

令和元年6月14日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(B) (特設分野研究)

研究期間：2014～2018

課題番号：26310316

研究課題名(和文) アジアネットワークの形成によるフードサプライチェーンのライフサイクル環境影響評価

研究課題名(英文) Life Cycle Assessment of Food Supply Chains through the Formation of the Asian Research Network

研究代表者

林 清忠 (Kiyotada, Hayashi)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター・主席研究員

研究者番号：40355475

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：アジア地域における主要農産物(コメ、パームオイル等)および関連する製品・サービスを対象とし、サプライチェーンの全体を考慮した環境影響評価を実施するため、農業LCAの研究者ネットワークを活用したデータ収集を実施するとともに、アジア農業に関するLCIデータを整備した。また、影響評価手法に関して、LCAにおける生物多様性評価手法の適用可能性等を検討した。以上に基づき、今後の社会変化等に対応して環境影響がどのように変化するかを検討するためのシナリオ分析を実施した。肥料製造シナリオ、土地利用変化シナリオ、輸出入シナリオ等の影響を分析した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでアジア地域においては、農業・食品分野におけるLCIデータの構築に関する検討が十分に実施されていないため、LCIデータに関する成果は、アジア地域をはじめとした世界規模でLCA研究を展開する上での重要な一歩であると考えられる。また、シナリオ分析に関する方法論は、今後の社会変化の影響評価だけでなく、データが不十分な状況で評価を実施する上でも有用である。総じて、これらの成果は、持続可能な食品生産流通システムを構築する上で、さらには、持続可能な調達を社会に定着させる上で重要な意味がある。

研究成果の概要(英文)：In order to assess life cycle environmental impacts of whole food supply chains of main agricultural products in Asian countries, life cycle inventory data were established for agricultural products (e.g., rice and palm oil) and related materials (e.g., chemical fertilizers). Asian research networks on agri-food life cycle assessment (LCA) were utilized during the data construction processes. In addition, applicability of biodiversity impact assessment within the framework of LCA was investigated. Scenario analysis was then conducted to estimate the changes in environmental impacts caused by the shift in social conditions. Specifically, fertilizer production scenarios, land-use change scenarios, and export and import scenarios were analyzed.

研究分野：農業におけるライフサイクルアセスメント

キーワード：ライフサイクルアセスメント(LCA) データベース 食品サプライチェーン シナリオ分析 国際研究者交流(アジア)

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

農業・食品分野における LCA (ライフサイクルアセスメント) 研究は、関連する多様な分野の研究者が集まり、1990 年代初頭のヨーロッパにおいて開始された。現在に至るまで様々な発展を見せているが、多くの課題が残されている。第 1 は、地域的な偏りである。これまでは、ヨーロッパや北米を対象とした研究が多く、アジアを対象とした研究は限られている。第 2 は、評価に必要なデータの入手可能性が限定的であることである。LCA は多様な種類のデータを利用して環境影響を評価するが、食品サプライチェーンに関する研究を実施するために必要となる農業生産、食品製造・流通等に関するデータは限られている。第 3 は、計算手法が発展途上であることである。農業生産には土地利用変化が伴うが、土地利用の評価方法に関しては、シナリオの整合性等に関する検討課題が残されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、アジア地域において重要な農産物および関連する製品・サービスを対象とし、サプライチェーンの全体を考慮した環境影響評価を行うことである。そのため、アジア地域における農業 LCA の研究者ネットワークを活用したデータ収集を実施し、アジア農業に関する LCI データを整備するとともに、関連する影響評価手法を検討する。さらに、それらデータを用いることにより、今後の社会変化等により環境影響がどのように変化するかを検討するためのシナリオ分析を実施する。

3. 研究の方法

本研究では、上記目的を達成するため、3 ステップの研究を実施する。第 1 ステップは、耕種部門 (水稲作、畑作等) を中心としたインベントリデータの構築である。農業・食品分野における既往の LCI データベースの動向 (Hayashi et al., 2012; Notarnicola et al., 2015) を踏まえた上で、アジアの農業・食品に関する LCI データを整備する。第 2 ステップは、インベントリ作成の前提となるモデルならびに影響評価手法の検討である。インベントリモデルやインベントリデータの構築方法を発展させるとともに、生物多様性評価手法等の影響評価に関する検討を行う。第 3 ステップは、フードサプライチェーンのシナリオ分析であり、肥料製造シナリオ、土地利用変化シナリオ、輸出入シナリオ等に対応して、環境影響がどのように変化するかを検討する。

4. 研究成果

(1) アジア地域における重要作物であるコメ、パームオイル等を対象とし、インベントリ作成方法を検討した上で実際にデータを構築した。データベース化にあたっては、既往の LCI データベース (ecoinvent 等) を参照しつつ、LCA ソフトウェア (SimaPro) を利用した。水稲作については、まず、日本、韓国、インドネシア等で得られる生産費統計等を活用したインベントリデータの作成方法を検討したが、その方法によっては作物栽培技術が環境に与える影響を適切にモデル化できないことが示された。そのため、作物栽培シナリオを構成する方法として、栽培ガイドライン等の利用の可能性を検討した。ベトナムおよびインドネシアにおいて該当資料を入手し、実際にインベントリデータを作成した。オイルパームについては、共同研究先であるインドネシアオイルパーム研究所が運営するプランテーションにおいて得られた実績値等を使用し、インベントリデータを作成した。その他、フィリピンにおける水稲、マレーシアにおけるオイルパーム、ベトナムおよびインドネシアにおけるコーヒー等のインベントリデータを作成した (Bautista et al., 2015)。

(2) 農業投入財については、そのインベントリがどの程度分析結果 (農業生産システムのライフサイクル温室効果ガス排出量) に影響するかを検討するため、その影響が大きいと予想される肥料製造を取り上げた。インドネシアにおける国営企業傘下の 5 事業会社 (PT Petrokimia Gresik, PT Pupuk Kujang, PT Pupuk Kalimantan Timur, PT Pupuk Iskandar Muda, PT Pupuk Sriwidjaja Palembang) およびベトナム (1 社) における肥料製造プロセスを取り上げ、尿素製造、アンモニア製造等のユニットプロセスデータを作成した。

(3) オイルパーム生産の LCA における肥料のインベントリについては、その重要性から、既往の LCA 研究を体系的に再検討した (Hayashi, 2019)。その中で、これまでどのように肥料インベントリが利用されてきたかを視覚的に理解するための方法を開発し、有向グラフ (「家系図」) を作成した。それにより、いくつかのグループ (「家系」) が同定され、ecoinvent を使用したグループが最も大きいことが示された。さらに、インベントリデータ利用において、時間的・空間的非整合性 (旧来技術の想定、ヨーロッパのデータの代用等) が見られた。

(4) 影響評価手法に関しては、アジア地域の農業生産を評価する上で重要であると考えられる生物多様性を中心に検討を行った (Hayashi, 2018)。LCA における生物多様性評価の一到達点であると考えられる評価方法 (WWF のエコリージョンと土地利用類型を指定することにより生物多様性への影響を評価する方法であり、UNEP/SETAC ライフサイクルイニシアティブが推奨する方法) の適用可能性を検討したが、本研究課題が想定しているプランテーションレベルでの

評価には適さないことが示されたため、代替的方法として現場における多様性をモニタリングする方法（音響的多様性の活用）の可能性を検討した。多様性（特定環境における種数等の多様性）に対応する音響的多様性を用いた評価結果は期待通りではなかったが、ペアワイズ多様性（対になった環境間での多様性の違い）に対応する音響的非類似性により、オイルパームプランテーションと周辺の森林が識別されることを示した。

(5) フードサプライチェーンのシナリオ分析の一環として、肥料製造シナリオ、土地利用変化シナリオ、輸出入シナリオ等に対応して、環境影響がどのように変化するかを検討した。肥料製造シナリオに関しては、まず、オイルパーム生産を対象とし、シナリオの空間的非整合性がもたらす不確実性（ヨーロッパのデータを代用する場合等が相当）ならびにシナリオの時間的非整合性がもたらす不確実性（30年前の製造技術を想定する場合等が相当）を推計した（Hayashi, 2019）。次いで、インドネシアオイルパーム研究所が運営するプランテーションに関するフォアグラウンドデータ、およびインドネシアにおける肥料製造業者（5事業会社）ごとに作成したバックグラウンドデータを用い、化学肥料の使用シナリオが分析結果に与える影響を計算した。

(6) 土地利用変化シナリオについては、ゴム農園から転換した場合と2次林から転換した場合の2種類のオイルパームプランテーションを比較した。土地利用変化に起因する温室効果ガス排出量は全排出量のうちの相当量（少ない場合でも2/3以上）を占めること、さらにはシナリオ（土地利用の前歴）の影響が大きいことが示された。あわせて、管理技術がどのようにモデリングされるかを検討した。

(7) 輸出入シナリオに関しては、アジア地域における農産物輸出入プロセスのインベントリデータを作成した上で、アジア地域における農産物を仮想的に日本に輸入した場合の環境影響を推計した。コメ、パームオイル等を事例として取り上げた。

(8) 本研究課題は、アジア地域における農業LCAの研究者ネットワークを構築するとともに、それを通じたデータ収集、共同研究等を実施することを重要な柱として含む。エコバランス国際会議の併設イベントとしての2回のワークショップ（「農業と食品のLCAデータベースの今：第1回LCAフードサプライチェーン・アジア国際ワークショップ」(2014)および「持続可能なパーム製品を確立するための今後の課題：第3回LCAフードサプライチェーン・アジア国際ワークショップ」(2016)）を開催するとともに、インドネシアで開催された第3回アダプティブ・インテリジェント・アグロインダストリー国際会議の併設イベントとして、「最新アグロインダストリー技術のインテリジェントなライフサイクル思考にむけて：第2回LCAフードサプライチェーン・アジア国際ワークショップ」(2015)を開催した。さらには、エコバランス国際会議(2018)において本研究プロジェクトの特別セッションを開催した。これらの活動を通し、アジア農業LCAネットワークを深化させることができた。

<引用文献>

Kiyotada Hayashi, Koichi Shobatake, Naoki Makino, Shingo Hokazono, Development of a life cycle inventory database for agricultural production systems in Japan: the JALCA Database, The Proceedings of the 10th International Conference on EcoBalance, 2012, pp. 10

Bruno Notarnicola, Giuseppe Tassielli, Pietro A. Renzulli, Agata Lo Giudice, Life Cycle Assessment in the agri-food sector: an overview of its key aspects, international initiatives, certification, labelling schemes and methodological issues, in Bruno Notarnicola, Roberta Salomone, Luigia Petti, Pietro A. Renzulli, Rocco Roma, Alessandro K. Cerutti eds, Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector, Springer, 2015, 1-56

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

Kiyotada Hayashi, Creating a “family tree” on fertilizer inventory use in life cycle assessment of oil palm: visualization of earlier studies and its implications, The International Journal of Life Cycle Assessment, 査読有, Online First, 2019
DOI: 10.1007/s11367-019-01607-9

Kiyotada Hayashi, Correlations between regional- and field-scale biodiversity indicators within life cycle assessment: the case of rice production systems in Japan, Conference Proceedings, the 11th International Conference on Life Cycle Assessment of Food, 査読有, 2018, 84-86

Elmer G. Bautista, Nguyen Thanh Nghi, Masanori Saito, Manuel Jose C. Regalado, Potential evaluation of a locally-designed wind-pump system for water pumping to irrigate rice crop based on a ten-year weather data in the Philippines. Journal of

[学会発表](計 26 件)

Kiyotada Hayashi, Establishment of sustainable oil palm management through life cycle assessment, The 6th Quadrennial International Oil Palm Conference (IOPC 2018) (招待講演), 2018

Kiyotada Hayashi, Koichi Shobatake, Naoki Makino, Masanori Saito, Developing life cycle inventories for agricultural production systems in Asian countries: lessons from LCA Food Supply Chains Asia Project, The 13th Biennial International Conference on EcoBalance, 2018

Elmer Granadozo Bautista, Masanori Saito, Kiyotada Hayashi, Improving energy-efficiency of farming practices: a case study of rice production in Central Luzon, Philippines, The 13th Biennial International Conference on EcoBalance, 2018

Vita Dhian Lelyana, Kiyotada Hayashi, Erwinsyah, Mugiyanto, Agus Haryanto, Differentiating life cycle GHG emissions from palm oil production by locations and management practices, The 13th Biennial International Conference on EcoBalance, 2018

Kiyotada Hayashi, Naoki Makino, Vita Dhian Lelyana, Koichi Shobatake, Erwinsyah, Making the transition to sustainable practices through life cycle management: the case of oil palm fertilization in Indonesia, LCM 2017 (The 8th International Conference on Life Cycle Management), 2017

Kiyotada Hayashi, Vita Dhian Lelyana, Erwinsyah, Life cycle assessment of oil palm production: scrutinizing scenario construction, World Plantation Conferences and Exhibition (招待講演), 2017

Kiyotada Hayashi, Vita Dhian Lelyana, Erwinsyah, Influence of the reality in scenario construction on the usability of life cycle assessment: empirical consideration based on experimental plantations in Sumatra, Indonesia, LCA XVII, 2017

Kiyotada Hayashi, Yandra Arkeman, Elmer Bautista, Jong Sik Lee, Masanori Saito, Koichi Shobatake, Tien Tran Minh, Van Vu Thi Khanh, Scenario-based construction of life cycle inventories for agricultural production systems: case studies from the Asian Rice LCA Initiative, The 10th International Conference on Life Cycle Assessment of Food, 2016

Vita Dhian Lelyana, Erwinsyah, Kiyotada Hayashi, Life cycle assessment of oil palm nurseries and plantations at site-specific conditions: case studies from Indonesia, The 12th Biennial International Conference on EcoBalance, 2016

Yandra Arkeman, Suprihatin, Kiyotada Hayashi, LCA of Pandan Wangi rice for sustainable food supply chain in Indonesia, The 12th Biennial International Conference on EcoBalance, 2016

Kiyotada Hayashi, Yandra Arkeman, Elmer Bautista, Marlia Mohd Hanafiah, Jong Sik Lee, Masanori Saito, Dhani Satria Wibawa, Koichi Shobatake, Suprihatin, Minh Tien Tran, Thi Khanh Van Vu, How to deal with diversity in cultivation practices using scenario generation techniques: lessons from the Asian rice LCI initiative, The 3rd International Conference on Adaptive and Intelligent Agroindustry, 2015

Kiyotada Hayashi, Recent trends in LCA databases for agriculture and food, Current Situation of Agriculture and Food LCA Databases: The 1st LCA Food Supply Chain Asia International Workshop, 2014

[その他]

Kiyotada Hayashi, Life cycle assessment of agricultural production systems: concepts and case studies, Mien Tay Construction University, Vietnam, 2018

Kiyotada Hayashi, Introduction to current issues and future perspectives in LCA of agriculture and food, LCA AgriFood Asia Training Course and Workshop in Vietnam, Soils and Fertilizers Research Institute, Vietnam, 2015

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：齋藤 雅典

ローマ字氏名：(SAITO, Masanori)

所属研究機関名：東北大学

部局名：農学研究科

職名：学術研究員

研究者番号(8桁)：40355079

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。