

## 1km メッシュ単位の地形勾配に基づく地形特性の分類方法の提案

## Proposal of Classification Method of Land Feature Based on its Slope in 1 km Mesh Unit

小田和広 Kazuhiro ODA (大阪大学大学院工学研究科)  
 越村謙正 Kensei KOSHIMURA (大阪大学大学院工学研究科)  
 櫻谷慶治 Keiji SAKURADANI (西日本高速道路(株))  
 伊藤真一 Shin-ichi ITO (大阪大学大学院工学研究科)

土砂災害発生の危険度が高まっている領域を表す土砂災害警戒判定メッシュ情報では、評価指標に斜面崩壊発生の誘因である60分間積算雨量と土壌雨量指数が用いられ、メッシュ内の地形等の素因の影響が十分に考慮されていない。本研究では、土砂災害警戒判定メッシュ情報の精度向上への寄与を念頭に置いた、評価指標への地形情報の導入に関する基礎的研究として、1kmメッシュ単位の地形特性の表現方法を検討した。航空写真判読による地域分類と、斜面勾配の統計量(平均、標準偏差)による地域分類の整合に基づく、1kmメッシュを分類する方法を提案した。提案方法は、多様な地形が混在する1kmメッシュのような広域地域においても有効であることを明らかにした。

キーワード：地形分析，数値標高モデル，斜面勾配，平均，標準偏差 (IGC：E06)

## 1. はじめに

2014年8月20日の広島での土砂災害を契機として、2014年11月に「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律の一部を改正する法律」(以下、「改正土砂災害防止法」)が成立し、2015年1月から施行されている。この法律では、土砂災害警戒情報が、避難勧告等の発令に資する情報として、法律上に明確に位置付けられた。そのため、土砂災害警戒情報の精度向上が望まれている。

土砂災害警戒情報は、大雨警報(土砂災害)が発表されている状況で、土砂災害発生の危険度がさらに高まったときに、市町村長の避難勧告や住民の自主避難の判断を支援するよう、対象となる市町村を特定して警戒を呼びかける情報である。それは、都道府県と気象庁によって共同で発表される<sup>1)</sup>。土砂災害警戒判定メッシュ情報は、土砂災害警戒情報が発表された市町村内で土砂災害発生の危険度が高まっている領域を5kmメッシュ単位で表したものである<sup>2)</sup>。危険度の評価指標として、二つの降雨に関する指標が用いられている。一つは、短期降雨指数としての60分間積算雨量である。もう一つは、長期降雨指数としての土壌雨量指数<sup>3)</sup>である。これの二つの指標を軸とする平面上に、危険度判定の閾値となる土砂災害発生危険基準線<sup>3)</sup>との位置関係から土砂災害発生の危険度が判定される。現在、土砂災害発生危険基準線は、降雨情報によってのみ定められており、土砂災害危険箇所ごとの地形・地質および植生等の影響は考慮されていない。したがって、土砂災害警戒判定メッシュ情報を高度化するためには、メッシュ単位の地形・地質および植生等の影響を考慮した土砂災害発生危

険基準線を設定することが重要であると考えられる。

また、土砂災害警戒判定メッシュ情報では、5kmメッシュの地域を空間的な評価単位としている。しかし、近年では、降雨などの気象情報は1kmメッシュの地域毎で与えられる。そのことから、5kmメッシュの地域内でも降雨は必ずしも一律でないことが明らかにされている。すなわち、土砂災害警戒判定メッシュ情報を高度化するためには、空間的な評価単位を狭くすることが有効であると考えられる。

このような背景に基づき、筆者らは、土砂災害警戒判定メッシュ情報に素因の一つである地形情報を導入し、高度化する基礎技術の開発を目指している<sup>4)</sup>。すなわち、現在提供される気象の基本単位である1kmメッシュ単位の地形特性を数値的に表現する代表値とそれに基づく地形特性の分類が必要である。

地形情報による斜面の特徴付けに関する研究は以前から行われてきた。特に、斜面勾配を例にとれば、既往の研究<sup>例えば、5)7)</sup>における地形分析の多くでは、数値標高モデル(DEM)の解析により求まる局所的な斜面勾配を、同地点における個々の地形の代表値として用いることで、その地形特性の考察が行われている。このように、斜面勾配は斜面を特徴付ける一つの指標である。そこで、本研究では、地形の基本要素である斜面勾配を用い、1kmメッシュの地形特性を数値的に表現する方法を検討するとともに、その地形特性に基づき、1kmメッシュの定量的な分類方法を提案する。

本研究では、まず、1kmメッシュ毎の地形特性を航空写真から判読し、特徴に基づき区分する。次に、国土地理院の数値標高モデル(以下、10mDEMと呼ぶ)を用い、対象

地域内の斜面勾配を算出する。そして、1km メッシュ毎に、斜面勾配について、基本的な統計量である平均値と標準偏差を算出する。更に、それらと写真判読により区分された地形の特徴との関係を明らかにすることで数値的に表現された地形特性に基づき、1km メッシュを分類する。

## 2. 研究対象地域

図-1 は、本研究の対象地域<sup>8)</sup>を示している。対象地域は、総務省統計局が定める「統計に用いる標準地域メッシュおよび標準地域メッシュ・コード<sup>9)</sup>」における4個の隣接した標準地域2次メッシュ523560、523561、523570、523571である。これらは、兵庫県丹波市北部地域を中心とした約20km四方の地域にあたる。本研究では、それぞれの標準地域2次メッシュを東西と南北方向に10分割した、約1km四方の標準地域3次メッシュ(以下、地域メッシュと呼ぶ)400個を検討の単位エリアとする。それらの地域メッシュは気象庁から提供される気象情報の基礎単位と対応している。また、研究対象地域内では、平成26年8月16日、17日に記録的な豪雨(平成26年8月豪雨)が観測され、斜面崩壊による土石流の発生が多数報告されている<sup>10)</sup>。

## 3. 航空写真判読に基づく地域メッシュの区分

地域メッシュの地形特性の数値的表現方法の検討に先立ち、航空写真による判読を行った。判読には、Google Mapに掲載されている航空写真を用いた。これは、平成27年6月に撮影されたものである。

図-2 は、判読に用いた航空写真の内、典型的な特徴を持つものを例として示している。写真判読から、対象地域内の地域メッシュは、図-2 上図のように、森林で覆われた山地と見られる地形が多くの部分を占める地域メッシュ(以下、山地メッシュと呼ぶ)、図-2 中図のように、住宅地や農耕地のような平地と見られる地形が多くの部分を占める地域メッシュ(以下、平地メッシュと呼ぶ)、そして、図-2 下図のように、山地と見られる部分と平地と見られる部分が混在している地域メッシュ(以下、混在メッシュと呼ぶ)に区分できることが分かった。また、対象地域内の400個の地域メッシュは、120個が山地メッシュ、22個が平地メッシュ、そして258個が混在メッシュであると判読された。

このように、対象地域は、山地メッシュや混在メッシュと呼ばれる山地と見られる地形を含んだ地域メッシュによって大半が占められている。したがって、それらの地形特性を数値的に表現するにあたっては、山地と見られる箇所地形特性を表現できる指標によって地域メッシュの地形特性を評価することが必要であると考えられる。

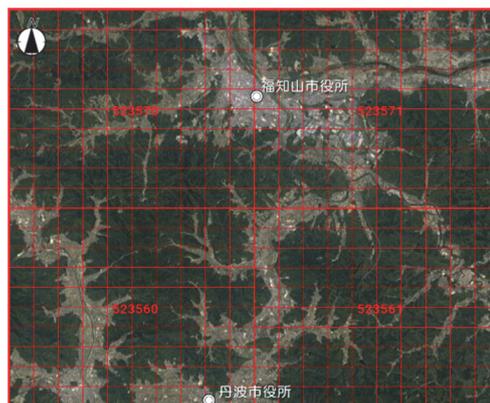


図-1 研究対象地域

『地図上で標準地域メッシュを確認するページ<sup>8)</sup>』  
から引用・加筆



図-2 地域メッシュの航空写真の例

上図：標準地域3次メッシュ52356096

中図：標準地域3次メッシュ52356043

下図：標準地域3次メッシュ52356080

『地図上で標準地域メッシュを確認するページ<sup>8)</sup>』  
から引用・加筆

#### 4. 地形特性の分析に用いる数値的指標

前章で指摘したように、対象地域内は、山地と見られる地形を含んだ地域メッシュによって大半を占められている。したがって、こうした地域メッシュの地形特性を表現する指標として、本研究では、「斜面勾配<sup>1)</sup>」を用いる。

図-3は、斜面勾配の算出に用いた10mDEMの概念図である。斜面勾配は、10mDEMにおける対象の標高点と、その近傍の8個の標高点からなる、9個の標高点群を基本単位とし、それらの標高値から算出される。図中に赤く示した対象の標高点における斜面勾配 $I_e$ は、各標高点の標高値から式(1)、(2)、(3)により算出される。

$$I_e = \tan^{-1} \{ [(dz/dx)^2 + (dz/dy)^2]^{0.5} \times (180/\pi) \} \quad (1)$$

$$dz/dx = \{(a + 2d + g) - (c + 2f + i)\} / 80 \quad (2)$$

$$dz/dy = \{(a + 2b + c) - (g + 2h + i)\} / 80 \quad (3)$$

ここに、 $a, b, c, d, e, f, g, h, i$ は、各標高点の標高値をそれぞれ表している。10mDEMを用いると、対象の標高点を中心とした20m四方を単位とする局所的な斜面勾配を算出することができる。その結果、一つの地域メッシュ内で約8000箇所の斜面勾配のデータを入手することができる。

#### 5. 斜面勾配の平均値と標準偏差に基づく地形特性の数値的表現と地域メッシュの分類

##### 5.1 斜面勾配の平均値に基づく検討

約8000箇所の斜面勾配をそのまま用いて一つの地域メッシュの地形特性を数値的に表現することは実用的でない。そのため、最も基本的な統計量である平均値の適用性を検討する。対象の400個の地域メッシュでは、斜面勾配の平均値が $28.5^\circ$ 以上の地域メッシュが122個存在した。その内の2個は、3.で航空写真によって判読した混在メッシュであったが、それら以外の120個は、山地メッシュであった。また、平均値が $3.7^\circ$ 以下の地域メッシュが23個存在した。その内1個は混在メッシュであったが、それ以外の22個は、平地メッシュであった。そして、平均値が $3.7^\circ$ よりも大きく、 $28.5^\circ$ よりも小さい残りの255個は、全て、混在メッシュであった。この検討により、対象地域内の地域メッシュにおいて、斜面勾配の平均値が $28.5^\circ$ 以上であれば、山地メッシュ、 $3.7^\circ$ 以下であれば、平地メッシュである可能性が非常に高いことが分かった。同様に、平均値が $3.7^\circ$ より大きく、 $28.5^\circ$ より小さければ、混在メッシュである可能性が非常に高いことが分かった。このことから、斜面勾配の平均値を代表値として用いることで、写真判読で行った地域メッシュの分類を高い精度で再現できることが確認できた。

以上の検討から、斜面勾配の平均値を地域メッシュの地形特性の代表値として用いることで、写真判読による地域メッシュの分類を高い精度で再現できることが分かった。

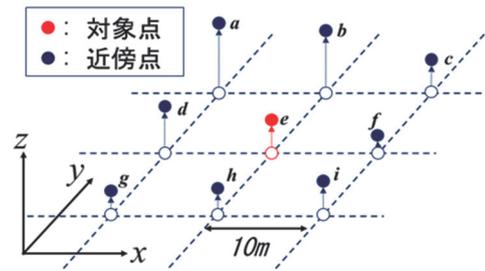


図-3 10mDEMの概念図

##### 5.2 斜面勾配の頻度分布と地形特性との関係性の考察

ここでは、図-2に示した3個の地域メッシュについて、斜面勾配の頻度分布に基づき、その地形特性を考察する。図-4は、図-2で示した3個の地域メッシュの斜面勾配の頻度分布を示している。図-4上図の山地メッシュにおける頻度分布では、 $30^\circ$ 以上の斜面勾配を持つ地形の頻度が78.8%と非常に大きい。また、 $30^\circ \sim 35^\circ$ から $40^\circ \sim 45^\circ$ にかけてピークを持ち、斜面勾配が減少するとともにその頻度が単調に低下している。そして、斜面勾配が $5^\circ$ 以下の頻度は、1.2%であり、無視し得るほど小さい。一方、図-4中図の平地メッシュにおける頻度分布では、 $0^\circ \sim 5^\circ$ にピークを持ち、98.0%を占めている。そのため、 $5^\circ$ 以上の斜面勾配を持つ地形がほぼ存在していないことが示唆される。また、図-4下図の混在メッシュにおける頻度分布は、 $0^\circ \sim 5^\circ$ と $30^\circ \sim 35^\circ$ から $40^\circ \sim 45^\circ$ にかけて二つのピークを持っている。ここで、 $30^\circ \sim 35^\circ$ から $40^\circ \sim 45^\circ$ にかけてピークを持つ特徴は山地メッシュと同様であり、 $0^\circ \sim 5^\circ$ にピークを持つ特徴は、平地メッシュと同様である。したがって、混在メッシュにおける斜面勾配の頻度分布は、山地メッシュの分布と平地メッシュの分布のある割合で単純に和したものと考えられる。

また、混在メッシュでは、こうした特徴から、山地と見られる地形が存在しても、同メッシュに平地と見られる地形が存在しているため、メッシュ全体では、斜面勾配の平均値が山地メッシュのそれと比較し小さくなる。この点から、メッシュ全体として複雑な地形特性を持つと考えられる混在メッシュについて、更なる検討が必要である。

##### 5.3 斜面勾配の平均値と標準偏差に基づく検討

写真判読により区分されたグループ毎に斜面勾配の頻度分布の特徴が大きく異なることから、この特徴の違いを数値的に表現するために、標準偏差を用いることとした。

図-5は、対象の400個の地域メッシュ毎の斜面勾配の平均値と標準偏差の関係を示している。斜面勾配の平均値が $20^\circ$ を超える分布域では、平均値が大きくなると、標準偏差が小さくなる。これは、平均値が大きな地域メッシュでは、 $30^\circ \sim 35^\circ$ から $40^\circ \sim 45^\circ$ の頻度が高くなるためであると考えられる。また、平均値が $20^\circ$ を下回る分布域では、平均値が小さくなると、標準偏差も小さくなるが、これも、平均値が小さな地域メッシュでは、 $0^\circ \sim 5^\circ$ の頻度が高くなるためであると考えられる。また、平均値が $20^\circ$ 前後の分布域では、標準偏差が大きな地域メッシュが

存在するが、**図-2 下図**に航空写真の一例を示したように、それらは、山地と見られる地形と平地と見られる地形が混在した地域メッシュである。すなわち、**図-4 下図**のような二つのピークを持つような分布であるため、標準偏差が大きい。つまり、この例から、標準偏差は、山地と見られる地形部分と平地と見られる地形部分の割合を示唆していると考えられ、標準偏差が大きいということは、山地と見られる地形部分と平地と見られる地形部分の割合がほぼ等しく、標準偏差が小さくなるにつれて、いずれか一方が占める割合が大きくなっていることを示唆している。

ところで、**5.1**で指摘した混在メッシュでありながら斜面勾配の平均値が  $28.5^\circ$  以上の2個の地域メッシュについて、標準偏差を求めると、それぞれ  $13.3^\circ$ 、 $14.9^\circ$  という結果が得られた。これは、山地メッシュ群での最大値である  $11.8^\circ$  よりも大きい。そこで、この特徴から、斜面勾配の平均値と標準偏差により、写真判読での分類と整合する地域メッシュの分類方法を検討する。すなわち、**図-5**に示すように、斜面勾配の平均値が  $28.5^\circ$  以上で、その標準偏差が  $11.9^\circ$  以下の地域メッシュを山地メッシュとして定量的に再定義した。同様に、混在メッシュでありながら斜面勾配の平均値が  $3.7^\circ$  以下の地域メッシュについて、標準偏差を求めると、 $9.0^\circ$  という結果が得られた。これは、平地メッシュ群での最大値である  $6.5^\circ$  よりも大きい。そこで、斜面勾配の平均値が  $3.7^\circ$  以下で、その標準偏差が  $6.6^\circ$  以下の地域メッシュを平地メッシュとして再定義した。そして、いずれにも該当しない地域メッシュを混在メッシュと再定義した。つまり、この方法によって、写真判読と同様に地域メッシュの分類を行うことができる。

一方、**図-5**に示すように、混在メッシュに分類された地域メッシュ群は、その分布域の広さから、地形特性の多様性が示唆される。そのため、混在メッシュの地形特性のより詳細な考察が必要である。

## 6. 混在メッシュにおける傾斜地の地形特性の考察

航空写真判読に基づく地域メッシュの区分に関する考察や斜面勾配の頻度分布と地形特性の関連性に関する考察を通じ、混在メッシュの斜面勾配の分布は勾配が極めて小さい平坦な部分と山地に代表される平坦でない部分の和によって与えられることが示唆された。したがって、混在メッシュの平坦ではない部分では、土砂災害が発生する可能性があると考えられる。そこで、本章では、混在メッシュ内に存在し得る、山地と見られる地形部分の地形特性を考察する。

**図-4 下図**の斜面勾配の頻度分布から、当該メッシュをはじめとする混在メッシュは、 $30^\circ$  を超える斜面勾配を持つといった、山地と見られる地形と、**図-4 中図**で多くの割合を占めた、平地と見られる、斜面勾配が  $5^\circ$  よりも小さい地形が混在している。このことから、混在メッシュから山地と見られる箇所の斜面情報を抽出する方法として、全

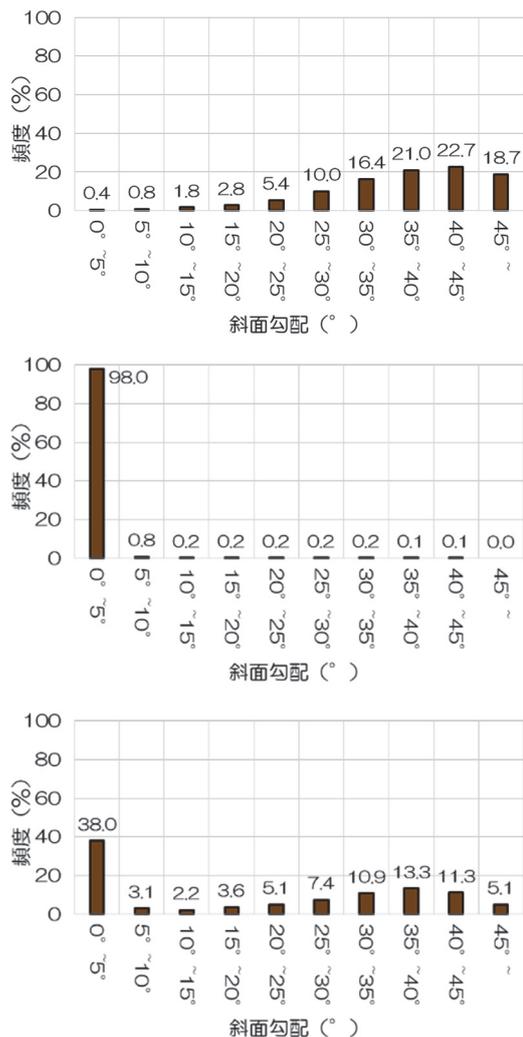


図-4 斜面勾配の頻度分布

上図：標準地域3次メッシュ 52356096  
 中図：標準地域3次メッシュ 52356043  
 下図：標準地域3次メッシュ 52356080

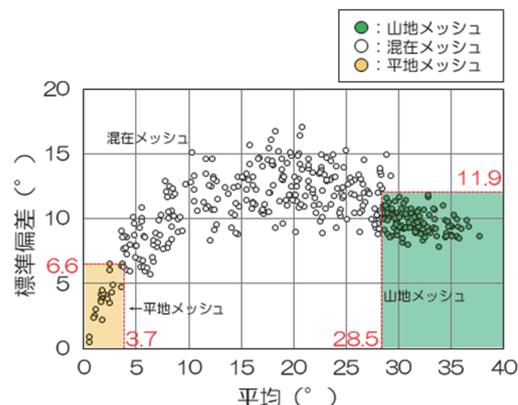


図-5 斜面勾配の平均値と標準偏差の関係

体の斜面勾配の集合から平地と見られる箇所の斜面勾配を除去することが可能であると考えられる。ここでは、**図-4 中図**、**図-4 下図**の考察から、斜面勾配が  $5^\circ$  よりも小さい地形部分を平地と見られる箇所とした。すなわち、斜面勾配が  $5^\circ$  以上の地形部分（以下、傾斜地部分と呼ぶ）

の平均値と標準偏差を再算出し、前章で提案した方法に基づいて地域メッシュの再分類を行う。

図-6 は、混在メッシュにおいて、斜面勾配が  $5^\circ$  よりも小さい地形部分を除去する前後での斜面勾配の統計量を示している。統計量の変化の全体的な傾向として、平均値は増加し、標準偏差は減少している。また、258 個の混在メッシュの内 39 個のメッシュが山地メッシュへの分類の基準を満足した。つまり、一部の混在メッシュは、山地メッシュと同様の特性を有する地形を含んでいることが示唆される。

図-7 は、図-2 下図に示した混在メッシュにおける傾斜地部分の斜面勾配の頻度分布を示している。また、図中には比較対象として、図-2 上図に示した山地メッシュの斜面勾配の頻度分布を示している。この混在メッシュでは、斜面勾配が  $5^\circ$  よりも小さい地形部分を除去する前は、斜面勾配の平均値は  $20.8^\circ$ 、標準偏差は  $17.1^\circ$  であった。一方、傾斜地部分のみでは、斜面勾配の平均値は  $33.7^\circ$ 、標準偏差は  $9.2^\circ$  となった。この値は、山地メッシュへの分類の基準を満足していることから、山地メッシュと同様の特性を有する地形を含む地域メッシュであることが分かる。比較対象に挙げた山地メッシュの斜面勾配の頻度分布と比較すると、最も頻度の大きな斜面勾配の区間や  $45^\circ$  以上の斜面勾配を持つ地形の頻度は異なるが、いずれも  $30^\circ$  から  $45^\circ$  に一つのピークを持つなど、似通った特徴をもつことが確認できる。ここでは、一例のみを示しているが、山地メッシュと同様の特性を有する地形を含む混在メッシュの傾斜地部分と山地メッシュの地形特性が類似していることが示唆された。つまり、このようなメッシュでは、平地と山地の境界が明確な地形を有することが示唆される。

一方、斜面勾配が  $5^\circ$  よりも小さい地形部分を除去しても、山地メッシュへの分類の基準を満足しない混在メッシュは、219 個存在している。これらの地域メッシュにおける傾斜地部分の斜面勾配の頻度分布が、図-7 で例示される斜面勾配の頻度分布と特徴が異なるためであると考えられる。つまり、最も頻度の大きい斜面勾配の区間が小さいことが示唆される。また、このようなメッシュにおける地形は、扇状地のように、平地から山地に向かって緩やかに勾配が変化していることが示唆される。

### 7. 提案された方法のフロー

図-8 は、本研究を通じて提案された、1km 四方の地域メッシュの地形特性の数値的表現方法と数値的に表現された地形特性に基づく地域メッシュの分類方法のフローを示している。

まず、10mDEM から斜面勾配を求める。そして、地域メッシュ毎に斜面勾配の統計量を算出し、平均値が  $28.5^\circ$  以上で、かつ標準偏差が  $11.9^\circ$  以下の地域メッシュを山地メッシュに、平均値が  $3.7^\circ$  以下で、かつ標準偏差が  $6.6^\circ$  以

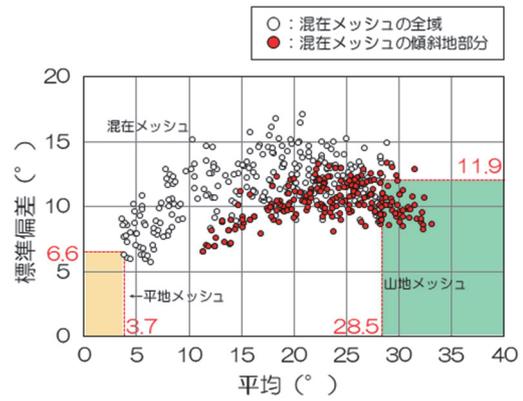


図-6 混在メッシュの傾斜地部分における斜面勾配の平均値と標準偏差の関係

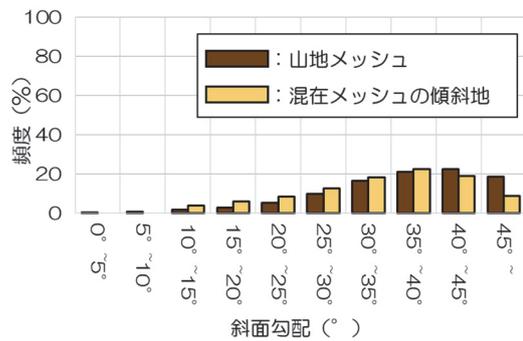


図-7 混在メッシュにおける傾斜地部分の斜面勾配の頻度分布

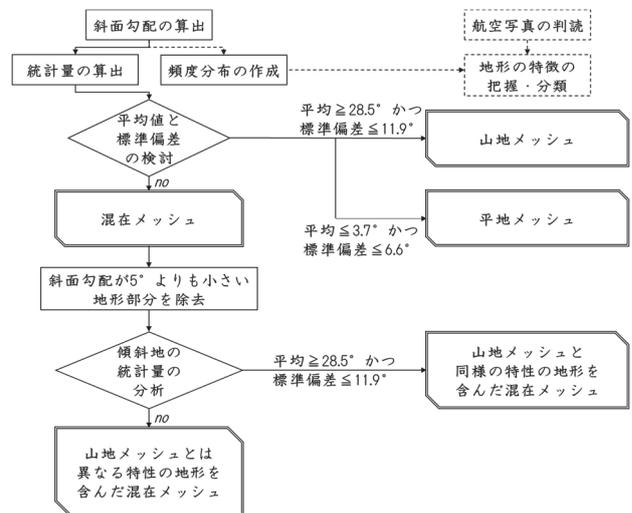


図-8 地形特性に基づく地域メッシュの分類方法

下の地域メッシュを平地メッシュに分類する。また、両者に該当しない地域メッシュを混在メッシュに分類する。これにより、航空写真によって行った、三つのグループへの地域メッシュの分類を、数値的に表現された地形特性に基づき行うことができた。

続いて、地域のメッシュの内、大きな割合を占める混在メッシュに対し、より詳細な分類を行う。混在メッシュに含まれる地形から斜面勾配が  $5^\circ$  よりも小さい地形部分を

除き、平均値と標準偏差を求める。そうして求めた平均値が  $28.5^\circ$  以上で、かつ標準偏差が  $11.9^\circ$  以下の混在メッシュを、山地メッシュと同様の特性の地形を含む混在メッシュに分類する。いずれのグループにも分類されなかった地域メッシュは、山地メッシュとは異なる特性の地形を含んだ混在メッシュであると示唆される。

## 8. 結論

本研究では、土砂災害警戒判定メッシュ情報への地形情報の導入を目指した基礎技術として、1km メッシュ単位の地形特性を数値的に表現する方法について検討した。そして、数値的に表現された地形特性に基づき、1km メッシュを分類する方法を提案した。本研究を通じて得られた知見を以下に示す。

- (1) 研究対象地域の地形の特徴は、航空写真の判読により、山地メッシュ、平地メッシュおよび混在メッシュの三つのグループに区分できる。
- (2) 山地メッシュの地形勾配の頻度分布は、 $30^\circ \sim 35^\circ$  から  $40^\circ \sim 45^\circ$  にかけてピークを持つ。平地メッシュでは、 $0^\circ \sim 5^\circ$  が大部分を占める。混在メッシュには、 $0^\circ \sim 5^\circ$ 、そして  $30^\circ \sim 35^\circ$  や  $40^\circ \sim 45^\circ$  に、二つのピークを持つものが存在する。
- (3) 各地域メッシュの地形特性を斜面勾配の統計量で表現し、それぞれに基準値を設けることで、写真判読と同様に、地域メッシュを地形の特徴に基づき分類できる。また、いずれにも該当しないメッシュは、写真判読による分類における混在メッシュに該当する。
- (4) 混在メッシュについて、斜面勾配が  $5^\circ$  よりも小さい地形部分を除いた傾斜地部分の平均値と標準偏差によって、山地メッシュと同様の特性の地形を含んだ混在メッシュを分類できる。

## 謝辞

本研究は、「NEXCO 西日本高速道路学共同研究講座」における研究の一環として行われた。情報提供や現地計測に便宜をいただいた関係者に深甚なる謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 土砂災害警戒情報・土砂災害警戒判定メッシュ情報 (参照 2017 年 11 月 9 日) [online] <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownbosai/doshakeikai.html>
- 2) 土壌雨量指数, (参照 2017 年 11 月 9 日) [online] <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownbosai/dojoshisu.html>
- 3) 国土交通省河川局砂防部, 気象庁予報部, 国土交通省国土技術政策総合研究所: 国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法 (案), 2005.
- 4) 越村謙正, 小田和広, 小泉圭吾, 伊藤真一, 窪田上太郎: 1km メッシュにおける地形特性の数値的表現方法に関する考察, 土木学会 平成 29 年度全国大会 第 72 回年次学術講演会概要集Ⅲ, pp.273-274, 2017.
- 5) 水田敏彦, 瀬尾和夫: 数値標高モデルに基づく豪雨による斜面崩壊危険度予測—長崎市を事例対象として—自然災害科学, 19 巻 4 号, pp.477-491, 2001.
- 6) 三浦弘之, 翠川三郎, 井上聡史: 高解像度数値標高モデルを用いた都市域での急傾斜地崩壊危険箇所の抽出手法, 地域安全学会論文集 No.7, pp.1-8, 2005.
- 7) 鏡原聖史, 植田允教, 沖村孝: 近年の豪雨による斜面崩壊の発生メカニズムに関する一考察, 建設工学研究所論文報告集第 57 号, pp.37-56, 2005.
- 8) GIS ツール.com: 地図上で標準地域メッシュを確認するページ (参照 2017 年 6 月 19 日) [online] <http://www.gis-tool.com/mapview/areameshmap.html>
- 9) 総務省統計局: 地域メッシュ統計の特質・沿革 (参照 2017 年 6 月 19 日) [online] <http://www.stat.go.jp/data/mesh/pdf/gaiyo1.pdf>
- 10) 松村和樹, 長谷川祐治, 藤本将光, 中谷加奈, 西川友章, 笠原拓造, 柳沢剛, 鏡原聖史, 加藤智久, 岡野和行, 鈴木崇, 平岡伸隆: 2014 年 8 月豪雨による兵庫県丹波市で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol.68, No.1, pp.60-67, 2015.
- 11) 独立行政法人土木研究所土砂管理グループ: 地すべり地における航空レーザー測量データ解析マニュアル (案), 土木研究所資料, 第 4150 号, 38p, 2009.

(2017 年 6 月 25 日 受付)