

令和 6 年 5 月 13 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12374

研究課題名（和文）循環経済へ向けた製品サービスシステム普及の消費者行動・政策介入シミュレーション

研究課題名（英文）Consumer Behavior and Policy Simulation for the Diffusion of Product-Service Systems towards a Circular Economy

研究代表者

小出 瑠 (Koide, Ryu)

国立研究開発法人国立環境研究所・資源循環領域・主任研究員

研究者番号：60781987

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：循環経済の普及に向け、ライフサイクル評価(LCA)とエージェントベースモデル(ABM)を組み合わせることで、耐久消費財への製品サービスシステム導入に伴う環境影響・循環性の変化を事前評価する手法を開発した。既存のLCA研究の系統的文献レビューにより評価手法の課題を把握した上で、家電製品に関するケーススタディを通じ、製品の入手・修理・排出行動と製品フロー・ストックのシミュレーション実験を行い、効果的な製品サービスシステムとその促進策を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

循環経済への転換には、循環経済戦略（リユース、シェアリング等）が消費者に広く普及し、製品ライフサイクルにおける環境負荷の低減と循環性の改善が必要であるが、従来手法では消費者行動を十分に考慮した評価を行うことは困難であった。本研究で開発したシミュレーションモデルを活用することで、製品サービスシステムの導入がもたらす消費者の行動変容および製品のフロー・ストックの変化を考慮し、環境負荷（温室効果ガス排出量）および循環性（廃棄台数、リユース率など）を動的に定量評価することが可能となった。

研究成果の概要（英文）：Towards diffusion of a sustainable circular economy, we developed a method for ex-ante evaluation of circular business models and interventions to improve environmental impacts and circularity along life cycles of consumer durables by combining life cycle assessment (LCA) and agent-based modeling (ABM). The challenges of the existing assessment method and risks of backfire effects were identified through a systematic literature review of existing LCA studies. Simulation experiments focusing on product acquisition, repair, and discharge behavior and their consequences on product flow and stock were conducted using home appliances as a case study. As a result, effective circular business models and their diffusion strategies were identified.

研究分野：環境工学

キーワード：サーキュラーエコノミー サークュラリティ評価 ライフサイクル評価 社会シミュレーション エージェントベースモデル 耐久消費財 消費者行動 温室効果ガス排出量

## 1. 研究開始当初の背景

循環経済への転換に向けて、レンタル、シェアリング、サービス化などの製品サービスシステムが注目されている。こうした新たな製品の循環形態が普及するには、消費者行動の転換を視野に入れた政策形成とライフサイクルでの環境影響の把握が必要である。しかし、ライフサイクル評価（LCA）や物質フロー分析（MFA）などの既存の評価手法は、製品の使われ方を規定する消費者行動の動的な変化が十分に考慮されておらず、所有の変化を含めた多様な製品サービス形態の普及に関する政策介入の効果を事前評価する手法は確立していなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、製品サービスシステムなどの新たな循環経済型の製品利用・循環形態の普及へ向け、消費者行動の転換に着目した政策介入の効果を事前評価する手法を開発した。ライフサイクルアセスメント（LCA）とエージェントベースモデルによる社会シミュレーションを組み合わせることで、行動変容、製品の供給形態、環境負荷を一貫して評価できるモデルを新たに開発した。耐久消費財に関するケーススタディを通じ、実証データに基づく行動シミュレーションを行い、持続可能な製品サービスシステム普及のための条件と効果的な施策を明らかにした。

## 3. 研究の方法

循環経済戦略（リファービッシュ、シェアリング、耐久性向上など）の導入による耐久消費財のライフサイクル環境影響を定量評価した約 100 文献・1500 シナリオを対象とする既存研究の系統的レビュー（メタ分析）を行った上で、耐久消費財の製品循環と消費者行動に関するエージェントベースモデルを開発した。モデル開発においては、文献レビューにおいて特定された循環経済戦略の環境影響を規定する要因を反映し、製品の入手、使用期間、修理、退蔵、排出を網羅した製品循環モデルおよび消費者の限定合理性と社会的影響を踏まえた意思決定モデルを構築した。さらに、製品の使用パターンおよび嗜好を把握する質問票調査を実施し、実証分析に基づいてパラメータ設定を行った上で、開発したモデルを用いたシミュレーション実験を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 製品サービスシステムの LCA 研究に関する系統的文献レビュー

系統的文献レビューでは、10 種類の循環経済戦略の導入による温室効果ガス（GHG）排出の削減効果に着目し、効果的な戦略の組み合わせ、消費者行動や輸送頻度の変化などにより結果的に排出量が増加してしまうバックファイア効果が生じる条件を特定した。メタ分析の結果、シェアリング、リユース、サービス化は、適切に導入された場合には高い GHG 削減効果が見込まれるが、これらの3つの施策とレンタルは意図しない要因により GHG 排出量を増やしてしまうバックファイア効果のリスクが相対的に高いことが明らかとなった。一方、プーリング、リファービッシュ、アップグレード、修理は、そのリスクが小さく、中から高程度の GHG 削減効果が見込まれた（図 1）。このようなバックファイア効果が生じる潜在的な理由として、輸送回数・距離、使用回数、製品代替、製品寿命の変化、維持管理、エネルギー効率、使用行動の変化が要因となっていることが明らかとなった。

さらに、既存文献に用いられているモデル化・評価手法を網羅的に検証することで、消費者行動や使用段階をより精緻に表現できるダイナミックなモデル化手法が必要であることを明らかにし、シミュレーションモデルにおいて考慮する必要がある要素を特定した。

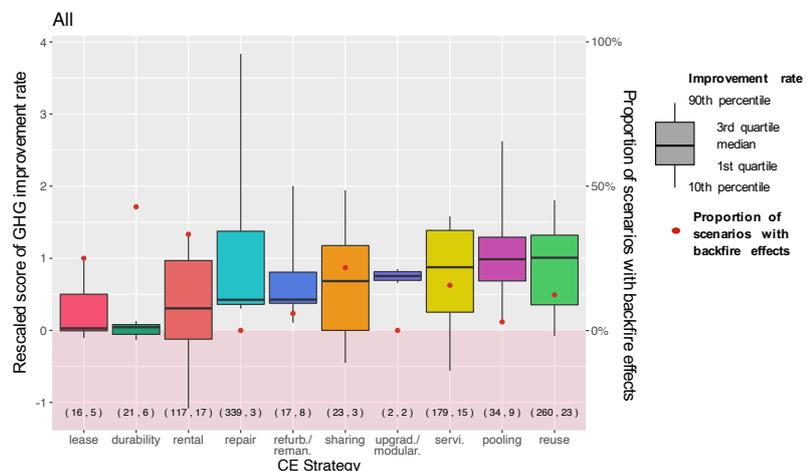


図 1 循環経済戦略の導入に伴う GHG 排出削減効果[1]

## (2) 耐久消費財利用の消費者行動と製品循環に関するシミュレーションモデル開発

様々な循環経済戦略の導入による耐久消費財利用の消費者行動と製品循環の変化をとらえるエージェントベースモデルを開発した(図2)。本モデルでは、耐久消費財に関する製品の入手、使用期間、修理実施、退蔵、排出行動、個々の製品のフロー・ストックとこれを利用する個々の消費者行動をシミュレーションする。対象とする循環経済戦略は7種類(修理、リユース、リファービッシュ、アップグレード、リース、レンタル、シェアリング)を網羅し、複数の戦略を組み合わせた場合の効果を把握する。さらに、製品ライフサイクル全体にわたる環境影響(温室効果ガス排出量など)および循環性(廃棄台数、リユース率など)を定量化する。

消費者行動モデルには、消費者行動の限定合理性と社会的影響を反映した。循環経済における製品の入手・修理・排出という3つの選択行動に着目し、新たな製品サービスの知名や考慮状況を踏まえた選択行動、社会ネットワーク上のクチコミ交換や社会的影響を反映したモデルを構築した。また、故障とそれ以外の理由による製品の買い替えを考慮した製品使用期間モデルを構築し、消費者と製品の両方をエージェントとして表現することで、製品の使用期間や様々な循環形態、所有形態を踏まえたシミュレーションを可能とした。

## (3) 耐久消費財の利用行動に関する実証分析とシミュレーション実験

開発したシミュレーションモデルの有用性を検討するため、耐久消費財(家電製品)のリファービッシュ、リユース、修理、リースサービスに関するケーススタディを行った。データ収集のため、日本全国を対象とする代表性のある質問票調査を行った。調査では、製品の入手、修理、排出に関する選択行動、製品サービスシステムに関する知名・考慮、製品使用期間、廃棄理由などを把握した。これにより、消費者行動と製品循環を規定するパラメータを推計し、シミュレーションモデルのパラメータ設定を行った。

シミュレーション実験では、様々な循環経済戦略と促進策(価格、広告、サービス水準向上など)をシナリオとして設定し、戦略導入に伴う製品サービスシステムの普及、製品循環の動態、環境影響(GHG排出量)の変化を動的に定量化した。さらに、製品循環のボトルネック(回収済み製品の不足など)やバックファイア効果(輸送回数の増加など)を検討することで、循環経済の普及に向けた効果的な施策を特定するために本モデルが有用であることが確認された。

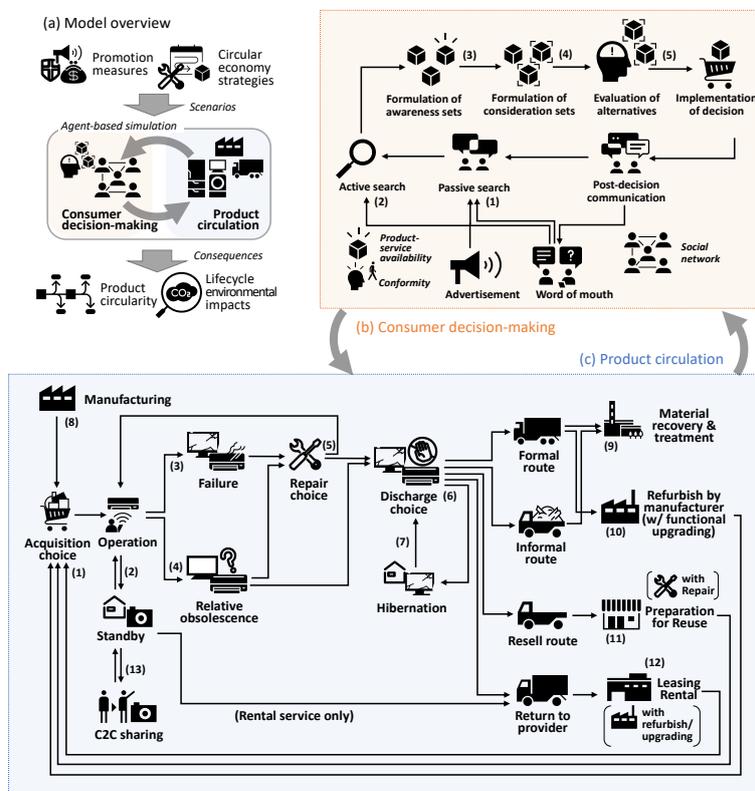


図2 本研究で開発した消費者行動・製品循環シミュレーションモデルの概要 [2]

<引用文献>

- [1] Koide R. et al. (2022) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 155, 111858
- [2] Koide R. et al. (2023) *Resources, Conservation and Recycling*, 199, 107216

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Koide Ryu, Yamamoto Haruhisa, Nansai Keisuke, Murakami Shinsuke	4. 巻 199
2. 論文標題 Agent-based model for assessment of multiple circular economy strategies: Quantifying product-service diffusion, circularity, and sustainability	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Resources, Conservation and Recycling	6. 最初と最後の頁 107216 ~ 107216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.resconrec.2023.107216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Koide Ryu, Yamamoto Haruhisa, Kimita Koji, Nishino Nariaki, Murakami Shinsuke	4. 巻 422
2. 論文標題 Circular business cannibalization: A hierarchical Bayes conjoint analysis on reuse, refurbishment, and subscription of home appliances	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Cleaner Production	6. 最初と最後の頁 138580 ~ 138580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jclepro.2023.138580	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sai Enoku, Koide Ryu, Murakami Shinsuke	4. 巻 38
2. 論文標題 Assessing the environmental impacts of product service systems in the digital-devices market: An application of attributional and consequential life cycle assessment	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sustainable Production and Consumption	6. 最初と最後の頁 331 ~ 340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.spc.2023.04.021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koide R., Murakami S., Nansai K.	4. 巻 155
2. 論文標題 Prioritising low-risk and high-potential circular economy strategies for decarbonisation: A meta-analysis on consumer-oriented product-service systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Renewable and Sustainable Energy Reviews	6. 最初と最後の頁 111858 ~ 111858
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rser.2021.111858	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Koide Ryu, Kojima Satoshi, Nansai Keisuke, Lettenmeier Michael, Asakawa Kenji, Liu Chen, Murakami Shinsuke	4. 巻 16
2. 論文標題 Exploring carbon footprint reduction pathways through urban lifestyle changes: a practical approach applied to Japanese cities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Research Letters	6. 最初と最後の頁 084001 ~ 084001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-9326/ac0e64	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計19件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 小出瑠, 山本悠久, 天沢逸里, 木見田康治, 西野成昭, 南齋規介, 村上進亮
2. 発表標題 サーキュラーエコノミーの普及へ向けた消費者行動 (製品入手・修理・排出) の選択実験
3. 学会等名 第19回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小出瑠, 山本悠久, 南齋規介, 村上進亮
2. 発表標題 サーキュラーエコノミー施策による行動変容と環境影響を事前評価するエージェントベースシミュレーション手法開発
3. 学会等名 SATテクノロジー・ショーケース2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Koide R., Yamamoto H., Nansai K., Murakami S.
2. 発表標題 Empirically-grounded agent-based simulation of circular economy: Exploring scenarios towards sustainability
3. 学会等名 Social Simulation Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Koide R., Yamamoto H., Nansai K., Murakami S.
2. 発表標題 Empirically grounded agent-based simulation of circular economy strategies: product circularity, consumer behavior, and environmental consequences
3. 学会等名 11th International Conference on Industrial Ecology (ISIE2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Koide R., Yamamoto H., Kimita K., Nishino N., Nansai K., Murakami S.
2. 発表標題 Hierarchical Bayesian analysis of consumer preferences for data-driven agent-based simulation of Circular Economy
3. 学会等名 11th International Conference on Industrial Ecology (ISIE2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Koide R., Murakami S., Nansai K
2. 発表標題 Meta-analysis on greenhouse gas emission reduction potentials, backfire effects, and assessment methods of circular economy strategies
3. 学会等名 11th International Conference on Industrial Ecology (ISIE2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小出瑠, 山本悠久, 木見田康治, 西野成昭, 村上進亮
2. 発表標題 サーキュラーエコノミーにおける製品入手選択の階層ベイズ選択型コンジョイント分析
3. 学会等名 日本マーケティング・サイエンス学会第113回研究大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Koide R., Yamamoto H., Nansai K., Murakami S.
2. 発表標題 Agent-based simulation for circularity assessment of consumer durables: consequential environmental impacts, product flow and stock, and user behaviours
3. 学会等名 The 5th International Product Lifetimes and the Environment (PLATE) Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Koide R., Murakami S., Nansai K
2. 発表標題 Backfire risk and decarbonization potential of 10 circular economy strategies: a meta-analysis of LCA studies on product-service systems
3. 学会等名 The 5th International Product Lifetimes and the Environment (PLATE) Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小出瑠
2. 発表標題 サーキュラーエコノミーにおける消費者行動のエージェントベースシミュレーション
3. 学会等名 精密工学会 ライフサイクルエンジニアリング専門委員会 講演会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Koide R., Murakami S., Yamamoto H., Nansai K.
2. 発表標題 Consumer Behavior and Product Circulation Simulation of Emerging Circular Economy Strategies: An Agent-Based Model for Sustainability and Circularity Assessment
3. 学会等名 Social Simulation Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koide R., Murakami S., Yamamoto H., Nansai K.
2. 発表標題 Agent-based modeling of consumer behavior and product circulation for ex-ante assessment of emerging circular economy strategies
3. 学会等名 The 15th Biennial International Conference on EcoBalance (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小出瑠, 山本悠久, 村上進亮, 南齋規介
2. 発表標題 持続可能なサーキュラーエコノミー戦略をどのように導入するか? 温室効果ガス削減のリバウンド効果とエージェントベースシミュレーションによる事前評価
3. 学会等名 エコデザイン・プロダクツ&サービスシンポジウム 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小出瑠, 山本悠久, 村上進亮
2. 発表標題 サーキュラーエコノミーにおける製品サービスの選択行動のコンジョイント分析とエージェントベースシミュレーション
3. 学会等名 日本マーケティング・サイエンス学会 第112回研究大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小出瑠, 山本悠久, 南齋規介, 村上進亮
2. 発表標題 サーキュラーエコノミーにおける耐久消費財の製品循環と消費者行動のエージェントベースモデル開発
3. 学会等名 計測自動制御学会 第31回社会システム部会研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小出瑠, 山本悠久, 南齋規介, 村上進亮
2. 発表標題 エージェント・ベース・シミュレーションを用いたサーキュラーエコノミー戦略の帰結的環境影響・循環性評価
3. 学会等名 第18回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小出瑠, 村上進亮, 南齋規介
2. 発表標題 耐久消費財の製品サービスシステムを通じたサーキュラーエコノミーのもたらす温室効果ガス削減効果とLCA手法の系統的文献レビュー
3. 学会等名 第17回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koide R., Murakami S., Nansai K.
2. 発表標題 Climate change mitigation potentials from circular economy strategies: A systematic review of consumer-oriented product-service systems
3. 学会等名 World Resources Forum 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koide R., Kojima S., Nansai K., Lettenmeier M., Asakawa K., Liu C., Murakami S.
2. 発表標題 Carbon Footprint Reduction Potentials by Urban Lifestyle Changes: Comparison of 52 Japanese Cities and 65 Lifestyle Change Options
3. 学会等名 The International Industrial Ecology Day 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

サーキュラーエコノミーの取り組みを事前評価する消費者行動シミュレーションモデルを開発  
<https://www.nies.go.jp/whatsnew/2023/20231002/20231002.html>

サーキュラーエコノミーを脱炭素化につなげるための必須条件を解明  
<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20211215/20211215.html>

国内52都市における脱炭素型ライフスタイルの効果を定量化  
<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20210719/20210719.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	村上 進亮  (Murakami Shinsuke)		
研究協力者	西野 成昭  (Nishino Nariaki)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------