

2025（令和7）年度 FS 最終報告書

FS研究課題名	（和文）陸から海への水・栄養塩フットプリント解析とターニングポイントへの適応策：ヘルシーなアジア沿岸域の実現に向けて
	（英文） Water and Nutrient Footprint Analysis from Land to Ocean and Its Adaptation Strategies for Tipping Points: Towards Healthy Coastal Areas in Asia
FS責任者 （所属・職名・氏名）	富山大学学術研究部理学系・教授／副学長（国際担当）・張 勁
所属プログラム	地球人間システムの連環に基づく未来社会の共創プログラム
研究期間	2025年4月1日 ～ 2026年3月31日

本報告書はFSの研究成果として地球研ホームページに掲載します。
ページ制限はありません。また、図表を使っていたことも可能です。

1 研究概要

本FSの研究概要について記載してください。

近代以降の社会発展に伴い、下水道整備や排水規制などの水・栄養塩管理に関する様々な施策が講じられ、個別の問題解決には一定の成果を上げてきた。しかし、それらの対症療法的な解決策は本来の問題解決とは別に、時間的・空間的に予期せぬ副作用を生じさせ、環境の調和の喪失を招いてきている。本研究では、施策実施による副作用と環境影響をタイムラグの観点から明らかにできていないことが、Healthyな水・栄養塩循環の形成を阻む主たる障害であると捉え、水循環と栄養塩供給の変化がおきる「ターニングポイント（転換点）」に着目した自然科学と人文社会科学のトランスディシプリナリーなアプローチにより、「人と自然の両者にとってHealthyな水循環・栄養塩供給の妥協点」を提示することを目指した。

これらの目標を達成するために、水文地質学的な共通性を有するが、地理的・社会的条件の異なる富山（深湾・外洋的）と西条（内湾・干潟）の両地域モデルを比較分析し、地域特性に依存しない普遍的な水循環・栄養塩供給の一般モデルを検証した。同時に、社会的要因（高度経済成長、人口減少等）と地球規模の気候変動がもたらす環境影響の「タイムラグ」や「スケールの不一致」を、時間軸・空間軸を横断する複数のフェーズとして構造化し、well-beingの回復や再構築過程を包括的に分析した。富山におけるイタイイタイ病や愛媛における高度成長期の環境問題など、well-beingに資する環境被害の歴史的背景を、ターニングポイントに至る社会変容の初期フェーズと位置づけ、そこから回復・再構築へ向かうプロセスを、人文科学的アプローチを交えて包括的に分析した。さらに、人口減少や技術革新といった社会情勢の変化に応じ、常に「最善の解決策は変化する」という動的な視点を取り入れた。例えば、かつての瀬戸内海では赤潮頻発による漁業被害に対し、栄養塩の徹底除去が「最善の解決策」とされたが、現在は貧栄養化による漁業不振が課題となり、季節別管理などの能動的な供給が、新たな「最善の解決策」のひとつとして検討されている。本研究では、こうした日本の経験知を基に、アジア諸国へのパッケージでの施策展開も見据えた

政策提言戦略を考察した。その過程では、東アジア諸国の宗教観や政治・経済体制、歴史的な文脈も分析し、単なる科学モデルの移植ではない、各国の社会システムに適応したパッケージとしての展開戦略の確立を目指した。

2 FSで得られた成果

FS期間中の研究成果（手法の開発や組織の形成を含む）を具体的に記載してください。また、成果物があれば具体的に示してください。当初予定していた目標の達成の成否とその理由を述べてください。

FS研究では、トランスディシプリナリー研究を本質的に遂行するための研究基盤の構築を最優先事項とし、学際的な研究体制の構築、理論的なフレームワークの策定および予備的観測や既存データの整備を展開した。

FS研究を通じた第一の成果は、学問分野間で異なる価値観や倫理観を共有し、既成の科学の枠組みを乗り越えるための多様な連携基盤を確立したことである。研究基盤構築の最優先課題である学際研究体制の構築を図るために、自然科学系および人文社会科学系の研究者間で実施した個別の会合（各1回）に加え、全体会議（2回）、コアメンバー間会議など（延べ10回以上）を重ね、集中的なコミュニケーションを実施した。この過程で、専門的な用語や背景知識に起因する根深い「壁」を再認識するとともに、それぞれの分野が掲げる目標や評価基準の差異が課題解決を阻む本質的な要因であることを共有した。その結果として、共通の問いに基づく推進体制を確立した。さらに、環境変化の転換点を多角的に解析するため、当初の計画に加え、森林環境科学や文化人類学の研究者を新たに招き入れた。これにより、自然科学系および人文社会科学系における各々の専門性を統合することに成功した。この多角的視点の導入により、従来は個別で扱われてきた人間社会と自然環境の間における連環を再定義することが可能になった。加えて、行政、民間企業、市民といった多様なステークホルダーとの対話を推進し、ワークショップを通じて環境保全と経済発展の間に存在する二律背反（トレードオフ）を顕在化させた。これにより、研究成果を単なる学術的知見に留めず、実社会の議論へと接続するための具体的な道筋を確立した。

第二の成果は、自然科学系の学際研究を推進するための新たなフレームワークを設定したことである。これまで、地球規模の気候変動や環境問題の課題には局所的な社会要因（高度経済成長や法整備）の関連が指摘されていたが、現在の状況が顕在化するまでの「タイムラグ」があることで空間的・時間的な経緯の不一致が存在し、統合的な理解を困難にしていた。本研究では、このタイムラグの中に存在する不一致を単なる「ズレ」とするのに対して、「転換点（ターニングポイント）」の概念を導入することで、かつての排水規制が現代の貧栄養化を生じさせたような時間軸・空間軸を横断する「複数のフェーズ」を構造的に捉え直す概念を構築した。これにより、従来は個別事象として扱われてきた社会問題、環境変動、気候変動の影響を「連環として可視化」することが可能になると考えた。さらに、技術革新や社会状況の変化により「最善の解決策が常に変化する」という動的な課題に対応するため、具体的な行動の背後にある共通のロジックやコンセプトを明確化し、動的な最適解を導出する戦略の必要性を共通認識とした。

第三の成果は、実証フィールドにおける予備的調査を通じて、提案したフレームワークの有効性と一般化への確証を得たことである。既存のモニタリングデータの精査に加え、富山県の片貝川扇状地において10回の予備調査および愛媛県西条市における現地打合せの予備調査を実施した。片貝川扇状地においては、観測を続けている井戸からの情報を精査するとともに、扇状地内の水区分に基づいた観測・解析から、極端な降水による栄養塩の希釈が生じる可能性を明らかにした。西条市においては、富山県での先行事例（少雪多雨化）と同様に、降雪量減少に起因すると疑われる地下水位および水質の変化を確認し、水循環システムの変化が起き始めている確証を得た。また、既存

の陸水モニタリングデータを用いた栄養塩フラックスの推定を進めるとともに、瀬戸内海の燧灘を対象とした低次生態系モデルの開発を進め、将来予測のための技術的基盤を構築した。さらに、陸域の研究者と海域の研究者間の連携体制を構築し、将来的な陸—海統合モデルの実装への道筋をつけることに成功した。

国際的な展開として、台湾桃園地域やタイランド湾における観測と現地でのキャパシティビルディングを実施し、東南アジア圏における研究ネットワークを構築した。さらに、台湾においては、先住民の民族知に基づく森林資源管理の調査も実施しており、地域特有の文脈と、それを超えた普遍的な水循環管理の論理を分別して構築するための比較軸を確立した。

以上の成果は、当初予定していた「研究基盤の構築」を質的・量的に上回るものであり、トランスディシプリナリー研究を本質的に遂行するための研究基盤の確立に成功したと言える。

〈成果物〉

査読付き論文

1. Otsuka, S., Zhang, J.*, Horikawa, K., Uramoto, G.-I., Yang, S., & Senjyu, T. (2026). Organic carbon transport in river-disconnected submarine canyon-channel systems using multi-geochemical tracers. *Global and Planetary Change*, 262, 105465. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2026.105465>.
2. Zhu, S., Zhang, J.*, Wang, B., Li, D., Hu, X., & Chen, J. (2026). Quantitative Apportionment of Multiple Water Sources and Their Implications for Coastal Nutrient Dynamics: A Mult-Tracer Framework of River-Dominated System. *Water Research*, 125949. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2026.125949>.
3. Alifia, Z., Zhang, J.*, Haryanto, M. J., Nahar, Mst. S., & Kagaya, S. (2026). A versatile solid-phase extraction method using InertSep ME-2 for simultaneous analysis of covering medium to heavy mass trace elements in diverse water matrices. *Talanta*, 306, 129694. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2026.129694>.
4. Katazakai, S. N., & Zhang, J.* (2026). Long-term flood control in central Japan: A half-century groundwater monitoring and evaluating adaptation measures for sustainable use. *Groundwater for Sustainable Development*, 101585, 101585. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2026.101585>.
5. Jokam Nenkam, T. L. L., Zhang, J.*, Komatsu, D., Horikawa, K., & Oktaviani, A. S. (2025). Nitrate dynamics in coastal groundwater and rivers: Insights into oligotrophication management. *Groundwater for Sustainable Development*, 31(101536), 101536. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2025.101536>.
6. Endo, T.*, & Momose, M. (2025). Applying a transdisciplinary approach to sustainable groundwater governance: experience of Azumino City, Japan. *Innovation (Abingdon, England)*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/13511610.2025.2564969>.
7. Kong, X., Zhang, J.*, Liu, Q., Li, Y., & He, Q. (2025). Cascading tipping points of mercury dynamics in coastal sediments: Anthropogenic-enhanced deposition vs. Warming-driven remobilization. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 385(127130), 127130. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.127130>
8. Tong-U-Dom, S., Morimoto, A., Guo, X.*, Leng, Q., Yoshie, N., Tada, K., Ichimi, K., Yamaguchi, H.,

& Nakakuni, M. (2025). Lower trophic ecosystem dynamics in the eastern part of the Seto Inland Sea and their response to changes in nutrient supply from the rivers. *Progress in Oceanography*, 239(103565), 103565. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2025.103565>.

9. Kameoka K., Takahashi MA*. (2025) Social and Ecological Sustainability of Land Improvement and Soil Use in the Japanese Agricultural Sector: Focusing on Gender Equality and Biodiversity. *International Yearbook of Soil Law and Policy 2025*, doi:10.1007/978-3-032-03251-5_20.

講演・口頭発表

1. Zhang, J.* (2025) . Tracer-Revealed Biogeochemical Fluxes: Kuroshio Dynamics and Land-Ocean interaction in Asian Marginal Seas, *Goldschmidt 2025 /Geochemical Society*, Invited talk.