

流域に応じた土砂流出特性に関する研究

福島大学共生システム理工学類 伊藤 圭祐

江坂 悠里

福島大学環境放射能研究所 川越 清樹

1. はじめに

地球温暖化に伴う気温、および海水温の上昇に従い水循環の変化が見積もられており、大気中の飽和水蒸気圧の増加、海水温上昇に伴う台風強度の増大等に従った豪雨の量的増加、および出現頻度の増大が予見されている¹⁾。数値気候モデルにより解析された結果によれば、亜熱帯気候区と温帶気候区の境界域での気候遷移に従う豪雨の形態変化が見積もられているが、この地域に属する日本列島も豪雨の量と頻度の増大が推計されている²⁾。また、各都道府県の状況に着目すれば、現行で台風の影響度の低い日本列島北部域の豪雨の状況が将来の数年をかけてドラスティックに変化することも示されている。こうした将来予測に加えて、既にこの影響を受けていることを示唆する降雨量極値更新も列島各地で記録されており³⁾、各々で短時間降雨量に起因した災害が多く認められている。こうした未曾有の降雨量の発生は、安全な国土を構築する上で、雨量に対する社会基盤の設計基準を超過しうる事象を予測して緩和策、適応策を至急に講じるべき必要性を示唆するものである。

日本列島を対象にした場合、太平洋造山地域に属し、急峻な地形、脆弱な地質を呈することから、土砂生産が活発である特徴を有している。そのため、将来の豪雨増加は更なるマスマープメントを促進させるものである。マスマープメントの促進に関連して様々な現象が存在するが、社会的インパクトの大きなものとして挙げられるのが土石流である。

- ① 地すべり、山体崩壊の集合体であり、流域を単位とした現象であるため規模が大きい。
- ② 土砂、水が混合して流体化するため、加速度が大きく、波及も広範になりうる。

以上の①、②に示すメカニズムの特徴から社会基盤と隔離されたエリアで発生した現象であっても、人命、資産の集中しうる領域に影響を及ぼす可能性が高いと推測される。特に土砂に関わる災害は、現象の起動域が地中であるため挙動を可視化しにくい特性も有している。そのため、監視により事前の危険性を予知することも困難であり人的被害が生じやすいことも知られている⁴⁾。こうした土石流は直接的な被害を与えるだけではない。その土砂の波及性から広範領域に環境影響を及ぼす可能性があり、例えば、現在放射性土壤の分布が明らかにされている福島県を対象にすれば、想定外の土砂動態を引き起こす可能性も推測される。そのため、直接、間接ともに社会へのインパクトが大きい中止の必要なマスマープメントであると評価できる。

以上の背景を踏まえ、本研究では、流域に応じた土砂流出特性として土石流評価の基礎となる災害実績、地形、地質、降水量の基礎情報を日本列島全域の規模で収集し、土石流としての危険の高まる領域の展望を示すことに取り組んだ。以上の背景を踏まえ、本研究では、流域に応じた土砂流出特性として土石流評価の基礎となる災害実績、地形、地質、降水量の基礎情報

*Research on sediment dynamics types for basin scale in Japan by Keisuke Ito, Yuri Esaka and Seiki Kawagoe

を日本列島全域の規模で収集し、土石流としての危険の高まる領域の展望を示すことに取り組んだ。こうしたデータベースを重ね合わせて解析していくことで、豪雨出現に応じた日本列島で発生しうる土石流の危険度を定量化して示すモデル構築の研究展開を図り、今後の社会基盤整備への適応策への貢献を図りたい意向である。

2. 解析方法、およびデータセット

本研究の解析方法は、以下の①から③に示すとおりである。

- ① 既往土石流災害事例分析
- ② 流域の地形解析
- ③ 流域の地質解析

解析方法①に関しては、国土交通省河川局監修による平成 10 年から平成 22 年版の水害

統計を基に土石流災害事例を抽出し、現象発生地域、土石流発生時の降水状況を整理した。また、これらの情報をベースに土石流の生じうる降雨状況の分析を試みた。降雨データは土石流発生位置最近隣の AMeDAS 観測所より取得し、土石流発生時の降雨状況とした。土石流発生時降雨量のタイムスケールとしては、日雨量、週間雨量を集計した。日雨量を短時間雨量、週間雨量を先行雨量の検討ケースとして設定している。実質的な土石流発生に関して、短時間としては時間単位のケース、先行雨量としては更に長期間を設定するケースも想定されるが、列島全域を包括的に評価していることから、細かなスケールまでを対象とした場合、諸特徴により時間軸の傾向が発散する可能性を含む。更なる時間軸地域、および土石流の特徴に応じて降雨のケースに関しては段階的に検討していく方針とし、本分析では全体的な傾向をとらえるものと捉え、日雨量を短時間雨量、週間雨量を先行雨量に設定する。

解析方法②に関しては、流域に応じた河床の勾配を求め、勾配急峻の程度より解析を試みている。流域の単位は水系における支川の最小単位を対象に設定している。この最小単位の支川(河道)、流域は、国土地理院監修の数値地図 50m メッシュの DEM 情報を利用することで求められた。9 のグリッドセル(図-1 参照)の標高差比較より傾斜度、方向を計算し、谷地、窪地を求めるアルゴリズムを日本列島全域標高で連続処理することで流域の基礎情報が算出された。グリッドセルに応じて谷地を連続させたものを河道、尾根部を連続させたものを流域の情報として整備した。DEM 情報を利用した流域整備より求められた流域は、289,236 ヶ所である。流域単位の河道の最上流端に位置する最大標高と最下流端の最小標高との差と、河道延長の比より河床勾配は求められている。勾配急峻の程度は、国土技術政策総合研究所資料の砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説に示される土砂移動の形態の渓床勾配による目安を参考に

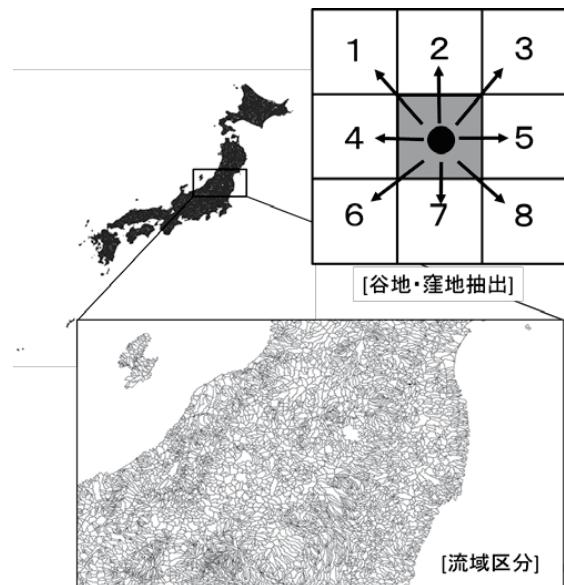


図-1 流域地形抽出模式図

土砂動態に応じてタイプ分類(レベル1から5)することで危険度を判別した(図-2参照)。判別について、勾配 $1/3$ 以上のレベル5、勾配 $1/3$ から $1/4$ のレベル4の急峻な河床は、土砂生産域に属するため危険度高く、落下、堆積、掃流に合わせたレベルに変化することで危険度低いと評価できるものであり、掃流区間はほぼ土石流影響はないものと解釈できる。なお、この解析より求められる危険度は土砂の流下しうる運動性を捉えていることから、土砂氾濫が波及しうる範囲を誘導させるポテンシャルを評価している。土砂と水の混合率、および土石の粘性や流域の植生等の諸条件によっては一概に国土技術政策総合研究所資料の勾配と運動特性が異なる可能性もあるが、この点は包括的な評価を行った後にさらに精査していく必要がある。

解析方法③に関しては、解析②で整備された流域データ、および河床勾配評価結果に国土交通省国土政府局国土情報課の整備した50万分の1土地分類基本調査の表層地質データを重ね合わせすることで、流域の地質状況を分類し、解析を試みたものである。重ね合わせしている地質状況の情報は地質年代と岩石である。本解析より得ることのできるアウトプットは、河床勾配で求められた危険度の流域に対する地質状況を求めるため、地形より求められた評価を地質状況も踏まえた危険度に更新されたものである。統成期間に依存し、第四紀起源は未固結であり、第三紀堆積岩は半固結のものが多いと解釈できる。また、花崗岩に関しては、風化に伴い岩体から砂状に変化しうる特性もあるため、土砂移動性が高い様相に変化する。これらに挙げられる地質状況の分布する流域に関しては、特に土石流リスクの大きい領域と見積もられる。なお、本解析に関しては、断層、破碎帯の情報を検討していない。そのため、より緻密な評価を行うためには、より精読した地質情報も加味しなければならない。

3. 既往土石流災害事例分析

平成10年から平成22年版の水害統計を基に日本列島の土石流災害事例を抽出した結果、13年間で計722ヶ所の土石流発生が記録されている。図-3は土石流発生位置を図化したものである。抽出集計結果より、土石流発生個所の多いエリアは、中国地方西部から九州地方、日本アルプス周辺に集中している。中国地方西部から九州地方に関しては相対的に日本列島で豪雨発生しやすい状況であることが影響している可能性を有する。また、日本アルプス周辺に関しては列島でも特に急峻な地形を呈するエリアであることから、気象以外の地形地質要因が影響していることが有力である。なお、土石流発生個数上位の都道府県は、広島県(110ヶ所)、長野県

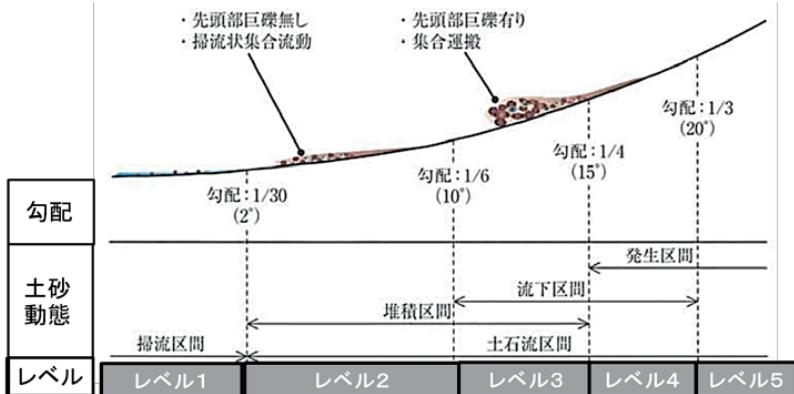


図-2 河床勾配による危険度評価基準

(83ヶ所), 新潟県(63ヶ所), 鹿児島県(42ヶ所), 香川県(40ヶ所)である。広島県に関する土砂災害防止法成立の契機となった平成11年6月29日の集中豪雨, 新潟県に関しては平成16年7月に生じた新潟福島豪雨, および新潟福井豪雨による土石流発生が大きな占拠率を示している。参考までに, 図-3に土石流の平均発生面積を示すが, 相対的に列島西南部の土石流規模が大きい傾向を示している。この結果は, 多雨の生じやすい列島西南部では, 出水の多さより比較的に面積の大きな流域で土石流が生じていることを示唆している。なお, 福井県の面積規模が大きいのは, 甚大な降雨量を記録した新潟福井豪雨によるものであり, サンプル数も少ないとことからこの降雨イベントの依存度が高いものと解釈できる。

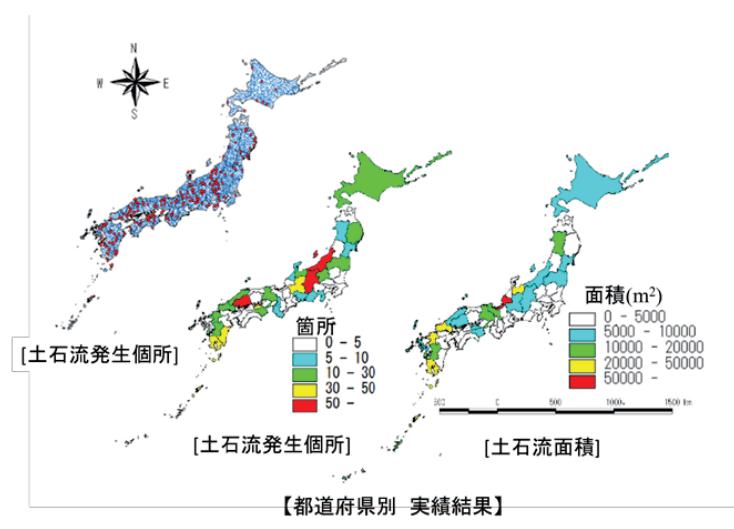


図-3 土石流実績図

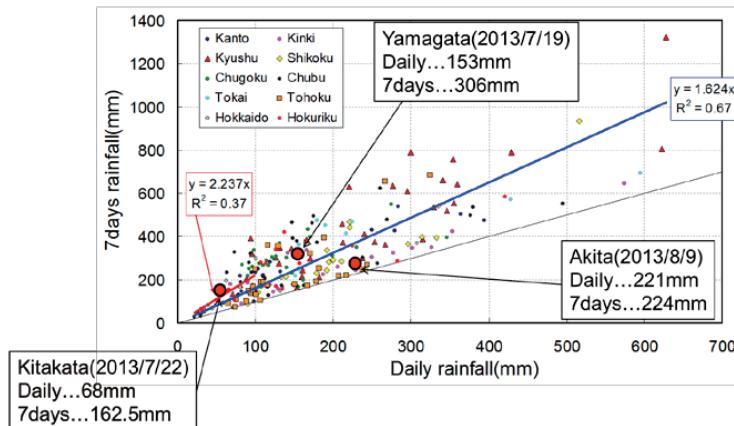


図-4 土石流発生の豪雨状況

図-4は、土石流災害発生事例の日降雨量と週間降雨量の関係を地方毎のプロットで明示したものである。土石流災害発生事例の日降雨量と週間降雨量の関係は概ね強い相関(決定係数 $R^2=0.67$)を示していることが明らかにされた。この結果は、土石流のメカニズムを考慮した場合、特に土砂の生産領域について土壤の雨水貯留を踏まえる必要がある一方で、日降雨量による評価でも相応の危険度を評価できる可能性を示唆している。そのため、簡易的に土石流の危険度を評価するケースにおいては、日降雨量を考慮することも有効な手段になりうることも含んでいる。また、図より東北地方は相対的に甚大ではない降雨量でも土石流発生していることも示されている。先に示した土石流実績の規模も踏まえると、東北地方は、相対的に甚大ではない降雨量でも強い土石流発生の感度を示し、小規模流域で土石流発生しうる危険性をもつと評価できる。参考として、図-4中に平成25年に東北地方で生じた土石流の降雨情報も追加しているが、平成25年7月22日に生じた福島県喜多方市熱塩加納で生じた土石流も実績中で相

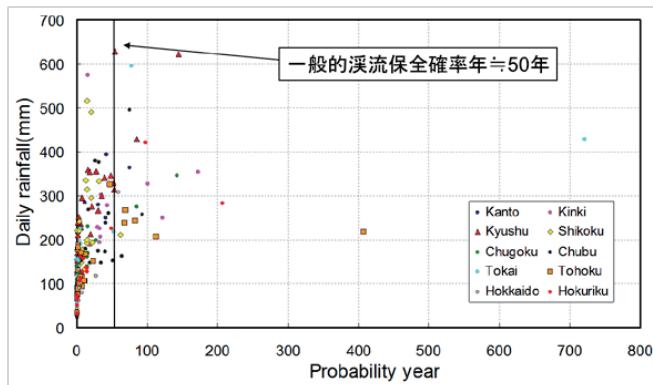


図-5 確率降雨と土石流発生の関係

対的に少雨により生じた災害事例であることが理解できる。また、図-5に確率降雨と土石流発生の関係を示す。土石流発生事例は一般的な渓流保全確率年である50年確率雨量以下で発生していることが明らかにされている。この結果は、対策整備が未だ目標まで達していない流域が多く存在していることを示唆しており、対策整備の進捗を高める、および対策を補完すべき適応整備の必要性を示している。

4. 地形・地質解析

表-1に列島における流域の河床勾配による危険度レベル分類結果、図-6に地質、および地質年代に応じた河床勾配による危険度レベル結果を示す。図-6に示された河床勾配は平均値、および平均値と標準偏差の和であり、地質状況の代表値を表している。

表-1より河床勾配より分類される列島に分布する流域は、概ねがレベル1,2に含まれており相対的に低い危険度を示すものの、レベル4,5に含まれる高い危険度も6%存在していることが明らかにされた。

図-6では、表-1に示されるとおり、平均値として概ねレベル1,2に流域の危険度が含まれることが示されている。平均値に偏差を加えることで傾向として地質に応じた渓流のばらつきも踏まえた集約状況を把握できるが、地質では特に安山岩、砂岩・頁岩・礫岩が急峻な河道勾配を呈する危険流域に分布する傾向が明らかにされた。安山岩の分布する流域に関しては表層風化に伴う岩の剥離や断層・破碎帶の関連性に留意して更に注視して危険度を見積もる必要がある。また、砂岩・頁岩・礫岩の分布する流域に関しては、堆積岩であることから特に表層の風化も著しくなる可能性もあるため更に土石流の危険性が高まる危険性を有している。なお、地質状況の結果より注目すべき結果は、花崗岩分布する流域の河道勾配が大きいことであり、平均と偏差の和でレベル3,4の境界に位置している。今後の降雨状況によっては日本列島の花崗岩分布域における土石流増加も危惧される。地質年代では、特に第三紀堆積岩類が急峻な河道勾配を呈する危険流域に分布する傾向が明らかにされた。第三紀起源の地質年代に関しては、新第三紀、古第三紀により続成状況も大きく異なり風化促進度も変化するため、更に緻密な解析を実施し最終的な評価結果を求める必要がある。また、注目すべき結果として、第四紀起源

表-1 流域危険度分類結果

レベル	流域数	占拠率(%)
1	144,467	49.9
2	108,062	37.3
3	18,502	6.3
4	8,068	2.7
5	10,115	3.8

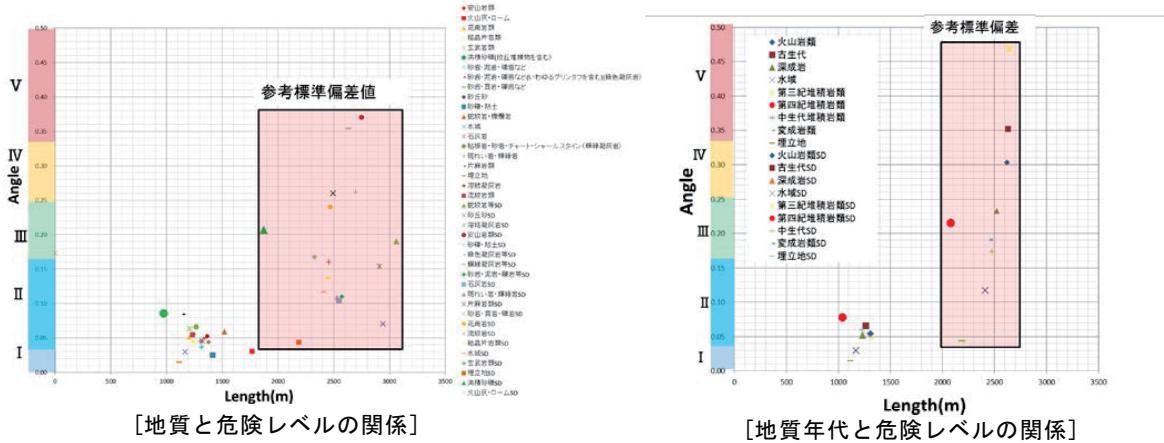


図-6 地質、および地質年代に応じた河床勾配による危険度レベル

の堆積物も平均と偏差の和でレベル3に位置することが明らかにされた。こうした結果は、未固結の地質の分布する危険度の極めて高い流域が列島に存在することを示しており、こうした流域をマップ情報として明らかにするとともに、現行の土石流対策状況と将来の降水推計も重ね合わせて総合的な評価を行い、至急の対応を検討する必要がある。

5. おわりに

本研究の取り組みにより、①列島南西部では、降雨特性に従い出水の多さより比較的に面積の大きな流域で土石流が生じていること、②東北地方では、相対的に甚大ではない降雨量で土石流発生が生ずること、③降雨と対策設計基準よりの検証より対策整備が未だ目標まで達していない流域が多く存在していることが明らかにされた。また、地形・地質による土石流危険流域の判別に関しては、さらにデータ精査していくことが必要である。

今後は、①地形地質の分析精査とともに土地被覆、気候(降水)特性も加えた土石流危険流域の判別を進めるとともに、災害実績と比較検討を行い日本列島全域の土石流評価を行う。また、将来的には数値気候モデルも利用し、将来の危険度を見積もる予定である。

謝 辞：この研究は、環境放射能研究所プロジェクト「陸域から水圏へと移行する放射性物質の把握と移行メカニズムの解明」および環境省の環境研究総合推進費(S-8)の支援により実施された。

参考文献：

- 1) 例えは楠原啓右・今田由紀子・井芹慶彦・森正人・鼎信次郎:確率台風モデルを用いた近未来台風リスク評価、土木学会論文集B, Vol.68, pp.445-450, 2012
- 2) 川越清樹・江坂悠里：気候システムの温暖化による斜面崩壊と影響人口の関係に関する推計、土木学会論文集G, Vol.68, I_287-I_296, 2012
- 3) 鬼頭昭雄:防災影響評価のための極端気象現象の将来変化予測、自然災害科学, Vol.28, pp.281-282, 2010.
- 4) 牛山素行・横幕早季:発生場所別に見た近年の豪雨災害による犠牲者の特徴、災害情報, No.11, pp.81-89, 2013.