

# 土岐川・庄内川流域圏における種多様性と固有種生息適地の空間的關係性の把握

横田 樹広<sup>1</sup>・中村 早耶香<sup>2</sup>・味岡 ゆい<sup>3</sup>・南 基泰<sup>2</sup>・那須 守<sup>1</sup>・米村 惣太郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)  
E-mail:s-yokota@shimz.co.jp

<sup>2</sup>中部大学大学院 応用生物学研究科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町1200)  
E-mail:minami@isc.chubu.ac.jp

<sup>3</sup>中部大学 現代教育学部 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町1200)  
E-mail:y\_ajioka@isc.chubu.ac.jp

土岐川・庄内川流域圏を対象として、景観、生態系、ハビタットの3つのスケール間で生物多様性の特徴を評価した。小流域の類型化により流域圏の環境特性を把握したうえで、種多様性と固有種ヒメタイコウチの潜在的な生息適地の分布予測を行い、それらの空間的關係性を把握した。その結果、流域圏中～上流域の里山地域において、流域の環境構造は植生条件よりも地史的な環境条件により特徴づけられ、とくにヒメタイコウチの生息適地の分布に影響する古い地層を伴った土岐砂礫層の分布が、種多様性と固有種生息適地の空間的な重複と不一致にも影響していることが明らかになった。これらをもとに、生態系の地域固有性に配慮した、流域圏の生物多様性マネジメントの空間指針について検討した。

**Key Words :** river basin, species diversity, indigenous species, potential habitat, *Nepa hoffmanni*

## 1. 研究の背景と目的

河川流域圏 (以下、流域圏) は、地域的な地形や地質の形成に応じて規定された水・物質循環が成立する空間領域であるとともに、景観から遺伝子にいたる生物多様性の成立のパターンとプロセスを決定づける空間単位である。流域圏における持続的な土地利用のためには、生態系および生物資源の「賢明な利用」(ワイズユース) に向けた生物多様性の俯瞰的かつ包括的な把握が必要である。戦略的な土地利用計画のためには、景観的特徴とともに、指標生物種のハビタットおよび種多様性のホットスポットについて空間的に把握し、将来シナリオの影響評価や GAP 分析などに反映することが有効である<sup>1)</sup>。また、生物多様性の保全措置を土地利用に位置づけるためには、その計画段階の影響評価である戦略的環境アセスメントも重要となる<sup>2)3)</sup>。

流域圏の生物多様性のうち、種多様性は、さまざまな空間スケールでの、生態系内部の構成要素の多様性 ( $\alpha$  多様性) と異なる生態系の構成間の異質性 ( $\beta$  多様性) により成り立っている<sup>4)5)6)</sup>が、流域圏全体でそ

れら全てを同時にモニタリングすることは難しい。

そのため既往の流域圏の自然環境管理のための生態系評価では、小流域を単位としたビオトープ評価<sup>8)9)10)</sup>や、景観特性の評価<sup>11)</sup>、水田植物群落の多様性の形成要因の評価<sup>12)</sup>、都市緑地の生態的ポテンシャルの評価<sup>13)</sup>など、流域圏内の景観構造や種多様性の地域的差異の把握が主となっている。

こららに加え、種レベルの生息地の保全・復元においては、指標生物種の遺伝的多様性への配慮が重要である。遺伝的多様性に影響するランドスケープ条件の把握に関しては、近年、景観遺伝学的研究が多く行われ<sup>14)15)16)</sup>、今後、種レベルでの知見の蓄積が期待される。一方で遺伝的多様性をより安定的に保全するためには、それと関連がありえる固有性や遺存価値の高い生物種のハビタットに注目し、景観構造や種多様性との関連性を踏まえた保全・復元を図る必要があるが、そのための方法論は未確立である。まずは、固有種や地域個体群の消失リスクの高い種を対象に、地域固有性の維持のために重要な環境条件について、種多様性との関係のなかで把握することが必要と考えられる。

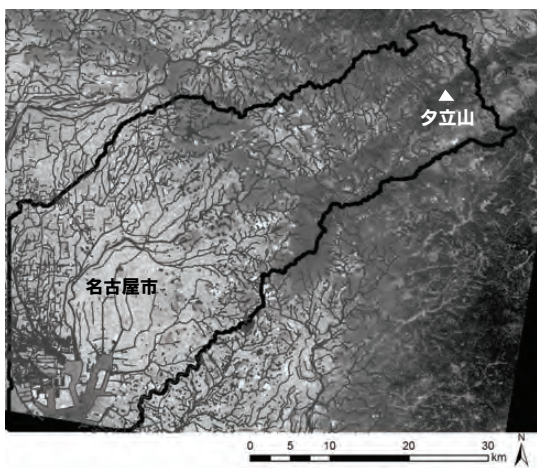


図-1 土岐川・庄内川流域圏

本研究では、土岐川・庄内川流域圏を対象として、主に種多様性と固有種の生息適地の空間的關係性に注目し、流域圏の生物多様性マネジメントにむけた主要要件を把握するための評価の枠組みを構築することを目的とした。とくに、景観～生態系のスケールにおいて、種多様性の成立可能性と地域固有種の潜在的な生息適地の分布を把握し、生態系の多様性と固有性の關係性を把握しながら一体的に保全・復元するために配慮が必要な環境要因について検討する。また、固有種のハビタットスケールにおいて、ハビタット管理を流域圏の生物多様性の保全・復元につなげていくうえで重要な生息環境条件と、広域的なハビタット成立要因との關連性について検討する。

## 2. 研究対象および使用データ

### (1) 研究対象地域

本研究の対象地である土岐川・庄内川流域圏は、岐阜県・愛知県にまたがる流域面積約1500km<sup>2</sup>の圏域である(図-1)。土岐川(岐阜県内)・庄内川(愛知県内)は、タ立山(標高727m)を源流とし、その流域圏は、中～上流域に尾張丘陵を中心とする丘陵地や台地・段丘、下流域に名古屋市都市部が広がる沖積平野、沿岸域に干潟といった、多様な地形を包含している。とくに中～上流域の丘陵地や台地においては、砂礫層上に湧水によって涵養され形成される貧栄養湿地とその周辺に、周伊勢湾地域に固有もしくは国内分布の中心がある東海丘陵要素植物15種が分布し、地域固有性の高い植物相が成立している<sup>17)</sup>。

### (2) 研究対象種

本流域圏における固有種として、湿地環境に生息す



図-2 ヒメタイコウチ (*Nepa hoffmanni*)

る昆虫ヒメタイコウチ (*Nepa hoffmanni*; カメムシ目タイコウチ科ヒメタイコウチ属; 図-2) に注目する。ヒメタイコウチは、国内では愛知県、岐阜県、三重県、兵庫県、香川県の限られた地域にのみ分布し(愛知県・岐阜県で準絶滅危惧種)、丘陵地の湧水が浸出して成立した湿地や、伏流水が染み出す場所において、水際付近の非常に浅い水域や湿った陸上部分を主な生活場所としている。生息場所が限定的であるうえ、翅を持つが飛翔はせず、呼吸器管が短く水中生活には十分には適応していないため、開発や農業形態の変化等による小規模な湿地の改変等によっても生息環境を消失しやすい種と考えられる。ヒメタイコウチの生息環境は、トウカイコモウセンゴケ (*Drosera tokaiensis*)、ヘビノボラズ (*Berberis sieboldii*) といった東海丘陵要素植物の一部と同所的でもあり<sup>18)19)</sup>、同種は本流域圏の湧水湿地を代表する固有種と言える。

### (3) 使用データ

流域圏における基盤環境に関するデータは、公共および市販の GIS データを使用した(表-1)。植生データは、環境省自然環境情報 GIS 提供システムによる第5回自然環境保全基礎調査(1993～1998年)5万分1現存植生図データを使用した。現存植生図の植生凡例を、15の相観植生タイプに統合したデータ、土地被覆区分として樹林・草地・市街地ほかに統合したデータを作成し、分析に使用した(表-2)。また動物相種組成データは、環境省生物多様性センターより第5回および(1993～1998年)・第6回(1999～2004年)自然環境保全基礎調査の「種の多様性調査」データ(チョウ類・トンボ類の分布、鳥類繁殖分布を対象)を貸与頂き使用した。チョウ類・トンボ類の分布データについては第5回調査における「種の多様性調査」の種組成データを、鳥類繁殖分布データについては第6回調査における「種の多様性調査」の種組成データを、流域圏内の調査メッシュに限って使用した。鳥類繁殖分布に関しては、水鳥の分布データ数が限定的であったことから、陸鳥のみを対象とした(水辺も利用する鳥でデータ数が十分な種としてカワセミ・オオヨシキリ・

ハクセキレイ・キセキレイは対象に含めた)。  
 なお、GIS・リモートセンシングのソフトウェアは、ArcGIS 9.3 および TNTmips 7.4 (MicroImage 社) を使用した。また、評価のための統計分析にあたっては、SPSS 17.0 Basic および Classification Trees(日本 IBM 社) および PC-ORD 5 (MJM Software Design 社) を使用した。

表-1 使用した基盤環境データ

地形	
50mDEM	国土地理院「数値地図50mメッシュ(標高)」
10mDEM	北海道地図(株)「GISMAP Terrain」
地質	
20万分1 表層地質年代	産業技術総合研究所地質調査総合センター 「20万分1数値地質図幅集 北陸、中部および近畿」
植生	
5万分1植生	環境省 自然環境情報GIS提供システム 第5回自然環境保全基礎調査(1993~1998年実施) 「5万分1 現存植生図」 → 植生凡例を15の相観植生タイプに統合 (統合凡例:表-2)
土地被覆・土地利用	
緑被	人工衛星ALOS-AVNIR II データ (2006年5月31日撮影; 空間分解能約10m)
水域	国土地理院「数値地図2500空間データ基盤 水部区域」
道路	国土交通省「国土数値情報データ 道路延長」

表-2 植生データの統合凡例と植生凡例(元データ)の対応

統合凡例 (相観植生タイプ)	土地被覆 区分	植生凡例 (5万分の1植生データ)	
落葉広葉樹林	樹林	スズカケブナ群団, ヤマボウシブナ群集, ケヤキイロハモミジ群集, コナラ群落, コナラクリ群落, ブナミズナラ群落	
常緑広葉樹林		サカキウラジロガシ群集, アラカン群落, シラカン群集, サカキコジイ群集, ヤブコウジスダジイ群落, タブ群落, カゴノキ群落, シイ・カシ萌芽林	
針葉樹林		モミ・シキミ群落, ヒノキ群落, アカマツ群落, ヤマツツジ・アカマツ群集, モチツツジ・アカマツ群集, コバミツバツツジ・アカマツ群集, クロマツ群落	
植林地		スギ・ヒノキ・サワラ植林, クロマツ植林	
竹林		タケ・ササ群落	
低木群落		河畔ヤナギ低木群落	
二次草原		草地	ススキ群団, ネザサ・ススキ群集, チガヤ・ススキ群集, 伐跡群落, ベニハナホロキウキタドホロキウ群落, クサイチゴウ・タラノキ群集
湿原・河川・池沼植生			ヌマガヤオーダー, ヨシ群落, ツルヨシ群落, オギ群集
水田雑草群落			水田雑草群落, 休耕田雑草群落
畑地雑草群落・果樹園			畑地雑草群落, 果樹園
牧草地・ゴルフ場・芝地	牧草地, 芝地, ゴルフ場		
路傍・伐跡地群落	造成裸地, 路傍雑草群落, 伐跡群落		
緑の多い住宅地	緑の多い住宅地		
市街地・工場地帯	市街地, 工場地帯		
開放水域	水域	開放水域	

### 3. 研究の方法

流域圏を構成する階層的な空間スケールとして、景観スケール、生態系スケール、ハビタットスケールの3つの空間スケールを設定し、以下の分析を行った。

#### (1) 景観スケール

流域圏の環境構成とそれを特徴づける環境要因を把握するため、里山環境を構成する多様な地形が混在している流域圏中～上流部小流域の類型化を行った。10m メッシュ標高データより抽出した小流域(高低差25m以上の小流域, 計 572)について、小流域の立地、植生、地形、地質に関する環境条件の変数(表-3)を算出した。変数間の相関を確認した結果、標高差と古第三紀以前の地質年代割合( $r=0.707$ )、標高差と第四紀以降の地質年代割合( $r=-0.696$ )に強い相関(ともに Pearson の積率相関係数, 両側1%水準)が確認されたため、標高差を変数から除外したうえで、TwoStep クラスタ分析により類型化を行った。また、類型化の結果をもとに、小流域類型を目的変数、小流域内の環境条件を説明変数として、分類回帰木(Classification and Regression Tree; CART)によって、類型化に寄与した主要な環境条件を把握した。

表-3 小流域の環境条件の変数

	環境条件	小流域内
小流域	10mDEMより算出: ・河川流路次数(Shreve's method)	最大値
植生	5万分1植生データ(統合凡例)より算出: ・植生面積割合(落葉広葉樹林, 常緑広葉樹林, 針葉樹林, 植林地, 水田雑草群落, 畑地雑草群落・果樹園)	算出値
	5万分1植生データ(土地被覆区分, 植生凡例)より算出: ・樹林・草地に区分した植生凡例の多様度(Shannon-Weaver's H')	算出値
地形	10mDEMより算出: ・標高差(Max-Min)	平均値
地質	20万分1地質データより算出: ・地質年代割合(第四紀～, 新第三紀鮮新世～, 新第三紀中新世～, ～古第三紀)	算出値

#### (2) 生態系スケール

(1)の小流域における種の多様性と生態系の固有性の空間的關係性を把握し、その主要環境要因を明らかにすることを目的として、以下の分析を行った。

##### a) 種多様性ポテンシャルの評価

流域圏をカバーする3次メッシュ(約1km四方, 計1676)を単位として、チョウ類・トンボ類および陸鳥(繁殖期)を対象に、成立可能な種多様性のレベル(以下、「種多様性ポテンシャル」)を評価した。

まず、流域圏内で「種の多様性調査」の対象となっている3次メッシュ(チョウ類 284, トンボ類 111, 陸

鳥 81) において、チョウ類・トンボ類・陸鳥の種組成と、メッシュ毎の環境条件との対応関係について分析し、各生物群についてメッシュ内の種群を分類した。その際、データ量の少ない種およびメッシュによる分析への影響を軽減するため、(チョウ類・トンボ類・陸鳥のそれぞれについて) 記録種数合計が 5 種以下のメッシュと、出現記録メッシュ数合計が 5 メッシュ以下の種は、分析の対象外とした。その結果、チョウ類について 37 種 36 メッシュ、トンボ類について 45 種 51 メッシュ、陸鳥について 32 種 46 メッシュを分析対象とした。

種群の分類にあたっては、分析対象としたメッシュ内において、各生物種の出現の有無とメッシュ内の植生(統合凡例 15 区分)の面積割合を変数として CCA(正準対応分析)を行い、抽出された 1~3 軸への種ごとの寄与度(スコア)をもとにクラスタ分析(Ward 法、平方ユークリッド距離)によって種群を分類した。

次いで、データのあるメッシュにおける種群の組み合わせの成立の有無と、メッシュ内環境条件の関係をモデル化し、種多様性ポテンシャルを評価した。対象 3 次メッシュにおいて、チョウ類、トンボ類、鳥類のそれぞれについて、各種群の CCA1 軸におけるスコア平均値に応じて種群を並び変えた。メッシュ内の種組成

表-4 3 次メッシュ内の環境条件の変数

植生環境	
植生面積割合	5 万分 1 植生データ(統合凡例)ごとに算出: ・ 植生面積割合
最大パッチ面積	5 万分 1 植生データ(土地被覆区分)、水域データより算出: ・ 樹林、草地、水域の最大パッチ面積(メッシュに一部でも含まれるパッチ)
植生多様度	5 万分 1 植生データ(植生凡例)より算出: ・ 樹林・草地に区分した植生凡例の多様度(Shannon-Weaver's H')
複合環境	
林縁環境	5 万分 1 植生データ(土地被覆区分)より算出: ・ 樹林-草地隣接長 ・ 樹林と隣接する草地面積
水辺環境	5 万分 1 植生データ(土地被覆区分)、水域データより算出: ・ 水域-草地隣接長 ・ 水域と隣接する草地面積
地形条件	
地形	50mDEMより算出: ・ 平均標高 ・ 最大傾斜角 ・ 平均傾斜角
河川	水域データより算出: ・ 河川流路延長
市街地環境	
緑被率	緑被データ、5 万分 1 植生データ(土地被覆区分)より算出: ・ 市街地内NDVI(植生指数)平均値
道路(人工環境)	道路データより算出: ・ 道路延長

を構成する種群の組み合わせをもとに、多様性レベルを 3 段階(レベル 1~レベル 3) 設定した。これを目的変数、対象 3 次メッシュ内の各種環境条件(表-4)を説明変数として、判別分析を行い、導出された判別モデルをもとにデータの無いメッシュに適用した。チョウ類、トンボ類、陸鳥のそれぞれについて予測された多様性レベル(最大値=3)の相加平均を算出することにより、各メッシュにおける種多様性ポテンシャルの総合スコア(とりえる最大値=3)とした。

### b) ヒメタイコウチの潜在的生息適地の評価

中~上流域の小流域を単位として、ヒメタイコウチを潜在的な生息適地を評価した。ヒメタイコウチの生息有無データは、中部大学応用生物学部南研究室にて調査した流域圏内計 47 の小流域でのヒメタイコウチ分布調査結果を使用した。

まず、ヒメタイコウチ生息の有無を調査した小流域を対象として、ヒメタイコウチの生息有無を予測するモデルを導出した。小流域におけるヒメタイコウチの有無を目的変数、小流域内の環境条件を説明変数として、分類回帰木(CART)による回帰モデルを求めた。小流域内の環境条件の変数は、小流域の立地、植生、地形、地質の観点から、小流域の類型化において用いた変数を交えて設定した(表-5)。得られた CART モデルを、ヒメタイコウチの生息調査がなされていない他の小流域に適用し、全ての小流域におけるヒメタイコウチの生息有無を推定した。

### (3) ハビタツスケール

ヒメタイコウチの生息地において HEP(ハビタツ評価手続き)における SI モデル・HSI モデルを構築し

表-5 小流域内の環境条件の変数

	環境条件	小流域内
小流域	10mDEMより算出: ・ 小流域面積 ・ 平均流路次数(Shreve's method)	算出値 平均値
植生	5 万分 1 植生データ(統合凡例)より算出: ・ 植生区分割合 5 万分 1 植生データ(土地被覆区分)、水域データより算出: ・ 樹林-草地隣接度 ・ 水域-草地隣接度 ・ 樹林と隣接する草地パッチ面積 ・ 水域と隣接する草地パッチ面積	算出値  合計値 合計値 合計値 合計値
地形	10mDEMより算出: ・ 標高 ・ 標高差(Max-Min) ・ 平均傾斜度(°) ・ 斜面方位面積割合 ・ 地形収束度指標(Convergence Index) ・ 乾湿度指標(Wetness Index) ・ 春分日射量(春分時の日照量(MJ)をシミュレーション)	平均値 算出値 平均値 平均値 平均値 平均値
地質	20 万分 1 地質データより算出: ・ 地質年代割合(第四紀~、新第三紀鮮新世~、新第三紀中新世~、~古第三紀)	算出値

(中村ら<sup>2021</sup>)、ハビタットスケールにおける環境条件と広域的な環境要因との関連性を把握した。

SI モデル・HSI モデル構築のための調査は、流域圏上流に位置する中部大学恵那研修センターの敷地内で実施した。同センターは、東海層群の土岐砂礫層の丘陵地に位置し、貧栄養な湧水に涵養される湿地がいくつも点在し、東海丘陵要素植物の生息も確認されている。また、敷地内はヒノキ人工林、落葉性広葉樹の二次林、人為的に維持される草地といった多様な環境を包括し、東濃地方の生態系が集約されている。調査は、活動期にあたる 2007 年 6 月 30 日から 10 月 21 日にかけて、湿地 7 箇所を対象としてヒメタイコウチの捕獲調査を行い、捕獲地点を中心として 30×30cm のコドラートを計 50 設置し、コドラート内におけるヒメタイコウチ生息確認地点数(捕獲地点数)および環境条件(表-6)を計測した。ヒメタイコウチの生息確認地点数に影響したハビタット変数について、変数の観測値の分布をもとに SI モデル・HSI モデルを作成した。これをもとに、得られたハビタット変数と、広域的な生息適地推定に影響した環境要因との関係を把握した。

## 4. 結果

### (1) 景観スケール

類型化の結果、小流域は大きく 4 タイプに分類され(図-3)、分類回帰木の結果、それらは、主に地質年代と流路次数(流域における谷の位置)によって特徴づけられた(図-4)。源流部に近い小流域では古第三

紀以前の古い地層の優占(図-3 中タイプ D)が特徴的であり、支流上流域の小流域に新第三紀中新世以降の地質が分布する(図-3 中タイプ B)。沖積平野と丘陵地との境界域に位置する中流域の分類においても、表層地質年代が卓越し、中流域の新第三紀中新世以降の地質のうち、とくに下流側都市部は新しい第四紀以降の新しい表層地質が優占しており(図-3 中タイプ A)、新第三紀鮮新世以前の地質と第四紀(更新世)以降の地質とを境に小流域が区分された。

### (2) 生態系スケール

#### a) 種多様性ポテンシャルの評価

種組成データの存在する 3 次メッシュを対象として、種組成と植生面積割合との対応関係をもとに得られた CCA の 1~3 軸のスコアをもとに種群を 5 タイプに分類した(陸鳥における例を図-5 に示す)。

チョウ類、トンボ類、陸鳥に共通して、CCA1 軸は市街地面積割合と有意な相関がみられた(チョウ類:  $r=0.857$ , トンボ類:  $r=-0.478$ , 陸鳥:  $r=-0.559$ )。また、CCA1 軸と相関のあったその他の植生面積割合は、チョウ類に関して落葉広葉樹林 ( $r=-0.578$ )、植林 ( $r=-0.516$ )、トンボ類に関して常緑広葉樹林 ( $r=0.435$ )、水田 ( $r=-0.406$ )、陸鳥に関して落葉広葉樹林 ( $r=0.782$ )、水田 ( $r=-0.532$ )、針葉樹林 ( $r=0.480$ ) であった。このことから、CCA1 軸の傾度は、都市化度との関連性が深いものと考えられた。

そこで、チョウ類、トンボ類、陸鳥ごとにそれぞれ分類された 5 種群について、CCA1 軸スコアの平均値をもとに種群を並び替え、メッシュの種組成に応じた 3 段階の多様性レベルを図-6 のように設定した。多様性レベルの設定は、例えば陸鳥(種群 GB-1~GB-5)の場合、GB-1 または GB-2 の種のみによる種組成をレベル 1、加えて GB-3 または GB-4 の種を種組成に含む場合をレベル 2、さらに加えて GB-5 の種を種組成に含む場合をレベル 3 とした。例として、GB-1 と GB-3 の種による種組成はレベル 2、GB-4 と GB-5 の種による種組成はレベル 3 とした。各レベルに該当する種群は、レベルごとのメッシュ数の偏りが最小となるよう設定した。

これをもとに、チョウ類、トンボ類、鳥類ごとに多様性レベルを目的変数とした判別モデルを全ての 3 次メッシュに適用し、それぞれの多様性レベル推定値の相加平均をとり、メッシュごとの種多様性ポテンシャルの総合スコアを算出した(図-7)。その結果、流域圏の種多様性ポテンシャルが比較的高い地域が、丘陵地および河川の立地に応じて連続的に分布した。とくに、流域兩岸の支流域を中心に、種多様性が高い結果

表-6 コドラートにおける調査項目

	調査項目	調査方法
立地	傾斜角度 (生息地、コドラート)	生息地全体およびコドラート微地形として傾斜角度を測定
水質	水素イオン濃度(pH)	pHメーターにより湿地内湛水部の水を調査現地で簡易的に測定
	電気伝導度(EC)	導電率計により湿地内湛水部の水を調査現地で簡易的に測定
土壌	土性	「土壌調査ハンドブック改訂版」の野外土性判定法に準じ、砂壤土(SL)、壤土(L)、埴壤土(CL)、重埴土(HC)の4段階で判定
	乾湿	同上の野外乾湿判定法に準じ、多湿、湿、半湿の3段階で判定
	体積含水率	時間領域反射測定法、地表から12cmの深さで測定
植生	自生植物種数	コドラート内の自生植物種数(草本・低木層木本類など)を記録
	植被率	コドラート内の植被率をパーセンテージで評価
隠れ家	リター被率	コドラート内に占めるリターの被率をパーセンテージで評価
	リターの厚さ	コドラート中心(=ヒメタイコウチ発見地点)の厚さを測定
活動	水深	ヒメタイコウチ発見地点の水面から水底までの距離を測定

となり、また、支部部においても源流側ほど種多様性が高い値となった。

**b) ヒメタイコウチの潜在的生息適地の評価**

ヒメタイコウチの調査データの存在する小流域を対象とした分類回帰木の結果(図-8)、小流域内の標高差、砂礫層の割合を主要因として、堆積物砂泥層の割合、植林地の割合といった環境条件が抽出された。サンプル全体の正分類率は、86.4%であった。今回帰モデルを、ヒメタイコウチの調査データの無い小流域に適用し、生息有無について予測した結果(図-9)、潜在的な生息適地と判定された小流域は、中～上流域の

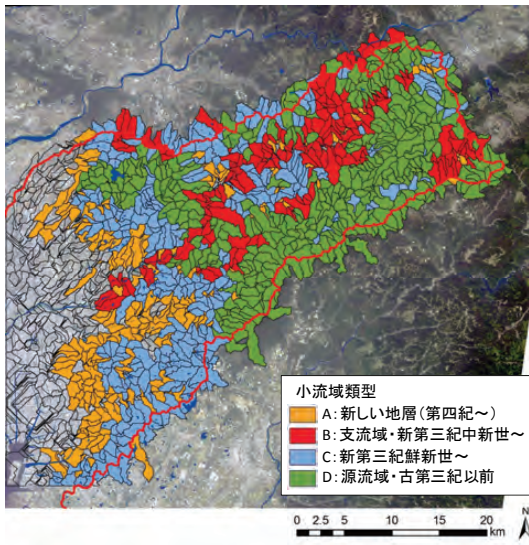


図-3 流域圏における小流域類型

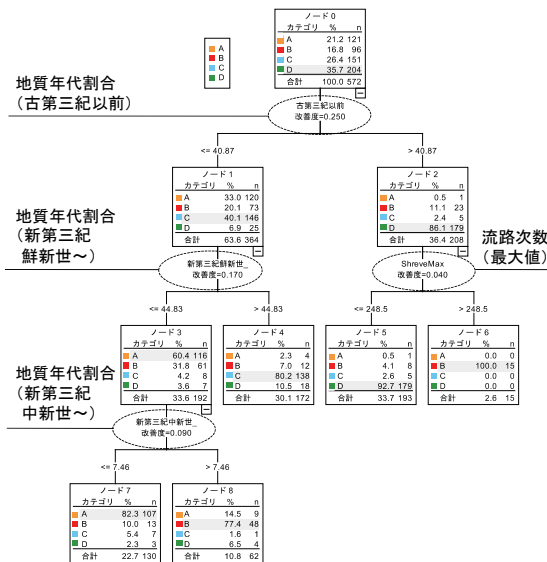


図-4 小流域の類型化に寄与した環境条件

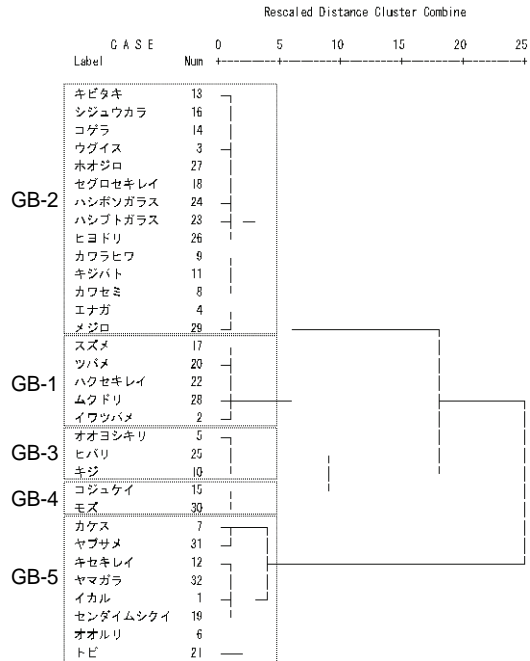


図-5 クラスタ分析による種群分類結果(陸島の例)

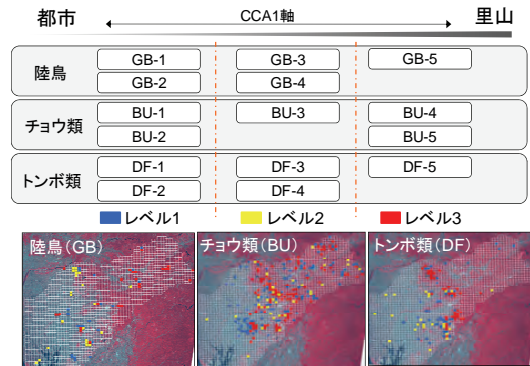


図-6 種群の組合せによる多様性レベル(上)と分布(下)

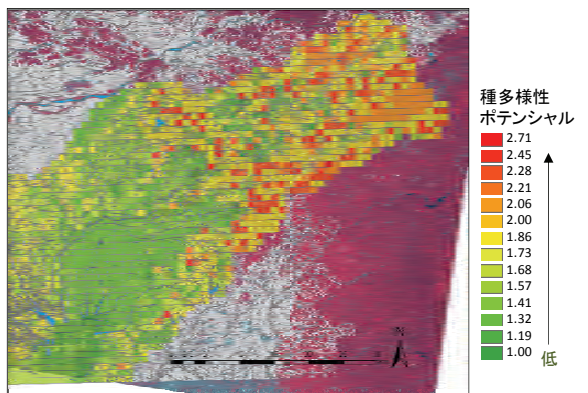


図-7 種多様性ポテンシャルの総合スコア推定値

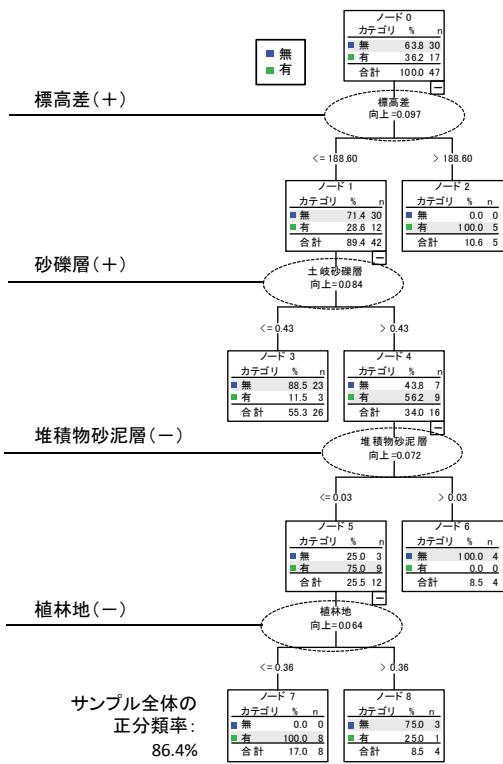


図-8 ヒメタイコウチの生息を目的変数とした CART の結果

河川兩岸の里山地域丘陵部を中心に分布した。

また、ヒメタイコウチの潜在的な生息適地の評価図を先述の種多様性ポテンシャル評価図とオーバーレイした結果を図-10 に示す。この結果、種多様性ポテンシャルの高い地域の分布と、ヒメタイコウチの潜在的な生息適地の分布は、源流部に近い丘陵地域の谷戸を中心に、概ね一致する結果となった。一方で、多様性ポテンシャルが高いにもかかわらず、ヒメタイコウチの潜在的な生息地とならない小流域も一部存在し、両者の間には空間的な不一致も生じていることが示された。

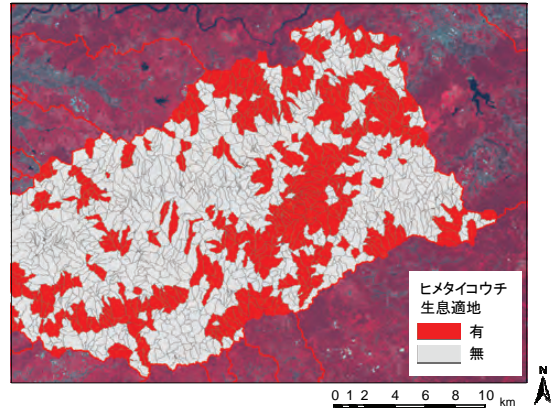


図-9 ヒメタイコウチの潜在的な生息適地の評価

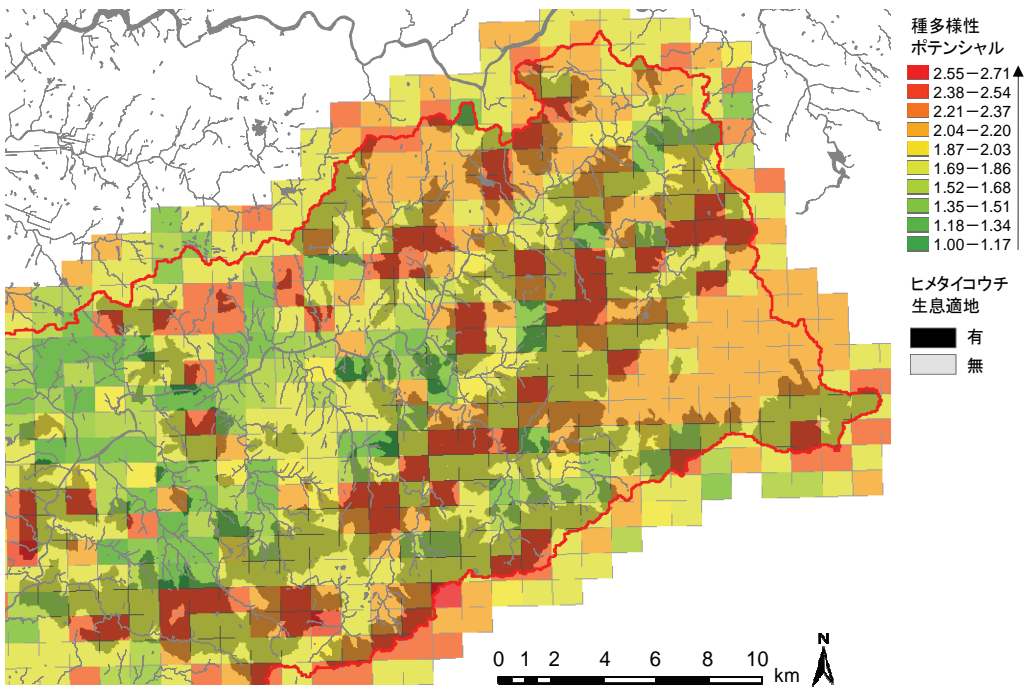


図-10 種多様性ポテンシャルとヒメタイコウチ生息適地の重ね合わせ

### (3) ハビタットスケール

ヒメタイコウチ生息地を対象とした環境条件の調査結果をもとに、捕獲地点数に影響するハビタット変数として、HV1：傾斜角度、HV2：リター被率、HV3：リターの厚さ、HV4：水深、が抽出された。これらの変数ごとの生息適性を、図-11 に示す SI モデルとして導出した。また、生息確認地点数に対して最も相関が高い HSI モデルとして、幾何平均モデルを選定した。

このなかで、本流域圏におけるヒメタイコウチの生息環境である「中腹斜面型湿地」における湿地内環境条件として、コドラート傾斜角度、水深、リター被率、リターの厚さといったハビタット変数が挙げられた。これに対して、生態系レベルの生息適地の推定条件として抽出された、標高差、砂礫層の割合、堆積物砂泥層の割合、植林地の割合といった地形・地質・植生条件は、主として「中腹斜面型湿地」の成立要因として挙げられた。

すなわち、流域圏におけるヒメタイコウチの生息適性について、生態系スケールとハビタットスケールにおける環境条件間の関係として、湿地成立要因と湿地内環境条件の関係（図-12）が把握できた。

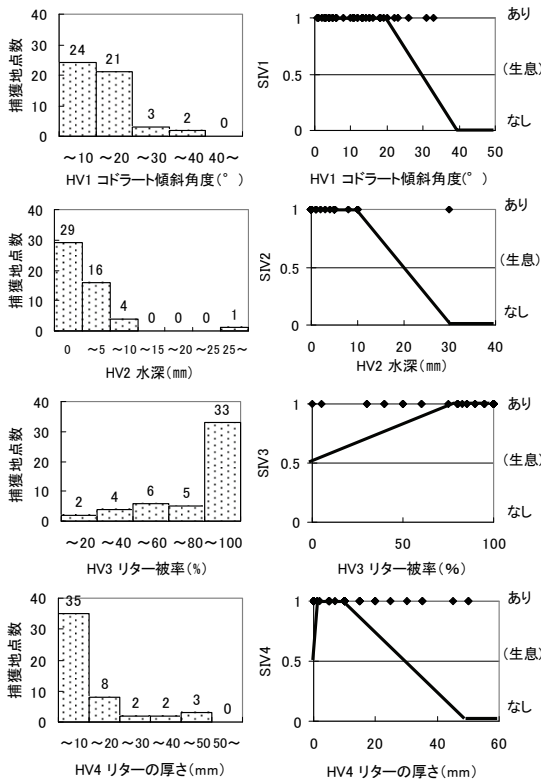


図-11 ヒメタイコウチ SI モデル

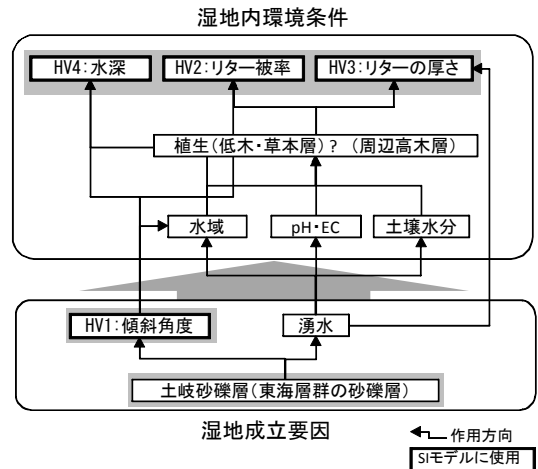


図-12 湿地成立要因と湿地内環境条件

## 5. 考察

### (1) 景観～生態系スケール

景観スケールにおける小流域の類型化の結果から、中～上流域の里山域では、植生条件以上に、その基盤環境である地史的條件が、小流域の環境構成に強く影響していることが示唆された。

また、流域圏を対象とした種多様性ポテンシャルの評価結果から、これら里山域の源流部にあたる地域において、種多様性がとくに高い傾向がみとれた。今後これらの地域は、支流域沿川の谷底低地や河岸段丘において拡大する都市化の影響を受ける可能性があり、流域圏における種多様性のホットスポットと言える。これらの地域は、地質年代が古く、湿地形成の地史的要因とも関連が深いと考えられる<sup>22)</sup>。

固有種ヒメタイコウチにとっての潜在的な生息適地と、種多様性ポテンシャルとの空間的關係性を把握した結果、重複と不一致の両方が確認された。重複地域では、ヒメタイコウチの生息環境となる湧水湿地周辺の里山生態系において、種多様性が高いことが示唆された。

その一方で、種多様性ポテンシャルが比較的高いにも関わらず、ヒメタイコウチの生息適地の分布と重ならない空間的な不一致は、湧水湿地の成立要件となる土岐砂礫層の分布が見られないことが主要な要因と推察された（図-13）。小流域の流路次数と地質面積割合を把握した結果、土岐砂礫層は源流部に近いほど分布割合が高い（図-14）ことから、流域圏の生態系の固有性と種多様性が両立している地域においては、地層・地質条件を含めた小流域の生態系全体を保全することによって、種多様性の高い固有生態系の保全を図る必要があると考えられる。



したがって、固有種の生息適地がなくとも里山全体として種多様性が高い地域では「種多様性」を、種多様性に関わらず湧水湿地などの固有環境が成立している地域においては「生態系の固有性」を、優先的な保全目標とすることが有効である。保全における優先付けを行ううえで重要なのは、管理・利用と保全の空間的な配分である。例えば、植林地のギャップにおいて湧水湿地が成立している地域では、植林地の継続的な管理によって、自然遷移の影響による湧水湿地の減少・消失が抑えられてきたと考えられ、里山の持続的利用のなかで適切な湿地管理を図ることが必要である。

## (2) 生態系～ハビタットスケール

ヒメタイコウチについて、生態系レベルにおける生息適地の質の向上にあたっては、ハビタット単位で生息適性の最適化を図ることが必要である。生態系レベルで潜在的に生息適地となりえる小流域において、湿地成立要因（好適な傾斜条件等）を把握し、現存する湿地内の環境条件を適性値に近づける保全措置が有効

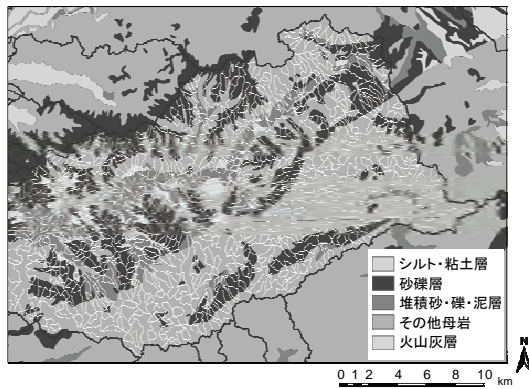


図-13 中～上流域における砂礫層の分布(図-11と同範囲)

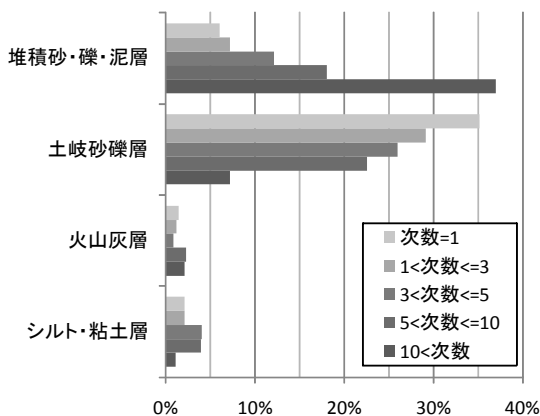


図-14 小流域の流路次数と表層地質割合（平均）の関係

と考えられる。その際に、SIモデル・HSIモデルの適用によって、種多様性との関係を図りながら固有生息環境を維持していくことが有効である。

このような保全措置によって、流域圏の生物多様性マネジメントに向けた戦略的な代償措置も可能と考えられる。すなわち、流域圏の市街地や質の劣化した里地地域における湿地代償ミティゲーション<sup>23)</sup>として、土岐砂礫層を中心とした潜在的な生息適地において生息地の管理および規模の拡大を図ることができる。これにより、流域圏における固有生態系の保全に向けた、オフサイトでの貢献が可能である。その際、流域圏内の固有生態系保全・復元への貢献度を、SI・HSIモデルにより定量化し、固有種の生息環境のネットゲイン(Net gain)を図っていくことが提案できる<sup>29)</sup>。

## (3) 評価システムの流域圏ゾーニングへの活用

流域圏における都市化により、市街地内には空間的に異質性の低い環境が形成され、外来種や都市適応種の増加ともなう種組成の均質化など、生物種の分布は大きく影響を受ける<sup>24)25)</sup>。このなかで、種多様性が保たれても、その質的变化が固有種の生息に影響することも考えられ、種多様性と生態系の固有性の関係性を、空間的に配慮していくことが必要である。本研究で得られた知見は、土岐川・庄内川流域圏の土地利用における空間指針(図-15)への活用が可能である。

たとえば、陸域生態系の重要地域となる中～上流域の里山地域は、種多様性と生態系の固有性の関係性から、種多様性と固有生態系が共存する「固有性ホットスポット」と、両者が空間的に一致しない「多様性コアエリア」とに分けられる。前者においては、固有種に配慮した生息地および生態系全体の保全・復元を、後者においては、種多様性の維持・向上のための持続的な管理や復元を図ることが有効と考えられる。その

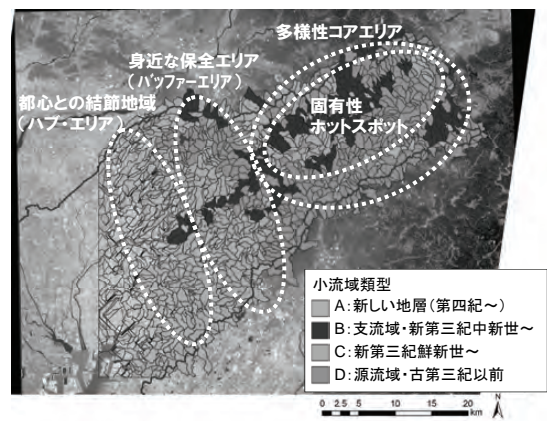


図-15 評価システムの流域圏ゾーニングへの活用

際、本流域圏のゾーニングでは、固有種の生息適地の保全・復元を優先する範囲は、種多様に配慮する範囲に比べて限定され、小流域レベルでは両者の範囲は重複するとは限らないことを提示できる。これら重要地域と下流域都市域との関連において、中流域の里山地域をバッファーエリア、都市との結節地域をハブ・エリアとして、ともに自然環境の持続的利用を図ることが提案できる。これらの地域は、上流域の生態系との関係性の理解や、流域圏の一体的な生物多様性保全への市民参画を得るうえでも重要な地域となると考えられる。本研究における評価の枠組みは、これらエリア間の関係性の把握に有効である。

本研究では、東海丘陵要素植物に代表される固有の湿地環境が成立する流域圏において、その一部に生息する固有種としてヒメタイコウチに注目した。したがって、トウカイコモウセンゴケ等の同所的に生息する固有植物の生息適地については、ヒメタイコウチの生息適地と一部では重複することが推察される。一方、飛翔せず、深い水位での生息・移動もできないヒメタイコウチは、これら植物に比べて生息地拡大の能力は低いと考えられる。生息適地の範囲や、種多様性との空間的な関係性に関しては、移動・繁殖能力の他、環境への移入・定着プロセスにも依存し、同様の傾向を示すとは限らない。

今後、種レベルでの地域個体群の絶滅リスクや生息環境の置換不能度の評価や、遺伝的固有性の把握により、流域圏内での指標種の保全優先度の検討を行うことが課題となる。保全優先度に応じた種選定のうえで、本研究と同様の検討と比較を行うことで、小流域レベルでの保全・復元目標もより具体化できる。流域圏生態系の指標種として、ヒメタイコウチ以外の種に対する検討を行うとともに、これらの種の遺伝的多様性に関する研究成果との連携を図りたい。また、本研究において検討した評価の枠組みは、土地利用変化のシナリオに応じた生態系変化の予測にも応用できるものであり、流域圏の生物多様性マネジメント技術として発展を図りたい。

**謝辞**：本研究の実施にあたり、中部大学応用生物学部の寺井久慈前教授、上野薫講師、愛知真木子講師には多大なご協力を頂きました。また、環境省生物多様性センターには、種多様性調査データの提供を頂きました。末筆ながら篤く御礼申し上げます。

## 参考文献

1) Steinitz, C., Binford, M., Cote, P., Edwards, J.T., Ervin, S., Johnson, C., Kiestler, R., Mouat, D., Olson, D. Shearer, A., Toth, R. and Wills, R.: Biodiversity and Landscape Plan-

ning: Alternative Futures for the Region of Camp Pendleton, California, Harvard University Graduate School of Design, Cambridge, M.A., 142pp., 1996.

- 2) 木下瑞夫, 中澤哲平, 増山哲男: 計画時点の環境アセスメントにおける生態系評価のための実用手法の開発, 土木学会第 37 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.27-32, 2009.
- 3) 横田樹広, 伴武彦, 青島正和, 磯田真紀, 佐口利一, 則行雅臣, 吉田馨: 戦略的環境アセスメント (SEA) における HEP 活用可能性に関する検討—里山生態系を対象としたケーススタディー, 環境アセスメント学会 2008 年度研究発表会要旨集, pp.187-192, 2008.
- 4) Hobbs, E. R. : Species richness of urban forest patches and implications for urban landscape diversity, *Landscape Ecology* 1(3), pp. 141-152, 1988.
- 5) Whittaker, R.J., Willis, K.J. and Field, R. : Scale and Species Richness: Towards a General, Hierarchical Theory of Species Diversity, *Journal of Biogeography* 28(4), pp.453-47, 2001.
- 6) Debinski, D.M., Ray, C. and Saveraid, E.H. : Species diversity and the scale of the landscape mosaic: do scales of movement and patch size affect diversity ?, *Biological Conservation* 98, pp.179-190, 2001.
- 7) Tews, J., Brose, U., Grimm, V., Tielbörger, K., Wichmann, M.C., Schwager, M. and Jeltsch, F. : Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures, *Journal of Biogeography* 31, pp.79-92, 2004.
- 8) 片桐由希子, 大澤 啓志, 山下 英也, 石川 幹子: ビオトープタイプの組成とカエル類生息からみた小流域の評価手法に関する研究, ランドスケープ研究 69(5), pp.785-788, 2005.
- 9) 片桐由希子, 山下英也, 石川幹子: 小流域を基礎とした緑地計画の検討手法に関する研究, ランドスケープ研究 70(5), pp.643-646, 2007.
- 10) 丹治三則, 盛岡通, 藤田壮: 流域圏でのシナリオ誘導型施策立案と評価を支援する地理情報システムに関する研究, 環境システム研究論文集 31, pp.367-377, 2003.
- 11) 尾尾和寿: 流域圏における水系を視点とした景観特性の分析—那珂川, 霞ヶ浦, 鬼怒川, 小貝川の各流域を事例として—, 地学雑誌 117(2), pp.534-552, 2008.
- 12) 楠本良延, 山本 勝利, 大黒 俊哉, 井手 任: 利根川流域の水田周辺における植物群落の多様性と景観構造の関係, ランドスケープ研究 70(5), pp.445-448, 2007.
- 13) 加来仁悟, 伊東啓太郎, 磯野大, 光田靖, 梅野岳: 流域を対象とした都市緑地の生態的ポテンシャル評価及び連続性に関する基礎的研究—北九州市紫川流域を対象として—, 九州森林研究 57, pp.163-166, 2004.
- 14) Manel, S., Schwartz, M.K., Luikart, G. and Taberlet, P. : Landscape genetics: combining landscape ecology and population genetics, *Trends in Ecology & Evolution* 18(4), pp.189-197, 2003.
- 15) 小川原 享志, 渡辺 幸三, 吉村 千洋, 大村 達夫: RAPD 法による *Hydropsyche orientalis* (Hydropsychidae: Trichoptera) の遺伝的多様性に基づく河川環境評価: 宮城県名取川水系を例として, 水環境学会誌 26, pp.223-229, 2003.
- 16) 立田晴記, 吉尾政信, 浅田正彦, 落合啓二, 宮下直: 景観遺伝学的解析に基づく野生生物集団における遺

- 伝的不連続性の検出手法, 生物科学 59(3), pp.174-181, 2008.
- 17) 植田邦彦 : 東海丘陵要素の植物地理 I .定義, ActaPhytotax.Geobot. 40, pp.190-202, 1989.
- 18) 伴幸成, 柴田重昭, 石川雅宏: 日本の昆虫④ヒメタイコウチ, 142p, 文一総合出版. 1988.
- 19) 長谷川道明, 佐藤正孝, 浅香智也: ヒメタイコウチの分布, 付関連文献目録, 豊橋市自然史博物館研究報告 15, pp.15-27, 2005.
- 20) 中村早耶香, 味岡ゆい, 上野薫, 寺井久慈, 南基泰, 横田樹広, 那須守, 小田原卓郎, 米村惣太郎: 岐阜県東濃地方におけるヒメタイコウチ (*Nepa hoffmanni*) の生息環境に関する SI モデルの構築—土岐川・庄内川流域圏の持続的管理・保全のための生物多様性ポテンシャル評価に向けて (2) —, 環境アセスメント学会 2008 年度研究発表会要旨集, pp.199-204, 2008.
- 21) 中村早耶香, 味岡ゆい, 上野薫, 寺井久慈, 南基泰, 横田樹広, 那須守, 小田原卓郎, 米村惣太郎: 岐阜県東濃地方におけるヒメタイコウチ (*Nepa hoffmanni*) の HSI モデル構築, 環境アセスメント学会誌 9(1), pp.58-63, 2011.
- 22) 広木詔三, 清田心平: 愛知県春日井市の東部丘陵の砂礫層地帯における湿地植生とその成因, 情報文化研究 11, pp.31-49, 2000.
- 23) Phillip, H.B. and Christopher, L.L. : The effect of wetland mitigation banking on the achievement of no-net-loss, *Environmental Management* 22(3), pp.333-345, 1999.
- 24) Mckinney, M.L. : Urbanization, biodiversity, and conservation, *BioScience* 52, pp. 883-890, 2002.
- 25) Turner, M.G. and F.S.I. Chapin : Causes and consequences of spatial heterogeneity in ecosystem function, pp.9-30, In G.M.Lovett, C.G. Jones, M.G.Turner, and K.C.Weathers (eds.), *Ecosystem Function in Heterogeneous Landscapes*, Springer, New York, 2005.

(2011.8.9 受付)

## SPATIAL RELATIONSHIP BETWEEN THE SPECIES DIVERSITY AND THE POTENTIAL HABITAT OF INDIGENEOUS SPECIES IN THE TOKI-SHONAI RIVER BASIN

Shigehiro YOKOTA, Sayaka NAKAMURA, Yui AJIOKA, Motoyasu MINAMI, Mamoru NASU and Sotaro YONEMURA

Toward the sustainable landuse in the Toki-Shonai River Basin, evaluation system for grasping the characteristics of biodiversity in the river basin, linking among the different spatial scales of landscape, ecosystem and habitat, is constructed in this paper. Biodiversity zoning in the river basin was proposed by balancing the spatial relationship between potential species diversity and the potential habitat of indigenous species (*Nepa hoffmanni*) with the classification of the environment compositions in minimum catchment areas. It was clarified that the distribution of gravel layer with older stratums in Satoyama area affects the spatial coexistence and gaps between the indiginity of the ecosystem and its species diversity. As the application to the spatial planning, environmental zoning and its guideline for the conservation and the restoration of indigenous habitats, including the strategic mitigation of the influences from developments by using SI/HSI models, are considered as the practical methodology for the biodiversity management in the whole river basin.