

東京都奥多摩における溪流性サンショウウオ 2 種の 分布と生息に係る要因

草野 保^{1,*}・パブロ アパリシオ²・松山 龍太³・浦野 守雄³

¹ 214-0001 神奈川県川崎市多摩区菅 4-9-26

² 197-0814 東京都あきる野市二宮 350 あきる野市役所 森林レンジャーあきる野

³ 190-0221 東京都西多摩郡檜原村数馬 7146 檜原都民の森

Factors affecting the distribution and habitat of two species of stream-breeding salamanders
in Okutama, Tokyo

By Tamotsu Kusano¹, Pablo Aparicio², Ryouta Matsuyama³, and Morio Urano³

¹ Suge 4-9-26, Tama-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 214-0001, Japan

² Forest Ranger Akiruno, Akiruno-shi government office, Ninomiya 350, Akiruno-shi, Tokyo 197-0814, Japan

³ Hinohara Metropolitan Forest, Kazuma 7146, Hinohara-mura, Tokyo 190-0221, Japan

東京都は首都として日本一の人口を擁する大都市であると同時に、小笠原のサンゴ礁の海から奥多摩の標高 2000 m の亜高山帯の森林や深い渓谷まで多様な自然環境を擁する地域でもある。そのため、その生物相は比較的豊富で、両生類に関しても、本土部でカエル類 11 種、サンショウウオ類 4 種の合計 15 種

の在来種の生息が確認されている（福山・草野, 2023）。しかしながら、近年地球規模で両生類の個体群の絶滅・衰退が危惧されており、日本においても、そして東京都でも決して楽観できる状況ではない（長谷川他, 2000 参照）。そのため、現在の状況を絶えず把握し、早目に問題に対処できる体制を作り上げておくことが両生類の個体群保全のためには必要であろう。

*責任著者

東京都における両生類の生息状況は、以前から一部の地域や種に関しては調査が行われてきている。例えば、三島他（1978）や森口他（1995）は多摩川流域における両生類の生息概況を、懸川他（1983）は奥多摩の大丹波川における冬期の両生類の詳細な調査結果を報告している。また特定の種に関しては、金井（1979）が第2回自然環境保全基礎調査の一貫として、東京都の4種の両生類の生息分布を報告している。そのうちトウキョウサンショウウオ（*Hynobius tokyoensis*）については、詳細な生息状況調査が現在でも継続的に行われ、宅地開発・道路建設等の各種開発による生息環境の消失、谷戸田の管理放棄による湧水の減少・枯渇による産卵環境の劣化、アライグマ・アメリカザリガニなどの外来種による卵および繁殖個体への捕食、ペット業者などによる販売目的の採集などにより個体群の存続が危機的状況にあるという（草野他，2022）。

それ以外のほとんどの種に関しては、残念ながら必ずしも現在の生息状況が十分に把握されているとは言えない（福山・草野，2023）。特に、人里離れ人目に触れにくい山地に生息する種の生息状況については、平野部に生息する種に比べて個体群保全上の緊急度は低いとはいえ、情報が不十分な状況が続いている。東京都の西部に位置する奥多摩山地の溪流で繁殖する種は、カエル類3種とサンショウウオ類2種の5種である（福山・草野，2023）。サンショウウオ類はヒガシヒダサンショウウオ（*H. fossigenus*）とハコネサンショウウオ（*Onychodactylus japonicus*）の2種が生息し、著者の一人は、1980年代後半から2000年までの生息情報をもとに東京都における2種の生息状況を詳細に報告した（草野他，2001）。その後も生息情報の収集を継続しているが、前回の報告から20数年の時間も経過し、今回改めて2種の生息分布情報を整理してみた。本稿では、前回の

報告以降得られた生息確認地点を加え最新の状況を報告し、加えて両種の生息分布に影響を与える環境要因の解析も試みたので、その結果も紹介したい。なお、ヒガシヒダサンショウウオは以前ヒダサンショウウオ（*H. kimurae*）とされていたが、東京都に生息する集団は、2018年に独立種ヒガシヒダサンショウウオとして記載された（Okamiya et al., 2018）。

材料及び方法

生息分布調査

今回の調査対象であるヒガシヒダサンショウウオ（以降はヒガシヒダと呼ぶ）は、愛知県東部から群馬県（埼玉県境の極一部の地域）・埼玉県・東京都・神奈川県など関東西部にかけて分布し（Okamiya et al., 2018）、分布の東限に近い東京近郊では2～3月に山地の溪流で繁殖する。孵化した幼生の多くはそのまま越冬し翌年の初夏に変態上陸する（Misawa and Matsui, 1997）。ハコネサンショウウオ（以降ハコネと呼ぶ）は分布がより広く、本州・四国の山地に広く生息しているとされていたが、近年行われた一連の遺伝的研究の結果から複数の隠蔽種が存在が疑われ、現在7種に分割されている（吉川，2015；Yoshikawa and Matsui, 2022）。東京都に生息する集団に関しては、分類学上の変更はなく以前のままハコネとされ、本州の山口県から福島県まで広く分布する（吉川，2015）。場所によっては、冬期と初夏の年2回の繁殖活動が観察されているところもあるが（秋田，1997）、東京近郊では初夏に繁殖活動が見られる（山崎他，1997）。孵化した幼生はヒガシヒダ同様、幼生のまま越冬し産卵から変態まで2～4年間水中生活を送る（早瀬・山根，1982；窪田，1998；山本，1977）。両種とも一年中幼生の姿を見ることができると、主として幼生の確認によりその種の生息を確かめた。しかしながら、特にヒガシヒダ

に関しては冬期調査により一部の地域では繁殖個体や卵囊の発見にも努めた。

今回の調査でも、前回同様青梅市・日の出町・あきる野市・八王子市の丘陵部西側から奥多摩山地にかけて、両種の生息可能と思われる溪流を調査した（草野他, 2001）。特に、本種の分布の東限を確定するため、比較的標高も低くアクセスが容易な東側の地域での調査が主体となった。

幼生や繁殖個体などが発見された場合は、外部形態により種を同定し、その発見場所を地図上に記録し、その地点の標高・緯度・経度を読取った。今回の報告では、1985年以降に得られた前回の報告のデータに新たな発見記録を加え整理して報告する。なお、東京都内の生息実態の評価の参考として、今回整理した生息確認地点から出現範囲（Extent of Occurrence）と生息地面積（Area of Occupancy; 2 km メッシュ単位）を GeoCAT（Geospatial Conservation Assessment Tool）を利用して計測した（Bachman et al., 2011）。

生息に係る環境要因の解析

今回得られた生息分布データを用いて、奥多摩山地で渓流性サンショウウオ 2 種がどのような環境に生息しているかを知るために、彼らの産卵場所および幼生の生息場所である沢を中心とした谷環境の環境要因を調べた。両種の生息が可能と思われる奥多摩山地と丘陵部の境（青梅市～八王子市の西部）標高約 200 m より高い地域から地形図をもとに、1 つ以上のはっきりとした沢を含む谷地形を大雑把に抽出し、面積 0.5～9 km² 程の 124 の調査地区を設定した。本種の生息分布に影響すると考えられる要因としては、地形要因・気象要因・植生要因を取り上げ、公開されている GIS データを利用して、総計 13 の環境要因を求めた（表 1）。標高に関しては国土地理院基盤地図情報数値標高モデル（10 m メッシュ；<http://www.gsi.go.jp/kiban/>）、気象データに関しては、国土数値情報気候値 3 次メッシュデータ（https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gmlold/datalist/gmlold_KsjTmplt-G02.html）、植生に関しては、環境省自然環境保全基礎調査 1/5 万現存植生図（<https://www.biodic.go.jp/>

表 1. 解析に用いた説明変数の概要。カテゴリ変数である植生タイプは各区分の頻度を示した。

Table 1. Summary of predictor variables used for building the Random Forest models.

変数	単位	調査沢区画 (N=110)		
		平均	SD	レンジ
平均気温	°C	10.6	1.5	6.1–13.3
最高気温	°C	16.0	1.8	10.9–19.2
降雨量	mm	1640	62	1498–1743
平均標高	m	712.4	275.8	254.9–1542.8
最高標高	m	1049	365	332–1980
最低標高	m	403	185	180–1006
標高差	m	646	241	152–1174
斜度	m/km	245	93	52–565
流路長	km	2.93	1.38	1.07–7.08
面積	km ²	2.89	2.17	0.54–8.94
植生多様度		7.8	3.3	2–21
植生面積割合		0.63	0.25	0.00–0.99
植生タイプ	カテゴリー	頻度		
	針葉樹	11		
	混交林	34		
	落葉樹	65		

kiso/vg/vg_kiso.html) を利用した。なお、斜度は、調査区内の標高差(最高標高-最低標高)を主沢の流路長で割った値、植生多様度は、調査区内に含まれる群落タイプ数、植林面積割合は、調査区に占めるスギ・ヒノキなどの人工林の面積割合を用いた。

生息が確認された調査地区と確認できなかった調査地区で、前述の13の環境要因がどのように影響しているかを解析した。特定の確率分布に依存しない柔軟性と予測精度の高さから幅広く予測モデルに使われている機械学習の一手法、ランダムフォレスト・モデル(RFモデル)を種ごとに適用した(James et al., 2018; 下川他, 2013)。予測変数として前述した環境要因の13変数、応答変数として調査区毎の生息確認の有無を用いた。得られたRFモデルの予測の正解率は、一つ抜き交差検証(Leave-One-Out Cross-Validation)により推定し、各要因の影響を条件付き変数重要度(Conditional Variable Importance)と部分従属プロット(Partial Dependence Plot)により評価した(James et al., 2018; 下川他, 2013)。条件付き重要度は、各予測変数をランダムに並べ替え、それによる予測精度の減少の程度でその変数の影響力を評価する指標だ(Strobl et al., 2008)。つまり注目した予測変数をランダムに並び替えたときに、目的とする変数の予測誤差が増えるということは、その予測変数は応答変数の予測に重要だと判断できる。逆に、ほとんど予測誤差が変化しないということは、その変数は予測にほとんど貢献していないことを示す。

RFモデルのように、一般にブラックボックスモデルにおいて説明変数と応答変数の関係は非常に複雑で、可視化することは困難だ。そこで、複雑な関係を要約する手法の一つに部分従属プロットがある。興味のある説明変数以外の影響を周辺化して消してしまうことで、説明変数と応答変数の関係を単純化しようというものだ。

解析はすべて統計ソフトR 4.3.1を用いて行い(R Core Team, 2023)、すべての検定は有意水準を5%(両側検定)とした。RFモデルによる解析には、partyパッケージのcforest関数を用いてConditional Inference Treeを分類器として用いた(Hothorn et al., 2006)。部分従属プロットの作成には、pdpパッケージを利用した(Greenwell, 2017)。

結 果

生息分布

今回の調査で得られた生息情報を加えた結果、前回の報告に比べて生息地点はハコネでは9箇所増加し計36箇所、ヒガシヒダでは49箇所増え計109箇所確認できた。自治体別に集計すると、ハコネでは奥多摩町が31箇所と最大で、檜原村が5箇所とこの2自治体のみで生息が確認された(表2)。ヒガシヒダはより広い範囲で観察されたが、檜原村で39箇所、奥多摩町で30箇所とこの2自治体で全体の約3分の2弱を占めた。主要生息地は奥多摩西部の奥多摩町・檜原村で間違いないが、東京都の東限は八王子市西部の山地で、八王子市内だけで8箇所確認されている(表2)。

生息確認地点の標高は、ハコネで487~1321 m、平均837.1 m(SD=215.7)。ヒガシヒ

表2. 生息確認地点数の自治体別結果。

Table 2. The number of confirmed habitat points by municipality.

自治体	ハコネ 確認年代		ヒガシヒダ 確認年代	
	<2000	≥2000	<2000	≥2000
奥多摩町	18	13	15	15
檜原村	0	5	17	22
あきる野市	0	0	3	16
青梅市	0	0	0	9
日の出町	0	0	0	4
八王子市	0	0	1	7
小計	18	18	36	73
総計	36		109	

ダで 236~1218 m, 平均 642.5 m (SD=232.3). 確認地点の標高分布は, 両種で有意に異なりハコネに比べてヒガシヒダの方がより低い地域にも生息していた (t 検定: $t=4.434$, $df=143$, $p<0.001$).

今回の調査では, 奥多摩全域を組織的に踏査できたわけではないが, 最終確認年により, 1999 年以前の確認地点数と 2000 年以降の確認地点数も示した (表 2). ハコネではそれぞれ 18 箇所と 18 箇所, ヒガシヒダでは 36 箇所と 73 箇所であった. 地点数からみると, 今回の調査では奥多摩地区における両種の生息情報を前回から大幅に増やすことができた.

具体的な生息確認地点の分布を図 1 に示した. 前回の草野他 (2001) の結果と大きな違いは見られず, 最近 20 年程では変化があったとは言えないようだ. ただ, 草野他 (2001) では秋川水系におけるハコネの生息地点数の少なさが指摘され, その傾向に変わりはないが, 今回の調査では秋川水系でわずかながら確認地点が増えている. ハコネの分布東限は, 北秋川の水ノ戸沢からセト沢へと約

2 km 東に移動したことになる (図 1). また, ヒガシヒダに関しても, 前回の調査では確認できなかった高尾南地区でも案内川上流の支流で卵囊の確認情報が得られた (山崎充哲氏私信; 草野, 2014 参照). それにより, ヒガシヒダの東限も今熊山大滝から約 4 km さらに東に移動した.

草野他 (2001) のデータに今回の新情報も加えた生息確認地点 (ハコネ 36 地点とヒガシヒダ 109 地点) のデータより, 奥多摩での両種の地理的分布の大きさを計算した. 生息範囲 (EOO) は, ハコネで 198.8 km², ヒガシヒダで 423.4 km² となった. 生息地面積 (AOO) では, それぞれ 112 km² と 240 km² となった. 金井 (1979) はヒガシヒダの生息分布について報告しているが, それによると現在生息が確認できなくなった八王子市や青梅市の生息地点も多く含まれている. その金井 (1979) の生息地点も加えて面積を計算してみると, 生息範囲が 457 km², 生息地面積で 304 km² となった. 金井 (1979) は 1950 年~1970 年代までのデータを整理したもので, 2000 年代までに生息地面積で 64

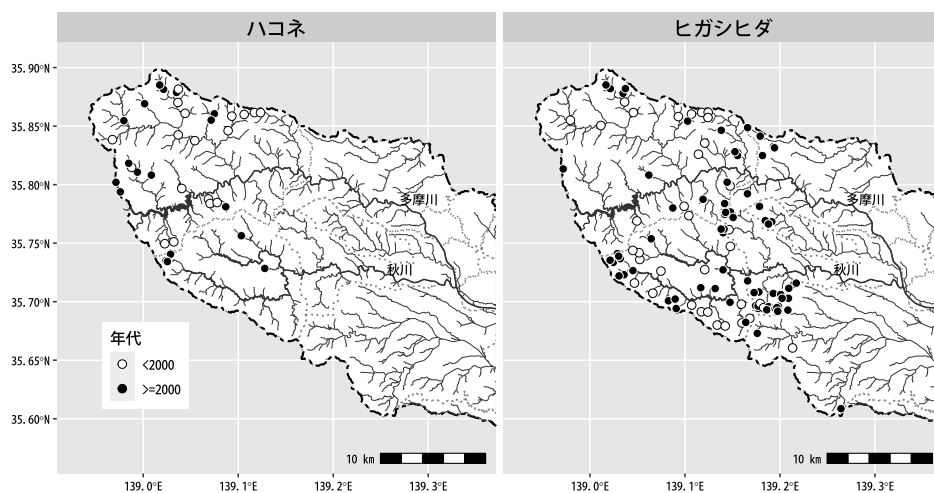


図 1. 東京都奥多摩における渓流性サンショウウオ 2 種の生息分布. 灰色の破線は自治体の境界を, 黒の実線は河川を示す. 背景の地図は国土地理院基盤地図情報 (縮尺レベル 25000) を基に作成した.

Fig. 1. Habitat distribution of two species of stream-breeding salamanders in Okutama, Tokyo. Grey broken lines show municipal boundaries, and black solid lines show rivers. The background map was created based on the digital map (basic geospatial information) published by the Geospatial Information Authority of Japan.

km² ヒガシヒダの生息地が失われ、21%減少したことになる。

生息に係る環境要因

青梅・八王子市から西側の奥多摩山地に設けた124の調査区の内、今回調査できた110の調査区について、両種の生息状況を整理した。ハコネの生息が確認できた調査区は22区で、88区では確認できなかった。ヒガシヒダは生息確認が58区で未確認が52区だった。RFモデルにより種ごとに、110調査区における生息状況と13環境要因との関係を解析した(表1)。一つ抜き交差検証に

よるRFモデルの予測の正解率は、ハコネでは0.918(95% CI: 0.850~0.962)とかなり高い値を得たが、ヒガシヒダでは0.618(95% CI: 0.521~0.709)であった。

条件付き変数重要度を見ると、両種では重要な要因が異なることが分かった(図2)。ハコネでは標高と気温が最も重要な要因となり、この2要因だけで精度よく生息を予測できることが分かった。対して、ヒガシヒダでは調査区の面積の影響が最大となり、斜度がそれに続き、流路長と植生タイプ以外はいずれも有意な影響を与えているように見える。ただし、縦軸の重要度の数値をよく見ると、

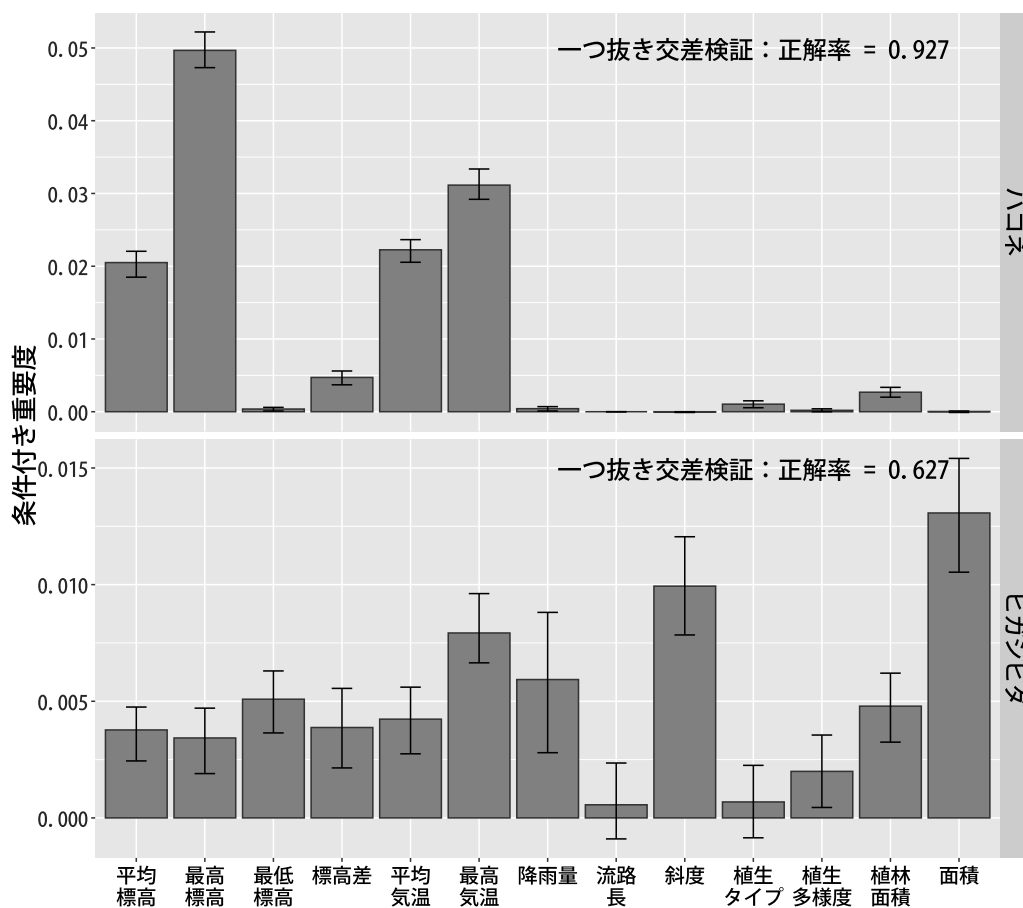


図2. 生息分布を予測するランダムフォレスト・モデルにおける各環境要因の条件付き変数重要度。エラーバーは95%信頼区間(100回反復)。

Fig. 2. Degree of contribution of each candidate predictor variable to the Random Forests models predicting habitat distribution of salamanders. The vertical lines show 95% confidence intervals (100 repetitions).

ハコネと違いヒガシヒダでは 0.005 程度と低めの値のものが多数を占め、今回の解析では決定的な環境要因を抽出できていない可能性もある (図 2)。予測の正解率も 60% 程度で、ヒガシヒダに関しては十分に信頼できる予測モデルは得られたとは言えないようだ。

両種の RF モデルにて、いずれでも有意でなかった流路長を除く 12 環境要因と生息状況の関係を、注目している要因以外の影響を調整した部分従属プロットにより見てみた (図 3)。ハコネでは、重要度の高い標高と気温に生息状況が明瞭な反応を示している。平均標高では、800 m を越えると急激に生息確率が上昇し、最高標高も 1200 m を境に急激な反応が見られた。年平均気温では、9°C を境にそれ以上の地域では生息確率が著しく低下し、最高気温では 14°C が限界のようだ。これらに対して重要度は著しく低い (図 2)、植林面積も生息に影響し、面積割合

が 25% を越える地域では生息の見込みが低下すると予測されている。それに対して、降雨量・斜度・面積などは反応曲線がほぼ水平となっている。

ヒガシヒダに関しては、調査区の面積が広いほど生息確率が高まり、斜度がある程度を越えると生息確率が低下している (図 3)。また、ハコネと異なり降雨量が多い地区でも確率が徐々に下がる傾向も見られた。気温・標高及び植林面積に関しては、その反応はハコネに比べて鈍く生息への影響は大きくはないと予測された。植生タイプは両種とも重要度は低いが、ハコネはどちらかというと落葉樹林を好み、ヒガシヒダは混交林を好む傾向も見られ、我々の実感とも矛盾しない。

今回得られた RF モデルにより、実際には調査を行えなかった 14 調査区でも両種の生息状況を予測し、124 調査区全区での生息予測を示した (図 4)。実際に生息を確認でき

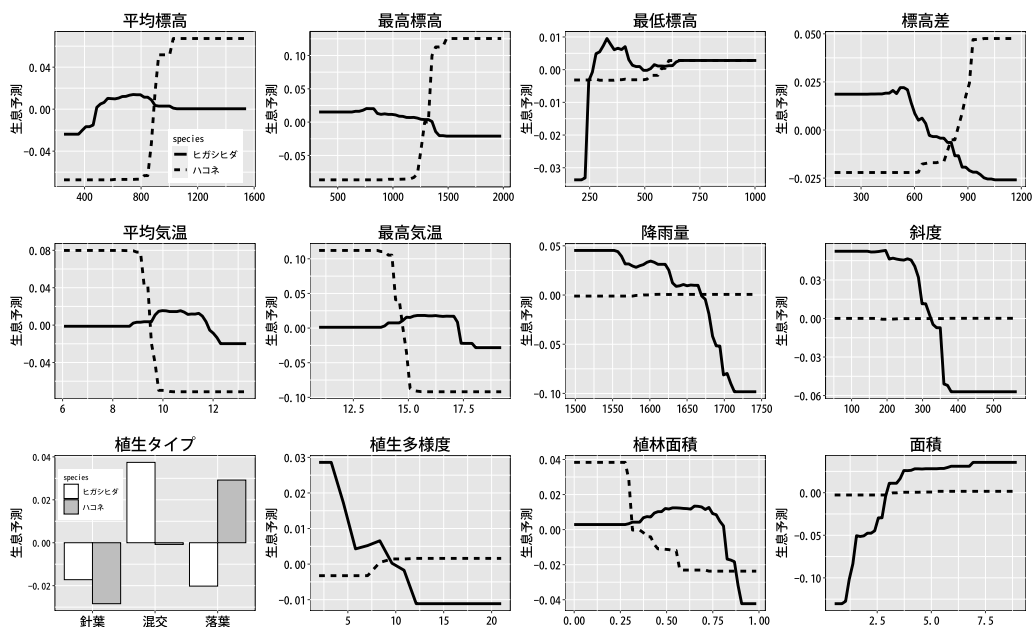


図 3. 生息分布を予測するランダムフォレスト・モデルにおける各環境要因 (有意でない流路長を除く) の部分従属プロット。生息確率予測値は、種ごとの平均値からの偏差として示した。

Fig. 3. Partial dependence of habitat distribution of salamanders on each predictor variable (excluding a non-significant variable, stream length) based on Random Forests models. Predicted values are shown as the deviations from the average values of respective species.

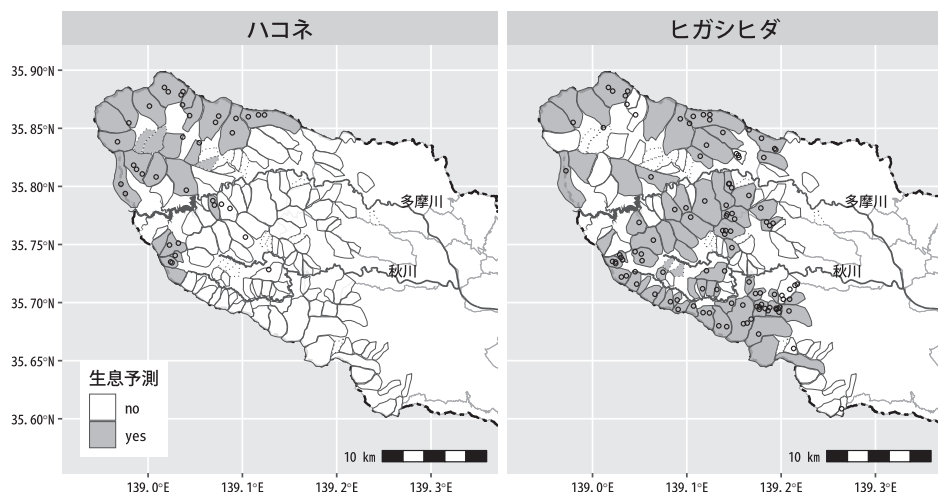


図4. ランダムフォレスト・モデルによる各調査区の生息予測. 実線で囲った区域は実際に調査できた110調査区, 点線で囲った区域は調査ができていない14調査区を示す. ○は生息確認地点を示す. 灰色の実線は自治体の境界を示す. 背景の地図は国土地理院基盤地図情報(縮尺レベル 25000)を基に作成した.

Fig. 4. Habitat distribution of salamanders predicted by Random Forests models. Polygons enclosed by solid lines are 110 survey areas where surveys were actually conducted, and polygons encircled by dotted lines are 14 survey areas where surveys could not be conducted. Hollow circles show the points where salamanders were observed. Grey lines show municipal boundaries. The background map was created based on the digital map (basic geospatial information) published by the Geospatial Information Authority of Japan.

た地点(ハコネ 36 地点; ヒガシヒダ 109 地点)を同じ地図上にプロットした結果をざっと見てみると, RF モデルによる予測は比較的うまくいっているように見える(図4). ただ, 実際には生息を確認できた調査区でも予測に失敗している箇所が両種ともいくらか存在している. ハコネでは, 北秋川の2地区と奥多摩湖直下の多摩川右岸の1地区で予測に失敗している. この予測地図では, 生息をまだ確認できていないが, RF モデルでは生息が予測されている地区も少なからず存在する. 両種の生息分布情報を蓄積していく上で, 今回の予測結果は今後の効率的な調査実施にも参考となるだろう.

考 察

今回, 草野他(2001)に新情報を追加し奥多摩における溪流性サンショウウオ2種の生息状況を更新し報告した. 図1よりハコネは東経 139.13°より西側の標高 500 m 以上で生息が確認できた. 主要な生息地は奥多摩町の

多摩川水系で, 秋川水系では生息地が極めて限られていた. 草野他(2001)でもすでに, 秋川水系ではハコネの生息が限られていることが指摘されていたが, 今回の RF モデルによる解析で, ハコネの生息が標高と気温に強く影響されていることが示された. 秋川水系でハコネの生息が限られているのは, 単純に多摩川水系の上流域に比べて標高が低く気温も高めであることが影響しているのかもしれない.

ハコネに比べて, ヒガシヒダの分布は幅広く, 高尾南地区の東経 139.26°以西で標高 240 m 以上の山地に分布していた. 奥多摩西部の標高の高い山地の渓谷から東部の標高の低い丘陵地との境まで幅広く生息していた. RF モデルでの解析結果でも, ハコネと異なり生息に影響する要因も絞ることができず(図2), 今回の調査範囲の内部ではどこに出現してもおかしくない印象を受けた.

両種の生息分布の時間的変化については, 詳細な検討を行うには情報不足であるが, ハ

コネに関しては、特に気になるような分布の縮小などは幸いまだ観察されていないように見える。図1では、1999年以前の古い確認情報のみで最近の確認情報が少ないようにも見え、一見分布が縮小しているような印象を与えるが、これはハコネの主な生息地である奥多摩西部の奥深い山地での調査が困難なこともあり、情報の更新が十分にできていないことによる。決して、この地区の個体群が絶滅したり衰退したりしているというわけではないと考えている。ただ、一見大きな環境の攪乱等がなくとも、ニホンジカなどの食害による林床植生の衰退や沢での林道工事等の攪乱も少なからずあるので、実際のハコネの個体群の状況を知るには個体群密度推定等の定量的な調査も必要となるかもしれない。また、図3より明らかなようにハコネは気温に敏感で、ある一定の気温を越えると生息しなくなる傾向が強い。近年の気候温暖化による気温の急激な上昇は東京都西部でも観察され(草野, 2022 参照)、彼らの生息域を後退させる可能性も無視できない。比較的標高の低い生息域が今後徐々に消滅していくことも危惧される。

ヒガシヒダに関しては、ハコネより個体群の状況は明らかに厳しいと思われる。生息地面積だけ見ても、1970年代ころからすでに東の分布限界付近で20%以上失われていると推定された。特に八王子市西部でこの分布の縮小が顕著で、ヒガシヒダの分布東限の後退の主要な原因となっている。高尾山周辺では、1970年頃まではヒガシヒダの生息が複数個所で確認されていたが、そのすべてが現在消失している(塩谷・山崎, 2002)。この地区から完全にヒガシヒダが絶滅したと危惧されていたが、幸い1箇所だけだが案内川の上流部の支流で2008年に生息情報が得られている。ただ、その後生息情報は全く得られていなく、現在の状況は不明だ。また、金井(1979)が報告している上恩方町の浅川上流

部、小津町・美山町・上川町の産卵場なども現在はほとんど消滅している。さらに、北部の東限である青梅市内でも成木川と北小曾木川の産卵場が複数消滅し、ここでも東限がやはり1.5 km 程後退している(青梅自然誌研究グループ, 2008)。

ヒガシヒダに関しては、分布状況だけでも東京都の個体群が衰退していることは明らかだが、たとえ存続している集団でも、明らかに以前に比べ個体数が減少している印象が強い。実際、以前は調査で立ち寄った檜原村の沢でも、川の岸边近くで多数の幼生を見ることがあったが、最近は多数の幼生を観察できる場所がほとんどないように感じる。森林伐採・河川開発などに伴う砂防堰堤・林道工事などにより、繁殖場所である山間の溪流上部の支沢の環境悪化が個体群衰退の主因と考えられる。また、神奈川県丹沢山地では豪雨による頻繁な出水に見舞われて沢が荒れ、シカによる森林の荒廃と出水による減少とが区別し難い状況であるが、沢周辺の下層植生が失われ、土壌の流失や落葉層の消失などヒガシヒダの変態後の生活環境の悪化が認められたという。丹沢では、ハコネへの影響は見られなかったが、ヒガシヒダへの影響は深刻だという(石原他, 2007)。奥多摩でも状況は同じように思える。特にヒガシヒダに関しては、成体は美しいため、インターネットを経由した販売目的の採集や写真撮影のための観察会による環境攪乱が個体群の存続を危うくさせる要因となりつつある(藤田, 2018; 福山・草野, 2023)。いずれにしても、人目に付きにくい山地に生息する両種の個体群の状況に関する情報は得難く、今後も個体数調査も含めた定量的なモニタリングを継続し注目し続ける必要があると強く感じる。

現場での作業量の少なさや生息環境の攪乱を起こさないことなどから、環境DNAを利用した調査は、有用な生物調査方法であると期待されている。神奈川県丹沢山地の源流域

では、溪流性サンショウウオ類について捕獲調査と併せて環境 DNA 調査が行われた（長谷部・白子, 2019）。両調査の結果が比較され、ハコネサンショウウオに関しては、捕獲調査を補完する調査方法として有用と考えられた。一方、捕獲調査で生息確認されたものの、環境 DNA では生息確認できなかった地点があること、ヒガシヒダサンショウウオに関しては全地点で生息確認できなかったこと等、実用化に向けての課題も指摘されている（長谷部・白子, 2019）。いずれにしても、今後検出力などの改善が進めば、奥多摩でも溪流性サンショウウオ類の生息状況を把握するための有望な手法となってくることが期待される。

謝 辞

今回の調査を行うに当っては、多くの方々にご協力していただいた。特に、五味元氏には八王子市における生息情報を教えていただいた。また、秋元洋希・植村公一・河村衛・清水孝一・志村綱太・白石正文・戸田光彦・辻淑子・御手洗望・三好和貴・山崎充哲諸氏など多くの方々に貴重な情報を提供していただいた。これらの方々には深く感謝の意を表したい。

引用文献

- 秋田喜憲. 1997. ハコネサンショウウオ. p. 316–321. 日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料 (IV). 日本水産資源保護協会, 東京.
- Bachman, S., J. Moat, A. W. Hill, J. de la Torre, and B. Scott. 2011. Supporting Red List threat assessments with GeoCAT: geospatial conservation assessment tool. In: V. Smith, and L. Penev (eds.), e-Infrastructures for data publishing in biodiversity science. ZooKeys 150: 117–126.
- 藤田宏之. 2018. 両生類. p. 111–116. 埼玉県レッドデータブック動物編 2018 (第4版). 埼玉県環境部みどり自然課, 埼玉.
- 福山欣司・草野保. 2023. IV. 6. 両生類. p. 518–525. 東京都レッドデータブック 2023—東京都の保護上重要な野生生物種 (本土部) 解説版一.
- 東京都環境局, 東京.
- Greenwell, B. M. 2017. pdp: An R Package for Constructing Partial Dependence Plots. The R Journal 9: 421–436.
- 長谷部勇太・白子智康. 2019. サンショウウオ類の分布調査における捕獲調査と環境 DNA 調査の比較. 全国環境研会誌 44 : 29–35.
- 長谷川雅美・草野保・福山欣司. 2000. 日本における両生類個体群減少の認識過程. 千葉中央博自然誌研究報告特別号 (3) : 1–7.
- 早瀬長利・山根爽一. 1982. 茨城県筑波山系におけるハコネサンショウウオ *Onychodactylus japonicus* (Houttuyn) の水中生活. 日本生態学会誌 32 (3) : 395–403.
- Hothorn, T., K. Hornik, and A. Zeileis. 2006. Unbiased recursive partitioning: a conditional inference framework. Journal of Computational and Graphical Statistics 15: 651–674.
- 石原龍雄・林義雄・草野保・山崎泰・北垣憲仁. 2007. サンショウウオからみた丹沢. p. 321–327. 丹沢大山総合調査団 (編) 丹沢大山総合調査学術報告書. 財団法人平岡環境科学研究所, 神奈川.
- James, G., D. Witten, T. Hastie, and R. Tibshirani. 2018. R による機械学習入門 (落海浩・首藤信通訳). 朝倉書店, 東京. 403 p.
- 懸川雅市・前田憲男・山本忠生. 1983. 奥多摩大丹波川の冬期両生類. 両生爬虫類研究会誌 (27) : 1–11.
- 金井郁夫. 1979. 東京都の両生類・は虫類の概要. p. 2–6. 第2回自然環境保全基礎調査 動物分布調査報告書 (両生類・は虫類) 東京都. 環境庁, 東京.
- 窪田直. 1998. 東京都奥多摩地方におけるハコネサンショウウオの幼生期の生活史と食性. 東京都立大学, 東京. (卒業論文).
- 草野保. 2014. 第3章八王子の生物相 第5節両生類と爬虫類. p. 362–379. 八王子市総合政策部 (編) 新八王子市史 自然編. 八王子市, 東京.
- 草野保. 2022. 半世紀にわたるモニタリング調査により分かった両生類の繁殖のタイミングの長期的傾向. 爬虫両棲類学会報 2022 (2) : 187–197.
- 草野保・川上洋一・御手洗望 (編著). 2022. トウキョウサンショウウオ: 長期調査で分かった個体群の衰退と絶滅. 東京都多摩地区における

- 2018 年度生息状況調査報告書. トウキョウサンショウウオ研究会, 東京. 86 p.
- 草野保・植田健仁・初芝伸吾. 2001. 東京都におけるヒダサンショウウオとハコネサンショウウオの生息分布. 爬虫両棲類学会報 2001 (1): 1-6.
- Misawa, Y. and M. Matsui. 1997. Larval life history variation in two populations of the Japanese salamander *Hynobius kimurae* (Amphibia, Urodela). Zoological Science 14: 257-262.
- 三島次郎・竹中踐・千石正一・大河内勇. 1978. 両生・爬虫類調査. p. 77-98. 多摩川流域環境調査報告書 (第3次調査). とうきゅう環境浄化財団, 東京.
- 森口一・竹中踐・長谷川雅美. 1995. 多摩川流域における両生・爬虫類の分布と分布要因の分析に関する研究. とうきゅう環境浄化財団研究助成研究報告書 (166). とうきゅう環境浄化財団, 東京. 42 p.
- 青梅自然誌研究グループ (編). 2008. 青梅市の両生類: 青梅市両生類分布調査プロジェクト報告書. 東京, 92 p.
- Okamiya, H., H. Sugawara, M. Nagano, and N. A. Poyarkov. 2018. An integrative taxonomic analysis reveals a new species of lotic *Hynobius* salamander from Japan. PeerJ 6:e5084.
- R Core Team. 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 下川敏雄・杉本知之・後藤昌司. 2013. Rで学ぶデータサイエンス 9. 樹木構造接近法. 共立出版, 東京. 214 p.
- 塩谷暢生・山崎登志樹. 2002. 高尾山周辺には今でもヒダサンショウウオが生息しているか? トウキョウサンショウウオ研究会. <http://salamander.la.coocan.jp/salamander/shiryou/takao.html> (2023年7月10日確認)
- Strobl, C., A.-L. Boulesteix, T. Kneib, T. Augustin, and A. Zeileis. 2008. Conditional variable importance for random forests. BMC Bioinformatics 9: 307.
- 山本俊明. 1977. ハコネサンショウウオの形態. 採集と飼育 39: 296-303.
- 山崎泰・石原龍雄・梶野稔・北垣憲仁. 1997. 丹沢のサンショウウオ類. p. 480-492. 財団法人神奈川県公園協会・丹沢大山自然環境総合調査団企画委員会 (編) 丹沢大山自然環境総合調査報告書. 神奈川県環境部, 神奈川.
- 吉川夏彦. 2015. 最近の日本産ハコネサンショウウオ属の分類に関する雑記. 両生類誌 (27): 1-8.
- Yoshikawa, N. and M. Matsui. 2022. A new salamander of the genus *Onychodactylus* from central Honshu, Japan (Amphibia, Caudata, Hynobiidae). Current Herpetology 41: 82-100.