

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月24日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：20360241

研究課題名（和文） 貯水池上流域における濁水発生要因の定量的評価に関する研究

研究課題名（英文） Study on the Quantitative Evaluation about the Factor of Turbid Water in the Upper Basin of Reservoir

研究代表者

三谷 泰浩（MITANI YASUHIRO）

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：20301343

研究成果の概要（和文）：

近年、豪雨時に濁質物質がダム貯水池内に大量に流入し、下流河川における濁水の長期化が生じている。これは、貯水池への懸濁物質の供給が根本的な原因であり、懸濁物質の発生源の特定及び濁水発生要因を明らかにすることが求められている。

本研究では、貯水池上流域の河川にて計測した懸濁物質の流出状況から懸濁物質の流出予測モデルを開発し、懸濁物質の流出特性を把握する。次に、その結果と地理情報システム(GIS)を用いて定量化された各種素因との相関分析により、濁水発生に影響を与える素因を特定し、特定された影響素因と懸濁物質流出特性の関連性及び影響素因の空間分布特性から、貯水池上流域の潜在的な懸濁物質の流出危険度を評価する。

研究成果の概要（英文）：

Recently, prolonged water turbidity induced by heavy rainfall has been identified at many reservoirs, and the environmental impact in downstream regions due to discharge of the turbid water have been a serious problem. The retention of turbid water is believed to be due to the existence of suspended solids generated in the upper river basin and carried into the reservoir by rivers. However, none of the research on turbidity has investigated the relationship between turbidity currents and topographical, geological and land-cover factors of the research area to clarify the source of turbidity currents. In this research, possible factors of water turbidity are extracted and analyzed quantitatively using a geographical information system. Additionally, the water level and turbidity were measured in upper river basins of Hitotsuse dam located in Miyazaki prefecture. Using the collected data, a model that evaluates the amount of suspended-solid outflow was developed by modifying the hydrological tank model. The model was conducted also based on four typical rainfall conditions categorized by total amount of rainfall data. Then the prediction model of suspended-solid outflow is constructed while the suspended-solid outflow in the upper basin of the reservoir is forecast by using a statistical method such as simple linear analysis and multiple-regression analysis.

As a result, among all potentially influential factors were found to affect the outflow of suspended solids with consideration of the correlations between efflux characteristics and spatial distribution of each mechanical factor. Furthermore, the potential risk of suspended-solid outflow under corresponding rainfall condition in the upper river basin of the reservoir was quantitatively evaluated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011年度	1,600,000	480,000	2,080,000
総計	8,200,000	2,460,000	10,660,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：環境保全，GIS，濁水，河川環境，ダム開発

1. 研究開始当初の背景

河川における環境問題の1つとして、濁水の長期化問題が挙げられる。日本の河川は一般的に急流で河川長が短いため、降雨時に一時的に高濁度化するが、濁水がすぐに流下するために、降雨が終わればただちに清水に戻る特徴を有している。しかし、河川の開発にともない、山間部の河川にダムや堰などの人工構造物が建造されると、降雨時には、その構造物が上流域において発生した濁水の流下を遮るため、懸濁物質が貯水池内に貯留・滞留することとなる。濁水はその性質上、沈降速度が非常に遅いため、放水などの際には滞留した濁水を放流することとなり、下流河川において濁水が長期間にわたって生じることとなる。濁水の長期化が引き起こす被害は、景観・レクリエーション価値の低下、川魚などの水産資源への影響（成長阻害や漁獲高低下）、生態系への影響、稲の生育阻害、水道用水や農業用水の浄化設備への影響などがあり、河川環境の悪化をもたらすとともに、河川を中心とした様々な生産活動に影響を及ぼすこととなる。

濁水の長期化問題は主に大規模な貯水池を有するダムで全国的に発生しており、なかでも昭和38年に建設された一ツ瀬ダム（宮崎県、堤高130m、総貯水容量2億6千万 m^3 、最大使用水量137 m^3/s ）では、昭和40年頃から濁水の長期化問題が取り上げられている。この一ツ瀬ダムにおける濁水の長期化問題の原因としては、地質、貯水池の容量なども原因と考えられるが、問題の根元となるものは、河川に建造されたダムなどの人工構造物であるのは疑う余地はない。さらに、ここ30年間のダム内に流入する懸濁物質の量の経時変化をみると右肩上がりの上昇傾向が見られる。つまり、これは、単なるダム建設による濁水の長期化問題というのではなく、最近の異常気象などの自然的要因も1つの原因と考えられるが、それ以上に、貯水池上流域の環境の変化が大きな要因の1つであると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、濁水の発生源である貯水池上流

域が濁水に及ぼす環境的影響を定量的に明らかにすることを目的として、懸濁物質がどこでどのように生成されるか、その特性を定量的にあきらかにすること、さらには懸濁物質流出のメカニズムを明らかにし、懸濁物質の流出予測モデルを構築し、貯水池上流域の懸濁物質の発生予測を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

- (1) 基礎データの収集・作成
- (2) 濁水発生に関する素因の抽出とGIS化
- (3) 上流域の特性区分に応じた濁度測定箇所の選定
- (4) 現場での濁度測定
- (5) 濁水発生と各種素因との相関性に関する検討
- (6) 懸濁物質流出の予測モデルの開発
- (7) 流出予測モデルの検証
- (8) 濁水評価手法の確立

4. 研究成果

(1) 濁水発生に関する素因の抽出とGIS化

濁水の発生原因は基本的に自然の営力による浸食作用であり、浸食機構は様々な要因の作用及びそれらの相互作用に支配される。濁水発生には様々な要因が複雑に相互作用し影響するため、これらの要因を表現できる素因を定量化し、その影響度合いを適切に評価する必要がある。このように異なる様々な要因データを統合的に評価するためには、位置情報を基準として評価することが有効である。また、対象領域である一ツ瀬ダムの集水面積は445.9 km^2 と非常に広域であるため、定量化するデータも膨大な量となる。そこで、地理情報システム（GIS）を用いて各種素因データを位置情報を基準とする地理空間情報として整理する。まず、濁水発生に関連すると考えられる素因を、河川に関する水文的要因を表すもの、山地や斜面などの地形的要因を現すもの、土壌や岩石などの地質的要因を表すもの、植生や土地被覆、崩壊地などの土地利用的要因を表すものに分類する。さらに、地形の急激な侵食として崩壊地、また、各種素因同士を組み合わせた複合的要因も抽出し、下表に示すように、24項目の素因を、GISを用いて分析単位ごとに定量化し、その空間分布を把握した。

Type	Mechanical factor
Hydrological factor	The density of the river, Curvature of the river
	Stream gradient, The river length, Drainage area
Topographical factor	The angle of slope, Density of slope, Undulation of terrain
	Direction of slope, Number of slopes
Geological factor	Geological condition, Soil type
Land-use factor	The density of roads, Artificial forest area
	Landslide area, Non-vegetation area
Combined factor	Landslide area on chaotic beds
	Landslide area on Hyuga layer
	Landslide area on Moroduka layer
	Landslide area on Granite
	Chaotic beds area in drainage
	Hyuga layer area in drainage
	Morotduka layer area in drainage
Gnante area in drainage	

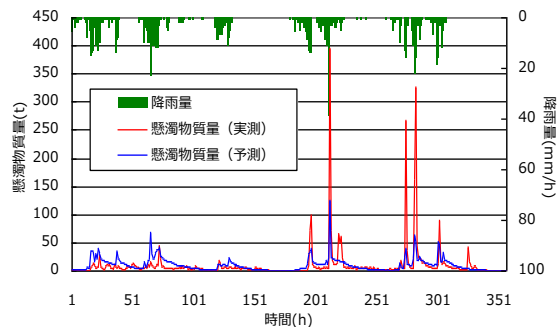
(2) 濁度と流量の観測

実際の懸濁物質の流出特性を把握するためには、現地にて懸濁物質の流出量を計測する必要がある。しかしながら、対象領域が広大であるため、全ての流域において計測を行うことは非常に困難である。そこで、流域単位で河川へ流出する懸濁物質の流出特性を再現することを目的とし、他の影響を受けない1次河川流域から観測流域を選定する。その際、地質が濁水の発生に及ぼす影響を把握しやすいよう、特定の地質に観測流域が偏らないよう留意する。さらに観測機器の性能を考慮し、設置の可否やデータ回収の安全性等も考慮して、観測流域を選定し、濁度および水位の計測を行った。なお、流量は水位データ、河川断面、流路勾配から算出するものとして水位を計測することとした。その結果、研究機関において10個の観測流域において濁度と流量の計測を行った。

(3) 観測流域における懸濁物質流出モデル

観測された濁度と流量は、降雨条件が異なるため、定量的な比較が困難である。各観測流域間で懸濁物質の流出特性を把握し、影響要因を特定するためには、同一降雨条件下における懸濁物質の流出量をそれぞれ定量的に把握する必要がある。そこで、本研究ではタンクモデル法をベースとし、懸濁物質の流出予測モデルを構築する。本来タンクモデルは主に河川流量の時系列解析に用いられ、降雨量と河川流量の関係性を利用している。実測の濁度と流量の降雨に対する挙動を比較すると、流量に比べて濁度は降雨に対する反応が敏感であり、比較的早く収束する傾向にあるなど多少異なるものの、ピークが降雨のピークと時間遅れを生じ、収束過程が直線的ではなくなだらかであるなど、同じような

変動をしている。また、懸濁物質量は濁度と流量を乗じて算出されるため、懸濁物質量と降雨量の間にも、相関性があると考えられている。この性質を利用し、降雨量から懸濁物質の流出量を予測するモデルを開発することで、各観測流域の懸濁物質の流出特性を定量的に比較する。また、出水時のデータのみで構築したモデルの方が比較的計測結果と合致することから、降雨の規模に応じて懸濁物質の流出予測モデルを構築することとし、降雨条件を設定して降雨を分類し、各降雨グループごとに懸濁物質流出予測モデルを構築することとした。その結果の一例を下図に示す。



(4) 懸濁物質流出量に影響を及ぼす素因の特定

濁水発生に影響を及ぼす素因を明らかにするため、懸濁物質の流出量を目的変数とした重回帰分析を行う。まず、各降雨グループで各種素因と総予測懸濁物質量との間で単相関分析を行ない、相関係数が0.5以上の素因を抽出する。次に、多重共線性の発生を回避するため、VIF (Variance Inflation Factor; 分散拡大係数) 値の確認を、各説明変数間で行う。一般的に、VIF値が5以上のとき説明変数間に相関の存在が疑われる。本研究では、VIF値が4以上のとき、該当説明変数の除去を行い、そのうえで、各降雨グループで総予測懸濁物質量を目的変数、定量化した各種素因を説明変数として重回帰式を構築する。複数の重回帰式の中から、決定係数が比較的高く、各観測流域での懸濁物質流出量の再現性が高い重回帰式を各降雨グループから選出し、以下の式を得る

AAグループ：(決定係数=0.654)

$$[\text{懸濁物質の総流出量}(t)] = 2182.2 \cdot [\text{乱雑層面積}] + 849.7 \cdot [\text{河川長}] - 780.5$$

Aグループ：(決定係数=0.723)

$$[\text{懸濁物質の総流出量}(t)] = 30782.3 \cdot [\text{非植生面積}] - 8591.7$$

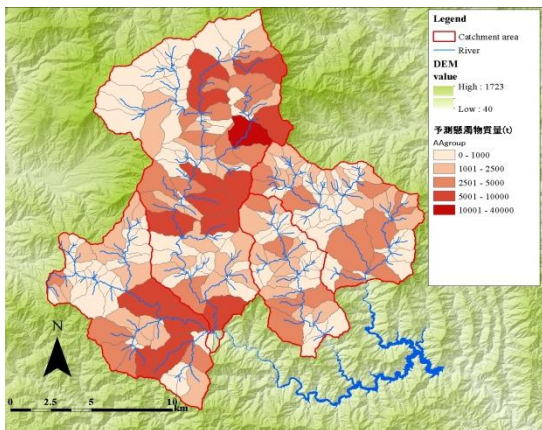
Bグループ：(決定係数=0.989)

$$\begin{aligned}
 & \text{[懸濁物質の総流出量}(t)\text{]} \\
 & = 882.7 \cdot \text{[河川長]} + 897206 \cdot \text{[日向層上の崩壊面積]} \\
 & + 988717 \cdot \text{[乱雑層上の崩壊面積]} - 750.7 \\
 & \text{C グループ：(決定係数=0.749)} \\
 & \text{[懸濁物質の総流出量}(t)\text{]} \\
 & = 2266.5 \cdot \text{[河川長]} + 4734.9 \cdot \text{[非植生面積]} - 3417.3
 \end{aligned}$$

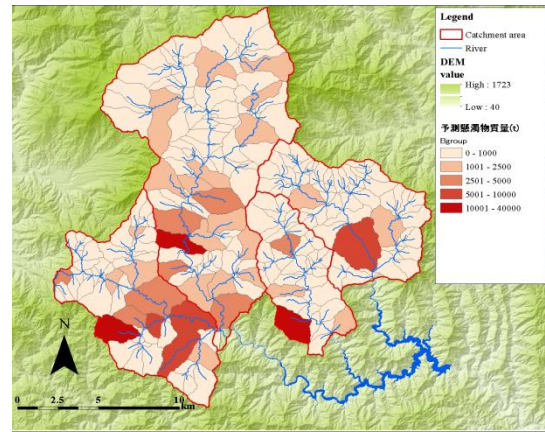
濁水発生に大きな影響を及ぼす素因として、河川長、乱雑層面積、非植生面積、日向層上の崩壊面積、乱雑層上の崩壊面積が挙げられる。河川長は流域内の集水能力を表現するパラメータであり、総延長が長いほど多くの懸濁物質が流入する。乱雑層は、細粒分が多いため重力沈降しにくく、大規模な降雨直後は河川中に長期間浮遊している可能性がある。非植生面積は森林などの植生に覆われていない区域であるため、降雨時の懸濁物質の発生が多いと考えられる。また、崩壊地は自然な緑化復旧がしにくく、風雨による侵食を受け易いため、懸濁物質が流出しやすいと考えられる。

(5) 懸濁物質流出ハザードマップ

懸濁物質の発生源について根治的な対策を行うためには、全域における潜在的な懸濁物質の流出危険度を把握する必要がある。得られた回帰式を全域に適用することで、算出した、全域における懸濁物質の流出量を示す。小川川流域および銀鏡川流域からの懸濁物質の流出は全降雨グループを通して少なく、一方で、一ツ瀬川本流域および板谷川流域からの懸濁物質の流出が多いことが分かる。また、降雨強度が大きい場合には、主に一ツ瀬川本流の上流域からの懸濁物質の流出が多く、小さくなると主に下流域からの懸濁物質の流出が多い傾向にある。全降雨グループを通して懸濁物質の流出が比較的多いのは、北東部の一ツ瀬川本流最上流域、中流域、板谷



<降雨量が多い場合>



<降雨量が少ない場合>

川と一ツ瀬川本流の合流地点、及び銀鏡川の下流域である。また、降雨量が多い場合には、全流域から懸濁物質が流出するが、降雨量が少ない場合には、懸濁物の流出は局所的であることが分かる。

(6) まとめ

本研究では、総雨量を基に降雨を分類し、降雨条件に応じた懸濁物質の流出予測を評価するモデルを構築した。そして、構築したモデルを用いた観測流域における懸濁物質流出予測の結果と、GISを用いて定量化した、濁水発生に関係すると考えられる素因の間で重回帰分析を行なった結果、河川長、乱雑層面積、非植生面積、日向層上の崩壊面積、乱雑層上の崩壊面積が懸濁物質の流出特性を決定付けていることを明らかにした。また、影響素因と懸濁物質の流出量との関係を空間的に捉えることで、懸濁物質の発生源となり得る箇所を特定し、該当箇所での懸濁物質量を定量的に予測することができた。今後は、多量に懸濁物質が発生する恐れのある流域に対して具体的な濁水防止対策の検討が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計11件)

- ① Yasuyuki SAMEISHIMA, Yasuhiro MITANI, Hiro IKEMI, et.al, Evaluation of the Incidence of Turbidity water factors and outflow potential of suspended solids, International Symposium on Earth Science and Technology 2011, 2011, 査読あり, 295-300

- ② 鮫島 康之, 三谷泰浩ほか, 濁水発生流域における懸濁物質流出量の評価方法の提案, 土木学会西部支部研究発表会講演集, 2011, 査読なし, CD-ROM
- ③ 郭めい, 三谷泰浩ほか, 降雨条件に応じた懸濁物質流出予測モデル, 第26回応用地質学会九州支部研究発表会論文集, 2010, 査読あり, CD-ROM
- ④ 郭めい, 三谷泰浩ほか, 貯水池上流域における濁水発生要因のGISによる評価, 第19回GIS学会研究発表会講演集, 2010, 査読なし, CD-ROM
- ⑤ 三谷泰浩, 濁水長期化問題に対する貯水池上流域の影響評価, 2010, 第5回GISコミュニティフォーラム, 査読なし
- ⑥ 石丸真也, 三谷泰浩ほか, 降雨条件に応じた懸濁物質流出予測モデルの提案, 土木学会西部支部研究発表会講演集, 2010, 査読なし, CD-ROM
- ⑦ Purnama B. SANTOSA, Yasuhiro MITANI, Tetsuro ESAKI, Hiro IKEMI, Analysis of Topographical Condition and Land Cover Type Factors on Land-use Change of a Mountainous Terrain in Japan, Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2009, 2009, 査読あり, 205-210
- ⑧ Purnama B. SANTOSA, Yasuhiro MITANI, Tetsuro ESAKI, Hiro IKEMI, Image fusion methods for land cover classification and its potential for slope failure detection on a mountainous terrain, Proceedings of the 30th Asian Conference on Remote Sensing 2009, 2009, 査読あり, CD-ROM
- ⑨ 郭めい, 三谷泰浩ほか, 地質の違いによる貯水池上流域の懸濁物質流出挙動, 土木学会西部支部研究発表会講演集 2009, 査読なし, CD-ROM
- ⑩ Purunama B.Santosa, Yasuhiro Mitani, Hiro Ikemi, Topographic correction due to differential illumination effects on multi spectral SPOT satellite data, Proceedings of the ASIA GIS 2008, 2008, 査読あり, CD-ROM
- ⑪ Purunama B.Santosa, Yasuhiro Mitani, Toru Shibata, Hiroshi Dan, GIS-based spatio-statistical analysis on the factors influencing river turbidity around Hitotsuse area, Miyazaki Prefecture, Kyushu, Japan, Proceedings International Symposium on Earth Science and Technology 2008, 2008, 査読あり, 283-290

[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) 研究代表者

三谷 泰浩 (MITANI YASUHIRO)
九州大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 20301343

(2) 研究分担者

島谷 幸宏 (SHIMATANI YUKIHIRO)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 40380571
江崎 哲郎 (ESAKI TETSURO)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 40038609
(H20-H21: 退職のため)
池見 洋明 (IKEMI HIROAKI)
九州大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 90380576

(3) 連携研究者

特になし