

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 20 日現在

機関番号：32660

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24651209

研究課題名(和文) リモートセンシングを導入した同時多発型斜面崩壊誘因影響分析手法の開発

研究課題名(英文) An analytical method for estimating unobserved trigger factor of simultaneous slope failures applying remotely sensed data

研究代表者

小島 尚人 (Kojima, Hirohito)

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：00205387

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,200,000円、(間接経費) 360,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、同時多発型・斜面崩壊危険箇所評価支援を目的として、リモートセンシングを導入した誘因広域逆推定アルゴリズムを構築し、その活用方法を示したものである。研究成果は以下の2つの項目に大別される。平成24年度：斜面崩壊形態別(表層崩壊、深層崩壊、地すべり)・誘因逆推定アルゴリズムの構築。平成25年度：源頭部斜面崩壊危険箇所評価支援を目的とした誘因逆推定アルゴリズムの構築。構築したアルゴリズムを通して得られる「誘因影響図(誘因逆推定図間の差画像：感度分析)」を用いれば、複数の崩壊形態間の誘因影響を同時に分析でき、同時多発型・潜在危険斜面の広域推定支援策の一つとして寄与できることを示した。

研究成果の概要(英文)：For better estimation of hazardous areas affected by different types of simultaneous slope failures, this research constructs an inverse analysis algorithm of unobserved trigger factor based on structural equation modeling with satellite remotely sensed data as a input causal factor.

In FY 2012 research activities, the color composite maps are produced by assigning the trigger factor influence maps (TFI maps) to RGB planes, respectively. As a heuristic visualization strategy, the color composite maps are useful for simultaneously evaluating the hazardous areas affected by different types of slope failures.

In FY 2013 research activities, to estimate the hazardous areas affected by liquid-like slope failures, the following training data sets are defined: i) top of slopes, ii) top-middle of slopes, and iii) top-toe of slopes. The differences between TFI maps in each case are delineated on difference maps which are effective in evaluating hazardous areas liquid-like slope failures.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・システム科学 自然災害科学

キーワード：同時多発型斜面崩壊 深層崩壊 表層崩壊 地すべり 誘因 逆推定 リモートセンシング 空間情報

1. 研究開始当初の背景

ここ数年、未曾有の集中豪雨、巨大地震の連鎖に伴って「様々な形態の斜面崩壊が同時多発」しており、「同時多発型斜面崩壊」を誘発する「誘因の広域分析問題」は避けては通れない課題となっている。斜面崩壊の予測要件は「発生時期・位置・規模」を事前に推定することである。

これらの予測目標を達成するために、古くから多くの研究が進められている。このうち、斜面崩壊の発生「位置」と「規模」を事前に把握することを目的として、表層地質、土壌、傾斜区分、起伏量、斜面方位、水系・谷密度等といった各種地理情報とリモートセンシングデータ(素因)を併用する様々な斜面崩壊危険箇所評価モデルが提案されている。

しかし、いずれも地震や降雨等の斜面崩壊を誘発する誘因と素因との相関があることを前提とした多変量解析にとどまっている。このことは、素因のように「誘因」を画素単位で広域に観測することが不可能なことに起因する。誘因はむしろ「観測できない説明変数(潜在変数)」として扱うといった全く別の視点からモデルを構築することも必要となる。

以上の背景のもと、本研究では「同時多発型・斜面崩壊危険箇所評価」支援を目的として、リモートセンシングデータを導入した「誘因広域逆推定アルゴリズム」を構築し、その活用方法に関する検討に着手した。同時多発型斜面崩壊を対象として崩壊形態別に誘因を逆推定・分析しようとする着想と試みは、筆者の知る限り、国内外をみても見当たらない。「挑戦的萌芽研究計画」として申請・採択された理由の一つでもある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、以下の3つに大別される。

①平成24年度：斜面崩壊形態別・危険箇所評価支援を目的とした誘因広域逆推定アルゴリズムの構築

②平成25年度：源頭部斜面崩壊危険箇所評価支援を目的とした誘因広域逆推定アルゴリズムの構築

③平成25年度：インターネット環境下で稼働する斜面崩壊誘因影響分析システムの構築

3. 研究の方法

(1)対象領域と説明変数(素因)の準備

①対象領域

評価対象領域は新潟中越地震によって被害を受けた旧山古志村領域とした。この地域は、第三紀から第四紀の堆積岩が分布し、わが国有数の地すべり、斜面崩壊地帯である。2004年7月13日の集中豪雨とともに、3ヶ月後の10月23日には中越地震に見舞われ、降雨と地震といった斜面崩壊誘因の「連鎖」に伴って「様々な形態の斜面崩壊」が同時多発した地域である。同時多発型斜面崩壊・誘

因逆推定問題に取り組む上で、避けては通れない検討対象領域の一つである。

②素因データの準備

説明変数となる素因情報として、土地分類基本調査の成果図面を数値化した土地分類図(地形、表層地質、土壌)と、数値地形モデル(DTM: Digital Terrain Model)からコンピュータ処理によって数値地理データ(標高区分、斜面方位、傾斜区分、起伏量、水系・谷密度)を作成した。さらに、本研究では高分解能衛星データ(IKONOSデータ)を用いて「植生指標図」を作成、素因の一つとした。

(2)崩壊形態別教師データの設定

本研究では、現地調査報告書(土木学会、国土地理院等)に基づいて、「表層崩壊型、深層崩壊型、地すべり型」といった3種類の教師データ(目的変数)を設定した上で、誘因逆推定精度について比較・検討した。

(3)斜面崩壊形態別・誘因逆推定アルゴリズムの構築

斜面崩壊形態別・誘因逆推定アルゴリズムの全体構成を図-1に示す。共分散構造分析法を中核としている。斜面崩壊形態別に画素単位で誘因影響を逆推定し、それらの違いを分析する一連の処理アルゴリズムとなっている。地震、降雨といった誘因は、画素単位では観測困難な「未観測変数(潜在変数)」とみなした上で、衛星データと各種地理情報等(素因)を「観測変数」とした。

共分散構造分析法に言うパス図上(図-2)のパスウェイト(重み)を用いて、測定方程式から誘因影響を画素単位で計算し(逆推定)、これを画像化した。これが「誘因逆推定図」であり、潜在変数(未観測変数)である誘因の影響を図化したものとなる。

図-1に示すとおり、降雨と地震に伴って発生した斜面崩壊領域を教師データとして、斜面崩壊形態別に「誘因逆推定図」を作成し、逆推定精度について比較・検討した。モデル適合度検定、的中率(対教師データ)を通して、いずれもパス図が採択されることを確認できている。この検討のもとに、「誘因影響図」の提案へと検討を進めた。

(4)斜面崩壊形態別・誘因影響図の提案

「深層崩壊、表層崩壊、地すべり」に対する誘因逆推定図を、それぞれ「赤色、緑色、青色」プレーンに割り当てて、カラー合成した「誘因影響図」を提案した。図-3がその出力結果である。図の下部には色相環を示す。赤、緑、青色系と中間色系に発色する画素に対して、以下のような解釈ができる。これらの解釈をまとめたものが表-1である。

- ・赤色系：「深層崩壊」に関わる誘因影響が強く現れた画素
- ・緑色系：「表層崩壊」に関わる誘因影響が強く現れた画素
- ・青色系：「地すべり」に関わる誘因影響が

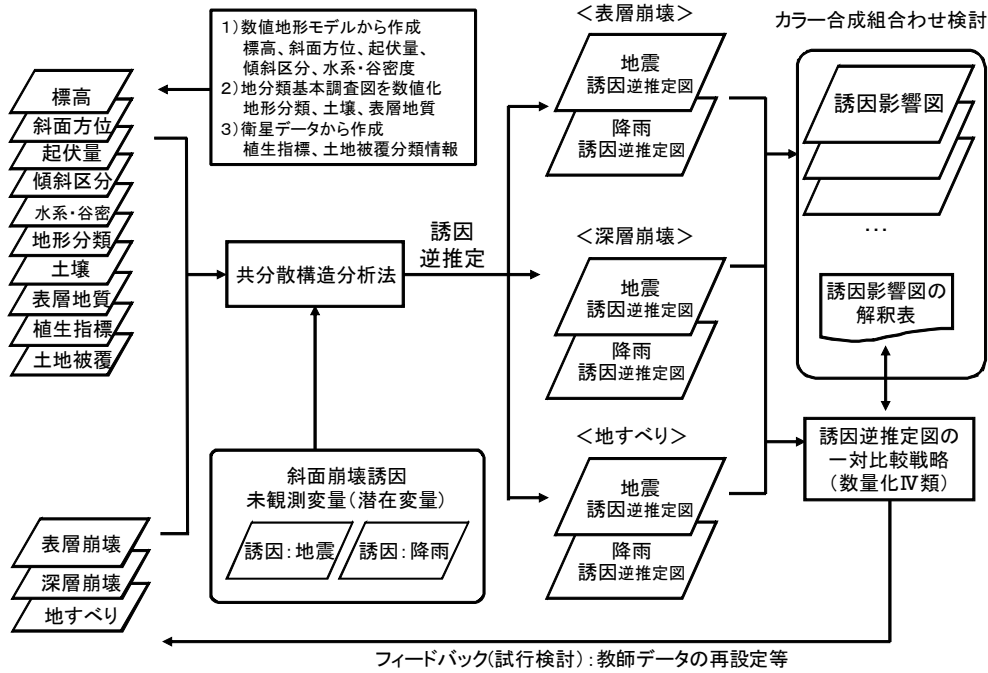


図-1 リモートセンシングと地理情報を併用した同時多発型・斜面崩壊誘因影響分析アルゴリズム
 注 1) 斜面崩壊形態別・教師データ：同時多発型、誘因：地震 or 降雨(逆推定対象)
 2) 誘因影響図（感度分析図）：斜面崩壊形態別・誘因逆推定図をカラー合成

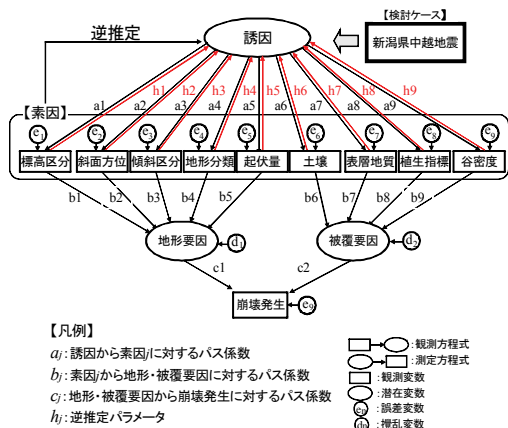


図-2 パス図の構成：共分散構造分析法

- 強く現れた画素
- ・黄色系：「表層崩壊と深層崩壊」の両者に関わる誘因影響が強く現れた画素（赤と緑の中間色の例）
- ・白色系：「表層崩壊と深層崩壊、地すべり」の全ての誘因影響が強く現れた画素
- ・黒色系：「表層崩壊と深層崩壊、地すべり」の全ての誘因影響が弱く現れた画素

白色系や黒色系の画素のように、全ての崩壊形態に関わる誘因影響を強く受ける領域は、言うまでもないが、黄色系(中間色)のような異なる崩壊に関わる誘因影響が強く現れる領域は警戒が必要となる。

誘因影響図上の色情報によって、「表層崩壊型、深層崩壊型、地すべり型」といった崩壊形態間の誘因影響の違いを一目で把握・分

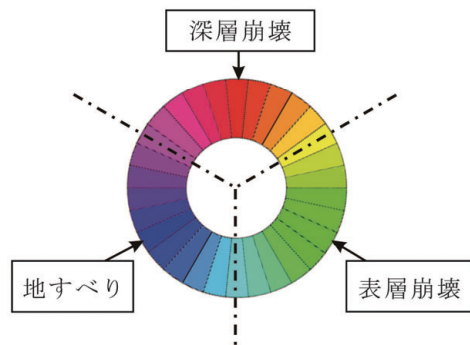
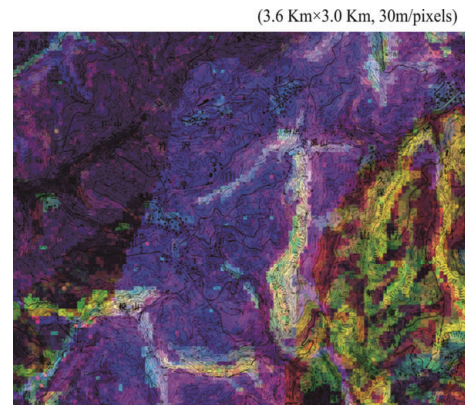


図-3 斜面崩壊形態別・誘因影響図

析できる。従来の2種類の画像間の「差分絶対値」による「差画像」では、このような崩壊形態間の誘因影響の同時解釈は実施できない。本研究の特色の一つでもある。

カラー合成処理時の誘因逆推定図の組み合わせ問題、カラー合成処理によって作成される誘因影響図の解釈問題等、多くの検討内容が整理されている(末尾の文献参照)。

表-1 斜面崩壊形態別・誘因影響図の一般解釈表

斜面崩壊形態別 誘因影響図 上での色づけ		誘因の影響			一般解釈
		崩壊形態A 深層崩壊 Rプレーン	崩壊形態B 表層崩壊 Gプレーン	崩壊形態C 地すべり Bプレーン	
赤色系	赤色	強	弱	弱	崩壊形態Aに関わる誘因影響が強く現れた画素
	黄色	強	強	弱	崩壊形態A・Bに関わる誘因影響が強く現れた画素
緑色系	緑色	弱	強	弱	崩壊形態Bに関わる誘因影響が強く現れた画素
	水色	弱	強	強	崩壊形態B・Cに関わる誘因影響が強く現れた画素
青色系	青色	弱	弱	強	崩壊形態Cに関わる誘因影響が強く現れた画素
	紫色	強	弱	強	崩壊形態A・Cに関わる誘因影響が強く現れた画素
白色系		強	強	強	崩壊形態A・B・C共に誘因影響が強く現れた画素
黒色系		弱	弱	弱	崩壊形態A・B・C共に誘因影響が弱く現れた画素

ここまでの検討内容が、平成 24 年度の課題であった。平成 25 年度はさらに検討を進め、崩壊形態を異にする「源頭部斜面崩壊危険箇所評価支援を目的とした誘因広域逆推定アルゴリズムの構築」へと展開した。

(5) 源頭部斜面崩壊誘因逆推定アルゴリズム

平成 25 年度は、平成 24 年度の研究内容からさらにステップを進め、予期せぬ局所的集中豪雨を誘因として同時多発する「源頭部斜面崩壊」の広域危険箇所評価支援を目的として、誘因逆推定モデルにおける新たな分析アルゴリズムを提案した。

研究を進める上で、局所的集中豪雨を主誘因として、源頭部斜面崩壊が発生した広島県庄原市を評価対象領域として選定した。この領域では、平成 22 年 7 月 16 日 15 時～18 時にかけて、未曾有の集中豪雨が発生した（大戸観測所では最大時間雨量 91mm/h、3 時間雨量 173mm/3h を記録）。この豪雨を主誘因として「局所的かつ同時多発的」に斜面崩壊が誘発され、特に斜面冠頂部の崩壊（源頭部斜面崩壊）に伴って土砂が流下し、甚大な被害をもたらした。

「源頭部斜面崩壊箇所を含めた崩壊土砂流下履歴箇所」の土地性状の違いに伴う「誘因影響の違い」について分析できる方策を考え、広域にわたって誘因影響を図化することは、斜面防災・減災対策上の支援情報を提供する点において意義ある検討課題に位置付けられる。

そこで、本研究では「源頭部、斜面中腹部、崩壊土砂堆積域」といった 3 種類の領域を教師データとして設定する考え方を提示した（図-4、図-5）。教師データに対する的中率、モデル適合度検定、誘因逆推定図間の非類似性分析（数量化理論第 4 類）を通して、モデル成立条件（必要条件）が確認されている。さらに、教師データ別・誘因逆推定図とそ

れらの違いを表示した誘因影響図（感度分析図：図-6）を提案した。教師データ別・誘因逆推定図の違いを計算する際の組み合わせ事象を図-7 に示す。これは、誘因逆推定値を四分位に区切って、比較時の全ての組み合わせ事象（12 ケース）を考慮したものである。

誘因逆推定値が高くなる画素は、見落としがなくなることから、評価者から見れば「安全側評価」となる。逆に誘因逆推定値が低くなる画素は「危険側評価」となる。この誘因影響図（感度分析図）と解釈表を用いれば「源頭部、斜面中腹部、崩壊土砂堆積域」といった土地性状の違いに伴う誘因影響の違いが明確となる。

(6) 斜面崩壊誘因影響分析システムの構築

平成 24 年度に開発した誘因逆推定アルゴリズム（図-1）を活用できるようにするべく、インターネット環境下で稼働する「斜面崩壊誘因影響分析システム」を設計・開発した。

4. 研究成果

2 年間（平成 24 年度～25 年度）の研究を経て、共分散構造分析法を中核とした「誘因逆推定アルゴリズム」を構築するとともに、斜面崩壊形態別・誘因逆推定図の比較・解釈方法を提示した。研究内容は、以下の 2 つに大別できる。

(1) 斜面崩壊形態別・危険箇所評価支援を目的とした誘因広域逆推定アルゴリズムの構築（平成 24 年度）

平成 24 年度の研究では、潜在危険斜面の広域推定支援を目的として、斜面崩壊形態別・誘因広域逆推定アルゴリズムを構築した。研究内容は、以下の 3 点に要約できる。

① 誘因逆推定図間の一対比較方法の限界を指摘した上で、崩壊形態別に作成される誘因逆推定図を擬似カラー合成した「斜面崩壊形態別・誘因影響図」を提案した。

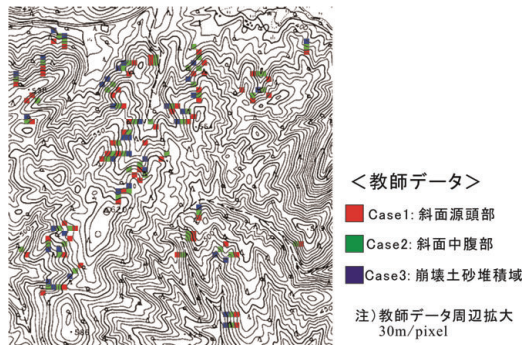


図-4 教師データの分布

②「相関色温度」を指標として導入し、カラー合成時の誘因逆推定図の組合せ事象を決定するとともに、斜面崩壊形態別・誘因影響図上の発色の違いに基づけば、複数の崩壊形態間の誘因影響を同時に分析できることが確認された。

③さらに、斜面崩壊形態別・誘因影響図とこれに対する一般解釈表を併用すれば、斜面崩壊形態を異にする同時多発型・潜在危険斜面の広域推定支援に寄与できることを示した。

(2) 源頭部斜面崩壊危険箇所評価支援を目的とした誘因広域逆推定アルゴリズムの構築 (平成 25 年度)

平成 25 年度の研究では、局所的集中豪雨を誘因として同時多発する「源頭部斜面崩壊」の広域危険箇所評価支援を目的として、誘因逆推定モデルにおける新たな分析アルゴリズムを提案した。研究の内容は、以下の 3 項目に要約できる。

①「源頭部、斜面中腹部、崩壊土砂堆積域」といった 3 種類の領域を教師データとして設定する考え方を提示した。教師データに対する的中率、モデル適合度検定、誘因逆推定図間の非類似性分析 (数量化 4 類) を通して、モデル成立条件 (必要条件) が確認された。

②教師データ別・誘因逆推定図を作成・分析した結果、教師データの土地の性状の違いが誘因逆推定図の違いとなって現れることが確認された。

③そこで、教師データ別・誘因逆推定図間の違いを明確にするために「誘因影響図 (感度分析図: 図-6)」を作成し、それに対する解釈表を提示した。誘因影響図と解釈表を用いれば「源頭部、斜面中腹部、崩壊土砂堆積域」といった土地性状の違いに伴う誘因影響の違いが明確となり、源頭部斜面崩壊に関わる誘因影響分析支援策の一つとして役立つことを示した。

④さらに、構築した誘因逆推定手法を実務で利用できるようにするべく、インターネット環境下で稼働するシステム構築した。

特定の斜面を対象として誘因を観測し、「点」としての崩壊予知を試みる研究と、本研究計画のように広域にわたる「面」として

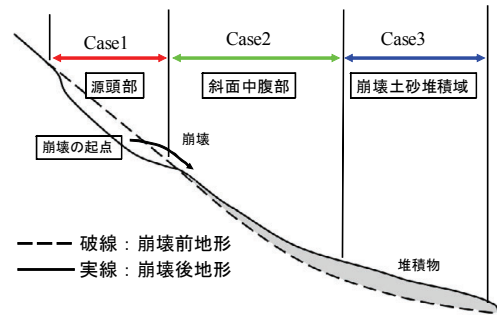


図-5 教師データ設定概念: 斜面崩壊断面図

の崩壊危険箇所評価に関わる研究は、意識するとしないにかかわらず、互いの立場を分けて議論されている。未曾有の巨大地震と集中豪雨の連鎖に伴う斜面崩壊問題に関わる研究の視点は大きな転換期を迎えており、これらの研究の連携を考える時期にきていると言える。本研究の内容が、潜在危険斜面の推定 (広域誘因逆推定含む) を最終目的とした各種空間情報統合モデルを構築する上での問題提起になるとともに、それに対する萌芽的試みの一つとして、今後の研究の展開に少なからぬ形で寄与できれば幸いである。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 関根亮、吉田智也、野崎 亮、小島尚人、源頭部斜面崩壊危険箇所評価支援を目的とした誘因影響広域逆推定・分析アルゴリズムの一提案、土木学会論文集 F3 (土木情報学)、Vol.69、No.2、pp.I_34~I_44、2014 年 3 月、査読有。
- ② Hirohito Kojima, Ryo Sekine, Tomoya Yoshida and Ryo Nozaki, Inverse estimation on trigger factors of simultaneous slope failures with purification of training data sets, Journal of Earth Science and Engineering, Vol.3, No.9, pp. 594~602, 2013.9., 査読有。
- ③ 野崎 亮、小島尚人、同時多発型斜面崩壊を対象とした誘因影響広域分析方法の一提案、土木学会論文集 F3 (土木情報学)、技術報告部門、Vol.69、No.1、pp.21~33、2013 年 4 月、査読有。
- ④ 吉田智也、野崎 亮、小島尚人、同時多発型・斜面崩壊危険箇所評価を目的とした教師データ再設定方法の提案と評価支援策、土木学会論文集 F3 (土木情報学)、Vol.68、No.2、pp.I_9 ~I_18、2013 年 3 月、査読有。
- ⑤ Hirohito Kojima and Ryo Nozaki, A comparative visualization strategy of probabilistic susceptibility maps for analyzing different types of slope failures, Journal of Earth Science and Engineering, Vol.2, No.8, pp.451~460, 2012.8., 査読有。

[学会発表] (計 7 件)

- ① 小島尚人 (研究代表者)、関根 亮 (発表者)、吉田智也、市川鈴之助、同時多発型・

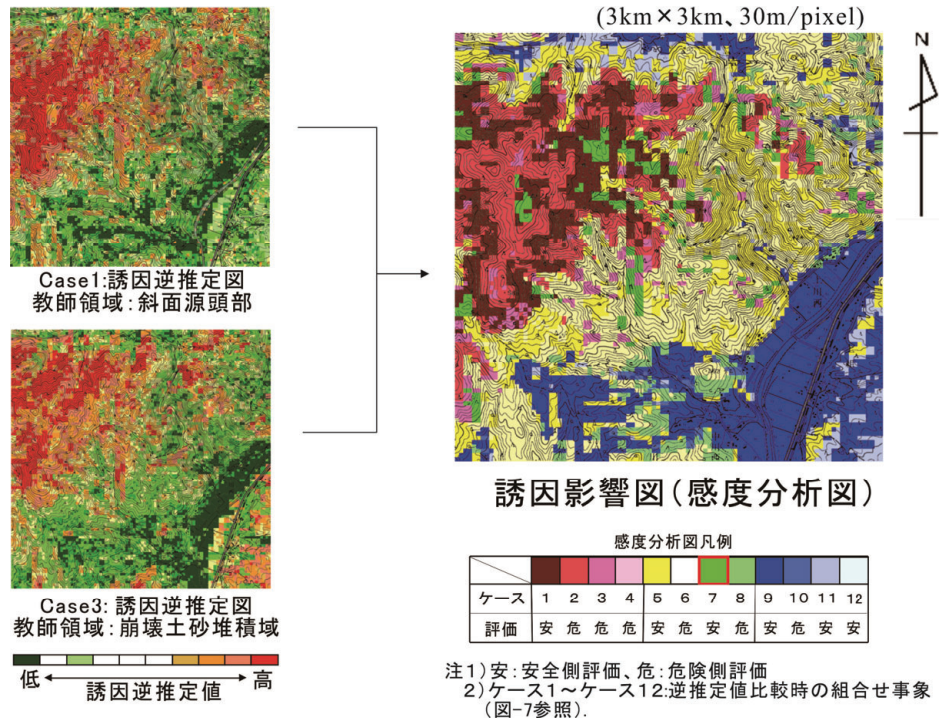


図-6 斜面崩壊誘因逆推定図と誘因影響図(感度分析図)

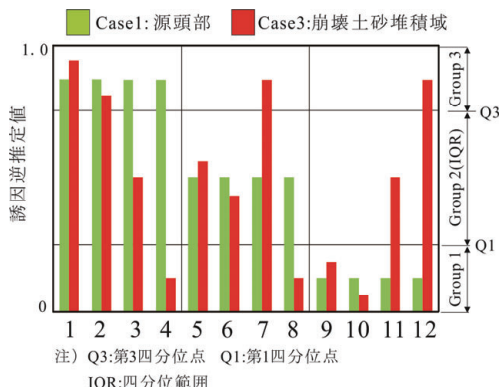


図-7 誘因逆推定値比較時の組み合わせ事象
ケース1~ケース12(誘因影響図に対応)

斜面崩壊危険箇所評価図の一対比較戦略、日本リモートセンシング学会第55回学術講演会、2013年11月21日、日本大学工学部50周年記念館。

- ② 関根 亮(発表者)、吉田智也、野崎 亮、小島尚人(研究代表者)、源頭部斜面崩壊危険箇所評価を目的とした誘因影響広域逆推定・分析の試み、第38回土木情報学シンポジウム、2013年9月18日、土木学会土木会館。
- ③ 小島尚人(研究代表者)、関根 亮(発表者)、吉田智也、野崎 亮、庄原豪雨に伴う源頭部斜面崩壊を対象とした誘因広域逆推定の試み、土木学会第68回年次学術講演会、第Ⅲ部門、2013年9月5日、日本大学生産工学部。
- ④ Hirohito Kojima, Tomoya Yoshida, Ryo Sekine and Ryo Nozaki, Purification of training data sets for inverse estimation on unobserved trigger factors of simultaneous

slope failures, The International Symposium on Remote Sensing, May 15, 2013. (poster presentation), Makuhari seminar house.

- ⑤ 小島尚人(研究代表者)、関根 亮(発表者)、野崎亮、吉田智也、源頭部斜面崩壊危険箇所広域評価を目的とした教師データの感度分析、日本リモートセンシング学会第53回学術講演会、2012年11月20日、広島大学。
- ⑥ 小島尚人(研究代表者)、吉田智也(発表者)、野崎 亮、同時多発型斜面崩壊危険箇所評価を目的とした教師データ再設定方法の提案、土木情報学シンポジウム、2012年9月25日、土木学会土木会館。
- ⑦ 小島尚人(研究代表者)、野崎 亮(発表者)、吉田智也、久松弘典、同時多発型斜面崩壊危険箇所評価を目的とした教師データの代表性向上策、土木学会第67回年次学術講演会、第Ⅲ部門、2012年9月7日、名古屋大学。

〔その他〕(計1件)

- ① 小島尚人(研究代表者)、野崎 亮、吉田智也、関根亮、高木雄太、リモートセンシングを導入した同時多発型斜面崩壊誘因影響分析手法の開発、文部科学省科学研究費・挑戦的萌芽研究、課題No.24651209、平成24年度~平成25年度研究報告書、A4版製本、全255頁、2014年3月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小島尚人(KOJIMA Hirohito)
研究者番号: 00205387