

資 料

551. 313(262. 54)

アゾフ海の堆積物生成にみられる 2, 3 の特性*

M. V. FEDOSOV

矢 部 之 男 訳

アゾフ海における定常流は、栄養物質——“生物源元素”をこの海盆に供給する根源であり、海成堆積物の生成源たる懸濁物中の鉱物粒子を海にもたらす主演出者でもある。ドン河とクバン河の河水から海に搬入される磷および窒素化合物総量のうち、平均して49%から60%までの磷と窒素化合物が懸濁物としてもたらされる（第1表）。

第1表 アゾフ海における溶解生物源化合物ならびに懸濁状生物源化合物年間流入量(1951—1952)

物 質	ド ン 河				ク バ ン 河			
	溶 解 状		懸 濁 状		溶 解 状		懸 濁 状	
	1000 t	%	1000 t	%	1000 t	%	1000 t	%
磷化合物	3, 6	59	2, 5	41	1, 4	20	5, 6	80
窒素化合物	26, 6	56	20, 9	44	13, 4	45	16, 6	55
計	30, 2	56	23, 46	44	14, 8	40	22, 2	60

L. A. パルスコーワと筆者との共同研究により、ボルガ河は河流中に存在する磷と窒素の総量のうち、磷の53%と窒素の43%を懸濁物質として北カスピ海にもたらす、ということが明らかにされている（第2表）。

V. G. ダチェンコとM. M. グセイノフ（1959）がドン河について行なつた研究では、デルタ上流部では、河水中の有機窒素総量のうち碎屑性窒素の含量は、融氷期において平均28~41%、中間期では9~21%である、ことが示されている。植生に富む河川がデルタを越えて流れるため、河川によりもたらされる懸濁性窒素の総含量は海湾において上昇する。停水性の池で著しく発達するプランクトンの生体・死骸の生物量からなる生物源物質の流入量は、河の水門下流

第2表 北カスピ海へのボルガ河の搬入生物源元素(1938~1940 および 1952~1953)

物 質	総 計 (1000 t)	懸濁状態のもの (1000 t)	%
磷化合物	26, 0	13, 8	53
窒素化合物	260, 0	113, 0	43

* M. V. Федосов : Некоторые Характеристики Осадкообразования В Азовском Море, Современные Осадкиморей Океанов, p. 504~511, 1961

で流入量を増し、河口前面域で有機化合物としての窒素と燐を増す。したがって、この現象のため、河水から海へと搬入される溶存燐酸塩としての燐や、鉍化合物としての窒素の量は幾分低下する。

アゾフ海で、化学的に重要な有機質の初生産物の生成条件を研究するにあつては、堆積物生成の性格、その強さを検討することが必要となつてくる。アゾフ海は大陸河川流の最終流入帯でもなく、また乾燥地域の初生被覆層の侵食産物の最終集積帯でもない。海洋と比較した場合、アゾフ海の地理的位置は、まず黒海とアゾフ海との著しい水交換という面からみて、大陸被覆層の侵食産物をアゾフ海に流入・沈積させるといふ点で、アゾフ浅海水盆に中間水盆としての著しい役割を与えている。しかしながら、これら両海間で現在行なわれている水交換(0.5×10⁶tから17×10⁶tまで)の結果、大陸からアゾフ海へと流入する懸濁物質が、黒海へと運び出される海成懸濁物の量を実際上上回つている、という事実からみて、アゾフ海は乾燥地域に生じた多量の固相産物の集積帯である、とみなしうる。

まず第一に、アゾフ海はドン河とクバン河から多量にもたらされる河川懸濁物を沈殿させる独特の沈殿槽といふことができる。流入河川懸濁物の大部分は、河口前面の海域に沈殿する。

アゾフ海の底質は次の成分からなり、平均して以下の百分率で示される。

鉍物質河川懸濁物	45.5	ないしそれ以上。
河川懸濁物中の有機物質	1.4	
海中で生成される有機物質(堆積物中に移行して最も安定した形態になる)	13.5	以内
化学的(炭酸塩)堆積物	6	以内
風成搬入物および沿岸での分解産物	約	33

河から海へと運ばれる年間河川懸濁物量は、ドン気象通報局とクバン気象通報局で観測された一連の夏期における平均値で決められる。

クバン河が多年間にわたつての平均流量で、河水の混濁度が年平均を示す場合には、この河は8.1×10⁶t以内の懸濁物質をデルタまで運び込む。しかしながら、この河水は部分的(40%以内)に河川水盆をこえて広がり、多量に繁茂する水性植物によつて著しくろ化される(ゴルシュコフ, 1955)。最も重い河流懸濁物はクバン河低地の水盆に沈積する。同時に水中には木質の植物片が増加する。多年の夏期平均で6.4×10⁶tの懸濁粒子を運ぶドン河河水は、融水による氾濫期にそれらをデルタまで押し流すが、量的にはわずかである。両河川はそれぞれの河口まで年間10×10⁶tの懸濁物を運ぶ、とみなしうる。河口前面海域と古期の河床には、さらに25~30%の河川懸濁物が沈積し、アゾフ海とその海湾には8×10⁶tの河川懸濁物が流入する。ボルガ・デルタ前縁では、ボルガ河デルタの急速な成長が原因となつて、ボルガ河に比し著しい流速の変化が起るため、40%までの河川懸濁物が沈積する(ブルーエビッチ, 1949)。24年間の夏期におけるボルガ河デルタの成長は、懸濁物の流入によつて、年間平均して全面積の1%弱に達する(フォーキン, 1959)。

海中における植物プランクトンの生命活動の結果、乾燥重量にして25×10⁶tの初生有機物質が年間に合成される。時がたつにつれて、沿岸侵食と風化運搬の結果生成される懸濁物と河川懸濁物とが一緒になつて、この水盆の底質を形成するが、生化学的により安定な有機化合物として沈殿するのは、この物質の精精10%である。T. I. ゴルシュコフの研究と河水および海水のアルカリ量の観測値に基づく計算によれば、アゾフ海では炭酸塩の化学的沈殿物が生ずる、とみなしうる。アゾフ海で懸濁物を生成する全ての固相粒子量は、河口前面海域を除き、年間平均して11.3×10⁶tと推定される。河水の流速を失う河口前面の海域では、特に多量の粗粒懸濁物が沈積するが、これらの懸濁物は部分的に波浪の影響や海流によつて、湾入部や浅海のあらゆる部分に運ばれる。もちろん、今後さらに研究されねばならぬことではあるが、1952年にアゾフ海において観測された海成懸濁物からみて、全海盆についての懸濁物の分布は

一様ではない、とみなされる。われわれによりすでに1951年に、アゾフ海で年間に沈積する堆積物の平均の厚さは0.6 mmである、ということが計算された。

風成搬入物、つまり主としてアゾフ海海岸の崩壊によつて生成される懸濁物もこの水盆での海成懸濁物の生成に関与する、ということ considering、われわれは年間平均の沈積堆積物を0.9 mm以内と訂正増加させている。

海成および河川懸濁物量を 11.3×10^6 t とみなすと、その全量は風成および削磨懸濁物により1.5倍に増加する、つまり $11.3 \times 10^6 \times 1.5 = 17.9 \times 10^6$ t となる。底質を生成する際のそれらの懸濁物の比重(1.25)と平均水分(60%)を考慮すると、年間に沈積する堆積物の厚さは0.9 mmとなる。

アゾフ海の底質に沈殿する有機物質だけが、部分的に、この水盆に供給された物質の転換をもたらす。沈殿した有機物質、再生した磷酸塩、アンモニア陽イオン、珪酸塩陰イオンの形態を示す鉱物物質の相当の部分は、既知の条件下でこの水盆の水層へ逆戻りし、植物プランクトンが新たな有機物質の生成に関与する可能性がある。アゾフ海においてはこのような過程は、初生の生物源元素量に関し幾回(10回以内)も減少段階をこうむる(ゴルシュコーワ, 1955)。水盆における初生産物の化学構造を詳細に研究するにあつては、どのような条件の場合に、底質中の生物源元素が海水上層部へ移行するのか、どんな形で移行するのか、あるいはその移行はどの程度の強さで行なわれるのか、ということを解明するのは興味がある。これからの問題を解決することは、堆積物の生成作用やその特徴に対して、解答するだけにとどまらず、供給物質による水盆水層中の二次的富化に及ぼす底質の意義を解明する手掛りを与える。

上述のことからわかるように、アゾフ海において、毎年、堆積物の生成に関与する懸濁物質、 17×10^6 t のうち、 2.5×10^6 t の懸濁物質は有機物質——海生プランクトンおよび枯死生物の碎屑——からなる。いいかえれば、アゾフ海の海水において、この水盆の堆積物生成に関与する懸濁物質の15%までが生物源である。アゾフ海とタガンログ湾の底質(ゴルシュコーワ, 1955)では、有機物質含量は他の海の底質より幾分高いけれども、平均して底質の全乾燥物質量の約3%である。と同時に、あらかじめ乾燥させた海成懸濁物中の有機物質含量について、個々に定量した結果では(ゴルシュコーワ, 1955)、アゾフ海海水中の有機物質含量が、底質中のそれに比し高い、ということを示している。海成懸濁物中の有機源炭素含量の分析データをみれば、この海成懸濁物中の有機物質含量値は同じオーダーであることがわかる(ダツコ, 1955)。海水試料の採取、ろ化、秤量により、夏期における海水中の平均懸濁物質含量は、10~15 mg/l である、ということがアゾフ海に関するその当時(1950—1952)の研究により明らかにされている。B. A. スコピンツェフ(1950)は、主として、アゾフ海の東南部について、海水中の懸濁物質の含量を定量し、平均 10 mg/l (9.8 mg/l) としている。アゾフ海に沈殿した懸濁物中の炭素含量は、平均して1 l 当り 1 mg 以下であり、海成懸濁物の有機物質中の炭素含量が50%であることを考慮すると、これら懸濁物中の有機物質含量は平均して16.5~13%となる。これらのデータは上述のわれわれの計算から確認される。

河成、風成、削磨成懸濁物は平均して約3%の有機物質を含み(ゴルシュコーワ, 1952)、その97%は海成の鉱物質懸濁物を形成する鉱物粒子からなる。この水盆で底質が生成される際の二次的作用が、アゾフ海における海成懸濁物と底質中への有機物質含量の著しい分散をもたらす原因となつている。底質中で生ずる新たな物理化学的条件下において沈殿した海成懸濁物が、底質の生成時に引起される続成作用、つまり二次的現象によつて、分解・再生され、鉱化をこうむる、と認めざるをえない。水層中に懸濁物があつた時から、未鉱化の懸濁物中の有機物質は、底質中でその後、分解と鉱化作用をこうむるが、有機物質の生化学的分解という点に関して、きわめて徐々にしか変化をうけない。

底質の最上層部にある有機物質は、絶えず濁つており、底質に固着する時まできわめて長期にわたり、水層中に懸濁状態で存在する。アゾフ海では、その後に底質最上層部の絶えること

のない濁りによつて平均厚約1mmの層が生成される。この層は黄褐色海底軟泥の薄い酸化被膜としてアゾフ海にみられるだけでなく、カスピ海北部でも認められる。上述の分析データから判断すると、アゾフ海全体で 3.2×10^6 t以内の懸濁物質、すなわち、アゾフ海の底質の生成に毎年関与する懸濁物質量の約19%が、ほとんどいつでも存在する。暴風雨時には海底表層の濁りが著しく強まり、海水中の懸濁物量は増加する。したがつて、水層において海成懸濁物が形成される時点から、きわめて長期にわたり海底に沈殿し、ふたたび濁りながら最終的に底質へと移行するまで、實際上懸濁状態のまま存在する。暴風雨時には、先に沈殿した海成懸濁物は濁り状態の滞留期間を増す。比較的静穏な天候時には、海で生成された懸濁物や河川からもたらされた懸濁物は、70日以上たてば、アゾフ海固有の平均混濁度値を変化させずに、 $\frac{360 \times 3.2 \times 10^6}{17.7 \times 10^6}$ tを沈殿させるはずであるが、暴風雨時には、海の混濁度(海水中の懸濁粒子量)を増し、懸濁状態での混濁度の滞留期間は2~3倍、すなわち、200日以内と最大になる。これらの計算は、海水中で天然水が完全に静穏な状態にある期間においては、懸濁物は水深0.1mのところ沈殿する、という既知のデータから確認される。アゾフ海の平均水深を8.4mとした場合には、アゾフ海の水柱から懸濁物が完全に沈殿するためには、84日が必要である。海成懸濁物として水層中に留まる期間は、河成懸濁物が混濁状態にある期間に較べ、14倍も長い。河成懸濁物をもたらず河水の海への移行期間は、ドン河では約1ヵ月、クバン河では約10日と見積られる。浅海水盆においては、懸濁物中のより不安定な有機物質は、混濁状態にありながらも、このような期間中に著しく鉱化される。先に指摘したように、海成懸濁物中の有機物質は、河川により海に運ばれ、また沿岸侵食と風成運搬の結果海に運ばれる有機物質からなる。前者、つまり河成懸濁物はすでに海に流入する前に著しく分解され、動植物遺骸のより定安した有機物質分となるものであるが、この海で死滅したプランクトンや他の生物の遺骸からなる有機物質の大部分も、この水盆において直接分解され、鉱化される。B. A. スコピンツェフ(1950)のデータと補足的な計算から、海水中における新たな有機物質の分解は、懸濁物に含まれる全有機物質量の70ないし95%に達する、ということが証明される。この際、不安定な有機物質の主要部分(約70%)は、アゾフ海的环境下で、懸濁状態にある期間中に水層においてさらに分解される。海底へ沈殿した懸濁物中には、海成懸濁物の組成に入っていた初生の有機物質量の平均して15%が留まる。より安定した化合物として卓越するこのような有機物質量は、アゾフ海の底質の生成に参与する。したがつて、アゾフ海で生成される懸濁物中の有機物質の85%は、すでに水層にある時に鉱化され、残りの15%が海底に沈殿し、その後分解をうけて新たな底質を形成する、とみなさねばならない。すでに述べたように、アゾフ海の底質は有機物の乾燥重量にして、平均3%以下の有機物質を含んでいる。海で生成される初生有機物質量の約12%は、底質中にあつても鉱化される。有機物質のこの部分は、最も安定した形態を示すので、好気性環境やごく酸素に富む環境と絶えず接触するような条件下でも、ごく緩慢にしか分解と鉱化をうけない。海成懸濁物中の有機物質のその後の分解と鉱化の強さを左右する前提となるものは、底質表層部に生ずる新たな無酸素の物理化学的条件やほとんど無酸素の環境および微生物の繁殖である。好気性環境下でより安定した形態を示す有機物質は、底質表層直下の無酸素あるいはほとんど無酸素の条件下において、その後増強分解をうける。それらの分解は、底層水に吸収される酸素により海底の軟泥質部の透化度が特に低くなるため、酸素の流入が極端に困難になる、というような媒体において生じた新たな物理化学的条件下でのみ可能である。淡水水盆で観察されるように、脆弱構造を示す軟泥への酸素の浸透は、深さ10mmを越えることはない。海底の表層部にある全酸素をさらに利用する底質最表層部の微小植物群が補足的な阻止要因となる。インジケータを利用してわれわれが行なつた実験観察から、海底での比較的多孔質な層においてさえ、酸素の大部分が浸透するのは上部1mmの層に限られる、ということがはつきりと読取れた。

海成堆積物からの底層水への生物源元素の移行現象は、以下のような交換として表わすこと

アゾフ海の堆積物生成にみられる 2, 3 の特性 (矢部之男訳)

が出来るよう；すなわち、1) 海底の固体粒子と底層水との直接的交換、2) 固定粒子と自由底質溶液^{注1)}との交換、3) 自由底質溶液と底層水との交換。底質からの自由底質溶液自体の逸出、あるいは海底表層からの自由底質溶液の洗い出し、あるいはまた、この水盆の海水準と沿岸部の自由地下水層準との差によつて、底層水中に生物源元素が富化することが可能であるかも知れない。淡水性水盆について研究した多数の研究者は、自由底質溶液による底層水への塩類の富化という観点から、その後を生ずる現象に大きな意義を与えている。しかし、アゾフ海においてはこのような現象は生じていない。この水盆の大きさを考慮すると、水層への生物源元素の逆戻りという底質を通じた浸透過程は、事実上ありえない、とみなすことができる。自由底質溶液による再生鉍化合物と海水のうちの底層水が原因となつて、その後には有機物質の分解と鉍化作用が生ずる。生物源元素の再生化合物、あるいは有機物質の分解産物が海水中にどのように再現されるかは、海水中におけるこれら元素の内部転換の結果生ずるので、懸濁物や底質の分解、鉍化および有機化合物、あるいは部分的に鉍化された化合物の溶解の速度に直接関係する。底質中の固体粒子——有機物質およびそれらの分解ならびに鉍化産物——は底質から海水中へと移行する。海水層における縦方向の対流や乱流が、この移行を促進し、ある段階では、拡散過程が個々の水層における生物源元素化合物の濃度差をもたらす。

2, 3 の研究者は、自由底質溶液について、生物源元素を含む底層水を再度にわたる主要な補給源と考えているが、これはほとんど根拠がなく、特にアゾフ海の条件下ではそうである。海底の自由底質溶液中に主要な生物源の微量元素 (P, N, Si) が高度に濃集されることから考えて——これらの元素は底層水中で数10倍あるいは100倍以上にもなることがあるが——、アゾフ海や他の海水盆においても、底層水にこれら元素を量的富化させることは不可能である。このように、例えば底質の最上層部を濁らす著しい波浪上昇時でも、アゾフ海における懸濁物の含量は平均して3~4倍以上になることはなく、その場合でも懸濁物含量は45~60mg/lである。水深を平均8.4mとした場合には、海底直上の水層中へごく微量の自由底質溶液を機械的洗い出しによつて移行させることができる。水深の平均が8.4mで、懸濁物量が海水中に60mg/lまでというように、著しく増加する場合には、底質1cm³当たり50mgまでの懸濁物を確実に含みうるであろう。ただし、その場合には、比重1.25のとき、容積は0.04cm³である。自由底質溶液1l当たり、1000mkgのP-P₂O₅が濃集しているとすると、底質表層部の水分が80%のとき(アゾフ海の海底軟泥部には存在している)には、底質表層部から約0.03mkgのP-P₂O₅を含む0.032mgの自由底質溶液が遊離する。この程度の濃度は、多量の有機物質を含んでいるアゾフ海の底質中の自由底質溶液にとつては、中程度に高い濃度である。生物源元素の移行“メカニズム”を詳細に解明するために行なつた実験結果では、底質のいかんによる生物源元素の海水への“逆戻り”は海底の広さには関係がなく、海底-水の境界面が等しい場合、安定である、ということが示された。

第3表 アゾフ海の堆積物における生物源元素の濃度増加

海底質の重さ	水分 (%)	自由底質溶液の容積 (ml)	海底の底質の層厚 (cm)	海底-水の境界面 (cm ²)	1昼夜間の平均濃度の増加 (mg)
30	75	22.5	2	10.8	0.11
60	75	45.0	4	⊃	0.12
90	75	67.5	6	⊃	0.11
120	75	90.0	8	⊃	0.12

試験管中での海水コラムの高さとその量は、どれも等しく、それぞれ12cmおよび130mm³

注1) 被圧状態のない軟泥中の水分と考えられる。ロシア語をそのまま訳せば ground solution となる。(訳注)

であつた。

これらの事実と同時に、実験によつて、海水環境にある場合、生物が消費する酸素の割合、すなわち、いろいろな海底の底質で有機物質が分解され鉱化されるというそれらの指標は、根本的に底質中の有機物質質量に左右される、ということが明らかにされた。

1.7%の有機物質を含む軟泥が、生物源物質による最大の酸素消費量(BPK)を示した。実験結果では、1.1%の有機物質を含む軟泥質砂では、BPK値は1/2であり、0.6%以下の有機物質を含む砂質の底質では、BPK値は軟泥質底質の1/3であつた。

結語にあたり、以下のように述べねばならない。すなわち、生物源元素の収支計算に基づけば、浅いアゾフ海においては堆積物の沈積が、いたるところで著しく強く進行しており、この水盆の生物生産力に対して大きな意義を与えている、と考えられる。堆積物の生成それ自体は、乾燥地からの侵食産物の搬入ということがあるので、水盆地に堆積した物質が再配分される程度の長期にわたつて行なわれる。

懸濁物質によつて底質層が生成された後でも、新たな物理化学的条件が生ずると、海底に沈殿したより安定な形態の有機物質は、分解・鉱化・溶解を引起す。このような現象が生ずるので、初めに沈積した物質中では有機質懸濁物は10~15%に達するにもかかわらず、最終的には底質中での有機物質含量は平均して3%を超えることはない。堆積物の生成にまつるこの二次作用は、底層水への生物源元素の補足的循環が原因となつている。

文 献

- Бруевич С. В. Скорость образования донных отложений в Каспийском море. Изв. АН СССР, сер. геогр. и геодез., 1949, 13, №1.
- Горшкова Т. И. О характере органического вещества в осадках Таганрогского залива. ДАН СССР, 1952, т. 86, №2.
- Горшкова Т. И. Органическое вещество осадков Азовского моря и Таганрогского залива. Тр. ВНИРО, т. 31, вып. 1, 1955.
- Дацко В. Г. Ориентировочный баланс органического вещества в Азовском море. Тр. Аз.-Чер. НИРО, вып. 16, 1955.
- Дацко В. И. и Гусейнов М. М. О содержании биогенных элементов и органического вещества в водах нижнего течения р. Дон по наблюдениям за 1956—1957 гг. Журн. «Гидрохимические материалы» т. 29, 1959.
- Еременко В. Я. вещества, сбрасываемые водой р. Дон в Азовское море. Журн. «Гидрохимические материалы», т. 15, 1948.
- Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах. Тр. ГОИН, вып. 17, (29). 1950.
- Страхов Н. М. и др. Образование осадков в современных водоемах. Изд. АН СССР, 1954.
- Федосов М. В. Интенсивность осадкообразования в Азовском море. ДАН СССР, 1952, т. 84, № 3.
- Федосов М. В. Вторичные явления при формировании донных отложений в Азовском море. Информ. сб. ВНИРО, № 2. Изд. «Рыбное хозяйство», 1958.
- Федосов М. В. Химическая основа кормности Азовского моря и прогноз ее изменения в связи с гидростроительством на реках. Тр. ВНИРО, т. 31, № 1. 1955.
- Федосов М. В. и Барсукова Л. А. Формирование режима биогенных элементов в Северном Каспии и интенсивность образования органического вещества Фитопланктона. Тр. ВНИРО, т. 38, вып. 1, 1959.
- Фокин М. И. Рост дельты р. Волги. тр. ВНИРО, т. 38, вып. 1, 1959.