

令和 3 年 8 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03408

研究課題名(和文) 河川と水辺環境保全のための地下生物指標による生態系健全度・回復力評価

研究課題名(英文) Assessment of groundwater habitat for conservation of rivers

研究代表者

根岸 淳二郎 (Negishi, Junjiro)

北海道大学・地球環境科学研究所・准教授

研究者番号：90423029

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,400,000円

研究成果の概要(和文)：河川地下の飽和間隙水域(間隙域)が河川・河畔生態系食物網にエネルギーを供給する機能を解明することを目的とし、次の主に4つの成果を得た。間隙性水生昆虫を特定し、その他無脊椎動物を含む間隙域食物網を可視化した。特定した間隙性昆虫の定量化によりその羽化成虫の移動を介して河畔消費者へ供給される物質量を推定した。間隙性生物の洪水および栄養塩付加への応答を明らかにした。間隙性水生昆虫を用いた河川健全性評価手法の提案を行った。総じて、相対的に容易に捕獲・計測が可能である羽化成虫に着目して、河川と水辺環境保全のための地下生物指標による生態系健全度・回復力評価の技術および概念基盤を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

河川生態学の新規知見および生態系管理への実用性の観点で3つの重要な成果を挙げた。第一に、間隙域生態系の構造と機能を河畔域と物質循環の観点から有機的に結びつけた。河川を飽和間隙水域まで総体として包括的に環境評価する重要性が示唆された。第二に、河床間隙域の食物網を詳細に可視化し、陸域から地下域に連結した食物網構造を明らかにした。最後に、管理に実践的な評価方法を創造した。間隙域も含めた環境評価の最大の障壁は、間隙域調査・測定・観察が物理的に極めて困難な点である。そのブレイクスルーとして、相対的に容易に捕獲・計測が可能である羽化成虫に着目して、間接的に地下域の環境評価をする手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：In order to elucidate the ecological function of saturated interstitial zone underneath the riverbed (hyporheic zone) in transferring resource to river-riparian food web, the following four major findings were obtained. First, the food web in the hyporheic zone was visualized with the identification of aquatic insect species adapted to hyporheic habitat (hyporheic species). Second, the amount of resource provided from the hyporheic zone to the riparian zone was estimated by focusing on hyporheic species. Third, the responses of macroinvertebrate community including hyporheic species to floods and nutrient pollution in surface water were measured. Overall, this research project comprehensively provided techniques and a conceptual scheme useful in the assessment of river-riparian environmental health based on hyporheic species in particular by focusing on their adults that are easier to catch in comparison with their aquatic larvae in physically concealed hyporheic zone.

研究分野：河川生態学、生態系管理

キーワード：河川 環境評価手法 地下 指標種 物質循環 食物網

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

河川・河畔生態系は、最も生物多様性が高い系の一つであり、その環境保全は様々な生態系サービスの供給・生物多様性の維持の観点から重要である。一方で、生物生息場としての質は中下流域で著しく劣化している。ダム建設や河川改修により、河道かく乱が低下し、中下流域において河原が樹木に覆われる現象(樹林化)あるいは水質汚濁がその要因として挙げられる。また、近年の気候変動による影響も顕在化している。よって、継続的な人為的環境変化(水質汚濁・河川改修)に対する生態系健全度に加えて気候変動に伴う突発的環境変動からの回復力(レジリエンス)の評価および機構解明が急務である。しかしながら、効果的な自然環境・生態系の管理に必要な生態系健全度評価の目標値・尺度が不十分である。

2. 研究の目的

本研究は、河川地下の飽和間隙水域(以下、間隙域とも呼称)が河川・河畔生態系の食物網にエネルギーを供給する機能を解明することを目的とした。具体的に次の項目に着目した。機能を駆動する間隙域由来の羽化水生昆虫種を特定し、河畔消費者に潜在的に利用される物質として推定する。その推定値の継続的および突発的環境変化に対する応答を定量評価し、間隙域を考慮した河川・河畔の環境健全度とレジリエンス評価の簡易的手法を開発する。今後さらに加速する環境変化下での効率的な河川管理と生態系サービスの持続的享受に貢献し、地下域・水域・陸域間のエネルギーの流れを明示することで生態学分野に革新的な実証知見を提供する。

3. 研究の方法

北海道東部の比較的自然度が高い扇状地河川である十勝川支流札内川(図1)を主な対象に、間隙域に特に注目し、昆虫を地下生物指標として用いた生態系健全度評価に関わる様々な野外観察や測定を行った。当該地域では2016年に大型台風が連続通過し河川生態系へ大きな影響が及んだ。羽化昆虫を捕獲するために河畔域にトラップを設置、あるいは河床面や間隙域の無脊椎動物採取を行った。また、得られた生物試料の一部に対して炭素・窒素安定同位体比の測定を行うことで食物網構造の把握および栄養塩付加の影響などを定量化した。この中で、河畔域で *Alloperla ishikariana*

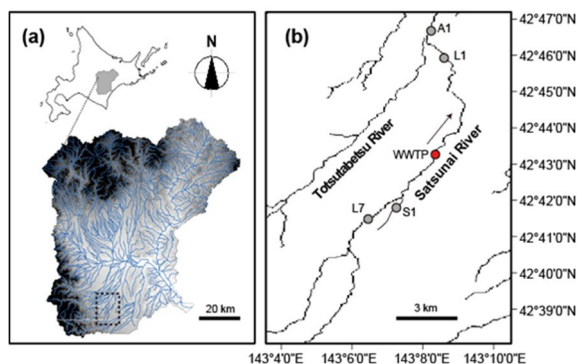


図1 十勝川流域と主な調査地点

(カワゲラ目ミドリカワゲラ科に属するイシカリミドリカワゲラ; 平均体長・翅長ともに約10ミリ)の成虫を数多く確認した。一方で、この幼虫を河床面の底生動物サンプルから得ることは非常に希であった。これらの観察より、この種の多くは地下域に生息し、本種やその羽化個体の動態に着目することで包括的に河床間隙水域の生態系の健全性を評価できるという仮説を得た。したがって、多くの測定は本種を含む底生動物相の水生幼虫および陸生成虫の動態に関わるものとした。

4. 研究成果

主な4つの成果を順に報告し、得られた成果の国内外における位置づけとインパクト、および今後の展望を最後に示す。

間隙性水生昆虫の特定と間隙域における食物網

間隙域と河床表面に生息する群集を比較することでイシカリミドリカワゲラは、仮説通り、河床間隙水域の水生昆虫相において数的に優占しており、河床の飽和間隙水域を特徴付ける種であることが示された(図2)。成虫相に注目しても、水生昆虫群集の数的優占種であることが示された。また、本種、ヨコエビ亜目、ミミズ目などと餌資源の基盤となりうる一

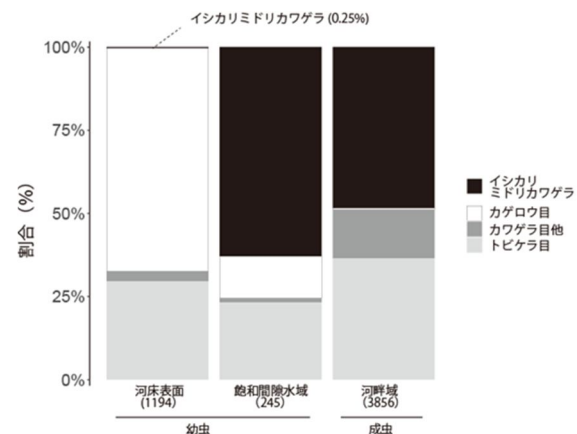


図2 数的優占種であるカワゲラ科1種

次生産者(河床表面で得られた付着藻類や間隙域内で採取した細粒状有機物)について食物網構造を検討した。この結果、対象とした大型無脊椎動物群集は一次生産者の混合物をエサ資源基盤として利用していること、そして、ヨコエビ亜目が最上位捕食者として位置し、イシカリミドリカワゲラが二次消費者として下位生物との中間栄養段階に位置することが明らかになった(図3)。

間隙性水生昆虫の羽化成虫による
河畔消費者へ供給される物質量の
推定

年間を通じた観測によりイシカリミ
ドリカワゲラの生活史を把握した結果、
成虫は主に6・7月に羽化しその幼虫は
3年間間隙域で生息することが明らか
になった(図4)。この知見と から得
た食物網の知見から、本種の移動を観測
し物質量として定量化することで、河床
間隙域由来の物質が河畔消費者へ供給
される量やその時間変化を定量化でき
るという論理基盤を確立した。河畔で採取
した本種成虫を炭素および窒素量として
算出し、本種の羽化が活発な夏季には河川
から供給される羽化個体を介した物質
量のおよそ70%が本種で占められることが明
らかとなった(図5)。

間隙性生物およびその他水生昆虫相
の洪水および栄養塩付加への応答

2016年の洪水前に採取したデータと本
研究プロジェクト期間中に該当する洪水
事後に採取した羽化水生昆虫成虫の群集
データを解析し、洪水からの河川・水辺生
態系の回復の程度を定量化した。羽化昆虫
相の群集構造は回復を示しているが、間隙
種であるイシカリミドリカワゲラの回復
が起こらず著しい個体数低下を呈した。一
方で、本種成虫と幼虫を同所的に捕獲し窒
素・炭素安定同位体比を比較した。この結
果、間隙域の幼虫において、人為的活動に
由来する窒素の体組織への同化が示唆さ
れ、さらに、その影響程度は成虫への測定
で代替できることが明らかになった(図
6)。

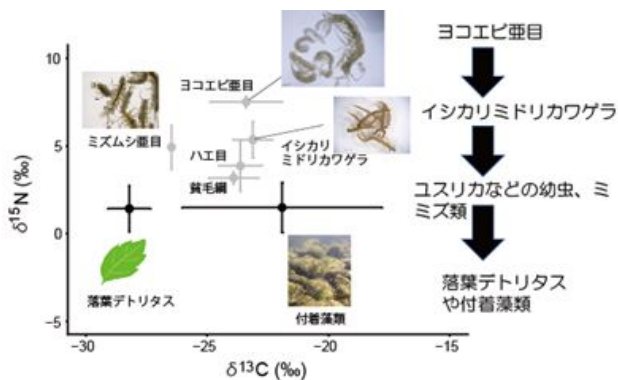


図3 CN 安定同位体比に基づく間隙域食物網

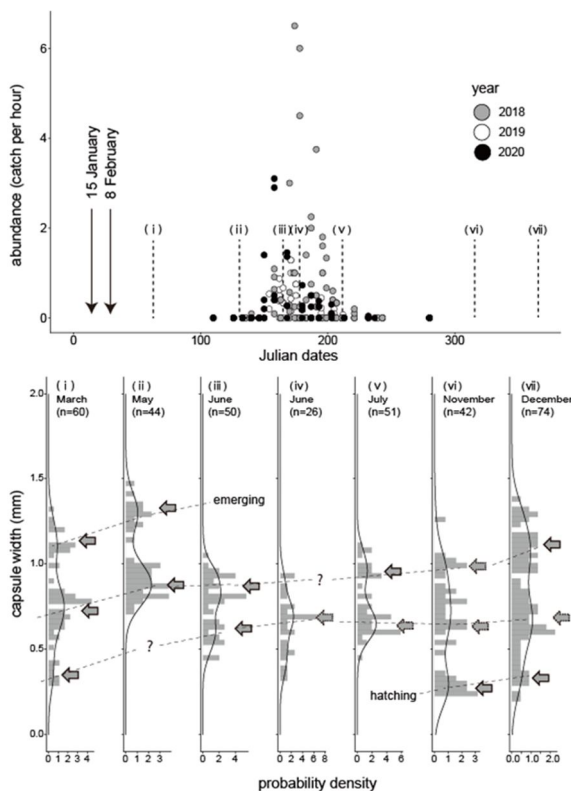


図4 成虫捕獲数(上)と幼虫サイズ(下)

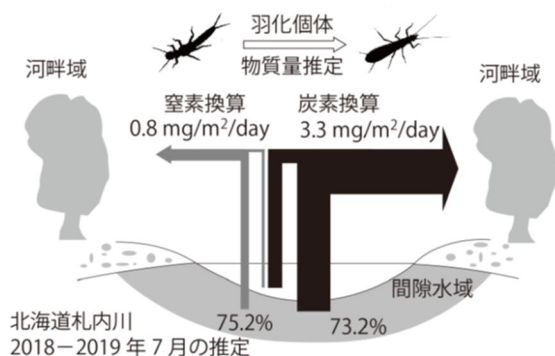


図5 陸域へ炭素・窒素移送量推定値

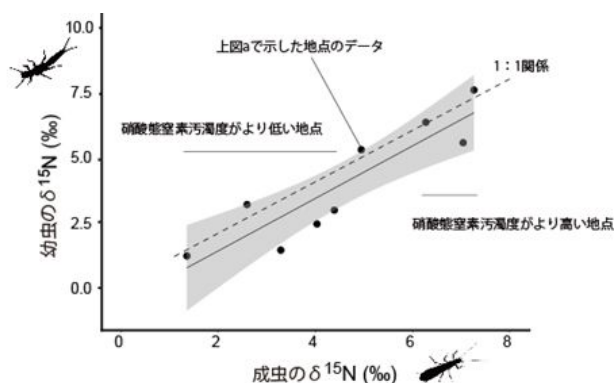
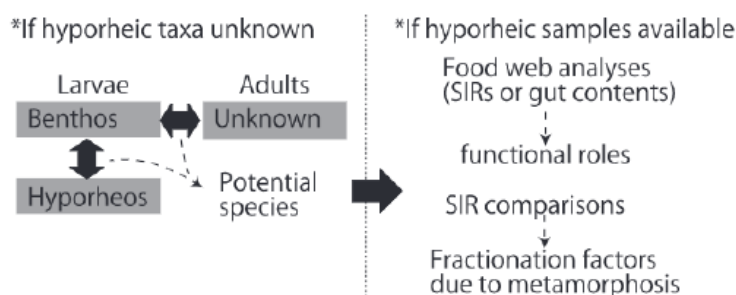


図6 幼虫と成虫の窒素安定同位体比関係

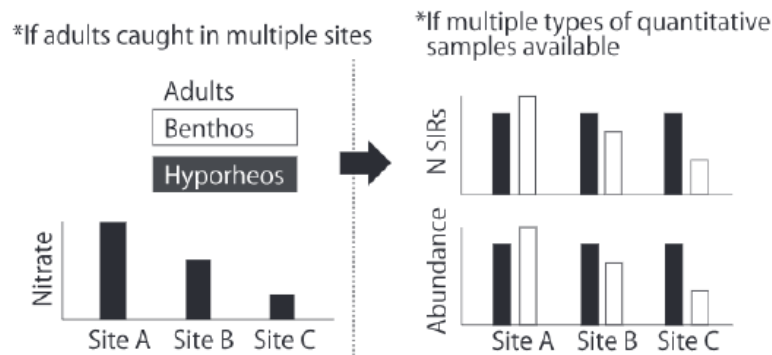
間隙性水生昆虫を用いた河川健全性評価手法の提案

上述 から までの結果および既往の知見の詳細なレビューに基づき、健全度評価における作業ステップを整理した(図7)。第一に、河床表面と間隙域の大型無脊椎動物群集データを取得し、種の存在や個体数割合を比較することで対象河川や区間の間隙性指標水生昆虫を特定する。この際、一般的な水環境モニタリング等で行われている底生動物採取データで得られている種リストを用いることで作業が効率化できる。間隙性群集の直接的な採取が困難な場合、羽化昆虫を採取し河床面からの出現種リストと比較することで間隙性の種特定をある程度行うことが可能である。第二に、前ステップで特性した間隙環境指標種を用いて、人為的要因に関わる事項を含む各種環境条件の測定値と羽化成虫個体数、体組織の安定同位体比やその群集構造(複数種がいた場合は特に重要)の対応を検討する。最後に、この対応関係をモデル化し、その精度が高い場合に健全性評価の指標として用いる。間隙域の群集サンプルが取得できる場合は、食物網解析を行うことで間隙域の物質循環や対象種の生態系における機能も理解できる。このモデルを基に、河床間隙域も含めた河川環境健全度評価を広域、高時間解像度で行うことが可能になる。一般的にその採取が困難な幼虫を必要とするステップを最小限にして成虫採取とその測定に置き換えて環境評価に用いることがこの手法の有用性を高める上で極めて重要である。

Step 1. Identification & calibration



Step 2. Capture & measurement



Step 3. Implications & applications to monitoring

- *N SIR results → Does hyporheos assimilate anthropogenic N as much as benthos?
- *Abundance results → Does hyporheos numerically respond to anthropogenic N as much as benthos?
- *Knowledge of functional roles provides clues to mechanisms behind patterns
- *Continuous monitoring helps appreciation of structure and function of hyporheic zone and allows detection of impacts of human activities in hyporheic zone as an integral component of river ecosystems

図7 間隙性水生昆虫種を用いた河川・水辺健全度評価手法の概念図

本研究プロジェクトで得られた知見は河川生態学の新規知見および生態系管理への実用性の観点から次に挙げるいくつかの点で大きな価値を有する。第一に、間隙域生態系の構造と機能を河畔域と物質循環の観点から有機的に結びつける実証データを提供した点である。これまで河川内での諸機能からその重要性が指摘されてきた間隙域を陸域とつなげることで、河川を河畔域から河床地下に位置する飽和間隙水域まで総体として包括的に環境評価する重要性が示唆された。このような定量化に基づいた視点の提案は世界初である。第二に、河床間隙域の食物網を詳細に可視化した。世界的にも、非常に稀有な知見であり、河川表面水から陸域への食物網のつながりに加えて新たに地下域に連結した食物網構造を明らかにした。最後に、管理に実践的な評価方法を創造した点である。間隙域も含めた環境評価の最大の障壁は、間隙域調査・測定・観察が物理的に極めて困難な点である。本研究は、そのブレイクスルーとして、相対的に容易に捕獲・計測が可能である羽化成虫に着目して、間接的に地下域の環境評価をする手法を提案した。

今後、多点で同様のアプローチを試行し、その有用性と精度をより詳細にすることでモニタリング手法としての有用性が高まると考える。実際に、札内川以外に広域5河川での本評価手法の有用性検討の試行を行ったところ、水質汚濁の程度や細粒土砂成分含有量の多い河川では、河床内のイシカリミドリカワゲラの幼虫および河畔で捕獲された成虫個体数もその個体数が大きく減少した。このことは、地下部環境評価において本種の個体数の大小を指標として機能する可能性が高いことを示唆した。一方で、予想に反する結果としては、洪水に対する間隙生物の応答が挙げられる。一般的に、洪水などのかく乱からある程度隔離されている間隙域は、洪水への生態系抵抗性を高めるレフュージ（避難場所）として整理されてきた。本研究では、間隙性カワゲラ科の一種について、洪水後に生息数が著しく低下した可能性がある。このような報告はなく、今後想定される気候変動とさらなる洪水頻度や規模の上昇に伴う生態系の頑強性を予測・検討する際に非常に有用な示唆に富む知見である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Rahman Mirza A. T. M. Tanvir, Negishi Junjiro N., Akasaka Takumi, Nakamura Futoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Estimates of resource transfer via winged adult insects from the hyporheic zone in a gravel bed river	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 4656 ~ 4669
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ece3.7366	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Alam Md. Khorshed, Negishi Junjiro N., Rahman Mirza A.T.M. Tanvir, Rodulfo Tolod Janine	4. 巻 118
2. 論文標題 Stable isotope ratios of emergent adult aquatic insects can be used as indicators of water pollution in the hyporheic food web	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecological Indicators	6. 最初と最後の頁 106738 ~ 106738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecolind.2020.106738	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Alam Md. Khorshed, Negishi Junjiro N., Pongsivapai Pongpet, Yamashita Shohei, Nakagawa Tomohiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Additive Effects of Sediment and Nutrient on Leaf Litter Decomposition and Macroinvertebrates in Hyporheic Zone	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 1340 ~ 1340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w13101340	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Rahman Mirza A.T.M. Tanvir, Negishi Junjiro N., Alam Md. Khorshed, Yiyang Gao, Tolod Janine Rodulfo, Pongsivapai Pongpet	4. 巻 -
2. 論文標題 Lateral and longitudinal flight dispersals of a stonefly, <i>Alloperla ishikariana</i> (Plecoptera, Chloroperlidae), from the hyporheic zone in a gravel-bed river in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Limnologica	6. 最初と最後の頁 125886 ~ 125886
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.limno.2021.125886	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Negishi Junjiro N., Hibino Aiko, Miura Kazuki, Kawanishi Ryota, Watanabe Nozomi, Toyoda Kazuhiro	4. 巻 38
2. 論文標題 Coupled benthic?hyporheic responses of macroinvertebrates to surface water pollution in a gravel-bed river	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Freshwater Science	6. 最初と最後の頁 591 ~ 604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1086/705000	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Negishi Junjiro, Terui Akira, Nessa Badrun, Miura Kazuki, Oiso Takeaki, Sumitomo Keizo, Kyuka Tomoko, Yonemoto Mitsuaki, Nakamura Futoshi	4. 巻 15
2. 論文標題 High resilience of aquatic community to a 100-year flood in a gravel-bed river	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 landscape and ecological engineering	6. 最初と最後の頁 143-154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11355-019-00373-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 根岸淳二郎、川西亮太、宇野裕美、東城幸治	4. 巻 55
2. 論文標題 河川と水辺環境保全のための地下生物指標による生態系健全度評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 昆虫と自然	6. 最初と最後の頁 26-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 中川智裕, 根岸淳二郎, 中村太士, Pongsivapai Pongpet, Alam・MD・Khorshed, 山下祥平, Wu Junyi
2. 発表標題 河畔林内部を飛翔する水生昆虫成虫の空間分布
3. 学会等名 応用生態工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ALAM MD KHORSHED , Junjiro N. Negishi , Pongsivapai Pongpet , Tomohiro Nakagawa , Shohei Yamashita
2. 発表標題 Influence of multiple stressors on the hyporheic organic matter decomposition and macro-invertebrates in a gravel-bed river
3. 学会等名 応用生態工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mirza ATM Tanvir Rahman , Junjiro N. Negishi , Md. Khorshed Alam , Gao Yiyang , Janine Rodulfo Tolod , Pongpet Pongsivapai
2. 発表標題 Estimation of lateral and longitudinal flight dispersal distances of an amphibiotic stonefly, <i>Alloperla ishikariana</i> , from the hyporheic zone in a gravel-bed river
3. 学会等名 応用生態工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mirza A.T.M Tanvir Rahman , Junjiro N. Negishi , Takumi Akasaka , Futoshi Nakamura
2. 発表標題 Estimation of aquatic resources derived from the hyporheic zone via amphibiotic insects in a gravel-bed river
3. 学会等名 British Ecological Society annual meeting (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川智裕 , 根岸淳二郎 , 中村太士 , Pongsivapai Pongpet , Alam · MD · Khorshed , 山下祥平 , Wu Junyi
2. 発表標題 河畔林内部を飛翔する水生昆虫成虫の空間分布
3. 学会等名 応用生態工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ALAM MD KHORSHED , Junjiro N. Negishi , Pongsivapai Pongpet , Tomohiro Nakagawa , Shohei Yamashita
2. 発表標題 Influence of multiple stressors on the hyporheic organic matter decomposition and macro-invertebrates in a gravel-bed river
3. 学会等名 応用生態工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mirza ATM Tanvir Rahman , Junjiro N. Negishi , Md. Khorshed Alam , Gao Yiyang , Janine Rodulfo Tolod , Pongpet Pongsivapai
2. 発表標題 Estimation of lateral and longitudinal flight dispersal distances of an amphibiotic stonefly, <i>Alloperla ishikariana</i> , from the hyporheic zone in a gravel-bed river
3. 学会等名 応用生態工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mirza A.T.M Tanvir Rahman , Junjiro N. Negishi , Takumi Akasaka , Futoshi Nakamura
2. 発表標題 Estimation of aquatic resources derived from the hyporheic zone via amphibiotic insects in a gravel-bed river
3. 学会等名 British Ecological Society annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川智裕、根岸淳二郎、中村太士
2. 発表標題 イシカリミドリカワゲラ(<i>Alloperla ishikariana</i>)成虫の河川横断方向における 分布
3. 学会等名 応用生態工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rahman Mirza ATM tanvir, Negishi Junjiro, Alam Md. Khorshed, Gao Yiyang, Tolod Janine, Pongsivapai Pogpet
2. 発表標題 A linkage between the underground and the land: Dispersal of hyporheos from a gravel bed river
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Alam Md. Khorshed, Negishi Junjiro, Rahmane Mirza A T M Tanvir, Gao Yiyang, Tolod Janine
2. 発表標題 Adult aquatic insects as sentinels of pollution effects on hyporheic food web
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Negishi Junjiro
2. 発表標題 Flood levees as habitat: a potential for green design
3. 学会等名 2018 ICLEE 9th Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Negishi Junjiro
2. 発表標題 GROUNDWATER-SURFACE WATER INTERACTIONS IN HUMAN ALTERED LANDSCAPES
3. 学会等名 2nd Philippine Symposium on Freshwater Biodiversity and Ecosystems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Junjiro N. Negishi (edited by Robert M. Hughes et al.)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 American Fisheries Society	5. 総ページ数 523
3. 書名 Advances in Understanding Landscape Influences on Freshwater Habitats and Biological Assemblages	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	東城 幸治 (Tojo Koji) (30377618)	信州大学・学術研究院理学系・教授 (13601)	
研究分担者	宇野 裕美 (Uno Hiromi) (30803499)	京都大学・生態学研究センター・特定准教授 (14301)	
研究分担者	川西 亮太 (Kawanishi Ryota) (50609279)	北海道大学・地球環境科学研究院・特任助教 (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------