

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580321

研究課題名(和文) LCAに基づく土地利用影響評価による持続可能な食料・エネルギー生産システムの設計

研究課題名(英文) Design of sustainable food and energy production systems using land use impact assessment within the framework of LCA

研究代表者

林 清忠 (HAYASHI, Kiyotada)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・中央農業総合研究センター農業経営研究領域・上席研究員

研究者番号：40355475

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：LCA(ライフサイクルアセスメント)に基づく土地利用の影響評価手法を発展させるため、文献調査と現地調査により評価構造を明確化するとともに、土地利用および土地利用変化に関するモデル作成の際の留意点を明らかにした。また、収集したデータを加工することにより、これまでに開発したインベントリデータベースを拡張する形でデータベース化を行い、土地利用に関わる直接的・間接的影響を評価する方法論を検討した。以上を踏まえ、持続可能な食料・エネルギー生産システムがどのように設計できるかを考察した。

研究成果の概要(英文)：In order to develop land use impact assessment methodology within the framework of life cycle assessment (LCA), the overall structure of assessment framework and critical issues in modeling land use and land use change were clarified through literature and field surveys. In addition, using the data gathered from literature and fields, life cycle inventories were developed by extending an inventory database developed earlier and then methods for assessing direct and indirect impacts of land use and land use change were examined. On the basis of the framework and database, design problems for establishing sustainable food and energy production systems were discussed.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業経済学・農業経済学

キーワード：ライフサイクルアセスメント 土地利用 持続可能性 環境保全型農業 バイオマス利用

#### 1. 研究開始当初の背景

(1) 持続可能な農業を実現するための方法には、大きく2つの類型がある。第1は、「土地共有」(land sharing)であり、同一の土地で農業生産と自然保全に取り組むことにより、野生生物にやさしい農業の実現を目指している。第2は、「土地節約」(land sparing)であり、集約的農業によって単収を向上させることにより、野生生物により大きな生息地を与えることを目指している。

(2) こうした議論の背景には、今後の世界人口の増加により、限られた土地で食料を増産することが一層重要になるとの認識がある。実際、この2類型の対は、有機農業と精密農業、アグロフォレストリー(同一の土地での樹木と農作物の複合的な経営)とプランテーション(大規模農園)の対と対応する。

(3) 持続可能な農業の将来像を示すためには、これら類型間での相対的優位性を比較する必要がある。その際には、農業生産過程に加えて、原料採取、資材の製造、輸送、廃棄等のライフサイクル全体を評価範囲とするLCA(ライフサイクルアセスメント)が有効であり、土地利用および土地利用変化をどのように捉えるかが重要な意味を持つ。

#### 2. 研究の目的

(1) 本研究は、LCAに基づく土地利用の影響評価手法により、持続可能な食料・エネルギー生産システムの設計を行おうとするものである。具体的には、以下の検討を目的とする。

(2) 第1に、土地利用の影響評価を実施するための評価構造を明確化する。第2に、どのようにライフサイクルインベントリ(以下、インベントリと略)データを作成するかを解明し、データベース化を実施する。第3に、影響評価手法に検討を加える。第4に、土地利用の影響評価手法により、持続可能な食料・エネルギー生産システムがどのように設計できるかを検討する。

#### 3. 研究の方法

(1) 文献調査と現地調査により、評価構造を明確化する。まず、LCAならびに土地利用に関する既往の研究成果のサーベイを行い、評価構造に関する検討を加える。また、土地利用に関する現地調査を行い、モデル化の際の留意点を明らかにする。

(2) LCAを用いて土地利用を検討するためには、関連するインベントリデータの作成が不可欠であるため、文献調査と現地調査によって収集したデータを加工することにより、これまでに開発したデータベースを拡張する形で、データベース化を行う。

(3) 土地利用の直接的・間接的影響を評価する方法論を検討する。その際には、意思決定(選択)が結果にどのような影響を与えるかを示すことが重要であり、その点を明確化するためのシナリオ構築の方法論に関する検討を行う。

(4) 持続可能な食料・エネルギー生産システムがどのように設計できるかを、以上を踏まえて検討する。

#### 4. 研究成果

(1) LCAの枠組みにおける土地利用の影響評価手法に関する研究は、近年大きく進展しているものの、評価対象のスケールが一般に大きく、集落程度の地域のスケールで、また個別の経営体のスケールで評価を実施するには、生物多様性等を評価する指標の精度が粗いことが示された。また、生物多様性に関しては、評価指標を作成するためのデータが非常に限られており、評価モデルとデータとの間に大きなギャップのあることが再確認された。

(2) LCAにおける土地利用の影響評価手法は、これまで、土地利用類型の変化(たとえば「森林」から「耕地」への変化)として定式化されてきた。しかしながら、慣行農業から有機農業への転換のような事例を分析するためには、管理の集約度を直接定式化する必要があることが示された。

(3) 土地利用変化に関わる多くの問題が発生しているインドネシア(スマトラ、カリマンタン、スラウェシ)を調査し、評価手法を作成する上での留意点を抽出した。自然林からオイルパームプランテーションへの転換に伴う問題は確かに生じており、それは環境の側面だけでなく、社会的な側面を多く含んでいた。自然林からオイルパームプランテーションへの転換の実態は必ずしも十分に把握されておらず、土地利用転換が生物多様性に与える影響を評価する指標を構成する上でも、理論と実態とのギャップに直面せざるを得ない状況がみられた。その一方で、早い時期からオイルパームの導入が進んでいる地域では、関連する産業が地域において重要な役割を果たしていた。オイルパームプランテーションの環境への影響を評価する上では、周辺の森林、さらにはプランテーション内に残された森林への配慮が重要な役割を果たすと推察された。食料増産のために導入された大規模食料農園においては、湿地から水田への土地利用転換に伴う問題が生じていると観察されたが、こうした地域開発と環境の関係に関わる問題は、持続可能性の視点から把握する必要のあることが示された。

(4) これまでに開発した農業のインベント

リデータベースである JALCA ( Japan Agriculture Life Cycle Assessment ) データベースを拡張する形で、オイルパームと水稻を中心にインベントリデータベース化を行った。前者では、インドネシアオイルパーム研究所の担当者とともに作業を行った。栽培期間が長期(25年)であることを考慮したモデル化、ならびに肥料等に関する地域のデータが得られない場合に行う次善の策としての地域化(adaptation)等に関して一定の知見を得た。後者では、有機性資源の活用を対象とし、シナリオ作成方法の検討の一環として、システム拡張(対象として有機性資源を活用しなかった場合に発生していたであろう環境負荷を評価に含める方法)を組み込んだデータベース化も実施した。

(5) 農産物の LCA においては一般に単位生産物当たりの環境影響を示す場合が多いが、土地利用の問題をこれまでとは別の形で処理する可能性を検討するため、作物生産に関する2つの見方を提示した(図1)。土地に財が投入され、土地から正負の生産物が産出される「土地に焦点を当てた見方」と、財と土地が生産物に体化され、環境影響が排出されるという「生産物に焦点を当てた見方」である。その上で、土地利用変化の一事例として慣行農業から有機農業への転換を取り上げ、この2つの見方は相補的に用いることができるものの、土地に焦点を当てた見方の場合には、転換に伴うトレードオフ(たとえば、有機農業に転換すると単位面積当たり生物多様性は増大するが、単収が減少するというトレードオフ)が、さらには GIS (地理情報システム) に基づく土地利用計画等が都合よく分析できることを示した。

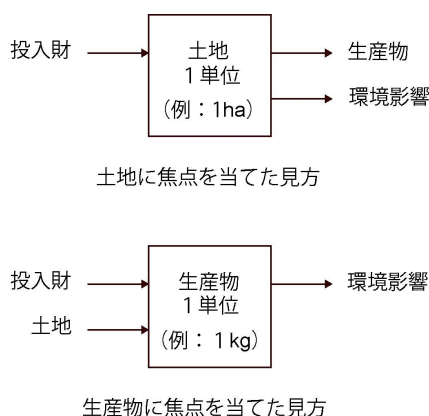
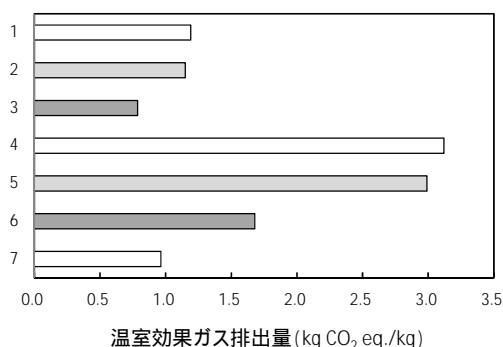


図1 作物生産に関する2つの見方

(6) 土地利用変化の一種として管理の変化(農業生産において投入財の質・量を変えること)を取り上げ、システム拡張により間接的な環境影響も対象に含める方法を適用した。N県における水稻生産を事例とし、施肥の異なる3つのシナリオ(高度堆肥の利用、慣行堆肥の利用、化学肥料の利用)の環境影響を比較した。慣行堆肥を用いた場合の

GHG 排出量は相対的に大きいものの、高度堆肥を用いた場合は、化学肥料を用いた場合と同程度であることが示された。また、高度堆肥を用いるシナリオと化学肥料を用いるシナリオの間の差は、廃棄物削減効果(ふん尿を廃棄物として処理した場合の環境負荷)を考慮することによって小さくなること、さらには、廃棄物であるふん尿の燃焼過程における CO<sub>2</sub> 排出量を計算に加えることによって、高度堆肥を用いるシナリオの GHG 排出量は、化学肥料の場合を下回ることが示された(図2)。



- 1 高度堆肥を用いた水稻作
- 2 同上(廃棄物削減効果を考慮)
- 3 同上(さらに燃焼時 CO<sub>2</sub> を考慮)
- 4 慣行堆肥を用いた水稻作
- 5 同上(廃棄物削減効果を考慮)
- 6 同上(さらに燃焼時 CO<sub>2</sub> を考慮)
- 7 化学肥料を用いた水稻作

図2 玄米 1kg 当たり温室効果ガス排出量

(7) 現地調査において重要性が確認された社会的側面を評価する一手法として TCA (トータルコストアセスメント) を取り上げ、持続可能性を評価する手法としての、また将来を設計する手法としての可能性を検討した。TCA とは、ある時点での意思決定が、将来、どのような結果をもたらすかを、シナリオの設定に基づいて検討するための方法論である。投資がもたらすリスクと便益を、評価基準とステークホルダー(利害関係者)の複数性ならびに不確実性を考慮しつつ示すことができる。この方法は、環境・経済・社会に関わる複数の基準を考慮して、投資の持続可能性を評価する手法として再構成できるが、LCA の場合と同様に、統合化(評価基準に対する重みづけ)の方法論にさらなる改善が必要であることが示された。その方向として考えられるのは、それぞれの意思決定者が、グループとしての選好を構築していく決定・学習過程を支援するような方法である。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

Kiyotada Hayashi, Ecological-economic

assessment of farms using multi-input multi-output models: life cycle assessment with multiple paired comparisons, International Journal of Sustainable Development, 査読有, 17(1), 2014, 9–21  
DOI: 10.1504/IJSD.2014.058431

Kiyotada Hayashi, Practical recommendations for supporting agricultural decisions through life cycle assessment based on two alternative views of crop production: the example of organic conversion, International Journal of Life Cycle Assessment, 査読有, 18(2), 2013, 331–339

DOI: 10.1007/s11367-012-0493-9

林 清忠, 複数の意思決定者が複数の基準を用いて選択することの意味: パイオマスを活用した持続可能な社会形成のために, 日本 LCA 学会誌, 査読有, 8(4), 2012, 349–355

Kiyotada Hayashi, Naoki Makino, Koichi Shobatake, Shingo Hokazono, Influence of scenario uncertainty in agricultural inputs on LCA results for agricultural production systems, Proceedings of the 8th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector, 査読有, 2012, 204–206  
<https://colloque4.inra.fr/var/lcafood2012/storage/fckeditor/file/Proceedings/Proceedings%20-%20LCA%20Food%202012%20-%20ISBN.pdf>

Kiyotada Hayashi, Conservation: Model Management Intensity, Science, 査読(編集者による選択)有, 334(6056), 2011, 593-594

DOI: 10.1126/science.334.6056.593-b

#### [学会発表](計7件)

Kiyotada Hayashi, Akiko Domoto, Keiichi Murakami, Yoshifumi Nagumo, Michio Komada, Naoto Kato, Comparison between open- and closed-air composting technologies for poultry manure using life cycle assessment combined with substitution scenarios, the LCA XIII Conference, October 3, 2013, Orlando, Florida, the United States

Kiyotada Hayashi, Agricultural development, land use change, and environmental sustainability: a life cycle perspective, Regional Conference and Workshop on Life Cycle Thinking on Energy, Food and Agriculture in Asia (LCA Agrifood Asia 2013), June 26, 2013, Jakarta, Indonesia

Kiyotada Hayashi, Land use change impact assessment: implications for East Kalimantan, International Discussions on Management of Land Resources within the Framework of the Development of

Agribusiness and Agroindustry in Kaltim Province, July 30, 2012, Samarinda, Indonesia

Kiyotada Hayashi, Lise Laurin, Practicing Lead-user development of the total cost assessment methodology for biomass utilization trials in Japan, the LCA XI Conference, October 5, 2011, Chicago, the United States

Kiyotada Hayashi, Assessing management influence on environmental impacts under uncertainty: A case study of paddy rice production in Japan, Life Cycle Management Conference 2011, August 31, 2011, Berlin, Germany

#### [図書](計2件)

Kiyotada Hayashi, Springer, Towards Life Cycle Sustainability Management, 2011, 331–340

Kiyotada Hayashi, Springer, Global Food Insecurity: Rethinking Agricultural and Rural Development Paradigm and Policy, 2011, 3–9

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

林 清忠 (HAYASHI, Kiyotada)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・中央農業総合研究センター農業経営研究領域・上席研究員

研究者番号: 40355475