

# 気候変動による表層崩壊危険度の将来展望

東北大学大学院 学生会員 ○小野 桂介  
東北大学大学院 正会員 風間 聡

## 1. はじめに

豪雨時には急傾斜面において崖崩れ（表層崩壊）が多く発生し、社会的に大きな問題となる。特にモンスーンアジアにおいては雨期の多雨により広域で斜面災害が生じている。降雨の頻度と量の変化に伴い水関連災害の頻発と強度の増加が懸念され、人々の生活を脅かす可能性がある。GISの普及を背景に、ヨーロッパや東南アジア域において無限長斜面安定解析を用いた広域の崩壊危険度評価が実施された<sup>1)2)</sup>。これらの研究は表層崩壊ハザードマップ作成における力学的解析手法の有用性を評価したものの、解析において将来の降水変化を考慮していない。そこで、本研究ではタイ国ペチャブーン県ナムコヤイ支流域を対象領域として、力学的表層崩壊モデルと将来降雨予測値を用いて表層崩壊ハザードの将来展望を明示することを目的とする。

## 2. 表層崩壊モデル

無限長斜面安定解析に Montrasio ら（2011）が提案した Shallow Landslides Instability Prediction (SLIP) モデルを用いる<sup>1)</sup>。SLIP モデルの詳細を以下に示す。

$$F_s = \frac{\cot \beta \cdot \tan \phi' \cdot [\Gamma + m \cdot (n_w - 1)] + C' \cdot \Omega}{\Gamma + m \cdot n_w} \quad (1)$$

where:

$$\Gamma = G_s \cdot (1 - n) + n \cdot S_r \quad (2)$$

$$n_w = n \cdot (1 - S_r) \quad (3)$$

$$\Omega = \frac{2}{\sin 2\beta \cdot H \cdot \gamma_w} \quad (4)$$

$$C' = [c' + c_\psi] = [c' + A \cdot S_r \cdot (1 - S_r)^\lambda \cdot (1 - m)^\alpha] \cdot L \quad (5)$$

ここで、 $F_s$ ：安全率、 $\beta$ ：斜面勾配、 $\phi'$ ：内部摩擦角、 $\gamma_w$ ：水の単位体積重量、 $H$ ：表土層厚、 $L$ ：斜面の長さ、 $m$ ：表土層厚に対する飽和土層厚の割合 ( $m = H_{sat} / H$ )、 $n$ ：空隙率、 $G_s$ ：土粒子比重、 $S_r$ ：飽和度、 $C'$ ：粘着力 (Total)、 $c'$ ：有効粘着力、 $c_\psi$ ：サクシオンにより変化する見掛けの粘着力、 $A \cdot \lambda \cdot \alpha$ ：土壌パラメータ、である。降雨に伴う  $m$  の時間変化は以下の式で表される。

$$m(t) = \sum_i \left[ e^{-K_T \cdot \frac{\sin \beta}{n \cdot (1 - S_r)} \cdot (t - t_{0i})} \cdot \frac{h(t_{0i})}{n \cdot H \cdot (1 - S_r)} \right] \quad (6)$$

ここで、 $m(t)$ ：時間  $t$  における表土層厚に対する飽和土層厚の割合 ( $t=0,1,2,\dots,t_{0i}$  における降雨浸透および流出の結果として算出)、 $K_T$ ：排水係数、 $h(t)$ ：時間  $t$  における降雨量、である。安定解析の時間ステップは 1 日とする。なお、式 (1) から (6) に示す SLIP モデルのパラメータとして、ナムコヤイ支流域における過去の表層崩壊事例を基に最適化された値<sup>2)</sup> 利用する。

## 3. 対象領域とデータセット

対象領域はペチャブーン県ロムサック郡ナムコヤイ支流域である (図-1)。2001 年 8 月 10 日に発生した豪雨によりこの地域において多くの表層崩壊が発生し、136 名が死亡した。斜面安定解析に降雨データと斜面勾配データを利用する。降雨の現在気候値として、チャオプラヤ流域を対象とした降水量データである T12 を用いる。将来気候値として、Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) で公開されている全球気候モデル (GCM) の中から MIROC5、GFDL-ESM2M、CanESM2、CSIRO-Mk3.6.0、INM-CM4、CNRM-CM5 の 6 種類のモデルによる出力値を利用する。これらは渡部ら (2013) の手法によりダウンスケールされたデータである<sup>3)</sup>。現在気候値として 1980 年から 2011 年の 32 年間のデータを、将来気候値として 21 世紀再現実験による 2040 年から 2059 年 20 年間 (中間気候) および 2

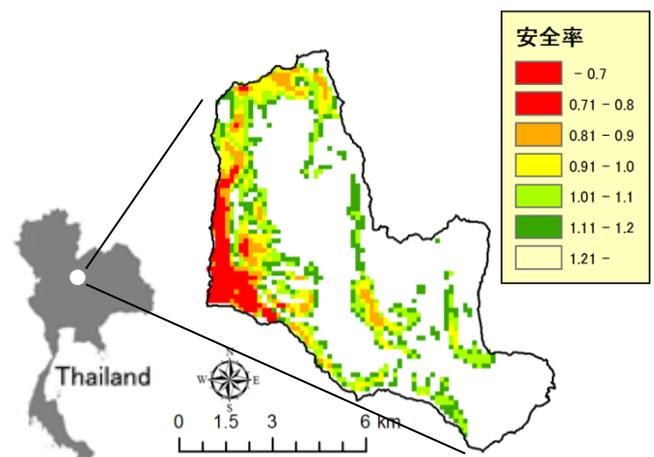


図-1 対象領域および斜面安定解析結果の例

080年から2099年の20年間(将来気候)のデータを利用する。斜面勾配データは空間分解能30mのDEMであるASTER GDEMから作成される。解析には分解能30mの斜面勾配データを分解能150mに粗解像度化したものを利用する。

#### 4. 解析方針

現在気候値および将来気候値を基に支流域における降雨の代表値を算出し、流域平均雨量をSLIPモデルに入力することにより、表層崩壊ハザードの推移を日スケールで解析する。崩壊危険度の将来変化に関する指標として領域内で安全率1以下となるグリッドの年発生個数(不安定グリッド数)を用いる。T12および6つのGCM出力値を用いて、不安定グリッド数を月および年毎に導く。現在・中間・将来気候において推定される不安定グリッド数の比較により、崩壊危険度の将来展望を明示する。図-1にSLIPにより導かれる安全率分布結果の例を示す。

#### 5. 結果と考察

図-2に現在・中間・将来気候における各年の不安定グリッド数を示す。図より、現在気候において不安定グリッド数の年変動は大きく、2002年において最大値(16070グリッド)を示す。平年値は3262グリッドである。6つのGCM出力値により推定される不安定グリッド数の年変動は大きく、最大値は約10000グリッドから15000グリッドである。中間気候および将来気候において不安定グリッド数はほぼ同様の推移を示し、平年値はおおよそ5000グリッドを示す。以上より、対象地域において将来の表層崩壊ハザード増加が予想される。本手法では時系列の降水量の利用により、将来の降水変化に伴う表層崩壊ハザードの推移を動的に評価することができる。そこで、気候変動による季節毎の表層崩壊ハザードの変化を評価する。図-3に現在・中間・将来気候における月毎の不安定グリッド数の平年値を示す。図より、中間気候および将来気候におい

て現在気候よりも不安定グリッド数が増加する。特に将来予測値においては雨期終盤(10月・11月)の発生グリッド数の増加が顕著であり、月平均で現在気候に比べて約200グリッドから400グリッド増加する。中間気候と将来気候はほぼ同様の推移を示すが、中間気候と比べて将来気候では雨期の不安定グリッド数が若干増加する。以上より、対象領域において雨季終盤の将来の表層崩壊ハザード増加が予想される。

#### 謝辞

本研究は日本学術振興会特別研究員奨励研究費の助成を受けて行われた。地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)の援助によるIMPAC-Tによって実施された。環境省の環境研究総合推進費(S-8)の支援により実施された。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) Montrasio, L., Valentino, R., and Losi, GL.: Towards a real-time susceptibility assessment of rainfall-induced shallow landslides on a regional scale, Nat. Hazards Earth Syst. Sci.,11(7),1927-1947, 2011.
- 2) Ono, K., Kazama, S., and Tezuka, S.: タイ王国ペチャブン県における降雨に伴う表層崩壊ハザードマップの作成, 土木学会論文集 G(環境), 68(5), 273-278, 2012.
- 3) 渡部哲史, 内海信幸, 鼎信次郎, 瀬戸心太, 沖大幹, 平林由希子: GCM, RCP シナリオ, バイアス補正手法の選択が日降水量極値の将来予測に与える影響の考察, 水工学論文集, 4(4), I\_385-I\_390, 2013.

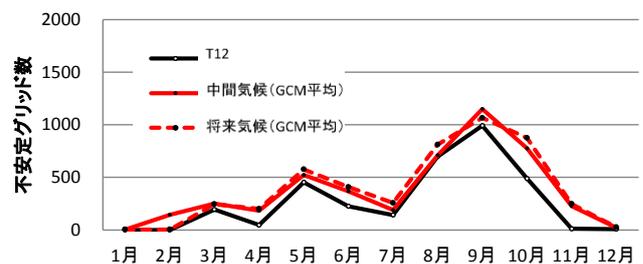


図-3 現在・中間・将来気候の月不安定グリッド数の平年値

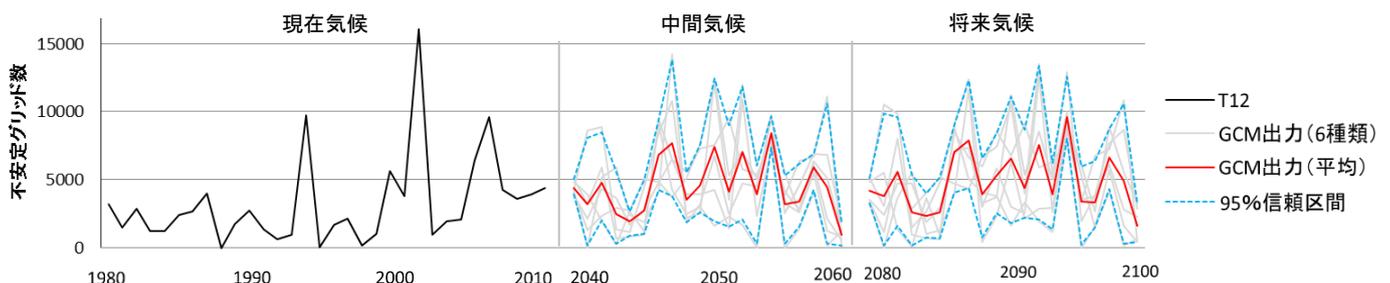


図-2 現在・中間・将来気候の年不安定グリッド数