

令和元年5月28日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04417

研究課題名(和文) 高分解能土砂災害警戒情報の確率的指標作成と活用に関する研究

研究課題名(英文) Study on Development and Application of Stochastic Index of High Resolution Sediment Disaster Alert

研究代表者

大石 哲(OISHI, Satoru)

神戸大学・都市安全研究センター・教授

研究者番号：30252521

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：降雨による表層崩壊を対象とし、フリーでオープンソースなGISであるQGISを用いて、広島県市周辺における平成30年7月豪雨による斜面崩壊を対象に降雨に加え地形的要因を考慮した土砂災害発生指標を算出し、地図上で色分けしたものを、土砂災害危険度提供システムとして提案できるようになった。また、スーパーコンピュータでもノードに応じた大規模化が可能な粒子法シミュレーションフレームワークを用いてSPHを使った粒子法による斜面崩壊計算に地盤モデルを取り込むことが可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで降雨情報だけを用いて土砂災害の危険度を指標化していたが、本研究により土地の斜度などを含めて確率的に土砂災害の危険度を表示できるようになった。また、従来では実験室規模の斜面崩壊のシミュレーションが行われているものを実スケールでのシミュレーションが可能な仕組みを構築することができた。

研究成果の概要(英文)：We have developed an index of sediment disaster with disaster occurrence probability, which is the sediment disaster alert system in the present study. The target of the system is surface slope failure taking place with severe rain. The result of the system applied for the case of 2018 severe rain in Kure city, Hiroshima prefecture is shown on the QGIS which is free and open GIS. The GIS shows the probability with color on QGIS. On the other hand, slope failure has been calculated with scalable particle method of numerical simulation, FDPS. We developed scalable simulation system by using SPH method and geotechnic model.

研究分野：水工学

キーワード：土砂災害 警戒情報 確率 GIS 粒子法シミュレーション 数値計算 斜面崩壊

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

土砂災害の危険情報の基本になる土砂災害警戒判定メッシュ情報が10分更新、5kmメッシュで発表され、土砂災害警戒情報が地区単位で発表されるようになってもおおむね、土砂災害で命を落とす人は多い。それは土砂災害が極めて局地的であり、発生したところとそうでないところが明確であるために、直近で災害が発生していても山陰で見えないような場合には正常性バイアスが働きやすく、危険情報と避難が直結しないためである。

一方で、日本全体では頻度の高い土砂災害も、1つの試験地などにおいては発生頻度は低いために、土砂災害警戒判定メッシュ情報の危険度判定の重要指標である閾値（クリティカルライン）の設定が過去の少数事例に基づいていることが原因となっており、1つずつの斜面にとっては安全側に設定してある。そのことが土砂災害危険情報を多く出す理由であり、住民の危機感を醸成できない一因となっている。例えば、平成27年9月関東・東北豪雨では裏山の10m程度幅の斜面が崩壊したことで、自宅にいた1名が亡くなり、1名が重傷を負った。土砂災害の危険情報は出ていて、裏山を背後に抱えた住宅であることを考えれば、少なくとも2階に逃げるなどの垂直避難が望ましかったのであるが、情報が届いていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、高度な工学的知見を実務的な土砂災害情報に結びつける研究として、高分解能の危険度情報の精度を経験によって向上させられるような土砂災害警戒情報の確率的指標を作成し、GISとして提供することによって、その確率的指標の使用者が迫る災害を実感できて、直接の管理行動に結びつけられる研究を行う。ここで考案している指標の対象使用者は土砂災害の専門家ではない一般的な技術者とした。

### 3. 研究の方法

研究代表者と共同研究を進めている宇宙航空研究開発機構（JAXA）勝浦宇宙通信所野々塚コリメーション施設（野々塚コリメーション）の斜面ごとの高時空間分解能の確率的土砂災害危険情報を算出する。また、高時空間分解能の確率的土砂災害危険情報のための基礎的な物理変数として、これまでの研究を参照して斜度、降雨前土壌水分量、降雨強度を利用する。システムの開発と評価のために、大規模な土砂災害が発生した平成30年西日本豪雨時の広島県呉市のデータを用いた。また、SPHを使った粒子法による斜面崩壊計算を行い、土壌水分量の増加が斜面崩壊に与える影響を数値的に解析する。

### 4. 研究成果

降雨による表層崩壊を対象とし、フリーでオープンソースなGISであるQGISを用いて、広島県呉市周辺における平成30年7月豪雨による斜面崩壊を対象に降雨に加え地形的要因を考慮した土砂災害発生指標を算出し、地図上で色分けしたものを、土砂災害危険度提供システムとして提案できるようになった。また、スーパーコンピュータでもノードに応じた大規模化が可能な粒子法シミュレーションフレームワークを用いてSPHを使った粒子法による斜面崩壊計算に地盤モデルを取り込むことが可能になった。

#### ① 広島県の土砂災害データを用いたシステム構築

斜面崩壊の発生評価をするにあたり、斜面崩壊の発生地点のデータに、国土地理院の提供する崩壊地等始点分布を用いる。これは国土地理院が7月9日から19日にかけて撮影した空中写真から、平成30年7月豪雨で生じたと考えられる崩壊地等を判読したものである。崩壊地や土石流で生じた地形変化発生箇所を始点を表している。ここで、崩壊地等は、長さがおおむね50m以上のものを表している。崩壊地等の位置を把握するため、人家等に被害の無い箇所も表示している。対象地域での崩壊の始点の数は1,587箇所であり、本研究では土砂災害危険度提供システムの構築を任意に抽出した793箇所（図1赤丸）、システムの評価を残りの794箇所（図1青丸）を用いて行う。

本研究では、斜面崩壊の発生を捉えるパラメータとして、雨量、傾斜、累積流量の関数を用いる。算出されたパラメータをもとに、斜面崩壊の発生指標を導出する。これまでに用いられてきた雨量のみを入力情報としたスネーク曲線とCLによる斜面崩壊の危険度判定の考え方を本研究で定義した関数に組み合わせ、斜面崩壊の発生指標を計算する。スネーク曲線とCLによる斜面崩壊の危険度判定に、各格子それぞれの地形的要因によりCLの値を設定することができれば、雨量の情報と地形的要素を踏まえた発生指標を導き出すことができる。斜面崩壊が発生する時の、発生指標Pの示す値の範囲としては最小値は0.46、最大値は1.11であった。このとき、斜面崩壊の発生99.5%とらえるため、分布の0.25%から99.75%の範囲をとると、発生指標Pの値の範囲は0.7から1.1であった。これより、本研究では、斜面崩壊の発生指標Pの目安を、0.7から1.1とする。

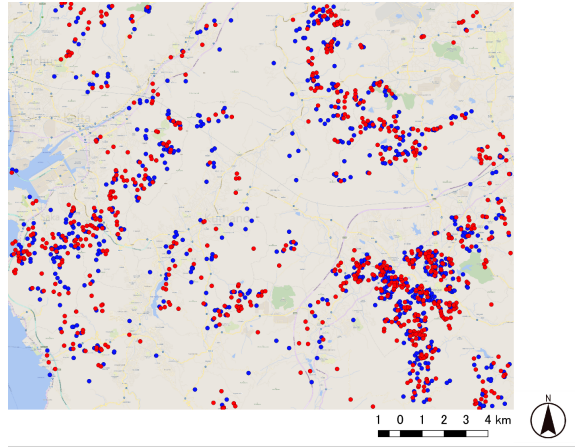


図1 対象地域と崩壊地域（赤丸がシステム構築に利用した点，青丸が評価に利用した点）

図2は図1に青丸で示した崩壊の始点を含む格子において、本研究で開発した斜面崩壊の発生指標の分布である。このとき、発生指標の最小値は0.55，最大値は1.13であった。図2では、発生指標が0.7未満となった格子が0.13%，1.1より大きくなった格子が0.75%存在し、図1青丸で示した崩壊の99.2%が本研究での斜面崩壊の発生日安とした0.7から1.1の範囲に収まった。閾値の設定は図1赤丸の捕捉率が99.5%となる値である反面、図1の青丸の捕捉率は0.3%減少した。捕捉数の違いは斜面崩壊発生事例の全1587事例に対して4事例である。本研究で提案する斜面崩壊の発生指標を用いることによって、斜面崩壊の捕捉率は99%以上とできて、見逃しは少ないできる。

図3は、対象地域での平成30年7月豪雨での危険度提供地図となっており地図中で黒く塗られた部分が本研究で提案した目安により斜面崩壊が発生すると判定した格子、赤丸、青丸が実際に斜面崩壊が発生した箇所である。

三隅，真木，岩波ら（2011）による既往の研究と比較するため、捕捉率が60%の場合についても評価する。捕捉率が60%となるような、発生評価指標Pの範囲は0.87から0.987までであった。これにより、危険度提供地図が得られる。このとき、斜面崩壊が発生すると判定された格子は4953413格子であった。斜面崩壊が発生すると判定した格子における適中率を考える。斜面崩壊が発生すると判定した格子A，Bと、実際に斜面崩壊が発生した格子Aについて、Aの格子数をAとBの格子数の和で割ったものを斜面崩壊が発生すると判定した格子における適中率とすると、0.019%であった。三隅，真木，岩波ら（2011）は、500mメッシュで危険度評価を行い、捕捉率60%での適中率が0.69%であった。本研究での危険度評価の格子は5mメッシュであり、既往の研究と比較して、同一面積での格子数が約 $10^4$ 倍であるが、適中率は $10^{-2}$ 倍であり、斜面崩壊を比較的精度よく予測することができていると考えられる。

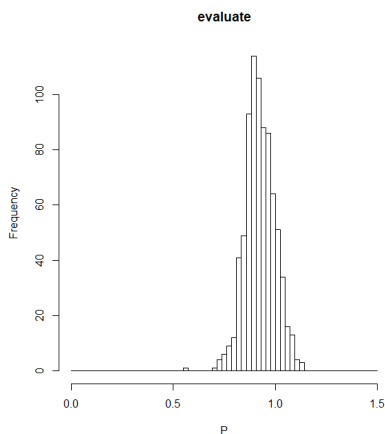


図2 斜面崩壊の始点（図1青丸）を含む格子での発生指標の分布

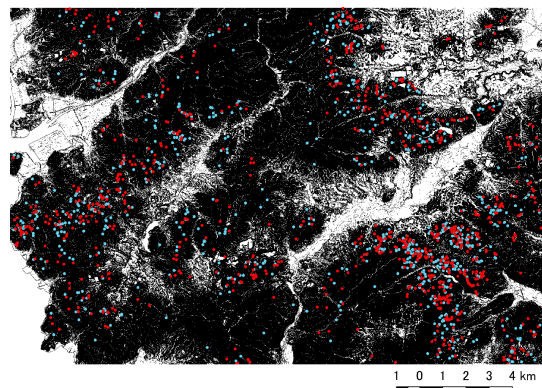


図3 捕捉率99.5%での斜面崩壊発生判定格子と実際の斜面崩壊発生始点

## ② 千葉県勝浦市を対象とした斜面崩壊発生指標確率

千葉県勝浦市を対象地域とし、平成27年7月4日，平成28年9月22日に発生した土砂災害を対象に斜面崩壊の発生指標を算出するとともに、降雨の分布による地域ごとの危険度の違いについて考察する。

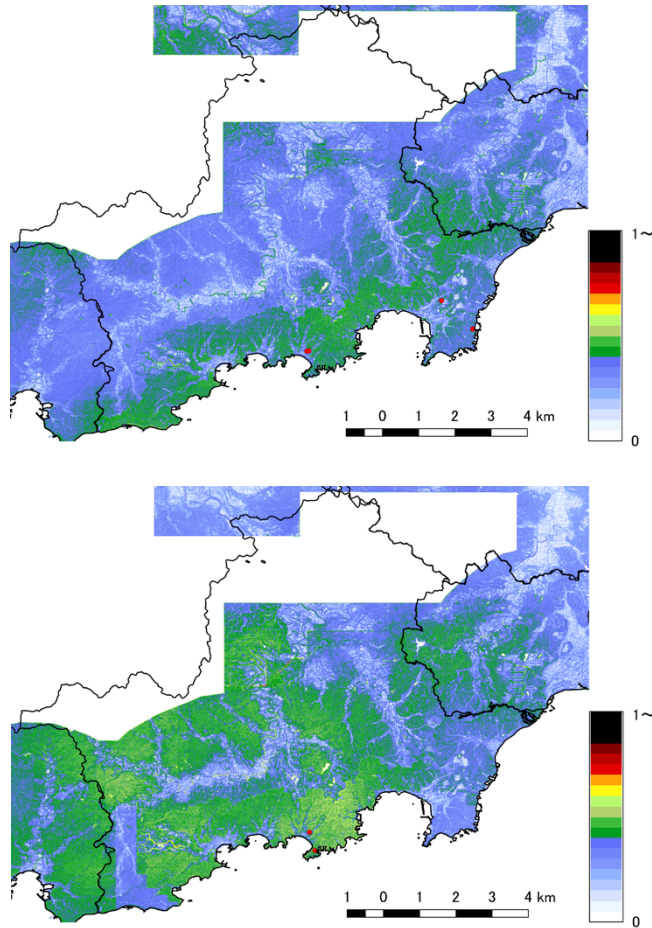


図4 平成27年7月4日（上）および平成28年9月22日（下）の発生指標

勝浦市での土砂災害の発生事例について、広島県の土砂災害データで作られた斜面崩壊の発生指標を適用すると、閾値の範囲外で土砂災害が発生している結果となった。しかし、対象とした土砂災害発生箇所6箇所において、4箇所が90パーセント以上の発生指標値を示しており、図4（上）および図4（下）のどちらにおいても、降雨の分布によって、発生指標も地域ごとに定量的にも相対的な危険度評価を行うことができる。これにより、本研究で提案する斜面崩壊の発生指標は、降雨の分布により、地域ごとの危険度の違いを効果的にとらえることができることが示唆される。

### ③ FDPS を用いた粒子法による斜面内部の安定度計算

本研究では、FDPS (Framework for Developing Particle Simulator) (Iwasawa et al. 2016s) を用いることで、大規模な斜面の安定度に関する SPH 計算を適切な並列化によって高速に解くために、モデル斜面に対して SPH 法による数値解析を行い、通常時と地盤の強度が低い時で変位等にどのような変化がみられるかといった検討により、斜面崩壊シミュレーションに対する SPH 法の適用性について調べた。ここでは勾配が 1:2 で一定で、斜面部分の高低差が 10 m のモデル斜面を計算対象としてシミュレーションを行った。

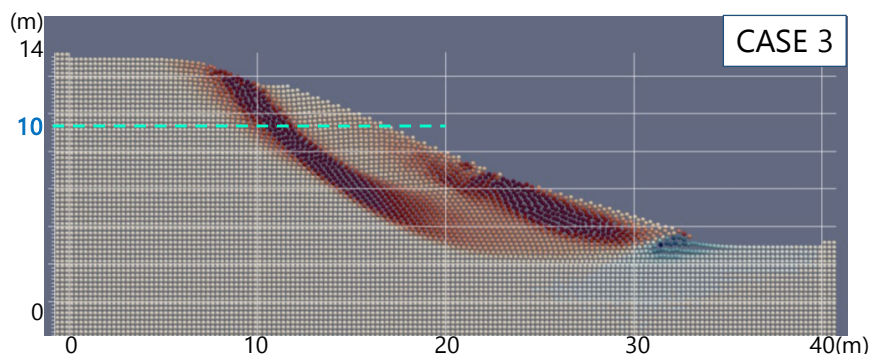


図5 変形状態と塑性ひずみの分布 (t = 4.99 s)

弾塑性構成モデルを組み込んだ SPH 法を用いて傾斜角一定のモデル斜面に対して数値解析を行い、強度が一様な標準の状態と地盤条件を変えたときの粒子の挙動の変化を調べた。地盤が弱い条件では、土質定数の設定の仕方によって変形の形が異なった。また、降雨時の飽和度上昇に関しては飽和した層で粘着力ゼロ、飽和度上昇分の単位体積重量の増加で強度が低下した状態を表現できると考えられ、飽和した層では地盤内部のすべり線以外に地盤表面付近の土砂が流れ出る。

#### <引用論文>

三隅良平・真木雅之・岩波越, (2011), レーダ雨量に基づく土砂災害の発生評価 一都市域を対象に、神奈川県の場合一, 天気, 58(8), 697-704.

Masaki Iwasawa, Ataru Tanikawa, Natsuki Hosono, Keigo Nitadori, Takayuki Muranushi, Junichiro Makino, (2016), Implementation and performance of FDPS: a framework of developing parallel particle simulation codes, Publications of the Astronomical Society of JAPAN, Vol. 68, No. 54, pp. 1-22.

#### 5. 主な発表論文等

##### [雑誌論文] (計 8 件)

Hanggar Ganara MAWANDHA, Satoru OISHI, REAL-TIME RADAR QUANTITATIVE PRECIPITATION ESTIMATION USING MULTIVARIATE PROJECTION MODEL, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1(Hydraulic Engineering), Vol. 75 No. 4, I\_235-I\_240, 2018

山野井一輝・大谷英之・陳健・大石哲・堀宗朗, 水-土砂の流出氾濫結合モデルの構築と HPC による朝倉市杷木地区への適用, 土木学会論文集, Ser. B1(水工学), Vol. 75 No. 4, I\_889-I\_894, 2018

Nomura Shun, Kawai Katsuyuki, Tachibana Shinya, Iizuka Atsushi, Solute transfer during consolidation based on a solid-fluid-solute coupling model, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol. 42, 1172-1196, 2018

Bhuddarak Charatpangoon, Aiko Furukawa, Junji Kiyono, Shinya Tachibana, Tomohide Takeyama and Atsushi Iizuka, FINITE STRAIN FINITE ELEMENT FORMULATION OF COUPLED SOLID-FLUID MIXTURE FOR DYNAMIC PROBLEMS, International Journal of GEOMATE, Vol. 15, Issue 51, pp. 1-8, 2018.

西岡誠悟・小林健一郎・奥勇一郎・江種伸之・田内裕人, 平成 24 年台風 4 号を対象とした和歌山県新宮川流域における擬似温暖化時の降雨と土壌雨量指数の評価, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 73 No. 4, I\_187-I\_192, 2017

伊藤佑果・直原悠紀子・大石哲・中北英一, 移流モデルを用いた短時間降雨予測精度向上のための予測パターン選別手法に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 73 No. 4, I\_229-I\_234, 2017

金澤伸一・橘伸也・飯塚敦, 盛土構造物の排水能力に対する解析的検討, 土木学会論文集 A2, 土木学会, Vol. 71, No. 2, pp. 429-436, 2016

Kawai, K., Phommachanh, V., Kawakatsu, T. and Iizuka, A., Explanation of Dry Density Distribution Induced by Compaction through Soil/Water/Air Coupled Simulation, Procedia Engineering, Advances in Transportation Geotechnics 3, Vol. 143, pp. 176-183, 2016

##### [学会発表] (計 5 件)

大石哲・小川まり子・佐和田光平・野中沙樹・阿波田康裕, 地域にカスタマイズされた土砂災害危険度提供システムに関する研究, 水文・水資源学会 2018 年度総会・研究発表会, 2018.

野中沙樹・大石哲・竹山智英・陳健, FDPS を用いた SPH 法による斜面崩壊シミュレーションに関する基礎研究, 第 21 回応用力学シンポジウム, 2018.

上野山裕己・竹山智英・飯塚敦, SPH 法を用いた仮置き盛土に対する安全性検討, 第 52 回地盤工学研究発表会, 2017.

本田和也・小谷稔・飯塚敦, ベイズ推定を用いた被害予測モデルと災害対応におけるタイムライン分析, 第51回地盤工学研究発表会, 2016.

Syarifuddin, M., Oishi, S., Legono, D., and Hapsari, R. I, Integrating X-MP Radar Data to Estimate Rainfall Induced Debris Flow in The Merapi Volcanic Area, Third Symposium on Two-Phase Modelling for Sediment Dynamics in Geophysical, 2016.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：飯塚敦

ローマ字氏名：(IIZUKA, Atsushi)

所属研究機関名：神戸大学

部局名：都市安全研究センター

職名：教授

研究者番号 (8桁)：40184361

研究分担者氏名：小林健一郎

ローマ字氏名：(KOBAYASHI, Kenichiro)

所属研究機関名：神戸大学

部局名：都市安全研究センター

職名：准教授

研究者番号 (8桁)：60420402

研究分担者氏名：阿波田康裕

ローマ字氏名：(AWATA, Yasuhiro)

所属研究機関名：国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

部局名：HQ 部門 施設部

職名：主任研究開発員

研究者番号 (8桁)：80772615

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：竹山智英

ローマ字氏名：Tomohide Takeyama

研究協力者氏名：Jian Chen

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。