

波のエネルギーが塩水遡上に与える影響評価

Influence of wave energy on salt wedge intrusion

北見工業大学	○学生員	加藤 淳子 (Junko Kato)
北見工業大学	正 員	中山 恵介 (Keisuke Nakayama)
網走開発建設部	正 員	崇田 徳彦 (Naruhiko Muneta)
網走開発建設部	正 員	中内 勲 (Isao Nakauchi)

1. はじめに

北海道東部のオホーツク沿岸域に位置する網走湖およびオホーツク海に注ぐ網走川は、ヤマトシジミ、ワカサギ、シラウオなどの多くの水産資源に恵まれており産業の基盤を担っている。網走湖は約7kmの網走川によりオホーツク海と接続されており、潮汐によってオホーツク海の塩水が流入しているため、上部が淡水層、下部が塩水層の二層構造をした特徴的な汽水湖である(図-1)。網走湖では富栄養化が進行しており、アオコの発生が確認されている。そのため、底層にヘドロ状の底泥が堆積し、二成層化による明確な密度界面の存在により、下層に貧酸素水塊が発生している。その結果、風による湧昇が与えられ、下層の貧酸素水塊が水表面に達する青潮現象を誘発し、数多くの水産資源が失われてしまう危険性がある。

青潮とは、湖面にある程度の風速が与えられると、水表面に風下側で上昇し、傾圧効果により密度界面が逆勾配となり風上側で上昇し、風上側での上昇流の効果が加わり、無酸素化した下層の水が水表面に達する現象である。そのため、湧昇による青潮現象の発生を抑制するためには、水表面から密度界面までの距離を十分に確保しておく必要がある。今後このような現象を改善していくには、塩水の流入を制御することが考えられるため、網走湖における塩水遡上に関して理解を深める必要がある。

過去の研究では、塩水流入の主な原因は網走湖とオホーツク海との潮位差であると考えられてきた。しかし、風が吹いて波が発生したとき、ラディエーションストレスが生じ、塩水の浸入長が大きくなることが考えられ、この波のエネルギーを考慮した塩水遡上への影響効果に関する検討はほとんど存在しない。そこで本研究では、風波が塩水浸入にどの程度影響を与えているかを推定し、塩水浸入長への影響評価を行うことを目的とする。

2. 既存の浸入量推定式

これまでの研究で網走川 KP7.1 における潮位との水位差との逆流流量の関係が報告されている¹⁾(図-2)。図-2で使用されているデータは、2005年9月1日から2008年3月31日までである。水位差と逆流流量の間では比例関係が見られ、図-2に示される近似直線は次の式で表さ

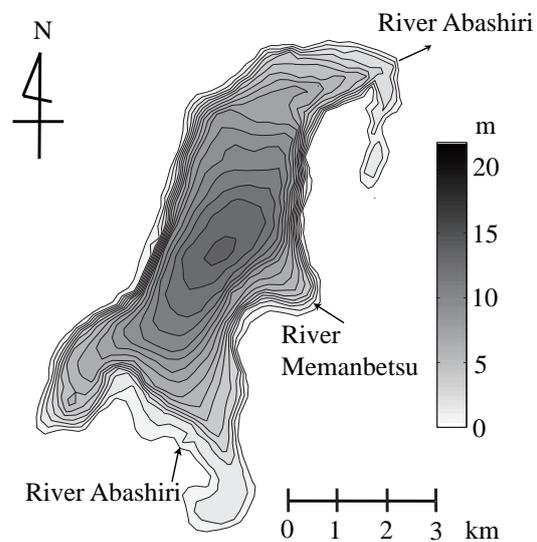


図-1：網走湖

れる。

$$Y = 2960496 * X \quad (1)$$

この式(1)が浸入量推定式である。また、相関係数は $R=0.7286$ であり、データにばらつきが見られる。ばらつきの原因は水位差の影響だけではなく、ヒステリシスなどの他の要因も考えられ、その一つとして風波の影響も考えられる。

3. 風による影響抽出

前節の浸入量推定式を利用して、逆流流量の実測値から浸入量推定式から得られる逆流流量の推定値を引いたもので定義される Δ 逆流流量を利用し、風との関係について検討を行った。まず、2005年9月1日から2008年3月31日までの全てのデータを用いて風速と Δ 逆流流量の関係について検討を行った(図-3)。図-3における相関係数は $R=0.1934$ であり、無相関であった。

塩水遡上には網走川を遡上する波が大きな影響を与えていると考え、図-3を風向の16方位に分割して考えた。例えば、東南東のみを考慮すると、二価性がみられるが

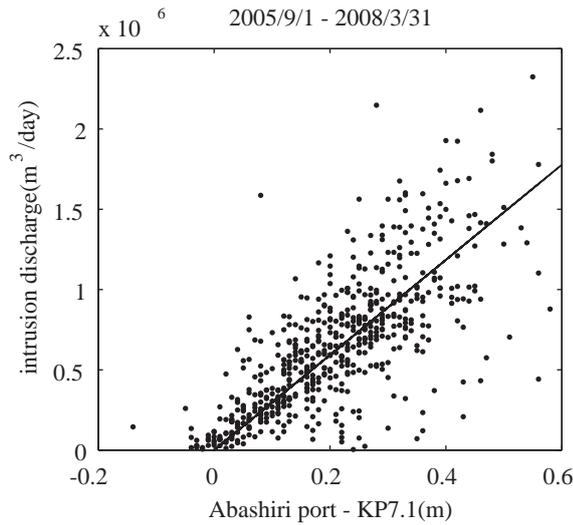


図-2：逆流流量と網走港潮位-KP7.1水位の関係

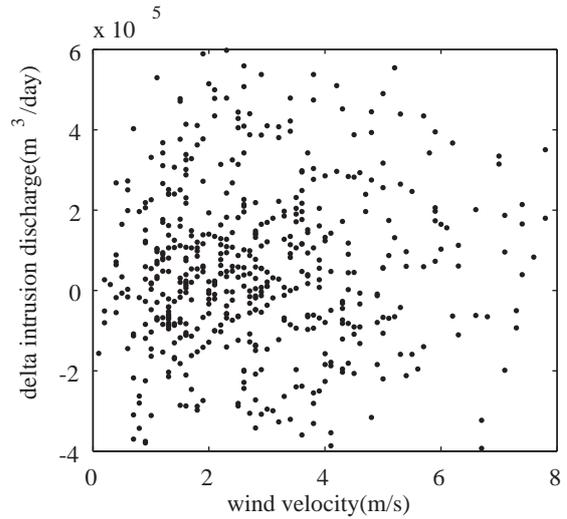


図-3：風速とΔ逆流流量の関係(全方位)

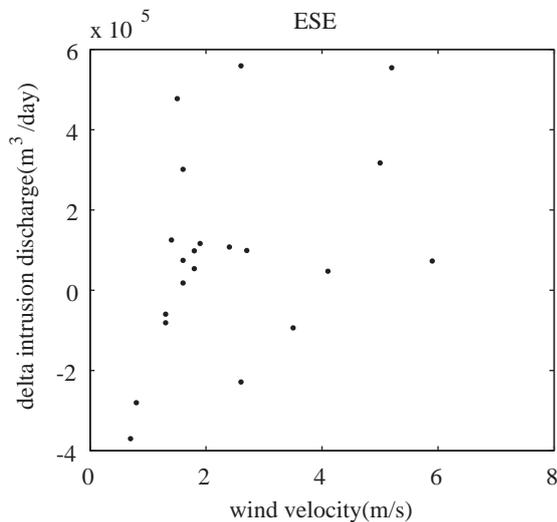


図-4：風速とΔ逆流流量の関係(東南東)

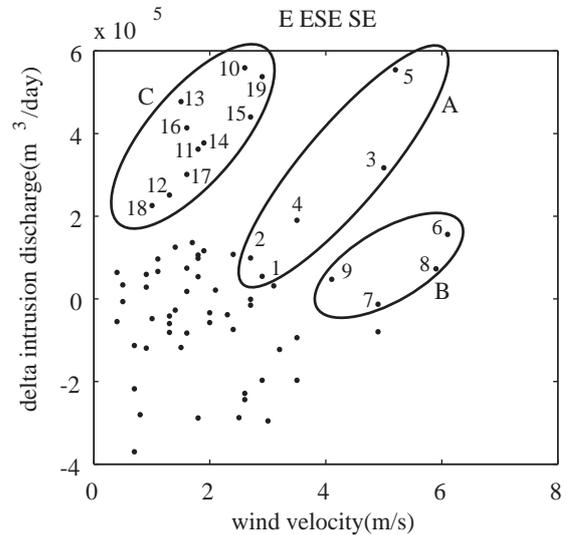


図-5：風速とΔ逆流流量の関係
(3方位：東，東南東，南東)

傾向が現れた(図-4). このように東南東に傾向が現れたのは、先ほど仮定した通り、網走港が南東向きに開けていることが関係していると考えられる。そして、東南東の両隣である東、南東においても同様な傾向が見られたため、この東、東南東、南東の3方位の図を重ね合わせて検討することにした(図-5). 3方位の図を重ね合わせるにより、風速が 4m/s 以上の強い風の場合(図-5：A, B)と、風は弱いがΔ逆流流量が大きい場合(図-5：C)の3種類の傾向が現れた。A については弱い風の場合においても影響があり、Δ逆流流量が 0m³/day 以上である風速約 2m/s まで考慮することとした。A, B, C の各々の範囲で水位差とΔ逆流流量、逆流流量の推定値と実測値について表にまとめた(表-1). その結果、水位差が小さいほどΔ逆流流量が大きいという傾向が見られた。

表-1：図-5におけるA, B, Cの範囲の水位差と逆流流量の実測値と推定値の関係

	水位差 (m)	Δ逆流流量 (実測値-推定値) (m³/day)	逆流流量 推定値 (m³/day)	逆流流量 実測値 (m³/day)
A	0.172	242841	509205	752046
B	0.305	65826	902951	968777
C	0.175	394574	518087	912660

4. 主成分分析の適用

多変量解析の一つである主成分分析を行った^{2),3),4)}. 主

成分分析とは、 p 変数 x_1, x_2, \dots, x_p のもつ情報を、次の二つの性質を満足する m 個の変数 y_1 (第1主成分), y_2 (第2主成分), \dots, y_m (第 m 主成分) に要約する手法である。 N 個のデータに基づいて計算した主成分を以下の

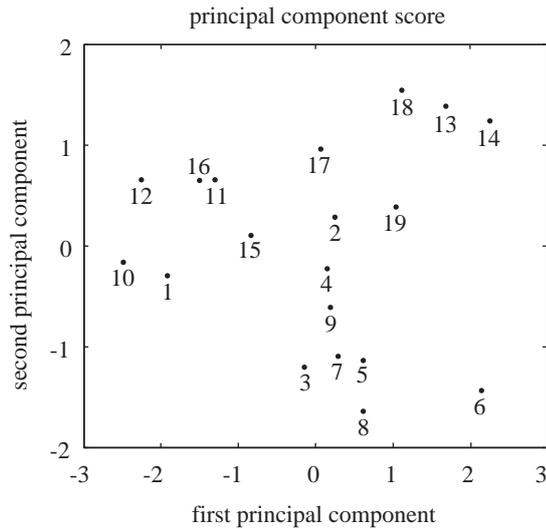


図-6：個体のグラフ

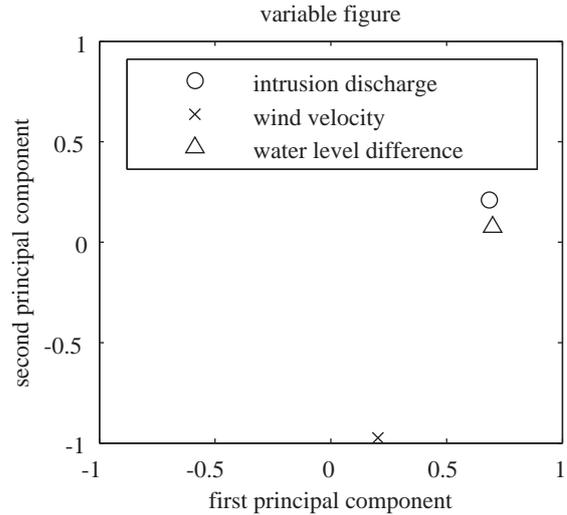


図-7：変数のグラフ

式で表すこととする。

$$y_1 = h_{11}x_1 + h_{21}x_2 + \dots + h_{p1}x_p$$

$$y_2 = h_{12}x_1 + h_{22}x_2 + \dots + h_{p2}x_p$$

$$\dots$$

$$y_j = h_{1j}x_1 + h_{2j}x_2 + \dots + h_{pj}x_p$$

$$\dots$$

$$y_m = h_{1m}x_1 + h_{2m}x_2 + \dots + h_{pm}x_p \quad (m \leq p) \quad (2)$$

ここで、それぞれの主成分の平方和は

$$h_{1j}^2 + h_{2j}^2 + \dots + h_{pj}^2 = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

であり、この主成分は次の性質を満たしている。

- 1) y_j と $y_{j'}$ ($j \neq j' : j, j' = 1, 2, \dots, m$) の相関係数は 0 である。
- 2) y_1 の分散は (x_1, x_2, \dots, x_p) のあらゆる 1 次式の中で最大である。以下同様にして、 y_m の分散は y_1, y_2, \dots, y_{m-1} のすべてと無相関な 1 次式の中で最大である。

第 j 主成分の分散を l_j で表すことにする。この l_j は主成分分析では固有値(EIGEN VALUE)と呼ぶ。そして、主成分 y_j の係数の列 $(h_{1j}, h_{2j}, \dots, h_{pj})$ を固有ベクトル(EIGEN VECTOR)と呼ぶ。

固有値 l_1, l_2, \dots, l_p を全て加え合わせたものは、 x_1 の分散、 x_2 の分散、 \dots 、 x_p の分散の合計に等しい。これを総分散と呼ぶ。主成分 y_j の分散 l_j の総分散に対する割合を寄与率という。例えば、主成分 y_j の寄与率は以下の式で表せる。

$$y_j \text{ の寄与率} = \frac{l_j}{\text{総分散}} \quad (4)$$

また、 m 個の主成分の累積寄与率は(4)式から、以下の式となる。

$$\sum_1^m \text{寄与率} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_m}{\text{総分散}} \quad (5)$$

主成分分析を行う上でいくつかの注意点がある。

まず 1 つ目は主成分分析には分散共分散行列に基づく主成分分析と相関行列に基づくものがある。 p 変数 x_1, x_2, \dots, x_p における各々の単位が異なる場合は、主成分分析は単位に大きく依存するため、変数ごとに無単位にする操作を行う。これをデータの標準化(基準化)と呼ぶが、一般的には標準化を行い、相関行列を用いられることのほうが多い。次に 2 つ目は主成分分析の対象とする変数の選定と第 1 主成分の定義は分析者の判断に委ねられるため、第 1 主成分の意味するものに関連があると思われる変数を収集し、それらの変数に対して主成分分析を行わなければならない。そして 3 つ目は、主成分分析の結果は一般的に 2 次元の点グラフで表されるため、第 2 主成分までの累積寄与率の値が大きいほど、分析対象のデータが有していた情報がその点グラフに相当に集約されているといえる。しかし、これは変数の個数によって累積寄与率の値は大きくも小さくもなる。そのため、第 2 主成分までの累積寄与率の値の基準は分析者の判断に委ねられる。

以上のことを踏まえて、図-5のA, B, Cの範囲における主成分分析を行った。今回使用した説明変数は、逆流流量の実測値、風速、水位差の3変数で観測数はA: 5点, B: 4点, C: 10点の計19点である。相関行列に基づいて分析を進めた。3変数で分析を行ったので固有値は3個となり、そのうち最も大きい固有値に対応する固有ベクトルと2番目に大きい固有値に対応する固有ベクトルの関係が図-7である。そして、各個体の第1主成分における座標(第1主成分得点)と第2主成分における座標(第2主成分得点)を求めた(図-6)。分析結果の精度として累積寄与率が用いられるが、本分析では第2主成分までに90%を得ており精度は良いと考える。

ここで、分析結果の検討を行う。図-6を見ると横軸が第1主成分、縦軸が第2主成分となっている。図中にある番号はA: 1~5, B: 6~9, C: 10~19であり、3節の図-5の図

中においてもこれと対応するように番号を付けた。そして、第1主成分の最も大きいものが総合力に長けた個体といえるのでNo.14がそれにあたる。次に、図-7を見るとその総合力である第1主成分に最も影響を与えている変数は水位差であることがわかった。

さらに2つの図を比較すると、図-6においてAとBの番号が右下に固まっていることが確認できる。これは図-7で風速がその位置にあり、これらの番号は風速の影響が強く表れていることを意味する。実際に、図-5を見るとNo.3,5,6,7,8は風速が大きく、それを証明する結果となり、今後行う予定である紋別の波データの解析は、これらを用いるべきであることが分かる。No.2,4,9については水位差によるものが大きく、No.1については除外した方が良いデータであると考え。以上より、主成分分析を行うことで逆流流量の実測値を用いて図-5で得られた結果を理論的に裏付けることができた。

5. まとめ

本研究では、波エネルギーによる塩水遡上に関する研究を行い、以下のような結論を得た。

- 1) 風の影響抽出を行った結果、水位差が小さいほど Δ 逆流流量が大きくなり、風の影響が卓越する傾向にあることがわかった。
- 2) 主成分分析を行い、固体ごとの持つ性質を把握し、風速、逆流流量、水位差の影響に分類わけをすることができた。

今後、紋別の波データの解析と気象データとの比較に使用する予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、北海道開発局網走開発建設部から観測データを提供して頂きました。ここに感謝の意を記します。

参考文献

- 1) 網走湖水環境改善施策検討委員会，網走湖水環境改善施策検討中間報告，2008.
- 2) 杉山高一：多変量データ解析入門，朝倉書店，1996.
- 3) 高橋信：マンガでわかる統計学因子分析編，オーム社，2007.
- 4) 柳井晴夫：多変量データ解析法，朝倉書店，1998.
- 5) 佐久間慎雄，中山恵介，柿沼太郎，新谷哲也，網走川において風波が塩水流入に及ぼす影響評価，土木学会北海道支部論文集，B-52，2010.
- 6) 池永均，山田正，向山公人，大島伸介，内島邦秀，網走湖の塩水化の機構と塩淡二成層の長期変動特性に関する研究，土木学会論文集 No.600，II-44，pp85-104，1998.
- 7) 池永均，向山公人，大島伸介，山田正，塩淡二成層を形成する汽水湖沼の長期的な界面変動予測手法の開発，土木学会論文集 No.628，II-48，pp77-96，1999.
- 8) 鈴木義一郎：例解多変量解析，実教出版，1987.
- 9) 長谷川勝也：ホントにわかる多変量解析，共立出版，1998.
- 10) 上田尚一：主成分分析，朝倉書店，2005.