

斜面崩壊予測法に対する統計的時系列解析の応用

井本 智明

リスク解析戦略研究センター 特任助教

【地表面速度からの斜面崩壊予測法】

降雨により発生する斜面崩壊は多数の人命を奪い、交通網をマヒさせ、家屋・公共施設等にも甚大な被害を与える。そこで、斜面崩壊の発生位置・規模・時間等の予測手法を確立することで、このような被害を抑える必要がある。

斜面崩壊予測に用いられる機器の一つとして地表面移動計がある(図1参照)。この機器によって計測される地表面の時間当たりの変位、つまり地表面の速度が大きくなった時に斜面の崩壊が起こりやすくなるのが分かっている。この性質を用いて、地表面の速度の逆数がゼロに近づく時刻を斜面崩壊の時刻として予測する手法が考えられている(福園, 1990)。図2は高さ7.8m, 幅4m, 土層厚1m, 傾斜角度30度, マサ土を用いた実験施設内での斜面において、降雨強度50mm/hの雨を降らせ続けたときの地表面の速度の逆数を表したものである。

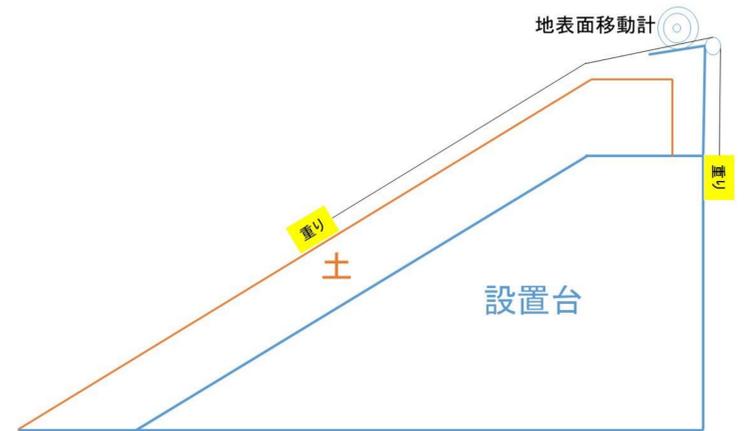


図1: 地表面移動計の設置図

【地表面速度に関する統計モデル】

地表面速度に関する統計モデルを構築し、福園(1990)による斜面崩壊予測法と組み合わせることで、斜面崩壊時刻を確率的に評価できる。

ここでは基本的な時系列モデルであるARIMA(p,d,q)

$$\Delta^d x_t = m + \phi_1 \Delta^d x_{t-1} + \dots + \phi_p \Delta^d x_{t-p} + \epsilon_t + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q}$$

x_t : 時刻 t での観測値, ϵ_t : 時刻 t での誤差, Δ : 差分演算子, m, ϕ_i, θ_i : 未知の係数

としての構築を試みた。ここで、 $\Delta^d x_t$ は定常となるように d を設定する。

このモデルにおいて x_t を地表面速度の対数、つまり $\log v_t$ とおき、 $d = 1$ とすることで、図3のように定常性が見えてくる。

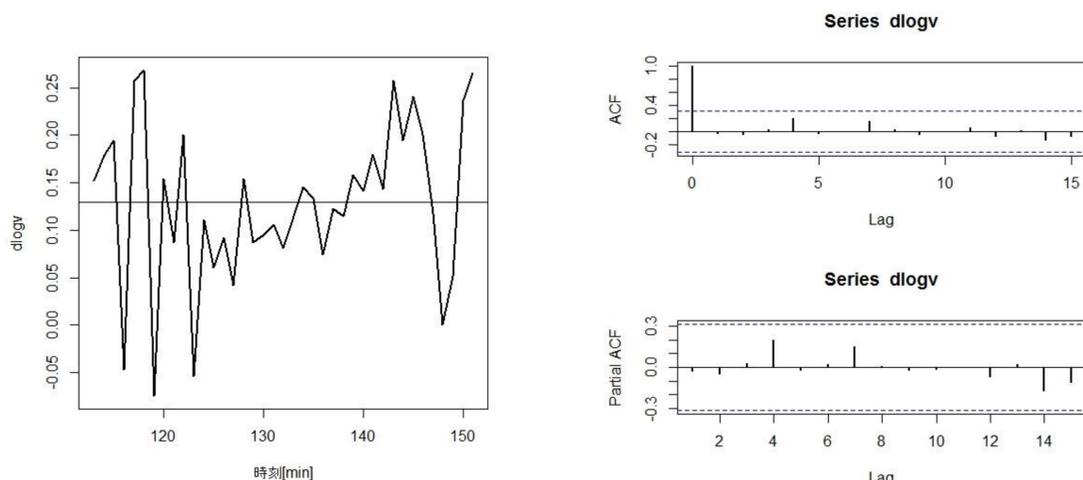


図3: $\Delta \log v_t$ プロット

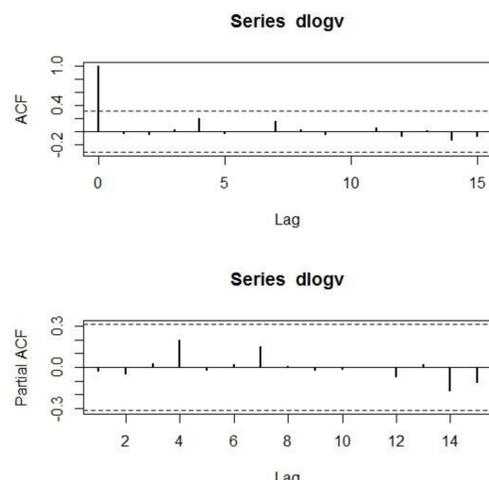


図4: $\Delta \log v_t$ に関する相関プロット

図4は $\log v_t$ に関する自己相関関数と偏自己相関関数のプロットである。このプロットから $\log v_t, t = 113, \dots, 152$ は無相関関係にあることが見られ、 $\log v_t$ に対してはARIMA(0,1,0)が適切なモデルと憶測できる。実際にARMA(p,1,q)の様々な次数 p, q の組み合わせに対し、赤池情報量基準やベイズ情報量基準を用いてモデル選択を行うとARIMA(0,1,0)が最良のモデルとして選択され、結果

$$\Delta \log v_t = 0.1292 + \epsilon_t, \quad \epsilon_t \sim N(0, 0.0070), \quad t = 113, \dots, 152$$

または、同種であるが、

$$v_t = v_{112} e^{0.1292(t-112) + \delta_t}, \quad \delta_t \sim N(0, 0.0070t), \quad t = 112, \dots, 152$$

というモデルが得られる。この結果を用いた、地表面速度の逆数に関する推定曲線と95%信頼区間を図5で与える。

斜面崩壊時刻に関しては与えられたモデルに対し、 $T = \inf\{t : v_t = c\}$ の分布を考えればよい。ここでは $c = 0.2$ として考えると、 T は平均151.00, 分散16.36の逆ガウス分布に従うことが分かる。図6はその分布と、推定したモデルを用いた斜面崩壊時刻に対する1万回のシミュレーションの分布を重ね合わせたものである。

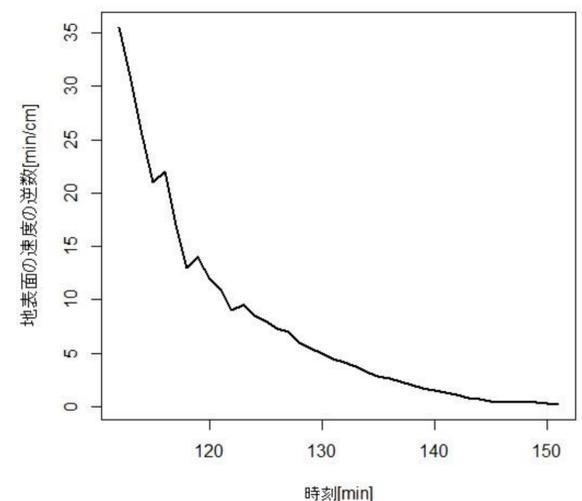


図2: 地表面移動計の速度の逆数プロット

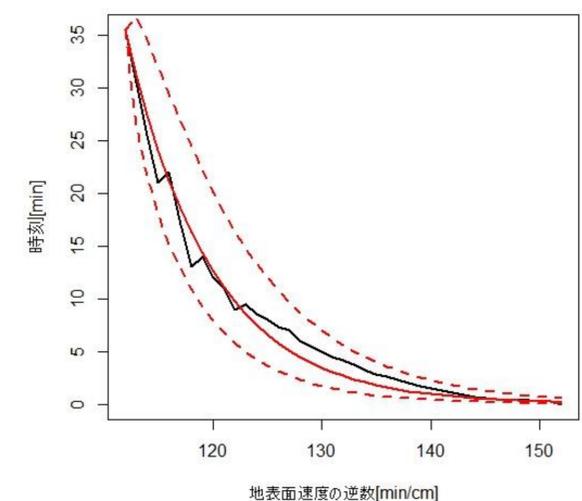


図5: 観測値(黒実線)、推定値(赤実線)、95%信頼区間(赤点線)

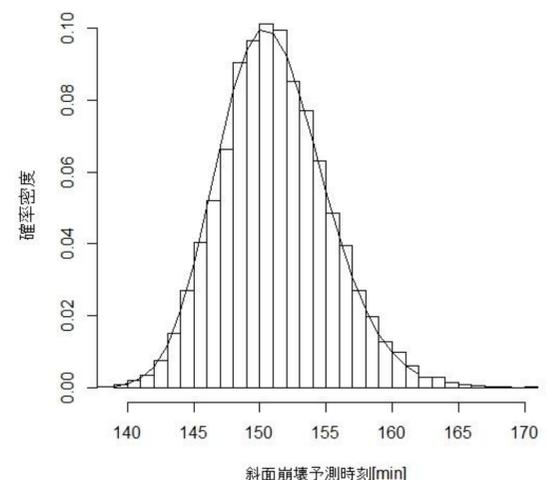


図6: 地表面移動計の速度の逆数プロット

本研究はリスク解析戦略研究センターの斜面崩壊に関するプロジェクトの一環として進行中のものです。共同研究者は以下の通りです。

防災科学技術研究所 酒井直樹

統計数理研究所 清水邦夫, 金藤浩司, 山下智志

参考文献

[1] 植竹政樹, 酒井直樹, 福園輝旗 (2010). 内部歪計による斜面崩壊発生予測法に関する研究 - 土砂災害消防活動時斜面監視への応用 - 防災科学技術研究所研究報告 第77号, 49-68.

[2] 福園輝旗 (1990). 平均速度の逆数による斜面崩壊発生時刻の予測 - 斜面崩壊の発生予測に関する研究 (3) - 防災科学技術研究所研究報告第46号, 45-81.