

## 13 付加体中の緑色岩中の初生粘土鉱物およびその風化プロセス

Primary clay minerals and their weathering process of green rocks in accretionary complex

榊原正幸・富山雄太(愛媛大学理学部地球科学科)・上原誠一郎(九州大学大学院理学研究院)・伊東佳彦・岡崎健治(北海道開発土木研究所)

### はじめに

北見市北陽の一般国道333号法面において、平成13年10月4日に国道沿い斜面の大規模な斜面崩壊が発生した<sup>1)</sup>。その規模は最大法長約120m、最大幅40m、最大深さ約20m、および崩壊土量約24,000m<sup>3</sup>に及ぶ。この崩壊は、これまで北海道内で発生した大規模斜面崩壊とはタイプが異なり、急崖というよりはむしろ比較的緩やかな傾斜をもった斜面で発生した。本研究は、常呂帯仁頃層群の既往ボーリングコア(一般国道333号線沿いの垂直ボーリングおよび北仁トンネルの先進ボーリング)を用いての岩石研磨片観察・薄片観察を行い、かつ粘土鉱物の粉末X線回折、EDS分析ならびに高分解能分析電子顕微鏡観察を行うことによって、緑色岩中の初生粘土鉱物およびその風化プロセスを解明することを目的とした。また、緑色岩を主とする付加体における斜面崩壊の要因について考察する。

### 地質概説

調査対象地域である北見市北陽には、常呂帯仁頃層群が広く分布している(図1)。常呂帯は緑色岩類・チャート・石灰岩からなる仁頃層群と、礫岩・砂岩・泥岩などの陸源碎屑性堆積岩からなる湧別層群および佐呂間層群によって構成される<sup>2)</sup>。その分布は常呂帯西部を湧別層群が、東部を仁頃層群が占め、佐呂間層群は仁頃層群を不整合で覆って常呂帯北部にのみ分布する。

仁頃層群は、ジュラ紀後期に海洋プレート上の海山もしくは海台を構成したと考えられる玄武岩類(少量の粗面岩を含む)および玄武岩質碎屑岩類(ハイアロクラスタイトおよびその他の火山性堆積岩類)ならびにチャート・石灰岩によって構成されている<sup>2,3)</sup>。仁頃層群は、海底火山体が白亜紀以降の海洋プレートの移動によって古千島弧に衝突・付加して形成された付加体堆積物で、海底火山体の破片以外に緑色岩メランジュも伴っている<sup>4)</sup>。仁頃層群は、この形成・上昇過程で応力による断層や褶曲が多く発達している。

### 研究結果

#### (1) 既往ボーリングコア観察

各ボーリング孔において、破碎帯やせん断帯は異なる岩石種の境界に発達する。それらの面構造の形成は大きく2つのステージ、「剥ぎ取り付加の時期(白亜紀)」および「後退変成作用期(白亜紀末～第三紀)」に区分される。剥ぎ取り付加の時

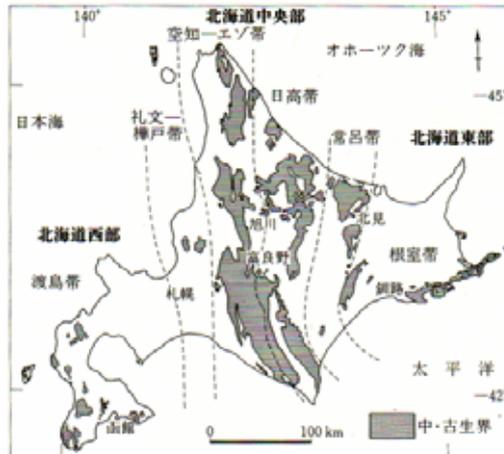


図1．北海道の地質構造区分（地質調査所，2001）

期の面構造はインターピローや赤色混在岩の基質に発達する剪断面やへき開面で、延性変形によって特徴づけられ、最高変成度（沸石相の高温側もしくはブドウ石-パンペリー石相の温度圧力条件）もしくはそれに近い温度圧力条件下で形成された<sup>3)</sup>と推定される。後退変成作用期の面構造は、しばしば前者の構造を切断する平面的な断層面で特徴づけられる。それらは固化した破砕帯を伴う場合が多い。

垂直ボーリングでは、地表下-30m以浅において頻りに粘土化した破砕帯が見出された。一方、北仁トンネルの水平ボーリングコア（最深で地表下-100 m以上）では、粘土化した破砕帯や岩石全体が酸化風化した領域はほとんど見出されなかった。このことは、粘土化が地表付近のすべり面で、酸化風化は地表付近の酸化的環境においてのみ進行していることを示唆している。一方、地表下-30m以深では、地表の酸化的環境における風化や粘土化がほとんど及んでいないことを示唆している。

## (2) 層状ケイ酸塩鉱物の偏光顕微鏡記載

緑泥石は緑色岩類に普遍的に含まれている鉱物であり、土木工学的にも極めて重要な鉱物である。今回の薄片観察の結果、仁頃層群中のいわゆる緑泥石は、概して干渉色が青灰色の異常干渉色を呈するものの、部分的に一次の黄色などの干渉色を示す場合が多数認められた。これは緑泥石が純粋な端成分ではなく、スメクタイトやイライトなどの薄層を挟む混合層鉱物であることを示唆している。やや風化した部分においては鉱物周辺が褐色化し、剪断面もしくは割れ目沿いにおいて干渉色が高くなっている。これもスメクタイト層などの薄層を挟むことと調和的である。また、反射電子線像で観察した緑泥石は、スメクタイト層を含む混合層特有の剥離が発生していた。

## (3) 粉末X線回折試験結果

岩石に含まれる鉱物、特に薄片観察のみでは同定が難しい粘土鉱物を把握する目的で粉末X線回折（不定方位，定方位，エチレングリコール処理，塩酸処理）を行った。その結果、確認された鉱物は、石英，斜長石（アルバイト），単斜輝石，

方解石，赤鉄鉱，方沸石，緑泥石，スメクタイト，雲母および緑泥石/スメクタイト混合層粘土鉱物である．このうち，石英，緑泥石およびアルバイトはほとんど全ての試料で確認された．

スメクタイトおよび緑泥石/スメクタイト混合層粘土鉱物は約半数の岩石試料で確認された．ただし，スメクタイトおよび緑泥石/スメクタイト混合層粘土鉱物はいずれも含有量が少なく，緑泥石も含めて底面間隔が14~15 に属しているため，各鉱物の区別が難しい．エチレングリコール処理によって底面間隔が17 ( =5.2~5.3° ) に膨潤する鉱物をスメクタイトとして扱ったが，底面反射が比較的幅広く不明瞭であるため，緑泥石/スメクタイト混合層粘土鉱物である可能性も残される．ただし，後述するEPMA分析結果と併せると，これらは初生的にスメクタイト成分を含む緑泥石であると考えられる．

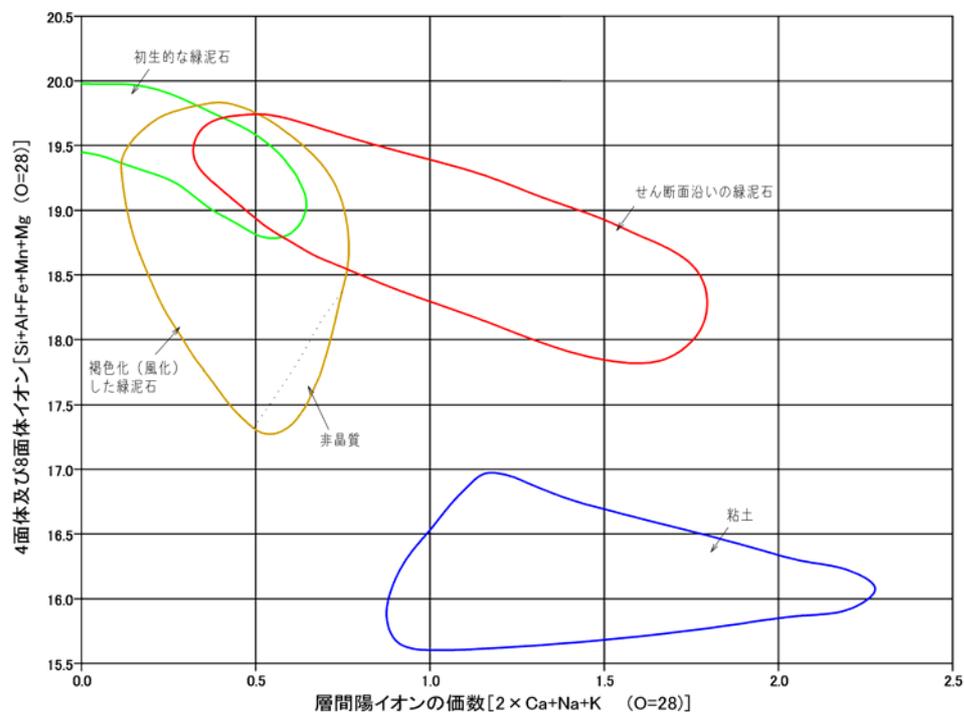


図2 . 仁頃層群の緑色岩類中の緑泥石鉱物の化学組成 .

#### (4) 層状ケイ酸塩鉱物のEDS分析

薄片観察に基づいて，産状によって緑泥石を，「初生的な緑泥石」，「地表の風化のため褐色化している緑泥石」および「剪断面沿いの緑泥石」に区分し，それぞれの化学組成の範囲を検討した．層間陽イオン ( Na + K + 2Ca ) を横軸に，4 および 8 面体陽イオン ( Si + Al + Fe + Mg + Mn ) を縦軸としたグラフを用いて緑泥石の産状と化学組成を検討した ( 図2 ) . この図によると，「初生的な緑泥石」は他の2つのタイプ ( 「地表の風化のため褐色化している緑泥石」および「剪断面沿いの緑泥石」 ) と比較して，層間陽イオンに乏しく，理想的な緑泥石の組成に近い．一方，地表の酸化的環境における風化作用を受けた褐色緑泥石は，層間陽イオンのわずかな増加と4 および 8 面体シート中の陽イオンの減少で特徴付けられる

(Mg, Feが減少). さらに, 風化が進行して非晶質化している部分では4 および8 面体シート中の陽イオンの減少が顕著である. また, 剪断面沿いの緑泥石は4 および8 面体シート中の陽イオンの低下はわずかであるが, 層間陽イオンの増加が顕著である(Na, Ca, Kが増加). 初生的な緑泥石, 風化のため褐色化した緑泥石および剪断面沿いの緑泥石はいずれも層間陽イオンにばらつきがあるが, 剪断面沿いにスメクタイト成分が多い傾向が認められる.

#### (5) 透過型電子顕微鏡による像観察

透過電子顕微鏡は九州大学超高压電子顕微鏡室の日本電子製JEM2010FEFを使用した. JEM2010FEFは電界放出形電子銃(FEG)を搭載し, インカラム方式のエネルギーフィルタ, エネルギー分散型X線分光装置(EDS)を装着した多機能の透過電子顕微鏡である. 分析試料は岩石をメノウ乳鉢で軽く摩砕して粉末にしたものをアルコール中にいれ, 分散させ, その懸濁液をマイクログリッドに載せて, 風乾し, 透過電子顕微鏡観察試料とした. 今回検討した緑泥石は, 初生的緑泥石および褐色風化した緑泥石の2 試料である(図3および4).

EDSによる分析およびTEM像・格子像の観察によって, 地表の緑泥石の酸化的風化で形成される粘土鉱物は, スメクタイト(もしくはバーミキュライト)あるいは緑泥石-スメクタイト(もしくはバーミキュライト)混合層鉱物に相当することが明らかになった. また, 初生的緑泥石も顕著にスメクタイトの膨潤層を含むことが確定した(図3および4). ただし, 緑泥石の風化によって形成される粘土鉱物の結晶構造の変化はまだ明らかとなっておらず, その物理的性質に関しても更なる検討が必要である.

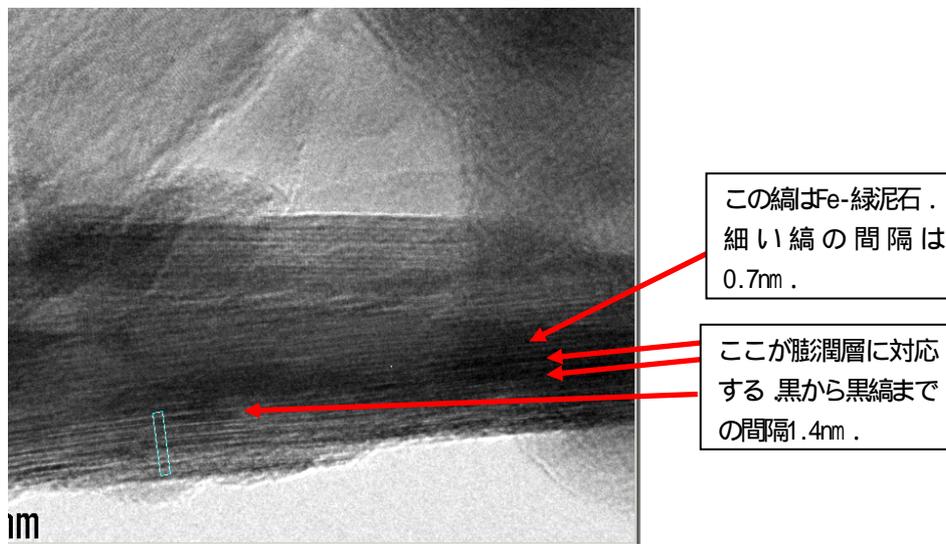


図3 . 膨潤層を含む初生緑泥石のTEM像 . Fe-緑泥石の格子像のコントラストや湾曲した形状などは, 一つの結晶粒内に緑泥石と膨潤性を有する層が互層していることを直接的に指示している.

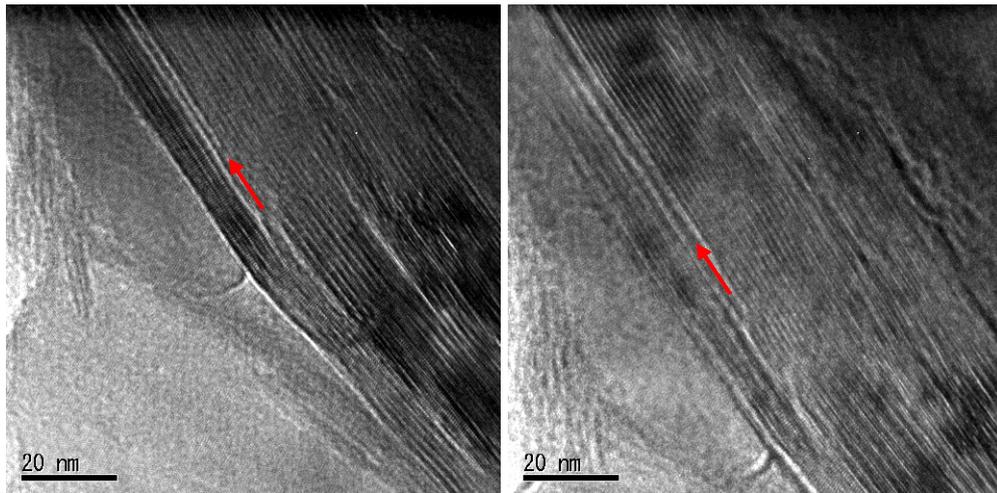


図4．酸化風化した試料中の緑泥石鉱物の格子像． がスメクタイトもしくはバーミキュライト．X線粉末回折試験によって，斜長石・単斜輝石・緑泥石・バーミキュライトもしくはスメクタイト・石英・雲母類が同定されている．全体に回折強度は弱く，多量の結晶度の低い鉱物，あるいは非晶質鉱物の存在が予想される．また，すでにエチレングリコール処理によって膨潤性の存在が確かめられていることから，スメクタイトも含まれていると考えられる．

#### 考 察

本研究によって，常呂帯仁頃層群緑色岩類は，スメクタイト薄層を初生的に挟在する緑泥石を普遍的に含有することが明らかになった．特に，後退変成作用期の破碎帯および剪断帯では，スメクタイト薄層がより富む緑泥石が形成されている．このことは，スメクタイト薄層を含む緑泥石が，より低温条件でスメクタイト薄層を増加することを示唆している．このような緑色岩中の緑泥石の鉱物学的特徴が，斜面災害を引き起こす要因に十分成り得る可能性がある．

また，「粘土化」の発生機構として，表層の影響（風化，岩盤クリーブ）と考えるのが妥当であろう．実際に，仁頃トンネルの水平ボーリングコア中の破碎帯は，すべて固化しており，いわゆる「粘土化」した部分は見出されなかったことと調和的である．

#### ま と め

常呂帯仁頃層群にみられる岩石の風化ならびに粘土鉱物の鉱物学的研究の結果をまとめると以下のとおりである．

- 1) 仁頃層群の岩石には低温変成作用によって形成された緑泥石が普遍的に含まれているが，X線回折試験の結果からは緑泥石のほかに緑泥石/スメクタイト混合層鉱物およびスメクタイトが確認された．
- 2) EDS分析，粉末 X線回折および透過型電子顕微鏡の像観察の結果，初生的緑泥石は，スメクタイトの薄層を含有する．また，“白色雲母”は光学的に緑泥石と漸移しており，EDS分析結果に基づくと，イライトとスメクタイト質緑泥石の混

合層である可能性が高い。

3) 初生的な緑泥石は、沈み込み帯の低温変成作用を受けて形成され、引き続き上昇の際に後退変成作用を受け、剪断面沿いを主体としてスメクタイト薄層に富む緑泥石が形成されたものと推定される。その後、地表付近の緑泥石は酸化風化され、褐色化し、非晶質化しつつあると考えられる。また、表層付近のすべり面では、スメクタイトが形成されている。このような緑色岩中の緑泥石の鉱物学的特徴が、斜面災害を引き起こす要因に十分成り得る可能性がある。

#### 参考文献

1) 一般国道333号北陽土砂崩落調査委員会(2001): 一般国道333号北陽土砂崩落調査報告書。

2) 榊原正幸・新井田清信・戸田英明・紀藤典夫・木村 学・田近 淳・加藤孝幸・吉田昭彦・常呂帯研究グループ(1986): 常呂帯の性格と形成史, 北海道の地質と構造運動, 地団研専報, No.31, pp173-187。

3) 榊原正幸・磯崎行雄・七山 太・成井英一(1993): 北海道東部, 常呂帯仁頃層群の緑色岩 - チャート - 石灰岩の放散虫化石年代と付加過程, 地質学雑誌, Vol.99, No.8, pp615-627。

4) 榊原正幸・富山雄太・辻 智大・伊東佳彦・岡崎健治(2005): 付加体の発達していない沈み込み帯における海山の沈み込みによる造構性侵食作用および付加作用, 日本地質学会第112年学術大会講演要旨, 118。