

地域循環圏形成と生態系サービス管理をめぐる インターリンクージュについての基礎研究

齊藤 修¹

¹正会員 早稲田大学助教 高等研究所 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

E-mail: o.saito@aoni.waseda.jp

第二次循環型社会形成推進基本計画では、循環資源の性質と地域の特質に応じて、コミュニティ、地域、広域ブロック、全国規模、そして国際的なレベルに至る最適な規模の「地域循環圏」構築が推進されることになった。また同計画は、循環型社会づくりにおいて、自然共生社会形成との統合的な取組の推進を強調している。本稿では、生態系から人間が得ている恵みである生態系サービスをめぐるトレードオフやシナジーといったインターリンクージュに着目し、様々なスケールでの地域循環圏の構築が地域の生物多様性と生態系サービスにどのような影響を及ぼしうるかを明らかにすることを試みた。分析枠組みを検討したうえで、全国、広域ブロック、都府県の3つのスケールで森林系木質バイオマスに係る生態系サービスを定量化し、生態系サービス間の相関分析を行った。その結果に基づいて、地域循環圏形成を生態系サービス管理と調和的に進めるための論点と政策的なインプリケーションを示した。

Key Words : woody biomass, interlinkage, ecosystem service, regional material cycle

1. はじめに

日本の国土は3,778万haで、そのうち66.5%にあたる2,512万haが森林である¹⁾。日本には森林系木質バイオマスが豊富に存在する。気候変動問題がグローバルな課題として議論されるようになってからは、二酸化炭素吸収源としての森林の持続可能な管理と木質バイオマスの利用促進に関心が高まってきた。一方、2007年11月に策定された第三次生物多様性国家戦略では、里地里山・田園地域や森林の目指す方向として、バイオマスを含む地域の自然資源の積極的な有効利用があげられている。特に、日本では、耕作放棄や人工林の管理不足など農林業活動の停滞・縮小が引き起こす生物多様性への悪影響が深刻化しており、これが同戦略では第2の危機（人間活動の縮小による危機）として位置付けられている。木質バイオマス利用は、この危機への有効な対応策としても期待されている。しかしながら、同一地域内ないし近隣地域間であっても、バイオマス利用事業と自然再生・保全関連事業は連携を欠いたまま進められていることが少なくない²⁾。

2009年3月に閣議決定された第二次循環型社会形成推進基本計画では、新たに「地域循環圏」の概念が導入された。この「地域循環圏」の基本的な考え方は、循環資源の性質と地域の特質に応じて、コミュニティ、地域、広

域ブロック、全国規模、そして国際的なレベルに至る最適な規模の「地域循環圏」を構築していくことで、よりきめ細かく、効果的な循環型社会の形成を目指すものである。また同基本計画では、循環型社会づくりにおいて、低炭素社会だけでなく、自然共生社会形成との統合的な取組の推進が強調されている。例えば、資源採取に伴う自然破壊の防止、再生可能な資源の活用にあたっての生物多様性の保全などがそうした取組みにあたる。

他方、国連ミレニアム生態系評価（MA）では、生態系から人々が得る恵みが「生態系サービス」と定義され、生態系サービスの変化がどのように人間に影響するかが検証され、グローバルスケールでの評価書が2005年に発表された³⁾。このなかで、生態系サービスは、①供給サービス（食糧や水、木材、燃料などの供給）、②調整サービス（洪水・気候調整）、③文化サービス（レクリエーションや精神的・教育的な恩恵）、④基盤サービス（栄養塩循環や土壌形成等）の4種類で定義されている（図-1）。生態系サービスでは、供給サービスである燃料や木材製品のように、広い範囲で流通するサービスがある一方、調整サービスや文化サービスの多くは属地的に発揮される。また、生態系サービス間には、例えば供給サービスを向上させることが調整サービスを損ねるようなトレードオフ関係や双方が同時に向上する相乗効果（シナジー）の関係がありうることが指摘されている⁴⁾。

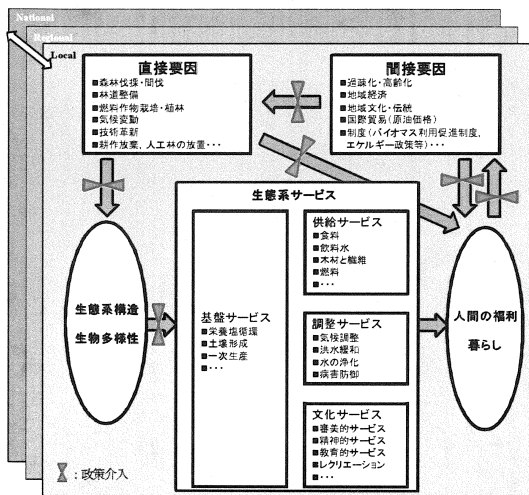


図-1 MAの分析枠組み

(直接要因と間接要因は森林系木質バイオマス用に著者が改変)

本稿では、森林系木質バイオマス利用とそれに伴う生態系サービスのトレードオフやシナジーといった相互連関（インターリンケージ）に着目し、様々なスケールでの地域循環圏の構築が地域の生物多様性や生態系サービスにどのような影響を及ぼしうるか、を明らかにすることを試みた。この分析のための概念枠組みを検討したうえで、森林系木質バイオマス利用の場合への適用と定量的な分析を行った。最後に、地域循環圏形成を生態系サービス管理と調和的に進めるための主な論点と政策的含意を提示した。

なお本稿では、「森林系木質バイオマス」には、林地残材（丸太伐採時残渣を含む）、間伐材、未利用樹が含まれることとし、製材残渣、建築廃材などの産業廃棄物系木質バイオマスや古紙のような製紙系バイオマスと区別する。

2. 方法

(1) インターリンケージ分析

インターリンケージ（相互連関）という概念は、気候変動レジームとオゾン層、生物多様性（吸収源関連）、自由貿易の各レジームとの相互連関のように政策間の関係を分析する概念として、地球環境問題のようなグローバルで複雑な問題の政策研究において主として使われてきた⁵⁾。

一般にインターリンケージの分析対象には政策やレジームだけでなく、人間社会と環境、生態系との間のインパクトレベルでのインターリンケージ、社会システム内

の成員・アクター間のインターリンケージ、環境や生態系のシステム構成要素内のインターリンケージが含まれる。

国連環境計画（UNEP）によるGlobal Environmental Outlook 4 (GEO-4)⁶⁾では、第8章（Interlinkages: Governance for Sustainability）において、地球システムの生物物理的な構成要素、環境変化、人間社会が直面する課題、課題に対応するための統治レジーム、それぞれの中と間におけるインターリンケージの評価が試みられた。

一方、国連大学の研究では、生態系に係るインターリンケージについて、生態系のシステム内とシステム間の相互作用、そして人間の制度と生態系の相互関係と定義されている⁷⁾。また、生態系サービスに関するインターリンケージを論じたIrfikhar et al. (2007)⁴⁾は、インターリンケージを環境問題間の相互関係だけでなく、(1)生態系サービス間の相互関係、(2)健康、所得、安全といった人間の福利の構成要素の間の相互関係、(3)生態系サービスと人間の福利の構成要素との間の相互関係という3つのレベルで定義した。さらに、Irfikhar et al.(2007)は、生態系サービスと人間の福利との間のトレードオフとシナジーには次の4つの次元（生態系サービス間、現在と将来の間、利害関係者間、空間領域（境界）間）があると指摘している。

これらの先行研究を踏まえ、本稿では地域循環圏形成と生態系サービスをめぐるインターリンケージについて検討し、重要なリンケージの特定と現状での課題について考察する。

(2) 空間スケールの構造とインターリンケージ

ここでは、本稿でのインターリンケージ分析において、特に重視している空間スケールの構造とインターリンケージ分析について概念枠組みを示す。

森林系木質バイオマスを含む農林産物資源を空間スケールの階層構造で整理すると、最初に①産地である「農山村」（農業集落、基礎自治体）があり、次に②隣接する農山村や市街化地域（都市）が包含される「地域」がある。この地域は、広域自治体（都道府県）単位で扱われることもあれば、複数の都道府県にまたがる流域圏として扱われることもある。

2008年に策定された国土形成計画では全国計画と並んで道州制を見据えた広域地方計画が検討され、そこでは③「広域ブロック」の概念が導入されている。従前は全国一律の全国計画をトップダウンで示す方式であったが、国土形成計画では、地域の自立に向けた環境の進展や広域的課題の増加等を踏まえ、都府県を超える広域ブロックごとにその特色に応じた施策展開を図り、自立的に発展する圏域の形成を目指すこととされた。2006年に施行された国土形成計画法施行令では東北圏から九州圏までの8

つの広域地方計画区域が定められている。北海道及び沖縄県については、それぞれ北海道総合開発計画及び沖縄振興計画が存在していることから、法律上は広域地方計画の対象外となっているが、独自性の高い圏域を形成していることから、国土形成計画ではそれぞれが広域ブロックに相当すると見なされている。本稿では、この解釈を踏まえつつも、空間スケールの観点から、北海道は広域ブロック、沖縄は都府県として扱う。

さらに、流通網の発達に伴い、木質バイオマスについても種類によっては広域ブロックを越えて取引されることから、④「全国」スケールを加える必要がある。同様に、用材輸入（外材）に代表されるように、木質バイオマスの需給構造は⑤国際的な輸出入（流通）の考慮が不可欠である。

国土地理院による全国都道府県市区町村別面積調（2009年10月1日現在）と農林水産省による農林業センサス（2005年）の面積データを用いて上記の①～④の空間スケールを整理したのが図-2である。農業集落は、立地する地域に応じて山間農業地域、中間農業地域、平地農業地域、都市的農業地域の4地域類型に区分され、1集落あたりの平均面積は1.2（都市・平地）～5.3km²（山地）であった。山地を多く含む地域ほど1農業集落あたりの面積は大きい。一方、市区町村は市町村合併が進んだことにより、規模の大きい市区町村が増え、面積規模としては10～1,000km²と分布範囲が広い。都府県は約2,000～15,000km²であり、広域ブロックは13,000（北陸圏）～83,000km²（北海道）である。

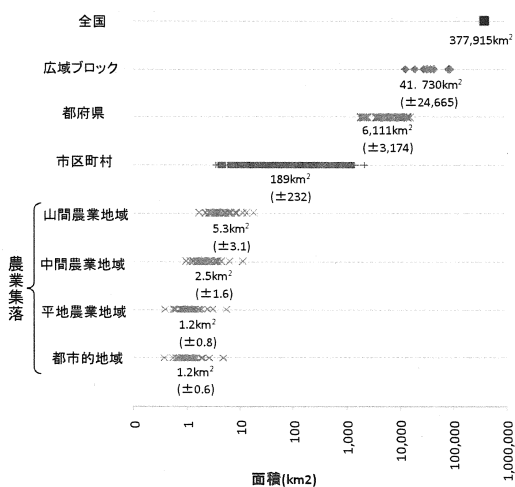


図-2 農業集落から全国までの空間スケール

(注) 図中の数値は全国を除いてそれぞれのスケールの平均値（±標準偏差）。農業集落については、膨大な数にのぼることから、都道府県別の1集農業集落あたりの値(n=48)を散布図にプロットした。

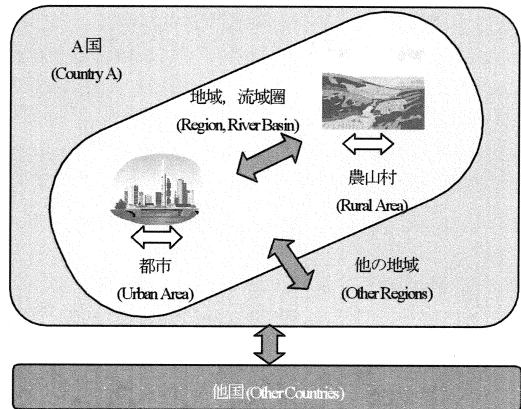


図-3 空間領域のトレードオフとシナジー⁸⁾

(凡例)

⇔: 地域内のトレードオフとシナジー

⇔: 地域間（都市・農村、地域・流域圏間、他国間）のトレードオフとシナジー

空間領域内と領域間にはそれぞれトレードオフやシナジーの関係がありうる（図-3）。たとえば、ある農村集落内で画一的な植林面積を拡大させたり、逆に放置された人工林や竹林を拡大させたりすることは、その生態系の生物多様性や調整サービスを損ねるおそれがある。また、農山村（上流域）における森林管理は、洪水緩和や土砂流出抑制などを介して、同じ流域圏の下流域に分布する都市に影響を及ぼす。さらに、用材、木質チップ、木質ペレットなどの広域的な流通によって、他の地域や他国との間でトレードオフとシナジーが生じうる。たとえば、ある地域におけるペレット生産の大規模生産によって、または単に輸入によって、ペレット利用が広域的に普及した結果、隣接する他の地域の森林系木質バイオマスは利用されないまま放置されるということも考えられる。

このように、それぞれの空間スケールの内部でのトレードオフとシナジー、そして当該空間スケールの外側の領域とのトレードオフとシナジーがありうる（図-3）。これらを考慮し、特に地域循環形成と生態系サービスの向上・維持のバランスをとるうえで重要なトレードオフとシナジーを特定し、それについて分析するのが、本稿でのインターリンクージ分析である。

(3) 森林系木質バイオマスの評価方法

ここでは、森林系木質バイオマスの賦存量と関連する生態系サービスの評価方法を示す。森林系木質バイオマスとしては、林地残材（末木、枝条、根元部）、未利用間伐材、未利用樹を対象とする。

まず、林地残材は電力中央研究所（2006）⁹⁾で示され

ている下記の算定式に従い、算定には現状で手に入る最新のデータを用いた。

林地残材賦存量(t/年)=

$$\text{当該地域の木材生産量 (m}^3\text{/年)} \div \text{利用率(\%)} \\ \times \text{林地残材率(\%)} \times \text{木材比重 (t/m}^3\text{)}$$

木材生産量としては、通常の用材生産量のほか、シタケ原木、木炭、薪の生産量をそれぞれ材積換算して用いた。利用率と材積率は電力中央研究所（2006）⁹⁾と同じく、針葉樹の利用率0.8599、残材率0.15、広葉樹の利用率0.7951、残材率0.35を用いた。木材比重は、松本（2001）¹⁰⁾で示されている針葉樹0.37t/m³、広葉樹0.49t/m³を用いた。

未利用間伐材積量については、森林・林業白書で報告されている間伐材積量から利用間伐材積量を差し引いて求め、それを木材比重を用いて重量換算(t/年)した。

一方、森林・林業基本計画で定めている機能に応じた森林の3区分には、「資源の循環利用林」（木材等生産機能を重視する森林であり、木材を安定的に供給する観点から、成長量程度の伐採の持続的な実施を基本として、若齢林の主伐の回避、適切な更新及び間伐の実施が計画されている森林）がある。この循環利用林とされる森林面積は全国の森林面積の17.1%（民有林15.4%、国有林1.7%）とされている¹¹⁾。また、この資源の循環利用林4,267千haには、天然林が1,664千haが含まれる。すなわち、全国の天然林面積は12,393千haであるから、このうち循環利用林に区分されている天然林は13.4%となる。全国の天然林の約8割は広葉樹であり、そのほとんどは利用されていないことから、本稿では循環利用林に区分されている天然林を「未利用樹」として賦存量の算定を行った。なお、この未利用樹の伐採周期は50年と仮定し、容積比重は0.45⁹⁾とした。

さらに、本稿では、未利用樹として竹林の賦存量も算定した。まず2000年農林業センサスにおける竹林面積に単位面積あたりの稈と枝の現存量95.2t/ha¹²⁾を乗じて現存量を求め、それに竹林の伐採周期10年間（仮定値）で割り戻した数値を賦存量とした。竹林と同様にササ類についても賦存量の算定を試みたが、都道府県別での詳細なデータを得ることができなかった。

森林系木質バイオマスの供給サービスのほか、生態系サービスの調整サービスとして、炭素蓄積(t-C)、炭素吸収速度(t-C/年)を森林蓄積と蓄積量の変化から求めた。また、調整サービスとしては、既往研究¹³⁾に基づいて、森林による洪水緩和機能を林齢、林種、傾斜の3因子を評価因子とし、各因子のスコア係数（表-1）と面積率(%)を用いて機能スコアを算出した。このスコアが高いほど森林整備による洪水緩和の機能ポテンシャル（期待値）が高いことを意味する。

表-1 洪水緩和機能の各因子の重み係数配分

因子	区分		スコア係数
林齢	若齢	10齢級未満	14.0
	老齢	10齢级以上	11.2
林種	人工林		6.0
	天然林		4.8
傾斜	急傾斜	20度以上	4.0
	緩傾斜	20度未満	3.2

さらに、文化サービスとしては、森林と社会との関係の代替指標として、森林スポーツ・レクリエーション施設の利用者数(人)と民有林における不在村所有者面積(ha)とを採用した。両指標とも2000年農林業センサスの値を用いた。

以上の算定項目を都道府県別に推計し、広域ブロック単位で集計して、その絶対量や全国的なシェアについて比較分析した。その後、生態系サービス内・サービス間での相互連関を把握するため、生態系サービスの各項目（指標）を都道府県面積で除すなどの前処理をしたうえで、項目間の相関分析を行った。

3. 結果と考察

(1) 地域循環圏と生態系サービスをめぐるインターリンクエージ

生態系サービスと地域循環圏を空間スケールの観点から整理したのが表-2である。木材や燃料のような供給サービスの多くは、地域や広域ブロックを超えた空間スケールで流通している。海外からの輸入産物も少なくないため、木材生産等の供給サービスについては国際的なスケールで資源循環と生態系サービスのバランスをとることが求められる。調整サービスは、炭素吸収・固定化のようにグローバルな気候調整機能と洪水緩和や水資源貯留機能のように地域や流域スケールでのサービスがある。一方で、文化サービスについては、その価値やサービスが地域に根ざした属地的な特性を有するため、他の生態系サービスよりもその空間スケールは小さく、限定的である。

地域循環圏と生態系サービスをめぐるインターリンクエージには、①循環圏と生態系サービスの間、②空間領域間、③現在と将来の間、の3つの類型が考えられる。図-4は森林系木質バイオマスの利用を想定した場合のインターリンクエージの模式図である。

a) 地域循環圏と生態系サービスの間

資源循環向上のため、地域の木材供給サービスを積極的に利用する場合、供給サービスを高めることが、調整サービスや文化サービスの劣化をまねくおそれがある。

表-2 生態系サービスと地域循環圏のスケールとの関係

生態系サービス		地域循環圏のスケール					備考
		産地の集落・農山村	地域	広域ブロック	全国規模	国際規模	
供給サービス	木材						輸入木材、燃料、食料を含む国際的な資源循環の影響を受ける
	燃料						
	食料						
	飲料水						流域圏スケールでの影響
調整サービス	気候調整	グローバル					気候変動影響はグローバル、微気象調整は地域スケール
	洪水緩和	地域					
	水の浄化						洪水緩和、水の浄化の影響範囲は流域圏スケール
文化サービス	精神的価値						地域としてのアイデンティティの範囲
	審美的価値						都市住民を含めて評価、共有される価値
	教育的価値						
	レクリエーション・エコツーリズム						エコツーリズムの浸透・拡大
	水循環						

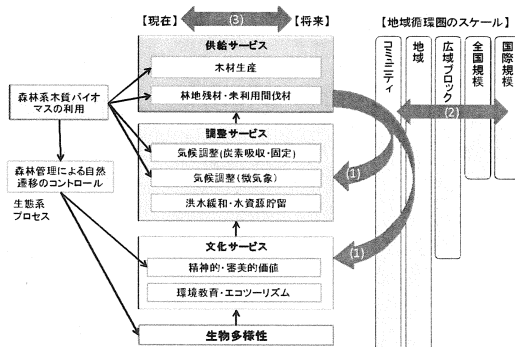


図-4 森林系木質バイオマス利用に伴う生態系サービスと地域循環圏のインターリンケージ

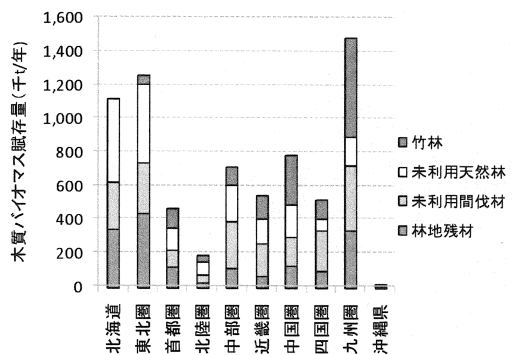


図-5 広域ブロック別の森林系木質バイオマス賦存量

b) 空間領域（境界）間

農山村地域に木質バイオマス資源の賦存量が豊富にあっても、近郊市街地や都市においてバイオマス資源への需要が十分でないことが多い。一方、上流域での生態系サービスの保全・維持による下流域の便益は、上流域に還元されるような仕組みは、一部地域を除いて整備されていない。

c) 現在と将来の間

現在、生態系サービスを地域循環形成に過剰に利用したり、逆にまったく利用しなかったりすることが、将来にわたる生態系サービスの変化・劣化をもたらす。

(2) 森林系木質バイオマスと生態系サービス

森林系木質バイオマスの賦存量（全国計）は、林地残材（末木、枝条、根元部）161万t、未利用間伐材200万t、未利用樹（未利用天然林と竹林）345万tの計706万tの

ぼると推計された（表-3）。林地残材と未利用間伐材の合計は361万であり、これは新たなバイオマス・ニッポン総合戦略の林地残材（未利用間伐材を含む）の推計値370万t（2005年）にほぼ一致する。本稿ではさらに345万が未利用樹として存在することを明らかにした。

広域ブロック別の賦存量では、九州圏の賦存量が最も多く、ついで東北圏、北海道と続くことがわかった（図-5）。この内訳構成をみると、北海道や東北圏では未利用天然林が占める割合が大きく、近畿圏から九州圏にかけては竹林の比率が大きくなっている。

調整サービスとして、広域ブロック別の森林炭素蓄積（2005年）をみると、蓄積量が最も多いのは東北圏であり、次いで北海道、九州圏であった（表-3）。炭素吸収速度もほぼ同様の傾向を示したが、北海道では2000年から2005年にかけて森林蓄積量が減少しており、そのため吸収速度もマイナスの値（炭素排出）を示した。また、洪水緩和機能ポテンシャルは、都道府県や市区町村スケ

ールでは、スコアの差がみられたが、広域ブロック単位ではほとんど差はなかった。洪水緩和機能は、広域ブロック単位ではなく、流域圏や市区町村単位、集落単位で比較分析することが望ましいだろう。

文化サービスとして、広域ブロック別の森林スポーツ・レク施設をみると、利用者数が最も多いのは、北海道であり、次いで東北圏、首都圏になった（表-3）。また、不在村者私有林面積比は、北海道が53%で最大で、次いで沖縄33%、近畿圏31%、首都圏25%となっていた。

都道府県別でのデータを用いて生態系サービス間の相関分析を行った結果、容易に想定されるとおり、供給サービス内、及び供給サービスと調整サービスとの間に多くの有意な相関関係があることが確認できた（表-4）。これは、Raudsepp-Heame et al. (2010)¹⁰がカナダのモントリオールを対象として行った生態系サービス間の相関分析結果で示された傾向とほぼ一致する。

項目ごとにみると、森林率と木材生産の間には有意だが弱い相関（R=0.296）しかみられなないが、木材生産と林地残材、木材生産と未利用間伐材との間には高い有

意な相関関係がみられた。また、調整サービスのうち、炭素蓄積と炭素吸収とともに、森林率、木材生産、林地残材、未利用間伐材と比較的高い有意な相関関係が認められた。一方で、未利用樹（竹林）の賦存量が多いほど、洪水緩和ポテンシャルは低くなる、森林整備による洪水緩和効果が期待できなくなるという有意な負の相関（R=-0.549）を見出すことができた。

また、文化サービスでは、森林スポーツ・レク施設利用者数は森林率、炭素蓄積とそれぞれ有意な相関がみられたが、木材生産や他の供給サービスとの間には有意な相関は見られなかった。これは森林スポーツ・レク施設の利用と木材生産のような供給サービスとが、これまで別々に展開されてきたことを示唆していると解釈できる。他方、不在村者私有林面積比と洪水緩和ポテンシャルとの間にも有意な正の相関が認められた。だが、不在村者私有林面積比が高くなるほど、通常は森林管理が行き届かず、むしろ洪水緩和ポテンシャルは低下すると想定されることから、この相関のメカニズムについてはさらに分析を進める必要がある。

表-3 広域ブロック単位での森林系木質バイオマスの供給力と他の生態系サービス

		北海道	東北圏	首都圏	北陸圏	中部圏	近畿圏	中国圏	四国圏	九州圏	沖縄県	全国	
土地面積		(km ²)	83,455	79,472	36,889	12,622	42,901	27,335	31,916	18,804	42,176	2,274	377,915
人口		(千人)	5,628	12,066	42,379	3,107	17,217	20,893	7,676	4,086	13,353	1,362	127,768
森林面積		(km ²)	53,390	53,651	17,335	8,277	29,398	18,135	23,105	13,893	26,486	1,060	244,730
森林率		(%)	64.0%	67.5%	47.0%	65.6%	68.5%	66.3%	72.4%	73.9%	62.8%	46.6%	64.8%
供給サービス	木材生産量(素材、薪炭、シイタケ原木)	(千m ³)	3,329	4,242	1,228	305	1,305	698	1,183	1,133	3,866	3	17,292
	林地残材	(千t)	338	432	113	23	105	56	122	89	333	0	1,611
	森林系木質バイオマス	(千t)	277	303	99	47	279	200	170	239	386	0	2,000
	未利用間伐材	(千t)	499	523	248	115	330	282	493	189	759	15	3,454
	未利用樹(未利用天然林と竹)	(千t)	1,114	1,258	460	185	714	537	784	517	1,479	16	7,065
調整サービス	炭素蓄積量	(千t-C)	228,485	310,697	110,296	52,135	174,370	124,283	129,518	93,585	196,922	5,196	1,425,487
	炭素吸収速度	(千t-C/年)	-597	4,282	1,386	653	3,254	1,789	1,902	1,710	3,545	67	84,042
	洪水緩和	(スコア)	21.28	20.76	20.64	20.91	20.97	20.69	20.23	20.60	20.39	20.17	20.64
文化サービス	森林スポーツ・レク施設利用者数	(千人/年)	35,566	35,496	20,856	5,323	29,881	9,514	7,363	4,508	19,428	465	168,399
	不在村者私有林面積比	(%)	53.2%	13.6%	25.4%	21.1%	26.0%	31.1%	14.0%	27.2%	18.1%	32.6%	24.4%

広域ブロック区分：北海道（青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県及び新潟県）、首都圏（茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県及び山梨県）、北陸圏（富山県、石川県及び福井県）、中部圏（長野県、岐阜県、静岡県、愛知県及び三重県）、近畿圏（滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県及び和歌山県）、中国圏（鳥取県、島根県、岡山県、広島県及び山口県）、四国圏（徳島県、香川県、愛媛県及び高知県）、九州圏（福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県及び鹿児島県）、沖縄県

表-4 都道府県別での生態系サービス間の相関分析結果(n=47)

			供給サービス					調整サービス			文化サービス	
			木材生産	林地残材	未利用間伐材	未利用樹(天然林)	未利用樹(竹林)	炭素蓄積	炭素吸収	洪水緩和	森林スポーツ・レク施設利用者	不在村者私有林面積比
森林率			%	1.000								
供給サービス	木材生産	m ³ /km ²	0.296*	1.000								
	林地残材	t/km ²	0.312*	0.924***	1.000							
	未利用間伐材	t/km ²	0.475**	0.646***	0.540***	1.000						
	未利用樹(天然林)	t/km ²	0.739***	-0.030	0.067	-0.009	1.000					
	未利用樹(竹林)	t/km ²	-0.016	0.260	0.248	0.120	-0.226	1.000				
調整サービス	炭素蓄積	t-C/km ²	0.848***	0.466**	0.445**	0.618***	0.541***	0.120	1.000			
	炭素吸収	t-C/km ² ・年	0.655***	0.515***	0.500***	0.653***	0.271	0.209	0.706***	1.000		
	洪水緩和	スコア	0.262	-0.055	-0.150	0.099	0.217	-0.549***	0.256	0.011	1.000	
文化サービス	森林スポーツ・レク施設利用者数	人/km ²	-0.393**	-0.215	-0.259	-0.241	-0.264	-0.084	-0.387**	-0.237	0.096	1.000
	不在村者私有林面積比	%	-0.033	-0.087	-0.221	0.158	-0.135	-0.214	0.091	-0.095	0.443**	0.044

*: P<0.05, **: P<0.01, ***: P<0.001

4. おわりに

本稿では、森林系木質バイオマス利用とそれに伴う生態系サービスのトレードオフやシナジーといったインターリンケージに着目し、分析のための概念枠組みを検討したうえで、それを森林系木質バイオマス利用に適用して、定量的な分析を試みた。これを通して、全国規模、広域ブロック圏、都府県単位での生態系サービス評価モデルを構築した。本研究結果で明らかになった主な点と示唆される政策的含意を以下に示す。

- ①地域循環圏の空間単位には、農業集落、地域（市区町村、都府県）、広域ブロック、全国、国際の5つのスケールがあり、森林の供給サービス（木材供給）はそのすべてのスケールに関連するが、調整サービスと文化サービスは空間的にはより小さいスケール、属地的な性格が強い。
- ②農業集落あたりの平均面積は1.2（都市・平地）～5.3km²（山地）であり、市区町村単位での地域循環圏形成にあたっては、少なくとも第三次メッシュ（約1km²）を単位とする土地利用や自然環境情報と連動した事前調査・計画策定が望ましい。
- ③地域循環圏構築にあたっては、生態系サービスとの関係から抽出される3つのタイプのインターリンケージ（図-4）に配慮する必要がある。
- ④広域ブロック別の森林系木質バイオマスの賦存量は、九州圏、東北圏、北海道の順に多く（図-5）、これらの広域ブロックでは森林系木質バイオマスの利用が地域循環圏形成のための重点資源になると考えられる。
- ⑤地域の森林系木質バイオマスの資源循環（供給サービスの維持・拡大）は、調整サービスへの影響が大きいことから、地域循環圏の形成にあたっては、特に調整サービスとの関係に留意する必要がある。（さらに言えば、森林系木質バイオマス（供給サービス）をより広域で循環させる場合には、その供給サービスの源となる地域における調整サービスと文化サービスへの影響に配慮することが望ましい。）
- ⑥未利用樹（竹林）の賦存量が多いほど、洪水緩和ポテンシャルは低くなり、森林整備による洪水緩和効果が期待できなくなることから、竹林利用を進めることが自然災害防止にも寄与する。
- ⑦現状では、森林の文化サービスと木質バイオマス資源の供給サービスとの結びつきが弱いことから、供給サービスの発揮や向上が文化サービス（森林レクやエコツーリズム等）を同時に高めるような施策展開が望まれる。

今後は、市区町村単位、農業集落単位にダウンスケールして生態系サービスを評価する方法論の開発とその適用を北海道や首都圏等を対象として進める予定である。

評価対象とする生態系サービスの項目も追加が必要である。また、農山村地域の将来シナリオ分析を介した土地利用変化解析モデルを追加し、将来的な人口減少、放置人工林や耕作放棄地の拡大などの土地利用の変化のなかで、森林系木質バイオマスの有効利用と他の生態系サービスとの調和を図るためのシステム分析を進める。

謝辞：本研究は、平成22年度環境省循環型社会形成推進科学研究費補助金の研究課題「望ましい地域循環圏形成を支援する評価システムの構築とシナリオ分析」（研究代表：松本亨教授・北九州市立大学）、文部科学省科学技術振興調整費「若手研究者の自立的研究環境整備促進」プログラムによる早稲田高等研究所テニユア・トラックプログラム、並びに文部科学省科学研究費補助金・課題番号22560551「対話型シナリオ分析ツール開発による里山の生態系サービスの定量化と可視化」（研究代表：齊藤修）の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 林野庁：森林・林業統計要覧 累年版 2007, 林野弘済会, 2007.
- 2) 齊藤修：自然再生事業とバイオマス利用事業の失敗事例の収集と要因解析, 早稲田大学高等研究所紀要, Vol.1, pp.43-60, 2009.
- 3) Millennium Ecosystem Assessment: *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, DC, 137pp, 2005.
- 4) Ifikhar UA, Kallesoe M, Duraipapp A, Sriskanthan G, Poats SV and Swallow B.: Exploring the inter-linkages among and between Compensation and Rewards for Ecosystem Services (CRES) and human well-being: CES Scoping Study Issue Paper no. 1. ICRAF Working Paper no. 36. Nairobi: World Agroforestry Centre, 2007.
- 5) 石井敦：生物多様性保全と気候変動対策の相互連関—国際制度と国内政策を比較・評価する, 環境経済・政策学会年報, 第11号, pp.227-243, 2006.
- 6) UNEP: Global Environment Outlook 4, 540pp., 2007.
- 7) Malabed J, Velasquez J, and Shende R. Eds.: Inter-linkages between the Ozone and Climate Change Conventions: Part 1—Interlinkages between the Montreal and Kyoto Protocols. UN University, pp.53-70, 2002.
- 8) 齊藤修：リスクトレードオフ分析の概念枠組みと分析方法 1：リスクトレードオフ分析の概念枠組み, 日本リスク研究学会誌, Vol.20, No.2, pp.97-106, 2010.
- 9) 電力中央研究所：林地残材賦存量・利用可能量の推計方法（H18改訂版）, 2008.
- 10) 松本光朗：日本の森林による炭素蓄積量と炭素吸収量, 森林科学, 33, pp.30-36, 2001.
- 11) 林野庁：森林・林業白書平成21年版, 2009.
- 12) 井鷲裕司：竹林の生産力—バイオマス資源として, 林業試験場関西支部研究情報, No.5, 1987.
- 13) 超学際的研究機構：新たな森林整備のあり方に関する調査研究報告書, 福島県, 2006.
- 14) Raudsepp-Heame, C., Peterson, G.D., and Bennett, E.M.: Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse

PRELIMINARY STUDY ON INTERLINKAGES BETWEEN REGIONAL RESOURCE CIRCULATION AND ECOSYSTEM SERVICES MANAGEMENT

Osamu SAITO

The Fundamental Plan for Establishing a Sound Material-Cycle Society was amended in 2008 to promote “Regional Material-Cycle Zone” at optimum scale in accordance with characteristics of material and region. In addition, this amended plan stresses integrating establishment of a sound material-cycle society with that of a low carbon society and a nature-harmonious society. This manuscript focuses on interlinkages across ecosystem services (i.e. the benefits people obtained from ecosystems), and developed a framework for analyzing the multiple ecosystem services at different scales. Quantifying woody biomass provision from existing forest and associated ecosystem services (regulating and cultural services) at national, regional block and prefectural scale in Japan, the study analyzed ecosystem service interactions using the Pearson parametric correlation test. The results showed synergies and tradeoffs between provisioning services and regulating services.