

福島県沿岸域の降雨強度推計と土砂流出の関係性

福島大学共生システム理工学類 川越 清樹

田村 裕亮

福島大学大学院共生システム理工学研究科 宗像 佑磨

1. はじめに

国土の約7割を山地で形成する日本列島は、大陸プレートとの収束域に属することより断層発達した脆弱な地質も呈しており、強雨、融雪による気象に関連したイベントにあわせて斜面の浸食や崩壊等

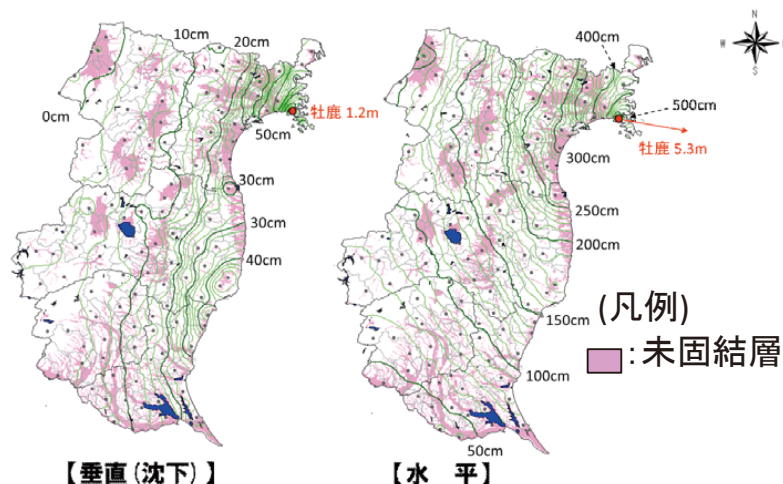


図-1 東北地方太平洋沖地震直後の地表面移動量
(※国土地理院データを加工 基準:2011/3/1-9, 比較:2011/3/11-13)

に示されるマスムーブメントの活発化しやすい地域といえる。流域という領域で生じるマスムーブメントは、地表の表面流出や河道の流動過程にあわせて運搬され、分散、もしくは収束される。このプロセスを考慮すると、流域は、土砂堆積の再配分を担う機能を有した地形といえる。土砂堆積の再配分は、生物の生態系を構成や海岸地形の維持等にも関連深いものであるため、河川を介した自然や社会の将来像を予測する上で重要な項目として挙げられる。ただし、流域に建設される水制施設、および水管理体制の変化、流域に含まれる土地被覆変化、もしくは地形自体の改変等の要因で敏感に土砂の再配分の影響を受ける。この再配分変化を示す事例として、高度成長時代の1960年頃より治水、発電、用水確保等を目的に多くのダム建設を進め、土砂流下経路の遮断に伴う河床低下、河口や海岸での砂浜侵食が問題視されたことが挙げられる。流砂系のアンバランスによる顕在化から、1998年7月に当時の建設省河川審議会総合土砂管理小委員会では流砂系の総合的な土砂管理に向けた取り組みを求める報告を提出し、その後、2006年よりスタートした第3期科学技術基本計画では、「流砂系全体の土砂動態予測技術、土砂対策およびそれが流砂系全体に及ぼす影響を評価する技術」を社会基盤分野の戦略重点科学技術として取り上げるに至っている。流砂系問題の解決に向けてダムからの排砂を含め、流砂系全体にわたる治水、利水および環境面の調和がとれた土砂収支のバランスを図る取り組みが進められてい

る。このバランスを見積もる上で、水制施設、および水管理体制の変化、流域に含まれる土地被覆変化、もしくは地形自体の改変を捉えていくことが重要である。こうした流砂の問題と現状に加えて、2011年3月に生じた東北地方太平洋沖地震は、地殻変動(図-1 参照)とともに地盤沈下や津波に伴う河道への遡上を生じさせた。そのため、特に東日本エリアの河道域の地形は大きく変化している。また、東北地方太平洋沖地震は、こうした地形的の変化にとどまらず土地被覆面でも大きな変化を与えている。原発事故に伴い伴う放射性物質の拡散は放射量を帯びた土壌を分布させるに至っている。アカホヤ、黒ボクなどの粘土は負荷電による陽イオン吸着よりCsを保持する特性を持つことより、生活する空間において受ける放射線の量を減らす目的で放射性物質の付着した表土を削除する除染を進めている。東北地方太平洋沖地震に伴い認められる地形変化、土地被覆改変は流砂系に影響を及ぼすものであり、土砂収支に係わる今後の自然と社会環境を見積もる上で着実に変化の状況を把握し、土砂同行の将来像を見積もる必要がある。将来像の予測においてタイムスケールを考慮することが肝要だが、放射量に着目した場合、Cs137の滞留半減期が30年(水田作土で9~24年、畑作土で8~26年)で、この期間、放射量を帯びた土砂が移動しながら陸域、沿岸域に波及することが見込まれる。そのため、30年というタイムスケールは社会実装上でターゲットになりうるものとなる。その一方で、世界的に気候変動の問題も含まれており、温暖化による降水の極端化、海面上昇、水温変化も予測されている¹⁾。そのため、気候変動による影響も踏まえた検討も含めなければならない。こうした背景を踏まえ、土砂動態の将来像を予測できるモデル開発に資することのできる土地被覆、地形、およびマスマーブメントの誘因となる降雨に関するデータを分析し、整備することを進めた。

2. 先行研究と本研究の関係

河道域の土砂動態を見積もるための先行研究は多数存在する。例えば、砂田らは数値地理情報を利用し、富士川水系早川の河道地形を再現して流出モデルと合わせた土砂の動態を見積もる研究を進めた²⁾。日本の河川を対象とした空間的な土砂動態を見積もるための基盤になる先駆的な研究といえる。その後、擬河道網の要素スケールの影響、河道の横断面形状、土砂生産域の分布の効果、不規則な川幅の影響までを議論できるモデルまで発展し³⁾、より着実な土砂動態が見積もられるモデルが開発されるに至っている。その後、土砂の固有的な河道にとどまらず湖沼等の水域の影響も踏まえた地形に言及したモデルが開発されるようになり⁴⁾、流域の固有特性や着目すべきポイントを重視した解析が進められている。近年では、竹内らが、黒部川を対象に河道域に分布する土砂の有効粒径を基に土砂動態のプロセスを整理し、芦田らのモデル⁵⁾と合わせて土砂輸送過程を求め、土砂管理上の留意点まで言及した結果を示している⁶⁾。こうした緻密な調査で空間的な土砂堆積特性を明瞭に示すことは土砂輸送の系統化を図る上で有効な手段といえる。また、こうした河道の土砂だけではなく流末の河口に到達しうる移動性の高いウオッシュロード、浮遊砂に着目し、河口域地形とのかかわりを求める研究も進められており^{例えば 7,8)}、包括的に土砂の特性分布の調査に伴う移動特性の把握は予測への重要なマーカーになる可能性は高い。例えば、福島県の河口を対象にした場合、既に山崎、長林らは、福島

県沿岸域の河口砂州の変動特性を明らかにしている⁹⁾。こうした先行研究の知見を利用することでより着実な調査結果を示すことができる。その一方で、今まで列挙した研究事例は、検証に用いられる土砂動態モデルであり予測に関して発展すべき点を含む。Tao Peng らによれば、降雨強度、土地被覆の変化が土砂生産に支配的になることも明らかにされており¹⁰⁾、今後の降雨量と土地被覆の状況も見積もるための取り組みが必要といえる。

こうした先行研究も踏まえて、本研究では、河川より観測された浮遊物質と降雨量と土地被覆との基礎データを収集して分析を行い、今後、解析に必要とされる要因の検証を進めている。

3. 研究対象領域、および方法

福島県沿岸域の降雨強度推計と土砂流出の関係性を検討するため対象に設定した領域は、福島県沿岸域の河川群である(図-2 参照)。沿岸域に分布する河川群は、流域面積 50km² 以下のもの 60%、流路延長 20km 以下のもの 70%であるため、中小の河川を多く含んでいる。相対的に小さな規模を示す河川が多いため、陸域のマスマーブメントが海岸に到達しやすい条件を含み、土砂に伴う敏感な流域環境の変化に伴う様相が推測される。また、当該河川

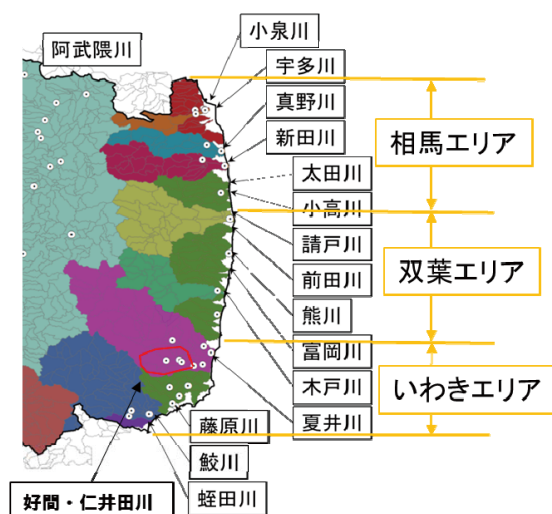


図-2 研究対象領域

群は、原子力発電所の近傍に分布していることから、放射性物質の降下も多いことが見積もられ、土砂の流出特性を見積もることが重点的な課題となっている。

最終的な研究目標を流域内の土砂移動・堆積に着目し、現況から除染・温暖化を含めた将来の環境影響を予測することとしているが、この予測に資する基礎データを整備、分析することが本研究の目的となる。基礎データの整備として浮遊物質の実績、土地被覆、降雨強度に着目して以下の取り組みを進めた。

- ① 浮遊物質の特徴把握
- ② 流域毎の土地被覆条件比較
- ③ 流域毎の降雨強度分析

また、本書では①に対する②、③の結果を比較することで考察を示している。

浮遊物質の特徴把握として、各河川で観測されている SS 濃度データ、河川流量データ(福島県水質年報、観測期間：1980-2012 年、観測頻度：月 1 回)を用いて各流域の浮遊物質量を求め、各河川の物質量を比較することで特徴把握を進めた。なお、この分析は対象領域である浜通りだけではなく、福島県内全体も包括したものとなっている。なお、浮遊物質量は以下の(1)式より求めている。

$$TS = \frac{0.0864 \cdot SS \cdot DS}{2.65} \text{----- (1)}$$

ここで，TS：浮遊物質量(m³/24h)，0.0864：時間重量換算値係数(1000*60*60*24*0.000001*0.001)，SS：浮遊砂量(mg/l)，DS：河川流量(m³/s)，2.65：砂相当(g/cm³)¹¹⁾である。計算式より得られた各河川の浮遊物質量について平均値，最大値を抽出し，最大値と平均値の比率を導出する。同様に各河川の流量における最大値，平均値も抽出して最大値と平均値の比率を導出する。これら浮遊物質量の比率と流量の比率の関係を各河川で示すことにより，浮遊物質量(土砂流出)の高まる領域の把握を検討した。

流域毎の土地被覆条件比較として，国土数値情報土地利用細分メッシュデータ(空間解像度250m×250m：平成21年)を基に流域毎の土地被覆を分析し，各流域の土砂生産ソース側の特徴を求めた。

流域毎の降雨強度分析として，AMeDASより観測された既往の短時間降雨量データ(観測期間：1976-2013年)を整備するとともに，空間内挿することで流域毎の空間情報に応じた降雨強度特性を求めた。

4. 浮遊物質量の特徴把握

図-3は全県の浮遊物質量の最大値分布，図-4は全県と浜通り河川における浮遊物質量の比率と流量の比率の関係を示したものである。

全県の浮遊物質量の最大値より，阿武隈川水系では，郡山(阿久津橋；305.8m³)で浮遊物質量が多くなること，松川(81.6m³)，摺上川(29.2m³)の福島市に分布する支流群の浮遊物質量が多い結果が示された。なお，郡山

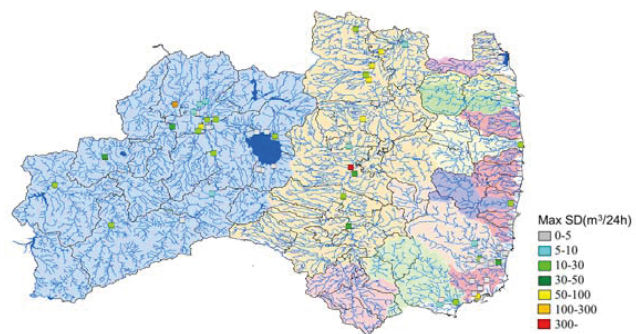
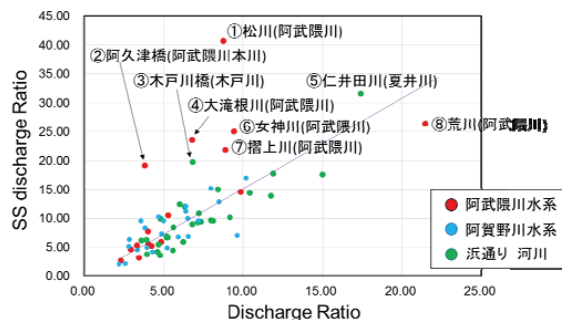
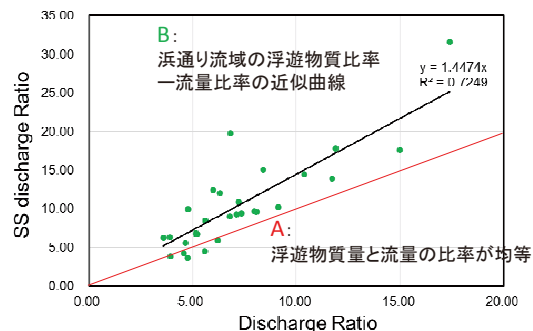


図-3 全県の浮遊物質量の最大値分布



(福島県河川の関係図)



(浜通り河川の関係図)

図-4 浮遊物質量の比率と流量の比率の関係

(阿久津橋; 305.8m³)から福島(蓬莱橋; 84.5m³)に浮遊物質量が減少する特徴が認められるが、これは、本川中に建設されている信夫ダム、飯野ダムの土砂捕捉の影響と示唆される。阿賀野川水系では、最大浮遊物質の流出の著しい支川として、只見川(42.6m³)、および只見川支川伊南川(26.8m³)が挙げられる。最大量では伊南川の浮遊砂割合が大きく、阿賀野川の土砂流出の支配要因になりうる河川になることが示唆される。こうした会津地方、中通りを流下する河川と比較して、浜通りの河川は、夏井川以外(最大浮遊物質量の流出 49.6m³)は、相対的に流出量の低い河川が分布している。ただし、浜通りのみを緻密に分析すると一概に浮遊物質量の流出が少ないとはいえない。図-4 に浜通り河川における浮遊物質量の比率と流量の比率を示すが、流量比率と比較して浮遊砂比率が上回り(※ 流量と浮遊物質量が均等であれば、図中に示す TYPE-A のラインをたどるが、すべて浮遊物質量が上回る結果を示している)、流出イベントに応じて浮遊物質は過剰に供給される過程が示唆される。図-4 中で示される各データの近似曲線 (TYPE-B のライン)より、流出量比率に比較して 1.45 倍の多さになることが明らかにされた。なお、各河川の浮遊物質量データで TYPE-A(浮遊物質量と流量の比率が均等)、TYPE-B(各データの近似曲線)の差を求めた結果が、図-5 である。図-5 より、相対的な浮遊物質量の高まる河川を特定できるが、総じて双葉エリアの河川群と夏井川の浮遊物質量が顕著であることが確認された。一方、北部に位置する相馬エリアの浮遊物質量の少なさがみとれる。

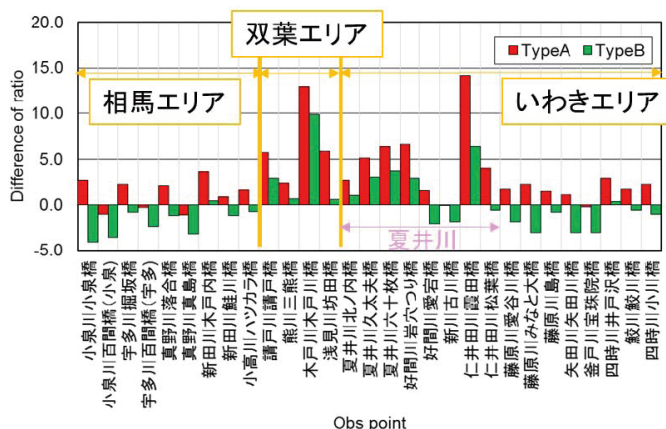


図-5 各河川の TYPE-A,B と比率差の関係

5. 土地被覆と降雨強度の特徴把握

流域中の土地被覆を区分した結果が図-6 である(比較参考にするため福島県内の阿武隈川と阿賀野川の結果も示す)。概ね森林領域は 70-90%、農用地は新田川で著しく大きな値を示すが(23.2%)、その他の河川は 10-15%である。市街地は 5%以内であり、荒地は 1%に満たない結果を得た。特に流域全体としては変化が

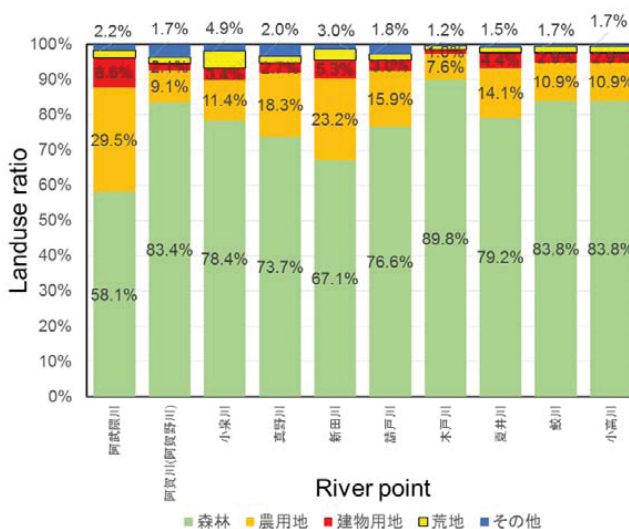


図-6 各河川の土地被覆割合

なく、浮遊物質量の流出に関連付けることのできる結論を得ることができなかった。ただし、現在の解析は巨視的なものであるため今後、土地被覆の空間規模を変えて流域の支川との関連を検討していく予定である。

図-7に流域別の降雨解析

析結果を示す。なお、内挿は重み付き距離平均法より求めた結果である。

沿岸域南側で強雨になることが明瞭に示されており浮遊物質量と大小の関係と似ていることが明らかにされた。なお強度の数値的には沿岸域のみで約 4mm 以内(30 年確率, 60 分継続時間)にな

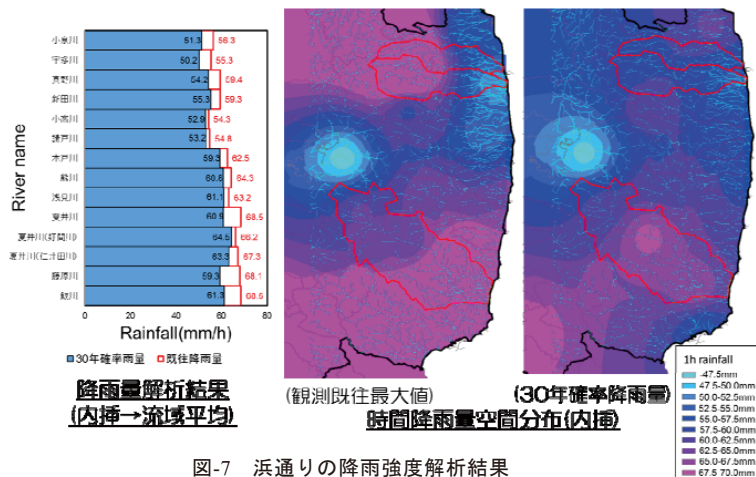


図-7 浜通りの降雨強度解析結果

6. おわりに

今後は空間規模を変えることと、地形地質情報も追加したデータ整備も行い検討を進める。

謝辞：本研究は、福島大学環境放射能研究所、環境省地球環境研究総合推進費(S-8)の研究助成で行われました。ここに記して謝意を示す次第である。

参考文献

- 1) 環境省：気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書(AR5)について、<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/>, Cite viewed 2015/1/13.
- 2) 砂田憲吾・長谷川登：河川水系全体における土砂動態のモデル化に関する基礎的研究, 水工学論文集, Vol. 37, pp.841-844, 1993.
- 3) 砂田憲吾・小松勝彦・柴田高教・杉浦信男：数値地形情報に基づく水系土砂動態モデルの構成に関する検討, 水工学論文集, Vol. 43, pp. 551-556, 1999.
- 4) 山崎裕介・二瓶泰雄・大関雅文：河川・湖沼結合モデルに基づく手賀沼における土砂輸送シミュレーション, 水工学論文集, Vol. 49, pp.1225-1230, 2005.
- 5) 芦田和男・道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第 206 号, pp.56-69, 1972.
- 6) 竹内正信・村田文人・岩見収二・細井寛昭：有効粒径集団からみた黒部川流砂系土砂動態変化の分析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 68, I_925-I_930, 2012.
- 7) 佐々木章允・渡邊康玄：常呂川における地形と植生による土砂輸送への影響, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 67, I_889-I_894, 2011.
- 8) 山下俊彦・松本光矢・伊東祐一郎・清水康行・古路一哉：尻別川の粒径別流出土砂特性と河口沿岸域での土砂収支の試み, 土木学会海岸工学論文集, Vol. 48, pp.646-650, 2001.
- 9) 山崎雅洋・長林久夫・木村喜代治・堺茂樹・平山健一：東北地方における中小河川の河口変動特性, 水工学論文集, Vol. 42, pp.1135-1140, 1998.
- 10) Tao Peng, Shi-jie Wang: Effects of land use, land cover and rainfall regimes on the surface runoff and soil loss on karst slopes in southwest China, CATENA, Vol.90, pp.53-62, 2012.
- 11) 坊野聡子・清水康行・斎藤大作・吉田義一：ダムを含む沖積河川の土砂輸送について, 水工学論文集, Vol. 43, pp.581-586, 1999.