

タイ王国における豪雨に伴う斜面崩壊ハザード評価

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

地球温暖化に伴う水循環の活発化による降水分布の変化、特に豪雨の発生頻度の増加が指摘されている¹⁾。異常気象と斜面災害の関係は密接であり、降水変化により斜面崩壊ハザードの増加が危惧されている²⁾。特に東南アジアにおいては豪雨の増加により深刻な斜面崩壊被害が生じる可能性がある³⁾。しかし、雨量の観測密度の問題等から、これまで東南アジア域における降雨を考慮した斜面崩壊研究はあまりない。2010年に総合地球環境学研究所と気象庁気象研究所はAPHRODITE's Water Resourcesプロジェクトにおいて雨量計データを基にしたアジア全域の日降水量グリッドデータ（以後、APHRODITEプロダクトと呼ぶ）の最新版 Vol. 1003R1を公開した⁴⁾⁵⁾。このデータはアジア全域をカバーする、かつ測定期間が長い実測を基にした唯一の日降水データである。また、タイにおいて、APHRODITEプロダクトと観測雨量データを基に、再現期間毎の降雨極値分布を明らかにされている⁶⁾。そこで、本研究では既往の降雨極値の分布図⁶⁾を用いて、タイ全土の斜面崩壊ハザードマップを作成することを目的とする。

2. 斜面崩壊発生確率モデルの構築

2001年にタイのペチャブン県ナムコヤイ支流域（図1）において生じた斜面崩壊についてS. Yumuangは詳細な研究を行なった⁷⁾。今回はYumuangが作成した数値地理情報を基にモデルを構築した。モデル構築の際の数値地理情報の空間解像度は100m×100mとした。解析に用いたデータを表1に示す。

2.1. データセット

(1) 水文データ

水文データとして動水勾配を用いた。動水勾配は、数値地理情報から擬似二次元化した斜面を作成し、浸透解析により求めた。擬似斜面に利用するデータは表層土壌と、斜面傾斜度、日降雨極値である。タイにおいて日降雨極値は緯度と標高の線形回帰式として表される⁶⁾。この式を用いて降雨極値の分布を求めた。また、

表層土壌は砂、シルト、粘土に分類した。

(2) 地形データ

地形データとして起伏量を用いる。起伏量は、解像度100m×100mのグリッドセル内における地形の高低差と定義される。

(3) 斜面崩壊実績データ

Yumuangが作成した崩壊及び堆積の位置情報を使用した。この情報は、水平解像度1m×1mのIKONOS衛星画像、水平解像度0.5m×0.5mの航空写真、LANDSAT ETM+から求めたNDVI、及び実地調査によって作成された。また、Yumuangの現地調査から得られた知見に従い、標高800mを閾値として、上側を崩壊地点、下側を堆積地点と判断した。

2.2. 多重ロジスティック回帰分析

川越らの手法を参考に、地形と水文条件を説明変数、斜面崩壊実績を目的変数とした多重ロジスティック回帰分析により、斜面崩壊発生確率モデルを構築した⁸⁾。地質の性状は考慮せずにモデルを構築した。水文データとして再現期間の降雨極値から求めた動水勾配を用いた。この手法は、降水量を変数として入力する事ができる。つまり、時空間的な斜面崩壊の発生確率の明示に有効である。発生確率 P は以下の式で示される。

表1 データセットの詳細

項目	データセット () 内はデータソース
斜面崩壊発生確率モデル構築	※数値地理情報は全てYumuangから入手 斜面傾斜度（タイ土地開発局）、土壌分布（砂・シルト・粘土）、日降水データ（タイ気象庁）、標高（タイ土地開発局）
ハザードマップ作成	標高及び斜面傾斜度（HYDRO1k USGS ⁹⁾ ）、土壌分布（USDA ¹⁰⁾ ）、再現期間の降雨極値 ⁶⁾

表2 回帰分析における回帰係数

項目	動水勾配	起伏量	切片
係数 β	1180	0.00970	-17.5
有意確率 P 値	0.00	0.0260	0.00
標準化回帰係数	2.01	0.227	-

表3 回帰分析における相関係数

項目	動水勾配	起伏量	崩壊
動水勾配	1	-	-
起伏量	0.37	1	-
崩壊	0.65	0.29	1

$$P = \frac{1}{1 + \exp[-(a + \beta_h \text{hydro} + \beta_r \text{relief})]}$$

ここで、 a : 回帰分析における切片、 β : 回帰分析における回帰係数、 hydro : 動水勾配 (単位無し) relief : 起伏量 (m) である。回帰分析から求められた係数および相関係数を表 2、表 3 に示す。標準化回帰係数から、タイの斜面崩壊においては動水勾配の影響が起伏量の影響に比べて大きいことが理解された。

3. 斜面崩壊ハザードマップ作成

ペチャブンの崩壊事例を基に構築されたモデルをタイ全土に適用し、斜面崩壊ハザードマップを作成した。前述したように、水文データとして動水勾配、地形データとして起伏量を用いた。動水勾配は APHRODITE プロダクトを基に推定された降雨極値から計算された。この降雨極値は、標高が高い地域ほど降水量が多くなる降雨の標高依存性を含んだ結果である。モデル入力データは緯度経度 0.05 度格子の解像度であり、発生確率分布も緯度経度 0.05 度格子により示された。水文データ・地形データの説明は前述したので省略する。解析に用いたデータを表 1 に示す。

4. 結果、考察

作成された斜面崩壊ハザードマップを図 1 に示す。北部山地、西部山地、南部半島部の一部において大きな発生確率が示された。つまり、定常的に斜面崩壊の危険度が高い地域と言える。これらは、標高が高く降水量が大きい地域であると同時に、起伏が激しい地域である。また、再現期間 5 年と 10 年を比べた場合、再現期間 10 年においては高確率の地域が山裾あるいは丘陵地域に広がる。つまり、これらの地域は降雨量が多い場合に斜面崩壊ハザードが高くなる地域と言える。実際に過去に生じた大規模斜面崩壊の位置とハザードマップを比べたところ、高確率地域と崩壊位置が一致している傾向が見られた (図 1 内の丸印)。一方、一致しなかった地点の要因として、人為的に発生した崩壊であること、荒い空間解像度では表現できない小地形であること、等が考えられる。

5. おわりに

最新の降水グリッドデータの利用により、降雨極値を考慮できる斜面崩壊ハザードマップの作成手法をタイにおいて示した。モデルの精度や検証等に課題があるものの、東南アジア域に応用可能な斜面崩壊のハザード解析手法を示すことができた。今後はデータセッ

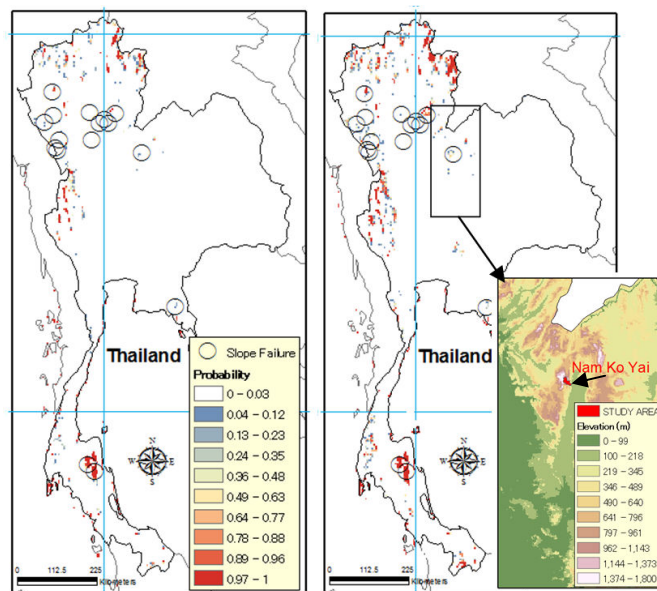


図 1 再現期間における斜面崩壊発生確率 (左: 5 年, 右: 10 年), ナムコヤイ支流の位置と標高分布 (右図の拡大図)

トの充実を図り、さらに信頼性の高いハザードマップ作成を目指す。

謝辞

本研究は Chaiwat Ekkawatpanit 博士 (モンクット王工科大学, タイ) に現地調査およびデータ提供の援助を受けました。環境省の環境研究総合推進費 (S-8) と地球規模課題対応国際科学技術協力事業 (SATREPS) の IMPAC-T によって実施されました。気象研究所気候研究部の上口様をはじめ APHRODITE's Water Resources プロジェクトメンバーの皆様には非常に貴重なご意見をいただきました。ここに謝意を表します

参考文献

- 1) 環境省: IPCC 地球温暖化第 3 次報告—政策者向け要約, pp.91, 2001.
- 2) Matthias Jakob and Steven Lambert: Climate change effects on landslides along the southwest coast of British Columbia, *Geomorphology*, Vol.107, 275-284, 2009.
- 3) Suttisak Solalump: Rainfall-Triggered Landslide: from research to mitigation practice in Thailand, *Geotech. Eng. J. SEAGS&AGSSEA*, Vol.41, No.1, 2010.
- 4) Yatagai, A., O. Arakawa, K. Kamiguchi, H. Kawamoto, M. I. Nodzu, and A. Hamada, 2009: A 44-year daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges, *SOLA*, 5, 137-140, 2009.
- 5) APHRODITE's Water Resources Homepage: <http://www.chikyu.ac.jp/precip/index.html>
- 6) 小野桂介, 風間聡: 東南アジア熱帯地域における降雨極値の空間解析, 水工学論文集, 2011. (印刷中)
- 7) S. Yumuang: 2001 debris flow and debris flood in Nam Ko area, Petchabun province, central Thailand, *Environ. Geol.*, Vol.51, 545-564, 2006.
- 8) 川越清樹, 風間 聡, 沢本正樹: 数値地理情報と降雨データを利用した土砂災害発生モデルの構築, 自然災害科学, Vol.14, 175-180, 2008.
- 9) U.S. Geological Survey: Elevation Derivative Database, http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30/hydro.
- 10) U.S. Dept. of Agriculture: Natural Resources Conservation Service, <http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/order.html>.