

舞鶴地帯に分布する二畳系および三畳系の砂岩の

2・3の性質、とくに maturity の問題について

志 岐 常 正*

はじめに

舞鶴地帯は上部二畳系（舞鶴層群およびその延長にあたるもの）、中・下部三畳系（夜久野層群とその相当層）、および上部三畳系（≡ Carnian 難波江層群、その他その一部に対比されるもの）がいわゆる夜久野侵入岩類と帯状配列をなしている地帯であり、また1種の構造帯である。その形成は日本の地質構造の基礎をつくった本州造山運動¹⁾と密接な関係があり、そこに積成した地層は造山時およびその後の地殻変動をよく反映している。

このようなわけで、舞鶴地帯の二畳系・三畳系の古生物・層序および地質構造などの重要性がみとめられ、その研究が進められてきた²⁾。そしてそのなかで、積成物についてのよりくわしい研究も要求されるようになった。

筆者は舞鶴地帯の研究のなかで、この積成岩の研究の面——そのうちでもとくに砂岩の研究——をうけもっている。この面の研究は他の古生物や層序などの面にくらべて遅れているが、それでもしだいに浮び上ってきた2・3の問題、とくに今回は各層群ごとの砂岩の maturity^{*1}の進行状態の特徴と、そこからみちびき出される堆積学的1・2の問題に重点をおいて報告し、先輩各位や同学の砂岩研究者のかたがた、その他読者諸兄の御指導と御批判をおおぎたいと思う。

本研究をすすめるにあたっては、非常に多くのかたがたの御指導と御援助をいただいた。砂岩の研究をはじめにあたり、激励と援助をたまわり、その後もつねにはげましをいただいている松下進教授、海山もわからない筆者に懇切な御指導を惜しまれなかった小野田セメント会社（当時九州大学）の藤井浩二氏、野外に室内に指導と批判と協力をいただいている舞鶴地帯の研究者、中沢

圭二氏・清水大吉郎氏・野上裕生氏らにはことに深い感謝をささげたい。京都学芸大学の木村春彦氏、京大地鉞教室の小黒譲司氏、大阪市立大学の市原実氏からは、専門的な立場からいろいろな教示や批判をいただいた。また京大の岩石学研究者のかたがた、秋田大学の加納博氏からは岩石学上のいろいろなことならについて教示をいただいた。以上のかたがたに厚く御礼申しあげる。さらに砂岩の研究について多くの助言をいただき研究に方向をあたえてくださった山下昇氏、およびいろいろな角度から批判をよせていただいた多くのかたがたに深い感謝の意をあらわしたい。

各層の砂岩の一般的記載

舞鶴層群およびその延長層の砂岩

舞鶴層群およびその延長層（以下この論文では舞鶴層群と一括して呼ぶ）は、舞鶴地帯をいちばん著しく特徴づける地層である。すでに報告されたとおり³⁾、おもに黒色の泥質～シルト質頁岩からなり、砂岩や礫岩をふくみ、まれに石灰岩レンズをともっている。

砂岩の産状には大きくみて2種類がある。1つはよくグレイドした単層（厚さ数10cm～1m+）が数10枚あつまりて部層を構成する型のものであり、他の1つは黒色頁岩のなかに厚さ数10cm～2m+のレンズ・球、または雲状に砂岩がはいる型のものである^{*2}。

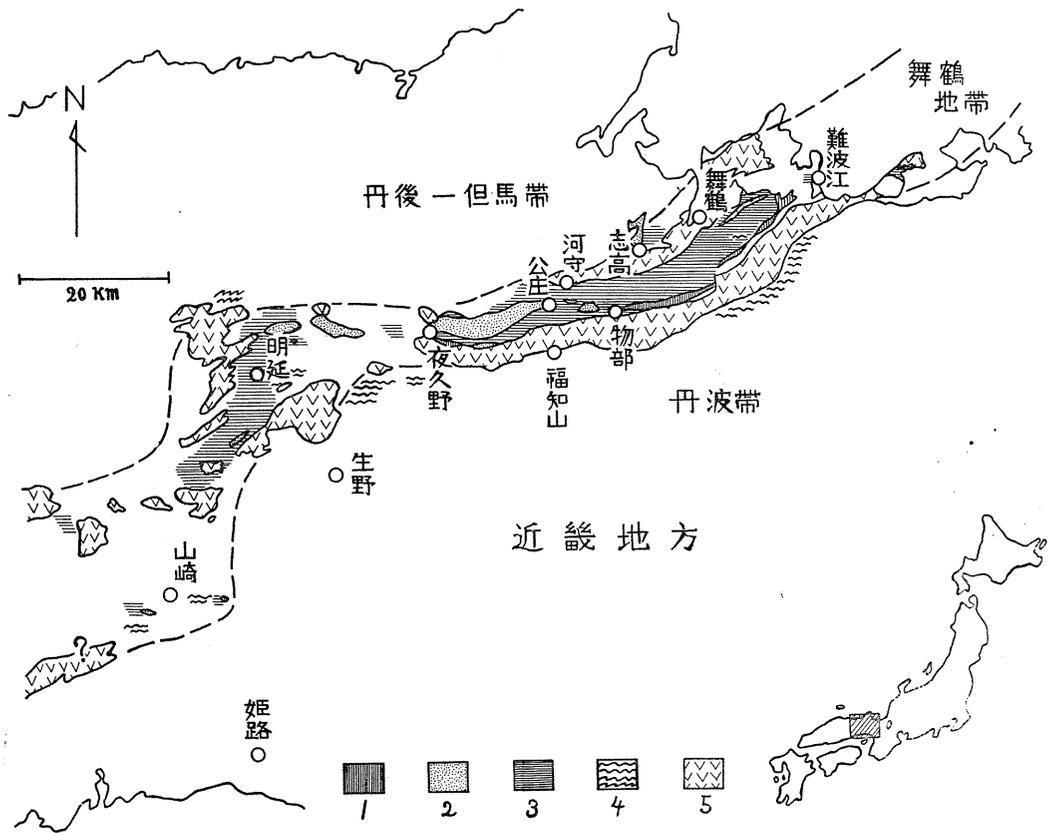
それらの岩質はたがいによく似ており、鏡下でみると淘汰不良で砂粒は角ばっている。そして、中性～酸性の火成岩片や頁岩その他の水成岩片が多くふくまれている。火成岩片としては、粗面岩様の組織をもつ安山岩（長石の結晶にはほとんど直消光するものがめだつ）が多少とも共通的にみられる。石英粗面岩～石英斑岩や珪長岩質

* 京都支部、京都大学理学部地質学鉱物学教室

*1 maturity という言葉には適当な訳がなく、またはっきりした定義もきまっていない。しかし一般につきのような意味に使われているとみることが出来る。以下、本文では“maturity”をこの意味で用いる。

砂質堆積物は、母岩の風化分解から、運搬・堆積・積成の過程でしだいにその内容をかえる。砂岩には、この変遷の過程がよく進んでいるものや進んでいないものがある。ある砂岩がどの程度の変化の段階で積成したものであるかということ、その砂岩の maturity という。

*2 以下の検討に用いた砂岩の標本は単層の内部の粒度変化にかかわらずランダムに採取されたものである。この研究のばあいには、このような標本を用いても、結論に大きな誤はないと考える。



第1図 舞鶴地帯東部・中部略図

1. 難波江層群とその相当層（上部三畳系） 2. 夜久野層群とその相当層（中・下部三畳系）
3. 舞鶴層群（上部二畳系を主とす） 4. 準片岩～片岩 5. いわゆる夜久野進入岩類

の岩片とみられるものも多く、しばしば球類構造をもつものがみられ、またときには半花崗岩ないし細粒の花崗質岩かと思われる石英と長石のくっついたものもみられる。水成岩片には泥岩～シルト岩が多いが、鏡下では基質と区別困難なことがある。石灰質の物質がよくみられるが、その一部は砂粒としてふくまれているらしい。緑色の緑泥石質物質もあるが、これは基質ではなく、蛇紋岩起原のものか、有色鉱物の変化したものと思われる。

石英粒には変成岩起原か、脈石英起原か、とみられるモザイク状のものもある。カリ長石はすくない。もっともこれは、粒が細いと斜長石と識別できにくいばかりが多い。基質は泥質、ときにはかなり石灰質である。

第2図にみるとおり、全体として石英の量が非常にす

くないこと、岩石片の多いことがめだっている。石英は公庄層*3をのぞけば、チャートをあわせても、全体の20%をこえない。

なおこれらの砂岩を PETTJOHN (1949)⁴ や、KRUMBEIN & SLOSS (1951)⁵ のダイアグラムにおとすと、ほとんどすべてが典型的な graywacke となり、また藤井 (1955)⁶ の分類によれば、泥質基質をもった石質～亜石質砂岩となる。

夜久野層群およびその相当層の砂岩

夜久野層群およびその相当層（以下夜久野層群と略記する）は舞鶴層群とはまったく岩相を異にする地層である。その下半——下部三畳系——は、北から南へ粗粒相・中粒相・細粒相が分布し、砂岩は前2者において主要

*3 舞鶴層群には公庄層と呼ばれる特殊な岩相をもつ地層がふくまれている。砂岩は石英の量がときに25%におよぶことがある。岩石片は一般の舞鶴層群のものと同様に大差はない。この砂岩については今回はこれ以上ふれなことにする。

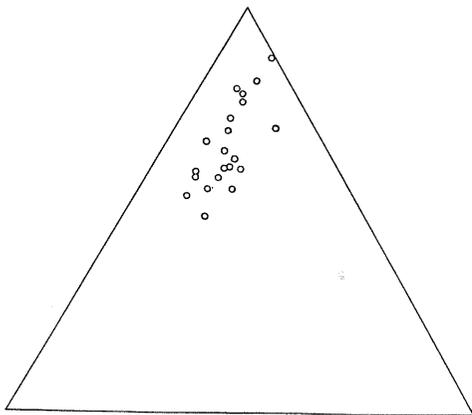
な構成物となっている。(中部三畳系はほとんど頁岩からなっている。)

野外の観察によると、これら夜久野層群下半の砂岩の淘汰は、基底礫岩に近い特別なばあいをのぞいては舞鶴層群のものよりよい。

夜久野層群の砂岩の構成物は、鏡下でみると舞鶴層群のものに似ているが、それらの量比がかなり異っている。全体として石英の量が多く、岩石片や基質はあまり多くはない。これらの点でこの砂岩は、舞鶴層群の砂岩とつぎののべる難波江層群 N₂ 層との中間型であるともいえるが、石英の量や長石の量に著しい増減があり、三角ダイアグラムのうえの分布が N₂ 層のものよりずっと広がる(第3図)。

岩石片にはやはり安山岩質(ただし長石は直消光しな

Rock Fragment + Chlorite } Matrix
Detrital }

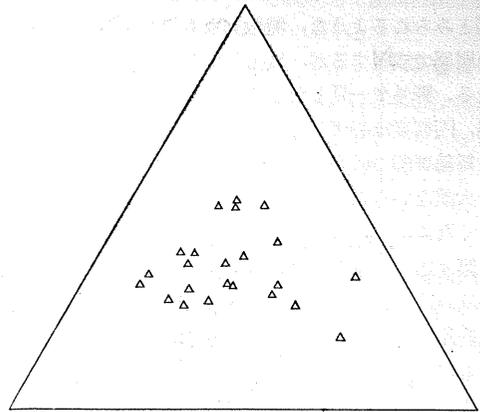


第2図 舞鶴層群砂岩の構成成分

いものが多く、はっきりした粗面岩質組織を示さない)と思われるものがあり、風化した輝緑岩かと思われるものもある。酸性の噴出～半深成岩と思われるものも多く、またときには花崗質岩の岩片と考えられるものもみだされる。広畑果層の砂岩にはカリ長石もかなり多い。基質は泥質ないし緑泥石質、ときにかなり石灰質である。基質に緑泥石質のものがかかなり多いことは舞鶴層群との違いの1つである。

夜久野層群の砂岩は、PETTJOHN や、KRUMBEIN & SLOSS のダイアグラムにあてはめると大部分 arkose となり、一部は graywacke や felspathic quartzite (felspathic sandstone) にはいる。また藤井のダイアグラムでは亜長石質から長石質にわたり、一部は石質のものもあることになる。なお藤井の泥質砂岩にはいるものは

Rock Fragment + Chlorite } Matrix
Detrital }



第3図 夜久野層群砂岩の構成成分

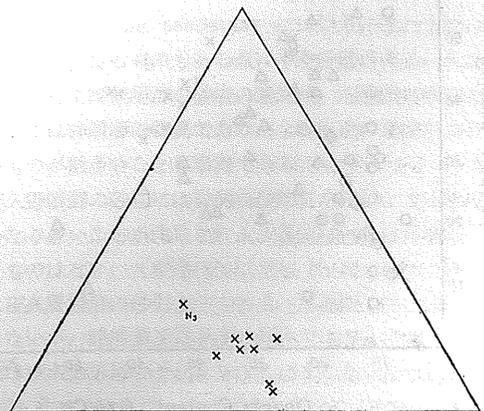
ほとんどない。

夜久野層群に対比される志高層群の砂岩は、2・3の点、とくにその構成物の点で夜久野層群といくらかの違いがある。これは後背地の岩層の地域的違いと関係があると思われるが、このことについても今回はこれ以上ふれない。

難波江層群 N₂ 層の砂岩

難波江層群その他これに相当する地層は、岩相により下位から上位に N₁ ~ N₄ の4つの累層に区分されている。これらのうち N₂ 層は淡青～灰白色の細粒～中粒砂岩を主体とし、数m～数10mの黒色泥質岩を数枚はさみ、福井県難波江海岸から西方にのびて京都府夜久野ま

Rock Fragment + Chlorite } Matrix
Detrital }



第4図 N₂層砂岩の構成成分

で、約60kmにわたってほぼ連続して追跡される。そのうえ、すくなくとも難波江より物部まではほぼ均質な砂岩とみられるような、特徴的なものである。10~30cmの層厚で成層するが、風化しているところでは塊状に見える。野外で一見したところでも、鏡下でも淘汰がよいが、円磨度は必ずしもよくない。

舞鶴層群の砂岩とは対照的に石英にとみ、長石もそれと大差ないぐらいに多い。これに対して岩石片や基質はすくなく、ものによっては基質がほとんどみられない(第4図)。岩石片には石英粗面岩質~花崗岩質のものほか、まれには安山岩質かと思われるものもある。水成岩片はほとんどない。カリ長石はときに10%におよぶことがある。基質は大部分が粘土質で、一部に緑泥石質のものもあるが、石灰質の物質はほとんどみられない。

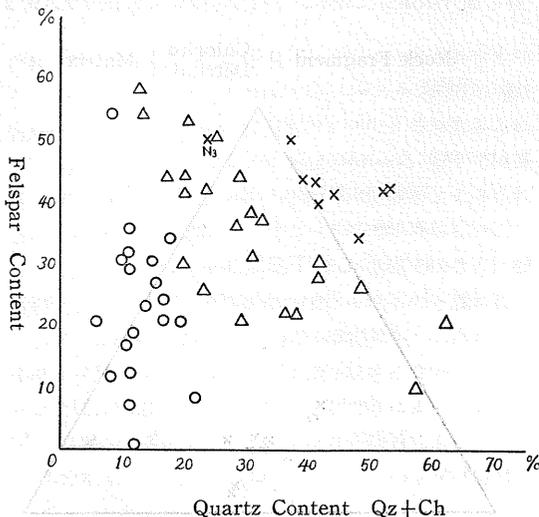
PETTIJOHN らのダイアグラムによると、この砂岩の大部分が arkose となり、一部は feldspathic sandstone にはいる。また藤井のダイアグラムでは亜長石質から長石質にわたり、ごくまれには石質に入るものもある。

難波江層群にはこのほかに N_2 の砂岩層があり、また N_1 層やときには N_3 層にも砂岩がふくまれているが、これらは分布がせまかったり、あまり特徴的なものではなかったりする。今回は舞鶴層群や夜久野層群との比較の意味で一応 N_2 層にかぎって検討を試みた。

各層の鉱物組成上の性質

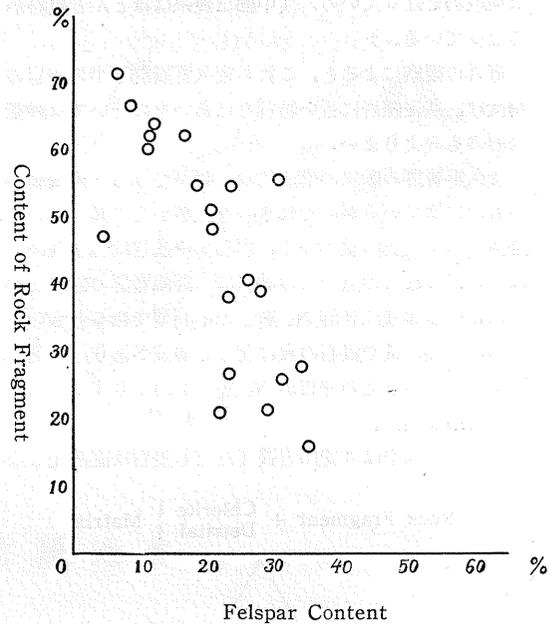
quartz index

すでにのべたように、舞鶴層群の砂岩は石英およびチ



第5図 石英と長石の量の関係

○舞鶴層群 △夜久野層群 × N_2 層



第6図 舞鶴層群砂岩の長石と岩石片の量の関係

ャートが著しくすくない。これらの量が砂岩の mineralogical maturity を示すということは一般にみとめられているところである。たとえば、DAPPLE, KRUMBEIN & SLOSS⁸⁾は石英+チャートの割合($qz+ch/fel+rock-frag.+claymatrix$)がどの程度まで堆積物が風化され運搬されたかのめやすとし、したがってそれを、原岩の影響が減ずる度合のめやすとすることができるとした。また PETTIJOHN⁹⁾も同様に、石英とチャートをそれぞれ深成岩類と表成岩類(supracrustal complex)とのもっとも耐久性の強い(durable)成分であり、したがって石英+チャートの多少により compositional maturity をあらわすことができるとした。ただし PETTIJOHN のばあいには、粘土質基質をむしろ textural maturity を示すものであるとして分母から除いている。

こうしてみると、舞鶴層群の砂岩に著しく石英やチャートのすくないことは注目すべきことであり、このことは、(岩石片の量の多いことや、後にものべるようにその種類に耐久性の低いものが多いことも考え合せて)これらの砂岩が、風化・運搬・堆積の際に不安定物質が消失するという影響を、ほとんどうけていないことを示すものと考えられる。したがって舞鶴層群の砂岩の構成物の特徴は、かなりよく後背地のそれを反映していると考えることがゆるされるだろう。

N_2 層の砂岩に石英が多いことはすでにのべた。それは35%をくだることはなく、ときには55%をこえる。

夜久野層群の砂岩も一般に舞鶴層群の砂岩より石英の量が多く、ときには N_2 層の砂岩よりも高い quartz index を示すことすらある。

長石量

第5図によれば、夜久野層群の砂岩には、2・3の例外はあるが、全体として石英と長石の量の間に逆相関がみられる。 N_2 層でも、なお標本数がすくなくさらに検討が必要であるが、同じような関係があるとみられる。同じような逆相関は、すでに九州の八代地方のジュラ系・白亜系についても、藤井浩二¹⁰⁾により見いだされている。おそらくこのような関係は、いろいろな砂岩についてかなり一般的にみられることなのであろう。

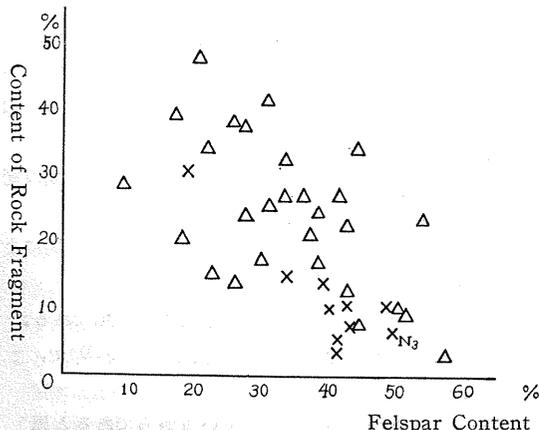
ただ舞鶴層群では、全体として石英の量がすくなく、上のような現象はみられない。

PLUMLEY¹¹⁾は長石の量の減少を mineralogical maturity のあらわれであるとした。もしそうすれば、上にのべたことを quartz index と合せ考えると、夜久野層群の砂岩にはかなり immature のものから、かなり mature のものまであることになるだろう。

一方 N_2 層の砂岩については、いま第5図にみたように、長石の量に変化はあるが、しかしその変化はあまり大きなものではなく、全体として長石の含有量はかなり多い。つまり N_2 層の砂岩は、quartz index でみるならばかなり mature であるが、長石量でみるならばそうとは考えられないことになる。このことは、砂岩の石英や長石の量だけから maturity を論ずることはできないことを示している。

岩石片の量

すでにのべたように、舞鶴層群の砂岩の特徴の1つは



第6図 舞鶴地帯三疊系砂岩の長石と岩石片との量の関係 ▲夜久野層群 × N_2 層

岩石片が多い(ときに70%以上におよぶ)ことである¹⁴⁾。しかも安山岩片、頁岩片のような風化して簡単に粘土物質にまで分解するような岩石片¹²⁾が多いことは、この砂岩が非常に immature であることを示す1つの資料であると考えられる。これに対して、 N_2 層の砂岩は岩石片がすくないものばかりであり(20%以下)、また夜久野層群の砂岩には変化があるが、 N_2 層のものと同じくらい岩石片のすくないものも多く、一方40%以上におよぶものはほとんどない。

ところで、もし岩石片のすくないことが高い maturity を示し、また長石の量の減少が maturity のあらわれであるならば、岩石片のすくない砂岩は長石もすくないはずである。しかし事実はそう簡単ではない(第6,6'図)このことについてはまた後にのべるが、堆積物の粒径が大きな関係をもつと考えられる。

基質の量

PETTJOHN⁹⁾は碎屑源基質と沈澱性セメントとの量を重要視し、これを fluidity factor として砂岩の分類上の重要なめやすとした。すなわち碎屑源基質が15%以上のものを graywacke とし、碎屑源の基質がないかすくなく、粒間は空隙になっている沈澱性セメントでみだされているものを arkose ないし lithic sandstone とよんでいる。これは、砂粒がシルトや粘土からわけられていない堆積物は、高い密度か、高い粘性の媒質 (medium) の中でつくられたか、または通常の淘汰作用がおこなわれるにはあまりにも時間が短かったか、そのどちらかであるという考えにもとづいている。

舞鶴地帯の砂岩についてみると、舞鶴層群の砂岩は、これまでのべてきた他の諸点ではすべて典型的な graywacke であり、この分類でも大半は graywacke にはいる(碎屑源基質はときに全成分の40%にもおよぶ)。しかし一部は lithic sandstone にはいり、またまれには arkose になるものもある点にやや矛盾がある。しかし全体として舞鶴層群の砂岩の基質は、石灰質のものをぞいては碎屑源の物質であり、しかもその量はかなり多いものが数多いことも事実である。

夜久野層群の砂岩には緑泥石質物質を基質とするものがかなり多いことが注目される。基質全体の量が著しく多いものはない。(普通15%以下)。 N_2 層の砂岩の基質には夜久野層群の砂岩よりもかえって緑泥石質の物質はすくないが、碎屑源基質が多いわけではなく、基質全体の量は夜久野層群のそれよりさらにすくないものが多い。

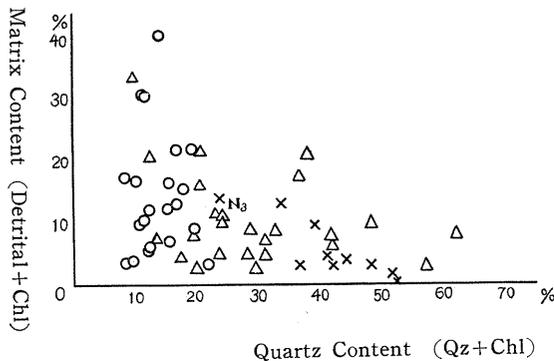
なお PETTJOHN は、このばあいの氏の "graywacke" —高い sediment/fluid 比をもつもの—の成因とし

¹⁴⁾ いうまでもなく、チャートは安定なものであるから岩石片一般からはのぞき、石英といっしょにした。

て、たとえば turbidity flow のようなものを考えていることも参考にすることができよう。

Folk¹³⁾ は粘土質物質の消失が textural maturity の第1段階であるとした。このような意味でも、以上のような事実から、舞鶴層群の砂岩は immature であることができ、また N₂ 層の砂岩がより mature であるともいうことができるだろう。

ところでそれならば、compositional maturity の大きなものは基質の量がすくない (textural maturity が大きい) かというと、このばあいも事実是这样簡単ではない。(第7・8図)。



第7図 石英と基質の量の関係
○舞鶴層群 △夜久野層群 ×N₂層

碎屑源基質は一面では砂岩の構成成分 (component) であるが、Folk の強調するようにその存在はむしろ組織的 (textural) な意味で重要である。したがってこのような要素を直接に他の成分による compositional maturity と結びつけることは困難である。

以上、舞鶴地帯の砂岩のいろいろな構成成分を検討してみると、大きくみて舞鶴層群・夜久野層群・N₂層の順に immature から mature になっていることがわかる。とくに舞鶴層群の砂岩は fluidity factor が著しく、不安定成分 (耐久性の弱い鉱物や岩石片) があまり消失していないという特徴をもっている。

*5 この点に関してはとくに木村春彦氏の御教示によるところが多い。厚く感謝する。

*6 ストークスの法則の限界点である。また実際にこれ以下のものの粒径を鏡下で測定することは困難である。

*7 このことは標準偏差の定義から予期されることであるが、その相関関係は九州八代の中生層 (藤井¹⁰⁾) や、岐阜県武儀の古生層 (水谷¹⁵⁾) よりさらに著しいようである。

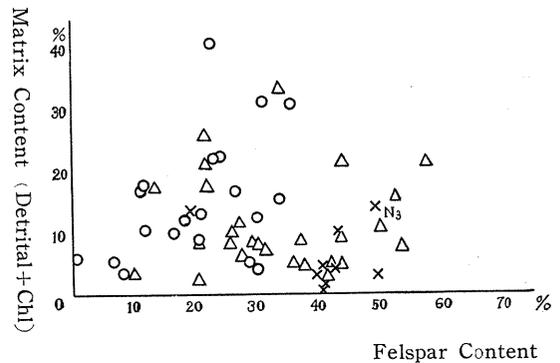
*8 しかし、そのちがいは予想外に小さい。これはおもに粘土質基質をのぞいて計算しているからであると思われる。粘土質を考慮してつくったヒストグラムより粒度分布図をえがくと、舞鶴層群・夜久野層群、および N₂ 層の砂岩の分級のちがいは、さらに明瞭にあらわれるようである。

*9 0.3mm以下の粒では、このようなことはいえない。

しかし、これを細かくみると、以上のようないろいろの構成成分による検討の間には、たがいに結びつかない点や矛盾があり、他の問題、たとえば粒径や分級度などの組織的な問題もからんで、その関係はさらに複雑であることが予想される。

各層の砂岩にみられる組織的な性質^{*5}

第9図に舞鶴地帯の砂岩の砂粒の平均粒径 (0.01mm ^{*6} 以下のものは基質とみなして計算からのぞいた) とその分級度 (標準偏差) との関係を示す。計算には Krumbein & Pettijohn¹⁴⁾ の方式を用いた。



第8図 長石と基質の量の関係
○舞鶴層群 △夜久野層群 ×N₂層

図にあきらかなように、砂粒の粒径が大きくなるとそれに比例して標準偏差が大となる^{*7}。くわしくみれば N₂ 層の砂岩は舞鶴層群のそれらよりも一般に下側 (標準偏差が小) に位置し、後者よりやや砂粒の分級がよいことがわかる^{*8}。

このことは、前記の成分上の諸性質とも関連して、舞鶴層群の砂岩が immature であること、および N₂ 層の砂岩がかなり mature であることを示すものであると考えられる。

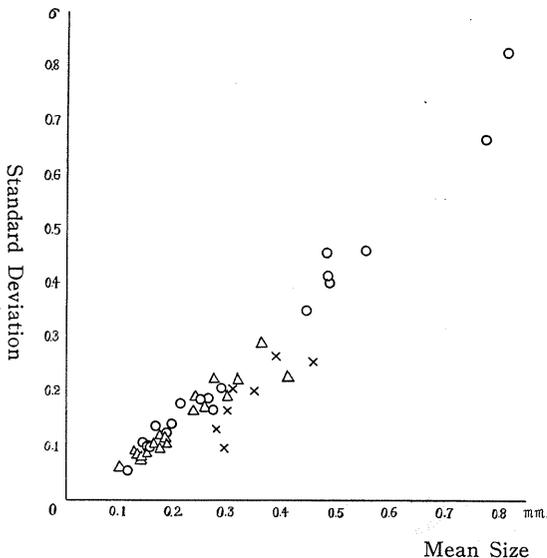
つぎに各層群のなかでの砂岩の粒度変化や分級度の変化は何を示すものであろうか。

一般にある1ヶの砂粒は長く運搬されるほど磨耗によ

り小さくなり、また破壊されるであろう*9。KRUMBEIN & SLOSS によれば⁵⁾、California の Half Moon Bay の beach sand の分布をみると、運搬の方向に系統的に砂粒の粒径が減少し、分級がよくなっている。同じようなことは、運搬距離と分級との関係としてしばしば研究されている(4, 11, 16)。

それならばこのことは、砂粒の粒径の小さい(したがって分級のよい)ものがより mature であることを示すものなのだろうか。そしてこのことは compositional maturity とどのような関係があるのであろうか。

流れの下流の方にむかって碎屑物の粒径が減少するということは、磨滅よりもじつはほとんど分級(ふるいわけ)によるということが一般にいえるようである¹⁷⁾。堆積物の粒径を規定する要因が分級作用であることは、最近木村がくわしく研究し強調しているところである¹⁸⁾。ところでそのようなふるいわけがおこること、その前にいろいろな粒径の碎屑物が存在するというこ

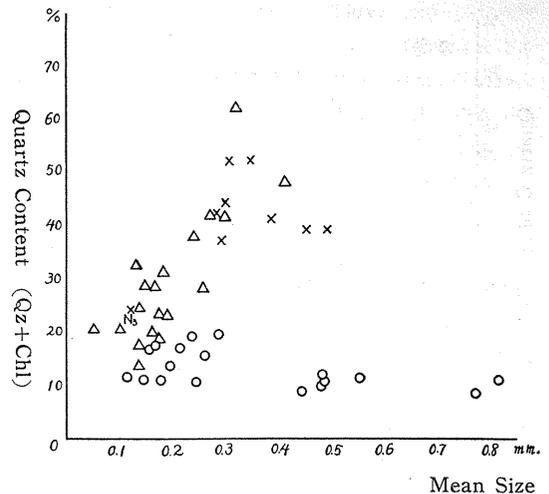


第9図 砂粒の平均粒径と分級度の関係

○舞鶴層群 △夜久野層群 ×N₂層

である。このような、碎屑物の各粒子についてのいわば第1次的な粒度のちがいが何によっておこるか、ということがそこで問題となってくるであろう。

筆者はここで、以下にのべるように、砂の component (組成鉱物——岩石片をふくむ——) ごとの選択的破壊が大きく関係するものと考えたい。さきのべた compositional maturity の矛盾の問題のかぎもここにあると思われる。



第10図 砂粒の平均粒径と石英の量との関係

○舞鶴層群 △夜久野層群 ×N₂層

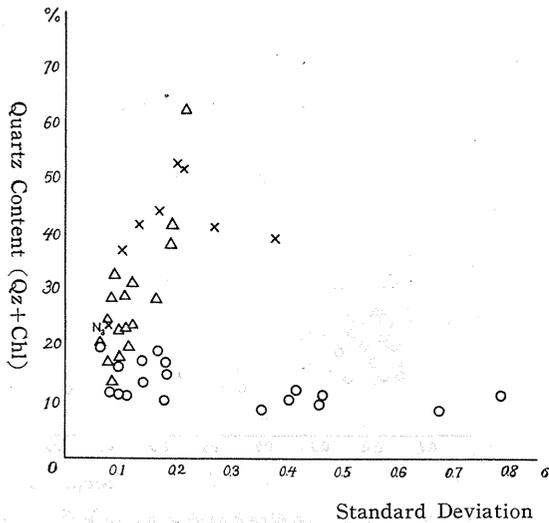
鉱物組成と組織的な性質との関係

長石量の問題

第10図にみられるように、夜久野層群の砂岩では砂粒の平均粒径が大きなものに石英が多い。このことは砂粒の分級が悪いものに石英が多いということでもある。(第10'図)そして粒径が小となるとともに石英にかわって長石が急激にふえている(第5, 10, 11 図)。このことは前章の長石量のところでおこなった推論をさらに進め、その結論を正していく資料となる。

前章では、mineralogical maturity のあらわれとして長石が減少し、その結果、安定な鉱物である石英の量が増大したと考えた。しかしそれならばなぜ砂粒の平均粒径の大きなものに石英が多く、小さなものに長石が多いのであろうか。もし平均粒径の大きなものが immature であり、小さなものはこれが破壊されたり磨損されたりしてできた mature なものであるとするなら、上記のことは mature なものに長石が多いということとなり矛盾がおこる。おそらく粒径の小さなものに長石が多い現象は、ふるいわけの問題に関係するのであろう。つまり石英やチャートとちがって、長石はその独特な劈開などの性質のために、運搬の途中で機械的に割れやすいと考えられる。そうして割れて小さくなった粒は、同一の水流に対して大きな砂粒とは異った反応をする。

粒子の運動と堆積とについて多くの実験的研究をおこなった木村春彦によれば¹⁸⁾、一定の流速において同じ運動速度をもつ粒度は一般に大小2群以上存在し、これらの同速度運動粒子群のうち最小粒度のものは躍・飛動粒



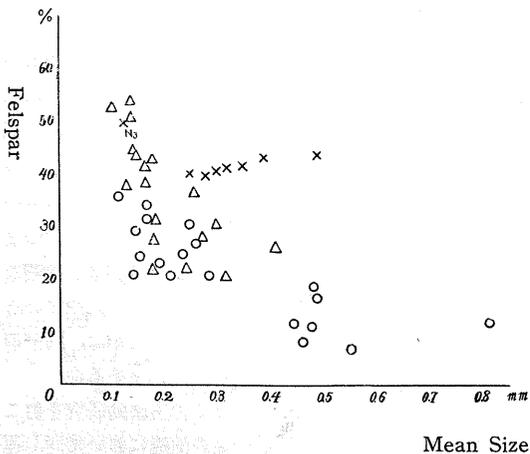
第10'図 砂粒の分級度と石英の量との関係

○舞鶴層群 △夜久野層群 ×N₂層

子で、他は転・滑動粒子である。

このようなわけで、割れて小さくなった長石の粒は、割れない石英の粒にくらべてより速く運動し、その結果全体としてしだいに石英からわかれていき、流速の落ちるところに長石の多い細～微砂の堆積物をつくる。平均粒径が0.25mm以下になると急激に長石が多くなることもこれを裏づけるものと思われる。

長石の減少は、PLUMLEY のいうように、たしかに mineralogical maturity のあらわれではあるが、いくつかの砂岩の標本の長石量を比較し、その量からただちに maturity の大小をうんぬんすることは避けなければ



第11図 砂粒の平均粒径と長石の量の関係

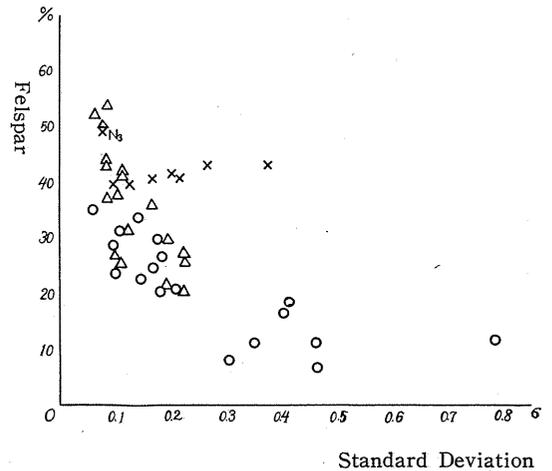
○舞鶴層群 △夜久野層群 ×N₂層

ならない。たとえば上の例のばあい、長石が失われて石英に富んでくるということ、石英からわかれて長石が他のところに集るといことは、同じことの異った表現である。したがって石英の多い平均粒径の大きな砂岩と、石英がすくなくて長石が多く、しかも平均粒径の小さな砂岩とは、同じ段階の maturity にあるものとすべきである。したがって、さきに夜久野層群の砂岩について、いろいろな maturity のものがあるといったが、maturity を石英と長石の比で機械的にあらわすような考え方に誤りがあったといわなければならない。

なお、さきにのべた平均粒径と分級度との関係からも知られるように、夜久野層群の砂岩では、砂粒の分級の悪いものに quartz index が高く、よいものに長石が多いという関係がある(第10', 11'図)。このこともそれだけをきりはなして考えると、分級のよいものが compositional maturity が低いということになり、maturity 本来の概念に対して矛盾があるように思われるが、平均粒径との関係において上のようなふるいわけを考えるならば矛盾はなくなると思われる。

以上のような問題は、いわば異った構成成分の種類による選別的消失と撰択的集積の問題であり、見方を変えれば堆積物の種類ごとに分解やふるいわけの不連続性(段階性)がちがっているということである。標準偏差によって示される分級度は、quartz index で示されるような maturity とは一義的な関係はないといえるのではないだろうか。

舞鶴層群の砂岩についてみると、平均粒径や分級度と石英の量に関しては、もともと全体として石英の含有量がすくないためもあって、とくに関係はみられない。



第11'図 砂粒の分級度と長石の量の関係

○舞鶴層群 △夜久野層群 ×N₂層

しかし長石に関しては、夜久野層群のばあいと同じように、砂粒の平均粒径が小さくなるとその量がますますとみとめられる(第11図)。ただいくらかその変化は急激さをかくようであり、分級度との関係も同様である。このことは舞鶴層群の砂岩の長石の破碎と分離が夜久野層群ほど進んでいないことを示すと思われる。

以上のようなこと、つまりある平均粒径以下、ある標準偏差以下になって長石が急激にますますかどうか、といったようなところにむしろ、長石の破碎と分離が進んでいるか否か、maturity が大であるか否か、を知る index をみいだすことができるかも知れない。

なお N₂ 層の砂岩においては、夜久野層群や舞鶴層群におけるような粒度や分級度と、石英や長石との関係がみられない。このこと理由は不明であり、なお資料をまして検討しなければならぬが、N₂ 層の砂岩には粒径 0.5mm 以上の粗いものや、0.25mm 以下の細いものがほとんどないので*10、結果をだすことがむずかしいと予想される。

岩石片の分解

長石に関する同じような問題は、岩石片についても見いだされる。

さきにもふれたように、岩石片が風化や運搬のさいの破壊に弱いものであり、また長石の減少が単純に maturity の増大を意味するのであるならば、岩石片の減少と

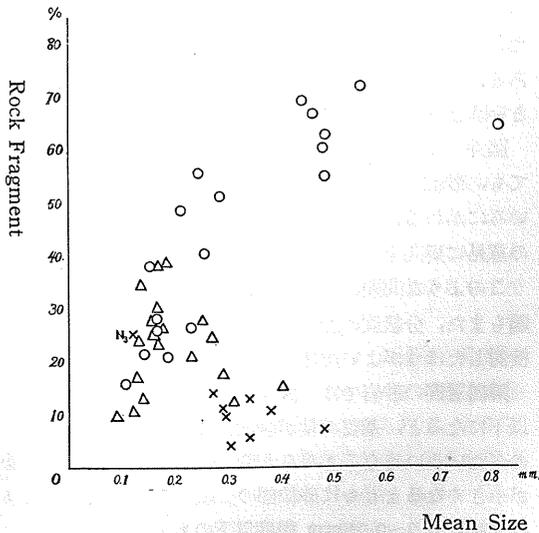
長石の減少とは相ともなうはずである。しかし第6図にみられるように、舞鶴層群の砂岩では、長石のすくない砂岩には岩石片は多いという明瞭な傾向がみられる。

この事実を粒度や分級度との関係でみると、つぎのようなことがわかる(第12, 12'図)。つまり舞鶴層群では砂粒の平均粒径が小となるとともに岩石片は減少し、とくに 0.2~0.25mm 以下になると岩石片は急激にすくなくなる。これは分級がよくなるとともに(また長石が多くなるとともに)岩石片がすくなくなることでもある。

安山岩片や頁岩片などは、たしかに風化や運搬のさいの破壊に弱いのであるが、その破壊の仕方は長石のばあいと異り、0.25mm 以下、0.1mm 以上の破片にはならず、不連続的に、直接より細い粘土にまで分解してしまうのではないだろうか。そしてそれらは、細~微粒砂の長石を堆積させるような弱い水流によっても運搬されて他の場所へうつされ、そこで泥質岩となり、あるいは基質を構成しているのではないだろうか*11。

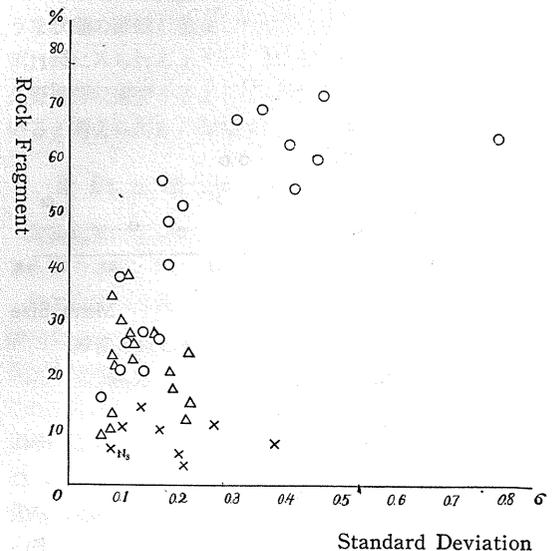
このように考えると、細~微粒に長石が多く集って分級度の高い砂岩をつくることと、より粗粒な砂岩に石英が多いこと、細い砂になるほど岩石片がすくないこととは、同じように maturity を示すことであるとみることができ。

ここで残る問題は、夜久野層群と N₂ 層の砂岩の砂粒



第12図 砂粒の平均粒径と岩石片の量の関係

○舞鶴層群 △夜久野層群 ×N₂層



第12'図 砂粒の分級度と岩石片の量の関係

○舞鶴層群 △夜久野層群 ×N₂層

*10 木村春彦氏の御教示によれば、沿岸性堆積物にこの N₂ 層の砂岩のような粒度のものが多いという。

*11 もちろん泥質物の大部分は、いちど砂粒にまで分解した岩石片からでなく、後背地において母岩から直接風化分解してできたものである。

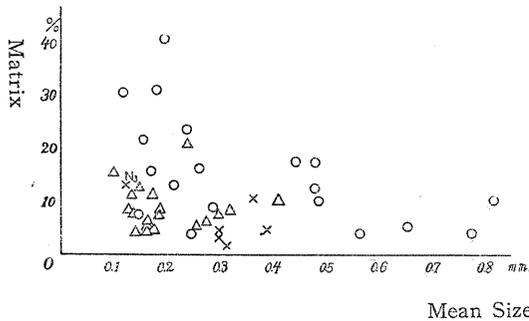
の粒径や分級度と、岩石片の量との関係である。N₂層のばあいは舞鶴層群のような関係はまったくあらわれていないが、このばあいには岩石片の絶対量がすくないので、それらの量のこまかいちがいを問題にしても、あまり意味があるとは思われない。

夜久野層群では、その砂岩を第12図に落した点のかなりの数が舞鶴層群の砂岩の点の分布範囲内にはいっているが、全体として平均粒径と岩石片の量との間に、舞鶴層群のばあいのような関係はみとめられない。ここでも夜久野層群の砂岩の点の分布は、その砂岩が舞鶴層群の砂岩とN₂層のそれとの中間的性格をもつことを暗示しているものといえよう。

碎屑源基質

舞鶴層群、夜久野層群、N₂層をくらべると、前者から後者への順に、砂岩の基質がすくなる傾向があることはすでにのべた。第13図をみても、同じ程度に分級に対してはたしかに舞鶴層群のものに一番基質が多く、N₂層がすくないといえる。

一方砂粒の分級について比較すると、同じ平均粒径に対しては舞鶴層群の砂岩が分級が悪く、N₂層のものがよいということも、すでにのべたとおりである。したがって、予期されることとはいえ、基質のすくない砂岩は砂粒部の分級もよいということがいえると思われる。

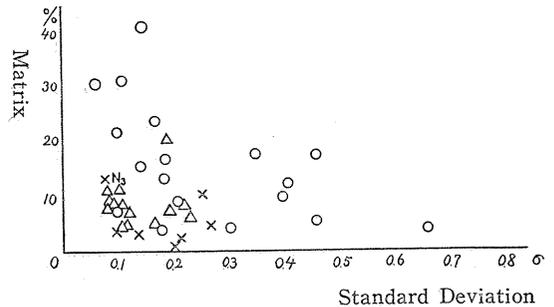


第13図 砂粒の平均粒径と基質の量の関係

○舞鶴層群 △夜久野層群 ×N₂層

しかし各層群ごとに砂粒部の分級を検討すると、それらのなかでは必ずしも上のような関係はみられない。たとえば舞鶴層群のなかだけについてみれば、砂粒の分級がよくなり、標準偏差が0.2以下になると、基質の多いものが急にふえることがみとめられる。このばあいの基質は大部分泥質のものであり、ここではあきらかに砂粒の分級のよい砂岩に粘土が多いことになる。

ところでさきにもふれたように、Folkは粘土質基質の消失をtextural maturityの第1段階であるとした。なるほど粘土質基質の消失がmaturityと関連することには間違いはない。しかしそれを第1段階とし、粘土と砂粒の分離が最小のエネルギーでなされ、砂粒の分級



第13'図 砂粒の分級度と基質の量の関係

○舞鶴層群 △夜久野層群 ×N₂層

はつぎの段階である」と結論するためには、舞鶴層群のような、全体としてimmatureな砂岩について、そのなかで比較的砂粒の分級のよいものでは粘土質基質がすでにある程度失われているというような関係を見いださねばならない。しかし事実はこれに反していることは上にみたとおりである。

夜久野層群やN₂層のばあいは、分級の著しく悪いものがなく、第13'図上で点が散在するため、それらのなかでの分級度と基質の量との関係を見いだすことは困難である。とくに、砂粒の分級のよいものは基質がすくないというような関係はみられない。

藤井によれば¹⁰⁾、九州八代地方の中生層の砂岩においても、砂粒の分級度は基質の量の多少にかかわらずいろいろかわる。同氏もこの事実から、すでに上記のFolkの意見に疑問を表明している¹²⁾。

このような問題、すなわち粘土質基質の消失という問題もまた、分級度の変化とともに粒径との関係において検討したほうがよいであろう。

舞鶴層群の砂岩では、砂粒の平均粒径が0.25mm程度以下になると、基質の量が急激にふえる。これを以前にのべたいろいろなことがらと考えあわせると、平均粒径が小さくなるとともに砂粒部の分級がよくなり、砂粒の平均粒径0.2~0.25mm程度以下のものになると、岩石片が急にすくなくなり、基質がまし、また長石が集中してくるということになる。

以上のような現象から、多少大胆な推論をするならば

*12 夜久野層群や八代中生層の砂岩のように、砂粒の分級度と基質の間に一定の関係がないものと、舞鶴層群のようにむしろ逆相関がみられるものとは、かなり意味がことなると考えられる。

舞鶴層群の砂岩の基質をなす多量の粘土質物質は、母岩の風化のさいにはもちろんのこと、碎屑物の運搬のさいにも、岩石片の分解によりつくられ、そうしてこれら粘土質基質が何かの原因で砂粒、なかでもとくにこまかい砂粒からは十分分離せず、長石その他とともに堆積・積成したものである、と考えることができる。したがって舞鶴層群の砂質堆積物の maturity の進行状況をまとめてみれば、つぎのようなことになると思われる。

舞鶴層群の砂質堆積物の maturity の進行は、岩石片の消失、長石の破壊と石英からの分離という形態をとった。碎屑源の粘土質物質は、この過程でも岩石片の分解により生産され、母岩の風化によって生産された粘土に加わり、しかもそのうちかなりの量が砂粒から分離されず残った。つまり、“その消失が textural maturity の第1段階となる” といった行動はしなかったのではないだろうか。

ここで注意しておかねばならないのは、粘土質基質の行動については、夜久野層群と舞鶴層群との間にかなりちがいがあるといことである。

夜久野層群では、石英の多い粒径の大きな砂岩に基質がすくないことはもちろんであるが、長石の多い粒径の小さい砂岩についてみても、基質はとくに多いというわけではない。(第7, 8, 13 図) つまりこのばあいは、生産された粘土質物質は、さらに選択的に他の場所へ、かなりの量が運び去られていると考えることができる*13。N₂層の砂岩に基質がすくないことはすでにのべた。木村春彦によれば*14、第4紀の砂層について検討してみると、“粘土質基質の分離が textural maturity の第1段階である” という現象があきらかにみとめられるという。

こうしてみると、舞鶴層群のそのような砂岩は、夜久野層群の砂岩とも N₂層や第4紀の砂層とも、かなり異った成因でできたものと考えなければならないことになる。このことは fluidity factor の観点からもすでにのべたところである。

“Folk の強調するような maturity の進行の形態つまり粘土質基質の消失が textural maturity の第1段階でなされるということがまったくみとめられず、むしろ平均粒径のこまかいものに粘土質物質が多量のような砂岩が graywacke であり、それには fluidity factor が大きくそのような砂岩の成因には turbidity flow が考えられる” ということが一般にいえるのではないだろうか。

*13 もともと後背地に粘土質基質のよい供給源となるような母岩がすくなかった、という仮定もできるが、砂岩や礫岩にふくまれる岩石片の種類からみると、このようなことはあったとしても重要な要素とは考えられない。

*14 口述。

なお N₂ 層の砂岩が、舞鶴層群の砂岩や夜久野層群の砂岩の大部分にくらべて、mature であることは、すでにくりかえしてのべてきた。第11・11' 図、第12・12' 図にもみられるように、N₂ 層は他の2者とはずいぶんちがった性質を示す。だがこれらの図に示される N₂ 層砂岩の成分分布は、必ずしもこれまでのべてきたような maturity の概念だけで説明しつくされるとは思われない。

つまり N₂ 層の砂岩は、同じ平均粒径や分級度の他の砂岩にくらべて長石量が異常に高く、岩石片が著しく少ないのである。このことは、堆積物の供給源そのものに長石が多く、岩石片がすくなかったことを示すものではないかと考えられる。N₂ 層の砂岩の砂粒の分級は他にくらべてよいとはいえ、その差は意外に小さかったこと、円磨度が意外に高くなく^よいことなどもこのような眼で見直す必要がある。

ただ N₂ 層についての資料がすくなく、とくに細粒のもの材料がないので(これが N₂ 層の特徴でもあろうが)、舞鶴層群や夜久野層群でみたような、鉱物組成と textural maturity との関係の検討は困難である。

おそらくこの砂岩のばあいには、粘土質基質の消失はすでにほとんど完了しており、転動～躍動のさいの破壊によってしだいに長石が失われつつあり、また磨損によってもしだいに粒径が小さくなりつつあった、というような状態の砂粒が積成したものであろうと推定される。第11図にみられるような、N₂ 層の位置の舞鶴層群や夜久野層群に直交するような分布は、このことを暗示していると考えられる。今後さらに検討を加えたい。

要約と結論

舞鶴地帯の各層の砂岩の性質をつぎのようにとらえることができる。

舞鶴層群の特徴は、その積成盆地の後背地に、安山岩、酸性火山岩～半深成岩、頁岩その他の水成岩などの露出が広く発達していたことに大いに関係すると思われる。これらの岩石片は粗～中粒砂に多量にふくまれている。しかしこれらの岩石片は、分解にさいして細～微粒砂をとおることなしに、不連続的に直接泥質物となって、後背地で母岩から直接生産された粘土質物質に加っている。このばあい、これらの泥質物の砂粒からの分離はきわめて不十分にしかおこなわれず、かなり多量のものが細砂

とともに堆積・積成している。おそらくこれらは fluidity の低い濁流をつくり、砂粒と泥との分離を起さなかったものと思われる。このような運搬・堆積の機構は、turbidity current theory によればよく説明されるのではないかと思われる。

夜久野層群の砂岩は、maturity の進行が岩石片の分解とともに、長石の破壊とその石英からの選択的分離によっておこなわれていることが、とくに明瞭にみとめられる点に特徴がある。この砂岩のばあいにも、基質となるべき碎屑物質は舞鶴層群のばあいと同じようにして生産されたのであろうが、砂粒といっしょに行動はせず、これからはなれて他のところに積成しているものと考えられる。このばあいも同一水流に対する反応のちがいが分離の原因であらう。

N₂ 層の砂岩は、舞鶴層群のものとはもちろん夜久野層群の砂岩ともかなりちがった性格のものである。全体として変化がすくなく、また粘土の消失がかなりよくお

こなわれている。その鉱物組成の性質は maturity の高いためだけともいきれない。1 つは水流の性質の問題であると同時に、後背地にもともと石英と長石が多かったということが推定される。

以上の検討から一般的に次のようなことがいえる。

砂岩の性質、とくにその maturity について検討するさいには、その鉱物組成(岩石片をふくむ)上の性質と粒径や分級度といった組織上の性質とを考えあわせておこなわねばならない。つまり、砂岩を構成する鉱物や岩石片の種類による風化・分解の不連続性のちがいと、それによってひきおこされる構成成分の種類ごとの選択的運搬、選択的堆積に注意しなければならない。また、後背地の母岩の種類も問題である。

quartz index, 長石量, あるいは粘土質基質の量などからただちに機械的に maturity を論ずることはできない。またこれらの量の間の関係を機械的にむすびつけて考えることも誤っている。

主な参考文献

- 1) 牛来正夫(1955): 火成岩成因論(上), 地団研, 地学双書, No. 8
- 1') 山下 昇(1957): 中生代(上), 地団研, 地学双書, No. 11
- 2) 中沢圭二・志岐常正・清水大吉郎・野上裕生(1958): 舞鶴地帯中下部三畳系総括——舞鶴地帯の層序と構造(その8)——, 地質雑, Vol. 64 No. 750, pp. 125—137
- 2') NAKAZAWA, K. (1958): The Triassic System in the Maizuru Zone, Southwest Japan, Memoirs Coll. Sci., Univ. Kyoto, Ser. B, Vol. 24, 4, pp. 265—313
- 3) 中沢圭二(1950): 京都府加佐郡河西村附近の石灰岩礫岩の時代, 地学, 1号, p. 38
- 3') 中沢圭二・志岐常正・清水大吉郎・野上裕生(1956): 舞鶴地帯の *Lepidolina* Zone, 地質雑, Vol. 62, No. 730, p. 361
- 4) PETTIJOHN, F. J. (1949): Sedimentary Rocks, Howers & Brothers., N. Y.
- 5) KRUMBEIN, W. C. and L. L. SLOSS (1951): Stratigraphy and Sedimentation, W. H. Freeman Co. San Francisco.
- 6) 藤井浩二(1955): 砂岩研究の二・三の問題, 地球科学, No. 20, p. 2—11
- 7) 中沢圭二(1957): 上部三畳系難波江層群の化石帯と佐川期細分の検討, 地球科学, No. 31, p. 16—27
- 8) DAPPLES, E. C., W. C. KRUMBEIN and L. L. SLOSS (1953): Petrographic and lithologic attributes of sandstones, Jour. Geol., Vol. 61, 4, pp. 291—317
- 9) PETTIJOHN, F. J. (1954): Classification of sandstones, Jour. Geol., Vol. 62, 2, pp. 360—365
- 10) 藤井浩二(1956): 九州八代地方中生界の砂岩, 地質雑, Vol. 62, No. 727, pp. 193—211
- 11) PLUMLEY, W. J. (1948): Black Hills terrace gravels, a study in sediment transport, Jour. Geol., Vol. 56, pp. 526—577
- 12) 小出 博(1952): 応用地質——岩石の風化と森林の立地——, 形成選書, 古今書院
- 13) FOLK, R. L. (1951): Stages of textural maturity of sedimentary rocks, Jour. Sed. Petrol., Vol. 21, 3, pp. 127—130
- 14) KRUMBEIN, W. C. and F. J. PETTIJOHN (1938): Manual of sedimentary petrography, D. Appleton-Century Co.
- 15) MIZUTANI, S (1957): Permian sandstones in the Mugi area, Gifu Prefecture, Japan, Jour. Earth Science, Nagoya Univ., Vol. 5, 2, pp. 135—152
- 16) MACCARTHY, G. R. (1931): Coastal sands of the Eastern United States. Am. Jour. Sci., ser. 5, Vol. 22, pp. 35—50
- 17) PETTIJOHN, F. J. (1957): Sedimentary Rocks, second edition, p. 541
- 18) 木村春彦(1953—1956): 堆積機構の基礎的研究(その1—その7), 地質雑, Vol. 59—62

On Some Compositional and Textural Properties of Sandstones in the Maizuru Zone, Southwestern Japan, with Special Reference to their Maturity.

Tsunemasa SHIKI

(Abstract)

In the Maizuru Zone develop the Permian Maizuru Group, the Lower-Middle Triassic Yakuno Group, and the Carnian Nabae Group. Studies on the sandstones of these groups seem to throw light on the geohistory of this zone.

In this paper, the writer first describes the general characters of the sandstones, based chiefly on the observations under the microscope, and at the same time on field observations.

Some compositional and textural properties of the sandstones have been examined, rather in detail, especially from the viewpoint of their maturity. Generally speaking, the sandstones of the Maizuru Group are the most immature; next come those of the Yakuno Group; and the sandstones of the N_2 formation of the Nabae Group are mostly mature.

It is supposed that the sediments of the Maizuru Group were supplied mainly from the large exposure of andesite, effusive ~ hypabyssal acid rocks, and shale etc., judging from the fact that the fragments of these rocks are very abundant in the sandstones of this group, especially in the coarser grained ones.

It has been suggested further that these rock-fragments were not decomposed into fine-grained sands, but were changed directly into finer clayey detrital matters, and joined with other clayey materials which has been produced by weathering at their provenance. These clayey detritals were not separated from the sand grains, but deposited together with the sands in the same places. The turbidity current theory seems to account well for such a mechanism of deposition.

The Yakuno Group grew to its maturity chiefly by selective breaking and selective transportation of feldspar grains. As quartz fragments are durable against destruction, they must have been deposited almost keeping their original sizes. As the result of the selective transportation, feldspar grains 0.1—0.2mm in size were accumulated in certain places, while, at the same time, quartz grains were concentrated in other places. Hence, if the term "maturity" is to be used, the feldspar-rich finer sandstone and the quartz-rich coarser sandstone should be considered to be in the same degree of maturity. Such are matters of no small concern also in the studies on the sandstones of the Maizuru Group.

Decomposition of rock fragments and production of detrital clay must have occurred also in the course of sedimentation of the Yakuno Group. But, in this case the removal of the clay followed; and, the sandstones of this group have little detrital clay matrix. Removal of clay, like that of feldspathic fine sands, is due to different modes of motions of sediment grains of various sizes, under the same velocity of the stream.

The sandstones of the N_2 formation have very distinct characteristics from those of the other groups. Removal of clay has been sufficient. The compositional properties of these sandstones, rich both in quartz and in feldspar, may be due not only to their maturity, but also to the nature of their provenance.

From the above-stated facts it follows that, for the examination of the maturity of sandstones, we should consider both their compositional and textural properties and especially their mutual relation. Selective breaking and selective transportation of various components of sandstones are the two factors of the most importance in study on sandstone maturity.