

グレイワッケについて(その2)

—“グレイワッケ”の積成機構とその多様性—

志 岐 常 正*

I ま え が き

前編(その1)では、“グレイワッケ”の特徴のとらえかたやその定義が、どのように変遷してきたか、今どのような状態にあるか、などについてのべた。しかし、ここでも記したとおり、小論の主題は“グレイワッケ”の定義の問題ではない。

本論(その2)では、“グレイワッケ”の「定義」にはこだわらず、前編のいろいろな定義で“グレイワッケ”とされたような各種の砂岩の綜括的な検討を試みる。そのなかで、多様な“グレイワッケ”の特徴のもつ成因的意義と、相互関係を考察したい。この考察は、結果的には、“グレイワッケ”の定義の混乱の原因を検討することになるであろう。

以下、小論で“グレイワッケ”と呼ぶ砂岩のなかには、あれこれの定義でも、また、筆者の見解でも、グレイワッケでないものが含まれている。しかし、上記のような趣旨で、いちいちことわらないので御了解願いたい。

前編を執筆した少し前から、いわゆる“タービダイト”(turbidite) 問題についての研究が、世界的に新たな発展を示しつつある。とくに、現世の“タービダイト”についての研究や、“タービダイト”の堆積構造の生成機構についての研究がすすみ、それらは、本編においてのべようとしているグレイワッケ問題にも、今後さらに直接間接に影響を及ぼすことが予想される。このため筆者は、その2の執筆を約2年間延期して、“タービダイト”研究の発展の現状に照して論点の再検討を行なってみた。しかし今のところ、“タービダイト”についての最近の研究結果は、筆者がのべようとしたグレイワッケについての考えと基本的に矛盾しないと考える。

小論を草するにあたり、名古屋支部水谷伸治郎氏には、その企画から草稿についての批判に至るまで、ひとかたならぬ援助を与えられた。ここに深く謝意を表するものである。京都支部木村春彦、清水大吉郎、徳岡隆夫、亀井節夫、中沢圭二の諸氏、および、九州大学岡田博有氏には、草稿を校閲していただき、あるいは、有益な批判や助言を与えられた。厚く感謝の意を表する。

II “グレイワッケ”の特徴

前編で記述したように、“グレイワッケ”の定義に用いられ、あるいは、その特徴とされた属性は多様である。しかし、それらのうち、かなり共通的にとりあげられていて、重要だと考えられるものは、次のとおりであろう。

- ① 灰色、暗灰色、ないし暗緑灰色の色調をもっている。
- ② 堅硬である。
- ③ 分級が悪く、とくに粘土質基質が多い。
- ④ 岩石片が多い。
- ⑤ 級化成層、その他、“タービダイト”に多いと云われる堆積構造をもつ。

以上のうち、①はほとんどすべての“グレイワッケ”の特徴とみてよい。ただし、これは、“グレイワッケ”が③あるいは④の属性をもつことの結果である。

②も、ハルツ山地でのその名が起って以来、“グレイワッケ”の特徴とされてきたものである。この属性は、多くの“グレイワッケ”が地向斜の堆積物であり、深く埋積されて、いちじるしく続成作用をうけていることに起因している。しかし、より若い地層の場合には、あまり堅硬になっていないのは当然である。

近年では、現世の海底堆積物の場合にも粘土質で、続成作用をうければ“グレイワッケ”になるだろうと思われるようなものに対しては、括弧つきで、“現世「グレイワッケ」”とか、“グレイワッケ的砂”とか呼ばれることがある。

③も、多くの研究者によって“グレイワッケ”の本質の特徴とされているものである。ただし、これにも問題があり、基質が少いようにみえることがあることを前編でのべた。

CUMMINS (1962) は、ほとんどすべての“グレイワッケ”が、その構造から“タービダイト”に起源をもつと考えられるにもかかわらず、それらのうちで、とくに年代の若い“タービダイト”には基質が少なく、古い“タービダイト”には基質が多いということを問題にした。同様の問題は、KRUMBINE & SLOSS (1963) の Strati-

* 京都支部 京都大学理学部地質教室

graphy and Sedimentation 第2版にもべられている。さらに、最近岡田 (1966, 1967) は、古い地質時代の“タービダイト”の場合にも、有名なウェールズ地向斜の“グレイワッケ”をはじめこれまで“グレイワッケ”とされてきた古い砂岩に、基質の乏しい部分を含む例が、かなり一般的にあることを示した。これらの事実はきわめて重要である。それにもかかわらず、“グレイワッケ”と呼ばれる砂岩の多くが碎屑性基質にとむものであること、あるいは、少くとも、そのような砂岩が存在することは否定することができない。

このような“グレイワッケ”の基質は、続成作用ないし低度の変成作用をうけて、粘土鉱物から、さらに雲母類になっている場合もある。しかし、もともとは、前編でものべたとおり、その大部分が碎屑性のものであると考えられる。たとえこの考えがまちがっていたにせよ、さほど変成していない砂岩の場合にも、碎屑性粘土質(泥質)基質や泥質同時浸食礫(いわゆる“shale-patch”)を比較的多く(15%以上)含む例があることは事実である。したがって、砂岩の基質について考える場合には、まずこの事実——つまり、碎屑性基質を多く含む砂質堆積物が堆積するという——が成因的にも説明されなければならぬ。

④は、厳密に言えば、岩石片とは限らず、岩石片あるいは長石片にとみ、また、雲母、角閃石、チタン石、緑れん石、その他、つまり、風化や運搬の過程で分解しやすい(undurable)成分にとむということである。これは多くの“グレイワッケ”の特徴である。しかし、この性質は普通、“グレイワッケ”と呼ばれるのに必須の条件とはされていない。日本の古生層の多くの“グレイワッケ”や、PETTJOHN (1943) によるカナダ楯状地スベリオル湖附近の先カンブリア系の“グレイワッケ”などは、岩石片が少いが、誰も“グレイワッケ”と呼ぶことをためらわない。

⑥も、多くの“グレイワッケ”にみられる現象であるが、この点を欠く以外は、①から④までの性質をすべて典型的にそなえている砂岩も多い。PACKAM (1954) や CROOK (1960) の分類では、このようなものは、“グレイワッケ”ではなく、“不安定砂岩”(“labile sandstone”)と呼ばれている。しかし、それらはしばしば、①～④の性質が著しいという意味において、他の“グレイワッケ”より一層“グレイワッケ”的である。舞鶴地帯の舞鶴層群最上部の公庄層^{くじょう}には、このような例の代表的な砂岩がある。

以下、これらの特徴のいくつかをもっている、多様な“グレイワッケ”の成因的な関係について考察しよう。

とくに、ここでは、続成以前の狭義の運搬、堆積作用について取扱い、その過程で、砂質堆積物が③～⑥の性質の全部や一部をどのようにして持つにいたるか、あるいは持たないようになるかを論じたい。したがって、②の性質、および、続成過程で基質がふえる問題については、しばらくふれないことにする。

III 砂質堆積物の性質を規制する 成因的条件の諸要素

グレイワッケの多様性の起源について、事例をあげて論ずる前に、その必要があると思われる、2, 3 の概念について、解説的に簡単にふれておこう。

A 供給源要素 (Provenance factor)

砂質のものに限らず、碎屑性堆積物の性質は、これを供給した後背地の古地理的条件や源岩の種類によって大きく規制される。とくに、源岩が花崗岩質であるか否かは、形成される砂岩に石英、長石がともに多いかどうか(アルコーズであるか否か)に直接関係するので重視される。一方、供給源に、頁岩、“輝緑凝灰岩”、玄武岩、安山岩などが多いときは、それらの風化によって、多量の泥質物質が生産され、③の特徴をもつ“グレイワッケ”の堆積の条件ができやすい。

なお、広義の供給源要素としては、源岩の種類他に、供給源地の気候条件や地形的条件などが関係することはいうまでもない。

B 成熟度 (Maturity factor)

堆積物は、運搬の過程で風化・分解・淘汰・などをうけ、次第に組織的・鉱物学的組成をかえる。どの程度までこのような変化が進んだ堆積物かを、その堆積物の成熟度という。組織上(textural)の性質についていえば、砂質堆積物の成熟の第1段階は、細粒の粘土質物質の分離である。次の段階で主として砂粒の粒径による淘汰がおこなわれ、最後に砂粒の円磨がすすむ(FOLK, 1951)。このような機構は、一般に承認されている。逆にいえば、グレイワッケのような、泥質基質の多い堆積物は、成熟度が低い段階に止まったものか、または何かの原因で成熟度の回春がおこった堆積物であるといえる。

鉱物組成上の性質についていえば、玄武岩・頁岩その他の岩石片や、長石、角閃石、輝石、緑泥石、緑れん石その他の鉱物粒は、化学的・機械的作用に対して耐久性が低く、運搬の過程で分解・消失してゆく。これに対して、石英やチャート粒は耐久性が高い(durable)ので、最後まで砂質堆積物の構成物として残ることになる。したがって、一般に、ある砂質堆積物の鉱物組成成熟度は、耐久性の高い鉱物の量と低い鉱物の量との割合によ

って定義されている (DAPPLES et al. 1953; PETTIJOHN, 1954).

しかし、ある地層について、その中の石英の多い部分が少い部分より成熟度が高いと一口に云うことはできない。たとえば、碎屑物から、主として機械的作用で長石が砕かれて細くなり、さらに淘汰されて消失する場合を考えると、あるところに、より粗粒の石英にとむ砂岩が堆積するというと、他の場所に、より長石の多い、細かい砂 (～シルト) が集まるということは、同一の事柄の二つの側面にすぎないからである (志岐, 1959a・b, 1961)。

堆積物の成熟度の回春ということは、普通では起りえない。したがって、不安定で耐久力の低い岩石片や鉱物粒を多く含んでいる“グレイワック”は、鉱物組成の成熟度の低いものであるとすることができる。また、もし、石英に非常にとみ砂粒の円磨度や淘汰も高いのに反して、泥質基質を多量に含んでいる、といった“グレイワック”があれば、運搬・堆積の過程で二つの堆積物の混合が起ったか、あるいは続成過程での“基質”の形成といった特殊な事件を考えなければならぬ。

C. 運搬機構について

砂屑物の運搬形式には、掃流力の強弱と粒度の大小によって、転動・跳動・懸濁などがある。平水時の河川の流れや、海流などのように定常流的な流れで運搬が行なわれるときには、運搬距離や時間とともに漸進的に淘汰がすすみ、堆積物は成熟する。これに反して、洪水流や、海底のいわゆる“混濁流”などの場合のように、重力の役割が大きく、乱流の密度流となり、また急な減衰流的な流れである場合には、転動・跳動・懸濁の混合運搬が行なわれ、泥と砂粒、ときには礫までもが混然と一緒に運搬されて、非常に淘汰の悪い——成熟度の低い——堆積物ができやすい。このような場合には、またしばしば、水底の同時浸食によって泥分が追加・供給され、成熟の回春がおこることがある。

D. 海域の区分について

地質時代の堆積の場を考えるにあたって、浅海成とか深海成とかいう言葉が用いられる。現世海洋学の、さらにくわしい地形区分が用いられることもある。しかし、このような言葉の使用は小論でとりあげているような問題を考える場合には、誤解や混乱をおこしやすい。

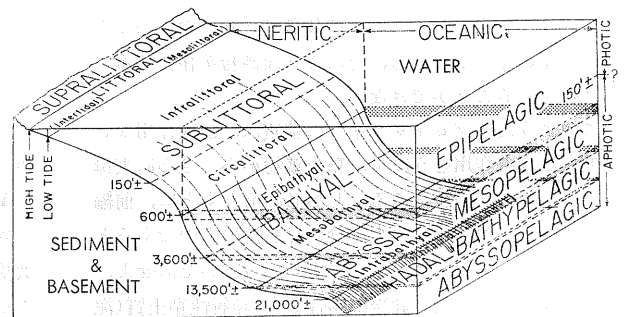
現世海洋学という“浅海”や“深海”は、次の表あるいは図に示すような水深と対応している。

水深 150 m または 200 m (あるいは 600 feet) をも

第 1 表

現世海洋堆積環境の深度による区分

	水 深
浅海成 (neritic)	0 ~ 150 または 200 m
半深海成 (bathial)	150 または 200 ~ 1000 m
深海成 (abyssal)	1000 m 以深



第 1 図 海洋底と海水との、深度による区分。数字はフィート [Hedgpeth (1957) による KRUMBEIN and SLOSS (1963) の図に加筆]

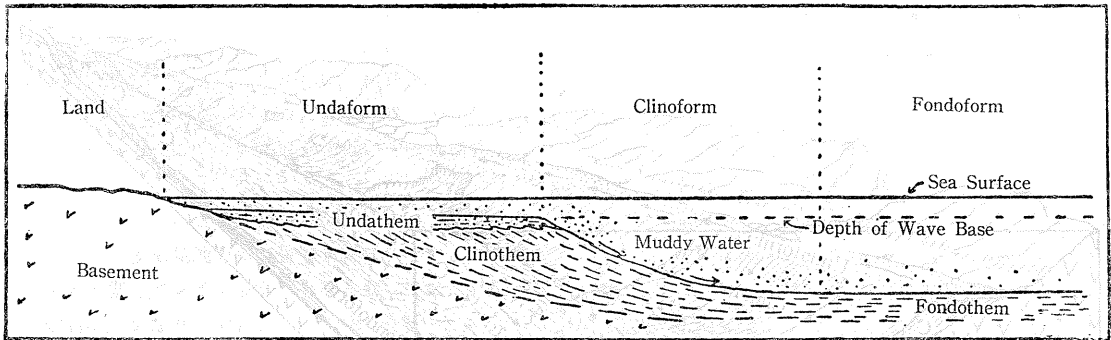
って浅海と半深海の境とすることの意義は、第一に、大地形的にみればこの深度をもって大陸と大洋との真の区分が成立するというところにある。第二には、太陽光線が十分に透過するのが大体水面下 150 m ないし 200 m までであり、これに関連して、生物の生活区にもこのあたりに大きな境がみられるということによる。

しかし、この区分は、あくまでも沖積世という、長い地史のうちでの一断面に近い時期において定義されたものであることに注意する必要がある。この時期は、中新世末ないし鮮新世における 2,000 m におよぶ海水準の相対的上昇 (あるいは海洋底の沈降) や、氷期における海水準変動などの事件を経たという特殊性をもっている。したがって、それ以前の長い地質時代についても現在と同じ大地形区分が適用できるという保証は何もないのである。

E. 堆積の三つの場について

グレイワックの堆積条件を考える上では、堆積の場の絶対的な深さ浅さよりも、Rich (1951) によってのべられたような、三つの堆積場 (unda-, clino-, fondo environment) と、その堆積物 (undathem, clinothem, fondothem) について考えた方がよいように思われる (第 2 図)。

ここでいう、undathem (浪相), clinothem (斜相), fondothem (底相) は、大まかには三角州の場合の頂置層、前置層、底置層にあたり、また、特殊な場合には、大陸棚、大陸棚斜面、大洋深海底の堆積物にも相当するようなものである。しかし、現在の大陸棚平坦面は、



第2図 Undaform, clinoform, fondoform, undathem, clinothem, fondothem, および wave base. RICH (1951) 原図にもとづき一部加筆, “Muddy Water” は原著では, 「暴風後の」と説明されている。

Würm 氷期以後の海水準上昇によって, 大部分 Wave base より低くなっている。したがって, そのような場所には, unda environment はない。大陸棚上には現在新しい undaform, clinoform, fondoform が形成されつつある。

unda environment では, 平常, 沿岸流や潮流その他による澄んだ水中での運搬と淘汰——つまり成熟度を高めるような運動——がさかんであり, これによってできた葉理をもつか, あるいは無層理の砂質堆積物の優勢なことによって特徴づけられる。

Clino environment では, 重力の役割がきく, 一般に混濁した流れが流れ下り, 砂泥の級化成層が発達する*。運搬距離が長ければ, 篩別・淘汰による碎屑物の成熟もおこるが, 逆に, 斜面の傾斜が急で流速が大きかったりすると, 底質の泥をとりこむ場合もある。

Fondo environment は, 通常は流れが弱いか停滞した状態にあり, 無層理ないしそれに近い粘土質物質の堆積するところである。しかし, シルト以下の細粒物からなる, 数 mm, ときにはそれ以上の巾の葉理が発達する場合もある。また縁辺部では, 間欠的に, unda environment や clino environment からの粗粒物質の供給があることがある。

これらの三つの環境による堆積物の特徴の違いは, 後にのべるような問題は別として, 第一義的には, 堆積盆の絶対的な広さ狭さや深さ浅さに関係しないといえる。ただし, 当然のことながら, 堆積の環境がこの三つに分化するか否かということは, 堆積盆の沈降と後背地の隆起, およびこれに伴う物質の供給量の多寡などに関係して, いつでも起るものではない。

堆積盆の形成がまずかなり急速に行われ, それに続いて, 物質の供給が堆積盆の沈降をやや上まわるようになることにより, 堆積が前方に進行し, clinothem の発達**とこれによる堆積盆の三つの環境への分化がおこる。

沈降と供給の両方とも小さいときには環境の分化はない。このような場合, あるいは, unda environment が非常に広く発達しているときには, そこで堆積物は長い期間諸作用にさらされ, 組織上も鉱物組成上も高い成熟度に到達する。これに反し, unda environment が狭いときは, 碎屑物は低い成熟度のままで, clino environment や fondo environment へと落ちてゆく。

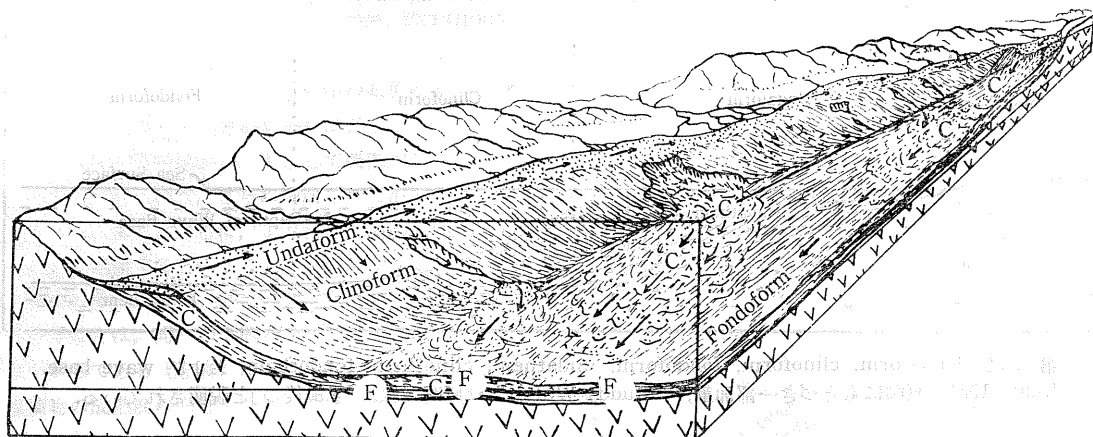
もし堆積盆の沈降がとまるか, 相対的に供給が多すぎるときには, 堆積盆は上方に向かって急速に埋めたてられ, 極端な場合には陸上堆積をも起すことになる。この場合も環境の分化はないが, 成熟度の非常に低い堆積物がつくられる。このような堆積物は, いわゆるモラッセにしばしばみられることはよく知られている。

最近, 多くのタービダイトの堆積構造, とくに底面の“層裏痕”の研究から, 多くのタービダイトを堆積させた流れの主要な方向は, 堆積盆の伸びの方向に並行的であることが明らかになってきた。このような場合, “混濁流”の流れた場所は, 堆積盆の横断面でみるなら, fondoform であるようにみえる。しかし, 堆積盆の縦断面つまり流れの方向に切った断面でみるならば, この流れが重力により傾斜面を流下したものである点において, その混濁流に関するかぎり, clinoform ないし clinoform 前縁にあたるということが出来る (第3図)。

要するに, 筆者のいう“三つの場”とは, RICH (1951)

* RICH は, clinothem の構成物としてはシルトおよび粘土 (clay) のみをあげ, 砂をはぶいている。ここでは筆者のとらえ方に従ってのべる。

** いわゆる“フリッシュ型の互層”がこれである。



第3図 Undaform, clinoform, fondoform, undathem, clinothem, および fondothem. Lateral および longitudinal supply による“タービダイト”の形成

ののべた形そのものをあてはめることではなく、堆積物の成熟度を高めるような運動の場であるか、そうでないかということに主眼がある。以下の記述のなかでの、clinoform, clinothem, などは、このような、流下、運搬機構を含めた観点から使われていることを御了解願いたい。

IV “グレイワッケ”の多様性の起源

A-1

考察の条件を簡単にするため、まず、後背地に花崗岩質岩石が卓越していない場合について考えてみよう。

FOLK (1954) によれば、北米のミシシッピ系上部およびペンシルヴァニア系の砂岩は、広範囲にわたり組織上の性質や組成を次第にかえて、成熟度の低い“グレイワッケ”から“サブグレイワッケ”を経て、粘土質基質の非常に少ない“石英質砂岩”にまで漸移するという。このような砂岩の移化は、沈降の少ない、堆積環境が clino environment や fondo environment に分化していない、大陸地域での砂質堆積物の成熟・進化の典型——いわばその“主系列”とでもいったもの——を示している。

FOLK の“グレイワッケ”の定義はかなり特異なものであり、変成岩片を多く含んでいることに重点がある。他の資料ともつき合せてみると、これらの砂岩には、ところによっては、粘土を10%から、まれには20%近くまで含むものもあるらしい。層裏痕もかなり発達する。しかし、典型的な級化成層の発達する地層はなく、むしろ、斜層理や生痕が顕著である。

これらの砂岩を含む碎屑岩層は、陸上で、河の働きや洪水 (sheet wash) によって、きわめて広く、1,000,000

平方マイル、またはそれ以上の範囲にひろげられたか、または、浅い水中で、定常流的な流れや波浪の影響をうけて運搬・沈積をくりかえして形成されたと考えられているものである。いづれにせよ、いわゆる“グレイワッケ”は、このような堆積の場の縁辺部で、侵食地域からあまり遠くないところに堆積した砂岩を代表しているものであると思われる。

A-2

日本の古生界上部の多くのグレイワッケや、ハルツのグレイワッケの多くをはじめ、“グレイワッケ”と呼ばれる砂岩のきわめて多くのものが、地向斜の堆積物、とくに、いわゆる“フリッシュ”に発達し、級化成層 (graded bedding, 日本ではしばしばリュッシュ型互層と呼ばれる。) をした“タービダイト”を構成するものであることは広く知られている。このようなグレイワッケは、前述のような、“堆積の三つの場”が発達している場合の clinothem や clinothem 前縁の堆積物であると考えられる。

このような場合には、unda environment の広さに応じて、“主系列”上のいろいろな段階にある堆積物が clino environment や fondo environment に落ちてゆく。前述のように、この際の運搬過程は急速であり、unda environment での運搬にくらべて、風化、淘汰その他の作用の影響が小さい。したがって、clino environment がよく発達し、unda environment がほとんど発達しないような場合には、低い成熟度のままの堆積物、たとえばグレイワッケが堆積することになる。

また、unda environment がかなり大きく、一たんはかなりの成熟度の高い堆積物ができる場合でも、その端

において崩壊がおり、砂層だけでなく泥質層の構成物がともに流下すとか、前述のように、流下する混濁流が底質の泥をとりこむ場合とかには、組織上の成熟度だけの二次的低下・回春がおり、泥質基質の多い、——砂粒の鉱物組成成熟度はあいかわらず低い——堆積物ができ。

筆者は、先に、水谷 (1957, 1959) によって研究された、武儀——多治見地方の二畳系を模式にとり、かりにこれを第三型“グレイワッケ”と呼んだ (志岐, 1962)。この砂岩は、かなり大きい“三つの堆積場”をもった、優地向斜に堆積したグレイワッケの好例である*。鉱物組成の上からは、成熟はかなり進んでおり、岩石片や、とくに斜長石の量が少いことが注目される。おそらく、後背地での河川、および unda environment での選択的風化、破碎、淘汰をうけたものであろう。しかし、泥質基質の量は 20~60% におよび、その泥分は、凝集した粒子の形で砂粒とともに堆積したものであると考えられている。

同様の、かなり大きい、“三つの堆積場”をもつ地向斜に堆積した、岩石片の少い、“グレイワッケ”の例としては、スコットランドやウエールスの古生界下部のグレイワッケや、先にふれたスベリオル湖付近の先カンブリア系のグレイワッケなど、多くをあげることができる。

なお、フリッシュの模式地であるアルプス北縁の砂岩には、時代が新しいためか、必ずしもグレイワッケが多くはない。砂岩は一般に石英粒にとむかアルコーズ質で、石灰質のセメントをもつものが多い。しかし、スイスのニーゼン=フリッシュやカルパチア山地の“フリッシュ”には、級化成層や層裏痕がよく発達し、鉱物組成の成熟度も低く、泥質基質の多い“グレイワッケ”がみられる。

A-3

ところで、いわゆる“混濁流”といっても、その内部で粒子の淘汰その他が起らないとは限らない。海底地這りのようなもの (その初めには、まったく不淘汰で、泥分も極度に多い) から“混濁流”が発達するという一つの有力な仮説自体、このことを前提としている。

海洋が非常に大きく、fondo environment に達するまでの距離が長く、しかも、clino environment の傾斜が小さいような場合には、clino environment を流下する間にも、篩別、淘汰など、混濁流とこれに含まれる碎屑物の成熟、老衰がおりうる。

大洋の静水中を混濁流が流れる過程で、粒経や比重の大きな粒子と小さな粒子とが、垂直的にも水平的にも分離してゆく状態は、理論的・実験的にも、また、野外観察によっても、かなり研究されつつある。

たとえば SANDERS (1965) は、級化成層を示す堆積物の、泥を含まない分級砂部 (BOUMA の“級化堆積部”) は、turbulent suspension をもつ流れ (“混濁流”) からではなく、掃流砂ともいべき流動砂層 (flowing-grain layer) から堆積したものであるとのべている**。

岡田が指摘したような、多くのタービダイトの下部に非グレイワッケが多い現象は、このような、水理学的な篩分過程の結果であると考えられる。

また、現世の大洋深海砂や、新しい地質時代のフリッシュその他のタービダイトにグレイワッケが比較的に少ない問題も、おそらくは、白亜紀末や第三紀末に想定される大洋の深化や、その結果としての運搬距離の長大化などと切り離しては考えることができないであろう。この場合、堆積物の成熟は、組織上の性質だけにとどまるものでないことはもちろんである。

A-4

次に、上記とは逆に、堆積盆地が小さく、“三つの環境”の規模がいつも小さいような場合を考えてみよう。

このような場合には、より成熟度の低い、基質の量の点でも鉱物組成上も、もっとも典型的なグレイワッケが形成されるということが当然考えられるであろう。

舞鶴地帯の二畳系舞鶴層群には、その好例が見出される。同層群主部の砂岩は、泥質基質や岩石片にとみ、石英に乏しく、砂粒の淘汰も悪い。そうして、グラニュールないし細粒砂にはじまる級化成層の発達した“タービダイト”でもある。これらは、薄い葉理ないし層理 (これも級化成層している) をもつが、無層理の、黒灰色泥岩層に伴われる。またときに礫質泥岩や泥質砂礫岩がみられるほか、これらの地層を削った谷を埋めて (score and fill) グラニュール~砂岩層が存在する。いろいろな産状の石灰質グラニュールないし粗粒砂岩の基質には、しばしば紡錘虫の個体が含まれているが、これは、その産状や保存状態からみても、より浅い unda environment から運び込まれたものと考えられる。

舞鶴層群のグレイワッケは、グレイワッケとしてもっとも典型的なものであるといえる。本州地向斜の消滅期において、ごく局所的に、しかも隆起しつつある山地に

* ここでは“武儀型グレイワッケ”と呼ぶことにする。

** 本論では、便宜上、この部分も含めて“タービダイト”と総称している。

接して形成された堆積盆のかなり急速な沈降に従って堆積したことが、このような特徴をもつ砂岩を作った。このようなグレイワッケを、ここでは、“舞鶴型グレイワッケ”と呼ぶことにしよう。

ポーランド領カルパチア山地のフリッシュ（漸新統下部）は、タービダイトに特徴的な堆積構造が発達し、くわしく研究されている。いくつかの累層からなっているが、そのうち、セルゴワ（Cergowa）砂岩といわれているものは、グレイワッケの特徴の多くをそなえている（UNRUG, 1966）。堅硬さはないが、分級はきわめて悪く、泥質基質にとみ、石灰岩、片麻岩、放散虫岩、生物破片、などの岩片にとんでいる。ただし、砂粒の粒径が小さくなると、石英や雲母片が多くなり、他の累層の砂岩と似てくる。かなり岩相の変化もあるが、全体的に、“舞鶴型”に属するといつてよいだろう。

A-5

舞鶴層群の堆積盆地は、二畳紀の最末期に完全に消滅したが、その直前に、後背地の急速な上昇に伴って、公庄層というきわめて不淘汰な砂礫の多い岩相や、特異な化石相によって特徴づけられる地層を堆積させた。この時期には、堆積盆はおそらくほとんど埋めたてられていたものと思われる。

公庄層の砂岩が、前述の⑥の堆積構造をのぞいて、分級が悪く基質が多いとか、岩石片が多いとかの、“グレイワッケ”の諸性質をすべてもっているのは、むしろ当然である。このようなグレイワッケを、ここでは“公庄型グレイワッケ”とよんでおこう。PACKHAM (1954) や CROOK (1960) の labile sandstone にあたるものである。

このような特徴をもつ砂岩は、世界各地の造山末期の堆積物にみられる。かなり有名なものとしては、ヒマラヤ南麓に発達する中新統中部～鮮新統中部のシワリク（Siwalik）砂岩がある。この砂岩は非海成といわれていたが、最近の研究によれば、海成の部分から非海成の部分へと移りかわるらしい。公庄層より規模が大きいに、岩石学の特徴も場所により多少異なるが、一般的に非常に不淘汰であり、層理は不完全で、変成岩片が35%から、ときに40%に達するという（SIKKA-et al., 1961; GANJU and SRIVASTAVA, 1962; CUMMINS, 1962 など）。

最近、チモール島のヴィケケ（Viqueque）累層の砂岩が、中新統上部ないし鮮新統という新らしさにもかかわらず、粘土質基質を、体積比で最大30%までも含む“グレイワッケ”であることが注目された。とくに基質の大部分が、続成作用によって形成されたというような証拠は何もないことが強調されている（AUDLEY-CHAR-

LES, 1967)。

この“グレイワッケ”は、押しかぶせ衝上をともなう褶曲山地の前面の沈降部に堆積した後造山時堆積の累層に属している。海成であるが、その大部分が海岸から2 km という近いところに堆積したものとされている。岩石片や不安定な鉄苦土鉱物も多く、石英との比が7:13から、多いものでは1:9に達する。ほとんど例外なく級化成層を示す点では、公庄層の砂岩とは異り、むしろ、舞鶴層群の一般の砂岩のような“舞鶴型”といった方がよいだろう。

ニューギニアの Aure Trough greywacke は、ヴィケケ累層のグレイワッケによく似ているといわれているが、それにしてもやや異常である。構成物のほとんどが、岩石片や角閃石、および40%以上の緑泥石-絹雲母の基質などよりなり、石英は砂粒の0.1%にも達しないことがある（EDWARDS, 1947）。

その他、各地のモラッセ性堆積物の中には、“公庄型グレイワッケ”ないしそれに近い性質をもった砂岩がかなりある。

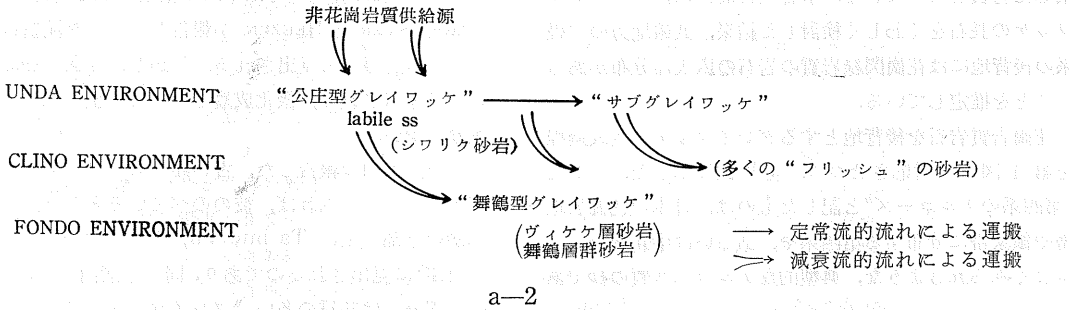
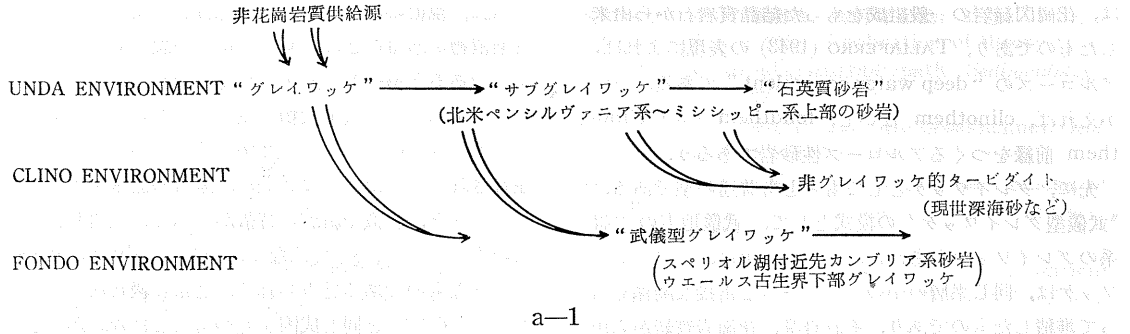
以上のような関係をまとめたものが、第4図aである。ここでは、簡単のために、“グレイワッケ”の後背地が、千枚岩、片岩などの変成岩や、日本の古生層山地のような泥質岩、砂岩、“輝緑凝灰岩”など、その他、玄武岩、安山岩などの火山岩といったものからなる——つまり、非花崗岩質の山地である——場合を前提とした。

B

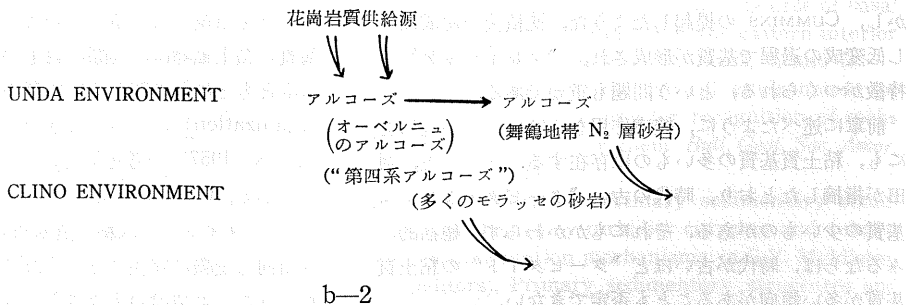
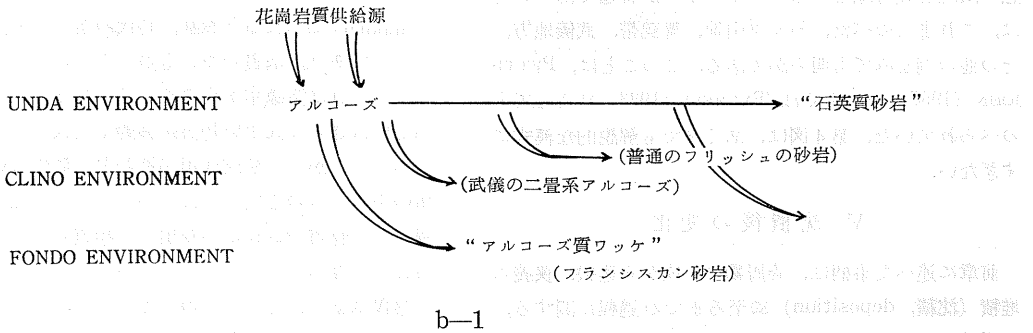
しかし、“グレイワッケ”の第一の重要な特徴が粘土質基質の量の多いことにあるとみるならば、源岩は必ずしも非花崗岩質であるとは限らない。後背地に花崗岩や、花崗閃緑岩、アダメロ岩、トロニウム岩などや、同質の片麻岩類（これらの、石英と長石を主要成分とする完晶質岩をひっくるめて、ここでは花崗岩質岩とよんだ）が分布している場合でも、石英、長石にとみ、しかも粘土質基質にとみ砂岩ができることがありうる。このような場合、岩石片も、しばしばかなり多量に含まれる。しかし、もちろん、その場合の岩石片は花崗岩質岩片である。

事実、前編で示したように、模式地ハルツのグレイワッケは、石英、長石、および花崗岩質岩片をかなり含み、その源岩の主要部は花崗岩質岩を含むものであったことが確かめられている。これに対し、模式地オーベルニュのアルコーズは、ときにかんりの量の基質や岩石片を含むことがある。

花崗岩質岩石を源岩とする“グレイワッケ”の例に、フランスカン（Franciscan）砂岩がある。この砂岩



第4図 a 非花崗岩質供給源をもつ各種“グレイワック”の成因
 a-1 堆積盆が大きい場合 a-2 堆積盆が小さい場合



第4図 b 花崗岩質供給源をもつ“グレイワック”その他の砂岩の成因
 b-1 堆積盆が大きい場合 b-2 堆積盆が小さい場合

は、花崗閃緑岩の一般組成をもった結晶質岩石から由来したものであり、TALIAFERRO (1943) の表現によれば、アルコーズの“deep water equivalent”である。いいかえれば、clinothem ないし、fondthem への clinothem 前縁をつくるアルコーズ性砂岩であろう。

先に、グレイワッケとしてもっとも普通の型である、“武儀型グレイワッケ”の模式として、武儀地方の二畳系のグレイワッケをあげた。しかし、実は、このグレイワッケは、同じ累層の中のアルコーズと密接な関係をもって堆積したものであり、それ自身、花崗岩質岩から由来した物質をもっている。水谷 (1959) は、このグレイワッケの長石をくわしく検討した結果、武儀地方の二畳系の後背地には花崗閃緑岩質の岩石の広大な分布があったことを推定している。

花崗岩質岩石を後背地とするグレイワッケの生成過程を第 4 図 a に対応させつつ、同 b 図に示した。ここで“第四系のアルコーズ”と記したものは、日本の花崗岩地帯や領家帯に分布する第四系や、あるいは中新統などにもよくみられるような、典型的なアルコーズ質の砂である。

実際の堆積物では、非花崗岩質源岩をもつものと、花崗岩質源岩をもつものとが、この模式のようにはっきりわかるものではない。むしろ、両者が混じった複雑な状態の山地を後背地とするグレイワッケが普通であることは、これまでのべた、ハルツ山地、舞鶴帯、武儀地方、その他の例をみても明らかである。このことは、PETTIJOHN (1957) や、古くは、TYRRELL (1933) によってもべられていた。第 4 図は、あくまでも解説的な模式にすぎない。

V 沈積後の変化

前章に述べた事柄は、碎屑物の生成から運搬、狭義の堆積 (沈積, deposition) に至るまでの過程に関する、地質時代を通しての法則性を追求したものであった。しかし、CUMMINS の提起したような、沈積後の続成ないし低変成の過程で基質が形成され、“グレイワッケ”の特徴がつけられる、という問題も重要である。

前章に述べたように、続成作用をうけていない堆積物にも、粘土質基質の多いものは存在する。また一方、岡田が指摘したとおり、時代の古い“タービダイト”にも基質の少ないものがある。それにもかかわらず、総括的にみるならば、時代が古いほど“タービダイト”の粘土質基質が多い傾向があることも否定できない。

前編 (その 1) で筆者らは HOLLISTER と HEEZEN (1964) の“現世のグレイワッケ型砂”についての論文

にふれ、現世の深海堆積物にも泥分を非常に多く含む砂質堆積物があることは、CUMMINS の説に対する有力な反証であると述べた。しかし、見方を変えてみると、泥分が非常に多い砂質堆積物が見出されたのは、118 箇のピストンコアのうちただ 2 例にすぎないことが、逆に注目される。また、この 2 例は、原著の記載をよく検討してみると、組織や組成の特徴からみて、地質時代の普通の“タービダイト”ではなく、むしろ、slump deposit のようなものであるとみられる。通常の級化成層をした“タービダイト”と同じ成因をもつものではないかと思われるような砂は、コアではやはり粘土をあまり含まない。

HOLLISTER と HEEZEN が報告したような泥質砂ならば、日本近海でも見出される。しかし、佐藤 (1962) によって報告された、級化成層したコアの例では、やはり泥分は少い。

一方、岡田の報告した、古い非グレイワッケ・タービダイトについてみれば、彼ののべているとおり、一枚の単層の下部 (主に Ta interval, ときには Tb interval に及ぶ) に見出されるのであり、同一単層内でも、より上位の部分では基質の多い“グレイワッケ”になっているのが普通である。したがって、単層全体としても、累層全体としても、このような古い時代の“タービダイト”の特徴は、基質の多い“グレイワッケ”であることにあるといってさしつかえない。

常識的に知られるとおり、時代の新しい砂質堆積物はルーズであり、基質の多いものでも、古い時代の堆積物にくらべれば空隙率が大きく、イオンやコロイド粒子、あるいはさらに大きい物質が移動や侵入をしやすい状態にある。しかし、続成作用が進むと、砂岩は硬く、空隙率の小さいものとなり、はじめにあった空隙は、他から侵入した物質や砂粒から浸出した物質によってみだされるようになる。

第 IV 章までにくわしくのべたとおり、筆者は粘土質基質が、もともと基質として、砂粒とともに堆積するという考えを重視している。この考えは、「グレイワッケの基質の粘土鉱物は、実際に自生のものであるが、それらはもともと砂粒の間をうめて存在した粘土の再構成 (re-organization) によってできたものである」という PETTIJOHN (1957) の考えに近い。

しかし、CUMMINS ののべたような、時代が新しい“タービダイト”には粘土質基質の少ないものが多いという傾向も実際に存在するとすれば、それは、前章でのべたような、堆積盆の大きさとそれに関連した運搬の距離の問題だけでなく、続成の進んでいない堆積物の内部での、いろいろな機構による物質移動の問題をもあわせて

検討されなければならないだろう。これらの機構については、いまだに、反応論的に具体的に展開できるまでに至っていない。しかし、今後の堆積学研究の上での、もっとも興味ある課題の一つであろう。

VI あとがき

本論の中心は、第IV章にある。それは、第III章でのべた諸概念を運用し、とくに、成熟度の概念を“堆積の三つの場”の広さと深さの問題に結びつけて、“グレイワッケ”の多様性の起源を説明しようと試みたものであった。また、第V章においては、地史的観点を加えて、続成作用による“グレイワッケ”の生成の問題にふれた。

これらの問題のほかにも、“グレイワッケ”の起源を考える上で重要な関連をもつと思われるものに、海水中の塩分の問題がある。しかし、これにあまりふれることによって、本論の主題をぼやかすのは好ましくない。ここでは、第一に、もし塩分濃度が地質時代において非常に変わってきたというようなことがあれば、それは“タービダイト”や“グレイワッケ”の生成の地史的变化に反映している可能性があるということと、第二に、“グレイワッケ”の地史的研究は、逆に、海洋の大きさや海水の組成の地史的発展の検討に資するであろうということとを指摘するに止めておきたい。

文 献

- AUDLY-CHARLES, M. G. (1967) Graywackes with a primary matrix from the Viqueque formation (Upper Miocene-Pliocene), Timor. *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 37, 5-11.
- BELDERSON, R. H. and A. S. LAUGHTON (1966) Correlation of some Atlantic turbidites. *Sedimentology*, Vol. 7, 103-116.
- BOUMA, A. H. (1962) Sedimentology of some flysch deposits. Elsevier, 168 p.
- CONOLLY, J. R. and M. EWING (1967) Sedimentation in the Puerto Rico Trench. *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 37, 44-59.
- EDWARDS, A. B. (1950) The petrology of the Miocene sediments of the Aure Trough, Papua. *Royal Soc. Victoria Proc.*, Vol. 60, 123-148.
- EMERY, K. O., C. Bruce Heezen, and T. D. ALLEN (1966) Bathymetry of the eastern Mediterranean Sediments. *Deep-sea Research*, Vol. 13, 173-192.
- FÜCHTBAUER, H. (1967) Die Sandstein in der Molasse nördlich der Alpen. *Geologische Rundschau*, Bd. 56, 266-300.
- GANJU, P. N. and V. K. SRIVASTAVA (1962) Occurrence of graywacke in the lower Siwaliks, Sima Hills. *Nature Lond.*, Vol. 194, 566-567.
- 星野通平 (1965) 混濁流. 海洋学会誌, 21巻, 31-39頁.
- JOHNSON, M. A. (1965) Application of theory to an Atlantic turbidity-current path. *Sedimentology*, Vol. 7, 117-129.
- KAY, M. (1951) North American geosynclines. *Geol. Soc. Amer. Memoir*, No. 48.
- KRYNINE, P. D. (1937) Petrography and genesis of the Siwalik Series. *Amer. Jour. Sci.*, 5th ser., Vol. 34, 422-446.
- KUENEN, Ph. H. (1964) Deep Sea sands and ancient turbidites. in A. H. BOUMA and A. BROUWER (editors), *Turbidites*. Elsevier, Amsterdam, 3-33.
- (1965) Value of experiments in geology. *Geologie en Mijnbouw*, 44e Jaargang, 22-36.
- (1966) Matrix of turbidites: Experimental approach. *Sedimentology*, Vol. 7, 267-297.
- (1967) Geosynclinal sedimentation. *Geologische Rundschau*. Bd. 56, 1-19.
- MAKIYAMA, J. (1954) Syntectonic construction of geosynclinal neptuns. *Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto*, Ser. B. Vol. 21, 115-149.
- MIDDLETON, G. V. (1965) Density currents experiments. *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, Vol. 49, 351.
- 水谷伸治郎 (1960) 続成作用と自生作用. 名古屋地学, 15号, 18-23頁.
- MOORE, R. C. and D. F. MERRIAM (1965) Upper Pennsylvanian cyclothems in the Kansas river valley. *Field Conference Guidebook, Geol. Soc. Amer. and Associated Societies*. 22 p.
- NATLAND, M. L. and KUENEN Ph. H. (1951) Sedimentary history of the Ventura Basin, California, and the action of turbidity currents. *Soc. Econ. Paleont. Mineralogists, Spec. Publ.* No. 2, 76-107.
- OKADA, H. (1966) Non-greywacke “turbidite” sandstones in the Welsh geosyncline. *Sedimentology*, Vol. 7, 211-232.
- 岡田博有 (1967) 地向斜砂質堆積物研究の問題点. 科学, Vol. 37, 270-276.
- POTTER, P. E. and R. SEVER (1956) Source of basal Pennsylvanian sediments in the eastern interior basin. *Jour. Geol.* Vol. 64, No. 3, 4, and 5.
- RICH, J. L. (1951) Three critical environment of deposition and criteria for recognition of rocks deposited in each of them. *Bull. Geol. Soc. Amer.* Vol. 62, 1-20.
- SANDERS, J. E. (1965) Primary sedimentary structures formed by turbidity currents and related resedimentation mechanisms, in G. V. Middleton (editors), Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation. *Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Pub.*, No. 12, 192-219.

- 佐藤任弘 (1962) 駿河湾湾口のコア資料について。地質雑、68巻、609-617頁。
- 志岐常正 (1959) 舞鶴地帯に分布する二疊系および三疊系の砂岩の2・3の性質、とくに maturity の問題について。地球科学、42号、5-17頁。
- SHIKI, T. (1959) Studies on sandstones in the Maizuru Zone, Southwest Japan—I, Importance of some relations between mineral composition and grain size. *Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto*, Ser. B. Vol. 25, 239-246.
- (1961) Studies on sandstones in the Maizuru Zone, Southwest Japan—II, Graded bedding and mineral composition of sandstones of the Maizuru Group. *Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto*, Ser. B. Vol. 27, 293-308.
- (1962) Studies on sandstones in the Maizuru Zone, Southwest Japan—III, Graywacke and arkose sandstones in and out of the Maizuru Zone. *Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto*, Ser. B. Vol. 29, 291-324.
- 志岐常正, 水谷伸治郎 (1965), グレイワックについて——その1 “グレイワック” の特徴。その定義の変遷——。地球科学、81号、21-32頁。
- 清水大吉郎・志岐常正・中沢圭二・野上裕生 (1962) 舞鶴層群の堆積と二疊紀構造運動——舞鶴地帯の層序と構造——(その11)。地質雑、68巻、334-340頁。
- SIKZZKA, D. B., M. N. SAZENA, S. B. BHATIA, and S. P. JAIN (1961) Occurrence of graywacke in the Lower Siwaliks, Sima Hills, Nature Lond., Vol. 191, 61.
- SLACZKA, A. and R. UNRUG (1966) Sedimentary structures and Petrology of some sandstone members of the Menilite beds, Carpathians. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, Vol. 36, 155-180.
- STAUFFER, P. H. (1967) Grain-flow deposits and their implications, Santa Ynez Mountains, California. *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 37, 487-508.
- ストラーホフ, エヌ・エム (1963) 平山次郎・市川輝雄・盛谷智之・水野篤行, 訳 (1967). 堆積岩の生成

——そのタイプと進化——(I)。ラテイス社。

- TALIAFERRO, N. L. (1943) Franciscan-Knoxville problem. *Am. Assoc. Petroleum Geologist Bull.* Vol. 27. 109-219.
- VAN ANDEL, T. H. (1958) Origin and classification of Cretaceous, Paleocene, and Eocene sandstones of Western Venezuela. *Bull. Amer. Ass. Petroleum Geologists*, Vol. 42, 734-763.
- WALKER, R. G. (1967) Turbidite sedimentary structures and their relationship to proximal and distal depositional environments. *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 37, 25-43.

On “Graywacke”

Part 2 Origin of Variety of “Graywackes”

by

Tsunemasa SHIKI

(Abstract)

In this article, genetic relations between various types of “graywackes” were investigated synthetically.

Several properties which have been pointed out by many workers as the characteristics of “graywackes”, and their meanings, were cited first. Several concepts such as provenance factor, textural and mineralogical maturity, mechanism of transportation (fluidity factor), and “three critical environments of deposition” mentioned by RICH, were summarized in their mutual relations,

The origin of variety of “graywackes” was then explained successfully using the above concepts or ideas as shown in the schematized models of Figure 4.

Post depositional alteration or diagenesis was mentioned in connection with the origin of clay matrix of graywackes.

その1 (本誌81号21~32頁, 1965) 正誤表

頁	行	誤	正
22	本文左側23行目	圧しかためられ, セメント	圧しかためられただけのセメント
25	第7図説明	三角図表による藤井浩二 (1955) による	三角図表, 藤井浩二 (1955) による
27	本文左側下から5行目	範囲	範囲
29	本文左側下から3行目	粘土鉱物がき	粘土鉱物や雲母類ができ
30	左側9行目	かなり有名なもので,	なり有名なもので,
32	英文右側下から7行目	diagenetic	diagenetic