

九州の四万十累層群

寺岡易司¹⁾

1. はじめに

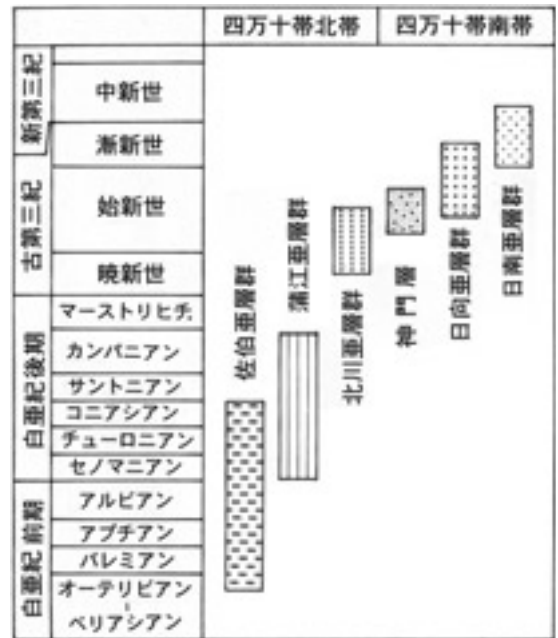
中新世以降の火山活動に関連し、南九州では菱刈、串木野、春日など多くの金鉱床が形成されている。これらのほとんどは四万十帯内にあり、最近では火山岩類だけでなく、その基盤をなす四万十累層群も鉱床の成因に関与しているのではないかとされている。したがって、この機会に本累層群について概説することにする。

四万十累層群は白亜紀から第三紀中頃にかけての時代に形成された付加体であるが、これは長い間時代未詳層とされ実態不明であった。九州のものについての本格的な研究は1950年代後半に入ってから九大の橋本 勇によって開始され、その成果は橋本(1962)で総括されている。

当時、筆者は大野川盆地付近の西南日本中軸帯や秩父帯の調査を行っており、四万十帯の地質について多大な関心をもっていた。そこでかねてから四万十帯に注目していた今井 功とともにこの地帯の研究を行うことにした。最初にフィールドに入ったのは1963年初頭であり、上椎葉北西の尾前を起点に耳川沿いのルートマップ作りから始めた。この頃はまだ交通の便がきわめて悪く、吹雪の中を震えながら歩き続けたことを今でもなつかしく思い出す。1967年になると奥村公男が加わり、以後3人で九州四万十帯各地の地質図幅調査を行った。ここではその成果を中心に、まず四万十累層群の層序・構造の概要、次いで砂岩モード組成、碎屑性ザクロ石および砂岩・泥岩の化学組成について述べ、最後に新生代火山岩類に広く覆われている薩摩地域の基盤構造に言及する。

2. 層序・構造

九州の四万十累層群についてはこれまで多くの研究がなされており、ここにそれらを列挙することは誌面の都合でできない。1990年代にはいつから公表され、かつ広域的なまとめがなされているものに限ってみると、鹿児島県地質図編集委員会(1990)、地質調査所(1992)、唐木田ほか(1992)、寺岡・奥村(1992)、遅沢(1993)、宇都ほか(1997)、斎藤ほか(1997)、村田(1998a,b)、寺岡ほか(1999)などがあり、層序・構造区分の仕方は研究者によってかなり異なる。そこでまずはじめに以下の記述が主として筆者と共同研究者の見解に従うもので



第1図 四万十累層群の層序区分と年代。

1) 産総研 地圏資源環境研究部門 客員研究員

キーワード：九州、白亜系、第三系、四万十累層群、砂岩モード組成、碎屑性ザクロ石、碎屑岩化学組成



写真1 佐伯垂層群下部の砂岩(宮崎県東臼杵郡諸塚村山の原)。

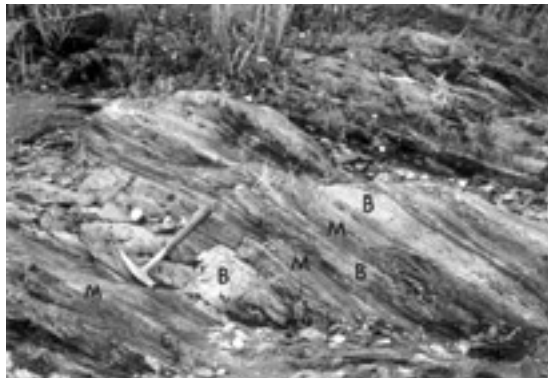


写真2 蒲江垂層群下部の片岩化した泥岩(M)塩基性凝灰岩(B)互層(宮崎県東臼杵郡諸塚村嶺峰)。

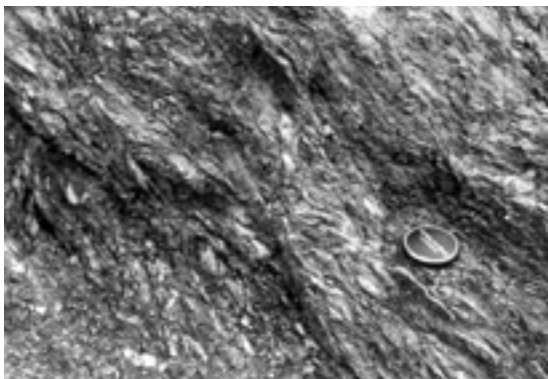


写真3 神門層の砂岩片に富む剪断された泥岩(宮崎県東臼杵郡西郷村鳥の巣)。



写真4 神門層の枕状溶岩(宮崎県東臼杵郡南郷村阿切)。

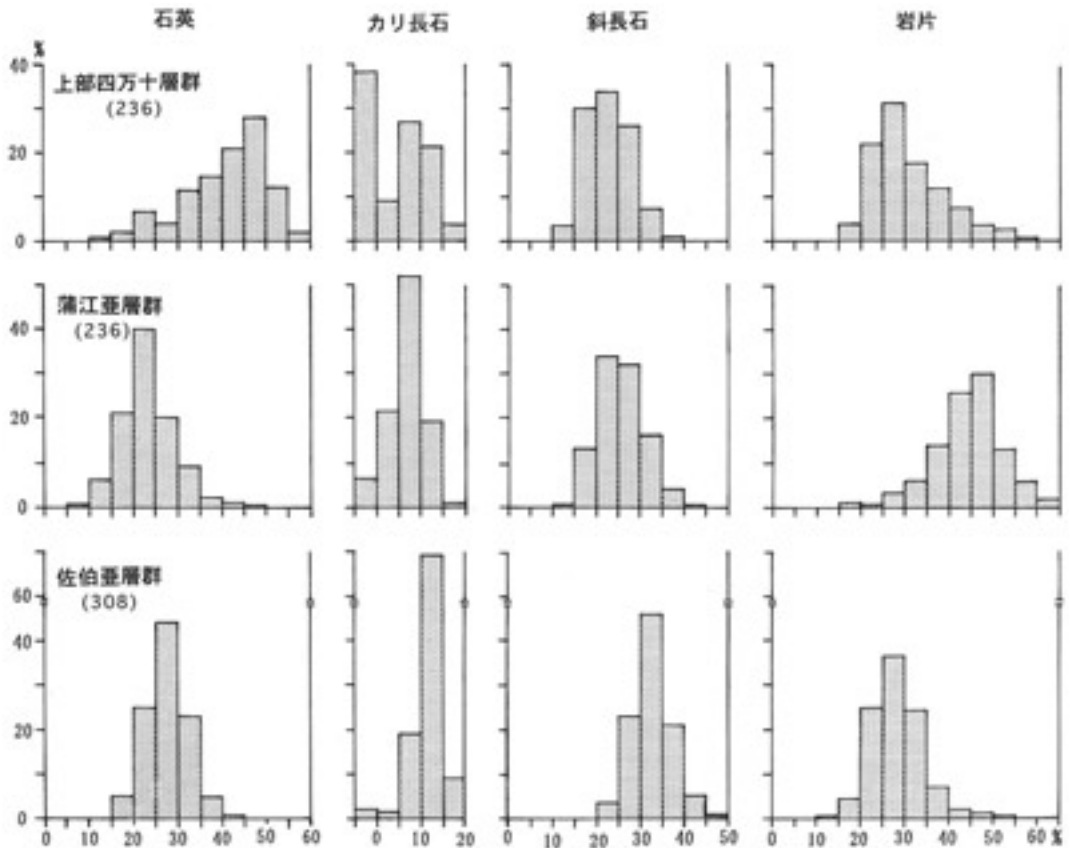
た泥岩卓越部にはときに塩基性火山岩やチャートが含まれている。蒲江垂層群の下部は泥岩を主とし、砂岩、塩基性火山岩、チャート、赤色泥岩などを伴っており(写真2)、上部は砂岩がちの砂岩・泥岩層からなる。これらの岩石は部分的ながら著しく片岩化し、塩基性火山岩中には多くの場合変成鉱物としてアクチノ閃石が認められる。なお、蒲江垂層群には層状含銅硫化鉄鉱床(嶺峰鉱山など)やマンガン鉱床が胎している。

上部四万十層群は四万十帯南帯に広く分布するが、最下部の北川垂層群だけは例外であって、延岡付近の蒲江垂層南縁部に露出する。これの下部は千枚岩化した泥岩、上部は砂岩がちの砂岩泥岩互層からなる。神門垂層の神門層は主として泥岩と塩基性火山岩からなる。この地層は著しい剪断作用を受け、部分的ながら剥離性に富む泥岩中には寸断された砂岩片が含まれ、その表面は再結晶石英で被われている(写真3)。塩基性火山岩には

玄武岩質の枕状溶岩(写真4)が多く、同質の火砕岩や赤色泥岩を伴う。これらの岩体は層状またはレンズ状の形を呈し、巨大なものは最大1,500mの厚さをもって11km以上連続する。四万十帯南帯の主部を占める日向・日南両垂層群は塩基性火山岩や赤色泥岩を挟むこともあるがそれらの量はごくわずかであり、それぞれの下部では泥岩、上部では砂岩が卓越し、上方粗粒化の岩相変化を示す。

四万十帯層群は北西ないし西方に傾斜しているのが普通であり、多くの走向断層で切られて地層の繰り返しが著しい。北川垂層群、日向垂層群南部および日南垂層群ではしばしば褶曲構造も認められる。走向断層には低角のものが多く、北帯と南帯を画する延岡衝上断層や神門垂層南縁を限る大藪衝上断層は傾斜が10度内外、場所によってはほとんど水平のこともあり、日向垂層群上には蒲江垂層群や神門層がクリップとしてのっている。

四万十帯層群は広域的な沈み込み帯変成作用

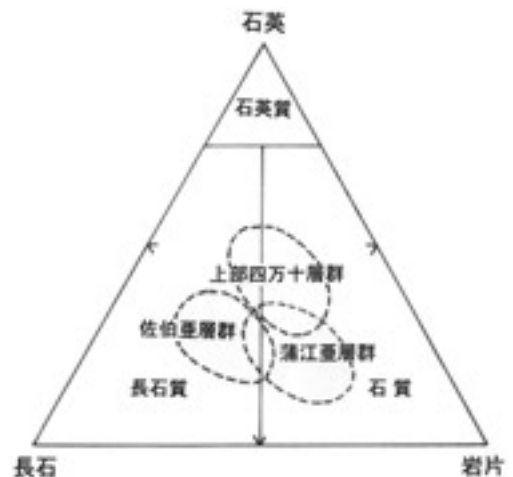


第3図 四万十累層群砂岩のモード組成を示すヒストグラム。

と中新世花崗岩類の貫入による接触変成作用を受けている。前者による変成度についてみると、神門層はぶどう石-パンペリー石帯、その北側の蒲江亜層群は主としてアクチノ閃石帯、同亜層群の一部と佐伯亜層群の大部分はぶどう石-パンペリー石帯に属する。北川・日向・日南の3亜層群の場合は特徴的な変成鉱物が見いだされていないが、それらの変成度は神門層のものより低いと推定される。

3. 砂岩モード組成

筆者はこれまで九州から赤石山地にかけての四万十帯各地から採取された多数の砂岩試料のモード分析を行い、その結果は機会あるごとに公表し、寺岡・奥村(1992)、寺岡ほか(1999)などでまとめている。この分析はカリ長石を染色した薄片を用い、ポイントカウンティング法(薄片一枚あたりのポイント数は1,000-1,200)により、石英・カリ長石・



第4図 四万十累層群砂岩のモード組成範囲。

斜長石・火山岩片・その他の岩片(重鉱物を含める)および基質の容量比を求めた。未公表分も含め、九州関係の分析結果を第3,4図と第1表に示す。これらの図表では基質を除いた部分(フレーム

第1表 四万十累層群砂岩の平均モード組成.

層序	砂粒	石英	カリ長石	斜長石	全長石	岩片
上部四万十層群		41.2%	5.6	22.6	28.2	30.6
下部四万十層群	蒲江亜層群	23.4	6.8	25.5	32.3	44.3
	佐伯亜層群	27.5	11.5	32.6	44.1	28.4

ワークグレイン)における各鉱物・岩片の量比が示してある。

下部四万十層群の砂岩は一般に中-細粒で、粗粒なものもしばしばみられるが、上部四万十層群の砂岩は多くの場合細粒であり、これらの平均基質量はそれぞれ19.1%と18.1%である。基質は砂岩の粒度が細くなるにつれ増加する傾向があり、この点を考慮すればその量は上部四万十層群砂岩の方が少ないといえる。砂粒の石英は大部分が単結晶のもので、カリ長石としては正長石が最も多く、微斜長石、そしてパーサイトがこれに次ぐ。斜長石は曹長石化し、部分的ながら絹雲母・緑泥石・方解石などの二次鉱物を生じているのが普通であり、累帯構造はごくまれである。岩片は主として酸-中性火山岩からなり、その他には細粒花崗岩類・石英斑岩・ひん岩・玄武岩・チャート・砂岩・泥岩・千枚岩・結晶片岩・片麻岩・ホルンフェルスなどのものがみられる。重鉱物としてはジルコン・電気石・ザクロ石・燐灰石・スフェーン・緑れん石・褐れん石・黒雲母・白雲母・角閃石・輝石・不透明鉱物などがはいっている。

佐伯亜層群の砂岩は長石、蒲江亜層群のものは岩片、上部四万十層群の場合は石英に富んでおり、これらのカリ長石/長石比はそれぞれ0.26、0.21および0.20である(写真5, 第3図, 第1表)。上部四万十層群ではカリ長石量の変動が大きく、その頻度分布はバイモーダルであり、カリ長石を欠く砂岩は神門層と日向亜層群下部に発達する。火山岩片としては、佐伯亜層群では概して中性のものが優勢で、蒲江亜層群になると酸性火山岩片が卓越し、上部四万十層群では酸性のものが主体をなす。要するに佐伯亜層群は長石質砂岩、蒲江亜層群は石質砂岩でそれぞれ特徴づけられ、上部四万十層群の砂岩は石質-長石質で石英に富んでいる(第4図)。ここで注目すべきは、佐伯亜層群と蒲

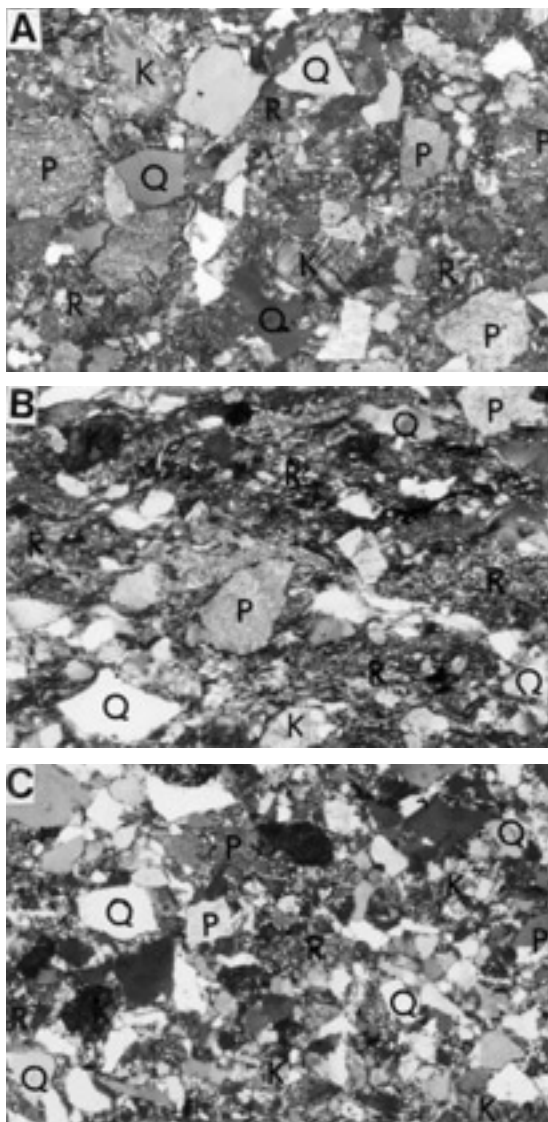
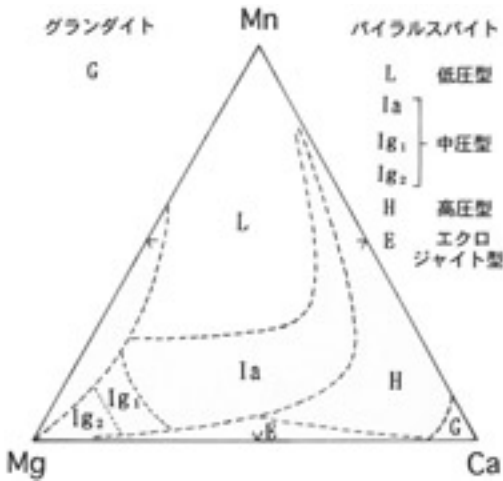


写真5 四万十累層群砂岩の顕微鏡写真。写真の範囲はいずれも2mm×3mm.

- A: 佐伯亜層群上部(宮崎県東臼杵郡諸塚村山の尾)
- B: 蒲江亜層群上部(宮崎県東臼杵郡諸塚村小弘)
- C: 日向亜層群上部(宮崎県東臼杵郡東郷村河原)
- Q: 石英, K: カリ長石, P: 斜長石, R: 火山岩片.

江亜層群は同じ年代の地層を含んでいるにもかかわらず、砂岩組成を著しく異にする点である。

砂岩や礫岩の組成からみると、四万十累層群の堆積物は様々な岩石から由来し、量的には花崗岩類と酸-中性火山岩起源の碎屑物が圧倒的に多いといえる。これらの主要供給源としてまず想定されるのは西南日本内帯に広く分布する中生代の火成



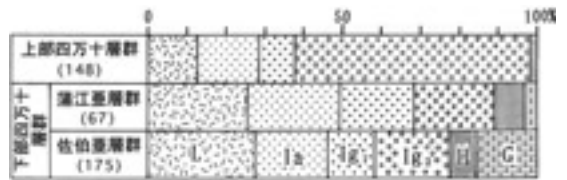
第5図 ザクロ石の分類図。

岩であるが、その大部分は白亜紀中頃以降のものである。年代的にも量的にも四万十累層群堆積物の供給源を日本列島だけに限定するのは困難であり、アジア大陸からも大量の物質供給があったと考えられる。このことは次に述べる碎屑性ザクロ石の研究によって裏付けられる。

4. 碎屑性ザクロ石

砂岩中にはごく少量ながら碎屑粒子としてザクロ石が入っているのが普通であり、それは碎屑物供給源の推定や古地理の復元、地層の対比などを行う上で重要な手掛かりとなる。この鉱物は変成岩によく含まれ、花崗岩類や一部の火山岩にも入ることがある。変成岩の場合は化学組成が変成条件に支配され、原岩組成によっても異なる。したがって碎屑性ザクロ石について論議する際には、まず岩石の種類とそれに含まれるザクロ石の化学組成との対応関係に基づき本鉱物のタイプ分けをしておかなければならない。

ザクロ石は固溶体であり、その組成は通例陽イオンまたは固溶体端成分を組み合わせた三角図によって示される。このような図には様々なものがあるが、寺岡ほか(1999)、寺岡(2003)は、Mn-Mg-Ca図をつかって独自のザクロ石分類(第5図)を行い、四万十帯砂岩中の碎屑性ザクロ石について論述した。なお、Mn-Mg-Ca図は一般に用いられている他の三角図の場合よりも組成表示の領域がは

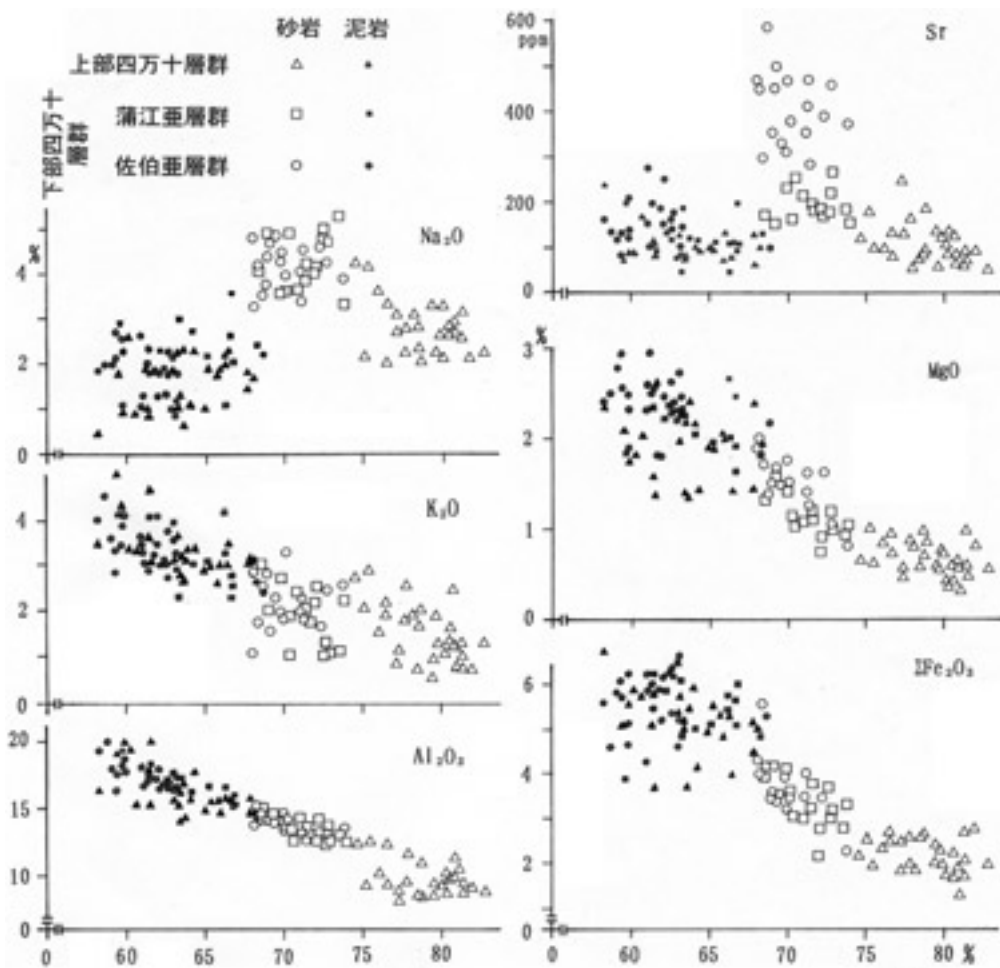


第6図 四万十累層群砂岩中の碎屑性ザクロ石。

るかに広く、しかもFeが入っていないにもかかわらず、個々のザクロ石粒子の化学的特徴をうまく表せる。第5図で低圧型、中圧型、高圧型、エクロジャイト型およびグランダイトとしたザクロ石の各タイプは、それぞれ低圧変成岩、中圧変成岩(Iaは角閃岩相以下、Ig₁とIg₂はグラニュライト相)、高圧変成岩、エクロジャイトおよび石灰質岩源変成岩に含まれるものである。ここでいう低圧、中圧および高圧の変成岩は主として泥質岩源のものである。花崗岩類をはじめ酸性の火成岩のザクロ石は大部分が低圧型、一部中圧型に属し、Ig₁とIg₂の境界値はMg/(Mn+Mg+Ca) = 0.8である。Ig₂は堆積岩中に碎屑粒子として多く認められるが、このような高Mgザクロ石は日本の変成岩にはなく、アジア大陸の先カンブリア紀高度変成岩からはごく普通に産出する。

九州の四万十累層群砂岩からの碎屑性ザクロ石を上記の方式で分類してみると、全体としては中圧型が最も多く、低圧型がこれに次ぎ、高圧型やグランダイト、ごくまれにエクロジャイト型も認められる。これら各タイプの量比は地層群によって異なり、明瞭な時代的定向変化を示す(第6図)。すなわち、佐伯垂層群から上部四万十層群にかけ、中圧型、とくにIg₂が増え、低圧型が減っていく。グランダイトは佐伯垂層群にかなり入っているが、蒲江垂層群になると激減し、上部四万十層群では欠如する。一方、高圧型の比率は佐伯・蒲江両垂層群においては7%内外であり、上部四万十層群では約2%である。佐伯垂層群の中では概して上部より下部の方に低圧型やグランダイトが多く、中圧型が少ない傾向がある。蒲江垂層群や上部四万十層群の場合は層序的变化が不明確である。

地層群(佐伯垂層群と蒲江垂層群は年代がオーバーラップする)によって砂岩組成や碎屑性ザクロ石の構成が異なるということは、時代とともに後背地の地質状況が変化し、しかも碎屑物供給パター



第7図 四万十層群砕屑岩の化学組成変化図。

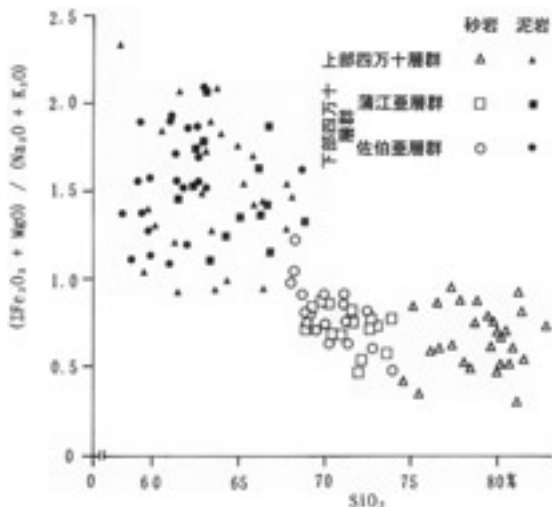
ンが多様であったことを意味する。この問題については寺岡ほか(1999)や寺岡(2003)が論じている。砕屑性ザクロ石の起源に限って言えば、中圧型、低圧型およびグランダイトの主要供給源はアジア大陸の先カンブリア系と古生界に、高圧型のそれは西南日本内帯の三郡変成岩に求められる。

5. 砕屑岩化学組成

砕屑岩化学組成に関する研究は、耳川・五ヶ瀬川流域で採取された泥岩と砂岩の127試料について行われている(寺岡ほか, 1995)。そこで明らかにされた砕屑岩化学組成の層序的な違いは九州四万十帯全体に共通するものと推定される。その理由は場所が違って各地層群が岩相、砂岩モード組

成、砕屑性ザクロ石などの点で同じような特徴を示すからである。

耳川・五ヶ瀬川流域の砕屑岩分析値を第7図に示してある。本図から分かるように、下部四万十層群と上部四万十層群では砂岩の化学組成が著しく異なる。すなわち下部四万十層群砂岩はSiO₂が74%以下で上部四万十層群のものに比べ少なく、Al₂O₃、Na₂O、ΣFe₂O₃、MgOなどが多い。Al₂O₃/SiO₂比をとってみると、0.17の値を境に両砂岩は画然と分かれ、容易に識別することができる。なお、北川垂層群はかつて中生界とみなされていたが、これの砂岩は明らかに第三系タイプである。下部四万十層群のなかでは佐伯垂層群砂岩の方が蒲江垂層群のものよりSiO₂が概して少なく、Al₂O₃、K₂O、CaO、ΣFe₂O₃、MgO、P₂O₅などが



第8図 四万十累層群砕屑岩の $\text{SiO}_2 - (\Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 図。

多い。微量元素についてみると、佐伯垂層群から蒲江垂層群、そして上部四万十層群にかけSr, V, Zn, BaOなどが減少し、これら3地層群の違いはとくにSr含有量によくあらわれている。

泥岩は砂岩より SiO_2 , Na_2O , Srに乏しく、 Al_2O_3 , K_2O , $\Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3$, MgO, BaOなどに富んでいる。一般に泥岩の場合は層序的な違いが不明瞭である。ただし、Srに関しては砂岩におけると同様な傾向が認められる。Ishihara *et al.* (1986)によれば、砂岩中のS含有量は下部四万十層群より上部四万十層群の方が若干大きい。第8図でも砂岩の場合は層序的な組成変化がよくあらわれており、泥岩ではその認定が困難である。下部四万十層群砂岩では SiO_2 の増加に伴い、 $(\Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 比が減少し、上部四万十層群になるとこの傾向がくずれる。このようなトレンドの乱れは、源岩組成の急変に起因するものではなく、上部四万十層群になって砂岩の熟成度が高くなり、 SiO_2 の増加と Na_2O の減少が著しかったためと考えられる。

6. 薩摩地域の基盤構造

薩摩地域には新生代火山岩類が広く分布し、その基盤をなす四万十帯の各地層群がどのような広がりを持ち、それらの境界がどこにあるのかよく分からない。そこで次に地表調査の結果だけでなく、

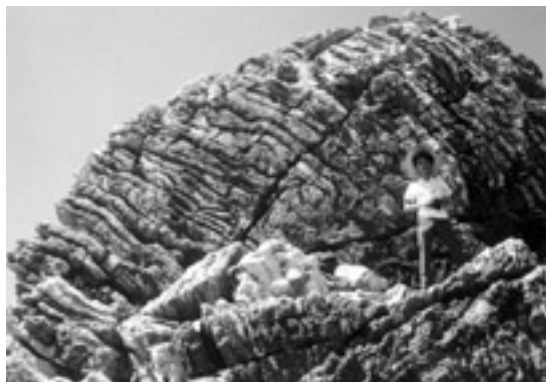


写真6 秩父帯南縁部のチャート石灰岩互層（鹿児島県串木野南方約19kmの久多島）。

試錐で得られた資料も加味し、この地域の基盤構造について考察する。

四万十帯と秩父帯を画する仏像構造線は九州西端の阿久根付近で大きく屈曲して走向をNE-SWからN-Sに変え、川内川の河口近くを通過して串木野にのび、その後は久多島(写真6)の東側を通過して野間岬に達する。これと調和的な構造方向の変化は秩父帯内や四万十帯においても認められ、北薩の屈曲(橋本, 1962)としてよく知られている。串木野西方で実施された試錐(第2図地点1, 以下同様)によると、火山岩類下には秩父帯に属する地層がある(森下・寺岡, 1996)。

佐伯垂層群は川内北方の紫尾山付近と薩摩半島にややまとまって露出し、蒲江垂層群は霧島南麓から高隈山にかけてみられる。これらの基盤岩露出地帯の間には火山岩類が広範囲にわたって分布しているが、菱刈(地点2, 標高240m)と霧島南西麓(地点3, 標高600m)では試錐により地下に伏在する四万十累層群についての情報が得られている(Ishihara *et al.*, 1986; NEDO, 1991; 寺岡・奥村, 1992)。菱刈では火山岩類の下位に長石質砂岩で特徴づけられる佐伯垂層群があり、深度1,074m付近の泥岩からはカンパニアン期の放射虫を産する。年代からして深部の地層は蒲江垂層群であり、これの構造的上位にある佐伯垂層群との間(深度940m内外?)には北西傾斜の衝上断層が介在するものと考えられる。最近、菱刈鉦山のズリからチューロニアン前期を示すイノセラムスが発見されており(早坂, 1999)、坑道のレベルからして含化石層は佐伯垂層群のものともみなされる。霧島の試

錐で得られた砂岩は石質であって、泥岩（深度1,715m前後）中にはチューロニアン-サントニアン
の放散虫が見いだされている。砂岩組成からすれば地点3付近では火山岩類下に蒲江亜層群が伏在
するといえる。

四万十帯の北帯と南帯を分かち延岡衝上断層
は、延岡の海岸から人吉南東までほとんど連続的
に追跡されるが、それ以南では火山岩類下に没し、
神門亜帯がなくなる。断続的に露出する蒲江・日向
両亜層群の分布状況からみると、この衝上断層は
小林西方で走向をN-SからNW-SEに変えて都城
盆地に入り、そこで再び大きく曲がって南南西にの
び、鹿屋を通過すると推定される。志布志北西の
日向亜層群分布地域には下限を低角断層で切られ
た蒲江亜層群が露出する(斎藤ほか, 1993)。宮崎
西方でも蒲江亜層群が同じような産状を呈する。
これらは、蒲江亜層群がかつては現在みられるよ
りもはるかに広い範囲にわたって上部四万十層群
に衝上(延岡衝上)しており、その一部が後生的な
高角断層によって落ち込んで残存したものであろ
う。いずれにしても薩摩地域では四万十帯の一般
的な構造方向が大きく変化し、北帯が東に張り出
して佐伯亜帯や蒲江亜帯の幅が広がる(第2図)。

文 献

- 地質調査所(1992): 100万分の1日本地質図(第3版)。地質調査所。
橋本 勇(1962): 九州南部における時代未詳層群の総括。九大教
養地学研報, 9, 13-69。
早坂祥三(1999): 南九州の四万十累帯からのイノセラムス化石。自然
愛護, no.25表紙, 鹿児島県自然愛護協会。

- Ishihara, S., Sakamaki, Y., Sasaki, A., Teraoka, Y. and Terashima, S.
(1986): Role of the basement in the genesis of the Hishikari
gold-quartz vein deposits, southern Kyushu, Japan. *Min. Geol.*
36, 495-509.
鹿児島県地質図編集委員会(1990): 鹿児島県地質図及び同説明書
(117p)。鹿児島県。
唐木田芳文・早坂祥三・長谷義隆(編)(1992): 日本の地質9, 九州
地方。共立出版, 372p。
森下祐一・寺岡易司(1996) 串木野地域における秩父・四万十両帯
の境界と熱水活動。資源地質, 46, 189-195。
村田明広(1998a): 宮崎県の四万十帯の地質。宮崎県, 44p。
村田明広(1998b): 四万十帯のデュープレックスと低角ナップ構造。
地質学論集, no. 50, 147-158。
NEDO(1991) 地熱開発促進調査報告書, no.25, 菱刈地域。新エネル
ギー・産業技術総合開発機構, 982p。
遅沢壮一(1993): 九州四万十帯の形成過程。中川久夫教授退官記
念地質学論文集, 235-245。
斎藤 真・坂口圭一・駒沢正夫(1997): 20万分の1地質図幅「宮
崎」。地質調査所。
斎藤 真・杉山和弘・佐藤喜男(1993): 鹿児島県東部の四万十累層
群から産出した白亜紀放散虫化石とその地質学的意義。地質
雑, 99, 1037-1040。
寺岡易司(2003): 西南日本の古生代-第三紀砂岩中の碎屑性ザクロ
石。地質調査研究報告, 54, 171-192。
寺岡易司・奥村公男(1992): 四万十帯北帯の構造区分と白亜紀砂
岩組成。地質学論集, no.38, 261-270。
寺岡易司・奥村公男・鈴木盛久・川上久美(1999): 四万十累層群
の碎屑性堆積物。地質調査所月報, 50, 559-590。
寺岡易司・鈴木盛久・林 武広・奥村公男(1995): 九州東部嶺峰-
神門地域の四万十累層群における堆積岩化学組成の層序的変
化。広大学校教育学部紀要, pt. II, 17, 83-94。
宇都浩三・坂口圭一・寺岡易司・奥村公男(1997): 20万分の1地質
図幅「鹿児島」。地質調査所。

TERAOKA Yoji (2004): Shimanto Supergroup in Kyushu,
Southwest Japan.

< 受付: 2004年5月31日 >