

食料安定供給のための水・エネルギーの統合的評価に関する研究

山崎 由理 (鳥取大学 農学部)

y.yamazaki@tottori-u.ac.jp

食料の安定供給には、地域特性を踏まえつつ、環境保全を考慮した潜在力を評価する研究が求められている。本研究は、農業地域における河川の窒素汚染問題、ため池および田んぼダムを活用した流域治水、小水力発電ポテンシャル推定モデルの開発を主題としている。これらの成果は、水・エネルギー・食料・環境を統合的に捉える NEXUS 的視点に基づく、**統合的流域水管理への発展可能性**を有している。

はじめに

世界的な気候変動の進行により、農業地域では豪雨災害の頻発・激甚化と、水不足や高温による作物生産力の低下が進行し、食料生産を支える水資源の安定供給が脅かされている。また、高度経済成長期に整備された多くの農業水利施設が老朽化し、管理の担い手不足が深刻化している。農業起源の水質汚濁や化石燃料依存といった環境負荷の課題も根強く、農業農村工学分野の課題は複合化している。

このような複合課題に対し、国際的には、水 (Water)・エネルギー (Energy)・環境 (Environment) の相互関係を統合的に捉える **NEXUS アプローチ**が注目されている¹⁾。

本研究は、①水質保全、②流域治水、③再生可能エネルギー導入支援の研究成果を統合し、気候変動時代における食料安定供給の基盤強化に資することを最終目標としたものである。

農業地域の水質汚染の評価に関する研究

北海道東部の大規模畑作地域を対象に、長期的な河川水質調査を実施し、農業活動が河川水質に及ぼす影響を定量的に評価した^{2~6)}。従来の研究では、土地利用面積率と水質の関わりに焦点がおかれてきた。一方、このような解析では、農業的土地利用面積の縮小が河川水質の改善方法として提案される結果となり、水質保全と食糧自給率の向上の両立が困難であった。

そこで、この研究では土地利用の「連結性 (Connectivity)」に着目した新たな評価指標 (Fig.1) を導入し、畑地が連結する面積と河川水中の窒素濃度との間に正の相関関係があることを明らかにした (Fig.2)。これによって、流域内の畑地の面積率を単純に縮小させるのではなく、畑地の間に林地を戦略的に配置して、畑地の連結性を小さくすることで、畑地面積を大きく縮小させることなく (すなわち農業生産性を損なうこと無く) 流域の窒素負荷を低減させうることを示唆した。

また、北海道東部の大規模酪農地域に位置する、国営環境保全型かんがい排水事業の対象地域において約 20 年間の水質観測結果を解析した。この地域では、家畜ふん尿の不適切な管理および処理を原因とした河川の水質汚染が問題視されてきたが、肥培かんがい施設の新規導入によって、家畜ふん尿を適切に貯留・処理できるようになったことで、河川水中の窒素濃度が改善する傾向を確認した (Fig.3)⁷⁾。

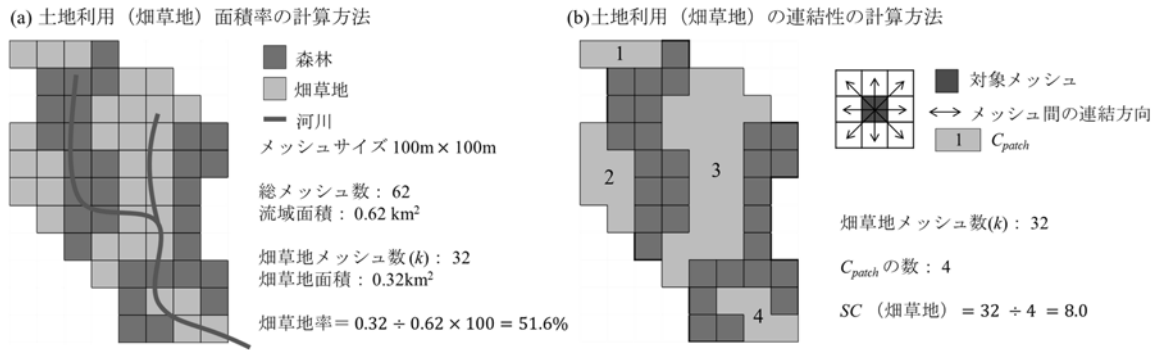


Fig.1 (a)土地利用面積率の計算方法、Fig.1 (b)土地利用の連結性の計算方法

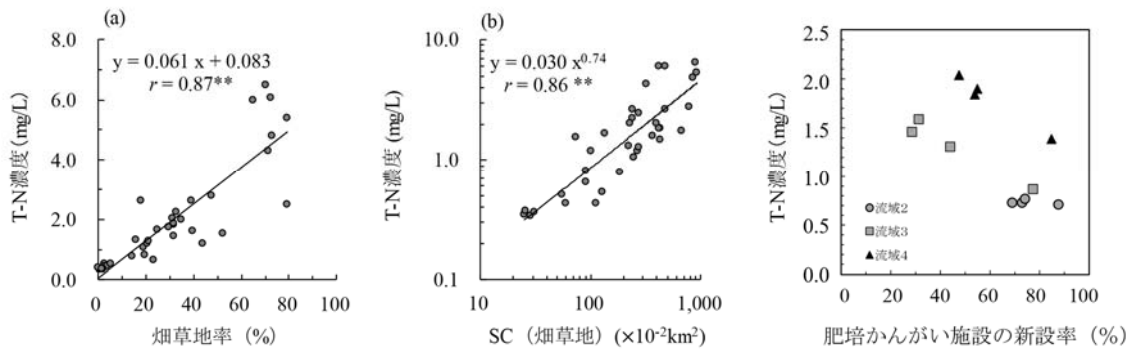


Fig.2 畑草地率／畑草地の連結性と T-N の関係 Fig.3 肥培灌漑施設の新設率と T-N の関係

ため池および田んぼダムを活用した流域治水に関する研究

近年、気候変動による豪雨災害の増加を受け、農業分野が果たす流域治水の役割が拡大している。ため池は全国に 15 万基が現存するとされており、その築造年代は非常に古く、全国のため池の約 8 割が江戸時代以前の築造とする文献もある。豪雨時には、老朽化が進行したため池の決壊による被害拡大が問題視されているほか、ため池の貯水機能を活用し治水効果を十分に発揮させるための管理方法が検討されている。この研究では、鳥取県内の 72 基のため池を対象に水収支解析を行い、集水面積／水面積比が 50 以上のため池において、事前にため池の水位を低下させる低水位管理による貯留スペース確保が洪水軽減に有効であることを示した⁸⁾。

さらに、全国に広範囲に存在する田んぼでは、豪雨時にピーク流出を抑制することを目的に、田んぼの排水部に堰板を設置し、一時的に田んぼ内に水を貯留して排水を遅延させる「田んぼダム」の普及拡大が進められている。この研究では、複数の田んぼダム堰板の形状を対象に、地域降雨特性と農地特性を反映した 1000 パターンのシミュレーションを行い、畦畔からの越流が発生しない、かつ、田んぼからのピーク流出を最大限遅延・低減できる最適構造を提案した (Fig.4)⁹⁾。これらにより、農業生産基盤を維持しつつ、豪雨時の一時的な雨水貯留機能を向上させる方策を提示し、農業地域の災害レジリエンス強化に貢献した。

再生可能エネルギー導入支援ツールの開発に関する研究

農業用水路などの中小水路は、局所的かつ分散型エネルギーとしての小水力発電の潜在力を有する。一方、小水力発電の導入には対象水路や河川における発電可能量の計算のほか、自然保全

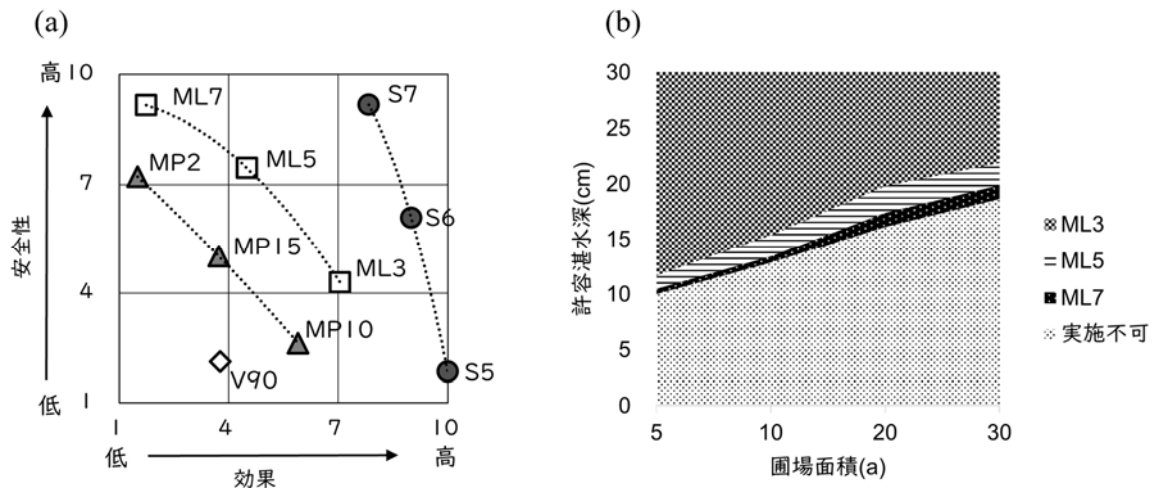


Fig.4 (a) 田んぼダム堰板の効果と安全性、Fig.4 (b) 田んぼダム堰板の選択早見図

地域や土砂災害危険地域などの導入不適地の抽出、道路や電力網を考慮したコスト計算などの複数の試算を加味して、導入適地を検討する必要がある。既存の計算ソフトウェアは高価である場合や利用に専門知識が必要であるなど、自治体や地域住民が再生可能エネルギーの適地探索を実施するのは困難である。この研究では、バスク気候変動研究所および名古屋大学未来材料システム研究所と共同で開発を進めている、WebGIS アプリケーション「k.LAB」への小水力発電ポテンシャル推定モデルの組み込みを目標に、発電可能量および最適導入地点を Google 検索をするように、ユーザーが容易に計算・可視化できる機能の基礎モデルを開発した^{10), 11)}。このツールは、地域のエネルギー自給率向上に資するだけでなく、農業水利施設を活用した循環型水資源利用の検討を支援するものである。

NEXUS 的視点をもつ統合的流域管理への展開

以上の3つの研究成果はそれぞれ、「水質保全」、「治水」、「エネルギー利用」を個別に扱ったものであるが、いずれも農業地域における資源相互作用の理解を深化させるものである。

今後は、これらの知見を統合し、たとえば、「ため池ネットワークを核とした資源循環モデルの提案（水貯留・水質浄化・エネルギー生産・生態系維持）」、「データとモデルを統合する意思決定支援システムの開発（GIS・数理モデルによる最適配置・効果予測）」、「人と水利・生態系をつなぐ地域連携実装（住民協同・行政支援・教育普及）」をすすめ、食料安定供給に資する NEXUS 型流域管理の社会実装を目指す。

おわりに

本研究は、農業地域を対象として、水質汚染・洪水リスク・エネルギー供給といった複合的課題を統合的に評価し、水・エネルギー・食料・環境が相互に強化し合う NEXUS 型の農業流域管理の将来像を提示した。今後は、ため池ネットワークなどの農業インフラを核とした気候変動適応・地域循環型エネルギー・持続的農業生産基盤の確保を同時に達成する統合的施策を、GIS・数理モデル・地域との協働を通じて社会実装していく。これらの研究展開により、食料の安定供給を支えるレジリエントな農村社会の実現に貢献していく所存である。

謝辞

このたび、公益社団法人農業農村工学会よりご推薦を賜り、栄えある日本農学進歩賞を受賞することができました。農業農村工学会の西村拓会長、小泉健専務理事をはじめ、関係の諸先生方に心より厚く御礼申し上げます。

本研究は、帯広畜産大学、東京農業大学、鳥取大学において歩んできた研究の積み重ねによるものです。帯広畜産大学の宗岡寿美教授、東京農業大学の岡澤宏教授には、学部時代から今日に至るまで、研究の基礎から歩み方まで、長年にわたり温かくご指導を賜りました。また、日頃より多大なるご助言・ご支援をいただいております鳥取大学の清水克之教授に、改めて深く感謝申し上げます。さらに、共に議論を重ね、前に進む力をくださった論文連名著者の先生方にも心より御礼申し上げます。

本受賞は、決して私一人の成果ではなく、研究の現場を支え、励まし続けてくださった多くの皆様、そして共に挑戦を続けてきた学生の皆様、関係者お一人おひとりの思いが形になったものと強く感じております。この場を借りて、これまでの温かなご支援に深く感謝申し上げます。

これからも、農業農村工学分野の発展、そして未来の農業を支える地域の力に少しでも貢献できますよう、皆様とともに歩み続けてまいりたいと存じます。今後ともご指導ご鞭撻のほど、何卒よろしくお願い申し上げます。

引用文献

- 1) Mai ENZ., Inoue N., Uenishi Y.: The Food Water Energy Nexus in Agriculture: Understanding Regional Challenges and Practices to Sustainability, *Sustainability*: 17(10): 4428 (2025).
- 2) Yamazaki, Y., Muneoka, T., Okazawa, H., Kimura, M. and Tsuji. O.: Influence of the Agricultural Land Agglomeration to the Nutrients of the River Water in the Tokachi River Basin. *Paddy and Water Environment* 15: 277-以前の築造 290 (2017).
- 3) Yamazaki, Y, Muneoka, T., Kimura, M. and Tsuji. O.: Impact of the Land Use Diversity on the River Water Quality in the Agricultural Area. *International Journal of Environmental and Rural Development* 8(1): 117-123 (2017).
- 4) Yamazaki, Y., Muneoka, T., Okazawa, H., Kimura, M. and Tsuji. O.: Evaluation of River Water Quality with Multivariate Analysis in Clear Stream Watersheds in Agricultural Area, *Journal of Water and Environment Technology* 15(3): 86-95 (2017).
- 5) 山崎由理・宗岡寿美・東 信行・中西 厚・木村賢人・辻 修：付着藻類の窒素安定同位体比による窒素起源の推定, *水土の知 (農業農村工学会誌)* 87: 101-104 (2019).
- 6) Yamazaki, Y., Muneoka, T., Matsuda, T., Kimura, M., Tsuji, O.: Characteristics of Ion Components of Clear Stream Watershed in an Agricultural Area with Multivariate Analysis, *International Journal of Environmental and Rural Development* 13(1): 124-129 (2022).
- 7) 山崎由理・宗岡寿美・木村賢人・辻 修：肥培灌漑施設の新設と河川水中の全窒素濃度の改善効果, *水土の知(農業農村工学会誌)* 86: 709-712 (2018).
- 8) Harasawa, R., Shimizu, K., Yamazaki, Y.: Development Indexes to Evaluate the Effectiveness of Low Water Level Control in Irrigation Ponds-A Case Study of Irrigation Ponds in Tottori, Japan, *International Journal of Environmental and Rural Development* 14(2): 93-99 (2024).
- 9) 宮田和瑚・山崎由理・清水克之：鳥取県の気象条件に応じた田んぼダム堰板形状の検討, *応用水文* 17: 1-9 (2025).
- 10) Yamazaki, Y., Hayashi, K., Kawaguchi, N., Okazawa, H. and Villa. F.: GIS-based Analysis for the Energy Potential and Social Feasibility of Small-Scale Run-Off-River Hydropower in Yahagi River, Japan, *International Journal of Environmental and Rural Development* 10(2): 138-145(2019).
- 11) Huang, X., Hayashi, K., Fujii, M., Villa, F., Yamazaki, Y., Okazawa, H.: Identification of Potential Locations for Small Hydropower Plant Based on Resources Time Footprint: A Case Study in Dan River Basin, China, *Renewable Energy* 205: 293-304 (2023).

Integrated Assessment of Water and Energy for Stable Food Supply in Agricultural Basins

Yuri Yamazaki (Tottori University, Faculty of Agriculture)

y.yamazaki@tottori-u.ac.jp

Abstract

Climate change is increasing the variability of water resources, heightening the risks of flooding, drought, and heat stress in agricultural regions. At the same time, many rural water infrastructures—such as irrigation and drainage networks, reservoirs and pumping stations—are ageing, while depopulation and the loss of management capacity hinder their upkeep. Agricultural activities also impose environmental pressures, including nutrient enrichment of water bodies and continued reliance on fossil fuels. These intertwined challenges threaten the stability of food production and highlight the need for a more holistic approach to agricultural water management.

Internationally, growing attention has been directed towards the Water–Energy–Food–Environment (WEFE) Nexus, which stresses the interdependence of water, agriculture, energy, and ecosystems. Applying this Nexus perspective to agricultural basins is essential to achieving climate-resilient food systems and sustainable resource use. This study integrates a set of investigations undertaken in major agricultural regions of Japan to propose pathways towards Nexus-oriented basin management.

Firstly, long-term river water quality monitoring in a large-scale agricultural area in eastern Hokkaido demonstrated that not only the proportion of cropland, but also the spatial connectivity of cropland strongly influences nitrogen loads. Enhancing riparian buffers can reduce this connectivity and, therefore, mitigate pollution without compromising agricultural productivity. A 20-year evaluation of an environmental irrigation improvement project further confirmed that upgrading irrigation facilities contributes to long-term recovery of water quality.

Secondly, to address increasing flood risks under climate change, researchers examined the multi-functional role of agricultural infrastructures in flood mitigation. Water balance analysis of 72 agricultural reservoirs in Tottori Prefecture showed that keeping lower water levels before rainfall reduces flood peaks for reservoirs with a high catchment-to-surface-area ratio. Furthermore, 1,000 scenario simulations found optimal weir configurations for paddy field dams. These configurations delay and reduce peak discharge without embankment overtopping, thus strengthening local flood resilience.

Thirdly, a WebGIS-based assessment tool for small hydropower has been developed with the Basque Centre for Climate Change (BC3) and Nagoya University. It is integrated into the “k.LAB” platform, which lets users estimate hydropower potential along irrigation and drainage channels. The tool also supports the use of decentralised renewable energy in rural areas.

This integrated approach provides co-benefits in climate adaptation, water and food security, local energy self-reliance, and rural resilience. The outcomes indicate that Nexus-based basin management offers a promising future direction for sustainable agricultural development in Japan and beyond. These efforts will help build climate-resilient agricultural communities and deliver practical benefits to society.