

令和2年度 修士論文

東海三県における生態系サービスバンドルの特定

三重大学大学院 生物資源学研究科 共生環境学専攻
地球環境学講座 環境解析学研究室

518M203 今枝優介

指導教員：大野研 教授

目次

第 1 章	序論	4
1.1	はじめに	4
1.2	過去の研究	5
1.3	研究目的	6
第 2 章	手法	7
2.1	対象地	7
2.2	使用データ	7
2.3	解析手法	9
2.3.1	生態系サービスの分類	9
2.3.2	各生態系サービス指標の算出	11
2.3.3	生態系サービス間の関係性の分析	19
2.3.4	生態系サービスバンドルの特定	19
第 3 章	結果	21
3.1	各生態系サービス指標の算出・地図化	21
3.2	生態系サービス間の関係	37
3.3	生態系サービスバンドル	42
第 4 章	考察	49

謝辞	52
参考・引用文献	53

第1章 序論

1.1 はじめに

生態系サービス (ES) とは人間が生態系から受け取る便益のことで、国連の主導で、生態系サービスの世界規模での評価を行い、2005年に公表されたミレニアム生態系評価 (Millennium Ecosystem Assessment, MA) においては、生態系による食料や木材の生産などの供給サービス (PS)、調整機能による洪水制御や土壌浸食の抑制などの調整サービス (RS)、自然のレクリエーションへの利用や教育的価値などの文化的サービス (CS)、そして土壌の形成などの他の生態系サービスを支える基盤サービスの4つに分類される。加えて、同評価において、これらのサービスが、快適な生活のための基本的資源、健康、良好な社会関係、安全、選択と行動の自由といった人間の福利の構成要素に寄与していることが示された (Fig.1)。

MA以降、国内においては、2010年に公表された日本の里山・里海評価 (Japan Satoyama-Satoumi Assessment, JSSA) において里山・里海を中心とした生態系サービスの評価が行われた。また同年には、環境省から生物多様性総合評価報告書 (Japan Biodiversity Outlook, JBO) が公表された。JBOでは生態系サービスの評価が行われず、それが今後の課題の一つとして挙げられていたが、様々な研究が実施されたことや JSSA の公表などを踏まえて、2016年に公表された生物多様性及び生態系サービスの総合評価 (Japan Biodiversity Outlook2, JBO2) において国家レベルで生態系サービスの評価が行われた。JBO2では、18の生態系サービスの評価項目に対して61の指標で評価が行われ、国内の生態系サービスの多くは過去と比較して減少または横ばいで推移していることが示された。その中でも、オーバーユースに加え、アンダーユースが供給サービスの減少要因として挙げられ、計画的かつバランスのとれた国内資源の利用の推進が課題であるとされた。

生態系サービス間にはシナジーやトレードオフといった相互作用が存在することが知られている。2つの生態系サービス間において、片方の生態系サービスが向上 (もしくは劣化) した場合、それに伴ってもう片方のサービスが向上 (もしくは劣化) する関係をシナジー、逆に片方のサービスの向上が、もう片方のサービスの劣化を引き起こすような関係をトレードオフ呼ぶ。また、そうした相互作用を包括的に扱う概念として生態系サービスバンドルが存在する。バンドルとは、空間または時間にわたり、繰り返し同時に現れる生態系サービスの集まりとされ (Raudsepp-Hearne et al., 2010)、バンドルとその空間分布を特定することは、生態系サービス間の相互作用やその位置を発見、理解するのに役立つ。こうした生態系サービス間の関係性を明らかにすることは、サービスを最大化させる景観管理を可能にし、バランスの取れた資源の利用へ貢献する。

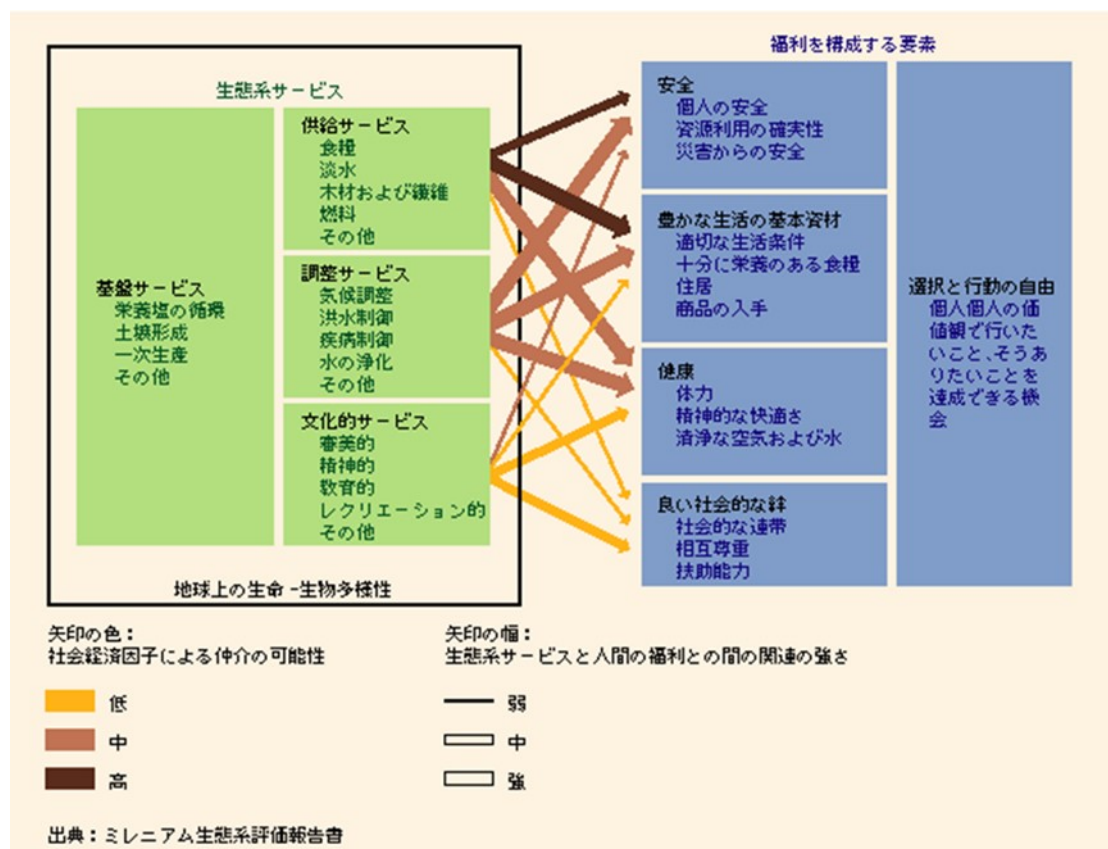


Fig.1 ミレニアム生態系評価における生態系サービスと人間の福利の関係
「図で見る環境 循環型社会白書 平成 19 年度版」(環境省)より

1.2 過去の研究

生態系サービスバンドルを取り扱った研究としては、カナダ、ケベック州の 137 の自治体において生態系サービス間の相互作用を調べた Raudsepp-Hearne et al. (2010) がある。ここでは、景観スケールで供給サービスとほとんどすべての調整、文化的サービスとトレードオフの関係が示された。

アジアにおいては中国、内モンゴル自治区の乾燥、半乾燥帯において、生態系サービスの分布と関係を包括的に調査した Huashun et al.(2020)がある。この論文では、水の制限による生態系サービス間の複雑な空間的相互作用が明らかになった。

行政区域レベルにおいてこうした生態系サービス間の相互作用を明らかにすることは、生態系サービスへの支払い (Payment for Ecosystem Services, PES) やその類似制度を実施するにあたり重要である。

しかし、国内において生態系サービス間の相互作用を取り扱った事例は少ない。その少ない事例の一つとして神山ら(2016)がある。この研究では、石川県の 19 市町を対象に生態系サービス間のシナジー・トレードオフ解析を行っている。しかし、シナジー・トレードオフについては相関分析により評価され、複数生態系サービス間の関連性についてあまり考慮

されていない。主成分分析を用いた解析も行われているが、生態系サービス間の関係について、全体の傾向を把握する目的にとどまっている。また、シナジーやトレードオフが発生している位置が、空間明示的に示されていない。

1.3 研究目的

本研究では東海三県を対象に、生態系サービスバンドルを調査し、その空間的分布やバンドル内の関係性を明らかにすることで、国内における生態系サービス間の関係性の理解を深め、バランスの取れた景観管理を行うための基盤を提供することを目的とした。

第2章 手法

2.1 対象地

対象地域は、愛知県、岐阜県、三重県の三県である。空間解像度は市町村単位（愛知県 54 市町村、岐阜県 42 市町村、三重県 29 市町、合計 125 市町村）で、対象地域の面積は、21568.17 Km²（愛知県 5172.48 Km²、岐阜県 10621.29 Km²、三重県 5774.4 Km²）となっている。

2.2 使用データ

対象地域における生態系サービスを表す指標、もしくはその算出のため下記のデータを使用した。

- ・農林水産省

- 2015 年農林業センサス報告書 第 1 巻 都道府県別統計書
(<https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2015/dai1kan.html>)
- 作物統計調査（平成 27 年度，平成 28 年度）
(<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/index.html>)
- 海面漁業生産統計調査（平成 27 年度）
(http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html)
- 市町村別農業産出額（推計）（平成 27 年度）
(http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sityoson_sansyutu/index.html)
- 園芸用施設の設置等の状況（平成 28 年）
(https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/sisetsu/haipura/setti_30.html)

- ・三重県

- 平成 27 年度版 森林・林業統計書
(<https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000716786.pdf>)

- ・岐阜県

- 平成 27 年度 岐阜県森林・林業統計書
(<https://www.pref.gifu.lg.jp/uploaded/attachment/4934.pdf>)

- ・愛知県

- 平成 27 年度 愛知県林業統計書
(<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/rinmu/27ringyoutoukeisho.html>)

- ・国土交通省「国土数値情報ダウンロード」
 - － 土地利用細分メッシュデータ（平成 28 年度）
(<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>)
 - － 流域メッシュデータ（平成 21 年度）
(<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-W07.html>)
 - － 標高・傾斜度 3 次メッシュデータ（平成 23 年度）
(<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G04-a.html>)
 - － 地域資源データ（平成 24 年度）
(<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P19.html>)
 - － 行政区域データ（平成 30 年度）
(https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v2_4.html#prefecture24)

- ・国土交通省「国土調査（土地分類調査・水調査）」
 - － 50 万分の 1 土地分類基本調査
(https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/l_national_map_501.html)

- ・土木研究所
 - － アメダス降雨確率解析プログラム
(<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/offer/amedas/top.htm>)

- ・気象庁
 - － 降水量の月合計（2015 年度）
(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)
 - － 日最深積雪（2015 年度）
(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)

- ・環境省自然環境局「生物多様性センター」
 - － 植生調査 第 5 回, 第 6 回・第 7 回
(<http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html>)

- ・国立環境研究所「環境数値データベース」
 - － 大気環境月間値・年間値データ 二酸化窒素 (NO₂) (2015 年度)
(<https://www.nies.go.jp/igreen/>)

・ NASA “MODIS”

ー 一次総生産量

(<https://modis.gsfc.nasa.gov/>)

2.3 解析手法

2.3.1 生態系サービスの分類

本研究では、欧州環境庁（European Environment Agency, EEA）から公表されている生態系サービスの世界共通分類(Common International Classification of Ecosystem Services, CICES)V5. 1 を生態系サービスの分類として用いた。レベルは Group を選択した(供給サービス 9 項目, 調整サービス 8 項目, 文化的サービス 4 項目の合計 21 項目)。

このうち、対象地域におけるデータの利用可能性を考慮し、12 項目（供給サービス 5 項目, 調整サービス 4 項目, 文化的サービス 3 項目）の生態系サービスについて評価を行った。Table.1 に、評価を行った生態系サービスとその評価に使用した指標を示す。「栄養, 材料, エネルギーのための栽培された陸上植物」の項目に関しては米生産量と素材生産量の 2 つの指標を用いた。この 2 つは地域および国内の供給サービスの中でも重要な役割を持つものであり統合もしくはどちらかへ代表させるのは不適切と判断したためである。

Table.1 評価を行った生態系サービスとその指標

ES(CICESにおける名称)	指標	
供給 サービス	栄養,材料,エネルギーのための 栽培された陸上植物	米生産量 素材生産量
	栄養,材料,エネルギーのための 栽培された水生植物	養殖藻類収穫量
	栄養,材料,エネルギーのために 飼育された動物	畜産産出額
	栄養,材料,エネルギーのために 飼育された水生動物	養殖水生動物 収穫量
	栄養,材料,エネルギーのための 野生植物(陸生および水生)	特用林産物収穫量
	調整 サービス	ベースラインフローと 極端なイベントの調整
ライフサイクル管理,生息地, 遺伝子プールの保護		送粉昆虫貢献量
大気組成と状態		NO ₂ 吸収量
文化的 サービス	土壌品質の調整	土壌侵食防止量
	自然環境との物理的および 経験的な相互作用	グリーン・ツーリ ズムの取組数
	自然環境との知的および 代表的な相互作用	地域資源数
	自然環境との精神的,象徴的, その他の相互作用	伝統的な祭り・文 化・芸能の保存数

2.3.2 各生態系サービス指標の算出

各指標を算出し、地図化を行った。土地面積の影響を取り除くためすべての指標について、各市町村面積で算出された値を割っている。地図化には ArcGIS を用いた。

供給サービス

供給サービスカテゴリにおける生態系サービスの各指標は以下のように算出した。

- ・米生産量

「作物統計調査（平成 27 年度）」に記載されている値を用いた。

- ・素材生産量

「2015 年農林業センサス報告書 第 1 巻 都道府県別統計書」中の「素材生産を行った経営体数と素材生産量」に記載されている値を用いた。一部の市町村でデータが非公開となっていたため、森林率より値を推定した。各県において県全体の値から、公開されている市町村の値を引き、それを「2015 年農林業センサス報告書 第 1 巻 都道府県別統計書」中の「総土地面積及び林野面積」に記載されている林野面積に比例するよう、非公開となっている市町村へ振り分け、それをその市町村の素材生産量とした。

- ・養殖藻類収穫量

「海面漁業生産統計調査（平成 27 年度）」における「海藻類収穫量」項目の合計値を用いた。情報が秘匿されている場合はそれを除いた値を用いた。

- ・畜産産出額

「市町村別農業産出額（推計）（平成 27 年度）」における「畜産」項目の合計値を用いた。

- ・養殖水生動物収穫量

「海面漁業生産統計調査（平成 27 年度）」における「海藻類収穫量」項目を除いたものの合計値を用いた。

- ・特用林産物収穫量

各県の林業統計書内の特用林産物の収穫量において、共通して記載されている、木炭、生しいたけ、乾しいたけ、なめこ、ひらたけ、たけのこの 6 種類の林産物の合計値を用いた。愛知、岐阜県では、県内の地域ごとに値が公表されている。そのため、この 2 件については地域ごとに、素材生産量同様、各市町村の林野面積に基づいて値を割り振り、それを特用林産物収穫量とした。

調整サービス

調整サービスカテゴリにおける生態系サービスの各指標は以下のように算出した。

・ピーク流量緩和量

JBO2 を参考に、合理式を用いてピーク流量，対象地がすべて裸地であった場合のピーク流量を算出し，その差をピーク流量緩和量とした。以下に使用した式を示す。

$$Q = \frac{1}{3.6} f_p r A$$

ここで， Q はピーク流量 (m^3/s)， f_p はピーク流出係数， r は洪水到達時間内の平均降雨強度 (mm/h)， A は流域面積 (Km^2) を示す。

f_p は角屋(1998)で示されている最大値と最小値の平均値を，土地利用細分メッシュ内の土地利用へと割り当てた。Table.2 へ使用した値を示す。水域は降雨がすべて流出すると考え，値を 1 とした。また，裸地は記載されている項目の中で最も裸地に近い運動場の値を使用することとした。その後，流域ごとに面積で加重平均を行った。

r は JBO2 同様，アメダス降雨確率解析プログラムを用いて，30 年確率 60 分間降雨強度の場合の値を算出し，それをクリギング法により内挿を行った。この実行には ArcGIS を用いた。その後，流域ごとの平均を算出した。

A は，流域メッシュデータにより示されている値を用いた。

流域ごとに Q を算出した後，市町村ごとに面積で加重平均を行った。

Table.2 土地利用とピーク流出係数の関係

土地利用細分メッシュ における土地利用種別	角屋(1998) における地表条件	ピーク流出係数	裸地の場合の ピーク流出係数
田	放牧地	0.5	0.85
その他の農用地	放牧地	0.5	0.85
森林	山林	0.4	0.85
荒地	運動場	0.85	0.85
建物用地	市街地	0.9	0.85
道路	市街地	0.9	0.85
鉄道	市街地	0.9	0.85
その他の用地	市街地	0.9	0.85
河川地及び湖沼	-	1	1
海浜	-	-	0.85
海水域	-	-	0.85
ゴルフ場	ゴルフ場	0.525	0.85

・送粉昆虫貢献量

全国で送粉昆虫による送粉サービスの価値評価を行った小沼・大久保(2015)を参考に、送粉昆虫による貢献を受けた農作物収穫量を推算し、それを指標とした。小沼・大久保(2015)では、施設栽培における送粉サービスも評価しているが、施設へ導入された送粉昆虫による貢献は、周辺生態系との関わり合いが薄く、それをその土地の生態系サービスとするのは不適切であると判断したため、今回は可能な限り露地栽培におけるサービスを評価した。対象の作物は、「作物統計調査（平成 28 年度）」に項目のある作目の内、葉茎菜および根菜類を除く本来虫媒である 32 作目とした。

「園芸用施設の設置等の状況」に記載されている園芸用施設における収穫量を「作物統計調査（平成 28 年度）」における都道府県別の収穫量から引き、各県における露地栽培収穫量とした。統計に園芸用施設における収穫量が記載されていない作目が存在し、その作目では栽培方法の区別を行っていない。算出された収穫量へ送粉昆虫貢献度を掛け合わせ送粉昆虫の貢献を受けた農作物収穫量とした。送粉昆虫貢献度は、送粉昆虫が存在しない場合にその作物が受ける影響度合を 5 段階に分けて評価し、各段階に値を割り振ったもので、日本養蜂協会(2014)における値を使用した。Table.2 にそれを示す。その後、「作物統計調査（平成 28 年度）」で示されている畑耕地面積により、市町村ごとに按分した。

Table.3 送粉昆虫貢献度(日本養蜂協会(2014)より抜粋・一部改変)

種別	作物	Pollinator impact	昆虫貢献度	
果菜類	きゅうり	great	0.05	
	かぼちゃ	essential	0.95	
	なす	modest	0.05	
	トマト	little	0.25	
	ピーマン	no increase	0	
	さやいんげん	little	0.25	
	さやえんどう	no increase	0	
	えだまめ	modest	0.05	
	そらまめ	modest	0.05	
	果実的野菜類	いちご	modest	0.05
メロン		essential	0.95	
すいか		essential	0.95	
果樹類	みかん	little	0.25	
	りんご	great	0.65	
	日本なし	great	0.65	
	西洋なし	great	0.65	
	かき	little	0.25	
	びわ	great	0.65	
	もも	great	0.65	
	すもも	great	0.65	
	おうとう	great	0.65	
	うめ	great	0.65	
	ぶどう	no increase	0	
	くり	great	0.65	
	キウイフルーツ	essential	0.95	
	パインアップル	no increase	0	
	豆類	大豆	modest	0.05
		小豆	little	0.25
いんげん		little	0.25	
らっかせい		little	0.25	
そば	そば	great	0.65	
工芸農作物	なたね	modest	0.05	

・ NO₂ 吸収量

JBO2 を参考に、環境再生保全機構（2014、58 頁）に示された推定式を用いて、NO₂ 吸収量を評価した。以下に使用した式を示す。

$$U_{NO_2} = 13.9C_{NO_2}P_g$$

U_{NO_2} は NO₂ 吸収量 (t/年)、 C_{NO_2} は NO₂ 濃度 ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)、 P_g は一次総生産量 (t-C/ha/年) を示す。

C_{NO_2} は、「環境数値データベース」より取得した、観測地点ごとの年間平均値 NO₂ 濃度をクリギング法により内挿することで算出した。この実行には ArcGIS を用いた。

P_g は、“MODIS”における値を使用した。

U_{NO_2} を計算した後、市町村ごとの平均値を算出した。

・ 土壌侵食防止量

JBO2 を参考に、一般土壌損失方程式(Universal Soil Loss Equation, USLE)を用いて土壌侵食量、対象地がすべて裸地であった場合の土壌侵食量を算出し、その差を土壌侵食防止量とした。以下に使用した式を示す。

$$E = RKLSCP$$

E は年間土壌流出量 (t/ha)、 R は降雨係数 ($\text{tf} \cdot \text{m}^2/\text{ha} \cdot \text{h}$)、 K は土壌係数 (h/m^2)、 L は斜面長係数、 S は傾斜係数、 C は作物管理係数、 P は保全係数を示す。

R はアメダスごとの年間降水量を、今井・石渡(2006)で示されている、年間降水量と降雨係数の関係を示す経験式へ代入し算出した。この際、神山ら(2012)では、積雪深の値が 5cm 以上の場合を根雪月として、その月の降水量へ 0.06 を掛け合わせて補正を行っている。本研究でも根雪月の場合の補正を行うため、アメダスの日最深積雪の月間平均値が 5cm 以上となる月を根雪月として、月間合計降水量へ 0.06 を掛けた値を使用した。その後、クリギング法により内挿を行った。この実行には ArcGIS を用いた。

K は今井・石渡(2006)で示された土壌統群ごとの値を土壌群ごとに平均し、その値を使用した。「50 万分の 1 土地分類基本調査」における土壌図の土壌大区分へその平均値を割り当てた。大区分にない項目については、下位区分である土壌区分を利用、もしくは評価から除外するため 0 を割り当てた。Table.4 に使用した値を示す。その後、3 次メッシュ単位で、土壌ごとの面積を用いて加重平均を算出した。

L と S を合成した傾斜長係数 (LS) は「標高・傾斜度 3 次メッシュデータ」における傾斜度を、神山ら(2012)で示されている 1Km メッシュの傾斜度と地形係数の関係を表す経験式

へ代入することで算出した。

C, P は JBO2 で示された値を使用した。生物多様性センターのホームページ内に記載されている植生区分の説明から判断し、第 6-7 回植生図の大区分もしくは統一凡例へ値を割り当てた。植生図に一部欠損がある地域については、第 5 回のものを利用している。Table.5 に使用した値を示す。その後、3 次メッシュ単位で、植生ごとの面積を用いて加重平均を算出した。

その後 E を求め、市町村ごとの平均を算出した。

Table.4 土壤区分ごとの土壤係数

土壤大区分	土壤区分	土壤係数
岩屑土	高山性岩屑土	0
	岩屑土	0
未熟土	残積性未熟土	0.0190
	残積性未熟土(赤黄色土混在型)	0.0190
	火山放出物未熟土	0.0190
	火山放出物未熟土(泥灰層含む)	0.0190
	砂丘未熟土	0.0190
ポドゾル	乾性ポドゾル	0
	湿性ポドゾル	0
褐色森林土	乾性褐色森林土(I)	0.0283
	乾性褐色森林土(II)	0.0283
	褐色森林土	0.0283
	湿性褐色森林土	0.0283
赤黄色土	赤色土	0.0390
	黄色土	0.0365
	暗赤色土	0.0260
黒ボク土	粗粒黒ボク土	0.0116
	粗粒黒ボク土(コラ・マサ)	0.0116
	黒ボク土	0.0116
	淡色黒ボク土	0.0116
	多湿黒ボク土	0.0116
褐色低地土	褐色低地土	0.0513
灰色低地土	粗粒灰色低地土	0.0472
	灰色低地土	0.0472
	重粘土	0.0472
グライ土	粗粒グライ土	0.0425
	グライ土	0.0425
泥炭土	泥炭土	0.0190
未定義	未定義	0
埋立地	埋立地	0
水面	水面	0

Table.5 植生ごとの作物管理係数・保全係数

大区分番号	大区分・統一凡例名	統一凡例番号	作物管理係数	保全係数	大区分番号	大区分・統一凡例名	統一凡例番号	作物管理係数	保全係数
01	高山低木群落	-	0.005	0.1	43	タケ・ササ群落	-	0.05	0.3
02	高山ハイプ及び風衝草原	-	0.05	0.3	44	低木群落	-	0.05	0.3
03	雪田草原	-	0.05	0.3	45	二次草原	-	0.05	0.3
04	亜高山帯針葉樹林(北海道)	-	0.005	0.1	46	伏採草地群落	-	0.05	0.3
05	亜高山帯針葉樹林	-	0.005	0.1	47	温床・河川・池沼植生	-	0.05	0.3
06	亜高山帯広葉樹林	-	0.005	0.1	48	礫地植生	-	0.05	0.3
07	高山草原及び風衝草原	-	0.05	0.3	49	砂丘植生	-	0.05	0.3
08	亜高山帯二次林	-	0.005	0.1	50	海岸断崖地植生	-	0.05	0.3
09	二次草原	-	0.05	0.3	51	岩内地・石灰岩地・蛇紋岩地植生	-	0.05	0.3
10	伏採草地群落	-	0.05	0.3	52	火山灰原植生・礫質孔原植生	-	0.05	0.3
11	落葉広葉樹林(日本海型)	-	0.005	0.1	53	隆起珊瑚礁植生	-	0.05	0.3
12	下部針広混交林	-	0.005	0.1	54	雑林地	540100	0.1	0.1
13	落葉広葉樹林(太平洋型)	-	0.005	0.1			540101	0.1	0.1
14	冷温帯針葉樹林	-	0.005	0.1			540200	0.1	0.1
15	岩内帯針葉樹林	-	0.005	0.1			540300	0.1	0.1
16	湖畔林	-	0.005	0.1			540700	0.1	0.1
17	沼沢林	-	0.005	0.1			540900	0.005	0.1
18	河辺林	-	0.005	0.1			540902	0.005	0.1
19	岩内地・風衝地低木群落	-	0.005	0.1			541000	0.005	0.1
20	なだれ地自然低木群落	-	0.005	0.1			541100	0.1	0.1
21	自然草原	-	0.05	0.3			541300	0.005	0.1
22	落葉広葉樹二次林	-	0.005	0.1			541301	0.005	0.1
23	常緑針葉樹二次林	-	0.005	0.1	55	竹林	-	0.005	0.1
24	落葉広葉樹低木群落	-	0.005	0.1	56	牧草地・ゴルフ場・芝地	560100	0.02	0.3
25	二次草原	-	0.05	0.3			560200	0.05	0.3
26	伏採草地群落	-	0.05	0.3	57	耕作地	570100	0.05	0.3
27	常緑広葉樹林	-	0.005	0.1			570101	0.05	0.3
28	暖温帯針葉樹林	-	0.005	0.1			570200	0.4	0.3
29	岩内地・海岸断崖地針葉樹林	-	0.005	0.1			570201	0.3	0.3
30	落葉広葉樹林	-	0.005	0.1			570202	0.4	0.3
31	沼沢林	-	0.005	0.1			570300	0.05	0.3
32	河辺林	-	0.005	0.1			570400	0.01	0.1
33	自然低木群落	-	0.005	0.1			570500	0.05	0.3
34	海岸風衝低木群落	-	0.005	0.1	58	市街地等	580100	0.01	0.1
35	亜熱帯常緑広葉樹林	-	0.005	0.1			580101	0.01	0.1
36	亜熱帯常緑広葉樹林(隆起石灰岩上)	-	0.005	0.1			580200	0.02	0.1
37	亜熱帯混生林(マングローブ林)	-	0.005	0.1			580300	0.01	0.1
38	亜熱帯常緑針葉樹林	-	0.005	0.1			580400	1	1
39	亜熱帯低木群落	-	0.005	0.1			580500	1	1
40	常緑広葉樹二次林	-	0.005	0.1			580600	0	0
41	落葉広葉樹二次林	-	0.005	0.1			580700	1	1
42	常緑針葉樹二次林	-	0.005	0.1			580800	0.005	0.1

文化的サービス

文化的サービスカテゴリにおける生態系サービスの各指標は以下のように算出した。

・グリーン・ツーリズムの取組

「2015年農林業センサス報告書 第1巻 都道府県別統計書」中の「グリーン・ツーリズムの取組」に記載されている値を用いた。

・地域資源数

「地域資源データ」における地域資源のポイントデータを市町村ごとに集計したものを使用した。なお、ここで対象とされる地域資源とは、自然景観の基盤（骨格）を成す地形、地質及び自然景観として認識される自然現象のことである。

・伝統的な祭り・文化・芸能の保存数

「2015年農林業センサス報告書 第1巻 都道府県別統計書」中の「伝統的な祭り・文化・芸能の保存」に記載されている値を用いた。以下では、伝統保存数と記載する。

2.3.3 生態系サービス間の関係性の分析

生態系サービス間の個別の関係の強さを調べるため、ピアソンの相関係数を用いて相関分析を行った。この際、性質の異なるデータ同士を比較するため、最小値を0、最大値を1とする正規化を行った。

また、ここで得られた生態系サービス間の関係が空間的に適合しているかを調べるため、生態系サービスのホットスポット・コールドスポット分析を行った。各生態系サービスの上位・下位25%(31市町村)をそれぞれ生態系サービスホット・コールドスポットとし、それらの重複数を算出した。生態系サービスが0となる市町村が25%を超えた場合、それらすべてをコールドスポットとみなした。

2.3.4 生態系サービスバンドルの特定

生態系サービスバンドルとその空間分布を特定するため、13の生態系サービス指標を用いて、K-means法を使用したクラスター分析を行った。

クラスター数を決定するため、階層型クラスター分析とギャップ統計量の算出し、これらの結果からクラスター数を検討した。ギャップ統計量は対象データから得られたクラスターと、ランダムなデータから得られたクラスターのまとまり具合の差を表す指標で、値が大きいほど最適なクラスター数であると言える。階層型クラスター分析には、ユークリッド距離、ウォード法を用いた。ギャップ統計量については、100回試行を行い、最大値をとる頻度をクラスター数ごとに調べた。

K-means法を使用したクラスター分析では、反復回数を1000回に設定し、全体の分散が最小となるものを結果とした。また、その結果を地図化し、空間パターンを可視化した。

解析は結果の地図化に ArcGIS, それ以外の分析に統計解析ソフトウェア R, 「cluster」パッケージを用いた.

第3章 結果

3.1 各生態系サービス指標の算出・地図化

以下に各生態系サービス指標を地図化した結果を示す。

・供給サービス

Fig.2 から Fig.7 に東海三県における各供給サービスの分布を示す。

Fig.2 より米生産量は濃尾平野を中心に平野部に生産量が多い市町村が集中した。Fig.3, Fig.7 より素材生産量、特用林産物は森林の多い山地で高い傾向となった。Fig.4, Fig.6 より養殖藻類、水生動物収穫量は三重県を中心とした沿岸の市町村に分布した。養殖水生動物収穫量は特に三重県南部の海岸線が複雑な市町村に集中している。Fig.5 より畜産産出額の高い市町村は東海全体に分布しているが、特に高い市町村は愛知県南部、三重県北中部に位置している。

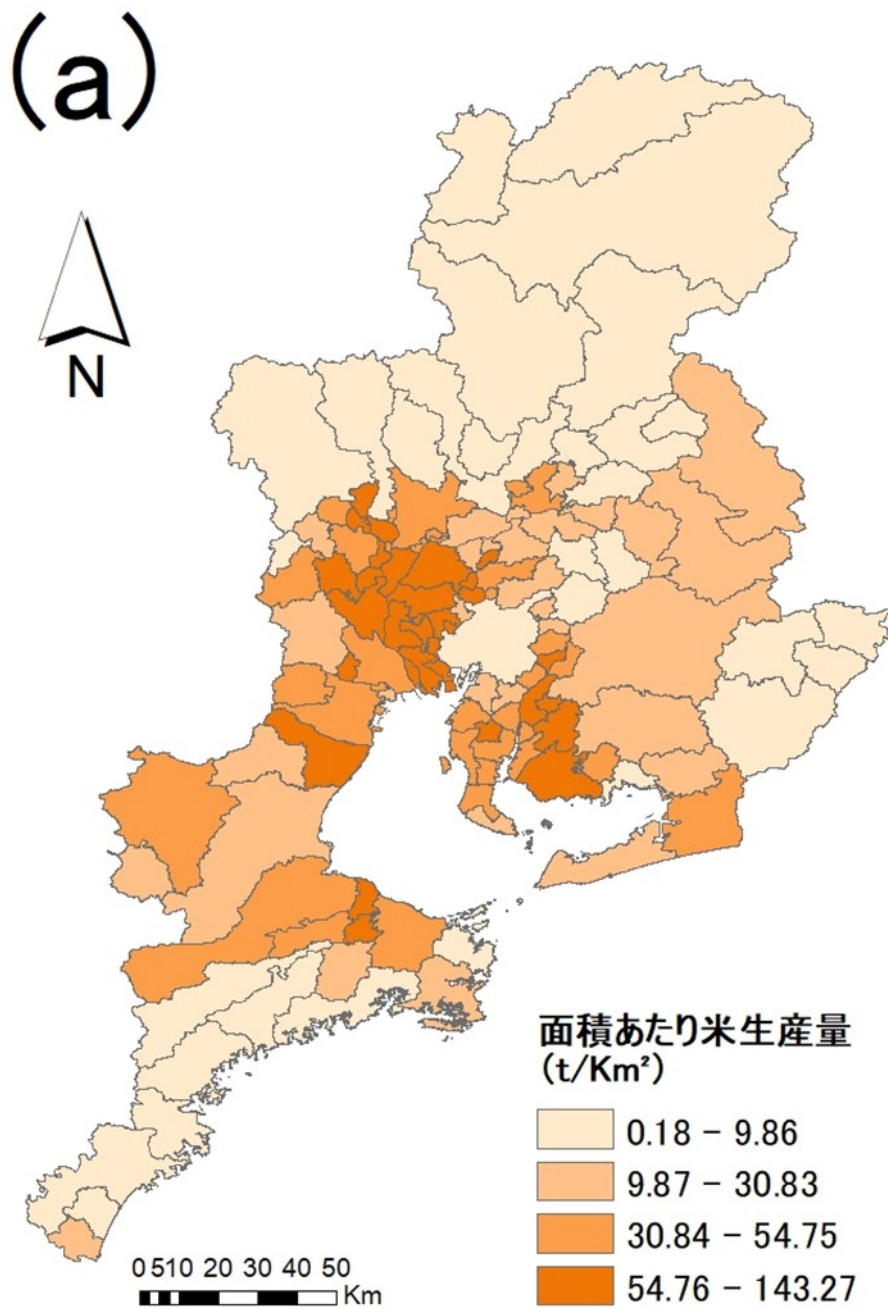


Fig.2 東海三県における市町村面積あたり米生産量

(b)

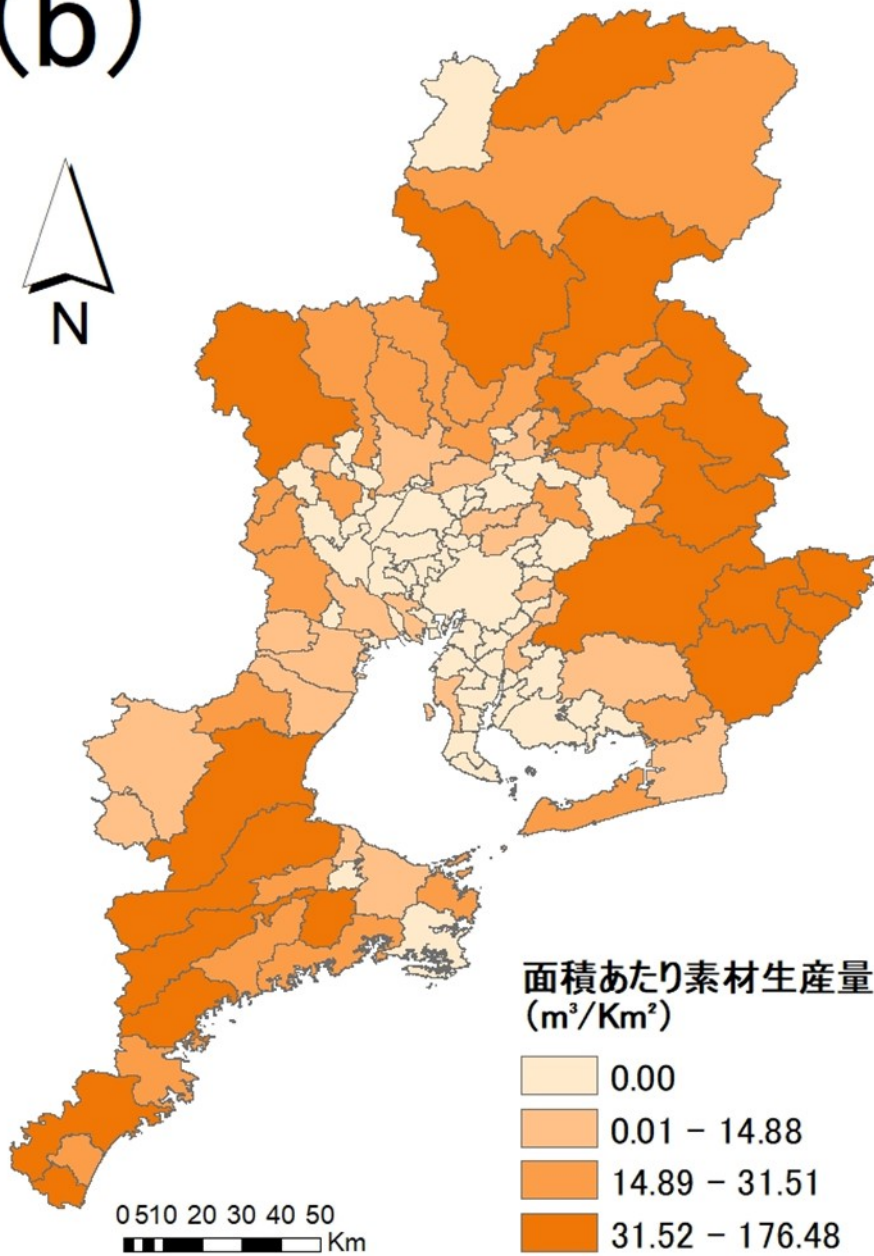


Fig.3 東海三県における市町村面積あたり素材生産量

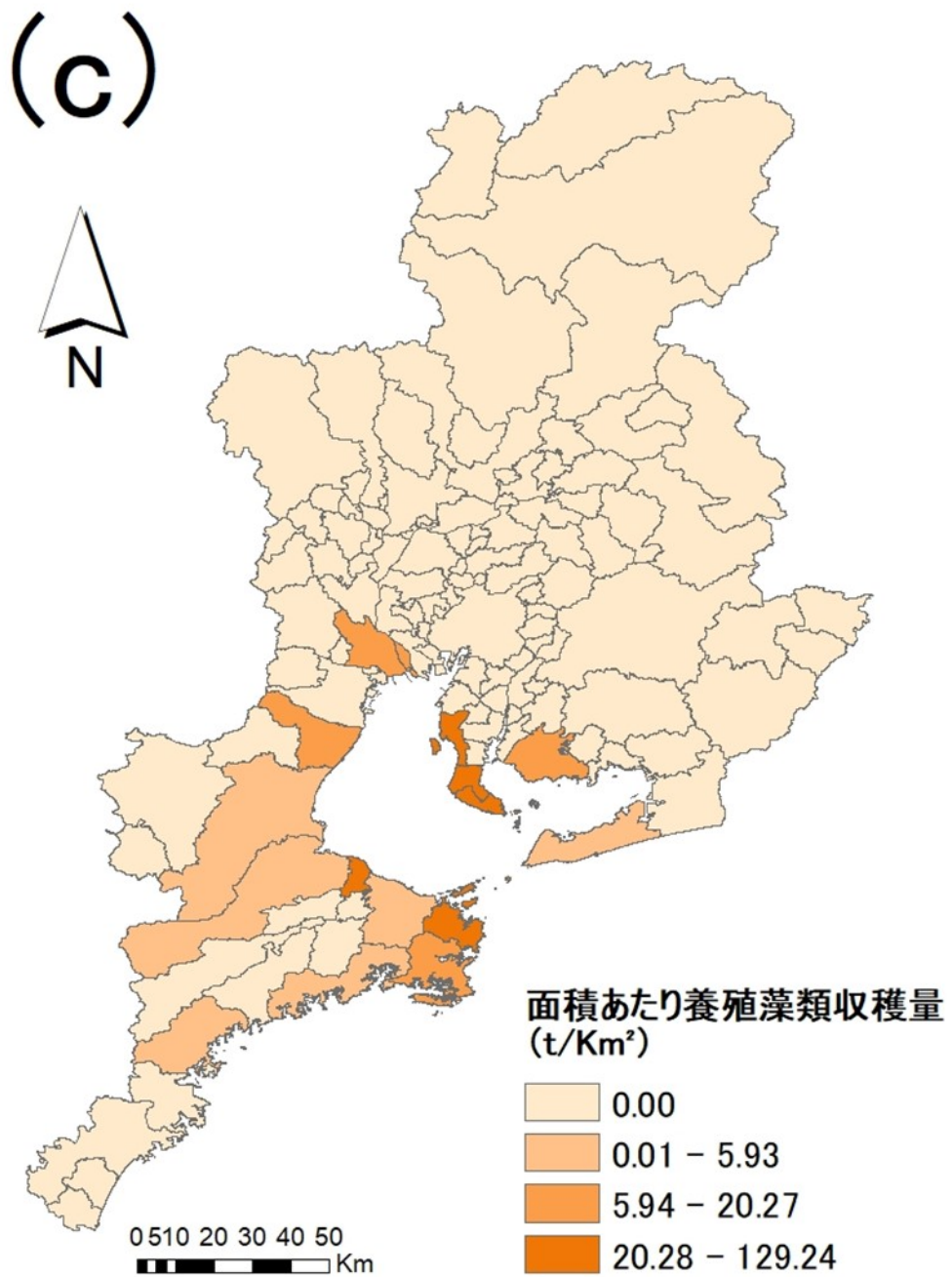


Fig.4 東海三県における市町村面積あたり養殖藻類収穫量

(d)

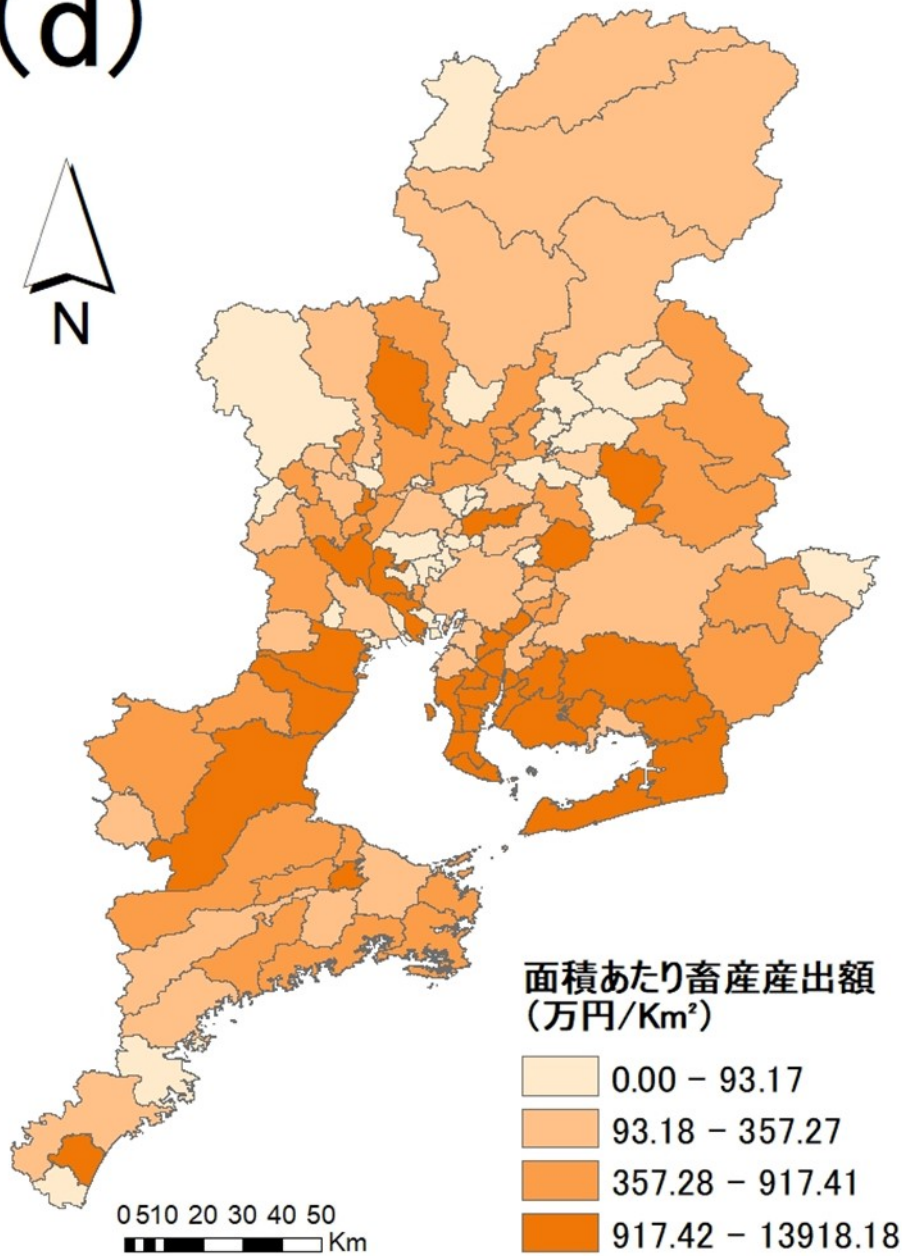


Fig.5 東海三県における市町村面積あたり畜産産出額

(e)

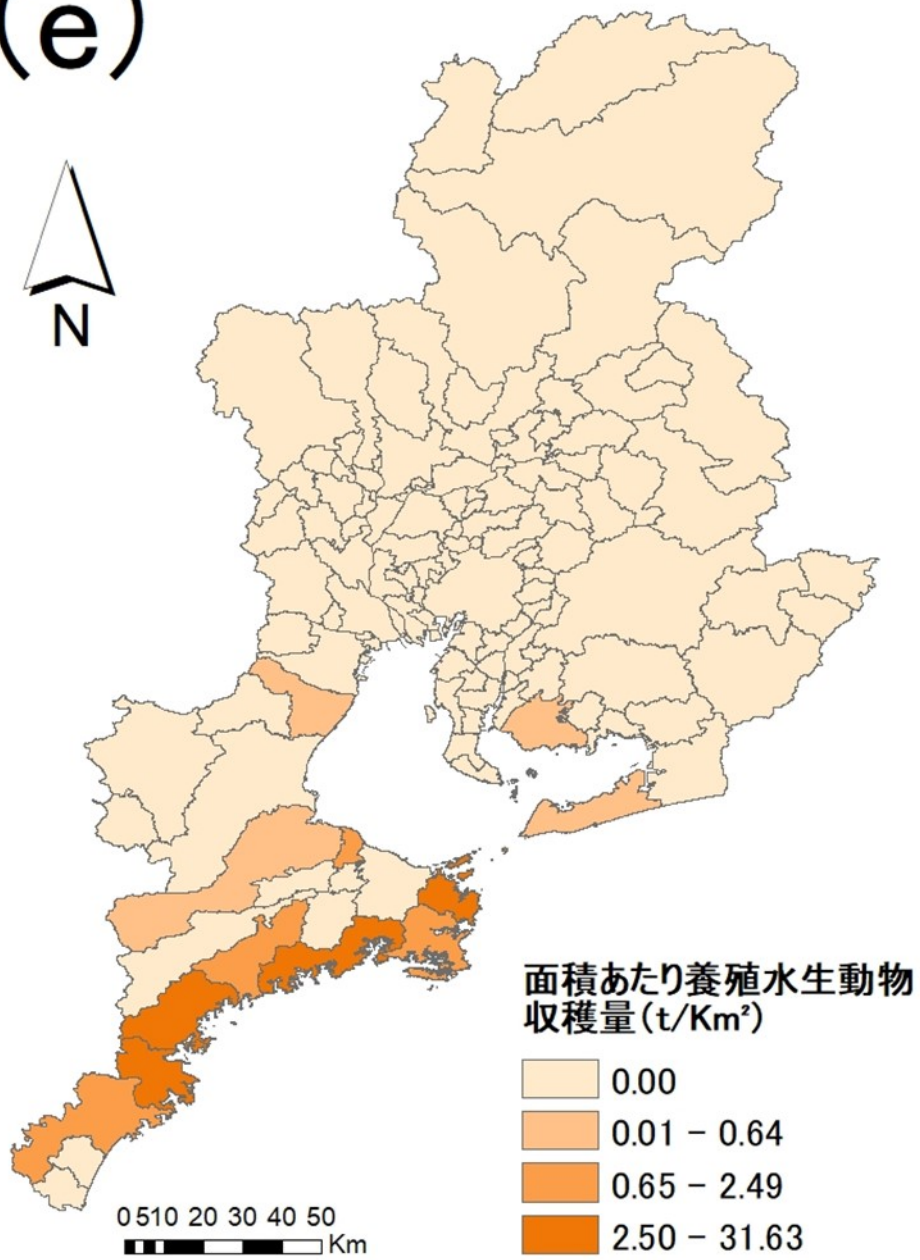


Fig.6 東海三県における市町村面積あたり養殖水生動物収穫量

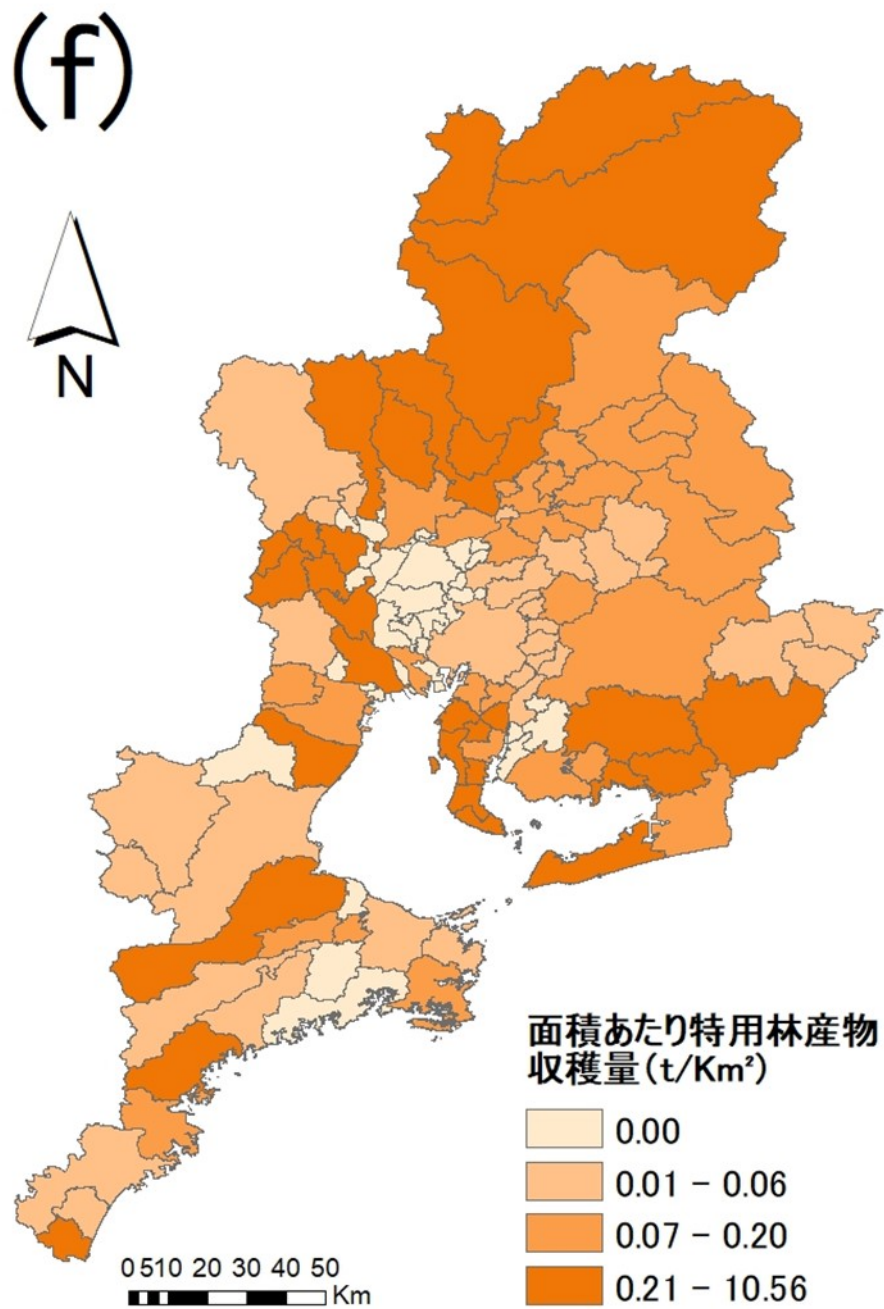


Fig.7 東海三県における市町村面積あたり特用林産物収穫量

- ・調整サービス

Fig.8 から Fig.11 に東海三県における各調整サービスの分布を示す

Fig.8, 10, 11 よりピーク流量緩和量, NO₂ 吸収量, 土壌侵食防止量は岐阜県北部, 愛知県東部, 三重県南部を中心とした森林の地域において高い傾向にあることが分かる. Fig.9 より送粉昆虫貢献量は愛知県西部, 南部を中心として平野部で高いことが分かる.

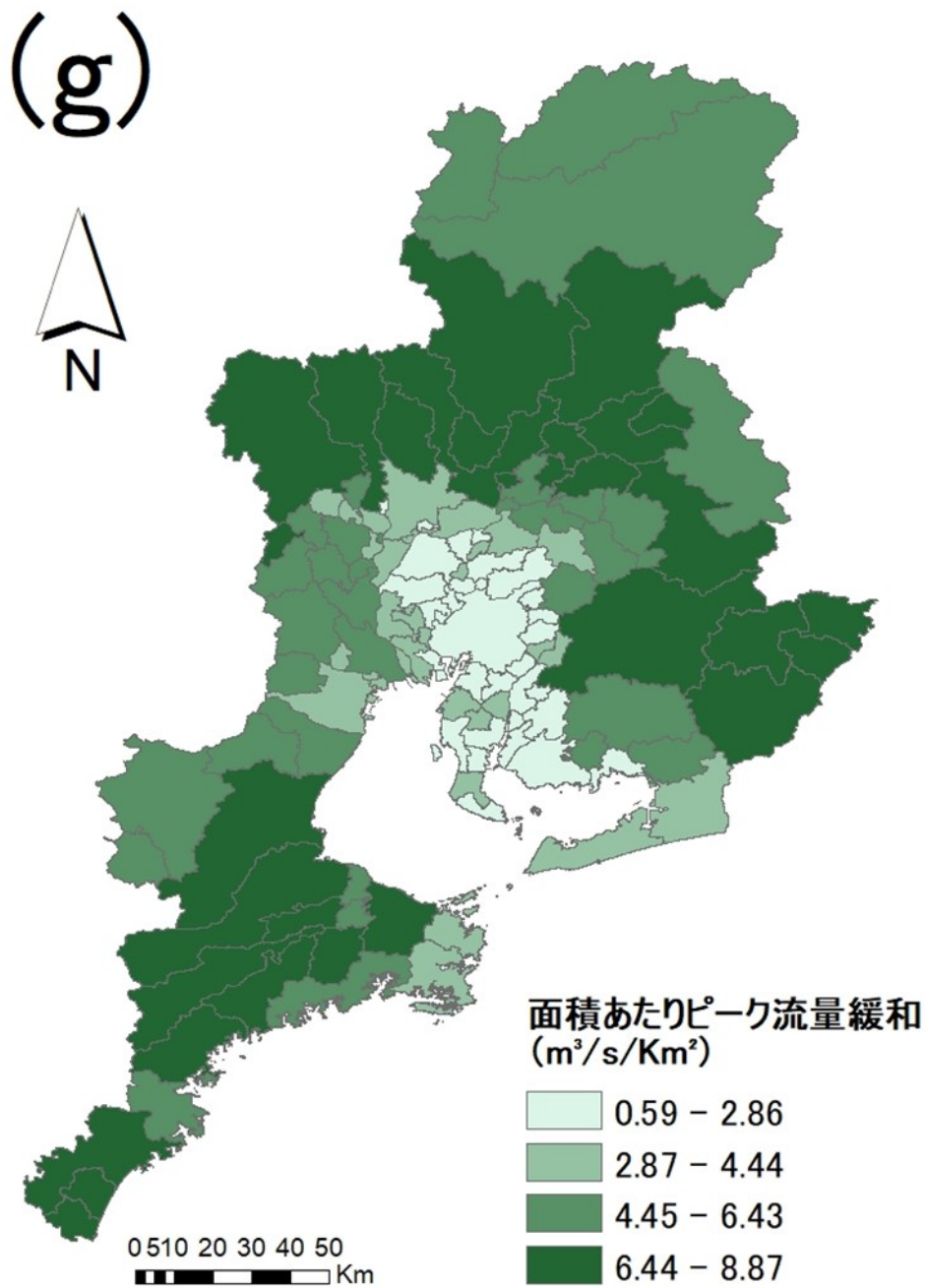


Fig.8 東海三県における市町村面積あたりピーク流量緩和量

(h)

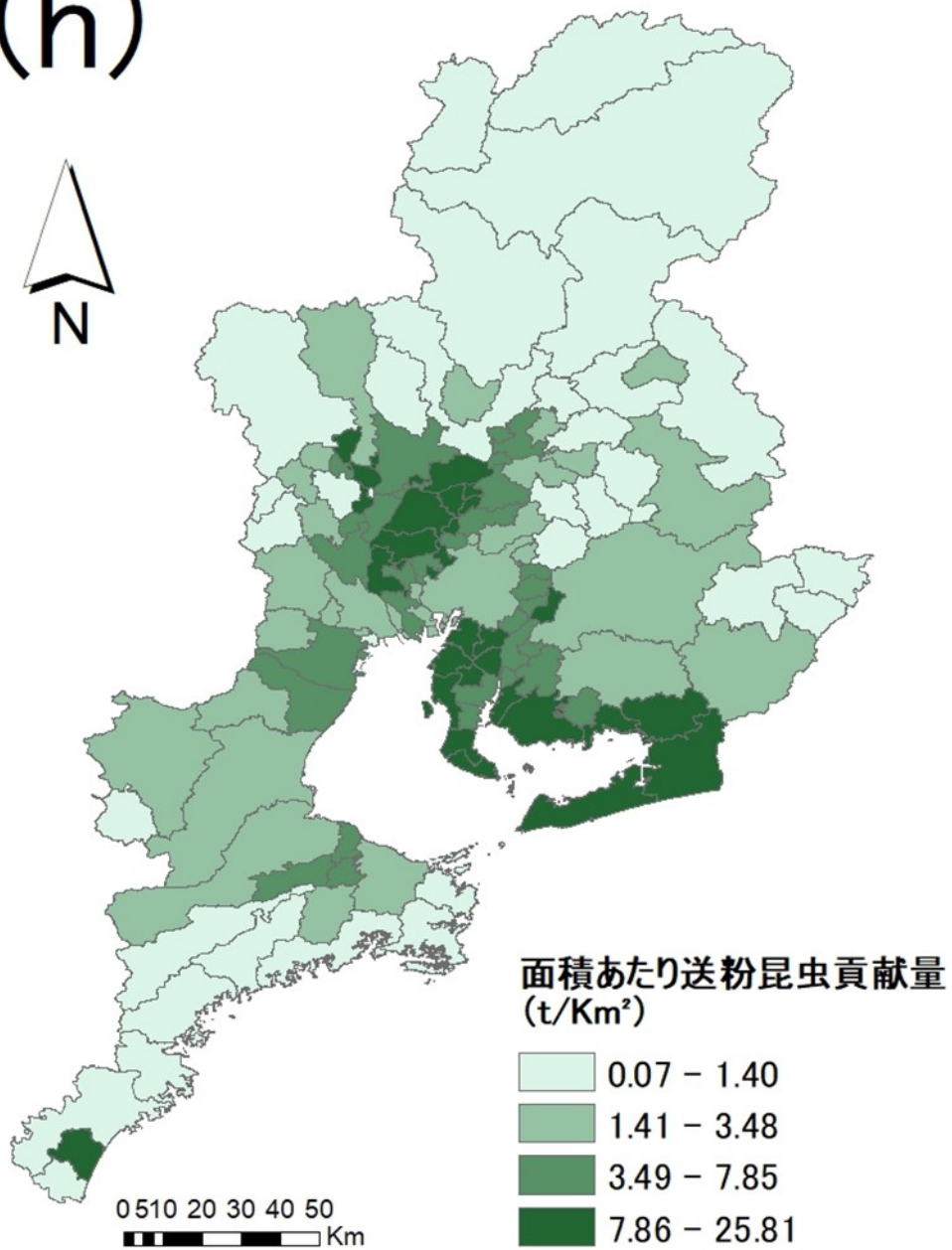


Fig.9 東海三県における市町村面積あたり送粉昆虫貢献量

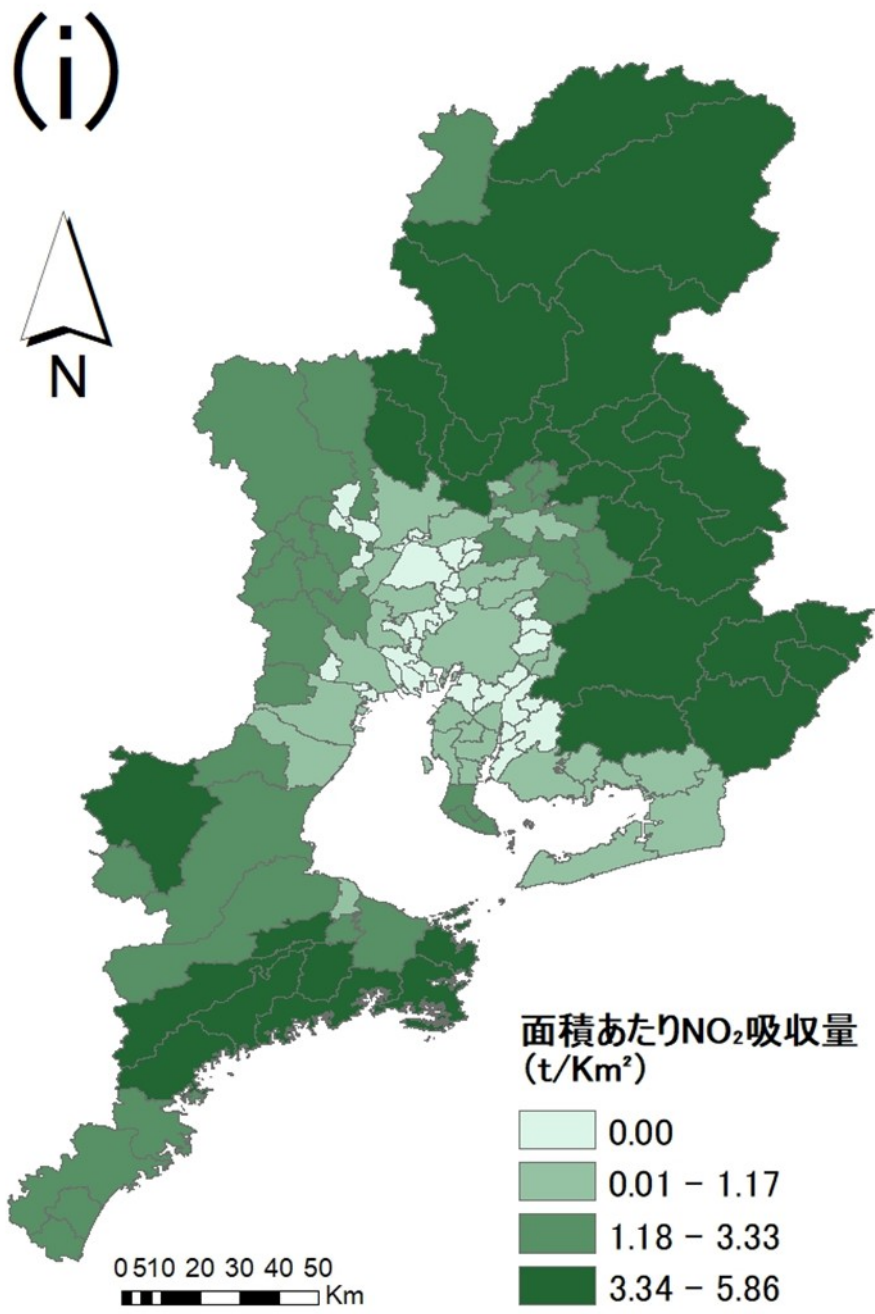


Fig.10 東海三県における市町村面積あたり NO₂ 吸収量

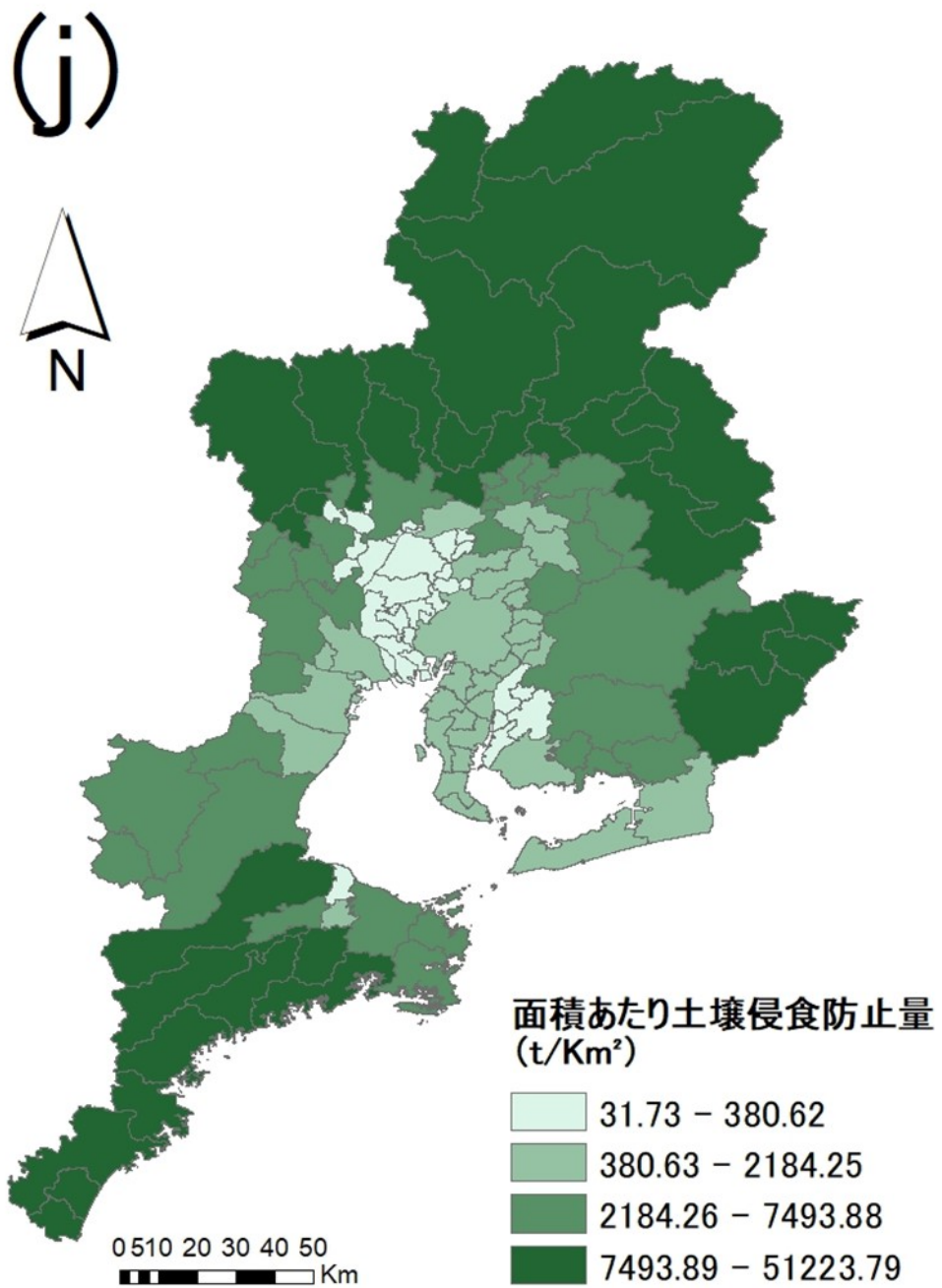


Fig.11 東海三県における市町村面積あたり土壌侵食防止量

・文化的サービス

Fig.12 から Fig.14 に各文化的サービスの分布を示す.

Fig.12 からグリーン・ツーリズムの取組は愛知県西部から岐阜県南部にかけて、愛知県南部に特に高い市町村が多いが、それ以外は東海地方全体に分布している. Fig.13 より地域資源数は濃尾平野、岡崎平野以外の地域で高い傾向にあり、三重県南部に特に高い市町村が多い. Fig.14 より、伝統的な祭り・文化・芸能の保存は濃尾平野や愛知県南部を中心に東海地方でもっとも人口の多い名古屋市に近い市町村ほど高い傾向にある.

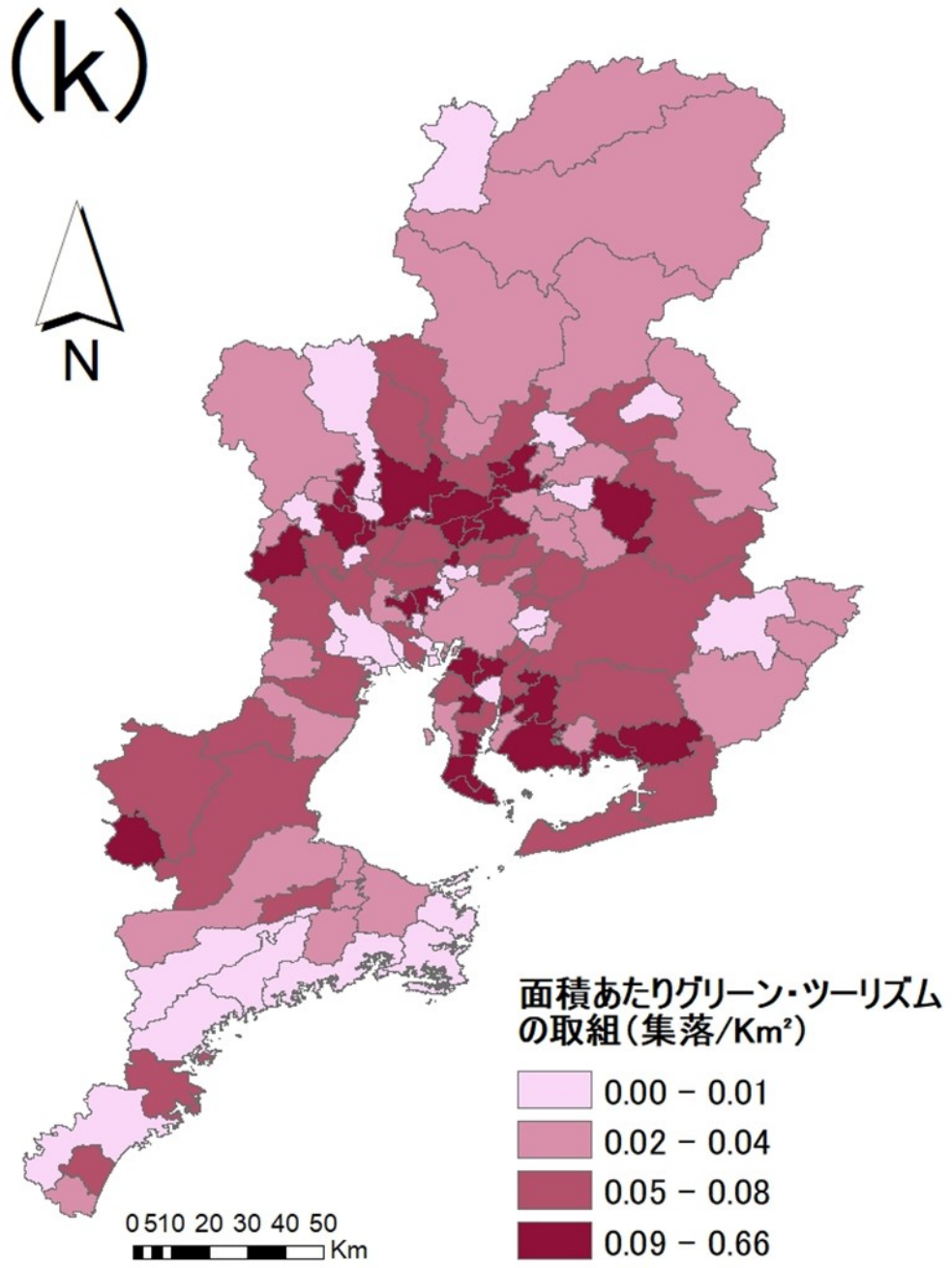


Fig.12 東海三県における市町村面積あたりグリーン・ツーリズムの取組

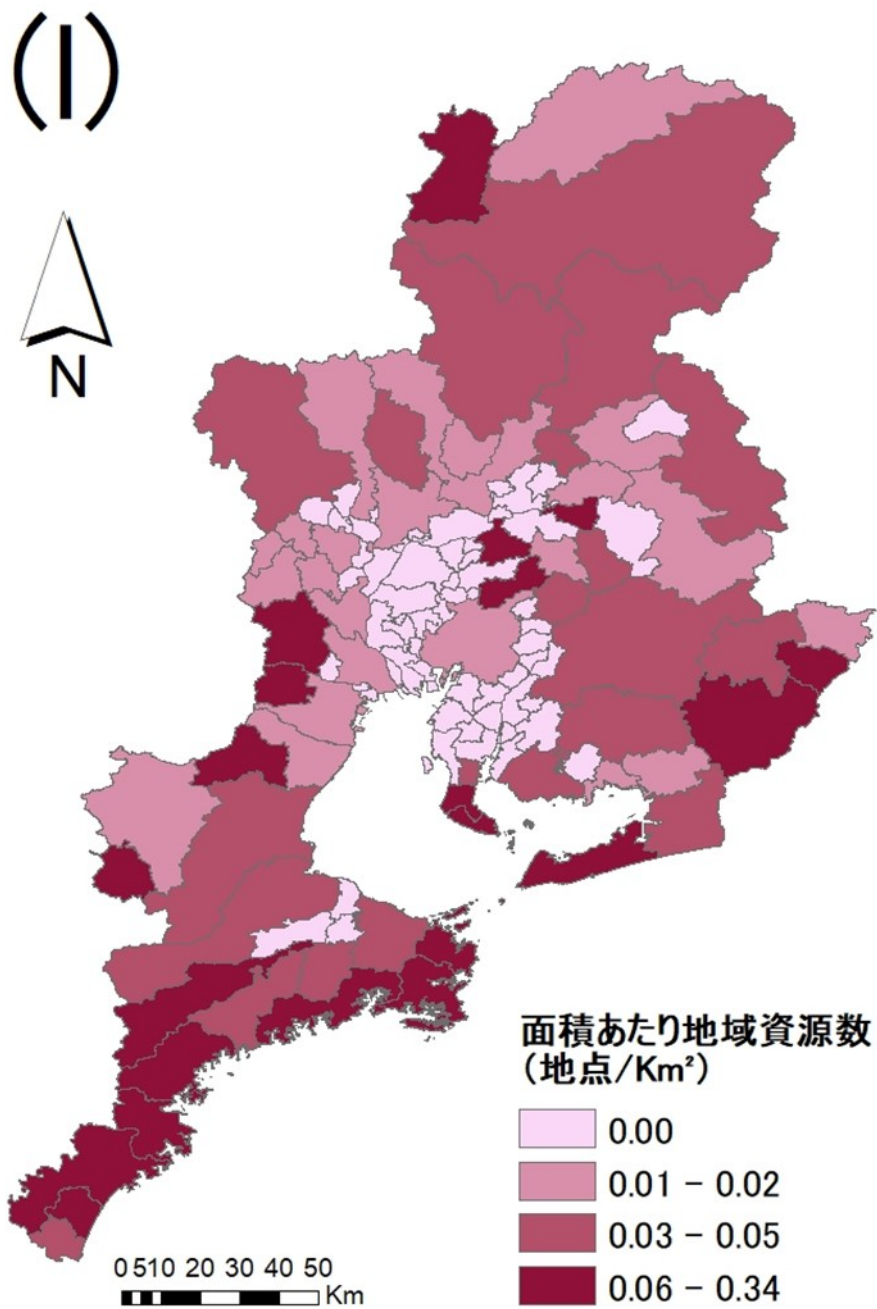


Fig.13 東海三県における市町村面積あたり地域資源数

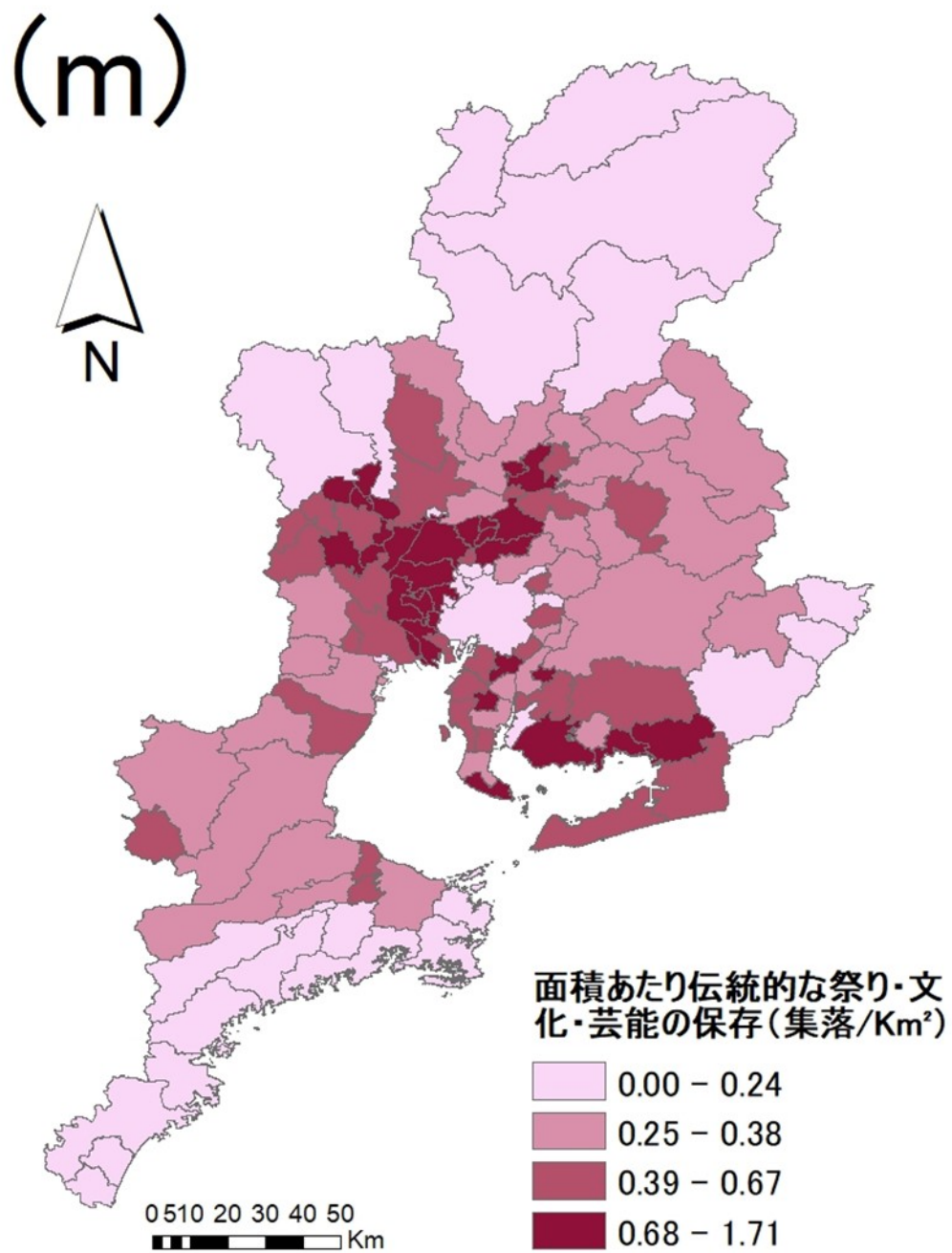


Fig.14 東海三県における市町村面積あたり伝統的な祭り・文化・芸能の保存

3.2 生態系サービス間の関係

Table.6 に相関分析の結果を示す。13 種類の指標を用いて相関分析を行い、合計 78 組についての結果が得られ、無相関検定が有意であったものは 42 組となった。その内、正の相関は 23、負の相関は 19 で、高い相関 ($r \geq 0.5$) を示したのは 13 組、中程度の相関 ($0.5 > r \geq 0.3$) を示したのは 15 組、弱い相関 ($0.3 > r$) を示したのは 14 組であった。

米生産量と送粉昆虫貢献量は素材生産量、ピーク流量緩和量、NO₂ 吸収量、土壌侵食防止量と中程度以上の負の相関がみられ、この地域における農地と森林の競合を顕著に示している。また同時に、米生産量と送粉昆虫貢献量は伝統保存数と中程度以上の正の相関を示し、これは神山 (2016) の農業生産と歴史的な伝統文化は密接に関わっているという結果を用いた指標が異なっても支持した。素材生産量、ピーク流量緩和量、NO₂ 吸収量、土壌侵食防止量の間では強い正の相関がみられた。これはこれらのサービスが主に森林により供給されるためだと考えられる。地域資源数では養殖藻類収穫量、NO₂ 吸収量と、伝統保存数では米生産量、送粉昆虫貢献量と中程度以上の正の相関が確認され、高い文化的サービスを持つ地域でも供給、調整サービスを同時に供給できる可能性を示唆している。

Fig.15 に生態系サービスホットスポット、Fig.16 に生態系サービスコールドスポットを示す。125 市町村のうち 115 市町村に 1 つ以上のホットスポットが存在していた。7 つ以上の重複があったのは 4 市町村で、その内、紀北町で最大重複数 8 を示した。コールドスポットは田原市、鈴鹿市、松阪市の 3 市町村を除いた 122 市町村で 1 つ以上確認された。7 つ以上の重複があった市町村は 67 存在し、コールドスポットと指定される市町村がホットスポットに比べて多かったこともあり、ホットスポットより多くの重複が見られた。最大 11 の重複が 5 市町で確認され、その市町村は主に名古屋市周辺部に分布していた。

Table.7 に各ホットスポット同士の重複数、Table.8 に各ホットスポットとコールドスポットの重複数を示した。ホットスポット同士の重複は、素材生産量とピーク流量緩和量の間で最も多く、27 市町村で重複があった。ホットスポットとコールドスポットの重複は、グリーン・ツーリズムの取組のホットスポットと養殖水生動物収穫量のコールドスポット、伝統保存数のホットスポットと養殖水生動物収穫量のコールドスポットの 2 組で最も多く、30 市町村で重複があった。

相関分析とホット・コールドスポット分析の結果を比較してみると、これらの結果の傾向が似ていることが確認された。中程度以上の有意な正の相関が示された 15 組について、ホットスポット同士の重複を確認すると、平均して 17.5 市町村の重複が起きており、これは全体の平均の 7.2 市町村を大きく上回っている。また、中程度以上の有意な負の相関が示された 13 組についてホットスポットとコールドスポットの重複を確認すると、平均して 18.6 市町村の重複が起きており、これは全体の平均の 10.8 市町村を大きく上回っている。

Table.6 各生態系サービス間の相関係数 (***, p<0.001; **, p<0.01; *, p<0.5). 赤は正の相関, 青は負の相関を示す. a: 米生産量, b: 素材生産量, c: 養殖藻類収穫量, d: 畜産産出額, e: 養殖水生動物収穫量, f: 特用林産物収穫量, g: ピーク流量緩和量, h: 送粉昆虫貢献量, i: NO₂吸収量, j: 土壌侵食防止量, k: グリーン・ツーリズムの取組, l: 地域資源数, m: 伝統保存数を示す.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
a		-0.468***	0.048	0.068	-0.168	-0.091	-0.452***	0.294***	-0.611***	-0.504***	0.170	-0.325***	-0.513***
b			-0.096	-0.146	0.057	0.330***	0.624***	-0.396***	0.612***	0.577***	-0.233**	0.104	-0.349***
c				0.295***	0.144	0.156	-0.165	0.210*	0.053	-0.099	0.023	0.562***	0.051
d					-0.049	0.055	-0.225*	0.408***	-0.135	-0.162	0.148	0.128	0.053
e						-0.036	0.041	-0.156	0.304***	0.260**	-0.106	0.230**	-0.168
f							0.154	-0.027	0.039	0.256**	-0.023	0.114	-0.074
g								-0.564***	0.798***	0.688***	-0.261**	0.198*	-0.339***
h									-0.539***	-0.418***	0.386***	-0.068	0.447***
i										0.568***	-0.283**	0.422***	-0.454***
j											-0.239**	0.253**	-0.398***
k												-0.055	0.590***
l													-0.182*
m													

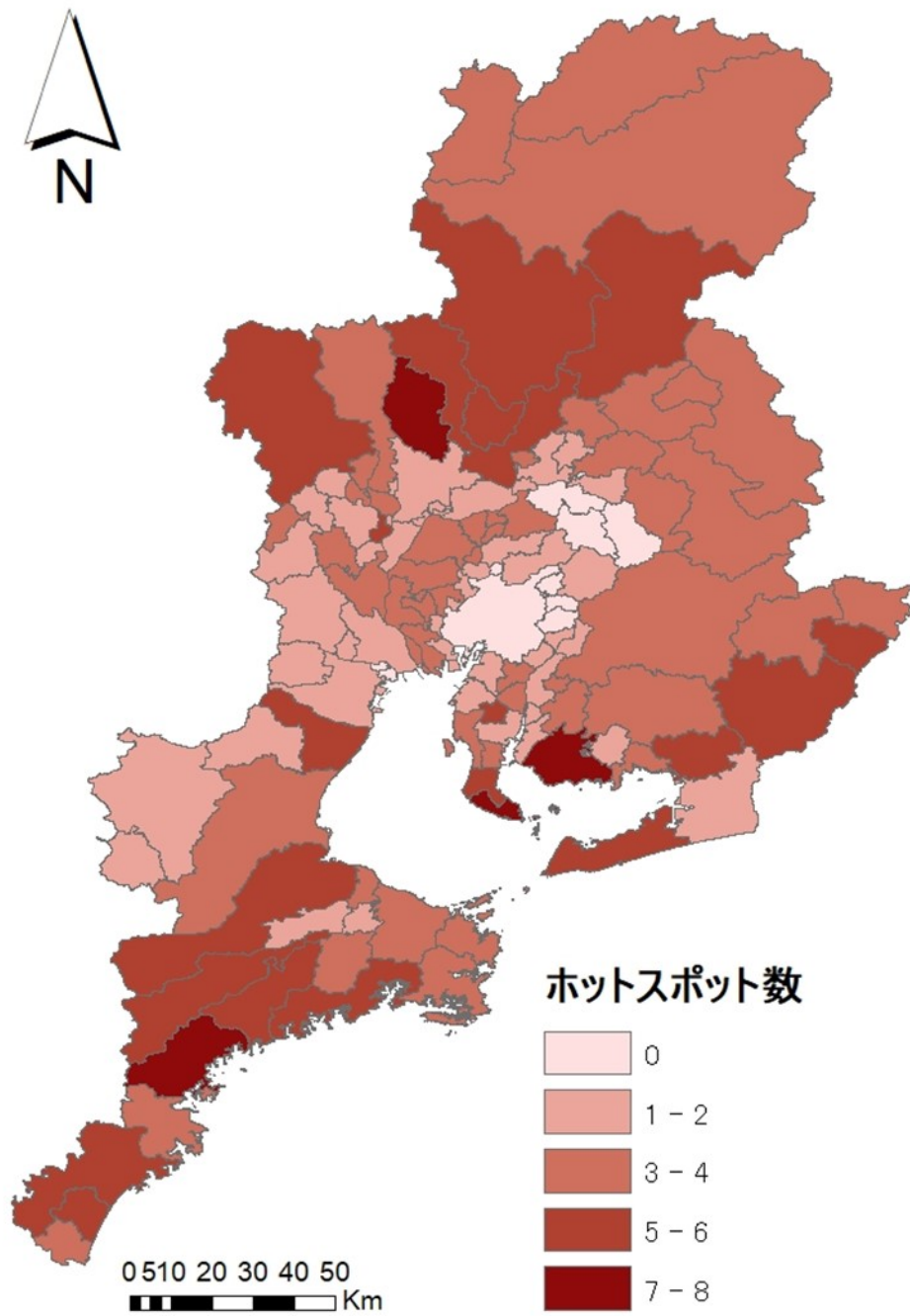


Fig.15 生態系サービスホットスポット数

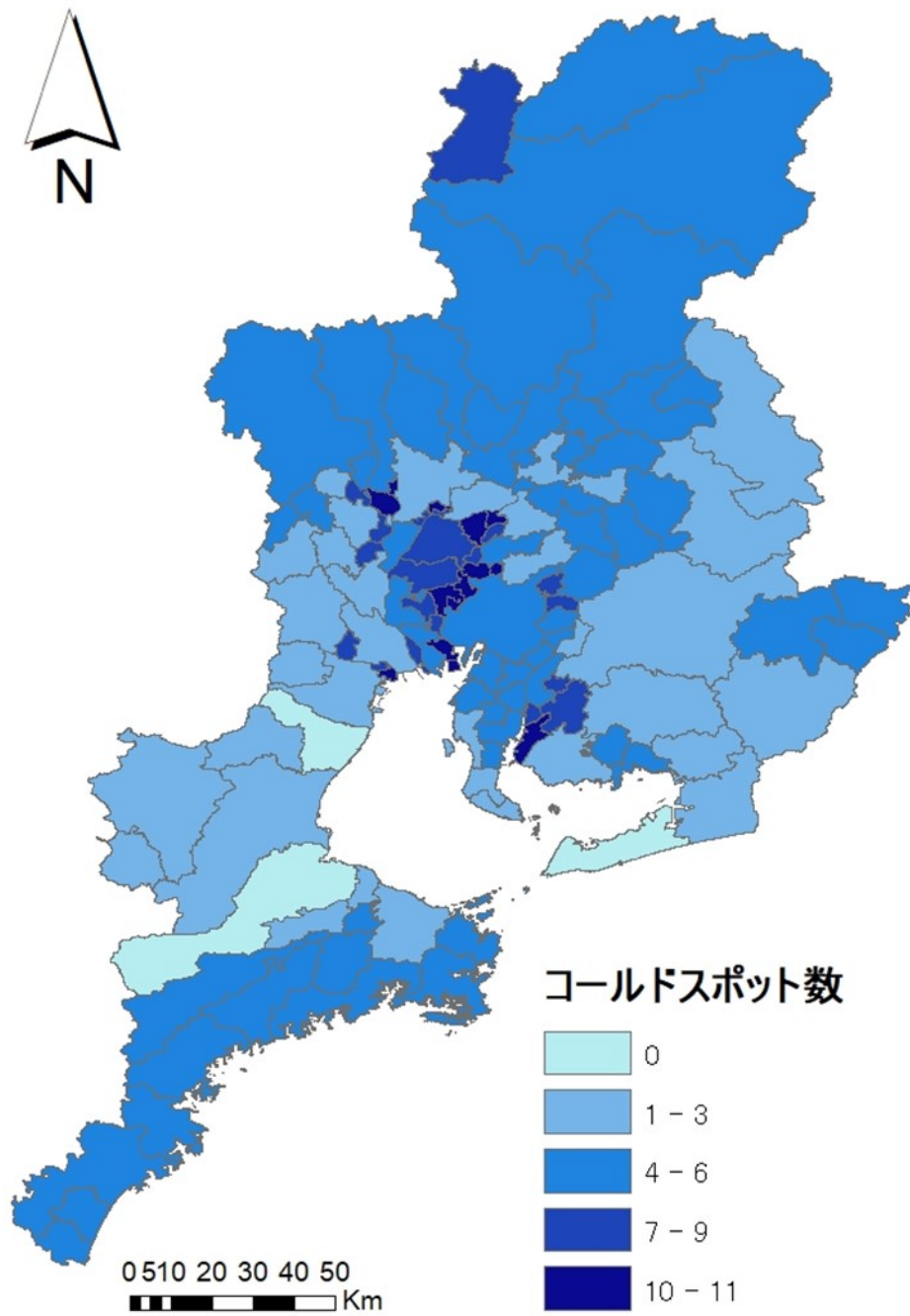


Fig.16 生態系サービスコールドスポット数

Table.7 生態系サービスホットスポット同士の重複数

		ホットスポット												
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
ホット スポット	a	-	0	4	9	3	4	0	11	0	0	11	0	19
	b		-	3	3	5	11	27	0	24	25	1	12	0
	c			-	7	9	8	4	5	4	3	3	8	3
	d				-	3	13	3	14	3	2	11	7	9
	e					-	4	4	2	5	6	1	8	1
	f						-	10	9	10	13	7	9	5
	g							-	1	22	23	1	12	1
	h								-	0	1	15	4	15
	i									-	22	1	14	0
	j										-	0	15	1
	k											-	5	19
	l												-	2
	m													-
平均		5.1	9.3	5.1	7.0	4.3	8.6	9.0	6.4	8.8	9.3	6.3	8.0	6.3

Table.8 生態系サービスホットスポットとコールドスポットの重複数

		コールドスポット												
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
ホット スポット	a	-	27	27	10	28	21	9	0	19	21	9	27	2
	b	21	-	28	9	26	1	0	21	0	0	8	3	15
	c	3	5	-	1	7	3	2	4	1	1	5	3	4
	d	3	18	24	-	28	5	10	3	7	6	1	16	2
	e	6	2	3	1	-	2	0	7	0	0	6	1	7
	f	11	12	23	4	27	-	4	10	0	0	5	5	7
	g	20	1	27	8	27	1	-	17	0	0	8	4	14
	h	2	24	26	9	29	14	14	-	15	14	6	23	5
	i	21	1	27	6	26	2	0	22	-	0	9	3	15
	j	23	2	28	8	25	2	0	21	0	-	11	2	19
	k	1	24	28	5	30	12	11	3	15	12	-	21	0
	l	15	7	23	3	23	2	3	17	0	0	9	-	14
	m	1	26	28	8	30	17	10	0	16	18	4	25	-
平均		10.6	12.4	24.3	6.0	25.5	6.8	5.3	10.4	6.1	6.0	6.8	11.1	8.7

3.3 生態系サービスバンドル

階層型クラスター分析の結果を Fig.17 に示す。このグラフから、クラスター数はおおむね 4 から 8 が妥当であると判断した。このクラスター数についてギャップ統計量が最大となる頻度の算出を行った結果を Fig.18 に示す。頻度が最大となるのはクラスター数が 8 となる場合となり、したがって本論ではクラスター数を 8 に設定して K-means 法によるクラスター分析を行うこととした。

K-means 法によるクラスター分析により、単一の市町村を除いて 7 つのバンドルが決定された ($n = 32$, $n = 24$, $n = 23$, $n = 22$, $n = 10$, $n = 7$, $n = 6$,)。バンドル内の生態系サービスと景観の特徴に基づき、各バンドルへ名付けを行った。バンドルの空間分布を Fig.19 に、各バンドル内における生態系サービスの平均値を Fig.20 から Fig.26 に示す。

都市バンドルはほとんどの生態系サービスが全体の平均を下回っている。各県で最も人口の多い市町村である岐阜市、名古屋市、四日市市を中心に人口の多い市町村で構成されている。

郊外農村バンドルは米生産量、送粉昆虫貢献量、グリーン・ツーリズムの取組、伝統保存数の 4 種類で平均を上回っており、特に米生産量は他のバンドルと比べて最も高い。また、多くの市町村が都市バンドルと隣接して分布している。

文化的里山バンドルは養殖水生動物収穫量、ピーク流量緩和量、NO₂ 吸収量、地域資源数の 4 種類で平均を上回っている。自然景観の優れた観光地のある白川村や志摩市などがこのバンドルには含まれている。

里山バンドルは素材生産量、ピーク流量緩和量、NO₂ 吸収量、土壌侵食防止量、地域資源数の 5 種類で平均を上回っており、特に素材生産量は他のバンドルと比べて最も高い。岐阜県北中部から愛知県東部にかけて集合し、都市から比較的離れた場所に分布している。

文化的郊外農村バンドルは米生産量、送粉昆虫貢献量、グリーン・ツーリズムの取組、伝統保存数の 4 種類で平均を上回っている。郊外農村バンドルと同様のサービスが平均を上回る結果となったが、米生産量以外はこちらの方が高いことが特徴となっている。分布も郊外農村バンドル同様に都市バンドルと隣接している市町村が多い。

畜産型農村・漁村バンドルは米生産量、畜産産出額、養殖藻類収穫量、特用林産物収穫量、送粉昆虫貢献量、グリーン・ツーリズムの取組が平均を上回り、特に畜産産出額は他のバンドルと比べて最も高い。主に知多・渥美半島に位置している。

山村・漁村バンドルは素材生産量、養殖水生動物収穫量、特用林産物収穫量、ピーク流量緩和量、NO₂ 吸収量、土壌侵食防止量、地域資源数の 7 種類で平均を上回っており、平均を超えた生態系サービスの数が最も多い。三県南部へ集中して分布している。

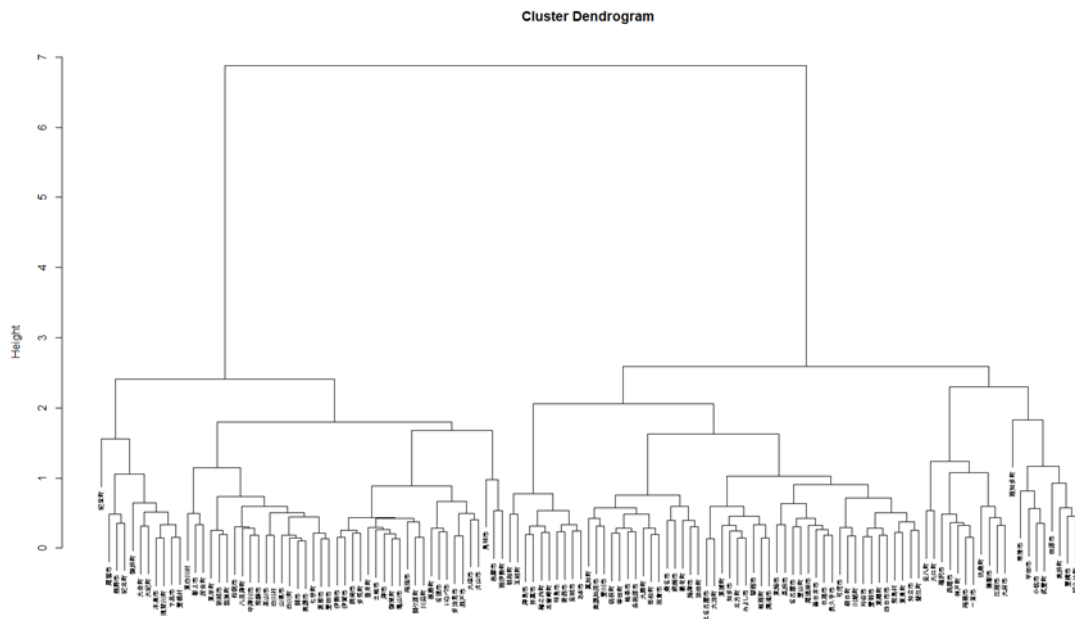


Fig.17 ウォード法による階層型クラスター分析の結果

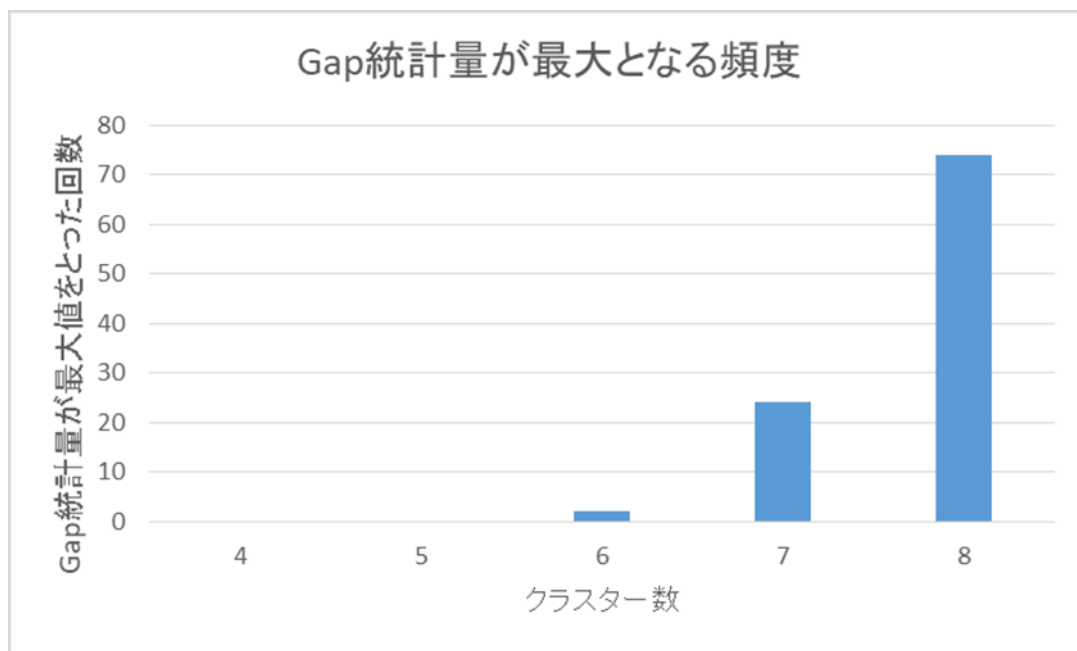


Fig.18 クラスター数4から8においてギャップ統計量が最大となる頻度

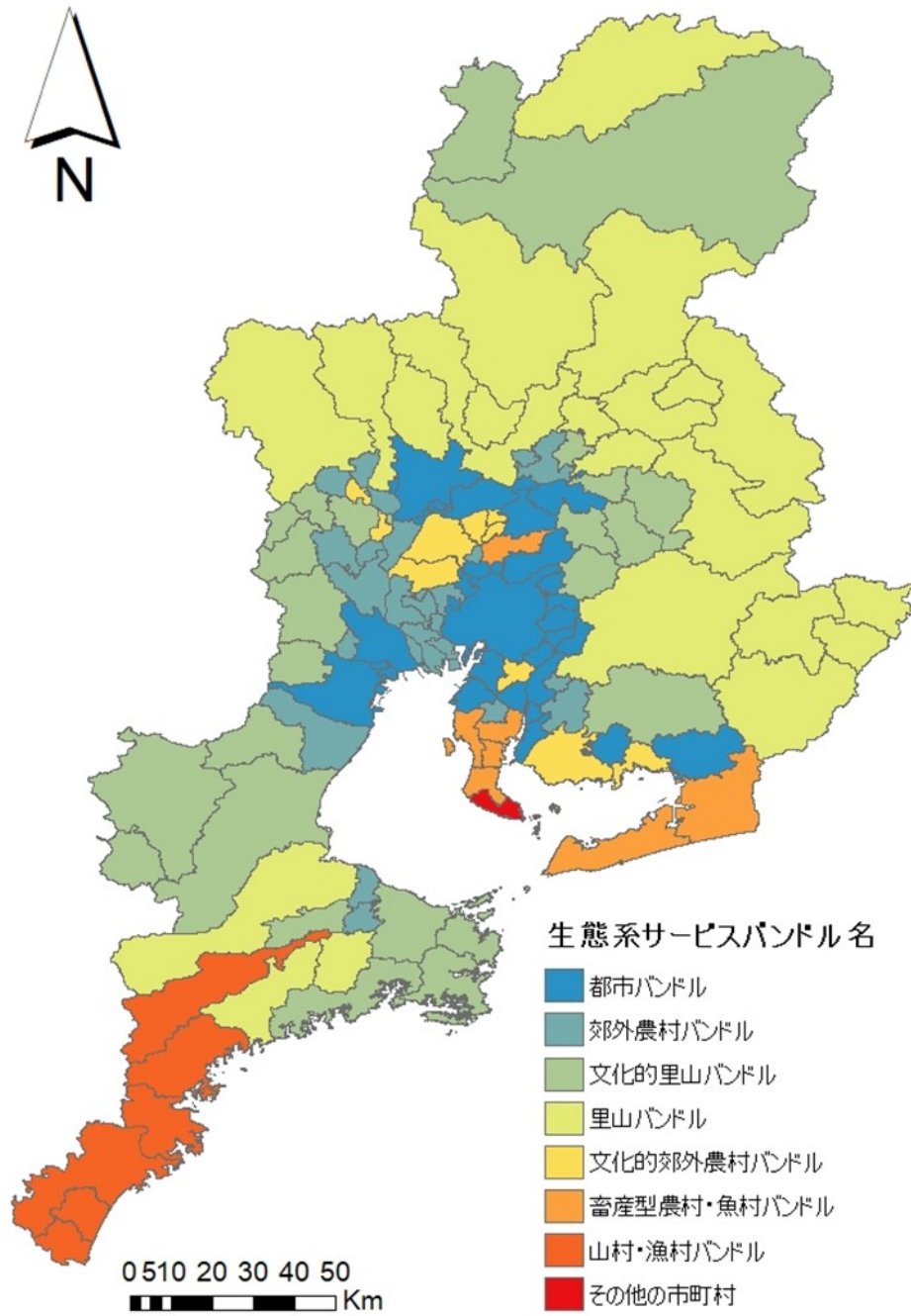


Fig.19 生態系サービスバンドルの分布

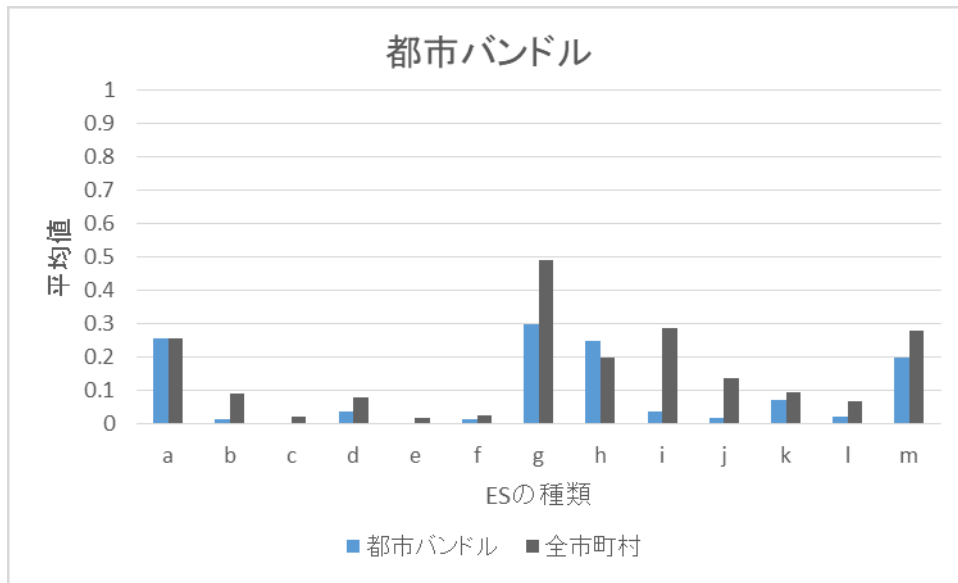


Fig.20 都市バンドル内における生態系サービスの平均値。a：米生産量，b：素材生産量，c：養殖藻類収穫量，d：畜産産出額，e：養殖水生動物収穫量，f：特用林産物収穫量，g：ピーク流量緩和量，h：送粉昆虫貢献量，i：NO₂吸収量，j：土壌侵食防止量，k：グリーン・ツーリズムの取組，l：地域資源数，m：伝統保存数を示す。

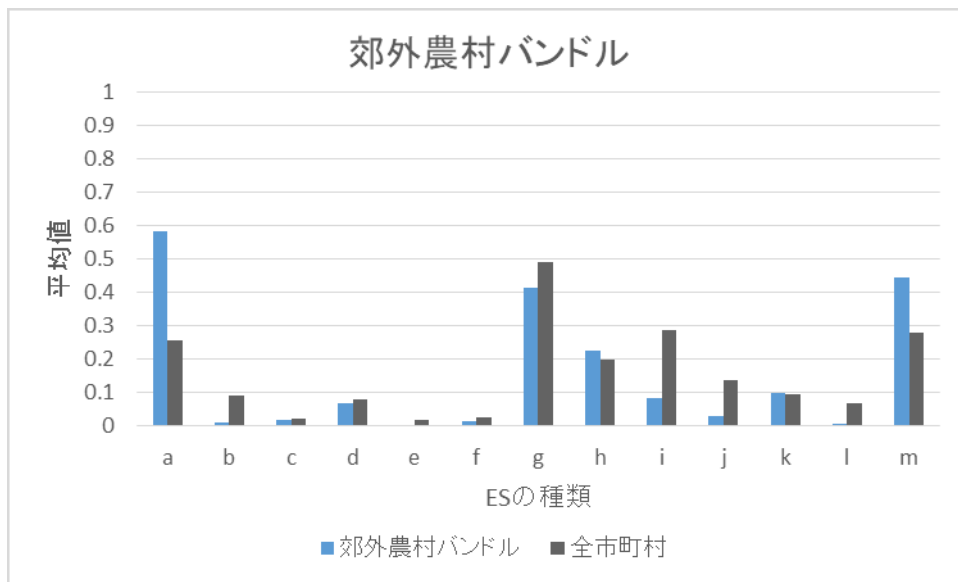


Fig.21 郊外農村バンドル内における生態系サービスの平均値。a：米生産量，b：素材生産量，c：養殖藻類収穫量，d：畜産産出額，e：養殖水生動物収穫量，f：特用林産物収穫量，g：ピーク流量緩和量，h：送粉昆虫貢献量，i：NO₂吸収量，j：土壌侵食防止量，k：グリーン・ツーリズムの取組，l：地域資源数，m：伝統保存数を示す。

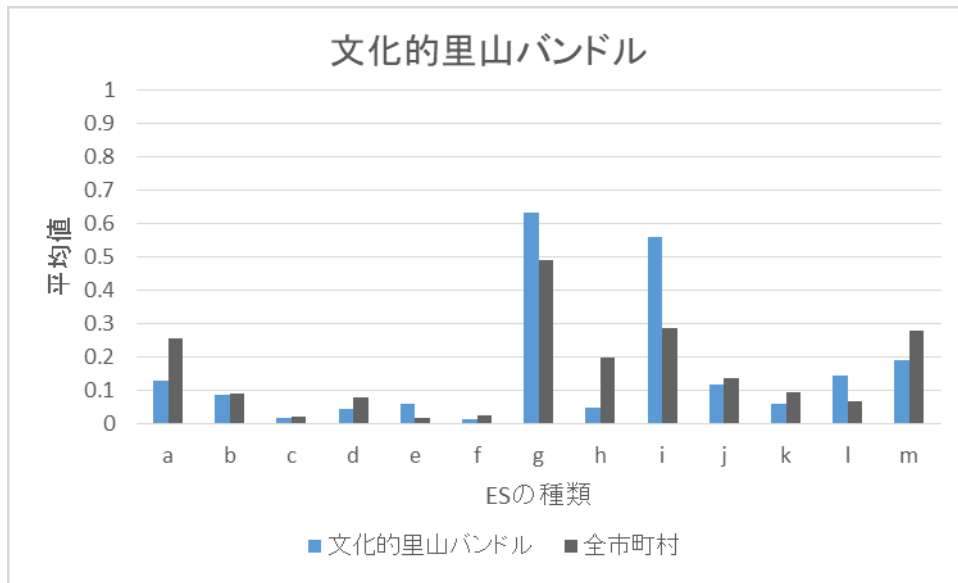


Fig.22 文化的里山バンドル内における生態系サービスの平均値。a：米生産量，b：素材生産量，c：養殖藻類収穫量，d：畜産産出額，e：養殖水生動物収穫量，f：特用林産物収穫量，g：ピーク流量緩和量，h：送粉昆虫貢献量，i：NO₂吸収量，j：土壌侵食防止量，k：グリーン・ツーリズムの取組，l：地域資源数，m：伝統保存数を示す。

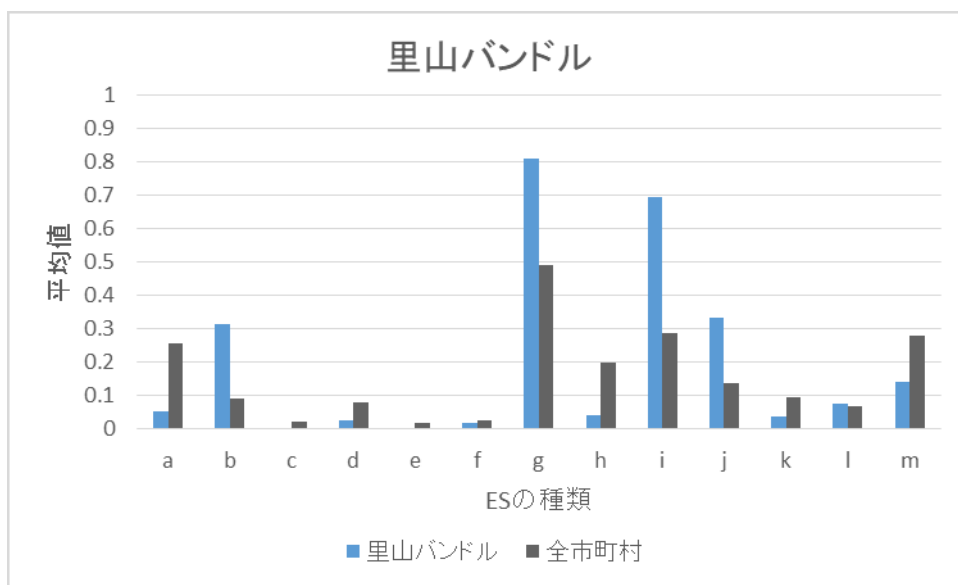


Fig.23 里山バンドル内における生態系サービスの平均値。a：米生産量，b：素材生産量，c：養殖藻類収穫量，d：畜産産出額，e：養殖水生動物収穫量，f：特用林産物収穫量，g：ピーク流量緩和量，h：送粉昆虫貢献量，i：NO₂吸収量，j：土壌侵食防止量，k：グリーン・ツーリズムの取組，l：地域資源数，m：伝統保存数を示す。

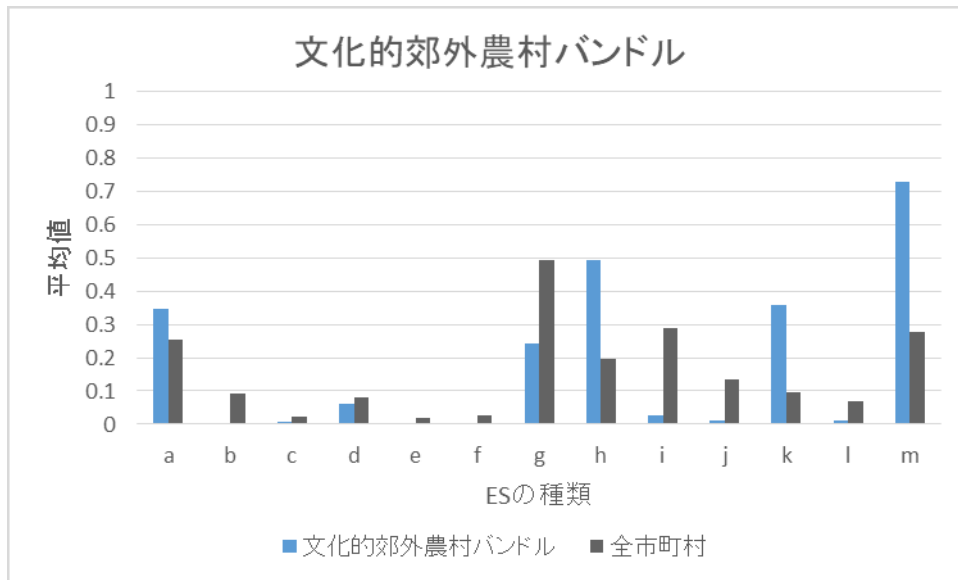


Fig.24 文化的郊外農村バンドル内における生態系サービスの平均値。a：米生産量，b：素材生産量，c：養殖藻類収穫量，d：畜産産出額，e：養殖水生動物収穫量，f：特用林産物収穫量，g：ピーク流量緩和量，h：送粉昆虫貢献量，i：NO₂吸収量，j：土壌侵食防止量，k：グリーン・ツーリズムの取組，l：地域資源数，m：伝統保存数を示す。

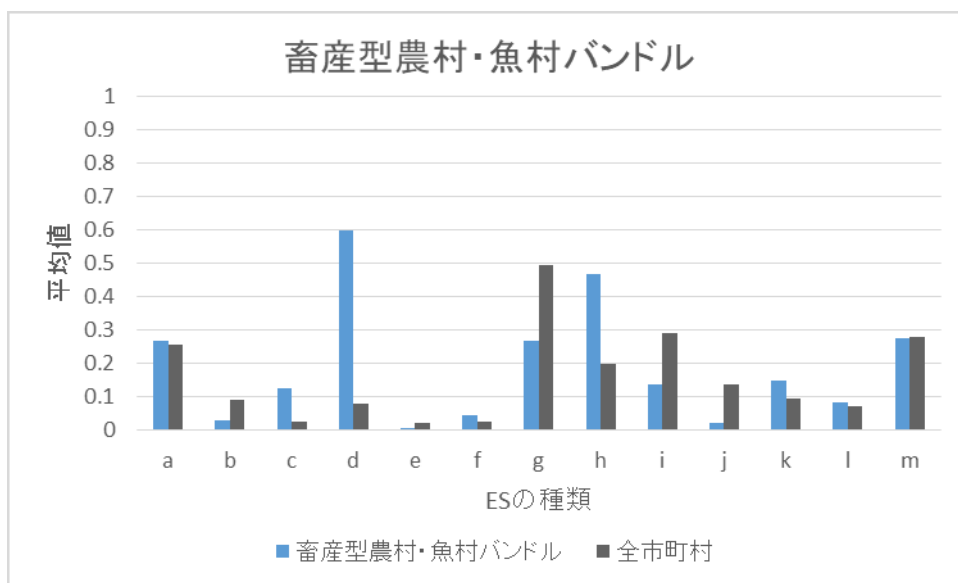


Fig.25 畜産型農村・魚村バンドル内における生態系サービスの平均値。a：米生産量，b：素材生産量，c：養殖藻類収穫量，d：畜産産出額，e：養殖水生動物収穫量，f：特用林産物収穫量，g：ピーク流量緩和量，h：送粉昆虫貢献量，i：NO₂吸収量，j：土壌侵食防止量，k：グリーン・ツーリズムの取組，l：地域資源数，m：伝統保存数を示す。

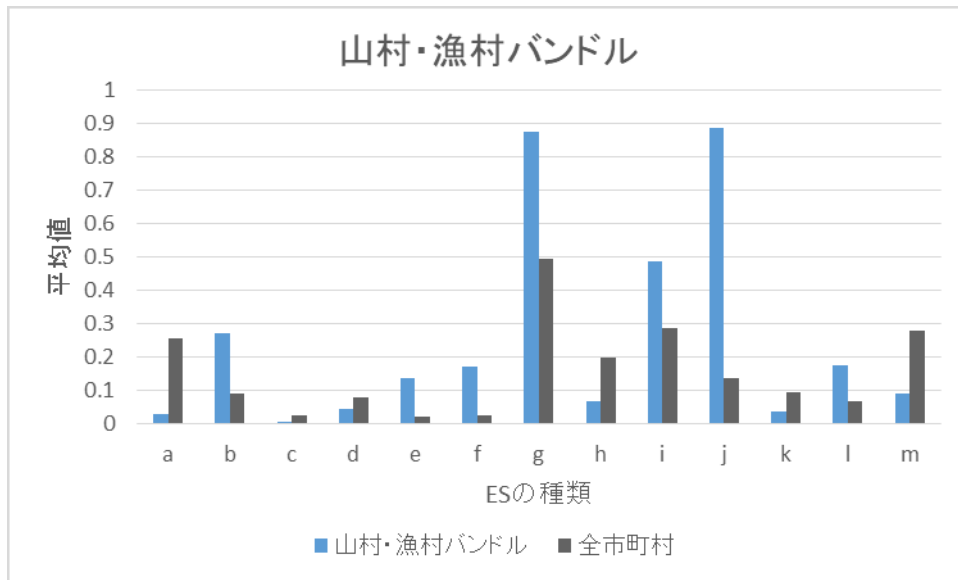


Fig.26 山村・漁村バンドル内における生態系サービスの平均値。a：米生産量，b：素材生産量，c：養殖藻類収穫量，d：畜産産出額，e：養殖水生動物収穫量，f：特用林産物収穫量，g：ピーク流量緩和量，h：送粉昆虫貢献量，i：NO₂吸収量，j：土壌侵食防止量，k：グリーン・ツーリズムの取組，l：地域資源数，m：伝統保存数を示す。

第4章 考察

13 種類の指標の地図化を行ったことにより、地域内における生態系サービスの分布が明らかになった。多くのサービスはそれを生み出すのに適した景観に従って分布している傾向が強い。供給サービスについてみると、米生産量は平野部の中でも木曾三川、矢作川などの大きな河川の沿岸部で、素材生産量は森林の多い市町村で高く、養殖藻類、水生動物収穫量は当然海洋に面する市町村にのみ分布している。調整サービスでは、ピーク流量緩和量、NO₂吸収量、土壌侵食防止量が森林の多い市町村で顕著に高い傾向にある。文化的サービスでは、地域資源数が山地や沿岸部で高い傾向を示す。東海地方の生態系サービスについては、濃尾平野に代表される平野部の都市域や農地を中心として構成される景観とそれ以外の山地における森林景観の明確な偏在に伴うこうしたサービスの分布が大きな特徴として挙げられる。

一方で単純に景観だけでは説明できない分布をしているサービスや市町村も存在している。畜産産出額を見てみると、愛知県南部や三重県北部に集中した分布が見られるものの、それ以外の地域では比較的ばらついて分布している。素材生産量についてみると、森林の多い白川村で生産量が 0 となっている。白川村萩町の森林景観の変容を調査した黒田（2002）において、1960 年代以降産業構造の変化や林業の構造改革と衰退などにより多くの森林利用が衰退し、合掌造り集落の背景としての役割に変わっていることが指摘されており、これは社会経済的要因により生態系サービスが変化していることを示している。このように社会経済的要因により生態系サービスの供給が変化する場合もあり、今回こうした傾向を示したサービスは、政策などによる管理が比較的行きやすい可能性がある。

素材生産量、ピーク流量緩和量、NO₂吸収量、土壌侵食防止量の間に関係がみられた。これらの関係は里山バンドルや山村・漁村バンドルに表れ、三重県南部や岐阜県北部、愛知県東部など都市から離れた地域に主に分布していることが分かる。この 2 つのバンドルは地域資源も平均以上に供給し、加えて山村・漁村バンドルは水生動物の養殖や特用林産物も平均以上に供給している。したがって、東海三県内においては主に調整サービスを中心とした多くのサービスを供給する重要な地域であると言え、この地域における開発は、他の地域以上にサービスの激しい変化を招く恐れがある。

一方、今回の研究ではデータの利用可能性などから調整サービスには評価を行えなかった項目が複数あり、他の地域にも調整サービスの大きな供給地が存在する可能性も十分にある。

相関分析により米生産量と伝統保存数、農業を支援する送粉昆虫貢献量とグリーン・ツーリズムの取組、伝統保存数において正の相関が確認された。こうした傾向は郊外農村、文化的郊外農村バンドルにも反映され、主に都市周辺の農業の盛んな地域においてこれらのサービスが密生に関わっていることが分かった。これは神山（2016）における農業生産と歴史的な伝統文化は密接に関わっているという結果を支持し、Huashun et al.(2020)においても文化的サービスと農業生産に正の相関が確認されている。しかし、Raudsepp-Hearne et

al.(2010)においては供給サービスと文化的サービスの間に関連関係があることが示されており、用いている指標がそれぞれ異なることは無視できないが、こうした関係は地域によって異なる可能性がある。

生態系サービスバンドルの分布をみると、地域において最も大きな都市である名古屋市を中心に放射状にバンドルが変化している様子が分かる。また、都市周辺には供給サービスや文化的サービスの高いバンドルが、都市から離れると調整サービスの高いバンドルが位置する傾向にある。これは平地に人口が集中しそれに伴い産業が発達した結果、こうした生態系サービスの特徴的な分布が生み出されてきたと考えることができる。一方で都市からの距離が生態系サービスの供給へ大きな影響を与えている可能性も示唆されている。農作物や観光は経済価値を持ち、人口の多い都市に近い場所で供給が行われた方が金銭的利益を得やすく、したがってこうした地域の方が供給サービスや経済価値を持つ文化的サービスを高める動機をより多く持っていることになる。今後生態系サービスの供給の要因を分析する場合、都市からの距離、特に都市からの道路や鉄道路線の長さなども考慮に入れる必要がある。

東海地方全体で見た場合には地域ごとに担っているサービスが異なっていることが分かった。都市バンドルは人口の多い市町村を多く含んでいる一方で生態系サービスが低いことが示され、他の地域の生態系サービスに依存していることがうかがえる。こうした現状は、経済価値を持つサービスについては、それを過剰に供給させることで地域の生態系に必要な以上の負荷をかけ、経済価値を持たないサービスについては、それを供給する生態系を管理する費用などをその生態系の管理者に負担させてしまうという問題を生み出す可能性がある。こうした問題を解決するには、PES やその類似制度により都市からサービスの供給地へ生態系の保全費用の支払いを行うという方法がある。実際、国内においては生態系サービスという考えこそ用いられていないものの、例えば森林環境税のような制度によりこうした管理者の負担を軽減するための制度が整えられつつある。今回の結果は、生態系サービスという観点から、地域におけるより公平な費用の分配のための知見を提供する。

今後の課題

今回は市町村単位において生態系サービスの評価を行った。これには、市町村が多く統計における最小単位であり、データを収集しやすいという利点がある。一方で、市町村には面積が一定でない、生態学的な境界ではなく市町村内の景観に大きな偏りがあるといった問題がある。したがって、今後は小規模で面積をおおむね統一できるメッシュ単位における生態系サービスの評価が求められる。メッシュ単位で評価を行う場合、現在のデータの利用可能性から、多くのサービスの評価において既存の統計をそのサービスを提供する主な土地利用に従って按分する方法が考えられる。こうした方法をとる場合多くのサービスが特定の土地利用に比例することになり、これらを対象に統計的手法を用いる場合はその点を考慮する必要がある。

本論では単年における生態系サービスを評価・分析した。しかし生態系サービスは空間スケール、時間スケールにおいてトレードオフ関係になることがある。地域における生態系サービスの相互作用をより理解するには、複数年のデータを利用した検証を行うことも必要である。

また、主に生態系サービスの供給の評価を行っているが、PES やその類似制度を実行するにあたってはサービスの消費地などの需要側の情報も重要である。これは、適切なサービスの供給量を解明するのにも必要である。適切なサービスの供給量に関する情報は、JBO2 で問題として挙げられている生態系サービスのオーバーユース・アンダーユースについての議論を行うことにも役立つ。生態系サービスは人間の福利と密接に関わっており、適切な生態系サービスの供給量を考えることは、地域の住人がどの程度の福利を享受するかを決めることにつながる。例えば、洪水制御のサービスは安全という福利と関連しており、このサービスの適切な供給量を決定する場合には、地域の洪水被害がどの程度まで抑えられるべきかについて考えなければいけない。

実際に生態系サービスを政策などへ反映させていくには、このように生態系サービスの供給量だけでなく、サービスの利用やそれにより生まれる人間の福利という観点から（つまりサービスの需要側から）も生態系サービスを評価していく必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、大野研教授には多くのご指導を頂きました。コロナウイルスの影響によるオンライン授業への移行などで今年は例年以上にお忙しい中にも関わらず、丁寧に対応頂きましたことと合わせて深く感謝申し上げます。また、共生環境学専攻の先生方には有益なご助言を頂きましたこと心から感謝申し上げます。同研究室の山本真人氏にも、多くの助言を頂きました。論文の執筆等なされている中、文章の添削等いただきましたことと合わせて感謝申し上げます。そしてその他研究室の皆様にも感謝申し上げます。

参考・引用文献

1. 横浜国立大学 21 世紀 COE 翻訳委員会 (2007) 『生態系サービスと人類の将来』 オーム社.
2. 環境省「図で見る環境 循環型社会白書 平成 19 年度版」
<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/zu/h19/index.html>
3. 国際連合大学高等研究所日本の里山里海評価委員会 (2012) 『里山・里海一自然の恵みと人々の暮らし』 朝倉書店.
4. 環境省 (2010) 「生物多様性総合評価報告書」
<https://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/jbo/jbo/files/allin.pdf>
5. 環境省 (2016) 「生物多様性及び生態系サービスの総合評価報告書」
https://www.env.go.jp/nature/biodic/jbo2/pamph01_full.pdf
6. Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G.D., Bennett, E.M., 2010. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. Proc. Natl. Acad. Sci. 107, 5242-5247.
7. Huashun, Dou., Xiaobing, Li., Shengkun, Li., Dongliang, Dang., Xiang, Li., Xin, Lyu., Mengyuan, Li., Siyu, Liu., 2020. Mapping ecosystem services bundles for analyzing spatial trade-offs in inner Mongolia, China. Journal of Cleaner Production. 256, 120444.
8. 神山千穂・橋本禪・香坂玲・齊藤修 (2016) 「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」『土木学会論文集 G (環境)』第 72 巻, 6 号, pp. II_289-II_297.
9. 農林水産省「2015 年農林業センサス」
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2015/top.html>
10. 農林水産省「作物統計調査」
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/index.html>
11. 農林水産省「海面漁業生産統計調査」
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html
12. 農林水産省「市町村別農業産出額 (推計)」
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sityoson_sansyutu/index.html
13. 農林水産省「園芸用施設の設置等の状況」
https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/sisetsu/haipura/setti_30.html
14. 三重県「平成 27 年度版 森林・林業統計書」
<https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000716786.pdf>
15. 岐阜県「平成 27 年度 岐阜県森林・林業統計書」
<https://www.pref.gifu.lg.jp/uploaded/attachment/4934.pdf>
16. 愛知県「平成 27 年度 愛知県林業統計書」
<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/rinmu/27ringyoutoukeisho.html>

17. 国土交通省「国土数値情報ダウンロード」
<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>
18. 国土交通省「国土調査（土地分類調査・水調査）」
<https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/inspect.html>
19. 土木研究所「アメダス 降雨確率解析プログラム」
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/offer/amedas/top.htm>
20. 気象庁「過去の気象データ検索」
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
21. 環境省自然環境局「自然環境調査 Web-GIS」
<http://gis.biodic.go.jp/webgis/index.html>
22. 国立環境研究所「環境数値データベース」
<https://www.nies.go.jp/igreen/>
23. NASA "MODIS",
596 <https://modis.gsfc.nasa.go>
24. EEA "CICES"
<https://cices.eu/>
25. 角屋睦（1988）「土地利用変化に伴う流出特性の変化」『農業土木学会誌』第 56 巻第 11 号, pp. 1061-1065.
26. 小沼明弘・大久保悟（2015）「日本における送粉サービスの価値評価」『日本生態学会誌』第 65 巻 3 号, pp. 217-226.
27. 一般社団法人日本養蜂協会（2014）『ポリネーター利用実態等調査事業報告書』一般社団法人日本養蜂協会.
28. 環境再生保全機構（2014）『大気浄化植樹マニュアルー2014 年度改訂版』環境再生保全機構.
29. 今井啓・石渡輝夫（2006）「統計資料等を用いて整理した北海道における土壌侵食因子の地域性について」『寒地土木研究所月報』 No.640, pp. 40-45.
30. 神山和則・谷山一郎・大倉利明・中井信（2012）「土壌侵食量推定のための 1km メッシュデータの作成」『インベントリー』第 10 号, pp. 3-9.
31. 財団法人自然環境研究センター（2006）『平成 17 年度 自然公園等施設整備委託情報整備調査報告書』財団法人自然環境研究センター.
32. 沖縄県「平成 22 年度 サンゴ礁資源情報整備事業報告書」
https://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/shizen/hogo/h21_sanngosyousigenn_jyouhou_seibijigyou.html
33. 黒田乃生（2002）「白川村荻町の森林における利用と景観の変容に関する研究」『ランドスケープ研究』 65（5）, pp. 659-664

34. Nada, Sai, di. and Christopher, Spray., 2018. Ecosystem services bundles: challenges and opportunities for implementation and further research. *Environmental Research Letters*. 13, 113001.
35. 山本真人, 大野研 (2019) 「三重県における生態系サービスの変化」『ランドスケープ研究(オンライン論文集)』第 12 巻, pp. 21-32.