

桂島における地下水塩分評価

東北大学大学院 学生会員 ○工藤 真
 東北大学大学院 正会員 風間 聡
 東北大学大学院 フェロー 沢本 正樹

1. 序論

近年，温暖化の影響に伴い海面が上昇することで海岸・低地の水没，海岸浸食などの影響が生じるといわれている．その中でも沿岸部の地下水において淡水資源が減少するという問題が生じると考えられる．そこで将来の海面上昇の影響を考慮し利用可能な水資源を把握していくことが重要になる．本研究は，温暖化の影響を受けやすい小さい島を対象とし，将来の利用可能な水量を推定する．そしてその水量から，将来の居住可能な人口を評価していくことを本研究の目的とする．

対象島として，観測するのに比較的容易でかつ現場の状況や気象の状況について把握しやすい宮城県塩竈市桂島を取り上げ，地下水解析を行いその挙動についての考察を行う．

2. 対象地域

対象地は塩竈湾内に位置し，仙台市塩竈港から沖合約 5km に位置する，面積約 0.8km²，周囲約 7km，人口約 450 人の島である．昭和 30 年代後半まで各家庭に井戸があり，井戸水を生活用水として利用していた．現在は上水道の設備は整い井戸の利用はほとんどないが，島内に井戸は数十箇所残っており，現在では農業やのりの製造，植物菜園に用いている．桂島の外形と井戸の位置については Fig.1 に示す．

3. 地下水解析

3-1 データセット

(a) 塩分濃度分布・水位分布

島における塩分の分布状況と水位の分布状況を知るために現地観測を 9 月 1 日，10 月 17 日，12 月 14 日，1 月 28 日の 4 日間行った．Fig.1 に示した井戸（point.1~8）について水面から 50cm 間隔で電気伝導度（ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）を測定した．本研究では躍層が見られた point.2 と 8 におけるデータを用いて解析を行う

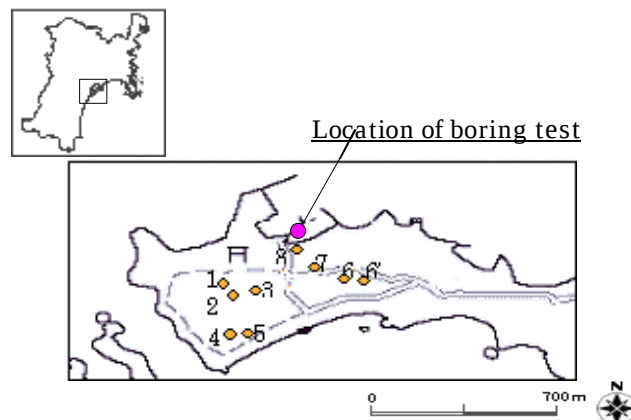


Fig.1 Study area and well point

ものとする．なお，海水の電気伝導度は $32.2 \mu\text{S}/\text{cm}$ である．また塩分データを後述するモデルに適用する際に，海水濃度の 50% になる深さを知る必要がある．これは，井戸水の完全混合を仮定して，観測しより得られた鉛直塩分分布を一次関数に置き換えることにより推定された．

(b) 透水係数

宮城県仙台地方振興事務所水産漁業部が行った桂島のボーリング試験結果より得られた地質分布より，以下に示す式(1)を用いて透水係数を推定した¹⁾．

$$k = \frac{k_1 h_1 + k_2 h_2 + k_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_3} \quad (1)$$

ここで， k は島における平均透水係数(m/s)， k_1, k_2, k_3 は各地質により算出される透水係数(m/s)， h_1, h_2, h_3 は各地質の層厚(m)である．添え字は鉛直方向の地質の分類を示している．式(1)により桂島において平均透水係数は $k = 2.89 \times 10^{-6} \text{m/s}$ と算出される．これを島において一様に与えるものとする．

(c) その他のデータ

標高データは，宮城県仙台地方振興事務所水産漁業部が作成した桂島平面図より作成された．

降雨データは気象庁で管理しているアメダスの塩竈における日降水量データを用いた．

キーワード 桂島，Sharp-Interface-Model，界面，透水係数，塩分分布

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL: 022-795-7459, FAX: 022-795-7457

3-2 地下水解析モデル (Sharp Interface Model)

地下水解析には、沿岸域における淡水・塩水の境界層を解く Sharp Interface Model を用いた。このモデルは、流量フラックスと圧力の連続性に基づいた淡水と塩水それぞれの流れを組み合わせたモデルである。これにより、淡水と塩水の界面 (Sharp Interface) が推定される。式は以下に示す通りである。²⁾

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left[K_{fx} (h^f - h^i) \frac{\partial h^f}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{fy} (h^f - h^i) \frac{\partial h^f}{\partial y} \right] + q_f \\ = S_f \frac{\partial h^f}{\partial t} - \theta \left[(1 + \delta) \frac{\partial h^f}{\partial t} - \delta \frac{\partial h^i}{\partial t} \right] \\ \frac{\partial}{\partial x} \left[K_{sx} (h^f - h^i) \frac{\partial h^f}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{sy} (h^f - h^i) \frac{\partial h^f}{\partial y} \right] + q_f \\ = S_f \frac{\partial h^f}{\partial t} - \theta \left[(1 + \delta) \frac{\partial h^f}{\partial t} - \delta \frac{\partial h^i}{\partial t} \right] \end{aligned}$$

$$h^i = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_f} h^s - \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h^f$$

ここで、 ρ ：密度、 h ：ピエゾ水頭、 q ：流量、 K ：透水係数、 S ：貯留係数、 θ ：間隙率、また各パラメータに付いている f, s はそれぞれ淡水と塩水を示している。

4. 解析結果と考察

9月1日における観測データに Sharp Interface model を適用することで Sharp Interface (界面) の位置の変化を推定した。解析結果を Fig.2 に示す。界面の鉛直方向の変化に着目し考察するため、界面の位置を point.8 を例に示した。ここでは界面の位置について観測値と計算値の比較を示している。解析結果より、モデルが降雨の影響を大きく受け計算値の界面が変動している。しかし、観測値は降雨の影響をさほど受けてはいない。他の要因として潮汐の影響が考えられる。この影響を把握するため、24時間の連続観測を行った。この結果、塩分分布が時系列的に変動することはなかった。つまり、地下水塩分分布は潮汐による影響を受けない。10月の観測で現れた観測値と計算値の誤差は、この時期盛んに行われるのりの製造で地下水を大量に用いたことにより生じたと考えられる。次に井戸による観測結果を利用することで、島の全地下淡水量を表した (Fig.3)。ここでは界面より上の部分を地下淡水量としている。

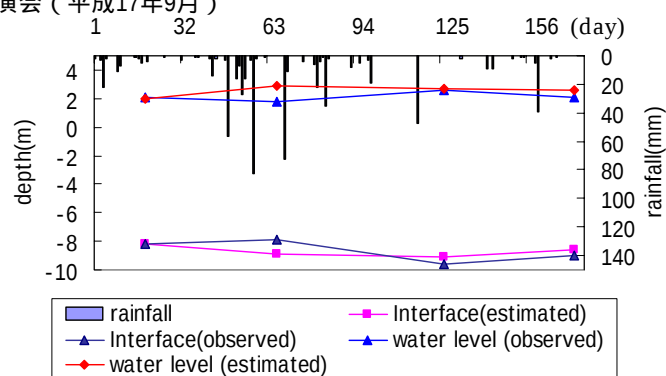


Fig.2 comparison of calculated interface with observed one

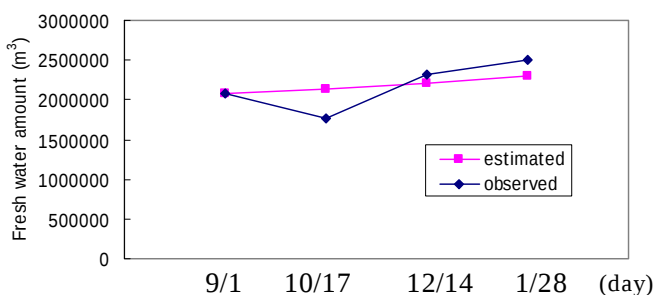


Fig.3 fresh water amount

また、観測淡水量は Fig.2 で示した観測の界面位置と計算の界面位置の割合を仮定した淡水量に乘じることで推定される。この結果、観測淡水量と計算淡水量において最大で約 350,000 m³ の差が生じた。この推定法では、井戸の塩分分布の変化が直接界面に影響すると考えているため過大評価していると考えられるが、桂島の地下水資源の変動を示すことができた。

5. まとめ

以上の結果より、界面の変動を再現し、人為的な影響が地下淡水に及ぼす影響について観測することができた。今後は島の生活用水と地下水資源の関係を過去のデータから解析する。

謝辞

桂島における観測に際して協力して頂いた桂島の方々、また潮汐データを頂いた宮城県仙台地方振興事務所の遠藤学氏に謝意を表します。また本研究は科研費（代表：三村信夫）の援助を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) R. Allen Freeze/John A. Cherry : GROUNDWATER, Prentice-Hall, Inc. 1979 pp.29-30
- 2) Jacob Bear : Hydraulic of Groundwater, McGRAW-Hill 1979