

Environment Research and Technology Development Fund

環境省環境研究総合推進費終了研究等成果報告書

環境保全オフセット導入のための生態系評価手法の開発  
(1-1401)

平成26年度～平成28年度

Development of Ecosystem Assessment Methods in Offsets  
for Biodiversity and Ecosystem Services

国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所  
法政大学  
国立研究開発法人国立環境研究所

〈研究協力機関〉

東京農工大学  
東京学芸大学  
北海道大学  
北海道立総合研究機構  
(株)日本工営  
長崎大学  
(株)サントリー  
農研機構北海道農業研究センター  
名古屋大学  
日本大学

平成29年5月

環境省

総合環境政策局総務課環境研究技術室  
環境保健部環境安全課環境リスク評価室  
地球環境局総務課研究調査室

# 環境保全オフセット導入のための生態系評価手法の開発

(1-1401)

I. 成果の概要	.....	i
1. はじめに (研究背景等)		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発の方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた主な成果		
6. 研究成果の主な発表状況		
7. 研究者略歴		
II. 成果の詳細		
(1) 森林生態系における生物多様性オフセット評価手法の開発	.....	1
(国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所)		
要旨	.....	1
1. はじめに	.....	2
2. 研究開発目的	.....	2
3. 研究開発方法	.....	2
4. 結果及び考察	.....	4
5. 本研究により得られた成果	.....	19
6. 国際共同研究等の状況	.....	20
7. 研究成果の発表状況	.....	20
8. 引用文献	.....	24
(2) 湿地・草地における生物多様性オフセット評価手法の開発	.....	26
(法政大学)		
要旨	.....	26
1. はじめに	.....	27
2. 研究開発目的	.....	27
3. 研究開発方法	.....	27
4. 結果及び考察	.....	29
5. 本研究により得られた成果	.....	46
6. 国際共同研究等の状況	.....	46
7. 研究成果の発表状況	.....	46
8. 引用文献	.....	51
(3) カーボンオフセットを付加した環境保全オフセット評価手法の開発	.....	53
(国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所)		
要旨	.....	53
1. はじめに	.....	53
2. 研究開発目的	.....	54
3. 研究開発方法	.....	56
4. 結果及び考察	.....	59
5. 本研究により得られた成果	.....	72
6. 国際共同研究等の状況	.....	73
7. 研究成果の発表状況	.....	73
8. 引用文献	.....	74
(4) 環境保全オフセットにおける生態系サービス評価手法の研究	.....	77
(国立研究開発法人国立環境研究所)		
要旨	.....	77

1. はじめに	77
2. 研究開発目的	78
3. 研究開発方法	78
4. 結果及び考察	82
5. 本研究により得られた成果	91
6. 国際共同研究等の状況	91
7. 研究成果の発表状況	91
8. 引用文献	93
(5) 環境保全オフセット実施に向けた制度及び合意形成過程の検討 (国立研究開発法人国立環境研究所)	95
要旨	95
1. はじめに	95
2. 研究開発目的	96
3. 研究開発方法	96
4. 結果及び考察	95
5. 本研究により得られた成果	101
6. 国際共同研究等の状況	102
7. 研究成果の発表状況	102
8. 引用文献	102
III. 英文Abstract	104

課題名 1-1401 環境保全オフセット導入のための生態系評価手法の開発

課題代表者名 岡部貴美子（国立研究開発法人森林総合研究所生物多様性研究拠点拠点長）

研究実施期間 平成26～28年度

累計予算額 150,130千円（うち平成28年度：45,850千円）  
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 生態系管理、生態系サービス、生息地保全、生物多様性、炭素保全、地域連携、普通種、ランドスケープ、劣化生態系

#### 研究体制

- (1)森林生態系における生物多様性オフセット評価手法の開発（国立研究開発法人森林総合研究所）
- (2)湿地・草地における生物多様性オフセット評価手法の開発（法政大学）
- (3)カーボンオフセットを付加した環境保全オフセット評価手法の開発（国立研究開発法人森林総合研究所）
- (4)環境保全オフセットにおける生態系サービス評価手法の研究（国立研究開発法人国立環境研究所）
- (5)環境保全オフセット実施に向けた制度及び合意形成過程の検討（国立研究開発法人国立環境研究所）

#### 研究協力機関

東京農工大学、東京学芸大学、北海道大学、北海道立総合研究機構、日本工営、長崎大学、サントリー、農研機構北海道農業研究センター、名古屋大学、日本大学

## 研究概要

### 1. はじめに（研究背景等）

気候変動枠組条約にかかわる温室効果ガス（GHG）削減に関して国内では、J-VER～Jクレジット制度によって希望者がカーボンオフセットやクレジットに取り組めるシステムが構築されている。一方、異なる視点だが同じく全球レベルの環境にかかわる生物多様性条約においては、先のCOP10で掲げられた愛知目標という保全目標があるが、国内では必ずしも個人や団体が生物多様性保全に参画しやすい具体的なシステムが構築されていない。これまでわが国では希少種や希少生態系を中心に環境アセスメント制度による保全が行われ、一定の成功を収めてきたものの、生物多様性におけるネットロスを防ぐ対策など重要な概念が含まれていなかった。また第三者の生物多様性保全行為を包含可能とする、生物多様性バンキングなどのアイデアも、いまだ有効に活用されていない。

このような現状の下で、日本国内の民間企業等を中心に生物多様性オフセットへの期待が高まる中、世界的には75を超える機関の共同体であるThe Business and Biodiversity Offsets Programmeが生物多様性オフセットのスタンダードをまとめるなどの様々な進展がみられる。一方で国内では、オフセットが開発の免罪符になりかねないなどの懸念が表明されるなどしても、これらに応える科学的な取り組みがなかった。このような懸念は海外の既存のシステムや国内の類似システムで、生物多様性オフセットに関する生物学的にも社会的にも受け入れ可能かつ適正な生物多様性評価手法が存在しない、またはうまく機能してこなかったことが大きな原因と考えられる。また生物多様性条約の愛知目標15は「生態系の回復能力および酸化炭素の貯留に対する生物多様性による貢献の強化とそれが気候変動の緩和と適応に貢献すること」を期待しているものの、生物多様性オフセットの炭素への影響は、実施国でもほとんど配慮されていないのが実情である。これらのことから、我が国においても早急に、日本の実情に見合う生物多様性オフセット導入に関する科学的な検討が必要である。

### 2. 研究開発目的

本研究では、生物多様性保全を推進する活動として、環境アセスメント制度を高度化した日本版の生物多様性オフセットを実施するために、生物多様性およびカーボンの定量的評価手法を開発することを目的とした。最近の研究では生物多様性の保全は炭素吸収源の保全につながり、両者はコベネフィットを追求できると考え

られている。そこで海外で実施されている生物多様性オフセットを高度化し、カーボンにも配慮した環境保全オフセット制度を目標とした。

生物多様性の評価は遺伝的多様性、種の多様性、生態系の多様性など様々な階層での実施が想定されるが、オフセットの実行可能性に鑑み、保全の立場からどのレベルの多様性に焦点を当てるべきかを明らかにした。生物多様性オフセットは生態系の人為的改変であり、生物の群集構造や個体群の遺伝的構造および持続性に大きな影響を与えると考えられることから、慎重にオフセットを検討すべきである。そこで、環境保全オフセット(炭素保全を加味した日本版生物多様性オフセット)における、開発回避やオフセット候補地としての利用の回避について、明確にすることとした。またオフセット実施を具体的に想定し、各種の生態系の損失を防ぐために、同質の生態系(インカインド)とは何かを生態学的に明らかにした。また地域的な損失を防止ために、地域性と群集の類似性の関係を解明した。これらを明らかにしたのちに、オフセットのための生物多様性、生態系サービスの定量的評価手法の開発を目標とした。また環境保全オフセット実施が、日本の生態系及び社会構造等の特徴に合致し効果的に実施できるよう、望ましい制度化や合意形成について、国外の既存制度等に照らして検討した。

### 3. 研究開発の方法

#### (1) 森林生態系における生物多様性オフセット評価手法の開発

- 1) 日本の森林における生物多様性の保全にかかる生物情報を収集し、回避について整理して、特に劣化の修復を優先させるという視点から、オフセット候補地を整理した。
- 2) 森林生態系の群集データに基づき、カインド(同質性)の整理を行った。またオフセットにおけるサイト(地域性)について、森林性哺乳類、鳥類、昆虫普通種の分布情報(環境省日本の動物分布図集および図鑑等の情報)を元に分析を行った。
- 3) 既存の文献を検索して、生態系定量的評価手法に利用可能な定量化指標を抽出した。その結果、①利用され、改訂も進んでいる、②類似の手法が使われている、③普通種多種に対応できる手法、などの理由からオーストラリア、ビクトリア州で使用されているハビタットヘクタール法(以下、HH法)が適当と考え、これを日本での利用のために改訂した。さらにランドスケープレベルの検討を行うことを目的として、森林が優占する地域で生物調査を行い、異なる生物群集の反応スケールについて解析した。

#### (2) 湿地・草地における生物多様性オフセット評価手法の開発

- 1) 既存文献資料と現地調査データをもとに回避及びオフセット対象地の考え方について整理した。
- 2) 現地取得情報、既存文献資料及び聞き取り情報等をもとに、生物多様性や生態系機能に関わる要素に着目し生態系の同質性の考え方について整理した。
- 3) 草地について熊本県及び新潟県での現地調査から攪乱に伴う影響と保全水準の考え方を検討した。湿地について既存資料の分析から攪乱と劣化要因、脆弱性及び修復可能性について分析した。
- 4) HH法等をベースとして、現地調査及び既存資料をもとに定量的な生態系評価方法を検討した。また地理情報を用いた解析から生態系評価においてランドスケープの観点から考慮すべき事項を整理した。

#### (3) カーボンオフセットを付加した環境保全オフセット評価手法の開発

- 1) オフセット前後と想定される採草地由来の広葉樹林(草地-広葉樹林)と二次林として利用され続けてきた広葉樹林(広葉樹-広葉樹林)において、毎木調査データを元に算定した炭素蓄積量の比較を行い、コベネフィットの観点から特に採草地由来の二次林で高い炭素蓄積量を示す要因を解析した。
- 2) サブテーマ1で検討したHH法について、炭素蓄積との親和性の視点から各評価項目を検討し、また評価手法の特性の把握と日本への適合にあたっての課題を抽出した。
- 3) 炭素蓄積と多様性がコベネフィットとなる条件を探索するために、里山の広葉樹二次林において、炭素蓄積と森林の階層構造の発達度合いの関係を明らかにした。
- 4) 炭素吸収や蓄積と関連の深い、葉の窒素濃度について調査し、オフセット後の生態系回復の指標として検討した。

#### (4) 環境保全オフセットにおける生態系サービス評価手法の研究

- 1) 都市林の基礎的調査を行い、対象は名古屋市内の一定面積以上(ここでは概ね1ha)の樹冠の連続する樹林帯と定義した。文化サービス利用状況調査は、まず当該森林を踏査して森林の特徴を把握し、その過程での文化サービスの利用状況を調査した。
- 2) また社会科学的視点からの生態系サービスの社会経済評価、環境意識などのインターネット調査を行った。具体的な愛知県内の都市における生態系、森林生態系(里山、人工林、山間部の天然林等)、その他の生態系(湿地や水田生態系)を対象とし、インターネットを用いた意識調査を行った。各生態系に訪問あるいは情報収集

し、写真等を活用して当該地の説明を意識調査の中に含めた。各地点の生態系サービス大分類のウエイト、個々の生態系サービス大分類に含まれる小分類のウエイトの算出、生態系サービス大分類の生態系サービス全体価値に対する比率、および属性項目等を質問した。都市における生態系ではトラベルコスト法による文化サービスの社会経済的価値を推定した。その他の生態系の調査では、自然から受ける被害(落葉落枝の片付けや蚊の発生など)、スズメバチの巣の目撃経験など、ディスプレイサービスとして知られる項目についても聞いた。

3) 生態系サービスの評価方法について検討を行った。重要視されているが指標化が難しい文化サービスについて文献調査を行い評価方法について整理した。

4) 現在と過去(1950年代)における標準3次メッシュを用い、メッシュ内の生態系サービス供給を計算した。なお過去の土地利用は、地理調査所(現・国土地理院)が調製した土地利用図をデジタル化した。ある制約の下で保全する生態系の順序づけをすることが社会経済的に効率的であるので生態系の保全順序を計算するソフトウェアZonationを用いて、推定した生態系サービスによって保全順序を計算した。最後に検討したフレームワークを他の対象地域でも柔軟に運用できるように、統合モデリング環境を用いて、試験的な実装を行った。

#### (5) 環境保全オフセット実施に向けた制度及び合意形成過程の検討

1) 環境保全オフセットのうち生物多様性に着目し、サブテーマ2と連携のもとでモデル的な地域である阿蘇草地地域で、土地利用の変化が種の存続及び多様性に与える影響を、制度検討においてどのように考慮するべきかという観点から、過去4時期(1930・1950・1970・2000の各年代)の100m解像度の土地利用データの整備を進めた。

2) 同様にサブテーマ2と共同で、東海丘陵湿地地域において、小規模湿地の立地条件(地域ごとの湿地密度、湿地間の平均距離など)を踏まえて、湿地群としてどのように認識が可能か、またそのことを制度検討及び合意形成においてどのように考慮するべきかという観点から、個々の小規模湧水湿地に関する位置情報の整備を進めた。

3) 諸外国における実施状況を踏まえ、日本において生物多様性オフセットを制度化する場合の課題を明らかにすることを目的として、以下の手順で検討を行った。①日本の環境影響評価における代償措置の現状を明らかにした。②生物多様性オフセット導入国の制度を比較し、課題を抽出した。③日本の環境影響評価における生物多様性オフセットの制度化にあたって検討が必要な事項を整理し、課題を明らかにした。さらに各種文献・資料を基に、生物多様性オフセットに関する制度運用上の柔軟性について、オーストラリアのクィーンズランド州の事例を調査し、諸外国の生物多様性オフセット／バンキング制度の比較分析を実施すると共に、合意形成の際に、どのような情報が提供される必要があるのかについての検討を行った。

## 4. 結果及び考察

### (1) 森林生態系における生物多様性オフセット評価手法の開発

1) 開発を回避すべき森林生態系として、希少性に注目すべきであることを整理した。一方、オフセット候補地としては、希少であっても劣化が懸念され、かつ修復技術がある場合は、利用可能とした。これらのとりまとめから、劣化した森林生態系はオフセット候補地になりうることを結論付けた。

2) 森林の生物群集は地域にかかわらず、遷移段階によって若齢林、壮齢林、老齢・原生林群種に大別されることが明らかとなったが、これらの群集構造の変化は連続的であることから、森林生態系は一括してインカインドとみなせることを示唆した。地域性については、森林性普通種であっても都道府県内に一か所しか生息地がなく、地域的な希少性が見過される可能性のある生物が、既存の情報によっても50%程度あることが分かったことから、都道府県単位のオフセット実施においても、同質の生態系を共有する隣接県同士は連携すべきであることを示した。

3) 森林の生物多様性保全のための基準指標等の収集の結果、生態系評価として「生態系の質×面積」という定量的評価手法が主流であることを明らかにした。そこでHH法を日本に適用するために、立地条件の評価項目において、日本の樹洞形成木の平均胸高直径などにに基づき、大径木直径をサイズダウンするなどの改訂を行った。これらの改訂に基づき、参照レベルとなるような森林でスコア化を試みたところ、スコアの地域差が大きい項目が複数認められた。このことから、参照レベルの生態系は、実施単位ごとに細やかに設定すべきであることを明らかにした。

### (2) 湿地・草地における生物多様性オフセット評価手法の開発

1) 草地及び湿地について、量としての面積、質としての劣化状態、不安定さを示す不連続孤立性という観点から、原則として開発およびオフセットの回避対象とした。ただし人為的影響等により著しく劣化した草地及び湿地については開発回避の対象外とし、またこれまでの科学的知見から一定の生態系回復効果が期待できるた

め、オフセット候補地になり得るとした。

2) 草地について植物の種組成及び種多様性に着目し、人為的攪乱及び立地条件に関する4つの評価軸から同質性区分を行った。湿地は植生及び種多様性を支える物理化学的な基盤環境に着目し、土壌・水文・水質条件に関する評価軸から同質性区分を行った。サイトは草地・湿地ともに都道府県またはより上位の地方を単位とするのが適切と判断した。

3) 草地について種に着目して現状保全しても存続に必ずしも十分な面積ではないこと、及び攪乱方法が生態系劣化と関わる重要な指標であることを明らかにした。湿地について同質性に応じて攪乱による劣化プロセスが異なること、複数の要因が複合的に作用して脆弱性を発現させること、及び同質性に応じて修復効果の見られる手法が存在することを明らかにした。

4) 草地について種特性をもとに評価項目及び参照レベルを設定することにより、攪乱効果の違いを反映した定量的な生態系評価手法を提起した。湿地については物理化学環境を指標とした参照レベルの設定、健全度及び重要度の評価を通して実用的な生態系評価手法を提起した。また評価においては、草地は現存植生の固有性や過去の土地利用履歴の影響に関する、また湿地は周辺域を含む地域的な分布と固有性に関するランドスケープの視点が重要であることを明らかにした。

### (3)カーボンオフセットを付加した環境保全オフセット評価手法の開発

1) 各調査林分の炭素蓄積量を林野庁が設定した拡大係数を用いて、履歴の異なる同一齢級の林分で炭素蓄積量を比較した結果、広葉樹林由来の方が草地由来に比べ若干高い値を示したが、その差は明瞭ではなかった。草地を維持するための攪乱によって、萌芽能力の高い種が選択的に残ったと考えられることから、種多様性と炭素のコベネフィットの観点から、残存広葉樹は着目すべき項目であると考えられた。

2) 林分構造の異なる複数の林分の毎木調査等の分析結果から、HH法における評価項目において、カーボンとの間にトレードオフを示すものはなかった。一方、HH法スコアリングの合計値であるハビタットスコアと枯死立木炭素量には正の相関が認められた。大径木や枯死木の測定対象サイズを現況に合ったサイズに変更することで、よりカーボンに着目した評価が可能であることを示唆した。

3) 炭素蓄積と階層構造を代表する指標(FHD)との関係を検討した結果、FHDの低いグループとFHDの高いグループに分かれ、FHDと亜高木層植被率、林床植被率の間には負の相関が見られた。FHDの低さはササなどの下層植生による更新阻害に関係すると考えられたことから、更新と林分の階層構造は、生物多様性にもカーボンにも有効な評価項目であることが明らかとなった。

4) コナラやクリが優占する地域では、草地由来の二次林と、林地由来の二次林の間で、葉の窒素量に有意な差は認められなかった。しかし草地由来のコナラ葉では窒素量の低下の傾向があったことから、地上部現存量と窒素の間の関係をさらに検討する必要があると考えられた。

これらの結果及び他サブテーマの結果から、環境保全オフセットを考えた場合、プロジェクト期間中に追加分で炭素オフセットするためには、開発分以上の面積が必要であり、荒廃農地などへの新規植林で流域の炭素蓄積増加を図るなどの取組が必要であると考えられた。

### (4)環境保全オフセットにおける生態系サービス評価手法の研究

1) 都市林の基礎的調査では森林内及び森林敷地内の付随施設、森林周辺の都市化の状況などにより利用目的に差が見られた。一つの森林が複数の文化サービスの利用実態がある場合もある一方、文化サービスの利用がなく、他の生態系サービスや生物生息空間の提供の側面が大きいものも存在した。

2) 生態系サービスの社会経済評価では都市内の生態系では文化サービスの重要性が示された。また森林生態系も人工林と天然林では受容されているサービス種が異なる事が示された。湿地、水田への訪問頻度は約10%程度と低かったが、訪問目的は審美的価値やレクリエーションの目的が多く文化サービスがより求められていることが示された。またディスプレイサービスに関しては、被害を受けていると感じられている生物種に地域ごとの偏りがあった。

3) 生態系サービスの評価方法の検討では、特に文化サービスに関する文献調査を行い、428文献における定量法について精査し、貨幣換算(31%)、インタビューまたはアンケート調査に基づく方法(38%)及び空間解析に基づく方法(31%)であった。金銭価値に換算した方法は、仮想評価法、ヘドニック法、トラベルコスト法が主であった。インタビュー手法についても分類を行った。他のサービスについてはより詳細なプロセスモデルを使用する事を検討した。狭い領域での実施は可能であり、予測精度の向上も見込まれた。しかし、計算時間や過去の土地利用データ利用可能性などの問題があり、プロセスモデルによる広域評価は今後の検討課題となった。

4) 生態系サービスの広域評価の検討では名古屋市では全体的な森林、農地生態系が減少したことにより、周辺地域の生態系サービス供給量が減少し、相対的に保全優先度が低下した。また同じように相対的に都市内の孤立した緑地の優先度が高くなった。豊田市では都市域の農耕地が減少し、分断化したためその重要性は

低くなった一方、山間部の森林が成熟し相対的に優先度が高くなった。本評価フレームワークの統合モデル環境での試験的実装を行った。データ源が限られた場所での適用が可能となった。以上これら手法が提供する生態系サービス供給の統合化は、同等性を地理的に可視化しておりオフセットサイト選定などに有益な情報を提供すると考えられた。

#### (5) 環境保全オフセット実施に向けた制度及び合意形成過程の検討

- 1) 阿蘇草原地域における土地利用データを整備し、サブテーマ2と共同で調査を実施した結果、ある地域における種の損失及び生物多様性の低下は、時間的なタイムラグを経て周辺地域の種の存続または生物多様性の質に波及する可能性があきらかとなった。
- 2) 東海丘陵湿地地域では小規模な生態系の集合を対象とする場合、個々の質が地域全体の質に及ぼす影響や、集合としての特性と存在価値を、地域関係者が認識することが重要となる可能性が示唆された。また1)の結果と合わせて、草地、湿地は大多数が小面積であることから、大スケールの計画や評価では、希少種であっても見逃される可能性が示唆された。
- 3) 日本における制度化にあたっての課題としては、回避・低減措置の判断基準、内容の妥当性の検証、費用の事前の担保、国と地方公共団体の役割分担、生物多様性バンキング制度の導入、インセンティブの付与等があることを明らかにした。また諸外国の分析結果から、短期的なノーネットロスの達成は不可能である可能性が示唆された。また合意形成においては、必要な情報の共有が最も重要であると考えられた。

### 5. 本研究により得られた主な成果

#### (1) 科学的意義

- ・ 生態系を生物多様性オフセットの視点から評価することにより、生物群集における地域性は特に日本のような山塊が顕著な島国では、地形などの地理条件の方が重要である可能性が明らかとなった。
- ・ 樹木、腐朽菌類、昆虫、土壌動物、クモ類などの様々な分類群を同一サイトで収集・分析することにより、生物群ごとに群集構造が周辺植生に反応するスケールが異なることを定量的に明示した。
- ・ 森林の生物多様性と植生との関係について、これまで明らかにならなかった林分構造との関係を、群葉高多様度を用いることで明らかにした。
- ・ 同質性の観点からの草地と湿地の区分はこれまでに日本ではなされておらず、本研究において草地は種及び人為的攪乱等から、湿地は物理化学環境から同質性区分を提起した。その過程で草地における人為的攪乱と外来種を含む種組成の関係を明らかにした。
- ・ 草地におけるランドスケープレベルでの植物分布の分析から、個体現存地のみならず過去の分布域を考慮したうえで周辺の生育地確保が必要であることを明らかにした。
- ・ 湿地について同質性に依拠して攪乱による劣化プロセスが異なること、修復効果の見られる手法が存在することを包括的に明らかにした。また泥炭地において水位及び水質が生態系の健全性に依拠した挙動を示すこと、さらに湧水湿地を対象に整備したインベントリデータベースからランドスケープレベルの立地及び空間分布特性を明らかにした。
- ・ 生態系サービスの社会経済的価値を含めた網羅的で空間的な定量的評価方法を開発し、かつ、生態系サービス評価による環境保全オフセットを行う際の理論的、方法論的基礎を確立した。

#### (2) 環境政策への貢献

##### <行政が既に活用した成果>

- ・ 林野庁・森林整備保全事業費用対効果分析手法検討会における森林の便益の定量化について、本課題による生態系サービスの経済評価の結果を利用して評価手法のアドバイスをを行った。
- ・ IPBES Deliverable 3(a): Thematic assessment of pollinators, pollination and food production にLeading Authorとして参加し、本研究成果である森林景観と生物群集の同質性の観点を加味して既存報告を取りまとめた。
- ・ 平成28年に環境省が取りまとめて公表した日本の重要湿地の選定において、本研究から明らかになった湧水湿地の実態に関わる成果が生かされ選定に至った。
- ・ 「平成28年度自然再生の広域的な視点に基づく取組に関する専門家ヒアリング」において、本研究における湿地の劣化要因及び修復可能性の検討から明らかとなった知見が生かされた。

##### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・ IPBES APRAにおいて、アジアにおける生物多様性保全の政策オプションとして、生物多様性オフセットにつ



いて記述した。また炭素保全の連携について期待されるオプションとし、生態系サービス保全にかかるガバナンスオプションについても記述した。

- ・ 日本国内の環境保全オフセットにおける生物多様性オフセットでは、森林生態系においては、都道府県単位のオンサイトの設定は可能であるが、その際、普通種の保全のために島嶼部では島内のオフセットにとどめること、隣接する都道府県など地域単位の連携により実施することが重要であることを示した。
- ・ 生物多様性オフセットの定量的評価手法として、ハビタットヘクタール法を日本版に改定した手法を示した。このことにより、開発地、オフセット候補地、オフセット後の生物多様性価値のスナップショットでの定量的評価が可能である。
- ・ 草地及び湿地の生態学的特性と人為的攪乱に関わる劣化の現状から、原則として開発およびオフセットの回避対象とした上で、人為的影響等により著しく劣化した草地及び湿地については開発回避の対象外、並びに既存の科学的知見から一定の回復効果が期待できるためオフセット候補地になり得ることを提起した。この考え方は今後の自治体及び国における生物多様性保全施策の基本に寄与し得る。
- ・ ハビタットヘクタール法等の日本への応用の検討結果により、これまで提起されていなかった草地における普通種を含む生態系評価手法、並びに湿地における物理化学環境を指標とする生態系評価手法が開発された。本手法は、今後生物多様性オフセットを含む、様々な生態系評価に利用可能である。

## 6. 研究成果の主な発表状況

### (1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) T. IGARASHI, T. MASAKI T, T. NAGAIKE and H. TANAKA: Journal of Forest Research, 21, 291–299 (2016), Species richness of the understory woody vegetation in Japanese cedar plantations declines with increasing number of rotations.
- 2) M. Ooba, K. HAYASHI, T. SUZUKI and R. LI: International Journal of Environmental Rural Development, 6–2, 66–72 (2015)  
“Analysis of Urban Ecosystem Services Considering Conservation Priority”
- 3) 小山明日香、小柳知代、野田顕、西廣淳、岡部貴美子: 保全生態学研究、21, 41–49 (2016), 都市近郊に位置する孤立草地の埋土種子相に隠されたリスク: 草原性植物の残存個体群の保全に向けた課題
- 4) A. KOYAMA, T. F. KOYANAGI, M. AKASAKA, M. TAKADA and K. OKABE: Applied Vegetation Science, 20, 40–49 (2017), Combined burning and mowing for restoration of abandoned semi-natural grasslands.
- 5) A. KOYAMA, T. F. KOYANAGI, M. AKASAKA, Y. KUSUMOTO, S. HIRADATE, M. TAKADA and K. OKABE: Oryx (2017), doi: 10.1017/S0030605316001526 (online version), Partitioning the plant diversity of semi-natural grasslands across Japan.
- 6) 小山明日香、岡部貴美子: 森林総合研究所研究報告、(2017), 生物多様性オフセットによるノーネットロス達成の生態学的課題 (in press)

### (2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) 原口岳、陀安一郎: 第47回日本蜘蛛学会(2015)  
「森林における円網造網性クモのエサ資源利用に影響を及ぼす要因の検討ー  $\Delta^{14}\text{C}$  値の測定による解明ー」
- 2) 北岡哲、原口岳、長谷川元洋、滝久智、五十嵐哲也、岡部貴美子、佐藤保: 第5回関東森林学会(2015)  
「土地利用履歴の違いが、落葉広葉樹二次林における樹木の成長と窒素利用に与える影響について-茨城県北部とその周辺域の例-」
- 3) 高田雅之、三島啓雄、島村崇志: 第7回日本湿地学会大会(2015)  
「排水路敷設による高層湿原の劣化評価」
- 4) 大場真、林希一郎、伊東英幸、鈴木孝拓、長谷川泰洋: 日本生態学会第62回全国大会(2015)  
「環境保全オフセットという文脈における生態系サービスの空間的評価」
- 5) 小山明日香、小柳知代、赤坂宗光、楠本良延、平館俊太郎、高田雅之、岡部貴美子: 第63回日本生態学会(2016)  
「全国規模での種多様性保全に重要な空間スケール: 半自然草原の植物群集での検討」
- 6) 佐藤保、北岡哲、五十嵐哲也、原口岳、小山明日香、滝久智、長谷川元洋、岡部貴美子: 日本生態学会第64回全国大会(2017)  
「生物多様性オフセットに向けた生態系評価手法の提案」

- 7) 大場真,林 希一郎: 日本生態学会第64回大会 (2017)  
「セマンティックモデリングツールを用いた広域生態系サービス評価の試み」

## 7. 研究者略歴

課題代表者: 岡部 貴美子

千葉大学園芸学部卒業、博士(学術)、現在、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所生物多様性研究拠点長

研究分担者

- 1) 正木 隆  
東京大学農学部卒業、現在、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所研究企画科長
- 2) 服部 力  
京都大学農学部卒業、現在、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所森林病理研究室長
- 3) 佐藤 保  
宇都宮大学農学部卒業、現在、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所森林植生研究領域長
- 4) 長谷川 元洋  
京都大学農学部卒業、現在、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所四国支所グループ長
- 5) 滝 久智  
千葉大学園芸学部卒業、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所昆虫生態研究室主任研究員
- 6) 高田 雅之  
宇都宮大学工学部卒業、北海道立総合研究機構環境科学研究センター主任研究員、現在、法政大学人間環境学部教授
- 7) 大場 真  
弘前大学理学部卒業、東京農業大学地域環境科学部准教授、現在、国立環境研究所福島支部地球環境創成研究室室長
- 8) 久保田 泉  
学習院大学法学部卒業、現在、国立環境研究所社会環境システム研究センター環境経済・政策研究室主任研究員
- 9) 小熊 宏之  
千葉大学園芸学部卒業、地球環境人間フォーラム主任研究員等、現在、国立環境研究所環境計測研究センター環境情報解析研究室主任研究員

## 1-1401 環境保全オフセット導入のための生態系評価手法の開発

### (1) 森林生態系における生物多様性オフセット評価手法の開発

国立研究開発法人	森林総合研究所	生物多様性研究拠点	岡部 貴美子
		森林植生研究領域	正木 隆
		きのこ・微生物研究領域	服部 力

<研究協力者>

国立研究開発法人	森林総合研究所	生物多様性研究拠点	小山 明日香・原口 岳
			古川 拓哉（平成28年度）
		森林管理研究領域	松浦 俊也
		森林植生研究領域	五十嵐 哲也

平成26～28年度累計予算額：77,218千円（うち平成28年度：23,903千円）

予算額は、間接経費を含む。

#### [要旨]

国際的に生物多様性オフセットへの取り組みが重要な議題の一つとなっているが、わが国ではノーネットロスを目指す試みは具体化しておらず、技術開発も遅れていた。そこで本研究では、森林生態系における生物多様性オフセットを念頭に、オフセットの要件である「回避」「カインド」「サイト」について生態学的な視点から整理を行い、生態系の定量的評価手法の開発を行った。その結果現状では、過剰な開発、森林管理放棄、有害野生動物による過度な加害等によって劣化した森林生態系のオフセットが实际的であることを示唆した。また森林生態系の生物群集の類似性から、若齢、壮齢、老齢及び原生林の少なくとも3種のカインドに分類することができるが、これらの細分化されたカインドは遷移段階であることから、生物多様性価値の高い壮齢林や老齢林を目指したオフセットが望ましいと考えられた。サイトについては、回避や低減等を実施しても残る開発の影響は、通常見過ごされがちな普通種が最も受けやすいと考えられることから、森林性普通種について調べたところ、都道府県内の生息地が一か所（10kmメッシュ単位）しかない種が半数またはそれ以上あることがわかった。これらの種は、主に山地や島嶼部に生息したことから、基本的に島内をオンサイトとし、また山塊を共有する隣接都道府県との協働が望ましいことを明らかにした。さらに生物多様性価値を定量化するために、森林生態系の定量化手法を収集分析した結果、生物多様性における種の多様性の主な構成要素である普通種の保全のためには、オーストラリアで実施され世界的に類似の方法が実施されているハビタットヘクター法の日本への適用が望ましいと結論付け、各測定項目を改訂した。これらに実際の林分データを当てはめたところ、オフセットにおいて目標とすべき参照レベルの森林は、全国各地になるべく細やかに設定すべきことが示唆された。また森林性生物は異なるスケールで生態系の状態に反応することから、ランドスケープレベルの評価も必要であることを示した。

## [キーワード]

生物多様性オフセット、生態系機能、定量的評価、炭素、ランドスケープ

### 1. はじめに

国際的に生物多様性保全の主流化に向けた議論が進む中で、第10回生物多様性条約締約国会議では、生物多様性オフセットへの取り組みが重要な議題の一つとなった。これまでわが国では希少種や希少生態系を中心に環境アセスメント制度による保全が行われ、一定の成功を収めてきたものの、生物多様性におけるネットロスを防ぐ対策など重要な概念が含まれていなかった。このような状況の元で、日本国内の民間企業等を中心に生物多様性オフセットへの期待が高まる中、世界的には、75を超える機関の共同体であるThe Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP) が生物多様性オフセットのスタンダードをまとめるなど、様々な進展がみられる。これに対して国内では、オフセットが開発の免罪符になりかねないなどの懸念も指摘されている。このような懸念は、ノーネットロスやネットゲインを達成するための、生物多様性オフセットの必須要件の整理と、生態系の定量的評価手法の開発が遅れているためと考えられる。そこで本サブテーマでは、日本版の生物多様性オフセット実施を目的として、オフセットにおける「回避」、「インカインド（同質性）」、「オンサイト（地域）」について整理した。またノーネットロス達成のために、森林生態系の定量的評価手法の開発を目標とした。さらに、既存の生物多様性オフセット制度では必要と認識されながら取り組まれていない、生態系サービスの導入にむけて、まず炭素蓄積サービスに親和性の高い日本版生物多様性オフセットとして「環境保全オフセット」という制度の提案を目標に、森林生態系について研究に取り組むこととした。

### 2. 研究開発目的

生物多様性保全を推進する活動として環境アセスメント制度を高度化した生物多様性オフセットを実施するために、生物多様性の評価手法を開発することを目的とした。最近の研究では生物多様性の保全は炭素吸収・蓄積源の保全につながり、両者はコベネフィットを追求できると考えられている。そこで海外で既に実施されている生物多様性オフセットをさらに高度化し、カーボンにも配慮した環境保全オフセットの提案を目標とした。

具体的には、日本の森林において生物多様性オフセットを実施することを想定し、回避、サイト（地域性）、カインド（同質性）を明らかにし、評価項目の選定を行った。生物多様性オフセットは生物の群集構造や個体群の遺伝的構造及び持続性に大きな影響を与えられることから、慎重にオフセットを検討すべきである。そのため、環境保全オフセット（日本版生物多様性オフセット）における開発回避やオフセット候補地としての利用の回避について、森林生態系に関して科学的な根拠をもって示すことを目標にする。また生物多様性オフセットにおけるノーネットロスの達成のために、開発地およびオフセット地（オフセット前後を含む）を想定した、多様な生物の生息地としての森林生態系の定量的評価手法の開発を目指した。

### 3. 研究開発方法

#### (1) 日本の森林生態系での生物多様性オフセットにおける回避の整理

日本の森林における生物多様性の保全を目的とした保護地域（林野庁保護林、国立公園等）の

情報、絶滅危惧種、希少種等の情報を収集し、日本での生物多様性オフセットを想定したときオフセットが可能かどうかという視点で、回避について整理を行った。さらにオフセット手法として、特に劣化の修復を優先させるという視点から、オフセット候補地を整理した。

### (2) 日本の森林生態系での生物多様性オフセットにおけるカインドとサイトの検討

森林生態系の群集データに基づき、カインドの整理を行った。すなわち、北海道下川町、茨城県北茨城市、高知県四万十川流域の国有林内で過去に収集された生物群集を解析し、天然林と人工林や、林齢等の違いに基づく群集の類似性を検討し、追加性等の観点からインカインドあるいはアウトオブカインドであるかを議論した。

またオフセットにおけるサイト（地域性）について、森林性哺乳類、鳥類、昆虫普通種の分布情報（環境省日本の動物分布図集（2010）および図鑑等の情報）を元に分析を行った。生物多様性オフセットは、ミティゲーションヒエラルキーに基づき、回避、低減、修復の手続きを踏んでもなお残る生態系への負の影響に対処するものである。生物多様性保全においては多くの場合まず希少種保全が優先されるが、普通種に対してどのように配慮されたかについては、結果として明示されることがほとんどなく、科学的な分析も困難である。しかしながら生態系サービスの観点からも、普通種は生物多様性における種の多様性の主な構成要素であることから、オフセットで対処すべきは普通種と考えられる。一方、既存の環境アセスメント制度では普通種は記録されることもあるが、保全の対象とされないため見過ごされがちである。このことから、もしオフセットのオンサイト内に1か所しか普通種の分布がなかった場合、その種の地域絶滅を招きかねないうえに、そのことは気づかれなないかもしれない。そのような懸念から、異なるスケールのサイトを想定し、サイト内に1か所しか分布域がない普通種がどの程度存在するかを調べた。また全国同一手法で採集したカミキリムシとチョウの情報をもとに、それぞれの地域間の群集の類似性を非計量的多次元尺度法(NMS法)で比較した。

### (3) 生態系の定量的評価手法の開発

既存の文献を検索して、生態系定量的評価手法に利用可能な定量化指標を抽出した。また全く新規の評価手法を開発すべきか、既存の手法を日本版として改変することによる評価手法開発とすべきかを検討するため、既存の手法の検索を行った。その結果、定量的評価手法として近年、単位面積当たりの生態系の質に対するスコアに、開発またはオフセット実施面積をかけて得点とする方法が主流であると結論づけた。オーストラリア、ビクトリア州で使用されているハビタットヘクタール法（以下、HH法）が、①すでに利用され、改訂も進んでいること、②他のシステムでも類似の手法が使われていること、③希少種1種ではなく、普通種多種に対応できる手法であること、などの理由から、これを日本での利用のために改訂することとした。各評価項目について、HH法は、サイトの立地条件評価の項目と、サイト周辺を含むランドスケープ評価の項目とからなる。立地条件評価項目については、1項目ずつ、①目標とする生態系（参照レベル。HH法ではベンチマークとも呼ばれる）において、普通種にとって望ましいハビタットを評価しているか、②日本的な特徴を評価できるか、③定量評価できるか、④炭素についても有効か、の4つの視点から評価を行った。評価は、南阿武隈山系（北茨城およびいわき市周辺）の調査地における調査結果のほか、既存の論文情報等を基にした。なお、炭素についてはサブテーマ3にて別途記述する。また

日本各地の現地調査および既存の植生情報によって、評価項目のスコア化を行って、有用性を検証した。

さらにランドスケープレベルの検討を行うことを目的として、周辺の開発状況が、開発地ならびにオフセット地の生息地としての価値にどのような影響を及ぼすのか、定量的な解析を行った。ランドスケープに関わる状況は、評価地と連続した同一植生タイプの面積（パッチサイズ）、評価地点から100 m, 1 km, 5 km 圏における自然植生率（周辺植生）、開発回避の対象となるような、重要な生物生息場所からの距離（コアエリアからの距離）の三項目から評価される。パッチサイズおよびコアエリアからの距離については、南阿武隈山系の調査地で既存の情報があることから、これらに基づいて判断した。周辺植生の影響については、該当地域から二次林14地点を選定し、周辺ランドスケープを実際に評価した。また、冗長性分析（RDA）を利用して群集非類似度の生物相に最も強く影響を及ぼす景観スケールを分類群ごとに解析し、ランドスケープ評価範囲の妥当性について検討した。

#### 4. 結果及び考察

##### （1）日本の森林生態系における生物多様性オフセットにおける回避の整理

森林生態系について、回避の要件を表(1)-1に整理した。国立・国定公園を除き、最も面積が広く生物多様性に関わりの深い保護地域は林野庁の定める保護林で、全国30カ所、655,000haである。森林生態系保護地域を含む保護林は、開発が規制されていることから、オフセット候補地として検討する必要性もほとんど無いと考えられる。希少な森林や希少な立地は、既に環境アセスメント制度で「回避」と位置づけられ、対処されていると考えられる。現在対処できていないとする批判は、評価技術が不十分である、（開発影響の）低減・修復技術が不十分である、小面積のためアセスメントの対象にならない、などが主な原因と考えられることから、ミティゲーションヒエラルキー遵守のために、オフセット導入以前にこれらの問題を解決すべきである。

保護地域以外の面積の小さい希少な森林や生息地については開発の可能性がある、また環境アセスメント制度の対象であっても十分なアセスメントが行われていない懸念がある。小面積であっても希少な森林や立地においては、代替は技術的に不可能と考えるべきである。また開発の影響を受ける面積が小さくても、周辺を含めた生息地の連結性が失われたり、餌源として単木に頼る可能性のある昆虫などの小動物の重要な生息地が失われたりするおそれがある。野生生物の食用木は重要ではあるものの、「回避」とまではしなかった。その理由は、開発地における影響の低減や修復で保全が可能と期待できることと、オフセット地において追加性の実行として補植等で対応できる可能性があると考えたことによる。また生息地の連結性確保の観点からは、開発地の植生の状態等よりも、生態系の位置そのものが重要であるため、オフセットによって生息地代替地を確保しても対処できない可能性が高い。従って表(1)-1に示すように、開発地内に「希少な森林」「希少な立地」「希少種の生息地」「コリドー」とされる生態系があれば、たとえ小面積でもそのような生態系は開発回避とし、その部分を避けた開発計画とすべきである。一方、小面積の希少種生息地や、（面積の大小にかかわらず）コリドーが劣化している場合、オフセット実施の候補地として活用すべきである。劣化した希少な森林や希少種の生息地をオフセット実施地とすることも考えられるが、現時点では技術が確立しているとはいえ、開発実施者の責任の下で行うオフセットには最適とはいえない。このような生態系は、行政や専門家が主導する自然再

生事業などのその他の制度で取り組むべきと考える。

表(1)-1 森林生態系における「回避」の整理。回避は開発地・オフセット候補地としての利用ともに「すべきでない」ことを、可能は「検討できる」ことを示す。

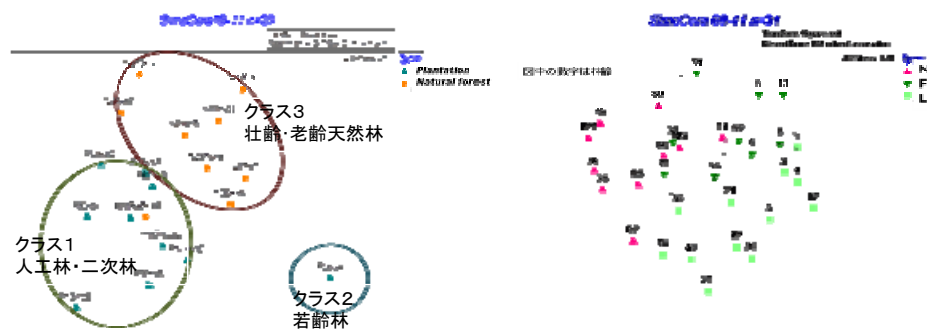
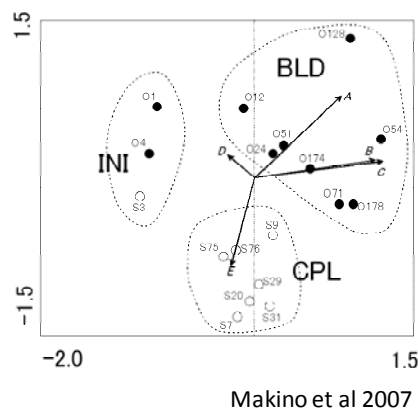
回避の要件	開発	オフセット候補地
希少な森林（老齢林、天然溪畔林、マングローブ林等） *オフセットの成功が難しいため“自然再生事業”などの取り組みが望ましい	回避	回避
希少な立地（蛇紋岩、湿地林等） *オフセットの成功が難しいため“自然再生事業”などの取り組みが望ましい	回避	回避
希少種の生息地（老齢や大径木を含む） *オフセットは補植等を含めた生息地修復で対応すべき	回避	（劣化していれば）可能
コリドー（生息地の連結性を確保する生態系） *オフセットはランドスケープレベルの森林配置で対応	回避	（劣化していれば）可能
劣化した森林	可能	可能

さらにオフセット候補地の整理を現地調査及び文献によって行った。開発によるネットロスを無くすために、オフセット地ではネットゲインを確保する必要がある。この考え方からオフセット候補地は、現時点では劣化生態系が適当と考え、可能な生態系の抽出を行った。具体的には、1) シカ等の食害によって劣化した森林（分布が拡大しており生物多様性の劣化が報告されている：Ohashi, 2014）、2) 管理が放棄された人工林（現地調査により再造林されない人工林も管理放棄とすべき可能性が示唆された）、3) 森林以外（ゴルフ場、スキー場など）に開発された元森林生態系（スキー場は1990年代に急増し、2000年代の利用率は低下している：Kureha, 2008）などが候補地と考えられた。しかしながらそれぞれの土地は、税制度などによって土地利用に対する制限がある場合があり、土地利用転換に当たっては、管轄部署との調整が必要と考える。特に3)において、耕作放棄地が農地である場合、天然林への誘導は選択肢の一つであるものの、土地利用転換が可能であるかだけでなく、土地所有者のインセンティブを高める工夫（オフセット期間中の納税免除など）も必要と考える。

## （2）日本の森林生態系での生物多様性オフセットにおけるカインドとサイトの検討

既存の生物情報の解析により、森林に生息する生物群集の同質性を多変量解析による類似性によって示した。北海道（下川町）、関東（南阿武隈山系の北茨城地域）、四国（高知県四万十川流域）の異なる地域で、若齢、壮齢の人工林および天然林の生物群集解析結果を比較したところ、樹木を幼虫の餌とするカミキリムシの例で代表されるように、どの地域でも若齢林、壮齢人工林、壮齢～老齢天然林の3タイプの群集が検出できた（図(1)-2）。この3タイプの群集は、本課題によるさらなる解析の結果、茨城県北部の森林の下層植生、ハナバチ、ガ、寄生蜂、地表徘徊性昆

虫、菌食性ダニ類、木材腐朽菌にも認められた。このことから森林性生物群集は質的に大きく3タイプに分類されることが示唆された(図(1)-1)。この中で人工林の生物群集は、群集中の種が一部欠けるという劣化によって、特徴づけられることがわかった。従って生態学的には、若齢天然林、壮齢天然林、老齢天然林それぞれは同質ではないとみなせる。しかしオフセットにおいて若齢、壮齢、老齢天然林をアウトオブカインドとすると、若齢林の開発は若齢林のみでオフセット可能となり、生物群集はわずか10年程度しか維持できない。しかしながら生物群集の群集構造変化を比較すると、若齢林、壮齢林、天然林は、連続した緩やかな変化をしていることが分かっている(岡部ら, 2014)。また若齢林群集は草原群集に類似すると予想されることから、壮齢林群集を人工林の伐採による二次林化でオフセットしようとする、まず若齢林群集が出現し、その後20~40年程度は壮齢林群集が得られないと推測され、オフセット完了に非常に長い期間を要する。これらのことから、森林生物群集の同質性には地域にかかわらず遷移段階によって異なるという一般性があるが、遷移段階や林齢等で細分化することはオフセット実施に適合しないと考える。老齢林・原生林をオフセットにおける参照レベルと考えることで、森林生態系をインカインドとすべきである。



公害一括報告書(2014)より

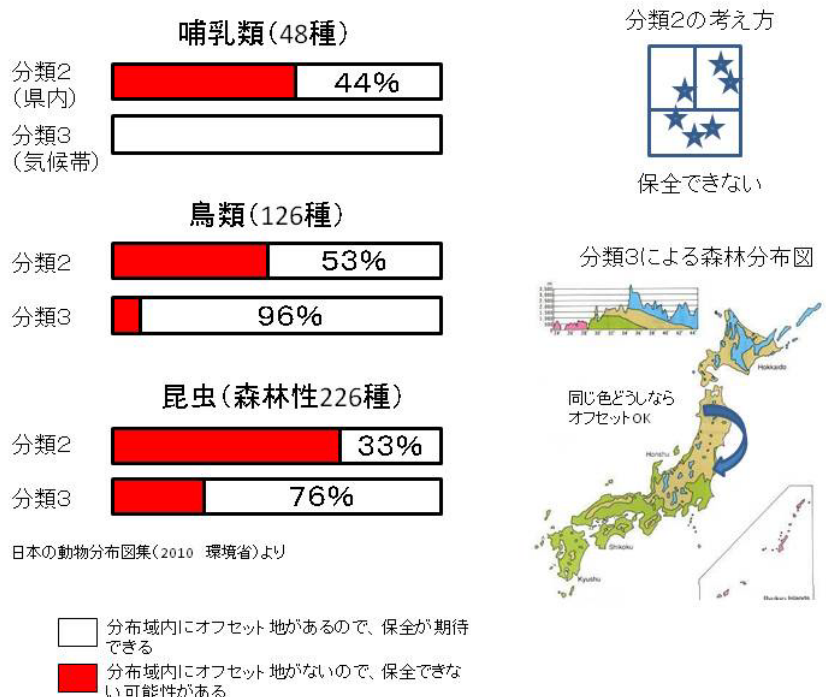
図(1)-1 カミキリムシの群集構造からみた生態系の同質性の分類。異なる地域でも森林の生物群集は、若齢林群集、壮齢人工林群集、壮齢~老齢天然林群集に区別できた。

さらに生物の分布からオフセットにおけるサイト(地域)について検討した。生物多様性オフセットでは、サイトを定める方法と定めない方法がある。バンキングや開発に応じた支払いを求める場合は后者であり、保全の優先順位からオフセット地を選ぶことや、開発の程度に合わせた金額の支払いをするなどの選択肢が考えられる。しかし一般に、開発者が開発時のアセスメント



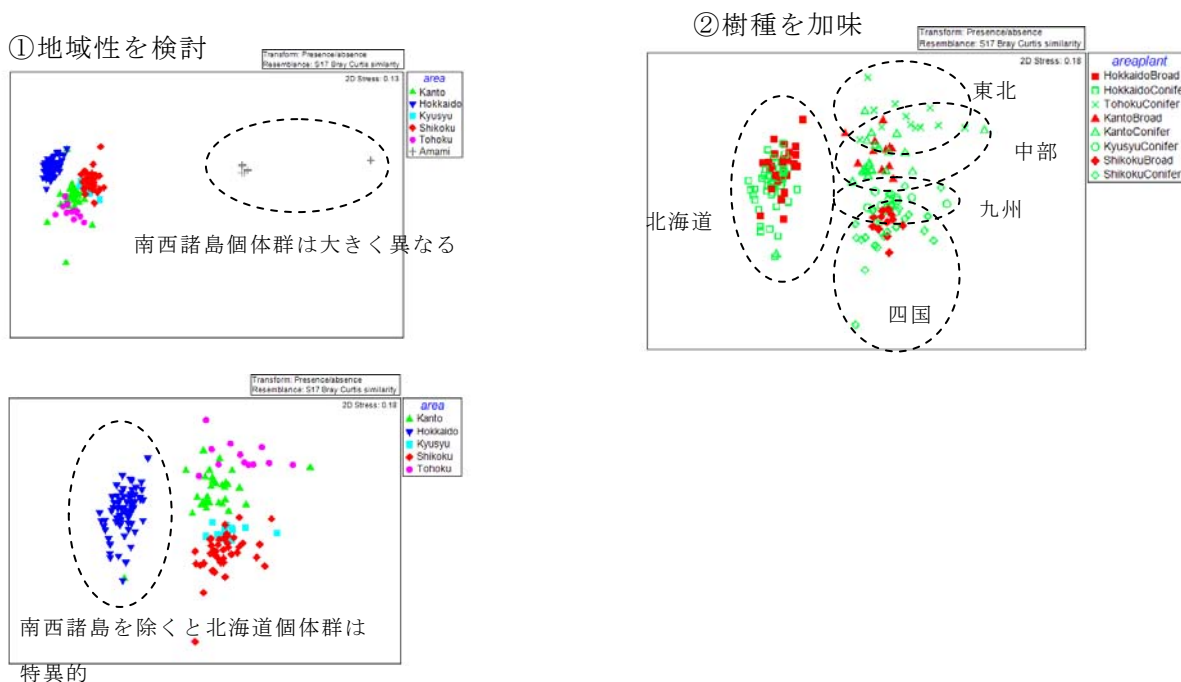
に応じてオフセットを実施する場合は、ノーネットロスの評価が可能なサイトで実施される。すなわち同質の生態系（インカインド）あることと、群集構造が類似であることをもってオンサイトとし、オンサイト内でのオフセットを有効とする。日本で環境保全オフセットを環境アセスメント制度の下で行うと想定すると、サイトは自治体単位になる可能性が高いと予想される。またサイトにおいて生態学的に確認すべきは、樹種が類似した（例えば優占種が同じ等）森林同士というだけでなく、群集構造も類似性していることである。そこでオンサイトの分類を、分類1：開発地内または隣接地、分類2：同一都道府県内（行政単位）、分類3：同一タイプの森林分布域内（生態学的に見た広域の単位。ここでは亜寒帯、冷温帯、暖温帯、亜熱帯とした）、分類4：オンサイトを決定しない、の4種とし、分類2と3について森林性普通種（ほ乳類と昆虫）の分布域（環境省：日本動物分布図集、2010）から、オフセットの可能性を検討した。

その結果、都道府県内には1地点（10kmメッシュにおける1メッシュのみであることを指す）しか生息地がない生物（図の赤のバーで表示）が、ほぼ半数かそれ以上であることがわかった（図(1)-2）。このような種の出現と、都道府県の面積との間に相関はなかった（スピアマンの順位相関解析  $p>0.05$ ）。環境アセスメント制度では、生息種調査をするものの回避、低減や修復の対象が絶滅危惧種や希少種に限られがちのため、普通種は全く調査されないか、保全が検討されない。すなわち分類2では、多くの普通種の地域的生息地が失われ、しかもそのことに気づかれないことが示唆された。オンサイトを同一気候帯内にまで拡大すると、この懸念はかなり解消される。しかしながら生物群集の類似性は、生息地間の距離に強く影響されることから、青森県の冷温帯林のオフセットを岐阜県の冷温帯林で実施することが、必ずしも適当とは言えない。これら分類3で保全ができないほ乳類、昆虫などの生物は、主に島嶼部などに生息する生物だった。従って厳格なオンサイトは開発地内または隣接する地域であり、オンサイトの範囲を拡大する時に特に注意すべきは、特に島嶼部に顕著に見られる地理的隔離であった。また同様に山地林も同



図(1)-2 地域分類と生物保全の可能性

またカミキリムシの在不在データを用いて、北海道から沖縄までの群集構造の類似度を解析したところ、南西諸島群集は著しく他地域と異なることがわかった(図(1)-3)。南西諸島を除くと北海道、東北、のような地方ごとの類似性が認められた。また地域群集は連続的な変化を示したことから、群集の類似度に与える影響は植生による影響よりも、地理的影響の方が大きいと予想された。一方、チョウでも同様の解析(ただし、南西諸島は除く)を行ったところ、地域群集は分離されなかった。生物多様性保全は、生息地としての植生と比較的調査しやすい鳥などの限定された生物群で議論され決定されやすく、昆虫のように個体数が多く調査しにくい生物は見過ぎされやすい。しかし実際の採集データによる解析によって、昆虫についても、概ね都道府県単位のオンサイトで差し支えないことが明らかとなった。これらの結果から、島嶼部では島外をアウトサイトとし、生物多様性保全のための国土区分(試案：環境省)内および隣接県と連携した、都道府県単位のオフセットが妥当と考えられる。



図(1)-3 NMSによる日本全国のカミキリムシ組成の座標付け。②の赤は天然林、緑は人工林群集を示す。

(3) 生態系の定量的評価手法の開発

森林生態系に関しては、1992年以降、各地に持続可能な森林管理のための国際的なワーキンググループが結成された。日本は、環太平洋の亜寒帯・温帯林を有する諸国とモンリオールプロセスというワーキンググループで、順応的管理手法開発のためのモニタリングを実施している。このことにより、森林の生物多様性に関しては多くの定量的評価指標が提案されている(表(1)-2)。これらについて日本の森林生態系の評価指標としての妥当性を検討した。

表(1)-2 持続可能な森林管理のための生物多様性保全にかかる指標

指標	解説
面積	生物多様性保全においては、生態系を細分化する。従って生物群集が異なる若齢、壮齢、老齢・原生林それぞれを別の生態系として、面積を算出して評価する。HH法では生態系を細分化する際は、それぞれにベンチマークと呼ばれる参照レベルを設定する。ベンチマークとの比較によって開発またはオフセットを実施する林分の状態を評価し、それを面積によって積分してスコア化する（DSE, 2004）。面積は分断化とも関連し、周辺が非森林という状況下で面積が小さい場合は、林内の非生物的環境（湿度など）の指標にもなる。
遷移段階または林齢	林齢または遷移段階によって、群集構造が変化することが明らかになっている。その要因としては、攪乱後の時間（安定期間）、食草の多様性、林内の非生物的環境（光、温度変化、湿度など）、林分構造の変化（ニッチェの増減など）、生物間相互作用などが予想されている。日本の森林は森林簿が比較的よく評価されていることから、林齢を指標に利用することが可能である。しかし生態学的には、林齢よりも胸高直径や胸高断面面積などの林分構造と群集組成との相関が高いので、それらを利用したほうが良い。
分断化	ランドスケープレベルでは、生物多様性のソースとなる老齢林や原生林からの距離によって定量化可能。
在来種	在来種をすべて調査、検出できないため、分類群を絞ったり、指標生物を決めたりして指標とする。環境アセスメントでは絶滅危惧種や希少種が対象となるが、生物多様性オフセットは負の影響に可能な限り対処した後に残る影響をオフセットすることから、むしろ対象は普通種となると考えられる。そのことから、種数や種を確認することは重要だが、種数を数えること自体はあまり重要ではない。群集構造は指標となりうるが、利用に際して専門性が必要である。
希少種	上述の理由から生物多様性オフセットでは、評価しないことも考えられる。
生物的更新阻害	国内外では、主に病虫獣害が該当する。HH法では外来植物が重要な更新阻害要因と位置付けられている。
非生物的攪乱	火事、台風、土壌の流亡などが該当するが、日本の森林の多くでは頻度が低い。従って攪乱を指標とするよりも、更新状態を指標とし、更新阻害要因に気象害も含まれるという理解が妥当と考えられる。
更新にかかる土壌の健全性	鉱山開発跡地などをオフセット地とする場合には、重要な指標となる。しかし日本の森林が成立している場所では、汚染は考えにくいことから、HH法同様にリターの状態を評価すべきと考えられる。汚染対策をオフセットとする場合は、更新状態を指標とすることで代替可能である。

引用：岡部・小川(2011)、Montreal Process (2016)。

これらの指標は、既にHEP（ハビタット評価手続き）やHH法などの評価手法が採用していた。そこで両手法を表(1)-3に示すとおり、比較検討した。その結果、HEP法は既に国内で利用されているものの、特定の種のハビタットの修復が主たる目的であることから、多様な普通種に対応させるためには、該当地域の指標種を選出して評価に利用する必要があると考えられた。しかし森林の生物多様性を1～10種で代替することは困難と考えられており（岡部・小川, 2011）、普通種への対応と難易度（専門性含む）の観点から、HH法が生物多様性オフセットにおける評価に相当であると考えられた。これらの検討結果から、HH法の日本版への修正を試みた。

表(1)-3 生物多様性オフセットへの利用におけるHH法とHEP法の比較

検討の視点	ハビタットヘクター法	HEP法
既存事例との共有性	海外の既存のオフセット手法では類似の手法が用いられる	環境アセスメント学会で推奨している
検証事例	国内にはないが、海外で実施	国内の事例がある
普通種への対応	対応できる	普通種の対象種とすることは可能だが、種ごとに生息環境を評価するため、複数種の総合評価やトレードオフに対処しづらい
難易度やコスト	平易で低コスト	対象種の選定を含め、専門性が必要

HEP法については、環境アセスメント学会（2013）から主に検討。

表(1)-4ハビタットヘクター法の日本版に向けての改訂

	既存の項目	日本版の項目	追加・修正内容
立地条件評価	大径木（個体数と健全度）	大径木（個体数）	“大径”のサイズを樹洞のできる直径30cm以上とする。炭素評価にも利用。
	林冠（被覆率と健全度）	林冠被覆率	健全度を除く。
	林床植生（生活型の数）	林床植生（種数・種組成など）	元のバージョンではここで階層構造を評価するが、種の評価に変更。
	国内外来種を含む外来種（被度）	更新阻害要因（ササなどの更新阻害植生、シカによる食害）	外来種から日本特有の更新阻害要因に変更。
	更新（更新の有無と多様性）	更新（更新の有無と階層構造）	若木（下層植生より大きく、林冠木に達しないサイズの個体）の種数と密度、階層ごとの被度で判定。
	リター（被覆率と在来種リターの割合）	リター（被覆率）	被覆率については斜度の影響を念頭に置く。
	倒木・落枝（長さ・大型の有無）	枯死立木・倒木・落枝（サイズ、分解度）	太さのランクを10cm程度に設定し、枯死立木を含めて、炭素評価にも利用。
ランドスケープ評価	パッチ（サイズと攪乱レベル）	同左	攪乱レベルは植生自然度を使用。オフセット技術として利用。
	周辺植生（在来種量と攪乱レベル）	周辺植生（植生タイプの類似性と攪乱のレベル）	攪乱レベルは植生自然度をしよう。オフセット技術として利用。

	コアエリア（距離と攪乱レベル）	同左	オフセット技術として利用。
--	-----------------	----	---------------

立地条件評価における各評価項目の日本版への改訂（表(1)-1）は、以下の検討によった。

#### 「大径木」

大径木はDSE(2004)によれば、各地でベンチマーク（参照レベルの森林）に基づき閾値とする胸高直径を決定する。大径木は必ずしも定量的に定義されていないが、しばしば胸高直径50cm以上とされる（例：森林総合研究所，2016）。一方で環境省「生物多様性分野の環境影響評価技術（II）」などでは、生物の生息場所としての樹洞ができる木を大径木としていることから、樹洞のできる木のサイズを文献ベースで探索した。その結果、胸高直径30cmを閾値とした（松岡ら，2016）。胸高直径は炭素の現存蓄積量の算出にも有用であることから、胸高直径30cm以上の樹木について調査すべきとした。また原生林を参照レベルとする場合、(1)で示したように劣化した人工林や開発地の二次林化では、オフセットの成功の判定までに長期間を要し、オフセットに要する時間の長さが極めて大きなコストになると懸念される。そのため、里山の二次林を参照レベルとすることも想定するが、その場合は、参照レベルに胸高直径50cm以上の大径木が極めて少ないかもしれない。これらのことから、胸高直径を低めに設定することは有意義であると考えられる。ただし、50cm以上の樹木は生物生息地としての重要性がより高いと考えられることから、加点の対象とすることを検討すべきである。

#### 「林冠」

オーストラリアではこれまで森林分野で、樹冠の形状と森林の健全性評価について様々な研究蓄積がある（Stone et al., 2008など）一方で、日本ではほとんど検討されてこなかった。日本のように樹木の多様性の高い森林では、林冠のアセスメントによって森林の健全度を評価することは困難である（森林総研において、2003年に検討済み）。このことから、被覆率のみの評価とした。健全性は更新阻害要因などで評価することが可能と考えられる。

#### 「林床植生」

ビクトリア州で用いる林床植生とは、植物の生活型の数や状態を指すことから、更新状態の評価という要素も含んでいる。日本では、植物の生活型の多様性と植物以外の生物の多様性との関係が不明である。これらのことから生活型を削除し、種数や種組成などの基本的な情報を得て、参照レベルと比較評価する項目が必要である。このことは希少種等の発見にも寄与する上、種の多様性の劣化の判別を可能にし、オフセット手法として補植や移植などの計画にも利用できる。これらのことから、「林床植生」という項目を残し、内容を林床植生における種数、種組成とすべきと考える。

#### 「外来種」

ビクトリア州では、外来植物を更新阻害要因として評価している。日本でも外来植物は、開発などの攪乱を受けた地域では更新阻害の要因となるものの、現状ではその影響は小さい。代わりに、ササやタケなどの更新阻害要因は無視することができない（Abe et al., 2004など）。また近年はシカによる食害が、大きな更新阻害要因となっている（Takatsuki, 2009など）。マツ林更新におけるマツノマダラカミキリとマツノザイセンチュウの分布や、重要な病害虫の分布についても

評価すべきである。オフセット手法として、このような更新阻害要因への対処が考えられる。

#### 「更新」

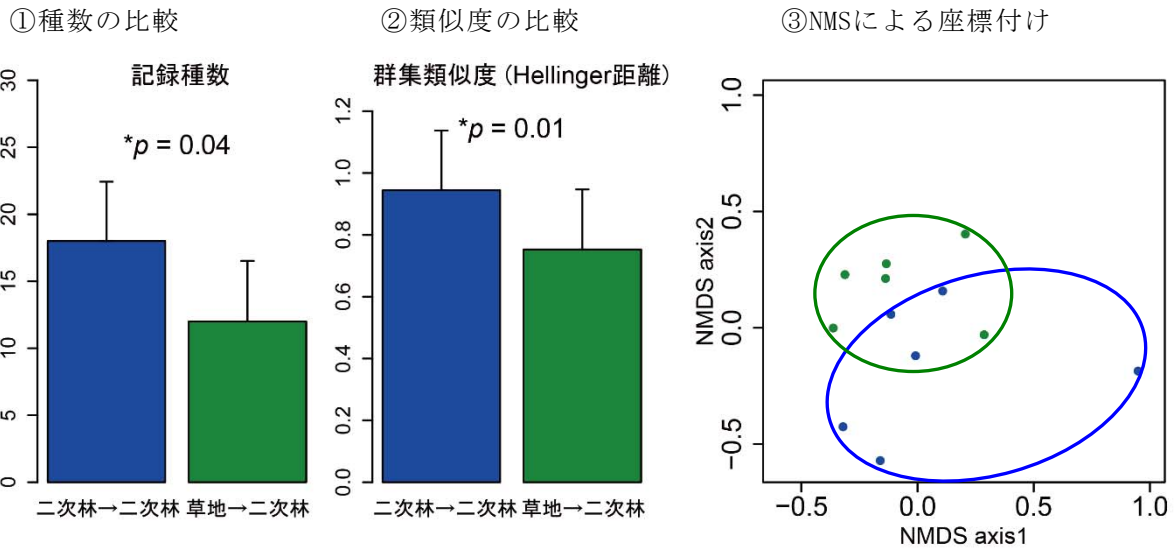
HH法では、「適切な種が更新していること」を評価することを目的としており、参照レベルの種があることを適切としている。日本でも同様の評価は可能である。まずはサイトの現状の評価を行うことで、汚染等の外部の影響や周辺の生物多様性のソースの状況について、概観することが可能になると考える。また更新では階層構造を評価すること（該当林分の上層木が消失していないか等）を調べることも必要である。またで、最近の更新状況から将来の更新の予測までを可能にできると考える。さらに階層構造は、生物多様性の重要な指標となることから、更新にかかる測定項目とすべきである。

#### 「リター」

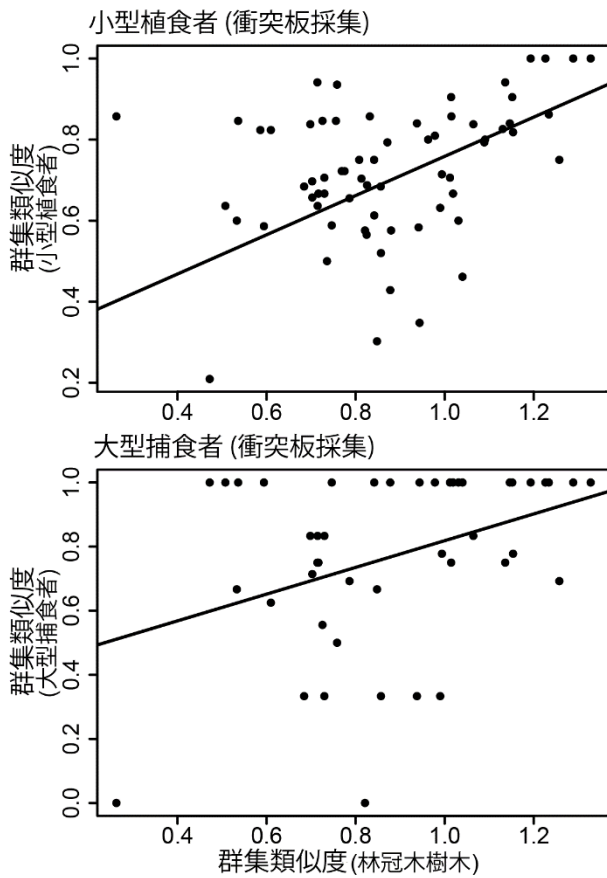
リターの状態は、林内の土壌条件の調査に比べて容易であり、かつ間接的に土壌条件（養分状態など）を示すことができることから有用な指標である。またリターの質よりも量が、土壌動物の多様性により強く相関することが明らかになっていること、および日本では外国産外来樹種からなる人工林も天然更新した森林もほとんどないことから、リター量調査の対象を在来樹種に限定しないこととした。また日本で注意すべき点は、斜度とリター量の関係である。斜度が大きい場合は当然リター量が少なくなるが、一方で、多雪山地にみられる雪崩低木林のように急傾斜が特徴づける可能性のある森林生態系もある。このことから、リター量を過度に評価することなく、参照レベルの林分にこのような生態系を含めて評価しておくことが必要であると考えられた。

さらに改訂した項目の検証を目的として、二次林皆伐後に二次林へと遷移した林分を参照レベルと位置づけ、草地から二次林に誘導された森林をオフセット後と想定して、群集構造を比較した。その結果、オフセット後の森林と想定される元採草地の二次林では、伐採後に成立した二次林と比較して、限られた樹種のみが記録された ( $T_{10} = 2.3$ ,  $p = 0.04$ , 図(1)-4-①)。また、調査地間の林冠木樹木の群集類似度（胸高断面積合計の相対値を基にしたHellinger 距離による）からは、元採草地の二次林と伐採後の二次林に、群集の有意な相違は見られなかった（permutation ANOVA,  $F_{m, 1, 10} = 1.7$ ,  $p = 0.07$ ）。一方、非類似度の平均値は伐採後の二次林において有意に大きかった ( $T_{28} = 2.7$ ,  $p = 0.01$ , 図(1)-4-②)、元採草地の二次林に成立する樹木群集中の種組成が単純化し、かつ一様化していることを示している。このことから、オフセット技術として、種数増加にかかる手法の開発が必要であることが明らかとなった。

植物群集の構造が他の生物群集に与える波及効果について、植物群集の類似度と、二次林内で採集された様々な昆虫類の類似度の相関関係によって解析した。その結果、衝突板トラップで採集された小型の植食者および大型捕食者と樹木群集の間に類似度の正相関があることが明らかになった（図(1)-5）。このことは、同一地域内におけるオフセット対象地点において異なる機能を示す昆虫群集の復元を目指す場合、目標とする生態系に類似した植物群集を復元することが有効であることを示唆する。これらの結果から、過去大規模な土地利用改変があった土地をオフセット地とする際、食物連鎖によって植物の種多様性が低下する可能性が示唆された。しかしながら現時点では隣接植生の影響が明確になっていないことから、今後、生物群集の回復と周辺生態系との関係を明らかにする必要がある。



図(1)-4. 履歴の異なる森林間の林冠木樹木群集の比較



図(1)-5. 林冠木樹木の群集類似度と相関が見られた昆虫群集

さらにHH法のランドスケープ評価について検討した。表(1)-5にオーストラリアの評価手法と配点を示した。パッチサイズとは、生態系評価を行うべき生態系(ここでは開発地またはオフセット候補地)における自然植生の面積 (ha) を指す。面積によって表の通り配点する。周辺植生では、周囲100m、1km、5kmの自然植生の割合を求め、配点する。たとえば半径100m内の自然植生の割合が100%であれば、5点が配点されるが、50%であれば2.5点とすることができる。HH法ではこのような基準点に、地域ごとの指標に基づく劣化評価によって重みづけすることを推奨している。たとえば、周辺の植生の自然度が環境省による自然環境保全基礎調査・植生自然度調査の5程度であれば、自然度9、10の場合の6割の得点にする、などの措置が可能である。各半径内の得点を足し合わせて、合計点を周辺植生の得点とする。コアエリアからの距離は、自然植生までの距離を求めて配点する。このようなランドスケープ評価は、周辺植生から生物多様性のソースとなる生物がどれくらい移入する可能性があるかを示すことでもあり、オフセット手法選択の根拠とも、オフセット成功の将来予測の根拠ともなりうる。すなわち周辺に供給減がない場合は、植栽などが主なオフセット手法になるなどの選択を可能にする。一方で、例えばパッチサイズが小さいことはパッチ内の遺伝的多様性が不十分と予想され、絶滅の危機が極めて高くオフセット成功率を下げると考えられものの、オーストラリアの評価法を用いると5km以内に原生林があれば、パッチサイズの負の影響が相殺されることがある。このことの正当性の検証が、地域ごとに必要である。

これらのことを念頭に実際に、北茨城市内の広域の植生データが存在する森林地帯でランドスケープ評価を実施した。実際にはパッチサイズは開発候補地とオフセット候補地で測定するが、本試みでは測定場所は二次林であった。パッチサイズとコアエリアまでの距離の配点は、オーストラリアのHH法の通りとした。コアエリアは、環境省による自然環境保全基礎調査・植生自然度調査の自然度9、10の生態系と定義した。また周辺植生については、日本ではオーストラリアと異なり森林率が高いことから、100m以内の周辺植生の得点を倍にする必要はないと考え、配点をいくつか変えた結果、100m以内を3点、1km以内を4点、5km以内を3点とすることが適当と考えられたので、表(1)-6にはこの結果を示した。これをらの配点を実際の林分に当てはめた結果、調査地域では日本版の配点による周辺植生による評価が、最もよく周辺のランドスケープの違いを評価できた(表(1)-6)。

またオフセット後の完了評価を想定した場合、たとえば図(1)-6に示すように、オフセット実施者はサイトAでオフセットを実施したと仮定すると、サイトAでもオフセットが立地条件評価によって、満足できるオフセットの成果が得られたと評価されたとしても、実施者の所有地あるいは管理下でない同一ランドスケープ内で、コアエリアが消失したり、周辺の土地利用変化が起こってパッチサイズが縮小したりすることがありうる。このことを実施者の責任とすることはできないことから、ランドスケープの評価スコアは、むしろ、オフセット手法の検討等に利用されるべきであり、生態学的に見て、評価配点に含めることは困難である。一方でこのようなランドスケープ効果は、オフセット実施を考える上でランドスケープレベルの事前の検討、例えば生物多様性地域連携促進法や、自治体レベルの生物多様性戦略などの重要性を示唆している。



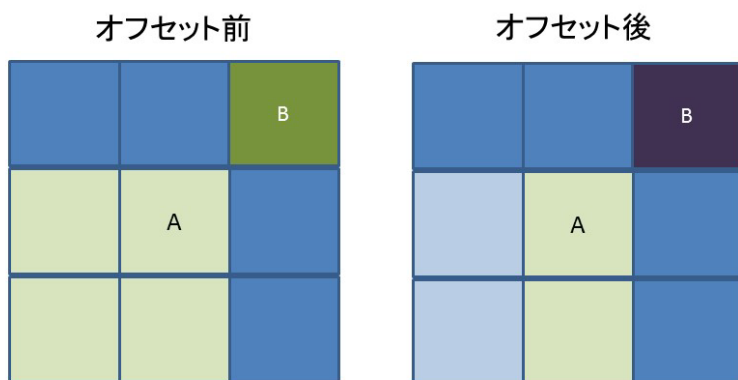
表(1)-5. ハビタットヘクタール法によるランドスケープ評価の配点

パッチサイズ	
2ha未満	1点
2ha以上5ha未満	2点
5ha以上10ha未満	4点
10ha以上20ha未満	6点
20ha以上だが著しく劣化している	8点
20ha以上の自然植生	10点
周辺植生	
半径100m	5点
半径1km	2.5点
半径5km	5点
コアエリアまでの距離	
5km以上	0点
1km以上5km未満	2点
1km未満	4点
連続している	5点

表(1)-6. ハビタットヘクタール法にもとづく14調査地のランドスケープ評価

林小班名	調査地名	パッチサイズ※1	周辺植生※2				コアエリアからの距離※3	合計 得点
			100 m 自然植生 (面積%)	1 km 自然植生 (面積%)	5 km 自然植生 (面積%)	得点		
	P:採草地利用地 R:更新二次林						(0~25)	
1003ne	R2	10	80	60	40	6	4	20
1005ka	P6	10	100	40	40	6	2	18
98to3	R3	10	60	40	40	5	2	17
98chi3	P2	10	80	40	40	5	2	17
84no	R8	10	80	40	40	5	2	17
1036wa	R6	10	100	20	20	4	2	16
1038ri	R7	10	80	20	20	4	2	16
362re2	P1	10	60	20	20	3	2	15
83tsu	P5	10	60	40	40	5	0	15
80ru1	R1	10	40	40	40	4	0	14
272chi	R4	10	40	40	40	4	0	14
80ru2	P4	10	80	20	40	4	0	14
1032i	R5	2	60	20	20	3	0	5
1048o	P3	2	40	20	20	3	0	5

※1 対象地より半径1km内の自然植生について、調査地点と連続している一帯の面積  
 ※2 自然植生率は0-100%の20%単位、最も近い値の評価値とする  
 自然植生率×重み付け係数を総和して自然植生の得点とする。  
 "顕著な攪乱"状態にある場合は2を除する  
 ※3 自然度9または10に分類される50ha以上の植生をコアエリアと定義



図(1)-6. オフセット実施前後のランドスケープの模式図。Aがオフセット地、Bがコアエリアを示す。また同色の方形は同一カテゴリーの植生であることを示す。

表(1)-7. 天然林率と生物相に対応が見られた景観スケール

	100 m	180 m	320 m	560 m	1000 m	5000 m
カリバチ	*					
硬質菌			**	*		
植物上クモ			*	*		
地表クモ			*			*
トビムシ			*	**	*	***
ハムシ				*	*	**
樹木種					*	NA

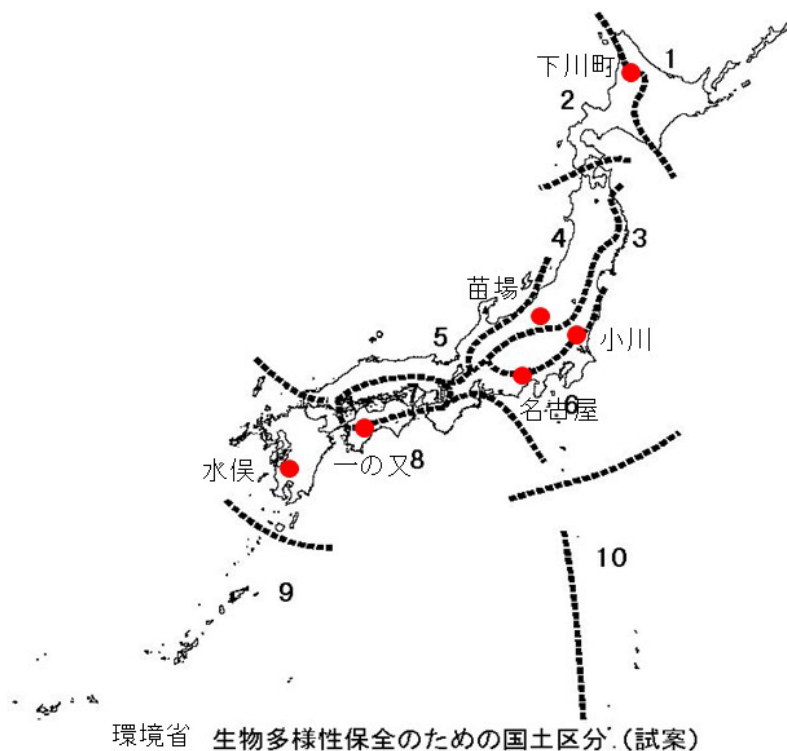
\* &lt; .05, \*\* &lt; .01, \*\*\* &lt; .001

続いて、南阿武隈山系の20-36年生二次林14地点における毎木調査と節足動物の採集調査を利用して、周囲100 mから5000 m圏の植生に基づく評価が、各分類群の生物相に最も強く影響を及ぼすスケールを解析した。その結果、生物群集を決定するスケールが分類群によって大きく異なる事が明らかになった。100 m圏の隣接地スケールはカリバチに、1000 m以内の中程度のスケールは硬質菌やクモに、5000 m以内の広域スケールはトビムシやハムシに強く影響を与えていた（表(1)-7）。一方、チョウ・ハナバチ・セミ・カミキリでは周辺植生が群集におよぼす影響が検出されなかった。これらのことから、既存のHH法における100 m, 1000 m, 5000 m圏の周辺植生を均等に評価する手法が適当であると判断した。調査対象に基づき周辺植生の調査範囲を小さく設定すると、今回は調査していない鳥類など、行動圏の広い分類群にとって十分ではない可能性がある。そこで、5000 m圏を調査範囲とすることは最小要件であると考えられた。また本研究による調査作業量から、オフセットに必要なランドスケープ評価に関わる作業量は、開発面積1km四方あたり15~25人日であると見積った。

さらに、改訂した立地条件評価項目を用いて各地の参照レベルの森林生態系を評価し、実用性について検討した。参照レベルの選出に当たっては、環境省の「生物多様性保全のための国土区分(試案)」に基づいて、可能な限り多くの区分から老齢~原生林の情報が得られる場所を探索した。そしてこれらの参照レベルの森林情報から、立地条件評価の項目を抽出した（図(1)-7、表(1)-8）。HH法における立地評価において、ビクトリア州では大径木、林冠、下層植生、外来種、更新、リター、倒木・落枝の最高得点をそれぞれ、10、5、25、15、10、5、5点とし、立地条件の最高得点を75点とする。また州内に28のエコリージョンを設定し、エコリージョンごとに参照レベルの生態系であるベンチマークを設定する。このベンチマークが各項目の最高得点となり、ベンチマークの状態に劣る度合いで各サイトに配点する。日本版HH法でも、単位当たりのスコア×面積で総合点を算出する方式を想定し、改訂した項目に基づき、各地の現地調査結果を用いてサイ

トにおける実数値を示した。

その結果、多くのサイトで林冠被覆度の状態や、リター量の情報は得られなかった。これら以外のスコアを比較したところ、サイト間の数値が大きくばらつく項目（例えば、大径木）が認められた。このことから、参照レベルはできる限り多くの地域で収集すべきであることが明らかとなった。たとえば、都道府県単位のオフセットを実施する場合は、少なくともその行政単位ごとの参照レベルが必要である。



図(1)-7 表(1)-7において北海道～九州各地域における参照レベルのスコアを試算した地域

表(1)－8. 北海道～九州各地域における参照レベルの森林の状態

評価項目	下川町	カヌマ沢	小川	苗場 (保残伐)	名古屋	市ノ又	水保・大口・ 高岡
大径木(本)	200	100	190	70	270	310	160
林冠被覆(%)	NA	NA	90	NA	50	60	80
林床植生(亜高木)	NA	NA	NA	NA	17.8	27	NA
(低木)	29	6.3	14.6	0.8	6<	43	18.7
(つる植物)	7	1.7	4	2.8	2<	5	5.7
(シダ植物)	9	3.8	1.7	6.4	NA	5	4
(その他草本)	18	6.1	6	6.4	NA	7	4.3
(実生)	17	9.4	2.4	10.8	22.5	31	1.7
更新阻害植物(%)	30	1>	10>	50	10>	1>	1>
更新(%)	30	20	10	60	40	20	20
リター(%)	NA	NA	90	NA	80	NA	80

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

- ・ 生態系を生物多様性オフセットの視点から評価することにより、生物群集における地域性は特に日本のような山塊が顕著な島国では、通常移動性の指標となる体サイズ等よりも地形などの地理条件の方が重要である可能性が明らかとなった。
- ・ これまで森林生物の群集構造はどの地域においても森林タイプごとに異なることが明らかにされてきているが、本成果によって国レベルでの植生以外の生物群集の地域的な構造の類似性が明らかになった。
- ・ 樹木、腐朽菌類、昆虫、土壌動物、クモ類などの様々な分類群を同一サイトで収集・分析することにより、生物群ごとに群集構造が周辺植生に反応するスケールが異なることを定量的に明示した。
- ・ 森林の生物多様性と植生との関係について、これまで明らかになっていなかった林分構造との関係を、群葉高多様度を用いることで明らかにした(共同のため、サブテーマ3に記載)。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

- ・ 林野庁・森林整備保全事業費用対効果分析手法検討会における森林の便益の定量化について、

本課題による生態系サービスの経済評価の結果を利用して評価手法のアドバイスをを行った。

- ・ IPBES Deliverable 3(a): Thematic assessment of pollinators, pollination and food production にLeading Authorとして参加し、本研究成果である森林景観と生物群集の同質性の観点を加味して既存報告を取りまとめた。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・ IPBES APRA において、アジアにおける生物多様性保全の政策オプションとして、生物多様性オフセットについて記述した。また炭素保全の連携についても、期待されるオプションとして記述した。生態系サービスを配慮することも検討した。
- ・ 日本国内の環境保全オフセットにおける生物多様性オフセットでは、森林生態系においては、都道府県単位のオンサイトの設定は可能であるが、その際、普通種の保全のために島嶼部では島内のオフセットにとどめること、隣接する都道府県など地域単位の連携により実施することが重要であることを示した。
- ・ 生物多様性オフセットの定量的評価手法として、ハビタットヘクター法を日本版に改定した手法を示した。このことにより、開発地、オフセット候補地、オフセット後の生物多様性価値の定量的評価が可能となった。

#### 6. 国際共同研究等の状況

- ・ オーストラリア（ブリスベン）で行われたOECD支援ワークショップの成果として、農地生態系における生物多様性の保全に関する政策提言に本研究成果である「農地周辺の若齢林を含む自然生態系の配置に着目したランドスケープレベルの管理計画の重要性」を盛り込み、提言文書を国際誌に投稿した。
- ・ サブテーマ4が中心となって招聘したオーストラリア国立大学の研究者と、ハビタットヘクターの利用について検討し、国内の調査を共同実施し、現在も協力関係を維持している。

#### 7. 研究成果の発表状況

##### (1) 誌上発表

※雑誌名は正確に、欧文誌の場合は雑誌の正式な略称で記載すること（IE等の検索の際、支障をきたすため）。

##### <論文（査読あり）>

- 1) M. HASEGAWA, T. SASAKI, H. SATO and S. ABE : *Pedobiologia*, 58, 13-21 (2015), Effects of roads on collembolan community structure in subtropical evergreen forests on Okinawa Island, southwestern Japan.
- 2) D.H. JI, Q.Z. MAO, Y. WATANABE, M. KITAO and S. KITAOKA: *Journal of Agricultural and Meteorology*, 71, 232-238 (2015), Effect of nitrogen loading on the growth and photosynthetic responses of Japanese larch seedlings grown under different light regimes.
- 3) S. MORI, T. SHIONO, T. F. HARAGUCHI et al.: *Journal of Biogeography*, 42, 1383-1396 (2015), Functional redundancy of multiple forest taxa along an elevational gradient: predicting the consequences of non-random species loss.
- 4) M.U. SAITO, T. FURUKAWA and T.F. KOYANAGI: *Journal of Mammalogy*, 97, 1451-1460 (2016),

- Time-delayed response of Japanese hare distribution to landscape change along an urban gradient.
- 5) F. HYODO, T.F. HARAGUCHI, M. HIROBE and R.TATENO: *Journal of Forest Research*, 21, 170-177 (2016), Changes in aboveground and belowground properties during secondary natural succession of a cool-temperate forest in Japan.
  - 6) T. IGARASHI, T. MASAKI T, T. NAGAIKE and H. TANAKA: *Journal of Forest Research*, 21, 291-299 (2016), Species richness of the understory woody vegetation in Japanese cedar plantations declines with increasing number of rotations.
  - 7) 小山明日香、小柳知代、野田颯、西廣淳、岡部貴美子：保全生態学研究、21, 41-49 (2016), 都市近郊に位置する孤立草地の埋土種子相に隠されたリスク：草原性植物の残存個体群の保全に向けた課題
  - 8) M. KITAO et al.(S. KITAOKA 13人中8番目) : *Scientific Reports*, 6, 32549 (2016), Increased phytotoxic O<sub>3</sub> dose accelerates autumn senescence in an O<sub>3</sub>-sensitive beech forest even under the present-level O<sub>3</sub>.
  - 9) Y. WATANABE, K. WAKABAYASHI, S. KITAOKA et al.: *Trees -structure and function-*, 30, 1569-1579 (2016) Response of tree growth and wood structure of *Larix kaempferi*, *Kalopanax septemlobus* and *Betula platyphylla* saplings to elevated CO<sub>2</sub> concentration for 5 years exposure in a FACE system.
  - 10) S. NAOE, I. TAYASU, Y. SAKAI, T. MASAKI, K. et al.: *Current Biology*, 26, R315-R316 (2016), Mountain-climbing bears protect cherry species from global warming through their vertical seed dispersal.
  - 11) A. KOYAMA, T. F. KOYANAGI, M. AKASAKA, M. TAKADA and K. OKABE: *Applied Vegetation Science*, 20, 40-49 (2017), Combined burning and mowing for restoration of abandoned semi-natural grasslands.
  - 12) A. KOYAMA, T. F. KOYANAGI, M. AKASAKA, Y. KUSUMOTO, S. HIRADATE, M. TAKADA and K. OKABE: *Oryx* (2017), doi: 10.1017/S0030605316001526 (online version), Partitioning the plant diversity of semi-natural grasslands across Japan.
  - 13) 小山明日香、岡部貴美子：森林総合研究所研究報告、(2017)、生物多様性オフセットによるノーネットロス達成の生態学的課題 (in press)

#### <その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 占部城太郎、日浦勉、辻和希編：生態学フィールド調査法シリーズ第3巻、共立出版、(2015) 「植物群集の構造と多様性の解析(執筆担当：佐々木雄大、小山明日香、小柳知代、古川拓哉、内田圭)」
- 2) 斎藤達也、小柳知代、小山明日香：環境教育学研究、25, 1-13 (2016) 「外来種の生態学と環境教育：外来植物の問題を通じて人と自然の関わりを見つめ直す」
- 3) 宮下直編：環境Eco選書11 クモの科学最前線、84-102(2015) 「第5章 森林とクモ(執筆担当：原口岳)」
- 4) 原口岳:昆虫と自然、52, 2, 12-15 (2017) 「地下部の生き物が支える地上部食物網」

- 5) 日本農学会編: シリーズ21世紀の農学 山の農学—「山の日」から考える、養賢堂、113-119(2017)  
「第7章 山の昆虫から農業へ—里山の景観管理と生態系サービス— (執筆担当: 岡部貴美子)」

## (2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 原口岳: 第46回日本蜘蛛学会 (2014)  
「森林生態系の遷移とクモの多様性の関係」
- 2) 岡部貴美子、長谷川元洋: 第23回日本ダニ学会大会 (2014)  
「土壌ダニの多様性におけるマイクロハビタットの影響」
- 3) T. OTA, Y. HASEGAWA, M. TAKADA and T. UNO: The 9th European Conference on Ecological Restoration, Oulu, Finland, 2014  
“Multiple socio-cultural benefits from restoration of a cultural service: A case of restoration and management of nature-related cultural heritage site.”
- 4) K. OKABE: OECD supported international conference of Sustainable management including the use of traditional knowledge in Satoyama and other SELPS, Ishikawa, Japan, 2014  
“Ecosystem service from Forest biodiversity”
- 5) K. OKABE: CBD/COP12 side-event of “Biodiversity criteria for REDD+ -What science sees and how it works- CBD/COP12 Hall G, Room 3, South Korea, 2014  
“Challenges on indicators and monitoring of forest biodiversity for REDD+ safeguards.”
- 6) 原口岳: 平成 26 年度日本生態学会関東地区会公開シンポジウム (2015)  
「研究計画: 人為攪乱の歴史が森林の生物多様性にもたらす影響」
- 7) S. KITAOKA, T. HARAGUCHI, M. HASEGAWA, H. TAKI, T. IGARASHI, A. KOYAMA, Y. HASEGAWA, K. OKABE and T. SATO: ISAM2015 in Tsukuba, Japan, 2015  
“Effects of land use changes to carbon fixation and nitrogen use traits of secondary deciduous broad leaved forests in Northern Kanto.”
- 8) 原口岳、陀安一郎: 第62回日本生態学会 (2015)  
「森林に造網するクモ類の体サイズに応じた餌源の変化に、林齢が及ぼす影響— $\delta^{14}\text{C}$ 値の測定による解明—」
- 9) 小山明日香、小柳知代、赤坂宗光、高田雅之、岡部貴美子: 第62回日本生態学会(2015)  
「草原の管理再開による植物種多様性の回復程度とその規定要因」
- 10) K. OKABE: OECD supported international conference of Strategies to support both biodiversity and production in agricultural landscapes, Brisbane, Australia, 2014  
“Forest management for conservation of biodiversity in forest ecosystem neighboring on an agricultural landscape.”
- 11) 原口岳、陀安一郎: 第47回日本蜘蛛学会 (2015)  
「森林における円網造網性クモのエサ資源利用に影響を及ぼす要因の検討— $\delta^{14}\text{C}$ 値の測定による解明—」
- 12) 北岡哲、原口岳、長谷川元洋、滝久智、五十嵐哲也、岡部貴美子、佐藤保: 第5回関東森林学会 (2015)  
「土地利用履歴の違いが、落葉広葉樹二次林における樹木の成長と窒素利用に与える影響につ



いて-茨城県北部とその周辺域の例-

- 13) 小山明日香、小柳知代、赤坂宗光、楠本良延、平舘俊太郎、高田雅之、岡部貴美子：第63回日本生態学会(2016)  
「全国規模での種多様性保全に重要な空間スケール：半自然草原の植物群集での検討」
- 14) 斎藤昌幸、古川拓哉、小柳知代：2016年度日本景観生態学会全国大会 (2016)  
「Living dead hares：都市化にともなう景観変化に対するノウサギの分布応答」
- 15) 長谷川元洋、原口岳、滝久智、北岡哲、松浦俊也、五十嵐哲也、佐藤保、岡部貴美子：第39回日本土壌動物学会大会 (2016)  
「土地利用の前歴の異なる広葉樹二次林におけるトビムシ群集の比較」
- 16) 北岡哲、五十嵐哲也、星野大介、宮本和樹、伊藤幸介、原口岳、小山明日香、岡部貴美子、佐藤保：6回関東森林学会 (2016)  
「茨城県北部周辺の落葉広葉樹二次林における植被率測定法の検討」
- 17) 服部力、原口岳、松浦俊也、長谷川元洋、岡部貴美子：日本菌学会大60回大会(2016)  
「利用履歴の異なる広葉樹林における木材腐朽菌群集の比較」
- 18) K. Okabe and M. Hasegawa: IUFRO Regional Congress for Asia and Oceania, Beijing, China, 2016  
“A microhabitat assessment for conservation planning of soil mite diversity”
- 19) 佐藤保、北岡哲、五十嵐哲也、原口岳、小山明日香、滝久智、長谷川元洋、岡部貴美子：日本生態学会第64回全国大会 (2017)  
「生物多様性オフセットに向けた生態系評価手法の提案」
- 20) 北岡哲、原口岳、小山明日香、五十嵐哲也、滝久智、長谷川元洋、岡部貴美子、佐藤保：日本生態学会第64回全国大会 (2017)  
「阿武隈高地南部における採草地から転用された落葉広葉樹二次林の炭素蓄積と窒素利用」
- 21) 小柳知代、古川拓哉、大澤剛士：第64回日本生態学会 (2017)  
「草原性植物群集形成における時間軸と空間軸の交点を探る：過去の景観変化がもたらすβ多様性の変化」
- 22) 小山明日香、原口岳、岡部貴美子：第64回日本生態学会全国大会(2017)  
「生態学から生物多様性オフセットを考える」
- 23) 滝久智、池田紘士、永光輝義、安田美香、杉浦真治、前藤薫、岡部貴美子：第64回日本生態学会全国大会(2017)  
「全国調査で明らかとなったニホンミツバチの窒素と炭素の安定同位体比」
- 24) 佐藤保、北岡哲、五十嵐哲也、原口岳、小山明日香、滝久智、長谷川元洋、岡部貴美子：第64回日本生態学会全国大会(2017)  
「生物多様性オフセットに向けた生態系評価手法の提案」
- 25) 北岡哲、原口岳、小山明日香、五十嵐哲也、滝久智、長谷川元洋、岡部貴美子、佐藤保：第64回日本生態学会全国大会(2017)  
「阿武隈高地南部における採草地から転用された落葉広葉樹二次林の炭素蓄積と窒素利用」
- 26) 原口岳、長谷川元洋、滝久智、服部力、松浦俊也、佐藤保、岡部貴美子：第61回日本応用動物昆虫学会(2017)  
「二次林に生息する節足動物の群集決定要因：林分構造と周辺景観による説明力の検討」

### (3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 一般公開シンポジウム「生態系保全の新たなしくみを考える—生物多様性オフセット入門—」  
(主催：森林総合研究所(本研究課題)、2014年12月6日、東京大学弥生キャンパス・中島董一郎記念ホール、参加90名) を主催、パネルディスカッションに参加
- 2) 第10回環境シンポジウム「生物多様性と私たちの暮らし」(主催：国分寺市、2015年2月7日、国分寺Lホール、参加者約120名)にて「生物多様性と私たちの暮らし」と題する基調講演
- 3) 森林総合研究所一般公開ミニ講演会「生物多様性と炭素吸収源を守る新しい仕組み—生物多様性オフセットについて—」(主催：(研)森林総合研究所、2016年7月30日、森林総合研究所第二会議室、観客約30名)にて講演

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

### (6) その他

特に記載すべき事項はない。

## 8. 引用文献

- 1) S. ABE et al.: Journal of Vegetation Science, 13, 565-574 (2002), The effects of sasa and canopy gap formation on tree regeneration in an old beech forest.
- 2) DSE (The State of Victoria Department of Sustainability and Environment): Version 1.3. Victorian Government (2004), Vegetation Quality Assessment Manual—Guidelines for applying the habitat hectares scoring method.
- 3) 環境アセスメント学会編：恒星社厚生閣 (2013)、環境アセスメント学の基礎
- 4) 環境省：日本の動物分布図集 <https://www.biodic.go.jp/kiso/atlas/>, (2010)
- 5) 呉羽正昭：スキー研究 11, 27-42 (2008), 日本におけるスキー場の閉鎖・休業に見られる地域的傾向
- 6) 松岡茂ら：森林総合研究所報告、13, 61-78 (2014), アカゲラ *Dendrocopos major* の営巣木と巣の特徴—札幌市羊ヶ丘における15年間の記録—
- 7) H. OHASHI et al.: Environmental Management, 5, 631-640 (2014), The impact of sika deer on vegetation in Japan: setting management priorities on a national scale.
- 8) 岡部貴美子・小川みふゆ：森林総合研究所研究報告、10, 231-250 (2011), 森林の生物多様性モニタリングの歴史と生態学的視点からの将来展望
- 9) 岡部貴美子ら：平成25年度公害一括報告書(課題番号2【生態系保全】)(2014)、生態系保全政策のための森林の生物多様性変動シミュレータの構築
- 11) C. STONE et al.: Australian Forestry 71, 294-302 (2008), Forest canopy health and stand structure associated with bell miners (*Manorina melanophrys*) on the central coast of New South Wales.

- 12) 森林総合研究所：森林総合研究所運営交付金プロジェクト(#200608)成果パンフレット(2011、ヒバの森を使い続ける
- 13) S. TAKATSUKI: *Biological Conservation*, 142, 1922-1929 (2009), Effects of sika deer on vegetation in Japan: A review.

## (2) 湿地・草地における生物多様性オフセット評価手法の開発

(代表者) 法政大学 人間環境学部 高田 雅之

(分担者) 法政大学 文学部 富田 啓介

東京農工大学大学院 農学研究科 赤坂 宗光

東京学芸大学 環境教育研究センター 小柳 知代

北海道大学大学院 農学研究科 矢崎 友嗣・濱田 洋平

北海道立総合研究機構 環境科学研究センター 木塚 俊和

㈱日本工営 藤村 善安

長崎大学大学院 水産・環境科学総合研究科 太田 貴大

サントリー㈱ 浅田 太郎

国立研究開発法人国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 三島 啓雄

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター大規模  
畑作研究領域 下田 星児

平成26～28年度累計予算額：24,192千円（うち平成28年度：7,500千円）

予算額は、間接経費を含む。

### [要旨]

草地及び湿地について回避とオフセット対象地の考え方を取りまとめた。いずれの生態系とも、量としての面積、質としての劣化状態、不安定さを示す不連続孤立性という観点から、原則として開発およびオフセットの回避対象とした。ただし人為的影響等により著しく劣化した草地及び湿地については開発回避の対象外とし、またこれまでの科学的知見から一定の生態系回復効果が期待できるため、オフセット候補地になり得るとした。

草地について植物の種組成及び種多様性に着目し、人為的攪乱及び立地条件に関する4つの評価軸から同質性区分を行った。湿地は植生及び種多様性を支える物理化学的な基盤環境に着目し、土壌・水文・水質条件に関する評価軸から同質性区分を行った。サイトは草地・湿地ともに都道府県またはより上位の地方を単位とするのが適切と判断した。

草地について種に着目して現状保全しても存続に必ずしも十分な面積ではないこと、及び攪乱方法が生態系劣化と関わる重要な指標であることを明らかにした。湿地について同質性に依じて攪乱による劣化プロセスが異なること、複数の要因が複合的に作用して脆弱性を発現させること、及び同質性に依じて修復効果の見られる手法が存在することを明らかにした。

オーストラリアのハビタットヘクター法等をベースとして定量的な生態系評価方法を検討した結果、草地について種特性をもとに評価項目及び参照レベルを設定することにより、攪乱効果の違いを反映した有効な手法を提起した。湿地については物理化学環境を指標とした参照レベルの設定、健全度及び重要度の評価を通して実用的な手法を提起した。また評価においては、草地は現存植生の固有性や過去の土地利用履歴の影響に関する、また湿地は周辺域を含む地域的な分布と固有性に関するランドスケープの視点が重要であることを提示した。

## [キーワード]

半自然草地、泥炭地、湧水湿地、人為的攪乱、ハビタットヘクター法

### 1. はじめに

持続可能な社会における生物多様性保全に向けて、The Business and Biodiversity Offsets Programmeを始めとして、生物多様性オフセットへの国際的な取り組み傾向が進展している。日本においても生物多様性国家戦略における危機の回避または低減策として、環境アセスメントの仕組みを活用した生物多様性オフセットの考え方の導入が求められており、日本の生態系の特性と現状に応じた科学的検討はこれらの要請に応える意義があるものと言える。

日本の生態系の中でも草地と湿地は、かつては日本の豊かな生物多様性を特徴づけていた特異な環境のひとつであったが、近年は著しく減少と劣化が進行している。これに鑑みて、これ以上の損失防止と回復・再生箇所の増加を図る方策を、社会の合意を踏まえて検討することは生物多様性保全政策における重要な課題である。

本研究では草地及び湿地を対象として、日本における生態系の特性を踏まえつつ、海外の事例を取り入れて科学的な検討を行うことにより、今後の生物多様性オフセット検討の具体的な前進に寄与することを狙いとして有用な知見の提供、及び手法の提起を目指した。

### 2. 研究開発目的

本研究では、生物多様性保全を推進する活動として環境アセスメント制度を高度化した生物多様性オフセットの実施に向けた手法を提起することを目的とし、そのうち草地と湿地を対象とした考え方及び知見を取りまとめた。

具体的には以下の4点について提起することを目的とした。

- ①開発回避及びオフセット対象地の考え方を示す。
- ②生態系の同質性と地域性を示す。
- ③生態系評価項目の検討と選定に際して考慮すべき事項として、攪乱の影響と効果、劣化要因とプロセス、修復可能性について示す。
- ④定量的な生態系評価に向けて、人為的攪乱やランドスケープレベルの視点を考慮して、指標となる項目を明らかにするとともに実用的で有効な手法を提起する。

これらを通して、今後の政策検討に科学的視点から寄与することを目指すものである。

### 3. 研究開発方法

#### (1) 回避及びオフセット対象地の考え方の検討

対象となる生態系について定義を行うとともに、既存文献資料と現地調査データをもとに回避及びオフセット対象地の考え方について検討を行った。草地については、全国の山間部半自然草地において植物群集データを収集し、階層空間スケール間で植物種多様性の分割解析を行うことで、オフセット回避とすべき空間スケールを検討した。

#### (2) 生態系の同質性に関する評価方法及びサイトの考え方の検討

草地及び湿地（泥炭地、湧水湿地）生態系において、現地取得情報、並びに既存文献資料及び

聞き取り情報等をもとに、生物多様性や生態系機能に関わる要素に着目し、日本で実施すべき生物多様性オフセットにおける生態系の同質性（カインド）の考え方について検討を行った。現地調査は、草地については、阿蘇地域（熊本県）、十日町地域（新潟県）、つくば市（茨城県）、湿地（泥炭地）については石狩低地帯地域（北海道）、湿地（湧水湿地）については、東海丘陵地域（愛知県・岐阜県・長野県）を対象として実施した。併せてオフセットの地域的範囲となるサイトの考え方について検討した。

### （3）攪乱効果及び劣化要因等の検討

#### 1）草地

人為管理により維持されている半自然草地として、阿蘇地域（熊本県）において個体数（茎数）を含む植物の分布情報を用い、地域内での種の存続に最低限必要な草地の範囲を明らかにすることで、開発回避とすべき保全水準を検討した。本検討では絶滅危惧種の判定基準を勘案し、最低2000本（個体）の生育地を確保することとし、全数がそれ以下の種は全て生育地を確保することとした。

また、里山景観内に成立する多様な半自然草地として、十日町地域（新潟県）において植物群集データを収集し、土地改変（圃場整備）が生態系質の劣化程度に与える影響を検証した。

#### 2）湿地（泥炭地・湧水湿地）

生態系評価に向けて湿地生態系の保全水準や劣化程度を判別する手法を検討するため、主として既存資料を収集し分析することにより、人為的攪乱や土地利用の転換に対する脆弱性及び修復可能性に関する評価の考え方について、生態系の同質性や生態系機能も考慮しつつ検討を行った。

### （4）生態系評価方法の検討

#### 1）草地

半自然草地を主な生育地とする草地性植物（絶滅危惧種を含む）を対象として、個体数分布と周辺の景観変化との関係性を評価することで、オフセットを実施する上で必要になるランドスケープレベルでの草地生態系評価指標を検討した。草地の連結性を考える上で重要な空間スケールや、再生の目標とすべき草地面積の基準について、過去の景観を踏まえて明らかにした。

開発による損失とオフセットの獲得目標が算定できる生態系評価法として、森林生態系と同様、オーストラリア・ビクトリア州のハビタットヘクター法（HH法）（DSE, 2004）を改訂した。HH法は森林生態系を対象に開発された手法であるが、同一制度として同じ手法を使うべきと考え、草地への適用に向けて、参照レベルの設定、生物多様性評価の指標の改訂、およびHH法によるスコア算出の試行を実施した。

#### 2）湿地（泥炭地・湧水湿地）

海外の評価事例（草地で使用したHH法、カナダ・オンタリオ州のOntario Wetland Evaluation System(Queen's Printer for Ontario, 2014)、米国・ワシントン州のCredit-Debit法(Hruby, 2012))を参考に、泥炭地は主として既存資料を収集し分析することにより、湧水湿地は現地調査に基づくインベントリデータベース及びランドスケープレベルの地理情報の解析により、生態系評価手法を検討した。加えて、これらを支援し実用的な評価手法に資する知見を得るための現地における水文・水質調査等を実施した。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) 回避及びオフセット対象地の考え方の検討

対象となる生態系を以下のとおり定義した。

『草地生態系』：

草本植物が優占し、木本植物が少ないか、全く存在しない植物群集（岩城1973）。自然草地と非自然草地に区分され、自然草地は高山帯、海岸帯、岩礁地、特殊岩地（石灰岩や蛇紋岩）などで、多くが保全対象となっており開発利用されることが少ない。非自然草地は農耕地や人工草地等、半自然草地であり、半自然草地は定期的な人為管理により維持される草地で人為的な管理によって森林化を抑制され維持されているもので、日本における草地生態系の大部分を占めている。

『湿地生態系』：

ラムサール条約で定義される湿地のうち、1) 陸生、2) 全体として水面が地表付近または地表以下、3) 自然的・半自然的に成立、4) (半)恒久的に成立、という条件を満たすもの。従って本研究ではサンゴ礁、干潟、マングローブ林、湖沼、河川、水田、ため池等は対象から除いた。ただし、自然再生等でオフセット候補地になり得る、かつて湿地であった休耕田や農地開発された泥炭地は視野に含めた。

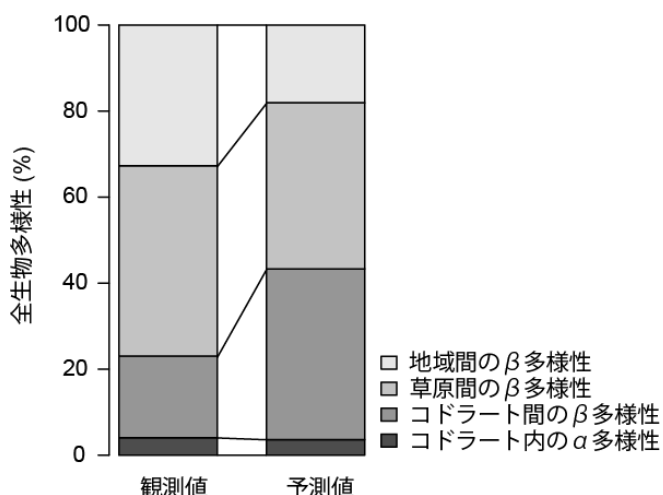
回避の考え方を表(2)-1に示した。草地については、日本における農地を除く総面積が34万ha（総務省統計局，2015）であり、国土面積の1%程度であることに加え不連続に小面積で分布していること、及び残存面積、生態系の希少性等の視点から、原則、開発およびオフセット候補の回避対象とした。ただし管理放棄等により著しく劣化した非自然草地については、開発による損失分をオフセットした方が有効と考えられることから開発回避の対象外とし、開発が行なわれる際にはオフセットのための生態系評価を行うべきであるとした。またこのような劣化した非自然草地はオフセットによる生態系回復効果が期待できるため、オフセット候補とした。

また草地の全国規模での植物種多様性の分割解析により、全域の種多様性における草地間スケールの種多様性の重要性が明らかとなった（図(2)-1）。この結果は草地間での種の固有性の高さを示しており、草地間でのオフセットは回避が望ましいと考えられた。

湿地については、1900～1990年代に60%以上が減少し（山川他，1999）、面積は約11万ha（環境省，2014）で国土面積の0.3%程度であることに加え、孤立・不連続に多くは小面積で分布し、遺伝子の交流が困難であるという立地特性、隣接地や集水域の開発に伴う水質の変化や乾燥化など、人為的な環境変化を受けやすい（富士田，2007）という脆弱性、固有種を含む特異な生物相を有し保全や再生に特別な注意を払うべき重要な生態系であるという保全・再生上の重要性を考慮して、原則、開発およびオフセット候補の回避対象とした。ただし草地と同様、人為的影響等により著しく劣化した湿地については開発回避の対象外とし、オフセットによる生態系回復が期待できるため、オフセット候補地になり得るとした。

表(2)-1 草地及び湿地生態系における回避の考え方

生態系	回避の要件	開発	オフセット
共通	持続性が確保された希少種の生育地・生息地	回避	回避
	保全地域に指定されている地域	回避	回避
草地	原則すべての草地	回避	回避
	著しく劣化した非自然草地	可能	可能
湿地	原則すべての湿地	回避	回避
	著しく劣化した泥炭地・湧水湿地	可能	可能



図(2)-1 全国規模での山間部・半自然草地における全生物多様性に寄与する各階層空間スケールの割合。草地間の種多様性の重要性を示している。

## (2) 生態系の同質性に関する評価方法及びサイトの考え方の検討

### 1) 草地における同質性

草地生態系について、既存の生物群集に関する情報を基に、植物の種組成および種多様性に着目して生態系の同質性を区分し、4つの評価軸を設けた(表(2)-2)。なお、植物の種組成および種多様性は、他の生物分類群の種多様性や生態系機能を維持する基盤であるため本整理は植物を対象に実施した。

草地生態系は、草本植物が優占し、木本植物が少ないか、あるいは全く存在しない植物群集を指す(岩城, 1973)。この草地生態系は、第一に「自然草地」と「半自然草地」に区分される。日本において、自然草地は高山帯、海岸帯、岩礁地、特殊岩地(石灰岩や蛇紋岩)などに限られ、分布面積が極めて小さく、生息する生物群集が特殊である。さらに、自然草地は人間により利用されることも少ないため、開発の懸念は限定的であると予想される。一方、半自然草地は人為的な管理によって森林化を抑制され、維持されてきた生態系であり、日本における草地生態系の大部分を占める。そのため、半自然草地については更に、「土壌改変の有無」、「存在形態」、「人

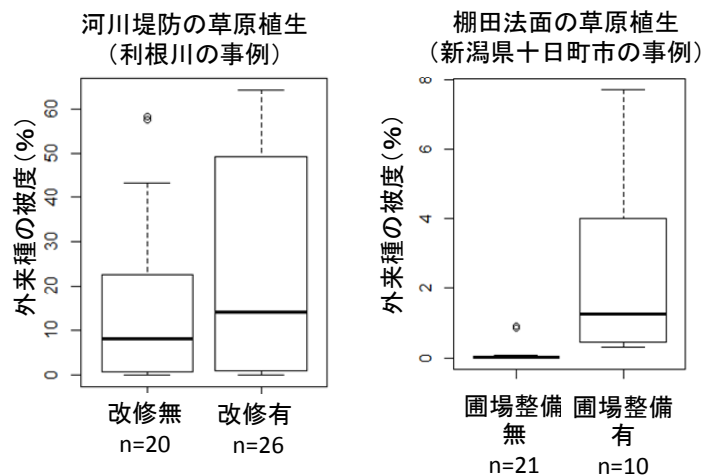


為的管理の有無」の3つの軸による区分とした（表(2)-2）。半自然草地は土壤改変の有無により植物群集の優占種が規定される。強度の土壤改変が行なわれた草地は、存在形態や人為的管理の有無に関わらず外来種が優占する傾向にあり（図(2)-2）、耕作放棄地や道路沿い法面などがそれに相当する。耕作放棄後に成立した外来種優占草地は、遷移後期では植物の種多様性が著しく低下するものの遷移初期の段階では種多様性が高く（図(2)-3）、生態系機能を有することが予想されるため、開発地となった場合にはオフセット行為が必要な生態系として位置づける必要があると考えられる。

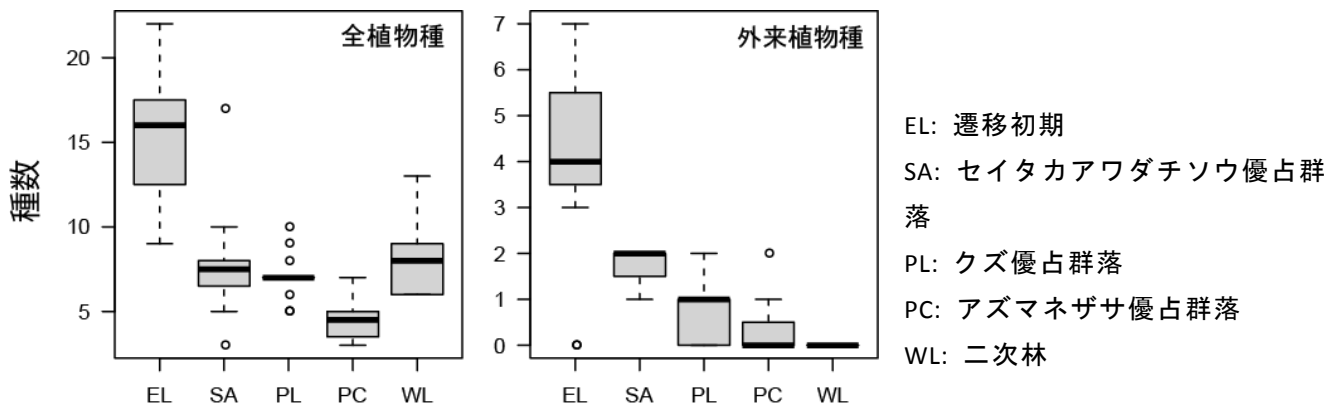
さらに、半自然草地の同質性は存在形態および定期的な人為管理の有無により特徴づけられる。主要な存在形態として、山間部、河畔、および林縁や農耕地周辺などの境界部が挙げられる。土地改変されていない山間部、河畔および境界部の草地植生の種組成や種多様性を比較した結果、それぞれ明確に異なる特徴を示し、草地生植物の種多様性は山間部の半自然草地で最も高いことが示された（図(2)-4）。また、草地性植物を含む特定の機能群に着目した結果から、里山の小規模な草地（境界部）の種の出現パターンは、山間部の草地とは明確に異なっていることが示され（図(2)-5）、存在形態の異なる草地の同質性については、種特性とその組み合わせにより評価可能であると考えられた。

表(2)-2 草地生態系における「同質性」の整理  
（評価軸2）～4）は半自然草地のみを対象とする）

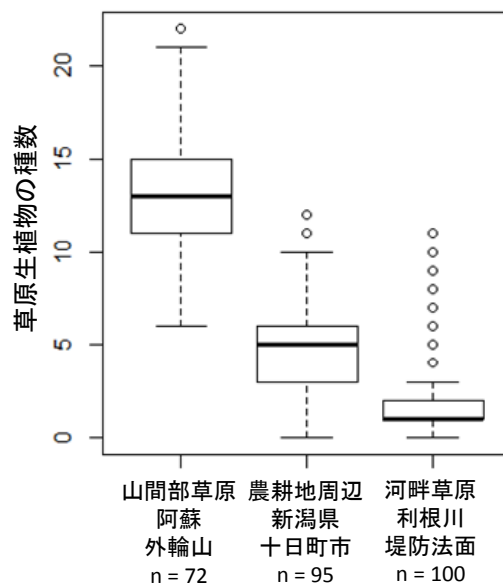
評価軸	区分
1) 自然／半自然	自然草地 半自然草地
2) 土壤改変	あり なし
3) 存在形態	山間部 河畔 境界部
4) 人為的管理	あり なし



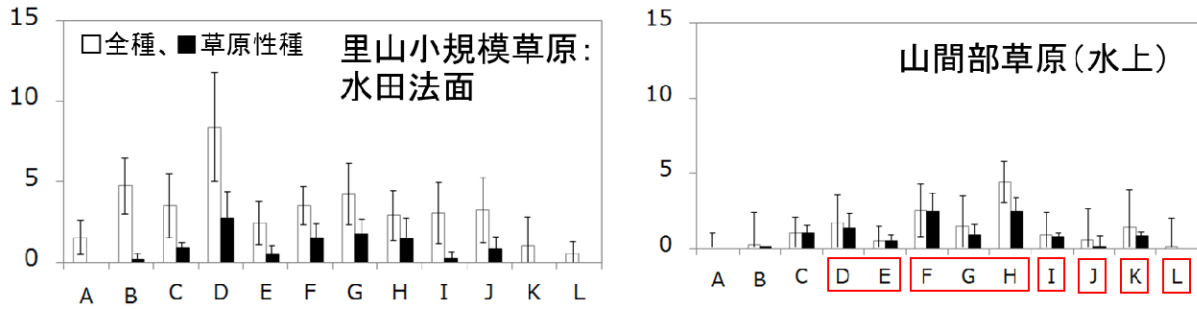
図(2)-2 河川堤防および棚田法面における草地植生への土地改変の影響



図(2)-3 耕作放棄地に成立した遷移段階の異なる草地植生の種多様性



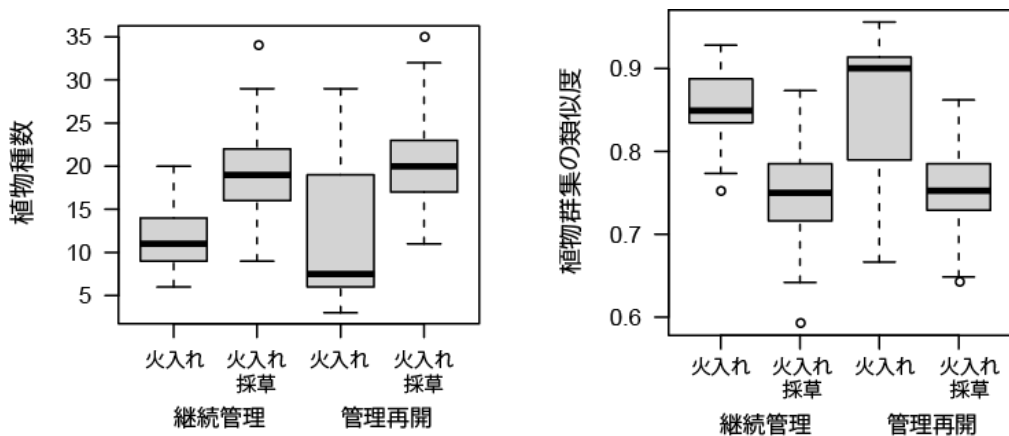
図(2)-4 土地改変されていない山間部、境界部（農耕地周辺の棚田法面）および河畔の草地植生における草地生植物の種数



A: 多年生低茎草本, B: 多年生高茎草本, C: 多年生藤本, D & E: 一年生広葉草本,  
 F & G & H: 多年生広葉草本, I: 木本, J: 一二年生禾本, K: 多年生禾本,  
 L: シダ

図(2)-5 存在形態の異なる草地間での種特性別にみた種の出現パターン

半自然草地の管理は存在形態による手法に違いがあるものの、多くが採草、火入れおよび放牧による。土壌改変履歴のない半自然草地は、管理放棄による生物多様性の低下が進行しているものの、オフセット行為としての管理の再開は、生態系を回復させる効果が期待できる。具体的には、山間部半自然草地（熊本県阿蘇市）において、人為的利用の有無の異なる（継続管理および管理再開）草地において植生調査を行い、植物種多様性および種組成を比較した結果、管理放棄された草地におけるオフセット行為（管理再開）により植物種多様性および種組成は管理を継続している草地の状態に近づくことが示された（図(2)-6）。なお、土壌改変履歴のある半自然草地（例えば、人工草地や造成跡地、耕作放棄地）については、管理放棄による劣化からの草地生態系回復が困難であることが予想されるため、オフセットによる森林化を検討すべきと考えられた。このように、半自然草地は同様の土壌改変の履歴、立地条件および人為的管理のもとで成立している生態系を同質として評価した。今後、地域性を考慮した生態系の同質性評価によるさらなる検討が必要である。



図(2)-6 阿蘇のオフセット（管理再開）による生物多様性回復の例

## 2) 湿地における同質性

同質性の検討においては、湿地の生態系の特徴（泥炭の有無、物理・化学環境）を考慮しつつ既往の科学的知見との親和性を考慮し、カナダのCanadian Wetland Classification System (National Wetlands Working Group, 1997) やRydin and Jeglum (2006) を参考に段階的な区分を行った（表(2)-3）。物理・化学環境は、植生だけでなく、動物相やその他の生物多様性に関わる機能にも影響を与えることから、生態系の基盤となる物理・化学環境の多様性を確保することにより、幅広い生物多様性を確保できるという考えに基づいた。

表(2)-3 湿地生態系における「同質性」の区分

区分	定義と特徴
1. 泥炭地	泥炭の堆積が25 cm以上。
1-1. ボッグ	主に降水で涵養されたもの。貧栄養、酸性の水質。
1-2. フェン	地下水や河川水を由来とする地表水で涵養されたもの。無機塩類に比較的富み、酸性度もそれほど高くない。
2. 鈳質土壌湿地	泥炭の堆積が25 cm未満、あるいはなし。
2-1. 湧水湿地	湿地内あるいは近傍からの湧出水で形成されたもの。主に貧栄養の水質。
2-2. 沼沢湿地	他所から流入する地表水によって形成されたもの。主に富栄養の水質。

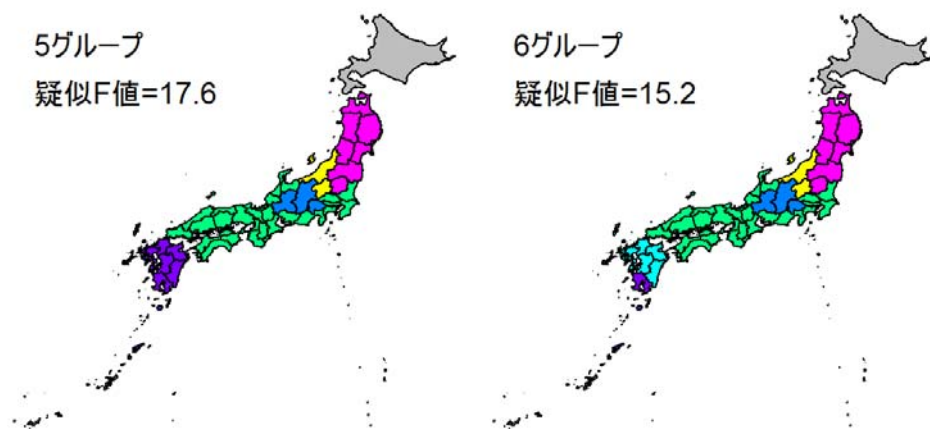
まず、泥炭の有無によって大きく2つに分け、泥炭の堆積する湿地を「泥炭地」、泥炭の堆積しない湿地を「鈳質土壌湿地」とした。泥炭地の定義は国や専門分野によって異なるが、日本の土壌分類体系（農耕地土壌分類委員会，1994）に従って、泥炭層が表層50 cm以内に積算して25 cm以上ある土壌とした。次に、涵養水供給源に基づき、泥炭地をボッグとフェン、鈳質土壌湿地を湧水湿地と沼沢湿地に分けた。ボッグは降水涵養性の泥炭地で、貧栄養、酸性の水質によって特徴づけられる。フェンは鈳質水涵養性の泥炭地で、鈳物質を含んだ地表水や地下水によって涵養されるため、比較的無機塩類に富み、酸性度もそれほど高くない。湧水湿地は地下水涵養性の鈳質土壌湿地で、湿地内あるいは近傍からの湧出水で涵養されるため、主に貧栄養な水質が形成される。沼沢湿地は地表水涵養性の鈳質土壌湿地で、他所から流入する地表水によって涵養されるため、比較的富栄養な水質が形成される。

生態系機能から見た湿地の同質性を検討するために、既存文献資料と現地調査データをもとに、ボッグ、フェン、鈳質土壌湿地における栄養塩保持機能、地下水涵養機能、洪水緩和機能（流出比や最大降雨強度観測時からのピーク流出の遅れ）を比較した。湿地の栄養塩収支に基づく評価方法によれば、全窒素の保持量はフェンと鈳質土壌湿地で、全リンの保持量は鈳質土壌湿地で比較的大きい傾向が見られた。また、地下水涵養機能はボッグよりフェンで高い傾向となった。一方、洪水緩和機能は湿地区分による明瞭な違いはみられなかった。これは洪水緩和機能が、流域の形状や乾湿履歴に影響を受けるためと推察される。以上の結果から、本研究で定義した湿地区分によってその同質性がある程度説明できる機能と、説明できない機能があることが分かった。

## 3) サイトの考え方

草地は環境省第5回自然環境保全基礎調査のデータを用いて、草地性チョウ類相の地域性から（図(2)-7）、湿地は重要湿地リスト（環境省，2016）に記載された植物種のうち10地域以上で分布が記されている代表的な湿地植物種の分布解析から、いずれも都道府県またはより上位の地方

を単位とするのが適切であると考えた。



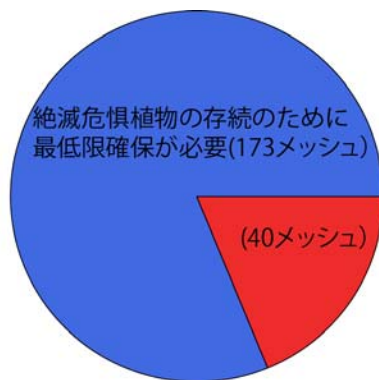
図(2)-7 環境省第5回自然環境保全基礎調査を用いた草地性チョウ類の地域性評価の結果

### (3) 攪乱効果及び劣化要因等の検討

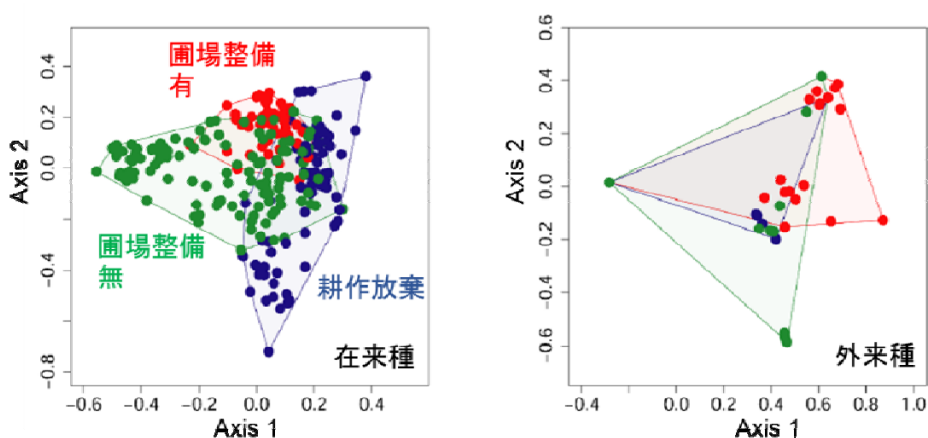
#### 1) 草地

対象とした阿蘇山とその周辺域では、植物の分布情報のある290の1 km x1km メッシュのうち、大半(73%、213メッシュ)において絶滅危惧植物が分布することが確認された。確認された50種の絶滅危惧植物が分布する213メッシュのうち、最低限の面積でこれらの種の生育地を確保するとしても81%のメッシュ(173メッシュ)が必要となった(図(2)-8)。本検討ではこれらの種は保全策を講じて必ず個体群の存続を確実に担保できるとは限らない。また、用いたデータでは、個体数を茎数により評価しているため実際の個体数を過小評価している。これらから、日本最大の草地面積を有する対象地域においても、絶滅危惧植物の種の存続を担保するには現状より多くの生育地面積の確保が必要であることが明らかとなり、半自然草地は保全水準が高く、開発回避が望ましいと考えられた。

土壌改変を伴う人為的攪乱(造成、耕起、施肥等)は、草地植生の劣化程度を大きく左右することが指摘されている(Walker et al., 2004)。新潟県十日町の里山の農耕地周辺に成立する半自然草地を対象として、土地改変(圃場整備)による種組成への影響を調べた結果、圃場整備を行った畦畔草地の種組成は均質化し、種多様性が低下するだけでなく、外来種が優占してしまう場合があることがわかった(図(2)-9)。里山生態系においては、圃場整備に代表される土地改変の有無が、生態系の同質性を左右する重要な指標になることが示された。



図(2)-8 対象区域内において絶滅危惧植物の存続のために最低限確保が必要なメッシュの数



図(2)-9 種組成の類似性評価（新潟県十日町の場合）

※Turnover component of Jaccard dissimilarityを用いたPCoA（主座標分析）の結果

## 2) 湿地（泥炭地・湧水湿地）

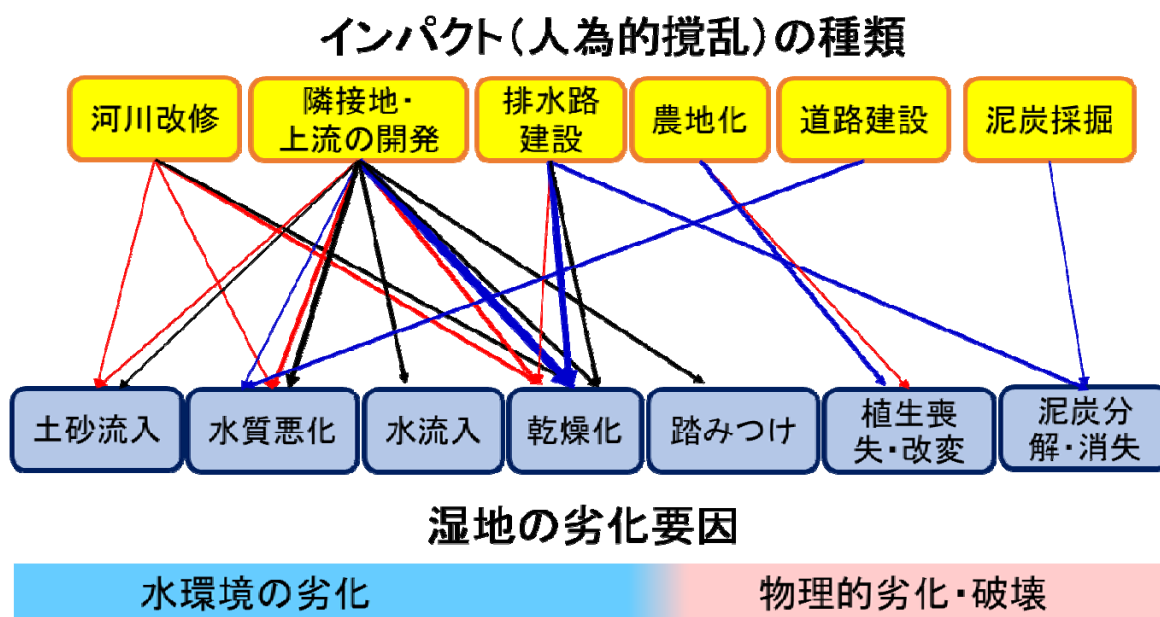
泥炭地の脆弱性について、植生変化を引き起こしたインパクト（人為的攪乱）と劣化要因の関係から分析した結果、インパクトとしては排水路建設、河川改修、隣接地や上流の開発が多く、これらの改変により、乾燥化、水質悪化（土砂流入も含む）が多く引き起こされ、植生変化が生じたことが推察された（図(2)-10）。また、河川改修による乾燥化や上流開発による水質悪化はフェンで多く、排水路建設による乾燥化はボグに多いというような、湿地区分に応じた劣化プロセスの違いがみられた。

泥炭地の脆弱性評価の例として、北海道・石狩泥炭地に残存した湿原でほぼ自然状態の湿原（未排水サイト）と排水の影響を受けササが繁茂した湿原の排水路から十分離れた地点（排水サイト）において、水文気象観測を実施した。観測された水位を比較した結果、排水サイトで平均水位が特に低いというわけではなかった。しかし水位のヒストグラムを比較すると、排水サイトでは、低水位の存続時間が長かった。同程度に雨が降ったにもかかわらず、未排水サイトに比べ排水サイトで水位が十分に回復しなかった現象が観察された。これは、ササが繁茂した湿原では、雨水の一部がササのキャノピーに遮断され（降雨遮断）、地表面を湿らせることなく大気へ蒸発したためと考えられる。既往の研究では、ササの侵入・繁茂は蒸発散量を増加させる（Takagi et al.,

1999) という報告がある一方で、ササの繁茂が必ずしも蒸発散量を増加させるわけではないという報告もあり(Hirano et al., 2016)、見解が一致していなかった。しかし、ササの侵入によって群落レベルで蒸発散量が増加しなくても、降雨遮断により地表面より乾燥しやすくなる可能性が示された。特に北海道日本海側では、初夏の可能蒸発量が降水量と同程度か降水量を上回るため(Yabe and Uemura, 2001)、ササが繁茂すると地表面付近は一層乾燥しやすくなると考えられる。このように、湿原の排水は、水位の低下に加え、植生変化による地表面の被覆により、湿原を一層乾燥化させた可能性があり、植生変化による影響も無視できないことが示唆された。

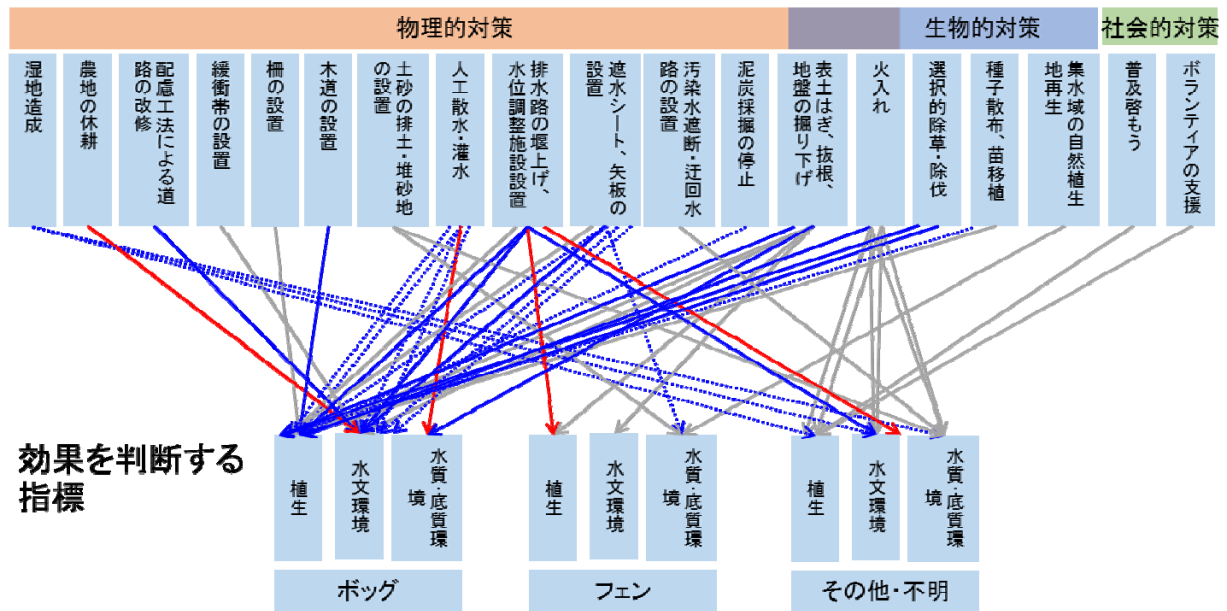
泥炭地の修復(自然再生)手法について、その効果を判断する指標及び湿地区別に分析した(図(2)-11)。その結果泥炭地の自然再生は、ボグでの物理的対策による水位の回復(水文環境の修復)と、それに伴う植生回復の試みが多いことが明らかとなった。修復可能性の観点から効果を分析した結果、泥炭地の修復における不確実性の高さが示された一方で、選択的除草・除伐はボグの植生回復に効果が見られ、遮水シート・矢板の設置はボグの植生または水文環境、並びにフェンの水質・底質環境の回復に効果が確認されるなど、湿地区分に応じた修復可能性が示唆された。

湧水湿地の生物多様性の脆弱性評価のための基礎的な知見を収集し、今後の評価手法を検討するため、湧水湿地の現況や保全について報告された文献を収集して因果関係を分析した(図(2)-12)。その結果、(1)湧水湿地生態系とそこでの生物多様性の劣化は、a) 周囲環境への人の関与の低下とb) 周囲環境の開発のいずれかを出発点として発生し、劣化の内容は「植生本体へのダメージ」「生物的環境の変化」「物理的環境の変化」にまとめられること、(2)保全水準や劣化程度は、生育種の多様性、外来種の侵入状況、乾燥化の程度(地下水水位等)、水質の変化(pH・EC等)、湿地植生面積の変化、日照の変化といった基準を組み合わせることによって判別することができる可能性があることが明らかとなった。

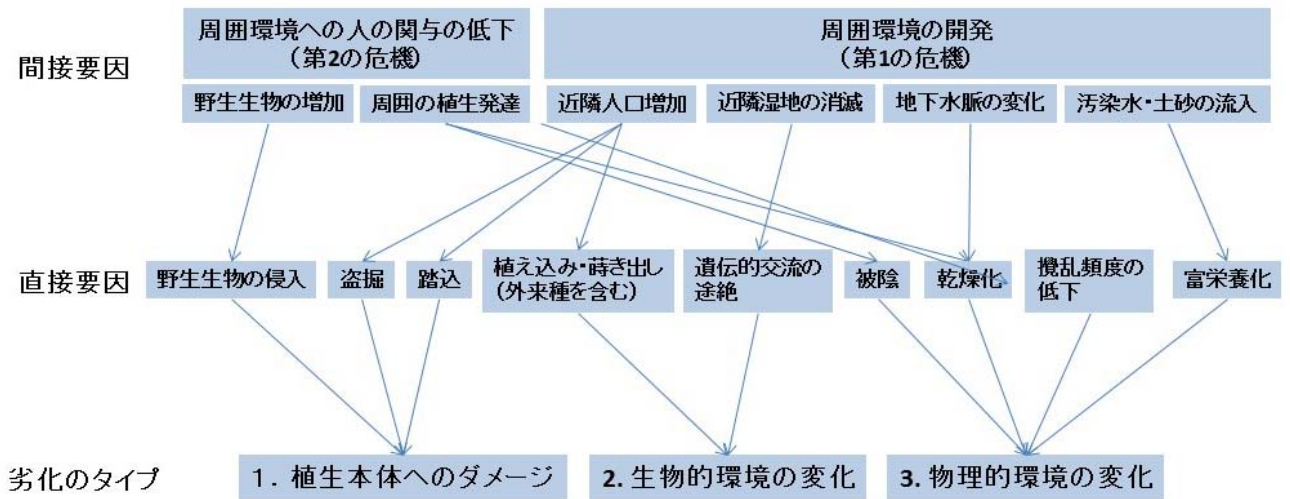


図(2)-10 インパクト(人為的攪乱)の種類と泥炭地の劣化要因の対応関係。矢印の色と太さは、事例のあった湿地区分(赤はフェン、青はボグ、黒はその他)と事例の多さを示す。

### 対策の種類



図(2)-11 泥炭地の自然再生手法とその効果。青色実線は「効果あり」、青色点線は「部分的に効果あり」、赤色実線は「効果なし」、灰色実線は「効果不明」を表す。



図(2)-12 文献調査より明らかにされた湧水湿地の劣化プロセスと劣化タイプ。



#### (4) 生態系評価方法の検討

##### 1) 草地

阿蘇山とその周辺に分布する代表的な草地性植物15種を対象として、現在の個体数分布を左右するランドスケープレベルでの要因を検討した結果、15種中13種で周辺500m～1.5km圏内での草地面積と現在の個体数分布との間に有意な正の関係性が認められた。15種中11種は1930年代の草地面積と、10種は1950年代の草地面積と有意な正の関係性を示しており(表(2)-4)、景観変化(草地の消失)と個体群分布の変化との間に長いタイムラグが認められた(図(2)-13)。既往研究からは、生育地面積の90%以上が消失した時点でタイムラグが認められなくなり、地域的な絶滅が生じてしまうことが示されている(Cousins, 2009)。本研究の結果から、オフセット候補地を選択する際には、対象地に残っている草地生態系を中心として、最大でも半径1～1.5km圏内に新たな草地を再生することとし、再生地の面積としては、戦前(1930年代～1950年代)にその地域に存在した草地面積を基準として、その10%以上を確保することが求められる。本研究の結果から、草地生態系の評価においては、現在の草地の分布域だけでなく、過去(特に1930年代～1950年代)の分布域を考慮することが重要であることが示された。

草地生態系における生物多様性評価の項目を、これまでの研究成果に基づき表2-5(1)に整理した。森林生態系で使われる立地条件評価の3項目(大径木の個体数、林冠被覆率、倒木・落枝量)は草地生態系では適切でない可能性が明らかとなり、草地の植物群集構造を指標する代替項目として、植物種数、植被率、植生高が有効であった。また、植物の種特性情報により草地の種多様性および種組成の違いが評価可能であったことから、8種特性(一・越年生広葉草本/禾本、多年生広葉草本/禾本、木本、低木、シダ、ツル)を設定した。さらに、生態系評価の参照レベルを「継続管理された半自然草地」と定義し、国内最大面積の半自然草地が残る熊本県阿蘇市の継続管理地で得られた植生データを適用し、参照レベルの実測値を得た(表(2)-5(1))。開発・オフセット回避地として継続管理された半自然草地、オフセット行為後地として再生された半自然草地、および開発・オフセット候補地として耕作放棄地を想定し、各地で得られた植生データを用いてH法によるスコア算出を試行した(表(2)-5(2))。その結果、開発・オフセット候補地では、回避地・オフセット行為後地より種組成および外来種の被度に係る得点および総合得点が低くなることが明らかとなり、管理の違いをある程度評価できると考えられた。一方、森林と比較して希少植物および外来種が生育する草地植生では、種数評価の項目において希少種の重みづけを行うこと、また外来種が優占する劣化した生態系であっても一定の生態系サービスを担う可能性があり、その重要性を評価する必要があると考えられた。ランドスケープ評価の項目においては、現存草地植生の固有性や過去の土地利用履歴の影響が大きいことから、パッチサイズや距離による評価は現実的でなく、ハビタット連結性を評価する必要があると考えられた。

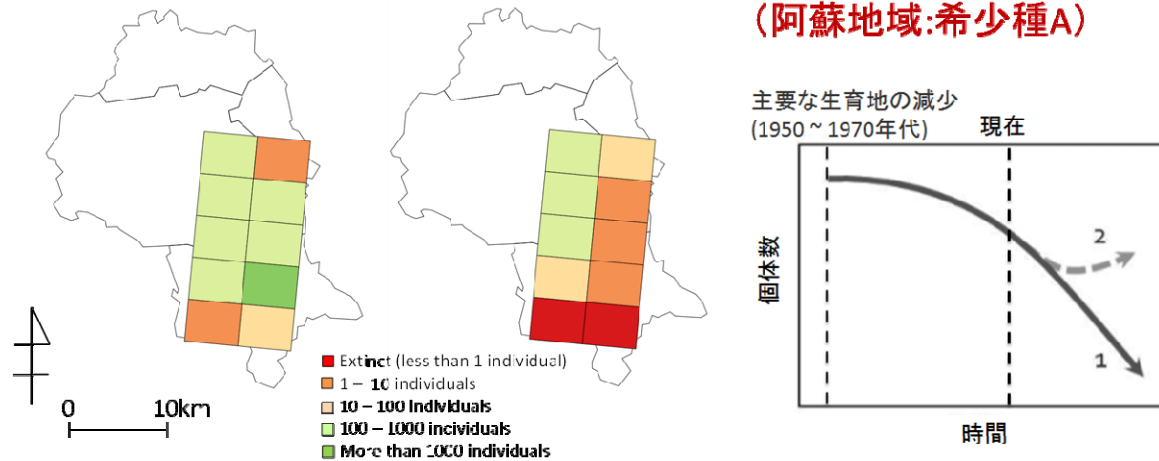
表(2)-4 草地性植物の個体数分布と有意な正の相関性を示した景観年代とその空間スケール (●は有意な正の相関性が認められたことを示す)

種名	絶滅危惧種		1930年代	1950年代	1970年代	2000年代
	環境省	熊本県				
ハナシノブ	絶滅危惧IA類	絶滅危惧I類	● 1.5km	● 1km	● 1km	● 1km
ノヒメユリ	絶滅危惧IB類	準絶滅危惧種	● 500m	-	● 500m	● 500m
マツモトセンノウ	絶滅危惧II類	-	● 500m	● 1km	-	-
ヒゴタイ	絶滅危惧II類	絶滅危惧I類	● 500m	● 1km	● 1km	-
フクジュソウ	-	-	● 1.5km	● 1.5km	● 1.5km	-
ヒメノダケ	-	-	● 1.5km	● 1.5km	● 1.5km	● 1.5km
ヒメユリ	絶滅危惧IB類	絶滅危惧I類	● 1km	● 500m	● 1km	-
イブキトラノオ	-	準絶滅危惧種	-	-	● 1.5km	● 1.5km
ケルリソウ	絶滅危惧II類	絶滅危惧I類	-	● 1.5km	-	-
マンセンカラマツ	絶滅危惧IB類	準絶滅危惧種	-	-	-	-
ミドリヨウラク	-	絶滅危惧II類	● 1km	● 1.5km	● 1.5km	● 1.5km
オキナグサ	絶滅危惧II類	絶滅危惧II類	● 1.5km	● 1.5km	● 1.5km	● 1.5km
ツルフジバカマ	-	-	-	-	-	-
ワレモコウ	-	-	● 500m	-	● 1.5km	● 500m
シオン	絶滅危惧II類	絶滅危惧II類	● 1.5km	● 1.5km	● 1.5km	● 1.5km

① 現在の個体数

予測個体数

② 絶滅の負債評価  
(阿蘇地域:希少種A)



図(2)-13 阿蘇固有の絶滅危惧種を対象とした現在の個体数と予測個体数の分布 (左図)。生息地の減少に伴う種の絶滅にはタイムラグ(絶滅の負債)が存在し(右図)、景観が変化した後も個体数が長期にわたって減少し続ける(①)が、早いうちに生息地を再生すれば、将来生じるはずの個体数の減少をある程度緩和することができる(②)。

表(2)-5 ハビタットヘクター法を基盤とする草地の生態系評価法。(1) 評価項目および参照レベルの実測値、(2) 半自然草地および耕作放棄地に対してハビタットヘクター法を適用したスコア算出の試行結果。-: 未測定。

(1) 評価項目およびベンチマークの実測値			(2) スコアリングの試行							
項目	実測値		草地タイプ	(配点)	半自然草原			農耕地		
管理形態			管理地	再生地	再生地	放棄地				
			火入れ	火入れ	火入れ+採草	(初期)	(中期)	(後期)		
植生構造			植生構造							
種数	19		種数	10	8	6	10	6	4	4
植生高 (cm)	133		種数	5	5	5	5	5	5	5
植被率 (%)	92		種数	5	5	5	5	3	5	5
草地植生	種数	被度 (%)	種特性組成							
一年・越年生広葉草本	0	0	草地植生	25	5	15	15	5	5	5
一年・越年生禾本	0	0	更新阻害植物の欠如							
多年生広葉草本	14	40	外来植物の被度	15	15	15	15	11	4	11
多年生禾本	3	64	更新	-	-	-	-	-	-	-
木本	0	1	土壌状態	-	-	-	-	-	-	-
低木	1	6	合計	60	36	46	50	30	23	30
シダ	0	0		回復地	オフセット地(行為後)	開発地・オフセット候補地				
ツル	1	2								
実生										
実生の種数	-									
更新阻害植物の欠如										
外来植物の被度 (%)	0									
土壌状態										
リターの被覆率 (%)	-									

## 2) 湿地 (泥炭地・湧水湿地)

生態系評価として表(2)-6に示す4つのステップに基づく手法が適していると考えた。ステップ1では現在および過去の地形図、土壌図、植生図、個別の現地調査等の既存情報から参照レベルとなる植生タイプを設定する(表(2)-7)。植生タイプとしては実用性を考慮して泥炭地は①ミズゴケ群落、②ヌマガヤ群落、③ヨシ群落、④ハンノキ群落の4タイプ、湧水湿地は①ホシクサ属・ミカヅキグサ属が優占する湿性草地、②ハナノキ・シデコブシを含む湿地林の2タイプとした。

表(2)-6 湿地の生態系評価の各ステップとその内容

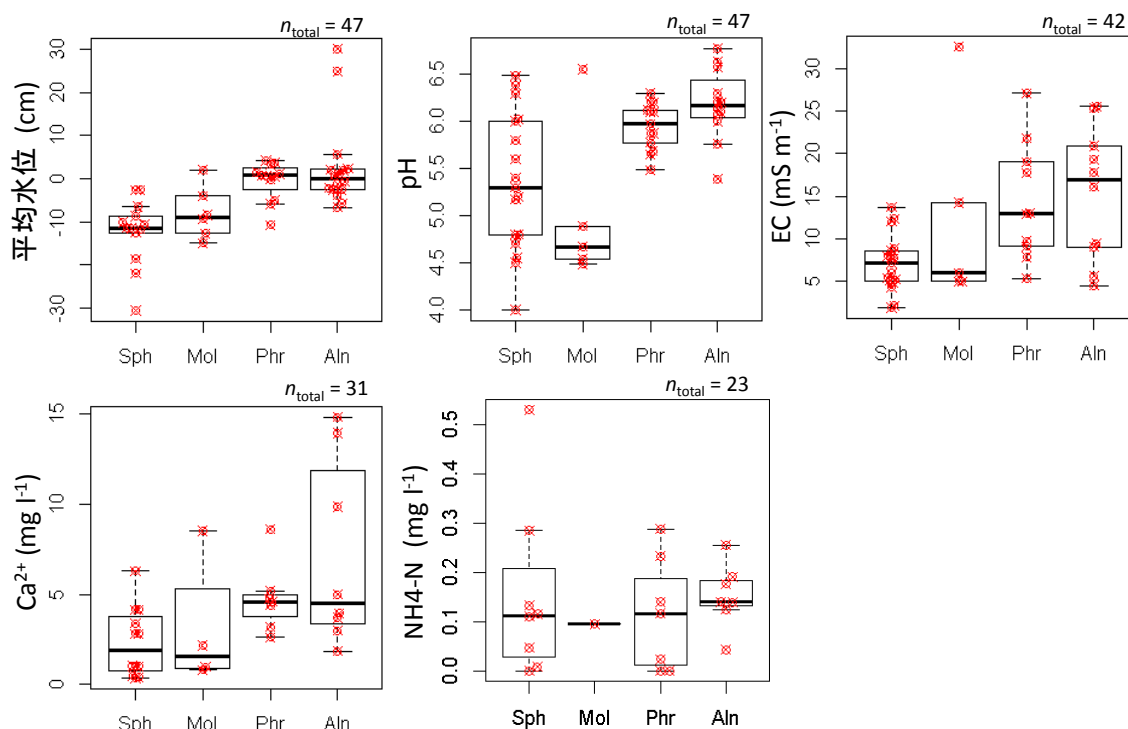
ステップ	内容
1. 参照レベルの設定	人為的な影響を受ける前の本来の植生タイプを設定する
2. 健全度の評価	参照レベルとなる植生タイプの成立環境(参照レベル)からの乖離度に基づいて健全度をスコア化する
3. 重要度の評価	現状の生物多様性からみた重要度をスコア化する
4. スコア化	健全度と重要度の各スコアに基づき生態系評価のスコアを計算する

表(2)-7 参照レベルの設定に利用可能な既存情報と把握できる可能性のある要素

既存情報	把握できる可能性のある要素
地形図(現在・過去)	立地環境、水文環境
土壌図	泥炭を構成する植物(過去の植生)
植生図	現存植生
個別の現地調査	現存・原植生、周辺の原生自然植生等

湿地の生物多様性を維持する上ではその基盤となる物理化学環境の保全が重要であり、例えば国内の泥炭地では人為的攪乱に対して水文と水質を介した植生劣化の事例が多い（図(2)-10）。そこでステップ2では水文と水質の2つの環境要素を指標とした健全度評価が適していると考えた。国内の水文・水質測定を行った論文・報告書を収集し、人為的攪乱の有無を考慮して各植生タイプのリファレンスとなり得る水文・水質観測データを抽出した。その結果、泥炭地については19文献、23～47地点のデータから、植生タイプ別の測定値が比較的多く存在する指標として水位、水素イオン濃度（pH）、電気伝導度（EC）、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度（ミネラルイオンの指標）、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度（栄養塩類の指標）が挙げられた（図(2)-14）。これらの水文・水質変量の各植生タイプの参照レベルからの乖離度に基づいたスコア化の例を表(2)-8に示す。

湧水湿地においては、解析評価を行うための既存のデータが乏しいことから、現地調査によるインベントリデータベースの作成を実施し、東海地方5県（愛知・岐阜・三重・静岡・長野）のおよそ1450箇所（湧水湿地）から環境・生物情報を得ることができ、それをもとに立地及び空間分布特性を明らかにすることができた。健全度の評価指標を選定するに当たっては、これらの実地調査で得た水質等の環境データ、生育する植物種のデータから読み取れる内容を加味した。実地調査からは、中央値が400  $\text{m}^2$ 程度と小面積規模であることに加え、都市近郊に多く存在することが確認された。その結果として、集水域の土地利用変化によって水質・水文環境が変化する可能性が高いことが明らかとなった。そこで、健全度の指標としては、泥炭地と同様、1) EC・pHに代表される水質、2) 地下水位から判断される乾燥化程度の二つが適切かつ実用的であると判断された。

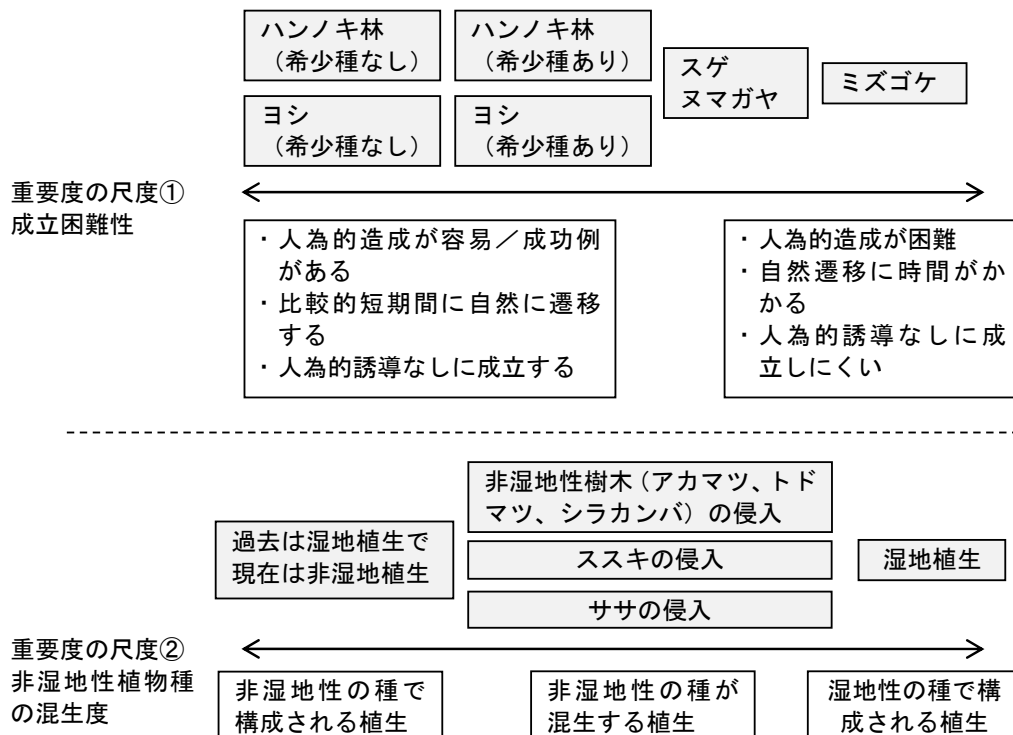


図(2)-14 泥炭地における植生タイプ別の水位、pH、EC、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の範囲。Sphはミズゴケ群落、Molはヌマガヤ群落、Phrはヨシ群落、Alnはハンノキ群落を示す。

表(2)-8 泥炭地における参照レベルからの乖離度に基づいたスコア化の例。4つの水文・水質変量を例として、参照レベルとなる植生タイプの参照レベルの範囲内の場合は○（1点）、範囲からやや逸脱する場合は△（0.5点）、範囲から大きく逸脱する場合は×（0点）とした。

地点	水文・水質変量				スコア
	水位	pH	ミネラルイオン	栄養塩類	
A	○	○	○	○	4.0
B	△	○	○	○	3.5
C	×	△	○	○	2.5
D	×	×	△	△	1.0

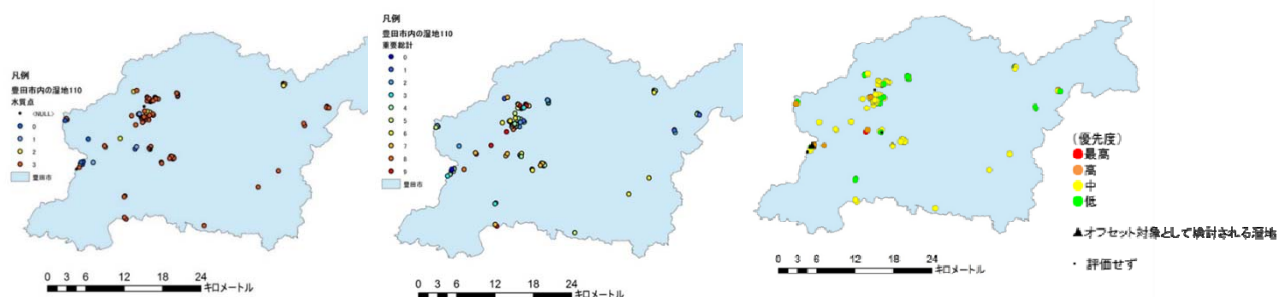
次にステップ3の重要度評価に関して、自然または人為的攪乱に伴う植生の変化に着目して指標を検討した。植生が実際に変化した事例（ある場所における変化前と変化後の植生が読み取れる事例）について文献を収集し、変化要因（人為的・能動的な植生誘導か自然遷移か等）や変化に要した時間の長短を抽出した。その結果、泥炭地については様々な湿地植生からハンノキ林への変化は各地で普通に認められる一方で、ミズゴケ等の貧栄養な環境を求める植生に変化した例は少ない事が分かった。またアカマツ、トドマツ、シラカンバといった非湿地性の樹木が湿地に侵入した箇所も各地で確認されていたことが分かった。これらの植生変化の傾向から成立困難性と非湿地性植物種の混生度の2つの尺度を用いてスコア化することが有効との結論を得た（図(2)-15）。湧水湿地については総種数・希少種数・湿地面積・群落タイプの希少性・外来種侵入程度の5項目が指標として適切かつ実用的であると考えられた。



図(2)-15 泥炭地の重要度に関する2つの尺度と対応する植生

今後の課題としては、まず評価する空間単位や景観スケールから見た重要度の評価（例えば、周辺の湿地の有無）といった空間的な扱いが挙げられる。また各植生タイプの参照レベルとして有効な水位・水質変量の検討とそれらの測定方法の基準作り（例えば藤村他，2006）、さらには地域性（例えば矢部，1993）を考慮した参照レベルの設定について検討する必要がある。スコア化においては健全度と重要度の各指標の重みの設定方法や生態系機能から見た重要度の評価についての検討が必要と考えられる。

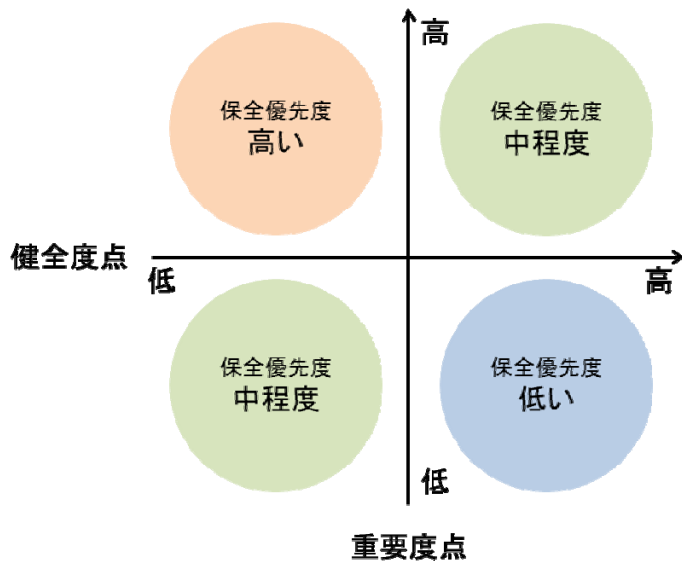
その試行として、図(2)-16に愛知県豊田市の湧水湿地を対象としたスコア評価の例を示した。



図(2)-16 愛知県豊田市の湧水湿地を対象としたスコア評価の試行例（左：水質を用いた健全度のスコア化、中：総種数・希少種数・面積を用いた重要度のスコア化、右：重要度と健全度に基づく総合評価）

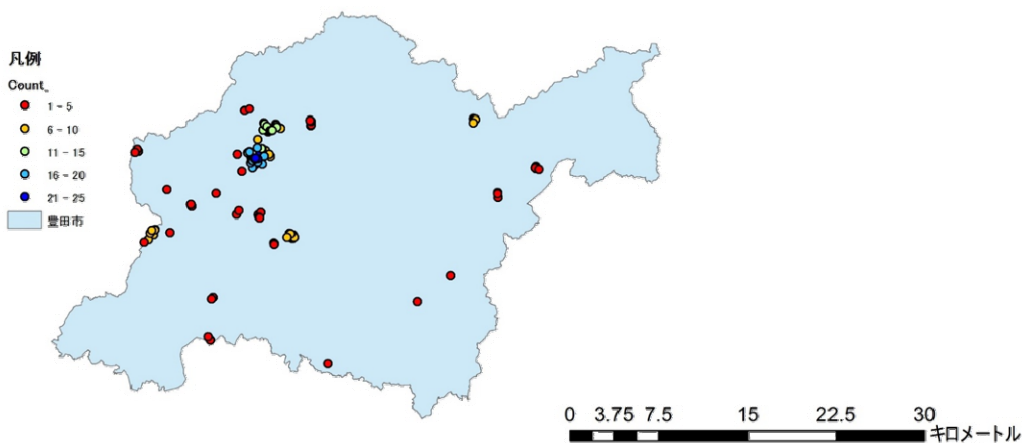
ここで重要度・健全度を用いた総合評価にあたっては、図(2)-17にまとめられる下記の考え方をを用いた。

- a) 重要度点が高く健全度点が低い場合：保全優先度が高い（生物多様性がすぐさま損なわれる危険性があるため）
- b) 重要度点・健全度点のいずれもが高い場合：保全優先度は中程度（現状のままでも豊かな生物多様性が維持される可能性が高いため）
- c) 重要度点・健全度点のいずれもが低い場合：保全優先度は中程度（仮に損なわれても生物多様性の損失は限定的であるため）
- d) 重要度点が低く健全度点が低い場合：保全優先度は低い（仮に損なわれても生物多様性の損失は限定的であるが、その危険性も低いため）



図(2)-17 重要度・健全度に基づく総合評価の考え方の例（評価軸を保全優先度としている）

さらに小規模に点在する湧水湿地については、ランドスケープの視点からの評価を追加することで保全の優先度を評価する考え方を提起した。その際、湧水湿地の生物が地域全体でメタ個体群を形成している観点から「湿地密度」と、種組成から周囲と互いに代替可能か否かの観点から「相補性程度」の2項目が指標として有効であると考えられた。湿地密度について、1地点当たりの湿地の重要度は、湿地分布が疎な場所では上がり、密な場所では下がる。こうした評価に基づいて、上述した重要度・健全度に基づく評価を補正することが望ましいと考えられる。図(2)-18に、湿地密度の観点から愛知県豊田市の湧水湿地を対象とした評価の試行例を示した。



図(2)-18 愛知県豊田市の湧水湿地を対象としたランドスケープの視点からのスコア評価の試行例（凡例の数字は半径1 km<sup>2</sup>に存在する湿地数）

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

- ・同質性の観点からの草地と湿地の区分はこれまでに日本ではなされておらず、本研究において草地は種及び人為的攪乱等から、湿地は物理化学環境から同質性区分を提起した。その過程で草地における人為的攪乱と外来種を含む種組成の関係を明らかにした。
- ・草地におけるランドスケープレベルでの植物分布の分析から、個体現存地のみならず過去の分布域を考慮したうえで周辺の生育地確保が必要であることを明らかにした。
- ・湿地について同質性に応じて攪乱による劣化プロセスが異なること、修復効果の見られる手法が存在することを包括的に明らかにした。また泥炭地において水位及び水質が生態系の健全性に応じた挙動を示すこと、湧水湿地を対象に整備したインベントリデータベースからランドスケープレベルの立地及び空間分布特性を明らかにした。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

- ・平成28年に環境省が取りまとめて公表した日本の重要湿地の選定において、本研究から明らかになった湧水湿地の実態に関わる成果が生かされ選定に至った。
- ・「平成28年度自然再生の広域的な視点に基づく取組に関する専門家ヒアリング」において、本研究における湿地の劣化要因及び修復可能性の検討から明らかとなった知見が生かされた。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・草地及び湿地の生態学的特性と人為的攪乱に関わる劣化の現状から、原則として開発およびオフセットの回避対象とした上で、人為的影響等により著しく劣化した草地及び湿地については開発回避の対象外、並びに既存の科学的知見から一定の回復効果が期待できるためオフセット候補地になり得ることを提起した。この考え方は今後の自治体及び国における生物多様性保全施策の基本に寄与し得る。
- ・ハビタットヘクター法等の日本への応用の検討結果により、これまで提起されていなかった草地における普通種を含む生態系評価手法、並びに湿地におけるは物理化学環境を指標とする生態系評価手法が開発された。本手法は、今後生物多様性オフセットを含む、様々な生態系評価に利用可能である。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

- 1) 小山明日香、小柳知代、野田顕、西廣淳、岡部貴美子：保全生態学研究、21, 41-49 (2016), 都市近郊に位置する孤立草地の埋土種子相に隠されたリスク：草原性植物の残存個体群の保全に向けた課題



- 2) 小泉武栄、富田啓介、目代邦康：ジオパークと地域資源、1, 35-41 (2015), ジオツアーガイド 渥美半島における東海丘陵要素の地生態学的検討
- 3) 富田啓介：地理学評論、89, 53-67 (2016), 都市近郊に位置する小面積の自然保護地域における利用特性と満足度—愛知県の湧水湿地における事例
- 4) M. U. SAITO, T. FURUKAWA and T. F. KOYANAGI: *J Mammal*, 97, 1451-1460 (2016), Extinction debt differs depending on habitat histories at local scale: time-lag in response of Japanese hares to landscape change along an urban gradient.
- 5) A. KOYAMA, T. F. KOYANAGI, M. AKASAKA, M. TAKADA and K. OKABE: *Applied Vegetation Science*, 20, 40-49 (2017), Combined burning and mowing for restoration of abandoned semi-natural grasslands.
- 6) A. KOYAMA, T. F. KOYANAGI, M. AKASAKA, Y. KUSUMOTO, S. HIRADATE, M. TAKADA and K. OKABE: *Oryx* (2017), doi: 10.1017/S0030605316001526 (online version), Partitioning the plant diversity of semi-natural grasslands across Japan.
- 7) T. F. KOYANAGI, M. AKASAKA, H. OGUMA and H. ISE: *Plant Ecology* (2017) doi: :10.1007/s11258-017-0724-z (online version), Evaluating the local habitat history deepens the understanding of the extinction debt for endangered plant species in semi-natural grasslands.
- 8) 小山明日香、岡部貴美子：森林総合研究所研究報告、(2017), 生物多様性オフセットによるノーネットロス達成の生態学的課題 (in press)

#### <その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 佐伯いく代、富田啓介、糸魚川淳二、大畑孝二：湿地研究、5, 1, 35-40 (2014)  
「中津川市千旦林岩屋堂の湧水湿地群の保全について」
- 1) 小柳知代、米澤健一：環境教育学研究、24, 3-14 (2015)  
「伝統知に基づく多様な植物資源利用とその変遷—新潟県十日町市に位置する中山間集落を事例に」
- 2) 高田雅之：北海道の自然(北海道自然保護協会会誌)、53 (2015)  
「湿原保全への新たな仕組み～生物多様性オフセットを考える～」
- 3) 及川由依、竹内大悟、小柳知代、吉富友恭：環境教育学研究、24, 15-22 (2015)  
「早稲田大学所沢キャンパス内の保全湿地における埋土種子の分布」
- 4) 宮下直、西廣淳編著：保全生態学の挑戦、東京大学出版会、169-182 (2015)  
「第10章 地域的な絶滅と時間—景観変化が引き起こす絶滅の遅れ(執筆担当：小柳知代)」
- 5) 富田啓介：八竜湿地研究報告書(八竜湿地研究会)、(2015)  
「八竜湿地からみる東海地方の湧水湿地の成り立ちと課題」
- 6) 占部城太郎、日浦勉、辻和希編：生態学フィールド調査法シリーズ第3巻、共立出版、(2015)  
「植物群集の構造と多様性の解析(執筆担当：佐々木雄大, 小山明日香, 小柳知代, 古川拓哉, 内田圭)」
- 7) 斎藤達也、小柳知代、小山明日香：環境教育学研究、25, 1-13 (2016).  
「外来種の生態学と環境教育：外来植物の問題を通じて人と自然の関わりを見つめ直す」

## (2) 口頭発表 (学会等)

- 1) T. OTA, Y. HASEGAWA, M. TAKADA and T. UNO : The 9th European Conference on Ecological Restoration, Oulu, Finland, (2014)  
 “Multiple socio-cultural benefits from restoration of a cultural service: A case of restoration and management of nature-related cultural heritage site“
- 2) 富田啓介、大畑孝二、糸魚川淳二 : 日本湿地学会第6回大会 (2014)  
 「湧水湿地研究会」による湧水湿地目録作成の取り組み」
- 3) 小山明日香、小柳知代、赤坂宗光、高田雅之、岡部貴美子: 第62回日本生態学会(2015)  
 「草原の管理再開による植物種多様性の回復程度とその規定要因」
- 4) 木塚俊和、矢崎友嗣、濱田洋平、藤村善安、高田雅之 : 第62回日本生態学会大会 (2015)  
 「栄養塩保持機能からみた泥炭地の同質性評価」
- 5) T. YAZAKI, T. KIZUKA, Y. HAMADA, Y. FUJIMURA and M. TAKADA : International Symposium of Agricultural Meteorology, Tsukuba, Japan, (2015)  
 “Evaluation of similarity of water-related ecosystem functions in peatlands in relation to vegetation types“
- 6) 小柳知代 : 日本土木学会応用力学フォーラム (2015)  
 「草原の機能と生物多様性 : 過去の人間活動による将来への影響」
- 7) 小柳知代 : 平成27年度農村計画学会東日本ブロック地区セミナー (2015)  
 「越後妻有地域の棚田の植物の多様性」
- 8) 内田圭、小柳知代、松村俊和、小山明日香 : 植生学会第20回大会 (2015)  
 「畦畔草地における土地利用の変化が引き起こす植物多様性の変化—種組成は均質化しているのか—」
- 9) 富田啓介、上杉毅、澤田與之、籠橋まゆみ、早川しょうこ、大畑孝二、小玉公明、大羽康利、山田祐嗣、鬼頭弘、鈴木勝己、楯千江子、河合和幸、高田雅之 : 第7回日本湿地学会大会 (2015)  
 「東海地方における湧水湿地の分布と特徴 (中間報告)」
- 10) 富田啓介、高田雅之、上杉毅ら : 第63回日本生態学会大会(2016)  
 「東海地方における湧水湿地インベントリ作成の試み」
- 11) 太田貴大・高田雅之 : 環境アセスメント学会2015年度大会(2015)  
 「生物多様性オフセットの対象としての社会的ネットワーク」
- 12) 高田雅之、三島啓雄、島村崇志 : 第7回日本湿地学会大会(2015)  
 「排水路敷設による高層湿原の劣化評価」
- 13) T. OTA and M. TAKADA : 8th Annual Ecosystems Services Partnership Conference 2015, Stellenbosch, South Africa, 2015  
 “Differences and similarities in social network structure between government-made local groups and a spontaneously-organized ones: suggesting a reference level of arestored cultural ecosystem service”
- 14) 小山明日香、小柳知代、赤坂宗光、楠本良延、平舘俊太郎、高田雅之、岡部貴美子: 第63回日本生態学会 (2016).  
 「全国規模での種多様性保全に重要な空間スケール : 半自然草原の植物群集での検討」
- 15) 松崎弘利、小柳知代、山田晋、加藤裕一、樋口利彦 : 第63回日本生態学会 (2016)

- 「利根川における河川堤防の造成履歴と植生の関係ー土壌条件に着目してー」
- 16) 齋藤昌幸、古川拓哉、小柳知代：2016年度日本景観生態学会全国大会 (2016)  
「Living dead hares：都市化にともなう景観変化に対するノウサギの分布応答」
- 17) 小柳知代、古川拓哉、大澤剛士：第64回日本生態学会 (2017)  
「草原性植物群集形成における時間軸と空間軸の交点を探る：過去の景観変化がもたらすβ多様性の変化」
- 18) 矢崎友嗣、木塚俊和、濱田洋平、藤村善安、高田雅之：平成28年度農業農村工学会大会講演会 (2016)  
「湿原の排水と植生変化が泥炭表層の水文環境に及ぼす影響」
- 19) 富田啓介、土山ふみ、飯尾俊介、大沼淳一、近藤繁生、高山博好：第8回日本湿地学会大会 (2016)  
「1983年から2015年の間に見られたため池環境の変化：名古屋市東部およびその周辺における事例」
- 20) 高田雅之、川島賢治、大畑孝二、小熊宏之：第8回日本湿地学会大会 (2016)  
「湧水湿地におけるカメラを用いた開花情報のWeb発信とアクセス数」
- 21) T. KIZUKA, K. SATO, K. YABE, T. YAZAKI and M. TAKADA : The 64th Annual Meeting of Ecological Society of Japan, Tokyo, Japan, 2017  
“Comparison of nutrient retention between natural and nutrient-loaded poor fens”
- 22) F. TAKAKAI1, A. KAGEMOTO, O. NAGATA, M. TAKADA and R. HATANO : IPC 15th International Peat Congress, Sarawak, Malaysia, 2016  
“Spatial evaluation of greenhouse gas budget in dwarf bamboo (Sasa) invaded wetland ecosystem in central Hokkaido, Japan”
- 23) T. OTA and M. TAKADA : Asian Ecosystem Services Partnership Conference 2016, Anzan City, Korea, 2016  
“Social network generated through wetland management activities: block modeling and reduced graphs to reveal general patterns”

### (3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 第26回晩成学舎（主催：一般社団法人湿原研究所、2014年6月21-22日、大樹町、聴講者約15名）にて講演
- 2) 一般公開シンポジウム「中津川市坂本の湧水湿地保全を考える」（2014年7月21日、中津川市坂本公民館、観客約30名）にて講演
- 3) 湿地保全講演会（主催：豊田市、2014年9月27日、豊田市自然観察の森、聴講者約30名）にて講演
- 4) 東海シニア自然大学専修科における講義（2014年10月3日、豊田市自然観察の森、聴講者約30名）
- 5) 第2回八竜湿地研究会（2014年2月1日、名古屋大学年代測定総合研究センター、聴講者約20名）

にて講演

- 6) ワークショップ「東海地方の湧水湿地の保全－愛知県瀬戸市の大学研究林内の湿地に着目して－」（主催：東京大学生態水文学研究所・瀬戸市共催、2014年11月23日、パルティ瀬戸、観客約30名）にて講演
- 7) 2014年三番瀬市民調査報告会（2014年12月13日、船橋市男女共同参画センター、聴講者約40名）にて講演
- 8) 愛知県半田市半田高校スーパーサイエンスハイスクール「知多を知る」における特別授業（2015年3月13日、聴講者約300名）
- 9) 市民公開講座「岩屋堂湿地の動植物から湿地の保全と活用を考える」（2015年2月15日、中津川市坂本公民館、聴講者約40名）にて講演
- 10) 中津川市市民学習会（主催：中津川市、2015年3月17日、中津川市鉱物博物館、聴講者約40名）にて講演
- 11) FAPESP-JSPS Joint Research Workshop “Contribution of Genetics to Plant Conservation”（2014年2月3日、聴講者48名）にて講演
- 12) ラムサール条約登録3周年記念湿地保全講演会（2015年9月26日、豊田市自然観察の森、聴講者約40名）にて講演
- 13) 東海シニア自然大学専修科における講義（2015年10月2日、豊田市自然観察の森、聴講者約30名）
- 14) なごや生物多様性保全活動協議会第37回定例会（2015年11月4日、なごや生物多様性センター、聴講者約40名）にて講演
- 15) 愛知県半田市半田高校スーパーサイエンスハイスクール「知多を知る」における特別授業（2015年12月10日、聴講者約300名）
- 16) 長久手湿地保全の会と長久手里山クラブが主催する特別講演会（2016年2月21日、長久手市まちづくりセンター、聴講者約40名）にて講演
- 17) 2015年三番瀬市民調査報告会（2016年1月16日、船橋市男女共同参画センター、聴講者約40名）にて講演
- 18) 自然と環境を守る交流会シンポジウム（2015年12月5日、法政大学、観客約250名）にて講演
- 19) 日弁連 公害対策・環境保全委員会自然保護部会（2015年4月6日、弁護士会館、聴講者約20名）にて講演
- 20) 東京大学犬山研究林利用者協議会講演会（2016年4月16日、犬山市民健康館さら・さくら、聴講者約30名）にて講演
- 21) 湿地保全講演会（主催：豊田市、2016年6月29日、豊田市自然観察の森、聴講者約20名）にて講演
- 22) 第8回ラムサール条約登録湿地関係市町村会議 学習・交流会（2016年7月8日、名古屋市公館、聴講者約40名）にて講演
- 23) ラムサールシンポジウム2016（2016年8月28日、米子全日空ホテル、観客約300名）にて講演
- 24) ラムサール条約登録4周年記念・湿地保全講演会（2016年9月24日、豊田市自然観察の森、聴講者約50名）にて講演
- 25) 東海シニア自然大学専修科における講義（2016年10月6日、豊田市自然観察の森、聴講者約

30名)

- 26) 静岡県立森林公園ボランティアの会研修講座（2017年2月19日、静岡県立森林公園、聴講者約20名）にて講演
- 27) 長久手市自然環境講座（2017年2月26日、長久手エコハウス、聴講者約60名）にて講演
- 28) 海上の森大学基礎講座における講義（2017年3月5日、あいち海上の森センター、聴講者約40名）
- 29) 石狩川流域 湿地・水辺・海岸ネットワーク設立記念フォーラム（2017年3月5日、札幌市社会福祉総合センター、聴講者約180名）にて講演
- 30) 文科省私立大学ブランディング事業「持続可能な地域社会の発展を目指した「河川域」モデル」キックオフシンポジウム（2017年3月15日、上智大学地球環境学研究科、聴講者約80名）にて講演

## 8. 引用文献

- 1) COUSINS : JVS 20,3-7 (2009), Extinction debt in fragmented grasslands: paid or not?
- 2) DSE (The State of Victoria Department of Sustainability and Environment): Version 1.3. Victorian Government (2004), Vegetation Quality Assessment Manual-Guidelines for applying the habitat hectares scoring method.
- 3) T. HIRANO et al. : Agricultural and Forest Meteorology, 220, 90-100. (2016), Effects of the expansion of vascular plants in Sphagnum-dominated bog on evapotranspiration.
- 4) T. HRUBY : Washington State Department of Ecology publication #10-06-11. (2012), Calculating Credits and Debits for Compensatory Mitigation in Wetlands of Western Washington, Final Report.
- 5) NATIONAL WETLANDS WORKING GROUP : B.G. Warner and C.D.A. Rubec (eds.), Wetlands Research Centre, University of Waterloo, (1997), The Canadian Wetland Classification System, 2nd Edition.
- 6) QUEEN'S PRINTER FOR ONTARIO : 3rd Edition, Version 3.3 (2014), Ontario Wetland Evaluation System, Southern Manual.
- 7) H. RYDIN and J.K. JEGNUM : Oxford University Press (2006), The Biology of Peatlands.
- 8) K. TAKAGI et al. : Wetlands, 19, 246-254. (1999), Effect of the invasion of vascular plants on heat and water balance in the Sarobetsu mire, northern Japan.
- 9) K.J. WALKER et al. : Biological Conservation 116, 289-303 (2004), The importance of former land use in determining successful re-creation of lowland heath in southern England.
- 10) K. YABE and S. UEMURA : Canadian Journal of Botany 79, 1318-1326 (2001), Variation in size and shape of Sphagnum hummocks in relation to climatic conditions in Hokkaido Island, northern Japan.
- 11) 藤村善安ら : 応用生態工学 9, 129-140 (2006) , 湿原における植生—立地環境の関係解析のための水位環境指標値
- 12) 富士田裕子 : 地球環境、12(1), 7-20 (2007) , 北海道の湿原生態系とその保全・再生.
- 13) 岩城英夫 : 共立出版 (1973) , 陸上植物群落の物質生産II 草原
- 14) 環境省 : 湿地が有する生態系サービスの経済価値評価 (2014)
- 15) 環境省 : [http://www.env.go.jp/nature/important\\_wetland/](http://www.env.go.jp/nature/important_wetland/) (2016) , 生物多様性の観点から重要度

の高い湿地

- 16) 農耕地土壌分類委員会：農耕地土壌分類 第3次改訂版（1994）
- 17) 総務省統計局：日本統計協会・毎日新聞社．（2015），第六十四回日本統計年鑑
- 18) 矢部和夫：東 正剛ら（編）生態学からみた北海，北海道大学図書刊行会（1993），北海道の  
湿原
- 19) 山川 修ら：国土地理院時報、92，57-67（1999），全国の湿原変遷調査

### (3) カーボンオフセットを付加した環境保全オフセット評価手法の開発

国立研究開発法人 森林総合研究所 森林植生研究領域 佐藤 保  
 森林昆虫研究領域 滝 久智  
 四国支所 長谷川元洋

<研究協力者>

国立研究開発法人 森林総合研究所 生物多様性研究拠点 北岡 哲

平成26～28年度累計予算額：29,936千円（うち平成28年度：9,150千円）

予算額は、間接経費を含む。

#### [要旨]

本研究では、生物多様性保全とカーボンオフセット制度間のトレードオフ測定指標の開発およびコベネフィットの得られる生態学的条件を検討し、生物多様性オフセットとカーボンオフセットを一体化させた環境保全の定量的評価手法を提案することを目的とした。炭素蓄積量と種多様性の関係を解析するために、北茨城周辺の土地利用履歴の異なる広葉樹二次林（草地由来および広葉樹林由来の2タイプ）を対象に炭素蓄積量の比較を行い、炭素蓄積と生物多様性の共通する評価手法としてハビタットヘクタール(HH)法が利用できる可能性を検討した。本研究の結果では、HH法スコアリングの合計値であるハビタットスコアと樹木種多様性の指標となる指数の間に有意な相関関係は見られなかった。しかしながら、各細目においては、倒木量が予測された種数と相関を示し、また、実生の更新状態や倒木量の細目は地上部炭素量や倒木の炭素量と相関関係が見られることがわかった。日本の森林の実情に合わせたHH法のスコアリングは、炭素蓄積と多様性の評価をつなぐ指標としての利用が可能になると考えられた。開発より消失した炭素量をカーボンオフセット制度によるクレジットのみで相殺することは困難であり、永続性や保守性の観点からも開発分以上の面積が必要である。また、荒廃農地などへの新規植林で流域の炭素蓄積増加を図るなどの取組が必要であると考えられた。

#### [キーワード]

森林炭素蓄積量、生物多様性、ランドスケープ、ハビタットヘクタール法、広葉樹二次林

#### 1. はじめに

生物多様性条約の愛知目標、目標3では、遅くとも2020年までに生物多様性に対する負の影響を最小化または回避するために有害な奨励措置が廃止または改革され、生物多様性保全および持続可能な利用のための正の奨励措置が策定され適用されることとしており、生物多様性オフセットはこの目標に合致する重要な制度であると考えられる。また愛知目標15は生態系の回復能力および二酸化炭素の貯留に対する生物多様性による貢献の強化とそれが気候変動の緩和と適応に貢献することを期待しているものの、生物多様性オフセットの炭素への影響は実施国でも配慮が十分ではないのが実情である。これらのことから、炭素に配慮した生物多様性オフセットの新たな仕組み作りのための、生態系の評価手法の開発が必要であることが明らかとなってきた。

一方、気候変動対策に視点を転じてみると、温室効果ガスによる気候変動に対する、最も費用対効果の高い緩和策として、新規植林や持続可能な森林経営、森林減少・劣化」の抑制が挙げられているが（IPPC, 2016）、「REDD+」は森林の減少と劣化に由来する温室効果ガスの排出削減に向けた取り組みに森林保全、持続可能な森林経営等の取り組みを加えたものである。「REDD+」が生まれた背景のひとつに、新規植林という名目で、制度上の抜け道を悪用したモノカルチャープランテーション（緑の砂漠）の弊害が挙げられる（DeShazo, 2016）。すなわちモノカルチャープランテーションの造成によって、炭素蓄積は増加するが、森林の分断化とそれによる生物多様性の減少、そして現地住民の生活の変化による貧困化などの社会問題が顕在化した（DeShazo, 2016）。

このような背景もあって、熱帯林を中心に炭素蓄積と、生物多様性や人間活動に関する研究は行われている。前述のように炭素蓄積は増加するが生物多様性は失われるという地域の例や、炭素蓄積は増加せず、生物多様性も失われるという地域の例もある（Phelps et al., 2012）。その一方で、生物多様性は炭素蓄積と負の相関を示さず、共存できる可能性があるという結果（Newton et al., 2016）や、生物多様性と炭素蓄積の間には正の相関がみられる、すなわちコベネフィットがあるという研究例も報告されている（Phelps et al., 2012; Gilroy et al. 2014; Poorter et al., 2015）。

上述のように炭素蓄積と生物多様性間には、トレードオフやコベネフィットなど様々な関係が見られる。生物多様性と炭素蓄積の関係の解析や、生物多様性に配慮しながら、炭素固定能を十分に発揮できる森林の管理には両者の定量的な評価手法の確立が求められている。

## 2. 研究開発目的

生物多様性保全とカーボンオフセット制度間のトレードオフ測定指標の開発およびコベネフィットの得られる生態学的条件を検討し、生物多様性オフセットとカーボンオフセットを一体化させた環境保全の定量的評価手法を提案するため、本研究では以下の項目を主たる目的とした。

### （1）オフセット行為を想定した炭素蓄積の調査

オフセット行為を想定した採草地由来の広葉樹林（草地-広葉樹林）と落葉広葉樹二次林として利用され続けてきた広葉樹林（広葉樹-広葉樹林）である。炭素蓄積量と種多様性の関係を解析するために、茨城森林管理署および棚倉森林管理署管内の国有林内の土地利用履歴の異なる広葉樹二次林（草地由来および広葉樹林由来の2タイプ）を対象に毎木調査を実施した。土地利用履歴が異なる二種類の二次林（採草地由来の落葉広葉樹二次林と主に薪炭林として利用されてきた落葉広葉樹二次林）にて、毎木調査データを元に算定した炭素蓄積量の比較を行い、コベネフィットの観点から特に採草地由来の二次林で高い炭素蓄積量を示す要因を解析した。

### （2）炭素蓄積と生物多様性を同時に定量的評価する手法の検討

オフセット制度における生物多様性を定量的に評価する指標は、大別して生物種群を評価する指標と生息環境を評価する指標がある。さらに生息環境を評価する手法にはある種に着目した評価法と土地利用をベースにした評価手法に分けられる。土地利用をベースにした評価手法のひとつにオーストラリアのビクトリア州（Parkes et al., 2003）やBBOP（Business and Biodiversity Offsets Program：ビジネスと生物多様性オフセットプログラム）で用いられているハビタットへ



クタール(habitat hectares: 以下HHとする)法という方法がある。HH法はParkes et al. (2003)によって主に森林を対象として考案された。オーストラリアでは、1700年代の入植以降の原自然の減少に歯止めがかからず、生物多様性の損失を抑制するために生物多様性オフセット制度が導入された。開発の対象となる土地の林分の状態を、評価基準(Bench Mark、以下BMとする)となる土地に対する割合として評価することで生物多様性を定量化する手法である。ハビタットヘクタール法において、林分の状態の評価には、大木の数や、林冠の被覆率、下層植生の生活形の数、更新を阻害する草本植物の被覆の有無、林冠構成木の更新の有無と状態、リターの被覆、倒木の数、等の細目がある(表(3)-1)。森林の炭素蓄積量算定においても、林冠構成木および亜高木を含む地上部現存量や枯死木量は測定するため(IPCC, 2006; 平田ら, 2012)、両者の間で親和性は高く、炭素蓄積と生物多様性の共通する評価手法として、ハビタットヘクタール法が利用できる可能性が考えられる。

しかし、本来オーストラリアの原生林を対象としたHH法の評価手法は、植生や林分構造が異なる日本の里山には必ずしも合致するとは限らない。そこで、本研究はHH法の炭素蓄積との親和性、そして評価手法の特性の把握、日本への適合にあたっての課題を抽出することを目的とした。

すなわち茨城県北部周辺の直近の伐採から20-30年が経過した管理されていないコナラが優占する落葉広葉樹二次林において、HH法の細目を日本の現状に合うように最小限度の変更を加えたHH法における林分構造のスコアリングの試行を行った。そして林分構造に関するスコアと、炭素蓄積や林分構造の関係を考察し、日本の里山におけるHH法の適合における課題について検討した。

### (3) 炭素蓄積と林分構造を代表する指標の関係

樹木個体の集まりである林分の現存量(炭素蓄積)は、個葉の集まりである葉群の機能とその配置である林冠構造の影響を受ける。林冠は葉面積の80.3%を占め、直達光の90%を林冠構成木が受けると言われている(Ishii et al., 2004)。また一次生産は、林冠の構造と葉群の機能に影響を受けると考えられる。これは、樹木個体の一次生産は個葉光合成特性と、分枝や枝張りなどの個葉の配置に影響を受けるからである。このため、樹木個体の集まりである森林の生産性は、葉群の機能とその配置である林冠層の発達に影響を受けると考えることができる。冷温帯の落葉広葉樹林においては森林の階層構造の発達と林冠の構成種数には正の相関がみられ、さらに多種が安定して共存することで、林冠層が発達し、生産性の増加を促すことが指摘されている(Ishii et al., 2004)。したがって、これらの関係が冷温帯落葉広葉樹林だけではなく、里山と言われる広葉樹二次林でも成立するのかどうか、炭素蓄積と森林の階層構造の発達度合いの関係を調べることで、炭素蓄積と多様性がコベネフィットとなる条件を探索した。

### (4) 炭素蓄積に影響を及ぼす指標としての窒素利用の評価

前節(3)では炭素蓄積に影響をおよぼす林分構造と機能のうち、葉群の配置である構造と炭素蓄積の関係について探索したが、機能部分については、代表する指標として主要な林冠構成種の窒素利用に着目した。光合成能力と直結している窒素は、樹木の成長にも影響を与えるが、酸性沈着物などの供給を除いた場合、森林では不足しがちな資源であるからである。また植物が利用できる窒素が大きく変化し、植生の回復に影響を与える要因として、人間による土地利用が指摘されている(Bazzaz, 1996)。たとえば本課題においては、オフセット行為を想定した草地から落

葉広葉樹二次林に転用された林では、採草による養分の持ち出しの影響が考えられる。すなわち草地から転用された落葉広葉樹二次林は、草地として利用されていない落葉広葉樹二次林よりも、葉の窒素濃度や林分の現存量が低下している可能性が考えられる。これらのことから、オフセット行為を行った土地回復の指標のひとつとして樹木が利用できる窒素利用の状態について評価した。

### 3. 研究開発方法

調査地 調査地は阿武隈高地南部に位置する茨城県北茨城市関本町とその周辺の、福島県東白河郡塙町、同郡鮫川村、いわき市田人町に点在する国有林内の落葉広葉樹二次林である。土地利用履歴は約30年前の施業計画図と最新の施業計画図を比較した。さらに確認のために、地図航空写真閲覧サービス(国土地理院)を利用して航空写真からも過去と現在の土地利用状況を確認した。

なお調査地最寄りの1982-2012年の平均気温は13.1°Cで、降水量は1282.0mmであった(右田ら, 2012)。

#### (1) オフセット行為を想定した炭素蓄積の調査

2014年10月から2016年5月にかけて調査地の現地踏査と毎木調査を行った。対象となる各調査地に面積が0.1haとなる円形プロットを設置し、プロット内の胸高直径5cm以上の立木について、樹種名と胸高直径を記録した。各プロットにおいて胸高測定を測定した林木から20本を選んで樹高を測定し、Weibull分布関数を用いた胸高直径-樹高曲線から残りの個体の樹高を推定した。地上部現存量(葉、枝、幹)については、アロメトリ式(小宮山ら, 2011; 梶本ら, 2014)からその量を推定した。これら現存量に0.47を乗じて炭素蓄積量を算出した。

#### (2) 炭素蓄積と生物多様性を同時に定量的評価する手法の検討

##### 1) ハビタットヘクタール(HH)法による各評価項目の定義とその評価について

HH法については表(3)-1に示した調査項目について以下のような調査を行った。

##### a) 大径木および林冠閉鎖度

日本の実情に合わせて、DBH30cm以上の樹木を大径木と定義した。コナラの場合、DBHが30cmを超えると萌芽能力が低下することと(伊藤, 2014; Shibata et al., 2014)、鳥類による樹洞利用(松岡ら, 2014)に基づいて定義した。樹高の上位20%が林冠を構成していると定義し(長谷川・林, 2014)、その被覆率を目視により決定した。

##### b) 下層植生の状態

下層植生は、高さ5m以下の低木層および草本層にある植生と定義した。下層植生のうち、林内を歩いてみられた主な木本種の種名の記録を、新たに出現する種がみられなくなるまで続けて、出現種数を求めた。また主要な樹種はその空間占有率を目視で確認し、記録した。

##### c) 更新を阻害する外来種の侵入状況

オーストラリアでは、更新を阻害する要因として外来種の存在が指摘されているが、本研究では更新を阻害するような外来種の存在は見られなかったため、スズタケの存在を更新阻害の要因としてとらえ、その有無と、有る場合は植被率を記録した。

表(3)-1 用いたハビタットヘクタール(HH)法の評価項目について

HHの項目	測定対象	(測定項目)	炭素蓄積の調査で 評価する項目
大径木	林冠構成木	DBH $\geq$ 30cmの幹数	○ 樹種、胸高直径、樹高を測定
林冠閉鎖度	林冠構成木	林冠の閉鎖度 (%)	×
下層植生		各項目のBMIに対する種数 or 植被率	
	樹木 (高さが5 m 以上かつ林冠 構成木ではない)	種数・個体数	○ 樹種、胸高直径、樹高を測定
	低木 (高さ1~5 m)	種数・植被率 (%)	×
	低木 (高さ~1 m)	種数・植被率 (%)	×
	草本性シダ植物	種数・植被率 (%)	×
	ツル性植物 (草本・木本)	植被率 (%)	×
更新を阻害する 林床植物の有無	ササ	有無と有る場合は 植被率 (%)	×
実生の更新状態	林冠を構成する 樹木の実生の数	個体数	×
落葉、落枝の量	リター	被覆率 (%)	×
枯死木量	倒木	末口、元口の直径が8cm 以上の倒木の長さ	○末口、元口の直径が8cm以上の 倒木の直径と、その長さ、分解度 (1:倒れた直後、3:触ると崩れる、2: 分解度1,3以外 Ugawa et al. 2012の評価基準を一部改変)  胸高直径5cm以上の枯死立木に ついても胸高直径と高さを測定し た。

## d) 枯死木の有無

枯死木は樹木以外の生物のハビタットにもなっているため、多様性にとって重要であると指摘されている（山下ら，2013）。HH法の評価では、林床に横たわる直径10 cm以上のものを枯死木と定義しているが、これはオーストラリアの原生林を対象としているため、本研究では調査地の林況に合わせて調査対象の直径サイズを変更した。すなわちUgawa et al. (2012) の定義を参考に、直径8 cm以上の枯死木の本数とその長さをカウントした。また倒木の炭素蓄積量を推定するために、分解度を3段階で判定した。なお、枯死木は林床に横たわる根返りや大枝などの「倒木」の他に、幹折れや立枯れなどの「枯死立木」に区分した。

## 2) 炭素蓄積に基づいた相対優占度曲線と多様性に関する指標の計算、統計解析

統計解析と多様性に関する指標と相関関係の解析にはR言語を用いた。R言語のパッケージ、BiodiversityRを用いて、Shannon-winnerの多様度指数 ( $H'$ )とPielouの均等度指数(J)、そして幹本数密度の違いが種数の違いに与える影響を考慮するため、予測された種数を求めた。すなわち各サイトの幹本数-種数曲線を作成し、これに最も幹本数が少なかったBMの幹本数を代入して予測された種数を求めた。また多様度を視覚的に示し、多様度指数( $H'$ )と均等度指数(J)の算出根拠ともなる(Pielou, 1974)、相対優占度曲線(Hubbell, 1979; 武田・木村, 1988; 佐々木ら, 2015)をR言語のパッケージVeganを用いて作成した。相対優占度曲線は個体数や被度に基づいて作成されるのが主であるが(Hubbell, 1979; 佐々木ら, 2015)、本研究では炭素蓄積と生物多様性の関係について解析するため、武田・木村(1988)の材積あたりの相対優占度を参考にして、各プロットの炭素蓄積に基づいた相対優占曲線を用いた。

各項目の相関関係についてはスピアマンの順位相関係数( $\rho$ )を求め、有意水準10%で検定をおこなった( $p < 0.1$ で傾向ありとした)。Shannon-winnerの多様度指数 ( $H'$ )とPielouの均等度指数(J)、そして幹本数密度の違いが種数の違いに与える影響を考慮するため、予測された種数を求めた。

### (3) 炭素蓄積と林分構造を代表する指標の関係

階層構造の発達度合いの指標としては、冷温帯落葉広葉樹林でも用いられ、鳥類の多様性ともよい相関を示す群葉高多様度(Foliage Height Diversity: FHD、MacArthur and MacArthur, 1961)を用いた。FHDと種数に正の相関関係が見られ、多種が共存し複層の林冠が発達することで、生産性の増加を促すという報告が冷温帯落葉広葉樹林においてあるからである(Ishii et al. 2004)。里山でも冷温帯落葉広葉樹林と同様に炭素蓄積と多様性が両立する条件を、FHDと地上部炭素蓄積、種数、その他の林分構造を代表するパラメータ等との相関関係から検討した。林冠が閉鎖し、林分葉量が安定した2016年7月に各調査地のFDH算出のための調査を行った。(2)の在不在法に倣い、毎木調査に用いた林齢20-40年生の14ヶ所において、円形調査地の中心から上下左右各々10点ずつ、計40点の高木層、亜高木層、低木層、林床植生の在不在を目視により判断し、植被率をもとめた。各層区分についてはハビタットヘクター法の定義に従い、高木層は林冠層最上部から20%程度を構成する樹木、亜高木層はその直下から約2mの高さまでの樹木、低木層は背の高さまでの樹木、林床植生は草本とした。

FHDは各層の植被率にShanon-Weaver関数を当てはめ、その総和をとったものである、すなわち、

$$FHD = -\sum p_i \ln p_i$$

ただしFHD: 群葉高多様度、 $p_i$ :  $i$ 番目の層における植被率、である。

このようにして得た各調査地のFHDと(1)で得られた地上部炭素蓄積や林分構造を代表するパラメータ(幹本数、種数、地上部炭素蓄積量、最大DBH)との相関関係を調べた。

### (4) 炭素蓄積に影響をおよぼす指標としての窒素利用の解明

8月下旬から9月上旬にかけて、1調査地につき4個体のクリ・コナラから成熟葉を採集した。採集した葉はすみやかに実験室に持ち帰り、蒸留水で洗浄して表面の汚れを落とした後、葉面積計

で葉面積を測定してから70°Cで48時間乾燥させた。乾燥後、試料の乾重を測定し単位面積当たりの葉乾重(leaf mass per area: LMA)を求めた後、粉碎機を用いて粉碎し、窒素濃度の測定に供した。窒素濃度の測定にはN-Cアナライザ(N-C900、島津製作所、京都)を用いた。

窒素濃度を目的変数として、一般化線形混合モデルを用いて解析した。個々のパラメータの解析には、固定効果を土地利用履歴、変動効果を調査地におけるばらつきとして解析を行った。個体、調査地のばらつきをふまえて考察するために、個々の試料のC-N分析を行い(n=38)、一般化線形混合モデルを使って、窒素と葉の形質、試供木のDBHなどから、土地利用履歴の違いの影響を調べた。すなわち履歴の違いを固定効果、サイトによるばらつきをランダム効果とし、パラメトリックブートストラップ法による尤度比検定を行った。p < 0.05で差ありと考えた。

これらの(1)～(4)の統計解析にはR言語を用いて行った。(1)の樹高推定はlmforパッケージを、(2)の多様性に関する指標についてはBiodiversityRを用い、相対優占度曲線の作成にはveganを用いた。また(4)の一般化線形混合モデルの計算にはパッケージlme4を用いた。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) オフセット行為を想定した炭素蓄積の調査

各調査林分の炭素蓄積量を林野庁が設定した拡大係数(材積からバイオマスに変換する係数)を用いて算出した。履歴の異なる同一齢級の林分(21～40年生)で炭素蓄積量を比較した結果、広葉樹林由来の方が草地由来に比べ若干高い値を示したが、その差は明瞭ではなかった(図(3)-1)。また、調査対象地一帯の典型的な薪炭利用樹種であるコナラに着目すると、草地由来の林分でその優占度が高い傾向にあった。草地を維持するための刈払などの経常的な攪乱によって、萌芽能力の高い種が選択的に残ったことも考えられる。

プロット調査の結果、基本的に林齢が増加すれば、炭素蓄積量も増加する(表(3)-2)。したがって、プロジェクト期間中に炭素蓄積量の増加も期待できる。採草地由来の二次林で、林齢と炭素蓄積量との関係が崩れる場合があった。具体的には、22年生の362れ林小班が最も高い炭素蓄積量を示す一方で、最も林齢の高い1005か林小班が最小の値を示した。これまでの調査を通じて、採草地由来の林分には、採草地利用時に既に定着していたと想定される広葉樹が残存していることがあり、これらの残存広葉樹は胸高直径(DBH)30cmを超える個体であることが多い。このような残存個体がある場合、林齢から想定される炭素蓄積量よりも過大な値を示すことがある。上述の2林分(362れ林小班と1005か林小班)は、DBH分布の違いが明らかのように(図(3)-2)、その林分内に残存広葉樹が存在するか否かによって、炭素蓄積量に違いが出たものと考えられた。

種多様性と炭素のコベネフィットの観点から考えると、オフセット候補地を採草地に求める場合、たとえば残存広葉樹が見られる地点を選定すれば、プロジェクト期間内(例えば20年)に残存広葉樹が成長することによって炭素蓄積量を多く得られる可能性もある。ただし、残存広葉樹の個体サイズが既に十分に大きい場合(例えばDBH70cm)、個体の成長による炭素固定は弱齢個体に比べて落ちるので、炭素固定量の付加には貢献しないものと考えられる。

表(3)-2 異なる土地利用履歴をもつ調査地の林齢と幹本数、胸高断面積合計(BA)、最大胸高直径(DBH)、地上部炭素蓄積、地下部炭素蓄積。広葉樹→広葉樹は広葉樹二次林として利用されていた調査地、草地→広葉樹は前歴が草地である広葉樹二次林、である。

### 広葉樹→広葉樹

調査地 (小林班名)	林齢 (2014)	幹本数 (本/ha)	BA (m <sup>2</sup> /ha)	最大DBH (cm)	地上部炭素量 (Mg C /ha)	地下部炭素量 (Mg C /ha)	枯死立木 炭素量 (Mg C/ha)	倒木炭素量 (Mg C/ha)
1056つ	16	1020	8.31	22.6	14.39	4.83	0.66	NA
1003よ	20	3360	23.42	20.8	38.78	11.67	0.05	NA
1003ね	22	3800	23.57	19.8	37.97	11.45	0.33	0.00
98と3	22	2850	27.79	23.7	51.09	14.92	1.05	0.11
272ち	23	2580	28.26	29.9	52.33	15.24	0.14	0.00
80る1	27	2210	23.38	44.8	47.06	13.86	1.03	0.53
1032い	28	3080	35.60	30.7	70.00	19.74	1.06	0.05
1036わ	29	1640	25.90	33.7	54.10	15.70	1.66	1.82
1038り	31	2640	39.58	30.7	79.26	22.05	1.40	0.28
84の	33	2960	38.50	33.3	75.51	21.12	1.89	0.19
1056と	59	1250	32.11	47.2	81.84	22.69	0.02	NA
1008は	69	1040	42.07	57.7	114.43	30.57	0.87	0.63
1011い	70	1690	41.41	44.0	100.54	27.25	0.59	NA

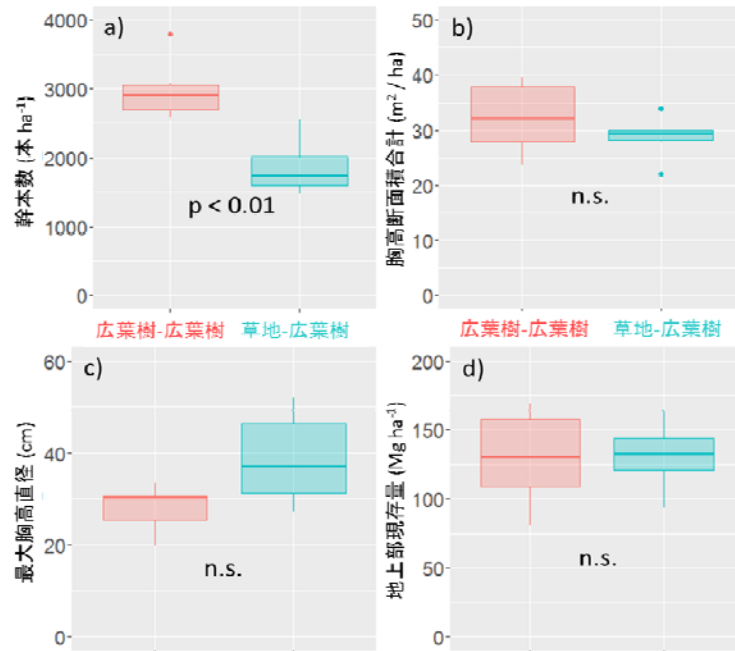
### 草地→広葉樹

調査地 (小林班名)	林齢 (2014)	幹本数 (本/ha)	BA (m <sup>2</sup> /ha)	最大DBH (cm)	地上部炭素量 (Mg C /ha)	地下部炭素量 (Mg C /ha)	枯死立木 炭素量 (Mg C/ha)	倒木炭素量 (Mg C/ha)
362れ	22	1470	33.96	37.7	77.48	21.61	1.32	0.36
80る2	27	1620	27.95	52.2	64.10	18.25	0.50	0.05
98ち3	27	2560	29.72	27.1	55.56	16.07	0.25	0.03
1048お	28	1600	28.75	36.6	60.52	17.34	0.77	0.20
83つ	34	2070	29.97	49.3	68.80	19.44	0.39	0.30
1005か	35	1860	22.10	29.5	43.72	12.98	1.22	0.01

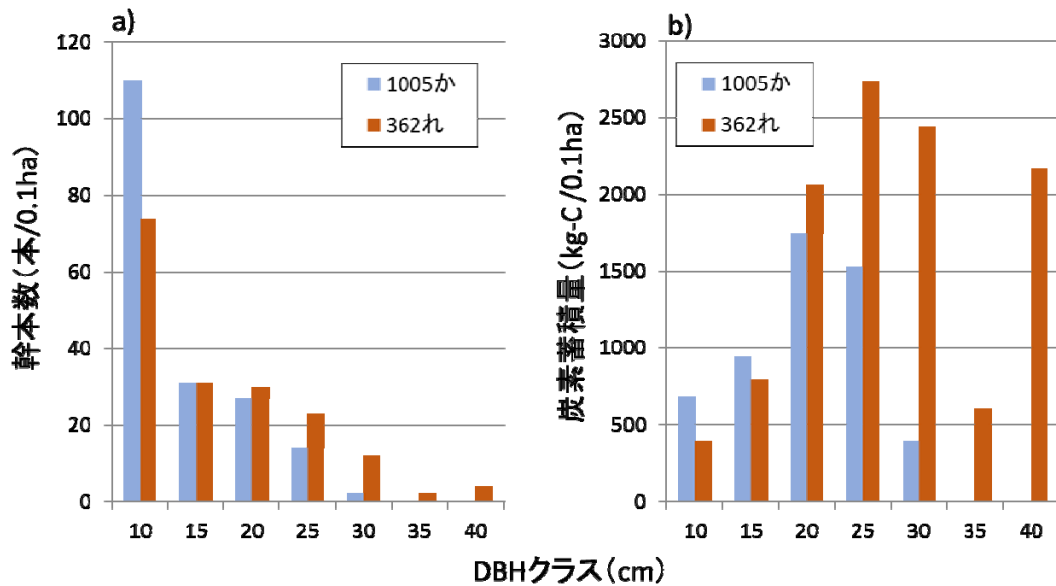
#### (2) 炭素蓄積と生物多様性を同時に定量的評価する手法の検討

多様性に関わる指数の裏付けと、多様度の視覚化による補足のために、各調査地の炭素蓄積に基づいた相対優占度曲線を作成した(図(3)-3)。その結果、種数とコナラの優占度、そして相対優占度曲線の形状から調査プロットを3つのタイプに分類した。すなわち、type-I: 種数が21-30種かつ、コナラの優占度が40%未満、type-II: 種数が11-20種かつ、コナラ属の樹木の優占度が40%未満、そしてtype-III: 種数が10種以下かつ、コナラの優占度が40%を超える、である(図(3)-3)。type-IはBMが示す曲線に最も近い形状を示す一方で、type-IIIは特定の優占種による炭素蓄積への寄与が顕著な構造となっていた。

土地利用履歴の違いはタイプわけにもみられ、type-Iの調査地の前歴は採草地が1ヶ所と広葉樹由来の調査地が2ヶ所、type-IIは2ヶ所とも前歴が広葉樹林由来であり、type-IIIはいずれも前歴が採草地であった。幹本数はtype-IIのno.4で最も多く、BMに次いでtype-IIIのNo.6で最も少なかった(表(3)-3)。胸高断面積合計BAはBMに次いで、type-IのNo.2で最も多く、No.1で最も少なくなった。最大DBHはBMに次いで、type-IIIのNo.6が高く、type-IIのNo.4で最も小さくなった。



図(3)-1 オフセット行為を想定した林齢20-40年の異なる土地利用履歴を持つ落葉広葉樹二次林のa)幹本数、b)胸高断面積合計、c)最大胸高直径、d)地上部現存量



図(3)-2 採草地由来の土地利用履歴を持つ林齢20-40年の落葉広葉樹二次林の炭素蓄積における残存木の影響の例a)幹本数、b)地上部炭素蓄積量

表(3)-3 調査地の土地利用履歴と幹本数、胸高断面積合計(BA)、最大DBH(cm)

	BM	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7
土地利用履歴	広葉樹	採草地	広葉樹	広葉樹	広葉樹	広葉樹	採草地	採草地
林齢(2014)	69	35	33	22	22	27	27	27
標高(m.a.s.l.)	634	707	351	688	634	502	510	673
幹本数(本/ha)	1040	1860	2960	2850	3800	2210	1620	2560
BA(m <sup>2</sup> /ha)	42.07	22.10	38.50	27.79	23.57	23.38	27.95	29.72
最大DBH(cm)	57.7	29.5	33.3	23.7	19.8	44.8	52.2	27.1

これらのタイプ分けと、炭素蓄積、HH法の各評価スコアの関連性を論じるために、表(3)-3にタイプ分けに従って、炭素蓄積とHH法の評価スコアと多様性に関わる指数について次に述べる。

#### 【炭素蓄積、HH法の評価スコア、多様性に関わる指数】

##### a) 炭素蓄積

毎木調査により計算された地上部現存量の炭素蓄積は37-114 Mg C / haであった(表(3)-3)。BMが最も高く、最大DBHの最も小さいNo. 4のプロットで炭素蓄積は最小であった。枯死立木(立枯、および幹折れ個体)炭素量は0.5-4.0 Mg C / haで、type-Iで上位を占め、No. 2の林分で最も高く、No. 7で最も低くなった。枯死倒木炭素量は0 - 0.63 Mg C/haの間で、BMにおいて最も高く、No. 4で0と最も低くなった。地上部現存量の炭素蓄積では、相対優占度においてみられたタイプごとの特徴はみられなかった。これは枯死倒木量についても同様であった。

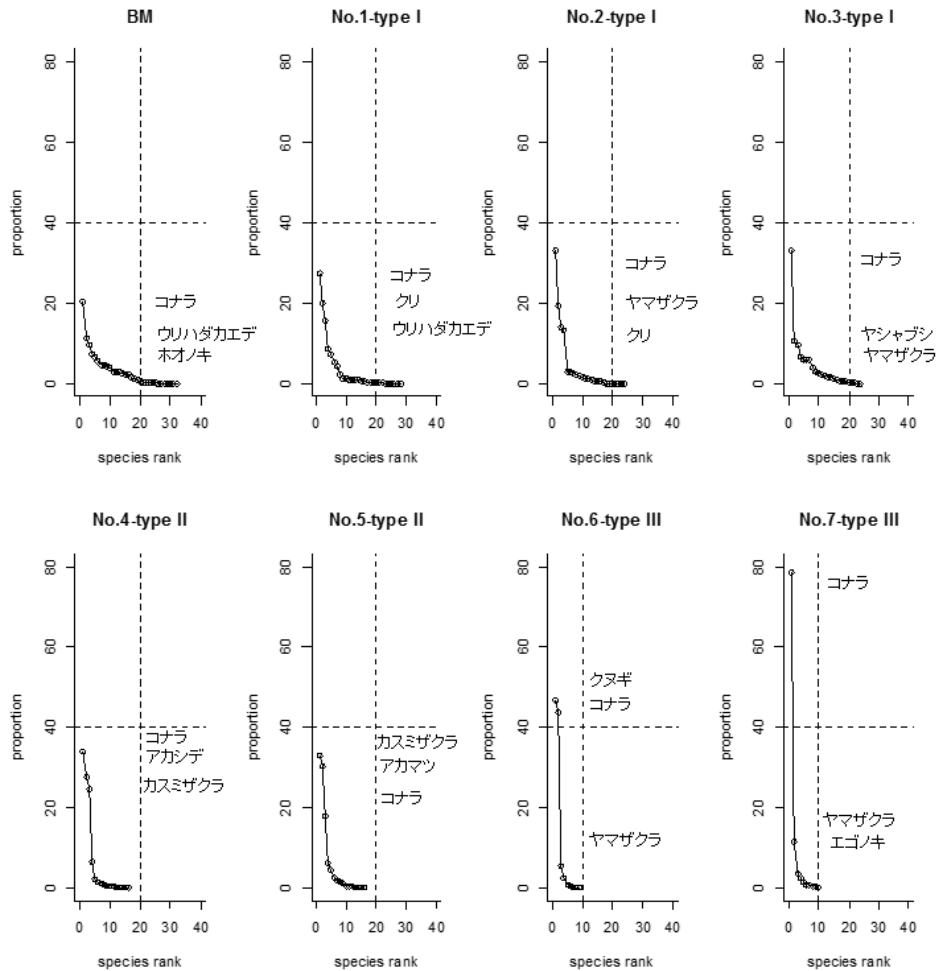
##### b) HH法の評価スコア

種数が20種を超えたtype-Iのグループではハビタットスコアが44~47と上位2、3位の高い値を示したのに対し、種数が10種以下であったtype-IIIのグループでは、ハビタットスコアが37および41で5位、6位であった。一方種数がほぼ同一であったtype-IIのグループでは、ハビタットスコアの点数が大きく分かれた。ハビタットスコアは各細目の合計点であるため、より詳細に検討するために各細目のスコアごとにtype別に検討した(表(3)-4)。今回、すべてのサイトは林冠が閉鎖し、斜度30度を超えるような急傾斜地ではないことから、林冠閉鎖度と、リターの植被率は満点で差が見られなかった(表(3)-4)。枯死木量についてはtype-Iでは、No. 1は2点、No. 2は5点、No. 3は3点、type-IIいずれのプロットでも得点なしの0点、type-IIIでは、No. 6は0点であったが、No. 7は5点であった。type-Iにおいて、BAが大きいサイトほど、枯死木量のスコアは高くなる傾向がみられた。

下層植生の細目は同じtypeの中でもプロット間で5点から10点の得点差が見られた。type-IのNo. 1において20点、No. 2では10点、そしてNo. 3において15点であった。type-IIではNo. 4で10点、No. 5において20点であった。そしてtype-IIIのNo. 6では15点、No. 7において10点であった。



また更新を阻害する林床植物の有無については、type-Iではすべてプロットで満点の15点、であったがtype-IIはNo. 4において4点、No. 5において15点、type-IIIでは、No. 6が7点、No. 7が15点となった。すなわちプロット間の点数差がtype-IIでは11点、type-IIIでは8点あった。



図(3)-3炭素換算でみた各プロットの相対優占度曲線

上位優占3種については和名を付した。各タイプのカテゴリは以下のようにおこなった。type-I: コナラの相対優占度が40%以下かつ種数が20種以上、type-II: コナラの相対優占度が40%以下かつ種数が20種以下、type-III: コナラの相対優占度が40%以上かつ種数が10種以下、である。

表(3)-4 相対優占度曲線に基づいてタイプ分けした各調査地の土地利用履歴と炭素蓄積、HH法の評価スコア、多様性関わる指数

	BM	Type I			Type II		Type III	
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7
土地利用履歴	広葉樹	採草地	広葉樹	広葉樹	広葉樹	広葉樹	採草地	採草地
地上生木炭素量 (Mg C/ha)	I 114.42	VII 43.72	II 75.50	V 51.09	VIII 37.97	VI 47.06	III 64.10	IV 55.56
枯死立木炭素量 (Mg C/ha)	V 0.87	II 1.22	I 1.89	III 1.05	VII 0.33	IV 1.03	VI 0.50	VIII 0.25
枯死木炭素量 (Mg C/ha)	I 0.63	VII 0.01	III 0.19	IV 0.11	VIII 0.00	II 0.53	V 0.05	VI 0.03
ハビタットスコア	75	II 47	III 44	III 44	VII 24	I 49	V 37	VI 36
-大径木	10	IV 0	II 3	IV 0	IV 0	II 3	I 4	IV 0
-林冠閉鎖度	5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5
-下層植生	25	I 20	V 10	III 15	V 10	I 20	III 15	V 10
-更新を阻害する 林床植物の有無	15	I 15	I 15	I 15	VII 4	I 15	VI 7	I 15
-実生の更新状態	10	VI 0	I 1	I 1	VI 0	I 1	I 1	I 1
-落葉落枝の量	5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5
-枯死木量	5	IV 2	I 5	III 3	V 0	V 0	V 0	I 5
種数	I 32	II 27	IV 23	III 24	V 16	VI 15	VIII 9	VII 10
予測された種数	I 32.00	II 24.12	IV 19.25	III 20.77	VI 10.91	V 14.09	VII 8.88	VIII 8.58
均等度(evenness) : J	I 0.78	III 0.51	IV 0.45	II 0.63	VIII 0.32	V 0.44	VI 0.43	VII 0.37
Shannon-Wienerの 多様度指数: H'	I 3.22	III 2.66	IV 2.38	II 2.72	VI 1.63	V 1.95	VII 1.36	VIII 1.32

図-1のtypeごとに示した。また各項目は大きい値から順にローマ数字で順位づけた。ただし、ハビタットスコアとその細目の得点については、BMを基準として各得点をつけているので、BMは順位づけからは外した。

表(3)-5 炭素蓄積に関わる項目およびHH法のスコア、多様性に関わる指数の相関関係

		スピアマンの順位 相関係数	p値
ハビタットスコア	枯死立木炭素量	0.68	p = 0.08
-下層植生	幹本数	-0.7	p = 0.08
	BA	-0.76	p = 0.05
-実生の更新 状態	地上部炭素量	0.79	p = 0.03
	枯死木炭素量	0.79	p = 0.03
-枯死木量	枯死立木炭素量	0.86	p = 0.01
	予測された種数	0.75	p = 0.02
	H'	0.78	p = 0.03
枯死立木炭素量	H'	0.82	p = 0.03
	予測された種数	0.86	p = 0.02
幹本数	最大DBH	-0.71	p = 0.08
林齢	J	0.77	p = 0.04

有意水準  $p < 0.1$  以下であったものを表に示す。

#### c) 多様性に関わる指数

種数はtype-IのNo. 1が最も多い27種、種数が最も少ないのはtype-IIIのNo. 6で9種であった。type-IIは15、16種であった。種数と予測された種数の差は、type-Iで約3種、type-IIのNo. 4で最も大きくなり5種減少していた。均等度指数(J)はtype-Iにおいて0.45から0.78の間であった。BMで最も高い0.78であり、No. 2のプロットで最も低い0.45であった。type-IIとtype-IIIはどちらも同じような値の範囲であった。多様度指数(H')はtypeによる明瞭な傾向がみられ、type-I > type-II > type-IIIの順であった。予測された種数については、typeごとの傾向は見られず、type-IIのno. 4で最も低い値となった。

#### d) 炭素蓄積と、多様性、HH法とその細目の相関関係

表(3)-4より得られた結果について、林分構造と多様性、炭素蓄積の相関関係について明らかにするために、スピアマンの順位相関係数( $\rho$ )を調べた。その結果、ハビタットスコアと枯死立木炭素量の間には正の相関関係がみられた( $\rho = 0.81$ 、 $p = 0.03$ 、表(3)-5)。下層植生と幹本数、BAの間には負の相関がみられた(幹本数;  $\rho = -0.70$ 、 $p = 0.08$ 、BA;  $\rho = -0.76$ 、 $p = 0.05$ 、表(3)-5)。細目の実生の更新状態スコアは、地上部炭素量と倒木炭素量の間で強い正の相関を示した(幹本数;  $\rho = -0.79$ 、 $p = 0.03$ 、BA;  $\rho = -0.79$ 、 $p = 0.03$ 、表(3)-4)。細目の倒木量スコアは、枯死立木炭素量、予測された種数、多様度指数(H')の間に強い正の相関関係を示した(枯死立木炭素量;  $\rho = 0.86$ 、 $p = 0.01$ 、予測された種数;  $\rho = 0.75$ 、 $p = 0.02$ 、H';  $\rho = 0.78$ 、 $p = 0.03$ 、表(3)-5)。また枯死立木炭素量は、Shannon-Wienerの多様度指数H'と予

測された種数の間に強い正の相関関係を示した ( $H'$ ;  $\rho = 0.82$ 、 $p = 0.03$ 、予測された種数;  $\rho = 0.86$ 、 $p = 0.02$ )。林齢と均等度指数 ( $J$ ) の間にも強い正の相関関係がみられた ( $J$ ;  $\rho = 0.77$ 、 $p = 0.04$ )。

#### e) 炭素蓄積量評価とHH法の活用

本研究において、炭素あたりの相対優占度曲線は、コナラの優占度と種数で各調査地を3タイプに分類できた(図(3)-2)。均等度指数 ( $J$ ) は、相対優占度曲線(図(3)-2)において曲線の傾きで表現され、均等度が高いほど、曲線の傾きはなだらかになる<sup>27)</sup>。また多様度指数 ( $H'$ ) は均等度が高く、種数が多い群集ほど高い値を示すといわれている<sup>27)</sup>ため、本研究での3タイプへの分類は多様度指数 ( $H'$ ) の値の大小を反映した分類ともいえるだろう(表(3)-4)。

林齢と均等度 ( $J$ ) の間に見られた強い正の相関は、林齢、相対優占度曲線のタイプごとの形状の違い、そして土地利用履歴や調査地の性質から説明できそうである(表(3)-3および(3)-4、図(3)-2)。すなわち、相対優占度曲線からtype-Iに分類された調査地はNo. 3の林分が22年生と例外があるものの、No. 1、2の林齢が35、33年生と今回の試験地の中では高く、また相対優占度曲線の傾きはなだらかであるため、均等度も上位に位置する。これに対してtype-IIIは、いずれも採草地由来の広葉樹林であり、type-IのNo. 1、2のプロットよりも林齢が27年生と若く、かつ相対優占度曲線の傾きも急で均等度も低い(表(3)-3および(3)-4、図(3)-2)。また林齢が最も若いNo. 4は幹本数が突出して多く(表(3)-3)、予測された種数も10.91種と実際の種数16種よりも少ない。さらに実生の更新状態もない(表(3)-4)。おそらくNo. 4は他の調査地とは異なる状態にあったと推察する。このように土地利用履歴の違いと調査地の特性によって、林齢の若い調査地の均等度指数 ( $J$ ) が低くなったことが、林齢と均等度指数 ( $J$ ) の間に強い正の相関をもたらした理由であると考えられる。これらの傾向については今後、さらに調査地点数を増やして、同様の傾向がみられるのか解析が必要である。

HH法の細目の倒木量スコアと枯死立木炭素量、予測された種数、多様度指数 ( $H'$ )、また枯死立木炭素量と多様度指数 ( $H'$ )、予測された種数、においては強い正の相関がみられた(表(3)-5)。さらに、実生の更新状態スコア-地上部炭素量、倒木炭素量にも相関関係が見られた(表(3)-5)。これらの結果から、今回対象とした調査地は、林冠の閉鎖度や幹の排除の段階から下層の再侵入の段(Oliver, 1981; Ito et al., 2004)にあると考えられる(表(3)-4および(3)-5)。閉鎖した林冠の幹が枯死、排除されることで、下層植生の侵入する空間を供給しているのであろう。枯死立木や倒木量が増えることで、実生の更新の機会や下層植生の再侵入の機会は増えるため、多様度指数 ( $H'$ ) や予測された種数との間に強い正の相関がみられたのだと考えられる(表(3)-5)。

したがって、枯死立木炭素量や倒木の炭素量を評価することは林分構造や炭素蓄積の評価にとって重要であるだけでなく(IPCC, 2006; Ugawa et al., 2012)<sup>1)</sup>、DBH5cm以上の立木の多様性の評価にも重要であるといえる。特に枯死立木は鳥類や昆虫にとっての生息地(長池, 2007; 山下ら, 2013)という視点からもその定量的な評価は重要である。

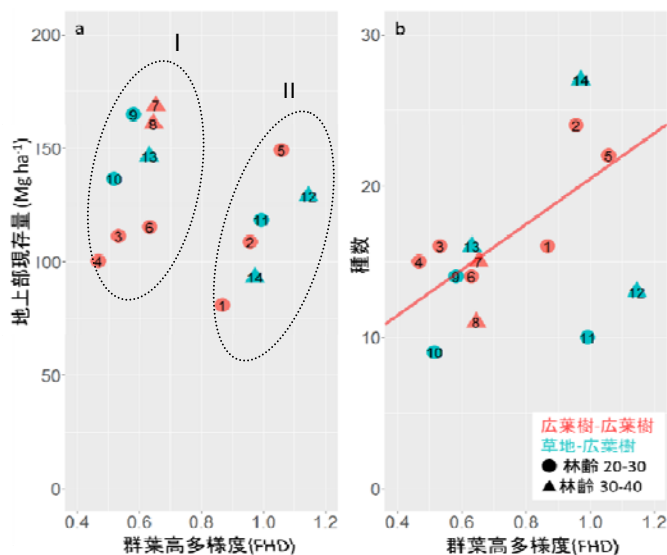
#### f) HH法の普及に向けた課題

本研究の結果では、HH法スコアリングの合計値であるハビタットスコアと多様性の指標となる指数の間に有意な相関関係は見られなかった。しかしながら、各細目においては、倒木量が予測

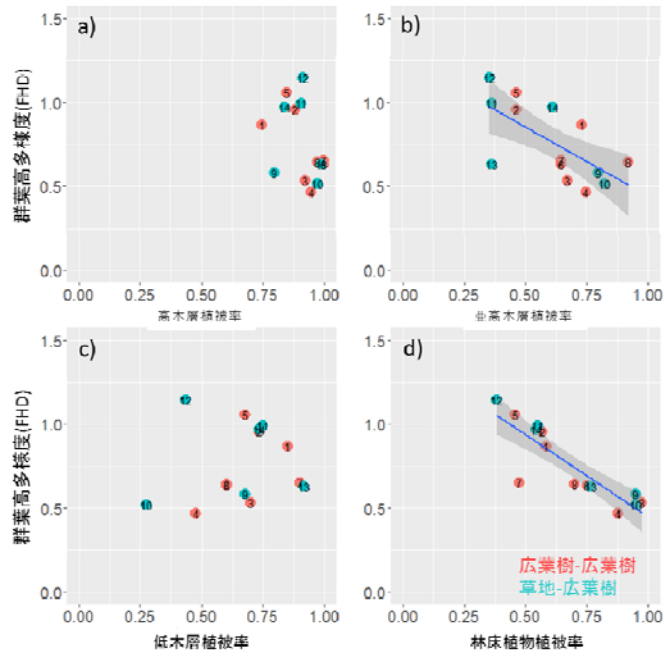
された種数と相関を示し、また、実生の更新状態や倒木量の細目は地上部炭素量や倒木の炭素量と相関関係が見られることがわかった。したがって今回のHH法のスコアリングは、炭素蓄積と多様性の評価をつなぐ指標としての利用が可能になると考えられた。例えばBio-conditionというHH法に類似する生態系評価法では個々の細目の値を比較する仕組みになっている (Eyre et al., 2015)。したがって細目のごとの比較を行うことで、個々のプロットの林分構造の特徴を合計値の比較よりも表し、その状態について比較可能になると考えられる。

Type-IIのグループでは、同じような予測された種数であるにもかかわらずHHスコアが、24点と49点と大きくばらついており、ハビタットスコアが多様性を反映しているとはいえなかった。これは下層植生が10点と20点、更新を阻害する林床植物(スズタケ)の有無が4点と15点であったことが反映されたのだろう。これらの細目スコアがばらついた可能性として、下層植生の更新に影響を与える落ち葉かきなど里山の管理が継続されていた可能性も考えられる。したがって、細目の更新を阻害する要因についてはスコア配分の再考を、また里山の管理作業の有無とその影響については、今後、評価項目への組み入れを検討するべきであろう。

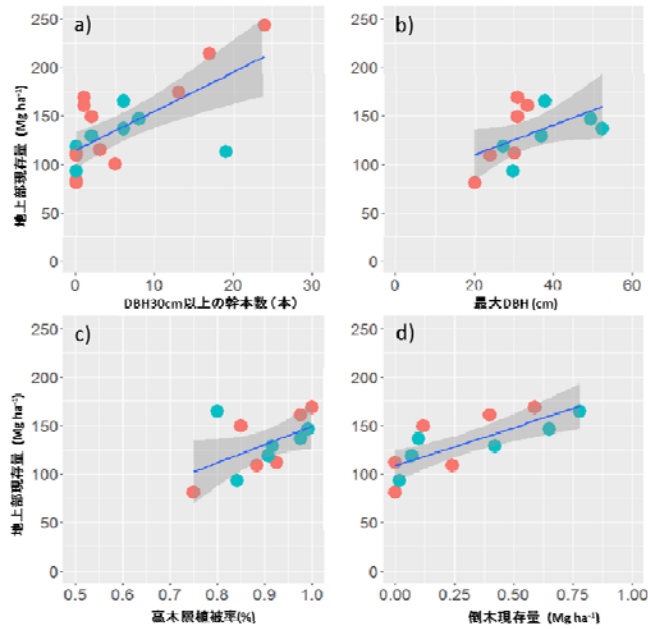
また、土地利用履歴の影響についても今後考慮すべき課題である。type-IIIの土地利用履歴はいずれも採草地である。またNo.6はクヌギとコナラで相対優先度80%を超え、No.7はコナラのみで相対優占度80%を超えた。これらのことから採草地から広葉樹林へ土地利用が変更された際に、クヌギやコナラが植栽された可能性が考えられる。



図(3)-4 群葉高多様度(FHD)と(a)地上部現存量、(b)種数の関係 シンボルの色は土地利用履歴を、数字は調査地IDを示す。(b)において広葉樹-広葉樹では正の相関が見られた (種数 = 15.04 \* FHD + 5.43,  $r^2 = 0.50$ )



図(3)-5 群葉高多様度(FHD)と各層植被率の関係 a)高木層、b)亜高木層、c)低木層植被率、d)林床植物植被率

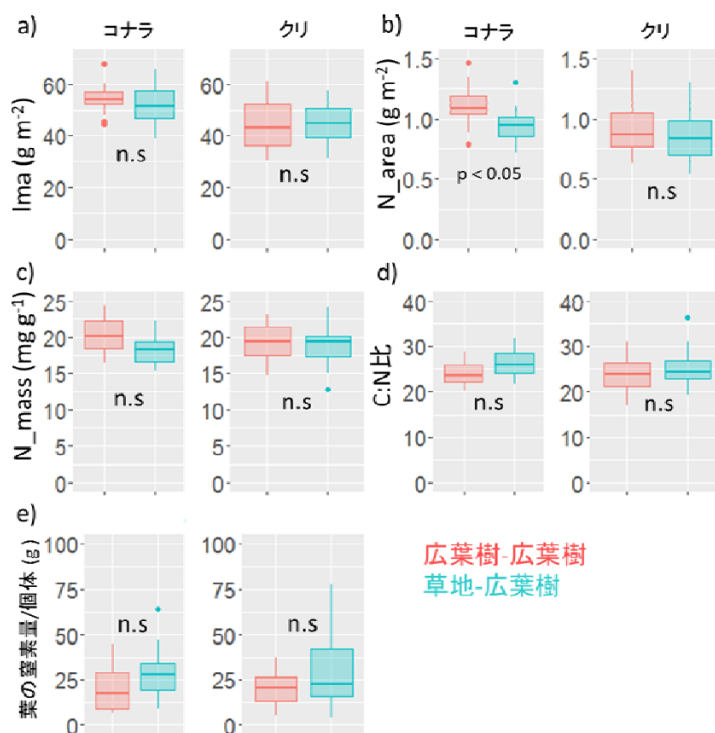


図(3)-6 地上部現存量と各測定項目の関係 a)胸高直径(DBH)30cm以上の各プロットにおける幹本数、b)最大胸高直径、c)高木層植被率、d)倒木現存量

採草地であった前歴を持つ管理の行き届いた里山では林床に採草地由来の下層植生が見られることもあるので（武内ら，2001；Ito et al., 2004）、生物多様性保全の面からみて貴重である。今後の管理方針を考えるうえでも土地利用履歴は重要な情報といえる。その一方で、type-IIIと同じように、採草地由来の前歴をもつno. 1の調査地はtype-Iに分類された。今回は調査地点数が限られているので、断定はできないが、道路からの距離などのアクセス性によって過去の管理頻度が変わり、現在の植生に影響を与えることが指摘されている（山本，2001）。したがって、今回はHH法スコアリングの評価項目に取り入れなかったが、土地利用履歴とともに、道路からのアクセス性についても評価すべき項目の一つと考える。

### （3）炭素蓄積と林分構造を代表する指標の関係

炭素蓄積と階層構造を代表する指標（FHD）との関係を検討した結果、FHDの低いグループ（I群）とFHDの高いグループ（II群）の2群に分かれた（図(3)-4）。林齢の違いによる明らかな影響は見られなかった。FHDと、亜高木層植被率、林床植被率の間には負の相関が見られた（図(3)-5、亜高木層： $r^2= 0.40$ 、 $p < 0.01$ ；林床植被率： $r^2= 0.71$ 、 $p < 0.01$ 、どちらも $n = 14$ ）。この結果を炭素蓄積の観点から考察すると、低木層と林床植物はHH法で評価の対象外であるため、また亜高木層植被率の決定係数は0.40と林床の植被率に比べて低いため、炭素蓄積を維持しつつI群をII群の



図(3)-7 異なる土地利用履歴の落葉広葉樹二次林で採取した主要樹種であるコナラ、クリの葉の窒素利用に関わる特性 a) 単位面積当たりの葉乾重(lma)、b) 面積当たりの葉の窒素含有量(N\_area)、c) 重さ当たりの窒素量(N\_mass、窒素濃度と同義)、d) 葉の炭素/窒素比、e) 個体あたりの葉の窒素量

ようにFHDをあげるには更新の阻害となるササなどの下層植生の管理が有効であると考えられる。例えば東ヨーロッパの落葉広葉樹二次林では下層植生の伝統的な管理の再開が希少植物の種数保全に有効であったことが明らかになっている (Douga J et al., 2016)。

草地由来の林分でFHDが高いのに種数が少ない理由については、(1)や(2)の調査結果から指摘されるように、埋土種子や周辺からの種子供給の有無や人間による利用の影響が考えられる。地上部現存量と傾きが有意な相関関係が見られたパラメータを図(3)-6に示す(地上部現存量-胸高直径30cm以上の幹本数:  $r^2 = 0.43$ ,  $p < 0.01$ 、-最大DBH:  $r^2 = 0.42$ ,  $p < 0.01$ 、地上部現存量  $r^2 = 0.41$ ,  $p < 0.01$ 、-倒木量:  $r^2 = 0.53$ ,  $p < 0.01$ )。説明変数を増やして高木層植被率と倒木現存量の二項の重回帰分析を行うと、 $r^2 = 0.63$ となった。これらの項目はいずれもハビタットヘクタール(HH)法の評価項目に含まれているものであり、HH法の調査を行うことで炭素蓄積についてもある程度推定が可能になることを示唆している。これらの結果は(2)の結果を支持し、炭素蓄積と生物多様性の効率的な調査手法としてHH法の利用が可能になると推察される。

#### (4) 炭素蓄積に影響をおよぼす指標としての窒素利用の解明

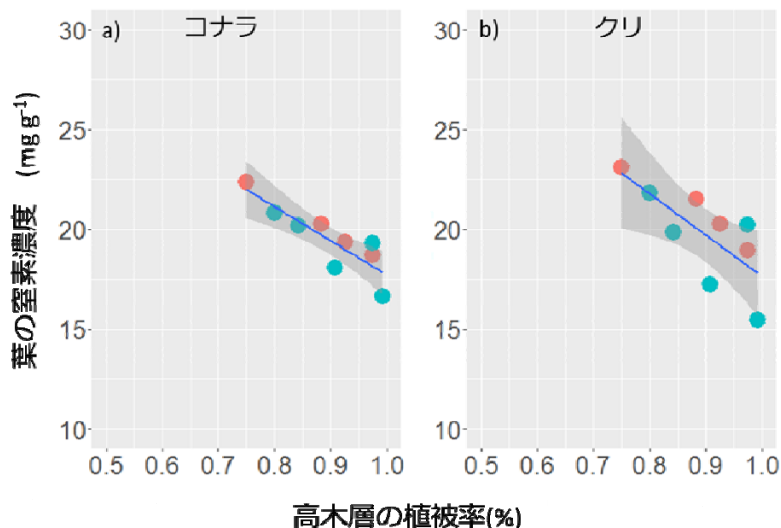
成熟葉の葉特性と窒素利用について図(3)-7に示す。光合成速度や面積当たりの窒素含有量と強い相関を示すといわれる単位面積当たりの葉乾重(LMA)は、コナラで中央値が50と55  $\text{g m}^{-2}$ 、クリで42と45  $\text{g m}^{-2}$ であった。コナラでは草地由来の材料でばらつきが大きくなったが、履歴の違いによる差はみられなかった(図(3)-7a)。LMAの値は光環境を代表する指標としてしても知られている (Kitao et al., 2009)。このことから草地由来の広葉樹林と落葉広葉樹林の採集した葉の生育光条件に大きな違いはなかったと考えることができる。しかしながら面積当たりの窒素量には、コナラにおいて土地利用履歴による違いがみられた。すなわち、広葉樹由来の試料は草地由来の試料よりも、わずかに葉の窒素量は低くなる傾向がみられた(広葉樹由来のコナラ葉の窒素量は1.1  $\text{g m}^{-2}$ 、草地由来のコナラ葉の窒素量0.9  $\text{g m}^{-2}$ であった、図(3)-7b)。一方クリには、土地利用履歴による違いは見られなかった(広葉樹林由来の葉の窒素量は0.85  $\text{g m}^{-2}$ 、草地由来のコナラ葉の窒素量0.80  $\text{g m}^{-2}$ であった、図(3)-7b)。このように窒素量が低下した要因を検討するために葉の重さ当たりの窒素量(窒素濃度と同義)について調べると土地利用履歴の違いの影響は見られないものの、広葉樹林由来の葉の窒素濃度の中央値は20  $\text{mg g}^{-1}$ 、草地由来の試料の中央値は17.5  $\text{mg g}^{-1}$ とやや低くなった(図(3)-7c)。クリでは広葉樹林由来、草地由来ともに葉の窒素濃度の中央値は19  $\text{mg g}^{-1}$ であった(図(3)-7c)。葉のC/N比は窒素濃度の傾向を反映しており、コナラ、クリ共に土地利用履歴の違いによる差は見られなかったが、コナラでは草地由来の試料で中央値が高くなった(広葉樹林由来のコナラのC/N比23、草地由来のコナラのC/N比26、クリは広葉樹林由来、草地由来ともにC/N比24であった)。

面積当たりの葉の窒素量の算出は、LMAと葉の窒素濃度の積によって決まる。これらの結果と面積当たりの葉の窒素量の算出法からコナラにおいて草地由来の試料で葉の窒素濃度が低下した理由を考察すると、LMAと窒素濃度の中央値がともに草地由来の試料よりも高かったことが、差が生じた可能性の一つとして指摘できる。このようにわずかな違いがコナラの面積当たりの窒素量の差を生じていたことから、小見山らのアロメトリ式(小見山ら, 2011)から調査地あたりのコナラ葉の総窒素量について試算したが、土地利用履歴による差は見られなかった(図(3)-7e)。

土地利用履歴以外に葉の窒素濃度に影響を与えている要因についても探索すると、クリ、コナ



ラ共に高木層植被率と負の相関がみられた(コナラ:  $r^2 = 0.67$ 、 $p < 0.01$ 、 クリ:  $r^2 = 0.51$ 、 $p < 0.01$ 、図(3)-8)。(3)において、高木層植被率は地上部現存量との間に正の相関を示したことから(図(3)-6c)、現存量増加に伴う葉量の増加によって、コナラの採草地由来の試料では単位面積当たりの葉の窒素量の低下が生じていた可能性が推察される。したがって今後、地上部の現存量の増加にともなう葉の窒素量の低下が明瞭にみられるようになれば、葉の窒素濃度にも明瞭な変化が生じることが考えられる。このため継続的なモニタリングが必要になると考える。



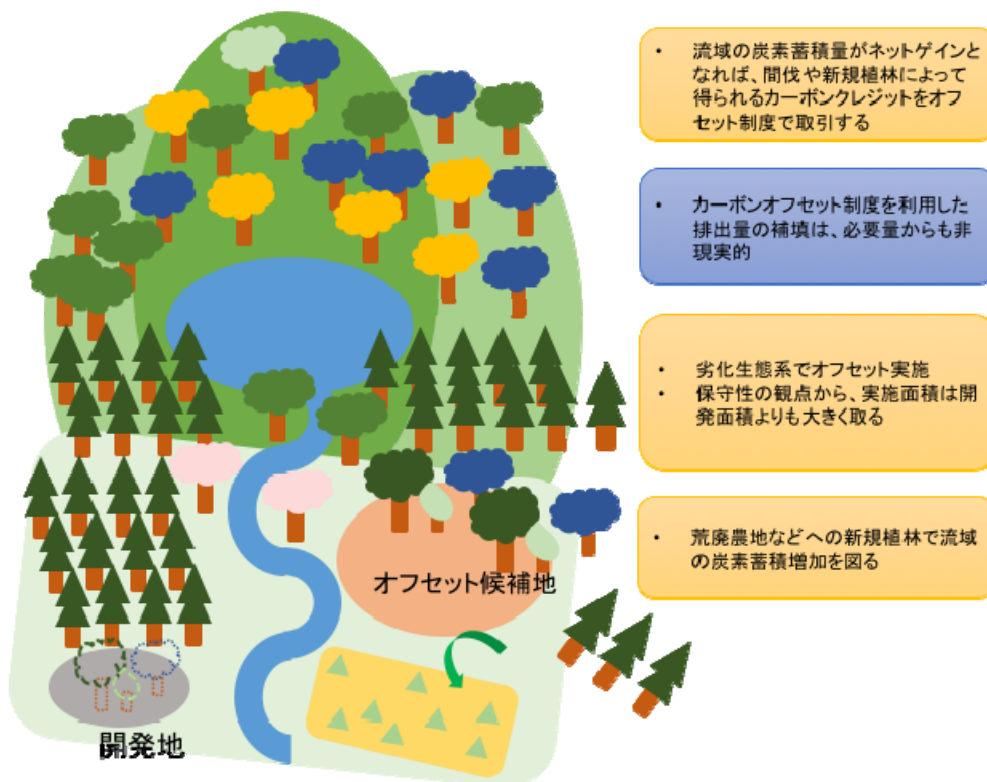
図(3)-8 葉の窒素濃度と高木層植被率の関係 a)コナラ、b)クリ. 色の違いは図(3)-8と同様に履歴の違いを示す、すなわち赤:広葉樹-広葉樹、青:採草地-広葉樹

#### (5) 生物多様性オフセットへのカーボンオフセット付加の可能性

ある一定期間のプロジェクト(数十年~百年の単位)を想定した場合、永続性という森林独特の問題が発生してくる。すなわち、森林の炭素蓄積は、台風、土砂崩れ、火災などの自然撓乱によって、損失する可能性があり、蓄積から排出への反転があり得る。たとえば、VCS(Verified Carbon Standard)やJCM(二国間クレジット制度)に見られるREDDの方法論では、あらかじめ反転リスクに対するバッファを取ることで対応している。ただし、どれだけのバッファを予め準備すべきなのか科学的根拠を示すのは難しい。

我が国の森林分野のカーボンオフセットでは、針葉樹人工林を対象とした間伐(F0-001:森林経営活動)や新規植林(F0-002:植林活動)などを実施した場合と未実施の場合の差で生じると考えられる吸収量を「クレジット」とみなしている。開発によって消失する生態系の炭素蓄積量(十数トン~数百トン)と、上記の認証された方法論によってクレジット化される炭素量(十数トン未満)では、その量に開きがある。すなわち、開発によって排出した炭素量を、カーボンオフセット制度を利用して即時にオフセットすることは困難である。また、プロジェクト期間中に劣化した森林を改善したことによって得られる追加分でオフセットするのも困難である。

## 流域レベルで考えるオフセット



図(3)-9 カーボンオフセットを付加した生物多様性オフセット実施のイメージ図

以上のことから、生物多様性オフセットとカーボンオフセットの一体化を考えた場合、プロジェクト期間中に追加分でオフセットするためには、開発分以上の面積が必要であり、荒廃農地などへの新規植林で流域の炭素蓄積増加を図るなどの取組が必要であると考えられる。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

生物多様性オフセットに重要な生態系サービスの一つである炭素蓄積の観点を加えることによって、流域レベルでより広域にオフセットを考える重要性を示唆することができた。これまで分離されて取り扱われてきた多様性オフセットとカーボンオフセットに関して同一地点において検討を進めることによって、今後の両者のトレードオフ関係の解析を発展させる基盤が形成された。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

これまでに活用の実績はない

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

平成28年5月に決定された、新たな森林・林業基本計画では、「森林及び林業に関し、政府が総

合的かつ計画的に講ずべき施策」が設定されており、森林の有する多面的機能を将来的に発揮させていくための計画がまとめられている。その中で再生利用が困難な荒廃農地の森林としての利用が取り上げられており、本課題で提案した荒廃農地の森林化を含めた流域レベルのオフセット計画は、上記計画を推進する上で有効な選択肢のひとつになり得る。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) M. HASEGAWA, T. SASAKI, H. SATO and S. ABE: *Pedobiologia*, 58, 13-21 (2015), Effects of roads on collembolan community structure in subtropical evergreen forests on Okinawa Island, southwestern Japan.
- 2) D.H. JI, Q.Z. MAO, Y. WATANABE, M. KITAO and S. KITAOKA: *Journal of Agricultural and Meteorology*, 71, 3, 232-238 (2015), Effect of nitrogen loading on the growth and photosynthetic responses of Japanese larch seedlings grown under different light regimes.
- 3) 佐藤保、北岡哲、原口岳、五十嵐哲也、岡部貴美子：関東森林研究、67, 1, 49-52 (2016), 異なる計算式を用いた落葉広葉樹二次林の現存量の違いについて
- 4) 北岡哲、原口岳、長谷川元洋、滝久智、小山明日香、五十嵐哲也、岡部貴美子、佐藤保：関東森林研究、67, 1, 175-176 (2016), 土地利用履歴の違いが落葉広葉樹二次林における樹木の成長と窒素利用に与える影響について —茨城県北部とその周辺地域の例—

#### <その他誌上発表(査読なし)>

なし

### (2) 口頭発表(学会等)

#### <学会発表>

- 1) 長谷川元洋、原口岳、滝久智、北岡哲、松浦俊也、五十嵐哲也、佐藤保、岡部貴美子：第39回日本土壌動物学会大会(2016)  
「土地利用の前歴の異なる広葉樹二次林におけるトビムシ群集の比較」
- 2) 北岡哲・原口岳・長谷川元洋・滝久智・小山明日香・五十嵐哲也・岡部貴美子・佐藤保：第127回日本森林学会大会(2016)  
「異なる土地利用履歴を持つ落葉広葉樹二次林の成長と窒素利用について —北茨城市周辺の事例—」
- 3) 佐藤保、北岡哲、五十嵐哲也、原口岳、小山明日香、滝久智、長谷川元洋、岡部貴美子：第64回日本生態学会大会(2017)  
「生物多様性オフセットに向けた生態系評価手法の提案」
- 4) 北岡哲、原口岳、小山明日香、五十嵐哲也、滝久智、長谷川元洋、岡部貴美子、佐藤保：第

64回日本生態学会大会（2017）

「阿武隈高地南部における採草地から転用された落葉広葉樹二次林の炭素蓄積と窒素利用」

### （3）出願特許

特に記載すべき事項はない

### （4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 一般公開シンポジウム「生態系保全の新たなしくみを考える—生物多様性オフセット入門—」（2014年12月6日、東京大学弥生キャンパス・中島董一郎記念ホール、90名参加）を主催

### （5）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

### （6）その他

特に記載すべき事項はない

## 8. 引用文献

- 1) F.A. BAZZAZ: Plants in changing environments: linking physiological, population, and community ecology, Cambridge University Press (1996)
- 2) J.L. DESHAZO et al.: Why REDD will fail, Taylor & Francis Group (2016),
- 3) J. DOUGA et al.: Journal of Applied Ecology, doi:10.1111/1365-2664.12801 (2016), Traditional forest management practices stop forest succession and bring back rare plant species.
- 4) T.J. EYRE et al.: BioCondition: A condition assessment framework for terrestrial biodiversity in Queensland, assessment manual. version 2.2, Queensland herbarium, Department of Science, Information Technology, Innovation and the Arts (2015)
- 5) J.J. GILROY et al.: Nature Climate Change, 4, 503-507 (2014), Cheap carbon and biodiversity co-benefits from forest regeneration in a hotspot of endemism.
- 6) 長谷川泰洋、林希一郎: 環境アセスメント学会誌、12,49-62(2014), 都市近郊二次林の生物多様性評価手法の検討：名古屋市内二次林における豪州ハビタット・ヘクターと生物多様性に関する指数との比較
- 7) 平田泰雅、鷹尾元、佐藤保、鳥山淳平 編：REDD-plus Cookbook, (独) 森林総合研究所 REDD 研究開発センター (2012)
- 8) S.P. HUBBELL: Science, 203,1299-1309 (1979), Tree dispersion, abundance, and diversity in a tropical dry forest.
- 9) IPCC: IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, The institute for global environmental strategies, IGES (2006)
- 10) H.T. ISHII et al.: Forest Science, 50, 342-355 (2004), Exploring the relationships among canopy structure, stand productivity, and biodiversity of temperate forest ecosystems.

- 11) 伊藤哲：エコロジー講座 7 里山のこれまでとこれから、鎌田麿人、白川勝信、中越信和責任編集、文一総合出版 (2014), 林の再生能力を生かす-樹木の萌芽性から里山管理を考える-
- 12) S. ITO et al.: *Forest Ecology and Management*, 196, 213–225 (2004), Effects of previous land-use on plant species diversity in semi-natural and plantation forests in a warm-temperate region in southeastern Kyushu, Japan.
- 13) 梶本卓也ら：森林総合研究所研究報告、13, 113-136(2014), 森林生態系における樹木・木材の放射性セシウム分布と動態の調査法
- 14) M. KITAO et al.: *Environmental Pollution*, 157, 537-44 (2009), Effects of chronic elevated ozone exposure on gas exchange responses of adult beech trees (*Fagus sylvatica*) as related to the within-canopy light gradient.
- 15) 小見山章ら：日本森林学会誌、93(5), 220-225 (2011), 冷温帯林樹木の個体重に関する共通相対成長式
- 16) 松岡茂、小高信、小高由紀子：森林総合研究所研究報告、13, 61-78 (2014), アカゲラ *Dendrocopos major* の営巣木と巣の特徴－札幌市羊ヶ丘における 15 年間の記録－
- 17) R.H. MACARTHUR and J.W. MACARTHUR: *Ecology*, 42, 594–598 (1961), On bird species diversity.
- 18) 右田千春ら：森林立地、54, 29-34 (2012), 福島県いわき市における落葉広葉樹二次林の構造と成長経過
- 19) 長池卓男：樹木医学研究、11,230-233(2007), 樹木講座 4: 森林生態系の多様性維持における枯死木の役割と管理
- 20) P. NEWTON et al.: *Environmental Research Letters* 11, doi:10.1088/1748-9326/11/4/044017 (2016), Carbon, biodiversity, and livelihoods in forest commons: synergies, trade-offs, and implications for REDD+.
- 21) C.D. OLIVER: *Forest Ecology and Management*, 3, 153-168 (1981), Forest development in North America following major disturbances.
- 22) D. PARKES et al.: *Ecological management and restoration*, s29-s38 (2003), Assessing the quality of native vegetation: The ‘habitat hectares’ approach.
- 23) J. PHELPS et al.: *Biological Conservation*, 154,53-60 (2012), Win-win REDD+ approaches belie carbon-biodiversity trade-offs.
- 24) E.C. PIELOU: 南雲仁一・監訳、産業図書(1974), 数理生態学
- 25) L. POORTER et al.: *Global Ecology and Biogeography*, 24, 1314–1328 (2015), Diversity enhances carbon storage in tropical forests.
- 26) 佐々木雄大ら：生態学フィールド調査法シリーズ :3、共立出版 (2015), 植物群集の構造と多様性の解析
- 27) R. SHIBATA et al.: *Journal of Ecology*, 102, 209-220 (2014), Interspecific variation in size-dependent resprouting ability of temperate woody species and its adaptive significance.
- 28) 武田明正、木村裕之：日本森林学会誌、70,269-272 (1988), 三重県下にみられる主要な森林類型の木本類の種多様度
- 29) 武内和彦ら編：東京大学出版会(2001), 里山の環境学

- 30) S. UGAWA et al.: Bulletin of FFPRI, 11, 207-221(2012), Carbon stocks of dead wood, litter, and soil in the forest sector of Japan: general description of the National Forest Soil Carbon Inventory
- 31) 山本勝利：農業環境技術研究所報告、20,1-105 (2001), 里地におけるランドスケープ構造と植物相の変容に関する研究.
- 32) 山下聡ら：森林総合研究所研究報告、12,1-21 (2013), 森林生態系における生物多様性と炭素蓄積

#### (4) 環境保全オフセットにおける生態系サービス評価手法の研究

国立研究開発法人国立環境研究所 福島支部 地域環境創生研究室 大場 真

〈研究協力者〉

国立大学法人名古屋大学 未来材料・システム研究所 林 希一郎  
学校法人日本大学 理工学部 交通環境研究室 伊東 英幸

平成26～28年度累計予算額：7,285千円（うち平成28年度：2,050千円）

予算額は、間接経費を含む。

#### [要旨]

簡易かつ広域的な生態系サービス評価手法の基礎的な検討を、社会科学的視点も交え行った。

都市林の基礎的調査を行い、その際に特に文化サービスに着目した。その結果一つの森林が複数の文化サービスの利用実態がある場合もある一方、文化サービスの利用がなく、他の生態系サービスや生物生息空間の提供の側面が大きいものも存在した。

また社会科学的視点からの生態系サービスの社会経済評価、環境意識などのインターネット調査を行った。都市内の生態系では文化サービスの重要性が示された。また森林生態系も人工林と天然林では需要されているサービス種が異なった。湿地、水田への訪問頻度は低かったが、訪問目的は文化サービスの審美的価値やレクリエーションが多かった。またディスプレイサービスに関しては、生態系から被害を受けていると感じられている事柄に地域ごとの偏りがあった。

生態系サービスの評価方法について検討を行った。重要視されているが指標化が難しい文化サービスについて文献調査を行い評価方法について整理した。

オフセットサイトとの間の生物多様性や生態系サービスの同等性を、社会科学的視点と生態学的視点を融合させた定量的に評価する手法を検討した。ケーススタディとして愛知県名古屋市と豊田市を選択した。名古屋市では全体的な森林、農地生態系が減少したことにより、周辺地域の生態系サービス供給量が減少し、相対的に保全優先度が低下した。また同じように相対的に都市内の孤立した緑地の優先度が高くなった。豊田市では都市域の農耕地が減少し、分断化したためその重要性は低くなった一方、山間部の森林が成熟し相対的に優先度が高くなった。本評価フレームワークの統合モデル環境での試験的実装を行い、データ源が限られた場所での適用が可能となった。以上これら手法が提供する生態系サービス供給の統合化は、同等性を地理的に可視化しておりオフセットサイト選定などに有益な情報を提供すると考えられた。

#### [キーワード]

生態系サービス、広域評価、保全順位、都市林、文化サービス

#### 1. はじめに

生態系は素材や燃料を人間社会に提供するばかりでなく(供給サービス)、治水や土砂流出防止

(調整サービス)、物質循環や野生生物への生息地の提供(基盤サービス)、憩いや精神的な場も供給してきた(文化サービス)。これらは生態系サービスと呼ばれている(ミレニアムエコシステムアセスメント; MEA, 2005)。持続的な生態系の適正な利用と保全は、生態系サービスの供給を持続可能なものとすると考えられている。

海外で行われている現行のオフセット制度では、生態系サービスが陽に扱われていないが、生態系の保全やオフセットを考える上で、その生態系が供給する生態系サービスを何らかの手段で評価し、開発を行う上で配慮することは今後必要な事項となることが考えられる。加えて文化サービスはこれまで重要と考えられてきたが、その評価方法は発展途上と言える。

また生態系サービスの評価を行う上で、地理的な広がり(景観的)という文脈は必須と言える。広域で評価を行うことでオフセットサイトあるいは開発回避のスクリーニングを行うことが出来る。オフセットサイト選定の際に生態系サービスの同等性を配慮するだけでなく、効果的な生態系の配置を行うことで生態系サービスや生物多様性を増強する効果があると考えられる。

## 2. 研究開発目的

本サブテーマでは、簡易かつ・広域的な生態系サービス評価手法の基礎的な検討を、社会科学的視点も交え行った。都市林の基礎的調査を行い、その際に特に文化サービスに着目した。また社会科学的視点からの生態系サービスの社会経済評価、環境意識などのインターネット調査を行った。文化サービスを中心として生態系サービス評価手法の方法の検討を行った。さらにオフセットサイトとの間の生物多様性や生態系サービスの同等性を、社会科学的視点と生態学的視点を融合させた定量的に評価する手法を検討した。

## 3. 研究開発方法

### (1) 都市林の基礎的調査

都市林を対象とした森林生態系サービスの調査を実施した。対象は名古屋市内の森林とし、都市公園、社寺の社叢を含め、一定面積以上(ここでは概ね1ha)の樹冠の連続する樹林帯を一つの森林の塊と定義した(以降「森林」と称する)。生態系サービスの中の文化サービスについては、森林隣接地において文化サービス機能を有するもの(遊具、運動広場、寺社の建物、墓地、図書館など)が存在する場合もあるため、森林内とともに、当該森林の隣接敷地内を含んだ広義の森林敷地における調査も併せて実施した。森林調査は2013年以前より別途先行的に進めてきた内容も含めて調査結果を取りまとめた。

文化サービス利用状況調査は、まず当該森林を踏査して森林の特徴を把握し、その過程での文化サービスの利用状況の目視確認を踏まえ、主観的5段階評価(①頻繁におとずれる～⑤殆どまたは全然訪れない)を実施した。調査項目は、ミレニアムエコシステムアセスメントの分類を参考に、審美的価値、レクリエーション、教育的価値、精神的価値、宗教的価値、文化的遺産的価値などを含む文化サービスの分類を活用するとともに、その他の利用目的等を含めて全17項目とした。

### (2) 生態系サービスの社会経済評価

#### 1) 都市における生態系

都市公園・緑地などは開発によって失われる可能性もあり、その利用価値や享受している生態



系サービスの価値を経済評価することが重要となっている。日常的な利用の多い小中規模の都市公園・緑地（住区基幹公園）のレクリエーション機能を評価するため、旅行費用法により経済価値を評価するとともに、各生態系サービスの経済価値を推計した。

研究対象とした都市公園・緑地は、猪高緑地、相生山緑地、茶屋ヶ坂公園、明德公園の4つの都市公園・緑地を研究対象とした。都市公園・緑地のレクリエーション機能の経済価値の推計にあたり、旅行費用と訪問回数をもとに推計するトラベルコスト法を採用した。トラベルコスト法の適用にあたり、Webでのアンケート調査を実施した。アンケートの回答意思のあるモニター会員を愛知県全域から2万サンプル収集した後、愛知県の各地域の人口数、年齢構成、性別の割付けを考慮し、ランダムサンプリングにより2,800サンプルを回収した。アンケートの設問項目は、はじめに過去5年以内に対象公園・緑地へ訪問したことがあるか尋ねた後、過去5年間の訪問回数、各公園・緑地への訪問目的（21項目から複数選択）、公園への交通手段、交通手段別の移動時間、公園・緑地の滞在時間、平均訪問人数などを尋ねた後、都市公園・緑地の生態系サービスを解説し、その重要度を5件法で回答してもらい、最後に個人属性（職業、年収、学歴）を尋ねた（表(4)-1）。

表(4)-1 アンケート調査の概要

調査方法	Webアンケート(楽天アンケート)
アンケートデータの収集方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>スクリーニングとして愛知県全域のモニター会員を対象に20,000サンプルを収集（設問項目は調査参加の可否）</li> <li>20,000サンプルから愛知県の各地域の人口数、年齢構成比、性別の割付けを考慮し、無作為抽出により2,800サンプルを回収。</li> <li>重点地区（千種区、東区、瑞穂区、守山区、緑区、名東区、天白区）、尾張旭市、長久手市において1,442サンプルを回収し、その他の7地域（尾張西部、尾張東部、知多地域、西三河北部、西三河南部、東三河北部、東三河南部）で1,358サンプル回収。</li> </ul>
対象とした都市公園・緑地	<ul style="list-style-type: none"> <li>猪高緑地（愛知県名古屋市名東区猪高町大字上社）</li> <li>相生山緑地（愛知県名古屋市天白区天白町野並字上新田）</li> <li>明德公園（名古屋市名東区猪高町猪子石）</li> <li>茶屋ヶ坂公園（名古屋市千種区鍋屋上野字汁谷）</li> </ul>
スクリーニング実施日時	2014年12月中旬～2015年1月上旬
本アンケート実施日時	2015年1月13日～2015年1月26日
本アンケートの主な設問項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>過去5年以内における対象公園・緑地への訪問の有無</li> <li>過去5年間の訪問回数</li> <li>各公園・緑地への訪問目的と、その重要度</li> <li>公園への交通手段、所要時間、滞在時間</li> <li>平均訪問人数</li> <li>都市公園・緑地の生態系サービスの重要度</li> <li>個人属性（職業、年収、学歴）</li> </ul>

一人当たりの一般化費用（総費用）は、交通費や施設利用費などの所要費用（電車代、ガソリン代、入園料など）と、移動時間と滞在時間を合計した所要時間に時間価値を乗じて往復の一般化費用を算出した。時間価値は、Cesarioの手法<sup>2)</sup>に基づき、愛知県の平成24年度の1時間当たりの平均所得2,967円（総務省のデータ）の1/3に相当する989円を時間価値として設定した。

また、1年あたりの平均訪問回数と、一般化費用を回帰分析し需要曲線を推計した。次に、一人当たりの消費者余剰を「－（利用者の訪問回数の平均値）／需要曲線の傾き」から算出し、年間利用者数を乗じてレクリエーション価値を算出した。また、その年間レクリエーション価値を生態系サービスの重要度で按分し、各生態系サービスの経済価値を求めた。

## 2) 森林生態系

都市緑地から対象を里山、人工林、山間部の天然林等に拡大し、各種緑地の有する生態系サー

ビスのウェイト算出を目的として研究を行った。具体的には、愛知県の都市部、里山、山間部にかけての森林を対象に（一部湿地を含む）、生態系サービス評価を目的にインターネット意識調査を実施した。インターネット意識調査は2015年11月から12月頃に、愛知県（隣接市町村を含む）を対象に実施した。最初に、スクリーニング設問によりサンプルを収集し、その後収集したサンプルからランダムに1,286サンプル回答を収集した。愛知県および周辺地域等を8地域に区分し、各々年代、性別の人口統計を参照し、サンプル数の割り付けを行い、できるだけ人口構成比に合うように回答者を収集した。

人々の訪問が制限されている場所、人々が通常訪問しないような森林を含んでいたため、TCMは用いず、生態系サービスのウェイトの算出手法を用いて分析を行った。対象地は、昨年度との対比を目的として都市緑地である猪高緑地を含めた。それ以外の新規地点として、里山林としての豊田自然観察の森、山間部の人工林（怒田沢県有林）、山間部の天然林として豊田市稲武地区の面の木原生林を、さらに湿地として矢並湿地を選定した。対象地の情報については、各地域に訪問し（怒田沢人工林除く）、情報収集するとともに、写真等を活用して当該地の説明を意識調査の中に含めた。主な調査内容は、各地点の生態系サービス大分類のウェイト、個々の生態系サービス大分類に含まれる小分類のウェイトの算出、生態系サービス大分類の生態系サービス全体価値に対する比率、および属性項目等である。

### 3) その他の生態系、ディスプレイサービス

湿地や水田生態系における生態系サービスのウェイト算出等を目的として意識調査を行った。この調査は平成26年度から27年度に行った都市緑地および森林生態系において行った意識調査を補完するものである。愛知県における八竜湿地、恩真寺湿地、猪高緑地の水田、保見・四郷の水田および「都市部の自然」、「郊外の自然」、「中山間地域、山間部の自然」等の抽象的な生態系も対象とした。インターネット意識調査は2017年1月に、愛知県および隣接市町村居住者を対象に実施し、スクリーニング設問によりサンプルを収集し（約10,000サンプル）、そのサンプルから愛知県および周辺地域等を8地域に区分し、各年代、性別の人口統計を参照し、サンプル数の割り付けを行い、できるだけ人口構成比に合うように約500サンプルを収集した。設問は、各対象生態系への訪問頻度、訪問目的、生態系サービスの受益（自然の恵みとした）、重要度（5点法）、また各生態系サービスに対する重要度の配分（合計が100）、基礎属性を聞いた。また今年度から、自然から受ける被害（落葉落枝の片付けや蚊の発生など）、スズメバチの巣の目撃経験など、ディスプレイサービスとして知られる項目についても聞いた。

## （3）生態系サービスの評価方法の検討

### 1) 文化サービス

生態系サービスの大分類の一つである文化サービスは“精神的満足、認識の発達、省察、レクリエーション、美的経験を通じて人々が得る非物質的利益”（MEA, 2005）とした。

さらに最近出版された文化サービスに関する3レビュー文献Hernandez-Morcillo et al. (2013)、La Rosa et al. (2016)、およびMilcu et al. (2013)に記載されている428文献における定量法について精査した。

一方、空間的な指標に基づく文化サービスを定量化していた23文献を対象として内容について

精査した。

## 2) その他のサービス

その他のサービスについても手法の検討などを行い、生態系サービスを評価する際に使用する土地利用データについて調査を行った。また供給サービスについてはより詳細なプロセスモデルを使用する事を検討した。

### (4) 生態系サービスの広域評価の検討

#### 1) GISによる生態系サービスの評価

GISによる生態系サービスの評価を名古屋市を対象に行った。土地利用によって大きく生態系サービスが変化するものとして、比較的簡易な方法によって生態系サービスの4大分類ごとに供給される生態系サービスを推定した。1955年と1997年における名古屋市の整備済みの土地利用データを用いた(Ooba et al., 2014)。考慮した生態系サービスは炭素蓄積速度、富栄養防止、食糧供給、大気浄化、気候緩和、雨水浸透、土壌浸食防止、レクリエーション、生物多様性涵養である。考慮した生態系サービスの供給量は利用可能性を最大としたポテンシャル量、あるいは相対的値である。より詳細な空間スケールでの計算も可能であるが、本研究では標準3次メッシュを用い、メッシュ内の生態系サービス供給を計算した。年代間、サービス間の相互比較のために、1997年のデータセットの平均値と標準偏差によって正規化を行った。1955年のデータはこの平均値と標準偏差を用いて正規化した。

ある制約の下で保全する生態系の順序づけをすることが社会経済的に効率的であるといえる。生物多様性や生態系サービスによって生態系の保全順序を計算するMoilanenらが開発し公開しているソフトウェアZonation (Moilanen et al, 2012) を用いて、推定した名古屋市内の生態系サービスによって保全順序を計算した。生態系サービスの重みはすべて1.0として加法便益関数 (Additive Benefit Function)、Zonationのデフォルト値を用いて計算した。

#### 2) GISを用いた同等性に関する社会科学-生態学融合的定量評価に関する手法の検討

さらに対象範囲を豊田市へ広げ、土地利用によって生態系サービス供給と生物多様性に寄与する生息地の質が変化するものとして仮定し推定を行った。生態系サービスは前節の結果を基に4大分類ごと生態系サービス指標を採用した。炭素蓄積速度(基盤サービス)、食糧供給(供給)、土壌浸食防止(調整)、レクリエーション(文化)、生息地連続性(生物多様性)である。

現在と過去(1950年代)の名古屋市と豊田市の分析を行った。現在データとして調製済みの名古屋市は1997年の土地利用データ(10 m)、豊田市は2009年の土地利用データ(100m)を用いた。過去の土地利用は、地理調査所(現・国土地理院)が調製した土地利用図「名古屋北部」「同南部」「挙母」「根羽」「足助」「明知」をデジタル化した。すべての図に対して画像分類によるデジタル化、豊田市にかかる3図はデジタル化ソフトウェア(R2V, Able Software Corp)を使用して単純な画像分類による結果との検証等を行った。各土地利用図における最大の解像度において生態系サービスを推定し、標準3次メッシュレベルでの集計を行った。年代間、サービス間の相互比較のために、現在土地利用による平均値と標準偏差によって正規化を行った。

ある制約の下で保全する生態系を順序づけをすることが社会経済的に効率的であるといえる。

Zonationを用いて、推定した名古屋市、豊田市の生態系サービスによって保全順序を計算した。保全順序(0-1の範囲で1が最高)を調べることによって、どのメッシュの生態系が生態系サービスと生物多様性にどの程度寄与しているか、保全の必要性についての同等性を示すと考えられる。

### 3) GISを用いた広域定量評価に関する手法の検討

上述の生態系サービスの統合定量化の手法は、土地利用によって生態系サービス供給と生物多様性に寄与する生息地の質が変化するものとして仮定し、4大分類ごと代表的な生態系サービス指標を採用したものであった。本サブテーマではフレームワークの開発検討を最優先課題と考えており、上述の評価方法は土地利用データの用途種類数や解像度は変更が可能であり、また代表とする生態系サービスの評価手法をより高度なものへと変更も可能である。

評価の広域化や国内様々な地域での適用にともなって発生する困難は、生態系サービス個々の評価手法の精度より、むしろ開発したフレームワークの可用性に原因があるのではないかと考えた。つまり、新しい対象地域に適用しようとした場合、新しいデータが必要となるが、新しいデータは想定していた座標系、投影法やグリッドサイズが違う等の技術的な問題を引き起こすだけでなく、異なる分類体系による土地利用データであった等の質に関する問題を引き起こすことがある。

土地利用データや生態系サービス評価手法をより容易に変更可能であるためにも使用するプラットフォームの検討を行った。また選択したシステム上での本サブテーマで開発した方法論の試験的な実装を行った。

## 4. 結果及び考察

### (1) 都市林の基礎的調査

調査の結果、森林内及び森林敷地内の付随施設、森林周辺の都市化の状況などにより利用目的に差が見られた。また、社寺等の社叢は、歴史的遺産的価値の高い巨樹・巨木が多数立地する場が多い。一つの森林が複数の文化サービスの利用実態がある場合もある一方、文化サービスの利用がなく、他の生態系サービスや生物生息空間の提供の側面が大きいものも存在する。

### (2) 生態系サービスの社会経済評価

#### 1) 都市における森林生態系

表(4)-2に各公園の推計した需要曲線と各公園・緑地の経済価値を示す。

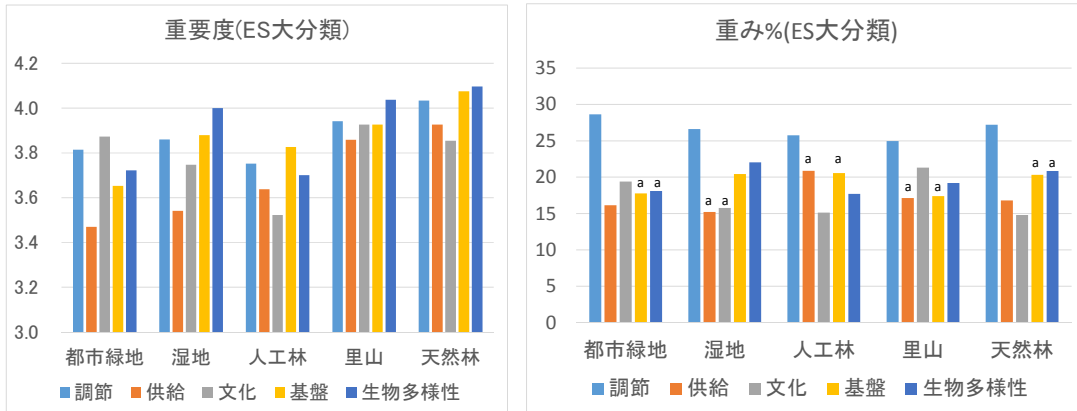
年間平均訪問回数はそれぞれ約1回程度と少ない結果となった。緑地に関しては一般化費用と訪問回数の相関があまり良好でない結果となった。今回推計したレクリエーションの価値は、文化的サービスの価値に相当しており、年間訪問客数に応じて経済価値が明德公園の約1.8億円から猪高緑地の約29億円まで大きく差が開く結果となった。重要度分析においては、4つすべての公園・緑地で文化的サービスが一番高い値を示し、供給サービスが一番低い値を示した。これは市民が公園・緑地内で遊んだり、美しい景観を眺めるなど文化的な恵みを多く享受し、食べ物などの供給サービスはあまり享受していないことが原因だと考えられる。

表(4)-2 都市公園・緑地の経済評価結果

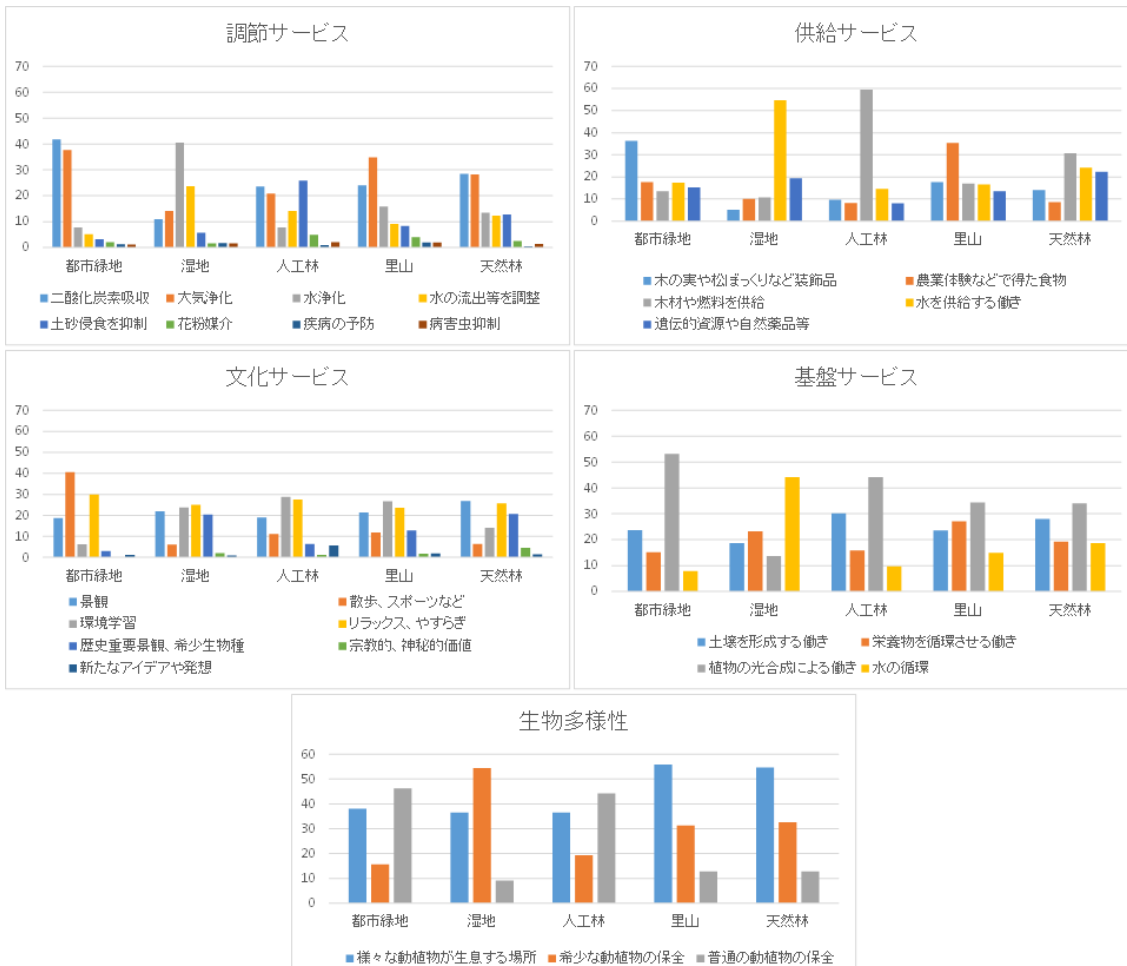
茶屋ヶ坂公園		明德公園		猪高緑地		相生山緑地		
年間平均訪問回数(回/年)	1.14	年間平均訪問回数(回/年)	0.95	年間平均訪問回数(回/年)	1.05	年間平均訪問回数(回/年)	0.97	
年間訪問回数(人)	445,569	年間訪問回数(人)	155,200	年間訪問回数(人)	571,161	年間訪問回数(人)	422,649	
調整サービス(円)	重要度	415	調整サービス(円)	重要度	401	調整サービス(円)	重要度	423
	経済価値	317,467,913		経済価値	186,156,927		経済価値	2,949,780,909
供給サービス(円)	重要度	3.61	供給サービス(円)	重要度	3.51	供給サービス(円)	重要度	3.63
	経済価値	276,158,835		経済価値	162,945,340		経済価値	2,531,372,269
文化的サービス(円)	重要度	4.15	文化的サービス(円)	重要度	3.97	文化的サービス(円)	重要度	4.30
	経済価値	317,467,913		経済価値	184,300,000		経済価値	2,998,595,250
基盤サービス(円)	重要度	3.95	基盤サービス(円)	重要度	3.89	基盤サービス(円)	重要度	4.05
	経済価値	302,168,254		経済価値	180,596,146		経済価値	2,824,258,317
生物多様性(円)	重要度	4.09	生物多様性(円)	重要度	3.88	生物多様性(円)	重要度	4.19
	経済価値	312,878,015		経済価値	180,121,914		経済価値	2,921,886,999
調整サービス(円)	重要度	4.13	調整サービス(円)	重要度	4.13	調整サービス(円)	重要度	4.13
	経済価値	1,015,092,421		経済価値	884,826,324		経済価値	1,024,923,825
供給サービス(円)	重要度	3.60	供給サービス(円)	重要度	3.60	供給サービス(円)	重要度	3.60
	経済価値	884,826,324		経済価値	884,826,324		経済価値	884,826,324
文化的サービス(円)	重要度	4.17	文化的サービス(円)	重要度	4.17	文化的サービス(円)	重要度	4.17
	経済価値	1,024,923,825		経済価値	1,024,923,825		経済価値	1,024,923,825
基盤サービス(円)	重要度	4.07	基盤サービス(円)	重要度	4.07	基盤サービス(円)	重要度	4.07
	経済価値	1,000,345,316		経済価値	1,000,345,316		経済価値	1,000,345,316
生物多様性(円)	重要度	4.16	生物多様性(円)	重要度	4.16	生物多様性(円)	重要度	4.16
	経済価値	1,022,465,974		経済価値	1,022,465,974		経済価値	1,022,465,974

2) 森林生態系

生態系サービス大分類の重要度(5点法。5が最大)の平均は、都市緑地と人工林で低く、湿地、里山、天然林で高い。都市緑地は調整、文化サービスに、湿地は生物多様性に比較的高い重要度が見られた。里山、天然林はすべての大分類で3.8以上で分類間の差が小さかった(図(4)-1a)。これを別の観点で問い合わせた重み付け(100を5分類に分配する割合を尋ねる)では、大分類間の差は重要度とは若干異なった(図(4)-1b)。全地点で調整サービスが高く、湿地や定年林で基盤サービス、生物多様性が高い。人工林では供給サービスと基盤サービス、里山では文化サービスが高かった。大分類のサービスを更に分割して各地点で尋ねたところ、各生態系で重要だと考えられている小分類の生態系サービスはかなり異なることが分かった。これらの情報は、生態系サービスの統合的な評価に利用可能である。



図(4)-1 愛知県内5地点を対象とした生態系サービス・生物多様性に関する(a)重要度(5点法、5が最大) (b)重み(100を5つのカテゴリーに配分)の平均値

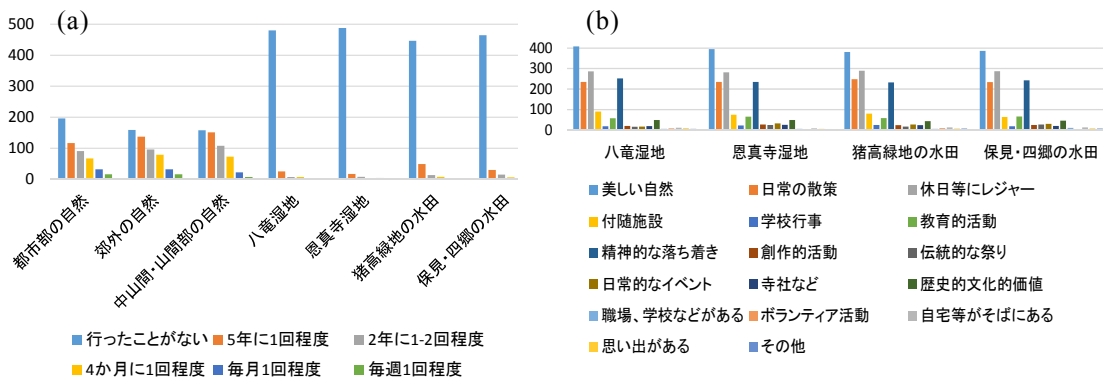


図(4)-2 ES小分類ごと各地点への訪問目的の選択率(% 3つまで重複回答可能)

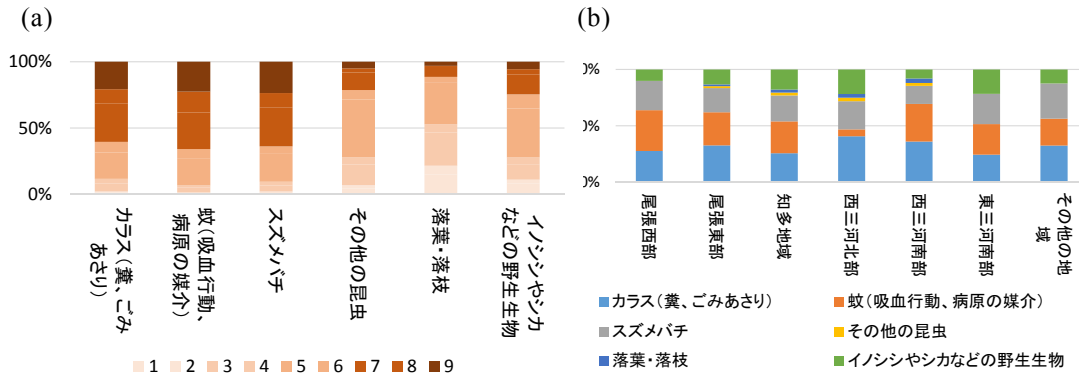
### 3) その他の生態系、ディスプレイサービス

対象とした湿地、水田への訪問頻度は約10%程度と低かった。設問は訪問したことがない場合でも想定して回答するように指示した訪問目的は審美的価値やレクリエーションの目的が多く、伝統文化や環境教育の目的は概して少なかった。

ディスプレイサービスに関しては、被害を受けていると感じられているものに偏りがあり、カラスや蚊、スズメバチについて特に被害を受けているとしている割合が高かった。しかし実際を目撃について尋ねると半数以上の回答者がみていないと報告している。また被害を受けている対象に地域性があり、特に森林が多い西三河北部で野生動物の被害を特に受けているという結果を得た。



図(4)-3 対象生態系への(a)訪問頻度と(b)訪問目的(3つまで複数回答)



図(4)-4 ディスサービスへの(a)マイナス影響の評価(a) (9点法、9が被害最大)と(b)最も影響の強いディスプレイサービスの種類

### (3) 生態系サービスの評価方法の検討

#### 1) 文化サービス

生態系サービスの大分類の一つである文化サービスは“精神的満足、認識の発達、省察、レクリエーション、美的経験を通じて人々が得る非物質的利益”(ミレニアムエコシステムアセスメント<sup>1)</sup>)とし、その小分類を表(4)-3にまとめた。

表(4)-3 MEA(2005)による文化サービスの分類と空間指標として定量化されている文献数

小分類	解説	文献数 *
文化的遺産	多くの社会は文化的に重要な景観(文化景観)か文化的に貴重な種の維持に高い価値をおく。	7
教育的価値	生態系、それらの要素、過程は、多くの文化において形式的・被形式的教育の基礎を提供する。	2
精神的宗教的価値	多くの宗教は生態系やその要素に対して精神的宗教的価値を付与する。	1
直感	生態系は芸術、フォークロア、ナショナリズムについてのシンボル、建築、広告に対するインスピレーションの豊かな源である。	0
審美的価値	多くの人は、生態系の様々な側面において美や審美的価値を見いだす。公園に対する支援、景色を眺めながらのドライブ、住居の場所を選ぶときに反映されるように	11
レクリエーションとツーリズム	人々はしばしばレジャー時間を費やす場所を特定の場所における自然や耕作された景観の特性に一部基づいて選ぶ。	16
文化的多様性	生態系の多様性は文化の多様性に影響を与える一因子である。	0
知識体系	生態系は異なった文化によって発達した知識体系の型に影響を与える。	0
社会関係	特定の文化が成立したとき、生態系は社会関係の型に影響を与える。例えば漁労社会の社会関係の多くの面は、遊牧農耕社会のそれと異なる。	0
場所の感覚	多くの人は環境の認識された特性と関係した場所の感覚に価値をおく。	0

\*精査した空間指標を利用している23文献

428文献における定量法について精査し、貨幣換算(31%)、インタビューまたはアンケート調査に基づく方法(38%)及び空間解析に基づく方法(31%)であった。金銭価値に換算した方法は、仮想評価法、ヘドニック法、トラベルコスト法が主であった。インタビュー手法は、以下のように分類された: 1) 回答者はリッカート尺度(5点尺度など)で生態系の文化的サービスに直感的価値づけるあるいはどのくらい価値を配分するかについて問う(今年度の研究で使用); 2) 回答の特定の用語の頻度を集計するコーディング; 3) 参加者が生態系の文化的サービスが提供されている場所を地図上に示し、その数を文化サービスの強度として採用する; 4) 参加者が特定の場所を訪問する目的を述べることによって文化サービスの需要と種類を解明する手法がある。

一方、空間的な指標に基づく文化サービスを定量化していた23文献を対象として内容について精査した。これらは文化サービス小分類ごとに分類するとレクリエーションが最も多かった。また方法論を分類すると12のカテゴリーに分類された(表(4)-4)。



表(4)-4 空間指標を用いる文化サービスの定量方法(数値は指標数)

	文化的 遺産	教育的 価値	精神的 宗教的 価値	審美的 価値	レクリエ ーション とツーリ ズム
公共施設、観光施設	1		1	1	6
自然度	1			3	4
景観多様性	1			4	2
観光客・訪問者数	2			2	3
自然保護区、公園			1		3
土地利用変化	1				
斜面、起伏				2	2
生物多様性マップ				2	2
海水浴場水質					1
ソーシャルメディア	1	1		1	1
猟師、釣り師数					2
空間要素・その他			1	1	8

文化サービスについて多様な調査が行われている一方、小分類全体を網羅する調査が欠落していることが示された。レクリエーションなどの比較的GISで評価しやすい文化サービスとともに、精神的宗教的価値に代表されるようなより主観的価値に近い文化サービスはアンケートやインタビューなどで主に評価される手法を併用することで、生態系の生み出す文化サービスを評価すべきであることを示した。

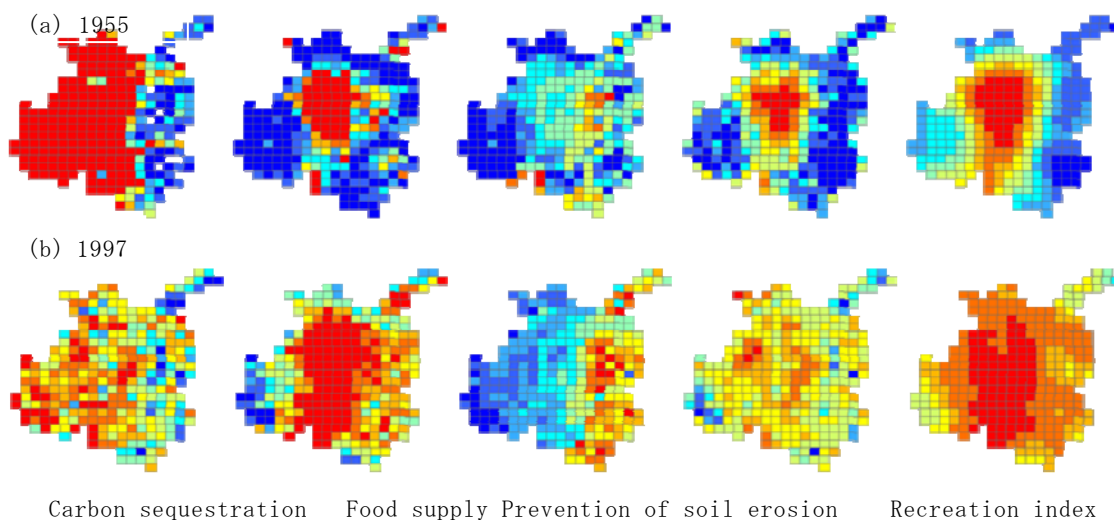
## 2) その他のサービス

その他のサービスについても手法の検討などを行い、生態系サービスを評価する際に使用する土地利用データについて調査を行った(「日本域高解像度土地利用土地被覆図 2016年9月リリース版」宇宙航空研究開発機構、地球観測研究センター)。また供給サービスについてはより詳細なプロセスモデルを使用する事を検討した。狭い領域での実施は可能であり、予測精度の向上も見込まれた。しかし、計算時間や過去の土地利用データ利用可能性などがあり、プロセスモデルによる広域評価は今後の検討課題となった。

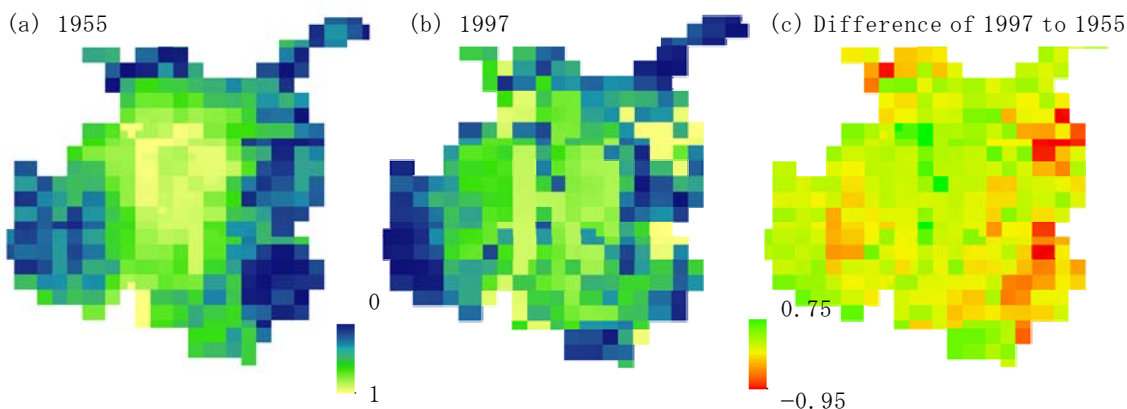
### (4) 生態系サービスの広域評価の検討

#### 1) GISによる生態系サービスの評価

推定した9種類の生態系サービスの相関行列を計算した。土地利用による原単位を使った生態系サービス間に高い相関が見られたため、地域ごとの定性的な特徴を見るために、5種類(炭素蓄積速度、食糧供給、土壌浸食防止、レクリエーション、生物多様性涵養)を以後の分析に用いた。推定した相対量を図(4)-7に示した。すべての生態系サービスのカテゴリーで1955年より1997年の方が供給値が低下している。



図(4)-7 名古屋市内における生態系サービス供給量(相対値)



図(4)-8 名古屋市内における生態系サービスにもとづく保全優先度

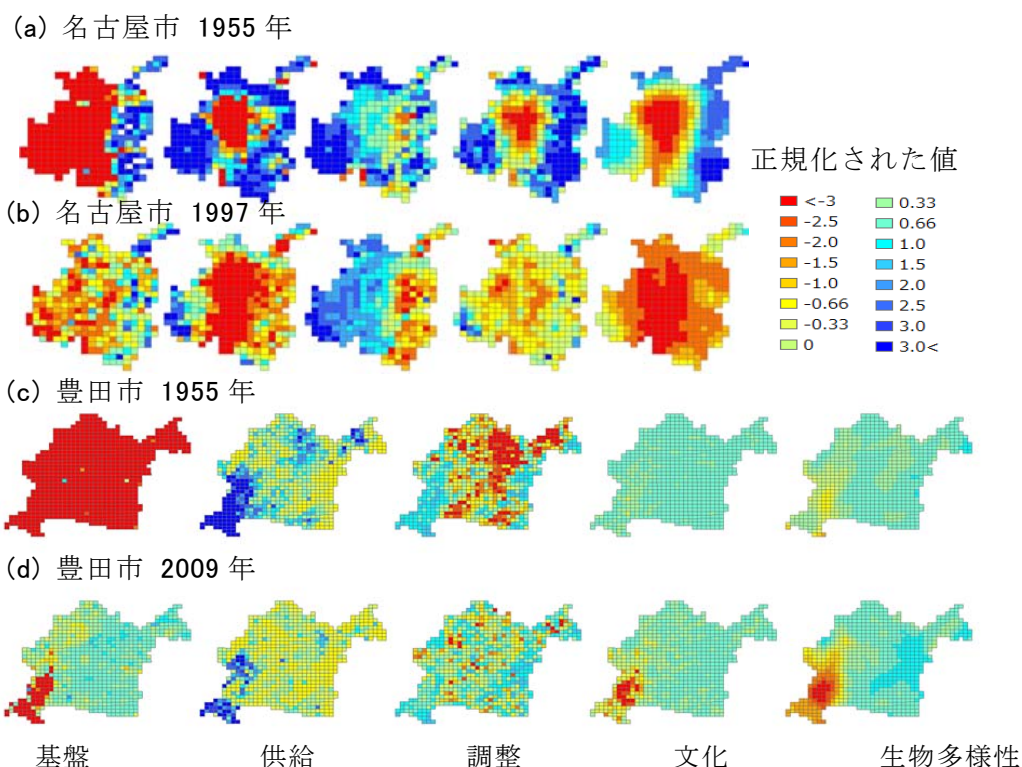
このデータをZonationで処理した結果を図(4)-8に示す。1955年では周辺地域の生態系サービスの供給量が多く、保全優先度も高い。しかし、全体的な森林、農地生態系が減少したことにより、周辺地域の生態系サービス供給量が減少し、相対的に保全優先度が低下している。また同じように相対的に都市内の孤立した緑地の優先度が高くなっている。

2) GISを用いた同等性に関する社会科学-生態学融合的定量評価に関する手法の検討

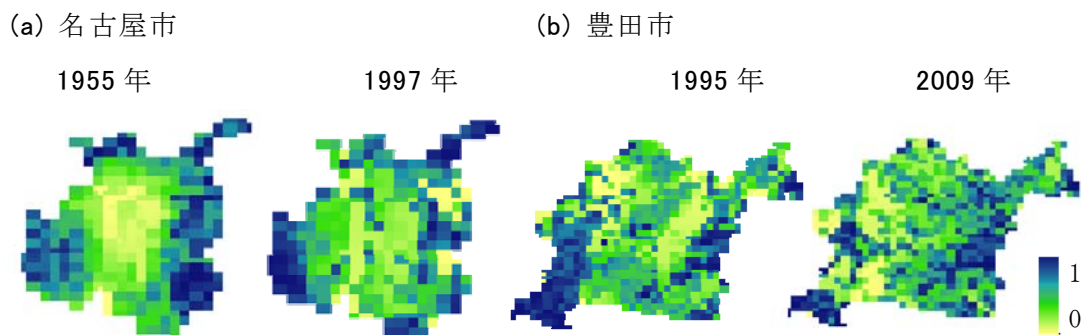
都市内の生態系サービスの主観的価値と文化サービスの推定をトラベルコスト法で行った、名古屋市と豊田市における評価を図(4)-10に示す。名古屋市における1955年は周辺域が重要な生態系サービスの供給地であったことが分かる。しかし1997年では分断化が進み、都市の孤立林が過去と比較して大きな保全優先度を持つことが分かる。また残された緑地(東山緑地、西部農耕地)も高い重要度を持った(図(4)-11)。一方豊田市は、南西部の都市域(旧挙母)が大きな生態系サービス供給地であり、東北の山間部は必ずしも保全優先度が高くない。しかし、2009年では都市域の農耕地が減少し、分断化したためその重要性は低くなった一方、山間部の森林が成熟したことにより大きな生態系サービスの供給地となり相対的に優先度が高くなっている。

本手法は、他の都市・地域でも比較的容易に適用が可能で、かつ計算方法の透明性が高い。しかし反面、詳細なオフセットサイトの分析には、更なる改良が必要である。

- ・ 比較的粗い土地利用分類に対応する生態系サービスを推定している。しかしより詳細な土地利用図が可能であれば、都市林の基礎的調査結果も反映し、より精度の高い生態系サービス供給の推定を導入すべきである
- ・ 意識調査からは文化サービスには高い重要性が認められ、文化サービスレビューの結果を踏まえたより詳細な文化サービス評価法を検討、考慮すべきである
- ・ 保全地域を考えた場合、連続性やコリドー、面積効果などが重要である。ZonationとGISをオンラインで処理することで、前述の効果を保全優先度の計算に活かすべきである。



図(4)-10 生態系サービス供給評価実施(現況と60年前の名古屋市、豊田市)



図(4)-11 保全優先度による生態系サービス供給・生物多様性涵養の空間評価

### 3) GISを用いた広域定量評価に関する手法の検討

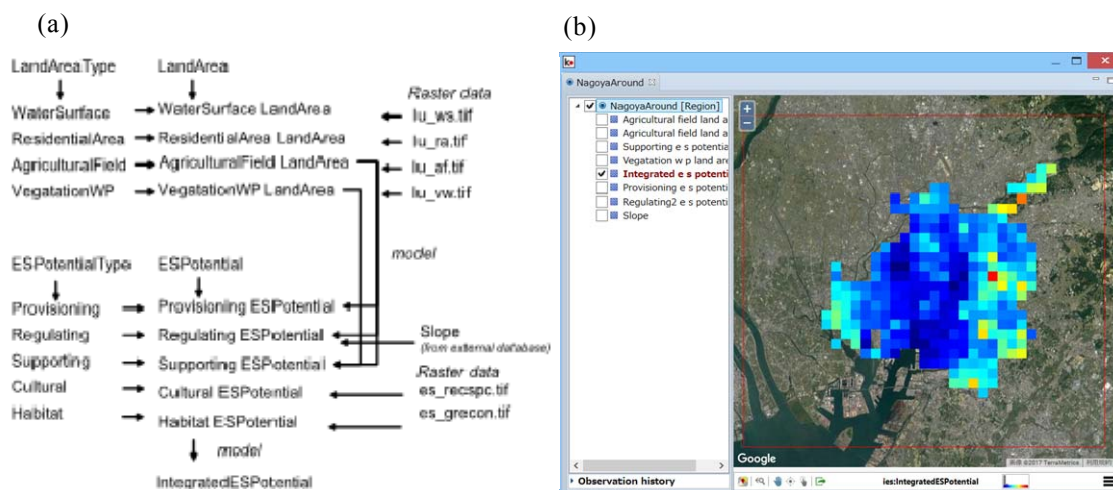
新しい世代の人工知能としてオントロジーが注目されており、これは一定の成功を収めたエキスパートシステムの適用範囲をより一般化したものであり、様々な知識をルール化して機械可読な形で蓄え(知識ベース)、オントロジーエンジンによって推論し問題解決を図ることができる(Milcu et al, 2013)。ルールは断片的なもので、本サブテーマ課題であれば生態系サービスや土地利用の種類やデータがどこに存在するかなどを記載することになる。さらなるデータの種類の煩雑でありデータ量も大きい生態系サービスの統合評価のようなプロジェクトでは、非常に多くのデータとルールをつなぎ合わせる必要がある。この操作はたいていGISにより手動で行われることが多い。スクリプト言語等の使用によりこの自動化は可能であり、実際に行われている場合も多い。しかし、オントロジーのプラットフォームであれば、現在の作業の自動化だけでなく、ルールの交換によってデータや評価手法の交換を容易に行うことが出来る。

オントロジーとGISを接続させ、ソフトウェアが公開されている数少ないシステムであるk.LAB(ver 0.9.10)を使用した(ARIES Project, <http://aries.integratedmodelling.org>)。このシステムは独自のオントロジー言語と知識ベース、オントロジーエンジンとそれらを使用するためのインターフェイスを提供している。システムが提供している知識ベースと、本研究の評価手法の考え方が違うため独自の知識ベースを開発した(知識ベースを切り替えることが可能であることもオントロジーの利点の一つである)

図(4)-12aに開発した知識ベースを示す。まず、土地利用の面積と生態系サービス供給ポテンシャルという概念(量概念)を作成し、これと「水面」「都市域」等と「調整」「基盤」等の種類概念(属性)を作成し組み合わせた。またどの概念とどのデータが結びついているかもルールを作成した(ローカルファイルと斜面についてはk.LABの知識ベースに依存)。一部のデータはあらかじめGISでデータを作成したが、GISによるオンライン操作と置き換えることが可能である。計算式(モデルに相当)は「ハードコード」(プログラムとして内部に埋め込みを)した。これはプロトタイプの計算負荷からの理由であり(サーバーがヨーロッパに位置するため、このシステムの起動に数分、この評価の実行であれば1分弱かかる)、外部のプログラムを呼び出すなどの操作に置き換えることが出来る。

一度知識ベースやそのプログラミングを終えてしまえば、この評価の実行はk.LABのグラフィカルユーザーインターフェイス上で行うことが出来る(図(4)-12b)。データやモデルを差し替えることで他の地域での実行や評価手法の変更を容易に行うことが出来る。本研究では評価方法の検討であるため、k.LAB上への実装はプロトタイプ的なものであり、インターフェイスの実装を十分行っていない。しかしk.LABのインターフェイスを使用すればステークホルダーやポリシーメーカーにも利用可能なシステムであると指摘できる。

以上これら手法が提供する生態系サービス供給の統合化は、同等性を地理的に可視化しておりオフセットサイト選定などに有益な情報を提供すると考えられた。



図(4)-12 生態系サービス広域評価のための(a)知識ベースと(b)k.LAB スナップショット

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

生態系サービスの社会経済的価値を含めた網羅的で空間的な定量的評価方法を開発し、かつ生態系サービス評価による環境保全オフセットを行う際の理論的、方法論的基礎付けを行った。また、保全優先度を考慮しながら生態系サービスの統合的評価手法と広域で空間的に評価する手法のフレームワークを開発した。

### (2) 環境政策への貢献

特に記載すべき事項はない。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) K. HAYASHI, M. Ooba and Y. HASEGAWA: International Journal of Environmental Rural Development, 6-1, 97-102 (2015), Cultural ecosystem service assessment in a semi-mountainous area of Japan: case in Toyota city.
- 2) M. Ooba, K. HAYASHI, T. SUZUKI and R. LI: International Journal of Environmental Rural Development, 6-2, 66-72 (2015), Analysis of urban ecosystem services considering conservation priority.

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 大場真: 北方森林研究、63, 1-2(2015)

「生態系サービスから見た森林生態系」

- 2) M. OOBA, K. HAYASHI, H. SHIMIZU, C. TAKATORI and N. KAWAGUCHI: Labor Forces and Landscape Management, Springer, 441-448 (2017)  
“Connection to Ecosystem Services Studies”

## (2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 伊東英幸、林希一郎、長谷川泰洋、大場真：環境アセスメント学会第13回年次大会(2014)  
「オンサイトスケールの生物多様性評価手法の検討—名古屋市都市森林を対象としたHSI、HH、BBと森林環境指標による比較評価」
- 2) 林希一郎、鷺見宏明、大場真、長谷川泰洋、米倉佑亮：環境アセスメント学会第13回年次大会(2014)  
「生物多様性オフセット・バンキングにおける総合評価手法の基礎的検討—主観的価値ウエイトの活用」
- 3) 林希一郎、大場真：日本環境共生学会第17回学術大会(2014)  
「生物多様性オフセット/バンキングの評価手法の課題-愛知県での事例研究を通じて—」
- 4) 大場真、林希一郎、伊東英幸、鈴木孝拓、長谷川泰洋：第62回日本生態学会全国大会(2015)  
「環境保全オフセットという文脈における生態系サービスの空間的評価」
- 5) K. HAYASHI, M. OOBA, Y. HASEGAWA: 35th annual conference of the International Association for Impact Assessment (2015)  
“Subjective assessment of forest ESs in Japan —Semi-Mountainous Forest Case in Toyota City, Japan—”
- 6) K. HAYASHI and M. OOBA: 35th annual conference of the International Association for Impact Assessment (IAIA) (2015)  
“A Framework Study on the Methodology of Biodiversity Offset Assessment in Japan—Hypothetical Case of GIS Screening and On-site Field Assessment—”
- 7) M. OOBA, K. HAYASHI, H. ITO, M. FUJII and Y. HASEGAWA: 35th annual conference of the International Association for Impact Assessment (2015)  
"Assessment of ecosystem services with land use maps",
- 8) M. OOBA, K. HAYASHI, T. MACHIMURA and T. MATSUI: 9th IALE World Congress (2015)  
"Landscape-level evaluation of ecosystem services: Urban, plantation, and natural forests in the central part of Japan"
- 9) K. HAYASHI and M. OOBA: 36th annual conference of the International Association for Impact Assessment (2016)  
“Equivalency of forest culture ecosystem services —case in Nagoya, Japan —”
- 10) W. KOBAYASHI, K. HAYASHI and M. OOBA: 36th annual conference of the International Association for Impact Assessment (2016)  
“Temporal and spatial assessment of ecosystem services in 1955 and 2008: Case study in Nagoya and its suburbs, Japan”
- 11) M. OOBA, K. HAYASHI, T. TOGAWA and M. FUJII M: 2016 United Nations/Kenya Conference

- on Space Technology Applications for Wildlife Management and Protecting Biodiversity (2016)  
 “Ecosystem services assessment of forest conversion in Japan”
- 12) 大場真、佐藤 ゆき、Chris Fook Sheng Ng、林 希一郎、栗山 進一: 第52回 宮城県公衆衛生学会学術総会 (2016)  
 「空間情報を用いた都市部緑地配置と幼児の既往症に関する研究」
- 13) M. OOBA, M. FUJII, J. KHEW, K. HAYASHI, H. ITO: 5th International EcoSummit, Montpellier (2016)  
 “Spatial and socio-economic evaluation of ecosystem services at regional-scale in Japan: Considering effects of biomass energy production”
- 14) 小林航、林希一郎、大場真: 環境アセスメント学会第15回大会 (2016)  
 「生態系サービス供給ポテンシャルの変遷 -愛知県西部の事例-」
- 15) K. HAYASHI and M. OOBA: ACES 2016, Jacksonville (2016)  
 “Spatial assessment of equivalency of urban forest ecosystem services in Nagoya, Japan”
- 16) 大場真、林 希一郎: 日本生態学会第64回大会 (2017)  
 「セマンティックモデリングツールを用いた広域生態系サービス評価の試み」

### (3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 生物多様性オフセット評価手法に関する研究会（平成26年12月16日、日本大学理工学部駿河台キャンパス1号館、参加者30名）の主催

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

### (6) その他

特に記載すべき事項はない。

## 8. 引用文献

- 1) M. HERNANDEZ-MORCILLO et al.: Ecological Indicators, 29, 434-444(2013), An empirical review of cultural ecosystem service indicators.
- 2) D. LAROSA et al.: Ecological Indicators, 61, 74-89(2016), Indicators of cultural ecosystem services for urban planning: A review.
- 3) MEA (Millennium Ecosystem Assessment): Ecosystems and human well-being, Synthesis. A Report of the Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, (2005)
- 4) A.J. MILCU et al.: Ecology and Society 18(3), 44 (2013), Cultural ecosystem services: a literature review and prospects for future research.
- 5) A. MOILANEN et al.: Zonation version 3.1 - user manual. Biodiversity Conservation Informatics

Group, Department of Biosciences, University of Helsinki, Finland, (2012)

<http://cbig.it.helsinki.fi/software/zonation/>.

- 6) M. OOBA and K. HAYASHI: International Journal of Environmental and Rural Development, 5-2, 35-40(2014), Comparative assessments of ecosystem services between rural and urban areas.



## (5) 環境保全オフセット実施に向けた制度及び合意形成過程の検討

国立研究開発法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター 久保田泉  
環境計測研究センター 小熊宏之

平成26～28年度累計予算額：11,565千円（うち平成28年度：3,250千円）

予算額は、間接経費を含む。

### [要旨]

世界の50か国を超える国々で、既に生物多様性オフセットが制度化されている。しかし、生物多様性価値の損失をゼロにする、ノーネットロスの実現は満足に達成されていない現状が明らかとなった。その理由としては、ミティゲーションヒエラルキーにおける回避、低減、修復の事前、事後の評価が不十分である可能性が示唆された。このことから日本導入に当たっては、定量的評価手法の開発において、科学的な背景が十分な手法でありつつ、非専門家でも実施可能で、コストについても許容範囲であることに配慮する必要がある。また国際事情の分析においてオーストラリアの実情を分析した結果、制度に柔軟性を持たせることが望ましいことが明らかとなった。

自治体での準備の進め方等を検討するため、モデル地域において、生物多様性オフセット実施を想定した生態系のマッピングを行い、現地の生物多様性情報を収集した。今日、多くの地方自治体がGISによる植生図を整備しているか、整備しつつあることから地理情報の入手と整理は比較的容易であった。しかしながらサブテーマ2との協働によって、現状のスナップショットから希少種の位置を明らかにして保全の優先地域を決めることはできるものの、ランドスケープレベルの生態系の状態の精査に基づく将来予測を行わないと、絶滅のタイムラグによって、保全が失敗する可能性が高いことが明らかとなった。一方このような情報を蓄積し、さらに生態系サービスなどのインセンティブを加えることが、合意形成にプラスに働くことが期待された。

### [キーワード]

環境影響評価、環境政策、代償、地理情報、バンキング

#### 1. はじめに

生物多様性オフセットは、第10回生物多様性条約締約国会議において、ビジネスと生物多様性にかかる重要な制度として、検討された（CBD, 2010）。既に53か国余りで、生物多様性オフセットが法制度化されているとされる（田中, 2014）。しかしながらミティゲーションヒエラルキーに基づく生物多様性オフセットの実施は容易ではなく、経済発展への負の影響と考えられたり、また逆に土地改変の免罪符と懸念されたりしているのが現状である。The Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP) は、このような不安や不満に対処し、科学的に納得できる生物多様性オフセット実施に向けて、スタンダードを取りまとめたほか、様々なガイドブックを発刊している（BBOP, 2017）。BBOPスタンダードは、オフセットを実施する国々の標準となりつつある。

わが国でも、環境影響評価制度をさらに発展させる形で、生物多様性オフセットに類似の手法が実施されるようになってきた（芦ら, 2013）。しかし、いまだ法制度化しない現状では、オフセ

ット実施における客観的評価の開発が遅れる可能性が高く、またオーソライズされないため結果に対する信頼が損ねられる懸念がある。このことを解決するためには、海外事例の調査、現行の環境影響評価の問題点の抽出、オフセット導入に向けた合意形成の在り方について整理する必要がある。

## 2. 研究開発目的

日本への生物多様性オフセットあるいは類似の制度の導入を検討するにあたり、モデル地域において地理情報を収集し、環境保全オフセットにおける重要ポイントである地域性（サイト）、生態系の同質性（カインド）、面積、将来予測について留意点や問題点を明らかにすることを目的とした。また生物多様性オフセットの実施方法としてのバンキング導入、その他の新規制度構築上の問題点を明らかにすることを目的とした。環境保全オフセットを導入する際の合意形成上の問題点の抽出を行い、その解決法の提案を目標とした。

## 3. 研究開発方法

### （1）環境保全オフセットにおける地理的課題の検討

環境保全オフセットのうち生物多様性に着目し、サブテーマ2と連携のもとでモデル的な地域1)阿蘇草地地域、及び2)東海丘陵湿地地域を想定して、各地点で地域性（オンサイトとアウトサイトの関係）、同質性（インカインド）、面積（オフセット地の面積）について調査を実施し、今後の制度検討に向けた課題について検討を行った。

1) 阿蘇草地地域：土地利用の変化が種の存続及び多様性に与える影響を、制度検討においてどのように考慮すべきかという観点から、過去4時期（1930・1950・1970・2000の各年代）の100m解像度の土地利用データの整備を進めた。

2) 東海丘陵湿地地域：小規模湿地の立地条件（地域ごとの湿地密度、湿地間の平均距離など）を踏まえて湿地群としてどのように認識が可能か、またそのことを制度検討及び合意形成においてどのように考慮すべきかという観点から、個々の小規模湧水湿地に関する位置情報の整備を進めた。

### （2）制度化に向けた問題点の抽出と合意形成の要件

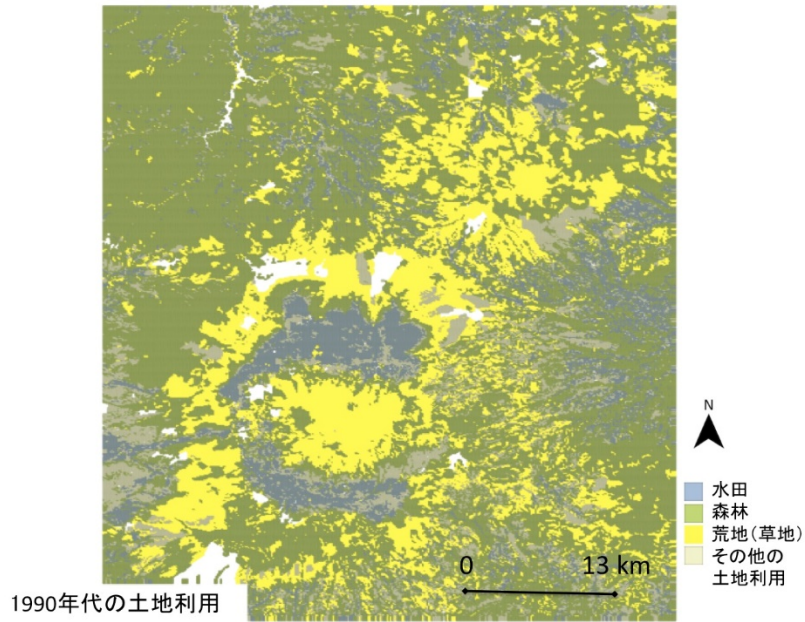
諸外国における実施状況を踏まえ、日本において生物多様性オフセットを制度化する場合の課題を明らかにすることを目的として、以下の手順で検討を行った：日本の環境影響評価における代償措置の現状を明らかにした。生物多様性オフセット導入国の制度を比較し、課題を抽出した。日本における生物多様性オフセットの制度化にあたって検討が必要な事項を整理し、課題を明らかにした。

各種文献・資料を基に、生物多様性オフセットに関する制度運用上の柔軟性について、オーストラリアのクイーンズランド州の事例を調査し、諸外国の生物多様性オフセット／バンキング制度の比較分析を実施すると共に、合意形成の際に、どのような情報が提供される必要があるのかについての検討を行った。

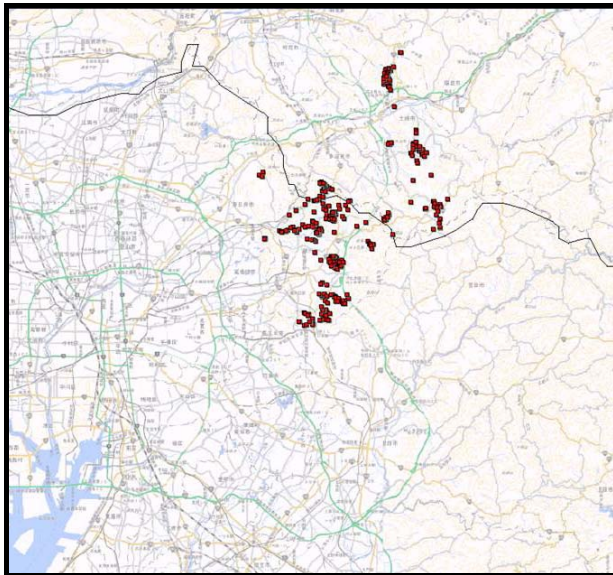
## 4. 結果及び考察

### （1）地理的観点からの課題検討

1) 阿蘇草地地域において整備を進めた土地利用データの例を図(5)-1に、東海丘陵湿地地域において整備を進めた小規模湧水湿地の位置情報の例を図(5)-2に示した。



図(5)-1 阿蘇地域土地利用データの例 (1990年代)



図(5)-2 瀬戸・春日井・土岐3市の情報取得例

2) 前記のモデル的な地域における地理的なデータをもとに、生物多様性の観点から活用面の検討を行い、以下のとおり制度検討及び合意形成に向けた課題を明らかにした。

- ・ある地域における種の損失及び生物多様性の低下は、時間的なタイムラグを経て周辺地域の種の存続または生物多様性の質に波及する可能性が予見されることから、時間的視点及び周辺域を含む空間的な視点を考慮する必要がある（阿蘇草地地域の検討より。図(2)-13参照）。
- ・小規模な生態系の集合を対象とする場合、個々の質が地域全体の質に及ぼす影響や、集合としての特性と存在価値を、地域関係者が認識することが重要となる可能性が示唆された（東海丘陵湿地地域の検討より）。
- ・回避やオフセット対象の地域選定に関する合意形成においては、以上を考慮することが重要である。

## (2) 日本における生物多様性オフセットの制度化に向けた課題の抽出

1) 各国で実施されている生物多様性オフセットについて、基盤となる政策等を調べ、概要について取りまとめた(表(5)-1)。

表(5)-1 各国における生物多様性オフセットの規定例

国	法令	概要
ブラジル	森林法(1965年)(法4771)	50ha以上の農村地域の土地所有者に対し、20%~80%をリザーブすることを要請。土地所有者は、自らの土地を利用するか、同じ地域の土地所有者から取引可能な証書を購入するか、のいずれかを通じて、自らの割り当てにアクセスすることができる。
カナダ	漁業法(1985年)	カナダの漁業の生産キャパシティを低減させる開発プロジェクトは漁業法の規制を受ける。ノーネットロスの原則に基づき、開発事業者は、ミティゲーションあるいは補償措置を特定することを求められる。
中国	中国森林法(1998年)	森林ゾーンの土地に影響を与える開発事業者は、開発による影響を回避、低減、オフセットすることを求められる。オフセットは、政府に対する支払いのかたちでなされ、その収入は植林や森林回復活動などに用いられる。
EU	1992年5月21日理事会指令92/43/EEC(生息地指令)及び79/409/EEC(鳥類指令)	Natura 2000(保護サイト)ネットワークがEU指令の下、設定されている。これらの保護エリアにおける生物多様性影響は規制を受けるが、オフセットがなされる場合は許容される場合がある。これら指令の実施段階において、脅威にさらされている種の生息地の損害に対する補償を求めている国もある。
インド	森林保全法(1980年)及び森林保全規則(2003年)	森林保全法は、森林から非森林利用へのすべての変更について、補償植林を通じて補償される。
オランダ	自然保全法及び空間計画に関する法律	国家生態系ネットワーク政策は、2018年までに、自然エリアを73万haを増やすことを目指している。自然エリア

		の開発は、ノーネットロスを達成するため、最終手段として、生物多様性オフセットが要請される。
スイス	自然及び文化遺産の保護に関する連邦法（1986年）	保護された自然景観、保護されたビオトープ、または保護された水生植生に損害を与える者は、損害を回復するコストを支払うか、適切な回復措置をとらなければならない。
米国	水質浄化法（1972年）	水への物質の排出は、陸軍工兵隊または承認を受けた州の許可が必要。湿地への排出を許可されたプロジェクトは、ミティゲーションヒエラルキーに従わなければならない。回避不可能な影響すべてについて、代償ミティゲーションが要求される。

①米国の国家環境政策法に基づく環境影響評価のプロセスでは、各種環境規制法等との整合性に配慮する必要がある。この各種環境規制法等において、生物多様性オフセットと同様の考え方が示されている。代償措置の検討にあたっては、消失する環境及び創出・保全される環境について可能な限り定量的な評価を行うことが望ましいとされている。②ドイツでは、連邦自然保護法に基づき、許認可が必要な行為すべてに対して、環境保全措置（回避、低減、相殺、代替）を実施することとされている。事業による生態系等への著しい侵害の回避、代償、補償金を規制する侵害規則が定められている。代償措置を検討する事業は、許認可の必要な土地の改変や建築物の設置の行為により自然環境を侵害するすべての場合が対象となっている。侵害種類のリストがないため、侵害の有無は許認可官庁の判断に委ねられている。課題としては、代償措置に関する行政の責任が問われる裁判において、定量的な手法では、代償措置の計算の根拠が問われることが多いため、定性的な手法が選択される傾向にあること、そして、金銭補償による金銭が他用途に用いられることが挙げられる。

2) 日本の環境影響評価においては、動物、植物の移設・移植・播種、事業実施区域内における生息環境等の整備の代償措置が検討されることが多いが、事業実施区域外における代償措置が検討されている場合も一部見られることが明らかとなった(表(5)-2)。

表(5)-2 日本の環境影響評価における代償措置の現状

	代償措置の種類	当該措置を採用した事例／保全対象／代償タイプ
動植物	保全対象種を生息・生育適地に移設・移植・播種する。	福岡県・大山ダム／希少植物を増殖させての移植／オンサイト、インカインド
	保全対象種の生息・生育に適した環境を整備する。	沖縄県・新石垣空港／コウモリの生息・繁殖場の再生・創造／オンサイト、イン・カインド
	保全対象種の生息・生育に適した環境を整備し、当該種を移設・移植・播種する。	沖縄県・新港地区／トカゲハゼ生息干潟の創出／オンサイト、インカインド

生態系	生態系の注目種の生育・生息を復元する。	千葉県・成田新高速鉄道線／ヨシ原の造成／オンサイト、インカインド
	生態系の注目種の生育・生息に適した環境を整備する。	愛知県・中部空港／藻場の基盤の岩礁帯の造成／オンサイト、アウトオブカインド

また環境管理における条例に基づく、環境影響評価の役割については、以下のことが期待されている。

- i. 地域環境管理にそぐわない開発の抑制への誘導機能として、対象事業の戦略的設定、対象事業選定の合理性（地域環境管理の基準、地域環境管理計画の明示、一種の比例原則：手段と効果とのバランス、広域的視点を持つこと）。
- ii. 事業グリーン化への調整機能、すなわち、自己事業の場合や民間事業者による事業の場合に有効であること、また調整機能が重視される理由は条例アセスメントには、横断条項がないためである。
- iii. 社会的合意形成機能として、地域社会における環境公益のあり方に対する社会的合意形成を担う可能性。

上記1)及び2)を踏まえ、日本における制度化にあたっての課題としては、生物多様性オフセットの内容の妥当性の検証方法、事後調査や管理費用の事前の担保、国と地方公共団体の役割分担、生物多様性バンキング制度の導入の検討、オフセット実施者へのインセンティブの付与等があることを明らかにした。

### 3) 生物多様性オフセットに関する制度運用上の柔軟性に関する分析

生物多様性オフセット制度に基づいてオフセットを行う際、代償の手法、代償措置を行う場所、対象とする生態系（または生物種）等に関して、検討の優先順位が設定されることが一般的である。しかし、この優先順位を厳格に適用することが成果を確保する妨げになっているとの指摘もある。かかる問題に対する一つのアプローチとして、地域の実情に則した代償措置を選択することを許容する柔軟性を制度に組み込むことが提示されている。

環境保全オフセット制度を設計するにあたり、この柔軟性を組み込むか否か、組み込む場合、そのあり方を考慮することが重要であるため、法律上の根拠を持って設置されているプログラムであり、かつ、生物多様性オフセットの措置の選択において高い柔軟性を有しているオーストラリアのクイーンズランド州の制度を事例として取り上げ、本問題に関する分析を行った。

クイーンズランド州の沿岸域オフセット制度における柔軟性のメリットとしては、以下2点が挙げられる。第1に、制度実施者が失敗のリスクの低い手法を選択できる点である。第2に、より緊急度の高いプロジェクトの実施が可能となる点である。例えば、悪影響を受ける生態系・生物種を代償の対象にすべきというルールのもとでは、希少な生息地をオフセットとして保存・保全するには、同種の希少な生息地の開発が行われなければならない。また、オフセットとして藻場の再生を選択するためには、どこかで藻場が開発されている必要がある。しかし、柔軟な制度運用が可能であれば、マングローブ林など他の生態系への悪影響に対する代償として、もしその地域で藻場の再生が危急なのであれば、藻場の再生を行うことも可能になる。

他方、オフセット制度における柔軟性のデメリットとしては、間接的オフセットでは少なくとも短期的には生態系の面積や機能のノーネットロスを達成することはできないことが挙げられる。生息地の保存に関しても、確かに失敗のリスクは低い、新たな生息地が増えるわけではないため、開発された分生息地の面積は減少する。ただし、間接的なオフセットが生態系の保存・保全において重要な意義を持ちうることに留意する必要がある。

#### 4) 合意形成過程において提供されるべき情報の内容に関する検討

合意形成過程は、その過程で、関係者の課題設定の枠組みが共有され、課題解決の判断基準が育てられ、課題解決に関する情報が共有される結果、課題解決のための方策に関する協働関係が生み出され、合意形成が進む点に意義があるとされる。

合意形成過程が満たすべき要件の一つとして、関連研究では、政策形成に必要な情報が十分に提供され、それが共有されることが挙げられている。本研究では、政策内容の合理性を判断するために必要な情報として、①解決すべき社会的課題の内容に関する情報、②関連する技術的情報、③関係者の利害の状況に関する情報、④関連法規制等の制度的情報、⑤費用や便益に関する経済的情報、⑥反作用可能性に関する情報、⑦副作用可能性に関する情報、の7点に分類した。

以上のことから、生物多様性オフセットの導入に当たっては、まずボランタリーな参画とそれらの事例による順応的な手法開発を目標とし、社会的な容認や合意が得られたのちに制度化を進める、などの段階的オフセット制度化実施が望ましいと考えられた。また海外では「バンキング」も実施されているが、オフセットの成功の担保とできる可能性があるものの、事前にバンキングに利用可能な修復または創出された生態系の確保が課題であり、インカインドやオンサイトの観点からの更なる議論が必要である。ここで示唆する段階的实施は、将来的に「バンキング」を検討する際にも、その担保事例とできる可能性がある。さらに地域住民が炭素吸収・蓄積等の生態系サービスに関心を持っていること、文化的サービスについては山地林よりも都市林の方が重要視されていること(サブテーマ4の結果)などから、生態系サービスを生かして評価にも取り入れる環境保全オフセット制度は、合意形成の視点からも期待できると考えられた。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

特に記載すべき事項はない。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・生態系サービスを合意形成に有用なツールと考え、環境保全オフセットを提案する。
- ・環境保全オフセットの段階的实施は、問題点の抽出とそれらに対処する技術開発を可能にするだけでなく、オフセットの成功事例を収集することでバンキングの原資とすることも期待でき

ることを示唆した。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

#### <その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 高田雅之：北海道の自然（北海道自然保護協会会誌）、53（2015）  
「湿原保全への新たな仕組み～生物多様性オフセットを考える～」
- 2) 富田啓介：八竜湿地研究報告書（八竜湿地研究会）（2015）  
「八竜湿地からみる東海地方の湧水湿地の成り立ちと課題」

### (2) 口頭発表（学会等）

- 1) 富田啓介、大畑孝二、糸魚川淳二：日本湿地学会第6回大会（2014）  
「湧水湿地研究会」による湧水湿地目録作成の取り組み」
- 2) 久保田泉：環境経済・政策学会2014年大会（2014）  
「日本における生物多様性オフセットの制度化に向けた課題」
- 3) 久保田泉：環境科学会2016年会（2016）  
「日本版環境保全オフセットの制度設計に関する研究」

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

### (6) その他

特に記載すべき事項はない。

## 8. 引用文献

- 1) BBOP: Available at <http://bbop.forest-trends.org/> (2017)
- 2) CBD (Convention on Biological Diversity): UNEP/CBD/COP/10/INF/27 (2010), Biodiversity offsets:



a tool for cbd parties to consider, and a briefing on the business and biodiversity offsets programme.

- 3) 芦朋也ら : [http://www.yc.tcu.ac.jp/~tanaka-semi2/pdf/tanaka/tanaka2013\\_03.pdf](http://www.yc.tcu.ac.jp/~tanaka-semi2/pdf/tanaka/tanaka2013_03.pdf)(2013)日本国内における生物多様性オフセットの類似事例に関する研究
- 4) 田中章 : 日本環境共生学会第17回学術大会発表論文集、252-259(2014), 環境アセスメントにおける生物多様性オフセットの論点

## **Development of Ecosystem Assessment Methods in Offsets for Biodiversity and Ecosystem Services**

Principal Investigator: Kimiko OKABE

Institution: Forest Research and Management Organization, Forestry  
and Forest Products Research Institute (FFPRI)  
1 Matsunosato, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8687, JAPAN  
Tel: +81-29-873-3211 / Fax: +81-29-873-1543  
E-mail: kimikook@nffpri.affrc.go.jp

Cooperated by: Hosei University, The National Institute for Environmental Studies,  
Nagoya University, Nihon University, SCION

[Abstract]

Key Words: Key Words: conservation of biodiversity, ecosystem services, in-kind, on-site, quantitative assessmen

Biodiversity offsets are a relevant method of reducing the negative impacts of anthropogenic activities on native biodiversity. We examined ecosystem types that should be avoided when considering the offset mechanism and in-kind and onsite suitability for the offsets to facilitate promoting the mechanism in Japan. We suggest that degraded ecosystems, such as unmanaged plantation forests and abundant farmlands, are target sites, while others, especially rare habitats, should be avoided. An onsite in the forest ecosystem can be defined within a prefecture, but collaborations among neighboring prefectures to share habitats are crucial, particularly for common species that are generally not prioritized. Subdividing forests might render offsets difficult because of ongoing succession. The onsite scales of grasslands and wetlands were similar or even larger than that of forests. Delaying species extinction is critical in open-land ecosystems and should be investigated on the landscape scale.

We also examined ecosystem services in the mechanism. We found co-benefits between biodiversity and carbon in the natural forest ecosystem: large trees, recruitment conditions, and dead wood logs were key elements for diverse habitats and were correlated with the carbon stock in aboveground biomass. The foliage height diversity index also suggested forest architecture as an indicator of the co-benefit. A methodological framework has been developed using GIS considering socio-economics to include several ecosystem services. The system has a visible interface and clearly defined concepts, and concept relationships will be helpful for stakeholders and decision makers, who might be unfamiliar with GIS and modeling.

We have developed a quantitative assessment method appropriate for Japanese

ecosystems using both field and published data based on the Australian Habitat-Hector method. Several assessment indices, such as drivers that inhibit regeneration, should be revised depending on local ecosystem conditions. We also showed that as many reference level ecosystems as possible should be collected to score each onsite where an offset is located, because local species communities, including insects, fungi, and plants, differ on an ecosystem scale. The landscape context was essential in determining offset.

Challenges to be faced include incentives for developers and landowners to implement offsets, laws for land-use and land conversion, and consensus building including multi-stakeholders. A phased approach would be effective for both technical improvements and consensus building. We also suggest that addition of ecosystem services will enhance the consensus.