

大阪湾御前浜の生物生息環境に海底地下水湧出が及ぼす影響

安元 純

琉球大学農学部助教

1. 研究の背景及び目的

最近の研究成果により、海域への地下水経路による栄養塩類等の供給が、河川経路の供給と並び、沿岸海域や閉鎖性水域における栄養塩類の循環や一次生産者に重要な役割を果たしているとの認識が一般的になっている。大阪湾沿岸域においても海底地下水湧出に伴う栄養塩類等が生物生息環境に及ぼす影響は未解明であり、十分な実態解明が急務である。

本研究では、大阪湾御前浜における海底地下水湧出が生物生息環境に及ぼす影響を、現地調査と地下水流動解析及び物質輸送解析等の数値解析を合わせ検証する。加えて、得られた結果を、大阪湾全域にスケールアップ可能な地下水流動及び物質輸送モデルを構築し、大阪湾全域における海底地下水湧出量および物質負荷量を算出する。以上の成果を用いて、御前浜沿岸や大阪湾全域における海底地下水湧出が生物生息環境に及ぼす影響について考察する。

2. 研究概要

2.1 大阪湾御前浜沿岸における断面 2 次元淡水－塩水密度流解析

(a) 解析方法

本研究で調査対象とする神戸市西宮市御前浜は、大阪湾北部では唯一自然海岸が残る海岸で、牡蠣やアサリなどの二枚貝も多く生息している。また、野鳥が多く訪れることでも知られており、生物の生息場所としてのみならず、周辺住民の親水空間としての役割も大きい。しかし、近年、陸域からの物質負荷量の増加や埋め立て等の海岸工事の影響から海底の底質悪化が著しく、生物が生息可能な水環境の復元が求められている。その水環境の復元のための一つの可能性として、海底地下水湧出が注目されている。

そこで、2006 年から昨年度（2008 年度）にかけて、本研究代表者や本研究協力者により、御前浜沿岸域において海底地下水湧出に関する詳細な現地観測が行われており（Ishitobi, 2007）、昨年度、本研究代表者が実施した比抵抗法を用いた電気探査と合わせて、御前浜沿岸の海底地下水湧出機構が明らかになりつつある。その結果を概略すると、シーページメーターを用いた直接観測により、御前浜沿岸における海底地下水湧出は汀線から 200m の範囲で観測された。汀線から 110m 付近で最大値を示し、同地点の 1 潮汐間

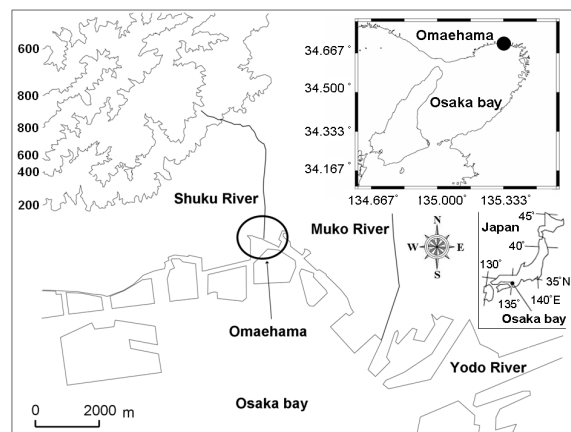


図 1 観測地点（兵庫県西宮市御前浜）

の平均的な湧出速度は 22cm/day であった。同時に、採水された海底湧水は、陸域地下水由来の淡水成分と再循環水と呼ばれる海水成分とで構成されており、両成分の湧出域は、Robinson et al.

(2007) が示すようにははっきりと区分されず、両成分は混合して海底から湧出していた。また、電気探査比抵抗法より、御前浜沿岸の海底下の地下水と再循環水との分布位置が確認され、潮汐に応答した挙動もとらえることができた。

そこで、本年度は、現地観測結果を検証する目的で、昨年度構築した断面 2 次元淡水-塩水密度流モデルを御前浜の地形勾配と潮汐条件を組み込んだモデルに高度化し、潮汐に伴う海底地下水湧出の変動特性を検証した。数値解析には塩水侵入や多成分化学種の輸送解析が可能な SEAWAT (Langevin et al., 2003) を用いた。本モデルは、地下水の流動解析が可能な MODFLOW と物質輸送解析が可能な MT3DMS とのカップリングモデルであり、塩水侵入や海底地下水湧出などの密度流解析に有効である。本解析場の設定条件を図 2 に示す。解析場は現場が砂質土であることから均質・等方性を仮定し、海側境界には振幅 A に 1m の潮位変動を与えた。

(b) 結果及び考察

図 3 に御前浜沿岸における各潮時（上げ潮；Flood Tide, 満潮；High Tide, 下げ潮；Ebb Tide, 干潮；Low Tide）の密度流解析の結果を示す。図中の青色は地下水を、赤色は海水を示しており、黒で示した矢印は地下水の流線を併示した。

まず、陸域由来の淡水成分に着目すると、満潮時には、①淡水-塩水の混合境界

（淡塩境界）に沿って海底から湧出する流れがみられるが、上げ潮時や干潮時には、②淡塩境界を通過し、沖側の海底から湧出する流れがみられる。つづいて、海水成分に着目すると、海側境界から海底下の帯水層部分へ侵入した海水（再循環水）は、①淡塩境界に沿って海底下から湧出する再循環流と、②淡塩境界を通過した淡水成分の流れに乗って海側へ流動し沖側の海底下から湧出する再循環流の 2 パターンの流動が確認された。この結果は、各潮時で淡水成分が湧出する領域が変化しうることを示している。以上の数値解析結果は、上述した現地観測結果とよく対応し、陸域由来の地下水と海水由来の再循環水とが混合して海底から湧出するメカニズムを明らかにするものとなった。

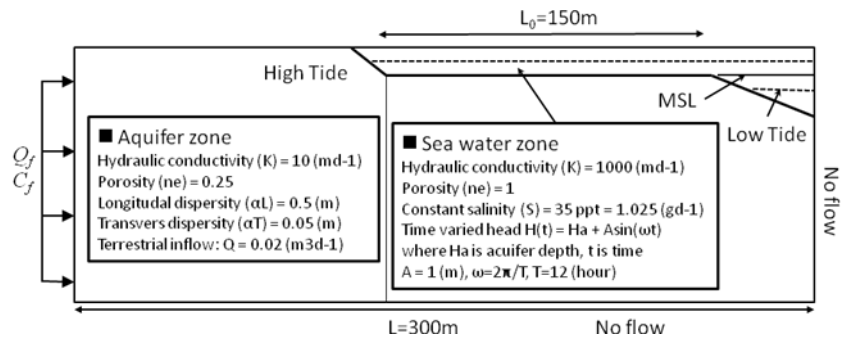


図 2 断面 2 次元海底地下水湧出モデルの計算条件及び境界条

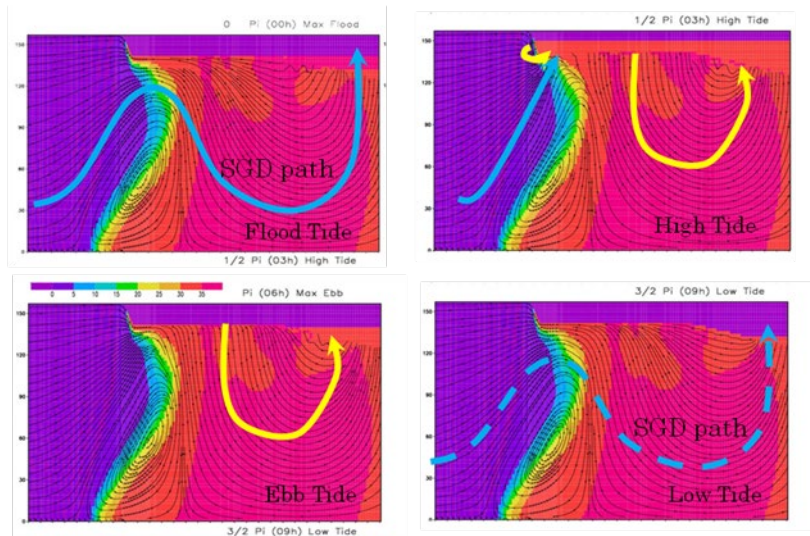


図 3 各潮汐時における海底地下水湧出の挙動

2.3. 広域 3 次元地下水流動モデルを用いた大阪湾全域へのスケールアップ

(a) 解析方法

大阪湾沿岸域は戦後の社会経済活動の発展に伴い大きく改変され、昭和初期までに広く存在した生物多様性を確保する上で重要な干潟や藻場を有した浅海域や自然海岸は大幅に減少し、特に湾奥部は港湾施設として利用されておりそのほとんどがコンクリート製の直立護岸となっている。このような人工護岸をもつ沿岸域では、西宮市御前浜で実施したようなシーページメーターや電気探査比抵抗法を用いた直接的な現地観測は不可能であるため、大阪湾全体への陸域からの地下水流出量を推定するためには、数値解析を用いた広域地下水流動モデルの構築が有効である。

そこで、本研究では、

図 4 に示す解析範囲において、大阪平野の 3 次元水理地質構造を、1 グリッド約 250m 毎に整理し、帯水層を 11 層に区分した。また、表 1 に示すように、数値解析に必要な各帯水層の透水係数と比貯留係数を地下水涵養委員会（2001）を参考に設定した。数値解析には、MODFLOW を使用した。解析期間は、大阪平野の地下水開発が進む前の 1925 年から 2005 年までとした。また、揚水量データは 1976 年以降は大阪府の各市町村により収集されたデータを利用し、それ以前から 1925 年までは揚水量と相関の高い GDP から推定した。

(b) 結果及び考察

図 5 に第 10 層の地下水位の計算値と観測値との比較を示す。左側に示した G4 層の観測地下水位と第 10 層の地下水位は比較的よく対応している。

図 6 では大阪湾への全地下水流出量と淀川の河川流量（牧方観測所）とを比較した。3 次元地下水流動解析により算定した大阪湾への全地下水流出量は、解析期間 80 年（1925 年～2005 年）で、平均 $9.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ と推定された。この値は、淀川牧方流量観測所の 50 年間（1955 年～2005 年）の観測河川流量と比較すると、約 1% に相当した。

つづいて、図 7 に第 2 帯水層から第 1 帯水層への鉛直流 Q_z の分布図を示した。上向き

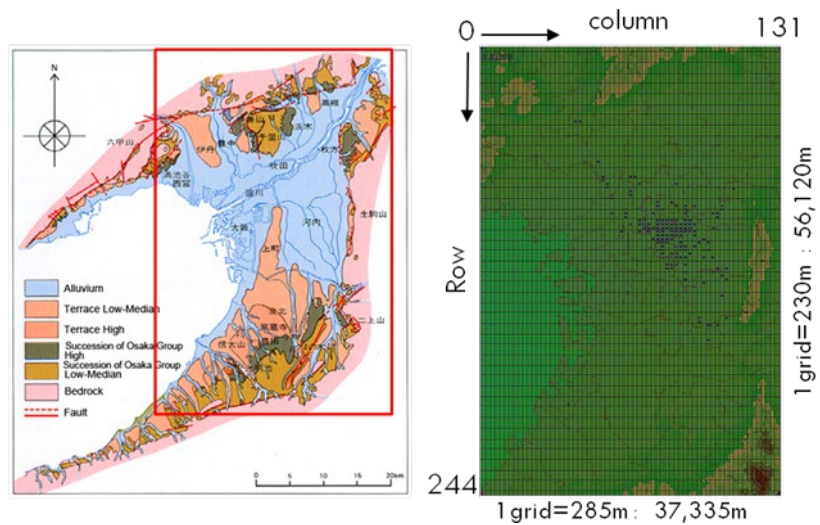


図 4 解析対象範囲と解析グリッド

表 1 大阪平野の地質構造と透水係数の関係

Stratigraphical division	Layer	No.	Hydraulic Conductivity(cm/s)		Specific storage	Thickness	Group
			Kx, Ky	Kz	Ss (1/cm)		
Alluvium	Upper	No.1:	1.E-06	1.E-06	1.E-04	30-50m	G1
	Clay (Ma13)	No.2:	2.E-07	2.E-07	1.E-03		
	Bottom	No.3:	1.E-06	1.E-06	1.E-04		
Upper Diluvium	Tenman	No.4:	5.E-04	5.E-05	4.E-05	30-100m	G2
	Clay (Ma12)	No.5	2.E-07	2.E-07	5.E-04		
	gravel	No.6	6.E-04	6.E-05	4.E-05		
Succession of Osaka Group	Clay (Ma9)	No.7	1.E-07	1.E-07	5.E-04	50-100m	G4
	Ma8-Ma6	No.8	3.E-04	3.E-05	3.E-05		
	Ma5-Ma3	No.9	2.E-04	2.E-05	3.E-05		
	Ma2-Ma-1	No.10	2.E-04	2.E-05	2.E-05		
		No.11	5.E-04	5.E-05	2.E-06		
Bedrock							

の鉛直流の分布は、大阪湾北部と南部の沿岸域で見られ、これら地域では、海水の静水圧に比べ地下水ポテンシャルが高く、海底から地下水が湧出している可能性が高い。特に、北部沿岸域は山地と沿岸域との距離が近く、御前浜付近の沿岸でも海底から地下水が湧出するポテンシャルがあることを示している。

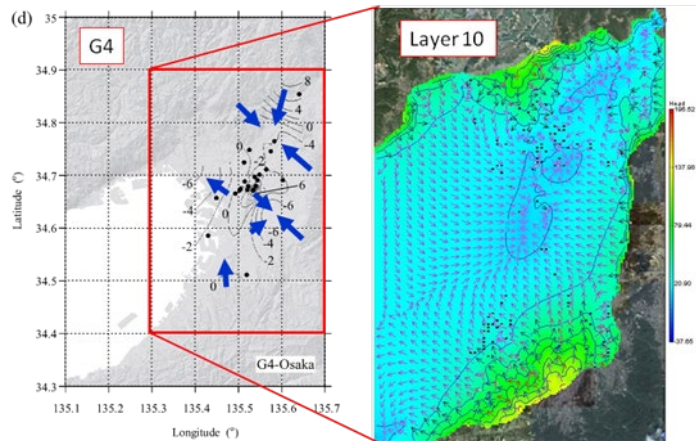


図5 地下水位の計算値と観測値との比較

3. 結論

本研究では、大阪湾御前浜の生物生息環境に海底地下水湧出が及ぼす影響を検証する目的で、本年度は現地観測の結果を検証する目的で断面2次元淡水-塩水密度流解析を実施し、御前浜沿岸域における海底地下水湧出の潮汐に伴う変動特性について検討した。数値解析結果は、上述した現地観測結果とよく対応し、陸域由来の地下水と海水由来の再循環水とが混合して海底から湧出するメカニズムを明らかにするものとなった。

さらに、御前浜における結果を大阪湾全域にスケールアップする目的で、3次元広域地下水流動モデルを構築し、大阪湾への全地下水流出量と海底地下水湧出の分布

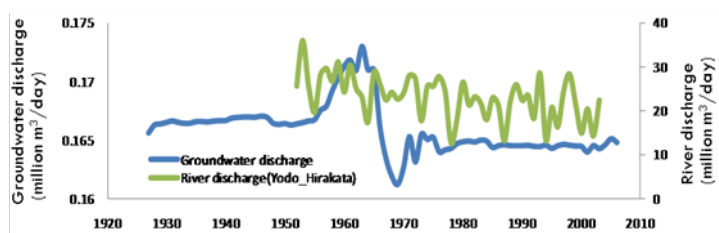


図6 大阪湾への全地下水流出量と河川流量（淀川）との比較

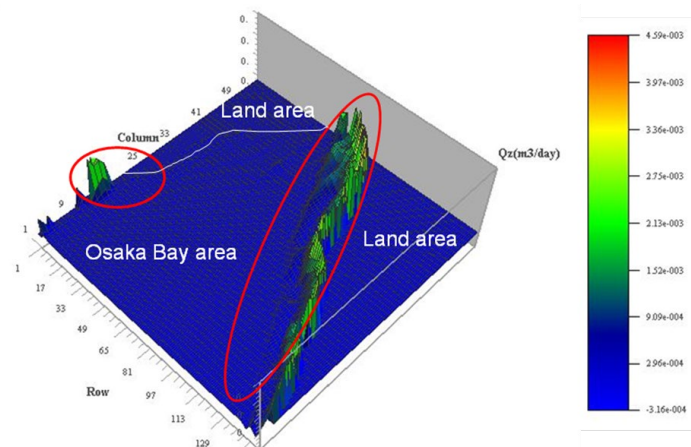


図7 大阪湾における海底地下水湧出分布

域を推定した。その結果、大阪湾への全地下水流出量は、淀川牧方流量観測所の50年間（1955年～2005年）の観測河川流量と比較すると約1%に相当した。大阪湾全域で見ると陸域からの地下水流出量は、河川流出に比べて僅かではあるが、大阪湾北部と南部の沿岸域では、地下水ポテンシャルが海水の静水圧よりも高く、海底から地下水が湧出していると考えられる。また、今回得られた計算結果には、御前浜で観測され、断面2次元の密度流解析でも再現された海側境界から海底下の帯水層部分へ侵入した海水（再循環水）成分を考慮していないという問題点がある。再循環水は有機物を豊富に含んでいることが現地観測より明らかとなっており、御前浜に生息する牡蠣やアサリなどの二枚貝の生物生息環境に影響を及ぼしている可能性が考えられる。今後、再循環水を考慮することで、大阪湾への海底地下水湧出量の河川流量に対する割合がさらに大きくなる可能性も考えられる。