

環境保全型農業管理における生態系サービスの評価に向けた地理空間データベースの構築と解析の研究

加藤 亮¹, 杉原 創², 吉川 夏樹³, 東樹 宏和⁴, 橋本 禪⁵, 大澤 剛士⁶

農林水産政策研究所は、農林水産省の行政部局に農林水産政策の推進方向に対応した政策の選択肢を提言するとともに、研究における人的交流の拡大を目的として大学を始めとした研究機関等との連携を強化した「連携研究スキームによる研究」を実施しています。

1. はじめに

令和5年3月に農林水産省は生物多様性戦略を公開した。COP10の愛知目標以降、昆明・モントリオールのCOP15の流れの中で醸成された議論が、この戦略の中で農業セクターがとるべき方策としてまとめられている。その中で、生態系サービスと呼ばれる生物多様性保全に基づく生態系の恵みが人間社会への福利としてフィードバックする機能を、保全しながら農業生産を持続的に行う政策が掲げられている。具体的には、化学肥料や農薬の低減、有機農業の促進や、スマート農業等を含む環境保全型農業技術の開発、水田域における水系生態系ネットワークの保全等が挙げられている。

これら生物多様性保全政策の実施が具体化する際に重要なエビデンスがどの程度あるのか、生態系という複雑な関連性を持つ事象に対し、シナジーやトレードオフがどの程度解明されているか、政策の実施によってそれらの関連性がどのように変化するか、といった課題が現時点で残されたままである。このような背景のもと、本研究チームは農林水産省農林水産政策研究所と共に、共同研究を実施した。その概要を一部ここに紹介したい。

本研究は、中山間地域における生態系サービスを定量化し、地理情報システム（GIS）の中で可視化することを目的としている。中山間地域のケーススタディとしては、福井県池田町の水田域を取り上げた。池田町は九頭竜川の支川にあたる足羽川の最上流に位置しており、森林域からの流出水に依拠した、生態系サービスを享受した農業を実施している地域である。本研究チームが目的としたことは、水、土壌、水田の土地利用、土壌微生物および生態系解析、資源循環利用による生態系サービスの定量的評価を行い、GIS上に結果を再現することにある。

2. 対象地域と研究方法

福井県池田町は、過疎化および高齢化が進む、コメ生産が中心の中山間地域である。この地域において、気象データ、流量、水質、水田の浸透量、水田土壌の理化学的指標や生態系に関して網羅的にモニタリングを2021-2023年において実施した。

研究内容は大きく分けて、1) 池田町内にある足羽川とその支流の魚見川、水海川の3水系の21点における水質観測、水田土壌については慣行農地68地点、有機農業82地点での調査、2) 水田としての利用形態の異なる雨水流出特性について現場透水試験、3) 一部の水田土壌について土壌DNA分析を行い、原核生物、真菌、線虫類の生物多様性、生物群集構造を明らかにすること、4) 上記のデータ解析をベースに、池田町の水田域の持つ生態系サービスの特徴を明らかにし、環境保全型農業の将来シナリオをInVESTモデルにより検討、最後に5) これらデータをGIS上にマッピングし、基盤情報として整備する。

3. 結果

1) 水質・土壌の空間分布の解析

水質においては河川ごとの差異、上下流の差異とも明らかではなく、わずかに集落排水の影響が見られたが、有意な差があるとは言い難い状況であった。また、土壌全炭素および全窒素量に関して、最上流の魚見地区でのみ有機>慣行となった。一方で、全体および下流域（足羽・水海地区）では顕著な差は見られなかった。これらの結果は、堆積・沖積の影響が少ない最上流部で有機農法を導入すると、その導入効果が土壌理化学性の観点から大きいことを示唆している。また、全地点を通して土壌中の可給態リン量が推奨値よりも高く推移しており、富栄養化（リン酸による水質汚染）への懸念も示された。

2) 現地水田の透水試験結果

水田一筆毎の流出観測（耕作放棄水田、保全管理水田、作付け水田）、および浸透能把握のための透水試験を行った。特に、耕作放棄水田からの流出は圃場の乾湿条件によって異なり、通常の作付け水田と比較して、乾燥状態に遷移すると地表流出量が小さく、湿潤状態に遷移すると地表流出量が增大することが示唆された。

乾湿条件は放棄後の経過年数のみならず、その立地条件、特に地下水位によって異なる。そこで、放棄後の圃場内の植生が土壌水分の状態を反映することに着目し、地形湿潤指数（TWI）と衛星画像を用

1：東京農工大学 大学院連合農学研究科 教授 2：東京農工大学 大学院農学研究院 教授
3：新潟大学 教育研究院 自然科学系 教授 4：京都大学 大学院生命科学研究科 教授
5：東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授 6：東京都立大学 都市環境科学研究科 准教授

いて、より広域な判別を試みた結果、水田が持つ水害抑制のサービスを定量化できる可能性が示唆された。すなわち、耕作放棄によって水害抑制に寄与する水田と水害を助長する水田があり、耕作放棄地が水文環境に与える影響を放棄水田の植生と関連付けて把握する手法を提示することができた。

3) 土壌DNA分析による生物多様性、生物群集構造の解析

水田で採取された土壌サンプルからDNA抽出を行い、原核生物16S rRNA領域、真菌ITS領域、真核生物18S rRNA領域を対象としたDNAメタバーコーディングを行った。分析対象とした95地点のそれぞれについて、原核生物・真菌・真核生物全般の多様性と群集構造を明らかにした上で、対象とした土壌サンプルの化学性に関するデータと組み合わせた統計分析を実施した。その結果、水田土壌内の生物群集の構造が、リン濃度よりも炭素や窒素の濃度によって影響を受けていることが明らかになった。慣行栽培と有機栽培の間で群集構造を比較したところ、群集全体では統計的に有意な構造の違いが見られなかった。土壌のサンプリングを行ったのが4月上旬であり、農法の違いによる効果が冬の間にリセットされていた可能性も考えられる。なお、いくつかの生物種については、4月上旬の土壌サンプルにおいて、慣行栽培と有機栽培の間で相対出現頻度に有意な違いが見られた。池田町内の3つの主要水系間で群集構造を比較した分析では、統計的に有意な違いが確認された。

4) InVESTモデルによる将来シナリオの評価

InVESTモデルを用い人口減少下における農地区画レベルの農地利用の変化が、水質浄化サービス、炭素貯留サービス、水供給サービスの評価を実施した。モデルの出力結果として、農業の担い手の減少に伴う粗放的管理の拡大により、水質浄化や水供給は向上することが示唆された。一方、炭素貯留は低下することが示唆された。また、環境保全型農業を推進することで水質浄化が向上し、植林を行うことで、さらに炭素貯留の向上が見られる一方、水供給

が低下する可能性が示唆された。

5) 生態系サービスの空間基盤情報とその解析

過去5年間にわたる水田農法（池田町では、「生命に優しい米づくり」制度を立ち上げ、環境配慮の強度順に「極」、「匠」、「舞」、「真」といった認証を行っている）履歴を重ね合わせ、5年間の農法履歴を各筆ポリゴンに付与した。筆ごとの農法履歴について、過去3年分、4年分、5年分それぞれについてGower距離を利用した非階層クラスタリングを行った。その結果、どの期間を利用しても1) 基本的に慣行農法を継続、2) 基本的に「匠」を継続、3) 基本的に「真」を継続という3クラスに分けることができた。さらにこれらクラスと1) で得られた土壌の化学性の関係を検討したところ、「匠」を継続したクラスでは可給態Pが高いこと、「真」を継続したクラスではEC、pHが高く、CN比も高いという結果が得られた。さらに同じクラスと3) で得られた土壌の生物性の関係を検討したところ、「匠」を継続したクラスでは微生物の多様度が高く、「真」を継続したクラスでは低い傾向が検出された。この結果は、認証農法となる減農薬、有機農法が土壌の性質という基盤サービスにもたらす影響は、少なくとも3年以上継続することで顕在化することを示唆している。

4. 結論

全体的に、池田町の豊かな生態系は現時点では保全されており、調整サービスを良く発揮していると考えられる。特に池田町が存在する足羽川上流域での生態系サービスは、福井市を含む足羽川下流域に貢献しており、サービスの供給側として機能していると考えられる。農地の持つ一般的な生態系サービスと、池田町の生態系サービスを対照させると表1のようにまとめることができる。これらを定量化できたことは、農村域の生態系サービス評価の基盤として一定の進歩をみたと考えられる。一方で、その発現メカニズムや、サービス間のトレードオフといった関連性については未解明の点が残し、引き続きデータの収集とその解析を他のケーススタディと合わせて比較研究を実施する必要もあると考えられる。

表1 水田地帯の生態系サービスと池田町での生態系サービス

一般的な水田の持つ生態系サービス	水田の生態系サービスのメカニズム (Matsuno et.al. 2006, Natsuhara 2013)	中山間地（池田町）の水田生態系サービスの特徴	環境保全型農業による生態系サービスの強化
洪水緩和	田面や灌漑設備による雨水貯留	森林域と隣接することから表面流出が抑制（雪解け時には流量が増加）	左記と同様
地下水涵養	湛水貯留による浸透	森林域の隣接のため地下水が豊富	—
土壌侵食防除	田面の均平、土壌の団粒化	見受けられず	—
斜面崩壊防除	棚田法面の安定化	見受けられず	—
水質浄化	微生物による脱窒や土壌への吸着	データを見る限り窒素濃度は低いまま	土壌のリン含有量が多い堆肥の受け入れ過多の可能性
有機物分解	有機資源（廃棄物）の投入	環境保全型農業において堆肥の投入	有機物の投入とその分解
気象緩和	蒸発散による冷却	現行問題ない	—
生物多様性	圃場と水路の連続による水系生態系の維持	水系生態系は未観測だが、土壌微生物を測定	—