

## 山陰沖底質中の腐植について

大嶋 和雄\* 横田 節哉\*

### Marine Humus in the San'in Offshore Sediments

By

Kazuo OHSHIMA & Setsuya YOKOTA

#### Abstract

The purpose of this study is to obtain further information concerning the relation of the marine humus to the depositional environments.

1. In the San'in off-shore area (fig. 1), the marine humus content is low in the Miho Bay and continental shelf (total carbon; 0.15~1.35%, total nitrogen; 0.004~0.63%), and high in the continental slope (total carbon; 2.16~3.14%, total nitrogen; 0.16~0.63%). These differences may be attributed to the decompositional rate in high water temperature condition and oxidizing effects of currents and wave action which sweep the finely divided organic matter and the fine-grained sediments into the depression. The latter environment favors the preservation of the marine humus.

2. Absorption spectrum of humic acid extracts of sediments with sodium pyrophosphate showed several absorption bands (ca. 220m $\mu$  & 400m $\mu$ ). According to the intensity of an absorption band at about 400m $\mu$ , these humic acids are classified into two groups. The first group, having no absorption band at about 400m $\mu$ , is found in the Miho Bay sediments. On the other hand, the second group with a distinctive absorption band is found in the continental shelf and slope sediments.

3. The vertical distribution of marine humus, is generally constant in the upper 50 cm of the core from more than 1,000 m in water depth. The data are discussed with respect to the water temperature and topography of the sea during the period of sedimentation.

#### 1. はじめに

底質中の腐植の研究は、炭化水素鉱床の探査と密接に関連しておこなわれてきた。しかし、最近では、ウラン鉱床を始めとする堆積性鉱床探査ならびにそれらの形成過程を明らかにするために、現世堆積物中の腐植の分布および挙動が注目されるようになってきた。

筆者らは、中海・宍道湖の堆積学的総合研究において、底質中の腐植の研究を担当している。今回は、この研究の一環として、中海につらなる美保湾および山陰沖の底質中の腐植を分析し、宍道湖および中海底質中のそれとの比較検討を試みた。底質試料は、1968年8月4日から8日にかけて、東京大学海洋研究所所属淡青丸による調

査採泥によって得たものである。腐植の分析は大嶋が、金属元素の分析は横田が担当した。

本報告は、次の3点に重点をおいた。

1. 現世堆積環境、主として海底地形と底質中の腐植および若干の金属元素の分布との相関を明らかにする。

2. 腐植の面から柱状試料における堆積物の続成作用について検討する。

3. 腐植含有量と他の分析資料、たとえば粒度組成およびウラン含有量との相関について検討する。

この調査にさいして、採泥に御協力いただいた淡青丸乗組員の各位に厚く御礼申し上げる。

また、この小文をとりまとめるにあたって、水野篤行技官はじめ本所堆積研究グループの諸氏から貴重な助言と御批判を賜わった。

\* 北海道支所

以上の方々に対して衷心より謝意を表す。

2. 採泥位置および採泥法

採泥位置は、堆積環境と底質との関係の検討および中海・弓ヶ浜半島形成史についての資料を収集するために、第1表および第1図に示す32地点を選んだ。

本地域周辺の最近の調査には、三位秀夫(1966)および建設省計画局ほか(1967)の弓ヶ浜半島の第四紀地質調査資料があるほか水野篤行・大嶋和雄・中尾征三(1970)の中海ボーリング調査および柱状採泥調査がある。特に後者の調査では、中海底質下部浅処(底質面下0~5m以内)に、大山火山に由来する火山灰(洪積統)が、場所

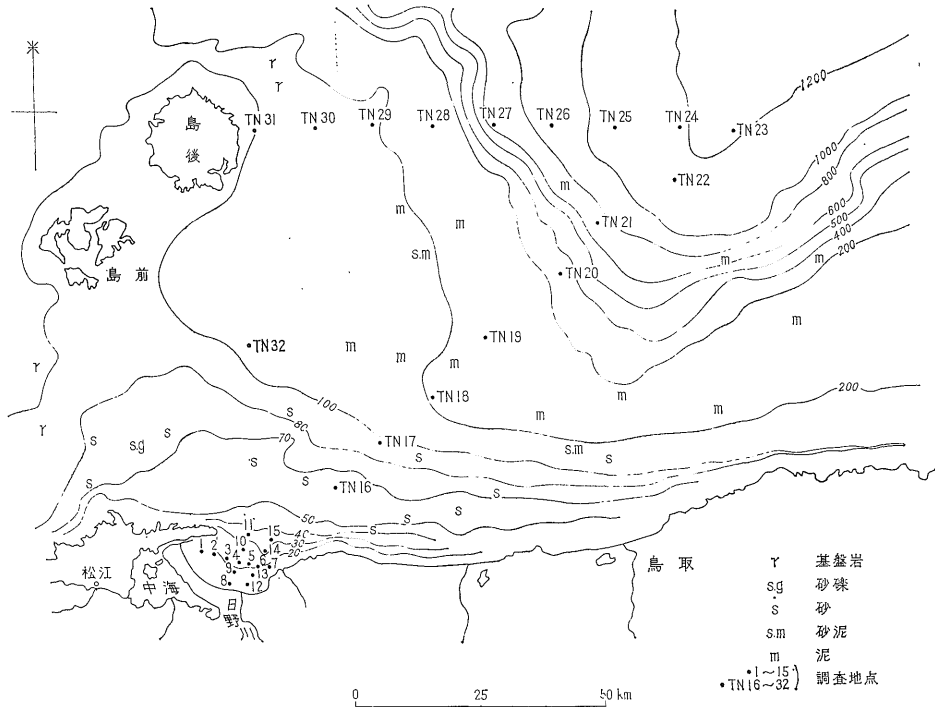
によっては採集されている。また、この火山灰の分布方向から、美保湾においても、これ相当の洪積統の分布が予想される。なお、海底160mから250mにかけての大陸棚から、漁船によってナウマン象化石が採集されており(亀井節夫, 1967)、美保湾から大陸棚にかけて広く洪積統の分布することが予想される。さらに、海図 no. 159によると、美保湾内に数カ所の岩礁・暗礁があり、それらは第三系からなることが予想される。

採泥には、上記の資料および海図 no. 159の底質分布を参考にして、砂底質とは円筒式ドレッジを、泥底質には重力式柱状採泥器を用いた。採泥結果については、水野篤行ほか(1970)の詳しい報告を参照されたい。本報

第1表 隠岐列島〜美保湾周辺観測点

(1968. 8. 淡青丸による)

測点 No.	緯 度 (N)	経 度 (E)	水 深 (m)	底 質	観測作業および備考
1	35°31.7'	133°17.5'	14	暗灰褐色 slt-fs.	ドレッジ
2	35 31.5	133 19.0	40	灰 黒 色 vfs.	ドレッジおよび採水
3	35 31.1	133 20.6	22	灰 色 fs.	ドレッジ
4	35 30.6	133 22.0	22	灰 褐 色 ms.	ドレッジおよび採水
5	35 30.5	133 23.2	21	灰 褐 色 fs.	ドレッジ
6	35 30.1	133 24.6	21	灰 色 fs.	ドレッジおよび採水
7	35 29.7	133 26.2	13	岩 盤	ドレッジ
8	35 28.6	133 20.8	14	暗灰緑色 fs.	ドレッジおよび採水
9	35 29.6	133 21.2	18	暗灰緑色 fs.	ドレッジ
10	35 32.0	133 22.7	28	暗黒緑色 fs.	ドレッジ
11	35 33.4	133 23.3	32	暗灰緑色 ms.	ドレッジおよび採水
12	35 28.2	133 23.2	14	暗灰緑色 fs.	ドレッジおよび採水
13	35 29.0	133 23.8	16	灰褐緑色 fs.	ドレッジ
14	35 31.3	133 25.5	26	暗灰緑色 ms.	ドレッジ
15	35 32.7	133 26.4	35	淡灰褐色 cs.	ドレッジおよび採水
16	35 38.2	133 34.7	66	淡灰褐色 ms.	ドレッジ
17	35 42.8	133 40.4	96	淡灰褐色 ms.	ドレッジおよび採水
18	35 47.8	133 47.2	200	黄 緑 色 slt.	ドレッジ
19	35 53.8	133 54.2	215	黄 緑 色 slt.	ドレッジおよび採水
20	36 00.6	134 04.1	356	灰 緑 色 sd-slt.	フレガー式柱状採泥
21	36 05.8	134 08.8	765	緑 灰 色 clay	ドレッジ
22	36 10.2	134 19.0	1,155	暗緑灰色 clay	重力式柱状採泥
23	36 15.4	134 26.6	1,225	暗緑灰色 clay	重力式柱状採泥および採水
24	36 16.0	134 19.8	1,188	明灰緑色 clay	ドレッジ
25	36 15.9	134 11.3	1,080	緑 灰 色 clay	重力式柱状採泥
26	36 16.3	134 03.2	870	緑 灰 色 clay	ドレッジ
27	36 16.3	133 55.6	630	緑 灰 色 clay	ドレッジおよび採水
28	36 16.2	133 47.8	225	淡灰緑色 sd-slt.	ドレッジ
29	36 16.4	133 40.1	198	淡灰緑色 slt.	ドレッジ
30	36 16.0	133 32.7	160	灰 色 fs.	ビーム・トロール
31	36 15.9	133 24.9	105	淡灰緑色 ms.	ドレッジおよび採水
32	35 53.3	133.23.8	130	褐 緑 色 fs.	ドレッジ



第1図 採泥位置図

告の化学分析に用いた試料は、採泥32地点のうち、岩盤の露出によって採泥できなかった TN. 7 およびビーム・トロールを行なった TN3.0 を除いた27試料である。なお、TN. 30についてはビーム・トロールの錘に入った底質を参考までに分析した。

### 3. 試料処理および分析法

分析試料はマイナスの水が2~4%になるまで、60°Cで乾燥し、それを自動乳鉢で粉末にして用いた。

全炭素および窒素の分析は、試料0.5~1grを精秤し、酸化コバルト2grを助燃剤として加え、柳本MT-500型(CNコーダー)を用いて燃焼法で行なった。燃焼条件としては、ヘリウムガス気流中で高純度酸素を流し、燃焼炉の温度を900°C、還元炉の温度を400°Cまで上昇させた。したがって、分析値には有機態および無機態の炭素・窒素が含まれている。

腐植酸の吸収スペクトルは、熊田恭一(1957)に準拠した。試料に全炭素が33mg含まれるように調製して、0.1Mピロリン酸ソーダ100mlで、4時間沸騰湯浴中で浸出した。この浸出液を、7,500rpmで15分間遠心分離した後、それに蒸留水を加え、メスフラスコを用いて100mlとした。この浸出液50mlに18N硫酸1mlを加えて

腐植酸の沈殿を作った。この腐植酸の沈殿を汙過・水洗したのち、0.1Mピロリン酸ソーダ50mlに溶解し、2時間以内に、その腐植酸の吸収スペクトルを、波長190mμから700mμまで測定した。

Mn, CaおよびMgは、原子吸光分析法によって定量した。

分析結果は、第2表に示すとおりである。

### 4. 分析結果の考察

#### 4.1 全炭素量および全窒素量

これまで、海底堆積物中の有機物については、TRASK(1939)が報告して以来、数多くの報告がある。ARREHENIUS(1950)は、従来の文献をまとめて有機炭素量と全窒素量との関係を統計的に処理して

$$C = 4.68 \times N^{1.26}$$

という関係式をえている。一方、土壤化学の研究結果から、C/Nは有機物の分解平衡状態のもとでは一定であると考えられてきた。この炭素率の平衡値に対して理論的に明確な根拠はないが、有機物がどのように分解しているかを示す指標として利用されている。また、一般に陸棚堆積物中の腐植を構成する有機炭素量は2~3%、全窒素量は0.1~0.3%で、その比の炭素率(C/N)は5~

第 2 表 分 析 結 果

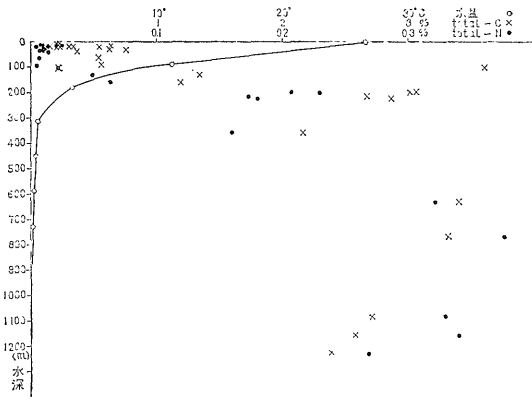
分析試料 No.	泥 温 (°C)	全炭素量 (%)	全窒素量 (%)	炭 素 率	$E_{400}$	$E_{600}$	$\Delta \log K$	Mn (%)	Ca (%)	Mg (%)	U (ppm)	砂 (%)	シルト (%)	粘 土 (%)
2	23.0	0.36	0.014	25.7	—	—	—	0.070	2.95	1.30	2.8	46.6	—	—
3	21.5	0.33	0.014	23.6	0.13	0.02	6.5	0.072	2.65	1.19	3.2	48.1	—	—
4	22.0	0.15	0.004	37.5	—	—	—	0.070	2.77	1.24	1.2	98.0	—	—
5	23.0	0.21	0.010	21.0	0.12	0.02	6.0	0.070	3.37	1.38	1.9	87.4	—	—
6	20.5	0.22	0.005	44.0	—	—	—	0.076	3.31	1.51	1.6	86.3	—	—
8	20.0	0.20	0.008	25.0	0.14	0.02	7.0	0.093	3.03	1.66	2.1	81.5	—	—
9	22.2	0.22	0.010	22.0	—	—	—	0.085	3.05	1.59	1.6	81.6	—	—
10	21.5	0.63	0.011	57.3	—	—	—	0.067	3.56	1.36	1.4	79.0	—	—
11	21.0	0.62	0.010	62.0	—	—	—	0.060	3.43	1.11	1.0	98.6	—	—
12	22.0	0.25	0.020	12.5	0.31	0.05	6.0	0.070	2.59	1.16	2.0	75.8	—	—
13	22.0	0.21	0.025	8.4	0.16	0.03	5.3	0.074	2.95	1.24	1.3	87.6	—	—
14	21.0	0.34	0.010	34.0	—	—	—	0.070	3.61	1.43	1.3	85.5	—	—
15	21.0	0.75	0.007	107.0	—	—	—	0.037	4.24	0.76	1.0	97.7	—	—
16	19.0	0.53	0.007	75.7	—	—	—	0.046	3.14	0.92	0.7	95.7	—	—
17	18.0	0.56	0.005	112.0	0.14	0.02	7.0	0.037	2.62	0.64	1.2	97.1	—	—
18	9.0	3.10	0.230	13.5	0.80	0.12	—	0.035	3.76	1.05	2.2	4.8	60.3	34.9
19	8.0	2.67	0.173	15.4	0.57	0.10	5.7	0.035	3.87	0.94	2.0	5.4	61.3	33.3
20	—	2.16	0.160	13.5	0.27	0.05	5.4	0.033	—	—	4.0	1.5	59.3	39.2
21	2.0	3.31	0.376	8.8	0.74	0.12	6.2	0.039	1.64	1.41	2.3	2.4	35.8	62.8
22	—	2.58	0.340	7.6	—	—	—	0.036	—	—	3.9	3.4	31.3	65.3
23	1.7	2.39	0.267	8.9	0.57	0.09	6.3	0.044	—	—	4.1	2.1	30.1	67.8
25	1.5	2.71	0.329	8.2	—	—	—	0.036	—	—	3.6	—	—	—
27	—	3.40	0.321	10.6	0.99	0.16	6.2	0.040	2.41	1.29	1.9	1.1	39.1	59.8
28	8.5	2.85	0.180	15.8	0.64	0.09	7.1	0.035	4.36	0.97	1.9	5.7	65.3	29.0
29	4.0	3.06	0.207	15.1	0.53	0.08	6.6	0.035	4.32	1.06	2.2	7.0	60.1	32.9
30	—	1.19	0.063	18.9	0.29	0.05	5.8	0.027	3.11	0.63	1.0	—	—	—
31	15.8	3.60	0.022	16.4	0.07	0.01	7.0	0.033	—	1.21	—	93.4	—	—
32	16.5	1.35	0.049	27.6	0.26	0.05	5.2	0.020	—	3.51	—	84.8	—	—

U の分析は望月常一技官、粒度分析は小野美代子技官による。

15の間にあるとされている。

山陰沖底質試料の分析値とこれとを比較してみると、全炭素量および全窒素量の含有量にはあまり差はないが、炭素率には大きな差異が認められる。この原因として、全炭素量に貝殻片の  $\text{CaCO}_3$  の無機炭素が含まれていることが考えられる。このことは、試料に Ca が 3% 以上含まれているものは、炭素率が 20 以上であることにも示されている。とくに、全炭素量が 0.5% 以下の少ないものほど炭素率が高くなっているのは、 $\text{CaCO}_3$  の無機炭素が少ない全炭素量に、顕著に反映しているためと考えられる。したがって、燃焼分析法による場合には、有機物の全量を示すものとして、全炭素量より全窒素量の方が妥当のようである。

以上のことをふまえて、水深と全炭素量および全窒素量との関係を検討してみたい。第 2 図にみられるように、水深と有機物との間には、直線的な比例関係は認められないが、水深 100, 200 および 600m を境にして、その含有量に明瞭な差異が認められる。



第 2 図 水深と全窒素量・全炭素量との関係

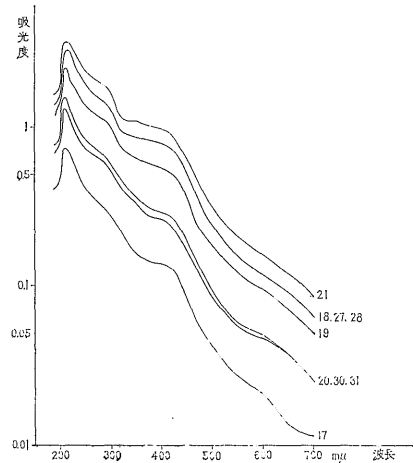
1. 水深 100m 以浅，すなわち美保湾および沿岸帯の底質の全炭素量は 0.8% 以下，全窒素量は 0.025% 以下である。
2. 水深 100m から 200m，すなわち大陸棚の底質には，深度とともに有機物が増大する傾向がみられる。
3. 水深 600m 以深の底質，すなわち陸棚斜面の底質には，2% 以上の全炭素と 0.16% 以上の全窒素が含まれ，その炭素率は 15 以下で典型的な海成腐植の値を示している。

また，海水温の垂直分布と有機物との相関をみると，水温が  $10^\circ\text{C}$  以上の環境の底質は，全炭素量 0.8% 以下，全窒素量 0.03% 以下で有機物の含有量が少ない。一方，水温が  $4^\circ\text{C}$  以下の環境の底質には，全炭素量は 2% 以

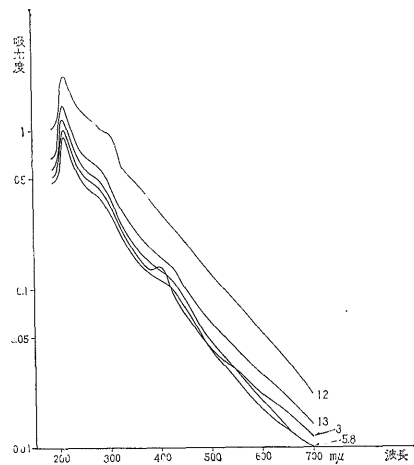
上，全窒素量は 0.2% 以上含まれている。

以上のように，有機物と水深および水温との間に，かなりの相関関係がみられることから，次のようなことが類推される。

1. 美保湾のように陸域に近いところで，有機物が少ないのは，陸源腐植の供給が少ないか，またはこの地域が砕波帯に当たり，有機物が沈着せず，より深い方で有機物が沈着することに起因するのではなからうか。
2. 砕波帯に有機物が少ないのは，酸素の供給がよくて酸化環境にあることおよび水温が高いため有機物の分解速度も速い。一方，600m 以深に有機物が多いのは，海水の循環が悪く，かつ水温が低いため分解速度が遅く，有機物が保存され易い環境にあるためであろう。
3. 美保湾内に基盤が露出していたり，陸棚からナウマン象化石が採集されたりしているのて，全窒素量が



第 3 図 大陸棚および陸棚斜面堆積物の腐植酸吸収スペクトル



第 4 図 美保湾内底質の腐植酸吸収スペクトル

0.005%以下の底質は、現世堆積物と異なるのではなからうか。すなわち、美保湾から陸棚にかけての堆積物はMaximum Würmのときの汀線堆積物が、その後の海進によって海底にとりのこされ、堆積量があまりないため、洪積統の有機物含量を示しているという可能性がある。

4.2 腐植酸の吸収スペクトル

吸収スペクトルは第3図および第4図に示す通りである。腐植酸の光学的性質はSCHEFFER (1954)によると、波長465m $\mu$ と665m $\mu$ における吸光度Eの比率(E<sub>4</sub>:E<sub>6</sub>比)が、溶液の炭素濃度に関係なく、吸収スペクトル曲線の傾斜の度合をあらわし、種々の土壌型の腐植酸にとって特徴的なものであることを示した。陸成腐植酸の場合、ポドゾール性土は約5.0、灰色森林土は3.5、その他の土壌の場合も5以下である。それに比較して、山陰沖底質のものはすべて5以上であることが特徴の一つである。つぎに、美保湾内と沖合との底質の腐植酸の吸収スペクトル型について比較してみると、炭素2重結合C=C 発色団を示す220m $\mu$  近辺における吸収帯は同じようになっているが、350~400m $\mu$  にかけての吸収帯は、美保湾のものについてはほとんど認められない。LEMBERG and LEGGE (1949)によると、この吸収帯は、ポーフィリンに特徴的なものとされている。渡辺浩(1969)は、この400~410m $\mu$  にかけての吸収帯の要因について検討し、海成腐植酸の特徴の一つとしている。

美保湾内の底質の腐植酸の吸収スペクトルには、400m $\mu$  近辺の吸収帯がみられないことから、それらの底質は、洪積統の陸成堆積物である可能性が考えられる。

4.3 Mn, Ca, Mgの分布

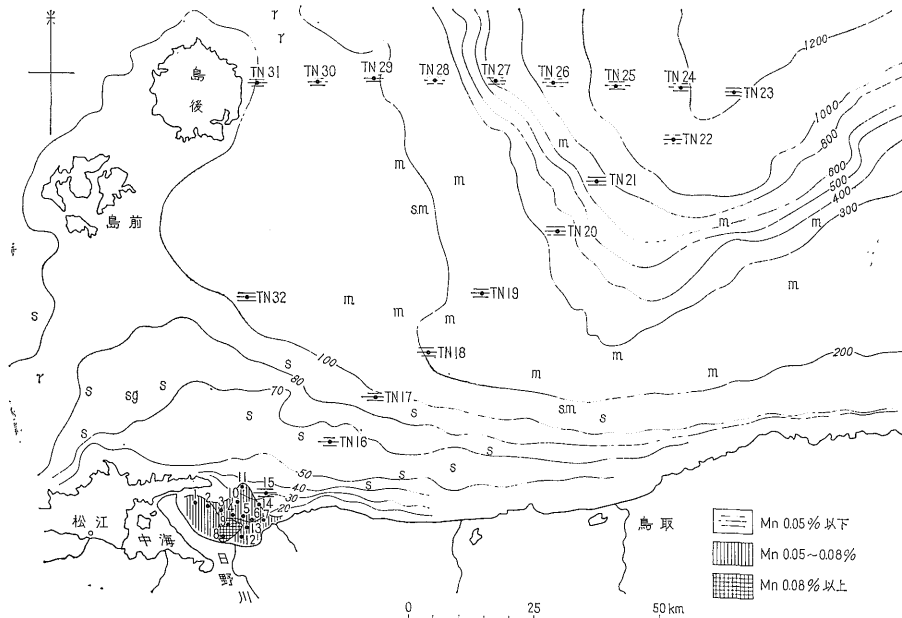
MASON (1958)の地殻における元素の存在度と比較してみると、Mnは1,000 ppm, Mgは2.09%, Caは3.63%であるので、Caを除いては、底質中には少ない(第2表)。

Mnの分布(第5図)は、美保湾内と外海とでまったく異なっている。すなわち、美保湾内では周辺に分布する花崗岩・玄武岩に含まれるMnの量とほぼ同量含まれているが、湾外の底質では、その含有量は半分以下となっている。この少ない値は隠岐島に分布する流紋岩に含まれるMnの量とほぼ同じである。

Mgの分布傾向は、Caとほぼ同じである。Caは、底質中の貝殻片の量によって規制されるので、貝殻片の少ない300m水深の底質には少なくなっている。

この調査範囲の陸棚斜面までの底質には、未だ金属元素の濃集は認められず、堆積過程としては、つぎのようなどが推定できる。

1. 美保湾内は、機械的風化による粒子の堆積域で、その底質の化学組成は周辺に分布する火成岩のそれとあまり変わらない。
2. 陸棚斜面では、金属元素の濃集が認められない。このことは、シルト~粘土分がかなりの速さで堆積して



第5図 底質表層部のマンガンの分布

いるためであろう。後述する柱状試料の分析結果からも類推される。

#### 4.4 腐植と粒度組成との関係

全炭素および全窒素量で表現される腐植は、TN31およびTN32を除いては、粗粒域に少なく、細粒域に多くなっている。とくに、腐植が多いのは、粘土粒子径以下が50%以上含まれている底質である。すなわち、腐植の存在形態として、深い方ものは粘土に吸着された形で、浅海域のものは碎屑物の形で存在すると考えられる。

このことから、浅海域の美保湾には碎屑物としての腐植の供給が少なく、かつ細粒子が沈積できないような環境にあることが推定される。一方、隠岐近くのTN31およびTN32の底質は粗粒であるが全炭素量が多い。このことは、TN31およびTN32のCaの含有量からみても、貝殻片によるものと推定される。

#### 4.5 腐植とU含有量との関係

底質中のUの量は0.7から4ppmで、地殻における平均値2ppmより多少濃集しているものもある。しかし、地中海の底質試料には、10ppmをこえるものもあるので、それに比較しては濃集度は低い。

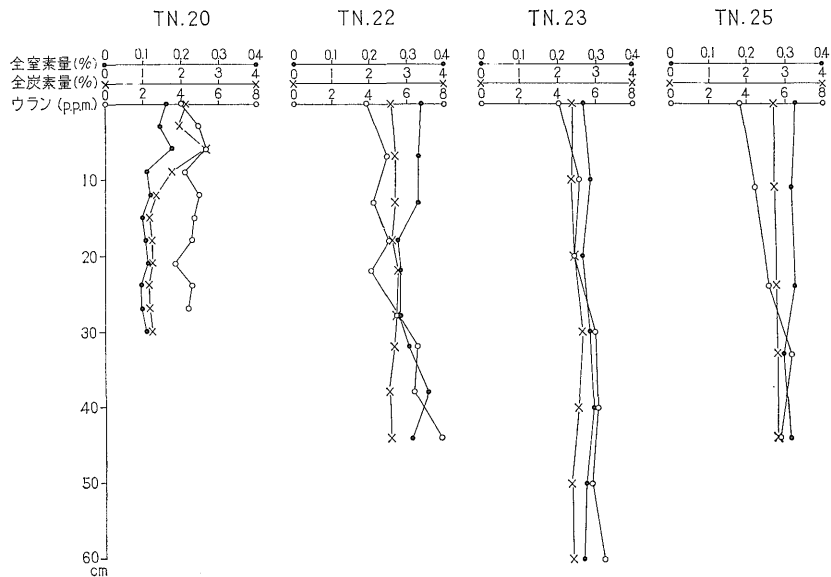
全炭素量とウラン含有量との相関関係は、顕著ではない。それよりも、U含量に顕著に現われている差異は、採泥方式によるものである。すなわち、TN21からTN27のように、腐植の含有量がほぼ同一の底質試料でも、

重力式採泥器で採集した試料(TN22, 23, 25)には、3.6ppm以上のUが含まれているのに対して、ドレッジによるもの(TN21, 27)には、2.3ppm以下しか含まれていないことである。腐植含有量には、採泥法による影響がほとんど認められないのに対して、U含有量がドレッジによるものに少なくなるのは、Uが可溶性の状態では堆積物中に存在し、堆積物が数kmも海水中を曳行されてくる途中で、溶解してしまうことを示しているのではなかろうか。もし、このような事実があるとするれば、金属元素分析の試料採集方法については再検討を必要とする。

#### 4.6 柱状試料について

重力式柱状採泥器によって、TN20, 22, 23およびTN25の底質を採集した。分析結果は、第6図に示すとおりである。

TN20の腐植は、上部9cmに多く、その下はTRASK(1939)によるように減少していく傾向が認められる。一方、TN.22, 23およびTN.25の試料の分析結果には、その有機物含有量に変化が認められない。この事實は、TN22, 23およびTN25の堆積物が堆積する間、現在とほぼ同じ環境にあったことを示しているのではなかろうか。かりに、Maximum Würmに海水準が100m低下したとしても、それらの地点は、1,055m, 1,125mおよび980mとほぼ水深1,000mを有することから、水温・溶存酸素等の変化はなかったと考えられる。これに反



第6図 柱状試料の全炭素および全窒素量分布 (ウランの分析は望月常一技官による)

して、TN20は水深256mとなつて、かなり浅く位置していたことになる。当時の海底堆積環境を現在と同じ条件と仮定して、TN20の柱状試料をみると、全炭素量が2%以下、全窒素量が0.12%以下の堆積物(10cm以下)は、洪積世もしくは縄文海進以前の堆積物であると推定される。もし、このように仮定すると、TN20では、1万年間にほぼ10cmの堆積量があったことになる。この値は、柱状試料採取方法からみて、表層部の圧密を考慮すると、いくぶん増大するものと思われる。

## 5. 結 論

堆積物は、堆積環境によってその組成の分布を異にするのは自明の理であるが、今回筆者等は山陰沖海成堆積物について、全炭素量・全窒素量・腐植酸吸収スペクトルおよび金属元素の面から検討してみた。

1. 全炭素量および全窒素量で示される腐植の分布は、美保湾内、大陸棚および陸棚斜面で、量比に明確な差異があり、その原因として、腐植の分解速度および地史的要因が考えられる。とくに、美保湾内の底質は、洪積統である可能性が強い。

2. 腐植酸の吸収スペクトルから、炭素の二重結合を示す $220\text{m}\mu$ のピークは、すべての試料に認められたが、ポフィリンの存在を示す $400\text{m}\mu$ 近辺のピークは、陸棚および陸棚斜面堆積物にしか認められなかった。

3. 柱状試料の分析結果では、1,000m以深の堆積物が50cm位堆積する間、その堆積環境には、ほとんど変化が認められない。一方、陸棚斜面のTN20の堆積物の有機物含有量の変化から、その堆積量は、1,000年で1cm以上と推定される。

(昭和43年8月調査)

## 文 献

- ARREHENIUS, G. (1950) : Carbon and Nitrogen in Subaquatic Sediments. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 1, p. 15~21.
- 亀井節夫 (1967) : 日本海南部海底のナウマン象化石, 九十九地学, no. 2, p. 24~31
- 熊田恭一 (1957) : 土壌及び肥料分析, 共立分析化学講座, 9-c, p. 1~22
- 建設省計画局・鳥取県・島根県(編) (1967) : 中海臨海地帯の地盤, 都市地盤調査報告書, vol. 15, p. 1~142
- LEMBERG, R. & LEGGE, J. W. (1949) : Hematin Compounds and Bile Pigments, Their constitution, metabolism and function. *Interscience*, p. 1~749.
- MASON, B. (1958) : *Principles of Geochemistry* (2nd ed.). p. 1~310, John Wiley & Sons.
- 三位秀夫 (1966) : 日本海沿岸における海岸砂丘の問題点, 総合討論会資料「日本海地域の地学的諸問題」, p. 151~158
- 水野篤行・大嶋和雄・中尾征三 (1970) : 中海・宍道湖湖底の第四紀層序に関する問題(演旨), 第四紀研究, (投稿中)
- SCHEFFER, F. (1954) : Neuere Erkenntnisse in der Humus forschung. *Trans. V Internat. Congr. Soil Sci.*, vol. 1, p. 208.
- TRASK, P. D. (1939) : Organic content of recent marine sediments. in *Trask (ed.), Recent Marine Sediments*, p. 428~453.
- 渡辺 浩 (1969) : 北海道の内湾・潟湖底質中の有機物, 地質学雑誌, vol. 75, no. 4, p. 209~223