

地質構造帯の違いによる斜面崩壊特性の比較

～高知県内における三波川帯と秩父帯の特徴の統計解析による比較～

1210514 樋口 晶子

高知工科大学 経済・マネジメント学群

1. 概要

斜面崩壊は、斜面表層の土砂や岩石が地中のある面を境にして滑り落ちる現象である。斜面勾配が概ね30度以上、地表水が集まる地形を持つ斜面、集水面積が大きい、斜面の上方に平坦地がある場合などに斜面崩壊が発生しやすいと言われるリスクを持つ(神原・佐藤・鈴木, 2019)。

対象地に分布する三波川帯と秩父帯において、地質や地形的特徴など、土砂災害はどのような素因によって発生しやすいのか、また地質構造帯の違いによって土砂災害が発生する特徴は異なるのか比較分析を行った。三波川帯と秩父帯の斜面崩壊の仕方について、斜面方位・斜面勾配・急傾斜地の崩壊の警戒区域・土地被覆と言った地形的素因・誘因から違いを考察した結果、斜面方位において地質構造帯による違いが見られた。しかし斜面勾配による違いは見られず、斜面崩壊が発生しやすいと言われる勾配より緩斜面での崩壊が多く見られた。

2. 序論

2.1 目的

三波川帯の主な構成岩石である三波川結晶片岩、秩父帯の主な構成岩石である砂岩・粘板岩・チャートは、もろく崩れやすい特徴を持つ。同じく秩父帯に主に分布する砂岩・粘板岩・チャートももろく崩れやすい。かつ四国地方は多雨地帯に位置し、四国山地内では多くの地すべりや崩壊箇所が見られる。多数の地質構造帯が見られる本研究の対象地域の地質・地形的素因が土砂災害の発生に与える影響は地質構造帯によって異なるか、統計分析を用いて検討する。また実際の崩壊地の特徴を読み取ることで斜面崩壊発生傾向を掴み、崩壊メカニズムの解明に活かすことを目的とする。

2.2 背景

斜面崩壊は本研究の対象地である四国山地で頻繁に発生しており、人命や財産・インフラなどが脅かされることがしばしばである。本研究の対象地における過去の主な災害は表1の通りである。

表1 過去の主な災害

年月	場所	降雨量	災害の種類
1974年9月	高知市鏡村柿ノ又	時間雨量128mm(17~18時)	風水害
1975年8月	高知市鏡村梅ノ木・吉原	3時間で312mm	土砂災害、風水害
	大川村	1649mm(8~12日)	風水害・土砂災害
2004年8月	大川村小松	205mm(16~18時)	土石流等土砂災害

斜面崩壊の発生の恐れのある区域が土砂災害警戒区域に指定されているが、実際の崩壊地との関連があるか、また地質構造帯による違いが見られるのかを確かめる。違いが見られた際、斜面崩壊発生危険性のある箇所の判断基準について考察する必要がある。

2.3 手順

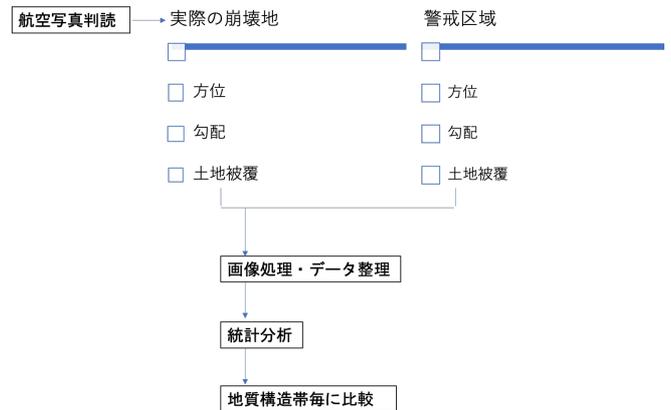


図1 手順

3. 対象地

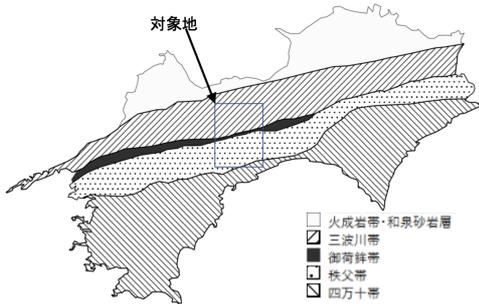


図2 四国の地質構造帯

三波川帯は西南日本外帯の中央構造線で領家帯と接し、東西方向に帯状分布を示す構造帯である。分布は、関東山地から九州佐賀ノ関半島まで1000kmに渡って帯状に分布し、四国で最大幅(約30km)で分布する。主に低温高压型変成岩から構成され、三波川結晶片岩と呼ばれる。強い偏圧条件下に置かれたため、組成鉱物は一定方向に配列し強い方向性をもっており、片理面が発達しているため構成物質の雲母・石墨・滑石は一定方向に配列し、片理の方向に薄く剥がれやすい。片理のほかに、これと共役的な割れ目が存在することも特徴である。南縁部には御荷鉾緑色片岩類が断続的に分布しており、三波川結晶片岩と同様な変成作用により形成され、原岩は塩基性の溶岩や深成岩であり大半が濃い緑色をしている。形成場からある程度の空間的連続性を保持したまま上昇・露出した。

秩父帯は東西性の断層によって北帯・中帯・南帯に分かれている。北帯は弱い変成作用を受けた三畳紀～ジュラ紀の地層からなり、砂岩・泥岩・珪質泥岩・チャート・砥石型粘土岩・石灰岩・玄武岩などを含む。中帯は様々な時代の地層や岩石が蛇紋岩によって取り込まれながら点的に分布し、シルル紀の石灰岩、三畳紀の浅海の地層なども含まれる。南帯はジュラ紀～白亜紀の地層からなり、北帯のように変成作用を受けていない。北側から、大平山ユニット、斗賀野ユニット・三宝山ユニットとそれぞれ断層を挟んで区分され、構造的低位に向かって次第に若くなる付加コンプレックスの特徴を備えている。

その上には、北から外和泉層群(白亜紀後期)、物部川層群(白亜紀前期)、南海層群(白亜紀前期)及びその下位にあたる鳥ノ巢層群(ジュラ紀～白亜紀前期)の地層が乗っている。

四万十帯は大きく北帯・南帯に分かれる。北帯には白亜紀の付加コンプレックス、南帯には古第三紀の付加コンプレックスが分布している。対象地域に分布する半山層は北帯の新莊川層群に含まれる(青矢・横山, 2009. 脇田・宮崎・和光・横山・中川, 2007)

・対象地の概要

産業技術総合研究所地質調査総合センターが発行する地質図幅「日比原」「伊野」をもとに、大北川と朝谷川・吉原川・梅ノ木川の3流域が含まれる範囲を対象地とした(図2)。対象地全体の斜面方位の分布は表2の通りである。

表2 斜面方位の割合

	北	東	南	西
割合(%)	35.1	17.7	35.8	14.5

対象地において南側から押されてできた付加体が広がっており、東西方向に帯状の山脈構造となっているため北向き斜面と南向き斜面の割合が多いと考えられる。

対象地全体の斜面勾配の頻度分布は図3のようになっている。

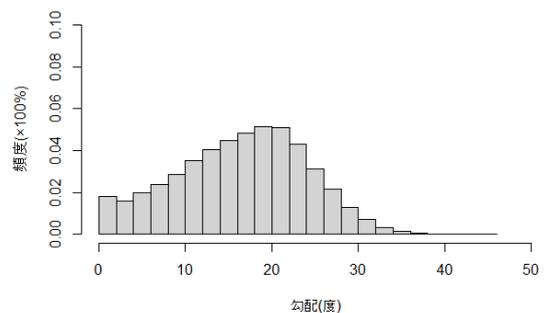


図3 斜面勾配の頻度分布

地質構造帯の分布は三波川帯が57.5%、秩父帯が39.3%、御荷鉾帯が1.57%、四万十帯が1.63%である。土地被覆は森林帯(落葉広葉樹・常緑広葉樹・常緑針葉樹)が92.7%、都市域は2.4%である。砂防指定地(国土数値情報土砂災害警戒区域データにおいて、急傾斜地の崩壊・土石流・地すべりの警戒区域に指定されている区域をまとめて砂防指定地とする)に指定されているのは10.3%である。本研究において、急傾斜地の崩

壊の警戒区域を以下警戒区域と記述する。

その中で本研究では大北川と朝谷川・吉原川・梅ノ木川の3流域(図4)をサンプルに取って分析を行なった。

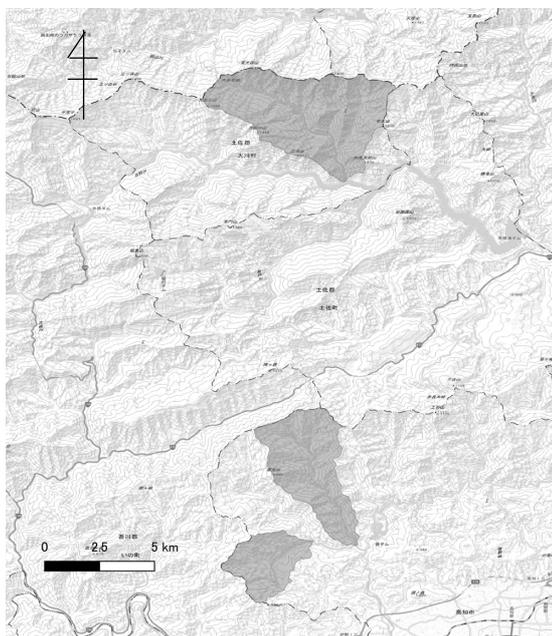


図4 3流域の分布(北から大北川・朝谷川、吉原川、梅ノ木川)

3流域全域において、三波川帯と秩父帯の分布、斜面方位、斜面勾配の割合が上記の対象地と近く、またそれぞれの流域における斜面崩壊が互いに影響し得ない独立の流域として選定した。

この3流域における地質構造帯ごとの斜面勾配と斜面方位の分布は表3・4の通りである。

表3 地質構造帯毎の斜面方位

地質構造帯	北(%)	東(%)	南(%)	西(%)
三波川帯	27.3	16.6	41.3	14.7
秩父帯	32	20.9	35.4	11.7

表4 地質構造帯毎の斜面方位

地質構造帯	0~10度(%)	10~20度(%)	20~30度(%)	30~40度(%)
三波川帯	8.1	44.4	42.8	4.7
秩父帯	15.6	55	28.4	0.98

・大北川・朝谷川流域

全流域が三波川帯に属する。斜面方位の分布は表5、斜面勾配の分布は表6の通りである。

表5 大北川・朝谷川の斜面方位

	北	東	南	西
割合(%)	29.2	16.9	39.5	14.4

表6 大北川・朝谷川の斜面勾配

	0~10度	10~20度	20~30度	30~40度
割合(%)	6.5	41.5	46.5	5.5

土地被覆は約95%が森林帯、都市域は0.23%となっている。この流域内において崩壊地は0.52%、警戒区域は2.1%であるが、崩壊地は警戒区域に含まれない。

・吉原川流域

河川は南向きに流れているが、流域北端より約1kmの幅で三波川帯、以南は秩父帯に属する。斜面方位の分布は表7、斜面勾配の分布は表8の通りである。

表7 吉原川の斜面方位

	北	東	南	西
割合(%)	24.9	18.6	41	15.5

表8 吉原川の斜面勾配

	0~10度	10~20度	20~30度	30~40度
割合(%)	12.1	53.4	33.2	1.2

土地被覆は約99%が森林帯、都市域は約0.4%である。流域内において崩壊地は0.63%、警戒区域は6.4%であり、この流域における崩壊地の約7%は砂防指定地に含まれる。

・梅ノ木川流域

河川は東及び北向きに流れ、流域全体は秩父帯に属する。斜面方位の分布は表9、斜面勾配の分布は表10の通りである。

表9 梅ノ木川の斜面方位

	北	東	南	西
割合(%)	37.4	22.1	35.2	7.2

表10 梅ノ木川の斜面勾配

	0~10度	10~20度	20~30度	30~40度
割合(%)	24.5	65	15.3	0

土地被覆は約96%が森林帯、都市域は0.2%である。流域内において崩壊地は1.3%、警戒区域は8.9%であり、この流域における崩壊地の約9%は警戒区域に含まれる。

この3流域における斜面方位毎と斜面勾配毎の警戒区域・森林帯の割合は表11・12の通りである。

表 11 斜面勾配毎の警戒区域・森林帯の割合

斜面勾配(度)	警戒区域の割合(%)	森林帯の割合(%)
0~10	6.5	95.5
10~20	5.5	98.4
20~30	3	99.6
30~40	1.3	99.8

表 12 斜面方位毎の警戒区域・森林帯の割合

斜面方位	警戒区域の割合(%)	森林帯の割合(%)
北	2.6	98.8
東	5.6	97.8
南	5.4	98.8
西	4.9	98.7

警戒区域において分布が多く見られる片岩・片麻岩は強い変成作用を受けて変成され、剥がれやすい面構造を持つ。実際の崩壊地において分布が多く見られる石灰質の岩石は生物起源の岩石で脆く崩れやすい。

4. 手法

産業技術総合研究所地質調査総合センターが発行する地質図幅「日比原」「伊野」の範囲において、20 万分の 1 日本シームレス地質図 V2 を産総研地質調査総合センターより、標高データを国土地理院基盤地図情報ダウンロードサービスより、土地被覆図のデータを JAXA が公開している高解像度土地利用土地被覆図の日本域 10m 解像度より、警戒区域のデータを国土交通省の国土数値情報土砂災害警戒区域データより収集した。複数年の大北川と朝谷川・吉原川・梅ノ木川流域の航空写真を国土地理院の地図・空中写真閲覧サービスより収集し、写真判読を行い、崩壊地の把握をした。流域によっては航空写真が入手できない年度があったが、各流域最低 8 年度分の航空写真により比較判読を行ない、崩壊地分布図を作成した。地理情報システム QGIS を使用して収集データと崩壊地分布図を画像処理によってデータの整理を行い、統計分析ソフト R を使用し統計分析を行なった。

5. 三波川帯における特徴分析

三波川帯の範囲において、警戒区域は 1.9%、森林帯は 99.3%、実際の崩壊地は 0.62%である。斜面方位毎の警戒区域・崩壊地

の割合は表 13 のようになっている。

表 13 三波川帯における斜面方位毎の警戒区域・崩壊地の割合

	北	東	南	西
警戒区域の割合(%)	1.2	3	2	1.2
崩壊地の割合(%)	0.15	0.64	1.1	0.28

5.1 三波川帯の警戒区域

5.1.1 分布の特徴

三波川帯において警戒区域は東向き斜面での分布が多い。警戒区域における斜面方位は北向き斜面が 18.4%、東向き斜面が 26.6%、南向き斜面が 45.1%、西向き斜面が 9.9%である。斜面勾配の分布は図 5 のようになっている。森林帯は 94.4%、実際の崩壊地は分布していない。

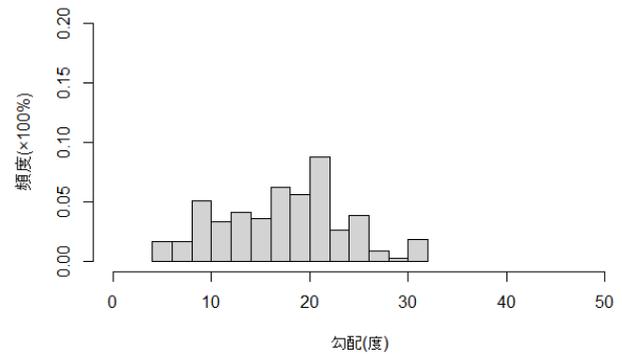


図 5 三波川帯における警戒区域の斜面勾配の分布

5.1.2 まとめ

斜面勾配が 11~14 度の範囲の分布が多く、斜面崩壊が発生しやすいと言われる 30 度以上の範囲の分布はかなり少ない。

5.2 三波川帯の崩壊地

5.2.1 分布の特徴

三波川帯において崩壊地は北向き斜面での分布が多く、南向き斜面での崩壊地の割合は低い。

崩壊地における斜面方位は北向き斜面が 6.6%、東向き斜面が 17%、南向き斜面が 70%、西向き斜面が 6.6%である。斜面勾配の分布は図 6 の通りである。森林帯は 98.4%分布する。

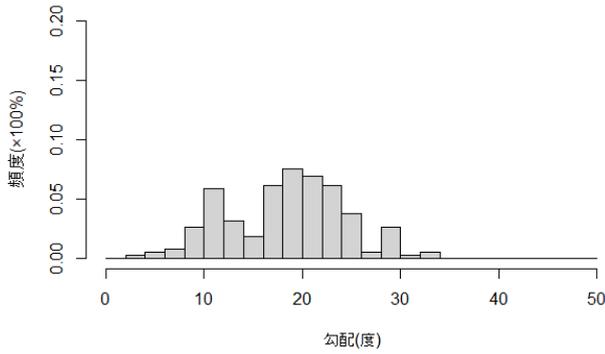


図6 三波川帯における崩壊地の斜面勾配の分布

5.2.2 まとめ

斜面勾配が19～22度の範囲の分布が多い。また崩壊地においても斜面崩壊が発生しやすいと言われる30度以上の範囲の分布はかなり少ない。

5.3 三波川帯における警戒区域・崩壊地のまとめ

警戒区域と実際の崩壊地で斜面勾配の分布が多い範囲は異なる。また実際の崩壊地は警戒区域の範囲に含まれておらず、三波川帯の崩壊が警戒区域の指定条件と合致していないことがわかる。

6. 秩父帯における特徴分析

秩父帯の範囲において、森林帯は97.5%、警戒区域は8.6%、実際の崩壊地は0.78%である。斜面方位毎の警戒区域・崩壊地の割合は表14のようになっている。

表14 秩父帯における斜面方位毎の警戒区域・崩壊地の割合

	北	東	南	西
警戒区域の割合(%)	4.3	8.9	11.3	12
崩壊地の割合(%)	0.83	0.74	1.02	0.1

6.1 秩父帯の警戒区域

6.1.1 分布の特徴

秩父帯において警戒区域に指定されている範囲は西・南向き斜面での分布が多い。

警戒区域における斜面方位は北向き斜面が15.9%、東向き斜面が21.5%、南向き斜面が46.4%、西向き斜面が16.2%である。斜面勾配の分布は図7のようになっている。森林帯は89.3%、実際の崩壊地は0.37%分布する。

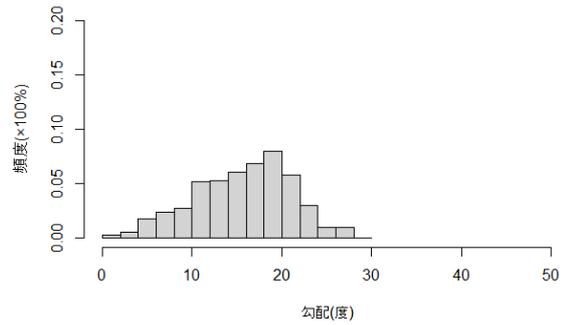


図7 秩父帯における警戒区域の斜面勾配の分布

6.1.2 まとめ

警戒区域の斜面勾配は10～20度がほとんどを占め、斜面勾配の増加による警戒区域の指定範囲の増加とは関係がないことが考えられる。

6.2 秩父帯の崩壊地

6.2.1 分布の特徴

秩父帯において崩壊地は南向き斜面と北向き斜面での分布が多く、西向き斜面での崩壊地の割合はかなり低い。

崩壊地における斜面方位は北向き斜面が33.6%、東向き斜面が19.5%、南向き斜面が45.6%、西向き斜面が1.3%である。斜面勾配の分布は図8のようになっている。森林帯は98%、警戒区域は4%分布する。

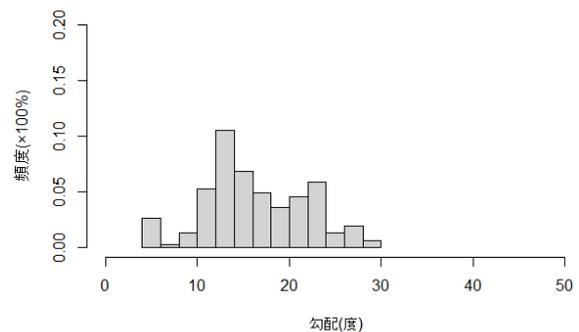


図8 秩父帯における崩壊地の斜面勾配の分布

6.2.2 まとめ

斜面勾配が13～16度の範囲の分布が多く、斜面崩壊が発生しやすいと言われる30度以上の範囲においては分布がない。

6.3 秩父帯における警戒区域・崩壊地のまとめ

警戒区域に比べ、実際の崩壊地は斜面勾配が大きい区域で発生したことが読み取れる。また実際の崩壊地において警戒区

域に含まれる範囲も狭く、秩父帯においても崩壊条件と警戒区域の指定条件が合致しているとは言えない。

7. 考察

7.1 地質構造帯毎の斜面方位と警戒区域・崩壊地の比較

3流域内における地質構造帯毎に、斜面方位と警戒区域の有無、斜面方位と崩壊地の有無から特徴を比較した。

三波川帯においては東向き斜面で警戒区域の分布が多いが、秩父帯においては西向き斜面での警戒区域の分布が多い。

三波川帯においては南向き斜面で崩壊地の分布が多く北・西向き斜面での崩壊の分布が少ない。秩父帯では南・北向き斜面で崩壊地の分布が多いが、西向き斜面での崩壊の分布はかなり少ない。2つの地質構造帯において南向き斜面の割合は大きく、崩壊地も南向き斜面において分布が多い。斜面方位毎に崩壊地の割合を見た際に、三波川帯における北向き斜面の割合に比べ実際の崩壊地は北向き斜面での分布がかなり少ないことから、三波川帯は北向き斜面での崩壊が少ないという特徴があると考えられる。

7.2 地質構造帯毎の斜面勾配と警戒区域・崩壊地の比較

3流域全てにおける地質構造帯毎で、斜面勾配と警戒区域の有無、斜面勾配と崩壊地の有無により特徴を比較した。

三波川帯・秩父帯共に警戒区域は10～20度の斜面勾配の頻度が高い。またその他の範囲の頻度にも大きな違いは見られなかった。崩壊地の分布においても、地質構造帯毎に斜面勾配の分布の特徴的な違いは見られなかった。

7.3 警戒区域と崩壊地の比較

三波川帯と秩父帯毎に、

- ・実際の崩壊地かつ警戒区域
- ・実際の崩壊地
- ・警戒区域
- ・どちらでもない

と、斜面方位・斜面勾配のクロス表を作成して対応分析を行い、結果をバイプロットから読み取った。

対応分析は2元分割表のデータを特徴別に分類するための手法であり、本研究においては三波川帯と秩父帯の特徴を捉

えるために行った。データの固有値を求め、各軸の寄与度について考察を行うことでデータの影響を把握し、地質構造帯の比較を行うため、行名と列名を同じ画面に配置したバイプロットを用いる。行数に当たる数字と列名の距離や原点からの距離・方向によって個体の特徴を読み取る。

三波川帯の崩壊地・警戒区域と斜面方位・斜面勾配の対応分析結果は図9の通りである。

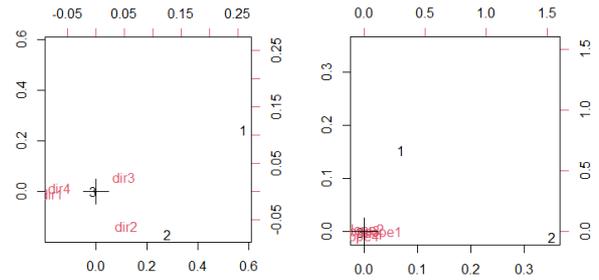


図9 三波川帯の崩壊地・警戒区域の有無と斜面方位・斜面勾配の対応分析の結果

- 崩壊地・警戒区域と斜面方位(左)
 1. 崩壊地 2. 警戒区域 3. どちらでもない
 dir1. 北向き dir2. 東向き dir3. 南向き dir4. 西向き
 崩壊地・警戒区域と斜面勾配(右)
 1. 崩壊地 2. 警戒区域 3. どちらでもない
 slope1. 0～10度 slope2. 10～20度
 slope3. 20～30度 slope4. 30～40度

秩父帯の崩壊地・警戒区域と斜面方位・斜面勾配の対応分析結果は図10の通りである。

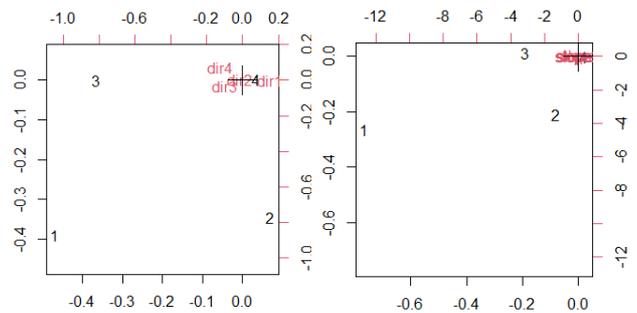


図10 秩父帯の崩壊地・警戒区域の有無と斜面方位・斜面勾配の対応分析の結果

- 崩壊地・警戒区域と斜面方位(左)
 1. 崩壊地 2. 警戒区域 3. 崩壊地 4. 警戒区域 4. どちらでもない
 dir1. 北向き dir2. 東向き dir3. 南向き dir4. 西向き
 崩壊地・警戒区域と斜面勾配(右)
 1. 崩壊地 2. 警戒区域 3. 警戒区域 4. どちらでもない
 slope1. 0～10度 slope2. 10～20度
 slope3. 20～30度 slope4. 30～40度

三波川帯の範囲では警戒区域に実際の崩壊地は含まれなかった。行名と列名の距離から斜面方位と実際の崩壊・警戒区域との関係はあまり見られない。原点からのベクトルの方向

から、崩壊地は南向き斜面、警戒区域は東向き斜面において分布が多いと考えられる。斜面勾配と実際の崩壊・警戒区域の関係は、行名は原点からばらつきが見られるが列名が原点近くに集まっており、実際の崩壊や警戒区域は斜面勾配の影響はほぼないと考えられる。

秩父帯の範囲において、行名と列名の距離から関係は見られないが、行名と列名の分布から、警戒区域に実際の崩壊地が含まれる範囲は南向き斜面での分布が多いことが考えられる。崩壊地は西向き斜面、警戒区域は北向き斜面における分布はかなり少ないと考えられる。斜面勾配との関係は、行名は原点からばらつきが見られるが列名が原点近くに集まっており、実際の崩壊や警戒区域の分布には斜面勾配の影響はほぼないと考えられる。

本研究の対象地域の3流域において、実際の崩壊地のうち警戒区域に指定されていた範囲は4.7%のみであった。また実際の崩壊の有無と警戒区域の有無の変数を用いたカイ2乗検定において2変数が独立ではないという仮説を棄却できなかったため、実際の崩壊地と警戒区域の指定状況に関係があると言えない。そのため、砂防指定地の指定条件と実際に崩壊した場所の特徴の相違について考察する必要がある。

7.4 まとめ

3流域全てにおいて、三波川帯・秩父帯共に10度刻みの斜面勾配毎の崩壊地の割合によると、斜面勾配の増加と崩壊の発生頻度には関係がないことがわかった。斜面崩壊の特徴として30度以上の勾配で発生頻度が高いとされるが、本研究の対象地においては三波川帯・秩父帯共に10~20度の勾配での崩壊の頻度が最も高かった。しかし本研究で使用したデータのセルサイズが大きく、セル内の急勾配を考慮できていない。そのため今後の課題としてより詳細なデータの活用が望まれる。また崩壊地と崩壊していない区域における森林帯の割合も目立った違いは見られず、土地被覆の違いが崩壊に与える影響は小さいと考えられる。

8. 結論

本研究では、斜面方位において地質構造帯の違いによる斜面崩壊特徴に違いが見られた。三波川帯は他方位に比べて南向き斜面で崩壊の発生が多く北向き斜面で崩壊はほぼ見られないのに対し、秩父帯では南向き斜面だけでなく北向き斜面においても崩壊の発生が多い。

またデータの整理・分析を行なった際、一辺が実際の20m以上に相当するピクセルが持つ数値を使用した。そのため、実際の崩壊が20m未満の規模であってもピクセルの大きさに合わせた規模の崩壊として分析を行なった。今後の課題としてより詳細な崩壊特性の抽出が望まれるため、実際の規模との乖離が少ないように分析を行う必要がある。さらに航空写真判読による崩壊地の抽出に関して、写真の解像度により崩壊が見落とされている可能性があるため、より鮮明な航空レーザの活用が求められる。

また本研究で使用した対応分析について、地質構造帯の特徴を捉えるために使用したが、3つ以上の項目を一度に分析できなかった。そのため、複数の質的変数を用いることができる分析方法をさらに検討する必要がある。

参考文献

- 青矢睦月・横山俊治(2009):日比原地域の地質、独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター、5万分の1地質図幅高知(13)52号
- 岡林直英、栃木省二、鈴木堯士、中村三郎、井上公夫(1978):高知県中央部の地形、地質条件と土砂災害との関係(1)(2)地すべり、第15巻、第2号3号
- 神原規也・佐藤丈晴・鈴木素之(2019):深層崩壊の誘因による分類と地形的素因の特徴、応用地質、第60巻第2号56-6
- 村田明広・前川寛和(2009):四国中央部、西石原地域における御荷鉾緑色岩類の地質構造、自然科学研究徳島大学総合科学部(査読論文)、第23巻3号73-81頁
- 脇田浩二・宮崎一博・和光誠一・横山俊治・中川昌治(2007):伊野地域の地質、独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター、5万分の1地質図幅高知(13)62号