

宍道湖・中海の堆積物中の炭素分布について

小野 美代子\* 小野寺 公児\*

Organic Carbon in the Bottom Sediments from Lake Shinjiko and  
Lake Nakaumi on the Coast of Japan Sea, West Japan

Miyoko ONO and Kimiji ONODERA

Abstract

This report presents organic carbon contents and distribution and its relation to the oxidation-reduction condition of the lake water based on analyses of 23 bulk samples and 13 fraction samples from Lake Shinjiko and 67 bulk samples and 26 fraction samples from Lake Nakaumi.

1) Comparing organic carbon in the bottom sediments of Shinjiko and Nakaumi, the former's carbon content is lower, pattern of its geographical distribution is more simple and the range of carbon content is smaller than those of latter.

2) Comparison of the results obtained by combustion method and by titration method provides the information on the oxidation state of organic matter. The ratio of organic content by two methods ranges from 0.83 to 1.73, with a mean of 1.08 in Shinjiko and from 0.66 to 1.20, with a mean of 0.84 in Nakaumi. This indicates that the organic carbon in Shinjiko is in a slightly higher oxidation state than that in Nakaumi. This is conformable with distribution of oxidation-reduction potential of water, and Shinjiko is characterized by more oxidized condition of water and Nakaumi by more reduced condition of water.

3) At Shinjiko, clay fractions contain organic carbon twice the amount of those in silt fractions, while at Nakaumi, for a third of samples silt fractions contain larger amounts of carbon than those in clay fractions. It has been suggested a finer-particle fraction contains more organic carbon than that of the coarser, but the present result suggests that grain-size does not uniquely determine the concentration of organic matter for this case, at least.

4) The organic carbon in the silt fraction responds sensitively to the oxidation-reduction condition, while the organic carbon in the clay fraction is not sensitive. Organic carbon in the silt fraction is oxidized to lower the carbon content of the bulk sample under the oxidizing condition and is preserved to raise the carbon content of the bulk sample under the reducing condition. The organic carbon in the clay fraction is not sensitive to the oxidation-reduction condition, so the carbon content in the clay fraction is not correlated with that of bulk sample.

1. 緒 言

現在の水盆底の有機物分布の特徴を明らかにすることは、堆積過程全般あるいは堆積環境を知る上に、重要な手掛りを与えるものであり、これまでに内外を通じ多くの研究がなされているが、一水域内での詳しい分布状態が明らかにされている例は少ない。

\* 海洋地質部

本州西部日本海沿岸の汽水湖宍道湖・中海については、筆者らを含む地質調査所の研究グループにより、堆積学的総合研究が過去数年間にわたり行われ、その際、広範な面における資料が得られ、蓄積されてきた(水野ほか, 1966; 水野ほか, 1969 など)。

筆者らは、とくに堆積物中の有機物分布に関する研究の一環として、両水域内の堆積物中の炭素(≡有機炭素)分布、C/N 比分布の詳細を明らかにするとともに、とく

に、前者と粒度・環境条件（とくに酸化還元条件）との関連性について興味ある資料を得ることができた。

結果の一部については、すでに発表した（小野寺ほか、1969；小野寺ほか、1970），ここにあらためて、炭素分布および、それと環境条件との関連性に焦点を合せて、研究結果の詳細を報告する。

宍道湖・中海は、山陰地方の日本海沿岸に並ぶ浅い汽水湖で、両湖は長さ 8 km の大橋川によって結ばれ、中海の他端は、長さ 7 km の境水道によって日本海沿岸の美保湾と連絡している（第1図）。

両湖を通じても共通性としては、水深・底質および流入河川などの点があげられる。すなわち、両湖とも水深は平均 4-5 m、底質は、砂の発達がいわめて貧弱で一部の湖岸に限られ、大部分は泥質堆積物である。主要流入河川は、それぞれ斐伊川および飯梨川で、その流域には共通して花崗岩類が広く分布している。

一方、地形・水質の面では両湖に大きな相違が認められる。宍道湖は長楕円形の湖岸線を持ち、東西南北ほぼ対称的な細長い鍋型湖底面を持つのにに対し、中海は湖岸線が複雑な三角形で、湖底断面もきわめて非対称的である。水野ほか（1969）によれば、水質の点では、宍道湖は大部分弱アルカリ性の低鹹汽水からなり、成層・停滞はきわめて不安定で、全体として、湖水の循環が比較的良好なため水平・垂直的変化が少なく、溶存酸素も比較的十分に含まれている。これに対し中海は、おおむねアルカリ性の高鹹汽水であるが、pH・塩分濃度の点で水平・垂直的に変化に富み、さらに経年的な変動を示しながらも、成層・停滞現象がほぼ年間を通じて現れる。

以上の相違から、堆積物も、宍道湖では灰色で硫化水素臭のほとんどないシルト質泥、中海では、主部では黒色を帯びた、硫化水素臭のある粘土まじりシルト、米子湾入部では黒色が強く、硫化水素臭の強い粘土まじりシルトという違いを見せる。

## 2. 試料と分析方法

### 2.1 試料と分析

研究に用いた試料は、エクマン・バーズ採泥器によって採取された表層の泥質堆積物で、それぞれ可能な限り貝殻片を除去した風乾試料である（第2図）。

原試料について、乾式燃焼法および酸化滴定法で炭素の定量を行い、さらに、原試料をシルト・粘土各フラクションに分離し、これを同じく乾式燃焼法・酸化滴定法の両法によって分析した。

### 2.2 分析法

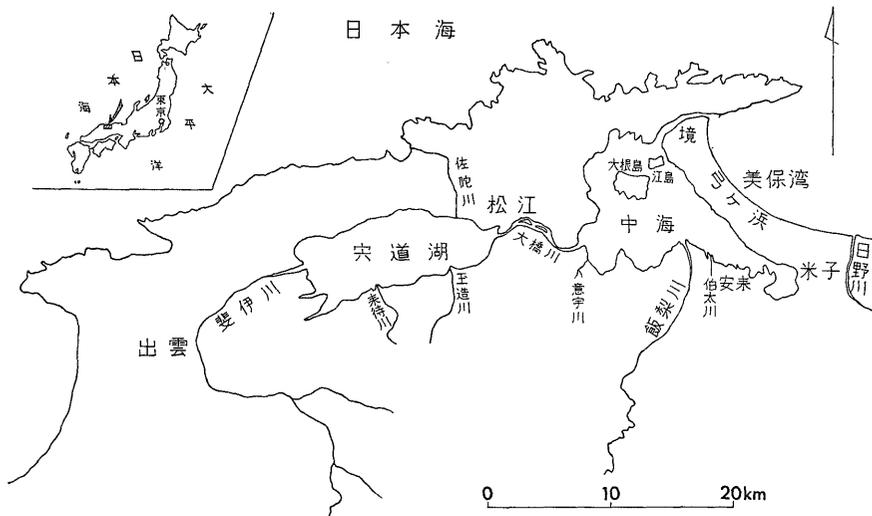
#### 砂・シルト・粘土フラクションの分離

試料の懸濁液（懸濁濃度約 2%）を超音波洗浄機にかけ、ヘキサメタリン酸ソーダ（0.1% 溶液）による分散の後、まず沈降法によって、4 $\mu$ を境として砂+シルト、粘土に分離した。粘土分回収のためには、懸濁液に硫酸アルミニウム（10% 溶液）1-2 ml を加え、凝集・沈殿させた。砂とシルトの分離には、200 メッシュの標準篩を用いた。

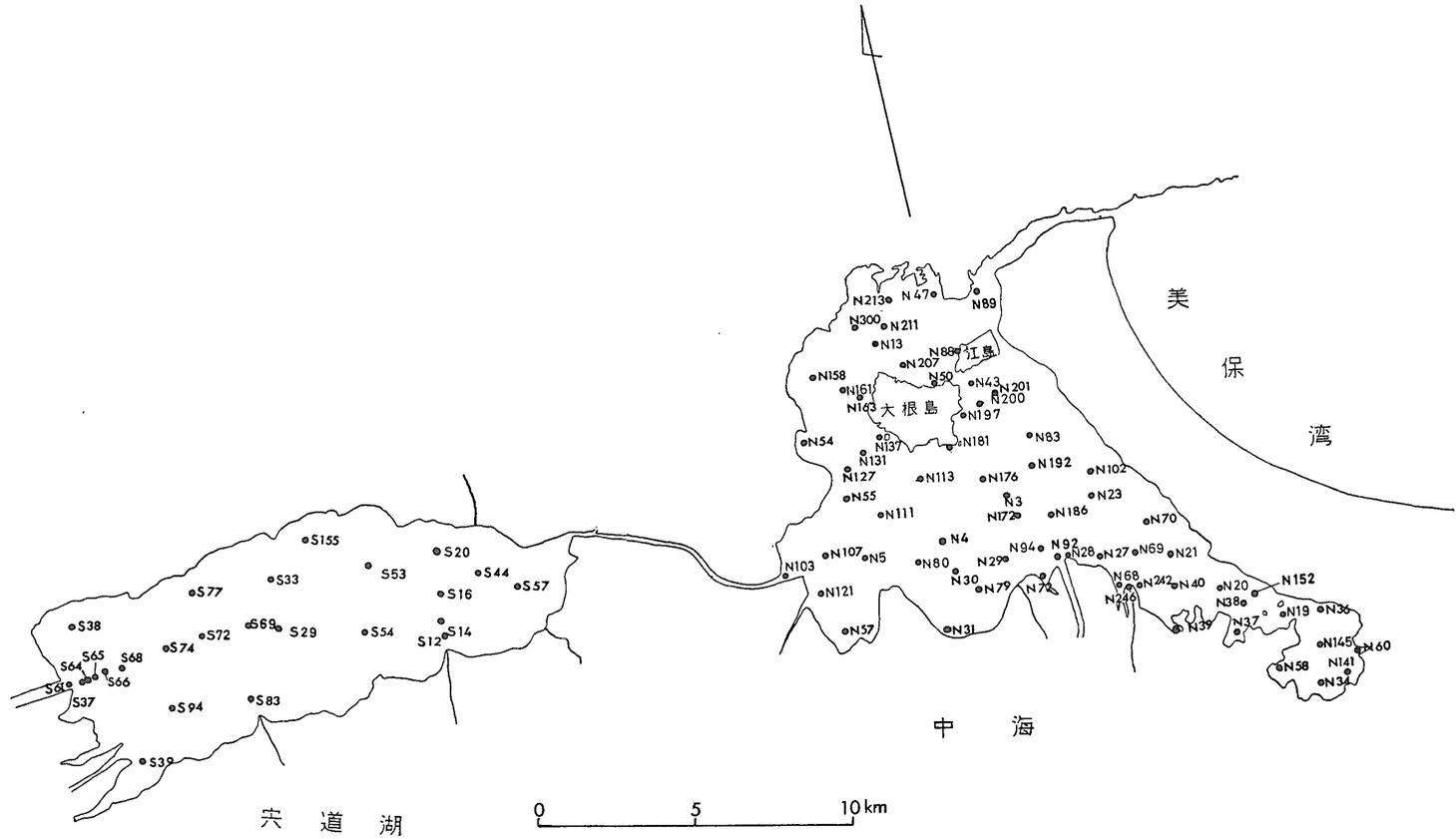
#### 炭素・窒素の分析

##### 1) 乾式燃焼法

用いた装置は、柳本 MT-500 型 CHN コーダ（永田・村田、1970）である。



第1図 位置図



試料番号前の S: 穴道湖, N: 中海

第2図 採泥点

粉末試料を 100°C で 1 時間乾燥後、200 mg を精秤、助燃剤に酸化銅粉末 2 g を加え、全炭素・全窒素を下記の条件で定量した。

キャリアガス	100 ml/min.
O <sub>2</sub> ガス	20 ml/min.
フラッシュヒータ	950°C
燃焼炉	850°C
還元炉	500°C
検出器電流 (H)	95 mA
"      (C)	60 mA
"      (N)	150 mA

検出感度は、馬尿酸 (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CONCH<sub>2</sub>·COOH) 15 mg を用いて求めた。

定量した試料数は、原試料で宍道湖 23, 中海 67, シルト・粘土各フラクション別では、宍道湖 13, 中海 27 である。

2) 酸化滴定法

有機物質の酸化状態を推定する目的で、チューリン・シマコフ変法による酸化滴定法 (水野, 1968; 水野ほか, 1969) を用いて、有機炭素の分析を行った。すなわち、風乾試料 0.2-0.4 g を三角フラスコに精秤し、この試料にクロム硫酸 0.4 N 溶液 10 ml を加え、硫酸銀粉末約 0.1 g とともに、170-180°C で 5 分間煮沸した後、冷却させ、フェニルアンソラニル酸 0.2% 溶液を指示薬として、硫酸第 1 鉄アンモニウム 0.2 N 溶液によって滴

定し、空試験との差を求めて、試料中の有機炭素量を算出した (水野篤行, 1968)。

定量した試料数は、原試料で、宍道湖 19, 中海 62, シルト・粘土各フラクション別では、宍道湖 13, 中海 26 である。

無機炭素量について

水野ほか (1966) によれば、宍道湖中央湖底平原最深部の 2 試料および、東部の湖底平原部水深 5 m の 1 試料については、無機炭素量が 0.00-0.01% であり、「全炭素量」の数字は、ほぼ有機炭素量を代表するものと考えて差支えないであろうとされている。

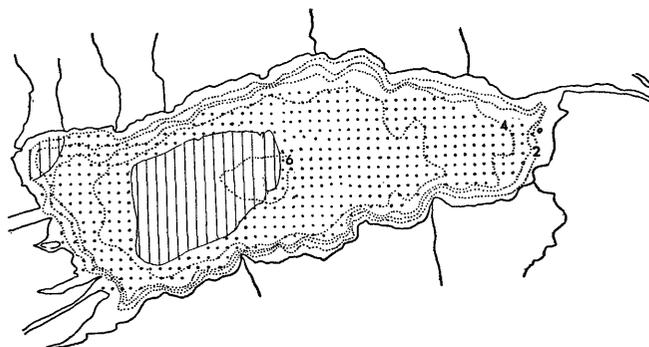
粒度組成の点からみると、試料中に占める砂の割合は、宍道湖では平均 5.2%, 含有率 20-30% の高い河口を除けば 1.6% にすぎず、また、中海も平均 8.5%, 境水道入口、米子湾入・湾奥部、飯梨川河口の高い地域を除けば 6.0% にすぎない。

上述のように、元来砂の含有率が非常に低い上に、貝殻片は可能な限り除去してあるので、混入していてもきわめてわずかな量である。

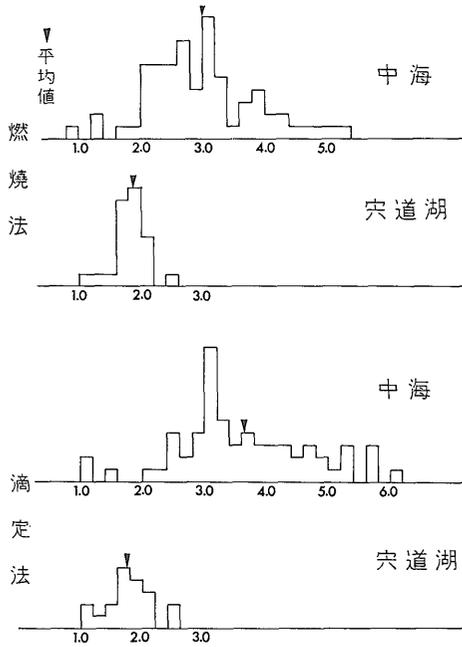
これらを考慮すると、乾式燃焼法により定量された全炭素量は、有機炭素量とみなして差支えないであろう。

3. 炭素の水平的分布

第 1 表に、乾式燃焼法により定量した両水域における原試料の炭素含有量を水深・底質とともに示す。炭素含



第 4 図 原試料の



第3図 原試料の炭素含有量頻度分布図 (%)

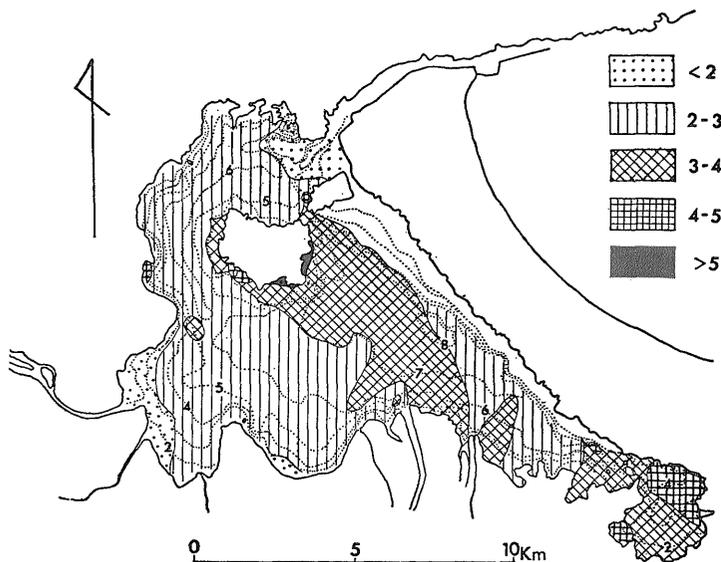
有量の出現範囲は、宍道湖 1.04-2.50% (平均 1.84%) (試料数 23) に対し、中海 0.91-5.22% (平均 2.99%) (試

料数 67) である。宍道湖では炭素量が少なく、かつ湖内での地域差も小さいのに対し、中海では全般的にはるかに炭素量が多く、その上地域差が大きい (第3図)。

第4図は炭素含有量の水平分布を示したものである。炭素含有量は、両湖とも、大なり小なり湖底地形に対応した分布を示す。とくに宍道湖では、湖岸より湖央に向かって炭素含有量も増加し、水深 5m より深い湖底平原部で相対的に高く、とくに 2% 以上を示すのは 23 試料中 5 試料にすぎないが、その分布は湖央より西に偏った湖底平原部 (水深 5-6m) に限られている。

中海の場合には、大部分 (67 試料中 63) 2-3% 以上で、2% 以下は大橋川河口および境水道入口付近に限られている。2-3% の分布域は大根島北西方から南方にかけての中海主部のほとんどを占めている。3% 以上の高い地域は北岸を除いた大根島沿岸部と、江島-大根島南東方向-飯梨川河口を結ぶ線以東の水深 7-8m の帯状の湖底最深部と、米子湾である。とくに高いのは、大根島東沿岸 (N197: 5.22) および米子湾奥 (N58: 4.94), (N60: 4.81), (N36: 4.79) 等で、すべて 5% 前後を示している。

第5図に炭素含有量と水深との関係を示した。宍道湖では斐伊川河口部を除く湖底平原部、中海では沿岸湾入部・米子川河口を除く米子湾内の、それぞれ狭い地域で



炭素含有量 (%)

地質調査所月報 (第 27 卷 第 8 号)

第 1 表 原試料の炭素含有量

底質: \* 目視による. 目視によるもの以外は粒度分析による堆積物型. st-CL: シルト質粘土, cl-ST: 粘土質シルトなど

a. 穴道湖

分析試料	炭素含有量 (%) Cc (Ct)		水深 (m)	底質	含 有 率 (%) 砂 シルト 粘土		
S 12	1.46	( — )	4.80	sd-cl-ST	23.8	50.5	25.7
S 14	1.63	(1.63)	5.10	cl-SD*			
S 16	1.72	(1.86)	5.50	sd-CL*			
S 20	1.36	(1.46)	4.80	st-CL*			
S 29	2.14	(2.09)	6.00	st-CL*			
S 33	1.99	(1.73)	5.10	—			
S 37	1.78	(1.70)	2.65	vfSD*			
S 38	2.02	(1.85)	3.70	ST*			
S 39	1.67	(1.66)	6.30	st-CL*			
S 44	1.84	(1.61)	4.55	—			
S 53	1.71	(2.05)	5.50	st-CL	0.0	39.4	60.6
S 54	1.98	(2.02)	5.70	st-CL	0.0	41.4	58.6
S 57	1.04	(1.01)	4.60	cl-ST	8.0	60.9	31.0
S 61	1.79	( — )	1.90	Cl-St-Sd	38.6	35.6	25.7
S 65	1.86	(1.44)	3.70	sd-ST*			
S 66	1.82	(1.11)	4.30	cl-ST	10.1	67.7	22.2
S 68	1.77	(1.22)	5.30	sd-cl-ST	22.8	54.5	22.8
S 72	2.11	(2.50)	6.00	st-CL	0.1	31.5	68.4
S 74	2.50	(2.41)	5.80	cl-ST	1.0	65.6	33.3
S 77	1.93	(1.90)	5.00	st-CL	2.3	43.1	54.6
S 83	1.91	(1.91)	5.60	sd-st-CL	28.1	32.7	39.2
S 94	2.14	( — )	—	CL*			
S155	1.87	( — )	—	CL*			

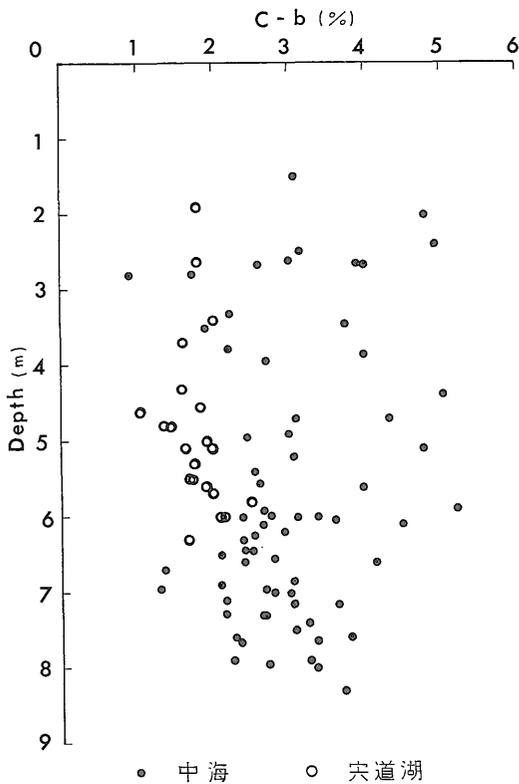
b. 中 海

分析試料	炭素含有量 (%) Cc (Ct)		水深 (m)	底質	含 有 率 (%) 砂 シルト 粘土		
N 3	2.28	(3.05)	7.60	st-CL	1.5	38.1	60.5
N 4	2.94	(3.02)	6.20	st-CL	1.4	37.6	61.0
N 5	2.45	(2.83)	4.95	ST-CL	1.1	49.2	49.7
N 13	2.51	(2.51)	6.45	st-Cl	0.2	29.1	70.7
N 19	2.62	(3.62)	5.55	st-CL	9.5	40.3	50.2
N 20	2.36	(2.99)	7.65	sd-st-CL	21.1	34.2	44.7
N 21	3.05	(4.62)	7.15	st-CL	3.6	41.7	54.7
N 23	2.71	(3.19)	7.95	st-CL	1.5	39.4	59.1
N 27	3.11	(3.90)	6.00	CL*			
N 28	3.98	(4.02)	5.60	sd-cl-ST	23.4	43.7	32.9
N 29	3.05	(3.45)	6.85	sd-ST*			
N 30	2.39	(3.11)	6.45	st-CL	1.8	40.3	57.9
N 31	0.91	(1.09)	2.80	vfSD*			
N 34	3.99	(4.70)	2.65	CL*			
N 36	4.79	(5.35)	5.10	st-CL*			
N 37	3.89	(4.66)	2.65	st-CL	1.5	37.3	61.2
N 38	3.58	(4.32)	6.05	CL*			

宍道湖・中海の堆積物中の炭素分布について (小野美代子・小野寺公兎)

第1表 つづき

分析試料	炭素含有量 (%)		水深 (m)	底質	含有率 (%)		
	Cc	(Ct)			含砂	シルト	粘土
N 39	2.69	(3.96)	3.95	cl-ST	2.0	57.9	40.1
N 40	2.72	(3.49)	6.95	st-CL	3.3	35.7	61.0
N 43	3.73	(4.83)	8.30	st-CL*			
N 47	1.36	(1.13)	6.70	st-SD	14.2	26.6	59.2
N 50	2.98	(3.63)	4.90	st-CL	19.1	38.6	42.4
N 54	4.02	(4.29)	3.85	sd-ST*			
N 55	3.10	(3.64)	4.70	cl-ST	13.6	48.7	37.8
N 57	2.61	(3.57)	2.65	cl-ST	3.1	50.1	46.8
N 58	4.94	(5.69)	2.40	CL*			
N 60	4.81	(5.31)	2.00	—			
N 68	3.02	(3.25)	2.60	sd-ST*			
N 69	2.14	(3.17)	7.30	cl-ST	4.7	49.6	45.7
N 70	2.26	(3.03)	7.90	st-CL	8.7	35.8	55.5
N 72	2.24	(2.16)	3.30	st-SD	50.0	40.6	9.4
N 79	2.67	(3.38)	6.10	st-CL	0.4	41.7	57.9
N 80	2.42	(3.15)	6.30	st-CL	3.8	36.7	59.6
N 83	3.37	(4.42)	8.00	st-CL	1.6	46.8	51.0
N 88	4.15	(4.31)	6.60	st-SD	19.9	35.1	45.0
N 89	1.29	(1.47)	6.90	st-SD	15.5	28.0	56.5
N 92	3.07	(4.13)	1.50	st-SD*			
N 94	2.54	(2.51)	6.25	cl-ST	10.8	65.2	24.1
N102	2.18	(2.87)	7.30	cl-SD	59.5	10.8	29.7
N103	1.92	(2.74)	3.50	cl-ST	10.9	46.9	42.3
N107	2.19	(3.11)	3.80	cl-ST*			
N111	3.01	(3.26)	7.00	CL*			
N113	2.80	(3.38)	7.00	st-CL	4.0	30.0	66.0
N121	1.74	(2.52)	2.80	st-CL	1.8	37.9	60.3
N127	2.80	(3.04)	6.60	st-CL	6.7	34.4	58.9
N131	2.67	(3.18)	5.90	st-CL	0.5	36.0	63.5
N137	4.34	(5.29)	4.70	CL*			
N141	3.14	(4.03)	2.50	vfSD*			
N145	3.75	(5.19)	3.45	st-CL	0.3	58.8	40.8
N152	4.49	(5.69)	6.10	st-CL*			
N158	2.10	(2.31)	6.50	st-CL	0.4	37.4	62.2
N161	2.39	(2.82)	6.00	—			
N163	3.07	(3.63)	5.20	st-CL	9.1	34.8	56.1
N172	3.24	(3.52)	7.40	st-CL	0.8	40.2	59.0
N176	3.07	(3.35)	7.50	st-CL	0.5	35.5	64.0
N181	5.03	(5.73)	4.40	CL*			
N186	3.37	(3.95)	7.65	st-CL	0.9	43.1	56.0
N192	3.27	(4.43)	7.90	CL*			
N197	5.22	(6.18)	5.90	st-CL	2.9	42.0	55.1
N200	3.65	(4.97)	7.10	CL*			
N201	3.81	(—)	7.60	—			
N207	2.56	(2.63)	5.40	st-CL	2.6	39.0	58.4
N211	2.17	(2.42)	7.10	CL*			
N213	2.40	(—)	6.60	CL*			
N242	3.37	(—)	6.00	cl-ST	4.4	54.7	40.9
N246	2.75	(—)	6.00	cl-ST	5.4	49.5	45.1
N300	2.10	(—)	6.90	CL*			



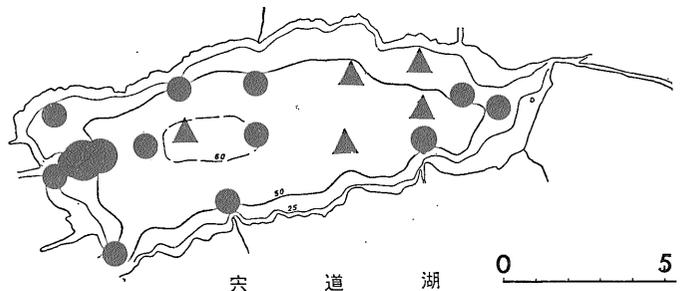
● 中海 ○ 穴道湖  
第5図 炭素含有量と水深関係図

局部的に、水深増加に伴う炭素含有量増加の傾向が弱いながら認められる。しかし、全般的には水深と炭素含有量との間の相関は認められない。

とくに中海においては、大局的には、炭素含有量分布は湖底地形配置と密接に関連している。すなわち、最も顕著なことは、江島一大根島を結ぶ地形上の高まり（水深約5m以浅）が、北-北西側の2-3%域と南東-南側の3%以上の地域を境している点である。さらに、前述のように、米子湾奥部で全般に高いこと、江島北側で2%以下に低下することが認められる。これらの諸点は、炭素の水平的分布が、地形と関連した環境条件、とくに湖水の循環・停滞状況に支配されていることを示唆している。

穴道湖・中海の炭素含有量を他水域（浜口ほか, 1953; 大嶋・横田, 1970; TRASK, 1939; 渡辺, 1969）と比較すると、穴道湖は、サロマ湖・厚岸湖などの汽水湖とほぼ似た範囲に分布し、中海は、上記の水域の他、博多湾など国内で測られた全測値をほぼ覆う広がりを持ち、一水域内の炭素含有量としては出現範囲が非常に広く、この地域的な幅の広がりには、既述のような地形と関連した環境条件の多様さに原因するものと考えられる。さらに、TRASKの現世海底積物の有機物量0.5-5.0%（炭素含有量として約0.3-2.8%）に比べても、中海は高い値を示し、外海はもとより、内湾の湖と比べても高含有量であ

- ▲ 0.60-0.79
- ▲ 0.80-0.99
- 1.00-1.19
- 1.20-1.39
- 1.40-1.59
- 1.60-1.79



第6図 原試

ることが、その特徴である。

#### 4. 乾式燃焼法と酸化滴定法による炭素分析値の比較

EMERY & RITTENBERG (1952), NIINO et al. (1969) は、乾式燃焼法・酸化滴定法による炭素分析値を検討し、その比率が有機物の酸化状態と関連することを示した。

宍道湖・中海においても、先に述べたように、堆積物中の炭素分布が環境条件と対応するように思われることから、燃焼法・滴定法による分析値の比率  $C_c/C_t$ <sup>1)</sup> および、それと湖水の酸化還元条件との関連性について検討した。

$C_c/C_t$  は、宍道湖 (試料数 19) では、出現範囲 0.83-1.73 (平均 1.08)、中海 (試料数 62) では、出現範囲 0.66-1.20 (平均 0.84) で、両湖を比較すると、一般的に宍道湖が中海より高い。

第6図は  $C_c/C_t$  の水平分布図である。

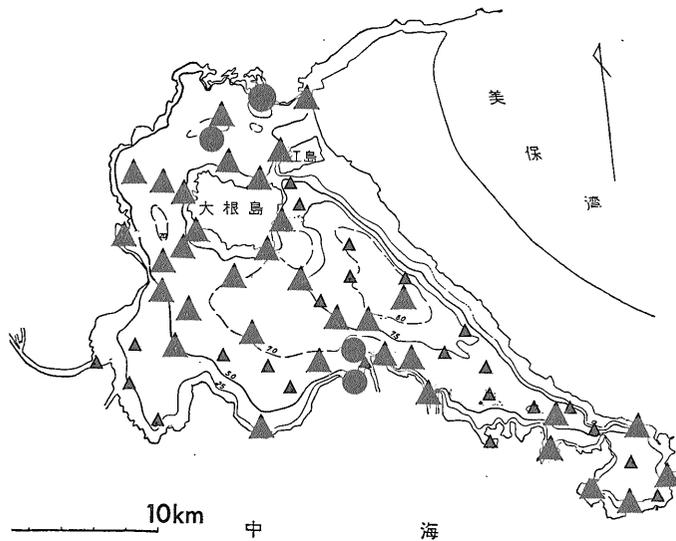
宍道湖の場合は、斐伊川河口域がとくに高く 1.05-1.73、湖岸が 1.00 前後で、湖底平原部へ向かって漸次低下して行き、湖央の水深 6m の最深部での 1.02 の例外はあるが、中央の湖底平原部では全般に 0.8-0.9 台と最低の値を示す。

1)  $C_c$ : 燃焼法による分析値,  $C_t$ : 滴定法による分析値。

一方、中海では、境水道入口付近 0.85 から、大根島北部 0.85-1.00—大根島西部・南西部 0.85-0.94—大橋川河口付近 0.69-0.70、さらに飯梨川河口 0.74-1.04 とほとんど 1.00 以下である。また、大根島南東—飯梨川河口とを結ぶ線以東は、0.66-0.91 であり、全般的にはさらに低下している傾向にある。

宍道湖・中海の湖水の酸化還元条件については、筆者らは、分布様式に、酸化型、弱還元型、中還元型、強還元型、最強還元型の 5 つの型を認めた (水野ほか, 1969)。宍道湖では、中央西部で強還元型であるほかは、西部水域では一般に酸化型、湖央部で還元型、周辺部で酸化型である。中海については、大局的にみれば、大根島東部を横切る境水道入口—飯梨川河口の線以西の西半部域は酸化型、以東の東半部域は還元型のそれぞれ領域となっている。還元型の領域では、大根島から米子湾入部奥部へ向かって、沿岸を除き、弱還元型→中還元型→強還元型→最強還元型と段階的に移行する。

原試料の  $C_c/C_t$  の水平分布と酸化還元電位の分布型とを比較すると、宍道湖では、斐伊川河口域で酸化型、全般的には湖岸から湖央に向かって酸化型→強還元型へと移行する状態とが、両者とも一致し、 $C_c/C_t$  は酸化還元条件とほぼ対応しているように思われる。中海の場合には、 $C_c/C_t$  は、全般的にみて、河口域を除いた湖西半部は東半部より比較的高く、相対的に酸化型を、東半部は



料の  $C_c/C_t$

相対的に還元型を、大根島南東—米子湾入部では東半部の中でもさらに低く、強い還元型を示す。両者の関係は、必ずしも鮮明なものではないが、 $C_c/C_t$  は酸化還元条件とおおよその対応関係にあるように思われる。なお、両湖とも、大きな河川の河口域で  $C_c/C_t$  が高くなっているのが注目される。

カリフォルニア沖海盆底堆積物については (EMERY & RITTENBERG, 1952), コア 12 本に関する  $C_c/C_t$  の比率は、2 本のコアを除いて深度の増加につれ低下し、極端な場合では表面で 1.21, 50 インチで 0.67, 12 本のコアの平均値としては、海底面で 1.02, 3m の深さで 0.89 の値をそれぞれ示している。この数値は、最上層では平均的な土壤中と比べ酸化状態がわずかに高いのが、深度が増すにつれ有機物の酸化状態が低下し、60 インチの深さまで低下し続けていることを示すものと説明されている。

一方、日本海海底堆積物については (NIINO et al., 1969), 滴定法の値が燃焼法の値より一定してかなり高く、15 試料のうち 3 試料を除いての比率の平均が 0.78 という結果を出し、これは規準として用いた土壤中の炭素よりはるかに還元状態の強いことを意味するものであると説明されている。

山陰美保湾沖—隠岐諸島周辺海域の日本海堆積物については、筆者らが  $C_c/C_t$  の比率を検討した結果では、水深増加に伴いその値が漸減する規則性のあることが見出されている (水野ほか, 1970)。この場合には、有機物量

の多少の原因が海水の循環と水温条件とほぼ対応し、酸化滴定法の分析値が底質の酸化条件の関数であることを示すものであり、 $C_c/C_t$  の値が底質の酸化還元条件を相対的に示すという点である程度有効であると述べた。

以上のことから、乾式燃焼法と酸化滴定法による炭素分析値の比率 ( $C_c/C_t$ ) が堆積物中の有機物の酸化状態との強い関連を示すことは一般的であるように思われる。中海・宍道湖においては、河口域そのほかの一部を除き、少なくとも底層水の酸化還元電位と大局的には関連性を示し、同様に、必ずしも明確ではないが、湖底堆積物の酸化状態を、少なくとも定性的には反映しているように考えられる。なお、このようなことから、一水域内で酸化状態の異なる堆積物が存在したり、あるいは、それが予想される場合には、炭素の定量には酸化滴定法は不適當であるといえる。

### 5. 粘土・シルト両フラクション中の炭素の分布

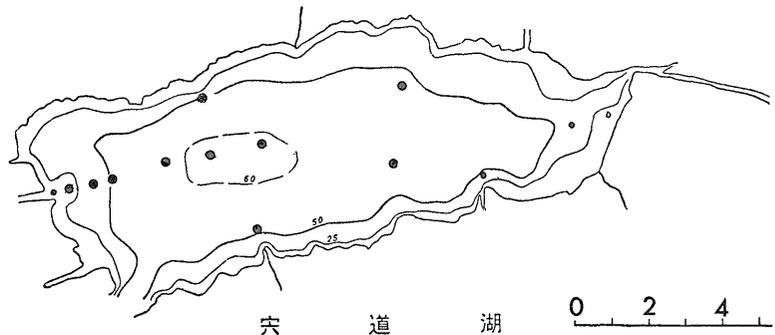
原試料をシルト・粘土各フラクションに分離し、それぞれについて、乾式燃焼法・酸化滴定法によって炭素を分析した結果を第 7-10 図に示す。

#### 5.1 シルトフラクション中の炭素

シルトフラクション中の炭素量の出現範囲は、宍道湖で 0.65-1.60% (平均 1.22%)<sup>2)</sup> で、原試料の 1.04-

2) 以下、とくにことわらない場合の分析値は、乾式燃焼法によるものである。

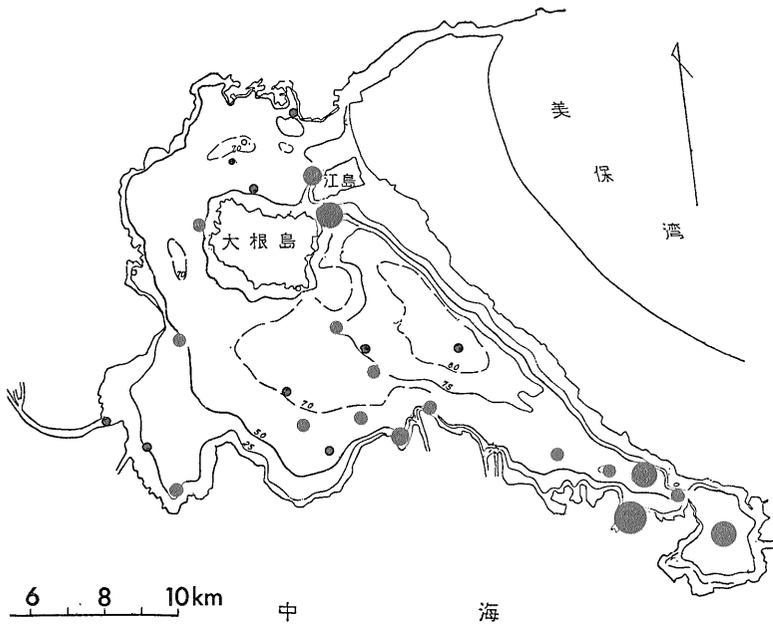
- 0.00-0.99
- 1.00-1.99
- 2.00-2.99
- 3.00-3.99
- 4.00-4.99
- 5.00-5.99



第 7 図 シルトフラクション中の

第2表 炭素含有量のフラクシオン別分析値

	分析 方 法	分 析 値		析 水 平 分 布	
		出現範囲	平均値		
宍道湖	原試料	乾式燃焼法 (Cc)	1.04-2.50	1.84	湖底地形に応じた分布 (深一高, 浅一低)
		酸化滴定法 (Ct)	1.01-2.50	1.75	
	シルト	乾式燃焼法 (C-st)	0.65-1.60	1.22	原試料と類似 (斐伊川河口除き, 同心円状) 同 上
		酸化滴定法	0.72-1.69	1.20	
		乾式燃焼法/酸化滴定法	0.74-1.32	1.04	
	粘 土	乾式燃焼法 (C-cl)	1.77-3.73	2.48	原試料と全く異なる (西一高, 東一低) 同 上 シルトより不明確だが, 酸化還元条件の 大要を表す.
		酸化滴定法	1.25-3.55	2.34	
		乾式燃焼法/酸化滴定法	0.94-1.42	1.12	
	中 海	原試料	乾式燃焼法 (Cc)	0.91-5.22	2.99
酸化滴定法 (Ct)			1.09-6.18	3.65	
シルト		乾式燃焼法 (C-st)	0.97-5.11	2.50	原試料と類似 同 上 全般に低く, 還元域にあることを明確に表 す.
		酸化滴定法	1.28-6.51	3.43	
		乾式燃焼法/酸化滴定法	0.45-1.36	0.76	
粘 土		乾式燃焼法 (C-cl)	1.95-4.29	2.99	原試料と傾向は類似しているが均質化 同 上 酸化還元条件を表さない.
		酸化滴定法	1.96-4.45	3.07	
		乾式燃焼法/酸化滴定法	0.66-1.09	0.97	



炭素含有量 (乾式燃焼法) (%)

2.50% (平均 1.83%) に比べ範囲・平均値ともに低い値となっている (第2表)。中海では 0.97-5.11% (平均 2.50%) で、原試料の 0.91-5.22% (平均 2.99%) に比べ、範囲はほぼ等しいが、平均値が 0.5% 低くなっている。

炭素量の水平分布をみると (第7図)、宍道湖では原試料の分布とよく似ており、斐伊川河口を除いて、湖底地形に従ってほぼ同心円状に湖底平原部へ向かって高くなっている。湖底平原部の値は 1.15-1.69% (平均 1.35%) で、原試料の 1.36-2.50% (平均 1.90%) に比べかなり低く、斐伊川河口および河口周辺でも、原試料 1.79% に対し 0.71%、原試料 1.77-1.92% に対し 1.30-1.41% と同様に低い値となっている。中海では一般的に原試料と似ており、大根島南東岸—米子湾入部が高く、大根島北方、大橋川・意宇川河口付近が低い。原試料と異なるのは、大根島南東—米子湾入部の中間の水深 7m 以深の部分で、原試料 3-4% 台に対し、1-3% と低い値を示す点である。

滴定法の値について検討すると (第8図)、宍道湖では 0.72-1.69% (平均 1.20%)、中海では 1.28-6.51% (平均 3.43%) である。

Cc/Ct についてみると、宍道湖では 0.74-1.32 (平均 1.04)、中海では 0.45-1.36 (平均 0.76) である。宍道湖では、河口およびその周辺は 1.10-1.32 (ただし、斐

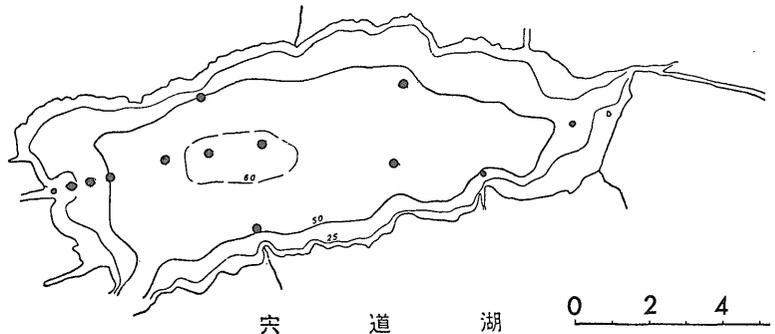
伊川河口のみ例外で 0.99) であるのに対し、湖底平原部では 1, 2 の例外はあるが (S74-1.14, S69-1.03), 0.74-0.97 に分布し、河口の酸化条件と、湖底平原部の還元条件を大体表していると思われる。中海の場合、平均値 0.76 の値は、宍道湖と比べても、粘土フラクシオンに比べても低い値であり、1.0 以上を示すのは、江島西岸 1.03、飯梨川河口 1.36 の2点のみで、他はすべて酸化滴定法の値が乾式燃焼法の値を上廻っている。とくに低いのは大根島南東—米子湾入部で 0.46-0.93、平均 0.60 である。しかし、河口ながら大橋川河口・意宇川河口周辺も 0.73, 0.59 の低い値が出ている。

### 5.2 粘土フラクシオン中の炭素

粘土フラクシオン中の炭素量の出現範囲は、宍道湖で 1.77-3.73% (平均 2.48%) でシルトの約2倍であり、原試料の 1.04-2.50% (平均 1.84%) に比べはるかに高い。中海では 1.95-4.29% (平均 2.99%) で、シルトより平均値で 0.5% 高く、下限がシルトの約2倍である。原試料の 0.91-5.22% (平均 2.99%) に比べると、平均値では等しく、下限では 1% 高く、上限で 1% 低いという高低の幅が狭くなっている。

宍道湖における炭素量の水平分布の特徴は、原試料とは全く異なり、河口域で高く、湖底平原部でやや低下し平均値前後となり、東端大橋川入口に向かって最低となる西高東低型の点である (第9図)。

- 0.00-0.99
- 1.00-1.99
- 2.00-2.99
- 3.00-3.99
- 4.00-4.99
- 5.00-5.99
- 6.00-6.99



第8図 シルトフラクシオン中の

斐伊川河口のみに注目すると、最高含有量は斐伊川河口 (S61-水深 1.90m) 3.73%で、河口より 1km 沖 (S64-水深 3.45m) 3.02%、河口より 1.8km 沖 (S68-水深 5.30m) 2.94% で、河口より 3.3km 沖 (S74-水深 5.80m) 2.82% のように、河口を離れるに従い漸減し、以上の 4 地点が湖中最高含有量地域となっている。斐伊川のほか、来待川河口沖 (S83-水深 5.6m) 2.51% および玉造川河口沖 0.4km (S12-水深 4.8m) 2.10% も他域に比べ相対的に高含有量を示している。

中海における炭素量の水平分布は、原試料の分布と傾向は一致しているが、炭素量の高低の地域の特徴が原試料ほど強く表れず、4% 前後の高含有量は大根島南東岸・米子湾奥に限られ、湖内での高低の差が原試料より少なく平均化している。酸化環境と考えられる境水道—大根島北—大根島西・南西、大橋川河口周辺に至る地域が比較的高含有量を示している。

滴定法の値について検討すると (第 10 図)、宍道湖では 1.25-3.55% (平均 2.34%)、中海では 1.96-4.45% (平均 3.07%) である。

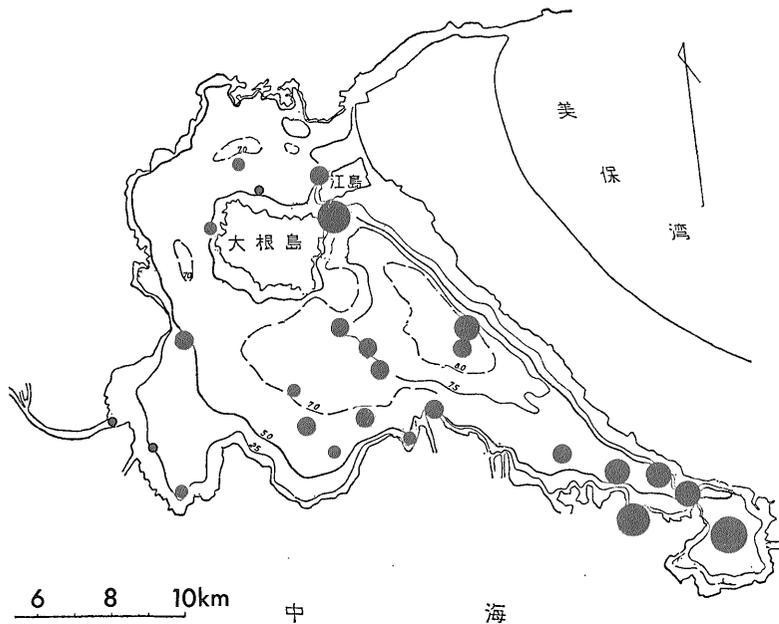
Cc/Ct についてみると、宍道湖では 0.94-1.42 (平均 1.12)、中海では 0.66-1.09 (平均 0.97) である。宍道湖では、河口域で 1.05-1.18、湖底平原部のうち東部では 0.94-1.11、西部では 0.97・0.99、東端大橋川入口では 1.42 と最高の値となる。Cc/Ct の水平分布は、宍

道湖ではシルトの場合と比べ、非常に不明確だが酸化還元条件を表していると思われる。中海では、0.90-1.09 の範囲内が 26 試料中 21、0.95-1.05 の範囲内が 26 試料中 17 という状態で、Cc/Ct の値は、滴定法による炭素量の高い中海主部南方 N30-0.66、米子湾奥入口 N19-0.73、大根島北方 N13-0.84 等数地点を除いてほぼ一致して 1.0 に近い。酸化還元条件との関連性は認められない。

### 5.3 考 察

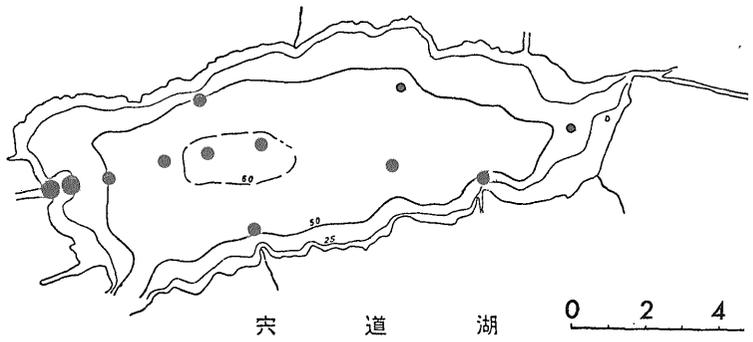
第 1 表中の砂・シルト・粘土含有率および、伊藤 (未発表資料) から明らかのように、含有率でシルト>粘土の試料は、宍道湖では 23 試料中 5 試料、中海では 67 試料中 5 試料および 113 試料中 4 試料にすぎない。シルトの含有率が低いにもかかわらず、シルトフラクション中の炭素量分布が原試料中の炭素量分布に類似している点から考えても、シルトフラクション中の炭素は酸化還元条件に反応しやすく、粘土フラクション中の炭素は酸化還元条件に反応の仕方が鈍く、その結果として、原試料の炭素含有量を支配し、地域性を反映させているのは、シルトフラクション中の炭素の存在であろうと思われる。

TRASK (1932, 1939) は、砕屑堆積物中の有機物量は、ある限られた地域の堆積盆地内では、構成粒子が細くなるほど、一般に有機物量の増大する (シルトは砂の 2 倍、粘土は砂の 4 倍) ことを指摘している。この主



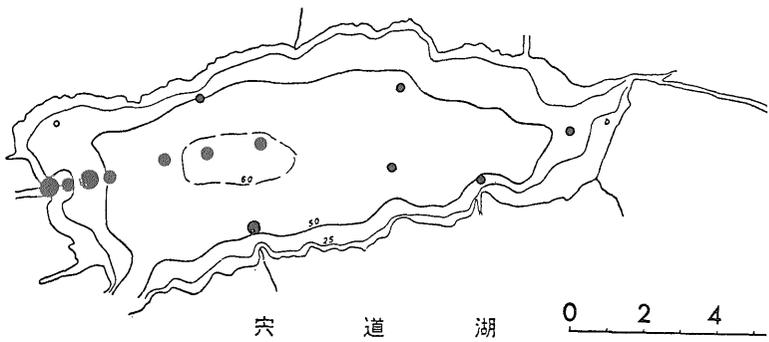
炭素含有量 (酸化滴定法) (%)

- 1.00-1.99
- 2.00-2.99
- 3.00-3.99
- 4.00-4.99

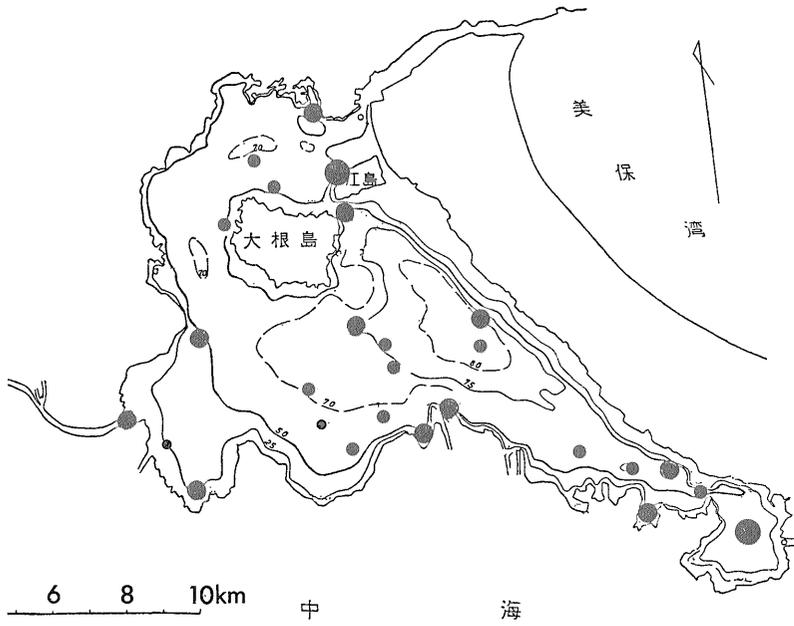


第 9 図 粘土フラクション中の

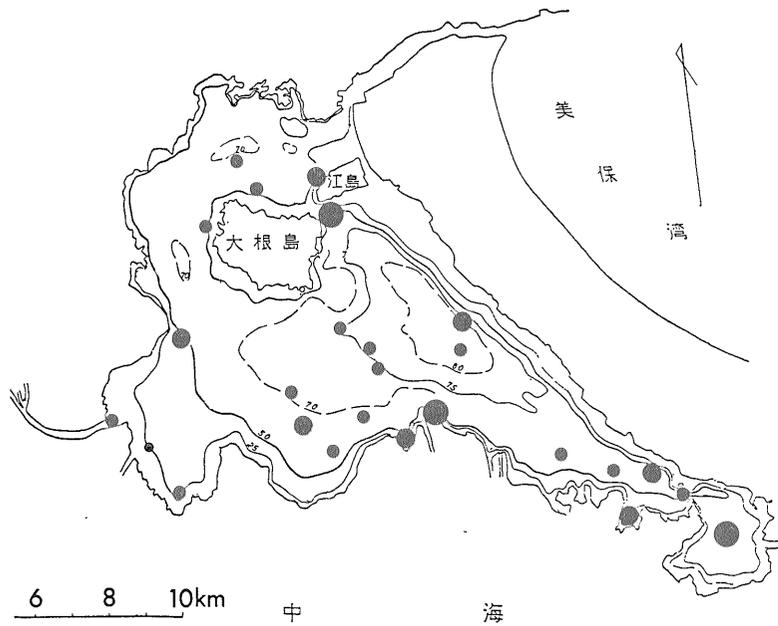
- 1.00-1.99
- 2.00-2.99
- 3.00-3.99
- 4.00-4.99



第 10 図 粘土フラクション中の



炭素含有量 (乾式燃焼法) (%)



炭素含有量 (酸化滴定法) (%)

因として、同氏は、碎屑性有機物と細かい無機粒子との間の比重の近似性を挙げ、結果として、両者は近似した沈積速度のため、流速の穏やかな場所では、細かい粒子組成堆積物に有機物が濃集するのだとしている。BORDOVSKIY, O. K. (1965) は、堆積物中の有機物の濃集について、堆積物の粒度との間には、最も一般的には粒度が減少するほど濃集が高まることを認めている一方、水盆の大きさ、陸棚の広さ、水盆底の起伏その他の地形により、堆積が影響を受け、より微少な粘土中で濃集が減る場合のあることを示している。

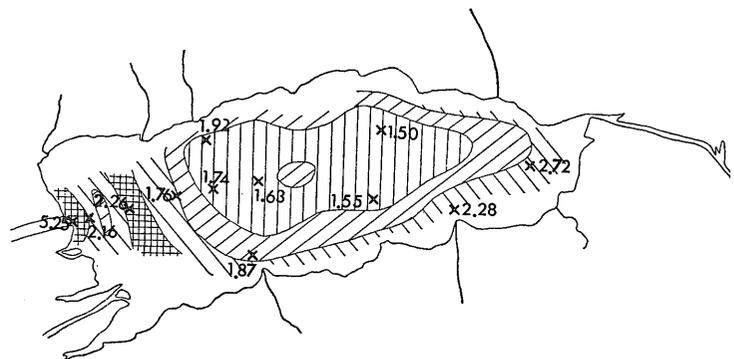
宍道湖・中海の場合も、粘土フラクション中の炭素量とシルトフラクション中の炭素量を比較検討してみると(第 2 表)、宍道湖では 12 の全試料で、粘土フラクション中の炭素量がシルトフラクション中のそれより高いのに対し、中海では、逆にシルトフラクション中の炭素量が粘土フラクション中のそれより高いものが、26 試料中 8 試料ある。

粘土・シルト両フラクション中の炭素含有量の比率(C-cl/C-st)を検討すると、宍道湖では 1.50-5.25, 平均 2.22 (滴定法では 1.28-4.93, 平均 2.12), 中海で

は 0.73-3.28, 平均 1.36 (滴定法では 0.62-1.30, 平均 0.98) で、宍道湖の場合には、細粒の粘土中にシルト中の 2 倍 (TRASK, P. D. (1939) の数値と同じ) の炭素が含有され、TRASK, P. D. (1939) にみられるように、粒子が細かいほど炭素量が增大しているわけだが、中海では必ずしもそうではなく、より粗粒のシルト中に、より高い炭素量を含む場合が 3 分の 1 の試料に及んでいる。

以上述べてきたことから、一般的には、構成粒子が細かいほど有機物量は増大するが、粒度が一義的に有機物の濃度を決めているのでは必ずしもないと考えられる。有機物の濃度を決める要因は、堆積物の粒度のほか、供給される有機物の質・量・存在形態その他有機物の堆積環境(酸化還元条件)に原因する有機物の分解速度の相違等の諸条件が関係しているものと思われる。

第 11 図は、C-cl/C-st の水平分布に湖水の酸化還元電位の分布図を重ねたものである。この図から、とくに酸化滴定法による C-cl/C-st の比率と酸化還元条件とが密接に関係していることが認められる。すなわち、中海の場合、滴定法の C-cl/C-st=1 の線と、湖水の酸化還



C-cl: 粘土フラクション中の炭素含有量,  
Eh+, Eh-: 酸化還元電位 (+), (-)

第 11 図 C-cl/C-st (酸化滴定法)

元電位分布の  $+ \cdot -$  の境界線とがほぼ一致する。ただし、飯梨川河口域は例外となっている。そして、シルトフラクシオン中の炭素量が粘土フラクシオン中の炭素量を上廻る中海主部東半から米子湾入部までの湖東半域は、酸化還元電位分布からみて (-) 型の中還元-強還元-最強還元型の地域であり、逆に、粘土フラクシオン中の炭素量の方がシルトフラクシオン中のそれより高い境水道-大根島北部-湖主部西半域では、酸化還元電位分布 (+) 型の酸化型の地域である。一方宍道湖は、全試料とも粘土フラクシオン中の炭素量がシルトフラクシオン中の炭素量を上廻っている。湖岸より湖央に向かって比率が低下して行く状態は、湖岸の酸化型環境が次第に還元型に移って行く状態と対応している。酸化環境下の斐伊川河口域は、中海の飯梨川河口と同様に、5.25 (河口) をはじめ、すべて 2.5 以上の高い値を示している。

以上のように、酸化滴定法による C-cl/C-st の値と酸化還元電位の分布型とを比較検討すると、酸化滴定法による C-cl/C-st の値は、酸化還元条件を大まかに把握する指標としても有効であると思われる。

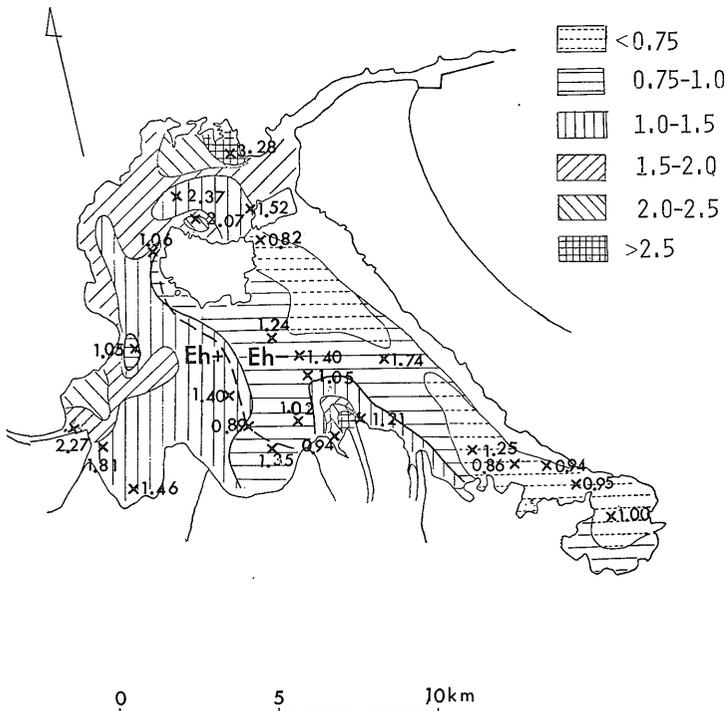
シルト・粘土各フラクシオン別に炭素含有量の動きを

検討してきたが、概括的には、酸化環境ではシルトフラクシオン中の炭素は酸化され、原試料の炭素含有量を低下させ、還元環境ではシルトフラクシオン中の炭素は保存され、原試料の炭素含有量を高めていると考えられる。これを炭素の保存の面から考えると、シルトフラクシオン中の炭素は酸化還元条件に敏感に反応し、酸化性の環境では酸化されやすく、還元性の環境では保存されやすいのに対し、粘土フラクシオン中の炭素は酸化還元条件に対し比較的安定であり、酸化性環境下でも保存されており、原試料の炭素含有量の地域性には直接的な影響を与えていない結果であると考えられる。酸化還元条件に対する上述のような反応の仕方の相違は、それぞれのフラクシオン内での炭素の存在形態に原因するものと思われる。

## 6. ま と め

宍道湖・中海の泥質堆積物の炭素・有機炭素分布、ならびに、それと両湖の環境条件との関連性を検討した。その結果を要約すると、次の通りである。

- 1) 炭素の水平分布の特徴から両湖を比較すると、宍



C-st: シルトフラクシオン中の炭素含有量  
分布域, x: 数字は乾式燃焼法による分析値

と酸化還元電位分布型関係図

道湖では、炭素含有量がより少なく、分布も単純で、湖内での地域差も小さいのに対し、中海では、炭素含有量が多く、湖水の循環・停滞性と関連し、複雑な湖岸地形に対応して地域差も大きく、複雑な分布を示す。

2) 乾式燃焼法・酸化滴定法両法による分析値の比較検討の結果、両法の分析値の比率は、宍道湖が相対的に酸化性の条件下に、中海が相対的に還元性の条件下にそれぞれあることを示した。宍道湖では、斐伊川河口が特に高く、全般的には、湖岸から湖底平原部へ向かって漸減し、中海では、大根島南東と飯梨川河口を結ぶ線を境に、西側で高く、東側で低い。そして、後者においては、この比率と酸化還元電位分布型からみた環境条件は、ほぼ一致している。また、この比率は、湖底堆積物中の有機物の酸化状態を反映していると考えられる。これらのことから、一水域内で酸化状態が異なる場合の炭素量の定量には、酸化滴定法は不相当であるということが出来る。

3) 炭素含有量と粒度との関係については、宍道湖では、細粒の粘土中にシルト中の2倍の炭素量が含有されているのに対し、中海では、全試料の3分の1が、より粗粒のシルト中に、より高い含有量を示す。

一般的には、構成粒子が細かいほど有機物量は増大するが、粒度が一義的に有機物の濃度を決めているわけでは必ずしもない。

4) シルト・粘土各フラクション別に炭素含有量の動きをみると、シルトフラクション中の炭素は、酸化還元条件に敏感で、酸化環境では酸化されて原試料の炭素含有量を低め、還元環境では逆に保存されて原試料の炭素含有量を高めているが、粘土フラクション中の炭素は、酸化還元条件に対し比較的安定しており、原試料の炭素含有量の高地域性を特徴づける点には直接関与していない。

### 謝 辞

この研究を進めるに当たり、地球化学課牧真一技官から有益な御意見を頂いたほか、一部の試料の分析をお願いした。また、乾式燃焼法による定量については、化学課永田松三・西村富子両技官から懇切なる御指導を受けた。さらに海洋鉱物資源課長水野篤行氏からは、野外・室内において終始御指導を受け、また本稿についても数多くの御意見を頂いた。これらの方々には、心から感謝の意を表すものである。

### 文 献

BORDOVSKIY, O. K. (1965) Accumulation and

transformation of organic substance in marine sediments. *Marine Geol.*, vol. 3, p. 3-114.

EMERY, K. O. and RITTENBERG, S. C. (1952) Early diagenesis of California Basin sediments in relation to origin of oil. *Bull. Amer. Assoc. of Petrol. Geologists*, vol. 36, no. 5, p. 735-806.

浜口 博・太田直一・板谷実平・島田正子 (1953) 深海底土の化学的研究 (その 14-15). *日化*, vol. 74, no. 10, p. 761-770.

水野篤行 (1968) 水質底質調査入門. 214 p., 地下の科学シリーズ 13, ラテイス, 東京.

———・角 靖夫・鈴木尉元 (1966) 宍道湖の堆積環境と底棲動物群集についての予察的研究. *地質調報*, no. 214, 26 p.

———・関根節郎・中沢次郎・高久昭子・小野寺公児・小野美代子 (1969) 宍道湖・中海底泥中の U 分布, とくに沈積環境との関係 (予報). *地質調報*, no. 232, p. 317-352.

———・丸山修司・藤井紀之・安田俊一・野口寧世・都留信也・望月常一・大嶋和雄・横田節哉・中尾征三・小野美代子 (1970) 山陰美保湾・隠岐諸島周辺海域の堆積学的研究. *地質調月*, vol. 21, p. 219-236.

永田松三・村田富子 (1970) 炭・水・窒素自動元素分析装置. *地質ニュース*, no. 194, p. 32-35.

NIINO, H., EMERY, K. O. and KIM, C. M. (1969) Organic carbon in sediments of Japan Sea. *Jour. Sediment. Petrol.*, vol. 39, p. 1390-1398.

小野寺公児・小野美代子 (1970) 中海・宍道湖の泥質堆積物中の C/N 比の特徴について. *日本地質学会第 77 年学術大会講演要旨集*, p. 75.

———・———・水野篤行 (1969) 中海・宍道湖の堆積についての総合的研究 底質中の有機炭素分布. *地質調月*, vol. 20, p. 223.

大嶋和雄・横田節哉 (1970) 山陰沖底質中の腐植について. *地質調月*, vol. 21, p. 279-286.

TRASK, P. D. (1932) *Origin and environment of source sediments of petroleum*. 323 p., Gulf Publ. Co., Houston.

——— (1939) Organic contents of recent marine

宍道湖・中海の堆積物中の炭素分布について (小野美代子・小野寺公兎)

sediments, in TRASK, P. D., ed., *Recent marine sediments*, Dover Publ., Inc., New York, p. 428-453.

物—サロマ湖・厚岸湖・厚岸湾一. 地質雑, vol. 75, p. 209-223.

渡辺 浩 (1969) 北海道の内湾・潟湖底質中の有機

(受付: 1976年3月5日; 受理: 1976年3月29日)