

第Ⅲ部門 ガウス過程回帰を用いた表土層深推定の試み

神戸市立工業高等専門学校専攻科 学生員 ○上田 一輝
 (株)シアテック 正会員 大西 剛史
 神戸市立工業高等専門学校 正会員 野並 賢
 神戸市立工業高等専門学校 正会員 鳥居 宣之

1. はじめに

表層崩壊の発生危険度を精度良く評価する場合、表土層深は斜面勾配とともに表層崩壊の発生しやすさに与える影響が多いこと⁽¹⁾が知られており、渡邊⁽²⁾は、表土層深と関係がある地形量で重回帰分析を行い、複数の地形特性値間にはある程度の相関関係があることを示した。鳥居⁽³⁾は、表土層の形成過程を考慮することにより表土層深推定の精度が向上することを示し、小寺ら⁽⁴⁾は、露岩調査結果を加えることで推定精度が向上することを示した。また同種の研究として、傾斜や集水面積等の地形量と表土層深との関係を統計的手法から求めた回帰式を用いて表土層深分布を推定する試み⁽⁵⁾も行われているが、実用化には至っていないのが現状である。これらの手法は、線形的な回帰であるため複雑な関係に対応するのが難しいことが課題として挙げられる。そのため本研究では、非線形的な回帰が可能であるガウス過程回帰を活用した表土層深の推定手法を提案することを目的とする。

2. ガウス過程回帰モデル

本研究で用いる回帰モデルでは、(1)式に示すような RBF カーネルを採用している。またハイパーパラメータの最適化に関しては、MCMC 法（マルコフ連鎖モンテカルロ法）を適用している。

$$k(x_i, x_j) = s_1 \cdot \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{s_2}\right) + s_3 \cdot \delta_{ij} \quad (1)$$

ここに、 s_1, s_2, s_3 : ハイパーパラメータ, δ_{ij} : クロネッカーのデルタ

3. 使用データについて

3. 1 はじめに

沖村・田中⁽⁶⁾は、六甲山系における過去の斜面崩壊は、簡易貫入試験値 $N_d \leq 12$ の層内にすべり面を持つことが多いことを指摘しているため、この $N_d \leq 12$ を表土層と定義した。表土層の形成には、複数の地形的特徴が大きく影響している。そのため、表土層深と相関があるとされる地形量を説明変数として与えた。上田⁽⁷⁾は 15 個の地形量を用いていたが、説明変数の数が増える程推定精度が低下する傾向にあることを示した。したがって、比較的推定精度が良い地形量の組み合わせかつ、計算が容易で扱いやすい地形量を選定することとした。比高率（標高）、流下・流入方向傾斜（傾斜）、入出傾斜和（傾斜）、斜面傾斜方向（方位）を説明変数として選定し、推定を行う。

3. 2 対象地の概要

本研究では、鳥居の手法⁽³⁾と同様に、六甲山系南側斜面に位置する青谷試験地の表土層深実測データ（63 測点）を使用した。加えて、同じ六甲山系南側斜面に位置する中尾谷試験地において、簡易貫入試験を行い表土層深の実測データを得た（31 測点）（図 1 参照）。



図 1 試験地位置図（赤：中尾谷，青：青谷）

Itsuki UEDA, Takeshi OONISHI, Satoshi NONAMI and Nobuyuki TORII
 r119503@g.kobe-kosen.ac.jp

4. 表土層深の推定

4. 1 青谷試験地の推定

上田⁷⁾との比較として、同一データを用いて青谷試験地の表土層深データに対して推定を行う。推定条件は、学習データとして青谷試験地の57測点、推定用に6測点のデータを使用する。図2は説明変数に地形量15個を使用している上田⁷⁾の手法、図3に説明変数の改善を行った本手法の結果を示す。図2, 3の通り本手法は、誤差が15cm以内に収まっている測点が増えており、平均誤差も小さくなっているため、推定精度が向上しているといえる。また推定値のずれも安全側が多いため、表層崩壊の予測に用いる上で、見逃しを減らせるといえる。

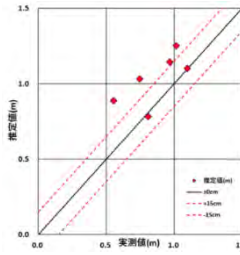


図2 上田⁷⁾の手法

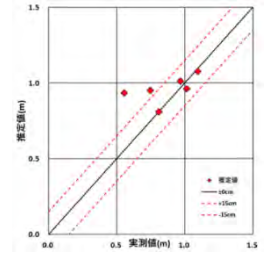


図3 本手法

4. 2 他地域への適用性の検証

他地域への適用性を検証するために、青谷のデータで中尾谷の表土層深を推定する。これを case1 とする。加えて、学習量に関する比較を行う。本手法において、学習データ数の差異が推定精度に与える影響を把握するために、青谷63測点に中尾谷のデータを加え、推定を行う。追加する学習データと推定点は、中尾谷試験地31測点の中からランダムで抽出する。学習データを10測点(case2)、20測点(case3)、25測点(case4)と追加し、各測点数で3回ずつ実施した(抽出データは変更)。結果を表1に示す。青谷のデータのみで学習させたcase1では、大きく誤差が出る測点が多く、平均誤差もかなり大きくなった。case2~case4の結果より、学習数が多くなるほど推定精度が高くなっていることが分かる。また100cm付近の表土層深は推定精度が良く、そこから離れるほど大きく誤差が出る傾向がみられた。これは学習データの偏りによるものだと考えられ、学習データの数が多し90-110cmの測点に対する推定は良好であるが、学習データが少ない範囲の測点に対する推定は精度が悪くなるといえる。

表1 推定結果の比較

ケース	学習数	推定数	平均誤差(cm)	±15cm内の数	±15cm割合(%)
case1	63	31	54.4	5	16
	73	21		7	33
case2	73	21	33.9	4	19
	73	21		5	24
case3	83	11	32.4	3	27
	83	11		2	18
	83	11		3	27
case4	88	6	23.8	2	33
	88	6		3	50
				3	50

5. まとめ

地形量を15個から5個に絞ることで推定精度が向上し、誤差±15cm内の測点も増加した。他地域での精度は低く、学習量が精度に大きく影響することが判明した。特に表土層深90-110cmの範囲で精度が高く、学習データの偏りが推定結果に反映されていた。今後は更なる表土層深データの拡充が必要である。

参考文献

- (1) 沖村孝, 大西勝則: 各種の要因が斜面安定解析結果に及ぼす影響, 建設工学研究所報告 vol.29, pp.199-225, 1987.
- (2) 渡邊住秀: 数値地形モデルより推定した表土層を用いた崩壊発生位置の予測, 神戸大学大学院工学研究科修士論文, 58p, 1995.
- (3) 鳥居宣之: 風化花崗岩地域における表土層深分布推定手法に関する基礎的研究, 10p, 2015.
- (4) 小寺凌, 梶山敦司, 浅井健一: 六甲山地における多変量解析を用いた表層土層厚の推定手法の検討, 自然災害科学 J.JSNDS43-3, pp.323-340, 2024.
- (5) Tsai, C et al.: Prediction of Soil Depth Using a Soil-Landscape Regression Model: a Case Study on Forest Soils in Southern Taiwan, *Proceedings of the National Science Council*, 25, 1, pp. 34-39, 2001.
- (6) 沖村孝, 田中茂: 一試験地における風化花崗岩斜面の土層構造と崩壊発生深さに関する研究, 新砂防, 33-1, pp.7-16, 1980.
- (7) 上田一輝: ガウス過程回帰を用いた表土層深推定手法の検討, 神戸市立工業高等専門学校 都市工学科卒業研究論文, 50p., 2023.