

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：13601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12265

研究課題名（和文）付加価値、労働者、環境負荷、資源消費のハイブリッドLCA：スマートフォンを事例に

研究課題名（英文）Hybrid LCA for value added, employment, environmental emissions, and resource use: The case of smartphone

研究代表者

金本 圭一郎 (Kanemoto, Keiichiro)

信州大学・学術研究院社会科学系・講師

研究者番号：20736350

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、デザイン、組み立て、部品製造、資源供給といった異なった役割を異なった国が果たしている典型的な例としてスマートフォンのiPhoneを取り上げ、各企業への個別調査と世界多地域間産業連関分析を組み合わせることで、経済、社会、環境、資源という4つの側面をライフサイクル全体で解明することを目的としてきた。ただし、これまでの研究により、個別企業数社と多地域間産業連関分析のみでは目的に沿った十分な結果を得ることが難しいことが明らかになった。本研究のみでは、目標達成は困難だが、今後、このデータを利用して、引き続き、目標の達成を図る。ただし、一部の成果は、論文として公表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

サプライチェーンで排出される環境負荷や付加価値は、非常に重要なトピックの一つとなっている。例えば、TCFDやTNFDなどで企業のサプライチェーンでの環境負荷の把握が求められている。また、付加価値の文脈でも多くの国際機関で、付加価値貿易の分析が行われてきた。本研究で明らかにしようとしたスマートフォンという個別の製品の世界レベルでのサプライチェーンとそれに伴う環境負荷や付加価値の把握も先駆的なものであった。ただし、当初考えていた分析ではすべてを達成できず、今後の研究発展のために、意義深い研究となった。

研究成果の概要（英文）：In this research, we estimate value added, employment, environmental emissions, and resource use embodied in iPhone. We have integrated global multi-regional input-output model and company level financial and supply chain database to trace iPhone supply chains.

研究分野：産業エコロジー

キーワード：ライフサイクル評価 MRIO スマートフォン

1. 研究開始当初の背景

ライフサイクル全体での経済、社会、環境、資源のフローの姿を描く試みは、様々な形で研究が発展してきた。それらは主に各製品を積み上げ法によりライフサイクル全体を評価する方法と、産業連関分析を用いて、経済全体を環境・資源評価する方法に大別される。研究代表者は後者の方法を元に世界187カ国、15,000部門を包括する世界多地域間産業連関モデルを構築し、ライフサイクル全体での環境、資源の評価を行い、その研究成果を *Nature* 誌 (IF: 36.280) や *PNAS* 誌 (IF: 9.809) 等に掲載してきた。また、製品中の金属組成を解析する WIO-MFA の開発拡張を行ってきた。

これまでの研究代表者らの研究により、世界各国間のサプライチェーンに伴う環境や資源の姿は解明されてきたものの、産業連関表の分類より詳細な分析が難しいことから、個々の製品のライフサイクル評価を行うには十分ではない。また、環境負荷や資源などの既存研究の評価指標だけでなく、付加価値や労働者数といった経済・社会的指標を加えた社会全体の姿をライフサイクル全体で描く必要がある。

本研究は、積み上げ型のライフサイクルデータと世界多地域間産業連関モデルを統合し、経済、社会、環境、資源という多面的な評価を行う初めての研究である。本研究を出発点として、各製品のライフサイクル評価に世界多地域間産業連関分析を応用する道が開け、ライフサイクル評価分析は新たな段階へと研究が進むと考える。

2. 研究の目的

近年のグローバル化の進展により、あらゆる製品の生産過程の中で数多くの国が異なった役割を果たしている。例えば、中国はレアメタルを、東南アジアは安価な労働力を、ロシアや中東は環境負荷を排出する化石燃料を、そして、日本や欧米各国は付加価値の高い労働や技術を提供していると考えられている。しかしながら、急速にサプライチェーンが変化している中で、上記の役割は私達の感覚的なものでしかなく、ある製品のサプライチェーン全体における経済、社会、環境、資源の各側面での各国の役割はほとんど明らかになってはいない。

本研究は、デザイン、組み立て、部品製造、資源供給といった異なった役割を異なった国が果たしている典型的な例としてスマートフォンの iPhone を取り上げ、各企業への個別調査と世界多地域間産業連関分析を組み合わせることで、経済、社会、環境、資源という4つの側面をライフサイクル全体で解明することを目的とする。具体的には、どの国がその生産過程を通じて、1. どのような付加価値を提供しているのか、2. どの程度の労働者数を提供しているのか、3. どの程度の環境負荷を排出してきたのか、最後に、4. どのようなレアメタルや他の資源を提供してきたのかを網羅的かつ詳細に解明する。

働者数を提供しているのか、3. どの程度の環境負荷を排出してきたのか、最後に、4. どのようなレアメタルや他の資源を提供してきたのかを網羅的かつ詳細に解明する。

3. 研究の方法

本研究は、研究目的で挙げた iPhone の生産過程で生じる経済、社会、環境、資源という4つの影響を分析するために、ハイブリッド LCA フレームワークの構築と付加価値、労働者数、環境負荷、レアメタル・他金属についてライフサイクル全体で評価する。より具体的には、iPhone への部品供給、組み立て企業への個別のヒアリング、iPhone の分解による各部品の分析、有価証券報告書等による各企業の調査、そして世界多地域間産業連関モデルをハイブリッド LCA (ライフサイクル評価) フレームワークにより統合する。さらに、構築したハイブリッド LCA データベースと iPhone 生産に関わる各企業へのヒアリング等で得た付加価値、労働者数、環境負荷物質、そしてレアメタルや他の金属資源を用いたライフサイクル全体での評価を行う。

具体的には、これまでに研究代表者が作成した世界多地域間産業連関モデルと個別企業レベルのサプライチェーンを統合することで、サプライチェーンを辿る。また、個別の国や産業、企業の環境、資源、労働者数、付加価値などに関するデータを収集、統合することで、サプライチェーンに伴う付加価値、労働者数、環境負荷物質、そしてレアメタルや他の金属資源を推計する。

4. 研究成果

全体の研究を実行する前に、いくつかの個別の研究を行う必要がある。最も大きな研究は、ハイブリッド LCA データベースの作成である。これについては、申請時に想定したよりも、必要な作業や費用が膨大であり、本研究課題の期間中に実施することが困難であることがわかった。そこで、本研究の期間内で行ったことに加えて、今後、研究を進めることで、研究を完成させる。

しかし、ハイブリッド LCA データベースだけでなく、付加価値、労働者数、環境負荷物質、そしてレアメタルや他の金属資源などについての研究も必要である。そこで、下記の通り、金属と環境負荷についての研究を行った。

4.1. 金属資源

自動車およびそれを構成する金属のサプライチェーンを例に、素材リサイクルを介した最適サプライチェーン構築ツールを開発した。金属資源のリサイクルにおいては廃棄物から回収された金属の濃度や異種金属との混合状態といったクオリティを十分に考

慮する必要がある。そこで、Environmental Science & Technology 誌に発表した Ohno et al. (2017) では自動車解体で得られた鉄鋼スクラップをある組成を持つ合金原料と見なし、含有合金元素の散逸を最小化するように、鉄鋼生産における生産鋼種選択の最適化を行った。結果として、自動車スクラップ中の合金元素(Mn, Cr, Ni, Mo)の97%が鉄鋼合金原料として有効利用でき、その一次資源投入の控除効果によって15%の一次資源購入コスト及び28%の温室効果ガス排出の削減が可能であることが明らかとなった(図1参照)。

本研究では、リサイクル対象として質量の大きい自動車及び鉄鋼合金元素を扱ったが、本ツールは携帯電話を含む小型家電等のリサイクルについても適用が可能であると考えられる。その際は、金属資源のみならず、樹脂やゴムといった現状ではエネルギー源として焼却されるような素材についても考慮を拡大し、複数種製品のサプライチェーンに対してリサイクル素材利用を効率的に導入するようなモデルへの発展が期待される。

なお、Ohno et al. (2017) については、本研究の研究費によって、オープンアクセスにした。これによって、多くの研究者や一般の方に論文を読んで貰えることができると思う。

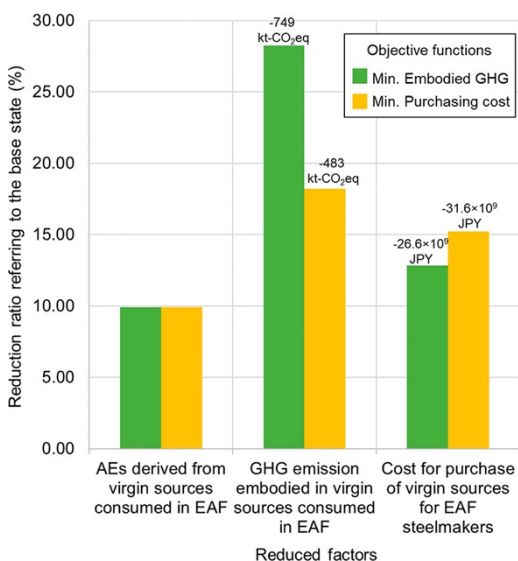


図1 温室効果ガス削減ポテンシャルなどの結果

4.2. 環境負荷

サプライチェーンに伴う環境負荷を推計するためには、世界多地域間産業連関モデルと個別産業の直接環境負荷を利用する必要がある。そこで、そのデータのハイブリッドLCA等への利用のための整備を行った。そのデータは、Islam, Kanemoto, Managi (2016) で利用され、Journal of Industrial Ecology 誌に掲載された。

本研究では、サプライチェーンに伴うCO₂排出量を説明するために、これまでの研究では組み入れることができなかった貿易の自由度等を組み入れた分析を行った。これは、従来、構造分解分析などによってしかサプライチェーンに伴うCO₂排出量の変化の要因を説明できなかった。しかしながら、回帰分析を利用することで、自由に可能性のある要因を入れることができた。

さらに、本研究によって、貿易の自由度など、これまでの研究で見落とされてきた要因の重要性を明らかにすることができた(図2参照)。

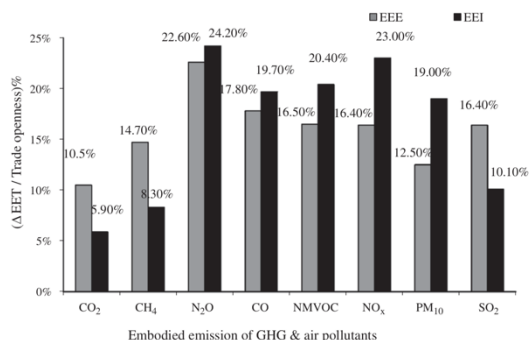


図2 貿易の自由度の貿易に伴う環境負荷への影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① Ohno, H., Matsubae, K., Nakajima, K., Kondo, Y., Nakamura, S., Fukushima, Y., & Nagasaka, T. (2017). Optimal Recycling of Steel Scrap and Alloying Elements: Input-Output based Linear Programming Method with Its Application to End-of-Life Vehicles in Japan. Environmental Science and Technology, 51(22), 13086–13094. (査読あり)
- ② Islam, M., Kanemoto, K., & Managi, S. (2016). Impact of Trade Openness and Sector Trade on Embodied Greenhouse Gases Emissions and Air Pollutants. Journal of Industrial Ecology, 20(3), 494-505. (査読あり)

6. 研究組織

(1)研究代表者

金本 圭一郎

信州大学・学術研究院社会科学系・講師

研究者番号：20736350

(2)研究分担者

大野肇

東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：20769749