

日本における生物多様性と生態系サービス に関わる将来シナリオ設計に向けた フレームワークの構築

神山 千穂¹・秋庭 はるみ²・庄山 紀久子¹・橋本 禅³・松井 孝典⁴・齊藤 修⁵

¹非会員 国連大学サステナビリティ高等研究所 (〒150-8925 東京都渋谷区神宮前5丁目53-70)

E-mail: kamiyama@unu.edu

²非会員 横浜国立大学環境情報研究院 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ケ谷区常盤台79-1)

³非会員 東京大学大学院農学生命科学研究科 (〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1)

⁴正会員 大阪大学大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

⁵正会員 国連大学サステナビリティ高等研究所 (〒150-8925 東京都渋谷区神宮前5丁目53-70)

本研究は日本を対象に、立場の異なる様々なステークホルダーの参画を視野に入れた、将来シナリオ分析の基盤となるフレームワークを構築することを目的とした。一般および有識者を対象にウェブアンケート調査を実施し、2050年までの「社会」と「生物多様性と生態系サービス」に影響を与える重要な変動要因を抽出すると共に、それらの起こる確度と発生時の影響力についての回答を得た。少子高齢化等の人口・都市の変化や、アンダーユースによる資源の質の低下は不確実性が低く影響力は大きいと評価され、一方で、ライフスタイル・価値観、経済・資源、政策・ガバナンスの変化、汚染や自然生息地の損失等は、不確実性が高く、起きた時の影響力は高いと評価された。これらの結果から、シナリオ設計に向け、変動要因の位置付けのあり方を示す枠組を提案する。

Key Words : direct drivers, indirect drivers, web questionnaire, uncertainty, participatory scenarios, general public, stakeholders

1. はじめに

不確実な要素の多い将来に向け、長期的な視点から具体的な構想や計画を立て、複数の政策オプションを検討する方法として、シナリオを用いた分析や戦略立案がある。シナリオとは、いくつかの仮定の下に想定される将来を描いた、もっともらしい複数の将来イメージのことである¹⁾。シナリオ分析とは、それらのシナリオを用いて社会、経済、環境等の将来を評価する手法であり、これは将来の戦略立案に大きな示唆をもたらす。それゆえに、これまでシナリオ分析は、気候変動や経済活動、環境問題、政策、ビジネス、生態系管理といった様々な場面で、その問題解決と意思決定のために広く活用されてきている²³⁾。

生物多様性と生態系サービスに関しても、予想される地球環境および社会経済の変化が、かつてない規模の影響を生態系に及ぼすことが懸念されており、生態系サービスの利用が危ぶまれる状況を未然に回避・緩和する取り組みの重要性が、強く認識され始めている。2014年4

月に設立された、生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム (IPBES) においても、生物多様性や生態系を評価する新たな枠組や手法の開発、その成果を政策につなげる検討が行われており、自然的要因と社会経済的要因を包含した将来シナリオの策定が喫緊の課題として位置付けられている⁴⁾。

生態系サービスに関するシナリオを最初に地球規模で作成したのは、2001年から2005年にかけて、世界の2000人を超える専門家によって実施されたミレニアム生態系評価 (MA)⁵⁾である。ここでは、政治と経済のあり方 (グローバル化の進行か、地域化の進行か) と、生態系管理のあり方 (問題に対する事後的な対処を志向するか、事前予防的な対処を志向するか) という2つの不確実性要素の軸を用いて、両軸の組み合わせから4つの将来シナリオが作成された。各シナリオにおける、2050年までの人口増加や経済成長、土地利用・被覆の変化等のさまざまな仮定の下、将来の生態系サービスと人間の福利が評価された。これらの仮定と評価の一部は、数理モデルによって計算され、一方で、経済成長や技術の発達速度、

基盤サービスや文化的サービス、および人間の福利等については定性的な評価に留まった。

日本では、2006年から2010年にかけて、MAのフォローアップサブグローバル評価の一環として⁶⁾、日本の里山・里海評価(JSSA)⁷⁾が実施された。その中で、専門家(生態学、景観計画、環境経済、環境法等)からなるワーキンググループにより、MAの枠組みに従って、生態系サービスの供給を担う里山・里海の将来を左右する2つの不確実性要素を軸とした4つシナリオが作成された。1つの要素は、MAと同様に、日本の政治と経済のあり方(グローバル化の進捗か、地域化の進捗か)とされ、もう1つは、自然や生態系サービスに対する人々の態度や対処のあり方(技術志向・改変重視か、自然志向・適応重視か)とされた。JSSAのシナリオは様々な制約からエキスパートジャジメントによる定性的な方法が採られた。定性シナリオにはストーリーラインやイラストなどを用いることで多くの人に情報が伝わりやすいという利点があるものの、定量的な情報は提供できないという欠点がある³⁾。JSSAでも、シナリオの仮定や評価を明示的に示し、かつ仮定や評価の透明性と整合性のある定量シナリオの作成、分析が今後の課題とされた。また、日本ではこれまでに、生物多様性総合評価報告書(JBO)⁸⁾が2010年に公表され、今年2016年3月には評価対象を生態系サービスにまで拡張した、生物多様性および生態系サービスの総合評価(JBO2)⁹⁾が公表された。これらは、大学および研究所に所属する8-9名の国内研究者からなる検討会委員を中心に、国内の生物多様性の損失と、生態系サービスの減少の過去からの傾向と現状、およびそれらの要因について評価したものである。最新のJBO2では今後の課題として、将来シナリオの提示による実証的かつ網羅的な将来の生態系サービス変化の定量評価が求められた。

シナリオ作成や評価では、その初期や途中で様々なステークホルダーの意見が収集されることもあるが²⁰⁾、とりわけ定量的なシナリオの作成、評価はその専門性の高さから、主に専門家を中心に行われることが多かった。しかし近年では、より狭い空間スケールである地域を対象として、一般市民を含む様々なステークホルダーの参加によりシナリオ作成、分析を行う参加型シナリオが注目されている¹⁰⁾。参加型シナリオは、対象地域に関わる様々な立場の人々が参画することで、専門家のみによって作成されるシナリオでは、しばしば見過ごされがちな要素を、シナリオに組み込むことを可能にする方法である。そもそも、生物多様性や生態系サービスの利用は、ある地域の地理的特性や気候、そこに住む人々と自然との関わり方、その中で育まれた文化や慣習を色濃く反映したものであるため、地域特有の要素が、生物多様性や生態系サービスの将来変化に大きく影響するといえる。

しかし一方で、地球規模(スケール)、国スケール、地域スケール等の異なる空間スケール間のシナリオに、ある程度の整合性を持たせることの重要性も指摘されている¹¹⁾。これは、特に社会経済や自然生態系においては、しばしば異なる時空間スケール間の要素が相互に関連しており、シナリオにおける整合性を保つことが、異なるスケールに属するステークホルダー間の対話を促し、意思決定を促進すると考えられるためである。MAのサブグローバル評価はこのようなスケールやステークホルダーの参加に関わる諸課題に対処するための試みの一つだったが、参加型シナリオの作成はごく一部の事例でしか取り組まれなかった。

本研究は、国内における生物多様性と生態系サービスに関わる将来の定量シナリオの設計、評価に向けて、MAに代表される地球スケールと、今後、取り組みが期待される日本各地の地域スケールの間で、両者をつなぐ位置にある日本という国スケールに着目し、異なるスケール間の整合性に寄与するフレームワークの提案を試みる。シナリオとは、一般的に主に以下の6つの要素：(1)シナリオの開始年、(2)シナリオのカバーする最も遠い将来、(3)シナリオのカバーする地理的空間スケール、(4)シナリオの開始年から最も遠い将来との間に生じる基調条件・確実性の高い事象、(5)基調条件に影響を与える不確実性要素・要因、(6)シナリオの特徴を叙述するストーリーラインから構成される²⁾。本研究では、これらの(1)から(5)について、これまでの経緯を踏まえ、(1)現在から(2)2050年までの(3)日本全体における、(4)基調条件および(5)不確実性要素・要因の抽出を行い、将来の定量シナリオ設計に向けた基礎的情報を収集し整理する。情報の収集にあたっては、参加型シナリオを視野に入れ、一般市民および、大学・研究機関・行政機関・企業・NPO/NGO等の幅広い所属の有識者に対してウェブアンケート調査を実施した。これらの結果に基づいて、将来シナリオ設計に向けたフレームワークを提案する。

2. 方法

(1) 専門家ワークショップ

2015年3月23日に筆者らのうち5名を含む27人の国内専門家によるワークショップを開催し、国際的な動向も視野に入れつつ主に将来の日本の社会および、生物多様性と生態系サービスにおいて、2050年までに潜在的に重要となる変動要因を列挙する作業を行った。参加した専門家は、これまでも自然科学と社会科学等の超学的なアプローチ、シナリオ作成、あるいは国際的な意思決定等に関わってきた実績のある、国内の大学または研究機関に所属する研究者であり、専門分野は、生態学、環境経

済学，環境システム工学，公共政策学等，多岐にわたる。

ワークショップにより列挙された潜在的な変動要因を，生物多様性と生態系サービスに関わる国内外の報告書を参考に，いくつかのカテゴリに分類し，整理した．社会への影響に関わる要因については，日本の里山・里海評価（JSSA）のカテゴリを参考にしつつ，ワークショップの議論をもとにいくつかのカテゴリを新設し，合計10カテゴリ（自然災害，気候変動，経済・資源，外来種，人口・都市，政策・ガバナンス，教育，ライフスタイル・価値観・自然観，技術革新，その他）とした．生物多様性と生態系サービスに関わる要因については，環境省による生物多様性国家戦略 2012-2020にある日本の生物多様性を脅かす4つの危機に加え，生物多様性条約事務局（CBD）による地球規模生物多様性概況第3版（GBO3）にある世界の5つの危機を考慮し，合計6カテゴリ（自然生息地の損失・劣化・分断，生物資源の乱獲，アンダーユースによる資源の質の低下，汚染，侵略的外来種，気候変動）に分けて，変動要因を整理した．

(2) ウェブアンケート調査

専門家ワークショップから明らかになった潜在的な変動要因について，その確度と影響力を問うアンケート調査を，2015年6月26-30日に一般市民を対象として，2015年7月17日-8月22日に有識者を対象としてウェブ上で実施し，回答を回収した．調査には株式会社マクロミルのウェブアンケートシステムを活用した．この際，一般市民については，回答者の性別，年齢，居住地に可能な限り偏りが生じないように，また，従事している産業（三部門）別の就業者割合（総務省統計局）を考慮しつつ，自然資源の利用に密接に関わる第一次産業を重視し，第一次産業従事者が全体の20%，第二次産業が30%，第三次産業とその他（主婦など）が50%となるように，回答を回収した．有識者については，(1)の専門家ワークショップに参加した27名それぞれに，5名程度の国内有識者（大学・研究機関・行政機関・企業・NPO/ NGO等）の紹介を依頼し，合計156名からなる回答者リストを作成し，ウェブアンケートへの回答を求めた．期間内に2度リマインドメールを配信し，可能な限りの回答を回収した．

質問項目は，変動要因について，社会への影響に関する2問と，生物多様性と生態系サービスへの影響に関する2問の合計4問とし，その内容を表-1に示す．なお実施したウェブアンケートは，将来の社会と生態系サービス及び人々の生活と，生態系サービス全般を問う18問（有識者）および9問（一般市民）から構成されており，本研究はシナリオの変動要因に関わる質問を抜粋して解析を行ったものである．

表-1 アンケート質問票概要

	質問文
問1	2050年までの日本の「社会」に影響を与えらると思われる要因を以下にあげました。 あなたはそれぞれの要因が，2050年までにどのくらい確実に起き、それがどのくらい生態系サービスに影響を与えらると思ひますか？ まず、2050年までに、どのくらい確実に起こる（起こらない）と思うかについて、お答へください。（次の問で影響の大きさについて伺ひます。） 選択肢 1: 確実に起きない 2: どちらかといへば起きない 3: どちらともいへない 4: どちらかといへば起こる 5: 確実に起こる
問2	2050年までの日本の「社会」に影響を与えらると思われる要因を以下にあげました。 仮にその要因が2050年までに起こったとすると、どのくらい、生態系と生態系サービスに影響を与えらると思ひますか？ 選択肢 1: 全く影響がない 2: どちらかといへば影響がない 3: どちらともいへない 4: どちらかといへば影響がある 5: とても影響がある
問3	2050年までの日本の「生物多様性と生態系サービス」に影響を与えらると思われる要因を以下にあげました。 あなたはそれぞれの要因が，2050年までにどのくらい確実に起き、それがどのくらい生態系サービスに影響を与えらると思ひますか？ まず、2050年までに、どのくらい確実に起こる（起こらない）と思うかについて、お答へください。（次の問で影響の大きさについて伺ひます。） 選択肢 1: 確実に起きない 2: どちらかといへば起きない 3: どちらともいへない 4: どちらかといへば起こる 5: 確実に起こる
問4	2050年までの日本の「生物多様性と生態系サービス」に影響を与えらると思われる要因を以下にあげました。 仮にその要因が2050年までに起こったとすると、どのくらい、生態系と生態系サービスに影響を与えらると思ひますか？ 選択肢 1: 全く影響がない 2: どちらかといへば影響がない 3: どちらともいへない 4: どちらかといへば影響がある 5: とても影響がある

(3) 解析

各変動要因の影響力と確度の回答結果から，基調条件となりうる変動要因と，不確実性要素となりうる変動要因を抽出した．ここでいう基調条件とは，不確実性が低く影響力の大きい要因（ほぼ確実に起こり大きな影響をもたらすもの）を意味し，不確実性要素は，不確実性が高いが影響力も大きい要因（起こるか起こらないかわからないが，起きたとすると大きな影響をもたらすもの）を意味する．

ここで，各変動要因についての回答結果をもとに，以下に示す式(1)，式(2)によりそれぞれ基調条件スコアと不確実性要素スコアを算出した．それぞれのスコアが高いものから変動要因の順位を求め，上位のものから，より基調条件あるいは不確定要素として認識すべき要因と評価した．この際，変動要因（*d*）は，社会に関わる要

因と、生物多様性と生態系サービスに関わる要因で別々に計算した。確度 (C) と影響力 (I) の平均値 (μ) および標準偏差 (σ) は、それぞれ0-1スケールに正規化し計算に用いた。

基調条件スコア

$$= \mu_{Id} \times \mu_{Cd} \times (1 - \sigma_{Id}) \times (1 - \sigma_{Cd}) \quad \text{式(1)}$$

不確実性要素スコア

$$= \mu_{Id} \times \sigma_{Id} \times \sigma_{Cd} \quad \text{式(2)}$$

これらのスコアは、影響力の大きさを示す μ_{Id} と、不確実性を示す標準偏差 (σ_{Id} と σ_{Cd}) の組み合わせから算出されている。影響力および確度の標準偏差が小さい場

合は、全ての回答者の見解が比較的一致しており、当該変動要因の不確実性は低く、一方で、標準偏差が大きい場合には、回答者によって見解が大きくばらついており、当該変動要因の不確実性は高いと解釈できる。基調条件スコアには、変動要因の確度の平均値 μ_{Cd} を考慮し、不確実性が低く影響力が高い要因であっても、確度そのものが低く起こりにくい事象であるならば、スコアは低く算出されるよう調整した。

3. 結果

回収サンプル数は、一般市民が3,039サンプル、有識者が101サンプルとなった。表-2にそれぞれの変動要因に関する回答結果の概要を示し、図-1に、各変動要因の確度と影響力の関係を示す。日本の社会と、生物多様

表-2 2050年までの(a)日本社会と、(b)生物多様性と生態系サービスに関わる変動要因について、一般市民と有識者による変動要因の影響力と確度スコアの平均値と標準偏差。

(a)					(b)				
日本社会に関する変動要因	確度		影響力		生物多様性と生態系サービスに関する変動要因	確度		影響力	
	一般 平均 (SD)	有識者 平均 (SD)	一般 平均 (SD)	有識者 平均 (SD)		一般 平均 (SD)	有識者 平均 (SD)	一般 平均 (SD)	有識者 平均 (SD)
自然災害					自然生息地の損失、劣化、分断				
大地震・大津波・大噴火	4.2 (0.8)	4.1 (0.7)	4.4 (0.8)	4.8 (0.5)	都市化	3.8 (0.9)	3.8 (1.0)	3.8 (0.9)	3.9 (1.0)
干ばつ・森林火災	3.8 (0.8)	3.1 (1.0)	4.0 (0.8)	3.6 (1.0)	ブランデーション開発	3.4 (0.8)	2.9 (1.2)	3.6 (0.8)	3.6 (1.1)
洪水・台風	4.3 (0.7)	4.8 (0.5)	4.2 (0.8)	4.2 (0.8)	森林破壊・減少	3.9 (0.9)	3.2 (1.2)	4.0 (0.9)	3.9 (1.0)
気候変動					土地利用の単一化	3.5 (0.8)	3.4 (1.1)	3.6 (0.8)	3.8 (1.0)
海面上昇による浸水・塩水被害	3.9 (0.8)	3.7 (0.9)	3.9 (0.8)	3.8 (0.9)	海面埋立・自然海浜の減少	3.8 (0.9)	3.6 (1.0)	3.8 (0.9)	3.9 (1.0)
海洋酸性化	3.6 (0.8)	3.7 (0.8)	3.8 (0.8)	3.7 (0.9)	生物資源の乱獲				
自然災害の激甚化	3.9 (0.8)	4.3 (0.8)	4.0 (0.8)	4.4 (0.7)	遺伝資源の乱獲	3.6 (0.8)	3.4 (1.0)	3.8 (0.9)	3.7 (1.0)
経済・資源					水産資源の乱獲	3.7 (0.9)	4.2 (0.9)	3.9 (0.9)	4.4 (0.7)
金融経済の変化	3.8 (0.8)	4.1 (0.8)	4.0 (0.8)	4.3 (0.8)	陸域生物資源の乱獲	3.6 (0.9)	3.4 (1.1)	3.8 (0.9)	3.9 (0.9)
産業構造の変化	3.8 (0.8)	4.2 (0.9)	3.9 (0.8)	4.3 (0.7)	アンダーユースによる自然の質低下				
非再生可能資源の変化	3.7 (0.8)	4.0 (0.8)	3.8 (0.8)	4.2 (0.8)	持続的な第一次産業の衰退	3.8 (0.9)	4.6 (0.6)	3.8 (0.9)	4.3 (0.8)
再生可能資源の変化	3.7 (0.8)	4.3 (0.8)	3.8 (0.8)	4.3 (0.8)	獣害	3.7 (0.9)	4.6 (0.7)	3.7 (0.9)	4.2 (0.9)
外来種					汚染				
外来種侵入による社会経済の変化	3.7 (0.8)	3.3 (1.0)	3.7 (0.8)	3.1 (1.0)	水質汚濁(特に富栄養化)	3.8 (0.9)	3.5 (1.0)	3.9 (0.9)	3.9 (1.0)
外来種侵入による生態系の変化	3.9 (0.8)	4.1 (0.9)	3.8 (0.8)	3.7 (1.0)	大気汚染	3.9 (0.9)	3.2 (1.1)	4.0 (0.9)	3.7 (1.1)
人口・都市					化学物質汚染	3.9 (0.9)	3.4 (1.1)	4.0 (0.9)	4.0 (1.1)
人口移入・メガシティ化	3.7 (0.8)	3.7 (1.0)	3.8 (0.8)	3.9 (1.0)	侵略的外来種				
人口流出・過疎化・限界集落の発生	4.0 (0.8)	4.7 (0.7)	3.9 (0.8)	4.5 (0.7)	在来種捕食・生息地競合・交雑	3.8 (0.9)	4.3 (0.9)	3.8 (0.9)	4.0 (0.9)
少子高齢化	4.3 (0.8)	4.8 (0.7)	4.2 (0.8)	4.7 (0.6)	気候変動				
地域格差	4.2 (0.8)	4.5 (0.8)	4.0 (0.8)	4.4 (0.7)	海洋酸性化	3.6 (0.8)	3.8 (0.8)	3.8 (0.9)	3.8 (0.9)
政策・ガバナンス					塩水被害	3.6 (0.8)	3.5 (0.9)	3.7 (0.9)	3.6 (0.9)
都市・交通政策	3.7 (0.8)	3.7 (0.9)	3.7 (0.8)	3.7 (0.8)	海面上昇	4.0 (0.9)	4.0 (0.9)	3.9 (0.9)	4.0 (0.9)
環境・エネルギー政策	3.8 (0.8)	4.3 (0.9)	3.8 (0.8)	4.3 (0.8)	地域・地球温暖化	4.0 (0.9)	4.4 (0.8)	4.0 (0.9)	4.4 (0.8)
農林水産業政策	3.7 (0.8)	4.1 (0.9)	3.7 (0.8)	4.1 (0.9)	砂漠化	3.9 (0.9)	3.0 (1.2)	3.9 (0.9)	3.7 (1.2)
社会福祉政策	3.7 (0.8)	4.3 (0.9)	3.8 (0.8)	4.2 (0.8)					
ガバナンス形態の変化	3.5 (0.8)	3.9 (1.0)	3.6 (0.8)	3.9 (0.9)					
教育									
環境教育の推進	3.6 (0.7)	3.9 (0.9)	3.6 (0.8)	3.7 (0.9)					
教育の多様化・国際化	3.7 (0.8)	4.2 (0.8)	3.6 (0.8)	3.8 (0.9)					
ライフスタイル・価値観・自然観									
価値観の多様化・国際化	3.8 (0.8)	4.2 (0.9)	3.7 (0.8)	3.9 (0.9)					
食の嗜好性の変化	3.7 (0.8)	3.6 (0.9)	3.6 (0.8)	3.3 (0.8)					
旅行・レジャー需要の変化	3.6 (0.7)	3.7 (0.9)	3.6 (0.8)	3.3 (0.9)					
伝統知・文化・伝統的社会構造の消失	3.6 (0.8)	4.2 (1.0)	3.6 (0.8)	3.9 (1.0)					
技術革新									
情報技術革新	3.8 (0.8)	4.4 (0.8)	3.7 (0.8)	4.2 (0.9)					
生物生産技術の発展	3.7 (0.8)	4.2 (0.7)	3.7 (0.8)	4.1 (0.8)					
その他									
地域紛争・戦争・宗教対立等	3.8 (0.8)	3.9 (1.0)	3.8 (0.8)	4.3 (0.8)					

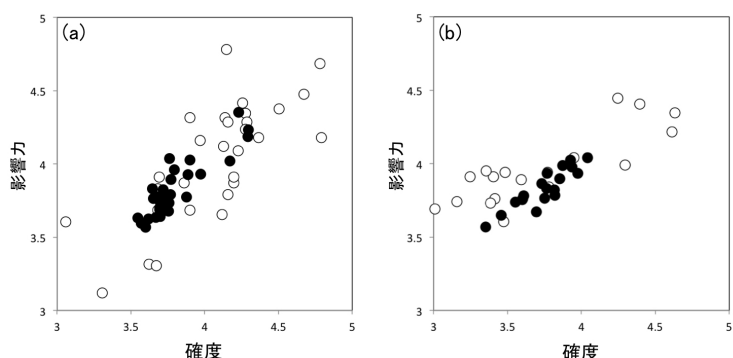


図-1 2050年までの(a)日本社会と、(b)生物多様性と生態系サービスに関わる変動要因について、確度の影響力の平均値の関係。1点は1変動要因を示し、白色は有識者、黒色は一般市民の回答を示す。

表-3 2050年までの(a)日本社会と、(b)生物多様性と生態系サービスに関わる変動要因について、基調条件スコアおよび不確実性要素スコアの順位。順位は、(a)(b)について全変動要因の上位3分の1にあたる、それぞれ10位、6位までを示す。

(a)			
順位	社会に関する変動要因	基調条件スコア	順位 社会に関する変動要因 不確実性要素スコア
1	少子高齢化	0.541	1 伝統知・文化・伝統的社会構造の消失 0.397
2	大地震・大津波・大噴火	0.369	2 地域紛争・戦争・宗教対立等 0.395
3	洪水・台風	0.327	3 人口移入・メガシティ化 0.366
4	人口流出・過疎化・限界集落の発生	0.304	4 ガバナンス形態の変化 0.316
5	地域格差	0.171	5 社会福祉政策 0.308
6	自然災害の激甚化	0.157	6 農林水産業政策 0.276
7	生物生産技術の発展	0.097	7 再生可能資源の変化 0.266
8	産業構造の変化	0.087	8 干ばつ・森林火災 0.262
9	金融経済の変化	0.080	9 外来種侵入による生態系の変化 0.255
10	再生可能資源の変化	0.079	10 価値観の多様化・国際化 0.240

(b)			
順位	生態系サービスに関する変動要因	基調条件スコア	順位 生態系サービスに関わる変動要因 不確実性要素スコア
1	持続的な第一次産業の衰退	0.738	1 化学物質汚染 0.274
2	地域・地球温暖化	0.475	2 水質汚濁(特に富栄養化) 0.156
3	獣害	0.464	3 都市化 0.135
4	水産資源の乱獲	0.464	4 陸域生物資源の乱獲 0.130
5	外来種による在来種捕食・生息地競合等	0.137	5 森林破壊・減少 0.127
6	海面上昇	0.098	6 海面埋立・自然海岸の減少 0.126

性と生態系サービスの両方において、確度が高い要因は影響力も高く評価される傾向にあった(図-1)。また、一般市民の回答は有識者の回答に比べて、確度、影響力ともに各要因の平均値のとりうる範囲が狭く、標準偏差をみても全てが0.8前後の値を示し、要因間の見解に大きな違いがないことが示された(表-2、図-1)。一方で、有識者は、平均値や標準偏差が要因によって比較的異なり、確度、影響力に関して異なる見解を有していることがわかった(表-2、図-1)。

次に、これらの確度、影響力の平均値および標準偏差の値を使用し、基調条件および不確実性要素として認識すべき要因が何かを明らかにした。ここでは、要因によって異なる見解が示された有識者の回答のみを使用して評価を行った。表-3に、基調条件スコアおよび不確実性要素スコアの順位を示す。日本社会の変動要因の基調条件においては、少子高齢化、人口流出・過疎化・限界集落の発生といった人口・都市に関わる要因が上位を占

め、同時に、大地震・大津波・大噴火、洪水・台風、自然災害の激甚化といった自然災害や気候変動に関わる要因も上位を占めた。その他、技術革新(生物生産技術の発展)、経済・資源の変化(産業構造、金融経済の変化等)も比較的高いスコアを示した(表-3a)。日本社会の不確実性要素については、伝統知・文化・伝統的社会構造の消失が最もスコアが高く、また価値観の多様化・国際化と合わせてライフスタイル・価値観・自然観の変化の重要性が示された。また、地域紛争・宗教対立・戦争も上位に入り、さらには、人口流入・メガシティ化といった人口・都市の変化や、政策・ガバナンスの変化(ガバナンス形態の変化、社会・福祉政策、農林水産業政策)、再生可能資源の変化も上位に入った(表-3a)。

生物多様性と生態系サービスに関わる変動要因の基調条件では、アンダーユースによる自然の質の低下(持続的な第一次産業の衰退、獣害)が上位に入り、また、気候変動(地域・地球温暖化、海面上昇)も高いスコアを

示した。さらに、水産資源の乱獲や外来種による影響も基調条件として重要であることが示された。不確実性要素については、汚染（化学物質汚染、特に富栄養化による水質汚染）が上位を占め、次いで、都市化や陸域生物資源の乱獲が、さらに、自然生息地の損失・劣化・分断（森林破壊・減少、海面埋立・自然海浜の減少）も挙げられた。

4. 考察

本研究から、日本における様々な潜在的な変動要因が抽出され、さらに、それらの要因の確度と影響力の解析から、将来シナリオを構成する基調条件および不確実性要素を明らかにすることができた。ウェブアンケートを通して行った確度および影響力の5段階評価を用いた定量的解析は、今後の取り組みが期待されている日本の定量シナリオにおいて、変動要因の扱いに重要な示唆を与えるものである。また、変動要因に関する国際的な分類を参考にしながら、日本の多くの一般市民、有識者の知見を収集できたことは、地球スケールから国スケール、地域スケールで今後構築されていくことが期待される将来シナリオの整合性にも寄与すると考えられる。

ここで、生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム（IPBES）の概念的フレー

ムワーク¹²⁾を参考に、本研究から明らかになった基調条件および不確実性要素を落とし込んだ、日本の将来シナリオ設計に向けたフレームワークを提案する（図-2）。本フレームワークでは、確度が高く、影響力も高いと評価される傾向にあった自然災害や気候変動を基調条件として別立てにし、それ以外の社会・生態システムに着目し、生物多様性と生態系サービス、及び人間の福利との関わりを示している。生物多様性と生態系サービスに影響を与える変動要因は直接的要因として位置付け、一方で、日本社会に影響を与える変動要因は、社会の変化を介して生態系への影響が予想されるため間接的要因として位置づけた。そして、間接的要因は、人間の福利によって大きく影響を受ける要因でもある。一般に、将来シナリオの作成では、将来の不確実性の高い変動要因の組み合わせやその変化の方向をもとに、複数のシナリオが構成される⁵⁾⁷⁾¹³⁾¹⁴⁾。本研究が不確実性要素としてまとめた変動要因は、日本を対象に生物多様性や生態系サービスを考慮するシナリオを設計する際の重要な基礎情報となることが期待できる。

本フレームワークでは、間接的要因と直接的要因の関わりが明確ではないものも含まれ、それらの関わりを理解には至っていない。例えば、基調条件では、日本において、人口・都市の変化（少子高齢化、人口流出・過疎化、限界集落の発生、地域格差）や、経済・資源の変化（産業構造の変化、金融経済の変化）が、アンダーユー

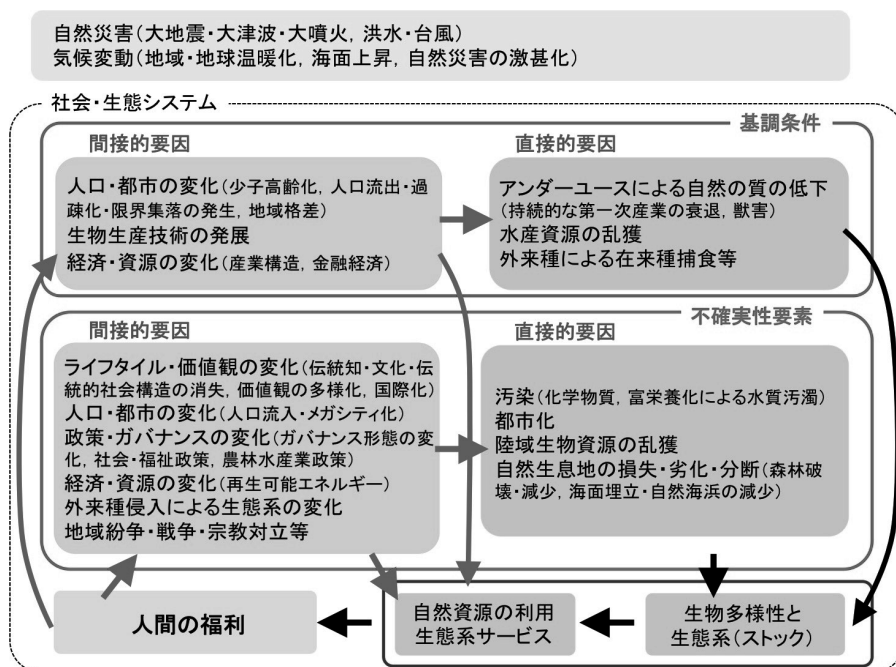


図-2 シナリオ設計に向けたフレームワーク。

矢印は影響の方向性を示し、直接的な影響（黒）と社会を介した間接的な影響（灰色）を示す。

スによる自然の質の低下（持続的な第一次産業の衰退、
 獣害）に影響を与えることは、これまでに多く報告され
 ているが⁷⁸⁾⁹⁾、一方で、生物生産技術の発展や、水産資
 源の乱獲、外来種による在来種捕食等との関係について
 は明確ではない。このことは不確実性要素においても同
 様であり、シナリオ設計にあたっては、あくまでアンケ
 ート回答者の主観的な解釈からなる情報であることに留
 意し、これらの要因の周辺領域について客観的な資料を
 調査・分析し、情報を補いながら、ストーリーラインを
 描くことが必要不可欠である。また、基調条件である気
 候変動に関わる地球スケールの想定¹⁵⁾⁶⁾⁷⁾と、どのよう
 にシナリオを関係づけるかについても今後の課題といえ
 る¹⁸⁾。

本研究からは、一般市民と有識者間の変動要因に対す
 る見解の違いも明らかになった。このことは、シナリオ
 設計に様々なステークホルダーが関与する参加型シナリ
 オの有効性を示唆しているといえる。さらに、日本社会
 における不確実性要素では、最も認識されるべき変動要
 因として、伝統知・文化・伝統的社会構造の消失が抽出
 されており、地域に根ざした知識や伝統文化および慣習
 に精通した人々の参画が、シナリオ設計において大きな
 役割を担っているといえる。このことは、生物多様性と
 生態系サービスに関わるシナリオが、地域特有の要素を
 多く含むことから、地域スケールにおける参加型シナリ
 オ構築の重要性を示す先行研究にも一致する⁴⁾。一方で、
 本研究結果から、気候変動および人口・都市の変化につ
 いては、一般市民が有識者同様の見解を示す傾向があっ
 た。少子高齢化や限界集落、地球温暖化といった用語は、
 近年様々な場面で見聞きする用語であり、一方でガバナ
 ンスや侵略的外来種等、広く一般に浸透した用語ではな
 い場合に、一般市民からの回答が得られにくかった可能
 性がある。実際に地域レベルで一般市民を含めた参加型
 シナリオの作成を進めるには、様々なステークホルダー
 のコミュニケーションが図られるよう、用語や概念をよ
 り平易な表現にする工夫や、生物多様性と生態系サービ
 スに関わる意識啓蒙や能力構築が課題となるだろう。

謝辞：本研究は、フューチャー・アース構想の推進事業
 「地域・伝統知と科学知の融合を活かしたアジア太平洋
 地域における社会・生態システムの将来シナリオとガバ
 ナンス」、ベルモント・フォーラム 戦略的国際科学技
 術協力推進事業 「生物多様性と生態系サービスのシナ
 リオ」および、環境省環境研究総合推進費S-15「社会・
 生態システムの統合化による自然資本・生態系サービス
 の予測評価」により実施されました。ここに感謝の意を
 表します。

参考文献

- 1) Heugens P.M.A.R and van Oosterhout, J. (2001) To boldly go where no man has gone before: integrating cognitive and physical features in scenario studies. *Futures* 33: 861-872.
- 2) Alcamo, J. (2011) Scenarios as tools for international environmental assessments. European Environment Agency.
- 3) 橋本禅 (2013) 第 7 章 不確実性に備える環境シナリオ (pp.185-217), 京都大学地球環境問題を考える会 (編) 「地球環境問題への挑戦と実践」, 開成出版.
- 4) Kok, M.T.J., Kok, K., Peterson, G.D., Hill, R., Agard, J. and Carpenter, S.R. (2016) Biodiversity and ecosystem services require IPBES to take novel approach to scenarios. *Sustainability Science*, doi:10.1007/s11625-016-0354-8
- 5) Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystem and Human Well-being: synthesis*. Island Press.
- 6) Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and human well-being : multiscale assessments : findings of the Sub-global Assessments Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press.
- 7) 国連大学高等研究所日本の里山・里海評価委員会編 (2012) 里山・里海- 自然の恵みと人々の暮らし -. 朝倉書店.
- 8) 生物多様性総合評価検討委員会 (2010) 生物多様性総合評価報告書. 環境省.
- 9) 生物多様性及び生態系サービスの総合評価に関する検討会 (2016) 生物多様性及び生態系サービスの総合評価報告書. 環境省.
- 10) Oteros-Rozas, E., Martín-López, B., Daw, T.M., Bohensky, E.L., Butler, J.R.A., Hill, R., Martin-Ortega, J., Quinlan, A., Ravera, F., Ruiz-Mallén, I., Thyresson, M., Mistry, J., Palomo, I., Peterson, G.D., Plieninger, T., Waylen, K.A., Beach, D.M., Bohnet, I.C., Hamann, M., Hanspach, J., Hubacek, K., Lavorel, S. and Vilard, S.P. (2015) Participatory scenario planning in place-based social-ecological research: insights and experiences from 23 case studies. *Ecology and Society* 20(4): 32
- 11) Biggs, R., Raudsepp-Hearne, C., Atkinson-Palombo, C., Bohensky, E., Boyd, E., Cundill, G., Fox, H., Ingram, S., Kok, K., Spehar, S., Tengö, M., Timmer, D. and Zurek, M. (2007) Linking Futures across Scales: a Dialog on Multiscale Scenarios. *Ecology and Society* 12: 17
- 12) Diaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J., Arico, S., Baldi, A., Bartuska, A., Baste, I., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K., Figueroa, V., Duraipapp, A., Fischer, M., Hill, R., Koetz, T., Leadley, P., Lyver, P., Mace, G., Martin-Lopez, B., Okumura, M., Pacheco, D., Pascual, U., Perez, E., Reyers, B., Roth, E., Saito, O., Scholes, R., Sharma, N., Tallis, H., Thaman, R., Watson, R., Yahara, T., Hamid, Z., Akosim, C., Al-Hafedh, Y., Allahverdiyev, R., Amankwah, E., Asah, T., Asfaw, Z., Bartus, G., Brooks, A., Caillaux, J., Dalle, G., Darnaedi, D., Driver, A., Erpul, G., Escobar-Eyzaguirre, P., Failler, P., Fouda, A., Fu, B., Gundimeda, H., Hashimoto, S., Homer, F., Lavorel, S., Lichtenstein, G., Mala, G., Mandivenyi, W., Matczak, P., Mbizvo, C., Mehrdadi, M., Metzger, J., Mikissa, J., Moller, H., Mooney, H., Mumby, P., Nagendra, H., Nesshover, C.,

- Oteng-Yeboah, A., Pataki, G., Roue, M., Rubis, J., Schultz, M., P. Smith, Sumaila, R., Takeuchi, K., Thomas, S., Verma, M., Yeo-Chang, Y. and Zlatanova, D. (2015) The IP-BES Conceptual Framework — connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14:1-16.
- 13) IPCC (2000) *Emission Scenarios*. Cambridge University Press.
- 14) Van't Klooster (2006) Practising the scenario-axes technique. *Futures*, 38 :15–30.
- 15) O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R. and van Vuuren, D.P. (2014) A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122: 387–400.
- 16) Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Thomson, A., Riahi, K., Kainuma, M., Matsui, T., Hurtt G.C., Lamarque, J-F., Meinshausen, M., Smith, S., Granier, C., Rose, S.K., Hibbard, K.A. (2011) Representative concentration pathways: an overview. *Climate Change*, 109: 5–31.
- 17) O'Neill B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R., and van Vuuren, D.P. (2014) A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122: 387–400.
- 18) Van Vuuren D.P., Kriegler, E., O'Neill, B.C., Ebi, K.L., Riahi, K., Carter, T.R., Edmonds, J., Hallegatte, S., Kram, T., Mathur, R. and Winkler, H. (2014) A new scenario framework for Climate Change Research: scenario matrix architecture. *Climatic Change*, 122:373–386.

(2016. 8. 26 受付)

A DESIGN FRAMEWORK FOR FUTURE SCENARIOS TO SUPPORT BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICE RESEARCH IN JAPAN

Chiho KAMIYAMA, Harumi AKIBA, Kikuko SHOYAMA, Shizuka HASHIMOTO,
Takanori MATSUI and Osamu SAITO

Scenario analysis is increasingly recognized as useful tool for exploring plausible future paths of the human society. Strengthening local context in scenario building and analysis is regarded as an important aspect for capturing the socio-ecological dynamics of biodiversity and ecosystem services, and recently more attention has fallen on participatory tools and processes that can bridge the information on drivers and the knowledge systems in scenario building processes. To understand general trends and people's perceptions of possible drivers that might impact on the biodiversity, social-ecological systems and human well-being, we conducted questionnaire surveys in Japan, targeting both general public and experts from universities, research institutes, the government, business sectors, and NGOs/NPOs throughout Japan. We found that natural disasters (especially earthquake/tsunami, flood/typhoon, and intensification of natural disasters under climate change) and the issues in population and cities (population outflow from rural area/marginalized community, aging society with fewer children, and regional disparities in development) were perceived as more likely drivers that would affect social and ecosystem changes by 2050. On the other hand, changes in life style/value system/perspective on nature (especially diversification/globalization and loss of traditional knowledge), economy/resources, policy/governance, pollution, land use were perceived as drivers with higher uncertainty, but their impact would be considerably higher if they actually take place. Based on these results, we propose a design framework for future scenarios to support biodiversity and ecosystem research in Japan.