

南西諸島石灰岩地域砂浜における地下水による 陸域起源物質の海域への流出

田代 豊・吉田 衣理・栗原 章・仲宗根直司

要旨

沖縄島石灰岩地域の砂浜で、干潮時に波打ち際5地点の滲出水を採取し分析した。その結果、1地点の水から 2 mgL^{-1} の硝酸イオンが検出され、この水はCODも他の地点の水より高かった。この地点の周辺には基盤の石灰岩が露出しており、この地点から後浜部にかけての砂浜の中にも石灰岩と見られる岩盤が続いていることが観察された。この地点を含む波打ち際の4地点で底質のCODを測定したところ $0.8\sim 1.4\text{ mgOL}^{-1}$ であり、特筆すべき汚染は見られなかった。南西諸島海岸において砂浜内に石灰岩基盤構造に起因する地下水流路が形成されており、そこを通った陸域起源汚濁物質の局所的な海域への流出が存在する可能性があることが示唆された。

Discharge of Terrestrial Substances into the Sea with Groundwater at a Beach in Limestone Area of Japanese Southwest Islands

Yutaka Tashiro, Eri Yoshida, Akira Kurihara and Naoji Nakasone

ABSTRACT

Water samples seeping through the sand at 5 sites on the shoreline of a beach in Okinawa Island were analyzed. The water sample at one site contained 2 mgL^{-1} of nitrate and showed higher COD than other samples. Limestone bedrock was observed not only on the surface of the beach around this site but also underground between this site and the backshore. COD of the sediment samples from 4 sites on the shoreline of this beach was also measured, and the values were in the range of $0.8\sim 1.4\text{ mgOL}^{-1}$, showing no apparent pollution. It is suggested that pollutants can emit to the ocean through the groundwater channels which have been formed under the beaches by the structure of limestone bedrock in Japanese Southwest Islands.

1. はじめに

海底地下水湧出 (submarine groundwater discharge: SGD) は、陸域起源の物質が海域に供給される河川とは別の重要な過程として、近年わが国においても研究が進められつつある。南西諸島の隆起石灰岩からなる島々では土壌への浸透水量が多く、SGDが陸水の海域への重要な流出過程であると考えられる。

一方、これら隆起石灰岩からなる島々の多くでは、地下水の硝酸性窒素汚染が問題になって久しい。南西諸島では一般に平地部における耕地率が高く、さらに、肉牛飼育や養豚などの畜産も多い。このため、これらに起因する窒素発生量が多く、南西諸島の多くの島々で人為的影響を受けたと考えられる地下水硝酸性窒素濃度が観測されている (田代・渡久山 2004)。

こうした窒素分に富む地下水は最終的にはSGDなどの形で沿岸海域に流出し、沿岸海域海水への窒素の重要な供給源となる (Johannes 1980) が、国外ではサンゴ礁生態系に対する人為的な栄養塩の影響も報告されている (McCook 1999; Smith et al. 2001)。南西諸島においても沿岸海水中の窒素成分の分布について、ある程度詳細な研究がなされている地域もある (中西ら 2005; 西銘ら2003; Crossland 1982; Umezawa et al. 2002)。それらによると、地下水を通じて沿岸海域へ窒素が流出しており、南西諸島の貴重なイノー (礁池) の生態系にも影響を与えている可能性がある。しかしながら、海域に対する陸域起源窒素の負荷量を評価するとともに汚染の発生源を推定する上で必要となる、砂浜内での地下水流動状況について具体的に調査されている海岸は南西諸島にはほとんどない。

本研究は、隆起サンゴ礁からなる南西諸島の砂浜における汚染地下水の流動状況についての知見を得ることを目的に、沖縄島中南部西海岸の砂浜において、干潮時に滲出する地下水の水質を分析するとともに、砂浜内の地下水流動に関係すると考えられる石灰岩の基盤構造について調査した。

2. 方 法

1) 調査地域の概要

水および底質試料の採取は、沖縄島中南部西海岸に位置する沖縄県読谷村渡具知 (とぐち) の木綿原 (もめんばる) 海岸で行った。本地域の海岸線は比較的直線的な砂浜が数キロメートルにわたって続き、各砂浜は数百メートル程度あるが、それぞれが、幅数十メートル程露出する石灰岩の基盤岩により区切られる。木綿原海岸は、比較的平坦な地形をなす第四期石灰岩地域に含まれ、米国陸軍施設 (トリイ・ステーション) の南端に隣接した砂浜で、後背地には比高数メートルの明瞭な海岸段丘上に畑地と住宅が混在している。砂浜の北端には、基盤である石灰岩から成る規模十数メートルの小突端が露出している。

2) 水試料および底質試料の採取

Fig. 1 の A ~ E に示す 5 地点において、2006年12月6日午後1~2時に、砂浜の波打ち際の砂から滲出する水約50 mlを、ポリプロピレン製ピンを用いて直接採取した。また、

Fig.1のB、C、E、Fの4地点において、波打ち際表層の底質をフタ付きプラスチック製容器に採取した。なお、採取時は晴天で大潮の干潮時であった。

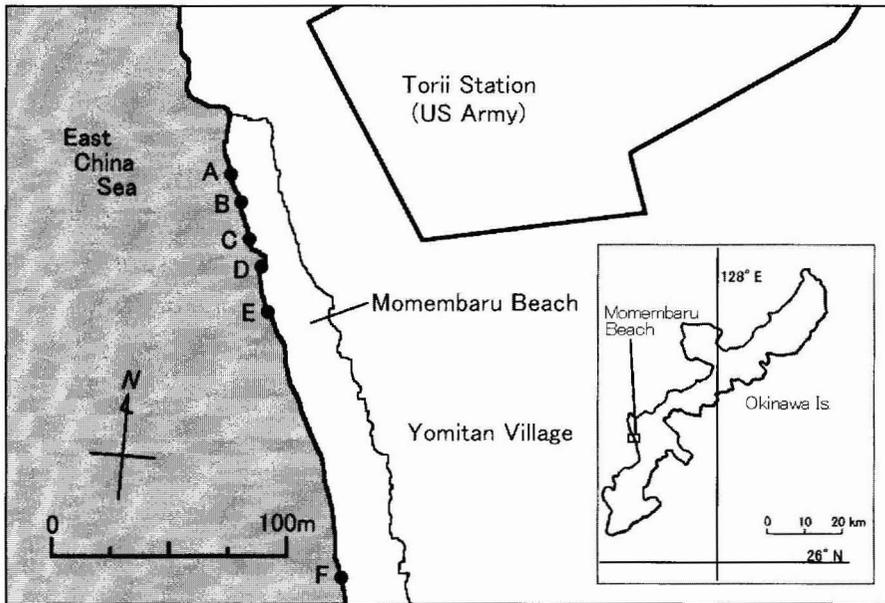


Fig.1 Location of sampling sites (●).

3) 水試料および底質試料の分析

採取した試料は実験室に持ちかえり、以下の項目について測定した。

(1) 水試料の硝酸イオン：Merck社製「RQfrex」を用いて測定した。この方法は、発色試薬を含浸させたフェルトを貼り付けたストラップを試料に浸し、硝酸イオンとの反応による発色を反射型光度計によって測定するもので、公定法による測定結果と比較的良好な相関が認められている（高平ら 1998）。

(2) 水試料のCOD：共立理科学研究所製「パケットスト」を用いて測定した。

(3) 水試料の電気伝導度：電気伝導度計（Eutech Instruments社製ECTestr11+）を用いて測定した。

(4) 底質試料のCOD：アルカリ性過マンガン酸カリウム法（環境庁 1988）によって測定した。

4) 石灰岩基盤構造調査

地点B付近の砂浜の後背部には、数メートル規模の基盤がパッチ状に露出していたため、高潮位付近の砂浜をシャベルで掘り、砂中の基盤の高さを確認した。

3. 結果

1) 水試料の分析結果

水試料の分析結果をTable 1に示した。B地点のみから硝酸イオンが検出された。また、CODも、B地点が最も高かった。電気伝導度はいずれも高く、採取した試料は、満潮時に砂浜に侵入し干潮時に浸出する海水が大部分を占めていると考えられた。

Table 1 Results of water analyses

Site	Nitrate (mgL^{-1})	COD (mgOL^{-1})	EC (mScm^{-1})
A	< 1	2	>20
B	2	4	>20
C	< 1	1	>20
D	< 1	1	>20
E	< 1	2	>20

2) 底質試料の分析結果

底質試料のCOD測定結果をTable 2に示した。砂浜の南端寄りのF地点を含め、全4地点のCODは $0.8 \sim 1.4 \text{ mgOL}^{-1}$ の範囲内にあった。

Table 2 COD of sediment

Site	COD (mgOL^{-1})
B	0.8
C	0.8
E	1.3
F	1.4

3) 基盤石灰岩調査結果

B地点周辺の波打ち際付近には砂浜上に岩が幅3 m程度の範囲に露出しているが、B地点から汀線と垂直に後浜部に向かう直線上で距離を変えて砂を掘ったところ、砂の中から基盤である石灰岩と見られる岩が現れた。その深さは後浜部に向かうにつれ深くなり、最も後浜部に近い地点（B地点から15 m）では地下50 cmであった。このような分布から、B地点周辺に露出した岩と砂に埋まった岩は全体が連続した基盤であると推定された。さらに、この浜の後端部は最も新しい海岸段丘と思われる高まりで区切られ、数メートルの盛り上がりを見せるが、それを被覆するように植生が繁茂している。B地点の後浜端部は、基盤の石灰岩が数メートル程度前浜に尖出しているため露出した石灰岩を確認することができた。

また、調査時に掘った穴のうち最も深いものの中からは、岩盤の上12 cm付近に砂が緑色を帯びた厚さ2 cm程度の層があり、この層の中から木片や金属製品が見つかった。

4. 考 察

本研究の結果、木綿原海岸の比較的狭い範囲の砂浜上の5地点における滲出水のうち、B地点の滲出水だけから硝酸イオンが検出された。この水は陸域からの地下水を含んでおり、B地点付近に地下水の流出路が存在すると考えられる。B地点では他の地点よりやや高いCODも検出されていることから、この地下水は表流水の水質の影響を強く受けた比較的浅層の地下を流れる地下水であると考えられる。

一方、平成15年度に沖縄県が実施した公共用水域水質調査（沖縄県 2004）の中で、比較的人為的な汚染が小さいと予想される海域の底質CODは0.3~1.0程度であった。本研究で測定された木綿原海岸の底質CODをこれらと比較すると、B地点を含めて同等か若干高い程度であり、砂浜自体の特筆されるような有機物汚染はなかったといえる。このことから、B地点の滲出水に検出されたCODは、砂浜表面付近に含有される懸濁態有機物に起因するものよりも、溶存態として陸域から地下水に供給された有機物が大きく寄与していたことが示唆された。

本調査を実施した砂浜の北側の岬は本地域の基盤を成す石灰岩の高まりによって形成されており、そこから南側に向かって基盤が深くなっていると考えられる。B地点付近で観察された石灰岩の岩盤は、この基盤石灰岩の小規模な高まりが地表付近に露出したもので、この石灰岩の層理面に平行に走るフィッシャーなどが地下水の通り道となってB地点に流出している可能性がある。そして、B地点から後浜部にかけての地下に埋まっている岩盤より上の層から木片や金属製品が見つかったことから、本海浜の砂は流動性が高く台風等の暴浪等により容易に移動するもので、以前はこの岩盤のより多くの部分が地表に露出していたものと推定される。さらに、この層の砂が変色していたことから、この層が地表に露出していた際に表面を水が被い微生物が繁殖していた可能性がある。土地利用の変化などにより地下水量が減少している地点が南西諸島の随所に見られるが（田代 2002）、この地点もかつては砂浜上に湧水が流出して水路を形成していたものが、現在は地下水量が減り砂に埋没した岩盤に沿って地下水が滲み出す程度になったものと推定される。

硝酸性及び亜硝酸性窒素濃度の地下水水質環境基準は 10 mgL^{-1} とされており、これは硝酸イオン濃度で 44 mgL^{-1} に相当する。これと比較して、今回B地点の滲出水から検出された硝酸イオン濃度は低いものであった。しかしこれは満潮時に砂浜内に浸入した海水による希釈を受けたものであり、農地が多いこの地域の地下水の窒素濃度は他の南西諸島石灰岩地域と同様、ある程度高いものであると予想される。本研究においてB地点で観測された地下水流出がこの海岸における物質収支全体の中でどのような意味を持つかについては、水量の把握も含めて今後の調査が待たれる。

本研究の結果により、南西諸島海岸において一見均一に見える砂浜に石灰岩基盤構造に起因する地下水流路が形成されており、そこを通った陸域起源汚濁物質の局所的な流出が存在する場合があることが示唆された。砂浜海岸における窒素流出総量の推定を目的とした地下水観測においては、基盤岩形状の詳細な観察等により、こうした地下水流路の有無を確認することが重要であると考えられる。

5. 参考文献

- 沖縄県 『平成15年度水質測定結果』、2004
- 環境庁 『改訂版 底質調査方法とその解説』、1988
- 高平兼司・田代 豊・中西康博 「地下水硝酸イオンの簡易測定法の検討とスクリーニング調査例について」、『第30回沖縄県公衆衛生学会抄録集』、1998、pp.15-16
- 田代 豊 「地下水の量に関することがら」、『サンゴ礁の島の地下水保全－「水危機の世紀」を迎えて－』（資料編）、宮古島地下水水質保全対策協議会、2002、pp.159-167
- 田代 豊・渡久山章 「南西諸島共通の環境問題としての地下水窒素汚染」、『第65回分析化学討論会講演要旨集』、2004、pp.131
- 中西康博・高平兼司・平良栄彦・奥田夏樹 「沖縄島南部沿岸部環境に及ぼす富栄養地下水の影響（予報）」、『日本サンゴ礁学会第8回大会講演要旨集』、2005、pp.7
- 西銘史則・山城 篤・田代 豊・砂川智英・岩永洋志登・湧川直樹・仲宗根直司・馬場 章・当真 武 「イノー（礁池）における基礎生産力と地下湧出水に関する研究（予報）－糸満市名城地先の礁池における地下湧出水の水質と海藻類について（1）－」、『沖縄生物学会第40回大会講演要旨集』、2003、pp.10
- Crossland, C. J. “Dissolved Nutrients in Reef Waters of Sesoko Island, Okinawa: a Preliminary Study,” *Galaxea* 1, 1982, pp.47-54
- Umezawa, Y., Miyajima, T., Kayanne, H. & Koike, I. “Significance of Groundwater Nitrogen Discharge into Coral Reefs at Ishigaki Island, Southwest of Japan,” *Coral Reefs* 21, 2002, pp.346-356
- Johannes, R. E. “The Ecological Significance of the Submarine Discharge of Groundwater,” *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 3, 1980, pp.365-373
- McCook, L. J. “Macroalgae, Nutrients and Phase Shifts on Coral Reefs: Scientific Issues and Management Consequences for the Great Barrier Reef,” *Coral Reefs* 18, 1999, pp.357-367
- Smith, J. E., Smith, C. M. & Hunter, C. L. “An experimental Analysis of the Effects of Herbivory and Nutrient Enrichment on Benthic Community Dynamics on Hawaiian Reef,” *Coral Reefs* 19, 2001, pp.332-342