

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 7 月 1 日現在

機関番号：14201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25660178

研究課題名(和文) 遺伝的アルゴリズムによる環境直接支払の最適化と農業政策への適用

研究課題名(英文) Optimization of agri-environmental payments using genetic algorithm in Japan

研究代表者

田中 勝也 (Tanaka, Katsuya)

滋賀大学・環境総合研究センター・准教授

研究者番号：20397938

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、遺伝的アルゴリズムによる農地最適化モデルに、分布型流出解析モデルおよび湖沼生態系モデルを組み合わせ、環境直接支払が水棲生態系に与える影響の政策分析をおこなった。その結果、西の湖流域の下流で保全型農業を実施する場合と、上流で実施する場合には、有機態窒素の流達率に違いはみられるものの、政策効果に顕著な違いは確認されなかった。これは比較的小規模な流域では、保全型農業の空間配置が相対的に重要でないことを示す結果であると思われるが、どの程度まで一般化が可能であるかは不確かである。今後は条件の異なる他の小流域や、より大規模な流域を対象とした検証が不可欠と考える。

研究成果の概要(英文)：This study investigates an optimal allocation of conservation agriculture by combining genetic algorithm, distributional watershed simulation model, and lake ecosystem simulation model. Our results show that, in relatively small watershed, spatial allocation of conservation agriculture is less important in terms of lake ecosystem restoration. Although this might be due to the scale of the watershed, our results are uncertain in terms of the extent of generalization. Further research would be highly needed by focusing on other small watersheds with different conditions and larger-scale watersheds.

研究分野：農業・資源経済学

キーワード：遺伝的アルゴリズム 環境直接支払 保全型農業

1. 研究開始当初の背景

日本の農業政策は平成 17 年度の「経営所得安定対策等大綱」を契機として、従来の価格支持政策から特定の経営体を対象とした直接支払制度へと大きく移行しつつある。その中で平成 19 年度より導入された「農地・水・環境保全向上対策」により、保全型農業を実践する農家への直接的な支援体制が形成されたことは、環境直接支払制度により環境改善を目指す大きなターニングポイントとなった(莊林 2009)。同対策は平成 23 年度より「環境保全型農業直接支援対策」と名称を変え、内容面の拡充が進むとともに、参加面積も順調に増加しつつある。

しかしながら、国内の環境直接支払制度はまだ黎明期にあり、制度の効率化はこれからの課題である。現行制度では一定の要件を満たしたすべての農家が参加対象であり、支給要件となる農法も限られている。そのため、参加面積の増加に比して環境改善が進んでいるとは必ずしもいえず、多くの流域で水質汚染などの面源汚染は依然として深刻である。

限られた予算で環境改善効果を最大化するためには、効率性を重視した制度設計が必要である。そのために保全型農業の配置を最適化する研究は、1990 年代より広く進められている。しかしながら、従来の最適化手法には技術的に大きな制約があるため、先行研究は事象を単純化したものや、対象を小規模な流域に限定したものが大半を占めている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、遺伝的アルゴリズムにもとづいた最適化手法と、物理型の水文シミュレーションモデル・湖沼生態系モデルを組み合わせ、水質改善にむけた環境直接支払制度の最適化をおこなうことである。この研究により、流域の水環境にとって望ましい保全型農業の配置が示されるとともに、制度として注力すべき圃場・農法が明らかとなる。また、得られた結果を現実の農業政策に反映するため、国内外の環境直接支払制度を事例として取り上げ、運用面での特徴や成果、課題などについての比較分析をおこなう。

本研究の学術的な特色は(1) 遺伝的アルゴリズムにより、保全型農業の配置・農法の最適化を農家単位でおこなうこと、(2) 単なる最適化分析ではなく、物理型の流域・湖沼シミュレーションモデルと組み合わせ、現実の政策への適用可能性を詳細かつ具体的に検討すること、の 2 点である。このように、本研究は学際的なアプローチにより農業環境問題に取り組むものであり、得られた成果を広く発信することで、同様の研究手法が広く普及していくことも期待される。

3. 研究の方法

3.1 圃場レベル最適化モデルの開発

本研究の主目的の 1 つは、遺伝的アルゴリズムによる保全型農業の最適化モデルの開発である。具体的には、圃場全体での利潤の最大化と、一定の環境改善を同時に満たす作物と保全型農法の組み合わせの探索を農家レベルで実施する。対象となる農業面源汚染の水質指標として、窒素・リン・BOD の 3 種類を分析に用いる。また、データが利用可能であれば水田から排出されるメタンや、生物多様性などについても環境要件の対象として検討する。

3.2 物理モデルによる農業面源汚染の定量化

対象地域における農業由来の面源汚染負荷を定量化するため、滋賀県長命寺川流域の水文モデルを構築する。今日ではさまざまな水文モデルが利用可能であるが、本研究では米国農務省(USDA)が開発した Soil and Water Assessment Tool (SWAT) を採用する。SWAT モデルを選択する理由は(1) 国際的に幅広く利用されている標準的な水文モデルであること、(2) 農業面源汚染の予測精度の高さに定評があることである。ただし、本研究では SWAT のシミュレーション結果が期待された精度に至らなかったため、産業技術総合研究所が開発した AIST-SHANEL モデルを政策分析に使用した。

3.3 海外事例の比較分析

国内の環境直接支払制度の改善を検討する上で、国外ですでに実施されている環境直接支払制度を事例として取り上げ、運用面での特徴や成果、課題などについての比較分析をおこなう。本研究では、海外の事例分析対象として、アメリカ合衆国と欧州連合(EU)における、費用効率性を高める施策を対象とした。

4. 研究成果

4.1 統合モデル分析

滋賀県最大の内湖である西の湖流域(長命寺川流域)を対象に、環境直接支払が水棲生態系に与える影響の費用対効果分析をおこなった。陸域流出過程は、分布型流出解析モデルである AIST-SHANEL により、農法変化による栄養塩流出量への影響をモデル化した。環境直接支払の採択プロセスおよび実施費用については、対象地域における農家アンケートを実施しコンジョイント分析により推計した。

これらのモデルに遺伝的アルゴリズムの最適化手法を組み合わせ、環境直接支払による保全型農業の普及が、水棲生態系に及ぼす影響の政策分析をおこなった。その結果、西の湖流域の下流(生態系影響を評価する西の湖近傍の農地)で保全型農業を実施する場合と、上流で実施する場合では、有機態窒素の

流達率に違いはみられるものの、政策効果に顕著な違いは確認されなかった。これは、対象地域が比較的小規模な流域であることによるものかもしれない、より広範な流域を対象とした検証が必要と考えられる。

また、保全型農業の普及が流域内で一様に進んだ場合の、普及の拡大による生態学的影響について、長期シミュレーションをおこなった。その結果、環境直接支払における支払水準の向上は、保全型農業の採択面積を有意に拡大し、西の湖に流入する栄養塩を削減する効果が確認された。ただし、水棲生態系を十分に回復し、生態系のレジームシフトを実現するためには、一定規模以上の取り組みが必要である。また、その実施も長期（普及水準にもよるが、15～20年以上）に渡り継続することが必要との結果が示された。

現行の環境直接支払はその規模と期間の両面で十分とはいえず、生態系の復元効果を考える上では、制度設計を再検討する必要があると考えられる。

以上のように、統合モデルによる環境直接支払の政策分析の手法開発において、本研究は一定の成果をあげることができた。今後は、モデルの更なる改善を進めるとともに、異なる条件の流域を対象を広げ、より詳細なシミュレーションにもとづいた政策分析を進めていく方針である。

4.2 環境直接支払の海外事例分析

本研究の目的は、効率的な環境直接支払制度の実現に向けた、具体的な政策提言である。海外の事例分析にあたっては、アメリカ合衆国と欧州連合（EU）における、費用効率性を高める施策を対象とした。

アメリカとヨーロッパでは、費用効率性向上に対するアプローチが異なっている。アメリカでは、支払対象となる農業者を環境への効果の評価やオークションによって選別している。アメリカの主な環境支払いは、保全休耕プログラム（Conservation Reserve Program, CRP）、環境改善奨励プログラム（Environmental Quality Incentive Program, EQIP）、保全ステewardシッププログラム（Conservation Stewardship Program, CSP）の3つである。CRPは応募者に取り組み手法と受取額を提示させ、その内容を指標化し、点数の高いものから採択する。EQIPとCSPは応募案件について期待される環境への効果を点数化し、高いものから採択する。

これに対し、ヨーロッパでは農業者の申請を選別することはないが、その代わりに、環境目標の達成度合いを支払いに連動させる試みが各地で見られる。ヨーロッパでの試みは結果に基づく支払いと呼ばれており、適用事例は生物多様性保全と水質保全にみられる。従来の環境支払いは、一定の保全的行為を採用する農業者に対し、それに伴う費用を補填するものとして、あるいは、それを促す奨励金として支給される。つまり、これは活

動に基づく支払い（action-oriented payments）であるが、効果はそれほど上がっていない、費用対効果が低い、という批判がある。一方、結果に基づく支払いは、行為ではなく結果に応じて支払われるため、農業者が知識と経験を活かし、よりその土地にあったやり方を考え出し、それを実行する。つまり、農業者は手段を選ぶことができるので、費用効率性が高まる。

生物多様性保全を目的とする結果に基づく支払いは、1993年にイギリス、オランダ、ドイツ（ノルトライン・ヴェストファーレン州）における試行的な実施が最初期のものである。水質保全の分野の実施例は、ドイツにおいて、地下水の硝酸態窒素濃度を抑えるために、農場からの窒素の流出量をコントロールするための施策にみられる。ドイツでは、水道水源を保全するため、窒素負荷の削減に取り組む農業者に対して、水道事業者の負担で支払いを行うという仕組みがある。バイエルン、ヘッセン、ニーダーザクセンの各州では、この仕組みにおいて結果に基づく支払いが採用されている。一方、ブランデンブルク、ザクセン・アンハルト、テューリンゲンの各州では共通農業政策の農業環境施策のメニューに入っている。

4.3 長命寺川流域への SWAT モデルの適用

滋賀県では琵琶湖の周辺を7つの小流域に分けて管理が行われている。今回はその中から東近江圏域中央部を流れる長命寺川に対して、水文モデルの適用を試みた。選定の理由は主に、ラムサール条約登録湿地である西の湖を有するなど環境の保全が求められている流域であること、農業生産が盛んであり農地から流出負荷が問題となっている流域であること、「環境こだわり農業」等の保全対策の実施が特に進んでいる流域であることである。

長命寺川の流域面積は約85.0km²、幹線流路延長は支川を含め約33kmである。長命寺川はいくつかの支流を有しており、河口の琵琶湖から西の湖に至る長命寺川本川と西の湖に流入する蛇砂川、山本川、安土川等から形成されている。河川下流部では天井川となっている箇所も多く、河川整備計画が積極的に進められている。

長命寺川流域では流域の保全と水質の改善に向けて多くの事業が進められている。しかし依然として西の湖の水質は改善されていない。そこで本研究では、保全対策に対する定量的評価を可能にする手法の一つとしてコンピュータシミュレーションによる解析を提案し、長命寺川流域への適用を試みた。これにより将来的には流域からの負荷量を定量的に評価することが可能になるうえ、シナリオ解析等によって、現行の保全事業の見直しや効率化が可能になると考える。

本研究では解析モデルとして Soil & Water Assessment Tool (SWAT) を採用した。入力

データは標高，土地利用，土壌 GIS データと気象データである。GIS データは国土交通省から，気象データは気象庁からそれぞれ入手した。流域が比較的平坦でかつ農業用水路網が非常に複雑に整備されていたため単純な方法では流域界が作成できなかった。試行錯誤の結果，標高データは 10m 解像度のものを採用し，既存の河川網等を焼き付けることで標高データを一部補正した。気象データは将来の解析も視野に入れ 1985 年から 2013 年まで整備した。ただし河川観測流量が 2011 年から 2013 年までであったため，その範囲でパラメータ値を調整した。パラメータ値の探索には SWAT Calibration Uncertainty Programs (SWAT-CUP) を援用し，長命寺川，山本川，安土川，蛇砂川の 4 地点で再現性を比較した。その結果，蛇砂川と安土川においては概ね高い再現性を示したが，そのほかの河川では再現性が低かった。この原因として，SWAT モデル内で流域の複雑な水（農業用水）動態が十分再現できなかったこと，そして流量観測値不足によるパラメータ値検索が十分でなかったこと，などが考えられる。

「環境こだわり農業」等の実施以降，それらの対策効果は年に数回実施される水質調査の結果で評価されてきた。現状では依然として西の湖に対する水質改善効果は現れていない。今後観測データを蓄積させることで，その理由の一端を明らかにし，モデル解析等を援用することで，水質改善対策実施効果の検証と将来対策を考察することが重要と考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

田中勝也 (2015) 「環境直接支払の費用対効果におけるターゲティング戦略の影響」 『土木学会論文集 G (環境)』 71(3):93-101.

西澤栄一郎 (2014) 「農業環境政策の展開：EU・アメリカとの比較」 『農業と経済』 80(9):16-25.

Nishizawa, E. (2015)

“Agri-environmental Policies of Japan and Shiga Prefecture,” *Journal of International Economic Studies*, Hosei University, 29:23-34.

[学会発表](計 3 件)

西澤栄一郎，農業環境支払いの費用効率性をめぐる議論と実践，2016 年度 日本農業経済学会個別報告，2016 年 3 月 30 日，秋田県立大学。

Nagamatsu, Y., K. Tanaka, T. Kawaguchi,

M. Kimura, (2015) "The Cost-Effectiveness of Agri-Environmental Payments in Japan: An Integrated Modeling Approach" *Proceedings of the Fifth Congress of the East Asian Association of Environmental and Resource Economics*.

Tanaka, K. (2013) "The Spatial Relationship Between Agricultural Conservation Decisions and Social Capital: Spatial Probit Approach" 第 14 回国際コモンズ学会。

[図書](計 1 件)

田中勝也 (2014) 「環境こだわり農業の影響評価：MIKE モデルによる定量分析」 西澤栄一郎 編 『農業環境政策の経済分析』 日本評論社。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 勝也 (TANAKA, Katsuya)
滋賀大学・環境総合研究センター・准教授
研究者番号：20397938

(2) 研究分担者

西澤 栄一郎 (NISHIZAWA, Eiichiro)
法政大学・経済学部・教授
研究者番号：30328900

藤栄 剛 (FUJIE, Takeshi)
明治大学・農学部・准教授
研究者番号：40356316

宗村 広昭 (SOMURA, Hiroaki)
島根大学・生物資源科学部・准教授
研究者番号：90403443