

高分解能衛星画像と数値標高モデルを用いた 広域での地形・地盤分類メッシュマップの細密化

Detailed Mapping of Engineering Geomorphologic Classification Using High Resolution Satellite Image and Digital Elevation Model

石井 一徳¹, 翠川 三郎², 三浦 弘之²

Kazunori ISHII¹, Saburoh MIDORIKAWA² and Hiroyuki MIURA²

¹東京工業大学 都市地震工学センター(現 株式会社パスコ)

Center for Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology

²東京工業大学 大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻

Department of Built Environment, Tokyo Institute of Technology

For detailed seismic hazard mapping, 50m-mesh engineering geomorphologic classification map is created using the existing 250m-mesh map, high-resolution satellite images (QuickBird) and digital elevation model (DEM) in the southern part of the Kanto area, Japan. Elevation, slope and relief are used to evaluate the topographical characteristics. The spatial spectral characteristic of the image computed by two-dimensional Fourier transformation is also used to evaluate texture of the image in lowlands. The rules for the detailed mapping are constructed based on the characteristics of these indices for each geomorphology. The result of the detailed mapping shows that the estimated 50m-mesh map almost agree with the manually classified mesh map.

Keywords: *engineering geomorphologic classification map, high resolution satellite image, digital elevation model, seismic hazard map*

1. はじめに

地震による被害軽減策を立案し、推進するための基礎資料として地震ハザードマップを作成しておくことが必要であり、特に、市民の防災意識の向上のために、地震ハザードマップをよりきめ細やかなものに高度化することが重要である。地震ハザードマップ作成のためには、地盤増幅度分布を得る必要があり、その方法の一つとして地形・地盤分類を用いて、地表から深さ 30m までの地盤の平均 S 波速度(AVS30)を介して、地盤増幅度を評価する手法が広く用いられている¹⁾。その際、使用される地形・地盤分類メッシュは、これまで 1km や 250m メッシュ²⁾のものであったが、市民が地震ハザードをより身近に感じるためには 50m メッシュ程度の解像度が望ましいと指摘されている³⁾。

50m メッシュのような細密な地盤情報をデータ化するには、旧版地形図読図や空中写真判読といった従来の作業では多大な労力と時間を要してしまう。そこで、地盤情報を簡便にデータ化するための方法として、数値標高モデル (DEM) や衛星画像を用いて自動的ないし半自動的に分類する試みが行われてきた。これらの研究では地形を低地、台地、山地などの大分類単位のみを分類し^{4)~8)}、低地部を細分類することは行われていないものが多い。古い土地利用と衛星画像から土地利用の変化を抽出することで詳細な地盤分類が行われているもの⁹⁾もある

が、旧版地形図の数値化が必要で、作業量を考えると広域での適用は困難である。

これらを踏まえて、石井他(2007)は、近年各地で利用可能になりつつある高分解能の DEM による地形情報に、土地被覆状況を反映した衛星画像からの情報を加えて、分類規則を作成し、若松・松岡(2005)の 250m メッシュの地形・地盤分類データ¹⁰⁾を 50m メッシュデータに細分化することを行い、概ね良好な結果を得ている¹¹⁾。ただし、低地部では分類精度が高くないものも残されているため、石井他(2009)では、高分解能衛星画像のスペクトル解析から低地における細密化手法の改良を行っている¹²⁾。その結果、石井他(2007)¹¹⁾と比べて低地の微地形の形状がより自然に近い結果が得られている。

これらの研究では、低地及び台地のみを対象として細密化の検討が行われており、山地、丘陵地など未検討な地形・地盤も残されている。そこで、本研究では、既往の検討結果と併せて、若松・松岡(2005)¹⁰⁾による地形・地盤分類全てに対応できるように、細密化のための分類規則を作成する。その規則を南関東地域において適用し、細密な地形・地盤分類メッシュマップを作成する。

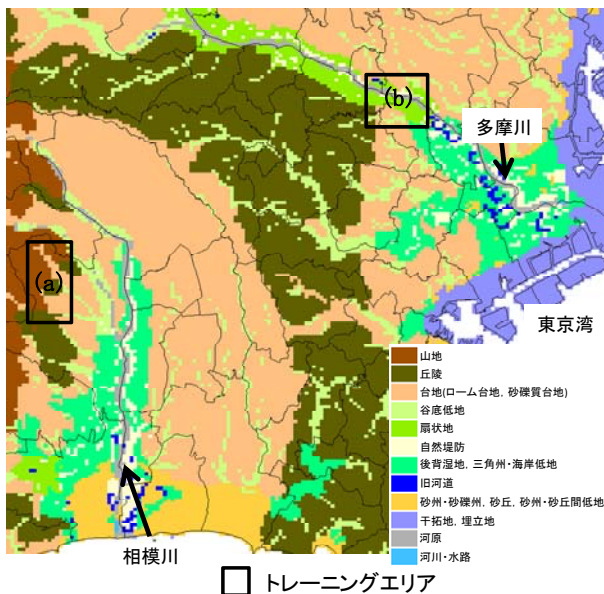


図1 対象地域の250mメッシュマップとトレーニングエリア

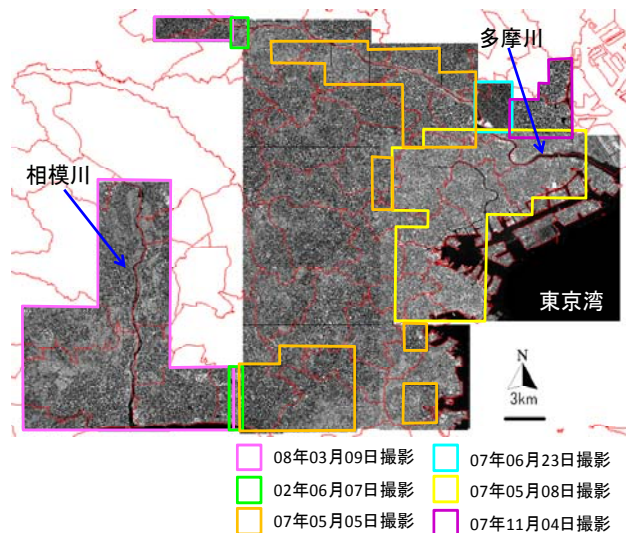


図2 対象地域のQuickBird画像(低地部のみ)

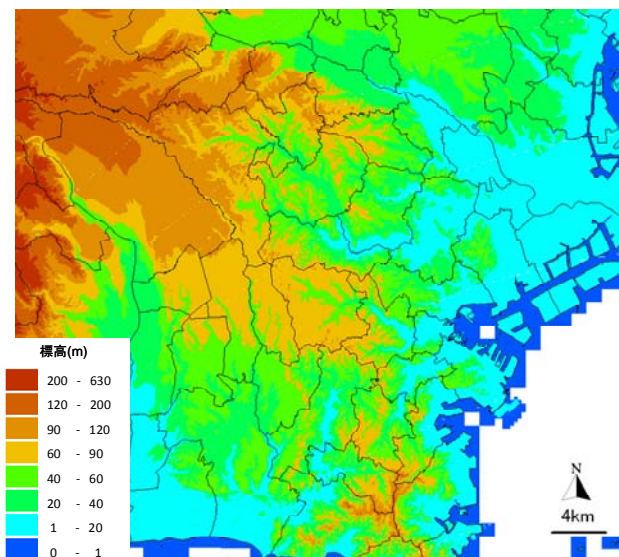


図3(a) 対象地域の50mメッシュDEM

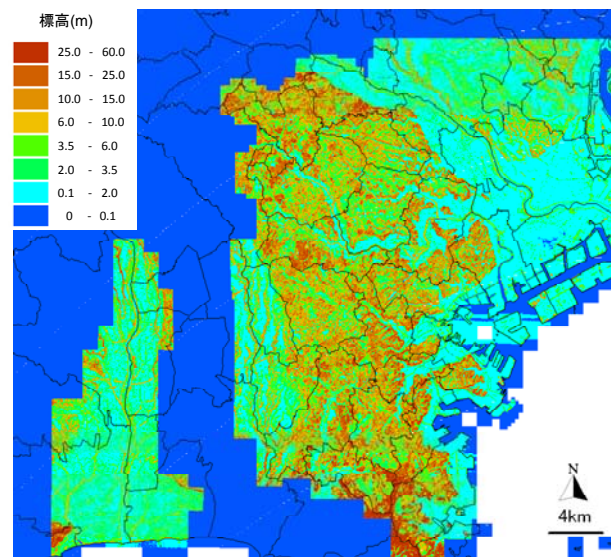


図3(b) 対象地域の1mメッシュDEM(低地部のみ)

2. 使用したデータと細密化に用いた指標

本研究では、衛星画像やDEMの指標と地形・地盤の関係を検討するために、トレーニングエリアにおいて50mメッシュマップを石井他(2007)の手順¹¹⁾で目視により作成した。対象地域全域ならびにトレーニングエリアの分布を図1に示す。対象地域は横浜市や川崎市等を含む神奈川県東部の50×40kmのエリアである。既往の研究では、台地や三角州・海岸低地や後背湿地を含む低地で検討を行ったが、山地や丘陵を含む地域や扇状地を含む低地については未検討であった。そこで、これらについて検討するために、本研究ではトレーニングエリアを山地、丘陵、台地の地形が分布している(a)地域と扇状地が分布している(b)地域に設けた。

図2に使用したQuickBird画像を示す。本研究で用いた衛星画像は、撮影年月が2002～2008年までのものを用いた。使用する画像として、対象地域をカバーするもので、雲が少なく、植生の季節変化がなるべく小さくなるよう

撮影日が5～6月のものを原則として選定した。ただし、一部の地域では雲のない画像が得られなかったことから、撮影日が3月や11月の画像も含まれている。空間分解能は0.7mである。QuickBird画像は、可視域でRGBの3バンド、近赤外域で1バンドの計4バンドを有している。衛星画像からは、正規化植生指標(NDVI)を算出した。なお、NDVIとは画像内での植生の活性度を表す指標¹³⁾であり、近赤外バンドと赤色バンドのデータから算出した。さらに、石井他(2009)の方法¹²⁾を用いて50mメッシュごとの2次元フーリエ変換による空間スペクトル特性を指標として算出した。すなわち、対象の50mメッシュを中心とする256×256ピクセルの画像の2次元フーリエ変換から、2次元軸上で同波長にあるスペクトル振幅の総和を求め、横軸に波長、縦軸に正規化したスペクトル振幅和の図を描き、波長8～80mまでのスペクトルの傾きを最小二乗法により求める。ここで得られたスペクトルの傾きを空間スペクトル特性の指標として利用した。一般に、小規模な建物等が密集する地域では短波長の地物が多く含まれ

るため、スペクトルの傾きは小さくなり、規模の大きな建物を含む地域では長い波長の地物が卓越するため、スペクトルの傾きは大きくなる。

図3(a), (b)には、使用したDEMによる標高分布を示す。山地、丘陵、台地といった標高が高く、周辺低地と起伏の差が比較的大きい地形・地盤においては、国土地理院発行の50mメッシュDEMを使用した。一方、起伏が比較的小さい低地においては、2002年に取得された朝日航洋社製の1mメッシュのDEMを利用した。50mメッシュDEMからは標高値、傾斜度、5×5メッシュ内の最大標高と最小標高の差として起伏量を算出した。傾斜度は、神谷・他¹⁴⁾の方法に基づき、対象とするメッシュの標高値とそれに隣接する8メッシュの標高値から算出した。50mメッシュの標高値とその50mメッシュが含まれる250mメッシュの標高平均値の差を標高差として算出した（以降、標高差と呼ぶ）。1mメッシュDEMからは、標高差、50mメッシュ内における最大標高と最小標高の差として起伏量を算出した。なお、本検討では高解像度なDEMとして、1mメッシュのDEMを利用したが、近年では、都市圏で5mメッシュDEMが容易に入手できようになっているなど、高解像度なDEMの整備が全国的に進んでいる。今後はこのようなデータを利用していくことも有効と考えられる。

3. 地形・地盤分類細密化のための分類規則

(1) 細密化のための分類規則作成の方針

本検討によって得る地形・地盤分類メッシュマップは、最終的に地震ハザードマップ作成に用いるため、地盤の平均 S 波速度(AVS30)の予測を念頭において細密化の手順を検討することとする。

まず微地形を地震ハザードマップ作成のために必要な情報である AVS30 の値や地形の成因が類似のものを統合して、全体で 24 区分から 11 区分に簡略化した。各区分の対応を示したものを図 4 に示す。また、細密化の検討を行い易くするためにこれら 11 区分の地形・地盤を山地、丘陵・台地、埋立地、低地の 4 つに大分類した(図 4 左)。大分類した地形間で、指標の特徴が大きく異なっているため、以降の検討は、大分類の区分ごとに行う。

細密化の流れを図 5 に示す。本研究では、図 5 の点線の部分で示す山地と丘陵・台地および低地のうち扇状地を対象として検討を行う。

山地においては、50m メッシュ DEM から得られる標高、標高差、起伏量の指標を用いて、山地と丘陵・台地、山地と谷底低地の境界を細密化する。丘陵・台地については、50m メッシュ DEM による標高差、起伏量の指標を用いて、丘陵・台地と谷底低地やその他の低地、丘陵と台地の各境界を細密化する。

低地においては、既往の研究^{11, 12)}にならい、1m メッシュ DEM から得られる標高差および起伏量、衛星画像からスペクトルの傾きや NDVI の指標を利用して細密化する。対象地域における低地では、扇状地が広く分布するエリア、後背湿地・三角州・海岸低地が広く分布するエリアの 2 つがある。後背湿地・三角州・海岸低地エリアの細密化については、既往の研究^{11, 12)}で検討済みであることから、本検討では扇状地エリアを対象として細密化を行う。

地形・地盤に対する各指標のヒストグラムから、その傾向や地形の特徴を考察し、分類規則を作成する。ただし、低地では各地形・地盤に対するヒストグラムの傾向

は場合に応じて複雑に変化する。例えば、250m メッシュの地形・地盤が扇状地の場合の 50m メッシュでの扇状地のヒストグラムと自然堤防のヒストグラムの関係は、250m メッシュの地形・地盤が自然堤防の場合の両者のヒストグラムの関係とは異なる。そこで、250m メッシュが扇状地か自然堤防かのメッシュに分けてヒストグラムを作成し、それぞれの分布をみながら両地形を細密化するための閾値を決定し、分類規則を作成する。その他の低地についても同様の手順で検討する。

ヒストグラムによる閾値処理以外の分類規則として、以下の 2 つも利用した。1 つ目として、地形はある一定

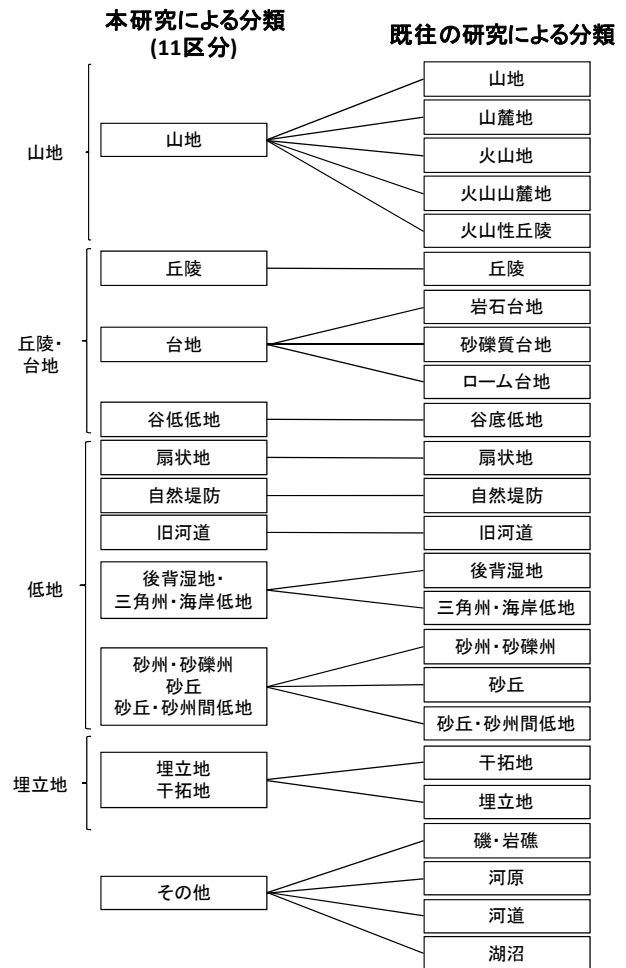


図 4 本研究と既存の地形・地盤分類との対応

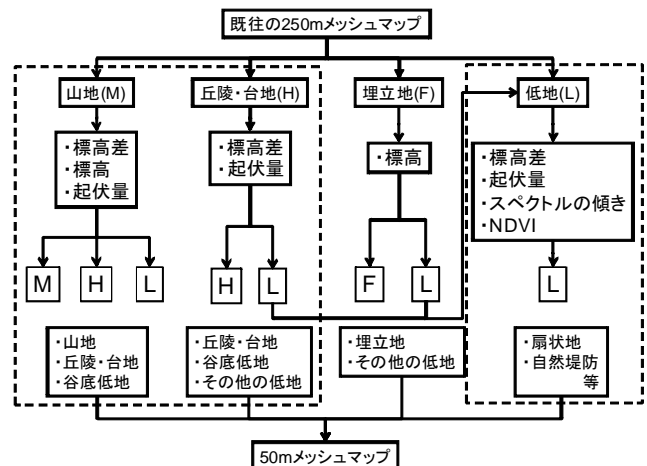


図 5 地形・地盤分類細密化の流れ

の広がりや連続的に分布していると考えられるため、メッシュの位置関係から地形の連続性を考慮する。例えば、あるメッシュがある地形に分類され、隣接するメッシュが未分類として残された場合、その隣接するメッシュを該当地形に分類する。この規則を以降では、地形の連続性と呼ぶこととする。

2つ目に、細密化の結果に対して、使用した250mメッシュ¹⁰⁾と細密化の結果が互いに矛盾しないよう、250mメッシュ内にある50mメッシュのうち、その過半数はもとの250mメッシュの地形・地盤と同じとなることを前提条件として分類する。この規則を以降では、細密化の前提条件と呼ぶこととする。

最後に、既往の研究^{11,12)}による低地、埋立地の分類規則を加えて、全ての地形・地盤における細密化のための分類規則を作成する。

(2) 山地・丘陵・台地における細密化

山地、丘陵・台地での細密化手法を検討するため、図1中で(a)で示す地域を対象として検討を行う。はじめに、これらの地域から谷底低地を抽出する。谷底低地の抽出には、周辺地形と比べて窪んだ箇所を評価することが可能な標高差を利用することとした。図6には、250mメッシュマップが山地、丘陵・台地であるメッシュを対象として、山地・丘陵・台地と谷底低地における標高差のヒストグラムを示す。ヒストグラムをみると山地・丘陵・台地と谷底低地の両者の分布のピークは、それぞれ5mと-5mを示しており、異なっていることが確認できる。両者のヒストグラムは、-3m付近で交差し、それぞれのピークを形成している。そこで250mメッシュが山地・丘陵・台地であるメッシュにおいて、標高差が-3m未満であるメッシュを谷底低地に分類することとした。

次に、山地と丘陵・台地の境界の検討を行う。この際、250mメッシュを基に両者が互いに接するメッシュのみを選択し、これらに対して地形・地盤と各指標の関係を検討した。なお、山地と丘陵・台地では、谷密度や起伏量に違いがあることが指摘されている¹⁵⁾。図7、8に、山地と丘陵・台地における標高と起伏量のヒストグラムを示す。ヒストグラムをみると、標高は110m付近、起伏量は28m付近で両地形間のヒストグラムに境界がみられる。山地の方が丘陵・台地に比べて標高が高く、また起伏も大きいという地形的特徴が現われている。そのため、標高110m以上かつ起伏量28m以上を山地のメッシュに分類することとした。これらの閾値処理により得た山地の分布において、丘陵・台地が飛び地的に存在するメッシュがみられた。このようなメッシュに対しては、(1)で述べた地形の連続性を考慮して、山地として分類することとした。

次に、丘陵と台地の境界の検討を行う。図9、10には丘陵と台地における起伏量、傾斜のヒストグラムを示す。丘陵と台地は、成因に違いがあるため、丘陵の方が台地に比べ起伏や傾斜が大きい傾向にある。図9をみると、起伏量20m付近に両地形のヒストグラムの境界がみられる。また図10においては、傾斜度4度付近に同様の境界が存在する。そこでこれら2つの指標を用いて、起伏量が20m以上ないし傾斜度4度以上を示すメッシュを丘陵と分類し、その他を台地と分類することとした。

(3) 扇状地周辺における細密化

扇状地エリアでは、扇状地のメッシュは自然堤防、旧河道、河原、台地と接している。台地と低地の境界の抽出方法については既往の研究¹¹⁾で検討済みである。本検

討では、扇状地と自然堤防が接する250mメッシュ、扇状地と旧河道が接する250mメッシュ、扇状地と河原が接する250mメッシュを抜き出し、それぞれに対して各指標のヒストグラムを作成し、分類規則を検討する。

ここでは、微地形間で地形の違いが現れやすいと考えられる1mメッシュDEMによる起伏量と標高差を用いる。また、低地における植生量の違いや土地利用の違いを評価できる衛星画像によるNDVI、スペクトルの傾きも利用する。ここでは主に上記の4つの指標を利用して、それぞれの特徴を検討する。

a) 扇状地と自然堤防の境界の細密化

扇状地と自然堤防の境界の細密化を行う。ここでは、250mメッシュが自然堤防であるメッシュと250mメッシュが扇状地であるメッシュを分け、それぞれのメッシュに対して、自然堤防と扇状地での指標のヒストグラムを検討する。

まず、250mメッシュが自然堤防であるメッシュに対して、自然堤防や扇状地における指標のヒストグラムをみたところ、前述の4つの指標のうち、標高差とNDVIについてはヒストグラムに顕著な差はみられなかったことから、ここでは起伏量とスペクトルの傾きを用いることとした。図11に示す起伏量のヒストグラムをみると、自然堤防、扇状地とも1.1m付近にピークがみられる。ピークよりも小さい範囲では、自然堤防の頻度が優勢である。扇状地は、全体的に傾斜した形状をしている地形であり、起伏も比較的高いものと考えられる。一方、自然堤防も周辺地形と比べて起伏が大きいと考えられるが、自然堤防の起伏は扇状地の起伏に比べると規模の小さいものが多いものと考えられることから、1.1m以下の範囲では自然堤防の起伏量が優勢となったものと考えられる。

図12に示す250mメッシュが自然堤防であるメッシュにおけるスペクトルの傾きのヒストグラムをみると、扇状地のピークは、0.66付近にみられる。一方で、自然堤防のピークは0.72にみられる。両者の頻度の境界は、0.7付近に存在する。そこで、250mメッシュが自然堤防であるメッシュにおいては、起伏量1m以下もしくはスペクトルの傾き0.7以上のものを自然堤防と分類した。

ここで、自然堤防は河成地形であり、河川の作用により連続的に存在しているため、未分類として残されたメッシュのうち、周囲3辺以上が自然堤防ないし台地のメッシュと接しているメッシュは、自然堤防に分類することとした。

次に、250mメッシュが扇状地であるメッシュの検討を行う。前述の4つの指標のヒストグラムを求めたところ、起伏量やスペクトルの傾きに顕著な違いがみられなかったことから、ここでは標高差とNDVIを利用することとした。図13に示す250mメッシュが扇状地の標高差のヒストグラムをみると、自然堤防、扇状地ともピークは同程度であるが、扇状地の方が自然堤防に比べて正側に頻度が多く分布していることがわかる。図14のNDVIのヒストグラムも同様にピークは二つの地形・地盤とも同程度であるが、自然堤防のヒストグラムの方がNDVIの大きい側に分布していることが確認できる。自然堤防は地盤条件が比較良いため、古くからの住宅地として用いられていた。住宅地に付随する形で植生が多く存在することが予想され、扇状地と比べNDVIが大きくなったものと推測される。

そこで、250mメッシュが扇状地であるメッシュに対し

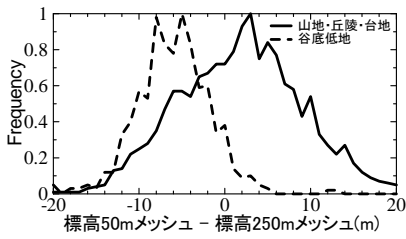


図6 50m-250mメッシュ標高差のヒストグラム(山地・丘陵・台地と谷底低地の比較)

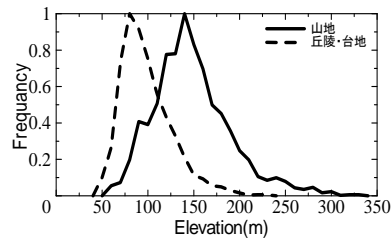


図7 標高のヒストグラム(山地と丘陵・台地の比較)

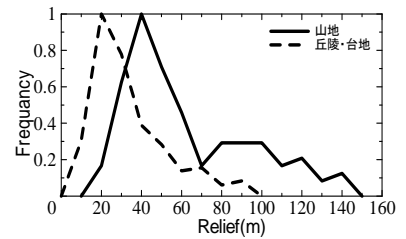


図8 起伏量のヒストグラム(山地と丘陵・台地の比較)

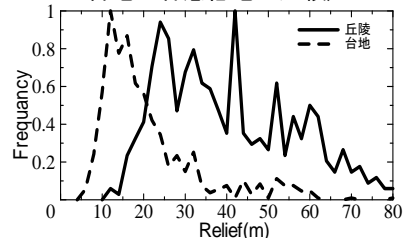


図9 起伏量のヒストグラム(丘陵と台地の比較)

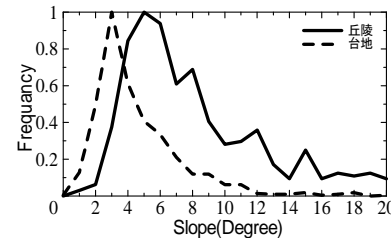


図10 傾斜度のヒストグラム(丘陵と台地の比較)

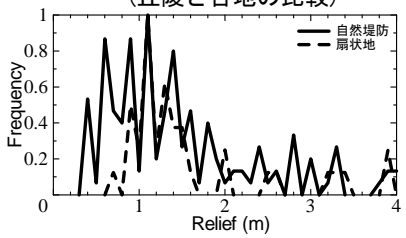


図11 250mメッシュが自然堤防の場合の起伏量のヒストグラム(自然堤防と扇状地の比較)

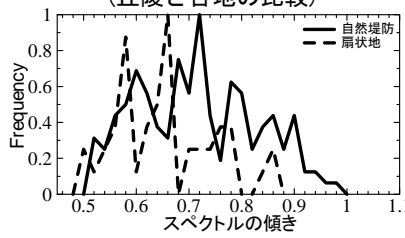


図12 250mメッシュが自然堤防の場合のスペクトルの傾きのヒストグラム(自然堤防と扇状地の比較)

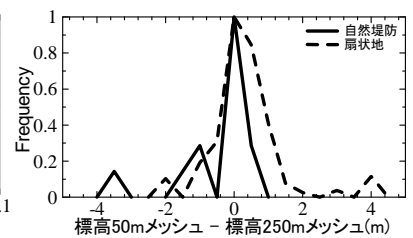


図13 250mメッシュが扇状地の場合の50m-250mメッシュ標高差のヒストグラム(扇状地と自然堤防の比較)

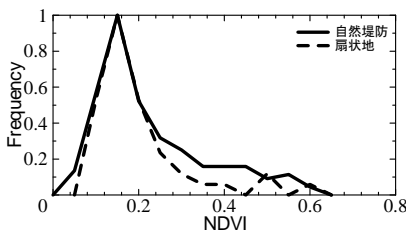


図14 250mメッシュが扇状地の場合のNDVIのヒストグラム(扇状地と自然堤防の比較)

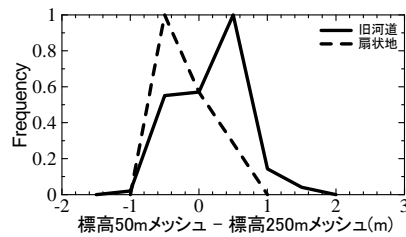


図15 250mメッシュが旧河道の場合の標高差のヒストグラム(旧河道と扇状地の比較)

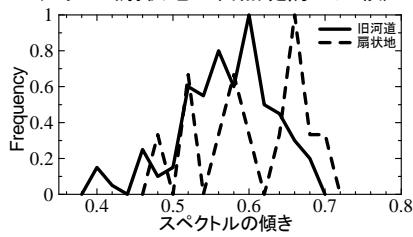


図16 250mメッシュが旧河道の場合のスペクトルの傾きのヒストグラム(旧河道と扇状地の比較)

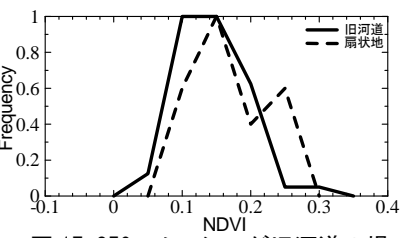


図17 250mメッシュが旧河道の場合のNDVIのヒストグラム(旧河道と扇状地の比較)

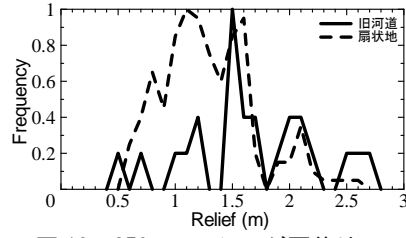


図18 250mメッシュが扇状地の場合の起伏量のヒストグラム(扇状地と旧河道の比較)

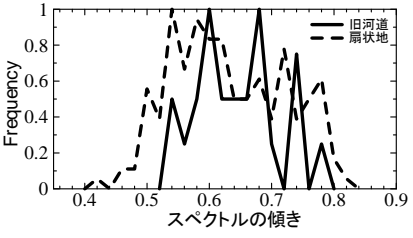


図19 250mメッシュが扇状地の場合のスペクトルの傾きのヒストグラム(扇状地と旧河道の比較)

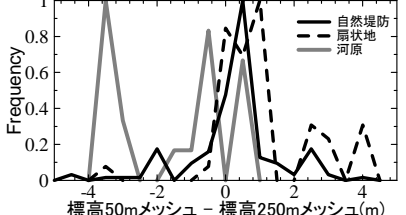


図20 250mメッシュが河原の場合の50m-250mメッシュ標高差のヒストグラム(河原, 扇状地, 自然堤防の比較)

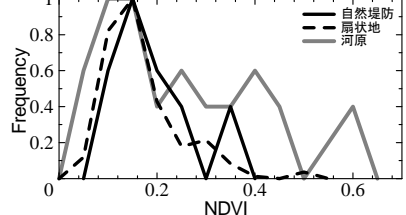


図21 250mメッシュが河原の場合のNDVIのヒストグラム(河原, 扇状地, 自然堤防の比較)

ては、標高差が 0m 以下かつ NDVI が 0.15 以上のメッシュを自然堤防に分類することとした。さらに地形の連続性を考慮して、未分類として残されたメッシュのうち、周囲 3 辺以上が自然堤防のメッシュと接しているものは、自然堤防に分類することとした。

以上により、ほとんどの自然堤防は分類できるが、一部細密化の前提条件を満たさないメッシュが存在した。そのメッシュに対しては、図 13 を考慮して、標高差が 0.6m 以下ならば自然堤防として分類することとした。最後に未分類となったメッシュを扇状地に分類した。

b) 扇状地と旧河道の境界の細密化

扇状地と旧河道の境界の細密化を行う。ここでは、250m メッシュが旧河道であるメッシュを対象として検討する。前述の 4 つの指標のうち、起伏量については地形間で顕著な違いがみられなかったことから、標高差、スペクトルの傾きおよび NDVI を利用することとした。図 15 に示す標高差のヒストグラムをみると、扇状地のピークが -0.4 付近にあり、旧河道のピークは 0.5 付近に存在する。両者のヒストグラムは -0.2 を境に形状が異なっている。図 16 に示すスペクトルの傾きをみると、両ヒストグラムは重なる部分が多いが、0.64 以下の分布については、旧河道の頻度の方が多くなっている。また、図 17 に示す NDVI についても重なる部分が多いが、0.2 以上は扇状地の頻度が優勢である。以上より、250m メッシュが旧河道のメッシュに対しては、標高差が -0.2 以上、スペクトルの傾きが 0.64 以下、NDVI が 0.2 以下のメッシュを旧河道に分類することとした。

次に、250m メッシュが扇状地であるメッシュを対象として検討する。ここでは、4 つの指標のうち、標高差と NDVI については地形間で違いがほとんどみられなかったことから、起伏量とスペクトル傾きを用いて検討することとした。図 18 に示す起伏量のヒストグラムをみると、1.8m 以上において旧河道の頻度の方が扇状地の頻度よりも大きくなっている。旧河道は一般的に周辺と比べ窪んだ形で分布するため、扇状地との境界で起伏量が大きくなったものと推測される。また図 19 のスペクトルの傾きのヒストグラムも同様に、0.58 以上の範囲で旧河道の頻度の方が大きくなっている。そこで 250m メッシュが扇状地であるメッシュに対して、起伏量が 1.8m 以上かつスペクトルの傾きが 0.58 以上のメッシュを旧河道と分類することとした。さらに、地形の連続性を考慮して細密化した。

c) 扇状地と河原の境界の細密化

対象地域では、河原のメッシュは扇状地と自然堤防と接している。ここでは、河原の境界を抽出するために、250m メッシュが河原のメッシュとそれに接するメッシュを対象として、各指標のヒストグラムを算出する。前述の 4 つの指標のヒストグラムを作成したところ、起伏量およびスペクトルの傾きは地形間で大きな違いがみられなかったことから、標高差と NDVI を利用することとした。

図 20 と 21 に河原、扇状地、自然堤防に対する標高差と NDVI のヒストグラムを示す。図 20 をみると、河原の標高差は、それ以外の標高差と比べて小さく、負側の頻度が高いことがわかる。このことは、河原のメッシュが周辺に比べて窪んでいることを表している。これは、河原が河道に接しており、水かさが増した場合に河道となりうることから、その他の地形に比べて低くなっている

ためと考えられる。また、図 21 をみると、河原の NDVI は、その他と比べてやや高い傾向がみられる。これは、河原が公園や広場などに利用される場合が多いため NDVI が高いメッシュが多くなったものと考えられる。

以上の傾向より、標高差が -2.0 以下かつ NDVI が 0.4 以上を示すメッシュを河原に分類することとした。河原は河道に沿って分布するため、メッシュの連続性を考慮して分類した。

(4) 分類規則のまとめ

第 3 章に記した各指標と地形・地盤の関係により提案した細密化のための分類規則と石井他(2007, 2009)^{11,12)}で提案した細密化のための分類規則をまとめ、全ての地形地盤に対応するように整理した。作成した細密化のための分類規則を表 1 に示す。ただし、本検討では主に 5~6 月に撮影された衛星画像を利用しており、異なる季節に撮影された画像を利用する場合には NDVI の閾値は変化し得る可能性がある。また、本分類規則による衛星画像や標高データの指標の閾値については、神奈川県東部のデータを用いて南関東地域を主たる対象として設定されたものであり、他の地域への適用については別途検討する必要がある。

4. 分類結果と精度

(1) トレーニングエリアでの細密化結果

a) 山地・丘陵・台地における細密化結果

図 22 に、山地、丘陵・台地エリアにおける(a)既往の 250m メッシュマップ、(b)正解とする 50m メッシュマップ、(c)本研究で推定した 50m メッシュマップを示す。図中の実線は、正解とする 50m メッシュマップにおける各微地形の境界線を表している。

図中の A で示す箇所は、台地の中に谷底低地が分布している箇所である。この箇所の(c)推定結果をみると、谷底低地の分布が比較的良好に捉えられていることが確認できる。一方で、図中の B に示すように、山地の中に埋もれて分布する規模の小さな谷底低地は標高差の違いが現れにくく、抽出することが困難であった。

b) 扇状地における細密化結果

図 23 には、扇状地エリアにおける(a)既往の 250m メッシュマップ、(b)正解とする 50m メッシュマップ、(c)本研究で推定した 50m メッシュマップを示す。図中の実線は、図 22 と同様に、正解とする 50m メッシュマップによる地形の境界線を表している。図(b)と(c)を比較すると、扇状地、自然堤防、旧河道および河原の分布は概ね対応しており、提案手法によりうまく細密化できていることが確認できる。

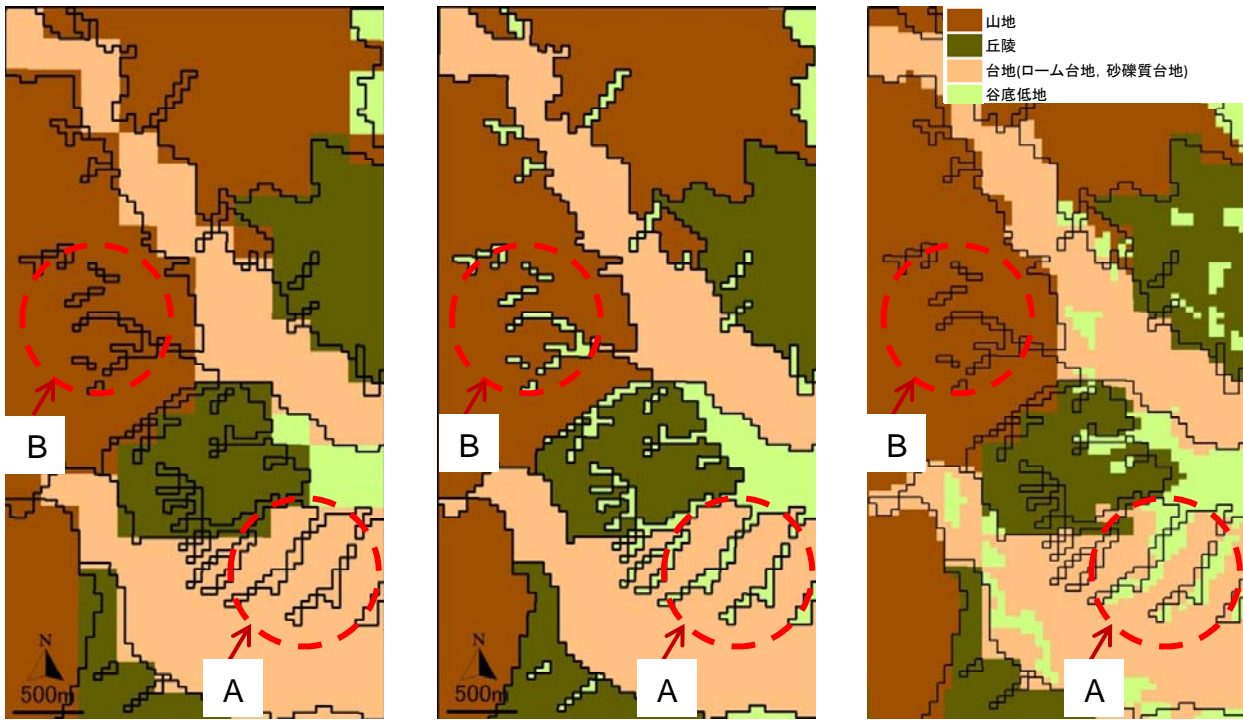
(2) 誤答率の算出

細密化の精度を確認するために誤答率の算出を試みた。誤答率とは、細密化を行った際に誤分類と判断されたメッシュ数から正解とする 50m メッシュ数を除することで得られる値である。本検討で作成した 50m メッシュマップは最終的に地盤増幅率の推定に用いるため、細密化の結果が、低地、台地、丘陵、山地といった大地形区分を超えて間違っていた場合、地盤増幅率の算出に大きな影響が出てしまう。ここでは、安全側に評価することを考えて、「正解とする 50m メッシュでは低地と評価されて

表 1 細密化のための分類規則

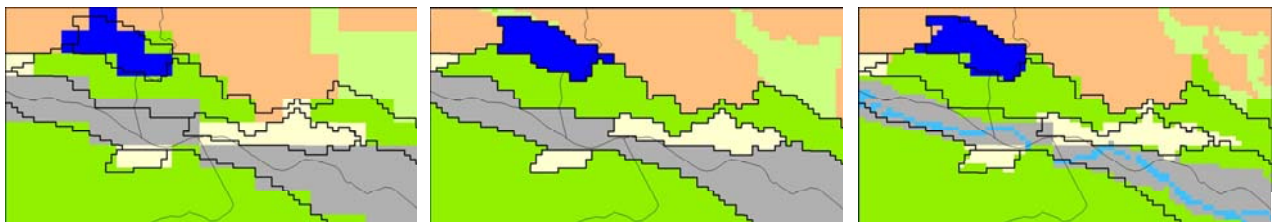
大分類	地形・地盤	細密化のための分類規則
山地	山地	① 標高110m以上または起伏量28m以上(結果に対して地形の連続性を考慮) ② 細密化の要件を満たしていない山地メッシュに対しては、起伏量が20m以上を山地とする条件を追加。細密化の要件を満たしていない山地以外にメッシュは、未分類に変更(結果に対して地形の連続性を考慮)
	谷底低地	① 250mメッシュ山地において標高差が0m以上であれば谷底低地 ② 250mメッシュ谷底低地で標高差が-10m以上であれば谷底低地(結果に対して地形の連続性を考慮)
丘陵・台地	谷底低地	① 250mメッシュが谷底低地で標高差が-2以上であれば谷底低地 ② 250mメッシュが谷底低地以外で標高差が-4以上であれば谷底低地(結果に対して地形の連続性を考慮)
	丘陵と台地の境界	① 250mメッシュ丘陵において起伏量が20m以上、もしくは傾斜度が4度よりも大きい箇所は丘陵とした(結果に対して地形の連続性を考慮) ② 細密化の前提条件を満たしていない250mメッシュ丘陵において、起伏量が15m以上の箇所を丘陵とし、それ以外を台地とする(結果に対して地形の連続性を考慮)
	その他の低地	上記以外のメッシュ
埋立地 干拓地	埋立地 干拓地	① 250mメッシュで埋立地または水域に囲まれている ② 標高2~3.5m ③ 50mメッシュ変換後、埋立地に分類されなかったメッシュがある場合、そのメッシュよりも陸側はその他の低地とする
	その他の低地	上記以外のメッシュ
扇状地	河原	① 250mメッシュ自然堤防においてNDVIが0.4以上かつ標高差が-2.0m以下は河原 ② 250mメッシュ扇状地においてNDVIが0.4以上かつ標高差が-2.0m以下は河原 ③ 250mメッシュ河原においてNDVIが0.4以上もしくはスペクトルの傾きが0.7以上は河原 (①~③までで分類されたものに対して地形の連続性を考慮する) ④ 細密化の前提条件を満たしていないメッシュに対してNDVIが0.2以上という規則を加えて、河原に分類する
	自然堤防	① 250mメッシュ自然堤防において起伏量1m以下もしくはスペクトルの傾き0.7以上は自然堤防(結果に対し地形の連続性を考慮) ② 250mメッシュ扇状地において標高差が0m以下かつNDVIが0.15以上は自然堤防(結果に対して地形の連続性を考慮) ③ ①, ②を終えた段階で細密化の前提条件を満たしていない250mメッシュ自然堤防の中の50mメッシュに対して、標高差が0.6以下は自然堤防という規則を与える(結果に対して地形の連続性を考慮) ④ 未分類メッシュとなっているものは、扇状地とする
	旧河道	① 250mメッシュが旧河道において標高差が-0.2以上、もしくはスペクトルの傾きが0.64以下もしくはNDVIが0.2以下を旧河道(結果に対して地形の連続性を考慮) ② 250mメッシュ扇状地において起伏量が1.8m以上かつスペクトルの傾きが0.58以上を旧河道とする(結果に対して地形の連続性を考慮) ③ 未分類となったメッシュを扇状地とする。
扇状地と後背湿地, 三角州・海岸低地の境界		① 250mメッシュが扇状地で、起伏量が1.2m以上もしくはスペクトルの傾きが0.7以下、250mメッシュが後背湿地で標高差が0m以下でかつNDVIが0.1以上であれば扇状地(結果に対して地形の連続性を考慮) ② ①で未分類のものを後背湿地、三角州・海岸低地とする
低地	砂州・砂礫州, 砂丘	① 250mメッシュでルーム台地と接している場合 a,起伏量が0.75未満は三角州・海岸低地候補, 0.75以上1.0未満は境界領域, 1.0m以上は砂州・砂礫州, 砂丘候補. b,スペクトルの傾きが0.58未満は砂州・砂礫州, 砂丘候補, 0.58以上0.66未満は境界領域, 0.66以上は三角州・海岸低地候補 ② 250mメッシュでルーム台地と接していない a,標高が1.5未満は三角州・海岸低地候補, 1.5以上1.9未満は境界領域, 1.9m以上は砂州・砂礫州, 砂丘候補. b,スペクトルの傾きが0.64未満は砂州・砂礫州, 砂丘候補, 0.64以上0.70未満は境界領域, 0.70以上は三角州・海岸低地候補 ①, ②それぞれのa,bごとに以下の方法にて細密化 ・ a,bの両方で同じ地形・地盤の候補になったものは、その地形・地盤として細密化。 ・ a,bのいずれかが境界領域、いずれかが砂州・砂礫州を示していれば、そのメッシュは砂州・砂礫州、砂丘に分類 ②ここまでで細密化の前提条件を満たしていないメッシュは全て未分類に変更する。 ・ 未分類メッシュの対象メッシュ、上下左右4メッシュのうち、少なくとも一つが砂州・砂礫州、砂丘であり、後背湿地ないし三角州・海岸低地は一つ以下である条件を満たすメッシュを砂州・砂礫州、砂丘とする
	後背湿地	
	三角州・ 海岸低地	
	自然堤防	a,標高が3.0m未満は自然堤防候補, 3.0m以上3.4m未満は境界領域, 3.4m以上は後背湿地ないし三角州・海岸低地候補. b,スペクトルの傾きが0.6未満は自然堤防候補, 0.6以上0.76未満は境界領域, 0.76以上は後背湿地ないし三角州・海岸低地候補 ・ a,bの両方で同じ地形・地盤の候補になったものは、その地形・地盤として細密化。 ・ a,bのいずれかが境界領域、いずれかが自然堤防を示していれば、そのメッシュは自然堤防に分類 ・ ここまでで細密化の前提条件を満たしていないメッシュは全て未分類に変更する。 ・ 未分類メッシュの対象メッシュ、上下左右4メッシュのうち、少なくとも一つが自然堤防であり、後背湿地ないし三角州・海岸低地は一つ以下である条件を満たすメッシュを砂州・砂礫州、砂丘とする
	旧河道	① 250mメッシュ旧河道において標高が1.5m以上を旧河道とする ② 未分類メッシュのうち、周囲いずれかが旧河道と接し、他の3辺が自然堤防、旧河道、河川・水路、河原のいずれかに接しているメッシュ
河原	250mメッシュ河原において砂州・砂礫州、砂丘、自然堤防、旧河道に分類されなかった箇所は河原とする。	
後背湿地 三角州・海岸低地	ここまでで未分類の箇所は、250mメッシュの分類に従い、後背湿地か三角州・海岸低地とする	

注:条件に番号がふつてあるものは、番号の若い順に分類の優先順位が高いことを表す



(a)250mメッシュマップ (b)正解とする50mメッシュマップ (c)推定した50mメッシュマップ

図 22 山地、丘陵・台地検討トレーニングエリアにおける 250mメッシュマップ、正解とする50mメッシュマップおよび推定した50mメッシュの比較



(a)250mメッシュマップ (b)正解とする50mメッシュマップ (c)推定した50mメッシュマップ

図 23 扇状地検討トレーニングエリアにおける 250mメッシュマップ、正解とする50mメッシュマップおよび推定した50mメッシュマップの比較

表 2 トレーニングエリアにおける誤答率

分類項目	正解とする 50mメッシュ (a)	250mメッシュで 誤答と判断された メッシュ数(b)	推定した50mで 誤答と判断された メッシュ数(c)	誤答率 (250mメッシュ) (b)/(a)*100	誤答率 (推定50m) (c)/(a)*100
実際は低地なのに、 山地、丘陵、台地と評価 されてしまったメッシュ	7854	1120	951	14.3	12.1
実際は台地なのに、 山地、丘陵と評価 されてしまったメッシュ	4987	151	101	3.0	2.0

いるのに、山地、丘陵、台地と評価されてしまったメッシュ」と「正解とする50mメッシュでは台地なのに、山地、丘陵と評価されてしまったメッシュ」の2つの場合について、推定した50mメッシュと元の250mメッシュで誤答率を評価した。

誤答率を表2に示す。表2上段をみると低地にならなかった誤答率は、250mメッシュでは14%なのに対して、本研究で推定した50mメッシュは12%と小さくなっている。また、表2下段に示すように、台地とならなかった誤答率についても、本研究による50mメッシュで小さく

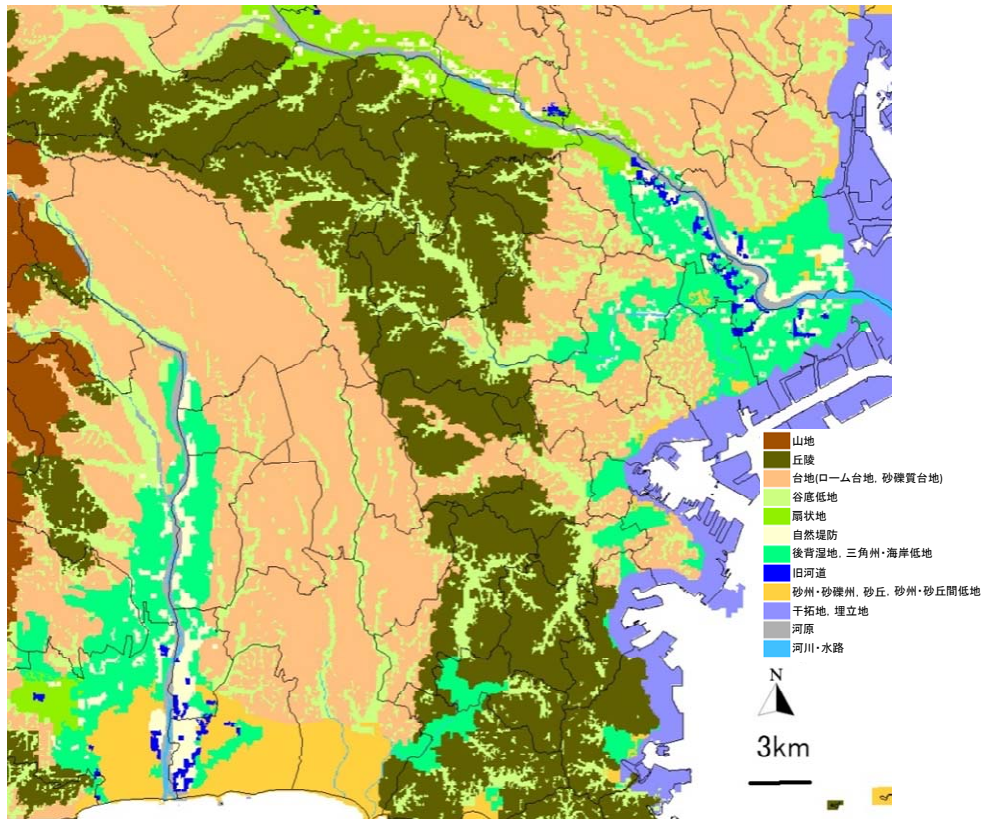


図 24 神奈川県東部における地形・地盤分類メッシュマップの細密化の結果

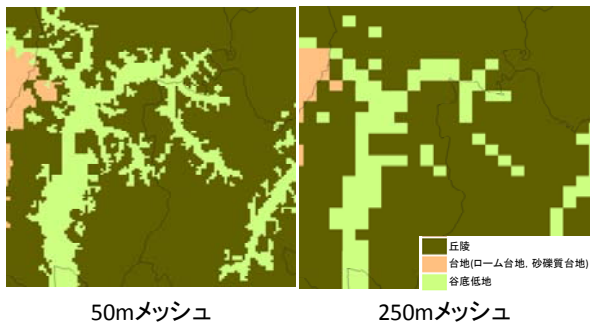


図 25 細密化結果の拡大図

なっている。ここではトレーニングエリア全体で誤答率の変化を示したが、地形の境界に接する 250m メッシュエリアのみを対象とすれば、誤答率の向上度はさらに高まる。これらのことより、推定した 50m メッシュマップはより適切に地盤増幅度を評価できるものと考えられる。

(3) 神奈川県東部での適用結果

神奈川県東部において細密化のための分類規則を対象地域へ適用した。得られた 50m メッシュマップを図 24 に示す。山地、丘陵、台地の分布は 250m メッシュマップの結果と矛盾なく分類されている。

図 25 には、丘陵・台地と谷底低地の境界部分における細密化した 50m メッシュと 250m メッシュの比較を示す。図をみると 50m メッシュでは、250m メッシュと比べ規模の小さな谷底低地が表現されていることが確認できる。

5. 結論

本研究では、既存の 250m メッシュの地形・地盤分類マップをそれぞれの地形・地盤の特徴を考慮して高分解能衛星画像や DEM を用いて 50m メッシュマップに細密化する分類規則を作成し、神奈川県東部における適用例を示した。トレーニングエリアにおいて細密化を行い、正解とする 50m メッシュマップを基に誤答率を計算したところ、250m メッシュと比べて細密化された 50m メッシュマップの方が誤答率が低くなることを確認した。このことから、推定した 50m メッシュマップにより、細密な地盤条件の差異をより適切に評価でき、より細密な地盤増幅度の評価が可能になるものと考えられる。

ただし、地盤増幅度の評価においては、地形の規模によって堆積の状況が異なる可能性が考えられることから、250m メッシュマップでは抽出されずに細密化により抽出された小規模な地形については、堆積層の厚さが薄くなることを考慮して、AVS30 の推定式を見直すことなども高度化のために今後必要とならう。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省・科学技術振興調整費「統合化地下構造データベースの構築（代表者：防災科学技術研究所・藤原広行プロジェクトディレクター）」によっている。関係各位に記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 翠川三郎, 松岡昌志: 国土数値情報を利用した地震ハザードの総合的評価, 物理探査, Vol.48, No.9, pp.519-529, 1992
- 2) 若松加寿江, 松岡昌志, 久保純子, 長谷川浩一, 杉浦正美: 日本全

- 国地形・地盤分類メッシュマップの構築, 土木学会論文集, No.759/I-67, pp.213-232, 2004.
- 3) 内閣府 (防災担当) : 地震防災マップ作成技術資料, <http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/050513siryoku.pdf>, 2005.
 - 4) 鄭炳表, 細川直史, 畑山健, 座間信作: リモートセンシングに基づく面的基盤データの抽出と地域被害想定への適応に関する研究 -その 1 広域の地盤増幅度推定に向けた DEM による地形分類-, 地域安全学会梗概集, No.13, pp.175-178, 2003.
 - 5) Matsuura, T., Yokohari, M. and Azuma, A.: Identification of Potential Habitants of Gray-Faced Buzzard in Yatsu Landscapes by Using Digital Elevation Model And Digital Vegetation Data, *Landscape and Urban Planning*, Vol.70, pp.231-243, 2005.
 - 6) Iwahashi, J. and Pike, R. J.: Automated Classification of Topography from DEMs by an Unsupervised Nested-means Algorithm and a three-part geometric signature, *Geomorphology*, 86, pp.409-440, 2007.
 - 7) Yong, A., Hough, S. E., Abrams, M. J., Cox, H. M., Wills, C. J., and Simila, G. W.: Site Characterization Using Integrated Imaging Analysis Methods on Satellite Data of the Islamabad, Pakistan, Region, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.98, No.6, pp.2679-2693, 2008.
 - 8) Bayramin, I.: Using Geographic Information System and Remote Sensing Techniques in Making Presoil Surveys, *Proceedings of International Symposium on Desertification*, Paper No.4, 2000.
 - 9) 中井正一, 山口祥生, 石田理永: 衛星データと古い時期の土地利用に基づく地盤特性推定の試み, 日本建築学会構造系論文集, 第 552 号, pp.69-75, 2002.
 - 10) 若松加寿江, 松岡昌志: 大都市圏を対象とした地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築, 土木学会地震工学論文集, 論文番号 27-050, 2003 (CD-ROM).
 - 11) 石井一徳, 翠川三郎, 三浦弘之: 数値標高モデルと衛星画像を用いた地形・地盤分類メッシュマップの細密化の検討, 地域安全学会論文集, No.9, pp.121-129, 2007.
 - 12) 石井一徳, 翠川三郎, 三浦弘之: 高解像度衛星画像と数値標高モデルを用いた地形・地盤分類メッシュマップの細密化手法の改良, 地域安全学会論文集, No.9, pp.61-68, 2009.
 - 13) 物理探査学会: 光学リモートセンシング, 物理探査ハンドブック, pp.536-551, 1998.
 - 14) 神谷泉, 田中耕平, 長谷川裕之, 黒木貴一, 早田靖博, 小田切聡子, 政春尋志: 傾斜量図の作成とその応用, 情報地質, Vol.10, No.2, pp.76-79, 1999.
 - 15) 柳田誠, 藤原治, 後藤憲央, 佐々木俊法: 谷密度と起伏量による丘陵の定義, 地学雑誌, 113 号, pp.835-847, 2004.
- (原稿受付 2010.9.3)
(登載決定 2011.1.4)