

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25660191

研究課題名(和文) 機械学習を援用した東南アジアのデータ寡少流域圏における水環境統合管理モデルの開発

研究課題名(英文) Development of integrated watershed management tools in Southeast Asian developing countries by utilizing machine learning techniques based on scarce observation data

研究代表者

平松 和昭 (Hiramatsu, Kazuaki)

九州大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：10199094

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：東南アジア新興諸国では都市・農村地域での有機性汚濁が急速に拡がっており、陸海域流域圏全体の水循環系と物質循環系を総合的に俯瞰する、いわゆる統合的な流域圏水環境管理手法の開発が喫緊の課題となっている。しかし、東南アジア諸国では流域圏数値情報や水文・気象観測データの入手が極めて困難な場合が多い。本研究では、流域圏数値情報や水文・気象観測データが寡少な東南アジア新興国の大都市近郊農業流域を対象に、流域圏水環境解析モデルの開発と流域統合管理への適用手法を開発した。その際、衛星リモセンに加えて、パターン認識、サポートベクターマシン、広域的最適化など機械学習技術を最大限に活用してデータ寡少性を補完した。

研究成果の概要(英文)：The organic pollution due to runoff of nitrogen and phosphorous has been widely spreading in urbanizing agricultural watersheds in Southeast Asian developing countries, and the development of integrated watershed management tools becomes to be an urgent issue. However, it is often difficult to obtain the numerical information of watersheds and hydrological and meteorological data that would be absolutely necessary in developing the integrated watershed management tools. In this research, the integrated watershed management tools have been developed and applied to urbanizing agricultural watersheds in developing countries in Southeast Asia only with scarce numerical information of watersheds and observed data. In conducting the research, satellite image remote sensing as well as machine learning techniques such as pattern recognition, support vector machine, global optimization techniques and so on, have been positively utilized in order to supplement the scarce data.

研究分野：環境水文学・環境水理学

キーワード：閉鎖性水域 沿岸浅海域 流域圏 窒素・リン 富栄養・貧栄養 機械学習技術 広域的最適化

## 1. 研究開始当初の背景

東南アジア新興諸国では、化学肥料の投入量の増大や都市化・混住化の進行に伴う生活系排水の増大により、都市・農村地域や閉鎖性水域での有機性汚濁が急速に広がっている。高い農業生産性を維持しつつ、陸域から排出される汚濁負荷を削減するとともに、下流の閉鎖性水域の水環境保全を図ることが東南アジア新興諸国では喫緊の課題となっている。

流域圏における水質環境は、陸域上流から下流の閉鎖性内湾に至る物質フロー系によって形成されるため、水質保全のためには陸域流域圏全体の水循環系と物質循環系を総合的に俯瞰する、いわゆる統合的な流域圏水環境管理が重要となる。これに対して、まず陸域では、近年の広域的な国土情報の数値化や GIS 技術の普及に伴って、GIS をベースとした広域的な分布型負荷流出モデルなどが、一方、閉鎖性湖沼や海域では、水圏生態系における生物化学的要素の動態を再現・予測する生態系モデルなどが、各種提案されている。ところが、これらのモデルの適用には詳細な流域圏数値情報が必要になるが、特に東南アジア新興諸国では入手できる流域圏数値情報や水文・気象観測データに限りがある場合が多く、このことが流域圏水環境統合管理に関する研究進展の妨げとなっている。

## 2. 研究の目的

本研究では、流域圏数値情報や水文・気象観測データが寡少な東南アジア新興国の大都市近郊農業流域を対象に、流域圏水環境解析モデルの開発と流域統合管理への適用手法の開発を目指す。その際、衛星リモセンに加えて、パターン認識、サポートベクターマシン、広域的最適化など機械学習技術を最大限に活用してデータ寡少性を補完する。

## 3. 研究の方法

流域圏数値情報や水文・気象観測データが寡少な東南アジア新興国の大都市近郊農業流域を対象に流域圏水環境統合管理モデルを開発するため、3 グループ(衛星リモートセンシング・GIS 流域解析グループ、閉鎖性湖沼解析グループ、閉鎖性海域解析グループ)からなる研究組織を構成する。まず、豊富な流域圏数値情報や水文・気象観測データの入手が可能な国内の流域圏対象に、できる限りの流域圏数値情報を入手し、得られたデータを最大限に活用した流域圏水環境解析モデルを構築する(以下、フルスペック・モデル)。このフルスペック・モデルを紅河流域圏とメコン川流域圏に適用する。その際、素過程の特徴や使用できるデータの質と量を考慮して、機械学習技術を適宜、導入してデータ寡少性を補完したサブモデルの構築を進める。

## 4. 研究成果

### (1) 衛星リモートセンシング・GIS 流域解析グループ

本グループでは、国内流域で開発した衛星リモートセンシング技術や GIS 流域解析技術、各種最適化技術の、ベトナム北部の紅河流域および同国南部のメコンデルタ流域、サイゴン川流域への適用研究を展開した。

まず、ベトナム南部のメコンデルタ流域に位置するチャーヴィン省を対象に、データ寡少性を補完する技術として、衛星リモートセンシング(衛星 RS)に注目し、衛星 RS による土地利用の変化の抽出と原単位法による栄養塩負荷解析に基づき、地域開発に伴う栄養塩負荷の変化予測手法の開発を行った。使用した衛星画像は、LANDSAT の画像と、合成開口レーダの一つである ALOS PALSAR の画像である。分類方法は最尤法を用い、分類項目として、水田(一期作、二期作、三期作も分類)、森林、養殖池、都市、水域を設定した。各土地利用別面積の変化を算出した結果、多期作の水田やエビの養殖池の増加を確認できた。さらに、栄養塩排出負荷解析の結果、流域内の排出負荷の大半がエビの養殖池からの排出であり、その他の土地利用からの排出は少ないことを明らかにした。

次に、ベトナム南部のサイゴン川上流に位置する多目的貯水池であるダウ・ティン貯水池を対象に、貯水池運用の最適ルールカーブの提案を行った。ダウ・ティン貯水池は、ホーチミン市上流に位置しており、洪水制御、上水・産業用水・農業水の供給、河口から侵入する塩水の排除、以上の目的を持つ貯水池で、経済的および社会的諸側面において重要な役割を担っている貯水池である。本研究では、データ寡少性の補完と効率的な最適化を目的に、貯水池運用の最適ルールカーブの策定に、制約付き遺伝的アルゴリズムを用いた。最適化計算の結果、現在の運用と比較すると、多岐にわたる水需要に対する水供給能力の効率と有効性を著しく改善することができた。また、制約付き遺伝的アルゴリズムは多用途の貯水池運用を探索する最適な戦略として有効かつ強力なツールであることが明らかになった。

さらに、ベトナム北部紅河流域のコン川に位置するヌイ・コック貯水池を対象に、水循環および栄養塩流出(窒素・リン)と土砂移動を定量化するために、流域モデルの構築を行った。本研究では、東南アジア新興国における適用の汎用性を考慮して、準分布型水文モデルすなわち ArcGIS インターフェイスとリンクされた土壌水質評価ツール(SWAT: Soil and Water Assessment Tool)(ArcSWAT)を水循環および栄養塩流出と土砂移動の評価に応用した。解析の結果、水循環および栄養塩流出と土砂移動の長期的評価に ArcSWAT は極めて有効であることが明らかになった。

以上のベトナムでの研究は、トゥイロイ大学(Thuy Loi University, 旧名: 水資源大学:

Water Resources University) のハノイ校とホーチミン校と連携して実施した。トゥイロイ大学はベトナム農業開発省傘下の大学で、同省におけるベトナム農林水産業の生産基盤や水資源、防災などに関する施策立案の技術的側面を支援する立場にある。ベトナム農業開発省の地域開発プロジェクトに本共同研究のメンバーが参画し、本共同研究を通じて開発されて技術やモデルが、特にメコン川流域のダウ・ティン貯水池流域およびその下流域、ならびにサイゴン川流域、紅河流域のコン川流域の農業生産基盤に関する事業に活かされ始めている。

## (2) 閉鎖性湖沼解析グループ

近年、混住化が進む農村地域の閉鎖性水域では、農業排水、畜舎廃水、生活廃水を通じた過剰な汚濁物質の負荷により、水質汚濁化が顕在化している。とくに、東南アジア新興国では、下水道や集落排水施設の整備率の低さなどを理由に、水域水環境の劣化が大きな問題である。このような水域の保全・改善を考えるにあたり、汚濁化に起因する貧酸素化・無酸素化が水環境に与える影響を定量的に評価し、その点を踏まえた水環境解析が求められる。ベトナムなどの東南アジア諸外国において、実水域を対象とした詳細な水環境モニタリングに基づく解析が困難であることを鑑み、本グループでは、室内実験を通じて、無酸素化に伴う嫌氣的条件下での水質の動態特性について考察し、水質汚濁が進む閉鎖性湖沼を対象とした水環境解析に関わる生物化学的な知見を提示した。

まず、水質汚濁が顕在化する水域の嫌氣的条件下にある水質動態の基本的特性を把握するために、円筒水槽（高さ 100 cm、直径 30cm）を用いた水質実験を行った。恒温暗所室内に設置した水槽の上部のみを水中ヒータで加温することで水温成層を生じさせ、夏季の水質汚濁水域で形成される無酸素状態の深水層を再現した。初期の水質条件として、栄養塩や溶存態有機物（DOC）の濃度が異なる 4 つの実験ケースについて、底質直上を対象とした水質モニタリングを 1 か月間実施した。その結果、嫌氣的条件下での酸化還元電位（ORP）の動態は、無酸素継続日数を時間軸とするロジスティック曲線を用いてモデル化ができること、モデルパラメータの一つである ORP の低下速度は成層化初期の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度に依存し、高濃度であるほど脱窒が長期化する結果、ORP は緩やかに低下することを示した。また、 $\text{ORP} < -200 \text{ mV}$  かつ  $\text{DO} = 0 \text{ mg/L}$  が維持された状態の経過日数を説明変数とする線形回帰モデルにより、還元的条件下に起因する  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、硫化物の経時的な増加プロセスをモデル化した。

つぎに、嫌氣的有機物分解の中で最初に生じる脱窒がこれ以後の段階的に進む還元反応に影響を及ぼすものと考え、 $\text{NO}_3\text{-N}$  に着目した水質動態の定量的評価に資するための

室内実験を行った。上記と同様な実験水槽を用いて、初期の  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度が異なる 4 ケースの実験条件について、水槽内の無酸素水層に対する水質モニタリングを約 2 ヶ月間実施した。その結果、嫌氣的条件下の ORP の動態特性は計 5 つの段階的な時間的推移によって特徴付けられ、各段階の ORP の低下速度は初期  $\text{NO}_3\text{-N}$  に応じて求められること、また  $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、硫化物、DOC の増加特性が ORP の段階的な移行によって説明されることを示した。さらに、初期  $\text{NO}_3\text{-N}$  が脱窒・鉄還元・硫酸還元細菌の活性に大きな影響を及ぼすことが示された。

以上は、水質汚濁が顕在化する閉鎖性湖沼の無酸素化に起因する水環境劣化の原因メカニズムを究明する上で重要な知見を与える。とくに、本成果は、継続的な水環境モニタリングの実施が困難なケースにおいて、水環境動態の実態を把握する上での有益な情報となりうる。すなわち、東南アジア新興国が抱える水質汚濁化水域の修復に資するための水環境解析に貢献しうることが期待できる。

## (3) 閉鎖性海域解析グループ

近年、例えば有明海のような国内の閉鎖性内湾においても、大規模な赤潮や貧酸素水層が頻繁に発生し、ノリ養殖における生産の不安定化や二枚貝類資源の激減が持続的な漁業を脅かす深刻な問題となっている。東南アジア新興国においても、急速な都市化による沿岸域の水質悪化の水産資源への影響が深刻な問題となっている。本グループでは、有明海を対象として、浅海域における栄養塩動態と移流分散に関する数理モデルを開発するとともに、それに基づくシナリオ分析により、海域の水環境保全および持続的な漁業生産に寄与する知見を提示した。

まず、有明海の現状把握を目的として、沿岸各県が行った浅海定線調査データを用いた主成分分析により海域の特徴抽出を行い、河川から流入する栄養塩および反時計回りの潮汐残差流が、海域水環境を形成する重要な要因である可能性を示唆した。続いて、植物プランクトン、動物プランクトン、ノリ、懸濁態有機物、溶存態有機物、リン酸塩、全無機態窒素、溶存酸素、COD を状態変数とするマルチボックス生態系モデルを構築し、河川から流入する栄養塩および反時計回りの潮汐残差流の影響評価を目的としたシナリオ分析を行った。その結果、河川からの栄養塩流入負荷量の削減は、海域の COD の削減に多大な効果があり、大幅な水質改善が期待できることを示すと同時に、潮汐残差流が弱まることで河川から流入した栄養塩が河口付近に滞留するため、筑後川など複数の流入河川が存在する湾奥部で富栄養化が進行することを示した。

次に、ノリ養殖における生産の安定化を目的に、潮流・塩分場を再現する 2 次元単層モ

デルを構築するとともに、ノリの成長指標として、ノリの窒素同化速度と海水中の DIN の関係式から求めたノリの窒素同化量を導入し、ノリ養殖施設の最適配置に関するシナリオ分析を行った。その結果、ノリ養殖施設の配置密度を低減させることによりノリの窒素同化量が増加すること、およびノリ網の1小間5列張りから4列張りへの変更がノリの窒素同化量を増加させるためには最も効果的であることを示した。

さらに、タイラギ資源の回復を目的に、2次元単層モデルと Euler-Lagrange 法によるタイラギ浮遊幼生の着底予測モデルを構築し、効果的な底質環境の改善策に関するシナリオ分析を行った。その結果、タイラギ浮遊幼生の着底には湾奥部における反時計回りの潮汐残差流の影響が大きいこと、そのため湾奥北東部および諫早湾湾口部における底質環境の改善を行うことで、タイラギ浮遊幼生の生残可能領域への着底確率が増加し、タイラギ資源を回復させる可能性が高いことを示した。

以上で得られたモデリング手法の、ベトナム南部のサイゴン川河口域からメコン川河口域に至る浅海域への適用研究を現在、進めており、その成果が期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計20件)

1. Nguyen Viet Anh, Shinji Fukuda, Kazuaki Hiramatsu and Masayoshi Harada, Sensitivity-based calibration of SWAT for hydrologic cycle simulation in the Cong Watershed, Vietnam, *Water Environment Research*, 査読有, 2015, Accepted
2. Toshinori Tabata, Kazuaki Hiramatsu and Masayoshi Harada, Numerical Analysis for Effective Transplant and Seabed Restoration for Recovery of Pen shell Resources in the Ariake Sea, Japan, *International Journal of Environmental Science and Development*, 査読有, Vol.6(2), 2015, pp.93-99, DOI: 10.7763/IJESD.2015.V6.568
3. Toshinori Tabata, Kazuaki Hiramatsu and Masayoshi Harada, Assessment of the Water Quality in the Ariake Sea Using Principal Component Analysis, *Journal of Water Resource and Protection*, 査読有, Vol.7, 2015, pp.41-49, DOI:10.4236/jwarp.2015.71003
4. Do Thuy Nguyen, Yuichiro Yoshimura, Masayoshi Harada and Kazuaki Hiramatsu, Generation of hydrogen sulfide in the deepest part of a reservoir under anoxic water conditions, *Paddy and Water Environment*, 査読有, Vol.13(1), 2015, pp.101-113, DOI 10.1007/s10333-013-0412-0
5. 原田昌佳・堂馬彬史・平松和昭, 観測ノイズ処理を援用した周期カオスニューラルネットワークによるクロロフィル a 時系列の短期予測, *雨水資源化システム学会誌*, 査読有, Vol.20(2), 2015, pp.53-60
6. 原田昌佳・平松和昭・福田信二, 有機汚濁が進む閉鎖性水域の嫌氣的・還元的条件下での水質動態, *雨水資源化システム学会誌*, 査読有, Vol.20(1), 2014, pp.49-55
7. Toshinori Tabata, Kazuaki Hiramatsu and Masayoshi Harada, Numerical Analysis for Effective Transplant and Seabed Restoration for Recovery of Pen shell Resources in the Ariake Sea, Japan, *Proceedings of the 2014 5th International Conference on Environmental Engineering and Applications (ICEEA 2014)*, 査読有, Vol.1, 2014, pp.73-79
8. Trieu Anh Ngoc, Kazuaki Hiramatsu and Masayoshi Harada, Optimizing the rule curves of multi-use reservoir operation using a genetic algorithm with a penalty strategy, *Paddy and Water Environment*, 査読有, Vol.12(1), 2014, pp.125-137, DOI 10.1007/s10333-013-0366-2
9. Nguyen Do Thuy, Masayoshi Harada, Kazuaki Hiramatsu and Shinji Fukuda, Application of a simple genetic algorithm for the calibration of aquatic ecosystem model of an agricultural pond, *Paddy and Water Environment*, 査読有, Vol.12(1), 2014, pp.1-15, DOI:10.1007/s10333-012-0353-z
10. Trieu Anh Ngoc, Thanh Letrung, Kazuaki Hiramatsu and Thai Quyet Nguyen, The Effect of Simulated Sea Level on the Sedimentation of the Tien River Estuaries, Lower Mekong River, Southern Vietnam, *Japan Agricultural Research Quarterly*, 査読有, Vol.47(4), 2013, pp.405-415
11. Masayoshi Harada, Takafumi Tominaga, Kazuaki Hiramatsu and Atsushi Marui, Real-time Prediction of Chlorophyll-a Time Series in a Eutrophic Agricultural Reservoir in a Coastal Zone using Recurrent Neural Networks with Periodic Chaos Neurons, *Irrigation and Drainage*, 査読有, Vol.62-S1, 2013, pp.36-43, DOI: 10.1002/ird.1757
12. Masayoshi Harada, Akifumi Douma, Kazuaki Hiramatsu, Do Thuy Nguyen

and Atsushi Marui , Analysis of Seasonal Changes of Water Qualities in Eutrophic Reservoirs in Flat Low-lying Agricultural Area Using an Algae-considered Ecosystem Model , Irrigation and Drainage , 査読有 , Vol.62-S1 , 2013 , pp.24-35 , DOI: 10.1002/ird.1770

〔学会発表〕(計 23 件)

1. 田畑俊範・大坪えみ・平松和昭・原田昌佳, ニューラルネットワークモデルによる有明海二枚貝漁獲量の減少要因の究明, 平成 27 年度農業農村工学会大会講演会, 平成 27 年(2015)9 月 1 日~9 月 4 日), 岡山市(岡山大学津島キャンパス)
2. 西岡尊寿・原田昌佳・平松和昭, 有機汚濁化水域の水底近傍における嫌気的条件下での水質動態特性, 平成 27 年度農業農村工学会大会講演会, 平成 27 年(2015)9 月 1 日~9 月 4 日), 岡山市(岡山大学津島キャンパス)
3. Nguyen Viet Anh, Kazuaki Hiramatsu, Shinji Fukuda, and Masayoshi Harada , Application of the SWAT model and the indicators hydrologic alteration (IHA) method to hydrologic cycle assessment in the Cong Watershed, Vietnam , the 8th International Symposium on the East Asian Environmental Problems (EAEP2014) , 平成 26 年(2014)12 月 10 日, 福岡市(九州大学伊都キャンパス稲盛センター)
4. Masayoshi Harada, Kazuaki Hiramatsu and Shinji Fukuda , Short-term Prediction of Chlorophyll-a in a Eutrophic Closed Water Body using Chaos Recurrent Neural Network , the 19th Congress of Asia and Pacific Division of the International Association of Hydraulic Engineering and Research , 平成 26 年(2014)9 月 23 日, Water Resources University, Hanoi, Vietnam
5. Trieu Anh Ngoc, Dang Dong Nguyen, Vu Thi Hoai Thu and Kazuaki HIRAMATSU , FRAMEWORK FOR FLOOD DAMAGE ASSESSMENT CONSIDERING ABNORMAL CONDITIONS BY USING THE HYDRAULIC AND GIS MODELING , JSPS Core-to-Core Program SOWAC Project 2014 Fifth Joint Seminar between Water Resources University, Vietnam and Kyushu University, Japan , 平成 26 年(2014)8 月 6 日, 福岡市(西鉄グランドホテル)
6. Nguyen Viet Anh, Shinji Fukuda, Kazuaki Hiramatsu and Masayoshi Harada , APPLICATION OF SWAT MODEL TO THE HYDROLOGIC CYCLE AND SEDIMENT TRANSPORT ASSESSMENT IN THE CONG WATERSHED, VIETNAM , JSPS Core-to-Core Program SOWAC Project 2014 Fifth Joint Seminar between Water Resources University, Vietnam and Kyushu University, Japan , 平成 26 年(2014)8 月 6 日, 福岡市(西鉄グランドホテル)
7. Toshinori Tabata, Kazuaki Hiramatsu and Masayoshi Harada , Numerical Analysis for Effective Transplant and Seabed Restoration for Recovery of Pen shell Resources in the Ariake Sea, Japan , the 2014 5th International Conference on Environmental Engineering and Applications (ICEEA 2014) , 平成 26 年(2014)7 月 5 日, Nottingham, UK (The University of Nottingham)
8. Do Thuy Nguyen, Masayoshi Harada and Kazuaki Hiramatsu , Development of mathematical model to simulate the water quality of a reservoir under scarce underwater light environment , the 7th International Symposium on the East Asian Environmental Problems (EAEP2013) , 平成 25 年(2013)11 月 13 日, 九州大学伊都キャンパス稲盛財団記念館
9. Nguyen Viet Anh, Shinji Fukuda, Kazuaki Hiramatsu and Masayoshi Harada , Application of SWAT model to hydrologic cycle assessment in the Cong watershed, Vietnam , the 7th International Symposium on the East Asian Environmental Problems (EAEP2013) , 平成 25 年(2013)11 月 13 日, 九州大学伊都キャンパス稲盛財団記念館
10. 福田信二・山口真理恵・鬼倉徳雄・平松和昭・原田昌佳・中島 淳, ランダムフォレストを用いた九州北部のタナゴ類の生息環境評価, 2013 年度魚類学会シンポジウム, 平成 25 年(2013 年)10 月 6 日, 宮崎市宮崎観光ホテル
11. Shinji Fukuda, Marie Yamaguchi, Norio Onikura, Jun Nakajima, Masayoshi Harada, and Kazuaki Hiramatsu , Application of Random Forests for assessing the invasion risk by the non-native rosy bitterling subspecies *Rhodeus ocellatus ocellatus* in northern Kyushu, Japan , The 16th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM2013) , 平成 25 年(2013 年)10 月 28~30 日, Météo France , フランス国トゥールーズ市

12. 福田信二・山口真理恵・鬼倉徳雄・平松和昭・原田昌佳・中島 淳, ランダムフォレストを用いたタイリクバラタナゴと在来タナゴ類の共存パターン解析, 応用生態工学会第 17 回大阪大会, 平成 25 年 (2013 年) 9 月 20 日, 大阪市大阪府立大学 I-site なんば
13. 原田昌佳・櫻木 剛・平松和昭・福田信二, 有機汚濁が進む貯水池の嫌気的条件下における水質環境の定量的評価, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会, 平成 25 年 (2013) 9 月 5 日, 東京農業大学世田谷キャンパス
14. 神田綾香・Trieu Anh Ngoc・平松和昭・原田昌佳・福田信二, 衛星リモートセンシングを用いたデータ寡少流域における流域情報抽出と原単位法による栄養塩負荷解析, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会, 平成 25 年 (2013) 9 月 5 日, 東京農業大学世田谷キャンパス
15. 福田信二・山口真理恵・鬼倉徳雄・中島淳・平松和昭・原田昌佳, ランダムフォレストによる生息場モデリングにおける初期値依存性の影響, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会, 平成 25 年 (2013) 9 月 4 日, 東京農業大学世田谷キャンパス
16. 本田裕理・平松和昭・田畑俊範・原田昌佳・福田信二, 小規模沿岸浅海域へのネスティング計算法適用に対する研究, 平成 25 年度農業農村工学会大会講演会, 平成 25 年 (2013) 9 月 3 日, 東京農業大学世田谷キャンパス
17. Trieu Anh Ngoc, Kazuaki Hiramatsu and Masayoshi Harada, DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZING OPERATION OF MULTI-PURPOSE RESERVOIR IN BALANCE OF HUMAN AND ENVIRONMENT FLOW REQUIREMENTS, JSPS Core-to-Core Program SOWAC Project 2013 Third Joint Seminar between Water Resources University, Vietnam and Kyushu University, Japan, 平成 25 年 (2013) 8 月 7 日, Water Resources University, Hanoi, Vietnam

〔図書〕(計 1 件)

平松和昭・Trieu Anh Ngoc・Nguyen Viet Anh, 花書院出版, 都市化が進行する農業流域における水資源の最適管理, 九州大学東アジア環境研究機構生物生産環境グループ編著, 九州大学東アジア環境研究叢書「東アジア・東南アジアにおける農林水産業の持続的発展に資する生産基盤の環境保全と持続的開発」, 2015, pp.6-27, ISBN: 978-4-86561-029-1

〔その他〕

ホームページ等

<http://www2.bpes.kyushu-u.ac.jp/~www-water/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平松 和昭 (HIRAMATSU, Kazuaki)  
九州大学・大学院農学研究院・教授  
研究者番号: 10199094

(2) 連携研究者

原田 昌佳 (HARADA, Masayoshi)  
九州大学・大学院農学研究院・准教授  
研究者番号: 80325000

(2) 研究協力者

福田 信二 (FUKUDA, Shinji)  
東京農工大学・大学院農学研究院・助教  
研究者番号: 70437771

田畑 俊範 (TABATA, Toshinori)  
九州大学・大学院生物資源環境科学府・博士後期課程