

(26) 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

関根 亮¹・吉田 智也¹・野崎 亮²・小島 尚人³

¹学生会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail: a7613608@rs.tus.ac.jp

²正会員 東京都庁 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿2-8-1)

³フェロー会員 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail: kojima_h@rs.noda.tus.ac.jp

本研究は、局所的集中豪雨を誘因として発生する源頭部斜面崩壊の広域危険箇所評価を目的として、誘因逆推定モデルにおける分析アルゴリズムを提案したものである。画素単位での誘因観測が困難なことを指摘した上で、これを潜在変量（未観測変量）とみなし、各種地理情報を説明変量（観測変量：素因）とするパス図（共分散構造分析法）をもとに誘因逆推定を試みた。「源頭部（現状型）、斜面中腹部（規範型）、崩壊土砂堆積域（規範型）」といった3種類の教師データを定義し、教師データ別・誘因逆推定図とそれらの感度分析図を作成した。この感度分析図を用いれば「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寄与できることを示している。

Key Words : *liquefied failure from top of slope, unobserved trigger factor, inverse estimation, slope failure hazard zonation, structural equation modeling, remote sensing*

1. はじめに

平成22年7月16日15時～18時にかけて、広島県庄原市において未曾有の集中豪雨が発生し、大戸観測所では最大時間雨量91mm/h、3時間雨量173mm/3hを記録した¹⁾。この集中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、斜面冠頂部の崩壊（以下、「源頭部斜面崩壊」と言う）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、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なると言える。

これまでの研究において、筆者らは、画素単位での誘因観測が困難なことを指摘した上で、誘因を逆推定するモデル、いわゆるTFI model (Trigger Factor Inverse analysis model) を構築し²⁾、その適用性に関する検討を進めている。TFI modelは、共分散構造分析法を中核とし、誘因を潜在変量（未観測変量）とみなし、各種地理情報を説明変量（観測変量：素因）とするパス図をもとに、誘因

逆推定値を計算する。「崩壊前の土地の性状と類似する箇所は、被誘因影響も類似する」といった前提に基づいて、誘因逆推定図が作成される。

源頭部斜面崩壊の場合、崩壊土砂が泥流化して流下するため、「崩壊土砂流下履歴箇所」は、崩壊再発生の可能性もあり、これらの土地性状と類似する斜面も潜在危険斜面として特定する必要がある。しかし、既崩壊地のみを教師データとする従来の分析方法では、崩壊土砂流下履歴箇所に対する誘因影響を分析するといった要求には対応できない。

そこで、本研究では、源頭部斜面崩壊に関わる誘因影響広域逆推定支援を目的として、教師データの新たな設定方法について提案し、その有用性の有無について検討した。

2. 本研究の新規性

(1) 既往の研究

TFI modelをベースとして、筆者らは、斜面崩壊誘因

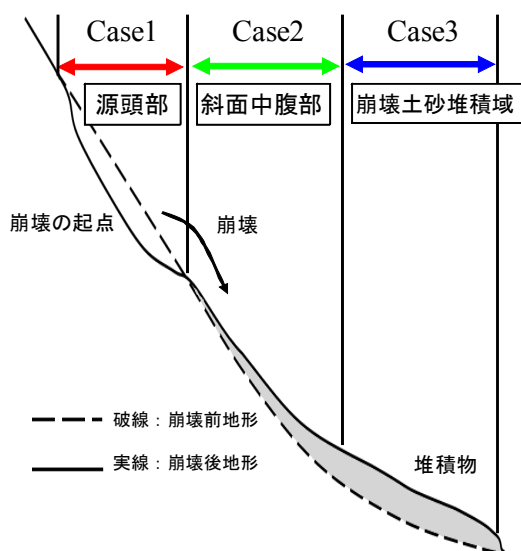


図-1 教師データ設定の概念

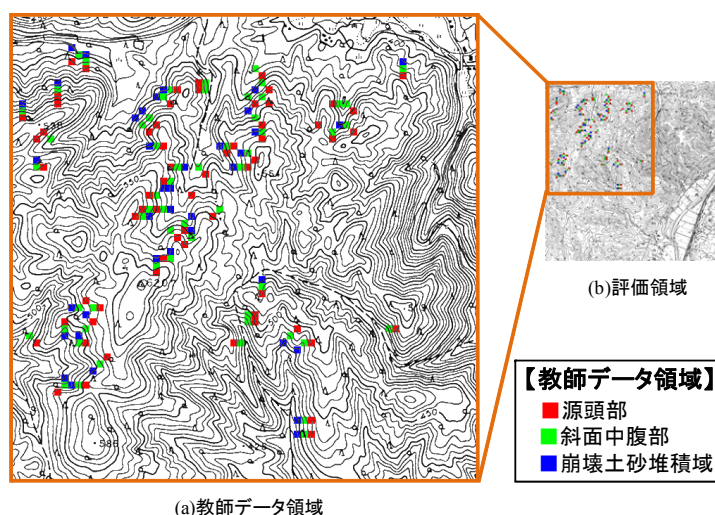


図-2 教師データの分布

逆推定問題に関わる多くの検討を進めており、以下の分析において、その有効性を示した。

①崩壊形態別・誘因影響分析²⁾

②異種誘因影響分析³⁾

これらは、いずれも既崩壊地を教師データ（現状型教師データと言う）とした誘因分析法である。教師データの設定問題として、筆者らは過去の研究において、自然シラス斜面を対象とし、源頭部直近の後背部を規範型教師データとして設定する方法を提案し、その有用性を示している⁴⁾。

しかし、庄原地区のように、広域かつ楕状に崩壊土砂流下を伴う源頭部斜面崩壊の場合には、このような教師データを用いた分析方法には限界がある。つまり、源頭部以外にも斜面横断方向に教師領域（規範型教師データと言う）を設定する必要があると言える。本研究の着想の経緯はこの点にある。

(2) 教師データ設定方法と感度分析図の提案

上記の問題に対して、本研究では、図-1に示すように「源頭部（現状型）、斜面中腹部（規範型）、崩壊土砂堆積域（規範型）」といった3種類の領域を教師データとして設定することとした。本研究の特色の一つとなる。

さらに、これらの教師データを用いた場合の誘因逆推定図とそれらの「感度分析図」を作成する。この「感度分析図」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寄与できることを示している。源頭部斜面崩壊に関わる土地性状と被誘因影響の分析を支援する上での新たなハザードマップの一つとして提示できるのではないかと考えている。

3. 本研究の前提条件

(1) 対象領域

本研究では、局所的な集中豪雨を主な誘因として、源頭部斜面崩壊が発生した広島県庄原市¹⁾を評価対象領域（東西3.0km×南北3.0km）として選定した。

(2) 素因データ（説明変量）の準備

土地分類基本調査図の成果図面を数値化した土地分類図（表層地質、地形分類、土壌）と数値地形モデル（DTM: Digital Terrain Model）から作成される数値地理データ（標高区分、傾斜区分、斜面方位、起伏量、水系・谷密度）を用意する。さらに、本研究ではGeoEye-1データから植生指標図を作成し素因とした。これらの素因は、土地に内在する潜在的な因子であり、誘因影響推定を進める上で基本となるものである。

(3) 教師データ（目的変量）設定の考え方

庄原豪雨に伴う斜面崩壊の概念を図-1に示す。実際の教師データのプロットの様子は図-2に示す。源頭部を起点として土砂が流下したことから、本研究では教師データの設定方法として以下の3ケースを定義し、誘因逆推定図の違いを分析することとした。

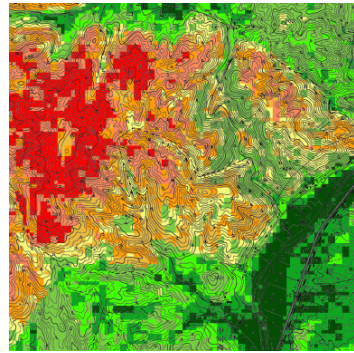
Case1:源頭部(現状型)

Case2:斜面中腹部(規範型)

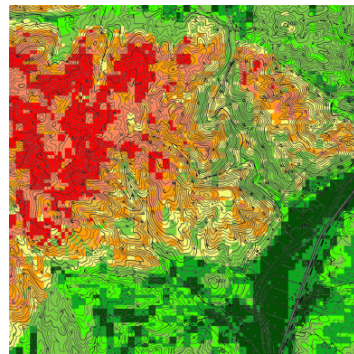
Case3:崩壊土砂堆積域(規範型)

斜面中腹部、崩壊土砂堆積域では巻き込み崩壊もあるが、崩壊土砂が覆い被さりつつ流下し、崩壊そのものは発生していない箇所もあることから、Case1とCase2-3の誘因逆推定図の違いを分析することは、土砂流下履歴箇所の土地の性状の分析にもつながる。

誘因逆推定図

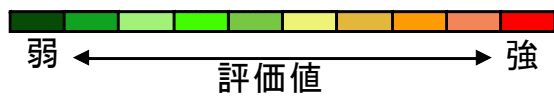


(a)Case1 教師データ:源頭部

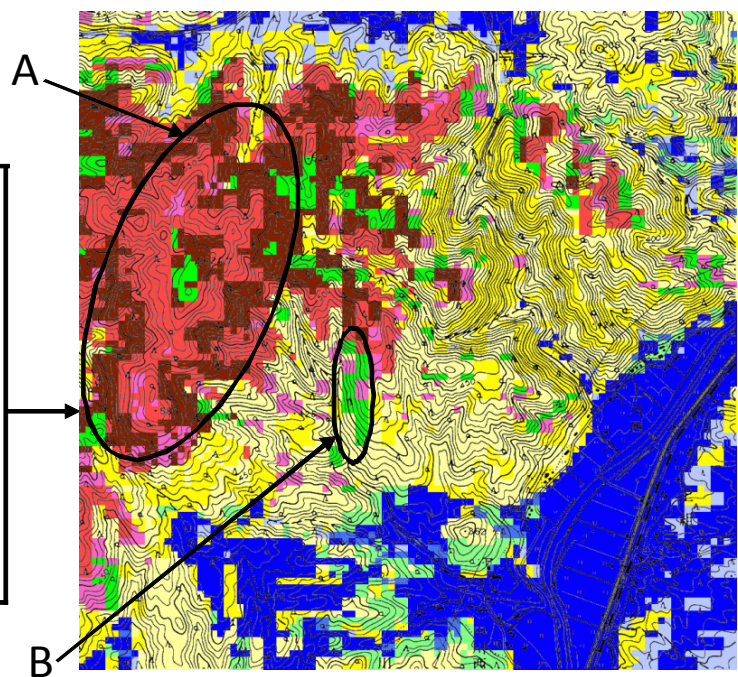


(b)Case3 教師データ:崩壊土砂堆積域

誘因逆推定値



感度分析図



(c)Case1 vs. Case3

感度分析図凡例

ケース	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
評価	安	危	危	危	安	危	安	危	安	危	安	安

注) 安:安全側評価 , 危:危険側評価

図-3 誘因逆推定図と感度分析図

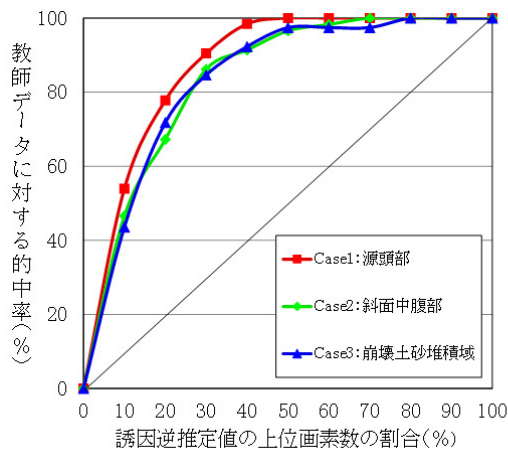


図-4 教師データ別・的中率

Case1 は源頭部斜面崩壊に関わる現状の土地の性状を分析する上での基準となることから「現状型教師データ」と定義する。

Case2-3 は土地の性状を説明するための目的変量として、本研究では、これらを「規範型教師データ」と定義した。

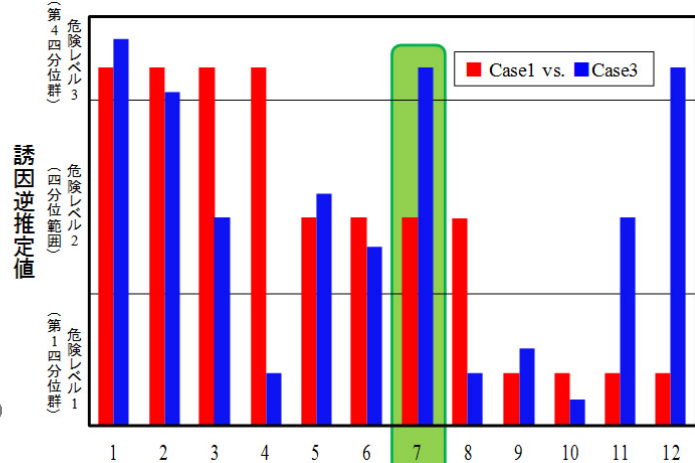


図-5 差分値計算時の組み合わせ事象：ケース

4. 教師データ別・誘因逆推定図の作成

(1) 教師データに対する的中率

筆者らが開発した共分散構造分析法を中核とした誘因逆推定値計算モデル TFI model (Trigger Factor Inverse analysis model) をベースとし²⁾、上記 3 ケースの教師データと前述した素因データを入力データとして、画素単位で誘因逆推定

値を計算する。

推定値が高い画素から順に並べかえた後の上位*i*%の画素のうち、教師データに該当する画素の数を数え、教師データの総数に対する割合が的中率となる。図-4 がその結果である。本研究ではこれを「的中率曲線」と呼ぶ。全てのケースにおいて、誘因逆推定値上位 30%の画素で、的中率 80%前後を示している。ケース別・教師データに対する判別制度が満たされていると判断できる。

(2) 感度分析図の提案とその解釈

a) 感度分析図の提案

図-3 の左側に教師データ別に誘因逆推定値を画像化した「誘因逆推定図」を示す。赤色系の画素は誘因逆推定値が高く、緑色系の画素は誘因逆推定値が低いことを意味する。さらに、これらの違いを明確にするために「感度分析図」を作成した。

四分位法を用いて誘因逆推定値を3つのレベルに区切った上で、誘因逆推定図間の差分値を計算する。図-5 が誘因逆推定図間で差分値計算時の組み合わせ事象;ケースの概念となる。

具体的には、第 1 四分位群（誘因逆推定値下位 25%）に該当する領域を「危険レベル 1（危険度：弱）」、四分位範囲（誘因逆推定値上位 25%～75%）に該当する領域を「危険レベル 2（危険度：中）」、第 4 四分位群（誘因逆推定値上位 75%）に該当する領域を「危険レベル 3（危険度：強）」と定義した上で、評価結果を組分けした。この組分けにしたがって作成された結果が図-3 の「感度分析図」となる。

b) 感度分析図の解釈

・領域 A について

ケース 1 とケース 2 の赤系の画素が多く分布していることがわかる。ケース 1 とケース 2 は両ケースとも危険レベル 3 に分類されている領域であり、誘因の影響を受けやすい土地の性状であると言える。また、Case3:崩壊土砂堆積域の影響が強い領域であるケース1の画素が裾の方向に広がるように集中して分布していることから、土地の性状の違いが教師データ毎に反映されている。

・領域 B について

斜面に沿って緑色のケース 7 の画素が多く分布していることがわかる。ケース 7 は Case1:源頭部の誘因逆推定値が危険レベル 2 であり、Case3:崩壊土砂堆積域の誘因逆推定値が危険レベル3に分類される領域である。このことから領域 B は今後降雨を誘因とする斜面崩壊が発生した場合、崩壊土砂が到達する可能性の高い危険箇所であると推定できる。この領域については Case1:源頭部、Case3:崩壊土砂堆積域の誘因逆推定図からだけでは得られなかった情報であり、今回提案した感度分析図が、潜在危険斜面の推定支援として寄与できる可能性を示している。Case3:崩壊土

砂堆積域の教師データを使用することによって、誘因の影響を受けやすいと判断された領域であることから、評価者にとって見落としが少なく、安全側評価領域であると言える。

5. まとめ

本研究の内容は以下の 2 項目にまとめられる。

- a) 「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。教師データ別・斜面崩壊誘因逆推定図を作成・分析した結果、教師データの違いが誘因逆推定図上に現れることが確認された。
- b) 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「感度分析図」を作成した。この感度分析図を用いれば「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寄与できることを示した。

本研究の教師データの設定方法と感度分析図作成までの一連の分析アルゴリズムは、源頭部斜面崩壊を対象とした誘因逆推定・分析支援策の一つとして寄与できるのではないかと考えている。

今後の課題として、源頭部斜面崩壊後の数値地形モデルを構築するとともに、崩壊再発生領域の推定問題へ展開することを予定している。この分析において、本研究で提示した教師データの設定方法と分析方法が適用されることとなる。

謝辞：本研究は、平成24年度～25年度文部科学省科学研究費・挑戦的萌芽研究(研究代表者：小島尚人，課題番号：24651209)のうちの一課題として進めているものである。関係各位に記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 西真佐人，林真一郎，山越隆雄，清水武志：2010 年 7 月 16 日の梅雨前線豪雨により広島県庄原市で発生した土砂災害，土木技術資料，Vol.52，No.9，pp.6-7，2010.
- 2) Kojima, H. and Obayashi, S.: An inverse analysis of unobserved trigger factor for slope stability evaluation, Computers & Geosciences, Special Issue, Spatial Modeling for Environmental and Hazard Management, Vol.32, Issue 8, pp.1069-1078, 2006.
- 3) 田口靖朋，小島尚人：斜面崩壊に関わる異種誘因広域逆推定アルゴリズムの一提案，土木学会論文集 F, Vol.68, No.4, pp.542-554, 2009.
- 4) 大林成行，小島尚人，村上達也：侵食崩壊を伴う急傾斜地を対象とした場合の危険箇所評価方法の一提案，土木学会論文集，No.567/VI-35, pp.225-236, 1997.