

**総説**

## バイオエコノミーを対象とした LCA 関連研究

## —社会理論を基盤としたライフサイクル持続可能性評価 (LCSA) に向けて—

木村 元

気候変動や海洋プラスチックごみ等の環境問題が注目を集めるなか、SDGs に象徴される社会課題解決を志向した産業へと転換すべく、各国政府がそのビジョンとしてバイオエコノミー戦略を策定・推進している。しかし、バイオエコノミーの推進に伴う“負の影響”，例えば、バイオ由来製品の生産に必要な生物資源の乱獲による生物多様性への影響なども同時に懸念されている。本稿では、バイオエコノミーの副作用も考慮に入れた適切な意思決定をめざした LCA 関連研究をレビューする。近年、欧州を中心として、バイオエコノミー推進に伴う「環境」への影響だけでなく「社会経済」への影響を推計する研究や、「環境・社会・経済」の“総合評価”をおこなうライフサイクル持続可能性評価 (LCSA) の研究が報告されている。特に LCSA を文脈づける社会科学の重要性も指摘されている。関連する研究動向を紹介しつつ社会 (学) 理論に基礎づけられた LCSA の必要性・意義について議論する。

**1. はじめに**

バイオエコノミーは、バイオマス (生物資源) やバイオ技術を活用した産業群の拡がりや経済活動の全般を指す包括的な概念である。一般に、化石資源に由来した製品を、バイオ由来製品へと置き換えることから、気候変動、海洋プラスチックごみ、資源枯渇などの環境問題の解決方策としてバイオエコノミーは位置づけられている。とくに、食品・農林水産、医療、環境・エネルギー、バイオ化学品など多様な産業分野へと拡がりをもつことから、以下に述べるように、持続可能な社会に向けた包括的なビジョンとして用いられることが多い<sup>1</sup>。

バイオエコノミーという用語を世界にひろげたのは、2009年に発行された OECD (経済協力開発機構) のレポート (OECD 2009) である。その後、2015年に開催の COP21 (第21回気候変動枠組条約締約国会議) で採択されたパリ協定に代表される世界的コンセンサスも契機に、SDGs (持続可能な開

1 バイオエコノミーの概念、その意義、各国政府や EU, OECD 等によるバイオエコノミー (関連) 戦略について、詳しくは木村ほか (2022a) 等を参照。

発目標) に象徴される社会課題解決を志向した産業へと転換すべく、各国政府が関連する戦略を策定した。これまでに、OECD のほかにも、日本を含めた世界の約 50 ヶ国と EU がバイオエコノミー関連の戦略を策定している (木村ほか 2022a)。

そのなかで、とくに欧州の戦略に特徴的であるのが、バイオエコノミー推進に伴う“負の影響”への配慮である。OECD の文書において、バイオ由来製品の生産に必要な生物資源が乱獲される懸念から「バイオマスの持続可能性 (biomass sustainability)」が強調されている (OECD 2018)。EU の同戦略においても、これと親和性の高いものとして「バイオエコノミーの生態学的な限度 (ecological boundary) の理解」が掲げられている。そこでは、持続可能な生物資源の利用可能性などに関するデータにもとづく生態学的な限度を超えない範囲でバイオエコノミーを推進することが想定されている (EU 2018)。ドイツの同戦略においても、この流れを受けつつ、環境・社会・経済の 3 つの観点からの持続可能性に関するモニタリング・プログラムが策定されている (The Federal Government 2020)。以上のように欧州におけるバイオエコノミー戦略に顕著にあらわれた「持続可能なバイオエコノミー (sustainable bioeconomy)」という考え方は、冒頭に述べたように様々な環境問題の解決方策として期待されるバイオエコノミーが、例えば、生物多様性の減少をさらに深刻化したり、温室効果ガスの排出量を増加させたりするような“本末転倒”の結果に繋がることを避けようとするものである。

このように持続可能な社会を実現するための「機会 (解決方策)」と「リスク (懸念)」の両面で注目をあつめるなか、バイオエコノミーの環境・社会・経済への影響を把握・モニタリングするための科学的な手法に関連した研究が増加している。当該研究分野を対象とした書誌分析の結果によると (Ferreira et al. 2022), 「環境」への影響に特化した研究が最も多く、とくに 2017 年頃より顕著に増加している。これと同じ頃に「環境・社会・経済」への“総合的な”影響についての研究も増加しはじめており 2021 年には「環境」への影響の研究 (約 4 割) に次いで約 3 割を占めた<sup>2</sup>。このような環境・社会・経済への影響を評価する手法には様々なものがあるが、そのなかで最も用いられている影響評価手法がライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment; 以下, LCA) である (Ferreira et al. 2022)。

LCA と言うと、一般的には「環境」に注目した影響評価手法を意味するが、これに「社会」や「経済」への影響も加えた「環境・社会・経済」への総合的な影響を評価する手法がライフサイクル持続可能性評価 (Life Cycle Sustainability Assessment; 以下, LCSA) である。この LCSA の視点からは、従来の「環境」に注目した LCA は環境 LCA (Environmental LCA; E-LCA) のように呼ばれ、社会的 LCA (Social LCA; S-LCA) やライフサイクルコスト評価 (Life Cycle Costing; LCC) と区別される。つまり、LCSA は、環境 LCA, 社会的 LCA, ライフサイクルコスト評価の 3 つの要素により構成された、「環境・社会・経済」への総合的な影響についての評価手法である。

本稿では、このようなバイオエコノミーの副作用も考慮に入れた適切な意思決定をめざした LCA 関連研究のレビューをおこなう。ただし、関連文献についての網羅的なレビューではなく<sup>3</sup>, LCA 関

2 残る約 3 割は、「環境・経済」あるいは「社会・経済」への影響の研究であった (Ferreira et al. 2022)。

3 当該分野を対象とした網羅的・体系的なレビューに、本稿の執筆時点 (2023 年 9 月) で最新のものとして、上述の Ferreira et al. (2022) がある。

連研究（とくに LCSA 研究）と社会科学のあいだの“接点”に焦点をあてたレビューをおこなう<sup>4</sup>。この数年の間に、バイオエコノミーに伴う「環境」への影響についての LCA (E-LCA) 研究（2 節）、バイオエコノミーに伴う「環境」への影響を中心としながら「社会（経済）」への影響も加味した LCA 関連研究（3 節）、「環境・社会・経済」への総合的な影響について、社会科学により基礎づけられ文脈づけられた影響評価の枠組みを構築した LCSA 研究（4 節）が報告されている。このように 2 節から 4 節まで段階的に、社会（経済）の観点あるいは社会科学的な要素が評価に加えられていく順番で研究動向を紹介しつつ、社会（学）理論に基礎づけられた LCSA の必要性・意義について議論する。

## 2. バイオエコノミーに伴う「環境」への影響についての LCA (E-LCA) 研究

バイオエコノミーの「環境」への影響についての LCA (E-LCA) 研究に *The EU Bioeconomy Footprint: Using life cycle assessment to monitor environmental impacts of the EU Bioeconomy* (『EU バイオエコノミー・フットプリント –EU のバイオエコノミーに伴う環境影響の LCA を用いた把握–』: Sinkko et al. 2023) がある。EU バイオエコノミー・モニタリング・システム (EU Bioeconomy Monitoring System) におけるモニタリング指標の構築・検討を念頭に、8 つのセクター（業種）にわたる延べ 76 の代表的な最終製品のライフサイクルでの環境影響をボトムアップ・アプローチにより積み上げることにより、2010 年から 2020 年までの期間における EU のバイオエコノミーに伴う環境影響を定量化した研究である。

当該研究において評価対象とされた 8 つのセクターは、食品製造（農業（食用）、漁業を含む）、農業（非食用；主にバイオ燃料）、林業、繊維製品の製造（T シャツ、ジーンズなど）、紙製品の製造（新聞、書籍など）、家具の製造、バイオ燃料、バイオプラスチック（バイオ由来プラスチック袋のみ）である<sup>5</sup>。なお、冒頭に述べたとおり、バイオエコノミーはバイオマス（生物資源）やバイオ技術を活用した産業群の拡がりや経済活動の全般を指す包括的な概念であるが、そのなかでもバイオ技術を駆使した「先進的バイオエコノミー」と、バイオマスを活用するものの必ずしもバイオ技術を活用しない「伝統的バイオエコノミー」の 2 つの区分が OECD (2019) のレポートにおいて提案されている<sup>6</sup>。この区分に対応させると、当該研究の評価対象とされた上記の 8 つのセクターの殆どは後者に属するものであり、バイオ燃料およびバイオプラスチックの 2 つのセクターにおける製品の一部のみが前者に属する可能性があると考えられる。つまり、当該研究は、バイオエコノミー戦略で構想されるうち、既に一定規模を有するセクターのみが評価対象とされたものであり、現時点で小規模あるいは比較的新しい技術を応用するセクターなどは評価対象に含まれていないことに留意が必要である。実際、当該研究において、バイオ由来で製造された、化学品、医薬品、プラスチック（バイオ由来プラスチ

4 管見の限りでは、本稿の執筆時点（2023 年 9 月）において、このような趣旨の総説は報告されていない。

5 当該文献において、8 つのセクターの内訳は必ずしも分かりやすく明確には表現されていないが、**Materials and methods** や **Supplementary Material** も含めた記載内容について最も全体的に整合性がとれ妥当と考えられるのが、これら 8 つのセクターである。

6 OECD (2019) の趣旨は、これら「先進的バイオエコノミー」と「伝統的バイオエコノミー」とのあいだの相互作用の強化にあり、前者に起因した後（農業地域など）の活性化も含んでいる。

ック袋を除く)などのセクターを評価対象に含めることは今後の検討課題として整理されている<sup>7)</sup>。

当該研究において評価された「環境」についての影響領域 (impact category) は、気候変動、オゾン層破壊、大気汚染物質 (粒子状物質)、イオン化放射線、光化学オキシダント生成、酸性化、富栄養化 (陸域)、富栄養化 (淡水域)、富栄養化 (海域)、水消費、土地利用、資源消費 (化石資源)、資源消費 (鉱物、金属)、人間毒性 (がん)、人間毒性 (がん以外)、生態毒性、の全 16 の影響領域である。このように多様な影響領域の評価が可能であるのは、当該研究が、産業連関表を活用したトップダウン・アプローチをとるのではなく、上述のようにボトムアップ・アプローチをとることから、各々のプロセスにおける資源の利用や環境への排出を高い解像度で把握できるためである。

以上にその概要を述べた手順で、EU のバイオエコノミーに伴う環境影響すなわちバイオエコノミー・フットプリントが推計された。以下、フットプリント (Footprint) を FP と略して表記する<sup>8)9)</sup>。

EU のバイオエコノミーFP の推計結果について、まずは全体の傾向をつかむために 16 の影響領域の推計結果を重みづけして単一の数値で表したのを見ると、2010 年と 2020 年の結果を比較した場合に 23%の増加がみられた<sup>10)</sup>。このバイオエコノミーFP へのセクターごとの寄与割合をみると、最も寄与割合が大きいのが食品製造セクターであり、2010 年から 2020 年の期間にわたって 83-85% を占めた<sup>11)</sup>。これに続いて寄与割合が大きいのがバイオ燃料セクターであり、同じく 9-10%を占めた。これらの 2つのセクターと比べると、他の 6つのセクターによる寄与は限定的であった。

次に、バイオエコノミーFP の 16 の影響領域ごとに各セクターの寄与割合をみると、食品製造セクターは富栄養化 (陸域) に対する寄与割合が最も大きく 9 割を超えた。バイオ燃料セクターは資源消費 (鉱物、金属) の約 30%ならびに大気汚染物質 (粒子状物質) の約 20%を占めることに特徴をもつ。他の 6つのセクターの総体としては土地利用の 30%以上、また、イオン化放射線の約 24%を占めた。このように、バイオエコノミーに関わるセクターごとに 16 の影響領域への寄与の仕方は異なる。

同様に、同一のセクター内、例えば、2010 年から 2020 年までに最も大きく消費量が増加した (19%の増加) バイオ燃料セクターのなかでも、燃料の種類ごとに 16 の影響領域への寄与の仕方は異なる。最も多く消費された木質バイオマスに伴う環境影響として特徴的であるのが、土地利用、大気汚染物

7 この他、評価対象に含めることが今後の課題として整理されたセクターは農業 (非食用) と天然ゴムである。

8 Footprint は、直訳すると「足跡」との意味であるが、ここでは「LCA にもとづいた、製品 (もしくは組織) に伴う (潜在的な) 影響の定量化」(EC-JRC 2023) との意味合いで用いられている。

9 FP (フットプリント) について、脚注 8 のような使われ方もある一方、いずれも環境への影響に注目する環境 FP と LCA (E-LCA) について、これら 2つが異なるアプローチとして厳密に区別される場合もある (Vanham et al. 2019)。その場合、いずれもライフサイクル思考に基づく点において共通するものの、環境 FP は資源の利用もしくは環境への排出といった「環境への圧力 (pressure)」に重点をおく傾向があり、LCA (E-LCA) は当該圧力による (潜在的な) 「環境影響 (impact)」に重点をおく傾向があるとされる (ibid.)。なお、3 節で紹介する 2つの研究のうち、1つ目の研究における FP の用語は、このような区別がされた場合の意味合いで用いられている。

10 2010 年から 2020 年までのあいだに全体として 23%のバイオエコノミーFP の増加がみられた主たる要因として、当該研究の著者らは、同期間における消費量 (消費強度) の増加を挙げている。ちなみに、EU における同期間の人口の増加割合は 1-2%であり、これだけでは説明がつかないとしている。

11 食品製造セクターのなかでも、後に続く製造プロセスと比較して、一次生産 (農業) による寄与が大きい。また、製品別でみると、最も環境影響が大きいのが肉製品、次いで乳製品であった。

質（粒子状物質）、イオン化放射線、光化学オキシダント生成であった。この他、2010年から2020年までに消費量が約2倍に増加したバイオガスは水消費への影響が大きく、また、バイオディーゼルは富栄養化（淡水域）および富栄養化（海域）への影響が大きかった。

以上にその概要を紹介したEUのバイオエコノミーFPの推計結果は、あくまで“現時点”のバイオエコノミーに伴う環境影響についての推計であることに留意が必要である。EUないしEUの各国政府によるバイオエコノミー戦略に伴う影響、例えば先進的なバイオ技術を駆使したバイオ由来化学品の普及拡大に伴う気候変動や土地利用などへの影響があらわれるのは“今後の数十年間”と見込まれる。当該研究は、そのようなバイオエコノミーの今後の進捗に伴う「環境」への影響をモニタリングするために本節の冒頭で述べたようにモニタリング指標の構築・検討を目指したものであり、バイオエコノミーの「環境」への影響に焦点を合わせるにより16の「環境」への影響領域についての詳細な分析を可能としている。しかし、実際意思決定／政策策定の場面においては、当然ながら、この推計結果を超えた観点についての考慮も必要となる。実際に当該文献の著者らも、結論部分の末尾において、「環境」への影響のなかでも当該研究では考慮できていない「生物多様性」への影響評価や「社会」への影響評価（S-LCA）の導入を今後の課題としてあげている。

これら2つの観点をどのように影響評価に導入できるかの議論はLCSA研究にとっても重要である。LCSA研究の発展に大きく貢献したKlöpffer (2008)も、生物多様性を「環境影響のなかでも最も重要な1つ」としている。しかし、生物多様性への影響評価は、影響領域の1つとしての土地利用を介して間接的なかたちで評価されているものの、直接的には評価できていないことを指摘している。生物多様性の減少についての直接的な評価が難しい理由の1つは、その評価には、例えば、歴史、地理、社会経済などの文脈が関わるため、評価にあたり時空間的な解像度を高める必要があることにある。また、これと同様の理由は、すぐ前に述べた、本節で紹介した研究における2つの今後の課題のうちもう一方の、社会への影響評価（S-LCA）の手法を構築する難しさにも当てはまる（Klöpffer 2008）。

次節では、このような問題意識のもと、本節で紹介した「環境」への影響評価（E-LCA）研究において今後の課題としてあげられた「生物多様性」または「社会」への影響評価をテーマとしたLCA関連研究をそれぞれ紹介する。ただし、これら2つの研究は、本節で紹介した研究と必ずしも直接的には研究の背景やアプローチを共有していない。あくまで、前節で述べたように、社会（経済）の観点あるいは社会科学的な要素が評価に加えられていく順番で段階的に研究動向を紹介しつつ、社会理論に基礎づけられたLCSAの必要性・意義について議論する本稿の趣旨の範囲における紹介である。

### 3. バイオエコノミーに伴う「環境」影響に加えて「社会（経済）」影響も考慮したLCA関連研究

バイオエコノミーに伴う影響のうち、「環境」への影響に加えて「社会（経済）」への影響も一部考慮したLCA関連研究に *Environmental and socioeconomic footprints of the German bioeconomy*（『ドイツのバイオエコノミーの環境フットプリントおよび社会経済フットプリント』: Bringezu et al. 2021）がある。ドイツのバイオエコノミーに伴う環境への影響について、2000年から2015年までの実績と2015年から2030年までの予測を産業連関分析にもとづいて定量化するとともに、社会経済指標で補いつ

つ議論した研究である。具体的には、「環境」への影響についての指標として、農業バイオマス FP、林業バイオマス FP、農地 FP、灌漑取水 FP、温室効果ガス FP の 5 つが算定されるとともに<sup>9</sup>、「社会（経済）」への影響についての指標として、バイオエコノミーに由来する付加価値額および雇用創出効果の 2 つが算定された<sup>12</sup>。なお、前節で紹介した LCA (E-LCA) 研究と同様、バイオ技術を駆使したいわゆる先進的バイオエコノミーに伴う影響について十分に反映された算定ではないことに留意が必要である<sup>13</sup>。

当該研究の主要な示唆は、ドイツのバイオエコノミーを対象とした分析により、環境負荷の他国への転嫁、ならびに、社会経済的な便益の他国への移転が起こっている実態を明らかにしたことにある。まず、前者の環境負荷の他国への転嫁について述べる。例えば、ドイツ国内の消費に伴う農地 FP は 2015 年において 51 Mha であった。他方、ドイツ国内の農地面積は、ドイツの国土の約半分に相当する 17 Mha である。つまり、ドイツ国内の消費を満たすために、他国の農地 34Mha を含む 51Mha の農地が実質的に使用されていることが明らかにされた<sup>14</sup>。ここで重要な点は、このようなドイツ国内の消費に起因して、他国における森林および草地の農地への転換が促されてきたことにある。とくに 2000 年から 2005 年までの期間においては、ドイツ国内の 1 人あたり年間で 90m<sup>2</sup> の土地利用の変化をもたらした。これは 2000 年から 2015 年までの期間の世界平均が 1 人あたり年間で 27 m<sup>2</sup> から 39 m<sup>2</sup> であったことと比較しても大きな値である。加えて、このような土地利用の変化に伴い、他国の生物多様性の減少や生態系サービス<sup>15</sup> の損失が促進されてきたであろうことも重要な点である。

これと同様に、ドイツ国内の消費に伴う温室効果ガス FP は 2015 年において 1.9 tCO<sub>2</sub>eq であった。このうち半分以上は、他国の領地から排出される温室効果ガスが占めている。つまり、ドイツ国内の消費を満たすために他国の生産プロセスにおいて多くの温室効果ガスが排出されている実態が定量的に明らかにされた。重要な点は、このように温室効果ガス FP の半分以上を占める他国の領地から排出される温室効果ガスは、2015 年に開催の COP21 で採択されたパリ協定にもとづくドイツの約束草案（気候変動対策の目標）に含まれていないことにある。

以上は、ドイツのバイオエコノミーに起因する環境負荷が他国に転嫁されていることの示唆だが、その裏返しとして、社会経済的な便益が他国に移転されてもいる。社会経済指標のうちバイオエコノミーに由来する付加価値額の算定により、ドイツ国内の消費者 1 人あたり毎年 2,000-2,500 ドル程度、世界の付加価値創出に貢献していることが明らかにされた。また、ドイツ国内の消費に伴う雇用創出効果（1 人あたりバイオエコノミー関連雇用）は、ドイツ国内において 0.04 程度以下であるのに対し

12 当該文献では、これら 5 つの FP の総称として「環境 FP (環境フットプリント)」の用語が用いられている。また、文献タイトルにある「社会経済 FP (社会経済フットプリント)」は本文中において用いられておらず、その代わりに「社会経済指標 (socioeconomic indicators)」の用語が多く用いられている。

13 当該研究におけるバイオエコノミーの定義は、5 種類のセクターすなわち、農業・林業・漁業、バイオマスを主たる原材料として用いる全ての製造業（例えば、食品・飲料の製造や、化学品製造のごく一部）、木造建築、バイオ由来のエネルギー生産、外食産業からなるものである。

14 ドイツ国内の消費に伴う農地 FP は、2030 年にかけての肉の消費量および食品廃棄物量の減少ならびに穀物生産性の向上のために、減少する傾向が見込まれることも述べられている。

15 生態系サービスについては、本節において 2 つ目の研究を紹介するなかで、その概要を説明している。

て、他国において 0.2 程度であった。つまり、環境負荷と引き換えに社会経済的な便益が他国に移転されていることが、その程度を含めて定量的に示された。なお、当該文献では、バイオエコノミーに由来する付加価値額に関して、現在は小規模であるものの先進的な技術を用いた分野（例えば、バイオ由来化学品）に高い成長率がみられることも指摘されている。

このように当該研究は、前節で紹介した LCA (E-LCA) 研究のような高い解像度では環境への影響を把握しないものの、その代わりに、環境 FP<sup>9</sup> と併せて社会経済指標を用いることにより「環境」負荷の他国への転嫁ならびに「社会（経済）」的な便益の他国への移転というバイオエコノミーの重要な一側面を明らかにした。これは、「環境」への影響と併せて「社会（経済）」への影響が考慮されることの重要性、ならびに、そのような影響評価が実際に可能であることの一例を示している。

もう 1 つ紹介する LCA 関連研究は、*Towards integrating the ecosystem services cascade framework within the Life Cycle Assessment (LCA) cause-effect methodology* (『生態系サービス・カスケード・フレームワークの、LCA における因果連関への統合に向けて』: Rugani et al. 2019) である。生態系サービスの概念を用いて LCA の方法論を拡張することにより、従来は評価されていない、生物多様性をもつ「社会」への影響、すなわち、生態系サービスをとおした「社会」への便益あるいは「社会」的成本の増減の評価への導入を目指した研究である。当該研究においては、必ずしもバイオエコノミーのみが評価対象として想定されているわけではない。しかし、バイオマス（生物資源）を活用する点で生態系に大きく依存するバイオエコノミーの性質を踏まえると、持続可能なバイオエコノミーを実現するためには生物多様性や生態系サービスへの影響を十分に考慮に入れた適切な意思決定を積み重ねることが必要である。以下では、まず生態系サービスについて述べた上で、当該文献のタイトルにある生態系サービス・カスケード・フレームワーク等について述べる。

生態系サービスは、2010 年の生物多様性条約 COP10 における『生態系と生物多様性の経済学 (The Economics of Ecosystem and Biodiversity) 報告書 (以下、TEEB 報告書)』にて、「人間のウェルビーイングへの、生態系による直接的あるいは間接的な貢献 (the direct and indirect contributions of ecosystems to human well-being)」と定義されている。この定義に象徴されるように、「環境」と「社会」のあいだを架橋する概念と言える。なお、生態系サービスは、概念的に 4 つの大分類すなわち「供給サービス (例: 食料)」「調整サービス (例: 花粉媒介, 炭素固定による気候調整)」「生息・生育地サービス (遺伝的多様性を含む)」「文化的サービス (例: 観光)」に分けられた上で、さらに 20 程度の小分類へと分類される (TEEB 2010)。

生態系サービスは、このような細かな分類方法にもあらわれるように多様な側面をもつこと、また、その定義に「人間のウェルビーイング (豊かさや幸せ)」を含むことから分かるように、“価値”に関わる概念である。とくに、生態系サービスの便益を受け取る主体に応じてその価値が異なるという性質をもつ。例えば、清流の水は、飲料水を求める人にとっては、それ自体が満足を生む意味で最終的な生態系サービス (供給サービス) と言える。しかし、釣り人や漁業者にとっては、魚の収穫という最終的な生態系サービス (供給サービス) の基盤となる中間的な生態系サービス (生息・生育地サービス) に過ぎない。このような形で生態系サービスは、その便益を受け取る主体 (個人ないしグルー

プ)の歴史的、地理的、社会経済的な文脈に依存する (Oteros-Rozas 2014)。

当該文献のタイトルにある生態系サービス・カスケード・フレームワークは、このような生態系サービスをめぐる複雑な関係を体系的に整理するために上述の TEEB 報告書においても採用された、生態系および生物多様性もつ「構造」と「機能」、人間にとっての「便益」と「価値」の4つの段階の関係についての概念枠組みである。具体的には、(1)生態系が機能をもつための基盤としての生物物理的な「構造」、(2)生態系および生物多様性の「機能」(生態系サービスを生み出すことのできる容量)、(3)特定の「便益」(潜在的な生態系サービスのうち実際に使用された部分)、(4)便益の「価値」(生態系サービスの定義から、様々な功利的な形態を持ちうるもの)、の4段階で整理された概念枠組みである。

この生態系サービス・カスケード・フレームワークと、LCAにおける影響評価の考え方(Life Cycle Impact Assessment, 以下 LCIA)を統合することにより、生態系サービスに伴う便益の増減を評価できるように LCA の方法論を拡張することが当該研究の趣旨である。当該文献の著者らが提案する評価の枠組みの概要は下記のとおりである。まず、LCIAによって経済活動に伴う環境影響(例:土地利用の変化、富栄養化、淡水の枯渇)が算定される。次に、これをもとに、生態系サービスに対する正負の影響、すなわち、生態系の構造と機能の変化、そして、生態系サービスの質的ないし量的な増減が算定される。最後に、その生態系サービスに伴う社会的な便益あるいはコスト、価値が算定される。このような評価枠組みの意義として、従来の LCA において考慮される環境への“影響”のみならず、生態系サービスの概念を介した“便益”を含めた総合的な評価を可能とすることが主張されている<sup>16</sup>。

このように当該研究は、「環境」と「社会」のあいだを架橋する概念である生態系サービスを媒介として用いることにより、「環境」への影響評価を出発点としながら「社会」への影響評価にも一歩踏み入るような側面を備えている。とくに、生態系サービスが“価値”に関わる概念であることを十分に活かして、「環境」への影響評価から「社会」的な便益・コストの算定へとスムーズに接続されている。このようなアプローチは、前節に述べた、歴史、地理、社会経済などの文脈との関連を理由とした生物多様性の評価の難しさを、ちょうど“逆手”にとったものと位置づけられるアプローチとも言える。

バイオエコノミーに伴う「環境」への影響を中心としながら「社会(経済)」への影響も加味した LCA 関連研究として本節で紹介した2つの研究が、次節で LCSA 研究を紹介する観点から興味深いのは、いずれの研究も、「環境」への影響評価を追求するなかで連続的に、環境負荷の他国への転嫁という事象ないし生態系サービスの概念を介して、「社会(経済)」の次元へと繋がっていく点である。このような評価は、「環境」のみに特化した影響評価と比較して概念の抽象度や手法の複雑さを高めるものの、それと引き換えに、バイオエコノミーのあり方をめぐる重要な側面について有益な示唆を与える。次節では、バイオエコノミーに伴う「環境・社会・経済」への影響についての総合評価(LCSA)研究を紹介しつつ、社会理論に基礎づけられた LCSA の必要性・意義について議論する。

16 なお、当該研究の著者らは、このようなアプローチについて、生態系サービスの分類、ダブルカウントの可能性、適切な時空間スケールなどに課題があることを認めている。

#### 4. バイオエコノミーに伴う「環境・社会・経済」への総合的な影響についての LCSA 研究

バイオエコノミーによる「環境・社会・経済」への総合的な影響についての LCSA 研究に *Life Cycle Sustainability Assessment for Sustainable Bioeconomy, Societal-Ecological Transformation and Beyond* (『持続可能なバイオエコノミー並びにエコロジカルな社会構造変革などに向けたライフサイクル持続可能性評価』<sup>17</sup>: Zeug et al. 2023a) がある。持続可能なバイオエコノミーひいては持続可能な社会の実現に向けて、従来の LCSA 研究における 2 つの課題を指摘したうえで、それらの課題を克服するために新たな LCSA の枠組みを提案した研究である。

当該研究が指摘する第 1 の課題は、従来の LCSA 研究が評価対象を「環境」、「社会」、「経済」の 3 つの側面へと要素還元するアプローチをとることにある。従来の研究において LCSA は、3 つの要素それぞれの評価の“和”すなわち  $LCSA = E-LCA + S-LCA + LCC$  として捉えられた上で、各々の要素が独立に評価されることが多い<sup>18</sup>。このアプローチは、最も研究が進んでおり洗練されている E-LCA を、そのまま LCSA に応用できる等の大きな利点をもつ。しかし、その反面、「環境」「社会」「経済」のあいだの繋がり・関係性についての一貫性を保った記述が困難となる等の欠点をもつ<sup>19</sup>。この欠点は、例えば、ある指標 (indicator) が「環境」「社会」「経済」のうち 2 つ以上の次元のいずれにも分類可能であるような場合に、その指標がどの次元に分類されるのか明確な基準をもって説明することが難しくなる、というかたちで顕在化する。

この第 1 の課題の背景には、従来の LCSA 研究において暗黙のうちに前提されがちな“持続可能性 (sustainability)”の概念について、自明視されるか、あるいは、その多義性が自覚されないためか、十分な記述・議論がなされないという傾向がある。そしてそのために現状の社会構造に対する根本的な批判性を欠いた評価へと制約づけられてしまうところに、第 2 の課題がある。持続可能性の概念として暗黙のうちに前提されることの多い代表的な持続可能性のモデルは、いわゆる 3 本の並び立つ柱として持続可能性を捉える立場 (three-pillars approach) に基づいている。そこでは、それぞれ「環境」、「社会」、「経済」を表す 3 つの円が互いに重なり合い、3 つの次元が重なり合った共通部分として、もしくは、3 つの次元が均衡する状態として、持続可能性が表現される。つまり、上述の  $LCSA = E-$

17 当該文献のタイトルにある「Societal-Ecological Transformation」は、後述するように、技術的・経済的デカップリングと社会的デカップリングの 2 つが同時に目指されるダブル・デカップリングを指している。このため、その邦訳は、当該文献の著者らの意を汲んで、単に技術的・経済的な変革ではないことが伝わるように「エコロジカルな社会構造変革」とした。

18  $LCSA = E-LCA + S-LCA + LCC$  とする要素還元的な捉え方を「課題」と表現するのは当該研究に固有の目線であり、LCSA 研究一般の目線からは「論点」と表現した方がより適切と考えられる。というのは、LCSA 研究の発展に大きく貢献した Klöpffer (2008) は LCSA の選択肢として、後述する  $LCSA = f(E-LCA, S-LCA, LCC)$  という包括的・統合的な捉え方を含めた 2 つの選択肢を示したうえで、ISO14040 との適合性の観点から、LCSA のあり方について論じているためである。なお、その結論は、ISO14040 が後者の LCSA の捉え方に適合するよう改訂される可能性について留保を残しつつ、前者の要素還元的な捉え方を支持するものである。

19 LCSA の原則を体系的に論じた最近の文書『Principles for the application of life cycle sustainability assessment』(Valdivia et al. 2021) における LCSA の定義は、 $LCSA = E-LCA + S-LCA + LCC$  とする要素還元的な捉え方であり、本節で紹介する文献とは LCSA の捉え方についての立場が異なる。しかし、当該文書の結論部分に述べられた今後の課題は、主に「環境・経済・社会の 3 つの次元のあいだの相互関係の扱いや、個々の評価手法 (LCA, LCC, S-LCA) の統合」にあり、この点においては一定の認識の共有がみられる。

LCA+S-LCA+LCC として捉えるアプローチは、もとを辿ると、この要素還元的な持続可能性のモデルに基礎をおいている。しかし、このように要素還元的なかたちで「経済」の次元を独立させた場合に、それが「環境」や「社会」の次元と上手く均衡をはかるための基準は実のところ備わっておらず、このことが従来の LCSA 研究を限界づけている、というのが当該研究の指摘する第 2 の課題である。

そこで、これら 2 つの課題の各々に対応する形で、以下の 2 点に特徴づけられた新たな LCSA の枠組みが提案される。第 1 の特徴は、「環境」、「社会」、「経済」へと要素還元するアプローチの代わりに、「環境・経済・社会」の相互関係を明示した、包括的・統合的なアプローチを採用することにある。具体的には、要素還元的な  $LCSA = E-LCA + S-LCA + LCC$  と対比して、 $LCSA = f(E-LCA, S-LCA, LCC)$  のようにして LCSA が捉えられる。また、このアプローチが基礎をおく持続可能性のモデルは、「環境・経済・社会」の各々を表す円が“入れ子状”に内側から「社会」「経済」「環境」の順番で配置されるかたちで表現される。この表現に込められた意味・文脈の詳細は第 2 の特徴として後述するが、端的には、「プラネタリー・バウンダリー（「環境」）<sup>20</sup> を超えない範囲でおこなわれる「経済」活動は「社会」的なニーズを満たすためにある」というものである。つまり、「環境・経済・社会」の各々が独立せずに互いに他を構成し合う関係性が明示された持続可能性のモデルである。そこでは、要素還元的なかたちで「経済」の次元を独立させる代わりに、“目的”としての「社会」的ニーズの充足に向けた“手段”として「経済」活動が位置づけられており、「社会」的ニーズの充足を最優先して「経済」活動を制御するような規範的基準を内在したモデルと言える。このような持続可能性のモデルに基礎づけられた包括的・統合的な LCSA の枠組みを、当該文献にしたがい HI-LCSA と呼ぶ<sup>21</sup>。HI-LCSA の評価手順の骨子については後述するが、「環境・経済・社会」を単一のシステムとしてみる意味での“統合性 (Integrated)”と、学際的な観点から捉える意味での“包括性 (Holistic)”の 2 つが重視された LCSA の枠組みである<sup>22</sup>。

当該研究が提案する HI-LCSA の枠組みの第 2 の特徴は、それが基礎をおく持続可能性のモデルが、“持続可能性”概念についての吟味と、社会科学的な検討に基盤をおいて文脈づけられることにある。まず、当該文献の著者らは、“弱い”持続可能性 (weak sustainability) と、“強い”持続可能性 (strong sustainability) を対比的に論じる。一方で弱い持続可能性は、人間中心的 (anthropocentric) であり、人間と自然のあいだに隔たりがある二元論的な、浅いエコロジー (shallow ecology) として説明される。他方で強い持続可能性は、環境中心的 (eco-centric) であり、人間が自然の一部として捉えられた、深いエコロジー (deep ecology) として説明される。これらの二極の概念は、しばしば暗黙のうちに、バイオエコノミーや LCSA に対する理解を形成している。前者の、経済成長を絶え間なく追求する立場からは、バイオエコノミーは、技術革新ないしその期待をとおして「無限の経済成長」との想定を可能とするものとして捉えられる。そのため、一般的な傾向として、また、多くの LCSA 研究における

20 プラネタリー・バウンダリーについては、例えば Steffen et al. (2015) を参照。

21 当該文献においては「HILCSA」と表記されるが、見やすさの観点から本稿では「HI-LCSA」と表記した。

22 当該研究における“包括性 (Holistic)”には、このような意味に加えて更に、後述する「エコロジカルな社会構造変革」に関する示唆を導きうるような (LCSA の枠組み)、とのニュアンスも込められている。なお、当該研究における「学際」の意味については脚注 23 を参照。

傾向として、バイオエコノミーの技術的側面に焦点があてられる。これに対して、後者の、地球システムの限度を超えない持続可能な社会を構想する立場からは、光合成における太陽光エネルギーの変換効率、植物の成長速度、使用可能な農地面積などのバイオエコノミーを制約する要因が重視される。そのため、このような立場にたつ LCSA 研究においては、バイオエコノミーの制約条件としてプラネタリー・バウンダリー等が考慮された上で、その制約下で可能な社会的ニーズの充足のあり方に焦点をあてた評価がおこなわれる。

次に、このような二極の“持続可能性”概念についての整理を踏まえ、その二項対立を超えることを目指した社会科学的な検討が加えられる。その検討の鍵となる概念が、学際性 (transdisciplinary)<sup>23</sup>、自然との社会的な関係 (social relations to nature ; 以下、当該文献にしたがい SRN と呼ぶ)<sup>24</sup>、エコロジカルな社会構造変革 (societal-ecological transformation) の3つである。この検討の結論の部分のみを、3つ目の鍵概念であり、当該文献のタイトルにもある「エコロジカルな社会構造変革」を用いて述べる。その趣旨は、持続可能な社会／持続可能なバイオエコノミーの実現のために以下に述べる2種類のデカップリングが必要、との主張にある。1つは、技術的・経済的デカップリングであり、物質的な商品生産量と、資源利用量の増加／負の環境・社会・経済への影響との連動を切り離すことを意味する。もう1つは、社会的デカップリングであり、社会的なニーズの充足の度合いと、物質的な商品生産量との連動を切り離すことを意味する。当該文献の著者らは、物質的な商品生産量を介して繋がっているこれら2種類のデカップリングを組み合わせたダブル・デカップリングが必要と主張する。その意図は、前者の技術的・経済的デカップリングにより環境効率 (単位商品生産量あたりの環境負荷) の改善すなわち“相対的”デカップリングがみられたとしても、後者の社会的デカップリングなしには、プラネタリー・バウンダリーを超えない持続可能なバイオエコノミーの実現に必要な総体としての環境負荷の改善すなわち“絶対的”デカップリングは期待できない、との認識にある。

このような社会科学的な検討を踏まえ、HI-LCSA の枠組みが基礎をおく包括的・統合的な持続可能性のモデルに込められた意味・文脈について補足する。先述した持続可能性のモデル「プラネタリー・バウンダリー (「環境」) を超えない範囲でおこなわれる「経済」活動は「社会」的なニーズを満たすためにある」の背景には、上述のエコロジカルな社会構造変革／ダブル・デカップリングがある。端的に表現するならば、持続可能性のモデルにおける「環境」と「経済」とのあいだの関係について技

23 当該研究が整理する「学際性」とは、ある研究課題を、環境に関する研究課題であると同時に政治経済学的な研究課題として包括的に捉えることを意味する。つまり、政治経済学的な主張が中立ではないのと同様に、環境に関する主張も決して中立ではありえない、との整理である。このような整理は、上述した二極の持続可能性の概念すなわち環境に関する主張における二項対立を超える契機となる。

24 2つ目の鍵概念である「SRN」は、脚注23のように包括的に捉えるために、当該文献の著者らが注目する概念である。SRN は、生物物理的な因果連関と社会文化的な因果連関の2つに支配された社会的代謝 (social metabolism) (Haberl et al. 2019)、すなわち自然環境と社会のあいだの生物物理的なフローの総体に注目して社会を捉えようとする見方を概念化したものである。このSRNを形成しているのは、時間的にも地理的にも様々なパターンがありうる社会システムのある特定のパターンであり、現状では資本主義のシステムがそれにあたる。当該文献の著者らは、このようにして「経済」の次元の位置づけを再考する必要性、具体的には、「社会」的なニーズを満たすための「手段」として改めて位置づける必要性を主張する。これを背景として、HI-LCSA の枠組みの第1の特徴として述べた持続可能性のモデル「プラネタリー・バウンダリー (「環境」) を超えない範囲でおこなわれる「経済」活動は「社会」的なニーズを満たすためにある」が採用されている。

術的・経済的デカップリングが対応し、また、「経済」と「社会」とのあいだの関係について社会的デカップリングが対応する<sup>25</sup>。なお、ダブル・デカップリングは、プラネタリー・バウンダリーという地球システムの限度を超えない持続可能な社会を原則としつつも、先端的な科学技術の活用を前向きに位置づけることから、先述の“弱い”持続可能性と“強い”持続可能性のいずれにも属さない立場を志向したものである。

HI-LCSA の枠組みの特徴は、以上に述べてきたように、「環境・経済・社会」の相互関係を明示した包括的・統合的なアプローチを採用すること、また、それが基礎をおく持続可能性のモデルが“持続可能性”概念についての吟味と社会科学的な検討を基盤として文脈づけられること、の 2 点にある。この枠組みをもとに評価手順へと具体化されるプロセスの骨子として、当該研究は、社会的コンセンサスの得られた概念である SDGs をエンドポイント (endpoint) として以下 2 つのあいだを媒介する形で用いることにより、包括的・統合的な持続可能性のモデルと、既存の LCA/LCSA データベースにおける延べ 109 の指標とを紐付けることに成功している。具体的には、持続可能性のモデルにおける「社会的なニーズ (societal needs)」に、SDGs のゴール 1 (貧困)、ゴール 2 (飢餓)、ゴール 3 (保健)、ゴール 4 (教育)、ゴール 5 (ジェンダー)、ゴール 11 (都市) が対応し、その上で延べ 21 の指標が紐付けられる<sup>26</sup>。次に、持続可能性のモデルにおける「経済」に、SDGs のゴール 6 (水・衛生)、ゴール 7 (エネルギー)、ゴール 8 (成長・雇用)、ゴール 9 (イノベーション)、ゴール 10 (不平等)、ゴール 12 (生産・消費)、ゴール 16 (平和)、ゴール 17 (パートナーシップ) が対応し、その上で延べ 59 の指標が紐付けられる<sup>27</sup>。そして、持続可能性のモデルにおける「プラネタリー・バウンダリー (「環境」)」に、SDGs のゴール 13 (気候変動)、ゴール 14 (海洋資源)、ゴール 15 (陸上資源) が対応し、その上で延べ 29 の指標が紐付けられる<sup>28</sup>。なお、SDGs のゴールのあいだの重みづけ (優先順位づけ) については、ステークホルダーへの聞き取り調査結果 (Zeug et al. 2019) が用いられている。加えて、本稿での紹介は割愛するが、このような骨子で具体化された評価手順を用いて LVL (単板積層材) (Zeug et al. 2022) およびバイオ燃料 (Zeug et al. 2023b) を対象として評価した結果がそれぞれ既に報告されている。

---

25 このような持続可能性のモデルとダブル・デカップリングとの対応関係について、必ずしも当該文献において分かりやすく言及されていないが当該文献の論旨からの自然な理解と考えられる。

26 「社会的なニーズ」に紐づけられる指標は、例えば、社会保障支出額、給与額 (ゴール 1 ; 貧困)、先住民に関わる人権問題 (ゴール 2 ; 飢餓)、気候変動による人の健康への影響 (ゴール 3 ; 保健)、教育分野への公的支出額 (ゴール 4 ; 教育)、男女間の賃金格差率、女性従業員の割合 (ゴール 5 ; ジェンダー) などである (Zeug et al. 2021)。

27 「経済」に紐づけられる指標は、例えば、飲料水供給のカバー率 (ゴール 6 ; 水・衛生)、累積エネルギー需要に占める化石エネルギー割合 (ゴール 7 ; エネルギー)、バイオマス (生物資源) の製品への変換効率、従業員 1 人あたり週あたりの労働時間、非正規雇用者の割合、児童労働の割合 (ゴール 8 ; 成長・雇用)、研究開発に携わる従業員の割合 (ゴール 9 ; イノベーション)、人口あたりの化石燃料の採取量、人口あたりのバイオマスの採取量 (ゴール 12 ; 生産・消費)、公共セクターの汚職の度合い (ゴール 16 ; 平和) などである (Zeug et al. 2021)。

28 「プラネタリー・バウンダリー (「環境」)」に紐づけられる指標は、例えば、気候変動、成層圏のオゾン層破壊 (ゴール 13 ; 気候変動)、気候変動による淡水生態系への影響、海洋生物への毒性、海洋酸性化 (ゴール 14 ; 海洋資源)、気候変動の陸上生態系への影響、陸上生態系への毒性 (ゴール 15 ; 陸上資源) などである (Zeug et al. 2021)。

このような形で SDGs を用いる HI-LCSA の評価手順を、SDGs を「環境・社会・経済」の3層に位置づけたウェディングケーキ・モデル (Stockholm Resilience Centre 2016) と比較してみると興味深い。なお、ウェディングケーキ・モデルは、プラネタリー・バウンダリーで知られるヨハン・ロックストーム (Johan Rockström) が当時所長を務めた Stockholm Resilience Centre が提唱したモデルであり、「経済」が「社会」を基盤とし、また、「経済」と「社会」が「環境」を基盤として成立する構造をわかりやすく示している。まず、HI-LCSA においては「社会」が中心に配置されるのに対して、ウェディングケーキ・モデルにおいては「経済」が中央上層に位置づけられる。次に、「環境」「社会」「経済」それぞれの次元に対応づけられる SDGs のゴールには共通する部分が多いものの、少し異なっている。例えば、「社会」の次元について、HI-LCSA において「社会 (的なニーズ)」に対応づけられるのは、ゴール 1 (貧困)、ゴール 2 (飢餓)、ゴール 3 (保健)、ゴール 4 (教育)、ゴール 5 (ジェンダー)、ゴール 11 (都市) である。これに対して、ウェディングケーキ・モデルにおいては、これら6つに、ゴール 6 (水・衛生) とゴール 7 (エネルギー) を加えた計8つが対応づけられる<sup>29</sup>。以上のように、「環境・社会・経済」の3つの次元の相互関係に相違が見られることに加えて、各々の次元への SDGs のゴールの対応づけの仕方にも相違が見られるということは、更に、エンドポイントとしての SDGs の各々にどのような指標 (LCA/LCSA データベースにおける指標) が紐付けられるかという水準での相違にも繋がるものである。

このようにして現れる評価手順の違いについて説明する役割あるいは評価手順を設計する役割をもつのが、「環境」「社会」「経済」の3つの次元のあいだの関係性を記述する持続可能性のモデルである。評価手順の細部を説明あるいは設計できるほど、優れた持続可能性のモデルと言える。当該研究は、そのような持続可能性のモデルの構築に挑戦するために、必要に迫られて、社会科学的な検討をおこなった。そして、具体化された評価手順は、既存の LCA/LCSA データベースにおいて利用可能な指標を用いるという制約から、社会科学的な検討を基盤とした包括的・統合的な持続可能性のモデルを十全に活かす段階には現時点で達していないものの、今後の LCSA 研究における1つの研究課題の全体像を示しているように考えられる。

## 5. おわりに

2節から4節まで、段階的に、環境への影響を中心としつつ社会 (経済) への影響あるいは社会科学的な要素が評価に加味されていく順番で、ここ数年間に報告された LCA 関連研究を紹介してきた。3節では、「環境」への影響評価を追求するなかで連続的に「社会 (経済)」の次元へと繋がっていくケースを確認したが、現実世界の問題に影響評価のために便宜的に「環境」「社会」「経済」の観点に切り分けて見ているに過ぎないことを考えれば、4節における LCSA 研究についての議論も踏まえると、このような繋がり方は当然でもある。同様に、包括的・統合的に評価対象をとらえようとする場合に、社会科学的な検討ないし社会理論が必要とされることも自然である。そして、これを逆側から

29 ゴール 6 (水・衛生) とゴール 7 (エネルギー) は、HI-LCSA においては («社会 (的なニーズ)」を満たすための「手段」としての)「経済」に対応づけられている。

見れば、LCSA の本来の趣旨からは逆説的かもしれないが、社会理論にとっての検証の場としての LCSA、という見方もありうるのではないだろうか。すなわち、LCSA の評価手順の設計・構築に貢献する度合いにより社会理論の有用性・有効性が試されるということは、同時に、社会理論の妥当性が LCA/LCSA データベースにおける指標を用いて検証される、という意味をもつのではないだろうか。このような考え方には生硬な部分もあるが、4 節で紹介した LCSA 研究における「学際性」<sup>23</sup>にも通じるものである。なお、このような点とも関連した、日本 LCA 学会誌上での LCSA に関する議論において、社会学者への期待は大きい（青柳 2012a；青柳 2012b；伊坪 2012 など）。

持続可能な社会／持続可能なバイオエコノミーの実現に向けて、社会（学）理論を基盤としたライフサイクル持続可能性評価（LCSA）研究の発展が期待される<sup>30</sup>。

## 参考文献

- Bringezu, S., M. Distelkamp, C. Lutz, F. Wimmer, R. Schaldach, K.J. Hennenberg, H. Böttcher and V. Egenolf, 2023, “Environmental and socioeconomic footprints of the German bioeconomy,” *Sustainable Production and Consumption*, 37:169-179.
- EU, 2018, “A sustainable bioeconomy for Europe: Strengthening the connection between economy, society and the environment : updated bioeconomy strategy,” (<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/edace3e3-e189-11e8-b690-01aa75ed71a1/language-en>) (2023 年 9 月閲覧)
- EC-JRC (European Commission – Joint Research Centre), 2023, “Environmental Footprint” (<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html>) (2023 年 12 月閲覧)
- Ferreira, V., L. Fabregat-Aibar, L. Pié and A. Terceño, 2022, “Research trends and hotspots in bioeconomy impact analysis: a study of economic, social and environmental impacts,” *Environmental Impact Assessment Review*, 96:106842.
- Haberl, H., D. Wiedenhofer, S. Pauliuk, F. Krausmann, D.B. Müller and M. Fischer-Kowalski, 2019, “Contributions of sociometabolic research to sustainability science,” *Nature Sustainability*, 2:173-184.
- Klöpffer, 2008, “Life cycle sustainability assessment of products (with Comments by Helias A. Udo de Haes, p. 95),” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2):89-95
- OECD, 2009, “The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda” (<https://www.oecd.org/futures/long-term-technological-societal-challenges/the-bioeconomy-to-2030-designing-a-policy-agenda.htm>) (2023 年 9 月閲覧)
- OECD, 2018, “Meeting Policy Challenges for a Sustainable Bioeconomy” (<https://www.oecd.org/sti/policy-challenges-facing-a-sustainable-bioeconomy-9789264292345-en.htm>) (2023 年 9 月閲覧)
- OECD, 2019, “Innovation Ecosystems in the Bioeconomy: OECD Science, Technology and Industry” (<https://www.oecd.org/sti/innovation-ecosystems-in-the-bioeconomy-9789264292345-en.htm>) (2023 年 9 月閲覧)

---

30 本稿の筆者は、LCA 分野（例えば、木村 2014）と社会学分野（例えば、木村 2022b）の両方の研究をおこなっており、現在、社会（学）理論を基盤としたライフサイクル持続可能性評価（LCSA）研究を推進している。別稿の機会を待ち、当該研究内容について、報告する予定である。

w.oecd-ilibrary.org/docserver/e2e3d8a1-en.pdf?expires=1696167772&id=id&accname=guest&checksum=83D4647BE4EB77E0D00A3B6315C49B3A) (2023年9月閲覧)

- Oteros-Rozas, E., B. Martín-López, J.A. González, T. Plieninger, C.A. López and C. Montes, 2014, “Socio-cultural valuation of ecosystem services in a transhumance social-ecological network,” *Regional Environmental Change*, 14:1269–1289.
- Rugani, B., D. Maia de Souza, B.P. Weidema, J. Bare, B. Bakshi, B. Grann, J.M. Johnston, A.L.R. Pavan, X. Liu, A. Laurent and F. Veronesi, 2019, “Towards integrating the ecosystem services cascade framework within the Life Cycle Assessment (LCA) cause-effect methodology,” *Science of the Total Environment*, 690:1284-1298.
- Sinkko, T., E. Sanyé-Mengual, S. Corrado, J. Giuntoli and S. Sala, 2023, “The EU Bioeconomy Footprint: Using life cycle assessment to monitor environmental impacts of the EU Bioeconomy,” *Sustainable Production and Consumption*, 37: 169-179.
- Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, S.E. Cornell, I. Fetzer, E.M. Bennett, R. Biggs, S.R. Carpenter, W. Vries, C.A. de Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G.M. Mace, L.M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers and S. Sörlin, 2015, “Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet,” *Science*, 347 (6223): 1259855.
- Stockholm Resilience Centre, 2016, “The SDGs wedding cake”, Stockholm Resilience Centre ウェブサイト, (2022年11月18日取得, <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-the-sdgs-wedding-cake.html>) .
- TEEB, 2010, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations* (edited by Pushpam Kumar. Earthscan: London and Washington.)
- The Federal Government (独), 2020, “National Bioeconomy Strategy” (<https://www.bmel.de/EN/topics/farming/bioeconomy-renewable-resources/national-bioeconomy-strategy.html>) (2023年9月閲覧)
- Valdivia, S., J.G. Backes, M. Traverso, G. Sonnemann, S. Cucurachi, J.B. Guinée, T. Schaubroeck, M. Finkbeiner, N. Leroy-Parmentier, C. Ugaya, C. Peña, A. Zamagni, A. Inaba, M. Amaral, M. Berger, J. Dvarioniene, T. Vakhitova, C. Benoit-Norris, M. Prox, R. Foolmaun, M. Goedkoop, 2021, “Principles for the application of life cycle sustainability assessment,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26:1900-1905.
- Vanham, D., A. Leip, A. Galli, T. Kastner, M. Bruckner, A. Uwizeye, K. van Dijk, E. Ercin, C. Dalin, M. Brandão, S. Bastianoni, K. Fang, A. Leach, A. Chapagain, M. Van der Velde, S. Sala, R. Pant, L. Mancini, F. Monforti-Ferrario, G. Carmona-García, A. Marques, F. Weiss and A.Y. Hoekstra, 2019, “Environmental footprint family to address local to planetary sustainability and deliver on the SDGs,” *Science of the Total Environment*, 693:133642.
- Zeug, W., A. Bezama, U. Moesenfechtel, A. Jähkel and D. Thrän, 2019, “Stakeholders’ interests and perceptions of bioeconomy monitoring using a sustainable development goal framework,” *Sustainability*, 11:1511.
- Zeug, W., A. Bezama and D. Thrän, 2021, “A framework for implementing holistic and integrated life cycle sust

ainability assessment of regional bioeconomy,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26:1998-2023.

Zeug, W., A. Bezama and D. Thrän, 2022, “Application of holistic and integrated LCSA: case study on laminated veneer lumber production in Central Germany,” *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27:1352–1375.

Zeug, W., A. Bezama and D. Thrän, 2023a, “Life Cycle Sustainability Assessment for Sustainable Bioeconomy, Societal-Ecological Transformation and Beyond,” *Progress in Life Cycle Assessment 2021*, Springer, 131-159.

Zeug, W., A. Bezama and D. Thrän, 2023b, “Holistic and integrated life cycle sustainability assessment of prospective biomass to liquid production in Germany,” *Journal of Cleaner Production*, 418:138046.

青柳みどり, 2012a, 「持続可能な世界の形成に LCA はいかに貢献できるか」, 日本 LCA 学会誌, 8(3) : 243.

青柳みどり, 2012b, 「持続可能な消費と LCA」, 日本 LCA 学会誌, 8(3) : 258-264.

伊坪徳宏, 2012, 「ライフサイクル影響評価における資源採取による生態系への影響評価」, 日本 LCA 学会誌, 8(2) : 161-169.

木村元, 渡邊絵里子, 久保利晃, 内田裕之, 河西亮, 反町俊哉, 増本隆夫, 坪山良夫, 伊坪徳宏, 沖大幹, 2014, 「森林と木材を対象としたウォーターフットプリント — 水源と地域を考慮した特性化による水資源への影響評価 —」, 水利科学, 340 (58, 5) : 74-88.

木村元, 加藤都, 2022a, 「第 2 章第 1 節 勃興するバイオエコノミー (バイオエコノミーとは, 各国政府による「バイオエコノミー社会」の推進, バイオエコノミーと ESG 投資)」山本一彦監修『バイオものづくりへの挑戦—バイオファウンドリの成功戦略』, 中央経済社, 8-19.

木村元, 2022b, 「「生産の踏み車」論と「エコロジカル近代化」論の対立と相補性 — 環境・社会・ガバナンス (ESG) 投資をめぐる NGO の金融システム介入を事例として」『環境社会学研究』28 : 122-139.

木村 元

富山大学教養教育院