

長崎湾の底質と有機物*

近 藤 寛

長崎大学教育学部地学教室
(昭和59年10月31日受理)

Bottom Sediments and its Organic Matter in the Nagasaki Bay,
Northwestern Kyushu, Japan

Hiroshi KONDO

Department of Geology, Faculty of Education
Nagasaki University, Nagasaki, Japan
(Received Oct. 31, 1984)

Abstract

Samples from 57 stations in the Nagasaki bay were analyzed for grain size distribution, ignition loss and organic matter. The results are summarized as follows;

1. In the inner bay; Nagasaki harbor, the most prevalent deposits are sandy silt and clayey silt which contain a relatively high quantity of organic matter. The silty sand and sand lie in the bottom of the outer bay.

2. The average ignition loss is 8.87% in the 56 samples, 10.98% in the harbor and 7.30% in the out of harbor. In the harbor, the highest ignition loss observed was 18.86%. There is a good correlation between the mud content and the ignition loss.

3. The average content of organic carbon, total hydrogen and total nitrogen in the samples are 2.54, 0.49 and 0.126%, respectively. Their concentration are high in the fine grained sediments of the harbor. Average C/N ratio is 18.95, ranged from 6.25 to 42.09.

4. The carbon of the organic matter is not decomposed by hydrogen peroxide is constituted from 7-67% with a 29% average of the organic carbon of the untreated samples.

5. The organic constituents in the medium grained sand were found to be the fragments of coal, charcoal, coke and plant fiber. The materials give rise to relatively higher C/N ratio than would be expected to occur naturally in a bay.

*日本地質学会西日本支部・関西支部合同四国例会(於愛媛大学理学部)にて一部講演(昭和59年10月7日)

1. はじめに

屈曲の多い複雑な海岸線をなす九州北西部は、各地に大小の湾がみられる地域である。そのうち、すでに調査がなされた有明海（鎌田・近藤・津留，1979a；鎌田他，1979b）、大村湾・伊万里湾（鎌田・近藤・堤，1980）の湾奥部には、有機物に富む細粒の堆積物が分布している。これは湾の周辺地域を流れる河川水などにより湾内に運びこまれた有機物粒子と細粒の無機粒子が、海水の流速が穏やかな湾奥部でともに沈積するからであると考えられる。したがって、底質の粒度組成や有機物組成を調べることで、その海域の海況特性や底質に含められた有機物の性質が明らかにされるであろう。

外洋との海水の交換が少ない海況下にある内湾において、都市の生活排水や工場排水などの流れ込みによる有機物汚染はその海域の富栄養化をもたらし、海域全体の自然環境を悪化させる原因となっている。そのため、最近では内湾の底質の有機物汚染に関係したいろいろな研究が、盛んに進められている（塩沢他，1979；服部，1933；西條，1984）。本研究は、長崎市の市街地や工業用地と周囲を接して、そこから流れ込む汚染物質により底質の汚染が進んでいる長崎湾において、底質とそれに含まれる有機物との関係、およびその有機物の組成について調査したものである。

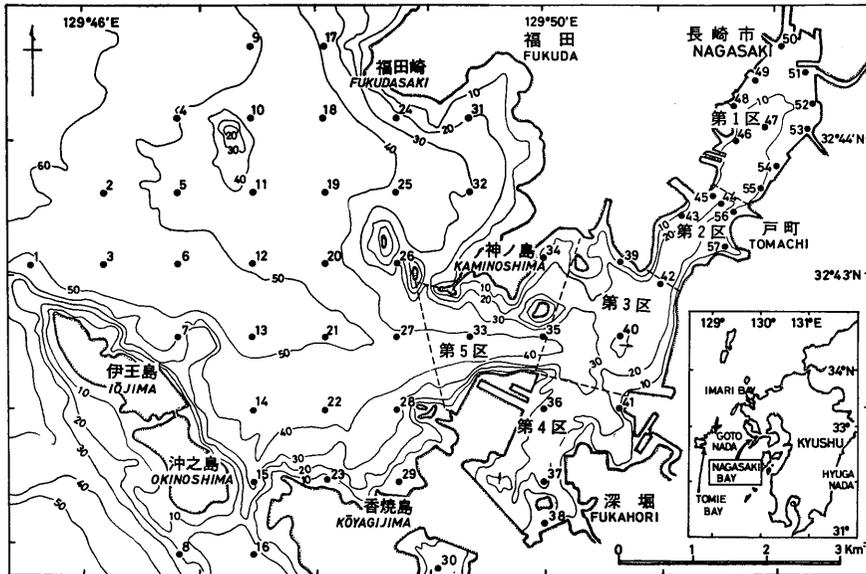
長崎湾における底質試料は、1981年10月香焼町が行なった「香焼町下水道処理排水流入域における環境事前調査」の第2回補充調査において、長崎大学教育学部生物学教室東幹夫教授により採取された。この調査をまとめた結果は、「長崎湾における底質汚染の現状」（東，1983）として報告されている。筆者はこのときの調査項目である底質試料の粒度分析、有機物分析を担当し、調査が終了したあとは底質中の有機物についてさらに分析と検討を行なった。なお、前掲の報告書では長崎湾の底質汚染に関連して、本論で述べる粒度組成、強熱減量、有機炭素C、全窒素Nについても考察がなされている。

この研究の機会を与えられ、貴重な試料の提供と御指導、御助言をいただきました生物学教室東幹夫教授、研究上の指針を与えられ、終始御指導と御鞭撻をいただきました教育学部地学教室鎌田泰彦教授に心より厚く感謝いたします。底質に含まれる有機物については、九州大学理学部相原安津夫博士に有益な御教示をいただきました。試料の分析においては、教育学部生物学教室学生（当時）の橋村浩一・富永浩嗣・西村公一の諸氏に御協力いただいた。これらの方々に厚くお礼申し上げます。

2. 長崎湾の概況

長崎湾は、伊王島と福田崎の間を湾口部として五島灘に接している。海図（No. 197）によると、長崎港の区域は、香焼島の北西端と神ノ島西方の西ノ島を結ぶ線の東側であり、さらに5港区に分けられている（第1図）。本論では香焼島一神ノ島間の海峡部（st. 33と35の間）を港口として、長崎湾を港内、港外に区分して記述する。長崎港の北部の第1・2港区は、約1km幅をもち北東に4kmほど細長く入り込んだ地形になっている。港の南部の第4港区は、長崎外港計画による臨海工業用地造成事業により香焼島と深堀間の海峡、約80万m²が埋立てられた地域（1969年完成）に接している。

長崎港の第1・2港区の海況は、長崎海洋気象台において調査され（安井・山野，1947）、



第1図 長崎湾の海底地形および底質試料採取地点

Fig. 1. Bottom topography and location of the sediment samples in the Nagasaki bay.

辻田 (1956) によって次のように要約されている。

長崎湾における潮汐の潮位差は2m程である。下げ潮時には港内全体の潮流はおおむね南西に向い、流速は0.1~0.2ノットである。上げ潮時には潮流の主勢力は港の東岸に片寄って流れ込み、港の奥に突き当たって左に反転する。このため港の奥の海域は、反時計式の環流が形成されるのが特徴である。上げ潮時の潮流の速さは、約0.1ノットであり下げ潮時とさほど変わらない(辻田, 1956)。

香焼島と深堀間の海峡部が埋立てられた地形の変化による潮流の変化は、長崎海洋気象台の調査結果などから考察され、次のように推測されている(長崎県水産試験場, 1971)。長崎港の第1・2港区において、潮流は埋立前と殆んど変わらない。香焼島―神ノ島間の海峡では潮流は少し強くなる。埋立地の北側水域では潮流は弱くなり、外海との水の交換が少なくなる。

長崎湾の水深は60m以浅であり、港内では40m以浅となる。伊王島北方の湾口部から東に延びる海底谷は、港内まで達している。この谷の両側の地域は、港外では40~50m水深の比較的広い平坦地になっている。長崎湾におけるこの平坦面とはほぼ同じ水深をもつ平坦面は、五島灘や対馬海峡の海底に海底段丘として認められ、更新世低海水準位の砕波帯の位置を示している(大嶋他, 1982)。したがって、長崎湾内の40~50m水深の平坦面は、更新世の海水準低下時に形成されたものと考えられることができる。

長崎湾の底質汚染の状況は、1970~1971年に長崎県水産試験場(1971)により詳細な調査がなされ、湾内水域のおもな水質汚濁の原因は、伊王島鉱業所の選炭排水、香焼島における100万トンドック建設に伴う土砂、造船所の船舶洗浄水、水産加工業の残滓および都市排水などの流れ込みによると考えられている。最近における長崎湾の底質汚染の現状

は、東 (1980, 1983) によって調査された。その結果によると、湾内の底質中の硫化物 H_2S の値、および強熱減量は1970年より1979年、1981年へと年を追って低い値に変化し、また、同時に調査された底生生物の生息密度は増加していることなどより判断して、長崎湾は汚染の進行に歯止めがかかり、環境が少しずつ改善されてきていると結論づけられている。なお、1981年10月港内の第1・2港区の底質より測定された全硫化物量は、24個の試料で0.113~3.401 (mg/乾泥g) の範囲にあり、平均値は0.789 (mg/乾泥g) である (東, 1983)。また、長崎市環境保全部により毎年行なわれる水質汚濁調査では、長崎港内の海水の化学的酸素要求量 COD は1977年の1.8~2.9mg/l (港内4地点) から経年的に低下し、1983年には1.2~1.9mg/l (同4地点) であり、海水の汚染は改善されてきていると報告されている (長崎市環境保全部, 1984)。

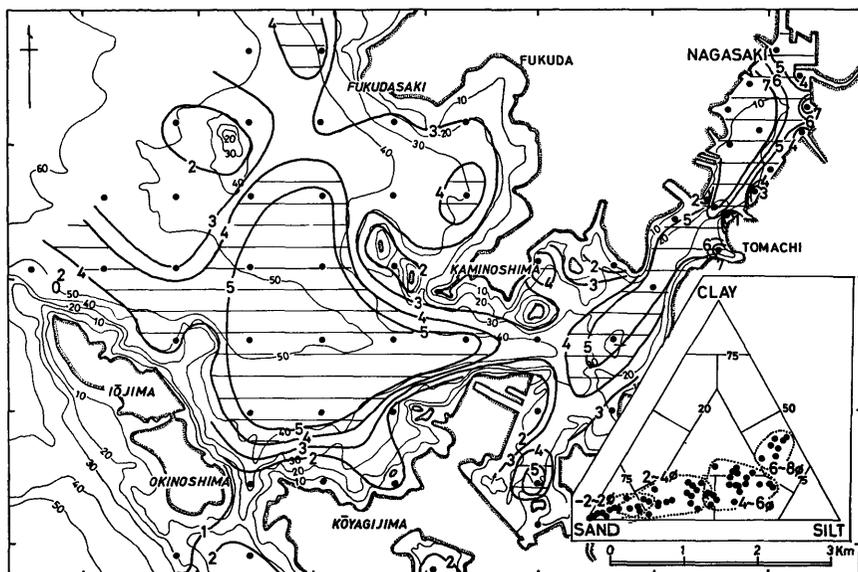
3. 底質試料の採取と分析方法

底質試料の採取は1981年10月19~21日、長崎湾内でおおよそ1 km 間隔の格子状に設定された57測点より1/20m² のスミス・マッキンタイヤー型採泥器を用いて行なわれた。採取直後に測られた底質の温度は21.9~23.1°Cであった。採取した試料は、分析時まで-20°Cの冷凍庫内に冷凍して保存した。

粒度分析は砂質部を篩分法、泥質部をピペット法と光透過式粒度分布測定器 (セイシン企業 SKN-500型) を用いて行なった。強熱減量は、試料を電気炉内で1時間、550°Cに加熱して失われた重量を測定して求めた (DEAN, 1974)。有機物の構成元素である有機炭素 C, 全水素 H, 全窒素 N の測定は、CHN アナライザー (柳本製作所, MT-500 S) による乾式燃焼法によりなされた。測定試料は、貝殻などの炭酸塩類に由来する無機の炭素を除去するため、5%希塩酸処理を行なったものである。酸化剤である H_2O_2 による試料処理で分解しない有機物の炭素 Co, 水素 Ho, 窒素 No の測定は、炭酸塩類を除去した試料 1~2 g に30% H_2O_2 を10~20ml 加えて放置し、1日後毎に H_2O_2 を10ml を追加して、7~10日間反応させて分解する有機物を除いた試料を用いて行なった (ROBINSON, 1927; GRIFFIN and GOLDBERG, 1975)。これらの処理による試料の重さの減量から、CHN アナライザーで得た炭素、水素、窒素の量は底質試料の乾燥重量あたりの炭素、水素、窒素の量に換算した。

酸化滴定法で測られる有機炭素 Ct の量は、硫酸強酸性下で一定量のクロム酸が試料の有機炭素と反応したあとに残るクロム酸の量を第一鉄塩液で滴定して求められる。本研究で用いた酸化滴定法は WALKLEY-BLACK 法 (WALKLEY, 1947; GAUDETTE *et al.*, 1974) である。この方法では、石炭、木炭、石墨などの炭素 (elemental carbon) はほとんど測定されないため、CHN アナライザー (乾式燃焼法) による有機炭素 C の量と酸化滴定法による有機炭素 Ct の量の差は、試料中の石炭、木炭、石墨などの炭素量を示すものと考えられる。なお、WALKLEY-BLACK 法では試料とした石炭、木炭の炭素が測定される量は11%、コークスの炭素が測定される量は2%である (WALKLEY, 1947)。また、田口 (1960) によると、elemental carbon は less active carbon あるいは inert carbon に相当する。

砂粒組成 (鎌田, 1966) の分析は、双眼顕微鏡下における鑑定が容易である1.5~1φ (0.35~0.5 mm) 径の砂粒について、1試料につき、400個を鑑定した。



第2図 長崎湾の堆積物の中央粒径値 $Md\phi$ および Sand-Silt-Clay ratio による三角ダイアグラム

Fig. 2. Contour map of median diameter in phi unit and ternary diagram showing Sand-Silt-Clay ratio of the sediment samples in the Nagasaki bay.

4. 結果と考察

4.1 底質の粒度組成

底質の粒度組成を示す代表値としてよく用いられる中央粒径値 Md の等値線図および砂—シルト—粘土の3成分比率を表す三角ダイアグラム (SHEPARD, 1954) を描いた (第2図)。また、港内・港外および全地域における中央粒径値, 炭酸カルシウム量, 含泥量および強熱減量の平均値と範囲は第1表にまとめている。

Md が 4ϕ 以上である粗粒～中粒シルトの底質は、港外の地域の中央部に広く分布し、港口部付近まで広がっている。港口の海峡部にある St・35の底質は、 Md が 3.36ϕ の極細砂である。港内では底質は細粒となり、 Md は 4ϕ 以上になる。第1・2港区の底質は Md が 5ϕ を越える中粒～微粒シルトであり、港内における穏かな海水の流れを反映している。中央粒径値による底質の区分は、SHEPARD (1954) の分類にあてはめた場合、 Md が $-2 \sim 2\phi$ は sand (砂), $2 \sim 4\phi$ は silty sand (シルト質砂), $4 \sim 6\phi$ は sandy silt (砂質シルト), 6ϕ 以上は clayey silt (粘土質シルト) とほぼ一致する。

長崎湾のように湾奥部に Md が 6ϕ 以上の粘土質シルトが分布する湾は、九州北西部では伊万里湾・大村湾 (鎌田・近藤・堤, 1980) や有明海 (鎌田・近藤・津留, 1979a; 鎌田他, 1979b) である。瀬戸内海では、 Md が 6ϕ 以上の細粒のシルト質である底質が分布する海域は、周防灘, 別府湾, 広島湾, 燧灘, 大阪湾などである。これらの湾の中央部周辺や湾奥の海域は、海水の流れが弱く停滞気味な海域であることが知られている (谷本・川名・山岡, 1984)。

第1表 長崎湾の堆積物における中央粒径値, 含泥量, 炭酸カルシウム量および強熱減量 (平均値と範囲)

Table 1. The mean and range values of the median diameter, mud content, calcium carbonate and ignition loss of the sediment samples.

| 地域 (試料数) | Md ϕ | Mud content % | CaCO ₃ content % | Ignition loss % |
|--------------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 長崎港外 (32) | 3.39* -1.72—5.62 | 39.74* 1.83—75.15 | 32.80 8.17—70.05 | 7.30 1.93—13.40 |
| 長崎港内 (24) | 4.65** 0.26—7.62 | 58.36** 13.91—96.99 | 20.28 8.93—61.81 | 10.98 4.74—18.86 |
| 全地域 (56) | 3.91 -1.72—7.62 | 47.39 1.83—96.99 | 27.43 8.17—70.05 | 8.87 1.93—18.86 |

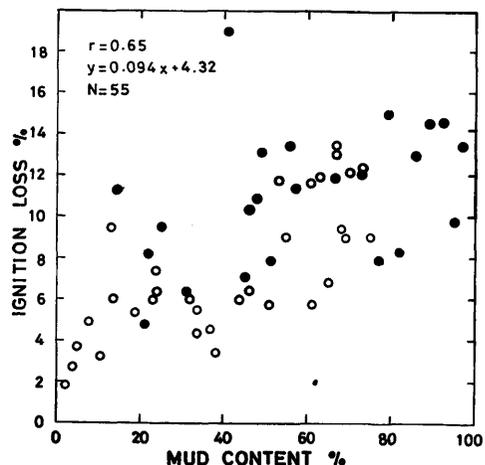
* st. 1を含む。

** st.54を除く。

1961年に鎌田 (1964) によってなされた長崎湾の底質調査では, 港内・外の底質の中央粒径値の多くは, 5 ϕ 付近にあり, 港奥部 (第1・2港区) でも Md は最大値で5.5 ϕ であり6 ϕ を越えていない。したがって, 今回の底質調査では Md は6 ϕ を越え, 底質の粘土量は1961年の調査の時よりも多くなっていることになる。1961年以後, 長崎港の海況に変化を及ぼすと思われる工事は, 1969年に完成した香焼島一深掘間の海峡の埋立地造成である。しかし, 埋立て後に港内の潮流の速さはすでに述べたが, 殆んど変わらないと推測されているので, 海況の変化によって底質中の粘土が増加したとは考えられない。今回の調査で中央粒径値が1961年の調査による値より大きくなったのは, おそらく粒度分析法の違いによるものと思われるがさらに検討を要する。

4.2 強熱減量

強熱減量の測定は, 底質に含まれる有機物量を迅速に知る方法として広く行なわれている。最近では DEAN (1974) による強熱減量の測定法がよく用いられている (鎌田・西岡・木寺, 1978; 氏家・興津, 1979; 谷本・川名・山岡, 1984)。しかし, 強熱減量は試料中の有機物含有量の概略を知るのに便利であるが, 強熱減量の結果は, 試料中の有機物の消失による減量以外に結晶水の消失によってももたらされ, また試料中の2価鉄の酸化物 (FeO) が3価鉄 (Fe₂O₃) への酸化反応によって重量の増加も行なわれるので, 強熱減量の正確な意味は複雑である (小山, 1982) とされる。有機物粒子は細粒の鉱物粒子に似た沈積



第3図 強熱減量と含泥量との関係
(●: 長崎港内, ○: 港外)

Fig. 3. The relationship between ignition loss and mud content.
(●: inner harbor, ○: outer harbor)

速度をもつため、堆積物の有機物量は粒度組成が細粒となるに従い増大することが知られている (TRASK, 1939)。そのため堆積物の強熱減量は、含泥量と正の相関を示すであろうと考えられる。長崎湾の底質試料においても、強熱減量と含泥量は正の相関を示している (第3図)。

港内の試料の強熱減量は、港外の試料の値と比較して含泥量に対する値が高い。全体として港内の底質は、港外の底質に比べて有機物を多く含有していると言える。強熱減量の平均値は、港内の24試料で10.98%、港外の32試料で7.30%、全試料で8.87%である。強熱減量の最大値は港奥部の st. 55の底質であり、18.86%を示している (第1表)。

諫早湾の干潟堆積物26個の強熱減量は、平均7.86%で6.57~11.79%の範囲にある (鎌田・西岡・木寺, 1978)。また、瀬戸内海で採取された約200個の表層底質の強熱減量は、約1~12%の範囲にある (谷本・川名・山岡, 1984)。長崎湾における56個の底質の強熱減量は1.93~18.86%の範囲にあり、そのうちの13個の底質の強熱減量は、諫早湾や瀬戸内海の底質における最大値約12%を越える高い値である。

4.3 CHN 組成

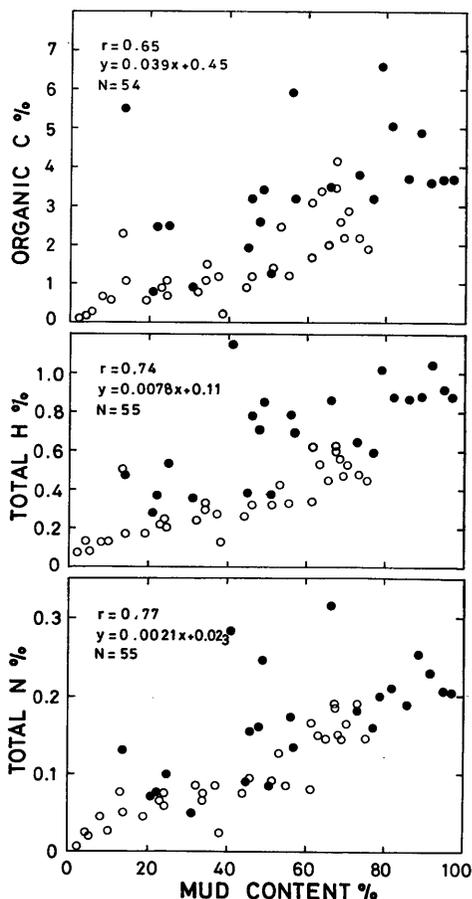
有機物の構成元素である有機炭素C、全水素H、全窒素Nの量は、強熱減量と同じように含泥量にたいしてそれぞれ正の相関を示している (第4図)。港内の試料のC、H、N量は、港外の試料と比較して含泥量にたいする値が高いことも、強熱減量における場合と同様である。測定されたC、H

第2表 強熱減量にたいする有機炭素C、全水素H、全窒素N、酸化滴定法による有機炭素の割合 (%) (平均値と範囲)

Table 2. The mean and range values of the percentage of organic carbon, total hydrogen, total nitrogen and organic carbon by titration method for the ignition loss of the sediment samples.

| 地域 (試料数) | Organic C | Total H | Total N | Titration C |
|--------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|
| | Ig. loss | Ig. loss | Ig. loss | Ig. loss |
| 長崎港外 (32) | 20 5-32 | 4.5 2.2-6.7 | 1.2 0.3-2.1 | 18 12-39 |
| 長崎港内 (24) | 33 14-63 | 6.4 4.3-10.6 | 1.5 0.8-2.7 | 24* 7-31 |
| 全地域 (56) | 26 5-63 | 5.3 2.2-10.6 | 1.4 0.3-2.7 | 20* 7-39 |

* st. 48, 49を除く。



第4図 有機炭素C、全水素H、全窒素Nの量と含泥量との関係 (●:長崎港内, ○:港外)

Fig. 4. The relationship between organic carbon, total hydrogen, total nitrogen and mud content. (●: inner harbor, ○: outer harbor)

第3表 長崎湾の堆積物の有機炭素 C, 全水素 H, 全窒素 N, H₂O₂ 処理試料の炭素 Co, 水素 Ho, 窒素 No および酸化滴定法による炭素 Ct (平均値と範囲)

Table 3. The mean and range values of the organic carbon, total hydrogen, total nitrogen and carbon, hydrogen, nitrogen after the treatment with H₂O₂ and organic carbon by titration method.

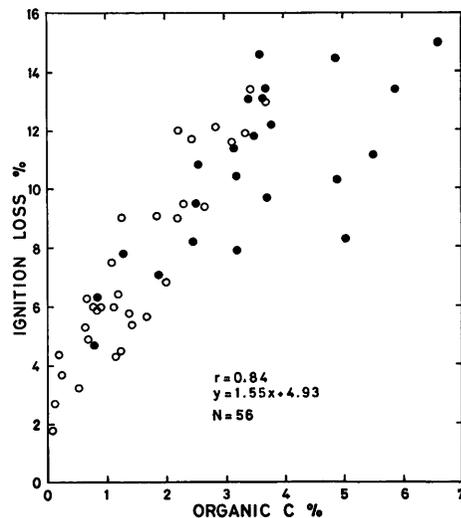
| 地域 (試料数) | Elementary composition % | | | Org. C Total N | H ₂ O ₂ Treatment Elementary composition % | | | Titration- method Org. C % |
|--------------|--------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|---|--------------------|-----------------------|----------------------------------|
| | Organic C | Total | | | C ₀ | H ₀ | N ₀ | |
| | | H | N | | | | | |
| 長崎港外 (32) | 1.57 0.09-4.18 | 0.33 0.07-0.63 | 0.095 0.006-0.192 | 15.86 6.25-30.53 | 0.52 0.01-2.28 | 0.22 0.05-0.59 | 0.029 0.003-0.074 | 1.35 0.20-2.89 |
| 長崎港外 (24) | 3.84 0.82-11.84 | 0.70 0.28-1.14 | 0.168 0.052-0.316 | 23.06 11.17-42.06 | 1.14* 0.27-2.93 | 0.46* 0.21-0.69 | 0.028* 0.008-0.054 | 2.74** 0.82-5.40 |
| 全地域 (56) | 2.54 0.09-11.84 | 0.49 0.07-1.14 | 0.126 0.006-0.316 | 18.95 6.25-42.09 | 0.76 0.01-2.93 | 0.31 0.05-0.69 | 0.029 0.003-0.074 | 1.92 0.20-5.40 |

* st. 48, 49, 55を除く。

** st. 48, 49を除く。

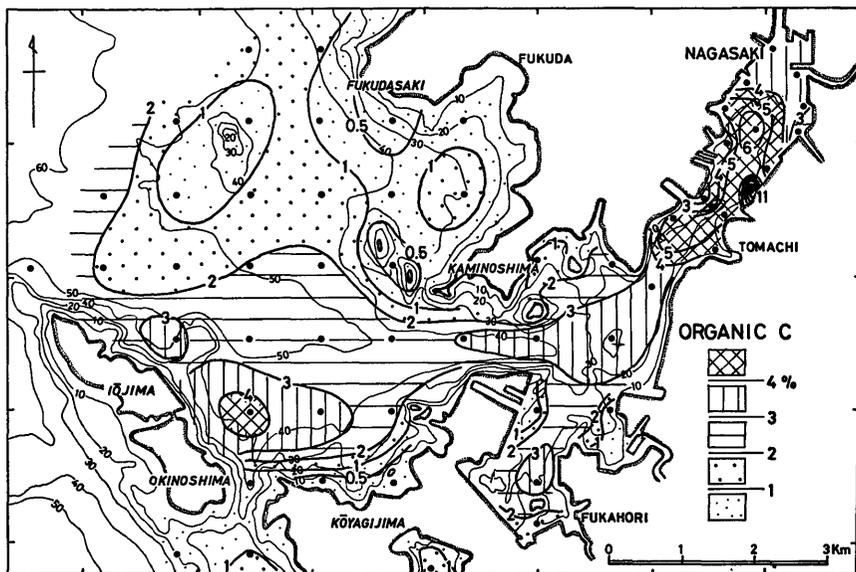
N量と底質が含むおおよその有機物量を与える強熱減量との割合(%)は、全地域の平均値ではCが26%, Hが5.3%, Nが1.4%である(第2表)。DEAN(1974)が50個の湖底堆積物で調べた有機炭素Cと強熱減量の関係は、平均して有機炭素:強熱減量=1:2.13±0.4であり、長崎湾の底質にみられる両者の関係と一致しない。また、TRASK(1939)によると、5%以下の炭酸カルシウムを含む海底堆積物では、有機物量(有機炭素×1.8)=強熱減量×(強熱減量+10)÷40の関係が経験的に知られているが、長崎湾の試料のC量と強熱減量の関係は、TRASKの経験的な式とよく一致している。ただし、長崎湾の底質は8.17~70.05%の炭酸カルシウムを含むが、ここで用いたDEAN法では炭酸カルシウムの分解による強熱減量の増大はないので、長崎湾におけるC量と強熱減量の関係をTRASKの式と比較してもよいであろう。

長崎湾の底質における有機炭素Cの分布は第6図に示した。港内の7地点の底質のC量は4%を越える特徴的な分布状態を示している。そのうちst. 55の底質のC量は、長崎湾の最大値11.84%である。一方、港外では4%を越えるC量は伊王島東方の



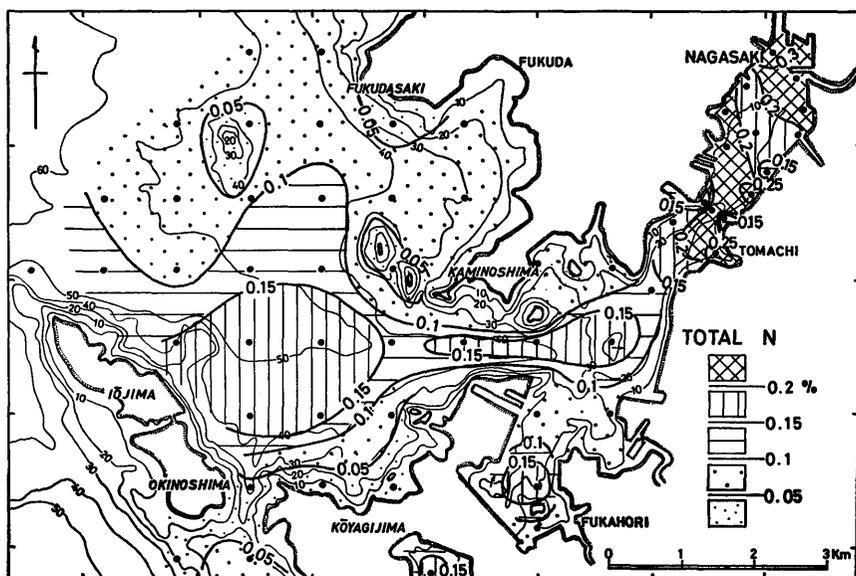
第5図 強熱減量と有機炭素Cの関係
(●: 長崎港内, ○: 港外)

Fig. 5. The relationship between ignition loss and organic carbon.
(●: inner harbor, ○: outer harbor)



第6図 長崎湾における有機炭素Cの分布

Fig. 6. Areal distribution of organic carbon of the sediment samples in the Nagasaki bay.



第7図 長崎湾における全窒素Nの分布

Fig. 7. Areal distribution of total nitrogen of the sediment samples in the Nagasaki bay.

第4表 九州周辺海域の堆積物の CHN 組成の比較 (平均値と範囲)

Table4. The mean and range values of the organic carbon, total hydrogen, total nitrogen content and C/N ratio of the nearshore marine sediments around the Kyushu.

| 地 域 (試料数) | Organic C % | Total H % | Total N % | Org. C Total N |
|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| 長 崎 湾 (56) | 2.54 0.09—11.84 | 0.60 0.07—1.14 | 0.126 0.006—0.316 | 18.95 6.25—42.09 |
| 伊 万 里 湾 (19) | 2.29 0.72—4.43 | 0.62 0.21—0.90 | 0.19 0.06—0.25 | 12.30 8.55—17.72 |
| 富 江 湾 (27) | 0.306 0.061—0.752 | 0.062 0.009—0.154 | 0.042 0.009—0.093 | 7.06 5.58—8.94 |
| 五 島 灘 (52) | 0.430 0.033—1.905 | 0.157 0.008—0.396 | 0.052 0.002—0.151 | 8.69 3.32—36.01 |
| 日 向 灘 (42) | 0.34 0.09—0.61 | 0.25 0.16—0.31 | 0.052 0.025—0.082 | 6.12 3.33—8.20 |

st. 14の底質だけであり、そのC量は4.18%である。港の最奥部で、浦上川や中島川が沿ぎこむ海域の底質はやや粒径が粗くなり、C量は4%より低い値となっている。

底質に含まれるN量が高い地点と粒径が細かく含泥量が高い底質の地点は、おおよそ一致している。N量の分布図(第7図)は、C量の分布図と同じく底質の中央粒径値の等値線図とよく対応している。ただし、港の最奥部の浦上川、中島川が沿ぐ海域にあるやや粒径が粗い底質はN量が高く、st. 50におけるN量は湾内の最大値0.316%を示している、この付近の底質は窒素に富む有機物を多く含んでいると考えられる。

つぎに九州周辺海域の底質中のCHN組成の平均値と範囲を第4表に要約した。長崎湾の底質のC, H, N量およびC/N比の平均値は、他の4海域の底質の値より大きい。また、C, H, N量, C/N比の最大値はいずれも長崎湾の底質試料にみられる。

長崎港の第1・2港区の底質は3%以上のC量, 0.2%以上のN量を示しているが、ほぼ同じC, N量を示す底質は、有機汚染が進んでいると考えられる次の海域に分布している。東京湾では中央部～湾奥部の泥質堆積物の有機炭素量は3%を越え、一部では4%を越えている(松本, 1982)。また、瀬戸内海全域では441地点から採取された表層堆積物の窒素量は、0.00～0.30%, 有機炭素量は0.06～3.91%の範囲にあり、別府湾, 周防灘, 広島湾, 燧灘, 播磨灘のシルト～粘土質の底質は0.2%以上の窒素を含み、これらの湾や灘の奥部の底質は3%以上の有機炭素量を含んでいる(塩沢他, 1979)。

海底堆積物中の有機物のC/N比は、アメリカ大陸縁辺部の大西洋の堆積物では1～25の範囲で、その中央値はおおよそ7.0である(EMERY and UCHUPI, 1972)。また、TRASK(1939)によると海底堆積物のC/N比は8～12の範囲にあり、平均値は10, 極値は5.5と20である。瀬戸内海全域の表層底質のC/N比は、8.3～20.6であり平均は約11であり、C/N比が15以上の値をもつ底質は、燧灘東部沿岸(C/N比は20.6), 別府湾西部沿岸(C/N比は15.8), 周防灘西部沿岸の3地点にある(塩沢他, 1979)。長崎湾では底質のC/N比は、20地点において20を越える特異な値を示している。あとで述べるが高いC/N比を

示す原因となる有機物は、底質に含まれる植物破片、石炭、木炭、コークスなどの炭質物粒子であると考えられる。なお、製紙工場からのパルプ排水流入域の底質の C/N 比は異常に高い値をとる例が知られている (山岡, 1978; RASHID and REINSON, 1979)。しかし、長崎湾の周辺地域に製紙工場はみられない。

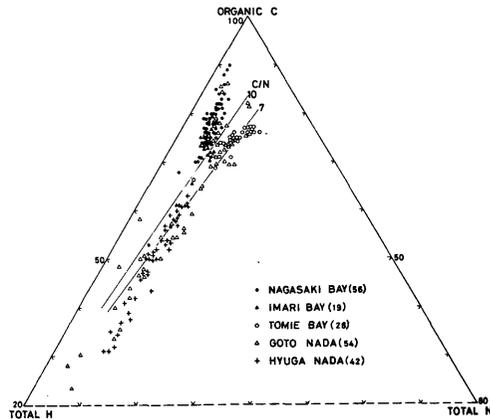
CHN 組成の3成分比 (第8図) において、長崎湾の試料はC量の割合がとくに高くなっている。C-H-N 三角ダイアグラムにおいて長崎湾の底質と同じところには、伊万里湾 (鎌田・近藤・堤, 1980) や五島灘西部海域の石炭微粒子が認められる底質もプロットされている。

H₂O₂ 処理後の試料を CHN アナライザーで測定した水素 Ho, 窒素 No は、H₂O₂ 処理では分解しない有機物の水素、窒素以外に、試料の結晶水の水素や無機窒素化合物の窒素を含むと考えられる。また、H₂O₂ 処理による分解をしない炭素 Co は、elemental carbon に由来するものと考えられている (GRIFFIN and GOLDBERG, 1975; SMITH *et al.*, 1975)。

長崎湾の底質の H₂O₂ 処理試料の Co, Ho, No 量と有機炭素 C, 全水素 H, 全窒素 N の割合 (%) の平均値と範囲を第5表に示す。港外の底質に比べ、港内の底質の有機物は、H₂O₂ 処理で分解し難い炭素が多く、窒素は分解し易い性質をもつ。ただし、港の奥の st. 50~54の5試料は Co, No の割合は平均してともに14%と低く、H₂O₂ による分解が容易な有機物を多く含有している。

4.4 酸化滴定法による有機炭素

石炭・木炭・石墨などに由来する炭素と考えられる elemental carbon は、酸化滴定法のひとつである WALKLEY-BLACK 法ではほとんど測定されないことを利用して、ALLISON (1935) や WALKLEY (1947) は土壤有機物中の有機炭素から elemental carbon を、また、田口 (1960) は、堆積岩試料より炭酸塩炭素を除く炭素である有機炭素



第8図 長崎湾の堆積物の C-H-N 三角ダイアグラム

Fig. 8. Organic carbon-total hydrogen-total nitrogen ternary diagram of the nearshore marine sediments around the Kyushu.

第5表 有機炭素C, 全水素H, 全窒素Nにたいする H₂O₂ 処理試料の炭素 Co, 水素Ho, 窒素 No の割合 (%) (平均値と範囲)

Table 5. The mean and range values of the percentage of carbon, hydrogen and nitrogen after the treatment with H₂O₂ for organic carbon, total hydrogen and total nitrogen, respectively.

| 地 域 (試料数) | Co | Ho | No |
|---------------|------------|--------------|------------|
| | Org. C % | Total H % | Total N % |
| 長崎港外 (32) | 27 7-51 | 67 43-111 | 35 7-95 |
| 長崎港内 (21) | 33 9-67 | 69 48-87 | 19 6-39 |
| 全 地 域 (53) | 29 7-67 | 68 43-111 | 29 6-95 |

から elemental carbon を，区分しようと試みている。

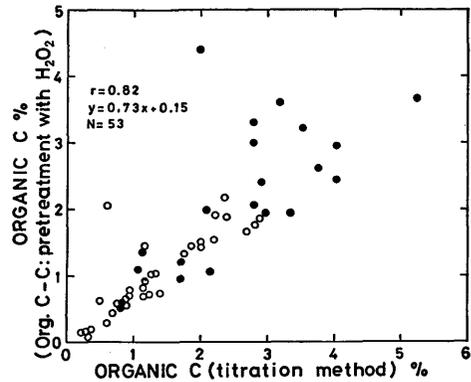
酸化滴定法による有機炭素 Ct と H₂O₂ 処理により分解して失われる炭素（有機炭素 C-Co）の関係を第9図に示した。酸化滴定法による Ct 量はやや高い値をとる傾向がみられるが，H₂O₂ 処理により分解する炭素とほぼ1：1の対応をなし，両方法により酸化される底質中の有機物の量はほぼ同じであることを示している。

すでに述べたように，CHN アナライザーで測定される有機炭素 C と酸化滴定法による有機炭素 Ct の差は，石炭・石墨・木炭・コークスなどの炭素（elemental carbon）を示すと考えられている。また，H₂O₂ 処理で分解しない有機物の炭素 Co もまた，同様な炭質物をつくる炭素（elemental carbon）を示すであろう。長崎湾の54個の底質試料のうち，20個の試料の Ct 量は，C 量より高い値であり，これは酸化滴定法による Ct 量の測定は誤差が大きいため生じたと思われる。第10図に C-Ct 量と Co 量の関係を示した。両者の間には正の相関が認められる。なお，C-Ct または Co が石炭，木炭，コークスの炭素量を表わしているとみなした場合，長崎湾の底質に含まれるそれらの炭質物の量は有機炭素 C 量の約30%以下である。

本研究で用いた WALKLEY-BLACK 法による有機炭素の正確な測定法については問題があると思われるが，それに関する報告は次のとおりである。

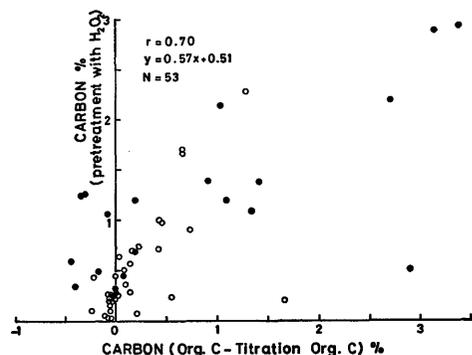
試料中に塩化物や炭酸カルシウムがあると有機炭素は大きめの値となる（WALKLEY, 1947）。WALKLEY-BLACK 法による有機炭素の回収は，平均して78%であり，1.3の補正係数を使用したとしても，分析値の誤差は大きい（BREMNER and JENKINS, 1960）。

WALKLEY-BLACK 法による有機炭素と乾式燃焼法による有機炭素の間には，相関係数0.989，勾配0.992，切線0の一次直線関係がある（GAUDETTE *et al.*, 1974）。



第9図 酸化滴定法による有機炭素 Ct と H₂O₂ 処理により分解する炭素（有機炭素 C-Co）の関係

Fig. 9. The relation between organic carbon by titration method and organic carbon of the organic matter decomposed by pretreatment with H₂O₂.



第10図 H₂O₂ 処理により分解しない炭素 Co と有機炭素 C より酸化滴定法の炭素 Ct を差引いた炭素との関係

Fig. 10. The relation between the carbon not degraded by pretreatment with H₂O₂ and the carbon that subtracts organic carbon of titration method from organic carbon.

乾式燃焼法と比較して、WALKLEY-BLACK 法による有機炭素の回収率は76.6%であり、WALKLEY-BLACK 法は正確な有機炭素の測定に適さない (BYERS *et al.*, 1978)。

4.5 炭質物粒子の分布

化学的な処理による分析によって、長崎湾の底質には elemental carbon を構成する石炭などの炭質物が含有されることが示された。そこで肉眼的鑑定が容易である 1.5~1φ (0.35~0.5mm) 径の中粒砂を対象として、双眼顕微鏡下で観察した結果、次の炭質物粒子が認められた。

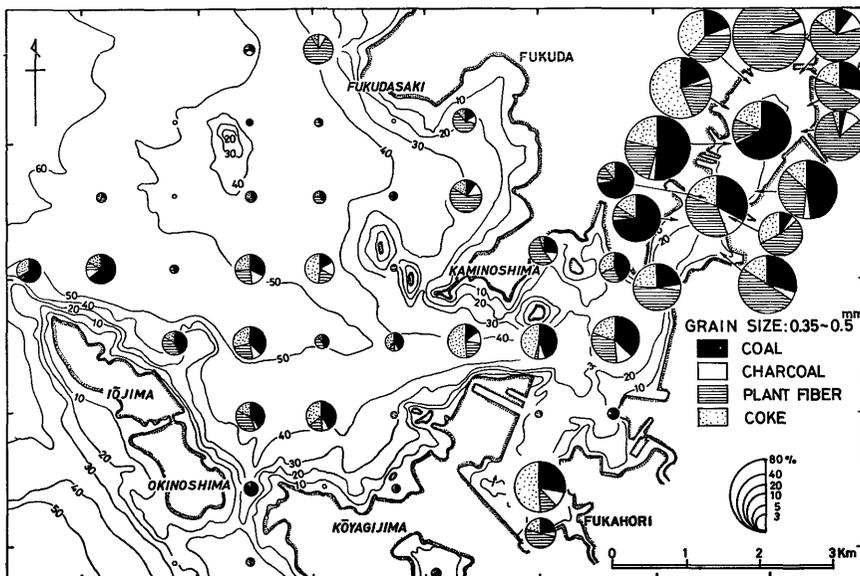
石炭：黒色，ガラス光沢をもつ。硬質であり劈開は認められない。角張っている。

木炭：黒色，植物繊維の構造をもつ。軽く軟くて壊れやすい。

植物破片：淡褐色～淡黄色，植物繊維の構造が明瞭である。少量の動物組織の破片もこれに含めている。なお，これらは H₂O₂ 処理により分解する。

コークス：黒色，ガラス光沢～金属光沢を呈する。発泡跡と思われる丸い穴が多い。

長崎湾における炭質物粒子の分布は、第11図に示している。各地点での円の大きさは、全砂粒に占める石炭，木炭，植物破片，コークスの数を合計した割合 (%) である。長崎港内で炭質物粒子が占める割合が高いのは，その地域に供給される炭質物粒子が多いこと，泥質堆積物に比重が小さい有機物粒子が集まりやすいこと，泥質堆積物では鉱物粒子，石灰質生物遺骸が少なく，それによる希釈が少ないことなどの理由によると考えられる。伊王島東方の st. 13, 14, 22などの底質中の石炭粒子は，伊王島鉱業所 (1972年閉



第11図 長崎湾の堆積物中の石炭，木炭，植物破片およびコークスの分布

Fig. 11. Areal distribution of coal, charcoal, plant fiber and coke in the medium sand fraction of the bottom sediment samples in the Nagasaki bay.

山)の洗炭汚水や海岸付近のボタから流れ込んだものであろう。長崎港内の底質中の石炭粒子やコークス粒子は、以前に燃料用、産業用に運搬され使用された石炭やコークスの破片が流れ込んだものと考えられる。1961年頃における長崎港の状況は、海底堆積物のいたる所に石炭のかけらや炭がらがまじっている他、もみがら、魚鱗などのごみで著しく汚染されている(鎌田, 1964)と報告されている。

最近、九州北西部の海底堆積物は、炭鉱の洗炭汚水やボタ山の侵食により運ばれた石炭微粒子を含み、有機炭素に富んでいることが報告されている(鎌田・近藤, 1984)。同様の原因で、北海道石狩湾の堆積物にも石炭微粒子が含まれている(大嶋・横田, 1978)。また、産業廃棄物の投棄や都市の生活排水の流れ込みにより湾内の底質が汚染され、石炭やコークス粒子が底質のなかに認められる海域は、アメリカのボストン港(MENCHER *et al.*, 1968)やニューヨーク港(GROSS, 1972)などに知られている。

5. ま と め

1981年10月長崎湾において、「香焼町下水道処理排水流入水域における環境事前調査」が行われ、長崎港内、港外より57個の底質試料が採取された。底質の粒度組成、強熱減量、CHN組成、酸化滴定法による有機炭素の測定および炭質物粒子の観察を行なった。

(1) 長崎港内には中央粒径値 Md が4~8φである砂質~粘土質シルトが広く分布している。一方、外洋水が流入する港外には石灰質生物遺骸に富むシルト質砂~砂が広く分布し、とくに湾中央部の深所には Md が4~6φである砂質シルトが分布している。

(2) おおよその有機物量をあらわす強熱減量の平均値は、港内の底質で10.98%、港外の底質で7.30%、全地域の底質で8.87%である。また、強熱減量は底質の含泥量と正の相関を示している。

(3) 有機炭素 C, 全水素 H, 全窒素 N 量の平均値は、港内の底質で C:3.84%, H:0.70%, N:0.168%, 港外の底質で C:1.57%, H:0.33%, N:0.095%である。全地域の底質の C/N 比は、平均値18.95である。これはこれまでに調査された九州北西部の海域における底質と比較して最も高い値である。

(4) H₂O₂ 処理試料の炭素 Co, 水素 Ho, 窒素 No が有機炭素 C, 全水素 H, 全窒素 N に占める割合の平均値は、港外の底質試料では Co:27%, Ho:67%, No:35%であり、港内の底質試料では Co:33%, Ho:69%, No:19%である。港外の底質の有機物と比較すると、港内の底質中の有機物は、炭素については H₂O₂ 処理で分解し難く、窒素については H₂O₂ 処理で分解し易い性質をもっている。

(5) 長崎湾の底質において、CHN アナライザー(乾式燃焼法)で測定される有機炭素 C と酸化滴定法による有機炭素 Ct の含有量の差により求められる炭素、および H₂O₂ 処理後の試料の炭素 Co は、石炭、木炭、コークスなどの炭質物に由来する炭素と考えられる。これらの炭質物に由来する炭素の量は、有機炭素 C 量の約30%以下である。

(6) 港内の底質試料について、1.5~1φ(0.35~0.5 mm)の中粒砂の砂粒分析を行ない、石炭、木炭、植物破片、コークスの炭質物粒子が認められた。

参 考 文 献

- ALLISON, L. E. (1935) : Organic soil carbon by reduction of chromic acid. *Soil Science*, **40**, 311—320.
- 東 幹夫 (1980) : 長崎湾の底質と底生生物の現況 香焼町下水道処理排水流入水域における環境事前調査補充報告書 1—44.
- (1983) : 長崎湾における底質汚染の現状 香焼町下水道処理排水流入水域における環境事前調査第2回補充報告書 1—60.
- BYERS, S. C., MILLS, E. L. and STEWART, P. L. (1978) : A comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestions for standard method. *Hydrobiologia*, **58**, 1, 43—47.
- DEAN, W. E. (1974) : Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition : Comparison with other methods. *Jour. Sed. Petrol.*, **44**, 1, 242—248.
- EMERY, K. O. and UCHUPI, E. (1972) : Western north atlantic ocean : Topography, rocks, structure, water, life and sediments. Tulsa, Oklahoma.
- GAUDETTE, H. E., FLIGHT, W. R., TONER, T. and FOLGER, D. W. (1974) : An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Jour. Sed. Petrol.*, **44**, 1, 249—253.
- GROSS, M. G. (1972) : Geological aspects of waste solids and marine waste deposits, New York metropolitan region. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **83**, 3163—3176.
- GRIFFIN, J. J. and GOLDBEGR, E. D. (1975) : The fluxes of elemental carbon in coastal marine sediments. *Limnol. Oceanog.*, **20**, 456—463.
- 服部明彦 (1983) : 東京湾の海洋環境 一海水循環と環境要因の概観一 *地球化学* **17**, 16—26.
- 鎌田泰彦 (1964) : 長崎湾の底質と貝類遺骸群集 *長崎大学学芸自然科学研報* **15**, 97—104.
- (1966) : 干々石湾茂木沖の海底堆積物の砂粒組成 *同上* **17**, 45—54.
- ・西岡幸一・木寺久美子 (1978) : 長崎県諫早湾の干潟堆積物の強熱減量 (海底堆積物の強熱減量—その1) *長崎大学教育自然科学研報* **29**, 81—90.
- ・近藤 寛・津留美恵子 (1979 a) : 有明海沿岸の干潟堆積物の予察的研究 *同上* **30**, 75—92.
- ・———・西岡幸一・山田瑞枝・山下康夫・藤田孟男 (1979 b) : 有明海北部の干潟堆積物の粒度組成と有機物 *日本地質学会西日本支部報* **69**, 1—2.
- ・———・堤由美子 (1980) : 九州北西部伊万里湾・大村湾の底質と CHN 組成 *長崎大学教育自然科学研報* **31**, 63—82.
- ・——— (1984) : 九州北部沿岸海底の表層堆積物中に含まれる石炭微粒子の分布 1984年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集 283.
- 小山忠四郎 (1982) : 水質・底質化学分析法 成文堂 1—238.
- MENCHER, E., COPELAND, R. A. and PAYSON, H. Jr. (1968) : Surficial sediments of Boston harbor, Massachusetts. *Jour. Sed. Petrol.*, **38**, 1, 79—86.
- 長崎県水産試験場 (1971) : 長崎湾および周辺漁場環境保全基礎調査報告 1—102.
- 長崎市環境保全部 (1984) : 昭和58年度環境保全行政 1—266.
- 大嶋和雄・横田節哉 (1978) : 北海道石狩湾の堆積物 *地調月報* **29**, 8, 1—29.
- ・井上英二・小野寺公児・湯浅真人・黒田 敬 (1982) : 対馬一五島周辺海域の堆積物 *同上*

- 33**, 7, 321—350.
- RASHID, M. A. and REINSON, G. E. (1979) : Organic matter in surficial sediments of the Miramichi estuary, New Brunswick, Canada. *Estuarine and Coastal Marine Science*, **8**, 23—36.
- ROBINSON, W. O. (1927) : The determination of organic matter in soils by means of Hydrogen Peroxide. *Jour. Agr. Res.*, **34**, 339—356.
- 西條八束編 (1984) : 内湾の環境科学 (上) 培風館, 1—62.
- SHEPARD, F. P. (1954) : Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Jour. Sed. Petrol.*, **24**, 2, 165—168.
- 塩沢孝之・川名吉一郎・星加 章・谷本照己・滝村 修 (1979) : 瀬戸内海の底質 中国工業技術試験所報告 4, 1—24.
- SMITH, D. M., GRIFFIN, J. J. and GOLDBELG, E. D. (1975) : Spectrometric method for the quantitative determination of elemental carbon. *Analytical Chemistry*, **47**, 2, 233—238.
- 田口一雄 (1960) : 秋田・山形県境附近の海成油岩 C/N 比, ならびに堆積岩の C/N 比に関する 2, 3 の考察 石油技術協会誌 **25**, 3, 105—113.
- 谷本照己・川名吉一郎・山岡到保 (1984) : 瀬戸内海における底質の粒度組成と有機物 中国工業技術試験所報告 21, 1—11.
- TRASK, P. D. (1939) : Organic content of recent marine sediments. *Recent Marine Sediments, A Symposium*. Am. Assoc. Petrol. Geol., 428—453.
- 辻田時美 (1956) : 長崎湾 長崎市制六十五年史 前編, 298—308.
- 氏家 宏・興津昌宏 (1979) : 沖縄本島・中城湾の底質解析 海洋科学 **11**, 12, 1008—1018.
- WALKLEY, A. (1947) : A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils—effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, **63**, 251—264.
- 山岡到保 (1979) : 広湾クラフトパルプ工場排水口付近の底質中の有機物の分析 中国工業技術試験所報告 4, 75—84.
- 安井善一・山野省三 (1947) : 長崎港の潮流 海象と気象 **1**, 5, 14—17, 長崎海洋気象台.

付表1 長崎湾の堆積物の粒度組成, CHN 組成および強熱減量

| Station | Depth m | CaCO ₃ content % | Mdφ | Mud content % | Elementary composition % | | | Total CHN % | Org.C Total N | H ₂ O ₂ Treatment Elementary composition % | | | Ignition Loss % | Titration -method Org.C % |
|---------|------------|-----------------------------------|-------|---------------------|--------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|---|----------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|
| | | | | | Organic C | Total | | | | C ₀ | H ₀ | N ₀ | | |
| | | | | | | H | N | | | | | | | |
| 1 | 30 | — | -1.72 | 2.08 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | 57 | 52.09 | 2.80 | 37.46 | 1.17 | 0.27 | 0.086 | 1.526 | 13.60 | 0.44 | 0.16 | 0.011 | 4.49 | 1.40 |
| 3 | 56 | 27.46 | 4.22 | 52.66 | 2.46 | 0.42 | 0.125 | 3.005 | 19.68 | 1.00 | 0.32 | 0.074 | 11.69 | 2.02 |
| 4 | 52 | 70.05 | 1.54 | 24.31 | 1.09 | 0.21 | 0.075 | 1.375 | 14.53 | 0.27 | 0.12 | 0.036 | 7.45 | 1.15 |
| 5 | 43 | 27.81 | 2.54 | 23.44 | 0.87 | 0.22 | 0.066 | 1.156 | 13.18 | 0.22 | 0.16 | 0.031 | 5.93 | 0.89 |
| 6 | 56 | 21.52 | 3.00 | 33.53 | 1.14 | 0.29 | 0.077 | 1.507 | 14.81 | 0.45 | 0.20 | 0.015 | 4.30 | 1.14 |
| 7 | 50 | 29.69 | 4.96 | 62.54 | 3.36 | 0.53 | 0.151 | 4.041 | 22.25 | 1.70 | 0.59 | 0.069 | 11.90 | 2.70 |
| 8 | 36 | 18.91 | 0.90 | 10.02 | 0.56 | 0.13 | 0.027 | 0.717 | 20.74 | 0.27 | 0.11 | 0.018 | 3.19 | 0.62 |
| 9 | 52 | 26.69 | 3.81 | 46.33 | 1.21 | 0.32 | 0.097 | 1.627 | 12.47 | 0.26 | 0.23 | 0.050 | 6.43 | 1.18 |
| 10 | 48 | 38.06 | 2.36 | 19.37 | 0.64 | 0.17 | 0.045 | 0.855 | 14.22 | 0.20 | 0.11 | 0.003 | 5.33 | 0.71 |
| 11 | 48 | 37.46 | 4.10 | 51.23 | 1.42 | 0.32 | 0.090 | 1.830 | 15.78 | 0.37 | 0.22 | 0.065 | 5.76 | 1.32 |
| 12 | 50 | 32.15 | 5.07 | 64.59 | 2.02 | 0.45 | 0.145 | 2.615 | 13.93 | 0.57 | 0.29 | 0.030 | 6.77 | 1.88 |
| 13 | 52 | 33.40 | 5.36 | 70.31 | 2.86 | 0.53 | 0.164 | 3.554 | 17.44 | 0.97 | 0.32 | 0.034 | 12.12 | 2.40 |
| 14 | 47 | 32.25 | 5.19 | 66.60 | 4.18 | 0.63 | 0.183 | 4.993 | 22.84 | 2.28 | 0.42 | 0.056 | 12.96 | 2.89 |
| 15 | 33 | 66.30 | 1.61 | 7.72 | 0.71 | 0.13 | 0.046 | 0.886 | 15.43 | 0.08 | 0.06 | 0.022 | 4.86 | 0.50 |
| 16 | 30 | 68.08 | 2.12 | 14.22 | 1.08 | 0.17 | 0.052 | 1.302 | 20.77 | 0.29 | 0.10 | 0.014 | 5.96 | 0.94 |
| 17 | 44 | 27.91 | 4.39 | 55.24 | 1.24 | 0.33 | 0.087 | 1.657 | 14.25 | 0.20 | 0.22 | 0.020 | 8.97 | 1.27 |
| 18 | 46 | 17.53 | 2.76 | 31.82 | 0.81 | 0.24 | 0.087 | 1.137 | 9.31 | 0.24 | 0.17 | 0.024 | 6.01 | 0.87 |
| 19 | 48 | 30.81 | 5.22 | 75.15 | 1.85 | 0.45 | 0.147 | 2.447 | 12.59 | 0.51 | 0.26 | 0.017 | 9.05 | 1.76 |
| 20 | 52 | 31.42 | 5.32 | 69.04 | 2.22 | 0.47 | 0.147 | 2.837 | 15.10 | 0.69 | 0.32 | 0.026 | 9.00 | 2.03 |
| 21 | 50 | 34.18 | 5.61 | 73.04 | 2.23 | 0.48 | 0.188 | 2.898 | 11.86 | 0.64 | 0.32 | 0.027 | 12.27 | 2.20 |
| 22 | 42 | 29.71 | 5.62 | 66.92 | 3.47 | 0.60 | 0.192 | 4.262 | 18.07 | 1.68 | 0.39 | 0.045 | 13.40 | 2.82 |
| 23 | 8 | 20.77 | 1.21 | 1.83 | 0.09 | 0.07 | 0.006 | 0.166 | 15.00 | 0.01 | 0.05 | 0.004 | 1.93 | 0.33 |
| 24 | 26 | 13.60 | 3.24 | 38.06 | 0.21 | 0.13 | 0.026 | 0.366 | 8.08 | 0.03 | 0.11 | 0.007 | 3.39 | 0.29 |
| 25 | 40 | 25.05 | 3.75 | 43.71 | 0.88 | 0.26 | 0.078 | 1.218 | 11.28 | 0.16 | 0.18 | 0.013 | 5.97 | 0.94 |
| 26 | 18 | 69.90 | 1.08 | 4.69 | 0.25 | 0.08 | 0.022 | 0.352 | 11.36 | 0.05 | 0.05 | 0.003 | 3.66 | 0.35 |
| 27 | 48 | 27.92 | 5.60 | 68.22 | 2.64 | 0.56 | 0.149 | 3.349 | 17.72 | 0.71 | 0.34 | 0.016 | 9.36 | 2.22 |
| 28 | 30 | 8.17 | 1.97 | 13.18 | 2.29 | 0.51 | 0.075 | 2.875 | 30.53 | 0.20 | 0.22 | 0.071 | 9.54 | 0.63 |
| 29 | 6 | 20.96 | 2.45 | 3.61 | 0.15 | 0.13 | 0.024 | 0.304 | 6.25 | 0.02 | 0.08 | 0.003 | 2.73 | 0.20 |
| 30 | 23 | 33.92 | 2.49 | 34.30 | 1.46 | 0.33 | 0.065 | 1.855 | 22.46 | 0.74 | 0.24 | 0.021 | 5.36 | 1.24 |
| 31 | 25 | 24.30 | 3.01 | 24.09 | 0.72 | 0.25 | 0.059 | 1.029 | 12.20 | 0.11 | 0.20 | 0.048 | 6.34 | 0.78 |
| 32 | 31 | 26.48 | 4.65 | 60.95 | 1.70 | 0.34 | 0.082 | 2.122 | 20.73 | 0.24 | 0.18 | 0.040 | 5.69 | 1.15 |
| 33 | 44 | 25.02 | 5.45 | 61.12 | 3.11 | 0.62 | 0.164 | 3.894 | 18.96 | 0.90 | 0.38 | 0.022 | 11.63 | 2.37 |
| 34 | 18 | 23.28 | 4.07 | 50.95 | 1.31 | 0.38 | 0.083 | 1.773 | 15.78 | 0.35 | 0.27 | 0.008 | 7.81 | 1.71 |
| 35 | 34 | 18.14 | 3.36 | 45.98 | 3.19 | 0.78 | 0.155 | 4.125 | 20.58 | 2.13 | 0.68 | 0.050 | 10.35 | 2.15 |
| 36 | 26 | 12.76 | 1.31 | 21.22 | 0.82 | 0.28 | 0.068 | 1.168 | 12.06 | 0.28 | 0.21 | 0.010 | 4.74 | 0.82 |
| 37 | 26 | 26.37 | 5.43 | 76.86 | 3.19 | 0.59 | 0.158 | 3.938 | 20.19 | 1.19 | 0.36 | 0.030 | 7.87 | 2.10 |
| 38 | 14 | 24.24 | 3.41 | 44.52 | 1.92 | 0.39 | 0.091 | 2.401 | 21.10 | 0.69 | 0.27 | 0.021 | 7.12 | 1.71 |
| 39 | 10 | 30.45 | 1.51 | 21.75 | 2.47 | 0.37 | 0.074 | 2.914 | 33.38 | 1.08 | 0.24 | 0.020 | 8.17 | 1.13 |
| 40 | 34 | 18.10 | 5.40 | 73.33 | 3.81 | 0.64 | 0.177 | 4.627 | 21.53 | 1.39 | 0.50 | 0.035 | 12.20 | 2.90 |
| 41 | 24 | 19.90 | 2.84 | 30.51 | 0.87 | 0.36 | 0.052 | 1.282 | 16.73 | 0.27 | 0.30 | 0.010 | 6.28 | 0.88 |
| 42 | 26 | 16.95 | 5.18 | 57.48 | 3.15 | 0.70 | 0.137 | 3.987 | 22.99 | 1.20 | 0.51 | 0.020 | 11.40 | 2.96 |
| 43 | 16 | 20.42 | 4.99 | 56.29 | 5.91 | 0.79 | 0.175 | 6.875 | 33.77 | 2.88 | 0.60 | 0.051 | 13.41 | 2.76 |
| 44 | 24 | 13.84 | 7.39 | 94.97 | 3.68 | 0.92 | 0.206 | 4.806 | 17.86 | 1.05 | 0.63 | 0.030 | 9.71 | 3.76 |
| 45 | 15 | 17.88 | 2.25 | 24.85 | 2.50 | 0.54 | 0.100 | 3.140 | 25.00 | 1.38 | 0.39 | 0.039 | 9.45 | 1.09 |
| 46 | 16 | 17.27 | 7.62 | 96.99 | 3.73 | 0.88 | 0.204 | 4.814 | 18.28 | 1.26 | 0.61 | 0.023 | 13.39 | 4.03 |
| 47 | 15 | 15.75 | 7.10 | 79.36 | 6.59 | 1.02 | 0.198 | 7.808 | 33.28 | 2.93 | 0.69 | 0.054 | 15.01 | 3.20 |
| 48 | 12 | 19.25 | 7.15 | 82.21 | 5.05 | 0.88 | 0.211 | 6.141 | 23.93 | — | — | — | 8.29 | — |
| 49 | 8 | 11.94 | 7.14 | 86.30 | 3.67 | 0.87 | 0.189 | 4.729 | 19.42 | — | — | — | 13.08 | — |
| 50 | 7 | 10.59 | 5.64 | 66.18 | 3.53 | 0.86 | 0.316 | 4.706 | 11.17 | 0.32 | 0.48 | 0.018 | 11.84 | 3.53 |
| 51 | 8 | 9.26 | 3.87 | 49.19 | 3.40 | 0.85 | 0.244 | 4.494 | 13.93 | 0.45 | 0.54 | 0.025 | 13.13 | 3.32 |
| 52 | 12 | 11.81 | 7.47 | 92.28 | 3.57 | 1.04 | 0.232 | 4.842 | 15.39 | 0.59 | 0.61 | 0.019 | 14.60 | 4.02 |
| 53 | 6 | 8.93 | 3.65 | 47.95 | 2.57 | 0.71 | 0.160 | 3.440 | 16.06 | 0.49 | 0.51 | 0.024 | 10.76 | 2.75 |
| 54 | 8 | 39.07 | — | — | 4.91 | 0.54 | 0.127 | 5.577 | 38.66 | 0.51 | 0.42 | 0.041 | 10.34 | 2.01 |
| 55 | 12 | 23.70 | 2.81 | 40.61 | 11.84 | 1.14 | 0.287 | 13.267 | 41.25 | — | — | — | 18.86 | 5.40 |
| 56 | 11 | 61.81 | 0.26 | 13.91 | 5.51 | 0.48 | 0.131 | 6.121 | 42.06 | 2.17 | 0.23 | 0.027 | 11.16 | 2.80 |
| 57 | 16 | 15.06 | 7.13 | 88.54 | 4.91 | 0.88 | 0.257 | 6.047 | 19.11 | 1.25 | 0.52 | 0.024 | 14.49 | 5.25 |