

平成 22 年 6 月 8 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2006～2009

課題番号：18540456

研究課題名 (和文) 四国の付加体の斜面地質工学的研究—四国の山は尾根から裂ける—

研究課題名 (英文) Geological engineering study of slope in accretionary prism area, Shikoku—The mountains in Shikoku split initially from mountain ridges—

研究代表者

横山 俊治 (YOKOYAMA SHUNJI)

高知大学・教育研究部自然科学系・教授

研究者番号：20325400

研究成果の概要 (和文)：四国山地では付加体の硬岩が滑っている。四国山地の尾根は、至る所で、約 100 年に一度発生する南海地震によって裂けている。この裂け目に流れ込んだ雨水が特定の岩相の地層を劣化させ、劣化した地層には初生地すべりのすべり面が醸成されていく。付加体地すべりは尾根の裂け目から滑り出し、地すべり末端の侵食がなくても滑動を続ける。

研究成果の概要 (英文)：In Shikoku mountains, hard rock of accretionary prism slips down. The mountain ridges, everywhere, have split by the motion of Nankai earthquake which occurs once in about 100 years. Rainwater flowed into the crack deteriorates bed of specific lithofacies, and the deteriorated bed is bred up slip surface of juvenile landslide. The landslide of accretionary prism begins to slip from the crack on the mountain ridge and continues to move without erosion of the toe.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	900,000	0	900,000
2007 年度	800,000	240,000	1,040,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,300,000	720,000	4,020,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：斜面地質工学，硬岩，玄武岩，付加体地すべり，四国山地，南海地震，地震性ノテクトニック断層，線状凹地

1. 研究開始当初の背景

第三紀層地すべりは軟岩で発生する地すべりで、山麓河川の侵食による斜面末端の不安定化が地すべり発生の引き金となっている。今日、日本の地すべりの形成モデルは第三紀層地すべりの特徴を基礎として構築されている。しかし、硬岩からなる付加体で発生している四国山地の地すべりは、滑落崖が尾根付近に位置し、地すべり末端が山麓河川

から離れている。そのため、地すべり末端の河川侵食が不安定化の要因になっていない。にもかかわらず、付加体地すべりはいつまでも滑動が治まらない。付加体地すべり形成に今日の地すべり形成モデルは当てはまらない。第三紀層地すべりとは異なる地すべり形成モデルの構築が必要である。

2. 研究の目的

付加体地すべりの実態解明には下記の三つの課題がある。それら三つの課題の成果を総合して付加体地すべりの形成モデルを構築することが目的である。

(1)課題 1

地震動誘因を作業仮説として、四国山地の尾根上に発達する裂け目(開口クラック・線状凹地)の成因を解明することを課題とした。

(2)課題 2

尾根の裂け目と付加帯地すべりとの構造的関係を解明することを課題とした。

(3)課題 3

岩相規制・構造規制に着目して、付加体地すべり発生の地質条件を明確にすることを課題とした。

3. 研究の方法

上記三つの課題について下記の方法で研究を進めた。

(1)課題 1

2003年新潟県中越地震、2005 福岡県西方沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震で発生した尾根上の裂け目について、発生場の地形・地質条件や、裂け目の方向と地震動の揺れの方向との関係を現地調査する。一方、四国山地の尾根上の裂け目についても、地形図読図・空中写真判読・現地調査によって、発生場の地形・地質条件を明らかにする。そのうえで、両者の結果を比較することによって、四国山地の裂け目について成因の推察を試みる。

(2)課題 2

空中写真判読・現地調査によって、尾根の裂け目と地すべり地形との様々な構造的関係の事例を抽出し、尾根の裂け目発生から地すべり発生までの時系列的变化を明らかにする。

(3)課題 3

打木地すべりについて、地表地質踏査とボーリングコア試料の観察によって、付加体地すべりの地すべり構造とその周辺地域の地質構造を明らかにする。特に、すべり面の発生を妨げる岩相とすべり面が発生しやすい岩相を区分し、それらの岩相の分布を規制している断層・褶曲構造を明らかにすることで、付加体地すべりの岩相規制・構造規制の解明を試みる。

4. 研究成果

(1)課題 1

2003年新潟県中越地震、2005 福岡県西方沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震で発生した尾根上の裂け目について現地調査を実施した結果、いずれの地震でも尾根付近に多数の開口クラックが発生していることを確認した。

2005年福岡県西方沖地震時に玄界島の山頂部に形成された開口クラック(裂け目)を調査した加藤・横山(2010)は開口クラックを地震動によるノンテクトニック断層であると結論した。裂け目は頂部の遷急線付近に集中し、遷急線と平行に裂けた(図1;加藤・横山、2010)。その場所は裂け目(遷急線)の方向が震源から発生したS波の伝播方向と平行になるところに当たっている。

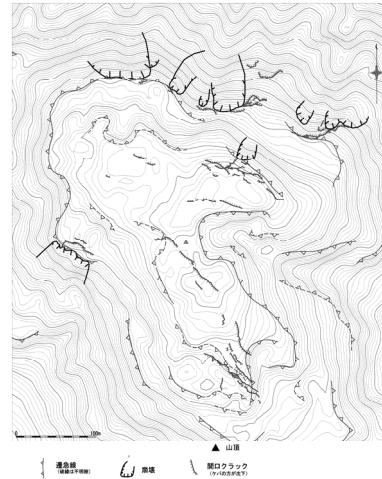


図1 玄界島山頂部の地震性ノンテクトニック断層と崩壊の分布(加藤ほか、2005 改変)

尾根の遷急線付近では、地震動が地形効果で増幅することがほかの地震時落石・崩壊の事例や応答解析のシミュレーションによって明らかにされている(奥園ほか、1980; 落合ほか、1995; 横山ほか、2002; 浅野ほか、2006)。裂け目の方向は地震動による水平加速度方位に規制されるが、尾根の伸長方向も揺れやすいというシミュレーション結果もある(浅野ほか、2006)。

一方、四国山地では、H18年度以前の研究で多数の裂け目が尾根に発達していることが明らかにされた。1/2.5地形図や空中写真で抽出可能な規模の裂け目は四国山地を中心に、標高400m以上の尾根に多発していることが明らかになった(図2、図3; 布施・横山、2004)。1/2.5地形図や空中写真では判読できない小規模なものも多数あることが現地調査によって明らかになった。裂け目の方向は尾根の伸びの方向と平行なものが多く、結果として、四国山地の尾根の卓越方向、東北東方向に伸びる裂け目が多くなっている。

四国山地の尾根の裂け目は硬岩(チャート・石灰岩)で発見されることが多い。例えば、高知県仁淀川町大引割では、硬岩(チャート)に多数の裂け目や線状凹地が形成されている(図4; 加藤ほか、2009)。なかでも大引割と呼ばれている裂け目は30m深部まで裂け、開口幅3~6m、長さ60mに達する(図

5). 豪雨が硬岩を引き裂いて、こういった深い裂け目を形成するのは難しいと思われる。四国山地は急峻であるので、尾根では、地形効果で地震動が増幅すると考えられる。大引割のような硬岩に発生した深い裂け目も地震動なら形成可能である。

四国山地の尾根を激しく揺る地震の筆頭は、約100年に一度発生する南海地震である。

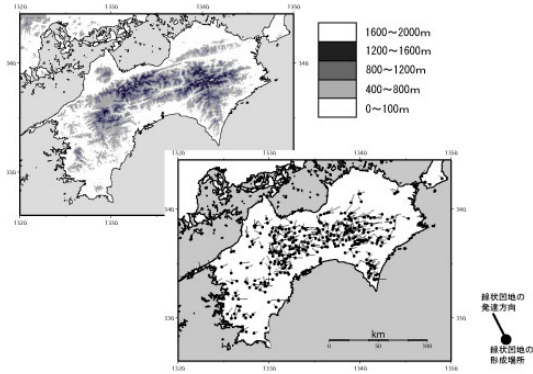


図2 四国島の線状凹地の分布(布施・横山, 2004)

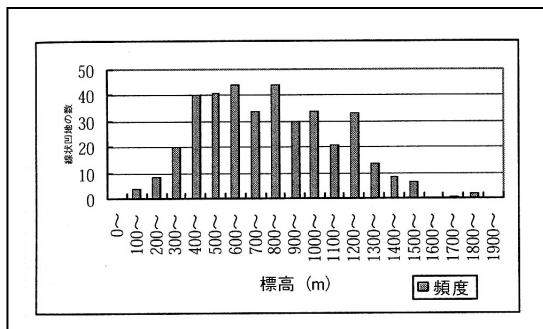


図3 四国島の線状凹地の数と標高の関係(布施・横山, 2004)

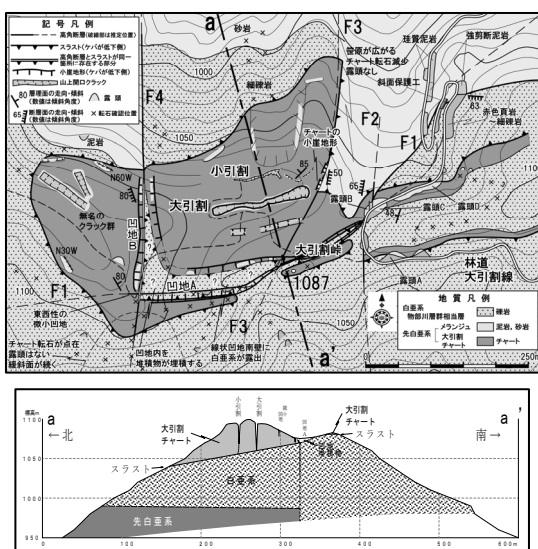


図4 大引き割地域の尾根の裂け目(山上開口クラック)(加藤ほか, 2009)



図5 大引割(裂け目の底から撮影)

る。南海地震の震源は紀伊半島沖と推定されている。震源から発生したS波の振動方向に対して、東北東に延びる尾根は完全な直交関係にはないが、尾根の伸長方向に揺れやすいということと相まって、尾根に平行な裂け目が形成されうると推察される。四国山地尾根上の裂け目は、約100年に一度発生する南海地震が尾根を引き裂き、裂け目を成長させてきた結果であると結論した。

付加体山地の尾根には、地震性ノンテクトニック断層とは成因を異にする裂け目もある。岩盤クリープ(谷側への曲げ褶曲)によって傾動した岩盤と非傾動岩盤との境界が開いた裂け目や、尾根の両側に傾動したために尾根の中央部が開いた裂け目である(図6)。高知県の加奈木崩れは四万十累帯の傾動岩盤で発生したもので(千木良, 1995, 2000)、大規模な岩盤クリープ型の裂け目が形成されている(寺戸, 1986)。岩盤クリープによる傾動は各地の付加体で明らかにされつつある(横山・柏木, 1997; 柏木ほか, 2008; 柏木・横山, 2010)が、岩盤クリープ型の裂け目は地震性ノンテクトニック断層起源型の裂け目ほど多くはない。

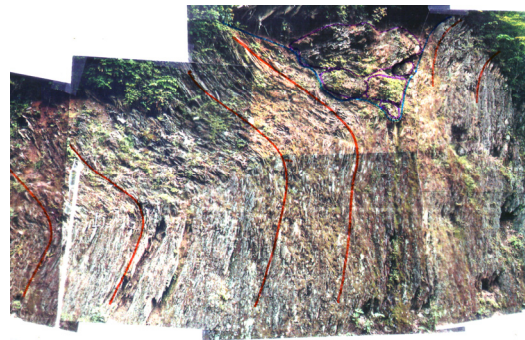


図5 尾根の両側への傾動で尾根が裂けた事例(安倍川支流関の沢の瀬戸川層群)

(2)課題 2

玄界島では、遷急線付近の地震性ノンテクトニック断層を滑落崖とする崩壊が発生した(図2;加藤・横山,2010)。新潟県中越地震で発生した地すべりでも、尾根付近の節理に沿って分離した岩盤の並進すべりが観察されている(齋藤ほか,2007)。地震時地すべりや崩壊のほかに、裂け目が形成されても、その時点では顕著な地すべり兆候が認められないものも多数ある。

四国山地の尾根にも、顕著な地すべり兆候が認められない裂け目が多数存在している。しかし、その一方で、尾根の裂け目から滑落が始まっている地すべりもある。その典型例は高知県高岡郡越知町の秩父累帯北帯で発生した谷ノ内地すべりである。地すべり移動体の頭部と滑落崖との境界には尾根の裂け目から開口したと推察できる大規模な線状凹地が形成されている。滑落崖背後の尾根には多数の裂け目が形成されている。すべり面は主に玄武岩に発達しており、その深度は100mに達する。現在、降雨に反応して滑動し続けている。ただし、2003年新潟県中越地震や2008年岩手・宮城内陸地震で発生した地すべりの移動体の破壊状況と比較すると、付加体地すべりは移動体の破壊が軽微で移動量も小さい。したがって、谷ノ内地すべりのすべり面は地震時の裂け目形成とほぼ同時期に形成されたものではないと考えている。付加体地すべりの多く(それらは現在徐動性地すべりである)は、谷ノ内地すべりと同様に、裂け目形成後にすべり面が醸成されたと結論した。

尾根の裂け目形成から徐動性地すべりが形成されるまでの形成モデルは次のように推察した。

約100年に一度発生する南海地震によって、四国山地の尾根は裂けた。その裂け目は次の地震だけでなく、そこに流れ込む雨水の水圧によっても成長していった。それだけでなく、裂け目に流れ込んだ雨水は地中の地層を直接劣化させた。雨水で劣化しやすい地層はその上位の地層が劣化しなくても劣化が進む。その結果、秩父累帯北帯では玄武岩が劣化しそこにすべり面が醸成されていった。そして連続したすべり面が形成された時に初生地すべりが発生した。連続したすべり面によって不動地盤から完全に独立した地すべり移動体は降雨に敏感に反応する徐動性地すべりを繰り返すようになった。

付加体地すべりの多くは、初生地すべりの段階から地すべり末端のすべり面が斜面中腹に現れていて(図6)、地すべり末端の河川侵食が地すべり滑動の引き金になっていない。そのために、付加体地すべりはいつまでも滑動を続けている。



図6 尾根に滑落崖、斜面中腹に末端をもつ活動的な付加体地すべり(高知県吾川郡いの町打木地すべり)

(3)課題 3

秩父累帯北帯の付加体地すべりでは、すべり面は玄武岩に発達していることが多い。それに対して、チャートや石灰岩、砂岩といった岩石は塊状で弱面が少なく、大きな剪断強度をもっているために、すべり面の成長を妨げる。したがって、これらの硬質岩が広く分布している地域では、地すべりの発生は難しい。付加体形成時の地質構造、さらに付加体形成後の褶曲・断層運動による地質構造の改変によって、大きな強度をもつ地層の連続が絶たれた領域が存在することが付加体地すべり発生で第一番目に必要な条件である。

秩父累帯北帯で発生した高知県のいの町打木地すべり付加体地すべりを例に、岩相規制・構造規制の実態を示す(図7;田中・横山,2008)。

打木地すべりは尾根から発生し、地すべり移動体の左側部から末端にかけてはすべり面が山腹に現れている(図6)。地すべり移動体の頭部と滑落崖との境界には線状凹地があり、尾根の裂け目を起源とする可能性がある。すべり面の大部分は玄武岩中を走っている。地すべり移動体の両側部と非変動域との間には断層が発達していて、チャート・石灰岩・砂岩は分断され、連続が絶たれている(図7-a)。これらの大きな強度をもつ地層の連続が絶たれることによって、重力による側方部の剪断が可能になったと考えられる。

打木地すべりでは、地すべり移動体の中にもそれを縦断する断層が複数発達していて、それによっても地層の連続は絶たれている(図7-b)。このため、すべり面となっている玄武岩の層準は断層を挟んで同じではない。異なる深度にあった玄武岩が断層変位で連続するようになり、連続したすべり面の形成が可能になったのである。

実際、秩父累帯北帯では地層の連続を絶つ断層が多く、同一層準の玄武岩が地すべり移動体の下底に連続して分布している可能性

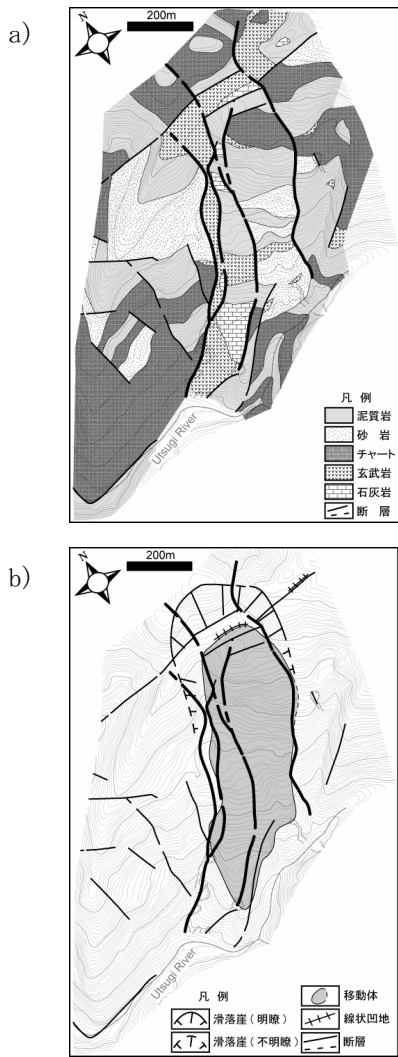


図7 打木地すべり (a:地質図、b:地すべり ; 田中・横山(2008)を一部改変)

は低い。異なる層準の玄武岩が断層変位によって連結した結果、その玄武岩が地すべりのすべり面になりうるのである。このような現象は第三紀層地すべりでは起こっていたとしてもきわめて稀なことであろう。

文 献

- 浅野志穂・落合博貴・黒川潮・岡田康彦 (2006) : 山地における地震動の地形効果と斜面崩壊への影響, 地すべり, Vol.42, No.6, pp.457-466.
- 千木良雅弘(1995) : 四国の四万十帯にある加奈木崩れの地形・地質特性. 日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp.61-64.
- 千木良雅弘(2000) : 3.5 加奈木崩れ, 地震砂防, 古今書院, 東京, pp.38-41.
- 布施昌弘・横山俊治(2004) : 四国島の線状凹地の分布とその特徴, 日本地すべり学会, 第43回日本地すべり学会研究発表会講演集,

pp.561-564.

柏木健司・横山俊治・山梨太郎(2008) : 伊野層の片岩中に発達するノンテクトニック構造. 第47回見本地すべり学会研究発表会, pp.91-92.

柏木健司・横山俊治(2010) : 超丹波帯の赤色頁岩と凝灰質粘板岩の互層中に発達する重力性傾動構造. 日本地すべり学会誌, Vol. 47, No. 3, pp. 1-9.

加藤弘徳, 横山俊治, 光本恵美 (2009) : 高知県大引割地域に発達する山上凹地と地質構造の関係, 第48回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 101-102.

加藤靖郎・横山俊治・山地孝昌・直本啓祐 (2005) : 2005年福岡県西方沖地震によって玄界島で発生した地震性ノンテクトニック断層とそれに関係した崩壊 (予報). 第44回日本地すべり学会研究発表講演集. pp. 451-454.

加藤靖郎・横山俊治(2010) : 2005年福岡県西方沖地震による玄界島頂部のノンテクトニック断層. 日本地すべり学会誌, Vol. 47, No. 1, pp. 42-50.

落合博貴・北原曜・三森利昭・阿部和時

(1995) : 地震による山腹斜面崩壊と地震時応答解析, 兵庫県南部地震に伴う地すべり・斜面崩壊研究報告書, 地すべり学会, pp.119-132.

奥園誠之・岩竹喜久磨・池田和彦・酒井紀士夫 (1980) : 振動による落石危険度判定, 応用地質, vol.21, no.3, pp.119-122.

齋藤華苗・横山俊治・大八木規夫・井口 隆・藤田勝代 (2007) : 2004年新潟県中越地震で発生した横渡地すべり (No.101) の運動像, 日本地質学会第114年学術大会(札幌)演旨, p.280.

田中昭雄・横山俊治(2008) : 地表地質踏査による付加体地すべりの地質図作成の試み, 平成20年度研究発表会 講演論文集, 日本応用地質学会, pp.173-174.

寺戸恒夫(1986) : 四国島における大規模崩壊地形の分布と地域特性. 地質学論集, No.28, pp.221-232.

横山俊治・柏木健司(1996) : 安倍川支流関の沢流域の瀬戸川層群に発達する斜面の傾動構造の運動像. 応用地質, Vol. 37, No. 2, pp. 20-32.

横山俊治・水口真一・藤田勝代・嘉茂美佐子・菊山浩喜 (2002) : 花崗岩地域における地震時落石の発生場所・落下方向・到達距離の予測, 地すべり, Vol.39, no.1, pp.30-39.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計17件)

①柏木健司、横山俊治、超丹波帯の赤色頁岩と凝灰質粘板岩の互層中に発達する重力性傾動構造、日本地すべり学会誌、査読有、Vol. 47、No. 3、2010、pp. 1-9.

②加藤靖郎、横山俊治、2005年福岡県西方沖地震による玄界島頂部のノンテクトニック断層、日本地すべり学会誌、査読有、2010、Vol. 47, No. 1, pp. 42-50.

③横山俊治、脇田茂：地震時地すべりの長距離移動とスプレッドー荒砥沢スプレッドを例として、月刊地球、号外、査読無、No.61、2010、pp.109-118.

④横山俊治、山地ー平地逆断層の断層運動と地すべり変動ー近畿地方の大阪平野周辺地域の例、日本地すべり学会誌、査読有、Vol.44、No.4、2007、pp.10-17.

⑤大八木規夫、井口隆、内山庄一郎、横山俊治、藤田勝代、斎藤華苗、2004年新潟県中越地震を誘因とする大日山(塩谷神沢川)地すべりの構造、財団法人深田地質研究所年報、査読無、no.8、2007、pp.131-147.

⑥横山俊治・村井政徳、中屋志郎、西山賢一、大岡和俊、中野浩、2004年台風10号豪雨で発生した徳島県那賀町阿津江の破碎帯地すべりと山津波、地質学雑誌、査読有、2006、Vol.112、補遺、pp.137-151.

⑦大八木規夫、内山庄一郎、井口隆、藤田勝代、横山俊治、上野将司、川村喜一郎、斎藤華苗、中越地震によって発生した一ツ峰沢地すべりの構造、深田地質研究所年報、査読無、no. 7、2006、pp.147-168.

〔学会発表〕(計 51 件)

①加藤弘徳、高知県大引割地域に発達する山上凹地と地質構造の関係、日本地すべり学会、2009年8月26日、新潟県(新潟大学)

②横山俊治、地すべりダムの地形学的検出方法、日本地球惑星科学関連2009年合同大会、2009年5月19日、千葉県(幕張メッセ)

③田中昭雄、地表地質踏査における付加体地すべりの地質図作成の試み、日本応用地質学会、2008年10月31日、神奈川県(横浜市開港記念会館)

④柏木健司、伊野層の片岩中に発達するノンテクトニック構造、日本地すべり学会、2008年8月27日、神奈川県(湯本富士屋ホテル)

⑤加藤弘徳、高知県大引割・小引割ー山上開口クラック群ーの構造と発生機構(予報)、日本地すべり学会研究発表会、2008年8月27日、神奈川県(湯本富士屋ホテル)

⑥横山俊治、付加体に発達する二つの型の尾根上線状凹地・開口クラックー岩盤クリープ型と地震性ノンテクトニック断層型ー、日本地質学会、2007年9月9日、北海道(北海道大学).

⑦仙波咲子、蛇紋岩の山頂陥没帯の構造解

析：線状凹地発生時の運動像、日本応用地質学会、2006年11月9日、熊本県(熊本テレビ).

⑧横山俊治、四国山地付加体の地すべり研究の視点、日本地質学会、2006年9月20日、高知県(高知大学)

〔図書〕(計 3件)

①青矢睦月、横山俊治、産総研地質調査総合センター、日比原地域の地質、地域地質調査報告(5万分の1地質図幅)、2009、75p.

②脇田浩二、宮崎一博、利光誠一、横山俊治、中川昌治、産総研地質調査総合センター、伊野地域の地質、地域地質調査報告(5万分の1地質図幅)、2007、140p.

③横山俊治、布施昌弘、古今書院、応用地形セミナー 空中写真判読演習、2006、pp. 102-111

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 俊治 (YOKOYAMA SHUNJI)

高知大学・教育研究部自然科学系・教授

研究者番号：20325400

(2) 研究分担者

柏木 健司 (KASHIWAGI KENJI)

富山大学・理工学研究部(理学)・准教授

研究者番号：90422625