

B-4 Tuvalu国Fongafale島海岸の 人為汚染の現状

○藤田 昌史^{1*}・王 峰宇¹・鈴木 準平²・横木 裕宗¹・茅根 創³

¹茨城大学工学部都市システム工学科（〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1）

²電力中央研究所環境科学研究所水域環境領域（〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646）

³東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻（〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1）

* E-mail: fujita@mx.ibaraki.ac.jp

1. はじめに

Tuvalu国などの環礁国が抱える脆弱性は、海面上昇により引き起こされる海岸浸食、浸水、洪水など¹⁾、IPCCが指摘しているグローバルな要因に加えて、ローカルな要因も複合的に関係していることが指摘されている²⁾。

中部太平洋には、Tuvalu国などに属する環礁が数多く存在するが、この地域一帯の環礁州島では、砂の起源は主として有孔虫殻である²⁾。すなわち、砂の生産は生物プロセスに依存している。一方、環礁国の本島は人口密度が高いことから（Tuvalu国Fongafale島：8,300人/km²）、人間活動に起因する水質汚濁やゴミ問題がローカルな要因として、砂の生産者である有孔虫の生息に影響を及ぼすことが懸念されている³⁾。

環礁における水質汚濁については、人口密度と水質との関係が議論されている。Osawaら⁴⁾は、高人口密度地域の付近の海岸では栄養塩類濃度が相対的に高く、有孔虫の生息量が相対的に少ないことを報告している。通常よりも高い濃度で栄養塩類が存在することにより有孔虫の生息環境が変化することや、共生している藻類との関係に悪影響を及ぼすことが、有孔虫の生息に及ぼす負の要因として考えられている。しかしながら、環礁における汚濁の原因や機構についての知見は限られている⁵⁾。

本研究では、Tuvalu国のFongafale島の住居地域や自然地域付近のラグーン海岸において、海水の水質や底質の重金属含有量などを調査した。

2. 方法

(1) 調査地点

Tuvalu国の首都Funafuti環礁のラグーン海岸を調査対象として、2010年4月、8月、2011年1月に現地調査を実施した。Fongafale島で最も住居が集中しているアラビ地域（AP）と近くに住居がなく人為的な影響が無視しうると考えられる南端（ST）、北端（NT）を調査地点とし

た。両地点ともに、汀線からラグーン側に約15m程度、礁原の底部から約20cmの高さに各電極面を設置した。観測期間中の水深は0.4~0.6m、潮位は1.0~3.2mであった。

(2) 海水中的水質、大腸菌数

水温、電気伝導度、塩分、溶存酸素、pH、酸化還元電位の各電極を装着した多項目水質計（Model 6600V2, YSI/Nanotech）を用いて、地点AP、STでそれぞれ10分間隔で約1日間連続測定した。また、糞便汚染指標である大腸菌数を評価するために、両地点において、連続採水を行った。試料はすみやかに10倍希釈し、MPN法に基づく市販のキット（Colilert 18/QuantiTrayTM, IDEXX）により測定した。

(3) 底質の微生物量、重金属含有量

地点AP、STの底質の微生物量を評価するために、底質を採取して既報⁶⁾にしたがいキノプロファイル分析を行った。また、ICP-MSにより重金属を分析した。

3. 結果と考察

(1) ラグーン海岸の汚濁の状況

a) 水質

地点AP、STで測定した多項目水質計の結果を図-1に示す。ここでは、現象を説明するうえで有用であった塩分、pH、酸化還元電位の結果のみを表示した。STでは塩分濃度が34.7‰であった。4月6日8時頃に一時的に減少したが、これは降雨によるものである。この地点は、人為的な影響が無視しうると考えられることから、自然の海水の塩分濃度を示していると判断できる。一方、APではこの値よりもやや低い値を示した。この間、降雨は観測されていないことから、海水よりも塩分濃度の低い降雨以外の水が混入したと考えられる。

STの酸化還元電位は終始プラスの値を示していた。しかしながら、APではマイナスの値を示す時間帯があり、最小値は-61mVに達した。一方、pHはST、APとも

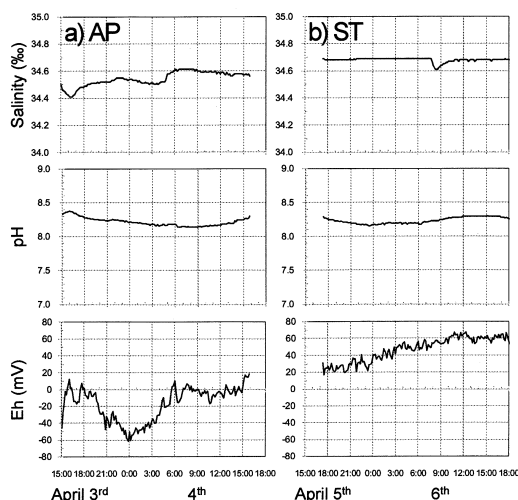


図-1 ラグーン海岸の塩分、pH、酸化還元電位

に夜間に減少し、昼間に上昇する傾向が見られた。したがって、藻類の呼吸や光合成が行われていたと推測される。しかしながら、APの酸化還元電位の最小値は4月4日0時頃に見られたことから、酸化還元電位の変化は藻類の活動に連動しているとは考えにくい。上述した塩分濃度の低い水が混入した可能性とあわせて考えると、酸化還元電位が著しく低下した時間帯に汚水が流入したものと推測される。

b) 底質の細菌群集構造

STの底質のキノン含有量は $0.11\mu\text{mol/kg}$ であったのに対し、APでは $0.54\mu\text{mol/kg}$ であった。つまり、APでは底質中の細菌量がSTよりも約5倍も高かったと解釈できる。明らかに、細菌の炭素源やエネルギー源となる有機物が供給されているものと考えられる。

APとSTのキノン組成を図-2に示した。APの優占キノン種はQ-8>Q-10>MK-7、STはMK-6>Q-10>Q-9の順序であった。キノンに基づく細菌の化学分類は、16S rRNAに基づく系統学的な分類と対応することが知られている⁹⁾。Q-8を含有する細菌はBetaproteobacteria、MK-6を含有する細菌はLow G+C gram-positive bacteria または Cytophaga/Flavobacterium groupに属する細菌である⁹⁾。したがって、それぞれの地点では明らかに異なるグループの細菌が優占していたことになる。MK-7はDesulfotomaculumやDesulfococcusなどの硫酸塩還元細菌が含有するキノン種である⁹⁾。APの底質からは酸揮発性硫化物が検出されたこと(表-1)や、上述したようにマイナスの酸化還元電位が観測されたことや、自然の海岸に比べて約5倍の細菌が生息できるほどの有機物が供給されていた可能性を想定すると、底質に硫酸塩還元細菌が生息していた可能性は十分にある。

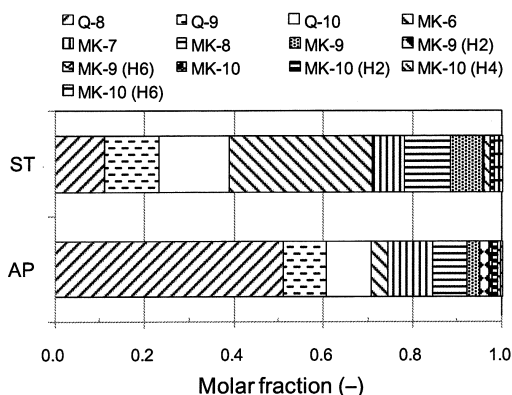


図-2 ラグーン海岸底質のキノン組成

以上の結果から、APには汚水が流入している可能性が大いに考えられ、水質汚濁は慢性化しているものと判断される。

c) 底質の重金属含有量

地点AP、NTから採取した底質の重金属含有量を表-1に示した。NTに比べてAPでは、Cr、Mn、Ni、Cu、Zn、Cd、Pbの含有量が高かった。汚染の程度を評価するためにContamination factor⁷⁾を計算したところ、これらの重金属による汚染は著しい(very high contamination)と判定された。生活排水中にもこれらの重金属が含まれることは知られていることから、このような汚染は流入する生活排水に起因しているものと考えられる。

(2) 水質汚濁の機構

一般的に汚濁源は、面源と点源にわけられる。Fongafale島の土地利用から判断すると、面源負荷によりラグーン海岸で著しく水質汚濁が起こっているとは考えにくい。また、工場や農場はない。Fongafale島の人口は4,492人であり、639軒の住居がある。下水処理場のような集合処理施設はないが、424軒は生活雑排水とトイレ排水を受け入れるSeptic Tankを保有しており、地中に埋設されている。ただし、我が国のように送風して好気処理を行うタイプではなく、沈殿処理のみを行っているに過ぎない。残りの163軒はピット式トイレを使用している。つまり、92%の住居は国連ミレニアム開発目標に記載されている改善衛生施設(improved sanitary facilities)を所有していることになり、水質汚濁の原因が見あたらない。そこで、Tuvalu国政府の公共事業局(Public Works Department)に問い合わせたところ、設置されているSeptic Tankのほとんどは底部が密閉されていない、いわゆるボトムレスであることがわかった。仕様書は豪国から提供されているものであったが、そのとおりには施工されていないということである。

Septic Tankやピット式トイレから汚水が地中を通じて

表-1 底質の重金属含有量

	AP	NT
AVS (mg/g)	0.069	<0.002
Cr (ng/g)	203.5	26.2
Mn (ng/g)	92.3	13.1
Ni (ng/g)	74.7	81.8
Cu (ng/g)	364.3	9.6
Zn (ng/g)	774.4	34.9
Cd (ng/g)	5.5	0.4
Pb (ng/g)	443.9	20.7

ラグーン海岸に流出しているとする、汚水にはトイレ排水も含まれていることから、海岸の海水からは糞便汚染の指標である *E. coli* が検出されるはずである。STでは検出されなかったが、APでは8,310MPN/100mLであった。したがって、Septic Tankの汚水がラグーン海岸の汚染源であることが裏付けられた。我が国では生活環境保全の観点から、海域の大腸菌群数の基準値が設けられている。A類型では1,000MPN/100mL以下である。*E. coli*と大腸菌群の数を直接比較することはできないが、大腸菌群の一部である *E. coli* の数がこれほど高いのは、健康リスクの観点からも懸念がある。

連続計測した結果を図-3に示した。下げ潮のときの方が、上げ潮のときよりも大腸菌数は相対的に高かった。前述したように、底質から酸揮発性硫化物が検出されたことをあわせて考えると、引き潮のときにボトムレスのSeptic Tankやピット式トイレから汚水が地中を通じてラグーン海岸に流出していると考えられる。

4. まとめ

住居地域のなかでも高人口密度地域では、引き潮時に海水中の酸化還元電位が約-60mVまで低下するときがあり、大腸菌も検出された。ヒアリング調査からSeptic Tankが約7割普及しているもののボトムレスであることがわかり、引き潮時に浸出する生活排水が主要な汚濁源であることがわかった。住居地域の底質は自然地域に比べて約5倍のキノン含有量があったことから、住居地域

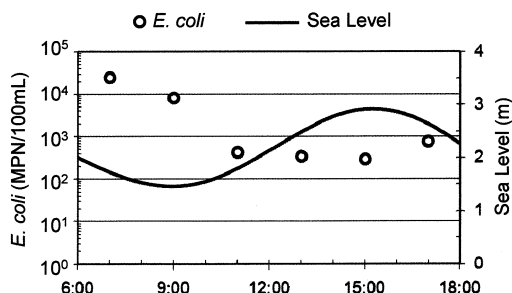


図-3 潮位と大腸菌数との関係

付近の海岸では汚濁が慢性化しているといえる。また、高人口密度地域の底質では、Cr, Zn, Cu, Pb, Cdの含有量が自然地域よりも著しく高かった。

謝辞：本研究は、JST/JICA SATREPSの支援を受けた。

参考文献

- 1) N. Mimura *et al.*: Small islands, Climate Change 2007, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 687–716, 2007.
- 2) 山野博哉：グローバル・ローカルな要因による小島嶼国の環境問題，水環境学会誌，33 (8)，234–237，2010.
- 3) R. Richmond *et al.*: Status of the coral reefs in Micronesia and American Samoa: US affiliated and freely associated islands in the Pacific, Status of Coral Reefs of the World: 2002. GCRMN Report. Australian Institute of Marine Science, Townsville, pp. 217–236, 2002.
- 4) Y. Osawa *et al.*: Human impacts on large benthic foraminifers near a densely populated area of Majuro Atoll, Marshall Islands, *Mar. Pollut. Bull.*, 60, 1279–1287, 2010.
- 5) M. Fujita *et al.*: Anthropogenic impacts on water quality of the lagoonal coast of Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu, *Sustain. Sci.*, 8 (3), 381–390, 2013.
- 6) M.D. Collins *et al.*: Distribution of isoprenoid quinone structural types in bacteria and their taxonomic implications, *Microbiol. Rev.*, 45 (2), 316–354, 1981.
- 7) L. Hakanson: An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water res.*, 14, 975–1001, 1980.