

## 四国中央部御荷鉾帯の緑色岩の風化と地すべり(1)

Weathering processes and landslides occurrences of the Mikabu Greenstone Belt,  
central Shikoku, southwest Japan(1)

夕 部 雅 丈*	岡 村 眞**	矢田部 龍 一***
Masatake YUBE	Makoto OKAMURA	Ryuiti YATABE
八 木 則 男***	横 田 公 忠***	佐 藤 修†
Norio YAGI	Kimitada YOKOTA	Osamu SATO

## Abstract

The Mikabu Greenstone Belt is characterized by many creeping landslides with comparatively small slip angles. Landslide distribution in this belt corresponds to the distribution of schistose greenstone and obscures in massive greenstone. Schistose greenstone has well-developed cracks and cleavage, which cause an easy ground water permeation. Also, schistose greenstone being mainly composed of actinolite and chlorite can be easily hydrated. Weathering process of schistose greenstone begins with dissolution of  $\text{Ca}^{2+}$  at first, and formation of smectite then takes place after dissolution of  $\text{Mg}^{2+}$  from actinolite and chlorite. Thus, the physico-chemical weathering processes seems to have progressively changed the petromineralogic properties of the rock.

キーワード: mineral, alteration, leaching, water quality

## 1. はじめに

四国山地の御荷鉾帯地域は、地すべり地が密集して分布しており、大地がたえまなく流動し、時に大災害をもたらす。一方、このような不安定性とはうらはらに、なだらかな斜面を持ち広い空を眺めることができるため、牧歌的な風景がひろがり、田畑が多い。この四国山地の中心部であるにもかかわらず耕作地が多いというのは、時に地すべり災害を被るものの、それ以上に地すべり活動の結果、作物の栽培に適するようにほぐされた大地でもあるという恩恵を受けているからで、山地斜面としては特異な地帯を形成している。

本論ではこのように土木工学的には極めて特異な地質帯である御荷鉾緑色岩類が分布する四国中央部の大豊町蔭地区と土佐町松木野地区の地すべり(図-2参照)を中心に、この緑色岩の風化と地すべりの関係についてこれまでの知見を述べる。

## 2. 御荷鉾帯の分布と形成年代

御荷鉾帯に地すべりが多発する原因のひとつとして、構成岩類の成因が関係するため、以下に成因論について簡単に述べる。

西南日本外帯の構成要素のそれらのひとつである御荷鉾帯は、三波川帯の南縁部に関東山地から四国西部まで800kmにわたって分布する地質帯(図-1)で、主として塩基性火山岩と超苦鉄質-苦鉄質岩より構成され、南側の秩父帯と接する。

御荷鉾帯は四国では最大幅5km程度で、東西にレンズ状に4つ程のブロックに分かれ、断続的に分布している。高知県では、西石原から池川町の間は、上八川-池川構造線で三波川帯と秩父帯が直接接しており、この間には御荷鉾帯は分布していない。<sup>5)</sup>

御荷鉾帯の形成年代については、これまで塩基性岩に伴われる堆積岩中の化石(石炭紀、三疊紀、ジュラ紀)から議論されてきたが、化石の保存状態が悪く、その全容は明らかになっていない。一方、御荷鉾緑色岩は変成作用を受け変質していることから、火成起源の残留鉱物として岩脈中に含まれる角閃石に注目し、K-Ar法を用いて測定を行った結果、鳥羽地域の火成岩の形成年代は

\* 高知県・愛媛大学院

\*\* 高知大学

\*\*\* 愛媛大学

† 新潟大学

150Ma前後（ジュラ紀）であるとしている（小澤<sup>6)</sup>）。さらに小澤は、化学分析の結果から海台ではなく海山列であることを示唆するとしているが、火成年代の全体像は未だつかめていない。いずれにせよ、秩父帯の緑色岩についてもいえることではあるが、両帯の緑色岩が海底に噴出した塩基性の火成起源のものであることが、地すべりと大きな関係を有していることは間違いない。

### 3. 御荷鉾帯の地すべりの特徴

高知県における地すべり防止区域に指定された地質帯別の分布とそれぞれの地質帯別に地すべり防止区域が占める面積の割合を図-2に示す。先に述べたように、御荷鉾帯は圧倒的に地すべりの割合が高い地質帯であることを示している。

また、御荷鉾帯の北側に分布する三波川帯の地すべりと南側に分布する秩父帯の地すべりの斜面勾配はおおむ

ね20度以上で、地下水位が低く、田がほとんどなく畑地耕作が主体である。これに対し御荷鉾帯の地すべりは、一般に斜面勾配がなだらかでおおむね20度以下であり、地下水位が高く田が多く耕作されている。御荷鉾帯に位置する蔭地すべり防止区域内の田畑は、51haにおよび、耕作地が地すべり防止区域の70%を占め、高い土地利用がなされている。

また、三波川帯並びに秩父帯の地すべりが、豪雨などにより急激に滑動するのに対し、御荷鉾帯の地すべりは、年間を通じて動いており、日本海側の第三紀層地すべりに似たクリープ的な滑動をしている。これは、八木ら<sup>19)</sup>の御荷鉾帯のすべり面粘土のクリープ試験によるひずみ速度の結果も、三波川帯や秩父帯のものよりも第三紀層のすべり面粘土に近い値を示しており、力学試験結果からも御荷鉾帯と第三紀層のすべり面粘土の力学特性の類似性を指摘することができる。

### 4. 御荷鉾緑色岩類と構成鉱物

#### 4.1 構成岩類

対象地域の構成岩類は、火成岩としては、ハイアロクラスタイト、枕状玄武岩、ピロープレチャ、はんれい岩、蛇紋岩、斜長石花崗岩で、堆積岩としては、チャート、頁岩、石灰岩である。

#### 4.2 構成鉱物

これまで筆者が同定した御荷鉾緑色岩を構成する鉱物としては、クロライト、アクチノライト、アルバイト、エピドート、パンペリーアイト、オージャイト、スフェーン、カルサイト、カルコパイライト、クウォーツ、サーペンチナイト、スチルプノメレーンである。

#### 4.3 地すべり帯の緑色岩と構成鉱物

地すべり帯の緑色岩は片状を呈しており、構成鉱物は主としてアクチノライトおよびクロライトで構成されているのが特徴である。なお、地すべり帯にも転石状やレンズ状に塊状緑色岩が存在する場合もあるが、これは回りを片状岩で取り囲まれていた塊状緑色岩が、地すべりに取り込まれ移動土塊として滑動しているものと考えられる。

先に述べたように、御荷鉾帯の中でも、地すべりは片状の緑色岩帯（ほぼハイアロクラスタイト帯）で発生しており、塊状の緑色岩類帯には地すべりはほとんど発生していない。この例示として、図-3に蔭地すべりが位置する南小川地区と松木野地すべりが位置する伊勢川地区の地すべりの分布を左側に示し、右側には岩相および鉱物共生として、アクチノライトとクロライトから構成される片状の緑色岩を×で、またこれらの鉱物の他にアルバイトなどが加わる塊状の緑色岩を●で表した図を並べて示す。右図の実線は、斜面勾配の急緩の変換点で、かつ塊状と片状の緑色岩の境界を示す。左図の地すべり指定地は、行政管理上の区域であるため、土地利用の重要度や変状の大きさなどを勘案し指定されており、右図

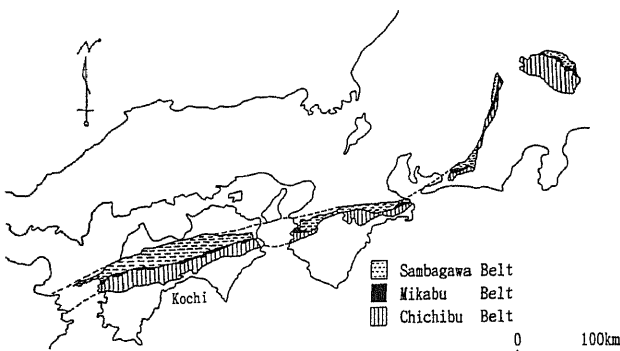


図-1 御荷鉾緑色岩類帯の分布図

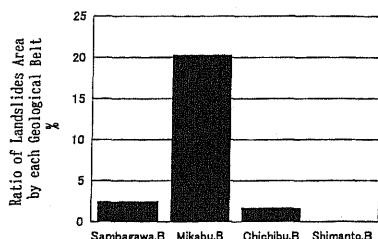
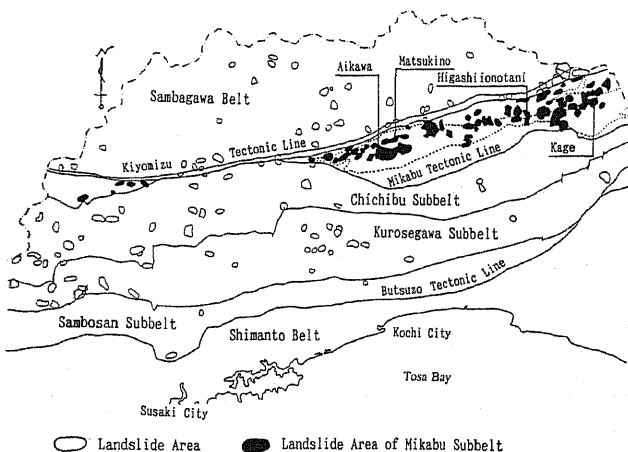


図-2 高知県の地すべり分布と地質帯別地すべりの割合

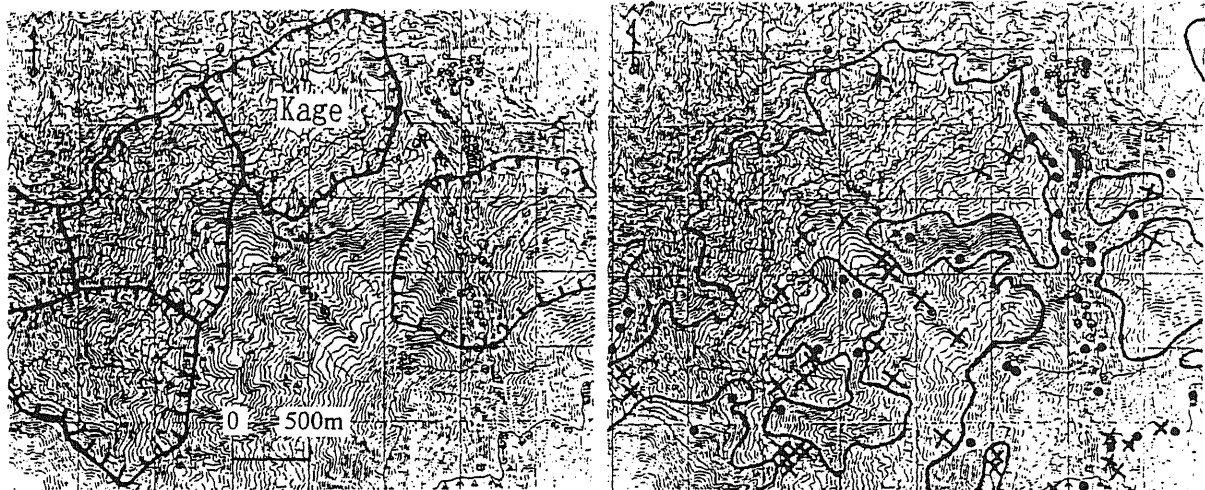
と必ずしも対応していない部分もあるが、×印の区域は緩斜面であり、また、地すべりは、ほぼ×印区域で発生しており、一方●印の区域は急斜面の山体を形成していることが分かる。

## 5. 岩石構造および構成鉱物の化学特性と風化

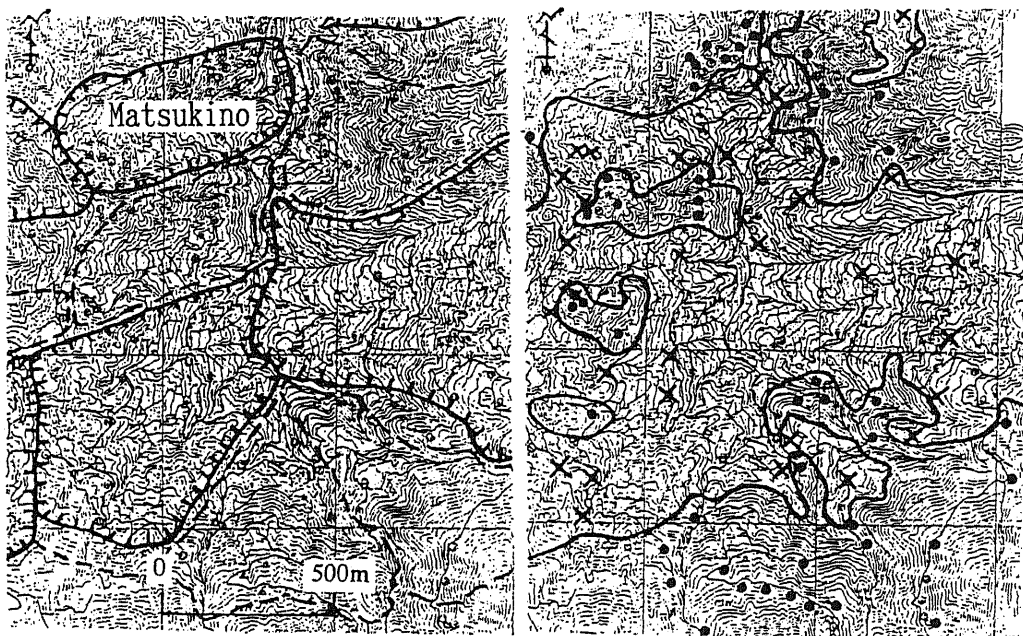
### 5.1 岩石構造

御荷鉾緑色岩には片理構造が著しく発達しているものがある。片理はしばしば片状鉱物によって特徴づけられ、御荷鉾緑色岩の場合、1mm前後の胡麻を潰したような黒色のクロライトが観察される。また、劈開や節理が発達しており、楔状に割れたり鱗状にはがれるものもある。

地すべり帯の御荷鉾緑色岩は、図-4に示すように片理と劈開が斜交しており地下水が岩石中に浸透しやすい構造となっている。このため、このような片状緑色岩は風化に対して極めて敏感であると言える。これに対し、三波川帯の緑色片岩は高圧の変成作用を受けて硬質化・塊状化しているものは、縞模様が発達し厚い板状を呈するため、石のテーブルとして利用されるなど、片状構造を持つ御荷鉾緑色岩が細片化するのとは違った構造をしている。また、秩父帯の緑色岩は分布の厚さがあまり無いことと、クォーツをはじめアルバイト、雲母など多種の鉱物から構成されており、風化した片状の御荷鉾緑色岩が細片状にバラバラになりやすいのに対し、若干板



凡例 ——— : 地すべり防止区域 ——— : 危険区域 X: Ac+Ch ●: Ac+Ch+Al (アルバイト)  
南小川流域の地すべり分布と岩相・鉱物共生および斜面勾配関係図



凡例 ——— : 地すべり防止区域 ——— : 危険区域 X: Ac+Ch ●: Ac+Ch+Al (アルバイト)  
伊勢川流域の地すべり分布と岩相・鉱物共生および斜面勾配関係図

図-3 御荷鉾帯の地すべり分布と岩相図

状を呈するなどの産状を持つ違いがある。

薄片の鏡下化観察では、写真-1に示すように、片状の御荷鉾緑色岩は、写真中央部の細粒の結晶質部と両側のガラス質部が交互に重なっている。

このような構造は、温度変化による膨張収縮の異方性や水の浸透のし易さの差など、微細レベルにおいても、物理的・化学的風化の程度に差異があり、風化し易い構造となっているといえる。これは、御荷鉾緑色岩が約1億5千年前に海底に噴出した時、噴出時に溶岩と海水との接触により、後に述べるような化学的反応をおこしていること、その後のプレート運動による沈み込みにより低温高圧の三波川変成作用を受けたこと、続いて現在の位置まで隆起してきたことなど、さまざまなテクトニックな過程をたどって来ており、この間に鉱物の変質や形態の変化などの経緯の結果生じた岩石構造である。

## 5.2 構成鉱物の風化特性

フィールドでは、片状の緑色岩の風化が著しいものの、塊状の緑色岩は岩体として風化せず露出しているのを観察することが出来る。風化あるいは細片崩壊している片状緑色岩の構成鉱物はアクチノライトとクロライトが主体であり、新鮮な場合には緑色を示すが、風化すると灰色を呈していることが多い。

また、断層や亀裂に黒色の1cm～数mmの厚さのクロライトが、また、断層の直近や岩すべり面では緑色または白色で濃集したアクチノライトを観察することができる。アクチノライトは新鮮なものは針状で暗緑色を呈しているが、露頭では風化して白く見える。

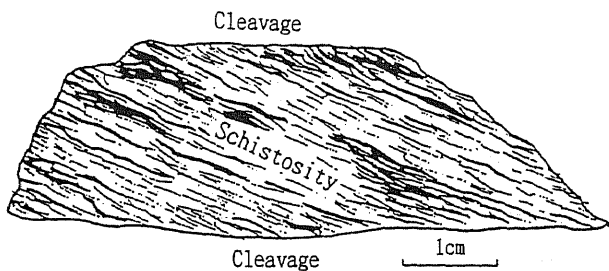


図-4 片状緑色岩断面図

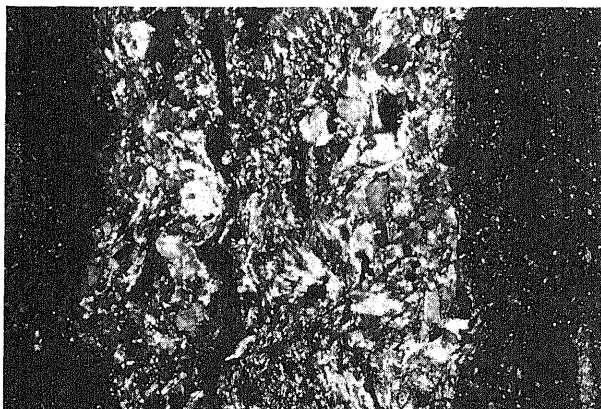


写真-1 岩石薄片写真(横幅6.6mm×縦長4.6mm)

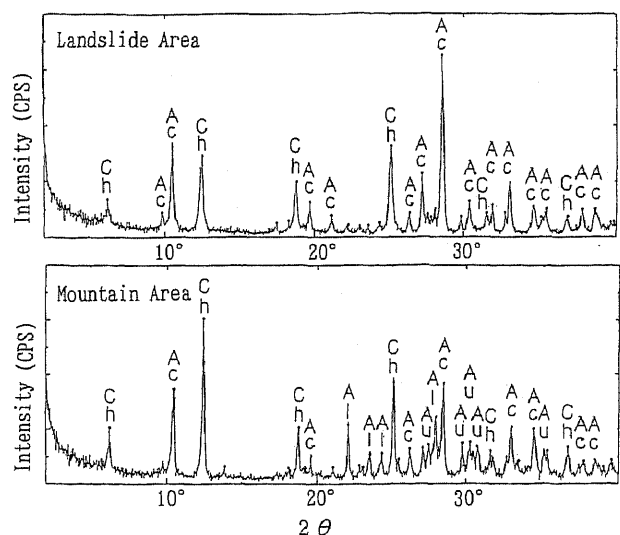
これらのことや後に述べる化学分析や水質分析から片状の緑色岩の風化は、元素で言えばアクチノライトのCaがまず溶脱し、風化が進行していくものと考えられ、Caはアクチノライトに含まれるが、クロライトには微量にしか含まれないことから、アクチノライトは片状の御荷鉾緑色岩の風化の鍵をにぎる鉱物であるといえる。つぎにアクチノライトおよびクロライトのMgが溶脱していく。Mgの溶脱状況については蛍光X線および水質の項で述べる。

4.3で述べたように、地すべりは片状の緑色岩帯で発生している。これに対し、山体部は塊状の緑色岩から成っている。これらの岩石を構成する鉱物を調べるために、蔭地区の山体部と地すべり帯部の岩石のXRDを実施した(図-5)。

その結果、地すべり帯部の岩石は、先に述べたように、主としてアクチノライトとクロライトから構成されるのに対し、山体部の岩石はこれらの鉱物に加えアルバイト、オージャイト(パンペリーアイトやエピドートが含まれる場合もある)などから構成されていることがわかった。松木野地すべりでも同じことがいえ、図-6に松木野の山体および地すべり帯部の鉱物出現図を示す。

次に岩石とすべり面粘土、および片状の緑色岩の構成鉱物の蛍光X線分析結果について述べる。蛍光X線分析は、風化変質を調べるために、片状の風化緑色岩とすべり面粘土について、また片状の緑色岩の主構成鉱物は、アクチノライトとクロライトであるが、風化変質における元素移動にどの鉱物のどの元素が関係しているのかを調べるために、クロライトとアクチノライトの元素分析を行った。

岩石とすべり面粘土は、愛媛大学のPHILIPS社製PW2400を使い、粉碎した試料を無水四ホウ酸リチウムと混合して溶融させたガラスビードを使用した。融剤は



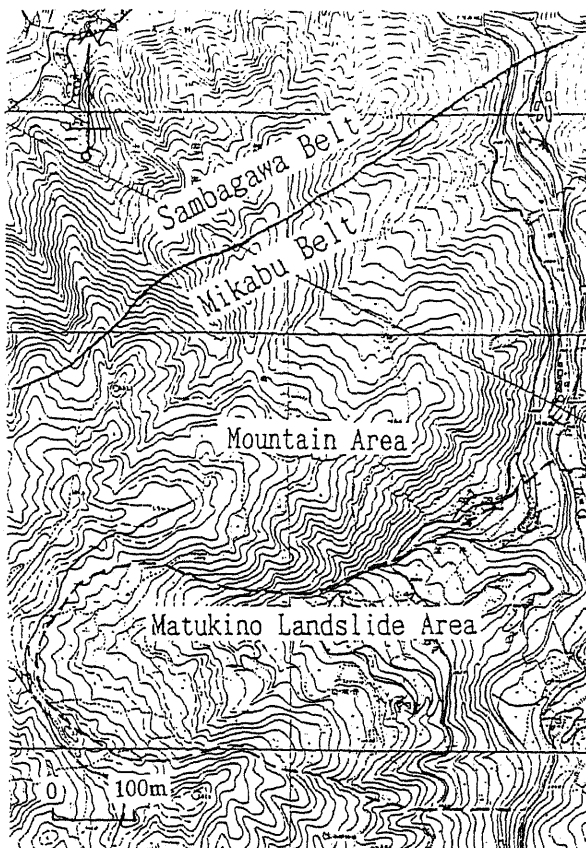
Ch: クロライト, Ac: アクチノライト, Al: アルバイト, Au: オージャイト(普通輝石)

図-5 蔭地すべりの山体部と地すべり帯部岩石のXRD

MERCK社製の無水四ホウ酸リチウム（ロット10,783）を用いた。ビード作成の岩石粉末はあらかじめ1g程度計量し、白金ルツボにいれ、BOX炉を用いて1,000℃で3時間灼熱した。この無水試料を正確に0.5gを秤量し、岩石粉末と融剤の比率が正確に1:10になるように調合した。これをめのう乳鉢中で両者を十分混合させ、白金と金の合金からなるルツボに移し、ビードサンプラー（PHILIPS社Perl'X3型全自動ビードサンプラー）で溶解しビードを作成した。ビードの直径は4cmである。管球はRh対陰極管を使用している。

また、鉱物試料に対しては同大学の地域共同研究センターの堀場製作所のXGT-2000/2000Vを使い、めのう乳鉢で粉碎した粉末を用いた。

風化岩と粘土の蛍光X線分析結果を図-7に、構成鉱物の同分析結果を図-8に示す。



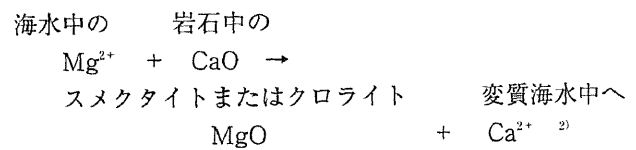
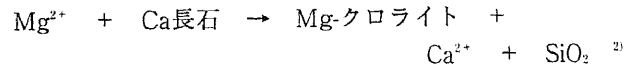
	Mountain Area	Landslide Area
Actinolite		
Chlorite		
Augite		
Sphene		
Albite		
Epidote		
Pumpellyite		

— abundant to common  
 ..... few to rare  
 blank means disappearance

図-6 松木野地すべりの山体部と地すべり帯部の出現鉱物

風化岩とすべり面粘土を比較すると、MgO含有量は粘土の方が低くなっている。

ところで、御荷鉾緑色岩はMgが多い。これはもともとこの緑色岩がMgの多いマグマに由来するとする説と、マグマが海水にふれて、海水と岩石が反応を起こし、海水から岩石へMgが移行したためとされる説がある。<sup>2)</sup>また、CaOが減少するのは海水中のMg<sup>2+</sup>と岩石中のCa長石が以下の反応を起こすため、また、SiO<sub>2</sub>が減少するのはSiO<sub>2</sub>含有量が少ないMg-クロライトが生成するためであると言われている。<sup>2)</sup>



しかしながら、秩父帯の緑色岩も噴出条件にあまり違いはないと考えられるものの、御荷鉾帯の緑色岩のMgOが20wt%前後に対し、秩父帯の緑色岩では8wt%前後であり、Mg成分は御荷鉾帯の緑色岩ほど高くなく、

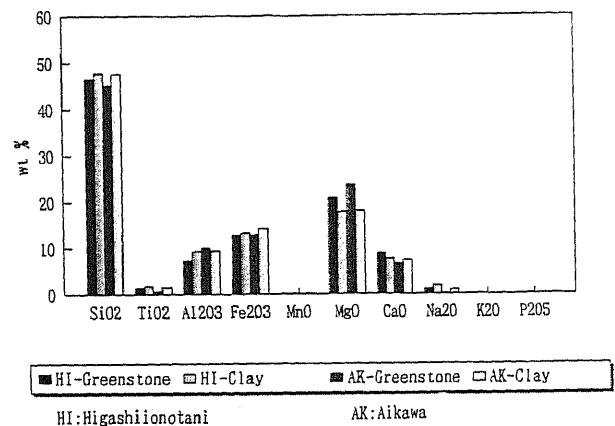


図-7 蛍光X線分析結果（風化岩、粘土）

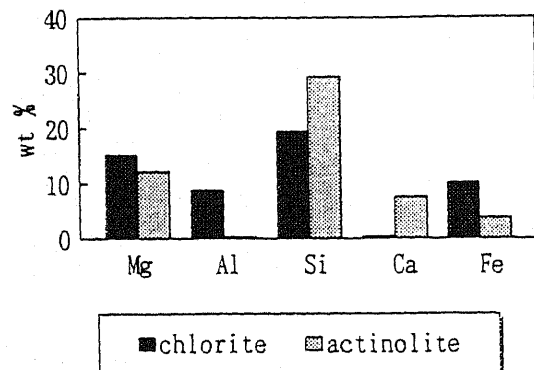


図-8 蛍光X線分析結果（構成鉱物）

逆に御荷鉾帯の緑色岩のCaが7～9 wt%に対し、秩父帯の緑色岩は10～13wt%とCa成分は高くカルサイトが認められる。したがって、Mgを一定海水から取り込んでいるにしても、御荷鉾帯の緑色岩のマグマは、もともとMgが高いものであったと考えられる。

次に、片状緑色岩を構成している、変質鉱物であるアクチノライトとクロライトの源鉱物がなんであったかを考察する。鉱物の分析結果(図-8)によれば、アクチノライトはSiが多く、Al, Feが少ない。ことにAlが極端に少ない。このことからアクチノライトは単斜輝石から変質したものではないかと考えられる。アクチノライトの組成は、輝石類の中でCaをかなり含む透輝石や普通輝石に水が加わったようなもの<sup>13)</sup>であり、また、鏡下観察では輝石の残晶の周りにアクチノライトが見られることや、単斜輝石はCaを含み、Alが少ない。これらのことはアクチノライトの源鉱物がCaをかなり含む輝石類であることを支持するものであろう。なおTakeda<sup>11)</sup>は、アクチノライトは単斜輝石と褐色普通角閃石から変質したものとしている。

クロライトは、Mg, Al, Feの構成比が高く、Si, Caが低い。ことにAlが高く、Caが極端に低い。これは上で述べたように、もともとMgの多いマグマソースであったうえMgを海水から取り込み、Caを海水中で放出するからであろう。クロライトは、雲母、角閃石、輝石、

オリビンなどから変質する<sup>15)</sup>とされているが、長石はAlを多量に含むことから、クロライトの源鉱物として長石類も考えられる。なお、Takeda<sup>11)</sup>は、クロライトはガラスオリビン、単斜輝石、褐色普通角閃石から変質したものとしている。

図-9に弱風化岩から粘土までのアブレーションPHを示す。弱風化岩6.7, 中風化岩6.75, 強風化岩6.80, 超風化岩6.90, 表層風化粘土7.63, すべり面粘土9.71で風化が進むにしたがい弱酸性から弱アルカリに移行しており、地すべり粘土が一番高い値を示している。

## 6. 水質分析

地すべりを滑動させるものとして最も重要な関わりを持つのは地下水である。地下水中の溶存物質の大部分は、地層中を流動するあいだに岩石や有機物などの反応でもたらされる。つまり、地下水は地層を流動するあいだに岩石などを溶解して水質成分を獲得するのである。この研究では水の化学成分を調べ、水が接していた鉱物と対比させ、進行中の風化過程を推定する。

図-10に東庵谷(下)地すべりの水質分析結果を示す。すべり面は崩積土層と風化層の境界(8.1m深度)にある。すべり面付近では、温度、PH、電気伝導度共に低くなっており、地下水の流動層となっている。表層水は一般の表層水と比べ御荷鉾緑色岩帯を反映してMgが非常に高い。また、すべり面周辺の水でもMgの値が高くなっており、このすべり面粘土からはスメクタイトが同定されている。

風化層と基岩の境界(27.5m, ほぼ基岩中)の水質は無穴孔から採取しており、最深部の水質を反映していると考えられる。この水のCa値は高く、表層およびすべり面ではMgの溶脱が高いのに対して、孔底に分布する御荷鉾緑色岩は、Caの溶脱が高く、風化変質の進行による溶脱元素の違いを示しているものと考えられる。

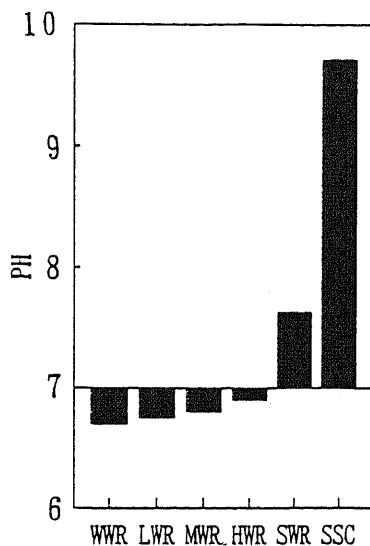
Mgはもともと移動度が大きい元素であり、Mgの移動度は原岩がMgに富む岩石であるほど大きくなる傾向がある。また、PHの低下とともに増大するとされている。<sup>14)</sup>

一般的には、岩石成分の化学的風化の損失順位は、Ca, Mg, Na>K>Si>Al, Feとされているが<sup>18)</sup>、ここでも同じくCa, Mgの溶出が高くなっている。

なお、別途行った塩酸、硫酸、硝酸による御荷鉾緑色岩の溶出実験では、Mg<sup>2+</sup>, Feが多く溶け出している。また、蛍光X線分析による岩石面の元素マッピングでも、CaおよびFeが試料面全体にプロットされており、CaのみならずFeが風化に果たす役割には大きなものがあると考えられるが、この解明は今後の課題である。

## 7. 御荷鉾緑色岩の風化と地すべり粘土

御荷鉾帯の地すべりでは、すべり面粘土の多数にスメクタイトが同定されるが、地すべりはほとんどの場合ク



WWR: Weak Weathering Rock  
LWR: Little Weathering Rock  
MWR: Middle Weathering Rock  
SWR: Strong Weathering Rock  
HWR: Huge Weathering Rock  
SSC: Slip Surface Clay

from left side

図-9 アブレーションPH

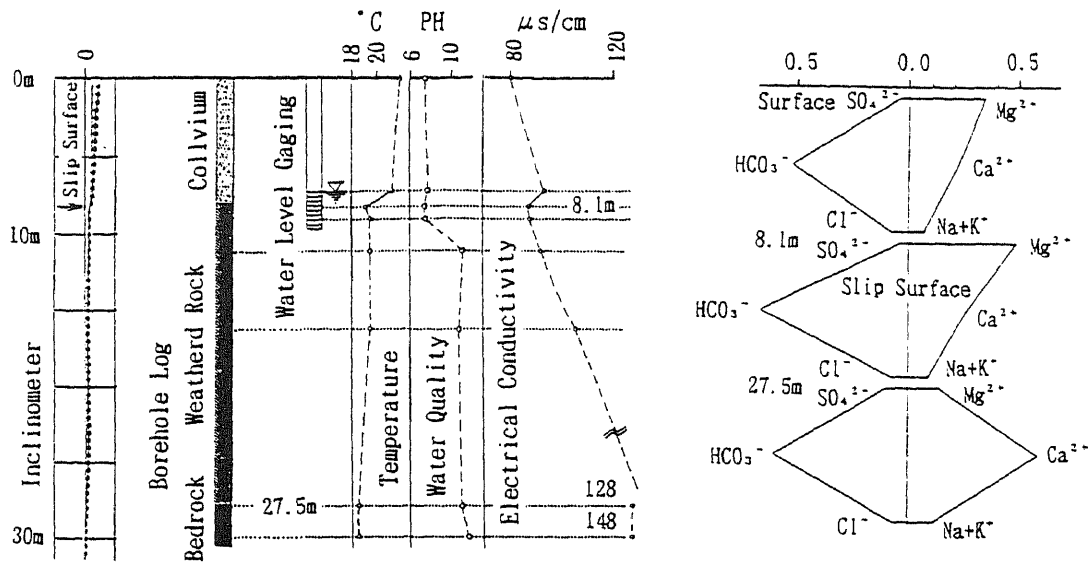


図-10 東庵谷(下)水質分析

ロライトおよびアクチノライトから構成される片状の緑色岩帯（ほぼハイアロクラスタイト帯）で発生しており、スメクタイトはこのふたつの鉱物から生成されたものと考えられる。

クロライトからスメクタイトが生成されることは、Stephen, I and MacEwan, D. M. C.<sup>12)</sup>やStefano C et al<sup>13)</sup>、守随<sup>20)</sup>、千木良<sup>21)</sup>などが指摘している。秩父帯地すべりの谷ノ内や打木、大久保、楠神などでもクロライトを主体とする緑色岩起源のすべり面粘土からスメクタイトを同定している<sup>23)</sup>。また、角閃石からスメクタイトが生成されることは、Stephen, I and MacEwan, D. M. C.<sup>12)</sup>が指摘している。

ことにアクチノライトの場合には繊維状結晶であることとCaを含むことが化学的風化に敏感に反応する要因である。Caはイオン半径が大きく、ゆえにCaを含む鉱物は結晶構造に無理があり、結合が弱くなっている<sup>25)</sup>ことで風化しやすいといえる。

また、アクチノライト、クロライト共に含水鉱物であり<sup>17)</sup>、水との親和性が非常に良い。水酸基を持たない例えばクォーツや長石の粉末が、XRD試料作成時にガラス上に滴下した水滴の上に浮かぶのに対し、アクチノライトとクロライトは、水滴の中に浸透していくように、瞬時に純水と一体となってしまう。このことは、地下水がアクチノライトやクロライトを持つ岩中に容易に浸透するであろうことと、つづいて化学的風化が促進することを想像するのは難しくない。

御荷鉾緑色岩は海底噴出生成後に続くサブダクションによる圧力と変成作用、そしてその後の隆起による応力開放等を受けて陸化している。これらの結果として緑色岩は、①岩石構造として片理・劈開と亀裂が発達し、②そして、構成鉱物がクロライトは鱗状、アクチノライトは繊維状であること、③および構成元素として移動度の

高いCa、Mgに富むなどの特徴があり、御荷鉾緑色岩の深層風化の原因となっている。

そして、すべり面粘土からスメクタイトが同定されていることから、クロライトとアクチノライトの両鉱物からスメクタイトが生成<sup>12), 13)</sup>され、緩い斜面勾配を持ち、クリープ的に滑動する性格を持つ地すべりとなるものと考えられる。なお、御荷鉾緑色岩の風化は、岩石生成環境と変成度の違いなどによる岩相（片状と塊状）と鉱物組み合わせ（アルバイトが混じると風化しにくい）も大きな要因となっているが、鉱物の風化過程（アクチノライト、クロライトの風化とCa、Fe、Mgの移動）と共に次回に述べたい。

## 8. おわりに

片状の御荷鉾緑色岩の風化は、アクチノライトことに同鉱物中のCaそしてアクチノライトとクロライト中のMgの溶脱風化によって進行し地すべり粘土が生成されることを、岩石・鉱物学的にフィールドでの観察と化学分析、水質分析により明らかにしてきた。今後の課題としては、岩石および鉱物の粉末や岩片による各種の溶出実験を行い、より風化機構を明確にしていくことである。

最後に本論は高知大学の鈴木亮士名誉教授の先駆的な研究<sup>18)</sup>があり、先生には種々御教示いただいた。また、愛媛大学の榊原正幸博士には岩石と粘土の蛍光X線分析でお世話になった。高知大学の石塚英男博士、吉倉紳一教授には御荷鉾帯の生成等について御教示いただいた。粘土鉱物の分析には高知大学の東正治教授、中川晶二博士に御教示いただいた。さらに群馬大学の佐藤満雄教授、農林水産省国際農林水産業研究センター八田珠郎博士、岩手大学大河原正文先生、前科学技術庁防災科学研究所田中耕平室長諸氏に種々の御教示をいただいた、ここに感謝の意を表します。



# 参考文献

- 1) Takeda, K.: Geological and Petrological Studies of the Mikabu Greensones in Eastern Shikoku, Southwest Japan. Journal of Science of the Hiroshima University Series C, Vol. 8, No. 3, September, PP220-280, 1984.
- 2) 鹿園直建: 地球システムの化学, 東京大学出版会, PP164, PP204, 1997.
- 3) 大貫仁・吉田武義・花松俊一: みかぶ緑色岩帯の岩石化学, 地球, Vol. 10, No. 6, PP398-401, 1988.
- 4) Hashimoto, M.: Reactions producing actinolite in basic metamorphic rocks, Lithos, 5, PP19-31, 1972.
- 5) 須鎗和己他: 日本の地質8「四国地方」, 共立出版㈱, PP50-63, 1991.
- 6) 小澤大成: みかぶ帯の特徴と火成年代, 総合研究 (A), 付加帯形成における緑色岩の意義, 研究報告, No1, PP101-107, 1996.
- 7) 寺戸恒夫: 四国島内における大規模崩壊地形の位置づけと課題, 地すべり学会関西支部, PP32-44, 1995.
- 8) 鈴木堯士: 地質学から見た御荷鉾地すべりの特性, 地すべり学会関西支部, PP17-31, 1983.
- 9) 木村敏雄: 地質構造の科学, 朝倉書店, PP128~, 1984.
- 10) 森清寿朗: 徳島県剣山地方みかぶ緑色岩類の岩石学的研究, 地質学雑誌, 第85巻第6号, P299-306, 1979.
- 11) 周藤賢治・牛来正夫: 地殻・マントル構成物質, 共立出版㈱, PP36, 1977.
- 12) Stephen, I.・MacEwan, D. M. C.: Clay Miner. Bull., 1, PP157, 1951.
- 13) Stefano, C. et al: Weathering of Chlorite to a Low-Charge Expandable Mineral in a Spodosol on Apennine Mountains, ITALY, Clays and Clay Minerals, Vol. 45, No. 1, PP28-41, 1997.
- 14) 一國雅巳: 風化過程における元素の移動度, 粘土科学32巻1号PP6, 1992.
- 15) 地学団体研究会: 新版地学事典, 平凡社, PP1403, 1996.
- 16) 都城秋穂: 変成岩と変成帯, ㈱岩波書店, PP256, 1967.
- 17) 都城秋穂: 変成作用, ㈱岩波書店, PP27, 1994.
- 18) 加藤芳明: 地形と土壌, 東海大学出版会, PP80-81, 1980.
- 19) 八木則男・矢田部龍一・松村真一郎・田中博文・真嶋敏之・向谷光彦: 地すべり粘性土のクリーブ特性, 土木学会四国支部, PP278, 1996.
- 20) 守随治雄: 地すべり粘土中の混合層鉱物, 土と基礎, Vol. 33, No. 4, PP95-96, 1985.
- 21) 千木良雅弘: 風化と崩壊, 近未来社, PP129, 1995.
- 22) 佐藤修: 地すべり地における地下水水質調査法, 地すべり, Vol. 21, No 1-3, 1993.
- 23) 夕部雅丈・佐藤修: 緑色岩の風化と地すべり粘土, 地盤工学会四国支部, PP1-4, 1996.
- 24) G. V. フォイトケブイッチ・V. V. ザクルートキン・岸本文男訳: 地球化学原論, 現代工学社, PP368, 1983.
- 25) 松井義人・坂野昇平: 岩石・鉱物の地球化学, ㈱岩波書店, PP38-39, 1994.

(原稿受理日 平成11年12月20日)