

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2016

課題番号：26701013

研究課題名(和文)流域内に連鎖する水利施設群が水系物質動態に及ぼす複合的影響の解明

研究課題名(英文) Effects of a series of water intake structures on nutrient dynamics in mountainous river system

研究代表者

田代 喬 (Tashiro, Takashi)

名古屋大学・減災連携研究センター・准教授

研究者番号：30391618

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、流程に沿って一時取水を繰り返す水利施設群を有する河川を対象とし、水位・水温・水質の連続観測と生息生物の定量調査により、物質動態への連鎖的影響を分析した。その結果、堰下流では取水比流量に応じて「瀬切れ」の消長が異なり、瀬切れが生じる低水期には伏流水の寄与が高まって溶存物質濃度が上昇し、特異な表流水質が形成される可能性が示された。さらに、溶存酸素の収支を利用したOdumの代謝構造モデルを援用したところ、藻類を始めとする付着生物膜量に応じて、水質とともに生産・呼吸などの代謝特性が日周性を伴いながら季節的に変化すること、低水期の堰下流ではその変動が特に大きくなることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：This study was conducted above and below a run-of-river hydropower weirs and plants with particular references to their reducing / releasing waters, in order to clarify the effects of a series of water intake structures on the nutrient dynamics in mountainous river system. The Odum's concept of stream metabolism was adopted with the dissolved oxygen concentrations and the other water environmental variables such as water levels, temperatures and electric conductivities in combined with simultaneous practical investigations of attached algae, fish community and river water. According to the results, gross production (P), community respiration (R) and their ratio could be evaluated at each of the conditions. It also could be suggested the cumulative effects of the series of water intake structures with the degeneration of P and R variables in correspondences with the dissolved nutrient concentration, the algal and fish community structures, respectively.

研究分野：流域保全学

キーワード：生態系代謝 溶存酸素 溶存態イオン 付着藻類 魚類群集 水域連続性 山地溪流 流込み式水力発電

1. 研究開始当初の背景

流域に降り注ぐ降雨から始まり、地下水、河川、湖沼、海域へとつながる水・物質の流れは、人間を含めた流域圏の生態系を根幹から支えている。特に河川では、水流と土砂によって地形（物理基盤）が形成され、水・大気を介した移流・拡散と生産・呼吸などの生物活動による生元素の輸送・変換（物質循環）が生起している。したがって、健全な流域圏の生態系を保持・修復するには、生物の営みを伴う物質循環作用そのものを保全することが重要であり、そのためには、流域圏における水・物質フラックスを捉え、それに伴う生物応答を監視することが求められている。然るに近世・近年の河川においては、農業生産のための恒常的な灌漑取水、水力発電のための一時的な取水など、様々な形態の利水施設が流域の各所で建設されてきた。水域生態系にとって、利水施設群の設置・運用が水系ネットワークにおける物質動態に及ぼす影響は甚大であるにもかかわらず、単独で設置された大ダムの影響が論じられることが多く、より小規模ながら連鎖する利水施設群によって生じる影響は、ほとんど検討されてこなかった。

2. 研究の目的

本研究課題では、流域内に連鎖的に存在する複数の水利施設が、それらによって変質した水域生態系過程を介して、水系物質動態に及ぼす複合的な影響を明らかにする。地質、被覆などの流域の自然特性から水系ネットワークを類型化したうえで、灌漑や水力発電を目的とした取水施設（堰堤）が連鎖する区域を対象とし、水・栄養塩・土砂の輸送・変換過程と水生生物に関する調査・分析を並行して実施する。この際、取水施設を含む河道区間における生産・呼吸過程の変質と河川合流過程における水・物質の移流混合をモデル化することにより、水域生態系過程を介した水系物質動態の統合的解析を目指す。

3. 研究の方法

(1) 河道・流域特性および取水状況からみた調査適地の抽出

伊勢湾・三河湾に注ぐ水系における水利施設群と取水系統の配置状況について利水現況図から情報収集するとともに、流域内の地形図、表層地質図、土地被覆図を重ね合わせて地理情報システム上に整理することにより、典型的な河道・流域特性を有する調査地を抽出するとともに、流送物質に対して取水影響が顕著な調査地の選定を行った。

(2) 水・物質フラックス、生息生物の調査

水文・水質観測

堰堤による取水地点、発電所などからの放水地点の上下流において、水位、照度、電気

伝導度（ EC_{25} ）、溶存酸素濃度（DO）を連続観測しながら、同期間中、同調査地における水質の季節変化を精査するため、平水時に各地点で採取し濾過した試水について、主要陽・陰イオンの濃度を計測した。

付着藻類現存量調査

水質試料を採取した各地点において、同じく季節変化に着目しながら、平瀬の河床に存在する石礫上に生じた付着藻類を採取し、実験室に持ち帰って、クロロフィル a 量と強熱減量を定量化した。

生息魚類調査

水域中における高次消費者にして、流程に沿った遡上・降下を行う魚類を対象とし、堰堤による取水地点、発電所などからの放水地点の上下流において、電撃採捕により一時的に気絶したものを採取し、種を同定するとともに各個体の体長・体重（湿潤重量）を計測した。

(3) 生態系代謝構造の推定とその解釈

各地点で連続観測された溶存酸素濃度に Odum の理論を適用して、生産者による一次生産、群集全体の呼吸速度、空気界面との再曝気による溶存酸素濃度の時間変化を定式化した。さらに、夜間には植物の一次生産（光合成）が発現し得ないことを利用し、はじめに、呼吸速度、再曝気係数、ついで、（昼間の）一次生産速度を評価した。ここでは、水質・フラックスや各生物の現存量指標を、生産・呼吸速度といった機能的指標と結び付けて生態系過程を診断・評価することを目指す。

4. 研究成果

(1) 河道・流域特性および取水状況からみた調査適地の抽出

流水を貯留することなくそのまま利用する水利施設としての「流込み式」堰堤は、最も一般的な水力発電に利用されるが、伊勢湾・三河湾に注ぐ水系に関しては、木曾三川で最も多く、矢作川水系でこれに準ずる数量となった。これに、（潜在的）河川景観を規定する流域地質の分布状況を重ね合わせることに、本研究の調査適地としては、深成岩からなる矢作川水系の巴川流域が抽出された。

(2) 水・物質フラックス、生息生物の調査

水文・水質観測

堰堤、および、発電所などの取水・豊水施設の上下流における水位観測から、主として、降雨の無い夏季から冬季にかけて、堰堤下流の減水区間において発現する「瀬切れ」の消長が明らかにするとともに、堰堤からの取水強度（ \sim 取水比流量 = 使用水量 / 流域面積）による影響を考察した。なお、この瀬切れ時前後の EC_{25} の観測結果、採取試料水の溶存イオンの分析から、伏流水の流入が減水区間の

水質形成に寄与している可能性が示唆された。また、DO 飽和度を評価することにより、生産・呼吸作用の積算効果が傍証できるとなり、特に降雨イベントからの経過日数との関係により大きく変化する可能性が示された。これらは、表流水～伏流水間の水交換、降雨・流出過程における滞留時間が影響要因になっているものと考えられた。

附着藻類現存量調査

附着藻類については、堰堤下流の減水区間において、その上流区間と比べ、少ないクロロフィル a 量で多い有機物体量（強熱減量）を呈するアンバランス（活性の変化）が生じていることが示された。この傾向については、取水強度やシリーズ取水などによって影響度合いの濃淡は異なるが、過去の関連研究でも確認されていることから、流域に連鎖する水利施設群の影響が顕在化するフェーズの一つとして認識された。

生息魚類調査

生息魚類に関しては、ヤマトヌマエビなどの回遊性魚介類の存否により、横断工作物である堰堤による移動障害が明らかになった一方で、堰堤上下流に共通して生息する魚種については、季節的に生息場所を移動させていることが明らかになった。

発電所からの放水地点を挟む上下流で実施した調査からは、同一魚種であっても上流の減水区間に比べ、下流の流量回復区間における肥満度が有意に大きくなるなど、発電放水による「戻り水」が生態系回復に寄与する可能性が示された。

なお、魚類の生息密度の粗密は、生息場所適性のみならず、堰堤による移動障害によって大きな影響を受けており、また、後述する群集の呼吸速度にも少なからず影響を及ぼすことが明らかであった。これらの事実から、魚類の回遊行動が物質動態に及ぼす（間接的）影響も無視しえないものと考えられた。

(3) 生態系代謝構造の推定とその解釈

O₂ の理論に適用して推定された生産・呼吸などの代謝特性については、附着藻類の活性に応じて水質とともに日周性を伴いながら季節的に変化すること、低水期の堰堤下流ではその変動が特に大きくなることなどが明らかになった。また、前記したように、魚類の生息密度が群集呼吸速度の多寡を規定している可能性が示唆される結果を得た。

今回の観測により得られた成果を、一般化するに当たっては、単独の発電所による影響とその連鎖の影響を分けて記述するのはもとより、発電出力、使用水量、減水区間長などの諸元情報と流域面積などの河道特性を組み合わせたスクリーニングを行って類型化を進めたうえで、発電効率と生態影響との関係性を系統的に整理することが重要であるものと考えられた。

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 4 件)

田代 喬, 松谷隆祐, 戸田祐嗣 (2017): 夏季から冬季の溶存酸素濃度の変化からみた流込み式発電を有する山地溪流の代謝動態, 土木学会論文集 B1(水工学), 査読有, Vol.73, No.4, pp.1_1123-1_1128.

田代 喬 (2016): 御嶽山麓を流れる木曾川水系王滝川の水環境: 自然災害と水資源開発の影響, 陸の水 (Limnology in Tokai Region of Japan), 査読有, Vol.74, pp.5-11.

田代 喬 (2016): 木曾川最上流に位置する王滝川水系における水環境 水力発電、愛知用水による利水事業と御嶽山噴火、直下型地震の影響, 尾張工業用水協同組合「尾張工水たより」, 査読無, 第 32 号, pp.3-7.

田代 喬, 片岡輝之, スクカ・イエットミル, 辻本哲郎 (2015): 流込み式堰堤による発電取水が溪流生態系に及ぼす影響: 溶存酸素濃度の連続観測による生態系代謝評価, 土木学会論文集 B1(水工学), 査読有, Vol.71, No.4, 1_1129-1_1134.

〔学会発表〕(計 6 件)

田代 喬: 流込み式水力発電の水利用、発電効率と生態系影響の関係, 土木学会水工学委員会環境水理部会研究集会 2017 in 鹿児島, 鹿児島大学稲盛会館, 鹿児島市, 2017 年 6 月.

田代 喬, 松谷隆祐, 戸田祐嗣: 流込み式水力発電システムが水域生態系に及ぼす影響, 平成 28 年度土木学会水工学委員会環境水理部会研究集会 2016, 高松市生涯学習センターまなび CAN, 香川市, 2016 年 5 月.

田代 喬, 松谷隆祐, 辻本哲郎: 超音波流速計を用いた流れ場の可視化: 礫床河川への適用事例, 日本陸水学会東海支部会第 17 回研究発表会, 東海大学, 清水市, 2015 年 2 月.

田代 喬, 片岡輝之, スクカ・イエットミル, 辻本哲郎: 流込み式水力発電が山地河川の生態系に及ぼす影響(1): 夏季非出水期の堰堤下流における代謝構造の変化と附着藻類自濁作用の発現, 応用生態工学会第 18 回研究発表会, 首都大学東京, 八王子市, 2014 年 9 月.

片岡輝之, 田代 喬, スクカ・イエットミル, 辻本哲郎: 流込み式水力発電が山地河川の生態系に及ぼす影響(2): 冬季非出水期の減水区間における代謝構造変質とその流下方向変化, 応用生態工学会第 18 回研究発表会, 首都大学東京, 八王

子市，2014年9月。
松谷隆佑，田代 喬，辻本哲郎：流込み式水力発電が山地河川の生態系に及ぼす影響(3)：秋季から冬季にかけての生息魚類群集の応答，応用生態工学会第18回研究発表会，首都大学東京，八王子市，2014年9月。

〔図書〕(計2件)

NAGAYAMA, Shigeya, TASHIRO, Takashi and KITAMURA, Jun-ichi: Inland Water Landscape: Structural and Functional Changes in the Ecosystem. In H. Shimizu, C. Takatori and N. Kawaguchi (eds.), Labor Forces and Landscape Management: Japanese Case Studies, pp.107-120, Springer Singapore, 2017.
KITAMURA, Jun-ichi, TASHIRO, Takashi and NAGAYAMA, Shigeya: Inland Water System Planning: Management for Ecosystem Rehabilitation. In H. Shimizu, C. Takatori and N. Kawaguchi (eds.), Labor Forces and Landscape Management: Japanese Case Studies, pp.415-430, Springer Singapore, 2017.

6. 研究組織

(1)研究代表者

田代 喬 (TASHIRO TAKASHI)
名古屋大学・減災連携研究センター
・寄附研究部門准教授
研究者番号：30391618

(2)研究協力者

辻本哲郎 (TSUJIMOTO TETSURO)
名古屋大学・工学研究科・名誉教授
研究者番号：20115885

戸田祐嗣 (TODA YUJI)
名古屋大学・工学研究科・教授
研究者番号：60301173

野崎健太郎 (NOZAKI KENTARO)
椛山女学園大学・教育学部・准教授
研究者番号：90350967

スクカ・イエットミル (SKUKA JETMIR)
Specialist for Hydro-energy and renewables, National Nuclear Agency, Republic of Albania

片岡輝之 (KATAOKA TERUYUKI)
名古屋大学・環境学研究科・博士課程前期課程 (2012年4月～2014年3月在学)

松谷隆祐 (MATSUTANI RYUSUKE)
名古屋大学・環境学研究科・博士課程前期課程 (2014年4月～2016年3月在学)