

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 21 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23380144

研究課題名(和文) 陸海域を統合した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に関する研究

研究課題名(英文) Development of Water Environment Analysis Models for Watersheds Including Land and Coastal Areas and Their Application to Optimal Integrated Watershed Management

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) 14,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、都市化・混住化が進むアジアモンスーン地域の農業流域圏における、陸海域を統合した流域圏水環境解析モデルを構築した。まず、陸域を対象にGIS援用分布型流域負荷流出モデルを開発した。次いで、農業用貯水池や閉鎖性内湾を対象に3次元水理学・生態系モデルを開発した。その際、データ寡少性を補うため、衛星リモートセンシング技術や機械学習技術なども援用した。次に、両モデルを統合した流域圏水環境解析モデルを用い、各種の負荷削減策の実施等の水質保全対策に対するシナリオ分析を行い、流域圏水環境の改善のロードマップを提言した。

研究成果の概要(英文)：In this research project, the water environment analysis and simulation models for watersheds including land and coastal areas were constructed in urbanizing watersheds in Asian monsoon regions. Firstly GIS-based distributed nutrient-load-runoff watershed models were developed in land areas and then three-dimensional eco-hydraulic models were made up for closed and semi-closed water bodies such as agricultural reservoirs and ponds, and coastal areas. In those modeling, satellite image remote sensing techniques and machine learning techniques were introduced to complement the scarcity of necessary data for the modeling. Finally the scenario analyses for implementing the measures for water quality conservation and improvement were conducted by using the developed models, and the roadmaps for practicing the measures were recommended.

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 窒素・リン 富栄養・貧栄養 負荷流出モデル 生態系モデル

1. 研究開始当初の背景

(1) 1970年代以降、国内の農業地域では、施肥量の増大や都市化・混住化の進行に伴う生活系排水の増大により、農業用溜池・湖沼のような閉鎖性水域や沿岸浅海域における有機性汚濁と富栄養化が顕在化している。海外の新興国・発展途上国では問題はさらに深刻で、農村地域や閉鎖性水域での有機汚濁が急速に広がっている。日本が1970年代以降、経験してきた農村地域での有機汚濁を、新興国・発展途上国では、近年、より深刻な水環境の悪化を伴って急速に経験しつつある。高い農業生産性を維持しつつ、陸域から排出される窒素・リンの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国内外で喫緊の課題となっている。

(2) 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流域圏の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が重要となる。これに対して、まず陸域に関しては、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流域水環境管理モデルが各種提案されている。一方、海域においては、海域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が各種提案されている。しかしながら、陸域における流域負荷流出モデルと海域における生態系モデルは、それぞれ環境水文学研究者と環境水理学研究者によって個々に行われているのが実態で、陸海域を統合した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に関する研究が喫緊の課題となっている。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、窒素・リンを対象に、都市化・混住化が進むアジアモンスーン地域の農業流域圏における陸海域を統合した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を目指す。陸域からの負荷流出過程のモデル化にはGIS技術を利用し、分布型負荷流出モデルを構築する。一方、海域における窒素・リンの動態のモデル化には、海域生態系における生物化学的要素を組み込んだ3次元水理学-生態系モデルを構築する。得られた両モデルを統合して得られる流域圏水環境解析モデルを用いて、各種の負荷削減の実施等の水質保全対策に対するシナリオ分析を行い、水質総量規制を含む、流域圏水環境の改善に向けた最適なロードマップを提言する。

(2) モデル構築に際して、定量化が容易でない素過程に対しては、適宜、人工知能技術や時間一周波数解析手法を導入し予測精度を向上させる。流域圏データが寡少な海外流域圏では衛星リモートセンシング技術も導入する。また、対象フィールドとしては、湾内

の水質がしばしば社会問題となっている、福岡市の博多湾・瑞梅寺川流域と九州北部の有明海・筑後川流域を精査海域・流域と位置付け、個々の素過程の定量化やサブモデルの詳細を検討する。一方、同じく都市化・混住化が進行する海域・流域である、ベトナム北部のハロン湾・同湾集水域と中国上海市西方の太湖(淡水湖)・同湖集水域を応用海域・流域と位置付け、精査海域・流域で開発したモデルを適用検証するとともに、モデルの汎用性を高める。

3. 研究の方法

陸海域を統合した流域圏水環境解析モデルを開発するため、4グループからなる研究組織を構成する。まず、面源負荷グループとGIS流域解析グループは連携してGIS-based流域負荷流出モデルを構築する。両グループの成果を入力として、閉鎖性湖沼グループと閉鎖性海域グループは3次元水理学-生態系モデルを開発する。その際、国内の精査海域・流域でプロトタイプモデルを開発し、海外の応用海域・流域で適用検証する。得られたモデルを統合した流域圏水環境解析モデルを用いたシナリオ分析から、水質総量規制を含む、水環境改善に向けた最適なロードマップを提言する。

4. 研究成果

(1) 筑後川流域を対象としたGISベース分布型流出モデルによる窒素・リン負荷流出解析

近年、混住化が急速に進行する筑後川流域を対象に、窒素・リンの流れを解明するため、多様な流域情報を考慮した分布型窒素・リン負荷流出モデルを開発した。その結果、各観測地点における河川流量およびTN・TPに関して、概ね良好に再現することができた。つづいて、開発したモデルを用いて、畜舎排水や処理浄化槽を対象とした排出負荷削減対策や、地形連鎖を利用した水田による水質浄化を想定したシナリオ分析を行った。その結果、土地利用形態により水質改善の傾向が異なることから、各地域における負荷排出の傾向の把握、ならびに、それに適した対策の実施が重要であることが確認できた。また、畜舎排水および水田の水質浄化機能に関するシナリオの削減率が非常に大きいことから、農業地域での対策の重要性が示唆された。

(2) 混住化流域を対象とした分布型窒素・リン負荷流出モデルの瑞梅寺川への適用

近年都市化が急速に進行する福岡県瑞梅寺川流域を対象に、分布型窒素・リン負荷流出モデルを構築した。本モデルを用いて流出解析を行った結果、河川流量とTN・TPともに、良好な再現結果となった。つづいて、対象流域の水環境に特に影響を与える発生源として、生活系および畜産系を対象に、排出負荷量の削減対策に関するシナリオ分析を行った。その結果、それぞれの対策において

水質改善に効果があることが示唆された。

(3) 気候変動と地域開発が進む東南アジア流域圏における流域統合管理のための数理モデルの開発

ベトナム南部に広がる流域面積 10,805km² のドンナイーサイゴン川流域は、その下流にホーチミン市が位置し、都市化が進む農業流域である。また、ドンナイーサイゴン川は東ベトナム海に流入し、下流域 1,593 km² は感潮域となっている。そのため、将来の都市化の進行や地球温暖化に伴う海水面上昇が流域の治水・利水機能に与える影響評価が喫緊の課題となっている。本研究では、ドンナイーサイゴン川流域を対象として、洪水対策基盤の整備や利水施設の最適運用のための数理モデルを開発するとともに、気候変動や地域開発に基づくシナリオ分析により、流域の治水・利水機能の将来予測を行った。

まず、降雨流出モデルの開発を目的に、サイゴン川上流に位置するダウティン貯水池流域に、タンクモデルと Nedbor- Afstomnings-Model (NAM) を適用した。パラメータの最適化に遺伝的アルゴリズムを導入し、4 年間の日流量の計算値と実測値を比較した結果、Nash-Sutcliffe 係数がタンクモデルで 0.82、NAM で 0.80 となり、両モデルともに高い再現性が得られることを示した。

また、治水機能と併せて、農業用水、工業用水、水道用水を供給する利水機能も有する多目的貯水池であるダウティン貯水池を対象に、貯水池運用ルールカーブの最適化手法を検討した。洪水調節放流や、農業用水、工業用水、水道用水の配分に関する現行の規程を定式化し、制約条件付遺伝的アルゴリズムを用いて最適ルールカーブを探索する方法を提案した。1989 年から 2008 年までの 20 年を対象に得られた最適ルールカーブは、現在運用されているルールカーブに比べて高い節水効果があり、河川生態系の保全や河口における塩水遡上防止のための河川維持用水も十分に確保できることを示した。

次に、ドンナイーサイゴン川流域の下流域に位置するホーチミン市を対象に、洪水に対する脆弱性解析システムを開発した。MIKE FLOOD を用いた洪水追跡・氾濫解析モデルと、地理情報システムを利用した土地利用のゾーニング、洪水湛水深と損失金額の関係を定義した損失関数を組み合わせたシステムを構築した。さらに、将来の洪水対策基盤の整備水準、豪雨の発生、豪雨による上流のダム崩壊、地球温暖化による海水面上昇などを組み合わせて設定したシナリオに基づく分析を行うことで、将来の洪水対策施策の立案の際に貴重な情報となる湛水深と損失金額に関する高解像度のハザードマップを作成した。

また、ホーチミン市南西部に広がるリード平原を対象に、地球温暖化による降雨量の増加や海水面上昇、上流域でのダム建設が、洪水流出量や懸濁物質の流出量・堆積量に及ぼ

す影響を、MIKE 11 を利用したシナリオ分析で評価し、リード平原における詳細な堆積量分布を予測した。

さらに、サイゴン川河口域からメコン川河口域に至る浅海域を対象に、地球温暖化による海水面上昇が海底・河床地形の形成に与える影響を検討した。MIKE 21/3 Coupled Model FM を利用して、潮流速、波浪、底泥の浸食、浮游土砂の沈降を 2 次的に追跡し、地球温暖化による海水面上昇に関するシナリオに基づき、将来の海底・河床地形の変化を予測した。その結果、海水面上昇によって潮流速が増加傾向となり、底泥の浸食が進み、懸濁物質量および沈降量が増加し、現在よりも急勾配の海底・河床地形となることを明らかにした。

(4) 東南アジア流域圏における水循環および土砂流送の評価に対する SWAT の適用

ベトナム北部に位置するヌイ・コック貯水池では、土砂堆積物が同貯水池を水源とするコン川流域の水資源に対する脅威として重大な問題となっている。土砂堆積は水循環によって駆動されるため、流域における堆積物の移動をモデル化するためには、まずは水循環のシミュレーションが不可欠となる。本研究では、準分布型水文モデル、すなわち ArcGIS をインターフェイスとする SWAT

(Soil and Water Assessment Tool, ArcSWAT) をコン川流域の水循環および土砂流送の再現・予測に適用し、SWAT の性能ならびに適用可能性を検討した。まず、対象流域を DEM (Digital Elevation Model) に基づきサブ流域に分割し、さらに土地利用、土壌タイプ、地形勾配を考慮して HRU (Hydrologic Response Units) に再分割し、流域特性を SWAT 上で正確に表現した。そして、まず水循環モデルを検証し、その後、土砂流送モデルの検証を行った。水循環モデルでは、年間、月間、日毎の流量を対象に再現性を評価した。一方、土砂流送モデルの再現性は、短期間の土砂堆積データの入手が難しいため、年間堆積量を対象に検証を行った。以上の手順で構造が決定された SWAT は、土砂流送モデルが水循環モデルよりも再現性が低かったものの、総合的には十分な性能を発揮し、水循環と土砂流送の両方を正確に再現することができた。コン川流域を始め、同様の流域特性を持つ東南アジア流域圏における水循環および土砂流送の長期的評価ツールとして、SWAT が有効であることが示唆された。

(5) ベトナム紅河デルタの農村における水質汚染とその要因に関する考察

ベトナム紅河デルタの農村では、地表水、地下水中に高濃度の無機態窒素（主にアンモニウム態窒素）が検出された。この無機態窒素は、窒素安定同位体分析によれば、化学肥料に起源するものであった。このことより、同農村では、農地に投与された窒素化学肥料が、地表水、地下水の水質汚染をもたらしていることが明らかになった。また、同農村に

位置する工場からは、排水に混じってクロム、鉛等の重金属が排出されており、これら重金属が灌漑水や土壌を汚染していることも、現地での測定により明らかになった。

(6) 移流分散シミュレーションモデルを用いた有明海湾奥部ノリ養殖施設の配置方法の検討

有明海湾奥を対象とした移流分散シミュレーションモデルを構築し、ノリ養殖施設の高密度配置がノリの成長に与える影響について検討を行った。モデルには、2次元単層モデルに干潟処理を導入したものを、有明海の潮流速および塩分について現況の再現計算を行った。その結果、実測値との良好な再現性が得られ、再現性の高いシミュレーションモデルが構築できた。次にノリ養殖施設の配置方法について、五つのシナリオを対象としたシナリオ分析を行った。各シナリオの評価にノリの窒素同化速度との関係を表す実験式を導入した。その結果、ノリ養殖施設の配置密度を小さくするシナリオでノリの成長要因である窒素同化量の改善が見られ、ノリ養殖施設の高密度配置がノリの成長に負の影響を及ぼしていることが示された。さらに、シナリオ分析により、ノリ養殖施設のより適した配置方法が提案できた。

(7) 富栄養化・有機汚濁が進む農業用貯水池を対象とした水理・水質モデルの開発

本研究では、富栄養化や有機汚濁が進行した農業用貯水池を対象に、水域内部の生物化学的な物質循環をモデル化した生態系モデルに基づく水質モデル、ならびに閉鎖性水域の流動解析モデルと生態系モデルを組み合わせた水理・水質モデルを構築し、現地観測結果と計算結果との比較からモデルの妥当性や有用性を明らかにした。

まず、比較的水深の浅い富栄養化水域に対する水質モデルとして、藍藻類、緑藻類、珪藻類、渦鞭毛藻類、クリプト藻類の藻類綱レベルで植物プランクトンの種構成を考慮に入れたワンボックス型生態系モデルを構築した。モデルパラメータの決定に遺伝的アルゴリズムによる最適値探索を導入することで、藻類綱別 Chl.a、有機炭素、窒素、リン、溶存酸素 (DO) の水質項目を概ね良好に予測でき、浮葉植物や抽水植物を有する水域でも本モデルによる水環境の動態予測が可能であることを示した。さらに、計算結果を利用して、藻類綱ごとに植物プランクトンの増殖特性を水温、水中光強度、栄養塩濃度の環境要素の季節的変動と関連付けて評価できることを明らかにした。

つぎに、夏季の受熱期に強固な水温成層の形成によって貧酸素化や無酸素化が生じるなど有機汚濁現象が顕在化している貯水池を対象に、二つの水理・水質モデルを構築した。一つは、鉛直1次元乱流拡散方程式に生態系モデルを組み込んだ水理・水質モデルであり、これを援用した嫌氣的条件下での水環境の動態解析を行った。まず、対象水域にて

水温、DO、酸化還元電位 (ORP)、硫化物濃度などの水質モニタリングを実施し、無酸素化に伴う還元的条件下での ORP や硫化物濃度の経時的变化に関する回帰モデルを得た。ついで、これらの結果を鉛直1次元水理・水質モデルに組み込むことで、水温やDOの計算結果から無酸素状態での ORP と硫化物濃度を予測する簡易水理・水質モデルを構築した。以上より、水温、DOに加えて ORP と硫化物濃度の季節的変動を概ね良好に予測できることを示し、これまで実水域レベルにおいてモデル化や定量的評価が困難といわれた ORP と硫化物濃度の評価・予測の可能性を示した。二つ目のモデルは、レイノルズ方程式、連続の式、水温拡散方程式を基礎式とする流動解析モデル、ならびに3次元乱流拡散方程式に生態系モデルを組み込んだ水質モデルから構成される水理・水質モデルであり、水平・鉛直方向の移流や乱流拡散による物質輸送、および流域からの流入負荷の影響を考慮に入れることでモデルの精緻化を図った。その結果、水温成層の形成や破壊、鉛直混合の発達といった水理学的現象を精度良く再現でき、また富栄養化・有機汚濁に関連する水質項目の3次元分布の季節的変動、とくに貧酸素化・無酸素化やその解消について水理学的現象と関連付けて解析できることを明らかにした。

(8) 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

本研究では、多波長励起蛍光光度計によって得られた Chl.a 時系列に基づいた富栄養化水域の水環境解析手法として、カオスリカレントニューラルネットワークによる総 Chl.a の短期予測手法の有効性を検討した。1日あたりの Chl.a の最大増加量が $15\mu\text{g}/\text{l}$ 程度と大きいことに着目し、リードタイムが数日レベルに達するような予測精度の向上を目指した。まず、計測器由来のノイズが及ぼす影響への対策として、Wavelet 解析を援用した高周波数成分のカットによるノイズ処理を導入し、予測精度の向上を図った。さらに、季節に依存する Chl.a の複雑な変動パターンへの対応の観点から、教師データの補充により学習を強化した。これらの改善の結果、限界リードタイムは $T_{\text{lim}}=36\sim 64\text{h}$ と大幅に向上した。加えて、限界リードタイム内では、リードタイムの増加による精度低下は見られず、良好な精度のもとで短期予測が可能であった。ただし、過去にない大幅な水位低下の結果、藻類の種構成が大きく変化した経時変化の短期予測は不可能であった。この予測不可能は、教師データとは全く異なる変動特性を有する時系列を予測しようとした結果であった。これは、綱レベルでの種構成の変動が総 Chl.a としての解析・評価に及ぼす影響は大きいことを示すものであり、藻類の季節的消長のモニタリングの重要性を再確認できた。

(9) 流域圏水環境統合管理に関する国際共同研究推進の必要性 ～結びに代えて～

東アジア・東南アジア新興国では、急速な人口増加と経済発展により、水資源不足や水質劣化、土壌劣化など、農林水産業の生産基盤に係る環境問題が深刻化している。また、気候変動・地球温暖化に伴う海面上昇や降水量の変化は解決すべき喫緊の課題となっており、中長期的な視点に基づく対応も求められている。さらに、資源再利用・資源循環型社会への気運は、現在、世界的に広がっており、東アジア・東南アジアにおける持続的な農林水産業の発展のためには不可欠な観点になっている。東アジア・東南アジア新興国の流域圏における生物生産環境に係る上記の諸問題の実態を把握するとともに、持続的な生物生産環境に資する研究や技術開発が求められている。

流域圏における水資源・水質環境は、陸域上流から下流の閉鎖性内湾に至る流域圏の水循環と物質フロー系によって形成されるため、安定的な水資源の確保と水質保全のためには、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が、持続的な流域圏環境管理計画の策定において必要不可欠となる。加えて、農林水産業の生産基盤を対象とする研究では、上流の農林業域、中下流の都市周辺の農工業域や閉鎖性水域、河川・用排水路、沿岸浅海域など多様なエリアが対象となる。そのため、水環境、土環境、気象環境、植物環境、生物環境、環境経済、バイオマス利用など広範な研究手法が必要となる。また、農業活動、生活、工業活動ならびにそれらへの行政による規制、気候変動など、分野横断的な多くの要素も介在してくる。当該国の研究者や行政担当者と連携して、日本の研究者がこれまでに国内外の流域圏で蓄積した知見・技術を基に、アジアモンスーン地域特有の気象、海象、水文、土地利用、資源利用、流域などの特性や、新興国で共通の特徴である各種データの寡少性を反映した手法開発を国際共同研究として加速させる必要がある。さらに、このような国際共同研究プロジェクトへの大学院生や博士研究員の参画は、Project-based Learning あるいは Problem-based Learning の場として、環境技術や環境行政に関する若手研究者や高度職業専門人など次代を担う人材育成の絶好の機会となる。

今後、流域圏水環境統合管理に関する国際共同研究を積極的に進めていく必要がある。

最後になりますが、そのような機会を与えて頂いた本科学研究費プロジェクトに感謝申し上げます。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 24 件)

1. Le Van Chinh, Haruka Iseri, Kazuaki

- Hiramatsu, Masayoshi Harada and Makito Mori, Simulation of Rainfall Runoff and Pollutant Load for Chikugo River Basin in Japan Using GIS-based Distributed Parameter Model, Paddy and Water Environment (査読有), **11**(1-4), pp.97-112, 2013 (DOI:10.1007/s10333-011-0296-9)
2. Toshinori Tabata, Kazuaki Hiramatsu, Masayoshi Harada and Michinobu Hirose, Numerical analysis of convective dispersion of pen shell *Atrina pectinata* larvae to support seabed restoration and resource recovery in the Ariake Sea, Japan, Ecological Engineering (査読有), pp.154-161, 2013 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.018>)
3. 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), **62**(S1), pp.24-35, 2013 (DOI: 10.1002/ird.1770)
4. 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), **62**(S1), pp.36-43, 2013 (DOI: 10.1002/ird.1757)
5. Nguyen Manh Hung, Le Van Chinh, Kazuaki Hiramatsu, Masayoshi Harada and Dao Ngoc Tuan, Flood Inundation Analysis using a Distributed Tank Model for a Flat, Low-Lying Agricultural Area Undergoing Urbanization in Hanoi, Vietnam, Irrigation and Drainage (査読有), **62**(S1), pp.52-64, 2013 (DOI: 10.1002/ird.1769)
6. Nguyen Huu Thanh, Tran Thi Le Ha, Cao Viet Ha, Nguyen Duc Hung, Phan Quoc Hung, Kiyoshi Kurosawa, Kazuhiko Egashira, Uptake of Pb, Zn and Cu by Roots and Shoots of Fast Growing Plants Grown in Contaminated Soil in Vietnam, J. Soil Sci. Environ. Manage. (査読有), **4**(6), pp.108-115, 2013. (DOI:10.5897/JSEM11.009)
7. Kiyoshi Kurosawa, Kazuhiko Egashira, Masakazu Tani, Relationship of Arsenic Concentration with Ammonium - Nitrogen Concentration, Oxidation Reduction Potential and pH of Groundwater in Arsenic-Contaminated Areas in Asia, Physics and Chemistry of the Earth (査読有), **58-60**, pp.85-88, 2013. (DOI:10.1016/j.pce.2013.04.016)
8. 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), **12**(1), pp.1-15, 2014 (DOI:10.1007/s10333-012-0353-z)
9. 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), **12**(1), pp.125-137, 2014 (DOI 10.1007/s10333-013-0366-2)
 10. 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), **13**(1), pp.101-113, 2015 (DOI 10.1007/s10333-013-0412-0)
 11. 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), **7**, pp.41-49, 2015 (DOI:10.4236/jwarp.2015.71003)
 12. 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), **6**(2), pp.93-99, 2015 (DOI: 10.7763/IJESD.2015.V6.568)
 13. 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), **87**(8), pp.735-750, 2015 (DOI: <http://dx.doi.org/10.2175/106143015X14338845156948>)

(上記以外に査読付論文が 11 件, 査読無論文が計 39 件)

[学会発表] (計 58 件)

[図書] (計 1 件)

1. 平松 和昭・テウイ アイン ゴック・グウエン ビエット アイン, 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V「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」, pp.6-27, 2015 (ISBN:

978-4-86561-029-1)

[その他]

九州大学大学院農学研究院環境農学部門生産環境科学講座水環境学研究分野ホームページ

<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)研究分担者

黒澤 靖 (KUROSAWA, Kiyoshi)
九州大学熱帯農学研究センター・教授
研究者番号：70128114

(3)研究分担者

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

(4)研究分担者

森 牧人 (MORI, Makito)
高知大学・自然科学系・准教授
研究者番号：60325496

(5)研究分担者

齊 幸治 (SAI, Koji)
高知大学・自然科学系・准教授
研究者番号：30516117

(6)研究分担者

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

(7)研究協力者 BUI Quoc Lap

(8)研究協力者 DO Nguyen Hai

(9)研究協力者 DO Thuy Nguyen

(10)研究協力者 本田裕理 (HONDA, Yuri)

(11)研究協力者 井芹晴香 (ISERI, Haruka)

(12)研究協力者 LE Van Chinh

(13)研究協力者 NGUYEN Manh Hung

(14) 研究協力者 田畑俊範 (TABATA, Toshinori)

(15)研究協力者 XU Long

(16)研究協力者 ZHANG Zhenjia