

論文

韓半島南西岸の干潟堆積物の地球化学的評価

Geochemical compositions of the tidal flat sediments  
of the southwestern coasts of Korean Peninsula

石賀 裕明\*・道前香緒里\*\*

Hiroaki Ishiga\* and Kaori Dozen\*\*

Abstract

Short core sediment samples were collected from the tidal flats on the southwestern coast of the Korean Peninsula in 2001 to evaluate the background geochemical compositions of Korean cratonic sediments. Sediment samples from twelve cores collected in Sihwa, Semangun and Mokpo (excluding one core from Mokupo harbor) show quite homogeneous compositions. Their composition is characterized by similarity to average UCC values with enrichment of Cr and V and depletion of Cu, Sr, Ca and P. These Korean tidal flat sediments have quite similar compositions to reported geochemical compositions of southwestern Yellow Sea sediments. These data are useful as bench marks for assessments of the coastal environment.

**Key words:** Korean Peninsula, tidal flat, sediments, geochemistry, heavy metals

はじめに

東シナ海の南部、中国の西岸と韓半島の南西部は潮汐の変化が大きいことで知られる(海洋潮汐モデル, 国立天文台)。これらの沿岸では大潮時には6mを越える潮位差が生まれる。韓半島南西部や南部は複雑に入り組んだ海岸地形が特徴的で、干潮時に現れる干潟は延長が数kmを越えるものがある。韓半島南西部の河口干潟では河川が運搬した堆積物が完新世以降堆積を続け、厚い潮汐堆積物を形成している(Choi and Kim, 2006)。このような潮汐作用と冬の季節風による波浪作用により干潟堆積物は良く混合して堆積するので(Yang *et al.*, 2005)、その組成は均一化するといえる。また、韓半島の河川流域の後背地は先カンブリア代の片麻岩類のほか大量のジュラ紀～白亜紀の花こう岩質片麻岩類と白亜紀の堆積岩類が広く分布する(Yang *et al.*, 2003)。そのため河川堆積物は後背地の地質をよく反映して上部大陸組成に類似すると見積もられている(Song and Choi, 2009; Yang *et al.*, 2002)。大陸の河川の堆積物は泥質なものが多く微量元素濃度も砂質なものと比較して高くなり、後背地の地質をよく反映することが揚子江や黄河の堆積物で示されている(Yang *et al.*, 2002)。そこで2000年頃本邦の干潟堆積物の検討(諫早干拓地を含む、第1図参照)を行っていた折(石賀ほか, 2001)、自然環境の良く保存されていると期待される韓半島の干潟堆積物の検討

を行う機会を得たのでその結果をまとめる。最近、研究対象地の韓半島南西部の沿岸や東シナ海、黄河河口等での堆積物の検討が進んできた(Cho *et al.*, 1999; Na and Park, 2012; Song and Choi, 2009 ほか)。Leong *et al.* (2006)は韓半島南東部で柱状試料における元素濃度の垂直変化を検討し、都市の発展に伴う人為的な負荷を評価している。Lim *et al.* (2013)は沿岸域の詳細な地球化学図の作成を行っている。また、始華湖の底質については柱状試料の検討から環境変化が生じていることが示されている(小野澤ほか, 2006)。これらの最近の成果は著しく筆者らの10年前の堆積物組成との比較を行うことで、環境評価の指標の検討が可能といえる。なお、本論は井戸口達也の卒業研究(2001年度)の成果をもとに多元素分析を再検討して作成したものである。

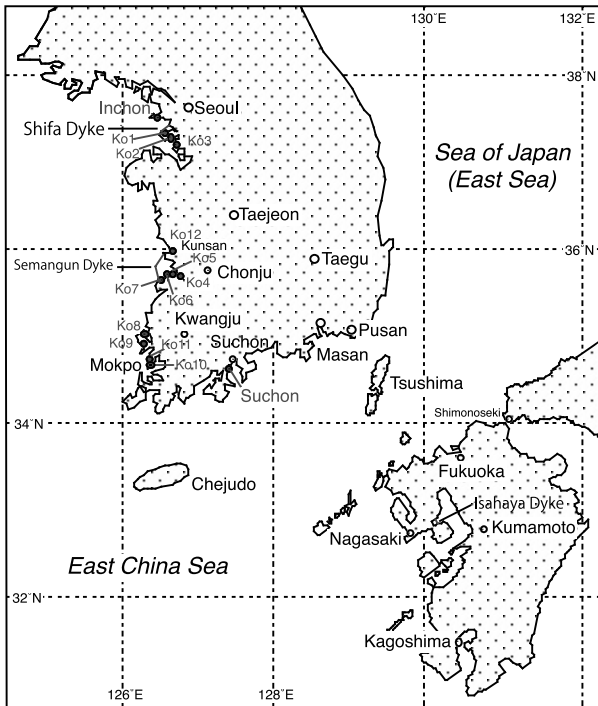
研究方法

試料採取

試料採取は韓半島南西部において、2001年6月26日から29日にかけて始華地域(Ko 1, 2, 3)、セマンゲン地域(Ko 4, 5, 6, 7, 12)および木浦地域(Ko 8, 9, 10, 11)において実施した(第1図)。採取方法は干潮時に塩ビパイプ(VP40, 内径38mm)を干潟堆積物に垂直に押し込み、逆止弁を装填して試料をパイプごと引き抜いて実施した。この後に写真撮影とORP(酸化還元電位)の測定(HORIBA, D54 シリーズガラス電極を用いた)を行った(コア写真は第2図、ORP値は第1表に示す)。また、多元素分析用試料として泥質試料が卓越する場合は厚さ3cm(Ko-1, 3, 4, 5, 6, 7)、砂質試料の多い場合は4cm(Ko-2, 8, 9, 10, 11, 12)ごとに分割した。なお、コア試

\* 島根大学大学院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

\*\* 島根大学理学部地質学科 1995 年度修了。  
Graduate of the M. Sc. of the Department of Geology, Shimane University in 1995.



第1図 韓半島と九州(諫早干拓地を示す)を含む図に南西部海岸の始華, セマングン, 木浦地域で採取したショートコア試料採取地点(12地点)を示す。別途採取した仁川(Incheon)および順天(Suchon)の表層堆積物採取地点も示す。

料は押し込みの際に僅かに短縮しているの、塩ビパイプの掘進深度に合わせて補正している。

韓半島南部の順天(Suchon)においては2000年7月30日に表層堆積物を4試料採取した。また、仁川(Incheon)において空港誘導路において3試料を採取した。これらを合わせて分析した。

#### 採取地点でのコア試料の記述

コア採取地点は第1図、コア写真は第2図に、ORP(mV)は第1表にそれぞれ示す。

#### 始華(Sihwa)地域

Ko-1: 始華堤防の南西部の堤防内側で採取した(試料長さは38 cm)。試料0~11 cmは暗灰色シルトからなり、この下位(11~26 cm)は黄灰色の粘土からなる。試料26 cmよりも下位は再び暗灰色となる。ORPは全般にプラス(mV)を示すものが多い。

Ko-2: 始華堤防の南西部の堤防外側で採取した(第2図a, 試料長さは30 cm)。試料0~15 cmは暗灰色粘土からなり、この下位(15~27 cm)は灰色の粘土からなる。試料27~30 cmは暗色粘土となる。ORPは12 cmよりも下位でマイナスとなり、30 cmまで次第に-220 mVまで低下する。

Ko-3: 始華堤防の南西部の堤防外側(松橋)で採取した(試料長さは46 cm)。試料0~26 cmは黄灰色粘土からなり、この下位(26~46 cm)は灰色の粘土からなる。ORPは全般にプラスを示すものが多い、深さ18 cmで+140 mVを示す。

#### セマングン(Semangun)地域

Ko-4: 東津江(トンジンガン)河口で採取した(試料長さは30 cm)。試料0~16 cmは灰色シルトからなり、この下位(16~30 cm)は灰色粘土からなる。ORPは全般にマイナスを示すものが多い、最下位の試料では-150 mVを示す。

Ko-5: 安城(アンソン)で採取した(試料長さは18 cm)。試料0~5 cmは灰色シルトからなり、この下位(5~18 cm)は暗色の極細粒砂からなる。ORPは全般にマイナスを示すものが多いが、-100 mVよりも低い値を示す試料はない。

Ko-6: 界火(ケファ)で採取した(第2図b, 試料長さは40 cm)。岩相は均一で0~40 cmは暗灰色シルトからなる。ORPは層位によって変化する。最も低い値を示すのは深度33 cmの-40 mVである。

Ko-7: セマングン堤防の南部の堤防内側で採取した(試料長さは43 cm)。0~12 cmは細粒砂からなり、この下位(12~15 cm)は灰色シルトが挟まれる。その下位の15~30 cmは灰色の極細粒砂である。30~37 cmは灰色シルト、37~43 cmは黄灰色細粒砂で深度18 cmには貝殻片が含まれる。ORPは全般にマイナスを示すものが多いが-100 mVよりも低い値を示す試料はない。

Ko-12: 長項で採取した(第2図c, 試料長さは73 cm)。試料0~7 cmは黄灰色シルトからなり、この下位(7~15 cm)は淡黄灰色のシルトが挟まれる。その下位の15~36 cmは淡灰色のシルトからなる。試料36~73 cmは淡灰色シルトからなる。ORPは全般にマイナスを示すものが多い、28 cmよりも下位の試料では-100 mV以下となり、40 cm試料では-200 mVを示す。

#### 木浦(Mokpo)地域

Ko-8: 新井(シンジョン)で採取した(試料長さは48 cm)。試料0~15 cmは暗灰色シルトからなり、その下位の15~34 cmは灰色のシルトで、34~48 cmは淡灰色シルトからなる。ORPは16 cmまでの上部の試料でマイナスを示し、これより下位のやや明るい色調の試料ではプラスを示す。

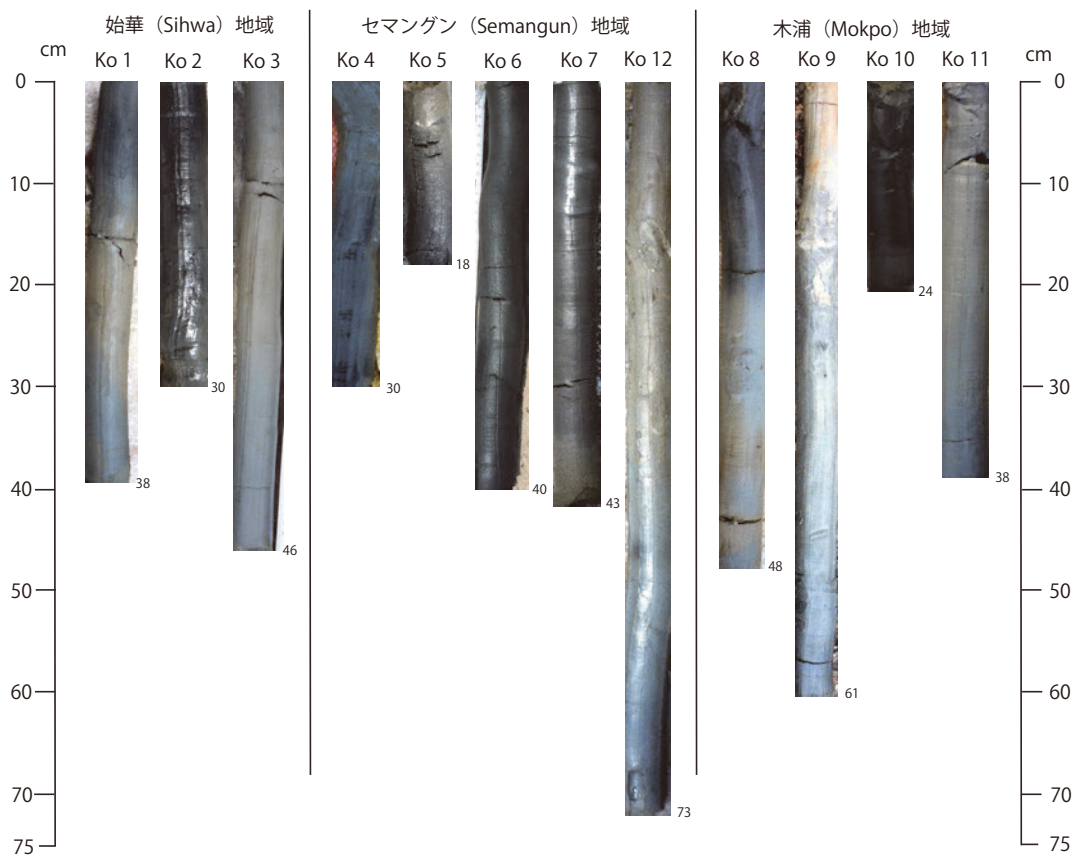
Ko-9: 智島(チド)で採取した(試料長さは61 cm)。試料0~12 cmは細粒砂からなり、この下位(12~15 cm)には灰色のシルトが挟まれる。その下位の15~30 cmは灰色の極細粒砂である。30~37 cmは灰色シルト、37~43 cmは細粒砂で深度18 cmには貝殻片が含まれる。ORPは上位の試料28 cmでは180以上であるが、これより下位では低下して最下部では10 mVとなる。

Ko-10: 木浦港で採取した(試料長さは24 cm)。試料0~19 cmは暗灰色~黒色シルトからなり、この下位(19~24 cm)には灰色のシルトが挟まれる。その下位の15~30 cmは灰色の極細粒砂である。試料30~37 cmは灰色粘土となる、ORPは顕著に低く、全てで-200 mV以下で16 cmの試料では-320 mVを示す。この試料では全般に硫化水素臭いが強く感じられた。

Ko-11: 木浦港で採取した(試料長さは38 cm)。試料0~20 cmは灰色シルトからなり、この下位(20~38 cm)には暗灰色のシルトとなる。ORPはマイナスを示すものが多いが-100 mVよりも低い値を示す試料はない。



第2図 韓半島南西部の干潟環境を示す写真. a: セマングン地域 (Ko4 地点), b: セマングン地域 (Ko6 地点), c: 木浦地域 (Ko12 地点), d: 順天の干潟と漁師の行う“むっかけ”の様子. 多数のムツゴロウ, トビハゼ, カニの巣穴が見られる.



第3図 韓半島南西部の始華, セマングン, 木浦地域の干潟で採取した (2001年6月) ショートコアの写真 (説明は本文参照).



第1表 韓半島南西部の始華, セマンゲン, 木浦地域の干潟で採取した(2001年6月)ショートコア堆積物の元素組成と堆積物のORP値を示す。比較のために上部大陸地殻組成【UCC\*; Taylor and McLennan (1985)】を用いているがNbについてはBarth *et al.* (2000)の改定値を引用した。および黄海南東部の海底堆積物組成【SE Yellow Sea; Lim *et al.*, (2013)による】を示す。

sample no.	Trace elements (ppm)												Major oxides (wt%)				wt% TS	ORP (mV)
	As	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	V	Th	Sr	Y	Nb	Zr	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
Ko1-1	5	21	57	10	16	81	63	13	196	28	13	307	0.54	3.30	1.32	0.10	0.11	70
Ko1-2	6	22	61	11	18	80	64	12	194	27	13	266	0.53	3.42	1.28	0.10	0.12	50
Ko1-3	6	21	61	14	20	89	68	11	192	27	13	259	0.56	3.56	1.29	0.10	0.12	0
Ko1-4	6	20	64	14	19	85	76	12	191	28	13	276	0.54	3.60	1.28	0.10	0.11	60
Ko1-5	8	23	67	15	24	70	80	13	181	28	14	260	0.59	4.26	1.23	0.11	0.09	120
Ko1-6	8	20	60	12	21	84	77	13	184	28	14	272	0.59	3.98	1.26	0.10	0.09	130
Ko1-7	8	23	67	15	22	77	93	13	180	29	14	266	0.58	4.32	1.23	0.10	0.14	0
Ko1-8	9	23	74	15	26	75	89	13	175	30	15	263	0.61	4.65	1.23	0.11	0.10	160
Ko1-9	9	23	74	17	25	78	93	14	176	30	15	256	0.62	4.69	1.27	0.11	0.12	120
Ko1-10	10	22	75	17	23	70	99	14	174	30	15	250	0.63	4.77	1.27	0.11	0.15	90
Ko1-11	10	23	77	20	23	72	97	14	171	30	15	243	0.61	4.68	1.21	0.10	0.19	60
Ko1-12	10	25	85	22	31	75	100	14	164	31	15	217	0.65	5.30	1.21	0.10	0.18	60
Ko1-13	9	24	73	19	24	77	92	14	176	29	15	231	0.62	4.64	1.35	0.11	0.15	46
Ko2-1	12	29	110	27	36	83	139	16	152	32	15	175	0.71	6.91	1.28	0.13	0.19	13
Ko2-2	12	27	110	25	37	79	138	16	147	33	16	181	0.69	6.95	1.17	0.13	0.16	8
Ko2-3	11	27	107	27	35	83	132	16	157	32	15	190	0.69	6.67	1.30	0.12	0.16	-80
Ko2-4	12	27	107	25	36	87	132	16	157	32	15	189	0.70	6.74	1.22	0.12	0.18	-110
Ko2-5	11	27	108	26	36	83	134	16	148	33	16	181	0.70	6.89	1.18	0.12	0.16	-130
Ko2-6	10	27	108	23	37	83	129	15	146	32	15	181	0.72	6.72	1.11	0.12	0.22	-180
Ko2-7	12	27	113	24	38	80	138	16	141	32	16	184	0.69	6.69	1.09	0.11	0.34	-200
Ko2-8	12	27	109	26	37	83	120	16	155	32	15	187	0.71	6.60	1.39	0.12	0.30	-220
Ko3-1	7	22	44	8	17	84	76	24	196	34	18	552	0.76	3.61	1.44	0.12	0.09	50
Ko3-2	6	21	53	9	19	90	70	14	191	28	13	314	0.55	3.64	1.31	0.09	0.09	60
Ko3-3	8	20	53	10	20	75	80	17	191	30	15	364	0.63	3.88	1.34	0.11	0.08	80
Ko3-4	8	21	58	10	21	78	81	16	188	31	15	374	0.65	4.05	1.33	0.11	0.09	60
Ko3-5	7	20	59	10	22	73	89	15	183	30	15	320	0.67	4.38	1.27	0.10	0.08	100
Ko3-7	10	19	63	12	23	77	83	14	180	30	15	287	0.63	4.60	1.26	0.11	0.08	140
Ko3-8	13	20	62	12	22	68	91	15	181	30	15	293	0.65	4.92	1.26	0.13	0.08	120
Ko3-9	9	20	60	11	20	72	91	16	181	31	15	337	0.67	4.70	1.29	0.11	0.08	80
Ko3-10	6	20	60	11	24	64	87	15	181	31	15	321	0.65	4.42	1.27	0.09	0.09	110
Ko3-11	6	21	63	11	23	70	87	16	181	31	15	303	0.68	4.26	1.27	0.09	0.09	110
Ko3-12	8	20	64	13	24	78	90	15	178	30	15	297	0.68	4.50	1.24	0.09	0.13	110
Ko3-13	7	20	59	13	25	77	86	14	180	31	15	310	0.64	4.35	1.26	0.09	0.15	50
Ko3-14	8	20	61	10	21	76	81	16	180	30	15	342	0.66	4.19	1.27	0.09	0.16	30
Ko3-15	8	20	61	11	22	76	89	15	180	31	15	313	0.65	4.29	1.26	0.09	0.16	50
Ko4-1	7	22	59	12	18	76	70	14	189	27	13	266	0.57	3.96	1.28	0.11	0.13	-30
Ko4-2	8	23	66	13	21	77	79	13	180	28	13	236	0.58	4.31	1.21	0.12	0.16	-80
Ko4-3	9	24	74	16	23	72	96	14	172	29	14	215	0.62	4.72	1.15	0.12	0.19	-70
Ko4-4	8	21	60	13	20	63	74	13	183	28	13	249	0.57	4.10	1.20	0.11	0.22	-120
Ko4-5	8	22	60	13	18	66	72	13	187	27	12	235	0.56	4.01	1.23	0.11	0.26	-110
Ko4-6	9	23	72	15	24	72	84	14	173	29	13	227	0.62	4.71	1.16	0.12	0.21	-100
Ko4-7	9	23	70	14	23	64	83	13	174	29	14	234	0.62	4.53	1.18	0.12	0.22	-75
Ko4-8	8	22	70	21	20	87	77	12	183	27	13	236	0.57	4.16	1.22	0.11	0.24	-95
Ko4-9	7	22	64	11	19	76	73	13	185	27	12	226	0.54	4.17	1.20	0.11	0.26	-150

## 順天 (Suchon)

干潮時に広大な干潟が広がり“むっかけ”を行っている漁師を多数見る(第2図d)。干潟表面には多数の巣穴が見られる。

## 分析方法

堆積物の乾燥試料(110°, 24時間乾燥)は蛍光X線分析装置(リガク RIX 2000; 島根大学地球資源環境学領域)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, U, Sc, TS, Br, I [ppm]), 主元素組成(TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [wt%])を求めた(第1表)。TSは全イオン, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*は全鉄を示す。

## 結果と考察

コア試料の年代は不明であり歴史的な変化を議論することは出来ない。しかし、柱状試料における各元素濃度の分析結果ではKo10のコア試料を除いて各元素濃度はかなり均一であるといえる(第1表, 平均値 Av. および標準偏差 std 参照)。Ko10はPb, Zn, Cuが他の試料に比較して著しく高い。第4図にZnおよびCuとFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のクロスプロットを示す。この図ではKo10の試料を除いてZnおよびCuとFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は極めてよい正の相関を持ち、Ko10の試料がそれぞれより濃度の高い位置にプロットされる。この試料を除くとその他のコア試料では、Pb(平均値 Av.=23.1 ppm), Zn(Av.=67.2 ppm),

第1表 続き

sample no.	Trace elements (ppm)												Major oxides (wt%)				wt% TS	ORP (mV)
	As	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	V	Th	Sr	Y	Nb	Zr	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
Ko5-1	7	21	56	10	20	82	70	13	186	27	13	277	0.52	3.97	1.26	0.10	0.17	-28
Ko5-2	7	20	52	11	21	80	63	10	195	26	11	224	0.49	3.83	1.25	0.09	0.16	-60
Ko5-3	5	21	45	8	18	78	59	11	198	25	11	251	0.48	3.45	1.30	0.09	0.15	-56
Ko5-4	6	19	46	8	15	78	61	12	195	25	11	247	0.49	3.53	1.30	0.09	0.17	-80
Ko5-5	6	20	49	8	17	79	62	12	196	26	11	244	0.51	3.62	1.28	0.09	0.19	-65
Ko5-6	7	19	53	9	18	68	66	12	193	26	11	228	0.50	3.77	1.26	0.09	0.21	-70
Ko6-1	6	19	38	4	14	69	54	13	200	26	11	311	0.50	3.01	1.36	0.10	0.12	75
Ko6-2	6	19	37	8	10	72	57	12	204	26	11	290	0.50	3.00	1.35	0.10	0.12	100
Ko6-3	6	19	41	4	14	69	56	13	203	26	11	289	0.48	3.04	1.35	0.10	0.12	70
Ko6-4	6	20	37	7	13	76	49	11	204	25	11	272	0.47	3.02	1.33	0.10	0.13	-10
Ko6-5	6	20	39	6	13	77	52	11	203	25	11	249	0.45	3.08	1.32	0.09	0.14	70
Ko6-6	5	20	35	4	14	77	40	10	204	24	10	223	0.41	2.92	1.32	0.09	0.13	5
Ko6-7	6	19	41	7	14	72	45	9	205	24	10	207	0.43	3.12	1.29	0.09	0.15	-19
Ko6-8	6	20	38	6	16	70	46	9	205	24	10	200	0.43	3.16	1.30	0.08	0.15	0
Ko6-9	6	19	42	6	13	67	46	9	201	25	10	209	0.43	3.20	1.28	0.08	0.15	-10
Ko6-10	5	20	39	13	22	70	47	11	206	24	10	220	0.44	2.90	1.34	0.08	0.14	-1
Ko6-11	5	19	33	6	10	76	49	12	207	25	11	279	0.52	2.82	1.44	0.10	0.14	-20
Ko6-12	5	19	38	6	12	70	42	9	207	23	9	182	0.41	2.97	1.29	0.08	0.13	-40
Ko6-13	6	19	43	9	15	71	52	10	203	25	10	203	0.44	3.21	1.33	0.09	0.15	-15
Ko7-1	7	20	32	5	10	63	71	10	199	24	9	223	0.51	3.19	1.14	0.07	0.13	-20
Ko7-2	6	22	31	5	13	62	69	11	199	24	10	235	0.52	3.18	1.13	0.06	0.13	-65
Ko7-3	7	21	34	6	12	64	82	12	199	25	9	206	0.51	3.30	1.13	0.06	0.13	-50
Ko7-4	7	22	38	6	13	61	55	10	190	24	9	181	0.46	3.42	1.22	0.09	0.16	-77
Ko7-5	8	22	43	8	13	56	62	10	190	24	9	163	0.44	3.61	1.18	0.08	0.17	-80
Ko7-6	9	21	43	7	16	57	65	10	189	24	8	147	0.42	3.64	1.15	0.08	0.20	-76
Ko7-7	8	22	38	6	15	61	46	7	202	23	8	130	0.35	3.34	1.19	0.08	0.17	-67
Ko7-8	7	21	41	6	13	70	54	9	201	24	9	167	0.42	3.47	1.23	0.08	0.19	-84
Ko7-9	8	22	42	6	17	63	62	12	190	25	10	194	0.48	3.63	1.21	0.09	0.20	-10
Ko7-10	6	22	33	7	11	58	46	10	192	23	8	182	0.40	3.10	1.20	0.08	0.15	-47
Ko7-11	9	27	44	7	16	60	65	14	184	25	10	258	0.47	3.69	1.18	0.08	0.17	-52
Ko7-12	8	20	37	6	14	65	62	14	187	25	10	302	0.52	3.44	1.25	0.08	0.16	-68
Ko7-13	7	22	34	6	12	64	59	13	187	26	11	279	0.50	3.36	1.26	0.09	0.16	-55
Ko7-14	7	20	25	3	8	68	43	14	186	25	12	337	0.50	2.70	1.36	0.08	0.10	41
Ko8-1	6	21	49	9	18	75	103	15	165	30	13	371	0.71	3.82	1.27	0.07	0.09	-27
Ko8-2	6	22	45	8	18	75	90	15	162	28	12	355	0.71	3.68	1.24	0.08	0.10	-75
Ko8-3	6	21	40	8	13	81	81	18	157	29	12	482	0.69	3.09	1.25	0.08	0.10	-150
Ko8-4	7	20	45	10	18	65	96	16	172	29	14	404	0.73	3.77	1.21	0.08	0.08	-30
Ko8-5	6	21	44	10	19	82	96	15	166	29	14	381	0.72	3.61	1.16	0.07	0.07	60
Ko8-6	6	19	49	9	27	66	101	16	174	30	14	368	0.72	3.91	1.16	0.07	0.07	114
Ko8-7	5	21	45	8	19	76	93	13	173	28	14	357	0.71	3.59	1.15	0.07	0.07	20
Ko8-8	7	19	46	9	21	80	100	14	174	29	14	347	0.72	4.05	1.15	0.07	0.07	75
Ko8-9	6	20	53	11	22	71	108	14	172	29	14	337	0.74	4.22	1.13	0.07	0.06	123
Ko8-10	6	21	46	9	21	70	109	14	168	29	14	359	0.74	4.02	1.14	0.07	0.07	60
Ko8-11	6	20	46	8	18	62	97	15	179	29	14	369	0.72	3.80	1.17	0.07	0.06	100

Cu (Av.=14.1 ppm), Ni (Av.=23.3 ppm), Cr (Av.=74.6 ppm) など上部大陸地殻 (UCC\*) の組成と類似する (第1表, 下段). 石賀ほか (2003) はこの韓国の干潟堆積物組成を一般の堆積物組成として用い, UCC (Taylor and McLennan, 1985), PAAS (Condie, 1993 を引用) との組成の近似性を議論している. これらの成果を踏まえ, 第5図にこれらの元素濃度 (平均値) を UCC\* 組成で規格化したグラフを示した. UCC\* 組成は Taylor and McLennan (1985) を用いているが Nb については Barth *et al.* (2000) の改定値 (11.5 ppm) を引用しているため UCC\* と表記している. 第5図グラフでは Cu は1よりも低く (0.56), Cr と V では高くなる (それぞれ 2.13, 1.52).

Y (Av.=29.0), Nb (Av.=13.4 ppm), Zr (Av.=249.9 ppm), Th (Av.=14.4 ppm), および主元素の TiO<sub>2</sub> (Av.=0.61 wt%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Av.=4.66 wt%), は UCC\* と類似した値を持つ (第1表の下段

および第5図参照). Sr (Av.=173.6 ppm) と CaO (Av.=1.20 wt%) については UCC\* よりも著しく低下している (第5図). Lim *et al.* (2013) は黄海南東部の海域の119の地点で堆積物 (SE Yellow Sea; 第5図) を採取してその元素組成を検討し, 海域での元素の分散の様子や, 韓国の河川と中国の河川の堆積物との比較研究を行っている. この論文に示された堆積物組成と今回検討した干潟堆積物の組成を比較すると, 両者は極めて類似したパターンを示すことが分る (第5図, UCC\* で規格化したグラフ). このグラフにおいて黄海南東部の堆積物は Ko に比較して Cr と V がやや低くなっているほか Ca がやや高い特徴がある. しかし, Ko と SE Yellow Sea が近似することは両者の起源物質が共通することを強く支持する.

Na and Park (2012) が報告した韓国の西岸から南岸の8地域における (南岸の1地域は銅の精錬工場があるとされ, こ

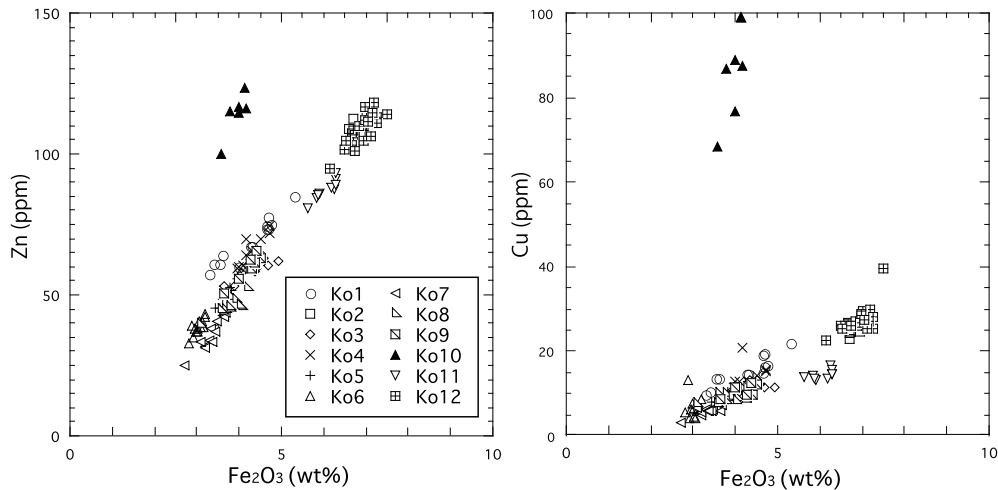
第1表 続き

sample no.	Trace elements (ppm)											Major oxides (wt%)				wt% TS	ORP (mV)	
	As	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	V	Th	Sr	Y	Nb	Zr	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Ko9-1	6	20	50	9	20	85	76	11	180	28	13	279	0.58	3.66	1.25	0.09	0.08	180
Ko9-3	6	20	56	12	22	78	74	12	177	27	13	241	0.59	3.98	1.23	0.09	0.07	200
Ko9-5	8	20	59	9	20	73	80	12	171	28	13	233	0.61	4.27	1.21	0.09	0.07	120
Ko9-7	7	21	59	12	22	74	83	12	170	28	13	233	0.61	4.31	1.21	0.09	0.08	180
Ko9-9	8	21	63	12	23	73	91	13	167	28	14	227	0.62	4.52	1.19	0.09	0.08	20
Ko9-11	5	21	61	13	23	69	88	12	166	28	13	231	0.60	4.39	1.20	0.09	0.08	10
Ko9-13	8	20	66	10	25	75	92	11	165	29	14	227	0.60	4.40	1.19	0.08	0.13	0
Ko9-15	7	20	63	10	22	67	88	13	168	28	13	231	0.60	4.26	1.21	0.09	0.14	10
Ko10-1	10	44	115	89	19	85	95	14	167	29	15	308	0.69	4.00	1.07	0.08	0.36	-200
Ko10-2	8	42	116	88	24	92	101	14	163	28	15	297	0.70	4.18	1.07	0.08	0.41	-300
Ko10-3	8	43	117	77	18	81	99	13	96	18	9	136	0.71	3.99	1.09	0.08	0.39	-310
Ko10-4	9	49	115	87	20	94	88	12	170	27	14	276	0.65	3.80	1.15	0.08	0.41	-320
Ko10-5	10	44	124	99	20	89	100	12	168	28	14	283	0.66	4.13	1.14	0.08	0.40	-290
Ko10-6	8	35	100	68	18	83	84	12	186	27	14	294	0.68	3.59	1.32	0.08	0.26	-270
Ko11-1	9	23	84	14	31	73	124	15	147	32	15	223	0.71	5.82	1.10	0.09	0.11	20
Ko11-2	10	22	81	14	30	71	111	15	148	32	15	228	0.69	5.62	1.11	0.09	0.11	-20
Ko11-3	9	23	86	13	32	76	120	15	145	32	15	215	0.70	5.89	1.09	0.09	0.12	-30
Ko11-4	11	23	87	17	35	75	132	14	142	32	15	196	0.71	6.26	1.07	0.09	0.15	-12
Ko11-5	12	23	91	15	33	77	130	16	142	32	15	197	0.71	6.30	1.07	0.09	0.16	-50
Ko11-6	11	22	85	14	31	78	119	14	145	32	15	210	0.70	5.88	1.10	0.09	0.15	-40
Ko11-7	9	23	88	14	34	79	131	15	142	32	15	203	0.73	6.18	1.08	0.09	0.13	-60
Ko11-8	9	23	89	16	33	75	128	15	140	32	15	189	0.71	6.30	1.07	0.09	0.16	-30
Ko11-9	9	23	93	15	35	76	130	15	139	32	15	190	0.70	6.30	1.07	0.09	0.16	-60
Ko12-1	16	29	95	23	30	73	116	17	157	33	16	254	0.73	6.16	1.13	0.15	0.09	150
Ko12-2	17	32	104	26	34	78	125	17	149	33	16	231	0.74	6.69	1.07	0.15	0.10	0
Ko12-3	15	31	103	27	35	78	131	18	148	34	16	224	0.73	6.68	1.07	0.14	0.13	-90
Ko12-4	14	33	113	29	37	81	135	19	141	34	17	196	0.73	7.02	1.04	0.13	0.14	-60
Ko12-5	16	33	117	29	38	82	134	19	140	35	17	195	0.77	7.08	1.03	0.13	0.17	-80
Ko12-6	16	35	118	30	37	86	138	19	139	34	17	201	0.74	7.20	1.03	0.14	0.18	-60
Ko12-7	15	34	117	29	37	85	140	19	142	34	17	207	0.74	6.98	1.05	0.14	0.18	-100
Ko12-8	16	32	110	27	36	80	132	19	148	33	16	203	0.71	6.83	1.07	0.12	0.24	-120
Ko12-9	17	33	113	28	36	81	139	18	141	34	16	197	0.74	7.26	1.04	0.13	0.36	-180
Ko12-10	16	33	114	40	36	84	146	19	135	34	16	181	0.75	7.51	1.02	0.12	0.26	-200
Ko12-11	16	33	111	26	37	81	141	18	138	34	16	189	0.73	7.25	1.02	0.12	0.28	-130
Ko12-12	14	31	102	26	34	76	126	18	152	32	16	207	0.71	6.49	1.07	0.12	0.26	-140
Ko12-13	16	32	112	29	35	83	132	18	143	33	16	189	0.73	6.98	1.03	0.13	0.26	-170
Ko12-14	16	33	115	27	37	82	139	18	140	34	16	178	0.74	7.17	1.03	0.13	0.24	-180
Ko12-15	16	32	105	25	35	80	129	17	152	33	16	195	0.71	6.54	1.08	0.13	0.22	-130
Ko12-16	16	31	105	27	33	78	131	18	147	33	15	190	0.72	6.96	1.07	0.13	0.24	-160
Ko12-17	15	29	106	26	34	77	130	19	144	34	15	186	0.74	7.11	1.03	0.12	0.23	-180
Ko12-18	15	30	101	26	33	74	124	17	151	33	15	197	0.72	6.74	1.05	0.12	0.26	-200
Ko12-19	15	32	112	27	34	83	135	18	145	33	16	199	0.72	7.06	1.06	0.12	0.27	-180
Av.(excl.Ko10)	8.8	23.1	67.2	14.1	23.3	74.6	91.1	14.4	173.6	29.0	13.4	249.9	0.61	4.66	1.20	0.10	0.15	
std	3.3	4.3	26.4	7.8	8.4	7.2	29.9	4.6	21.1	3.3	2.3	67.8	0.11	1.41	0.10	0.02	0.06	
SE Yellow Sea		20	63	12	19	45	59	14	206	22	12	224	0.51	3.67	2.52	0.07		
UCC*	1.5	20	71	25	20	35	60	10.7	350	22	11.5	190	0.5	4.93	4.2	0.17		
In-1	9	23	67	14	24	79	87	18	159	33	16	278	0.62	4.61	1.39	0.11	0.21	
In-2	11	22	75	16	28	76	104	18	165	32	16	311	0.66	5.13	1.23	0.11	0.25	
In-3	11	22	74	16	26	69	90	17	165	32	16	304	0.68	4.96	1.24	0.11	0.24	
Sch-1	12	29	132	24	42	89	164	16	123	34	15	157	0.81	8.34	1.09	0.13	0.16	
Sch-2	10	26	104	19	37	81	151	15	115	33	15	163	0.73	7.42	1.05	0.12	0.17	
Sch-3	9	28	124	21	41	95	158	16	118	33	15	144	0.76	8.07	1.05	0.12	0.15	
Sch-4	10	26	121	21	42	86	157	15	122	33	15	147	0.72	7.87	1.09	0.12	0.17	

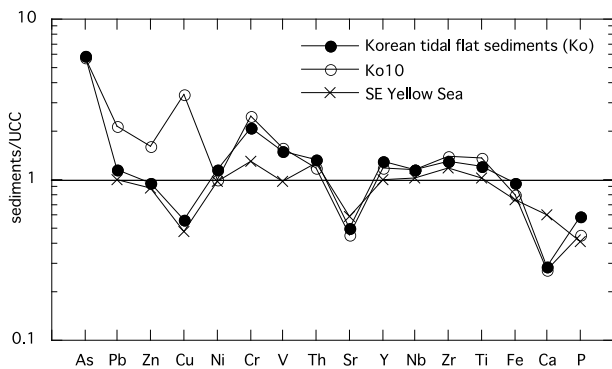
ここでは除外した) 河口干潟の表層堆積物 (2008-2009年試料採取) の元素分析の結果からは、各地域の平均値は Cu=8.3-56.1 ppm, Pb=25.0-40.7 ppm, Zn=58.5-96.0 ppm の範囲にあることが示されている。これらの分析値の地域ごとの変化は認められるものの、ここで報告したコア試料の値 (Ko10の試料を除く) はこの平均値の範囲の中にある。

韓国南東部の Masan 湾 (位置を第1図に示す) では堆積物の柱状試料が採取され重金属濃度の垂直変化が検討されている (Leong *et al.*, 2006)。3本のコアは湾奥から湾の出口にお

いてとられているために、重金属の時間的な変化の様子や増加には多少のずれが見られるが、Cu, Zn, Pb について系統的な変化が見られる。湾奥のコアでは1930年代 (Cu=27 ppm, Zn=97 ppm, Pb=24 ppm) から1955年にかけての緩やかな増加の後、試料採取が行われた1998年5月まで急速に増加する (Cu=71 ppm, Zn=192 ppm, Pb=53 ppm) 様子が示されている。本論のKo10の結果 (平均値で Cu=84.6 ppm, Zn=114 ppm, Pb=42.7 ppm) と比較すると Zn はKo10の試料の方が低いものの、Cu および Pb の濃度は同レベルにあるといえる。Ko10



第4図 韓半島南西部の始華, セマングン, 木浦地域の干潟で採取した(2001年6月)ショートコア堆積物の元素組成のうち, ZnおよびCuとFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のクロスプロット. Ko10の試料を除いてそれぞれよい正の相関を示す.



第5図 韓半島南西部の始華, セマングン, 木浦地域の干潟で採取した(2001年6月)ショートコア堆積物の元素組成のうちKo10以外の試料(Ko)とKo10および黄海南東部の海底堆積物組成(SE Yellow Sea; Lim *et al.*, 2013による)をそれぞれUCC\*で規格化したグラフ. UCC\*はTaylor and McLennan (1985)を用いているがNbについてはBarth *et al.* (2000)の改定値を引用した.

は木浦の港の試料で柱状試料の写真でも全体に暗黒色を呈し, ORPも-200以下であることから, 工場や都市から排水の負荷が大きく影響しているといえる. 以上の様に2001年の試料では韓国の干潟の堆積物の重金属濃度は, Ko10(木浦)を除いて上部大陸地殻(UCC\*)の組成や黄海南東部の堆積物と類似することが分かる. これらのデータは今後の沿岸の環境評価の指標(bench markers)となると言える.

### ま と め

韓半島南西部の始華, セマングン, 木浦地域の12地点の干潟において2001年6月にコア堆積物を採取して多元素分析を行った. 木浦地域1地点(木浦港)を除いて堆積物の元素組成は極めて均一で, 潮汐作用と波浪の影響で浮遊物質として堆積物が良く混合していることを示す. この組成は上部大

陸地殻(UCC)の組成と類似するが, UCCに比べCu, Sr, Ca, Pはやや低く, Cr, Vはやや高い値を示す. また, 黄海南東部の海底堆積物と比較しても, 類似の組成を持ち, 韓半島から河川をへて干潟にもたらされた堆積物が沿岸の堆積物と大きく関わっていることを示唆する. これらの干潟堆積物の組成は今後の環境指標として重要と言える.

### 謝 辞

韓半島の順天における試料採取は韓国慶尚大学校における夏期研修(2000年7月)の引率として晋州市を訪問した際に先方の金義庚教授に順天の干潟に案内していただいたことによる. 蛍光X線分析(島根大学総合理工学部地球資源環境学科)においては澤田順弘名誉教授に便宜を図っていただいた. 査読者には貴重なご意見を頂いた. 島根大学 Barry P. Roser 准教授には英文の校閲を頂いた. 記して感謝する.

### 文 献

Barth, M. G., McDonough, W. F. and Rundnick, R. L., 2000, Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust. *Chem. Geol.*, **165**, 197-213.  
 Choi, K. and Kim, S. P., 2006, Late Quaternary evolution of macrotidal Kimp'o tidal flat, Kyonggi Bay, west coast of Korea. *Marine Geol.*, **232**, 17-34.  
 Cho, Y. G., Lee, C. B. and, Choi, M. S., 1999, Geochemistry of surface sediments off the southern and western coasts of Korea. *Marine Geol.*, **159**, 111-129.  
 Condie, K. C., 1993, Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.*, **104**, 1-37.  
 石賀裕明・道前香緒里・Faruque Ahmed・Mst Hawa Bibi・海田 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. 島根大学地球資源環境学研究報告, **22**, 15-20.  
 石賀裕明・道前香緒里・近藤 寛, 2001, 諫早湾閉切り前後における底質の元素組成の変化島根大学地球資源環境学研究報告, **20**, 87-98.  
 国立天文台, 海洋潮汐モデル. <http://www.miz.nao.ac.jp/staffs/nao99/index.html>

- Leong, K. S., Cho, J. H., Lee, J. H. and Kim, K. H., 2006, Accumulation history of anthropogenic heavy metals (Cu, Zn, and Pb) in Masan Bay sediments, southeastern Korea: A role of chemical front in the water column. *Geosci. Jour. (The Association of Korean Geoscience Societies and Springer)*, **10**, 445-455.
- Lim, D., Choi, J. Y., Shin, H. H., Rho, K. C., Jung, H. S., 2013, Multielement geochemistry of offshore sediments in the southeastern Yellow Sea and implications for sediment origin and dispersal. *Quat. Internat.*, **298**, 196-206.
- McLennan, S. M., Hemming, S., MacDaniel, D. K. and Hanson, G. N., 1993, Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*, **284**, 21-40.
- Na, C.K. and Park H. J., 2012, Distribution of heavy metals in tidal flat sediments and their bioaccumulation in the crab *Macrophthalmus japonicus* in the coastal areas of Korea. *Geosci. Jour. (The Association of Korean Geoscience Societies and Springer)*, **16**, 153-164.
- 小野澤恵一・鯉淵幸生・古米弘明・呉海鐘・佐藤慎司, 2006, 海岸工学論文集, **53**, 土木学会, 926-930.
- Song, Y. H. and Choi, M. S., 2009, REE geochemistry of fine-grained sediments from major rivers around the Yellow Sea. *Chem. Geol.*, **266**, 328-342.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1985, The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312 p.
- Yang, B. G., Dalrymple, R. W. and Chun, S. S., 2005, Sedimentation on a wave-dominated, open-coast tidal flat, southwestern Korea: summer tidal flat-winter shoreface. *Sedimentology*, **52**, 235-252.
- Yang, S. Y., Jung, H. S., Choi, M. S., Li, C. X., 2002, The rare earth element compositions of the Changjiang (Yangtze) and Huanghe (Yellow) river sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.* **201**, 407-419.
- Yang, S. Y., Jung, H. S., Lim, D. I., Li, C. X., 2003, A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea. *Earth Sci. Rev.*, **63**, 93-120.

(受付：2013年11月20日，受理：2013年12月2日)