

都市化した環礁の沿岸底質中の重金属の存在形態の評価

茨城大学大学院 学生会員 ○鍾 志 正会員 藤田 昌史

1. はじめに

中部太平洋にある低平なサンゴ礁であるフナフチ環礁（ツバル国）やマジュロ環礁（マーシャル諸島共和国）は、海面上昇に対して脆弱である。環礁では、国土の形成維持において沿岸に生息する石灰化生物が重要な役割を果たしているが、近年、都市化による環境汚染により、サンゴ礁生態系が劣化しつつある。生活排水、廃棄物、自動車、船舶等の影響による沿岸底質の重金属汚染が報告されている¹⁾²⁾。一方、底質に蓄積した重金属は、その存在形態による溶出しやすさが異なる³⁾。従って、重金属汚染やその影響を評価するためには、底質中の重金属の存在形態を把握する必要がある。

本研究では、フナフチ環礁の沿岸における生活排水の流出経路 T1、マジュロ環礁の都市域の沿岸 M1、生活排水の放流口付近の沿岸 M2、離島ではあるが船舶や廃棄物による汚染がある沿岸 M3 で底質を採取した。そして、重金属の含有量および存在形態を評価した。

2. 方法

誘導結合プラズマ質量分析機（ICP-MS）を使用して7つの重金属 Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb の含有量を測定した。重金属の汚染度と存在形態を分析するために、Joy et al (2020) の方法に従い、重金属の存在形態を6つの画分に分けた。溶出のしやすさは、水溶性画分 (F1) > 表面吸着画分 (F2) > 有機物画分 (F3) > Mn 酸化物画分 (F4) > 弱結晶性 Fe 酸化物画分 (F5) > 残渣 (F6) である⁴⁾。汚染指数 (CF)、汚染負荷指数 (PLI) を用いて重金属の汚染度を⁵⁾、リスク評価コード (RAC) を用いて重金属の溶出性能をそれぞれ解析した⁶⁾。

3. 結果と考察

3.1 重金属の汚染度

各調査地点の沿岸底質の重金属含有量の総量は、M2 > T1 > M1 > M3 の順であった。地点 M1 で、最も含有量の多い重金属は Zn であり、Ni, Cu も多く含まれていた。これらは自動車交通に由来する重金属で

あると考えられる²⁾。地点 M3 で、最も含有量の多い重金属は Ni であり、Cr, Mn も多く存在していた。これは船舶、廃棄物よりの重金属と考えられる²⁾。地点 T1 と地点 M2 では、Pb の含有量が最も多く、Zn, Cu の含有量も多かった。これらは生活排水由来の重金属と考えられる²⁾。

各重金属の汚染指数 (CF) を計算した (表 1)。人為的な影響のない無人島の重金属含有量に比べて、4つの地点では、すべての重金属の CF 値は非常に高かった。特に地点 M1 では Cu, Zn, M3 では Cr, Mn, 地点 M2, 地点 T1 では Pb, Zn, Cu が高かった。各地点の汚染負荷指数 (PLI) を計算したところ、生活排水の影響を受けている M2 と T1 は他の地点よりも汚染度が高いことが分かった。生活排水の流出経路上のサンプルである T1 よりも M2 の方が PLI は高かった。

3.2 重金属の存在形態

水溶性画分 (F1) の重金属は、間隙水に簡単に溶出することが知られている。つまり、この画分の重金属は環境に最も影響を及ぼす。表面吸着画分 (F2) の重金属は、不安定な金属塩（炭酸塩）として存在している。これらの重金属は pH の低下により水中に

表 1 各重金属の CF 値と PLI 値

Site	CF							PLI
	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	
T1	218.3	209.8	97.67	713.8	681.1	226.7	681.8	319.0
M1	223.5	363.6	101.5	626.3	492.6	107.1	320.2	263.1
M2	275.5	1164	96.65	2292	1368	165.3	4668	690.7
M3	125.7	161.6	90.40	72.81	47.46	63.76	32.34	33.68

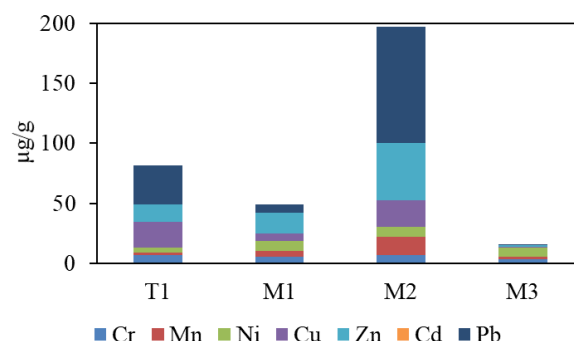


図 1 各調査地点の底質の重金属含有量

キーワード 重金属, 逐次抽出, 存在形態, 都市化, 環礁

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 Tel: 0294-38-5170 E-mail: masafumi.fujita.wenv@vc.ibaraki.ac.jp

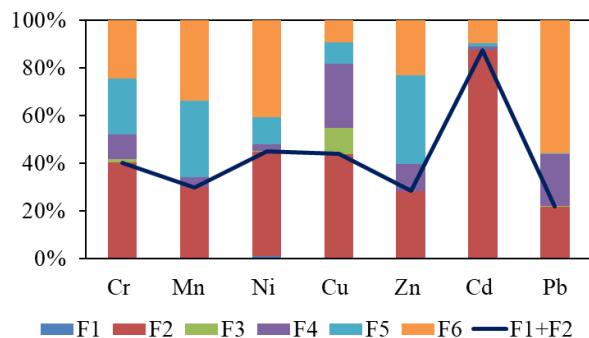


図2 各重金属の存在形態（地点 M2）

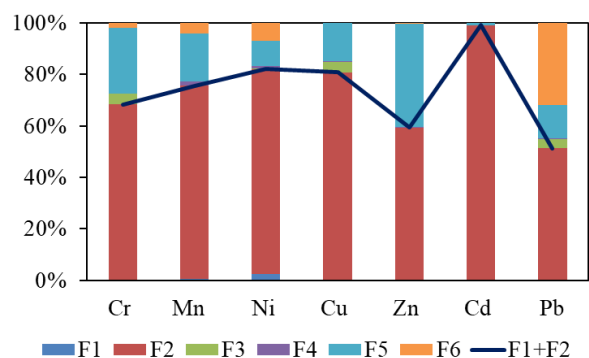


図3 各重金属の存在形態（地点 M1）

溶出する。本研究のサンプルは有孔虫砂（主に炭酸塩）であるため、図2に示したように、F2の存在割合が最も高かった。有機物画分（F3）の重金属は、有機物とキレート錯体になり、底質の酸化反応によって水中に溶出できる。Mn 酸化物画分（F4）および弱結晶性 Fe 酸化物画分（F5）の重金属は、底質の還元反応または酸性化によって間隙水に溶出できる。残渣に含まる重金属は、通常の条件では不動態の成分である。この画分の重金属は環境に影響を及ぼさないと認識されている。以上のことから、重金属の溶出については、F1とF2に注目すべきである。

図2に示したように、主に生活排水の影響を受けている地点 M2 では、各重金属の F1 と F2 の存在割合は 21.85%~44.95%（Cd を除く）であった。一方、図3に示したように、主に自動車交通の影響を受ける地点 M1 では、51.23%~82.03%（Cd を除く）であった。つまり、地点 M2 と地点 M1 を比較すると、重金属の汚染度は地点 M2 の方が高いが、地点 M1 の方が重金属が溶出しやすいことを意味する。

そこで、他の地点についても、F1 と F2 の存在割合（RAC 値）を算出し、表2にまとめた。RAC 値は、水中に溶出しやすい重金属の割合を示す係数である。RAC > 50%では溶出性が非常に高い、31% < RAC <

表2 各調査地点の重金属の RAC 値

Site	RAC (%)						
	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
T1	32.78	36.42	51.78	66.29	40.68	58.25	44.87
M1	68.31	75.55	82.03	80.80	59.34	99.22	51.23
M2	40.34	29.98	44.95	43.87	28.34	87.35	21.85
M3	73.59	82.93	83.13	0.000	60.82	100.0	36.31

50%では溶出性が高い、11% < RAC < 30%では中程度の溶出性がある、1% < RAC < 10%では溶出性が低い、RAC < 1%では溶出性がないと解釈できる。

地点 T1 では、前述したように底質中の含有量の高かった Cu, Zn, Pb の RAC 値を見ると、Cu は溶出性が非常に高い、Zn, Pb は溶出性が高いと判断された。一方、地点 M3 では、底質中の含有量の高かった Cr, Mn は、いずれも溶出性が非常に高いと判断された。生活排水の流出経路上にある地点 T1 よりも、離島の沿岸の地点 M3 の方が重金属が溶出しやすい結果となった（Cu, Pb を除く）。

4. 結論

フナフチ環礁、マジュロ環礁において都市化した地域の沿岸底質を対象として、重金属の含有量と溶出性を評価した。その結果、生活排水の影響を受けると考えられた地点（M2, T1）では、重金属の含有量は相対的に高くなった。一方、これらの地点の重金属の溶出性は他の地点に比べて高くはなかった。前述したように、環礁の沿岸は有孔虫等の石灰化生物の殻が堆積しているため、もともとの地質的な特徴に違いはないと考えられる。したがって、重金属の溶出性の違いには、汚染源が影響している可能性が考えられた。

参考文献

- 1) Fujita *et al.*: *Chemosphere*, 95, 628-634, 2014.
- 2) Akther *et al.*: *Environmental Monitoring and Assessment* 193, 843, 2021.
- 3) 貫上ら: *土木学会論文集*, 64 (4), 304-313, 2008.
- 4) Joy *et al.*: *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111409, 2020.
- 5) Tomlinson *et al.*: *Helgolander Meeresunters*, 33, 566-575, 1980.
- 6) Saeedi and Jamshidi-Zanjani, *Ecological Indicators*, 58, 235-243, 2015.