

2.8 人と自然の調和

2.8.1 社会—生態システムの評価・予測

(1) 研究開発領域の定義

本領域は生物多様性や生態系から構成される「自然資本」がもたらす「生態系サービス¹」の持続的な利用を目的とした、人間社会と生態系が相互に関連する「社会—生態システム (social-ecological system)」の評価・予測に係る研究開発領域である。複数の生態系サービス間の連関や将来予測、生態系サービスがもたらす多様な価値の評価、社会—生態システムの統合評価など、学際的な研究開発が含まれる。また、社会—生態システムのガバナンス、気候変動適応や防災・減災への活用など、社会の多様な主体が参加する超学際的研究を含む、持続可能性を実現するための社会経済や政策に関連した研究開発を対象とする。

(2) キーワード

社会—生態システム、生態系サービス、自然資本、生態系を活用した適応策 (Ecosystem-based Adaptation : EbA)、生態系を活用した防災減災 (Ecosystem-based Disaster Risk Reduction : Eco-DRR)、自然を活用した解決策² (Nature-based Solutions : NbS)、生態系管理、グリーンインフラ、生態系インフラ、生態系サービスに対する支払い制度 (Payments for Ecosystem Services : PES)

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

社会—生態システムは、人間社会と生態系が相互に密接に関連するという認識に立った概念であり、持続可能な社会の実現に必須と考えられている。人間社会が生物多様性や生態系に正負のさまざまな影響を与える一方、生物多様性や生態系といった自然資本が生み出す多様な生態系サービスは人間の福利を支えている。このような社会—生態システムを統合的に捉えるための科学技術が求められている。

生物多様性や生態系は、食料や水の供給、気候や災害の調整や水質浄化、観光や芸術文化の源泉等、多様な生態系サービス (自然の恵み) を提供することで人間社会の生存基盤・経済・福利を支えている。また、生物多様性や生態系は、様々な生態系サービスを生み出す有限の環境資産であることから自然資本とも言われる。

生態系サービスや自然資本の持続性は人類の持続可能性に直接関係しているため、生態系と生物多様性の保全・再生は持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals : SDGs) としても掲げられている。その他にも生物多様性条約 (CBD) における「戦略計画 2011–2020」や愛知目標 (2010年)、気候変動枠組条約 (UNFCCC) における「パリ協定」(2015年)、国連防災世界会議による「仙台防災枠組 2015–2030」(2015年)、ラムサール条約での決議 (2015年) 等において生態系と生物多様性もつ社会的役割の重要性が国際的に認識されている。また国内でも、「生物多様性国家戦略 2012–2020」(2012年)、「国土強靱化基本法」(2013年)、「気候変動の影響への適応計画」(2015年)、「気候変動適応法」(2018年)、「第5次環境基本計画」(2018年)、「グリーンインフラ推進戦略」(2019年)、「第5次社会資本整備重点計画」(2019年)、「流域治水関連法」(2021年)、「第6期科学技術・イノベーション基本計画」(2021年) 等にお

1 生物多様性や生態系に関する政府間プラットフォームである「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 (IPBES)」では、科学的視点が強い「生態系サービス」という用語を、多様な価値観を包含する「NCP、Nature's Contributions to People」へと変更しつつあり^{1), 2)}、国内では「自然の寄与」との訳語があげられている³⁾。ただしここでは科学研究で従来から主に用いられてきた「生態系サービス」を使うこととする。

2 「自然に根ざした解決策」、「自然を基盤とした解決策」と表現される場合もある。

いて重要性が認識されている。さらに、第15回生物多様性条約締約国会議 (CBD-COP15, 2022年12月) において新たな生物多様性に関する世界目標 (ポスト2020生物多様性枠組) である「昆明・モンテリオール生物多様性枠組」が採択された。2030年までに陸と海の30%を保全エリアとする「30by30」、自然を活用した解決策 (NbS) の活用、ビジネスにおける生物多様性の主流化等が具体的な目標として掲げられている。日本の次期生物多様性国家戦略は2023年3月に策定される見通しである。

しかしながら、こうした社会的な認識の広がり一方で、生態系サービスの持続的な供給と利用を実現するための社会-生態システムの統合的理解は十分に進んでいない。またこれらの科学的理解に立脚した自然資本や生態系サービスの管理技術の開発、および社会-生態システムのより良いガバナンスの探索も国内外で掲げられた各種目標を実現するのに十分でない状況にあり、更なる研究が望まれている。

[研究開発の動向]

国連主導で2001～2005年に行われた「ミレニアム生態系評価 (Millennium Ecosystem Assessment : MA)」では、地球規模で生物多様性や生態系の評価が行われた。MAでは生物多様性や生態系がもたらす生態系サービスが人間の福利を支えているという概念が示されたほか、評価された生態系サービスの60%が劣化傾向にあると報告された。2012年には生物多様性と生態系サービスに関する科学的知見の統合、並びに科学と政策のつながりの強化を目的とした政府間プラットフォームである「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 (IPBES)」が設立された。IPBESからはこれまでに複数の評価報告書が公表されていたが、2019年に「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」が公表され、MA以来はじめての地球規模の現状評価がなされた³⁾。同報告書では、生物多様性と生態系サービスの劣化は今なお継続しており、自然の保全と持続可能な利用のためには、社会変革が必要であると報告している。

日本では、2010年に「生物多様性総合評価報告書 (Japan Biodiversity Outlook : JBO)」が取りまとめられた。同じ2010年に国際連合大学高等研究所 (UNU-IAS) 等によって日本の里山と里海を対象とした生態系サービスの変化も評価され、「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」(Japan Satoyama Satoumi Assessment : JSSA) として公表された。その後、生物多様性国家戦略2012-2020に関する総合評価として2016年には「生物多様性及び生態系サービスの総合評価 (JBO2)」、2021年には「生物多様性及び生態系サービスの総合評価2021 (JBO3)」が公表された。これら一連の報告書では、日本においても、総じて生物多様性が喪失し生態系が劣化しており、人間社会への影響が懸念される状況が示されている。

以上のような取組みを通じて進められてきたこれまでの研究は、人間社会が生物多様性や生態系に与える影響や、人間の福利をもたらす生態系サービスを定性的・定量的に明らかにしてきた。しかし社会-生態システムの統合的な理解は十分に進んでおらず、特に人間社会と生態系間のフィードバック作用やその時空間的ダイナミクスについての研究はいまだ初期段階である。

まず生態系サービスや自然資本に関する研究は、過去20年ほどの間に大きく発展してきた。生態系サービスの定量的評価と地図化、複数の生態系サービス間のトレードオフやシナジー関係といった連関 (ネクサス) の分析、土地利用・気候・その他の影響要因の分析、生態系や生態系サービスの空間モデリングなどが行われている。一方で、気候変動やその他の影響要因が将来の生態系サービスに与える影響等、生態系サービスや自然資本の時空間的ダイナミクスの理解については、なお多くの研究課題が残されている。また生態系サービスのうち文化的サービスに関する研究は依然少ない。

生態系サービスの価値評価については、市場価値と非市場価値の両方が経済学的に分析されてきた。近年では人の健康や福利に対する生態系の影響を評価する研究が進められている。自然資本の収支を計算するための研究も進んでいる。自然資本を含むさまざまな資本の価値が包括的に評価されている^{4), 5)}。しかし、自然資本の収支計算の方法は発展途上であり、勘定に入られていない多くの自然資本がある他、自然資本

の将来価値を現在価値に換算する割引率の設定など、多くの課題が残されている。

生態系サービスと自然資本の価値評価に関して、国際的な枠組みにも進展が見られる。2010年には「生態系と生物多様性の経済 (The Economics of Ecosystems and Biodiversity : TEEB)」の取り組みから報告書が公表された。世界銀行が主導する「富の勘定と生態系サービスの価値評価 (Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services : WAVES)」からはSDGsと関連した自然資本の勘定に関する報告書等が公表されている。国連統計委員会による環境経済勘定 (System of Environmental-Economic Accounting : SEEA) は自然資本の勘定に関する知見をまとめた報告書等を公表している。また多国籍企業などの大企業においても、自然環境の価値をビジネスに反映させる取り組みが進みつつある⁶⁾。ここ数年間のうちに、企業活動が生物多様性や自然資本に与える影響を評価し、持続可能なビジネス活動を実現するための国際的な動向が大きく進展している。自然関連財務情報開示タスクフォース (Task force on Nature-related Financial Disclosures : TNFD) が企業による生物多様性や自然資本に関わる財務情報の開示の枠組みづくりに取り組んでいるほか、SBTs for Nature (Science Based Targets for Nature : SBTN) が企業に対し科学的根拠に基づく目標を立て生物多様性条約やSDGsに沿った取り組みを求めるなど、様々な取り組みが急速に発展しつつある。このように生態系サービスや自然資本の勘定の取り組みには急速な進展があるものの、生態系サービスと自然資本に関する情報が多様な意思決定の場で使われることは十分でなく、広く普及するには未だ至っていない。

生態系サービスや自然資本のガバナンスに関する研究も近年進んでいる。生態系サービスに対する支払い制度 (Payment for Ecosystem Services : PES)、環境税、キャップ・アンド・トレード制度、環境に関する法律や規制、製品認証制度、市民意識の啓蒙等、様々な取り組みがある。しかしながら、これらの取り組みの効果影響を十分に評価できるほど社会-生態システムの統合的な理解は進んでおらず、評価のために必要な生態系および人間社会のモニタリングは十分でないことと認識されている。その原因の一つは、生態系サービスが生み出される空間スケールとそのガバナンスの空間スケールの間はずれがあることと認識されている。このずれによって社会-生態システムの適切なガバナンスと政策決定がしばしば困難になっている。こうした中、行動経済学、社会学、心理学等の社会科学の参加によってより良い管理策や政策決定が生み出されるとの期待から、社会の多様な関係者が協力して進める順応的管理、順応的協働管理、生態系スチュワードシップなどの学際的・超学際的研究が発展しつつある。

生態系サービスや自然資本は、気候変動適応、防災・減災、水質悪化等の生態系機能の劣化を伴う様々な社会的課題の解決に貢献すると期待されている。そのため、「生態系を活用した適応策 (Ecosystem-based Adaptation : EbA)」、「生態系を活用した防災・減災 (Ecosystem-based Disaster Risk Reduction : Eco-DRR)」、「グリーンインフラ」、「生態系インフラ」等、関係する多くの概念が提示されてきた。また最近では、自然の働きを利用して低いコストで環境・社会・経済に便益をもたらす、社会にレジリエンスをもたらすこれらの解決策を、「自然を活用した解決策 (Nature-based Solutions : NbS)」としてまとめることが提案されている⁷⁾⁻¹⁰⁾。経済・文化・環境・生物多様性・生態系・気候変動を考慮に入れてNbSの複合的な効果を評価しようとする挑戦的な試みも進んでいる。またEUでは専門家グループによってNbSに関する研究のレビューが行われており¹¹⁾、Horizon 2020やその後継のHorizon Europeにも反映されている。

社会-生態システムに関する研究における日本の研究開発力は、他国と比較して中位レベルにある。国際的に評価される研究成果が出始めているものの、全体として研究成果の国際的発信は十分でない状況にある。一方、IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) やIUCN (International Union for Conservation of Nature) などによる国際的なイニシアチブに日本からの研究者が参加することで、国際的な貢献は拡大しつつある。日本の研究開発力や国際的貢献を高めていくためには、研究体制をより充実させていくことが必要と考えられる。

(4) 注目動向

[新展開・技術トピックス]

・生態系サービス研究

生態系サービスの定量評価と可視化（地図化）、生態系サービス間の連関（ネクサス）分析、駆動要因の解明、シナリオ構築とモデリング等の研究が進展している。

まず定量評価に関しては、生態系サービスの源泉となる生態系機能について、その生態系に存在するそれぞれの種や遺伝子型がもつ複数の機能の関係性を理解するための研究が進められている。また生態系サービスのうち文化的サービス（例：レクリエーションや観光の場と機会、自然景観の保全）の評価が、供給サービス（例：食料、水、原材料、遺伝資源）や調節サービス（例：炭素固定などの気候調整、水質浄化、水量調整、花粉媒介、病害虫の生物学的コントロール）に比較して遅れているが、ソーシャルメディアの情報を用いて景観がもつ文化的なサービスを評価する等の研究が進められている。

生態系サービスの可視化（地図化）では機械学習を用いた取組みが最近のトレンドの一つである¹²⁾。生物多様性と生態系サービスのシナリオ分析（シナリオとモデリング）は政策決定において重要なツールになると期待されている一方、時間スケールと空間スケールの両方を考慮したダイナミクスの評価はできておらず、今後の課題となっている¹³⁾。

生態系サービスの連関分析では中国の北京周辺地域を対象とした研究例がある。供給・調節・文化的サービスの連結（バンドル）を評価し、地域によってバンドルの状況が大きく異なっていることや、生態系サービス間の関係が空間的に複雑に変化している状況が明らかにされている¹⁴⁾。スペインの研究事例では、生態系サービスのバンドル評価にもとづき、生態系サービス間でのシナジーが発揮されるような土地利用のあり方が提案されている¹⁵⁾。また、食生活の改善、農業生産の向上、気候変動への対策などを組み合わせた将来シナリオについて、水・エネルギー・食料生産・生態系の連関が、地球規模でどのように変化するかがモデリングされており、現状維持のシナリオと比較することで、国際的な政策決定に対する示唆を与えている^{16), 17)}。さらには、より具体的な生物多様性や気候変動に関する国際目標を達成するのに必要な生態系の保全再生のあり方を、地球規模の土地利用に関するシナリオ分析によって評価する研究もされている¹⁸⁾。

都市のグリーンインフラに関して、生態系サービスの需要と供給のマッチングを街区レベルの詳細な空間スケールで評価した研究では、需要に対して供給が少ない街区と住民の社会経済的要因との関係が分析されている¹⁹⁾。これまでになされた数多くの研究をレビューする研究も進展している。例えば、生態系サービスの評価が実施される政策分野やツールなどの傾向が明らかにされたり²⁰⁾、特定の国や地域での生態系サービス評価の現状や評価結果を政策に反映するための課題などが指摘されている^{21), 22)}。

・生態系サービスの価値評価とその活用

生態系サービスの「価値」の評価に関する研究では、生態系サービスの市場的価値および非市場的価値を経済学的に評価することで経済活動と生態系保全を両立させる方策が提案されている。自然資本の価値評価で経済学の資本理論に基づいた新しい手法が提案されているという事例もある。複数種の間で相互作用がある状況における生態系管理を、生態系の経済的評価に組み入れる新しい方法も提案されている。また国内総生産（Gross Domestic Product：GDP）と同様の国家的な枠組みで、自然資本と生態系サービスを組み込んだ貨幣換算する経済の尺度として、生態系総生産（Gross Ecosystem Product：GEP）などの新しい指標が提案され、さまざまな意思決定の場で利用することが期待されている。ある研究では、中国青海省にある複数の生態系サービス（供給、調節、文化的サービス）を生み出す生態系のGEPが、その地域のGDPに匹敵する規模であったこと、2010年からの5年間に2.3倍に成長したことが報告された²³⁾。生態系サービスの総合的な価値を事例比較した研究では、ある場所の生態系を保全・再生した場合の方が、その場所を農林業に利用した場合より、より高い価値が得られた²⁴⁾。さらに、「生物多様性の経済学：ダスグプタ・レビュー²⁵⁾」では、生物多様性や生態系の自然資本によって支えられている経済の現状をさまざまな

視点から包括的にレビューし、経済に関する従来の認識や制度などにおける多くの問題を指摘するとともに、生物多様性や生態系を反映した経済のあるべき姿やそれに至るための多様な選択肢を提示した。

このように経済的評価の観点からの検討が進む一方、生態系や生態系サービスには多様な価値があり、人間中心的な利用価値に加え、関係価値や人間中心的でない固有の価値が含まれるとして、これらを考慮した包括的な価値評価をどう行うかが今後の課題にもなっている²⁶⁾。生物多様性の価値を生態系サービスだけに求めるのではなく、生物多様性と関わる多様な人々がもつ多角的な認識や価値観を取り入れることが、科学や政策や実践に求められている²⁷⁾。また、自然が提供する様々な価値の体系とその多様な評価手法のレビューでは、それらの価値を政策決定に反映していく重要性を指摘している²⁸⁾。

生態系サービスの価値評価を用いた「生態系サービスに対する支払い制度 (PES)」が各地で実施されている。世界的に拡大傾向にあり既に550を超える取組みが総額360億米ドルを超える規模で行われている²⁹⁾。PESの効果に関する研究では、経済的支援によってコミュニティにおける社会関係資本 (人間関係や協力的な行動) が減少することが懸念されているものの、そのような副次影響を伴わずにPESが生態系管理の取り組みを向上させる事例が報告されている。PESの具体的な設計に関する研究では、実際に政策オプションを実施するための社会的、生態学的限界を考慮した、生態系サービスの便益とそれを実現するためのコストをより現実的な視点に立って評価する研究がなされている³⁰⁾。様々な国で実施されている異なるタイプのPESを比較するメタ分析も行われており、生態系サービスの供給源やそれに影響するステークホルダーの範囲の決定、負担の状況に応じた支払額の段階的調節などに依然として課題があることが分析結果から指摘されている³¹⁾。PES以外にも、様々な経済活動に対して生態系サービスや自然資本を反映させる試みが進んでいる。一例としてESG (Environment, Social, Governance) 投資が挙げられるが、ESG投資にはグリーンウォッシュなどの懸念も示されており、科学的に裏付けのある確かな投資指標 (ビジネスの環境への影響評価など) の開発が求められている³²⁾。また、生態系サービスを損なうことに対する法的責任の根拠に、生態系サービスの価値評価が使われることが少ない点は、今後の課題であるとの指摘もある。

・社会—生態システムの学際的な統合評価

生態系サービスと自然資本を社会—生態システムの枠組みで理解しようとする研究が進められており、生態系サービスや自然資本に影響する直接的な要因だけでなく、直接的要因に影響する人間社会の間接的な要因も明らかにされつつある³³⁾。例えば、アルプス地方の社会—生態システムを対象とした研究で、数百年にわたって自然資源の管理が持続しているコミュニティのサイズ (人口) がどの程度の規模であるかが示された³⁴⁾。生態系サービスの管理や生態系の変化への対応には順応的ガバナンスが有効であることを示した事例もある。

人間社会と生態系間のフィードバック作用を組み入れた統合的なダイナミクスの検討は発展途上段階にある^{32), 35)}。理論的研究から、ブラジルの高地などに見られる森林と草地と農地のモザイク状景観の形成には人間による管理と生態系の応答の間でのフィードバック作用が重要であることが示された³⁶⁾。社会—生態システムの枠組みで湖沼生態系の自然再生を分析したモデル研究では、管理政策の決定や政策実行の遅れが水草の急激な減少による生態系の急激な変化 (レジームシフト) に影響を及ぼすとの評価結果が示された³⁷⁾。これらの先導的な研究は社会—生態システムを統合的に理解することの重要性を示しているが、「生態系」や「経済」に比べると「社会」の要素は十分に考慮できていないのが現状であり、課題と認識されている³⁸⁾。また、自然再生を、生態学的な再生だけでなく社会—生態システムの再生と位置付ける重要性が指摘されている³⁹⁾。

社会—生態システムのダイナミクスを長期モニタリングすることにより明らかになる事柄もある。パプアニューギニアの漁村集落の社会—生態システムを16年間にわたって調査した研究では、自然資源の状態と資源管理のガバナンスの関係が分析された結果、ルールの遵守、社会の結束、参加型の意思決定メカニズムなどといったコミュニティ特性が自然資源の持続可能性に重要な役割を果たすことが明らかにされている⁴⁰⁾。

・社会—生態システムのガバナンス研究

保護区の設定に関する研究では、森林伐採の抑止に成功している保護区ほど保護区の解除がされにくいという、保護区のガバナンスの強化がそれらの存続にとって重要であることを示す報告がなされている。このような制度に関する研究や、経済、空間計画に関する研究は比較的進んでいるものの、意思決定や政治に関する研究は十分ではない⁴¹⁾。

多様なステークホルダーの参加による影響についても研究が行われている。社会—生態システムの複雑な実態を理解しようとする際、科学的知識が十分でない状況では異なるステークホルダーの集合知を利用することが重要となるが、その集合知は結果として科学的知識と同等の知識をもたらす得ることを示した事例がある⁴²⁾。スイスのある山岳地帯の社会—生態システムについての研究では、生態系や人間社会に関する実際のデータを考慮したエージェント・ベースド・モデルを用いたところ、ステークホルダーの多様性が高いほど、社会経済や生態系の攪乱に対して社会—生態システムのレジリエンスが高いことが示された⁴³⁾。社会—生態システムにおけるガバナンス研究にはエージェント・ベースド・モデルを用いた有効であるとされる一方、ガバナンスや意思決定の定式化において既存の経済学理論やゲーム理論の適用が足りないことなどに課題が残っているという指摘がある⁴⁴⁾。また、生態系サービスの知識の正当性が確保されていること（偏りがなく多くの視点が反映されていること）が、政策への科学的知見の活用に重要であることも指摘されている。社会—生態システムの枠組みを用いた社会実験によって共有資源（コモンズ）の管理について調べた研究では、共有資源の持続的な利用にとって、資源に関する認知と社会に関する認知のいずれかではなく両方が重要であると指摘している⁴⁵⁾。さらに、環境変化に対する社会—生態システムの適応能力を調べた研究のレビューによると、個人や家庭レベルの適応能力は研究されているが、コミュニティや自治体などの集成的なレベルでの適応能力の評価は少なく、多くの課題が残っている⁴⁶⁾。

生態系サービスを生み出す伝統的な知識体系の重要性も認識されつつある。植物民俗学の調査とネットワーク解析を組み合わせた研究では、植物種が絶滅するだけでなく、植物利用の伝統的知識が消失することが、地域社会における生態系サービスの急激な減少につながることを示されている⁴⁷⁾。

進行しつつある環境変化に社会—生態システムが適応していくためには、科学とガバナンスや法律の統合的なアプローチが重要であり、新しい知識の生産からガバナンスの実践までを含む長期的な研究イニシアチブを推進していく重要性が指摘されている⁴⁸⁾。

・気候変動適応や防災・減災への応用（EbA、Eco-DRR）

気候変動への適応や自然災害からの防災・減災等に対して生態系や生物多様性が果たす役割の重要性が認識されている。気候変動適応において、「生態系を活用した適応策（Ecosystem-based Adaptation：EbA）」の重要性をIUCNや生物多様性条約事務局が指摘している。2016年にはEbAと「生態系を活用した防災・減災（Ecosystem-based Disaster Risk Reduction：Eco-DRR）」の主流化に向けた報告書が生物多様性条約事務局から公表されている。またそれに続くものとして、同事務局が、気候変動枠組条約事務局や国連国際防災戦略事務局と協力して、EbAとEco-DRRの設計や社会実装に関するガイドラインを2018年に公表している。EbAとEco-DRRを実装するための多様なツールや多くの事例を紹介した学術図書も出版されている。その他にも国連防災世界会議による「仙台防災枠組2015-2030」（2015年）、ラムサール条約での決議（2015年）、欧州委員会やIUCNによる「自然に根ざした解決策（NbS）」の推進等がある。国内でもEco-DRRやEbAの重要性に関する認識は環境省、国土交通省、JICAなどの政策や事業に見られる。また、国立環境研究所が運営する気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）では、生態系を活用した適応策（EbA）の事例などが紹介され⁴⁹⁾、環境省からは国内外の事例をもとにしたEbAの手引書が2022年に発行されている⁵⁰⁾。

こうしたEbAやEco-DRRに関する研究は近年大きく進展している。例えば、洪水による浸水災害を避けるような土地利用を実現するために、米国本土スケールで、浸水が起こりうる氾濫原生態系を保全する目的で

政府が土地を購入するコストと、それにより回避できる浸水災害被害額の便益の比較が行われた。結果は、5万km²を超える場所では便益がコストを上回るというものだった⁵¹⁾。一方、欧州での事例からはEco-DRRの社会実装にとってステークホルダーの参加が重要であるものの、現在のところステークホルダーにとっての具体的な生態系サービスや環境経済的なメリットの評価を行うだけの科学的知見や技術が十分に整っていないとの指摘がある⁵²⁾。Eco-DRRに関する研究のレビューによると、生態系が防災減災に役立つことやその費用効果の高さが多くの研究により示されているものの、発展途上国の沿岸都市や乾燥地における研究が立ち遅れている現状を指摘している⁵³⁾。

[注目すべき国内外のプロジェクト]

■国内

• 環境研究総合推進費「S-15：社会・生態システムの統合化による自然資本・生態系サービスの予測評価」(2016～2020年度)

日本を中心に、アジア地域も視野に入れながら、自然資本・生態系サービスの自然的・社会経済的価値の予測評価を行い、シナリオ分析に基づく複数の政策オプションの検討を行っている。最終的には、包括的な福利を維持・向上させるためのガバナンスのあるべき姿を提示することを目指している。環境省の環境研究総合推進費では、本課題以外にも環境問題対応型研究として複数の研究プロジェクトが生態系サービスや自然資本に関係する研究を実施している。また、S-15の後継プロジェクトとして、「S-21：生物多様性と社会経済的要因の統合評価モデルの構築と社会適用に関する研究」が2023年度から実施予定である。

• 総合地球環境学研究所における超学際研究

大学共同利用機関である総合地球環境学研究所では、国内外の社会—生態システムに関するさまざまな学際的・超学際的研究プロジェクトが実施されている。大学共同利用機関として国内外の研究者が提案する研究プロジェクトを実施しており、プロジェクトには自然科学・人文学・社会科学の多様な研究者のほか、企業や行政などの実務者も参加している。例えば流域の栄養循環、水・エネルギー・食料ネクサス、熱帯泥炭地の社会—生態システム、生態系を活用した防災・減災など、さまざまな視点から社会—生態システムに関する学際的・超学際的研究に取り組んでいる。

• フューチャー・アース (2015年～)

地球環境研究の国際研究プログラムの再編・統合後、2015年からはフューチャー・アース (Future Earth) というプログラムが進められている。フューチャー・アースは自然科学と人文・社会科学が強く連携すること、社会の多様なステークホルダーと共に研究を行うことを重視しており、社会問題解決型の超学際研究を推進している。2014年に62の優先研究課題からなる戦略的研究アジェンダが作られ、その下で「グローバル研究プロジェクト (Global Research Projects)」や「知と実践のネットワーク (Knowledge-Action Networks : KANs)」が推進されている。日本には、Future Earth 国際事務局日本ハブが置かれ、現在9つあるFuture Earthの国際事務局ハブと共にFuture Earth全体の運営を担っている。Future Earth 国際事務局日本ハブは、国立環境研究所と総合地球環境学研究所を中心に、12機関が協力して運営している。JST 社会技術研究開発センターでは日本におけるフューチャー・アースの取組みの一環として、「フューチャー・アース構想の推進事業」(2014～2018年度)を実施した。「課題解決に向けたトランスディシプリナリー研究」として本格研究が2件実施されたほか、「日本が取り組むべき国際的優先テーマの抽出及び研究開発のデザインに関する調査研究」が実施され、107の研究課題からなる「日本における戦略的研究アジェンダ」が作られた。

■ 国外

• Horizon 2020 および Horizon Europe における社会—生態システムに関する研究プロジェクト

EUにおいて、Horizon 2020の下でNbSに関する32のプロジェクトに2億92百万ユーロの研究資金が投じられた。これによりEUの政策レベルでNbSの枠組み条件を改善すると同時に、EUを同分野におけるグローバルリーダーとして位置づけるための戦略的な役割を担っている⁵⁴⁾。また、Horizon 2020およびHorizon Europeの下で社会—生態システムに関する複数の研究プロジェクトが推進されている。「MUSES (Towards middle-range theories of the co-evolutionary dynamics of multi-level social-ecological systems)」プロジェクト(2017~2022年)では、社会—生態システムのダイナミクスを評価するため、自然科学と社会科学の理論を組み合わせた学際的なアプローチにより、複雑適応系としての社会—生態システムの数理モデル開発が行われている。「eLTER (European Long-Term Ecosystem and Socio-Ecological Research Infrastructure)」プロジェクト(2015~2019年)では、社会—生態システムの研究プラットフォームとなるべく22カ国162地点の長期生態系モニタリングデータの収集・共有を進めるとともに、研究等での利活用支援を行ってきた。同プロジェクトは2015~2019年に行われ、その後新たな2プロジェクト(2020~2025年)が立ち上がった。1つはeLTER研究インフラの技術的な高度化や法的・経済的な成熟を進めるための調整・支援を行う「eLTER PPP」で、もう1つはeLETR研究インフラで収集されたデータやサービスの利活用促進に取り組む「eLTER Plus」である。

• Natural Capital Project (2006年~)

米国スタンフォード大学が中心となり中国科学院や米国ミネソタ大学などが国際連携して進めているNatural Capital Projectは、自然資本の可視化と実際の意思決定への反映に取り組んでいる。これらの取り組みを通じて科学的知見の蓄積や新しいツールの開発を進めている。特に本プロジェクトで開発された生態系サービスの地図化ツールであるInVESTは今や世界中で利用されている。Natural Capital Projectの取り組みは世界各国に広がっており、心身の健康に関連した生態系サービスの評価、生態系サービスへのアクセス公平性の評価、社会—生態システムのレジリエンス、地球規模での生態系サービス評価、AIを活用したデータ分析など、多方面にわたった研究が行われるとともに、InVESTのトレーニングプログラムも展開している。

• ストックホルム・レジリエンス・センターにおける超学際研究 (2007年~)

スウェーデンにあるストックホルム・レジリエンス・センターでは、社会—生態システムのレジリエンスや持続性科学に関して、学際的・超学際的な研究が幅広く実施されている。自然科学や人文・社会科学の多様な研究者が所属しており、陸上・海洋・都市における社会—生態システムに注目し、「複雑適応系」、「人類世におけるダイナミクス」、「スチュワードシップ」、「社会の転換」といった分野横断的なテーマの研究に取り組んでいる。研究対象は世界各国に広がっているほか、2007年に設立されて以降、論文の出版数や引用数は上昇傾向を維持しており、特に近年は学際的な研究論文の出版数の伸びが著しい。また、年度あたりの研究費も上昇傾向を維持している。

(5) 科学技術的課題

• 生態系サービス評価

供給サービスや調整サービスに関する科学的基盤は比較的整っており、国内外で評価研究が実施されているが、未解決の課題も多く残されている。例えば供給サービスと調整サービスの評価手法に関しては、評価結果の妥当性や確実性の検証などが必要と指摘されており、更なる高度化が求められている。文化的サービスや一部の調整サービス(災害の緩和、精神的健康への寄与など)の評価は十分に研究が進んでおらず、手法開発をさらに進める必要があるとされている^{33), 55)}。IPBESとIPCCの合同レポート⁵⁶⁾では、カーボンニュートラルを目指した再生可能エネルギーへの転換と関連した土地改変が、生物多様性や生態系サービスに負の

影響を与える問題が指摘されている。日本においてもソーラー発電施設による生態系改変の問題が指摘されており⁵⁷⁾、今後、気候変動適応策と生態系・生物多様性の両立 (Climate-Nature Nexus) を可能にする研究が重要になる。

生態系サービス間のトレードオフ関係と生態系・生物多様性との関連性の理解も今後の課題である。生態系サービス間の関連性についての研究の多くは時間的・空間的に限られた範囲でのスナップショット的な分析であり、歴史性を考慮したり広域を対象にしたりするなど、時空間ダイナミクスを考慮した研究はまだ少ない。そのため現状では環境変化・気候変動・その他の影響要因の変化が将来の自然資本や生態系サービスに与える影響を高い確度で予測評価することはまだ難しいと考えられている。生態系サービスの時空間ダイナミクスをその駆動要因とともに理解して将来予測につなげるためには、生態系サービスの構成要素である生態系や生物多様性のモニタリングに加え、多数の事例研究を用いた直接要因と間接要因 (自然的、文化的、社会・経済的要因) に関するメタ分析、モデル地域での実証研究、複雑適応系やエージェント・ベースド・モデルなどの数理モデルを用いた社会-生態システムの研究などが今後必要と考えられている。また、生態系サービス評価の結果を、企業活動や政策などに反映するための学際的研究も必要とされている。

• 自然資本や生態系サービスの価値評価

精力的に研究が行われているが、評価手法自体がまだ発展途上にある。そのため生態系サービスや自然資本の収支に関する情報が社会のさまざまな意思決定の場で使われることは現状では限定的であり、広く普及するには至っていない。また勘定に反映されていない自然資本の抽出や評価手法の開発が必要な状況にある^{33), 55)}。一方で、それらに対する研究ニーズは、国際的な経済や政治などにおいて急速に拡大しつつある。

自然資本の現在価値と将来価値を統合的に評価することが自然資本の持続的な管理に必要となるが、将来価値を現在価値に換算する割引率の設定などについては、経済学的な分析に加えて倫理的な観点からの検討も不足している。

• One Health アプローチ

新型コロナウイルス感染症 (Covid-19) のパンデミックをきっかけに、人獣共通感染症・新興感染症の増加と、生態系の改変や人と自然の関わりの変化の関係への関心が高まっている (例えば⁵⁸⁾)。野生動物との接触機会の増加は感染症リスクを高めるリスクがある一方、過度な都市化によって自然に触れる機会が減少することが精神疾患やアレルギー疾患のリスクを高める側面もある。これらの認識のもと、人の健康、生態系の健全性、野生動物、家畜の健康を同時に考慮する One Health アプローチ (マンハッタン原則による12の行動計画⁵⁹⁾) の重要性が再認識された。2021年には日本医師会、日本獣医師会、IUCN日本委員会、日本自然保護協会など12団体の連名で「ワンヘルス共同宣言」が発表された⁶⁰⁾。人と野生動物の分布域の境界管理や都市緑地における生物多様性など、人と自然のかかわりに関する研究は今後より重要性を増すと考えられる。

• 社会-生態システムの管理政策やガバナンスに関する研究

地域レベル・国レベル・国際レベルで様々な取組みが進みつつある。環境に配慮したビジネスや資本投資も近年急速に拡大している。しかしこれらの管理政策・ビジネス・投資などが自然資本や生態系サービスの持続性に与える効果を十分に評価できるほどに社会-生態システムの理解は進んでおらず、効果評価に必要な社会-生態システムのモニタリングも十分な状況にはない。結果として管理や投資の指標開発が進んでいない。より効果的な管理政策やビジネス・投資における意思決定を促すためには、自然資本や生態系サービスに関する基準の設定、基準の評価に必要なデータと方法論の整備、基準達成の報告に関する仕組みなどの開発が必要になる^{33), 55)}。

行動経済学、社会学、心理学などの社会科学が参加する学際的研究により、より良い管理政策やガバナンス

ス、政策決定に必要な科学的知見の創出が期待されている。科学者や行政担当者だけでなく、社会の多様なステークホルダーが協力して進める順応的協働管理、生態系スチュワードシップなどの超学際的研究が必要とされ、その学術的発展は、社会－生態システムの持続性に貢献すると期待されている。また、新しい知識の生産からガバナンスの実践までを含む長期的で統合的な研究イニシアチブを推進していく重要性が指摘されている。

(6) その他の課題

• 学際的・超学際的研究に携わる人材の不足懸念と育成の必要性

社会－生態システムに関する研究は、それらの基盤となっている生態系や生物多様性に関する生態学的な研究のみならず、農学や工学などの応用分野の自然科学に加えて、社会学・経済学・歴史学・倫理学などの人文・社会科学分野の研究参加も必要になる。そのような社会－生態システムの全体を俯瞰するような教育プログラムや、社会の多様なステークホルダーと協働する超学際的研究に関する教育プログラムは、一部の大学（東北大学や九州大学など）での取り組みがあるものの、十分な人材育成ができていない状況にある。そのため、社会－生態システムに関する科学的基盤の知識生産を担う研究人材が不足しており、将来的にも人材不足が懸念されている⁶¹⁾。

• 研究成果に対する評価基準の開発

社会－生態システムの研究は学際的・超学際的であり、さまざまな学問分野や社会の多様なステークホルダーとの横断的な連携が求められる。そのため、既存の学問分野で発展してきた研究成果に対する評価基準をそのまま社会－生態システムの研究に当てはめることには困難があると言われている。学際的・超学際的研究に対する評価のあり方は既存の学問分野に比べて十分に成熟しておらず、既存の分野に固執せず幅広い視点で社会－生態システムの研究評価を担当できる評価人材も少ない。また学際的・超学際的研究を推進する研究助成制度も十分に整備されていない⁶¹⁾。社会が求める社会－生態システムの学際的・超学際的研究をこれまで以上に推進していくためには、研究成果に対する評価基準の開発が必要とされている。

• 国内中核機関の必要性

スウェーデンのストックホルム・レジリエンス・センターやドイツの生物多様性研究センターのように諸外国には社会－生態システムのレジリエンスや持続可能性に関する専門の研究機関が存在する。一方、日本では総合地球環境学研究所や京大生態学研究センターなど関連する研究機関があるものの、諸外国の研究機関と比較すると研究人材・研究施設・研究費のいずれにおいても十分とは言えない現状にある。学際的・超学際的な社会－生態システムの研究を一段と発展させるためには、研究を中心的に先導していく中核的研究機関の拡充が必要とされている⁶¹⁾。

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	↗	<ul style="list-style-type: none"> ● 環境省環境研究総合推進費による大型研究プロジェクト（S-9、S-15など）により、生態系サービスや自然資本に関する基礎・応用研究が進みつつあり、プロジェクトの進行にともない国際的に評価される研究成果が公表されつつある。 ● 自然資本の経済評価については、環境経済学的な分析や包括的な富（Inclusive Wealth）の研究などで進展が見られる。 ● 社会－生態システムのガバナンスに関する基礎的研究も進みつつあるが、他国に比較して研究の進展は十分ではない。

	応用研究・開発	○	↗	<ul style="list-style-type: none"> ● 環境省環境研究総合推進費による大型研究プロジェクト (S-9、S-15 など) により、生態系サービスや自然資本に関する基礎・応用研究が進みつつあり、世界を先導するような研究成果が出始めている。しかし国際的発信は必ずしも十分ではない。 ● IPBES や IUCN などの国際的なイニシアチブに研究者が参加し、国際的な取り組みへの貢献が拡大している。 ● 全国レベルで生態系サービスの評価が実施され、社会-生態システムの概念を新たに取り入れた「BO3 (生物多様性及び生態系サービスの総合評価報告書 2021)」が公表されている。 ● 生態系サービスや自然資本に関する概念が科学技術、環境政策、国土政策などに取り入れられているものの、政策を十分に支援するだけの情報基盤や研究体制は整備されていない。
米国	基礎研究	◎	↗	<ul style="list-style-type: none"> ● 社会-生態システムに関する研究は世界で最も活発になされており、この分野を先導している。 ● スタンフォード大学を中心に進められている「Natural Capital Project」では、生態系サービスの地図化で最もよく使用されるソフトウェア (InVEST) などを提供しているほか、さまざまな国における自然資本と生態系サービスの管理に貢献している。
	応用研究・開発	◎	→	<ul style="list-style-type: none"> ● バイデン政権は2022年11月に「自然を基盤とした解決策のロードマップ」を公表し、NbSの利用拡大や重点的に取り組むべき5つの戦略的分野を提示した。また150以上の取り組み例をガイドとして取りまとめた。 ● 「デザインによる復興 (Rebuild by Design)」やグリーンインフラによる先進的な取り組みが州や市レベルで進んでおり、生態系のレジリエンスを活用した自然災害に強い街づくりや雨水管理などを実践している。
欧州	基礎研究	◎	↗	<p>【EU】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● EU 全域を合わせると、社会-生態システムに関する研究は米国とともに世界で最も活発になされており、この分野を先導している。 ● Horizon 2020 やその後継の Horizon Europe には、NbS に関する研究プログラムが多数設定されているほか、社会-生態システムに関する数多くの研究プロジェクトが推進されている。自然科学と社会科学の理論を組み合わせた学際的なアプローチによる社会-生態システムのダイナミクスの研究など、多くの研究成果が得られている。 <p>【英国】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 自然環境研究会議 (NERC) では、生物多様性と生態系サービスの関連、水・食料・エネルギー・生態系サービスのネクサス、自然資本や生態系サービスの価値評価などに関する研究プロジェクトが進められている。 <p>【ドイツ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ドイツ生物多様性研究センター (iDiv: German Centre for Integrative Biodiversity Research) が2012年に設立され、生態系サービスや社会-生態システムに関する研究を活発に行なっている。 <p>【フランス】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● フランス国立科学研究センター (CNRS) では、海洋における社会-生態システムの持続的管理に関する学際的研究プロジェクトなどが進められている。 <p>【スウェーデン】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ストックホルム・レジリエンス・センターでは、生態系サービスや社会-生態システムのガバナンスに関する研究を活発に行なっている。

	応用研究・開発	◎	↗	<p>【EU】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● NbSに関する研究開発分野のレビューが専門家グループにより行われている⁷⁾。 ● Horizon 2020やその後継のHorizon Europeに基づき推進されている研究には、社会-生態システムに関する政策決定を長期モニタリングの視点から支援する研究インフラの整備などがあり、超学際的アプローチによる実践的な研究が数多く進められている。 <p>【英国】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 都市における自然資本の活用に関する超学際的研究プロジェクト、ビジネスにおける自然資本の価値化や勘定に関する研究プロジェクトなどが進められている。 ● 2018年に「25年環境計画 (25Year Environmental Plan)」が政府により公表され、環境を第一とする農林水産業の推進や自然資本の保護と成長の政策に反映させることなどが盛り込まれている。 <p>【ドイツ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ハンブルグ市などでの都市再生に生態系機能を活用するための研究プロジェクトや、気候変動に影響を受ける海洋生態系の自然資本と生態系サービスに関する研究プロジェクトなどが進められている。 <p>【フランス】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 都市における多様なステークホルダーが協働する自然再生の仕組みづくりや、乾燥化する河川生態系の自然資本や生態系サービスの評価に関する研究プロジェクトなどが進められている。
中国	基礎研究	◎	↗	<ul style="list-style-type: none"> ● 生態系サービスの現状評価や地図化、生態系管理の効果に関する研究など、国際的に顕著な研究成果を近年急速に増やしつつある。例えば、自然資本と生態系サービスを組み込んだ経済の尺度としてGEP (Gross Ecosystem Product: 生態系総生産) を提案し、GDPを補完する指標として、青海省での評価に適用している。 ● 生態系サービスや自然資本に関する研究は、近年急速に拡大しつつあり、世界のトップグループに入っている。 ● 中国科学院生態環境研究センターには、都市と地域生態国家重点実験室が設けられ、社会-生態システムの研究が行われている。
	応用研究・開発	◎	↗	<ul style="list-style-type: none"> ● 環境と経済の発展を調和させる生態文明 (Ecological Civilization) の概念を中国共産党中央委員会が2015年に提示し、生態系保全や再生の取り組みを進めている。 ● 第14次5カ年計画 (2021-2025) において「生態系の質と安定性の向上」が掲げられ、自然に基づく解決策の実施が重要政策領域として設定されている。 ● 世界最大のPESである「Sloping Land Conversion Program」を1999年から進めており、広大な面積で森林再生、浸食防止、炭素貯蔵などを進めている。 ● 重要な生態系サービスを保全するために、Ecosystem Function Conservation Areasを指定している。 ● 生態と環境に関する年次報告書が、生態環境部 (省) から公表されている。 ● 森林保全、土壌保全、砂漠化防止などの取り組みが大規模に中国全体で実施されてきた。その効果は全体的にはポジティブであるものの、課題も残っていると分析されている⁶²⁾。
韓国	基礎研究	△	↗	<ul style="list-style-type: none"> ● 2013年に国立生態院が設立され、生態系サービスに関する研究も一部進んでいる。 ● 生態系サービスや社会-生態システムに関する研究は、個別の優れた研究はあるものの、全体として他国と比較すると多い方ではない。
	応用研究・開発	△	→	<ul style="list-style-type: none"> ● 全国レベルで数種類の生態系サービスの評価が実施されている⁶³⁾ ほか、沿岸域や一部地域ではより多くの種類の詳細な生態系サービス評価が実施されている。

(註1)「フェーズ」

「基礎研究」：大学・国研などでの基礎研究レベル。

「応用研究・開発」：技術開発（プロトタイプの開発含む）・量産技術のレベル。

(註2)「現状」 ※我が国の現状を基準にした評価ではなく、CRDSの調査・見解による評価。

◎：他国に比べて特に顕著な活動・成果が見えている ○：ある程度の顕著な活動・成果が見えている

△：顕著な活動・成果が見えていない ×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註3)「トレンド」

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

関連する他の研究開発領域

- ・生態系・生物多様性の観測・評価・予測（環境・エネ分野 2.7.4）
- ・農林水産業における気候変動影響評価・適応（環境・エネ分野 2.8.2）
- ・都市環境サステナビリティ（環境・エネ分野 2.8.3）

参考・引用文献

- 1) Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), “Report of the Plenary of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on the work of its fourth session,” System of Environmental Economic Accounting, <https://seea.un.org/content/report-plenary-intergovernmental-science-policy-platform-biodiversity-and-ecosystem-services>, (2023年2月2日アクセス) .
- 2) Sandra Díaz, et al., “Assessing nature's contributions to people,” *Science* 359, no. 6373 (2018) : 270-272., <https://doi.org/10.1086/10.1126/science.aap8826>.
- 3) Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (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」 Institute for Global Environmental Strategies (IGES), <https://www.iges.or.jp/en/pub/ipbes-global-assessment-spm-j/ja>, (2023年2月2日アクセス) .
- 4) Shunsuke Managi and Pushpam Kumar, ed., *Inclusive Wealth Report 2018: Measuring Progress Towards Sustainability* (London: Routledge, 2018), <https://doi.org/10.4324/9781351002080>.
- 5) Glenn-Marie Lange, Quentin Wodon and Kevin Carey, *The Changing Wealth of Nations 2018: Building a Sustainable Future* (Washington: World Bank, 2018).
- 6) Peter M. Kareiva, et al., “Improving global environmental management with standard corporate reporting,” *PNAS* 112, no. 24 (2015) : 7375-7382., <https://doi.org/10.1073/pnas.1408120111>.
- 7) European Commission, “Nature-based solutions: Nature-based solutions and how the Commission defines them, funding, collaboration and jobs, projects, results and publications,” https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en, (2023年2月2日アクセス) .
- 8) UN-Water, “UN World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions for Water,” United Nations, <https://www.unwater.org/world-water-development-report-2018-nature-based-solutions-for-water/>, (2023年2月2日アクセス) .
- 9) International Union for Conservation of Nature (IUCN), “Global Standard for Nature-based Solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS,”

<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-020-En.pdf>, (2023年2月2日アクセス) .

- 10) Secretariat of the Convention on Biological Diversity, *Voluntary guidelines for the design and effective implementation of ecosystem-based approaches to climate change adaptation and disaster risk reduction and supplementary information, Technical Series no. 93* (Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2019).
- 11) Directorate-General for Research and Innovation (European Commission), “Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-based Solutions & Re-Naturing Cities: final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities' (full version),” European Union, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/479582>, (2023年2月2日アクセス) .
- 12) Simon Willcock, et al., “Machine learning for ecosystem services,” *Ecosystem Services* 33, Part B (2018) : 165-174., <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.04.004>.
- 13) Gregory Obiang Ndong, Olivier Therond and Isabelle Cousin, “Analysis of relationships between ecosystem services: A generic classification and review of the literature,” *Ecosystem Services* 43 (2020) : 101120., <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101120>.
- 14) Jiashu Shen, et al., “Exploring the heterogeneity and nonlinearity of trade-offs and synergies among ecosystem services bundles in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration,” *Ecosystem Services* 43 (2020) : 101103., <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101103>.
- 15) Andrés M. García, et al., “Green infrastructure spatial planning considering ecosystem services assessment and trade-off analysis. Application at landscape scale in Galicia region (NW Spain),” *Ecosystem Services* 43 (2020) : 101115., <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101115>.
- 16) Detlef P. Van Vuuren, et al., “Integrated scenarios to support analysis of the food-energy-water nexus,” *Nature Sustainability* 2 (2019) : 1132-1141., <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0418-8>.
- 17) Amandine V. Pastor, et al., “The global nexus of food-trade-water sustaining environmental flows by 2050,” *Nature Sustainability* 2 (2019) : 499-507., <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0287-1>.
- 18) Sarah Wolff, et al., “Meeting global land restoration and protection targets: What would the world look like in 2050 ?” *Global Environmental Change* 52 (2018) : 259-272., <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.002>.
- 19) Pablo Herreros-Cantis and Timon McPhearson, “Mapping supply of and demand for ecosystem services to assess environmental justice in New York City,” *Ecological Applications* 31, no. 6 (2021) : e02390., <https://doi.org/10.1002/eap.2390>.
- 20) Angélica Valencia Torres, Chetan Tiwari and Samuel F. Atkinson, “Progress in ecosystem services research: A guide for scholars and practitioners,” *Ecosystem Services* 49 (2021) : 101267., <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101267>.
- 21) Wei Jiang, Tong Wu and Bojie Fu, “The value of ecosystem services in China: A systematic review for twenty years,” *Ecosystem Services* 52 (2021) : 101365., <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101365>.
- 22) Anh Nguyet Dang, et al., “Review of ecosystem service assessments: Pathways for policy integration in Southeast Asia,” *Ecosystem Services* 49 (2021) : 101266., <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101266>.

org/10.1016/j.ecoser.2021.101266.

- 23) Zhiyun Ouyang, et al., “Using gross ecosystem product (GEP) to value nature in decision making,” *PNAS* 117, no. 25 (2020) : 14593-14601., <https://doi.org/10.1073/pnas.1911439117>.
- 24) Richard B. Bradbury, et al., “The economic consequences of conserving or restoring sites for nature,” *Nature Sustainability* 4 (2021) : 602-608., <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00692-9>.
- 25) Partha Dasgupta, *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review* (London: HM Treasury, 2021).
- 26) Unai Pascual, et al., “Valuing nature’s contributions to people: the IPBES approach,” *Current Opinion in Environmental Sustainability* 26-27 (2017) : 7-16., <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>.
- 27) Unai Pascual, et al., “Biodiversity and the challenge of pluralism,” *Nature Sustainability* 4 (2021) : 567-572., <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00694-7>.
- 28) Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), *Summary for policymakers of the methodological assessment regarding the diverse conceptualization of multiple values of nature and its benefits, including biodiversity and ecosystem functions and services*, eds. Unai Pascual, et al. (Bonn: IPBES secretariat, 2022), <https://doi.org/10.5281/zenodo.6522392>.
- 29) James Salzman, et al., “The global status and trends of Payments for Ecosystem Services,” *Nature Sustainability* 1 (2018) : 136-144., <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0033-0>.
- 30) Wiktor Adamowics, et al., “Assessing ecological infrastructure investments,” *PNAS* 116, no. 12 (2019) : 5254-5261., <https://doi.org/10.1073/pnas.1802883116>.
- 31) Sven Wunder, et al., “From principles to practice in paying for nature’s services,” *Nature Sustainability* 1 (2018) : 145-150., <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0036-x>.
- 32) C. J. Vörösmarty, et al., “Scientifically assess impacts of sustainable investments,” *Science* 359, no. 6375 (2018) : 523-525., <https://doi.org/10.1126/science.aao3895>.
- 33) Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, eds. Eduardo S. Brondizio, et al. (Bonn: IPBES secretariat, 2019), <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>.
- 34) Marco Casaria and Claudio Tagliapietra, “Group size in social-ecological systems,” *PNAS* 115, no. 11 (2018) : 2728-2733., <https://doi.org/10.1073/pnas.1713496115>.
- 35) Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), “The methodological assessment report on scenarios and models of biodiversity and ecosystem services,” https://www.efdinitiative.org/sites/default/files/publications/2016.methodological_assessment_report_scenarios_models.pdf, (2023年2月2日アクセス)
- 36) Kirsten A. Henderson, Chris T. Bauch and Madhur Anand, “Alternative stable states and the sustainability of forests, grasslands, and agriculture,” *PNAS* 113, no. 51 (2016) : 14552-14559., <https://doi.org/10.1073/pnas.1604987113>.
- 37) Romina Martin, Maja Schlüter and Thorsten Blenckner, “The importance of transient social dynamics for restoring ecosystems beyond ecological tipping points,” *PNAS* 117, no. 5 (2020) : 2717-2722., <https://doi.org/10.1073/pnas.1817154117>.

- 38) Ben W. Kolosz, et al., “Conceptual advancement of socio-ecological modelling of ecosystem services for re-evaluating Brownfield land,” *Ecosystem Services* 33, Part A (2018) : 29-39., <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.08.003>.
- 39) Joern Fischer, et al. “Making the UN Decade on Ecosystem Restoration a Social-Ecological Endeavour,” *Trends in Ecology & Evolution* 36, no. 1 (2021) : 20-28., <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.08.018>.
- 40) Joshua E. Cinner, et al., “Sixteen years of social and ecological dynamics reveal challenges and opportunities for adaptive management in sustaining the commons,” *PNAS* 116, no. 52 (2019) : 26474-26483., <https://doi.org/10.1073/pnas.1914812116>.
- 41) Annisa Triyanti and Eric Chu, “A survey of governance approaches to ecosystem-based disaster risk reduction: Current gaps and future directions,” *International Journal of Disaster Risk Reduction* 32 (2018) : 11-21., <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.11.005>.
- 42) Payam Aminpour, et al., “Wisdom of stakeholder crowds in complex social-ecological systems,” *Nature Sustainability* 3 (2020) : 191-199., <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0467-z>.
- 43) Adrienne Grêt-Regamey, Sibyl H. Huber and Robert Huber, “Actors’ diversity and the resilience of social-ecological systems to global change,” *Nature Sustainability* 2 (2019) : 290-297., <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0236-z>.
- 44) Amélie Bourceret, Laurence Amblard and Jean-Denis Mathias, “Governance in social-ecological agent-based models: a review,” *Ecology and Society* 26, no. 2 (2021) : 38., <https://doi.org/10.5751/ES-12440-260238>.
- 45) Jacob Freeman, Jacopo A. Baggio and Thomas R. Coyle, “Social and general intelligence improves collective action in a common pool resource system,” *PNAS* 117, no. 14 (2020) : 7712-7718., <https://doi.org/10.1073/pnas.1915824117>.
- 46) Sechindra Vallury, et al., “Adaptive capacity beyond the household: a systematic review of empirical social-ecological research,” *Environmental Research Letters* 17, no. 6 (2022) : 063001., <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac68fb>.
- 47) Rodrigo Cámara-Leret, Miguel A. Fortuna and Jordi Bascompte, “Indigenous knowledge networks in the face of global change,” *PNAS* 116, no. 20 (2019) : 9913-9918., <https://doi.org/10.1073/pnas.1821843116>.
- 48) Barbara Cosens, et al. “Governing complexity: Integrating science, governance, and law to manage accelerating change in the globalized commons,” *PNAS* 118, no. 36 (2021) : e2102798118., <https://doi.org/10.1073/pnas.2102798118>.
- 49) 気候変動適応情報プラットフォーム (A-PLAT)「適応策データベース」<https://adaptation-platform.nies.go.jp/db/measures/index.html>, (2023年2月2日アクセス) .
- 50) 国立研究開発法人国立環境研究所「生態系を活用した気候変動適応策 (EbA) : 計画と実施の手引き」環境省 自然環境局, <https://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/library/files/EbA.pdf>, (2023年2月2日アクセス) .
- 51) Kris A. Johnson, et al., “A benefit-cost analysis of floodplain land acquisition for US flood damage reduction,” *Nature Sustainability* 3 (2020) : 56-62., <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0437-5>.
- 52) Alistair McVittie, et al., “Ecosystem-based solutions for disaster risk reduction: Lessons from European applications of ecosystem-based adaptation measures,” *International Journal of*

Disaster Risk Reduction 32 (2018) : 42-54., <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.12.014>.

- 53) Karen Sudmeier-Rieux, et al., “Scientific evidence for ecosystem-based disaster risk reduction,” *Nature Sustainability* 4 (2021) : 803-810., <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00732-4>.
- 54) European Research Executive Agency (European Commission), “Nature Based Solutions: Horizon 2020 NBS Research Projects Tackle the Climate and Biodiversity Crisis,” European Union, <https://doi.org/10.2848/501354>, (2023年2月2日アクセス) .
- 55) Matías E. Mastrángelo, et al., “Key knowledge gaps to achieve global sustainability goals,” *Nature Sustainability* 2 (2019) : 1115-1121., <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0412-1>.
- 56) Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), “IPBES-IPCC Co-Sponsored Workshop on Biodiversity and Climate Change,” <https://ipbes.net/events/launch-ipbes-ipcc-co-sponsored-workshop-report-biodiversity-and-climate-change>, (2023年2月2日アクセス) .
- 57) Ji Yoon Kim, et al., “Current site planning of medium to large solar power systems accelerates the loss of the remaining semi-natural and agricultural habitats,” *Science of The Total Environment* 779 (2021) : 146475., <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146475>.
- 58) Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), “Escaping the ‘Era of Pandemics’: Experts Warn Worse Crises to Come Options Offered to Reduce Risk,” <https://ipbes.net/pandemics-marquee>, (2023年2月2日アクセス) .
- 59) 福岡県庁「マンハッタン原則による12の行動計画：感染症リスクの抑制を図る戦略的枠組み」https://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/515738_60153496_misc.pdf, (2023年2月2日アクセス) .
- 60) 公益社団法人日本獣医師会「人と動物、生態系の健康はひとつ：ワンヘルス共同宣言の発表」http://nichiju.lin.gr.jp/topics/topic_view.php?rid=4422, (2023年2月2日アクセス) .
- 61) 日本学術会議 統合生物委員会 生態科学分科会「報告：生態学の展望（平成29年（2017年）7月27日）」日本学術会議, <https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h170727-2.pdf>, (2023年2月2日アクセス) .
- 62) Brett A. Bryan, et al., “China’s response to a national land-system sustainability emergency,” *Nature* 559, no. 7713 (2018) : 193-204., <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0280-2>.
- 63) National Geographic Information Institute (NGII), “The National Atlas of KoreaII 2020,” http://nationalatlas.ngii.go.kr/pages/page_526.php?, (2023年2月2日アクセス) .