

2. 四国の中央構造線沿いの中期中新世熱水変質作用

Middle Miocene Hydrothermal Alteration along the Median Tectonic Line in Shokoku.

○香川大学工学部	長谷川修一
(株)四電技術コンサルタント	田村 栄治
四国電力(株)建設部土木課	大野 裕記
(株)四国総合研究所	鶴田 聖子

1. はじめに

四国中央構造線沿いの破碎帯には、同じ母岩から形成されたにもかかわらず、スメクタイトを伴うガウジと伴わないガウジがある。このような粘土鉱物組成の違いを説明する仮説として、母岩である和泉層群の泥岩や三波川帯の泥質片岩およびこれらの破碎帯が通常の風化変質作用を受けた場合にはスメクタイトを生成しないものの、熱水変質作用を受けた破碎帯ではスメクタイトが生成された可能性が考えられる。

筆者らは、中央構造線 (MTL) 活断層系の断層ガウジ、粘土化したカタクレーサイトおよび母岩の粘土鉱物組成をX線回折法によって分析し、破碎帯における熱水変質作用と粘土鉱物組成との関係を検討したので、その概要について報告する。また、同様の熱水変質作用は、中央構造線付近だけでなく、地質帯を問わず広く四国地方に存在する可能性が高く、地すべりの素因として重要と考えられる。

2. 四国の中央構造線活断層系沿いにおける中新世貫入岩の分布

四国では、三波川変成岩類と和泉層群との地表境界断層としての中央構造線に一致もしくはその北側に並走して中央構造線活断層系の断層群が東北東—西南西方向に走っている (図-1)。これらの活断層は、一般に中～高角度の断層面を持ち、領家帯と三波川帯との境界断層の地表断層と推定される。

四国西部では、地質境界断層としての中央構造線および伊予断層等の活断層にそって、中新世の石鏡層群に対比される流紋岩、安山岩などが貫入している。この貫入岩の K-Ar 年代は、14-15Ma に集中している (田崎ほか, 1990, 1993)。特に、伊予断層と川上断層の近傍には 14Ma の大規模な流紋岩体があり、活断層の走向を南北方向に規制している。四国中央部では、地質境界断層としての中央構造線に沿って流紋岩類が貫入しているが、活断層沿いには貫入岩は確認されていない。四国東部徳島県の中央構造線沿いには、中新世貫入岩類は確認されていない。ただし、讃岐山脈北麓の椋原、田中断層沿いには、14Ma の K-Ar 年代を示す流紋岩類が分布し、一部はセリサイトを主体とする陶石鉱床をとってかつて採掘された。

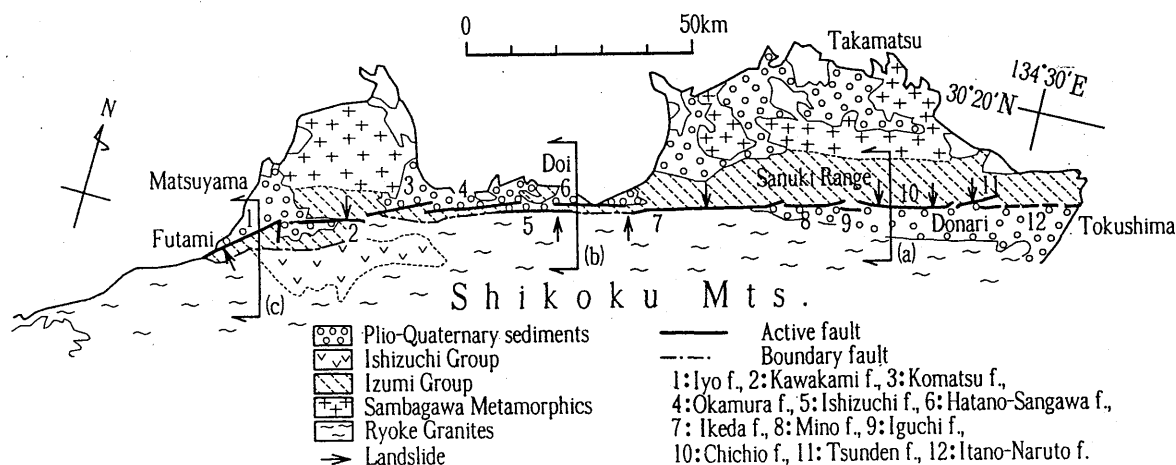


図-1 四国の中央構造線沿いの地質と試料採取地点

3. 中央構造線活断層系破碎帯の産状と分析試料

(1) 伊予断層

愛媛県双海町高野川では、和泉層群中に貫入したデイサイトが、30m以上の幅で角礫上に破碎され、この中に泥質片岩を主体とする破碎帯が断層で挟み込まれている。この破碎帯は、粘土化したカクレーサイトを主体とし、数条のガウジが形成されている。ガウジを伴う最も明瞭な断層面は、N46° Eの走向で、85° 南へ傾斜している。粘土試料は、デイサイト角礫破碎部 (a,b,c,h,k)、灰色ガウジ (e,j)、黒色ガウジ (d,f)、青灰色ガウジ (g)、泥質片岩カクレーサイト (n) および和泉層群角礫破碎部から採取した (長谷川ほか, 1996)。

(2) 石鎚断層

石鎚断層の破碎帯試料は四国電力が愛媛県土居町上野で掘削したボーリングコアから採取した。このボーリングコアは、総延長 105mで、地表から和泉層群砂岩頁岩互層、和泉層群破碎部、流紋岩、和泉層群泥岩ガウジ状破碎部、流紋岩角礫状変質部、泥質片岩ガウジ状破碎部、泥質片岩からなる (図-3、4)。泥質片岩中にドロマイトとマグネサイトを主体とする淡赤褐色脈が形成されている。

(3) 畑野断層

畑野断層の破碎帯試料は、四国電力が愛媛県土居町上野で掘削したボーリングコア、地表断層露頭などから泥岩ガウジ状破碎部および角礫状破碎部から採取した。

(4) 池田断層

池田断層の破碎帯試料は、徳島県池田町馬路における高速道路掘削工事現場から和泉層群ガウジ状破碎部、泥質片岩粘土状カクレーサイト、および白色脈から採取した (長谷川ほか, 1996)。

(5) 三野断層

三野断層の破碎帯試料は、徳島県三野町芝生における高速道路掘削工事現場から和泉層群ガウジ状破碎部、泥質片岩粘土状カクレーサイト、および白色脈から採取した (長谷川ほか, 1996)。

4. X線回折法による鉱物組成

伊予断層、池田断層および三野断層の試料については全岩粉末試料を作成し、構成鉱物の概要を把握した。また、石鎚断層および畑野断層については全岩粉末試料と水簸定方位試料を作成し、エチレングリコール処理と塩酸処理によって粘土鉱物の同定を行った。

4.1 伊予断層、池田断層、三野断層

伊予断層、池田断層および三野断層の全岩粉末試料の X 線回折チャートを図-2 に、鉱物組成を表-1 に示す (長谷川ほか, 1996)。

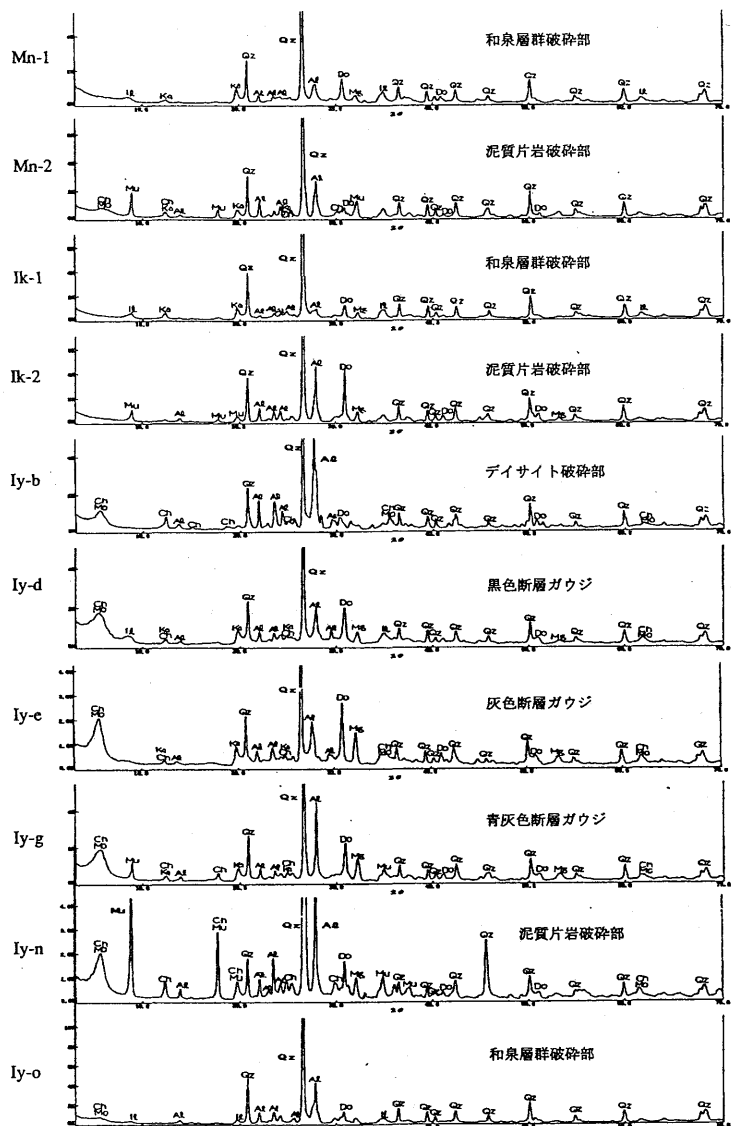


図-2 中央構造線活断層系の断層破碎帯の X 線回折チャート (試料番号は表-1 参照) (長谷川ほか, 1996)

表一 伊予断層、池田断層および三野断層の全岩粉末試料の鉱物組成 (長谷川ほか, 1996)

断層名	試料採取地点	試料No.	原岩	色	鉱物組成									
					Qz	Al	Ch	Il	Mu	Ka	Do	Mg	Sm	
三野断層	三野町芝生	Mn-1	和泉層群	黒	+++++	++		++		++	++	+		
		Mn-2	泥質片岩	青灰	+++++	+++	+		++	+	+		+	
		Mn-3	脈岩	灰	+++++	+++	++		+	+	++++	+		
池田断層	池田町佐野上浦	Ik-1	和泉層群	黒灰	+++++	+		++		++	++	+		
		Ik-2	泥質片岩	青灰	+++++	+++			++	+	+++	+		
		Ik-3	脈岩	白	+++++	++			+		++			
伊予断層	双海町高野川	Iy-a	テイト	緑灰	++++	+++++	+++	+		+	+	+	++	
		Iy-b	テイト	緑-灰	+++++	+++	++			+	+		++	
		Iy-c	テイト	灰	++++	++++	+++					++	+	++
		Iy-d	和泉層群	黒	+++++	+++	+	++		++	+++	++	+	+++
		Iy-e	テイト	灰	+++++	+++	+			+	+++	++	+	+++
		Iy-f	和泉層群	黒	+++++	+++	+	++		+				
		Iy-g	泥質片岩	青灰	+++++	+++	+		++	+	++	+	+	+++
		Iy-h	テイト	緑-灰	+++++	++++	++					+		++
		Iy-j	テイト	灰	+++++	+++	+		+	++	+++	++	+	+++
		Iy-k	テイト	灰	++	+++++						++		++
		Iy-n	泥質片岩	青灰	+++++	+++	++		++++			+++	+	+++
		Iy-o	和泉層群	黒褐	+++++	++	+					++		+
Iy-r	和泉層群	灰褐	+++	+++++		+				++++				

(鉱物組成) Qz:石英, Al:曹長石, Ch:緑泥石, Il:イライト, Mu:白雲母, Ka:カライト, Do:ドロマイト, Mg:マグネサイト, Sm:スメクタイト
(相対的な量比) +++++:非常に多い, ++++:多い, +++:普通, ++:少ない, +:非常に少ない

(1) 伊予断層

変質鉱物として、スメクタイト、ドロマイト、マグネサイトが大量に生成している。

(2) 池田断層

変質鉱物として、ドロマイト、マグネサイトが生成しているが、スメクタイトのピークは認めがたい。脈は、石英、ソウ長石、ドロマイトを主体としている。

(3) 三野断層

変質鉱物として、ドロマイト、マグネサイトが生成しているが、スメクタイトの含有量は少ない。脈は、石英、ソウ長石、ドロマイトを主体とし、マグネサイト、緑泥石を伴う。

4. 2 石鎚断層および畑野断層

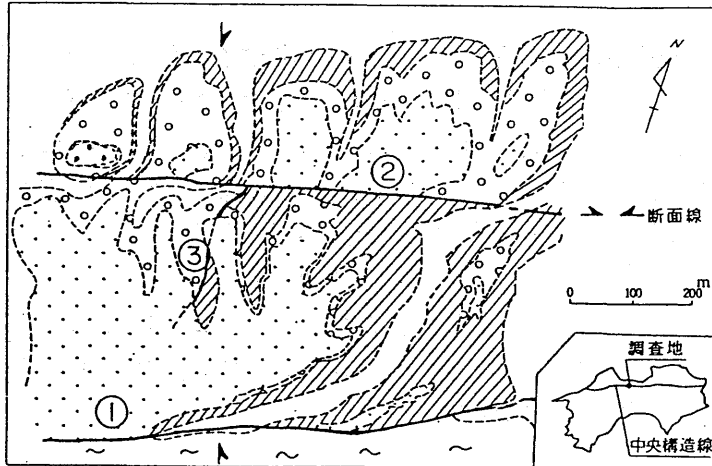
石鎚断層および畑野断層の破碎部の鉱物組成を図一4に示す (田村ほか, 2000)。

(1) 石鎚断層

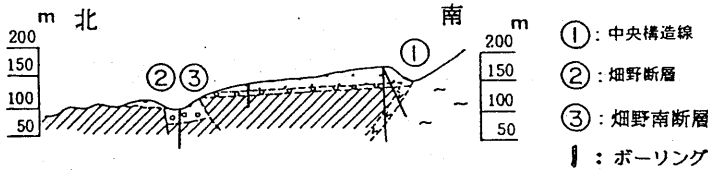
和泉層群および三波川帯泥質片岩を源岩とする中央構造線石鎚断層の破碎部には、スメクタイト、スメクタイト-セリサイト混合層鉱物、緑泥石、トリディマイト、ドロマイト、マグネサイト等が生成されている。ここではセリサイト、スメクタイト、混合層鉱物、トリディマイト、ドロマイトおよびマグネサイトからなる熱水変質帯が貫入岩付近に限って認められる。

(2) 畑野断層

和泉層群を源岩とする畑野断層の破碎部は、風化を受けていないボーリングコアでは主としてイライト、石英、長石からなる。これに対して地表付近で得られた試料では長石がほとんど検出されず、長石の風化生成物であるカオリナイトが含まれる。和泉層群を源岩とする畑野断層の破碎部は、風化を受けていないボーリングコアでは主としてイライト、石英、長石からなる。これに対して地表付近で得られた試料では長石がほとんど検出されず、長石の風化生成物であるカオリナイトが含まれる。



調査地の地質平面図



南北地質断面図

時代	年代 (10 ⁶ 年)	地層	凡例
第四紀	完新世	谷底堆積物	
		低位段丘層	...
	更新世	高位段丘層	...
第三紀	1.7~2.0	岡村層	○○○
		貫入岩	vv
	63	和泉層群	////
白亜紀			
ジュラ紀			
三疊紀	225	三波川	~
		変成岩類	~
石炭紀			

調査地の地質層序

図一3 畑野断層・石鎚断層調査地点の地質概要 (田村ほか, 2000)

深度 地質	粘土鉱物					その他の造岩鉱物									
	C	C/M	M	I/M	I	K	Geo	L	Tr	Do	Cal	Mag	Mus	Q	F
40															
50															
60															
70															
80															
90															
100															
110															

中央構造線石鎚断層における粘土鉱物

深度 地質	粘土鉱物					その他の造岩鉱物									
	C	C/M	M	I/M	I	K	Geo	L	Tr	Do	Cal	Mag	Mus	Q	F
地表付近															
谷底堆積物															
高位段丘層															
地中															

畑野断層における粘土鉱物

深度 地質	粘土鉱物					その他の造岩鉱物									
	C	C/M	M	I/M	I	K	Geo	L	Tr	Do	Cal	Mag	Mus	Q	F
地表付近															
高位段丘層															
地中															

畑野南断層における粘土鉱物

(鉱物名) C:緑泥石, C/M:緑泥石-スメクタイト混合層鉱物, M:スメクタイト, I/M:イライト(セリサイト)-スメクタイト混合層鉱物, I:イライト(セリサイト), K:カオリナイト, Geo:ゲータイト, L:レピドロサイト, Tr:トリディマイト, Do:ドロマイト, Cal:方解石, Mag:マグネサイト, Mus:白雲母, Q:石英, F:長石

図一4 X線回折による畑野断層・石鎚断層破碎部の鉱物組成 (田村ほか, 2000)

5. スメクタイトを伴う断層ガウジの生成環境と斜面安定

5.1 スメクタイトを伴う断層の生成環境

上述の粘土鉱物組成から、スメクタイトは中新世貫入岩に密接に関係して形成されていることがわかる。

中央構造線石鎚断層破碎部の粘土鉱物には、スメクタイトに伴ってトリディマイト、ドロマイトおよびマグネサイトが形成されていることから、これらの粘土鉱物は流紋岩類の貫入に伴う熱水変質作用により生成され

たと推定される。これに対して畑野断層および畑野南断層の断層ガウジの粘土鉱物はイライト、クロライトを主体とし、一部スメクタイトを含んでいるが、トリディマイト、ドロマイトおよびマグネサイトはほとんど認められない。この粘土鉱物組成は、基本的には母岩の和泉層群の破碎と風化によって生成され、貫入に伴う熱水変質をほとんど受けていないことを示している。すなわち、スメクタイトを伴う和泉層群起源の断層ガウジは、流紋岩類の貫入に伴う熱水変質によって形成された可能性が高い。また、スメクタイトを伴う泥質片岩起源の断層ガウジも、流紋岩類の貫入に伴う熱水変質によって形成された可能性がある。

また、四国西部から東部にかけての中央構造線活断層系の断層破碎帯には普遍的にドロマイト、マグネサイトが産出することから、同様の熱水変質が貫入岩の有無にかかわらず認められる。ただし、伊予断層のように貫入岩が密接に伴うところでは、スメクタイトの生成が顕著である。

5. 2 熱水変質帯と斜面安定との関係

四国縦貫自動車道の建設時には、熱水変質粘土に起因する法面崩壊、地すべりが発生した（たとえば縦山ほか、2000）。また、徳島県土成町高尾の引野断層沿いでは、スメクタイトを含有する破碎帯が弱層となり、規模の大きい地すべりが発生した（山下ほか、1999）。この和泉層群砂岩・泥岩を源岩とする破碎帯には、明瞭な熱水変質帯が認められ、破碎帯の粘土には、スメクタイトないしスメクタイト/イライト混合層鉱物が生成されている。引野断層を含む徳島県域では中央構造線に沿う貫入岩の存在は知られていないが、引野断層の事例は中央構造線に沿って中期中新世に広域の熱水変質があった可能性を示唆している。

スメクタイトを多く含む断層破碎帯の粘性土のせん断抵抗角 ϕ 30°前後と小さく、また残留状態で著しいせん断抵抗角の低下を示す（例えば、矢田部、2000）。したがって、中央構造線沿いの斜面安定上、中期中新世熱水変質作用は、中央構造線沿いの斜面安定上、重要な不安定要因と考えられる。また、四国の中央構造線沿いで発生した大規模な岩盤すべりの地質的素因としても、中期中新世熱水変質作用は注目される。

5. 3 広域的な熱水変質作用の可能性

熱水変質帯は、流紋岩体などの貫入岩近傍だけでなく、貫入岩の分布が認められない地域においても普遍的に分布している。また、熱水変質作用は、中央構造線沿いに限定されるのではなく、その北側の和泉層群分布域およびその南側の三波川変成岩類分布域に広く認められる。これらの地域には、鮮新世および第四紀の火成活動ないものの、中期中新世の流紋岩体などが点在するので、広域的な熱水変質作用は中期中新世の火成活動時に形成された可能性が高い。熱水変質と地すべりとは以下の事例のように密接な関係がある。

(1) 讃岐山脈東部の和泉層群

徳島県板野町大坂付近の和泉層群砂岩頁岩互層には、節理面沿いに白色の粉が形成されている。この粉は、石英、アルバイト、イライト、緑泥石からなり、150°Cより高温の熱水変質作用によって形成された可能性が高い。このような切土法面では、小規模な法面崩壊が発生した。

(2) 三波川帯

徳島県神山町鬼籠野では、泥質片岩からなる破碎帯の粘土中に10-20%のスメクタイトが形成され、掘削基盤面が隆起した（田村ほか、2001）。また、付近の同じ破碎帯を対象とした国道切土法面は、工事中に法面崩壊を繰り返した。熱水変質帯は規模の大きな断層沿いに認められる。

(3) 御荷鉾緑色岩類

四国中央部の上八川—池川構造線の背斜軸部に沿って、14Maの流紋岩等が東西方向に分布している（梅原ほか、1991）。その延長線上の御荷鉾緑色岩類分布域は四国有数の地すべり地帯である。母岩の特性とともに、スメクタイトに富む熱水変質帯が、地すべりの素因になった可能性がある。

(4) 秩父帯

上葦生川断層の破碎帯中には中央構造線沿いの貫入岩に特徴的なドロマイト・マグネサイト脈が形成されている。さらに、秩父帯中においても、粘土化の著しい熱水変質帯が岩盤すべりやトンネル変状の原因になっているところがある。

6. 四国の地質現象の黒幕としても中期中新世火成作用

6. 1 中期中新世珪長質火成岩体の存在

四国、特に外帯には、14Maの花崗岩体が伏在している可能性が高い。これは、以下の事実から推論できる(長谷川・澤田, 1999, 2001)。

(1) 地質分布: 四国には、内帯、外帯を問わず、中期中新世珪長質火成岩体が点在しており、これらの放射年代は約13-15Maで、14Ma前後に集中している。

(2) 地震波トモグラフィ: 趙(1998)の地震波トモグラフィによれば、深度0~18km断面において、足摺岬、室戸岬、潮岬の半島部でP波速度の速い岩体が南北方向に分布する。これらは、地下に潜在する中新世花崗岩体を暗示している。

(3) 微小地震活動: 中村ほか(1997)の微小地震データによれば、地表の地質分布、地震波トモグラフィから14Ma花崗岩が推定される地域の地震活動は低調である。これは、四国西部で特に顕著である。

(4) 熱水鉱床: 四国の外帯には、中新世の火成活動によって形成された可能性のある水銀とアンチモンの浅熱水鉱脈が分布している(渡辺ほか, 1973)。また、岩体の貫入に伴う熱水活動による厚い石英脈も報告されている(坂口, 1996)。

(5) 熱変成作用: 中期中新世と推定される高温流体による熱変成作用が、火成岩体から離れた三波川帯に認められる(榊原ほか, 1993など)。

6. 2 中期中新世珪長質火成作用と応用地質

四国では帯状に地質帯が配列しているが、地下に中新世花崗岩体が伏在していると仮定すると、様々な地質現象が理解しやすくなる。

(1) 大地形: 西南日本外帯の大地形は、特に南北性の半島の分布形態とそれぞれの最高峰は中期中新世の花崗岩と密接な関係があることは、既に木村(1985)によって指摘されている。外帯の大地形は、地下伏在する軽い花崗岩体が隆起して形成された可能性がある。また、これは第四紀になって四国山地が急速に隆起したモデルを支持しない。

(2) 活断層の分布: 西南日本では、中央構造線に平行する東西方向の帯状構造が顕著で、その境界には東西方向の断層が分布するにもかかわらず、これらの断層が活断層でないのは、その地下に広く断層の発達が未熟な中期中新世花崗岩が分布している地下構造によって説明できる可能性がある。また、南海トラフと中央構造線間の地殻強度が大きな原因も剛性の大きな花崗岩体の存在で説明できる。

(3) 南海地震の活動区: 西南日本外帯における半島の地形配置と南海トラフの地震発生区が対応するのは、陸側の花崗岩体がバリアとして働いているためかもしれない。

(4) 地殻熱流量と温泉: 外帯に高い地殻熱流量が観測され、泉温の高い温泉がある原因として、中期中新世花崗岩体の潜熱が考えられる。この潜熱は、半島が大きいほど大きいようである。

(5) 斜面変動: 中新世火成活動は、隆起による四国山地の原型を構築することにより斜面変動の場(地形的素因)を提供するとともに、熱水変質作用によると岩盤劣化により斜面変動の地質的素因を提供した斜面変動の黒幕の可能性もある。

7. まとめ

(1) 四国の中央構造線沿いには、中期中新世火成活動に伴う熱水変質帯が形成されており、地すべりの素因となっている。

(2) 同様の熱水変質作用は、中央構造線付近だけでなく、地質帯を問わず広く四国地方に存在する可能性が高く、地すべりの素因として注目される。

(3) 広域的な熱水変質作用は、四国の地下に伏在する中期中新世花崗岩体に由来する可能性がある。

<引用文献> 紙面の都合により省略する。