

共分散構造分析に基づく地すべり地形の特徴の評価

千葉大学大学院工学研究科 学生会員 ○古川 昭太
千葉大学大学院工学研究科 正会員 丸山 喜久

1. 研究背景と目的

我が国では今日に至るまで地震や豪雨などの影響により多くの地すべりが発生し、大きな被害を被ってきた。また地震調査委員会は、M7 クラスの地震の発生確率を 70%以上としており、近い将来にも地震による大規模な地すべりが起こることが懸念される。そこで予めどのような地形的特徴で地すべりが起こりやすいのかを予測しておき、地すべりが発生する前に対策を講じておくことは有意義なことであると考えられる。

本研究では複数の構成概念間の関係を検討できる統計的手法の一つである共分散構造分析(Covariance Structure Analysis)¹⁾を用いて、標高や微地形区分などの地形的特徴(素因)と地震や降雨などの地すべり発生の引き金になる事象(誘因)が、地すべりにどのように影響を及ぼしあうのかを分析・検討する。その結果を既存の地すべり発生を示した地図や地形図と比較、考察し、今後どのような地域で地すべりの発生の危険性が高いのかを予測する。

2. 対象地域と使用データ

対象地域は宮城県仙台市とした。使用したデータは国土交通省が整備する国土数値情報²⁾、若松・松岡の微地形区分³⁾、防災科研の地すべり地形分布図⁴⁾である。標高・微地形・傾斜角などの地形データは5次メッシュ(250mメッシュ)ごとに整理されている。地すべり地形分布図は、地すべり地形を航空写真から判読、抽出し分布にしたものであるが、目視での作成のために地すべり地形の見落としもあり得る。

3. パスモデルの構築・適合度の検討

R 言語を使用して共分散構造分析を行い、素因(観測変数)が誘因(潜在変数)の影響を受けると仮定し、その要因と地すべり発生の確率との相関を調べる。ここで観測変数は平均0, 標準偏差1に標準化する。なお、基本パスモデルは既往研究⁵⁾を参考に仮定した。

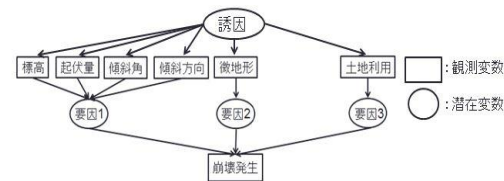


図 1 基本パスモデル

まず、メッシュごとの地すべり発生確率 S_q を次式により求める⁶⁾。

$$S_q = P\{T_q | C_{1j}, C_{2j}, \dots, C_{nj}\} \quad (1)$$

$$P(T_q | C_{ij}) = \frac{N_d}{N_{ij}} \quad (2)$$

ここで、

T_q : メッシュ q において地すべりが発生すると想定される事象

C_{ij} : メッシュ q における「 i 番目の素因における j 番目のカテゴリ」

N_d : i 番目の素因における j 番目のカテゴリに属する既存の地すべり地形のメッシュ数

N_{ij} : i 番目の素因におけるカテゴリ j のメッシュ数である。

S_q を求めた後、図 1 の基本パスモデルの適合度を算出する。さらに、観測変数を 1 または 2 個減らしたモデルの適合度を評価し、適合度が高かった上位 5 つのモデルを選定した。結果を表 1 にまとめる。ここで、適合度指標である RMSEA, AIC は小さいほど、CFI, TLI は 1 に近いほど、良好なモデルとなる¹⁾。

表 1 適合度が高かったパスモデルの適合度

条件	RMSEA	CFI	TLI	AIC
標高, 起伏量抜き	0.044	0.999	0.988	289370.2
標高, 傾斜角抜き	0.042	0.999	0.988	293264.3
標高, 土地利用抜き	0.043	0.999	0.991	279378.9
起伏量, 土地利用抜き	0.051	0.999	0.985	229717.4
微地形, 土地利用抜き	0.013	1	0.999	271011.6

4. モデルの的中率の検討

前章で示した 5 つのモデルと基本パスモデルについて、それぞれの地すべり地形の的中率を算出し、最もの中率の高いモデルを採用する。具体的には、横軸にパスモデルをもとに算出した標準化された地すべり発生確率を、縦軸にその度数および累積頻度

keywords 地すべり, 共分散構造分析, パスモデル, 的中率

連絡先: 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33 千葉大学大学院研究科 建築・都市科学専攻 TEL 043-290-3555

をとる．さらに，負極側から地すべり地形の累積頻度曲線を，正極側から非地すべり地形の累積頻度曲線を描く（図2）．つまり，地すべり地形を A グループ，非地すべり地形を B グループとすると，

$$F_A(X) = 1 - \int_{-\infty}^X f_A(x)dx \quad \left(\int_{-\infty}^{+\infty} f_A(x)dx = 1 \right) \quad (3)$$

$$F_B(X) = \int_{-\infty}^X f_B(x)dx \quad \left(\int_{-\infty}^{+\infty} f_B(x)dx = 1 \right) \quad (4)$$

となり，累積度数分布 $F_A(X), F_B(X)$ の交点が判別の閾値となる^{5), 6)}．すなわち，

地すべり発生の危険がある領域： $X \geq a$

地すべり発生の危険がない領域： $X < a$

であり，的中率は式(5)のようになる．

$$P = 1 - F_i(a) \quad (i=A,B) \quad (5)$$

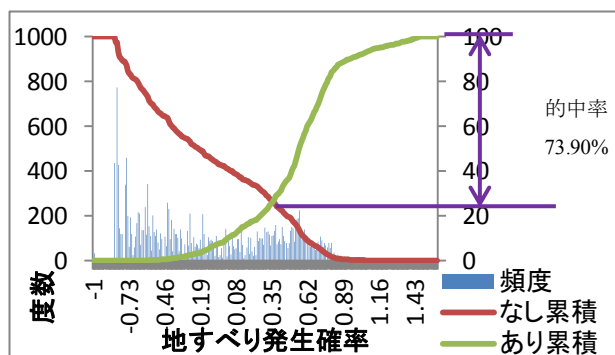


図2 起伏量，土地利用を説明変数から除いたパスモデルの的中率

前章で示した5つのモデルについての的中率を算出した結果，ここでは，73.9%と最もの中率の高い値を示した基本パスモデルから起伏量と土地利用を除いたモデルを採用することにした．

5.採用したパスモデルの考察

前章で選んだパスモデルのパス図およびパス係数を図3に示す．

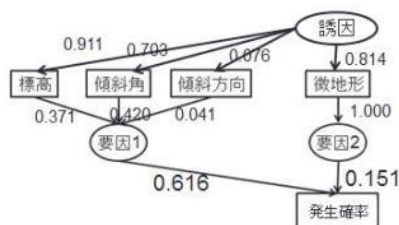


図3 最もの中率の高かったパスモデル

図3より，地すべりの発生には，標高，傾斜角，傾斜方向をまとめた要因1が微地形よりも大きな影響を与えている．また，要因1の中では標高と傾斜角との相関が高いことが分かる．また，傾斜方向の相関が小さいのは他のモデルでも同様であった．

次に図3のパスモデルで抽出される地すべり発生の危険箇所についての考察を行う．既存の地すべり地形のデータと本研究で算出した地すべり予測のデータを比較し，結果を地図上に表示した（図4）

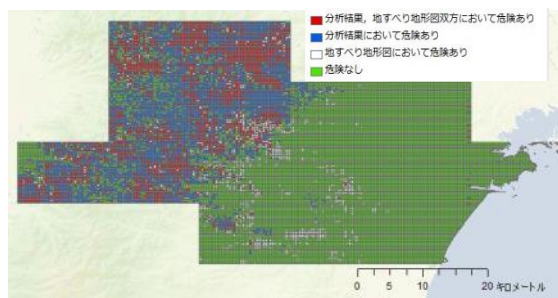


図4 パスモデルによる地すべり地形の抽出結果

仙台市の北西部を中心に実際の地すべり地形よりもかなり多くの地点で崩壊の危険性があるという結果になった．この原因としては，図3のパス図によると，標高と傾斜角のウェイトが大きいので，その二つの素因が高い値を示している北西部の発生予想が多くなったものと考えられる．反対に，中心部および南部の地すべり発生地点を危険なしと評価した原因についても同様の理由が挙げられる．

6.まとめと今後の課題

本研究では，共分散構造分析を用いて宮城県仙台市の地すべりの危険性を評価した．地すべりの発生には標高，傾斜角，傾斜方向，微地形の4つの素因が影響し，とくに標高と傾斜角が大きく影響するとの結果が得られた．しかしながら，既存の地すべり地点の見逃しも確認された．今後はさらなる素因の選定，モデルの組み方の見直しを行い分析の精度を向上させる必要がある．

参考文献

- 1) 豊田秀樹：共分散構造分析[R編]，東京図書，2014
- 2) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス，<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 3) 若松加寿江，松岡昌志：全国統一基準による地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築とその利用，日本地震工学会誌，No.18，pp. 35-38，2013.
- 4) 防災科学技術研究所：地すべり地形分布図データベース，<http://lsweb1.ess.bosai.go.jp/>
- 5) 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. 79-93，2002.
- 6) 大林成行，小島尚人，Chang-Jo 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/VI-44，pp. 77-89，1999.