

# 斜面崩壊危険箇所評価における素因と誘因の取り扱い方に関する一提案

東京理科大学理工学部 正会員 大林成行、小島尚人  
東京理科大学理工学部 学生員 青木 太

## 1. はじめに

突発的かつ広域に発生する斜面の崩壊箇所を事前に予知することが、自然災害対策や防災計画、重要な課題の一つになっている。筆者らは、各種地理情報と衛星データといった国土空間情報を有効活用し、斜面崩壊危険箇所を「広域かつ面的」に予測することを目的とした斜面崩壊危険箇所モデルを開発し、その有用性を示してきた<sup>1)</sup>。数量化理論を中核とする斜面崩壊危険箇所モデル以外にも、確率理論に基づく各種評価モデルから得られる解を比較し、複数のモデルの適用戦略についても提案した<sup>2)</sup>。しかし、従来の崩壊危険箇所評価モデルは、素因情報のみを取り扱っており、崩壊の直接の原因となる誘因情報が組み込まれていないという問題点が指摘され、検討課題として残されてきた。その理由として、降雨や地震といった誘因をピクセル単位で面的に表現できないことが挙げられる。

そこで、本研究では、計測が困難な誘因情報(潜在変数)を評価モデルに組み込むアプローチとして、社会科学分野における現象の因果関係分析に多用されている共分散構造分析(以下、SEM: Structural Equation Modeling with latent variables)を取り上げ、斜面崩壊危険箇所評価モデルにおける素因情報と誘因情報の取り扱い方について検討する。

## 2. 誘因情報を取り扱う上での問題点

広域にわたる斜面崩壊危険箇所評価において、誘因を取り扱う際の問題点を次の2点にまとめる。

降水量や震度といった誘因情報の計測地点は限られており、広域にわたるそれらの情報を「ピクセル単位」ですべて収集することは現実問題として不可能である。

観測した誘因情報をもとに崩壊危険性評価をした場合、その評価結果は誘因情報を観測したある時点に限定されたものであり、崩壊危険箇所の予測には結びつかない。

## 3. 研究の流れ

(1) **素因データの準備**: 地理情報として「地形分類、表層地質、土壌、現存植生、斜面方位、標高、傾斜区分、起伏量、谷密度」といった9種類を斜面崩壊危険箇所評価モデルで使用する素因として準備した。また、Landsat/TMデータから作成された土地被覆分類図と植生指標も素因に加え、合計11種類の素因データを用意した。

(2) **使用する素因の選定**: 数量化 類と数量化 類による分析を通じて、素因間の相関係数が高い(0.7以上)組み合わせのうち、偏相関係数の低い素因を除去して、使用する素因を決定する。

(3) **SEMモデルの提案**: SEMモデルでは、斜面崩壊の

因果関係を表したパス図の構造を変化させることにより、様々な因果関係を想定することができる。「誘因」をパス図中に組み込むことが可能か否かについて検討するとともに、統計的なモデル適合度指標をもとに、斜面崩壊の因果関係を最も忠実に表現していると言えるモデルを選定する。さらに、斜面崩壊要因のウェイト分析へと展開し、SEMモデルの提案意義を明確にする。

(4) **斜面崩壊危険箇所評価図の作成**: 斜面崩壊危険箇所評価モデルでは、トレーニングデータ(既崩壊箇所)を判別の基準とした上で、ピクセルごとに評価値を計算し、ミニマックス2群判別を通して崩壊危険性「有・無」の2群に判別する。評価図上には、トレーニングデータと評価対象データに対して、それぞれ崩壊危険性「有・無」といった4つの判別事象が色分けして表示される。

(5) **従来の斜面崩壊危険箇所評価モデルとの比較**: 斜面崩壊危険箇所評価モデルにおける評価値の計算方法は、国内外を問わず多数の報告例がある。その中でも多くの適用実績を有する以下の4種類のモデル<sup>2)</sup>

数量化 類モデル(数量化 類)  
ファジーセットモデル(ファジー理論)  
ベイジアンモデル(ベイズの定理)

確信度モデル(確信度) ( )内は中核となる理論

と、本研究で提案するSEMモデルとを比較する。SEMモデルから得られる評価図と他の4種類のモデルから得られる評価図との違いを抽出した差画像を作成し、SEMモデルから得られる評価図の特徴について視覚的に評価するとともに、「一致率」を用いた定量的評価も行う。さらに、差画像の一般解釈表を提示し、技術者支援情報としての活用方法を提案する。

## 4. SEMモデルの提案

(1) **パス図の検討**: SEMモデルでは、パス図中に未観測情報として「誘因」を組み込み、素因と誘因の両方が何らかの形で作用して崩壊現象が起こるといった因果関係を設定した。この点が本研究の特色となる。

(2) **パス図の選定**: SEMモデルでは、多数の因果関係(パス図)が想定できる。斜面崩壊現象を説明するパス図の構造として、どれが最適であるかといった問題に対して、入念な検討が必要であることは言うまでもない。本研究では、パス図の評価結果であるカイ2乗値やGFIといった適合度指標の比較・検討を行い、統計的観点からふさわしいと判断できるパス図を選定した。選定したパス図と標準化解を 図 - 1 に示す。

(3) **SEMモデルの評価**: 図 - 1 に示したパス図と標準化解から次のことが読みとれる。

素因データ中の「斜面方位」と「谷密度」は、「誘因」

キーワード: 斜面崩壊危険箇所評価、誘因、共分散構造分析  
〒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  
TEL: 0471-24-1501、e-mail: kojima\_h@rs.noda.sut.ac.jp

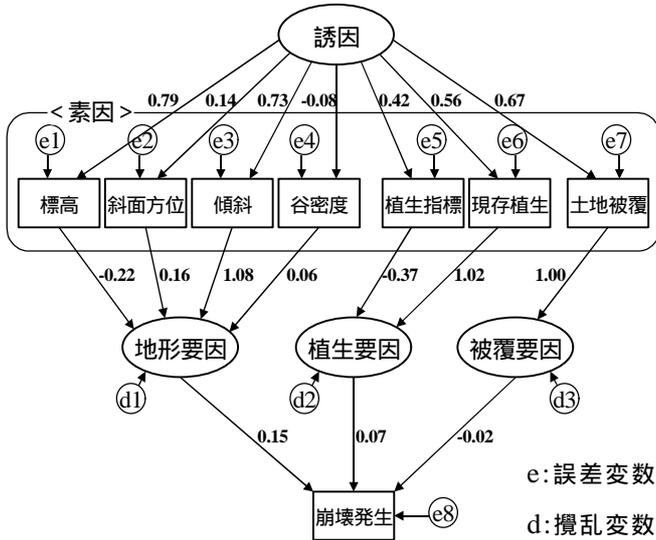


図 - 1 SEM モデルで選定したパス図と標準化解

との関連性が小さい。  
 「地形要因」は「傾斜」との関連性が大きい。  
 「斜面崩壊発生現象」と最も関連性が大きい崩壊要因は「地形要因」である。

以上のように、SEM モデルは、評価値の計算課程において未観測情報の「誘因」を取り入れただけでなく、各素因と崩壊要因のウェイト分析へと展開でき、従来のモデルにはない特徴を有する。

5. SEM モデルと従来モデルの比較

(1) 差画像の作成: 図 - 2 は SEM モデルと前述の 4 モデルとの差画像である。SEM モデルから得られる評価図においてのみ崩壊危険性・有と判定された箇所を示している。言い換えれば、未観測情報である「誘因」をモデルに組み込んだことにより崩壊危険性・有と判定された箇所であり、降雨や地震といった未観測情報が何らかの影響を及ぼしている箇所と解釈できる。

(2) 一致率の計算: SEM モデルと他の 4 つのモデルとの一致率を計算した結果、数量化理論モデルとの一致率が 68.7% となり最も高い値を示した。これは、確率理論をベースとした 3 つのモデルに対し、多変量解析をベースとした線形の数量化理論モデルの方が、線形結合という点で、SEM モデルに類似していることを裏付けている。数量化理論 v.s. SEM モデルの差画像を最終成果図として提示し、その一般解釈について取りまとめる。

(3) 差画像の一般解釈: 差画像上では、8 種類の組み合わせ事象が色分けして表示される。カラー画像は口頭発表時に紹介するが、以下に主なケースを取り挙げて表 - 1 の一般解釈の内容を説明する。

ケース f: 誘因を取り扱った SEM モデルにおいて崩壊危険性・有と判定された領域である。崩壊危険箇所の見落としのない方向に誘因が寄与したこととなり、「安全側評価領域」と判定できる。

ケース g: 誘因を取り扱った SEM モデルにおいて崩壊危険性・無と判定された領域である。崩壊危険箇所を絞り込む方向に誘因が寄与したこととなり、「危険側評価

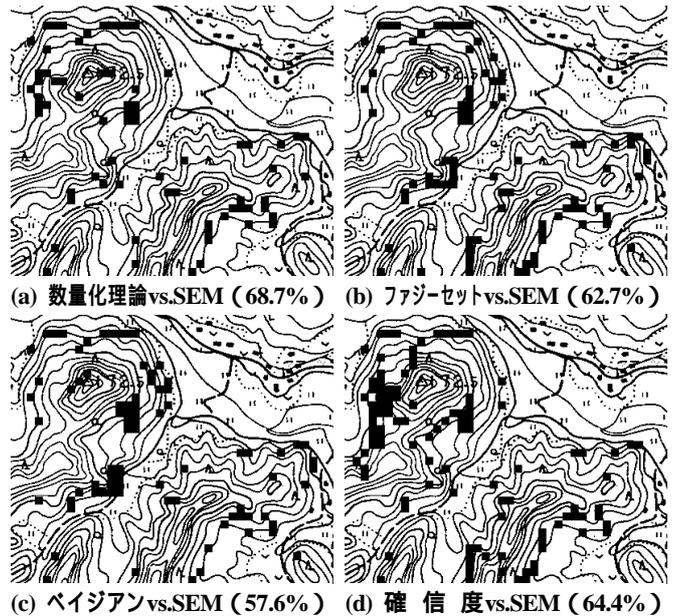


図 - 2 差画像 (表 - 1 のケース f) カッコ内は一致率を示す

表 - 1 差画像の一般解釈

|           | 画像の組合せ (危険性の有無) |       | 差画像の一般解釈                                      | ケース名  | 差画像上での色づけ |
|-----------|-----------------|-------|---|-------|-----------|
|           | SEMモデル          | 従来モデル |   |       |           |
| トレーニングデータ | 有               | 有     | 崩壊「再発生」の可能性の高い領域。                             | ケース a | 赤         |
|           |                 | 無     | 誘因を加味したことにより崩壊危険性・有と判定された領域。評価者にとって「安全側評価領域」。 | ケース b | 茶         |
|           | 無               | 有     | 誘因を加味したことにより崩壊危険性・無と判定された領域。評価者にとって「危険側評価領域」。 | ケース c | 薄青        |
|           |                 | 無     | 崩壊「再発生」の可能性の低い領域。                             | ケース d | 青         |
| 評価対象データ   | 有               | 有     | 崩壊危険性の高い領域。                                   | ケース e | 緑         |
|           |                 | 無     | 誘因を加味したことにより崩壊危険性・有と判定された領域。評価者にとって「安全側評価領域」。 | ケース f | ピンク       |
|           | 無               | 有     | 誘因を加味したことにより崩壊危険性・無と判定された領域。評価者にとって「危険側評価領域」。 | ケース g | 橙         |
|           |                 | 無     | 崩壊危険性の低い領域。                                   | ケース h | 白         |

領域」と判定できる。  
 このように、「誘因情報 (潜在変数)」の使用の有無の違いに伴う評価図の違いを抽出した差画像を作成するとともに、その一般解釈を提示することにより、「崩壊危険側・安全側」といった 2 つの視点から評価が展開できる。これらの情報は、自然災害対策や防災計画、有用な支援情報として役立つはずである。

6. まとめ

本研究の内容は以下の 2 点にまとめられる。

誘因情報を取り扱う際の問題点を指摘した上で、潜在変数 (誘因) を取り扱うことのできる SEM モデルを提案し、その特徴をまとめるとともに提案意義を明確にした。誘因情報の使用の有無に伴う評価図の違いを抽出した差画像を最終成果図として提示するとともに、その一般解釈表を取りまとめ、「崩壊危険側・安全側」といった 2 つの視点から評価が展開できることを示した。

参考文献 1) 大林、小島、村上: 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/ -35, pp.225-236, 1997年6月  
 2) 大林、小島、C.F.Chung: 斜面安定性評価モデルの精度比較とその実用化への提案、土木学会論文集、No.630/ -44, pp.77-89, 1999年9月