

## 茨城県茨城町における GS 66 試錐試料の化学組成

金井 豊\*・坂本 亨\*\*・安藤 厚\*

KANAI, Yutaka, SAKAMOTO, Toru and ANDO, Atsushi (1985) Chemical composition of GS 66 boring core samples at Ibaraki-machi, Ibaraki Prefecture, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 36(4), p. 173-189.

**Abstract:** GS 66 boring core samples of Plio-Pleistocene at Torihada, Ibaraki-machi, Ibaraki Prefecture, Japan, are analyzed for total sulfur, organic carbon, copper, lead, zinc, chromium, nickel, cobalt, lithium, barium, strontium, vanadium, boron and gallium, and relationships between the chemical composition and sedimentary environment is studied.

The contents of the trace elements of the Shimōsa Group proved to be different from those of the Kazusa Group, probably because the sedimentary environment was rather oxidative.

Sedimentary environment of the Kazusa Group is marine, gradually changed to shallow water in ascending order. In this connection, the contents of total sulfur, organic carbon, chromium, nickel, lithium and strontium in these samples decreased upward.

In this way, the tendency of the abundance of chemical elements for GS 66 boring core samples is clarified.

## 要 旨

茨城県茨城町鳥羽田<sup>とりはだ</sup>における深度約200mの層序試錐(GS 66)のコア試料(鮮新世—更新世の海成堆積物を主とする)について、全硫黄・有機態炭素・銅・鉛・亜鉛・クロム・ニッケル・コバルト・リチウム・バリウム・ストロンチウム・バナジウム・ホウ素・ガリウムの分析を行い、化学組成と堆積環境との関連を検討した。

下総層群(中—上部更新統, 深度8.0-51.8m)は、上総層群(鮮新世—更新世前期, 深度51.8-156.8m)と比べ、今回分析した元素の多くについて存在量が少なく、下総層群は、浅海の酸化的な環境に堆積したものと考えられる。上総層群は、古生物群集の変遷からみると、下部で浅海区下部(主に $N_4$ )、上部で浅海区上部(主に $N_1$ )の環境が推定されるが、その試料中の全硫黄・有機態炭素・クロム・ニッケル・リチウム・ストロンチウムの存在量は、上位に向かって減少する傾向がみられ、堆積時の水深との相関が推定された。

## 1. 緒 言

堆積物や堆積岩の初生環境を解明することは、堆積学の主要課題のひとつである。堆積時の水深、水温、塩分濃度等の堆積環境は、堆積物中に含まれている各種の化

石を調べたり、堆積構造等から推定することができる。一方、地球化学的に各種の元素・有機物の存在量、炭素や酸素の同位体比の変化から、古環境を推定する試みも行われている。

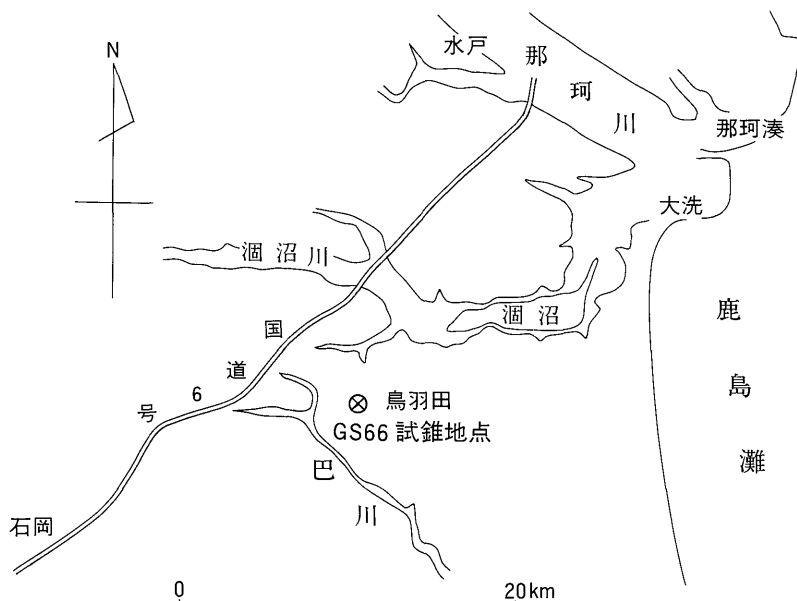
本研究では、化学組成と堆積環境との関係を明らかにする研究の一環として、茨城県東茨城郡茨城町鳥羽田における深さ約200mの層序試錐コアから採取された96試料について、全硫黄・有機態炭素・銅・鉛・亜鉛・クロム・ニッケル・コバルト・リチウム・バリウム・ストロンチウム・バナジウム・ホウ素・ガリウムを分析し、これらの元素の存在量と堆積時の水深との関係を検討したので、その結果について報告する。

なお、同試錐コアについては、すでに粕ほか(1983)により、全硫黄の分析結果とそれにもとづく堆積環境の変化に関する考察が報告されている。

## 2. 地質の概要

東茨城台地のほぼ中央、茨城県東茨城郡茨城町鳥羽田南方(標高30.5m)において、1966年に深度約200mの層序試錐(GS 66)が行われた(第1図)。このボーリングで確認された層序(坂本ほか, 1981)は、表層部に、黒土(厚さ0.3m)・ローム層(厚さ3.2m)・粘土層(厚さ4.8m)があり、それより下位に見和層・笠神層・石崎層が続き、さらに下位は房総半島の上総層群に対比される地

\* 技術部 \*\* 地質部



第1図 試錐地点位置図

層からなる(第2図)。見和層・笠神層・石崎層は、いずれも細粒砂・細礫まじり粗粒砂・砂礫からなる浅海性の中-上部更新統であり、千葉県北部を模式地とする下総層群に相当する<sup>1)</sup>。一方、鮮新世-更新世前期の海成堆積物である上総層群は、極細粒砂・シルトからなる。鳥羽田地点では、*Turritella nipponica*, *Pecten (Mizuhopecten) yessoensis* をはじめとする貝化石や浮遊性有孔虫化石を産出する(坂本ほか, 1981)。この地層では、下位から上位に向かって次第に浅海性へと堆積環境が変化していったと考えられている。

### 3. 分析試料及び分析方法

#### 3.1 分析試料

黒土から1試料, ローム層から2試料, 見和層から3試料, 笠神層から3試料, 石崎層から9試料, 上総層群から78試料, 合計96試料を採取した。

これらの試料は、風乾後、めのう乳鉢で微粉砕して分析に供した。貝化石を含む試料については、できる限り貝殻を取り除いてから粉砕した。

#### 3.2 分析方法

##### 1) 全硫黄・有機態炭素

寺島(1979)の方法に従い、国際電気㈱アイアールマチック“C-S”VK-ⅢAS型を用い、高周波燃焼-赤外吸収法により定量した。有機態炭素の場合には、あらかじめ塩酸処理を行って炭酸塩炭素を除去した。

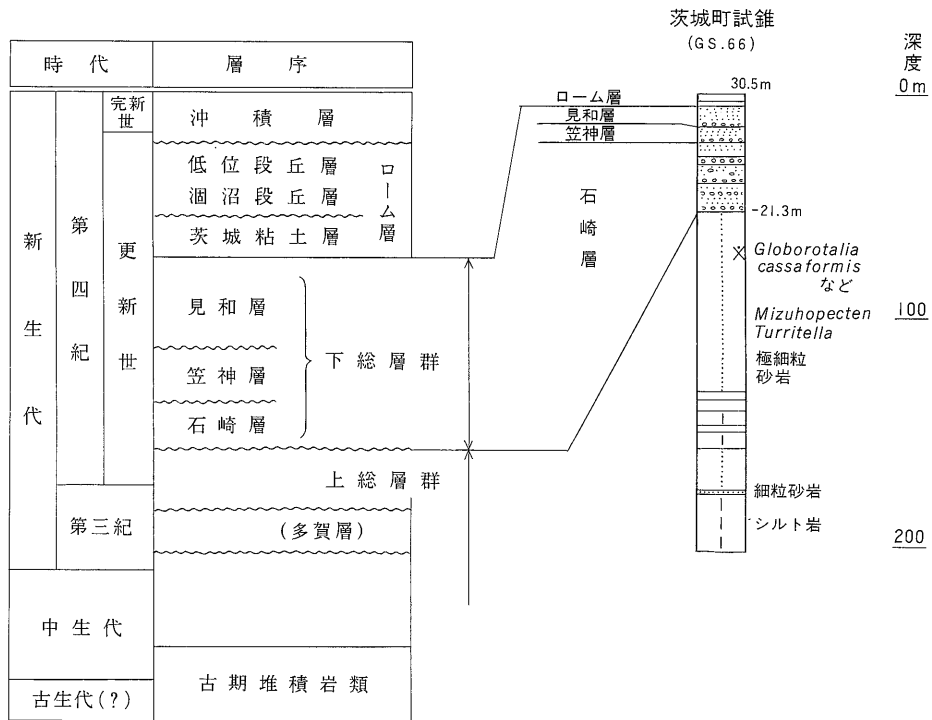
1) 以後、この3層を一括する場合には、便宜的に下総層群と呼ぶ。

##### 2) 銅・鉛・亜鉛・クロム・ニッケル・コバルト・リチウム

試料0.5gを白金皿に取り、硝酸5ml、過塩素酸5ml、フッ化水素酸10mlを加え、砂浴上で加熱分解し、蒸発乾固した後、塩酸(1+1)2.5mlを加えて穏やかに温めて溶かし、25mlの定容とした。アルミニウム1,600ppm、鉄1,000ppm、カルシウム600ppm、マグネシウム、ナトリウム、カリウムそれぞれ400ppmになるようにマトリックスとして加えた銅・鉛・亜鉛・クロム・ニッケル・コバルト・リチウムの標準溶液系列を用い、原子吸光法により分析を行った。測定装置には、Japan Jarrel Ash社AA8500を用い、亜鉛、コバルトの定量においては、重水素ランプによるバックグラウンド補正を行った。

##### 3) パリウム・ストロンチウム・バナジウム・ホウ素・ガリウム

試料0.5gを塩化ナトリウム(特級)0.5gとともにめのう乳鉢でよく粉砕・混合し、その一定量をグラファイト電極の孔に充填して、発光分光分析法により分析を行った。測定装置には、Jarrel Ash社製3,4 METER PLANE GRATING SPECTROGRAPH MODEL JA-7102を用い、225V, DC8Aで発光させた。電極間間隔は2mmとした。乾板には、Kodak社製Spectrum Analysis Plates No.1(4×10 inch)を用い、露光時間は、試料では90秒、標準鉄では5秒とした。標準試料にJA-1・JB-1・JB-2・JG-1・JR-1・AGV-1・BCR-1・G-1を用い、



( ) 内は地下に伏在

第2図 石岡地域の層序と GS 66 試錐柱状図 (坂本ほか, 1981による)

分析元素のスペクトル線の黒化度を、島津製作所社製 Spectrum Projector Type 1 で測定することによって定量化した。

#### 4. 結果と考察

##### 4.1 微量元素の垂直分布

全硫黄・有機態炭素・銅・鉛・亜鉛・クロム・ニッケル・コバルト・リチウム・ホウ素・バリウム・ストロンチウム・バナジウム・ガリウムの分析結果を、試料位置・岩質とともに第1表に示した。また、含有量の深度方向の分布を第3図に示した。

全硫黄含有量については、粕ほか(1983)が一部の試料の分析を高周波燃焼-電量法で行っており、本研究の赤外吸収法による分析結果とよく一致している。全硫黄含有量は、黒土・ロームで0.1%前後であるが、下総層群では、0.01%から0.05%とかなり少ない。しかし、その下位の上総層群では、不整合面直下の2試料以外は0.27%以上もあり、こうした顕著な変化は粕ほか(1983)が考察しているように、下総層群と上総層群における堆積時及び続成作用時の環境の違いを反映するものであろう。上総層群の試料の全硫黄含有量を詳しくみると、リズム

カルな変化を示しながら全体としては、上位に向かって減少しており、また、極細粒砂よりシルトで含有量が多くなる傾向がある。上総層群の堆積環境については、AOKI and BABA(1980)の房総半島における研究がある。ここでは、GS 66 試錐コアから採取された貝化石(坂本ほか, 1981)にもとづき、OYAMA(1973)の生息深度区分に従って、その初生的な堆積水深を考察した。その結果は、第3図に示したように、試錐深度100m以深では、深度120m付近での短期的な浅海化を例外として、おおよそ  $N_4$  の水深を維持していたこと、深度95-100m付近で急激な浅海化が生じたこと、それより上位では振幅の小さいリズムカルな変動が認められるものの、全体としては  $N_1$  程度の水深を保っていたこと、などが推定される。コア試料の全硫黄含有量も、特に深度95-150mの範囲において、上述の深度120m付近での変動を含めて、推定される堆積水深の変動とよく対応した変化パターンを示している。このコア試料の場合、全硫黄含有量の変化が、堆積時の水深の変動を反映している可能性が大きい。

有機態炭素含有量は、全硫黄含有量とよく類似した変化傾向を示している。すなわち、下総層群では、0.02-

第1表 試錐試料の微量元素含有量

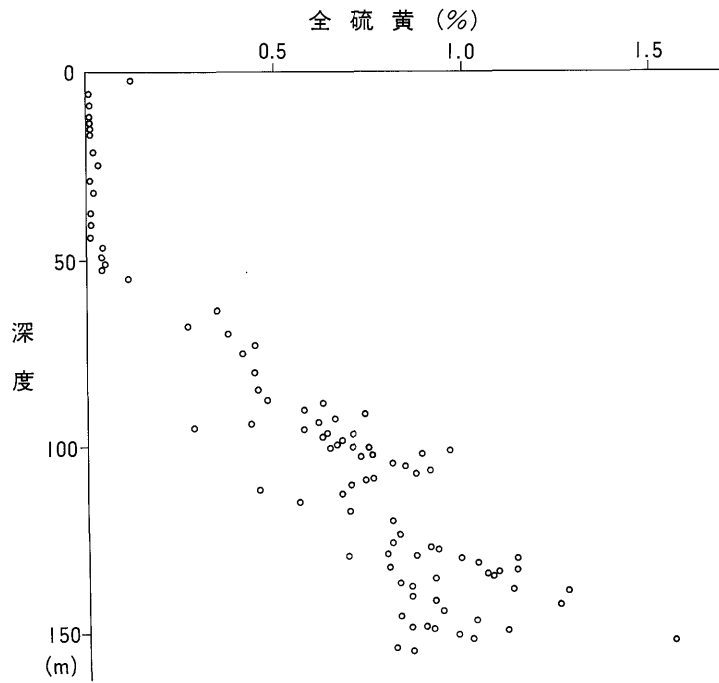
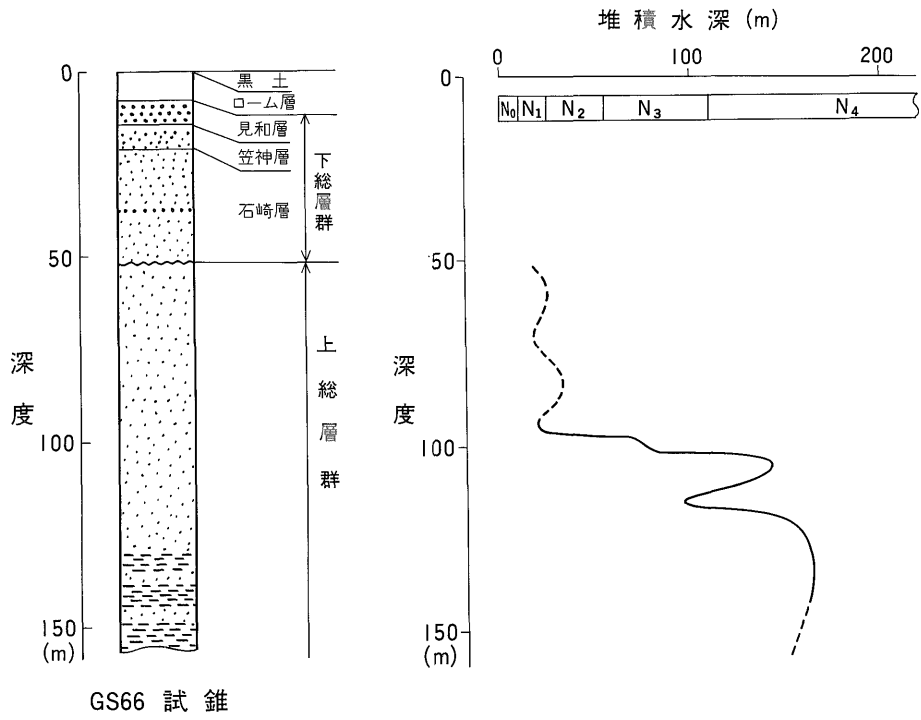
| No. | 試料   | 岩質        | 深さ(m)       | C %  | S %  | Pb (ppm) | Zn (ppm) | Ni (ppm) | Co (ppm) | Cr (ppm) | Li (ppm) | Cu (ppm) | B (ppm) | Ba (ppm) | Sr (ppm) | Ga (ppm) | V (ppm) |
|-----|------|-----------|-------------|------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|
| 1   | 黒土   | 黒土        | 0.0 - 0.3   | 5.00 | 0.10 | 23       | 99       | 45       | 28       | 56       | 24       | 78       | 5       | 500      | 450      | 25       | 400     |
| 2   | ローム  | ローム       | 0.3 - 3.2   | 1.12 | 0.12 | 29       | 137      | 51       | 35       | 61       | 32       | 116      | 7       | 75       | 200      | 25       | 250     |
| 3   | "    | ロームまじり細粒砂 | 4.8 - 6.0   | 0.09 | 0.01 | 12       | 56       | 16       | 12       | 8        | 17       | 21       |         |          |          |          |         |
| 4   | 見和層  | 粗粒砂       | 8.0 - 9.0   | 0.04 | 0.01 | 9        | 32       | 10       | 8        | 2        | 14       | 13       |         |          |          |          |         |
| 5   | "    | 細一中粒砂     | 11.0 - 12.0 | 0.02 | 0.01 | 9        | 49       | 12       | 10       | 8        | 15       | 6        | 5       | 100      | 100      | 20       | 100     |
| 6   | "    | 粗粒砂       | 12.5 - 14.5 | 0.02 | 0.01 | 6        | 36       | 3        | 9        | 7        | 13       | 8        |         |          |          |          |         |
| 7   | 笠神層  | 細粒砂       | 14.5 - 15.3 | 0.02 | 0.01 | 14       | 80       | 9        | 9        | 8        | 18       | 83       |         |          |          |          |         |
| 8   | "    | "         | 15.3 - 18.0 | 0.02 | 0.01 | 12       | 80       | 5        | 8        | 8        | 18       | 75       |         | 300      | 250      | 16       | 30      |
| 9   | "    | レキまじり細粒砂  | 20.5 - 21.5 | 0.05 | 0.02 | 12       | 43       | 10       | 9        | 8        | 15       | 10       |         |          |          |          |         |
| 10  | 石崎層  | 細粒砂       | 21.5 - 27.0 | 0.04 | 0.03 | 9        | 65       | 16       | 10       | 16       | 14       | 14       |         |          |          |          |         |
| 11  | "    | 中粒砂       | 27.5 - 30.0 | 0.02 | 0.01 | 6        | 73       | 16       | 16       | 18       | 12       | 7        | 2       | 100      | 100      | 18       | 60      |
| 12  | "    | "         | 30.5 - 33.0 | 0.02 | 0.02 | 8        | 40       | 9        | 10       | 5        | 16       | 7        |         |          |          |          |         |
| 13  | "    | 粗粒砂       | 36.0 - 39.0 | 0.02 | 0.01 | 8        | 32       | 18       | 6        | 4        | 13       | 9        |         | 150      | 75       | 15       | 25      |
| 14  | "    | 細粒砂       | 39.5 - 42.0 | 0.02 | 0.01 | 14       | 109      | 20       | 20       | 40       | 17       | 13       |         |          |          |          |         |
| 15  | "    | "         | 43.0 - 45.0 | 0.02 | 0.01 | 13       | 73       | 15       | 12       | 32       | 16       | 6        |         | 300      | 300      | 20       | 100     |
| 16  | "    | "         | 45.8 - 47.8 | 0.02 | 0.04 | 11       | 54       | 15       | 10       | 14       | 14       | 11       |         |          |          |          |         |
| 17  | "    | "         | 47.8 - 50.5 | 0.03 | 0.04 | 10       | 48       | 13       | 10       | 11       | 14       | 9        | 3       | 300      | 350      | 18       | 75      |
| 18  | "    | 粗粒砂       | 50.5 - 51.8 | 0.04 | 0.05 | 12       | 32       | 14       | 8        | 7        | 12       | 8        |         |          |          |          |         |
| 19  | 上総層群 | 極細粒砂      | 51.8 - 53.0 | 0.04 | 0.04 | 14       | 62       | 22       | 11       | 19       | 17       | 28       |         |          |          |          |         |
| 20  | "    | "         | 55.0 - 56.0 | 0.08 | 0.11 | 13       | 74       | 20       | 13       | 23       | 24       | 8        | 4       | 350      | 150      | 16       | 75      |
| 21  | "    | "         | 62.8 - 65.0 | 0.08 | 0.35 | 13       | 73       | 13       | 12       | 19       | 24       | 8        | 5       | 300      | 150      | 18       | 75      |
| 22  | "    | "         | 67.0 - 69.0 | 0.06 | 0.27 | 14       | 71       | 11       | 12       | 21       | 24       | 9        |         |          |          |          |         |
| 23  | "    | "         | 68.8 - 71.8 | 0.08 | 0.38 | 17       | 84       | 14       | 14       | 22       | 23       | 9        | 8       | 500      | 350      | 20       | 150     |
| 24  | "    | "         | 71.8 - 74.8 | 0.14 | 0.45 | 16       | 78       | 13       | 11       | 18       | 35       | 12       |         |          |          |          |         |
| 25  | "    | "         | 74.8 - 76.8 | 0.20 | 0.42 | 15       | 69       | 17       | 12       | 24       | 27       | 11       | 10      | 400      | 300      | 20       | 50      |
| 26  | "    | "         | 77.8 - 83.8 | 0.12 | 0.45 | 13       | 71       | 17       | 10       | 19       | 27       | 12       | 10      | 500      | 300      | 20       | 75      |
| 27  | "    | "         | 83.8 - 86.8 | 0.10 | 0.46 | 14       | 87       | 14       | 15       | 22       | 22       | 15       |         |          |          |          |         |
| 28  | "    | "         | 87.8 - 88.8 | 0.10 | 0.48 | 16       | 86       | 18       | 14       | 21       | 22       | 15       | 4       | 450      | 300      | 18       | 25      |
| 29  | "    | "         | 88.8 - 90.0 | 0.20 | 0.63 | 15       | 66       | 14       | 9        | 20       | 31       | 13       |         |          |          |          |         |
| 30  | "    | "         | 90.0 - 92.0 | 0.17 | 0.58 | 15       | 63       | 11       | 9        | 17       | 24       | 13       |         |          |          |          |         |
| 31  | "    | "         | 92.0 - 93.0 | 0.23 | 0.74 | 16       | 74       | 14       | 11       | 23       | 26       | 16       | 5       | 450      | 350      | 18       | 30      |

|    |   |   |               |      |      |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |    |
|----|---|---|---------------|------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|----|
| 32 | " | " | 93.0 - 93.75  | 0.22 | 0.66 | 15 | 74 | 14 | 11 | 23 | 26 | 15 |    |     |     |    |    |
| 33 | " | " | 93.75- 94.5   | 0.15 | 0.62 | 14 | 82 | 14 | 13 | 22 | 24 | 13 |    |     |     |    |    |
| 34 | " | " | 94.5 - 95.0   | 0.15 | 0.44 | 15 | 92 | 19 | 17 | 31 | 35 | 15 |    |     |     |    |    |
| 35 | " | " | 95.0 - 95.25  | 0.08 | 0.29 | 15 | 85 | 17 | 18 | 25 | 18 | 15 |    |     |     |    |    |
| 36 | " | " | 95.25- 96.0   | 0.08 | 0.29 | 15 | 77 | 15 | 15 | 21 | 21 | 11 |    |     |     |    |    |
| 37 | " | " | 96.0 - 96.5   | 0.18 | 0.58 | 14 | 67 | 21 | 11 | 33 | 38 | 15 |    |     |     |    |    |
| 38 | " | " | 97.0 - 97.5   | 0.22 | 0.64 | 16 | 66 | 19 | 11 | 32 | 35 | 13 | 15 | 500 | 450 | 20 | 75 |
| 39 | " | " | 97.5 - 98.0   | 0.17 | 0.71 | 16 | 73 | 22 | 13 | 33 | 36 | 14 |    |     |     |    |    |
| 40 | " | " | 98.0 - 99.0   | 0.21 | 0.63 | 16 | 75 | 25 | 12 | 39 | 36 | 16 |    |     |     |    |    |
| 41 | " | " | 99.0 -100.0   | 0.18 | 0.68 | 12 | 76 | 18 | 12 | 26 | 26 | 11 |    |     |     |    |    |
| 42 | " | " | 100.0 -100.25 | 0.21 | 0.67 | 15 | 73 | 24 | 11 | 40 | 24 | 13 |    |     |     |    |    |
| 43 | " | " | 101.0 -101.2  | 0.20 | 0.71 | 15 | 67 | 22 | 11 | 34 | 37 | 15 |    |     |     |    |    |
| 44 | " | " | 101.2 -101.6  | 0.24 | 0.65 | 16 | 62 | 19 | 9  | 31 | 36 | 13 |    |     |     |    |    |
| 45 | " | " | 101.6 -101.8  | 0.28 | 0.75 | 12 | 69 | 19 | 10 | 33 | 36 | 14 |    |     |     |    |    |
| 46 | " | " | 101.8 -102.6  | 0.33 | 0.96 | 14 | 76 | 17 | 11 | 34 | 35 | 15 | 5  | 500 | 400 | 15 | 25 |
| 47 | " | " | 102.6 -103.0  | 0.34 | 0.89 | 13 | 78 | 17 | 12 | 37 | 39 | 16 |    |     |     |    |    |
| 48 | " | " | 103.0 -103.4  | 0.30 | 0.76 | 14 | 74 | 22 | 11 | 32 | 31 | 14 |    |     |     |    |    |
| 49 | " | " | 103.4 -104.35 | 0.28 | 0.73 | 16 | 40 | 21 | 10 | 31 | 30 | 14 |    |     |     |    |    |
| 50 | " | " | 104.35-106.0  | 0.23 | 0.81 | 14 | 67 | 26 | 11 | 42 | 41 | 15 |    |     |     |    |    |
| 51 | " | " | 106.0 -106.75 | 0.23 | 0.84 | 14 | 59 | 25 | 11 | 48 | 41 | 15 |    |     |     |    |    |
| 52 | " | " | 107.0 -108.0  | 0.23 | 0.91 | 16 | 55 | 24 | 11 | 46 | 40 | 15 | 5  | 500 | 200 | 17 | 50 |
| 53 | " | " | 108.0 -109.0  | 0.30 | 0.87 | 14 | 61 | 28 | 11 | 47 | 43 | 15 |    |     |     |    |    |
| 54 | " | " | 109.0 -110.0  | 0.28 | 0.76 | 14 | 66 | 20 | 11 | 39 | 31 | 13 |    |     |     |    |    |
| 55 | " | " | 110.0 -110.5  | 0.17 | 0.74 | 15 | 69 | 23 | 11 | 40 | 30 | 14 |    |     |     |    |    |
| 56 | " | " | 110.5 -112.0  | 0.17 | 0.70 | 13 | 68 | 27 | 11 | 45 | 33 | 15 |    |     |     |    |    |
| 57 | " | " | 112.0 -113.0  | 0.15 | 0.46 | 15 | 65 | 27 | 10 | 45 | 34 | 15 | 7  | 300 | 200 | 15 | 50 |
| 58 | " | " | 113.0 -114.0  | 0.19 | 0.68 | 13 | 74 | 20 | 10 | 31 | 33 | 15 |    |     |     |    |    |
| 59 | " | " | 115.0 -116.8  | 0.17 | 0.57 | 14 | 73 | 19 | 11 | 28 | 30 | 14 |    |     |     |    |    |
| 60 | " | " | 116.8 -119.8  | 0.22 | 0.70 | 15 | 66 | 25 | 11 | 43 | 37 | 18 | 8  | 500 | 400 | 20 | 75 |
| 61 | " | " | 119.8 -122.8  | 0.24 | 0.81 | 14 | 73 | 22 | 11 | 39 | 38 | 17 |    |     |     |    |    |
| 62 | " | " | 122.8 -125.8  | 0.28 | 0.82 | 14 | 68 | 29 | 11 | 52 | 37 | 19 | 8  | 400 | 250 | 18 | 75 |
| 63 | " | " | 125.8 -128.0  | 0.29 | 0.81 | 16 | 70 | 27 | 11 | 51 | 36 | 18 |    |     |     |    |    |
| 64 | " | " | 128.0 -128.8  | 0.28 | 0.91 | 14 | 73 | 27 | 11 | 44 | 35 | 16 |    |     |     |    |    |
| 65 | " | " | 128.8 -129.5  | 0.29 | 0.93 | 14 | 70 | 26 | 10 | 38 | 35 | 16 |    |     |     |    |    |
| 66 | " | " | 129.5 -130.0  | 0.27 | 0.80 | 13 | 71 | 27 | 10 | 44 | 34 | 18 |    |     |     |    |    |

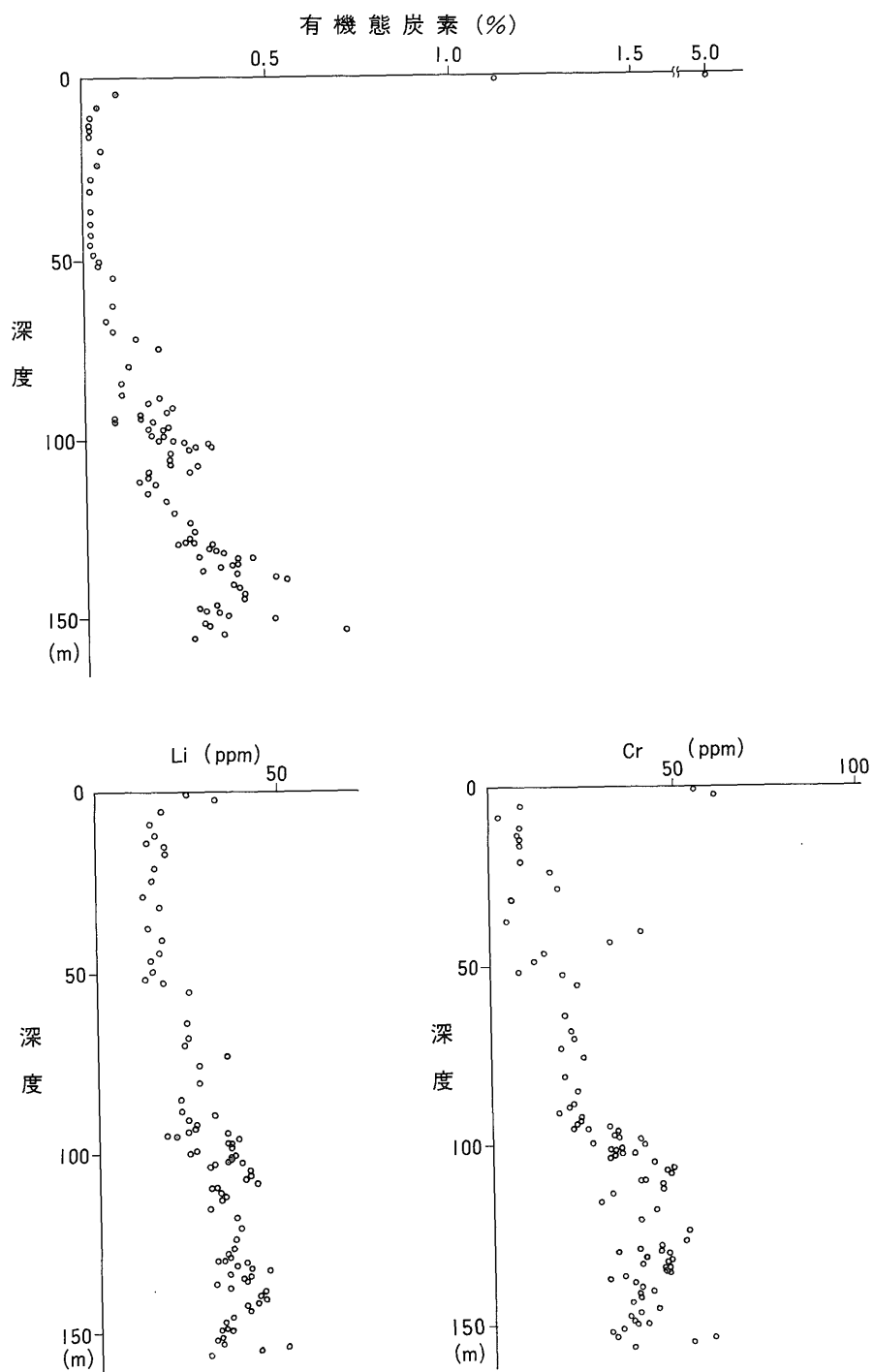
茨城県茨城町におけるGS 66 試験試料の化学組成 (金井 豊・坂本 亨・安藤 厚)

第1表 (つづき)

| No. | 試料   | 岩質   | 深さ(m)        | C<br>% | S<br>% | Pb<br>(ppm) | Zn<br>(ppm) | Ni<br>(ppm) | Co<br>(ppm) | Cr<br>(ppm) | Li<br>(ppm) | Cu<br>(ppm) | B<br>(ppm) | Ba<br>(ppm) | Sr<br>(ppm) | Ga<br>(ppm) | V<br>(ppm) |
|-----|------|------|--------------|--------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 67  | 上総層群 | 極細粒砂 | 130.0-130.5  | 0.25   | 0.87   | 14          | 72          | 25          | 9           | 38          | 32          | 17          | 10         | 400         | 400         | 20          | 75         |
| 68  | "    | シルト  | 130.5-130.8  | 0.34   | 0.69   | 13          | 88          | 31          | 10          | 46          | 40          | 18          |            |             |             |             |            |
| 69  | "    | "    | 131.0-131.75 | 0.35   | 0.99   | 16          | 67          | 22          | 9           | 40          | 37          | 19          |            |             |             |             |            |
| 70  | "    | "    | 131.75-132.5 | 0.33   | 1.14   | 14          | 73          | 27          | 10          | 47          | 41          | 20          |            |             |             |             |            |
| 71  | "    | "    | 132.5-133.25 | 0.37   | 1.04   | 16          | 74          | 25          | 9           | 46          | 46          | 20          | 8          | 500         | 300         | 20          | 75         |
| 72  | "    | "    | 133.25-134.0 | 0.30   | 0.80   | 15          | 67          | 21          | 9           | 39          | 35          | 18          |            |             |             |             |            |
| 73  | "    | 極細粒砂 | 134.0-134.75 | 0.45   | 1.14   | 17          | 84          | 24          | 10          | 46          | 41          | 22          |            |             |             |             |            |
| 74  | "    | "    | 134.75-135.0 | 0.41   | 1.09   | 13          | 82          | 24          | 10          | 45          | 40          | 21          |            |             |             |             |            |
| 75  | "    | "    | 135.0-135.5  | 0.41   | 1.06   | 15          | 85          | 24          | 10          | 45          | 39          | 22          |            |             |             |             |            |
| 76  | "    | "    | 135.5-136.25 | 0.40   | 1.08   | 13          | 84          | 26          | 10          | 46          | 40          | 20          | 7          | 450         | 350         | 18          | 75         |
| 77  | "    | "    | 136.25-137.0 | 0.36   | 0.92   | 17          | 84          | 18          | 9           | 34          | 31          | 18          |            |             |             |             |            |
| 78  | "    | "    | 137.0-138.3  | 0.31   | 0.83   | 14          | 83          | 16          | 9           | 30          | 35          | 16          |            |             |             |             |            |
| 79  | "    | シルト  | 138.3-139.3  | 0.41   | 0.86   | 13          | 81          | 21          | 10          | 37          | 45          | 20          |            |             |             |             |            |
| 80  | "    | "    | 139.3-140.3  | 0.52   | 1.13   | 16          | 84          | 22          | 9           | 39          | 44          | 19          |            |             |             |             |            |
| 81  | "    | "    | 140.3-141.3  | 0.55   | 1.27   | 15          | 87          | 24          | 10          | 42          | 45          | 21          | 8          | 450         | 450         | 20          | 75         |
| 82  | "    | "    | 141.3-142.3  | 0.40   | 0.86   | 13          | 83          | 19          | 9           | 38          | 43          | 16          |            |             |             |             |            |
| 83  | "    | "    | 142.3-143.3  | 0.42   | 0.92   | 14          | 83          | 20          | 9           | 38          | 40          | 16          |            |             |             |             |            |
| 84  | "    | "    | 143.3-145.3  | 0.43   | 1.25   | 14          | 79          | 18          | 9           | 36          | 41          | 15          |            |             |             |             |            |
| 85  | "    | 極細粒砂 | 145.3-146.3  | 0.43   | 0.94   | 17          | 82          | 20          | 10          | 43          | 36          | 19          | 7          | 400         | 300         | 20          | 75         |
| 86  | "    | "    | 146.3-147.8  | 0.35   | 0.83   | 15          | 81          | 18          | 10          | 38          | 34          | 16          |            |             |             |             |            |
| 87  | "    | シルト  | 147.8-148.8  | 0.31   | 1.03   | 15          | 82          | 19          | 10          | 35          | 34          | 18          |            |             |             |             |            |
| 88  | "    | "    | 148.8-149.3  | 0.32   | 0.90   | 14          | 82          | 18          | 10          | 36          | 33          | 16          |            |             |             |             |            |
| 89  | "    | "    | 149.3-149.8  | 0.36   | 0.86   | 15          | 89          | 20          | 9           | 40          | 36          | 16          |            |             |             |             |            |
| 90  | "    | "    | 149.8-150.8  | 0.38   | 0.92   | 16          | 83          | 20          | 10          | 37          | 34          | 18          | 10         | 500         | 500         | 20          | 100        |
| 91  | "    | "    | 150.8-151.8  | 0.51   | 1.11   | 14          | 80          | 18          | 10          | 34          | 33          | 19          |            |             |             |             |            |
| 92  | "    | "    | 151.8-152.8  | 0.32   | 0.98   | 13          | 83          | 17          | 10          | 31          | 32          | 16          |            |             |             |             |            |
| 93  | "    | "    | 152.8-153.8  | 0.33   | 1.02   | 14          | 82          | 17          | 10          | 32          | 33          | 16          |            |             |             |             |            |
| 94  | "    | "    | 153.8-154.8  | 0.71   | 1.56   | 16          | 87          | 32          | 10          | 58          | 51          | 23          |            |             |             |             |            |
| 95  | "    | "    | 154.8-155.8  | 0.37   | 0.82   | 14          | 80          | 30          | 9           | 52          | 44          | 17          | 8          | 450         | 450         | 20          | 75         |
| 96  | "    | "    | 155.8-156.8  | 0.29   | 0.86   | 13          | 90          | 17          | 9           | 37          | 30          | 13          |            |             |             |             |            |

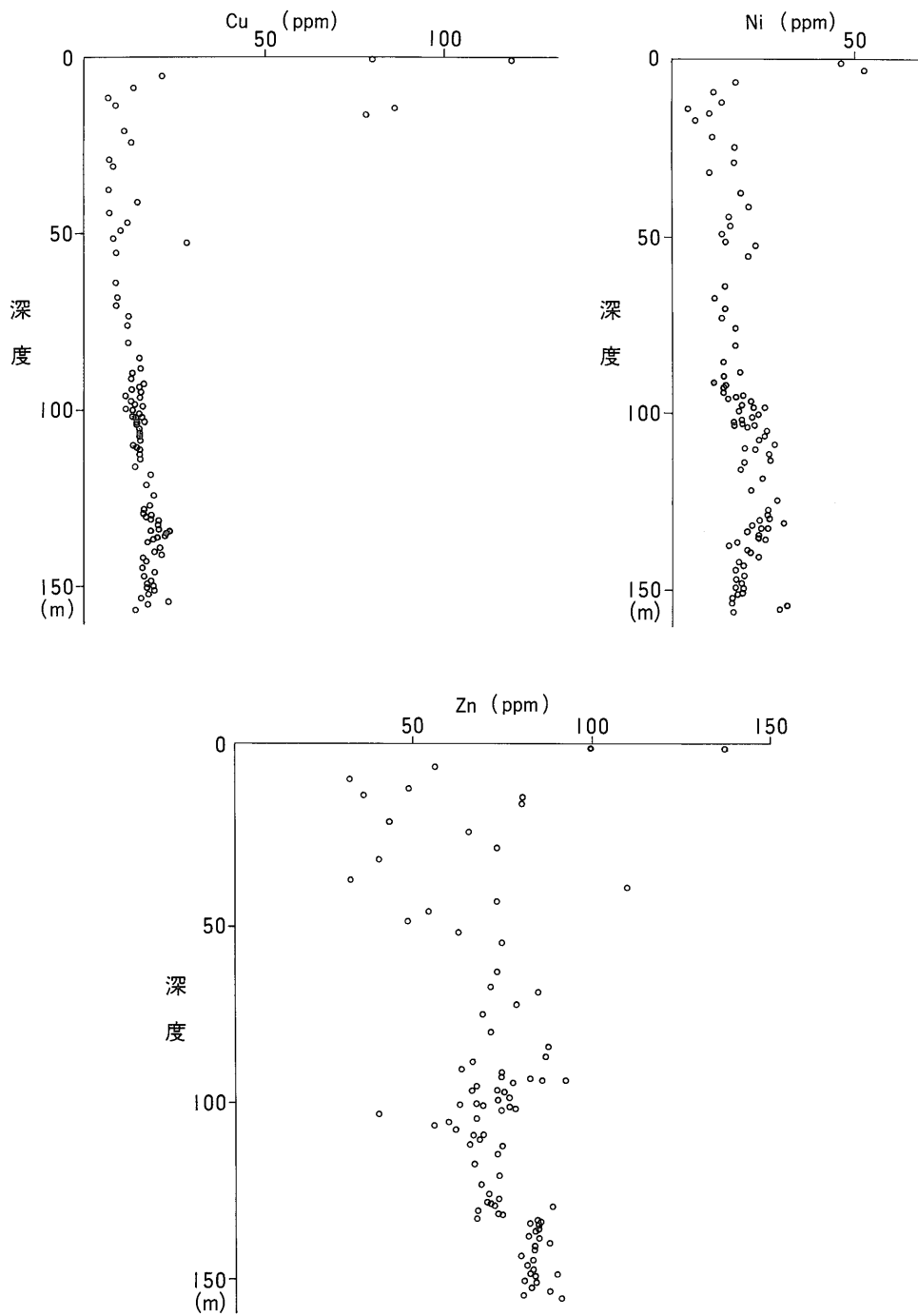


第3-1図 試錐試料における微量元素含有量の深度分布

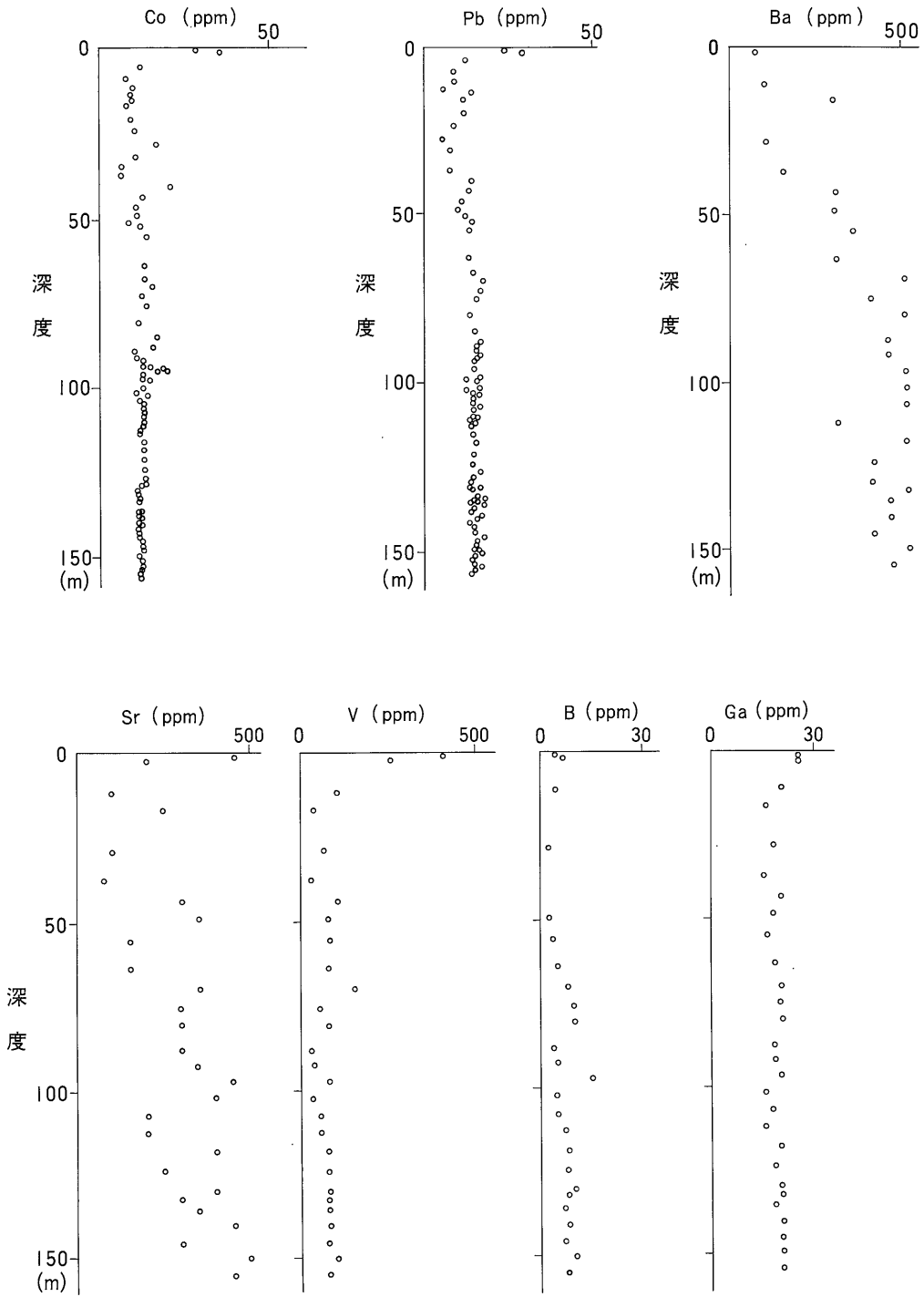


第3-2図 第3-1図つづき





第3-3図 第3-1図つづき



第3-4図 第3-1図つづき

0.05%と少ないのに対し、上総層群では0.04-0.71%と多く、しかも、全硫黄含有量の場合と同様に、多少リズムカルな変化を示しながら全体としては上位ほど少なくなる。

有機態炭素の形態そのものは、明らかではないが、上総層群の堆積環境が浅海性へと移行したと考え合わせると、上部では下部に比べて有機態炭素の保存が悪かったのではないかと予想される。また、含有量のリズムカルな小変化からは、全硫黄含有量の場合と同様に、水深の変動が推察される。

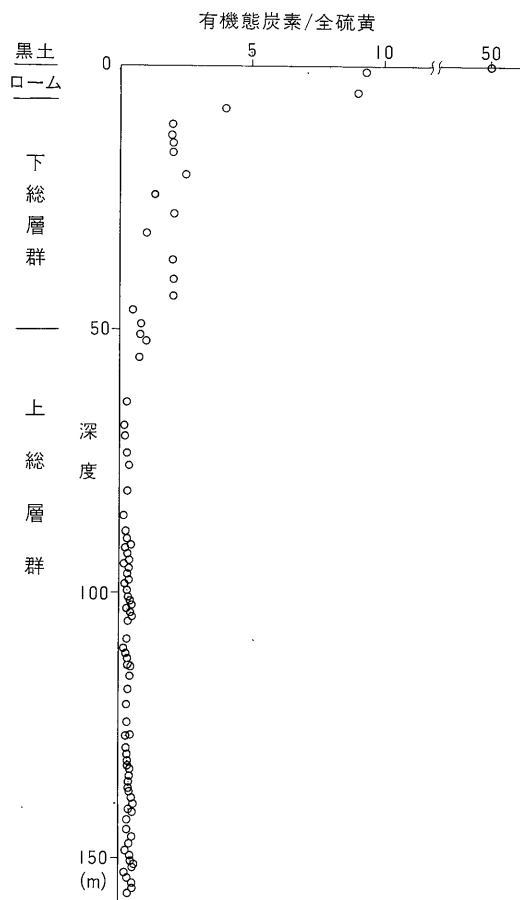
TERASHIMA *et al.* (1983)は、有機態炭素/全硫黄の比を用い、現世の泥質堆積物では、淡水成ではその比は平均で9以上、海成では6以下というように、淡水成堆積物の方が高いと報告している。同様にして有機態炭素と全硫黄との比を求めたところ、第4図に示されるように、下総層群・上総層群とも4以下の低い値となった。特に、上総層群では1以下とさらに低い値をとり、海成層の一般的な特徴を示している。

リチウム・クロム含有量の深度方向分布においても、全硫黄・有機態炭素と同様な傾向がみられる。リチウムは、下総層群で12-18 ppm であるが、上総層群になると17-51 ppm と多くなる。KEITH and DEGENS (1959)は、海成頁岩においてリチウム含有量が多いと報告しているが、上総層群の極細粒砂においてもリチウム含有量が多くなる傾向がみられることは興味深い。クロムも、石崎層での2点(試料番号14・15)を除くと、下総層群では2-18 ppm であるが、上総層群で17-58 ppm と含有量が多くなっている。しかも、上総層群では上位に向かって減少する傾向がある。

第2表に、これらの元素の他に銅・鉛・亜鉛・ニッケル・コバルトを含めて、各層毎の含有量の最大値・最小値及び平均値を示した。全般的に、下総層群では、上総層群に比べ含有量の少ないことがわかる。

上総層群に注目して各元素の含有量の深度分布を調べてみると、先に述べた全硫黄・有機態炭素・リチウム・クロムの他に、銅・ニッケルも下位から上位に向かって含有量が減少する傾向を示していることが分かる。一方、鉛・コバルト・亜鉛の含有量については、あまり顕著な変化は認められなかった。

幾つかの試料を選び出し、ホウ素・バリウム・ストロンチウム・ガリウム・バナジウムの定量を行ったが、バリウム・ストロンチウムの含有量が下総層群よりも上総層群において多く、しかも上総層群においては、試料によって若干の変化を示している。GOLDSCHMIDT (1932, 1954)がホウ素含有量は淡水成堆積物よりも海成堆積物



第4図 有機態炭素と全硫黄の比の深度分布

中に多いことを報告して以来、DEGENS *et al.* (1957)やPOTTER *et al.* (1963)をはじめとする多くの研究者により堆積物中のホウ素含有量の分析と研究がなされている(WALKER, 1975; ほか)。本研究においても、堆積水深の変動に伴う濃度変化を期待したが、分析の結果では変化はほとんど認められなかった。ガリウムは、KEITH and DEGENS (1959)によって海成頁岩より淡水成頁岩の方に多く含まれるといわれている。本研究の分析試料は、海成で、堆積水深の変動が推定されるが、ガリウムの含有量変化は認められなかった。バナジウムについても、含有量の変化はほとんど認められなかった。

#### 4.2 粒度との関係

分析に供した試料は、8割近く(n=78)が上総層群の極細粒砂及びシルトである。

第3表には、全硫黄・有機態炭素・銅・鉛・亜鉛・クロム・ニッケル・コバルト・リチウムの存在量の最大値・最小値及び平均値を示してある。また、砂岩・頁岩に

第2表 各層毎の微量元素の平均存在量とその範囲

|      |        |     | C    | S    | Pb    | Zn    | Ni    | Co    | Cr    | Li    | Cu    |
|------|--------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      |        |     | (%)  | (%)  | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) |
| 黒土   | (n=1)  | AVE | 5.00 | 0.10 | 23    | 99    | 45    | 28    | 56    | 24    | 78    |
|      |        | AVE | 0.61 | 0.07 | 21    | 97    | 34    | 24    | 35    | 25    | 69    |
| ローム  | (n=2)  | MIN | 0.09 | 0.01 | 12    | 56    | 16    | 12    | 8     | 17    | 21    |
|      |        | MAX | 1.12 | 0.12 | 29    | 137   | 51    | 35    | 61    | 32    | 116   |
|      |        | SD  | 0.52 | 0.05 | 9     | 41    | 17    | 12    | 27    | 8     | 48    |
| 見和層  | (n=3)  | AVE | 0.03 | 0.01 | 8     | 39    | 8     | 9     | 6     | 14    | 9     |
|      |        | MIN | 0.02 | 0.01 | 6     | 32    | 3     | 8     | 2     | 13    | 6     |
|      |        | MAX | 0.04 | 0.01 | 9     | 49    | 12    | 10    | 8     | 15    | 13    |
| 下    |        | SD  | 0.01 | 0.00 | 1     | 7     | 4     | 1     | 3     | 1     | 3     |
| 総    |        | AVE | 0.03 | 0.01 | 13    | 68    | 8     | 9     | 8     | 17    | 56    |
| 笠神層  | (n=3)  | MIN | 0.02 | 0.01 | 12    | 43    | 5     | 8     | 8     | 15    | 10    |
|      |        | MAX | 0.05 | 0.02 | 14    | 80    | 10    | 9     | 8     | 18    | 83    |
|      |        | SD  | 0.01 | 0.00 | 1     | 17    | 2     | 0     | 0     | 1     | 33    |
| 群    |        | AVE | 0.03 | 0.02 | 10    | 58    | 15    | 11    | 16    | 14    | 9     |
| 石崎層  | (n=9)  | MIN | 0.02 | 0.01 | 6     | 32    | 9     | 6     | 4     | 12    | 6     |
|      |        | MAX | 0.04 | 0.05 | 14    | 109   | 20    | 20    | 40    | 17    | 14    |
|      |        | SD  | 0.01 | 0.01 | 2     | 23    | 3     | 4     | 12    | 2     | 3     |
|      |        | AVE | 0.27 | 0.77 | 15    | 75    | 21    | 11    | 35    | 34    | 16    |
| 上総層群 | (n=78) | MIN | 0.04 | 0.04 | 12    | 40    | 11    | 9     | 17    | 17    | 8     |
|      |        | MAX | 0.71 | 1.56 | 17    | 92    | 32    | 18    | 58    | 51    | 28    |
|      |        | SD  | 0.12 | 0.27 | 1     | 9     | 5     | 2     | 10    | 7     | 3     |

第3表 上総層群における粒度別の微量元素存在量

|      |        |     | C    | S    | Pb    | Zn    | Ni    | Co    | Cr    | Li    | Cu    |
|------|--------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      |        |     | (%)  | (%)  | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm) |
| 極細粒砂 | (n=57) | AVE | 0.22 | 0.68 | 15    | 73    | 20    | 11    | 34    | 32    | 15    |
|      |        | MIN | 0.04 | 0.04 | 12    | 40    | 11    | 9     | 17    | 17    | 8     |
|      |        | MAX | 0.45 | 1.14 | 17    | 92    | 29    | 18    | 52    | 43    | 28    |
|      |        | SD  | 0.10 | 0.24 | 1     | 9     | 5     | 2     | 10    | 6     | 3     |
| シルト  | (n=21) | AVE | 0.40 | 1.00 | 14    | 81    | 22    | 10    | 40    | 39    | 18    |
|      |        | MIN | 0.29 | 0.69 | 13    | 67    | 17    | 9     | 31    | 30    | 13    |
|      |        | MAX | 0.71 | 1.56 | 16    | 90    | 32    | 10    | 58    | 51    | 23    |
|      |        | SD  | 0.10 | 0.19 | 1     | 6     | 5     | 0     | 6     | 6     | 2     |
| 砂岩*  |        |     |      |      | 7     | 16    | 2     | 3     | 35    | 15    | 10**  |
| 頁岩*  |        |     |      |      | 20    | 95    | 68    | 19    | 90    | 66    | 45    |

\* TUREKIAN and WEDEPOHL (1961) による。

\*\* ROSE *et al.* (1979) による。

における平均存在量(TUREKIAN and WEDEPOHL, 1961)もあわせて示した。

未固結の極細粒砂やシルトを、砂岩・頁岩と単純に比較することは問題があるが、各元素とも砂岩と頁岩の平

均存在量のほぼ間にある。極細粒砂とシルトとは、シルトで幾分多いという傾向が認められるが、ばらつきの範囲内と言えないこともない。一方、ばらつきの範囲は極細粒砂よりもシルトにおいて狭くなっている。

第 4 表 上総層群における微量元素間の相関係数

シルト (21)

|    | C     | S     | Li    | Cu    | Zn    | Cr    | Co    | Ni    | Pb    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C  |       | 0.77  | 0.67  | 0.63  | 0.30  | 0.46  | 0.16  | 0.39  | 0.36  |
| S  | 0.91  |       | 0.45  | 0.55  | 0.05  | 0.31  | 0.24  | 0.20  | 0.45  |
| Li | 0.70  | 0.76  |       | 0.65  | 0.01  | 0.73  | -0.12 | 0.70  | 0.26  |
| Cu | 0.53  | 0.46  | 0.35  |       | -0.22 | 0.57  | 0.38  | 0.63  | 0.53  |
| Zn | 0.10  | 0.03  | -0.15 | 0.11  |       | 0.00  | 0.24  | -0.01 | -0.28 |
| Cr | 0.67  | 0.73  | 0.77  | 0.50  | -0.14 |       | -0.07 | 0.94  | 0.32  |
| Co | -0.56 | -0.54 | -0.45 | -0.29 | 0.41  | -0.32 |       | 0.09  | -0.15 |
| Ni | 0.41  | 0.48  | 0.60  | 0.51  | -0.27 | 0.87  | -0.26 |       | 0.24  |
| Pb | 0.09  | 0.04  | -0.00 | 0.09  | 0.04  | -0.00 | 0.05  | -0.10 |       |

|    | C     | S     | Li    | Cu    | Zn    | Cr    | Co    | Ni    | Pb |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| C  |       |       |       |       |       |       |       |       |    |
| S  | 0.91  |       |       |       |       |       |       |       |    |
| Li | 0.76  | 0.76  |       |       |       |       |       |       |    |
| Cu | 0.62  | 0.57  | 0.49  |       |       |       |       |       |    |
| Zn | 0.35  | 0.24  | 0.08  | 0.20  |       |       |       |       |    |
| Cr | 0.65  | 0.69  | 0.78  | 0.56  | 0.02  |       |       |       |    |
| Co | -0.59 | -0.58 | -0.52 | -0.36 | 0.14  | -0.39 |       |       |    |
| Ni | 0.40  | 0.42  | 0.61  | 0.54  | -0.14 | 0.87  | -0.25 |       |    |
| Pb | 0.09  | 0.07  | 0.03  | 0.13  | -0.04 | 0.03  | 0.06  | -0.03 |    |

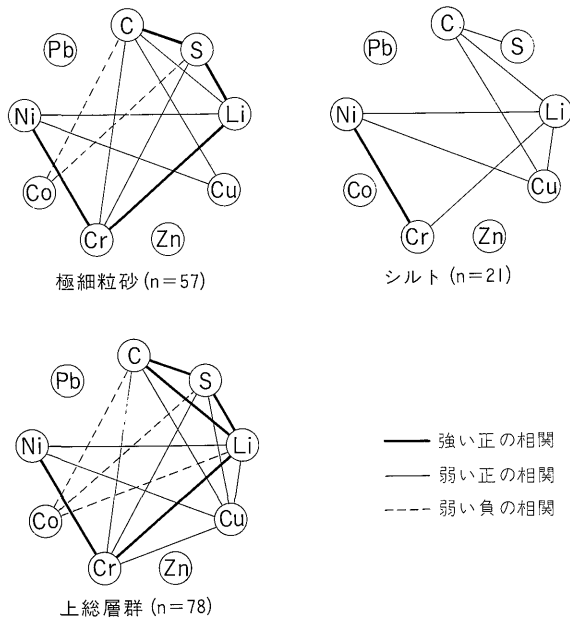
砂岩<極細粒砂<シルト<頁岩と微量元素の含有量の変化が一般的で本試料の場合にもあてはまるのか、また、堆積時の水深という堆積環境の変化がこうした結果をもたらしているのかについては、各々の元素の運搬・堆積・移動を決定する多くの因子が複雑に関係しており、今のところ明らかではない。

#### 4.3 微量元素相互の関係

上総層群では、深度とともに元素含有量に変化が見ら

れたので、各元素間の相関係数を求めた。その結果を第 4 表に示した。また、5%の危険率で相関の有無を第 5 図に示した。この図で太い線は強い相関を、破線は負の相関を示し、弱い相関は省略した。

これを見ると、全硫黄・有機態炭素・リチウム・クロム・ニッケルが相互に良く相関していることが分かる。一方、コバルトは、これらの元素とは負の相関を示している。また、極細粒砂とシルトとに分けて相関を調べた



第5図 上総層群における微量元素含有量の相関

が、相関パターンは同一である。

一方、これらの9成分元素含有量と岩質とを用いて主成分分析を行った。第一主成分及び第二主成分の寄与率がそれぞれ48%、15%であり、第一主成分が大きな因子となっていることが分かる。その第一主成分ベクトルの要素は、有機態炭素・全硫黄・リチウム・クロム・銅・ニッケルのようないずれも相互に相関係数の高い元素に大きな重みがついている。第二主成分ベクトルでは、亜鉛・ニッケル・岩質に大きな重みがついている。この2つの主成分を座標として各点を図示したものが第6図である。全体としては分散しているが、深度96mまでの試料は第4象限に、96m-130.5mの試料が横軸の負の近傍に、130.5m以深の試料は第1・第2象限に分布している。さらにシルト試料は、第1象限に集まる傾向がみられた。このように、主成分分析分布図上において堆積時の水深に対応する深さごとに、まとまったグループをなしてプロットされていることは、化学組成が水深の変動に対応して変化していることを示している。これらの元素が、どのような形態をとって相互に相関しているのかは、明らかではない。

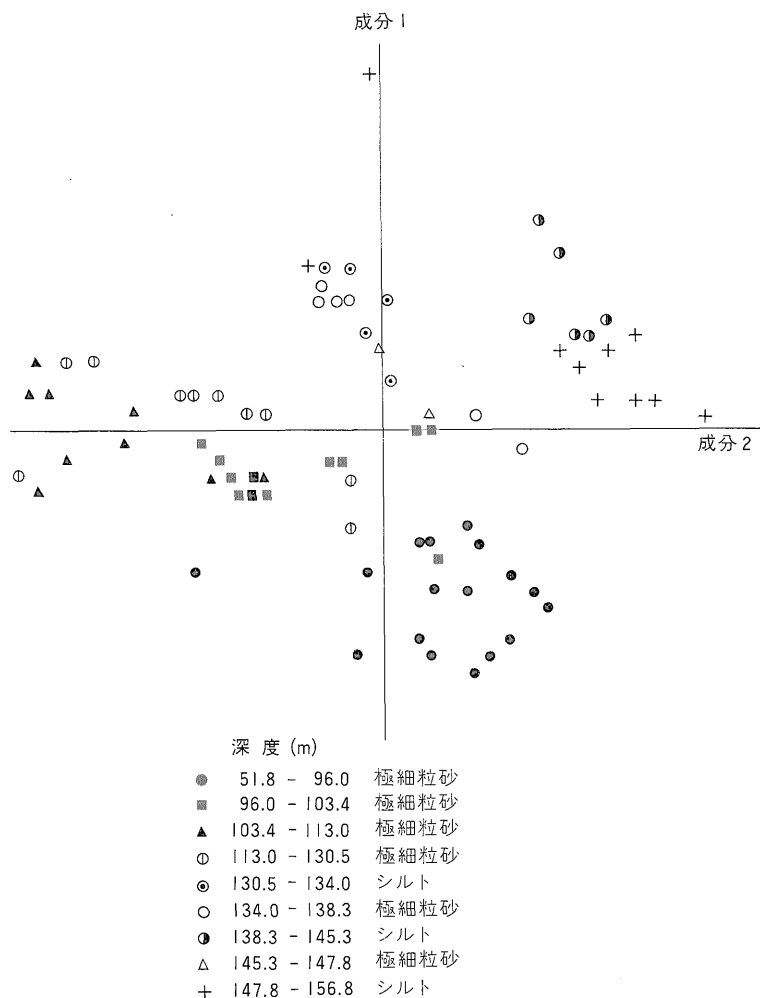
#### 4.4 堆積環境と微量元素

4.1で示したように、下総層群と上総層群とでは、全硫黄・有機態炭素・リチウム・クロムなどの元素含有量に違いが見られた。これは、石崎層が上総層群に不整合に重なることから分かるように、堆積環境の変化があっ

たものと考えられる。下総層群が、浅海性・酸化的な初生環境であり、しかも、その後陸水の影響を受けたために上総層群との間に含有量の差が生じたのであろう。

上総層群に注目すると、全硫黄・有機態炭素・リチウム・クロム・ニッケル・銅・ストロンチウムの含有量が、試料採取深度にともなって変化する。上総層群は、浅海へ移行する一連の堆積物と言われており、これらの微量元素含有量が、それに伴って変化していることが明らかとなった。特に、全硫黄・有機態炭素含有量等は、堆積水深の変動パターンと一部類似した変化を示した。従って、当地域において、これらの元素含有量が堆積環境(特に水深)の変動を反映した存在パターンを示すと考えられる。

堆積物中に含まれる元素の中で、堆積環境指示元素として知られているのは、ホウ素、ガリウム (POTTER *et al.*, 1963; KEITH and DEGENS, 1959)、硫黄 (KEITH and DEGENS, 1959; 狛ほか, 1974; 寺島ほか, 1981)、リチウム、バナジウム、セリウム (SHIMIZU and MASUDA, 1977)であり、また、トリウム・ウラン比 (ADAMS and WEAVER, 1958)、炭素・窒素比 (中井ほか, 1982)、ホウ素・ガリウム・ルビジウムの三角ダイヤグラム等の種々の元素の組み合わせも検討されてきている。硫黄・リチウムが、同じような海成堆積物でありながら、堆積水深の異なる試料においてその含有量に変化が認められることは興味深い。



第 6 図 上総層群の主成分分析分布図

本地域の堆積物に含まれる微量元素が、このような含有量の変化を示す要因としては、続成時の元素の移動・濃縮等の変化もあろうが、一次的には、

- ① 堆積時の水理条件の変動に伴い、溶液(海水・淡水等)から沈積する量若しくは取り込まれる量に変化した。
  - ② 堆積物を供給する後背地の変化により、碎屑物の質的变化を生じ、含有量の変化を引き起こした。
  - ③ 一定時間内に溶液から沈積する量または取り込まれる量は変わらないが、碎屑物の供給速度が変化して含有量に変化をもたらした。
- 等が考えられる。

堆積物は二次的な続成作用の過程を経ており、本地域

において、この中のどの作用が卓越していたのかは明言できない。4.2でも述べた様に、粗粒砂・中粒砂・極細粒砂・シルトと粒度組成に変化があることから、これらが複雑に関係しているものと考えられる。

堆積環境の変化、例えば海水域から淡水域という様な変化によって生ずる元素含有量の変化を知るためには、元素含有量変化から②・③の要因の寄与を差し引いて①によるものを明らかにしなければならないであろう。単に、全岩の含有量のみで考える場合、HIRST(1968)も指摘しているように堆積速度も考慮しなければならない。そのためには、ある大きさの粒子成分を分析したり、供給物中のある元素との比をとって比べることも、有用な知見を与えることであろう。こうした点は今後の課題で

ある。

### 5. ま と め

茨城県茨城町における鮮新世一更新世の海成堆積物を主とする深度200 m の試錐コア試料中の全硫黄・有機態炭素・銅・鉛・亜鉛・クロム・ニッケル・コバルト・リチウム・バリウム・ストロンチウム・バナジウム・ホウ素・ガリウムの分析結果と、堆積時の水深の変動との関係を検討した。

中一上部更新統の堆積物である下総層群(深度 8.0 m-51.8 m)においては、全硫黄・有機態炭素・クロム・リチウムをはじめとして、今回分析した元素の多くについて存在量が少なく、浅海の酸化的な環境で堆積したものと考えられる。

鮮新世一更新世前期の堆積物である上総層群(深度 51.8 m 以深)は、古生物群集の変遷からみると、下部で浅海区下部(主に N<sub>4</sub>)、上部で浅海区上部(主に N<sub>1</sub>)の環境が推定されるが、その試料中の全硫黄・有機態炭素・クロム・ニッケル・リチウム・ストロンチウムの存在量は、上位に向かって減少する傾向がみられた。また、これらの元素存在量のリズムカルな変化は、堆積水深の変動と類似しており、両者は対応しているものと考えられる。

### 6. 謝 辞

本研究を行うに当たり、発光分光分析法の御指導をして頂いた地質調査所技術部伊藤司郎技官、資料等に関して便宜をはかって頂いた同所地質部滝沢文教技官・地殻熱部金原啓司技官に厚く感謝します。また、本稿をまとめるに当たり、種々有益な御教示をいただいた同所技術部藤貫正技官に厚く御礼申し上げます。

### 文 献

- ADAMS, J. A. S. and WEAVER, C. E. (1958) Thorium to uranium ratios as indicators of sedimentary processes: Example of concept of geochemical facies. *Bull. Amer. Assoc. petrol. Geol.*, vol. 42, p. 387-430.
- AOKI, N. and BABA, K. (1980) Pleistocene mulluscan assemblages of the Boso Peninsula Central Japan. *Sci. Rep., Inst. Geosci., Uni. Tsukuba, Sec. B*, vol. 1, p. 107-148.
- BERNER, R. A. (1981) A new geochemical classification of sedimentary environments. *Jour. Sed. Petrol.*, vol. 51, p. 359-365.
- DEGENS, E. T., WILLIAMS, E. G. and KEITH, M. L. (1957) Environmental studies of carboniferous sediments Part I: Geochemical criteria for differentiating marine from fresh-water shales. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, vol. 41, p. 2427-2455.
- GOLDSCHMIDT, V. M. (1954) *Geochemistry*, Clarendon Press, Oxford, 730 p.
- and PETERS, C. (1932) Zur Geochemie des Bors. *Nachr. Ges. Wiss. Goettingen, Math.-physik. kl.*, III, p.402-407.
- HIRST, D. M. (1968) Relationships between minor elements, mineralogy and depositional environment in carboniferous sedimentary rocks from a borehole at Rookhope (Northern Pennines). *Sed. Geol.*, vol. 2, p.5-12.
- KEITH, M. L. and DEGENS, E. T. (1959) Geochemical indicators of marine and fresh-water sediments. *Researches in Geochemistry*, Jone Wiley & Sons, p. 38-61.
- 猪 武・坂本 亨・安藤 厚(1983) 茨城県中部地域における上部新生界堆積岩の全硫黄と堆積環境。地調月報, vol. 34, p. 279-293.
- 中井信之・太田友子・藤沢 寛・吉田正夫(1982) 堆積物コアの炭素同位体, C/N 比および FeS<sub>2</sub>含有量からみた名古屋港周辺の古気候, 古海水変動。第四紀研究, vol. 21, p. 169-177.
- OYAMA, K. (1973) Revisoin of Matajiri Yokoyama's type mollusca from the Tertiary and Quaternary of the Kanto area. *Palaeontological Society of Japan, Special Papers*, no.17, 148 p.
- POTTER, P. E., SHIMP, N. F. and WITTERS, J. (1963) Trace elements in marine and fresh-water argillaceous sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 27, p. 669-694.
- 坂本 亨・相原輝雄・野間泰二(1981) 石岡地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 47 p.
- SHIMIZU, H. and MASUDA, A. (1977) Cerium in chert as an indication of marine environment of its formation. *Nature*, vol. 226, p. 346-348.
- 寺島 滋(1979) 赤外吸収分析法による岩石、鉱石、



- 堆積物中の全炭素, 全硫黄, 炭酸塩炭素,  
非炭酸塩炭素の定量. 地調月報, vol. 30,  
p. 609-627.
- ・稲積章生・石原舜三(1981) 中国, 四国地  
方の泥質岩中の炭素と硫黄. 地調月報,  
vol. 32, p. 167-181.
- TERASHIMA, S., YONETANI, H., MATSUMOTO, E. and  
INOUCHI, Y. (1983) Sulfur and carbon  
contents in recent sediments and their rela-  
tion to sedimentary environments. *Bull.*  
*Geol. Surv. Japan*, vol. 34, p. 361-382.
- TUREKIAN, K. K. and WEDEPOHL, K. H. (1961)  
Distribution of the elements in some major  
units of the earth's crust. *Geol. Soc. Amer.*  
*Bull.*, vol. 72, p.175-192.
- WALKER, C. T. (1963) Size fractionation applied  
to geochemical studies of boron in sedimen-  
tary rocks. *Jour. Sed. Petrol.*, vol. 33, p.  
694-702.
- (1975) *Geochemistry of Boron*. Academic  
Press, 414 p.

(受付: 1984年10月1日; 受理: 1985年1月16日)