
〈特集：日本における希少有尾類の保全活動〉

種分布モデリングによるトウキョウサンショウウオの 好適生息環境の予測

草野 保

192-0397 八王子市南大沢1-1 首都大学東京・理工学研究科・生命科学

Predicting habitat suitability for the Tokyo salamander, *Hynobius tokyoensis*,
using species distribution modeling

By Tamotsu Kusano

*Department of Biological Sciences, Graduate School of Sciences and Engineering,
Tokyo Metropolitan University, Minami-ohsawa 1-1, Hatchioji-shi, Tokyo 192-0397, Japan*

近年、地球規模での両生類の減少が危惧され、日本でも、特に大都市近郊でのこの数十年の両生類個体群の衰退は際立っている。実際、環境省のレッドリストでは、有尾類12種、無尾類10種が絶滅のおそれがある種（絶滅危惧Ⅱ類以上）として記載されている（環境省, 2014）。現在国内には、有尾類32種と無尾類42種が生息しているので（日本爬虫両棲類学会, 2016）、絶滅危惧種の割合はそれぞれ38と24%となり、特にサンショウウオ類は著しく高率となっている。これら両生類の減少や絶滅の原因には、酸性雨・残留農薬の拡散・地球温暖化に伴う気候の変化・外来種による捕食など多くの要因が上げられるが、人為的な環境破壊に伴う生息環境の喪失が大きな原因の一つであることは間違いない（松井, 1996 ; Blaustein et al., 2003 ; Pounds and Puschendorf, 2004）。

絶滅危惧種の保全に際しては、対象種の空間分布とその時間変化を把握することが必要となることが多い。しかし、広範囲に分布する対象種を全生息域で直接調査することは難しい。そこで、地理情報システム（GIS）を

利用し、統計モデルを用いて対象種の生息情報と環境要因の関係を解析し、間接的にその種の空間分布を推定・予測する手法が近年急速に発展している（Pearson, 2009 ; 角谷, 2010）。

通常このような解析には、対象種の生息情報として在及び不在データを必要とする。最大エントロピー理論に基づくMaxent（Maximum Entropy Method）は、不在データの代わりに背景環境と呼ばれる対象地域内にランダム点を発生させ、そのランダム点と実際の生息地点における環境変数の確率密度関数から対象種の分布好適地を推定する（Phillips et al., 2006 ; 角谷, 2010）。そのため、在のみデータ（presence-only data）で対象種の生息分布を解析でき、かつ、このような種分布モデル（Species Distribution Models）の中でも予測精度が良く使いやすいモデルと言われている（Elith et al., 2006 ; Wisz et al., 2008 ; 岩崎他, 2014）。今回、このMaxentを日本産止水性小型サンショウウオ類の代表種の一つであるトウキョウサンショウウオ（*Hynobius tokyoensis*）に適用す

ることにより、彼らの生息情報を解析し好適生息環境の地理的分布を推定し、生息分布に影響を与えている環境要因を明らかにすることを試みた。

材料と方法

トウキョウサンショウウオは、福島県の太平洋岸の一部の地域から群馬県を除く関東地方の1都5県の比較的狭い範囲に生息する。平野部と山地がぶつかり合う標高300 m程度までの丘陵地帯に分布し、山間の水田や湧き水の水溜りと、その周辺の森林の林床部を繁殖場所及び生活場所として利用している（草野他，2014）。他の小型サンショウウオ類同様、生息域全域で個体群の絶滅・衰退が急速に進行し、環境省のレッドリストでも絶滅危惧II類と記載されている（環境省，2014）。特に、大都市近郊の東京都多摩地区では、1970年代から現在までに個体群サイズが3分の1に減少し、最近10年間で見ても総産卵卵囊数で約4割の減少傾向が続いている（草野他，2014）。他の地域でもほぼ同じような減少が疑われ、早急な対策が望まれている。

生息情報

本種の原記載地である東京都多摩地区では、金井（1974）による先駆的な生息調査報告のあとも、市民の関心も高く1990年代後半から継続的な調査が続いている。そのため、東京都は都県レベルでは本種の生息情報は一番充実していると思われる（草野・川上，1999；草野他，2014）。その他の県では、県により生息情報の精度や調査努力量などは様々であるが、調査報告書などの既存文献や、多くの方々から寄せられた個人的な情報をもとに、本種の生息地点をまとめてみた。本種は、他の多くの小型サンショウウオ類同様、非繁殖期には繁殖場の周囲の森林の林床部に広く分散し生活しているため発見は困難である（草野他，2014）。そのため、生

息情報は原則として繁殖場所から得られたものである。繁殖場所の位置データを、原則として2.5万分の1の地図上に落として緯度経度情報を読み取った。近年では小型GPS受信機が利用できるようになったので、その場合は現地で直接緯度経度情報を読み取ったものも利用した。また、文献情報で地図上の点として記載されているものについては、スキャナーで地図を読取り、GISソフト上に読み込んだ後、レジスター処理をして産卵場の位置情報を緯度経度として読み取った。

環境データ

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・土地利用形態・自然度を取り上げた（表1）。自然度を除きそれぞれの要因として、さらに3変数を選び合計10変数を用いて解析した。その際、相関の高い組み合わせが出ないように配慮した（相関係数0.7以下）。関東地方及び福島県の範囲を調査範囲として、全範囲を30秒のメッシュ（約0.8×0.9 km）に区切り、各メッシュに含まれる各変数の平均値をそのメッシュの代表値として用いた。地形区分はカテゴリ変数なので、そのメッシュの中心の値をそのメッシュの値とした。ちなみにこのメッシュは、気象要因として用いたWorldClimで採用されているメッシュで、調査範囲全域で計117,342セル（369×318）になる。各変数データの入手先は表1に示した。今回の解析に用いた生息情報は、1970年代以降の情報を利用し、必ずしも現在の状況が明らかな場所だけではないので、土地利用形態及び自然度に関しては1970年代後半以降の手にする最も古いデータを用いた。

Maxent モデルによる解析

トウキョウサンショウウオの生息確認地点の緯度経度情報とインターネット上で入手した環境要因のデータ（10変数）を用いて、プ

表1. 生息分布の解析に用いた環境データ. URL はいずれも2016年7月28日に最終アクセス.
Table 1. Variables used for building the Maxent model.

	変数	データ入手元	URL
地形	標高	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/
	斜度	国土数値情報 自然地形標高・傾斜5次メッシュ (250 m)	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/
	地形区分	国土交通省 20万分の1土地分類基本調査 (地形分類図)	http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/ inspect/inspect.html
気象	年降雨量	WorldClim (Global Climate Data) 30 sec Mesh Data	http://worldclim.org/
	年平均気温	WorldClim (Global Climate Data) 30 sec Mesh Data	http://worldclim.org/
	日射量	国土交通省 国土数値情報気候値 (平年値) 3次メッシュ	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/
土地利用	建物面積	国土交通省 国土数値情報 土地利用3次メッシュデータ (昭和51年度・平成21年度)	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/
	森林面積	国土交通省 国土数値情報 土地利用3次メッシュデータ (昭和51年度・平成21年度)	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/
	水田面積	国土交通省 国土数値情報 土地利用3次メッシュデータ (昭和51年度・平成21年度)	http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/
自然度		環境省自然環境局生物多様性センター 第3回自然環境保全基礎調査報告書 GIS データ	http://www.biodic.go.jp/

プログラム Maxent (version 3.3.3k, <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>) により在のみデータを用いた種分布モデルによる解析を行った. 同じメッシュ上に落ちる重複生息地点は1点を除いて解析から除き, ブートストラップにより100回反復計算を行い, 推定値の95%信頼区間を求めた. Maxent も含めた在のみデータを用いた解析手法は, ランダムサンプルを仮定した手法で, 調査対象地域内での調査努力量の偏りと言ったサンプリングバイアスに脆弱であることが知られている (角谷, 2010). 今回の解析でも, 都県レベルで生息情報の精度にかなりバラツキが存在し, モデルによる予測にバイアスが生じる可能性がある. そこで, 都県レベルの調査努力量の相対的なレベルを大まかに推定し, 東京都・神奈川県・栃木県・群馬県は比較的調査がされている地域として最大の3とし, 茨城県は情報が乏しい県と考え最低の1とした. その他の県は中間の2として, プログラム Maxent の Bias file オプションで設定し, サンプリングバイアスに対処し

た (Elith et al., 2006). モデルの評価は, 生息データの20%をテストデータとしランダムに選び, 残りの80%のデータで訓練し作成したモデルの AUC 値 (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve) を用いて行った (Fielding and Bell, 1997 ; Pearson, 2009).

今回 Maxent モデルの作成には, 昭和51年度の土地利用形態のデータを用いたが, 近年本種の生息域である丘陵地帯を中心に開発等による土地変化が目立つ. そこで, モデル作成に用いた変数のうち土地利用に関し, 平成21年度のデータを用い最近の好適生息環境の地理的分布についても予測した. その結果をもとに, この30年間で生息環境が悪化し本種の生息に適さなくなったメッシュの地理的分布についても予測した.

結果

生息情報の都県別分布

今回の調査で本種の生息場所として, 福島県から神奈川県までで総計1,013地点の情報を得ることができた. ただし, 明らかに人為

表2. 生息分布の解析に用いた生息確認地点（在データ）の県別頻度分布。
Table 2. Presence-only data used for the Maxent model.

県名	面積		生息確認		文献
	km ²	メッシュ数	地点数	メッシュ数	
福島県	13,728	20,208	25	25	草野・早瀬 (1990), 稲葉 (1999), Sugawara et al. (2016)
茨城県	6,077	8,821	71	70	早瀬 (1977, 1981), 小菅 (1979), 草野・早瀬 (1990), 稲葉 (2007), Sugawara et al. (2016)
栃木県	6,391	9,323	150	83	赤羽他 (1998), 青柳・林 (2004), 草野・早瀬 (1990), Sugawara et al. (2016)
群馬県	6,342	9,230	0	0	金井 (2012)
埼玉県	3,777	5,461	184	125	中里 (1979), 草野・早瀬 (1990), 松本・須永 (2000), 金田 (2008), Sugawara et al. (2016)
東京都	1,769	2,548	423	131	草野・川上 (1999), 草野他 (2014), 草野・早瀬 (1990), Sugawara et al. (2016)
神奈川県	2,407	3,455	19	18	金田・大野 (1998), 草野・早瀬 (1990), Sugawara et al. (2016)
千葉県	5,148	7,399	141	140	成田 (1978), 草野・早瀬 (1990), 小賀野他 (2007), Sugawara et al. (2016)
合計	45,639	66,445	1013	592	

的な移植と判明している箇所については含まれていない。また、1970年の比較的古い情報もあり、現在これらがすべて存続しているわけではない。都県別のまとめと引用した文献情報は表2に示した。東京都が423箇所と全体の4割を占めているが、前述したように調査努力量の差によるものだろう。詳細で長期的な調査により、他県より生息場所の把握率が高いことによると思われる。東京都の現在まで確認された生息場所の内、2010年の調査で存続が確認されたのは340箇所程度である(草野他, 2014)。Maxentの解析では、生息情報はメッシュレベルで扱われる。調査地区全域の総生息メッシュ数は593で、東京都の生息場所はメッシュ数に直すと131と大幅に減少している。生息メッシュ数の最大は千葉県の140であった(表2)。都県レベルの生息メッシュの面積割合(生息メッシュ数/県別総メッシュ数)で見ると、やはり東京都が5.2%で最大で、次に埼玉・千葉県の2%程度と続き、全体では0.9%であった。

Maxentによる予測

種分布モデルであるMaxentには、生息地点の位置情報と予測に用いる環境要因10変数

の地理的分布をラスターデータにして入力した。解析に用いた生息場所と、調査地区全域からランダムに抽出した10,000地点の環境データを背景データとして、表3にそのデータ分布を示した。

Maxentによる解析の結果、出現確率の予測値の地理的分布が得られたが、予測値は0～1までの数字で連続的に変化するため分かりづらい。そこで、最も効率よく在・不在を予測できるカットオフ値を真陽性率と真陰性率の合計が最大となる値として求め(0.293; Fielding and Bell, 1997; Liu et al., 2005), それ以上の予測値のメッシュは生息, それ未満の予測値のメッシュは不在として図1に示した。

モデルの予測精度を評価するために、20%の分離した生息データよりAUCを求めた。100回の反復計算の結果、かなり高いAUC値が得られ(平均=0.918, SD=0.008), 充分信頼できるモデルであると考えられた(Fielding and Bell, 1997; Pearson, 2009)。図1からも、おおまかに見ると既知の生息分布範囲が上手くカバーされている様子が見て取れる(大野, 1979; 草野他, 2014; Sugawara et al., 2016)。群馬県の南東部は、栃木県南西部と埼玉県の本種の生息地区と隣接し以

表3. 解析に用いた説明変数の概要. カテゴリ変数である地形区分は各区分の頻度割合を示した.
Table 3. Summary of variables used for building the Maxent model as occurrence and background data.

変数	単位	生息地点 (N=1,013)			背景 (10,000地点無作為抽出)		
		平均	SD	レンジ	平均	SD	レンジ
標高	m	146.4	78.1	2.7-421.6	229.0	374.8	0-2047.3
斜度	°	4.0	2.2	0.0-15.3	3.6	5.4	0-28.0
年降雨量	mm	1472	126	1266-1995	1515	232	1101-2328
年平均気温	°C	13.9	0.7	11.5-15.3	11.8	2.9	1.5-16.0
日射量	MJ/m ²	12.9	0.2	12.5-13.5	13.0	0.4	11.8-15.4
建物面積		0.08	0.11	0-0.85	0.07	0.14	0-0.98
森林面積		0.62	0.27	0-0.99	0.57	0.37	0-1.00
水田面積		0.11	0.14	0-0.90	0.13	0.21	0-0.99
地形区分	カテゴリ						
ローム台地		0.06			0.17		
火山地		0.00			0.07		
丘陵地		0.45			0.09		
山地		0.31			0.44		
台地段丘		0.04			0.03		
低地		0.14			0.20		
自然度		5.0	2.3	1-8	4.8	2.6	1-10

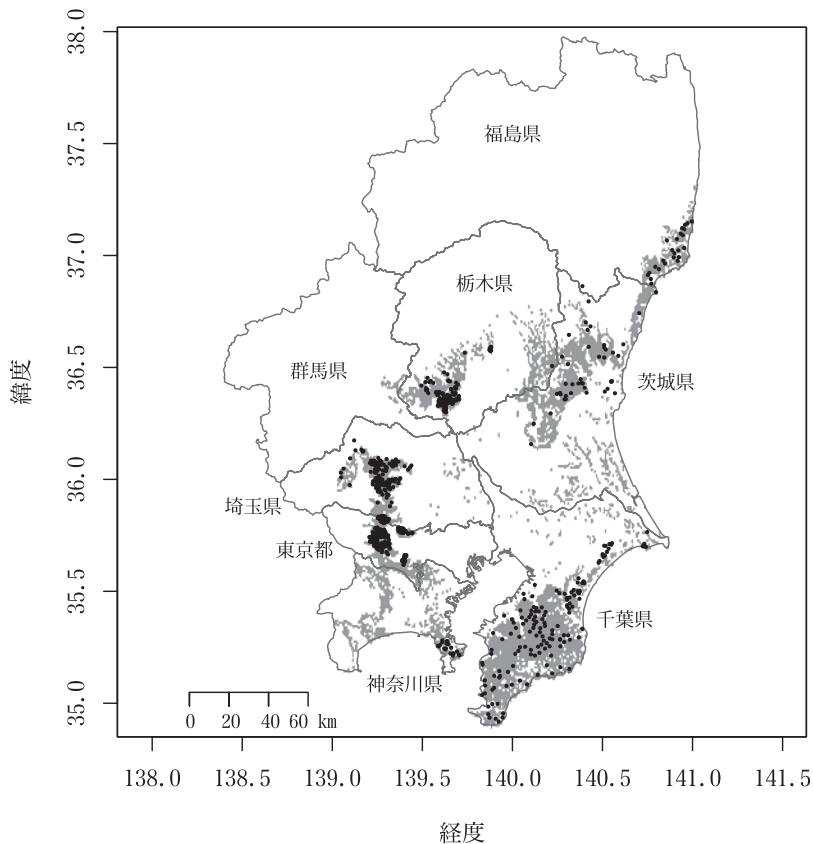


図1. Maxent によるトウキョウサンショウウオの生息分布予測. 黒の小点は生息確認地点を, 灰色の部分がモデルによる好適な生息環境メッシュを示す.

Fig. 1. Potential distribution of *Hynobius tokyoensis* predicted by the Maxent model (grey area). Small black circles indicate the sites where this species was recorded.

前から本種の生息が期待されていたが（大野, 1979）, 結局未だに生息の記録は出てこない（金井, 2012）. 今回の解析でもやはり生息好適地はこの周辺には存在しないと予測され, 生息の可能性はほぼ否定されたと見て良いだろう（図1）. それに対して, 神奈川県は現在三浦半島にしか生息記録がないが, Maxent による予測では東京都から三浦半島まで連なる丘陵地の東京都県境付近と丹沢山地東部の丘陵地区にも生息好適地が存在すると予測されている. 神奈川県以外の地区では, ほぼ実際の生息分布と Maxent による生息好適地の分布が比較的良く合っているのので, このズレの原因はとても興味深い.

表4には, Maxent の予測によるトウキョウサンショウウオの生息好適メッシュの面積を都県別にまとめた. 県の面積当たりで見ると千葉県が最も高く26%に達し, 神奈川県・茨城県・東京都がそれに続き, 福島県・群馬県が上位の10分の1程度かそれ以下となっている. ここでも, 実際の生息はごく一部の狭い地区に限定されている神奈川県の予想外の好成績が目立つ.

表4. Maxent モデルにより推定された生息適地（1970年代）の都県別面積. そのうち, 2010年の土地利用データを用いて推定したところ生息不適と変化したメッシュ面積も合わせて示した.

Table 4. Total area of suitable habitat meshes predicted by the Maxent model in each prefecture. Total area of the meshes which became unsuitable during last 50 years is also shown.

県名	生息適地メッシュ		不適地化メッシュ	
	km ²	適地割合* (%)	km ²	適地減少率 (%)
福島県	301	2.1	53	17.6
茨城県	1,317	21.6	214	16.2
栃木県	755	11.8	85	11.3
群馬県	41	1.0	3	8.3
埼玉県	539	14.2	54	10.0
東京都	338	19.1	62	18.5
神奈川県	592	24.5	186	31.5
千葉県	1,317	25.5	243	18.5
合計	5,200	11.3	901	17.3

* 県の総面積（表2）に対する割合

生息分布に影響する要因

今回の種分布モデルによる解析では, 説明変数として地形・気象・土地利用形態・植生から求めた自然度から, 生息に影響する可能性があり, なおかつ容易に手に入る10変数を選んだ. その結果, 前述したように比較的予測力の良いモデルが得られた. この結果を踏まえて, Maxent モデルに組み込んだ各変数の貢献度を定量的に評価してみた. 各変数の予測における貢献度は, 様々な方法で評価できる. 今回は permutation importance と呼ばれる評価基準を用いて評価した（Pearson, 2009）. モデル作成に用いた訓練用データにおいて, 対象とした変数をランダムに並び替えたデータを用いて再度作成したモデルにおける AUC 値の減少を求める. その減少が大きいほど, 対象とした変数が予測に大きな貢献をしているとみなす訳である. 結果を見ると, 年平均気温と標高の貢献が大きいことが分かった（図2）. 次いで斜度・森林割合・年降雨量・日射量が続き, 水田割合・自然度・建物割合・地形区分などは貢献度が低いように見える. これらの内, 比較的貢献度が高いと思われる上位6変数についてより具体的な関係を見るため, 変数ごとの Maxent 予測値の反応曲線を描いてみた（図3）. 各変数の値を連続的に変化させて, Maxent モデルによる予測値がどのように変化するかを見たものである. ただし, 対象とした変数以外の変数は一定（平均値）として計算した.

最も貢献度が高いと思われる気温が一番明瞭な反応を示した. すなわち, 年平均気温が13°Cを下回ると急速な予測値の減少が見られた. 低温が重要な分布制限要因となっている可能性を示している. 標高も300 mを超えると同時に急激な予測値の減少が見られる. 標高と気温は相関が比較的高いこともあり（-0.666）, 標高の直接的な影響というよりも, 気温の影響を反映したものと捉えるほうが考えやすいかもしれない. 土地利用は比較

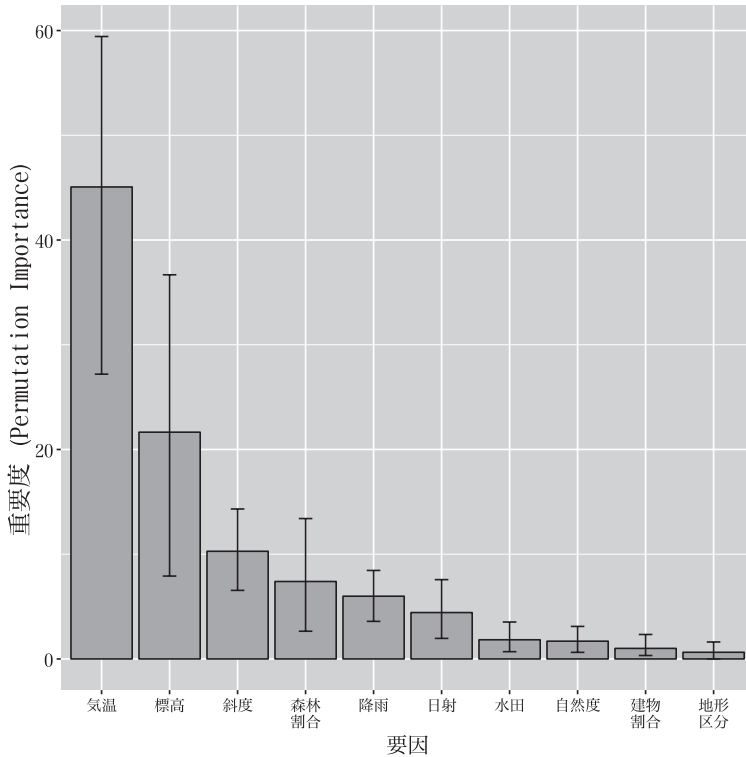


図2. モデルに組み込んだ各環境変数の重要度. 変数は重要度の値により降順に並べた. 縦棒はブートストラップによる100回の反復計算で求めた95%信頼区間.

Fig. 2. Permutation importance of each variable used for building the Maxent model. Error bars indicate 95% confidence limits (100 bootstrapped replicates).

的単純で、森林割合の生息確率への正の影響が見て取れる。年降雨量は、特に乾燥の負の影響が見られ、年降雨量が1,300 mmを割ると本種の生息には不適となるようだ。この反応曲線では、対象となる変数以外の条件は一定としたが、実際は変数間には微妙な相関関係が存在し、場合によってはこのような条件設定はかなり不自然で反応曲線も奇妙なものになることもある。そこで、ごく単純に対象とする変数のみを組み込んだモデルを造り、そのモデルによる予測値の反応も参考のために合わせて示した(図3の点線)。

最近30年間の変化

今回得られたMaxentモデルによると、調査地域全体で本種の生息に適したメッシュ(生息可能域)は、合計5,200 km²になると推

定された(表4)。そのうち、最近30年間の土地利用形態の変化により生息不適と予測されたメッシュの面積は、17%に達し900 km²になると推定された(表4)。都県別に見ると神奈川県が特に顕著で30%を越え、生息確認地点の多い東京都・千葉県でも20%弱と確実に生息適地が減少している様子が明らかとなった。

考 察

分布制限要因

トウキョウサンショウウオの分布制限要因については、伊原(2001)が当時入手出来た生息情報(396箇所)を用いて、地形・地質・気候・水文的要因との関係を解析し報告している。本種の分布は、年平均気温13℃以上で、地下水の豊富な多湿な谷底面を伴う丘

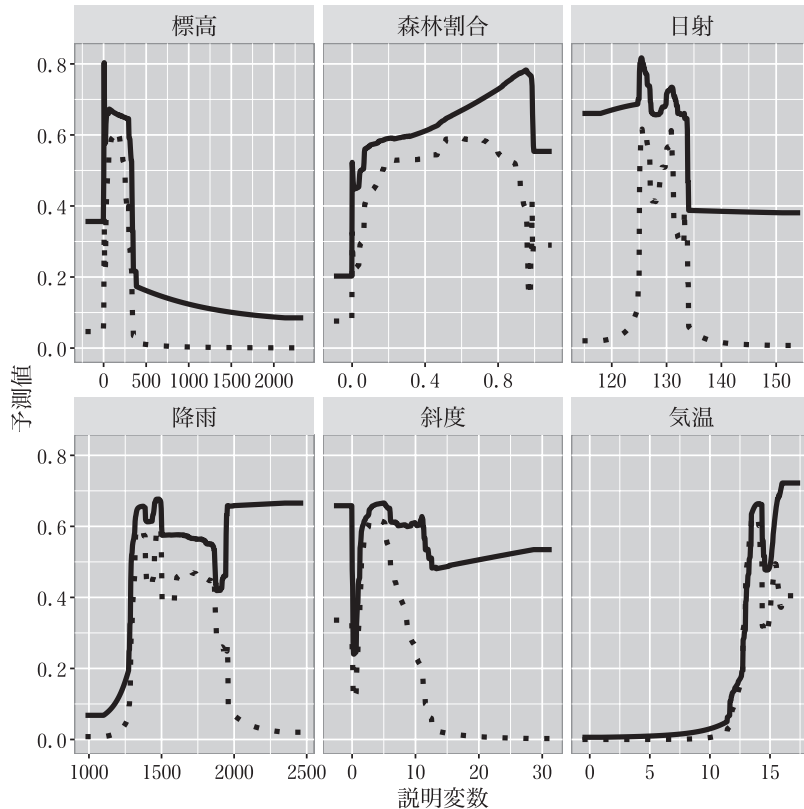


図3. Maxent 予測値の各変数への反応曲線. 実線はすべての変数を含むモデルで対象の変数だけを変化させた時の Maxent の予測値の反応 (他の変数は平均値を用いて一定にした). 点線は対象の変数だけを含むモデルでの反応曲線.

Fig. 3. Response curve for each variable used for building the Maxent model. Solid lines show how the predicted values change when each variable is varied, keeping all other variables at their average sample value. Each dotted line shows a response curve in a different model, namely, a Maxent model was created using only the corresponding variable.

陵地や起伏の低い山地の分布と一致することを明らかにした。ただし、量的な解析は東京都多摩地区に限定され、カテゴリー変数のみを扱う多変量解析の一手法である数量化 II 類によるもので、詳細な定量的な解析は行われていない。今回の Maxent モデルによる解析では、地質・水文的な要因の代わりに土地利用形態に着目し、比較的精度の高い予測が可能なモデルが得られた。

図2から明らかなように、本種の分布を制限している要因としては、気温が重要であることは間違いない。伊原も指摘しているように、年平均気温13°Cが本種の分布北限を決定している。佐藤 (1943) によると、本種の

北限は福島県相馬郡石神村 (現南相馬市原町区石神) とされていたが、その後の調査でも本種は確認されず、トウホクサンショウウオの誤同定の可能性が高まった。そのため、現在確認されている北限は50 kmほど南下しいわき市北部となっている (稲葉, 1999)。福島県の生息地点の大部分は13°Cの等温線の南側に位置し、茨城県・栃木県・埼玉県・東京都まで分布境界はこの等温線とよく一致している (図4)。

次に、本種の分布に関する大きな問題の一つである群馬県での不在の原因について考えてみたい。群馬県南東部は、栃木県・埼玉県が生息地と隣接し、かつ温度的には充分生息

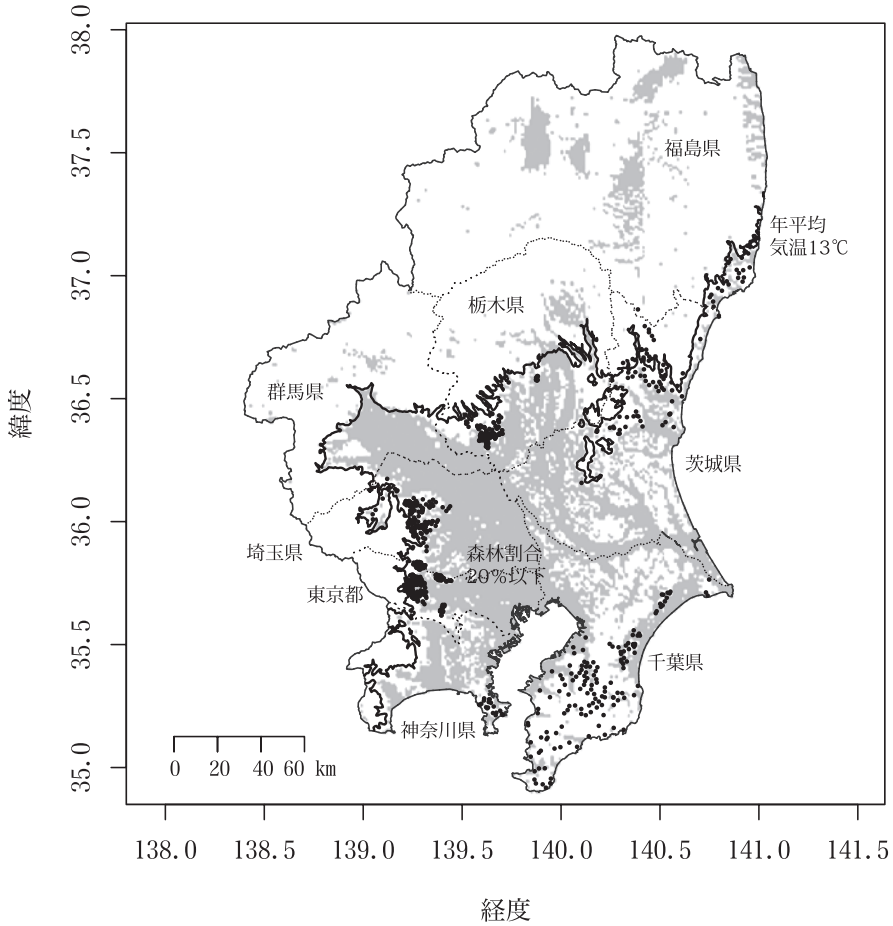


図4. トウキョウサンショウウオの生息地点と年平均気温及び森林面積との関係。黒い小点は生息地点、黒く太い実線は年平均気温が13°Cの等温線、灰色の地域は森林面積が20%以下のメッシュを示す。

Fig. 4. Geographical distribution of the sites of occurrence (small black circles), isotherm of annual mean temperature of 13°C (solid line), and an area with a low proportion of woodland area (<20%; grey area).

可能な温暖な地域と考えられる。にもかかわらず、今までに生息記録がないのはどういう理由が考えられるのだろうか。今回の解析で集めたデータを見ると、この群馬県南東部の特徴が垣間見られた。一つは、土地利用の面である。この地区は標高が低く平地が広がり、森林面積が極めて少ない。東京都心部から埼玉県東部を通り群馬県南東部に森林面積が低い（20%以下；図4の灰色の部分）地域が広がっている（図4）。栃木県と埼玉県の生息地域がこの部分で明瞭に分断されているように見える。また、この生息不連続地域は、年降雨量でも隣接した地域と異なる特徴

が見られ、年降雨量が1,300 mm以下と乾燥傾向が強い。すなわち、群馬県で唯一気温の面では生息に有利な地域であるにも関わらず、森林割合が低かつ年降雨量が少ない点でこの地域は本種の生息には向かなかったのかもしれない。

東京都南多摩および神奈川県が生息状況

本種の生息分布に関してもう一つの大きな問題は、東京都南多摩と神奈川県である。東京都南多摩から神奈川県三浦半島までの丘陵地域のうち、東京都八王子市・日野市を境にそれより東及び南には生息記録がない（図

1). 多摩市・稲城市・町田市及び神奈川県横浜市には全く記録がなく、そこからかなり離れた三浦半島には生息が確認されている(大野, 1979). Maxentによる予測では、この空白地帯にも生息好適地の存在が示されている(図1). 実際、稲城市では生息適地と予測された一部の地区で1990年代に本種の生息が報告された。しかしながら、以前から記録がなく、予備的なDNA解析の結果より千葉県の集団由来の可能性が高いことが分かり移植であると考えられた(草野他, 2014; 菅原弘貴氏私信)。この集団がその後も小集団ながら20年近く存続したことは、この地域を生息適地と予測した今回のMaxentモデルの信頼性を示しているのかもしれない。

また、横浜市北西部の空白地帯にて最近本種の生息に係る重要な情報を得た(古川嘉勇氏私信)。まだ確認が充分ではないが、1950~60年代頃までこの地区に本種が生息していたという住民からの情報を得たという。もしこれが本当であれば、現在は絶滅してしまったが、50年程前までは東京都町田市から横浜市北西部のこの地域一帯にも本種が生息していたのかもしれない。

神奈川県に関しては、丹沢山地の東部から南部にもMaxentモデルによる生息適地が広がっている(図1)。この地域内の厚木市七沢にも実は生息記録がある。しかしながら、こちらも人為的な持ち込みであることが分かっている(金田・大野, 1998; 金田正人氏私信)。稲城市の例と同様、移植によるものだが個体群が定着したとみられ、Maxentモデルによる予測で生息に適した地域とされた場所だ。これらの事例から、今回のMaxentモデルによる好適生息地予測は、移植の適地を選択する際にも有効に利用できるかもしれない。

神奈川県は、Maxentモデルによる生息適地メッシュの面積割合も25%に達し、千葉県に次いで2番目に高い県であるが、実際の自

然分布は三浦半島のごく一部の地域だけに限定されている(図1)。特に、県西部の生息適地には全く自然分布の記録がない。生息分布に強く影響する我々がまだ知らない環境要因があるのだろうか。その可能性も否定できないが、むしろ歴史的な要因が重要かもしれない。本種のような比較的移動能力の低い種では、ある時期に起きた出来事により局地的な個体群の絶滅が起こった場合、その後環境が回復しても周囲からの移入による個体群の再生は難しい。例えば、未知の病原体の蔓延により個体群が絶滅することもあったかもしれない。また、人間の経済活動の一環で一時的でも大量に森林が伐採された場合、林床の乾燥化により個体群に大きな打撃を与える可能性も考えられる。いずれにしても、そのようなケースでは実際の現在の環境とは無関係に、空白状態が継続してしまうだろう。

今回、現在入手できる生息情報をできるだけ整理し、種分布モデリングの一手法であるMaxentモデルによりトウキョウサンショウウオの生息分布を予測してみたところ、幸い比較的予測力のあるモデルを得ることができた。今後さらに細部に渡る検討が必要だが、本種の保全上の様々な課題に対する対処法を模索していくうえで有益な情報を提供できる可能性に期待したい。

謝 辞

生息情報の入手には多数の方々のお世話になった。特に、サンショウウオ研究会の五味元氏・塩谷暢夫氏・土屋学氏・Pablo Aparicio氏には東京都、伊原貞夫氏・稲葉修氏には福島・茨城県の情報を頂いた。埼玉県に関しては藤田宏之氏・谷津弘子氏・岩浪創氏に、金田正人氏には加えて神奈川県の情報も頂いた。栃木県に関しては林光武氏・青柳育夫氏、千葉県に関しては小賀野大一氏にお世話になった。名前を挙げられなかった他の多くの方々にも、心から感謝いたします。

引用文献

- 赤羽記年・大森克也・菱沼知仁. 1998. 鮎田地域のトウキョウサンショウウオの生態. 70 p.
- 青柳育夫・林光武. 2004. 栃木県におけるトウキョウサンショウウオの分布と2003年に確認された卵囊数. *Bull. Tochigi Pref. Mus.* 21 : 25-35.
- Blaustein, A. R., A. C. Hatch, L. K. Belden, E. Scheesele, and J. M. Kiesecker. 2003. Global change: Challenges facing amphibians. p. 187-198. In: R. D. Semlitsch (ed.), *Amphibian Conservation*. Smithsonian Books, Washington and London.
- Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan, R. J. Hijmans, F. Huettman, J. R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L. Lohmann, B. A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. M. Overton, A. T. Peterson, S. Phillips, K. Richardson, R. Schachetti-Pereira, R. E. Schapire, J. Soberón, S. E. Williams, M. Wisz, and N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Fielding, A. H. and J. F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24: 38-49.
- 早瀬長利. 1977. 地域的特性を生かした生物の教材化：両生類, 有尾目を中心にして. 昭和52年度前期内地留学研究報告書.
- 早瀬長利. 1981. 茨城のサンショウウオ (1). 茨城の生物第2集, p. 178-182. 茨城県高等学校教育研究会生物部.
- 伊原禎雄. 2001. トウキョウサンショウウオの分布の制限要因. *日本生物地理学会会報* 56 : 23-37.
- 稲葉修. 1999. 阿武隈山地の福島県地域における両生類と爬虫類. *福島生物* (42) : 25-34.
- 稲葉修. 2007. 久慈川流域の爬虫・両生類. 茨城県自然博物館第4次総合調査報告書：八溝山地・久慈川を中心とする県北西地域の自然, p. 269-278. ミュージアムパーク茨城県自然博物館, 坂東市.
- 岩崎貴也・阪口翔・横山良太・高見泰興・大澤剛士・池田紘士・陶山佳久. 2014. 生物地理学とその関連分野における地理情報システム技術の基礎と応用. *日本生態学会誌* 64 : 183-199.
- 角谷拓. 2010. 広域スケールでの生物の空間分布解析手法. 鷲谷いづみ・宮下直・西廣淳・角谷拓 (編), *保全生態学の技法*, p. 129-155. 東京大学出版会, 東京.
- 金井郁夫. 1974. トウキョウサンショウウオ：生活の神秘をさぐる. 誠文堂新光社, 東京. 262 p.
- 金井賢一郎. 2012. II-4-(4) 両生類. p. 112-119. 群馬県の絶滅のおそれのある野生生物 動物編 (2012年改訂版), 群馬県環境森林部自然環境課, 前橋市.
- 金田正人. 2008. 第5章越生町の両生類. 越生町史自然史編越生の自然, p. 236-249. 越生町教育委員, 越生町.
- 金田正人・大野正人. 1998. 神奈川県のとウキョウサンショウウオの分布と生息状況. *神奈川自然誌資料* (19) : 1-4.
- 環境省 (編). 2014. レッドデータブック2014—日本の絶滅のおそれのある野生生物—3 爬虫類・両生類. ぎょうせい, 東京. 153 p.
- 小菅次男. 1979. 茨城県の両生類・は虫類の概要. 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) 茨城県, p. 2-4. 日本自然保護協会, 東京.
- 草野保・川上洋一 (編著). 1999. トウキョウサンショウウオは生き残るのか? : 東京都多摩地区における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. 69 p.
- 草野保・川上洋一・御手洗望 (編著). 2014. トウキョウサンショウウオ：この10年間の変遷. 東京都多摩地区における2008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. 74 p.
- 草野保・早瀬長利. 1990. トウキョウサンショウウオの卵サイズの地理的変異. *個体群生態学会会報* (46) : 5-12.
- Liu, C., P. M. Berry, T. P. Dawson, and R. G. Pearson. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography* 28: 385-393.
- 松井正文. 1996. 両生類の進化. 東大出版会, 東京. 302 p.
- 松本充夫・須永治郎. 2000. 小川町の両生類・は虫類. 小川町の自然動物編. p. 179-185. 小川町, 埼玉県.
- 中里邦夫. 1979. 埼玉県の両生類・は虫類の概要. 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) 埼玉県. p. 3-4. 日本

- 自然保護協会, 東京.
- 成田篤彦. 1978. 房総半島におけるトウキョウサンショウウオ (*Hynobius nebulosus tokyoensis*) の分布について. 千葉生物誌 27: 92-101.
- 日本爬虫両棲類学会. 2016. 日本産爬虫両棲類標準和名リスト. <http://zoo.zool.kyoto-u.ac.jp/herp/wamei.html>
- 小賀野大一・笠原孝夫・八木幸市・田中一行・吉野英雄. 2007. 九十九里浜平野におけるトウキョウサンショウウオの分布と生息状況. 爬虫両棲類学会報 2007: 9-14.
- 大野正男. 1979. トウキョウサンショウウオ. 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)全国版. p. 50-56. 日本自然保護協会, 東京.
- Pearson, R. G. 2009. Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. Synthesis. American Museum of Natural History, Lessons in Conservation, New York. <http://ncep.amnh.org>.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson, and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 190: 231-259.
- Pounds, J. A. and R. Puschendorf. 2004. Clouded futures. Nature 427: 107-109.
- 佐藤井岐雄. 1943. 日本産有尾類総説. 日本出版社, 大阪. 520 p.
- Sugawara, H., T. Kusano, and F. Hayashi. 2016. Fine-scale genetic differentiation in a salamander *Hynobius tokyoensis* living in fragmented urban habitats in and around Tokyo, Japan. Zoological Sciences 33: 476-484.
- Wisz, M. S., R. J. Hijmans, J. Li, A. T. Peterson, C. H. Graham, A. Guisan, and NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. Diversity and Distributions 14: 763-773.