

令和元年6月21日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K15007

研究課題名(和文) 上水水源池集水域における環境直接支払いと水質インデックス保険

研究課題名(英文) Environmental direct payment and insurance using water quality index for catchment area of a domestic water reservoir

研究代表者

藤原 正幸 (Fujihara, Masayuki)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：40253322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：環境基準未達成の上水道水源池の流域における現地調査により、土地利用タイプ(森林、水田、宅地)と浄化設備タイプ(合併浄化槽、農業集落排水処理施設)によって各河川のリン酸濃度に有意差があることが分かった。また、森林及び水田からのリン酸負荷量は台風時のような大きな洪水の数日間で、年間負荷量のかなりの割合を生産していることが推定された。さらに滋賀県のため池を対象として、連続干天時間とディスカウント積算気温にもとづいて、一般化加法モデルを用いて渇水インデックスを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

富栄養化が進行しつつある上水道水源池への森林及び水田からのリンの流入動態が明らかとなり、富栄養化防止対策の基礎資料として活用できる。提案した渇水インデックスにより、インデックス保険や溜池の水管理に利用できることが期待される。

研究成果の概要(英文)：The field observation reveals that types of land use (forest, paddy field, and residential area) and water purification systems (septic tank or rural sewage system) cause phosphate-phosphorus concentration difference among rivers in a catchment area of the reservoir for domestic water supply where water quality does not satisfy the environmental standard. It also reveals that less frequent heavy rainfall events such as typhoon, cause significant intensification of total phosphorus loads both from the paddy field and from the forested watershed. Using a generalized additive model, a drought index consisting of continuous no-rain days and discount cumulative air temperature is proposed, which could be useful for making water quality index insurance and for water management of a reservoir.

研究分野：地域環境工学

キーワード：リン 富栄養化 水田 森林 貯水池 流出負荷 渇水 インデックス保険

1. 研究開始当初の背景

上水道の供給においては、水質に高い安定性、安全性が求められる。ダムを建設して水源池とした場合、富栄養化は浄水コストの増大、さらには、背水域の景観や生態系への悪影響といった深刻な問題を引き起こす。さらに、いったん富栄養化問題が顕在化しても、汚濁負加源を特定して有効な対策を立てることは極めて難しい。実際、山林や農地のような面源に対しては、事業所からの排水のように規制による対策が功を奏しない場合が多い。

このような状況における一つのオプションとして、EU とくにドイツでは法制化が進んでいる環境直接支払い制度の適用が考えられる。わが国での例としては、滋賀県の「魚のゆりかご水田」事業があり、農家に営農上の負担を求めつつ琵琶湖の生態系回復を試みている。これに対し、研究分担者らは環境水理学の側面から調査、検討を行っている。

環境直接支払い制度の問題点の一つは、その結果実際に環境が改善するのかが事前には明らかでないため、行政側が相応のリスクを負うことにある。このリスクを回避するための手段として、近年、実際に販売されている天候デリバティブのようなインデックス保険を適用することが考えられる。一方、保険会社側では、自然災害などに対する補償保険やインデックス保険をよりタイトに設計するため、土木工学的な見地からのリスク評価を盛んに行っている。

以上より、富栄養化が問題となっている上水水源池の集水域を対象に、環境直接支払いを支援する水質インデックス保険を開発し、新たな汚濁負荷削減制度を構築するという着想に至った。

2. 研究の目的

貯水池の富栄養化は、浄水コストの増大と地域環境への悪影響を引き起こすため、防止が強く求められている。しかしながら、広大な集水域を有する水源池の場合、富栄養化の原因となっている汚濁負加源を特定することすら難しく、有効な対策を立てられていない場合が多い。

本研究では、貯水池の集水域を対象とした新しい汚濁負荷削減制度の可能性について探求する。とくに、一つの典型的な例としてある貯水池を対象とし、富栄養化を引き起こす集水域の動的汚濁負荷過程を多角的に調べる。そこで得られる情報をもとに、環境直接支払いと水質インデックス保険を組み合わせた制度の設計を行う。そのため、水源池を管理する地方自治体、保険会社の研究者、集水域住民の協力を得ながら研究をすすめる。

3. 研究の方法

研究対象地区として、兵庫県千苅貯水池流域と滋賀県甲賀市水口町今郷の東池を設定した。前者は流域を形成する複数河川全体、上流域にある支流沿いの森林域、そして河川沿いの水田群の3スケールを対象として設定した。複数河川全体の調査は季節ごとに数百メートル間隔で水質測定をするとともに、隣接した水田から作付期と非作付期に採土し、リンの吸着状況を調べた。森林域では床固工に水位計を設置し(写真1)、また、水田群では排水路に量水堰を設置して(写真2)、それぞれ河川および水路の流量を測定する。両地点とも1~2週間間隔で採水して水質測定をすることで、貯水池の制限栄養塩と考えられているリンの濃度変化と負荷量を推定した。なお、水質分析は、神戸市水道局水質試験所が実施した。また、東池では気象観測装置及び自動採水器を設置して(写真3)、気象観測を行うとともに、降雨時ならびに平常時の水質を測定した。



写真1 床固工と水位計



写真2 排水路に設置した堰



写真3 東池に設置した気象観測及び自動採水器

4. 研究成果

千苅貯水池流域における複数河川全体の水質分布については、それぞれの河川流域の土地利用による違いと、季節的な違いを明らかにすることができた。また、水田土壌からのリン負荷ポテンシャルが高いことが分かった。さらに、集落排水施設が整備されている流域と合併浄化槽が設置されている流域とで、流域のリン酸濃度に有意な差があることが分かった。

水田群での調査では、排出されるリンのほとんどが溶存態であった。また、非灌漑期にも灌漑期と同様な同レベルの負荷量があることが分かった。

リン流出負荷量に関しては、水田群及び森林域とも台風等の降雨時の数日間で、年間負荷量の半分程度が流出していることが明らかとなった。

東池における調査では、地表水体における水質の日周期動態が複雑な非線型系となることが明らかとなり、汚濁負荷の制御には不確実性や不安定性を合理的に取り扱うことが不可避となった。そこで、ロバスト最適化の数値求解や非線型制御系の周期解に関する理論解析などにより検討を行った。また、連続干天時間とディスカウント積算気温にもとづいて、一般化加法モデルを用いて湧水インデックスを構築した。この湧水インデックスはマルコフ過程であり、インデックス保険や溜池の水管理に利用できることが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 12 件)

Yaegashi Y, Yoshioka H, Unami K, Fujihara M, A singular stochastic control model for sustainable population management of the fish-eating waterfowl *Phalacrocorax carbo*, *Journal of Environmental Management*, 査読有, 219, 2018, 18-27

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.099>

Unami K, Mohawesh O, A unique value function for an optimal control problem of irrigation water intake from a reservoir harvesting flash floods, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 査読有, 32, 2018, 3169-3182

[10.1007/s00477-018-1527-z](https://doi.org/10.1007/s00477-018-1527-z)

Ndede EO, Unami K, Fujihara M, Numerical computation of robust optimal harvesting policy in a fish pond under uncertainty, *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 査読有, 24, 2018, 33-36

Alam AHMB, Unami K, Fujihara M, Holistic water quality dynamics in rural artificial shallow water bodies, *Journal of Environmental Management*, 査読有, 223, 2018, 676-684

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.076>

Unami K, Mohawesh O, Fadhil RM, Time periodic optimal policy for operation of a water storage tank using the dynamic programming approach, *Applied Mathematics and Computation*, 査読有, 353, 2019, 418-431

<https://doi.org/10.1016/j.amc.2019.02.005>

Unami K, Mohawesh O, Fujihara M, Prototype and model of solar driven desalination plant in arid environment, *Thermal Science*, 査読有, 2019, 97-97

<https://doi.org/10.2298/TSCI180604097U>

Junichiro Takeuchi and Masayuki Fujihara, EVALUATION OF IMBIBITION PROCESS IN POROUS MEDIA BY INVADDED PERCOLATION PROBABILITY, January 2018, *International Journal of GEOMATE*, 査読有, 14(46), 2018,1-7

<https://doi.org/10.21660/2018.46.7343>

Alam, AHMB., Unami, K., and Fujihara, M., Stability of Water Quality Dynamics in Artificial Shallow Water Bodies, *12th Conference on SDEWES (Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems)*, 査読有, Dubrovnik, Croatia,

0639, 2017, 11pp.

Takeuchi, J., Shimizu, M., Iwama, K., and Fujihara, M., Consideration on Behavior of Displacement of Immiscible Fluids in Porous Media Using Percolation Theory, *12th Conference on SDEWES (Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems)*, 査読有, Dubrovnik, Croatia, 0546, 2017, 11pp.

Goden Mabaya, Koichi Unami and Masayuki Fujihara, Stochastic optimal control of agrochemical pollutant loads in reservoirs for irrigation, *Journal of Cleaner Production*, 査読有, 146, 2017, 37-46.

Mabaya G, Unami K, Takeuchi J, Fujihara M, Yoshioka H, Robust optimal model for sustainable joint production of green tea and paddy rice in Japanese agricultural watersheds, *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 査読有, 11(1), 2017, 69-84.

Junichiro Takeuchi, Hidetaka Tsuji and Masayuki Fujihara, MODELING OF PERMEABILITY OF POROUS MEDIA WITH MIXED WETTABILITIES BASED ON NONCIRCULAR CAPILLARIES, *International Journal of GEOMATE*, 査読有, Vol.12 Issue 34, 2017, 1-7

[学会発表](計 25 件)

Unami K, Mohawesh O: A prototype of micro irrigation scheme in the Jordan Rift Valley and its mathematical modelling, International Green Capitals Congress, Keynote Speech, 2018, May, Konya, Turkey.

Unami K, Mohawesh O, Fadhil RM: Deterministic dynamic programming of micro irrigation scheme, The Eighth Scientific Agricultural Conference ESAC-2018, 2018, October, Karak, Jordan.

Masayuki Fujihara, Koichi Unami, Junichiro Takeuchi, Mayuko Ohishi, Keiko Hashimoto, Hironobu Ueshiro, Taketoshi Shimizu, and Takuya Oda (2018): Phosphorus Runoff Loads from Paddy Fields and Forested Watersheds in Sengari Reservoir Basin. *Proceedings of 17th World Lake Conference*, pp.522-524.

Junichiro Takeuchi, Keitaro Goto, Baobab K. Kimengich, and Masayuki Fujihara (2018): Observation and Modeling of Phosphorus Runoff Loads from Sengari Reservoir Basin. *Proceedings of 17th World Lake Conference*, pp.525-527.

Junichiro Takeuchi and Masayuki Fujihara (2018): EVALUATION OF DRAINAGE PROCESS IN POROUS MEDIA BY INVADDED PERCOLATION PROBABILITY. *8th Int. Conf. on Geotechnique, Construction Materials and Environment*, Kuala Lumpur, Malaysia, Nov. 20-22, 2018, ISBN: 978-4-909106001 C3051. pp. 829-834.

藤倉大和・宇波耕一・藤原正幸・岡本久：豪雨による溜池決壊を想定した決定論的動的計画問題，日本雨水資源化システム学会大会第26回研究発表会，鹿児島，2018年11月，講演要旨集：pp.1-4 .

山谷浩介・竹内潤一郎・藤原正幸・濱武英・弓岡大亮：千苺貯水池流域の水田土壌におけるリン吸着量の評価，日本雨水資源化システム学会大会第26回研究発表会，鹿児島，2018年11月，講演要旨集：pp.32-35 .

Junichiro Takeuchi and Masayuki Fujihara: Imbibition and Drainage Processes in Porous Media from the Perspective of Invaded Percolation Probability, IMI Joint

Research Project Workshop (II), Modeling and Analysis of Time Series Data in Math-Agro Sciences, 2018, Nov, Fukuoka.

Koichi Unami and Rasha M Fadhil: Multi-state Markov chains applied to drought management in rainfed agriculture, IMI Joint Research Project Workshop (II), Modeling and Analysis of Time Series Data in Math-Agro Sciences, 2018, Nov, Fukuoka.

Yamato Fujikura, Koichi Unami, Hisashi Okamoto, and Masayuki Fujihara: Optimal control of an irrigated tank during a flood event, IMI Joint Research Project Workshop (II), Modeling and Analysis of Time Series Data in Math-Agro Sciences, 2018, Nov, Fukuoka.

大石真悠子・藤原正幸・宇波耕一・竹内潤一郎: 千苅貯水池流域の末吉川における森林域からのリン負荷量の推定, 農業農村工学会京都支部第75回研究発表会, 2018年11月, 名古屋, 講演要旨集: [6-13], pp.224-225.

Kimengichi Baobab Kibet, Junichiro Takeuchi, Keitaro Goto, and Masayuki Fujihara: TEMPORAL AND SPATIAL CHANGE OF PHOSPHATE-PHOSPHORUS CONCENTRATION WITH CORRELATION TO LAND-USE VARIATION IN SENGARI RESERVOIR BASIN, JAPAN, *Proceedings of International Conference Nara 2018* (PAWEES-INWEPF joint conference). Nara, 2018.11.

清水雅俊・竹内潤一郎・岩間憲治・藤原正幸: パーコレーション理論を用いた多孔質媒体への侵入流体の挙動に関する考察, 平成29年度農業農村工学会大会, 藤澤, 2017年8月, 講演要旨集: [3-3]

藤倉大和・宇波耕一・藤原正幸: 雨水ハーベスティングシステムの運用に対する動的計画法の応用, 平成29年度農業農村工学会大会, 藤澤, 2017年8月, 講演要旨集: [9-16]

Kimengich, B. Kibet, Takeuchi, J., and Fujihara M.: "Evaluation of SWAT Hydrological Model for Streamflow Simulation in Yasu River Basin, Japan", 平成29年度農業農村工学会大会, 藤澤, 2017年8月, 講演要旨集: [5-18]

Takeuchi, J., Shimizu, M., and Fujihara, M.: Consideration on Behavior of Displacement of Immiscible Fluids in Porous Media Using Percolation Theory, Conference on Sustainable development of Energy, Water and Environment Systems, Book of Abstracts, Dubrovnik, October, 2017, p.173

Alam, A.H.M.B., Unami, K., and Fujihara, M.: Stability of Water Quality Dynamics in Artificial Shallow Water Bodies, Conference on Sustainable development of Energy, Water and Environment Systems, Book of Abstracts, Dubrovnik, October, 2017, p.176.

竹内潤一郎・藤原正幸: 単一粒径粒子からなる多孔質媒体間隙の空間統計解析, 第25回日本雨水資源化システム学会大会研究発表会講演要旨集, 松山, 2017年11月, pp.18-21 .
後藤慶太郎・竹内潤一郎・藤原正幸: 千苅貯水池上流水域における地理的特性と河川水 PO₄-P濃度の関係, 第25回日本雨水資源化システム学会大会研究発表会講演要旨集, 松山, 2017年11月, pp.80-83 .

土橋正幸・竹内潤一郎・藤原正幸: 羽束川流域における SWAT モデルを用いたリン負荷量の推定, 農業農村工学会応用水理研究部会平成29年度応用水理研究部会講演集, 名古屋, 2017年12月, pp.6-10 .

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

2018年3月および2019年4月に、兵庫県三田市波豆川公民館において地元農家を対象に観測結果について報告会を開催した。

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：宇波 耕一

ローマ字氏名：(UNAMI, Koichi)

所属研究機関名：京都大学

部局名：大学院農学研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁)：10283649

研究分担者氏名：竹内 潤一郎

ローマ字氏名：(TAKEUCHI, Junichiro)

所属研究機関名：京都大学

部局名：大学院農学研究科

職名：助教

研究者番号(8桁)：20362428

研究分担者氏名：濱 武英

ローマ字氏名：(HAMA, Takehide)

所属研究機関名：熊本大学

部局名：くまもと水循環・減災研究教育センター

職名：准教授

研究者番号(8桁)：30512008

(2) 研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。