

海域情報を用いた海底地下水湧出量の推定に関する研究

環境システムコース 多部田研究室

46744 河島洋平

1 はじめに

海底地下水湧出が、陸域から沿岸海域への物質供給源の一つとして指摘されている[1]。沿岸域は人間活動が活発であり、さまざまな汚染物質が潜在している可能性が高い。また海底湧水は長期にわたり土壤中を浸透しているため、その栄養塩濃度は河川水の数倍となることもある。従って、このような種々の物質が海底から供給されることになるため、海底地下水湧出は沿岸海域の生態系へ影響を与えていることが予想される。また、湧水の流量の推定も重要な問題とされる。

例えば、熊本県葦北町福浦はこの海底地下水湧出量が多いことが推定され、湧出速度が約 $1000 \mu\text{m/s}$ 以上の湧水が出ていると見積もられている[2]。また、植物プランクトンにとって必要な栄養塩である無機態窒素(DIN)濃度が 1.44mg/L 、硝酸態窒素濃度は 1.38mg/L 、磷酸態磷は 0.126mg/L と非常に高濃度であり、環境への影響が指摘されている。実際に湧出点付近では植物プランクトンの指標であるクロロフィル a の濃度が周辺より高いことが確認されている。そして、実際に湧出域と藻場が重なっている部分も確認されている。

これまでの研究から、沿岸域に供給される物質のフラックスがわかってきている。しかし、その供給された物質がどのぐらいの量になるのかの推定の研究はされていない。では流水量の増減によりどれだけ海域

の状況が変化するかを八代海を例にとって説明する。下図は湧水量変化により内海の無機窒素濃度の量に変化することを示している。この値が正なのか負なのかで環境がまったく変わってくる。

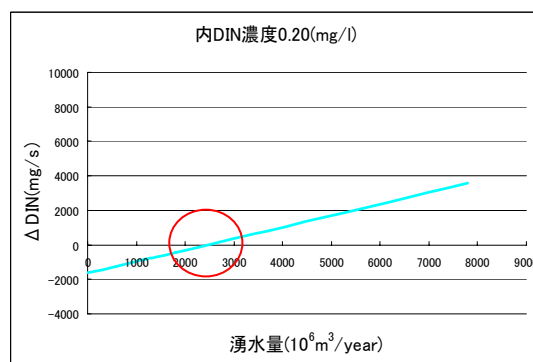
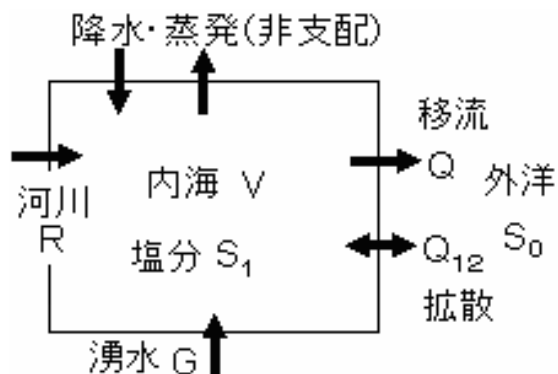


図 1:湧水を変化量とした時の無機窒素濃度

このグラフを見ると八代海の湧水量が赤丸で囲んである約 $2500\text{m}^3/\text{year}$ と仮定したときに ΔDIN が負から正に変わっている。これは、内海では栄養塩が消費されているということになる。このように湧水量で海の生物生産が変化する。では、現状の湧水測定法はというと、海中で直接計測する方法があり、非常に難しく結局大まかな量を測定できるにすぎない。そしてその地点での湧水量速度を求め、そこから面積を乗じるなど、大雑把な方法となってしまう精度に欠けている。湧水量を直接観測せずに海域の情報から栄養塩の豊富な湧水量を定量することは、栄養塩収支を把握することになり、沿岸海域に与える影響を知ることにつながる。

2 手法

2-1 ボックスモデル



図：2 ボックスモデル

手法として、ボックスモデル[3]を用いて湧水量の算出を行う。使用する式を簡単にまとめると

$$Q = R + G + (P - E)A \quad (1)$$

であり、各記号は R：河川量、Q：移流量、P：降水量、E：蒸発量、A：対象面積、である。これらのパラメーターが分かれば求める湧水量が分かる。各パラメーターは現地観測などにより導きだす。しかし、Qの値は観測で求めるのは非常に困難なため、観測では求まらずに未知数となる場合がある。そのためQのデータに関しては次の式

$$S_1 \cdot V + Q_{12} \cdot S_0 = 0 \quad (2)$$

を使用することにより補う。ここで Q_{12} は交換量、 $S_0 \cdot S_1$ はボックス外・内の塩分濃度である。交換量 Q_{12} は数値シミュレーションによって導き出し、方程式の次元数や式を補う。

2-2 現地観測

熊本県葦北町福浦にて、6月21日及び9月12日～28日にかけて空間測定として、ボックスモデルの各パラメーターや補助的なデータを得るために現地観測を行った。

空間分布データとして福浦を岸から沖まで縦に7地点、湾口を中央線から垂直に5地

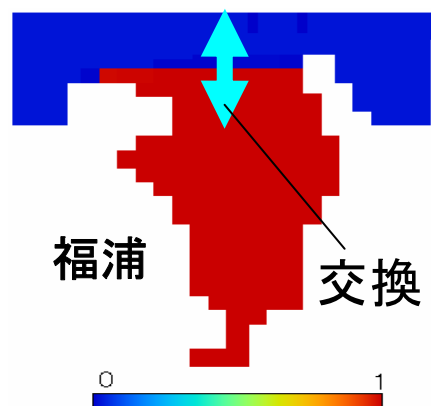
点の鉛直分布を水深20cm間隔で取っていく、複数点を船上から計測器を垂らして観測を行った。そして、湾口の中央から少しずらした場所にも同じように設置し補助的な観測を行った。次に時系列データを得るために、福浦湾口部の2箇所に流速計、塩分・水温系、栄養塩観測機を設置し観測した。流速計を湾口に設置し連続観測することにより、湾内から湾外への流量も求めた。連続測定期間は大潮・小潮の潮汐変動を考慮に入れ2週間程度とした。河川水量、河川栄養塩濃度に関しては違うチームが観測したデータを使用。

2-3 MECモデルによる数値解析

MECモデル[4]による数値計算の目的は未知数の交換量を計算から求めるためである。交換量の求め方は

$$V \cdot dm/dt = (M_0 - M_1) \cdot Q_{12} \quad (3)$$

で定義される式があり、ここで交換量 Q_{12} が求めれば、(2)から移流量が分かる。



図：3 ネスティング福浦

算出方法は上図のような濃度が1の仮想保存物質M(トレーサー)で占められた領域(モデル福浦)とトレーサー濃度が0の領域(モデル福浦外)分布を作り、それを時系列で拡散状況を調べる。湾内と湾外の平均の濃

度差で割ることにより、式(3)を完成することが出来る。以下この交換率を α と呼ぶ。

ここでトレーサーMの投入で注意することがある。Mの投入タイミングによって福浦境界がずれてしまうのである[5]。今回の場合はそれを考慮して上げ潮時の時にトレーサーを投入した。また、得られた α の値は分母がM濃度差であるので、時間が経つにつれこの値は小さくなる。となると継続時間がある程度大きくなると誤差が大きくなるので、今回は14日間分までとした。また、分潮の数によって α の値が変わるのかも調べた。

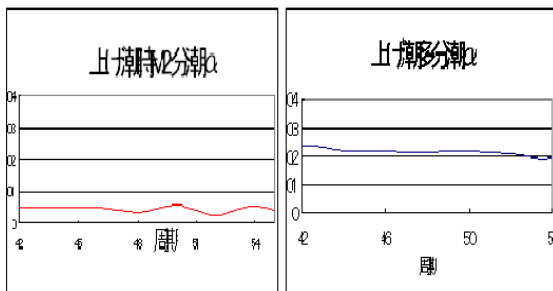


図4：福浦での α プロット

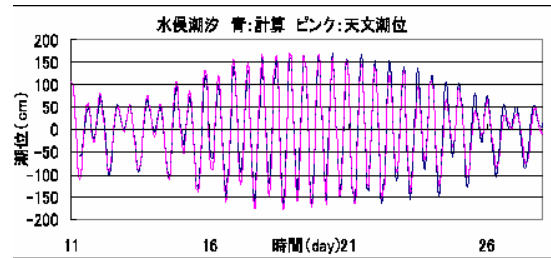
α は交換率なので分潮が少ないほうが小さくなる。福浦では約2.84倍の差があった。

3 検証

今回のモデル計算が実際の海域を再現できたかを検証する必要がある。検証項目として、ここでは潮位と流れのパターン、塩分・水温などを比較していく。

3-1 潮位

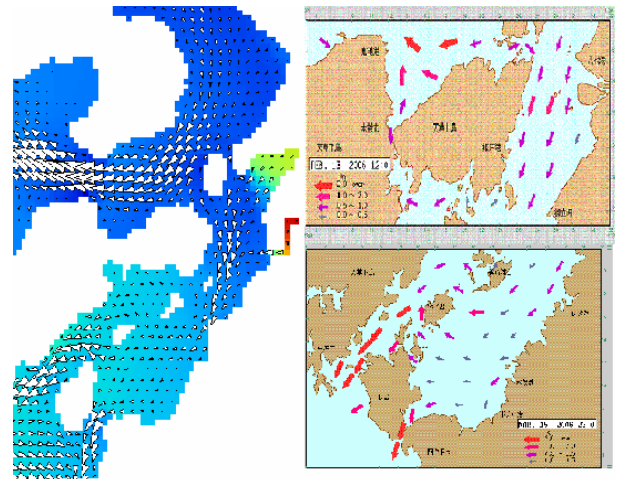
天文潮位とシュミレーションとの比較を行った。ここでは福浦にもっとも近い水俣の潮位を提示する。図：5を見るとほとんど一致している。他にも5つの地点の潮位を比べたが全て一致していた。



図：5 水俣天文潮位と計算潮位

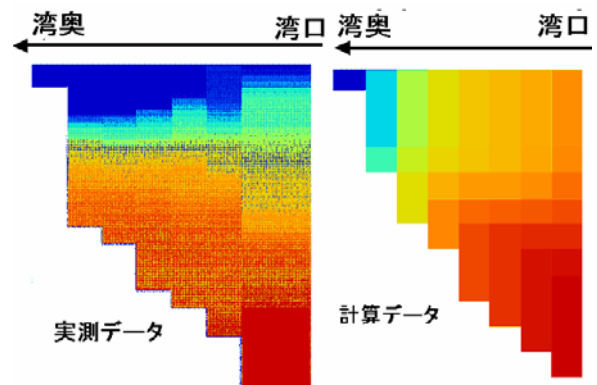
3-2 流れのパターン

続いて流れのパターンの比較を行った。海上保安庁の海流予測データと計算の流れのパターンを比較した。大潮で満潮から干潮に向かう時である。流速の値も同じオーダーであり、八代海の海域を良く再現できたと言える。



図：6 大潮下げの流れパターン比較

3-1 塩分・水温



図：7 塩分データ比較

続いて、福浦での塩分・水温のデータをプロットして比較した。以上よりこの計算の再現が非現実的ではないと言える。

4 海底湧出水の推定

MECモデルと現地観測、既存データなどから各パラメーターを取得し、観測で得た福浦の塩分濃度は、湾内は 30.68psu、湾外は 30.86psuである。そして得られたパラメーターから、観測期間中の 18.50 日間で湧水量は 140040m³湧出している結果となった。この値は、湧水量が河川量の 150.14% となっている。また既存の福浦塩分濃度統計 1992~2003 年度分がある。このデータから福浦での平均の湧水量を求めることができるので、そのデータを整理して年度ごとの平均塩分、標準偏差、上限、下限などを求めたそれぞれの値をボックスモデルに組み込んだ。さらに α の値は小潮時(最も小さかった値)を使用。何故なら、この統計データが小潮時のもののため、合わせる必要がある。

ΔS	0.125	0.133	0.141	
湧水量 G(m ³)	23275	31587	39900	
	0.149	0.157	0.165	0.173
	48212	56524	64836	73148

図：8 塩分濃度差の変動による湧水量

3 終わりに

本研究では海域からの情報により、海底地下水湧出水の量の推定のために、現地観測や、数値シミュレーションなどを行った。本研究では、八代海の再現は良く出来ていた。湧水量は福浦湾口までの範囲以内で観測期間中に 49.41~117.03l/s という値となった。福浦での河川量は 56.82l/s であり、河川量の 84.68~200.56% ということになる。モニタリング委員会の値が正確とはい切れないがこの値から 1~2 オーダー以内となった。

本研究において重要な因子は塩分濃度であり、 α の値は観測において大潮、小潮、上げ潮、下げ潮など状況にあわせて変動するので、それぞれのデータが必要となる。

α の値は下げ潮の時と上げ潮の時では値が違うということが分かった。また M2 分潮のみだと α の値は 0.28 倍となった。 α の精度の確かめ方として考えられることは、閉鎖性指標と α の値の相関を調べて見る必要があることが考えられる。

参考文献

- [1] TANIGUCHI.M.et.al.(2002)Hydrol.Process.,16,21 15-2119
- [2] 「第3回八代海域モニタリング委員会」資料(2004年8月4日)
- [3] 沿岸海域の物質収支モデル、柳哲雄 海の研究 Vol6 163-171
- [4] 木下嗣基：ネスティングバージョンの概要、第3回 MEC モデルワークショップ、165-172、2002.
- [5] 海水交換の概念と交換率、今里哲久 沿岸海洋研究ノート 1993 111-122

