

京都大学	博士（工 学）	氏名	APIP
論文題目	INTEGRATED GEO-HYDROLOGICAL MODELING AND PREDICTION FOR WATER AND SEDIMENT RELATED DISASTERS REDUCTION （水土砂災害流域のための統合地質学水文学モデリングと予測）		
（論文内容の要旨） 本論文は、分布型流出モデルに地質学的考察を加えた浅層地すべりに対する斜面安定解析と表土流出のモデル化に関する様々な解析を行なったものであり、もとの分布型モデルの解析精度を明らかにするとともに、その精度を極力維持したままで、計算負荷を短縮するため集中定数型モデルを開発している。 本論文は6章からなっている。その概要は以下のようである。 第1章は導入部であり、本研究の背景、問題設定、研究目的、本論文の構成を述べるとともに、研究対象とするインドネシアのブランタス川支流域、チタルム川流域、利用した水文データ・地形データについてとりまとめている。 第2章では、格子状に整理された空間情報を用いる分布定数型の降雨-流出モデルを取り扱い、それに土壌浸食、土砂輸送のアルゴリズムを組み込むとともに、このようなモデルの集中定数化の方法について検討している。キネマティック・ウェーブ型の降雨-土砂-流出モデルに基づき、本章で提案した方法は、(1)不飽和・飽和の地中流出と地表面流出の過程を模擬できる、(2)雨滴と地表面流による土砂の剥奪によってもたらされる土壌の浸食と輸送の過程を模擬できる、という特徴がある。この手法は、河川流量と流域に貯留される水・土砂とを関連づける集中定数型の方程式（常微分方程式系）を演繹的に導き、また、連続式と組み合わせて用いることにより、流域出口からの土砂流出フラックスを予測するのに有用である。これは、導かれる集中定数が、空間的に分布した地形や土壌特性を反映したものになる、そして、もとの分布定数型モデルよりもはるかに計算時間が短縮できる、という利点がある。本章ではさらに、こうして空間的に集中化したことによって得られるモデルの性能に対する土壌層と降雨特性の効果を議論している。 第3章においては、分布型・集中型モデルの性能を評価し、それを土砂流出シミュレーションにおける不確定評価のために応用している。もとの分布型モデルで表現される河川流量と土砂生産、及びそれらの観測データを用いて、集中化した土砂流出モデルの再現性能を検討している。また、異なる土地利用シナリオのもとで効果的な集中化スケールを調べた。土砂流出シミュレーションにおけるモデル定数の不確定性の種々の異なる要因の寄与を評価する枠組みもこの章は提供している。モンテカルロ法によるモデル定数の感度分析と不確定分析によって支配的な不確定性を抽出している。こうしたモンテカルロ法のような繰り返し計算は、計算負荷を軽減した集中型モデルならではの利点であり、流出解析において極めて有用である。 第4章では、無限斜面上の安定解析モデルと、キネマティック・ウェーブ型の分布型流出モデルとを結合するための定式化に関して記述している。ここでは、斜面安定解析モデル定数の感度分析について、さらに、降雨場の時空間特性を表現するための NOAA-CPC によって得られる全球の準実時間衛星降雨プロダクト（衛星雨量）についても検討を行っている。浅層地すべりの予測に衛星雨量の推定値を利用する地質学的水文学的モデリングの潜在的な利用可能性について議論している。浅層地すべりがどこでいつ起こるかを定めるために必要な次の2つのモデル出力を組み合わせている。			

氏名	APIP
----	------

すなわち、(1)不安定斜面のマップによって表される危険な地域が時間不変であるとして得られる空間分布（限界相対土壌飽和量に応じて河川流域がいくつかの安定性の階級に分類されており、この出力は、準静的地表面変数と土壌強度特性が斜面の不安定性に与える効果を表現するために工夫されている）、(2)降雨に反応して斜面が動く感度の時变的推定値を与える時空間変化水文特性と結合されたマップ、である。開発された水文モデルは、各グリッドの要素における土壌の飽和度の変動を予測できる。この方法を近年の洪水時に起こった浅層地すべり事象のタイミングと場所を表現するために適用している。結局、本章で示された結果は、浅層地すべり災害の短時間予測と警報のためのモデリングシステムとしての潜在的可能性を示すものである。

第5章は、単純化された地質学的水文学的モデルを用いて。土砂生産と地すべり発生可能領域の空間分布の評価を取り扱っている。この単純化モデルは、(1)集中化手法によって導かれた分布型・集中型土砂流出モデル、(2)浅層地すべりの水文学的発生機構を表現するための単純化モデルの2つの要素からなっている。浅層地すべりに関する水文学的発生機構（不飽和・飽和地中流を含む）を単純化して表現することは、地すべりを発生させる降雨の強度と継続時間の組み合わせ効果を明らかにするのに有用であり、また、浅層地すべりの広域で長期の確率的な評価や解析をする上でも有利である。表層土壌の浸食や浅層地すべり事象による大量の土壌の損失は、流域の内部の限られた場所が寄与しているのであり、その特定のためにも有用なモデルである。本章では、流域内の部分流域のうち、どの部分流域が土砂災害に対して重要であるかを定めるのにも有用である。最も脆弱な土砂生産減地域を同定するための方法論とその高い適用可能性を示している。

第6章は、結論であり、本研究で得られた結果をとりまとめるとともに、今後の課題について述べている。

	氏名	APIP
(論文審査の結果の要旨) 本論文は、分布型流出モデルに地質学的考察を加えた浅層地すべりに対する斜面安定解析と表土流出のモデル化に関する様々な解析を行なったものであり、もとの分布型モデルの解析精度を明らかにするとともに、その精度を極力維持したままで、計算負荷を短縮するため集中定数型モデルを開発している。 本研究により得られた成果は以下のように要約できる。 1. 分布型流出モデルと集中型流出モデルのそれぞれの特徴、現在における重要な標準的解析手法それぞれについて実際のプログラミングを伴う解析を多方面から行なっており、これをベースに流域の特性に応じたモデル選択が適切に行なわれている。 2. 従来の広域土砂輸送モデルに関する十分な検討が加えられており、また土地利用、土壌タイプ、土層厚を考慮して流域単位で土壌浸食と土砂流出を評価できる定式化と水文学的モデル化を行なっている。これは、モデルを適用する流域のスケールや降雨流出過程から直接流出土砂量を評価できる斬新なモデル化と相まって、本研究の重要な特徴である。 3. 浅層地滑りに対する斜面安定解析においては、地質学的・実験的な考察と、表面流や不飽和・飽和地中流などを考慮に入れた水文学的特性を十分に活かした定式化と解析が行なわれており、地理情報システムを活用しながら論理的、かつ実用的なモデルが構築されている。 4. 水文モデルと地質学的モデルを統合し、モデル定数の不確定性を考慮しつつ、地上雨量のみならず人工衛星による降水量を用いた広域な土砂流出解析が行なわれている。本研究において構築されたモデルの応用性は高く、世界各地で生起している豪雨に伴う土砂災害予測や斜面安定解析を非常に広範囲でかつ統一した基準で行ないうるシステムを開発した功績は非常に大きいと考えられる。 以上のように、本論文はインドネシアの河川流域における降雨・土砂流出のモデル化およびその予測を行ったものであって、水土砂災害の軽減に大きく寄与しうる技術を開発しており、その成果は学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 2 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。		