

## 石狩川流域市町村における生態系サービス間の関係

広島大学  
酪農学園大学  
北海道大学  
国立環境研究所  
しもかわ森林未来研究所  
北海道立総合研究機構林業試験場  
北海道大学

石原 正恵  
吉村 暢彦  
Min Fan・井上 貴央  
三島 啓雄  
北條 愛  
長坂 晶子・大野 泰之・津田 高明  
辻 宣行・柴田 英昭

## はじめに

陸域生態系は人間社会に対し様々なサービスを提供している。生態系サービスを持続的に利用していくためには、トレードオフや相乗効果といったサービス間の関係を理解し、その関係が生じるメカニズムを解明することが重要である。なぜなら、生態系の改変・管理などによって一つの生態系サービスを増やすことができたとしても、他のサービスが減少してしまうことがあるからである。

生態系サービス間の関係を明らかにしようとした従来の研究は、ある時間断面においてサービス間の空間的關係を解析したものが多く(7, 9)。空間解析から得られたサービス間の負の相関関係は、単に排他的な土地利用に因るものかもしれない。例えば、森林は木材生産や炭素蓄積といったサービスを提供するが、農地と異なり、大量の作物を生産することはできない。さらに、様々な自然環境的、社会的、経済的要因により、生態系サービス間の関係は時間的に変化する可能性がある。したがって、生態系サービス間の関係を理解する際に、空間的不均質性と同時に時間的な視点も重要と考えられる。

そこで筆者らは、既存のデータを用いて、石狩川流域の市町村の生態系サービスを1980年代から1990年代にかけて評価し、サービス間の関係について検討した。本稿では、その結果とともに、生態系サービスを評価する場合の参考となるよう、その方法を紹介する。

## 生態系サービスの評価方法

石狩川流域の45市町村ごとに5つの生態系サービス(供給サービスである作物生産、家畜生産、飼料作物生産、調整サービスである水質および炭素蓄積)を評価した。なお石狩市の大部分は石狩川流域に含まれないため解析から除外した。利用可能な既存データの制約から、1980年代、1990年代前半、1990年代後半の3時期に分けて評価した。

まず供給サービスは、いずれも農水省の市町村別長期累年データを用いた([http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sityo\\_tyouki/index](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sityo_tyouki/index))。作物生産サービスとしては、コメ

および小麦の面積あたり収穫量(ton/km<sup>2</sup>)を指標とした。飼料作物生産サービスとしては、マメ科牧草、イネ科牧草、まぜまき牧草、青刈りトウモロコシの面積あたり合計収穫量(ton/km<sup>2</sup>)を指標とした。家畜生産サービスは、乳牛、肉牛、豚、採卵用鶏の飼養頭数に各家畜の平均体重を乗じて求めた現存量(kg/市町村)を指標とした。

調整サービスのうち、炭素蓄積量はInVEST(Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs, <http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html>)を用いて推定した。InVESTの炭素蓄積量の評価には、まず土地利用・土地被覆図(以下、土地利用図と呼ぶ)が必要となる。国土地理院の土地利用図では二次林も成熟林も「森林」として区分されている。しかし、森林によって炭素蓄積量は大きく異なる。さらに北海道では炭素量に富む泥炭土が分布しているが、土地利用図は土壌の不均質性を反映していない。そこで本研究では、植生図(第2~3回調査、第4回調査、第5回調査)と土壌図から新たな土地利用図を作成した。次に必要なのは、土地利用カテゴリーごとの炭素蓄積量である。炭素は、土壌、堆積有機物・粗大木質有機物、および植物体に蓄積している。このうち、土壌、堆積有機物・粗大木質有機物、森林以外の植生の植物体の炭素量は既存研究の値を用いた(1, 2, 4~6, 8, 10, 11)。森林の樹木の炭素量は、森林資源モニタリング調査(林野庁)の北海道の毎木調査データおよび相対成長式(3)を用いて、森林タイプごとに求めた。これらの入力データをInVESTに与えて求めた炭素蓄積分布図を元に、各時期・各市町村の面積あたり炭素蓄積量(ton/ha)を求めた。

水質はBOD(生物化学的酸素要求量)およびSS(懸濁物質)を指標とした。各市町村の水質を代表するデータがなかったため、石狩川流域内の44調査地点の公共用水域水質データ(北海道の水環境[http://envgis.ies.hro.or.jp/mizu\\_index.html](http://envgis.ies.hro.or.jp/mizu_index.html))を用いて、集水域の属性から水質を説明する線形モデルを各時期について作った。説明変数として検討したのは集水域の標高、TWI(topographic wetness index)、集水域内の水田、畑地、市街地、もしくは湿原の割合である。最もAICの小さいモデルを選択し

Masae ISHIIHARA (Hiroshima Univ. Higashi-Hiroshima 739-8529), Nobuhiko YOSHIMURA (Rakuno Gakuen Univ. Ebetsu 069-8501), Min FAN, Takahiro INOUE (Hokkaido Univ. Sapporo 060-0809), Yoshio MISHIMA (National Institute for Environmental Studies Tsukuba 305-8506), Ai HOJO (SHIMOKAWA Research Institute for Forest and Future Society, Shimokawa 098-1206), Akiko NAGASAKA, Yasuyuki OHNO, Takaaki TUDA (Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Bibai 079-0198), Nobuyuki TSUJI, Hideaki SHIBATA (Hokkaido Univ. Sapporo 060-0809)  
Relationship between ecosystem services in Ishikari River watershed, northern Japan

た。次にこのモデルを用いて、各時期・各市町村の水質を推定した。

サービス間の比較を行うため、各サービスは全期間・全市町村の最大値を1とする相対値に変換した。そして80年代、90年代前半、90年代後半の各時期につき、2つのサービス間の空間的同所性の指標として相関係数を総当りで求めた(9)。

#### 全時期を通して見られたサービス間の関係

いずれの時期においても作物生産量と炭素蓄積量の負の相関が見られた( $P < 0.001$ )。この関係は森林と農地の排他的な利用から生じるものであった。森林は多くの炭素が蓄積している。そのため、森林率の高い市町村ほど面積あたり炭素蓄積量が多かった( $P < 0.001$ )。一方、こうした市町村は、平地が少ないため水田率や畑地率が低く( $P < 0.001$ )、面積あたり作物生産量が低かった。このような作物生産と炭素蓄積の負の関係は他地域でも報告されており(例9)、かなり普遍的な関係と考えられる。ただし、アグロフォレストリーや炭素蓄積を高める作物栽培・収穫方法の確立などによって、作物生産と炭素蓄積の関係を変えられる可能性はあるだろう。

また、いずれの時期においても、乳牛頭数の多い市町村は、飼料作物の生産量も多いという正の相関が見られた( $P < 0.001$ )。乳牛の飼料として同一市町村の牧草地で生産した飼料を部分的にでも用いていることを伺わせる。一方、肉牛生産は外国産飼料への依存度が高いため、80年代から肉牛頭数と飼料作物量との関係が弱く、90年代後半には関係が見られなくなった。家畜生産と飼料作物生産の関係は、自然環境および社会経済的要因によって変化すると考えられる。

#### 時間的に変化するサービス間の関係

水質と炭素蓄積や作物生産との関係は、時期によって異なった。80年代には、森林率が高く炭素蓄積量が多く作物生産量の小さい市町村では、河川水のSS濃度が小さかった( $P < 0.001$ )。一見すると、この結果は、森林率が高ければ、炭素蓄積サービスのみならず、水質調整サービスも高いということの意味しているように見える。しかし、90年代前半になると、森林率は大きく変化していないにもかかわらず、SS濃度は80年代に比べ低くなった( $P < 0.02$ )。さらに90年代後半になると、SS濃度と炭素蓄積量、作物生産量、森林率との関係は見られなくなった( $P > 0.60$ )。したがって、森林面積以外にも水質を左右する要因があると考えられる。要因の特定はまだできていないが、森林や農地の管理方法が変化して森林や農地の質が変化したこと、水質規制や下水処理方法の変化、ダム建設などが要因として考えられる。本結果から言えることは、ある時間断面における空間解析のみではサービス間の関係を誤って解釈してしまう可能性があるということである。

#### おわりに

既存データを用いることで、複数の生態系サービスを空間的・時間的に評価できることを示した。しかし、実

務者が評価するにはまだ難しい面がある。その理由の一つはデータが分散していることである。例えば、市町村ごとの木材生産量を評価しようとする、国有林、道有林、民有林ごとにデータの所有者が異なり、データ収集が難しい。また時間的な解析を行う場合は、一時期のデータしかデータベースで公開されていない事が多く、手作業で印刷物から入力する必要がある。データ公開が進むことが望まれる。

またより本質的な問題は、生態系サービスのモデルのパラメータに、適切な値を与えるのが難しいという点である。InVESTの炭素モデルであっても、土地利用区分ごと、炭素プールごとに適切な炭素量を与えなければならない。現在蓄積されつつある生態系サービスの地図化事例を比較し、まとめ、実務家が使いやすい形で情報提供を行うことも必要であろう。例えば、InVESTのホームページではSediment Nutrient retentionモデルのパラメータ値をデータベースとして公開している(<http://www.naturalcapitalproject.org/database.html>)。本研究が今後の生態系サービス評価の参考となれば幸いである。

#### 引用文献

- (1) Aoyama K. et al. (2010) Changes in carbon stock following soil scarification of non-wooded stands in Hokkaido, northern Japan. *J. For. Res.* **16**:35–45.
- (2) IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4. Eggleston HS et al. (eds). IGES, Hayama.
- (3) Ishihara M. et al. (under review) Efficacy of generic allometric equations for estimating biomass: a test in Japanese natural forests.
- (4) 岩城英夫(1973) 陸上植物群落の物質生産II. 共立出版, 東京, 104pp.
- (5) Matsuura S. et al. (2012) Organic carbon stocks in grassland soils and their spatial distribution in Japan. *Grassl. Sci.* **58**:79–93.
- (6) Morisada K. et al. (2004) Organic carbon stock in forest soils in Japan. *Geoderma* **119**:21–32.
- (7) Mouchet MA. et al. (2014) An interdisciplinary methodological guide for quantifying associations between ecosystem services. *Glob. Environ. Chang.* **28**:298–308.
- (8) 大久保忠旦(1990) 草地における植物生産と家畜生産の相互作用. 大久保忠旦ほか編「草地学」, pp. 106-141. 文栄堂, 東京.
- (9) Raudsepp-Hearne C. et al. (2010) Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **107**: 5242–5247.
- (10) Takahashi M. et al. (2010) Carbon stock in litter, deadwood and soil in Japan's forest sector and its comparison with carbon stock in agricultural soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* **56**:19–30.
- (11) 田中市郎(1972) 耕地におけるエネルギーの流れと物質の循環. 小田桂三郎ほか編「耕地の生態学」, pp.14-39. 築地書館, 東京.