

河川水温変化の機構解明及び河川生態系に与える影響評価モデルに関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令和元～令和3

担当チーム：河川生態チーム

研究担当者：中村圭吾

【要旨】

気候の変化に対する河川地先の感熱特性を表す指標として修正熱感度と熱平衡偏差を提案し、これらと流域・河道特性との関係解析から、流域規模での水温変化のメカニズムを支配する重要な流域・河道特性の検出を試みた。その結果、修正熱感度は河道特性や集水域の地形に関する要素、熱平衡偏差は集水域の地被に関する要素の重要性が示された。他方、水温変化に対する河川生態系への影響は、魚類を対象に検討を深めた。魚種ごとに相対的な重要度は異なるため、個別の議論が必要であるものの、生息密度を左右する重要な水温指標として夏季の最低水温や、25℃以上の年間累積時間と最長継続時間などの重要性が示された。

キーワード：水温指標、流域・河道特性、変数重要度分析、クラスター分析、魚類分布

1. はじめに

気候変動は将来の河川における水温レジームに変化をもたらす。将来の河川水温を予測することが、河川生態系への影響を評価する上での前提であるものの、気候変動下の河川水温を精度よく予測するための技術の開発は遅れている。本研究では、河川水温の予測モデルの開発を見据えて、流域規模での河川水温変化のメカニズムを明らかにする。

河川水温の変化は気候に支配されるが、水温変化の応答性は、河川地先の特徴に依存することが知られている。例えば、河川流域に関係する感熱特性を支配する要因には、集水域面積、標高、地被などが挙げられ、一方、河道関連の要因では、勾配、水系次数、基底流出、河畔林による遮光などが挙げられる^{2,3,4,5}。このような河川の水温変化のメカニズムに影響を及ぼす河川地先の特徴は、それぞれの流域、河道の特性に強く拘束されるため、限られた流域で得られた知見を単純に他流域へ適用することは困難である。したがって、気候変動下における河川水温研究の今後の展開を考えると、これまでの個別に進められてきた研究成果を一般性のある知見に発展させることが重要である。そのためには、特徴の異なる様々な流域での研究を丁寧に積み重ね、その成果の包括的な理解を深めることが重要だと言える。

そこで、本研究では、ビッグデータの解析に有用な Random Forest (以下、RF)⁶による回帰木モデルの構築と、変数重要度分析を組み合わせることで、複数の流域を対象に、河川流域における水温変化メカニズム

の説明に重要な流域、河道の特徴を明らかにすることを目的とする。ここでは、河川水温そのものと、間接的に水温を支配すると考えられる水文流出に関する複数の既往研究事例^{2,5,7}を参考に、流域、河道に関する RF の説明変数を設定した。また、流域規模の気候変化に対する水温の感熱特性を検出する指標として修正熱感度と熱平衡偏差を用いることとし、これら2つを RF の目的変数とした^{8,9}。2つの指標については、2章2節に詳述するが、修正熱感度は大気の大気環境の変化に対する応答性、熱平衡偏差は大気の大気環境からの独立性を示す指標である。熱平衡偏差の独立性が低く(値が0に近い)、修正熱感度の応答性が高い(値が大きい)場合には、気象が水温形成の支配的な要因だと考えられ、下流域ほど、そのような感熱特性を有すると考えられる。このように、目的変数である水温指標と、説明変数である流域、河道に関する特徴量との関係解析は、気候変動の影響を受けやすい流域の特定や、河川地先が有する感熱特性の支配要因の明確化につながると期待される。

このほか、気候変動による河川水温の変化が、河川生態系に与える影響については、河川性魚類を対象に理解を深めた。本研究では、流域規模での魚類分布を表現すると想定される複数の水温指標を設定した上で、k-means法を用いて水温クラスターにわけ、魚種ごとの生息密度との関係を解析した。また、水温指標を説明変数、魚類の生息密度を目的変数とする RF を構築し、これを用いて魚類の生息密度を左右する重要な水温特性の検出を試みた。さらに、構築した RF を用い

て、気候変動による水温上昇の影響を受けやすい魚種の明確化を行った¹⁰⁾。

2. 水温変化を説明する重要な流域・河道特性の検出

2.1 現地観測

中国地方の一級水系である高津川、佐波川および小瀬川を対象流域とした。観測点は、流域全体を網羅するように設定し、高津川 30、佐波川 19、小瀬川 17 地点である^{8,11)}。対象期間は、2017年3月1日から2019年2月28日の2ヵ年とし、本研究では、月、年平均値を議論の基本とすることから、15分間隔の観測値から日平均値を求めた上で、月、年平均値を計算した。

2.2 水温指標

RFの目的変数には、熱平衡偏差と修正熱感度を水温指標として用いた^{8,9)}。まず、熱平衡偏差 ($M_aT_w - M_aT_{eq}$) は年平均観測水温 M_aT_w と年平均平衡水温 M_aT_{eq} の差を意味し、修正熱感度 (dM_mT_w/dM_mT_{eq}) は12対の月平均観測水温 M_mT_w と月平均平衡水温 M_mT_{eq} から求まる回帰直線の傾きを意味する。なお、ここで用いる平衡水温 T_{eq} とは、水表面を境界としたときの大気と水塊とが熱的平衡状態にあるときの理論水温として定義される¹²⁾。河川地先の気象値のみで簡便に算定でき、実務への適用性が高い解析手法だと考えられるため、河川地先の感熱特性を捉える水温指標の計算に用いることとした。また、熱平衡偏差は大気の熱環境からの独立性、修正熱感度は大気の熱環境の変化に対する応答性を示す指標である。したがって、熱平衡偏差の独立性が低く(値が0に近い)、修正熱感度の応答性が高い(値が大きい)場合には、気候が水温形成の支配的な要因だと考えられ、そういった特徴を持つ観測点は下流域に広く認められる^{8,9)}。ロワール川流域の事例では、気温と観測水温から求まる熱感度 TS (Thermal Sensitivity、 dT_w/dT_a 、 T_w : 水温、 T_a : 気温) を目的変数の一つに採用²⁾しているが、気温5-20°Cの範囲外を含む場合は、非線形性が強いことが報告されている¹³⁾。他方、本研究で用いた平衡水温は、蒸発冷却などの状態変化を含む、水面を介した大気との熱交換プロセスが考慮されている。そのため、冷水魚(特に稚魚)の温度耐性など生態系保全に重要な高温域、また、気候変動の影響を受けやすい融雪期の水温変化などの影響を受けやすい低温域を含む、広範な温度範囲での線形性が成り立つ¹⁴⁾ため、修正熱感度は高い優位性を持つと言える。

2.3 流域特性と河道特性

2.3.1 流域・河道特性の計算方法

既往の河川水温そのものと、間接的に水温を支配す

表-1 流域特性と河道特性⁹⁾

流域-基本			
集水面積	流域集中度	形状係数	河川密度
平均傾斜	平均標高	最低標高	最高標高
起伏量	平坦地	急傾斜地	

流域-斜面方位			
北	北東	東	南東
南	南西	西	北西

流域-地被・土壌			
森林	針葉樹林	広葉樹林	草地
裸地	農地	黒ボク土	

河道		気象	
主流長	主流勾配	降水量	気温

構造物-ダム		
集水面積	距離	貯水量

ると考えられる水文流出に関する研究事例を参考に、流域、河道に関する特徴量を表-1のように設定し、回帰モデルを構築するための説明変数とした^{2,5,7,9)}。まず、流域特性である観測点ごとの集水域は、DEM (10m メッシュ)¹⁵⁾を入力データの基本とした水文解析 (ESRI社製 ArcGIS 10.7) から求めた。また、流域集中度 (集水面積と等しい円の円周/流域周囲長)、形状係数 (集水面積/主流長²⁾)、河川密度 (河川延長/集水面積) は、同解析から求まる流域周囲長、主流長、河川延長を用いて計算した^{5,7)}。この他、平均、最低、最高標高と、起伏量 (最低と最高の標高差)、平均傾斜は DEM に基づき算出し、平坦地と急傾斜地は集水域に占める傾斜がそれぞれ 10° 以下と、30° 以上の面積割合とした⁷⁾。水温に及ぼす流域の方位の影響が報告⁹⁾されているため、DEM に基づき斜面方位を 45° 以下の 8 つ (北、北東、東、南東、南、南西、西、北西) にわけ、それぞれが集水域に占める割合を求めた。また、地被に関しては、森林比、農地比は土地利用細分メッシュデータを、針葉樹林、広葉樹林、草地、裸地は自然環境保全基礎調査、黒ボク土は土地分類基本調査の成果を参照^{16,17)}し、それぞれの面積割合を求めた。河道特性には、水文解析から求まる主流長、主流勾配 (起伏量/流路長) を用いた⁷⁾。また、水温指標の流程変化に対するダムの影響を捉えるために、集水面積 (ダム集水面積/観測点集水面積)、距離 (構造物から観測点までの距離/主流長)、貯水量 (ダム貯水量/観測点集水域の年降水量) を無次元の特徴量として考慮した。気象に関する年降水量と年平均気温は、農研機構メッシュ農業気象データ (The Agro-Meteorological Grid Square Data、NARO) (<https://amu.rd.naro.go.jp/>)

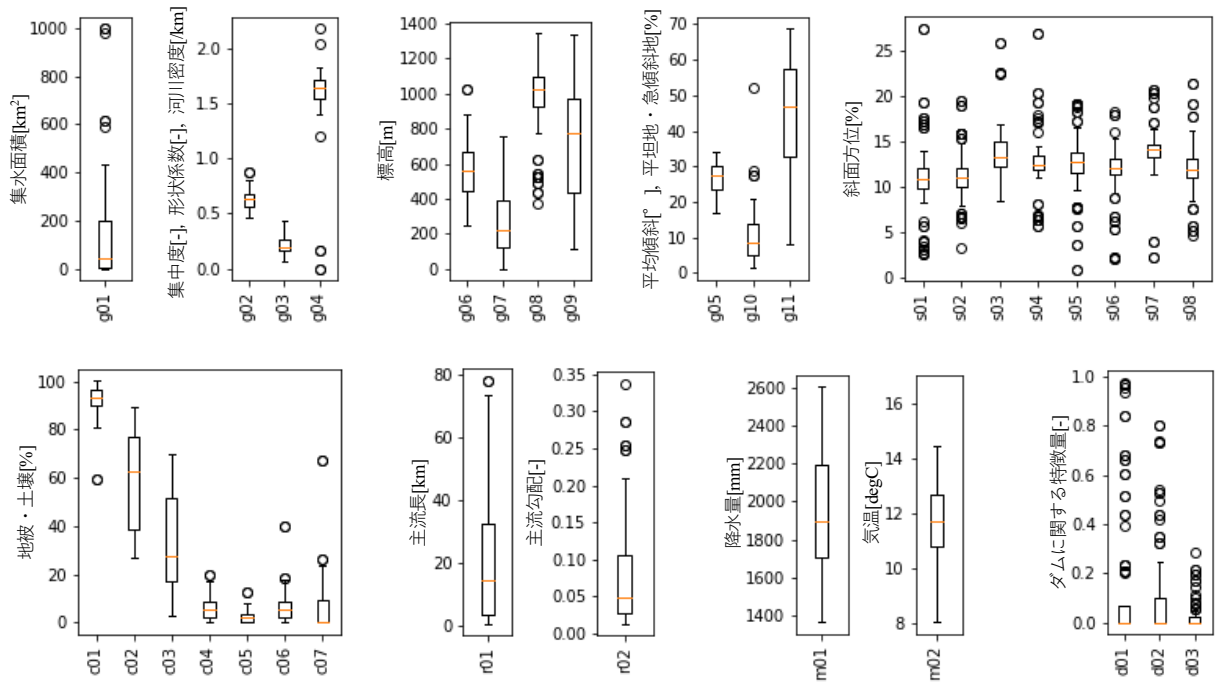


図-1 流域特性および河道特性（エラーバーの上下限值：第1、3四分位数 $\pm 1.5 \times$ 四分位範囲、○：外れ値、g01：集水面積、g02：流域集中度、g03：形状係数、g04：河川密度、g05：平均傾斜、g06、g07、g08：平均、最低、最高標高、g09：起伏量、g10：平坦地、g11：急傾斜地、s01：北、s02：北東、s03：東、s04：南東、s05：南、s06：南西、s07：西、s08：北西、c01：森林、c02：針葉樹林、c03：広葉樹林、c04：草地、c05：裸地、c06：農地、c07：黒ボク土、r01：主流長、r02：主流勾配、m01：降水量、m02：気温、d01：集水面積、d02：距離、d03：貯水量を意味し、図-2、3も同様とする。）⁹⁾

を参照^{18,19)}し、集水域ごとに平均値を計算した。

2.3.2 流域・河道特性の計算結果

高津川、佐波川および小瀬川流域の流域特性と河道特性を図-1にまとめる。まず、流域特性である集水面積は400km²を下回る観測点が多数を占め、それを上回るのは高津川流域の下流に位置するいくつかの観測点のみである。また、形状係数のエラーバーの範囲（以下、範囲）は0.07-0.43にある。平坦地と急傾斜地の範囲は、1-21%と8-69%である。平均、最低、最高標高および起伏量は、それぞれ246-877m、2-753m、771-1,344mおよび116-1,337mとなった。斜面方位は、北、北東の割合がやや小さいものの8-17%であり、概ね似通った範囲となった。地被は、どの集水域も概ね80%以上を森林に覆われているが、針葉樹林、広葉樹林の内訳は集水域ごとに大きく異なる。草地、裸地および農地は、0-18%の範囲にある。河道特性である主流長の範囲は1-74km、主流勾配は0.01-0.21、また、気象要因の年降水量は1,367-2,602mm、年平均気温は8.0-14.5°Cである。なお、RFを含む機械学習は、内挿問題への適用を基本とする。したがって、図-1に示す、流域と河道に関する特徴量の範囲は、本研究で構築するRFの適用限界

の目安だと考えることができる。

2.4 ランダムフォレストの構築と変数重要度の分析方法

目的変数（修正熱感度、熱平衡偏差）と説明変数（流域、河道特性）との関係を求めるために、CART（Classification and Regression Trees）に基づく、アンサンブル機械学習法の一つであるRFを用いた⁹⁾。RFでは、それぞれのブートストラップ・サンプルについて、異なる無数の分類回帰木モデルが構築される。そして、本研究のような回帰問題であれば、構築されたすべてのモデルの予測値の平均が、最終的な出力結果として求まるものである。なお、回帰木モデルのノード数は10、作成するモデル数は200とした。また、構築された回帰木モデルは、5分割交差検証に基づいて精度の検証を行った。なお、RFの実装には、pythonの機械学習のモジュールであるsklearn0.22.1を使用した。

重要度の高い説明変数の検出には、環境データを対象とした機械学習での有用性が認められた、wrapper法の一つであるPIMP（Permutation Importance）^{20,21)}を採用した⁹⁾。PIMPは、予測精度の減少を意味するMDA

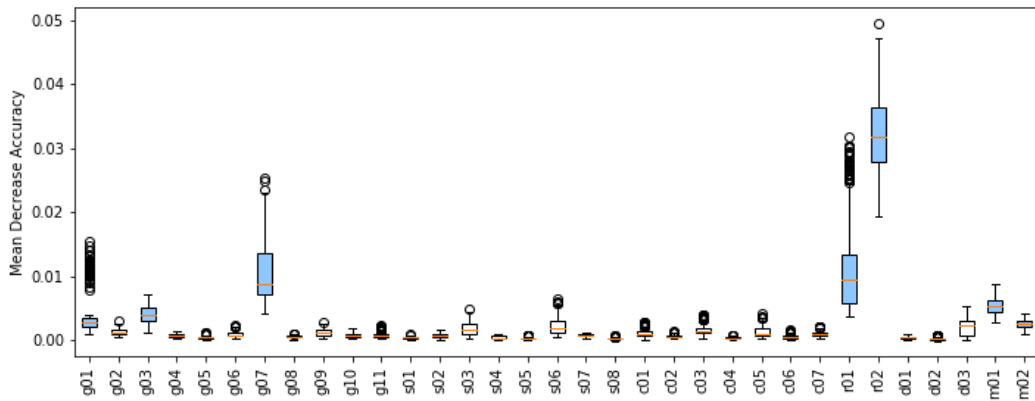


図-2 修正熱感度 (dM_mT_w/dM_mT_{eq}) に関する変数重要度 (MDA の中央値が全説明変数の中央値平均を上回るものを青く着色) ⁹⁾

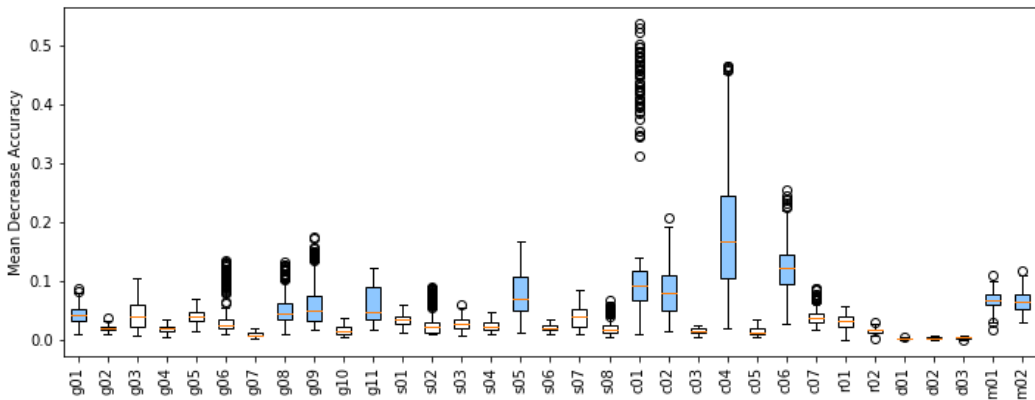


図-3 熱平衡偏差 ($M_aT_w - M_aT_{eq}$) に関する変数重要度 (MDA の中央値が全説明変数の中央値平均を上回るものを青く着色) ⁹⁾

(Mean Decrease Accuracy) が重要な変数を検出する指標であり、MDA の値が大きいほど相対的に変数の重要度が高いことを意味する。本研究では、MDA の中央値が全説明変数の中央値平均を上回るものを重要な変数として検出した。なお、PIMP の実装には、RF と同様に sklearn0.22.1を使用した。

2.5 流域規模での水温指標の変化を説明する重要な流域・河道特性の検出結果

2.5.1 修正熱感度 (dM_mT_w/dM_mT_{eq})

変数重要度分析から明らかになった流域規模での水温指標の変化を説明する重要な流域・河道特性の検出結果を図-2、3 に示す。その特徴を概観すると、修正熱感度は、河道特性や集水域の地形に関する変数が検出される一方、熱平衡偏差は集水域の地殻に関するものが多く検出された。はじめに、修正熱感度について詳述する。MDA の中央値が平均を上回った重要度の高い変数は、主流長、主流勾配、集水面積、最低標高、形状係数、降水量、気温となった (図-2) ⁹⁾。変数の種

類、種数や、分析方法が異なり、単純な比較はできないが、主流長、主流勾配 (河川の勾配)、最低標高 (観測点の標高) は、本研究と同様に重要性が示されている ^{2,5)}。

この他、降水量は流量を代替する指標、形状係数は主流長あたりの流量の大きさを示す指標⁹⁾である。流量 (降水量) の増加にともない、水塊は気候による加熱・冷却の影響を受けにくくなる一方で、集水域の形状が細長い (形状係数が小さい) ほど、主流長あたりの集水面積が小さいために流量は少なく⁹⁾、水塊は気候による影響を受けやすいと考えられる。

2.5.2 熱平衡偏差 ($M_aT_w - M_aT_{eq}$)

熱平衡偏差については、森林、針葉樹林、草地、農地、斜面方位 (南)、集水面積、最高標高、起伏量、急傾斜地、降水量、気温が、MDA の中央値が平均を上回る重要度の高い変数となった (図-3) ⁹⁾。このうちの多くの変数は、観測水温の年平均に影響を及ぼすと考えられる集水域の地殻に関連する特徴量である。Home

and Hubbart²²⁾は、低茎植生、牧草地および耕作地の面積割合の増加が、河川水温を上昇させる一方、森林が水温低下を招く要因であることを明らかにしており、本研究では、それらに類する草地、農地および、森林、針葉樹林が重要度の高い変数として選ばれた。なお、対象流域の農地は、その大半が水田であるため、その知見²²⁾の単純な適用はできないが、夏季の水田での昇温効果の高さが報告⁵⁾されていることから、河川水温の上昇に、水田排水が影響を与えていることは十分に考えられる。この他、複数の先行研究が昇温メカニズムを駆動する日射の重要性を指摘^{2,3,23,24)}しているが、いずれの方位の中で、年間日射量が最も大きい南向き斜面が重要な変数として検出された。

3. 気候変動にともなう河川水温の変化が河川生態系に与える影響

3.1 水温観測と魚類調査

気候変動による河川水温の変化が、河川生態系に及ぼす影響については、河川性魚類を対象に理解を深めた。本研究では、中部地方の木曾川流域（木曾川、長良川、揖斐川）において、据置型の水温計を47地点に設置し、2016年11月～2021年3月にかけて河川水温の観測を実施した¹⁰⁾。また、魚類については、水温計の設置地点の近隣94地点で、電気ショッカーを用いて採捕を行い、魚類の生息密度を求めするために、種ごとの個体数と調査面積を記録した¹⁰⁾。

3.2 魚類分布を説明する重要な水温指標の検出方法

観測水温の時系列データを用いて、流域規模での魚類分布を説明すると想定された27項目の水温指標を計算した。具体には、四季ごと（春：4-6月、夏：7-9月、秋：10-12月、冬：1-3月）の最高、平均、最低水温、水温変動（標準偏差）と、年水温較差（年最高水温一年最低水温）、高水温（30、25、20℃以上）および低水温（5、10℃以下）の年間累積時間と最長継続時間である¹⁰⁾。それら27項目の水温指標を用いて、k-means法より、水温クラスターを求めた。また、水温クラスターによって、魚類の生息密度が異なるかを明らかにするために、魚種ごとに両者の関係を整理した。

このほか、魚類の生息密度を説明する相対的に重要な水温指標を27項目の中から検出するためにRFを構築した。さらに、同RFを用いて、水温上昇が魚種の生息密度に及ぼす影響を推定することで、気候変動にともなう水温変化に脆弱だと考えられる魚種の明確化を試みた。

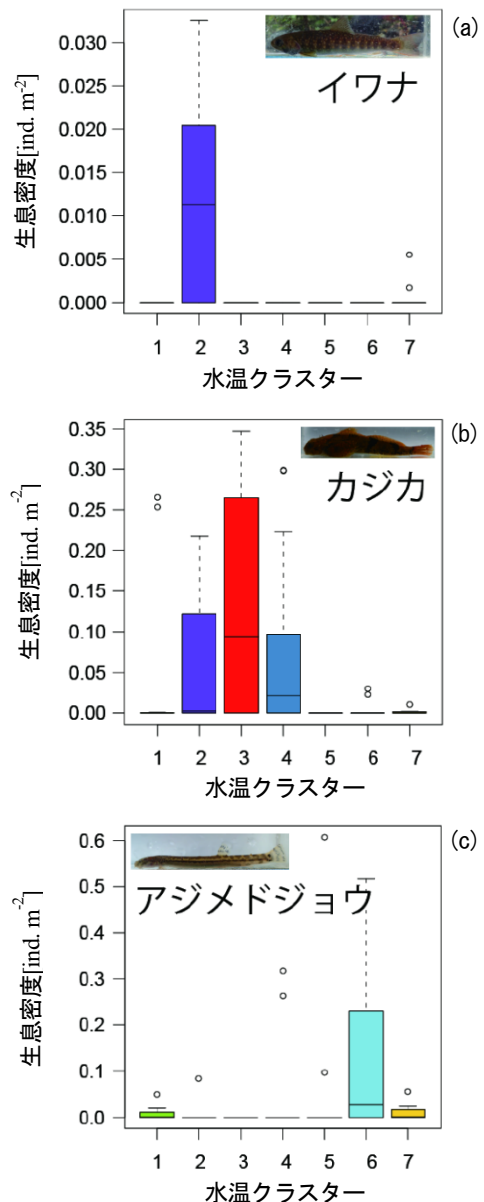


図-4 水温クラスターと(a)イワナ、(b)カジカおよび(c)アジメドジョウの生息密度との関係¹⁰⁾

3.3 水温クラスターと魚類の生息密度との関係

水温指標27項目を用いたk-means法の結果、木曾川流域は7つの水温クラスターに分類された¹⁰⁾。例えば、標高が高い観測点では、最高、最低水温が低く、水温変動が小さい特徴を持つ水温クラスターや、標高が低い観測点では、最高、最低水温が高く、水温変動が大きい水温クラスターが確認されるなど、標高に基づく解釈が妥当だと考えられる水温クラスターを確認した。このほか、山地から扇状地にかけての中標高帯においては、水温指標の異なる特徴から説明される複数の水温クラスターが存在することがわかった。

次に、7つの水温クラスターと冷水性魚類であるイワナ、カジカ、アジメドジョウの生息密度との関係を図-4に示す¹⁰⁾。イワナや、アジメドジョウは、特定の水温クラスターに分布することがわかる。また、カジカについては、いくつかの水温クラスターに分布する傾向にあるが、水温クラスターごとの生息密度に違いがみられた。

3.4 魚類の生息密度を説明する重要な水温指標

RFを用いて水温指標の相対的な重要度を求めた結果、本研究で確認された全55種中22種において、魚類の生息密度を左右する一因として水温が有意に影響していることが確認された¹⁰⁾。設定した27項目の水温指標のうち、夏季の最低水温が最も重要な指標として検出された。次いで、25°C以上の年間累積時間と最長継続時間、10°C以下の年間累積時間、春季の水温変動、続いて30°C以上の年間累積時間、夏季の水温変動、夏季の最高水温が相対的に重要な指標として検出された。ただし、魚類の生息密度を説明する重要な水温指標は、魚種ごとに異なることが明らかとなり、気候変動適応策などの検討に際しては、対象種に応じた対策の必要性が示唆された。

気候変動にともなう水温上昇に脆弱な魚種について構築したRFを用いて検討を試みた。水温上昇の影響は魚種ごとに異なり、冷水性魚類であるアマゴについては、その生息密度が水系全体で一方向的に低下するのではなく、生息密度が高まる地点があることが確認された。しかしながら、同じく冷水性魚類のイワナは、本研究のすべての調査地において生息密度の低下を認めた。そのため、木曾川流域においてイワナは、気候変動にともなう水温上昇への脆弱性が高い魚種であることが示唆された。

4. まとめ

本研究では、気候変化に対する地先の河川水温の感熱特性を表す修正熱感度と熱平衡偏差を用いて、それらの空間変化を支配する流域・河道特性を明らかにすることを試みた。さらに、様々な流域で活用できる一般性の高い知見を得るために、流域と河道に関する複数の特徴量を整理した上で、それらを説明変数、修正熱感度と熱平衡偏差を目的変数としてRFを構築し、変数重要度分析による流域規模での水温変化を説明する重要な流域・河道特性の検出を試みた。

他方、河川生態系に対する水温変化の影響は、流域規模での魚類分布を水温クラスターから説明するとともに、設定した複数の水温指標のうち、魚類の生息密

度を左右する重要な水温指標を明らかにした。以下に、本研究で得られた主な知見をまとめる。

- 1) 目的変数に修正熱感度と熱平衡偏差、説明変数に複数の流域・河道特性を設定し、RFの構築とPIMPによる分析により、流域規模での水温変化のメカニズムを支配する重要な流域・河道特性を検出することができ、当該手法の有用性を確認した。
- 2) 修正熱感度は、それと類似する水温特性(TS)を用いた先行研究で重要性が指摘されている、主流長、主流勾配、最低標高を含む、集水面積、形状係数、降水量、気温が、重要度の高い変数として検出された。
- 3) 熱平衡偏差を説明する変数として、森林、針葉樹林、草地、農地、斜面方位(南)、集水面積、最高標高、起伏量、急傾斜地、降水量、気温が検出された。これらは、観測水温と平衡水温の年平均値への関与を通じて、熱平衡偏差に影響するものと推察された。
- 4) 観測水温の時系列データの分析から、木曾川流域において7つの水温クラスターを確認した。特定のクラスターにのみ生息する魚種や、いくつかのクラスターにわたって分布するが、その生息密度に差がある魚種がみられた。
- 5) 魚類の生息密度を左右する相対的に重要な指標として、夏季の最低水温、25°C以上の年間累積時間と最長継続時間、10°C以下の年間累積時間、春季の水温変動、30°C以上の年間累積時間、夏季の水温変動、夏季の最高水温が検出された。

参考文献

- 1) Huguet F, Parey S, Dacunha-Castelle D, Malek F. : Is there a trend in extremely high river temperature for the next decades? A case study for France., *Nat Hazards Earth Syst Sci.*, 8, pp.67-79, 2008
- 2) Beaufort A, Moatar F, Sauquet E, Loicq P, Hannah DM. : Influence of landscape and hydrological factors on stream-air temperature relationships at regional scale, *Hydrol Process.*, 34(3), pp.583-597, 2020
- 3) 浦野仁志、宮本仁志、前羽洋、戸田祐嗣：河川流域の流水水温形成における基底流出水温の影響について、土木学会論文集B1(水工学)、69(4)、pp.I_1681-I_1686、2013
- 4) Hannah DM, Garner G. : River water temperature in the United Kingdom: Changes over the 20th century and possible changes over the 21st century, *Prog Phys Geogr.*, 39(1), pp.68-92, 2015

- 5) 牧野富彦、宮沢哲男：豊川水系黄柳川の河川水温について—河川水温におよぼす地形的因子の影響度の季節変化—、水温の研究、26(6)、pp.13-20、1983
- 6) Breiman L. : Random Forests, *Mach Learn.*, 45, pp.5-32, 2001
- 7) 末永博、溝口裕太、田中規夫、井原和彦、又吉健太：河川合流点での水位・流量ピーク時刻の集中を支配する降雨および流域特性の分析と集水域間の比較—荒川水系入間川流域を対象として—、河川技術論文集、25、pp.121-126、2019
- 8) 溝口裕太、赤松良久、宮本仁志、中村圭吾：平衡水温を用いた流域スケールの河川水温管理指標の提案、河川技術論文集、27、pp.289-294、2021
- 9) 溝口裕太、赤松良久、宮本仁志、中村圭吾：ランダムフォレストと変数重要度分析を用いた河川流域での水温変化特性の支配要因の検出、土木学会論文集B1、77(2)、pp.I_997-I_1002、2021
- 10) 末吉正尚、石山信雄、Garcia Molinos J、中村圭吾：木曾三川流域における水温レジームと魚類の分布パターン、第24回研究発表会講演集、pp.43、2021
- 11) 河野誉仁、赤松良久、乾隆帝：中国地方一級水系における河川水温の時空間構造変化、土木学会論文集B1(水工学)、74(5)、pp.I_463-I_468、2018
- 12) 新井正：地域分析のための熱・水収支水文学、古今書院、309p、2004
- 13) Kelleher C, Wagener T, Gooseff M, McGlynn B, McGuire K, Marshall L. : Investigating controls on the thermal sensitivity of Pennsylvania streams, *Hydrol Process.*, 26(5), pp.771-785, 2012
- 14) Bogan T, Mohseni O, Stefan HG. : Stream temperature-equilibrium temperature relationship, *Water Resour Res.*, 39(9), 1245, 2003
- 15) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス、<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>、2020
- 16) 国土交通省：GISホームページ、<https://nlftp.mlit.go.jp/index.html>、2020
- 17) 環境省自然環境局生物多様性センター：第6-7回自然環境保全基礎調査植生調査報告書、<http://www.biodic.go.jp/>、2020
- 18) 大野宏之、佐々木華織、大原源二、中園江：実況値と数値予報、平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成、生物と気象、16、71-79、2016
- 19) 小南靖弘、佐々木華織、大野宏之：メッシュ農業気象データ利用マニュアル、農研機構、4、67p.、2019
- 20) Effrosynidis D, Arampatzis A. : An evaluation of feature selection methods for environmental data, *Ecol Inform.*, 61, 101224, 2021
- 21) Altmann A, Toloşi L, Sander O, Lengauer T. : Permutation importance: A corrected feature importance measure, *Bioinformatics*, 26(10), pp.1340-1347, 2010
- 22) Horne JP, Hubbart JA. : A spatially distributed investigation of stream water temperature in a contemporary mixed-land-use watershed, *Water*, 12, 1756, 2020
- 23) Campbell G., Norman JM. : Introduction to Environmental Biophysics, 2nd Ed, *Springer*, 286p., 1998
- 24) Younus M, Hondzo M, Engel BA. : Stream temperature dynamics in upland agricultural watersheds, *J Environ Eng.*, 126, pp.518-526, 2000

STUDY ON REVEALING MECHANISM OF WATER TEMPERATURE CHANGE IN RIVERS AND ASSESSMENT MODEL ON RIVER ECOSYSTEMS

Research Period: FY2019-2021

Research Team: River Restoration Research Team,
Water Environment Research Group

Author: NAKAMURA Keigo

Abstract: The modified thermal sensitivity and the thermal equilibrium difference were proposed as indicators of the thermo-sensitive characteristics in rivers to climate change. Important watershed and channel characteristics were detected that govern the mechanism of basin-scale water temperature change based on analysis of the relationship between the indicators and watershed/channel characteristics. On the other hand, the effects of water temperature change on river ecosystems were examined in terms of basin-scale distribution of fish assemblages.

Keywords: temperature index, watershed and channel characteristics, variable importance analysis, cluster analysis, distribution of fish assemblages