

配布先：文部科学記者会，科学記者会，環境省記者クラブ，環境問題研究会，環境記者会，  
松本市政記者会，長野市政記者会

2023年4月17日

報道機関 各位

国立大学法人 信州大学

### Proc Roy Soc B（英国王立協会紀要 B）での論文公表

## 未曾有の洪水（2019年台風19号）における水生昆虫の抵抗力と回復力評価： 洪水前後での個体群構造と遺伝的多様性の比較から見てきた驚くべき適応力

### 【研究成果のポイント】

- 2019年に東日本を襲撃した台風19号は、千曲川（信濃川）水系では20-21世紀の観測史上最大の河川洪水を引き起こし、甚大な被害をもたらした（図1）。
- この洪水は、人間生活だけでなく、河川生物にとっても重大な影響を与えたと予想され、その影響評価と回復プロセス究明を目的に本研究が取り組まれた。
- 千曲川（信濃川）流域の広域（図2）を対象に、洪水前に精度の高い定量的調査や膨大な解析数からなる遺伝子解析を実施していた水生昆虫を対象に、洪水後にも同一の手法で調査が実施された。予測が不可能な大規模洪水に対し、洪水前の精緻なデータが取得されており、Before-After 比較が実施されたこと自体が世界的にも稀なケースである。

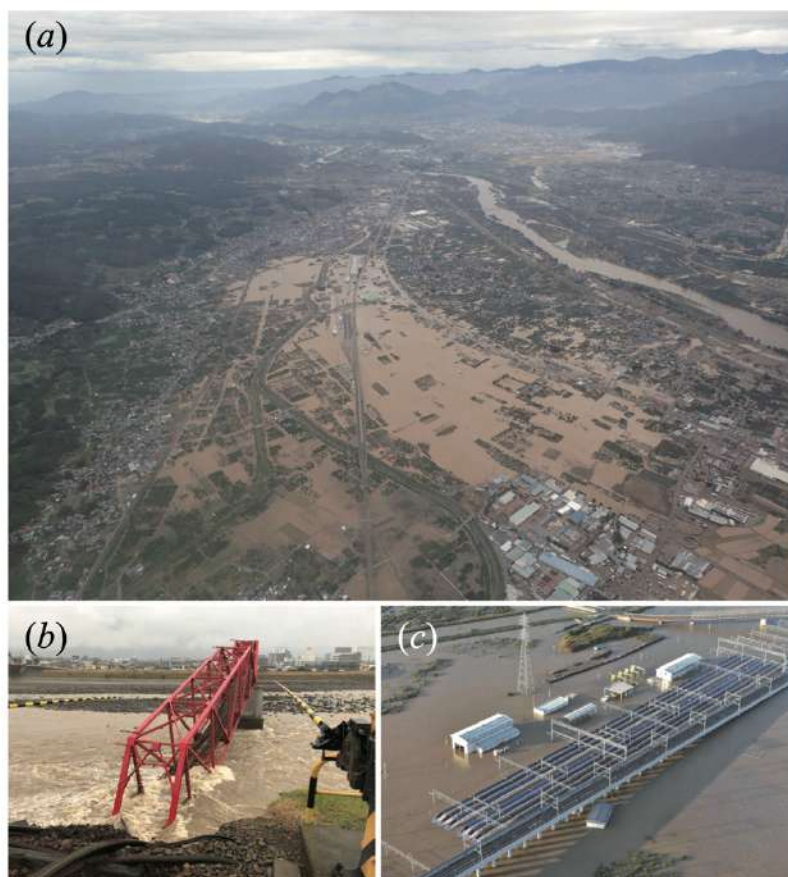


図1. 2019年10月12-13日に東日本を襲撃した台風19号による洪水被害。(a) 長野市内の洪水。写真の右から上部に流れるのが千曲川。写真中央部は浸水被害を受けた新幹線の駐機場（cは角度を変えて撮影された拡大写真）。(b) 上田市内・千曲川に架かる上田電鉄の鉄橋の崩落。(c) 長野市内・新幹線の駐機場の浸水被害。写真はいずれも国土交通省北陸地方整備局（千曲川河川事務所）より提供いただいたもの（論文 Fig. S3 より）

- 欧米を中心とした既往の研究によると、世紀レベル（100年に1度程度）の大規模洪水では、水生昆虫群集は大きなダメージを受け、その回復には複数年から十年を超えるような長い時間を要するとされてきた。
- しかしながら、千曲川（信濃川）中流域に優占する水生昆虫種（チラカゲロウ；図3）では、洪水から1年後には洪水前と変わらないレベルでの個体群構造（密度・バイオマス）、遺伝的多様性であることが明らかとなった。← **世界的にも前例のない「想定外」の結果**
- 本研究で実施された遺伝子解析のサンプルサイズで（洪水前330個体、洪水後350個体）、大規模洪水の前後における遺伝的多様性を比較・評価するような試みは、世界的にも類のない取組である。さらに、大規模洪水前後での遺伝的多様性に差異がみられないことに加えて、遺伝的多様性そのものの高い値についても、驚くべき結果であった。
- このような結果は、アジアモンスーン地域ゆえの豊富な水環境や急流河川の多い日本列島の地史や地理・地形に因るものと考えられる。すなわち、頻繁に洪水攪乱を経験してきた歴史のなかで自然選択されてきた（進化してきた）日本の水生昆虫が有する「洪水に対する**抵抗性（レジスタンス）**と**回復力（レジリエンス）**」を示すものである。

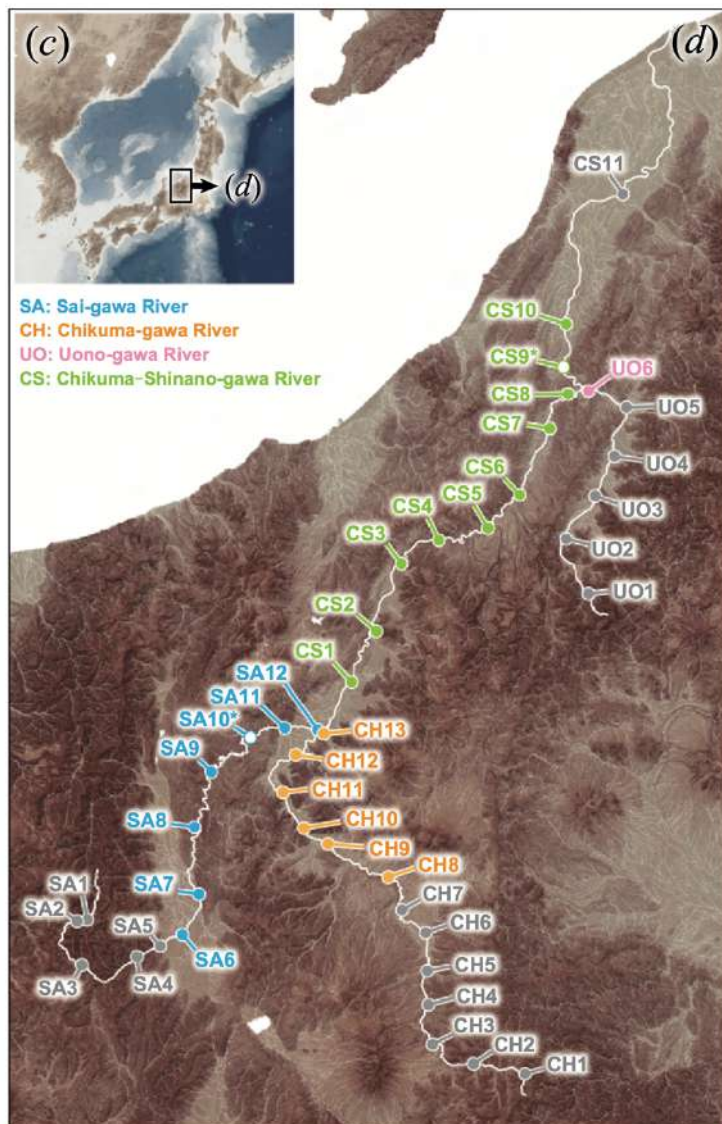


図2. 千曲（信濃）川における調査地点。  
 CH: 千曲川本流（犀川合流点よりも上流側）、SA: 犀川・梓川、CS: 千曲川・信濃川本流（犀川合流点よりも下流側）、UO: 魚野川（論文 Fig. 1c, d より）

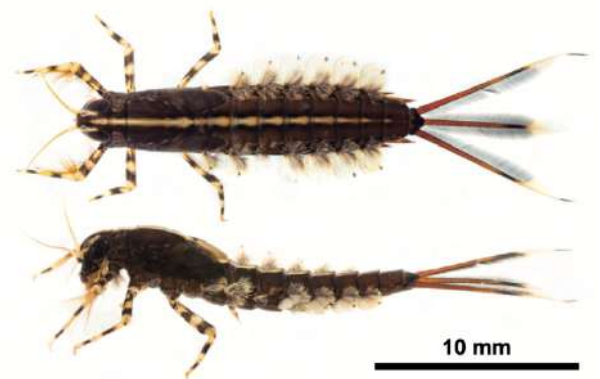


図3. チラカゲロウ幼虫の写真（背面・左側面写真）（論文 Fig. 1b より）

## 【背景】

信州大学 学術研究院 理学系（理学部 理学科 生物学コース）・東城幸治教授の研究室では、国土交通省「河川生態学術研究会」の千曲川河川グループの構成員として、20年近くにわたり千曲川（信濃川）水系内での水生生物を対象とした河川生態学的な調査・研究を実施してきた。この過程で、水系内の広域に40地点超の調査定点を設定し、定量的な調査・研究を展開してきた。そのため、2019年10月12-13日に東日本を襲った台風19号（台風ハギビス）による大規模洪水以前に精緻なデータを取得しており、この洪水前後での比較を可能とした。

こうした大規模洪水がもたらす河川生物への影響評価では、多くの場合、洪水後に調査が開始されることから、回復プロセスを追跡（モニタリング）することがメインの建て付けの調査研究となる。洪水前後での個体群構造や遺伝構造を精緻かつ膨大なデータの比較により議論するような研究は、世界的にも類のない希少な事例と言える。

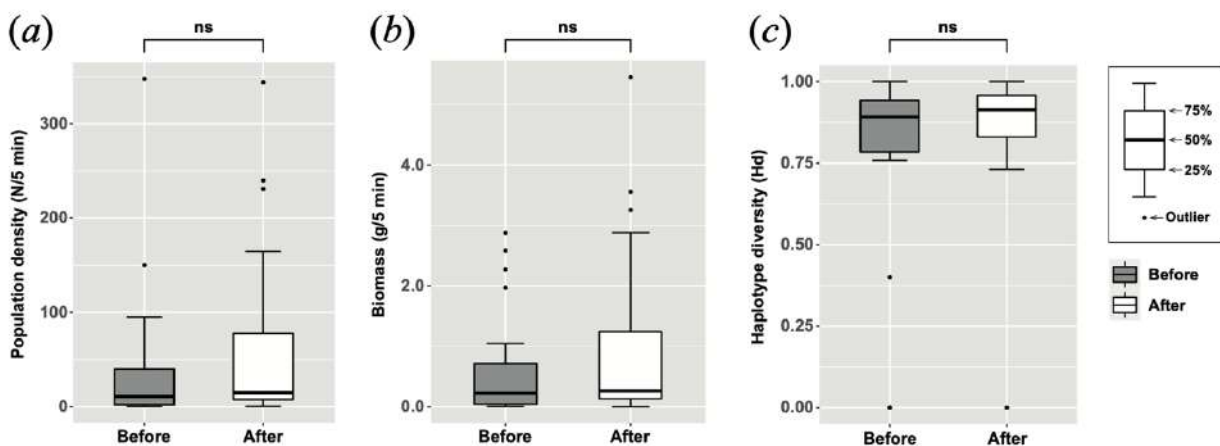


図4. 洪水前後でのチラカゲロウの個体群密度 (a)、バイオマス (b)、遺伝的多様性 (c) の比較結果。いずれも有意差は認められなかった (ns: not significant)。個体群密度とバイオマスは、それぞれ一定のサンプリング時間（5分間）における採取個体数と採取個体の湿重量を示しており、遺伝的多様性は、洪水前330個体/24地点、洪水後350個体/22地点のミトコンドリアDNA COI領域（DNAバーコード領域658塩基）におけるハプロタイプ多様度を示す（論文 Fig. 3より）

## 【研究の展開と結果・考察】

- 2019年10月に東日本を襲った台風19号（台風ハギビス）は、東日本各地に甚大な被害をもたらした。なかでも千曲川（信濃川）の中流域では観測史上最大規模の水位・流量を観測し、上田電鉄の鉄橋崩落（上田市）、新幹線・駐機場の水没（長野市）をはじめ、流域各地で大規模な洪水被害が発生した。【図1, 参考資料の降雨・水位等データを参照】
- 当初、こうした100年に1度あるかどうかといった世紀的規模の大洪水は、河川に生息する水生生物群集にも多大な影響をもたらしたと予想した。そして、千曲川（信濃川）中流域における代表的な水生昆虫（密度やバイオマスが大きな種群）に着目し、洪水前後での個体群構造（密度・バイオマス）や遺伝構造（遺伝的多様性）を比較することで、洪水による影響評価・回復プロセスに関する調査・研究を実施した。
- 複数種をターゲットに研究を実施するなか、最も甚大なダメージを被ると予測された「遊泳型」生活型として知られるチラカゲロウに関する解析を第一弾として実施した。

- 大規模洪水の発生以前に、千曲川（信濃川）流域内に 42 調査定点を設置し（図 2）、様々な水生昆虫類を対象とした定量調査を実施していたことから、こうしたデータを「Before」と位置づけ、洪水後にも同一地点で、同一手法による定量調査を実施した。このうち、「Before」の定量調査においてチラカゲロウが採取された 24 地点のうちの 22 地点において、「After」調査においても採取された（After で採取されなかった 2 地点（SA10, CS9）は、「Before」調査においても低密度・低バイオマスであった地点）。

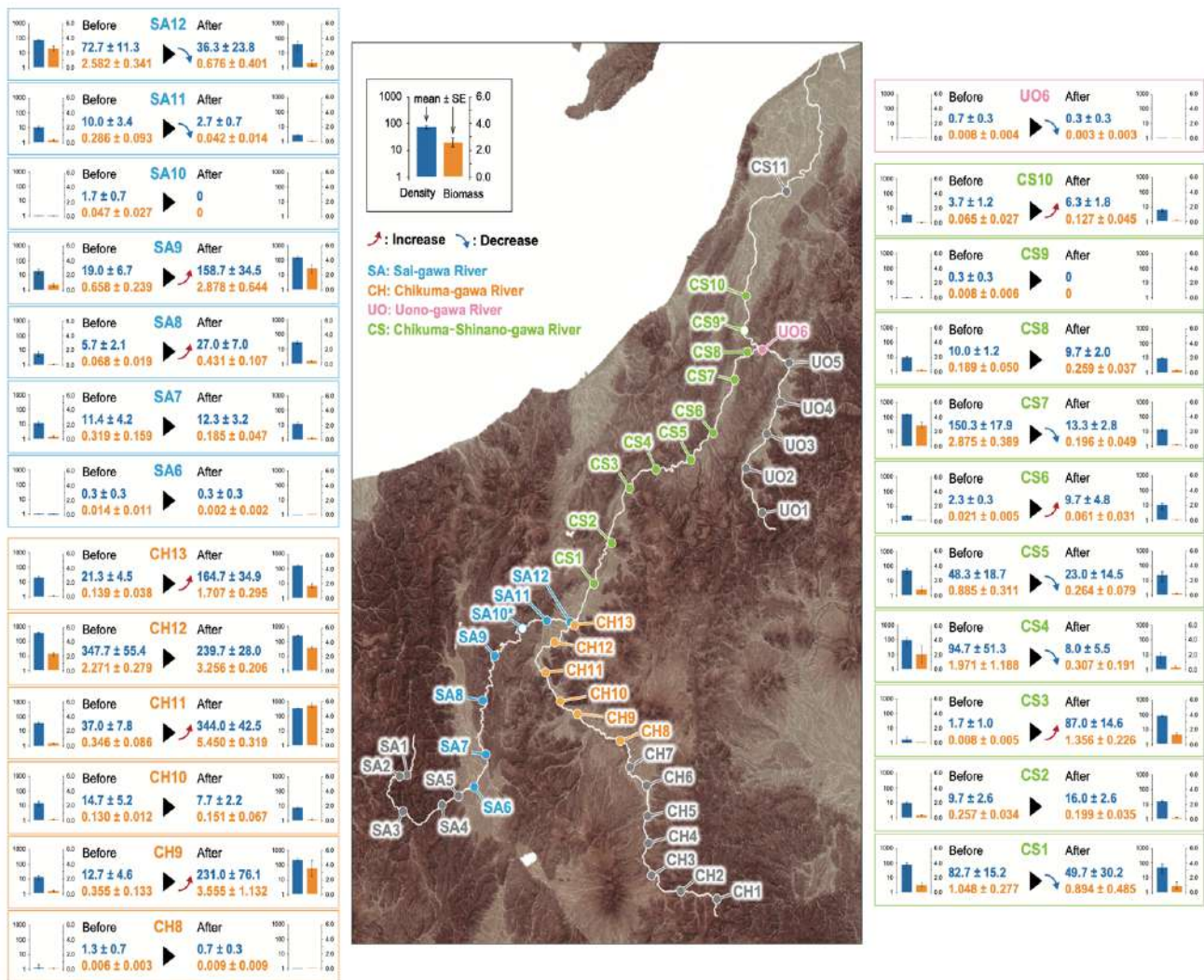


図 5. 各調査地点における洪水前後でのチラカゲロウの個体群密度（青）、バイオマス（オレンジ）の変遷（論文 Fig. 2 より）

- 当初の予想に反し、洪水前後での生息密度やバイオマスの低下、遺伝的多様性の低下はみられず、少なくとも洪水から 1 年後には、洪水前と同レベルの個体群構造と遺伝構造であった（図 4）。この要因として、チラカゲロウには、洪水に対する高い耐性（レジスタンス）と回復力（レジリエンス）が備わっていることが明らかとなった。
- チラカゲロウの卵表面は河床の石礫に固着するための接着装置で覆われており、こうした特殊な形態は洪水による掃流回避に有効である。台風ハギビスによる洪水が発生した 10 月中旬を含む夏から晩秋期にかけては、年に 2 度目の繁殖時期であり、この洪水時にも多数の卵が河床の石礫に付着した状態で洪水に耐えられたものと推察される。
- 欧米などで実施されてきた水生昆虫類の洪水後の影響評価に関する研究では、100 年に 1 度のような大規模洪水の影響は、長年に渡って継続し、個体群構造の回復には長い時間を要することが知られており、今回の千曲川（信濃川）における研究結果は、従来の知見とは大きく異なるものであった。

- こうした欧米（大陸）の河川における大洪水でのダメージとの差異については、元来、急流（大きな河床勾配）を前提に成立してきた日本列島の河川生態系の特性によるものと考察した。今回の台風 19 号規模の洪水ではないとしても（観測史上最大規模の洪水ではないとしても）、これに準じる規模の大きな洪水が頻繁に生じてきたアジア・モンスーン気候帯に位置づけられる日本列島の河川生態系では、進化の過程で、こうした洪水耐性や早い回復力が獲得されてきたものと考察される。
- すなわち、日本列島の急流域において成立している水生生物群集自体が、こうした歴史的背景の中を生き抜いてきたような構成となっている可能性が高い。

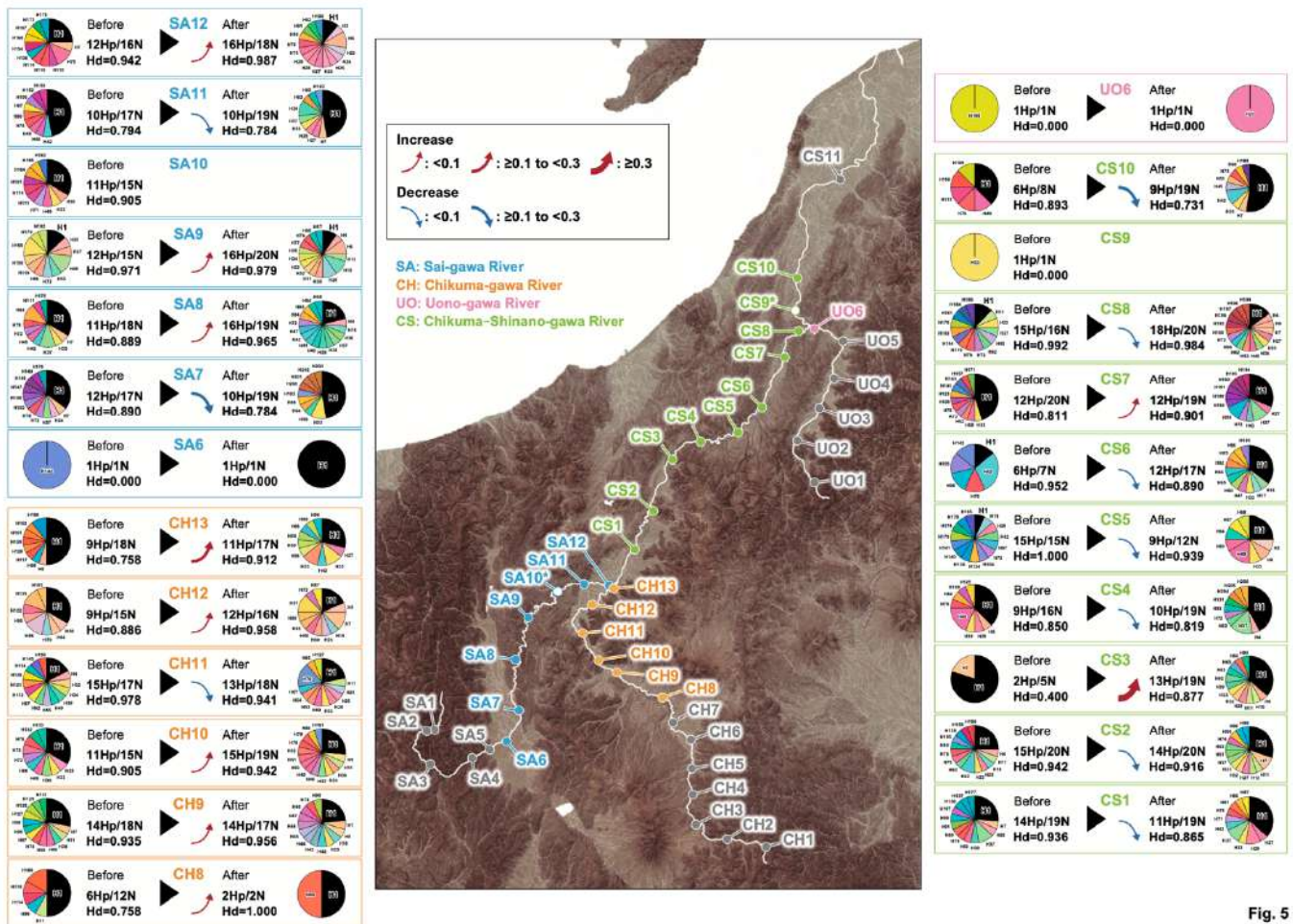


Fig. 5

図 6. 各調査地点における洪水前後でのチラカゲロウの遺伝的多様性の変遷. 円グラフの配色は遺伝子型に対応しており、カラフルな地点ほど遺伝的多様性が高いことを示している. 例えば左上の地点 SA12 では、洪水前に 16 個体の遺伝子解析を実施し 12 ハプロタイプ（遺伝子型）が検出されており、洪水後の 18 個体から 16 ハプロタイプが検出されたことを示している. 遺伝的多様性（Hd: 0 から 1 までの値をとる）は、洪水前（Hd=0.942）より洪水後（Hd=0.987）に上昇しているが、いずれの遺伝的多様性も極めて高い値と言える（論文 Fig. 5 より）

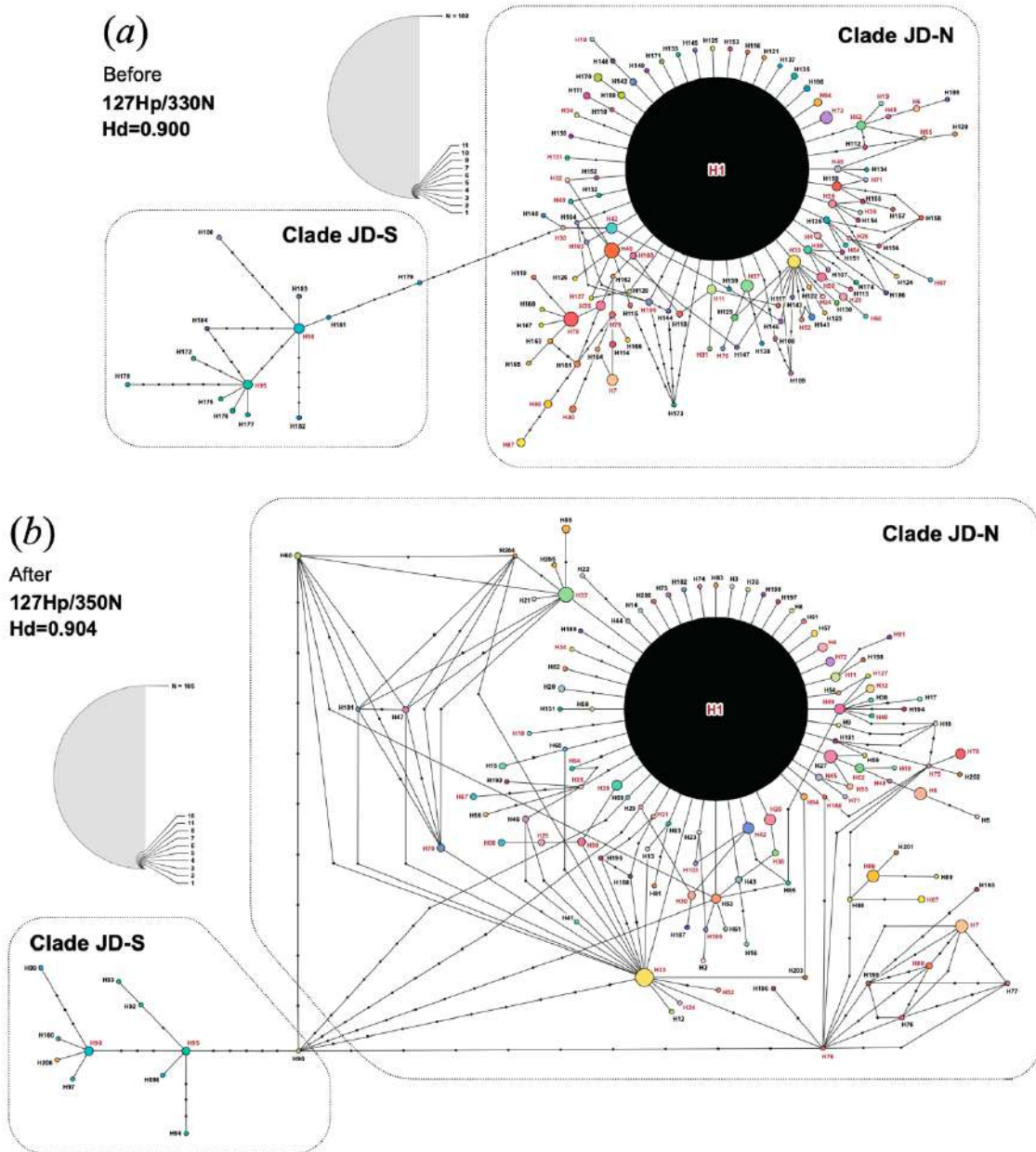


図7. 洪水前 (a) と洪水後 (b) に検出されたチラカゲロウのハプロタイプ (遺伝子型) ネットワーク。チラカゲロウ種内には、それぞれ東北日本 (JD-N) と南西日本 (JD-S) に特有の遺伝系統群 (Clade, ハプログループ) が知られており (Saito and Tojo, 2016)、千曲川 (信濃川) 水系からは両方の系統が検出されている。洪水前の 24 地点から採取された 330 個体の解析において 127 ハプロタイプが検出され、洪水後は 350 個体 (22 地点) の解析において同じ 127 ハプロタイプが検出された。ハプロタイプ多様度は洪水前 (Hd=0.900) から洪水後 (Hd=0.904) にやや高まったものの、図 4 にも示したように統計的な有意差はなく、洪水前後のいずれにおいても高い遺伝的多様性であることが明らかとなった (論文 Fig. 4 より)

## 【波及効果・今後の予定】

気候変動（温暖化）の深刻化が危惧される現在、海水温の上昇は海水の蒸発量増加を促進し、結果として降水量の増加や集中豪雨化が頻発しつつある。本邦の河川における治水政策に関しても、強靱な堤防構築により水害を防ぐことに加えて、予め**遊水池を設置することなども含めた流域治水へと方針転換がなされつつある**。また、**生態系機能を利用した防災・減災（Eco-DRR）という考え方への大きなパラダイムシフトがなされている**。このような状況下、洪水に対する水生生物の応答を詳細に究明することの意義は重要である。

今回、論文として公表した内容は、千曲川（信濃川）中流域で最優占する水生昆虫種であるチラカゲロウ 1 種に注目した研究の成果であり、現在、他の優占種も含めた同様の解析を遂行中である。また、特定種の洪水に対する応答だけでなく、水生昆虫群集としてどのような応答があったのかについても分析中である。すなわち、今回の論文発表は、一連の取り組みのなかでの第一弾の成果として位置づけられる。

また本研究の成果は、千曲川（信濃川）水系内における、洪水前後でのチラカゲロウの個体群構造と遺伝構造の Before-After 比較だけでなく、**流域全体としての遺伝子流動が生じていること（メタ個体群として機能していること）を浮き彫りにし、また、遺伝的多様性が高い流域や高くはない流域の存在も明らかにした**。すなわち、**水系内の移動分散における「Source（供給源）-Sink（供給先）」の関係性を示す成果**とも言える。**水系内における遺伝的多様性（生産性）のホットスポットの可視化にも寄与**している。これらのデータは河川管理における重要エリアの可視化としても有意義な成果となり得る。

## 【論文タイトルと著者等】

タイトル：A major flood caused by a typhoon did not affect the population genetic structure of a river mayfly metapopulation

著者：Tomoya SUZUKI, Koki YANO, Seiya OKAMOTO, Gaku UEKI, Ayako FUKAKUSA, Maki IKEDA, Gaku INOUE, Haruno TAGASHIRA, Takumi YOSHIDA and Koji TOJO

掲載誌：Proceedings of the Royal Society B, 290: 20230177（英国王立協会紀要 B, 生物学）

掲載日：2023年4月19日午前8時（英国時間：4月19日午前0時）

URL：<https://doi.org/10.1098/rspb.2023.0177>

DOI：10.1098/rspb.2023.0177

鈴木智也（信州大学）現・京都大学 博士研究員

谷野宏樹（信州大学）現・日本学術振興会・特別研究員（JSPS PD）基礎生物学研究所

岡本聖矢（信州大学）現・国土交通省土木研究所 自然共生研究センター・博士研究員

上木 岳（信州大学）現・東京大学 博士研究員

深草彩子・池田真来・井上 岳・田頭春乃・吉田 匠（信州大学）現・大学院生

東城幸治（信州大学）**責任著者**

【問い合わせ先】

〈研究内容に関する問い合わせ先〉

信州大学学術研究院理学系（理学部理学科生物学コース）

教授 東城幸治 Tel : 0263-37-3341（研究室） 0263-37-2488（生物学コース事務局）

E-mail : ktojo@shinshu-u.ac.jp

〈報道に関する問い合わせ先〉

国立大学法人信州大学総務部総務課広報室

〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1

Tel : 0263-37-3056 Fax : 0263-37-2182

E-mail : shinhp@shinshu-u.ac.jp

参考資料

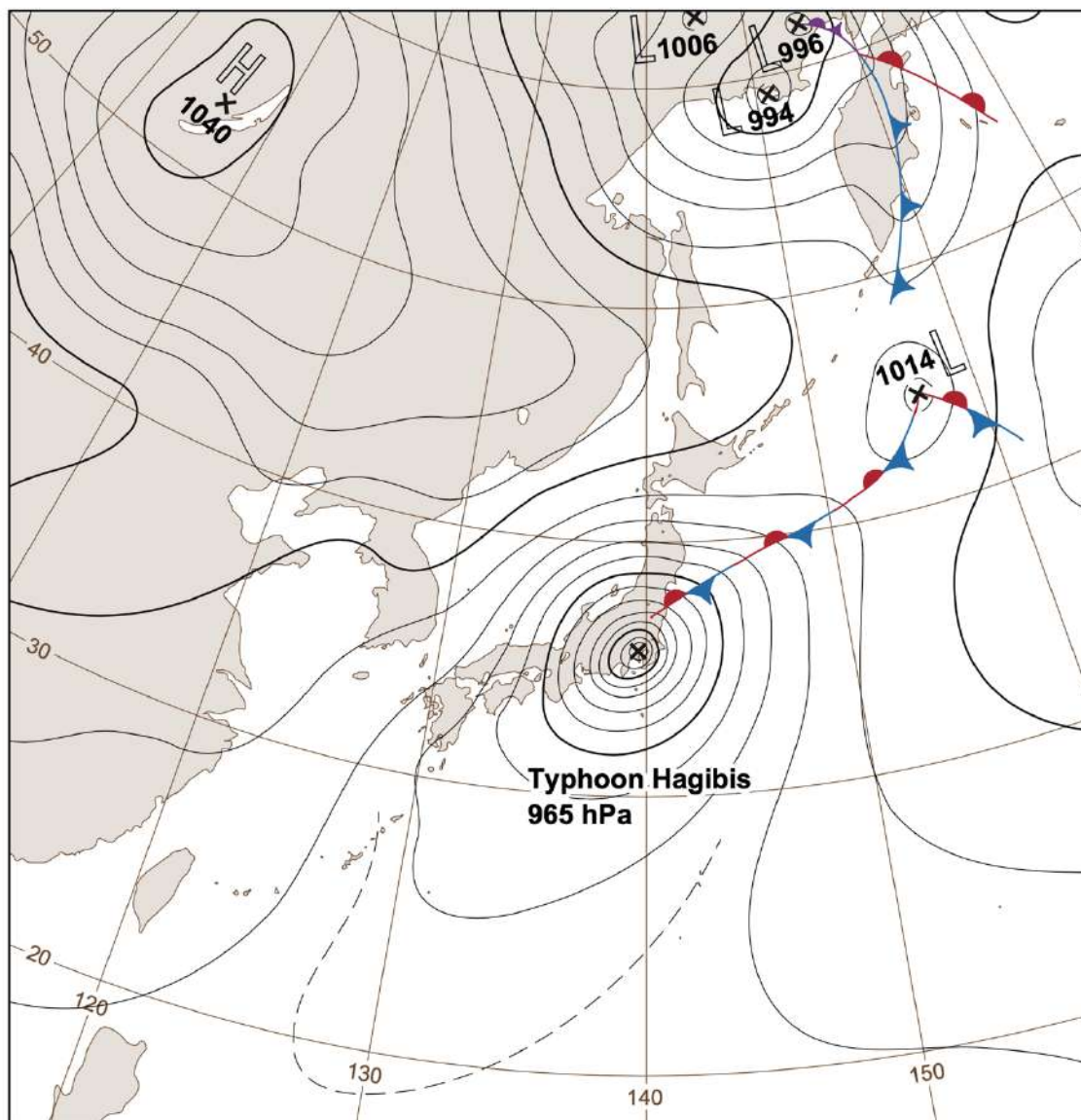


図 8. 台風ハギビス襲来時の天気図（2019 年 10 月 12 日）（論文 Fig. S1 より）



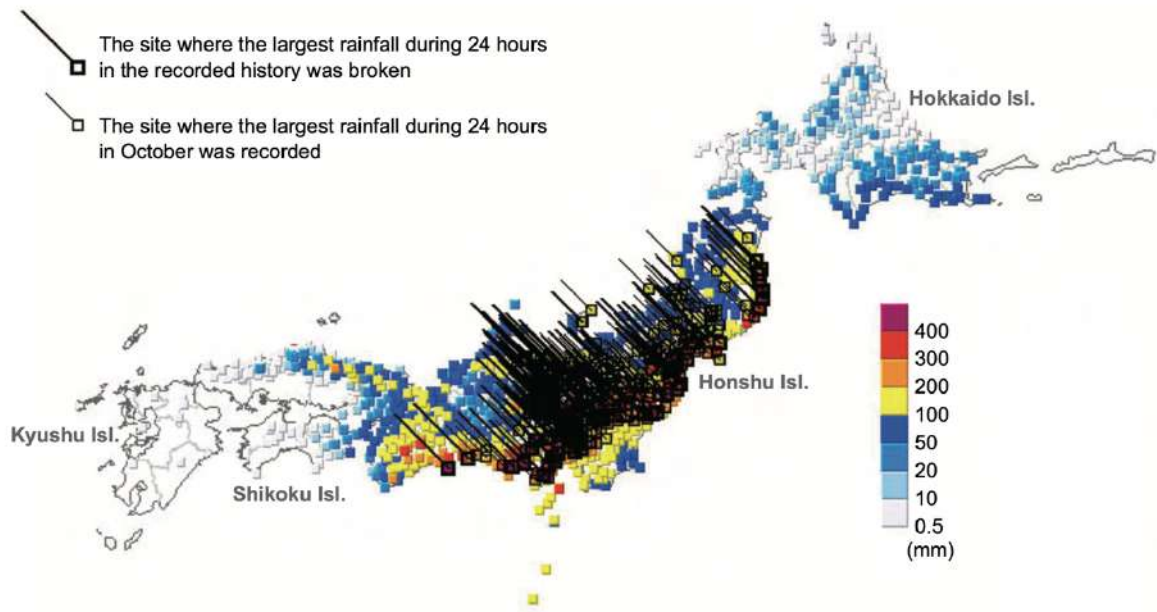


図9. 台風ハギビス襲来時の降水量（24時間の最大雨量）（論文 Fig. S2 より）

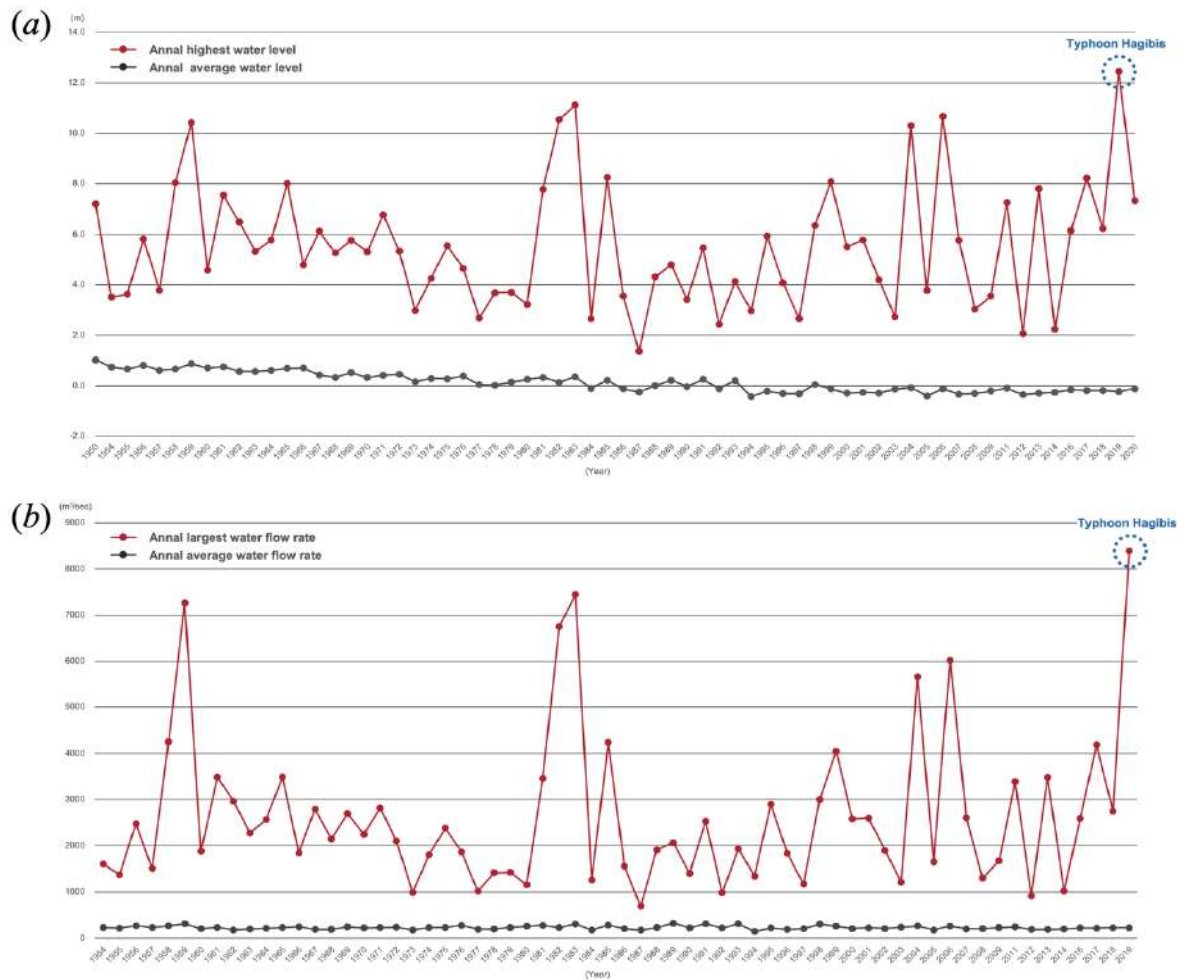


図10. 1954年から2019年までの水位の変動 (a)、および流量（トン/秒）の変動 (b). 赤と黒の折線グラフは、それぞれ年最大水位と年最大流量、年平均水位と年平均流量を示す（論文 Fig. S4 より）

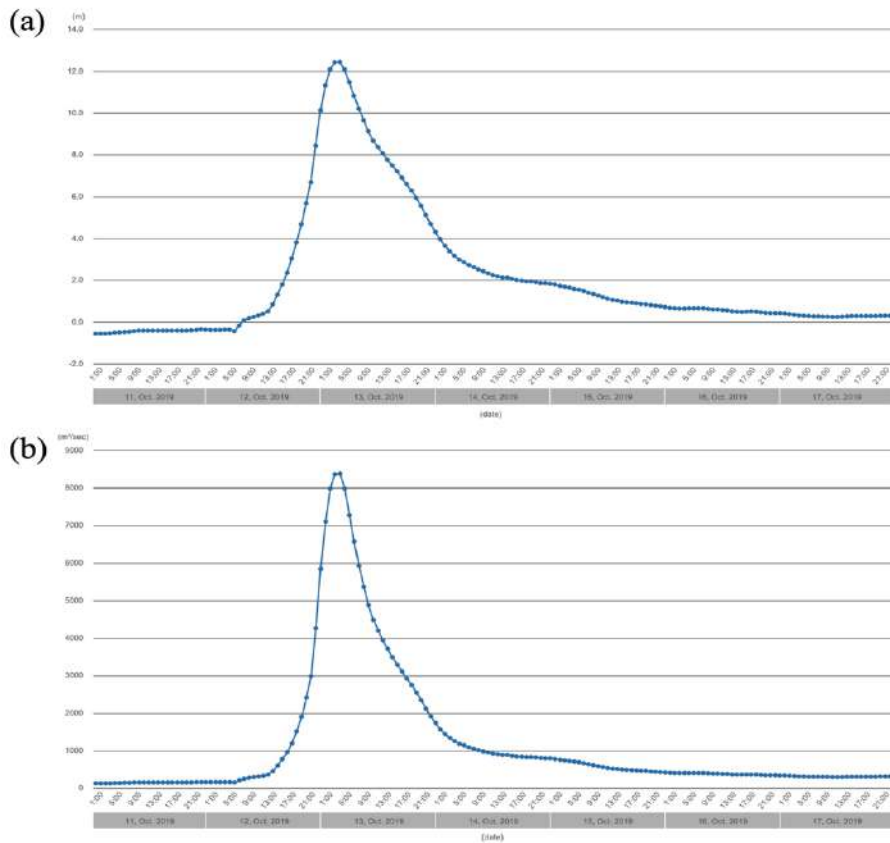


図11. 台風ハギビス襲来時の水位変動 (a)、および流量変動 (b) (2019年10月11日-17日) (論文 Fig. S8 より)

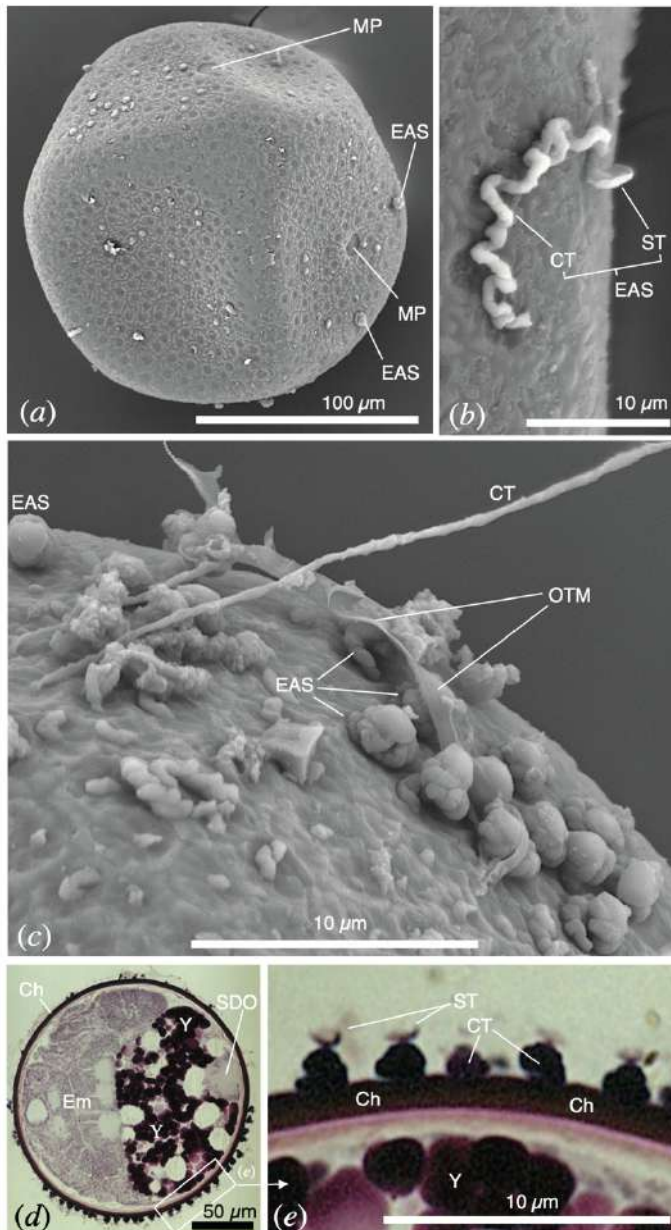


図12. チラカゲロウ卵の表面構造. 走査型電子顕微鏡写真 (a-c)、および組織切片写真 (d-e). 卵表面にはコイル状の糸状構造 (写真 b, c, e の"CT") の先端に吸盤 (写真 b, e の"ST") のような構造が全球状に確認される. これらの構造により、河床の石礫に頑健に付着することが可能となる (論文 Fig. S9 より)