

研究論文

四国におけるイシヅチサンショウウオの生息環境と生息適地の予測

渡邊礼雄¹⁾・井上光也²⁾・比嘉基紀²⁾・加藤元海^{2,3)}*

要旨

イシヅチサンショウウオは四国の山間部に生息する流水性サンショウウオである。本研究では、イシヅチサンショウウオが生息する河川の環境と生物相について定量的な現地調査を行なった。現地調査に加え文献調査から得られたイシヅチサンショウウオの生息地情報を基に、地理情報システム (GIS) を用いて潜在生息適地を解析した。現地調査から標高、低い水温、河川周囲の植生のうち広葉樹が占める割合、主要な餌となるカゲロウ目やカワゲラ目、トビケラ目の水生昆虫の存在がイシヅチサンショウウオの生息に重要であった。潜在生息適地解析で得られた潜在生息適地について、約6割が自然公園、自然保護区もしくは鳥獣保護区のいずれかに含まれていた。また、潜在生息適地の多くは隣接した状態で分布しており、石鎚山系や剣山系にある保護地区と重複していた。一方で保護区に含まれない潜在生息適地は隔離された状態で個々に存在している場所が多かった。

キーワード：イシヅチサンショウウオ、絶滅危惧種、GIS、生息適地、標高

イシヅチサンショウウオ (*Hynobius Hirosei*) とオオダイガハラサンショウウオ (*H. Boulengeri*) はサンショウウオ属 (*Hynobius*) の流水性産卵種で、近畿、四国、九州の一部の標高の高い山域の源流域に生息する (Nishikawa *et al.* 2007)。イシヅチサンショウウオ (以下、本種) は、かつてはオオダイガハラサンショウウオの四国個体群とされていたが、形態と遺伝子の差から近年別種とされた (Nishikawa *et al.* 2007)。本種は生息数が減少し、環境省準絶滅危惧種に指定されており、保護対策を講じることが急務とされている (環境省自然環境局生物多様性センター 2012)。

本種の生息地と生活史については古くから研究されており、一般に標高の高い山間部の水のきれいな溪流に生息している (沢田 1971、田村 1980、田辺・岡山 1990、岡山 1995a)。産卵は春から初夏にかけて行い、夏に幼生が孵化すること、多くの個体は孵化後約1年で変態し、上陸することなどが明らかにされてきた (田村 2012)。しかし、本種の生息場所に

関する情報は少なく、生息地の詳細な河川環境についての定量的な報告も石鎚山系を除けばほとんどない (伊藤・宇和 1973)。本研究では本種の生息環境について、河川の流量や水温などの物理的環境、水質などの化学的環境、周辺植生や底生動物相といった生物的環境を現地調査した。近年、希少な生物について地理情報を活用して生物の潜在的な生息地を推測し、保護計画を考える手法が注目されている (鷲谷ほか 2010)。そこで本研究では、本種の生息場所に関する情報の不足を補うため、地理情報システム (GIS: geographic information system) と最大エントロピーモデル (Maxent: maximum entropy model, Phillips *et al.* 2006) による解析を行ない、潜在的な生息適地を明らかにし、本種に関する今後の保全計画に寄与することを目的とした。

材料と方法

河川における現地調査は2012年と2013年に高知県中西部を流れる四万十川の13支流17地点、仁淀川の8支流19地点、鏡川で1地点、吉野川で2地点の合計39地点で調査を行なった。本種を含む四国の流水性サンショウウオ類は絶滅の危機が増大しており、生息地が特定できる詳細な位置情報は省略する。現地調査にお

2014年4月16日受領：2014年10月24日

1) 高知大学大学院総合人間自然科学研究科理学専攻

〒780-8520 高知市曙町2-5-1

2) 高知大学理学部生物科学コース

〒780-8520 高知市曙町2-5-1

3) 高知大学大学院黒潮圏科学部門

〒780-8520 高知市曙町2-5-1

* 連絡責任者 e-mail address: genkai@kochi-u.ac.jp

いては河川環境、水質、周辺植生、底生動物相を調べた。

河川環境は各調査地点で地理情報、水温、川幅、水深、流速を測定した。位置情報についてはGPS (eTrex Venture HC, Garmin社) を用いて緯度と経度、標高を測定した。水温は棒温度計で測定した。水深は河川の幅に応じて5-30 cmごとに折尺で測定した。流速は水深を測定した場所の2分の1の水深で流速計 (モデルCR-7WP、コスモ理研) を用いて3回測定し、その平均値を求めた。川幅、水深、流速の測定結果より流量を算出した (加藤 2014)。

水質はpHパケット (KR-pH、共立理化学研究所)、化学的酸素要求量 (COD) は過マンガン酸カリウム酸性法 (日本分析化学会北海道支部 2005)、硝酸体窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) はサリチル酸ナトリウム法 (Kalff and Bentzen 1984)、リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$) はモリブデン青法 (Murphy and Riley 1962) を用いて測定した。溶存酸素はウィンクラー法で求めた。

周辺植生は調査地点周辺での植物が林冠を覆う植被率と、広葉樹、針葉樹の比率を目視で観察し、記録した。底生動物相はサンショウウオ類の幼生の有無と底生動物相の種類について調査した。サンショウウオ類幼生の採集に関しては手網を用いて水辺で定性的に採集を行なった。水生昆虫は底生動物稚魚すくい網 (IS40-1W、1-mm mesh、Hoga) を用い、河川の流水を利用して40 cm × 40 cmの範囲の底生動物を採集し、1 m²あたりの密度に換算した。採集は各地点で3回繰り返し、採集した水生昆虫は70%エタノールで固定した。

採集した底生動物は後日研究室において、原色川虫図鑑 (丸山・高井 2000)、日本産水生昆虫 (河合・谷田 2005) を用いて同定を行なった。各調査地点で採集された底生動物の分類群ごとの個体数を基に多様度指数を求めた。多様性を表す指標として次式で表されるShannon-Wienerの指数 H' を算出した (Shannon and Weaver 1949)。

$$H' = - \sum p_i \log_2 p_i$$

ただし、 p_i は分類群 i の昆虫全体に対する相対優占度を表す。また、採集された底生動物相のうち調査地点ごとに高知県内の河川ではカゲロウ目、カワゲラ目、トビケラ目が優占するところが多く (大西・加藤 2013、江口ほか 2014、井上ほか 2014)、サンショウウオの餌となっていることから (Takahara *et al.* 2011)、

採集された底生動物相のうち調査地点ごとにこれら3目の個体数が占める割合を計算した。

生息地点の情報から本種の生息適地を推測するためにMaxentを用いて潜在生息適地を解析した。Maxentは生物の潜在生息適地を推測する際に在データのみを用いる手法で (Elith *et al.* 2006、鷺谷ほか 2010)、野生生物調査では広く使われている。解析の範囲は徳島、愛媛、高知の3県を対象とし、500 m × 500 mの方形区を単位とした。また、徳島県、愛媛県、高知県では本種は標高500 m以下の地域には生息情報がないので (沢田 1971、田辺・岡山 1990、岡山 1995a)、本研究の解析範囲は標高500 m以上の地域とした。

モデルの応答変数には、河川における現地調査に加えて、徳島県、愛媛県、高知県の3県について本種のこれまでに確認された地点の情報を用いた。徳島県では吉野川水系、園瀬川水系、勝浦川水系の23地点の生息情報 (田村 2012、田村毅 私信)、愛媛県では仁淀川水系、重信川水系、松田川水系の30地点の生息情報が得られている (田辺・岡山 1990、岡山 1995b、2010)。高知県での生息地は、過去に生息が確認され緯度と経度が特定できる四万十川水系の1地点 (菅原弘貴 私信) と仁淀川水系の1地点 (寺山佳奈 私信) を加えた。モデルの作成に用いる説明変数には斜面傾斜角度、斜面傾斜方位、谷指数、植生図を用いた。傾斜と傾斜方位は、国土交通省の500 m方形区標高データを参照し (国土交通省国土政策局国土情報課 2011)、このデータから傾斜度と傾斜方位を算出した。また、標高データを基に、地形学的位置指数 (TPI: topographic position index) を算出した。TPIは尾根ならば正、谷ならば負の値をとる指数である。500 m × 500 m方形区内に包含される100 m × 100 mの小方形区について、負の値をもつ谷の方形区の面積を合計し、谷指数とした。植生については、環境省発行の第2-5回調査重ね合わせ植生図を参照して (環境省自然環境局生物多様性センター 2011)、自然林落葉樹、自然林常緑樹、自然林針葉樹、二次林落葉樹、二次林常緑樹、二次林針葉樹、植林地、その他の植生 (低木、草地、裸地、その他)、人為的利用地 (都市、畑、その他)、開放水域の10項目に再編して用いた。地理情報のデータ処理には無料の地理情報システムのソフトであるQuantum GIS (QGIS、version 2.0) を用いた。

生息適地推定モデルの精度は、受信者操作特性 (ROC: receiver operating characteristic) 解析より得られる曲線下部面積 (AUC: area under the curve)

をもとに評価した。AUCは0.5から1の値をとり、モデルの精度はAUCが1に近いほど良い。ROC解析はもとも信号検出理論で使用された用語で観測された信号からある事象や現象の存在を判定する際の基準となる指標である。本種の分布に影響を及ぼす変数の重要性はモデルへの寄与率により判断した。モデルへの寄与率とはMaxentがモデルを作成に関して用いる説明変数の寄与率である。モデルより出力される生息地適正指数 (HSI : habitat suitability index) をもとに潜在生息地図を作製した。潜在生息適地は、HSIが0.5以上の地域とした。

実際の生息地点と潜在生息適地について、自然公園や自然保護区、鳥獣保護区との重複率を調べた。自然公園とは自然公園法に基づいて国が指定し、自然景観と生態系の保全、国民の保養などの利用を目的とした地域である。自然保護区とは国または都道府県が指定し、自然環境保全法に基づいて自然環境の保全が重視された地域である。鳥獣保護区も国または都道府県によって指定され、鳥獣保護法に基づいて鳥獣（哺乳類と鳥類）の保護繁殖を目的に保全される地域である。潜在生息適地の連続性を評価するため、QGISの距離行列を用いて潜在生息適地とされた各方形区を中心点から最も近い潜在生息適地の方形区を中心点までの最小距離を求め、この最小距離の距離区分 (<1000 m、1000-2500 m、2500-5000 m、5000-7500 m、7500-10000 m) ごとの頻度分布を求めた。

結果

筆者らが現地調査した全39地点中、7地点でイシヅチサンショウウオの幼生、他の1地点でコガタブチサンショウウオ (*H. yatsui*) の垂成体1個体が確認されたが、その他の種は確認されなかった。コガタブチサンショウウオは高知市土佐山においてイシヅチサンショウウオと同所的に生息していることから (吉川・渡部 2009)、ここではその地点をイシヅチサンショウウオの生息地とみなした。現地調査した全39地点とサンショウウオ類が確認された8地点についての物理的環境をFig. 1に示す。サンショウウオ類は全調査地点のうち、標高の高いところにいる傾向があり、低いところでも標高959 mであった (Fig. 1a)。サンショウウオ類の生息していた地点の水温は4.6-17°C、流量は1.6-83 L/sの範囲であった (Fig. 1b, c)。現地調査を行なった河川の水質については、全調査地点とサンショウ

ウオ類の生息地点で大きな差はみられなかった (Fig. 2)。サンショウウオ類が確認された8地点のpHは7よりも高いところはなく (Fig. 2a)、CODでは全て0.9以下であった (Fig. 2b)。

全調査地点とサンショウウオ類の生息地点についての生物的環境をFig. 3に示す。全調査地点に比べサンショウウオ類の生息地点では針葉樹よりも広葉樹の割合が多い傾向にあった (Fig. 3b, c)。サンショウウオ類の生息地点では、底生動物のうちカワゲラ目、カゲロウ目、トビケラ目の3目が占める割合が大きい傾向

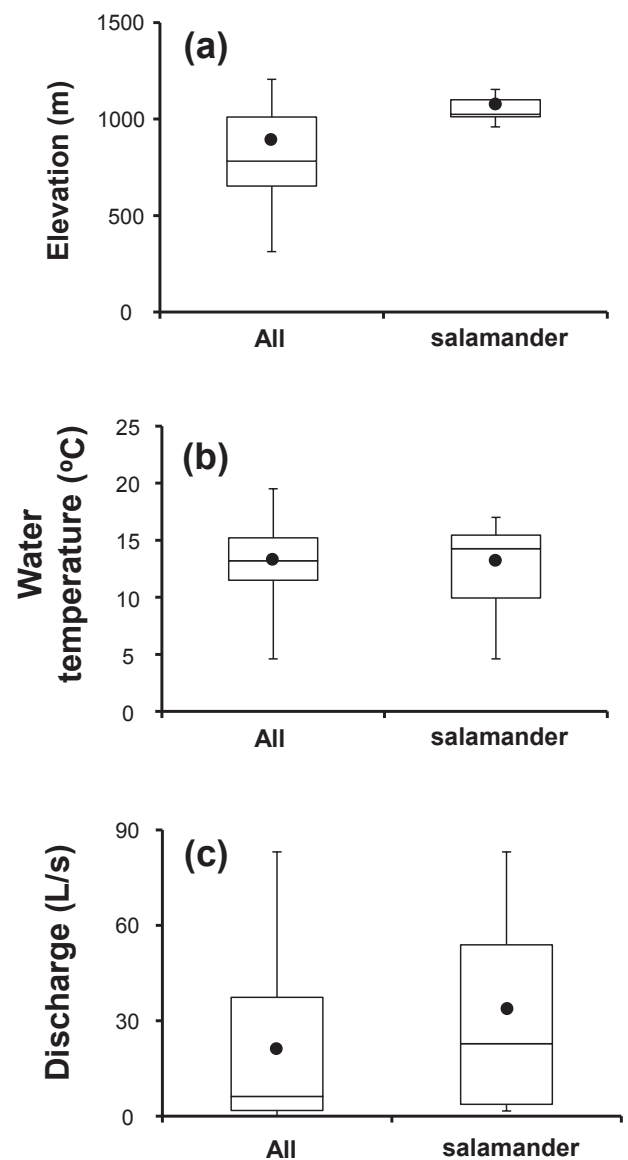


Fig. 1. Physical environments at 39 sites where field surveys were conducted (All) and eight sites where salamanders were observed (Salamander): (a) elevation, (b) stream water temperature, and (c) stream discharge. The vertical line and the box represent the ranges of the data and between the first and third quartiles, respectively. The horizontal line within the box and closed circle indicate the median and mean, respectively.

がみられた (Fig. 3e)。

筆者らが行なった現地調査でサンショウウオ類が確認された8地点とは別に、生息情報が得られた徳島県、愛媛県、高知県内55地点を加えた全63地点をもとに、潜在生息適地解析を行なった。その結果、AUCは0.78であった。潜在生息地推定モデルへの説明変数の寄与率をTable 1に示す。自然林落葉広葉樹の寄与率が最も高く (39.1%)、自然林落葉広葉樹の割合とともにサンショウウオ類の生息地適正指数が高くなった (Fig. 4a)。次いで、植林地の寄与率が高く (23.1%)、植林地の割合とともに生息地適正指数は低くなった (Fig. 4b)。3番目に谷指数の寄与率が高く (12.6%)、谷の割合とともに生息地適正指数は高くなった (Fig. 4c)。

イシヅチサンショウウオが3地点以上確認された場所は、標高1200 m台を除けば標高700–1600 mの範囲で

Table 1. Percent contribution of each environmental variable to predict the potential habitats for the salamander *Hynobius Hirosei*, using Maxent. N: natural forest, S: secondary forest.

Variable	Percent contribution (%)
Deciduous broadleaf tree forest (N)	39.1
Artificial plantation	23.1
Valley area	12.6
Deciduous broadleaf tree forest (S)	8.7
Coniferous forest (N)	6.7
Coniferous forest (S)	4.8
Other vegetation	1.5
Artificial use place	0.8
Evergreen broadleaf forest (N)	0.7
Evergreen broadleaf forest (S)	0.7
Open waters	0.7
Slope	0.3
Azimuth of slope	0.2

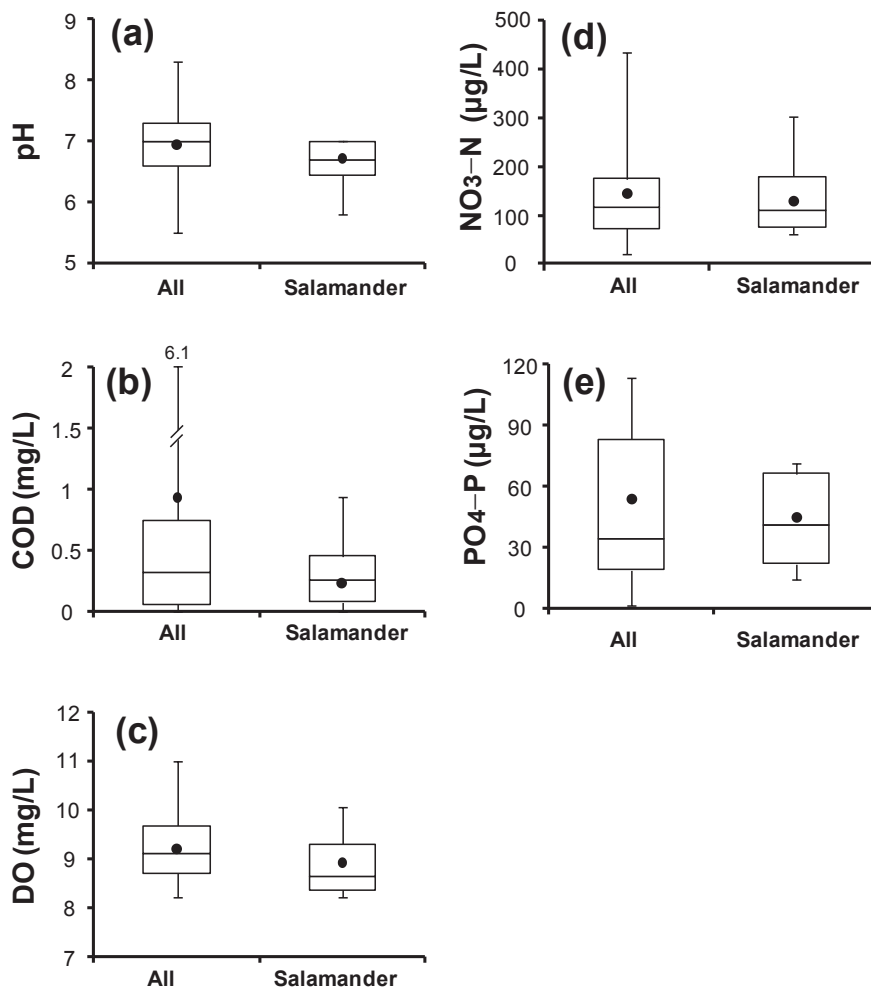


Fig. 2. Water quality at 39 sites where field surveys were conducted (All) and eight sites where salamanders were observed (Salamander): (a) pH, (b) chemical oxygen demand (COD), (c) dissolved oxygen (DO), (d) nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$), (e) phosphate phosphorus ($\text{PO}_4\text{-P}$). See Fig. 1 for the explanation of box plots.

あった (Fig. 5)。生息情報のある63地点のうち、自然公園に含まれていたのは54地点 (86%)、自然保護区は0地点 (0%)、鳥獣保護区は50地点 (79%) であった (Table 2)。自然公園もしくは鳥獣保護区のいずれかに含まれていたのは58地点 (92%) であった (Table 2)。潜在生息適地解析の結果、潜在生息適地の面積は342.5 km² (1370方形区) で全評価範囲16880 km²の2.0%

に相当した (Fig. 6)。その内訳は、徳島県118 km² (徳島県評価面積4130 km²の2.8%)、愛媛県97 km² (5661 km²の1.7%)、高知県128 km² (7089 km²の1.8%) であった。潜在生息適地のうち、自然公園に含まれる面積は151 km² (44%)、自然保護区に含まれていたのは8 km² (2%)、鳥獣保護区に含まれていたのは151 km² (44%) だった。潜在生息適地が、自然公園、自然保護区、も

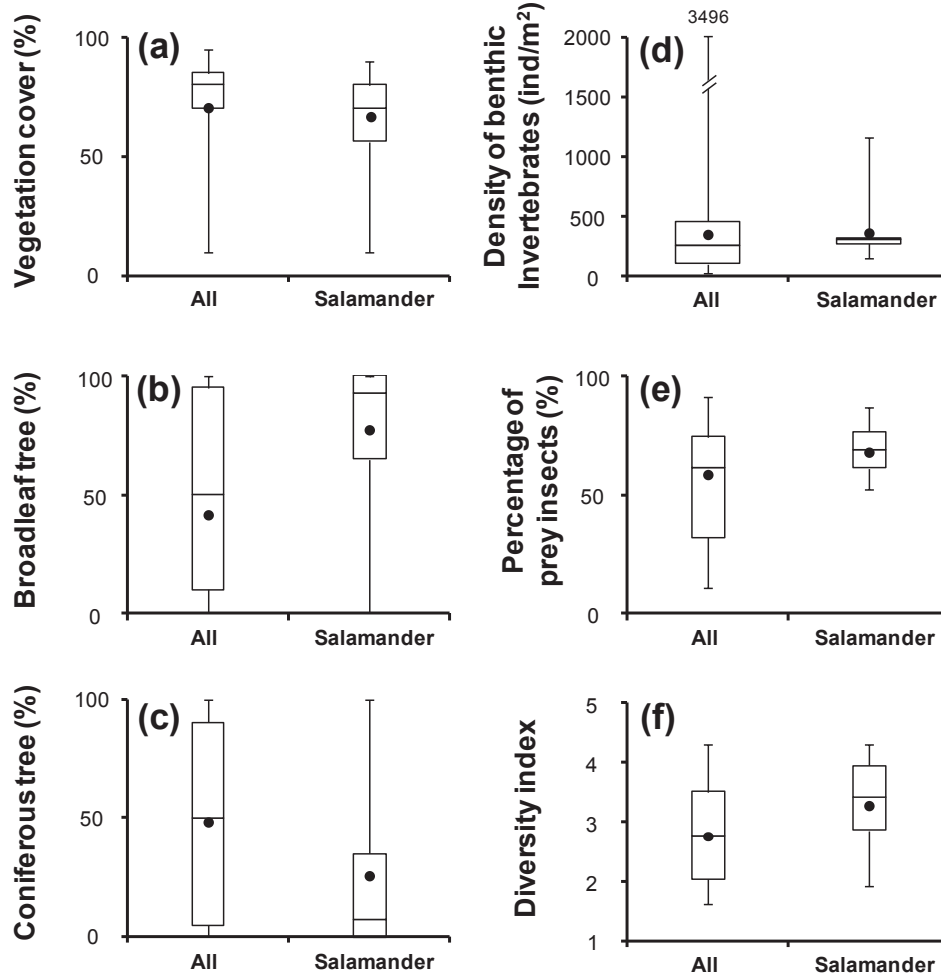


Fig. 3. Biological environments at 39 sites where field surveys were conducted (All) and eight sites where salamanders were observed (Salamander): (a) vegetation cover, (b) proportion of broadleaf trees to the vegetation, (c) proportion of coniferous trees to the vegetation, (d) density of benthic invertebrates, (e) percentage of the individual number of prey insects (i.e., mayflies, stoneflies and caddisflies) to the total individual number of benthic invertebrates, (f) Shannon-Wiener's index of diversity (H') for benthic invertebrates. See Fig. 1 for the explanation of box plots.

Table 2. The numbers of the sites where the salamander *Hynobius Hirosei* was observed in natural parks, nature reserve areas, and wildlife sanctuaries on Shikoku Island (excluding Kagawa Prefecture) in the present and previous studies and the areas of potential habitats analyzed using Maxent. The salamanders were observed at 63 sites in total. The total area predicted as the potential habitat using Maxent was 343 km². The proportions of the site number and area in each category to the total site number (63) and total area (343 km²) are given in parentheses. Note that a site can be included in more than one category. The column "All" shows the site number and area covering three categories.

	Natural park	Nature reserve area	Wildlife sanctuary	All
Number of sites	54 (86%)	0 (0%)	50 (79%)	58 (92%)
Potential habitat	151 km ² (44%)	8 km ² (2%)	151 km ² (44%)	206 km ² (60%)

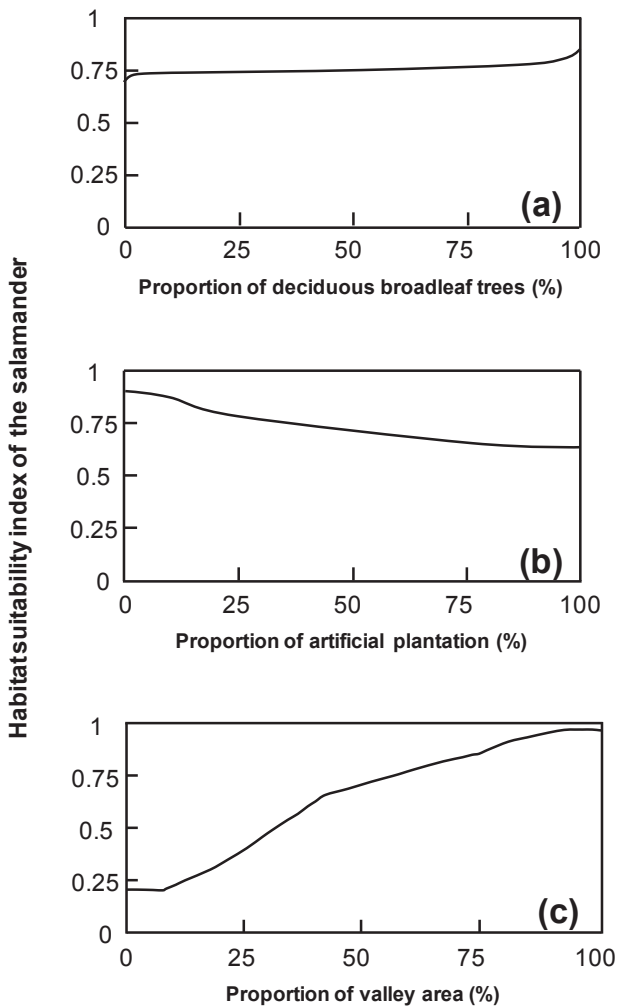


Fig. 4. Relationship between the habitat suitability index of the salamander and environmental conditions within one quadrat of the potential habitat: (a) proportion of deciduous broadleaf trees, (b) proportion of artificial plantation, and (c) proportion of valley area.

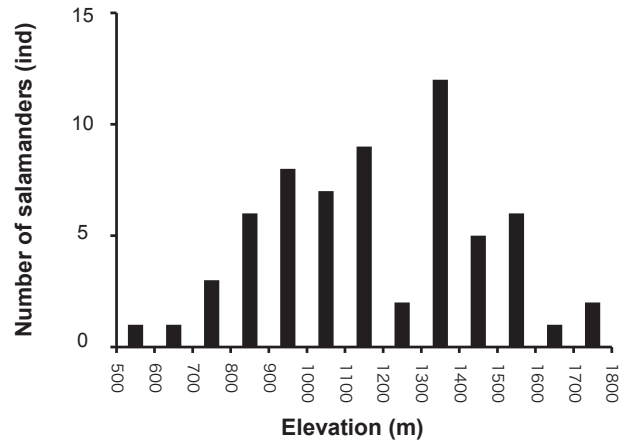


Fig. 5. The numbers of the salamander *Hynobius Hirosei* at 100 m elevation intervals observed in the present and previous studies.

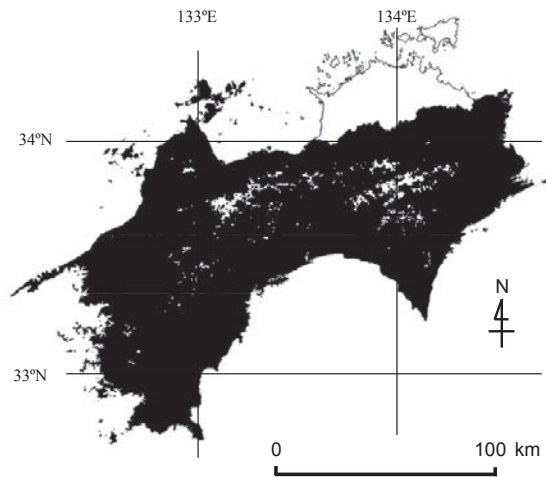


Fig. 6. Potential habitats (white spots) in Tokushima, Ehime and Kochi Prefectures, Shikoku Island (excluding Kagawa Prefecture), analyzed by Maxent.

Table 3. Distribution of the distance from one quadrat of potential habitat to the closest quadrat of the potential habitat. The proportion of the quadrat number in each distance category to the total number (1370 quadrats) is given in parentheses.

Distance	<1000 m	1000–2500 m	2500–5000 m	5000–7500 m	7500–10000 m
# of quadrats	1184 (86.42%)	140 (10.22%)	40 (2.92%)	5 (0.36%)	1 (0.07%)

しくは鳥獣保護区のいずれかに含まれる面積は206 km² (60%)であった (Table 2)。潜在生息適地とされた1370方形区間の最短距離の頻度分布をTable 3に示す。潜在生息適地とされた方形区のうち、隣接していたのは86%であった。

考察

現地調査でサンショウウオ類が確認された標高は959–1154 m、生息情報が得られた地点における標高の

頻度分布は700–1600 mで全体の92%を占めていた。過去のイシヅチサンショウウオの分布の調査においても標高750–1800 mに生息していた記録が多いことから (沢田 1971、岡山 1995a、田村 2012)、本種の分布について標高が大きな要因となっている。現地調査において本種幼生が確認された地点の水温は1月に最小値 (4.6°C)、7月に最大値 (17°C) であったが、同属のオオダイガハラサンショウウオが生息する年間の水温範囲 (0.2–21°C) に含まれる (松井 1998)。冷水性サケ科魚類であるイワナ属のオシヨロコマ (*Salvelinus*

malma krascheninnikova) とアメマス (*S. leucomaenis leucomaenis*) の分布域は、最高水温によって制限されていることが知られている (Fausch *et al.* 1994)。さらに、北半球における分布域の南限付近では、冷水を好む河川性魚類は生息可能な標高下限が存在する (Fausch *et al.* 1994)。本種は、氷に閉じ込められていた幼生が、氷が溶けると動き出した記録があることから (田村 2012)、低温への耐性は高いと考えられる。本種のような流水性サンショウウオ幼生も冷水性であることから (早瀬・山根 1989)、高水温が標高分布の制限となっている可能性がある。

河川の現地調査から本種の生息地では、植被率が平均値で62%、そのうち広葉樹の占める割合が平均値で76%であった。さらに潜在生息適地解析の結果、潜在生息適地の解析において自然林落葉広葉樹が39%、二次林の落葉広葉樹が8%の寄与率であったことから、落葉広葉樹の存在が本種の生息に重要であることが示唆された。四国では、シイやカシに代表される常緑広葉樹など暖温帯植生の垂直分布は800–1100 mが上限であり、ブナに代表される落葉広葉樹など冷温帯植生は1000–1200 m以上の標高に分布することが知られている (山中 1961)。本種は標高700–1600 mで多く観察されていることから、暖温帯植生と冷温帯植生の境界と分布が一致していた。スギとヒノキは温帯針葉樹であり気候的には温暖帯上部から冷温帯下部が生育に適していることから (石川 2009)、四国では標高1200 m付近までスギやヒノキの植林が行なわれている。サンショウウオ類の全生息情報63地点のうち、標高が1200 m以下でも広葉樹だったところは11地点あったことから、標高が低くても広葉樹の存在が本種の分布域を決める重要な要因になっている可能性がある。

河川流域に発達する落葉広葉樹の群落は溪畔林が知られている (中村・小池 2005)。溪畔林から河川への落ち葉や落下昆虫は河川生態系に多くのエネルギーを供給し (Nakano *et al.* 1999)、溪畔林による影は水温の上昇を防ぐとともに河川に棲む魚類などの動物に隠れ家を提供する (島谷 2000)。本種を含むサンショウウオ類は一般に直射日光と乾燥に弱く日陰に生息するものが多いことから (田村 2012)、特に夏場の強い日差しを遮断する広葉樹が多く生息する地域に生息しているのかもしれない。落葉樹は秋から冬にかけて葉を落とし、腐葉土を形成する (中村・小池 2005)。本種幼生の多くは孵化後約1年で変態し、上陸して陸上生活をする (田村 2012)。腐葉土は、本種の成体が陸上

生活をする上で餌となる小型昆虫やミミズなどの棲み場所となっており、ヘビや鳥類などの捕食者から身を守るための隠れ家となっている (田村 2012)。

流水性サンショウウオ類が生息する河川水の特徴は貧栄養であることが多く (早瀬・山根 1989)、本研究でも河川現地調査でサンショウウオ類が確認された地点のCODは0.9以下の低い値をとった。貧栄養な河川環境では、河川外部から流入する溪畔林の落ち葉は水生昆虫などの小型底生動物の重要な餌資源となっている (中村・小池 2005)。流水性であるハコネサンショウウオ (*Onychodactylus japonicus*) の胃内容物分析から、小型のカワゲラ目、トビケラ目、カゲロウ目の水生昆虫が主な餌資源となっていると報告されている (Takahara *et al.* 2011)。河川現地調査で本種が確認された地点では、これら3目の水生昆虫が占める割合が高い傾向がみられたことから、ハコネサンショウウオと同様にこれらの水生昆虫は本種の餌として重要であると類推される。落葉広葉樹は、陸上では腐葉土としてサンショウウオ類の成体に重要な存在となっており (沢田 1971)、河川内では落ち葉として餌資源に重要な役割を果たしている。

植林地の割合が増加するとともに生息適地確率が低下したのは、一般に植林地が増えると落葉広葉樹の割合が減ることから (長池 2000)、本種成体の隠れ家になる腐葉土の形成が抑制されるのであろう。落葉広葉樹の自然林で覆われていた溪流にはサンショウウオが生息していたが、登山道の建設や森林資源利用のため森林の伐採が行なわれたところでは、3年後にはサンショウウオが1匹も確認できなくなっていた事例がある (田村 2012)。

潜在生息適地 (1370方形区) は、自然公園、自然保護区、もしくは鳥獣保護区のいずれかに含まれる方形区が多かった。これらの方形区は石鎚山系や剣山系に集中している。一方、潜在生息適地のうち何らかの保護地区に含まれない方形区は孤立して存在している場合が多かった。サンショウウオなどの両生類は移動能力に乏しく、小さく孤立した生息地では絶滅の可能性が大きくなることから (早瀬・山根 1989、三好・夏原 2003)、石鎚山系と剣山系以外にある孤立した潜在生息適地において、個別に現地調査を行ない、河川周辺植生を維持するなど積極的に保全する必要がある。

河川において上流から下流に向かって温度勾配がある場合、魚類では、分布様式はその種に特徴的な適温範囲がある (Moyle and Nichols 1973)。そのため、冷

水性の魚類では気候温暖化により分布域が高い標高に移動し、好ましい冷水生息域が減少することが知られている (Magnuson *et al.* 1979)。標高の高い河川上流域に生息する種にとっては、温暖化とともにさらに水温の低い枝沢に追いやられ孤立し、個体群の分断化が起こる (Rahel *et al.* 1996)。本種は冷水性の両生類であり、本研究では標高と水温の重要性が示された。本種も冷水性魚類と同様、温暖化とともに生息可能な分布域の標高が高くなる可能性がある。河川源流の水温が本種の許容範囲を超えるまで温暖化が進むと、標高が2000 mに満たない四国では水温そのものによって地域的絶滅が起こる可能性がある。そのため、温暖化傾向のある現在、太陽光の遮蔽効果が高い落葉広葉樹の保全が本種の効果的な保全策であると考えられる。

謝辞

本研究を行なうにあたって、高知県内のサンショウウオの情報を提供くださったわんぱくこうちアニマルランドの渡部孝氏と吉川貴臣氏、愛媛県のサンショウウオの生息地と知見について情報をくださった面河山岳博物館の岡山健仁氏、徳島県のサンショウウオの生息地と知見について情報をくださった田村毅氏、GISに関して御指導くださった兵庫県立人と自然史博物館の三橋弘宗氏、高知県のサンショウウオの生息地について情報を提供してくださった菅原弘貴氏と寺山佳奈氏に感謝します。査読者の方々からは本原稿に対して有益な助言をいただきました。

引用文献

江口葉月・石田一馬・井上光也・加藤元海. 2014. 四万十川上流域における河川環境と底生生物. 黒潮圏科学, 7: 123-131.

Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudik, M., Ferrie, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. M., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M. S., and Zimmermann, N. E. 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129-151.

Fausch, 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.

早瀬長利・山根爽一. 1989. 日本サンショウウオ科 (Hynobiidae) サンショウウオの生息環境と繁殖様式. 茨城大学教育学部紀要 (自然科学), 38: 85-102.

井上光也・小原直子・加藤元海. 2014. 仁淀川源流域における河川環境と底生生物. 黒潮圏科学, 投稿中.

石川慎吾. 2009. 高知県の植生. 高知県牧野記念財団 (編)「高知県植物誌」, 弘文印刷, pp. 12-19.

伊藤猛夫・宇和孝. 1973. 石鎚スカイライン道路の建設が石鎚山系のサンショウウオ個体群に及ぼす影響について. JIBP主調査地、石鎚山地域の動物相調査報告 石鎚山・面河地区自然環境保全調査報告書, pp. 21-28.

Kalff, J. and Bentzen, E. 1984. A method for the analysis of total nitrogen in natural waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41: 815-819.

環境省自然環境局生物多様性センター. 2011. 自然環境情報GIS提供システム. <http://www.biodic.go.jp/trialSystem/vg/vg.html>. (2013年12月5日閲覧).

環境省自然環境局生物多様性センター. 2012. 絶滅危惧種情報. http://www.biodic.go.jp/rdb/rdb_f.html. (2014年7月11日閲覧).

加藤元海. 2014. 流速と流量. 日本陸水学会東海支部会 (編)「身近な水の環境科学-実習・測定編-」, 朝倉書店, pp. 35-38.

河合禎次・谷田一三. 2005. 日本産水生昆虫 科・属・種への検索. 東海大学出版会.

国土交通省国土政策局国土情報課. 2011. 国土数値情報 ダウンロードサービス. データのダウンロード (2. 各データ詳細). <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G04-c.html>. (2014年12月20日閲覧).

Magnuson, J. J., Crowder, L. B., and Medvick, P. A. 1979. Temperature as an ecological resource. *American Zoologist*, 19: 331-343.

丸山博紀・高井幹夫. 2000. 原色川虫図鑑. 全国農村教育協会.

松井正文. 1998. オオダイガハラサンショウウオ. 水産庁 (編)「日本の希少な野生水生生物に関するデータブック」, 日本水産資源保護協会, pp. 212-213.

三好文・夏原由博. 2003. 大阪府と滋賀県におけるカシミサンショウウオの生息地と連続性の評価. 日本造

- 園学会誌, 66: 617-620.
- Moyle, P. B. and Nichols, R. D. 1973. Ecology of some native and introduced fishes of the Sierra Nevada foothills in central California. *Copeia*, 1973: 478-490.
- Murphy, J. and Riley, J. P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.
- 長池卓男. 2000. 人工林生態系における植物種多様性. *日本林学会誌*, 82: 407-416.
- 中村太士・小池孝良. 2005. 森林の科学. 朝倉書店.
- Nakano, S., Miyasaka, H., and Kuhara, N. 1999. Terrestrial-aquatic linkages: riparian arthropod inputs alter trophic cascades food web. *Ecology*, 80: 2435-2441.
- 日本分析化学会北海道支部. 2005. 水の分析 第5版. 化学同人.
- Nishikawa, K., Matsui, M., Tanabe, S., and Sato, S. 2007. Morphological and allozymic variation in *Hynobius boulengeri* and *H. stejnegeri* (Amphibia Urodela Hynobiidae). *Zoological Science*, 24: 752-766.
- 岡山健仁. 1995a. 石鎚山のサンショウウオ. とべZOO, 6(4): 8-12.
- 岡山健仁. 1995b. 愛媛県におけるオオダイガハラサンショウウオの新産地Ⅱ. 南予生物, 8: 1-2.
- 岡山健仁. 2010. 石鎚山系におけるサンショウウオ類の研究史と分布の現状. 日本山岳文化学会論集, 8: 33-41.
- 大西由希子・加藤元海. 2013. 鏡川上流域における河川環境と底生生物. 黒潮圏科学, 6: 208-216.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., and Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modeling*, 190: 231-259.
- Rahel, F. J., Keleher, C. J., and Anderson, J. L. 1996. Potential habitat loss and population fragmentation for cold water fish in the North Platte River drainage of the Rocky mountains: response to climate warning. *Limnology and Oceanography*, 41: 1116-1123.
- 沢田佳長. 1971. 高知県産サンショウウオの研究 (工石山山系中心の報告) 第三報. 中村高校研究紀要, 16: 1-14.
- Shannon, C. E. and Weaver, W. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Chicago.
- 島谷幸宏. 2000. 河川環境の保全と復元. 鹿島出版会.
- Takahara, T., Genkai-Kato, M., Miyasaka, H., and Kohmatsu, Y. 2011. Preliminary study of food habits in the Japanese clawed salamander larvae. *Kuroshio Science*, 4: 175-181.
- 田村毅. 1980. 山の子とサンショウウオ. 学習研究社.
- 田村毅. 2012. サンショウウオと学ぶ. さくら印刷.
- 田辺真吾・岡山健仁. 1990. 愛媛県におけるオオダイガハラサンショウウオの新産地. 南予生物, 5: 1-2.
- 鷺谷いづみ・宮下直・西廣淳・角谷拓. 2010. 保全生態学の技法. 東京大学出版会.
- 山中二男. 1961. 四国地方の森林植生の概要. 高知大学学術研究報告(9), 自然科学1(7): 63-68.
- 吉川貴臣・渡部孝. 2009. 高知県におけるコガタブチサンショウウオの繁殖生態. 爬虫両生類学会会報, 2009(2): 128-132.

Current and potential habitats for the Japanese lotic salamander *Hynobius Hirosei* on Shikoku Island

Reo Watanabe¹⁾, Mitsuya Inoue²⁾, Motoki Higa²⁾ and Motomi Genkai-Kato^{2, 3)*}

¹⁾Department of Natural Science, Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho, Kochi 780-8520, Japan

²⁾Department of Biology, Faculty of Science, Kochi University 2-5-1 Akebono-cho, Kochi 780-8520, Japan

^{3)*}Graduate School of Kuroshio Science, Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho, Kochi 780-8520, Japan

Abstract

The Japanese lotic salamander *Hynobius Hirosei* inhabits mountain streams on Shikoku Island. We conducted field surveys on stream conditions, water chemistry and benthic invertebrate communities to elucidate factors affecting the distribution of the salamander. Field surveys revealed that the salamander was restricted to streams covered by broadleaf trees at high altitude and having low water temperature. The relative abundance of aquatic insects (i.e., mayflies, stoneflies and caddisflies) to the benthic animals was also considered as an important factor for the salamander habitats. The Maxent

analysis for potential habitats based on the present and past information on the habitats of *H. hirosei* on Shikoku Island and the data of the geographic information system (GIS) revealed that the coverage of natural deciduous broadleaf tree forests is the factor most contributing the salamander distribution. GIS analyses showed that 60% of the potential habitats were within natural parks, nature reserve areas, and wildlife sanctuaries. Potential habitats

were mostly in the Ishizuchi and Tsurugi mountain areas and connected with each other, whereas some potential habitats in the other areas were sporadically distributed and isolated from each other.

Key words: *Hynobius hirosei*, endangered species, GIS, potential habitat, elevation.