ムーンショット型研究開発事業
新たな目標検討のためのビジョン策定

「強靭な生態-社会共生体を実現するための
テクノロジーに関する調査研究」
調査研究報告書

令和３年７月

目標検討チーム/Brainstorming Team「生態-社会システム共生体化」
チームリーダー：近藤 倫生（東北大学 大学院生命科学研究科 教授）
サブリーダー：村岡 裕由（岐阜大学 流域圏科学研究センター 教授）
チームメンバー：桑江 朝比呂（海上・港湾・航空技術研究所
港湾空港技術研究所 グループ長）
竹内 やよい（国立環境研究所 生物多様性領域 主任研究員）
土居 秀幸（兵庫県立大学 大学院情報科学研究科 准教授）
中村 圭吾（土木研究所 水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員）
深谷 肇一（国立環境研究所 生物多様性領域 主任研究員）

Contents（目次）

I. Concept（MS 目標案のコンセプト）

1. Proposed MS Goal（MS 目標案）

1.1 Proposed MS Goal title（MS 目標案の名称）

1.2 Vision for 2050 society（実現したい 2050 年の社会像）

2. Targets（当該 MS 目標の達成シーン。2050 年（及び 2030 年）に何が実現しているか）

3. Background（当該 MS 目標を設定した理由及び、目標達成の社会的意義等）

3.1 Why now?（当該 MS 目標の設定や目標達成に向けた取組みが、今必要である理由）

3.2 Social significance（目標達成の社会的意義）

3.3 Action outline（当該 MS 目標の達成に向けた社会全体の取組み概要）

4. Benefits for industry and society
（当該目標達成によりもたらされる社会・産業構造の変化）

II. Analysis（統計・俯瞰的分析）

1. Essential scientific/social components
（当該 MS 目標を達成するための課題（科学技術的・社会的課題）や必要な取組）

2. Science and technology map
（当該 MS 目標を達成するために取り組むべき研究開発の俯瞰）

3. Japan's position in overseas trends
（当該目標に関連する研究開発の動向（全体）、海外動向及び日本の強み）

III. Plan for Realization（社会像実現に向けたシナリオ）

1. Area and field of challenging R&D, research subject for realization of the Goals（挑戦的研究開発の分野・領域及び研究課題）

2. Direction of R&D for realization of Goals
（2030 年・2040 年・2050 年のそれぞれにおける、達成すべき目標（マイルストーン）、マイルストーン達成に向けた研究開発、これによる波及効果）

3. International cooperation（目標達成に向けた国際連携の在り方）

4. Interdisciplinary cooperation
（目標達成に向けた分野・セクターを越えた連携の在り方）

5. ELSI（Ethical, Legal, Social Issues）
（目標達成に向けて取り組む上での倫理・法的・社会的課題及びその解決策）

IV. Conclusion（結論）

V. References（参考文献）

I. Concept（提案する MS 目標案のコンセプト）

1. Proposed MS Goal（MS 目標案）

1.1 Proposed MS Goal title（MS 目標案の名称）

2050 年までに、自然生態系と社会システムが調和的に接続され相利的に発展する強靭な生態-社会システム共生体を実現

1.2 Vision for 2050 society（実現したい 2050 年の社会像）

我が国の豊かな自然は、自然のインターネット(Internet of Nature)により社会につながれ、大規模で高解像度のデータから状態把握と予測を行う科学技術により適正に保全・利用され、持続的な社会と幸福な暮らしを支える。巨大な複雑系である「自然」と「社会」を調和的に接続する科学技術イノベーションは、経済と環境の対立構造を 180 度転換するパラダイムシフトを起こし、その結果、豊かな自然が社会を支え、社会が自然を支える win-win の関係（生態-社会システム共生体）が実現する（**図 1**）。自然生態系の自然資本としての利活用は、私たちの暮らしの向上と健康増進、精神的な充足を同時に引き起こし、個人の幸福の基盤となる。また、自然が社会の基盤であることが人々に認識されることで、自然資本の適切な管理が強化され、より安定的で強靭な社会への自律的発展が生じる。

持続可能な社会は、高度な自然・社会情報をもとに適切な土地利用ゾーニングがなされ、自然生態系の潜在能力が最大に活用されることで実現する。自然資本は、資産としての価値のみならず、それらを活用した新しい産業の創出、コミュニティ内外の協働など、多面的なニーズと活動を促す原動力となり、その価値は人々に広く認識される。我が国の豊かな風土を形作る各地域の自然や文化の情報から「地域らしさ」が発掘・再発見され、地域ブランディングやアイデンティティの確立を通して、地域への愛着が増進され、それが日本全体の風土の多様性と魅力を引き上げる。さらに、各地域の自然生態系は、不確実性の高い気候変動影響による極端現象に対応するインフラとして利用され、順応的管理によって社会の強靭性を高めている。また、私たちの資産である自然生態系の利用とそのコストは「見える化」され、公平な自然資本の配分が達成している。これらのシステムの基盤となる科学技術は国際的にも展開され、国境を越えた自然資本の分配の課題も同時に解決する。

図 1. 2050 年の社会像「生態-社会システム共生体」のイメージ　生態-社会システム共生体化がもたらす持続性と幸福が同時に実現する社会の風景は、一見、平凡に見えるかもしれない（**a**）。しかしそこでは、大規模生態系情報が活用され、巨大な複雑系である「自然」と「社会」を調和的に接続する科学技術イノベーションが自然と社会の相利的な「共生関係」を支えている（**b**）。大都市一極集中、人口減少、地球温暖化、生態系の改変は共生体化によって回避・抑制できる（**c**）。

2. Targets（当該 MS 目標の達成シーン。2050 年（及び 2030 年）に何が実現しているか）

(1) 2050 年までに、高度な観測から得られた生態系情報が適切に活用され、豊かな生態系が持続可能な社会、幸福な社会を支えている

生態-社会システム共生体では、高度な生態系情報を人間社会にもたらす観測システムが「感覚器・神経」のように配備され、自然のインターネット（Internet of Nature ; IoN）とも呼ぶべき生態系情報網が構築されている。さまざまな観測手段によって獲得された生態系情報は、生態系観測・情報の基盤である NbS プラットフォーム （Nature-based Solutions Platforms ; NbS-PF）において統合され、地域社会の情報と合わせて分析されることで、生態系の状態を把握・評価・予測するためのツール群が提供・開発・集積される(**図 2**)。NbS-PF は、地域の自治体や企業、研究機関、地域住民が連携・協働して、生態系・生物多様性を有効に利用・考慮した社会課題解決を実現するためのデジタルエコシステムとして機能する。都市の情報を集積・利用するプラットフォームが「都市 OS」と呼ばれるように、NbS-PF はその役割に着目すれば「自然 OS」と呼ぶことができるだろう。そこでは、生態系サービスを持続的かつ最大限に引き出し、また生態系ディスサービス（人間社会が生態系から被る被害）を回避するためのアプリケーション群（Nature-based Solutions Applications ; NbS-Apps）が、市民の参加のもと開発・共有・利用され、地域住民による生態系の協働ガバナンスを実現する。複数地域の NbS-PF は相互に連結され、生態系を通じて連関する地域間の利害不一致を解消し、協力を促進することで、巨大な生態系の公平で持続的、かつ効率的な利用を促進する。この NbS-PF を基盤に開発される NbS-Apps を利用して多様な社会課題を解決するシステム全体を本提案では NbS システム（Nature-based Solutions Systems ; NbS System）と呼ぶ。NbS システムを利用することで、地域住民は地域生態系の利活用と保全での中心的役割を果たすことができる。生態系情報を活用することで、環境-社会-産業が健全かつ自律的に循環し機能する持続可能な社会が成立し、我が国の地域性豊かな生態系が保全される。2050 年「生態-社会システム共生体化」の達成は、生態系情報が実際に人間社会にとって欠かせないインフラとなることで確認される。それにより、(1) 生態系情報の利活用が生態系サービス増大やディスサービスの低減をもたらし、その結果、(2) NbS システムが社会全体にもたらす便益が NbS-PF 構築・維持にかかるコストを上回ることで、(3) NbS-PF が必要不可欠なインフラとして整備・維持・拡大される。

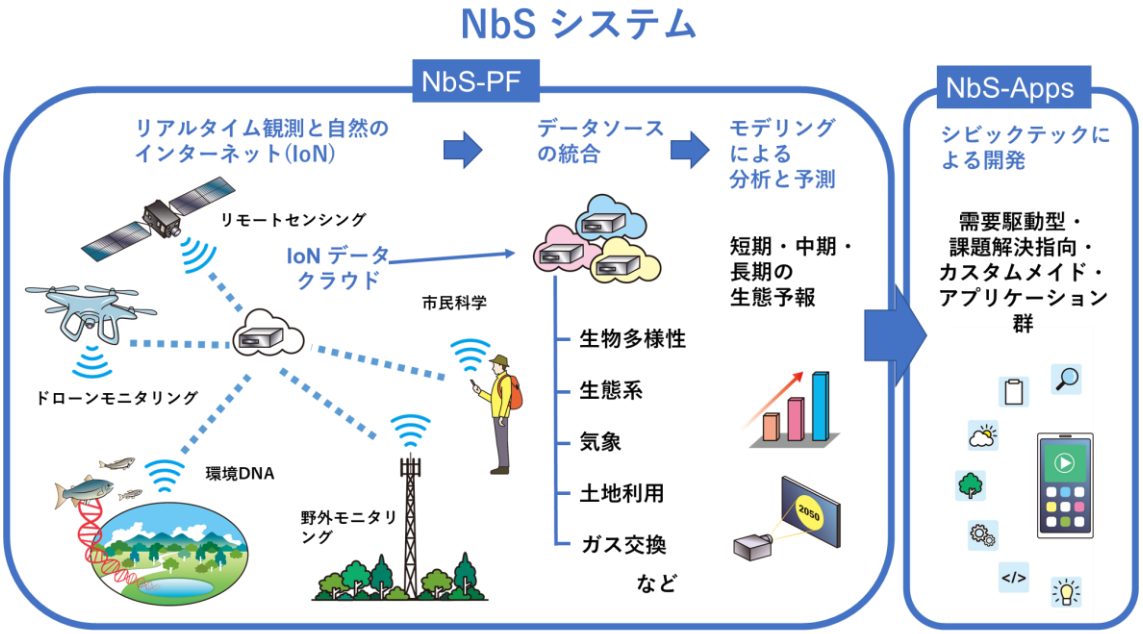


図 2. NbS システムのフレーム　自然生態系のリアルタイム観測から得られた情報が IoN によって人間社会に提供され、生態系ビックデータとしてデータクラウドに蓄積される。NbS-PF において、それらのデータは収集された他のデータソースと統合される。集積した生態系ビックデータを用いた高度なモデリングにより生態系の短期～中長期的な予測が可能となる。それらのプロダクトが civic tech の助けも受けながら、地域のニーズや課題の解決のために個々にアプリケーション（NbS-Apps）として開発される。

2030 年までには複数のモデル地域において、NbS-PF に不可欠な水産資源や森林資源、生物多様性、炭素固定機能といった重要な生態系要素の観測が実施もしくは拡大され、NbS-PF と複数の NbS-Apps が産業や生活に利用されている。これらのモデル地域では、日常生活の様々なシーンでも生態系情報が活用される（**図 3**）。誰もが情報端末等を用いて地域の生態系情報にアクセスでき、身近な自然に親しむ観光（花見やホタル狩り、モミジ狩りなどの野生生物ウォッチング）や釣りに代表されるレジャーにおいても活用される。さらに、NbS-Apps では、都市部や他の地域においても地域における自然体感型アクティビティを追体験できるものとして利用ができ、モデル地域の自然への愛着が「波及」する。また、生態系情報により生態系機能に注目した科学的な生態系利用が可能になり、社会全体の生産性も高められる。例えば、森林や藻場の炭素固定量が適切に評価されることで、カーボンオフセット制度を通じた地方への資金の環流が促進され、地球温暖化対策と地域振興が一体的に促進される。沿岸地域では貝毒等の有害プランクトンの発生予測が養殖に利用されたり、水産資源の適切な状態把握により水産業の収益が増大したりする。これらモデル地域では、高度生態系情報に基づいた気候変動・利用・開発等の影響予測が実現し、意思決定オプショ

ンに反映される。

図 3. MS 目標によって実現する日常の風景 共生体化された社会では、さまざまな生態系情報を生活シーンの中で日常的に利用することができる。IoN によって、自然がインターネットに繋げられ、私たちの生活を豊かにするとともに、持続的な生態系利用を可能にする。

(2) 2050 年までに、自然生態系が人類の幸福の基盤であることが正しく認識され、人間活動は豊かな生態系を支える役割を担う

NbS システムは、生態系利活用だけではなく、住民や企業の価値・行動変容を促すためのシステムでもある。地域住民による生態系観測や社会課題解決への参加は、住民の身近な生態系の理解を促進するだけでなく、地域の自然への愛着やシビックプライド（住民としての誇りと責任感）を増進する。NbS システムは環境教育・学習に活用されることによっても住民の価値変容を促進する。地域の生態系情報を利用した環境教育・学習が実施され、地域固有の生態系の成り立ちや重要性についての科学的な知識が提供されることで、自然生態系が日々の安全な生活や幸福の基盤であることが正しく認識される。また、NbS システムに基づき企業の事業活動を含む多様な人間活動の生態系インパクトや生態系サービスへの依存性が「見える化」されることで、責任意識が芽生え、購買活動や投資行動を変容させるほか、豊かな生態系を支える事業やコミュニティ活動が促進される。ステークホルダー間で目標が共通する環境課題については、NbS システムがステークホルダー間の協力関係（collaboration）を促進して課題解決に貢献する一方で、生態系利用の方法に関する利害調整が必要となるより高度で重層的な社会課題については、NbS システムを利用した調整（coordination）が促進される。その結果、様々な人間の社会経済活動が自立分散的に豊かな生態系を支える役割を果たせるようになる。2050 年目標の達成は、自然生態系からの受益と過負荷が科学的に算出されて完全に「見える化」し、その評価が社会システムや市場に適切に取り入れられ、さらに自然生態系の保全や回復などの行動につながっていることで確認できる。具体的には、(1) NbS-PF による観測・データ取得・解析・予測が社会に実装されて自然生態系や生態系サービスが「見える化」され、(2) 政策決定や地域の合意形成が

NbS-Apps を利用することで科学に基づいて実施され、(3) 自然再生回復及び生態系サービスの増大と、自然資本の減耗の最小化によって実質的な損失を効果的にゼロ（ノーネットロス）もしくはポジティブインパクト（ネットゲイン）の状態に到達することが客観的な判断材料となる。

2030 年までには、複数のモデル地域において、NbS-PF の導入と NbS-Apps の開発によって、地域住民は情報端末等を通じて、身近な自然の豊かさや恵み、その空間分布や時間変化、そして自らの様々な行動が生態系に及ぼす影響をいつでも手軽に知ることができるようになる。自然と生活とのつながりが「見える化」される結果、自然生態系の価値が住民に認識され、地域の自然を守り育てようという機運が地域コミュニティに醸成されるとともに、地域の自然の価値を評価・啓発するための活動が住民によって運営される。例えば、地域住民が自ら地域生態系の生態系観測を実施し、その情報を利用した教育・学習活動や、地域生態系の利用に関する合意形成が実施される。また、地域経済・産業における生態系要素の持続的利用を実現するための生態系管理・利用のルールが作られる。自然再生を目標とする複数のコミュニティの連携や共同が促進され、意図的に相乗効果が生み出される。

(3) 2050 年までに、強靭な生態-社会システム共生体が成立する結果、豊かな自然と人類の幸福が高いレベルで安定・定常的に持続する

NbS システムの活用と企業・住民の意識・行動変容が促進されることで、生態系と人間社会が互いに支え合う「生態-社会システム共生体」が実現する。生態系は、台風や洪水等による撹乱を受けても自己再生する強靭な自然資本としてその価値を最大限まで高められ、人間の幸福や安心安全な生活を支える。生態系情報が役立てられる社会・産業分野は、農林水産業、公衆衛生、温室効果ガス管理、洪水や土砂災害リスク管理、保険など幅広い（専門家インタビュー第一回、第二回、第三回)。生態系を保全・再生する組織や活動に対して行われる ESG 投資の後押しを受け、生態系ビッグデータを活用した新しい産業分野が創生されるとともに、生態系ディスサービスは最小化される。他方、人間社会は、生態系観測網や IoN を通じて獲得した大規模生態系情報に迅速に反応して社会経済活動・生態系への働きかけを随時調整し、生態系の存続・回復を促進する機能的パーツとしての役割を果たす。そこでは自然生態系と社会は、NbS システムによって、地球環境変動や人口減少及び高齢化といった危機に対して強靭な共生体としてまとめ上げられている。本目標の達成は、NbS システムが導入され、自然資本をもとに資源・エネルギーや経済が自律的に循環する地域社会（地域循環共生圏）の実現と、それらの地域が連結されて国レベルもしくは国境を越えたスケールでの持続可能な自然資本の利活用と配分が実現していることで確認される。

2050 年には我が国の人口は 10,192 万人程度と予測されている（国立社会保障・人口問題研究所 2017)。将来の人口減少と高齢化が進んだ社会において、高い幸福度を実現するためには分散型・多極集中型社会の成立は不可欠であるが（専門家インタビュー第六回, 広井

2019)、そのためには(1) 地域社会が地域資源を最大限活用しながら自立でき、(2) かつ地域住民がその生活に幸福を感じることのできる社会システムを構築することが必要となる。NbS システムは、地域社会において自然資本を活かしたゾーニングや産業の発展、人々のコミュニティ内外の連結、地元への愛着の増進に貢献する。地域での個人の体験や情報は、個人・企業・自治体レベルで広く発信され、地域社会間および都市部と接続して、物理的・精神的豊かさが共有される。この時、都市部では NbS-Apps を通じて都市にいながらも、地域の自然や文化を体験することができ、それは個人の幸福につながるばかりでなく、日本の多様な風土や自然環境への興味関心を引き起こす。こういった都市部における自然の価値の認識の変容は、自然資本の経済への取り込み、さらに地域社会とのテレカップリングを容易にさせ、最終的に経済的豊かさを地域へ循環させるシステムへと変容が進むだろう。この多極集中型の生態-社会システム共生体化下地域社会と地域間の結びつき実現できたかどうかは、本目標の成否を判断する達成基準の一つとなる。またこれが達成されれば、出生率の低い大都市への過度な人口集中を避けることや、地方都市の人口減を抑制できることも指摘しておきたい。

2030 年までには、複数のモデル地域において NbS システムが導入され、生態系情報を利用した地域スケールでの生態―社会システム共生体への変容が始まる。具体的には、生態系に関する取り組みへの ESG 投資の呼び込み、エコツーリズム産業を含む地域産業の促進、一次産業における労働生産性の向上等を通じて、地域内の経済循環が高められる。なかでも今後加速すると思われる ESG 投資の投資判断に生態系を組み込む動きを利用することで、生態系情報を活用した経済の活性化が実現する。さらに従来は経済システムの中では考慮されてこなかった自然資本の価値が定量化されるなどして「見える化」し、大都市が地域の自然資源利用の依存の実態が分かれば、資源や資金の配分の在り方についての議論が大きく前進する。

3. Background（当該 MS 目標を設定した理由及び、目標達成の社会的意義等）

3.1 Why now?（当該 MS 目標の設定や目標達成に向けた取組みが今必要である理由）

人新世が始まって以来、資源利用と技術革新によって、先進国を中心に便利な暮らしや経済成長が実現した。しかしその結果、地球システムのうち「気候変動」、「生物多様性」、「土地利用」、「生物地球化学的循環」は、人類が安全に活動できないレベルにまで劣化が進み、人間の環境負荷はプラネタリー・バウンダリー（地球の限界）を越えたと考えられている(Rockström et al. 2009, Steffen et al. 2015)。地球システムの劣化がこのまま進行して不可逆的な変化を引き起こす「転換点（tipping points)」を超えてしまうと、私たちの生活基盤の破壊は加速度的に進行し、元には戻らない危険がある(Lenton et al. 2020)。すでに予断の許さない状況である今こそ、地球システムに過負荷が与えられている現状に歯止めをかけ、人間活動がプラネタリー・バウンダリーの範囲内に収まりながらも社会が発展する持続可能

で幸福な社会と転換するための行動を開始する必要がある。

環境問題の中でも気候変動は社会リスクであるとの共通認識が進み、現在「脱炭素社会」に向けた社会の転換が急速に進んでいる。再生可能エネルギー、化石燃料を使用しない自動車の普及など関連する産業の転換は、今後加速的に進むだろう。この背景には、気候変動科学分野の長年の議論の蓄積や予測技術の発展がある（専門家インタビュー第二回）。一方、生物多様性を含む自然資本に関しては、水、森林、生物多様性、海洋などの自然生態系の要素の変動性も社会経済リスクとして考慮することの必要性が、ようやく指摘され始めたところであり、気候変動分野に比べて大きな遅れが見られる（WWF 2020）。SDGs（持続可能な開発目標）の社会への浸透、環境を中心とした社会への変革のモチベーションが社会的に高まる今、気候変動だけでなく、生物多様性、土地利用、生物地球化学的循環もバウンダリー内におさめ「環境立国」へと転換することが求められる。

自然共生を実現した持続可能な社会像に対しては強い社会的要請がある。最近の G7 サミット声明においても、脱炭素だけでなく、生物多様性の損失を食い止めて反転させるためのグリーン移行にコミットすることを合意している（外務省　2021）。また、「自然共生社会ビジョン」(CBD 2010, 2020)は、生物多様性と生態系の保全と持続可能な利用を実現した社会像として国際社会の共通目標に掲げられている（専門家インタビュー第一回）。このビジョンは、新型コロナウイルス感染症パンデミックからの回復方法に係るオプションの中でも、生物多様性の回復や、将来のパンデミックリスクの低減、自然生態系からの人への恩恵の基盤の提供など複合的な意義があると指摘されている(IPBES 2020)。自然生態系が、社会と経済の基盤となる必要不可欠な要素であることは、社会的に広く認知されており(Millennium Ecosystem Assessment 2005）、SDGs やパリ協定の目標にも位置づけられている。実際、世界経済フォーラム（WEF）は、世界の GDP の 50%以上に相当する 44 兆米ドルの経済価値生成が、中程度または高度に自然に依存しているとして、生物多様性喪失が無視できない経済リスクであることを指摘している（WEF 2020）。民間レベルでも生物多様性課題解決への参画が広く求められており(例えば、日本経済団体連合会 2018)、生物多様性の主流化、ESG 投資、環境金融（グリーンエコノミー）、自然関連財務情報開示タスクフォース(Taskforce on Nature-related Financial Disclosures; TNFD)などが経済界で取り込まれつつある（専門家インタビュー第四回、第五回）。

当該 MS 目標には科学技術的な要請も大きい。我が国の第五期科学技術基本計画（2016-2020）では Society5.0 が提唱され、ICT などの科学技術が駆使された環境調和型の豊かな未来社会像が描かれてきた。ここで実現しようとする社会では、Internet of Things (IoT)によってモノ同士が情報ネットワークで繋がれる。都市における Society5.0 の社会実装であるスマートシティを支えるのが、膨大な都市データを蓄積・分析するとともに、他の自治体や企業、研究機関などと連携するためのプラットフォーム（＝都市 OS）である。しかし人類は人間社会や人工物のみに依存しているわけではなく、あらゆる人間の生命・社会・生産

活動は、多様な生物からなる巨大な複雑系（＝生態系）に大きく依存している。人類による環境への過負荷が社会の持続可能性を脅かしていることを考慮すれば、生態系情報をも情報ネットワークに組み込む「Internet of Nature (IoN)」や、その情報プラットフォームである NbS-PF の実装は科学技術発展の必然的方向性とも言える。

以上の通り、本 MS 目標の掲げる「生態-社会システム共生体」型社会は、地球システム破綻に対する社会的危機感の高まりを背景とした持続可能社会への転換のニーズ、Society5.0 が駆動する ICT 技術発展の両方の要素を取り込んだ 2050 年社会像であり、関連分野の社会的要請・技術的発展の機運も高まっている現在、まさに取り組むべき課題である。

3.2 Social significance (目標達成の社会的意義)

生態系保全は、いまや「絶滅に瀕した珍しい動植物を守る運動」ではない。生態系が生み出す多面的な機能・サービスを総計すると、その価値は年間 125 兆～140 兆ドル(世界 GDP の 1.5 倍以上)にも達する(OECD 2019)。この生態系サービスの喪失をもたらす生態系破壊は社会経済へのリスク要因(自然資本の財務リスク;World Economic Forum and PwC 2020)であり、しかもこのリスクの社会的な重要性は年々高まっている(World Economic Forum 2018-2020)。**自然を基盤とした解決策（Nature-based Solutions; NbS）**は、自然関連リスクへの国際的な意識が高まる中、コストを抑えながら環境・社会・経済の発展やレジリエンスを向上させる解決策として注目を集めるコンセプトである(IUCN 2020, Dasgupta 2021)。このコンセプトでは、環境改変が自然の恵みに影響することに着目し、生態系に適切に働きかけることで社会課題に対処するために望ましい生態系サービスや機能をいかに生み出すかを中心課題に据える。従来の「自然保護」は、個人のボランティア活動や企業の CSR 活動の一環として、社会的倫理観から「手つかず」の原生的自然や絶滅危惧種の保護に取り組むものであった。一方 NbS は、自然生態系は人類の生存と活動の基盤であることの認識と生態系の劣化や生物多様性の損失が社会的な危機を引き起こすことへの危機感の上に成り立ち、人間社会における課題解決を中心的に扱う点において、従来の「自然保護」とは大きく異なっている。当該 MS 目標の目指す「生態-社会システム共生体」型社会は、この NbS コンセプトに基づいて自然生態系を人間社会の基盤をなす「自然資本」として位置づけ、これを適切に利活用することで持続的で幸福な社会を実現することを狙ったものである。

NbS に基づく社会課題解決の特徴は、解決される課題の範囲の広さと持続性にあるが、これらはいずれも生態系の特性から生じている。第一の特性は「機能の多面性」である。自然生態系は複数の異なる機能を同時に発揮することが通常である。例えば、森林は大気中の二酸化炭素を固定するだけではなく、木材を生産し、雨水を貯留して洪水を緩和し、水を浄化すると共に地域の生物多様性を支える役割を果たす。この機能の多面性は、例えば電力を生み出す機能のみに特化したソーラーパネルとは対照的である。第二の特性は「自己修復機能/増殖性」である。生態系は、自己増殖・再生しさらに環境変化に自律的に対応する生物に

より構成されるため、適切に保全することで環境の変化や人為的な撹乱から素早く回復させたり、却って多くのサービスを取り出したりすることができる。社会の持続性を考える上で「再生可能」な資源への転換は必須であるが、真の意味でその性質をもつ資源は、自己増殖ができる生物のみである。これら生態系の二つの特性は、特に予測不可能な環境変動と社会危機が起こる不確実な世界においては、状況に応じてしなやかで自律的な対応をする頑健性の高いシステムとして威力を発揮し、持続的な社会の構築を可能とする。言い換えると、生態系の特性を維持するためには、適切な観測・モニタリングによる監視、生態系の管理システム、中長期的な視点を含んだ生態系の多機能の評価技術を充実させ、社会に実装することが必要で、まさしく私たちが喫緊に取り組むべき課題でもある。

NbS システムによる社会課題解決は大きな科学技術的挑戦でもある。生態系は自律的に変動し続ける複雑系である。数百万とも言われる生物種と多数の化学・物理的要因が相互作用する自己組織化されたシステムであり、その動態の理解は容易ではない。変動や撹乱に対する高い適応性・レジリアンスをもつ一方、特定の生物種や環境要因への撹乱がシステム全体に波及して思いもよらぬ重大な変化をもたらすこともある。さらに、回遊魚や渡り鳥などの生物が時には数千 km も回遊・移動することからもわかるように、生態系は極めて巨大なシステムであり、その範囲はしばしば行政区画や国家の境界を大きく超える。従って、生態系を持続的に活用する高度な NbS システムの実現には、この巨大かつ複雑な生態系全体の状態を的確に把握し、その時々の状態に応じて適切に利用法を調整していく必要がある。また、生態系を利用する多数かつ多様なステークホルダー間には、生態系の状態変化を通じた相互の影響が、時には大きな時間遅れを伴って生じうる（Tilman et al. 1994）。そのため、これらのステークホルダーの協力や調整を促進する仕組みの構築も欠かせない。

「生態-社会システム共生体化」を達成するためには、社会システムを構成する多様なセクターや地域が、巨大で複雑な生態系を適切に利用できるよう互いに連携し、協調的に機能することが求められる。このような生態系と協調的に接続する自立分散型の社会を NbS システムという科学技術によって実現しようとするのが、本構想「生態-社会システム共生体化」の本質である。そこでは、個々の地域やコミュニティによって獲得された多様な生態系観測のデータを統合・分析することで巨大な生態系の全体像が把握されるとともに、個々の人間活動が生態系に及ぼす影響と依存性の評価に基づいて、生態系によって介在された地域・コミュニティ間の依存性や相互影響が評価される。そして、これらの情報をもとに、それぞれの地域・コミュニティでの生態系利用や保全活動の間の効率的な協力や調整、支払い等が実施されることで、生態系の持続的かつ最大限の活用が実現される。

「生態-社会システム共生体化」された社会では、生態系観測データに基づいて生態系の多面的な機能とサービスが評価・予測され、適切に価値化・配分されることで、自然生態系の維持・管理が促進される。この生態系の持続的利用に導く自律的な循環フローが生み出されることにこの目標の社会的意義がある（**図 4**）。言い換えると、このシステムが実現されるためには、(1) 適切な「保全」管理を通じて、「レジリアンス」「持続可能性」が担保された自然生態系と、(2) その生態系によって地域社会の「レジリアンス」「持続可能性」が支えられ、さらに「公平性」に基づく分配が行われる社会システムの両方が必要である。この NbS システムの自律的な循環フローの中でもたらされる、自然生態系の適切な「保全」、自然生態系および社会の「レジリアンス」「持続可能性」、社会の「公平性」を担保した分配によって、SDGs で掲げられている多数の社会的課題が波及的に解決される。「生態-社会システム共生体化」社会の実現により、既存の持続可能な社会の未来像である、「自然共生社会」、「地域循環共生圏」(専門家インタビュー第一回)、「脱炭素社会」(専門家インタビュー第二回)、「定常型社会」、「分散型社会」、「「生命」の時代」(専門家インタビュー第六回) 等も同時に達成される。

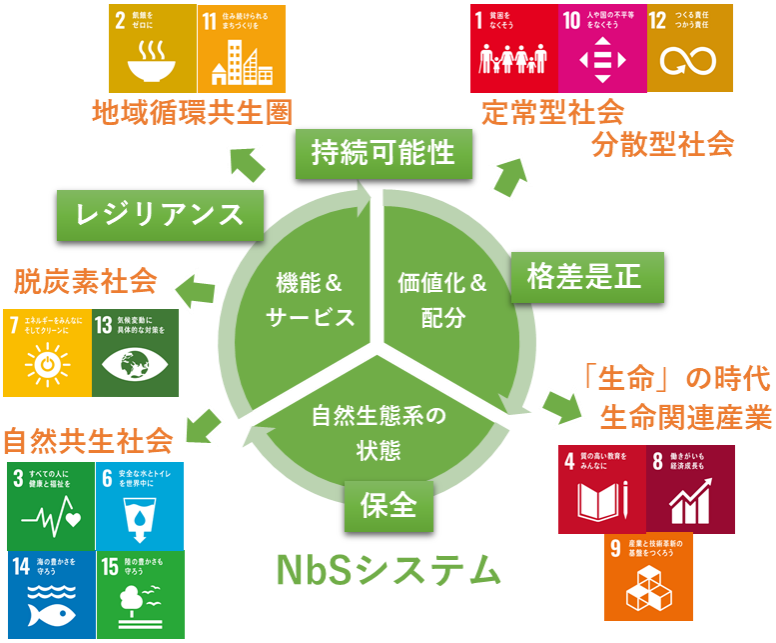


図 4.　NbS システムが実現する 2050 年生態-社会システム共生体化の構成と SDGs や関連する社会像　環境リスクの予測により、自治体やコニュニティー、個人、産業のリスクへの迅速な対応が可能となる。日本では特に農村部の人口減少、輸入依存度増加を背景に、自然の過小利用による生物・生態系への影響が顕在化しており、地域創生、地域循環循共生圏（第五次環境基本計画）の構築における課題となっている。当該 MS 目標は、地方と都市、また国際社会における格差を解消しながら、地域における持続可能な社会を実現することに貢献する。

3.3 Action outline（当該 MS 目標の達成に向けた社会全体の取組み概要）

生態-社会システム共生体化とは、適切なタイミングで投入される科学技術と法整備、経済の仕組みのもとで、生態系と社会システムが相互に影響しながら自律的に共発展し、対立的な関係から、win-win の関係へと到達するプロセスである。ここでは、公共セクター（政府・地方行政）、営利セクター（企業）、非営利セクター（市民）の 3 者の役割に特に注目し、このプロセスについての仮説を提示する（図 5）。

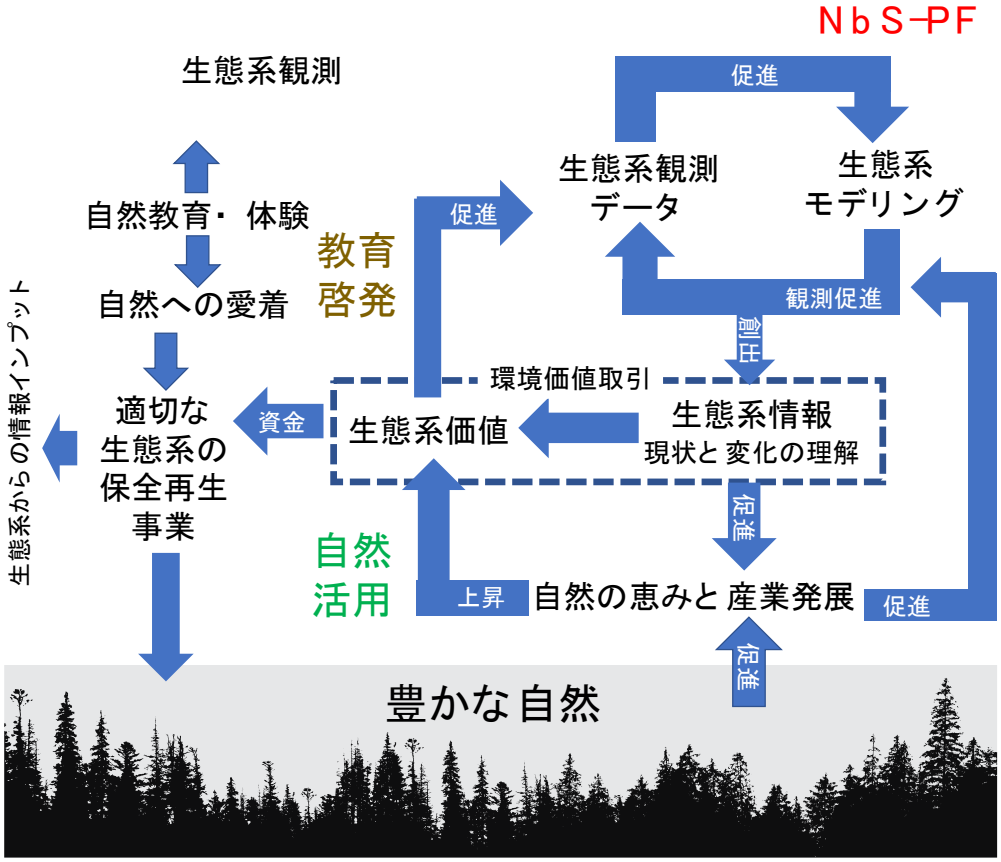


図 5. 生態-社会システム共生体化の仮説 公共・営利・非営利セクターが協働することで実現する生態-社会システム共生体の相互促進構造。複数の正のフィードバック構造が存在することで、システム全体は自立的発展が可能になっている。全てのフィードバックは NbS-PF によってもたらされていることから、NbS-PF が本質的な役割を果たしていることが見てとれる。

STEP 1：生態-社会システム共生体化への環境整備とトリガー（～2030 年）

科学技術分野からの次の二つのインプットにより、我が国の生態-社会システム共生体化への環境が整備される。一つは「生態系高度観測技術の開発（生態系を「見る」技術）」と「生

態系の予測モデリング技術の開発（生態系を「把握する」技術）」によってもたらされる、NbS-PF での大規模かつオープンな「生態系関連情報」の集積と「生態系情報活用技術」の提供である。これによって日本全国の生物多様性や生態系機能とその時空間的な変化が「見える化」される。二つ目は、「生態-社会システムのモデリング技術」を利用することで高いレベルでの実現が可能になる、事業活動の生態系への依存性や影響の「見える化」や自然資本会計の採用である。これら二つの「見える化」によって、人間活動（企業による事業や自然再生など）と生態系の状態との関係性の追跡が可能になり、生態系と社会システムの調和的な接続の準備が整う。

この環境のもと、公共セクターの積極的な関与によって生態-社会システム共生体化を大きく促進させることが可能である（例えば年金運用機関（GPIF）の ESG 投資の牽引、専門家インタビュー第四回）。公共セクターは営利セクターと協力しつつ、人間活動に伴う自然への影響を内部化するための経済の仕組みを構築する。環境価値のオフセットを推進する生態系クレジットや生態系サービスへの支払い（Payment for Ecosystem Services; PES）といった「環境価値の取引」を円滑に実施するための法整備がこれには含まれる。環境価値取引の仕組みと人間活動の生態系への依存性・影響の「見える化」の両者が揃うことで、人間活動が自然に及ぼす負荷は適切に補償されるようになり、また各セクターの実施する自然再生事業へと資金が流入するようになる。NbS システムにおける生態系関連情報の拡大、共有や再利用を促進するデジタルエコシステムの維持のための法整備に加えて、産業構造の変化を社会が乗り越えるための社会保障の提供や、事業者による生態-社会システム共生体化推進に資する取り組みに対する補助金の給付もまた公共セクターの重要な役割である。

生態系関連情報が整備され、環境価値取引が適切に行われる環境下では、営利セクターには大きく分けて 3 つの力が働く。第一の力は、自然資本会計の改善に向けた力である。生態系への負の効果は自然資本会計の悪化を通じて投融資による資金獲得に負の影響を及ぼすため、営利セクターには事業の生態系負荷を軽減するインセンティブが働くと同時に、環境負荷軽減のためのイノベーションが誘発される。また、生態系クレジット獲得を目標とした自然再生事業へのインセンティブも働く。これらはいずれも豊かな自然を回復させる働きを持つ。第二に、生態系関連情報を利用した新しいビジネスの創出である。本事業によって大量の生態系データが公開されることで、新しい生態系情報活用技術を利用した環境関連ビジネスを立ち上げるための限界費用が大きく低減される（Rifkin 2014）。他方、生態系情報の利活用が進み、生態系情報活用技術が発展することで、生態系情報それ自体の価値は高まっていく。第三に、産業活動が生態系への負荷となる場合には、生態系負荷を定量する上で必要となる生態系情報の獲得へ向けたインセンティブが働く。これにより生態系関連情報の蓄積が加速する。獲得された生態系関連情報は社会全体の発展にとっての重要なリソースとなることから、公共セクターは取得から一定期間経過後の情報公開を制度化するなどして、インフラとしての生態系関連情報の充実を促進することもできる。この過程で生じ

た、生態系関連情報の拡大、事業活動の生態系への依存性・影響の「見える化」、自然資本会計の改善はいずれも、民間セクターへの ESG 投資の呼び込みを後押しし、その国際的競争力を高める。

地域における生態系関連情報の蓄積が進み、生物多様性や自然生態系への負荷が「見える化」されることで、非営利セクターである地域住民の地域の自然への愛着やシビックプライドが高まって、環境・生態系保全を志向する価値変容や行動変容が進む。生態系クレジット等の仕組みを通じて調達した資金を利用した、地域住民による小さな自然再生や生態系観測の取り組みが活発化し、自然の回復を大きく後押しする。企業や商品、サービスの環境負荷情報が「見える化」されると、個人の投資や購買行動に影響し、自然環境を配慮した事業が支援されるようになる。NbS-PF において公開された生態系関連情報を利用して地域の社会課題を解決するためのシビックテックの取り組みも盛んになり、NbS-Apps 開発や地域住民による社会参加が活発化する。これら住民の価値・行動変容は、営利セクターによる環境配慮型の事業活動や行政セクターによる社会変革の促進を加速させる。また、「生態-社会システム共生体化」の基盤となる地球システムや地域の自然生態系の成り立ちは、国民が共通に身に付けるべき基礎的な知識である。公共セクターは非営利セクターと協働しながら、地域の人が自然生態系の成り立ちや人への恩恵や文化についての学習や教育の機会をもうける。「生態-社会システム」を学ぶ機会は、将来にわたって多様で不確実な変化の時代を地域の自然生態系を活用して生きぬく人材を育成する。

STEP 2：生態-社会システム共生体化への自律的発展の開始（～2040 年）

2040 年までには、生態系クレジットや PES 等の環境価値取引のメカニズムが普及することで生態系の劣化速度は大きく抑制され、地域における生物多様性のノーネットロスやネットゲインが成立している。生態系観測技術の発展によって大規模かつ高精度の生態系情報が安価で獲得されるようになり、蓄積した生態系関連情報と生態系情報活用技術は、オープンソース社会インフラとして整備された NbS システムにおいて公開される。これら生態系を利用した産業を促進するリソースの蓄積が進み一定のレベルを超えると、生態系情報の獲得によって得られる便益が、生態系情報獲得のコストを上回るようになる。その結果、生態系情報集積と技術革新、新産業創出が、本研究開発事業等による大規模な外部資金のインプットなしでも自律的に共発展する。また、この頃までには、行政区画を超えて NbS-PF が相互に接続され、地域の境界を超えた社会システムと生態系の間の関係性（負荷や依存性）が「見える化」される。

この様な社会において次の重要な課題は、生態系を異なる目的で利用する複数のステークホルダーの間の協力や調整の推進である。多機能をもつ生態系は多様な利用法が可能であるが、利用法ごとに最適な状態が異なりうるため、ステークホルダー間にその管理法や目標に関するコンフリクトが生じうる。公共セクターは、この様なステークホルダー間の連携を

推進するためのルールづくり、関連法令の改正やガイドライン作成を進める。整備されたルールは NbS システムにおいて実装され、多様なステークホルダーの合意形成を促進し、自律分散型の生態系保全を実現する。ここでは、本報告書において実施すべき研究課題として提案する「生態系と社会システムの調和的接続に関する技術（生態系を「ハンドリングする」技術）」が特に重要な役割を果たす。

営利セクターにおいては、充実した生態系関連情報を活用した新産業創出や産業構造の革新が進められる。これには、生態系関連リスクを低減させる保険商品の開発や、収益を大きく増大させた新しい姿の第一次産業や観光業、そして生態系ビッグデータを活用した生態系情報ビジネスも含まれる。開発された生態系情報利用ツールは NbS-Apps として公開され広く利用される。ICT 基盤とデジタルツールの利用環境の整備が進み、NbS-PF の二次的利用やアプリケーション開発が自発的に行われることで、生態系の持続的利用のためのイノベーションは加速度的に促進する。自然生態系から経済価値を生み出す技術が発展し一定のレベルを超えると、生物多様性や自然資本を増大させることで、より多くの経済価値が生み出される様になり、生態系と社会システムが互いの発展を促進し合う自律的な生態-社会システム共生体化が始まる。

非営利セクターでは、大きく発達した生態系情報関連技術を利用した生態系の自治管理への動きが加速する。地域住民は自ら生態系を観測し、NbS システムにおいて公開された多様な生態系情報やツール群（NbS-Apps）を利用して経済的な価値を生み出す。自然資本に対する支払いが行われることで、地方の経済的な自立が促される。

STEP 3：生態-社会システム共生体化の完成（～2050 年）

生態-社会システム共生体化のプロセスも終盤に差し掛かると、生物多様性の効果的な保全や再生が恒常化し、我が国の豊かな生態系が保持される。また、分散型・多極集中型社会により適切な人口の配分がもたらされ、NbS システムの導入により地域循環共生圏が成立している。地域に特有の生態系をきめ細やかに管理、利用するための生態系関連技術が成熟し、我が国の多様な生態系が保全される。

この頃には、非営利セクターによる地域生態系の自治管理が完成しており、公共セクターは多様な地域やステークホルダーの間の協力や調整、合意形成をサポートする NbS-PF の管理と更新における主要な役割を果たす。そこでは、地域住民が地域の自然に関する幅広い知識と技術を獲得しており、豊かな自然に囲まれて生態系サービスを最大限に活用しながらも、ディスサービスは最小限に抑えられている。豊かな生態系と幸福な社会が互いを支え合うことで、両者が高いレベルで安定・定常的に持続する生態-社会システム共生体の完成をみる。

世界、特にアジア地域では高齢化が進み、定常型社会への転換が迫られている。アジア地

域において先駆けて高齢化社会に突入しながらも、NbS システムの導入によって「生態―社会システム共生体化」し、分散型・定常型かつ持続可能で幸福な社会を実現した日本は、世界のロールモデルとなる。NbS システムは、国・地域ごとにカスタマイズされて、アジア地域をはじめとする海外にも輸出される。NbS システムの世界の生態系データがさらに蓄積されることで、国・地域社会においても世界規模でのテレカップリングが進み、グローバルサウスなどの格差を解消しながら、地球規模で NbS をインストールして「生態―社会システム共生体化」を目指すフェーズに突入する。

4. Benefits for industry and society
（当該目標達成によりもたらされる社会・産業構造の変化）

「生態-社会システム共生体化」の社会では、大量の生態系情報に基づいて生態系の状態把握や予測の精度が改善され、社会や産業構造に大きな変化がもたらされる。ここでは生態系情報の利用によって可能になる多様な変化のうち、「グリーンエコノミーと自然情報産業の創出」、「自然の恵みの最大化」、「誰も取り残さない豊かな社会の構築」の 3 分野に着目してその概要を解説する。

A. グリーンエコノミーと自然情報産業の創出

地球環境の健全性の持続を実現する「生態-社会システム共生体化」された社会へと移行すると、環境規制の強化や市場環境の変化、消費者行動の変化を通じて、産業構造や企業行動が環境配慮型へ変化し、自然関連リスクが低減される。この移行に伴って、生態系を直接に利用する第一次産業のみならず、生態系に間接的に依存する第二・三次産業をも含めたほぼ全産業の活動が中長期的に変化する。また、生態系ビッグデータが利用できるようになることで、これを基盤とする新しい情報産業が創出される。

A1. ESG 投資を活用したグリーンエコノミー　近年、機関投資家を中心に、生物多様性を投資判断に組み入れる動きが急加速している(Appendix 1(1))。2020 年、世界の金融機関 26 社は「生物多様性のための金融誓約」に署名し、投融資を通じて生物多様性に貢献するための具体的目標を設定した。2021 年 6 月には「自然関連財務開示タスクフォース（TNFD)」が発足し、2023 年には自然と生物多様性関連の財務リスク開示のためのフレームワークとガイドラインが発行される。生物多様性をめぐるこれら ESG 投資の枠組みが拡大することで、生物多様性への影響・依存を適切に評価できることが経済成長や産業発展の必須条件になる。我が国は、「生態-社会システム共生体化」を積極的に推進することで、これまでの気候変動やガバナンスに関する ESG 投資に加えて、生態系に関する ESG 投資を我が国の成長戦略に組み込むことができる。なぜなら「生態-社会システム共生体化」された社会では、生態系の保全と社会・経済の発展が相互を促進するためである。また、我が国は先進諸国中でも突出した豊かな自然に恵まれている。このことを背景に国際的なルールづくりにも積

極参加することで、我が国の大きな優位性を生み出すことも可能であろう。

A2. 生物多様性オフセットとクレジット・生態系サービスへの支払いと市場の設立　開発等を行う事業者が、実施する事業によって生態系に負の影響を及ぼすことが避けられない時、別の生態系を回復させたり創造したりする事で生態系への影響を代償する仕組みを生物多様性オフセットと呼ぶ。生物多様性オフセットを効率的に実行する仕組みとして、第三者が実施した自然再生事業によって得られた生態系回復・創造の成果をクレジットとして購入することで生態系への影響に対して補償したとみなすクレジット制度が存在する。「生態-社会システム共生体化」された社会では、地域の生物多様性やその変化に関する詳細な地理情報が獲得できるため、重要な生態系の保全活動をクレジット制度によって支えたり、生物多様性のノーネットロスやネットゲインが効率的に実施できる。類似の仕組みとして、提供された生態系サービスに対して受益者が支払いを行う「生態系サービスへの支払い（PES)」がある。「生態-社会システム共生体化」された社会では、生態系サービスやその変動が評価され、生態系を保全する活動は PES を通じて資金を獲得することが可能になる。生物多様性オフセットや PES の仕組みの下では、生態系情報が経済的価値を持つようになる。その結果、生態系観測のインセンティブが高められ、生態系情報のさらなる蓄積が促進され、社会の一層の「生態-社会システム共生体化」を支える。これらの生物多様性クレジットはやそれ自体が産業となり、また市場での取引が可能となる。こういった市場での取引は、最初は環境への負のインパクトに対する補償制度として導入されるが、将来的には、生態系再生や活用に関する取引が増えて、生態系に対して正のフィードバックがかかると予測される。そうすると、個人や小さなコミュニティレベルでも取引が行われるようになり、例えば NbS-Apps で、個人で生物多様性クレジットを売買するマーケットプレイスアプリが開発されれば、よりローカルな保全・自然再生活動も活発になるかもしれない。また、市場で取引されにくい価値の場合でも、PES を通じて金銭的支払いを行うことができる。これらの仕組みの下では生物多様性それ自体も経済的価値を持つようになるので、人間活動が環境にもたらす直接・間接的な負荷を軽減させたり、生態系の回復を促進させたりするような技術的イノベーションも促される。

A3. 生態系関連リスクを低減させる保険商品の開発　生態系変化の影響を直接に受ける第一次産業や観光業は、常に生態系変動リスクに晒されている。生態系情報の蓄積とモデリング手法の発展により生態系変動のリスク評価が実現すれば、生態系関連リスクを緩和する保険商品の開発が可能になる。重要な生態系サービスを提供する、高い経済的価値を持つ生態系に対して保険をかけることで、生態系が破壊された時の経済的損失を補償し、自然回復事業の実施を可能にする。また、保険料を低額に抑えたい契約者には、生態系の劣化を抑制しよう、もしくは生態系を活用しようというインセンティブも生まれる。生態系の状態把握とその変動予測が実現する「生態-社会システム共生体化」された社会では、生態系関連産業におけるリスクを低減させるような保険が創出され、農林水産業や観光業を始めとする

生態系に依存する経済やコミュニティのレジリアンスが高められる。

A4. 自然情報産業の勃興　我が国は豊かな生態系に恵まれているものの、生態系関連情報の多くは取得されずにきた。人間社会のビッグデータは思いも寄らない価値や GAFA（Google、Apple、Facebook、Amazon）等の IT 企業に代表される巨大情報産業を生み出した。生物学分野においても、例えばゲノム情報等のビッグデータは生命科学・医学分野における革命的発展をもたらした。「生態-社会システム共生体化」された社会において提供される生態系ビッグデータが、これまで想定されなかったような自然情報産業を生み出すことは想像に難くない。例えば、地域ごとの詳細な地理情報を基にして、それぞれの土地における自然の豊かさや住み良さが評価されれば、生態系情報は地価にすら影響する可能性があり、生態系情報は観光産業(Appendix 1(2))や不動産分野でも価値を持つようになるだろう。また、生態系データと社会システムデータが集積し、解析されることで、多様な社会経済活動が生態系に及ぼす影響が「見える化」されると、これを利用したサービスが登場するだろう。レストランの格付け等を容易に検索できるグルメサイトのように、あらゆる商品やサービス、企業の生態系影響を格付けするサービスが出現し、社会・環境課題に高い関心を示す Z 世代など若い世代の購買行動に影響するようになるかもしれない。また、多様な環境に反応する生物種を観測することは、多様な環境を間接的に観測していることと同等であり、数百万の生物種を観測することは数百万の「生物センサー」を入手したことに例えられる。これまでの社会データや気象データとは異なる性質をもつ「生物センサー」のデータは、他の生物種を含むさまざまな生態系・生物多様性の観測センサーであり、社会システムの応答を予測する国土管理の新たな利用、価値の創造につながるであろう(Appendix 1(3))。例えば、近年の生態学モデリングの発展から、特定の生物の在不在や変動を予測する際に、対象生物以外の多数の生物種の観測データが予測精度を大きく改善することがわかってきた（例えば、Ye & Sugihara 2016)。

B. 自然の恵みの最大化

生態系は人間のあらゆる活動（産業・経済・文化）および生存・安全の根幹を成す社会的共通資本（コモンズ）であり、人間社会にサービス（生物資源提供や炭素固定など）とディスサービス（感染症や病害虫の大発生など）の両方をもたらす。「生態-社会システム共生体」型の社会では、生態系情報に基づくサービスの増大とディスサービスの減少を通じて、人間社会全体が享受する生態系の恵みが拡大される。

B1. 第一次産業における生産効率と持続可能性の増大　第一次産業は、自然生態系から提供される生態系サービスに直接に依存しており、生態-社会システム共生体化の恩恵を最も受けやすい。例えば、漁業では自然生態系で増殖した水産資源を利用しているし、ホタテやカキ等の養殖業もまた自然生態系に存在するプランクトン等を餌にすることで成り立っている。これら生態系に存在する水産資源やプランクトンの量は、様々な環境要素や漁獲、養

殖法、土地利用の影響を受けて変動する。これらの生態系情報を基に、生物資源がより適切に管理されることで、資源の安定供給や生産効率の向上が実現する。また、土壌微生物や花粉媒介を支える生物の働きが重要な役割を果たす農林業でも同様に生産性の向上や安定化が見込める。例えば、世界の主要農作物の 4 分の 3 以上はミツバチ等の動物による花粉媒介に依存しており、その規模は世界全体の作物生産量の 5～8%、市場価値に換算して年間 2,350 億ドル～5,770 億ドル（2015 年時点の米ドル換算）にもなる（IPBES 2017）。現在、気候、地形、土地利用の変化によって、受粉サービスを受ける機会が 1970 年代以降、減少傾向にあり、農業の持続性を脅かしている(環境省 2016)。「生態-社会システム共生体化」された社会では、花粉媒介する生物を始め、直接・間接に農業を支えている多様な生物に関する大規模な情報が取得され、より適切な農生態系の管理を通じて安定的な食糧供給が実現する。

B2. 新興感染症の流行の抑制　COVID-19 に代表される野生動物由来新興感染症の発生と拡大は、自然破壊が進んで病原菌や病原性ウィルスへの暴露確率が増大したことや、生物多様性低下によるホスト生物の密度上昇などが原因とされている(Allen et al. 2017)。ポストコロナの文脈では、生物多様性からの正の恩恵を受けながら、野生動物由来感染症を防ぐ「生物多様性を組み込んだ健康」への移行（ワンヘルスアプローチ）が進んでいる(IPBES 2020)。「生態-社会システム共生体化」された社会では、感染症リスクがマップ化され、感染症によってもたらされる社会的コストが最小化される。また、当該 MS 目標達成によって地方の自立が促進されて分散型社会・多極集中型社会への移行が進む事で、新型コロナ感染症でもエピセンター（震源地）となった大都市への人口集中が緩和される。その結果、今後も発生すると思われる新興感染症発生に対する社会全体のリスクが大きく低減され、我が国の感染症に対するレジリアンスが高められる。

B3. 植生利用による CO_2 吸収の安定化　化石燃料の使用や土地改変によって人類が放出する CO_2 などの温室効果ガスのうち 31%は陸上生態系が吸収し、23%は海洋に吸収され、残り約 46%が大気に残留する(Friedlingstein et al. 2020)。森林は温室効果ガスの吸収の観点から重要な役割を果たしているものの、日本の森林による温室効果ガスの吸収量は 2004 年頃をピークに現在は減少傾向にある(環境省 2021)。また、森林の炭素吸収量は樹種組成や林齢のような生態学的特性だけでなく、年々の気象条件や極端気象、長期的な気候変動の影響も受ける。脱炭素社会の実現に向けた議論では排出量の削減や再生可能エネルギー技術のみが注目されがちであるが、生態系による炭素吸収量を増加させることも必要であり、そのためには植林や間伐を含めた森林整備を気候変動の影響も考慮しながら進めていく必要がある。一方、森林とは対照的に、海洋においては藻場維持活動や新たな形成・拡大、海藻養殖など人為的な介入によるブルーカーボンや CO_2 吸収量の増加も見込まれる（桑江ら 2019）。「生態-社会システム共生体化」された社会では、森林や海洋の CO_2 吸収量のリアルタイムモニタリングデータおよび炭素吸収予測モデル知見を基に、温室効果ガスの吸収量

効率を上げるために、いつ・どこで・どのような生態系管理が必要かについての情報が提供され、温暖化リスクが低減される。

B4. 獣害や蝗害、赤潮など生物の異常発生への対策　野生鳥獣の増加や害虫の発生による農林水産業への被害は増加傾向にあり、赤潮による漁業や水質汚染の被害は減ってはいるもののいまだみられる(環境省 2021)。特に大型哺乳類は中山間地域の高齢者が中心となる小規模営農においては甚大な被害を及ぼすこともあり、シカなども下層植生の破壊による土壌流出や絶滅危惧種の植物を衰退させるなど、生態系に影響を与える被害もある。一般に生物の個体群動態は、気候要因、周囲の土地利用と他の生物の影響を受けるため、これらの環境要因を考慮に入れた有害生物量の変動予測が求められる(Bianchi et al. 2006)。「生態-社会システム共生体化」された社会では、生物の個体数変動予測を利用することで、有害生物の適切な管理と防除が実施される。

B5. 土地利用とゾーニング　地域社会では、地域全体から得られる自然の恵みを最大化する持続可能なシステムを実現する中で、地域としての価値やレジリアンスを高める土地利用ゾーニングとそれに伴う既存の産業・社会システムの再構築が実施される。「分散型エネルギーシステム」、「環境配慮型の一次産業システム」や「生態系を活用した防災減災（グリーンインフラ)」（専門家インタビュー第三回、Appendix 1(4)）を取り入れることで、環境負荷が少なく、災害へのレジリエンスを高めるような産業および社会構造への転換が行われるだろう。注目する地域内での持続性の最大化のためには、地域での産業間のコンフリクト（例えば、太陽光パネルの設置と生物多様性保全ゾーン）を軽減し、シナジーやコベネフィットを生み出す配置（例えば、森林保全地域と花粉媒介者が必要な農作物耕地の隣接）を積極的におこなう土地利用の設計が必要となる。これらの土地利用ゾーニングは、それぞれの土地の生態学的特性の評価に基づいて最適化される。また、こうした地域での取り組みは、環境負荷ゼロ・クリーンなイメージをもたらし、地域ブランディングによる魅力度の上昇や生産品の付加価値づけにもつながると期待される。

C. 誰も取り残さない豊かな社会の構築

C1. 地方―都市における格差の是正　「生態-社会システム共生体化」された社会では、地方と都市間での格差が是正される。ここで言う格差には、就業機会、収入、学習機会の格差（都会の方が多い）だけでなく、生態系サービスの受益者とコスト負担者の不一致（地方で再エネ発電されるが、その電力は都市部で消費するなど）に関する問題も含まれる。この格差を解消するために、負担に基づく支払制度の構築（PES、水源税、カーボンプライシング等）が求められている。「生態-社会システム共生体化」された社会では、環境負担のコストは観測データに基づいて算定される。また、NbS-PF を通じた地域間の情報共有により、都市と山村の交流・定住促進、アプリケーション開発などの産業やイノベーション創出によって、地方の就業機会が増加する。

C2. 国際社会における格差の是正　日本は、食料や資源など国外輸入への依存度が高く、その調達によって輸入先である現地の生物多様性や環境にも多大な影響を与えている(Hoang & Kanemoto 2021, Lenzen et al. 2012, Moran & Kanemoto 2017, Oita et al. 2016, 中田 2003)。NbS システムでは、エコロジカル・フットプリントを用いたテレカップリング（遠隔地間の人や経済の交流による環境上の相互関係）として、海外におけるコストを「見える化」して、環境への負荷の内部化と分配を通じて国際的な格差（グローバルサウス）の是正を行うシステムを提供する。また、国外輸入への依存度は、国内での食料や資源の生産・消費と直接的な関連がある。国内の食料自給率を高めることは、地域における循環型社会の推進にも貢献する。

C3. 地域内・地域間・国際的な市民間連携の促進　生態系は地域や国を超えて繋がっている。したがって、生態系をめぐる受益者とコスト負担者の間の不平等や格差の解決には、地域や国を超えた協働・協力体制の実現が欠かせない。NbS システムは、地域間連携を通じて生態系に関わる課題解決に貢献するだけではなく、多様な人々が共通の社会課題に向け距離を超えてコミュニティ作りをすることを可能にする。それぞれの地域には地域課題の解決するために、主体的に動こうとする住民やコミュニティが存在する。この地域コミュニティを互いに連結することで、オープンイノベーションの力を活性化すると同時に、人間同士の繋がり（社会関係資本；social capital）をも豊かにすることができる。また、地球規模からローカルまで階層をまたぐ課題である場合（たとえば、炭素貯蔵：受益者は地球に住む人類全員であるが、コスト負担は炭素蓄積量の多い熱帯林を含む地域のコミュニティなど）など、国際機関主導の重層的ガバナンスが解決のカギとなる。NbS システムは、階層性・スケール性を組み込んだ資源分布と配分など、ローカルからグローバルまでの空間マルチスケールで課題解決を扱い、重層的ガバナンスにおける意思決定に必要な科学的根拠も与えるように設計することが可能である。

C4. 個人レベルでの多様な価値観の許容がもたらす幸福と自己実現　“自然観”や“共生観”を含む多様な価値観や観念の受容は、個人の行動や幸福感に直接的に影響する。NbS の考え方は、消費と廃棄を減らす行動、持続可能性を含む商品を選択する行動、不公平や保全における正義、などの個人レベルでの持続可能な行動を促進する。この行動は、個人の社会への貢献に対する満足感を上げ、さらにコミュニティや世界との繋がりを感じるため、コミュニティや自然へ愛着をもつといった好循環をうむ。つまり、NbS の考え方を通じて「多様な価値観の許容」が社会へ浸透することは、個々の個性や多様な才能を発揮する社会を実現し、さらに各々が自己実現を達成できるような生活・労働・コミュニティの場を社会に醸成する。

II. Analysis（統計・俯瞰的分析）

1. Essential scientific/social components

（当該 MS 目標を達成するための課題（科学技術的・社会的課題）や必要な取組み）

当該 MS 目標達成に向けて解決の求められる科学技術的・社会的課題は、それぞれ以下の通り 4 課題ずつにまとめることができる。

(科学技術的課題)

I. 生態系の高度観測技術：生態系が機能する広域をカバーし、かつ生態系を構成する多様な生物の高い粒度（空間・時間・分類解像度）での迅速な状態把握を実現するハイスループットな生態系観測手法の開発。高度観測からもたらされるデータ活用のための NbS-PF、NbS-Apps のシステム基盤の開発と整備。

II. 生態系の予測モデリング技術：大規模な生態系情報データから任意の生態系の状態や機能を把握、予測、異常検知するためのモデリング手法の開発。

III. 生態-社会システムモデリング技術：生態系情報と社会情報を統合的に解析することで、多様な人間活動と生態系要素が互いにどのように関わっているかを「見える化」するモデリング手法の開発。個人及びコミュニティの意思決定、政策におけるビジョン検討、ESG 投資で必要となる環境リスク評価のための将来シナリオ分析の手法開発。

IV. 人間の幸福に基づく生態系価値評価手法：GDP 等の短期的な経済指標に代わって、中長期的視野での環境および社会の持続可能性と人間の幸福（human well-being）を適切に考慮に入れることで、人間社会における自然資本の配分における格差といった社会課題の解決に資する生態系価値の評価手法の開発（専門家インタビュー第四回)。

(社会的課題)

V. 適切な環境教育・学習：持続的な生態系利用の実現には市民の価値・行動変容が重要な役割を果たす。生物多様性が人間社会の持続的発展を支えていることが、住民によって正しく理解されるための環境教育・学習の取り組み。

VI. 生態系管理のための制度設計：生態系はステークホルダー間でその最適な利用法や管理方法に不一致を生じうる社会共通資本である。その適切な管理には、多数のステークホルダー間の協働を促進し、コンフリクトを解消するための社会装置・制度設計が求められる。

VII. 金融の仕組み：前述のように、「自然資本の財務リスク」は既に認識されており、国際的な ESG 投資の推進により、環境配慮の企業行動や自然資本関連の財務情報の開示のニーズが増加している(環境報告ガイドライン 2018、TNFD)。特に、生態系観測から得られる科学的エビデンスに基づく中長期的なリスク評価は、ESG 投資・インパクト投資で不可欠であるものであり、こういった取り組みを通じてグリーンエコノミー成立が求められる

VIII. 分散型社会・地域循環共生圏の構築：我が国は世界に先駆けて人口減少・高齢化時代に突入した。人工的資本に依存する都市と豊かな自然資本を保有・管理する地方がそれぞれの特性を活かして共存する分散型社会・地域循環共生圏の成立が求められる。人口減少率の高い大都市への人口集中回避は人口減少を抑制する効果もある。これを支えるため、地方の生態系からのサービスを享受されている都市から生態系債権をもつ地方に対する適切な支払いを実施するための仕組みが求められる。

図 6. SDGs ウェディングケーキ SDGs における 17 の目標を「経済に関わる課題」、「人間社会に関わる課題」、「生物圏に関わる課題」の 3 段階に分類し、目標間の依存関係を示したモデル。「生物圏に関わる課題」の解決は他の全ての課題解決の基礎をなす。

これら 8 つの科学技術・社会課題（I～VIII）は「生態系情報に関わる課題（I および II)」、「生態-社会複合に関わる課題（III、IV および V)」、「経済活動に関わる課題（VI、VII および VIII)」の 3 階層に分けることができる。これら 3 階層は SDGs の 17 の目標を Biosphere (生物圏)に関わる課題、Society（人間社会)に関わる課題、Economy(経済)に関わる課題の 3 群に分類し、より下層の課題が上層の課題解決のための条件となっていることを示した「SDGs ウェディングケーキ（**図 6**)」と良い対応関係を示し、ここでも下位階層の解決が上位階層の解決の条件となっている。我々の特定した課題の 3 階層構造を SDGs ウェディングケーキに対応させるならば、「生態系情報に関わる課題」の解決（Biosphere）が「生態-社会複合に関わる課題」解決（Society）の基礎となり、さらに上位の「経済活動に関わる課題」の解決（Economy）を支えているということになる。

実際、特定された 3 階層の課題（生態系情報、生態-社会複合、経済活動）の間には明確な依存関係が認められる。生物多様性の状態を正しく把握する（生態系情報課題の解決）ことなしに、生態系と社会の関係性を明らかにすること（生態-社会複合課題の解決）はできない。さらに、生態系価値を正しく認識する価値変容や行動変容がなくては、生態系を考慮に入れた経済活動の実現は困難であると思われる。

これらのことから、本 MS 目標を達成する上で、高度な生態系情報を獲得する観測技術とその情報を分析するためのモデリング技術の開発に取り組み、これを土台として、生態系情報から得られた知見を社会や経済の問題と連携させる取り組みを展開させるというシナリオが浮かび上がる。このシナリオから、本 MS 目標を達成するための最重要の科学技術研究領域として、生態系情報に関わる 2 領域「(領域 1) 生態系の高度観測技術」と「(領域 2) 生態系の予測モデリング技術」、生態系情報を利用した生態-社会複合課題や経済課題の解決に資する「(領域 3) 生態系と社会システムの調和的接続に関する技術」の 3 領域が特定された。

当該 MS 目標の達成には、国際連携や分野・セクターを越えた連携、ELSI 等における取組みも求められる。生態系は巨大な複雑系であり明確な地理的境界は存在しない。生物は地域や国を超えて移動し、生態系サービスもまた地域や国を超えて消費される。実際、生物多様性喪失の背後には、先進国が開発途上国の生物多様性に依存する関係があることが広く認識されている(Lenzen et al. 2012, 広井 2019)。したがって、生態系の持続的な利用を実現するには、生態系観測を国内だけに限定するのではなく、国際的な観測網との連携が求められる。

分野・セクターを超えた連携もまた、当該 MS 目標の達成において重要な役割を果たす。目標達成の鍵は NbS システムの開発と普及を実現させることにある。そのための研究開発、ハイスループット観測体制の構築、NbS システムの社会実装などの取り組みにおいては、生態系の基礎研究領域である生態学や自然史、さらにはデータ科学や情報科学、社会学、経済学などを含む、文理を問わない幅広い学問領域の参画と、産官学民全てのセクター間での連携が不可欠である。すでに本 MS 目標では、多くの関連する各学協会、日本生態学会、環境 DNA 学会、日本長期生態学研究ネットワーク（JaLTER)、日本フラックス研究ネットワーク（JapanFlux)、日本およびアジア太平洋地域生物多様性観測ネットワーク（JBON、APBON）などに連携を計画している。

本 MS 目標で目指す社会像が真に実現するためには、ELSI の果たす役割も無視できない。社会において、自然生態系の保全と活用が人類の持続的な発展に不可欠であるという価値観や行動様式が社会に広く受容され、経済・金融システムや法制度などの社会構造の大幅な見直しを含む「変革」が生じることが求められる。人類のこれまでの経済発展は、自然の様々な恩恵は人類が無制限に享受できるものという経済論理の下でもたらされており、私たちの日々の生産・消費活動の結果として、自然資本の減耗、気候変動、生物多様性の喪失など、自然環境のグローバルな危機が生じている。人類の活動が自然環境に及ぼす影響の範囲は広く、多岐にわたることから、環境に負荷を与える多様な直接要因の背景にある社会的要因の解決として、こうした「変革」が速やかに生じることが不可欠である（IPBES 2019, Dasgupta 2021)。

2. Science and technology map
（当該 MS 目標を達成するために取り組むべき研究開発の俯瞰）

前項より、当該 MS 目標を達成するために求められる科学技術に関わる課題として、「領域１：生態系の高度観測技術」,「領域２：生態系の予測モデリング技術」、「領域３：生態系と社会システムの調和的接続に関する技術」を特定した。本項では、これら３領域についてより具体的に説明する（**図 7**）。

図 7. 本 MS 提案を実現するために科学技術によって克服すべき課題の俯瞰図

2-1. 領域１ 生態系の高度観測技術：生態系を「見る」技術

生態系の状態把握と予測には、求められる精度に応じた生態系観測が必須である。特に、短期予測や異常検知、高精度の状態評価を実施するには、観測のハイスループット化・高解像度化が求められる。また、生態系は広域に広がり、生物は行政区画や国を越えて移動するためその状態把握には広域情報の獲得が必須になる。異なる地点や時間に観測された多様な観測データを統合する技術が重要な役割を果たすだろう。さらに、これら高度に観測されたデータが一元的に管理され、生態系の状態把握や評価がなされる必要がある。つまり NbS-

PF のコアとなる情報処理・管理技術の進展が求められる。よって、生態系観測に関わるブレイクスルーが求められる技術には、(1) 広域生態系観測技術、(2) 高解像度生物情報獲得技術、(3) 生態系観測の自動化、(4) NbS-PF のための情報システム基盤の開発と整備が挙げられる。

(1) 広域生態系観測技術：広域の生態系情報を獲得するために、音波（ソナー）や電磁波（可視光・赤外線・マイクロ波など）を利用したリモートセンシングが重要な役割を果たしてきた。例えば、人工衛星を利用したリモートセンシングは国土からグローバルスケールでの陸上生態系の分布や土地利用変化、沿岸や海洋環境、降雨、地表や海面の温度などの観測を実現している（**図 7**）。また近年では、航空機からのレーダー観測(LiDAR)が利用され、森林の構造や河川の地形など我々の生活圏の環境の 3 次元構造のデータがこれまでにない詳細さで蓄積されつつある。水中では音響やナローマルチビームを利用したリモートセンシングが発展している。今後数年で、日本から、ALOS-3, 4 をはじめとする高解像度観測衛星が打ち上げられることが計画されている。さらに国際宇宙ステーション（ISS）の「きぼう」に LiDAR が搭載される予定であり（MOLI; https://www.satnavi.jaxa.jp/project/slats/news/2019/pdf/17_slatsMaterial-sakaisawa.pdf)、これによってレーザーによるリモートセンシングが大きく進むと考えられる。今後 10 年で広域観測によって得られる生態系情報解像度と精度は大きく向上するだろう。しかしこれらのリモートセンシングで得られる情報の多くは物理学的数値であるため、いかに生態系機能や生物多様性などの生物学的情報に変換し、さらに生態系動態や自然資本状態を評価・予測するモデリングに導入可能なデータを高精度、高速に取得するかが課題となる。これらリモートセンシング技術を利用した広域かつ詳細な生態系観測技術とモデリングの発展には、さまざまな気候や生態系タイプの地上観測拠点において生態系要素を総合的に観測するとともにそれらの光学的的特性を環境変動の影響とともに検証する分野横断的な研究開発が不可欠である（Muraoka & Koizumi 2009）。また、異なる観測技術により得られる様々な生態系情報の相関関係を解明することに加えて、CO_2 吸収や炭素循環、一次生産などの生態系全体の機能や諸サービスと個々の生態系要素（例えば樹木、土壌微生物、動物）の相互関係性を明らかにすることも極めて重要な課題である。これをサポートし地上検証(グランドトゥルース）を提供するための統合的な地上観測インフラ（Ecosystem Research Infrastructure; Chabbi & Loescher 2017）の充実や国土を網羅した研究調査・観測地・技術検証地を結ぶ観測網（生態系観測ネットワーク）の整備が求められる（Muraoka et al. 2012, 市井・柴田・村岡 2019)。

(2) 高解像度生物情報獲得：リモートセンシングでは種の特定や生理状態の把握等は困難である。例えば、水中に生息する多様な生物の種を音や電磁波を利用して把握することは現状ではほとんど不可能である。しかし、これらの高分類解像度の生物情報は生物多様性を評価する上で欠かせない。近年の分子生物学的分析技術の進展を受け、環境中に存在する生物由

来の DNA（環境 DNA）を利用した生物調査がここ１０年ほどで急速に普及してきた。これにより生息地で採取された水や土壌のみから高い分類解像度の生物の分布・変動情報を得ることができるようになっている。国内では ANEMONE（https://sites.google.com/view/all-nippon-edna-monitoring-net/）などの日本全国の観測網整備プロジェクトにより、日本全国での定期的な採水・分析による高度な生態系観測が行われつつあるほか、採水から生物検出までを自動で行う機器の開発も進められている。今後は、環境 RNA 技術の発展による生理状態の把握や、大気中に存在する生物起源揮発性有機化合物（BVOC）の利用も将来の発展の可能性がある。これら環境 DNA を用いて、現在は魚類などでの観測が進んでいるが、生態系に生息する多くの生物分類群を網羅したより高精度の生物種特定技術、種内の遺伝的多様性などの高分類解像度による開発が今後の課題として求められる。さらに、DNA 以外にも RNA やタンパク質など環境中に存在する生体分子を利用した生態系調査である環境オミクス（Environmental OMICS; Ge et al. 2013, Wang et al. 2020）とも呼ばれる技術の発展は、生理状態や個体サイズ、成長段階等の個体レベルの情報獲得などの、これまでに得ることができなかった生物の状態を示す生物情報獲得を大きく進展させることが期待される（**図 7**）。

(3) 生態系観測の自動化：広域をカバーした多地点・高頻度の生態系観測を実施する上で、観測の自動化は有効な戦略である。また、山岳地帯や海中、森林の樹冠など、アプローチの困難な生態系を観測する際には、ロボットを利用した自動観測システムは有力な選択肢となりうる。自動観測システムにはいくつかの例が存在する。例えば、Argo プロジェクト（https://argo.ucsd.edu）では大量の浮遊・中層ブイを漂流させて全地球の海洋観測を行っているほか、定点ブイにおける自動採水・分析などが海洋・陸水域では行われている。このプロジェクトの生物情報獲得に向けた展開は生態系観測を大きく促進するだろう。また、Phenological Eyes Network（http://pen.envr.tsukuba.ac.jp/）は森林や草原での展葉や開花、黄葉、落葉の様子を自動化したカメラによって連続的に観測し、データアーカイブ化している。さらにロボットを活用した調査としては、ドローンなどの無人航空機（UAV）、無人水中探査機（ROV）の活用のほか、音響を使った観測技術も向上している。また、生物にセンサーをつけるバイオセンサーを利用したバイオロギング・テレメトリー技術も進展しており、生物の個体群動態の追跡等に利用されている。これらの自動観測技術は未だ社会実装できるレベルに達しているものはほとんどない。特に生物観測（環境 DNA やバイオセンサー）については、その技術自体が近年のものであり、自動観測開発は始まったばかりである。生態系の CO_2 吸収量の観測には渦相関法と呼ばれる微気象学的観測手法が利用される。渦相関法は、森林や草原に設置した高さ 30m 程度の観測タワー（植生高の 1.5 倍以上が理想とされる）において周辺の大気 CO_2 濃度と風向風速を連続観測し、それらの数値から CO_2 の移動速度を定量する手法である。近年の観測機材の発達によって観測の自動化が進んでいる。ただしこれらいずれの場合においても、観測の制御や遠隔でのメンテナンス、観測機器の精度管理、データの品質管理などに大きな課題があり、さらなる高度化および自動化が期

待される。

ここまでで述べた次世代の生態系観測を発展・機能させるためには、森林や草原、農地、湖沼、河川、流域、沿岸、海洋などさまざまな現場で実施される生態系・生物多様性観測の充実、活用が重要な役割を果たすことに注意が必要である。この 30 年で国際的な生態系・生物多様性観測体制は着実に成長した。生態系や生物多様性に関する長期観測データの収集・公開を行う国際観測ネットワーク（国際長期生態学研究ネットワーク ILTER、地球規模生物多様性情報機構 GBIF、国際生物多様性観測ネットワーク GEO BON、国際フラックス研究ネットワーク FLUXNET）や情報システムが発足・整備され、我が国の多くの研究者が参画しているほか、それぞれに日本ブランチが組織されている（JaLTER, JBON, JapanFlux など)。我が国での生物多様性観測は環境省が推進するモニタリングサイト 1000 などによっても国土を網羅して展開されており、さまざまな生態系に関する情報が蓄積している（http://www.biodic.go.jp/；Takeuchi et al. 2021）。さらに、観測技術の開発と標準化、国際的な共同データ解析などを通じて各国や大陸規模、グローバルな生態系・生物多様性状態の把握と変化要因を解明するとともに、生物多様性や生態系機能の必須観測指標群（Essential Biodiversity Variables など）を開発してきた。これら地上観測網の充実は衛星観測技術やモデリング手法の開発と検証の過程で必須であるだけではなく（Muraoka & Koizumi 2009, Muraoka et al. 2012)、地域での社会連携のプラットフォームとしての重要な役割を果たしうる。さらに環境 DNA などの次世代の技術によるモニタリングネットワークについても、IUCN(国際自然保護連合)の SSC Species Monitoring Group などを中心に議論が進められる。

(4) NbS システムのための情報基盤の開発と整備：NbS システムの設立を実現するためには、上記の手法などで高度観測されたデータが一元的に管理され、データが相互にやり取りされる必要がある。そこで、NbS システムのための情報基盤の開発と整備が必要となる。現在、GBIF (https://www.gbif.org/ja/) が提案する Darwin core (https://www.gbif.org/ja/darwin-core) や Biodiversity information standard (https://www.tdwg.org)など、生物がどこに分布しているかなどの生物多様性情報を記録する世界的な標準フォーマットは既に確立されている。しかし、NbS システムで扱う生態系の標準フォーマットについては未だ確立されていない。そこで、フォーマット項目の洗い出し、またデータ間の連携について研究開発が必要である。また生態系データはこれまでの生物多様性データよりもはるかに巨大なデータを扱うことになるため、情報学的なアプローチでデータをどのように扱い、異なるフォーマット（例えば、衛星観測と環境 DNA）を連携させる、それをどのように管理・配信するかなどのデータ科学の技術について研究開発が必要である。

2-2. 領域２ 生態系の予測モデリング技術の開発：生態系を「把握する」技術

生態系モデリングは、観測データをもとに生態系の詳細な状態把握や予測、生態系サービス・ディスサービスの評価を実現する上で欠かせない。特に、生態系観測技術の向上に伴って大規模かつ詳細な生態系観測データが得られるようになると、それにあわせて、大規模生態系観測データを最大限に活用して有用な生態系情報を取り出すためのモデリング技術の発展が求められる。また地球上に成立する自然生態系は、現在のところ人類が知る唯一の自律可能なシステムである。その動作原理の理解が深まることで、農業生態系をはじめとする人工生態系の制御・設計に求められるコア技術が開発されると期待される。地域住民等の生態系サービス利用者が自ら生態系サービスモデルを実行できるようにするモデリングの自動化技術が確立すれば、進行中の政策プロセスや、国、地方、地域スケールの意思決定に貢献するとともに、最終的なアウトプットに対するオーナーシップが高まる可能性がある(Willcock et al. 2018)。この課題としてブレイクスルーが必要な技術としては、統計モデリング、機械学習、AI、生態系モデリングなどが挙げられる。

(1) 生態系の構造を推定・予測するモデル：生態系は多様な生物種が相互作用する複雑系である。その状態を把握する上で、生物分布や量の推定が重要な役割を果たす。特に、人間社会は特定の生物種からサービスやディスサービスを受けることも多い。例えば、水産業では種ごとの資源評価が求められるし、感染症対策のためにはどの種をホストとするいかなる病原体であるかの特定が必須となる。したがって、生態系観測データをもとに生物種の分布や変動を推定する種分布モデルの発展が求められる。生態学分野では、状態空間モデルや占有モデルを含む階層ベイズモデルなど、様々な確率分布や非線形性、不確実性、さらにはスパースデータを扱える統計モデリング手法が発展している(Newman et al. 2014, Guisan et al. 2017, Kéry & Royle 2016)。特に生物群集については joint species distribution modelling (Pollock et al. 2014)など、多地点での生態系観測データに基づいて生物種の分布や環境との関係を予測できる新しいモデリング手法が発展した。これらの統計モデリングについては、モデリングの精度を上げるために観測誤差の取り込みやモデルの階層化、因果関係の推測など多くの手法が提案されているが、未だそれを包括して生態系の構造を予測する手法は提案されていない。これらさまざまな手法を統合して高精度で生態系を予測するモデルを開発することが今後の課題である。さらに、生態系予測モデルには多くの生物や環境要因の相互関係を解析してパラメータを推定する必要があり、現在の技術では膨大な計算時間が必要となる。NbS-PF で提供される情報は極めてリアルタイムに近い計算時間でのモデリングが求められる場合もあり、パラメータ推定などの高速化、超並列化などによる計算時間の短縮が課題である。

(2) 生態系の機能を評価・予測するモデル：生態系は多面的な生態系機能を発揮し、多様な生態系サービスを提供している。生態系の多面的機能を持続的かつ効果的に利用するには、観測データとモデリングを活用することでこれらの機能・サービスを定量的に精度よく評

価することが求められる。地球環境調節に関連した生態系機能については、例えば陸上生態系による CO_2 吸収機能の評価・予測を目的として植物の光合成や呼吸、土壌微生物による呼吸などの生理学的プロセスの環境応答メカニズムを導入したプロセスベースモデルが1990 年代から急速に発達している（Ito & Oikawa 2002, Ito et al. 2015）。人工衛星による生態系観測情報を導入した診断モデル（Sasai et al. 2005）、気候変動影響を評価する予測モデル（Ito et al. 2007）などもある。最近では人工衛星観測データと地上での CO_2 フラックス観測データを機械学習によって融合して陸上生態系機能を推定・予測するモデリングも進められている（Ichii et al. 2017）。また、森林植物の個体数や成長のダイナミクスを導入した動的モデルの開発も進められた（Sato et al. 2007）。多様かつ複雑な生態系の挙動を適切にモデリングし、気候変動影響予測の精度を向上させることを目的とした国際的なモデル比較研究も進められている。しかしこれらのプロセスベースモデルは、モデルの精度向上が問題となってきた。プロセスを高精度にモデリングするには、生態系での多くの過程や現象の記載が必要であり、今後、上記の高精度観測が進めばそれをベースにモデルが飛躍的に発展する可能性がある。加えて、IPCC による気候変動の総合的解析を支えてきたのが地球システムの解明と計算機の高速化にもあったように、情報技術の革新的発達も高度に複雑な生態系のモデリングの発展に不可欠である。また、大規模な観測データをもとに生態系サービスの評価や予測を実現する機械学習アルゴリズムが近年大きな発展を遂げており（Hampton et al. 2013, Lokers et al. 2016, Richards & Tunçer 2018）、様々な時間的・空間的スケールの生態系情報提供への期待が高まっている（McKenzie et al. 2014、Scholes et al. 2013、Olsson et al. 2020）。例えば、日本においても、森林の植物相や林齢、気候や地形から森林の生態系サービスを予測するモデルなどが提案されている（Yamaura et al. 2021）。機械学習アルゴリズムを使ってビッグデータを解釈することで、市民や意思決定者が必要とする様々な時間的・空間的スケールの生態系やそのサービス情報を提供することができると考えられている（McKenzie et al. 2014, Scholes et al. 2013, Willcock et al. 2016）。しかしその社会実装はまだなされておらず、NbS-PF などのシステムとの接続、またそれを可能にする高速化にはまだ解決されていない課題がある。

(3) 生態-社会システムのモデリング：生態系情報を社会課題の解決に活用するには、生態系と人間社会の間の相互作用を推定することが求められる。そのためには、生態系観測データと社会システム観測データを統合的に解析するモデリングが必要となる。これまでに、生態系サービスの受益者を理解したり、生態系サービスへの需要、アクセスと利用、および人類の幸福への影響を定量化する研究が進められている（Bagstad et al. 2014, Poppy et al. 2014）。この分野のモデリングの改善には、社会科学の理論やデータを組み合わせることが有効と思われる。しかし、いくつかの例外（Quintas-Soriano et al. 2018, Shi et al. 2020）を除いて、社会科学データが生態系サービスモデル内で使用されることはほとんどない。今後は生態系データと社会科学データを融合的に利用するモデリングの発展が求められる。ま

た、このようなモデリングの成果を利用して政策や意思決定の妥当性を高めたり、解決策の探索に利用する際にはモデリングのアプローチと結果を、関連する不確実性を含めて共有するための工夫が求められる。

なお、これらのモデリングは、自動化により利用者が科学者からの最小限のサポートのみで実行できるように実装されることが望ましい。それによって IPBES のような進行中の政策プロセスや、国、地方、地域スケールの意思決定に貢献するとともに、最終的なアウトプットに対するオーナーシップが高まる可能性がある(Willcock et al. 2018)。またこのようなモデリングの自動化には、透明性のあるデータの提供と、コンピュータ化されたシステムが状況に応じて適切なデータやモデルを選択するための手順が必要である。

2-3. 領域 3 生態系と社会システムの調和的接続に関する技術：生態系を「ハンドリングする」技術

生態系の正確な状態把握や変動予測は生態系サービスを高めたり、ディスサービスを低減したりする上で有用だろう。生態系の持続的利用を実現するのはそれほど容易ではない。人間活動と生態系の間の相互作用を明らかにするだけではなく、人間の自然に対する働きかけや利用法を変容させるための社会的装置が必要である。本調査では、「1. 当該 MS 目標を達成するための課題」でも述べた通り、当該 MS 目標達成のために解決の求められる課題として、生態系情報の利用に関する 3 課題（「領域 1: 生態系の高度観測技術」「領域 2: 生態系の予測モデリング技術」「領域 3: 生態-社会システムモデリング技術」）の他に、「**生態系と社会システムの調和的接続に関する技術**」を特定した。さらにその中で、「IV.人間の幸福に基づく生態系価値評価手法」、「V. 適切な環境教育・学習」、「VI. 生態系管理のための制度設計」、「VII. 金融の仕組み」、「VIII. 分散型社会・地域循環共生圏の構築」の 5 課題を特定した。生態系情報をもとに、これら 5 課題をはじめとする多様な社会課題を解決するためのプラットフォームとして NbS-PF を早急に導入する必要がある。ここではこれら 5 課題に着目し、これらの解決のために生態系情報を活用する方法を検討し、取り組むべき研究開発の例を挙げて述べる。

(1) 人間の幸福に基づく生態系価値評価手法の開発：生態系は多様な生態系サービスを提供する。人間の幸福（human well-being）に資する生態系利用を促進するためには、生態系がどのように人間社会の豊かさに貢献しているかを明らかにすることが求められる。しかし、「豊かさ」や「幸福」の基準は価値観や環境に大きく左右され、また社会の構成員の間でも異なっている。社会が目指すべき方向を定めるための、GDP 等の経済指標に代わる指標を開発することは困難だが必要な課題である。都市 OS 等から得られる社会システムに関するデータと生態系観測データの両方を利用した適切な生態-社会システムモデリングに基づいて、社会全体で広く合意できる共通価値を発見するための技術開発が求められる。

(2) 適切な環境教育・学習の手法開発：生態系の持続的利用を円滑に実現させるためには、人々がその意義を共有するための仕組み作りが重要な社会的課題となる。そこでは、自然が人間社会を支えていること、自然生態系が持つ多面的な価値の認識や、持続不可能な生態系利用が人間社会にもたらすリスクについての認識が社会に広く共有されることが求められる。これを実現する上で科学的知識に基づく適切な教育・啓発活動、および社会におけるファシリテーター育成の実施が有効であろう。教育活動それ自体は社会的課題であるが、人間が生態系に及ぼす影響の「見える化」、生態系の豊かさを実感するための VR 等の活用等、教育・学習手法の開発に深く関わる課題には科学技術に関するものも多い。また、地域住民による生態系観測や社会課題解決への参加は、生態系について学び、価値変容や行動変容につながる気づきを与える教育・学習活動として活用できる。これを促進するための NbS-Apps 開発も重要な科学技術的課題である。

(3) 生態系管理のための制度設計：生態系は空間的広がりを持ち、またその機能やサービスは多面的である。したがって生態系利用に係るステークホルダーはしばしば多数に及び、その利用法もまた高い多様性によって特徴付けられる。生態系の利用や管理の方法を巡るステークホルダー間の利害不一致を適切に解消するための制度設計は重要な社会課題である。その解決には、異なる複数の生態系利用が生態系の状態をどのように変化させ、また生態系の状態変化がそれぞれのステークホルダーにどのような影響を及ぼしたかを評価するための手法開発が科学技術的研究として実施される必要がある。持続可能な生態系利用を実現するためには、さらに現在世代の間の利害不一致だけではなく、将来の可能性を狭めないよう将来世代との間の利害不一致も考慮される必要がある。また、生態系保全に関する目標を共有する異なるコミュニティや個人の間の協働促進もまた大事な社会課題であるが、ここでもそれをサポートするための技術を開発することは科学技術研究分野での課題である。

(4) 金融の仕組み：生物多様性を考慮した ESG 投資・融資への動きが加速している。2023 年の正式なリリースが予定されている TNFD の提言では、自然が事業に与える影響と事業活動が自然に与える影響の双方を評価する「ダブルマテリアリティ」の構造の利用が検討されている。今後、このような生物多様性を考慮した ESG 投資が国際的なスタンダードになれば、企業は自らの活動が自然生態系にどのような影響を及ぼし、またどのように依存しているかを示すことが求められる。企業の事業活動が生態系や生物多様性に及ぼす影響を生態系観測情報に基づいて評価するための手法開発は、すぐにでも進められるべき重要な研究課題である。

(5) 分散型社会・地域循環共生圏の構築：世界に先駆けて人口減少と高齢化が進む我が国では、持続的な新しい社会システムの構築が求められている。人口減少に歯止めをかけ、高い持続性と幸福を両立する上で、大都市への一極集中ではなく、多極集中型の社会システムが有効であると考えられている（広井　2019)。そして都市と地方の両方が共発展するためには、都市と地方がそれぞれ人工的資本と自然資本を活かした地域づくりを進めることが求

められる（地域循環共生圏）。分散型社会や地域循環型共生圏の構築は社会課題であるが、そこには科学技術によって解決されるべき課題も多数含まれている。例えば、より省力的な社会インフラとしてグリーンインフラを導入することや、自然資本の有効活用による生産性の向上は地方が自律的に存続する上で大きな後押しになる。また、地方の自然資本に都市がどれほど依存し、影響しているかを推定し、それに対して支払われるべき適切な対価を評価することは、生態系と社会システムの両者の観測データに基づいて実施されるべき科学技術的課題である。

3. Japan's position in overseas trends
（当該目標に関連する研究開発の動向（全体）、海外動向及び日本の強み）

3.1 研究開発の動向

当該 MS 目標に関連する、「(領域１）生態系の高度観測技術」、「(領域２）生態系の予測モデリング技術」、「(領域 3）生態系と社会システムの調和的接続に関する技術」の３領域における研究開発の動向を以下の通りまとめる。

(1) 生態系の高度観測技術に関する研究開発動向（領域１）

地球環境に関する衛星観測が急速に普及するとともに、近年、衛生観測データの公開がますます促進されている。代表的なものとしては、ランドサット衛星のデータ（1972 年より運用）が無料で公開されており、全球の森林の変化などの定量評価が進んでいる。より空間解像度の高いものとしては、センチネル-2 の衛星データがある。これらの膨大なデータは Google Earth Engine(https://earthengine.google.com)などのクラウド環境でも提供が進んでおり、我が国でも経済産業省により Tellus（https://www.tellusxdp.com/）の運用が始まっている。可視・赤外域の放射計測については、2001 年から MODIS（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer）も運用（Terra および Aqua 衛星に搭載）されている。2014 年に打ち上げられた「だいち（ALOS）2 号」は森林観測や災害地監視に活用されている。2016 年に打ち上げされた気象衛星「ひまわり 9 号」や 2017 年に打ち上げられた「しきさい（GCOM-C)」は生態系やフェノロジー観測にも利用されている。さらには、より高解像度の光学衛星の ALOS-3 および 4 なども今後運用される予定である（https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/a/jp/index_j.htm）。航空機やドローンに搭載された LiDAR（Laser Imaging Detection and Ranging）によるレーザーによる生態系観測（森林や河川の状態の把握など）も進んでいる。

近年の日本を中心とした開発により環境 DNA による生物調査がここ１０年ほどで急速に普及した。我が国ではすでに ANEMONE などの日本全国の観測網整備プロジェクトにより、日本全国での定期的な採水・分析による高度な生態系観測が行われつつある（ANEMONE: https://sites.google.com/view/all-nippon-edna-monitoring-net/）。環境

DNA は水を汲むだけで解析が可能であるため、現在では採水から生物検出までを自動で行う機器などの開発が進んでいる。さらには、DNA バーコーディングのライブラリ構築を行う International Barcode of Life Project（iBOL） が始まるなど、ゲノム情報を利用するための基盤となるビッグデータが整ってきた。

無人航空機、バイオセンサー、ドローンなどの無人航空機（UAV)の活用も普及している。水中では、無人水中探査機(ROV)の活用とともに、音響を使った観測技術も向上している。生物にセンサーをつけるなどのバイオセンサーを利用したバイオロギング・テレメトリー技術も進展しており、生物の個体群動態が追跡されている。

近年では、多種多様な情報を遺伝子・系統・環境の 3 つの軸に沿って整理統合したデータベースが整備されており統合的なデータベースの整備も進んでいる。例えば、微生物や菌類については、MicrobeDB, FungiDB といったデータベースが構築されている。生物の分布情報に関するデータベースとしては、GBIF（Global Biodiversity Information Facility、https://www.gbif.org/）が世界最大規模のもので、世界中から収集された 17 億近い生物の分布データを収集、公開している。

炭素吸収などの生態系機能を観測する手法として、気象観測タワーを利用した CO_2・水・熱収支の観測手法（渦相関法）が 1990 年代から国際的に利用されている。光合成や呼吸、蒸発散などによる大気-生態系間での CO_2 や水の移動速度（フラックス）を定量化して生態系の CO_2 吸収機能や水循環機能解明に用いられる。観測プロット周辺での生態系観測を組み合わせることによって生態系の変化や気象環境の短期的変化が CO_2 吸収量に及ぼす影響を解明することができる。世界には数百の観測プロットが存在し、FLUXNET と呼ばれる国際観測網を構築している。我が国では約 40 の観測拠点を持っておりそこから、JapanFlux ネットワーク（http://www.japanflux.org/）が構築されている。それによって、アジア地域の研究者の能力養成や観測網（AsiaFlux）の構築にも大きく貢献してきた。これらの観測プロットのいくつかは、主に生態系や物質循環の長期的な変化を研究する 58 カ所の観測プロットから成る日本長期生態学研究ネットワーク JaLTER（http://www.jalter.org/）とも連携しており、長期観測データを統合することによって最近 30 年間の気候変動と生態系の変化が相互的に生態系機能に及ぼす影響も調べられている。生態系機能の広範な時空間スケールでの観測は、広域の生態系情報と地上での詳細な生物多様性情報を現象および時空間スケールの面で接続する技術であり、また、生態系モデリングと地球システムモデリングの接続に貢献する。

これまで開発された NbS による応用事例では、その多くはデータの管理を既存のデータベースやプラットフォームに載せたものであった。しかし、ここで提案する高度な NbS-PF の設立を実現するためには、各種観測によるデータベースが相互接続・運用され、データが相互にやり取りされる必要がある。すでに、生物多様性情報（生物の分布など）については、

国際的な議論が進んでおり、Darwin core(https://www.gbif.org/ja/darwin-core) や Biodiversity information standard (https://www.tdwg.org)など、世界的な標準フォーマットは確立されている。一方で、生態系情報の標準フォーマットは ILTER などで作成されているものもあるが、高度観測に対応したデータフォーマットが未だ確立されていない。

(2) 生態系の予測モデリング技術に関する研究開発動向（領域２）

生態系予測モデリングのコアとなる統計モデリングについては、状態空間モデルや占有モデルを含む階層ベイズモデルなどの高度に確率分布や非線形性、不確実性、さらにはスパースデータ（データに多くの未観測があるデータ）を取り入れた手法の利用が進みつつある。特に生物群集については joint species distribution model (Pollock et al. 2014) など、これまでよりも高度に他種や環境の効果を考慮できるモデリング手法が近年提案されている。これらの統計モデリングについては、日進月歩で研究が進んでおり今後の大きな発展が強く期待される。

また近年ではさまざまな予測や診断に用いられる機械学習アルゴリズムは、ビッグデータを生態系サービスの評価や予測に利用することができるため、近年大きな発展を遂げている（Hampton et al.　2013, Lokers et al. 2016, Richards & Tunçer 2018）。例えば炭素循環や窒素循環、水循環などの生態系機能に関するモデルアルゴリズムは単純化された生態系の構造に対して光合成や呼吸、蒸散、植物成長など生物の環境応答特性を生化学的数式を組み合わせることによって開発されてきているが、近年では地上の多地点での観測データと人工衛星による生態系観測データ、気象観測やモデル予測データを機械学習アルゴリズムによって統合する研究開発も進められている。しかし生態系要素観測の広域化・詳細化・高速化が推進されるのと並行して、多様な生物と環境要素の複雑な相互作用系を定量化し予測する高速モデリングが可能となれば、生態系と機能の短期予測（準リアルタイム、近未来変動予測）が可能になること期待される。こうした生態系機能は生態系サービスの基盤をなしているため、調整・供給・文化など多様なサービスの評価や予測技術を支えるだろう。

(3) 生態系と社会システムの調和的接続に関する技術に関する研究開発動向（領域 3）

自然を基盤とした解決策（Nature-based Solutions）に関わる研究は近年急速に進んでおり(https://helda.helsinki.fi/handle/10138/312390)、近年ヨーロッパを中心に NbS が開発されている。都市部での NbS の活用は、都市生態系の設計と管理、または小規模な生態系観測網などのスマートエンジニアリングに関わるものが多い。都市部以外での NbS の活用は、主に農業生態系、自然保護区や公園、河川流域、沿岸地帯などに焦点が当てられている。海外での都市計画には、生態系サービスと NbS による評価が徐々に取り入れ始めている。その計画立案には、PPGIS（Public Participation Geographic Information System）などの革新的な NbS 可視化ツールが利用されており、それによって、NbS がもたらす環境や利益を可

視化することによって都市計画立案に大きく貢献している（Brown & Kyttä, 2014, Curran & Hamilton 2020）。

IUCN の主導により、NbS による多くの問題解決プロジェクトが進行しつつある。例えば、都市 OS に近い形で、都市の環境維持のための NbS の利用（GrowGreen、https://www.iucn.org/theme/nature-based-solutions/our-work）、特に途上国の水不足問題を解決しようとする Water and Nature（http://www.waterandnature.org）や、マングローブ林の維持管理により、津波災害や地域の気候保全に役立てる取り組み（Global Mangrove Alliance https://www.mangrovealliance.org）などがある。他の多くの NbS については、IUCN NbS work（https://www.iucn.org/theme/nature-based-solutions/our-work）に紹介されている。それらの取り組みで実現されている機能、活用性をまとめ、本 MS 目標で開発される NbS-PF を比較したところ、この開発によって、多くのまったく新しい展開、活用が実現できることが示唆された（**表 1**）。

表 1 本 MS 目標で開発される NbS-PF が持つ機能、活用性とこれまでに行われた主な NbS を用いた取り組みとの比較

	公開年	観測とのリンク	生態系予測	ローカル情報集積による生態系全体理解	ローカルでの生態系ー社会共生のための最適解の探索	データの提供	予測の提供	全球的な展開	最適解実現のためのローカルでの制御の提案	地域での活用	国政への活用	備考
NbS-PF	~2050	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	当該目標による 2050 年予定
NbS-PF	~2040	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	当該目標による 2030 年予定
NbS-PF	~2030	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		当該目標による 2030 年予定
GrowGreen	2017	✓			✓							
IUCN Water and Nature	2018	✓	✓			✓						
Global Mangrove Alliance		✓	✓							✓		
INFOR FLR		✓				✓						

3.2 日本が強みを有する技術要素

生態系の高度観測技術のコアとなる衛星観測、環境 DNA, ロボットによる自動観測、LiDAR などの技術は、世界に先駆けて日本で開発されてきたものが多い。例えば、衛星観測データの生態系研究利用においては、上記で述べたような、国際的なフラックス研究、長期生態学研究、生物多様性観測などさまざまなフィールドサイエンスのネットワークが初期から取り組んでおり、世界の観測においても中心的な役割をすでに担っている。

環境 DNA においては、日本では世界に先駆けて研究が開始されており、なかでも世界に先駆けて魚類などの網羅的解析手法を開発し今では世界中で利用されている（Miya et al. 2015, 2020）。 その網羅的環境 DNA 解析手法による日本全国における生態系観測網が整備されつつある (ANEMONE: https://sites.google.com/view/all-nippon-edna-monitoring-net/)。

観測ロボット技術においては、日本はかつてより世界に先駆けて開発が進んでおり、特に水中探査ロボット(ROV、AUV)などにおいては、水質の観測や地形調査などさまざまな用途にすでに利用されつつある（巻 2018)。

日本は LiDAR 観測においても優位な技術を有している。特に水中をレーザー測定できる ALB（The Airborne Laser Bathymetry）があるのは強みであり、河川内の 3 次元データについては日本が世界で最大の所有国である(中村 2019)。河川環境保全などのための活用も世界に先駆けて進んでいる。また空中から水中も測定できるグリーンレーザを搭載したドローンについても日本が世界トップで開発し、実務で活用されていることも強みである(中村 2019)。これらの LiDAR 技術とともに、日本の国土の 8 割ほどの 3 次元データがあり、これはすでに基礎的な生態系観測データを広く有していると言える。

生態系の予測モデリング技術においては、その基礎となる地形や植生などの空間データがすでに多く整備されており、それをもとに日本発でさまざまな生態系モデルが提案されてきた。また世界的にも注目される Preferred Network 社をはじめ機械学習などの分野において、日本はすでに先駆的な役割を果たしてきている。

さらに、生態系と社会システムの調和的接続に必須となる IoN や NbS-PF を構築するための技術については、そのコアとなる通信技術においても日本は世界に先駆けて 5 G 通信網を急速に整備しつつある。これらの日本がすでに強みを有している最先端の観測技術や通信基盤から、IoN を活用することで、NbS プラットフォームを整備する基盤がすでに整っているといえる。

3.3 我が国がこの目標達成に向けて取り組むことの重要性

生態系と社会の調和的接続を図る本研究を我が国が取り組む重要性は、日本の自然や社会

的な現状・背景にも存在する。ここではこれらの我が国の独自性を活かした目標設定が可能になると思われる文化的背景や社会課題等を挙げたい。

(1) 我が国の自然と「共生の思想」：我が国は世界の生物多様性ホットスポットとして知られており(https://www.conservation.org/japan/biodiversity-hotspots)、極めて豊かな森林や海洋の生態系を有している。日本の森林率は OECD 加盟国中、フィンランド（73%）に次ぐ第二位の 68%に及ぶ。生息する生物も多様であり、陸棲哺乳類、維管束植物の約 4 割、爬虫類の約 6 割、両生類の約 8 割が我が国にしか生息しない固有種である。海洋についても、約 35,000km もの長く複雑な海岸線や、干潟・藻場・サンゴ礁など多様な生息地に恵まれている。世界三大漁場の一つ「三陸・金華山沖」を有するほか、世界に生息する 112 種の海棲哺乳類のうち 50 種、世界の約 15,000 種といわれる海水魚のうち約 25%にあたる約 3,700 種が生息する。仏教教典「涅槃教」にある「草本国土悉皆成仏」を受けて宮沢賢治が「山川草木悉皆仏性」と述べたように、この豊かな自然に恵まれた我が国では、「日本らしさ」ともいうべき独自の自然への観察や意識が存在すると考えられている。あらゆる生きとし生けるものをヒトと同等に尊ぶ「共生の思想」とも呼ぶべき自然観である。この思想の広がりは、100 年も前に人間があらゆる生きとし生けるものと平等に共生することの大事さを説いた仏教学者・政治家・教育者の椎尾弁匡（1876-1971）に端を発する。

(2) 社会的共通資本のコンセプト：宇沢弘文（1928-2014）は国際的にも高い評価を受けた数理経済学者である。宇沢は、自然環境、社会的インフラストラクチャー、制度資本を「社会的共通資本（Social Common Capital)」として捉え、これらの資本は豊かな社会を築くのに不可欠な社会全体にとっての共通の財産であると指摘した（宇沢 2000)。その上で、社会的共通資本は市場的基準による支配や官僚的基準による管理がなされてはならず、社会的な基準に従って管理運営されるべきだと主張した。国連が SDGs を唱える 50 年も前に持続的な発展を可能にする経済の制度を探求したといえる。高度な観測データと科学技術に基づいて、自然環境を適切に管理しようとする仕組みが宇沢を輩出した我が国から提案されることには特別な意味があるかもしれない。

(3) 人口減少と都市への人口集中への対策：人口減少と高齢化が進む我が国においては、地方社会の再構築が重要な課題となっていく。持続可能な地域社会形成の手段として、自然生態系が有する機能を効果的に活用するグリーンインフラや、自然環境を災害の緩衝地帯として利用する Eco-DRR（Ecosystem-based Disaster Risk Reduction）への注目が高まっている(Renud et al. 2016)。高度な生態系情報に基づき生態系の社会課題解決における利用価値を高める技術は、自立的な地域共生社会の成立を後押しするとともに、大都市への人口集中を緩和することで人口減少を抑制する効果がある。

(4) 国際社会における貢献：地球環境課題解決はわが国のみならず、人類共通の課題である。ここで、アジア太平洋地域のうち特に開発途上国に見られる生態系・生物多様性の劣化は我

が国で消費される物資や食料の生産と強く結びついていることに注意が必要だろう。環境問題に関する科学・技術・知見を提供するだけでなく，他国の環境問題を解決する責任を我が国は有している。他国の生物多様性回復に貢献してはじめて、我が国は豊かな自然に高い誇りを表明することができるだろう。環境問題解決の国際的枠組みとして、2010 年には国連生物多様性条約 COP10（名古屋）で愛知目標が採択されたほか、2015 年には仙台防災枠組、気候変動パリ協定、持続可能な開発目標（SDGs）が続けて採択されている。いずれの国際アジェンダにおいても我が国は主体的な役割を果たし、目標達成に取り組んでいる。2016 年には科学技術・学術審議会第 6 期地球観測推進部会が「今後 10 年の我が国の地球観測の実施方針」を取りまとめ、課題解決型の地球観測の推進による国際アジェンダへの貢献を検討した。なかでも生物多様性や森林生態系・海洋資源は人類の持続可能な社会の実現に重要な問題であることが強く認識されている。

(5) 課題解決型の地球システム観測：我が国では、持続可能な社会の実現に向けて総合的な地球システム観測を環境課題解決に活用すべく、「地球観測の推進戦略」を策定した（平成 16 年閣議決定）。これと並行して 2005 年には「地球観測に関する政府間会合（GEO）」の発足において日本政府は中心的な役割を果たし、それ以後、人工衛星、航空機、船舶、各種センサー、フィールドでの調査研究など多種多様な地球観測が世界的に発展した。この間、日本の研究者は国内のみならず海外での地球観測の能力養成・人材育成にも貢献してきた。2016 年に科学技術・学術審議会第 6 期地球観測推進部会が取りまとめた「今後 10 年の我が国の地球観測の実施方針」では、課題解決型の地球観測を推進すべく将来方針を策定した。さらに 2020 年に第 8 期地球観測推進部会が取りまとめた同フォローアップ報告書(https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/097/houkoku/1422531_00003.htm)では、SDGs，パリ協定，仙台防災枠組と並んで生物多様性条約（愛知目標、ポスト愛知目標）への地球観測の貢献を重視するとともに、多様な科学・技術・能力養成の推進と社会への普及を，研究機関や大学、産業界、市民が協力して推進することの重要性が議論されている。

III. Plan for Realization（社会像実現に向けたシナリオ）

1. Area and field of challenging R&D, research subject for realization of the Goals（挑戦的研究開発の分野・領域及び研究課題）

MS 目標である「生態-社会システム共生体化」は、NbS システム（NbS-PF と NbS-Apps）の開発と実装によって誘導される（**図 8**）。そのため、MS 型研究開発では、大規模かつ高解像度な生態系情報を生成・予測できる NbS-PF が社会基盤として整備され、さらにその出力を利用した種々の NbS-Apps が多様な社会問題を解決するためのツールとして構築・活用されるための研究が推進されなければならない。これらの要素の実現に向けて挑戦的研究開発を推進すべき 3 領域（領域 1 生態系の高度観測技術；領域 2 生態系の予

測モデリング技術；領域 3 生態系と社会システムの調和的接続に関する技術）と、関連する研究課題を以下の通り提案する：

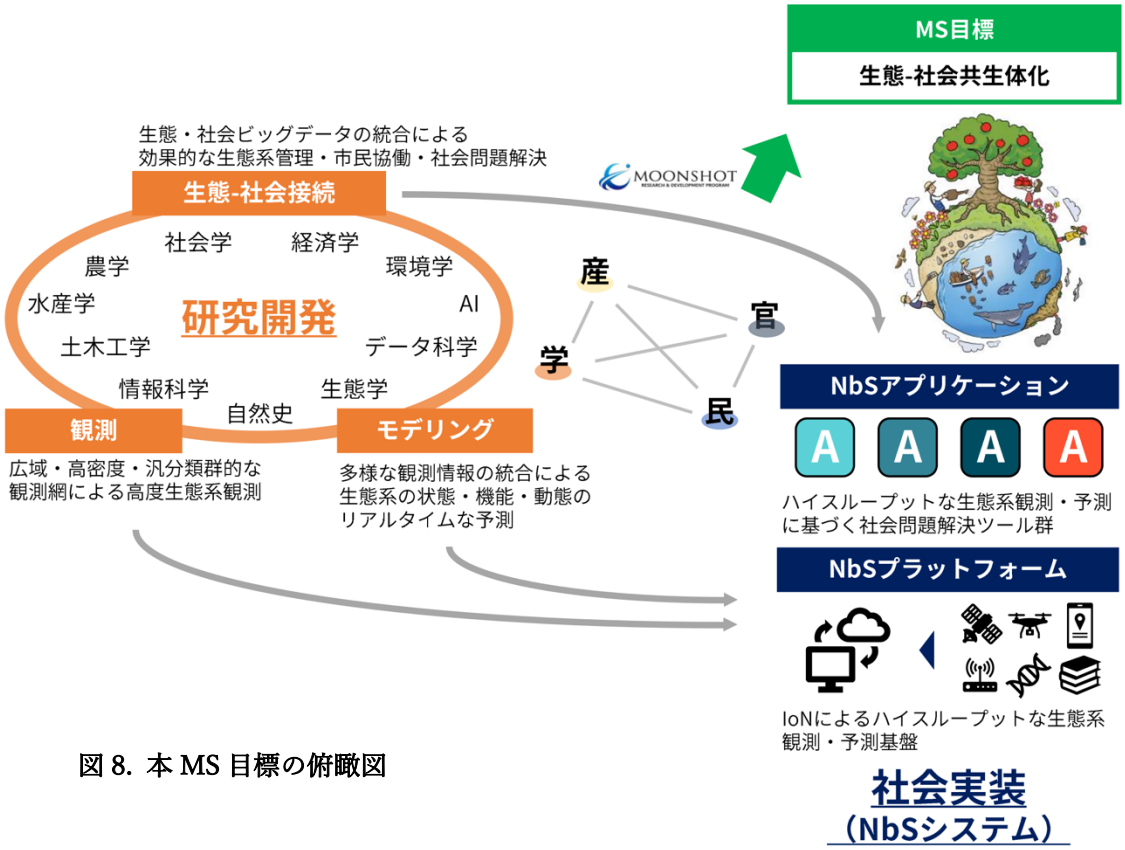


図 8. 本 MS 目標の俯瞰図

(1) 領域 1 生態系の高度観測技術

NbS-PF の基盤は先進的な生態系モニタリングである。そこでは、生態系が機能する広域を対象に、環境（物理、化学、気象、大気、水など）と生物（種、存在量、生理、形態、行動、遺伝情報など）、生態系の機能（一次生産、物質循環、花粉媒介、水質浄化、水源涵養、防災機能など）が常時モニターされ、その情報が IoN を介して迅速に共有される。これを可能とするために必要なイノベーションや研究課題として、具体的に以下が挙げられる。

課題 1-1 ハイスループットな生態系観測技術　生態系観測データの量と質を飛躍的に向上させるための技術開発を実施する。開発技術は 2 つの条件を高いレベルで満たす必要がある。第一に、生態系の迅速な状態把握や正確な予測を実現するためには、システムの広大さや構成要素の多様性をカバーした観測が必要である。そのため、観測の範囲と解像度を向上させることは重要な課題である。空間と時間、および生物学的階層の 3 軸が特に重要である。すなわち、いかに生態系の観測を、広く細かく（空間）、長く高頻度に（時間）実施できるか、さらには、いかに幅広い生物学的階層（遺伝子、個体、個体群、群集、生態系）の

状態と機能を把握できるかが、開発の重要な焦点となる。革新的な観測アプローチの開拓が必須であることに加えて、人工衛星や UAV/ROV 等によるリモートセンシング、映像・音響記録装置による自動生態観測、バイオロギング・テレメトリー、環境 DNA 分析技術などの従来手法の高度化や廉価化、簡便化も重要な方向性になりうる。生態系機能の観測技術も重要なターゲットとなる。第二に、ハイスループットに生成されるデータが状態把握や予測に十分な精度を持つことが重要である。生態系観測に不可欠な専門知識・技術を何らかの形で共有化することは、ハイスループット生態系観測を支える重要な要素となるだろう。例えば、生物種の同定に一定（あるいは相当）の専門的知識・技術を要することは、生態系調査の精度と規模の両面を大きく制約している。人工知能による生物種同定の補助・自動化技術は、この問題の解決に資するだろう。さらに、種の生態や分布、形質、DNA 配列などの自然史情報を集約するオープンなデータベースを充実化することも、多様な生態系観測の精度を下支えする。

課題 1-2 大規模生態データの共有と横断利用のための情報技術　ハイスループットに生成される生態系データの迅速な集約・共有と、統合的な利活用のための技術開発を行う。生態系の構成要素や機能は極めて多様である。そのため、NbS-PF における生態系モニタリングは、標準化された観測プロトコルによって行われるのではなく、多様な主体（研究者、行政、企業、市民など）によって様々に異なる様式で実施された自然観測データを集約することによって実現されるだろう。これを可能とするためには、出自の様々なデータを自動的にクラウド化するための IoN の技術と、多様な自然観測データの一元化と横断的利用を実現するデータ記述フォーマットとデータベースの開発が不可欠である。

(2) 領域 2 生態系の予測モデリング技術

NbS-PF を支えるもう 1 つの要素が、生態系のナウキャストとフォアキャストを実現する高度なモデリング手法である。そこでは、大規模な観測データと生態系モデルに基づき、任意の生態系の状態や機能、生態系サービス/ディスサービスが高い精度と解像度で評価・予測され、重大な異常があれば自動的に検知される。また、将来の動態予測が提供される。これを可能とするために必要なイノベーションや研究課題として、具体的に以下の 2 つが挙げられる。

課題 2-1 高度生態観測データに基づく生態系のリアルタイム評価・予測技術　大規模な生態系観測データに基づき、生態系の状態把握と予測を迅速に行うための技術開発を実施する。NbS-PF では生態系の複雑さに見合う大規模データがハイスループットに生成されることで、モデルに基づく自然生態系の状態把握と予測を可能とするだろう。一方で、こうした評価・予測をリアルタイムに実現するためには、生態系の複雑さに由来する計算上の困難を解決しなくてはならない。生態系は、多様な構成要素が異なる、または変動する環境条件下で相互作用する複雑なシステムであり、状態把握と予測においては多数の未知パラメータ

の特定と大規模な演算が要求されるからである。この問題を解決する上で重要な方向性として、モデルに基づく状態把握と予測に必要な数値計算およびデータ同化手法の高速化や、生態系の変動プロセスの定量的理解を進めることで予測モデルの不確実性を解消していくことなどが挙げられる。

課題 2-2 多様な生態系観測データの統合モデリング　多様なデータセットを統合して生態系の状態把握と予測を行うためのモデリング手法の開発を実施する。NbS-PF では、様々な手法と主体によって収集された生態観測データが一元的に集約され、標準化されたフォーマットで提供される。しかし、個々のデータセットは、必然的に、観測の対象や精度、偏り、または時空間的なスケールや解像度などが大きく異なると考えられる。こうしたデータセット間の異質性を適切に扱うための手法がなければ、大規模生態系データを十分に活用した生態系の状態把握と予測は実現し得ない。そのため、NbS-PF の大規模データに含まれる異質性を適切に較正して、生態系の全体像を明らかにするためのモデリング手法の開発が求められる。

(3) 領域 3 生態系と社会システムの調和的接続に関する技術

NbS-Apps は、社会と生態系のつながりを「見える化」し、自然資本としての生態系の価値の適切な認識を促すことで多様な社会問題の解決をもたらす。そこでは、「自然 OS」とも呼ぶべき NbS-PF が生成する生態系のビッグデータと都市 OS が生成する人間社会のビッグデータが環境・社会・経済を統合する学際的なモデルに入力され、持続可能で豊かな社会のための政策決定を支援する。さらに、地域や国の境界を超えて広がる生態系を適切に管理するため、多数のステークホルダーの間の協働を促進し、利害不一致を解消する役割も果たす。これを可能とするためには、NbS-PF から生成される生態系情報から環境リスクや資源価値などを評価し、それを社会や経済の文脈に適切に組み入れるための分野融合的な研究開発が不可欠である。必要なイノベーションや研究課題として、具体的に以下が挙げられる。

課題 3-1 生態系の保全と利活用を最大化するための技術　人間社会が生態系の保全を促進する機能的パーツとして働く状態を誘導することを目標に、生態系と社会システムの間の関係性を明らかにするための科学研究や技術開発を実施する。生態系に対する人間活動の影響評価、人間の様々な活動の生態系への依存性評価、生態系情報に基づく環境リスクの見える化、持続可能な資源利用を促す制度設計のほか、環境教育プログラムの開発も含まれる。NbS-PF が提供する大規模な生態系情報に基づき、自然資本や生態系サービスの価値をリアルタイムに評価することを可能とする技術の開発も重要な研究課題である。詳細に「見える化」された生態系の価値は、国や地域が持つ生態系の豊かさを評価し、社会の持続可能性の直接的なモニタリングを可能とするだろう。また、VR などの科学技術を利用して人々の自然に対する価値・行動変容を促す手法開発も研究課題となる。

課題 3-2 生態系利用に関するステークホルダー間の協力・調整を実現する技術　多様なス

テークホルダーによる協調的な生態系ガバナンスを実現するための技術開発を実施する。生態系には明確な境界は存在せず、また生態系が発揮する機能・サービスは多面的である。その結果、生態系の利用や管理、保全を巡るステークホルダーは通常、多数に及ぶ。これらのステークホルダーが持続可能でかつ効果的に生態系を利活用する上で、協力関係の促進や利害不一致の調整が求められる。そのため、(1)共通の目標に向けて異なる手法でアプローチするステークホルダーの調整を実施してシナジー効果を生み出したり、(2) 互いに利害の不一致が存在するステークホルダー間の協力を促進したりするための技術開発が重要な課題となる。自然資本の債権・負債に基づく支払いに関する課題もここに含まれる。

2. Direction of R&D for realization of goals

（2030 年・2040 年・2050 年のそれぞれにおける、達成すべき目標（マイルストーン）、マイルストーン達成に向けた研究開発、これによる波及効果）

ここでは、NbS システム（NbS-PF と NbS-Apps）の開発・実装の観点から、各目標年（2030 年・2040 年・2050 年）のマイルストーン、取り組むべき研究開発テーマ、社会への波及効果のシナリオを提案する（**図 9**）。NbS システムの開発・実装は、まずモデル地域でのプロトタイピングから始まり、NbS システムが地域の社会問題解決と住民の価値・行動変容を促すことが確認される。その後、NbS システムは全国・全世界へと拡大し、その過程で自然環境に配慮した価値観や行動様式、社会・経済システムへの移行を誘導することにより、MS 目標である「生態-社会システム共生体」型の社会が実現する。

(1) 2030 年目標とその達成に向けた研究開発・波及効果

達成目標（マイルストーン）：モデル地域における概念実証

- 複数のモデル地域（地方自治体など）を対象に、地域生態系の高解像度なモニタリングと予測を可能とする NbS-PF のプロトタイプが構築される。
- NbS-PF から提供される生態系情報に基づいてモデル地域の社会問題を解決するためのツールとして、複数の NbS-Apps が開発・運用される。

マイルストーンの達成に向けた研究開発課題

- ハイスループット生態系観測網の構築
- IoN の実現に向けた技術開発

図 9. 本 MS 目標の研究開発シナリオ

- 地域生態系の予測モデリング技術の確立
- 生態系データ共有のためのプラットフォーム構築
- 地域社会問題解決のための NbS-Apps の開発技術の確立

マイルストーン達成が社会にもたらす波及効果

- IoN による自動的なデータ収集が実現し、モデル地域の生物多様性や生態系の状態がリアルタイムで把握される。また、NbS システムが生態系のサービスや機能を詳細に「見える化」することにより、地域住民による生態系の自治管理が促進される。例えば、生態系のハイスループット観測に基づき生態系の劣化が迅速に検知され、その情報が共有されることにより、潜在的に多くのステークホルダーが保全や再生のアクションを取ることができるようになる。また、生態系利用に関する住民間の利害調整や意思決定に生態系の観測情報が利用されることで、地域生態系の多面的な機能やサービスが高い水準で発揮され、地域社会の経済、福祉、安全が支えられる。
- NbS システムによる生態系の「見える化」はまた、地域の資金基盤を強化する。具体的には、地域に存在する自然資本の保全・再生・活用の取り組みがより高い精度で評価されるようになり、企業や自治体などは ESG 投融資やオフセットクレジットを介した資金調達の機会をより多く得ることが可能となる。
- 地図化された生物多様性情報を活用した環境教育・学習が実施される。生息する多様な生物の分布や、生態系が発揮する機能やサービスを、自分たちの住む町や地域の地図に重ねて表示する教材が利用可能になる。これにより、地域住民や次世代を担う子どもたちが、地域固有の生態系の成り立ちや重要性について、主体性を持って学ぶことができるようになる。地域自然環境の多面的な価値が再確認され、脱炭素と生物多様性保全の

両立に向けた動きが加速する。

(2) 2040 年目標とその達成に向けた研究開発・波及効果

達成目標（マイルストーン）：NbS-PF の相互接続・ネットワーク化

- NbS-PF が多数の地域で構築され、さらにそれらが互いに連結されることで、生態系情報の集積とその利活用を全国規模で実現するネットワークが構築される。
- NbS-Apps が複数の行政区にまたがる広域の社会問題の解決に利用される。

マイルストーンの達成に向けた研究開発課題

- ハイスループット生態系観測網の広域化を可能とする技術開発
- 生態系の広域予測のためのモデリング技術の確立
- NbS-PF の相互接続のための技術開発
- 広域での社会問題解決のための NbS-Apps の開発技術の確立

マイルストーン達成が社会にもたらす波及効果

- 自然資本の持続的な活用と、自然から得られる福祉の配分格差の是正に向けた価値変容が促される。広域化した NbS システムによって、自然条件や社会条件の違いによる生態系サービスの供給量の地域差や、地域間での社会経済活動のつながりを介して遠隔地の自然環境に及ぼす負荷量が詳細に「見える化」されるようになる。これにより、十分なデータや証拠に基づき、生態系から得られる多様な便益に対する支払いが行政区をまたいで実施されるべきとの価値観が醸成される。こうした価値変容は、地域の特性に応じた資源利用と相互協力に基づく地域循環共生圏の成立を後押しする。
- NbS システムの発展がシーズとなり、新たな産業や需要を生み出す。例えば、生態系の変化が長期・広域で捉えられることで生態系変動のリスクが高い精度で定量化され、農林水産業や観光業を始めとする生態系に依存する産業や個人に対する保険が商品化される。地域ごとの自然情報が不動産分野で活用される。また天気予報と同様に、大規模な観測情報に基づき生態系の直近の変動を予測し、情報提供を行う「生態系予報」が可能となる。これにより、社会における多様な活動が生態系の変動に対して柔軟に調節されるようになり、労働生産性の増大と環境リスクの低減が達成される。

(3) 2050 年目標とその達成に向けた研究開発・波及効果

達成目標（マイルストーン）：NbS システムが世界に拡大

- NbS-PF がアジア太平洋地域を始めとする海外にも展開され、生態系情報の集積とその利活用を全球規模で実現するネットワークが構築される。
- NbS-Apps が全球規模の社会問題の解決に利用される。

マイルストーンの達成に向けた研究開発課題

- 全球規模でのハイスループット生態系観測網の構築
- 全球規模での生態系予測のためのモデリング技術の確立
- 全球規模での社会問題解決のための NbS-Apps の開発技術の確立

マイルストーン達成が社会にもたらす波及効果

- 生態系と人間社会が互いに支え合う共生体へと変容する。NbS システムによる人々の価値・行動変容が生態系利用に対する適切な対価の支払いを促す結果、生態系の保全・管理に関する活動が新たな産業として成立し、自然の豊かさを強化する経済活動が実現する。一方、NbS システムがもたらす生態系情報によって、人々は生態系の多面的機能を最大限に活用した豊かな暮らしを実現する。NbS システムにより「見える化」された自然資本・生態系サービスの経済価値が定常社会のモニタリング指標として機能することにより、自然資本は減耗せず、社会・経済・文化が持続的に発展する。
- 生態系利用に関する国・地域間の格差が是正され、地域循環共生圏が成立する。NbS システムによって可能となる生態系負荷の「見える化」と生態系利用への支払い額の適正化により、都市と地方、先進国と開発途上国はそれぞれ、自然資本の維持と再生に対する費用を公平に分担できるようになる。同時に、それぞれの国や地域において、NbS システムが地域資源としての生態系を最大限に活かした生産活動を促す。国内・国外輸入への依存度は最小化され、特色ある国や地域が相互に支え合う持続可能な分散型社会への移行が促される。

3. International cooperation
（目標達成に向けた国際連携の在り方）

本 MS 目標の達成に向けて、以下に挙げる国際的取り組みが求められる。

(1) 国際観測ネットワークの構築・強化

NbS システムの基盤となるハイスループットな生態系観測では、AI を活用したリモートセンシングなどの先進的な計測技術が大いに活用されるだろう。しかし、生物学的・生態学的情報は時空間的不均一性が高いため、こうした自動化された観測に基づく大規模データには大きな誤差成分が含まれる可能性が高い。また、NbS システムでは市民観測データも重要な役割を果たすが、調査技術や行動範囲などが様々に異なる多数の市民によって収集さ

れるデータにも大きな偏りと異質性が含まれる。そのため、これらの大規模データを用いて広域の生態系を有効に把握するためには、高精度な実地観測データに基づく較正（地上検証測定）を行うことが極めて重要である。研究機関による高精度計測が行われている野外調査サイトの観測ネットワーク（APBON、ILTER、AsiaFlux など；Muraoka et al. 2012, Haase et al. 2018, Takeuchi et al. 2021）や地上観測インフラ（Ecosystem Research Infrastructure；Chabbi & Loescher 2017）は、こうしたハイスループット生態観測網の較正拠点として重要な役割を果たすことができるだろう。そのため、NbS システムの研究開発を推進する上で、国際観測ネットワークの構築と連携強化を進めていくことが重要である。

(2) 国際目標におけるイニシアチブ

NbS は、気候変動、食料・水の安全保障、自然災害、人間の健康、生物多様性の減少などの社会課題に対する横断的な解決アプローチである（Cohen-Shacham et al. 2016, 2019）。こうした人類共通の社会課題への取り組みとして、持続可能な開発目標（SDGs），仙台防災枠組，パリ協定、愛知目標（およびその後継目標）などが国際枠組みとして設定されている。国や地域における NbS の達成を支援する NbS システムの開発と普及を通じて、これら国際目標に対するコミットメントを強化していくことは、目標とする社会像の実現に向けた国際連携のあり方として重要である。

4. Interdisciplinary cooperation
（目標達成に向けた分野・セクターを越えた連携の在り方）

本 MS 目標の達成には、産官学民全てのセクター間での連携と、文理を問わない幅広い学問領域の研究参画が必要である（**図 8**）。特に、NbS システムの開発と普及については、(1) システム実現のための研究開発、(2) 生態系のハイスループット観測体制の構築、(3) NbS システムの社会実装のそれぞれにおいて、以下のような連携のあり方が求められる。

(1) システム実現のための研究開発

本 MS 目標で実現を目指す IoN、NbS-PF などの基盤技術の迅速な開発と社会実装に向けて、研究機関と企業等による産学連携が求められる。例えば、研究機関が創出する独創的なコンセプトと、企業が保有する強力な開発・生産能力が組み合わさることによって、種々の生態系観測機器の開発や高度化、廉価化が促進されるだろう。NbS システムの研究開発においては、生態系の基礎研究領域である生態学や自然史、応用研究領域である水産学や農学等を中心に、データ科学や情報科学、土木工学、ICT 分野、AI 分野、さらには社会学や経済学など、多様な分野の参画が求められる（**図 8**）。

(2) 生態系のハイスループット観測体制の構築

NbS-PF における生態系観測は、多様な主体によって様々な様式で実施された自然観測デー

タを集約することによって実現される。そのため、研究機関、自治体、政府、団体、市民などによる生態系の観測はそれぞれ、NbS-PF の下で相互に連携関係にある。広域・高密度な観測体制を構築するためには、この連携関係を強化するための取り組みが必要である。具体的なアプローチとして、例えば、地域の生態系観測に関する知見や事例、関連文献等を観測主体の間で収集・共有・交換するナレッジハブの構築などが挙げられる。

(3) NbS システムの社会実装

NbS システムの社会実装に向けた開発シナリオとして、モデル地域を対象とした NbS システムのプロトタイピングが想定される（III.2 節を参照）。そこでは、研究機関と地域コミュニティ（地方自治体や地域住民）の連携が不可欠である。NbS システムの実証に向けた諸課題として、地域生態系の観測網の構築、情報共有プラットフォームの開発、共有された生態系情報を用いた地域課題の解決などが考えられるが、これらを着実に進める上で、アカデミアと地域のパートナーシップに基づく研究開発と検証を進めていくことが求められる。地域コミュニティは NbS システムの主要なステークホルダーであり、続く NbS システムの拡大フェーズにおいても重要な役割を果たす。

5. ELSI (Ethical, Legal, Social Issues)
（目標達成に向けて取り組むうえでの倫理・法的・社会的課題及びその解決策）

本 MS 目標の達成に向けて、ELSI に関する以下の課題が挙げられる。

（1）社会変革の必要性

本 MS 目標で目指す社会像を真に実現するためには、自然生態系の保全と活用が人類の持続的な発展に不可欠であるという価値観や行動様式が社会に広く浸透し、経済・金融システムや法制度などの社会構造の大幅な見直しを含む「変革」が生じることが求められる。人類のこれまでの産業発展の結果、私たちの日々の生産・消費活動は大きな環境負荷を生じており、自然資本の減耗、気候変動、生物資源や生物多様性の喪失など、自然環境のグローバルな危機をもたらしている。人類の活動が自然環境に及ぼす影響の範囲は広く、多岐にわたることから、環境に負荷を与える多様な直接要因の背景にある社会的要因の解決として、こうした「変革」が速やかに生じることが不可欠である（IPBES 2019, Dasgupta 2021, 環境省 2021）。

しかし、このような大規模な社会変容が求められることは、本 MS 目標の実現が非現実的なものであることを必ずしも意味しない。実際、「変革」に向けた動きは国際的に着実に進みつつある。例えば、2020 年には、74 の金融機関、規制当局、企業などで構成される国際イニシアチブが発足し、企業や金融機関が自然への依存度や影響を評価、管理、報告するための枠組みを検討する「自然関連財務情報開示タスクフォース（TNFD）」の発足に向けて検討が進められている。TNFD は 2021 年の発足が目指されており、2023 年までに自然と

生物多様性関連の開示のためのフレームワークとガイドラインを発行することが計画されている（https://tnfd.info/）。また、2016 年には、企業が自然資本への影響と依存度を評価し、経営判断に活かすための標準的な枠組みである「自然資本プロトコル」が開発されている（Natural Capital Coalition 2016）。こうした国際動向は、生物多様性に関連する ESG 投融資を介して、資金の流れを自然資本を保全する方向へと誘導し、「変革」の鍵である金融の変化を促すだろう（Dasgupta 2021）。

また、国家勘定に自然資本の価値を組み込むための取り組みも進んでいる。生物多様性条約愛知目標ではこれに関連する目標が掲げられており（戦略目標 A 目標 2）、2020 年時点ですでに 100 カ国近くで生物多様性の価値が国家勘定に組み込まれている（Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2020）。こうした動向の背景として環境と経済の情報を統合するための世界基準の開発があり、2021 年 3 月には生態系勘定に関する統計基準として System of Environmental-Economic Accounting Ecosystem Accounting（SEEA-EA）が国連で正式に採択された（https://seea.un.org/ecosystem-accounting）。こうした包括的な国家勘定へのシフトは、自然資本の価値を経済システムに適切に内部化し、持続可能な開発を実現するための重要なステップとなるだろう（Managi & Kumar 2018）。

一方で、適切な政策の導入を通じて「変革」を推進することも不可欠である。有効な方策として、例えば、生態系保全のインセンティブ（課税や減免、罰則や報奨など）や認証等に関わる法令の改正、制度や枠組みの構築、PES の導入、ガイドラインの整備、投資市場への適切な情報開示を支援する情報基盤の整備、技術革新への支援などが挙げられる（環境省 2021）。経済と生態系保全・活用の好循環を生み出し、またそれを支える教育や価値観の醸成を促進するための施策が求められる。また、自然と調和した社会の構築に向けた野心的な目標を設定して多様なセクターの行動を促すことや、産業構造の変化を乗り越えるための社会保障を提供すること、生態系を活用した土地利用のための法整備を進めることなども行政の取り組みとして必要である。

最後に、本 MS 型研究開発で実現を目指す NbS システムは、必要な「変革」を促す装置として機能することを注意しておきたい。NbS システムがもたらす自然の状態や価値の「見える化」は、それを活用した環境教育・学習や、地域住民の参加による社会課題の解決、生態系管理のための制度設計などを可能にすることで、住民の価値・行動変容や産業構造の転換、外部不経済であった自然資本の内部化を促し、自然生態系と人間社会が互いに支え合う強靭な共生体の実現を後押しするのである。

（2）生態系ビッグデータの利活用における倫理とガバナンスの確立

これまでのコンピュータやインターネットの発展、さらにはゲノム情報などのビッグデータの台頭の歴史を振り返れば分かるように、新たな情報の開拓は私たちの社会を豊かにする大きな原動力であったと同時に、様々な新しい問題を生じてきた。NbS システムがもた

らす大規模な生態系情報もまた、従来にはない社会・経済リスクや倫理上の問題を惹起することが想定される。そのため、本 MS 目標の達成に向けて、生態系ビッグデータの取得と利活用に関連する社会・経済・倫理上の問題点を明らかにし、それらを解決するための取り組みを進めていくことが必要である。

具体的な例として、生態系情報の安全かつ適切な運用に関する問題が挙げられる。NbS システムによって提供される生態系情報は、生態系の持続的かつ効果的な利活用のために様々なステークホルダーによってオープンに利用されるべきである。しかし一方で、生態系の詳細な情報に誰もがアクセス可能になることによって、水産資源の乱獲や希少種の密猟など、生態系の収奪的利用が促されてしまうリスクも存在する（Lindenmayer & Scheele 2017, Tulloch et al. 2018）。また、生態系の観測が高度化することで、個人や集団の尊厳や権利、安全などが意図せず侵害される状況が生じる可能性も考えられる（Handsley-Davis et al. 2020, Sandbrook et al. 2021）。そのため、NbS システムの開発と並行して、高度な生態系情報が提供される社会における情報管理のあり方や生態系ガバナンスのあり方、さらには私たちの「生態系情報リテラシー」（すなわち、生態系情報の利用における社会的責任）の確立などに関する検討を進めていくことが求められる。

IV. Conclusion（結論）

「生態-社会システム共生体化」チームは、ポストコロナ／アフターコロナ時代において我が国が目指すべき 2050 年の社会像、その実現に向けて取り組むべき課題を特定し、さらに目標達成に至るシナリオとマイルストーンを示すための調査研究を行なった。「生態系と社会システムという二つの巨大な複雑系を調和的に接続させることで、持続性と幸福は同時に実現可能である」との作業仮説のもと、文献調査、各分野の専門家や研究ネットワークへのインタビュー、pol.is を利用したアンケートや公開シンポジウムを通じて情報収集を行なった。獲得したこれら膨大な情報や知見を精査・分析・活用し、科学技術のみならず社会・経済システム、法整備や国際情勢なども考慮した多面的な視点より、本仮説の社会的意義と実現可能性について徹底的な検討と議論を行なった。

本調査の結果、地域住民が相互に連携して実現する生態系の協働ガバナンスを軸に据えることで、豊かな自然が社会を支え、社会が自然を支える全く新しい社会像への転換（生態-社会システム共生体化）が可能になること、これにより自然の恵みが最大化され、グリーンエコノミーと自然情報産業が創出されるのみならず、個人の幸福や自己実現をも実現する誰も取り残さない豊かな社会の構築も達成しうることが見出された。また、そこに至る過程で、生態系の状態や社会システムとの関係を「見える化」する自然のインターネット（IoN）とこれを基盤とする環境価値取引等の生態-社会関係変容のための社会装置が重要な役割を果たすことが特定された。

科学技術分野からなされるべき貢献についての検討も行なった。生態-社会システム共生体化において中心的役割を果たす生態系情報インフラとして NbS システムのフレームを提案するとともに、その実現のために求められる 3 つの重要な研究課題、すなわち「生態系高度観測技術」、「生態系の予測モデリング技術」、「生態系と社会システムの調和的接続に関する技術」の開発を特定した。また、2030 年のマイルストーンとして、生態系の高解像度なモニタリングと予測を可能とする NbS システムのプロトタイプが複数のモデル地域において構築され、生態系情報に基づく地域の社会問題解決に活用されること（生態系自治管理促進、生態系機能やサービスの高度化、ESG 投融資やオフセットクレジットを介した資金調達、環境教育・学習推進等）を提案した。

V. References（参考文献）

Chapter 1

Allen, T., Murray, K. A., Zambrana-Torrelio, C., Morse, S. S., Rondinini, C., Di Marco, ... & Daszak, P. (2017). Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. Nature Communications, 8, 1124.

Bianchi, F.J.J.A., Booij, C.J.H. & Tscharntke, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 273, 1715-1727.

CBD (Convention on Biological Diversity) (2010) Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020, including Aichi Biodiversity Targets. https://www.cbd.int/sp/

CBD (Convention on Biological Diversity) (2020) Zero Draft of the Post-2020 Global Biodiversity Framework https://www.cbd.int/doc/c/3064/749a/0f65ac7f9def86707f4eaefa/post2020-prep-02-01-en.pdf

Dasgupta, P. (2021). The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review

Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A.,... & Zaehle, S. (2020). Global Carbon Budget 2020. Earth System Science Data, 12, 3269-3340.

Hoang, N.T. & Kanemoto, K. (2021). Mapping the deforestation footprint of nations reveals growing threat to tropical forests. Nature Ecology & Evolution.

IPBES (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production https://doi.org/10.5281/zenodo.3402856

IPBES (2020). Workshop Report on Biodiversity and Pandemics of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. https://doi.org/10.5281/zenodo.4147317

IUCN (2020). IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: a user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS : first edition. https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.en

Lenton, T. M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., ... & Schellnhuber, H. J. (2019). Climate tipping points — too risky to bet against. Nature, 575, 592-595.

Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Foran, B., Lobefaro, L. & Geschke, A. (2012). International trade drives biodiversity threats in developing nations. Nature, 486, 109-112.

Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute Washington, DC.

Moran, D. & Kanemoto, K. (2017). Identifying species threat hotspots from global supply chains. Nature Ecology & Evolution, 1, 0023.

OECD (2019). Biodiversity:Finance and the Economic and Business Case for Action. https://www.oecd.org/env/resources/biodiversity/biodiversity-finance-and-the-economic-and-business-case-for-action.htm

Oita, A., Malik, A., Kanemoto, K., Geschke, A., Nishijima, S., & Lenzen, M. (2016) Substantial nitrogen pollution embedded in international trade. Nature Geoscience, 9: 111–115. https://doi.org/10.1038/ngeo2635

Rifkin, J. (2014) The Zero Marginal Cost Society: The internet of things, the collaborative commons, and the eclipse of capitalism, Palgrave Macmillan, ISBN 978-1-137-27846-3

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., … & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. Nature, 461, 472-475.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2020). Global Biodiversity Outlook 5, Montréal.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. …& Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science, 347, 1259855.

Tilman, D., May, R., Lehman, C. & Nowak, M. A. (1994) Habitat destruction and the extinction debt. *Nature* 371, 65–66.

World Economic Forum and PwC (2020) Nature Risk Rising; Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy – Describing the nature emergency, hidden risks for business and options for risk management and actions. https://jp.weforum.org/reports/nature-risk-rising-why-the-crisis-engulfing-nature-matters-for-business-and-the-economy

World Economic Forum (2018). The Global Risks Report 2018.

https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2018
World Economic Forum (2019). The Global Risks Report 2019.
https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2019
World Economic Forum (2020). The Global Risks Report 2020.
https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020
WWF (2020) 'Respond-Resilient and Sustainable Portfolios'
https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/wwf_sustainable_finance_report_2020_respond.pdf
Ye, H & Sugihara, G. (2016) Information leverage in interconnected ecosystems: Overcoming the curse of dimensionality. *Science*, 353, 922-925.
外務省（2021） 2021 G7 コーンウォール・サミット
https://www.mofa.go.jp/mofaj/ecm/ec/page4_005342.html
環境省（2016）. 生物多様性及び生態系サービスの総合評価 2016
http://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/jbo2/jbo2/index.html
環境省（2018）. 環境報告ガイドライン 2018 年版
http://www.env.go.jp/policy/2018.html
環境省（2021）. 生物多様性及び生態系サービスの総合評価 2021
http://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/jbo3/generaloutline/index.html
桑江朝比呂・吉田吾郎・堀正和・渡辺謙太・棚谷灯子・岡田知也ら（2019）浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計.土木学会論文集 B2-75(海岸工学),10-20.
国立社会保障・人口問題研究所（2017）日本の将来推計人口（平成 29 年推計）
http://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/pp29_ReportALL.pdf
専門家インタビューシリーズ https://sites.google.com/view/eco-socio-symbiogenesis/専門家インタビュー
専門家インタビュー第一回　国立研究開発法人森林研究・整備機構　理事長　森林総合研究所　所長　中静透さん
専門家インタビュー第二回　国立研究開発法人国立環境研究所 地球システム領域長　三枝信子さん
専門家インタビュー第三回　総合地球環境学研究所　准教授／東京大学大学院総合文化研究科　准教授　吉田丈人さん
専門家インタビュー第四回　慶応大学経済学部　教授　大沼あゆみさん
専門家インタビュー第五回　日本自然保護協会（NACS-J)・国際自然保護連合（IUCN）日本委員会事務局　道家哲平さん
専門家インタビュー第六回　京都大学こころの未来研究センター　教授　広井良典さん
日本経済団体連合会（2018）経団連生物多様性宣言・行動指針
https://www.keidanren.or.jp/policy/2018/084_honbun.html

広井良典（2019）人口減少社会のデザイン（東洋経済新報社）

Chapter 2

Bagstad, K. J., Villa, F., Batker, D., Harrison-Cox, J., Voigt, B., & Johnson, G. W. (2014). From theoretical to actual ecosystem services: mapping beneficiaries and spatial flows in ecosystem service assessments. Ecology and Society, 19(2), 64.

Brown, G., & Kyttä, M. (2014). Key issues and research priorities for public participation GIS (PPGIS): A synthesis based on empirical research. Applied geography, 46, 122-136.

Chabbi, A., Loescher, H. W., Tye, M. R., & Hudnut, D. (2017). Integrated Experimental Research Infrastructures: a paradigm shift to face an uncertain world and innovate for societal benefit.

Curran, W., & Hamilton, T. (2020). Nature-based solutions in hiding: Goslings and greening in the still-industrial city. Socio-Ecological Practice Research, 2(4), 321-327.

Ge, Y., Wang, D. Z., Chiu, J. F., Cristobal, S., Sheehan, D., Silvestre, F., ... & Teichman, K. (2013). Environmental OMICS: current status and future directions. Journal of Integrated omics, 3(2), 75-87.

Hampton, S. E., Strasser, C. A., Tewksbury, J. J., Gram, W. K., Budden, A. E., Batcheller, A. L., & Porter, J. H. (2013). Big data and the future of ecology. Frontiers in Ecology and the Environment, 11(3), 156-162.

Ito, A., & Oikawa, T. (2002). A simulation model of the carbon cycle in land ecosystems (Sim-CYCLE): a description based on dry-matter production theory and plot-scale validation. Ecological modelling, 151(2-3), 143-176.

Ito, A., Lin, G., & Penner, J. E. (2015). Global modeling study of soluble organic nitrogen from open biomass burning. Atmospheric Environment, 121, 103-112.

Ito, A. (2007). Simulated impacts of climate and land‐cover change on soil erosion and implication for the carbon cycle, 1901 to 2100. Geophysical research letters, 34(9).

Lokers, R., Knapen, R., Janssen, S., van Randen, Y., & Jansen, J. (2016). Analysis of Big Data technologies for use in agro-environmental science. Environmental Modelling & Software, 84, 494-504.

Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Foran, B., Lobefaro, L. & Geschke, A. (2012). International trade drives biodiversity threats in developing nations. Nature, 486, 109-112.

McKenzie, E., Posner, S., Tillmann, P., Bernhardt, J. R., Howard, K., & Rosenthal, A. (2014). Understanding the use of ecosystem service knowledge in decision making: lessons from international experiences of spatial planning. Environment and Planning

C: Government and Policy, 32(2), 320-340.

Muraoka, H., Ishii, R., Nagai, S., Suzuki, R., Motohka, T., Noda, H. M., ... & Muramatsu, K. (2012). Linking remote sensing and in situ ecosystem/biodiversity observations by "Satellite Ecology". In The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region (pp. 277-308). Springer, Tokyo.

Muraoka, H., & Koizumi, H. (2009). Satellite Ecology (SATECO)—linking ecology, remote sensing and micrometeorology, from plot to regional scale, for the study of ecosystem structure and function. Journal of plant research, 122(1), 3-20.

Olsson, J. A., Brunner, J., Nordin, A., & Hanson, H. I. (2020). A just urban ecosystem service governance at the neighbourhood level-perspectives from Sofielund, Malmö, Sweden. Environmental Science & Policy, 112, 305-313.

Pollock, L. J., Tingley, R., Morris, W. K., Golding, N., O'Hara, R. B., Parris, K. M., ... & McCarthy, M. A. (2014). Understanding co‐occurrence by modelling species simultaneously with a Joint Species Distribution Model (JSDM). Methods in Ecology and Evolution, 5(5), 397-406.

Quintas-Soriano, C., Brandt, J. S., Running, K., Baxter, C. V., Gibson, D. M., Narducci, J., & Castro, A. J. (2018). Social-ecological systems influence ecosystem service perception. Ecology and Society, 23(3), 3.

Richards, D. R., & Tunçer, B. (2018). Using image recognition to automate assessment of cultural ecosystem services from social media photographs. Ecosystem services, 31, 318-325.

Sato, H., Itoh, A., & Kohyama, T. (2007). SEIB–DGVM: A new Dynamic Global Vegetation Model using a spatially explicit individual-based approach. Ecological Modelling, 200(3-4), 279-307.

Scholes, R. J., Reyers, B., Biggs, R., Spierenburg, M. J., & Duriappah, A. (2013). Multi-scale and cross-scale assessments of social–ecological systems and their ecosystem services. Current Opinion in Environmental Sustainability, 5(1), 16-25.

Shi, Y., Shi, D., Zhou, L., & Fang, R. (2020). Identification of ecosystem services supply and demand areas and simulation of ecosystem service flows in Shanghai. Ecological Indicators, 115, 106418.

Wang, S., Yan, Z., Hänfling, B., Zheng, X., Wang, P., Fan, J. and Li, J., 2020. Methodology of fish eDNA and its applications in ecology and environment. Science of the Total Environment, p.142622.

Willcock, S., Martínez-López, J., Hooftman, D. A., Bagstad, K. J., Balbi, S., Marzo, A., ... & Athanasiadis, I. N. (2018). Machine learning for ecosystem services. Ecosystem services, 33, 165-174.

Yamaura, Y., Yamada, Y., Matsuura, T., Tamai, K., Taki, H., Sato, T., ... & Sano, M. (2021). Modeling impacts of broad-scale plantation forestry on ecosystem services in the past 60 years and for the future. Ecosystem Services, 49, 101271.

市井和仁・柴田英昭・村岡裕由（2019）国内の大学等における陸域生態系観測ネットワークの現状と課題。科学技術・学術審議会第 8 期地球観測推進部会（第 3 回）（2019 年 9 月 4 日）。
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/097/index.htm

Chapter 3

Chabbi, A. & Loescher, H. W. (2017). Integrated experimental research infrastructures: a paradigm shift to face an uncertain world and innovate for societal benefit. In: Chabbi, A. & Loescher, H. W. (eds) Terrestrial Ecosystem Research Infrastructures: Challenges and Opportunities. pp. 3-26. CRC Press.

Cohen-Shacham, E., Janzen, C., Maginnis, S., & Walters, G. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. IUCN, Gland, Switzerland.

Cohen-Shacham, E., Andrade, A. Dalton, J., Dudley, N., Jones, M., Kumar, C., Maginnis, S., Maynard, S., Nelson, C. R., Renaud, F. G., Welling, R., & Walters, G. (2019). Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. Environmental Science and Policy, 98, 20-29.

Dasgupta, P. (2021). The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review.

Haase, P., Tonkin, J. D., Stoll, S., Burkhard, B., Frenzel, M., Geijzendorffer, I. R., Häuser, C., Klotz, S., Kühn, I., McDowell, W. H., Mirtl, M., Müller, F., Musche, M., Penner, J., Zacharias, S. & Schmeller, D. S. (2018). The next generation of site-based long-term ecological monitoring: Linking essential biodiversity variables and ecosystem integrity. Science of the Total Environment 613-614, 1376-1384.

Handsley-Davis, M., Kowal, E., Russell, L. & Weyrich, L. S. (2020) Researchers using environmental DNA must engage ethically with Indigenous communities. Nature Ecology and Evolution 5, 146-148.

IPBES (2019) Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services.

Lindenmayer, D. & Scheele B. (2017) Do not publish. Science 356, 800-801.

Managi, S. & Kumar, P. (2018) Inclusive Wealth Report 2018.

Muraoka, H., Ishii, R., Nagai, S., Suzuki, R., Motohka, T., Noda, H. M., ... & Muramatsu, K. (2012). Linking remote sensing and in situ ecosystem/biodiversity observations by "Satellite Ecology". In: Nakano, S., Yahara, T., Nakashizuka, T. (eds) The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region : Toward Further Development of

Monitoring. pp. 277-308. Springer.
Natural Capital Coalition (2016) Natural Capital Protocol.
Sandbrook, C., Clark, D., Toivonen, T., Simlai, T., O'Donnell, S., Cobbe, J. & Adams, W. (2021) Principles for the socially responsible use of conservation monitoring technology and data. Conservation Science and Practice. 3, e374.
Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2020). Global Biodiversity Outlook 5, Montréal.
Takeuchi, Y., Muraoka, H., Yamakita, T., Kano, Y., Nagai, S., Bunthang, T., ... & Yahara, T. (2021). The Asia-Pacific Biodiversity Observation Network: 10-year achievements and new strategies to 2030. Ecological Research, 36(2), 232-257.
Tulloch, A. I. T., Auerbach, N., Avery-Gomm, S., Bayraktarov, E., Butt, N., Dickman, C. R., Ehmke, G., Fisher, D. O., Grantham, H., Holden, M. H., Lavery, T. H., Leseberg, N. P., Nicholls, M., O'Connor, J., Roberson, L., Smyth, A. K., Stone, Z., Tulloch, V., Turak, E., Wardle, G. M. & Watson, J. E. M. (2018) A decision tree for assessing the risks and benefits of publishing biodiversity data. Nature Ecology and Evolution 2, 1209-1217.
環境省（2021）. 生物多様性及び生態系サービスの総合評価 2021 http://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/jbo3/generaloutline/index.html

Appendix 1 NbS システム導入と関連する経済・市場・産業セクター

(1) ESG 投資へのインパクト

長期的な投資を行う機関投資家を中心に、投資手法に ESG（the Environmental, Social, and Corporate Governance）を組み入れる取組が世界的に進展しており、ESG 投資の世界全体の総額は拡大傾向、2018 年で 31 兆ドル（投資市場の約 3 分の 1 ）を占める状況となっている(Global Sustainable Investment Alliance 2019)。日本においても、運用機関の 97.9%が ESG 情報を投資判断に活用するとしており、今後も運用資産が 100 兆円近い企業年金に、ESG 投資が本格的に普及することが期待されている(経済産業省 2019)。EGS の「環境への取り組み」の判断には、気候変動関連のインデクスも最近用いられるようになっている。さらに「生物多様性」を組み込む動きが急速に進んでおり、今後拡大することが見込まれる（UN PRI 2020、 前述の TNFD など)。

NbS システムは、自然生態系への影響について、直接要因だけでなく間接要因も含めて解析・予測すること、生態系サービスの受益者と不利益者の特定なども同時に行うことから、ステークホルダーごとの益・不利益の定量化や社会システムにおける影響のトレースが可能となる。これは、TNFD で必要とされる”企業活動による自然生態系や生物多様性への影響、ひいては社会全体にもたらす影響”に関する情報であり、NbS システムがもたらす今後の ESG 投資へのインパクトは高いと予測される。

Global Sustainable Investment Alliance (2019) The Global Sustainable Investment Review 2018 http://www.gsi-alliance.org/trends-report-2018/
経済産業省(2019) ESG 投資に関する運用機関向けアンケート調査 https://www.meti.go.jp/press/2019/12/20191224001/20191224001.html
UN PRI (2020) 国連責任投資原則. https://www.unpri.org/

(2) 観光産業

観光産業は、世界的にも地域的にも経済成長し続けてきたセクターである（COVID19 前)。2019 年の国際観光客の到着数は、世界で 15 億人(世界の総人口を上回る)を超え、観光産業の世界 GDP に対する寄与は 8.9 兆ドル（全体の 10.3%)、日本は世界第 3 位の 3577 億ドルに寄与した（WTTC 2020)。成長率としては情報サービス産業、金融サービス産業に次ぐ、前年比 3.5%増で、世界平均の 2.5%を上回っており (9 年連続 2.5%を上回る)、COVID-19 前には、2030 年までに GDP 11.3%へ拡大すると予測された (WTCC 2020)。また OECD 諸国でも観光産業は、GDP の 4.4%、雇用の 6.9%、サービスの輸出の 21.5%に直接貢献している。

日本においても、観光産業は近年の経済成長の主要エンジンとして認識されている(観光

GDP（2012-2016 年）：23.0%成長、名目 GDP 約 40 兆円増加のうち、観光産業は 4.5%程度（約 2 兆円)、GDP に占めるシェア：約 1.7%程度（2012 年）から 2.6 倍の成長に貢献(観光白書 2018))。2018 年時点での訪日外国人旅行者数は、過去最高を記録して 3,000 万人を超え（対前年比 8.7%増、外国人旅行者受入数：世界 11 位、アジア 3 位)、訪日外国人旅行者の消費は 4.5 兆円と推計されている（観光庁 2019)。訪日観光客は、旅行消費にとどまらず、帰国後も越境電子商取引を 通じて日本製品を購買する動きが拡大するなどの輸出産業などへの正の効果も指摘されている。

観光は、経済だけでなく人生を豊かにすることにも貢献する。特に観光通じて人が得る体験は、人のコミュニケーション・相互理解、自然への畏敬や愛着を促し、持続可能な社会の実現に直結する。外国人観光客の訪日に際しての関心は、「自然での体験」が上位となっており（cf“自然・景勝地観光”：全体 3 位、“自然体験ツアー・農漁村体験”全体の 14 位)、日本が誇る豊かな自然は主要な観光資源である(観光庁 2019)。NbS システムでは、地域観光資源の探索や観光関連のツールやアプリケーション開発を通じて、地域の観光産業をサポートする。NbS システムは、独自の自然生態系を含む地域の魅力を最大限に高めることで地方創生に貢献するだけでなく、観光産業におけるツールを革新することで国際競争力を高め、国際的な観光産業、とくにエコツーリズム市場のシェアを伸ばすことも期待できる。

観光庁 （2018）平成 30 年版観光白書 https://www.mlit.go.jp/statistics/file000008.html
観光庁 （2019）訪日外国人の消費動向 訪日外国人消費動向調査結果及び分析 2018 年年次報告書 https://www.mlit.go.jp/kankocho/siryou/toukei/syouhityousa.html
WTTC (2020) Global Economic Impact Trends 2020 https://wttc.org/Portals/0/Documents/Reports/2020/Global%20Economic%20Impact%20Trends%202020.pdf?ver=2021-02-25-183118-360

(3) 自然資本に関連する次世代産業

「生態―社会共生体化」の社会の実現において、生物・生態系のビックデータを用いた新しい産業や自然資本の価値を可視化するイノベーションは欠かせない。現在すでに、脱炭素化にむけた社会への変革が加速していることや、AI やビッグデータの利用の科学技術の進展、再生可能エネルギーの低価格化、蓄電池などへの需要増加を背景に、環境配慮型の技術開発を目指す、クリーンテックのスタートアップ企業の増加やそれらの企業への投資が再可燃している。世界のベンチャーキャピタルによるクリーンエネ関連スタートアップ企業への投資額は、2018 年は 69 億ドルと前年から倍増しており、(International Energy Agency 2019)、こういった流れは近年の世界的大企業の経営者（Amazon 社、Microsoft 社）による環境・エネルギー関連技術企業へ積極的に投資する動きにもつながっている（マイクロソフト社：2020 年「気候イノベーション・ファンド」を設立し、今後 4 年間にわたって 10 億ドルを CO_2 削減・除去関連企業に投資。)。今後 TCFD に追随して、TNFD が拡大していくこ

とが見込まれるため、生態系の情報、生態系の状態やインパクトを「見える化」する技術、それらを市場に取り込むシステムへの需要が急増することが見込まれる。

NbS システムは、「生態―社会共生体」を支える基盤情報を持つことから、こういった自然資本に関する新たな産業を創出するもつスタートアップ企業の基盤情報を提供する形で支援する。また、スタートアップ企業からの情報や開発したアプリケーション基盤の提供といった相互連携により、システム自体の改良・強化が進み、より強靭なシステムとして機能する。

International Energy Agency (2019) World Energy Investment 2019
https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2019

(4) 防災減災にかかわる産業

近年気候変動の影響により自然災害が激甚化・頻発化し、国民の生命や財産、産業のリスクとなっている。事前防災・減災を含めた総合的な施策は、日本にとって喫緊に進める課題として位置づけられているが（内閣府　2018)、もはや国や地方公共団体が主体となる公共的な取り組みだけでなく、その実現のためには企業や市民を含めた社会全体の参加が不可欠となっている。内閣府は、防災・減災、国土強靱化のための 5 か年加速化対策として、追加的な事業規模 15 兆円の措置を講ずることを発表している他（内閣府　2020)、国土強靱化ビジネスの民間市場規模は、2013 年時点で約 11.9 兆円、2020 年には約 11.8～13.5 兆円になると推計されており、急成長ビジネスとしても注目されている（内閣府 2016)。その中でもグリーンインフラ/Eco-DRR は、将来の人口減少、気象災害の激甚化の予測等を踏まえ、「災害に強く自然と調和した地域づくり」を目指すものであり、自然災害の「暴露の回避」「脆弱性の低減」だけでなく、生物多様性の豊かさやそのほかの生態系サービスなどへの多面的機能を発揮することや、労働力が不足している地域においても、順応的管理をおこなうことで不確実性に対処しやすいことなどのメリットがあるため（環境省自然局 2016)、今後需要が伸びることが予測される。例えば、兵庫県の県民緑税を活用した「災害に強い森づくり」事業（事業費 88 億円）は、森林整備による経済価値は、防災・減災効果だけでなく水源涵養や環境保全など便益費を含めると計 445 億円、さらに経済波及効果として 122 億円と雇用誘発 1,437 人と評価され（兵庫県 2020)、自然生態系の適切な管理は地域の防災減災だけでなく多面的な便益と地域経済への効果が実証されている。

NbS システムは、自然生態系の動態の予測により、中長期的な視点も含めた地域の自然生態系のレジリエンスを高め、ひいては地域社会の持続可能性を最大化することを目的としているため、グリーンインフラを設計・実践する基盤として最適なツールとなる。自然生態系の持つ多面的な機能を可視化し、グリーンインフラのコベネフィットや社会へのインパクトの適切な評価は（専門家インタビュー第三回)、グリーンインフラの経済効果をさらに

広げ、さらにそれが呼び水となって地域における経済の好循環を生むことに貢献する。

環境省自然環境局　(2016) 生態系を活用した防災・減災に関する考え方
https://www.env.go.jp/nature/biodic/eco-drr.html
専門家インタビュー第三回　総合地球環境学研究所　准教授／東京大学大学院総合文化研究科　准教授　吉田丈人さん　https://sites.google.com/view/eco-socio-symbiogenesis/専門家インタビュー
内閣府（2016）強靭化関係市場規模の推計
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/resilience/etc/huzoku_siryou2.pdf
内閣府（2018）　国土強靭化基本計画
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/kihon.html
内閣府（2020）防災・減災、国土強靭化のための 5 か年加速化対策
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/5kanenkasokuka/index.html
兵庫県（2020）「災害に強い森づくり（第 3 期対策）」の事業効果検証
https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk21/af15_000000004.html

Appendix 2 合意形成ツール pol.is を利用した自然共生に関わる意識調査

1. 調査目的

本調査研究における MS 目標提案に活かすため、理想的な自然共生の姿と、それを実現する上で課題となっていること、さらにはその工夫や解決の方法について、生態学や環境分野に興味を持つ層の共通的な価値観を探った。

調査には、pol.is（https://pol.is）を利用した。Pol.is は、参加者の多様な意見の分布とその背後に隠された共通価値を探り、参加者間のおおまかな合意（rough consensus）に至る「対話」を促進することを目的に開発されたインターネット上のオープンソースツールである。参加者は随時、自身の意見を投稿できると同時に、匿名で他の参加者の意見に賛否の票を投じることができる。得られた情報は主成分分析を利用した解析によって、例えば参加者の類似性の発見やグルーピングのために使われる。

2. 調査方法

2021 年 3 月 17 日より pol.is を利用した調査を行った。今回、私たちの調査によって利用されたサイトを資料 1 に示す。本調査は、本調査チームウェブサイトのほか、ミレニア・プログラム関係者、生態学者を対象としたメーリングリスト jeconet や日本生態学会公開シンポジウム、日本長期生態学研究ネットワーク、日本フラックス研究ネットワーク、土木学会、その他の自然環境関連の学協会等で広報され、誰もが参加できる条件で実施された。新規の意見投稿は 5 月 3 日に締め切られ、7 月 7 日現在では賛否の投票のみが継続されている。

3. 結果

2021 年 7 月 7 日までに 614 名が意見投稿と賛否投票のいずれかもしくは両方に参加し、177 の意見と 33,610 の賛否の票が投稿された。資料 2 は pol.is によって自動生成される調査結果サマリーレポートを示している。最新の調査結果サマリーレポートは常時 https://pol.is/report/r5wbpnvkmhujvmacrmatm において確認することができる。

参加者のうち 570 名は、自身に関する基本的情報を提供している（**資料 2「Metadata」**）。これによると参加者のほとんどは「0. 我が国は自然共生社会を目指すべきである。」と考えている層であることがわかる。年齢構成は 30 歳以上 60 歳未満が 68%で最も多く、ついで 30 歳未満が 24%、60 歳以上が 6%であった。生活圏は、人口 50 万人以上の都市に住むものが 43%で最も多く、5～20 万人程度の市町村（27%）と 20～50 万人程度の市町村（29%）に住むものがおおよそ同数、農山漁村に住むと答えたものは最も少なく 13%であった。

参加者による対話の結果、90%以上の参加者が同様の賛否票を投じた意見が存在する一方で、意見が大きく分かれたものもあった（**資料 2「How divisive was the conversation?」**）。これらを利用して参加者の共通的な価値を推測することができる。多くの賛成票を集めた共通意見（資料 2「Majority」参照）には「9. 自然共生社会の構築には生態系の観測が重要な役割を果たす。」（賛成 92%, 反対 2%, パス 5%）、「11. 生態学は自然共生社会の構築に貢献できる。」（賛成 93%、反対 2%, パス 3%）、「16. 自然共生社会を実現するには、生態系・生物多様性について非専門家にもわかりやすく説明されなくてはいけない。」（賛成 92%, 反対 3%, パス 3%）が挙げられる。またその一方で、「20. 自然生態系の仕組みが完全に解明、予測されることがなくとも、自然の価値を謙虚に認めるべきだ。」との意見も多くの賛成票を集めた（賛成 93%、反対 2%, パス 3%）。

最も賛否の票が大きくわかれた意見（**資料 2「How divisive was the conversation?」**）は「12. 持続可能な自然共生社会の実現と GDP の増大は両立しない。」というものであった（賛成 27%, 反対 52%, パス 19%）。ついで、「20. 自然共生社会を目指す為には、日本の人口は減らすべきである。」（賛成 23%, 反対 47%, パス 28%）、「8. 生態系や生物多様性の価値はお金で評価できる。」（賛成 25%, 反対 50%, パス 23%）であった。

571 名の参加者は賛否票の投票内容に基づいて大きく二つのグループ（A と B）に分類された（**資料 2「Opinion Group」**）。グループ A には 129 名が、グループ B には 442 名が属している。グループ A はグループ B と比較して、「22. 自然生態系の価値は経済学的に評価できる部分とできない部分がある」に対する賛成票が少ない一方、「117. かつては、生物多様性の経済や健康分野での価値が誰の目にもわかりやすい形で示されていなくても、自然共生社会は実現していた。」や「121. 自然共生社会について議論する上で、個々人は理想とする共生社会の青写真を持たねばならない。」、「169. 理想の自然共生型社会とは、地球上の生き物がたった一つ細胞から生まれたという事実を深く自覚することで、世界中の生き物がお互いを慈しみあえる世界」への反対票が多かった。グループ B は、「32. 自然の魅力を伝えることが、自然共生社会の実現に向けて生態学が果たすべき役割である。」や「50. 自然共生社会の実現には、生態学者が生物多様性保全の意義を啓蒙することが求められる。」、「111. 地域住民による地域生態系の自治管理を実現するためには、大企業などに比べると強い力を持たない地域住民を援助する仕組みが必要である。」、「11. 生態学は自然共生社会の構築に貢献できる。」、「55. 他者（不利益を被る人や生物、その将来世代）の尊重が自然

共生を実現する。」への賛成票割合が高い。

グループ A と B で特に対照的な賛否票が得られた設問がいくつか特定された。賛成が多いことで Group A を特徴づける意見として、「42. 自然共生社会が素晴らしいとする考えには根拠がなく、価値観の押し付けであるため不快に感じる。」や「38. 自然共生社会はそれを強制する法制度の整備に合意が得られず実現しないだろう。」、「70. 伝統的な里山管理手法にはサステイナブルであるという科学的証明がない。」などの意見がある（**資料 2「Graph」**）。グループ B を強く特徴づける意見として「41. 自然共生社会は各自が人間も含めた自然を愛することから始まる。」、「117. かつては、生物多様性の経済や健康分野での価値が誰の目にもわかりやすい形で示されていなくても、自然共生社会は実現していた。」、「32. 自然の魅力を伝えることが、自然共生社会の実現に向けて生態学が果たすべき役割である。」、「99. 「人間」だけでなく、「野生生物の幸福」の定義も重要かもしれない。」がある。

4. 考察

自然共生社会の実現に向けた生態学及び生態系観測への期待は大きい。90%以上の参加者が賛成票を投じた意見には、生態学が役割を果たすことを表明した（9, 11）ものや、非専門家が生態学的な知識を手に入れることの重要性を指摘したもの（16）が複数含まれている。本調査研究では、生態学や生態系観測から得られる情報を最大限に活用した生態-社会システム共生体化社会を提案しているが、この基本的なコンセプトは広く受け入れられるものであることがこのことからわかる。しかし自然共生社会の成立に生態学が重要な役割を果たすという期待は高いものの、生態系の科学的な理解が不足していたとしても自然の価値は認められるべきであると考えている参加者も決して少なくない。本 MS 目標提案が広く人々に受け入れられるためには、このような必ずしも科学的理解に由来しない生態系価値があると人々には受けとめられていることを十分に考慮する必要がある。

自然共生社会の成立に関連して、参加者間で最も票が割れた二つの意見は、生態系の経済的評価に関するものであった（8, 12）。持続可能な自然共生社会の実現と GDP の増大は両立しないと考える投票者が 4 分の 1 程度存在する一方で、おおよそ半数の投票者は両者が両立すると考えている。また、4 分の 1 程度の参加者は、生態系や生物多様性の価値はお金で評価できると考えているが、半分程度の参加者はお金での評価はできないと考えている。これらの結果から、生態系サービスや生物多様性の産業への貢献を評価する研究が存在する一方で、生態系の価値は経済的価値に換算できないと考える者も決して少なくないことがわかる。これらの相対する意見分布から、生態系サービスや生物多様性価値の経済評価はまだその可否についてすら合意形成が容易ではない状態にあることがわかる。本調査研究では、高度な生態系観測と社会システムに関するデータを合わせて解析することで、生態系が人間社会に及ぼす影響を「見える化」し、適切な環境価値取引を社会システムに組み込む

ことで、生態系の経済価値を評価する社会像を提案している。この提案内容が、決して誰もが可能だと考えるものではなく、大きな科学的挑戦として受け止められるであろうことがこの調査から推察される。

本調査から特定された二つのオピニオングループを比較することで、自然共生社会のあるべき姿について 2 つの大きく異なる考え方があることがわかる。全体の 7 割程度の参加者が含まれるグループ B では、自然生態系がもともと備わったそれ自身の価値を持つ存在として捉えられていることが見て取れる。このグループに属するメンバーは、自然共生社会の根本は他者への慈しみ(169)、野生生物の幸福を考慮すること(99)、自然を愛すること(41)にあると考える傾向にある。その結果として、このグループのメンバーは、自然共生社会の実現には「自然の魅力」が広く伝えられ（32）たり、生物多様性保全の意義を「啓蒙する」（50）ことが重要であると考えている。それに対して、グループ A は自然がもともと備えている愛すべき性質やそれ自身の価値を共生社会実現の前提としない。むしろ、このグループでは、自然生態系には、その機能によって評価できる価値があることを強く認識しているように見受けられる。例えば、自然生態系の価値は経済学的に評価できる（22）と考えているメンバーや、生物多様性の経済や健康分野での価値が評価される（117）ことが自然共生社会の基礎となるとする意見からこのことがわかる。実際、このグループでは、「自然共生社会が素晴らしいとする考えには根拠がなく、価値観の押し付けであるため不快に感じる」という特徴的な意見を持つメンバーが存在し、生態系や自然の価値は情緒的なものではなく、あくまでその効用によって評価されると考えていることが推測される。

本調査によって特定された 2 つのグループ A と B は、いずれも多数が自然共生社会を目指すべきであると考えているが、その割合はグループ A（77%）よりもグループ B（94%）の方がかなり高い。この自然共生社会への志向性の差に着目することで、自然共生社会の成立に向けてこれからなされるべきことが特定される。グループ A の自然共生社会への志向性の低さは、自然生態系の価値は本来的に備わっているものではなく、その機能によって評価されるべきものであるという価値観と関連することが示唆される。グループ B があらゆる自然にそれ自体が存在することの価値を見出す可能性がある一方で、あくまでもその機能に着目するグループ A は価値のない自然というコンセプトを持ちうるため、自然共生社会の成立に向けた社会の動きの中で、これら二つの自然観は互いに対立する可能性すらあるように思われる。本 MS 目標提案「生態-社会システム共生体化」では、高度な生態系観測とモデリングと環境価値取引の仕組みを活用することで、自然生態系の社会経済的価値を「見える化」することを通じて自然共生社会を実現しようとしている。このアプローチは、自然の価値に客観的・科学的根拠を求めるグループ A に属する者にも強く訴求することが期待できる。これは人々の自然共生社会の実現に向けた価値変容にプラスに働くだろう。しかし同時に、「生態-社会システム共生体化」は、地域住民が自然に親しむことによる自然への愛着を促進することを提案しており、グループ B の価値観を持つものを増やすことによ

る共生体化促進もそのアプローチに含んでいる。

資料１．調査によって利用された pol.is サイト

理想的な自然共生型の社会に向けて

生態系に過剰な負荷を与える人間活動やライフスタイルが生物多様性や自然の恵みの劣化を引き起こす一方、食料や健康、教育などの基本的ニーズも満たされない人々が多数存在しています。すべての人類がより「よく生きる（human well-being）」ことのできる世界を実現するには、不足と過負荷を同時に解決する自然共生型の社会システムをつくっていく必要があるでしょう。

このアンケートは、理想的な自然共生の姿と、それを実現する上で課題となっていること、さらにはその工夫や解決の方法について、広く意見を求めることを目的としています。投稿された意見は、今後、シンポジウム等の場で共有・議論され、ムーンショット目標検討のために活用させていただきます。本事業については以下のウェブサイトをご覧ください：

https://sites.google.com/view/eco-socio-symbiogenesis

ご協力よろしくお願いします。

＜問い＞

自然と共生する社会とはどのようなものでしょうか？あなたが思い描く理想の社会像を教えてください。

理想の自然共生社会を実現するにはどのような取り組みが必要でしょうか？インフラ整備、社会システム、教育や文化、法整備など多様な側面から教えてください。

自然との共生実現に向けて科学・技術はどんな貢献ができるでしょうか？特に、生態学や応用生態学、生態工学等のマクロ生物学の果たすべき役割について考えをお聞かせください。

＜本システムの使い方＞

１）すでに提起されている意見について、あなたの考えを

① agree（賛成）

② disagree（反対）

③ unsure（スキップ/不確定）

のいずれかで回答してください。

２）すでに提起された意見とは別の意見やアイデアをお持ちの方は「Share your

perspective…」にご自身の意見を投稿（Submit）してください。

＊誰かの意見に返事をする必要はありません。新しい視点や経験、または問題を記入してください。

＊いくつかの意見・アイデアがあるときは、一つにまとめないで分けて投稿してください。質問形式での記載はしないでください。

＊意見はわかりやすく簡潔にまとめてください（140字以内）。

＊「Share your perspective…」は個別の意見に対して感想を述べたり、反論するためのものではありません。皆さんご自身の意見をわかりやすく説明してください。参加者はここで投稿された意見に対して賛成/反対の票を投じます。

（このアンケートは多数決をするためのものではありません。意見の分布を知り、多様な意見の背後に隠された共通価値を探るためのものです。多くの方が同じ意見を出された場合は単一の意見として表示されます。みなさんがご自身の意見を出してくださることをお待ちしています。）

資料 2. Pol.is によって自動生成される調査結果サマリーレポート

Report

pol.is/8tsapcm2am

auto-refresh

color blind mode

Overview

Pol.is is a real-time survey system that helps identify the different ways a large group of people think about a divisive or complicated topic. Here's a basic breakdown of some terms you'll need to know in order to understand this report.

Participants: These are the people who participated in the conversation by voting and writing statements. Based on how they voted, each participant is sorted into an opinion group.

Statements: Participants may submit statements for other participants to vote on. Statements are assigned a number in the order they're submitted.

Opinion groups: Groups are made of participants who voted similarly to each other, and differently from the other groups.

This pol.is conversation was run by Kondoh Michio. The topic was '理想的な自然共生型の社会に向けて'.

614	570	33,610	177	54.74	3.03
people voted	people grouped	votes were cast	statements were submitted	votes per voter on average	statements per author on average

How divisive was the conversation?

Statements (here as little circles) to the left were voted on the same way—either everyone agreed or everyone disagreed. Statements to the right were divisive—participants were split between agreement and disagreement.

How to use this: Hover to see the statement text. Start on the far right to find out what the most divisive statement was.

Consensus statements — Divisive statements

	STATEMENT	OVERALL	A 129	B 441
30	自然共生社会を目指す為には、日本の人口は減らすべきである。	23% 47% 28% (446)	30% 44% 25% (112)	21% 49% 29% (334)

Majority

Here's what most people agreed with.

60% or more of all participants voted one way or the other, regardless of whether large amounts of certain minority opinion groups voted the other way.

% Agreed | % Disagreed | % Passed | % Didn't vote

	STATEMENT	OVERALL 570	A 129	B 441
9	自然共生社会の構築には生態系の観測が重要な役割を果たす。	92% 2% 5% (468)	78% 8% 13% (120)	97% 0% 2% (348)
11	生態学は自然共生社会の構築に貢献できる。	93% 2% 3% (466)	79% 8% 12% (121)	98% 0% 0% (345)
16	自然共生社会を実現するには、生態系・生物多様性について非専門家にもわかりやすく説明されなくてはいけない。	92% 3% 3% (478)	77% 14% 7% (118)	97% 0% 2% (360)
20	自然生態系の仕組みが完全に解明、予測されることがなくとも、自然の価値を謙虚に認めるべきだ。	91% 2% 5% (468)	80% 6% 12% (120)	95% 0% 3% (348)
28	労働時間を半分にしても、自家消費分の農産物は自給自足すべきである。	9% 66% 24% (416)	8% 72% 18% (111)	10% 63% 25% (305)
35	自然共生社会では、誰も「楽」はできない。	17% 53% 28% (428)	18% 52% 28% (108)	17% 54% 28% (320)
42	自然共生社会が素晴らしいとする考えには根拠がなく、価値観の押し付けであるため不快に感じる。	13% 59% 27% (392)	26% 32% 40% (101)	8% 68% 22% (291)
45	理想の自然共生社会を実現するためには、自然環境の高度な情報収集・利活用と同時に、自然環境の維持や再生に携わる人の情報収集やネットワークが必要である。	92% 2% 5% (409)	80% 6% 12% (108)	96% 0% 2% (301)
163	自然を守るために自然を作る事業を行うことは、人工物であるため、環境保護の観点から行うべきではない。	11% 67% 20% (34)	20% 50% 30% (10)	8% 75% 16% (24)

Opinion Groups

Across 570 total participants, opinion groups emerged. There are two factors that define an opinion group. First, each opinion group is made up of a number of participants who tended to vote similarly on multiple statements. Second, each group of participants who voted similarly will have also voted distinctly differently from other groups.

Metadata

The demographic breakdown of each group, as self reported by agreeing and disagreeing on statements marked 'metadata' by moderators.

	STATEMENT	OVERALL 570	A 129	B 441
0	我が国は自然共生社会を目指すべきである。	90% 1% 7% (566)	77% 5% 17% (129)	94% 0% 4% (437)
1	私は30歳未満（0〜29歳）である。	24% 73% 1% (565)	17% 77% 5% (129)	26% 72% 0% (436)
2	私は30歳以上60歳未満（30〜59歳）である。	68% 29% 1% (565)	72% 23% 3% (129)	67% 31% 0% (436)
3	私は60歳以上である。	6% 90% 2% (563)	6% 88% 5% (129)	7% 91% 1% (434)
4	私は人口5万人〜20万人程度の市町村で生活している。	27% 66% 6% (565)	27% 62% 10% (129)	27% 67% 4% (436)
5	私は人口20万人〜50万人程度の市町村で生活している。	29% 63% 6% (564)	31% 59% 9% (129)	29% 64% 5% (435)
6	私は人口50万人以上の都市で生活している。	43% 51% 5% (565)	39% 51% 8% (129)	44% 51% 4% (436)
7	私の住む地域は農山漁村である。	13% 82% 4% (565)	8% 80% 10% (129)	14% 82% 2% (436)

Group A: 129 participants

Statements which make this group unique, by their votes:

	STATEMENT	OVERALL 570	A 129	B 441
22	自然生態系の価値は経済学的に評価できる部分とできない部分がある	89% 5% 5% (460)	86% 5% 7% (118)	90% 4% 4% (342)
117	かつては、生物多様性の経済や健康分野での価値が誰の目にもわかりやすい形で示されていなくても、自然共生社会は実現していた。	29% 43% 28% (315)	14% 65% 20% (84)	35% 35% 29% (231)
121	自然共生社会について議論する上で、個々人は理想とする共生社会の青写真を持たねばならない。	41% 31% 27% (311)	17% 58% 24% (81)	49% 22% 28% (230)
28	労働時間を半分にしても、自家消費分の農産物は自給自足すべきである。	9% 66% 24% (416)	8% 72% 18% (111)	10% 63% 25% (305)
169	理想の自然共生型社会とは、地球上の生き物がたった一つ細胞から生まれたという事実を深く自覚することで、世界中の生き物がお互いを慈しみあえる世界	13% 50% 36% (30)	0% 77% 22% (9)	19% 38% 42% (21)

Group B: 441 participants

Statements which make this group unique, by their votes:

	STATEMENT	OVERALL 570	A 129	B 441
32	自然の魅力を伝えることが、自然共生社会の実現に向けて生態学が果たすべき役割である。	66% 18% 14% (472)	27% 48% 23% (118)	79% 8% 11% (354)
50	自然共生社会の実現には、生態学者が生物多様性保全の意義を啓蒙することが求められる。	77% 9% 12% (420)	47% 25% 27% (106)	87% 4% 7% (314)
111	地域住民による地域生態系の自治管理を実現するためには、大企業などに比べると強い力を持たない地域住民を援助する仕組みが必要である。	82% 5% 11% (326)	54% 17% 27% (84)	92% 1% 5% (242)
11	生態学は自然共生社会の構築に貢献できる。	93% 2% 3% (466)	79% 8% 12% (121)	98% 0% 0% (345)
55	他者（不利益を被る人や生物、その将来世代）の尊重が自然共生を実現する。	84% 5% 10% (410)	60% 17% 21% (105)	92% 0% 5% (305)

Areas of uncertainty

Across all 570 participants, there was uncertainty about the following statements. Greater than 30% of participants who saw these statements 'passed'.

Areas of uncertainty can provide avenues to educate and open dialogue with your community.

	STATEMENT	OVERALL 570	A 129	B 441
125	高度な社会分業によって持続可能な社会が実現する。	18% 31% 50% (299)	13% 40% 45% (79)	19% 28% 52% (220)
34	高度な社会分業は、サステイナブルではない。	23% 34% 41% (426)	21% 37% 41% (112)	24% 33% 42% (314)
26	自然共生社会では生態系のディスサービスが低減されているはずだ。	37% 22% 40% (456)	20% 30% 49% (116)	42% 19% 37% (340)
126	農作業の集約化による国内の農産物の自給率は、自然共生社会の構築に貢献する。	35% 21% 42% (301)	27% 22% 49% (79)	38% 21% 39% (222)
38	自然共生社会はそれを強制する法制度の整備に合意が得られず実現しないだろう。	17% 45% 37% (396)	23% 30% 46% (104)	15% 50% 33% (292)

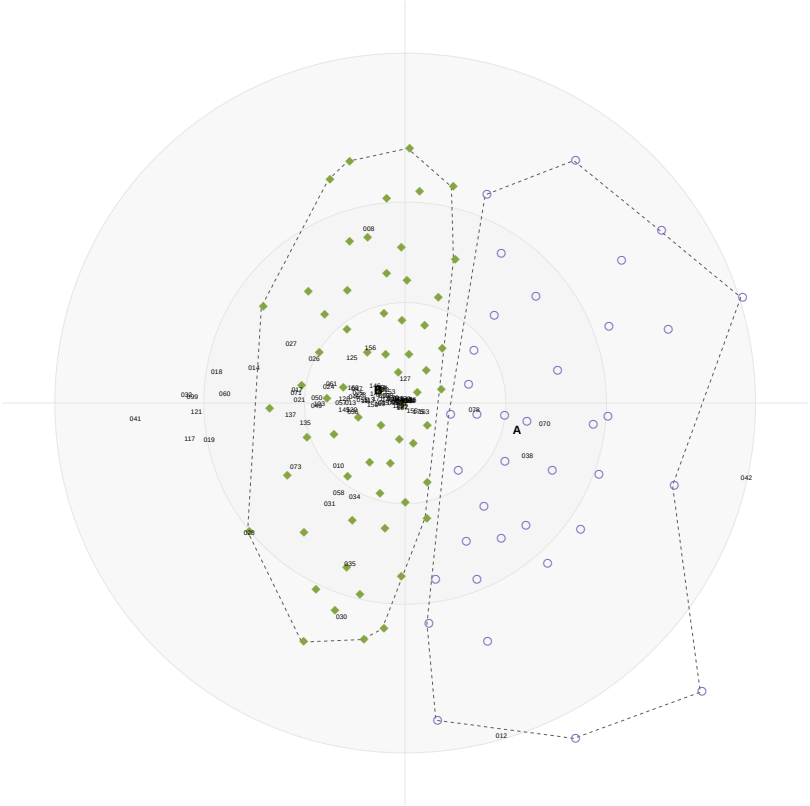
Graph

Which statements were voted on similarly? How do participants relate to each other?

In this graph, statements are positioned more closely to statements which were voted on similarly. Participants, in turn, are positioned more closely to statements on which they agreed, and further from statements on which they disagreed. This means participants who voted similarly are closer together.

Axes Radial axes Statements Participants (bucketized) Group outline Group labels

Click a statement, identified by its number, to explore regions of the graph.



All statements

Group votes across all statements, excluding those statements which were moderated out.

Sort by: Statement Id

	STATEMENT	OVERALL 570	A 129	B 441
0	我が国は自然共生社会を目指すべきである。	90% 1% 7% (566)	77% 5% 17% (129)	94% 0% 4% (437)
1	私は30歳未満（0〜29歳）である。	24% 73% 1% (565)	17% 77% 5% (129)	26% 72% 0% (436)
2	私は30歳以上60歳未満（30〜59歳）である。	68% 29% 1% (565)	72% 23% 3% (129)	67% 31% 0% (436)
3	私は60歳以上である。	6% 90% 2% (563)	6% 88% 6% (129)	7% 91% 1% (434)
4	私は人口5万人〜20万人程度の市町村で生活している。	27% 66% 6% (565)	27% 62% 10% (129)	27% 67% 4% (436)
5	私は人口20万人〜50万人程度の市町村で生活している。	29% 63% 8% (564)	31% 59% 9% (129)	29% 64% 5% (435)
6	私は人口50万人以上の都市で生活している。	43% 51% 5% (565)	39% 51% 8% (129)	44% 51% 4% (436)
7	私の住む地域は農山漁村である。	13% 82% 4% (565)	8% 80% 10% (129)	14% 82% 2% (436)
8	生態系や生物多様性の価値はお金で評価できる。	25% 50% 23% (487)	19% 59% 21% (121)	27% 48% 24% (366)
9	自然共生社会の構築には生態系の観測が重要な役割を果たす。	92% 2% 6% (468)	78% 8% 13% (120)	97% 0% 3% (348)
10	生物多様性・生態系保全を実現するために、人間活動は制限される必要がある。	69% 15% 14% (494)	59% 20% 19% (122)	73% 14% 12% (372)
11	生態学は自然共生社会の構築に貢献できる。	93% 2% 5% (466)	79% 8% 12% (121)	98% 0% 0% (345)
12	持続可能な自然共生社会の実現とGDPの増大は両立しない。	27% 52% 19% (501)	35% 36% 28% (125)	25% 57% 16% (376)
13	産業・社会・住民は自然の恵みを与えてくれる生態系（自然資本）の利用に対して相応の対価を支払うべきだ。	79% 7% 13% (469)	58% 15% 25% (119)	86% 4% 9% (350)
14	生物多様性の経済や健康分野での価値が誰の目にもわかりやすい形で示されないと、自然共生社会は実現しない。	65% 20% 14% (506)	38% 43% 18% (125)	73% 13% 13% (381)
15	脱炭素社会の実現には、エネルギー関連技術イノベーションの他にも、生態系機能の保全が不可欠である。	89% 4% 6% (474)	72% 10% 18% (121)	94% 2% 3% (353)
16	自然共生社会を実現するには、生態系・生物多様性について非専門家にもわかりやすく説明されなくてはいけない。	92% 3% 5% (478)	77% 14% 7% (118)	97% 0% 2% (360)
17	地域の特徴や文化に応じて、自然の恵みが公平に行き届き、特定の地域社会に不利益が集中しない状態を目指すべきだ。	74% 14% 11% (478)	47% 31% 20% (120)	82% 8% 9% (358)
18	自然共生の実現には、「人間の幸福」の定義が重要な役割を果たす。	64% 16% 19% (496)	31% 44% 23% (123)	74% 7% 17% (373)
19	自然共生社会を実現するには自然に対する畏敬の念が必要である。	63% 20% 16% (498)	34% 39% 25% (124)	72% 13% 13% (374)
20	自然生態系の仕組みが完全に解明、予測されることがなくとも、自然の価値を謙虚に認めるべきだ。	91% 2% 6% (468)	80% 6% 12% (120)	95% 0% 5% (348)
21	生態系管理はトップダウンではなく、地域住民が地域生態系を自治管理するのが望ましい。	55% 15% 28% (463)	41% 26% 31% (119)	60% 11% 27% (344)
22	自然生態系の価値は経済学的に評価できる部分とできない部分がある	89% 5% 6% (460)	86% 5% 7% (118)	90% 4% 4% (342)
24	自然共生社会の実現とは、それを人が意識しなくなることである。	31% 40% 27% (446)	26% 43% 30% (116)	33% 39% 26% (330)
26	自然共生社会では生態系のディスサービスが低減されているはずだ。	37% 22% 40% (456)	20% 30% 49% (116)	42% 19% 37% (340)

27	自然共生社会と平等性は両立できる	54% 16% 29% (438)	37% 27% 34% (115)	60% 12% 27% (323)
28	労働時間を半分にしても、自家消費分の農産物は自給自足すべきである。	9% 66% 24% (416)	8% 72% 18% (111)	10% 63% 25% (305)
30	自然共生社会を目指す為には、日本の人口は減らすべきである。	23% 47% 28% (446)	30% 44% 25% (112)	21% 49% 29% (334)
31	自然共生社会を実現するためには、社会が一定の損害を受忍することが不可欠である。	56% 22% 20% (463)	53% 25% 20% (117)	57% 21% 20% (346)
32	自然の魅力を伝えることが、自然共生社会の実現に向けて生態学が果たすべき役割である。	66% 18% 14% (472)	27% 48% 23% (118)	79% 8% 11% (354)
34	高度な社会分業は、サステイナブルではない。	23% 34% 41% (426)	21% 37% 41% (112)	24% 33% 42% (314)
35	自然共生社会では、誰も「楽」はできない。	17% 53% 28% (428)	18% 52% 28% (108)	17% 54% 28% (320)
36	自然共生社会を実現するためには、「自然との共存のためにコストを払ってもよい」という社会全体の意識改革が必要である。	82% 8% 9% (440)	63% 18% 18% (114)	88% 4% 8% (326)
38	自然共生社会はそれを強制する法制度の整備に合意が得られず実現しないだろう。	17% 45% 37% (396)	23% 30% 46% (104)	15% 50% 33% (292)
41	自然共生社会は各自が人間も含めた自然を愛することから始まる。	54% 23% 21% (441)	23% 54% 22% (112)	65% 13% 20% (329)
42	自然共生社会が素晴らしいとする考えには根拠がなく、価値観の押し付けであるため不快に感じる。	13% 59% 27% (392)	26% 32% 40% (101)	8% 68% 22% (291)
45	理想の自然共生社会を実現するためには、自然環境の高度な情報収集・利活用と同時に、自然環境の維持や再生に携わる人の情報収集やネットワークが必要である。	92% 2% 5% (409)	80% 6% 12% (108)	96% 0% 2% (301)
46	自然共生社会は正しい知識で推進するべきで、その過程での困難は仕方がない。	74% 8% 17% (412)	56% 15% 28% (107)	80% 5% 13% (305)
47	自然共生社会には何かしらのコストや犠牲が伴うので、これに見合う「すばらしいもの」が何かがわからなければ、大部分の市民は自然共生社会の実現に向けて動かない。	73% 13% 12% (423)	58% 25% 16% (108)	79% 9% 11% (315)
49	自然共生社会の実現には、生態学者が水産資源との付き合い方を消費者に啓蒙することが求められる。	73% 10% 15% (425)	51% 24% 23% (110)	81% 6% 12% (315)
50	自然共生社会の実現には、生態学者が生物多様性保全の意義を啓蒙することが求められる。	77% 9% 12% (420)	47% 25% 27% (106)	87% 4% 9% (314)
54	人間は行動経済学的に従って利得よりも損を避けるものである。	55% 10% 34% (390)	56% 12% 31% (103)	55% 9% 35% (287)
55	他者（不利益を被る人や生物、その将来世代）の尊重が自然共生を実現する。	84% 5% 10% (410)	60% 17% 21% (105)	92% 0% 8% (305)
57	生態系は生態学的な価値（効用）がなくても、文化的な価値を持つものとして尊重されるべきである。	73% 8% 17% (414)	53% 19% 26% (108)	81% 4% 14% (306)
58	GDPを増大させるべきという前提は存在しない。	61% 18% 20% (426)	57% 19% 23% (107)	62% 17% 20% (319)
60	「人間の幸福」とは何であるかの理解が自然共生社会の実現を左右する。	59% 17% 23% (417)	31% 42% 25% (110)	69% 8% 22% (307)
61	自然の恵みが公平に行き届くことはないので、それを所与として、特定の地域社会に不利益が集中しない状態を目指すべき	72% 10% 18% (395)	57% 25% 18% (102)	78% 5% 16% (293)

70	伝統的な里山管理手法にはサステイナブルであるという科学的証明がない。	35% 27% 37% (353)	52% 13% 34% (90)	29% 32% 38% (263)
71	伝統的な里山管理手法の利用は、自然共生社会実現の手段としての有効な選択肢である。	66% 13% 19% (363)	33% 34% 31% (92)	78% 6% 15% (271)
73	自然共生社会の実現に向けて、GDPの成長を前提としない革新的なアプローチを考慮に入れるべきだ。	66% 14% 18% (384)	49% 24% 26% (95)	72% 11% 15% (289)
75	不在地主・不在山主は、適切な山林・農耕地管理の実現を阻害する。	65% 10% 23% (351)	52% 13% 34% (90)	69% 9% 20% (261)
78	自然共生社会の実現に向けた啓蒙活動は生態学者が実施しなくとも良い。	40% 40% 20% (350)	42% 32% 25% (90)	39% 42% 18% (260)
92	自然共生社会の実現のためには、エネルギー技術などによる環境保全と人間の社会・経済活動との相互作用に関わる革新が発展することが必要であり、その革新の方向性が重要である。	83% 4% 11% (353)	68% 10% 20% (91)	88% 2% 9% (262)
95	自然共生の実現には、哲学、生態学、経済学といった広い異なる学術分野を同時に考慮できる人材が求められる。	89% 4% 6% (339)	77% 11% 11% (87)	94% 1% 5% (252)
99	「人間」だけでなく、「野生生物の幸福」の定義も重要かもしれない。	52% 25% 21% (331)	26% 46% 27% (88)	62% 18% 19% (243)
103	自然共生社会の実現は、これまでの社会からの大転換であり、これまで損害と考えていたものが損害ではなくなる可能性がある。	66% 9% 24% (318)	37% 21% 40% (82)	76% 4% 18% (236)
111	地域住民による地域生態系の自治管理を実現するためには、大企業などに比べると強い力を持たない地域住民を援助する仕組みが必要である。	82% 5% 11% (326)	54% 17% 27% (84)	92% 1% 6% (242)
113	自然共生社会の実現には、生態学者が水産資源との付き合い方を漁業者に対しても啓発することが求められる。	83% 6% 10% (332)	61% 15% 22% (84)	91% 2% 6% (248)
117	かつては、生物多様性の経済や健康分野での価値が誰の目にもわかりやすい形で示されていなくても、自然共生社会は実現していた。	29% 43% 26% (315)	14% 65% 20% (84)	35% 35% 29% (231)
119	再生可能エネルギーの導入やリサイクルの具体的な技術開発など、社会および自然環境への影響力を持つ工学系の人材との意見交換や共有が、自然共生社会の実現には必要だ。	95% 0% 4% (324)	89% 1% 9% (84)	97% 0% 2% (240)
120	土地の所有権および国土管理について、早急に新しいコンセンサスを作るべきであろう。	63% 8% 27% (311)	45% 13% 40% (81)	70% 6% 23% (230)
121	自然共生社会について議論する上で、個々人は理想とする共生社会の青写真を持たねばならない。	41% 31% 27% (311)	17% 58% 24% (81)	49% 22% 28% (230)
122	自然共生社会というのが、江戸時代のようにすべて手作業の労働を強いられるものであったら誰も「楽」はできないが、テクノロジーをどのように使うか熟考することで「楽」をすることが可能になる。	78% 5% 15% (314)	65% 10% 25% (80)	83% 3% 12% (234)
125	高度な社会分業によって持続可能な社会が実現する。	18% 31% 50% (299)	13% 40% 45% (79)	19% 28% 52% (220)
126	農作業の集約化による国内の農産物の自給率は、自然共生社会の構築に貢献する。	35% 21% 42% (301)	27% 22% 49% (79)	38% 21% 39% (222)

127	自然共生社会の実現のためには、環境や生物の保全だけでなく、人間の利益・快適性に繋がることを謳う、ある意味「人間中心」の観点からアプローチすることも必要だ。	82% 9% 8% (325)	76% 10% 12% (82)	83% 9% 8% (243)
128	地域の草の根的な活動・コミュニティ同士を横に繋ぐ取り組みが、自然共生社会の実現や幸福度の増進に有効だ。	79% 5% 14% (316)	51% 16% 32% (81)	89% 1% 8% (235)
129	自然共生の実現にイノベーションは一定の役割を果たしうるが、もっぱらイノベーションにのみ頼るのは危険である。	85% 3% 11% (300)	80% 6% 12% (78)	87% 2% 10% (222)
134	「理想の自然共生社会」は人によって異なるが、違いを緩やかに許容できることが前に進んでいくために必要である	94% 1% 4% (293)	86% 2% 10% (74)	96% 0% 2% (219)
135	自然共生型社会を目指す具体的な手段の一つとして、伝統的農業によって生息場所が維持されている環境や生物を守るために、画一的な圃場整備はやめるべきだ。	52% 16% 31% (293)	32% 29% 38% (71)	59% 11% 28% (222)
137	自然共生社会の構築には、過疎と人口都市集中を緩和することが必要不可欠である	57% 18% 24% (280)	35% 35% 28% (67)	63% 13% 23% (213)
140	自然共生社会を実現するには、多くの人が自然に関する知識を高めるモチベーションを持つことが必要である。	77% 8% 13% (227)	58% 13% 27% (51)	83% 7% 9% (176)
141	自然共生社会の実現には地域の社会教育拠点（生涯学習センター、博物館）の機能が有効である。	81% 3% 15% (232)	59% 9% 30% (52)	87% 1% 11% (180)
142	自然共生社会の実現には義務教育へのアプローチが不可欠だ。	87% 5% 7% (235)	73% 16% 10% (56)	92% 1% 6% (179)
143	食料、物品、エネルギーなど、何を対象としても、じゃぶじゃぶ大量に使うのではなく賢く丁寧に利用して、その上で経済性が担保できる形の社会にするべきだ。	89% 2% 8% (223)	75% 3% 20% (53)	94% 1% 4% (170)
145	自然共生社会を実現していくには、食料や木材、人件費などの過度なグローバルスケールの貿易を抑えて、地域や国スケールで持続可能な社会の形にする必要がある。	66% 14% 19% (212)	44% 26% 30% (50)	72% 10% 16% (162)
146	自然共生社会の実現には、DX（デジタルトランスフォーメーション；データやデジタル技術を利用した変革）など、デジタルな部分の技術開発・環境整備・制度設計が必要不可欠である。	66% 6% 26% (217)	46% 18% 36% (50)	72% 3% 23% (167)
147	輸入を前提とした上で、国内消費を調整することで、国内の自然共生型社会の実現が可能である。	25% 29% 44% (197)	17% 36% 45% (46)	27% 27% 44% (151)
150	循環型、分散型、人やコミュニティのネットワークが強くしなやかな社会を目指す、というようような概念が、共通意識の醸造に役立つと思います。	70% 5% 24% (199)	48% 11% 39% (43)	76% 3% 20% (156)
152	自然共生型の社会を目指すためには、教育の対象となる子どもたちだけでなく、その教育に携わる保護者や各学校教諭などにもわかりやすい情報の提供が必要である。	97% 0% 2% (199)	90% 0% 9% (43)	99% 0% 0% (156)
153	自然共生社会の実現のためには、経済的・非経済的に一定のコストが発生するが、それより大きなリターンがあることを分かりやすく示さなければならない。	79% 7% 13% (192)	65% 16% 18% (43)	83% 4% 11% (149)

155	自然共生型社会を実現したいと考えるのは、先進国に住む、余裕のある裕福な人々であり、自然共生型社会の実現を阻んでいる張本人であるとの自覚が必要だ。	50% 17% 31% (179)	60% 10% 30% (40)	48% 20% 31% (139)
156	済成長を止めることなく社会的弱者の生活レベルを引き上げつつ、自然共生型社会の実現を図る方法を考えるべきだ。	60% 19% 20% (194)	37% 37% 24% (45)	67% 13% 18% (149)
158	自然資本を持続的に活用していける自然・社会システムの構築が必要。そのためには、その状態・トレンド（過去から、近未来の両方）を可視化できるようなツール、モニタリングシステムが必要。	91% 1% 8% (187)	82% 4% 12% (41)	93% 0% 6% (146)
159	SDGは、小学生から高齢者まで予想以上に浸透しました（言葉だけかもしれませんが）。どのようにしたら、浸透するか、主流化できるか、を研究し、これからの自然生態系の保全につなげる必要があると思います。	76% 7% 15% (189)	57% 27% 15% (40)	81% 2% 16% (149)
160	GDPという単一の指標ではなく、価格のつかない多様なもの・ことに価値を見出す人間の幸福（well-beings）を考慮に入れた経済指標を採択することで、「経済成長」と自然共生は高いレベルで両立する。	66% 7% 26% (178)	34% 26% 39% (41)	76% 1% 22% (135)
163	自然を守るために自然を作る事業を行うことは、人工物であるため、環境保護の観点から行うべきではない。	11% 67% 20% (34)	20% 50% 30% (10)	8% 75% 16% (24)
164	生態学者に頼るだけでは自然共生社会は実現しない	97% 2% 0% (41)	92% 7% 0% (14)	100% 0% 0% (27)
165	一般的な自然共生論は、2050までに人口・居住地域が3割近く減少することが予想されることの影響を過小評価している。	20% 5% 73% (34)	30% 10% 60% (10)	16% 4% 79% (24)
167	現代の柴刈りとは？というように昔の生き方を現代版にアレンジして考えると自然共生のヒントが得られるかもしれない。	58% 11% 29% (34)	63% 18% 18% (11)	56% 8% 34% (23)
168	かつての里地・里山は生物と人間がバランス良く生活していたが、これに地産地消の再生エネルギーを組み合わせると良いと思う。	60% 17% 22% (35)	30% 60% 10% (10)	72% 0% 28% (25)
169	理想の自然共生型社会とは、地球上の生き物がたった一つ細胞から生まれたという事実を深く自覚することで、世界中の生き物がお互いを慈しみあえる世界	13% 50% 36% (30)	0% 77% 22% (9)	19% 38% 42% (21)
170	全てを無尽蔵に増殖可能な貨幣価値に置き換える現代の資本主義を、限りある地球を資本とする新たなな資本主義に置き換える事で、自然共生型社会も自律的に生まれる。	28% 25% 46% (32)	20% 40% 40% (10)	31% 18% 50% (22)
171	スマートシティとか、DXとかによる大人数の人工的インフラベースの人間だけの密集生態系ではなく、少なくとも人間はもっとスモールな集団で自然の溶け込んだ社会。	34% 21% 43% (32)	20% 50% 30% (10)	40% 9% 50% (22)
173	自然共生社会は人にとっても住みやすいものであろう。	52% 11% 35% (17)	40% 40% 20% (5)	58% 0% 41% (12)
175	平等という考え方はダイバーシティの考え方と矛盾するため、社会構築について議論する際には考えない方が良い。	15% 57% 28% (19)	50% 33% 18% (6)	0% 69% 30% (13)

176	多様な価値観を許容する社会を築くべきであって、自然共生型社会か否かという二元論は意味がない。	59% 22% 18% (22)	80% 20% 0% (5)	52% 23% 23% (17)