

斜面崩壊危険箇所評価における誘因逆分解推定について

東京理科大学理工学部 正会員 小島尚人
 (株)国土情報技術研究所 正会員 大林成行
 東京理科大学理工学部 学生員 神永康光
 (現:神奈川県庁)

1. はじめに

シラス自然斜面の崩壊危険箇所評価支援（位置と規模）を目的として、筆者らは、地形や地質、土壌といった各種地理情報と衛星リモートセンシングデータ（以下、衛星データ）、いわゆる「素因」を融合利用した斜面崩壊危険箇所評価モデルを構築し、評価結果と現地の照合を通して適用実績を積み重ねてきた¹⁾。しかし、これらの研究では、素因と誘因（降雨、風化等）の相関性があることを前提として、誘因の代替変量として素因を位置付けていたことから、誘因をモデルの説明変量として扱う具体的な方策については難題として残されていた。そこで、今一度研究の原点に立ち返り、斜面崩壊危険箇所評価における「素因と誘因の取り扱い上の問題」を整理し直すとともに、共分散構造分析法を導入した新たな斜面崩壊危険箇所評価モデル（ACOS モデル: Analysis of COvariance Structure model）の構築へとステップを進めた²⁾。

この研究では、誘因情報（降雨、地震等）を画素単位では観測困難な「潜在変数」とみなし、衛星データと各種地理情報等（素因）を「観測変数」とした。測定方程式に基づいて誘因影響を逆推定するとともに「誘因影響図」を提示した点が今までにない研究の特色であった。

ここまでの検討では、潜在変数としての誘因を一つとした場合のモデルについて検討を進めたが、誘因は降雨だけでなく、地震や風化等、様々なものが想定される。したがって、潜在変数を2つ以上設定した場合の誘因逆推定精度についてさらに検討を進めることが、不可欠な検討課題となってきた。

以上の背景のもとに、本研究では潜在変数（誘因）を複数設定した場合の誘因逆推定精度（ACOS モデルの拡張）について分析する。さらに、誘因影響図の違いを抽出した差画像を提示し、その解釈の内容を含めて斜面崩壊危険箇所評価における支援情報として有用であることを示す。

2. 研究の流れ

(1) 評価対象領域の選定: 本研究では鹿児島県吉田町佐田浦地区（東西 3.6km×南北 1.8km）を選定した。自然シラスの浸食谷・浸食崖が広く分布し、1993 年 8 月の集中豪雨では広域にわたって多くの崩壊が発生している³⁾。現地調査を通して、既崩壊地をはじめとしたランドトレースデータが整備されている。

(2) 地理情報と衛星データの準備: 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（表層地質、土壌、地形分類、現存植生）を使用した。さらに、数値地形モデル（DTM: Digital Terrain Model）からコンピューター処理によって作成される「標高、斜面方位、傾斜区分、起伏量、谷密度」を準備した。また、

Landsat-7/ETM+データから得られる植生指標も素因として加えた。データの観測時期は 2000 年 2 月 13 日、観測エリアは PATH112-ROW38 である。

モデルを構築する際には、これら素因の独立性を確保することが不可欠となる。そこで、相関係数（数量化Ⅲ類）と偏相関係数（数量化Ⅱ類）を指標として、使用する素因を選定した。検討の結果、「斜面方位、標高、起伏量、谷密度、地形分類、現存植生、土壌、植生指標」の8種類となった。

(3) 検討ケースの設定: 本研究では、以下に示す3つのケースを設定し、誘因逆推定精度を比較する。

モデルA: 素因のみ

モデルB: 素因+単一誘因

モデルC: 素因+複数誘因

なお、モデルCでは誘因を複数設定した際の 1 つ目の誘因を「第一誘因」、2 つ目の誘因を「第二誘因」とする。

3. 誘因影響図の作成と解釈

(1) 誘因逆推定: 誘因を加味した ACOS モデルでは、観測変数である素因と潜在変数である誘因の間で式(1)のような測定方程式を考える。

$$z_{ji} = a_{1j}f_{1i} + a_{2j}f_{2i} + e_{ji} \quad \text{式 (1)}$$

ここに、 z_{ji} : i 番目の画素に対応する素因 j のデータ

a_{1j} : 第一誘因における素因 j に対するパス係数

a_{2j} : 第二誘因における素因 j に対するパス係数

f_{1i} : i 番目の画素に対応する第一誘因（潜在変数）

f_{2i} : i 番目の画素に対応する第二誘因（潜在変数）

e_{ji} : i 番目の画素の素因 j に対する誤差

なお、 a_{1j} および a_{2j} は観測された分散共分散行列とパスモデルから再現される分散共分散行列ができるだけ一致するようにして求められる。式(1)の線形式をもとに、誘因を逆推定する。線形逆推定式は次式で表される。

$$\hat{f}_{1i} = \sum_{j=1}^p h_{1j} z_{ji}, \quad \hat{f}_{2i} = \sum_{j=1}^p h_{2j} z_{ji} \quad \text{式 (2)}$$

問題は、この推定値 $\hat{f}_{1i}$ および $\hat{f}_{2i}$ が真値 f_{1i} と f_{2i} にできるだけ近くなるように係数 h_{1j} および h_{2j} を求めることに帰着される。つまり、次式を最小にする h_{1j} および h_{2j} を求めればよい。 Q を h_{1j} および h_{2j} それぞれで偏微分して 0 とおき、展開して整理すると、 h_{1j} および h_{2j} は以下のとおりとなる。

$$Q = \sum_{i=1}^n (\hat{f}_{1i} - f_{1i})^2 + \sum_{i=1}^n (\hat{f}_{2i} - f_{2i})^2$$

$$\rightarrow h_{1j} = \sum_{j'=1}^p a_{1j'} r^{jj'}, \quad h_{2j} = \sum_{j'=1}^p a_{2j'} r^{jj'} \quad \text{式 (3)}$$

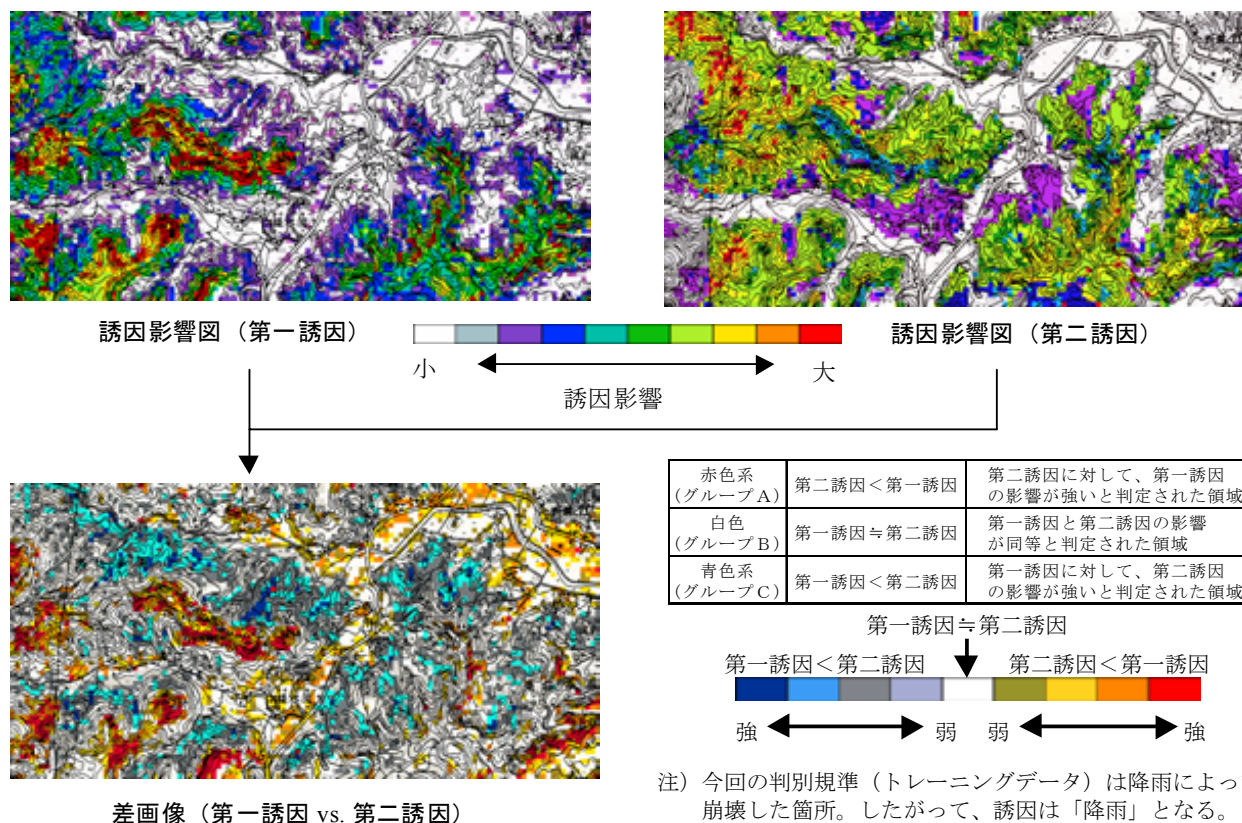
($r^{jj'}$: 相関行列 R の逆行列 R^{-1} の (j, j') 要素)

キーワード：シラス自然斜面、斜面崩壊危険箇所評価、誘因逆推定

共分散構造分析法、地理情報、衛星リモートセンシング

〒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: 04-7124-1501、e-mail: kojima_h@rs.noda.sut.ac.jp



図—1 誘因影響図と差画像

h_{ij} と h_{2j} を式 (2) に代入して誘因を画素単位で計算し、画像化した「誘因影響図」を作成する。

(2)適合度検定: モデルAとモデルBおよびモデルCの適合度検定指標¹⁾の計算結果を表—1に示す。この結果から、モデルCの適合度が最も高い。(モデルの識別性が高い)これから、複数誘因の意義があるものと言える。

(3)誘因影響図の作成: 図—1に誘因影響図を示す。これから、以下の2点の知見が得られる。

- ①「第一誘因」の誘因影響図では、傾斜の大きい箇所に誘因影響が強く現われている。
- ②「第二誘因」の誘因影響図では、斜面中腹部で誘因影響が強いことが確認できる。

これから、「第一誘因」と「第二誘因」で、それぞれ異なる特徴を現すことが判る。以上の検討から誘因逆分解が可能となることが示唆された。

(4)差画像の作成と解釈: それぞれの誘因影響図の違いを抽出した差画像を作成した。差画像では誘因影響の強弱から3ケースに大別できる。各ケースについて一般解釈をまとめると以下のようになる。

- ①グループA: 「第二誘因」に比べて、「第一誘因」の誘因影響が強く現れた領域である。
- ②グループB: 「第一誘因」と「第二誘因」の誘因影響が同等と判定された領域であるが、誘因影響の程度が不明なことから、再度、誘因影響図を見て誘因影響の程度を確認する必要がある。
- ③グループC: 「第一誘因」に比べて、「第二誘因」の誘因影響が強く現れた領域である。

以上のように、本研究で提示した差画像と一般解釈表を併用することにより、多角的な視点から誘因影響分析ができる。また、これらの情報は、潜在危険斜面の特定や現地計測機器の設置

表—1 適合度検定

	カイ2乗検定			GFI	AGFI	AIC	RMSEA
	カイ2乗値	自由度	確率				
モデルA	170.6	38	0.000	0.806	0.711	171.7	0.152
モデルB	42.9	30	0.344	0.965	0.936	44.9	0.077
モデルC	25.9	24	0.376	0.980	0.960	28.7	0.058

注1) モデルA: 素因 (観測変数) のみ

モデルB: 素因 (観測変数) + 単一誘因 (潜在変数)

モデルC: 素因 (観測変数) + 複数誘因 (潜在変数)

注2) 上記の適合度検定指標の見方は、文献1) 参照

箇所選定に対して有用な支援情報になると考えている。

4. まとめ

本研究の内容は以下の2点にまとめられる。

- ①誘因を複数設定した場合には、ACOS モデルの成立要件である適合度が高まり、誘因逆推定精度が向上することが確認された。
 - ②誘因影響図とその違いを抽出した差画像を提示し、差画像と解釈の内容が斜面崩壊危険箇所評価における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、誘因逆分解問題への衛星熱赤外域情報の適用性³⁾に関する検討を考えている。シラスの風化誘因の広域分析支援に役立つものと期待できる。

参考文献

- 1) 小島尚人、北村良介、大林成行: 衛星リモートセンシングデータを導入したシラス自然斜面の崩壊危険箇所評価精度の向上、土木学会論文集、No.707/VI-55、pp.165~176、2002年6月
- 2) 小島尚人、大林成行、青木太: 共分散構造分析法を導入した斜面崩壊危険箇所評価アルゴリズムの構築、土木学会論文集、No.714/VI-56、pp.165~176、2002年9月
- 3) 小島尚人、大林成行、北村良介: シラス自然斜面の崩壊誘因推定支援を目的とした衛星熱赤外域情報の活用方法の提案、土木学会論文集、No.749/VI-61、pp.99~110、2003年12月。