

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月6日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22405033

研究課題名（和文） 大規模灌漑事業の持続性および農村地域社会の開発効果に関する実証的研究

研究課題名（英文） Empirical Study on the Sustainability of Large-Scale Irrigation Project and Development Effectiveness of Rural Communities

研究代表者

山路 永司（YAMAJI EIJI）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：10143405

研究成果の概要（和文）：

大規模灌漑事業は灌漑開発による食料増産とそれを通じた農村地域開発という役割を持つが、本研究では開発の持続性と農村社会形成に与えた影響を検証した。事例地域では、作物栽培に加え、都市用水・工業用水・環境保全用水としても用いられ、事業が地域経済発展に大きく寄与していることが確認された。都市化による土地の転用と汚濁負荷との関連では、流域水質保全の重要性と希釈用水確保の必要性を指摘した。また三期作水田が衛星リモートセンシングデータで判読可能であることも明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

Large-scale irrigation projects have a role in rural development by increasing food production by irrigation development, the sustainability of development and the effect given to the rural society are examined. In the case regions, in addition to the cropping, water is also used for city, industrial and environmental purposes. It was confirmed that the projects have contributed greatly to regional economic development. In the context of land conversion and pollution load due to urbanization, the importance of watershed water quality conservation and the need for dilution water are pointed out. And the paddy area of three rice crops can be detected by satellite remote sensing.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2011年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2012年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：農学 B

科研費の分科・細目：農業土木学・農村計画学

キーワード：大規模灌漑事業、農村地域社会、地域開発、農業用水、環境保護用水、リモートセンシング、三期作

## 1. 研究開始当初の背景

大規模灌漑事業は灌漑開発とそれを通じた食糧増産・農村開発という役割を持つが、その達成度および持続性は常に評価されな

ければならない。日本の代表的な大規模灌漑事業である愛知用水事業は、初期の開発工事に加えて、水源の追加、供給先の一部転換等を通じて、持続的かつ発展的に推移している

好例である。しかし本研究が対象とする途上国においては、水源開発から末端水路までがきちんと整備され維持され続けることは容易ではない。

そこで近年では、大規模な水源開発ではなく中小規模での水源開発をそれぞれの地区で行い、受益者（おもに農家）自身が維持管理に参加することを謳ったプロジェクトの方が良い、との意見も多い。

しかし、大規模開発には大規模開発ならではの効果があるため、灌漑事業の持続性および農村地域社会の開発効果持続性について、事例を通じてこれらの達成度・非達成度を検証し、その要因を明らかにする必要がある。

## 2. 研究の目的

灌漑開発というインフラ整備は農村開発・地域開発に繋がることが期待される。しかしその持続性もまた重要な課題である。灌漑開発が農村地域社会の開発にどのくらいの影響を与え、そしてどのくらいの期間影響を及ぼし続けたのかに関して分析することも、また必要である。

本研究では、1930年代の嘉南用水(台湾)、1970年代のプランタス用水(インドネシア)、1990年代のサダン用水(インドネシア)を主対象として、大規模灌漑事業が各地域の灌漑開発・農業開発・農村開発・他産業開発・農村社会形成に与えた影響を、具体的に検証しようとするものである。

## 3. 研究の方法

### (1) 国内での研究打合わせ会議

### (2) 広域情報の整理

長期間の土地利用変化に加え、短期間の変化をも捉えるために、リモートセンシング解析を継続して行う。

### (3) 現地調査と観測

研究代表者および研究分担者は、分担して台湾およびインドネシアに渡航し、現地共同研究者（張博士、甘博士、ブディ博士、エリ博士等）と合流し、資料・情報収集（地図、史料、関連行政組織図、開発計画、土地制度等）、広域の農業水利・環境調査、局所的圃場調査、および討議を行う。広域の調査としては、対象地域の地図（地形図、都市計画図等）を経年的に入手し、GPSを用いた現況土地利用調査を行う。灌漑管理の現況調査では、ベースマップに基づき、水配分・水管理の原則・課題・対応策を聴取する。圃場調査として、水質環境の現状把握と保全対策の実態把握を行う。現地では、水利組合および農民に直接ヒアリングを行い、圃場整備の可能性を検討する。また、現地国の研究者と討議を行う。

### (4) 国際会議での討議

国際会議において、本研究の成果を発表し、

討議する。

### (5) 現地調査、観測結果の分析

現地調査で収集した資料、データを各研究者は各自の個別研究課題に沿って解析し、まとめてゆく。

### (6) 国内でのセミナーの開催

## 4. 研究成果

### (1) 嘉南用水開発と地域開発

#### ①台湾の立地と気候

台湾本島の面積は36,000km<sup>2</sup>と、九州よりやや小さい。人口は2,300万人と九州の2倍弱あり、人口密度は高い。高地および丘陵傾斜地が71%を占め、平坦地は29%である。耕地面積は8,300km<sup>2</sup>(24%)である。

3,000m級の高山が南北に連なり、溪流河川は東西に流れ、その長さが短く、河川勾配は急である。そのため、ダムや頭首工が水源開発、利水の主要な方法である。

平野部の年平均気温は、南部が24℃、北部が22℃と年中温暖で、氷雪がなく霜も少なく、作物栽培に対する季節の制限は厳しくない。このため、作目の選択が日本に比べて自由であり、農業生産上は有利である。

年間平均降水量は2,500mmに達しているが、豊水期(5月～10月)、渇水期(11月～4月)に二分されている。南部地区では豊水期の比率がより顕著で、河川が短く、山が高く急流となるため、豪雨のたびに水害が起りやすい。また、渇水期が非常に長いので、干ばつが起りやすい。

#### ②華南大圳

台湾最大の平原である嘉南平原を灌漑するため、嘉南大圳が建設された。ダムおよび水路は日本人技師による設計・工事指導の下で建設された。工事期間は1920年から1930年であった。ダムは当時の世界三大ダムのひとつとされている。嘉南大圳の完成後、嘉南平原は台湾で最も重要な農産物産地になった。

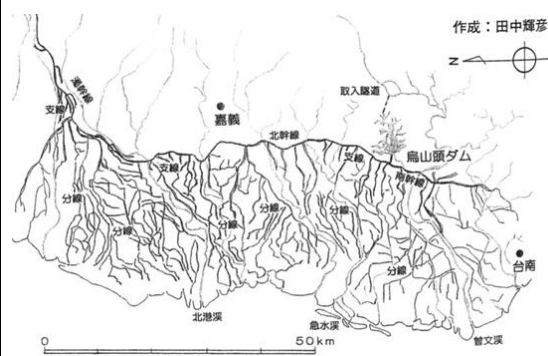


図1 烏山頭ダムと嘉南灌漑水路網

#### ③3年輪作方式

濁水溪および烏山頭ダムから取水された水が毎年給水できる面積は、よくて7万ha足らずであったため、3年輪作を取り入れた。

広く薄い水配分は、流域全体の農民への福祉的な考えが強いことがわかる。

3年輪作給水方式とは一種の輪番灌漑であり、水稻・サトウキビ・畑作物（イモやトウモロコシ・雑穀等）を3年に1回のサイクルで作付ける。輪番灌漑の単位は、150haでこれを各50haの3小区に分け、イネ（連続灌漑）、サトウキビ（間断灌漑）、イモ・雑穀等（給水なし：天水のみ）が栽培される。

なお、灌漑水量が豊富な地区では2年輪作を行った。これらが3年2作や3年多毛作へと発展し、受け継がれ、現在に至っている。

#### ④輪作の効果

周期的な畑作物と水稻との輪作（田畑輪換）は、様々な効果をもたらしている。既往研究からは、以下の効果が指摘されている。

- a. 用水の節約、
- b. 乾土効果、
- c. 収量増、
- d. 雑草防除と病害虫の減少、
- e. 排水路の除塩効果、
- f. 公平な水配分と治安の維持。

さらなる成果としては、地域における農業技術の向上、地価の上昇、農民の生活水準の向上も指摘されている。

#### ⑤農地重劃（農地の区画整理）

嘉南用水の受益地区内では、20-30年前に20~30アール区画に区画整理済の地域が多く、近年は、V字型の水路断面をU字型にして水路幅を狭くした分、農道を拡幅する線施設のみの整備が行われている。また、代耕と呼ばれる農作業受委託が行われており、農業経営は大規模化しているが、大区画水田整備の動きは見られない。

### （2）ブランタス用水開発と地域開発

#### ①ブランタス開発の概略

ジャワ島東部を流れるブランタス川流域において、1960年代に大規模な総合開発が行われた。ブランタス川は、全長320km、流域面積12,000km<sup>2</sup>と利根川に匹敵する規模の河川であり、その河口にはスラバヤ都市圏がある。スラバヤでの年間降水量は1,750mmと日本の平均値程度であるが、雨季・乾季が明瞭に分かれていることもあり、洪水が発生しやすい河川で、たびたび甚大な被害を及ぼしていた。たとえば、雨期の洪水に加えて間欠的に噴火する複数の火山が大量の噴火物を河川に流し込み、農作物が全滅したこともある。

しかし、ブランタス川流域の農業ポテンシャルは高いため、インドネシア政府はその可能性にかけ、治水対策とともに灌漑・水力発電にも重点を置いた「ブランタス河流域総合開発計画」を策定した（1961年）。

日本は主に円借款により、ダム建設による水資源開発、河川改修による洪水防御、灌漑設備の建設、農薬・農機具の無償供与による米の増産、水力発電によるスラバヤ近郊工業地帯への送電など、長期的かつ総合的な開発援助を行ってきた。その結果、同地域はイン

ドネシア有数の穀倉地帯となり、またスラバヤ市は、国内第2の都市として発展を遂げてきた。

#### ②灌漑開発の概略

ブランタス川の灌漑開発では、最上流に水源としてのダムを建設し、中流から下流にかけて取水堰を設置し、そこで農業用水、工業用水、都市用水が取水される。農業用水については、それぞれの取水堰から幹線用水路に取水され、分水され、農地に至る。

用水ブロックごとの取水量については、毎年協議により10日間毎の値が決められている。この用水年度は12月に始まり、1月に終わる。工業用水および都市用水は年間の取水量が一定であるが、農業用水は雨季に多く設定されている。取水量の雨季と乾季の比率は用水毎に異なるが、3倍を超える地区もある。

#### ③河川関連諸施設の運営・維持管理体制

ブランタス川に整備された河川関連諸施設は、水管理公団（PJT:Perum Jasa Tirta）により管理されている（政府規則PP No.5, 1990年）。維持管理にかかる水管理公団の責任範囲は下記のとおりである。

- ・ブランタス川関連のデータベース管理
- ・水資源配分の管理（工業、上水道、灌漑）
- ・水質管理（BAPPEDALへの報告義務）
- ・施設の維持管理
- ・治水管理（予警報システムの運用を含む）

しかし、水管理公団の収入源である工業用水、灌漑用水、上水による料金収入だけでは、河川関連施設のメンテナンスにかかる費用を賄うことが難しく、支出の約3~4割を中央政府予算に頼っている。今後は水管理公団の収入増、収益性向上といった自助努力が必要なのは、言うまでもないことである。

なお、河床の土砂淤積など、大がかりな維持管理が必要な場合、水管理公団はそれに要する予算を捻出することが困難なため、事業の実施機関であるブランタス総合事務所に対し、所要資金の手当てを要請する。これを受け、同事務所は技術的なバックデータを盛り込んだ要請書類を作成し、中央政府に提出する。水管理公団とブランタス総合事務所はこのような連携を保ちながら、流域の維持管理に努めている。

#### ④用水の課題

ブランタス事業は成功事例の象徴とされているが、何の問題がないわけではない。流域全体を眺めれば、上流ではダム（貯水池）の堆砂問題、中流では河川からの違法な砂取り、下流では水質の悪化と、それぞれ深刻な問題を抱えている。

a. 中流域：無秩序な川砂採取が盛んに行なわれており、護岸・堤防などの河川施設に深刻なダメージを与える要因の一つとなっている。水管理公団の調査によれば、ブランタス川流域から採掘される砂の量（推計値）

は年々増加しており、13.91 百万 m<sup>3</sup>/年(1999 年) にのぼる莫大な量である。

建設資材に適した砂を採り売却するという経済活動により、河床低下が引き起こされ、護岸の土壌が流出し、構造物の支持力が低下することで、高水量時に施設損壊が生じ、治水能力の低下につながるといった連鎖が懸念される。

一部の損壊施設の修復工事につき、インドネシア政府は我が国政府に対し、円借款完成案件のリハビリを行うための新規案件の要請を行ったところ、当該案件の補修計画の技術的妥当性及び補修後のサステナビリティの確保等について調査(援助効果促進調査)を行うことになっている。本事業の効果発現を持続させるためには、かかる修復工事を行うと共に、中長期的には阻害要因の抜本的な克服が必要であり、川砂採取阻止のための規制の強化・徹底等社会制度面の対策を図ることが不可欠である。

b. 下流域：水道水源は表流水および地下水に頼っている。水質汚濁の最大の原因は工場排水や生活排水の流入によるものと考えられる。下水道施設が整備されると、水質汚濁の最も大きな要因の一つが取り除かれるが、下水道施設の整備そのものに多大なコストと時間を要するため、容易に水質汚濁問題は解決できない。

水源の水質汚濁への対応策は、ハード対応策とソフト対応策が考えられる。前者として、周辺地域の下水道整備を行い汚濁水の流入を防ぐこと、浄水場での処理方法を改善することがあげられる。後者の対応策としては、排出規制を行ったり、水質のモニタリングを行ったり、新たな条例や法例の制定などを設け、水質をコントロールすることなどがあげられる。

#### ⑤事業の特徴

ブランタス事業の特徴としては、「物」を作るだけでなく「人」を作る協力を行ったことといわれている。

本来の事業効果としても、治水による洪水被害が低減したこと、東ジャワにおける稲作などの農業生産性が飛躍的に向上したこと、近郊の工業地域への安定的な送電が実現したことにより、産業発展・開発推進が進んで雇用創出が図られたことなどが挙げられ、地域の経済振興にも大きく貢献したとされている。

#### (3) 土地利用変化の解析と三期作の意義

土地利用・土地被覆変化について良く更新された正確なデータベースは、地球環境変化研究のために不可欠である。複数年間の地表面の特性とその季節変化に関しての時系列解析により、地表面変化をさまざまな観点から捉えることができる。本研究では 2000 年

から 2009 年までの MODIS-EVI データにウェーブレット変換を適用し、ある種の土地利用に対応する植生の動態を特徴づけることにより、土地利用の変化の有無を調べた。時系列パターン分析により、土地利用転換や植物の成長による土地被覆変化が実際に起きた時期を検出することができた。しかしながら、250 m × 250 m の大きさの MODIS データの GIFOV の範囲内にはいろいろな土地被覆が混在するために、本研究で使用した方法の有効性は限定的であった。本研究では、解析期間中における重要なパターン変化を検出し、また、それらのパターン変化のいくつかは土地利用変化であることによるものであることが確認できた。

これをジャワ島全域に適用したところ、水田作を含むピクセルが 63,673 あるなかで、三期作と推定されるピクセルが 10,383 存在した。インドネシアはコメの生産量は多いが人口も多く、増産のための新しい農法も取り入れられており、コメの三期作は意義が大きい。そこで、ブランタス川流域において三期作と推定される地域の実地調査を数カ所で行ったところ、その全てで、三期作が確認された。

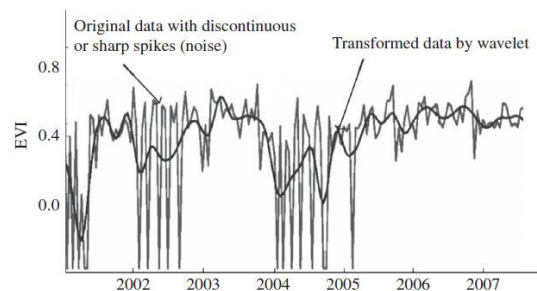


図2 ピクセル単位でのフィルタリング

#### (4) 排水と河川の水質

地域開発による都市化が急速に進行する中で、集水域の水質保全の立場から、生活排水処理水を希釈するための水源を確保する必要がある。この課題は、台湾・インドネシアに共通する課題であるが、ここでは、台湾を事例に、具体的な検討を行う。

①淡水河系集水域河口地点の水質を BOD (生物化学的酸素要求量) でみると、2010 年の年間単純平均値は 3.6 mg/L であった。BOD 値だけで比較すれば、水質の良い川といえる。今後、都市化の進行に伴い、水田が宅地化されるとともに森林が伐採され、同時に下水道が整備されてゆくだろう。しかし、現状では下水処理場の浄化能力には限界があるので、例えば BOD 濃度 80 mg/L の処理水を日本の河川環境基準 B 類型である 3 mg/L 程度にするには、処理水の 20~30 倍の希釈浄水が必要となる。そのためには、集水域人口一人当たりどの位の集水域面積を確保する必要があるのだろうか。そこでまず、集水域に存在

する有機物の発生源とその特徴を図3に示した。

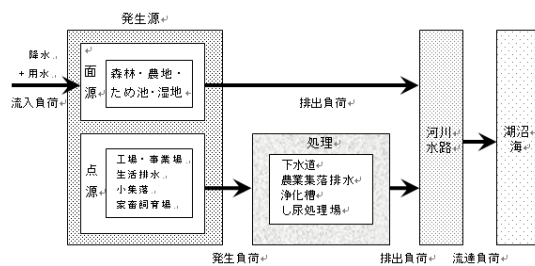


図3 集水域の有機物発生源とその特徴

②淡水河系集水域の『各生活排水処理施設から放流されたBOD濃度』が、淡水河系集水域で『最も大規模な生活排水処理施設』から淡水河系集水域に放流されたBOD濃度81mg/Lと同程度とすれば、その最下流の河口では3.6mg/L程度まで低下している。実際には未処理のまま生活雑排水が放流されている場合もあるだろうが、『今後、生活排水処理施設の普及率が日本と同程度70%以上になる』とすれば、その時の濃度低下の主因は『河川水による生活排水処理水の希釈の不十分さ』であろう。

台湾の年平均降水量は約2,500mm、そのうち1,200~1,400mm程度は蒸発散するので、年平均流出量は1,000mm程度である。しかし、豊水期と渇水期の差が激しいだけでなく洪水時の地表流出がかなり多いことやダム貯水量を考慮すれば、希釈水として有効な浸透水量はこれより小さくなる。台湾では南北等の地域による年降水量の差が大きく、浸透水量もかなりの差があると考えられるので、希釈に有効な浸透水量の確定については今後、検討が必要である。

1人当たりの年間生活排水量M (m<sup>3</sup>/人・年)は1年間を365日とし1人1日当たりの生活排水量を250Lとすれば91.25m<sup>3</sup>/年になる。Mの値については、現実には個人差だけでなく地域毎にも厳密な相違があるが、日本の平均値を用いる。

年間森林浸透流出水量P (mm/年)はその年の降水量によって変わるが、淡水河系上集水域では年平均3,000mm程度であり、このうち森林からの年間蒸発散量が約700mmと推定し、森林内での年間地表流出水量が無視できる程少ないと仮定すれば、差し引き2,300mmの水量が森林に浸透し、『森林土壌内に元々存在していた貯留水』がその浸透水量と同量分押し出されるように『伏流水として森林から流出している』とすると、年間森林浸透流出水量P (mm/年)は2,300mmとなる。

その結果、1m<sup>2</sup>の森林面積から浸透流出する水量は2.3m<sup>3</sup>/年になる。この値は『1人の年間生活排水量』(14,965 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>・年：(1)式から算出)の約154分の1なので、『1人分

の年間生活排水量』と同じ水量を生み出すためには約154m<sup>2</sup>の森林面積が必要になる。

生活排水処理施設でBOD処理能力が向上した場合における集水域内許容人口を、以下の3条件下で求めた。a. 現状での淡水河系集水域の河口付近のBOD濃度を維持する場合、b. 淡水河系集水域河口付近のBOD濃度を環境基準値の濃度程度まで減少させる場合、c. 淡水河系集水域の河口域のBOD濃度を森林浸透流出水濃度位まで減少させる場合。

③本研究手法を用いて地域開発をシミュレーションした事例は国内外に存在せず、その成果についても実現可能であり、農山村の地域開発に対する国内外へのインパクトは大きい。今後の展望としては、希釈に有効な森林伏流水量の推定や降雨負荷量の評価等、不確定な研究課題を早急に解決し、モデルの精緻化を図ることによって、地域の開発計画に広く使用される可能性が高いと予想される。

豊かな森林があり、清浄な水が十分にあることが水質保全の前提である。日本だけでなく、世界中で行われてきた従来型の地域開発では、水道水の確保は当然計画されるのであるが、排水希釈のための水源確保という意識はほとんどなかったのではないだろうか。今後、新規に地域開発を行う場合には、下水道や処理施設の整備の陰で、水質環境の面から生活排水処理水を希釈するための水源確保が必要だと考える。

森林の役割として、排水希釈が重要視されることを期待したい。清浄な水質の水を安定して常時利用するための自然の給水システムとしての役割である。その役割が発揮されるためには、森林土壌や樹木を侵食や物理性・化学性・生物性の劣化から守る森林保全に十分配慮した森林管理の重要性が認識されるとともに、計画的な間伐等を行なうといった、適正な森林管理を請け負う、新たな事業主体が創出されることもまた大切であると考えられる。

## 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(3)件

(1)田中由美子・山路永司(2012): 土地再配分および水利権をめぐるジェンダー課題の考察, 農村計画学会誌, 31, 231-236 (査読有)

(2)Yudi Setiawan, Kunihko Yoshino, (2011): Land Use Change Detection by Characterizing the Vegetation Dynamics, Case Study of Java Island, Indonesia, 写真測量とリモートセンシング, 50(2), 96-103 (査読有)

(3)Yudi Setiawan, Kunihko Yoshino, and William D. Philpot (2011): Characterizing temporal vegetation dynamics of land use in regional scale of Java Island, Indonesia, *Journal of Land Use Science*, iFirst, 1-30 (査読有)

[学会発表] 計 (7) 件

(1)加藤智之・石井敦: 大規模水田灌漑地区における重層的水利組織による番水, 第 68 回農業農村工学会大会京都支部研究発表会, 2012.11.21, 新潟ユニゾンプラザ

(2)石井敦: 大規模水田灌漑地区の番水実態と巨大区画水田の節水性, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, 2012.9.19, 北海道大学

(3)加藤智之・石井敦: 河川水田灌漑地区における末端水利組織の番水対応, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, 2012.9.19, 北海道大学

(4)Yamaji Eiji, Yoshino Kunihiko, Shima Eikichi, Fujisaki Hiroyuki, Ishikawa Masaya, Suhartant Ery, Budi Indra Setiawan and Harry M. Harianto : Agricultural Land Use and Prospect in Brantas River Basin in Indonesia, PAWEES 2011.11.27, 台湾大学、中華民国.

(5)Yu-Chuan Chng, Yoshino Kunihiko, Chun-E Kan, Chang-Chi Cheng, Yamaji Eiji, Eikichi Shima, Hiroyuki Fujisaki, Masaya Ishikawa and Atsushi Ishii : History of Large Scale Irrigation and Drainage Projects and the Growth of Regional Societies in Taiwan, CIGR International Symposium on Sustainable Bioproduction -Water, Energy, and Food, 2011.9.22, タワーホール船堀

(6)山路永司、佐藤周一: インドネシアでの灌漑開発と SRI の普及活動について、農業農村工学会 H23 年度大会、2011.9.7, 九州大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山路 永司 (YAMAJI EIJI)  
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授  
研究者番号: 10143405

### (2) 研究分担者

藤崎 浩幸 (FUJISAKI HIROYUKI)  
弘前大学・農学生命科学部・准教授  
研究者番号: 30209035

石川 雅也 (ISHIKAWA MASAYA)  
山形大学・農学部・准教授  
研究者番号: 30313068

吉野 邦彦 (YOSHINO KUNIHICO)  
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授  
研究者番号: 60182804

石井 敦 (ISHII ATSUSHI)  
筑波大学・大学院生命環境科学研究科・教授  
研究者番号: 90222926

嶋 栄吉 (SHIMA EIKICHI)  
北里大学・獣医学部・教授  
研究者番号: 40196457  
(平成 22 年度~23 年度)