

トカラ列島周辺海域 (GB21-1 航海) で採取された海底表層堆積物の化学組成

久保田 蘭^{1,*}・太田 充恒¹・立花 好子¹・板木 拓也¹・
片山 肇¹・鈴木 克明¹・間中 光雄¹

KUBOTA Ran, OHTA Atsuyuki, TACHIBANA Yoshiko, ITAKI Takuya, KATAYAMA Hajime, SUZUKI Yoshiaki and MANAKA Mitsuo (2022) Chemical composition of marine surface sediments around Tokara Islands (GB21-1 Cruise), Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 73(5/6), p. 337-347, 4 figs and 5 tables.

Abstract: The concentrations of 24 elements in the 56 marine surface sediment samples collected from around Tokara Islands, were determined, and the characteristics of the chemical composition and concentration distribution were investigated. The sediments in this sea area are rich in T-Fe₂O₃ (converted total iron concentration to Fe₂O₃), MgO and MnO, and the CaO concentration is relatively low, suggesting that the contribution of terrigenous clastic materials is greater than that of bioclasts. The analysis results of the relationship between the Al₂O₃ content and the CaO, K₂O, and T-Fe₂O₃ contents revealed that the contribution of terrigenous clastic materials is large in the shallow-water areas around Suwanosejima Island and Takarajima Island. The considerable enrichment of Mn, Ni, Cu, Zn, and Pb in silt-clay samples in the off western Takarajima Island, can be assumed to be due mainly to adsorption to particle surface by the early diagenesis.

Keywords: simultaneous multi-element analysis, clastic material, bioclast, mafic rock, early diagenesis, accumulation of heavy metal element

要 旨

トカラ列島周辺海域から採取した海底表層堆積物56試料について、主成分元素および微量元素24元素を定量した結果を示し、化学組成の特徴や分布特性について検討を行った。本調査海域の海底堆積物は、過去に調査した沖縄本島周辺海域の海底堆積物に比べ、T-Fe₂O₃ (全鉄量をFe₂O₃に換算したもの)、MgO、MnO濃度が高くCaOの濃度が低い傾向がみられ、生物遺骸粒子より陸源性碎屑粒子の寄与が大きいと考えられた。Al₂O₃濃度とCaO、K₂O、T-Fe₂O₃濃度の関係から、特に諏訪之瀬島および宝島周辺の浅い海域では碎屑粒子の寄与が大きいことが分かった。宝島西部海域のシルト-粘土質試料についてMn、Ni、Cu、Zn、Pbの濃集が認められ、初期続成作用により堆積層表層部で粒子表面に吸着したものと考えられた。

1. はじめに

筆者らは、「本邦沿岸海域底質地球化学図」の作成に関する基礎的研究を継続しており、平成20年度より沖縄本島周辺海域の海底表層堆積物の化学分析を行い、その結果を公表した(寺島ほか, 2009, 太田ほか, 2010, 2011,

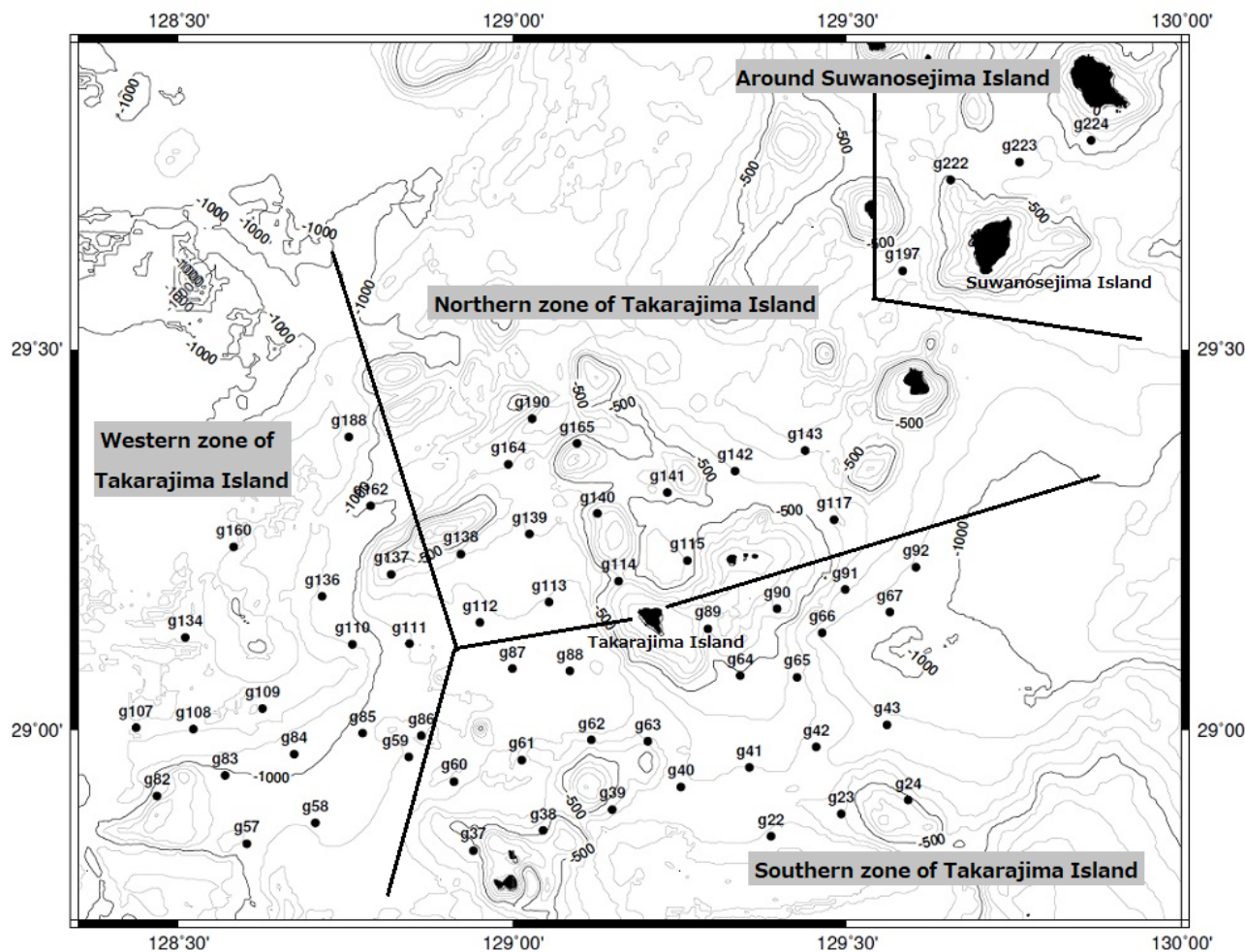
2013, 2016, 2017, 2019, 久保田, 2019)。GB21-1航海では、トカラ列島周辺海域の61地点(第1図)で木下式グラブ採泥器(K-グラブ採泥器)により海底表層堆積物が採取され(鈴木ほか, 2022)、このうち56地点の試料について53元素の化学分析を行った。本概要報告では、GB21-1航海で採取された海洋堆積物中の、主成分元素(Na₂O、MgO、Al₂O₃、P₂O₅、K₂O、CaO、TiO₂、MnO、Total (T-) Fe₂O₃(全鉄量をFe₂O₃に換算したもの))といくつかの微量元素(Li、Be、Sc、V、Cr、Co、Ni、Cu、Zn、Rb、Sr、Y、Mo、Ba、Pb)を分析した結果と化学組成の特徴について報告する。

2. 試料処理及び分析方法

K-グラブ採泥器で採取された試料のうち、表層部0-3 cmを適量分取した。礫質の堆積物試料については、可能な限り付随する細粒の堆積物を分取した。試料を室温で乾燥した後、石川式めう粉碎機で約80メッシュ(約180 μm)以下に粉碎して分析試料とした。粉碎した試料0.2 gを硝酸3 ml、過塩素酸2 ml、フッ化水素酸5 mlの混酸を用いて、120 °Cで2時間加熱して分解後、さらに145 °Cで1時間加熱分解を行った。その後、200 °C以下で蒸発乾固した後、7M硝酸5 mlを加えて加温溶解し、No.5cの

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

* Corresponding author: KUBOTA, R., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ran-kubota@aist.go.jp



第1図 トカラ列島周辺海域 (GB21-1 航海) における表層堆積物試料の採取地点. 海底地形図は岸本 (2000) に基づく.

Fig. 1 Sampling locations of marine surface sediments around Tokara Islands (GB21-1 Cruise). Submarine topographic map is based on Kishimoto (2000).

濾紙で残渣成分を濾過し、超純水で希釈して試料溶液 (100 ml) とした。各種成分の測定では、主成分元素 (Na_2O , MgO , Al_2O_3 , P_2O_5 , K_2O , CaO , TiO_2 , MnO , Total (T- Fe_2O_3) と Sr, Ba を ICP-AES (Thermo Fisher Science iCap-6300) で、そのほかの微量元素 (Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Y, Mo, Pb) は ICP 質量分析計 (Agilent 7900) を用いて測定した。分析結果を第1表および第2表にまとめた。今回は海塩の除去を行っていないため、海塩の影響を最も受ける Na_2O は参考値として示している。

3. 結果と考察

3.1 トカラ列島周辺海域における表層堆積物の元素濃度の特徴

第1表に主成分元素、第2表に微量元素の分析結果をまとめている。GB21-1航海では、中之島および諏訪之瀬島周辺海域、宝島および小宝島周辺海域から採取された。一部の試料は、粒度や採取深度にかかわらず、炭酸

塩の骨格や殻など生物遺骸碎屑片を含む。元素濃度は CaO (2.72–45.32 wt%) が高く、次いで $\text{T-Fe}_2\text{O}_3$ (0.456–29.1 wt%), Al_2O_3 (0.741–15.8 wt%)、 MgO (1.10–7.89 wt%) が高い濃度範囲を示した。微量元素では、Sr (148–2,834 mg/kg)、V (12–895 mg/kg)、Ba (19–604 mg/kg)、Zn (13–332 mg/kg) が高く、他の微量元素は 100 mg/kg 以下であることが多い。海底表層堆積物は一般的に生物起源の炭酸塩鉱物が主成分であることが多く、今回もその傾向が確認された。ただし、30 wt% 以上の CaO 濃度を示したのは 5 試料のみ (20 wt% 以上の CaO 濃度を示したのは 12 試料のみ) であり、過去の沖縄周辺および奄美大島周辺海域試料の分析結果 (寺島ほか, 2009, 太田ほか, 2010, 2011, 2013, 2016, 2017, 久保田ほか, 2019) と比較した場合の本海域試料の特徴として、 $\text{T-Fe}_2\text{O}_3$, MgO , MnO 濃度が高く、相対的に CaO が低いことが挙げられる。

第3表には調査海域を4つに区分した海域別の元素濃度平均値を示した。海域区分は試料番号 g22–g43, g60–

トカラ列島周辺海域で採取された海底表層堆積物の化学組成 (久保田ほか)

第1表 トカラ列島周辺海域 (GB21-1 航海) で採取された表層堆積物の主成分元素の分析結果.

Table 1 Major element composition of marine surface sediments around Tokara Islands (GB21-1 Cruise).

Location no.	water depth m	Na ₂ O wt%	MgO wt%	Al ₂ O ₃ wt%	P ₂ O ₅ wt%	K ₂ O wt%	CaO wt%	TiO ₂ wt%	MnO wt%	T-Fe ₂ O ₃ wt%
g22	823	2.99	4.36	13.1	0.147	0.793	12.1	1.01	0.203	9.54
g23	572	3.13	3.23	13.6	0.163	0.960	15.0	1.04	0.175	8.65
g24	473	2.04	4.26	6.96	0.141	0.253	32.9	0.452	0.111	4.70
g37	543	3.11	5.40	15.8	0.097	0.741	10.2	0.643	0.180	9.21
g38	489	2.78	7.02	14.4	0.211	0.563	10.1	1.10	0.287	13.2
g39	657	3.40	3.91	14.2	0.150	0.580	16.7	0.631	0.172	7.11
g40	702	2.84	4.66	11.6	0.491	0.502	8.37	3.98	0.400	24.8
g41	705	3.17	2.56	12.1	0.139	0.766	19.4	0.570	0.155	5.49
g42	735	3.01	4.43	13.4	0.335	0.433	9.01	2.81	0.350	21.8
g43	861	3.39	4.71	15.5	0.274	0.413	8.23	1.41	0.291	12.5
g58	960	3.65	2.31	12.3	0.181	2.28	15.0	0.442	0.859	4.80
g59	849	3.16	2.37	12.7	0.160	1.80	16.1	0.538	0.779	5.30
g60	841	3.27	2.55	13.0	0.145	1.49	15.1	0.551	0.462	5.73
g61	759	6.31	1.61	11.2	0.184	1.64	4.0	0.523	0.710	7.16
g62	746	3.38	2.33	13.2	0.146	0.858	17.5	0.602	0.154	5.77
g63	587	1.82	6.99	7.62	0.644	0.231	14.9	3.55	0.587	25.2
g64	524	3.19	4.49	14.0	0.224	0.447	12.4	1.55	0.273	13.0
g65	638	4.05	3.76	14.7	0.244	0.825	7.69	1.56	0.260	12.5
g66	896	3.75	1.96	10.4	0.144	1.72	18.8	0.432	0.227	4.10
g67	943	3.19	1.87	9.95	0.117	1.29	21.3	0.447	0.153	4.52
g82	942	3.58	2.13	11.2	0.157	2.11	16.9	0.440	0.797	4.36
g83	852	2.31	3.07	13.9	0.150	2.98	4.69	0.777	0.237	7.51
g84	958	3.73	2.33	12.0	0.169	2.29	13.7	0.503	0.684	4.72
g85	942	3.78	2.38	12.3	0.174	2.24	13.7	0.524	1.32	4.74
g86	847	2.92	2.11	11.3	0.145	1.59	18.9	0.480	0.425	4.62
g87	883	3.17	2.26	11.9	0.166	2.15	15.4	0.484	1.18	4.63
g88	699	3.74	2.92	14.9	0.251	0.708	11.5	1.07	0.223	8.68
g90	353	2.05	3.65	4.68	0.119	0.434	42.4	0.231	0.167	1.83
g91	808	3.17	2.96	12.2	0.144	0.970	17.7	0.813	0.171	7.08
g92	924	3.42	2.12	10.8	0.124	1.23	20.6	0.496	0.174	4.61
g107	1077	3.92	2.28	12.5	0.161	2.44	13.5	0.515	0.660	4.70
g108	1169	3.95	2.34	12.8	0.161	2.53	11.7	0.515	0.846	4.81
g109	1163	4.27	2.48	12.9	0.167	2.56	9.38	0.522	2.30	4.88
g110	1071	3.72	2.12	11.5	0.150	1.90	18.9	0.457	0.486	4.48
g111	915	3.38	1.82	11.0	0.147	1.61	20.3	0.462	0.361	4.31
g112	836	3.51	1.72	10.6	0.140	1.34	20.7	0.543	0.256	4.53
g113	828	3.41	1.34	9.02	0.121	1.25	22.5	0.363	0.254	3.16
g115	614	3.22	2.22	4.93	0.138	0.850	34.3	0.213	0.549	2.13
g117	576	2.23	6.10	10.7	0.402	0.222	8.03	3.95	0.451	29.1
g134	1151	4.17	2.58	13.0	0.174	2.63	8.70	0.571	2.23	4.93
g136	1034	4.77	1.10	11.6	0.200	2.53	2.72	0.255	0.277	4.01
g137	677	2.76	2.36	8.95	0.179	0.590	26.7	0.708	0.165	5.73
g138	714	3.60	1.42	9.71	0.131	1.13	19.5	0.447	0.155	3.67
g139	709	3.80	1.62	10.1	0.130	1.05	18.5	0.586	0.126	4.30
g141	475	1.79	6.57	7.47	0.142	0.382	21.1	1.59	0.279	12.5
g142	583	2.02	1.71	3.87	0.074	0.456	37.8	0.200	0.109	1.76
g143	669	2.44	5.26	9.92	0.169	0.591	14.6	1.46	0.283	12.2
g160	1125	4.02	2.44	12.7	0.164	2.51	9.42	0.527	1.21	4.79
g162	1003	4.22	2.50	12.8	0.179	2.53	11.4	0.511	2.13	4.95
g165	173	1.43	3.54	0.741	0.107	0.164	45.3	0.051	0.028	0.456
g188	1145	3.90	2.40	12.8	0.165	2.48	11.2	0.537	0.845	4.90
g190	932	3.73	2.25	11.3	0.172	2.17	14.0	0.470	0.960	4.33
g197	868	3.11	4.20	15.0	0.094	1.13	9.53	0.593	0.144	7.20
g222	509	2.79	5.27	13.9	0.086	0.816	13.5	0.517	0.151	7.53
g223	563	2.62	5.28	13.4	0.092	0.857	10.7	0.862	0.187	11.1
g224	416	2.22	7.89	11.3	0.095	0.545	10.3	1.01	0.289	15.4

第2表 トカラ列島周辺海域 (GB21-1航海) で採取された表層堆積物の微量元素の分析結果.

Table 2 Trace element composition of marine surface sediments around Tokara Islands (GB21-1 Cruise).

Location no.	water depth m	Li mg/kg	Be mg/kg	Sc mg/kg	V mg/kg	Cr mg/kg	Co mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Rb mg/kg	Sr mg/kg	Y mg/kg	Mo mg/kg	Ba mg/kg	Pb mg/kg
g22	823	15	0.8	34	181	22	23	11	14	105	26	520	23	0.5	122	8.5
g23	572	20	1.0	26	202	21	20	12	18	103	30	486	26	0.7	125	16
g24	473	6.9	0.4	15	95	16	13	12	7.7	54	6.6	1305	13	0.3	39	11
g37	543	12	0.8	35	216	23	30	15	40	79	23	246	23	0.6	105	8.3
g38	489	11	0.8	48	274	26	37	15	23	131	17	256	28	0.5	86	7.7
g39	657	11	0.8	26	125	12	17	7.2	14	78	17	599	21	0.5	93	8.5
g40	702	9.0	0.7	47	553	16	40	6.8	11	269	14	237	32	0.9	85	7.2
g41	705	13	0.9	20	82	10	12	8.1	10	75	24	948	21	0.6	134	15
g42	735	9.1	0.8	35	586	19	37	7.2	11	227	11	331	23	0.6	78	8.6
g43	861	9.4	0.9	33	247	10	24	5.1	8.2	144	10	252	22	0.4	78	6.5
g58	960	53	2.2	12	112	68	17	70	41	110	110	586	19	6.0	512	49
g59	849	37	1.7	17	138	53	20	52	44	95	88	544	23	3.4	387	31
g60	841	29	1.5	18	138	37	18	33	41	78	62	487	22	1.8	299	23
g61	759	29	1.5	14	55	9.2	8.4	30	21	94	51	167	38	4.4	211	23
g62	746	15	1.0	20	121	14	14	11	22	69	30	528	22	0.7	138	13
g63	587	6.6	0.4	63	393	14	50	13	11	297	5.8	870	35	1.0	40	19
g64	524	11	0.7	33	312	14	24	7.8	11	163	12	455	20	0.6	79	11
g65	638	12	0.9	30	306	11	23	5.2	12	161	23	262	25	0.8	122	8.9
g66	896	31	1.3	12	96	45	12	35	39	85	71	646	19	2.1	409	28
g67	943	21	1.0	13	103	29	13	21	25	67	49	608	19	1.4	285	21
g82	942	48	2.0	12	107	66	17	69	38	104	109	595	19	7.4	471	45
g83	852	69	3.0	16	149	104	21	73	23	120	152	172	20	2.0	424	37
g84	958	52	2.2	12	110	70	17	68	38	106	112	537	19	5.1	482	46
g85	942	52	2.2	12	109	65	16	68	37	106	105	549	19	9.5	505	44
g86	847	33	1.6	14	110	44	15	41	33	81	72	596	20	1.6	333	27
g87	883	50	2.1	11	98	62	16	63	35	97	99	601	17	6.8	497	42
g88	699	12	0.9	26	127	8.9	16	7.1	11	117	23	357	24	0.5	126	11
g90	353	12	0.3	5.3	49	14	5.0	24	13	96	12	2179	11	1.3	336	70
g91	808	16	0.8	20	175	40	17	18	18	91	34	564	19	0.8	249	17
g92	924	19	0.9	15	109	26	14	23	29	72	44	590	20	1.3	254	22
g107	1077	51	2.0	12	102	69	15	64	39	114	113	511	18	4.7	503	41
g108	1169	53	2.0	12	100	65	14	63	38	113	108	468	18	6.7	515	41
g109	1163	57	2.2	12	113	73	16	74	44	126	118	432	19	14	566	44
g110	1071	40	1.7	11	90	50	13	50	33	92	81	587	17	3.2	408	35
g111	915	32	1.4	11	87	39	12	41	28	82	67	605	20	2.1	338	29
g112	836	25	1.2	14	84	29	11	30	23	78	54	585	22	1.6	269	23
g113	828	22	1.0	10	56	22	9.2	29	20	62	48	692	21	1.8	242	19
g115	614	21	0.8	5.4	49	28	8.1	32	20	51	34	1686	10	2.8	252	25
g117	576	7.3	0.6	48	895	40	52	14	12	332	5.0	262	25	0.9	49	16
g134	1151	58	2.7	13	120	79	17	66	42	132	126	410	19	9.4	604	49
g136	1034	33	1.9	5.6	33	18	6.9	28	12	64	89	148	19	3.7	336	21
g137	677	12	0.8	17	96	18	13	14	9.4	78	20	833	16	0.6	105	15
g138	714	19	1.2	12	58	18	8.6	18	14	66	43	691	23	1.3	196	21
g139	709	17	1.1	14	72	14	9.2	12	11	70	37	653	23	0.9	184	18
g141	475	11	0.5	38	379	49	33	19	8.0	142	12	900	22	0.8	65	14
g142	583	9.1	0.4	4.5	36	9.3	5.4	19	7.0	33	14	1494	13	0.7	64	16
g143	669	14	0.8	29	317	43	31	24	11	132	18	439	18	0.7	109	21
g160	1125	57	2.6	13	111	74	17	69	48	127	120	407	18	10	518	49
g162	1003	68	2.5	13	114	75	17	77	42	131	119	482	19	22	550	54
g165	173	3.1	0.1	0.8	12	21	1.1	12	2.4	13	2.7	2834	3.9	7.9	19	5.5
g188	1145	60	2.5	12	107	69	15	63	36	116	112	443	19	7.9	511	46
g190	932	51	2.1	11	94	65	16	52	35	103	100	559	17	3.8	478	49
g197	868	16	0.8	27	198	43	23	21	47	74	32	366	20	1.8	164	13
g222	509	13	0.6	31	207	44	27	25	49	78	24	507	18	1.1	149	12
g223	563	12	0.6	30	198	43	26	23	48	75	23	359	18	1.0	132	12
g224	416	13	0.7	32	369	39	32	21	32	106	24	441	17	1.2	79	12

g67, g87-g92を宝島南部海域, g112-g117, g138-g143, g165, g190を宝島北部海域, g58-g59, g82-g86, g107-g111, g134-g137, g160, g162, g188を宝島西部海域, g197, g222-g224を諏訪之瀬島周辺海域とした。地殻起源と考えられる成分のうち, Al₂O₃, TiO₂, T-Fe₂O₃, Znは宝島南部海域および諏訪之瀬島周辺海域で濃度が高い。宝島北部海域では炭酸塩鉱物に由来するCaOの濃度が高く, CaOに伴って濃集すると考えられるSr濃度も高いことから, 他の海域に比べ生物生産が卓越することが推測される。また, 宝島西部海域の試料は比較的深いところで採取され, BaをはじめK₂O, MnO, Li, Be, Cr, Ni, Rb, Mo, Pbの濃度が高い。

第4表に, 船上記載データを基に, 試料を礫, 粗粒砂, 中粒砂, 細粒砂, シルト-粘土質の粒度別に区分し, それぞれ各元素濃度の中央値を示した。中粒砂より細かい区分ではCaOが最も高い濃度を示し, 粗粒砂試料ではAl₂O₃ > T-Fe₂O₃ > CaOの順に濃度が高かった。K₂O, MnO, Li, Be, Cr, Ni, Cu, Zn, Rb, Pbなどは, シルト-粘土質試料で濃度が高い傾向を示した。一方で, 過去の航海試料のように, 細粒化に伴って高濃度(もしくは低濃度)になるといった明確なトレンドは認められなかった。

3.2 トカラ列島周辺海域における水深および元素濃度間の関係

第5表に, 水深および各元素濃度の測定値間の相関係数をまとめた。水深と元素濃度の間には明瞭な正の相関関係は認められたのは, K₂O, Be, Rb, Ba等である。一方, 碎屑性成分に多く含まれるAl₂O₃やTiO₂など多くの元素において, 水深と元素濃度の間にはほとんど有意な相関関係は認められなかった。第2図は, Al₂O₃, K₂O, CaO, MnO濃度と水深の関係を示したものである。CaO, MgO, Sr濃度は水深が増すにつれ緩やかに減少し, CaOを主成分とする生物遺骸粒子(炭酸塩鉱物)が浅海部に多く存在することを示唆する。しかしながら, 炭酸塩鉱物の主成分元素間の相関関係を見てみると, CaO-Sr濃度間は明瞭な正の相関関係があるが, CaO-MgO濃度間, MgO-Sr濃度間の相関関係は認められない。また, 本調査海域試料はCaO濃度が低く(30 wt%以上の試料は全体の1割), K₂O等の濃度が水深の増大とともに増加する傾向を示すことから, 碎屑粒子や生物遺骸粒子以外の寄与が水深とともに増加することが考えられる。

次に, Al₂O₃濃度と主要な他元素の濃度の関係を第3図に示した。Al₂O₃濃度に対するCaO濃度との間には明瞭な負の相関関係が認められ(第3図a), CaOを主とする生物遺骸粒子(炭酸塩鉱物)とAl₂O₃を主とする碎屑性粒子(ケイ酸塩鉱物)の単純な混合関係が認められる。Al₂O₃濃度とK₂O濃度の関係(第3図b)では緩やかな正の相関関係が, Al₂O₃濃度とT-Fe₂O₃濃度の関係(第3図d)ではT-Fe₂O₃

第3表 トカラ列島周辺海域 (GB21-1 航路) で採取された表層堆積物の海域別平均値。

Table 3 Average elemental concentration and water depth by sea area.

Sea area	(n)	water depth m	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	T-Fe ₂ O ₃	Rb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	V	Sc	Be	Li	Sr	Y	Mo	Ba	Pb	
			wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%																wt%
Southern zone	23	702.65	3.23	3.65	12.14	0.21	0.87	15.70	1.13	0.31	9.64																
Around Takarajima Island	11	646.27	2.83	3.07	8.03	0.16	0.87	23.31	0.90	0.31	7.10																
Western zone	18	993.33	3.68	2.28	12.14	0.17	2.20	13.49	0.52	0.92	4.92																
Around Suwanosejima Island	4	589.00	2.69	5.66	13.41	0.09	0.84	10.99	0.75	0.19	10.31																
All the samples	56	776.89	3.26	3.24	11.42	0.18	1.30	16.15	0.86	0.50	7.67																
Sea area	(n)																										
Southern zone	23	16.54	0.93	26.03	201.85	21.70	21.02	17.00	19.29	119.63	30.18	586.66	22.73	1.27	173.44	17.71											
Around Takarajima Island	11	18.07	0.89	16.87	186.56	30.79	16.77	23.76	14.87	98.36	33.34	981.39	17.93	2.11	175.25	20.77											
Western zone	18	48.07	2.07	12.64	106.11	60.98	15.53	58.17	34.75	105.37	101.19	494.71	18.90	6.65	448.13	38.97											
Around Suwanosejima Island	4	13.63	0.70	29.73	242.98	42.13	26.71	22.48	44.06	83.30	26.07	417.98	17.97	1.26	130.98	12.11											
All the samples	56	26.77	1.27	20.19	171.01	37.57	18.83	31.95	25.16	108.28	53.33	622.59	20.22	3.16	259.06	24.75											

※Southern zone: g22-g43, g60-g67, g87-g92, Northern zone: g112-g117, g138-g143, g165, g190, Western zone: g58-g59, g82-g86, g107-g111, g134-g137, g160, g162, g188, Around Suwanosejima Island: g197, g222-g224

第4表 GB21-1航海で採取された海底表層堆積物の粒度別化学組成の中央値。

Table 4 Median elemental concentrations by particle size.

Elements		Gravel	Very coarse and coarse sand	Medium sand	Fine and very fine sand	Sandy silt, sandy clay, silty clay
		n=4	n=9	n=9	n=14	n=20
Na ₂ O	wt %	4.41	3.01	2.79	3.38	3.73
MgO	wt %	2.58	5.40	4.26	2.22	2.33
Al ₂ O ₃	wt %	11.4	14.0	12.1	10.3	12.4
P ₂ O ₅	wt %	0.192	0.224	0.119	0.145	0.163
K ₂ O	wt %	1.23	0.447	0.766	1.01	2.26
CaO	wt %	5.86	10.2	13.5	19.2	13.9
TiO ₂	wt %	0.389	1.41	0.570	0.594	0.513
MnO	wt %	0.269	0.289	0.155	0.199	0.821
T-Fe ₂ O ₃	wt %	5.59	13.2	7.20	5.13	4.76
Li	mg/kg	20.4	10.8	12.5	18.3	51.7
Be	mg/kg	1.18	0.762	0.640	1.02	2.11
Sc	mg/kg	9.54	34.7	26.9	15.7	12.3
V	mg/kg	44.2	312	181	99.7	110
Cr	mg/kg	14.3	19.2	15.9	25.1	65.6
Co	mg/kg	7.68	31.7	22.5	13.2	16.1
Ni	mg/kg	20.3	13.2	19.1	18.7	63.5
Cu	mg/kg	12.0	11.9	13.3	17.7	38.3
Zn	mg/kg	79.1	144	74.8	80.2	106
Rb	mg/kg	36.9	11.5	23.2	35.3	109
Sr	mg/kg	215	331	520	596	540
Y	mg/kg	21.9	23.0	17.8	21.5	18.9
Mo	mg/kg	4.02	0.612	0.883	0.856	5.56
Ba	mg/kg	167	78.7	132	190	489
Pb	mg/kg	14.8	8.62	12.0	18.6	42.8

の低濃度域で正の相関関係が確認できる。第3図a, b, d においては、Al₂O₃-CaO, Al₂O₃-K₂O, Al₂O₃-T-Fe₂O₃の各濃度間の直線的な傾向から外れた位置にプロットされる試料(破線で囲った)が一部存在し、そのほとんどは共通していた(g22, g23, g37, g38, g39, g40, g42, g43, g63, g64, g65, g88, g91, g117, g141, g143, g197, g222, g223, g224)。これらの試料はT-Fe₂O₃濃度が7 wt%以上を示すとともにMgO, Al₂O₃, TiO₂, Sc, V, Co, Znなどの元素を多く含み、K₂O, Rb, Baに乏しい特徴がある。また、これらは中之島・諏訪之瀬島周辺および宝島・小宝島周辺かつ浅い海域で採取された試料であり、主に粗粒砂である。中之島は中期更新世の輝石安山岩の成層火山であり、諏訪之瀬島は後期更新世ないし完新世の輝石安山岩をベースとする活動度の高い活火山である。また、宝島や小宝島は中新世の輝石安山岩(緑色変質)から構成される宝島層群を基盤とし、それを不整合で覆う中期更新世の堆積岩(琉球層群)および完新世の隆起サンゴ礁および砂丘堆積物が覆っている(中野ほか, 2008)。そのため、これらの島々から放出された苦鉄質火山性物質

を多く含む可能性がある。

Al₂O₃-MnO濃度間では相関関係は認められない(第3図c)。一方で、Ni-MnO濃度間、Pb-MnO濃度間では高い正の相関係数を示す(第5表)ことから、Mn酸化物の生成に伴いNiやPbを選択的に取り込んだ可能性がある。一方 Al₂O₃濃度が10-14 wt%の範囲で0.75 wt%以上の高MnO濃度を示す試料が認められ、これらは宝島西部海域に多く分布する。宝島西部海域g58の地点から南西方向に約10 km離れた海域に、近年熱水活動の兆候が確認された第1奄美海丘があることから、本調査海域において熱水活動起源のMn酸化物が生成している可能性が考えられる。熱水活動の影響について、TiO₂濃度に対するT-Fe₂O₃濃度の関係を用いて考察を行う。第4図aでは良い相関関係が認められ、苦鉄質火山類由来の碎屑粒子の寄与を表す。そのため、この相関直線から大きなずれがある場合、熱水活動による鉄マンガン酸化物生成の可能性が考えられ、実際に第4図aにおいていくつかの試料がずれた位置にプロットされた。しかし、これらの試料で高いMnO濃度は認められなかった。さらに、T-Fe₂O₃と水

第5表 トカラ列島周辺海域 (GB21-1航海)で採取された表層堆積物の各測定値間の相関係数
Table 5 Correlation coefficient matrix for studied sediments (n = 56).

Depth (m)	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	T-Fe ₂ O ₃	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Mo	Ba	
0.67																								
-0.60	-0.59																							
0.41	0.45	0.10																						
-0.04	0.36	0.06																						
0.85	0.62	0.30	0.06																					
-0.45	-0.50	-0.18	-0.84	-0.22																				
-0.25	-0.31	0.60	0.11	0.87	-0.44	-0.35																		
0.60	0.45	-0.22	0.18	0.09	0.66	-0.31	-0.09	-0.13																
-0.31	-0.31	0.74	0.22	0.79	-0.47	-0.44	0.96	0.75	-0.41															
0.79	0.51	-0.50	0.25	0.17	0.97	-0.32	-0.38	0.75	0.41	0.87														
0.83	0.58	-0.51	0.37	-0.11	0.96	-0.45	-0.32	0.71	-0.35	0.97	-0.44													
-0.39	-0.36	0.84	0.33	0.66	-0.55	-0.42	0.83	-0.23	0.90	0.95	-0.51	-0.44												
-0.30	-0.35	0.71	0.19	0.65	-0.44	-0.38	0.92	-0.11	0.95	-0.37	-0.32	0.81												
0.60	0.17	-0.16	0.22	-0.18	0.80	-0.30	-0.21	0.65	-0.21	0.87	0.82	-0.28	-0.11											
-0.24	-0.36	0.82	0.33	0.67	-0.35	-0.49	0.86	-0.03	0.93	0.90	0.90	0.01												
0.71	0.39	-0.43	0.13	-0.20	0.91	-0.20	-0.38	0.75	-0.41	0.86	0.90	-0.35	0.01	-0.24										
0.55	0.35	-0.17	0.42	-0.32	0.67	-0.34	-0.36	0.53	-0.29	0.66	0.61	-0.23	-0.23	0.71	-0.05									
-0.01	-0.13	0.51	0.22	0.88	-0.16	-0.47	0.93	0.19	0.89	-0.07	0.66	0.05	0.86	0.05	0.83	-0.08	-0.16							
0.82	0.53	-0.55	0.26	-0.20	0.99	-0.33	-0.41	0.69	-0.45	0.99	0.98	-0.23	0.73	0.86	0.83	-0.08	0.67	-0.12						
-0.49	-0.50	-0.07	-0.86	-0.22	-0.34	0.93	-0.28	-0.20	-0.37	-0.27	-0.41	-0.38	-0.33	-0.41	0.86	-0.31	0.95	-0.37	-0.29					
0.07	0.32	0.20	0.46	0.59	-0.08	-0.62	0.56	-0.01	0.57	-0.12	-0.01	0.61	0.41	-0.23	0.52	-0.22	-0.09	0.55	-0.12	-0.63				
0.52	0.41	-0.32	0.03	-0.08	0.67	-0.13	-0.27	0.86	-0.31	0.75	0.67	-0.41	-0.27	0.63	-0.23	0.76	0.50	-0.01	0.69	0.01	-0.21			
0.81	0.53	-0.58	0.18	-0.22	0.94	-0.19	-0.45	0.73	-0.51	0.95	0.91	-0.45	-0.45	0.80	-0.37	0.94	0.69	-0.14	0.95	-0.17	-0.20	0.71		
0.58	0.33	-0.45	-0.06	-0.14	0.76	0.02	-0.36	0.67	-0.43	0.82	0.75	-0.55	-0.37	0.71	-0.32	0.86	0.53	-0.04	0.79	0.06	-0.26	0.66	0.89	

Bold face type means that correlation coefficient is larger than 0.6 smaller than -0.6.

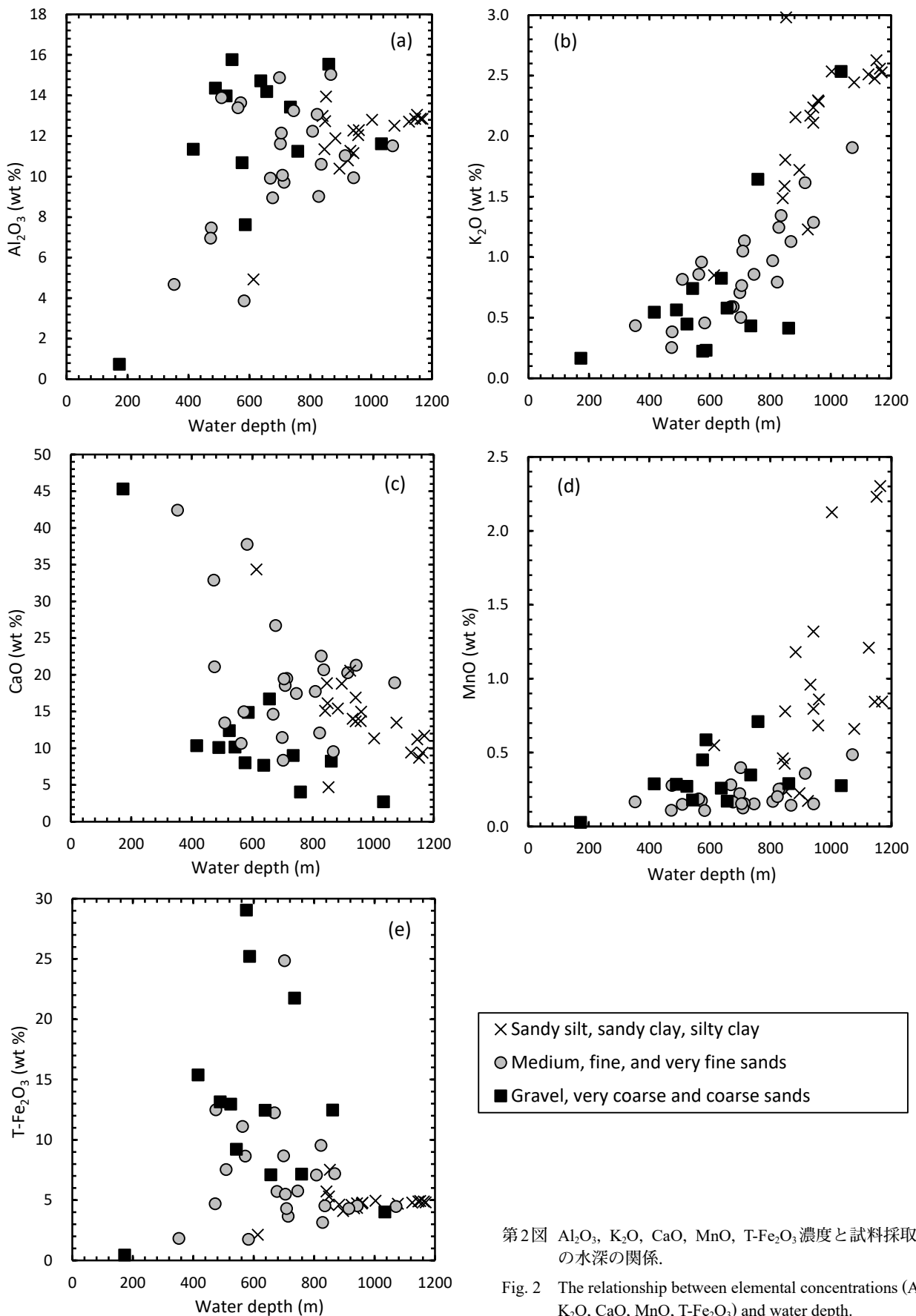
深の関係 (第2図e)を見ても、水深 850 m以深で急激に高濃度化するMnOとは異なる傾向を示している。これらのことから、本調査海域では熱水活動による影響は低いと考えられる。

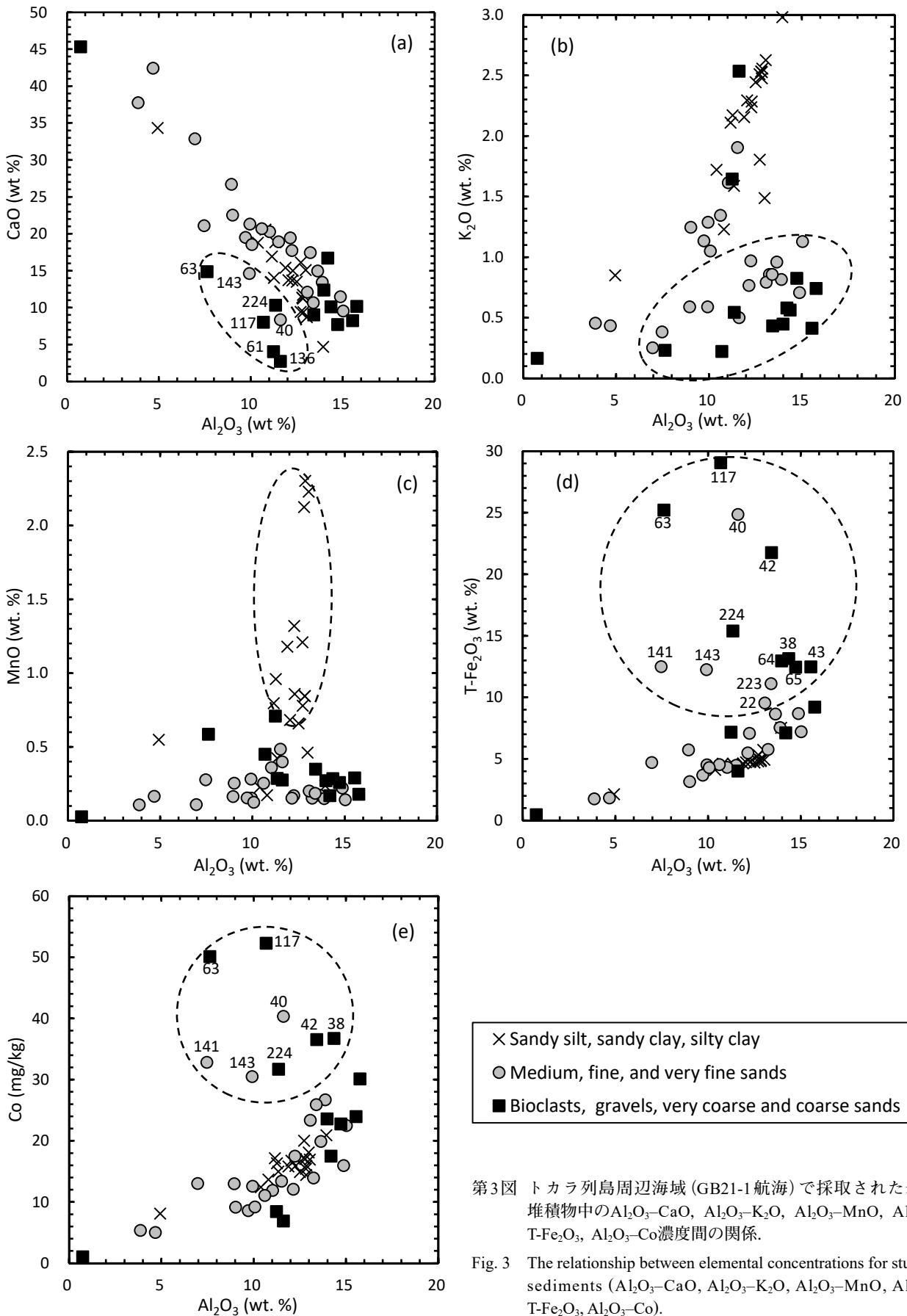
あらためてMnO高濃度試料の特徴を検証すると、そのほとんどが深海域から採取されたシルト-粘土質の堆積物であることが分かる。このことから初期続成作用に伴う濃集によりMnOが高濃度化した可能性が考えられる (太田ほか, 2013, 2016)。シルト-粘土質試料における続成作用の影響を調べるため、MnO濃度と重金属元素濃度間の相関関係について検討を行う。まずMnO濃度とCu濃度の関係を見ると (第4図b)、シルト-粘土質試料は系統的に高濃度MnO・高濃度Cuである一方で、明瞭な相関関係が認められない。Ni、Pbなども同様の結果を示す (第4図c, d)。また、水深900 m以深の細粒砂試料 (g110, g111)もシルト-粘土質試料と類似した傾向がある。MnO低濃度域でCu濃度が高い試料が存在するが、これらは諏訪之瀬島周辺 (g197, g222, g223, g224)および上ノ根島付近 (g37)で採取された試料であり、陸源物質の影響を強く受けていると考えられる。次にMnO-Zn濃度間の関係を見ると (第4図e)、二つのトレンドが確認できる。一つは粗粒砂・細粒砂試料のMnO低濃度域における正の相関直線、もう一つはシルト-粘土質試料のZn低濃度域 (70-135 mg/kg)における緩やかな正の相関曲線である。これらの関係性から、Zn高濃度化は続成作用の影響もあるが、苦鉄質火山岩由来の碎屑性粒子の影響を大きく受けていることが考えられる。

以上の結果をまとめる。初期続成作用によってマンガン酸化物が形成される際、Ni、Cu、Zn、Pb等の重金属元素はマンガン酸化物に吸着され濃集する傾向があるが (Chester, 1999)、本調査海域ではその傾向は顕著ではない。すなわち、シルト-粘土質試料におけるMn、Ni、Cu、Zn、Pbの濃集は、初期続成作用によって間隙水中に供給されたこれらの元素が、堆積層表層部で粒子表面に吸着したことによると考えられる。

4. まとめ

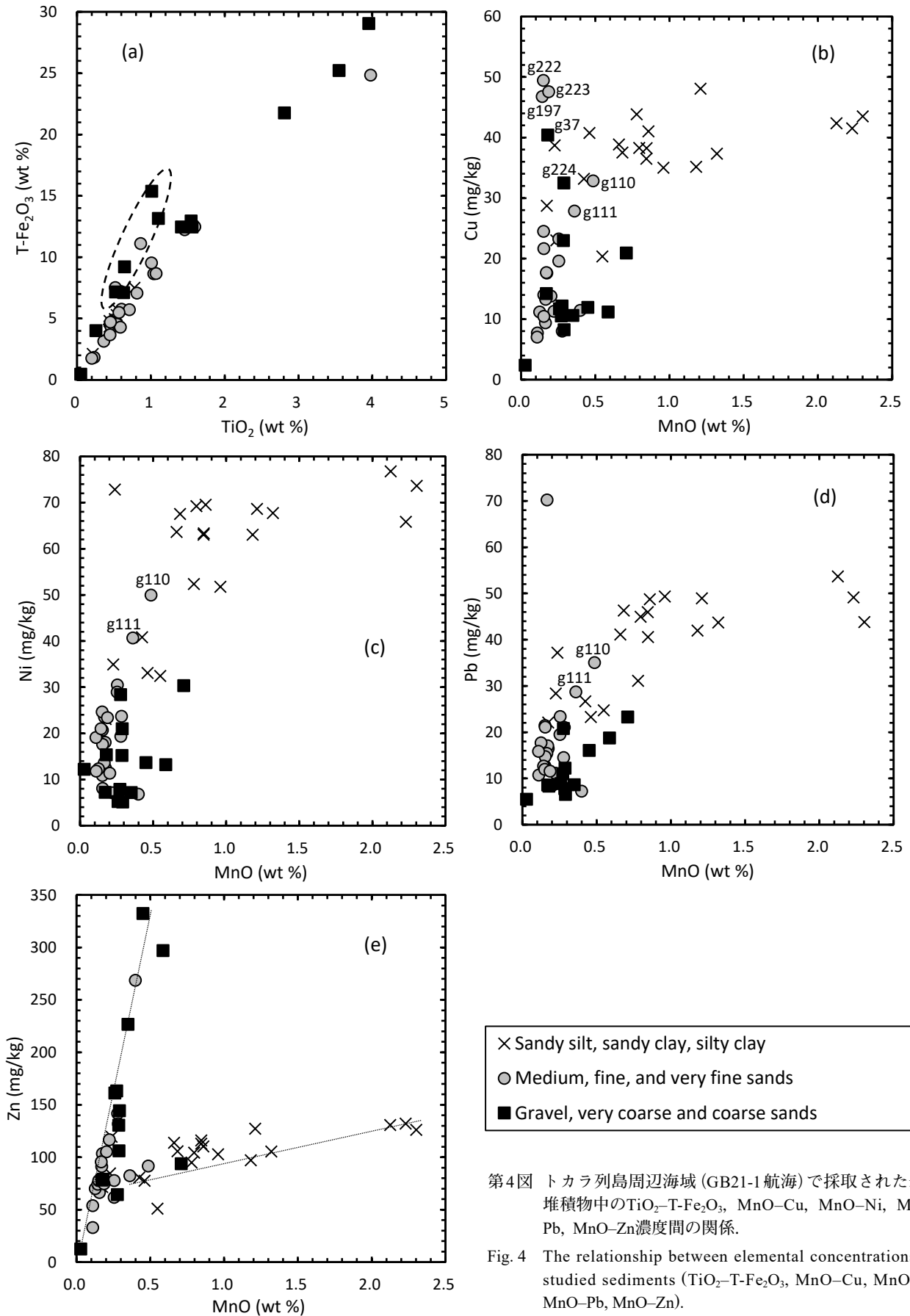
トカラ列島の中之島および諏訪之瀬島周辺海域、宝島および小宝島周辺海域から採取した海底表層堆積物56試料について53元素の化学分析を行い、主成分元素および微量元素24元素の化学組成の特徴や分布特性について検討を行った。本調査海域では、既報告の沖縄本島周辺海域と比較して、T-Fe₂O₃、MgO、MnO濃度が高く、生物遺骸粒子に由来するCaOの濃度が低い傾向がみられた。調査海域を4つに区分して比較すると、宝島南部海域および諏訪之瀬島周辺海域では碎屑性粒子由来と考えられるAl₂O₃、TiO₂、T-Fe₂O₃等の元素濃度が高く、宝島西部海域ではK₂O、MnO、Ba等の元素濃度が高かった。Al₂O₃濃度に対するCaO、K₂O、T-Fe₂O₃濃度の関係では





第3図 トカラ列島周辺海域 (GB21-1 航海) で採取された表層堆積物中の Al_2O_3 -CaO, Al_2O_3 - K_2O , Al_2O_3 -MnO, Al_2O_3 -T- Fe_2O_3 , Al_2O_3 -Co 濃度間の関係。

Fig. 3 The relationship between elemental concentrations for studied sediments (Al_2O_3 -CaO, Al_2O_3 - K_2O , Al_2O_3 -MnO, Al_2O_3 -T- Fe_2O_3 , Al_2O_3 -Co).



第4図 トカラ列島周辺海域 (GB21-1 航海) で採取された表層堆積物中のTiO₂-T-Fe₂O₃, MnO-Cu, MnO-Ni, MnO-Pb, MnO-Zn濃度間関係。

Fig. 4 The relationship between elemental concentrations for studied sediments (TiO₂-T-Fe₂O₃, MnO-Cu, MnO-Ni, MnO-Pb, MnO-Zn).

正の相関が認められ、各相関直線からずれた位置にプロットされる試料が一致していた。これらの試料は、他の元素を含めた化学組成の特徴も一致しており、採取地点に近い島々から供給される苦鉄質火山類由来の碎屑粒子の寄与が大きいと考えられた。宝島西部の深海域で採取されたシルト-粘土質堆積物は高濃度のMnを含み、Ni, Cu, Zn, Pbの濃集が認められた。この重金属元素の濃集のプロセスとして、熱水活動もしくは初期続成作用によって生成されたMn酸化物由来である可能性が考えられたが、初期続成作用によって元素が水中に放出された後、粒子表面に吸着したものと考えられた。

文 献

- Chester, R. (1999) *Marine Geochemistry*. Blackwell Science Inc, 520 pp.
- 岸本清行 (2000) 海陸を合わせた日本周辺のメッシュ地形データの作成: Japan250m.grd. 地質調査所研究資料集, no. 353 (CD).
- 久保田 蘭・太田充恒・今井 登・立花好子・板木拓也・片山 肇・杉崎彩子・岡井貴司 (2019) 奄美大島西方海域 (GK17-2 航海) で採取された海底表層堆積物の化学組成. 井上卓彦 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成30年度研究概要報告書—宮古島・石垣島・西表島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 77, 153–161.
- 中野 俊・下司信夫・小林哲夫・斎藤 眞・駒澤正夫・大熊茂雄 (2008) 20万分の1地質図幅「中之島及び宝島」. 産総研地質調査総合センター, 1 sheet.
- 太田充恒・寺島 滋・今井 登・立花好子・板木拓也・荒井晃作・片山 肇・池原 研 (2010) 沖繩島西方海域の海底表層堆積物の化学組成. 荒井晃作 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成21年度研究概要報告書—沖繩島北西方沖海域—, 地質調査総合センター速報, no. 51, 103–115.
- 太田充恒・今井 登・立花好子・板木拓也・荒井晃作・片山 肇・池原 研 (2011) 沖繩島周辺海域の海底表層堆積物の化学組成. 荒井晃作 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成22年度研究概要報告書—沖繩島西方沖海域—, 地質調査総合センター速報, no. 55, 124–136.
- 太田充恒・今井 登・立花好子・天野敦子・板木拓也・荒井晃作・池原 研・岡井貴司 (2013) 沖永良部島周辺海域の海底表層堆積物の化学組成. 荒井晃作 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成24年度研究概要報告書—沖永良部島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 61, 99–107.
- 太田充恒・今井 登・立花好子・天野敦子・板木拓也・片山 肇・岡井貴司 (2016) 沖永良部島-徳之島北西海域 (GK14 航海) で採取された海底表層堆積物の化学組成. 板木拓也 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成27年度研究概要報告書—奄美大島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 70, 88–98.
- 太田充恒・今井 登・立花好子・板木拓也・片山 肇・天野敦子・岡井貴司 (2017) 奄美大島, 徳之島, 喜界島周辺海域 (GK15-2 航海) で採取された海底表層堆積物の化学組成. 板木拓也 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成28年度研究概要報告書—奄美大島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 72, 64–81.
- 太田充恒・久保田 蘭・今井 登・立花好子・板木拓也・片山 肇・杉崎彩子・岡井貴司 (2019) 宮古島, 石垣島, 西表島周辺海域 (GK18-1 航海) で採取された海底表層堆積物の化学組成. 井上卓彦 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成30年度研究概要報告書—宮古島・石垣島・西表島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 77, 94–107.
- 鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・山崎 誠・徳田悠希・千徳明日香 (2022) 宝島及び諏訪之瀬島周辺海域の底質分布とその制御要因. 地質調査研究報告, 73, 275–299.
- 寺島 滋・板木拓也・片山 肇・池原 研・今井 登・太田充恒 (2009) 沖繩南東海域の表層堆積物等の化学組成. 荒井晃作 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成20年度研究概要報告書—沖繩島東方沖海域—, 地質調査総合センター速報, no. 46, 99–106.

(受 付 : 2022年1月6日 ; 受 理 : 2022年6月16日)

