

2002 年度修士論文

地理情報システム（GIS）による地すべり危険箇所の特徴抽出

The characteristics of landslide danger area using GIS

2003 年 1 月

指導教員 高木 方隆

高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻

社会システム工学コース 1055129

浅野裕史

論文要旨

四国地方は山地や段丘・丘陵が多いという地形条件のもと降雨や降雪・地震等の誘因によって土砂災害(地すべり)が起こっている。地すべりの発生に関し、素因となるものは、地形、地質・土質、土地利用・土地被覆、水系である。また地すべり発生の誘因となるものは、水収支(地下水、河川、雨量)である。地すべりの発生は数多くの素因・誘因により発生するため、地すべり危険箇所の予測・抽出は、非常に困難である。しかし、地すべりは、社会環境において、安全性・経済性に大きな影響を与えるため、地すべり危険箇所の抽出が求められている。

地すべりに関する研究の多くは、地形や地質といったテーマごとによる解析であることがほとんどである。そこで地理情報システム(GIS)を用い、様々な空間情報(地形、地質・土質、土地利用・土地被覆、水系、etc)を統合し、総合的な解析をすることが必要である。

一方、地すべり危険性の評価として斜面安定解析が多く用いられる。斜面安定解析は、一般的に解析が複雑なため、危険な可能性のある場所に限定して行なわれてきた。しかし地すべりの特徴把握では、広範囲での研究が必要とされる。近年、コンピュータの処理能力が向上し、広域を対象とした斜面安定解析も十分可能となってきている。

本研究により次の結果が得られた。地すべり防止区域と地質の関係では、三波川変成帯が、大部分をしめており、次いで、秩父累帯、和泉層群であった。また地形と地すべり防止区域との関係では、急傾斜の割合が全体の約9割、凹地形が全体の約7割をしめていた。また河川との関係では、非常に河川の近くで地すべり防止区域が多く存在していた。

地すべり防止区域と斜面安定解析の関係では、実際に地すべりが起こっている地すべり防止区域と地すべりが起こっていない仮想区域を設け、地すべりの特徴を比較検討した。この研究では、多くの地すべり防止区域が斜面安定解析による安全率が示す安全な場所に存在していた。つまり地すべりの正確な特徴の抽出にはいたらなかった。そこで今後、土の内部構造や地下水を考慮し、より詳細な研究が求められる。

The characteristics of landslide danger area using GIS

1055129 Hiroshi ASANO

Abstract

Shikoku district has the topography condition that a mountains area and a terrace and hill are abundant. Occurrence factors of the landslide are topography, the geology, the soil mechanics, land use, land cover, and a basin. Inducement of landslide occurrence are subterranean water, river, and rainfall. The occurrences of the landslide are from a lot of factor and causes. The prediction of the landslide area and the extraction are very difficult. Landslides affect a big influence in the society environment.

Therefore, it is necessary to extraction of the dangerous are of landslide.

Most of the researches on the landslide were discussed in each factor such as geology, topography or soil mechanics. So various factor must be used for evaluation of landslide area. Geographic information system (GIS) is very efficient to evaluate using various factors. In this study, feature extraction of landslide area was carried out using GIS. The Slope stability analysis can be applied in whole test area. Finally landslide risk map was tried to generate. According to improvement of performance of computers, it became possible to apply to any section which is wide area analysis. For example, slope stability analysis can be carried out in GIS. Slope stability analyses were usually used in each section of landslide area.

By using GIS, Result showed most of landslides were located on "Sanbagawa " quartz shist area. According to topography classification, most of landslide occurred on steep inclination and concave area. And landslide distributed very close to river.

A slope stability analysis is done to understand risk of landslide. To evaluate the analysis, actual land slide area were compared with imagination zone which set up by random function regardless with landslide. In the result of this study, many landslides area existed on the safety area. It didn't reach accurate understanding of characteristics of the landslide. The underground structure and the characteristic of the soil must be added, to improve these results..

Keywords: Slope stability analysis, landslide danger area, topography, the geology

目次

1 . 序論	1
1.1 背景	1
1.2 目的	2
1.3 本論文の構成	2
2 . 地すべり危険箇所の特徴抽出手法	3
2.1 地すべりの特徴抽出に用いた様々な空間情報	3
2.2 地すべり・地すべり防止区域・仮想区域の定義	4
2.3 地すべり防止区域を用いる理由	4
2.3 地すべり特徴抽出手法	7
3 . 地すべり防止区域の分布	8
3.1 地すべりと地質	8
3.2 地すべりと土地利用の関係	11
3.3 地すべりと水系	13
3.4 地すべりと地形	14
3.4.1 地形分類方法	14
3.4.1 地形分類と地すべり防止区域・仮想区域	16
4 . 斜面安定解析と地すべり防止区域	18
4.1 斜面安定解析方法	18
4.2 地すべり防止区域と安全率	20
4.3 安定率変化による地すべり特徴抽出	22
5 . 結論	25
6.参考文献	26
7 . 謝辞	28
8 . 付録	29
8.1 空間分解能と地形分類	29
8.1.1 目的	29
8.1.2 使用データ	32
8.1.3 地形分類方法	32
8.1.4 解析結果	33
8.1.5 空間分解能と地形分類結果	35
8.1.6 自己相関と地形との関係	35
8.1.7 考察	38

図目次

図 1 . 地すべり	3
図 2 . 地すべり防止区域.....	5
図 3 . 地すべり防止区域（拡大）.....	6
図 4 . 仮想区域.....	6
図 5 . 解析例 1（地質）.....	7
図 6 . 解析例 2（地質）.....	7
図 7 . 四国の地質図.....	9
図 8 . 地すべり防止区域の地質の割合.....	9
図 9 . 土地利用図.....	11
図 10 . 土地利用における人工 非人工.....	12
図 11 . 地すべり防止区域の土地利用の割合.....	12
図 12 . 河川図.....	13
図 13 . 河川と地すべりの関係.....	13
図 14 . 地形分類図.....	14
図 15 . 12 分類図.....	15
図 16 . 地形分類における地すべり防止区域数の割合.....	16
図 17 . 地質と地形分類の関係（地すべり防止区域・仮想区域）.....	17
図 18 . 計算の流れ図.....	18
図 19 . 想定した地すべりの断面.....	19
図 20 . 3×3 の局所領域の斜面安定解析.....	20
図 21 . 各区域の安全率が示す安全・危険の割合.....	20
図 22 . 3×3 の局所領域の斜面安定解析.....	22
図 23 . 7×7 の局所領域の斜面安定解析.....	22
図 24 . 地すべり規模の違いによる安全率低下図.....	22
図 25 . 安全率の変化率と地質の関係（仮想区域）.....	23
図 26 . 安全率の差と地形の関係.....	24
付録	
図 27 . 地形分類と色の関係.....	29
図 28 . 吉野川流域.....	29
図 29 . 讃岐平野.....	30
図 30 . 四万十川流域.....	30
図 31 . 四国山地.....	31
図 32 . 対象範囲.....	32
図 33 . 空間分解能と地形分類結果の関係（吉野川・讃岐平野）.....	33

図 34 . 空間分解能と地形分類結果の関係 (四国山地・四万十川流域)	34
図 35 . 吉野川流域	35
図 36 . 讃岐平野	36
図 37 . 四国山地	36
図 38 . 四万十川流域.....	37
図 35 - 38 自己相関と地形の関係.....	37

表目次

表 1 . 使用データ整備状況.....	3
表 2 . 分類表.....	15
表 3 . 地質帯とせん断力の関係.....	19
表 4 . 対象範囲と対象面積.....	32

1. 序論

1.1 背景

地すべりは、斜面を構成する物質が、すべり面を境界としてすべる現象である。四国地方は、山地や段丘・丘陵が多いという地形条件のもと降雨や降雪・地震等の誘因によって土砂災害（地すべり）が起きている。一般的な地すべりは、一日平均 0.01 ミリから 10 ミリ程度動くと言われている。四国における、国土交通省・農林水産省が指定する地すべり防止区域は、1200 箇所以上も存在している。それらは今も何らかの活動をしていると考えられる。地すべりの発生に関し、素因となるものは、地形、地質・土質、土地利用・土地被覆、水系である。また地すべり発生の誘因となるものは、水収支（地下水、河川、雨量）である。このように、地すべりの発生は数多くの素因・誘因により発生するため、地すべり危険箇所の予測・抽出は、非常に困難である。しかし、地すべりは、社会環境において、安全性・経済性に大きな影響を与えるため、地すべり危険箇所の抽出は重要な課題となっている。

現在、地すべりの研究は、大きく二つに分けることが出来る。特定の地すべりについて地質や土質・地下水や雨量といった様々な素因・誘因を調査し、その地すべりの特徴を抽出する研究と、多くの地すべりについて、地すべり発生の素因を主として研究を行い、地すべりの特徴を抽出するものがある。多くの地すべりから特徴を抽出する研究は、地すべりの危険度マップ作成に重要な研究であるが研究事例は少ない。

森脇らによる「5 万分の 1 地すべり地形分布図を用いた地すべり地形解析」¹⁾によると、地すべりは地すべり発生数および移動方向が地質構造に影響を受けていると述べており、地質ごとの地すべりの発生密度で表し、設けた対象地域ごとで、地すべりの移動方向別の移動量を解析している。しかし、設けた対象区域は、東日本全域に対して 3 箇所であること、また対象地域が、数キロ×数キロの狭い対象地域である。問題点として、他の対象地域、また広い対象範囲で、この地形解析は可能か疑問である。

地質・土質を見ると、特定の地質において、地すべりが多く発生している。四国の地質と地すべりの研究を行なった矢田部氏らによる「四国の地すべりの一般特性」(2000)²⁾によると、地すべりは三波川帯から秩父帯にかけての変成岩類が分布している地域で多く起きている。なお、中央構造線の北側に位置する白亜紀の堆積岩である和泉層群でも層面すべり的な地すべりが発生している。地すべり危険箇所の抽出には、地質の研究だけではなく、地すべり発生の素因との関連性を解明する必要がある。

そこで地理情報システム (GIS) を用い、様々な空間情報 (地形、地質・土質、土地利用・土地被覆、水系、etc) を統合し、総合的な解析をすることが必要である。地理情報システム (GIS) は、特定場所の属性検索・条件検索・時系分析・空間分析・モデル分析³⁾ という特徴を持ち、地すべりの特徴把握に大きな力を持つ。

一方，地すべり危険性の評価として斜面安定解析が多く用いられる．斜面安定解析は，一般的に解析が複雑なため，危険な可能性のある場所に限定して行なわれてきた．しかし地すべりの特徴把握では，広範囲での研究が必要とされる．近年，コンピュータの処理能力が向上し，広域を対象とした斜面安定解析も十分可能となってきた．

50m メッシュ標高データ (Digital Elevation Model) は，安価で容易に入手可能であること，また全国をカバーしていること，さらに地理情報システム (GIS) との連携も可能という大きな強みがある．そこで 50m メッシュ標高データを用いた斜面安定解析が可能である．さらに斜面安定解析を，各種解析結果へ統合させ，地理情報システム (GIS) へ取り込み地すべりの発生予測・抽出のための地すべり特徴の抽出を試みる事が求められている．

1.2 目的

本研究では，空間情報 (地質・地形・土地利用・河川・土地被覆・etc) を用いて，四国における地すべり危険箇所の特徴を抽出する．そして各種解析結果を地理情報システム (GIS) を用いて，総合的考察を行なう．

今回，地すべり発生箇所の位置データとして地すべり防止区域を用いる．地すべりと関係なく四国全域にランダムに散りばめた仮想区域データ作成し，地すべり防止区域との比較を行なう．また四国全域に斜面安定解析を適用し，地すべり危険箇所の特徴を抽出する．

現在の斜面安定解析は，解析が複雑なため，四国全域という広域での解析は行なわれていない．そこで本研究では，四国全域の斜面安定解析を試みる．今回，空間分解能 50m メッシュ標高データそして，空間分解能 250m の四国の地質データを用い解析を行うが，このデータが斜面安定解析に適用しうるか否か評価する必要がある．

1.3 本論文の構成

第 2 章では，地すべり・地すべり防止区域・仮想区域の定義．第 3 章では，様々な空間情報 (地質・地形・土地利用・水系) と地すべり防止区域の関係．第 4 章では，地すべり防止区域と斜面安定解析の検討．第 3 章と第 4 章により地すべりの特徴を抽出する．その上で第 5 章では，本研究の結論を述べ，本論文をまとめる．

2. 地すべり危険箇所の特徴抽出手法

2.1 地すべりの特徴抽出に用いた様々な空間情報

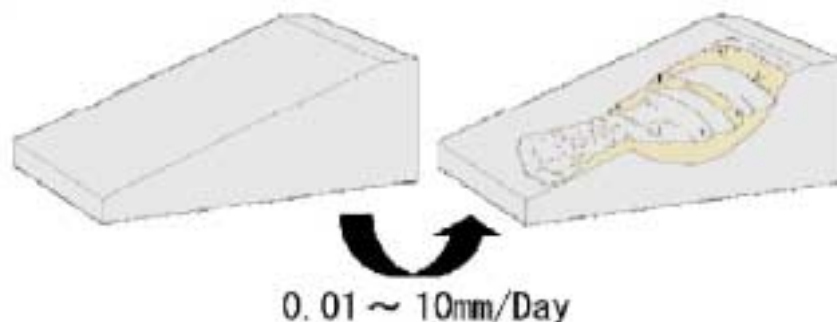


図1. 地すべり

地すべりの研究において用いられる、空間情報は様々ある。例えば、地形、地質・土質、土地利用・土地被覆、水系である。また、水収支（地下水、河川、雨量）がある。地すべりの評価として、斜面安定解析を多く取り入れている。これら多くの研究項目は、社会環境的に、安全性や経済性に大きく影響を及ぼす地すべりや土砂災害に対してのみ、テーマごとに解析・研究が行なわれてきた。しかしこのようなテーマごとの解析・研究では、地すべりの定量把握および評価が非常に難しい。そこで、一つの地すべり箇所という狭い範囲での研究ではなく、広域（多数の地すべり箇所）での危険箇所の特徴抽出が必要である。

表1. 使用データ整備状況

データ	データ整備主体
地すべり防止区域	四国地方建設局1/200000地図
地質	工業技術院地質調査所CD-ROMによる(日本列島の地質)250mメッシュ
標高	国土交通省 国土地理院 四国地方の数値地図 50mメッシュ
土地利用	国土交通省 国土地理院 国土数値情報 100mメッシュ
水系	国土交通省 国土地理院 1/50000地図より取得
地形	標高データより作成 50mメッシュ

2.2 地すべり・地すべり防止区域・仮想区域の定義

地すべり

地すべりとは、斜面を構成する地山の内部において、力学的なバランスが何らかの原因によって破壊され、地中に発生した、破壊面を境としてそれよりも上側に存在する斜面構成物質が、重力の作用により連続的または、間欠的に比較的緩慢な速度で、移動する現象である。地すべり地においては、地表に亀裂や段差・隆起や陥没・崩壊などの変状が発生する。これがその場所を利用している人間の生活や各種の構造物に対して重大な脅威と損害をもたらす。地すべりによる災害を未然に防ぎ、あるいは、災害を最小限にいとめるためには、地すべりの挙動を正確かつ迅速に把握して適切な対策を講ずることが必要である⁵⁾。

地すべり防止区域・仮想区域

地すべり防止区域とは、現に地すべりしているかまたは、恐れの大い区域とこれに隣接する土地の地すべりを誘発助長する恐れのある区域のうち、公共の利害に密接に関連を有するものを主務大臣（国土交通・農水）が指定したものをいう⁷⁾。

地すべり防止区域の指定は、農林水産省（農村振興局及び林野庁）と国土交通省（河川局）が分担して行っている。

国土交通省河川局（砂防部砂防計画課）:

砂防指定地に関係する地域及び他省庁の所管に属さない地域

農林水産省農村振興局（計画部資源課）:

土地改良事業が実施されているか計画されている地域

林野庁（森林整備部治山課）:

保安林又は保安施設地区に関係する地域

2.3 地すべり防止区域を用いる理由

地すべり防止区域は、国土交通省・農林水産省・林野庁と行政により指定される。指定される地すべり防止区域は、住民に被害を与えているか、被害を与える可能性が高い地域としている。したがって、地すべり防止区域は、自然界におけるすべての地すべりが含まれている訳ではない。一部の地すべり研究者は、独自で地形や傾斜を見て、地すべり発生の可能性がある場所を判読し、地すべりの研究を行なっている。しかし、判読した地すべりは、現在実際に地すべりが活動しているか定かではない。それに対して、行政が指定し

ている地すべり防止区域は，すべてを網羅していないものの，実際に地すべりが活動している場所であり確かなデータである．本研究では，地すべり防止区域を用いて地すべりの特徴を把握した．最終的にこの研究を展開すれば，地すべり危険地域の特定が可能となるであろう．

表 2 は，本研究で用いたデータの整備状況である．地すべり防止区域データは，元建設省（現国土交通省）や農林水産省・林野庁といった各機関によって管理されている．そこで四国地方建設局 1/200000 地図よりポリゴンデータを取得した．

地すべり防止区域 位置図

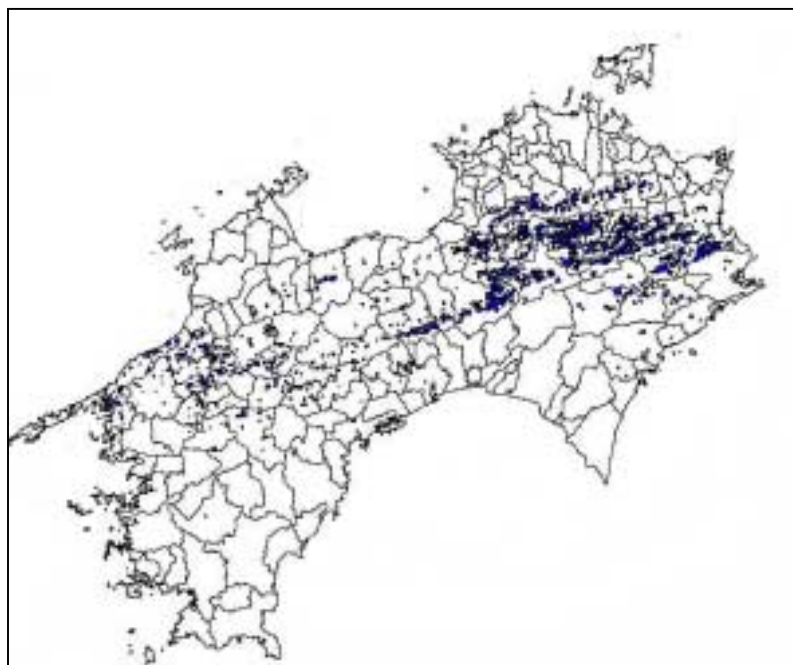


図 2 . 地すべり防止区域

地すべり防止区域

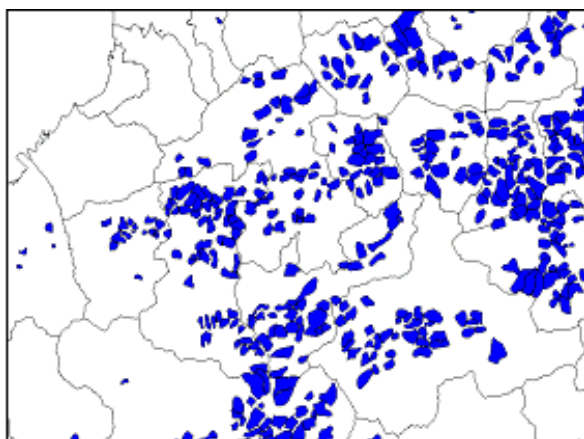


図 3 . 地すべり防止区域
(四国地方の徳島県側，北東部)

地すべりの位置データとして，地すべり防止区域（ポリゴン）データを用いた（図 2）.

地すべり防止区域データは，四国地方建設局 1/200000 地図より取得 .

地すべり防止区域データは，元建設省（現国土交通省）や農林水産省・林野庁といった各機関によって管理されている . 地すべり防止区域全体を使った解析を行なうには，各機関のデータの統合を行なう必要があった .

地すべりの位置データとして，地すべり防止区域（ポリゴン）データを用いた（図 2）. 地すべり防止区域データは，四国地方建設局 1/200000 地図より取得 .

仮想区域

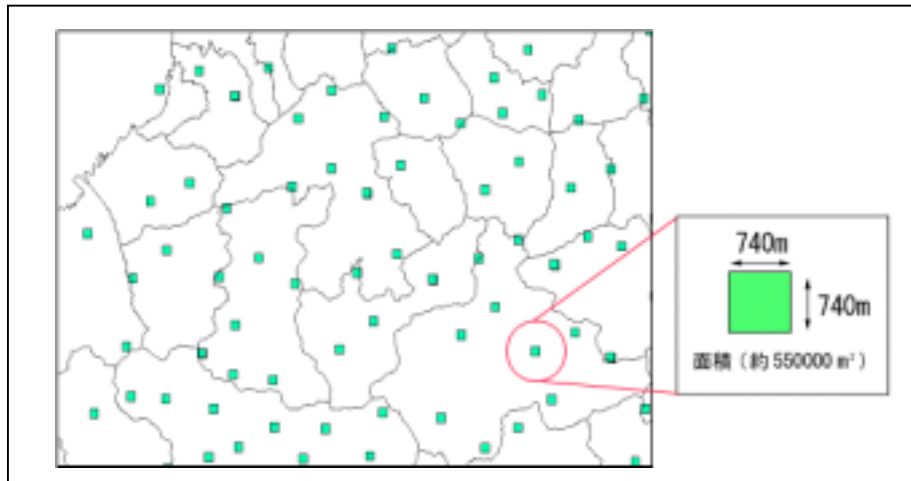
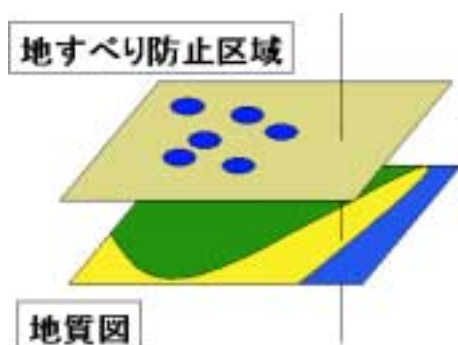


図 4 . 仮想区域

図 3 は仮想区域を示している . 地すべりと関係なく四国全域にランダムに散りばめた区域データを仮想区域と呼び，作成した（図 3）. 仮想区域の面積は，地すべり防止区域の平均面積，約 550000 m²（740m x 740m）とした . また仮想区域のデータ数は，地すべり防止区域とほぼ同数の 1250 個（ポリゴン）とした .

2.3 地すべり特徴抽出手法



地理情報システム (GIS) により地すべり防止区域と地質図を重ね合わせる。そのとき、地すべり防止区域と重なり合う地質の面積を求め、各地質の割合をもって発生度合いとする。また一つの地すべり防止区域で最も多くの割合を示す地質代表値とし、地すべり防止区域の数を持って集計を行なう。この 2 つの方法を用いて地すべり危険箇所の特徴を抽出する。

面積による統計

地すべりと地質・土地利用・水系の関係を解析では、地すべり防止区域が占める地質の面積を用いて解析を行った。

この場合地すべり防止区域が 2 つ以上の地質にまたがって存在している場合、図 4 で示すように、地すべり防止区域は、図中央の地質の境界線を境として三波川変成帯と秩父累帯の 2 つの地質を持つこととなる。そして、それぞれの地質の占める面積を求め計算を行った。

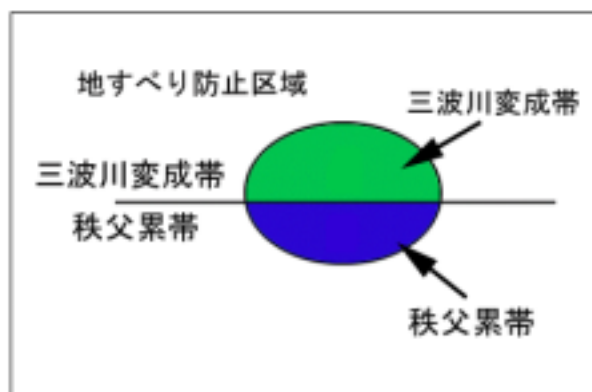


図 5 . 解析例 1 (地質)

代表値による統計

地すべりと地形分類図・斜面安定解析の関係を解析では、地すべり防止区域が占める箇所数を用いて解析を行った。

この場合地すべり防止区域が 2 つ以上の地質にまたがって存在している場合、図 5 で示すように、地すべり防止区域は、面積の多い三波川変成帯をこの地すべり防止区域の代表とする。その上で、地質ごとに存在する地すべり防止区域の数を求める。

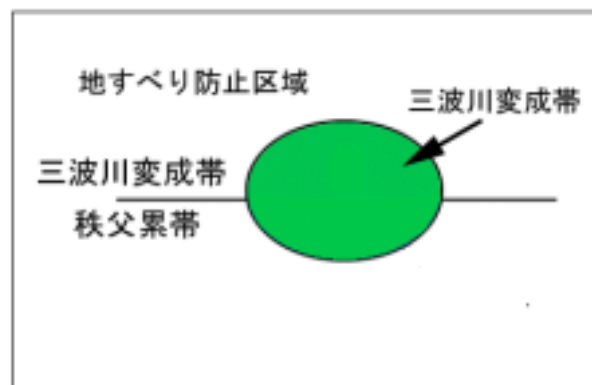


図 6 . 解析例 2 (地質)

3. 地すべり防止区域の分布

地すべりの発生には地質・土地利用・地形・水収支が深く関係している。各テーマで、地すべり防止区域との関係を把握する。

3.1 地すべりと地質

四国地方における代表的な地質

- ・ **三波川変成帯**

四国地方の三波川変成帯は、西は、愛媛県西端の佐田岬半島から東は、徳島市まで東西延長 250 km あまりにわたり分布。分布幅は、四国中央部で最も広く約 30 km ある。¹⁴⁾

- ・ **秩父累帯**

四国地方の秩父累帯は、東西に伸びる帯状をなして、徳島県小松市・阿南市周辺 高知県高知市周辺 愛媛県西宇和三瓶町・明浜町にかけて分布。南北幅は、最大 24 km、最小 9 km であり、東西に 220 km にわたる。¹⁴⁾

- ・ **和泉層群**

四国地方の北縁にそって東西にとおる中央構造線から北側の地帯は、西南日本帯の領家帯である。この領家帯の南縁部に和泉層群が分布。¹⁴⁾

- ・ **四万十帯**

四国のほぼ中央部を東西にはしる仏像構造線の南側の地帯である。四国の四万十帯は、四国西縁部の宇和海沿岸をのぞき、大きく北側の四万十帯北帯と南側の四万十帯南帯に区分される。¹⁴⁾

地質と地すべり防止区域の関係

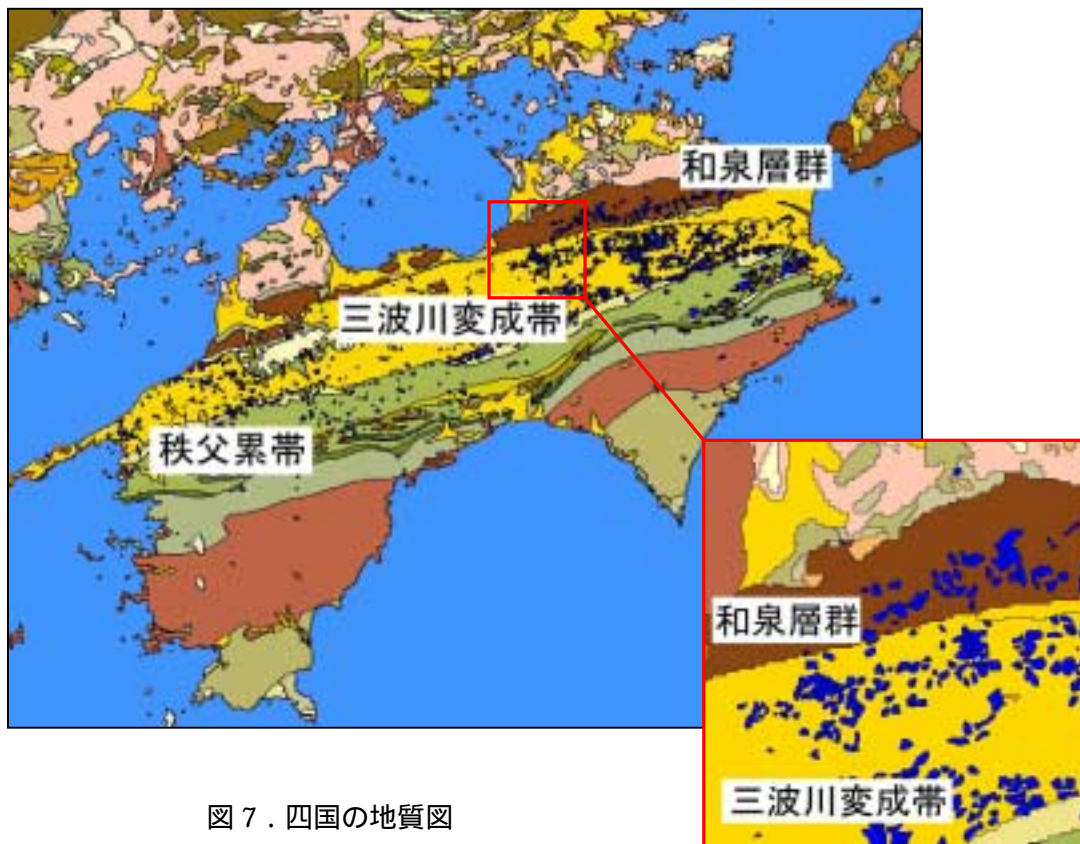


図7. 四国の地質図

地すべり防止区域内で占める割合（面積）

- | | |
|-----------------|------------------|
| 1・三波川変成帯・・・58% | 5・完新統・・・・・・2% |
| 2・秩父累帯・・・・・・22% | 6・御荷鉾緑色岩類・・・1%未滿 |
| 3・和泉層群・・・・・・10% | 7・その他・・・・・・5% |
| 4・四万十変成帯・・・・3% | |

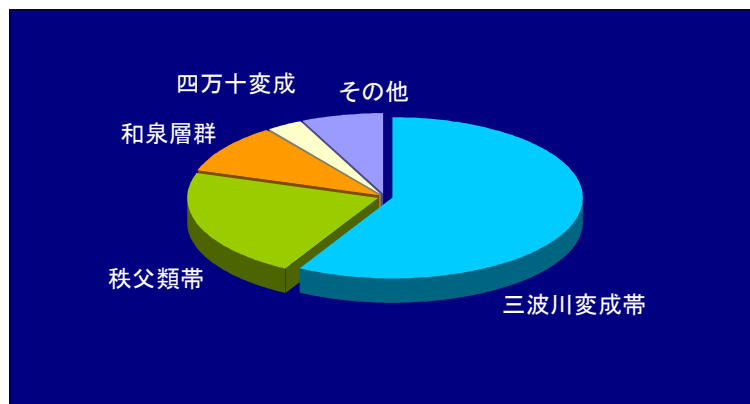


図8. 地すべり防止区域の地質の割合

地すべりが、三波川変成帯で、最も多く発生しており、次いで秩父累帯、和泉層群となっている。この3つの地質帯が占める割合は、全体の9割に達している。

三波川変成帯・秩父累帯・和泉層群は、四国の中心部を東西にかけて分布している。つまり中央構造線に沿った形で、地すべりが多く発生していることを意味している。つまりそこに位置する徳島県・愛媛県の地すべりの発生は、今後も増え続ける傾向があると考えられる。

注目する点として、地すべり防止区域は、和泉層群において、徳島県では非常に多いものが、愛媛県側では、ほとんどない。これは、地形の影響を大きく受けていると考えられる。

3.2 地すべりと土地利用の関係

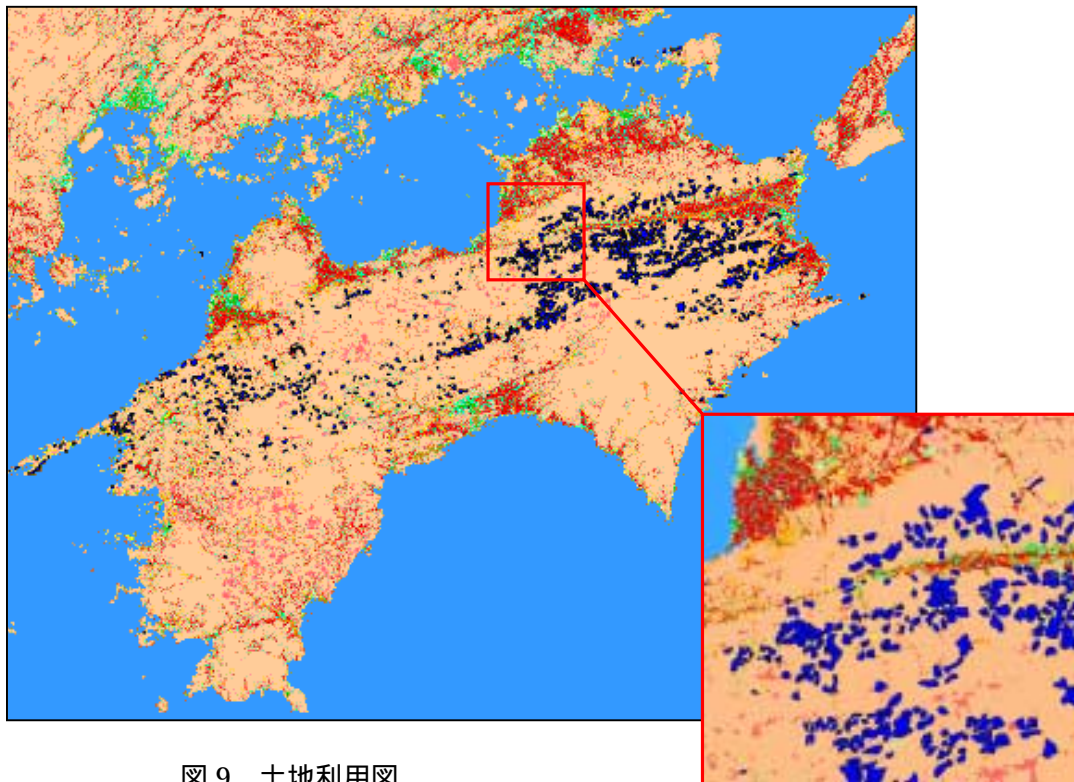


図 9 . 土地利用図

土地利用の項目として、次の 13 項目が挙げられる。

- ・ 田 湿田，乾田，沼田，蓮田及び田をいい季節により畑作物を栽培するものを含む。
- ・ 畑 麦，陸稻，野菜等を栽培する土地をいい，牧草を栽培する草地，芝地を含む。
- ・ 果樹園 りんご，梨，桃，ブドウ等の果樹を栽培する土地。
- ・ その他樹木 桐，はぜ，こうぞ，しゅろ等を栽培する土地及び苗木
- ・ 森林 広葉樹林・針葉樹林・竹林・しゅろ科樹林・はい松地
- ・ 荒地 しの地・荒地・がけ・岩・万年雪・湿地・採鉱地を含む。
- ・ 建物 住宅，市街地等で建物が密集していて個々の区別が付きにくい場所，これを総描して表示したもの。等
- ・ 交通用地 鉄道・道路
- ・ その他用地 空き地 その他
- ・ 川 河川敷，および，地形図にある河川敷。河川敷内の人工利用地
- ・ 海浜 海岸に接する砂，れき，岩の区域
- ・ 海水域 隠顕岩，干潟，水面利用，シーバースも含む。²⁵⁾



図 10 . 土地利用における人工 非人工

土地利用と地すべり防止区域の関係

地すべり防止区域内で占める割合（面積）

- | | |
|------------|------------|
| 1・森林・・・70% | 4・果樹園・・・6% |
| 2・畑・・・12% | 5・その他・・・5% |
| 3・水田・・・7% | |

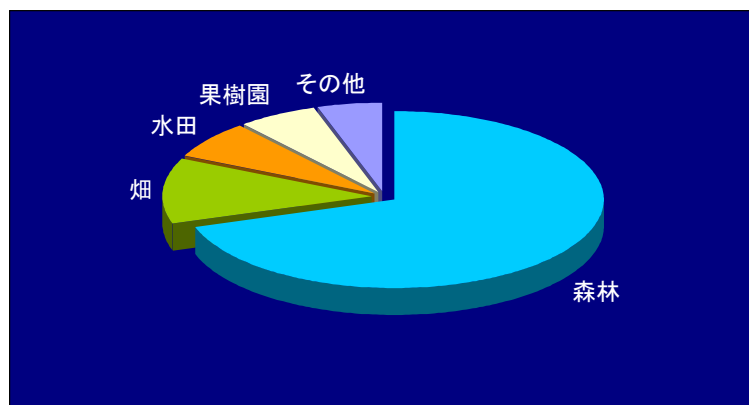


図 11 . 地すべり防止区域の土地利用の割合

地すべりが起こっている個所は、森林が最も多い。次いで、畑、水田、果樹園である。注目する点として、森林に次いで、占めている項目が、畑・水田・果樹園である。つまり人工的な土地利用であることがいえる。水田、畑など水を多く使う土地利用では、地すべりに水が大きな影響を与えることから、地すべりに何らかの影響を与えると考えられる。

3.3 地すべりと水系

四国地方は、代表的な石鎚山から流れ出す大量の水が谷をつたい、そして海へと流れ出ている。その水脈は、複雑であり、緻密に張り巡らされている。

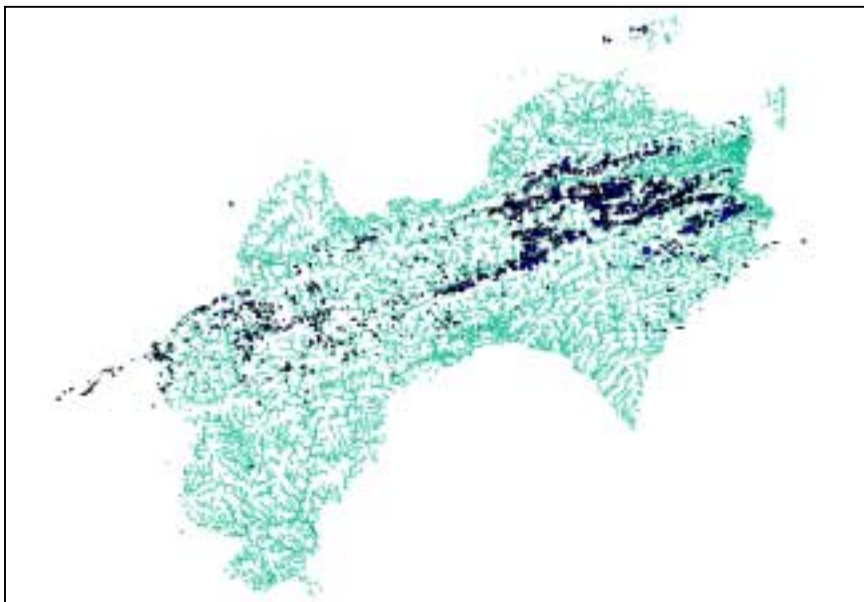


図 12 . 河川図

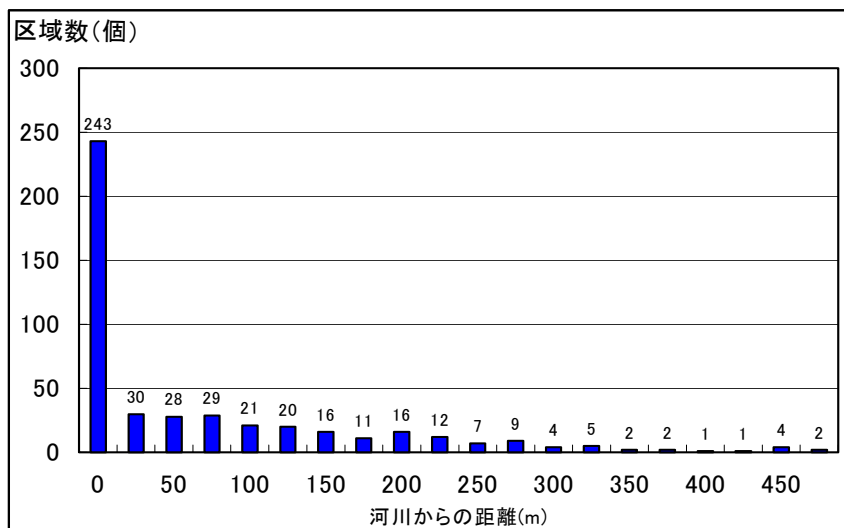


図 13 . 河川と地すべりの関係

地すべりは、河川から 25m以内で地すべり防止区域の約半数が存在している。地すべりと河川の関係を表付ける大きな結果となった。また地すべりは、河川から遠くなるに従って、地すべり防止区域の数も減少する傾向にあった。

3.4 地すべりと地形

3.4.1 地形分類方法

「標高データを用いた画像処理手法による地形分類」 岩橋純子 神谷泉(1995)
を参考に従った⁶⁾。

傾斜の分類

傾斜の分類では、緩やかな傾斜と急な傾斜に分類した。四国地方における平均傾斜を閾値として、平均以上であれば急傾斜地形とし、平均傾斜未満であれば、緩傾斜地形とした。

凹凸の分類

凹凸は3×3画素の局所領域においてLaplacian filterを施し、傾斜量の変換点を抽出した。Laplacian filterによって正の値になる画素を凸地形、負の値になる画素を凹地形とした。

尾根・谷・平地の分類

Median filterは、尾根・谷などの鋭いエッジの角が丸まって出力される。出力画像から原画像を引くと尾根は、正の値に、谷は負の値に、そして平地は0として表現される。

傾斜の分類と凹凸の分類については、微地形のノイズを多く含むため、さらに直径21画素の円形の一様重み線形フィルタ処理を行った。作成された3つの分類画像をオーバーレイすることにより地形は、12カテゴリーに分類することができる。

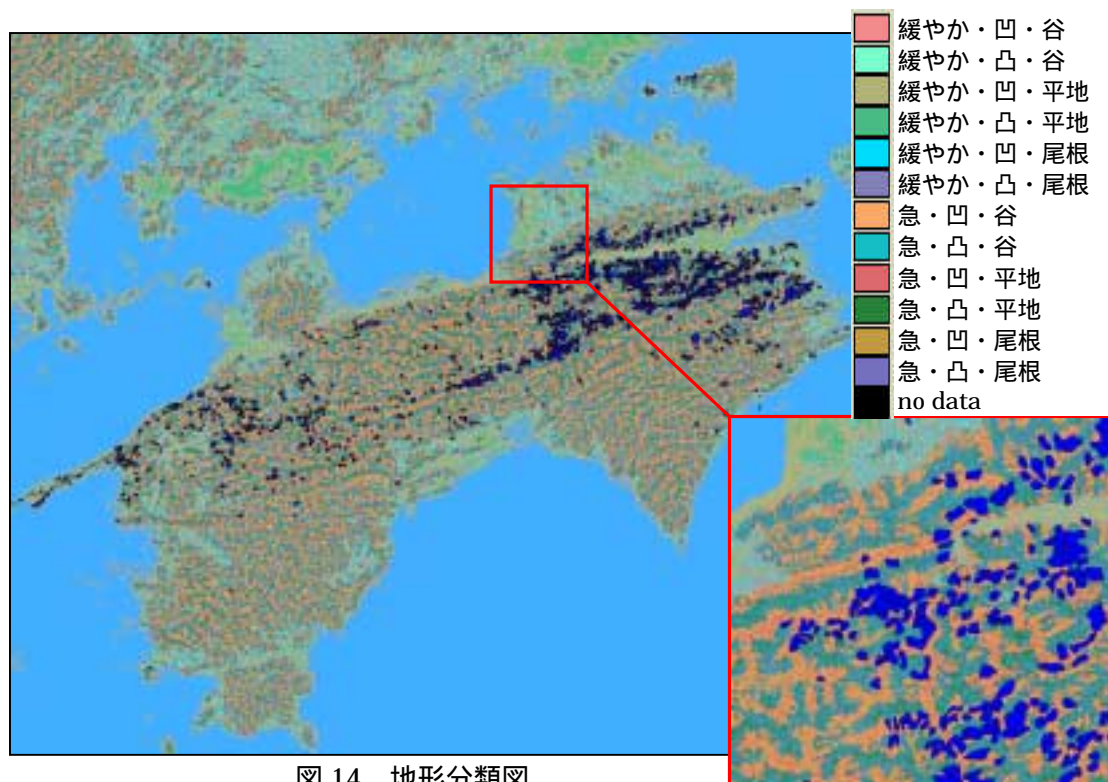


図 14 . 地形分類図

四国地方の地形を 12 個のカテゴリーに分類し、地すべり防止区域との関係から地すべりの特徴を見出す。

地形の分類は

- ・ 急傾斜 緩傾斜の分類
- ・ 凹地形 凸地形の分類
- ・ 尾根地形 谷地形 平地地形の分類

これら 3 つの分類図をオーバーレイすることによって 12 個のカテゴリーに分類することが出来る。12 カテゴリーは以下の通りである。

表 2 . 分類表

急・凹・尾根
急・凸・尾根
急・凹・谷
急・凸・谷
急・凹・平地
急・凸・平地
緩・凹・尾根
緩・凸・尾根
緩・凹・谷
緩・凸・谷
緩・凹・平地
緩・凸・平地

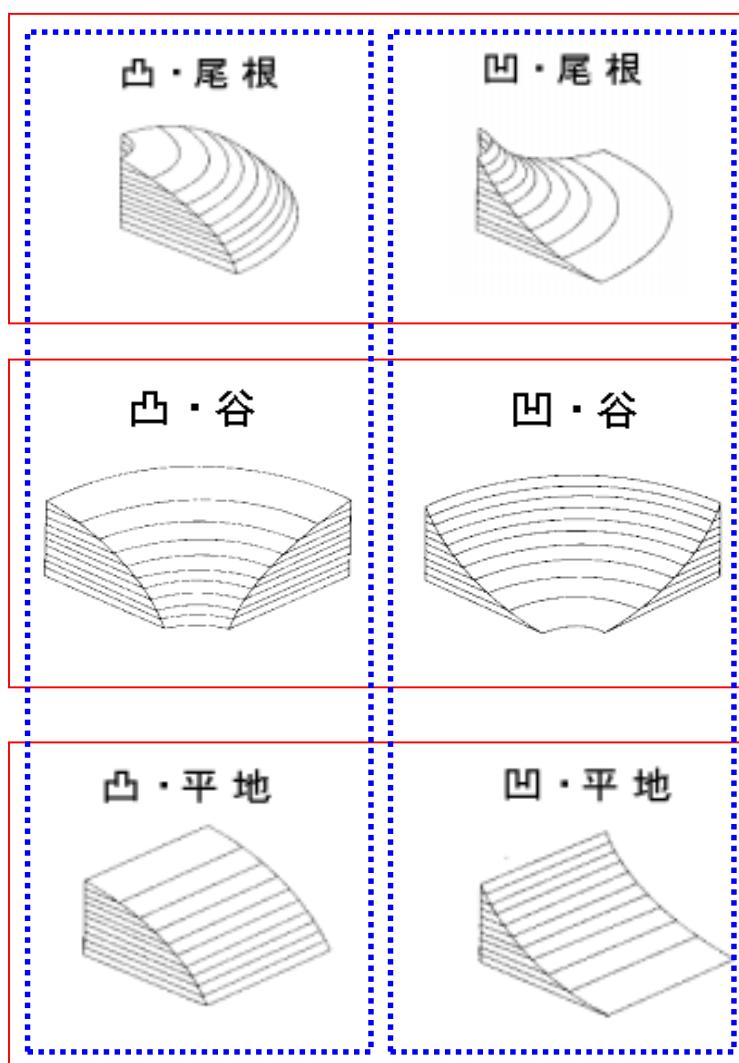


図 15 . 12 分類図

3.4.1 地形分類と地すべり防止区域・仮想区域

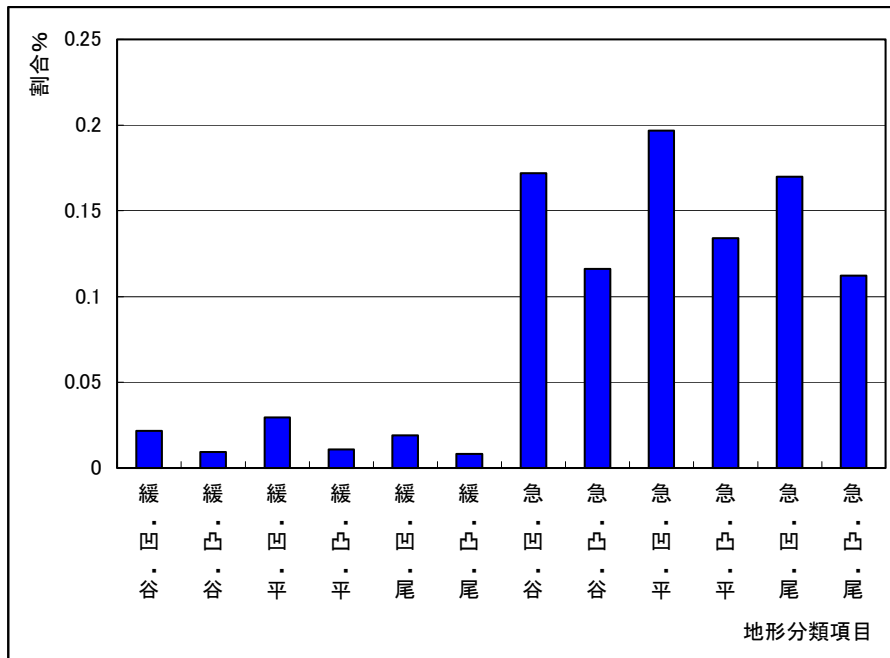


図 16 . 地形分類における地すべり防止区域数の割合

図 16 は、地すべり防止区域における各地形項目の占める割合を示したもので、急傾斜が全体のほとんどを占めていることがわかる。また凹地形・凸地形共に存在し、尾根・谷・平地地形も存在していることがわかる。

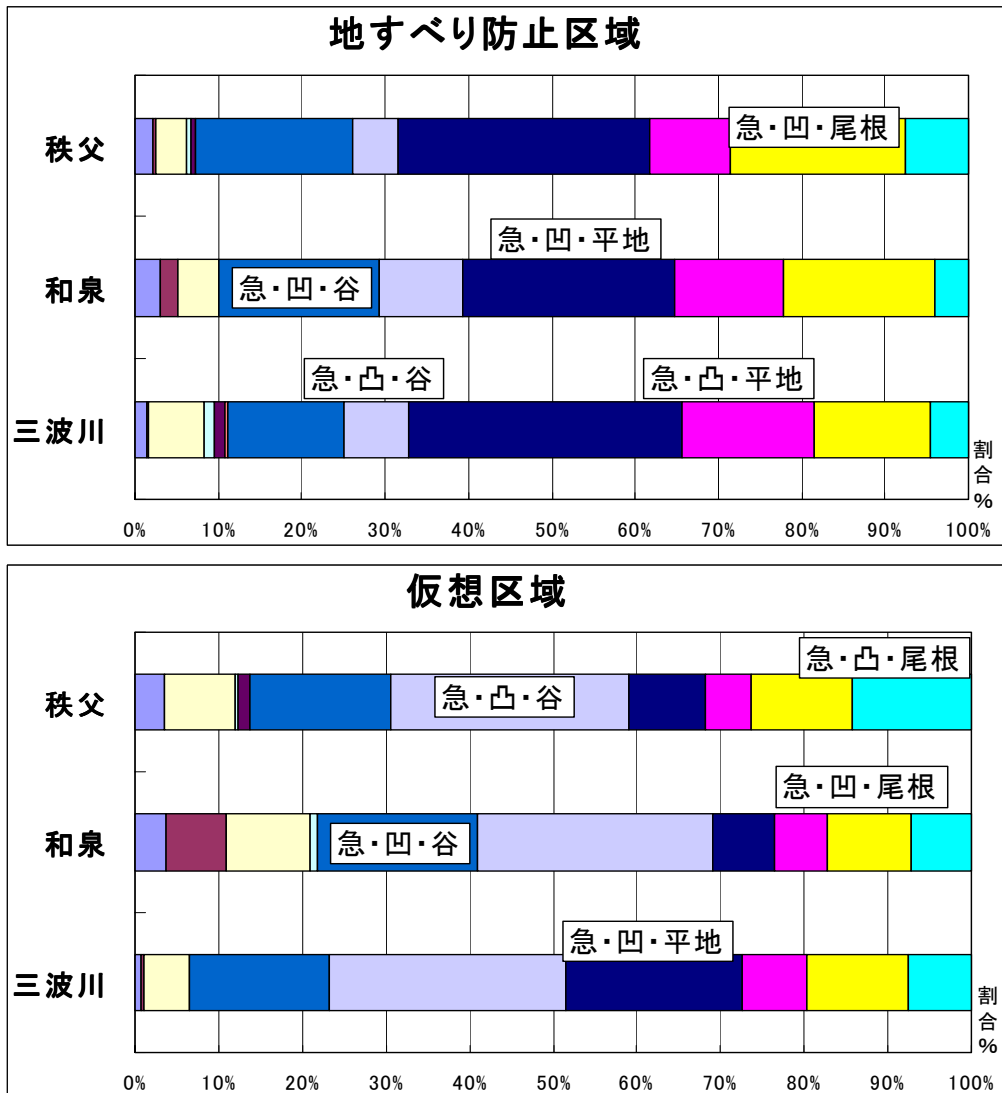


図 17．地質と地形分類の関係（地すべり防止区域・仮想区域）

図 17 は防止区域・仮想区域における地質ごとの地形分類結果を集計したものである。地すべり防止区域と仮想区域の両方に言えることとして、当然ながら急傾斜の割合が 8~9 割を占めていることがわかる。

地すべり防止区域の特徴は、凹地形が全体の約 7 割を占めているのに対して、仮想区域では、凸地形が全体の約半数を占めている。これは、地すべりが凸地形を凹地形に変化させていると示唆される。また、地すべり防止区域は、急・凹・平地地形の割合が急・凸・谷地形の割合より多いのに対し、仮想区域では、急・凸・谷地形が急・凹・平地地形より多く、割合が逆になっている。特に、三波川変成帯では地すべり防止区域は、平地が過半数を占めているのに対し、仮想区域では、谷地形が最も多く 4 割を超える割合が存在している。

4. 斜面安定解析と地すべり防止区域

一般的に行なわれる斜面安定解析は、危険な箇所といった特定の場所を対象として行なわれることが多い。そのため広範囲での研究はすくない。しかし近年コンピュータの処理能力が向上し、広範囲での解析が可能となってきた。そこで四国全域の斜面安定解析を試みる。

4.1 斜面安定解析方法

斜面安定解析はすべり面内の土塊を一つの土塊と考え、この土塊が一体となってすべり面に沿ってすべるという考え方に基づく。安全率 F_s は、土塊がすべろうとする力 (T) とそれを抑えようとする力 (N) の比により計算される。

この計算をメッシュ標高データに適応するためには、各メッシュを一つの土塊と考え、その土塊ごとに T, N の計算を行なう。本研究において、すべり面として、単純円弧すべりを仮定している Fellenius 法を用いた。

$$N = cl + \cos \alpha \tan \phi$$

$$T = W \sin \alpha$$

$$c = \text{粘着力} \quad l = \text{すべり面の長さ} \quad W = \text{土塊重量}$$

$$= \text{すべり面の角度} \quad = \text{内部摩擦角}$$

また想定する地すべりの規模として、 $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$ のメッシュ数を想定し、それぞれの規模での安全率を算出する。したがって安全率 F_s は、各 N, T の合計値より求められる。

$$F_s = \frac{\sum N}{\sum T}$$

今回、メッシュ標高データを用いた斜面安定解析プログラムを作成した。以下に、安定計算における各変数の決定法について地すべり規模 3×3 のメッシュ数を例に説明する。

計算範囲 3×3 の場合、枠内において、各メッシュで、斜面安定解析を行なう。9 つの結果の平均を範囲内の値とする。範囲内の計算を、図 18 のように、計算範囲を左から右へ 1pixel 移動させながら行なう。

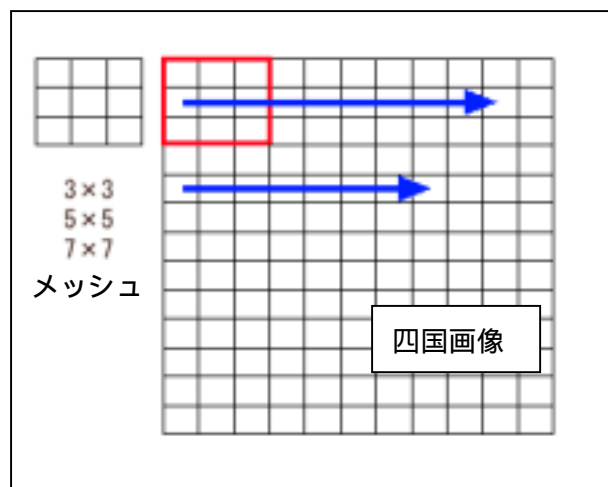


図 18 .計算の流れ図

a) すべり方向

局所領域内で，もっとも標高の低い値を取り，その値方向へすべりを起こすものとする．

3×3 の場合 9 つの画素の中で最も標高の低い値

5×5 の場合 25 つの画素の中で最も標高の低い値

7×7 の場合 49 つの画素の中で最も標高の低い値

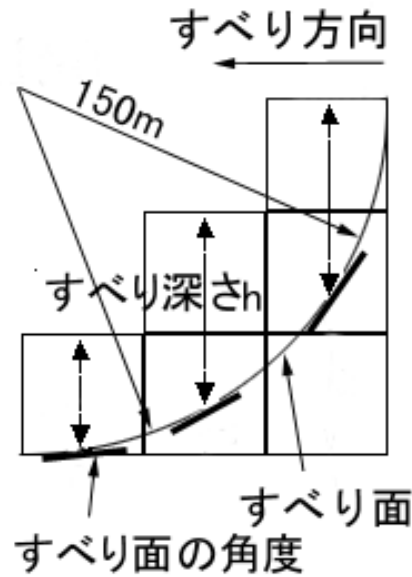


図 19．想定した地すべりの断面

b) すべり面の半径

3×3 の局所領域内の大きさは，150m×150m に相当する．今回は単純にその大きさ 150m をすべり半径とした．したがって図 で示したように，すべり面の半径から，すべり面の深さ（h）を計算できる．

- 3×3 の場合 150m × 150m = 150m
- 5×5 の場合 250m × 250m = 250m
- 7×7 の場合 350m × 350m = 350m

c) 土塊重量

上で求めた各すべり面の深さ（h）と土の単位堆積重量（t）から土塊重量が計算できる．数値地図 50m メッシュより表面積が 2500 m²．これにすべり面の深さ（h）と t=1.9 t/m³ をかけることにより計算した．

d) 土質常数

三波川変成帯の検証片岩を母岩とする土は，風化の進行が早いため粘土かされやすく，せん断強さは非常に弱い．そこで粘着力を 0.5 とした．一方和泉層群・秩父累帯は 1.0 とした⁸⁾．

表 3．地質帯とせん断力の関係

地質帯とせん断力の関係		
地質	C (tf/m ²)	φ (°)
三波川変成帯	2.0	15
秩父累帯	1.0	15
和泉層群	1.0	15

4.2 地すべり防止区域と安全率

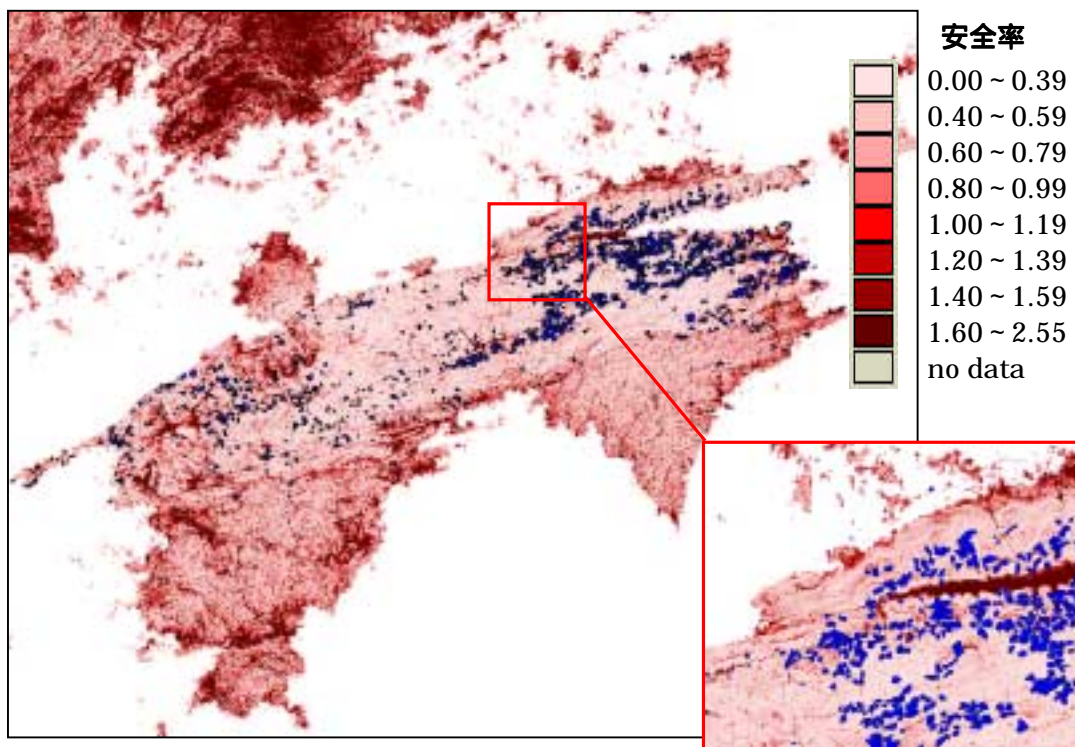


図 20 . 3×3 の局所領域の斜面安定解析

地すべり防止区域と仮想区域における安全率（安全と危険の割合）を示す。

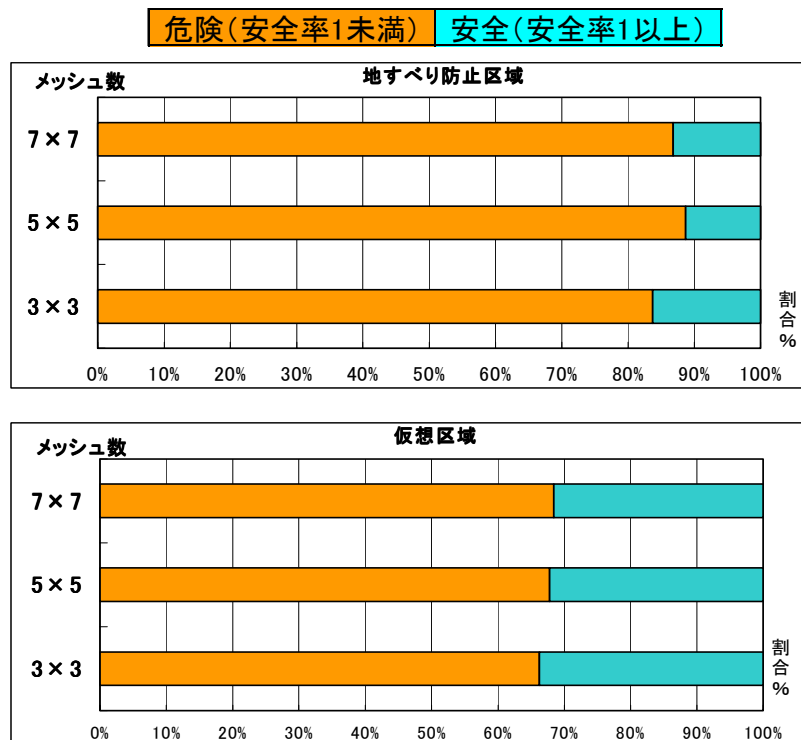


図 21 . 各区域の安全率が示す安全・危険の割合

図 20 は、斜面安定解析結果を示している。図が表す色が白いピンクになればなるほど、危険な地域を示している。図 21 は、地すべり防止区域と仮想区域それぞれにおいて安全・危険の割合を示している。安全率が示す危険な場所に地すべり防止区域の大半が存在していると仮定していたが、安全と示す場所にも地すべり防止区域は存在していた。地すべり防止区域では、危険な箇所は全体の 85% を占めている。それに対し仮想区域では、約 70% を危険な割合が占めている。つまり地すべり防止区域と仮想区域では、大きな違いが見られなかった。そこで、地すべり規模 (3×3・5×5・7×7) による斜面安定解析の安全率の変化に注目し、地すべり危険箇所の特徴抽出を試みる。

4.3 安全率変化による地すべり特徴抽出

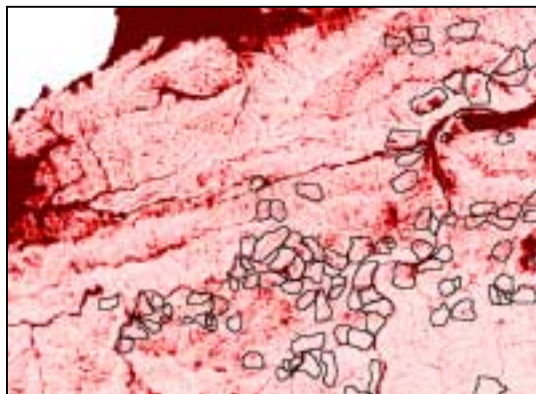


図 22 .3×3 の局所領域の斜面安定解析

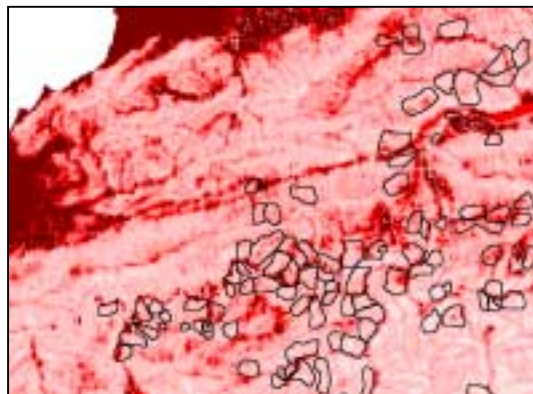


図 23 .7×7 の局所領域の斜面安定解析

地すべり規模 3×3 のメッシュでの斜面安定解析の安全率を Fs_3 とし ,地すべり規模 7×7 のメッシュでの斜面安定解析の安全率を Fs_7 とする . 図 24 は , Fs_7 (7×7) から Fs_3 (3×3) を減じた画像である .

Fs_7 (7×7) - Fs_3 (3×3) = 安全率の変化

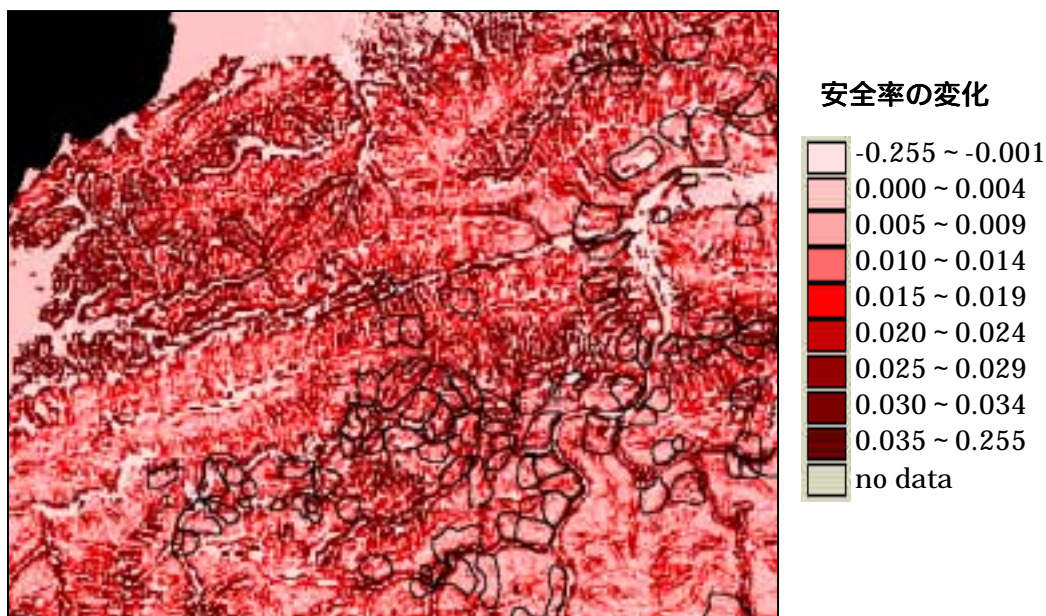


図 24 . 地すべり規模の違いによる安全率低下図

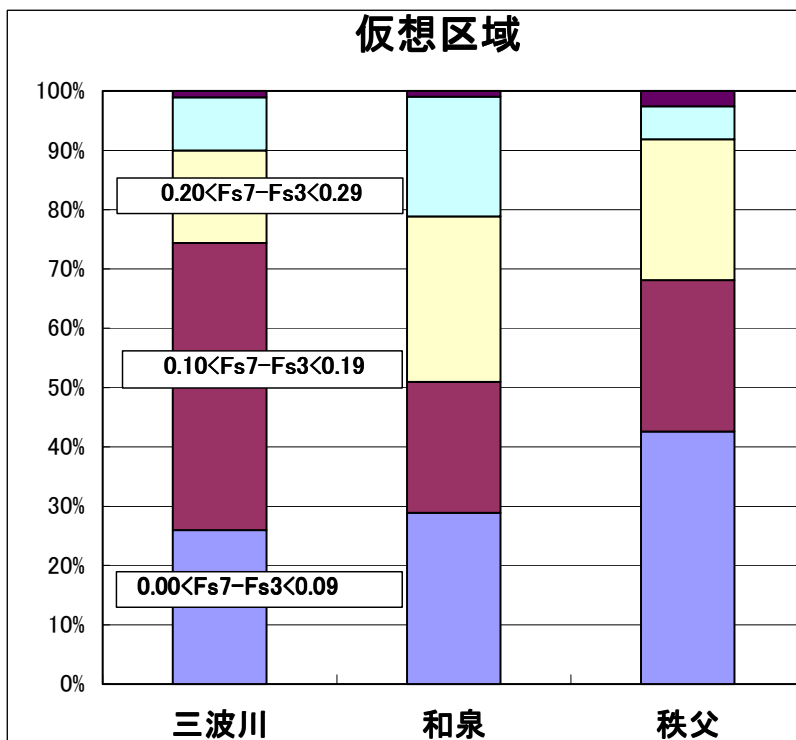
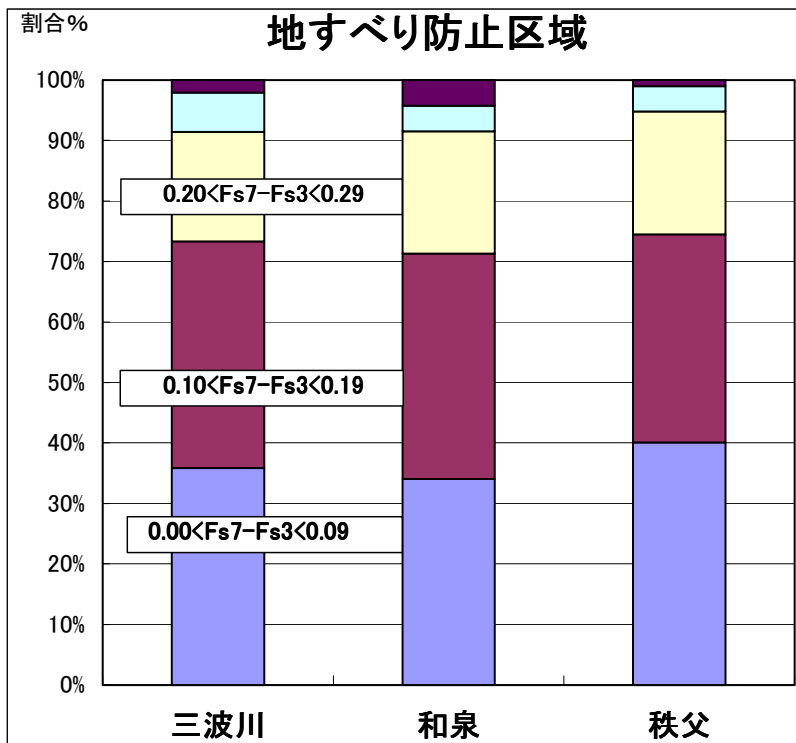


図 25 . 安全率の変化率と地質の関係 (仮想区域)

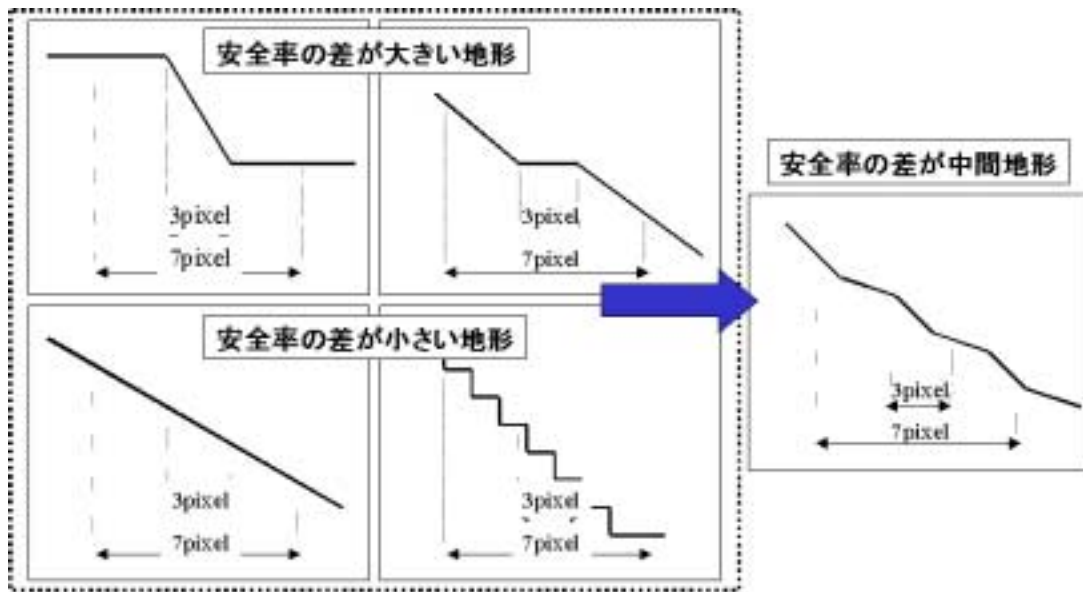


図 26 . 安全率の差と地形の関係

図 25 は、安全率の変化を地質ごとに集計した結果を表している。地すべり防止区域では、地質による違いはほとんどないのに対して、仮想区域では、地質により違いが見られた。地すべり防止区域では、地質に関わらず地形は同じような複雑さを示していることになる。図 26 は、安全率の差から考えられる地形を図化した。和泉層群の仮想区域においては、安全率の差が大きいものが多く、約 150m (3pixel) ごとに起伏が異なる地形と推察される。一方秩父累帯の仮想区域においては、安全率の差が小さいものが多く、約 150m 以内での起伏が単純な傾斜の地形と推察される。

5. 結論

地すべり防止区域の分布

地質において地すべり防止区域は，三波川変成帯で最も多くの割合を示していることから，最も地すべりの発生の可能性が高いといえる．また次いで秩父累帯，和泉層群であった．しかし同じ和泉層群であるにもかかわらず，徳島県側は愛媛県側より地すべり防止区域の数がかなり多い．

地形における地すべり防止区域では，凹地形が多いことが分かった．この結果より徳島県側は愛媛県側より，凹地形が多い傾向にあるといえる．徳島県側と愛媛県側で地すべり防止区域の存在する数が異なるのは，地すべり防止区域が凹地形が多くを割合を示しており，徳島県側は，愛媛県側に比べ凹地形が多いと共に，大規模な谷地形が多く存在しているためと考えられる．

土地利用において，地すべり防止区域は，森林で最も多くの割合を示し，一番地すべりが起こりやすい土地利用である．次いで，畑・水田・果樹園であった．人工的に用いられる土地利用に地すべりが集中しているとも言え，何らかの影響が考えられる．

河川では，河川に近いほど，地すべりが存在していることがいえる．

地形では，急傾斜で地すべりのほとんどが発生している．しかし分類項目別では，大きな差はない．

この地すべり防止区域の分布全体からいえることとして，各テーマごとの分布状況だけでは，地すべりの特徴を見出すことには，たいへん困難である．そこで全体を踏まえ地すべりの特徴を抽出する必要がある．

斜面安定解析と地すべり防止区域・仮想区域

地すべり防止区域は，斜面安定解析で求められた，安全率が示す安全値に地質に係わらず，約 2 割を示していた．また仮想区域では，約 3 割と，地すべりが起きている場所と起きていない場所で，大きな違いが見られなかった．

和泉層群は，起伏の大きな地形が多く，秩父累帯は，起伏の小さな地形が多い．そして三波川変成帯は，起伏が大きい地形と起伏が小さい地形の中間の地形が多く存在している．ところが，地すべり防止区域では，このような地質による地形に大きな違いはない．つまり和泉層群は，地すべりにより，起伏が小さい地形が増加する傾向があり，また秩父累帯は，起伏が大きい地形が増加する傾向にあると考えられる．このことが地すべり活動によるものかどうかは，不明である．

本研究では，斜面安定解析を用いて，地すべり危険箇所の特徴を得た．しかし地すべりの詳細な特徴は得られなかった．今後，空間分解能の精度のよい標高データを用いることや，地質と土質のデータから粘着力（ c ）および内部摩擦角（ ϕ ）を求め斜面安定解析に用いることで，解明していきたい．

6.参考文献

参考文献

- 1) 森脇寛 八反地剛 「5万分の1地すべり地形分布図を用いた地すべり地形解析
地すべり 日本地すべり学会 Vol.39, 2 150 September pp.54~62
- 2) 矢田部龍一 横田公忠 石田明紀 夕部雅丈 四国の地すべりの一般特性
地すべり 日本地すべり学会 Vol.37, 3 143 2000 pp.50~56
- 3) 村井俊治 著 空間情報工学 日本測量協会 pp.99
- 4) 川崎昭如・服部一樹・浦川豪・中島徹也・佐土原聡 「災害対策へのGIS活用
崖およびその被災危険区域の抽出と雨量による崩壊危険区域の公開
GIS - 理論と応用 Theory and Applications of GIS GIS 地理情報システム学会
Vol.9No.2 September2001 pp.25
- 5) 吉澤孝和 西澤茂高 三澤敏雄 根岸六郎 「地すべりの挙動解析における写真測量の
応用」 写真測量とリモートセンシング 日本写真測量学会 5/1991 pp.8~20
- 6) 岩橋 純子・神谷 泉；標高データを用いた画像処理手法による地形分類
- 国土数値情報を用いた例を中心として - (1995)
- 7) 徳島県土整備部 <http://doboku.pref.tokushima.jp/09qa/04sand/ma07.html>
- 8) 高木方隆・村井俊治；「DTM及び衛星データを用いた地すべり危険地域の抽出」(1994)
日本写真測量学会 pp.28~35
- 9) 山本景子；GISによる四国の地すべりの地形的特徴；土木計画学研究発表会(2001)
- 10) 浅野裕史 高木方隆 「地理情報システム(GIS)と斜面安定解析の統合による地す
べり危険箇所の抽出」 日本写真測量学会 秋季学術講演会 2002 pp.251~254
- 11) 浅野裕史 高木方隆 「空間分解能を異にした地形分類結果」 日本写真測量学会
秋季学術講演会 2001 pp.263~266
- 12) 菊池有起 野村努 高木方隆 「地形計測における要求制度」日本写真測量学会 秋
季学術講演会 pp.255~258
- 13) 地形辞典 地形学・古生物学・地形学・土壌学
- 14) 日本の地質 8 四国地方 日本の地質「四国地方」編集委員会編
代表編集委員 須鎗和巳・岩崎正夫・鈴木堯士
- 15) 鈴木隆介 著；建設技術者のための地形図読図入門 第一巻読図の基礎
- 16) 氏原真代・田島伸浩・波田野浩・福田賢一・福田覚 共著
画像数学入門 三角関数，フーリエ変換から装置まで (1995)
- 17) 社団法人 土質工学会・斜面安定解析入門(1989)
- 18) 三木五三郎・中瀬明男・福住隆二・持永龍一郎 共著；演習土質工学(1969)

- 19)ニルマール ヤンプ, ノルウェー理工科大学名誉教授, トロンハイム, ノルウェー
「実務における地すべり評価のための斜面安定度判定手法」 地すべり Vol.38, No.4
148 March 2002
- 20)三木博史 「岩盤・斜面崩壊のリスクマネジメント技術の開発」
土木学会誌 Vol.87, May. 2002 5 pp.37 ~ 40
- 21)藤田壽雄 「地すべり防止対策の現状と今後の課題」 土と基礎 6
地盤工学会 Vol.45 No.6 Ser.No473 pp.1 ~ 4
- 22)上野将司 「地形地質調査による地すべりの予知」 土と基礎 6
地盤工学会 Vol.45 No.6 Ser.No473 pp.5 ~ 8
- 23) 綱木亮介 「地すべりの発生機構」 土と基礎 6
地盤工学会 Vol.45 No.6 Ser.No473 pp.9 ~ 12
- 24)木村敏雄・竹内均・片山信夫・森本良平編
地形辞典 地形学・古生物学・地形学・土壌学 ; pp.377 (1994)
- 25) 第3回自然環境保全基礎調査 総合解析結果 環境庁 自然保護局
平成元年 3月

7. 謝辞

当時、地理情報システム（GIS）に関して、まったく知識も経験もない自分に、懇切丁寧に御教授して下さった社会システム工学科、高木方隆助教授には、感謝しております。特に 2001 年写真測量学会の締め切り前、忙しい時間を割いていただき休みの日まで原稿を添削していただいたご厚意に大変感謝しております。

論文副査の轟朝幸助教授には、修士論文の添削をしていただき、文書の構成の大切さなど、貴重なご意見をたまわり、大変感謝しております。

修士論文中間発表では、藤沢伸光教授、大谷英人教授、島弘教授、草柳俊二教授、村上雅博教授には、様々な視点から研究に対する貴重なご意見をいただき、大変感謝しております。

博士の Jong-Hyeok JEONG さんには、英文の添削をしていただき、また海外に行き、視野を広く持つ大切さを熱く語っていただき、大変感謝しております。

本研究で、地すべり防止区域のデータ集めるため四国 4 県を車で共にまわった八木悟さんには、四国をあまり知らなかった自分に、様々な四国のお話をしていただき大変感謝しております。

GIS を用いて地すべりを共に研究した山本景子さんには、先輩としての立場を再認識させられ、指導する側の経験をさせたいいただき、大変感謝しております。

同研究室メンバーであり、同級生である門田貴江さん、野村努さん、元久慎哉さん、吉野敦雄さんには、研究では、互いに刺激しあい、また学生生活においても、共にうれしさや、かなしさ、悔しさ、を感じ、自分にとって大きな力となりました。

最後に、一人暮らしを高知ではじめ、学生生活そして、一人での生活のつらさを乗り越えられたのも家族のおかげです。家族には深く感謝しております。

8 . 付録

8.1 空間分解能と地形分類

地形分類とは、地表面の特徴を様々な項目によって区分けしたものである。具体的には、地質構造による構造区や山地、台地、平野などの大地形による分類などがある。この地形分類の作業は通常、空中写真を専門家が実体視することによって手作業で行われる¹⁾。作業には多くの時間を必要とし、また成果品には個人差が現れる²⁴⁾。この個人差をなくすためDEM (Digital Elevation Model) を用いたシステムティックな地形分類が必要とされ、現在様々な手法が存在する。一方DEMは、いろいろな精度分解能のデータが存在する。例えば、レーザーや写真測量では、cmオーダーでの分解能が得られ、各種地図からのマップデジタルでは、mオーダーでの分解能を有す。さらに国土地理院からは50mから250m分解能の数値地図が出版されている。ところが空間分解能によって地形分類の結果は大きく異なる。したがって空間分解能が地形分類に与える影響については、定量的な検討が必要である。

8.1.1 目的

本研究では、まず空間分解能の異なるDEMを代表的な地形ごとに用意し、それぞれにおいて、地形分類を行う。この結果により、空間分解能の差異が地形分類に与える影響、を検討する。さらに各地形のDEMの自己相関係数により、空間分解能の地形分類結果に与える影響について評価する。

緩やか・凹・谷	急・凹・谷
緩やか・凸・谷	急・凸・谷
緩やか・凹・平地	急・凹・平地
緩やか・凸・平地	急・凸・平地
緩やか・凹・尾根	急・凹・尾根
緩やか・凸・尾根	急・凸・尾根

図 27 . 地形分類と色の関係

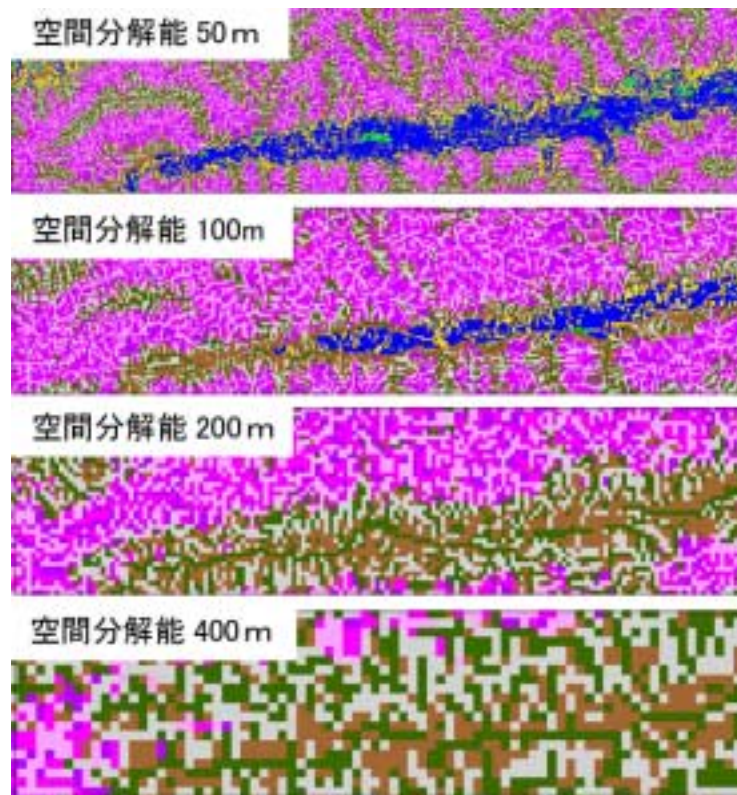


図 28 . 吉野川流域

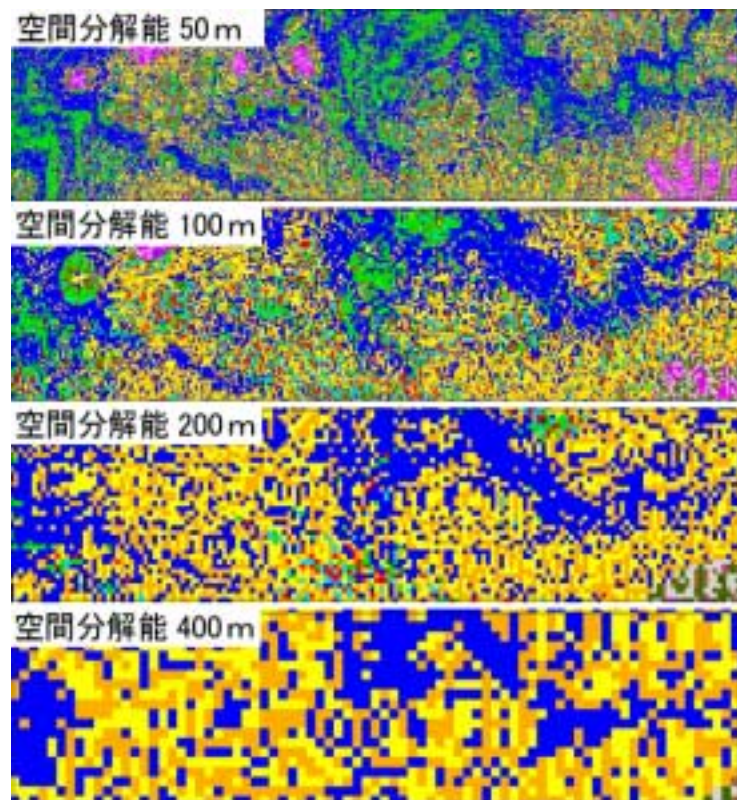


図 29 . 讃岐平野

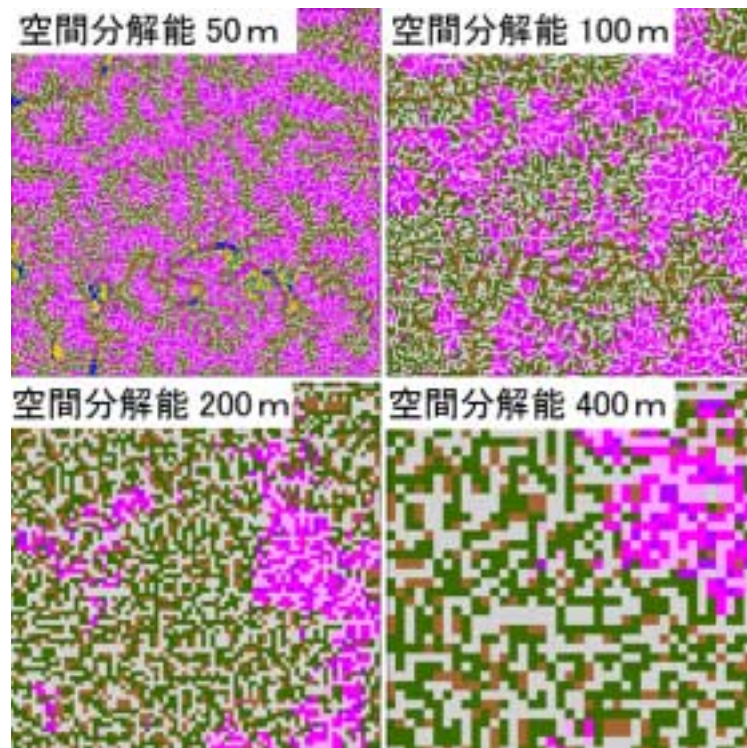


图 30 .四万十川流域

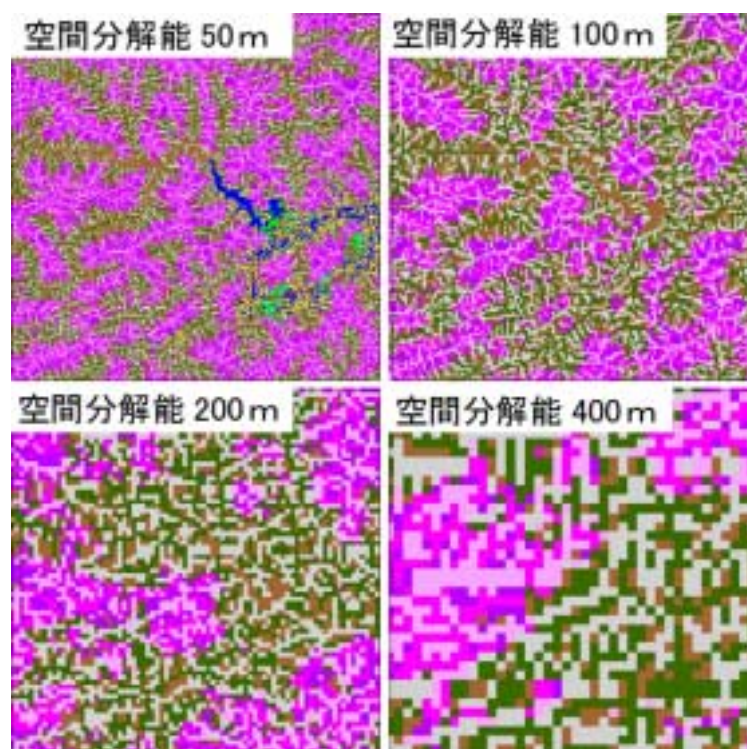


图 31 . 四国山地

8.1.2 使用データ

今回 DEM として、四国地方の数値地図 50 mメッシュ標高を用いた。対象範囲は四国における代表的な地形を取り上げた(図 31)。

山地地形として変成岩帯で構造の発達している四国山地中央部と、古生層の砂岩帯である四万十川中流域を選択した。さらに段丘地形としては吉野川流域を、丘陵地形としては讃岐平野を選択した。これらの対象範囲は面積が 400 km²となるように設定した。また空間分解能は、50m・100m・200m・400m のグリッド幅にてニアレストネイバーによって DEM を作成した

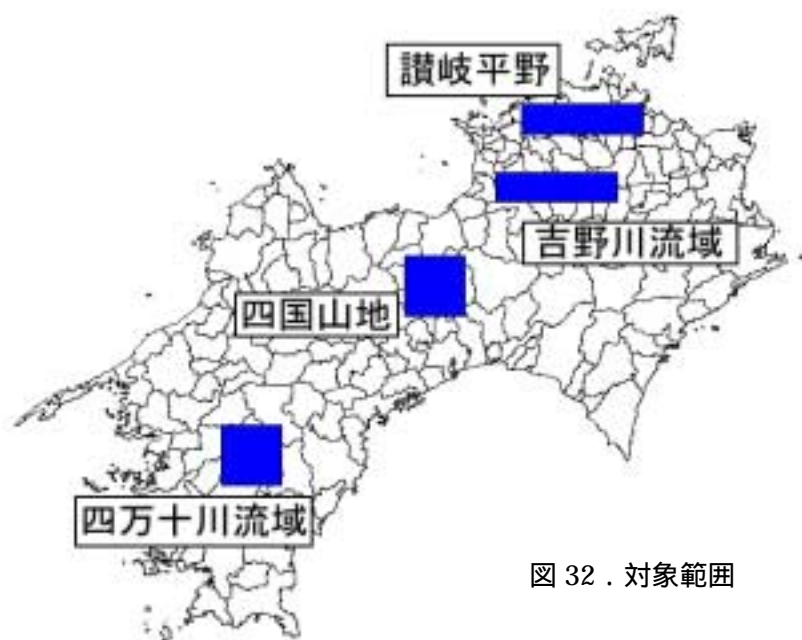


図 32 . 対象範囲

表 4 . 対象範囲と対象面積

使用範囲名	面積(km ²)
吉野川流域	10×40
讃岐平野	10×40
四国山地	20×20
四万十川流域	20×20

8.1.3 地形分類方法

地形分類の手順として「標高データを用いた画像処理手法による地形分類」岩橋純子・神谷泉を元に行った。(参照 2.5)

8.1.4 解析結果

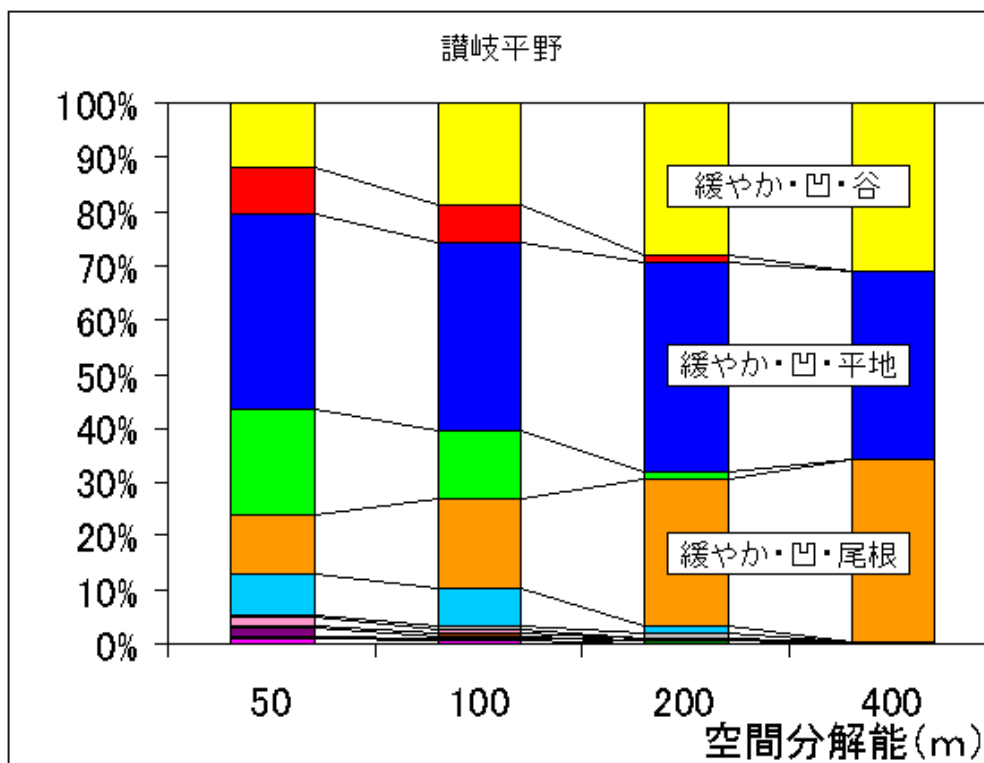
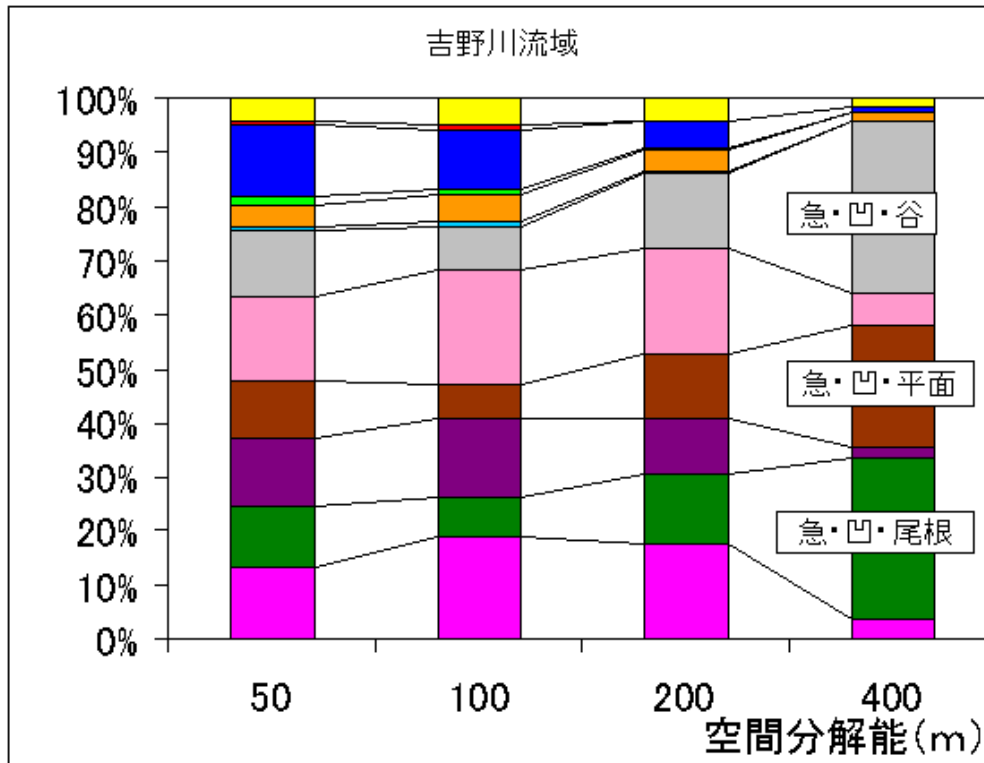


図 33 . 空間分解能と地形分類結果の関係 (吉野川流域・讃岐平野)

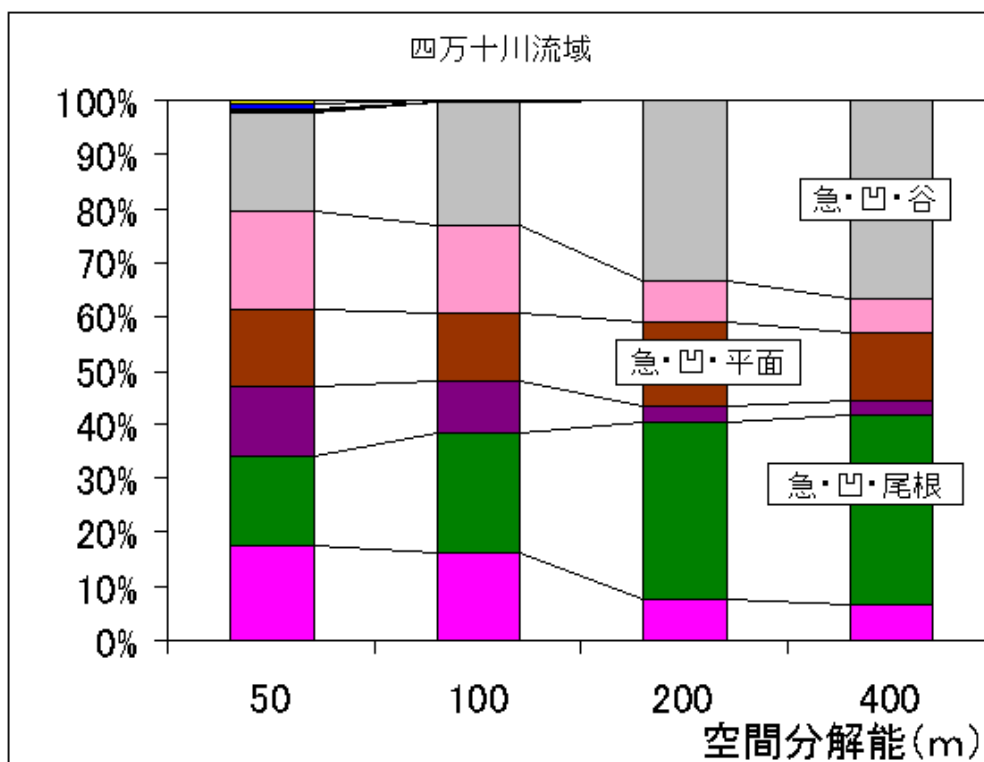
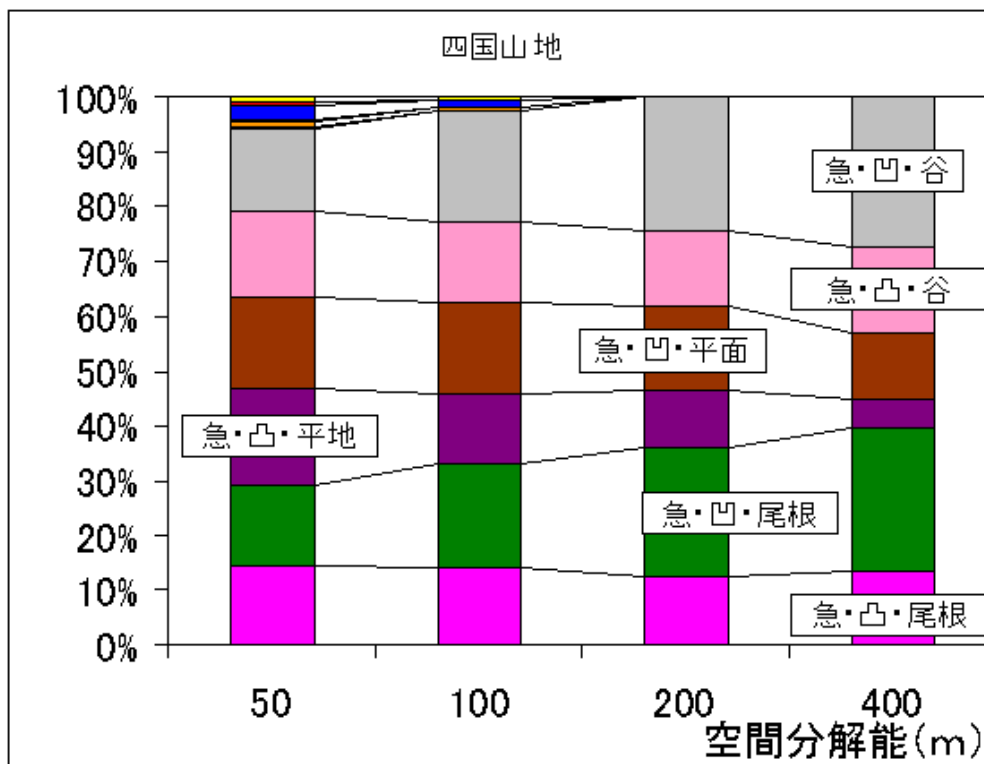


図 34 . 空間分解能と地形分類結果の関係 (四国山地・四万十川流域)

8.1.5 空間分解能と地形分類結果

図 32.33 は、4つの対象地域において、各空間分解能ごとに分類結果を集計したものである。すべての対象地域に言えることとして、凹地形と凸地形は、空間分解能 50mでは、全体に占める割合がほぼ 50%なのに対し、空間分解能が大きくなると、凹地形の占める割合が増える傾向にある。特に 400m の空間分解能ではほとんどが凹地形となった。したがって Laplacian filter は、大きな空間分解能では意味を持たなくなると言えよう。一方、尾根・谷・平地の全体における割合は、空間分解能による差はあまり認められなかった。ところで、平野部が多い吉野川流域・讃岐平野においては、空間分解能によって分類項目数が減少する傾向が強い。平野部は、細かな地形の変化があるためと考えられる。

8.1.6 自己相関と地形との関係

吉野川流域・讃岐平野・四国山地・四万十川流域における空間分解能 50mの自己相関。縦を自己相関係数とし、X軸・Y軸をピクセル数とし、Z軸として自己相関係数を表した。

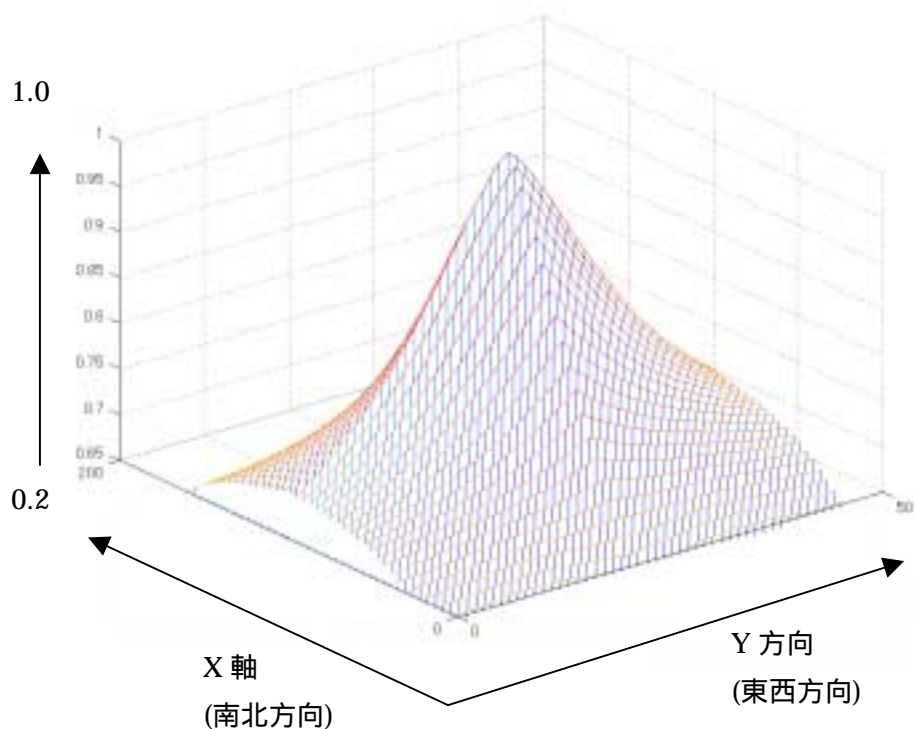


図 35 . 吉野川流域

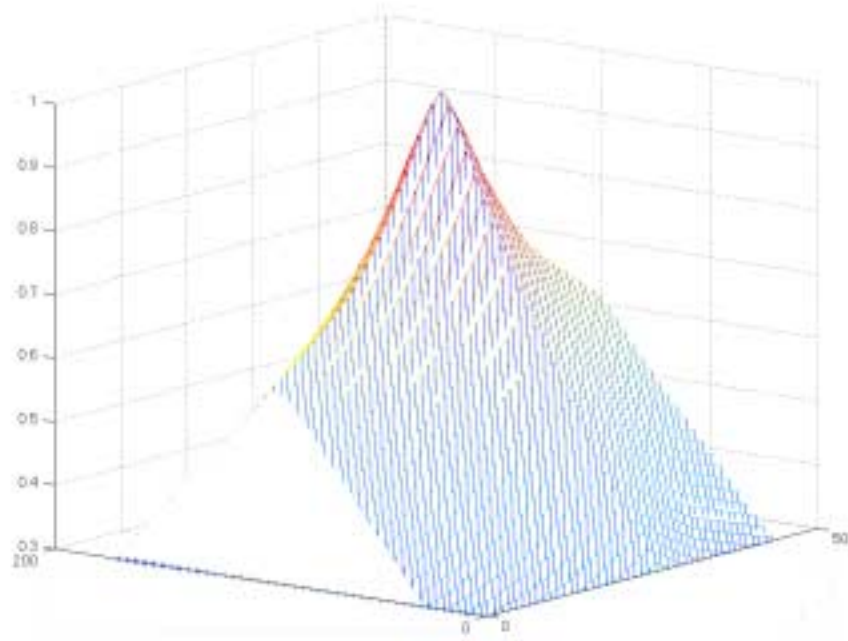


図 36 . 讃岐平野

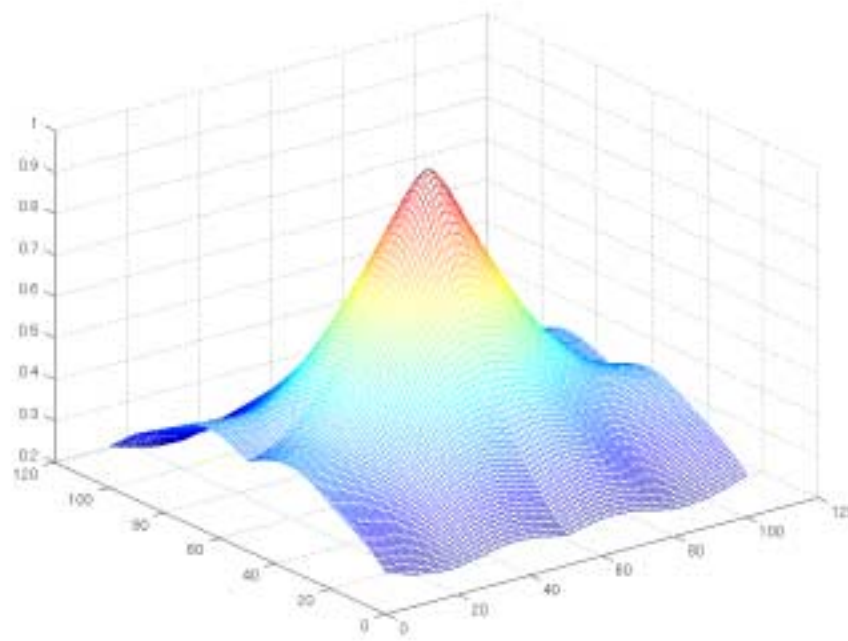


図 37 . 四国山地

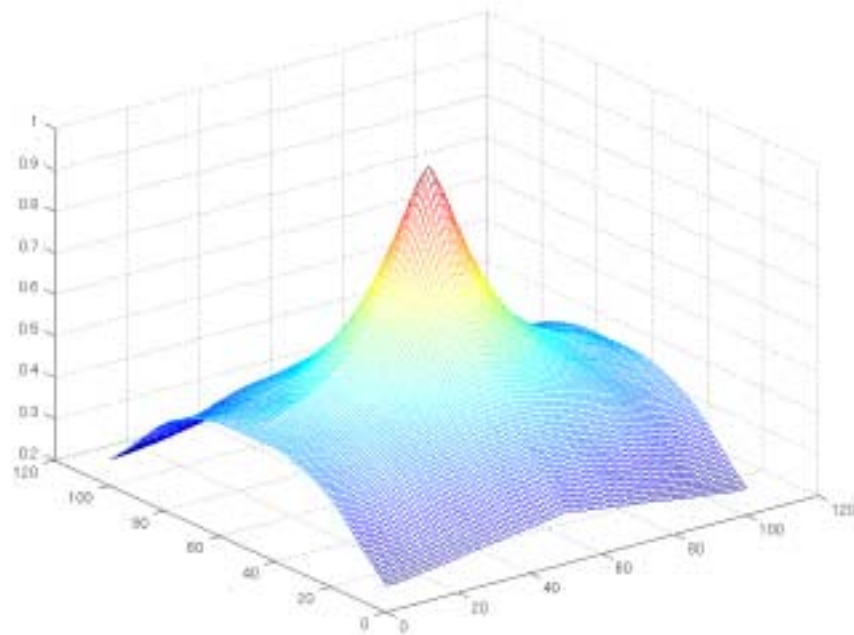


図 38 . 四万十川流域

図 35 - 38 自己相関と地形の関係

空間分解能によって、分類結果が異なり、地形の影響も示唆された。そこで各対象地域の DEM の自己相関関数によって、検討を試みる。自己相関関数の形状はランダムな地形変動の大小を知ることができる。図 4 は、各対象範囲の自己相関係数を Z 軸に表したものである。

平野部が多く中央構造線に沿い、リニアメントの多い吉野川流域・讃岐平野の自己相関は方位によって相関関数に特徴があり、異方性がある。南北軸方向の相関は、東西軸方向に比べ急激な減少を示している。そして山地部が多い四国山地・四万十川流域は、つまり南北軸方向東西軸方向とも同じ相関関数を示し異方性はない。また相関は、急激に減少していることから、山地地形は、地形が急斜面で構成されていることを示唆している。

8.1.7 考察

分類項目は、空間分解能が異なると大幅に減少する傾向があった。空間分解能が 50m にくらべ、400m では、項目数にして約半数がなくなっている。つまり空間分解能が高いほど、細かな地形分類に適しており、空間分解能が低いほど、少ない項目数での分類が適切といえる。

分類項目によって空間分解能が異なっても、大きな影響また違いが現れないもの、大きな影響を受けるものなど様々である。つまり地形分類において、目的とする分類項目で用いるデータの分解能を考慮することが求められる。例えば、凹凸を重視するならば、細かい空間分解を用いる必要性が大きい。尾根・谷・平地においては考慮する必要性は少ない。

平野部が多く含まれる吉野川流域・讃岐平野では、X 軸方向の自己相関は急激に少なくなっている。山地が多く含まれる四国山地・四万十川流域に比べても、急激な減少である。これは、地形分類結果において分解能が 50m から 400m になるにしたがい、地形分類数が急激に減少している裏付けともなった。つまり、平野部が多く含まれる地形では、細かい凹凸が多いため、高い空間分解能での分類が求められる。

本研究により、当然ながら空間分解能が高いほど、細かな地形分類に適しているという結果が得られた。しかし今回は 50m グリッドという高分解能とは言い難いデータしか利用することができなかった。そこで今後、レーザーや写真測量等により得られる cm から m オーダーの高い DEM での検討を行う必要がある。