

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25年 5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22710030

研究課題名（和文）流域スケールでの水域生態系保全を目的としたダム群の評価と提言

研究課題名（英文）Environmental assessment of a series of dams and recommendation from the viewpoint of conservation of aquatic ecosystems at basin scale

研究代表者

吉村 千洋 (YOSHIMURA CHIHIRO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：10402091

研究成果の概要(和文):本研究ではダム群が河川下流域や汽水域の生態系に与える影響を物質輸送と流況に着目して解明することを目的とした。相模川水系と揖斐川水系を対象とし、個別ダムおよびダム群が物質動態、流況、魚類相に与える環境影響を、現地調査とモデル解析により解明した。その結果、ダム貯水池に由来する粒状態有機物は森林河川においても約3km以上下流に輸送されること、また流量安定時には支川や各種排水の影響を受けるため、溶存態有機物に対するダムの影響はセグメントスケールに留まることが示唆された。そして、流況と魚類群集の解析および魚類分布モデルによる解析結果を踏まえると、河川生態系の種多様性を維持するためには流量の平均的規模だけでなく、出水などの時間的変動および最低流量が重要な要素であることが分かった。これらの成果およびモデルを活用することで、下流河川の生態系も考慮した最適な水資源配分やダム運用方法を検討することが可能となった。

研究成果の概要(英文):The present study aimed to elucidate the effect of a series of dams on ecosystems in downstream river sections and a brackish system in terms of organic matter dynamics, flow regime, and freshwater fish communities. The intensive field survey and model analyses were conducted in major rivers in Japan with a particular attention to Sagami River and Ibi River. The results showed that particulate organic matter derived from reservoirs was transported in downstream section more than 3km even in natural forested stream, and the reservoir effect on dissolved organic matter was limited within a segment scale due to the inflow from tributary and other drainage systems. In addition, the development of fish distribution model and its application indicates the importance of flow variability and minimum flow, not only long-term magnitude of flow, to sustain species richness of freshwater fish. Overall, those results and modeling techniques allow us to integrate the perspective of ecosystem conservation with conventional purposes of dams and to seek an optimal distribution of water resource and an effective dam operation from the viewpoint of ecosystem conservation.

交付決定額

(金額単位:円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 2011年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 2012年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 年度 | | | 0 |
| 年度 | | | 0 |
| 総計 | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

研究分野:複合新領域

科研費の分科・細目:環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード:ダム群・河川生態系・粒状有機物・分布型流出モデル

1. 研究開始当初の背景

ダム貯水池は流水環境を止水環境に変化させるだけでなく、河川生態系の分断化や水質悪化など、下流域の河川環境に対する影響も多く報告されている。国内の一級水系の 88%には複数の大型ダムが建設されており、流域内のダムの位置関係や相互作用が下流域への環境影響と密接な関係にあることが推測される。しかしながら、ダムの環境影響評価の多くは特定のダムを対象としており、その周辺に限った調査事例として報告されているが、ダムと下流河川の関係は未解明の部分が多い。治水・利水面でのダム群の連携はあるものの、ダム群が流域スケールで水域生態系に与えている影響については、研究事例が少なく、解明されていないのが現状である。

また、“森は海の恋人”と言われるように、河川は森林と沿岸の生態系をつなぐ重要なネットワークである。有機物・栄養塩などの物質輸送や回遊魚の定着など、河川では流水の連続的な環境を基盤とした特徴が多く知られている。日本における森林面積率が高いという地理的特性や漁業の社会的重要性を踏まえると、環境保全の観点でも流域内のダムを総合的に評価・運用する視点が重要となる。

したがって、ダム群と河川生態系の関係を解明することは、都市域を含む河川環境管理を効果的に行う上で重要であり、既設ダムの環境影響を最小限に抑え、生態系保全のために積極的に運用するために不可欠である。

2. 研究の目的

本研究ではダム群が河川下流域や汽水域の生態系に与える影響を物質輸送と流況に着目して解明することを目的とした。このような流域スケールでの研究は陸・川・海という生態系の連続性を解明するものでもあり、本研究はその連続性の中でのダムの環境影響を示し、またその緩和策を提示することを狙いとした。

3. 研究の方法

揖斐川水系(岐阜県)と相模川水系(山梨県、神奈川県)を対象とし、個別ダムおよびダム群が物質動態、流況、魚類相に与える環境影響を、現地調査とモデル解析により解明した。物質動態では主に粒状有機物と溶存有機物に着目し、それらの濃度だけでなく有機物の化学的特性を明らかにするための調査研究を実施した。具体的な課題として、(1)粒状有機物の動態、(2)溶存有機物の特性評価、(3)流況と魚類群集の関係、(4)流域スケールでの魚類分布モデルという4つの観点から以下に記す方法で研究を実施した。

(1) 粒状有機物の動態

徳山ダムを含む揖斐川上流域で 2008 年 5 月～2009 年 11 月に実施した調査を継続する形で、粒状有機物の分析および得られたデータ

の解析を行った。一般にダム湖下流では濁度が高くなるため、水中を漂う有機物をサイズで複数の溶存態と粒状態に分画し、それぞれの有機炭素濃度、元素組成、炭素と窒素の安定同位体比を定量分析した。その上で、ダム由来の有機物の流下距離および交換率を明らかにするために、3 起源の混合モデルを適用して粒状有機物の動態およびそれに対するダムの影響を評価した。

(2) 溶存有機物の特性評価

ダム貯水池を含めた流域内での溶存有機物(DOM)動態を評価するために、平成 2012 年冬期に相模川流域において水質調査を実施した。調査頻度は月 1 回であり、相模川本川と支川の中津川の上流域から下流域までを対象としており、調査地点は合計 16 点である。

DOM の分析は全有機炭素計で有機炭素濃度を定量した上で、分光光度計や蛍光分光光度計により DOM の分子特性を評価した。蛍光分光光度計では、3 次元蛍光スペクトル(EEM)が得られるが、相模川流域から得られた試料と国内外の標準腐植物質(河川・泥炭・土壌など 15 種)の EEM に Parallel Factor(PARAFAC)分析を適用することで解析を行った。以上により、濃度と分子特性の両面からダム群が DOM に与える影響を評価した。

(3) 流況と魚類群集の関係

国内の主要河川における流況と魚類群集の関係を明らかにするために、一級水系 57 河川を対象として、流況指標を用いた流況の定量評価とその指標と魚類種数の関係を統計的に解析した。魚類に対する流況以外の影響をできるだけ除くために、水質の良好な河川のみを対象とした($BOD < 2.0 \text{ mg L}^{-1}$, $NH_3-N < 0.2 \text{ mg L}^{-1}$, 総窒素 $< 2.0 \text{ mg L}^{-1}$)。流況に関しては、1998～2002 年の日平均流量に基づき、21 の流況指標(平均流量、出水頻度の季節性など)を算出し、地域ごとの特徴を整理した。その上で、流況と魚類種数の関係を魚類の主要な分類ごとに多変量解析を用いて調べた。

(4) 流域スケールでの魚類分布モデル

分布型流出モデルを基盤として、魚種ごとの生息の有無および個体密度を目的変数とした魚類分布モデルを作成した。生息場情報として、横断構造物で区切られた河道区間ごとの生息場を基礎物理条件、流況、水質、底質などにより評価した。ここで、流量については流域内の限られた地点でのみ観測されているため、分布型流出モデル(GBHM)を用いて空間内挿し、その結果より各河道区間の流況指標を算出する手法を提案した。このような生息場条件と魚類の分布(生息の有無、個体密度)を経験的に関係づけたモデルが魚類分布モデルとなる。

本研究ではこのような魚類分布モデルを相模川に適用した。目的変数には生息の有無および個体密度として、それぞれ 20 種以上の魚種との対応関係をモデル化した。なお、水質について

は流量安定時の実測水質から簡易的に空間内挿した。そして、精度よくモデル化できた種については、横断構造物やダム放流水に対する応答を感度分析により解析することで、横断構造物やダムの放流操作が下流域の魚類分布に与える影響を定量的に評価した。

4. 研究成果

(1) 粒状有機物の動態

徳山ダムを含む揖斐川上流域で実施した調査の結果、ダムの下流河川では上流河川に比べ粒径 $1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ の有機物濃度が増加し、 1mm よりも大きい粒径の有機物濃度は減少することが示された。またダムの下流河川では特に造網性トビケラが優占しており、上流河川と底生動物の種構成が異なっていた。有機物と底生動物を対象とした炭素・窒素安定同位体比分析の結果、ダム湖上流河川では落葉や河床付着膜が底生動物群集の餌資源となるのに対し、ダム湖下流 2.7km 区間ではダム湖で生産される有機物が下流に放流され餌資源となることが示された。よって、ダム下流数 km 区間では底生動物群集がダム由来の有機物にある程度依存している構造が明らかとなった。

(2) 溶存有機物の特性評価

相模川流域で得られた水試料と標準腐植物質を対象として 3 次元蛍光スペクトルを分析し、それらのデータに PARAFAC 分析を適用した。調査結果として、DOC 濃度は $0.29\sim 1.0\text{ mg/L}$ の範囲にあり、蛍光分析により DOM の化学的特性を複数の蛍光発色成分に分けることができた。PARAFAC 分析の結果として得られた第1~3成分は、腐植物質のような高分子 DOM に特徴的な化学構造を反映していることが示唆された。

相模川ではダム湖から採取した水サンプルの方が、その他の地点から採取した水サンプルよりも、多くの蛍光発色成分を含んでいた。中津川流域においては、すべての蛍光発色成分は上流から下流にかけて増加する傾向が見られた。相模川本川では、このような傾向は見られなかったが(K4~C1、図1)、これはこの区間に存在するダム貯水池と下水処理場が、河川水中の DOM の特性に影響を与えたためであると考えられる。この調査では水質特性が異なる3つのダム貯水池を含んでいるが、貯水池前後での第1~3成分の変化は貯水池の水質特性で異なること、また森林域を流下する中津川では流下とともに各成分の強度が増加していることも示された。

このような DOM の蛍光発色要素は、河川生態系と自然環境における DOM の物理化学的プロセスと密接な関係にあると考えられる。よって、今後は蛍光特性と DOM が有する環境水中での役割の対応関係を明確にすることで、DOM の新たな評価方法の開発につながる。

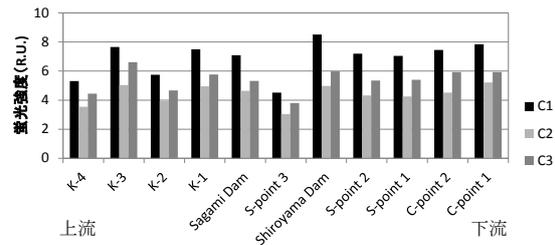


図1. PARAFAC 分析で得られた相模川本川 DOM の主要蛍光成分(C1~C3)の流下方向の変化。

(3) 流況と魚類群集の関係

国内の主要 57 河川を対象として、1998~2002 年の日平均流量から 21 の流況指標(平均流量、出水頻度の季節性など)を算出した。その結果、国内では北部に比べて南部に位置する河川において、平均流量が小さく、日平均流量の変動係数が大きいことから、流量の変動性が強いことが示された。この流況の空間分布は地域ごとの気候および流域特性が反映された結果だと考えられる。

そして、流況指標と魚類種数の関係を多変量解析によって調べた結果、緯度と水温に加えて、高い流量変動性がハゼ科および回遊魚の種多様性と有意な相関関係にあることが示された(図2)。また、流況指標との相関関係は淡水魚の主要分類ごとに異なっていた。このような結果はハゼ科が、九州、四国、中国地方などの流量変動性および攪乱頻度が高い河川において適応してきた結果だと

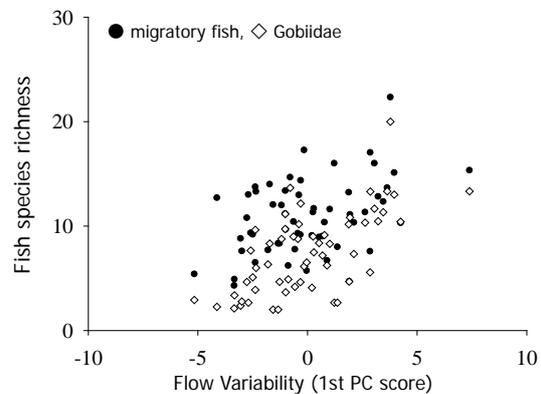


図2. 流量変動と魚類種数の関係(●回遊魚 $r = 0.43$, $p < 0.01$, ○ハゼ科 $r = 0.61$, $p < 0.01$)。も考えられる。よって、国内の淡水魚の種多様性の分布を理解するためには、流況や水温を含めた生物地理学的な視点で検討することが重要である。

(4) 流域スケールでの魚類分布モデル

分布型流出モデルを基盤として、魚種ごとの生息の有無および個体密度を目的変数とした魚類分布モデルを作成した(図3)。その結果、出現確率では 18 種、また個体密度では 10 種の流域内分布を精度よく記述することが可能となっ

た(図4)。

魚類分布モデルを用いることで、流域内でのダムや堰の配置を変えた状況やダムの放流操作を変化させた状況がモデル上で再現でき、流域スケールでの横断構造物やダム群の影響を魚類分布の観点から評価することを可能とした。たとえば、ダムの放流操作を自然の流況に近づけることで、個体密度が変化する種が存在することが示唆された。よって、この魚類分布モデルにより、ダムによる河川の分断化なども考慮して水資源利用の影響を多面的に評価でき、最適な水資源配分やダム運用方法を検討することが可能となった。

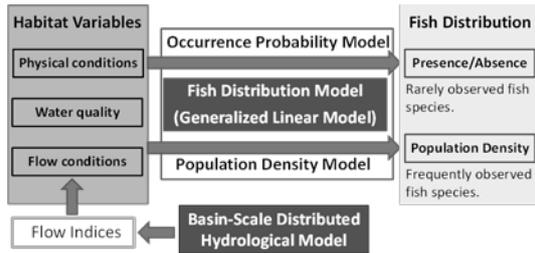


図3. 魚類分布モデルの構造。

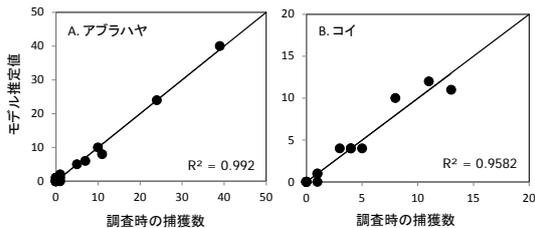


図4. 魚類分布モデルにより推定された種別個体数の推定精度の一例。

本研究の成果は、河川環境管理に関連する学術雑誌および国内外の多数の学会で発表されている。流域スケールでのダム群の環境影響を生態学的観点から物質動態と流況を評価した新規性の高い成果である。

特にダム貯水池に由来する粒状有機物は森林河川においても約 3km 以上下流に輸送されるが、徐々に河川由来の有機物に交換されることが示された。また、流量安定時には支川や各種排水の影響を受けるため、溶存態有機物に対するダムの影響はセグメントスケールに留まることが示唆された。

そして、主要河川における流況と魚類群集の解析および魚類分布モデルによる解析結果を踏まえると、河川生態系の種多様性を維持するためには流量の平均的規模だけでなく、出水などの時間的変動および最低流量が重要な要素であることが分かった。よって、これらの成果およびモデルを活用することで、下流河川の生態系も考慮した最適な水資源配分やダム運用方法を検討することが可能となった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- 1) Ogata T., Saavedra O.C.V., Yoshimura C., Liengcharernsit W., and Hirabayashi Y., Past and future hydrological simulations of Chao Phraya river basin, 土木学会論文集B, 査読有, 168, 2012, 197-1102. <http://dx.doi.org/10.2208/jscejhe.68.I.97>
- 2) 岩崎明希人, 吉村千洋, 横断構造物による河川の分断化が淡水魚の出現確率に及ぼす影響, 土木学会論文集B1, 査読有, 68, 2012, 1685-1690. <http://dx.doi.org/10.2208/jscejhe.68.I.685>
- 3) 増山貴明, 吉村千洋, 藤井学, 伊藤潤, 大谷絵利佳, 寒河江ダム貯水池と流入河川のエコトーンにおける堆積土砂と土壤環境特性の空間分布, 応用生態工学, 査読有, 14, 2011, 103-114. <http://dx.doi.org/10.3825/ece.14.103>
- 4) 小林慎也, 沼田貴明, 李富生, 廣岡佳弥子, 吉村千洋, 揖斐川上流河床に堆積した粒状有機物の組成と起源ならびに新設ダムの影響, 土木学会論文集G, 査読有, 67, 2011, III_123-131.
- 5) 葛口利貴, 吉村千洋, 小林慎也, 廣岡佳弥子, 李富生, ダム湖による河川の粒状有機物動態の変化と底生動物群集の関係, 環境工学研究論文集, 査読有, 47, 2010, 401-411.

[学会発表] (計 21 件)

- 1) Sui P., Iwasaki A., Ryo M., Saavedra O.C.V., Yoshimura C., Development of a Spatially Distributed Model of Fish Population Density for Habitat Assessment of Rivers, European Geosciences Union General Assembly 2013, 2013年4月7~12日, Vienna, Austria.
- 2) Yoshimura C., Effective Management Tools for Sustaining Water Environment in Southeast Asia, Scientific Seminar on Water Resources Sustainability and Source Water Vulnerability, 2013年3月22日, Phnom Penh, Cambodia.
- 3) Sui P., Saavedra O.C.V., Yoshimura C., Effective calibration of hydrological model for estimation of ecologically-important flow characteristics, 5th ASEAN Environmental Engineering Conference (AEEC), 2012年10月25~26日, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- 4) Yoshimura C., Sui P., Iwasaki A., Saavedra O.C.V., Linking Flow Characteristics with Fish Community in Rivers for Determining Environmental Flow in Basin and Global Scales, KEI International Water Symposium, 2012年9月14日, Seoul, Korea.
- 5) Yoshimura C., Iwasaki A., Iwasaki Y., Sui P., Saavedra O.C.V., Linking Flow Characteristics with Fish Community in

- Rivers for Determining Environmental Flow at Basin and Global Scales, AOGS-AGU(WPGM) Joint Assembly, 2012年8月12~17日, Singapore.
- 6) Sui P., Iwasaki A., Saavedra O.C.V., and Yoshimura C., Development of Basin-Scale Fish Distribution Model and its Application to Sagami River for Habitat Assessment, 2012 ASLO Aquatic Science Meeting, 2012年7月8~13日, 大津.
 - 7) Yoshimura C., Development of Basin-scale Fish Distribution Model and its Application for Habitat Assessment in Sagami River, Scientific Day “Engineering for Development of Cambodia”, 2012年5月3日, Phnom Penh, Cambodia.
 - 8) 今岡亮, 藤井学, 吉村千洋, 腐植物質の化学的性質が鉄との錯体形成に及ぼす影響, 日本水環境学会年会, 2012年3月16日, 東京.
 - 9) Ogata T., Saavedra O.C.V., Yoshimura C., Liengcharernsit W., and Hirabayashi Y., Past and future hydrological simulation of Chao Phraya river basin towards sediment transport, 水工学講演会, 2012年3月7日, 愛媛.
 - 10) 岩崎明希人, 吉村千洋, 横断構造物による河川の分断化が淡水魚の出現確率に及ぼす影響水工学講演会, 2012年3月7日, 愛媛.
 - 11) Ogata T., Saavedra O.C.V., Yoshimura C., Liengcharernsit W., and Hirabayashi Y., Thirty Years Hydrological Projection of Chao Phraya River Basin as Determined by Future Climate Change scenarios, The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference on Global Environment and Seminar of NRCT – JSPS Asian Core Program, 2012年1月18日, Bangkok, Thailand.
 - 12) Imaoka A., Fujii M., and Yoshimura C., Effects of chemical properties of humic substances on complexation with iron, The 4th AUN/SEED-Net Regional Conference on Global Environment and Seminar of NRCT – JSPS Asian Core Program, 2012年1月18日, Bangkok, Thailand.
 - 13) Yoshimura C., Fujii M., Otani E., Imaoka A., A new concept of multi-functional indicator of dissolved organic matter based on its physicochemical properties, The 4th ASEAN Environmental Engineering Conference, 2011年11月22日, Yogyakarta, Indonesia.
 - 14) 今岡亮, 藤井学, 吉村千洋, 腐植物質の化学的性質が鉄との錯体形成に及ぼす影響, 日本陸水学会年会, 2011年9月23日, 松江.
 - 15) Juntune P., Saavedra O.C.V., and Yoshimura C., Simulating the flow regime of Sagami River using a hydrological model for environmental flow purposes, International Symposium on Long Term Vision for the Sustainable Water & Land Use, 2011年9月21日, Adiyaman, Turkey.
 - 16) Iwasaki A., Yoshimura C., and Iwasaki Y., Linking physical habitat condition to fish communities at river basin scale for effective management of river ecosystem, International Symposium on Long Term Vision for the Sustainable Water & Land Use, 2011年9月21日, Adiyaman, Turkey.
 - 17) 岩崎明希人, 吉村千洋, 岩崎雄一, Effect of Fragmentation on Probability of Occurrence of Freshwater Fishes in the Sagami River, 応用生態工学会年会, 2011年9月16日, 金沢.
 - 18) 岩崎雄一, 梁政寛, 隋鵬哲, 吉村千洋, 世界の河川を対象とした流況指標と魚類種数の関係, 環境科学学会年会, 2011年9月8日, 西宮.
 - 19) Yoshimura C., Kawaguchi Y., Geographical distribution of flow regime and its relationship to fish species richness in major rivers in Japan, The 2nd Biennial Symposium of the International Society for River Science ISRS, 2011年8月11日, Berlin, Germany.
 - 20) Yoshimura C., Iwasaki Y., Ecological assessment of flow regime in rivers at catchment scale, International Symposium on Restoration and Conservation of Watershed Ecosystems: Linking Ecology, Hydrology and Geology, 2010年10月4日, 札幌.
 - 21) Yoshimura C., Iwata Y., Hashimoto Y., Hiradate S., Reservoir effects on particulate organic matter and associated metal transports in rivers, The ALSO & NABS Joint Meeting, 2010年6月11日, Santa Fe, USA.
- [図書] (計1件)
 吉村千洋(分担執筆) 2.1 有機物の流れ, p. 239-262. [ダム湖・ダム河川の生態系と管理] 谷田一三・村上哲生(編) 2010, 名古屋大学出版会, 340pp.
6. 研究組織
 (1) 研究代表者
 吉村 千洋 (YOSHIMURA CHIHIRO)
 東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授
 研究者番号: 10402091
 (2) 研究分担者
 なし
 (3) 連携研究者
 なし