特集「景観生態学でどこまでわかったのか」

兵庫県周辺地域におけるイワナの潜在生息域の推定

河口洋一¹・三橋弘宗²・田中哲夫³・三橋亜紀⁴

¹ 北海道大学大学院農学研究科 060-8589 札幌市北区北9条西9 (yoichi@for.agr.hokudai.ac.jp)

^{2,3} 兵庫県立人と自然の博物館 流域生態研究グループ 669-1546 三田市弥生が丘6丁目

(²hiromune@hitohaku.jp, ³f-tanaka@hitohaku.jp)

⁴ 神戸市在住

Predicting the potential habitat of white-spotted charr in central Japan

Yôichi KAWAGUCHI¹, Hiromune MITSUHASHI², Tetsuo TANAKA² and Aki MITSUHASHI³

¹ Department of Forest Science, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, N9 W9 Sapporo, Hokkaido, 060-8589 Japan

² Museum of Nature and Human Activities, Hyogo, 6-Yayoiga-oka, Sanda, Hyogo, 669-1546 Japan

はじめに

野生生物の保全計画を立案するためには、対象とする種の現時点での分布を明らかにするだけではなく、環境要因との対応関係から潜在的に生息することが可能な地域を明らかにする必要がある (USFWS, 1981). 一般に、数百 km 四方の広範囲にわたって、各種の詳細な分布を明らかにすることは困難なうえ、時期や環境変動の影響により発見出来ない場合もあるため、現況の分布情報を収集するだけでは現地を評価することは不十分である。特に、保全の対象として取り上げられることが多い希少種の場合、環境改変によって地域的な絶滅が引き起こされていることが多く、過去には生息していたが現在は確認できない場合があり、分布情報も乏しい。そのため、現況調査や既存の文献調査から分布情報を可能な限り抽出し、その種の分布を制約する環境要因との関連性から潜在的な生息域を推定する手法の確立が求められている (三橋・池田, 2001)。

山地溪流に生息する冷水性のサケ科魚類であるイワナ (*Salvelinus leucomaenis*) の生息域は、日本列島レベルの広域的な分布情報をもとに検討されたところ、源流域における河川水温の指標値となる地下水温の推定値 (GWT) によって制約されることが知られている (Nakano *et al.*, 1996)。しかし、実際の保護区設定などの保全対策を想定した場合には、日本列島レベルより小さな流域スケールでの潜在的な生息域を推定することが求められており、スケールに相応した環境要因を選択しなければならない (Wiens, 1989; Saab, 1999)。したがって、広域的な潜在生息域に対して、さらに流域スケ-

ルでの景観要因によって領域を絞り込む必要がある。これまで、流域スケールでのサケ科魚類を対象とした研究では、ハビタットの孤立化、ハビタットサイズや流域の平均傾斜角、人為圧 (道路密度) などの景観要因のパラメータが個体群の有無に関連していることが知られており (Faush *et al.*, 1994; Dunham and Rieman, 1999)、保全計画への適用が検討されている。

一方、国内での河川性サケ科魚類の生息域に関する研究は、微細生息場所 (Urabe and Nakano, 1999) や流程、小流域レベル (Inoue *et al.*, 1997) については行なわれてきたが、小流域レベルよりも大きなスケールでの研究は殆ど行なわれておらず、景観要因との対応関係は明らかにされていない。そこで本研究では、兵庫県とその周辺域 (鳥取県東部) を流れる河川を対象とし、地下水温の推定値に関する閾値 (Nakano *et al.*, 1996) を用いて、広域的に生息可能な領域を推定し、この領域に対して、現地調査および既存の魚類相調査資料による分布情報と各種景観要因との関係から、より詳細な領域を絞り込むアプローチを採用した。特に、ハビタットサイズについては、メタポピュレーション構造や個体群の存続に大きく関連するため (Fahrig and Merriam, 1994)、地下水温の推定値によって規定される閾値に基づいて推定し、個体群の有無との関連性を検討する。また、これらの解析プロセスを経て得られたパラメータに基づき、地理情報システム (GIS) を活用して、地図として潜在生息域を表示することを試みた。なお、この研究は未だ発展途上の段階であり、現在さらなる分布情報と環境情報の充実に図り再度解析を行なっている。関

心のある方は、別報にて報告する予定であるので、詳細はそちらを参照して頂きたい。

方法

イワナ(*Salvelinus leucomaenis*)の分布情報は、1998-2000年にかけて現地調査を行ない確認したものを、1/25,000地形図(国土地理院)に地点を記録した。また、過去の調査資料(報告書)や文献に基づいて詳細な地点の情報を収集し、同様に地図上の位置を特定した。最近の研究では、広域的な分布を検討する場合には、個体数や現存量でなく、分布の有無であっても環境要因との対応関係を定量化できることから(Oberdorff *et al.*, 2001)、広く情報を集積し、分布する地点だけでなく、過去に分布が記録されていないことを識別するためデータベース化を行なった。

環境要因について、気温、積雪量は平年値の気象メッシュ(気象庁:3次メッシュ)を、標高については数値地図50mメッシュ(国土地理院:約50mメッシュ)をそれぞれ用い、傾斜については数値地図50mメッシュから数値計算によって求めた。地下水温の推定値(GWT)は、緯度と標高からモデル式(Nakano *et al.*, 1996)により推定することで250mメッシュのデータとした。また河川については、1/25,000地形図に記されているラインを読み取りベクトルデータに変換した。これらのデータ作成及び以後の解析は、すべて地理情報システム(Arc View 3.2 and Spatial Analyst, ESRI 社)を用いた。

広域的なイワナの潜在生息域を規定する環境要因として、地下水温の推定値(GWT)が16℃以下とされていることから(Nakano *et al.*, 1996)、この閾値によって生息可能領域をGIS上で抽出した。次に、GWTが16℃以下の領域を流れる河川で、イワナの分布が確認された小流域とイワナの分布が確認されていない流域について、各流域の平均GWT、流域の平均積雪量、流域の平均標高、流域の平均傾斜、GWT16℃以下の流路長といった景観要因を各小流域の解析単位として属性情報を取得した。

イワナの潜在生息域を判別するために、イワナの分布の有無を従属変数に、景観要因を独立変数として線形判別関数による判別分析を行なった(SPSS 9.0, SPSS 社)。判別分析によって得られた各小流域の判別得点から、イワナの分布が確認され

た流域の判別得点でもっとも小さい値を基準に、その値以上の小流域を兵庫県とその周辺域におけるイワナの潜在生息域として地図上に表した。

本研究の対象とした兵庫県周辺地域は、東北地方や中部地方に比べるとイワナの生息に適した冷水温となる高い標高を有する山岳地帯が乏しく、イワナの分布は兵庫県と鳥取県の県境付近に位置する氷ノ山及び扇ノ山の周辺に偏っており、分布の局所性と乱獲が関連して兵庫県が独自に作成したレッドデータブックでは最も絶滅の危険性が高いAランクに位置付けられている(兵庫県, 1997)。

結果と考察

野外調査及び文献によって確認されたイワナの分布地点は、兵庫県と鳥取県の県境付近に集中し、現地調査から分布が確認された地点は10地点だったのに対し、既存資料から分布が確認された地点

図1. 地下水温(GWT)16℃以下の領域(濃灰色部分)とイワナの分布地点、そして判別得点によって選ばれたイワナの生育可能な流域(地図上に示された円の中の小流域はイワナの分布が確認されていない)

は46地点（現地調査によって確認された地点と重複する場合も含む）だった。現地調査から分布を確認することは確実な手段であるが、既存の調査結果を見直す作業からも多くの情報を得ることが可能である。

イワナの生息が可能と考えられる地下水温の推定値（GWT）が16℃以下の領域を地図表示すると、実際の分布地点を内包した広い範囲が選択された（図1）。GWTの推定には緯度と標高の値を用いるが、今回の対象範囲では緯度の変化に比べて標高の変化が大きく、領域の大半は高い標高を有する山地が占めていた。

次に、より詳細なスケールでイワナの潜在生息域を推定するために、先に推定した領域に対して、過去の文献資料等を参照して小流域を解析単位としたイワナの分布の有無について、各景観要因を説明変量として判別分析を行なった。その結果、GWTが16℃以下の領域の内、イワナの生息している流域と生息していない流域を景観要因によって有意に判別することができ（ $\chi^2 = 278.09$, $P <$

0.001, 正判別率 = 87.5%），GWT16℃以下となる流路長（ $D = 0.76$ ），平均積雪量（ $D = 0.44$ ），平均標高（ $D = 0.20$ ）が判別に寄与していた。特に、GWT16℃以下の流路長は、判別に大きく寄与しており、イワナの生息域サイズと関連すると考えられる。これまでの研究でも、生息域サイズが小さくなると、絶滅確率が高まることで、個体群の維持が困難になると考えられており（Fahrig and Merriam, 1994; Dunham and Rieman, 1999），兵庫県周辺地域において、イワナにとっての許容可能な流路長が比較的短い小流域では個体群の維持が難しいと考えられた。河川性の魚類の場合には他の分類群とは異なり、川に沿った線的な移動を余儀なくされるために、生息域の矮小化と孤立化が及ぼす影響は比較的大きいと考えられている（Zwick, 1992; Nakano et al., 1996）。また、平均積雪量や平均標高については、河川水温を低下させる要因となるため、水温との擬似相関となっている可能性がある。

判別得点に基づきイワナの潜在生息域をより詳細なスケールで絞り込むことが出来たが（図1），過去にイワナの分布が記録されていない流域も選択されているため、さらに小流域ごとに生息域の質を検討した。まず、実際にイワナの分布が確認された地点からGWTの閾値を検討したところ、GWTはすべて14.8℃以下であり、閾値として用いた16℃よりも約1℃低い値であった。そこで、GWTが14.8℃以下の流域をより好適な生息域として位置付け、その妥当性を検討するため、前述した解析により選択された小流域を対象に、GWTが14.8℃以下となる流路長を説明変量に追加して、再度判別分析を行った。その結果、イワナの分布の有無を有意に判別することができ（ $\chi^2 = 176.61$, $P < 0.001$, 正判別率 = 100%），平均積雪量（ $D = 0.57$ ），平均標高（ $D = 0.38$ ），GWT14.8℃以下となる流路長（ $D = 0.17$ ）が判別に寄与した。説明変数にGWT14.8℃以下の流路長を組み込むことで、正判別率が高まることから、イワナの全国的にみた許容限界が16℃であり、好適と考えられる領域は14.8℃以下と解釈したが、この点は今後の検討が必要である。

判別得点に基づいて、地図上にイワナの潜在生息域を示す（図2）。兵庫県とその周辺域でイワナの潜在生息域として選択された河川は、既存情報から自然分布が確認されている日本海側の3河川（岸田川水系、矢田川水系、円山川水系）と瀬戸内海側の1河川（千種川水系），そして過去に報告が

図2. 判別得点によって推定されたイワナの潜在的な生息域

なかった瀬戸内海に流れる2河川(揖保川水系, 市川水系)となった。瀬戸内海側に流れる2河川は, これまでイワナの自然分布は確認されてこなかったものの, 放流個体が採集されることが度々あり(三橋, 私信), 環境要因から考えるとイワナの生息が可能であると考えられる。現実には自然分布が確認されない要因としては, 生物地理学的な障壁効果が関連すると思われる。

今回の結果について, GWTの数値自体は厳密な絶対値ではなく, むしろ相対値として捉えることが望ましい。GWTは源流から流下するにしたがって環境要因や人為改変の影響が複合されて, モデル式からの乖離が大きくなるため, 実際の河川水温を反映しない可能性がある。したがって, 今回の結果をそのまま他の地域に適用するのは難しい。しかし, GWTによって規定される流路長によって定義した生息域サイズが個体群の維持に関与する可能性が高く, 特にこの流路長が短い小流域では, 水路網の繋がりを考慮した面的な保全計画(Johnson and Gage, 1997)の必要性が示唆される。

引用文献

- Dunham, J. B. and Rieman, B. E. 1999. Metapopulation structure of bull trout: influences of physical, biotic, and geometrical landscape characteristics. *Ecological Applications* 9: 642-655.
- Fahrig, L. and Merriam, G. 1994. Conservation of fragmented populations. *Conservation Biology* 8: 50-59.
- Faush, K. D., Nakano, S. and Ishigaki, K. 1994. Distribution of two congeneric charrs in streams of Hokkaido Island, Japan: considering multiple factors across scales. *Oecologia* 100: 1-12.
- 兵庫県. 1997. ひょうごの野生動物: 絶滅が心配されている動物達. 神戸新聞総合出版センター.
- Inoue, M., Nakano, S. and Nakamura, F. 1997. Juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) abundance and stream habitat relationships in northern Japan. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54: 1331-1341.
- Johnson, L. B. and Gage, S. H. 1997. Landscape approaches to the analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology* 37: 113-132.
- 三橋弘宗・池田啓. 2001. フィールドワークの軌跡が語る生態系のすがた. *GIS Japan* 1: 93-98.
- Nakano, S., Kitano, F. and Maekawa, K. 1996. Potential fragmentation and loss of thermal habitats for charrs in the Japanese archipelago due to climatic warming. *Freshwater Biology* 36: 711-722.
- Oberdorff, T., Pont, D., Hugueny, B. and Chessel, D. 2001. A probabilistic model characterizing fish assemblages of French rivers: a framework for environmental assessment. *Freshwater Biology* 46: 339-415.
- Saab, V. 1999. Importance of spatial scale to habitat use by breeding birds in riparian forests: a hierarchical analysis. *Ecological Applications* 9: 135-151.
- Urabe, H. and Nakano, S. 1999. Linking microhabitat availability and local density of rainbow trout in low-gradient Japanese streams. *Ecological Research* 14: 341-349.
- U.S. Fish and Wildlife Service. 1981. Standards for the development of suitability index models. *Ecological services manual* 103. U.S. Department of Interior, Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Services. Government Printing Office, Washington, D.C., USA.
- Wiens, J. A. 1989. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology* 3: 385-387.
- Zwick, P. 1992. Stream habitat fragmentation - a threat to biodiversity. *Biodiversity and Conservation* 1: 80-97.