

地すべり危険箇所広域推定支援を目的とした素誘因影響図の提案

東京理科大学 大学院土木工学専攻 学生員 ○関根 洋佑
東京理科大学 理工学部土木工学科 フェロー会員 小島 尚人

1. はじめに

想定を超える集中豪雨、地震を誘因として、同時多発的に発生する「崩壊形態」が異なる「斜面崩壊や地すべり」が甚大な被害をもたらしている。同時多発型・斜面崩壊危険箇所評価問題は、重要検討課題に位置付けられる。崩壊発生の引き金となる豪雨や地震といった「誘因」と土地性状としての「素因」との因果関係によって斜面崩壊は発生する。各種地理情報(表層地質、土壌、傾斜区分、斜面方位、水系等、後述)と衛星リモートセンシングデータを素因(説明変量)とし、既崩壊領域を目的変量(教師データ)とした多変量解析手法を中核とする「斜面崩壊危険箇所評価モデル」の構築に関わる研究は、国内外ともに枚挙にいとまがない¹⁾。

しかし、これらのモデルでは、素因と誘因の相関を前提とし、素因を誘因の代替変量として取り扱っていることから、斜面崩壊への「素因」と「誘因」の影響を「画素単位」で分析できない。素因と誘因の影響度を広域に図化できれば、今までにない技術者支援情報となる。

そこで、本研究では、誘因を潜在変量(未観測変量)として取り扱い、これを逆推定するモデルを構築するとともに、素因と誘因影響の推定と図化に挑戦する。「素因影響図」、「誘因影響図」を提示するとともに、最終成果図として、これらの違いを抽出した「素誘因影響図(Causal and Trigger factor Influence map:CTI map)」を提案する。「素誘因影響」を広域に推定・図化し、ハザードマップ作成支援につなげようとする試みは、国内外をみても筆者らの知る限り見当たらない。

2. 対象領域とデータセットの準備

(1) 対象領域

新潟中越地震によって、広域にわたって斜面崩壊と地すべりの被害を受けた旧山古志村(評価対象領域:東西 3.0km×南北 3.0km)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。

(2) 素因データ(説明変量)の準備

素因データとして、土地分類基本調査の成果図面をもとに「地形分類、土壌、表層地質」を数値化し、数値地形モデル(DTM:Digital Terrain Model)から「標高区分、傾斜区分、起伏量、斜面方位、谷密度」の計 8 種類を用意した。さらに、IKONOS データから植生指標(NDVI)を作成し、計 9 種類の素因を用意した。

本研究では、多重線形共線性を排除するために、素因間の相関係数が 0.7 以上でかつ偏相関係数が低い素因を使用しないこととした。検討の結果、「起伏量と傾斜区分」と「表層地質と土壌」の間に相関が認められ、それぞれの組の内、偏相関係数の低い「傾斜区分」と「土壌」を説明変量から除外した。

(3) 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²⁾、既崩壊の「地すべり領域」を教師データとして設定した。本研究では、「素誘因影響図」を提示できるか否かを第1の検討目的とすることから、「深層崩壊、表層崩壊」を教師データとする検討ケースについては、今後の課題とするが、崩壊形態別・素誘因影響分析として興味深い研究になる。

3. モデル構築

(1) パス図構成の考え方

本研究では、モデルの中核として、共分散構造分析法を用いる。図-1が本研究で提案するパス図である。素因と誘因の両者が目的変量(地すべり発生領域:教師データ)を説明付けるパス図となっており、素因と誘因影響の推定を目的としている。このパス図が成立すれば、素誘因影響図の作成へと展開できることとなる。

(2) 適合度検定

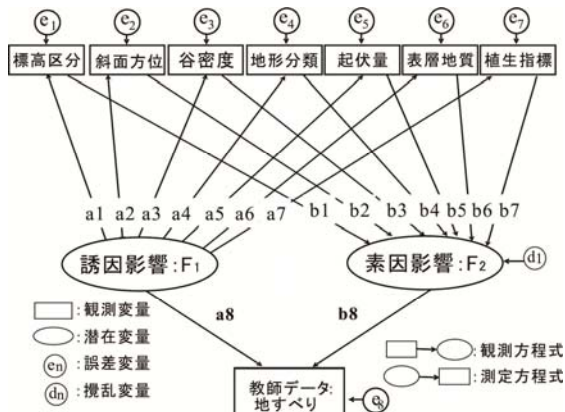
パス図に対する適合度検定指標として、共分散構造分析法で一般に利用されている「GFI(Goodness of Fit Index)、AGFI(Adjusted Goodness of Fit Index)、RMSEA(Root Mean Square Error of Approximation)」を用いる。検定の結果、GFI、AGFI、RMSEAは、それぞれ 0.997、0.998、0.014 となった。モデル採択基準は、一般に GFI、AGFI の値が 0.9 以上、RMSEA は、0.05 以下であり、提案パス図は採用可と判断できる。

(3) 教師データに対する的中率

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像単位で「素因影響値」と「誘因影響値」を計算する。推定値が高い画素から順に並べ替えた後の上位 x%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-2 がその結果である。素因影響値、誘因影響値ともに、評価値上位 30%での中率が 80%以上を示しており、教師データに対する素因影響と誘因影響の推定精度は保証できる。さらに、素因影響値に比べて、誘因影響値が高く、このことは、当該領域で発生した地すべりに誘因(地震)影響が反映されていることを裏付けている。

4. 素因影響図と誘因影響図の作成

図-1に示した「観測方程式」、「測定方程式」をベースとして、素因影響値と誘因影響値を推定する。素因影響 F_2 に対応する



注)素因:9種類から7種類を選定した結果(多重線形共線性の排除)

図-1 素誘因影響分析支援を目的したパス図の提案

キーワード：地すべり広域危険箇所評価、素誘因影響、新潟県中越地震、共分散構造分析、地理情報、衛星リモートセンシングデータ

〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科

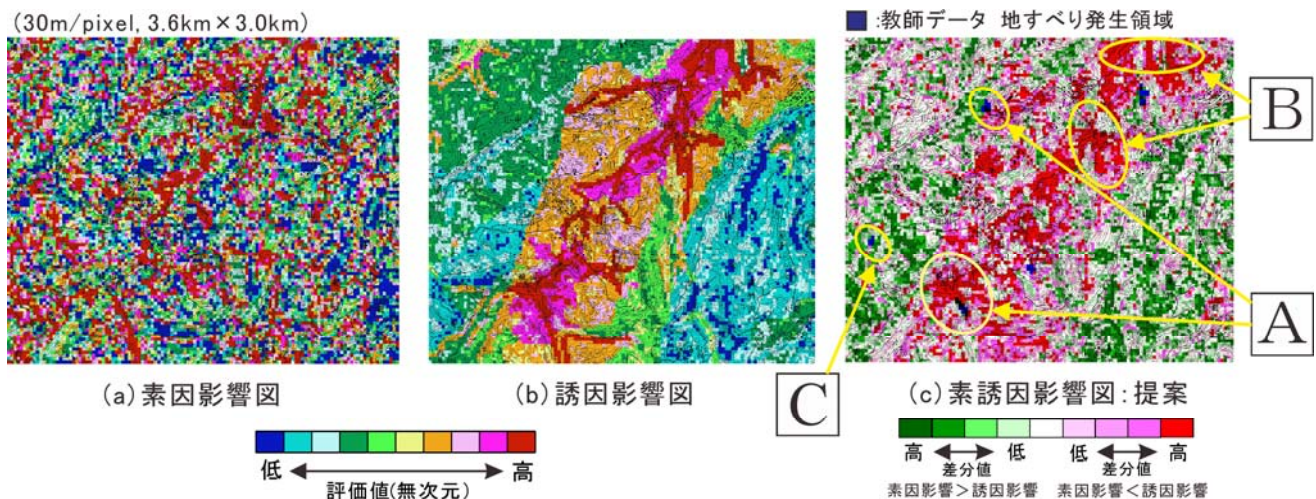


図-3 素誘因影響図の提案 (教師データ: 地すべり、誘因: 地震)

潜在変量は、図-1のパス係数 $b_1 \sim b_7$ から構成される観測方程式から計算できる。誘因影響 F_1 に対応する潜在変量は、推定値を $\hat{f}_i$ としてこれを逆推定する。逆推定係数を h_j とすれば、線形逆推定式は次式で表される。

$$\hat{f}_i = \sum_{j=1}^p h_j z_{ji} \quad (1)$$

但し、 z_{ji} : i 番目の画素に対応する観測変量 j (素因と教師) のデータ

p : 観測変量の総数

この推定値 $\hat{f}_i$ が真値 f_i にできるだけ近くなるように係数 h_j を求める。最終的には次式で h_j が求められる。

$$h_j = \sum_{j'=1}^p a_j r^{jj'} \quad (2)$$

但し、 $r^{jj'}$: 相関行列 R の逆行列 R^{-1} の (j, j') 要素

a_j : 観測変量 j から潜在変量 F_1 へのパスの係数

h_j を式(1)に代入すれば、誘因影響 $\hat{f}_i$ を画素単位で計算できる。これを画像化したものが「誘因影響図」となる。図-3(a)、図-3(b)にそれぞれ「素因影響図」と「誘因影響図」を示す。素因と誘因影響値を10段階にランク分けして表示した。

赤色系の画素は、素因影響、誘因影響が大きい箇所となる。素因影響図と誘因影響図上の分布状況は類似性がある。地すべり発生を誘発する素因と誘因の影響関係は独立ではないことを示唆している。画素単位で詳細に比較すると素因影響値と誘因影響値が異なっていることが判る。この違いを図化すれば、「素誘因影響図」となる。

5. 素誘因影響図(差画像)の提案

画素単位で素因影響値と誘因影響値の差分を計算し、これを画像化した結果が図-3(c)であり、本研究で提案する「素誘因影響図」となる。素誘因影響の違いを一見して判読できる。

a) 誘因影響領域(赤色系): 素因影響値に比べて、誘因影響値が大きい画素である。図-3(c)上では赤色系の画素である。図-3(c)において、「A」で指示した箇所は、誘因影響が大きく、かつ教師データ(青色表示)とも重なる領域である。同様の規模の地震(誘因)が発生した際に地すべりの再発生がある懸念領域となる。さらに、図-3(c)において、「B」で指示した箇所

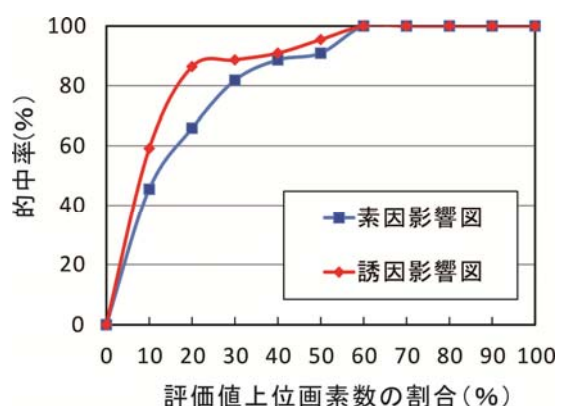


図-2 教師データに対する的中率

は、誘因影響値が大きいのが、教師領域とは対応していない。今回の地震によって地すべりが発生していない領域であることから、誘因影響を受ける懸念領域となる。現地調査時の優先候補領域にもなる。

b) 素因影響領域(緑色系): 誘因影響値に比べて、素因影響値が大きい画素である。図-3(c)上では緑色系の画素である。図中、「C」で指示した箇所は素因影響が大きく、かつ教師データ(青色表示)と重なる領域である。地すべり発生を誘発する土地の性状(素因影響大)を有する危険箇所となる。

6. まとめ

本研究の内容は、以下の2項目にまとめられる。

a) 画素単位での「素誘因影響分析」の必要性を指摘した上で、共分散構造分析法をベースとして「素因影響図」と「誘因影響図」を作成/分析支援を担う評価モデルを構築した。

b) さらに、素因影響図と誘因影響図の違いを表示した「素誘因影響図」を最終成果図として提案し、素因と誘因の両面から、地すべり危険箇所領域に関する解釈が展開でき、今までにない技術者支援情報として有用となることを示した。

今後の課題として、「深層崩壊、表層崩壊」を教師データとした場合の「素誘因影響図」の比較・分析を予定している。崩壊形態別・素誘因影響の感度分析に位置付けられ、興味深い研究課題になると考えている。

参考文献 1) Chung, C.F. and Fabbri, A.G.: Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.65, No.12, pp.1389~1399, 1999.

2) 国土地理院: 新潟県中越地震災害状況図, 2004.