

## 広域斜面崩壊に関わる素因と逆推定誘因の因果関係分析

東京理科大学 理工学部 正会員 小島 尚人  
 東京理科大学大学院土木工学専攻 学生員 ○西村 刀  
 東京理科大学大学院土木工学専攻 学生員 田口 靖朋  
 東京理科大学 理工学部 非会員 萬永美央  
 (現:東京工業大学大学院総合理工学研究科)

### 1. はじめに

斜面崩壊が「いつ、どこで、どのような規模」で発生するかを事前に推測することは、防災計画上、重要な課題の一つとなっている。この課題に対して、筆者らは、画素単位で計測することが困難な地震や豪雨などの誘因情報を「観測できない変数(潜在変数)」とし、共分散構造分析法をベースとした、誘因を逆推定するTFIモデル(Trigger Factor Inverse analysis model)の構築に取り組んでおり、降雨や地震の誘因影響分析に役立つことを示した<sup>1)</sup>。

しかし、モデルを評価する上で、各種モデルのパスウェイトを崩壊形態またはパス図構成別に相対的に比較・分析することに留まっており、斜面崩壊発生に素因や誘因、地形要因等の因子がどの程度作用しているかについての具体的な分析については言及していなかった。また、現状のTFIモデルにおけるパス図の構成では、誘因の影響は誘因の影響を受けた素因の影響率の一部と考えられ分析していたため、素因と誘因が斜面崩壊発生に与える影響率を相互比較することは難しい。

以上の背景のもとに、本研究では、TFIモデルのパラメータ推定結果を用いて、素因と誘因の因果関係を分析する。また、素因と誘因を斜面崩壊発生に直接作用させた新しい構成のパス図を提案し、このパス図を用いた誘因逆推定モデルを構築する。さらに、分析結果を効率的に評価できるように、パス図上への表示方法を提案し、潜在危険斜面の推定支援情報として寄与することを示す。

### 2. 本研究の前提条件

#### (1) 対象領域

本研究では、新潟県中越地震の被災地である新潟県長岡市(旧山古志村)を対象領域とした。この地域は、第三紀から第四紀の堆積岩が分布し、わが国有数の斜面崩壊地帯である。さらに、地震発生前の台風による降雨で地下水位が上昇した影響により、複雑な素因と誘因の因果関係の下に斜面災害が発生した領域である。

#### (2) 素因データの準備

素因情報として、土地被服分類基本調査の成果図面を数値化した土地分類図(表層地質、土壌、地形分類)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作成される数値地形データ(標高区分、斜面方位、傾斜区分、起伏量、谷密度)、さらに、IKONOSデータを用いて作成した植生指標を準備した。

キーワード: 斜面崩壊、素因、誘因逆推定、共分散構造分析、空間情報、斜面崩壊要因間影響率

〒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

これらの素因間の相関分析(数量化第3類)を通して、説明変数を選択し、独立性を確保する。検討の結果、「表層地質、地形分類、標高区分、斜面方位、起伏量、谷密度、植生指標」が選定された。

### 3. 従来と構成の異なるパス図の提案

#### (1) 従来と構成の異なるパス図の作成

現状の誘因逆推定モデルにおけるパス図の構成では、誘因と素因が斜面崩壊発生に与える影響は間接的であることからパス図を修正した。以下に示す2種類のパス図を用いた誘因逆推定結果から斜面崩壊要因間の因果関係を分析した。

・モデルA: 提案パス図(図-1)

・モデルB: 従来パス図(図-2)

具体的には、モデルAは誘因(潜在変数)と素因(観測変数)が斜面崩壊(目的変数)に直接影響を与える構成である。モデルBは誘因(潜在変数)の影響を受けた素因(観測変数)が地形要因、被覆要因へ情報を集約させ、地形要因、被覆要因が斜面崩壊(目的変数)に影響を与える構成である。

#### (2) 適合度検定

本研究で用いるパスモデルの適合性を示すためにモデル適合度を検証する。この検証においては、共分散構造分析法において一般に利用されている「GFI、AGFI、AIC、RMSEA」といった4つの評価指標を用いる。モデルA、Bの適合度検定結果を表-1に示す。本研究ではモデル採択基準をGFI、AGFIは0.9以上、RMSEAは0.1以下の値とし、モデルA、Bはともに基準を満たした。以上の結果より、モデルA・Bの適合性が保証された。また、AICは低い程モデルが良いとされ、本研究ではモデルBの方が低く良い結果となった。

### 4. 斜面崩壊要因間影響分析アルゴリズム

#### (1) 斜面崩壊要因間影響率

モデルを評価する上で、パスウェイトを相対的に評価していた問題より、本研究では誤差変数、攪乱変数の分散が持つ情報量を考慮に入れた斜面崩壊要因間の影響率を分散の定義式から求めた。分散の定義式より、

$$\sigma_x^2 = a_1^2 \cdot \sigma_f^2 + a_2^2 \cdot \sigma_g^2 + \sigma_e^2 \tag{式(1)}$$

表-1 適合度検定

パスモデル	GFI	AGFI	AIC	RMSEA
モデルA	0.964	0.937	1674.4	0.080
モデルB	0.991	0.976	486.9	0.050

注)GFI: Goodness of Fit Index

AGFI: Adjusted Goodness of Fit Index

AIC: Akaike Information Criterion

RMSEA: Root Mean Square Error of Approximation

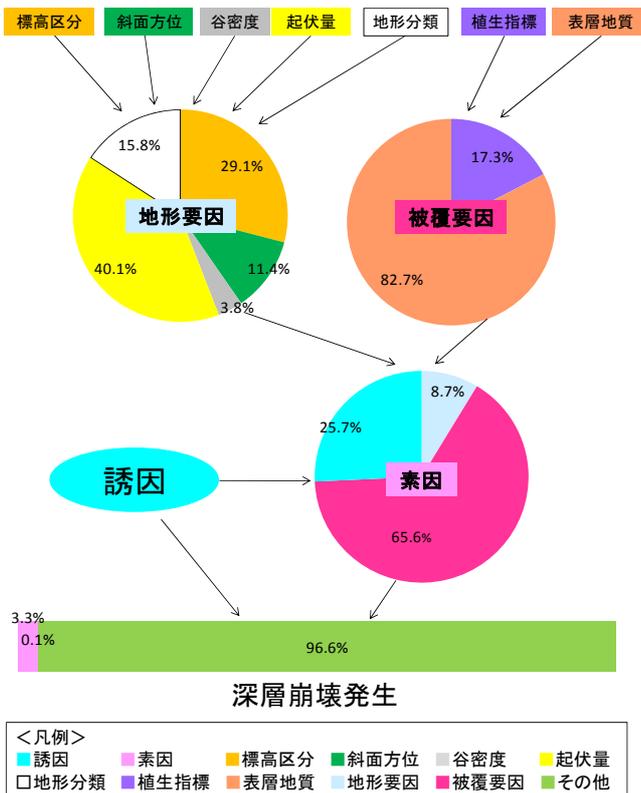


図-1 斜面崩壊要因間影響率図 (モデルA: 提案)

ここに、 $\sigma$  : 標準偏差  
 $x$  : 目的変数  
 $a_1, a_2$  : 目的変数から説明変数へのパス係数  
 $f, g$  : 説明変数  
 $e$  : 誤差 (攪乱) 変数

式(1)の目的変数と説明変数の分散を標準化すると、式(2)のようになる。

$$\sigma_x^2 = a_1^2 + a_2^2 + \sigma_e^2 = 1 \quad \text{式(2)}$$

この式より、目的変数の分散は説明変数から目的変数へのパス係数の2乗と誤差 (攪乱) 変数の分散の和で表されることを意味し、さらに、パス係数の2乗で表される項は、目的変数に対する説明変数の影響量と言える。式(2)から求まる素因 (目的変数) に対する誘因 (説明変数) の影響量を百分率で表したものを「対素因・誘因影響率」、地形要因 (目的変数) に対する各素因 (説明変数) の影響率を「対地形要因・素因影響率」、斜面崩壊発生 (目的変数) に対する地形・被覆要因 (説明変数) の影響率を「対崩壊・地形被覆要因影響率」と定義した。同様に定義される影響率を総括して「斜面崩壊要因間影響率」と定義する。誤差・攪乱変数の情報量を加味したことによって、パス係数分析では得られなかった斜面崩壊要因間の絶対的な影響分析を実施できるようになる。

(2) 斜面崩壊要因間影響率図

斜面崩壊要因間影響率を、パス図上での潜在変数の楕円形、観測変数の長方形といった形状に合わせて、横棒・縦棒グラフ、円グラフに表示方法を使い分けて表示されている「斜面崩壊要因間影響率図」を提案した。モデルA、Bの誘因逆推定結果から作成された斜面崩壊要因間影

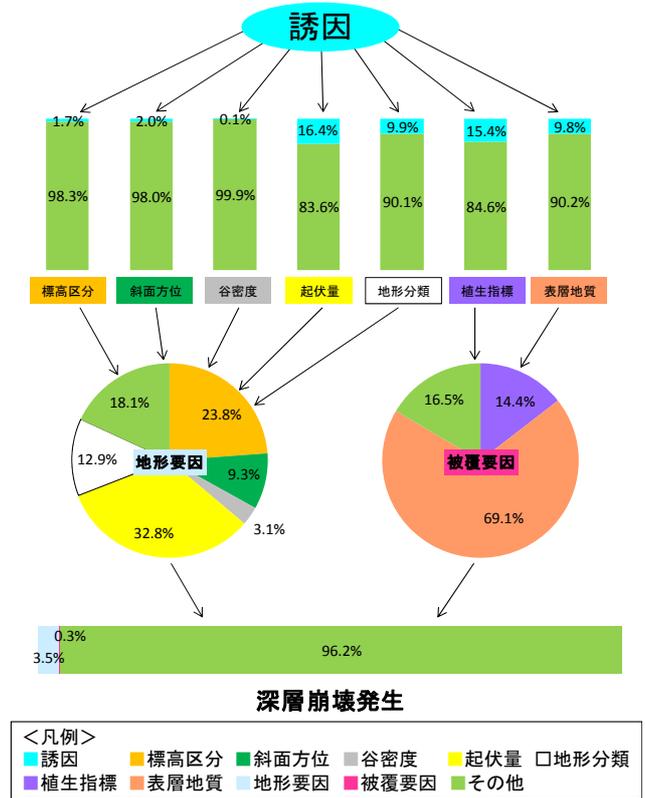


図-2 斜面崩壊要因間影響率図 (モデルB: 従来)

響率図をそれぞれ図-1、図-2に示す。誘因逆推定の流れとともに、各要因に割り振られた色を追うことによって、モデル全体の斜面崩壊要因間影響率を効率的に把握できる。例えば、深層崩壊発生 (目的変数) に対する説明変数の影響率は共に4%以下と非常に低く、斜面崩壊発生のメカニズムの複雑さを物語っており、モデル構築上の問題点として指摘できる。

この分析アルゴリズムは、共分散構造分析法を用いた他の研究分野でも有用であり、今後更なる活用が期待できる。

5. まとめ

本研究の内容は以下の2点にまとめられる。

- (a) 斜面崩壊要因間影響率を定義し、斜面崩壊要因間影響率図を作成することによって、斜面崩壊要因間の因果関係分析を実施した。
- (b) 新しい構成のパス図を構築し、素因と誘因が直接的に斜面崩壊発生に与える影響が分析できることを示した。

今後の課題として、モデルAを用いて複数誘因を推定する誘因逆分解推定問題と素因感度分析に取り組む予定にある。本研究は、異種誘因により斜面崩壊が発生した新潟県中越地域を対象領域として、広域斜面崩壊に関わる素因と、斜面崩壊の引き金となる逆推定誘因の因果関係分析に取り組んだものである。本研究が、斜面崩壊予測に関する研究のみならず、共分散構造分析法を用いた研究における分析アルゴリズムの一つとして参考になれば幸いである。

参考文献 1) Hirohito Kojima, Shigeyuki Obayashi : 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, 2006.10.