

^{222}Rn を用いた大阪湾への地下水湧出量・栄養塩負荷量の定量評価

梅澤 有

長崎大学水産学部・助教

【 研究の背景と目的 】

大阪湾は、友ヶ島水道及び明石海峡のみを湾口部とする閉鎖性の強い海域であり、富栄養化に伴って、赤潮や貧酸素水塊の形成による被害が多く報告されている。そのため、淀川、神崎川、大和川などの河川を通じて 5 府県の大都市域を含む広大な集水域から流入する淡水と陸起源物質の海域への影響に大きな関心が寄せられている。

大阪湾に隣接する地域では、この 100 年間で都市化がすすみ、アスファルトで覆われた赤色でしめされる都市域が急速に拡大してきている。そのため、これらの地域での地下水涵養量は大きく減少していると考えられる。一方で、大阪府では、地盤沈下被害防止対策として、工業用水としての地下水採水の規制が進み、1960 年代以降、地下水位も急速に上昇に転じている。そのため、陸起源物質を海域に運搬する媒体として、河川水だけでなく、地下水の寄与が高まってくると考えられ、その寄与率の把握が求められている。

地下水の沿岸海域への流出も地下水流出量計や電気探査法などの様々な手法によって指摘されているが、その時空間変動の現状やメカニズムについては明らかになっていない。特に大阪湾では、湾奥に流入する淀川、神崎川、大和川の流入量が膨大であるため、塩分変化を利用して地下水の流入量を把握するには困難がつかまとう。

そこで本研究では、1) ^{222}Rn が河川水と比べて地下水中に多く含まれていて地下水指標として利用できるかどうか確認し、2) 湾内に流入する淡水に占める地下水の寄与を河川水から分離して見積もること、また、3) 地下水流出の時空間変動を明らかにして、人工護岸で覆われる都市化に伴う流出特性の変化について明らかにすることを目的とした。さらに、4) 地下水経由の栄養塩類の供給量について、河川水によるものとの比較を試みた。

【 研究方法 】

大阪湾集水域の複数地点において、河川水と地下水の採水を行い、栄養塩濃度と ^{222}Rn 濃度の測定を行った。一方で、兵庫県神戸市深江から、大阪府岬町に至る海岸線に沿って、海水中に含まれる ^{222}Rn 濃度を ^{222}Rn 測定システム (RAD7: Durrige Co Inc.) によって計測・算出し、同時測定した水温・塩分と比較を行った。特徴的な ^{222}Rn 濃度が観測された 2 地点 (神戸市深江、岬市淡輪) では、1-2 潮汐間の定点連続観測を行い、潮汐変動に伴う地下水流出特性について調べた。

【 結果と考察 】(結果は箇条書きにて 1~6 の番号で示す)

1. 集水域全体でのばらつきがみられたものの、地下水中の ^{222}Rn 濃度は、500 ~ 3000 dpm/L (dpm: disintegration per minutes) であり、河川水中濃度の 2.2 ~ 226 dpm/L と比較し

ても、100 倍のオーダーで有意に高い値を持っていた。そこで、大阪湾沿岸域において、塩分に加えて、 ^{222}Rn を用いると、地下水の指標として有効であることが確認された（図 1）。

- 沿岸海水中の ^{222}Rn 濃度は、湾奥の淀川河口域付近（人口護岸・埋立地）で 0.5 ~ 2.5 dpm/L の低い値が観測された一方で、南部の岸和田から阪南地域では、最大で 4.0 dpm/L の値が観測され、地下水流出の寄与を示唆していた（図 1）。塩分と ^{222}Rn 濃度を対比させて、もう少し詳細にみると、淀川や大和川などの一級河川が流入するエリアでは、塩分が一気に低下するものの Rn 濃度の上昇はあまり見られず、一方で、六甲山地近くの神戸地区や、大阪南部の岸和田、泉南周辺エリアではあ、塩分の低下があまり見られないにも関わらず、Rn 濃度が上昇する様子が見て取れており、Rn 濃度の高い水塊の流入が示唆された（これは、淡水とは限らず、再循環水の可能性も含む）。

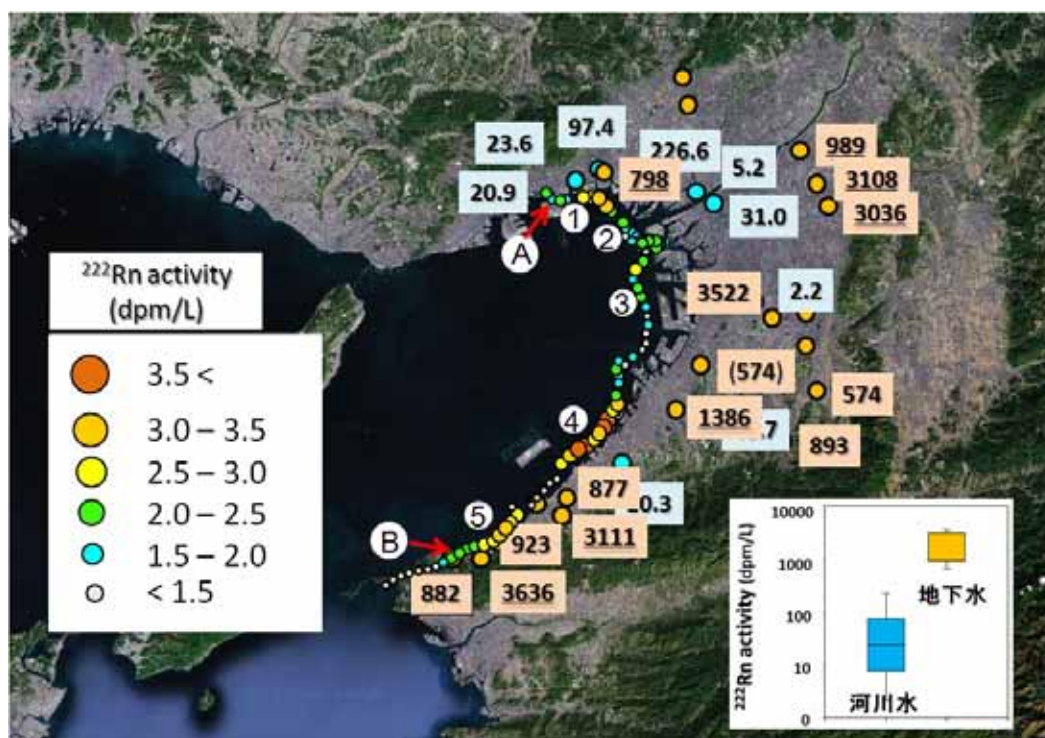


図 1：地下水(オレンジ・下線)・河川水(青・下線なし)・沿岸水(円)中の ^{222}Rn 濃度

- 沿岸海水塩分と ^{222}Rn 濃度の平均値をプロットしたダイアグラム（図 2）を作成し、調査海域の海水が外洋海水との単純混合であることを仮定した関係式を考えると、海域に応じて 4.6 ~ 140.1 dpm/L の異なる ^{222}Rn 濃度を持つ淡水と混合していることが示唆された。この 100 倍のオーダーでの差は、結果（1）で示したように、地下水中の ^{222}Rn 濃度は河川水中濃度の 100 倍のオーダーで含まれていることと対応しており、塩分だけからは判断できなかった地下水影響地域を、河川水影響地域から分離することができると考えられる。

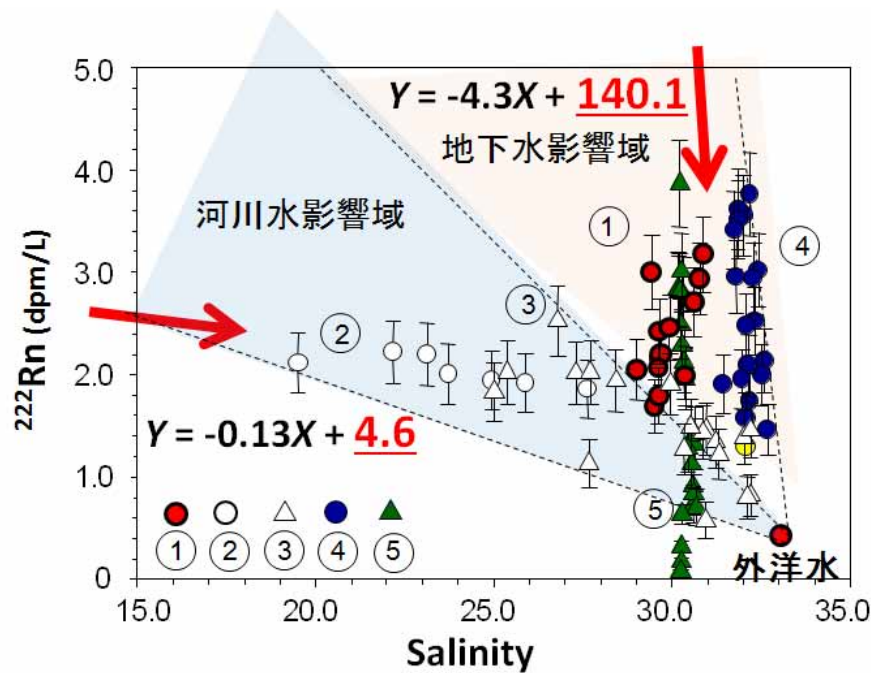


図2 沿岸海水の塩分と ^{222}Rn ダイアグラム (番号は図1における沿岸エリア)

インドネシアの首都のジャカルタでは、コンクリートで覆われた沿岸域では地下水湧出が少なく、マングローブなどの自然植生の沿岸では地下水湧出量が多いというように、都市化が地下水湧出分布に影響を与えていた (Umezawa et al. 2009)。大阪でもそのような傾向がみられたが、一方で、岸和田のあたりなど、護岸で覆われた場所でも高い Rn 濃度が確認されており、汀線付近ではなく、海底の堆積物からの湧出や、地下水涵養された小河川の影響と考えられた。

これまでの結果は、潮汐の変動などを考慮しない単純な濃度分布であったため、フラックスの定量データを得るために、2か所の定点 (図1のAとB) において、定点での時系列観測を行った結果を下記に示し、解析する。

4. 2か所の定点、「深江 (神戸市)」、「淡輪 (大阪南部)」での 12 時間の ^{222}Rn 連続観測の結果、大気交換量、低濃度の ^{222}Rn を持つ外洋水との交換量、堆積物からの拡散量等によって説明できない ^{222}Rn 量を、地下水湧出によるものと仮定すると、深江と淡輪での地下水フラックスはそれぞれ $2.0 \pm 0.7 \text{ cm/day}$ と $0.6 \pm 0.7 \text{ cm/day}$ と見積もられた。
5. 広域観測で得られた沿岸線沿いの ^{222}Rn 濃度と水深から、各地点での単位面積当たりの ^{222}Rn 量を求め、定点観測で得られたフラックス値との関係式を作成した。その後、地下水由来の淡水の寄与が見られた兵庫県東部 (図1の) と大阪南部沿岸域 (図1の と) のみに着目して、全地下水湧出量の概算を行った。沿岸部での地下水湧出帯の幅を 100 - 200m であると仮定すると (採水のための航路が沿岸から 50m ~ 300m 程度離れていたことを考慮すると、実測値の ^{222}Rn 値を説明する湧出帯として適切である)、 $0.8 - 2.0 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{day}$ の流入量が地下水を通じてのものであると見積もられた。この量は、淀川の出水量： $1.2 - 2.4 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{day}$ の 60 ~ 300 分の 1、大和川の出水量： $0.7 - 1.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ の 3 ~ 15 分の 1 に相当する量であった。

6. 河川水の影響を受ける地域、地下水の影響を受ける地域、それぞれにおいて、沿岸で採水した海水の塩分に応じて、溶存無機態窒素と溶存無機態リンの濃度をプロットした（図 3-A, B）。実際には、異なる栄養塩濃度を持つ淡水と様々な湾内形成水の混合によって水塊が形成されているので、このような解析は適さないかもしれないが、単純混合を仮定しての近似式を採用した場合に、塩分ゼロの y 切片の値が、地下水影響域の方が、河川水影響域の数倍の濃度を持っている。このことは、陸域の地下水中の栄養塩の値（河川水 [n=9] : DIN 94.0 μ M, DIP 4.0 μ M、地下水 [n=38] : DIN 311.3 μ M, DIP 9.7 μ M : 広島大 小野寺・清水未発表データ）が、実際に、河川水の数倍の濃度を持っていることと対応しており、栄養塩濃度の高い地下水の湧出があるという Rn から示唆されたデータを支持している。また、深層地下水や海底堆積物中の還元的な環境においてリンの濃度が高いことと同じく、地下水影響域では、再循環水の影響のためか、リンの寄与が大きく、NP 比が小さいことから、海域の植物プランクトン組成にも影響を与える可能性がある。

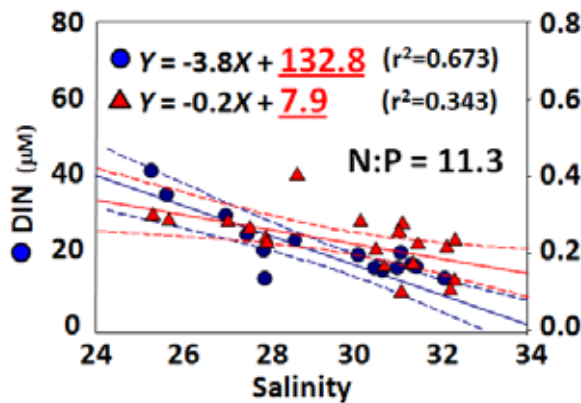


図 3-A 河川水影響域の栄養塩濃度

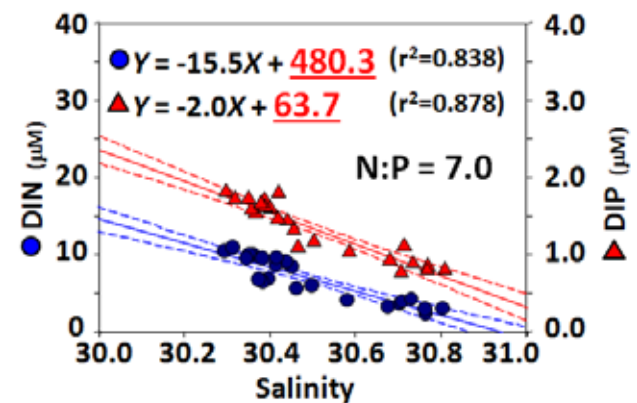


図 3-B 地下水影響域の栄養塩濃度

淡路島からの地下水流入量の効果を考慮していない状況ではあるが、前項で示したように、地下水湧出のフラックスとしての寄与は、大きく見積もっても河川水フラックスの 1% ほどであった。しかしながら、本項で示したように地下水に含まれる栄養塩濃度が高いことから、溶存無機態窒素の寄与は 2-4%、溶存無機態リンの寄与は 5-8% と見積もられる。河川水は、大雨などの直後の出水量が大きい、その後の流量は減少する。一方で、地下水は帯水層が緩衝作用として働くため、降水量が少ない時期にも淡水を供給する性質を持つ。さらに、大きな河川の流入が見られない、大阪湾南部海域では、地下水の寄与率はさらに大きくなると考えられる。そのため、沿岸海域の植物プランクトンや、それに伴って二枚貝などの底生生物の成長に対して地下水としての淡水流入と、地下水が運び込む栄養塩の与える影響も大きいと考えられる。

【 謝辞 】

本研究の遂行にあたり、小野寺真一・清水裕太（広島大）、林美鶴・牛原康博（神戸大）、安元純（琉球大）、山口聖・塩川麻保（長崎大）ら、各氏のご協力をいただきました。