

論文

瀬戸内海備後灘の松永湾およびその周辺地域における干潟環境の水質、  
浮遊物質量、堆積物、アマモの多元素組成分析による評価

岡本理華子\*・山下みづ希\*・坂矢 愛美\*\*・石賀 裕明\*\*\*

**Multi-element geochemical analysis of water quality, suspended solid,  
sediments and *Zostera marina* for evaluation of the tidal flat environment  
in Matsunaga Bay and surrounding areas in Bingo Nada of Seto Inland Sea, Japan**

Rikako Okamoto\*, Mizuki Yamashita\*, Megumi Sakaya\*\*, and Hiroaki Ishiga\*\*\*

**Abstract**

The Seto Inland Sea is characterized by the semi-closed marine environment, composed of several seas called *Nada* or *Wan*. The tidal variation can be over 3 m during spring tide. The tide movement is significant for exchange and circulation of the material in the marine conditions. This study focused on an evaluation of marine environment in the Matsunaga Bay and surrounding areas in Bingo Nada. These marine areas seem to be better in condition within the Seto Inland Sea. *Zostera marina* is known as an indicator of the marine environment, of which its habitat in this area has been reported. Geochemical examination of tidal flat sediment, suspended solid (SS) and *Z. marina* was carried out for environmental evaluation in this sea.

The water sample was collected at every 1 hour from spring time to ebb time, and water quality was examined in the field. There was no clear correlation of the values of pH, EC and DO with tide level change. Variation of ORP and SS with the tidal change shows negative correlation. Towards the ebb time, ORP and SS values increased, and at the spring tide these values decreased. Twenty sediment samples were collected at the tidal flat of the Matsunaga Bay and 15 samples in Utsumi island (south of Matsunaga Bay), and 6 samples in Momoshima island were collected. Three clusters can be distinguished on the diagrams of Zn, Pb, Cu versus  $Fe_2O_3$  plots. One cluster distributed on the urban trend and/or the over this trend. The second cluster distributed between the area of urban and normal sediment trends. The other plots scattered in the area below the normal sediment trend. Samples of *Zostera marina* was collected at the coast of Matsunaga Bay, Yokoshima, Tajima and Momoshima. *Z. marina* appearance may have been due to the mitigation of the tidal flat of the eastern coast of Momoshima done in late 1980's to early 1990's. For multi-element analysis, *Z. marina* sample was separated into three plant tissues (leaf, stem and root). *Z. japonica* was also examined with separation into two parts (leaf and root). Concentrations of elements in each tissues of *Z. marina* showed characteristic distribution. Contents of CaO, MnO and Zn were higher in the leaf relative to those of the stem and the root.  $P_2O_5$  concentrations show higher values in the stem relative to other parts. MnO,  $Fe_2O_3$  and As concentrations were significant in the root relative to other parts. Seasonal change of Zn, CaO and MnO values in the leaf for the Yokoshima samples was apparent. This change can coincide to the growth of *Z. marina*, suggesting elongation and widening of the leaf and increasing attached creatures on the leaf. Contents of  $P_2O_5$  of *Z. marina* sample did not show apparent seasonal change indicating steady storage of this element in the stem. The results of these geochemical examination are useful for further understanding of the material circulation in marine environments and can be basic data for monitoring.

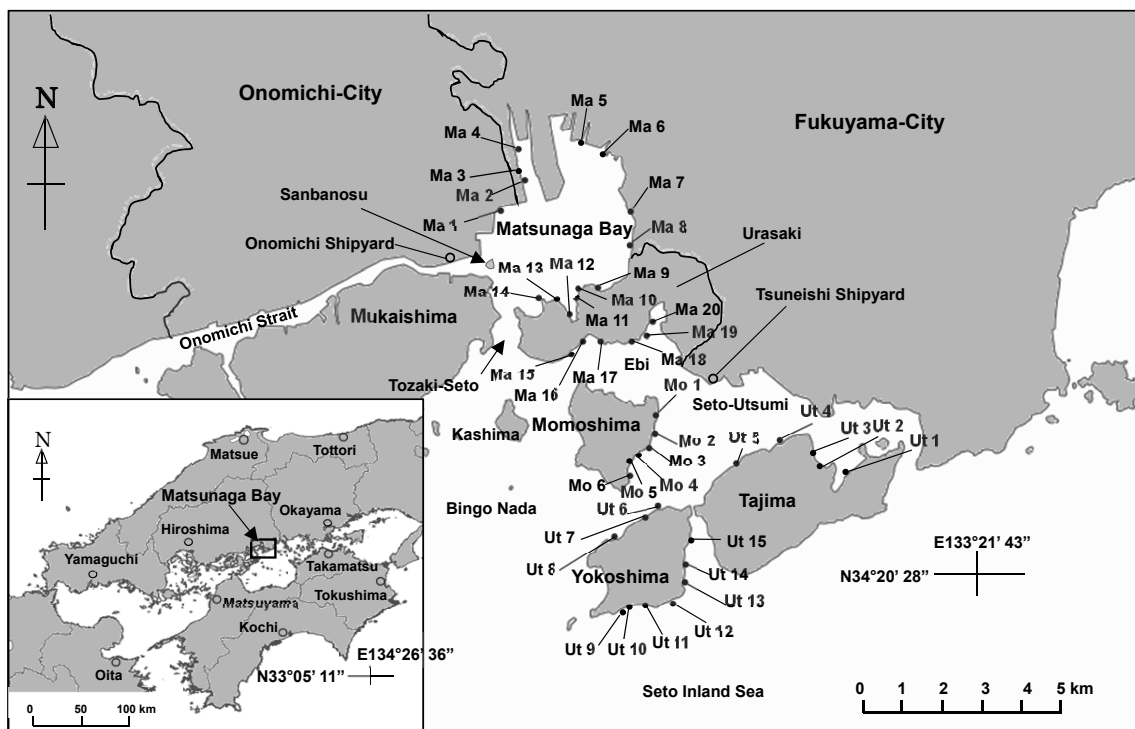
**Key words:** tidal flat, sediments, multi-element geochemistry, *Zostera marina*, Seto Inland Sea, Onomichi

はじめに

瀬戸内海は閉鎖水域の代表とされ、水循環や交換に時間を要する海域である(環境省, 2014; 中国経済産業局, 2006)。

1960年代の高度経済成長期には河川から流入する人為的影響が大きく、海域の広範な地域で富栄養化が進行した(山本, 2005)。人為的負荷は外洋へ排出されずに、その多くが湾内に堆積物として蓄積した。また、この時期に瀬戸内海の沿岸地域では、急速に土地利用の変化を生じた。これにより海岸線は変化し、干潟面積は急速に減少した。人工集中や工業化が進んだ地域では、内湾への汚濁物質の放出量が増加した。今日では瀬戸内海ほとんどの海岸線が人工的な海岸となっており、比較的広い干潟が残存する場所はわずかである。その中で松永湾とその周辺では比較的広い干潟が存在している。松永湾がある備後灘は潮通しが良いことから、瀬戸内海の中

\* 690-8504 島根大学総合理工学科地球資源環境学科  
Department of Geoscience, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan  
\*\* 690-8504 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  
\*\*\*690-8504 島根大学総合理工学研究科地球資源環境学領域  
Department of Geoscience, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan



第1図 瀬戸内海松永湾およびその周辺の沿岸の位置図, 試料採取位置を示す図. 試料の説明は本文参照.

では比較的水質の良い海域とされてきた. そのためほとんど見られなくなっていたアマモ (*Zostera marina*) もこの海域では残存していることが知られていた.

アマモ場は高い基礎生産をなす生物生産の場であり, アマモ葉体は付着生物の生育基盤をなし, 魚介類の摂餌場や産卵場として重要である. そこで瀬戸内海では干潟の再生とモニタリングが行われてきた (Tamaki *et al.*, 2002; 寺脇ほか, 2005). 松永湾周辺でも干潟再生が行われ, そのモニタリングがなされている (春日井ほか, 2003). このモニタリングの2002年までの結果では, 底生生物の回復とアマモ場の拡大が報告されている. そこで, 10年以上を経過した現状について, 本論では海水の水質や浮遊物質量, 干潟堆積物, アマモとコアマモ (*Zostera japonica*) について多元素組成の検討を行ったのでその結果を報告する.

### 調査地点

松永湾はしまなみ海道と呼ばれる島々がつながり, 瀬戸内海では最も海峡が狭いところの1つに位置している. そのため, 周辺は複数の島によって周囲の灘と瀬戸が形成されており備後灘と呼ばれている (第1図). 松永湾につながる尾道海峡の東出口には山波の洲と呼ばれる特徴的な三角州が存在し, 松永湾の東から南の海岸にも干潟が発達している. 南側は浦崎の半島で区切られ, 西側が戸崎瀬戸でより南の海域とつながる. この南にはさらに田島, 横島があり半島状につながり, 田島と横島の北側には百島と加島がある. 百島は小さいながらも海浜がよく発達している.

松永湾周辺には, ヘルム紀の泥岩を主とする舞鶴帯や広島花崗岩が分布している (広島県, 1964). 松永湾に供給される堆積物は花崗岩質であるため, 後背地の地質による元素組成の地域的な偏りが少ないと言える.

### 試料採取

干潟堆積物試料は2014年4月26日, 28日, および6月12日に採取した. 試料は松永湾およびその周辺で20サンプル, 内海で15サンプル, 百島で6サンプル採取した (第1図). SS (浮遊性物質) を測定するために大潮の4月30日と5月17日には満潮時から干潮時まで1時間ごとに海水を採取した. 海水の採取地点はMa 7 (第1図) である. アマモとコアマモは, 4月30日, 5月17日, 6月13日, 17日, および8月26日に採取した (第2図). 採取地点は, 松永湾 (Ma 8), 百島 (Mo 1, Mo 3, Mo 4), 田島 (Ut 5), 横島 (Ut 8) である.

### 分析方法

#### 1. 水質測定

検水のpH, 温度, EC (電気伝導度: S/m), ORP (酸化還元電位: mV), DO (溶存酸素 mg/L) はホリバD54シリーズを用いて測定した. 結果を第1表に示す.

#### 2. 浮遊物質量 (SS) の測定

採水後, 冷蔵保存した2Lの試料水を110°C, 2時間乾燥させた石英フィルター (ワットマン) でろ過した後, 同様に乾燥



第2図 瀬戸内海備後灘百島東部干潟の様子 (a) とアマモ群生の様子 (b) (2014年6月13日撮影)。

させSSを測定した。この石英フィルターについて蛍光X線分析装置により多元素組成の分析を行った(第2表)。多元素組成分析の方法は以下に述べる堆積物の場合と同じである。

### 3. 元素組成の検討

堆積物試料は約50g程度を採取し、160℃、48時間乾燥させた。これにより水分及び揮発性物質を除去した。乾燥試料は自動メノウ乳鉢を用いて粉碎し粉体とした。粉末試料は塩ビリング(内径30φ)の内部に装填し、加圧器にてプレス成型(200kN, 1分間)を行った。分析用プレスディスクは蛍光X線分析装置(リガクRIX2000)を用いて、粉末プレス法により微量元素組成(As, Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, V, Sr, Y, Zr, Nb, Th, Sc, TS, Br, I, Cl [ppm])および主元素組成(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3表)。TSは全イオンをFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は全鉄を示す。

アマモとコアマモは採取した後、アマモは葉身、葉鞘、根茎に分離して試料とした。ただし、根茎はアマモの地下部分のうち根茎とひげ根部分を指す。コアマモは葉鞘部分が小さく、分離することが困難であり、葉身と根茎に分離して試料とした。アマモおよびコアマモ試料をアルミニウム製バットに広げ、110℃、48時間乾燥の後、160℃、24時間乾燥させ

第1表 瀬戸内海松永湾Ma7地点(第1図)における2014年4月30日と5月17日の水質、潮位変化とSSを示す表。ND:検出限界以下。

sample	潮位 cm	pH	T °C	EC S/m	ORP mV	DO mg/L	SS mg/L	Mn mg/L
2014.4.30								
11:00	329	8.2	18.5	2.6	110	3.9	15.0	ND
12:00	319	8.3	19.1	2.7	89	3.9	15.1	ND
13:00	270	8.2	19.6	2.7	95	3.6	17.1	ND
14:00	197	8.3	19.9	2.7	86	4.0	16.0	ND
15:00	120	8.3	19.8	3.0	98	4.6	25.9	ND
16:00	57	8.2	19.2	3.1	86	4.3	27.6	ND
17:00	18	8.1	19.0	3.0	156	3.5	57.4	ND
2014.5.17								
9:00	191	8.0	18.5	3.0	64	4.0	28.2	ND
10:00	254	7.9	18.7	3.0	73	4.3	18.6	ND
11:00	304	8.1	19.4	3.0	93	3.9	17.7	ND
12:00	326	8.1	20.6	2.9	72	3.9	18.3	ND
13:00	309	8.1	20.6	3.1	72	3.7	21.8	ND
14:00	255	8.0	21.5	3.1	85	4.7	21.1	ND
15:00	179	8.2	22.3	3.0	71	4.3	32.9	ND
16:00	103	8.1	22.6	3.0	120	3.5	54.9	ND
17:00	42	8.0	21.5	3.0	118	3.9	36.7	ND
18:00	9	8.0	20.7	3.1	106	3.9	65.9	ND
19:00	10	7.9	19.7	3.1	115	3.8	76.2	ND

た。160℃乾燥は、生体の揮発性物質を除去するためである。乾燥試料は堆積物と同様に粉末ディスクを作成し、蛍光X線分析を行った(第4表)。

## 分析結果

### 1. 水質

2014年4月30日は11:00~17:00の6時間において1時間毎に採水した。5月17日は9:00~19:00の10時間において1時間毎に採水した。なお、4月30日の高潮位は11:21、327.6cmであり、低潮位には17:44、31.9cmである。5月17日の高潮位は0:43、357.5cmであり、低潮位には18:41、20.5cmである。(潮位は気象庁潮位表基準面による)それぞれの水質測定の結果を第1表に示す。水質の経時変化を潮位変化とともにグラフに示した(第3図)。

DOは4月30日、5月17日の試料ともに変化は小さく、4mg/L前後の低い値をもつ。

ORPは4月30日では11:00~16:00の試料で95mV前後で変化は小さいが、最干時の17:00には156mVと高い値を示す。5月17日では、潮位が最大になる12:00に72mVと低くなり15:00までは低い値を示す。16:00には高くなり(120mV)、その後19:00まで高い値をもつ。

SSは、4月30日では、11:00で15.0mg/Lと最も低く、潮位が低下するにつれて高くなり、17:00には57.4mg/Lと高くなる。5月17日では、9:00~14:00まで低い値でほとんど変化がなく、その後19:00まで増加する(76.2mg/L)。

### 2. 浮遊物質量(SS)の多元素組成分析結果

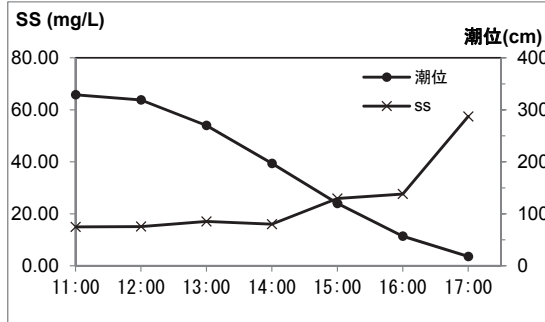
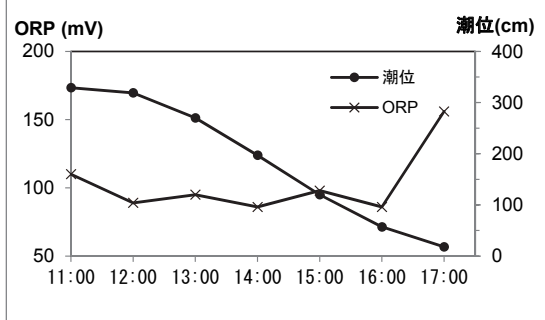
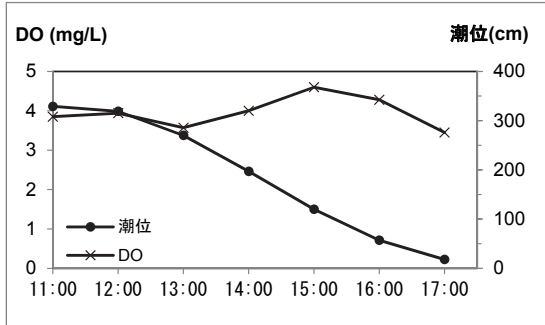
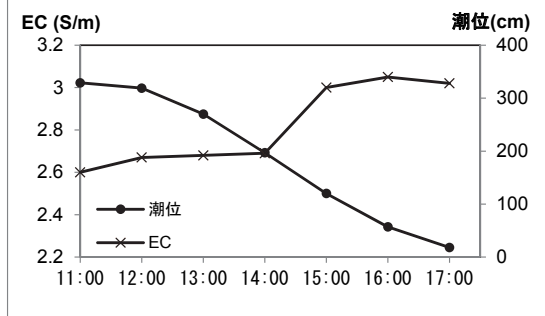
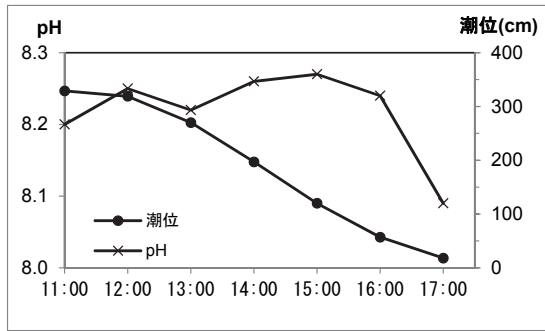
2014年4月30日、5月17日に採取した検水のSSの分析



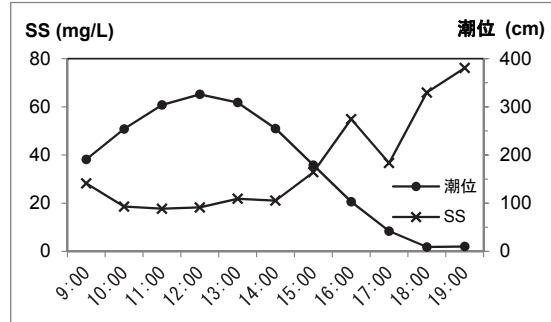
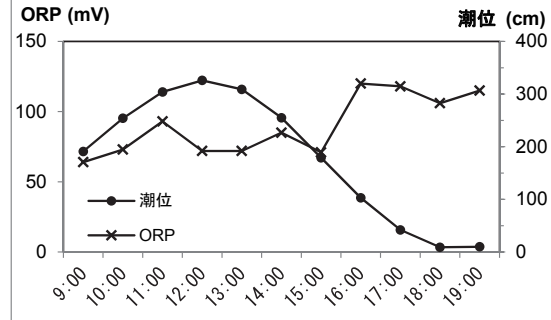
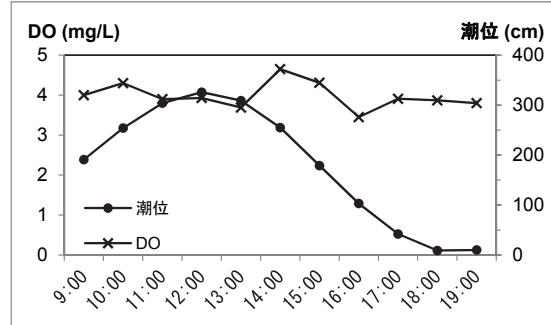
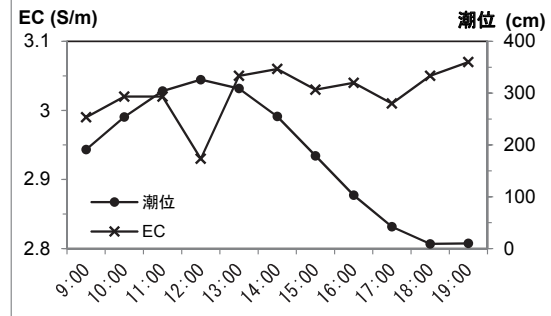
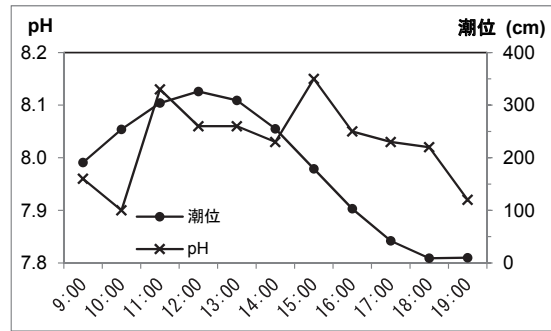
第4表 瀬戸内海松永湾およびその周辺の沿岸のアマモおよびコアマモの蛍光X線分析による多元素組成分析結果。  
Clのoverは100000 ppm以上を示す。

sample		微量元素(ppm)																	主元素(wt%)						
		As	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	V	Sr	Y	Nb	Zr	Th	Sc	TS	F	Br	I	Cl	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
<b>Yokoshima</b>																									
2014.4.30																									
<i>Z. marina</i>	leaf	4	13	84	14	6		320	4	1	34	1	7	9912		142	4	25544		0.1	0.15	5.19	0.48		
	stem	1	6	46	15			92	4	2	18.3			10232	101	282		over			0.01	1.15	0.88		
	root	4	18	67	13		2	19.8	177	18	8	107.6	4	7	7639	34	142	39	54829	0.19	2.05	0.05	2.47	0.28	
<i>Z. japonica</i>	leaf	5	17	116	19	6		5.1	314	7	3	51	2	6	8774	140	137	36	20388	0.01	0.99	0.17	4.83	0.65	
	root	12	15	72	15	3		17.3	235	10	5	87.7	4	3	9002	168	184	53	49862	0.08	2.44	0.09	2.72	0.52	
2014.5.17																									
<i>Z. marina</i>	leaf	3	12	110	22	26	39		264	3	2	33	2	5	10818	23	150		52032			0.15	4.40	0.65	
	stem	2	9	39	12				159	5	2	40	2		11028	218	304	8	over			0.02	1.72	0.78	
	root	4	18	67	13	1	2	16		192	17	8	131	8	5	7815	39	165	32	79528	0.17	1.94	0.05	2.39	0.36
<i>Z. japonica</i>	leaf	7	16	105	18	8	2	8	323	5	2	39	2	4	11035	3	125	78	38810		0.67	0.17	3.66	0.61	
	root	12	14	53	13	1	10	19	207	9	4	64	4	2	10949	138	143	46	63811	0.06	2.03	0.07	2.48	0.50	
2014.6.17																									
<i>Z. marina</i>	leaf	4	13	92	21	4			426	3	1	28		11	11256	122	164	19	22245			0.26	9.65	0.58	
	stem	2	4	38	18				118	4	2	17			11390	349	6		over			0.01	1.41	0.85	
	root	4	11	55	15			3	230	9	4	71	2	4	9970	76	258	18	over	0.05	0.94	0.05	3.14	0.42	
<i>Z. japonica</i>	leaf	4	12	102	23	2		1	436	5	1	44	3	17	9323	230	186	25	35263		0.19	0.16	11.60	0.50	
	root	7	10	41	17			5	220	6	3	55	2	2	10888	315	204	41	73976		0.97	0.05	2.86	0.33	
2014.8.26																									
<i>Z. marina</i>	leaf	6	12	96	19	10			382	4	2	33	1	9	13389	221	132	31	14682			0.12	0.16	8.03	0.69
	stem	2	8	57	26				146	5	3	29			9998	3	264	17	99144			0.02	1.67	0.86	
	root	5	15	71	20			18	237	12	6	69	3	3	10094		188	17	75364	0.13	1.79	0.05	2.8	0.48	
<i>Z. japonica</i>	leaf	7	12	130	25	11		9	351	5	2	35	1	10	9673	76	115	36	19674	0.01	0.54	0.17	8.56	0.65	
	root	16	18	77	19	2	6	26	245	9	5	61	3	3	10130	49	156	28	66470	0.12	2.75	0.09	2.8	0.55	
<b>Tajima</b>																									
2014.5.18																									
<i>Z. marina</i>	leaf	4	10	79	20	6			295	3	1	27		3	8969	101	121	16	30788			0.27	4.43	0.58	
	stem	2	5	30	25				106	4	2	17			10845	123	310	6	over			0.02	1.24	0.95	
	root	5	14	54	24		4	24	211	9	4	87	1	4	9103	101	218	33	75433	0.14	1.50	0.07	2.81	0.38	
<i>Z. japonica</i>	leaf	6	17	141	40	19	26	18	331	4	2	40		6	9464	270	189	8	32130		0.40	0.26	5.58	0.69	
	root	14	17	72	34	6	17	36	277	8	3	91	3	5	10878	179	206	40	55022	0.14	2.25	0.12	3.46	0.54	
2014.6.17																									
<i>Z. marina</i>	leaf	4	12	86	24	1			462	3	1	28		18	10414	45	203	24	21449			0.26	13.95	0.68	
	stem	1	6	35	30				154	3	2	18			13152	138	400	5	over			0.02	1.83	1.05	
	root	4	13	41	20			7	261	9	3	63	2	7	9476	155	219	13	85149	0.07	0.92	0.05	3.81	0.39	
<i>Z. japonica</i>	leaf	7	19	132	34	1	1	12	450	5	1	37		15	10268	100	767	68	36727		0.69	0.32	10.57	0.79	
	root	27	21	65	30		5	30	384	8	3	68	1	6	10584	191	463	50	67238	0.12	3.00	0.19	4.48	0.69	
2014.8.26																									
<i>Z. japonica</i>	leaf	6	23	127	43	18	12	32	286	6	2	45	2	7	9071	89	117.6	29	18870	0.10	1.75	0.24	4.91	0.63	
	root	11	23	92	30	6	21	55	241	11	5	139	3	6	8703		120	26	20861	0.30	3.45	0.15	3.21	0.58	
<b>Momoshima</b>																									
2014.6.13																									
Momoshima 1																									
<i>Z. marina</i>	leaf	2	11	98	27	7			368	3	1	27		12	9671	219	150	6	15562			0.16	10.32	0.64	
	stem	1	5	35	30				98	4	2	13			10487	247	347	5	over			0.01	1.21	1.02	
	root	4	11	36	23			3	311	5	2	30	1	6	9988		270	3	over		0.26	0.04	4.83	0.43	
Momoshima 3																									
<i>Z. marina</i>	leaf	3	12	98	25	6	2		311	3	1	26		9	10377	147	202	13	46712			0.17	7.07	0.70	
	stem	1	5	30	23				99	4	2	14			10394	150	347	3	over			0.01	1.36	0.85	
	root	3	10	26	21		1		192	6	2	27		3	10324	244	276	18	over		0.09	0.02	3.02	0.50	
Momoshima 4																									
<i>Z. marina</i>	leaf	4	9	92	29	14	20		368	3	1	27		13	10357		279		33795			0.12	9.54	0.67	
	stem	2	5	35	27	11	8		126	4	2	15			10525	179	362		over			0.01	1.54	0.89	
	root	3	12	35	21	3	8	2	261	6	2	33	4	6	9762		299	14	over		0.35	0.04	4.42	0.46	
<b>Matsunaga Bay</b>																									
2014.5.17																									
<i>Z. marina</i>	leaf	4	10	105	51	6			317	3	1	27		7	11514	113	104	8	26367			0.15	5.76	0.77	
	stem	1	5	34	28				98	3	2	14			11153	128	321		over			0.00	1.25	0.99	
	root	5	14	44	35			12	557	10	2	38		16	10093	168	158	21	96490	0.05	0.88	0.04	9.11	0.49	
2014.8.26																									
<i>Z. marina</i>	leaf	5	13	140	49	4			378	4	1	32		10	11374	153	119	24	26439		0.06	0.18	7.91	0.69	
	stem	3	8	66	55				165	5	2	28			10064	62	243	7	over			0.026	2.05	0.92	
	root	13	16	78	45		5.6	16.6	245	10	3	52	2	5	9465		167	28	71681	0.08	1.37	0.046	3.31	0.69	
Av.																									
<i>Z. marina</i>	Av.	3.4	10.4	63.6	25.4	7.4	7.6	12.3	246.1	5.9	2.3	37.9	1.6	7.4	10335	127.3	232.0	15.6	50170	0.110	0.884	0.081	4.388	0.668	
<i>Z. japonica</i>	Av.	10.0	16.6	94.6	25.7	6.3	11.2	19.4	307.1	7.0	3.0	61.1	2.3	6.5	9910	149.8	222.2	40.3	42793	0.104	1.580	0.161	5.123	0.588	

2014. 4. 30



2014. 5. 17



第3図 瀬戸内海松永湾 Ma 7 地点 (第1図) における 2014 年 4 月 30 日と 5 月 17 日における潮位変化と水質および SS の変化を示すグラフ。

結果を第2表に、また、潮位との変化を第4図に示す。

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は、4月30日の試料では11:00~13:00までは検出されなかったが、その後増加し17:00には1.55 wt%となる。5月17日の試料でも11:00には0.14 wt%と低く、18:00では1.24 wt%と高い。

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は、4月30日の試料では潮位が高い11:00に0.25 wt%と高く、潮位が低下するにしたがい減少する。一方、5月17日の試料は11:00に0.17 wt%と少し高い値となるが、その他は0.14 wt%前後でほとんど変化がない。

AsやPbは、4月30日の試料ではAs:1~2 ppm, Pb:9~10 ppm, 5月17日ではAs:1~2 ppm, Pb:9~11 ppmであり、ほとんど変化を示さない(第2表)。

Znは、4月30日の試料では13:00で22 ppmと最も低く、その後増加し17:00で53 ppmと最も高くなる(第4図)。5月17日の試料では潮位が高い12:00に29 ppmと低く、潮位が低下するにしたがってゆるやかに増加し17:00で最大となり減少する。Znは、高潮時に低く、低潮時に高くなる。また、Cu, Cr, Vでも同様の傾向がみられる。

TSは、4月30日の試料では11:00で9655 ppmと最も高く、その後ゆるやかに減少し17:00には4102 ppmとなる(第4図)。5月17日の試料では13:00までは不規則な変化を示すが、その後は減少する。

### 3. 干潟堆積物の多元素組成について

堆積物試料についてMa 1, 2, 5, 6, 10, 11 およびUt 8は泥干潟で、Ma 3, 4, 7~9, 12~20, Ut 1~7, 9~15, Mo 1~6は砂干潟で採取した。また、松永湾の20地点のうち12地点(Ma 1~6, Ma 9~12, Ma 14)ではpHとORPも測定した。その結果を第3表に示す。

Znについては、松永湾は14~163 ppm (Av.=21.5 ppm)、内海は2~15 ppm (Av.=44.4 ppm)、百島は15~36 ppm (Av.=26.7 ppm)である。特に、松永湾のMa 5 (163 ppm)やMa 6 (162 ppm)、Ma 2 (122 ppm)が高い値をもつ。内海では、Ut 1のみで高い値(149 ppm)をもつ。

Pbについては、松永湾は13~46 ppm (Av.=21.5 ppm)、内海は17~23 ppm (Av.=20.0)、百島は20~22 ppm (Av.=21.9 ppm)で均一ある。特に松永湾ではMa 15 (46 ppm)が高い値を示す。

Cuについては、松永湾は3~102 ppm (Av.=17.0 ppm)、内海は3~30 ppm (Av.=8.1 ppm)、百島は7~14 ppm (Av.=8.0 ppm)である。松永湾は、Pbと同様にMa 15 (102 ppm)が高いが、Ma 1 (38 ppm)も高い値を示す。内海はUt 15 (30 ppm)のみやや高い値を示す。

Niについては、松永湾は0~24 ppm (Av.=5.3 ppm)、内海は1~9 ppm (Av.=5.4 ppm)、百島は0~1 ppm (Av.=0.7 ppm)である。

Crについては、松永湾は7~60 ppm (Av.=26.3 ppm)、内海は2~33 ppm (Av.=14.6 ppm)、百島は8~11 ppm (Av.=9.6 ppm)である。松永湾でやや高い傾向がある。

Srについては、松永湾は63~511 ppm (Av.=173.2 ppm)、内海は86~202 ppm (Av.=140.3 ppm)、百島は146~378 ppm (Av.=259.0 ppm)である。松永湾や内海に比べて百島が高い

値を示す。

Zrについては、松永湾は44~257 ppm (Av.=125.4 ppm)、内海は50~222 ppm (Av.=95.4 ppm)、百島は51~100 ppm (Av.=70.4 ppm)である。

TSは、松永湾で578~7489 ppm (Av.=1683.1 ppm)、内海で458~1173 ppm (Av.=779.0 ppm)、百島で735~1768 ppm (Av.=1277.0 ppm)である。

堆積物のpHについては、6.8~7.2の範囲にある(第3表)。ORPについては、116~-270 mVまで変化する。Ma 5が-270 mVと最も還元的な環境であり、Ma 1やMa 2, Ma 6も-100 mV以下であるためやや還元的な環境を示す。

### 4. アマモ試料について

アマモの地点ごとの特徴としては、松永湾と百島はアマモのみが、田島と横島にはアマモとコアマモの両方が分布していた。百島は島の東側の干潟に幅広く分布しており、花枝になっているものも多くみられた。この範囲がおおむね干潟再生が行われた地域(春日井ほか, 2003)に一致する。田島には、コアマモよりもアマモが優勢であった。横島ではアマモよりもコアマモが多く分布していた。百島の北の海老地区も干潟の再生地域(春日井ほか, 2003)であるが、アマモは前浜干潟において、今回は確認していない。アマモ試料の分析結果を第4表に、それぞれの含有量を棒グラフとして第5図、第6図に示す。

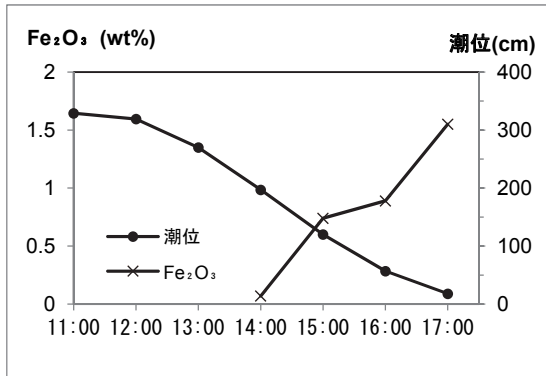
CaOは4地点のすべてにおいて他の部位と比較して葉身の含有量が高く、その次に根茎もやや高い値を示す。季節的には、横島の葉身においては、6月まで増加し8月には減少する。(4月:5.19 wt%, 5月:4.40 wt%, 6月:9.65 wt%, 8月:8.03 wt%)。横島においても同様に葉身では5月(4.43 wt%)から6月(13.95 wt%)にかけて増加する。特に横島と田島における5月から6月の増加は顕著である。また、採取地点での明瞭な差異はない。

MnOもCaOと同様に葉身での含有量が高く、根茎で高い値を示す。季節的な変化も、横島の葉身ではCaOと同様に6月まで増加し8月には減少する(4月:0.15 wt%, 5月:0.15 wt%, 6月:0.26 wt%, 8月:0.16 wt%)。一方、田島は5月、6月とも高い値を示す。このことから、MnOとCaOは似た変化を示していることがわかる。地点別では6月の葉身に注目すると、百島(Mo4:0.12 wt%, Mo3:0.17 wt%, Mo1:0.16 wt%)に比べて横島(0.26 wt%)と田島(0.26 wt%)の値が高い。

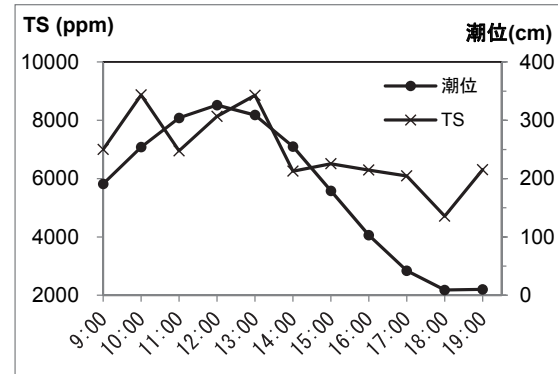
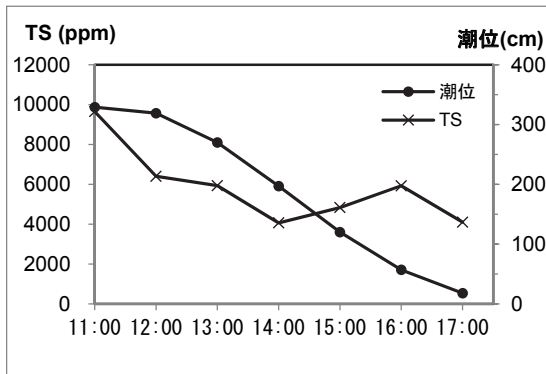
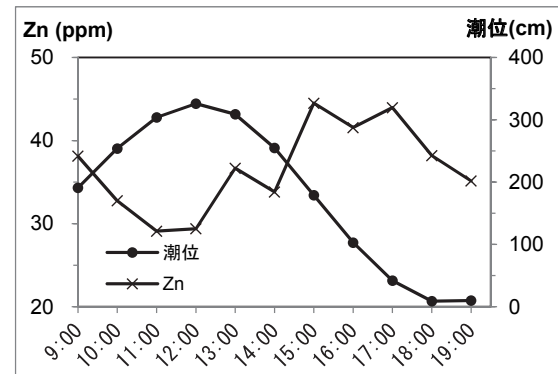
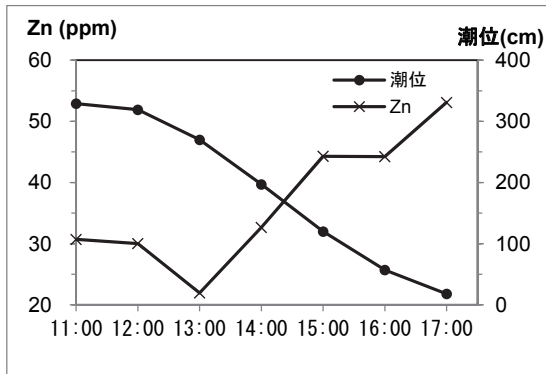
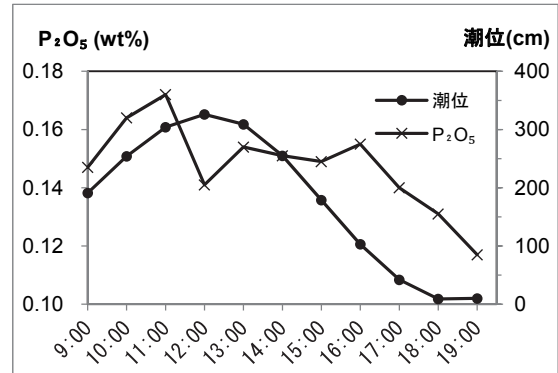
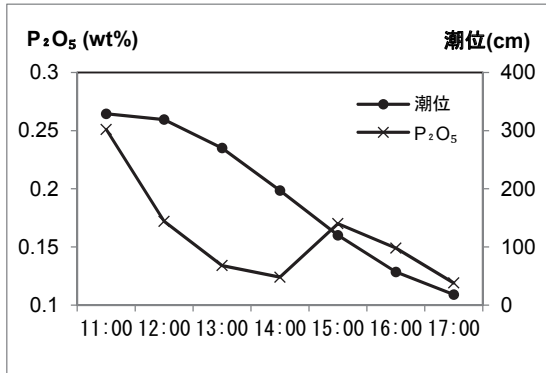
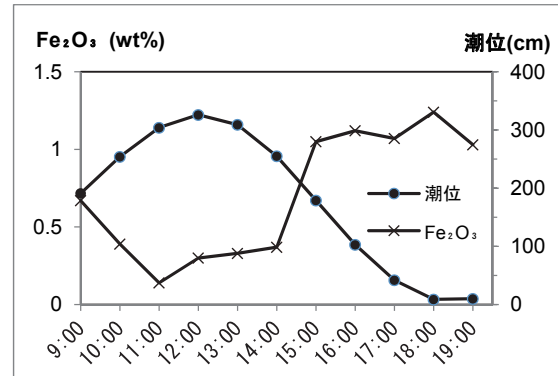
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は他の部位と比較して根の含有量が非常に高い。季節的な変化は、横島の根茎では6月まで減少し、8月に増加するという傾向がみられる(4月:2.05 wt%, 5月:1.94 wt%, 6月:0.94 wt%, 8月:1.79 wt%)。田島の根茎でも5月(1.50 wt%)から6月(0.92 wt%)にかけて減少している。地点別に見ると、5月の根茎で比較すると、横島や田島に比べて松永湾の値(0.88 wt%)が低く、6月の根茎で比較すると、横島や田島に比べて百島の値(Mo4:0.35 wt%, Mo3:0.09 wt%, Mo1:0.26 wt%)が低い。

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>は葉鞘において他の部位と比較すると高い値をも

2014.4.30



2014.5.17

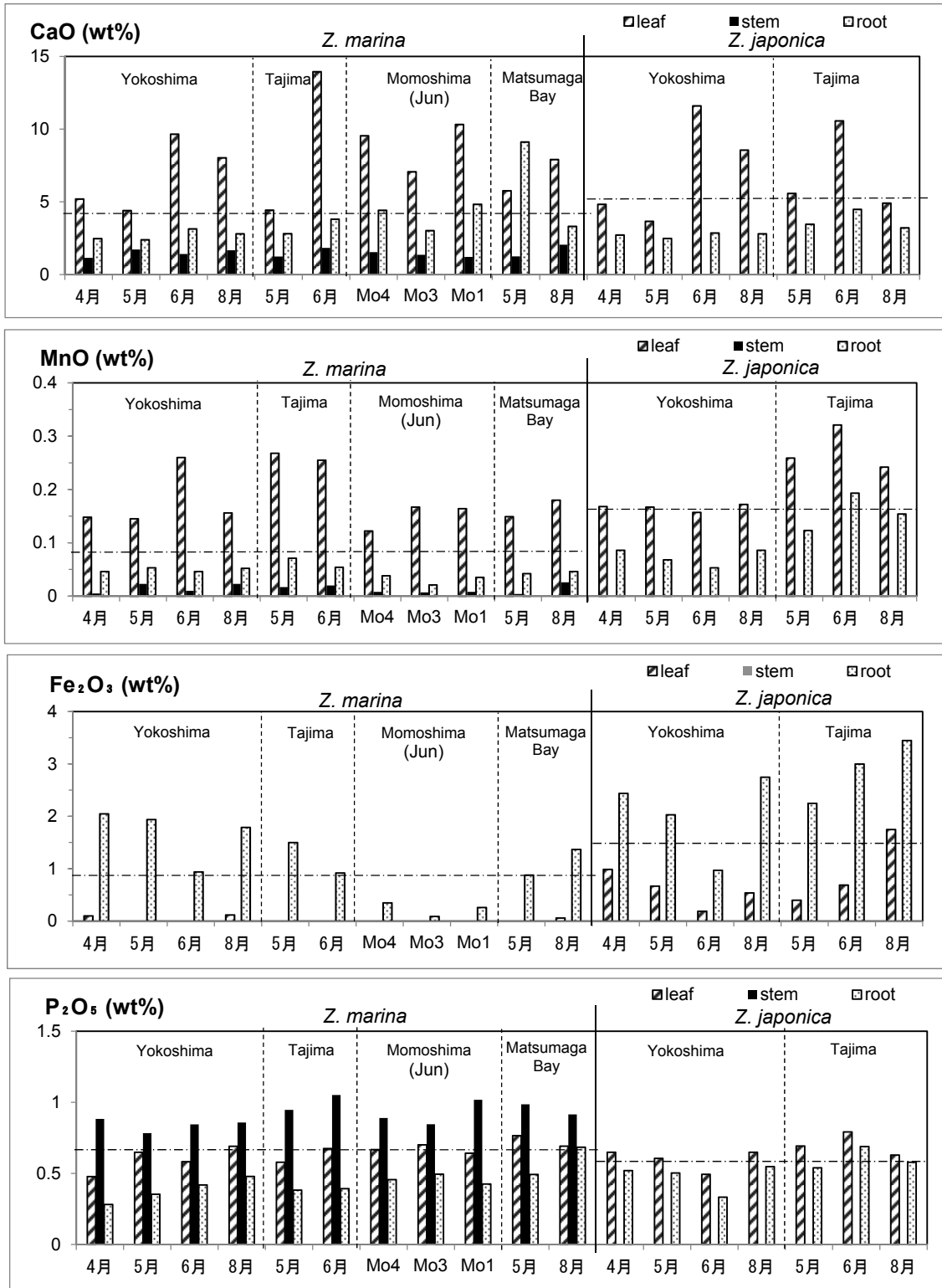


第4図 瀬戸内海松永湾 Ma 7 地点 (第1図) における潮位変化とSSの多元素組成の変化を示すグラフ。

つ。季節的には、横島の葉鞘と比較すると4月 (0.88 wt%), 5月 (0.78 wt%), 6月 (0.85 wt%), 8月 (0.86 wt%) と規則的な変化は見られない。他の地域においても葉鞘は0.85~1.05 wt%の範囲で、一定して高い値を示す。ま

た、地点ごとの値の差異も見られない。また、葉身や根茎においても葉身は0.48~0.77 wt%の範囲で、根茎は松永湾の8月で0.69 wt%と高い値は示すが、その他は0.28~0.49 wt%の範囲にある。

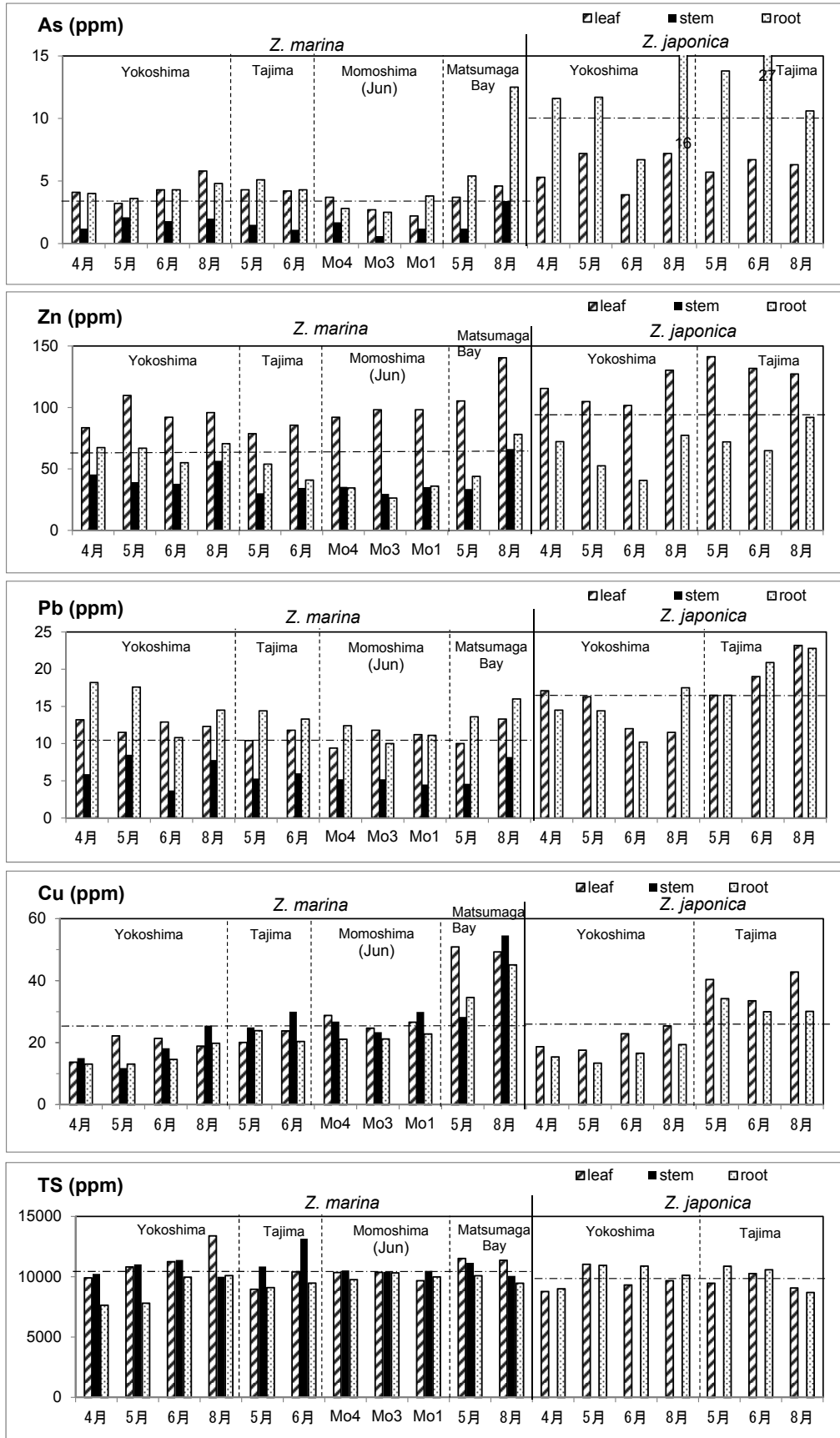




第5図 瀬戸内海松永湾およびその周辺の沿岸のアマモおよびコアマモの多元素組成を季節ごとに示すグラフ。

Zn は他の部位の含有量と比較すると葉身の値が最も高い。続いて根茎の値が高いが、百島では葉鞘と根茎の値の差はほとんどない (Mo4: 葉鞘 35 ppm, 根茎 35 ppm, Mo3: 葉鞘 30 ppm, 根茎 26 ppm, Mo1: 葉鞘 35 ppm, 根茎 36 ppm)。季節的には、横島の葉身では 4月 (84 ppm) から 5月 (110 ppm)

にかけて増加し、6月 (92 ppm) には減少する。田島の葉身では 5月 (79 ppm) から 6月 (86 ppm) と多少増加する。葉鞘では、横島と松永湾の両地点において葉鞘の値が他の月に比べて高くなる (横島: 57 ppm, 松永湾: 66 ppm)。地点別では葉身について、横島の 6月と松永湾の 8月の値が 110 ppm



第6図 瀬戸内海松永湾およびその周辺の沿岸のアマモの多元素組成の平均値を用いて、松永湾、横島、田島および百島の組成を比較したグラフ。

以上となるが、その他の値は79~105 ppmの範囲にある。根茎は、横島で高く百島で低い傾向がある。

Pbは、各部位を比較すると葉身の値が最も高いものが多く、続いて根茎の値が高い。季節的にみると、根茎は $\text{Fe}_2\text{O}_3$ と同じ変化を示す。葉身では9~13 ppmの範囲で不規則な変化を示す。地点別には、横島や松永湾でやや高い値が見られる。

Cuは各部位の含有量に規則性や季節的な変化はほとんど見られない。ただ、葉身において横島では4月(14 ppm)、5月(22 ppm)、6月(21 ppm)、8月(19 ppm)と変化する。田島では5月(20 ppm)、6月(24 ppm)とやや増加する。地点別では、松永湾で高く横島で低い。

Asは各部位の含有量を比較すると、松永湾の8月の根茎(13 ppm)を除いては、葉身と根茎でほぼ同じ値であり、葉鞘がそれらより低い値を示す。季節的には、根茎についてはPbや $\text{Fe}_2\text{O}_3$ と同じ変化を示す。葉身と葉鞘においては、4月から8月にかけておおむね増加する。地点ごとの相違は見られない。

TSは多くの試料で1000 ppm前後となり、田島では他の部位と比べて葉鞘が高い傾向があるが、その他の地点では葉身と葉鞘の値はほとんど変わらないか葉身がやや高い傾向にある。

## 5. コアマモ試料について

コアマモは、横島(Ut 5)と田島(Ut 8)のみに分布していた。アマモと同じく分析結果(第4表)とそれぞれの結果を棒グラフとして示す(第5図、第6図)。

CaOはアマモと同様に含有量は葉身で最も高く、季節的な変化もアマモと同様の変化を示す。MnOは、各部位の含有量を比較するとアマモと同様に葉身が高い値を示しているが、地点別に見ると、横島は4~8月にかけてほとんど値の変化がない。田島は5月(0.26 wt%)から6月(0.32 wt%)に増加し、8月(0.63 wt%)には減少する。

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ は各部位の含有量を比較すると根茎が高く、葉身からも $\text{Fe}_2\text{O}_3$ が検出される。季節的には、葉身と根茎は同様に变化する。横島では6月まで含有量が減少し、8月で増加するのに対し、田島では5月から8月まで増加する。

$\text{P}_2\text{O}_5$ は根茎に比べて葉身の含有量が多い傾向にある。地点別では、葉身と根茎ともに横島では4~6月にかけて含有量が減少し、8月に増加する。田島では5月、6月と増加し、8月に減少する。田島の $\text{P}_2\text{O}_5$ はCaOやMnOと同様の季節的な変化を示す。

Znも根茎に比べて葉身の含有量が高い。季節的な変化は葉身では横島においてZnも $\text{P}_2\text{O}_5$ と同様に6月まで減少し、8月に増加する。田島では5~8月にかけてやや減少する。Pbはほとんどの試料で葉身の含有量が根茎より高い。

Cuは根茎よりも葉身の含有量が多いが、季節的な変化は見られない。地点別で見ると、横島よりも田島の方が高い傾向にある。

Asは、葉身に比べて根茎の含有量が高い。根茎では横島の6月で7 ppmと最も低い。一方、田島の6月では27 ppmと最も高い。その他の試料では12~16 ppmの範囲にある。しか

し、両部位ともに全体的にアマモよりも高い数値を示す。地点別では、横島で4~6月まで含有量が減少し、8月に増加する。

TSは各部位や季節による変化は小さく、1000 ppm前後である。

## 考 察

### 1. 潮位変化と浮遊物質量(SS)の多元素組成の変化

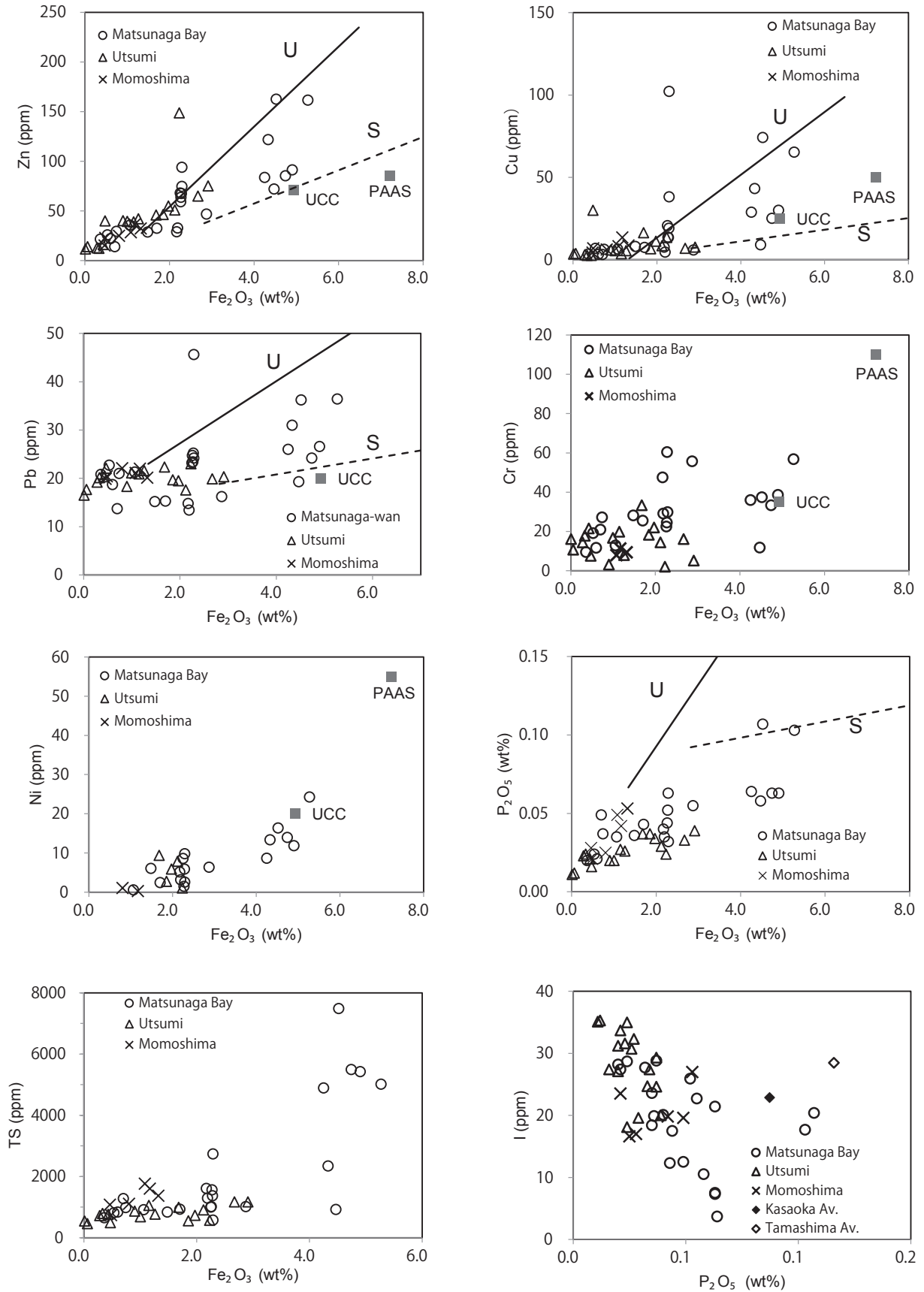
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ は4月30日の試料では潮位の低下に伴い増加し、5月17日の試料でも潮位の低下とともに増加する(第4図)。この変化傾向はZnでもみられる。FeやZnは泥質物質に含有され、吸着されるため、干潮時に高くなるといえる。 $\text{P}_2\text{O}_5$ は4月30日の試料では高潮位時で高く、潮位が低下するにしたがってゆるやかに減少する(第4図)。一方、5月17日の試料はほとんど変化がないが、潮位が低下するにしたがいやや減少する。TSも潮位の低下にともない減少する。 $\text{P}_2\text{O}_5$ やTSは海水中でリン酸塩や硫酸塩として植物プランクトンに取り込まれ、満潮時に植物プランクトンが多くなるために両元素の含有量が高くなることを示す。

### 2. 干潟堆積物の元素組成からの水環境の評価

干潟堆積物の元素組成は、水環境の評価をおこなう上で有効である。Zn, Cu, Pbは人間活動による様々な作用に密接に関連する。Feとこれらの元素を比較してグラフを作成すると、都市化のレベル(人為的負荷)や堆積環境(酸化還元環境)などが評価できる(石賀ほか, 2003)。第7図は3地域の試料を $\text{Fe}_2\text{O}_3$ と比較したものである。グラフ上の2本の組成線のうち、実線は都市型の組成線であり、破線は一般の堆積物の組成線である(石賀ほか, 2003)。

Zn- $\text{Fe}_2\text{O}_3$ のグラフでのプロットでは堆積物の組成は3グループに区分される(第7図)。第1は都市型の組成線上またはそれよりも高い領域に分布するもので、第2は2本の組成線の間に分布するグループである。第3は両元素とも低い領域に分布するものである。両元素とも低い領域に分布しているグループには、松永湾の外側の地点試料や内海の瀬戸内海側の試料である。これらの試料地点は潮通しのよい地点といえる。そのためZnやFeの濃度が低減されていると考えられる。また、Ma 7やMa 8など松永湾の内側の試料もこのグループに含まれる。その地点ではアマモの生育が見られた。したがってこれらの地点では水環境が良好であるといえる。松永湾では、Ma 2, Ma 5, Ma 6の試料のZn含有量は100 ppm以上であり、湾奥の堆積環境での重金属の蓄積を示唆する。しかし、同様の湾奥であってもMa 3, Ma 4, Ma 12ではそれぞれZn=68 ppm, 68 ppm, 23 ppmと低い値をもつ。この値は環境基準の指標(TEL=123 ppm: threshold effect level およびLEL=120 ppm: lowest effect level; Burton, 2002)と比較して低い。内海では、Ut 1でZn=149 ppmと高くなっていることも、海岸が狭くなっていることに関連する。

Pbの組成は2本の組成線の間に分布している試料が多い(第7図)。LEL=31 ppmであり、多くの試料でこれよりも低



第7図 瀬戸内海松永湾およびその周辺の沿岸の干潟堆積物の多元素組成の  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  との相関を示すグラフ。Zn, Cu, Pb, Cr, Ni,  $\text{P}_2\text{O}_5$  には都市の干潟堆積物の組成線と一般の堆積物の組成線（石賀ほか，2003）を示した。UCC および PAAS（Taylor and McLennan, 1985）を示した。

いが、松永湾の一部の試料でやや高いものがある。Cu-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のグラフは、両元素とも低濃度の領域に分布する試料が多いが(第7図)、2本の組成線の中に分布する試料はZnやPbとほぼ同様であり、この3元素の組成は類似しているといえる。

Cr-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>については、松永湾の試料で正の相関を示し、ほとんどの試料がUCC以下である(第7図)。Ni-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>においてNiもCrと同様にほとんどがUCC以下である。内海や百島においては検出されない地点もあった。干潟堆積物が砂質である場合には、これらの元素が低減されるとともに、後背地の地質が花崗岩質であることも、両元素の存在量を低減しているといえる。尾道地域は古くから港町として知られており大小様々な規模の造船業が盛んである。現在でも尾道造船や常石造船を始め多数の造船所が存在する。そのためこれらの工場からの影響が懸念されるが、今回の重金属の検討ではその影響は明らかではない。

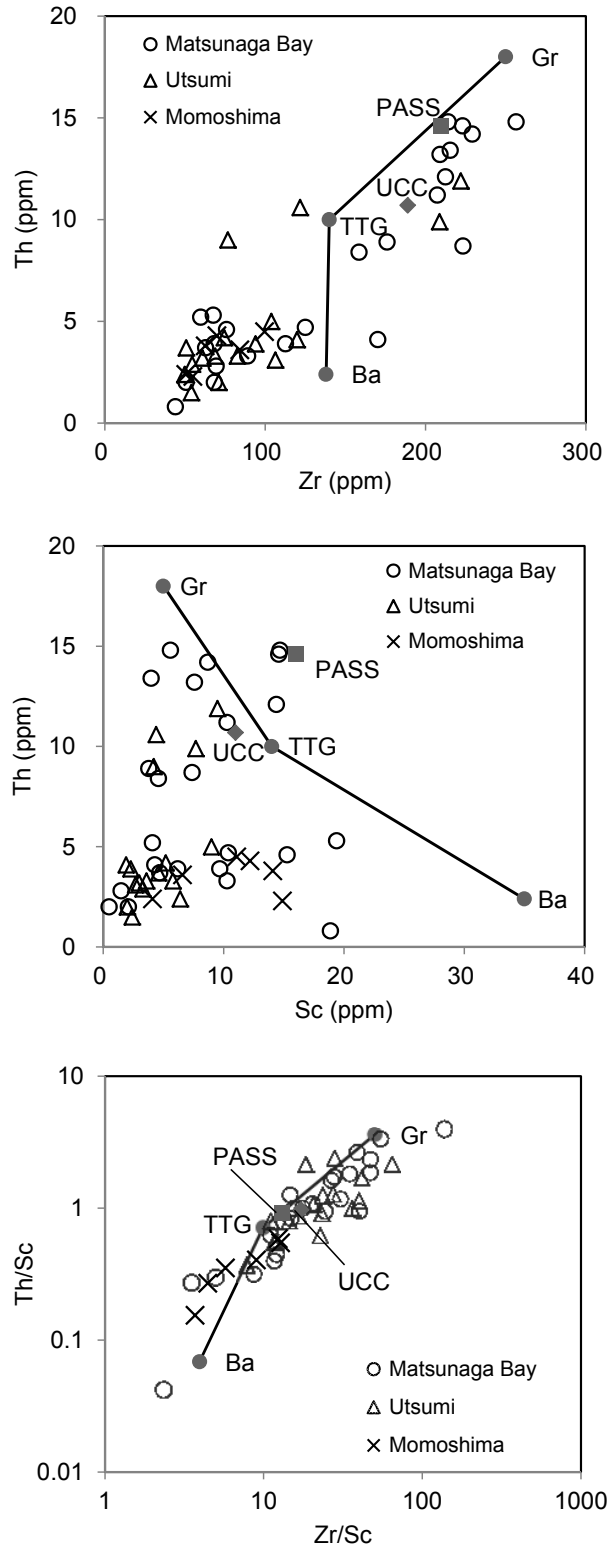
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>グラフからは都市の排水の影響や富栄養化の程度を評価できる。Pは生態への濃縮効果により、堆積物への蓄積が低減されている可能性がある。実際、全体的に低い値となっており(第7図)、高い試料でも一般の堆積物の組成線に分布する。

TSは、5000 ppm以上に分布するグループと2000 ppm以下に分布するグループがある(第7図)。高いグループの例はMa 5 (7489 ppm), Ma 11 (A: 4892 ppm, B: 5496 ppm), Ma 10 (5425 ppm), Ma 5 (5017 ppm)である。これらの地点では堆積環境が還元であることを示唆する。また、ORPの値と合わせて推察して、地点Ma 5やMa 6は低い値を示すことから還元的环境であることがわかる。

I-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>グラフではほとんどの試料が両元素の間で負の相関を示す(第7図)。ヨウ素は一般的に海藻や海洋プランクトンに濃縮しやすいと考えられているが(Wang, 1991)、今回測定したSSではIが検出された(1 ppm以上)試料はない。しかし、アマモ試料の分析結果からは多くの試料でIの含有量が認められている。このことは、この海域での海生プランクトンにはほとんどIは含有されず、逆にPがアマモの含有量よりも高濃度で含まれることを示す。石賀ほか(2010)の岡山県笠岡湾の干潟堆積物でも同様の結果が得られており(p. 37; 第5図)、堆積物の構成物と生態系に由来する有機物との関係を検討することが重要である。

### 3. 後背地の地質の検討

後背地の地質についてTh-Zrのグラフ(第8図)では、グラフの左下に分布するグループと右上に分布するグループがある。Th-Scのグラフは広い範囲に分散する。この分散はThの含有量の差や中～粗粒砂による希釈効果によるものである。Th/Sc-Zr/Scのグラフでは、松永湾の試料のほとんどと内海の試料がTTG組成(Condie, 1993)よりもGrの組成に近い範囲にある。百島の試料はより塩基性岩石組成に近い範囲にプロットされる。また、プロットはTTG組成上に分布する。これは、Zrなど重鉱物が淘汰作用による分別を受けたためと考えられる。Zrはシルトや細粒な堆積物に濃縮しやすいため、細粒な試料の分析値はGrよりに分布する傾向がある(Roser,



第8図 瀬戸内海松永湾およびその周辺の沿岸の干潟堆積物の後背地の地質を評価するグラフ。Condie (1993) からGr, TTG, Ba, PAAS, UCC組成を示した。

2000)。Nbについては松永湾試料よりも横島試料の方が高い値をもち、松永湾と横島ではわずかに起源が異なることを示唆する。

#### 4. アマモ各部位の元素分配の特徴

横島, 田島, 百島, 松永湾において, 今回採取したアマモについては, 季節ごとの生体の成長がみられるとともに, 各部位の元素濃度の変化が認められる結果が得られた (第5図, 第6図). 横島においては4月の葉身は約40 cmであったが, 6月には約50 cmに成長していた. 8月には約25 cm~40 cmと変化するもののこれ以上の成長は認められなかった. 田島では5月は約50 cmであったが, 6月には約65 cmと伸長した. 横島については, 水温の上昇によりアマモの衰退期となり, 古い長い葉身が枯れ落ち, 栄養枝の草丈が短くなった.

今回の結果から, 葉身にはCaO, MnO, Zn, Asが, 葉鞘には $P_2O_5$ が, 根茎にはMnO,  $Fe_2O_3$ , Asが濃縮しやすい傾向がある (第5図, 第6図). 横島の葉身において, CaOとMnOの含有量は6月まで増加し8月に減少している. Znの含有量は4月, 5月とやや増加し6月に減少するが8月はほぼ横ばいである. これは, アマモの成長 (伸長) に伴って栄養塩が摂取されること (細川ほか, 2006) に関連すると考えられる. これらのことから, アマモの葉身の成長に伴いCaO, MnO, Znの含有量は増加しており, 成長との相関性を示唆する. CaOについては, MnOと比べて5月から6月の増加率が大きい (第5図). アマモ場における葉上付着生物の個体数は春から増加し, 5~6月に最大となり, 夏秋冬には減少する. この変化はアマモの消長と類似している (高間, 1975) とされており, 付着生物の中には巻貝 (ハリハマツボ属) や二枚貝 (ホトギス幼貝) の個体数が多かった (高間, 1975) とされていた. このことから, CaOは葉身への吸収に限らず, 付着生物の影響もあると考えられる.

$P_2O_5$ については (第5図), 横島や田島, 松永湾において季節的な変化は明瞭ではなく, 季節を通して吸収や蓄積がされていると考えられる.  $P_2O_5$ はアマモのすべてのグラフにおいて, 他の部位に比べて葉鞘の含有量が最も高いことから, 葉鞘に蓄積されていると考えられる. アマモの成長点は葉鞘にあるため, 栄養源として $P_2O_5$ は蓄積されているのかもしれない.  $Fe_2O_3$ は他の部位と比べると根茎での含有量が最も高く, Asにおいても根茎での含有量が高い (第6図). FeやAsは還元的な堆積物中では間隙水に溶解して,  $Fe^{2+}$ や $AsO_4^{3-}$ として存在し (Trivobillard *et al.*, 2006), ひげ根から吸収され根茎に蓄積されていると考えられる. Pbは葉身と地下茎で含有量が高く, その量はほぼ同じであった. また, 6月までやや減少傾向が見られる. この変化は $Fe_2O_3$ の変化とほぼ一致している.

#### 5. アマモとコアマモ試料における元素濃縮の差異

コアマモはアマモと成長時期が多少異なり, 3~4月に成長し始め, 6~9月が最盛となる. (新崎, 1950). アマモとコアマモの平均値を比較すると, MnO,  $Fe_2O_3$ , As, Zn, Pbはアマモよりもコアマモの方が高い. CaOの含有量の季節的な変化はアマモとコアマモでほとんど差異はない (第5図). MnOにおいては, アマモでは横島の6月の葉身の含有量が0.26 wt%と高く, 季節的な変化が見られるが, コアマモでは0.16 wt%と他の月と変わらない (第5図). 田島においては, コアマモ

では6月に高くなり, 季節的な変化が見られる. 田島では, 8月にアマモを採取できなかったため, この変化が地域による差異か, アマモとコアマモとの差異であるのか今後検討する必要がある. 平均値を比較するとコアマモの方が高いため, MnOの吸収率は, アマモよりもコアマモの方が高いといえる.

Znは葉身において, 横島のアマモでは5月まで増加しその後減少したが, コアマモでは6月までやや減少し8月に増加した (第6図). また, 田島のコアマモは5~8月にかけてやや減少傾向を示した. このことから, コアマモはアマモほどZnの吸収に葉身の成長の影響を受けないのかもしれない. 平均値を比較すると, MnOと同様にアマモよりもコアマモの方が高い.  $P_2O_5$ については, アマモとコアマモで季節的な変化に差異は見られなかったが (第5図), 含有量は平均値からアマモの方がやや高い傾向がある. また, アマモでは葉鞘での含有量が高かったが, コアマモでは葉身で高い. コアマモはアマモよりも葉鞘が明瞭ではないため, 海水中から吸収された $P_2O_5$ が葉身に蓄積されていることによるのかもしれない.

$Fe_2O_3$ とAsの含有量は, 根茎で高いという点では共通した傾向がある. しかし, 含有量はコアマモの方が高く, 特にAsで顕著である.  $Fe_2O_3$ は, アマモの葉身ではほとんど検出されなかったが (第5図), コアマモの葉身では検出された.

Pbは葉身と地下茎での含有量がほぼ同量である点や6月までやや減少傾向があるという季節的な変化は共通していた (第6図). しかし, 吸収率はコアマモの方が高い. Cuはアマモとコアマモでの明瞭な差異は見られなかった (第6図).

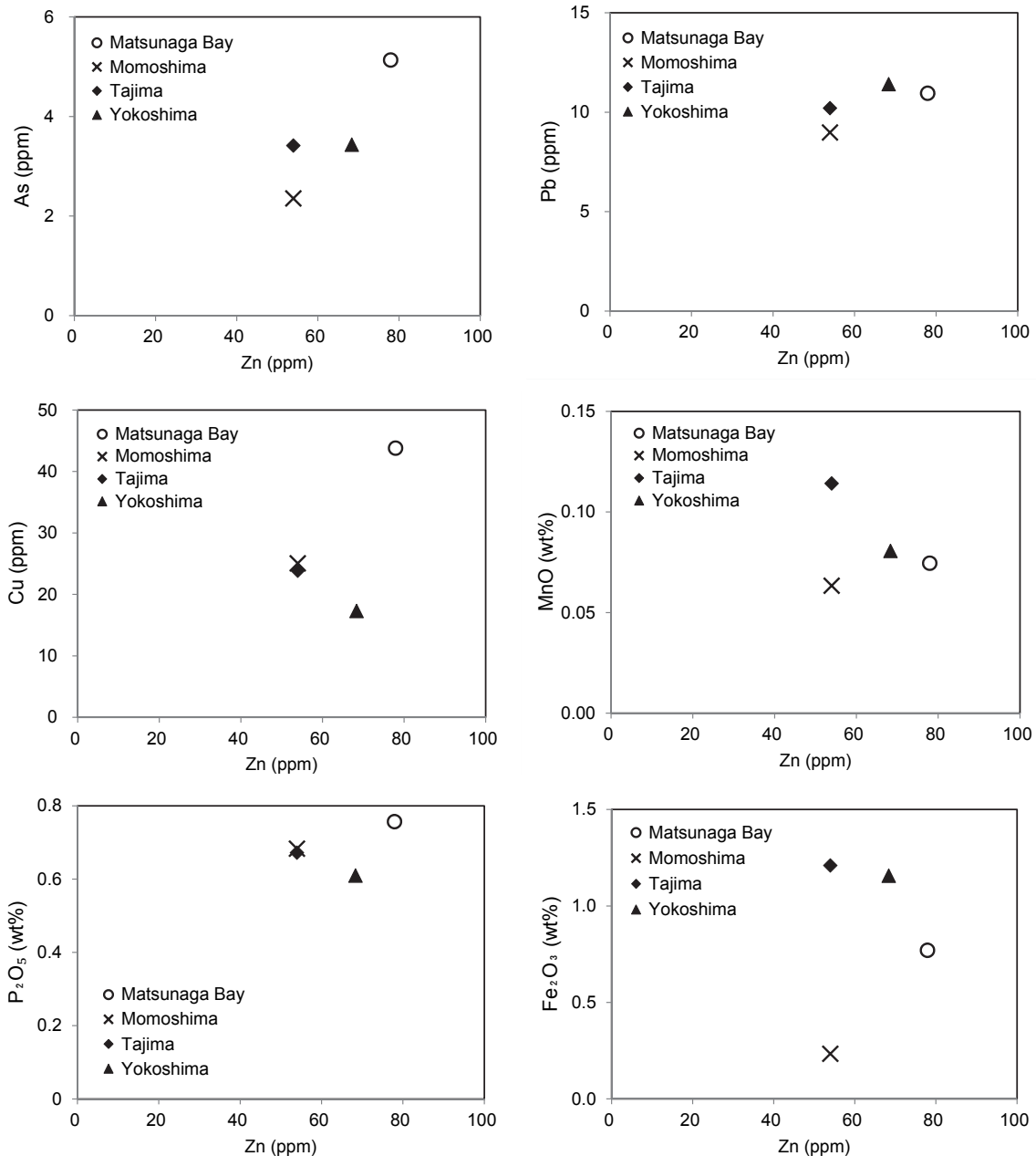
#### 6. アマモ試料の地域ごとの元素濃縮率の特徴

アマモ試料について地域ごとの特徴を検討するためにいくつかの元素 (As, Pb, Cu, MnO,  $P_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$ ) の平均値とZn (平均値) を比較した (第9図). Pb, Cu, MnO, は葉身,  $P_2O_5$ は葉鞘,  $Fe_2O_3$ , Asは地下茎の含有量で比較した.

MnOは田島の試料で高くなる傾向がみられた. Mnは還元的な環境で $Mn^{2+}$ として堆積物から溶出するため, 4地点のなかでは田島周辺の海域でより還元的な環境が発生しやすいと考えられる.  $P_2O_5$ やPbについては地点ごとの特徴は見られなかった.  $Fe_2O_3$ は百島で低く, 横島で高い傾向がある. 百島で低い原因は, 4地域の中で最も潮通しが良いところに位置しており, 水循環がよいことによると推定される. Asも百島でやや低く, 松永湾の1試料で高い値を示した. Cuについては松永湾で特に高い値を示した. これは, 近くにある造船所の影響を示唆する. 田島の近くにも造船所があるがその影響は見られない. アマモの採取地点は松永湾内で比較的潮通しのよい地点であり, 干潟の再生の効果の可能性もある.

#### ま と め

近年, 瀬戸内海において進められてきた自然再生の取り組みの成果のモニタリングを行うために, 尾道地域の備後灘に位置する松永湾とその周辺海域の干潟において, 水質の測定, SSおよび堆積物, アマモなどの多元素組成分析から海域の現状の検討を行った.



第9図 瀬戸内海松永湾およびその周辺の沿岸のアマモの元素組成を比較するために、いくつかの元素 (As, Pb, Cu, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) を選択して Zn と比較して (すべて平均値) 示したグラフ。

これらの多様な物質の検討からは、顕著な重金属の堆積物への蓄積やアマモへの濃縮は認められない。松永湾内やその周辺海域の干潟ではアマモやコアマモが認められた。特に百島やその北側の海老地区 (第1図の Ma 18, Ma 19 付近) での干潟の形成による人為的な環境の変化がなされており、百島ではアマモの生息が広範にわたり確認された。

アマモは季節的な成長が明瞭であり、葉身には CaO, MnO, Zn などの選択的な濃縮がみられる。P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> は生体に吸収され、特に葉鞘で明瞭な濃縮がみられる。Cu は生体に優位に含有され、地域的な含有率の変化が認められる。そのため環境への人為的負荷を評価するうえで敏感な元素といえる。

環境モニタリングは水質や生態系の調査により行われることが多いが、ここに示した様々な物質の多元素組成分析はさらに詳しい評価に有効といえ、また、今後のモニタリングの基礎的資料となる。また、生態系調査との相互関係の検討も今後重要といえる。

## 文 献

- Burton, G. A., Jr., 2002, Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, 3, 65-75.  
 Condie, K. C., 1993, Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface and shales. *Chem.*

- Geol.*, **104**, 1-37.
- 中国経済産業局, 2006, 平成17年度産業公害防止対策調査「閉鎖性水域の海域別対策調査(瀬戸内海)」報告書. 中国経済産業局資源エネルギー環境部, 100p.
- 広島県, 1964, 20万分の1広島県地質図・同説明書. 182p.
- 細川真也・三好英一・内村真之・中村由行, 2006, メソコスム水槽におけるアマモ地上部の現存量と成長・脱落速度の季節変動. 港湾空港技術研究報告, **45**, 25-45.
- 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. 島根大地球資源環境学科研究報告, **22**, 15-20.
- 石賀裕明・塩原秀治・佐野絵里香, 2010, 岡山県笠岡湾およびその周辺の干潟堆積物の元素組成. 島根大地球資源環境学研究報告, **29**, 33-39.
- 環境省, 2014, 瀬戸内海における湾・灘ごとの海域特性について, 145p. <http://www.env.go.jp/council/09water/y0915-06/ref01.pdf>
- 春日井康夫・久本忠則・中山康二・松本英雄, 2003, 広島県尾道糸崎港における干潟再生事業. 海洋開発論文集, **19**, 107-112.
- Roser, B. P., 2000, Whole-rock geochemical studies of clastic sedimentary suites. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **57**, 73-89.
- 新崎盛敏, 1950, アマモ・コアマモの生態 (I), 日水誌, **15**, 567-572.
- Tamaki, H., Tokuoka, M., Nishijima, W., Terawaki, T. and Okada, M., 2002, Deterioration of eelgrass *Zostera marina* L. meadows by water pollution in Seto Inland Sea, Japan. *Marine Pollution*, **44**, 1253-1258.
- 高間 浩, 1975, アマモ場での葉上付着生物の組成と季節変化. 神水試業績, 79-09 73-79.
- 寺脇利信・島谷 学・森門朗彦, 2005, 瀬戸内海におけるアマモ場造成の実践事例. 水産工学, **42**, 151-157.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1985. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell Scientific, Oxford, 312 p.
- Tribouillard, N., Algeo, T. J., Lyons, T., Riboulleau, A., 2006, Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update. *Chemical Geology*, **232**, 12-32.
- 山本民次, 2005, 瀬戸内海が経験した富栄養貧栄養化. 海洋と生物, **158**, 203-213.
- Wang, G. T. F., 1991, The marine geochemistry of iodine. *Review in Aquatic Science*, **4**, 45-73.

(受付: 2015年1月15日, 受理: 2015年1月23日)