

IV-35

ファジィニューラルネットワークを用いた都市環境診断法の研究
—水害危険度評価を例として—

北海道大学環境科学研究科	学生員 静野潤一
同上	正 員 加賀屋誠一
同上	正 員 山村悦夫

1 はじめに

近年、都市環境は人口、資産そして情報等の集中により、ますます複雑、多様化してきている。それにと
もない、そうした状況の下で起こる環境問題や災害も同様に複雑なものとなってきており、ひとたび災害が
発生すると、その被害は甚大なものとなる。そこで、そうした被害を少しでも抑えるために都市が現在どの
程度、ある災害に対して脆弱なのかを把握すること、即ち都市の健康状態を知り、さらにそこでわかった脆
弱な箇所を改善して行く必要性が出てくる。

そのためには、複雑で変化の速い都市環境にそぐうように様々な環境要因を考慮した総合的で簡便かつ正
確さを持った評価システムの開発が望まれる。

そこで、本研究では都市災害の一例として都市型水害を取り上げ、その危険度（脆弱性）の評価を検討し
ていく。

これまで行われてきた水害発生予測では、不規則な降雨パターンを仮定の中に含む必要があるなど計算が
煩雑になり、さらにその予測範囲は面的なものとして表れ実際の水害、特に都市域によく見られる様な中小
規模の飛び地的な部分をうまく再現するのが困難であった。そしてまた地域特有の特質は、あまり考慮され
ずに予測が行われてきた。

ここではそうした点を少しでも解消するよう、国土数値情報などのメッシュデータを利用し、そこから得
られた種々の環境要因を、人間の脳の情報処理システムのアナロジーとして考えられている、ニューラルネ
ットワークモデルを用いて、対象地域の水害に対する危険度（脆弱性）の評価を試みていく。

対象地域としては、過去に幾たびか水害を経験しているにもかかわらず、市街地が拡大し、今なお都市環
境の変化している石狩川下流域札幌市東北部、および石狩町を選んだ。

2. ニューラルネットワーク

2. 1 ニューラルネットワーク

人間の脳は有機的な閾値論理素子を単位とした大規模な並列分散処理システムである。ニューラルネット
ワークモデルは、このシステムを手本に考えられたモデルであり、それは、ユニットと呼ばれる自律的なプ
ロセッシングエレメント（頂点）とそれらをつなぐ数値的な荷重の加わったコネクション（辺）からなる。
ニューラルネットワークの最も大きなポイントは、自己学習機能を持つという点である。つまりある目的に
向かって合目的的にユニット間をつなげるコネクションの荷重を調節していくことであり、このことによ
ってニューラルネットワークモデルは、汎用性の高いモデルとなっている。

ニューラルネットワークは、HopfieldやHammingのネットワークに代表される相互連結型ネットワークと、
Perceptronのネットワークに代表される階層型ネットワーク大別される。

A Study on Urban Environmental Diagnosis Using Fuzzy Neural Networks

—The Case of Flood Damage Assessment — by Junichi SHIZUNO, Seiichi KAGAYA and Etuo YAMAMURA

2. バックプロパゲーション

バックプロパゲーション法は一般のニューラルネットワークモデルに適用できる誤差補正型のアルゴリズムであり、一般化デルタルールとも呼ばれている。ここではそれを、階層型ネットワークに適用した場合を述べる。

いま3層構造のニューラルネットワークモデルと考えると、第1層が入力層、第2層が中間層そして第3層が出力層になる。

各層の各ユニットは多入力1出力の素子であり今、出力層の k 番目のユニットに対する入力の総和を S_k 、出力を O_k 、中間層の i 番目の出力を Y_i 、ユニットの応答関数を f とすると、ユニットの入出力関係は、以下の様になる。

$$O_k = f(s_k) \quad (1)$$

$$S_k = \sum_i V_{ki} Y_i + \theta_k \quad (2)$$

ここで、 V_{ki} は出力層の第 k ユニットと中間層をつなぐコネクションの結合荷重、 θ_k はオフセット値である。この時の応答関数には、次の関数

$$f(x) = 1 / \{1 + \exp(-x/u_0)\} \quad (3)$$

が用いられる。これはシグモイド関数と呼ばれる関数で u_0 は、その関数の応答の感度を変化させるパラメータである。

多層構造の階層型ネットワークの場合、入力層に入力パターンを与えるとこのパターンは、次々と順方向に各層間を流れて行く。そしてその都度、上記のような応答関数と結合荷重による変換を受け、最後に出力層より出力パターンとして出力される。

バックプロパゲーション法では、この階層型ネットワークにその都度、望ましい変換パターンを提示することでネットワークは、合目的的に学習を行うことができ各層間のユニットをつなげる結合荷重を適切な値に設定することができる。

実際には、入力パターンに対する望ましい出力パターンを与え、これを教師信号として実際の出力パターンとの二乗誤差が、極小化されるように学習して行く。したがって誤差の流れは、出力層での誤差からスタートしその後、入力パターンの流れとは逆方向に順次中間層をさかのぼって行く。

修正の方法は、以下の通りである。

今、出力層 k ユニットで教師信号 T_k と実際の出力値 O_k の二乗誤差の関数として

$$E = \sum (T_k - O_k)^2 / 2 \quad (4)$$

を誤差関数と考え、これを最小化する用に荷重を調整しようとするれば、 E を O_k で微分すると

$$T_k - O_k = d^k \quad (5)$$

が得られ修正量として

$$\delta V_{ki} = \eta d^k O_k (1 - O_k) Y_i \quad (6)$$

が出てくる。ただしここで η は定数。

しかし実際には、収束をよくするために学習ステップの前段階の修正量を考慮した次式のモーメント法が用いられている。

$$\Delta V_{ki}(t) = \delta V_{ki} + m \Delta V_{ki}(t-1) \quad (7)$$

さらに学習が進につれて誤差項 δV_{ki} の挙動をおさえるためモーメント係数も学習ステップによって変化させる下のような修正モーメント法も用いられている。

$$\Delta V_{ki}(t) = \delta V_{ki} + m(t) \Delta V_{ki}(t-1) \quad (8)$$

$$m(t) = m(t-1) + \alpha \quad (9)$$

なお入力層と中間層の間の結合荷重の調整も上と同様である。

3 水害危険度評価への適用

3. 1 対象地域

対象地域である札幌市並びに石狩川下流域では、昭和50年及び56年に大規模な氾濫の被害を受けている。

昭和50年8月22日から24日にかけて台風6号崩れの低気圧によって石狩川流域全体域にわたって150～200mmの降雨を記録。石狩、空知管内でも石狩川が溢水、死者3名、浸水面積27,336ha、耕地流失および冠水36,250haの被害を被った。同様に昭和56年8月3日から6日にかけては、前線と台風12号の影響により170～400mmの降雨を記録。死者2名、浸水面積55,821ha、田畑流失および冠水面積合計73,973haの被害を、続けて同23日にも台風15号により死者1名、床上、床下浸水計6,439戸、田畑流失および被害面積合計4,257haの被害を被った。

これらの浸水地域について、石狩川開発建設部は洪水の直後に行った現地調査、航空写真、及びアンケート調査の結果などに基づいて、その氾濫実績状況を5万分の1縮尺の地形図上にその範囲を表示している。

昭和56年の大規模氾濫実績図を図1に示す。

3. 2 適用例

○メッシュデータ

本研究では、入出力データに国土数値情報などのメッシュデータを用いて各メッシュ単位（500mメッシュ）で水害に対する危険度を推測する。メッシュの総数は、500mメッシュで2400個である。ここでは、まずこれらのメッシュデータを学習用データと非学習用データの2つに分類し、学習用データによって当該地域の水害危険度評価モデルを作成し、その後、非学習用データを用いて危険度評価モデルの妥当性を調べるものとする。

まず入力層の各ユニットをそれぞれ地形要因、表層地質要因、土壌要因、標高要因、起伏量要因、最大傾斜要因、最小傾斜要因と考え、それらのアイテム中のカテゴリーをそれぞれ0から1の値に規格化し入力する。

規格化は、表1と表2に示すように地形、表層地質、土壌については、昭和50年と昭和56年の水害データから（浸水メッシュ数）／（総メッシュ数）で表す。標高と起伏量については、10m以上を0.0とし9m～10mを0.1、8m～9mを0.2、以下0.3、0.4、0.5、…、1.0と続けて行く。傾斜量についても同じ要領で規格化を行った。また出力層での教師信号として氾濫実績図から

表 1 地形要因の規格化

地形分類	
三角州低地	0.7
自然堤防砂州	0.3
扇状地性低地	0.1
その他	0.0

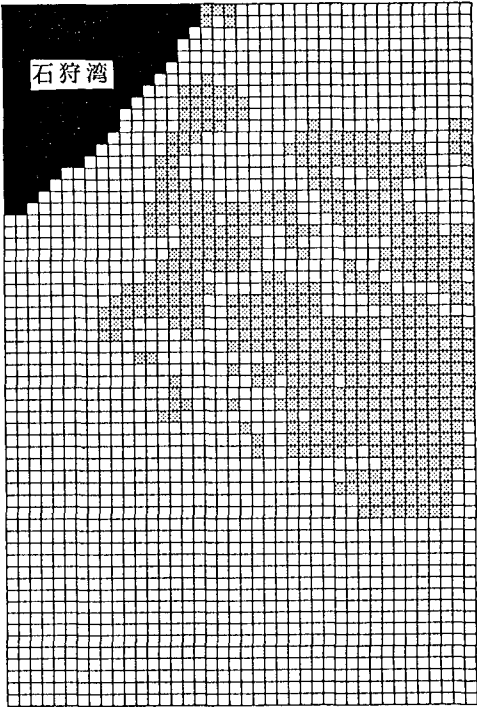


図1 昭和56年氾濫実績図

基準メッシュに落とした各メッシュの50年、56年の洪水による氾濫経験の有無を1、0 で表しデータとして与えた。

○階層型ニューラルネットワーク

ここでは中間層は、1層のみの3層型ニューラルネットワークモデルを採用した。中間層のユニットの数は、2個の場合と3個の場合で行った。各コネクションの結合荷重、並びにオフセット値は乱数で初期設定しスタートする。初期値をこのようにランダムにセットすることは、それぞれのユニットの機能分化を促進するために必要である。

学習用データメッシュは、任意に抽出した20個から100個の間で数種類、変化させて学習演算を行った。なお実際の修正計算には修正モーメント法を用いた。

○結果

表4に一例として学習用データメッシュ数70、中間層ユニット数2個の場合の各ユニット間の結合荷重の値を示す。これを見ると中間層ユニットから出力層ユニットの結合荷重が負の値を取っている。そのため入力層から中間層においては、結合荷重が小さいほどそのアイテムが出力層ユニットの正の出力に大きく貢献してくると思われる。すなわち標高要因、土壌要因が大きく影響を与えていることがわかる。

上述の方法で求められた結合荷重とオフセット値を持ったニューラルネットワークを用いて非学習用データを含めた全メッシュで順方向の計算でシュミレーションした結果を図2、図3に示す図2は、中間層ユニット2個、図3は3個の結果である。

表 4 結合荷重 入力層→中間層

	標高	最大傾斜	最小傾斜	起伏量	地形	表層地質	土壌
NO 1	-13.25	0.89	-0.28	1.08	-2.94	-1.44	-7.59
NO 2	-9.82	2.12	0.09	-0.01	-1.15	-2.75	-3.47

中間層→出力層

NO1	NO2
-11.81	-8.35

表 2 表層地質の規格化

表層地質分類	
粘土	0.7
泥炭	0.5
砂	0.3
礫砂	0.1
その他	0.0

表 3 土壌分類の規格化

土壌分類	
高位泥炭	0.8
灰色低地土壌	0.6
褐色低地土壌、細粒グライ土壌 くろぼぐ土壌	0.5
細粒灰色低地土壌、低位泥炭土壌 湿性砂丘未熟土壌	0.4
中間泥炭土壌	0.3
粗粒グライ土壌、粗粒灰色低地土壌 褐色森林土壌	0.2
粗粒褐色土壌、灰色台地土壌	0.1
その他	0.0

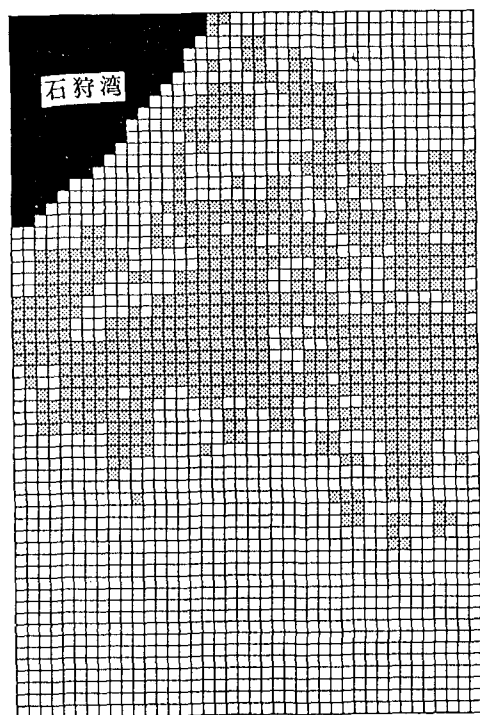


図2 中間層ユニット2個の時の予測結果

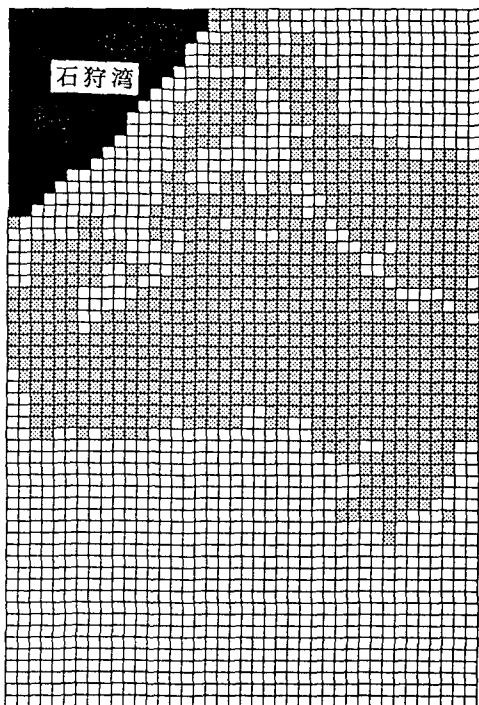


図3 中間層ユニット3個の時の予測結果

5. まとめ

本研究では、ニューラルネットワークモデルを用いて都市域における水害の危険度評価を行ったが、その結果、市街地近郊の住宅地などで再現性があまりよくない。これらの地域に共通して言えることは、住宅地の増加など土地利用の高度化にともなう表層地面の舗装率の上昇、下水道施設の完備などであり、土地に対して高度に人間の手の加わった地域であるというこである。こうした社会的要因が自然要因に強く作用したために、自然要因のみを中心に考えた前述のモデルでは、水害危険度の評価には、限界があると考えられる。

まえがきで述べたように都市水害の特色は、飛び地状に見られる点的な被害部分である。今回用いた自然要因は比較的、連続的な面状に連なっているが、先に挙げた社会的要因はスプロールという言葉が示すように不規則に虫食い状に現れる場合がある。したがって、こうしたことが飛び地状の水害発生に大きく影響を与えていると思われる。

以上のような点からも水害の再現性をよくするためには、やはり河川改修率や下水道整備率などの社会的要因も取り込み、自然要因との相互作用をうまく表現できるモデルを作成しなければならない。そのためには知識ベースの整理が必要であり、要因自体の階層化、メタ知識層の提示をおこなうことで自然要因と社会的要因が、複雑に絡み合った因果の糸を少しでも解いて災害の構造を浮きあがらせることができるものと考えられる。

またこのモデルの入出力層ユニットのアイテムを変えることで他の災害あるいは、環境問題にも広く応用できるであろう。

最後に今回のニューラルネットワークモデルでは、入力データに1,0の二値的な数値でなく、多段階的な数値を代入した。これは、そのアイテムへの属性をファジィグレードで表現していることに他ならない。このことから特に測定誤差を含んだものや主観的な要素を多く含んだ数値化しにくいものなど、あいまいで質の

悪いデータを取り扱わなければならない問題に対して有効であるといえる。

今後は、IF～then…形式のプロダクションルールとの組合せにより、更に柔軟なシステムの構築を考えている。

なお本研究を行うに際して北海道大学の宮田譲先生と太田充先生から貴重な御助言いただいた、末筆ながらここに深く感謝の意を記すものである。

(参考文献)

- (1)国土庁調整局、建設省国土地理院：国土情報シリーズ2「国土数値情報」 1987
- (2)水谷：「防災地形」古今書院 1982
- (3)中野、飯沼、ニューロンネットグループ、桐谷：「ニューロコンピュータ」技術評論社 1989
- (4)林、中井：ニューラルネットワークを用いたファジィプロダクションルールの自動抽出 第5回ファジィシステムシンポジウム 1989
- (5)高木、采原、後藤、中西：ニューラルネットワークを用いたファジィ制御 同上
- (6)Osherson, Smith: 「Thinking」 MIT Press 1990
- (7)エド・リーマン：「ニューラルネットワークの設計」啓学出版 1989
- (8)平野、加賀屋、山村：メッシュデータを用いた都市化地域の水害危険度評価法 土木学会北海道支部論文報告集第44号 1989
- (9)麻生：「ニューラルネットワーク情報処理」1988