

環境システム研究における自然生態系と 今後の研究展開に向けて

齊藤修¹・松井孝典²

¹正会員 国連大学サステイナビリティ高等研究所 (〒150-8925 東京都渋谷区神宮前5-53-70)
E-mail: saito@unu.edu

²正会員 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail: matsui@see.eng.osaka-u.ac.jp

本研究は、2000年から2017年にかけて環境システム研究論文集で出版された計914編のうち、自然生態系を対象とした論文175編についてレビューした結果をまとめたものである。その結果、河川、ダム湖、湖沼、ため池等を含む陸水生態系を対象とする論文が突出して多いこと、また森林生態系（里山の二次林を含む）、農地生態系、都市生態系を対象とする研究が第二グループを形成し、沿岸・海洋生態系、島嶼生態系、複合景観・風景に関する研究は限定的であることがわかった。研究対象とされた動植物の類型別では、植物が最も多く、次いで魚類・両生類、その他、昆虫、鳥類と続いた。研究分析の空間スケールを見てみると、公園・調査区・サイト（プロット）スケールを対象としている研究が最も多く、次いで流域・集水域スケール、市区町村スケールが多かった。さらに、テキストマイニングによって研究対象の時系列変化、人と自然との関係性についても対象175編について分析・可視化した。そのうえで、自然生態系と生物多様性、そしてそこから得られる自然の恵みである生態系サービスに関する国際的な動向を整理し、今後のこの分野での潜在的な研究課題を提示した。

Key Words : natural ecosystem, literature review, ecosystem type, text mining, ecosystem services

1. はじめに

本稿は、2000年から2017年にかけて環境システム研究論文集で出版された計914編のうち、自然生態系を対象とした論文175編についてレビューした結果をまとめたものである。

図-1に環境システム研究論文集全体での論文数とそのうちの自然生態系論文数の2000～2017年の推移を示した。レビューは、主にタイトル、和文アブストラクトを中心に行い、必要に応じて本文で詳細を確認した。環境システム研究として、これまでどのような自然生態系を対象とした研究が行われ、どのような空間スケールで分析がなされ、そしてどのような研究アプローチが用いられてきたのか、という視点からレビューを行った（第2節）。また、人と自然との関係性の取り扱い方についても対象175編について簡易分析を行った。

次に、生物多様性と生態系サービスに関する科学－政策インターフェース（第3節）について俯瞰的に概説し、それを踏まえて、自然生態系分野での今後の研究課題（第5節）を論じた。

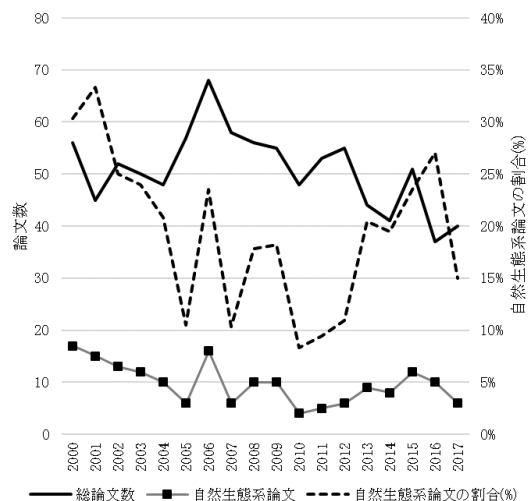


図-1 環境システム研究論文集での論文数と自然生態系論文数の2000～2017年の推移

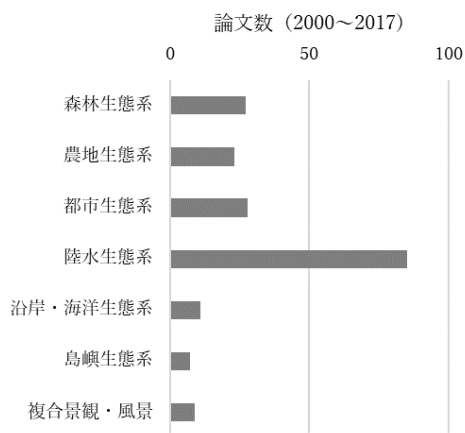
2. 環境システム研究対象として自然生態系

環境システム研究は、変動はあるものの一定の割合で自然生態系を対象とした研究が発表されてきた（図-1）。2000～2004年にかけては年間論文数の20～33%が自然生態系の研究であり、その後減少に転じ、2006年を除いて2005～2012年までは8～18%であった。2013年以降、自然生態系の研究の割合が増加に転じ、2016年の割合は27%に達したが、直近の2017年の割合は15%であった。

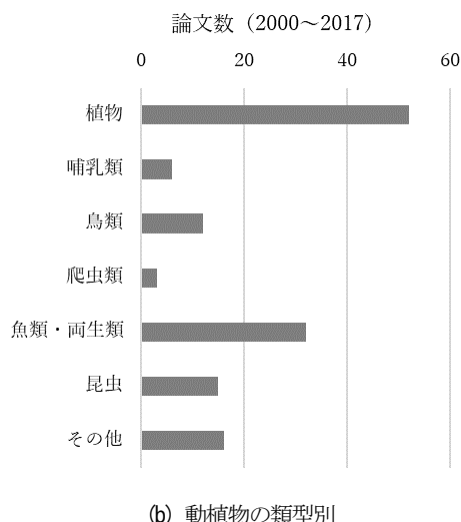
(1) 研究対象の自然生態系

レビュー対象の175編がどのような自然生態系を対象としているかをまとめたのが図-2である。生態系の分類（図2, a）は、環境省が2016年に発表した『生物多様性及び生態系サービスの総合評価（JBO2）』（環境省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, 2016）で用いられている森林生態系から島嶼生態系までの6分類に「複合景観・風景」を加えたものである。

その結果、河川、ダム湖、湖沼、ため池等を含む陸水生態系を対象とする論文が突出して多いことがわかった（図2, a）。ついで、森林生態系（里山の二次林を含む）、農地生態系、都市生態系を対象とする研究が第二グループを形成し、沿岸・海洋生態系、島嶼生態系、複合景観・風景に関する研究は限定的であった。また、研究対象とされた動植物の類型別では、植物を対象とした研究が最も多く、次いで魚類・両生類、その他、昆虫、鳥類と続いた（図-2, b）。陸水生態系を対象とする研究の多くは、河川植生と水生生物との関係を扱うものが多かったことから、このような結果になったと考えられる。また、哺乳類や爬虫類を対象とする研究は限定的であることが判明した。



(a) 生態系のタイプ別



(b) 動植物の類型別

図-2 環境システム研究で対象とされた自然生態系

(2) 研究分析の空間スケール

レビュー対象175編での研究分析の空間スケールを見てみると、公園・調査区・サイト（プロット）スケールという最も狭い場所を対象としている研究が最も多かった。これは生態系を対象とした野外調査では、比較的小規模のプロットを複数設置して実施されるケースが多いことを反映していると解釈できる。空間スケールでは、次いで流域・集水域スケール、市区町村スケールでの研究が多かった（図-3）。また、環境システム研究の自然生態系以外の分野では国スケールやグローバルスケールを対象とした研究がしばしば見受けられるが、自然生態系分野ではグローバルや国スケールの研究は多くないことがわかった。

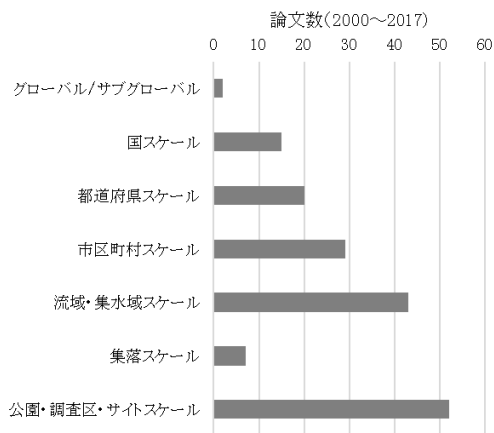


図-3 自然生態系研究での空間スケール

(3) 対象とする自然生態系への研究アプローチ

図-4のように、レビュー対象175編について研究アプローチを15分類した。環境システムでは各論文でも複数のアプローチを併用していることが多く、1論文あたり平均で2つのアプローチが用いられていた。

研究アプローチで最も多かったのは、対象とする生物群集・個体群調査とその生物に影響を与える環境要因を分析するものであり、この二つのアプローチは通常ひとつの論文のなかでセットとして分析されていた。次いで多かったのは空間情報分析であり、第三グループには、室内実験、環境負荷等の定量的測定・分析、環境認知評価、施設・政策効果評価などが含まれた。なお、このうち環境負荷等には、エコロジカル・フットプリント指標を含む研究が多く含まれていることを付記しておく。

生態系サービス研究は、2005年のミレニアム生態系評価（Millennium Ecosystem Assessment, 2005; MA）¹⁾が公開された以降に見られるようになったが、本格的に研究が増えたのは2012年の生態系サービス及び生物多様性に関する科学-政策プラットフォーム(IPBES)の設立以降である。この点については、次の(5)のテキストマイニングによる時系列分析においてその詳細を論じた。

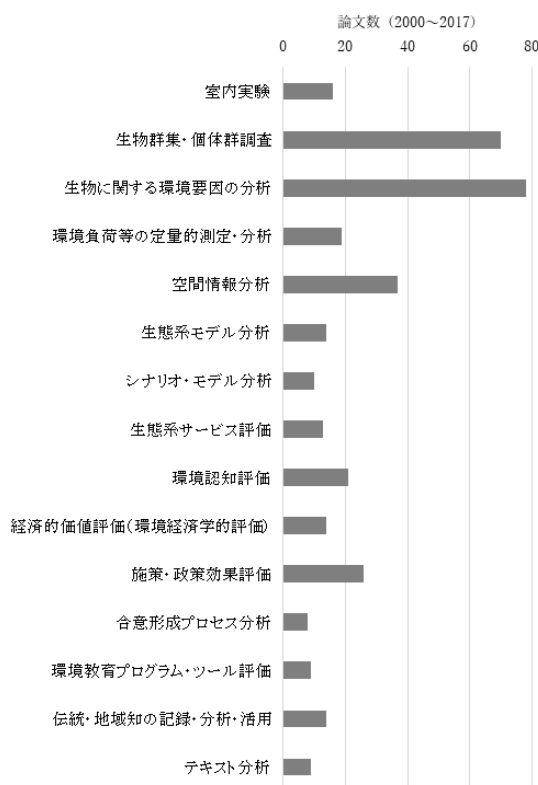


図-4 対象とする自然生態系への研究アプローチ

(4) 自然と人との関係性

レビュー対象175編のうち約3分の1の論文では、研究対象の特定の生き物そのものとその環境要因（人的・社会的な要因を含まない）に関するものであり、これらについては「人とのかかわり無し」として扱った（表-1）。人とのかかわりが有る研究については、「自然から人への影響」、「人から自然への影響」、「人と自然の相互関係」の3区分で集計した。自然から人への影響には被害等が含まれる。その結果、環境システム研究での自然生態系研究の6割近くが人と自然の相互関係を扱っていることが判明した（表-1）。これは、環境システム研究が、もともと環境を人および人の生活する社会との関連のもとでシステムとしてとらえることをテーゼにしていることを反映しているものと考えられる。

表-1 自然生態系研究での自然と人との関係性

	論文数	割合%
人とのかかわり無し	59	33.7
人とのかかわり有り	自然から人への影響	3
	人から自然への影響	14
	人と自然の相互関係	100
計	175	100.0

(5) テキストマイニングによる時系列分析

2(3)でも示したように、MA¹⁾の公開は、自然生態系を対象とした研究のフレーミングに対して、極めて大きな示唆を与えたと考えられる。そのためレビュー対象175編を対象に、各論文の最も重要な論点、対象物、分析方法が示されているキーワード（英語）に対してテキストマイニングを行った。この時、特にMAの出版年である2005年の前後でデータを分割し、どのような点に差異が生じたかを観察した。a) 2000-2005年、b) 2006-2017年に所属する論文数はそれぞれ、73編と102編である。結果を図-5に示す。図はワードクラウド形式で表現しており、単語の空間配置はランダムであり、出現回数に応じて文字サイズが大きく色が濃くなっている。総単語数1,011のうち、2000-2005年のみ、2006-2017年のみ、両方に出現した単語の割合はそれぞれ30%、39%、31%であり、2時点間の研究対象が大きく変化しているといえる。

（図-5, a）に見られるように、2005年までは特に個々の生態系種（forestやriver, lake）での植生（vegetation）や群落（community）、景観（landscape）の構造（structure）を対象として、様々な動物相の生息地（habitat）と種（species）の評価と管理（evaluation, management）を中心とした研究が行われていたことが見て取れる。一方で（図-5, b）が示すように、MAで生態系サービス（ecosystem services）の概念が整理され、それに沿った科学的評価が体系的に行われたことを契機に、こ

れまでの自然生態系関連の研究の生態系の状態量であるストックの研究に加えて、そのストックが生み出す自然の恵み（water, fishなど）のフローに着目した研究がなされるようになった。さらには人間界が自然界に与える影響（impact）やfootprint、保全（conservation）という考え方の重要性、流域単位（basin）や都市域（urban）における生態系管理（ecological management）などが観測されるようになった。自然生態系関連の研究の多様性が広がったことが示されている。



図-5 年代別のキーワード中の単語の出現頻度によるワードクラウド

3. 生物多様性と生態系サービスに関する科学—政策インターフェース

2012年4月，生物多様性分野におけるIPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change; 気候変動に関する政府間パネル）としてIPBES（Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services; 生物多様性及び生態系サービスに関する政府間プラットフォーム）が設立され，世界規模で生態系サービスの科学的評価が定期的実施されることになった。IPBESは（1）科学的評価，（2）能力開発，（3）知識生成，（4）政策立案支援の4つの機能を柱とする。IPBESは，意思決定機関として全加盟国が参加する総会とIPBESの管理運営機能を担うビューロー，IPBESの活動を科学・技術的な側面から支える学際的専門家パネルで構成される。2013年12月の第2回総会では，2014年から5か年の作業計画が議論され，以下の4つの目的の作業計画の詳細が承認された。

目的1は，IPBESの主要機能を実施するための科学と政策のインターフェースの能力と知識基盤の強化を目的として，能力養成ニーズの優先順位づけや先住民及び地域住民の知識体系（Indigenous and Local Knowledge; ILK）との協働のためのガイドライン作成が行われることになっている。目的1に関しては，期限付・タスク特定のタスクフォースが立ち上げられることになった。目的2は，主に準地域，地域，地球規模での生物多様性と生態系サービスに関するアセスメントに関する作業計画であり，目的3は，テーマ別，方法論的課題に関する生物多様性及び生態系サービスのアセスメントの作業計画である。IPBESではテーマ別アセスメントや迅速アセスメントなど，MAにはなかったアセスメントが作業項目として組み込まれ，テーマ別に専門家グループが形成されることになった。目的4では，各種アセスメントに要する情報とデータの管理しながら，アセスメントの成果や結果をいかに伝達し，政策支援や能力養成につなげるか，IPBES全体のプロセスの有効性をいかに評価するのかの作業計画が定められている。目的1と同様に，情報・データ管理はタスクフォースが設定されることになった。

IPBESの概念枠組みは，人間と自然の間の複雑な相互作業を高度に簡略化したモデルであり，その主要な構成要素と要素間の関係，IPBESの目標との関係が記述されている²⁾。多様な学問領域の研究者，政策立案者，地域社会の関係者など，多様なステークホルダーが共通理解もとで協働してIPBESの作業計画を実施していくためには，この概念枠組みが共通の知的基盤になる。MA¹⁾では，①人間と生態系の要素との間には動的な相互作用があり，人間の状態を変えることが直接的・間接的に生態系に変化をもたらし，その生態系の変化がひるがえって人間の福利に変化を引き起こしている，②そのような生

生態系サービスと人間の福利との間の相互作用は単一スケールで生じるだけでなく、複数の時空間スケールにまたがって生じる、という仮説のもとで概念枠組みが構成されていた。IPBESで作成された概念枠組みでは、MAと異なり、①自然（生物多様性と生態系）が独立した構成要素として明示的に組み込まれ、②人間の福利に直接的に影響を与える因子として、生態系サービスだけでなく人為的資産（Anthropogenic assets）が明示的に追加されたほか、③制度とガバナンスが、直接・間接的な変化要因、生態系サービス、人為的資産のそれぞれの要素に働きかける因子として明確に位置づけられた³⁾。特に、日本などの先進国では、人間の福利は生態系サービスだけに依存しているわけではなく、社会インフラや生産基盤、生産技術、金融、輸入品を含めて人為的資産が果たしている役割が無視できない。また、生物多様性と生態系サービスの評価ではこれまで生態学者など自然科学者が中心的な役割を果たしてきたが、MA以降にアセスメントの実施やその成果の社会実装における社会科学分野の知見が果たす役割に対する認識は大きく変化してきた。IPBESでも同様の認識が持たれており、制度やガバナンスは概念枠組みの中心的な要素として配置されている。

一方、日本国内では、里山・里海がもたらす生態系サービスの重要性やその経済および人間開発への寄与について、科学的な信頼性を持ち、かつ政策的な意義のある情報を提供することを目的として、2006年後半から日本の里山・里海評価（JSSA; Japan Satoyama. Satoumi Assessment）⁴⁾が計画され、その成果は2010年10月の愛知県名古屋市での生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）にて報告された。JSSAでは、里山・里海のランドスケープは過去50年間に大きく変化し、生物多様性を失い、システムとしての回復力が低下したこと、里山の変化は、近年では経済のグローバル化、人口減少、都市化といった要素の複合による里山の利用低減によるところが大きいこと、里海については、乱開発、汚染、気候変動による変化が挙げられることが指摘された。また、これまでに行われてきた対応策は個別的なものが多く効果が限定的だったが、市民参加に基づく統合的なアプローチが増加しつつあり、効果的な生物多様性の保全と生態系サービスの利用に向けた更なる進展が期待されることが指摘された。さらに、多様な主体との協働によって、生態系サービスという公益を提供する里山・里海の生態系を持続的に維持する社会制度として「新たなコモンズ」の創造が必要であるとの提案がなされた。

IPBESと並んでこの分野における国際的な動きとして重要なのが、「統合的地球環境研究プログラム：Future Earth（FE）」である。地球環境変化研究は、これまで4つの国際プログラム（WCRP, IGBP, DIVERSITAS, IHDP）によって進められてきた。しかしながら、人類

活動による地球システム変化の理解に基づく人類・生命圏の持続的な生存基盤の追及には、自然科学と人文・社会科学との文理融合の学際的研究が必要であり、さらに持続型社会への転換には科学者と社会の様々なステークホルダーとの超学際的連携・協働が必要である。FEはこのような学際的研究と、超学際的な連携・協働のための国際的な枠組みとして設計され、現在、国際科学会議（ICSU）、国際社会科学協議会（ISSC）、国連環境計画（UNEP）、国連大学（UNU）、国連教育科学文化機関（UNESCO）、国際研究資金配分機関（IGFA）、ベルモントフォーラム（BF）の7つのアライアンスの連携で進められている。2014年7月には恒久国際事務局を担う組織として、日本を含む5ヶ国による分散型連携事務局連合が選定された。

グローバル規模での生物多様性に関する総合的な評価としては「地球規模生物多様性概況」（Global Biodiversity Outlook; GBO）が4期に渡って公表されてきた。2014年10月の生物多様性条約COP12で公開されたGBO-4では、「Rio+20のための持続可能な発展シナリオ」に基づいて生物多様性条約戦略計画2011-2020で示された2050年ビジョン（2050年までに、生態系サービスを維持し、健全な地球を維持し全ての人に必要な利益を提供しつつ、生物多様性が評価され、保全され、回復され、賢明に利用される）と2020年までの20の個別目標を定めた愛知目標の達成可能性についての検討結果が含まれている。

GBOの日本版として実施されたのが、日本の生物多様性の総合評価（Japan Biodiversity Outlook; JBO）である。JBOでは、環境省が日本の森林、農地などの生態系の区分ごとに、評価のための指標を設け、各指標の推移を説明するデータを基に、生物多様性と生態系サービスの過去からの変化と現状の評価が行われ、2010年5月に第一次評価書、2016年3月に第二次評価書が公表された⁵⁾。

国際的には、欧州委員会とドイツにより研究プロジェクト「生態系と生物多様性のための経済学」（The Economics of Ecosystems and Biodiversity; TEEB）が提唱され、2008年5月に第1フェーズの成果として中間報告が発表され、現在はプロジェクトの第3フェーズとして、各国のTEEBの取り組みを支援することで、政策決定における生物多様性の価値の主流化の実践が進められている。

このほか、生物多様性や生態系サービスとした調和を含めた伝統的な農業文化を地域認定する仕組みとして、国連食糧農業機関（FAO）が2002年から開始した世界農業遺産（Globally Important Agricultural Heritage Systems; GIAHS）がある。GIAHSは、社会や環境に適応しながら何世代にもわたり発達し、形づくられてきた農業上の土地利用、伝統的な農業とそれに関わって育まれた文化、景観、生物多様性に富んだ、世界的に重要な地域を次世代へ継承することを目的としたプログラムである。

4. 今後の潜在的な研究課題

IPBESの概念枠組み²⁾では、人間の福利の構成要素として、IPBESや生物多様性条約の基本的な理念ともいえる自然共生 (Living in harmony with nature) の概念が明記された。「自然共生」は、わが国の「21世紀環境立国戦略」(2007年6月閣議決定)や生物多様性基本法(2008年制定・施行)にも示されている概念である。この概念は、日本をはじめとするアジア地域に広く散見されるほか、ラテンアメリカ地域にも「母なる地球との共生」という類似の概念がある。これはMAの概念枠組みが欧米的・功利主義的であるという批判があったのに対し、IPBESでは様々な世界観や自然観が反映できるような新たな概念枠組みづくりが進められた結果でもある。ただし、このような多様な価値観や自然観の尊重をいかに科学的な評価に組み込んでいくのか、そしてそれをどのようにガバナンスにつなげていくのか、先行モデルであるIPCCではほとんど扱われてこなかった課題群に取り組んでいくことがIPBESには求められている。

一方、生物多様性と生態系サービスの低下に対して、非組織的に個別アプローチで場当たり的に対応するのではなく、熟慮した適応と緩和の戦略を通して変化を予測し、その結果として悪影響を最小限にしつつ重要な好機として捉える先見的な対応が必要となる。生態系のように不確実性と複雑性の高い課題に将来シナリオ分析が求められるのは、生態系管理では事後的 (reactive) に対応するのではなく、事前対応 (proactive) に具体的な選択肢 (オプション) を明らかにすることが有効だからである。近年、生物多様性と生態系サービス分野では、社会経済シナリオとそれと連動したモデル開発が活発に進められている^{6,7,8)}。

以上を踏まえると、今後、自然生態系・生物多様性・生態系サービスの管理・ガバナンスには、以下の課題があげられる。

- (a) 先住民及び地域住民の知識体系の科学的評価及びガバナンスの組み込み
- (b) 生態系サービスの経済評価に基づく管理・政策介入支援
- (c) 生態系サービスをめぐるシナジーとトレードオフの評価とそれに基づく管理の方法の確立 (生態系サービスの受益負担構造の科学的評価とそれに基づく管理の仕組みの提示)
- (d) 生物多様性に関する将来シナリオとモデリングによる中長期変化の予測
- (e) 異なる生態系タイプ地域での長期的・広域的なモニタリングの継続
- (f) 国境を超えたサプライチェーンでビジネス展開して

いる企業による取組み強化とパートナーシップ強化 (サプライチェーンを通じた生態系や生物多様性に対する基準づくりとそのための技術開発を含む)

- (g) 研究成果による政策立案支援と多様なステークホルダーとの協調・協働

参考文献

- 1) Millennium Ecosystem Assessment (MA): Ecosystem and human well-being – summary for decision makers. Island Press, Washington, DC, 2005.
- 2) Dr'az, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J.R., Arico, S., Ba' ldi, A., Bartuska, A., Baste, I.A., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K.M., Figueroa, V.E., Duraipapp, A., Fischer, M., Hill, R., Koetz, T., Leadley, P., Lyver, P., Mace, G.M., Martin-Lopez, B., Okumura, M., Pacheco, D., Pascual, U., Pe' rez, E.S., Reyers, B., Roth, E., Saito, O., Scholes, R.J., Nalini Sharma, Tallis, H., Thaman, R., Watson, R., Yahara, T., Hamid, Z.A., Akosim, C., Al-Hafedh, Y., Allahverdiyev, R., Amankwah, E., Asah, T.S., Asfaw, Z., Bartus, G., Brooks, A.L., Caillaux, J., Dalle, G., Darnaedi, D., Driver, A., Erpul, G., Escobar-Eyzaguirre, P., Failler, P., Fouda, A.M.M., Fu, B., Gundimeda, H., Hashimoto, S., Homer, F., Lavorel, S., Lichtenstein, G., Mala, W.A., Mandivenyi, W., Matczak, P., Mbizvo, C., Mehrdadi, M., Metzger, J.P., Mikissa, J.B., Moller, H., Mooney, H.A., Mumby, P., Nagendra, H., Nesshlover, C., Oteng-Yeboah, A.A., Pataki, G., Roue', M., Rubis, J., Schultz, M., Smith, P., Sumaila, R., Takeuchi, K., Thomas, S., Verma, M., Yeo-Chang, Y. and Zlatanova, D.: The IPBES Conceptual Framework — connecting nature and people, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14:1–16, 2015.
- 3) 橋本禪・齊藤修: 農村計画と生態系サービス (農村計画学フロンティア 4), 農林統計出版, 2014.
- 4) 国際連合大学高等研究所・日本の里山・里海評価委員会 (編): 里山・里海 自然の恵みと人々の暮らし, 朝倉書店, 2012.
- 5) 環境省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: 生物多様性及び生態系サービスの総合評価報告書 (JBO2). 2016. Available at http://www.env.go.jp/nature/biodic/jbo2/pamph01_full.pdf
- 6) Saito, O., Kamiyama, C., Hashimoto, S., Matsui, T., Shoyama, K., Kabaya, K., Uetake, T., Taki, H., Ishikawa, Y., Matsushita, K., Yamane, F., Hori, J., Ariga, T., Takeuchi, K.: Co-design of National-Scale Future Scenarios in Japan to Predict and Assess Natural Capital and Ecosystem Services, *Sustainability Science*, <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0587-9>, 2018.
- 7) Matsui, T., Haga, C., Saito, O., Hashimoto, S.: Spatially explicit residential and working population assumptions for projecting and assessing natural capital and ecosystem services in Japan, *Sustainability Science*, <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0605-y>, 2018.
- 8) Shoyama, K., Matsui, T., Hashimoto, S., Kabaya, K., Oono, A., Saito, O.: Development of land use scenarios using vegetation inventories in Japan, *Sustainability Science*, <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1085-7>, 2018

(2018. 8. 24受付)

NATURAL ECOSYSTEM OF ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH AND FUTURE RESEARCH PROSPECT

Osamu SAITO and Takanori MATSUI

This study summarizes the major findings from the literature review of all papers published by Environmental Systems Research (Japan Society of Civil Engineers) from 2000 to 2017. Among the total 914 papers, we identified 175 papers regarding natural ecosystems. By reviewing these 175 papers, we found that the number of papers focusing on inland water ecosystems such as river, lake, and pond is outstanding, followed by forest ecosystems including secondary forest, agri-ecosystem, and urban ecosystem. There were a limited number of papers focusing on coastal-marine ecosystem, island ecosystem, and mixed landscapes. Plant was the most popular target, followed by fish & amphibian, insect, and bird. In terms of spatial scale of studies, we found nearly one third of researches were conducted at park or plot scale which is the smallest category in our analysis. This review paper also indicated the changes in research focus from 2000 to 2017 through text mining method, and examined how 175 papers treated relationship between human and nature. Toward the end of this review paper, we provided an overview of international trend and initiatives regarding natural ecosystem, biodiversity and ecosystem services, and finally proposed potential future research agendas for this research field.