

機関番号：82111  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20580256  
 研究課題名（和文） 環境・経済・社会の統合的モデリングによる持続可能な農業システムの設計  
 研究課題名（英文） Designing Sustainable Agricultural Systems Through Integrated Environmental, Economic, and Social Modeling  
 研究代表者  
 林 清忠（HAYASHI KIYOTADA）  
 （独）農研機構・中央農業総合研究センター・環境影響評価研究チーム・チーム長  
 研究者番号：40355475

研究成果の概要（和文）：環境影響を評価する手法であるLCA（ライフサイクルアセスメント）を、持続可能性（環境・経済・社会）の統合的モデリング手法として発展させる研究に取り組んだ。まず、環境保全型農業生産システムやバイオマス利用システムを対象とし、LCI（ライフサイクルインベントリ）データベースの精錬化と拡張を行った。次いで、持続可能性に関する評価指標の軸に加え、戦略の軸を加えた新たな概念モデルを提示した。さらに、以上を踏まえ、持続可能な農業生産システムやバイオマス利用システムがどのように設計できるかを検討した。

研究成果の概要（英文）：Life cycle assessment (LCA), an environmental assessment tool, was extended into an integrated assessment tool for analyzing environmental, economic, and social sustainability. First, a life cycle inventory (LCI) database was refined and expanded for assessing environmentally friendly agricultural systems and biomass utilization systems. Second, a new conceptual framework was developed by integrating three pillars of sustainability and three strategies. Third, the problem of how to design sustainable agricultural systems and biomass utilization systems was discussed.

#### 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：農業生産システムの持続可能性評価

科研費の分科・細目：農業経済学・農業経済学

キーワード：LCA（ライフサイクルアセスメント）、持続可能性、統合的モデリング、LCI（ライフサイクルインベントリ）データ、環境保全型農業、バイオマス利用システム

#### 1. 研究開始当初の背景

(1) 世界人口の増加、1人当たりの食料消費量の増加、肉食への移行等により、世界全体の食料需要は2050年までに倍増すると予想されている。地球上の土地面積は有限であり、しかも農地として利用できる土地は限られているため、食料生産、バイオ燃料生産、生物多様性の保全、居住等の複数の土地利用の

間で競合が今後深刻化すると考えられる。こうした状況下では、環境影響に配慮した持続可能な農業システムを設計することが、社会全体の便益を増加させる上で重要である。

(2) 環境保全型農業生産は資材投入量等が減少する反面、その単収水準が慣行に比べ低下する場合が多く、その結果単位生産物当た

りの環境負荷が大きくなり得ることが知られている。農業生産の集約度と環境負荷の関係の全体を明らかにするためには、農業生産過程だけに留まらず、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必要がある。

(3) 環境への影響評価に加えて、経済や社会的側面への影響評価を同時に行うことにより、持続可能な農業システムを設計するための手法を開発することが求められている。

## 2. 研究の目的

(1) ライフサイクル思考に基づき、環境・経済・社会の各側面から、環境保全型農業生産システムやバイオマス利用システムがどのように評価できるかを明らかにする。

(2) 複数の評価指標がどのように、統合化できるかを検討する。その際には、具体的な意思決定場面がどの程度支援できるかを考慮する。

(3) 意思決定分析や多目的計画の考えに基づいた統合的モデリングによって、持続可能な農業システムの設計手法を示す。

## 3. 研究の方法

(1) 環境保全型農業に加え、バイオ燃料生産の評価も可能となるように、LCI データの収集と加工を行う。世界的に標準となっている LCI のデータ構造に従って、農業生産システムの LCI データベースをより正確なものにするとともに、データベースの対象範囲を拡張し、エネルギーおよびマテリアル変換システムも対象とする。

(2) LCM (ライフサイクルマネジメント) における最近の議論を参照しつつ、環境と経済の関係を考慮するための統合化手法を再検討する。

(3) 社会 LCA や社会影響評価等の研究成果を参考にしながら、持続可能な農業システムを設計する上で、どのような評価指標を用いるべきか等を検討する。

(4) 既往の成果のサーベイにより、持続可能性の評価結果を説明する理論を構築するための概念モデルを構築する。

(5) 複数の持続可能性指標に基づいて総合的判断を行うための手法を、意思決定分析における構成的アプローチを用いて検討する。

## 4. 研究成果

(1) 環境保全型等の農業生産システムとバ

イオマス利用システムを対象とし、LCI (ライフサイクルインベントリ) データベースの精練化と拡張を行った。モジュール化の方法によって、フォアグラウンドプロセスに加え、肥料、農薬、機械、施設の製造等に関するバックグラウンドプロセスを対象とした (図 1)。また、産業連関表等に基づく従来の方法との違いを示した。近年、複数の国で農業の LCI データベースを開発するプロジェクトが進行しているが (表 1)、これはその中でも先駆的な取り組みとして位置付けられる成果である。

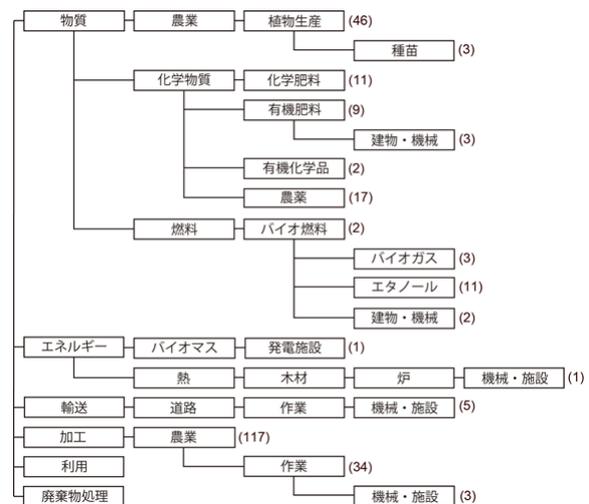


図 1 データベースの構造 (括弧内は製品数)

表 1 農業に関する LCI データベース

種類	国	組織, データベース
農業の LCI データベース	アメリカ	USDA, NAL LCA Database
	スイス	ART, SALCA Database
	デンマーク	DIAS (Aarhus University), LCA Food Database
	日本	NARO, NARO LCI Database
	フランス	INRA, Agri-BALYSE
農業生産プロセスを含む LCI データベース	アメリカ	NREL, U.S. Life Cycle Inventory Database
	オーストラリア	ALCAS, AusLCI
	オランダ	University of Amsterdam, IVAM LCA Data
	スイス	ecoinvent Center, ecoinvent
	スイス	ESU-services, ESU Database
	タイ	National Project, n.a.
	ドイツ	PE, Gabi Database
	マレーシア	National Project, MY-LCID

(2) 環境と経済の関係を考慮するための統合化手法を再検討した。環境効率の妥当性を多目的計画の観点から再検討すると同時に、環境指標と経済指標の関係を整理した。とりわけ、慣行栽培から特別栽培への変化の過程を対象に、環境保全と単収向上にはトレードオフがあるが、制度的支払いによって、環境保全と収益向上にはトレードオフがない状況を検討した(図2)。また、トータルコストアセスメント(TCA)の視点から、持続可能性を検討した。

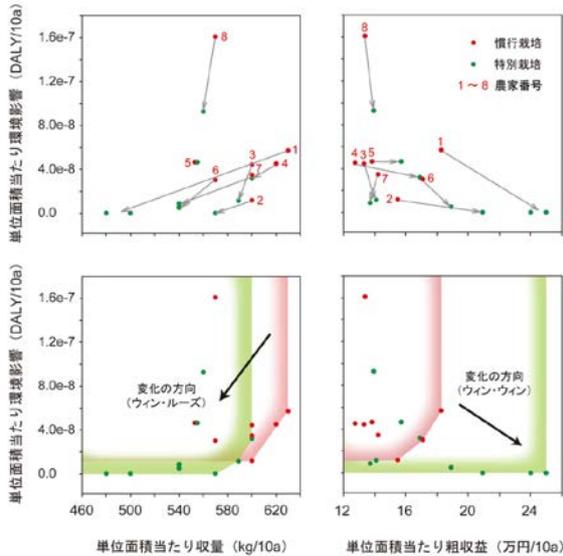


図2 環境影響と経済性の関係(上:農家単位の变化、下:フロンティアの変化)

(3) 製品・サービスの社会影響を評価する社会LCAや社会影響評価等の研究成果を参考にしながら、持続可能な農業生産システムを設計する上で、社会的側面と関わるどのような評価指標を用いるべきか等を検討した。具体的には、水稲作地帯を事例にとり、社会的側面から有機農業を適切に評価する指標を探索するため、社会影響評価指標に対する有機農家の反応と慣行農家の反応の間どのような違いがあるかを検討した。用いた指標は、健康と社会福祉、生活環境の質、文化、家族・地域社会、制度・法、ジェンダー等と関わる。分析結果として、有機農家の方が社会的価値に相対的に反応しやすい傾向にあることが示された(表2)。また、有機農家の反応が相対的に良いカテゴリは文化とジェンダーであるという傾向がみられた(表3)。有機農業の環境影響や経済性の評価結果が必ずしも好ましくない場合でも、その社会影響はポジティブであるという議論が世界的にあり、本成果はそうした認識の可能性を示している。

表2 社会影響評価指標に対する反応の農家類型による違い(農家類型ごとの平均値)

農家類型	農家数	得点	順位
有機(有機JAS+無農薬・無化学肥料)	7	3.8	9.7
慣行	14	3.6	11.5

表3 社会影響評価指標に対する反応の農家類型による違い(有機の平均値/慣行の平均値)

社会影響のカテゴリ	得点の比	順位の比
A. 健康と社会福祉	1.01	1.06
B. 生活環境の質	1.03	1.17
C. 文化	1.09	1.28
D. 家族と地域社会	0.98	1.18
E. 制度、法、政治、公平性	0.98	1.04
F. ジェンダー、障害者雇用	1.13	1.40

(4) 持続可能性に関する評価指標の軸(経済、環境、社会)に加え、戦略の軸を加えた新たな概念モデルを提示した(表4)。単一製品を前提とした経営規模の拡大(規模の拡大)、様々な種類の製品の導入(範囲の拡大)、物質循環の内部化(システム統合の進展)は、それぞれ経営のパフォーマンスを改善するための3つの戦略であると考えられる。物質循環の内部化(システム統合)に関する収穫という概念は、産業エコロジーにおける企業とその共生関係に関する産業エコシステムという考え方に基づく。この枠組みにより、例えば、複数の農村活性化プロジェクトについて、それらの相対的パフォーマンスを比較するだけでなく、特定の評価結果をもたらしたメカニズムが考察できるようになる。本成果は、公表した国際会議で注目されることとなり、会議の成果をとりまとめた専門書の冒頭を飾った。

表4 持続可能性評価と戦略論の結合

	規模	範囲	統合(連結)
エコノミー	規模のエコノミー	範囲のエコノミー	統合のエコノミー
エコロジー	規模のエコロジー	範囲のエコロジー	統合のエコロジー
ソシオロジー	規模のソシオロジー	範囲のソシオロジー	統合のソシオロジー

(5) 複数の持続可能性指標に基づいて総合的判断を行うための手法として、構成的アプローチの可能性を検討した。このアプローチは選好の構築 (preference construction) という概念に基づいており、その背景となる考え方は、人間 (意思決定者、消費者等) は表明すべき明確かつ安定的な選好を有しておらず、決定プロセスにおいて選好は構築されるというものである。複数人の選好を何らかの形で合成して社会的な選好を導出し、それに基づき単一指標を得るという発想は、LCA の中にもみられるが、その統合化の際には、はじめからある人間の選好 (価値判断) を引き出すのではなく、問題との相互作用の中で構成される選好を取り扱うことを目指す方法に可能性があることが示された。

(6) 持続可能な農業生産システムやバイオマス利用システムの設計手法を多目的計画等の観点から検討した。近年、LCA を数理計画とともに用いる例が世界的に増加しているが、機能単位が土地面積となっており、環境影響の解釈には注意が必要なが示された。

(7) 本研究課題での検討を踏まえ、今後の研究方向として、以下の2点が重要であると考えられた。第1は、土地利用の影響評価である。すなわち、農業生産の持続可能性を比較する際には、土地利用および土地利用変化の影響評価が、とりわけ生態系サービスや生物多様性に対する影響の評価が、決定的に重要であることである。これは、本課題で実施した機能単位に関する議論を発展させようとするものである。第2は、意思決定の結果を明示的に考慮したモデリングの必要性である。これは、ある状態から別の状態へ土地利用が変化することに伴う直接的影響だけでなく、その間接的影響も考慮することが必要であることを意味している。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

- ① Kiyotada Hayashi, Susumu Uchida, Shingo Hokazono and Masaei Sato, Modeling life cycle inventories for crop production in Japan: development of the NARO LCI database, LCA Food 2010: VII International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, 査読有, Vol. 1, 2010, 455-460
- ② Kiyotada Hayashi and Masaei Sato, Farmers' responses to social impact indicators for agricultural and community practices: a case study of

organic rice production in Japan, Building Sustainable Rural Futures: The Added Value of Systems Approaches in Times of Change and Uncertainty (University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna), 査読有, 2010, 1094-1102

- ③ 林 清忠, 農業の LCI データベースをめぐる世界動向と農研機構の取り組み、日本 LCA 学会誌、査読無、7 巻、2011、23-29
- ④ 林 清忠, 農業生産システムにおけるトレードオフ方法論をめぐる横断的展望一、土・水研究会資料、査読無、27 巻、2010、44-50
- ⑤ 林 清忠, バイオ燃料生産と資源循環利用の影響評価ー環境と調和した農村活性化のためにー、水環境学会誌、査読無、32 巻、2009、2-6

[学会発表] (計11件)

- ① Kiyotada Hayashi, Tabea Beck, Bastian Wittstock, Ulrike Bos, Takeshi Ota and Susumu Uchida, Assessment of land use implications of biofuel feedstock cultivation in Japan: development of data requirements and calculation of soil quality indicator values, Workshop on Land Use in Life Cycle Assessment, Sustainability 2.0, 2010.10.28, Stuttgart, Germany
- ② Kiyotada Hayashi, Susumu Uchida, Masaei Sato and Shingo Hokazono, Estimating statistical distributions of the environmental impacts of agricultural inputs: a case study of pesticides used for paddy rice cultivation in Japan, The 7th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, 2010.9.24, Bari, Italy
- ③ Kiyotada Hayashi and Susumu Uchida, Sustainable design of farming systems using the life cycle approach: the case of agricultural biomass production, Farming Systems Design Symposium, 2009.8.24, Monterey, USA
- ④ Kiyotada Hayashi, A new conceptual framework for assessing rural development performance: sustainability of scale, scope, and integration, Agadir International

Conference, The Integration of Sustainable Agriculture, Rural Development, and Ecosystems in the Context of Climate Change, the Energy Crisis and Food Insecurity, 2009.11.12, Agadir, Morocco

- ⑤ Kiyotada Hayashi, Masaei Sato and Shingo Hokazono, How to reconcile agronomic and economic perspectives in LCA for agriculture, 6th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, 2008.11.12, Zurich, Switzerland

[図書] (計2件)

- ① Kiyotada Hayashi, Springer, Global Food Insecurity: Rethinking Agricultural and Rural Development Paradigm and Policy, 2011, 3-9
- ② Susumu Uchida, Kiyotada Hayashi, Masaei Sato and Shingo Hokazono, IGI Global, Computational Methods Applied to Agricultural Research: Techniques and Advances, 2011, 412-433

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

林 清忠 (HAYASHI KIYOTADA)

(独) 農研機構・中央農業総合研究センター・環境影響評価研究チーム・チーム長  
研究者番号：40355475