

リアルタイム観測・監視データを活用した高精度土砂災害発生予測 手法の研究

Research on high-accuracy prediction of sediment disaster with real-time observation data

(研究期間 平成 27～29 年度)

土砂災害研究部 砂防研究室
Sabo Department
Sabo Planning Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

桜井 亘
Wataru SAKURAI
内田 太郎
Taro UCHIDA
高原 晃宙
Teruyoshi TAKAHARA

In order to alert the possibility of sediment disaster, we have used rainfall index. However, the possibility of sediment disaster relates to not only rainfall intensity but also sediment yield event occurred in upstream end of watersheds. Thus, observation of not only rainfall but also sediment transport in torrents is essential to know whether sediment disaster occur or not with high accuracy. In this study, we investigate the effective indices to compare with data observed with Japanese hydrophone and turbidity sensor and propose a prediction method used with already proposed alert system using rainfall index.

[研究目的及び経緯]

砂防部局と気象庁は連携して、土砂災害の発生危険度に関する情報として、土砂災害警戒情報を作成・発表している。現在、土砂災害の発生危険度に関する情報は、過去の災害発生時の雨量状況を考慮した基準値と実況雨量及び予測雨量を基に作成されている。しかし、現在の手法は場の条件や場の条件の変化が十分に反映されているとは言い難く、空振りが多く精度が必ずしも高くない。さらに、平成23年の紀伊半島における災害においては、土砂災害警戒情報の発表から1日半から2日半程度経過したのちに災害発生した事例があるなど、切迫性が伝わりにくいなどの課題が指摘されており、必ずしも、土砂災害に対する警戒避難に十分活用されているといえない場合が多い。これは、土砂災害は局所的かつ突発的であるため、洪水と異なり、水位上昇など目に見える危険度の変化に関する情報に乏しく、切迫性が伝わりにくいことが一つの原因として挙げられる。切迫性を提示するためには土砂移動現象の直接的な誘因となる事象（例えば、流砂量）などに基づいた情報の提示が必要と考える。

そこで、本研究では、従来の雨量情報のみによる手法に比べて、予測精度が高く、切迫性の伝わりやすい土砂災害の発生危険度に関する情報提供が可能となるよう、リアルタイム観測・監視データを活用した高精度土砂災害発生予測手法の開発を目的として検討を行うものである。

[研究内容]

1. 土砂災害の発生時の時系列的な流域状況変化の解明
土石流発生時・非発生時の時系列的な流域状況変化を分析することにより、土砂災害発生と関連性の高い変化特性を検討した。具体的には掃流砂量、浮遊砂量の観測それぞれにおいて関連性の高い特性を抽出した。

2. 監視観測手法の実効性の把握

掃流砂量、浮遊砂量の観測においてはそれぞれハイドログラフ、濁度計を用いることが多いが、山地河川においては商用電源が確保できない、巨礫の衝突による故障等によりデータに異常が生じやすく、異常値を除去することが重要である。そこで、即座に異常であることが分かるよう、観測プログラムを開発した。その上で、当該プログラムの有効性を確認した。

3. 土砂災害発生の危険性が高まったと判断する指標の設定

大きな土砂流出があった場合は掃流砂量、浮遊砂量が時系列的に大きく変化すると考えられる。そこで、大きな土砂流出があったことを判断する基準値を設定した。

4. リアルタイム観測・監視データを活用した高精度土砂災害発生予測手法の提案

1.～3.の検討により高精度土砂災害発生予測手法を提案した。

[研究成果]

1. 土砂災害の発生時の時系列的な流域状況変化の解明

図-1、図-2に土石流が発生した場合、非発生の場合の掃流砂、浮遊砂の時系列変化を示す。掃流砂の場合、土石流発生時は反時計回りのヒステリシスを描いているが、土石流非発生時はそれとは傾向が異なることが分かる。特に土石流発生時は掃流砂量が時間とともに大きくなり、その後小さくなる傾向があることが分かる。浮遊砂の場合についても土石流発生時には非発生時に比べて多量の土砂が流出していることが分かる。

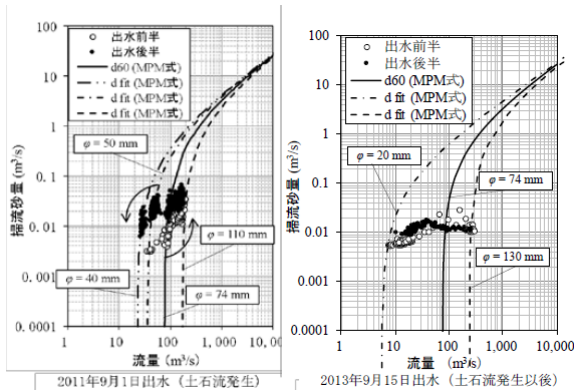


図-1 土石流発生・非発生時の掃流砂の時系列変化

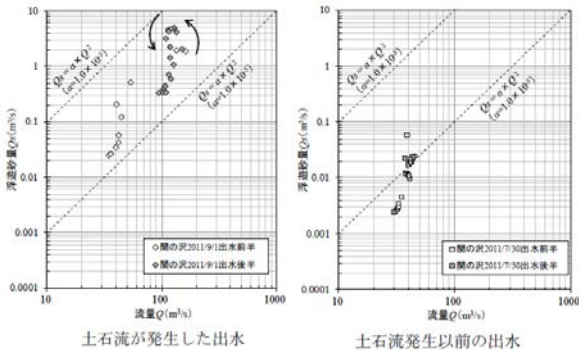


図-2 土石流発生・非発生時の浮遊砂の時系列変化

2. 監視観測手法の実効性の把握

全国の直轄砂防事務所においては掃流砂、浮遊砂の観測をハイドロフォン、濁度計により行っている。これまでの観測結果から異常の発生する場合を統計的に整理・分析することにより、発生する異常の種類と判定方法をまとめた。異常の種類と判定方法の例を下記に示す：

- ・ハイドロフォンの断線・・・土砂流出がない平常時の電圧が流水ノイズによる電圧値より大きい
- ・濁度計の土砂等による埋没・・・土砂流出がない平常時に0.1 V以上の出力

3. 土砂災害発生の危険性が高まったと判断する指標の設定

1.での検討から、土砂災害発生の危険性を判断する基準を検討した。具体的には、掃流砂量については掃

流砂量式から逆算される代表粒径の時系列変化(図-3)が候補として挙げられ、浮遊砂量については流量との関係式における係数が考えられる(図-4)。

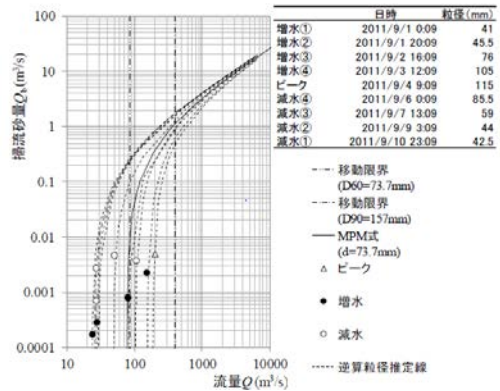


図-3 掃流砂量の粒径の変化

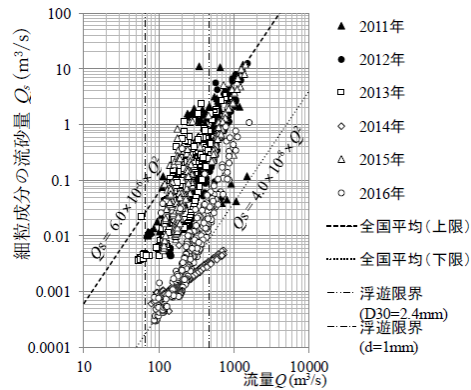


図-4 浮遊砂量の時系列変化

4. リアルタイム観測・監視データを活用した高精度土砂災害発生予測手法の提案

3.で示した指標の時系列変化を調べることにより、より切迫性の高い時間帯の予測が可能であると考えられる(図-5)

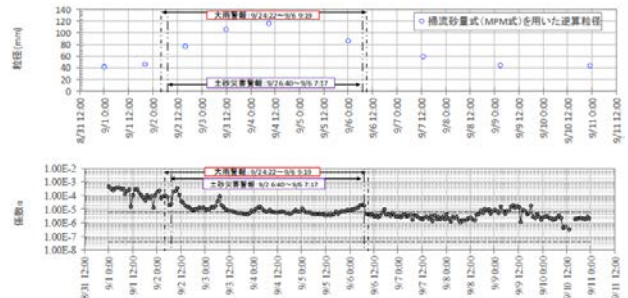


図-5 掃流砂の粒径と浮遊砂量式の係数の変化

[まとめ]

掃流砂量、浮遊砂量について設定した指標を用いることで、土砂災害の切迫性を示すことができる可能性のあることが分かった。

砂防施設計画の高度化に関する研究

Research on the advanced method for sabo planning

(研究期間 平成 25～29 年度)

土砂災害研究部 砂防研究室
Sabo Departm
Sabo Planning Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
主任研究官
Senior Researcher

桜井 亘
Sakurai WATARU
内田 太郎
Taro UCHIDA
松本 直樹
Naoki MATSUMOTO

We have been investigating the effect of slit-type Sabo dams installed in deposited sections. Flume experiments were conducted to study how the difference in hydrograph and particle size distribution affects the functions of Sabo dams such as sediment capturing capacity. As a result, we found that “quantity of dimensionless confinement contribution particle size sediment” can be expected as a new index for setting the steel material spacing of the slit-type Sabo dams.

[研究目的及び経緯]

砂防施設の効果評価手法を高度化することは、施設配置計画上、また、砂防施設の設計上、最も基本的かつ重要な技術であり、砂防事業を効果的に進めるためには必要不可欠な技術である。

しかしながら、山地流域の土砂移動現象は複雑であり、砂防施設周辺の土砂動態には不明な点が少なくない。特に、河床勾配 10° 未満の緩勾配区間を流下する土砂流に対する透過型砂防堰堤の土砂捕捉効果に関する知見は少ない。

そこで、本研究では、緩勾配区間に設置した透過型砂防堰堤の土砂流に対する土砂捕捉効果を検証するために水理模型実験（図-1）を実施し、土砂流に対する透過型砂防堰堤の土砂捕捉効果を評価する数値シミュレーションを開発し、施設の効果評価、配置計画の検討手法の高度化を図る。



図-1 水路実験状況

[研究内容]

1. ハイドログラフの違いが土砂捕捉効果に与える影響に関する水路実験
ピーク継続時間が短いハイドログラフをもつ土石流

が観測されているが、既往の研究の多くが流量一定の矩形ハイドログラフで検討している。そこで、ハイドログラフの違いが砂防堰堤の土砂捕捉に与える影響を明らかにするため水路実験を実施した。

2. 粒度分布の違いが土砂捕捉効果に与える影響に関する水路実験

現在、透過型砂防堰堤の部材間隔の設定は、礫径調査により 95%粒径の 1.0 倍で設定されていることが多い。しかし、95%未満の礫径がアーチアクションにより閉塞することが確認されているものの、95%未満の粒度分布は十分考慮されていない。そのことを踏まえ、粒度分布の違いが、透過型砂防堰堤の土砂の捕捉に与える影響を明らかにするため水路実験を実施した。

3. 土砂流に対する砂防堰堤の土砂捕捉に関する数値解析

既往の数値計算モデルでは、土砂濃度が小さい場合、透過型砂防堰堤の土砂捕捉効果を過小評価する可能性が指摘されている。そこで、既往の数値計算モデルを改良し、1 及び 2 の水路実験の再現計算を実施し、数値計算モデルの再現性を検証した。

[研究成果]

(1) ハイドログラフの違いが土砂捕捉効果に与える影響に関する水路実験

ハイドログラフの影響を把握するため、図-2 に示すピーク継続時間が短いハイドログラフ等 3 パターンのハイドログラフに対して、開口幅を変えた 2 種類の透過型砂防堰堤を準備し水路実験を実施した。この結果、ハイドログラフの違いにかかわらず、総供給土砂量に

対する透過型砂防堰堤による捕捉土砂量の割合である土砂捕捉率は、開口幅が狭い場合も広い場合もいずれも90%以上であった。このことから、土砂流区間に設置した透過型砂防堰堤も土砂捕捉効果が十分期待できることが判明した。

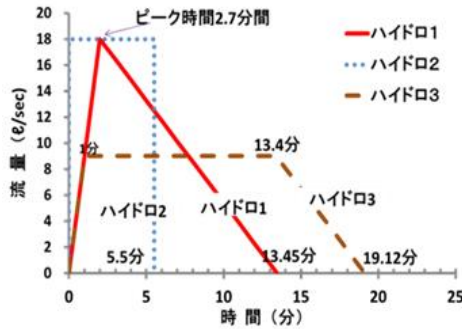


図-2 ハイドログラフ

(2) 粒度分布の違いが土砂捕捉効果に与える影響に関する水路実験

透過型砂防堰堤の部材間隔は、現行指針により、砂防堰堤計画地点周辺において礫径調査を実施し、95%粒径（本実験では、32mm）の1.0倍で設定している。そのため、開口部を閉塞する巨礫が十分存在せず、閉塞しない可能性がある。

1)開口部の閉塞に寄与する粒径を特定する水路実験

95%未満の粒径の土砂で、アーチアクションにより開口部を閉塞する粒径を特定するため、使用した土砂の粒度分布の最大粒径を9.5mmまでの土砂と19mmまでの土砂の2パターン準備し、開口部の閉塞状況を確認した。その結果、最大粒径が9.5mmまでの土砂の場合は閉塞しないが、最大粒径が19mmまでの土砂は閉塞した。以上を踏まえ、閉塞に寄与する粒径は9.5mm以上の土砂であることが判明した。

2)粒度分布と土砂捕捉に関する水路実験

1)で特定した閉塞に寄与する粒径（9.5mm）以上の土砂量を変化させた粒度分布を3パターン（図-3）準備し、開口部の幅が異なる2種類（広い型：ケース1,3,5、狭い型：ケース2,4,6）透過型砂防堰堤を組合せた計7ケースの水路実験を実施した。その結果、図-4から閉塞した9.5mm以上の土砂を含む土砂流においても、9.5mm以上の土砂の構成割合が少ないと捕捉量に差が生じた。また、図-5は、閉塞寄与粒径土砂量を開口面積と平均粒径で除した無次元閉塞寄与粒径土砂量と土砂捕捉率の関係を表している。また、同図には、比較のため既往の実験のうち、勾配10°未満で実施したケースを抽出している。無次元閉塞寄与粒径土砂量が大きくなるに従い、土砂捕捉率も高くなる傾向がある。閉塞寄与粒径割合が大きくなると土砂捕捉率も大きくなる傾向がある。

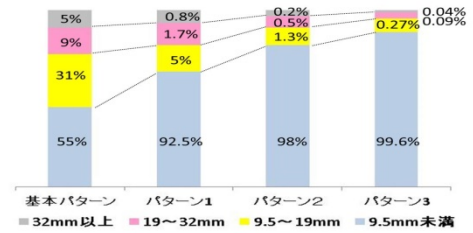


図-3 粒径割合



図-4 土砂捕捉率

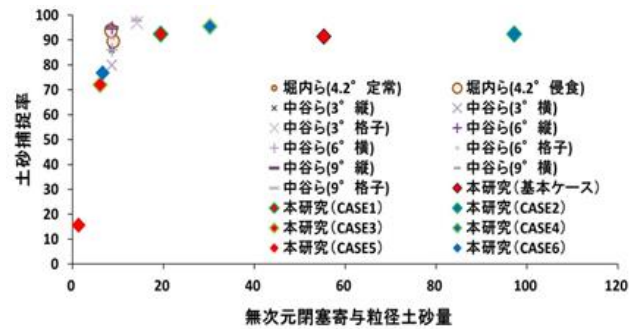


図-5 無次元閉塞寄与粒径土砂量と土砂捕捉率

(3) 土砂流に対する砂防堰堤の土砂捕捉に関する数値解析

既往の数値計算モデルでは、緩勾配区間を流下する土砂流のように、土砂濃度が小さい場合、透過型砂防堰堤の土砂捕捉効果を過小評価することが指摘されている。そこで、既往の数値計算モデルを、粒径階ごとに閉塞評価が可能のように改良し、(1)の水路実験の再現計算を実施した。その結果、土砂の堆積過程及び捕捉状況を再現できた（図-6）。

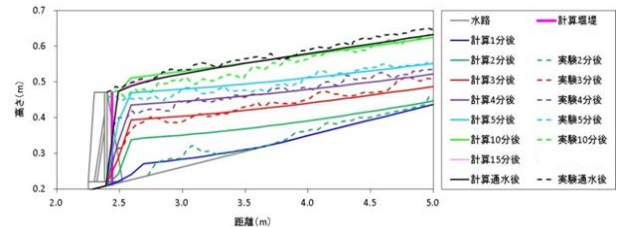


図-6 再現計算結果

[まとめ]

閉塞寄与粒径以上の土砂量を開口面積及び平均粒径で除した無次元閉塞寄与粒径土砂量が、透過型砂防堰堤の開口面積と部材間隔の設定の指標になる可能性があることがわかった。

砂防事業評価における被害推定手法に関する研究

Research on the hazard prediction method for cost-benefit analysis for sediment-related disaster prevention

(研究期間 平成 25～31 年度)

土砂災害研究部 砂防研究室

室 長 桜井 亘
主任研究官 内田 太郎
主任研究官 松本 直樹
室 長 野呂 智之
主任研究官 神山 嬢子

土砂災害研究部 土砂災害研究室

[研究目的及び経緯]

本研究では、砂防事業の事業評価における被害推定手法の高度化をはかることを目的とする。具体的には、①降雨流出解析手法の高度化、②様々な土砂移動形態を解析可能な土砂流出・河床変動計算手法の高度化、③降雨流出解析、土砂流出・河床変動計算における各種条件設定手法の提示を目的とする。

本年は、昨年度構築した河床勾配が急な区間を流下する土石流から勾配が緩い区間を流下する掃流砂まで複雑な土砂移動形態の変化に対応した数値シミュレーション手法に、計算区間上流端に入力する流量が算出できるよう、タンクモデルを用いた流出解析ルーチンを追加した。また、改良したプログラムを用いて九州北部豪雨を対象に適用性を検証した。

流砂水文観測を活用した流域管理に関する研究

Research on watershed management using sediment hydrological observation

(研究期間 平成 29～31 年度)

土砂災害研究部 砂防研究室

室 長 桜井 亘
主任研究官 内田 太郎
主任研究官 松本 直樹
研 究 官 高原 輝宙

[研究目的及び経緯]

本研究は、近年直轄砂防事務所を中心に蓄積されてきた流砂観測データを活用し、河床変動計算と組み合わせて砂防基本計画に必要となる流出土砂量の推測や流域状況診断技術及び将来予測技術を構築し、観測データを活用した総合土砂管理手法を提案するものである。

本年は、既往の深層崩壊等による大規模な土砂生産後の土砂流出状況ならびに土砂流出に大きな影響を及ぼすと考えられる粒径に関する現地調査を実施し、現地調査結果を整理したうえで大規模土砂生産後の土砂流出状況に関して解析した。また、流砂量観測データの精度維持のため、観測機器への礫衝突による変形が、観測精度へ与える影響を分析した。

豪雨時・大規模地震時の土砂生産量予測技術の高度化

Improvement of sediment production prediction during heavy rain and large earthquake

(研究期間 平成 28～30 年度)

土砂災害研究部 砂防研究室

室 長 桜井 亘
主任研究官 内田 太郎
主任研究官 松本 直樹
研 究 官 高原 輝宙

【研究目的及び経緯】

本研究は、詳細な降雨・加速度分布情報や土砂災害発生前後の LP データを活用して豪雨時や地震時の斜面崩壊・土石流発生の実態の分析等を実施し、豪雨時や大規模地震時の土砂生産量予測技術の構築や降雨規模や地震の加速度が崩壊・土石流の規模・密度に及ぼす影響を把握し、砂防堰堤等、既往の砂防施設による事前対策の効果検証や対策手法を確立することを目的とする。

本年は、土砂災害発生前後の LP データと降雨継続時間を整理し、土石流の総流出土砂量・ピーク流量に影響する降雨継続時間がピーク付近の 1 時間程度であるという重要な知見を得た。また、過去に土石流が発生した溪流で、土石流発生前後の航空レーザー測量データが存在する溪流を対象に、航空レーザー測量データから土石流の発生活下状況を分析し、豪雨時の土砂生産場の河床勾配や流域面積等の地形的特徴について整理した。

応急活動時の二次災害防止に用いる土砂災害危険度評価指標に関する研究

Research on sediment disaster risk assessment index used for secondary disaster prevention at emergency

(研究期間 平成 29～30 年度)

土砂災害研究部 土砂災害研究室

室 長 野呂 智之
主任研究官 神山 嬢子
研 究 員 鈴木 大和

【研究目的及び経緯】

発生頻度は低いながら、降雨の停止後や小康状態の時に斜面崩壊が発生する可能性がある。このような時間帯は、住民の避難所からの帰宅や消防・警察・国土交通省等が災害現場で活動する時間帯と重なる恐れがある。そのため、降雨ピークを過ぎた後においても、適時適切な警戒避難対応を行う必要がある。本研究は、応急活動時の二次災害防止に用いる土砂災害危険度評価指標を確立することを目的とする。

本年度は、降雨ピークから遅れて発生した斜面崩壊の形態や特徴を分析し、遅れが生じた要因とメカニズムについて検討した。

急傾斜地崩壊対策施設の高度化に関する研究

Research on The development of facility placement plan according to collapsed sediment volume and method of retaining wall maintenance

土砂災害研究部 土砂災害研究室

(研究期間 平成 29～31 年度)
室 長 野呂 智之
研 究 官 村田 郁央
研 究 員 鈴木 大和

[研究目的及び経緯]

計画時の想定規模を超える土砂災害により、対策施設に被害をおよぼす事例が発生している。また、施工から時間の経った施設では老朽化により施設の機能低下が見られ、災害時に必要な機能が発揮されない恐れが指摘されている。本研究は、個別のがけに応じた施設の効率的な配置計画・設計および長寿命化に資する維持管理・点検手法を開発することを目的とする。

本年度は、平成 29 年 7 月九州北部豪雨における大規模ながけ崩れの実態調査と、各都道府県における老朽化事例の調査を行った。

リモートセンシングによる大規模土砂災害監視手法に関する研究

Research on the monitoring method of catastrophic landslide disasters by satellite remote sensing

土砂災害研究部 土砂災害研究室

(研究期間 平成 25～31 年度)
室 長 野呂 智之
主任研究官 神山 嬢子
研 究 員 鈴木 大和

[研究目的及び経緯]

大規模土砂災害につながる恐れがある深層崩壊等の予兆となる微小な斜面変動を検出するための技術や、同時多発的な災害の被害状況を迅速に把握するための技術など、大規模な土砂移動現象に対する広域監視技術が求められている。

本研究は、広範囲の流域を対象とした干渉 SAR 解析による斜面変動検知手法や、災害時の迅速な被災状況把握手法を検討し、効率的な流域の大規模土砂移動現象の監視手法を開発することを目的とする。

本年度は、斜面変動の可能性がある干渉縞の自動抽出に向けた、畳み込みニューラルネットワークを用いた深層学習において、学習データの与え方や学習方法等を見直すことで、抽出アルゴリズムを改良し、適合性が向上することを確認した。

また、災害直後の被災状況把握を目的とした SAR 強度画像判読では、平成 29 年 7 月九州北部豪雨により土砂災害が多数発生した地域を対象に、災害前後の SAR 観測データによるカラー合成画像を用いて、衛星視線方向に対する斜面向き等の関係を考慮し、土砂移動範囲の判読精度を検証した。また、地方整備局等職員が SAR 画像判読を実施することを想定して、判読チェックリスト（案）を作成した。

崩壊土量予測技術の開発と急傾斜地崩壊対策への活用に関する研究

Research on The development of prediction technology of collapsed sediment volume and its application to countermeasure against slope failures

土砂災害研究部 土砂災害研究室

(研究期間 平成 28～30 年度)
室 長 野呂 智之
研 究 官 村田 郁央
研 究 員 鈴木 大和

[研究目的及び経緯]

合理的な急傾斜地崩壊対策施設の設計を行うためには、対象斜面のうち崩壊の蓋然性の高い箇所を特定し、崩壊土砂量を推定する必要がある。本研究は、SH 型簡易貫入試験を用いた土層区分から合理的な崩壊土砂量を推定する手法を開発することを目的とする。

本年度は、SH 型簡易貫入試験の結果と地形条件から、真砂土斜面における土層区分手法の開発を行った。

土砂災害対策フェーズに応じた危機管理に関する研究

Research on risk management according to sediment disasters prevention phase

土砂災害研究部 土砂災害研究室

(研究期間 平成 28～30 年度)
室 長 野呂 智之
研 究 官 村田 郁央
研 究 員 鈴木 大和

[研究目的及び経緯]

土砂災害に対する警戒避難体制の強化のため、土砂災害警戒情報の精度向上、避難勧告の解除の是非の判断等、警戒期・急迫期、応急対策期の各フェーズに応じて情報収集から住民への提供まで一連のタイムラインを考慮した上で適切な危険度評価を行うことが必要である。

本研究は、土砂災害警戒情報の精度向上等、土砂災害発生危険度評価技術の高度化のため、各評価メッシュの素因特性を評価する環境パラメータの開発を行うとともに、当該環境パラメータの精度向上を継続的に行っていくための土砂災害データベースのシステムの機能向上等を行うことを目的としている。

本年度は、地質に応じて降雨の流出特性が異なる点に着目し、地質ごとに適した半減期の実効雨量の推定を行い、推定した雨量値を指標に含めた場合の土砂災害発生予測精度の向上を試みた。また、入力データの精度向上・中長期の安定稼働のため、土砂災害データベースの機能改良等を行った。