

13. 強い熱変成を受けた蛇紋岩の風化形状と崩壊機構

Weathering and slope failure of strongly thermal metamorphosed serpentinite in Ube City, Yamaguchi Prefecture.

○沢井長雄（山口大学理学部）・林 伴憲（ニチポー(株)）・阪口和之（アジア航測(株)）

1. はじめに

日本各地に分布している蛇紋岩地帯では、多くの地すべりや崩壊が発生している。横田ほか（1995）は、蛇紋岩は破碎や風化が進んでおり、強度的に弱い岩石であるが、蛇紋石のせん断抵抗角は比較的大きいことを明らかにし、蛇紋岩の風化粘性土では地すべりは起こりにくいと報告している。また、横田ほか（1997）は、蛇紋岩地すべりの多くは他の地質体との境界に発生しており、その原因は、蛇紋岩と他の地質体との境界にせん断抵抗角の小さなタルクや緑泥石が形成され、それらを含む境界面がすべり面となって地すべりが発生しているためであると報告している。このタルクと緑泥石は、透閃石とともに花崗岩体の貫入に伴う熱変成作用を受けて、蛇紋岩と接触部の岩石との交代作用により形成されるとも報告している。横田ほか（1999）は、蛇紋岩化作用時に蛇紋石や磁鉄鉱と共にブルーサイトが蛇紋岩中に生成されることを示し、蛇紋岩中のブルーサイトの含有量が蛇紋岩の風化や崩壊に影響していることを示唆している。すなわち、ブルーサイトは、炭酸水溶液中で急速に溶脱して蛇紋岩の破碎や風化を促進させ、蛇紋岩の強度の低下を招き、崩壊の素因となる。

山口県宇部市に分布する高嶺蛇紋岩体は広島花崗岩と接し、強い熱変成作用を蒙っている。蛇紋岩は著しく硬質であり、地すべりは確認できないものの、崩壊が偏在している。そこで、蛇紋岩の形態、変成度、風化度などに着目して野外調査を行い、さらに、鏡下観察とX線回折により構成鉱物の変化を調べ、蛇紋岩の崩壊の原因を検討した。

2. 地質概略

高嶺岩体は宇部市北部の高嶺地域に分布している。蛇紋岩と泥質片岩が、互いに一つの帯状あるいはレンズ状の岩体として、数m～数10m幅のサイクルで延びている（図-1）。それらの境界面は、東北東から西南西走向（N75°E）で、傾斜は高角度（主に80°前後）で北方向に傾斜する箇所が多い。高嶺岩体の北部には、白亜紀末期に貫入した広島花崗岩が分布している。花崗岩は蛇紋岩と泥質片岩に接し、熱変成や熱水変質を与えている。調査地域は、一般国道490号道路改良工事と山陽自動車道インターチェンジの工事のため、露頭状況は良かった。

蛇紋岩は色調に富み、多く観察できる順に暗黒色、濃緑色および黄緑色を呈する。節理が良く発達しており、それは高角度である。蛇紋岩は粘土化している泥質片岩とは対照的に硬質である（写真-1A）。蛇紋岩の形態は99%以上が塊状蛇紋岩（写真-1B）であるが、アプライト脈との接触部や泥質片岩との境界部では狭い範囲で粘土状蛇紋岩が見られる。葉片状蛇紋岩は認められなかった。

本調査で対象とした蛇紋岩体中には地すべりは、確認できなかった。崩壊は、切り土面に存在する蛇紋岩と泥質片岩の境界部の1箇所を確認できた。その規模は、幅約1m、長さ約3m程度で小規模である。一方、泥質片岩は、ほとんどが著しく風化し、粘土化している。粘土化している泥質片岩は、スメクタイトが多量に含まれていた。粘土化している泥質片岩の法面では、数10m幅の崩壊が数箇所が発生しており、アンカー工を主体とした崩壊対策がとられている。

蛇紋岩と泥質片岩との境界部では、花崗岩による熱変成作用を受けて、肉眼でもわかるほどタルク、緑泥石および透閃石が多量に形成されている（写真-1C）。それらのほとんどは

ハンマーで打診すると埋まるほど軟質であるが、まれにタルク-透閃石岩と言えるほどの塊状で非常に硬いものがある。タルクや緑泥石は、地すべりの原因となると言われている（横田，1997）。しかし、蛇紋岩と泥質片岩との境界部に、それらが肉眼でもわかるほど多量に形成されているにもかかわらず、本岩体では上記したように、1箇所の小崩壊がみられるだけで、蛇紋岩の地すべりは確認できなかった。境界部の法面では、泥質片岩に対してアンカー工を主体とした崩壊対策がとられている（写真-1D）。

花崗岩類は優白～桃色の中～粗粒黒雲母花崗岩が主であり、全体に真砂状に風化している。また、各所で幅数mのアプライト脈の貫入が認められる。アプライト脈は硬質であるが、周辺に熱水変質を与えている。

3. 高嶺蛇紋岩体の熱変成度

Arai (1975) は、花崗岩類の貫入によって様々な程度に熱変成作用を受けた超塩基性岩の変成鉱物の組み合わせを報告している。それによると、変成鉱物の組み合わせにより、変成度の低いほうから、アンチゴライト帯、カンラン石-タルク帯、カンラン石-直閃石帯およびカンラン石-斜方輝石帯の4つの鉱物帯に分帯し、花崗岩からの距離が遠くなるに従い変成度が低くなることを示している。また、ブルーサイトは非変成帯であるクリソタイル/リザルダイト帯に見られることと、カンラン石-タルク帯、カンラン石-直閃石帯およびカンラン石-斜方輝石帯の鉱物組み合わせが出現する反応温度は、それぞれ約 500℃、約 620～690℃、約 700℃であることも示している。

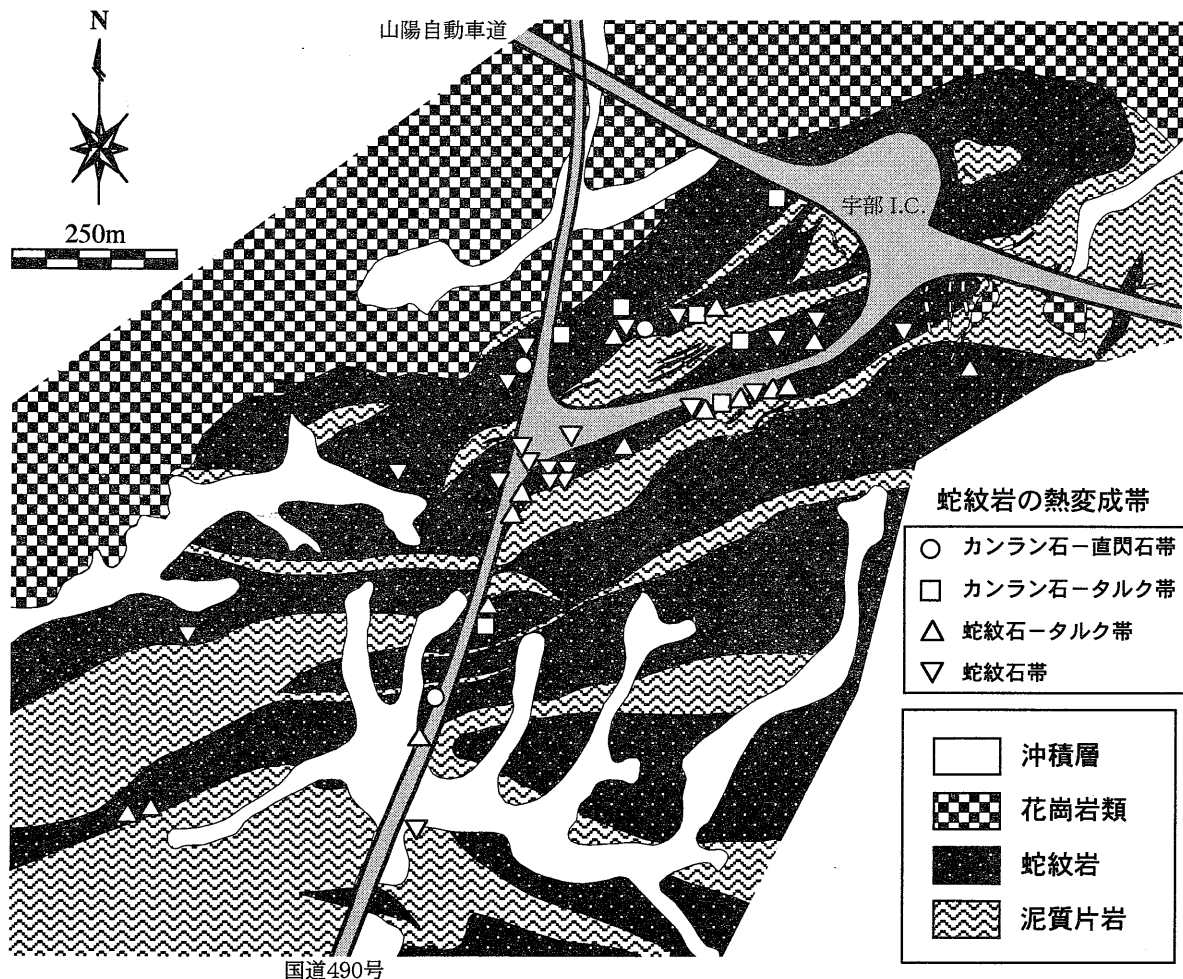


図-1 高嶺岩体の地質図（東建ジオテック山口出張所，2000）と熱変成帯の分布図

表-1 高嶺岩体の風化度・変成度別の蛇紋岩の鉱物組合せの変化

風化度	変成度	Sep	Bru	Mgt	Oli	Cpx	Ant	Tre	Tal	風化度	変成度	Sep	Bru	Mgt	Oli	Cpx	Ant	Tre	Tal			
A	IV帯	*		X	X	X	X	*	*	B	不明	*							*			
		*		X	X	X			*			*										
	III帯	*		X	X							□	C	II帯	△		*					
		*		X	X							X										
		*		X	X							X										
		*		X	X							X										
	II帯	□		*								*										
		*		*								*										
		X		X				*	○			□										
		△	*	*								X										
	I帯	*	X	*							*											
		*	X	*							*											
		□	X	*							*											
		*	X	*							*											
	不明	*	X	*					X													
		*	X	*																		
□			*						○													
□			*																			
B	IV帯	□		*	X		X	*	*	C	I帯	X		X					*	○		
		□		*	X	X	X	X	X			X										
	III帯	*		X	X	X		X	X			X										
		*		X	X			X	X			X										
	II帯	□		X				*	*			*										
		□		*								X										
		*		X				□	○			*										
		*		X				△	*			*										
	I帯	○		*					*			*										
		□		*				*	*			*										
		*		X				*	*		*											
		*		*				X	*		*											
	不明	□		*					*		○											
		*		*					*		○											
		*		*					*		○											
		*		*					*		△											

IV帯：カンラン石，III帯：カンラン石-タルク帯，II帯：蛇紋石-タルク帯，I帯：蛇紋石帯。
 Ser：蛇紋石，Bru：ブルーサイト，Mgt：磁鉄鉱，Oli：カンラン石，Cpx：単斜輝石，Ant：直閃石，Tre：透閃石，Tal：タルク。
 相対量比(XRDによる)：◎>○>△>□>*>・， X：鏡下でのみ観察される

本研究でも，Arai (1975) の分帯基準に従い，熱変成作用の影響を検討した。しかし，非変成の蛇紋石であるリザルダイトやクリソタイルと広域変成作用や熱変成によって形成される蛇紋石であるアンチゴライトを鏡下観察で識別できず，変成作用を受けたアンチゴライト帯とアンチゴライトを含まない非変成帯を区別することは困難であった。アンチゴライト帯がタルクを含むことがあることに着目して，アンチゴライト帯を2つに分帯した。すなわち，タルクを含み変成作用を確実に受けた蛇紋石-タルク帯とタルクを含まず変成作用を受けたか判断できない蛇紋石帯である。

蛇紋岩84試料のX線回折を行い，構成鉱物を同定した(表-1)。タルクはがX線回折で認められたのは，蛇紋岩84試料のうち37試料であった。その他，量が少ないためにX線回折ではその存在を確認できないが，鏡下で認められたのが9試料あった。その結果，タルクは高嶺岩体全体に及んでいる分布していることが分かった(図-1)。

蛇紋岩の薄片を47枚作製し，鏡下観察を行った。蛇紋岩の主成分は蛇紋石で，不透明鉱物とともに普遍的に含まれる。47枚の薄片を観察したところ，花崗岩の熱変成作用で形成されたタルクが26枚，透閃石が15枚，変成カンラン石が10枚および直閃石が3枚で確認された(写真-2A,B)。また，初生単斜輝石を含む薄片が4枚しかなく，蛇紋岩化が進んでいると言える。

本岩体の変成帯は，カンラン石-直閃石帯(写真-2A)から蛇紋石帯(写真-2C)まで認められ，カンラン石-直閃石帯の蛇紋岩が花崗岩から最大約450m離れた位置にあることが

ら、岩体の広範囲に熱変成作用が及んでいると言える(図-1)。白色から暗黒色に漸移する塊状蛇紋岩の顕微鏡観察を行ったところ、蛇紋石、磁鉄鉱およびブルーサイトから構成されていた(写真-2D)。ブルーサイトは、カンラン石の仮像であるメッシュセンターを置換して特徴的に産する。白色を呈する蛇紋岩(試料番号:272b)のブルーサイトの容量比は、約40%であった。白色を呈する蛇紋岩に隣接する白灰色を呈する蛇紋岩(試料番号:272a)のブルーサイトの容量比は、約30%であった。白灰色を呈する蛇紋岩から約5cm離れた暗黒色を呈する蛇紋岩(試料番号:272c)のブルーサイトの容量比は、約1%であった。

4. 高嶺蛇紋岩体の風化度

蛇紋岩は一般に破碎と風化が進んでおり、強度的に弱い岩石と言われている(横田ほか, 1995)。蛇紋岩の崩壊や地すべりと風化の関係を検討するために、建設省(1976)による土研式岩盤等級区分基準と田中(1964)による電研式岩盤等級区分基準を参考にして、蛇紋岩を風化度の違いにより次のA~Fの6段階に分類した。

- A: 岩質は堅硬でハンマーによって強打すると割れる。
- B: 岩質は風化しているが比較的堅硬でハンマーの普通程度の打撃によって割れる。
- C: 岩質は風化して多少軟らかくなっており、ハンマーの軽打によって割れる。
- D: 岩質は風化して軟らかくなっており、ハンマーのわずかな打撃によって割れる。
- E: 風化して礫状になっている。
- F: 風化して粘土状になっている。

蛇紋岩の風化状況を観察できる切り土面を中心に調査した。調査地域全体に占める蛇紋岩の風化度の割合は、風化度Aが約4割、風化度Bが約5割、風化度Cが約1割であり、風化度D~Fのものは認められなかった。場所による風化度の違いはなく、ほとんどが新鮮な蛇紋岩であった。

風化度AとBの蛇紋岩は、蛇紋石帯からカンラン石-直閃石帯までの熱変成作用が認められ、変質を免れた単斜輝石を含む試料もある(表-1)。風化度Cの蛇紋岩は蛇紋石帯や蛇紋石-タルク帯に認められ、変質を免れた単斜輝石を含む試料はない(表-1)。蛇紋岩の風化や崩壊に影響するとされるブルーサイトを含む蛇紋岩が3試料認められたが、それは風化度Aの蛇紋岩であり、そこでは崩壊は発生していない。

調査地域では、ブルーサイトは、高嶺岩体の1箇所の露頭で確認された白色から暗黒色に漸移する蛇紋岩中に含まれていた。暗黒色を呈する蛇紋岩は、高嶺岩体に普遍的に存在するが、白色を呈する蛇紋岩はこの露頭にしか存在しない。ブルーサイトを含む蛇紋岩の風化度はAであり、ブルーサイトを含まない蛇紋岩と風化程度は変わらなかった。白色から暗黒色に漸移する蛇紋岩の薄片を3枚作製し、顕微鏡観察を行ったところ、ブルーサイトの容量比は、暗黒色を呈する蛇紋岩側に向かうほど減少する。ブルーサイトを含む蛇紋岩は、局地的に存在することや白色から暗黒色に漸移する産状から、熱源は不明であるが、熱水変質を受けて形成されたと考えられる。

蛇紋岩はほとんど風化していなかった。蛇紋岩が、ほとんど風化していなかったのは、強い熱変成作用を受けているためと、蛇紋岩にブルーサイトが含まれていなかったためと考えられる。高嶺岩体で見られたブルーサイトを含む塊状蛇紋岩は、局地的にしか存在しないため、ブルーサイトと風化の関係を検討するのは難しい。

5. 蛇紋岩の崩壊

高嶺岩体では、幅約1m、長さ約3m程度の小規模な崩壊が、切り土面に存在する蛇紋岩と泥質片岩の境界部の1箇所で発生していた。その境界部には、タルクや緑泥石が含まれており、それらのせん断抵抗角が低い粘土鉱物の存在が、崩壊の原因と考えられる。崩壊が発生した切り土面(約50°傾斜)は、崩壊が発生していない切り土面(約40°傾斜)に比べ、傾斜

が急であった。

蛇紋岩の割れ目に沿って、方解石脈、アラレ石脈、スメクタイト脈および緑泥石脈が存在する箇所がある。そこでは、蛇紋岩はハンマーの軽打によって割れ目に沿って崩れ落ちるため、崩壊の危険性がある。蛇紋岩が崩れ落ちる原因は、脈と蛇紋岩との癒着が弱いためと考えられる。

高嶺岩体は花崗岩による熱変成作用を受けて、蛇紋岩と泥質片岩との境界に蛇紋岩地すべりの原因とされるタルクと緑泥石が肉眼でもわかるほど多量に形成されている。また、タルクは岩体全体に形成されている（表-1）が、蛇紋岩中には大規模な崩壊や蛇紋岩の地すべりは確認できなかった。これは蛇紋岩と泥質片岩との境界面が高角度で接しているため、境界面で小規模な崩壊が発生しても崩壊が境界面に沿って波及していかないという構造的要因のためだと考えられる。

6. まとめ

高嶺岩体の蛇紋岩は、花崗岩の貫入によりカンラン石-直閃石帯から蛇紋石帯までの熱変成作用を広い範囲に受けている。蛇紋岩の形態は99%以上が塊状であり、葉片状のものは認められなかった。強い熱変成作用を受けているうえに、ブルーサイトが含まれていないため、蛇紋岩はほとんど風化していなかった。

高嶺岩体中には地すべりは確認できなかった。また、崩壊も切り土面に存在する蛇紋岩と泥質片岩の境界部の1箇所を確認できたのみである。蛇紋岩と泥質片岩との境界には、地すべりの原因とされるタルクと緑泥石が形成されているにもかかわらず、蛇紋岩中に崩壊や地すべりが認められないのは、蛇紋岩と泥質片岩との境界面が高角度で接しているためと考えられた。

蛇紋岩中に崩壊が認められないことは、蛇紋岩中には崩壊の原因となる粘土鉱物が形成されない、もしくは形成されても節理などの弱線が高角度であるために、連続性に乏しいためであるため、と考えた。以上のことから、調査地域の蛇紋岩体の境界部や蛇紋岩中で地すべりや崩壊が少ないことは、すべりに起因する粘土鉱物の存在に加えて、構造的な特徴が大きな要因になっていることを伺うことができる。

引用文献

- Arai, S (1975) : Contact Metamorphosed Dunite-Harzburgite Complex in the Chugoku District, Western Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 52, 1-16.
- 建設省 (1976) : 建設省河川砂防技術基準 (案) 調査編. 山海堂, p470.
- 田中治雄 (1964) : 土木技術者のための地質学入門. 山海堂, p169.
- 東建ジオテック山口出張所 (2000) : (株) 東建ジオテック山口出張所一般国道490号道路改良工事に伴う調査設計業務委託 第4工区地質調査編報告書. p163.
- 横田公忠・矢田部龍一・八木則男 (1995) 蛇紋岩の風化粘性土の強度特性. 土木学会論文集, 33, 155-163.
- 横田公忠・矢田部龍一・八木則男 (1997) 蛇紋岩地帯の地すべりの発達に及ぼす粘土鉱物とせん断強度の影響. 土木学会論文集, 39, 125-132.
- 横田公忠・矢田部龍一・八木則男 (1999) 蛇紋岩地すべりの素因としての蛇紋岩の風化特性に関する検討. 地すべり, 36, 32-38.

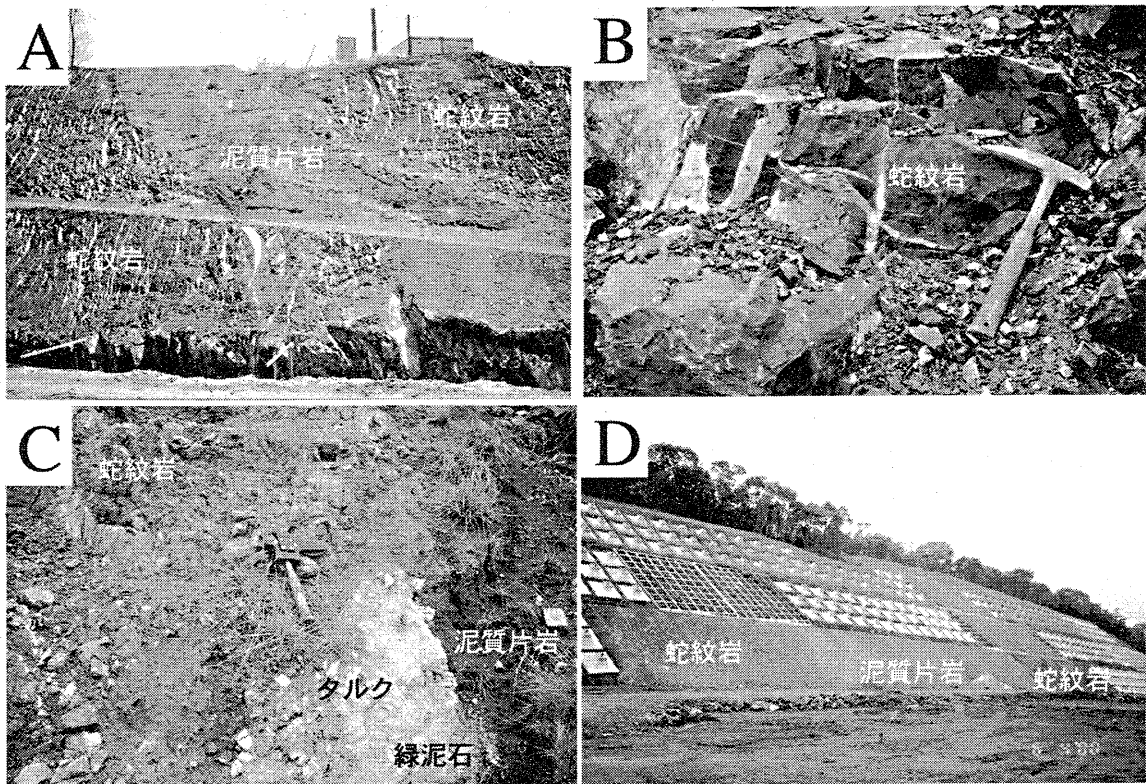


写真-1 蛇紋岩の露頭写真

A：硬質な蛇紋岩と粘土化した泥質片岩との関係， B：ホルンフェルス化した塊状蛇紋岩，
 C：蛇紋岩と泥質片岩との境界部におけるタルクと緑泥石の産状， D：蛇紋岩と泥質片岩の
 対策工

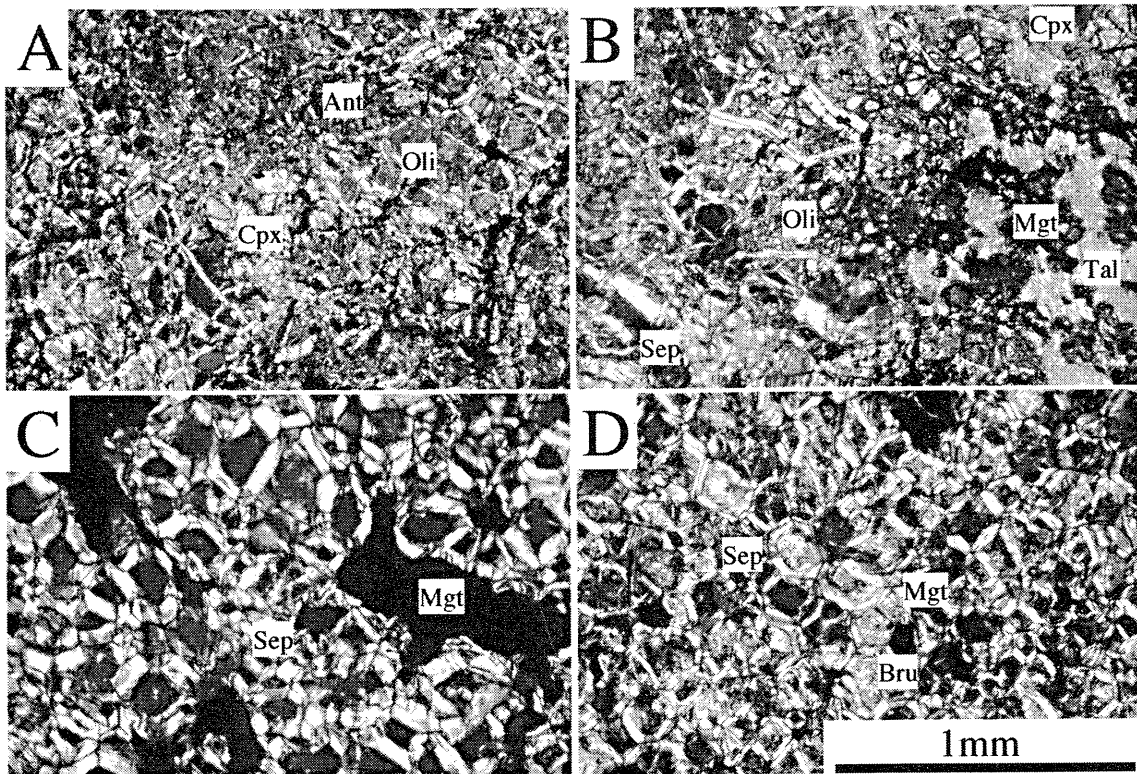


写真-2 蛇紋岩の顕微鏡写真（複ニコール）

A：カンラン石-直閃石帯， B：カンラン石-タルク帯， C：蛇紋石帯， D：ブルーサイ
 トの産状， Oli：カンラン石， Cpx：単斜輝石， Ant：直閃石， Sep：蛇紋石， Mgt：磁鉄
 鉱， Tal：タルク， Bru：ブルーサイト