

論 説

グレイワッケについて

——その1 “グレイワッケ” の特徴, その定義の変遷——

志 岐 常 正*・水谷伸治郎**

I ま え が き

砂岩または砂質堆積物は、1) 陸成、海成をとわず種々の環境の下に広く分布すること、2) 先カンブリア時代から現世にいたるまであらゆる地質時代に産すること、3) 礫岩ほど不均質でなく、また頁岩ほど細粒でないため、粒度測定や構成鉱物同定などに適していること、4) 地下水や石油など地下資源の含有母体であること、5) それ自体が建設材料、鋳型その他に多く用いられること、6) 河川、海浜など、土木開発工事の対象となる地域に存在すること、などの理由から、いろいろな領域において広く研究されている。

なかでも、一般に“グレイワッケ”と呼ばれている砂岩は、地質現象のうちでももっとも魅力的な造山作用という事件に密接に関係し、地向斜堆積相に頻繁にみられる岩石であることが知られてからとくに注目され、多くの記載的、成因論的研究の対象となってきた。

ところが、この“グレイワッケ”は、ちょうど火成岩の場合の花崗岩のように複雑な問題を提供し、その定義さえもが一時かなりの混乱に陥るに至った。

日本には、“グレイワッケ”と呼ばれている砂岩は非常に多い。しかし、ほとんどの場合この語は、充分な岩石学的検討をへて適用されているわけではない。なかには、かなり大ざっぱにこの語を使っておきながら、外国の教科書の理論を、しかも逆立ちさせて適用し、「グレイワッケが堆積しているから地向斜だ」といった議論をしている例もないではない。また、砂岩の分類やグレイワッケの定義の混乱のために、実際の砂岩の命名に不便や困惑を感じておられる人も多いと思われる。

現在、“グレイワッケ”の定義について、目くじら立てて論ずることは、さほど興味のあることではないが、問題の経過や所在について、一とおりの紹介を行い、日本の研究者としての見解をのべることは、上記のような状況において、砂岩研究者の責任であろう。

小論の主題は、“グレイワッケ”の定義問題ではなく、

「一般に“グレイワッケ”と呼ばれているような砂岩」について、特徴やその多様性をもつ成因的關係などについて論ずることにある。しかし、その議論は主に小論の続編(その2)においてのべられるであろう。

小論を草するにあたり、京都大学松下進教授、名古屋大学松沢勲教授には、とくに御懇篤な配慮と援助を与えられた。ここに深厚なる謝意を表するものである。亀井節夫氏、中沢圭二氏、および清水大吉郎氏には、あるいは草稿を校閲していただき、また、有益な批判と助言を与えられた。厚く感謝の意を表する。

II グレイワッケの特徴は

どのようにとらえられてきたか

A) “グレイワッケ”という名称は、おそくとも 1700 年代の中頃には、ドイツ中央部のハルツ山地のデボン系および石炭系下部の砂岩に対して、同地の鉱山労働者によってつかわれていた。

1789 年に LASIUS は、グレイワッケを「雲母片、および、チャートや砂岩の岩石片、などを含む、粘土でセメントされた “Quartz breccia” である」と記している (HUCKENHOLZ, 1963a による)。

B) ハルツのグレイワッケと酷似する砂岩は、スコットランド南部高地のオルドビス系およびシルル系においても見出された。JAMESON (1808) は“グレイワッケ”の名をこの砂岩にも適用し、さらに、このような砂岩がボヘミア、ピレネー、フランス、ポルトガルなど、ヨーロッパ各地に普遍的に存在することをのべた。彼によれば、「“グレイワッケ”とは、砂岩の一種であり、いろいろの大きさの砂粒——ときに転動した塊を含む——からなっている。砂粒は粘板岩質によってむすびつけられている。そのことが、石に灰色の色調と硬さを与えている。砂粒片は石英、固くなった粘土質板岩、フリント質板岩、などである。」(BAILEY, 1930 による)。

JAMESON の観察に一部層序学的誤りがあったとはいえ、このとき以来、“グレイワッケ”はある特定の地域に

* 京都支部 京都大学理学部地質教室

** 名古屋支部 名古屋大学理学部地球科学教室

限定された層序名としての意味を失い、後に砂岩の分類名として定義される端緒がひらかれたとみることができ。しかし、詳細な岩石学的特徴について明らかにできなかった当時としては、成因はいうまでもなく、記載的にもこれ以上の問題の進展はみられなかった。

C) グレイワッケの岩石学的特徴は、偏光顕微鏡の発達によって明らかにされた。構成鉱物やその形成、膠結物などについての記載は、ROSENBUSCH (1901, 408-409 頁) や GEIKIE (1903, 166-167 頁) にくわしくのべられている。ROSENBUSCH によると、「グレイワッケは砂質堆積岩であり、一部は礫岩 (Grauwacken-Conglomerate) に、他の部分はグレイワッケ板岩 (Grauwacken Schiefer) を通って普通の粘板岩に漸移する。多くは灰色、緑灰色または青灰色、ときに明るい灰色、褐色、黒色を呈する。砂粒は、多量の石英、正長石、斜長石からなり、円い、あるいは角ばった板岩 (Schiefer)」、珪岩 (Quarzit), まれに輝緑岩、花崗岩、その他の岩石片を伴っている。セメントは(普通の)砂岩と同様、多くの場合あまり大量にはない。それは変質していなければ主に、細い、あるいは粗い、粘板岩質物質 (Thonschiefermaterial) からなっている。しかし、接合物として炭酸塩鉱物や石英がみつめられ、単に他生の碎屑物が圧しかためられ、セメントにはほとんど全く欠けている、といったような場合もある」。

そのほか、「グレイワッケ」の特徴や定義は、最近のものを除いていえば、NAUMANN (1858), BAILEY (1930), TYRRELL (1933), FISCHER (1933), ALLEN (1936) などによってのべられてきた。とくに PETTIJOHN (1943) においては、グレイワッケの特徴として、

- (1) 砂粒は粗い石英や長石の粒からなっている。
- (2) 砂粒は多量の粘土質基質 (低度の変成で緑泥石や絹雲母に変っていることもある) によってうめられている。

(3) 暗色である。

(4) 一般に硬い。

(5) 碎屑性物質は非常に円磨度が低い。

(6) 級化成層、頁岩片の散在などの構造をもつ。

など、後にいろいろな人によって論じられる性質の大部分が、すでに、砂岩の1つの型を示すものとして指摘されている。

D) 「グレイワッケ」の成因論的解釈は、TWHENHOFEL (1932) や ALLEN (1936) によって、はじめて与えられることになった。これらの研究によれば、アルコーズ砂岩が長石片を多く有していて、花崗岩質岩石から由来したものと考えられるのに対して、グレイワッケは主とし

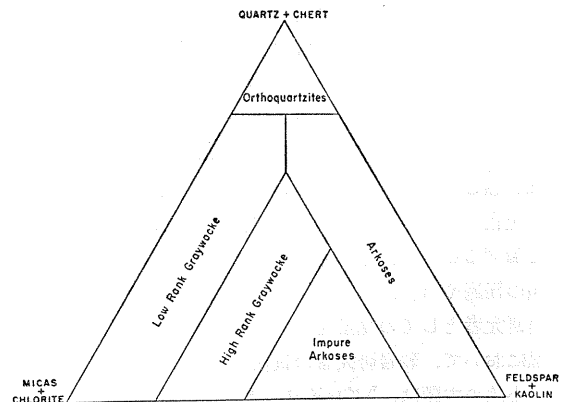
て塩基性火成岩から急速な風化と崩壊によってもたらされたとする。

このようなとらえ方は、今日の知識からみればあまりにも単純化しすぎているが、TWHENHOFEL は 1950 年にも、「グレイワッケはアルコーズの “basic equivalent” として定義され、塩基性火成岩やそれに対応する変成岩から由来した粒を多量に含む」ことをのべている。同様な考えは、FOLK (1954) にもひきつがれた。

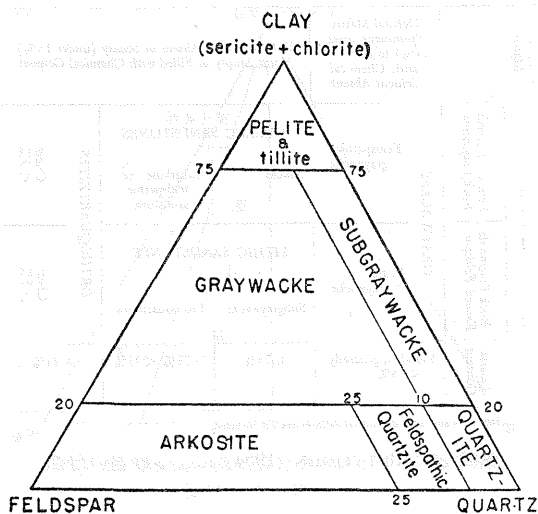
E) BAILEY (1930) は、スコットランド高地その他における観察から、「級化成層 (“graded bedding”) を示す堆積相と “current bedding” を示す堆積相とが互に対立的な関係にあることを指摘し、グレイワッケが前者を代表する特徴的な砂岩であるとのべた。

対立するこれらの堆積相は、JONES (1938) によって、生物化石相の観点から筆石相および貝殻相とよばれ、グレイワッケは筆石相に現れる典型的な地向斜性堆積物の一つであることが強調された。

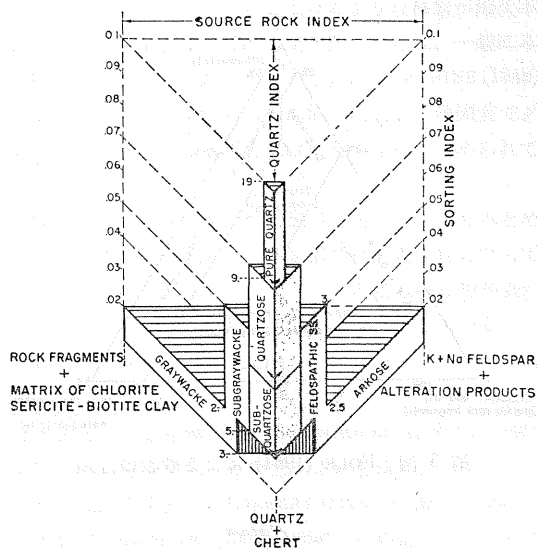
BAILEY や JONES の論文は、グレイワッケを堆積場の環境や、それを支配する構造運動との関連において論じた最初のものとして注目される。このような考えは、その後、いわゆる混濁流 (turbidity current) 説に結びつけられ、しばしば、「グレイワッケ」——級化成層——turbidite——地向斜が密接な成因の関係をもつものとして意識されるようになった。たとえば、PETTIJOHN (1950) は、KUENEN & MIGLIORINI (1950) の論文を解説しつつ、「グレイワッケのもつ、graded structure、鏡下での無秩序 (chaotic) な外観 (著しい、あるいは支配的に多い粘土質基質のなかに、角ばった砂粒が散在している)、current bedding や漣痕がないこと、放散虫を含むチャートと重なり合うこと、頁岩の大小の破片を多量



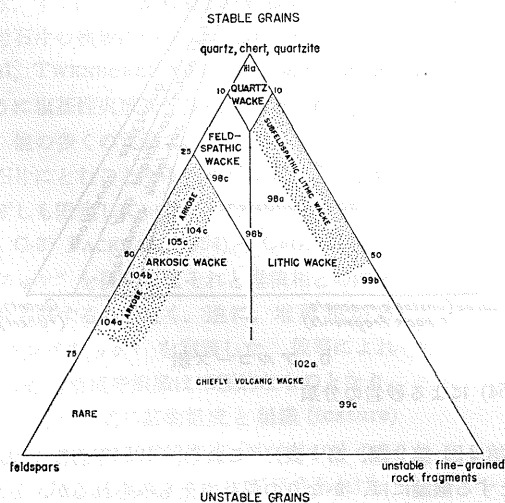
第1図 KRYNINE (1948) による砂岩型分類の三角図表



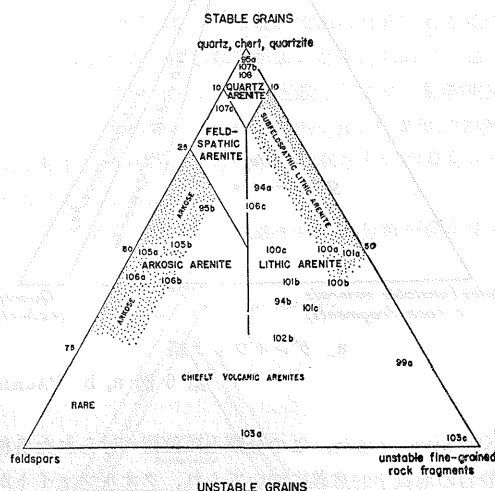
第2図 PETTIJOHN (1949) による砂岩の分類



第3図 DAPPLES, KRUMBEIN および SLOSS (1953) による砂岩の分類



a. Classification of Impure Sandstones, or Wackes



b. Classification of Pure Sandstones, or Arenites

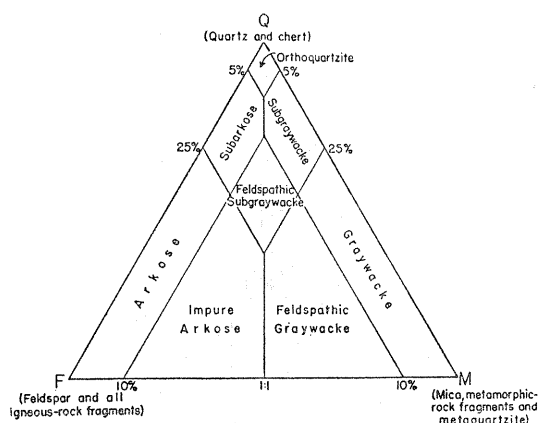
第4a, b図 GILBERT (1954) による砂岩の分類

にもっていること、個々の単層の厚さが一定していること、などの性質は、他の砂岩とくらべると極めて特殊であるが、混濁流説によれば矛盾なく説明されうる」とのべている。

混濁流説は、後述のように、PACKHAM (1954) や CROOK (1960) によって、砂岩の分類やグレイワッケの定義に、はなはだ機械的にとり入れられた。

F) グレイワッケの記載や定義は、前述の、LASIUS から少くとも PETTIJOHN (1943) にいたるまでは、砂岩の

分類のなかに明確に位置づけられていなかった。この点で、第二次大戦後の KRYNINE (1948) による砂岩の分類は、グレイワッケの定義の上でも画期的なものである(第1図)。彼は、砂岩に石英にとむもの、雲母と粘土鉱物にとむもの、長石にとむもの、などがあることをみとめ、これらの成分をそれぞれ頂点とする三角図表による分類を試みた。これは鉱物組成の定量的測定にもとづいて砂岩を分類・定義するやり方の出発点となったものである。

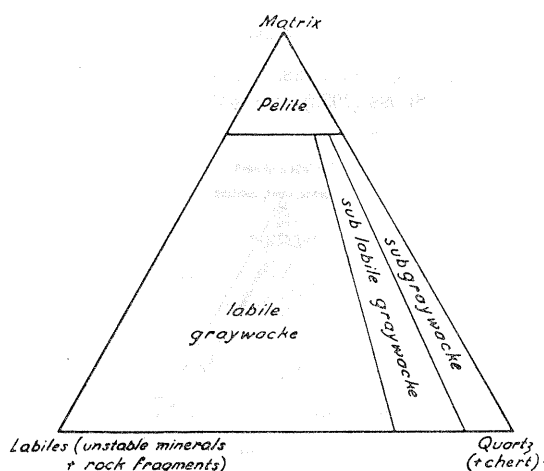


第5図 Folk (1954) による砂岩の分類

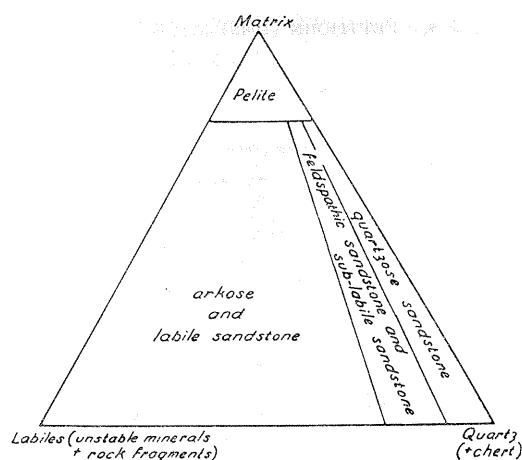
Cement or Matrix	Detrital Matrix Prominent (over 15%) to Predominant. Chemical Cement Absent		Detrital Matrix Absent or Scanty (under 15%) Voids Empty or Filled with Chemical Cement	
	Graywackes		Arkosic Sandstones	Orthoquartzites
Sand or Detrital Fraction	Rock Fragments Exceed Feldspar	Feldspathic graywacke	Arkose	Subarkose or feldspathic sandstone
		Lithic graywacke	Lithic Sandstones	
Quartz Content	Variable; generally < 75%	< 75%	Subgraywacke	Protoquartzites
			> 75% < 95%	> 95%

* Volcanic tuffs and intraformational calcarenites not included.

第1表 PETTIJOHN (1954) による砂岩の分類



a. グレイワック組



b. アルコーズ組

第6図 a, b PACKHAM (1954) による砂岩の分類

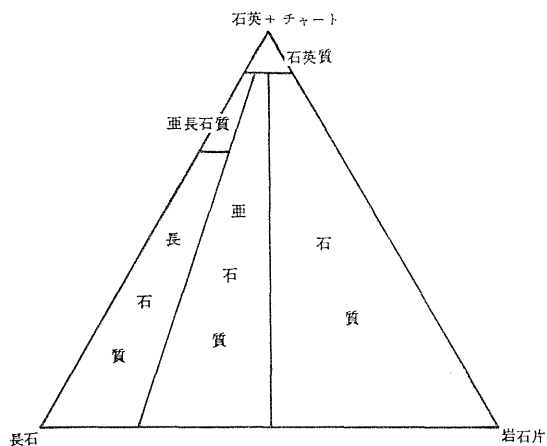
KRYNINE はまた、この分類上に位置づけられた各種の砂岩の地質学的意義についてふれ、クオルツァイトが準平原時代、グレイワックが地向斜時代、アルコーズが造山時代 (post-geosynclinal stage) を、それぞれ特徴づけるものであると述べた。この点で KRYNINE の考えは、BAILEY (1930) や JONES (1938) の見解を総合し、発展させたものであった。

G) KRYNINE (1948) の分類を契機として、TALLMAN (1949), PETTIJOHN (1949), KRUMBEIN & SLOSS (1953), DAPPLES, KRUMBEIN & SLOSS (1953), GILBERT (1954), FOLK (1954), PETTIJOHN (1954), PACKHAM (1954), 藤井 (1955), BOKMAN (1955), РЫЖИХ (1956), PETTIJOHN (1957) など、数多くの砂岩分類法が現れ、そのなかで、“グレイワック” はさまざまに定義されることとなった

(第2図-第9図, 第1表)。これら、1954年前後を頂点とする議論には、かなりの混乱さえみられるが、しかし、いくつかの論文に共通した見解が表明された点もないではない。

G-1) いわゆる“グレイワック”が粘土質基質にとむものであるという点は、多くの論文ではほぼ確認されたところであった。ただ砂岩の分類や定義の上での粘土鉱物の取扱いに関しては、KRYNINE (1948) や PETTIJOHN (1949) のように組成鉱物として扱う立場と、Folk (1954) や 藤井 (1955) に典型的に示されたように、淘汰度その他の組織(Texture)上の性質を示す要素として扱う立場とがある。

G-2) KRYNINE (1948) や PETTIJOHN (1949), KRUMBEIN & SLOSS (1953) などでは、岩石片は無視されてい



第 7 図 砂粒の構成成分を示す三角図表による
藤井浩二 (1955) による

た。しかし、多くの“グレイワッケ”が岩石片にとむことは、その後急速にみとめられるようになった。

前述のように、TWNHOFEL (1932), ALLEN (1936) は、すでに早くから岩石片に注目していたが、しかし、岩石片の種類についていえば、すべての“グレイワッケ”が、TWNHOFEL や ALLEN, あるいは FOLK のいうように塩基性火成岩や変成岩にとむわけではない。

他の多くの定義では、“グレイワッケ”の性質として岩石片にとむことをみとめつつも、その種類については必ずしも限定していない。

G-3) PACKHAM (1954) や CROOK (1960) は、“グレイワッケ”を研究してそれと堆積相との関係を考察するのではなく、逆に、堆積相から“グレイワッケ”を定義した。彼等によれば、鉱物組成や組織は二義的なものとなり、たとえ全く同じ鉱物組成と組織 (texture) をもっていても堆積構造 (structure) のちがいで環境のちがいが示されれば、全く別の系列の砂岩に属することになる (第 6 図)。

彼等の意図したところは、グレイワッケ的な岩質をもったモラッセ相の砂岩を、地向斜のグレイワッケ砂岩から区別することにあつたようである。しかし、この派は、現実の砂岩はそう簡単に環境を区別できるとは限らないということに気付くとともに、すくい難い混迷に陥っていった (CROOK, 1964)。

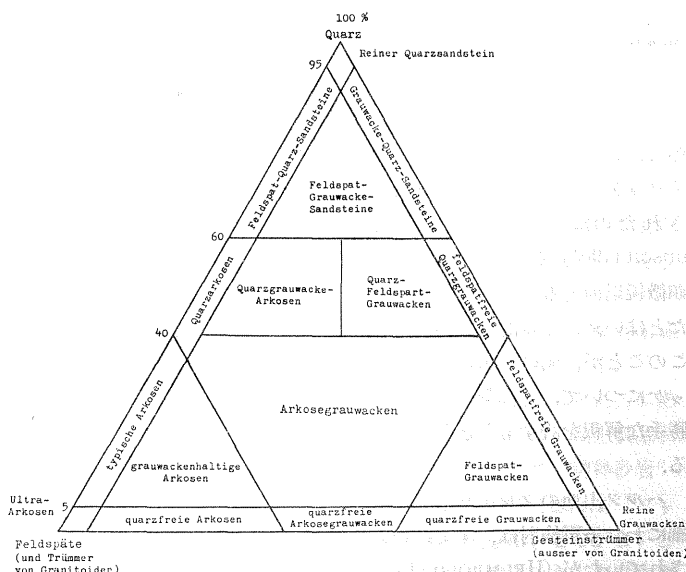
G-4) “グレイワッケ”とよばれるような砂岩が淘汰不良で、多くの場合砂粒の円磨度も低いことは、一般にみとめられている。しかし、この性質は、KRYNINE (1948) や PETTIJOHN (1949) のように鉱物組成の三角図表でグレイワッケを定義する場合には、その条件に含められてこない。

G-5) “グレイワッケ”の堅硬さも古くから広くみとめられているが、上記の多くの定義では必要条件となっていない。このことも、グレイワッケの定義が三角図表による分類名として行われていることに関係している。

H) DUNBER & RODGERS (1957) は、“グレイワッケ”の定義が曖昧であり、人によってかなり用い方に差のあることを指摘した。TWNHOFEL はすでに 1950 年に、この語を使用しない方がよいと論じている。

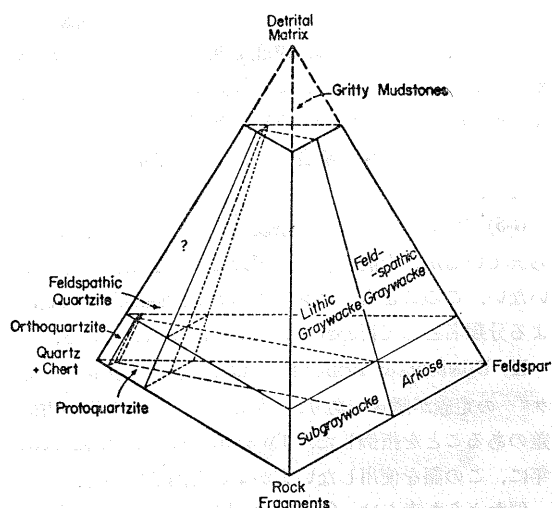
似たような考えは、GILBERT (1954) や 藤井 (1955), のちには MCBRIDE (1962, 1963*) その他によってもべられた。これらにおいては、砂岩の分類名として“グレイワッケ”を使うをやめ、何か他の語たとえば“ワッケ” (“Wacke”) とか、“泥質砂岩”とかをつかい、“グレイワッケ”は、そのなかである特殊なものについてだけつかうことにした方がよいと考えられている。この場合の“グレイワッケ”の定義としては、鉱物組成だけでなく、上述の岩石片の量、淘汰度、円磨度、堅硬さ、ある場合には後背地や堆積盆の状況などの性質を含めて行うことになる。

I) “グレイワッケ”の定義や砂岩の分類が混乱するな

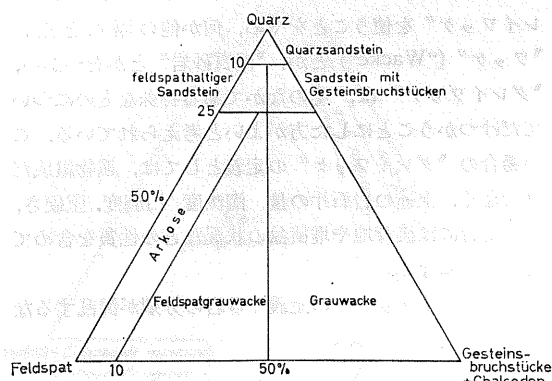


第 8 図 Рухин (1956) による砂岩の分類

* 第 10 図



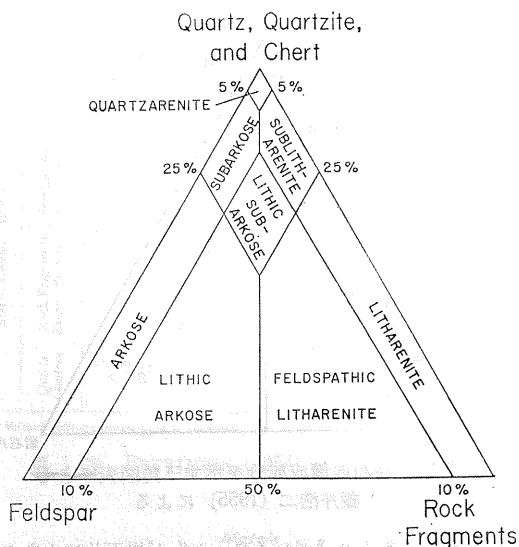
第9図 L. L. CLARK による組成を示す4面体 PETTIJOHN 1957) の図



第11図 FÜCHTBAUER (1959) による砂岩の命名図

かで、この名のおこりであるハルツのグレイワッケの詳しい再検討が要求され、実施されたのは当然のことであった。ROSEN-BUSCH (1901) や GEIKIE (1903) の記載は、顕微鏡以前のものに比べればくわしかったとはいえ、定量的でないうらみがあり、このことが、元の (original な) グレイワッケについて、それをみたことのない人の勝手な解釈を許すもととなっていたのである。

ハルツ山地のグレイワッケについての詳細にわたる再検討は、すでに1952年に発表されていたが (HELBOLD, 1952), あまり知られていなかった。1958年には、これが一般の目にふれやすい形で紹介され、さら



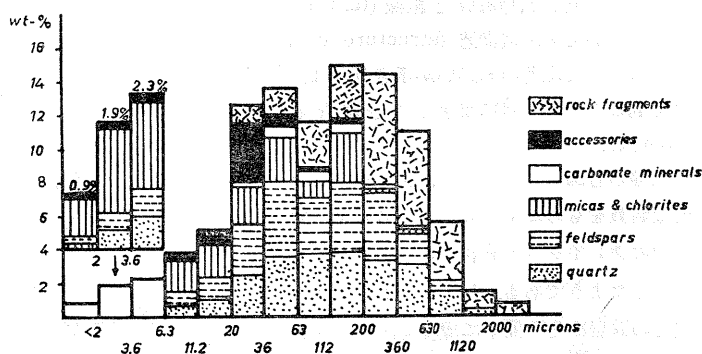
第10図 MCBRIDE (1963) による、“通常の砂岩” の分類

に KRASEMANN (1954), LOCHER (1954), HUCKENHOLZ (1959, 1963a), MATTIAT (1960), HENNINGSEN (1962, 1963) などのくわしい記載がぞくぞく行われていった。それらの結果の要点は次のとおりである。

1) 地角斜に堆積したフリッシュ型の地層の構成要素をなしている。“turbidite” といわれる地層に特有の、多くの堆積構造をもっている。

2) 碎屑性細粒物質が多い (10~30%)。それは、緑泥石・絹雲母などの粘土鉱物や雲母類からなる。

3) 岩石片がかなり多い。細粒砂岩で15%, 粗粒砂岩ではしばしば40%をこえる。その岩種は多様であるが石英



第12図 ハルツ山地のグレイワッケの粒度分布と鉱物組成 6.3 ミクロン以下は4倍に拡大してある MATTIAT (1960), HELMBOLD (1952), HUCKENHOLZ (1959) の資料による (HUCKENHOLZ, 1963 原図)

粗面岩・安山岩・玄武岩などの火山岩、砂岩・頁岩・チャート、低度変成岩などのほか、酸性深成岩もふくまれる。

4) 長石の量は割合多く、30~40%に達することがある。

5) 石英も主要な構成鉱物の1つである。KRYNINE (1948) や PETTIJOHN (1949, 1954) の分類のように60%とか70%とかいうものがあるかどうかは問題であるが、少ないもので30%、多いものでは40%ないし50%に達することがある。

6) 2とも関係して、分級が悪く、一般に全体として一つの極値を示す(unimodal)ような粒度分布を示す。砂粒部だけの分級も悪い。砂粒の円磨度は低い。

7) 続成作用ないしごく低度の変成作用を受け、非常に堅硬である。

以上のようにまとめられるとはいえ、ハルツ山地で“グレイワッケ”と呼ばれている砂岩の性質は非常に多様である。HUCKENHOLZ (1963a) によれば、ハルツのグレイワッケは模式地(フランス、オーベルニュ)のアルコーズとくらべても、その組成において、かなり広く重なり合っている。

なお、2)については問題がある。G)でのべたように、一般にグレイワッケに碎屑性粘土質(泥質)基質が多いということは常識となっていた。ところが、HUCKENHOLZ (1963a) によると、ハルツのグレイワッケには基質はほとんどないということである。この問題に関しては、また後にのべる。

J) 1960年頃から、グレイワッケの性質や定義、あるいは砂岩の分類についての議論はふたたび盛んになった。これらの多くは、本場のグレイワッケの再検討にもとづいている。しかし、それらの議論はすぐには問題を解決するに至らず、ごく最近まで、ますます多くの提案をつけ加えるだけのことになっていた。その原因は再検討の結果が生かされていないというより、むしろ、問題のとらえ方や立場のちがいにある。

たとえば、FÜCHTBAUER (1959) は、“グレイワッケ”をやはり分類名として扱った。この際、各地で“グレイワッケ”とされたものをみなふくめるようにしたため*、*“Feldspatgrauwacke”* および *“Grauwacke”* の範囲はきわめて広がっている(第11図)。

SCHERP (1963) は、“グレイワッケ”でない“砂岩”と“グレイワッケ”および“砂質泥岩”をわけ、これらのちがいが泥質基質の量の相対的なちがいであることを強調

した。ここで提唱された分類は、粒度組成つまり砂・シルト・泥の量比を基礎とした命名(砂岩・泥岩など)と、鉱物組成による命名とをごちゃごちゃにした、きわめて特異なものである。

HUCKENHOLZ は本場のグレイワッケを検討した1人であるが、不思議なことに、砂岩の分類については炭酸塩の基質の量を重視した提案をしている(HUCKENHOLZ, 1963c)。彼のいうようにグレイワッケには粘土質基質が少いにしても、それだけでグレイワッケ問題の上での粘土質基質の重要性が行方不明になるわけでもなく、またそのことを砂岩の分類のうえで考慮しなくてよいとも思われない。

PETTIJOHN は *Sedimentary Rocks* 第2版 (1957) で、彼の1954年の砂岩分類表とともに、石英・長石・岩石片・碎屑性基質の成分を頂点とする4面体による砂岩型の区分図(L. D. CLARK によるという)を載せている(第9図)。同様なものは、*Stratigraphy and Sedimentation* 第2版 (KRUMBEIN and SLOSS, 1963) でもとりあげられている。どちらをみても、砂岩の分類についての確固とした成案を示してはいない。また“グレイワッケ”についても、明確な定義が与えられているとはいえない。

4面体による分類や定義は、上の4つの成分がどれもひとしく重要であることが認識されたことの反映である。しかし、粘土質基質を頂点の1つにとることは、結局これを鉱物組成を示す要素として扱ったような形になるが、これはおそらく PETTIJOHN 自身の考え方にも反している。

K) 最近、DOTT (1964) は、“グレイワッケ”を含む不成熟な砂岩の分類問題にかなりはっきりした整理を与えた。彼は、“グレイワッケ”という語が薄片による観察法の発達する100年も前から、——最近の20年間は別として、——組織上の性質、とくに基質の量と暗い色調とをよりどころにして用いらてきたことを指摘した。そうして、HUCKENHOLZ (1963a) の検討結果からみても、“グレイワッケ”を“アルコーズ”と対立させて、鉱物組成による分類名として定義するのはよくないという。

彼は、グレイワッケ問題の中心は基質のとらえ方にあるとする。砂岩の具体的な分類法としては、粘土質基質の起源がどうであろうと、その量によって“純粋砂岩”(または“アレナイト”)と“不純砂岩”(または“ワッケ”)とにわけ、その細分に鉱物組成を用いるのがよいと結論している。もちろんここには、分類というものは本来

* このやり方は、三角図表の頂点のえらび方や区域のわけ方など細部をのぞけば、KRYNINE (1948) や PETTIJOHN (1949) と同様であるといえる。

記載的なものであるという考え方が背景となっている。

DOTT の考えは、GILBERT (1954) や McBRIDE (1962) らの考えを批判的に検討し、発展させたものであり、また、その大筋はもっともなものである。しかし、彼の考えは、ハルツのグレイワッケには基質がほとんどないという HUCKENHOLZ (1963a) の結果とは矛盾している*。

L) 本場のグレイワッケ、その他多くの“グレイワッケ”の堅硬であるという性質は、しばしば注目されてはきたが、“グレイワッケ”の定義のなかでは従属的な価値しか与えられていなかった。このことは、グレイワッケ問題がもたら狭い意味の堆積学の立場で扱われ、地史的な観点でとらえられなかったことに関係がある。

CUMMINS (1962a) は、この点で画期的な議論を展開した。彼によれば、グレイワッケの本質的特徴は基質の量が多いことにある。砂岩の基質の量と時代の古さとの間には直接的関係があり、第三紀や現世の砂は、古いグレイワッケと同じような源岩や堆積環境をもつと思われるものでも、泥質基質を欠いている。このことから CUMMINS は、グレイワッケの基質を、塩基性火成岩など不安定 (labile) な砂粒から、続成作用や、ごく低度の変成作用で分解・変質してできたものであると考える。このような“グレイワッケ”は、当然堅硬であるという属性をもつことになる。

グレイワッケの基質と称されるものに、続成作用によってできたと考えられるものがあることは認めてもよいだろう。しかし、グレイワッケの基質のすべてをこのような成因でできたものとみるのは無理がある。それにもかかわらず、CUMMINS のもちだした問題には、これまでの砂岩研究者が地球の歴史を無視して定義や成因を論じてきた欠陥をついたものとして、重大な関心がはらわれなければならない。

DOTT (1964) が整理したのは、グレイワッケ問題の一面である定義・分類の問題であった。彼は CUMMINS (1962a) が提出した基質の成因に関する問題については、論文のなかでとりあげつつも明快な解答を避けている。

III 経過にみられる問題点

以上にのべた経過の大筋をまとめながら、そこにみられる問題点と今後へのこされた問題とをいくつか指摘してみよう。

地質学の、他の語の場合にもよくあることであるが、

“グレイワツケ”という語も、ハルツ山地ではじめに使われていた当時には固有名詞的な色彩が強く、分類名としての意味はもっていなかった。しかし、その後この語が世界各地の似たような性質をもった砂岩に対して使われるようになると、いつのまにか砂岩のある一種をさす術語のようになり、分類名的な色彩が濃くなってきた。

それぞれの研究者が“グレイワツケ”という語を使うについては、それらの砂岩の間に何か本質的な特徴の一致があると考えていたに違いない。しかし、何をもって“本質的な特徴”とするかについては、統一的理解は全くなかった。また、はじめのころハルツのグレイワツケの記載が充分くわしくなされていなかったためもあり、“グレイワツケ”とされた砂岩の性質がそれぞれ少しづつちがっていたのは、ある程度避けられないところであった。

しかし、その後の経過には問題が多い。“グレイワツケ”とよばれる砂岩が多くなり、一方、砂岩を分類することが要請されるなかで、いつの間にか論旨の逆立ちが必要となる。「各地で“グレイワツケ”とよばれている砂岩は共通してこうこうしかじかの特徴をもっている。したがって、そのような特徴をもっている砂岩を“グレイワツケ”と定義すべきである」ということになる**。

ところが、各研究者が「特徴」として注目するところは、それぞれの取扱った材料や、それぞれの考え方によって異っている。こうなると、さまざまな定義や、さまざまな分類ができあがらざるをえない。こうして、ついには、FOLK (1954) のように、元来のハルツのグレイワツケが“グレイワッケ”でなくなるような定義さえあらわれるに至った。

このような状況のもとで、もとのハルツのグレイワツケの詳細な再検討が要求され、また行われた。それは大きな貢献であった。しかし、それは必ずしもグレイワツケ問題の2つの側面、——定義と砂岩分類上の位置の問題、および成因の問題——の解決にはつながらなかった。定義や分類の問題の解決のためには、“定義”とは何か、“分類”とは何かということについてははっきりした認識が確立されていなかったし、また、当然のことながら、記載はそのまま成因論につながるとは限らなかったのである。

DOTT (1964) は、この2つの側面のうち、グレイワツケの定義と砂岩の分類に関する問題について、かなりすっきりした整理を行った。彼の指摘のように、問題の中心は粘土質基質のとらえ方にある。しかし、まさにその

* DOTT の“ワツケ”は、明らかに、ハルツの“グレイワツケ”を含んで定義されている。

** FOLK (1954) や PACKHAM (1954) の場合には、逆立ちは成因との関係にまで及んだ。

点に関して、なお重大な疑問が残されている。

それは、1) ハルツのグレイワツケその他のグレイワツケには、粘土質泥質基質は本当に多いのか少ないのか、2) もし多いとすれば、それは従来考えられてきたように碎屑性のものなのか、それとも CUMMINS (1962a) がいうように変質によって岩石片から生じたものなのか、3) 多いものや少ないものがあるとすれば、グレイワツケの定義はどうなるのか、ということである。

この問題は、(その2) についてのべようと考えていることと関係がある。したがって、ここでは筆者らの考えを、結論的に、簡単に記すにとどめておこう。

1) 世界各地に、粘土質基質が多く、淘汰が悪く、多少とも堅硬である、ということで特徴づけられる砂岩があることは事実である。それらは、“turbidite” とは限らないが、しかし、(その2) でのべるように、成熟度の低い砂岩の生成に好都合な、2・3 の環境に対応している。

ハルツのグレイワツケが基質に乏しいという HUCKENHOLZ の指摘は重要である。しかし、この場合も、“細粒物質” は多量にあることはすでにのべたとおりである。ただ、粒度分布が、砂岩全体として極頻値を1つしかもたないような型 (unimodal) であって、砂粒と“細粒物質” との間に頻度の極小がないため、この“細粒物質” を基質とはよべないということであろう* (第12図)。

このような性質は、ハルツのグレイワツケについてはとくに著しいとはいえ、他の多くのグレイワツケも、多少は基質と砂粒との区別がつきにくい性質をもっているのが実際である。ハルツのグレイワツケを特別扱いしなければならぬ理由は何もない。

2) 問題は、この“細粒物質”、あるいはこのような粒度分布のできた成因であるが、おそらく、これらの“細粒物質” の大部分は、もともと碎屑性基質として堆積したものが、のちの続成作用(ないし低度の変成作用)によって、より大きな粘土鉱物や石英の粒に生長したものであるだろうか。その結果、砂岩全体としてみると砂粒と基質との区別がつきにくい、ただ1つの極頻値をもつような粒度分布の砂岩にかわったのであろう。

変成がやや進んだ場合には、岩石片が分解・変質して粘土鉱物が^てき、また石英の再結晶や成長がおこなわれ、その結果として基質のような感じのものや、基質とも砂粒ともつかないものができることがないとはいえない。

しかし、そのような場合にも、岩石片よりもむしろ、グレイワツケに多い同時堆積性の泥岩片からの変質を重視すべきであろう。この場合は、もともと基質であったものの変質と本質的なちがいはない。

3) 以上のような推測が正しいとすると、ハルツのグレイワツケのような、基質に乏しいようにみえる比較的変成度の高いグレイワツケと、他の、基質の多いグレイワツケとの間には、記載的性質だけでなく成因的にも一連のつながりがあり、両者をとくに区別してよぶ必要はないと思われる。

IV あとがき

1) HUCKENHOLZ の検討した“ハルツのグレイワツケ” がどんなものであったか、ということにも多少の疑問がある。

京大地鉱教室所蔵のクランツの標本をしらべてみると、“ハルツのグレイワツケ” とされている数個の砂岩のほとんどは、これまで文献で知ってきたものとは全くちがった性質をもっている。あるいはむしろ石英質砂岩であり(もっとも、ラベルには“Quarzit” と附してある)、あるものは、フリッシュ型の砂岩とはとても思えない、巻貝や海ゆりの化石を多量にふくんだものである。一口にハルツ山地といっても、パリスカン山脈のいろいろな部分をふくんでおり、砂岩にもいろいろなものがあるのではないと思われる。

この点で、前記の諸研究者の用いた試料をみると、HELMBOLD (1952) は中ハルツ山地のタンナー = グレイワツケ、HUCKENHOLZ (1959) は下ハルツ山地のタンナー = グレイワツケ、KRASEMANN (1954) や MATTIAT (1960) は上ハルツ山地のクルム = グレイワツケ、というように、それぞれ産地や層準がちがっている。このちがいによって、再検討の結果にちがいのある可能性もあるが、筆者らは今のところ確めていない。

2) 前述の CUMMINS (1962a) の説は、現世堆積物その他、時代の若い砂質堆積物には、泥質基質の多いものはないということを有力な論拠としていた。

ところが、最近、HOLLISTER & HEEZEN (1964) は、太平洋、大西洋、カリブ海、地中海などから集めた 118 のピストンコアを調査し、そのうちの2つのコアから、20%以上の基質をふくむ“グレイワツケ”を見出したことを報じている。この報告は、CUMMINS (1962a) の説に

* この問題はすでに HELMBOLD (1952) も注目していた。しかし彼は、「粒径が 0.063 mm 以下になると粒子の形がかわり、また色が暗色になるので基質のような印象を与える」として、とくに「基質がない」とは叫ばなかったものである。

対する大きな批判となるものであり、古い地質時代のグレイワツケの基質の起源に関して重要な示唆を与えている。

文 献

問題に直接関係があると思われる文献は、筆者らが引用でしか眼を通してないものとなるべくあげておいた。しかし、これでグレイワツケの特徴と定義に関する文献が網らされているとはいえない。とくに、古い教科書の類は、かなり有名なもので、ほとんど省略してある。

- ALLEN, V. T. (1936) Terminology of medium-grained sediments. *Report. Comm. Sed. 1935-1936. Natl. Research Council*, 18-47.
- BAILEY, E. B. (1930) New light on sedimentation and tectonics. *Geol. Mag.*, Vol. 67, 77-92.
- BARTH, T. F. W., C. W. CORRENS und P. ESKOLA (1939) *Die Entstehung der Gesteine*. Springer, Berlin.
- BOKMAN, J. (1955) Sandstone classification: Relation to composition and texture. *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 25, 201-206.
- BOSWELL, P. G. H. (1960) The term Graywacke. *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 30, 154-157.
- COMPTON, R. R. (1962) Names for sedimentary rocks. Amer. Geol. Inst., AGI Data Sheet 36, 2 p., *Geotimes*, Vol. 7, No. 2, 27-28.
- CROOK, Keith A. W. (1960) Classification of arenites. *Amer. Jour. Sci.*, Vol. 258, 419-428.
- (1964) A classification of common sandstones: Comment on a paper by Earle F. McBride. *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 34, 696-698.
- CUMMINS, W. A. (1962a) The greywacke problem. *Lpool. Manchr. Geol. Jour.*, 3, 51-72.
- (1962 b) Greywacke in Lower Siwaliks, Simla Hills. *Nature*, Vol. 196, 1085.
- DAPPLES, E. C., W. C. KRUMBEIN and L. L. SLOSS (1953) Petrographic and lithologic attributes of sandstones. *Jour. Geol.*, Vol. 61, 291-317.
- DOTT, R. H., Jr. (1964) Wacke, graywacke and matrix—What approach to immature sandstone classification? *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 34, 625-632.
- DOTY, Robert W. and JOHN F. Hubert (1962) Petrology and Paleogeography of the Warrensburg Channel sandstone, Western Missouri. *Sedimentology*, Vol. 1, 7-39.
- DUNBER, C. O. and J. RODGERS (1957) Principles of stratigraphy. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- FISCHER, Georg. (1933) Die Petrographie der Grauwacken. *Preussische Geologische Landesanstalt Jahrbuch*, Bd. 54, 320-343.
- FOLK, R. L. (1951) Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 21, 127-130.
- (1954) The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Jour. Geol.*, Vol. 62, 344-359.
- (1956) The role of texture and composition in sandstone classification. *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 26, 166-171.
- FÜCHTBAUER, H. (1959) Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine. *Erdöl und Kohle*, Bd. 12, 605-613.
- 藤井浩二 (1955) 砂岩研究の二・三の問題. 地球科学, 20号, 9-18.
- (1956) 九州八代地方中生界の砂岩. 地質雑誌, 62 巻, 193-211.
- GEIKIE, A. (1903) Text book of geology. Macmillan & Co., London.
- GILBERT, C. M. (1954) in H. WILLIAMS, F. J. TURNER and C. M. GILBERT: Petrography. W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- GRABAU, A. W. (1904) On the classification of sedimentary rocks. *Amer. Geologist*, Vol. 33, 228-247.
- HARADA, T. (1890) Die Japanischen Inseln. Berlin.
- HELMBOLD, R. (1952) Beitrag zur Petrographie der Tanner Grauwacke. *Heidelbg. Beitr. Mineral. u. Petrogr.*, Bd. 3, 253-288.
- (1952) Translated by F. Van HOUTEN (1958) Contribution to the petrography of the Tanner graywacke. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, Vol. 69, 301-314.
- HELMUTH, H. J. (1963) Zum oberdevonischen Alter der Südharzgrauwacke. *Geologie*, Bd. 12, 490-491.
- HENNINGSSEN, D. (1962) Untersuchungen über Stoffbestand und Paläogeographie der Giessener Grauwacke. *Geol. Rundschau*, Bd. 51, 600-626.
- (1963) Zur Herkunft und Unterscheidung der sandigen Gesteine am Südostrand des Rheinischen Schiefergebirges. *Neues Jahrb. Geol. u. Paläontol. Monatsh.*, 1963, (2), 49-67.
- HOLLISTER, C. D. and B. C. HEEZEN (1964) Modern graywacke-type sands. *Science*, Vol. 146, 1573-1574.
- HUCKENHOLZ, H. G. (1959) Sedimentpetrographische Untersuchungen an Gesteinen der Tanner Grauwacke. *Beitr. Miner. Petrogr.*, Bd. 6, 261-298.
- (1961a) Versuch einer Klassifikation der Sandsteingruppe. *Fortschr. Mineral.*, Bd. 39, 126-130.
- (1961b) Ein Beitrag zur petrochemie der Sandsteine. *Fortschr. Mineral.*, Bd. 39, 347-348.
- (1963a) Mineral composition and texture in graywackes from the Harz Mountains (Germany) and in arkoses from the Auvergne

- (France). *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 33, 914-918.
- (1963b) Der gegenwärtige Stand in der Sandsteinklassifikation. *Fortschr. Min.*, Vol. 40, 151-192.
- HUCKENHOLTZ, H. G. (1963c) A contribution to the classification of sandstones. *Geol. Fören. i. Stockholm Förh.*, Vol. 85, 156-172.
- JAMESON, R. (1808) System of Mineralogy. 3, Edinburgh.
- JONES, O. T. (1938) On the evolution of a geosyncline. *Proc. Geol. Soc. London*, Vol. 94, 62-66.
- KELLING, G. (1962) The petrology and sedimentation of upper Ordovician rocks in the Rhinns of Galloway, Southwest Scotland. *Trans. Royal Soc. Edinburgh*, Vol. 65, 107-137.
- KLEIN, G. DeVries (1963) Analysis and review of sandstone classifications in the North American geological literature, 1940-1960. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, Vol. 74, 555-576.
- KRASEMANN, H. U. (1954) Zeigt die im Harz weitverbreitet anstehende Grauwacke und ihre Verwitterungsprodukte Unterschiede, die für die forstliche Planung von Bedeutung sind, Dissertation Fak. für Forstwissenschaft Hann. Münden.
- KRUMBEIN, W. C. and L. L. SLOSS (1953) Stratigraphy and sedimentation. W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- and ——— (1963) Stratigraphy and sedimentation. 2nd edit., W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- KRYNINE, P. D. (1948) The megascopic study and field classification of sedimentary rocks. *Jour. Geol.*, Vol. 56, 130-165.
- KUENEN, P. H. and C. I. MIGLIORINI (1950) Turbidity currents as a cause of graded bedding. *Jour. Geol.*, Vol. 58, 91-127.
- LASUS, G. (1789) Beobachtungen im Harzgebirge. Hannover.
- LERBEKMO, John F. (1962) Field classification of sandstones. *Am. Assoc. Petroleum Geologists, Bull.*, Vol. 46, 1526-1527.
- LOCHER, F. (1954) Im Exkursionsführer zur 4. Internationalen Sedimentologentagung in Göttingen. p. 3.
- MATTIAT, B. (1960) Beitrag zur Petrographie der Oberharzer Kulmgrauwacke. *Beitr. Miner. u. Petrogr.* Bd. 7, 242-280.
- MCBRIDE, E. F. (1962) The term graywacke. *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 32, 614-615.
- (1963) A classification of common sandstones. *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 33, 664-669.
- MIZUTANI, S. (1957) Permian sandstones in the Mugi area, Gifu Prefecture, Japan. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, Vol. 5, 135-151.
- (1959) Clastic plagioclase in Permian graywacke from the Mugi area, Gifu Prefecture, central Japan. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, Vol. 7, 108-136.
- NAUMANN, C. F. (1858) Lehrbuch der Geognosie, I. Engelmann, Leipzig.
- PACKHAM, G. H. (1954) Sedimentary structures as an important factor in the classification of sandstones. *Am. Jour. Sci.*, Vol. 252, 466-476.
- PETTIJOHN, F. J. (1943) Archean sedimentation. *Bull. Geol. Soc. Am.*, Vol. 54, 925-972.
- (1949) Sedimentary rocks. Harper and Brothers, N. Y.
- (1950) Turbidity currents and graywackes. *Jour. Geol.*, Vol. 58, 167-171.
- (1954) Classification of sandstones. *Jour. Geol.*, Vol. 62, 360-365.
- (1957) Sedimentary rocks, 2nd ed. Harper and Brothers, N. Y.
- (1960) The term graywacke. *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 30, 627.
- ROSENBUSCH, H. (1901) Elemente der Gesteinslehre. Vol. 2, Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- РУХИН, Л. Б. (1956) О классификации обломочных частиц и сложенных ими Пород. Вестник Ленинградского Университета, 24.
- RUCHIN, L. B. (1958) Grundzüge der Lithologie. Akademie-Verlag, Berlin. (Рухин, Л. Б.: Основы Литологии, немецкий текст).
- SCHERP, A. (1963) Vorschlag einer Nomenklatur tonig-sandiger Sedimentgesteine nach vorwiegend makroskopischen Kennzeichen, entwickelt unter besonderer Berücksichtigung der Gesteine des Oberen und Mittleren Siegen. *Neues Jahrb. Geol. u. Paläontol. Abhandl.*, Bd. 116, 199-222.
- Швцов, М. С. (1958) Петрография осадочных пород. Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, Москва.
- SHVETSOV, M. S. (1961) Basic principles of sedimentary classification. Translated by Scripta Technical, Inc., *Internat. Geol. Rev.*, Vol. 4, 981-986, 1962.
- STRAKHOV, N. M. (1957) Méthodes d'étude des roches sédimentaires, Vol. 1 & 2, (Traduction par J. Piétresson, 1958). Annales du service d'information Géologique du bureau de recherches géologiques, géophysiques et minières.
- 杉村 新 (1952) 堆積岩の名まえについて. 新生代の研究, 15-16号, 21-29.
- SUJKOWSKI Z. L. (1957) Flysch sedimentation. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, Vol. 68, 543-554.
- TALLMAN, S. L. (1949) Sandstone types: Their abundance and cementing agents. *Jour. Geol.*,

- Vol. 57, 582-591.
- TWENHOFEL, W. H. (1932) Treatise on sedimentation. Williams & Wilkins Co.
- (1950) Principles of sedimentation. 2nd ed., McGraw-Hill, N. Y.
- TYRRELL, G. W. (1933) Greenstones and greywackes. *C. R., Reunion intern. pour l'étude du Précambrien 1931*, 24-26.
- WIESENEDER, H. (1961) Über die Gesteinsbezeichnung Grauwacke. *Tschermaks Min. Petr. Mitteilungen*, Bd. 7, 451-454.

On "Graywacke"

Part I. Review of studies on the characteristics and the definitions of graywacke

by

Tsunemasa SHIKI and Sinjirō MIZUTANI

(Abstract)

In this article, a historical review of discussions and controversies about the characteristics and the definition of "graywacke" is illustrated.

Definitions of graywacke have proliferated owing to divergence of aims and to a somewhat unavoidable logical confusion in the arguments.

The most important of the "graywacke problems"

is the "matrix question". From this point of view, HUCKENHOLZ's description (1963) that the original graywacke in Harz Mountains is poor in matrix is very noteworthy. DOTT (1964) made a very reasonable discussion on the graywacke problem, especially on the classification of immature sandstones. The question about the origin of matrix, however, remains unsettled.

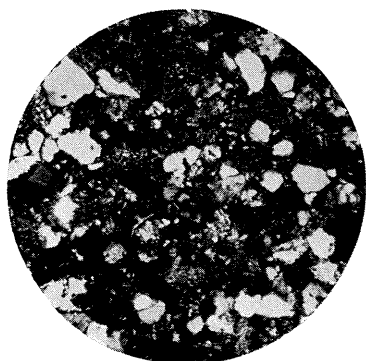
CUMMINS (1962) has emphasized that there is a direct correlation between the percentage of matrix and the age of graywacke, and argued that the most of the matrix material in the graywacke result from diagenetic breakdown of unstable sand grains. His paper is important as the first discussion based on a geohistorical standpoint. Lately, however, HOLLISTER and HEEZEN (1964) found very muddy sands (recent graywacke-type sands) from deep-sea core-samples. These data offer a serious objection to CUMMINS's opinion.

Diagenetic origin of some matrix is undeniable; but the diagenetic and authigenetic alteration of minerals causes the grain size of matrix matter to increase rather than to decrease. Scarcity of apparent matrix of Harz graywacke may be explained from this reason. The greater part of matrix of many graywackes is presumably detrital in origin.

図 版 説 明

1. 舞鶴層群の「グレイワッケ」, 顕微鏡写真, 青灰色塊状細粒砂岩. 二疊系上部, 舞鶴地帯河東地区桂谷. 岩石片が非常に多いことに注意.
2. 下記4の顕微鏡写真, ほとんど石英からなる.
3. 「グレイワッケ」岩石標本. デボン系. Harz山地 Hahnenkleeのもの, おびただしく海ゆり破片が入っている. (クランツの標本, 京大地球教室蔵, 以下同様).
4. 「グレイワッケ」("石英質"). デボン系. Harz山地 Buchberg. 2と同じもの. 表面の風化のため写真ではやや黒ずんでみえるが, 新鮮なところでは左上隅のように白い.
5. 「グレイワッケ」, デボン系, Harz山地 Goslar 近傍. 巻貝を含む.
6. 「グレイワッケ」("石英質"). デボン系. Gummersbach 近傍. 淡灰色細粒で淘汰はよい, やや石灰質.
7. 「グレイワッケ」. シルル系. Böhmen 地方 Pribram のもの. 淘汰の比較的よい細粒部と淘汰の悪い粗粒部(粗大砂〜グラニューールを含む)とが薬理をなす.
8. "Kohlensandstein". 石灰系. Osnabrück 近傍. 一番「グレイワッケ」らしい感じがするが, ラベルにはグレイワッケと書いてない.

I



2

