

気候変動及び人口減少下における河川生態系管理手法に関する基礎的研究

一 降水現象極端化がヒゲナガカワトビケラの個体群動態に与える影響評価を通じた事例研究 一

傳田 正利¹・萱場 祐一²

¹正会員 国立研究開発法人土木研究所 水環境研究グループ河川生態チーム 主任研究員

(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

E-mail:denda@pwri.go.jp

²正会員 国立研究開発法人土木研究所 水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員

(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

E-mail:y-kayaba@pwri.go.jp

気候変動や人口減少が河川生態系に与える影響を評価するため、気候変動、流出及び河川生態系モデルを組み合わせたモデルを開発した。開発したモデルを用いて、気候変動に起因する降水現象の極端化に伴う流量変動が、ヒゲナガカワトビケラの個体群動態に与える影響を評価し、開発したモデルの可能性を検証した。

その結果、降水現象極端化の影響は、降水域の面積が一定以上大きくなると顕著になり、個体群を縮小させる可能性が高いことを推定した。また、モデルに人口減少下の計算条件を入力し、生態系モデルを向上させることで、気候変動と人口縮小に伴う変化が河川生態系に与える影響を評価する可能性が期待できることを試行的に確認した。

Key Words : *climate change, depopulation, river ecosystem, Japanese caddisfly, population dynamics*

1. はじめに

今後の河川生態系管理において、重要なキーワードとなるものに「気候変動」と「人口減少」が挙げられる。

「気候変動」に起因するとされる降水現象の極端化が全国の河川において確認され、その影響が懸念されている。河川生態系を構成する生物群集は、地域固有の流量変動に適応・進化してきたため、降水現象の極端化に伴う流量変動の変化は、河川生態系に影響を及ぼす可能性が高いためである。

「人口減少」も河川生態系管理においては、大きな課題である。河川生態系管理において、人口減少は、山林管理・耕作放棄に伴う荒廃した山林・農地を発生させ、氾濫原的環境として機能する水田等、河川と周辺域の生態系ネットワークの健全性を損なう可能性が高い。この課題に対応するためには、河川と農地等の流域内の生物生息空間を生態系として認識し、河川生態系管理計画を行う必要がある。

これらの課題の対応には、特定区間のみに着目した河川生態系管理ではなく、河川流域を一つのシステムと

捉え、気候変動（熱環境）に伴う降水現象変化、流域地形・土地利用変化等に伴う流出変化、流出変化に対応した流況変化の河川生態系の変化を一連のサブシステムで記述・予測する、河川生態系管理を計画する方法が必要と考えられる。

開発するシステムへの技術的な対応として、筆者らは空間情報科学を用いて、IPCC 気候変動予測モデル、分布型流出モデル及び河川生態系変動予測モデルを組み合わせた「流域特性を考慮した河川生態系変動予測モデル」（以下、「モデル」と記述する。）の開発を行っている。モデル開発の一環として、水中生態系のバイオマスに重要な役割を果たす水生昆虫に着目して気候変動に対応した生態モデルの開発を行った。

本発表では、筆者らが開発中のモデルを用いて、気候変動に起因とされる降水現象変化に伴う流量変動の変化が水生昆虫に与える影響を評価する基礎的な評価研究を一つの事例として紹介し、モデルの可能性と今後検討すべき課題を土木計画学的の観点から考察することを目的とする。

2. モデルの概要

モデルは、(イ) IPCC 気候変動予測モデル部、(ロ) 分布型流出モデル部、及び、(ハ) 河川生態系変動予測モデル部の3つのサブモデルで構成される(図-1)。

IPCC に参加する気候変動予測モデルは、モデル間でのバラツキが多く、複数の気候変動予測モデルの結果を平均化しデータを利用する必要性(マルチモデル平均、以下、「平均化」と記述する。)が指摘されている¹⁾。IPCC 気候変動予測モデル部は、IPCC の結合モデル相互比較プロジェクト(Coupled Model Intercomparison Project: CMIP、以下、「CMIP」と記述する。)で提供される将来気候時の降雨データ等を平均化し分布型流出モデルへの入力データとして与える機能を持つ。

分布型流出モデル部は、土木研究所が開発した分布型流出モデル(WEPモデル)で構成され、熱輸送モデルから表面流出までを考慮できるモデルである。CMIP で提供される将来の熱環境まで考慮して流出変化を予測可能となっている。表面流出に大きな影響を与えると耕作放棄等の土地利用変化、国土数値情報、農林業センサスの各省庁の空間データを用いて入力可能となっている。

河川生態系変動予測モデル部は、河川工学を用いた

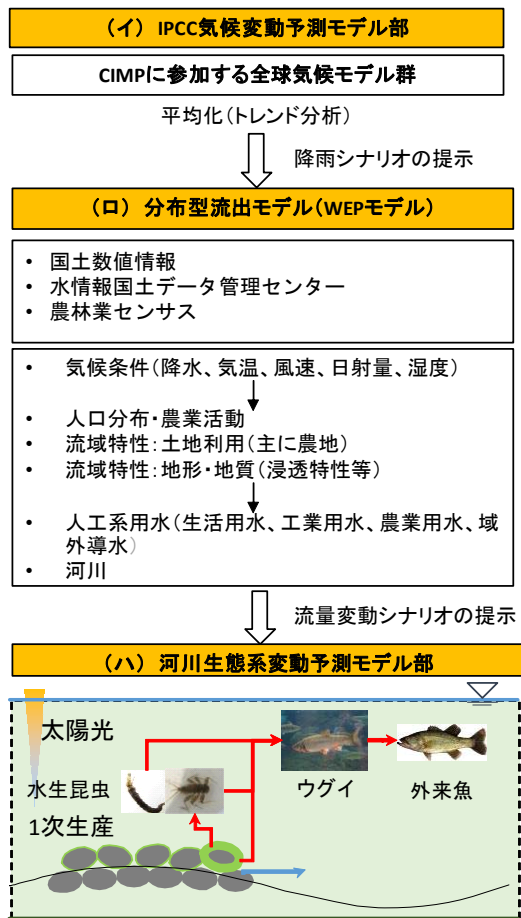


図-1 流域特性を考慮した河川生態系変動予測モデルの概要

流況・河床変動解析、個体ベースモデル(Individual Based Models: IBMs; 生物種の個体レベルでの生態に着目し、その生態をモデル化する生態モデリング手法)を実装している。生態モデリング部は、一次生産(付着藻類、植物)、二次生産(水生昆虫、魚類等)、高次捕食者(陸上哺乳類)までのモデリングが完了し、生物間相互作用を除いた生物動態を一定の精度で表現できる構造となっている²⁾。

3. 研究の方法

(1) 対象河川および調査地の概要

対象河川は信濃川水系千曲川で行った。本河川は流域面積7163km²、流路延長214kmの大河川であり甲武信ヶ岳(標高2,475m)から、長野盆地を流下し、新潟県境に入り信濃川と名前を変える。調査地は千曲川の中流部に位置する常田新橋付近(長野県上田市、以下、「調査地」と記述する)で行った。

(2) ヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata*) の選定理由

ヒゲナガカワトビケラを選定したのは、下記の3つの理由による。

理由1: ヒゲナガカワトビケラは、水域生態系の中核的な生態学的な位置を占める。流下有機物、付着藻類等の一次生産物を餌資源とするとともに、魚類・鳥類の餌資源となり食物連鎖の重要な役割を果たす。

理由2: 千曲川における水生昆虫群集は、ヒゲナガカワトビケラが優占し、他の水生昆虫に比べて湿重量が大きく、水生昆虫現存量への主要な部分を占める。

理由3: ヒゲナガカワトビケラの世代交代数は、流況変化・河川水温変化により大きな影響を受け、気候変動に伴う流況変化・水温変化の影響を受けやすい生態特性がある(次節で詳説する)。

(3) ヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata*) の生態の概要

ヒゲナガカワトビケラは、卵、幼虫、蛹、成虫の順で成長する。幼虫段階では5回の脱皮を行い5齢幼虫に成長する。その後、蛹化(ようか)し、成虫に成長する。初夏・晩秋の水位安定期に、成虫の雌雄が飛翔し、飛翔の過程で交配・着床が行われる。その後、越冬し、翌年に上述の孵化・成長・再生産の過程が行われる。一般に1年に2~3世代の回転があるとされ、その特性は、河川の流況・水温特性(成虫になるまでに必要な積算温度等)により異なることが知られている³⁾。

(4) ヒゲナガカワトビケラの生態モデルの開発とその検証

本研究では、既往文献からヒゲナガカワトビケラの生態を整理するとともに、調査地における流況・水温か

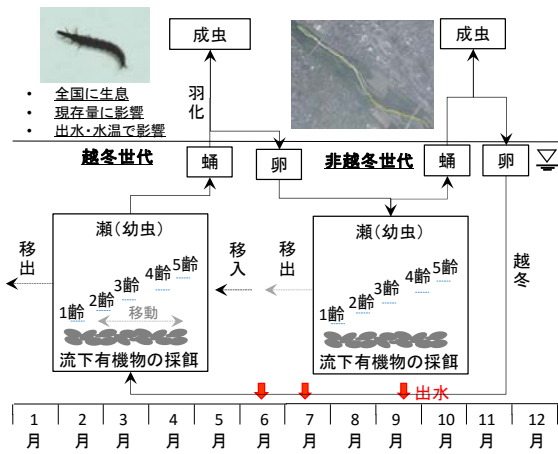


図-2 ヒゲナガカトビケラの生活史の概要

ら、その成長に関するパラメータを定量的に整理した。

上記で定量化したヒゲナガカトビケラの生態モデルの検証・実証を行った。2013 年～2015 年の流況・水温を生態モデル部に与え、ヒゲナガカトビケラの個体群再生産に大きな影響を与える羽化時期等が正確に再現されているかを重点的に検証した。その後、ヒゲナガカトビケラの個体群が複数年間維持できるか複数回の数値実験を行い、その実証性を検討した。生態モデルは、ヒゲナガカトビケラの生態を良好に再現した。特に、羽化時期は、一般的なヒゲナガカトビケラモデルの生態、千曲川での研究報告に合致する良好な再現となった⁴⁾。また、個体群動態は、河床材料粒径 0.04m 程度が流出する流況で個体が流出する条件、雌雄各 1 個体のペアが卵約 2 個を産卵する条件で、個体群が 10 年程度維持される結果となった⁵⁾。

(5) モデルを用いた降水現象変化がヒゲナガカトビケラの生活史に与える影響評価の概要

CMIP に参加する気候モデル群のデータを対象に IPCC 気候変動モデル部を用いて、近未来 (2046 年～2065 年)、将来 (2080 年～2099 年) における降水量変化のマルチモデル平均の降水量変化特性を算出した。その結果、3 月～7 月における月合計降水量が平均 15 mm 程度増加する傾向を把握した。

この傾向を考慮し、CMIP で「現代」とされる期間の平均的な降水特性と判断された 1997 年において、ヒゲナガカトビケラの羽化行動が活発となる 5 月、7 月の月合計降水量 15 mm 程度、複数の降水日に振り分け増加させ流出解析を行った。流出計算データの構築時に CMIP のモデル群の降水量データは、千曲川のティーセン分割流域間における降水量変化を表現する空間解像度を持たない傾向が確認できた。そのため、調査地よりも上流で、ティーセン法に基づき分割された流域数を順次拡大させ、降水変化特性を 3 類型 (降水変化 1～降水変化 3) を設定し流出計算を行い、調査地上流端

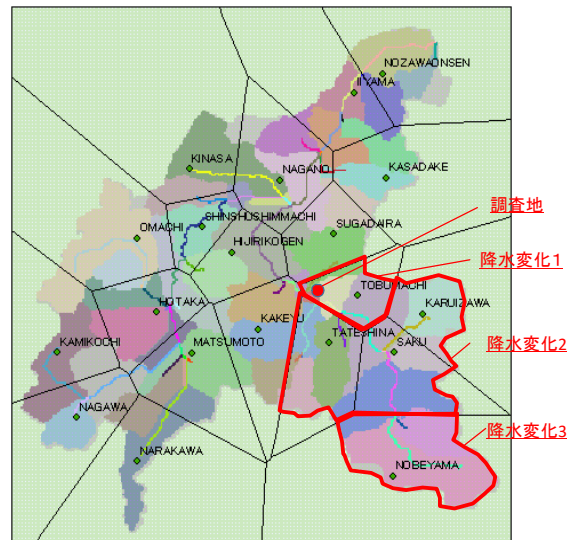


図-3 ティーセン法による分割流域の増加方法の概要

における各降水変化別の流量時系列を計算した。

その後、各降水変化別の流量時系列を、河川生態系変動予測モデル部に与え、ヒゲナガカトビケラの個体群動態変化を推定した。与える流量時系列は、1997 年における降水変化時の流量時系列を 2 年間繰り返し与え、ヒゲナガカトビケラの個体群変動を数値実験した。なお、土地利用変化・熱環境変化は、本数値実験では考慮の対象外とした。

3. 結果と考察

(1) 降水変化に伴う流量変化の概要

表 - 1 に将来気候時の 5 月、7 月における出水時流量の増加率を示す。降水変化 2 から、急激に流量の増加が確認され、5 月、7 月の主要出水時の流量は、約 3 倍～4 倍に増加した。

図 - 4 に 1997 年の年間流量時系列を示す。降水変化 2～降水変化 3 においては、降水変化を生じさせた日だけではなく、降水後、数日間は流量の増加が確認できた。千曲川のような流域面積が大きい河川の場合、降水変化の影響は、瞬時的な変化を及ぼすだけでなく、一定の継続性があることを確認できた。

(2) 流量変化に伴うヒゲナガカトビケラ個体群動態変化の概要

図 - 5 にモデルを用いた 1997 年～1998 年間におけるヒゲナガカトビケラの個体群動態を示す。現況にお

表-1 降水変化に伴う 5 月、7 月の出水時流量の増加率

| 降水変化 | May | July |
|------|------|------|
| 1 | 1.15 | 1.12 |
| 2 | 2.8 | 3.19 |
| 3 | 3.84 | 3.74 |

(倍)

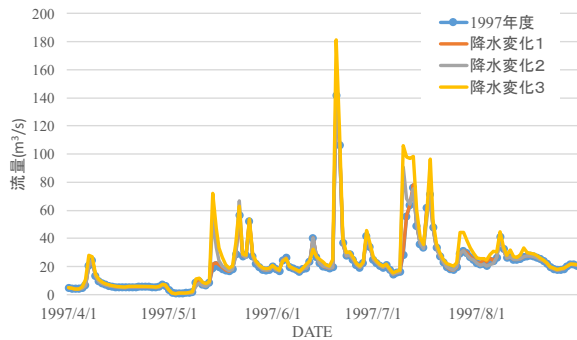


図-4 降水変化に伴う5月、7月の流量変化率

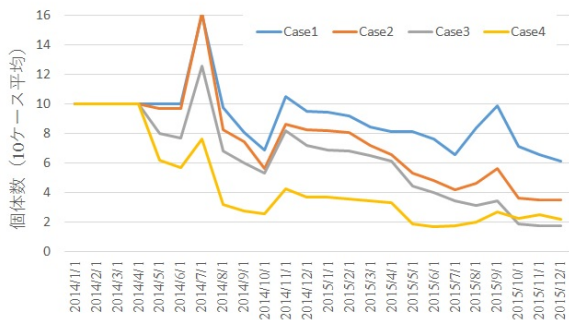


図-5 流量変化に伴うヒゲナガカワトビケラの個体群動態予測結果

いては、個体群が維持され繁殖率の上昇で個体群が容易に復元する範囲の変化であった。しかし、降水変化が生じた場合、個体群が減少する傾向が把握でき、その傾向は、降水変化2、降水変化3において、顕著であった。

降水変化2、降水変化3において、個体群減少が顕著になったのは、1997年5月の第1世代の羽化・交配の失敗が大きな要因と考えられる。計算期間の初期に、雌雄の個体群が減少すると、直接的に第2世代の個体数を減少させると考えられる。このことが、世代数の増加を通して増幅され、最終的には個体群の縮小につながっていくと考えられる。本シミュレーションでは、5月と7月に限定して降水量を増加させているが、気候変動に伴う降水変化は、5月、7月に限られず、3月～7月の約5ヶ月間というヒゲナガカワトビケラの再生産期間全般に渡る。この点を考慮すれば、気候変動に伴う流量変動特性の変化は、よりヒゲナガカワトビケラの個体群動態を不安定にさせる可能性があると考えられる。

(3) 本システムの持つ土木計画学への可能性と今後の課題

本研究では、モデルが対象の内、ヒゲナガカワトビケラの個体群動態という極めて限られた河川生態系の一部を検討対象にしたに過ぎない。しかし、この検討は多くの意義を有している。既往の河川生態に関する研究は、特定区間の特定生物に焦点を絞った研究が多かった。不確実性が高い河川生態系を構成する物理

環境と生物群集の変動を分析するには対象を限定する必要があり、既往研究の取り組みには合理性がある。

この合理性に加え、気候変動や人口減少という流域スケールで生じる大きな空間スケールで生じる変化が河川生態系に与える影響を論じるには、本研究で検討した様な、流域から生物までを一気通貫のシステムとして記述していくことが必要となる。

本研究では、解析対象の限定のため未考慮とした、気候変動に伴う熱環境変化や、人口縮小に伴う耕作放棄地の変化は、データ入力を簡便化するデータベースの構築等が進めば可能となり、今後の検討で実施する予定である。また、入力条件の精緻化だけでなく、河川生態系変動予測モデル部の予測精度が向上すれば、より正確な河川生態系への影響を予測することが可能となると考えられる。

「気候変動」、「人口減少」の影響を受ける多様な現象を調整するための土木計画（河川計画）には、本システムで示した複合的な現象をまとめるシステムが必要で、土木計画学への貢献の可能性を示す結果となった。

4. まとめ

気候変動や人口減少が河川生態系に与える影響を評価するを開発し、降水現象の極端化に伴う流量変動が、ヒゲナガカワトビケラの個体群動態に与える影響を評価した。

その結果、降水量増加が流域の一定面積以上に生じると顕著な影響が生じることを推定することが出来た。モデルへの入力条件、生態モデルの精度を向上することで本ツールを用いて、気候変動と人口縮小に伴う変化が河川生態系に与える影響を評価する可能性を確認した。

引用文献

- 1) 道広有理・佐藤嘉展・鈴木靖：CMIP3 マルチ気候モデルにおける日本の気候再現性比較、京都大学防災研究所年報、第53号B、2010。
- 2) 楠田哲也・巖佐庸：生態系とシミュレーション、朝倉書店、pp. 130-140、2002。
- 3) 西村登：日本の水生昆虫⑨ ヒゲナガカワトビケラ、pp. 24- pp. 96、文一総合出版、1987。
- 4) Masatoshi DENDA and Yuichi KAYABA：Development of Individual based models of aquatic insects for assessment on influence of climate change on river ecosystemsp. 83, proceedings ofn International Society Ecological Modeling 2016。
- 5) 傳田正利・萱場祐一：気候変動に伴う降水現象変化がヒゲナガカワトビケラ個体群動態に与える影響に関する基礎的研究、環境水理部会環境水理部会研究集会 2016 in 香川講演要旨集、pp. 45-pp. 46。

(2016.7.31 受付)

BASIC STUDY ON RIVER ECOSYSTEM MANAGEMENT METHOD UNDER CLIMATE CHANGE AND DEPOPULATION CONDITION

Masatoshi DENDA, and Yuichi KAYABA

We developed the basic system evaluating influence of river basin change caused by climate change and depopulation on river ecosystem, and evaluated influence of the flow regime change caused by extreme precipitation phenomena on Japanese caddyfly using this system.

In the results, the system predicted that increasement of precipitation change area influenced the population dynamics of the caddyfly. The results indicated that improvement of input data and more accuracy ecological prediction model amounted to the system enhance accurate prediction of the influence.