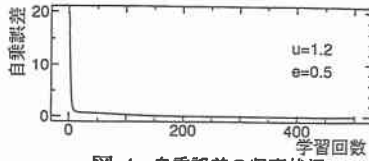


図-4 自乗誤差の収束状況

表-2 入出力関係例

組	入力データ	出力データ
1	17:15, 17:30, 17:45, 18:00, 18:15, 18:30, 18:45, 19:00	19:15, 19:30, 19:45, 20:00
2	18:15, 18:30, 18:45, 19:00, 19:15, 19:30, 19:45, 20:00	20:15, 20:30, 20:45, 21:00

2-4 予測

学習後のネットワークに実測データを入力し、予測データを出力する。この結果の一部を図-6に示す。併せて予測精度（実測データと予測データの自乗誤差の累計を誤差とする）を示す。ここで、流出予測に適用することから、その対象領域における予測値と実測値との相関を30分予測、45分予測、1時間予測の3ケースについて調べた。図-7に示すように必ずしも良い相関とは言えないが、30分予測と45分予測において回帰直線付近への集中度が高い。しかし、流出予測への適用にあたり1時間先の降雨予測が必要である。よって、45分予測を1時間予測とみなし流出予測を行うことにする。

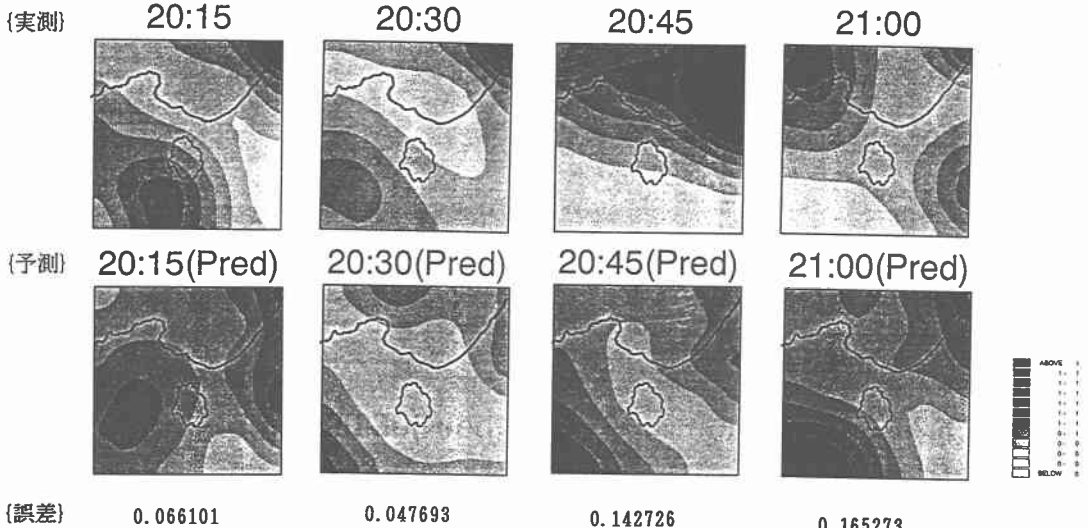


図-6 予測状況

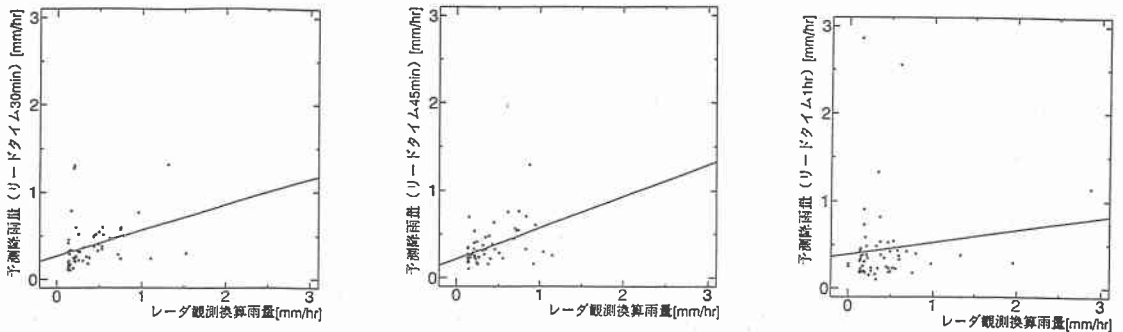


図-7 相関図

3 流出予測

3-1 対象流域

図-1に示す札幌近郊の小樽内流域（流域面積約69km²）において流出予測を行う。定山溪流域（流域面積約104km²）に含まれるこの流域は定山溪流域とほぼ等しい流出特性を示す。比較的小流域であるため雨量と流

出との応答が良好である。よって雨量と流出変化量との時間差（タイムラグ）を1～2時間とする。一方、朱らの研究においては、流域面積約229km²を対象領域としている。このため雨量と流出量とのラグは、3～4時間であり、予測最大リードタイムは3～4時間であった。このことから本研究における最大リードタイムは、1～2時間と予測できる。したがって、リードタイム3時間での予測降雨量による影響を検討する。

3-2 ファジィ・ニューラルネット

ニューラルネットを用いて過去の洪水を学習することにより流出予測を行う。これは、複雑なモデルの構築を必要とせず、流出予測を可能とする手法である。本研究における教師入出力関係は、雨量と流量変化量を入力とし、流量変化量を出力するものとする。リードタイムの長い予測をしようとする、雨量、流量変化量ともに予測値が必要となる。このとき誤差を含んだデータを扱わねばならず、ファジィ理論のメンバーシップの概念を応用する。ファジィ数を実数ベクトルに変換するという前処理を行うことでニューラルネットの学習アルゴリズムが使えるようになる。本研究で用いるファジィ・ニューラルネットの概念図を図-8に示す。メンバーシップ関数において、 $dR=0.1$ 、 $d\Delta Q=0.1$ とした。このようにメンバーシップ関数のグレードを6つに分割し、そのグレードにおける上限値と下限値をセットの実数ベクトルとして扱う。中間層は、種々の計算より1×48のユニットとした。また、雨量関連のユニットと流出変化量関連のユニットとは結合しないものとした。

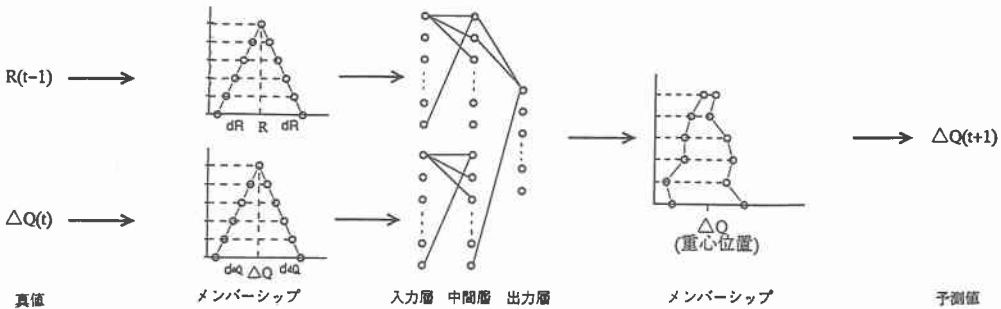


図-8 概念図

3-3 教師信号

対象領域の流出特性を考慮して、システム方程式を以下の2ケースとする。

$$\Delta Q(t) = f\{R(t-1), \Delta Q(t-1)\} \quad \text{----- (1)}$$

$$\Delta Q(t) = f\{R(t-2), \Delta Q(t-1)\} \quad \text{----- (2)}$$

これに従い、1992年9月25日0:00～1992年9月27日12:00の洪水を教師信号とした。このとき降雨量Rは、降雨予測で示したものと同様の処理を施したレーダ換算雨量を用いた。ハイドログラフと再現状況を図-9に示す。変化量も扱うためシグモイド関数を以下のようにし、区間(-1, 1)を取る関数とした。種々の計算より $u=2.0$ とした。学習効率 e は、 $e=0.01$ で学習回数は20000回とした。このときの学習状況を図-10に示す。

$$f(x) = \frac{2}{1 + \exp(x/u)} - 1$$

3-4 予測

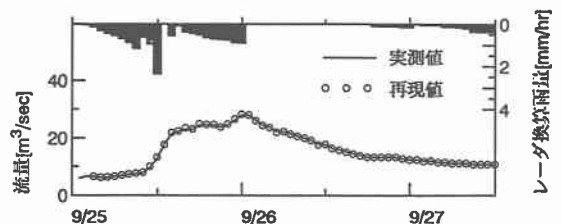


図-9 教師ハイドログラフと再現状況

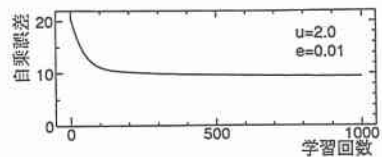


図-10 自乗誤差の収束状況

学習後のネットワークに実測データを
入力し予測データを出力する。1993年10
月24日0:00～1993年10月26日12:00の洪水
データを予測に用いた。リードタイムを
長くすると予測データが必要となる。予
測値を入力する際には、 $dR=0.3$ とする。
これは、図-7の相関図に示した区間の幅
(予測の曖昧さ)とほぼ等しいものであ
る。入出力関係を表-2に示す。なお、予
測された流出変化量のメンバーシップ関
数の重心位置を予測値とした。予測結果
を図-11に示す。システム方程式(2)の場
合、リードタイム3時間において、予測
降雨量を用いないcase1では、予測値の
時間的なずれが確認された。しかし、ca
se2では、予測降雨量を用いることによ
りそのずれが緩和される効果が認められ
た。これは、システム方程式(3)のリード
タイム2時間においても同様の効果が確認
された。case1とcase2において実測値と
の誤差を比較したものを表-4に示す。

表-3 入出力関係

リードタイム	入 力	出 力
1	$R(t-1)$	$dQ(t)$
3	$R(t-1)$ $R(t)$ $R(t+1)$	$dQ(t)$ $dQ(t+1)$ $dQ(t+2)$ $dQ(t+3)$

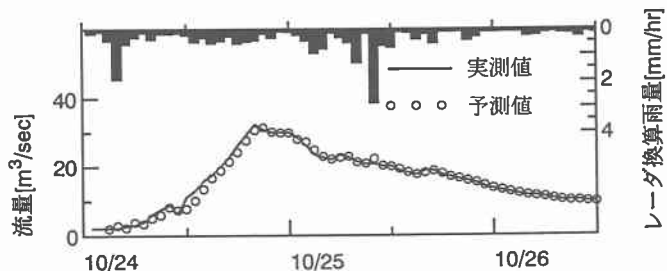


図-11(1) システム方程式(1)による予測 (リードタイム 1hr)

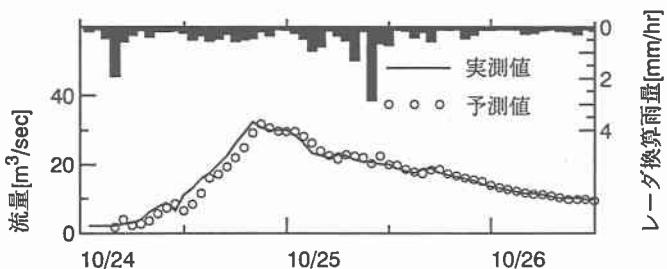


図-11(2) システム方程式(1)による予測
(予測降雨量なし リードタイム 2hr)

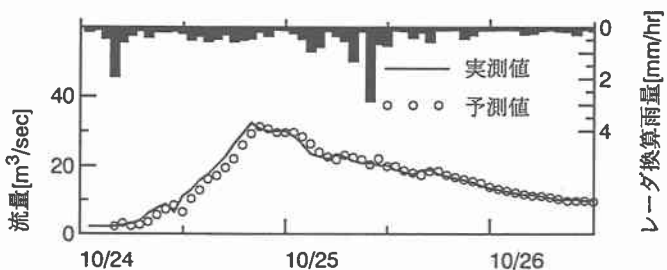


図-11(3) システム方程式(1)による予測
(予測降雨量有り リードタイム 2hr)

表-4 自乗誤差比較

	システム方程式(1)	システム方程式(2)
リードタイム 1	4.444747	3.148000
2	case1) 8.752031 case2) 7.062332	4.947172
3	—	case1) 12.811049 case2) 9.856914

4 まとめ

降雨予測において連続するシーンを入出力とすることにより、20～30分であった最大リードタイムを30～45分に延長可能となった。連続するシーンの時間間隔は15分が最良であった。一方、流出予測においては、山地河川の小流域を対象領域としたためにその最大リードタイムは2時間であった。また、流出予測のアルゴリズムが、流出変化量の予測値を用いてリードタイムを長くするものであるため、リードタイムが長くなるにつれ予測値は実測値と時間差を生じる。しかし、予測降雨量を用いることにより、この時間差を軽減することが可能となった。今回、対象流域が小さく降雨と流出量との時間差（タイムラグ）がそれほど長くないために、この効果は顕著でない。しかしシステム方程式(1)より(2)というように降雨と流出量との時間差（タイムラグ）が大きくなるにつれその効果は大きくなる。今後は、この効果について大、中流域において比較、検討する予定である。

謝辞) 本研究では、北海道開発局よりレーダ情報を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献：

- 1) 藤田陸博・吉武英樹・中山恵介・中津川誠、「AI手法を用いたレーダエコーの追跡」水文・水資源学会1994年研究発表会要旨集、pp. 40-41、1994年8月。
- 2) 藤田陸博・朱木蘭・橋本識秀、「ファジィ・ニューラルネットを用いたリードタイムの長い流出予測」土木学会北海道支部論文報告集第50号、pp. 382-387、1994。
- 3) 石渕久生、「ファジィ入力とファジィ出力をもつニューラルネットワーク」日本ファジィ学会誌vol. 5 No. 2、pp. 218-232、1993。

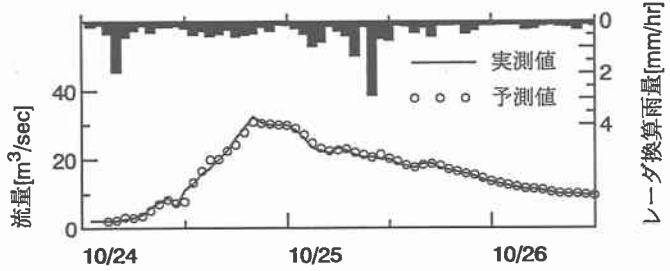


図-11(4) システム方程式(2)による予測 (リードタイム 1hr)

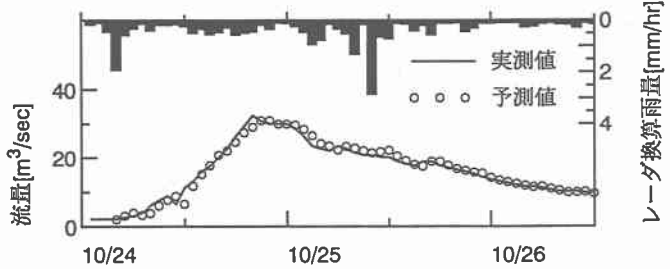


図-11(5) システム方程式(2)による予測 (リードタイム 2hr)

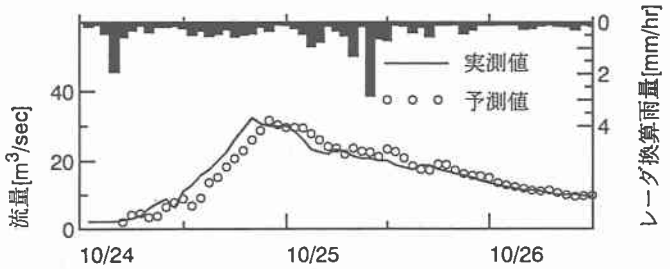


図-11(6) システム方程式(2)による予測
(予測降雨量なし リードタイム 3hr)

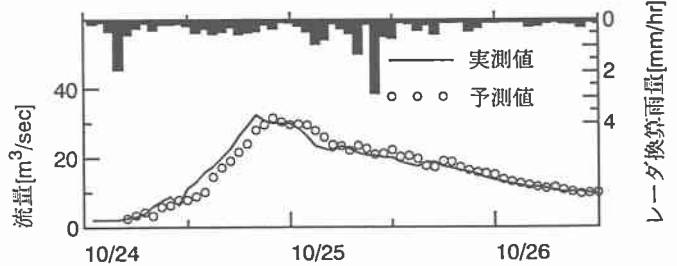


図-11(7) システム方程式(2)による予測
(予測降雨量有り リードタイム 3hr)