種組成を用いた解析による両生類の生息域予測に関する研究

The Analysis of Fauna Composition for Predicted Habitat of Amphibians

大澤 啓志* 日置 佳之** 松林 健一*** 藤原 宣夫**** 勝野 武彦*
Satoshi OSAWA Yoshiyuki HIOKI Kenichi MATSUBA YASHI Nobuo FUJIWARA
Takehiko KATSUNO

1. 序論

近年、生物多様性保全の重要性が広く社会に認識されるようになり、その再生を組み込んだ地域計画の策定が社会的要求となっている。その基礎として、地域の生物情報の把握が不可欠である。しかし、全ての生物種についての広域的な分布情報を集積するには、膨大な費用が必要となる。そこで、環境条件と生物群集の対応関係から、予測モデルを立てる手法が検討されてきた¹⁾。モデルによる生息域の予測は、生態学的な視点を地域計画に反映させる有効な手法であり、その開発は意義あるものと考えられる。

また、予測モデルの確立は、将来的な土地利用の変化に対する生物群集の変化を予測しシナリオ分析を可能にするものである²⁾。そして、開発および保全の間のさまざまなシナリオ毎に予測される生息地の変化を知ること、は、政策的な意思決定における重要な判断材料を提供する³⁾。このため、米国ではHabitat Suitability Index⁴⁾のような予測モデルが、環境影響評価における生態系評価には不可欠なツールとなっている。我が国の既往研究では、主に鳥類群集を用いた立地の類型化とその判別が既に試みられている^{1,11,12,14,15,16,26,34)}。加えて地域生態系を構成するさまざまな生物群についても、同様に研究が進むことが望まれるのは明らかである。

本研究では、対象として両生類を選んだ。一般に両生類はより高次の捕食生物の重要なエネルギー資源となっており、両生類の減少は彼らを餌としている捕食生物に深刻に影響する³⁾。また、薄く膜質の皮膚を有していることや繁殖において水域との結びつきが強い両生類は、環境悪化の影響を被りやすいとされる^{7,24)}。さらに、初夏のカエルの合唱や春のオタマジャクシ捕りなど水田における多様な両生類の存在は、我々日本人の原体験・季節感・自然観の形成に少なからず寄与してきた。このように両生類は、農村域に普通にみ

られる小動物であるとともに環境指標性を有する生物群の一つであり、研究対象として適当であると考えた。

両生類を対象とした既往研究としては、ニホンアカガエルの繁殖状況の解析^{25,26)}や生息の有無による種構成の変化パターンによる生息への負の要因の把握³⁰⁾等がみられるが、生息の有無に量的な情報をも加味した種組成に着目したものはない。そこで、本研究の目的は両生類の種組成の類型化を通じて予測モデルを構築するとともに、その妥当性について考察することとした。このため、中心都市から周囲の農村環境までが連続的に分布している水戸地域（茨城県）を対象とするケーススタディを行い、両生類の種組成と生息地の地形・植生の対応について解析した。

2. 両生類の生活史特性

両生類は産卵・幼生期に水域が不可欠であり、その生息には繁殖場所となり得る水域の有無が極めて重要となる。非繁殖期の成体は繁殖水辺付近に止まる種と、周囲の草原や樹林へ移動して生活する種がある。特に後者は繁殖水辺のみならず周囲の緑地（草地・樹林地等）の存在も生息条件として重要となる。また日本産の両生類は、山地域に生息する溪流生の種を除き、平地～丘陵地に生息する多くの種は産卵水辺として水田やその付随利水施設（ため池、用水路等）を利用している²²⁾。近隣の新たな繁殖場所への移入は、基本的には変態個体の分散によって行われ²⁾、その強く生じる個体分散により一般に広範囲にわたる地域でメタ個体群（meta-population）を形成している⁶⁾。一方、大規模機械化・集約化に象徴される農業の近代化による、農村域の生息環境の劣悪化が多く指摘されるほか、生息地の分断・孤立化による影響も危惧される。すなわち、両生類は一般にその生理的機構から限られた移動能であり³¹⁾、中・大型哺乳類や鳥類と比較して移動能は高くない。日

本産の両生類の移動能は100m以内かせいぜい数百mとされる^{19,20,28)}。また、多くの両生類は垂直面構造物に対する登坂力が弱い種である。このため農業生産基盤の近代化やモーターゼーションの進行が著しい今日、両生類は分散・移動障害といった負の影響を強く蒙っているものと考えられる。

3. 材料および方法

茨城県中部の水戸市とその周辺の市町村（以下「水戸地域」）を事例研究地とした。水戸地域は、概ね北西から南東方向に友部丘陵～東茨城台地～那珂川低地が位置しており、関東平野に広くみられる谷戸（谷津）が発達している。那珂川近くの台地面上は水戸市の中心市街地となっているが、水戸地域全体としてみると農村環境が色濃く残されている地域である。このように農村環境が広がる中、人口25万人程度の地方中核都市である水戸市を中心に概ね同心円的に市街地が広がっている。予測生息域図の作成範囲は、水戸市とその近郊市町村を含む範囲約480km²とした。行政区分としては、水戸市、ひたちなか市、常北町、内原町、友部町、那珂町、東海村、桂村の各全域、笠間市、岩間町、七会村（各東経140°15′以西を除く全域）、茨城町（北緯36°15′以南を除く全域）、瓜連町（北緯30°15′以北を除く全域）、御前山村（那珂川本川以南）等が含まれる（図1）。

両生類の生息状況調査は、事例対象地から一部地域をサンプルとして調査し、これは任意な位置に設けた方形の調査区域（約1.5km×1.5km）によった。この調査区域内の両生類の種組成と地形・植生の関係から予測モデルを導き、広域な非調査地域についての予測生息域図を作成するのが本研究の骨子である（図2）。

調査区域は、水戸地域において概ね北西から南東に向けて分布する丘陵地～台地～低地の軸線に沿って、適当な間隔で配置されるよ

*日本大学生物資源科学部緑地・環境計画学研究室 **鳥取大学農学部森林科学講座

セントラル・コンピューター・サービス株式会社科学環境システム事業部 *国土交通省国土技術政策総合研究所緑化生態研究室

図-1 事例研究地である水戸地区の位置
Fig.1 Location of the Mito area for the case study

図-3 両生類調査における調査区域の位置
Fig.3 Location of investigation sites for the amphibian survey

う任意に24個設置した(図3)。これらは北西-南東軸での立地条件の移行にともない段階的に景観が変化しながら、それぞれの典型性を示すと考えられる場所に設置した。なお、高速道路や工業団地等、異質な土地利用が周囲と無関係に出現するような場所を含まないよう注意した。これらの調査区域は、友部丘陵域でやや高くなるもの(最高地点の標高315m)もあるが、その多くは海拔数m~150mの範囲の低標高地に位置する。

調査は、各調査区域内を約250m×250mのグリッド・セルに分割した領域単位で行った。すなわち約1kmの基準地域メッシュを縦横に四等分したグリッド・セルを単位としたもので、1つの調査区域(約1.5km×1.5km)は計36セルから構成される(図4-A)。これは、基準地域メッシュに対応可能な解析単位とすることで、広域的な緑地計画への汎用性を向上させるためである。また、先述のよ

う日本産両生類の移動能はせいぜい数百m程度以内とされ、両生類が活動する空間スケールにも概ね対応すると考えられる。

両生類の生息状況の把握は、セル毎における各両生類種の繁殖活動の在/不在データとした。一般に、両生類は隠性が強くかつ幼生期の死亡率が高いため、生息密度や個体数を正確に得るには多大な労力が必要とされる。一方、日本における農村域の両生類の多くは、卵塊や幼生の形態もしくは成体の鳴き声(mating call)が種毎に特徴的であり、それぞれの種の繁殖活動の有無(在/不在データ)という形であれば信頼度の高いデータを得ることができるためである。本地域の両生類は、早春季から夏季にかけて種毎にピーク時期をずらしながら繁殖する。早春季~春季に産卵する両生類は、水田に水がまだ入れられていないため産卵場所が限定されている。この時期は、調査区域内の開放水面(水田・湿地の

溜り水、池・沼、クリーク等)を全て踏査することにより種毎の卵塊を確認した。春季以降に繁殖する両生類は夜間に水田・湿地・池等、繁殖の可能性のある場所を訪れ、その顕著な雄の鳴き声より生息の有無を確認した。また、日中各調査区域内の水田の畦や休耕田等を踏査し、成体・変態個体の目視および幼生のタモ網による捕獲で、前述の確認調査を補足した。確認された卵塊・個体は1/2,500の地図に位置を記録し、また鳴き声についてはおよその範囲を地図上に記入した。調査は、調査区域No.1~18は1998年2月27日、3月7~8日、4月6~8日、5月11~13日、6月23~26日に、No.19~24は1999年の3月15~17日、4月2~3日、4月23日、5月19~20日、6月30日~7月1日に行った。

解析では、繁殖活動のみられたセル数の割合から各調査区域での出現率を求めるという

図-2 生息適地予測における研究のフロー
Fig.2 The flow of studies for predicted habitat

図-4 グリッド・セルによる調査区域・サンプル区の設定についての模式図
Fig.4 The schematic diagram for setting up a investigation site and a sample site by the grid cell

図-5 地形により判別された丘陵地エリア
と台地/低地エリアの分布
Fig.5 The distribution of hilly areas and
plateau/lowlands areas

表-1 両生類調査における確認種の出現状況
Table.1 Amphibian inhabitaion at the survey sites

種 名	species	出現区数 number of inhabited sites (n=24)	出現セル数 number of inhabited cells (Mean±SD/36 cells)	出現率 percentage of inhabitation (Mean)
アズマヒキガエル	<i>Bufo japonicus formosus</i>	18	2.83±3.09	7.9%
ニホンアマガエル	<i>Hyla japonica</i>	24	23.21±10.19	64.6%
ニホンアカガエル	<i>Rana japonica</i>	22	6.46±5.69	17.9%
ヤマアカガエル	<i>Rana ornativentris</i>	6	1.67±3.92	4.6%
トウキョウダルマガエル	<i>Rana porosa porosa</i>	24	14.00±7.55	38.9%
ツチガエル	<i>Rana rugosa</i>	7	1.42±2.84	3.9%
シュレーゲルアオガエル	<i>Rhacophorus schlegelii</i>	23	13.71±8.39	38.1%
トウキョウサンショウウオ	<i>Hynobius tokyoensis</i>	5	0.54±1.38	1.5%
アカハライモリ	<i>Cynops pyrrhogaster</i>	3	0.25±0.74	0.7%

表-2 24箇所の調査区域を用いた TWINSpan 結果
Table.2 TWINSpan analysis of 24 investigation sites

調査区番号 No. of investigation sites	3	4	6	22	10	12	18	9	20	16	17	21	2	8	11	19	7	1	13	14	23	5	15	24
アカハシ <i>I. japonica</i>	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	4	2	3	3	4	4	5	4	4
ショウガクサマシ <i>I. (R. porosa p.)</i>	1	1	2	3	4	4	4	4	5	2	3	3	2	2	3	4	2	3	4	3	3	3	4	4
シュウヘリアカハシ <i>I. (R. schlegelii)</i>	-	-	1	3	1	2	5	4	3	4	3	4	2	3	4	2	3	4	3	4	4	4	4	4
アズマキアカハシ <i>I. (R. japonica f.)</i>	1	1	-	-	1	-	1	1	-	1	1	1	1	2	3	1	2	2	1	-	-	-	2	2
ニホアハシ <i>I. (R. japonica)</i>	1	1	1	2	1	1	2	2	-	1	-	2	1	2	4	2	3	4	2	3	3	3	3	3
ヤマアハシ <i>I. (R. ornativentris)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	3	1	3	-	-	-	-
ウツギ <i>I. (R. rugosa)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	1	1	2	3	3	2
トウキョウサンショウウオ <i>(H. tokyoensis)</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	1	-	-	1	-	-	-	-

分類結果 classification																								
グループ名 groups	第Ⅰ群: 台地/低地エリア plateau/lowlands areas												第Ⅱ群: 丘陵地エリア hilly areas											

注1:表中数字は出現率階級。36セル中の種毎の出現率により、1:10%未満、2:10~25%、3:25~50%、4:50~75%、5:75%以上と区分した。
Note 1: The figures indicate the ranges of percentages inhabitation in 36 cells. (1: less than 10%, 2: 10-25%, 3: 25-50%, 4: 50-75%, 5: 75%-)

注2: TWINSPLANによって求められた第Ⅰ群と第Ⅱ群を区別する指標種については、出現階級を斜体で示した。
Note 2: The bottom 3 species in the list are the indicators for plateau/lowlands and hilly areas; Their figures are shown in italics.

表-3 台地／低地エリアの調査区域を用いた TWINSpan 結果
Table.3 TWINSpan analysis of the investigation sites in plateau/lowlands areas

[illegible]

注1:表中数字は出現率階級。16セル中の出現率により、1:25%未満、2:25~50%、3:50~75%、4:75%以上に区分した。
Note 1: The figures indicate the ranges of percentages inhabitation in 16 cells. (1:less than 25%, 2:25-50%, 3:50-75%, 4:75%-)
注2:出現1回のトウキョウサンショウウオ(No.11c)は除いてTWINSPLANを行った。
Note 2: *H. tokyosensis* was found only once in the location No.11c and it was not included in the TWINSPLAN analysis.
注3:地点No.4c-3dは本誌採集したためTWINSPLAN解析時には含みず、類似の種組成を示した1-Aにのちから加えた。
Note 3: Location number 4c and 3d had no indicator species and they were excluded from the TWINSPLAN analysis.
Both locations were included in group I - A that had similar species for all other purposes.

データ加工を行った。これは複数セルからなる調査区域において、セル単位の在／不在データから量的データを得ることで両生類の生息状況を類型化しやすくするためである。繁殖地点の広がりとし生息数が必ずしも対応するとは限らないが、本研究のようなマクロな視点での生息域の予測モデルの構築という目的からは効果的であると判断した。

両生類種組成の類型化には群集生態学で主に用いられている分類手法である TWINSpan を用い¹⁶⁾、その類型を規定する地形・植生の把握は GIS (地理情報システム) による地形区分および植生区分の読み取りによった。地形区分は縮尺 1/25,000 にて地形分類図を作成し、図化単位は中地形単位 (丘陵地・台地・低地など) および小地形単位 (段丘面・段丘崖・谷底面など) の境界線を入力した。この地形分類図は、国土地理院刊行の 1/25,000 数値地図の 50m メッシュ DEM (数値標高モデル) データを用いて作成した。植生区分は縮尺 1/25,000 にて植生予察図を作成し、空中写真 (1992 年撮影, 縮尺 1 : 25,000) 判読により主要な植生界を入力した。GIS ソフトウェアは Arc View

ver.3.2 (ESRI 社製) を使用し、いずれも UTM 投影法 54 帯にて作成した。そしてサンプル調査区域内の地形・植生の面積割合を説明変数として線形判別関数による判別分析および正準判別分析を用いて類型判別を行い、判別関数を得た。さらに得られた予測モデルの妥当性を検討するため、作成した予測生息域図より各類型グループに該当する 13 地点 (図 3 : No. T1~T13) を選出し、同様の両生類の繁殖確認を行った。すなわち、予測モデルにより得られた予測生息域図が、実際の両生類生息状況をどの程度反映しているのか検証を行った。この検証調査は、2001 年の 3 月 12~13 日、4 月 4 日、4 月 30 日~5 月 2 日、6 月 14~15 日、7 月 17 日に行った。

4. 調查結果

調査の結果、2目6科10種（内帰化種1種）の両生類が確認された（表1）。水戸地域には他のサンショウウオ類の生息記録はなく^{10,18)}、また県内ではタゴガエル、カジカガエルは山地部に生息が限られるとされる¹⁸⁾。このため本調査により、水戸地域の潜在ファウナである両生類はすべて確認されたものと

考えられる。以下、帰化種ウシガエル (*Rana catesbeiana*) を除き考察を進める。

各調査区域における出現状況を見ると、ニホンアマガエル (*Hyla japonica*)、ニホンアカガエル (*Rana japonica*)、トウキョウダルマガエル (*Rana porosa porosa*)、シュレーゲルアオガエル (*Rhacophorus schlegelii*) の4種が22~24個所とほとんどの調査区域で出現した。また、アズマヒキガエル (*Bufo japonicus formosus*) も比較的多くの調査区域(18個所)で出現した。これに対しアカハライモリ (*Cynops pyrrhogaster*)、トウキョウサンショウウオ (*Hynobius tokyoensis*)、ヤマアカガエル (*Rana ornativentris*)、ツチガエル (*Rana rugosa*) の4種は3~7地点と出現した調査区域数は少なかった。

調査区域毎の 36 セル中の出現セル数^(注1)についてみると、ニホンアマガエルが 23.2 ± 10.2 セル/36 セル (mean ± SD, n = 24) と最も多く、平均した出現率は約 65%であった。すなわち、総計 864 セル (36 セル × 24 調査区域) 中、約 560 セルでニホンアマガエルの生息が確認された。次いで、トウキョウ

ダルマガエル、シュレーゲルアオガエルが多く、平均出現率は約38%であった。一方、ニホンアカガエル(6.5±5.7セル/36セル)およびアズマヒキガエル(2.8±3.1セル/36セル)は、多くの調査区域に出現する(18~22調査区域)ものの各調査区域内における出現セル数はそれほど多くはなかった。また、トウキョウサンショウウオ、ヤマアカガエル、ツチガエルは、いずれも低い出現セル数となっている。アカハライモリは平均出現率が極めて低い値(1%未満)であり、計6セルのみの確認であった。踏査を中心とする本調査手法では、アカハライモリは偶発的な目視および捕獲でしか生息が確認されないためであり、その生息実態に不確実性が残される。しかしながら他の両生類は、早春期の卵塊確認や春季~夏季の鳴き声確認等で比較的現状に即したセル単位の在/不在データが得られたものと考えられる。

5. 解析

(1) 種組成類型の地形による上位区分

解析は帰化種ウシガエルおよび生息実態に不確実性の残るアカハライモリを除く8種を対象に行った。一方、例えばヤマアカガエルのように、低地域には植生にかかわらず生息せず、丘陵地域には植生に応じていたりいなかったりする種が存在した。このように植生とカエルの出現状況の関係が広域的に様でないこと、さらに地形と植生の間には対応関係があり、それもまた低地域と丘陵地域で異なることから、直接植生区分を用いて判別分析を行った場合に精度を落とすことが予想された。これは判別分析の限界であり、これに対し、こうした制約を受けにくい分類樹木という新しい手法の適用を勧める意見も近年示されている⁴⁾。本研究では、分析対象全体にわたって一定のルール(変数間の関係性)が成り立つことを前提とする判別分析の限界を承知したうえで、本事例地ではその前提が成り立たないことを考慮して二段階の分析を行った。すなわち、初めに地形による上位区分、次に植生による下位区分とに分けて判別分析を行った。これはマクロな視点での地勢の違いに対し、それぞれ同質的なサンプルに分けて扱うことで、より実態に即した要因把握が可能と考えたためである。

まず各調査区域(約1.5km四方)の出現率に対し、“pseudospecies cut level”^(註2)により10%未満、10~25%、25~50%、50~75%、75%以上の5階級を設定し、TWINSPANによる両生類種組成の類型化を行った。その結果、第一回の分割でわずかな例外(No.11)が見られるが、基本的にはトウキョウサンショウウオ、ヤマアカガエル、ツチガエルの3種の生息の有無が区分要因となる2群に分けら

れた(表2)。第二回の分割でさらに細分可能であるが、判別分析を行うにはサンプル数が少なすぎるグループ(2~3サンプル)が生じるためここでは第一回の分割で止め、得られた3種の生息の有無を指標とする第I・II群について地形と対応させ解析した。すなわち各調査区域内のGISで読み取った地形5区分(斜面、台地/段丘崖、低地、水面、人工地形)を説明変数とし、第I・II群を目的変数とする線形判別関数による判別分析を行った。説明変数には、調査区域全面積に占める各区分面積の百分率を平方根変換したものを用いた。これは百分率データを0~10の範囲に収めることで数値計算を容易にするためである。また変数選択としてステップワイズ法(F値投入・除去:2)を用いている。その結果、線形判別関数として次式が得られた。

$$y = 1.996 \times [\text{斜面の面積百分率の平方根値}] - 9.329 \quad * F = 63.99, P < 0.005, n = 24$$

判別の中率は95.8%、相関比0.74であり、第II群を特徴付けるトウキョウサンショウウオ、ヤマアカガエル、ツチガエルの3種は斜面の面積割合が約21.8%を越える地点から確認される傾向があることが示された。次に、得られた線形判別関数式を用いて、予測生息域図の対象範囲全域を第I・II群に区分した。対象範囲内には約1km四方の地域標準メッシュが約840メッシュ存在し、その内約34%(287メッシュ)が第I群に、約66%(554メッシュ)が第II群に区分された(図5)。第I群は東部域を広く覆っているのに対し、第II群は対象範囲の北西部にまとまって分布している。この第II群の中心は友部丘陵にあたるものであり、斜面の面積が多い第II群が丘陵地地形に対応していることが推測される。同様に第I群は東茨城台地~那珂川低地に対応する。ただし、東茨城台地内他にも小規模に第II群が点在しており、これらは台地内に解析する谷戸の斜面が多いメッシュである。以下、第I群を台地/低地エリア、第II群を丘陵地エリアとして解析を進める。

(2) 種組成類型の植生による下位区分

地形による上位区分により、対象範囲は台地/低地エリアおよび丘陵地エリアに大別された。次に、より詳細な種組成の類型を検討するため、下位区分としてGISで読み取った植生を用いて両エリアで個別に解析した。

基本的な手順は上位区分の時と同様であるが、今度は1調査区域(36セル)からその四隅を基点とする16セル(約1km×1km)の4サンプルを得てそれぞれ出現率を求めた(図4-B)^(註3)。この場合、重なる部分が生じ個々のサンプルが相互に独立にならないが、立地条件の水平方向への連続的な変遷に対応する種組成の変化を抽出できると考え、調査

区域36セルにおいて重なりを持たせずらしてサンプル区(約1km×1km)を設定する方法を本研究では用いた。また本解析スケールでは、約半数のセル数(9セル)になる次規模の方形サンプル(約750m×750m)では有効な種組成類型区分を得るには小さいと判断し^(註4)、より現状に即した類型区分が可能と考えられる16セルを採用した。また“pseudospecies cut level”を25%未満、25~50%、50~75%、75%以上の4階級に設定しTWINSPANを行った。

(i) 台地/低地エリア

台地/低地エリアのTWINSPANの結果(表3)、第二回までの分割で大きく3グループに分けられた。非常に貧弱な出現種からなるI-Aは、他の地点では多く出現しているニホンアカガエル、トウキョウダルマガエル、シュレーゲルアオガエルの3種の欠落により特徴付けられている。これは水田そのものが存在しない市街地の地点であった。第二回の分割でI-Aも細分可能であるが、すでにサンプル数が4と少なく、分割する意味が無いため第一回の分割で止めた。I-Bは全ての種の出現率階級がいずれも2以下となっており、畑地等が卓越する台地面の地点に対応する。点在して台地表面上に開かれた水田やサンプルの範囲にわずかに掛かる低地水田が両生類の主な確認場所である。残りのグループ(I-C~I-E)は、いずれも高いニホンアカガエルの出現率により特徴付けられ、前2グループ(I-A・B)と区別できる。前2グループがそれぞれサンプルの種組成の均一性が高いのに対し、この3つ目のグループ(I-C~I-E)は第二回の分割でも種組成にバラツキが見られた。そこで、3つ目のグループは概ねグループ内で種組成の均一性が得られる第四回まで分割を継続した。その結果、シュレーゲルアオガエルとトウキョウダルマガエルの出現率階級が高く、ほぼ全種ともに揃う種構成となるI-C、このI-Cに対しアズマヒキガエルとニホンアカガエルの出現が少ないI-E、そしてシュレーゲルアオガエルの低い出現率階級で特徴付けられるI-Dの3グループが得られた。なお、I-Cは種組成が高い均一性を示したため第三回までで分割を止めた。I-CとI-Eは台地内に谷戸が入り込んでいる地点に対応すると考えられる。しかし、I-Cに対し全体に各種とも出現率階級の値が低下するI-Eは、立地的には台地内の谷戸であるが市街化等で農的な環境がやや劣悪化した地点であると推測される。またI-Dは那珂川低地あるいは台地表面上に開かれた水田が卓越する地点(広水田域)に対応する。I-Dではトウキョウダルマガエルの出現状況が「無し」から出現率階級4までバラツキが見られる。この本種の出現状況に

表-4 台地/低地エリアの判別分析結果1 (市街地, 台地面, その他の区分)
Table.4 Discriminant analysis in plateau/lowlands areas, -1.
(A city area, a plateau top, and other divisions)

植生区分	vegetation	正準判別関数の係数		Fisherの線型判別関数			F値
		関数1 function 1	関数2 function 2	Fisher's linear discriminant functions			
				I-A	I-B	その他 others	
雑木林 ****	coppice forests	0.290	-0.318	1.388	1.595	2.714	19.33 ***
スギ・ヒノキ植林	planted softwood forests	0.025	0.986	-0.313	2.361	0.657	15.11 ***
竹林	bamboo forests	0.600	-0.974	2.757	2.358	5.239	13.59 ***
畑/放棄畑	upland fields, abandoned upland fields	0.391	0.186	0.533	2.424	2.842	13.16 ***
水田/放棄水田	paddy fields, abandoned paddy fields	0.811	-0.020	1.664	4.523	6.111	4.46 *
(定数)	constant	-6.523	-1.015	-3.783	-20.479	-30.255	
***落葉広葉樹林、アカンツ林およびその混交林、伐採跡地群落の合計							
****The total of hardwood forests, red pine forests with/without other species, and logged areas.				* P<0.05		*** P<0.005	

****落葉広葉樹林, アカマツ林およびその混交林, 伐採跡地群落の合計
****The total of hardwood forests, red pine forests with/without other species, and logged areas.

表-6 台地/低地エリアの判別分析結果2 (台地/谷戸A, 広水田域, 台地/谷戸Bの区分)
Table.6 Discriminant analysis in plateau/lowlands areas, -2.
(A yato in plateau(A), a large paddy field region, and a yato in plateau(B))

植生区分	vegetation	正準判別関数の係数		Fisherの線型判別関数			F値
		関数1 function 1	関数2 function 2	Fisher's linear discriminant functions			
				I-C	I-D	I-E	
水田/放棄水田	paddy fields, abandoned paddy fields	0.131	0.746	8.491	7.774	7.444	9.55 ***
雑木林 ****	coppice forests	0.824	0.637	10.563	7.666	8.416	11.90 ***
多様住宅地・公園	park, cemetery, etc. and residential districts with various planted trees	0.596	-0.125	11.158	9.396	10.513	7.55 ***
(定数)	constant	-3.449	-5.200	-57.576	-42.117	-43.736	
*** P<0.005							
**** 一部の hardwood forests, red pine forests with/ without other species, and logged areas.							

****落葉広葉樹林, アカマツ林およびその混交林, 伐採跡地群落の合計
****The total of hardwood forests, red pine forests with/without other species, and logged areas.

表-8 丘陵地エリアの調査区域を用いた TWINSpan 結果
Table.8 TWINSpan analysis of the investigation sites in hilly areas

サンプル No.	No. of samples	5	5	15	15	24	24	13	13	23	23	23	5	13	14	14	24	1	15	15	19	19	1	1	7	7	7	15	19	23	
		b	c	d	c	c	d	a	b	c	a	c	d	b	b	d	b	a	b	b	a	a	b	a	c	d	c	d	d	b	
アズミカサエ (B. japonicus f.)		2	1	2	-	1	-	1	1	1	-	-	-	1	2	1	1	-	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	-	2
ニホアサギ (H. japonica)		4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1	2	1	1	2	2
ニホアサギ (R. japonica)		2	2	3	1	1	2	2	4	3	3	3	3	2	2	2	2	-	2	3	1	2	3	3	2	2	1	1	1	2	2
トウモロコシ (R. perosa p.)		3	2	3	4	3	3	4	3	2	3	3	3	2	2	2	2	1	2	3	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	
シラネアザミ (R. schlegelii)		3	3	4	3	4	4	4	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	2	2	
ヤマハハミ (R. ornativentris)		-	-	-	-	-	-	-	3	2	2	3	3	-	2	1	1	-	-	-	-	1	1	2	-	1	1	1	1	-	2
ツバキ (R. rugosa)		2	1	3	1	1	2	1	-	2	2	2	1	1	1	1	2	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1	1	-
トウモロコシ (H. tokyoensis)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	2	-	-	-	1	1	-	1	-	1	-

分類結果 classification

グループ名 groups	Ⅱ-A: 裾野区 foot of hill	Ⅱ-B: 典型区 typical place	Ⅱ-C: 最奥区 deep place
--------------	--------------------------	---------------------------	------------------------

注1: 表中数字は出現率階級。1: 25%未満, 2: 25~50%, 3: 50~75%, 4: 75%以上
Note 1: The figures indicate the ranges of percentages inhabitation in 16 cells. (1: less than 25%, 2: 25-50%, 3: 50-75%, 4: 75%+)
注2: 地点No.7bは確認種なしのためTWINSpan解析時には含めず、類似の種組成を示したII-Cに後から加えた。
Note 2: Location number 7b had no indicator species and this was excluded from the TWINSpan analysis.
This location was included in group II-C that had similar species for all other purposes.

表-9 丘陵地エリアの判別分析結果
Table.9 Discriminant analysis in hilly areas

植生区分	vegetation	正準判別関数の係数		Fisherの線型判別関数			F値
		coefficient		Fisher's linear discriminant functions			F
		関数1 function 1	関数2 function 2	II-A	II-C	II-B	
雑木林***	coppice forests	0.943	0.321	11.497	14.677	16.127	8.87***
竹林	bamboo forests	0.622	1.888	6.609	10.942	9.683	7.57***
二次草原	secondary grassland	1.038	-1.118	3.387	4.927	8.468	4.71**
多様住宅地・公園	park, cemetery, etc. and residential districts with various planted trees	0.821	1.145	3.967	7.892	8.013	6.87***
水田/放棄水田	paddy fields, abandoned paddy fields	-0.888	0.086	8.485	6.007	4.129	10.06***
(定数)	constant	-4.668	-4.147	-53.797	-68.746	-74.395	
***落葉広葉樹林、アカマツ林およびよごしの混交林、伐採跡地群落の合計				**P<0.01		***P<0.005	
***The total of hardwood forests, red pine forests with/ without other species, and logged areas.							

****落葉広葉樹林, アカマツ林およびその混交林, 伐採跡地群落の合計
****The total of hardwood forests, red pine forests with/without other species, and logged areas.

は水田圃場整備の時期や規模が関与していると考えられ³⁾, 本解析で用いる植生区分 (圃場整備に関する情報は含まれていない) による判別は困難と判断し, それ以上の分割は行わなかった。

台地/低地エリアの判別分析はグループ数が多いため, 他と大きく異なる種組成を示し早い段階で分割されたグループとそうでないグループで実施し, 後者はさらに絞り込んだ判別を行なった。すなわち, まず第二回の分割までで得られた市街地 (I-A), 台地面 (I-B) およびその他 (I-C~I-E) の3グループを目的変数とし正準判別分析を行った。次にその他 (I-C~I-E) に含まれる3グループについて再び正準判別分析を行った。説明変数には各植生区分の面積百分率を平方根変換したものをを用い⁵⁾, 変数選択はマハラノビスの距離によるステップワイズ法 (F

値投入・除去: 2) とした。

正準判別分析の結果, 初めの段階で全サンプルの81.7%が正しく判別された (表4, 表5, 図6)。市街地 (I-A) は100%, 台地面 (I-B) は71.4%, その他 (I-C~I-E) は82.5%の判別率を示し, その他でありながら台地面に誤判別されるサンプルがやや多かった (17.5%)。雑木林, スギ・ヒノキ植林, 竹林, 畑/放棄畑, 水田/放棄水田の植生区分が変数選択に用いられ, 水田/放棄水田でやや関係が低い ($P<0.05$, $n=60$) が, 他は強く関与していた ($P<0.005$)。続くその他 (I-C~I-E) 内の3グループの区分では全サンプルの80.0%が正しく判別された (表6, 表7, 図7)。ただし実際には, 初めの段階 (表5) のその他 (I-C~I-E) 区分の判別率 (82.5%) との積として計算されるため, 約65%の正判別とな

表-5 台地/低地エリアにおける各グループの判別率

Table.5 The ratios of correctly predicted groups in plateau/lowlands areas, -1.

元のデータ	original	予測グループ predicted group			合計 total
		I-A	I-B	その他 others	
度数	I-A	6	0	0	6
count	I-B	2	10	2	14
	その他	0	7	33	40
%	I-A	100.0	0.0	0.0	100
	I-B	14.3	71.4	14.3	100
	その他	0.0	17.5	82.5	100

表-7 台地/低地エリアにおける各グループの判別率

Table.7 The ratios of correctly predicted groups in plateau/lowlands areas, -2.

元のデータ	original	予測グループ predicted group			合計 total
		I-C	I-D	I-E	
度数	I-C	5	0	1	6
count	I-D	1	20	4	25
	I-E	2	0	7	9
%	I-C	83.3	0.0	16.7	100
	I-D	4.0	80.0	16.0	100
	I-E	22.2	0.0	77.8	100

表-10 丘陵地エリアにおける各グループの判別率

Table.10 The ratios of correctly predicted groups in hilly areas

元のデータ	original	予測グループ predicted group			合計 total
		II-A	II-B	II-C	
度数	II-A	10	2	0	12
count	II-B	1	14	1	16
	II-C	0	1	7	8
%	II-A	83.3	16.7	0.0	100
	II-B	6.3	87.5	6.3	100
	II-C	0.0	12.5	87.5	100

図-6 台地/低地エリアの正準判別分析によるサンプルの分類結果1

Fig.6 The classification result of a sample in plateau/lowlands areas by discriminant analysis, -1.

注) グラフ中の直線は Fisher の線形判別関数による各グループの境界を表す。
Note: The straight line in graph expresses the boundary of each group by Fisher's linear discriminant functions.

図-7 台地/低地エリアの正準判別分析によるサンプルの分類結果2

Fig.7 The classification result of a sample in plateau/lowlands areas by discriminant analysis, -2.

図-8 丘陵地エリアの正準判別分析によるサンプルの分類結果

Fig.8 The classification result of a sample in hilly areas by discriminant analysis

る。変数選択には、水田/放棄水田、雑木林、多緑住宅地/公園が用いられた ($P < 0.005$, $n = 40$)。グループ別では台地/谷戸 (I-C・E) は 64.2~68.7%, 広水田域 (I-D) は 66.0% が正しく判別されたことになる。しかし、台地/谷戸 A・B (I-C・E) の 2 グループの間での誤判別と広水田域 (I-D) の台地/谷戸 B (I-E) への誤判別がやや多かった。(ii) 丘陵地エリア

丘陵地エリアの TWINSPAN の結果、第二回までの分割で概ね種組成が均質となる 3 グループに分けられた (表 8)。II-A は、ニホンアマガエルとシュレーゲルアオガエルの高い出現率階級およびツチガエルの出現に特徴付けられる。対照に II-C は、全種の低い出現率階級が特徴的であり、II-B はその中間的な種組成を示した。

II-A が丘陵地塊における裾野部分の全域に広く水田が在るような地点に、II-C が多く丘陵斜面が占める中に小規模な水田が偏在するといった丘陵地に谷戸が入り込む最奥部付近の地点にそれぞれ対応すると考えられる。また、II-B は両者の中間に位置する丘陵地に谷戸が適度に入り込んだ丘陵/谷戸景観の典型的な地点といえる。この典型区 (II-B) には、裾野区 (II-A) に近いものから最奥区 (II-C) に近いサンプルまでややバラツキが見られるが、多くの種で出現率階級が 2~3 を示すことが特徴と判断し、それ以上の分割は行わなかった。上位区分において丘陵地エリアを特徴付けたツチガエル、ヤマアカガエル、トウキョウサンショウウオの 3 種の状況を見ると、ツチガエルがいずれのグループでも確認されているのに対し、ヤマアカガエル、トウキョウサンショウウオは II-B・C のみでしか確認されなかった。特にトウキョウサンショウウオは II-B (典型区) でも稀で、II-C (最奥区) において高い頻度で確認された。対照にツチガエルは、II-C (最奥区) ではやや稀な確認であった。

正準判別分析の結果、全サンプルの 86.1% が正しく判別された (表 9, 表 10, 図 8)。変数選択された植生区分は、雑木林、竹林、二次草原、多緑住宅地/公園、水田/放棄水田の 5 つである ($P < 0.01 \sim 0.005$, $n = 36$)。最も判別率の低い最奥区 (II-C) でも 83.3% の正判別を示し、典型区 (II-B)、裾野区 (II-A) は 87.5% が正判別であった。また、最奥区 (II-C) の典型区 (II-B) への誤判別 (16.7%) がやや多かった。

(3) 予測生息域の図化および検証

両生類種組成類型として丘陵地エリア 3 グループ、台地/低地エリア 5 グループの計 8 グループが得られ、それぞれの判別に必要な関数式が導かれた。判別率の中率は個別には 70% 台 (I-B・E) とやや低い値もみられた

が、多くは約 80% 以上と高く、地形・植生区分を用いてある程度の予測が可能と判断した。そこで、広範囲に未調査域が残る対象範囲 (約 1 km² × 841 メッシュ) に得られた関数式を当てはめ²⁸⁾、予測される両生類種組成類型を求めた。これを予測生息域図として図化したのが図 9 である。それぞれ I-A: 81, I-B: 285, I-C: 58, I-D: 69, I-E: 62, II-A: 60, II-B: 135, II-C: 91 メッシュであった。

予測生息域図の検証は、各両生類種組成類型における出現率階級値の範囲を求め、これと各検証調査区域の結果を比較する方法によった。類型毎の出現率階級の範囲は TWINSPAN の結果 (表 3・8) を基に、サンプル数が 10% 以下 (総サンプル数 10 以上のグループ)、もしくは 15% 以下 (同 10 未満のグループ) の出現率階級を例外値として除いた上で求めた (表 11)。

検証調査の結果 (表 12) によると、13 区域中 6 区域 (T1, T3, T4, T10, T11, T13) で全ての種が予測された種組成の出現率階級の範囲内を示した。一方、予測と異なっていたものは台地/低地エリアで 4 区域、丘陵地エリアで 3 区域みられた。台地/低地エリアでは、まず T8 (I-A) が市街地の中わずかに水田が残存したためニホンアマガエルとトウキョウダルマガエルが出現した。T12 (I-C) と T7, T9 (I-E) は、アズマヒキガエルがそれぞれ誤判別となっており、加えて T7 はニホンアカガエルが予測値よりもやや多い、T9 はニホンアマガエルとトウキョウダルマガエルがやや少ない出現率階級であった。丘陵地エリアでは、裾野区 (II-C) が両調査区域とも予測と異なっており、ツチガエルの非出現 (T5) およびニホンアカガエルの予測値よりもやや多い (T5, T6)、ニホンアマガエルのやや少ない (T6) 出現率階級であった。また、T2 (II-A) は、トウキョウダルマガエルの非出現が予測と異なっていた。このように予測値に対する若干の誤差は見られたが、他の種については予測した出現率階級の範囲に適合していた。以上、13 検証調査区域の内 7 調査区域で計 13 箇所 (表 12: * 印) で予測と異なる値が見られたが、いずれも予測出現率階級から 1 階級分の誤差であり、全体としては各類型の出現率階級の範囲内に収まる傾向が強い結果であった。

6. 考察

(1) 水戸地域の両生類の種組成

本地域は、ツチガエル、ヤマアカガエル、トウキョウサンショウウオの 3 種の有無により丘陵地エリアと台地/低地エリアに大別された。しかし、丘陵地エリアに相当するメッシュは、対象範囲の北西部を占める友部丘陵

から離れた地点でも認められている²⁷⁾。事実、調査区域 No.5・T6 ではツチガエルが確認され、また今回は台地/低地エリアのメッシュに区分されたが調査区域 No.11 ではトウキョウサンショウウオが確認された。このように東茨城台地域に在っても谷戸が入り込み斜面地の面積が多い場所は、たとえ現在生息しなくても先の 3 種の潜在的な生息適地とみることができる。

台地/低地エリアでは、水田自体が無いかわずかしが存在しない地点 (I-A, I-B) を除くと、シュレーゲルアオガエルの出現率階級の差異により台地/谷戸 (I-C・E) と広水田域 (I-D) に分けられた (表 3)。本種は樹林地と隣接する湿田を好み丘陵地に入り込む谷戸では小規模な水田でも生息が認められるが、乾田ではその生息密度が減少する²⁹⁾。本解析スケールでは、シュレーゲルアオガエルが生息できなくなる環境条件の負の勾配が、水田の状態や樹林地の割合の変化勾配と近似すると考えられる。また、台地/谷戸はアズマヒキガエルの有無により、2 つに区分されたが、その種組成より I-E は I-C の環境劣化が進んだものとして扱った。丘陵地エリアでは、全体に出現状況が低い最奥区 (II-C)、ヤマアカガエルを欠く裾野区 (II-A)、そして典型区 (II-B) に区分された。特に裾野区 (II-A) は台地/低地エリアの台地/谷戸 A (I-C) の種組成に酷似し、両類型グループは台地/低地エリアと丘陵地エリアの接断面の両側に位置し、ツチガエルがその区分指標種となっていた。またトウキョウサンショウウオは、典型区 (II-B) よりも最奥区 (II-C) で多く出現する傾向が得られた。これに対し、樹林地への嗜好が強いとされるヤマアカガエル^{28,29)} は、最奥区 (II-C) ではなくむしろ典型区 (II-B) で出現率階級 3 と最も高い値を示すサンプルが見られた。谷戸水田と丘陵樹林地が適度に入り混じる状態が調査区域全域に在ることがヤマアカガエルの高い出現率を支えていると推察される。これはニホンアカガエルも同様であり、その出現率階級は典型区 (II-B) において最も高く、本種が丘陵地の最奥と裾野の中間部分に分布の中心を置くことが示された。

このように水戸地域の両生類は、その種組成において最も多様性を有する状態の典型区 (II-B) から裾野区 (II-C)、台地/谷戸 (I-C・E)、広水田域 (I-D) の順に丘陵地エリアを特徴付ける種の欠落、ついでシュレーゲルアオガエルとアズマヒキガエルの減少の方向に変化した。また、台地面 (I-B) ではいずれもわずかな種の生息となり、市街地 (I-A) ではほとんどの両生類が姿を消すといった移行様態を示した (表 11)。

グループ名および 凡例 groups and colors		種類名称 group names								生息数の指標 The index of presence	
丘陵地エリア hilly areas	II-C	●	●	●	●	●	●	●	●	●	多く〜非常に多く 生息する high
	II-B	●	●	●	●	●	●	●	△	●	普通に生息する average inhabitation
	II-A	●	●	●	●	●	●	●	—	—	少数が生息する low inhabitation
台地/低地エリア plateau/lowlands areas	I-C	●	●	●	●	●	—	—	—	—	稀に生息する rare inhabitation
	I-E	●	●	●	—	●	—	—	—	—	生息せず absence
	I-D	●	●	△	—	●	—	—	—	—	傾向見られず unable to tendency
	I-B	●	●	●	●	●	—	—	—	—	
	I-A	—	●	—	●	●	—	—	—	—	
		ニホアサギエビ (H. japonica)	シムレササギエビ (R. schlegelii)	トキササギエビ (R. porosa p.)	アサギエビ (B. japonicus f.)	ニホアサギエビ (R. japonica)	ツサギエビ (R. rugosa)	ヤマサギエビ (R. ornativentris)	トキササギエビ (H. tokyoensis)		
		最奥区 deep place	典型区 typical place	裾野区 foot of hill	台地/谷戸A yato in a plateau (A)	台地/谷戸B yato in a plateau (B)	広水田域 large paddy field region	台地面 plateau top	市街地 urban area		

* 赤枠は、台地/低地エリアと丘陵地エリアを区分する指標。
* The red frame is an index which divides plateau/lowlands areas and hilly areas.

図-9 水戸地域の両生類予測子息域図

Fig.9 The map of the predicted habitat of amphibians in the Mito area

表-11 各類型区分における種組成の概要

Table 11. The outline of fauna composition in each classification

地形区分 land classification	台地/低地エリア plateau/lowlands areas					丘陵地エリア hilly areas		
	I-A		I-B		I-C		I-D	
	市街地 urban area	台地面 plateau top	台地/谷戸A yato in a plateau (A)	広水田域 large paddy field region	台地/谷戸B yato in a plateau (B)	非常に多い(4) abundant	普通(3) average	少ない(1-3) few
グループ名 groups	II-A		II-B		II-C		II-D	
類型名称 name of classification	裾野区 foot of hill	典型区 typical place	最奥区 deep place	普通(3) average	普通(2-3) average	普通(2-4) average	普通(2-3) average	普通(2-3) average
ニホンアカガエル (<i>H. japonica</i>)	無 (0) absence	少ない (1-2) few	非常に多い (4) abundant	非常に多い (4) abundant	非常に多い (4) abundant	非常に多い (4) abundant	非常に多い (4) abundant	非常に多い (4) abundant
シュレーゲルアオガエル (<i>R. schlegelii</i>)	稀 (0-1) rare	少ない (0-2) few	多い (3-4) many	少ない (0-2) few	普通 (3) average	多い (3-4) many	普通 (2-3) average	少ない (1-3) few
トウキョウダルマガエル (<i>R. porosa p.</i>)	無 (0) absence	少ない (1-2) few	多い (3-4) many	傾向無し (1-4) unable to tendency	多い (3-4) many	普通 (2-4) average	普通 (2-3) average	少ない (1-2) few
アサマシキガエル (<i>B. japonicus f.</i>)	稀 (0-1) rare	稀 (0-1) rare	少ない (1) few	無 (0) absence	無 (0) absence	少ない (0-2) few	少ない (0-2) little	少ない (0-2) few
ニホンアカガエル (<i>R. japonica</i>)	稀 (0-1) rare	少ない (0-2) few	少ない (0-2) few	稀 (0-1) rare	稀 (0-1) rare	少ない (1-2) few	普通 (2-3) average	少ない (1-3) few
ツチガエル (<i>R. rugosa</i>)	無 (0) absence	無 (0) absence	無 (0) absence	無 (0) absence	無 (0) absence	少ない (1-2) few	少ない (0-2) few	稀 (0-1) rare
ヤマアカガエル (<i>R. ornativentoris</i>)	無 (0) absence	無 (0) absence	無 (0) absence	無 (0) absence	無 (0) absence	無 (0) absence	傾向無し (0-3) unable to tendency	少ない (0-2) few
トウキョウサンショウウオ (<i>H. tokyoensis</i>)	無 (0) absence	無 (0) absence	無 (0) absence	無 (0) absence	無 (0) absence	無 (0) absence	稀 (0-1) rare	少ない (0-2) few

* 括弧内は主な出現率階級の範囲(表3、表8参照)。

* Figures in parenthesis indicate the principal ranges of percentages inhabitation (see Tables 3 and 8).

(2) 予測生息域図作成のための手法検討

本研究の柱は、現地調査から解析・予測、そして検証までを一連のものとして進めた点である(図1)。このため、後段での解析や出力図面を想定したうえで、現地における対象生物の確認・記録方法を選定した。特に種構成ではなく種組成から類型を行うためには、単に“いる/いない”の質的情報ではなく、どれだけいるかの量的情報が求められる。しかしながら両生類は、一定面積内における生息量の把握手法が一部の種しか確立されておらず、複数の種について量的情報を得るのは極めて困難であった。

そこでまず現地調査で各種の確認位置を丁寧に地図上に記録し、次にその地図上に一定領域のグリッド・セルを想定することで、セル単位の在/不在を得てその計数から数値データを作成した。本研究では確認箇所の空間的な広がりから求めた二次的な量的情報(=出現率)を用いたが、解析のためのパラメーターも地形・植生区分といったランドスケープの特徴もしくは性質を表す変数を用いることで結果的にはよく適合し、妥当性の高い出力図面を作成することが出来た。両生類のように対象範囲内に広く生息する生物群においては、複数セルからなる一定枠内の出現セル数という出現率の指標値が予測生息域図の作成に有効であることが示された。一方、現地調査における調査範囲(24調査区域の計約54km²)、調査項目(生息の有無)、調査精度の三者のバランスを保つスケールの適正さについても考慮した。すなわち、ミクロスケールでの生息状況の変移に焦点を当てるのではなく、メソスケールの調査データを解析し、より上位のマクロスケールの図面に出力している。約1.5km四方(36セル分)内におけるすべての確認位置を1/2,500地形図に記録するという方法を、対象範囲内に任意に配置した24箇

表-12 検証調査における出現率階級の検討

Table 12. An examination of the range of the percentage of inhabitation in verifying investigation

地形区分 land classification	台地/低地エリア plateau/lowlands areas					丘陵地エリア hilly areas				
	I-A		I-B		I-C		I-D		I-E	
	T8	T11	T12	T10	T13	T7	T9	T5	T6	T3
予測類型区分 predicted type classifications	I-A	I-B	I-C	I-D	I-E	I-E	I-E	II-C	II-B	II-B
ニホンアカガエル (<i>H. japonica</i>)	1*	2	4	4	4	4	3*	4	3*	3
シュレーゲルアオガエル (<i>R. schlegelii</i>)	0	0	3	2	1	3	3	4	3	3
トウキョウダルマガエル (<i>R. porosa p.</i>)	1*	1	3	3	3	3	2*	3	2	3
アサマシキガエル (<i>B. japonicus f.</i>)	0	1	0*	0	0	1*	1*	1	2	2
ニホンアカガエル (<i>R. japonica</i>)	0	1	1	0	0	2*	0	3*	3	3
ツチガエル (<i>R. rugosa</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0*	1	0
ヤマアカガエル (<i>R. ornativentoris</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
トウキョウサンショウウオ (<i>H. tokyoensis</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

注1: 数字は出現率階級(1: 25%未満、2: 25~50%、3: 50~75%、4: 75%以上)

Note 1: The figures indicate the ranges of percentages inhabitation in 16 cells. (1: less than 25%, 2: 25-50%, 3: 50-75%, 4: 75%-)

注2: *印は予測された種組成タイプの出現率階級の範囲から外れた項(表11参照)。

Note 2: Asterisks represented out of the range of predicted percentage of fauna composition (see Table 11).

所の調査区域(図3)で行うことで、解析に耐えられる十分な内容のメソスケールの調査データを得ることができたと考えられる。

また本研究では、TWINSPANと判別分析を組み合わせて段階的に解析を進めた。すなわち、ツチガエル、ヤマアカガエル、トウキョウサンショウウオの3種を指標に用いて、地形区分の面積割合からまず大きく台地/低地と丘陵地の両エリアに二分した。これは、そもそも生息が見込めない調査区域サンプル(ここでは台地/低地エリア)を除外することで、以降の解析時の歪みを少なくし、判別に効いてくる要因をより高い精度で把握する上で有効と考えられる。

解析のためのパラメーターは、出力図面の都合上広域的な面情報としてGISに入力できるものに限られてくる。山地域が対象範囲に含まれる場合は、両生類では各種の生態的な分布限界(例えばサンショウウオ類²¹⁾)を考慮し、パラメーターに標高を入れる必要がある。しかし、本対象範囲は低標高地に設定したため²²⁾、1/25,000の地形区分図および植生図のみを用いた。なお、各メッシュ内の道路延長(幅5.5m以上を対象)および用水路延長(いずれも各市町村の1/10,000都市

計画図より入力)もGISで読み取っており、それらを加えた解析も試みたが判別率の中率は上がらなかった。すなわち本スケールにおける両生類の生息状況には、植生の状態が最も直接的に関与することが示された。一方、湿地/乾田の状態がある種の両生類の生息に強く関与することが知られており^{5,9,27,31)}、圃場整備状況や水田における早春期の湛水程度が重要なパラメーターとなることが予想される。しかしながら、広域的な面情報として扱うことが現時点では不可能であり、本研究では断念した。各類型グループ内でのより細分化した類型化が可能と考えられ、過湿田~乾田にかけての状況を簡易な手法で面情報化することが課題である。

解析の結果、台地/低地エリア、丘陵地エリアでそれぞれ全サンプルの判別率の中率は約65~86%であった(表5・7・10)。本解析ではサンプル間に重なる部分がありその独立性が確保されず、ほとんどが非常に高い有意水準($P < 0.005$)を示すものの選択された説明変数(植生区分)の信頼性は低くなる。多様な系で相互に関係する自然環境の野外調査では、多くの場合サンプル同士が空間的時間的に統計解析上独立になりにくいと考えられ、

その研究デザインに注意が要る¹³⁾。加えて、今回試みたような空間的な連続性に着目し少しずつ重なりながらサンプルを得る方法についても、今後解析手法の確立が望まれる。このように生物相予測における統計的方法上の問題点が課題として残るが、比較的高い判別率の中率や各変数の高い有意水準より、今回ある程度予測可能な判別関数式が得られたものと判断した。一方、個別の類型グループでは、一部 60% 台の正判別とやや低いものもみられた。特に台地/谷戸 (I-C・E) の 2 グループの間での誤判別が多く、これは検証結果における T7, T9 (I-E) と T12 (I-C) で予測と異なる値が散見したことに結びついている (表 12)。すなわち、T7 は I-C の、T12 は I-E の出現率階級の範囲にそれぞれ相当する結果であった。また、T8 (I-A) の種組成は台地面 (I-B) の出現率階級の範囲に相当するが、これも T8 は大部分市街地に覆われながらもわずかに残る水田の影響を受けたためである。以上、検証調査で若干の誤差は認められたものの、いずれの類型区分でも予測された種毎の出現率階級の範囲と等しいかそれにほぼ準じたものであり、得られた予測生息域図は充分現状に即していると考えられる。よって、現地調査、解析、予測、検証の一連の作業による予測生息域図の作成手法を確立できたものと考えられる。

7. 結び

両生類の生息状況とその種組成が、地形・植生から説明可能であることを示した。実際には、立地条件やそれに対応する両生類の生息状況の水平的な広がりには連続的であり、このため予測結果は凡例表示領域としてのグリッド・セルのとり方 (本研究では基準地域メッシュ) により異なると考えられる。しかし、グリッド・セルの基準を何処に置いても、それぞれの凡例表示領域の立地条件において予測される両生類種組成であることに変わりはなく、また立地条件が連続的すなわち緩やかな変化である以上は予測結果も極端に大きな違いはないものと考えられる。

このように、研究者の経験的な知見を基に生息の可能性を議論することが多かったこれまでの状況に対し、説得力を有する形で広域的な予測生息域を導けたそのことを本研究の遠略として強調したい。対象とする生物群によっては今回ほど明確に判別関数式が得られるとは限らないが、これまで大変な調査労力が必要とされてきた生物の生息調査への効果的なアプローチを提示したことになる。基礎となる生物の生息情報の把握がより速やかに進むことが、より効果的な生物相の保全を含む環境整備計画の策定への寄与につながると信じる。一方で、このような数値計算から導

かれる出力図面は、往々にして対象生物の生きた匂いの失われた「生物不在の予測生息域図」に陥りやすい。そのことに對し、常に危険意識を持ち続ける必要がある。今後の課題として、河川平野・扇状地地域や中山間地域等、農村環境に特徴のあるそれぞれの地勢での同様な解析があげられる。また、植生図等の基盤情報整理において高い精度での作成が可能な人工衛星画像の活用²³⁾も期待される。さらに個別の単一種を用いた場合と種組成を用いた場合の選択される変数/パラメータの差異についても検討しなければならない。生物生息の予測モデルを通じた生息環境保全・管理に向け、多方面からの研究が望まれる。

謝辞：本研究は、国土交通省国土技術政策総合研究所環境部緑化生態研究室が中心となった「水戸地域生態ネットワーク計画プロジェクトチーム」での討議が基礎となっている。有意義な議論を交わしたプロジェクトチームのメンバーに謝意を表す。また、植生図作成にあたっては星野-今給黎順子氏のご協力を得たとともに、国土技術政策総合研究所環境部の百瀬浩氏には解析手法についてご助言頂いたことをお礼申し上げる。なお本研究の一部は、科学技術研究費基礎研究(C)(2)課題番号 12660035 の助成を受けて行われた。

補注

- 1) 250×250m²のセル内で繁殖確認の見られたセル数を計数したものの、1 調査区域にはグリッド・セルが 36 個含まれるため、出現セル数/36 が出現率となる。
- 2) 生物生育・生息の量的な情報を TWINSpan で解析する場合には量的情報を任意の範囲毎に階級値化するが、その際に用いる区分設定。
- 3) 出現率の算出においては、1 調査区域 6×6 セルのうち四隅にある 2×2 セルを除き重複して計数される。特に中心にある 2×2 セルは、1 調査区域から得られる 4 サンプルに共有される。
- 4) 9 セル (約 750m 四方) あるいは 4 セル (約 500m 四方) のサンプル区でも解析は可能であるが、小さくするほど TWINSpan の出現率階級の区分において「過去の環境劣化による非出現セル」の影響をより受けやすくなる。この非出現セル 1 つに対する影響を 1 サンプル当たり 10% 以下に抑える最小方形単位として 16 セルを用いた。
- 5) ただし、ダム湖やゴルフ場等の局在的に広い面積が出現する植生区分を加えると解析に歪みが生じるため、開放水面および人工草地の 2 植生区分は除外して解析した。

- 6) 周縁部では対象範囲が全面に満たないメッシュがあるが、これらは GIS の読み取った面積を 1 とし面積割合を求め計算している。
- 7) このため正確には「ツチガエル、ヤマアカガエル、トウキョウサンショウウオの生息可能性のあるエリア」となるが、便宜的に「丘陵地エリア」としている。
- 8) 丘陵尾根部に標高 200~350m 強のものも見られるが、水田はいずれも標高 150 m 以下となっている。

引用文献

- 1) 有田一郎 (1996) : 離散調査区を用いた地域の生態環境構造の抽出 : 生態計画研究所年報 4, 23-40
- 2) Beebee, T.J.C. (1996) : Threats to amphibians, Ecology and Conservation of Amphibians : Chapman & Hall, 132-145
- 3) Blaustein, A.R. and D.B. Wake (1990) : Declining amphibian populations: a global phenomenon? : Trends in Ecology and Evolution 5, 203-204
- 4) De'ath, G. and Fabricius, K.E. (2000) : Classification and regression trees: A powerful yet simple technique for ecological data analysis : Ecology 81, 3178-3192
- 5) Fujioka, M. and S.J. Lane (1997) : The impact of changing irrigation practices in rice fields on frog populations of the Kanto Plain, central Japan : Ecology Res. 12, 101-112
- 6) Green, D.M. (1997) : Perspectives on amphibian population declines: defining the problem and searching for answers : Amphibians in decline, Canadian studies of a global problem, Herpetol. Conserv. 1, 291-308
- 7) Hall, R.J. and P.F.P. Henry (1992) : Assessing effects of pesticides on amphibians and reptiles: status and needs : Herpetol. J. 2, 65-71
- 8) Hams, W.B. (1995) : Scenarios for nature development : In: Schoute, J.F.Th. et al. (eds.) Scenario studies for the rural environment : Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 391-403
- 9) 長谷川雅美・大賀野大・ケビン・ショート (1993) : 水田の圃場整備事業による爬虫両生類への影響 : 爬虫両棲類学雑誌 15(2), 94
- 10) 早瀬長利 (1981) : 茨城県のサンショウウオ (1) : 茨城の生物 2 : 茨城県高等学

- 校教育研究会生物部, 178-182
- 11) 日置佳之・百瀬浩・水谷義昭・松林健一・鈴木明子・太田望洋 (2000): 湿地植生計画のための鳥類の潜在的生息地図化とシナリオ分析に関する研究: ランドスケープ研究 63(5), 759-764
 - 12) 日置佳之・藤原宣夫 (2001): 生態ネットワーク計画のための鳥類の生息適地図作成: 土木技術資料 43(10), 32-37
 - 13) Hurlbert, S.H. (1984): Pseudoreplication and the design of ecological field experiments: Ecol. Monog. 54, 187-211
 - 14) 一ノ瀬友博・加藤和弘 (1993): 都市及び農村地域における鳥類の分布と土地利用の関係について: ランドスケープ研究 56(5), 349-354
 - 15) 一ノ瀬友博・加藤和弘 (1995): 広域的な環境整備のための生物相の分析方法に関する研究: ランドスケープ研究 58(5), 117-120
 - 16) 井手任 (1992): 生物相保全のための農村緑地配置に関する生態学研究: 緑地学研究 11, 120pp.
 - 17) 加藤和弘 (1996): 生物群集の多変量解析とその地域環境計画への応用: ランドスケープ研究 60(1), 46-55
 - 18) 小菅次男 (1992): 茨城県の両生類とハ虫類: 茨城の生物(平成4年版): 茨城県高等学校教育研究会生物部, 236-241
 - 19) Kusano, T. and K. Maruyama (1984): Dispersal of the salamander, *Hynobius nepulosus tokyoensis*: J. Herpetol. 18, 349-353
 - 20) Kusano, T., K. Maruyama, and S. Kaneko (1995): Post-breeding dispersal of the Japanese toad, *Bufo japonicus formosus*: J. Herpetol. 29, 633-638
 - 21) 草野保・植田健二・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), 1-7
 - 22) 前田憲男・松井正文 (1989): 日本カエル図鑑: 文一総合出版, 206pp.
 - 23) 松林健一・根元淳・百瀬浩・藤原宣夫・日置佳之 (2002): 高解像度衛星データを用いた植生図化手法の開発と図化精度評価: 日本緑化工学会誌 28(1), 127-131
 - 24) 松井正文 (1996): 両生類の多様性維持を目指して—欧州との比較から—: 第3回応用生態工学シンポジウム(財)ダム水源環境整備センター, 83-98
 - 25) 夏原由博・神原恵 (2001): ニホンアカガエルの大阪南部における生息適地と連結性の推定: ランドスケープ研究 64(5), 617-620
 - 26) 小河原孝生・有田一郎 (1996): 千葉県西部における生物多様性ポテンシャル調査—ニホンアカガエルと鳥類による評価手法の検討—: 生態計画研究所年報 4, 1-22
 - 27) 大澤啓志・勝野武彦 (2000): 多摩丘陵南部におけるシュレーゲルアオガエル生息の環境条件の把握と保全に関する考察: ランドスケープ研究 63(5), 455-500
 - 28) Osawa, S. and T. Katsuno (2000): Dispersal of the brown frogs *Rana japonica* and *R. ornativentris* in the forests of the Tama-Hills: Jpn. J. Herpetol. 20(1), 1-10
 - 29) 大澤啓志・勝野武彦 (2001): 丘陵樹林地におけるアカガエル生息空間の林床環境: ランドスケープ研究 64(5), 611-616
 - 30) Osawa, S. and T. Katsuno (2001): Frog habitats in the rural landscape known as Yato ("dell with paddy fields") in suburban area in south Kanto Plain: J. KILA Inter. Edit. 1, 75-83
 - 31) 大澤啓志・勝野武彦 (2002): 都市域の公園・保全緑地におけるアカガエル類生息数の概数に影響を及ぼす環境条件: ランドスケープ研究 65(5), 513-516
 - 32) Sinsch, U. (1990): Migration and orientation in anuran amphibians: Ethology Ecology & Evolution 2, 65-79
 - 33) Steinitz, C. et al. (1999): 地理情報システムによる生物多様性と景観プランニング(矢野桂司・中谷友樹訳): 地人書房, 181pp.
 - 34) 梅崎靖志 (1997): 鳥類およびトンボ類による生態環境構造の把握とゾーニング—群馬県多々良沼におけるケーススタディー—: 生態計画研究所年報 5, 41-62
 - 35) United States Department of the Interior, Fish and Wildlife Service (1981): Standards for the development of habitat suitability index model: 103E SM, U.S. Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Service, Washington, D.C.

(2001.11.17 受付, 2002.12.14 受理)

Summary: The significance of biodiversity has been widely accepted in recent years. In this context ecological information are indispensable for regional landscape planning in both urban and rural areas. In the present study, we propose a procedure to estimate species distribution in a rural area using amphibians as materials. Estimation model of potential habitats was constructed based on the relationship between amphibian species composition and land attributes. The investigation of amphibians in 24 sites was performed in and around Mito city, central part of Ibaraki prefecture as a case study. The percentage of inhabitation of each species was calculated by the current situation of the amphibians in the investigation sites, and the 8 types of fauna composition were identified using TWINSPLAN. Then, landform types and vegetation types were classified by GIS. And the discriminant function which classifies each fauna composition type was computed. In the first stage, it was divided into hilly areas and plateau/lowland areas by landform classification. Hilly areas are characterized by habitation of three amphibian species; *Hynobius tokyoensis*, *Rana ornativentris* and *Rana rugosa*. In the following stage, the more detailed division of each fauna composition type, which was explained mostly by the present situation of *Hyla japonica*, *Rhacophorus schlegelii* and *Bufo japonicus formosus* was possible by using vegetation classification. The discrimination ratios of predicted inhabitation were between 65 - 86 %. We calculated the potential habitation possibility of amphibian species in the non-investigated area using the obtained distinction function formula. The map of the predicted habitat of amphibians was created about 840 km² of the case study area with a grid cell of about 1km around. In addition, verifying investigation was conducted at 13 sites and the validity of the predicted potential habitat map was accepted. By establishing a series of research flows for the prediction technique, the application of a broader-scale landscape planning was attained.