

## 続成過程で海成堆積物中に生成される水質型について\*

O. V. SHIKINA

矢部 之 男 訳

いろいろな研究者により、軟泥水、間隙水、あるいは自由面水溶液とさまざまに呼ばれている水、すなわち、底質中に浸透している水の主化学組成に関する研究は、ますます研究者の注目を引くようになってきている。このような関心が生じた理由については以下によつて説明することができる。すなわち、これらの研究データが地殻中に分布し、実用上の価値のある層間水の生成問題との関連においても、また続成作用の初期段階において底質中で行なわれる過程の研究に対しても、科学上実用上関心をよぶからである。

海洋学研究所が軟泥水の化学組成に関して、組織的な研究に取り組む以前には、事実資料となるものはきわめて少なかったので、堆積物中に包有される海水の変成過程は、さまざまに論じられていた。

一連の研究において、堆積物からの水の採取法、すなわち水の抽出法に関して誤まつた方法が用いられたということで、事情はさらに複雑となつた。各種の過程が進行する際に生ずる固相からの塩類の溶解、不安定化合物の酸化、置換現象などのために、ここに示したような抽出物の分析資料は間違つた結果をもたらした。

このような状況だつたので、海洋学研究所では軟泥水の採取法ならびに化学分析法の開発から着手した。

公表された方法によつてはデータを詳細に説明しえないので、2、3の基本的要因を強調する必要があると思われる。すなわち、1) 加圧により軟泥水が圧縮されても、創り出された圧力(3000 atm)では実際には、軟泥水の濃度と個々のイオンの濃度は変化しない、ということが実験により示され、2) 特に有機物質に富む堆積物が蓄積されると、それらの中に包有される水の組成は本質的な変化をこうむる。したがつて、船上で堆積物の柱状を採取する際には即座に軟泥水を抽出する必要がある、ということである。この必須条件は、周知のように、外国の海洋学者達によつて守られておらず、誤まつた分析データをもたらす結果となつている。

軟泥水の主化学組成に関する研究が、現在、幅広い材料について行なわれるようになり、幾多のソ連学術探険隊、すなわち、主として調査船“ピチャージ号”による極東海域および太平洋(堆積物柱状57個の採取・研究)の研究、“アカデミック・ワリロフ号”による黒海とアゾフ海(20柱状)の研究、“ミハイル・ロモノソフ号”による大西洋の研究が行なわれるようになった。インド洋や南極海域においても試料が採取されるようになった。

N. N. スウィコフと E. I. クディオフの開発になる最新式の ground pipe 系装置の使用によつて、10m以上もの堆積物コアを海底から引抜くことが可能となつた。軟泥水の主化学組成について、地史的、すなわち、現世の表層堆積物から比較的古期の10m以深にある堆積物のコアの垂直方向についても、また、堆積物のタイプとそれとの相互関係についても研究されるようになった。軟泥水の層準別の化学分析、すなわち、それらに含まれた水のタイプそれ自体を決定する主化学元素濃度(塩素、臭素、硫酸塩、アルカリ量、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウムおよび一連の他の元素；アンモニア態窒素、硼素、磷、珪素)の定量のほか、固相の分析が平行して行なわれた。堆積物の堆積岩石学的記載、堆積物中の有機炭素

\* O. V. Шишкина : Типы Вод, формирующихся в Морских Осадках в Процессе Диагенеза Современные Осадки Морей и Океанов, Издательство Академии Наук СССР, p. 549~559, 1961

(窒素), 炭酸塩, シリカ含量の定量, 堆積物の化学組成, 粘土鉱物組成および顕微鏡による研究, という総合的な研究が開始された。これらの分析は, 海洋学研究所堆積学研究室でも, 他の研究所, 主としてソ連科学アカデミー地質学研究所比較堆積学部でも行なわれた。

軟泥水の分析データと堆積物の性質との比較によつて, 3型の軟泥水が識別された。

個々の水質型を決定する成分の比較によれば, ある程度の変質はみられるにもかかわらず, I型の軟泥水はそれ自体海成型の水質を示す。

海成型の軟泥水は2類に区分することができる。

1. コアの深さに応じてある程度アルカリ量の上昇が認められる水。
2. アルカリ量が著しく低下し, ある場合には底層水の  $\frac{1}{3}$  以下になる水。

続成過程をへた軟泥水中のIIおよびIII型の水は, 深部変成作用の結果, 海洋型と大陸型という相対立する水に再生され, 一方は塩素・アルカリ型, 他方は塩素・ナトリウム・カルシウム型のものになる。

海洋型の軟泥水は, 海洋水と自由に反応する海洋および公海の堆積物中に分布している。堆積物中において有機物質含量が少ないということが, これらの堆積物の主たる特徴であり, これらの堆積物が海洋型水の保存状態を左右する。

極東海域の公海および太平洋北西部に分布している, 灰色で少量の有機物質と炭酸塩(数%)をもつシルトを伴う粘土質軟泥中での軟泥水は, わずかに変質しており, 数10万年(すなわち, 堆積物中で約12mの深さに相当する)間にわたつて海洋型水として保存されている。太平洋の水深5400mの地点において1953年に採取されたコアが, 全研究例のうちで最長のコアとしてあげられる(第1表)。

第1表 通常の海水と比較しての太平洋の堆積物(第3163測点の柱状)における軟泥水の組成の変化

| 組成および地球化学的係数                                   | 通常の組成をもつ海(海洋)水 | 海底面から50—65cmの深さにある上部層から抽出した水 | 海底面から1135—1150cmの深さにある最下部層から抽出した水 |
|--|----------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Cl <sup>-</sup>                                | 545,8          | 546                          | 554                               |
| Br <sup>-</sup>                                | 0,83           | 0,81                         | 0,85                              |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                  | 56,2           | 56,7                         | 53,3                              |
| Alk  | 2,3            | 2,9                          | 5,4                               |
| ∑ 陽イオン (mg-等量/kg)                              | 605,1          | 606                          | 614                               |
| Na <sup>+</sup>                                | 468,0          | 471                          | 482                               |
| K <sup>+</sup>                                 | 9,9            | 12,1                         | 12,2                              |
| Ca <sup>2+</sup>                               | 20,6           | 19,3                         | 19,6                              |
| Mg <sup>2+</sup>                               | 106,6          | 102                          | 101                               |
| ∑ 陰イオン (mg-等量/kg)                              | 605,1          | 604                          | 615                               |
| Cl <sup>-</sup> /Br <sup>-</sup>               | 293            | 297                          | 288                               |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Cl <sup>-</sup> | 0,139          | 0,140                        | 0,130                             |
| Alk/Cl <sup>-</sup>                            | 0,007          | 0,009                        | 0,017                             |
| Na <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>               | 0,556          | 0,561                        | 0,565                             |
| K <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>                | 0,020          | 0,025                        | 0,024                             |
| Ca <sup>2+</sup> /Cl <sup>-</sup>              | 0,022          | 0,021                        | 0,021                             |
| Mg <sup>2+</sup> /Cl <sup>-</sup>              | 0,067          | 0,064                        | 0,063                             |

続成過程で海成堆積物中に生成される水質型について (矢部之男訳)

第1表のデータから明らかなように、軟泥水はわずかに変質をうけており、個々の成分が組成中でほんのわずかの変質をこうむっている。コアにそう深度とともに、アルカリ量が2.9から5.4 mg-等量増加し、硫酸塩の濃度が56.7から53.3 mg-等量とわずかに低下し、ナトリウム濃度が471から482 mg-等量上昇する、ということがこれらの変質の結果であり、アルカリ土類元素の上昇によつて、I型1類の軟泥水になっている。

通常、深部に賦存し、いわゆる有機物質に乏しく、無炭酸塩あるいは低炭酸塩含量 (CaCO<sub>3</sub> 0.1~0.2%) で、マンガン団塊を伴う赤色粘土や南方海域に分布し、有機物質に乏しい石灰質堆積物のような、I型2類の海成堆積物中においては、軟泥水は高炭酸塩 (CaCO<sub>3</sub> 含量は数10%) 型のそれとは反対に、アルカリ含量が低いことで特徴づけられる。この型の軟泥水は第2表に示す。この型の軟泥水は、アルカリ含量が低いこと、アルカリ金属濃度が最高であること、マンガン含量がいくぶん低いこと、で特徴づけられる。

供試軟泥水中では大抵の場合、硫酸塩がいくぶん上昇するということが認められた (通常のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl 係数に対する上昇)。

軟泥水抽出後の堆積物は、シルトを伴う粘土質軟泥では、有機炭素を0.2~0.5%、炭酸塩を0.1~0.3%含むものである。

各種の堆積物に含まれる各種軟泥水のアルカリ含量は、この作用によつて著しく低下するが、その機構はよくわかっていない。石灰質堆積物中の水に含まれる硫酸塩の濃度が上昇するということは、I. I. ボルコフ、E. A. オストローモフ (1960) の研究で明らかにされたように、硫酸塩の炭酸塩物質からの溶脱の結果生じ、CaCO<sub>3</sub> の形で石灰質堆積物中に含まれる、と推定することができる。カルシウムイオンが軟泥水へと移行する際には、CaCO<sub>3</sub> の溶解度は低下するであろうし、その沈殿をもたらすであろう。このような水質においては、アルカリ含量の低下、カルシウム濃度の減少および硫酸塩含量の増大がみられるはずであり、太平洋海域

第2表 通常の海水と比較しての太平洋の堆積物中における軟泥水の組成の変化

| 組成および地球化学的係数                                   | 通常の組成をもつ海(海洋)水 | 第4011測点の赤色粘土から抽出した水 |                   | 第3918測点の石灰質軟泥から抽出した水 |                   |
|--|----------------|---------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
|  |                | 海底面下0-22cmの上部層      | 海底面下315-340cmの下部層 | 海底面下3-24cmの上部層       | 海底面下215-233cmの下部層 |
| Cl <sup>-</sup>                                | 545,8          | 550                 | 549               | 547                  | 547               |
| Br <sup>-</sup>                                | 0,83           | 0,83                | 0,83              | 0,82                 | 0,83              |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                  | 56,2           | 54,1                | 56,5              | 57,0                 | 61,5              |
| Alk  | 2,3            | 0,7                 | 1,4               | 1,5                  | 1,3               |
| Σ 陽イオン (mg-等量/kg)                              | 605,1          | 606                 | 608               | 606                  | 611               |
| Na <sup>+</sup>                                | 468,0          | 470                 | 477               | 474                  | 479               |
| K <sup>+</sup>                                 | 9,9            | 11,7                | 12,5              | 10,1                 | 15,1              |
| Ca <sup>2+</sup>                               | 20,6           | 19,5                | 18,5              | 22,9                 | 16,3              |
| Mg <sup>2+</sup>                               | 106,6          | 103                 | 99                | 100                  | 100               |
| Σ 陰イオン (mg-等量/kg)                              | 605,1          | 604                 | 607               | 607                  | 610               |
| Cl <sup>-</sup> /Br <sup>-</sup>               | 293            | 293                 | 293               | 295                  | 292               |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Cl <sup>-</sup> | 0,139          | 0,133               | 0,139             | 0,141                | 0,152             |
| Na <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>               | 0,556          | 0,555               | 0,564             | 0,562                | 0,568             |
| K <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>                | 0,020          | 0,023               | 0,025             | 0,020                | 0,030             |
| Ca <sup>2+</sup> /Cl <sup>-</sup>              | 0,022          | 0,020               | 0,019             | 0,024                | 0,017             |
| Mg <sup>2+</sup> /Cl <sup>-</sup>              | 0,067          | 0,064               | 0,062             | 0,063                | 0,063             |

での一連の研究コアにおいて認められている事実である。実際には、V. P. ベテリン（1960）によつて、関連する堆積物に二次的な続成作用による方解石がみいだされている。

アルカリ含量の低下をもたらす原因を解明することはきわめて困難である。というのは、アルカリ含量値が硫酸塩、カリウムおよびカルシウムの含量値よりも1桁低くなり、塩素、ナトリウム、マグネシウムの含量値はそれより2桁低くなるからである。したがつて、アルカリ含量の変化範囲について、これら元素の必然的な分析誤差が著しく現われる（1.5～2 mg-等量/kg）。

赤色粘土の軟泥水中では、アルカリ含量の低下は大部分、石灰質堆積物よりも低次の段階で生じ、また水中を移動する硫酸塩の濃度の上昇によつても生じるが、これはカルシウムのスルフォアルミン酸塩型について、I. I. ボルコフとオストローモフ（1960）が推定したような鉱物の溶融過程で明らかである。

残りの元素の分布に関しては、1類の軟泥水中でみられるのと同じ変化がみられる。これらの変化は、堆積物中で経過する単一鉱物の溶融過程や他の鉱物の生成過程で明らかにすることができる。これらの過程の結果、アルカリ物質は粗粒堆積物中の軟泥水に蓄積される傾向をもつ。つまり、堆積物中にアルカリ物質が多量に存在する場合にも、カリウムの碎屑性フラクシオンは取着過程で水から二次的に抽出される。反対にアルカリ土類金属の濃度は、大部分、水中での取着過程や置換過程あるいは最初の炭酸塩においては少量の液体状化合物の沈殿によつても低下する。

海洋堆積物においてゆるやかなテンポで進行する軟泥水の変成作用は、関連する堆積物中で生ずるごく緩慢な続成過程で証明される。

第II型の軟泥水、すなわち、塩素・アルカリ型軟泥水は、有機物質に富む堆積物中に分布している。P. L. ベズルーコフ（1955）のデータによれば、極東海域、なかんずく、オホーツク海においては、堆積物中への有機物質の富化は大陸斜面下部、大陸棚や海溝にも観察される。極東の太平洋海域では、その中央部に比し、縁辺部において高含量の有機物質を含む堆積物がみられる。一般的特徴として、高度に変成された塩素・アルカリ型の軟泥水とこれらの堆積物との分布が合致している。

有機物質に富む非炭酸塩質あるいは低炭酸塩質灰色粘土質、粘土質珪藻質および珪藻質軟泥中では、酸化物を還元する多量の細菌の生命活動によつて、還元環境が創り出される。これらの堆積物に浸透している軟泥水の組成からの特定の還元段階において、それらの成分の主要な1つ、すなわち、媒体（pHとEh）のすべての物理・化学的条件の変化と軟泥水の全化学組成の転移をもたらす硫酸塩イオンが生ずる。

堆積物の粒度、すなわち、細いフラクシオン粘土分の堆積物における含量が、堆積物の性質を左右する二番目に重要なものであり、それらの表面上で取着作用や置換作用が行なわれる。

第3表には、オホーツク海の水深960 mの点で採取した、このタイプにとつては最も特徴的な1780 mのコア中の軟泥水の組成の変化を示す。

第3表のデータから明かなように、コアの深度に伴うアルカリ含量の表層における10.3 mg-等量/kgから下層における42.8 mg-等量/kgまでの漸進的上昇、アンモニウム濃度の2.9 mg-等量/kgまでの上昇、0.95 mg-等量/kgまでの臭素の増大、および硫酸塩含量の2.9 mg-等量/kgまでの低下、カリウムの12.9 mg-等量/kgまでの減少、マグネシウムの94 mg-等量/kgまでの減少が、極東海域における有機物質と泥質フラクシオンに富む非炭酸塩質堆積物に含まれる軟泥水中で生じている。これらの変化範囲において、始めに堆積物中に埋積された海水が、アンモニウム、臭素、硼素、時には硫化水素に富む非硫酸塩質塩素・アルカリ型水に転移する。

ここで生ずる過程は、以下のように手短かに述べることができる。

統成過程で海成堆積物中に生成される水質型について (矢部之男訳)

第 3 表 通常の海水と比較しての太平洋の堆積物 (第1780測点の柱状) 中における軟泥水の組成の変化

| 組成および地球化学的係数                                   | 通常の組成をもつ海(海洋)水 | 海底面から10—16 cmの深さにある上部層から抽出した水 | 海底面から470—480 cmの深さにある下部層から抽出した水 |
|--|----------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Cl <sup>-</sup>                                | 545, 8         | 523                           | 535                             |
| Br <sup>-</sup>                                | 0, 83          | 0, 84                         | 0, 95                           |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                  | 56, 2          | 49, 8                         | 2, 9                            |
| Alk  | 2, 3           | 10, 3                         | 42, 8                           |
| Σ 陽イオン (mg-等量/kg)                              | 605, 1         | 584                           | 582                             |
| Na <sup>+</sup>                                | 468, 0         | 454                           | 461                             |
| K <sup>+</sup>                                 | 9, 9           | 11, 3                         | 10, 4                           |
| (NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>                | —              | 0, 7                          | 2, 9                            |
| Ca <sup>2+</sup>                               | 20, 6          | 20, 5                         | 12, 9                           |
| Mg <sup>2+</sup>                               | 106, 6         | 97                            | 94                              |
| Σ 陰イオン (mg-等量/kg)                              | 605, 1         | 584                           | 581                             |
| Cl <sup>-</sup> /Br <sup>-</sup>               | 293            | 276                           | 249                             |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Cl <sup>-</sup> | 0, 139         | 0, 129                        | 0, 007                          |
| Alk/Cl <sup>-</sup>                            | 0, 007         | 0, 034                        | 0, 137                          |
| Na <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>               | 0, 556         | 0, 563                        | 0, 559                          |
| K <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>                | 0, 020         | 0, 024                        | 0, 022                          |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>  | —              | 0, 0006                       | 0, 0028                         |
| Ca <sup>2+</sup> /Cl <sup>-</sup>              | 0, 022         | 0, 022                        | 0, 014                          |
| Mg <sup>2+</sup> /Cl <sup>-</sup>              | 0, 067         | 0, 063                        | 0, 060                          |

軟泥水中で生ずる有機物質の硫化水素による微生物学的還元の結果、重炭酸塩および炭酸塩イオンが生ずる。このような理由により、弱い炭酸塩イオンによる強いSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>陰イオンの置換が生じ、アルカリ含量が高くなる。軟泥水のpHは激しい加水分解で上昇し、炭酸カルシウムの沈殿をもたらす。炭酸マグネシウムも部分的に共沈する。マグネシウム濃度の低下もまた、基本的には、おそらく軟泥水からマグネシウムを抽出する粘土鉱物の転移と関係する。関連する堆積物の顕微鏡観察による研究で、自生のCaCO<sub>3</sub>が発見された。粘土鉱物の研究により、コアの深度に伴ってバイデライトとモンモリロナイトが増加するという事実が明らかにされた。

軟泥水を除去した堆積物は、それ自体、微量のハイドロトロイライトを伴う粘土・珪藻質軟泥である。その水分は約70%、0.01 mm以下のフラクシオン含量は90%、有機炭素含量は1.5%、CaCO<sub>3</sub>は0.25、非晶質SiO<sub>2</sub>は43%である。

第3表からわかるように、変質軟泥水はアンモニウムと臭素を多量に含む非炭酸塩質の塩素・アルカリ型水を示し、石油鉱床に伴う水と似ている。

海水の塩素・アルカリ型水への海水の転移は、オホーツク海やベーリング海沿岸部の堆積物およびオホーツク海の内海、すなわち、チンロおよびジエルユーギンや太平洋の千島、カムチャッカ沈降部および大西洋のヨーロッパ沈降部、においてみられる。EmeryとRittenberg(1952)のデータから考えると、同じような水が太平洋の沿カリフォルニア海盆中の堆積物に生成されている。文献データから考えると、現在知られているすべての海成堆積岩類は、大陸棚と堆積物中に埋積された軟泥水をもつ浅海部に堆積したものであり、それらの堆積物と軟泥水は成因的に関連している。ところが、深海部に賦存する堆積物は決して地殻表層部にもたら

されることはなく、海底下にとどまり、水は海洋型のもので堆積物中に保存される。

本論では、第Ⅲの水質型、すなわち、塩素・ナトリウム・カルシウム型水について検討する。

この型の水質は、現世海盆のそれとは異なる水盆、すなわち、黒海のような内陸海の堆積物中に認められる。

長さ約10mの堆積物コアが、すべての海域—海盆の沿岸部、深海域や中央部において採集された。これらの堆積物コアによつて、いろいろな海域で多様の厚さを示す第四紀堆積物の全貌が明らかにされた。これらの第四紀堆積物は、A. D. アルハンゲルスキーとN. M. ストラーフの分類によれば、現世、現世古期、新ユークシン期の地層に相当する。動物群がほとんど存在せず、硫化水素で汚染された深さで採取されたコアには、その基底での成層化部では石化の徴候が認められた。

現世堆積物の研究コア試料は、灰色の粘土・石灰質軟泥で、まれに特徴的な暗色粘土と白色石灰質のはさみとの互層を伴い、しばしば微量のドレワイトを含むものである。堆積物中には黒色のハイドロトロイライトが分布している。

現世堆積物の直下に重なる古期黒海堆積物は、より暗灰色で、粘土のはさみと腐泥の互層からなる粘土質軟泥からなる。腐泥はしばしば有機物質に富む。古期黒海堆積物の下位には、やや灰緑色の新ユークシン期堆積物の粘土質軟泥が重なる。たいていの場合、有機炭素含量が0.1%というような値で示されるのが新ユークシン期堆積物の特徴である。S. V. ブルエヴィッチ (1952) により初めて注目され、そして低鈹化度の公海海盆と関連する塩素イオン濃度の堆積物における深度に伴う低下のほかに、軟泥水の鈹化度の一般的減少や水の塩類組成における他の主成分濃度の変化をもたらす、という事実は、軟泥水の化学組成に関する研究により明らかにされた。その結果、黒海海水の堆積物においては、初めに埋積された水とは異なるものが生成される。オホーツク海の海水について、以前に低鈹化度の塩素・アルカリ型の非炭酸塩水型として記載された水のほかに、黒海の堆積物中には、塩素・ナトリウム・カルシウム型の水が発見された。初生水の特徴については、詳細に検討しなかつたが、水深約215mのヤルタ海峡を横切る沿岸部(第11測点)と黒海西部の水深約1300mの第179測点で採取した2つの柱状例について、塩素・ナトリウム・カルシウム型水の転移に関し手短かに検討してある(第4表)。

これらの水の元素比は、低鈹化度の海洋水と似ているので、黒海の海水の化学組成との比較は行なっていない。

第4表のデータから明らかなように、軟泥水の塩水組成は漸移的に変化しており、第11測点の柱状コアでは4.5m以深、第179測点のそれでは5m以深において変化が生じ、塩素・ナトリウム・カルシウム型水になっている。

黒海の第四紀堆積物における塩素・ナトリウム・カルシウム型水は、次のような生成過程をへたものと考えられる。黒海の堆積物において特に強く生じた硫酸塩の還元過程は、軟泥水中で $\text{HCO}_3^-$ イオンと $\text{CO}_3^{2-}$ イオンの濃度とpHのアルカリ側へのある程度の変位をもたらし、溶液からの炭酸塩の沈殿という環境を創り出した。 $\text{CaCO}_3$ の溶解度を低下させるカルシウムイオンとナトリウムとが置換するため、軟泥水中では次の作用が促進される。炭酸塩イオンの存在が $\text{CaCO}_3$ を適度に沈積されるとともに、ある程度 $\text{MgCO}_3$ の共沈を可能にし、その後、アルカリ量が減小する。したがつて、置換カルシウムの一部は $\text{CaCO}_3$ の型で沈殿するが、大部分は軟泥水中に濃集される。水中に濃集されたカルシウムは塩素を唯一の陰イオンとしてもち、続成過程で軟泥水に蓄積される。ほとんど大部分のカリウムと相当量のマグネシウムは、取着と置換のために軟泥水から抽出される。これらのすべての作用の結果、低アルカリ量で、ほとんど硫酸塩を含まない、カルシウムの含量がマグネシウムより多い型の水、すなわち、典型的な塩素・ナトリウム・カルシウム型水が生ずる。前述の塩素・ナトリウム・カルシウ

続成過程で海成堆積物中に生成される水質型について (矢部之男訳)

第 4 表 黒海堆積物 (第11測点および第 179 測点の柱状) 中における軟泥水の組成の変化

| 組成および地球化学的係数                                   | 第 11 測点の軟泥         |                      | 第 179 測点の軟泥水      |                      |
|--|--------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
|  | 海底面下 20—30 cm の上部層 | 海底面下 650—660 cm の下部層 | 海底面下 5—38 cm の上部層 | 海底面下 748—768 cm の下部層 |
| Cl <sup>-</sup>                                | 328                | 248                  | 357               | 242                  |
| Br <sup>-</sup>                                | 0,49               | 0,41                 | 0,50              | 0,36                 |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                  | 30,4               | 1,7                  | 36,8              | 2,1                  |
| Alk  | 4,8                | 2,3                  | 5,9               | 3,0                  |
| Σ 陽イオン (mg-等量/kg)                              | 364                | 252                  | 400               | 247                  |
| Na <sup>+</sup>                                | 282                | 179                  | 307               | 167                  |
| K <sup>+</sup>                                 | 6,9                | 0,9                  | 5,9               | 0,7                  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                   | 0,5                | 5,1                  | 0,2               | —                    |
| Ca <sup>2+</sup>                               | 17,2               | 45,5                 | 14,9              | 46,8                 |
| Mg <sup>2+</sup>                               | 57                 | 23                   | 71                | 33                   |
| Σ 陰イオン (mg-等量/kg)                              | 364                | 254                  | 399               | 248                  |
| Cl <sup>-</sup> /Br <sup>-</sup>               | 296                | 266                  | 314               | 279                  |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Cl <sup>-</sup> | 0,125              | 0,009                | 0,140             | 0,012                |
| Alk/Cl <sup>-</sup>                            | 0,025              | 0,016                | 0,028             | 0,021                |
| Na <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>               | 0,555              | 0,468                | 0,559             | 0,450                |
| K <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>                | 0,023              | 0,004                | 0,018             | 0,003                |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup>  | 0,0008             | 0,0104               | 0,0004            | —                    |
| Ca <sup>2+</sup> /Cl <sup>-</sup>              | 0,030              | 0,104                | 0,024             | 0,110                |
| Mg <sup>2+</sup> /Cl <sup>-</sup>              | 0,060              | 0,031                | 0,067             | 0,047                |

μ型水の生成図式を立証するために、一連の考察を試みよう。塩素・ナトリウム・カルシウム型水は続成過程においては海成堆積物中には生成されないが、海水と淡水との置換によつては生ずる、という仮説の可能性はまず存在しない。計算の結果により、軟泥水の塩分の変化に相当する割合で水の混合がある場合に、水の組成は 21.2% から 14.5% に変化する、という傾向が明らかにされた。第11測点の柱状における20~30 cmおよび650~660 cm層から採取された水がその例である。淡水の組成は A. M. アルマゾフ (1956) のデータによるもので、ドナウ河から採取されたものである。第 5 表に示したデータから、 $\frac{Na^{+}+K^{+}}{Cl^{-}}$  と  $\frac{Alk}{Cl^{-}}$  の比がわずかに変動する以外は、混合は地球化学的係数に変化をおよぼさない、ということが明らかである。

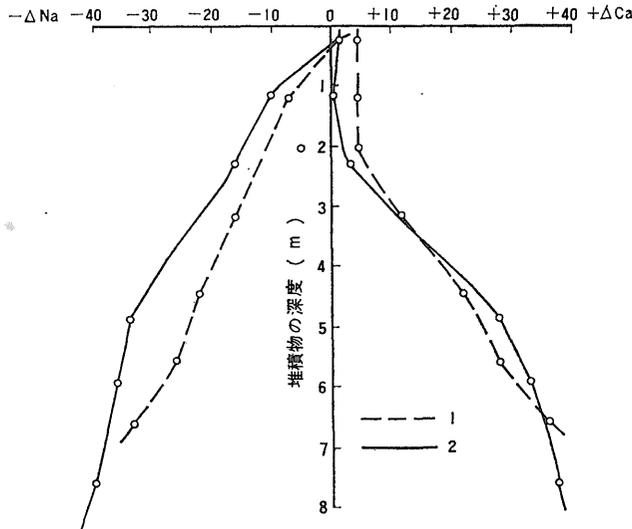
新ユークソン期海盆の水が現在の黒海海水の組成と本質的に差があつた、と仮定するなんらの根拠もない。第三紀の海水がすでに現在の水の特徴をもつていた、ということが知られているので、おそらく、黒海海水は低鈣化度ということだけで識別されるだろう。黒海の第四紀層中における塩素・ナトリウム・カルシウム型水の生成図式に関する個々の状況は、次の分析データによつて確認される。

1. 軟泥水中のナトリウムの起着錯体のカルシウムへの置換は、軟泥水におけるカルシウムの増大値とナトリウム濃度の低下を比較することにより分析的に証明され、これはグラフ (第 1 図) により明らかである。

次のデータからグラフが作成された。すなわち、第11測点と第 179 測点の柱状の軟泥水中に

第5表 混合によりえられる水と続成過程で変成された水の組成との比較 (g/kg)

| 組成および地球化学的係数                                     | 第11測点の柱状の最上部層 (20-30 cm) から抽出した軟泥水 (始めの軟泥水) | 20-30 cm 層の軟泥水とドナウ河の河水との混合によりえられる水 | 第11測点の最下部層 (650-660cm) から抽出した水 (続成過程で変成された水) |
|--|---|------------------------------------|--|
| Cl <sup>-</sup> +Br <sup>-</sup>                 | 11,66                                       | 8,00                               | 8,79   |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                    | 1,46  | 0,99                               | 0,08   |
| Alk  | 0,29  | 0,26                               | 0,14   |
| Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>                  | 6,73  | 4,50                               | 4,16   |
| Ca <sup>2+</sup>                                 | 0,35  | 0,25                               | 0,91   |
| Mg <sup>2+</sup>                                 | 0,69  | 0,47                               | 0,27   |
| 全濃度  | 21,18                                       | 14,47                              | 14,35  |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Cl <sup>-</sup>   | 0,125                                       | 0,124                              | 0,009  |
| Alk/Cl <sup>-</sup>                              | 0,025                                       | 0,032                              | 0,016  |
| Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> /Cl <sup>-</sup> | 0,577                                       | 0,562                              | 0,475  |
| Ca <sup>2+</sup> /Cl <sup>-</sup>                | 0,030                                       | 0,031                              | 0,104  |
| Mg <sup>2+</sup> /Cl <sup>-</sup>                | 0,060                                       | 0,059                              | 0,031  |



第1図 海成堆積物中の軟泥水におけるナトリウムの減少とカルシウムの増加  
1は第11測点における場合、2は第179測点における場合

含まれるナトリウムとカルシウムの含量は、各層について定量分析され、同時に Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup> と Ca<sup>2+</sup>/Cl<sup>-</sup> 比の安定条件から計算された。カルシウムについてのこれらの数値間の差は正であり、横軸にそつて右方に延してあり、ナトリウムについては負であり、左方に延してある。縦軸には、堆積物の試料採取深度が海底面からmで示してある。グラフをみればわかるように、軟泥水中におけるカルシウムの増加と、それに対する実際上のナトリウムの比例的減少は、柱状にそつて深度とともに増している。

ナトリウムが卓越している太平洋の堆積物とは逆に黒海の堆積物の収着錯体中では、カルシ

続成過程で海成堆積物中に生成される水質型について (矢部之男訳)

ウムが第1位を占めている。V. A. プリクロンスキーとN. A. オクニーナ (1957) のデータによれば、黒海堆積物の収着錯体中のカルシウム量は、吸収能の60~90%である。

2. 溶液からのCaCO<sub>3</sub>の沈殿は顕微鏡的に証明される。I. O. ムルドマヤは、石英、長石およびドレワイト粒上に結晶化した炭酸塩の薄縁が存在することを明らかにした。炭酸カルシウムがこのような条件にあるところでは、CaCO<sub>3</sub>の沈殿は、最小の溶存化合物が軟泥水から沈殿するために、軟泥水の一般濃度の塩素に対する比が低下 (S/Cl 比の低下) するという事実で間接的に証明され、例えば、第11測点の柱状においては1.75から1.64、第179測点のそれでは1.84から1.65に低下する。

したがって、自己の水質型を決定し、深部変成軟泥水の生成をもたらす主要元素の濃度の変化は、続成過程で堆積物中に生ずるものであり、他の作用によつて生ずるものではない、と考えることができる。黒海の第四紀堆積物において塩素・ナトリウム・カルシウム型水が生成されるという事実は、天然において広くみられ、実用上大きな価値をもつ塩素・ナトリウム・カルシウム型水の起源に関してわが国や外国の学者の間で広く行きわたつている見解に対して再検討を余儀なくさせるものなので、大きな意義があるといえる。それらの起源は深部にあり、構造的裂かによつて表面に上昇する、という理論がきわめて広く流布されていた。しかしながら、海成堆積物中での続成作用によつて生ずる塩素・ナトリウム・カルシウム型水を通じてそれらが生成され、次の階段 (堆積物の固化、表面へのそれらの上昇、堆積岩への転移) において、透水層中に押出され、類似型の層間水の源泉となりうる、という仮説はごく明白である。したがって、続成過程にある海成堆積物中では海水の陸成型水への根本的な転移が起る、といわざるをえない。