

論文

岡山県笠岡湾およびその周辺の干潟堆積物の元素組成

石賀 裕明\*・塩原 秀治\*・佐野絵里香\*\*

Geochemical compositions of sediments from the tidal flat in Kasaoka Bay and neighboring areas in Okayama Prefecture, Japan

Hiroaki Ishiga\*, Hideji Shiohara\* and Erika Sano\*\*

Abstract

Geochemical compositions of sediments from the tidal flat in Kasaoka Bay and those of the Tamashima and Ashida-gawa areas of the neighboring bays in Seto Inland Sea were examined. The Kasaoka bay is one of the natural coasts remained within this inland sea and is well known for Horseshoe crab habitat at present. Heavy metals are useful elements for evaluation of coastal environments in comparison to iron concentration. A comparative study of other data from the estuaries of big cities in Seto Inland Sea reveals that zinc concentrations from Kasaoka, Tamashima and Ashida-gawa samples show similar level to those of the big cities (Urban trend). However, some of the Kasaoka samples show the lowered Zn concentration compared to the Urban trend. This group plots intermediate of the Urban trend and the normal sediment trend. Decreased concentration of Zn may be related to seawater circulation and probable restoration of natural ecosystem in Kasaoka Bay.

**Key words:** Kasaoka, Seto Inland Sea, tidal flat, sediments, geochemistry

はじめに

水環境の中で干潟は特殊な環境である。潮の干満の差が大きい地域では、干潮時に海面上に広大な海底面が現れる。河川からの堆積物の供給により、干潟は海洋方向へと前進する。また、河川の運ぶ粘土粒子は海水と混合してフロックをつくり、泥干潟の発達を促進する。本邦では、九州の有明海や不知火海を代表として、中四国の瀬戸内海沿岸にはかつて広大な干潟が発達していた。このうち瀬戸内海の沿岸地域は昭和30年代からの急速な土地利用の変化と人工集中によって海岸線は変化した。今日ではほとんどが人工的な海岸となっている。比較的広い干潟が存在するのは、岡山県笠岡湾地域とその周辺、山口県の山口湾の小郡地域、周防灘西部の小月地域などに限られている。笠岡湾はカブトガニ生息地として知られているとともに、今日では干潟・藻場の保全のための環境管理が行われている。瀬戸内海の環境は1973年の瀬戸内海環境保全特別措置法の制定により環境保全、修復の取り組みがなされている。本論ではこのような干潟の現在の環境を地球化学的に評価するために干潟の堆積物の元素組成を検討した。重金属やイオウ含有量は水環境を評価する上で重要な指標であるので、瀬戸内海の岡山市や広島市の河口域の堆積物

のデータとの比較を行い、笠岡湾の干潟環境を評価する。

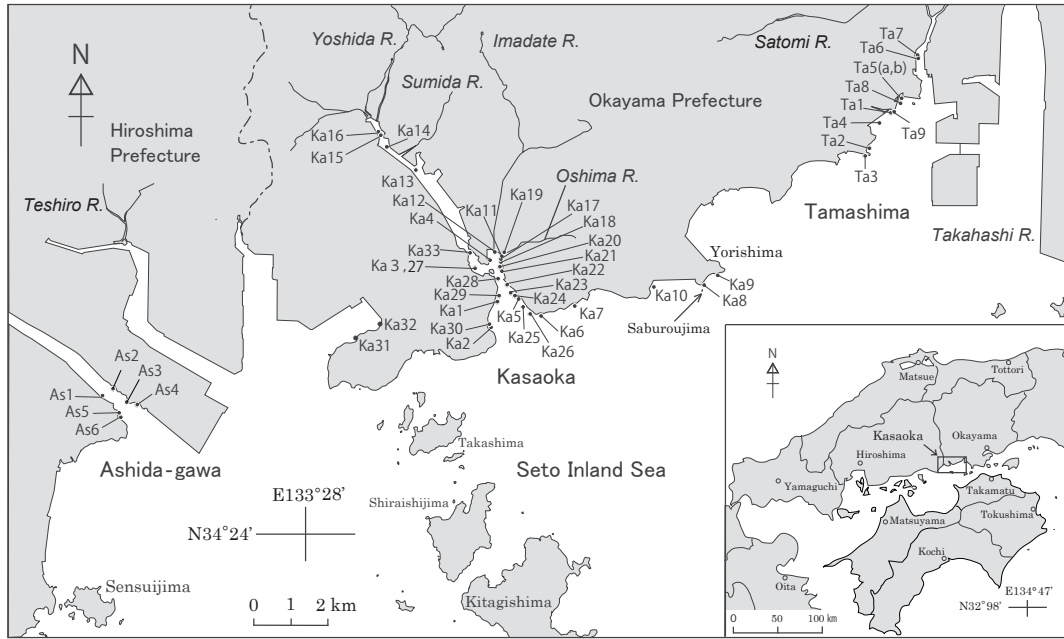
沿岸域の干潟分布

1. 笠岡湾

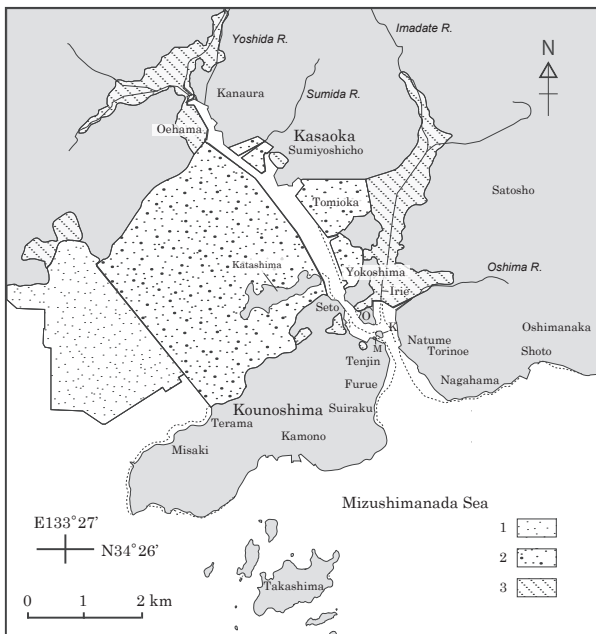
笠岡湾はかつて神島までの幅4 kmに至る広大な入り江が存在していた。しかし、昭和41年着工の干拓事業によって、海面1800 haが干拓された(広瀬, 1990)。そのため、干拓地の北東側に北西南東方向に狭長(延長2.5 km, 幅約300 m)な湾入部(水路)と水島水道につながる湾口部となった(第1図)。両者は瀬戸でつながり、ここは水路が基盤の岩石の張り出しによって狭く(100 m)なる。湾入部も以前はほぼ2倍の幅があったが、埋め立ての進行で幅が狭くなっている。湾口部の奥の部分では東から“入江”とよばれる水路と合流する。湾口は1.38 km, 湾奥行きは2 kmで現在の海面は140 haである。湾の奥には小殿洲と呼ばれる島がある。干潟は瀬戸からおおどんす大殿洲、小殿洲および湾の沿岸に発達する(第2図)。高潮位時の汀線付近では砂干潟であるが、低潮位時には湾内に泥干潟が現れる(第3図)。2010年6月24日の調査では、水島灘に出る長浜の西方でアマモの繁殖が認められた。長浜や正頭しょうとうの海浜は砂干潟である。地質的には白亜紀の花コウ岩が広く分布する。笠岡地域の北に隣接する部分は北東-南西方向に延びる地帯構造をもつ舞鶴帯の構成岩類が分布する。白亜紀の花コウ岩はこの構造に調和的に貫入し、調査地域を含む幅約9 kmの範囲に広く分布する(光野・杉田, 1980)。長浜西の海岸や大殿洲にはハンレイ岩がみられる。

\* 島根大学総合理工学部地球資源環境学科  
Department of Geoscience, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan

\*\* 島根大学総合理工学研究科特別プログラム地球資源環境学専攻  
Graduate Course In Earth Science And Geoenvironmental Science, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan



第1図 調査地域(岡山県笠岡湾, 玉島, 広島県芦田川)の位置図, および試料採取地点を示す図。



第2図 笠岡湾の現在の海岸線を示す図。現在の笠岡湾は干拓事業で狭長な水路となった湾奥と瀬戸からつながり水島灘に広がる湾口に区分される。干拓地の区分について、1; 最も新しい時期のもの、2; 昭和41年に始まり平成2年に完成したもの、3; より古い時代に作られたもの。地名の略字について、O: 大殿州, K: 小殿州, M: 孫殿州。破線は干潟の分布を示す。

## 2. 玉島

調査地域は高梁川の流入する沿岸の西側にあたる。この沿岸の多くは埋め立てにより海岸線が大きく変えられている。玉島湾から水島海峡に面する沿岸に小さな自然海岸が存在する。また、埋め立て地の沿岸に新しく干潟が形成されている部分もある。



第3図 岡山県笠岡湾の湾奥(対岸は大殿州)の干潟を示す写真。高潮時に形成される海浜砂と低潮時の泥干潟が対称的である。

## 3. 芦田川

調査地域は福山市の西部で、大規模な埋め立てにより海岸線が変化している。芦田川は調査地域の最も西に流入する河川で、河口には干潟が発達する。

### 試料採取

試料は2010年4月15日、16日、および6月24日、25日に採取した。試料採取地点を第1図に示す。試料は干潟の泥質堆積物、及び満潮時の汀線の砂である。また、SS(浮遊物質)を測定するため6月には満潮時、及び干潮時に海水を採取した。

### 分析方法

#### 1. pH, ORP 値

泥質試料のpH, ORP(酸化還元電位)は採取後にガラス電極(ホリバD54)を用いて測定した。

## 2. 元素組成の検討

約 100 g 程度の試料を 160 °C の恒温器で 48 時間以上乾燥させた。これにより水分および揮発性有機物を取り除いた。乾燥試料は蛍光 X 線分析装置 (リガク RIX 2000) を用いて、粉末プレス法により微量元素組成 (As, Pb, Cu, Zn, Cr, V, Sr, Zr, Th, Sc, TS, Br, I, Cl [ppm]), 主元素組成 (TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*, MnO, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [wt %]) を求めた (第 2 表)。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* は全鉄を示す。SS は石英フィルターを 110 °C, 1 時間乾燥させ、試料水をろ過した後、同様の乾燥を行いあわせて測定した。SS を測定後の石英フィルターについて蛍光 X 線分析を行った。

## 分析結果

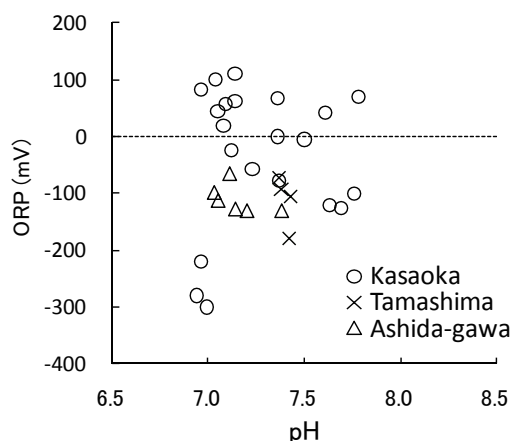
### 1. pH, ORP 値

3 地域について pH はおおよそ 7.0 から 8.0 の範囲にある (第 4 図)。ORP は笠岡の試料では約 +100 から -300 まで変化する。pH との関係では 3 試料を除いて負の弱い相関 ( $r = -0.55$ ) を持つものがある。玉島、芦田川の試料は負の値を持つ。

### 2. 元素組成

環境因子である微量元素についてみると (第 1 表)、Pb は笠岡では 18~43 ppm (Av. = 23.6 ppm, STD. = 6), 玉島は 22~40 ppm (Av. = 30.0 ppm, STD. = 6), 芦田川は 24~35 ppm (Av. = 29.3 ppm, STD. = 4) である。Zn は笠岡では 16~244 ppm (Av. = 75.5 ppm, STD. = 52), 玉島は 16~250 ppm (Av. = 142.2 ppm, STD. = 77), 芦田川は 58~161 ppm (Av. = 121.7 ppm, STD. = 40) である。Cu, Ni については笠岡において Ka 14 (Cu = 45, Ni = 34), Ka 15 (Cu = 54, Ni = 40) の 2 試料でやや高い。玉島については Ta 6 (Cu = 70, Ni = 35), Ta 7 (Cu = 55) の 2 試料でやや高い。Cr はいずれも 60 ppm 前後もしくはそれ以下である。TS は笠岡では 392~3418 ppm (Av. = 1318.9 ppm, STD. = 916), 玉島は 751~5352 ppm (Av. = 2678.6 ppm, STD. = 1449), 芦田川は 1791~4597 ppm (Av. = 3004.5 ppm, STD. = 1051) である。

その他の元素では Sr は笠岡では 66~258 ppm (Av. = 152.9 ppm, STD. = 43), 玉島は 107~231 ppm (Av. = 149.1 ppm,



第 4 図 岡山県笠岡湾, 玉島, 芦田川の干潟泥質堆積物の pH-ORP (酸化還元電位) を示す図。

STD. = 37), 芦田川は 79~257 ppm (Av. = 130.5 ppm, STD. = 64) である。Sr については笠岡と玉島の試料でほぼ同じ領域を示す。Zr は笠岡では 56~230 ppm (Av. = 114.9 ppm, STD. = 45), 玉島は 66~157 ppm (Av. = 111.8 ppm, STD. = 29), 芦田川は 82~157 ppm (Av. = 118.4 ppm, STD. = 26) である。

## 議 論

### 1. 元素組成からの水環境の評価

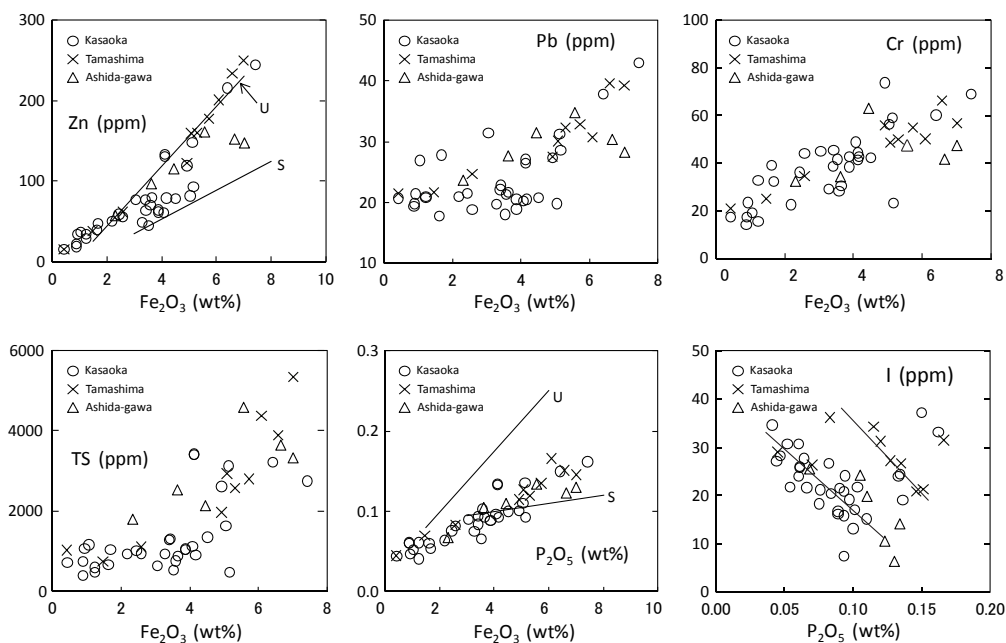
水環境の評価を行うために堆積物の元素組成は有効であり、近年多数の報告がある。また、本邦では陸上の河川の堆積物と海洋の堆積物の両方の元素組成の測定がされ、地球化学図が公表され (今井ほか, 2010; Ohta et al., 2007 など), 水環境の評価に重金属が有効であることが示されている。その中で Zn は人間生活の中で鉄とともに最もよく使用されている金属であり、両者の含有量及びその相関を用いて環境評価を行う試みがなされている (石賀ほか, 2003; Ahmed et al., 2005)。第 5 図は 3 地域の試料をプロットしたものである。プロットは両元素間で正の良い相関を持つグループとこれより亜鉛がやや低い領域にプロットされるものがある。正の良い相関を持つグループは都市の組成線 (U) に重なる。都市の組成線とは瀬戸内海沿岸の広島市や岡山市の河口における堆積物のデータから作られた回帰直線で、分散の小さなグループが直線に近似できることが示されている (石賀ほか, 2003)。一般の水環境の堆積物は傾斜の小さい組成線 (S) で示される。笠岡の試料のいくつかは都市の組成線と一般の水環境の組成線の間プロットされる。笠岡の試料のうち小殿州より外側の多くの試料 (例えば Ka 20, Ka 21, Ka 23 など) で Zn 含有量が低下していることがわかる。従って笠岡湾の干潟において水島水道に面する水循環のよい部分では Zn 濃度がやや低減されていることを示唆する。また、Zn 濃度がやや低下する点については、アマモが育成するこの部分は生物濃縮により堆積物の元素組成が変化した可能性があり、今後検討が必要である。

今井ほか (2010) の地球化学図では、笠岡湾を代表する試料は長浜の南東沖、今井 (2010) の試料リスト中番号の試料 18 燧灘~紀伊半島の Zn = 196 ppm, Pb = 50 ppm, および北木島の南南西沖、同 25 の Zn = 126 ppm, Pb = 34 ppm である。中国地方の瀬戸内海で Zn が 170.5~424.7 ppm の領域に塗色されているのは、広島市沿岸の海域と播磨灘である。笠岡湾が小規模な水域でありながら Zn 濃度が低くなっているのは水循環と生態系に関係するのかもしれない。

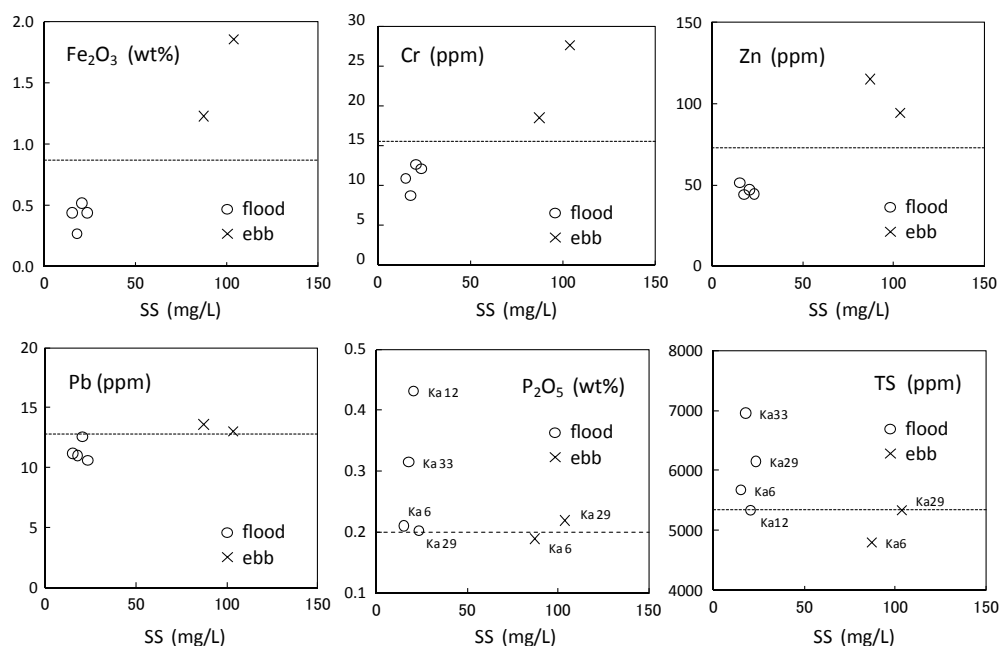
Pb については 3 地域の試料が鉄と強い相関 ( $r = 0.72$ ) を持つ。しかし、より詳細にみると笠岡の試料のいくつかは Pb の含有量がやや低い。Pb は重工業の発展に伴いその使用量が増加する。一般には堆積物には 20 ppm 前後含まれるので 3 地域の試料についてはやや高いものがあると言える。Cr と鉄については 3 地域の試料について正の強い相関 ( $r = 0.80$ ) を示す。Cr も工業地帯からの寄与が関係する。一般には堆積物の Cr の含有量は 20~40 ppm といえる。試料のほとんどが 20 ppm 以上のものであり、リンと鉄については組成線 (S: 横井・石賀, 2008 の第 2 図による) にほぼ近似される。TS と鉄は 3 地







第5図 岡山県笠岡湾, 玉島, 広島県芦田川の干潟堆積物の元素組成の相関図. 笠岡の試料では Zn -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  の相関において都市の組成線よりも Zn が低くなる試料がある. 詳細は本文参照. U は都市の干潟・河川の堆積物, S は一般の干潟・河川の堆積物を示す.



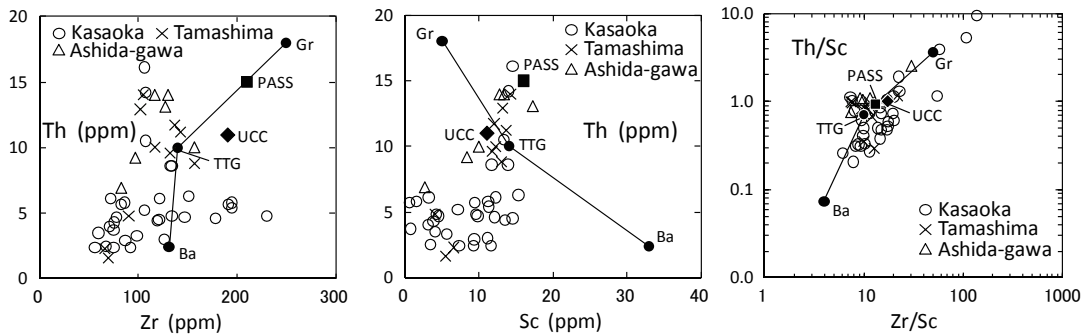
第6図 岡山県笠岡湾の干満時および満潮時の海水の SS (浮遊物質) と元素組成の関係を示す. 詳細は本文参照.

くなる. これは干潮時には海水の流れにより, より多くの懸濁物が形成されるためと言える. このような干潮時の SS の増加に比例して鉄, Zn, Cr は明瞭に増加する (第6図). しかし, Pb の増加はわずかである. リンについては干潮時, 満潮時でほとんど変化しない試料と満潮時の方が高くなる試料 (Ka 12, 33) がある. これらはそれぞれ大殿州に流入する入江の水路と瀬戸の試料である. 満潮時にはこのような水循環の

悪いところではプランクトンの発生が大きいと予想される.

## 2. 後背地の地質

後背地の地質を評価する上では Th, Sc, Zr,  $\text{TiO}_2$ , Nb などが有効である. 特に Th/Sc 比はよく用いられる (Condie, 1993; McLennan et al., 1993). 3 地域の試料において Th-Zr および Th-Sc のグラフでは広い範囲に分散する (第7図). Th/Sc-Zr/Sc

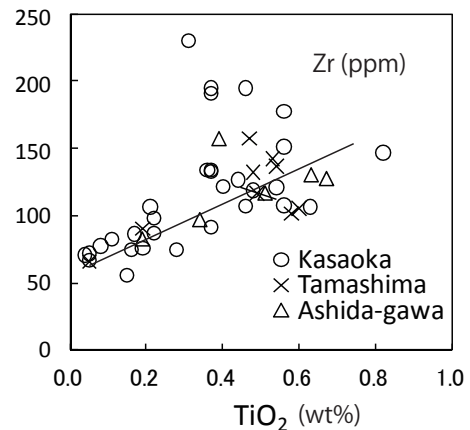


第7図 岡山県笠岡湾, 玉島, 広島県芦田川の干潟堆積物の後背地の考察のための Th-Zr-Sc の相関図. 詳細は本文参照. Gr (花コウ岩), PASS (Post-Archean Australian Shales), UCC (Upper Continental Crust), TTG (Tonalite-Trondhjemite-Granodiorite), Ba (玄武岩) の値は Condie (1993) による.

のグラフでも同様の傾向があるが, 対数グラフでは PAAS (Post-Archean Australian Shales) 平均値が頁岩組成を代表するものもしくは TTG 組成付近に集合する. PAAS とは平均的な頁岩組成を代表するもので Taylor and McLennan (1985) により提唱されている. TTG (Tonalite-Trondhjemite-Granodiorite) は Condie (1993) による. このようなプロットの分散は試料の Th の含有量が比較的低いためと考えられる. 笠岡湾周辺の地質からは花コウ岩質岩石が優勢であるので, Th はさらに高い含有量を持つと予想される. 笠岡湾周辺の沿岸域に流入する高梁川や芦田川の河川の数試料については, 今井ほか (2010) で報告されている. それによると高梁川流域において, 今井 (2010) の試料リスト中番号の 23 岡山及び丸亀の試料 18 (Th=9.6 ppm, Sc=9.0 ppm), 試料 17 (Th=22.7 ppm, Sc=10.8 ppm), 芦田川で 23 岡山及び丸亀の試料 18 (Th=35.0 ppm, Sc=10.7 ppm) が報告されている. この結果からは後背地が花コウ岩質で Th に富んだ組成を持つと言える. 改めて今回の分析値をみると Zr-TiO<sub>2</sub> のプロットでは正の相関を示す試料群がある (第8図). 一般的に Zr はジルコンといった細粒砂やシルトに濃縮する. 一方, TiO<sub>2</sub> はルチルやチタン鉄鉱等細粒の鉱物に含まれるので, 両者は負の相関を持つことが多い. しかし, ここで両者に正の相関を示すものが存在するのは, 両元素が同様に細粒画分に含まれることを示す. 試料として用いた高潮時の汀線の砂は波のエネルギーを最も強く受け粘土質物質が失われている. そのため砂粒子は主に石英と長石からなる. 一方洗い出された粘土は潮の干満の大きな干潟では懸濁物として運搬・循環される. そのため重鉱物は分級により消失が進むと考えられる. ここで用いた泥干潟の試料では花コウ岩起源の重鉱物として一般的なジルコンやモナザイトなど Zr や Th を含む鉱物の含有量が低下すると考えられる. 細粒画分として含まれる Th と Nb ( $r=0.75$ ) や, TiO<sub>2</sub> や Nb は鉄と強い相関 ( $r=0.89, 0.9$ ) を持つ.

#### ま と め

瀬戸内海の干潟の現状の把握のために, 岡山県笠岡湾, 玉島および芦田川河口で調査をおこなった. 笠岡湾は干拓事業



第8図 岡山県笠岡湾, 玉島, 広島県芦田川の干潟堆積物の特性を示す Zr と TiO<sub>2</sub> の相関図. 両者にやや相関を持つグループがあり, 干潟の砂及び泥質堆積物では細粒画分に Zr が含まれることが分かる.

により 1800 ha の海面が失われたが, 現在でも 140 ha 前後の自然海岸をもつ海面が残っている. しかも, 瀬戸内海では少なくなった泥干潟が存在する. 玉島および芦田川河口はほとんどが人工海岸であるが泥干潟が存在する. これらの干潟の堆積物の元素組成を検討し, 広島市や岡山市の河口域の堆積物組成 (都市の組成) と比較検討した. 笠岡湾の干潟堆積物には Zn-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の評価図において都市の組成線よりも Zn が低くなるものがある. これらは干潟の面積が小さいにも関わらず, 水循環の良いことによると推定されるが, アマモ場としての生態系の存在による水環境の浄化作用との関係を明らかにすることが課題である.

#### 謝 辞

本研究の研究費の一部は科学研究費補助金 (代表: 島根大学汽水域研究センター, 国井秀伸教授) を用いた. 島根大学地球資源環境学科入月俊明准教授には本論を読んでいただいた. また, 英文は同学科 Barry Roser 准教授に校閲を頂いた. 記して感謝します.

## 文 献

- Ahmed, F., Bibi, M. H., Monsur, M. H. and Ishiga, H., 2005, Present environment and historic changes from the record of lake sediments, Dhaka City, Bangladesh. *Environ. Geol.* **48**, 25-36.
- Condie, K. C., 1993, Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface and shales. *Chem. Geol.* **104**, 1-37.
- 広瀬 伸, 1990, 笠岡湾干拓地の地盤特性と工事の概要, 土と基礎, **38**, 104-108.
- 今井 登・寺島 滋・太田充恒・御子柴(氏家)真澄・岡井貴司・立花好子・池原 研・片山 肇・野田 篤・富樫茂子・松久幸敬・金井 豊・上岡 晃, 2010, 海と陸の地球化学図. 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 207p.
- 石賀裕明・道前香緒里・アーメッドファルキ・ハワビビ・梅田 学, 2003, Zn-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 判別図から堆積環境を評価する, 島根大地球環境学研報, no. 22, 15-20.
- McLennan, S., Hemming, S., MacDaniel, D. K. and Hanson, G. N., 1993, Geochemical approach to sedimentation, provenance and tectonics. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, **284**, 21-40.
- 光野千春・杉田宗満(編), 1980, 岡山県地質図(10万分の1). 内外地図株式会社.
- Ohta, A., Imai, N., Terashima, S., Tachibana, Y., Ikehara, K., Okai, T., Ujiie-Mikoshiba, M. and Kubota, R., 2007, Elemental distribution of coastal sea and stream sediments in the island-arc region of Japan and mass transfer processes from terrestrial to marine environments. *Appl. Geochem.*, **22**, 2872-2891.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1985, *The Continental Crust: Its composition and Evolution*. Blackwell. 312p.
- Wong, G. T. F., 1991, The marine geochemistry of iodine. Review in *Aquatic Science*, **4**, 45-73.
- 横井絵美・石賀裕明, 堆積物の元素組成からみた山陰地域神西湖の環境変化, 島根大地球環境学研報, no. 27, 35-41.

(受付: 2010年9月30日, 受理: 2010年10月29日)