

# 社会生態学的生産ランドスケープにおける 生態系サービス間のシナジーとトレードオフ解析: 石川県下の基礎自治体を事例として

神山 千穂<sup>1</sup>・橋本 禪<sup>2</sup>・香坂 玲<sup>3</sup>・齊藤 修<sup>4</sup>

<sup>1</sup>非会員 国連大学サステイナビリティ高等研究所 (〒150-8925 東京都渋谷区神宮前5丁目53-70)

E-mail: kamiyama@unu.edu

<sup>2</sup>非会員 東京大学大学院農学生命科学研究科 (〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1)

<sup>3</sup>非会員 金沢大学大学院人間社会環境研究科地域創造学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

<sup>4</sup>正会員 国連大学サステイナビリティ高等研究所 (〒150-8925 東京都渋谷区神宮前5丁目53-70)

生態系サービスは相互に関わり、あるサービスの向上が他のサービスを低下させるトレードオフと、双方のサービスが共に向上するシナジーが知られる。このような理解は、より多くの生態系サービスが発揮される生態系管理に貢献することから、本研究では、石川県19市町を対象とし、生態系サービス35項目、市町の基本属性20項目について関連性を調べた。その結果、森林面積が大きく景観のモザイク性が高いか、耕地面積が大きく人口が多いかという市町の基本属性が、森林に関わる生態系サービスが高いか、農業や文化に関わる生態系サービスが高いかに関連していることが示された。本解析は、生態系サービス間の関わりを定量的に示すとともに、重要な課題となる関係性の位置付けを明確にし、効率的な意思決定を可能にするものである。

**Key Words :** provisioning services, regulating services, cultural services, Satoyama, Satoumi, Noto Peninsula

## 1. はじめに

ミレニアム生態系評価では、人間が得ている自然からの恵みを「生態系サービス」と総称し、生態系と人間の福利 (Human well-being) との関わりを示している<sup>1)</sup>。生態系サービスの種類は多岐にわたり、主に供給サービス (食料や水など)、調整サービス (気候調整・洪水制御など)、文化的サービス (精神的サービス・レクリエーションなど)、そしてこれらのサービスを支える基盤サービス (土壌形成や栄養塩循環など) に分類される。生態系サービスを定量的に評価することは、生態系に関わる政策等の意思決定に貢献することから<sup>2,3)</sup>、近年、生態系サービスに関する研究蓄積が進みつつある<sup>4)</sup>。

生態系サービス間には関わりがあることが知られている。例えば、食料や木材の供給サービスの過剰な利用は、しばしば、生態系の洪水制御、栄養塩循環、レクリエーションなど他の生態系サービスの低下を引き起こす。このようなあるサービスの向上が他のサービスを低下させる関係をトレードオフといい、一方で、あるサービスの向上に呼応して他のサービスも向上するような関係をシナジーと呼ぶ<sup>5)</sup>。このような生態系サービスのシナジーとトレ

ードオフの関係を明らかにすることは、より多くの生態系サービスの発揮とそれを可能にする土地利用や生態系管理に貢献すると言われている<sup>6,7,8)</sup>。しかし一方で、2010年までの「生態系サービス」または「生態系評価」という単語を含む153の論文をレビューした研究からは、5種類以上の生態系サービスに着目している研究は、全体の約半数にとどまり、生態系サービス間の関係を調べている研究は全体の3分の1以下であることが報告されている<sup>9)</sup>。

カナダのケベック州の137の地方自治体において、生態系に関わる統計データから12種類の生態系サービスに着目し、相関解析から生態サービス間のシナジーとトレードオフを調べた研究では、供給サービスの高い自治体ではほとんど全ての調整サービスと文化的サービスが低下するトレードオフの関係が、また、調整サービスが高い自治体では文化的サービスも高いというシナジーの関係が傾向として示されている<sup>10)</sup>。しかし、同等の供給サービスを有していても調整サービスと文化的サービスが大きくは低下していない自治体も存在することから、トレードオフは必然ではないとされている。したがって、生態系サービスそのものの間の関係性だけでなく、それらの関係に影響する要因を、地方自治体といった社会的ブ

ロセスや意思決定に適した空間スケールにおいて明らかにすることが、より多くの生態系サービスが発揮される社会構築に向けた重要な課題となっている<sup>10)11)</sup>。

人と自然が結びついた自然の利用形態を表す日本を代表する概念として里山と里海がある。里山とは、二次林、農地、ため池、草地など様々な環境と人間の営みがモザイク状に存在することで多様な生態系サービスをうみだし、人間の生活の豊かさに貢献する社会生態学的生産ランドスケープのことである<sup>12)</sup>。2010年に開催された第10回生物多様性締約国会議では、里山の景観が人と自然の共存の在り方を示すものとして「SATOYAMAイニシアティブ」が採択され、里山は日本のみならずこのような景観を対象とした国際的な概念として定着してきている<sup>13)14)</sup>。近年、この里山の概念は、漁業が営まれる沿岸地域を対象とした里海にも拡張している<sup>12)</sup>。このような多様な生態系サービスについて、個々のサービスの定量的評価は進んでいるが<sup>12)</sup>、それらの間の関係性については定性的な指摘にとどまり、明示的、定量的な評価には至っていない。

北陸地方に位置する石川県は、19の市町からなり、2011年に国連食糧農業機関（FAO）が定める世界農業遺産（GIAHS）に先進国として初めて認定された能登半島を有し、豊富な自然資源と里山里海の景観によって特徴づけられる<sup>15)</sup>。環境省が日本全国を対象として行った生物多様性評価の地図化事業において、農地を中心としてさまざまな環境が入り交じる里山景観のモザイク性をSatoyama Indexという指標<sup>16)</sup>で評価した場合に、値が高い（モザイク性が高い）地域の一つとして能登半島が挙げられている<sup>17)</sup>。石川県は、2011年から里山創成室を県庁環境部に設置し（2014年度より農林水産部里山振興室）、金沢大学は2007年から人材育成を目的とした「能登里山マイスター」養成プログラム（2012年度より「能登里山里海マイスター」）を始動させるなど、里山里海の持続可能な保全と利用に取り組んでいる。県民総生産（経済活動別）は、国内全体の総生産の割合と同程度となっており、日本の平均的な経済構造がみられる地域である<sup>18)</sup>。

本研究は、このような世界的にも知られる社会生態学的生産ランドスケープを有する石川県において、様々な生態系サービスの組み合わせ間のシナジーとトレードオフを調べるとともに、その関係性に、人口や土地利用、それらの土地の管理状況等がどのように関係しているかを明らかにすることを目的とした。各市町の統計データを一部石川県の協力を得て収集し、**仮説1**：供給サービスは他の生態系サービスと主にトレードオフの関係にある<sup>10)</sup>、**仮説2**：調整サービスと文化的サービス間には主にシナジー関係が成立している<sup>10)</sup>、**仮説3**：能登半島（能登地方）に属する自治体は、その他の自治体（加賀地方）に比べて景観のモザイク性が高く、このことは生態系サービス間の関わりにも関係している<sup>12)17)</sup>の検証を試みた。結

果に基づいて、今後の土地利用や生態系管理において重要な論点を整理し、課題について考察した。

## 2. 方法

### (1) 調査対象

石川県の基礎自治体である19市町（10市9町）を対象とした。基礎自治体を対象としたのは、様々な自然資源利用および管理の政策等の最小の空間スケールであり、また、日本において一般的に利用可能な統計データの最小単位でもあるため、社会的プロセスや意思決定に適した空間スケールと判断したためである。

### (2) 自治体（市町）データベース

農林水産省世界農林業センサス、国土数値情報土地利用細分メッシュ、石川県から、電子あるいは紙媒体で石川県の市町単位のデータを入手し、生態系サービスと関連する35項目、基本属性20項目からなるデータベースを作成した（表-1）。

### a) 生態系サービス

本研究では、基盤サービス以外の3サービス、供給サービス、調整サービス、文化的サービスに着目する。供給サービスは、農作物、林産物、海産物を含むように入手可能なデータを、農林水産省および石川県における木材の需要動向、石川県海面漁業生産統計調査、石川県特用林産物需要動向から収集した。森林の調整サービスでは、材積量、成長量、竹林材積量については、石川県の林業要覧から得た民有林に関する統計データを使用し、森林面積に対する民有林と国有林の面積割合から、森林全体としての賦存量を推計した。農地における年間の洪水緩和、水源涵養、土壌侵食防止量、および、森林における年間の洪水緩和、水質浄化、水源貯留、表面侵食防止、二酸化炭素吸収量は、国土数値情報土地利用データ、植生、過去30年の年平均降水量データ等を使用して算出されたHashimoto et al. (2015)<sup>19)</sup>の数値を引用した。文化的サービスについては、世界農林業センサスから森林スポーツ・レクリエーション施設数、遊歩道数のデータを収集し、また、文化財、史跡、名勝、天然記念物数については石川県教育委員会文化財課から収集した。祭り開催数については、石川県観光情報ホームページから、2016年2月時点で掲載されている「祭り・イベント」欄において、地域に根ざす伝統的な神事・祭りを多く含む「祭り」というカテゴリーに分類されている催し物数を市町別に集計した。ただし、当ホームページの記載内容から、明らかに商業的な意味合いが強くかつ地域の文化との関わりがないと判断できる催し物については、解析データから除外した。

表-1 自治体(市町)データベース

カテゴリ	項目名	単位	出典
供給サービス	素材生産量	千m <sup>3</sup>	石川県における木材需要と製材工業の動向(2013)
	コメ収穫量	t	農林水産省(2014)
	マメ類収穫量	t	
	根菜収穫量	t	
	葉茎菜収穫量	t	
	果菜収穫量	t	農林水産省(2006)
	果物的野菜収穫量	t	
	果樹収穫量	t	
	海面漁獲量	t	石川県海面漁業生産統計調査(2013)
	採貝・採藻量	t	
	菌床しいたけ・なめこ生産量	kg	石川県特用林産物需要動向(2011)
	原木しいたけ・なめこ生産量	kg	
	その他のきのこ類生産量	kg	
	山菜生産量	kg	
調整サービス	民有林材積量	千m <sup>3</sup>	石川県林業要覧(2013)
	前年からの民有林成長量	千m <sup>3</sup>	
	民有林における竹林材積量	千束	
	森林材積量	千m <sup>3</sup>	石川県林業要覧(2013)から計算(森林面積に占める民有林の面積割合から森林全体の賦存量を推計)
	前年からの森林成長量	千m <sup>3</sup>	
	森林における竹林材積量	千束	
	農地年間洪水緩和量	万m <sup>3</sup>	国土数値情報土地利用データ(2006)、植生、過去30年の年平均降水量データを使用、日本学術会議(2001)、農業総合研究所(1998)、愛知県(2007)、長崎県(2004)等をもとに算出したHashimoto et al. (2015)を引用
	農地年間水源涵養量	万m <sup>3</sup>	
	農地年間土壌侵食防止量	万m <sup>3</sup>	
	森林年間洪水緩和量	万m <sup>3</sup>	
	森林年間水質浄化量	万m <sup>3</sup>	
	森林年間水源貯留量	万m <sup>3</sup>	
	森林年間表面侵食防止量	万m <sup>3</sup>	
	森林年間二酸化炭素吸収量	万ton-CO <sub>2</sub>	
	森林スポーツ・レクリエーション施設数	個	世界農林業センサス(2000)
	遊歩道数	個	
	祭り開催数	個	石川県観光情報ホームページ(2016年2月時点)
文化サービス	有形文化財数	個	国・県指定: 石川県調べ(2014) 市町指定: 石川県調べ(2015) (教育委員会文化財課)
	民俗文化財数	個	
	史跡数	個	
	名勝数	個	
	天然記念物数	個	
	無形民俗文化財数	個	
基本属性	総土地面積	ha	世界農林業センサス(2010)
	森林面積	ha	
	森林以外の草地面積	ha	
	国有林面積	ha	
	民有林面積	ha	
	耕地面積	ha	
	耕作放棄地面積	ha	
	農業集落数	個	
	民有林人工林面積	ha	石川県林業要覧(2013)
	民有林天然林面積	ha	
	民有林針葉樹林面積	ha	
	民有林広葉樹林面積	ha	
	在村者土地所有面積	ha	農林業センサス(2000)
	不在村者土地所有面積	ha	
	自然公園面積	ha	
	観光資源的森林面積	ha	
	人口	人	石川県基本台帳(2015)
	Satoyama Index 平均値	0-1の相対値	国土数値情報土地利用データ(2006)及びKadoya and Washitani (2011)をもとに算出した橋本ほか(2015)を引用。
	Satoyama Index 対象面積	ha	
	Satoyama Index 0.2以上の面積	ha	

## b) 自治体(市町)の基本属性

ここでは、主に農林業センサスと石川県林業要覧から社会生態学的生産ランドスケープを特徴づけると考えられる森林や耕作地等に関わる土地利用を示す面積を中心に、各市町の基本属性データを収集した。また、農地を中心としてさまざまな環境が入り交じる里山景観のモザ

イク性の指標として、石川県においてKadoya and Washitani (2011)<sup>16)</sup>に従って算出した橋本ほか(2015)<sup>20)</sup>のSatoyama Index (SI)の数値を引用した。これは、シンプソンの多様度指数をもとに農地とその他の利用のモザイク性の度合を示す指標で、ここでは、国土数値情報土地利用細分メッシュ(100mメッシュ)を500mメッシュで再集計し、その中に農地が含まれる場合に、100m四方グリッド25個の土地利用形態から計算した。0から1の相対値として算出され、値が0に近いほど均質な土地利用であることを意味し、値が高いほどモザイク性の高い土地利用であることを意味する。なお、メッシュ内に農地が存在しない場合やメッシュ内の土地利用が特定の用途に占有される場合は数値は0となる。

## (3) 解析

生態系サービスの全インベントリデータ35項目について、総当りの組み合わせ(595通り)における相関関係をピアソンの相関係数を用いて解析した。この際、全てのデータは先行研究<sup>10)</sup>に従い、市町の土地面積の影響を排除するため各市町の総面積で除し、また性質の異なるデータを比較するために項目ごとに最大値を1として標準化した。顕著な負の相関関係が検出された場合には、その生態系サービスの組み合わせにはトレードオフが、一方で、顕著な正の相関関係が検出された場合には、シナジーが存在するとする<sup>10)</sup>。シナジーという用語自体は、一般的には相乗効果と訳され、総和以上の効果が期待されることを意味する用語であるが、これまでの生態系サービスに関わる研究においては、双方の似たような傾向をシナジーとみなす傾向があり<sup>58)</sup>、本研究でもその傾向を踏襲し、ここでは正の相関関係にシナジーという用語を用いた。19市町のうち、川北町と野々市市は欠損データが多いために本解析から除外し、計17市町を対象として全ての解析を行った。

次に、この相関解析から、主要な生態系サービスとして14項目を修正・選抜した。欠損値の多い項目は他の項目に統合または除外し、内容の重複する項目あるいは項目間で非常に高い相関を示す項目(例えば農地、森林の調整サービスは、全て同じ土地利用データを基に算出しているため、農地内、森林内で項目間の相関が非常に高くなる)については代表的な項目のみを残し、類似する多数の項目については総和を求めることで項目数を集約した。これにより、供給サービスは、木材(素材)生産量、コメ収穫量、野菜・果物収穫量(根菜、葉茎菜、果菜、果物的野菜、果樹の総和)、海面漁獲量、原木しいたけ・なめこ生産量、山菜生産量の6項目とした。調整サービスは、前年からの森林成長量、農地年間水源涵養量、森林年間水源貯留量の3項目とした。文化的サービスは、森林スポーツ・レクリエーション施設数、遊歩道数、祭り開催数、史跡・名

勝数（史跡数と名勝数の総和）、文化財数（有形文化財数、民族文化財数、無形民俗文化財数の総和）の5項目とした。これら14項目について再度同様に相関解析を行った。

次に、市町の基本属性項目間、および生態系サービス間において、相互の関連と全体の傾向を明らかにするため、各市町の主な基本属性9項目、生態系サービス12項目、それぞれにおいて主成分分析を行った。欠損値のある項目を除外し、市町の基本属性は、人口、森林面積、耕作地面積、

耕作放棄地面積、農業集落数、在村者土地所有面積、SIの平均値（SI平均）、SIが計算された農地を含む土地面積（SI面積）、SIが相対的に高い（0.2以上）土地面積とした。生態系サービスは、上述の14項目から、欠損値を含む原木しいたけ・なめこ生産量、山菜生産量の2項目を除外した。分析には、上述の相関解析と同様に、全てのデータを各市町の総面積で除し、標準化したデータを用いた。解析は全て解析ソフトウェアRを用いて行った。



図-1 石川県自治体（17市町）別の生態系サービスの相関分析結果

図の上半分は生態サービス間の関係を示した散布図で、一点は一自治体を示す。黒枠は顕著な相関を示す。図の下半分の数字は相関係数を示す（\*\*\*,  $p < 0.001$ ; \*\*,  $p < 0.01$ ; \*,  $p < 0.05$ ; +,  $p < 0.1$ ）。相関係数がプラスの値のものは正の相関、マイナスのものは負の相関を示す。

表-2 生態系サービス間の相関分析結果から検出された主な傾向

生態系サービスの種類	シナジー（相乗効果：有意な正の相関）	トレードオフ（有意な負の相関）
同じ種類の生態系サービス間の関係	供給サービス ○ 木材（素材）生産量/海面漁獲量と山菜生産量	○ 木材生産量/海面漁獲量/山菜生産とコメ収穫量 ○ 木材生産量と野菜・果物収穫量
	調整サービス ○ 森林成長量と森林水源貯留量	○ 農地水源涵養量と森林水源貯留量
	文化的サービス ○ レクリエーション施設数と遊歩道数と祭り開催数と史跡・名勝数と文化財数の組み合わせほとんど全て	なし
異なる種類の生態系サービス間の関係	供給サービスと調整サービス ○ 木材生産量/海面漁獲量/山菜生産量と森林成長量 ○ コメ収穫量と農地水源涵養量	○ 木材生産量/海面漁獲量と農地水源涵養量 ○ 野菜・果物収穫量と森林成長量/森林水源貯留量
	調整サービスと文化的サービス ○ 農地水源涵養量とレクリエーション施設数/遊歩道数/史跡・名勝数/文化財数	○ 森林水源貯留量と遊歩道数/史跡・名勝数 ○ 森林成長量と遊歩道数
	供給サービスと文化的サービス ○ コメ収穫量とレクリエーション施設数/遊歩道数/史跡・名勝数/文化財数 ○ 野菜果物収穫量と遊歩道数 ○ 原木しいたけ・なめこ生産量と祭り開催数	○ 木材生産量と遊歩道数/史跡・名勝数

### 3. 結果

#### (1) 相関分析

主な生態系サービス14項目について、各組み合わせの相関係数と有意性を図-1に、相関分析結果の要約を表-2に示す。

まず、同じ種類の生態系サービス内の関係に着目すると、供給サービス内では、木材（素材）生産量および海面漁獲量と山菜生産量が正の相関を示し、一方でそれらはそれぞれコメ収穫量と負の相関を示した。また、素材生産量と野菜・果物収穫量間にも負の相関が示された。調整サービス内では、森林の水源貯留量は、森林の成長量と正に相関し、農地の水源涵養量とは負に相関していた。文化的サービス内では、森林スポーツ・レクリエーション施設数、遊歩道数、史跡・名勝数、文化財数は、これらの組み合わせ全てにおいて正の相関関係にあった。すなわち、海と山の産物の間、また森林の調整サービス間、複数の文化的サービスの間にシナジー関係が、一方で、海や山の産物とコメおよび野菜・果物生産の間と、森林と農地の調整サービスの間にトレードオフ関係が存在することが示された。

次に、供給サービスと調整サービス間の相関関係をみると、素材生産量、山菜生産量、海面漁獲量は森林の成長量と正の相関を示し、一方でそれらは農地の水源涵養量とは負の相関を示した。また、コメ収穫量と農地の水源涵養量の間に正の相関がある一方で、野菜・果物収穫量と森林の水源貯留量は負の相関関係にあった。

調整サービスと文化的サービス間では、農地水源涵養量は森林スポーツ・レクリエーション施設数、遊歩道数、史跡・名勝数、文化財数とそれぞれ正の相関にあり、一方で、森林水源貯留量は遊歩道数、史跡名勝数と負の相関にあり、また森林成長量と遊歩道数の間にも負の相関が示された。

供給サービスと文化的サービス間には、正の相関関係が、コメ収穫量と森林スポーツ・レクリエーション施設数、遊歩道数、史跡・名勝数、文化財数の間に、また野菜・果物収穫量と遊歩道数の間に、そして原木しいたけ・なめこ生産量と祭り開催数の間に示された。一方で、負の相関関係が素材生産量と遊歩道数、史跡・名勝数の間に示された。

以上から、総じて、農地に関わる供給サービスや調整サービス、そして文化的サービス間にはシナジー関係が、また、森林や海に関わる供給サービスや調整サービス間にもシナジーの関係があること、一方で、農地に関わるサービスと森林に関わるサービス間にはトレードオフの関係があることが示された。

#### (2) 主成分分析

このような複数の生態系サービス間の関係を総合的に理解し、基本属性と結びつけるために、主成分分析を行った。主成分分析では、データのばらつき（分散）に着目し、分散が最大になるような軸を第1主成分とし、第1主成分とは相関しない仮定のもとで、この軸に直交する軸を第2主成分とすることで、多変量データが統合され新たな総合指標が作り出される。まず、各市町の基本属性について主成分分析を行うと（表-3）、第1主成分によって全体のデータのばらつきの41%が説明され、第2主成分によって35.2%が説明され、さらに、第1主成分とも第2主成分とも直交する第3主成分まで合わせると合計で91%が説明された。各主成分係数から軸の表す意味を解釈すると、第1主成分は、係数の高い（±0.5以上）、人口、森林面積、耕地面積、在村者土地所有面積、Satoyama Index（SI）平均値から説明され、第1主成分の一端は、森林面積が大きく、在村者土地所有面積が大きく、SI平均値が高い（景観のモザイク性が高い）ことを表し、もう一端は、人口が多く耕地面積が広いことを表すことがわかった（表-3）。同様に、第2主成分の一端は、SIの高い面積が大きく、また

表-3 各自治体（17市町）の基本属性に関する主成分分析結果

基本属性に関する項目	第1主成分 (41.2%)	第2主成分 (35.2%)	第3主成分 (14.8%)
人口	-0.80	0.04	0.39
森林面積	0.97	0.20	-0.05
耕地面積	-0.72	0.13	-0.60
耕作放棄地面積	-0.48	-0.77	0.26
農業集落数	-0.37	-0.25	-0.83
在村者土地所有面積	0.93	-0.10	-0.23
Satoyama Index 平均値	0.71	-0.60	-0.07
Satoyama Index 面積	-0.10	-0.98	-0.01
Satoyama Index 0.2以上の面積	0.10	-0.99	0.02

各項目において高い主成分係数(±0.5以上)を太字で示す。

()内のパーセンテージは、それぞれの主成分の寄与率を示す。

表-4 各自治体(17市町)の生態系サービスに関する  
主成分分析結果

生態系サービス に関する項目	第1主成分 (44.6%)	第2主成分 (19.8%)	第3主成分 (11.1%)
木材(素材)生産量	0.65	0.36	-0.03
コメ収穫量	-0.86	0.13	-0.15
野菜・果物収穫量	-0.49	-0.75	0.24
海面漁獲量	0.43	0.39	0.66
森林成長量	0.49	0.53	0.50
農地水源涵養量	-0.88	0.08	-0.09
森林水源貯留量	0.59	0.34	-0.55
森林スポーツ・レク施設数	-0.64	0.57	0.04
遊歩道数	-0.82	-0.19	0.11
祭り開催数	-0.34	0.63	-0.41
史跡・名勝数	-0.87	0.29	0.23
文化財数	-0.66	0.56	0.17

各項目において高い主成分係数(±0.5以上)を太字で示す。

()内のパーセンテージは、それぞれの主成分の寄与率を示す。

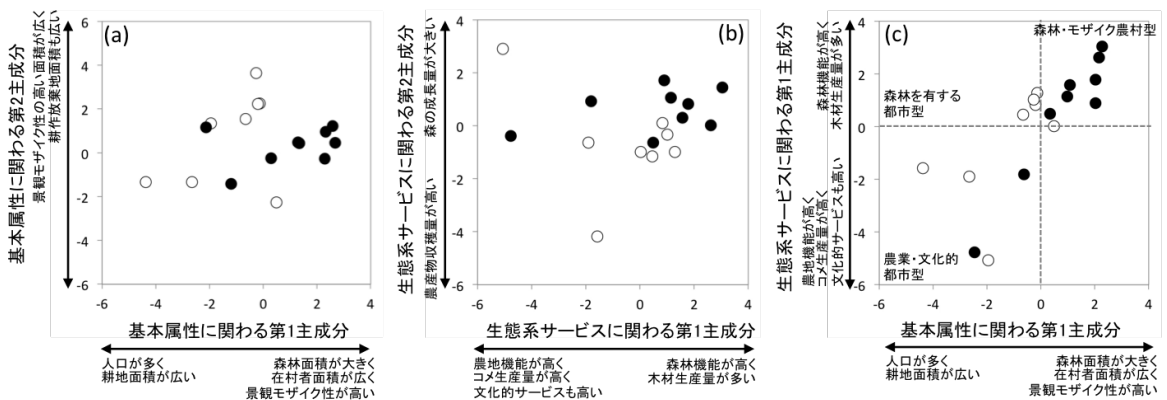


図-2 石川県の各自治体（17市町）におけるその基本属性と生態系サービスに関わる第1主成分と第2主成分の関係  
黒丸は能登地方に属する9市町を示し、白丸は加賀地方に属する8市町を示す。

耕作放棄地面積も大きいことを表し、もう一端は、それらがどちらも小さいことを表し、第3主成分には農業集落数が関連していた（表-3）。第1主成分と第2主成分の軸上に、17市町をプロットすると、図-2aのようになる。能登地方に属する9つの市町のうち7市町が人口や耕地面積が相対的に少ない一方で、森林面積や在村者土地所有面積が大きく、SI平均値も高く、すなわち景観モザイク性が高い傾向にあることが示された（図-2a）。一方で、第2主成分に着目すると、能登地方の5市町と、加賀地方に属する8市町のうち5市町は、里山的な景観モザイク性の高い面積が大きいと同時に、耕作放棄地面積も大きいということが示された（図-2a）。

生態系サービスに関する主成分分析からは、第1主成分によって全体のデータばらつきの45%が説明され、第3主成分まで合わせると合計76%が説明された（表-4）。第1主成分の一端は、素材生産量が多く、森林水源貯留量が高いことを表し、もう一端は、コメ収穫量が多く、農地水源涵養量が高く、遊歩道数、史跡・名勝数、文化財数が多いことを表していた（表-4、図-2b）。第2主成分の一端は森林成長量が多いこと、もう一端は野菜・果物収穫量が多いことを表し、第3主成分には海面漁獲量が関連していた（表-4、図-2b）。能登地方に属する9つの市町のうち7市町が、水田の調整サービスやコメ・農作物生産量や文化的サービスが相対的に低い一方で、森林の調整サービスが高く木材の生産量や森林の成長量が高いことが示された（図-2b）。

主成分分析から求められた、基本属性の第1軸と、生態系サービスの第1軸の間には顕著な正の相関（ $r=0.78$ ）があった（図-2c）。森林面積が大きく在村者土地所有面積が広く、景観のモザイク性が高いほど、森林の調整サービスが高く素材生産量が多く、能登地方の7市町がこのような森林とモザイクな農村景観に関連する森林の生態系

サービスを多く有していることがわかった（図-2c 右上）。また、人口が多く耕地面積が広いほど、農地の調整サービス、コメ収穫量や文化的サービスが高く、能登地方の2市町と加賀地方の3市町がこのような農地の調整サービスが高く人口も多い都市的な特徴とそれに関連した農業と文化的な生態系サービスを多く有していた（図-2c 左下）。また、金沢市や白山国立公園を有する白山市を含む加賀地方の4市町は、その中間的な性質を示し、適度に耕地面積と人口が多く都市的な要素を有しつつも、森林に関わる生態系サービスを多く有していることがわかった（図-2c 左上）。

#### 4. 考察

本研究から、石川県の基礎自治体（17市町）には様々な生態系サービス間のシナジーとトレードオフがあることが示され、さらに、それらと土地利用形態および人口や農業集落数という基本属性との関わりが明らかになった。特に、森林面積が大きく景観のモザイク性が高いか、耕地面積が大きく人口が多いかという市町の基本属性が、森林や農地、文化に関わる生態系サービスの多さに大きく関わっていることが示された。この結果は、石川県の19市町を対象に生態系サービスのインベントリを構築し、森林面積と耕地面積が森林および農地の調整サービスに顕著に関連していることを示したHashimoto et al. (2015)<sup>19)</sup>に一致する。

##### (1) 供給サービスと他の生態系サービスの関係性

供給サービスは他の生態系サービスと主にトレードオフの関係にあるとした仮説1は部分的には支持されたが、供給サービスと他の生態系サービスとの間には、シナジーとトレードオフの両方の関係が成立していた（図-1、

表-2) . 例えば、農作物に関わる供給サービスは、森林の調整サービスとの間にはトレードオフが示されたものの、農地の調整サービス及び文化的サービスとはシナジーの関係にあることが示された。これは、先行研究<sup>10)</sup>で一般的に示されている過剰な供給サービスの利用が他の調整サービスや文化的サービスの荒廃をもたらしている場合とは異なると言える。つまり、農作物に関わる供給サービスが高いところでも農地の調整サービスは劣化しておらず、森林の調整サービスとの間に生じたトレードオフは、土地面積に対して相対的に耕地面積が多く森林面積が少ないという地理的特性および土地利用形態が影響した結果であると考えられる。また、石川県に残る歴史的な伝統文化の多くは、農作物生産と密接に関わっていることが知られている。石川県では弥生時代中期前半頃に水田が開けて以降、自然や神仏との関わり、農耕儀礼や地域共同体の運営は、主に稲作の暦に合わせて行われており、米作りを中心とした固有の文化や生活様式が育まれてきたという<sup>15) 21)</sup>。これらのことは、本結果から示されたコメ収穫量などの供給サービスと文化的サービスとのシナジー効果を裏付けているといえる。ただし、文化的サービスの祭り開催数のみ、農作物の供給サービスとの関わりがなく、またその他のサービスともほとんど関連がなかった。この結果は、石川県観光情報ホームページに掲載されている「祭り」のデータベースが、解析前に商業的な意味合いが強くかつ地域の文化と関わりがない催し物は除外したにも関わらず、必ずしも地域の文化的特性を反映したものではなかった可能性を示唆している。

海産物の供給サービスは、主成分分析では第1主成分に現れなかったものの(表-4)、相関解析からは、林産物や森林に関わる調整サービスとシナジーの関係にあり、一方で、コメ収穫量や農地に関わる調整サービスとはトレードオフの関係にあることが示された(図-1, 表-2)。能登半島では、平地が少なく丘陵地が続く地形と大きな消費市場から物理的に離れているという地理的特性が、水資源や労働生産性の制約の中で、農作物生産を制限してきた歴史的背景がある<sup>19)</sup>。また、七尾市行政関係者との対話からは、七尾市東部では、かつては林業、農業、漁業がともに盛んであったが、現在は人口減少と少子高齢化の影響で、労働力が減少し、耕作放棄が顕著になりつつあるという報告もある。海域は、河川を通した様々な物質の循環によって陸域と密接に関わっている<sup>22) 23)</sup>。一方で、海域に多く接している自治体ほど農地に適した土地面積が少ないといった制約があるのかもしれない。本研究から検出された海と山に関わる生態系サービスのシナジーと、それらと農地に関わる生態系サービスとのトレードオフという統計的な関連性が、どのような社会生態学的または経済学的メカニズムによって生じているかを明らかにすることは、能登地方の豊富な陸と海の自然資源の保全と、

それら両方の持続的な資源利用を実現する地域社会の構築に向けて重要な課題である。

## (2) 調整サービスと文化的サービスの関係性

調整サービスと文化的サービス間には主にシナジー関係が成立しているとした仮説2は部分的に支持された。特に、文化的サービス内では、唯一トレードオフが生じず、森林スポーツ・レクリエーション施設数、遊歩道数、史跡・名勝数、文化財数のほとんど全ての組み合わせにシナジー効果が検出され(図-1, 表-2)、このような文化的サービスの特徴は先行研究に一致している<sup>10) 19)</sup>。農地の調整サービスはこれらの文化的サービスともシナジーの関係にあった。しかし、農地と森林の調整サービスはトレードオフの関係にあり、森林の調整サービスと文化的サービス間にもトレードオフが存在していた。農地と森林の調整サービス間のトレードオフは、供給サービスと他の生態系サービスに関わる仮説1と同様に、要因として、土地面積に対して相対的に森林と耕地のどちらが広いかという地理的特性および土地利用形態に寄るところが大きいと考えられる。

## (3) 能登地方と加賀地方の特性

能登地方に属する自治体は、その他の自治体に比べて景観のモザイク性が高いことが、高いSI平均値によって示され(表-3, 図-2a)、また、生態系サービス間の関わりもこの景観のモザイク性と関連しており(図-2c)、仮説3は支持された。主成分分析からはモザイク性の他にも、森林面積が大きく在村者の土地所有面積が大きいこと、一方で耕地面積が小さく人口が少ないことも能登地方の生態系サービスに関わる要因であることが示されている(表-3, 図-2a)。加賀地方に属する自治体はその反対の特徴を主に示す傾向があった。すなわち、図-2cに示されるように、能登地方に属する自治体は主に、森林が多くよく管理されたモザイクな人口の少ない農村景観を有し、森林に関わる生態系サービスを多く享受している「森林・モザイク農村型」に、加賀地方に属する自治体は主に、人口が多く広い耕地面積を有し、農地に関わる生態系サービスや文化的サービスを多く享受している「農業・文化的都市型」、あるいは、適度に森林を有しながら人口や耕地面積も広く、相対的には森林による供給サービスをより多く享受している「森林を有する都市型」に分類されると理解することができる。

また、主成分分析結果(表-4, 図-2)からは、耕作地が多く農作物生産が高い場所は人口も多く、多くの文化(ここでは祭り開催数以外の、森林スポーツ・レクリエーション施設数、遊歩道数、史跡・名勝数、文化財数がそれにあたる)が育まれてきたことが示唆されるが、ここで文化的サービスの解釈には注意が必要である。能登地

方には、古くから地域（集落）に根ざした「あえのこと」と呼ばれる神事やキリコ祭りがあり、代表的なものが無形民族文化財として登録されているものの、実際には、統計データには含まれない数多くの伝統文化に関わる行事が、集落単位で人々の生活と密接に関わりあっていることが知られる<sup>15)21)24)</sup>。今後は、これらの地域固有の伝統的な文化的サービスを生態系サービス間のシナジーとトレードオフの理解にどのように結びつけていくのかは大きな課題である。

景観のモザイク性は、一方で、耕作放棄地の面積とも関連していることも、本研究から明らかになった。図-2aの縦軸である基本属性に関する第2主成分に示されるように、景観のモザイク性が高い面積は、能登地方に限らず多くの加賀地方の自治体でも広く、同時にそれらで耕作放棄が進んでいることがわかった。耕作放棄に伴う耕地面積の減少は、本研究で示された農業による食料供給や、多面的機能としても知られる水源涵養機能や文化的サービスの減少を意味し、同時にモザイク性の消失は里山が提供してきた森林に関わる生態系サービスの低下も意味している。さらに、石川県各地では、負の生態系サービスのひとつに数えられる鳥獣被害も耕作放棄地が進むことで顕在化し始めている<sup>25)</sup>。人口減少および少子高齢化による第一次産業に関わる労働力の低下は、生物多様性国家戦略<sup>26)</sup>における、我が国の生物多様性・生態系サービスが直面している第2の危機「自然に対する働きかけの縮小による危機」として示されており、石川県のみならず日本全体の課題（危機）となっている。人口構造および産業構造と土地利用および生態系管理を結びつけ、将来の生態系サービスの持続的な利用のあり方を検討していくことが、喫緊の課題として求められているといえる。

## 5. おわりに

自然資源の保全と持続的利用を実現する地域社会の構築に向けては、生態系サービス間の因果関係と、それらの変化を駆動するメカニズムの理解が必要不可欠である。本研究は、石川県を対象として、統計データに基づく相関解析と主成分分析から、石川県の生態系サービス間の関わり及びそれらと基本属性の関わりを明らかにした。

一方で、このような網羅的かつ簡易な解析からはそれらのメカニズムを直接的に解釈することはできず、疑似的な相関も検出されている可能性があることに注意が必要である。自然資本であるストックと、その利用であるフローとのつながりを意識した、生態系サービス間および様々な社会的・自然的要因との因果関係の理解も必要であろう。また、生態系サービスに関わるシナジーとトレードオフは、生態系サービス間だけでなく、空間スケール間、時間スケール間にも存在することが知られている<sup>4)</sup>。

サービスの供給場所と受給場所が離れている場合には、ある場所の生態系サービスを高めることが、空間スケールをまたいで離れた別の場所の生態系サービスを劣化させていることがある。さらに、過去からの変化や将来への変化を含めて時間スケール間で生態系サービスを捉えることも重要なポイントになるだろう。

このように、本研究で行った解析は様々な制約を含むものの、統計データに基づく網羅的な解析は、自治体の特徴付ける潜在的な生態系サービス間の関係性を明示的、定量的に示すことで、当該地域で着目すべき重要な課題をスクリーニングないしスコopingするうえで有益な知見を提供するものである。

**謝辞：**統計データの収集およびインベントリデータの整備においては、石川県環境部里山創成室、農林水産部および京都大学の中村省吾博士、岸岡智也博士、金沢大学の中村浩二教授、富吉満之博士、内山愉太博士にご協力とご助言をいただいた。本研究は環境省環境研究総合推進費の採択課題I-1303「生態系サービスのシナジーとトレードオフ評価とローカルガバナンスの構築」およびS-15「社会・生態システムの統合化による自然資本・生態系サービスの予測評価」により実施されました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) MA (2005) Ecosystem and Human Well-being: synthesis. Island Press, Washington DC.
- 2) Larigauderie, A., Mooney, H. A. (2010) The intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services: moving a step closer to an IPCC-like mechanism for biodiversity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2, 1-6
- 3) Perrings, C., Duraipah, A., Larigauderie, A., Mooney, H. (2011) The biodiversity and ecosystem services science-policy interface. *Science*, 331, 1139-1140
- 4) Fisher, B., Turner, R. K., Morling, P. (2009) Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological economics*, 68, 643-653
- 5) 国連大学高等研究所日本の里山・里海評価委員会 編 (2012) 里山・里海-自然の恵みと人々の暮らし。朝倉書店
- 6) Tallis, H., Kareiva, P., Marvier, M., Chang, A. (2008) An ecosystem services framework to support both practical conservation and economic development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 9457-9464
- 7) TEEB (2010) The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB.
- 8) Bennett, E. M., Peterson, G. D., Gordon L. J. (2009) Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 12, 1394-1404
- 9) Seppelt, R., Dormann, C. F., Eppink, F. V., Lautenbach, S.,



- Schmidt, S. (2011) A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. *Journal of Applied Ecology*, 48, 630-636
- 10) Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D., Bennett, E. M., (2010) Ecosystem services bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 5242-5247
- 11) 齊藤修 (2010) 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エージについての基礎研究. 第 38 回環境システム研究論文発表会講演集, 365-372
- 12) Japan *Satoyama Satoumi* Assessment (2010) *Satoyama-Satoumi* Ecosystems and Human Well-being: Socio-ecological Production Landscapes of Japan – Summary for Decision Makers. United Nations University, Tokyo, Japan.
- 13) Takeuchi, K. (2010) Rebuilding the relationship between people and nature: the Satoyama Initiative. *Ecological Research*, 25, 891-897
- 14) 松村正治, 香坂玲 (2010) 生物多様性・里山の研究動向から考える人間-自然系の環境社会学. 環境社会学研究, 16, 179-196
- 15) United Nations University (2013) *Satoyama and Satoumi of Ishikawa*.
- 16) Kadoya, T., Washitani, I. (2011) The Satoyama Index: A biodiversity indicator for agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140, 20-26
- 17) 自然環境センター (2011) 平成 23 年度生物多様性評価の地図化に関する検討調査業務報告書
- 18) 日本政策投資銀行 (DBJ) 北陸支店 (2013) 北陸ハンドブック 平成 24 年度版 金沢 89pp.
- 19) Hashimoto, S., Nakamura, S., Saito, O., Kohsaka, R., Kamiyama, C., Tomiyoshi, M., Kishioka, T. (2015) Mapping and characterizing ecosystem services of social-ecological production landscapes: case study of Noto, Japan. *Sustainability Science*, 10, 257-273
- 20) 橋本禅, 高力千紘, 中村省吾, 星野敏, 清水夏樹 (2015) 能登半島の社会生態生産ランドスケープ・ホットスポット評価. ランドスケープ研究, 8, 31-36
- 21) 世界農業遺産活用実行委員会 (2013) 「能登の里山里海」世界農業遺産構成資産調査報告書.
- 22) Butler, J., Wong, G., Metcalfe, D., Honzak, M., Pert, P., Rao, N., van Grieken, M., Lawson, T., Bruce, C., Kroon, F., Brodie, J. (2013) An analysis of trade-off between multiple ecosystem services and stakeholders linked to land use and water quality management in the Great Barrier Reef, Australia. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 180: 176-191
- 23) 松永勝彦 (2010) 森が消えれば海も死ぬ—陸と海を結ぶ生態学. 講談社
- 24) 和嶋俊二 (1997) 奥能登の研究. 平凡社
- 25) 石川県 (2015) 第 1 期 石川県イノシシ管理計画 (平成 27 年 5 月)
- 26) 環境省 (2012) 生物多様性国家戦略 2012-2020→豊かな自然共生社会の実現に向けたロードマップへ. (平成 24 年 9 月)

(2016. 3. 22 受付)

## SYNERGIES AND TRADE-OFFS OF ECOSYSTEM SERVICES OF SOCIAL-ECOLOGICAL PRODUCTION LANDSCAPES AT MUNICIPAL LEVEL IN ISHIKAWA PREFECTURE, JAPAN

Chiho KAMIYAMA, Shizuka HASHIMOTO, Ryo KOHSAKA and Osamu SAITO

A key challenge for sustainable use of natural resources is determining how to manage multiple ecosystem services across landscapes. According to Millennium Ecosystem Assessment (MA), this challenge requires identifying trade-offs and synergies that exist among ecosystem services. We developed an inventory consisted of 35 ecosystem services and 20 socio-ecological attributes based on statistical data of 17 municipalities in Ishikawa Prefecture, which contains long-standing socio-ecological production landscapes and seascapes. We analyzed how ecosystem services are interlinked as synergy and trade-off and how such relationships are influenced by the socio-ecological attributes. We found that there was a synergy among forest related ecosystem services (e.g. forest water retention, timber production) and also among agriculture related ecosystem services (e.g. rice production, agricultural water retention) and there was trade-off between forest related ecosystem services and agriculture related ecosystem services. Municipality which has larger forest area and higher heterogeneity of landscapes tends to have higher values of forest related ecosystem services, while municipality which has larger cultivated area and higher population tends to have higher values of agriculture related ecosystem services and cultural services (e.g. number of forest recreation facilities, number of cultural properties). For managing multiple ecosystem services toward sustainable society in harmony with nature, our results suggest that decision-making needs to focus on interaction among ecosystem services and recognize that these synergies and trade-offs are strongly linked to socio-ecological attributes of the municipalities. Further research is required to understand the mechanism behind the synergetic or trade-off relationships across different ecosystem services identified by this study.