

三重大学大学院生物資源学研究科

# 博士論文

国際比較可能な分類に基づいた

地域スケールでの

生態系サービスの評価

—三重県を例にして—

**(Assessment of Ecosystem Services at the Regional Scale  
Based on Internationally Comparable Classification  
— The Mie Prefecture Exemplar)**

山本 真人

令和4年3月

# 目次

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>5</b>
<b>1. はじめに .....</b>	<b>9</b>
1.1 過疎化について .....	9
1.2 生態系サービスの評価に関する世界的な流れ .....	10
1.3 生態系サービスの評価に関する欧州における流れ .....	11
1.4 日本における生態系サービスの評価 .....	13
1.5 対象地域 .....	15
1.6 なぜ生態系サービスの概念が重要となるのか .....	19
<b>2. 既往の研究 .....</b>	<b>21</b>
2.1 国家レベルでの研究 .....	21
2.2 地域レベルでの研究 .....	28
2.2.1 地図化を伴わない研究 .....	28
2.2.2 地図化による研究 .....	29
2.3 研究課題 .....	39
2.4 研究目的 .....	40
<b>3. BATEMAN ET AL. (2013) に基づく評価 .....</b>	<b>42</b>
3.1 解析手法 .....	42
3.1.1 供給サービス .....	43
3.1.2 調整サービス .....	44
3.1.3 文化的サービス .....	45
3.1.4 基盤サービス .....	49
3.2 結果 .....	50

3.2.1 供給サービス.....	50
3.2.2 調整サービス.....	51
3.2.3 文化的サービスとしての観光客数.....	53
3.2.4 文化的サービスとしての都市公園.....	55
3.2.5 基盤サービスとしての植物群落の多様性.....	56
3.3 考察.....	62
<b>4. CICES の GROUP に基づく生態系サービスの評価.....</b>	<b>69</b>
4.1 方法.....	69
4.1.1 計算方法.....	72
4.1.2 ホットスポット分析.....	78
4.1.3 ホットスポット分析と植生調査の結果の比較.....	79
4.2 結果.....	80
4.2.1 CICES 中分類 (Group) に基づく各生態系サービスの地図 化.....	80
4.2.2 ホットスポット分析.....	87
4.2.3 ホットスポット分析と植生調査の結果の比較.....	89
4.3 考察.....	92
4.3.1 CICES 中分類 (Group) に基づく各生態系サービスの地図 化.....	92
4.3.2 ホットスポット分析.....	93
4.3.3 生態系サービスと地域施策.....	97
<b>5. 結論.....</b>	<b>101</b>
5.1 BATEMAN ET AL. (2013) に基づく評価.....	101
5.2 CICES の GROUP に基づく生態系サービスの評価.....	102
5.3 BATEMAN ET AL. (2013) に基づく評価と CICES の GROUP に基づく	

生態系サービスの評価の比較 .....	103
5.4 今後の課題 .....	109
注 .....	<b>113</b>
参考文献 .....	<b>121</b>
謝辞 .....	<b>130</b>



# Abstract

In Japan, depopulation is progressing in many areas. In Mie Prefecture, development policies such as road building are sometimes adopted as promotion measures. On the other hand, there are movements to consider the conservation of local resources and the influence on the ecosystem services of satoyama and satoumi. In addition, Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020 calls for mapping of ecosystem services. From a regional disparity viewpoint, Mie Prefecture is referred to as a microcosm of Japan. Although there are some examples of assessments which include mapping of ecosystem services, they have not been conducted in Mie Prefecture. Therefore, in this thesis I present assessments of ecosystem services which are divided into the following two sections. The first section is an assessment of ecosystem services using five indicators. This section is the first attempt to comprehensively map ecosystem services in Mie Prefecture. Mappings of ecosystem services were performed for agricultural outputs as provisioning services, rates of forested areas as regulating services, the number of tourists and rates of city park areas as cultural services, and the diversities of plant communities as supporting services. The mappings were also performed for their changes. Each mapping was conducted at the municipal level prior to the latest municipal mergers, or at every natural park. The results suggest that values of provisioning services were high in the northern areas of Mie Prefecture, but the situation has changed in recent

years. In addition, it was estimated to have increased in some municipalities in recent years, although the overall trend was downward. Values of regulating services were higher in the southern mountainous areas. In many municipalities, values of regulating services turned from decrease to increase after 1997. The number of tourists as cultural services was higher in the natural parks located in the northern areas. It has decreased in natural parks located in both the northern and southern areas of Mie Prefecture, especially in the southern area. Recent data show that there are scattered municipalities with high tourist numbers in both the northern and southern areas. Therefore, the difference between the number of tourists in the northern area and the southern area may have become smaller. The rates of city park areas as cultural services were higher in the northern area. The diversities of plant communities as supporting services were higher in the northern areas than in the southern areas. This section suggests that the conservation of natural vegetation in the southern areas is required, since supporting services are considered to affect all ecosystem services. The second section is an assessment of ecosystem services based on Group in Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). In Mie Prefecture, there are few studies on the relationship between land use, forest type, and hotspots of ecosystem services based on a large amount of information. Therefore, based on CICES, mapping of ecosystem services using a total of 17 indicators, including indicators based on Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES), Japan Satoyama-Satoumi Assessment (JSSA), Japan

Biodiversity Outlook 2 (JBO2), and original considerations. Furthermore, hotspot analyses for ecosystem services were conducted and relationships between the hotspots and the results of vegetation surveys were examined. As a result, spatial heterogeneities of each ecosystem service in the study area based on CICES were clarified. Hotspots of provisioning services were mainly distributed in the northern and central areas, while coldspots were distributed in the Kii Mountains in the Kisei-Higashikishu area. Hotspots for regulating services were mainly located around the Kii Mountains in the Kisei-Higashikishu area, and coldspots were located in the Ise Plain and Ueno Basin in the Chubu, Hokubu, Ise-Shima and Iga areas. Hotspots of cultural services were mainly located in the Chubu and Ise-Shima areas, and coldspots were located in coastal areas of the Hokubu, Chubu and Ise-Shima areas, mountainous areas such as the Kii Mountains in the Kisei-Higashikishu area, and from the Ueno Basin to the Nunobiki Mountains in the Chubu and Iga areas. Various hotspots contain a large forest area. In particular, afforested areas were widespread in all hotspots of ecosystem services. This suggests that forests, including afforested areas, are important for ecosystem services in Mie Prefecture. There were extensive overlaps between the areas of high ecosystem services identified in the first section and the hotspots of ecosystem services identified in the second section. This indicates that there is some validity in the selection method of the indicator in the first section. In the first section, the diversities of plant communities as supporting services was low in the southern part of the study area,

suggesting the need for the conservation of vegetation other than Japanese cedar and Japanese cypress. On the other hand, when a larger volume of indicators was used in the assessment as the second section, afforested areas occupied the largest rates of areas in all hotspots. This suggests that afforested areas contribute to ecosystem services. In this study, the status of ecosystem services in Mie Prefecture was clarified. In addition, it enabled this thesis to provide materials to support the validity of the Payment for Ecosystem Services (PES) and contributes to obtaining information about where to apply it in a focused manner.

# 1. はじめに

## 1.1 過疎化について

日本では全国各地で過疎化が生じている。総務省では過疎地域市町村等として全国の市町村等を公開している [1]。

この中には三重県の 10 の地域も含まれ、これらの地域では過疎化が進んでいる。例えば、過疎地域の持続的発展の支援に関する特別措置法による過疎地域に含まれる三重県尾鷲市の人口は 2022 年 1 月 31 日現在 16,765 人 [2]であるが、これは過疎地域の持続的発展の支援に関する特別措置法による過疎地域に含まれない三重県四日市市における 2022 年 2 月 1 日現在の人口 309,736 人 [3]の 5.4%程度である。過疎化が進行すると所得や有効求人倍率に表れるような経済的な格差が都市との間で生ずる。更に教育や医療においても格差が生ずることになり、重大な問題であるといえる（中藤，2014）。

過疎地域が広がる三重県南部の振興施策として、開発施策が採用されることがある。例えば、三重県南部を走る熊野尾鷲道路の開通に向けては、熊野尾鷲道路建設促進期成同盟会らにより、要望活動が行われてきた [4]。また、紀北町は 2014 年までの道路延伸により訪問者が増加し、それを背景とした催し物の企画も紹介している（紀北町合併 10 年誌編纂委員会，2015）。

一方、こういった地域の空洞化への対策として地域の資源を利用して地域づくりをする取り組みも行われている（小田切，2014）。更には、生物多様性国家戦略 2012-2020 は、愛知県名古屋市名古屋国際会議場において 2010 年 10 月に開催された生物多様性条約第 10 回締約国会議（The tenth meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, COP10）において採択された愛知目標を踏まえて目標と指標を定めている。その中で 100 年先の国土の

未来を考えるのに5つの基本的な姿勢を提示し、里山と里海を守り、バランスの取れた利用を進める方向性を出している [5]。この里山と里海は生態系サービスを産出するとともに人間の福利にも影響し得る（国際連合大学高等研究所日本の里山・里海評価委員会，2012）。

また、内閣府は新型コロナウイルス感染症（coronavirus disease 2019, COVID-19）による地方移住に対する関心の高まりについての調査結果を公表している。2019年12月では東京都23区の20歳代のうち、合計39.9%が強い関心がある、関心がある、やや関心があると答えたが、2021年4月から5月にかけては合計48.2%が強い関心がある、関心がある、やや関心があると答え、8.3ポイントの増加がみられた [6]。

## 1.2 生態系サービスの評価に関する世界的な流れ

人間は生態系から、食物、きれいな水、洪水防止、文化遺産、場の感覚といった、様々な便益を享受している（Science of Environment Policy, 2015）。このような便益のことを生態系サービスという。ミレニアム生態系評価（Millennium Ecosystem Assessment, MA）では、全地球および地域レベルで、この生態系サービスを評価した（橋本・齊藤，2014）。MAは、国連事務総長コフィー・アナン氏（当時）の演説「私たち人類：21世紀における国際連合の役割」に応える形で2001年から2005年にかけて実施された評価である（Millennium Ecosystem Assessment, 2007）。

生態系サービスという言葉は、近年では世界規模で頻繁に用いられている（橋本・齊藤，2014）。その契機となったのがMAであるといわれている。実際、MAの後、生態系サービスを題名やキーワードに含む論文の出版が増加している（伊藤・山形，2015）。

2020年には、EU全体を対象とした生態系や生態系サービスの評価

結果が公開された (Maes et al., 2020)。

また生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学-政策プラットフォーム (Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES) は、生物多様性や生態系サービスに関連する様々な研究結果を背景とした政策提言を行う政府間組織である [7]。

国連環境計画 (United Nations Environment Programme, UNEP) が主催した 2008 年 11 月以降のマルチ・ステークホルダー会合をはじめとした会合を経て、2012 年 4 月に正式に設立した。気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) を手本にしており、IPCC の生物多様性版ともいわれている [8]。

IPBES は 2019 年に IPBES 生物多様性と生態系サービスに関する地球規模評価報告書政策決定者向け要約を公開した。これは MA 以降初の包括的な地球規模のアセスメントであるといわれており、生態系サービスを含む自然の変化、その要因・対策などを多くの根拠を基に評価したものである (IPBES, 2019)。

### 1.3 生態系サービスの評価に関する欧州における流れ

2009 年、EEA 主催の専門家会議で、国際的に共通の生態系サービスに関する分類 (Common International Classification of Ecosystem Services, CICES) の草案が発表された (Haines-Young and Potschin, 2013)。それ以降も協議や審議が継続し、2013 年に CICES V4.3, 2018 年に CICES V5.1 が公開された。CICES は、MA を起点とした分類方法により、複数の生態系サービスに関する評価手法を関連付けている。また、図 1-1 に示すように、MA で定義された供給サービス、調整サービス、文化的サービスを階層的にさらに分類している。

(Haines-Young and Potschin, 2013; Haines-Young and Potschin, 2018)

(9)。

さらに 2011 年、EU は「2020 年までの生物多様性戦略」を採択した。同戦略は生物多様性及び生態系サービスが重大な経済的価値を有しているという認識のもと、生物多様性の損失や生態系サービスの劣化を防ぐことを目的とした。そして、その目的の下、「自然の保全と再生」、「生態系と生態系サービスの維持・向上」、「生物多様性の維持・向上に対する農業及び林業の貢献の強化」、「水産資源の持続可能な利用の確保」、「外来種の管理」、「地球規模での生物多様性損失防止への貢献」の 6 つの戦略目標と 20 の個別目標を掲げた [10]。2020 年までの欧州連合 (European Union, EU) における生物多様性戦略 (EU Biodiversity Strategy to 2020) の Action 5 は加盟国に欧州委員会と協力して国家レベルで生態系とそれらのサービスを地図化することを呼びかけた。この実行のために、生態系と生態系サービスのマッピングと評価 (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services, MAES) が創設された (Maes et al., 2013)。MAES では地図化や評価をするための指標を CICES の分類に従ってまとめた (Maes et al., 2014)。



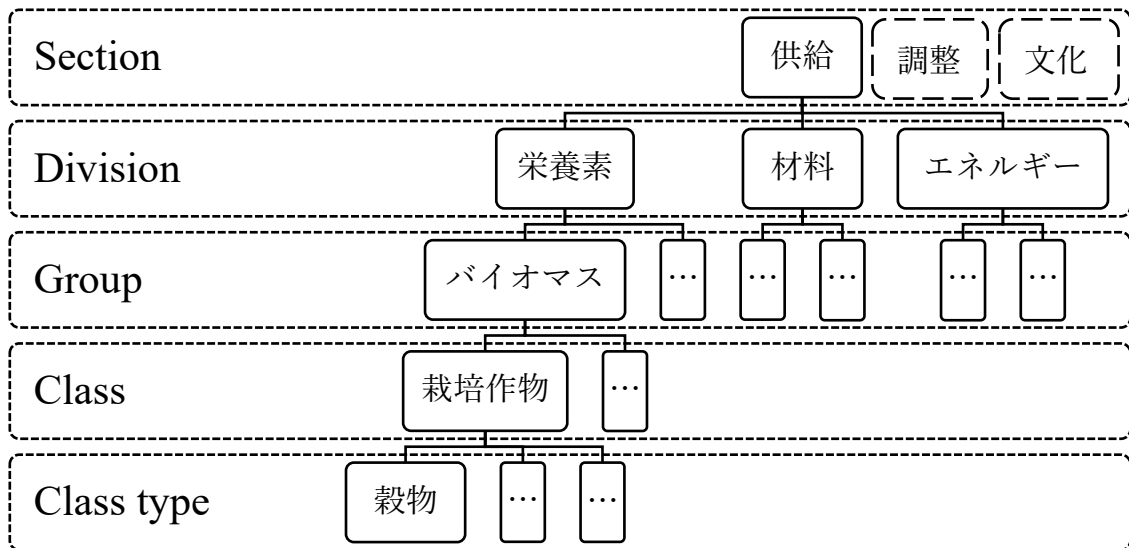


図 1-1 Haines-Young and Potschin (2013) が示した CICES の階層構造

#### 1.4 日本における生態系サービスの評価

日本においては MA の後、生態系サービスに関してサブグローバル評価の計画が生じ（橋本・齊藤, 2014）、日本の里山・里海評価（Japan Satoyama-Satoumi Assessment, JSSA）が 2007 年より行われた。ここでは日本の里山・里海と人間の相互作用に主眼を置いた評価を行っている（日本の里山・里海評価, 2010）。

また、生物多様性の損失とその要因に加え、生態系サービスの評価にも言及した生物多様性総合評価（Japan Biodiversity Outlook, JBO）報告書が 2010 年に公開された [11]。地球規模での生物多様性に関する総合的な評価には、「地球規模生物多様性概況」がある。2020 年には地球規模生物多様性概況第 5 版（GBO 5）が公表された。GBO 5 では、愛知目標で個別目標として掲げられた 20 項目はいずれも完全には達成されていないとした。一方、6 つの目標（目標 9, 11, 16, 17, 19, 20）に関しては 2020 年の達成期限までに部分的に達成したと評価した。また、生物多様性ビジョンの観点からは「今までどおり」か

らの脱却が求められ、生物多様性の損失の流れを変えるためには社会変革のほか、各省庁の連携も必要となるとした [12][13]。さらに、2050 年ビジョン達成のために移行（transition）が必要とされる分野を 8 つ列挙した。JBO はこの GBO の日本版としての性格を持つ（橋本・齊藤，2014）。

そして、環境省は日本の里山里海評価（2010）公表後の 2014 年より、JSSA を含めた既存の生態系サービスの評価事例を参照しつつ、2014 年より生物多様性と生態系サービスに関する評価を行った。そして、2016 年に生物多様性及び生態系サービスの総合評価（Japan Biodiversity Outlook 2, JBO2）報告書を公表した [14]。JBO2 においては 17 の生態系サービスの評価項目に対して 61 の指標にて国家レベルで評価が行われた。

その後、環境省は上述の JBO および JBO2 を経て、2021 年には生物多様性及び生態系サービスの総合評価 2021（Japan Biodiversity Outlook 3, JBO3）を取りまとめた。JBO3 では日本の生物多様性や生態系サービスの状態およびそれらの変化の要因に関し、IPBES の概念枠組みを参考として、過去 50 年程度の傾向の評価を行った。その結果、日本の生物多様性や生態系サービスの状態が過去 50 年間にわたり、損失・劣化傾向にあることを示した。さらに今後の生物多様性の損失を阻止し、回復へと向かわせるために必要となる対策について述べた [15]。

加えて環境省では、IPBES の取り組みを支援するために、IPBES に対して年間約 30 万ドルの拠出をしている。ほかにも国連大学等と共同で開催したワークショップをはじめとして、概念的枠組みの構築や作業計画の策定や実施などに貢献する取り組みを行っている [7]。

## 1.5 対象地域

三重県は日本列島のほぼ中央、本州の太平洋側に位置し、紀伊半島の東側を占める [16]。ここを伊勢湾、熊野灘、紀伊山地、鈴鹿山脈、養老山地などが囲み、中央には布引山地が通っている（帝国書院、2018）。

三重県は、市町を5つに区分している [17][18]。図 1-1 は、それぞれの区分として北勢地域、伊賀地域、中勢地域、南勢地域、東紀州地域を図示したものである。また、気象庁は、気象警報・注意報の発表状況を地域的に概観するために、災害特性や都道府県の防災関係機関等の管轄範囲などを考慮してまとめた区域である市町村等をまとめた地域を定めている。図 1-2 に示すように、三重県の市町村等をまとめた地域も5つに区分される [19]。



図 1-1 三重県の位置と地域区分 [17]

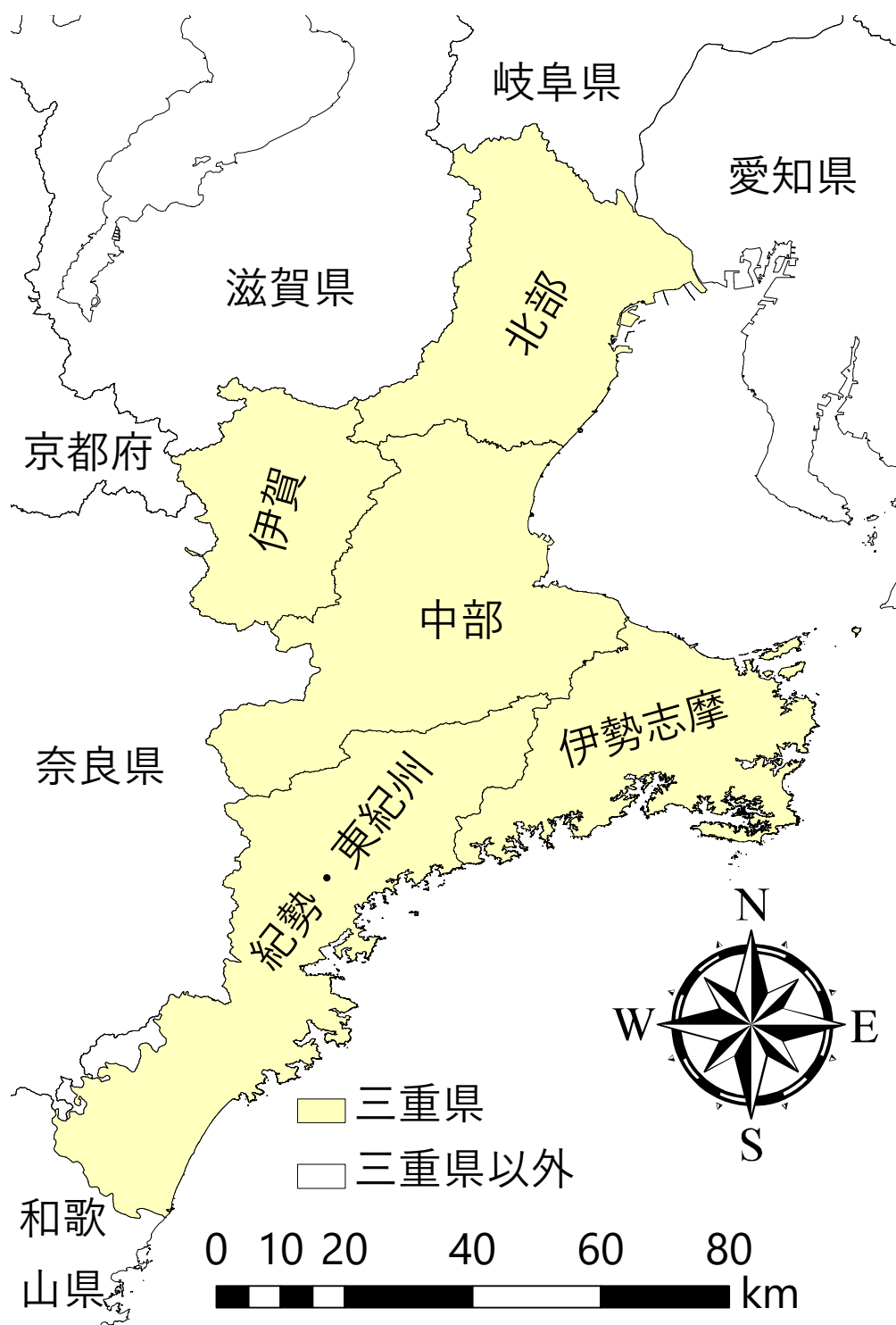


図 1-2 三重県の位置と気象庁が公開する市町村等をまとめた地域 [19]

三重県では北部・中部・伊勢志摩に位置する鈴鹿山脈や布引山地の東側には伊勢平野が広がり、伊賀には上野盆地が広がっている（帝国

書院, 2018)。鈴鹿山脈, 布引山地からは多数の河川が伊勢平野に流れ込んでいる。また, 伊勢市二見地区付近から東部, 南部にかけては, 山地が海岸付近まで迫る地形になっている。一方, 熊野市から紀宝町にかけては直線的な海岸線が続いている (朴, 2017)。歴史的には, 三重県は古代から近世まで, 伊勢, 伊賀, 志摩, 紀伊 (一部) の 4 国に分かれていた。また, 養老山地・鈴鹿山地, 伊勢平野, 上野盆地, 熊野灘沿岸でそれぞれ異なる気候型にある [16]。図 1-1, 1-2 の区分はそういった背景を持つ地域のまとまりとして考えることができ, 本論文ではこれらの区分を用いて議論する。

なお, 第 3 章では図 1-1, 第 4 章では図 1-2 の区分を用いた。第 3 章では解析に行政界を用いており, 三重県が公開する市町区分 [17] とした一方, 第 4 章ではより気象学的な考え方が含まれるため, 気象庁が公開する地域区分 [19]を用いたことによる。

また, 2015 年 10 月 1 日における三重県の人口は 1,815,865 人, 人口密度は 314.5 人/km<sup>2</sup>であった。図 1-1 における区分別の人口は, 北勢地域では 841,029 人, 中勢地域では 490,770 人, 伊賀地域では 169,376 人, 南勢地域では 243,073 人, 東紀州地域では 71,617 人であった。また, 図 1-2 の区分別の人口は, 北部は 841,029 人, 中部は 481,213 人, 伊賀は 169,376 人, 伊勢志摩は 234,134 人, 紀勢・東紀州は 90,113 人であった [20]。特に図 1-1 における区分の東紀州地域, 図 1-2 における区分の紀勢・東紀州では人口が少なく, 過疎化が進行している状態である。そして, 南部の過疎地域では人口の流出, 北部の都市域では流入が見られ [21], 地域格差の観点からは日本の縮図となっている。加えて, 多くの統計指標が全国中, 真ん中付近の順位にあり [22], 日本の中央値的な条件にある。

さらに, 2015 年 10 月 1 日の三重県の面積は 5,774.40km<sup>2</sup>であった [20]。この中には様々な土地利用が存在する。土地利用と生態系サー

ビスの関係に関しては研究が行われているが（神山ら，2016; Tammi et al., 2017），当該地域における生態系サービスの情報は少ない。

なお，気温および降水量の平年値は，それぞれ，中部に位置する津市では 15.9℃および 1,581.4mm，紀勢・東紀州に位置する尾鷲では 16.1℃および 3,848.8mm であり，南部の方が気温は高く，降水量も多い [23]。また，紀勢・東紀州には四国南部，九州宮崎地方と並ぶ日本有数の多降雨地域が含まれる（朴，2017）。実際，尾鷲では 1954 年に 6,174.5mm もの年降水量を記録した [23]。

## 1.6 なぜ生態系サービスの概念が重要となるのか

かつて，生態系サービスの多くは自由に使うことができ，無限に存在すると考えられていた。すなわち，生態系サービスは当然のように存在するとみなされていた。しかし，今日では様々な評価等の取り組みが行われ，世界的な生態系の劣化により，生態系が提供できるサービスが減少していると考えられるようになってきた（Science for Environment Policy, 2015）。MA では，評価した生態系サービスのうち，およそ 60%が劣化しているか，非持続的に利用されていることを示した（Millennium Ecosystem Assessment, 2007）。また，IPBES は，報告書の中で，生物多様性と生態系の機能やサービスが世界的に悪化していることを述べた。（IPBES, 2019）。

Maes et al. (2013) の概念枠組みでは，生態系サービスや生態系の変化の人為的な要因を介在として生態系と社会経済システムとを関連付けている。これによると，人々は生態系から生態系サービスを享受しているが，これは人間の福利に影響を及ぼす。この人間の福利は，社会経済システムにおいて重要な概念である。さらには，意思決定者が定量的なデータを基に，社会経済や生態系の様々な側面を考慮することも可能にする。

また、これまでに述べた MA や IPBES といった国際的な生態系サービスに関する動向の影響は、日本国内にも及んでいる。政府が策定する生物多様性国家戦略や農林水産省生物多様性戦略をはじめ、様々な行政の意思決定の現場で生態系サービスの概念が登場する頻度は増えている（橋本・齊藤，2014）。さらに、コスタリカやオーストラリアなど複数の国では、政府が率先して生態系サービスを資金援助等の形で経済に組み込む行動を起こしている（Daily and Ellison, 2010）。加えて、今井ら（2014）は、「保全に関連強い行動意図」と「文化的サービス」への認知との有意な関係性を示した。

これらを踏まえると、生態系サービスの概念は人間の福利や様々な保全活動に影響する可能性があり、重要であるといえる。



## 2. 既往の研究

生態系サービスに関しては、国内外で様々な取り組みがなされている。それらの概要を以下に述べる。

### 2.1 国家レベルでの研究

Bateman et al. (2013) は、イギリスを例に、土地利用が農業生産のみならず、温室効果ガス、レクリエーション、都市緑地、野生種の多様性にとっても重要であることを示した。最初の解析では、市場価値（例えば農産物）を重視し、市場で売買できない生態系サービスを無視することによる土地利用に関する意思決定を行った場合の結果を示した。あるシナリオでは、温室効果ガス排出量が少なくなることにより、気候変動は抑えられ、気候変動による農業への影響は小さくなった。しかし、環境規制が強まり、多くの地域で農業が制限を受け、農業に関する市場価値が低下した。別のシナリオは、環境規制が強いものの、温室効果ガスの排出量が多いというものであった。このシナリオでは、気温上昇により農業生産が高まった。さらに別のシナリオは、排出量が高く、環境規制が弱い状態のものである。これにより、保全地域の一部を農地に転換するなどの土地利用の変化が可能となり、農業生産量やその市場価値がさらに増加した。

そして、土地利用の変化による温室効果ガス、レクリエーション、都市緑地、野生種の多様性への影響に関する解析も行った。すると農業的価値は、環境規制が弱いと市場価値が高くなった。しかし、土地利用変化の非市場的な影響を見ると、大部分では、環境政策により、温室効果ガス排出量の削減、レクリエーションや都市緑地の充実、種の多様性の向上などとして生態系サービスの価値が向上していた。貨幣価値として計算しなかった野鳥の多様性の指標を除き、他のす

すべての価値を合計すると、環境規制が弱いと（あるいは強いと）全国的に正味の損失（または増加）につながるということがわかった。市場価格のみを考慮すると、環境がもたらす多くの恩恵を社会から奪うような土地利用の決定が下され、イギリスの状態が悪化する危険性があることが明らかになった。さらに、意思決定方法ごとの生態系サービスを含む景観がもたらす価値の違いも地図化した。その結果、従来の市場主導型の意思決定方法では、農業価値が最大となるような選択肢が選ばれるが、このような政策は、国内の多くの地域で、生態系サービスを含む景観がもたらす価値を全体的に低下させることがわかった。

Rabe et al. (2016) は、ドイツにおける生態系サービスの地図化の枠組みを提示した。評価する生態系サービスの選定には、主として Haines-Young and Potschin (2013), Millennium Ecosystem Assessment (2005), TEEB (2010), OECD (2008) を参照した。生態系サービスの分類は、MA と TEEB に沿う形とした。その上で、CICES との互換性を考えた。それらを基にして、地図化した。また、1つの生態系サービスに対していくつかの指標がある場合、その整合性を調べるためにより詳細な解析を行った。指標の計算結果に対する空間相関を求めた。次に、ホットスポット分析を行った。そして、ホットスポット分析結果のオーバーラップ分析を行った。さらに、複数の生態系サービスのシナジーとトレードオフに関する分析も行った。

その結果、農作物を例にすると、それに関連する各指標間の空間相関は高かった。さらに、すべての指標に強い空間的自己相関がみられた。また、ホットスポットとコールドスポットは、図示した指標間で高い類似性を持っていた。そして、そのことはオーバーラップ分析によっても裏付けられた。加えて、生態系サービスの地理的な分布の様子も可視化された。作物の生産能力がほかの生態系サービスと負の

相関を示す場合が多いことも分かった。その後、意思決定や空間計画における生態系サービスの概念の今後について考察した。また、既存のデータベースを使えば、ドイツでは生態系サービスの包括的な地図化が可能であることを述べた。

日本の里山・里海評価（JSSA）は、日本における里山・里海に関する評価である（日本の里山・里海評価，2010）。この評価は里山・里海と、生物多様性、生態系サービスおよび人間の福利との関係についての理解を向上させることや里山・里海の生態系サービスの信頼性のあるベースラインを確立することなどを目的としている。JSSAでは、MAの概念枠組みを踏襲したが、里山・里海ランドスケープを加えるなどの修正も行った。これにより、人間活動に起因する間接・直接的要因によって里山・里海が変化し、その変化が生態系サービスの変化につながり、人間の福利の構成要素に影響を与え、それが翻ってライフスタイルなどの変化として間接的要因にフィードバックするという構造になっている。また、全国を5つの地域（クラスター）に分類し、評価基盤とした。

日本の里山・里海評価委員会（2012）は、分析対象となった里山・里海の生態系サービスをまとめた。ただし、評価にあたってはデータの利用可能性を考慮に入れた。また、里山・里海に関係する変化の間接的要因に触れた後、分析対象となった生態系サービスの変化とその直接的要因について述べた。JSSAが評価対象とした生態系サービスの状態と変化の直接的要因との関係を整理したものからは、例えば里山の供給サービスである木材については、人間の利用（薪炭林としての利用を含め）が「減少」した一方で「向上」したことが分かる。しかし、里山の多くの生態系では、過少利用により供給サービス、調整サービス、文化的サービスの多くの生態系サービスの質が低下した。このうち、調整サービスの森林の水源涵養機能・土壌災害防止機

能に影響を及ぼす要因としては、森林伐採、人工林化、人工林の生長、人工林の適正間伐を挙げた。特に人工林の管理の粗放化や林相の変化の影響が懸念される。一方、戦後の国策の一つに、スギ・ヒノキ人工林による画一的な拡大造林が挙げられる。こうした造林の多くは、里山の広葉樹林の伐採跡地に針葉樹林を植林する形で進められた。しかし、針葉樹林は広葉樹林よりも根が浅く、土砂流出抑制能に違いがある。そして、針葉樹人工林では相対的に下層植生が乏しい。これにより、多様な山菜などの里山の恵み、土壌形成機能、野生生物のハビタットとして、広葉樹林と比較すると劣ることも少なくないと述べている。

日本の里山里海評価（2012）はさらに、日本の里山・里海にかかわる近年の対応について評価した。それから、どのような対応が日本の里山・里海の生態系サービスの持続的な保全・管理に貢献するのかを検討した。また、里山や里海の将来についてシナリオを用いて考えた。

JBO は、日本全国の生物多様性の損失の要因（影響力の大きさ）と状態（損失の大きさ）等を 30 の指標と 104 のデータ等を用いて評価した。評価期間は 1950 年代後半から 2010 年 5 月の報告書の発行時期ごろまでとした。損失の要因は、生物多様性国家戦略 2010 が挙げる「第 1 の危機（開発・改変、直接的利用、水質汚濁）」、「第 2 の危機（里地里山等の利用・管理の縮小）」、「第 3 の危機（外来種・化学物質）」、「地球温暖化の危機」に区分した。また状態については、日本の生態系を「森林生態系」、「農地生態系」、「都市生態系」、「陸水生態系」、「沿岸・海洋生態系」、「島嶼生態系」の 6 つに区分して評価した。それにより、生物多様性の損失の現状、陸水生態系・沿岸・海洋生態系・島嶼生態系における生物多様性の損失が大きいこと、損失の要因、今後求められる対応、生物多様性の損失の一部が重大な損失に発展する恐れがあることといった、主要な 5 つの結論が導き出され

た。一般に、生物多様性の損失により生態系サービスの低下が生じる。評価期間中では、一部の生態系サービスが重視されたことによって逆に生物多様性の損失が生じたことや、生態系サービスの海外依存が大幅に進んだことが目立った。しかし、JBO では生物多様性の損失の要因や状態の評価に焦点を当てたことにより、日本における全体的な生態系サービスの評価は十分とはいえないとしている [11]。

JBO の公表より後の 2010 年 10 月、愛知県名古屋市で開催された生物多様性条約第 10 回締約国会議(The tenth meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, COP10) で、「戦略計画 2011-2020」および「愛知目標」が提示された。また、2012 年 4 月には IPBES が設立された。

このような流れを踏まえ、環境省は「生物多様性及び生態系サービスの総合評価に関する検討会」を設置し、2016 年 3 月に JBO2 を公表した。JBO2 は、IPBES の概念枠組みを参考に、「生物多様性の損失の要因」、「生物多様性の損失への対策」、「生物多様性の損失の状態」、「人間の福利と生態系サービスの変化」を対象として扱った。それにより、生物多様性の状態は依然として悪化傾向にあり、その主要因（第 1～4 の危機）も前回評価と変わらないこと、気候変動による生物の分布の変化や生態系への影響が起きている確度が高いと評価を改めたこと、国内における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をはじめとした 9 つの主要な結論が導き出された。

JBO2 においては 17 の生態系サービスの評価項目に対して 61 の指標にて国家レベルで評価が行われた。その中には、地図化による評価も含まれる。また、既存の文献やデータを応用した [14]。

また、2019 年には IPBES が生物多様性と生態系サービスに関する地球規模評価報告書を公表した。さらに、2020 年には生物多様性条

約事務局が「地球規模生物多様性概況第 5 版 (GBO5)」をまとめた。

このような経緯を受け、日本の生物多様性及生態系サービスの現状を評価し、その後に取り組むべき課題を整理するため、環境省が設置した「生物多様性及生態系サービスの総合評価に関する検討会」が「生物多様性及生態系サービスの総合評価 2021 (JBO3)」を取りまとめた。

JBO3 では、日本の生物多様性及生態系サービスの状態が、過去 50 年間、長期的に損失・劣化傾向にあり、その直接的な要因（生物多様性の 4 つの危機）の影響は大きいまま推移していること、今後、生物多様性の損失を止め、回復へと転じさせるためには、これまでの直接要因を対象とした対策に加え、間接要因への対処を通じた社会変革が重要であるというキーメッセージを提示した。これにあたり、生態系サービスの評価には、20 のディスプレイサービスを含む評価項目に対して 69 の指標を用いた。この評価によると、食料や木材等の供給サービスは、その多くが過去と比較して低下した。大気や水質の浄化などの調整サービスについても劣化傾向が示された。また、地域資源の持続可能な利用を背景とする文化や伝統知も失われる傾向にあった。さらに、過去 20 年で野生鳥獣による農林水産業被害が増加しているほか、ダニ媒介性感染症などの人獣共通感染症による健康へのリスクも顕在化しており、生態系によるディスプレイサービスが顕著になった [15]。

また、MAES はこれまでに様々な成果をもたらしてきた。しかしながら、EU 全体の生態系の状態と傾向に関する最終的な評価は長年公表されてこなかった。それを踏まえ、Maes et al. (2020) が公開された。

EU 全体を対象として、2000 年から 2012 年にかけての作物の供給、木材の供給、炭素隔離、作物受粉、洪水制御、自然を利用したレクリ

エーションに関する評価を紹介した。その中で、可能な限り、1) 潜在力 2) 需要 3) 利用 4) 満たされていない需要の4つの指標により評価した。

その結果、生態系サービスの潜在力は、作物受粉と洪水制御で減少傾向を示し、木材の供給と自然を利用したレクリエーションでは大きな変化はみられなかった。

生態系サービスの需要は、木材の供給を除き、評価したすべての生態系サービスで増加した。これは、社会の生態系サービスへの依存度が以前より高まったことを示している。

生態系サービスの利用は、作物の供給、作物受粉、自然を利用したレクリエーションで増加したが、木材の供給、炭素隔離、洪水制御については、対象期間中における大きな変化は見られなかった。

満たされていない需要に関しては、生態系サービスごとに変化の状況が異なっていた。

生態系サービスの評価には複雑な解析が必要であり、結果は限られた年（2000年、2006年、2012年）と生態系サービス（6種類）からしか得ることができなかった。生態系サービスの指標（潜在力、需要、利用、満たされていない需要）を解析することのできる地理情報システムのツールを開発することは、生態系サービスのより定期的な更新と体系的なモデル化の促進に貢献すると述べている。

この評価は、生態系サービスの評価にあたり、不足しているデータを特定するのに役立った。また、生態系サービス評価には、より詳細な空間分解能、理想的には1×1kmの統計データが必要であるとしている。

## 2.2 地域レベルでの研究

### 2.2.1 地図化を伴わない研究

神山ら（2016）は、石川県の 19 の市町を対象に、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解析を行った。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。次に、その生態系サービス同士の相関関係を解析した。この相関解析から、欠損地の多い項目や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を考慮し、14 項目を修正・選抜した。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、欠損値を含む項目を除外するなどし、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い、相関をみた。

これより、シナジー関係は農地にかかわる供給サービス・調整サービス・文化的サービス間や、森林や海にかかわる供給サービス・調整サービス間にあることが示された。また、農地にかかわるサービスと森林にかかわるサービス間にはトレードオフの関係があることも明らかになった。そして、主成分分析から求められた、各市町村の基本属性の第 1 軸と、生態系サービスの第 1 軸の間には正の相関があった。基本属性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いことが分かった。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いことも示された。

齊藤ら（2012）は、2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災による生態系サービスの影響に関して、公表されている各種情報を包括的に収集し、その集められたデータを MA と JSSA の分析枠組みに



基づいて、震災前後での生態系サービスの変化について定量評価を行った。

対象地域は、被災県のうち、特に被害が大きかった青森、岩手、宮城、福島 の 4 県における津波浸水域（44 市町村）とした。

その結果、供給サービスのうち食料については、震災前後でコメ以外では 5%減、コメ 25%減、畜産は 18-57%減であることがわかった。調整サービスとしては、森林による炭素蓄積量、炭素吸収速度、飲料水の輸入量の変化、海岸林の被災面積などを定量化した。震災後には、特に飲料水の輸入量が急増したことも示された。このことについては、水質浄化の調整サービスの劣化と国外依存の増加を意味するとした。文化的サービスについては、被害の実態の詳細が把握できなかった項目が少なくないが、行楽シーズンの観光客数が東北全体で 3～4 割減少していること、東北全体の 17%の文化財に被害が生じたこと、などが明らかになった。

その他、日本において地域レベルで生態系サービスを扱った研究事例としては、2012 年 3 月に竣工した尼崎運河水質浄化施設に関して、生態系サービスに対する影響を含む視点から市民協働にも参与して行った調査と分類（一色ら、2015）、東京湾内の干潟 4 箇所において非利用価値の生態系サービスに関する経済価値を既にある利用価値の情報を元にして計算する方法の検討（岡田ら、2016）、関東地方の 3 つの大規模都市公園の利用者を対象として行ったアンケート調査を元にした文化的サービスの評価における知見構築（小林、2017）などがあり、いずれも複数の生態系サービスに関して評価を行っている。

## 2.2.2 地図化による研究

### 2.2.2.1 ホットスポット分析を伴わない研究

Shoyama and Yamagata (2014) は、北海道釧路川流域を対象として、生物多様性の保全と気候変動の緩和を目的とした土地利用政策が、日本の農村景観における将来の生態系サービスの供給にどのような影響を与えるかを検討したケーススタディを紹介した。その中で、土地利用の変化が特定の生態系サービスに与える影響を定量化し、指標を用いて比較した。

まず、衛星画像と航空写真および現地調査を基にした解析で過去の土地利用に関する変化の傾向を調べた。そして、土地利用シナリオとして、(1) トрендシナリオ、(2) 生物多様性保全シナリオ、(3) 気候変動軽減シナリオを作成し、将来の土地被覆の変化を予測した。さらに土地利用の変化に伴う生態系サービスの供給の変化を評価することとし、その指標を考案し、計算した。調査地域の特性を考慮して、(1) 生息環境の質に関する指標、(2) 炭素隔離、(3) 木材生産、(4) 水の生産の 4 つの指標を選択した。そして、2011 年の土地利用図により、3 つの土地利用シナリオごとに計算した。計算には地理情報システム (Geographic Information System, GIS) を用いたモデルである生態系サービスとその代償のための総合評価 (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs, InVEST) を採用した。

その結果、トレンドシナリオでは農地が減少し、低木・草原の面積が増加した。これは、特に流域の中央部で顕著であった。生物多様性保全シナリオでは、自然林や湿地は 1977 年と同じ水準まで回復した。一方、人工林と農地は減少した。また、自然林は中流域から上流域にかけて拡大した。一方、気候変動軽減シナリオでは、同じ地域で人工林が拡大した。

生息環境の質、炭素隔離、木材生産は、中流域から上流域にかけての傾斜した高地にある森林と関係していた。そして、水の生産は国立公園として保護されている地域を含む上流域と下流域で変化した。

Ivanova et al. (2016) は、ブルガリアの山間部に位置する地方自治体における資源の経済評価に、生態系サービスの概念を取り入れた。対象地域を山岳地域にあるチェペラレとし、生態系サービスを地図化した。

生態系サービスの経済評価を行うためには、特定の時間および場所において、多くのデータが必要となる。この研究では、法的な制約もあり、地域レベルでの統計データの入手や収集が非常に困難であった。現地調査や住民、政府、ビジネス界に対する調査で補ったデータもある。そのため、評価対象とする生態系サービスの選択にも制約が加わった。

この研究では、供給サービスと文化的サービスのうち、代表的な 5 つのクラス (Maes et al., 2013) に焦点を当てている (木材, 木質燃料, 淡水, 食料 (家畜, 作物, 天然植物 〈ハーブ〉), レクリエーション, 観光)。また、経済指標は 8 つの生物物理学的指標 (Burkhard et al., 2014 に準拠) に従ってまとめられた。

そして、GIS を活用し、便益移転、市場価格、仮想評価などの手法を採用した。

チェペラレにおける生態系サービスの年間総経済価値 (Total Economic Value, TEV) は、1ha あたり 76 セントから 5,892 ユーロとなっていた。都市域では、TEV は高く現れた。これは、都市域の規模が小さいこと、今回の計算方法の特性、集落が周辺地域の資金の流れを「吸収」していることなど、さまざまな理由による。その価値は、1ha あたり年間約 100 ユーロから約 5900 ユーロの間で推移していた。

自然草原と牧草地の生態系が提供する家畜生産サービスの TEV は、約 300 ユーロ/ha/年であった。すべての森林サービスの評価が困難であることや、木材の市場価格が低いことなどから、森林生態系の TEV は約 15~60 ユーロ/ha/年と非常に低くなっていた。

Tammi et al. (2017) は、フィンランド南西部のピルカンマー県で行われた、地域的な生態系サービスの地図化と評価の事例である。生態系サービスのインベントリを構築するのに用いることのできる GIS 技術の説明、地図化された生態系サービスと自然資本の貨幣価値の算出、生態系サービスの供給に関する空間分布と土地利用との比較、生態系サービスの枠組みが実際の土地利用管理に役立つかどうかの評価を目的とした。

生態系サービスの地図化と評価にあたり、CICES (Haines-Young and Potschin, 2013) の Section から、横断的になるように生態系サービスを選択した。生態系サービスのほか、エネルギーに関連するような自然資本を含む自然由来の非生物的なものも、生物学的な作用と密接な関係がある場合には検討された。生態系サービスの選択は、データや既存の評価方法の利用可能性、および 17 名の自然資源・土地利用管理の専門家・研究者から成る研究プロジェクトの運営グループの意見に基づいた。ただし、プロジェクトの設定期間が 1 年間となっており、これが制約となった。地図化は、主として入手可能な空間データの改良により行われた。また、可能な場合はオープンアクセスデータを用いた。この研究では、フィンランドの様々な機関が提供する公開データを中心に、多くの空間データを利用した。そして生態系サービスの空間的な評価の結果を、土地利用と比較した。

その結果、ピルカンマー県の生態系サービスは約 7 億 6000 万～9 億 1000 万ユーロ、平均で 8 億 3500 万ユーロであると算出された。非生物的なものを含めると、その価値は年間約 8 億 1,000 万～9 億 6,000 万ユーロ（平均 8 億 8,500 万ユーロ）に達した。今後の価値を考えると、年間で約 9～12 億ユーロに達した。空間的には、生態系サービスの利用は不均一に分布していた。

また、生態系サービスと土地利用の関係は、土地利用形態を広範囲

で見た場合と狭い範囲で見た場合との違いが顕著に現れた。人為的な影響が大きい地域では相対的な比率が高くなった。一方、それぞれの価値の合計は全体の景観構成や広範囲の土地利用形態と同様の傾向を示した。生態系サービスの価値と土地利用計画を比較すると、同様に、人間と自然の関係が見られた。レクリエーションや地下水のために計画されている区域など、利用頻度が高くなる区域の価値が高く表れた。それに次いで、農業、林業、レクリエーションとしての利用が混在することになる「価値ある景観」の区域が高かった。さらに、人口密度が高いほど生態系サービスの需要が高まり、人口密度の低い地域では、一人当たりの生態系サービスの価値が急激に上昇する傾向が見られた。

#### 2.2.2.2 ホットスポット分析を含む研究

Bagstad et al. (2017) は、コロラド州南部からワイオミング州北西部にまたがるロッキー山脈の南部から中部にかけて存在する 6 つの国有林を対象に、ARIES と SolVES を用いて、生物物理学的なモデルで計算した 4 種類の生態系サービスと、文化的生態系サービスに関する 11 種類の生態系サービスを定量化した。生物物理学的なモデルで計算した 4 種類の生態系サービスとして、炭素隔離・炭素貯蔵、水の生産、堆積物の調整、6 つの森林が見えるレクリエーション地や住居からの眺めの美しさを選択した。文化的生態系サービスに関する 11 種類の生態系サービスとして、美感、文化的、未来、歴史的、本質的、学習、レクリエーション、超自然的、治療に役立つ、経済、存在を選択した。

次に、6 つの方法を用いて生態系サービスのホットスポット・コールドスポットを地図化した。6 つの方法とは、(1) 上位・下位 33%、(2) 上位・下位 10%、(3) 各森林の総面積の上位および下位 33%、(4)

各森林の総面積の上位および下位 10%, (5) 有意水準=0.10 の Getis-Ord Gi\*統計量 (Getis and Ord, 1992), (6) 有意水準=0.05 の Getis-Ord Gi\*統計量である。そして、自然保護区域内外の結果を比較した。

その結果、分位および面積を基にした場合、ホットスポット・コールドスポットとして最大もしくは最小の面積が算出された。これは、最も保守的ではないもしくは保守的な考え方による計算方法であるといえる。また、分位および面積を基にした場合、統計学的手法と比較して、集合的ではないホットスポット・コールドスポットの地図となった。

Getis-Ord Gi\*統計量を基にした場合、保守性は中程度となった。そのため、Getis-Ord Gi\*統計量を用いて 6 つの森林すべてのホットスポット・コールドスポットを比較した。Bridger-Teton 国有林では、ウォームスポットが最も広く、ホットスポットやコールドスポットの面積は比較的少なかった。それに次ぎ、White 川, Pike-San Isabel, Shoshone 国有林の順となっていた。Medicine Bow-Routt と Araapaho-Rosevelt は、ホットスポット/コールドスポットが最も大きく、ウォームスポットが最も小さかった。

生物物理学的モデルに基づく、すべての森林において自然保護区域の方が水の生産と眺めの価値が高かった。それ以外は森林により、状況が異なっていた。

Li et al. (2017) は、RUSLE モデルと Getis-Ord Gi\*統計量に基づいて、2000 年から 2013 年までの中国陝西省における年間の土壌保全サービス (Soil conservation service, SC) の変動を定量化し、統計的に有意なホットスポットとコールドスポットを特定した。

その結果、SC のホットスポットは陝西省の面積の 29.6%, SC 全体の 59.7%を占めていたが、コールドスポットは陝西省の面積の 46.3%, SC 全体の 17.2%しか占めていなかった。この結果から、ホットスポ

ットが最も高い土壌保全能力を持っていることがわかった。SC のホットスポットは主に陝西省南部に散在しており、コールドスポットは主に関中盆地と風塵のある高原地帯に分布していた。

ホットスポットでは、78.9%が森林地帯や草原地帯で覆われていたのに対し、コールドスポットでは 43.6%しか植生で覆われていなかった。また、コールドスポットのうち 45.8%は農地にあることがわかった。

Bachi et al. (2020) はブラジルの Camanducaia の自治体当局と Monte Verde 地区を対象として、主要な文化的サービス (Cultural Ecosystem Services, CES) を地図化し、モデル化した。Monte Verde 地区はミナスジェライス州の最も重要な観光地の一つである。

写真付きアンケートを使用し、景観利用者グループの特徴を捉え、さらに景観利用者のサブグループも考えた。また、景観利用者が述べた景観の特徴や属性を地図化し、クラスター分析により関連性の高い CES の分布に関する空間分析を行い、CES のバンドルを特定した。この過程では、Monte Verde 地区で最も多く地図に表された CES の美感、レクリエーション・エコツーリズム、文化遺産に関してカーネル密度推定を行った。そして、CES のバンドルのホットスポットを特定するために、5つの階級に分けた。

その後、景観の計量により、景観の構成と土地被覆の構造 (ランドスケープにおける土地被覆クラスの量と分布) を定量化した。最後に、これらの結果を用いて CES のホットスポットに関する空間明示モデルを計算した。

その結果、利用者グループが好む景観要素は、Araucari の森、大西洋沿岸の森の露出した岩体であることがわかった。地域住民は、美感やレクリエーション・エコツーリズムといった恩恵を受けていることが示唆された。さらに、Araucaria の森や、木造建築物やパノラマ

の眺めを高く評価した。企業家は、文化遺産や美感といった CES との関連性が高く、露出した岩体や、木造建築を好む傾向があった。一方、観光客は、美感、レクリエーション・エコツーリズム、文化遺産といった CES および Araucaria の森と木造建築を好むと答えた。

Camanducaia の自治体当局における景観の約 50% は Araucaria と大西洋沿岸の森が占める。Monte Verde 地区では、景観の 78% を Araucaria と大西洋沿岸の森が占めており、それ以外に農業、酪農、製紙業向けのユーカリ農園、都市域といった人為性の高い地域が存在する。この景観構造が、Monte Verde 地区の都市部における美感、レクリエーション・エコツーリズム、文化遺産の CES に関するホットスポットに影響を与えていることが分かった。

Delgado-Aguilar et al. (2017) は、エクアドルのナポ県にある Sumaco 生物圏保護区内を対象に参加型マッピングによる生態系サービスの評価を行った。

この研究では、専門家や地域共同体に対する聞き取りといった定性的な社会科学的手法と生態系サービスの参加型マッピングといった定量的な空間分析を組み合わせた。

聞き取り対象の専門家には、NGO、大学、政府機関などから 15 人を選出した。この聞き取りにより、主要な生態系サービスとして 5 つを選択した。

そして、24 の地域共同体の 208 人にも聞き取りを行った。内容は、社会人口学的側面（年齢、性別、地域共同体、活動・職業、対象地域における居住年数）と、対象地域における 5 種類の生態系サービスの位置に関するものとした。

また、地域共同体の住人が作成した地図に関して、QGIS 等を用いてデジタル化した。さらに、社会人口学的なデータを基に、Excel データベースを作成した。その後、Excel と GIS のデータベースを結合



した。

各生態系サービスの位置および道路・主たる村との距離を得ることにより、生態系サービスの空間分布の変化がある程度明らかになると考えた。生態系サービスの位置と道路、生態系サービスの位置と主たる村の距離の近似として、直線距離を計算した。その後、記述統計学の考え方をを用いて対象地域における生態系サービスの一般分布を得た。

次に、カーネル密度推定により、ホットスポットを特定した。最後に、行政単位ごとに計算した。

その結果、生態系サービスの位置と主たる村との距離は、約 1km から 15km であった。また、主たる村から 8km 離れると、ES の位置が増加した。さらに、ほとんどの生態系サービスは道路から 4km 以内の距離にあった。

密度を表した地図からは、全生態系サービスに共通の「重要な地点」が明らかになった。これは、対象地域の中央部、特に Rukullakta の Kichwa の人々 (the Kichwa People of the Rukullakta, KPR) における 3 つの行政単位に位置していた。ホットスポットは森林に位置している場合も多かったが、水と観光は例外であった。

さらに、行政単位ごとに空間指標を算出した。それにより、5 つの行政単位で、生態系サービスの位置が多く現れた。

Shrestha et al. (2021) は、Chindwin 川流域 (Chindwin River Basin, CRB) のうち、ミャンマーの流域に限定し、脅威の度合いを評価し、主要な生態系サービスを定量化した。

すべての生物多様性に重要な地域 (Key Biodiversity Area, KBA) が等しく重要であると仮定し、(a) 開発活動による脅威、(b) 生態系サービスに応じて、KBA に優先順位をつけた。脅威に関する地図は GIS を用いた多基準意思決定 (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) の

手法により作成した。生態系サービスに関する地図として、水の生産、堆積物運搬率（Sediment Delivery Ratio, SDR）、栄養保持（Nutrient Retention, NR）、炭素貯蔵の4つを InVEST により、推定した。

その結果、KBA の約 12% が「とても高い脅威」と「高い脅威」の区分に該当した。また、最も脅威にさらされている地域は Pauk Inn 湿地帯であるとされた。Pauk In 地域の約 66% がとても高い脅威に、34% が高い脅威に該当した。一方、Uyu 川の KBA は、69% が「とても高い脅威」に、15% が「高い脅威」に分類された。Pauk Inn 湿地帯が Uyu よりも上位に位置したのは、Pauk Inn 湿地帯の脆弱性は複数の要因（農業、土地利用の変化、住宅地の拡大、採鉱、森林破壊）が元となっているが、Uyu は主として採鉱と森林破壊の2つが脅威となっていることによる違いがある。流域の北部にある Hukaung 溪谷周辺と Hukaung 溪谷は、これらの地域が十分に保護されており、開発活動も活発ではないため、脆弱性は比較的低かった。Hponkanrazi, Bumphabum, Saramati Taung は、大きな脅威を受けていないことが示唆された。

生態系の価値は、4つの生態系サービス（水の生産、堆積物保持、栄養保持、炭素貯蔵）を指標として検討した。

4つの生態系サービスを集計すると、森林に覆われている CRB 北部で生態系サービスが最も高いことがわかった。最も低かったのは、農業活動が盛んな南部の流域であった。また、KBA の 87% が「とても高い」および「高い」生態系サービスの区分に該当した。Bumphabum, Kennedy Peak, Natmataung (Victoria 山), Htamanthi では、95%以上の地域が「とても高い」および「高い」生態系サービスに分類された。これらの地域の 90%以上は森林で覆われている。

そして、重大な KBA を、ある KBA が提供する生態系サービスとその KBA が直面している脅威の度合いをプロットすることで特定

した。また、KBA の順位付けがなされた。

## 2.3 研究課題

本章で述べたように、国内外で様々な生態系サービスの評価の試みがなされてきた。また、Bateman et al. (2013) の例からも、生態系サービスを地図化すると、どこでどのような政策を取るべきかを判断しやすくなる可能性を考えることができる。しかしながら、三重県の生態系サービスに関して、地図化を含めた包括的な解析はこれまで行われてこなかった。

一方、生態系サービスのホットスポットと土地利用計画との関係 (Jäppinen and Heliölä, 2015) に関しては、Tammi et al. (2017) や神山ら (2016) は土地利用と生態系サービスとの関係を考察している。また、JSSA では、里山における生態系サービスの劣化要因として、広葉樹林の針葉樹人工林への転用を挙げている (日本の里山・里海評価, 2010)。生態系サービスに近い概念として、農村計画や林野政策では、多面的機能が論じられることがある (橋本・齊藤, 2014; 奥, 2013)。森林・林業白書は、森林の有する多面的機能の持続的発揮に向け、針葉樹一斉人工林に関する自然条件等に応じた針広混交林化や広葉樹林化の必要性について言及している [24]。また、広葉樹林化と関連性の高い文献も多数存在する (新山ら, 2010)。森林・林業白書は同時に、多面的機能の持続的な発揮を念頭に置いた、人工林等の植栽、保育、間伐等による適切な経営管理の必要性についても述べている [24]。加えて、人工林に多面的機能が認められることも報告されている (日本学術会議, 2001)。しかし、日本においてそういった土地利用や森林の種類と、多くの情報に基づく生態系サービスのホットスポットとの関係をみた研究は少ない。

生態系サービスを地図化することは、生態系サービスのホットス

ポットの特定につながる。これは土地利用計画や意思決定に有用である（Jäppinen and Heliölä, 2015）。また、中山間地域等直接支払交付金や森林環境譲与税といった日本における生態系サービスへの支払い（Payment for Ecosystem Services, PES）と類似の制度の多くは生態系サービスの受益者と供給者の間を国や地方自治体が仲介している（橋本・齊藤, 2014）。国や地方自治体の限られた予算の中で PES 類似の制度を土地利用計画や意思決定に生態系サービスの観点から有効に利用するにはこれらの制度を重点的に適用するための生態系サービスのホットスポットなど、地図化によって得られる情報は重要である。

## 2.4 研究目的

そこで本論では生態系サービスの地図化という方法を中心とし、三重県における生態系サービスの現状を把握することを目的とした研究結果を述べる。

3 章では Bateman et al. (2013) に基づき、CICES の Section と基盤サービスごとに三重県において生態系サービスを地図化した初の試みを紹介する。

4 章ではより詳細な生態系サービスの状況を明らかにすることを目的とし、CICES の Group に相当する生態系サービスの分類方法に対して、MAES, JSSA, JBO2 を基にした指標および独自に考案した指標を定義し、生態系サービスの地図化を行った。そしてホットスポット分析を行い、環境省自然環境局が公開する植生調査結果 [25] と生態系サービスのホットスポットの関係を考察した。

なお、本論は、筆者の原著論文に基づいている。第 3 章は山本・大野 (2019)、第 4 章は山本・大野 (2021)、それ以外の部分は山本・大野 (2019) および山本・大野 (2021) の両論文を参照されたい。山本・

大野（2019）は公益社団法人日本造園学会 [26]が発行する『ランドスケープ研究(オンライン論文集)』, 山本・大野（2021）は日本環境学会 [27]が発行する『人間と環境』に掲載された論文である。

### 3. Bateman et al. (2013) に基づく評価

本章では Bateman et al. (2013) に基づき、CICES の Section と基盤サービスごとに三重県において生態系サービスを地図化した初の試みを紹介する。これは、供給サービス、調整サービス、文化的サービス、基盤サービスのそれぞれの生態系サービスを代表するものとして、それぞれ1つずつ（文化的サービスのみ2つ）の指標を選択し、GIS を用いて地図化することによる解析である。

#### 3.1 解析手法

CICES の Section に相当する供給サービス、調整サービス、文化的サービスおよび基盤サービスのそれぞれの生態系サービスの現状と変化を地図化する方法について説明する。まず、各生態系サービスを代表する指標を選定した。表 3-1 に解析に使用した指標を示す。これらは Bateman et al. (2013) で使用された指標でもあり、供給サービス、調整サービス、文化的サービス、基盤サービスをそれぞれ1つ（文化的サービスのみは2つ）の指標で代表させた。それらを GIS により地図化し、解析した。

三重県は、かつて 69 あった市町村が合併して新たに 29 の市町となった [28]。例えば、三重県津市は、2 市 6 町 2 村が合併し、面積 711.1km<sup>2</sup> をもつ、新たな津市となった [29]。これだけの面積のある市町の場合、同じ市町であるからといって、生態系サービスが同じような状態であると見なすのは不合理である。そのため、本研究では三重県を合併前の 69 の旧市町村に分類し、各旧市町村の生態系サービスを計算した。

表 3-1 Bateman et al. (2013) を元にした使用データ

	指標	年	データ名	参考文献番号	データ種別
供給サービス	農業産出額	平成 28 年	市町村別農業産出額（推計）	[30]	Excel
		昭和 51～平成 9 年	生産農業所得統計	[31]	Excel
調整サービス	森林率	昭和 51～平成 26 年度	国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ	[32]	ポリゴンデータ
文化的サービス	観光客数	平成 29 年	観光レクリエーション入込客数推計	[33]	PDF
		昭和 51～平成 18 年	【旧基準】主要観光地別利用者数	[34]	Excel
	都市公園	平成 22 年	国土数値情報都市公園データ	[35]	ポイントデータ
基盤サービス	植物群落の多様性	昭和 54～平成 10 年度	1/5 万現存植生図	[25]	ポリゴンデータ
		平成 11～31 年度現在整備中	1/2.5 万現存植生図		
その他	その他	平成 7～30 年度	国土数値情報行政区域データ	[36]	ポリゴンデータ
	貨幣価値	昭和 51～平成 28 年	消費者物価指数	[37]	Excel

### 3.1.1 供給サービス

供給サービスを代表するものとして、農業産出額を用いた。ミレニアム生態系評価では、供給サービスを構成する要素として、また、快適な生活のための基本的物質として食糧が挙げられている（Millennium Ecosystem Assessment, 2007）。それを引き継ぐ形で、日本の里山里海評価でも食料が挙げられている（国際連合大学高等研究所日本の里山里海評価委員会，2012）。また，Maes et al. (2016) では，CORINE 土地被覆と EUNIS (European Nature Information System) を基にして指標が定められた。このようにして，様々な研究で指標とされ，なおかつ農産物は人が生きていくうえで必要不可欠なものであるため，本章では農業産出額を解析した。

農業に関しては，農林水産省のウェブ上で利用可能なデータが提

供されている。農業産出額、農業物価指数、生産コストなどの、様々な農林水産業に関するデータが公開されており、今回は市町村別の農業産出額に関するデータを用いた。

本研究では、旧市町村別のデータが存在し、かつ土地利用データと比較可能な昭和 51 年から平成 9 年までのデータに加え、最新のものとして、平成 28 年の新市町ごとのデータを旧市町村に面積按分して利用した。その期間には、貨幣価値が変動している。貨幣価値の変動を考慮するため、式 (3-1) に示すように、統計の農業産出額を消費者物価指数で除した [37] ものを用いた。なぜならば、過去の貨幣価値はこの方法で求めることができ [38]、様々な研究にこの方法は応用されているからである。例えば、平河・浅田 (2018) は、学童保育の女性の就業率に対する影響を分析した。分析に際して、1 世帯当たりの課税所得、生産年齢人口 1 人当たり労働費、人口 1 人あたり社会福祉費の 3 つに関しては、過去の貨幣価値を考えるのに消費者物価指数で実質化する方法が用いられた。また、矢島・有村 (2017) は、都道府県ごとでの温室効果ガス排出量削減政策を記した「地球温暖化対策などに係る計画書制度」の有効性を調べる際に、都道府県ごとの製造業部門の実質付加価値額を考えるのに消費者物価指数を用いた。

$$\text{供給サービスの指標} = \frac{100AO}{CPI} \quad (3-1)$$

なお、AO は農業産出額、CPI は消費者物価指数を指す。

### 3.1.2 調整サービス

調整サービスを代表するものとして、二酸化炭素固定量を選択した。藤田 (2013) は、都道府県別の森林の二酸化炭素固定量を計算している。藤田 (2013) が求めた各都道府県における二酸化炭素固定量



から各都道府県における  $1\text{m}^2$  あたりの二酸化炭素固定量を計算し、その値と都道府県ごとの森林率の相関を求めたところ、0.85 の相関係数が求められた。そこで本研究では、各地域の森林率で、温室効果ガス吸収量を示す値として各地域の二酸化炭素固定量を代表できると考えた。

森林には、国土の保全、水源の涵養、地球温暖化の防止、木材をはじめとする林産物の供給等の多面的機能があり、人々の生活や国の経済に対する影響が大きい [39]。一方、世界においては、森林伐採に加えて、その他の土地利用の変化の影響もあり、1750 年より 2011 年までの間において、大気中に  $180\text{GtC}$  の二酸化炭素が排出されたと見積もられている [40]。今回は、森林の多面的機能の中でも地球温暖化の防止機能に着目し、二酸化炭素固定量の代用として森林率を求めた。

国土交通省が国土数値情報ダウンロードサービスにて公開している土地利用データから GIS を用いて三重県における旧市町村ごとの森林面積を算出した。ここで求めた森林面積を旧市町村の面積にて除することにより森林率を求めた。そして、それらを地図化した。この地図化は、昭和 51 年度から平成 26 年度において行った。

### 3.1.3 文化的サービス

文化的サービスを代表するものとしては、観光客数と都市公園が旧市町村に占める面積の割合（以下都市公園率と呼ぶ）を用いた。これは自然を求めたレクリエーションや都市における癒しを求めた文化的サービスを考慮するためである。

生態系サービスの中でも、文化的サービスに関しては、評価が特に難しいサービスである（長谷川・林，2014）。そういった中ではあるが、Maes et al. (2016) では、訪問者に関する統計は文化的サービスの

指標の一つとして考えられている。また、Bateman et al. (2013) でも、観光客数の変化が予測されている。三重県における平成 28 年の観光レクリエーション入込客数（実数）は 41,892,000 人であり、第 62 回神宮式年遷宮や熊野古道世界遺産登録 10 周年を経て 10 年前の 32,923,000 人よりも増加している [41]。

図 3-1 に示すように、三重県には 2 つの国立公園、2 つの国定公園、5 つの県立公園が存在し、国土数値情報自然公園地域データ [42] から、三重県における自然公園の面積は 2,305km<sup>2</sup> である。これは三重県全体の面積の約 40% を占める。各自然公園内にはリアス式海岸で有名な英虞湾、御在所岳をはじめとする登山客に人気の鈴鹿山脈、きれいな砂利浜が続く七里ヶ浜、1,340 枚の棚田が続く丸山千枚田、赤目四十八滝などの自然が魅力な観光地を数多く持つ。したがって、自然公園への観光客数は、自然が人々に癒しを与える文化的サービスの指標として使用できると考える。事実、伊勢志摩国立公園の観光客数は、2014 年には 887 万人であり、一つの国立公園のみで三重県全体の観光客数の 23.2% を占めている [43]。

凡例

- 伊勢の海県立自然公園
- 伊勢志摩国立公園
- 吉野熊野国立公園
- 奥伊勢宮川峡県立自然公園
- 室生赤目青山国定公園
- 水郷県立自然公園
- 赤目一志峡県立自然公園
- 鈴鹿国定公園
- 香肌峡県立自然公園

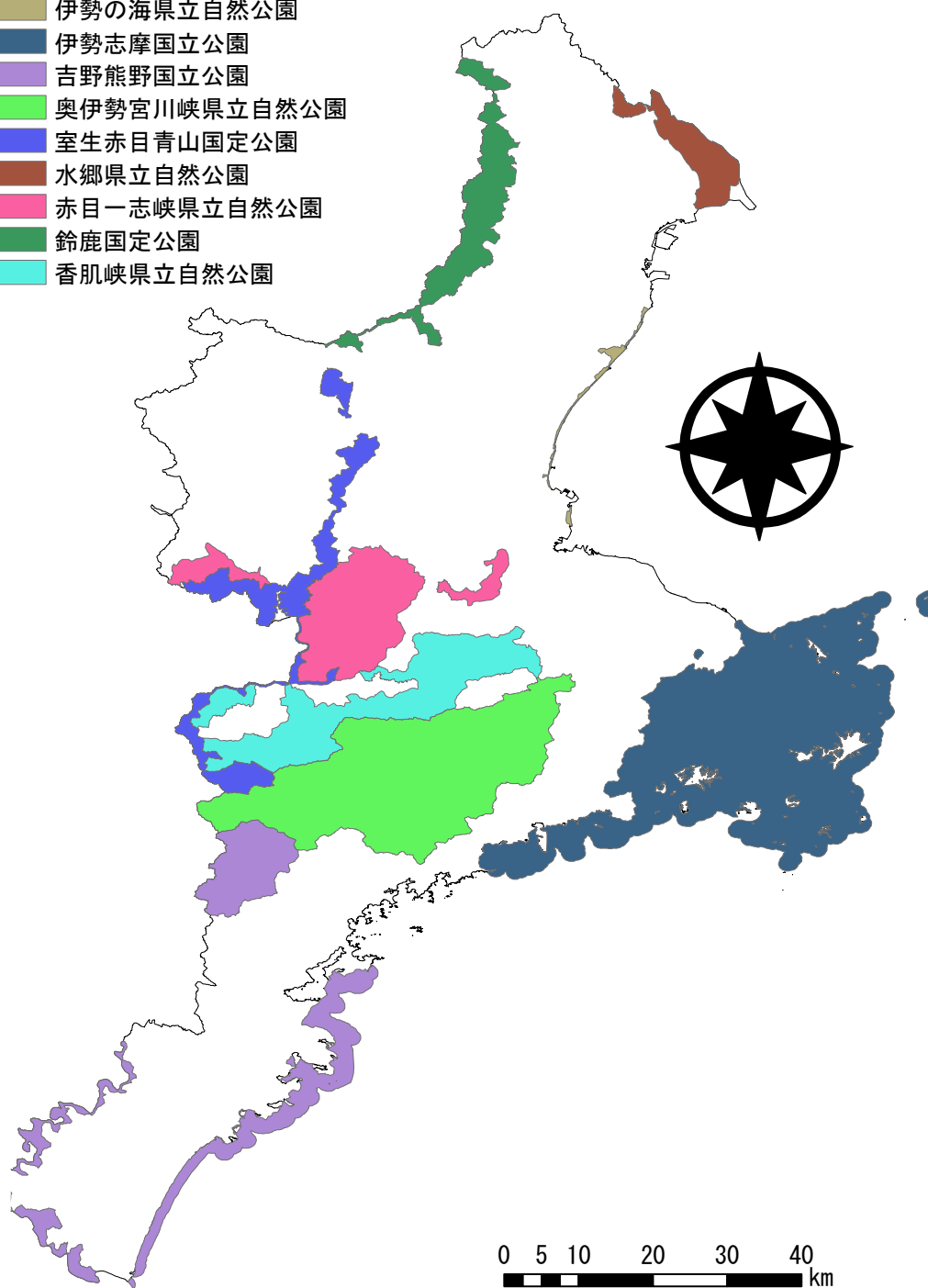


図 3-1 三重県内の自然公園

また伊勢神宮や熊野古道をはじめとする自然公園以外への観光客も、神宮杉、神宮林、尾鷲ヒノキなどの自然に引き寄せられることも

多いと考えられる。このことから、平成 19 年から観光統計データの収集方法が変わり、自然公園への入り込み客数がわからなくなっているが、各市町村への観光入込客数でも、各市町村の自然の文化的サービスを概略的に表していると考えた。

そのため本章においては、図 3-1 に示した自然公園の観光客数を地図化した。なお、最新のデータである平成 29 年の観光客数は市町ごとのデータになっている。そのため、最新のデータのみそれを面積按分し、旧市町村ごとに解析した。ここで、観光客数はレクリエーション価値を表し、都市公園率は都市のアメニティを代表すると考えた (Bateman et al., 2013)。

また、都市緑地は Rabe et al. (2013) においては生態系サービスを表す指標として考えられ、ドイツ全国における地図化もなされている。しかし、日本において都市緑地に関する指標を手に入れることは困難である。一方、都市公園には多くの緑が存在する。日本においては、都市公園のデータを国土数値情報ダウンロードサービスから得ることができる。このデータは、国土交通省都市局が全国の都道府県・市区町村から情報を収集して作成した都市公園リストが原点資料になっている。この都市公園リストに対して、所在地情報のアドレスマッチングを行うことにより緯度経度座標を追加して点データを作成し、都市計画総括図や大縮尺地図、地方自治体作成資料等を参照した上で、位置の確認と各都市公園の中心付近位置を取得し、属性情報も加えて作成されたデータが、今回使用した、国土数値情報ダウンロードサービスにおいて公開されている都市公園データである [35]。図 3-14 ではこの点データを、GIS を用いて解析し、平成 22 年の三重県における都市公園の割合を面データ化し、地図として表している。

### 3.1.4 基盤サービス

基盤サービスを表すものとして、植物群落の多様性を選択した。植物群落の多様性を表す指標として、シャノン・ウィナーの多様度指数を用いた。これは、日置ら（2000）から、植物群落の多様性が高いことが、ランドスケープの多様性や、生物の多様性につながり、ある程度まで、ある場所の植物群落の多様性でその場所の生物の多様性が代表できると考えられるためである。

環境省自然環境局生物多様性センターの植生図データの GIS によるデータ解析から得られた植物群落に関するシャノン・ウィナーの多様度指数を三重県の旧市町村別に表したものが、図 3-15 および図 3-16 である。環境省自然環境局生物多様性センターではウェブ上で全国の植物群落を公開している [25]。ここで、シャノン・ウィナーの多様度指数の計算式は式 (3-2) の通りである。

$$\begin{aligned} & \text{シャノン・ウィナーの多様度指数} \\ & = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \end{aligned} \quad (3-2)$$

なお、本章では式 (3-2) において、 $S$  はそれぞれの市町村における群落数、 $p_i$  は  $i$  番目の群落の面積  $a_i$  がそれぞれの市町村の面積  $A$  に占める割合であり、 $p = a_i/A$  として計算した。植物群落の多様性は、ある場所における群落数のみならず、均等度にも影響を受ける（日本生態学会，2012）。シャノン・ウィナーの多様度指数はその両方を考えることができるため、今回の解析に使用した。

分類レベルは、植物群落の多様性をみるのに、なるべく細かい分類を用いた。1/5 万現存植生図（昭和 54 年度より平成 10 年度まで）においては、植物群落の分類方法は 1 種類のみであるため、その分類方法を用いた。1/2.5 万現存植生図（平成 11 年度より 31 年度現在整備中）においては、複数ある分類方法のうち、原則、植生細区分を、

細区分のないものは植生中区分を示したものである「統一凡例名」を用いた。

## 3.2 結果

本章では、三重県の包括的な生態系サービスを評価するために、供給サービス、調整サービス、文化的サービス、基盤サービスの4つのサービスを代表すると考えられる5つの指標を計算した。それらを地図化した図を示すとともに、その結果を考察する。

### 3.2.1 供給サービス

供給サービスとしての農業産出額に関する地図として、図3-2, 3-3, 3-4, 3-5を示す。

図3-2に三重県における平成9年の旧市町村別に示した1m<sup>2</sup>あたりの農業産出額を示す。紫色が濃いほど農業産出額が高いことを表している。これにより、農業産出額は主として北勢地域、中勢地域の海岸部付近および伊賀地域において高いことが示された。一方、中勢地域の山間部、南勢地域、東紀州地域はそれ以外の地域と比較して農業産出額が低かった。北部と南部で比較すると、北部の方が南部と比較して農業産出額が高いことが分かった。また、農業産出額が中央値以上を占める市町村は、その80%が北部・中部および西部に位置する北中勢および伊賀地域にあった。

三重県では、米や野菜の生産量が高い。平成27年生産農業統計によると、米の産出額は236億円、野菜の産出額は153億円であり、耕種部門においては、それぞれ、全体の37.9%、24.6%を占めている[31]。また、北部や中部に広がる平野では、稲作が盛んである。例えば、平成28年の津市は、耕地面積8,450haのうち、78.8%の6,660haが田耕地面積である[44]。

次に、図 3-3 に、昭和 51 年から平成 9 年にかけての農業産出額に関する増減率を示す。茶色が濃いほど減少、緑色が濃いほど増加していることを表している。この図により、69 市町村のうち、木曽岬町、一志町、大内山村の 3 町村のみで農業産出額に増加が生じたことが明らかになった。しかし、それ以外の大部分の市町村においては減少を経験し、全体的に農業産出額が減少したことが分かった。なお、農業産出額が 40%以上減少した市町村は 41 ある。

そして、図 3-4 に平成 28 年の農業産出額、図 3-5 に平成 9 年から平成 28 年への農業産出額の増減率を示す。図 3-4 から、北勢地域・中勢地域・伊賀地域では内陸部まで農業産出額が高い可能性が示された。また、南勢地域・東紀州地域では農業産出額が低い市町村が多いことが示唆された。北部と南部で比較すると、北部の方が農業産出額が高いことが推定された。しかしながら、図 3-2 と比較して、より南部や山間部における農業産出額が高く示された。図 3-2, 3-4 からは北部ほど農業産出額が高い状況は、近年では緩和されつつある可能性が考えられる。ただし、図 3-4 は、新市町ごとのデータを面積按分しているため、図 3-2 と単純に比較することはできないことに注意が必要である。また、図 3-5 では、6 市町村で増加を計上した。さらに図 3-3 と図 3-5 の比較より、平成 9 年以降、より多くの市町村で農業産出額が増加した可能性があることが示された。ただし、図 3-5 は図 3-4 と同様に、新市町ごとのデータを面積按分したものを元にしてしているため、図 3-3 と単純比較することはできないことに注意が必要である。

### 3.2.2 調整サービス

調整サービスを表す地図として、三重県における旧市町村別の平成 26 年度の森林率を図 3-6 に示す。緑色が濃いほど森林率が高いこ

とを示している。図 3-6 より、主として中勢地域の内陸部、南勢地域・東紀州地域の市町村において森林率が高いことが明らかになった。一方、北勢地域・伊賀地域のほか、中勢地域の海岸付近においては森林率が低いことも分かった。ただし、北勢地域・伊賀地域にも高い市町村も見られた。北勢地域では滋賀県・岐阜県との県境付近に位置する市町村において森林率が高かった。伊賀地域では中勢地域に近い市町村において森林率が高い傾向にあった。北部と南部を比較すると、北部より南部の山間部において、森林率が高いことが示された。なお、森林率が 90%以上の市町村は、三重県内には 9 存在した。

三重県では、例えば南部の熊野灘に面した尾鷲林業地域においては、消費者から高い評価を受けて生産されている「尾鷲ヒノキ」が産地銘柄材として存在する [45]。この地域は土壌の表土が浅くなっている。また、乾性に関しては他の生産地よりも劣っているものの、石礫の多い植壊土が分布し、なおかつ温暖多雨の気候条件も相まって、ヒノキが生育しやすくなっている。また、日本三大峡谷「大杉谷」などの森林に関連した観光地にも恵まれている。

調整サービスとしての森林率の変化を図 3-7, 3-8, 3-9 に図示する。図 3-7 は昭和 51 年度から平成 9 年度にかけて、図 3-8 は平成 9 年度から平成 26 年度にかけて、図 3-9 は昭和 51 年度から平成 26 年度にかけての変化に関する地図である。

図 3-7 から、昭和 51 年度から平成 9 年度にかけて、北勢地域・中勢地域・伊賀地域・南勢地域・東紀州地域のいずれにおいても森林率が減少しており、地域を問わず全体として森林率が減少したことが分かった。ただし、北勢地域・中勢地域・南勢地域・東紀州地域では増加を経験した、もしくは変化を経験しなかった市町村もごく少数ながら存在した。

一方、図 3-8 から、平成 9 年度から平成 26 年度にかけて、北勢地



域・中勢地域・伊賀地域・南勢地域・東紀州地域のいずれにおいても大多数の市町村で森林率が増加したことが示された。すなわち、この 15 年間で全体として森林率が増加したことが明らかになった。ただし、北勢地域・中勢地域・南勢地域・東紀州地域では平成 9 年からのさらなる森林率の減少を経験した市町村も一部存在した。

また、図 3-9 から、昭和 51 年度から平成 26 年度にかけて、北勢地域・中勢地域・伊賀地域・南勢地域・東紀州地域のいずれにおいても森林率が増加した市町村と減少した市町村が混在していることが判明した。ただし、特に南勢地域においては、増加した市町村が多く見られた。北部と南部で比較すると、北中勢・伊賀地域と呼ばれる北部では 44 市町村の 52.3%にあたる 23 市町村が減少したのに対して南部では 25 市町村の 40%にあたる 10 市町村を除いて増加した。

### 3.2.3 文化的サービスとしての観光客数

文化的サービスとして、三重県の自然公園ごとの 1ha あたりの平成 18 年における観光客数を図 3-10 に示す。赤色が濃いほど自然公園ごとの観光客数が多い。自然公園ごとでの地図化としたのは、前述の通り、平成 18 年までは自然公園ごとに観光客数がまとめられているからである。

図 3-10 より、北勢地域・中勢地域・伊賀地域においては、南勢地域・東紀州地域と比較して、それぞれの自然公園における観光客数が多い傾向にあることが明らかになった。北部と南部で比較すると、北部に位置する自然公園において多くの観光客が訪れていることが示された。例えば、平成 18 年には、北部に位置する伊勢志摩国立公園、鈴鹿国定公園、水郷県立自然公園、伊勢の海県立自然公園の観光客数が中央値以上となっている。

昭和 51 年から平成 18 年にかけての自然公園における観光客数の

増減率を図 3-11 に示す。茶色が濃いほど増加率が高く、青色は観光客数が減少したことを示している。図 3-11 より、昭和 51 年から平成 18 年までの 30 年間で北勢地域・中勢地域・伊賀地域の自然公園では観光客数が増加傾向にあり、南勢地域および東紀州地域においては観光客数が減少傾向にあったことが示された。北部と南部で比較すると、南部にある吉野熊野国立公園および北部に存在する伊勢の海県立自然公園、伊勢志摩国立公園において観光客数が減少したことが明らかになった。それ以外の北部に位置する自然公園においては、観光客数がこの 30 年間で増加したことが分かった。特に、北部に位置する香肌峡県立自然公園は、20%以上の観光客の増加を経験している。

近年の観光客数の地図として、平成 29 年の観光客数を図 3-12 に示す。図 3-12 より、近年では、全体として観光客数の多い市町村は散在している傾向にある可能性があることが分かった。北勢地域・伊賀地域では全体として観光客数が多いことが示唆された。中勢地域では、内陸部および海岸付近において観光客数が多いことが推定された。南勢地域では、東部において観光客数が多い可能性が示された。東紀州地域では、南部の一部においては観光客数が少ないが全体として均一に観光客数が訪れていることが示唆された。北部と南部を比較すると、南部よりも北部において観光客数が多いことが推定された。

平成 18 年から平成 29 年までの観光客数の増加率を図 3-13 に示す。北勢地域では全体に観光客数が大幅に増加している可能性があることが分かった。中勢地域でも観光客数が全体に増加したが、北勢地域と比較すると観光客数の伸び率は小さいことが示唆された。伊賀地域では、一部を除き、観光客数が減少したことが推定された。南勢地域では、大幅な増加が生じた市町村と減少が生じた市町村が混在し

ていることが予想された。東紀州地域も南勢地域と同様に大幅な増加が生じた市町村と減少が生じた市町村が混在していることが予想された。なお、伊勢神宮のある伊勢市、熊野古道の存在する尾鷲市などでは 20%以上となっている。

図 3-10 と図 3-12 を比較すると、どちらも北勢地域・中勢地域・伊賀地域においては比較的観光客数が多い傾向にあったが図 3-12 から近年では南勢地域・東紀州地域における観光客数がより多くなっている市町村があることが示唆された。

図 3-11 と図 3-13 を比較すると、どちらも北勢地域・中勢地域では全体として観光客数が増加傾向にあった一方、伊賀地域・南勢地域・東紀州地域では昭和 51 年から平成 18 年までと平成 18 年から平成 29 年までの間では異なる増減の傾向にあることが推測された。伊賀地域では昭和 51 年から平成 18 年までは全体として観光客数が増加したが、平成 18 年から平成 29 年までは一部を除き、減少した可能性があることが分かった。南勢地域・東紀州地域では昭和 51 年から平成 18 年までは全体として観光客数が減少したが平成 18 年から平成 29 年までは減少した市町村と大幅な増加を経験した市町村が混在していることが示唆された。

以上から、北部と南部を比較すると、以前は北部の方がより多くの観光客が訪れていたが、近年では北部と南部における観光客数の差が以前よりは小さくなってきている可能性があるといえる。

### 3.2.4 文化的サービスとしての都市公園

図 3-14 に文化的サービスとしての旧市町村別の都市公園の割合を示す。緑色が濃いほど都市公園率が高く、茶色が濃いほど都市公園率が低いことを示している。

図 3-14 より、北勢地域・中勢地域の海岸付近および伊賀地域の西

部・南勢地域の東部において都市公園率が高いことが示された。特に北勢地域・中勢地域・伊賀地域では都市公園率が高い傾向にあることが分かった。一方、北勢地域・中勢地域の内陸部、伊賀地域の北部、南勢地域・東紀州地域の大部分では都市公園率が低いことが明らかになった。ただし、南勢地域のほか、東紀州地域でもある程度の都市公園の広がりが見られる市町村も存在した。

北部と南部で比較すると、北部の方が都市公園率は高いと理解することができた。実際、都市公園率が中央値以上を取る市町村の71.4%が北中勢・伊賀地域と呼ばれる北部にあった。一方、南部の山間部には茶色で示された都市公園率が0の市町村が存在した。

### 3.2.5 基盤サービスとしての植物群落の多様性

基盤サービスとしての植物群落の多様性を図3-15および図3-16に示す。緑色が濃いほど植物群落の多様性が高いことを示している。

図3-15より、植物群落の多様性は、北勢地域全体、中勢地域の海岸付近、南勢地域の東部、伊賀地域の南部において高く、中勢地域の内陸部、南勢地域の南部、東紀州地域において低いことが明らかになった。北部と南部を比較すると、北部では植物群落の多様度指数が高く、南部では低いことが分かった。実際、植物群落に関するシャノン・ウィナーの多様度指数が中央値以上を取る市町村の74.3%が北部に位置する北中勢・伊賀と呼ばれる地域にある。

図3-16より、近年の植物群落の多様性は、北勢地域全体、中勢地域の海岸付近、南勢地域の東部、伊賀地域の西部において高く、南勢地域の南部、東紀州地域において低い傾向が示された。図3-15と比較して、伊賀地域および中勢地域の内陸部で高い傾向が見られたものの、やはり北部で高く、南部で低い傾向が現れていた。三重県南部では林業が盛んであるが、そのために人工林の面積が大きく、多様性が

低くなっている。

なお、図 3-15 に示した 1/5 万現存植生図に基づく植物群落の多様性に関する全市町村における平均は 1.81 であるのに対し、図 3-16 に示した 1/2.5 万現存植生図に基づく植物群落の多様性に関する全市町村における平均は 1.91 であり、増加していた。

次に、図 3-17 に植物群落の多様性の増減率を示す。ただし、第 2-5 回調査と 1/2.5 万現存植生図で植物群落の分類方法が変化しており、単純には比較ができないため、参考値としての性格を持つと考える。図 3-17 から、植物群落の多様性は、北勢地域・中勢地域の大部分、伊賀地域の一部、南勢地域の東部において減少し、伊賀地域の一部、南勢地域の南部、東紀州地域のほぼ全域において増加した可能性が見られた。北部と南部を比較すると、北部の海岸沿いにおいて植物群落の多様性の減少傾向が示唆された。一方、南部においては増加したことが推測される市町村が多かった。

ここで、図 3-17 において増減率が最も低くランクされた 25 パーセンタイルの市町村においては、1/5 万現存植生におけるスギ・ヒノキ植林の面積率が 30.1%であったのに対し、1/2.5 万現存植生図におけるスギ・ヒノキ・サワラ植林の面積率が 36.0%になっていた。さらに、市街地に着目すると、1/5 万現存植生図では 9.6%であったのに対して 1/2.5 万現存植生図においては 14.9%になっていた。一方、図 3-17 において増減率が最も高くランクされた 75 パーセンタイルの市町村においては、1/5 万現存植生図におけるスギ・ヒノキ植林の面積率が 53.3%であったのに対し、1/2.5 万現存植生図においてはスギ・ヒノキ・サワラ植林の面積率が 49.2%になっていた。また、1/5 万現存植生図においてはクスギーコナラ群落の面積率が 0.3%であったのに対し、1/2.5 万現存植生図におけるアベマキーコナラ群集の面積率は 5.2%になっていた。

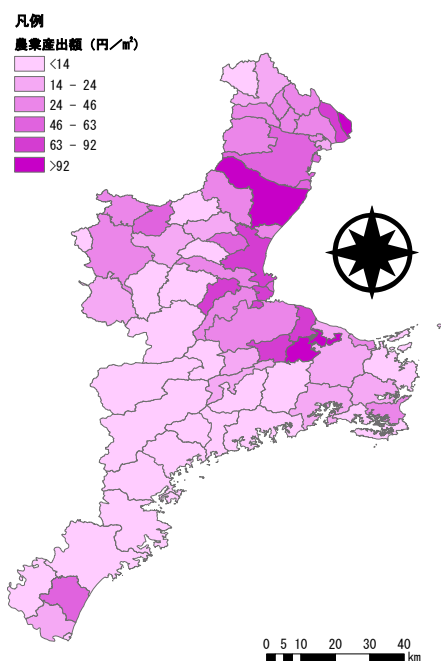


図 3-2 平成 9 年の農業産出額

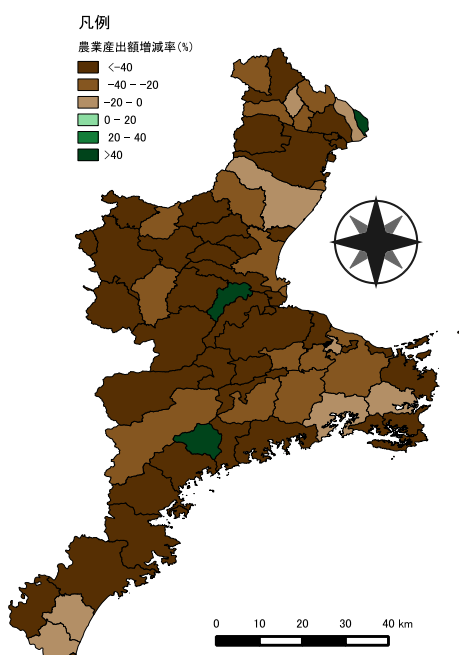


図 3-3 昭和 51 年から平成 9 年にかけての農業産出額増減率

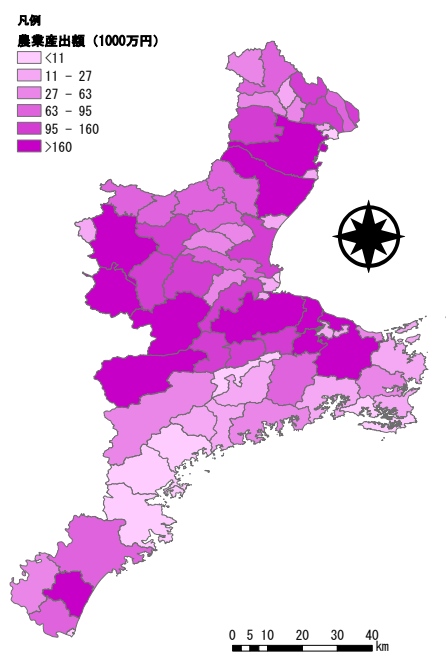


図 3-4 平成 28 年の農業産出額

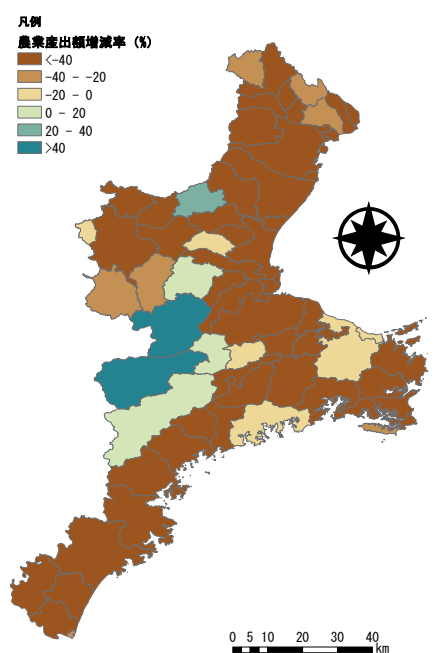


図 3-5 平成 9 年から平成 28 年にかけての農業産出額増減率

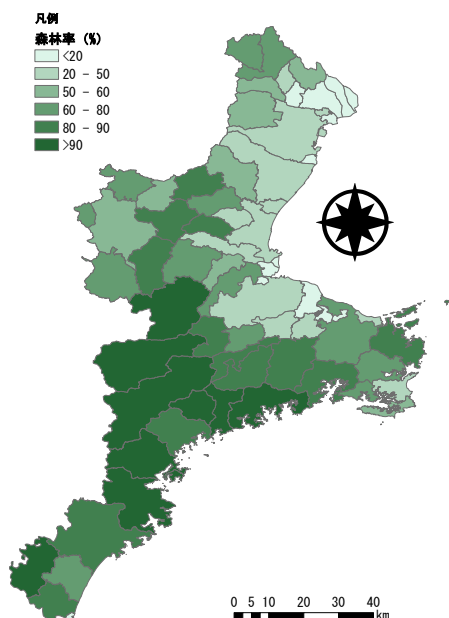


図 3-6 平成 26 年度の森林率

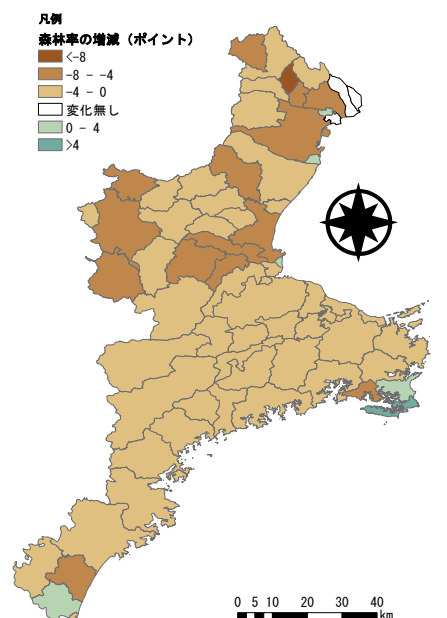


図 3-7 昭和 51 年度から平成  
9 年度にかけての森林率の増  
減

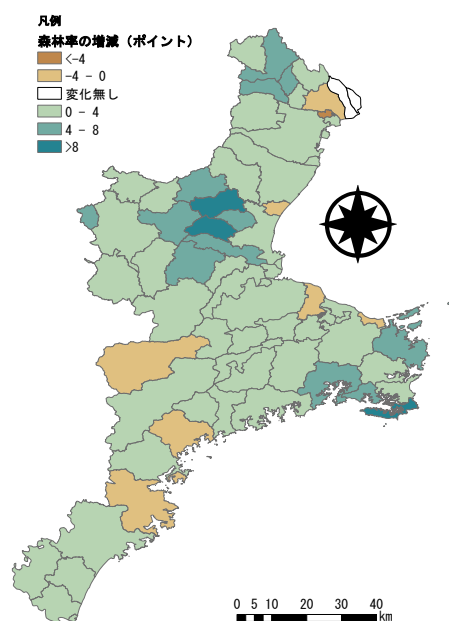


図 3-8 平成 9 年度から平成  
26 年度にかけての森林率の  
増減

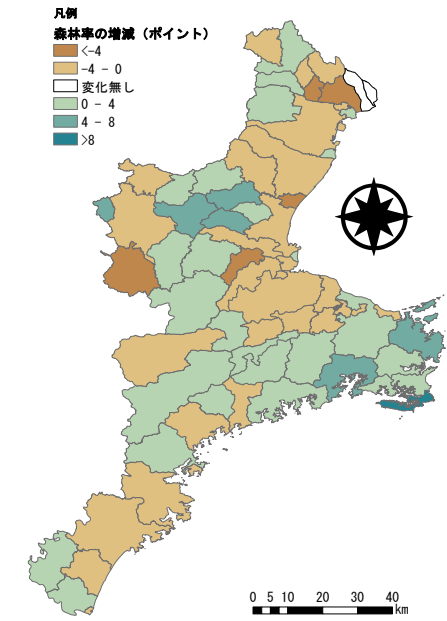


図 3-9 昭和 51 年度から平成  
26 年度にかけての森林率の  
増減

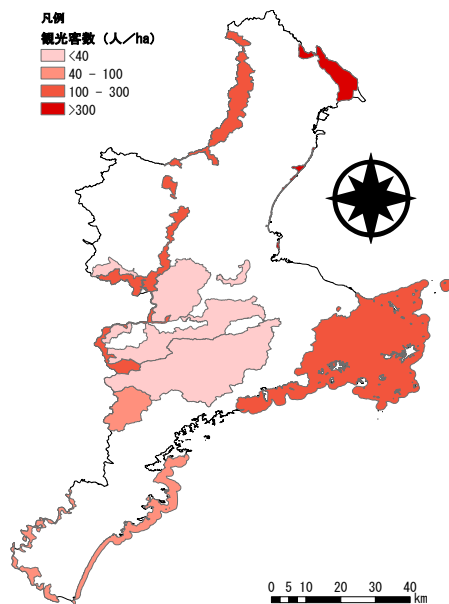


図 3-10 平成 18 年の自然公園の観光客数

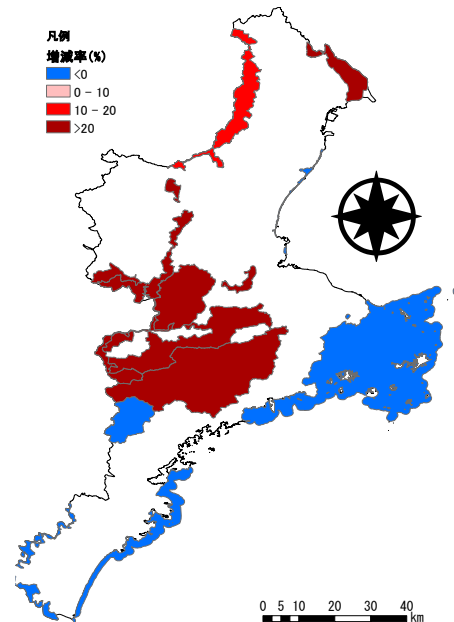


図 3-11 昭和 51 年から平成 18 年にかけての自然公園における観光客数の増減率

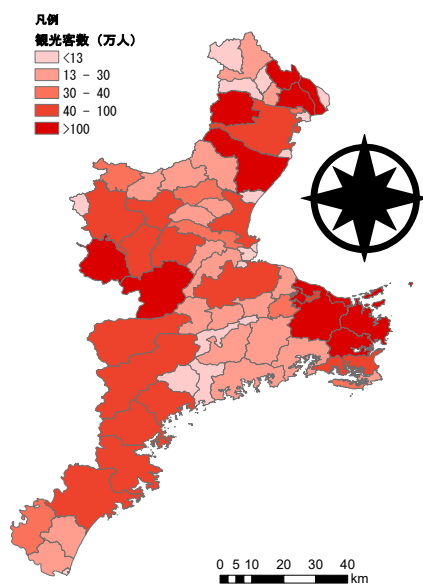


図 3-12 平成 29 年の観光客数

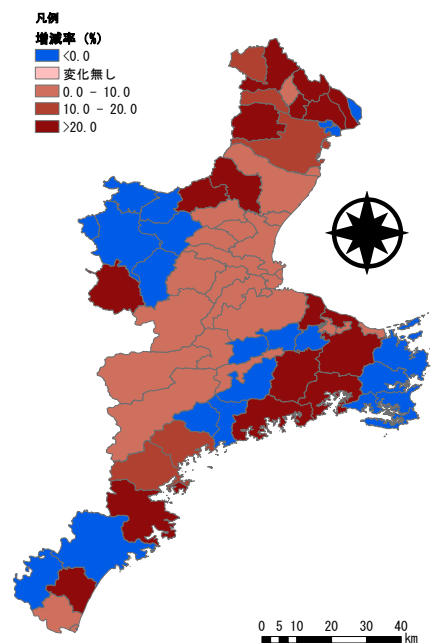


図 3-13 平成 18 年から平成 29 年にかけての観光客数の増減率



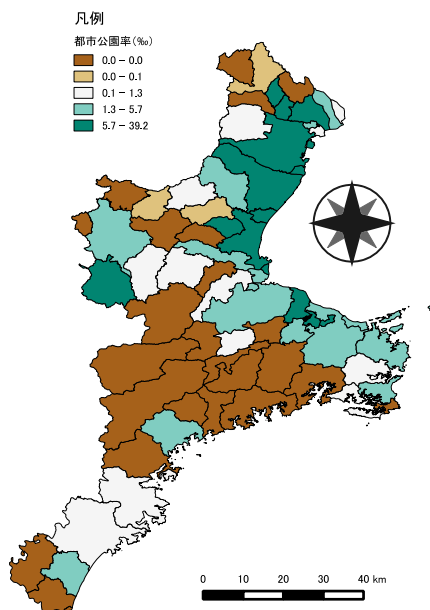


図 3-14 都市公園率

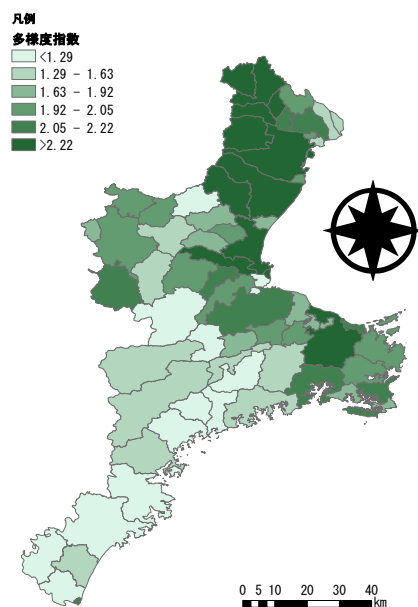


図 3-15 昭和 54 年度から平成 10 年度の植物群落の多様性

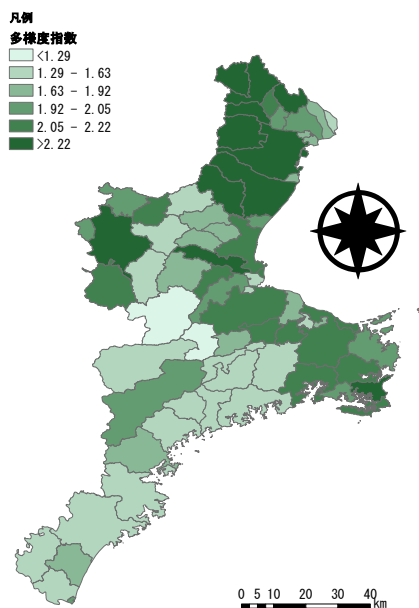


図 3-16 平成 11 年度以降の植物群落の多様性

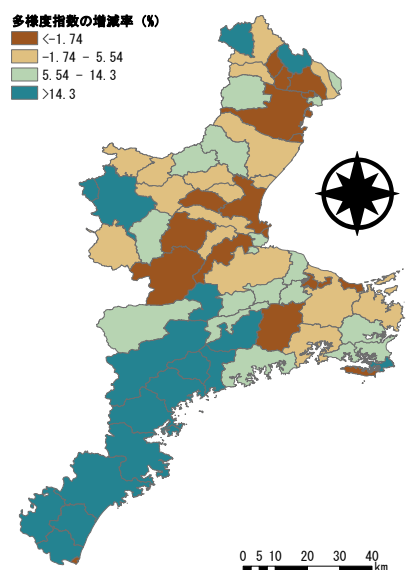


図 3-17 多様度指数の増減率  
1/5 万現存植生図と 1/2.5 万現存植生図に基づくものとは植物群落の分類方法が変化しているため、参考値としての性格を持つ

### 3.3 考察

供給サービスの指標として考えた農業産出額に関しては、昭和 51 年から平成 9 年にかけて、3 町村以外では減少し、その後平成 28 年度にかけては、北部地域でさらに減少が続き、中西部と中東部で増加している。昭和 51 年から平成 9 年にかけて、供給サービスが増加したのは、名古屋近郊で野菜・花卉産出額が増加した木曽岬町、高速道路のインターチェンジが開通した一志町、練乳工場が建設された大内山村であり、それぞれの特殊事情が原因と考える。図 3-5 から、平成 9 年から平成 28 年にかけて、農業産出額が、関町、白山町、美杉村、飯高町、飯南町、宮川村の 6 市町村において増加していることがわかる。この 6 市町村は山間部に位置しており、図 3-2 において農業産出額が最も低く区分されていた。一方、国土数値情報土地利用細分メッシュデータ [32] から、関町では、田とその他の農用地の増減率が平成 9 年から平成 26 年にかけて-37%、白山町では-27%、美杉村では-39%、飯高町では-58%、飯南町では-26%、宮川村では-25%であり、農用地は減少している。それにもかかわらず、当該地域において農業生産額の増加が生じたと考えるのは不合理である。これは、平成 28 年に関しては、新市町ごとのデータを面積按分しており、山間部の産出の少なかった市町村が近隣の平地の農業産出額の高い地域の影響を受け、増加したようにみえるのが原因であると思われる。また、図 3-3 と図 3-5 から、ほとんどの市町村において農業産出額が減少している。表 3-2 から、三重県全体で田とその他の農用地は減少していることがわかる。よって、これは、農業の衰退とともに農業産出額が減少しているものであると考えられる。

調整サービスの指標として考えた森林率に関しては、昭和 51 年度から平成 9 年度にかけて、全体的には減少し、その後平成 26 年度にかけては、逆に全体的には増加している。

表 3-2 国土数値情報土地利用細分メッシュデータ [32]から計算した三重県全体の土地利用面積率とその変化

土地利用	昭和 51 年度 (%)	平成 9 年度 (%)	平成 9 年度 と昭和 51 年 度の差 (ポイ ント)	平成 26 年度 (%)	平成 26 年度 と平成 9 年 度の差 (ポイ ント)
田	14.51	13.43	-1.08	11.3	-2.13
その他の 農用地	4.55	4.37	-0.19	3.43	-0.94
森林	68.79	66.77	-2.02	68.72	1.95
荒地	1.38	1.55	0.17	1.12	-0.43
建物用地	4.41	6.37	1.97	8.93	2.56
幹線交通 用地	0.23	0.54	0.31	0.64	0.11
その他の 用地	1.91	3.25	1.34	2.66	-0.59
河川地及 び湖沼	3.08	3.29	0.22	2.86	-0.43
海浜	0.04	0.16	0.12	0.09	-0.08
海水域	1.11	0.26	-0.85	0.25	-0.02

表 3-2 に、昭和 51 年度、平成 9 年度、平成 26 年度の三重県全体の土地利用面積率とその変化を示す（年度により土地利用区分が変化しているため、昭和 51 年度の畑・果樹園・その他の樹林畑はその他の農用地に、建物用地 A・B は建物用地に、湖沼・河川地 A・B は河川地及び湖沼に、平成 26 年度の道路と鉄道は幹線交通用地として整理した）。昭和 51 年度から平成 9 年度にかけて、森林面積が減少する一方で、荒地・建物用地・幹線交通用地などの都市的土地利用面積が増加していることがわかる。逆に平成 9 年度から平成 26 年度にかけては、森林面積が増加した一方で、田、その他農用地などの農地が

減少していることがわかる。すなわち，昭和 51 年度から平成 9 年度の森林率減少期には，森林が都市化して減少し，その後平成 26 年度にかけて，農地が森林に変化している可能性が考えられる。

文化的サービスの指標として考えた観光客数に関しては，昭和 51 年から平成 18 年にかけて減少傾向にあった伊勢志摩国立公園と吉野熊野国立公園において，平成 18 年から平成 29 年にかけて増加した市町村が存在することが特徴として挙げられる。これは，平成 25 年に行われた第 62 回神宮式年遷宮や平成 26 年の熊野古道世界遺産登録 10 周年の影響を受けたものであると考えられる。

基盤サービスの指標として考えた植物群落の多様性については，図 3-15 において多様性が最も低く区分された 12 市町村において，スギ・ヒノキ植林が 67.8%を占める [25]。すなわち，植物群落の多様性の低い地域においては，人工林の面積が大きい一方，天然林の面積は小さい。これは，三重県においては林業が盛んな地域ほど植物群落の多様性が低くなっている可能性を示唆している。植物群落の多様性の減少が大きかった市町村においては，スギ・ヒノキおよび市街地の増加が参考値としてみられ，人工林化・市街地化による影響がうかがえる。一方，植物群落の多様性の増加が大きかった市町村においては，スギ・ヒノキの減少とコナラ林の増加が参考値としてみられ，里山林の富栄養化による影響が示唆された。

一方，北部と南部との差について考えると，北部では観光客数は増加し，都市公園，植物群落の多様性も高いことが分かった。一方で，農業産出額は減少している。すなわち，供給サービスは減少し，調整サービス，文化的サービス，基盤サービスが増加もしくは高いことが分かった。南部では，農業産出額，観光客数は減少していたが，近年では増加傾向にある地域もある。また都市公園，植物群落の多様性は小さい。一方，森林面積は全体には増加傾向にある。このことから，

供給、文化的サービスは減少していたが、近年では供給、文化的サービスともに増加が示唆された地域もあるといえる。しかし、図 3-4 より、供給サービスは依然として南部では低い可能性も示されている。また、基盤サービスも小さい。調整サービスのみ全体として増加傾向にあるものの、南部は生態系サービスが全体的に低いといえる。一般的には南部の振興のためには開発施策が挙げられる。例えば、南部においては道路建設の動きが活発に進んでおり、東紀州地域の町長・市長らが中心となって、「熊野尾鷲道路建設促進期成同盟会」も作られている [46]。道路建設といった施策は、文化的サービスを増加させるものである。しかし、持続的な発展のためには生態系サービスをバランス良く伸ばすことが必要である。基盤サービスはすべての生態系サービスに影響しているにもかかわらず、南部ではそれらが低い。

図 3-18 は de Groot et al. (2010) に記載されている仮説である。ここで、図 3-18 の縦軸は、生態系サービスの値を示している。横軸は、値が大きいほど、より多くの生物多様性が失われていることを示している。図の中で、P は供給サービス、R は調整サービスの合計値、Cr は文化的サービスのうちレクリエーション・ツーリズム、Ci は文化的サービスのうち情報・精神的価値・教育を表している。また、 $\Sigma(\text{ESL})$  はこれらの生態系サービスの総和を表しており、これらの関係をここから見て取ることができる。この図には、生態系サービスの総和を最大化するポイントがあることが示唆されている。そして、このポイントを探すことが望ましく、かつ、人間にとって有利であるといえる。ミレニアム生態系評価では、生態系サービスは、安全、豊かな生活の基本資材、健康、良い社会的な絆、選択と行動の自由といった人間の福利と関係していると考えられた (Millennium Ecosystem Assessment, 2007)。供給サービス、調整サービス、文化的サービス、基盤サービスがそれぞれ適切な量存在することによって生態系サー

ビスの総和が最大化され、こういった人間の福利が高まる状態になると考えられる。すなわち、三重県南部において生態系サービスを最大化するためには、開発施策という、文化的サービスを増加させる政策をとるのみならず、供給サービス、調整サービスに関しても考慮する必要があるといえる。そして、それらすべてのサービスの生産に必要なものが基盤サービスである（Millennium Ecosystem Assessment, 2007）。

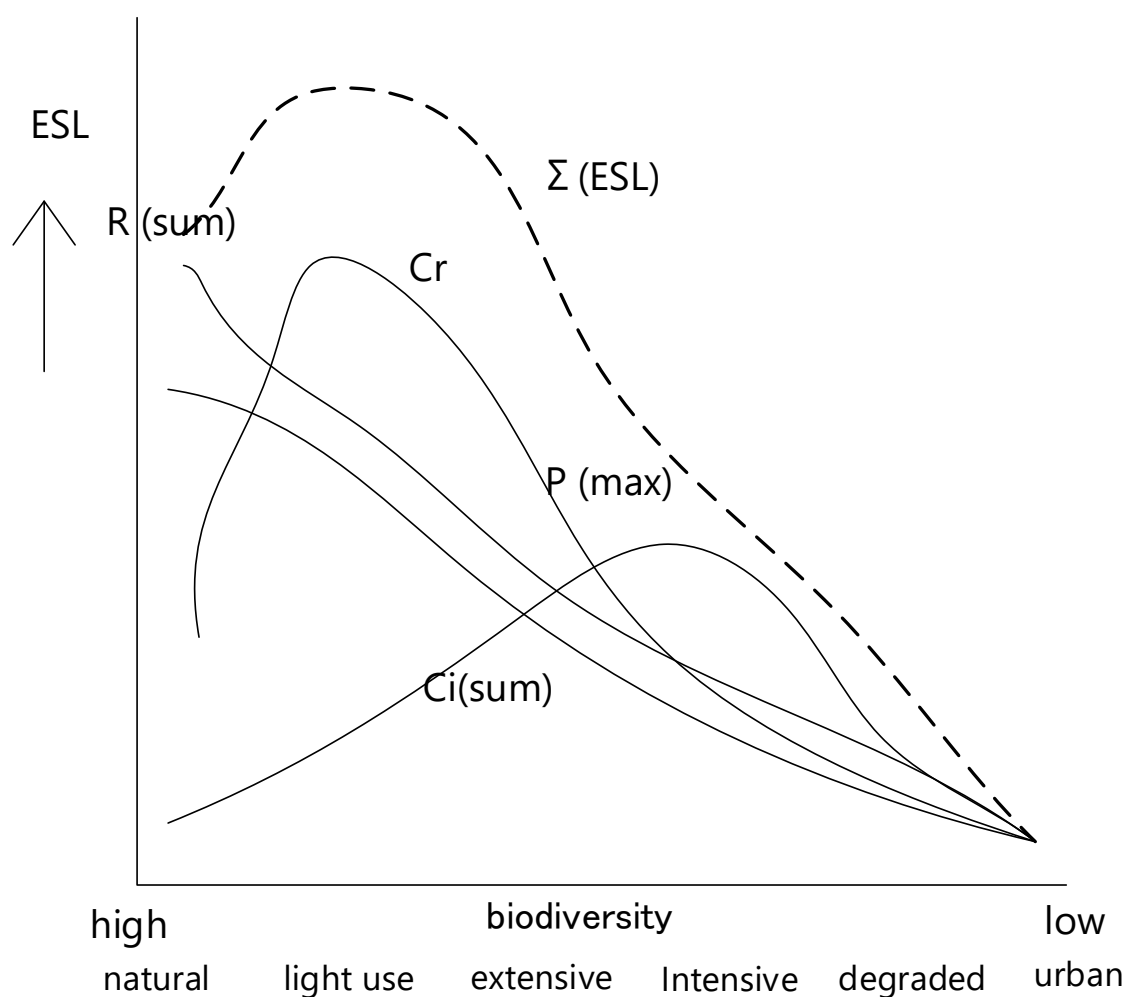


図 3-18 de Groot et al. (2010) 記載の生態系サービス同士の関係  
P は供給サービス，R は調整サービスの合計値，Cr は文化的サービスのうち  
レクリエーション・ツーリズム，Ci は文化的サービスのうち情報・精神的  
価値・教育を意味している

今後は、この基盤サービスを中心として、どのような対策が必要なのか検討していくことが求められている。例えば、三重県をまたがる大台ヶ原においては、シカによる食害が生じている。この契機は、伊勢湾台風によって生じたギャップである。それにより、ミヤコザサが繁茂するようになり、ミヤコザサを主食として生活しているシカが増加し、森林を荒廃させることになった（柴田・日野，2009）。

しかし、自然再生の動きも広がっている。例として、環境省が進める大台ヶ原自然再生推進計画で掲げられる目標においては、ミヤコザサから、森林への遷移が必要であるとされている [47]。一方、熊野市有林など、限られた地域では、スギ・ヒノキ以外の植生が保全されている [48]。現実的には、このように、残された地域の保全も考えられる。

本章では、三重県における生態系サービスを地図化した。それによって南北での違いを中心とした、生態系サービスの状況をみることもできた。しかし、上記の政策の是非も含め、三重県における最適な施策を考えるためには、更に様々な指標について考えることが必要となっている。例えば、文化的サービスに関しては、宗教を見ると、また別の視点で生態系サービスを考慮することができる。例えば、熊野古道沿線にある花の窟（川端・山本，2015）や、富士山（竹谷，2013）のように岩や山そのものが信仰の対象になることもあるため、宗教的なひらめき体験に与える価値を考慮することができる。調整サービスに関しても、二酸化炭素固定の他にも、洪水防止や受粉に関するサービスもあり、それらに関しても評価することも求められる CICES のより細かい分類や JSSA において考えられた指標にはこれらも含まれている。これらを考慮することにより、詳細な生態系サービスの状況が明らかになり、具体的な施策を考えることが可能になることが考えられる。次章では、それらを踏まえた解析結果を紹介す

る。



## 4. CICES の Group に基づく生態系サービスの評価

本章ではより詳細な生態系サービスの状況を明らかにすることを目的とし、CICES の Group レベルの生態系サービスの分類を代表するものとして、MAES, JSSA, JBO2 を基にした指標および独自に考案した指標を定義し、GIS による生態系サービスの地図化を行った。そしてホットスポット分析を行い、環境省自然環境局が公開する植生調査結果 [25]と生態系サービスのホットスポットの関係を考察した。

### 4.1 方法

表 4-1 に生態系サービスの分類、指標、評価に用いたデータを示す。本章では、データの入手可能性も加味し、CICES V4.3 の Group レベルの分類（計 20 Groups）に基づき、ほぼすべての Group ごとに 1 つの指標を ArcGIS 10.8 を用いて地図化し、評価することにした。

入手可能な統計データは、県や市町を対象としているものが多い。しかし、生態系サービスの状態は、県や市町村単位で均一ではない。一方、国土交通省が公開するデータには標高・傾斜度 3 次メッシュデータや平年値メッシュデータ [49]など、三次メッシュ単位で入手できるものも存在する。そこで、県や市町単位の統計データに関しては適切と思われる方法で三次メッシュ単位に按分し、解析した。なお、データの按分に関しては、例えば、市町村別農業産出額（推計）[30]は、様々な研究等に利用されている（合田, 2019; 山田, 2019; 大石, 2020）。ただし、一般に、こういった按分による推定方法は、元のデータの解析範囲が狭いほど誤差が小さくなるという特性がある（貞広, 1999）。Maes et al. (2020) と同様に、理想的には、より詳細な空間分解能のデータ拡充が求められる。また、最新の農林業センサス報

告書 [50]の調査年に合わせ、原則、2015 年のデータで統一した。

CICES は分類方法 (9), MAES は報告書で指標の提示をしている (Maes et al., 2014; Maes et al., 2020)。一方, JBO2 は 60 余りの指標による日本全国での評価を示している。応用性および対象地域を考慮し, JBO2 で用いられている指標の計算方法は, JBO2 に準拠した [14]。それ以外の指標については, 計算方法を提案している。なお, CICES では人間に利用されるサービスのみを評価すべきであるとし, 基盤サービスを分類から除外している (Haines-Young and Potschin, 2013)。そこで, 本章においても基盤サービスは評価しない。

表 4-1 評価指標と CICES, MAES の関係

CICES, Section	CICES, Group	MAES	本稿での指標	使用データ
供給	バイオマス（栄養素）	食用・飼料用作物の面積・産出量	農業産出額	農業地域データ [49], 生産農業所得統計 [31]
	水（栄養素）	理論上の水	上水道供給量	上水道関連施設データ [49], 流域メッシュデータ [49]
	バイオマス（材料）	木材生産・消費に関する統計	素材生産量	2015 年農林業センサス [50], 木材統計調査 [51]
	水（材料）	理論上の水	農業用水	農業地域データ [49], 水土里ネット宮川用水 [52], 三重用水事業の概要 [53], 地域の礎 [54], 中勢用水農業水利事業 [54]
	エネルギー（バイオマス）	薪の統計	バイオマス発電燃料	森林地域データ [49], 木質バイオマス発電施設一覧 [55]
	エネルギー（物理的）	該当なし	評価対象より除外	なし
調整	生物相による緩和	窒素・硫黄除去	NO <sub>2</sub> 吸収量	MODIS (56), 環境数値データベース [57], NO <sub>2</sub> 二酸化窒素 [58]
	生態系による緩和	河畔林の面積	河畔林	植生調査結果 [25]
	物質の移動の緩和	浸食防止	土壌流出防止量	植生調査結果 [25], 標高・傾斜度 3 次メッシュデータ [49], 国土調査（土地分類調査・水調査）土壌図 [59]
	液体の流れの調整	氾濫原面積（および洪水記録）	洪水調整量	植生調査結果 [25], 平年値メッシュデータ [49]
	気体の流れの調整	通気・蒸発散量	蒸発散量	植生調査結果 [25], 平年値メッシュデータ [49]
	生物の生活環の維持	受粉の可能性	送粉サービス	市町村別農業産出額（推計）データベース（詳細品目別） [30], 2015 年農林業センサス [50], 生産農業所得統計 [31], 送粉昆虫依存度（Klein et al., 2007; 一般社団法人日本養蜂協会, 2014; 小沼・大久保, 2015）
	病虫害の抑制	該当なし	評価対象より除外	なし
	土壌形成・土壌組成	窒素固定作物の面積	窒素維持量	植生調査結果 [25], 国土調査（土地分類調査・水調査）土壌図 [59]
	水の状態	化学的狀態	評価対象より除外	なし
	気候の調整	森林による炭素貯蔵・炭素隔離	総一次生産量	MODIS (56)
文化的	身体的・経験的交流	観光客の統計	観光資源密度	観光資源データ [49]
	知的な交流	該当なし	グリーンツーリズム 推進施設密度数	三重の里いなか旅のススメ（三重県, 2018）, CSV アドレスマッチングサービス [60]
	精神的・象徴的交流	該当なし	神社林	三重県の神社一覧 [61], 日本域高解像度土地利用土地被覆図【2014～2016 年】 [62], CSV アドレスマッチングサービス [60], 基盤地図情報基本項目 [63]
	存在価値	保護地域の範囲	自然公園	自然公園地域データ [49]
その他				行政区域データ [49], 鉄道データ [49], 標準地域メッシュ・ポリゴン（1～4 次メッシュ） [64]

#### 4.1.1 計算方法

##### 4.1.1.1 供給サービス

供給サービスに関しては、JBO2 では本稿のような地域レベルでの解析ではなく、サブグローバル評価に相当する国家レベルでの解析を行っており、地図化は行っていない。そのため、JBO2 における評価手法は採用せず、これらの指標に関しては地域レベルのデータを用いることにより評価した。

バイオマス（栄養素） [65]を表す指標として、農業産出額を選択した。農林水産省が公開している農業産出額には生産農業所得統計 [31]と市町村別農業産出額（推計） [30]の 2 種類が存在する。生産農業所得統計は全国および都道府県を対象としている。市町村別農業産出額（推計）は生産農業所得統計のうち、都道府県別農業産出額について農業センサス等から得られた作付面積を用いて市町村別に按分したものである。そこで、生産農業所得統計 [31]を農業地域データ [49]の面積により、三次メッシュごとに按分した。

水（栄養素） [65]を表す指標として、上水道供給量を選択した。上水道関連施設データの浄水場の位置と給水量の情報 [49]を流域メッシュデータ [49]を用いて、それぞれの流域界内においてすべての浄水場の給水量の合計を計算し、三次メッシュごとに平均を出した。

バイオマス（材料） [65]を表す指標として、木材統計調査の主要部門別素材生産量 [51]を林業経営体の保有山林で生産されたものと考え、三次メッシュに農林業センサスの保有山林面積規模別経営体数 [50]により按分した。

水（材料） [65]を表す指標として、三次メッシュで用いられている農業用水の量を推計した。一般社団法人農業農村整備情報総合センターは、三重県における農業用水に関する 3 つの事業（宮川用水

農業水利事業、三重用水事業、中勢用水農業水利事業）をウェブサイトで公開している [54]。このうち、宮川用水農業水利事業に関しては水土里ネット宮川用水 [52]から、中勢用水農業水利事業に関しては一般社団法人農業農村整備情報総合センター [54]から、基幹的な農業水利施設 [66]の取水量のデータを得ることができる。また、三重用水事業に関しては独立行政法人水資源機構三重用水管理所が農業用水としての供給量を公表している [53]。これらのデータを元に、それぞれの事業の受益地域となっている市町において、国土交通省より得られる農業地域データ [49]の三次メッシュごとの割合を用いてそれぞれの三次メッシュで用いられている農業用水の量を推計した。

エネルギー（バイオマス） [65]を表す指標としては、バイオマス発電燃料の量を推計した。バイオマス発電に関しては、燃料の地産地消を目指す取り組みが複数の都市で行われている（饗庭, 2018; 飯坂, 2018）。このことを踏まえ、三重県内のバイオマス発電所の燃料を発電所近辺の森林より調達した場合を仮定し、バイオマス発電所の位置情報から 20km, 30km, 40km, 50km のバッファを発生させた。次に、それぞれの三次メッシュにおけるそれらの距離の逆数に国土交通省の森林地域データ [49]から得られた情報を元に計算した三次メッシュにおける森林率を乗じ、バイオマス発電原料を推計した。

なお、JBO2 ではエネルギー（物理的） [65]に相当する評価は行っていない。また、MAES の指標は、EU, EU 加盟国、利害関係者が参加した予備調査が元となっており、欧州におけるデータの入手可能性も考慮したものである（Maes et al., 2014）が、その指標でもそれに相当するものはない。エネルギー（物理的） [65]に相当する評価には、例えばウマなどによる輸送実績に関するデータが必要となることが予想されるが、現状では対象地域における入手は困難であるた

め、解析の対象より除外した。

#### 4.1.1.2 調整サービス

調整サービスのうち、生物相による緩和 [65]としての  $\text{NO}_2$  吸収量、物質の移動の緩和 [65]としての 土壌流出防止量、液体の流れの調整 [65]としての 洪水調整量、気体の流れの調整 [65]としての 蒸発散量、土壌形成・土壌組成 [65]としての 窒素維持量の計算方法は JBO2 に準拠した。ただし、降水量や気温に関する情報には、国土交通省が公開している平年値メッシュデータ [49]を用いた。JBO2 のようにクリギング法などを用いてアメダスの観測データなどの内挿を行った場合と比較し、三次メッシュごとの値の推定において標高や勾配といった地形因子や都市因子が考慮されているためである [67]。よって、評価に当たっては、土壌流出防止量に関しては降雨係数を求める際に用いる降水量、蒸発散量に関しては可能蒸発散量の推計に際して必要となる気温を平年値メッシュデータの値とした。

これにより、生物相による緩和 [65]としての  $\text{NO}_2$  吸収量、物質の移動の緩和 [65]としての 土壌流出防止量、液体の流れの調整 [65]としての 洪水調整量、気体の流れの調整 [65]としての 蒸発散量の計算には、それぞれ、式 (4-1)、式 (4-2)、式 (4-3)、式 (4-4) を用いた。なお、 $U_{\text{NO}_2}$  は  $\text{NO}_2$  吸収量、 $C_{\text{NO}_2}$  は  $\text{NO}_2$  濃度、 $P_g$  は一次総生産量、 $E$  は土壌流出量、 $R$  は降雨係数、 $K$  は土壌係数、 $L$  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、 $Q$  はピーク流量、 $f_p$  はピーク流出係数、 $r$  は平年値メッシュデータから推計した洪水到達時間内の平均強度、 $A$  は流域面積、 $\text{PET}$  は可能蒸発散量、 $L_d$  は 12 時間単位での可照時間、 $V_d$  は飽和蒸気密度である。

$$U_{\text{NO}_2} = 13.9 \times C_{\text{NO}_2} \times P_g \quad (4-1)$$

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (4-2)$$

$$Q = \frac{1}{3.6} \times f_p \times r \times A \quad (4-3)$$

$$PET = 0.1651 \times L_d \times V_d \quad (4-4)$$

また、式 (4-4) における  $V_d$  の計算には式 (4-5) および式 (4-6) を用いた。式 (4-5)、式 (4-6) において、 $V_p$  は飽和蒸気圧、 $T$  は気温である。さらに物質の移動の緩和 [65]としての土壌流出防止量、液体の流れの調整 [65]としての洪水調整量に関しては、式 (4-2)、式 (4-3) に示した土壌流出量、ピーク流量について、すべての土地利用が裸地であった場合との比較を行った。気体の流れの調整 [65]としての蒸発散量に関して、上記で算出された可能蒸発散量に蒸発散係数を乗じる (Tallis et al., 2011) ことにより、実蒸発散量を得た。蒸発散係数は Soil and Water Laboratory (2003) から取得し、植生調査結果 [25]に当てはめたものを用いた。

$$V_d = 216.7 \times \frac{V_p}{(T + 273.3)} \quad (4-5)$$

$$V_p = 6.108 \times \exp\left(17.26939 \times \frac{T}{(T + 237.3)}\right) \quad (4-6)$$

生態系による緩和 [65]を表す指標として、水質浄化機能を持つと考えられる河畔林の面積を使用することとした。植生調査結果 [25]の大区分名称が溪畔林、沼沢林、河辺林、湿原・河川・池沼植生、塩沼地植生となっている区域の面積率を求めた。

生物の生活環の維持 [65]を表す指標として、送粉サービスを選択した。送粉サービスの計算方法は JBO2 における評価でも参照された小沼・大久保 (2015) に倣った。小沼・大久保 (2015) は Gallai et al. (2009) の手法に従い、送粉サービスを評価している。ただし、小沼・大久保 (2015) は各作物の年間産出額として、農林水産省の農業物価統計調査と作物統計調査を用いたが、本章では農林水産省が公開し

ている生産農業所得統計 [31]および市町村別農業産出額（推計）データベース（詳細品目別）[30]を用いた。これは、小沼・大久保(2015)は全国規模での各作物の年間産出額を求めたのに対し、本章では三重県内で地域レベルの評価を行ったためである。これを農林業センサス [50]の品目別栽培経営体数および栽培面積により、昭和 25 年の市町村ごとに按分し、それぞれの昭和 25 年における市町村の面積で除することにより、単位面積当たりの農業産出額を計算した。

病害虫の抑制 [65]に関しては MAES および JBO2 の双方にて評価指標はない。三重県においても県レベルでのデータの入手が困難であり、本論における地図化の対象より除外した。

土壌形成・土壌組成 [65]を表す指標として、窒素維持量を選択し、JBO2 と同様に作土層と土壌図 [59]により、判断した。ただし、農業環境技術研究所の土壌情報閲覧システムにおけるデータの代わりとして、高田ら (2013) が示した作土層中の地目と土壌群ごとの窒素賦存量を求めた。作土層は植生調査結果 [25]の水田雑草群落を水田、畑雑草群落を普通畑、常緑広葉樹林や植林地などを樹園地、牧草地を牧草地、自然草原や二次草原などを全耕地に再分類して推定した。

さらに JBO2 では水の状態 [65]の評価項目のうち、窒素吸収量とリン酸吸収量に関しては全国評価が困難であるとし、未評価となっている。三重県は県内の河川等における水質調査結果を公表している [68]。これらは JBO2 で未評価であった窒素吸収やリン酸吸収のような水質浄化機能が働いた結果の値であるといえる。生態系サービスの評価のためにはこの機能の評価に用いることのできる県レベルでの情報が必要となるが、現状では入手が困難である。したがって、今回の評価対象より除外した。

気候の調整 [65]を表す指標として、総一次生産量を選び、値を MODIS (56)より取得した。



#### 4.1.1.3 文化的サービス

供給サービスと同様に、文化的サービスに関しては JBO2 では本稿のような地域レベルの解析ではなく、ほとんどの指標が国家レベルでの評価となっており、地図化は行っていない。そのため、JBO2 の評価手法は用いず、これらの指標に関しては三次メッシュを対象とした評価が可能なデータを用いることにより評価した。

身体的・経験的交流 [65]を表す指標として、観光資源 [32]密度を用いることとした。観光資源データの位置情報についてカーネル密度推定を行った。

知的な交流 [65]を表す指標として、グリーンツーリズム推進施設密度数を用いた。三重県発行の農林漁業体験の提供などを行っている組織を掲載した情報誌（三重県, 2018）[69]に掲載された施設を、グリーンツーリズムを推進する施設であると位置づけ、その施設密度についてカーネル密度推定を行った。なお、位置情報に関しては三重県（2018）記載の住所に対してアドレスマッチング [60]を行うことにより緯度と経度を取得することとした。

精神的・象徴的交流 [65]を表す指標として、神社林の面積を用いることとした。2021 年度の文化庁の宗教統計調査によると、日本における神道系の宗教の信者数は 8792 万 4087 人である [70]。また、日本の神道は自然との関係性が述べられている（武光, 2006; 三橋, 2013）。すなわち、神社林に対して、人々が精神的・宗教的価値を見出だしている可能性が考えられる。神社林の地図化に当たっては、神社の緯度経度に関する位置情報を得るために三重県神社庁が公開している神社本庁に属する神社の住所 [61]に関してアドレスマッチングを行った [60]。次に、これらの神社を囲う道路情報として、国土地理院の基盤地図情報基本項目のデータ [63]を用いた。更に、これ

ら 2 点のデータから道路に囲まれた神社を含む面を GIS によるオーバーレイ解析により作成した。このデータと宇宙航空研究開発機構 (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA) 地球観測研究センター (Earth Observation Research Center, EORC) が作成した 2014 年から 2016 年の期間を対象とした日本域高解像度土地利用土地被覆図の落葉広葉樹, 落葉針葉樹, 常緑広葉樹, 常緑針葉樹のデータ [62]に関して更に GIS によるオーバーレイ解析を施し, それらが重なる部分を神社林とした。

存在価値 [65]を表す指標として, 自然公園の面積率を用いた。

#### 4.1.2 ホットスポット分析

上記の計算結果はすべて三次メッシュごとに計算もしくは按分されているものの, それぞれ単位が異なる。そこで, Qiu and Turner (2013) や Rabe et al. (2016)と同様に標準化を行った。標準化にあたり, 平均は 0, 分散は 1 に調整した。

標準化した評価項目を, MA で提唱された基盤サービス以外の各サービスで合算することにより, 各サービスの合計値を算出し, 各サービスを統合した。ただし, 表 1 に示すように, 各サービスは, いずれも評価項目数が異なる。そのため, この各サービスの合計値に関してさらに標準化を行った。それらを足し合わせることで, 全サービスの統合を計算した。そして, Getis-Ord  $G_i^*$ 統計量 (Getis and Ord, 1992; Ord and Getis, 1995) を用いたホットスポット分析を行った。これは, 統計学的に有意なクラスターが存在する場所を調べる方法である。各評価値がホットスポット・コールドスポットのどちらにも相当しないという帰無仮説が棄却できるとき, 統計的に有意な Z スコアが生じる [71]。ここでは, 有意水準を 1%とした。すなわち, p 値が 0.01 より小さく, Z スコアが-2.58 より小さいか+2.58 より大きく,

帰無仮説が棄却される [72]かどうかにより，生態系サービスのホットスポットとコールドスポットを判断した。

#### 4.1.3 ホットスポット分析と植生調査の結果の比較

生態系サービスの地図化は土地利用計画に有用であると考えられている（Jäppinen and Heliölä, 2015）。環境省自然環境局が公開する植生調査結果である 1/25,000 植生図 GIS データ [25]は土地利用情報を包含している。これと生態系サービスの関係を把握することを目的とし，1/25,000 植生図 GIS データに関して，ホットスポット分析により求めた生態系サービスのホットスポットとコールドスポットにおける面積率を上位 7 つまで算出した。表 4-2 に，その解析に用いた植生調査結果の大区分を環境省自然環境局による植生区分 [73]とともに示す。この上位 7 つの植生区分をもつ区域の面積率は，いずれのホットスポット・コールドスポットに対しても 90%を超す。また JSSA では，二次林の針葉樹人工林への転用が生態系サービスに影響を与えたとしたが（日本の里山・里海評価，2010），本区分は二次林と植林地の両方を含む。

表 4-2 環境省自然環境局が公開する植生調査結果 [25]の大区分  
と植生区分 [73]との関係

植生区分	大区分番号	大区分名称
ブナクラス域代償植生	22	落葉広葉樹二次林
ヤブツバキクラス域代償植生	40	常緑広葉樹二次林
	41	落葉広葉樹二次林
	42	常緑針葉樹二次林
植林地・耕作地植生	54	植林地
	55	竹林
	57	耕作地
市街地等	58	市街地等

## 4.2 結果

### 4.2.1 CICES 中分類（Group）に基づく各生態系サービスの地図化

図 4-1 に標準化された各生態系サービスを百分位で示す。

図 4-1a, d, e から、供給サービスのうち、バイオマス（栄養素）、エネルギー（バイオマス） [65]は主として北部・中部・伊勢志摩・伊賀にかけて、水（材料） [65]は北部・中部・伊勢志摩にかけて高い地域がみられた。ただし、バイオマス（栄養素） [65]は紀勢・東紀州にも一部高い地域がみられた。一方、図 4-1b のとおり、水（栄養素） [65]は北部と伊賀、図 4-1c のようにバイオマス（材料） [65]は主として中部・紀勢・東紀州において高い傾向にあった。

次に、調整サービスに関して述べる。図 4-1f のとおり、生物相による緩和 [65]は北部・中部・伊勢志摩・伊賀にかけての市街地に近い山間部において高かった。一方、北部・中部・伊勢志摩・伊賀に位置する伊勢平野や上野盆地付近では低かった。また、図 4-1g, k が示

すように、生態系による緩和、生物の生活環の維持 [65]に関しては北部・中部・伊賀近辺で高く表れた。ただし、生物の生活環の維持 [65]は紀勢・東紀州の一部にも高い傾向が生じた。図 4-1h, i, j, l, m より、その他の調整サービスは主として紀勢・東紀州・伊勢志摩近辺の南部に高い傾向がみられた。

また、図 4-1n のとおり、文化的サービスのうち、身体的・経験的交流 [65]は北部・中部・伊勢志摩・伊賀のほか、紀勢・東紀州にも一部高い地域がみられた。また、図 4-1o, p, q より、その他の文化的サービスは主として中部から紀勢・東紀州において高いことが示された。

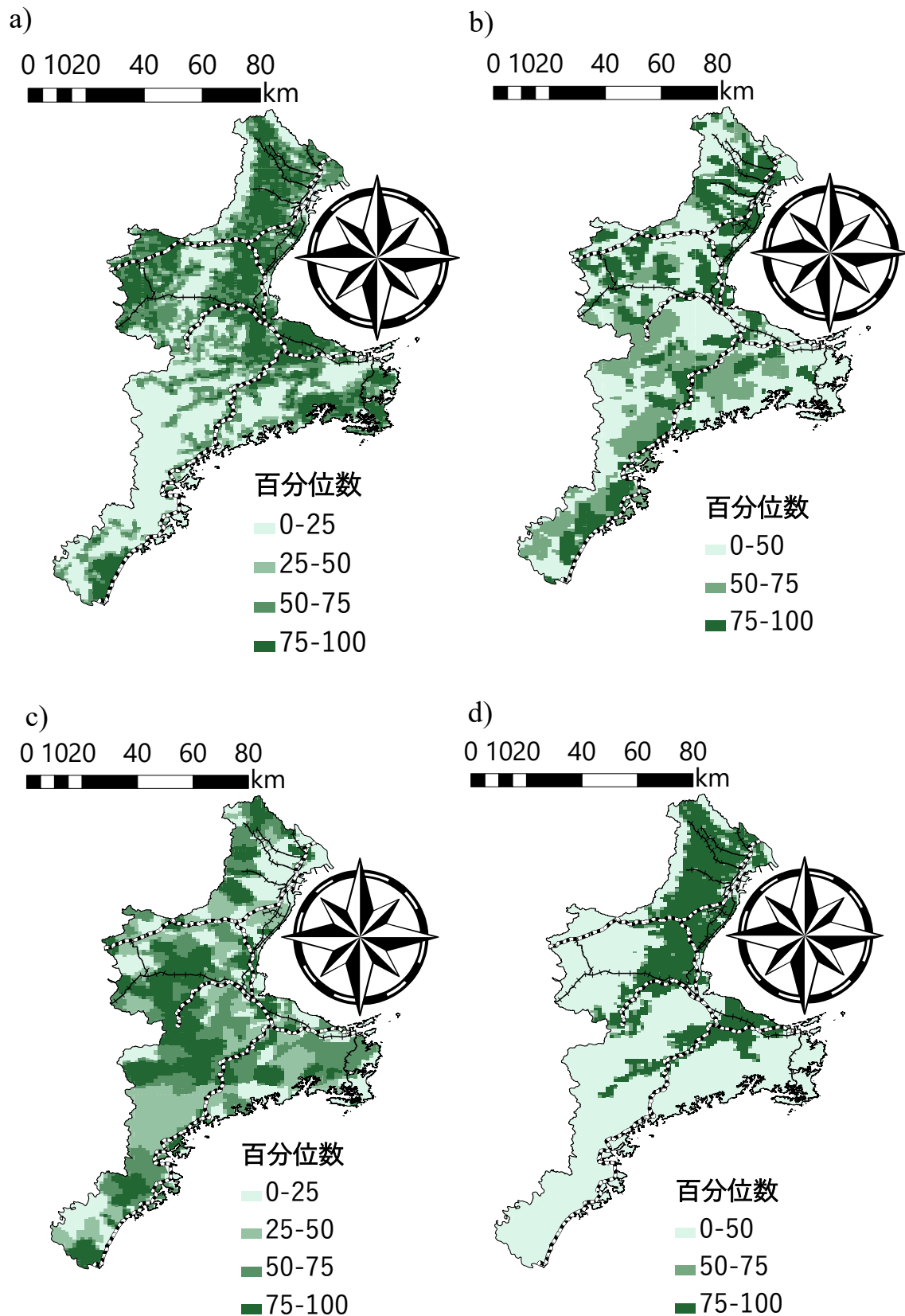


図 4-1 a. 三重県における生態系サービスの空間分布. a) バイオマス（栄養素）, b) 水（栄養素）, c) バイオマス（材料）, d) 水（材料）

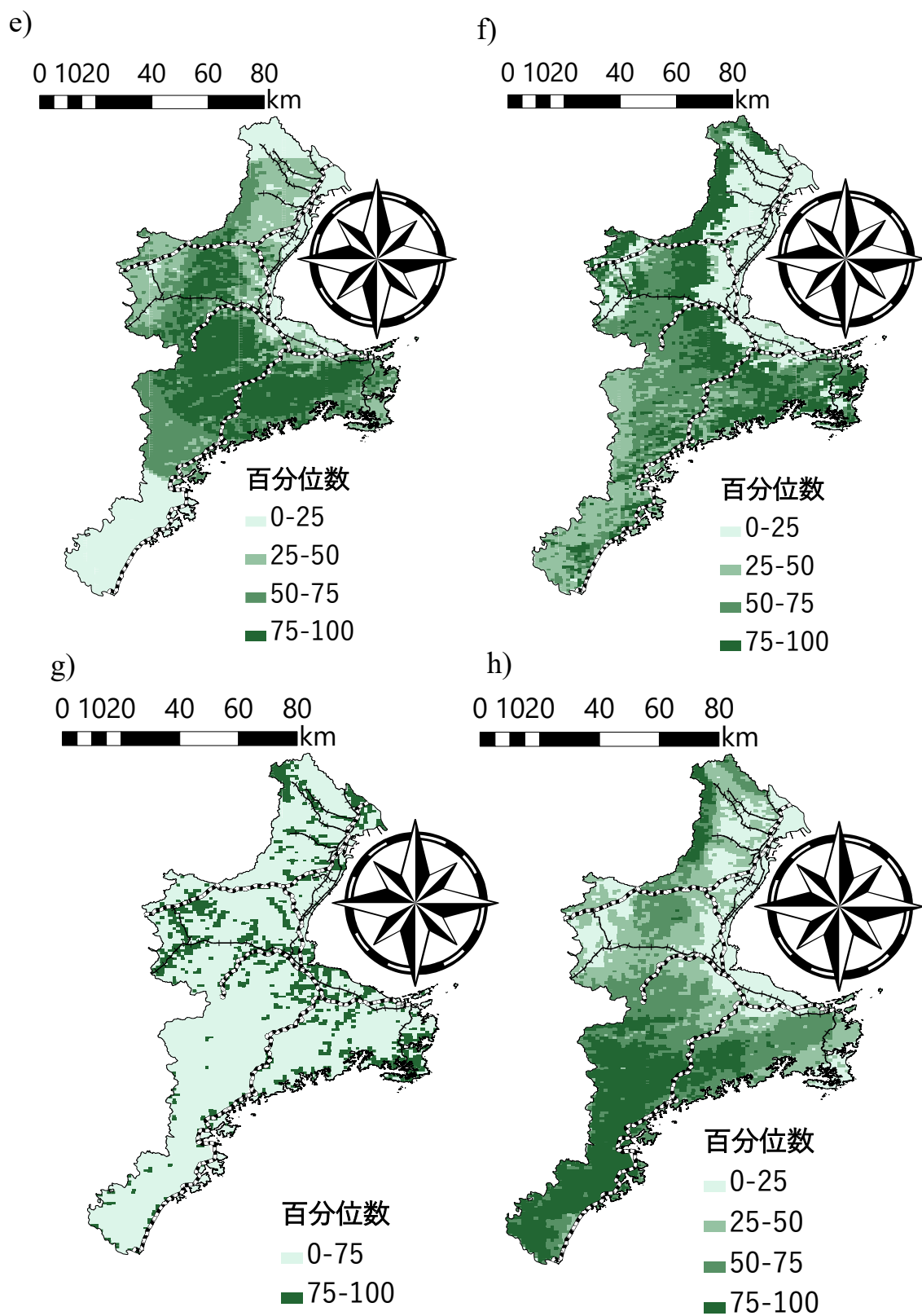


図 4-1 b. 三重県における生態系サービスの空間分布. e) エネルギー（バイオマス）, f) 生物相による緩和, g) 生態系による緩和, h) 物質の移動の緩和

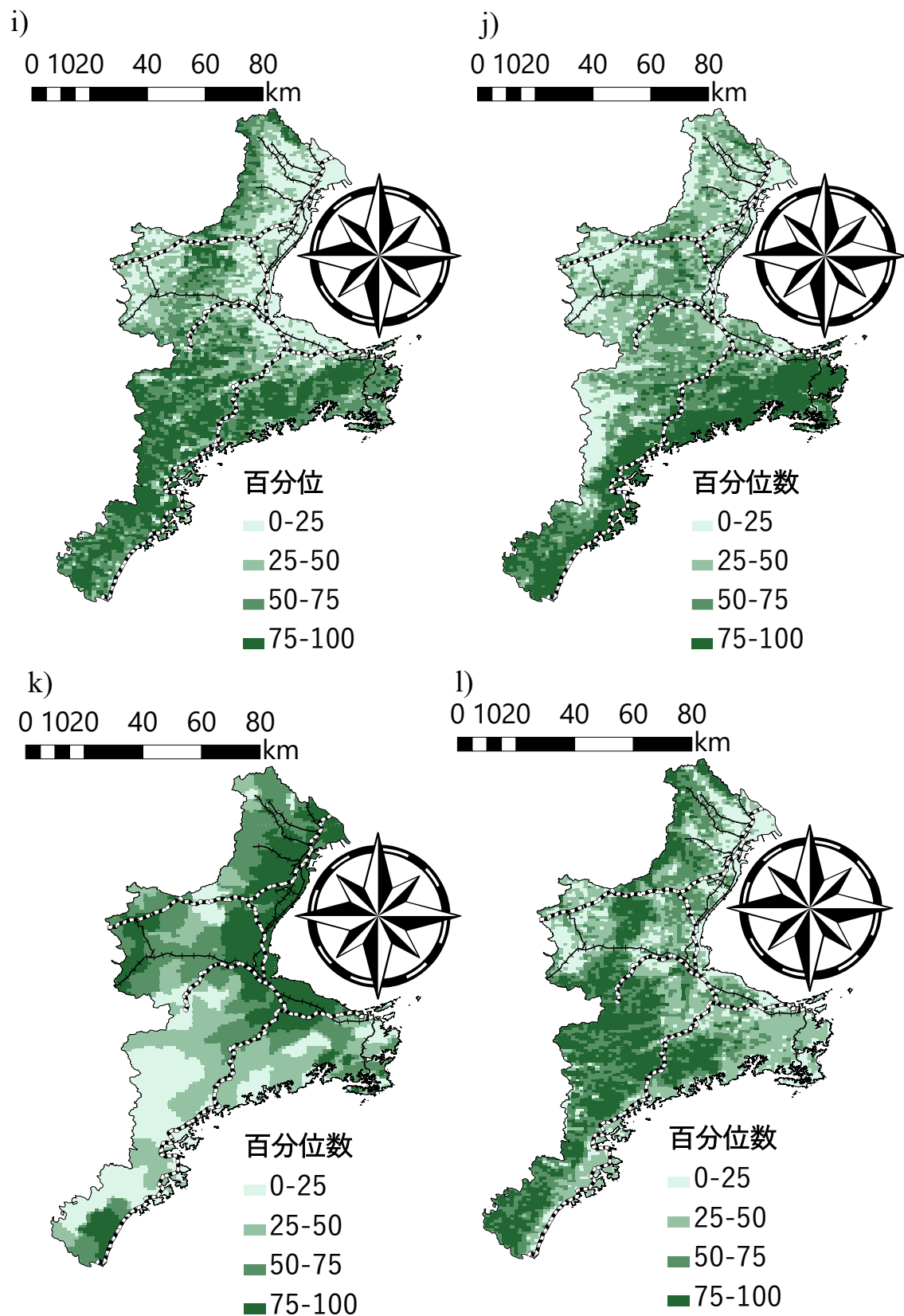


図 4-1 c. 三重県における生態系サービスの空間分布. i) 液体の流れの調整, j) 気体の流れの調整, k) 生物の生活環の維持, l) 土壌形成・土壌組成



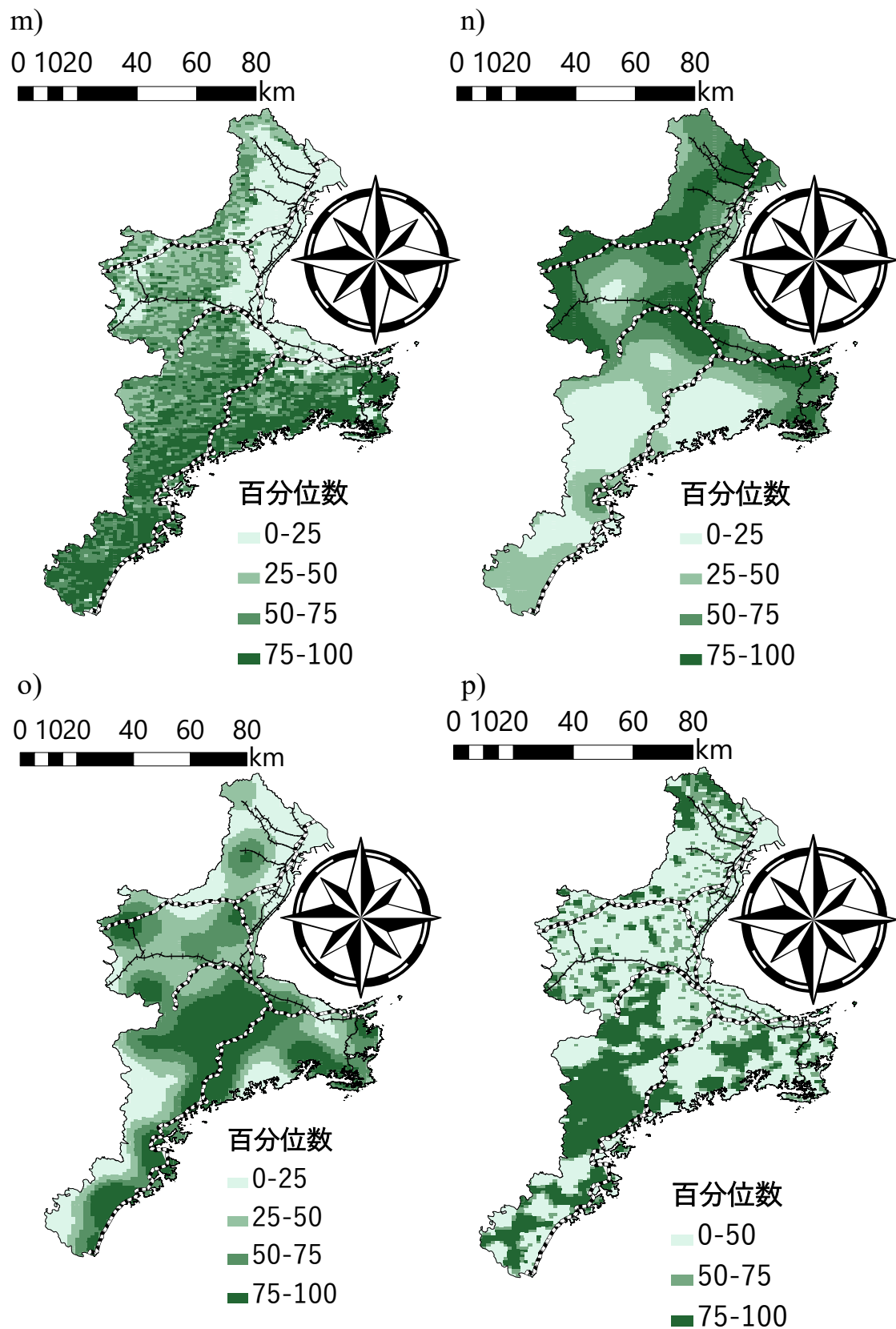


図 4-1 d. 三重県における生態系サービスの空間分布. m) 気候の調整, n) 身体的・経験的交流, o) 知的な交流, p) 精神的・象徴的交流

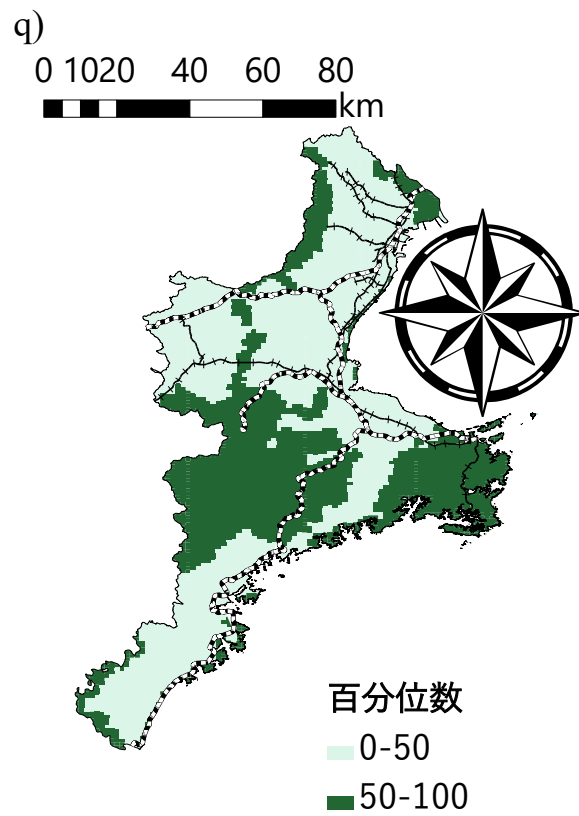


図 4-1 e. 三重県における生態系サービスの空間分布. q) 存在価値

#### 4.2.2 ホットスポット分析

図 4-2 に、標準化された各生態系サービスの合計値、および全サービスの統合に関する Getis-Ord  $G_i^*$ 統計量を用いたホットスポット分析結果を示す。

図 4-2a より、供給サービスは主として北部から中部にかけての内陸部にホットスポットが広がっていた。一方、コールドスポットは主として紀勢・東紀州の紀伊山地、一部、北部・伊勢志摩の海岸部および滋賀県・岐阜県との県境部となる鈴鹿山脈や養老山脈付近に分布していた。

また、図 4-2b のとおり、調整サービスのホットスポットは紀勢・東紀州の大部分とその周辺に広がっていた。一部、鈴鹿山脈などの北部の山間部にも存在した。コールドスポットは主として北部・中部・伊勢志摩・伊賀の伊勢平野や上野盆地にみられた。

さらに、図 4-2c に示すように、文化的サービスのホットスポットは主として中部・伊勢志摩にかけての区域に広がっており、一部、紀勢・東紀州や京都府や滋賀県との府県境部にもみられた。また、コールドスポットは主として北部・中部・伊勢志摩の海岸付近、紀勢・東紀州の紀伊山地などの山間部、中部・伊賀にわたる上野盆地から布引山地にかけての地域に分布していた。

加えて、図 4-2d から、全サービスの統合のホットスポットは主として中部から伊勢志摩にかけての山間部に広がり、一部、紀勢・東紀州の紀伊山地や北部の鈴鹿山脈付近に存在することが示された。一方、コールドスポットは主として北部・中部・伊勢志摩・伊賀の伊勢平野と上野盆地付近に存在した。

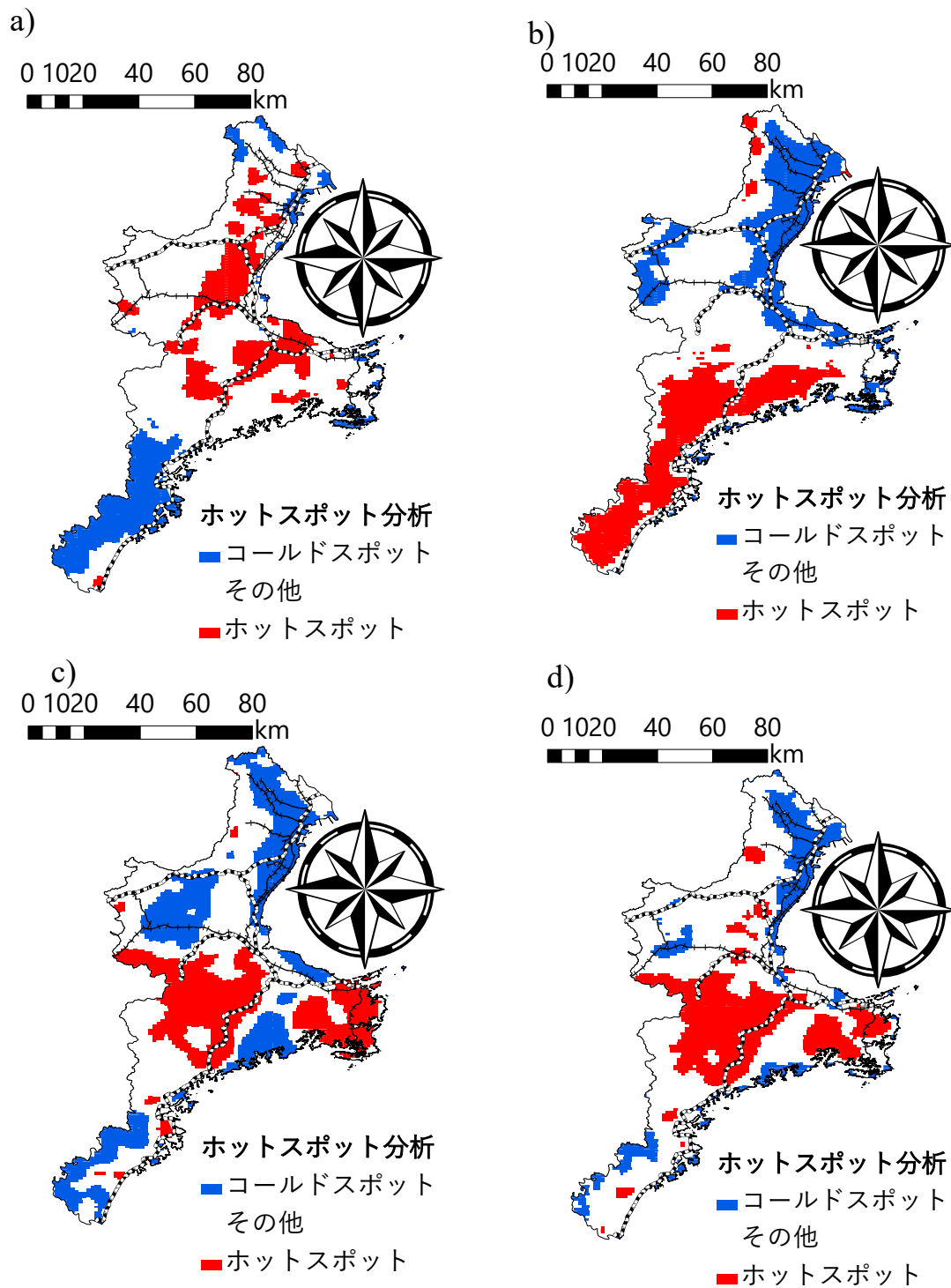


図 4-2 ホットスポット分析の結果。信頼度が 99%の地域をホットスポットもしくはコールドスポットとしている。 a) 供給サービス, b) 調整サービス, c) 文化的サービス, d) 全サービスの統合

#### 4.2.3 ホットスポット分析と植生調査の結果の比較

図 4-3 に、図 4-2 の生態系サービスのホットスポット・コールドスポットにおける植生調査結果の大区分 [25]の面積率を示す。

図 4-3a, b, c, g より、供給サービス、調整サービス、文化的サービス、全サービスの統合のホットスポットのすべてにおいて植林地の面積が最も大きいことが示された。また、図 4-3a のとおり、供給サービスのホットスポットにおいて面積率が 2 位, 3 位の植生調査結果の大区分は、それぞれ、耕作地、市街地等であり、森林以外であった。図 4-3b より、調整サービスのホットスポットは上位 4 つ、図 4-3c より文化的サービスのホットスポットは上位 2 つの植生調査結果の大区分が植林地やヤブツバキクラス域代償植生の常緑広葉樹二次林といった森林に相当するものであった。図 4-3g から、全サービスの統合のホットスポットは上位 2 つの植生調査結果の大区分が同様に森林に相当するものであった。

図 4-3d, f より、供給サービス、文化的サービスのコールドスポットは最も面積率の大きい植生調査結果の大区分が植林地であったが、供給サービスは 3 位、文化的サービスは 2 位の植生調査結果の大区分は市街地等となっていた。また、供給サービスは 6 位、文化的サービスは 3 位の植生調査結果の大区分が耕作地であり、森林と森林以外が混在していた。ただし、供給サービスの方が森林の面積率が高い傾向にあった。図 4-3e のとおり、調整サービスのコールドスポットは上位 2 つの植生調査結果の大区分が市街地等と耕作地であり、森林以外が大部分を占めた。また、図 4-3h に示すように、全サービスの統合のコールドスポットは上位 2 つを市街地等と耕作地の森林以外、3 位以下を森林が占めた。

図 4-3c, f の比較では、文化的サービスのホットスポットとコールドスポットにおいて、耕作地・市街地の面積率の差が大きいことが分

かった。

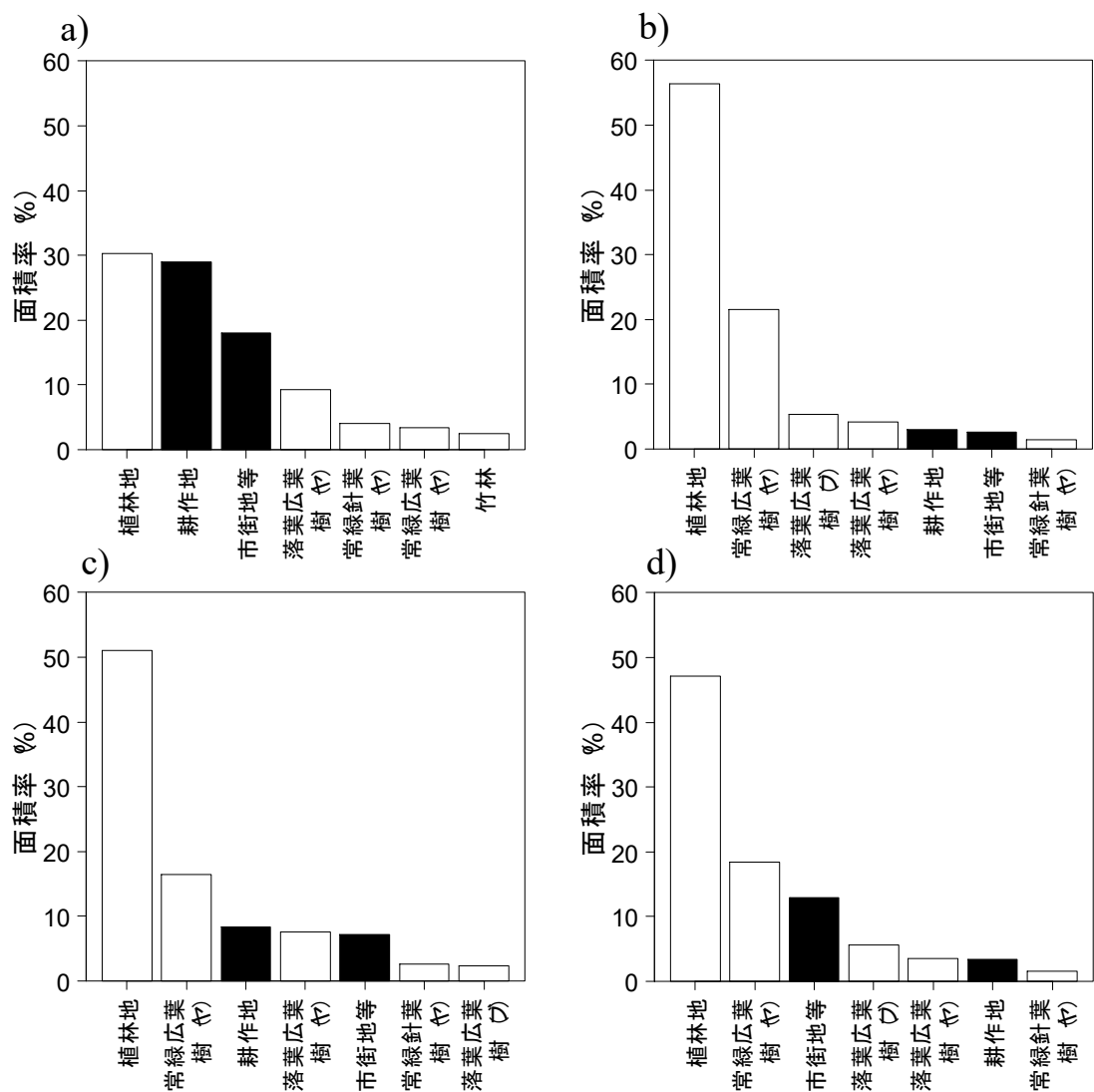


図 4-3 a. ホットスポット分析で求めたホットスポット・コールドスポットに対する植生調査結果の大区分 [25]の面積率. 白は森林, 黒はそれ以外を表す。(ブ) はブナクラス域代償植生, (ヤ) はヤブツバキクラス域代償植生, 落葉広葉樹は落葉広葉樹二次林, 常緑広葉樹は常緑広葉樹二次林, 常緑針葉樹は常緑針葉樹二次林を指す (表 2 参照). a) 供給サービスのホットスポットに対する植生調査結果の大区分の面積率, b) 調整サービスのホットスポットに対する植生調査結果の大区分の面積率, c) 文化的サービスのホットスポットに対する植生調査結果の大区分の面積率, d) 供給サービスのコールドスポットに対する植生調査結果の大区分の面積率

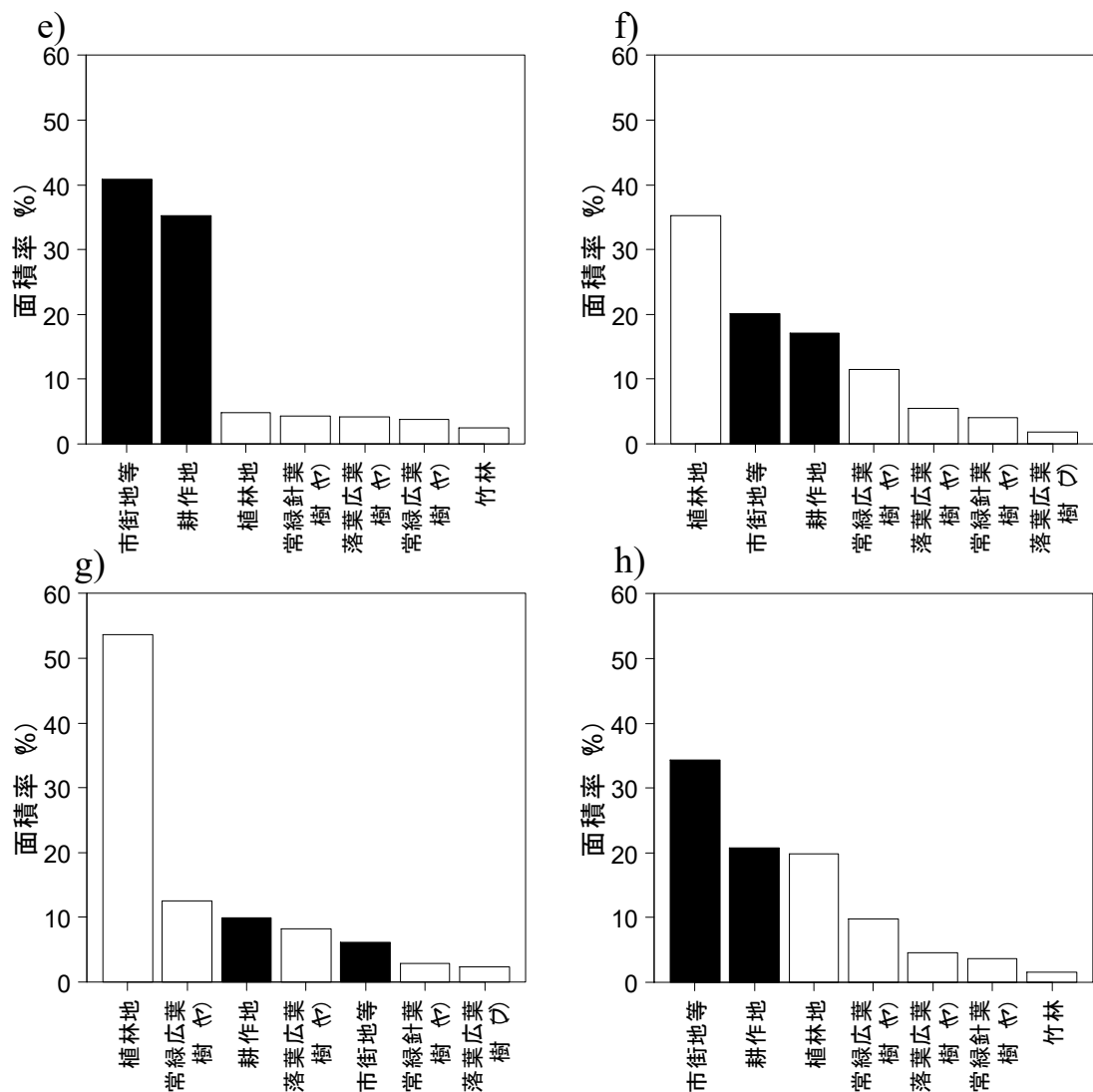


図 4-3 b. ホットスポット分析で求めたホットスポット・コールドスポットに対する植生調査結果の大区分 [25]の面積率。白は森林、黒はそれ以外を表す。(ブ) はブナクラス域代償植生、(ヤ) はヤブツバキクラス域代償植生、落葉広葉樹は落葉広葉樹二次林、常緑広葉樹は常緑広葉樹二次林、常緑針葉樹は常緑針葉樹二次林を指す (表 2 参照)。e) 調整サービスのコールドスポットに対する植生調査結果の大区分の面積率, f) 文化的サービスのコールドスポットに対する植生調査結果の大区分の面積率, g) 全サービスの統合のホットスポットに対する植生調査結果の大区分の面積率, h) 全サービスの統合のコールドスポットに対する植生調査結果の大区分の面積率

## 4.3 考察

### 4.3.1 CICES 中分類 (Group) に基づく各生態系サービスの地図化

図 4-1a, d, e では、伊勢平野や上野盆地とそこを流れる河川を利用した農業活動、および同地域での木質バイオマス発電の様子が可視化されている。ここは人口が多く、農作業に要する人手や、農作物の需要が考えられる。加えて、都市部・森林両方からの距離が小さく、木質バイオマス発電に必要な樹木と人手の両方の調達に都合が良いと推測することができる。さらに図 4-1c から、その周辺は林業にも適地であると考えられる。すなわち、これら農業・林業・木質バイオマス発電が、主として北部・中部・伊勢志摩とその周辺のバイオマス（栄養素）、バイオマス（材料）、水（材料）、エネルギー（バイオマス） [65]を高めていると理解することができる。また図 4-1b は、北部・伊賀では木曽川・木津川などの大河川による水（栄養素） [65]の恵みが大きいことを示唆している。

図 4-1f から、市街地で生じた  $\text{NO}_2$  を周辺の森林が吸収し、生物相による緩和 [65]として機能している様子を推測することができる。さらに図 4-1g は、特に北部・中部・伊賀近辺では、河川周辺に存在する河畔林が生態系による緩和 [65]として貢献していることを示唆している。また図 4-1k より、主として同地域および紀勢・東紀州の一部では、農業における送粉サービスとして、生物の生活環の維持 [65]の恵みを享受している可能性が地図化されている。加えて、図 4-1h, i, j, l, m より、主として紀勢・東紀州・伊勢志摩近辺の南部は多種多様な調整サービスを提供していると考えることができる。

図 4-1n では、人口の多い北部・中部・伊勢志摩・伊賀における観光資源利用の様子が可視化されている。また、人口の少ない紀勢・東紀州での景勝地や熊野古道に関連する施設による身体的・経験的交



流<sup>15)</sup>の提供も示唆している。さらに図 4-1o, p, q から、主として中部から紀勢・東紀州での自然や精神的・宗教的価値を求める人が多く、知的な交流、精神的・象徴的交流、存在価値 [65]が大きい可能性を考えることができる。

#### 4.3.2 ホットスポット分析

##### 4.3.2.1 供給サービス

図 4-2a にて、主として北部から中部かけて広がる供給サービスのホットスポットが示された。そのことと図 4-3a は、森林による木材供給のほかに伊勢平野や上野盆地の都市近郊の農業生産やそこを流れる河川による供給サービスへの影響が大きいことを示唆している。次に図 4-2a より、供給サービスのコールドスポットは主として紀勢・東紀州の紀伊山地、一部、北部・伊勢志摩の海岸部および鈴鹿山脈や養老山脈付近に分布していた。このような農業に適さず都市域からも距離のある山間部や名古屋近郊における供給サービスの提供は小さいといえる。そのことは図 4-3d にも表れ、単純な土地利用に加え、都市域からの距離なども供給サービスに関係する可能性が示唆されている。

本章で示した供給サービスのホットスポットは第 3 章で供給サービスが高く示された場所に近い。また統計手法は異なるが、図 4-3a と先行研究 (Tammi et al., 2017) において土地利用ごとの供給サービスに関する経済価値の上位 3 つを森林・半自然地、農地、人工物が占めた点は同じ傾向を示す。

供給サービスのホットスポット・コールドスポットは、バイオマス (栄養素)、水 (栄養素)、水 (材料)、エネルギー (バイオマス) [65] の傾向に対応している。一方、バイオマス (材料) [65]の傾向は、供給サービスのホットスポット・コールドスポットとは必ずしも一致

しない。ただし、バイオマス（材料） [65]は中部・紀勢・東紀州において高い傾向にあったものの、特に中部に高い地域が集中しており、供給サービスのホットスポット・コールドスポットと部分的に重複する。これにより、供給サービスのホットスポット周辺では様々な供給サービスの産出があり、コールドスポット周辺ではそれが低いと考えることができる。

また、エネルギー（バイオマス） [65]の解析には、三重県が公開した 4 か所の木質バイオマス発電施設 [55]を用いた。しかしながら、日本では木質バイオマス発電に関する設備容量は年々増加している（環境エネルギー政策研究所, 2019）。そのため今後、エネルギー（バイオマス） [65]に関する状況が変化し、供給サービスのホットスポット・コールドスポットが移動する可能性は十分あるといえる。

#### 4.3.2.2 調整サービス

図 4-2b から、主として紀勢・東紀州に位置する紀伊山地周辺、一部は北部の鈴鹿山脈などの山間部において調整サービスのホットスポットが存在することが示された。さらに、図 4-3b より、調整サービスへの森林の影響は大きいといえる。よって、南部は人口の少ない地域であるが、この地域の森林は調整サービスにとって重要であると理解することができる。

また、図 4-2b より、調整サービスのコールドスポットは北部・中部・伊勢志摩・伊賀に位置する伊勢平野や上野盆地にあることが分かった。それにもかかわらず、図 4-3e は当該地域に多くの人々が居住し、農業の営みがあることを示しており、他地域の調整サービスを楽しんでいることを示唆している。

さらに、調整サービスのホットスポットは第 3 章における調整サービスが高い領域と一致する。また統計手法は異なるが、図 4-3b と

先行研究 (Tammi et al., 2017) が示した森林・半自然地と農地、人工物の調整サービスに関する経済価値の差は同じ傾向にある。

調整サービスのホットスポット・コールドスポットは、生物相による緩和、物質の移動の緩和、液体の流れの調整、気体の流れの調整、土壌形成・土壌組成、気候の調整 [65]の傾向に対応し、生態系による緩和、生物の生活環の維持 [65]の傾向と異なる。よって、調整サービスのホットスポットにのみ着目した場合、河畔林からの生態系による緩和 [65]への影響を過小評価する可能性があるといえる。また、本章における生物の生活環の維持 [65]の評価では小沼・大久保 (2015) と同様に、自然植生に対する送粉サービスは考慮していない。したがって、調整サービスのホットスポットにも評価に表れていないサービスが存在する可能性も考えられる。

#### 4.3.2.3 文化的サービス

図 4-2c より、文化的サービスのホットスポットは主として中部・伊勢志摩にかけて分布し、一部は紀勢・東紀州のほかに京都府や滋賀県との府県境部にも存在することが分かった。さらに、図 4-3c から、文化的サービスと森林との関連性を推測することができる。一方、森林以外の人工的な土地利用も関係している可能性も示している。

また、図 4-2c より、文化的サービスのコールドスポットは主として北部・中部・伊勢志摩の海岸部、紀勢・東紀州の紀伊山地などの山間部と中部・伊賀の上野盆地から布引山地にかけて広がっていることが示された。したがって市街地に加え、山間部でも市街地からの距離が大きい場所は文化的サービスが低いと推測することができる。このことは図 4-3c, f にも示されている。図 4-3f からは森林におけるコールドスポットの存在の可能性が示され、文化的サービスには森林以外の要素も関係している可能性があるといえる。また、図 4-3c,

f の比較からは市街地におけるコールドスポットの存在を考えることができ、北部・中部・伊賀・伊勢志摩の伊勢平野や上野盆地付近にみられるような市街地・耕作地の多くは文化的サービスをあまり提供しないことを示唆している。

文化的サービスのホットスポットは第 3 章において文化的サービスが高く表れた領域より南方に位置していた。また統計手法は異なるが、図 4-3c と先行研究 (Tammi et al., 2017) が示した土地利用ごとの文化的サービスの経済価値は同様の結果になった。ただし、市街地等、耕作地との関係は異なっていた。Tammi et al. (2017) における土地利用と図 4-3c で用いた植生調査結果の大区分の構成要素に関する相違が一因であると考ええる。

文化的サービスのホットスポット・コールドスポットは、知的な交流、精神的・象徴的交流、存在価値 [65] の傾向に対応するが、身体的・経験的交流 [65] の傾向には一致しない。三重県の観光資源は、人口の多い地域に偏在する傾向がある。本章ではこれらの観光資源ごとの生態系サービスへの貢献度は考慮していない。そのため、身体的・経験的交流 [65] が高い地域では生態系サービスへの貢献度の低い観光資源を実際より高く評価している可能性もある。

#### 4.3.2.4 全サービスの統合

全サービスの統合のホットスポットは、より多種多様な生態系サービスを産出する場所、ホットスポットにおける植生調査結果は生態系サービス全般に重要な要素を意味すると考えられる。図 4-2d から、全サービスの統合に関するホットスポットは主として中部から伊勢志摩にかけての山間部に広がり、一部、紀勢・東紀州の紀伊山地や北部の鈴鹿山脈付近に存在することが示された。このことと図 4-3g は、当該地域の森林が生態系サービスにとって重要な要素である

ことを示唆している。一方、図 4-2d から、コールドスポットが主として北部・中部・伊勢志摩・伊賀の伊勢平野・上野盆地付近に位置していることが分かった。図 4-3h も加味すると、これらの地域の人々が図 4-2d のホットスポットの生態系サービスを享受している可能性があるといえる。今後は、庄山（2014）が述べたような生態系サービスの産出地と受益地の空間的ギャップに関する研究も求められる。一方、内閣府は新型コロナウイルス感染症（coronavirus disease 2019, COVID-19）による地方移住に対する関心の高まりについての調査結果を公表している [74]が、本章が示したホットスポットへの移住はより多くの生態系サービスを享受する生活につながる可能性も示している。

なお今後、特にエネルギー（バイオマス）[65]に関する状況の変化に伴う供給サービスのホットスポット・コールドスポットの遷移を受け、全サービスの統合のホットスポット・コールドスポットも変動する可能性があることには注意が必要である。

#### 4.3.3 生態系サービスと地域施策

主として供給サービスは北部・中部、調整サービスは紀勢・東紀州、文化的サービスは中部・伊勢志摩にかけてホットスポットがみられた。供給サービスのような市場取引の機会の多いサービス（橋本・齊藤，2014）は都市化した地域で大きい。一方、調整サービスのように市場取引の機会は少なくとも（橋本・齊藤，2014），過疎地域で高いサービスもある。市場で取引されないことの多い土壌形成・土壌組成や気候の調整などに相当する調整サービスを維持するには主として紀勢・東紀州，知的な交流や精神的・象徴的交流などに相当する文化的サービスを保持するには中部・伊勢志摩を含むホットスポット周辺環境を守ることが求められているといえる。

また、Bateman et al. (2013) はイギリスにおいて農業生産など市場価値として表れるサービスのみを考慮に入れた意思決定を行うと全体的な生態系サービスが低下することを示している。これらは、三重県では過疎地域を含めたホットスポット周辺の環境保全が、より多くの生態系サービスの供給をもたらすことを示唆している。さらに、図 4d, 5g より、全サービスの統合のホットスポットは主として中部から伊勢志摩にかけての領域に位置し、そこでは森林面積が大きいことが示された。すなわち、生態系サービスを維持するためには森林保全が重要となると考えられる。

ただし、本章では、指標の選定にはデータの入手可能性を考慮した生態系サービスの供給に関する解析を行っていることにも注意が必要である。全サービスの統合のホットスポット周辺では、バイオマス（材料）、エネルギー（バイオマス）、生物相による緩和、物質の移動の緩和、液体の流れの調整、気体の流れの調整、土壌形成・土壌組成、気候の調整、知的な交流、精神的・象徴的交流、存在価値 [65]の値が高い傾向にあった。このうち、バイオマス（材料）、エネルギー（バイオマス）、生物相による緩和、物質の移動の緩和、液体の流れの調整、気体の流れの調整、土壌形成・土壌組成、気候の調整、精神的・象徴的交流 [65]は森林が関連するデータを用いた計算結果である。

一方、計算に淡水が関連するデータを用いた水（栄養素） [65]のように全サービスの統合のコールドスポット周辺で高い傾向のサービスもあった。本章では、例えば農業や森林に関連する生態系サービスの評価には、市場取引情報である生産農業所得統計 [31]や木材統計調査 [51]のデータを利用することができた。また、環境省自然環境局が全国規模で公開している植生調査結果 [25]を用いることができた。しかしながら、例えば淡水に関連する生態系サービスの評価として、水の状態 [65]を代表させる指標を選択することができなかつ

た。農業、森林、淡水、海洋といった多面的な側面 (Maes et al., 2014) での情報整備や生態系サービスの需要に関する情報の把握は、生態系サービスをより正確に捉える上では重要な点となり得る。

三重県では森林環境譲与税のような PES 類似制度が存在している (橋本・齊藤, 2014) [75]が、これらの結果はその裏付けにもなる。また、当該地域への移住は様々な生態系サービスを享受する生活と関連するといえる。

また、植林地は各サービスおよび全サービスの統合のホットスポットで最も大きな面積を占めた。2017 年の三重県における人工林面積は 229,969ha であり、三重県全体の 39.8%を占める [76]。このことも結果に影響している可能性がある。さらに、JSSA では、二次林の針葉樹人工林への転用が生態系サービスに影響を与えたとしている (日本の里山・里海評価, 2010)。これを踏まえると植林地よりも二次林の方がより生態系サービスを提供すると考えることができ、森林・林業白書が言及した広葉樹林化が必要とされる可能性がある。しかし、本章により、植林地も生態系サービスに寄与することが示唆された。広大な植林地の保全や管理は生態系サービスの観点からも肝要な問題となり得る。

それと同時に、植林地自体の状況は生態系サービスの供給に影響を及ぼす可能性があるといえる。植林地における施業状況と生態系サービスの関係を明らかにすることは、本章で示された生態系サービスのホットスポットやコールドスポットの状況のより詳細な把握のためには重要な課題である。

また、フローとしての生態系サービスが高く表れたとしても、ストックとしての自然資本も同様の状況であるとは限らない (Atkinson and Pearce 1995; Jansson et al., 1994) [77]。本章のホットスポットで大きな面積率を占めた植林地はフローとして人間に利用された一方、

植林地と比較してあまり大きな面積率を占めなかった二次林や図 4-3a~h において上位 7 つに入らなかった自然植生はストックである可能性がある。

ここで、三重県における 2017 年の人工林率は 62%である [76]。このことは、二次林や自然植生の面積は比較的小さいことを示す。すなわち、ストックとしての自然資本である二次林や自然植生の面積が小さく、それがフローとしての生態系サービスとしても表れていない可能性があるといえる。それと同時に、ストックとしての二次林や自然植生が存在しても、それよりも優先的にフローである生態系サービスとして植林地が利用されている可能性も考えられる。

なお、本章の解析に使用したデータは原則、全国で整備され、公開されているものである。三重県は、都市域と過疎地域の両方を含み、様々な社会特性を有している。また、山地・平野・盆地など様々な地形がある。これらいずれの社会特性・地形をもつ地域においてもこの方法は適用可能であった。そのため、この方法は日本国内の他の都道府県にも応用が可能であるといえる。一方、三重県には政令指定都市の基準の 1 つである人口 50 万人に達する市町がなく [20]、大都市圏における生態系サービスの状況は必ずしも明らかにはなっていない。他の都道府県への応用は、生態系サービスの大都市圏における状況や、都道府県ごとの特性を示すことにつながる。



## 5. 結論

本論では三重県における生態系サービスを第3章、第4章で述べた2つの側面より地図化し、評価した。第3章では Bateman et al. (2013) に基づいた CICES の Section と基盤サービスごとの評価手法を紹介した。これは供給サービス、調整サービス、文化的サービス、基盤サービスの値を代表する指標として、それぞれ1つ（文化的サービスのみ2つ）を用いて生態系サービスを地図化することによる評価手法である。また、第4章では、CICES の Group レベルの分類を代表するものとして、MAES, JSSA, JBO2, 独自に考案した17の指標を用いた生態系サービスの地図化による評価を紹介した。

### 5.1 Bateman et al. (2013) に基づく評価

第3章では、Bateman et al. (2013) に倣い、CICES の Section と基盤サービスごとに三重県における生態系サービスの変化をみた。それにより、生態系サービスのバランスと持続可能性の両方に関して考察し、それらを良くするための方策を考えた。

生態系サービスは、MAにより定義された、供給サービス、調整サービス、文化的サービス、基盤サービスに分け、GISを用いて三重県における旧市町村ごとのサービスの値とその変化をみた (Millennium Ecosystem Assessment, 2007)。供給サービスの値を代表するものとして、農業産出額を用いた。調整サービスは、土地利用データから算出した森林率を二酸化炭素森林吸収量に代用した。文化的サービスに関しては、観光客数と都市公園率を用いた。そして、基盤サービスの値として、今回は植物群落の多様性をみた。これを求めるために、植物群落のデータから、三重県の旧市町村ごとのシャノン・ウィナーの多様度指数を計算した。

その結果、三重県においては、全体的に供給サービスが減少していたが、近年では増加傾向にある地域もあることが分かった。その他の生態系サービスに関しては、北部と南部で生態系サービスの傾向に違いが見られた。北部では、調整サービスは低下していた。それ以外の文化的サービス、基盤サービスは、増加または大きな値が出た。一方、南部では、調整サービスには増加がみられたものの、それ以外の文化的サービスや基盤サービスは減少している、もしくは低いという結果が出た。しかし、近年では、文化的サービスに関しては一部地域で増加している。

以上を総合すると、北部では開発による生態系サービスの減少が懸念される。しかし、南部では調整サービス以外の全体的な生態系サービスが減少している、もしくは低いといえる状況になっていたが、近年ではその状況が緩和されつつある。ただし、南部では、他の全ての生態系サービスに影響を与える基盤サービスが低い。一方、供給サービス、調整サービス、文化的サービス、基盤サービスそれぞれのサービスにおいて、現状では概要の把握にとどまっている。実際には、CICES の Group や日本の里山・里海評価において取り扱われているように、それぞれのサービスにおいて本研究で用いた指標以外の視点も存在する。これらを考慮することにより、詳細な生態系サービスの状況が明らかになり、具体的な施策を考えることが可能になることが考えられる。

## 5.2 CICES の Group に基づく生態系サービスの評価

第4章では、CICES の Group に基づいて、MAES や JSSA における指標を用い、可能な限り包括的に三重県の生態系サービスを地図化した。また、生態系サービスのホットスポット分析と植生調査結果

との関係も明らかにした。

その結果、主として北部・中部の都市近郊の農地や森林が供給サービス、紀勢・東紀州とその周辺の森林が調整サービス、中部・伊勢志摩にかけての地域の森林とその周辺の人工的な土地利用が文化的サービスを提供していることが示唆された。全サービスの統合からは、生態系サービスにとっては特に森林が重要な要素を占める可能性が示された。すなわち、陸上の生態系サービスを考える上ではホットスポット周辺の森林が重要であるといえる。このことは、森林環境譲与税のような PES 類似制度（橋本・齊藤，2014） [75] の裏付けにもなる。また、当該地域への移住が多種の生態系サービスを享受する生活を来たす可能性も表している。ただし、本稿では、データの入手可能性を加味した解析を行っているため、ホットスポットでない地域が必ずしも生態系サービスを提供しないとはいえない。農業、森林、淡水、海洋（Maes et al., 2014）といった多方面からの情報整備は、より正確な生態系サービスの評価につながる。

上記の留意点を含むものの、第 4 章で紹介した解析は他の都道府県にも応用が可能であるといえ、当該地域での PES 類似制度の裏付けや、それらを重点的に適用する地域を把握するための材料を提供するものである。

### 5.3 Bateman et al. (2013) に基づく評価と CICES の Group に基づく生態系サービスの評価の比較

第 3 章で示した Bateman et al. (2013) に基づく CICES の Section と基盤サービスごとの生態系サービスの地図化と第 4 章で示した CICES の Group に基づく生態系サービスの地図化を比較すると、前者の結果明らかになった生態系サービスが高い部分と後者の結果明らかになった生態系サービスのホットスポットは重なる部分も多か

った。供給サービスと調整サービスに関しては、両者の高いところとホットスポットは近かった。このことは、第 3 章の指標の選定方法にある程度の妥当性があることを示している。ただし、文化的サービスに関しては必ずしも両者の高いところとホットスポットは一致していない。

第 3 章では、供給サービスとしての農業産出額、調整サービスとしての森林率、文化的サービスとしての観光客数と都市公園率、基盤サービスとしての植物群落の多様性をそれぞれ選択し、地図化した。第 4 章では表 4-1 のとおり、供給サービスの指標として 5 つ、調整サービスの指標として 8 つ、文化的サービスの指標として 4 つを選択し、地図化した。

北部と南部で供給サービスを比較すると、第 3 章では地図化の結果である図 3-2 および図 3-4 から、北部で高くなっている可能性があることが分かった。同様に、第 4 章では地図化の結果である図 4-1a, b, d, e より、供給サービスのうち、バイオマス（栄養素）、水（栄養素）、水（材料）、エネルギー（バイオマス）[65]は北部で高いことが示唆された。ただし、図 4-1c より、同じく供給サービスのうち、バイオマス（材料）[65]は南部にも高い地域が広がっていることが推測された。

また、北部と南部で調整サービスを比較すると、第 3 章では地図化の結果である図 3-6 から、南部で高くなっていることが示唆された。同様に、第 4 章では地図化の結果である図 4-1f, h, i, j, l, m より、調整サービスのうち、生物相による緩和、物質の移動の緩和、液体の流れの調整、気体の流れの調整、土壌形成・土壌組成、気候の調整[65]は南部で高いことが推定された。ただし、図 4-1g, k より、同じく調整サービスのうち、生態系による緩和、生物の生活環の維持[65]は北部で高い可能性があることが分かった。

さらに、北部と南部で文化的サービスを比較すると、第 3 章では地図化の結果である図 3-10, 図 3-12, 図 3-14 より、文化的サービスは北部で高くなっていることが推測された。一方、第 4 章では地図化の結果である図 4-1o, p, q より、文化的サービスのうち、知的な交流、精神的・象徴的交流、存在価値 [65]は南部で高くなっていることが推定された。ただし、図 4-1n より、身体的・経験的交流は北部で高くなっていることが示唆された。

ある生態系サービスの産出には、他の生態系サービスの状態が密接に関係している。ある生態系サービスの増加が他の生態系サービスの減少を引き起こす時、その生態系サービス同士はトレードオフの関係にあるという。一方、ある生態系サービスの増加が他の生態系サービスの増加を引き起こす時、その生態系サービス同士はシナジーの関係にあるという（橋本・齊藤，2014）。

以上を踏まえると、三重県においては、供給サービス同士および調整サービス同士は北部と南部で比較した場合、分布の傾向に類似点が存在する可能性があることが分かる。すなわち、供給サービス同士および調整サービス同士は、それぞれ、シナジー関係を持つ場合が多いことを示唆している。一方、文化的サービスに関しては、第 3 章で用いた指標と第 4 章で用いた指標を比較した場合、北部と南部での分布の傾向が異なっている指標も多かった。すなわち、文化的サービスに関しては、第 3 章で選択した指標と第 4 章で選択した指標の多くにはトレードオフの関係にある可能性がある。しかし、第 4 章で用いた指標のみに着目すると、南部で高い指標が多数を占めていることが分かる。このことから、供給サービス、調整サービスのみならず、文化的サービス同士に関してもシナジー関係にある場合が多いことを推測することができる。

これらを踏まえた上で、第 4 章の結果に改めて着目する。図 4-1a

より、供給サービスのうち、バイオマス（栄養素） [65]は主として図 1-2 の北部・中部・伊勢志摩・伊賀のほか、紀勢・東紀州においても一部高い地域が見られた。これは伊勢平野や上野盆地で行われる農業のほか、紀勢・東紀州におけるみかん栽培の影響なども受けていると考えられる。図 4-1b のとおり、水（栄養素） [65]は主として図 1-2 の北部と南部において高い傾向にあった。北部・伊賀には木曽川・木津川などの大河川が流れている。図 4-1b はこれらの大河川が人々に恵みを与えていることを示唆している。図 4-1d のとおり、水（材料） [65]は主として図 1-2 の北部・中部・伊勢志摩にかけて高い地域が見られた。このことから、伊勢平野や上野盆地を流れる河川を利用した農業として人々が生態系サービスを楽しんでいる可能性があるといえる。図 4-1e より、エネルギー（バイオマス）は主として北部・中部・伊勢志摩・伊賀にかけて高い地域が見られた。これは、この地域が提供する樹木による木質バイオマス発電の様子が可視化されていることによると考えられる。また、第 1 章のとおり、北部・中部・伊勢志摩・伊賀は紀勢・東紀州と比較して都市化が進行している。

これらは、伊勢平野や上野盆地およびそこを流れる河川がもたらす供給サービスを多くの人々が享受していること、その供給サービスを享受した人々がさらなる供給サービス生み出していることを示唆している。

一方、図 4-1c より、バイオマス（材料） [65]は主として中部・紀勢・東紀州の内陸部において高い傾向にあった。これは他の供給サービスの高い場所よりは南方にあるものの、他の供給サービスが高い地域に近い地域における林業による恵みを人々が享受していることを推測することができる。

図 4-1f のとおり、調整サービスのうち、生物相による緩和 [65]は北部・中部・伊勢志摩・伊賀にかけての市街地に近い山間部において

高かった。このことから、市街地で生じた  $\text{NO}_2$  を周辺の森林が吸収し、生物相による緩和 [65]として機能している様子を推測することができる。図 4-1h のとおり、物質の移動の緩和 [65]は主として紀勢・東紀州・伊勢志摩周辺に高い傾向が見られた。このことは、この地域に広がる紀伊山地やその周辺の山々からの土壌流出がこの地域の調整サービスにより抑えられていることを示唆している。図 4-1i のとおり、液体の流れの調整 [65]は主として紀勢・東紀州・伊勢志摩周辺に高い傾向が見られた。これより、この地域に広がる山々において、洪水が調整され、防がれた災害があった可能性を考えることができる。図 4-1j のとおり、気体の流れの調整 [65]は主として紀勢・東紀州・伊勢志摩の太平洋に近い地域において高い傾向が見られた。このことは、この地域の山々およびその周辺ではより多くの蒸発散が行われ、微視的気候 [14]が調節されていることを示唆している。また、太平洋の影響も推測することができる。図 4-1l より、土壌形成・土壌組成 [65]は主として紀勢・東紀州・伊勢志摩の内陸部において高い傾向が見られた。このことから、紀伊山地周辺の内陸部では栄養塩としての窒素が維持されていることを推定することができる。図 4-1m より、気候の調整 [65]は紀勢・東紀州・伊勢志摩近辺で高い傾向が見られた。このことから、紀伊山地周辺の森林では温室効果ガスが多く吸収されていると理解することができる。

以上より、紀伊山地およびその周辺の山々が多種多様な調整サービスを提供していることを推測することができる。

一方、図 4-1g が示すように、生態系による緩和 [65]は主として北部・中部・伊賀近辺で高く表れた。この地域に流れる様々な河川を河畔林が水質浄化などを行っている様子が可視化されたと考えることができる。また、図 4-1k のように、生物の生活環の維持 [65]は主として北部・中部・伊賀近辺のほか、紀勢・東紀州の一部にも高い傾向が

生じた。これは当該地域において送粉者による農作物への貢献としての恵みを享受していることを示唆している。

これらより、調整サービスでも、河川や農業が関係する場合はそれ以外の調整サービスとトレードオフの関係にある可能性があるといえる。

図 4-1o より、文化的サービスのうち、知的な交流 [65]は主として中部から紀勢・東紀州において高いことが示された。このことは、都市域にはない農林漁業体験の提供などの形での生態系サービス産出が行われている可能性を意味している。図 4-1p より、精神的・象徴的交流 [65]は主として中部から紀勢・東紀州において高いことが示された。この地域では広範囲の山々に人々が宗教的な価値を見出していることを推測することができる。一方で、この地域は道路が少なく、神社林の範囲がより曖昧になっている可能性も考慮に入れる必要がある。図 4-1q のとおり、存在価値 [65]は主として中部から東紀州において高いことが示された。このことから、特にこの地域の生態系が人々に保護の意思を引き起こしていることを推定することができる。

以上より、中部から紀勢・東紀州における都市域にはない地域の資源が様々な文化的サービスを産出していることを予想することができる。

一方、図 4-1n のとおり、文化的サービスのうち、身体的・経験的交流 [65]は北部・中部・伊勢志摩・伊賀のほか、紀勢・東紀州にも一部高い地域が見られた。このことは、北部・中部・伊勢志摩・伊賀といった人口の多い地域から訪れる観光客が関連する生態系サービスを推測することができる。ただし、紀勢・東紀州での景勝地や熊野古道に関連する施設への長距離の旅行者が関係する生態系サービスもある程度示唆している。



これらより、三重県では供給サービス、調整サービス、文化的サービスのそれぞれのサービスは、ある地域が複数のサービスを生み出し、そのサービスを人々が享受している可能性があるといえる。また、第3章における供給サービス、調整サービスの代表としての指標は、第4章で地図化したほかの多くの供給サービス、調整サービスと同様の分布状況にあるものを選択したといえる。一方、第3章における文化的サービスの代表としての指標は、第4章で地図化したほかの多くの文化的サービスと異なる分布状況にあるものを選択したといえる。

第4章における生態系サービスの地図化は、第3章における生態系サービスの地図化と比較し、より多面的な側面から生態系サービスを評価した方法である。供給サービスを例にとると、人間は食料のほかにも水や木材などの恩恵を生態系から享受している (Millennium Ecosystem Assessment, 2007)。すなわち、CICES の Group に基づく生態系サービスの地図化は、より正確な生態系サービスの評価方法を提示していると考えられる。

## 5.4 今後の課題

第3章では、基盤サービスを表すものとして、植物群落の多様性を選択した。そして、三重県南部では植物群落の多様性が低く、結果からはスギ・ヒノキ以外の植生の保全も必要であると考えられることを述べた。事実、JSSA では、里山・里海を対象として、広葉樹林の針葉樹人工林への転用が生態系サービスに影響を及ぼしたことを述べている (日本の里山・里海評価, 2010)。

一方、第4章で述べたように、多くの指標を用いて評価した場合、すべてのホットスポットで植林地は最も大きな面積率を占めた。このことは、植林地が生態系サービスに寄与することを示唆している。

人工林は、施業状況により、多面的機能発現の仕方やレベルに差がみられる（日本学術会議，2001）。植林地における施業状況と生態系サービスの関係を明らかにすることは、本論で示された生態系サービスのホットスポットやコールドスポットのより詳細な把握のためには重要な課題である。

また、第4章では、供給サービス、調整サービス、文化的サービスがそれぞれ同等の価値を持つと仮定し、CICESのGroupに基づいた解析結果を標準化し、供給サービス、調整サービス、文化的サービスの各サービスで足し合わせたものをさらに各サービスで標準化し、それらを足し合わせることで、全サービスの統合を計算した結果を紹介した。しかし、生態系サービスの評価方法は第2章で述べたように複数存在する。また、本論で扱ったような生態系サービスの価値をそれに関連する物質や面積などを単位として評価する物量評価の方法のほかに、様々な生態系サービスを貨幣価値に換算して評価する環境経済評価の方法も存在する（橋本・齊藤，2014）。このことから、それぞれの生態系サービスの多寡として表れた物量を単にそれぞれ同等のものとして扱うべきであるかどうかについては、今後さらなる検討が必要となるであろう。

また、フローとしての生態系サービスが高く表れたとしても、ストックとしての自然資本も同様の状況であるとは限らない（Atkinson and Pearce 1995; Jansson et al., 1994） [77]。本論ではフローとしての生態系サービスの供給を評価したが、ストックとしての自然資本は明らかにはなっていない。

例えば、第4章における生物相による緩和は北部・中部・伊勢志摩・伊賀にかけての市街地に近い山間部において高かった。これは市街地で生じたNO<sub>2</sub>を周辺の森林が吸収しているというフローを表しているためであると考えることができる。一方、本論ではストックで

ある自然資本として森林を捉えてはいない。

生態系サービスには、ある範囲の土地から複数の一体的に産出されるという性質がある（橋本・齊藤，2014）。実際，本論では第3章と第4章の地図化結果の比較より，三重県内のある地域で複数の生態系サービスが産出されていることが示唆されている。このことから，ストックである自然資本とフローである生態系サービスが密接な関係にあることを想像することができる。

生物多様性及び生態系サービスの総合評価 2021（Japan Biodiversity Outlook 3, JBO3）では，いくつかの事例を元に自然資本の活用の方法が生態系サービスに影響する可能性を示している [15]。すなわち，本論で明らかになった三重県の生態系サービスにも自然資本が何らかの形で関係していると考えるのが当然である。日本の生物多様性は，開発や乱獲による種の減少・絶滅、生息・生育地の減少である第1の危機，里地里山などの手入れ不足による自然の質の低下である第2の危機，外来種などの持ち込みによる生態系の攪乱である第3の危機，地球環境の変化による危機である第4の危機という，4つの危機にさらされている [78][79]。しかし，本論で示された三重県における生態系サービスのみからはそれらの危機との関係は必ずしも明らかにはなっていない。

第4章で示された生態系サービスのホットスポットでは，ストックである自然資本がフローである生態系サービスとして過剰利用されているという第1の危機に相当する事象が生じている可能性がある。もしくは持続可能な自然資本の利用がなされていることも考えられる。同様に，コールドスポットでは，ストックである自然資本が小さいことによりフローである生態系サービスの供給が小さくなっている可能性がある。同時に，ストックとしての自然資本が存在しても，フローである生態系サービスとして利用されておらず，第2の

危機に相当する事象が生じていることもあり得る。

その観点からは、Maes et al. (2020) のように自然資本に相当する事項を明らかにすることは、生態系と社会との関係のさらなる把握にもつながる可能性がある。同様に、北村ら（2020）のような自然資本も考慮に入れた評価は、今後の保全政策等に対する重要な要素となる。

## 注

1. 総務省. 過疎市町村等一覧. (オンライン) 2021 年. (引用日: 2021 年 8 月 8 日.) [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000753096.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000753096.pdf).
2. 尾鷲市. 人口・世帯数 (毎月更新) . (オンライン) 2022 年. (引用日: 2022 年 2 月 13 日.)  
[https://www.city.owase.lg.jp/contents\\_detail.php?frmId=4231](https://www.city.owase.lg.jp/contents_detail.php?frmId=4231).
3. 四日市市. 人口・世帯. (オンライン) 2022 年. (引用日: 2022 年 2 月 13 日.)  
<https://www.city.yokkaichi.lg.jp/www/contents/1494552413550/index.html>.
4. 熊野尾鷲道路 (II期) 開通式典等実行委員会. 熊野尾鷲道路 (II期) 開通に寄せて. (オンライン) 2021 年 8 月 27 日. (引用日: 2021 年 9 月 29 日.)  
<https://www.cbr.mlit.go.jp/kisei/news/assets/pdf/topics/210827-2.pdf>.
5. 環境省. 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～ . (オンライン) 2012 年. (引用日: 2012 年 9 月 29 日.) <https://www.env.go.jp/press/files/jp/20763.pdf>.
6. 内閣府. 第 3 回新型コロナウイルス感染症の影響下における生活意識・行動の変化に関する調査. (オンライン) 2021 年 6 月 4 日. (引用日: 2021 年 9 月 29 日.)  
[https://www5.cao.go.jp/keizai2/wellbeing/covid/pdf/result3\\_covid.pdf](https://www5.cao.go.jp/keizai2/wellbeing/covid/pdf/result3_covid.pdf).
7. 環境省自然環境局. 生物多様性分野の科学と政策の統合を目指して. (オンライン) 2016 年 3 月. (引用日: 2021 年 9 月 29 日.)  
[https://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/ipbes/files/ipbes\\_pamphlet1603.pdf](https://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/ipbes/files/ipbes_pamphlet1603.pdf).
8. "IPBES". 日本大百科全書 (ニッポニカ). ジャパンナレッジ. (オンライン) (引用日: 2021 年 9 月 29 日.) <https://japanknowledge.com/>.
9. European Environment Agency. CICES. [Online] [Cited: 9 29, 2021.] <https://cices.eu/>.

10. 環境省. 第2章 生物多様性の保全及び持続可能な利用. (オンライン) (引用日: 2021 年 9 月 29 日.)  
<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h24/html/hj12020201.html>.
11. 環境省自然環境局. 生物多様性総合評価の結果等. (オンライン) (引用日: 2021 年 9 月 29 日.)  
<https://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/jbo/jbo/index.html>.
12. 環境省自然環境局. 地球規模生物多様性概況第5版 (GBO5) (2020/9) のポイント. (オンライン) (引用日: 2021 年 9 月 29 日.)  
[http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives5/files/5\\_1-3\\_gbo5gaiyo.pdf](http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives5/files/5_1-3_gbo5gaiyo.pdf).
13. 環境省自然環境局. 地球規模生物多様性概況第5版 Global Biodiversity Outlook 5. (オンライン) 2021 年 3 月. (引用日: 2021 年 9 月 29 日.)  
<http://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/library/files/gbo5-jp-lr.pdf>.
14. 環境省. 生物多様性及び生態系サービスの総合評価 (JBO2) . (オンライン) (引用日: 2021 年 9 月 29 日.)  
<https://www.env.go.jp/nature/biodic/jbo2.html>.
15. 環境省自然環境局. 生物多様性及び生態系サービスの総合評価 2021(JBO3)の結果. (オンライン) (引用日: 2021 年 9 月 29 日.)  
<http://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/jbo3/generaloutline/index.html>.
16. "三重 (県)". 日本大百科全書 (ニッポニカ). ジャパンナレッジ. (オンライン) (引用日: 2021 年 9 月 21 日.) <https://japanknowledge.com/>.
17. 三重県. 三重県の市町区分地図. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 6 日.) <https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000887244.pdf>.
18. 三重県. 2 利用上の注意. (オンライン) (引用日: 2021 年 11 月 30 日.) <https://www.pref.mie.lg.jp/DATABOX/24985004012.htm>.
19. 気象庁. 気象警報・注意報や天気予報の発表区域. (オンライン) (引用日: 2021 年 9 月 29 日.)

- <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/saibun/>.
20. 三重県. 平成 27 年国勢調査. (オンライン) 2016 年 10 月 26 日. (引用日: 2021 年 9 月 29 日.)  
<https://www.pref.mie.lg.jp/DATABOX/60323003738-01.htm>.
21. 三重県. 三重県の人口－三重県月別人口調査結果－. (オンライン) 2019 年 10 月 1 日. (引用日: 2021 年 10 月 6 日.)  
<https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000871369.pdf>.
22. 三重県. 【Hello! とうけい】vol.93 三重県は日本の真ん中? (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 6 日.)  
<https://www.pref.mie.lg.jp/DATABOX/25678002665.htm>.
23. 気象庁. 過去の気象データ検索. (オンライン) (引用日: 2021 年 9 月 29 日.) <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>.
24. 林野庁. 令和 2 年度 森林・林業白書 (令和 3 年 6 月 1 日公表). (オンライン) 2021 年 6 月 1 日. (引用日: 2021 年 10 月 12 日.)  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo/index.html>.
25. 環境省自然環境局. 自然環境調査 Web-GIS. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <http://gis.biodic.go.jp/webgis/index.html>.
26. 公益社団法人日本造園学会. 公益社団法人日本造園学会. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 13 日.) <https://www.jila-zouen.org/>.
27. 日本環境学会. 日本環境学会. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 13 日.) <https://jaes.sakura.ne.jp/>.
28. 三重県. 市町村合併. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
<https://www.pref.mie.lg.jp/SHICHOS/HP/gappei/index.htm>.
29. 三重県. 三重県の市町村合併. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
<https://www.pref.mie.lg.jp/SHICHOS/HP/gappei/19563019860.htm>.
30. 農林水産省. 市町村別農業産出額 (推計). (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
[https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sityoson\\_sansyutu/](https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sityoson_sansyutu/).

31. 農林水産省. 生産農業所得統計. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) [https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/nougyou\\_sansyutu/](https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/nougyou_sansyutu/).
32. 国土交通省. 土地利用細分メッシュデータ. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>.
33. 三重県. 観光レクリエーション入込客数推計. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
<https://www.pref.mie.lg.jp/D1KANKO/84074013374.htm>.
34. 三重県. 三重県累年統計表. (オンライン) 2020 年 8 月 21 日. (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
<https://www.pref.mie.lg.jp/DATABOX/26021004157.htm>.
35. 国土交通省. 国土数値情報都市公園データ. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P13.html>.
36. 国土交通省. 国土数値情報行政区域データ. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
[https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v2\\_3.html](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v2_3.html).
37. 総務省. 消費者物価指数 (CPI) 時系列データ. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <http://www.stat.go.jp/data/cpi/historic.html>.
38. 総務省統計局. 消費者物価指数のしくみと味方—2015 年基準消費者物価指数—. (オンライン) (引用日: 2018 年 9 月 3 日.)  
<http://www.stat.go.jp/data/cpi/2015/mikata/pdf/0.pdf>.
39. 林野庁. 平成 28 年度 森林・林業白書 (平成 29 年 5 月 26 日公表). (オンライン) 2017 年 5 月 26 日. (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/28hakusyo/index.html>.
40. 気象庁. IPCC 第 5 次評価報告書 (AR5). (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html>.
41. 三重県. 観光レクリエーション入込客数 (実数) の推移. (オンラ



- イン) (引用日: 2018 年 3 月 16 日.)  
<http://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000733550.pdf>.
42. 国土交通省. 国土数値情報自然公園地域データ. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
[https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A10-v3\\_1.html](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A10-v3_1.html).
43. 国立公園満喫プロジェクト有識者会議. 第 7 回有識者会議議事次第・配布資料. (オンライン) 2018 年 3 月 12 日. (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <http://www.env.go.jp/nature/np/mankitsu/07/mat07.pdf>.
44. 農林水産省. 面積調査. (オンライン) (引用日: 2021 年 11 月 30 日.)  
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/index.html>.
45. 三重県. 尾鷲林業のあらまし. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <https://www.pref.mie.lg.jp/ONORIN/HP/38700024112.htm>.
46. 紀南新聞. II期工事の早期完成求め熊野尾鷲道路同盟会が総会積極的な要望、情報交換. (オンライン) (引用日: 2018 年 9 月 3 日.)  
<http://www.kinan-newspaper.jp/?p=14810>.
47. 環境省近畿地方環境事務所. 大台ヶ原自然再生事業～苔むす森をふたたび—100 年先をみすえて—. (オンライン) 2010 年 3 月. (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
[http://kinki.env.go.jp/nature/odaigahara/west\\_odai/pdf/shizensaisei\\_pamph.pdf](http://kinki.env.go.jp/nature/odaigahara/west_odai/pdf/shizensaisei_pamph.pdf).
48. フォレストック協会. 熊野市の森林. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <http://www.forestock.or.jp/forests/kumamo/>.
49. 国土交通省. 国土数値情報ダウンロード. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>.
50. 農林水産省. 2015 年農林業センサス. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2015/top.html>.
51. 農林水産省. 木材統計調査. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokuzai/index.html>.

52. 水土里ネット宮川用水. 主な維持管理施設. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <http://miyagawa.cc/kanrisisetu.html>.
53. 独立行政法人水資源機構三重用水管理所. 三重用水事業の概要. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <https://www.water.go.jp/chubu/mieyosui/ayumi/index.html>.
54. 一般社団法人農業農村整備情報総合センター. 地域の礎. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <https://suido-ishizue.jp/kokuei/index.html>.
55. 三重県. 木質バイオマス発電施設一覧の公開. (オンライン) 2018 年. (引用日: 2020 年 10 月 2 日.) <https://www.pref.mie.lg.jp/ENERGY/HP/000716747.htm>.
56. NASA. MODIS. [Online] [Cited: 10 2, 2021.] <https://modis.gsfc.nasa.gov/>.
57. 国立環境研究所. 環境数値データベース. (オンライン) 2020 年 9 月 7 日. (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <https://www.nies.go.jp/igreen/>.
58. 東横化学株式会社. NO<sub>2</sub> 二酸化窒素. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <https://www.toyokokagaku.co.jp/product/gas/physical/no2.html>.
59. 国土交通省. 国土調査 (土地分類調査・水調査). (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/inspect.html>.
60. 東京大学空間情報科学研究センター. Geocoding Tools & Utilities. (オンライン) (引用日: 2020 年 9 月 22 日.) <http://newspat.csis.u-tokyo.ac.jp/geocode/>.
61. 三重県神社庁. 三重県の神社一覧. (オンライン) (引用日: 2020 年 9 月 22 日.) [http://www.amigo.ne.jp/~chitonr2/jinjaichiran\\_main.html](http://www.amigo.ne.jp/~chitonr2/jinjaichiran_main.html).
62. 宇宙航空研究開発機構. 高解像度土地利用土地被覆図ホームページ. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc\\_jindex.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc_jindex.htm).

63. 国土地理院. 基盤地図情報ダウンロードサービス. (オンライン)  
(引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>.
64. ESRI ジャパン株式会社. esri ジャパン. (オンライン) (引用日:  
2021 年 10 月 2 日.) <https://www.esri.jp/>.
65. CICES V4.3 における生態系サービスの Group の 1 つである (表  
1 参照)。
66. 東海農政局. 木曾調ウェブ. (オンライン) (引用日: 2020 年 9 月 22  
日.) <https://www.maff.go.jp/tokai/noson/kisocho/index.html>.
67. 気象庁. メッシュ平年図. (オンライン) 2018 年. (引用日: 2020 年 9  
月 22 日.)  
[https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/atlas\\_manual\\_new.html](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/atlas_manual_new.html).
68. 三重県. 水質調査結果. (オンライン) (引用日: 2020 年 10 月 29 日.)  
<https://www.pref.mie.lg.jp/common/01/ci600005820.htm>.
69. 三重県. いなか旅のすすめ. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2  
日.) <https://www.pref.mie.lg.jp/common/05/ci400005844.htm>.
70. 文化庁. 宗教統計調査. (オンライン) (引用日: 2022 年 2 月 8 日.)  
[https://www.bunka.go.jp/tokei\\_hakusho\\_shuppan/tokeichosa/shumu/index.html](https://www.bunka.go.jp/tokei_hakusho_shuppan/tokeichosa/shumu/index.html).
71. Esri. ホット スポット分析 (Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi\*)) の  
詳細. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
<https://desktop.arcgis.com/ja/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-hot-spot-analysis-getis-ord-gi-spatial-statistics.htm>.
72. Esri. Z スコアと p 値. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
<https://desktop.arcgis.com/ja/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/what-is-a-z-score-what-is-a-p-value.htm>.
73. 環境省自然環境局. 統一凡例 (植生区分・大区分一覧表) . (オン  
ライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.)  
<http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-016.html>.
74. 内閣府. 新型コロナウイルス感染症の影響下における生活意識・

- 行動の変化に関する調査. (オンライン) 2020 年. (引用日: 2020 年 10 月 18 日.) <https://www5.cao.go.jp/keizai2/manzoku/pdf/shiryo2.pdf>.
75. 三重県. 三重県における森林環境譲与税（仮称）活用についての基本的な考え方. (オンライン) 2019 年 2 月 13 日. (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000871609.pdf>.
76. 林野庁. 都道府県別森林率・人工林率（平成 29 年 3 月 31 日現在）. (オンライン) 2017 年. (引用日: 2020 年 10 月 2 日.) <https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/1.html>.
77. 自然資本コアリション. 自然資本プロトコル. (オンライン) 2016 年. (引用日: 2021 年 10 月 6 日.) [https://naturalcapitalcoalition.org/wp-content/uploads/2017/02/NCC\\_Protocol\\_AW\\_Japanese\\_Book2.pdf](https://naturalcapitalcoalition.org/wp-content/uploads/2017/02/NCC_Protocol_AW_Japanese_Book2.pdf).
78. 環境省自然環境局. 生物多様性に迫る危機. (オンライン) (引用日: 2021 年 11 月 29 日.) [https://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/biodiv\\_crisis.html](https://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/biodiv_crisis.html).
79. 環境省自然環境局. 生物多様性国家戦略. (オンライン) (引用日: 2021 年 11 月 29 日.) <https://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives/index.html>.
80. 三重県. 農林業センサス. (オンライン) (引用日: 2021 年 10 月 2 日.) <https://www.pref.mie.lg.jp/DATABOX/18251004023.htm>.

## 参考文献

- 饗庭毅 (2018) 「特集, バイオマス発電の今までとこれから: 宮の郷  
木質バイオマス発電所の取り組み ―地産地消を目指して―」『日  
本エネルギー学会機関誌えねるみくす』第 97 巻第 2 号, pp. 113-  
117.
- Atkinson, G. and D. Pearce (1995) “Measuring sustainable development.”  
In: Bromley, D. W., (ed.) *Handbook of Environmental Economics*. Oxford:  
Blackwell, pp.166-182.
- Bachi, L., S. C. Ribeiro, J. Hermes and A. Saadi (2020) “Cultural Ecosystem  
Services (CES) in landscapes with a tourist vocation: Mapping and  
modeling the physical landscape components that bring benefits to people  
in a mountain tourist destination in southeastern Brazil”, *Tourism  
Management*, Vol. 77, April, pp.1-12.
- Bagstad, K. J., D. J. Semmens, Z. H. Ancona and B. C. Sherrouse (2017)  
“Evaluating alternative methods for biophysical and cultural ecosystem  
services hotspot mapping in natural resource planning”, *Landscape  
Ecology*, Vol. 32, January, pp.77-97.
- Bateman, I. J., A. R. Harwood, G. M. Mace, R. T. Watson, D. J. Abson, B.  
Andrews, A. Binner, A. Crowe, B. H. Day, S. Dugdale, C. Fezzi, J. Foden,  
D. Hadley, R. Haines-Young, M. Hulme, A. Kontoleon, A. A. Lovett, P.  
Munday, U. Pascual, J. Paterson, G. Perino, A. Sen, G. Siriwardena, D.  
van Soest and M. Termansen (2013) “Bringing Ecosystem Services into  
Economic Decision-Making: Land Use in the United Kingdom”, *Science*,  
Vol. 341, No. 6141, pp.45-50.
- Burkhard, B., M. Kandziora, Y. Hou and F. Müller (2014) “Ecosystem  
Service Potentials, Flows and Demands-Concepts for Spatial Localisation,  
Indication and Quantification”, *Landscape Online*, Vol. 34, June, pp.1-32.
- Daily and Ellison 著, 藤岡伸子・谷口義則・宗宮弘明訳 (2010) 『生態  
系サービスという挑戦』名古屋大学出版会.
- de Groot, R.S., R. Alkemade, L. Braat, L. Hein and L. Willemen (2010)  
“Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values  
in landscape planning, management and decision making”, *Ecological  
Complexity*, Vol. 7, No. 3, pp.260-272.
- Delgado-Aguilar, M. J., W. Konold and C. B. Schmitt (2017) “Community  
mapping of ecosystem services in tropical rainforest of Ecuador”,

- Ecological Indicators*, Vol. 73, February, pp.460-471.
- 藤田武美 (2013) 「都道府県別の二酸化炭素森林吸収量及び排出量推計から考察した環境に対する地方の貢献」『弘前大学大学院地域社会研究科年報』第 10 号, 3-25
- Gallai, N., J.-M. Salles, J. Settele and B. E. Vaissière (2009) “Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline”, *Ecological Economics*, Vol. 68, No. 3, pp. 810-821.
- Getis, A. and J. K. Ord (1992) “The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics” *Geographical Analysis*, Vol. 24, No. 3, pp.189-206.
- 合田盛人 (2019) 「市町村社会福祉協議会における農福連携の取り組みについて－長野県内 77 市町村社会福祉協議会へのアンケート調査から－」『長野大学紀要』第 40 巻第 3 号, pp. 109-122.
- Haines-Young, R. and M. B. Potschin (2018) *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*.
- Haines-Young, R. and M. Potschin (2013) *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012*, EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003.
- 長谷川泰洋・林希一郎 (2014) 「豊田市稲武地区の森林を対象とした文化的生態系サービスの主観的重要度の評価特性」『ランドスケープ研究 (オンライン論文集)』第 7 巻, pp. 116-125.
- 橋本禪・齊藤修 (2014) 『農村計画学のフロンティア 4 農村計画と生態系サービス』農林統計出版.
- 日置佳之・須田真一・百瀬浩・田中隆・松林健一・裏戸秀幸・中野隆雄・宮畑貴之・大澤浩一 (2000) 「ランドスケープの変化が種多様性に及ぼす影響に関する研究：東京都立石神井公園周辺を事例として」『保全生態学研究』第 5 巻第 1 号, pp. 43-89.
- 平河茉璃絵・浅田義久 (2018) 「学童保育の拡大が女性の就業率に与える影響」『日本労働研究雑誌』第 692 号, pp. 59-71.
- 飯坂真 (2018) 「特集, バイオマス発電の今までとこれから：バイオ

マス発電の取り組み」『日本エネルギー学会機関誌えねるみくす』  
第 97 巻第 2 号, pp. 105-108.

今井葉子・角谷拓, 上市秀雄, 高村典子 (2014) 「市民の生態系サービスへの認知が保全行動意図に及ぼす影響 : 全国アンケートを用いた社会心理学的分析」『保全生態学研究』第 19 巻第 1 号, pp. 15-26.

IPBES (2019) *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, Bonn: IPBES secretariat.

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.

一色圭佑・山中亮一・上月康則・大熊康平・沓掛安宏・森紗綾香・角元陽一・川井浩史・中西敬・橋丘真 (2015) 「尼崎運河水質浄化施設の水質浄化機能と生態系サービスの評価」『土木学会論文集 B2(海岸工学)』第 71 巻第 2 号, pp. I\_1489-I\_1494.

伊藤昭彦・山形与志樹 (2015) 「特集, 生態系サービスの総合的な指標化: 生態系サービスの評価: 気候変動対策と生物多様性保全のトレードオフ解消に向けて 一趣旨説明一」『日本生態学会誌』第 65 巻第 2 号, pp. 109-113.

Ivanova, E., B. Koulov, B. Borisova, A. Assenov and K. Vassilev (2016) “GIS-based Valuation of Ecosystem Services in Mountain Regions: A Case Study of the Chepelare Municipality in Bulgaria”, *European Journal of Sustainable Development*, Vol. 5, No. 4, pp.335-346.

Jansson, A., M. Hammer, C. Folke, and R. Costanza (eds.) (1994) *Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach To Sustainability*. Island Press: Washington, DC.

Jäppinen, J.-P. and J. Heliölä (2015) *Towards A Sustainable and Genuinely Green Economy. The value and social significance of ecosystem services in Finland (TEEB for Finland): Synthesis and roadmap*, Helsinki: The Finnish Environment 1en/2015. The Finnish Ministry of Environment.

神山千穂・橋本禅・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 巻第 6 号, pp. II\_289-II\_297.
- 環境エネルギー政策研究所 (2019)『自然エネルギー白書 2018/2019  
サマリー版』環境エネルギー政策研究所.
- 川端守・山本卓蔵 (2015)『熊野古道 巡礼の道 伊勢路を歩く』風  
媒社.
- 紀北町合併 10 年誌編纂委員会 (2015)『紀北町合併 10 周年記念誌「紀  
北の軌跡」』紀北町.
- 北村立実・松崎慎一郎・西浩司・松本俊一・久保雄広・山野博哉・幸  
福智・菊地心・吉村奈緒子・福島武彦 (2020)「特集, 複数のアプ  
ローチを用いた霞ヶ浦の生態系サービス経済評価の試み：霞ヶ浦  
の生態系サービスの享受量の変遷及び代替法による経済評価」『応  
用生態工学』第 23 巻第 1 号, pp. 217-234.
- Klein, A.-M., B. E. Vaissière, J. H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S. A.  
Cunningham, C. Kremen and T. Tscharntke (2007) “Importance of  
pollinators in changing landscapes for world crops”, *Proceedings of the  
Royal Society B*, Vol. 274, No. 1608, pp.303-313.
- 小林昭裕 (2017)「東京郊外に立地する都市公園を事例とした文化的  
生態系サービスに関する評価手法の検討」『ランドスケープ研究』  
第 80 巻第 5 号, pp. 521-526.
- 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—自然の恵みと人々の暮らし』朝倉書店.
- 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 巻第 3 号, pp. 217-226.
- Li, Y., L. Zhang, J. Yan, P. Wang, N. Hu, W. Cheng and B. Fu (2017)  
“Mapping the hotspots and coldspots of ecosystem services in  
conservation priority setting”, *Journal of Geographical Sciences*, Vol. 27,  
No. 6, pp.681-696.



Maes, J., A. Teller, M. Erhard, C. Liqueste, L. Braat, P. Berry, B. Egoh, P. Puydarrieux, C. Fiorina, F. Santos, M. L. Paracchini, H. Keune, H. Wittmer, J. Hauck, I. Fiala, P. H. Verburg, S. Condé, J. P. Schägner, J. San Miguel, C. Estreguil, O. Ostermann, J. I. Barredo, H. M. Pereira, A. Stott, V. Laporte, A. Meiner, B. Olah, E. Royo Gelabert, R. Spyropoulou, J. E. Petersen, C. Maguire, N. Zal, E. Achilleos, A. Rubin, L. Ledoux, C. Brown, C. Raes, S. Jacobs, M. Vandewalle, D. Connor and G. Bidoglio (2013) *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020*, Luxembourg: Publications office of the European Union.

Maes, J., A. Teller, M. Erhard, P. Murphy, M. L. Paracchini, J. I. Barredo, B. Grizzetti, A. Cardoso, F. Somma, J.-E. Petersen, A. Meiner, E. R. Gelabert, N. Zal, P. Kristensen, A. Bastrup-Birk, K. Biala, C. Romao, C. Piroddi, B. Egoh, C. Fiorina, F. Santos, V. Naruševičius, J. Verboven, H. Pereira, J. Bengtsson, K. Gocheva, C. Marta-Pedroso, T. Snäll, C. Estreguil, J. S. Miguel, L. Braat, A. Grêt-Regamey, M. Perez-Soba, P. Degeorges, G. Beaufaron, A. Lillebø, D. Abdul Malak, C. Liqueste, S. Condé, J. Moen, H. Östergård, B. Czúcz, E. G. Drakou, G. Zulian and C. Lavallo (2014) *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Indicators for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020*, Luxembourg: Publications office of the European Union.

Maes, J., A. Teller, M. Erhard, S. Condé, S. Vallecillo, J. I. Barredo, M. L. Paracchini, D. Abdul Malak, M. Trombetti, O. Vigiak, G. Zulian, A. M. Addamo, B. Grizzetti, F. Somma, A. Hagyo, P. Vogt, C. Polce, A. Jones, A. I. Marin, E. Ivits, A. Mauri, C. Rega, B. Czúcz, G. Ceccherini, E. Pisoni, A. Ceglar, P. De Palma, I. Cerrani, M. Meroni, G. Caudullo, E. Lugato, J. V. Vogt, J. Spinoni, C. Cammalleri, A. Bastrup-Birk, J. San Miguel, S. San Román, P. Kristensen, T. Christiansen, N. Zal, A. de Roo, A. C. Cardoso, A. Pistocchi, I. Del Barrio Alvarillos, K. Tsiamis, E. Gervasini, I. Deriu, A. La Notte, R. Abad Viñas, M. Vizzarri, A. Camia, N. Robert, G. Kakoulaki, E. Garcia Bendito, P. Panagos, C. Ballabio, S. Scarpa, L. Montanarella, A. Orgiazzi, O. Fernandez Ugalde and F. Santos-Martín (2020) *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An EU ecosystem assessment*, Ispra: Publications Office of the European Union.

Maes, J., C. Liqueste, A. Teller, M. Erhard, M. L. Paracchini, J. I. Barredo, B. Grizzetti, A. Cardoso, F. Somma, J. Petersen, A. Meiner, E. Royo Gelabert, N. Zal, P. Kristensen, A. Bastrup-Birk, K. Biala, C. Piroddi, B. Egoh, P. Degeorges, C. Fiorina, F. Santos-Martín, V. Naruševičius, J. Verboven, H.

- M. Pereira, J. Bengtsson, K. Gocheva, C. Marta-Pedroso, T. Snäll, C. Estreguil, J. San-Miguel-Ayanz, M. Pérez-Sobam, A. Grêt-Regamey, A. I. Lillebø, D. A. Malak, S. Condé, J. Moen, B. Czucz, E. G. Drakou, G. Zulian and C. Lavallo (2016) “An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020”, *Ecosystem Services*, Vol. 17, February, pp.14-23.
- 三重県 (2018) 『三重の里いなか旅のススメ』 三重県.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being. Synthesis*, Washington DC: Island Press.
- Millennium Ecosystem Assessment 編, 横浜国立大学 21 世紀 COE 翻訳委員会監訳 (2007) 『国連ミレニアム エコシステム評価 生態系サービスと人類の将来』 オーム社.
- 三橋健 (2013) 『図説神道 八百万の神々と日本人』 河出書房新社.
- 中藤康俊 (2014) 『日本経済と過疎地域の再生』 大学教育出版.
- 日本学術会議 (2001) 『地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について』 日本学術会議.
- 日本の里山・里海評価 (2010) 『里山・里海の生態系と人間の福利 : 日本の社会生態学的生産ランドスケープー概要版ー』 国際連合大学.
- 日本生態学会 (2012) 『生態学入門 (第 2 版)』 東京化学同人.
- 新山馨・小川みふゆ・九島宏道・高橋和規・佐藤保・酒井武・田内裕之 (2010) 「人工林の広葉樹林化に向けた広葉樹の更新に関する文献の収集と評価」『日本森林学会誌』第 92 巻第 6 号, pp.292-296.
- 小田切徳美 (2014) 『農山村は消滅しない』 岩波書店.
- OECD (2008) *Strategic Environmental Assessment and Ecosystem Services*, Endorsed by members of the DAC Network on Environment and Development Co-operation (ENVIRONET) at their 8th Meeting on 30 October 2008.
- 大石卓史 (2020) 「農業関連分野の特産品のふるさと納税返礼品としての利用と今後の意向ーアンケート調査による市町村の特徴分析

- ー」『フードシステム研究』第26巻第4号, pp. 271-276.
- 岡田知也・井芹絵里奈・三戸勇吾・高橋俊之・高濱繁盛・秋山吉寛・渡辺謙太・棚谷灯子・杉野弘明・徳永佳奈恵・久保雄広・桑江朝比呂 (2016)「比較順位法を用いた生物多様性と教育に関する干潟の生態系サービスの経済評価の検討」『土木学会論文集 B2(海岸工学)』第72巻第2号, pp. I\_1453-I\_1458.
- 奥敬一 (2013)「特集, 里山林の生態系サービスを発揮するための課題と農村計画の役割」『農村計画学会誌』第32巻第1号, pp. 20-23.
- Ord, J. K. and A. Getis (1995) "Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application" *Geographical Analysis*, Vol. 27, No. 4, pp.286-306.
- 朴恵淑 (2017)『三重学』風媒社.
- Qiu, J., and M. G. Turner (2013) "Spatial interactions among ecosystem services in an urbanizing agricultural watershed", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 110, No. 29, pp.12149-12154.
- Rabe, S.-E., T. Koellner, S. Marzelli, P. Schumacher and A. Grêt-Regamey (2016) "National ecosystem services mapping at multiple scales – The German exemplar" *Ecological Indicators*, Vol. 70, November, pp.357-372.
- 貞広幸雄 (1999)「面積按分法を用いた個数データ推定において生ずる誤差について」『GIS-理論と応用』第7巻第1号, pp. 1-9.
- 齊藤修・橋本禅・高橋俊守 (2012)「東日本大震災による里山・里海の生態系サービスへの影響評価」『ランドスケープ研究(オンライン論文集)』第5巻, pp. 63-68.
- Science for Environment Policy (2015) *Ecosystem Services and the Environment. In-depth Report 11 produced for the European Commission*, Bristol: DG Environment by the Science Communication Unit, UWE.
- 柴田叡弐・日野輝明 (2009)『大台ヶ原の自然誌—森の中のシカをめぐる生物間相互作用—』東海大学出版会.
- Shoyama, K. and Y. Yamagata (2014) "Predicting land-use change for

- biodiversity conservation and climate-change mitigation and its effect on ecosystem services in a watershed in Japan” *Ecosystem Services*, Vol. 8, June, pp.25-34.
- 庄山紀久子 (2014) 「特集, 生物多様性情報を地図化する: 生態系サービスの地図化に向けて一定量化および空間評価の視点と最近の動向—」『景観生態学』第 19 巻第 2 号, pp. 121-126.
- Shrestha, M., T. Piman and C. Grünbühel (2021) “Prioritizing key biodiversity areas for conservation based on threats and ecosystem services using participatory and GIS-based modeling in Chindwin River Basin, Myanmar”, *Ecosystem Services*, Vol. 48, April, pp.1-11.
- Soil and Water Laboratory, Biological and Environmental Engineering Dept. Cornell University (2003) *The Soil Moisture Distribution and Routing Model Documentation Version 2.0*.
- 高田裕介・レオン愛・中井信・小原洋・神山和則 (2013) 「土壌情報閲覧システムを活用したわが国の農耕地作土層中の炭素・窒素賦存量の試算」『土壌の物理性』第 123 巻, pp. 117-124.
- 竹谷鞆負 (2013) 『富士山文化 その信仰遺跡を歩く』祥伝社.
- 武光誠 (2006) 『知識ゼロからの神道入門』幻冬舎.
- Tallis, H., T. Ricketts, A. Guerry, S. Wood, and R. Sharp (2011) *InVEST 2.4.4 User's Guide*, Stanford: The Natural Capital Project.
- Tammi, I., K. Mustajärvi and J. Rasinmäki (2017) “Integrating spatial valuation of ecosystem services into regional planning and development”, *Ecosystem Services*, Vol. 26, August, pp.329-344.
- TEEB (2010) *The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Ecological and economic foundations. edited by Pushpam Kumar*. London and Washington: Earthscan.
- 帝国書院 (2018) 『最新基本地図—世界・日本— 43 訂版』帝国書院.
- 矢島猶雅・有村俊秀 (2017) 「特集, 都道府県による温室効果ガス排出削減計画書制度の計量分析—製造業部門の定量評価—」『環境科学会誌』第 30 巻第 2 号, pp. 121-130.
- 山田浩子 (2019) 「学校給食への地場食材供給に関する豊田市と隣接する市との比較」『愛知県立大学文字文化財研究所紀要』第 5 号,

pp. 94-116.

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.

山本真人・大野研（2021）「三重県における生態系サービスの地図化  
によるホットスポットの推定」『人間と環境』第47巻第3号, pp.  
3-22.

## 謝辞

本論文は多くのご助力により成り立っています。

三重大学大学院生物資源学研究科の大野研教授には、研究を最後まで温かくお見守りいただき、多大なご指導をいただきました。三重大学大学院生物資源学研究科の飯島慈裕教授には解析にあたり有益なご助言をいただきました。阿藤正樹氏をはじめとした三重県庁の皆様には、データ収集に際してご協力いただきました。

三重大学大学院生物資源学研究科の立花義裕教授には、かつて先生の研究室のゼミに参加させていただいていました。また、博士後期課程に至るまで先生の授業を受けさせていただくこととなりました。本論では幅広い種類のデータを利用し、解析することとなりましたが、一般的な生態学の教科書に登場するような知識のほかに、先生に気象学を教わった経験もあったからこそ踏み込むことができた研究であったのかもしれないと考えています。三重大学大学院生物資源学研究科の葛葉泰久教授には、研究はもとより、学部生時代より、大変に分かりやすく興味深い授業をしていただいていたことが心に残っています。また、研究室が近かったこともあり、お声掛けいただく場面もありました。長い学生生活の中で、このような先生のお姿に励ましを受け、ここまで至ることができたと感じています。

また、これまで授業でお教えいただいた多くの先生方には、研究を進めるための基礎知識をいただくこととなりました。わたくし自身も授業をする身にもなり、まだまだ先生方の足元にも及びませんが、どれほどの思いでお教えいただいていたのか、ひしひしと感じる日々を過ごしています。

そして、亡き福山薫教授には、研究に向かう姿勢など、様々なことを教えていただいたと思います。時には厳しいお言葉をいただくこともありましたが、先生が GIS というツールに対してこれほどまでの可能性を見出されていなければ、いかに先行研究があろうとも、もしかしたら本論のような発想には至れなかったかもしれません。

この紙面をお借りし、皆様に感謝の意を表します。