

河川の複雑な枝分かれ構造が生物集団の長期的な維持に貢献

ポイント

- ・ 河川の複雑な枝分かれが多様な環境を生み、生物集団を安定的に維持することを数理モデルで証明。
- ・ 約 20 年に及ぶ魚類の長期モニタリングデータを解析し、複雑な枝分かれ構造をもつ河川では生物集団が安定的に維持されていることを実証。
- ・ ダム等による枝分かれ構造の単純化は河川の生物多様性と生物資源持続性を大きく損ねる恐れがある。

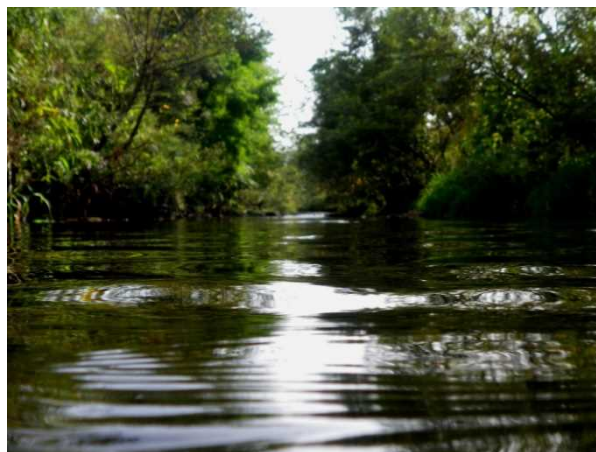
概要

北海道大学大学院農学研究院の照井 慧研究員ら、北海道立総合研究機構、ミネソタ大学の研究者からなる国際研究グループは、多数の支流からなる河川ネットワークでは、その枝分かれ構造（生態系の形）の複雑さが生物集団の安定的な維持に貢献することを明らかにしました。

猛暑、季節外れの寒波、大型台風の到来 — 21 世紀を迎えた頃から気候変動の影響があらわになり、生態系は未曾有の環境変動にさらされています。現代の生態学者に課せられた使命の一つは、こうした環境変動下における生物集団の存続メカニズムを解き明かし、持続的な漁業や林業、そして生物多様性保全の実現に貢献することです。これまで、「生態系の空間的な大きさ」があらゆる生物集団の存続のカギを握るとされてきました。これに対して本研究の結果は、河川では「生態系の形の複雑さ」が生物集団の長期的存続を支える主要因であることを示しており、生物集団の存続メカニズムに関して新たな視点をもたらす成果といえます。

過去数十年の間、ダムなどにより河川間のつながりは分断され、河川本来の枝分かれ構造は大きく失われてきました。今後、河川における生物多様性保全と持続的な生物資源利用を実現するためには、枝分かれ構造の視点を取り入れた保全戦略が重要になると考えられます。

なお、本研究成果は、米国東部時間 2018 年 6 月 12 日（火）公開の米国科学アカデミー紀要に掲載されました。



北海道の原生的な河川（朱太川水系）。これらの支流が合流を繰り返して河川ネットワークを形成する。

【背景】

猛暑、季節外れの寒波、大型台風の到来 — 21世紀を迎えた頃から気候変動の影響があらわになり、生態系は未曾有の環境変動にさらされています。現代の生態学者に課せられた使命の一つは、こうした環境変動下における生物集団の存続メカニズムを解き明かし、持続的な漁業や林業、そして生物多様性保全の実現に貢献することです。

これまでは、「生態系の空間的な大きさ」があらゆる生物集団の存続のカギを握るとされてきました。なぜなら、広い空間には多様な生息地が含まれるため、環境変動によりすべての集団が同時絶滅する可能性は低いからです。一部の集団が生き残れば、繁殖・再移入を通じて集団全体は安定的に維持されます。

しかし、これまでの研究では生態系の「大きさ」ばかりが重要視され、生態系の別の側面「形の複雑さ」の影響は無視されてきました。自然が織りなす複雑な地形（海岸線の入り組み方や河川の枝分かれ）は、光環境や微気候（狭い範囲の気候）に作用して生息環境の多様性を生み出します。例えば、河川は合流を繰り返して樹状のネットワーク（図1）を形成しますが、その枝分かれの多さはより多様な山々から水が集まる河川であることを意味しており、全体として変化に富む環境が形成されます。本研究では、「自然河川のもつ複雑な枝分かれ構造は、環境の多様性の創出を通じ、生物集団の長期的な維持に貢献する」という仮説を検証しました。

【研究手法】

〔数理モデル〕

確率的な河川ネットワークを作り上げ（図1）、その中で生物集団の動態をシミュレートする数理モデルを作りました。枝分かれ構造の複雑さ（分岐確率として評価）が異なる河川ネットワークを作り、それらの間で生物集団の安定性*1を比べました。この際、河川ネットワークを構成する支流がそれぞれ異質な環境をもつ場合とそうでない場合を想定し、各シナリオのもとで得られる結果を比較しました。

〔長期モニタリングデータの解析〕

北海道の31水系で1999年から2016年にわたって行われた魚類のモニタリングデータを解析し、河川ネットワークの枝分かれ構造の複雑さ（分岐確率）と魚類集団の長期的な安定性の関係を調べました。対象種は、分布域の広いサクラマス、アメマス、フクドジョウ、ウグイの4種としました。なお、両者の関係の解析にあたり、気候や周囲の土地利用などの影響は統計的に排除しました。

【研究成果】

数理モデル及び長期モニタリングデータを用いて解析した結果、仮説を支持する結果が得られました。数理モデルによる解析から、各支流が異質な環境をもつ場合に、枝分かれ構造の複雑さが生物集団の長期的な安定性を生み出すことがわかりました。さらに、この予測は確率的な過程のみから導かれるため、様々な種に適用可能と考えられました。この理論予測を受けて、実際の河川で枝分かれ構造と魚類集団の安定性の関係を調べたところ、解析対象とした4魚種すべてで、複雑な枝分かれ構造をもつ（分岐確率が高い）河川ほど魚類集団が安定的に維持されていることが明らかになりました。4魚種は生態的な特徴が大きく異なるため、得られた結果の適用範囲は広いと考えられます。

【今後への期待】

「複雑な枝分かれ構造が生物集団の安定的維持に貢献する」という本研究の成果は、水産重要種（サケ類など）を含むあらゆる河川性生物に適用できる可能性があります。このため、生物多様性保全だけでなく、生物資源の持続的利用の観点からも非常に重要な発見です。過去数十年の間、ダムなどにより河川間のつながりは分断され、河川の枝分かれ構造はより単純なものへと作り替えられてきました。今後、河川における生物多様性保全と持続的な生物資源利用を実現するためには、枝分かれ構造の視点を取り入れた保全戦略を考えることが重要になると考えられます。

論文情報

論文名 Metapopulation stability in branching river networks (河川におけるメタ個体群の安定性)
著者名 照井 慧^{1,2}, 石山信雄¹, 卜部浩一³, 小野 理³, Jacques C. Finlay², 中村太士¹ (¹北海道大学, ²ミネソタ大学, ³北海道立総合研究機構)
雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences (米国科学アカデミー紀要)
DOI 10.1073/pnas.1800060115
公表日 米国東部時間 2018 年 6 月 12 日 (火) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院農学研究院・研究員 (兼ミネソタ大学・海外特別研究員)

照井 慧 (てるいあきら)

T E L +1 651-309-7736 メール aterui@for.agr.hokudai.ac.jp

U R L <http://ecological-stats.com/>

北海道大学大学院農学研究院・学術研究員 石山信雄 (いしやまのぶお)

T E L 011-706-3343 F A X 011-706-3343 メール an-nyui@for.agr.hokudai.ac.jp

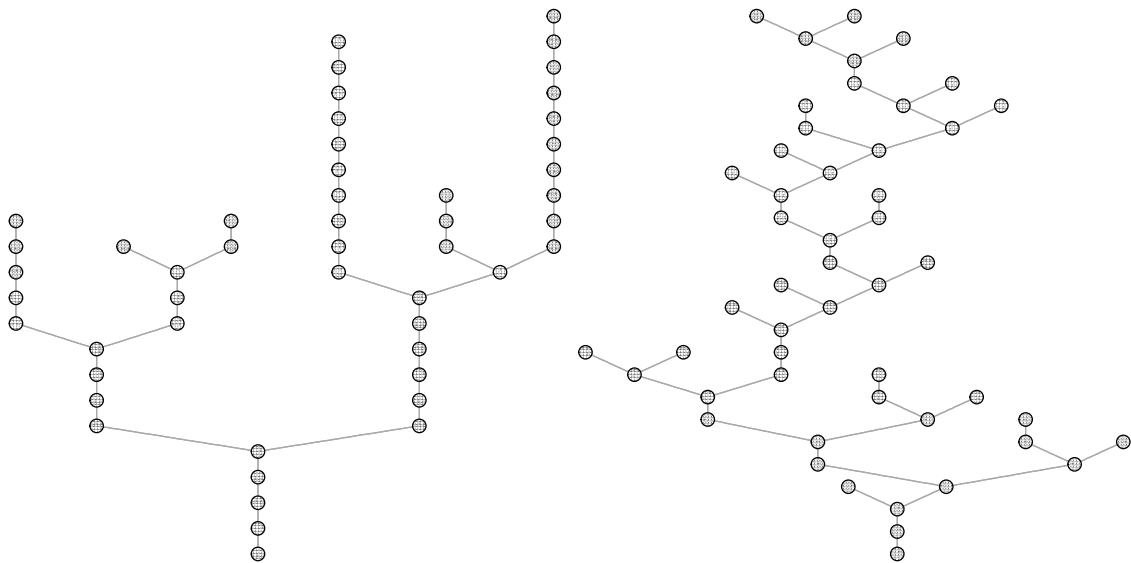
U R L <http://night7mare.wixsite.com/ishiyama-nobuo>

配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimuhokudai.ac.jp

【参考図】



単純な枝分かれ河川

(分岐確率 = 0.2)

複雑な枝分かれ河川

(分岐確率 = 0.8)

図 1 確率的に作り上げた河川ネットワークの例。支流は合流を繰り返す過程をへて、樹状のネットワークを形成する。図中の丸印は生物集団の生息地を表しており、一定の確率（分岐確率）で枝分かれする。上の例は、生態系の大きさは同じだが（丸印の総数）、構造の複雑さが異なる河川ネットワークを示している。（左）分岐確率の低い「単純な枝分かれ河川」の例、（右）分岐確率の高い「複雑な枝分かれ河川」の例。

【用語解説】

*1 生物集団の安定性 … 生物個体数は時間とともに変化する。ここでの安定性の高い集団とは、「対象となる期間の平均個体数が高く」、かつ「個体数の時間変動が小さい」集団のことを指す。この定義では、安定性が高いほど、生物集団は長期にわたって維持される可能性が高くなる。より具体的には、時間変化する個体数の標準偏差を平均で除した値（変動係数）として表される。