

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 16 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22510044

研究課題名（和文） 気候変動の緩和策・適応策における農業技術展開と持続的な農村形成に関する研究

研究課題名（英文） A Study of Sustainable Rural Development and Agricultural Technology in Climate Change Mitigation and Adaptation

研究代表者

木山 正一 (KIYAMA SHOICHI)

京都大学農学研究科・助教

研究者番号：20293920

研究成果の概要（和文）：

本研究は農業技術が持続的な農村発展にどのように寄与するのか農村主幹産業や環境問題を対象として総合的に分析した。自立的な農村地域のマネジメントを検討する上で、勘案されている気候変動対応策、水環境保全対策、再生可能エネルギー政策などの環境政策の意義について、動学的一般均衡モデルをはじめとする数理的手法によって明らかにした。また農村の産業衰退の実証分析を通して、長引く経済低迷をもたらした原因を明らかにした。そこでは分析過程で生態系システムを考慮した資源管理が重要であることを示すとともに、生産技術や地域経済循環の影響についても明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

This study comprehensively investigates how agricultural technologies relevant to agriculture industry and environmental issues contribute to the sustainable rural development. A series of mathematical approaches including a dynamic general equilibrium model is applied to examine the potential of climate change, water environmental preservation and renewable energy for the regional self-sustaining development. In addition, an empirical study of depressed rural industry is performed to elucidate its multiple causes and their linkage; the natural resource management subject to ecosystems, technological change for the harvests and the circular flow of the regional economy.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：農業技術，資源管理，環境政策，産業構造，地理情報システム，
一般均衡モデル，データ同化

1. 研究開始当初の背景

気候変動の影響が少なくない食糧生産の場であり、集落存続の危機に瀕する農山漁村地域の持続的な発展方策を検討することは我が国はじめ世界に共通する地域マネジメント課題である。この検討をするにあたって、環境資源・経済活動両面から地域現況の分析を可能とする社会システムモデルを開発する必要がある。

しかし、国、都道府県といった広域単位では分析がされる一方で、集落・農村地域のような比較的小地域の分析手法は十分得られていない。また気候変動をはじめとする環境や資源の変動・経済循環に関する不確実性や観測不可能事象が考慮されることで、長期持続的な地域発展計画を頑健に行うことができると期待される。

これまでシナリオ分析により地域の長期ビジョンが検討されているが、殆どがモデルパラメータを固定扱いとしている。これは、例えば経済活動上の生産効率（技術水準）の変化などは考慮されないことを表し、少なからず長期トレンドがモデルに内挿されない政策分析上の課題が残されている。

2. 研究の目的

上記の問題背景を受けて、本研究では気候変動をはじめ、人口減少などあらゆる環境・経済・社会変動下で、農村地域が持続的な発展を遂げるために、農業技術がどのようにマネジメントされるべきか検討可能となるような地域社会システムモデルの開発を行うことを目的とする。そこでGISを援用して街区情報を積み上げ可能とした上で、対象スケールを集落・市町村をした動学的一般均衡モデルを定式化する。また将来に渡る不確実な社会システム下に課された農村の持続可能な発展を検討する際重要なのは産業の技術進歩と地域経済循環問題である。

これに対応するため、モデルを特徴づける産業の技術水準や財の地域交易モデルを時系列観測データと確率論的手法を用いて同定するモデルに拡張し、実証研究に適応する。つまり経済的に衰退しつつある地域の動態分析を行い、モデルシステムの適用性を検証し、地域固有の経済構造や資源管理の実情を明らかにできるようにするとともに、今後持続可能な農山漁村地域発展を考えた場合に、配慮されるべき政策要件の検討へと発展させる。そのため必要な気候変動対策や水環境保全対策の影響評価へ展開することを想定して、農村地域における経済活動量の空間分布推定を行う。

構築モデルを用いて、農業技術水準の動態や資源量動態をモデルや観測値の不確実性を考慮して推定し、実証分析に適用可能か検

証する。そこで持続的な資源管理法の実証分析として、世界で続発する漁業崩壊問題を取り上げ、地域産業衰退に至る資源量・技術水準・努力量の相互作用を考察する。

3. 研究の方法

(1) 栽培法と経済・環境排出負荷の影響分析

農業分野の気候変動対応策の効果・影響を検討するため、温室効果ガス排出量と農作物栽培法（施肥・農薬の投入量と種別、灌漑方法、耕起法・重機の種別）の関係を既往研究・技術報告書から収集、相関分析を行った。また、農業生産が大量の水利用と排出により成立していることから、水域への水質汚濁物質排出量と栽培法の関係を併せて同手法により分析した。特に水稻栽培については検討される環境保全型農業の種類別に温室効果ガス排出量－水質汚濁物質排出量－生産額の関係を統計分析した。

(2) 小水力発電導入可能性とその政策分析モデル

農村地域の再生可能エネルギー発電ポテンシャルに関する研究では、用水路における発電賦存量の推計、ダムなど発電実施施設を対象とした費用対効果分析がなされている。その一方で、ため池での小水力発電は十分検討されていない。これは、建設・供用コストでは一般的に導入時建設コストが非常に大きく、採算が取れないためである。そこで、この建設コストを圧縮する仕組みとして、ため池直下の放流路への発電施設の設置が可能な適地選定問題を考えた。そして、この既存水路を活かし最小限の建設費で事業を行った場合の発電ポテンシャルについて検討した。そのため地理情報システム(GIS)として構築されているため池防災データベースを用い、発電量算定式に含まれる取水能力の回帰モデルを推定した。

また、小水力発電を含めた再生可能エネルギー生産技術普及の農村地域経済への波及効果を検討するため、トップダウンモデル(TDM)とボトムアップ(BUM)を統合した一般均衡モデルを定式化し、その数値計算法を開発した。一般均衡計算では通常GAMSソルバーを用いるが、以下2点に対応するため、直接探索アルゴリズムを用いた乗数法による非線形計画問題としてコード化し、分析プログラムの汎用化を図った。技術別限界費用関数は不連続関数で与えられ、TDM・BUMを同時求解する。また不確実下の動学的一般均衡モデル推定を行うためデータ同化を適用する。

(3) 地域経済活動量不詳分の空間推定

過疎化・高齢化の進む集落・農村地域は小数・小規模事業体が経済活動を行う場合が多

く、地域情報を公開される統計値として得ることが難しい。これは、当該諸量が秘匿データとして取り扱われるためである。しかし、流域の環境社会経済システムモデル構築のためには、少なくとも集落規模での産業全般の経済活動量が必要である。そこで GIS の 3 次メッシュレベルで、データ不詳街区を含む集落の経済活動量を推定する。推定には RAS 法と繰返し乗数法を検討した。その結果を集約して 農林漁業部門、エネルギー部門、その他 21 部門からなる市町村版産業連関表を作成した。

(4) 農村主幹産業の技術水準計測と資源量推定

自然資源を投入する産業の持続可能な発展を制度設計するには、努力量、資源量はもちろん、生産効率（技術水準）の把握が重要になる。特に資源量と技術水準は長期にわたる自然環境と技術進歩の変化の影響を大きく受け、その計量には不確実性を伴う。これは推定されるモデルが決定論的に扱われることを許容しない。この問題に対応するため、決定論的に定式化された一般均衡モデルにおいて、観測データを同化する状態空間式を考えた。特に、ベイズ推定法である拡張カルマンフィルターを適用した。

技術水準と資源量の同時推定のため、資源量蓄積式をデータ同化システムの状態式と定義した。また資源収穫後の生産量が地域取引を記述する生産量と結び付けられることに注目して、拡張された生産量を定義した。これにより、生産技術水準と財の循環を表す交易モデルのスケールパラメータを時間依存関数として推定可能にした。一例として、漁業の時系列データ適用したモデル同定を行い、漁業資源量と技術水準の他、漁業衰退の原因とされる海洋生態系の変動を Michaelis-Menten 型の捕食モデルを資源量蓄積式に内挿し、生態系システムと地域経済活動の統合モデルとした。

4. 研究成果

(1) 農業技術と環境負荷

水稻栽培技術の環境保全型農業への移行時には、その減農薬施肥量・水管理上の変化により水質汚濁物質排出削減と米 60kg あたり粗収益増が有意になされることが示された。その一方で、温室効果ガス CO_2 、 NO_2 、 CH_4 何れも、栽培試験結果の統計的バラつきが大きく環境保全型農業への移行が温室効果ガス排出を効果的に削減できると結論づけることが困難であった。そのため農業技術の気候変動対応策を検討するには、試験データにおいて、栽培法はもちろん、試験期間内の施肥タイミングや水温、湛水状況といったより詳細な栽培期間の時系列モデルを検討する

余地があることが示された。

以上から環境負荷・保全を軸とした農業の持続的発展問題を考えた場合、水環境の保全を踏まえた地域発展政策を検討することが有望であるといえる。例えば、都市-農村 2 地域からなる逐次型動学的一般均衡モデルを用いた中期シミュレーション結果は、水域富栄養化物質である化学的酸素要求度 (COD) の排出量を産業間で一律 10%削減するとし、そのための農業技術移転補助金や投資制度の導入が流域水質環境の改善と他産業への波及を含めた地域経済の発展の両面で有効であることが示された。

(2) 小水力発電の導入評価と普及モデル解法の開発

発電施設の適地選定を考えるため、ある県を対象に取水能力 $1.13(\text{m}^3/\text{s})$ 以下のため池 121 施設を対象に、その能力を決定する要因モデルを推定した。その結果、ため池の総貯水量と受益面積が取水能力に高い相関性を持つことが明らかとなり、回帰直線式が決定係数値 0.962 をもって推定できた。

このモデルを用いれば、ため池による利水受益対象地域の作付け種目や経営主体の構造と取水能力の分析へと展開でき、小水力発電の適地を施設ハード面と地域コミュニティ面の双方から施設導入の適地が検討可能になると考えられる。

またエネルギー技術普及計画を検討するための評価モデルとして、Bohringer の定式化にならい、技術別に Leontief 型の投入構造を考慮したボトムアップモデル (BUM) を、地域トップダウンモデル (TDM) と統合した。この問題に対して均衡計算には先行研究が適用した BUM と TDM の繰返し反復計算法を取らず、BUM と TDM の均衡解を直接探索法のアルゴリズムにより同時推定する乗数法を適用し、その推定結果の妥当性が GAMS による数値解と比較することで検証された。また開発した数値計算法は、複数技術の入替えを伴う均衡解の計算においても、解を安定して得ることができ、計算に要する時間は変わらないことが示された。

(3) 地域経済活動量の空間推定

秘匿データの存在する集落単位の経済活動量やそれに付随して定まる環境負荷量の合理的な推定法を検討した。その結果、地域産業活動量マトリックスを推定する方法のである RAS 法を用いた場合、推定された生産額は小地域別の事業所数順位と明かに整合しないケースが多々あることを確認した。これに対し、事業所数を重み係数とする目的関数に定義した繰返し乗数法による推定では、この不合理問題が解消された。さらに、後者により推定された集落単位経済活動量につ

いて GIS を用いてデータベース化し、公表されている広域経済活動量の空間分布との相関性を検討したところ、繰返し乗数法による良好な推定が確認できた。

(4) 一般均衡モデルによる漁業不振分析

農山漁村存続や生物資源絶滅の危機に瀕している地域を対象に、自然資源量蓄積式を2地域一般均衡モデルと組みあわせた逐次型動学モデルによるモデル推定を行った。実証分析では近年長引くあさり漁業の衰退を取り上げた。また、観測困難であり相当の不確実性を伴う漁業資源量と、長期的経済循環下の生産技術水準トレンドを推定するとともに、現地漁師へのヒアリング調査も実施し、長引く漁業低迷の原因を総合的に検討した。

その結果、95%信頼区間をもって資源量やモデルパラメータが推定され、モデルは2地域の漁業部門やその他部門の生産量、生産額を良好に予測できた。また漁獲技術水準が経年低下する傾向にあることが示された。これは、漁獲行為が不変で、漁ばなれにより既存技術の継承が不履行である事実と対応した。また、推定結果から食害と乱獲の資源量への影響評価を行い、他地域産種苗に10.6%混在した捕食者の放流が決定的な漁業不振に結びついたことを明らかにした。また種苗に混入した捕食者を知らず、結果生じた漁業主体の過剰漁獲構造が、最終的な労働投入量を減少させ、資源量が3/8程度に落ち込んでいる実態が示された。さらに、種苗放流をしない場合のアサリ資源の回復までの禁漁年数を推定し、漁業損害額を明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

- ① Kiyama Shoichi, Assessment of Investment System for Rural Resources and Water Quality Management: Multi-Objective Optimization of Interregional Sustainable Development, *International Journal of Environmental Policy and Decision Making*, Vol.1, No.1, pp.77-96, 2010.
- ② Kiyama Shoichi, Development of Iterative Multiplier Method for Information Estimation Depending on Regional Dimensions, *Proceedings of 31st IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control*, Innsbruck, Austria, Vol.718, No.1, pp.291-298, 2011.
- ③ Kiyama Shoichi, Causal Analysis of Manila Clam Fishery Depression in Maizuru Bay, Japan: An Empirical Study by Ecological-CGE Model, *Proceedings of 7th IASME/WSEAS International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development*, Angers, France,

Vol.1, pp.49-54, 2012.

- ④ Kiyama Shoichi, Development of a Marine Ecosystem Dynamic Computable General Equilibrium Model and Its Application to a Fishery Depression Problem, *International Journal of Energy and Environment*, NAUN, Vol.6, No.2, pp.251-259, 2012.
- ⑤ Kiyama Shoichi, Estimation of Bioeconomic Parameters in a Two-Country Model by the Extended Kalman Filter, *Proceedings of NAUN 3th International Conference on Development, Energy, Environment, Economics*, Paris, France, pp.93-98, 2012.
- ⑥ Kiyama Shoichi, Use of data assimilation in an integrated model of the economics of marine ecosystem, *International Journal of Energy and Environment* (forthcoming).

〔学会発表〕(計2件)

- ① Kiyama Shoichi, Impact of Seedling Release on Marine Ecosystem, Fishery, Regional Economy: A Case Study of Clam Fishery Depression in Maizuru Bay, Japan, *Proceedings of 2nd Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics*, Bandung, Indonesia, 2-4 February, CD-ROM (15pages), 2012.
- ② Kiyama Shoichi, Estimation of Bioeconomic Parameters in a Two-Country Model by the Extended Kalman Filter and an Empirical Study of Fishery Depression, *Marine Economics Seminar in University of Tromso*, 6 December, Tromso, Norway (23 pages), 2012.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木山 正一 (KIYAMA SHOICHI)
京都大学大学院農学研究科・助教
研究者番号：20293920