

課題名	E-0801 里山イニシアティブに資する森林生態系サービスの総合評価手法に関する研究
課題代表者名	杉村 乾（独立行政法人森林総合研究所国際連携推進拠点国際森林情報推進室）
研究実施期間	平成20～22年度
累計予算額	113,094千円（うち22年度 33,730千円） 予算額は、間接経費を含む。
研究体制	<p>（1）生物多様性が提供する生態系サービスの経済評価（長崎大学）</p> <p>（2）森林生態系サービスの活用におけるアジア的特性の解析（独立行政法人森林総合研究所）</p> <p>（3）森林がアグロエコシステムに提供する生態系機能の評価（神戸大学）</p> <p>（4）人間活動による森林の生態系機能の変動評価（独立行政法人森林総合研究所）</p>
研究概要	<p>1. はじめに</p> <p>生物多様性の減少は、生物が人間の生存や豊かな生活に対して行っている貢献（生態系サービス）の低下をも意味する。里山地域では、人間活動や開発（とくに人工林拡大）及び適正管理の縮小（とくに林業低迷にともなう森林の高齢級化）の生物多様性に与える影響が問題視されているが、生物多様性の変化が生態系サービスに与える影響は明らかでない。2010年には第10回生物多様性条約締約国会議（COP10）が開催され、生態系サービスをいかに維持または再生するかが重要な議論となったが、生物多様性がもたらす生態系サービスの評価と持続的活用に関する研究は日本では蓄積がきわめて少ない。そこで、この分野の研究を積極的に進め、地域住民が主体となって利用と保全の調和を図っていた日本の里山型システムの重要性を世界にアピールし、欧米とは異なる森林生態系の利用と管理のシステムを維持するなかで生物多様性が保全されてきたことを強調する必要がある。</p> <p>里山は、かつて薪炭林、農用林、茅場等として使われてきた里山を中心とするモザイク状のランドスケープ（景観）と定義されているが、このよう景観がその機能をほぼ果たし終えてから数十年経った。旧来の里山的利用がほぼ失われた現在、生物多様性の変化が生態系サービスに与える影響を明らかにすることは極めて難しい。一方、地域住民がかつての里山と奥山の区分にかかわらず、両地域を日常的に利用している例が見られる。そこで、このような地域とかつて里山利用がさかんであった地域を中心に生物多様性と生態系サービスとの関係を明らかにしていくのが現実的なアプローチである。また、生物多様性がもたらす森林生態系サービスを部分的にでも経済評価した国内事例はきわめて少ない。生物多様性は実際に観察される市場取引価格に反映されず、経済評価を実施することは困難であるとともに、評価の妥当性を検証することは容易でない。しかし、生態系サービスへの関心は世界的に急速な高まりを見せつつあり、事例研究を重ねつつ評価手法を提示していく必要がある。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>生物と人間社会は根本的に異なる観点からアプローチする必要があるだけでなく、研究手法も異なるので、生態系サービス（社会が受ける恩恵）と生態系機能（森林が供給するサービスのポテンシャル）に適宜分けて、評価手法の開発と森林の変化が生態系サービスに与える影響の解析を行う（図1）。</p> <ul style="list-style-type: none"> 生態系サービスに関わる指標的な生物群の抽出や森林利用などに関する情報をもとに、生態系機能及びサービスを評価する指標を開発する。また、農作物や森林利用などに関する情報をもとに生態系サービスを量的に捉える指標を開発する。 農作物の花粉媒介者と害虫を制御する天敵昆虫に注目し、指標的な生物群の生息環境条件や農業生産に対する貢献を明らかにする。そして、里山二次林が近隣の農生態系に提供するサービスを評価するためのモデルを開発する。 異なる森林タイプや森林配置の間で指標生物群の生息状況や森林の利用状況を解析する。そして、異なる森林タイプ（人工林と天然林、若齢林と高齢級林、よく管理されている森林と管理が行き届かない森林など）の間で、生態系機能やサービスの指標を比較し、森林開発（本研究では天然林の人工林化）及び里山林の管理低下が生態系サービスに及ぼす影響を明らかにする。 受動的利用価値を評価する手法を開発するとともに、多様な価値を経済学的尺度で統一評価する。 開発した生態系サービスの評価手法、生態系サービスの持続的な活用に関して解明されたことが

東南アジア地域においてどのような条件下で有用かについて検証する。

3. 研究の方法

生物多様性の低下によってとくに大きな影響を受ける生態系サービスがいくつか指摘されている。それらのうちから、研究対象地で顕著に見られるサービスを選び、山菜・キノコの採取、溪流釣り、花粉媒介、害虫制御、レクリエーション、受動的利用価値などを主な対象とした（図2）。当初、供給、調整、文化の3つのサービス区分ごとに行う予定であったが、供給と文化は不可分であることがわかったので、具体的なサービス区分ごとに評価と解析を進めた。調査対象地は、供給・文化サービスについては森林の多様な利用が行われている福島県只見町、調整サービスについては多様な景観が維持されている茨城県北部をコアエリアとした。

（1）生物多様性が提供する生態系サービスの経済評価

1) マクロミル社に登録した全国のモニターを対象にインターネット・アンケート調査を利用し、コンジョイント分析を用いた経済評価を実施した。評価の対象はほ乳類・鳥類の動物種と維管束植物のそれぞれについて、①希少種（絶滅危惧登録種）の保護、②希少種に属さない普通種の保護、という2種類の属性を用いて、動植物種別の保護に対する支払意志額を得た。また、生物多様性保護のために保護地域面積を拡大することの便益を明らかにするために経済評価を実施した。保護地域については、それぞれの状況に合わせて最も効果が高い方法を採用すると想定し、奥山自然地域、里地・里山地域、河川・湿原地域、沿岸・海洋域の4地域を属性として設定し、各地域間の限界支払意志額を明らかにした。

2) 奥会津森林生態系保護地域を対象として、コンジョイント分析による経済評価を実施した。地元住民に対しては直接配布・郵送回収によるアンケート調査を実施し、全国の一般市民に対してはインターネット調査を実施した。森林生態系保護地域を構成する属性は、現実の保護地域と同様に、厳格な利用規制がしかれている保存地区、地元による主体的な管理と利用が許可されている保全利用地区から構成した。さらに、保存地区同士をつなぐ緑の回廊、鳥獣被害対策を重点的に施す地区を属性として設定した。

3) 上記の評価に加えて、山菜採り、溪流釣り、獣害、遭難など、正負のサービスに関して、各種統計やサブテーマ2における生態系サービス評価などをもとに、福島県只見町と全国の一人当たり推定額を算出し、比較した。

（2）森林生態系サービスの活用におけるアジア的特性の解析

1) 以下の情報をもとに生態系サービスを定量的に把握するための簡便な指標を開発し、有用性を検証した。まず、山菜・キノコ採りや溪流釣りに加えてトレッキングなどを含むレクリエーション利用を対象に、以下4つの指標を用いてサービスの評価を試行した。用いた指標は、(a)目視観察による森林・林道の利用頻度、(b)林道脇の看板等の出現頻度、(c)森林生態系サービスに関わるインターネット上の記事の地域名ごとのヒット件数、(d)カウンターで計測した入山者数の変動である。そして、指標間やアンケート調査結果との相関に基づき、各指標の有効性を検証した。

2) 既存の文献、林業センサス、人口統計などを用いて、供給・文化的サービスに関わる全国の特徴を捉えた。並行して、天然林率が高い地域、人工林率が高い地域、都市に比較的近い地域における利用実態調査にもとづいて概括的な地域区分を試みた。

3) 地域住民による天然の特用林産物採取に焦点を当て、主な利用対象種、活動頻度、管理の効果などを把握するために、福島県只見町と檜枝岐村において森林利用に関するアンケート調査を行った。次いで、只見町において採取量の多い多年生草本10種の分布調査を行い、種ごとの生育地と採取地の環境条件の把握、潜在的な分布適地の推定を行った。さらに、山菜やキノコの採取等について、地域住民や来訪者を対象に、地理情報システム(GPS)を用いて地域住民による採取・利用場所の追跡、採取日ごとの種名と重量の計測、種ごとの用途・流通経路などの記録を実施した。そして、里山に自生する山菜については、採取量や時期、頻度等の年間をとおしての実態にもとづいて、地元にもたらす供給サービスについて経済的評価を行った（図3）。

花粉媒介、害虫制御、山菜・キノコ採り、溪流釣りなど

生態系機能・サービスの指標の選択

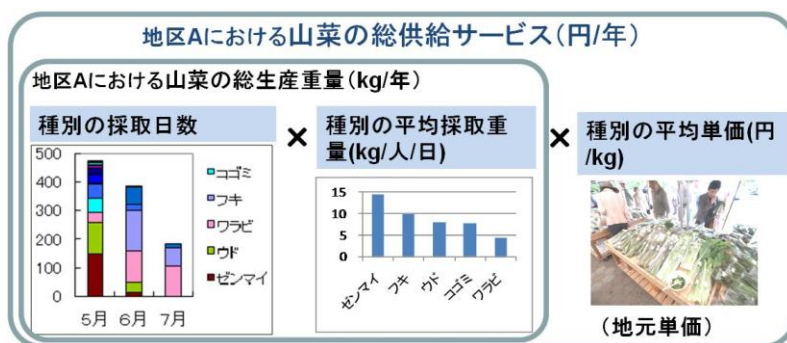
生態系サービスの定量的評価手法の開発

人工林化/森林伐採の減少・管理低下の影響評価

図1 研究目的と解析・評価の流れ

4) 只見町において溪流における魚類および水生昆虫の現存量を把握した。また、漁協において遊漁券購入に関するデータを得るとともに、溪流釣りに関連する森林の利用頻度を把握し、生態系機能とサービスを比較した。

5) 北米、ヨーロッパ、中国、ベトナム、インドネシアなどの調査対象地での情報をもとに、生物多様性の保全を主目的とする森林保護地域等において生態系サービスがどのように活用されているかについての情報や資料を収集し、対象地域内の各地で共通に見られた特徴について整理した。そして、アジア的特性を踏まえた生物多様性保全と生態系サービスの持続的活用に適した森林管理のあり方について考察した。



採取記録とアンケートにより、地域全体での採取量や経済価値を推定した

(3) 森林がアグロエコシステムに提供する生態系機能の評価

1) 茨城県常陸太田市の里山地域にあるソバ畑において、結実のために授粉を必要とするソバとリンゴをモデル作物として選び、周辺の森林環境が異なる多数の調査プロットを設定した。各プロットでは見取り法*による訪花昆虫の採集を行い、訪花昆虫の密度と結実率を比較した。そして、各調査プロットの周囲の森林面積と自然植生面積を、衛星写真と空中写真および現地調査によって作成したGISマップから算出し、調査項目との関係を一般化線形モデル(GLM)によって分析した。さらに、花粉媒介機能を評価するために、同地域のソバ畑に近接する森林の面積組成(広葉樹天然林/針葉樹人工林)を空中写真画像と現地調査によって定量化し、ソバ畑周辺の森林の組成の違いが継続調査した花粉媒介昆虫の飛来数に与える効果を解明した。また、虫媒の夏緑多年生草本種の出現頻度をもとに、都市住民による里山林管理が花粉媒介機能に与える影響を解析した。

2) 森林から農地に進出する天敵のモデルとして、地表徘徊性の捕食性甲虫類およびアブラムシ類の捕食性天敵であるクサカゲロウ類とテントウムシ類を選んだ。そして、それらの個体数に対する周辺植生の効果を解明するため、兵庫県加西市及び茨城県常陸太田市に調査地を設定し、トラップを設置して成虫と幼虫の標識再捕獲調査を行った。調査ラインを複数設置して、林縁からの距離、草丈、土壌水分等を測定し、トラップによって同種昆虫の分布を調査した。また、周辺の森林環境が天敵昆虫類の密度と機能に及ぼす効果を分析するため、上記ソバ畑の調査プロットにも各種トラップを設置して天敵類を調査した。さらに、重要な野菜害虫ハスモンヨトウと捕食天敵アオゴミムシ類3種の捕食-被食の関係をモニタリングする手法を開発するために、ミトコンドリアDNAの塩基対を解読し、その配列からハスモンヨトウの遺伝子断片を増幅できるプライマーを試作した。そのためにアオゴミムシ類成虫にハスモンヨトウ幼虫を摂食させ、中腸サンプルからDNAを抽出し、ハスモンヨトウに由来するDNA断片の有無を確認した。

* 見取り法：捕獲時間(努力量)を一定にした目視によるサンプリング方法

(4) 人間活動による森林の生態系機能の変動評価

1) 茨城県小川・里美地域において、調整機能(生物多様性がもたらす花粉媒介、有機物分解、害虫制御の各サービスのポテンシャル)の指標となる生物群をトラッピングし、各群ごとに出現種数と個体数を林分レベルでカウントした結果をもとに調整機能の指標を抽出した。そして、異なる森林タイプ及び遷移段階に応じて調整機能がどう変化するかを評価した。

2) 同地域において、樹木が野生鳥獣の餌資源として果たす機能(供給機能)を評価するために、樹木サイズや樹種と液果及び堅果の生産量との関係を解析し、森林タイプや林齢の異なる林分における野生鳥獣の餌資源量の変動を推定するためのモデルを作成した。

3) 上記1)において抽出した指標生物群を用いて行った只見地域での簡易インベントリ調査にもとづき、指標生物群の定量的評価を行った。そして、調整機能の森林タイプ間、地域間での比較を行った。

4) 樹木多様性の簡便な遺伝的評価手法として、DNAバーコーディング情報を樹木インベントリデータに適用し、葉緑体DNAの配列をもとに系統樹を作成した。この系統樹を基盤として、群集の多様性を表す指標を既往研究の手法で計算し、森林タイプや林齢による効果を検証した。

4. 結果及び考察

(1) 生物多様性が提供する生態系サービスの経済評価
 1) 動植物の保護に対する支払意志額を推定した結果、各動植物種1種当たりの個人支払意志額は、通常動物種0円、通常植物種3円、希少動物種72円、希少植物種32円であった。また、日本国内において生物多様性保全を目的として保護地域面積を拡大することの便益については、1万haを単位とする保護地域指定についての1人当たり年間便益評価額として算出した結果、奥山自然地域57円、里地・里山地域51円、河川・湿原地域34円、沿岸海洋域50円であった。

2) 只見町民の奥会津森林生態系保護地域に対する限界支払意志額は、保存地区1ha当たり0.086円、保全利用地区0.016円、緑の回廊0.0077円、鳥獣害対策地区1.2円であった。他方、全国の一般市民については、保存地区1ha当たり0.091円、保全利用地区0.0040円、緑の回廊0.0010円、鳥獣害対策地区0.19円であり、保存地域を除き、只見町民の支払意志額が高かった。限界支払意志額に基づき、奥会津生態系保護地域全体の年間評価額を算出すると3,127円となり、一般市民は1,168円となった。この個人評価額に母集団の世帯数を掛けて総便益評価額を試算した結果、只見町民の総評価額は年間約600万円となり、全国の総評価額は約617億円となった。このことから、日常的に森林との関わりをもつ只見町民は「保全と利用の共存」を高く評価するのに対し、全国では「厳正な保護」を高く評価していることが明らかとなった(図4)。

3) 供給・文化的サービスの利用価値と受動的利用価値について、福島県只見町と全国の1人当たり推定額を算出した結果、天然林が卓越する只見町では、森林の利用に関わる供給・文化的サービスの価値が大きいこと、負の側面として遭難リスクが大きい、多雪のため獣害は少ないことなどが明らかとなった(表1)。

(2) 森林生態系サービスの活用におけるアジア的特性の解析

1) 4つの指標を用いて評価した結果、(a)森林・林道の利用頻度は森林タイプ(人工林と天然林)や立地条件(アクセス性など)により差異がみられた。(b)山菜・キノコ採りの観察頻度は「山菜きのご採集禁止」の看板とアンケート調査で答えた「山に出かける頻度」の双方、トレッキングやドライブはレクリエーション関係の看板の出現頻度とそれぞれ有意な正の相関がみられ、看板の種別の出現頻度は地域ごとの生態系サービスの特徴を概観する指標となりうることを示唆された。(c)インターネット検索のヒット件数の町村別の集計結果については、山菜及びキノコ採取と老齢天然林面積、積雪日数などと有意な相関が得られた。(d)カウンターによる計測は森林利用の種別や場所の特徴を捉えられないものの、入山者数の季節変動を概観するには有効であった。以上、詳細なアンケート調査と各指標を併用し、小地域から広域スケールまで効率的に生態系サービス評価を行うことが示唆された。

2) 生物多様性に依存する生態系サービスという観点から、(A)特用林産物の採取と溪流釣りがさかんな北海道、東北及び北陸地方、(B)人工林率が高い西南日本、(C)レクリエーション利用頻度がとくに高い関東から北九州にかけての都市近郊域、(D)固有種が多い最南部の島嶼域、という4つの区域がおおまかに抽出された(図4)。これらの特徴は、車台数または看板等の

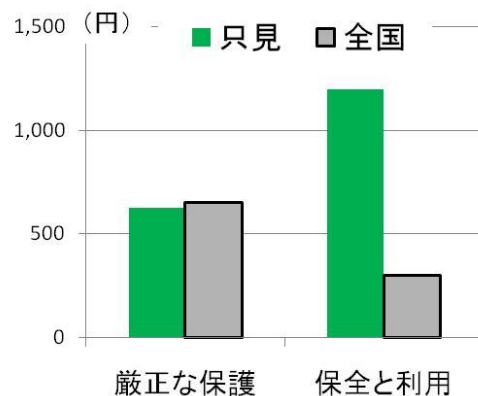


図3 森林生態系保護地域の経済評価額

表1 只見町と全国の経済評価の比較

	只見町	全国
山菜	6,933	84
溪流釣り	601	27
獣害	-21	-115
山菜採り遭難	-162	-6
受動的利用価値	3,100	1,200

(単位:円/人/年)



図4 供給・文化サービスの地域的特徴

数/km、インターネット記事/町・村、天然林率、人口などの指標から明らかになった。各区域での森林の価値としては、A区域では山菜・キノコ採りのほか、釣り、トレッキング、ドライブなど、多様な利用が見られたのに対し、B区域では利用頻度が低かっただけでなく、生物多様性との関連の小さい利用が多かった。また、C区域では利用頻度が相対的に高く、レクリエーション利用の割合が大半を占めていた。D区域ではエコツーリズムの割合が高く、自然保護の重要性が確認された。

3) アンケート調査の結果は、(a) 収穫物を得るために頻繁に山に出かける世帯の割合は8割弱から9割と高く、

収穫物が日常の食材や民宿経営にもたらす量的貢献が大きいこと、(b) 山に行く目的は多い方から山菜、キノコ採り、溪流魚・山椒魚獲り、狩猟の順となり、出かける時期は雪解け後の春から夏に山菜と溪流魚・山椒魚、秋にキノコ、晩秋から雪解けまでの積雪期に狩猟というように、年間を通じて地元住民により森林が多面的に利用されていることを示していた。

山菜について、種ごとの採取地の分布特徴をロジスティック回帰によって調べると、種によって採取場所に大きな差が見られたが、雪崩や溪畔域における自然撈乱に依存した場所で多く採取されるもの（ゼンマイやクサソテツ）と、ワラビのように人為撈乱に依存した場所で多く採取されるものに分けられた。また、山菜各種の採取地はほとんどが林道からの距離が2km圏内にあったが、種によってアクセス性の重要性に差が見られた。また、いずれの種についても、生育地のうち、地形や植生などの生育条件や道路からのアクセス性がとくに良い場所が採取地として選択されていた

(図5) が、採取圧が種の出現頻度に与える影響は検出されなかった。一方、キノコ採取の大半は広葉樹林、全体の8割以上が老齢林で行われていた。これらは日帰り採取であり、林道沿いから徒歩片道2時間以内で採取地に行き、対象種を徐々に変えつつ、多様な山菜・キノコを採取していた。

採取された山菜について使途ごとにみると、重量ベースで自家消費、個人売買、贈答の順に多かった。さらに、1日あたりの採取重量と年間採取日数から、94世帯で計7.9t、3ヶ月で1040人日の山菜採取が行われ、昭和50年代頃までと比べると相当に減少しているが、潜在的には大きな経済価値があると推定された。また、山林から採取された山菜・キノコが副食に使われる割合は民宿・旅館経営で5~7割と推定され、年間3万人以上が宿泊する檜枝岐村では地域経済に対して大きな貢献をもたらすこと、などを示していた。

4) 溪流魚とその餌資源である水生昆虫については、いずれも人工林と天然林の間で生息密度や多様性に差はないと考えられた。只見町の溪流に生息する7種の中では個体数と人気度のうえでイワナが最も重要であるが、その個体数は全国平均よりも遙かに少なかった。一方、釣り人の利用頻度は、南会津と阿武隈山系の天然林がほぼ同等、阿武隈山系では人工林よりも天然林の方が高かった。また、南会津では阿武隈山系に比べて遠方からの釣り人が多かったため、その天然林は生態系機能としての評価は低い、阿武隈山系より大きなサービスを提供していることがわかった。

5) 欧米の森林ではレクリエーション利用が中心で主に域外からの訪問者が利用している。これに対し、アジア地域の特徴として、森林保護地域は概して急斜面が多い地域に立地しており、豊富な特用林産物を地域住民が利用している場合が多い。しかし、生物多様性の保全を主目的とし、特用林産物の利用を全面的に禁止する森林保護地域が設定され、地域住民と行政部局の間で確執が生じている。

(3) 森林がアグロエコシステムに提供する生態系機能の評価

1) ソバの花粉を媒介する昆虫には、森林を主な生息地として利用している種が高い割合で含まれていた。また、日本土着の花粉媒介者であるニホンミツバチの個体数は、ソバ畑周囲3km圏内の森林面積の上昇とともに増加し、ミツバチ以外の訪花昆虫の個体数もソバ畑周囲100m圏内の森林を含む自然植生面積の上昇とともに増加した。さらに、ソバの結実率は、ソバ畑周辺の森林面積と自

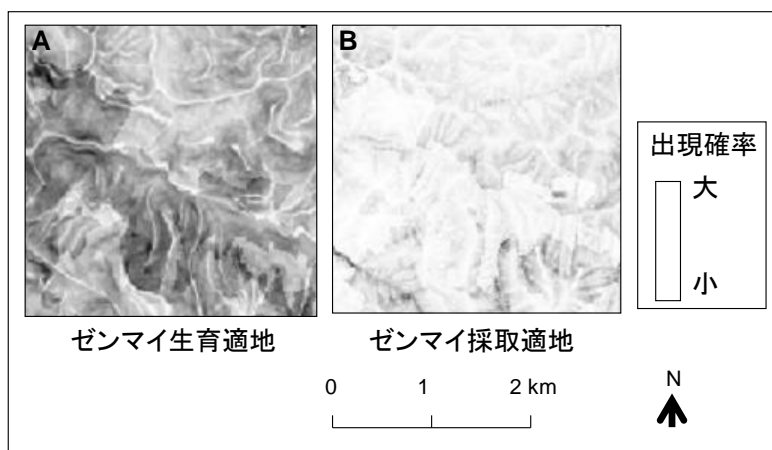


図5 生育適地（生態系機能）と採取適地（生態系サービス）の相違

然植生面積の増加とともに上昇した(図6)。ニホンミツバチについては、その個体数を応答変数、広葉樹天然林の面積と針葉樹人工林の面積およびセイヨウミツバチの個体数を説明変数、空間的自己相関と調査年をランダム効果として階層ベイズモデルによる解析を行ったところ、広葉樹天然林面積だけがニホンミツバチの個体数に強い正の効果を示したことから、針葉樹人工林よりも重要であることが分かった。

林床の管理形態と花粉媒介機能と関係が深い林床の草本種数を比較したところ、虫媒の夏緑多年草は継続的な管理が行われ、10年以上の中断期間がない林分で多かった。また、一・二年草は管理があり、過去に中断期間がない林分で多かった。

2) 森林から供給される害虫制御機能を評価するための指標として用いた、ヤコンオサムシの成虫は、森林と農地の境界(林縁)に多数の個体が集中し、そこから林内と農地に頻繁に移動していた。

一方、幼虫は林縁からやや林内に入った湿った林床に生息しており、発育に伴って分布の中心を林縁近くに移動した。また、農地に進出する成虫数は林縁からの距離に伴って減少するが、林外でも雑草の草丈が高い場所では成虫数が増加することから、森林に由来する天敵昆虫の移動と働きには森林と農地をつなぐ植生帯の効果が大きいことが判明した。ソバ畑に飛来するクサカゲロウ類とテントウムシ類の個体数には、周辺の森林などの自然植生面積と正の関係が有意に認められた。しかし、それら捕食性天敵の個体数とアブラムシ類の被害には強い関係は認められなかった。また、害虫(ハスモンヨトウ)と天敵(アオゴミムシ類)のミトコンドリアC01の特定領域(約650bp)から害虫特有のDNAだけを増幅するプライマーを設計し、天敵の中腸内容物から抽出したDNAのmultiplex-PCRを行ったところ、捕食後ほぼ半日以内であれば捕食された害虫のDNAが検出されることを確かめた。

(4) 人間活動による森林の生態系機能の変動評価

1) 主だった生態系機能に関わる代表的な昆虫の分類群を比較した結果、花粉媒介機能としてハナバチ・ハナアブ、害虫制御機能として寄生蜂・ゴミムシ・カリバチ、生態系循環に寄与する有機物分解機能としてカミキリ・トビムシの種数ないし個体数で代表させることが適当であることがわかった。生物多様性の変化が生態系サービスを支える諸機能に及ぼす影響を検証するのに、これらの指標を用いることが有効と考えられた。

2) これらの指標を用いて、人工林化と森林伐採の減少が生態系機能に及ぼす影響を検証した。土壤動物のトビムシで代表される分解機能には森林タイプ・林齢による変化が認められず、また地表徘徊性のオサムシで代表される捕食機能についても、森林タイプによる違いは認められなかった。しかし、他の機能群(ハナバチで代表される送粉機能、カミキリムシで代表される分解機能、寄生蜂で代表される捕食寄生機能)については、広葉樹林に比べてスギ林で概ね機能が低下することが示唆された(図7)。また、林齢との関係では、伐採直後に高く、林齢の増加とともに低下する傾向が認められた。ハナバチで代表される送粉機能については林床草本の種数が影響する可能性が示唆された。機能群の個体数・種数を指標として評価した森林の各種調整機能はアンダーユース(管理放棄)、オーバーユース(人工林化)によって低下するものが多いが、他方、植生やバイオマス変化に対応して種構成を変えることで影響を緩和しているグループもあることが明らかになった。

3) スギ人工林では林齢が増加しても、野生動物の餌供給源としての機能は期待できないことなどが示された。他方、広葉樹林については、(a)ナツ類の生産量は老齢林で多く、原生林を構成するブナ・イヌブナが貢献している(主として哺乳類の餌)。(b)糖質系液果(主として鳥の餌)の生産量は中間的な林齢の林で多く、その生産にはサクラ類やミズキが特に貢献している。(c)脂質系液果の生産量は若齢林で多く、その生産にはヌルデやコシアブラなどが特に貢献していることが示唆された。

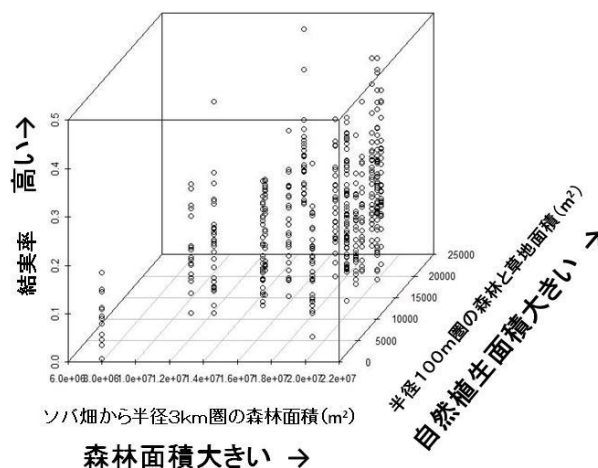


図6 ソバの結実率(高さ軸)は、ソバ畑周辺の森林率(底面横軸)と自然植生面積(底面縦軸)の増加に伴って著しく上昇した

4) 背後に自然度の高いブナ林を維持しつつ里山的な利用を受けてきた只見地域の伐採後10年程度の若齢コナラ林では、ハナバチ、ハナカミキリとも、老齢ブナ林と比べ出現種数が少なかった(図8)。壮齢コナラ林では、若齢コナラ林に比べて種数が増加し二次林でも老齢林では一定の機能を果たすことが示されたが、老齢ブナ林を保全する重要性が示唆された。

5) 遺伝子分析の手法を用いて樹木の群集構造を解析した結果、スギ林と広葉樹林の双方ともに、若齢林では老齢林に比べて、系統的に近縁な種が共存しやすい傾向が見られた。つまり、施業によって若齢の林分が増えるが、老齢林を一定割合維持することによって、系統的に多様な、すなわち生物多様性に富む森林景観が維持できることが示唆された。

本研究においては、経済評価手法の比較

結果を踏まえて、種の多様性、特定の生態系の保護、そして保護地域の拡大という多角的視点から経済評価を実施し、全国の森林生態系サービス総合評価を行うための便益原単位を明らかにした。さらに、供給・文化サービスの利用価値と受動的利用価値について福島県只見町と全国の1人当たり推定額を算出した結果、1人あたりの評価では只見町が全国1人あたりに比べてかなり大きな生態系サービスを楽しんでいると推定された。これは、天然林が卓越する只見町では、負の側面として遭難リスクが相対的に大きい、森林がもたらす供給・文化的サービスに関わる利用価値が大きい。多雪であるために獣害は少ないことなどが起因していると考えられた。

旧来の里山的な利用は全国的に姿を消したが、複数の手法で供給・文化的サービスを評価したところ、日本海側の多雪地域で地域住民が森林を日常的に利用している実態が捉えられた。里山林に見られた大きな変化のうち、天然林の人工林化については、山菜・キノコ採りやレクリエーション利用などに対してマイナスの影響を与えることが明らかになった。また、人的管理の低下として、草地的環境の減少による一部の山採種の資源量低下、林道の維持管理の低下による採取域の縮小、乱獲を防止しつつ持続的な資源利用を維持してきた地域社会組織の低下など、マイナスの影響が推定された。

福島県只見町での調査においては山菜がさかんに採取されているにもかかわらず、出現頻度に対する負の影響は検出されなかったことから、生息域が保全されているとともに、地域住民が主体的に森林を共同管理していることによって、資源が持続的に利用されてきたと解釈できる。一方で、

広い面積にわたって森林生態系保護地域の指定を受けているため、生物多様性の保全においても深刻な問題は表面化していない。他の地域の事例研究も踏まえて見ると、東南アジア地域では厳正な保護区を広域にわたって設ける代わりに、より緩やかな規制のもとで地域住民の森林利用を認めることが妥当であると考えられる。そして、生物多様性保全と

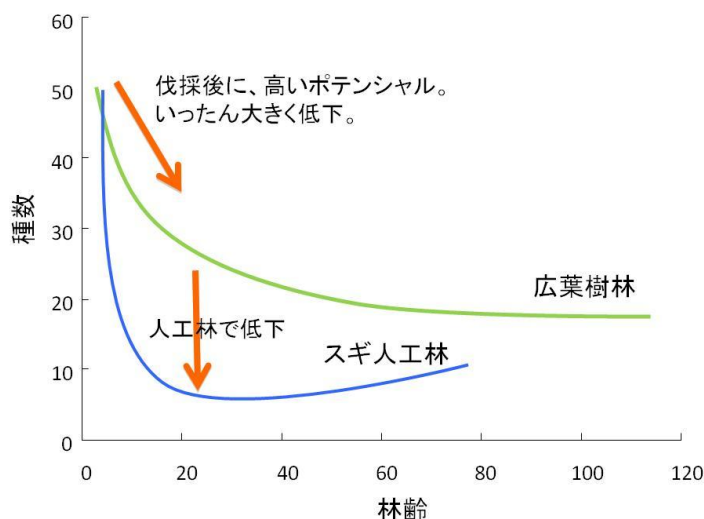


図7 花粉媒介機能を代表するハナバチ個体数の森林タイプと林齢との関係

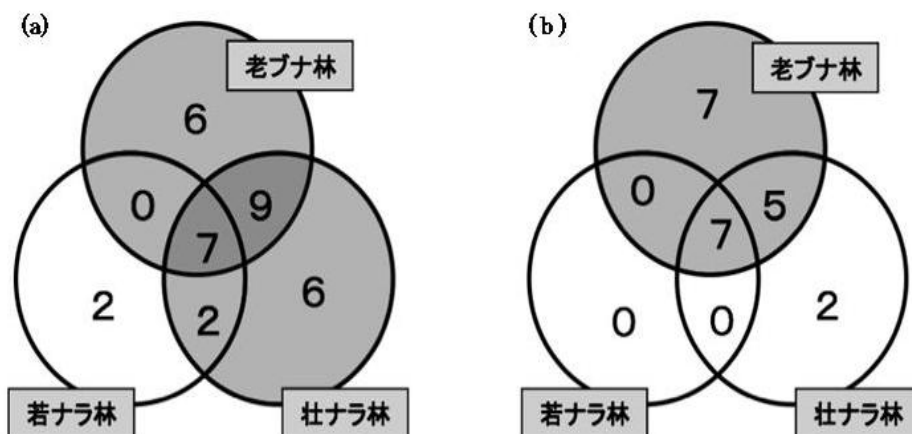


図8 只見地域の広葉樹林で確認できたハナバチ種数(a)とハナカミキリ種数(b)

生態系サービスを念頭に置いた里山イニシアティブの一つのモデルとして、南会津地域の実態を提示することができる。

花粉媒介については、広葉樹二次林及び自然草地と農地が互いに隣接するように両者を配置するとともに、広葉樹林を継続的に伐採し林床草本を維持することがハナバチ類の生息場所の質を高め、結果として機能を高めることが示唆された。ニホンミツバチが主に営巣場所として利用する広葉樹の大径木を維持することも重要であると考えられる。さらに、結実率、単位面積あたり収量、卸値、作付面積などの情報を得ることによって、サービスを定量評価することが可能である。また、害虫制御機能として重要な寄生バチ類については、同様に広葉樹二次林及び自然草地の重要性が示唆された。一方、果樹園で重要な天敵の一例として調査したオサムシについては林縁的環境を維持することの重要性が示唆された。害虫のDNAを検出する手法を応用すれば、広食性の捕食性天敵が実際に特定の害虫を捕食しているかどうかを確認すると同時に、サービスを定量評価する手法として用いることができる。さらに、旧来の里山林を復活させることによって調整機能を十分に発揮させるためには、中断期間を置かず継続的な管理をするとともに、林縁的な環境を維持することも重要である。

以上のように、生物多様性がもたらす生態系サービスを持続的に活用するためには、自然草地や林縁的な環境も含む多様な林齢で構成される天然林を維持すること、地域が主体となって伝統的な利用を重んじつつ資源の保全を図る仕組みを維持することなどが重要であると示唆された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 1) 森林の生物多様性がもたらす生態系サービスについて、コンジョイント分析を適用して評価を実施した結果、顕示選好データを表明選好法に結合させることがモデル分析の適合度を向上させる上で望ましいことが明らかとなった。インターネット調査の利点を活かして属性に偏りのない標本を対象として、経済的評価額を得たことは、便益移転手法を適用して地域別あるいは全国の森林生態系サービスの評価額を推計するための基礎となる。
- 2) インターネット調査による全国の一般市民による経済評価額と地元住民の経済評価額の比較は、回収率が高く、標本サイズも十分に確保された。そのうえでコンジョイント分析を適用したので信頼性が高く、有意な差異が検証できたことは有意義である。また、従来から利用されてきた郵送調査とインターネット調査を比較したことも、経済評価のための調査手法の妥当性の検証という観点から有意義である。
- 3) 日本全国の生態系サービスや生態系を経済評価した研究成果は、農業や森林などを代替法や仮想評価法(CVM)によって評価した事例に限定されるのに対し、日本のほぼ全土をカバーする生態系を対象として、奥山自然地域、里地・里山地域、河川・湿原地域等における保護地域指定を行うことの便益原単位を得ることができた。
- 4) 生態系サービスは自然科学と社会科学のいずれかの立場から評価される場合がほとんどであるが、本研究では山菜、キノコ、溪流魚を事例に、自然科学と社会科学の両面からアプローチしている。そして、どちらの側面から評価するかによって大きな差が生じうることを示すとともに、双方からのアプローチを有機的に組み合わせることによって、より実態に即した客観的な評価が可能であることを示した。
- 5) 農地の近くに良質な森林が存在することによって、土着昆虫による農作物に対する生態系調整サービスの向上や安定化が期待できることが明らかになった。
- 6) DNAバーコーディングを活用すれば、従来は困難であった土着捕食性天敵の機能評価を簡便かつ確実に行えることが分かった。
- 7) これまで様々な生物群の種多様性評価は試みられてきたが、その生態系機能との結びつきを明示的に評価した例はほとんどない。本研究では、森林の生態系機能の中で、生物多様性が最も強く関与すると考えられる花粉媒介、捕食寄生、分解といった調節機能を対象として、それらの機能の指標となる節足動物の分類群を抽出し、種多様性をベースにした森林生態系機能の変動の定量的評価手法を開発した。
- 8) 空中菌の捕捉からDNA解析を行い、DNA組成をベースに森林群集レベルでの遺伝的多様性を評価するという新しい多様性評価手法を確立した。

(2) 環境政策への貢献

- 1) SATOYAMAイニシアティブを海外に発信するための日本における事例として、多様な森林利用が行われ、花粉媒介と害虫制御機能の高い二次林を持つ南会津地域を挙げるができる。

2) 生物多様性について受動的利用価値を評価する観点から、奥会津森林生態系保護地域の便益を評価した結果が「生態系と生物多様性の経済学 (TEEB)」に取り上げられるなど、政策的意思決定のための基礎的知見として、研究成果を国際的に発信することができた。今後は経済価値として過小評価されがちなこれらの側面に関して、経済のグローバル化と高まる自然保護という2つの潮流から地域住民の森林利用の権利を守るという立場で、地域住民が主体的に管理しつつ持続的利用を行っている事例として研究成果を森林や景観管理に関する国際会議等で発表する。

3) 国内の環境政策としては、関東森林管理局南会津支署を通じて、林野庁の広葉樹林化政策の社会的意義として本研究の成果を発信している。すなわち、森林の価値はもっぱら市場経済にもとづいて算定されていたため、過去においては人工林化が積極的に進められてきたが、本研究では特用林産物採取、レクリエーションなどの場として広葉樹林が優れていることを明らかにした。また、里山においては広葉樹二次林への転換が花粉媒介者や天敵昆虫の個体群を維持するために重要であることを裏付けた。

4) 農地周辺に生息する土着生物を活用して、花粉媒介や害虫制御の機能を高めることができれば、農地に投入される化学物質や人的資源、さらには花粉媒介者あるいは天敵として導入される外来生物を少しでも減らすことができることが科学的に明らかとなった。

5) 本研究の成果は、農地にごく近接した里山林の管理が農業生産に及ぼす影響の大きさを示している。このことから、森林管理のための公的支援を、農地に隣接する里山林の管理(針葉樹から広葉樹への樹種転換、広葉樹林の輪伐利用など)に重点的に投入することによって、農業基盤を安定化させ、地域社会の持続的発展に対してより効果的に貢献できる。

6. 研究者略歴

課題代表者：杉村 乾

1953年生まれ、京都大学理学部卒業、学術博士

現在、(独) 森林総合研究所国際連携推進拠点国際森林情報推進室長

研究参画者

(1) 吉田謙太郎

1968年生まれ、北海道大学農学部卒業、博士(農学)、現在、長崎大学環境科学部教授

(2) 杉村乾(同上)

(3) 前藤 薫

1958年生まれ、九州大学農学部卒業、農学博士、現在、神戸大学大学院農学部教授

(4) 1) : 田中 浩

1959年生まれ、東京大学農学部卒業、博士(農学)、現在、(独) 森林総合研究所森林植生研究領域長

2) : 岡部貴美子

1961年生まれ、千葉大学園芸学部卒業、現在、博士(学術)、(独) 森林総合研究所森林昆虫研究チーム長

7. 成果発表状況(本研究課題に係る論文発表状況。)

(1) 査読付き論文

1) Matsuki, Y., Tateno, R., Shibata, M., Isagi, Y. (2008) Pollination efficiencies of flower-visiting insects as determined by direct genetic analysis of pollen origin. *Am. J. Bot.*, 95(8), 925-930.

2) Ushimaru, A., Ishida, C., Sakai, S., Shibata, M., Tanaka, H., Niiyama, K. Nakashizuka, T. (2008) The effects of human management on spatial distribution of two bumble bee species in a traditional agro-forestry Satoyama landscape. *J. Agricultural Research and Bee World*, 47(4), 296-303.

3) Taki, H., Kevan, P. G., Viana, B. F., Silva, F. O., Buck, M. (2008) Artificial covering on trap nests improves the colonization of trap-nesting wasps. *J. Applied Entomology*, 132, 225-229.

4) 吉田謙太郎, 川瀬靖 (2008) 都市公園におけるドッグラン整備に関する選択モデル分析, 都市計画論文集, 43(3), 679-684.

5) 吉田謙太郎・金井荘平 (2008) 回避支出法と選択実験による飲料水水質の経済的評価, 環境経済・政策研究, 1(2), 64-75.

6) Maleque, M. A., Maeto, K., Ishii, H. T. (2009) Arthropods as bioindicators of sustainable forest management, with a focus on plantation forests. *Appl. Ent. Zool.*, 44 (1), 1-11.

- 7) Kagawa, Y., Maeto, K. (2009) Spatial population structure of the predatory ground beetle *Carabus yaconinus* (Coleoptera: Carabidae) in the mixed farmland-woodland satoyama landscape of Japan. *European J. Entomology*, 106, 385-391.
- 8) Taki, H., Okabe, K., Makino, S., Yamaura, Y., Sueyoshi, M. (2009) Contribution of small insects to pollination of common buckwheat, a distylous crop. *Annals of Applied Biology*, 155, 121-129.
- 9) Taki, H., Inoue, T., Tanaka, H., Makihara, H., Sueyoshi, M., Isono, M., Okabe, K. (2010) Responses of community structure, diversity, and abundance of understory plants and insect assemblages to thinning in plantations. *Forest Ecology and Management*, 259, 607-613.
- 10) Yoshimura, M. (2009) Impact of secondary forest management on ant species composition in the temperate region in Japan. *J. Insect Conservation*, 13(5), 563-568.
- 11) Taki H., Yamaura Y., Okochi I., Inoue T., Okabe K., Makino, S. (2010) Effects of reforestation age on moth assemblages in plantations and naturally regenerated forests. *Insect Cons. Diversity* 3, 257-265.
- 12) Yamakita, T., Watanabe, K., Nakaoka, M. (2010) Asynchronous local dynamics contribute to the stability of a seagrass bed in Tokyo Bay. *Ecography* (in press)
- 13) 吉田謙太郎 (2010) 生物多様性と生態系サービスの経済学的評価. *農村計画学会誌*, 29(2), 132-137.
- 14) 吉田謙太郎, 中西智紀 (2010) 選択実験による郷土種に配慮した森林公園整備の経済的評価, *農村計画学会誌*, 28, 189-194.
- 15) 天野達也, 赤坂宗光, 石濱史子, 角谷拓, 杉浦真治, 滝久智, 山浦悠一, 横溝裕行 (2010) 日本の保全生物学が必要とするマクロスケールからの視点, *日本生態学会誌*, 60, 385-392.
- 16) Taki, H., Okabe, K., Yamaura, Y., Matuura, T., Sueyoshi, M., Makino, S. Maeto, K. (2010) Effects of landscape metrics on *Apis* and non-*Apis* pollinators and seed set in common buckwheat. *Basic Applied Ecology*, 11, 594-602.
- 17) Yamaura, Y., Taki, H., Makihara, H., Isono, M., Fujita, Y., Okabe, K. (2011) The revisitation of sites surveyed 19 years ago reveals impoverishment of longhorned beetles in natural and planted forests. *Entomological Science*, 14, 56-67.
- 18) Miyamoto, A., Sano, M., Tanaka, H., Niiyama, K. (2011) Changes in forest resource utilization and forest landscapes in the southern Abukuma Mountains, Japan during the 20th century. *J. Forest Research*, 16, 87-97.

(2) 査読付論文に準ずる成果発表 (「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可)
なし