

中小河川河口感潮域における塩分変動特性

遠 藤 健*・田 中 仁**

近年感潮域の自然環境を保全しようとする動きが強まっており、それに関連した様々な調査が広く行なわれている。宮城県七北田川においては、河川改修によりタイダルプリズムが増加し、河口部に位置する蒲生干潟の生態系との関連が議論されている。そのため、七北田川感潮域において塩分変動特性の調査を行なう必要がある。本研究では七北田川感潮域で塩分に影響を与えている外力を決定し、それら外力と塩分のデータを用いてニューラルネットワークによるシミュレーションを行なった。その結果、塩分変動と各種外力の関係を定量的に示すことが出来た。また、感度分析により、各外力の塩分変動への寄与率に関する検討を行った。

1. はじめに

感潮域では河川からの淡水と海からの塩水が混合し、加えて様々な外力の影響を受けることによって、塩分が時間的・空間的に大きく変化している。そのため多種多様で独特な生態系を有している。近年このような感潮域の貴重な自然環境を保全しようとする動きが強まっており、自然環境の変動機構を理解するための調査が広く行われている。

感潮域において、何らかの人間活動や自然の外力の影響により海からの侵入塩水量が変化すると、河口部の生物・環境に大きなインパクトとなることが予想される。田中・山本 (2000) により、宮城県七北田川では近年の河川改修工事により感潮面積が増加することで、隣接する蒲生干潟において底生生物の優占種が耐塩性の高い種に変化した可能性があるという報告がされている。蒲生干潟は、全国でも有名な渡り鳥の飛来地であり市民の憩いの場所ともなっている。しかし、近年七北田川河口からの砂の侵入や侵入塩分量の上昇などによる環境面での悪化がみられ、環境省の「自然再生事業」の対象地区となり検討が始まっている。このような背景から、七北田川感潮域において塩分変動特性を定量的に調べるなど、塩分侵入対策等の検討に必要なデータを取得する必要がある。過去七北田川河口部の塩分分布を詳細に研究したものに上原 (1984) のものがあるが、それは河川改修工事以前のものであり、最新の調査が必要とされている。

本研究では、塩分変動に影響を与えている因子 (支配外力) に注目をし、外力の塩分変動への影響を定量的に評価することを目的とした。

2. 研究対象地域

本研究の対象河川は宮城県仙台市北部を流れる七北田川 (幹川流路長 45 km, 流域面積 229 km², 二級河川) である。その中でも研究の対象として、図-1 に示した河口

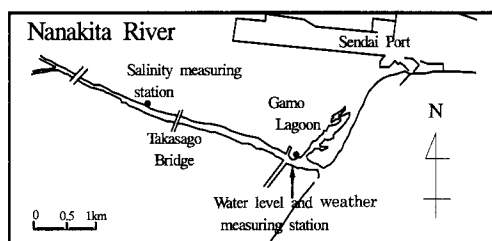


図-1 七北田川感潮域

から約 4 km 上流までの感潮域に着目している。河道は東南東方向にほぼまっすぐ伸びており仙台湾とつながっている。河口から約 4.2 km 上流では、河床が凸状に急に浅くなっていることで、この地点より上流への塩水の侵入がおおよそ阻止されている。河口部左岸側で隣接する蒲生干潟とは狭い水路を通して水の交換が行なわれており、感潮域内の変化は蒲生干潟にも影響を与えている。

3. 観測データ

今回用いたデータの取得方法と詳細を示す。

i) 塩分データ

河口から約 3 km の地点 (図-1 参照) に塩分計 ((株) アレック電子, MDS-T) を河川上層と中層の 2 カ所に河床から固定して設置し、固定点における塩分・水温の時系列データを取得した。2 つのうち上層の塩分計が塩分の変動をよく捉えていたので今回は上層のデータを用いている。

ii) 風速データ

河口から約 0.5 km の地点に設けてある気象計 (DAVIS, Weather monitor II) によって得た。値は 30 分平均の値となっている。

iii) 河口幅

河口から約 200 m 地点に設置した固定カメラで 1 時間おきに撮影された写真の河口幅を、河口内水位と河口部斜面の傾きから補正し、T.P.0 m 時の幅へと変換した値を用いた。写真が撮影できない時間などのデータは線

* 正会員 修(工) 大成建設(株) 土木技術部海洋設計技術室

** 正会員 工 博 東北大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻

形補間で補っている。

iv) 潮位・波浪・河川流量データ

これらのデータは関係機関より取り寄せている。潮位と波浪のデータについては、七北田川河口からほど近い仙台港における実測潮位と有義波高データを使用しており、流量は仙台市泉区市名坂における観測水位から流量へと換算した値を用いている。

4. ニューラルネットワークによるシミュレーション

(1) ニューラルネットワーク

ニューラルネットワークとは脳の中で行われている情報処理作業を模擬し、その神経回路を数理的にモデル化したシステムである。その最大の特徴は、非線形な連続関数を近似することができ、自らのパターン認識能力を高められることである。本研究では、評価・予測等に適した階層型ニューラルネットワークを用いた。階層型ネットワークの構造は、図-2に示されるように、入力層・中間層・出力層の3層から成っている。このネットワークは学習期間で教師データを与えてトレーニングしていくうちに、教師が示す振る舞いと同様な振る舞いをするネットワークとなる。本研究ではネットワーク内の応答関数にはシグモイド関数、誤差を修正する方法としてカルマンフィルタを用い、学習終了条件は1000回計算とした。さらに、ニューラルネットワークではニューロンの出力は0～1の範囲であるため、用いるデータを基準化する必要がある(市川, 1993)。基準化は押山ら(2002)の方法に倣って行なった。流量データについては常用対数を用いて基準化しているが、これは年平均流量と年最大流量の差が大きいことから、学習データの分布に偏りが生じてしまうのを防ぐためである。

シミュレーションを行なう際には各種外力を入力データ、塩分を出力データとしており、各データは1時間間隔で使用している。中間層の数はいくつかのパターンを

試し、誤差が最小となる数を採用している。

(2) シミュレーションの入力データ

ニューラルネットワークによる塩分変動シミュレーションを行なうにあたっては、まず入力データとなる塩分変動に影響を与える外力をピックアップしなければならない。まず、主要なものとして潮位・河川流量・風速を入力データとすることにした。

その他の因子としたのは、まず波高である。高波浪時に wave set-up の効果により七北田河口内の平均水位が上昇することが田中ら(1998)の研究により既に確認されており、その影響により海からの塩分侵入量が増加することが予想されるからである。河口内の wave set-up を塩分変動の要因とした研究はほとんどされていない。さらに一日二回潮、日潮不等など潮汐の卓越波形の相違を表わすパラメータとして潮位の積分値を加えた。このパラメータを入力データに加えることで、塩分変動シミュレーションの精度が向上することが遠藤ら(2002)により示されている。最後に河口幅の変化による塩水侵入への影響を考え河口幅を入力データに加えることとした。

(3) 塩分変動シミュレーション

ニューラルネットワークを用いて外力が塩分変動に与えている影響を正確に評価するためには、ネットワークが精度良く構築されていなければならない。ここでは、ニューラルネットワークが前節で決定した外力と塩分の関係をどの程度の精度で学習することができるかを検証する。まず始めにこれまでに取得した各種データを約1ヶ月単位で分割して、それぞれの期間で塩分変動シミュレーションをおこなった。その結果を評価する指標として塩分実測値と出力値との相関係数と、式(1)に示す式で2データの平均誤差を求めた。ただし、河口幅が入力データに含まれているのは2003年7月以降である。

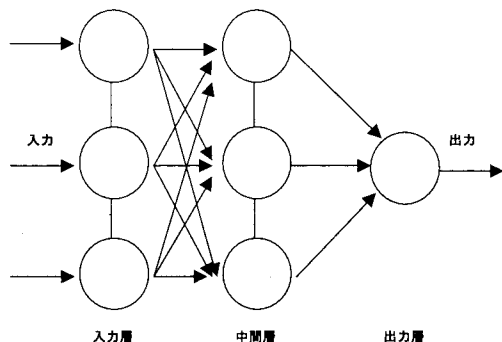


図-2 ニューラルネットワークの構造

表-1 相関係数、誤差 (psu) と平均塩分 (psu)

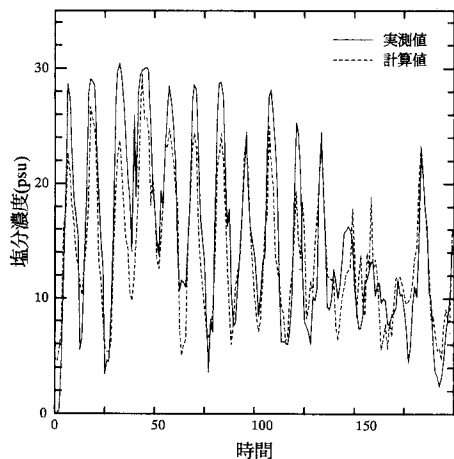
No.	期 間	平均塩分	相関係数	誤差
1	2001年11月24日～12月31日	18.99	0.85	3.04
2	2002年1月1日～1月31日	12.94	0.94	2.34
3	2002年2月1日～2月28日	14.61	0.92	2.90
4	2002年3月1日～3月31日	15.29	0.91	2.58
5	2002年4月1日～4月30日	12.74	0.90	3.08
6	2003年1月1日～1月31日	8.59	0.88	2.97
7	2003年2月1日～2月28日	6.52	0.94	1.71
8	2003年5月1日～5月31日	13.83	0.88	2.80
9	2003年6月1日～6月15日	18.44	0.92	2.60
10	2003年7月10日～7月19日	8.33	0.99	0.76
11	2001年10月3日～10月30日	26.15	0.95	1.36
12	2003年11月1日～11月10日	25.73	0.93	0.72
13	2002年3月1日～4月21日	14.26	0.84	3.40

$$\text{誤差} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(S_{ni} - S_{oi})^2} \dots\dots\dots (1)$$

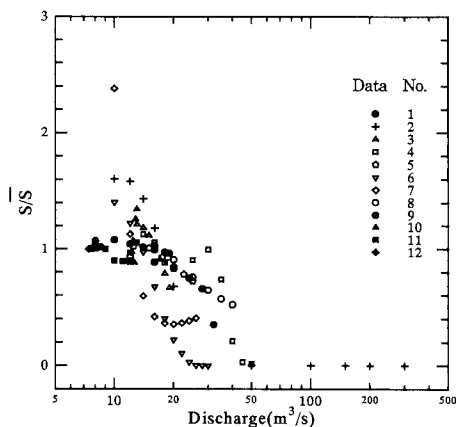
ここで S_n : 出力塩分値, S_o : 実測塩分値である。

相関係数と誤差を表一に示し、図一3に計算結果の一例を示す。グラフより計算値が塩分の実測値をよくとらえているのが分かる。また、シミュレーションを行なったすべての期間に置いて相関係数は0.9前後、誤差はほぼ3psu以下という結果が得られた。このように高い精度の塩分変動シミュレーション結果から、ニューラルネットワークが各要因の出力に対する影響、つまり各種外力と塩分の因果関係を正しく学習しネットワークを構築しているといえる。そこで、次節の感度分析においてニューラルネットワークを使用することで、それぞれの外力の影響を定量的に評価することとした。

なお、表一によれば、シミュレーションの期間が短いほど精度が高くなっている。試みに、期間を2002年03月



図一3 計算結果



図一4 流量と塩分の関係

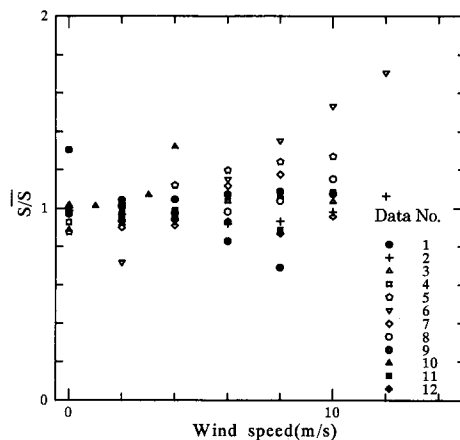
01日から2002年04月23日間の約2ヶ月にのぼしてシミュレーションを行なってみると、表一の最下段にあるとおり、相関係数が0.83、誤差が3.4psuと1ヶ月で試行したシミュレーションと比較すると精度が悪くなってしまった。理由としては、平常時の塩分変動と外力のパターンを学習しすぎることによってネットワークの他パターンに対する適応性が弱くなってしまいう過学習が考えられる。これらを考慮し、次節の感度分析においても1ヶ月ごとに期間を区切って解析を行った。

(4) 感度分析

ニューラルネットワークの出力では重回帰分析の標準化偏回帰係数のような各入力データと出力データの関係を表わす指標が無く、その関係は一種のブラックボックスとなってしまう。そこで、入出力間の関係を調べるために感度分析を行った。方法は松原ら(1995,1997)と同様に、始めにある期間のデータをニューラルネットワークに入力し、学習によりネットワークを構築する。そして、学習済みのネットワークに始めに入力した外力データのうち、ある特定の外力データのみを人為的にその変域内のある値で統一するように変化させ、他の外力には手を加えずに再び構築されたネットワークへ入力し、塩分予測値の出力を行なう。こうすることで、注目した外力の変化と塩分変動との関係性を出力する。この操作を表一のすべての期間でおこなった。

a) 流量の効果

図一4は横軸が人為的に変化させ入力した流量、縦軸は $S/\bar{S}$ (出力塩分の平均/実測塩分の平均) を表わしており、Data No. は表一のNo. と対応している。この図から塩分の観測点では流量が $15 \text{ m}^3/\text{s}$ を超えるあたりより、大きく塩分が減少し始め、 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ のあたりでほぼ0psuとなることが認められる。このことより、七北田川においては $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 程の流量により感潮域の塩分がフラッ



図一5 風速と塩分の関係

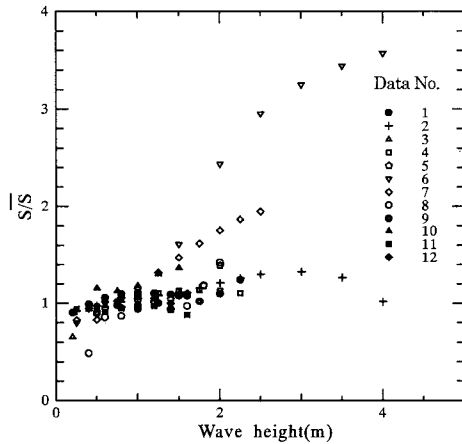


図-6 波高と塩分の関係

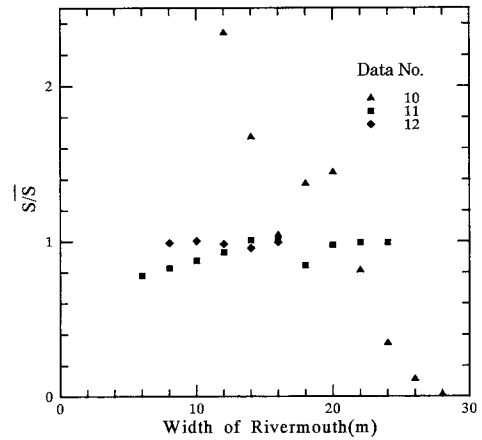


図-7 河口幅と塩分の関係

シュされるという結果が得られた。

b) 風速の効果

流量と同様に仮想風速を入力していくことで得られた結果を図-5に示す。この図から、平均塩分が低い期間では風速が大きくなると塩分濃度が上昇し、No. 11, No. 12のような平均塩分が高い期間では減少していくという結果が得られた。よって、ここでの結果は、感潮域において風による混合作用がおこると、上層と下層の間に存在する密度層が破壊され鉛直混合が起こり、塩分が一樣化されるのを表現しているといえる。

c) 波高の効果

図-6では入力波浪が2 m程度に達するまでは全体的に塩分は緩やかに増加をしている。しかし、2 mを過ぎるあたりで大きく塩分が上昇しはじめる期間がある。この上昇の理由としては先に4.(2)で述べた wave set-up による影響が考えられる。この期間には河口内で wave set-up が観測されており、この効果により海から平常時よりも多くの塩水が入り込んでいると予想される。ただし、No. 2でも波高が4 mに達しているが、この時には流量も卓越したためその影響を受けて高い塩分は出力されなかった。

d) 河口幅の効果

最後に河口幅の変化による影響を図-7に示す。この図のNo. 10のデータをみると河口幅が大きくなると塩分が減少する傾向にある。しかし、No. 11, No. 12に関しては河口幅の変動に対して大きな塩分の変動や変動の傾向を見いだすことは出来なかった。その理由として、河口幅に関しては他の外力と比べ、扱っているデータの数が少ないこと、河口幅測定法の精度の問題などがあったためなどが考えられ、これらの理由で良い結果が得られなかったと言える。よって、今後測定方法の改良とさらなるデータの収集が必要である。

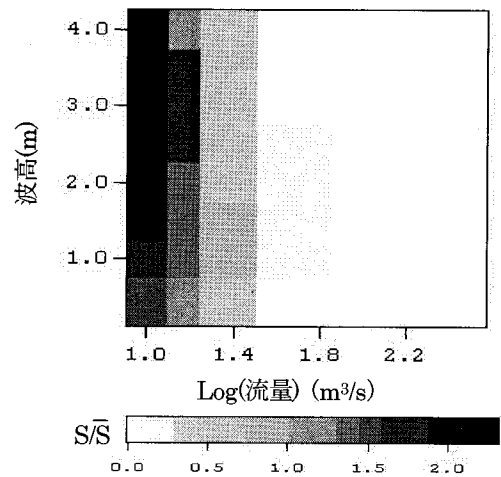


図-8 流量、波高の変化と塩分の関係

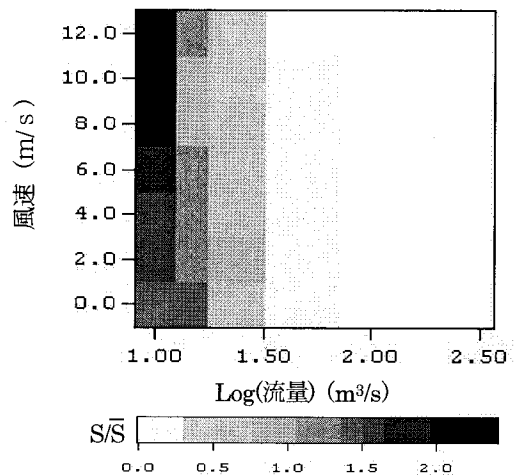


図-9 流量、風速の変化と塩分の関係

e) 二つの外力の複合的效果

ここでは学習済みネットワークから、着目した二つの外力の塩分変動への寄与率を表現することを試みた。上述した感度分析と同様に外力を人為的に変化させて行なうが、今度は二つの外力を同時に変化させることで二外力の塩分への寄与率を表わす図を作成した。例として No. 2 の期間で流量と波高、流量と風速を変動させて得られた結果を図-8、図-9 に示す。これは軸に各外力をとり $S/\bar{S}$ のコンターを描いた図である。また流量は常用対数をとった値になっている。これらより、この期間は流量の影響は他の外力よりもかなり大きいことがわかる。このような方法で、ある二つの外力間にある塩分変動への寄与率を表現することが出来た。

5. ま と め

本研究で決定した入力データを用いることで、ニューラルネットワークによる塩分変動シミュレーションを精度良くおこなうことが出来、各種外力と塩分の間にある因果関係を学習によりネットワークに蓄積することが出来た。

また、学習済みのニューラルネットワークを用いて感度分析を行うことで、各外力の変化に対する塩分の変化を定量的に評価できた。その際、これまで塩分変動の因子として考慮されていなかった波高の影響を加味することができた。

さらに、二つの外力を人為的に変動させることで、二外力の塩分変動への寄与を表わすことが出来た。

謝辞：本研究を実施するに当たり、国土交通省塩釜港湾空港工事事務所、宮城県仙台地方ダム総合事務所から貴重な現地データを提供して頂いた。ここに記して深く感謝する。

参 考 文 献

- 市川 紘 (1993): 階層型ニューラルネットワーク～非線形問題解析への応用～, 共立出版。
- 上原忠保 (1984): 蒲生干潟における塩分の侵入と交換に関する研究, 第 28 回水理講演会論文集, pp. 67-73.
- 遠藤 健・田中 仁・山路弘人 (2003): 七北田川感潮域における塩分変動の支配要因, 平成 14 年度東北支部技術研究発表会, pp. 148-149.
- 押山俊一・李 炫錫・田中 仁 (2001): 中小河川河口部における水位変動特性, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 411-415.
- 田中 仁・長林久夫・山内健二 (1998): 河口感潮域における wave set-up 高さに関する研究, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 436-440.
- 田中 仁・山本秀和 (2000): 河道掘削による感潮面積増加がもたらした河口水位変動特性・底生生物層の変化, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 1136-1140.
- 松原雄平・野田英明・時吉 学 (1995): ニューラルネットワークを利用した環境評価モデルに関する研究, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 1141-1145.
- 松原雄平・野田英明・依藤正典 (1997): ニューラルネットワークを利用したアマモ場造成手法に関する研究, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 1206-1210.