

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20580203

研究課題名（和文）諫早湾締切・干拓は本当に有明海異変を引起こしたのか？

研究課題名（英文）Did the close and reclamation of Isahaya inlet cause unusual changes for Ariake Bay?

研究代表者

木下 泉 (KINOSHITA IZUMI)

高知大学・教育研究部総合科学系・教授

研究者番号：60225000

研究成果の概要（和文）：仔稚魚は、湾奥部河口域に圧倒的に集積し、そこでは魚類、動物プランクトン共に特産種が優占し、魚類、特に特産種の成育場は河口域に形成されていた。30年前の本明川では、仔稚魚群集は、現在の湾奥部河口域と、極めて類似していた。しかし、出現する発育段階に差がみられ、湾奥部河口域では殆ど生息しない魚種も多数出現し、有明海全体の多様性が窺われた。湾奥北東部の矢部川では、潮流はさほど発達せず、濁度も低かったが、冬季での沖合産卵由来で、河口域を成育場とする魚種は、矢部川に集中していたことから、湾奥部へ仔魚を運搬する有明海の恒流が弱くなった可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：To examine the importance of the upper estuarine areas of Ariake Bay as a nursery ground for fish, assemblages of larvae and juveniles were compared among various aquatic habitats. The upper estuaries of the bay (the Rokkaku and Hayatsue estuaries) are brackish, highly turbid waters with high tidal velocities, and differ substantially from the Isahaya area, which has been separated from the bay by a man-made dike, to the middle estuary (the Kikuchi estuary). Abundances of larvae and juveniles were higher in the estuaries than in the open bay and Isahaya areas. Abundant species in the upper estuaries were similar to each other, but differed from those of the middle estuary. This was primarily due to larvae and juveniles of fishes that occurred almost entirely in the upper estuaries. These results suggest that the upper estuaries play an important role as nursery grounds for fishes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：水産生物学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：有明海、諫早湾、締切・干拓、環境異変、魚類再生産

1. 研究開始当初の背景

有明海は、全国随一の干満差、それに伴う広大な干潟域、高濁度水塊、および数多の特産魚介類を持つ世界でも有数のユニークな内湾である。その最大の支湾である諫早湾で、干拓工事が1989年に着工され、1997年に諫早湾と本

明川は潮受堤防によって遮断された。この遮断が、有明海の潮流を変化させ、濁度の減少、赤潮の頻発、ワリ養殖の凶作、魚介類の漁獲高減少などを引起こした推測された。このような状況の中で、有明海の異変もしくは再生に関して、様々なプロジェクトが立上げられ、現在も遂行中

であるが、諫早湾締切・干拓と有明海の現在の状態との因果関係を直接明らかにしようとしたものはない。

2. 研究の目的

本研究では、魚類、特に有明海特産魚の再生産様式を明らかにし、それを左右する河川・海洋の物理・化学的構造、および仔稚魚期での食物となるプランクトンの分布・生態の実態を把握することを試みる(次頁図参照)。さらに、我々が行った1970年代、1980-1990年代および2000年代での調査結果と比較することによって、現在起こっている有明海異変(漁獲量減少および環境変動)？に対する諫早湾締切による影響の可能性の有無を科学的データによって明らかにするための基礎資料を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 魚類の再生産様式: 諫早湾を含む湾中央部から湾奥部にかけて、稚魚ネット桁網によって、産卵場、浮遊期から着底期までの分布を動的に把握する。さらに各魚種の成育場を把握する。

(2) 環境特性の把握: CTDにより水温・塩分・濁度を、ADCPにより流向・流速を計測し、海洋物理構造を把握する。特に、産卵場から成育場までの魚類幼期の輸送・回遊および成育場での滞在に影響を与える潮流の特有性を明らかにする。さらに、魚類の成育に極めて重要な浮泥の時空間的な挙動について明らかにする。化学環境として、クロロフィル量、栄養塩(硝酸態、リン酸態、ケイ酸態)の観測を行う。特に、成育場が形成される河口域と河川感潮域における栄養塩-植物プランクトン-浮泥-微生物の相互関係を明らかにする。

(3) 動物プランクトン: 全定点においてプランクトンネット(網目400 μm)鉛直層別曳および層別採水によって、仔稚魚の食物として重要な動物プランクトンとその幼生の採集を行う。特に、成育場が形成される河口域と河川感潮域での動物プランクトン群集の特異性を見出す。さらに、主要な仔稚魚の消化管内動物プランクトン相と比較し、食物環境を水域別に評価する。

(4) 稚魚の遺伝的多様性: 潮流の変化などにより、産卵コホート群の変化が考えられ、その結果、稚魚たちの遺伝的多様性が影響を与えられている可能性がある。ここでは、特に沖合で産卵し河口域に成育場として加入して来る魚種(スズキ、ニベ類、ウシノシタ類)のmtDNAを分析し、諫早湾締切前のものと比較することによって、集団遺伝学的な多様性がどのように変化したのか明らかにする。

(5) ノリ養殖の年変動: 諫早湾締切前後で比較するために、佐賀県有明水産振興センターが蓄積してきた湾奥部海域から河川感潮域における物理・化学的環境および動物プランクトンに関する長期のデータを整理する。

4. 研究成果

(1) 魚類の再生産様式: 物理環境を水域間で比較した結果、湾奥部河口域の物理環境は低塩分、高濁度、強混合で特徴づけられ、諫早湾および湾奥部沖合とは異なっていた。また、湾奥部に流入する河川の河口域は、潮汐にともない往来する激しい流れと高濁度水塊が発達するという点で、湾中央部に流入する河川とは異なっていることが明らかとなった。

各河口域で採集された浮遊期仔稚魚の種数と密度は諫早湾、湾奥部沖合に比べ、高い値であった。各水域における浮遊期仔稚魚の優占5種をみると、六角川河口域ではハゼクチが最も多く出現し、次にショウキハゼ、ワラスボが続いた。早津江川河口域ではショウキハゼ、ハゼクチ、ワラスボの順に多く、湾奥部に流入する両河口域では順位に違いはみられるものの、優占する種が多く共通していた。それに対し、菊池川河口域ではエドハゼが全体の約60%を占め、次にシラウオ、カタクチイワシ、アカハゼ、コノシロが続く。優占種は湾奥部の河口域のそれとは異なっていた。湾奥部沖合ではハゼクチが最も多く出現し、次にカタクチイワシ、アカハゼが続いた。諫早湾ではアカハゼが全体の90%以上を占めており、極めて単純な仔稚魚相であった。

着底期魚類における種数と密度は、両者ともに六角川河口域で最も高い値を示した。各水域における優占種をみると、六角川河口域ではワラスボが最も多く、次にショウキハゼ、デンベエシタビラメ、コイチ、ハゼクチが続いた。湾奥部浅海域では、デンベエシタビラメが最も多く出現し、次にショウキハゼ、スジハゼB種が優占していた。西部海域では、諫早湾ではデンベエシタビラメ、スジハゼB種、アカハゼ、スジハゼA種、アカウオの順で出現した。

以上のように、六角川河口域では多くの特産種と準特産種が優占する点でその他の水域とは異なっていた。水域間における類似度をみると(図1)、湾奥部の2河口域の浮遊期仔稚魚相は極めてよく類似していたが、湾中央部の菊池川および諫早湾のものとは異なっていた。また、六角川河口域の着底稚魚群集はその他の水域と大きく異なっており、西部海域と諫早湾では類似度が高いことが明らかとなった。湾奥部河口域の環境は低塩分、強混合および高濁度で特徴づけられ、湾中央部に流入する菊池川河口域と著しく異なっていた。さらに、優占種を河口域間で比較すると、湾奥部に流入する六角川と早津江川は、有明海に特徴的な魚類が優勢する点でよく類似していた。一方、菊池川では、本邦の一般的な内湾域や河口域でそれぞれ頻繁に出現するエドハゼとシラウオが最も優勢し、仔稚魚の組成は大きく異なっていた。また、優勢種の体長組成をみると、ほとんどの種がごく浮遊仔稚魚期から着底稚魚期にかけて出現しており、このことは有明海に特徴的な魚類の多くが湾奥部河口域に着底し、かつそこを成育場として利用

していることを示している。以上のことから、有明海において河口域間で仔稚魚群集が大きく異なることが示唆され、湾奥部に発達する高濁度汽水域こそがまさに特産種、準特産種、別系群の必然的な成育場となっていることが明らかとなった。

諫早湾が締め切られる以前の本明川河口域では、特産種のハゼクチ、ワラスボおよびヤマノカミや準特産種のショウキハゼ、シマフグ、別系群とされるコイチ、サッパおよびスズキが多く出現しており、本研究で得られた湾奥部河口域での仔稚魚相と極めてよく類似していた。このことから、かつて湾奥部の河口域と類似した環境であった本明川河口域が、それらの魚類にとって重要な成育場であったことが推察される。一方、閉め切り後の2005年の諫早湾奥部での調査では、冬季にアカハゼ仔魚が多く採集されたのみであり、種数・密度ともに極めて貧相であった。この仔稚魚相の変化は、まさに諫早湾干拓事業によって成育場であった本明川を始めとする流入河川の河口域を消滅させてしまったことが主たる要因であると考えられる。有明海に特徴的な魚類が、湾奥部河口域のような特異的な環境にしか分布していないことを考えると、本明川河口域が本来の姿・機能を失ったことによる魚類、特に特産種および準特産種に与えた影響は極めて大きいことが予想される。

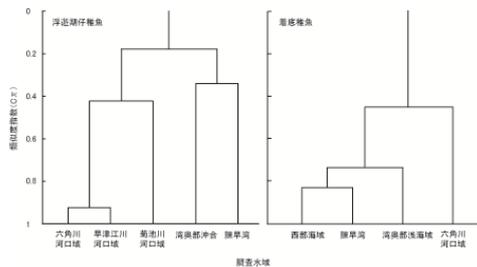


図1. 各水域における魚類相の類似度比較

(2) 環境特性: 現地観測とデータ解析を元に、諫早湾潮受け堤建設が有明海の流動と懸濁物輸送に与える影響を検討した。諫早湾潮受け堤建設によって、諫早湾内の表層懸濁物濃度は低下し、透明度は上昇したと考えられる。表層懸濁物濃度低下、透明度上昇は諫早湾内に限らず、諫早湾外の島原半島沿いでも生じ、これは諫早湾内からの懸濁物輸送が減少したためと考えられた。一方、底層では、諫早湾内で巻き上げられた懸濁物が有明海湾奥部に輸送される場合があることが明らかになった。ただし、こうした輸送は通年で生じているわけではなく、成層期には生じるが、非成層期には逆に諫早湾湾奥向きの輸送となっていた。

(3) プランクトン群集: 最優占種は、強内湾種である *Oithona davisae* (全域平均 16.3×10^3 indiv. m^{-3}) で、次いで春季本邦温帯域沿岸に広く分布する *Acartia omorii* (同 5.7×10^3 indiv. m^{-3}) と

Paracalanus parvus s. l. (同 3.6×10^3 indiv. m^{-3}), *Microsetella norvegica* (同 3.3×10^3 indiv. m^{-3}) が優占した。PRIMER® を使った群集解析を行った結果、湾内のカイアシ類群集は *O. davisae* と *Calanus sinicus* の密度で大きく2つのグループ (G1, G2) に分かれ、さらにそれぞれ *O. davisae* の密度に依存する2つのサブグループに分かれた (図1)。G1, G2間でもっとも違いがあった環境要因は濁度であった。また、G1, G2間は水深20mの等深線で分かれ、深さがプランクトン群集と相関することが示された (図2)。

以上の結果から、有明海のカイアシ類プランクトン群集の鍵種は富栄養域の指標種でもある *O. davisae* であり、2009年春季の海況は本種が優占する湾奥から諫早湾および湾中央部東側の20m以浅域に、富栄養種にとって好適な環境が大きく広がっていることを示唆している。

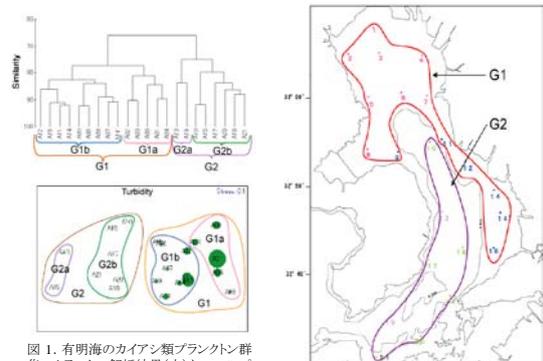


図1. 有明海のカイアシ類プランクトン群集のクラスター解析結果(上)とMDSプロット(下)。下図の塩は濁度の大きさを表示。

図2. 有明海のカイアシ類プランクトン群集の地理的分化。

(4) 稚魚の遺伝的多様性: 現在の有明海内での地域分化をハゼクチ、ワラスボ、ヤマノカミについて調べた。これらの種は河口汽水域や河口干潟に強く依存した生活史を持つため、大河口域ごとにある程度の分化が生じている可能性が考えられる。ハゼクチについては、佐賀県塩田川河口および福岡県筑後川河口で採集された成魚計64個体、ワラスボについては同じく塩田川および筑後川の成魚計78個体、ヤマノカミについては佐賀県六角川下流域および福岡県筑後川河口域の稚魚計48個体を用いた。ミトコンドリアDNA調節領域前半部から436-460塩基対の配列を決定し、地域間での分化の有無を調べた。その結果、いずれの種についても両地域間で共通するハプロタイプが多数認められ、遺伝的分化の指標となる *Fst* の値は有意ではなかった。このことから、現在の有明海においては、少なくとも湾奥の各河口域間では大きな分化はなく、ある程度の遺伝的交流がなされていると考えられる。ただし、かつての本明川河口および諫早湾は有明海湾奥からは大きく離れており、間に大規模河口域も無いため、今回は検出されなかった独立的個体群が存在した可能性は否定できない。今後、熊本県緑川周辺の個体群を加えることや、より高感度な遺伝マーカーを用いる

ことで、諫早湾締切前の有明海全体の個体群構造を推測する必要がある。

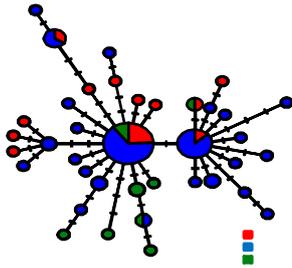
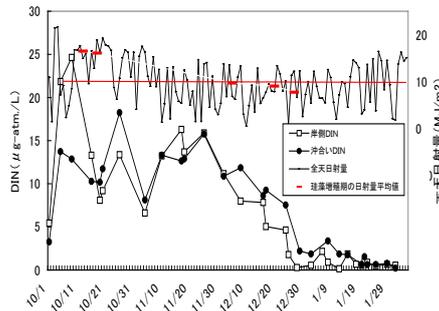
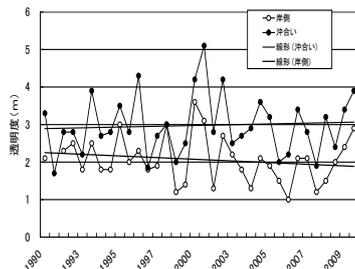


図 ワラスボの mtDNA ハプロタイプネットワーク。青:佐賀県塩田川, 赤:福岡県筑後川, 緑:韓国

(4) ノリ養殖における珪藻増殖と透明度・水温との関連性:珪藻は、休眠期細胞の発芽とその活力の増加による生細胞数の増加によって赤潮化していくことから、その増殖には全天日射量で表される太陽光の強度との関係が深いものと考えられる。この全天日射量は、増加することによって海水中への光の強度が強まり、さらに透明度の上昇が重なる真光層が深くなって、珪藻増殖への寄与度は大きくなるものと考えられる。そこで珪藻増殖時の全天日射量とDIN変動との関連性を検討したところ、珪藻は一定期間中、全天日射量が高い期間が継続されると増殖する傾向があることが明らかとなった(図1)。



図一 2009年度ノリ養殖期におけるDINと全天日射量の変動



図二 沖合いと岸側における小潮時透明度の変動

透明度を潮流流との関係から検討すると、本海域の透明度は1970年代以降、大潮では沖合、岸側ともに上昇し、1990年以降、小潮では沖合で上昇しているのに対し、岸側では低下している傾向がみられた(図2)。透明度はSS濃度と相関があり、潮流による浮泥の巻き上げ・沈降の影響が大きく、透明度の上昇は潮流速が遅くなっていることを、下降は潮流速が早くなっていることを示唆している。さらに、潮流速と深く関係している潮汐周期との関連性を解析すると、10, 1, 2

月での小潮では、潮汐差が小さく(1-2 m)なって透明度が最大となることから、珪藻増殖の危険度は増大することとなる。また、12月においては、潮汐差が大潮で小さく(約4 m)、小潮で大きく(約2.5 m)なって、大潮と小潮の潮汐差が近接することが明らかとなった。その結果、大潮でも珪藻増殖の危険度が小潮とほぼ同じとなり、珪藻増殖の可能性が向上することが示唆された。また、有明海湾奥部では、冬季の水温は、近年、上昇傾向にあり、透明度上昇と相まって、珪藻増殖に適した環境となりつつあるものと推察された。

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15件)

- ① Yagi Y, I Kinoshita, S Fujita, D Aoyama, Y Kawamura. 2011. Importance of the upper estuary as a nursery ground for fishes in Ariake Bay, Japan. Environ. Biol. Fish. (査読有) (電子下 www.springerlink.com/content/a8j22314352x522m/fulltext.pdf)
- ② Beltrao R, M Monde, H Ueda. 2011. Characteristics and regional classification of the copepod community in Ariake Bay with note on comparison with three decades ago, J. Oceanog., 67: 47-58 (査読有)
- ③ Yagi Y, N Kodono, I Kinoshita, S Fujita. 2010. Late-stage metamorphosing *Conger myriaster* leptocephali collected in a river estuary of Ariake Bay, Japan. Ichthyol. Res., 57: 310-313 (査読有)
- ④ Nunove J, I Kinoshita. 2010. Larvae of *Diagramma pictum* (Haemulidae) from Tosa Bay, Japan. Ichthyol. Res. 57: 98-101 (査読有)
- ⑤ Sakaguchi SO, H Ueda. 2010. A new species of *Pseudodiaptomus* (Copepoda: Calanoida) from Japan, with notes on the closely related *P. inopinus* Burckhardt, 1913 from Kyushu Island. Zootaxa, 2623: 52-68 (査読有)
- ⑥ Yagi Y, I Kinoshita, S Fujita, H Ueda, D Aoyama. 2009. Comparison of early life histories of two *Cynoglossus* species in the inner estuary of Ariake Bay, Japan. Ichthyol. Res., 56: 363-371 (査読有)
- ⑦ Ueda H, H Nagai. 2009. Three new species of the brackish-water copepod *Halicyclops* (Crustacea, Cyclopoida) from Ariake Bay, Jpn. J. Nat. Hist., 43: 287-307 (査読有)
- ⑧ 郡山益実・瀬口昌洋・古賀あかね・アリム イサンセテョ・速水祐一・山本浩一・濱田孝治・吉野健児. 2009. 有明海湾奥部の干潟・浅海域底泥における窒素・リンの季節変化, 海岸工学論文集, 56: 1031-1035 (査読有)
- ⑨ 速水祐一・山本浩一・濱田孝治・郡山益実・古

- 賀あかね・吉野健児・吉田誠・片野俊也・山口創一. 2009. 有明海奥部における栄養塩濃度分布の季節変化. 海岸工学論文集, 56: 991-995 (査読有)
- ⑩濱田孝治・山本浩一・速水祐一・吉野健児・大串浩一郎・山口創一・片野俊也・吉田誠. 2009. 再懸濁特性マッピングに基づく有明海の懸濁物シミュレーション. 海岸工学論文集, 56: 986-990 (査読有)
- ⑪山口創一・濱田孝治・速水祐一・瀬口昌洋・大串浩一郎. 2009. 有明海奥部筑後川河口沖における流れの季節および経年変動. 海岸工学論文集, 56: 436-439 (査読有)
- ⑫山口創一・速水祐一. 2009. 有明海奥部における出水後の低塩分水塊の挙動およびその水質への影響, 沿岸海洋研究. 46: 161-173 (査読有)
- ⑬山本浩一・速水祐一・笠置尚史・濱田孝治・吉野健児・大串浩一郎・平川隆一・横山勝英. 2009. 有明海・諫早湾における底泥の再懸濁速度の分布特性に関する研究, 環境工学研究論文集, 46: 613-621 (査読有)
- ⑭濱田孝治・速水祐一・山本浩一・大串浩一郎・吉野健児・平川隆一, 山田裕樹. 2008. 2006年夏季の有明海奥部における大規模貧酸素化, 海の研究, 17: 371-377 (査読有)
- ⑮山本浩一・速水祐一・笠置尚史・濱田孝治・吉野健児・山田文彦. 2008. 有明海奥部における懸濁物質濃度変動特性に関する研究. 海洋開発論文集, 24: 1081-1086 (査読有)
- [学会発表] (計 13 件)
- ①八木佑太・木下泉・藤田真二・川村嘉応. 有明海奥部河口域におけるニシン亜目 3 種(エツ・ヒラ・サッパ)の初期生活史の比較. 稚魚研究会, 2010.11.27, 九大(福岡市).
- ②坂口穂子・上田拓史. 西日本の汽水性カイアシ類 *Pseudodiaptomus inopinus* の形態・分子分類学的研究. 日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会, 2010.10.10, 東大(柏市).
- ③Beltrao R, H Ueda, M Monde, T Shuto. Seasonal and interannual changes of copepod assemblage in the inner part of Ariake Bay from 2003 to 2007. 4th Internat. Symp. Kuroshio Sci., 2010.10.6, 高知大(高知市).
- ④Sakaguchi, SO, H Ueda, S Ohtsuka, HY Soh. Zoogeography of brackish-water copepods along the Kuroshio Current region. 7th Internat. Crustac. Cong., 2010.6.22, Qingdao (China).
- ⑤Beltrao R, H Ueda, M Monde, I Kinoshita. Copepod assemblage of Ariake Bay, Japan. 7th Internat. Crustac. Cong., 2010.6.21, Qingdao (China).
- ⑥Beltrao R, H Ueda, I Kinoshita. Copepod assemblage in Ariake Bay. 日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会, 2009.10.16,

- 北大(函館市).
- ⑦八木佑太・木下泉・藤田真二. 有明海奥部における仔稚魚の年変動. 日本魚類学会年会, 2009.10.12, 東京海洋大(東京都).
- ⑧中山耕至・鄭忠勳・郭又哲・中坊徹次. ミトコンドリアDNA分析によるハゼ科の遺伝的集団構造. 日本魚類学会年会, 2009.10.11, 東京海洋大(東京都).
- ⑨Yagi Y, I Kinoshita, S Fujita, S Oka. Sudden degeneration eyes just before settlement in larva of *Odontamblyopus lacepedii*, an endemic goby to Ariake Bay, Japan. 8th Indo Pacific Fish Conference, 2009.6.4, Esplanade Hotel (Fremantle, Australia).
- ⑩Yagi Y, I Kinoshita, S Fujita. Fish larval community in Ariake Bay, being the largest and brackish inlet in Japan. Internat. Larval Fish Workshop, 2009.3.10, 国立科博(東京都).
- ⑪八木佑太・木下泉・上田拓史・藤田真二. 有明海におけるイヌノシタ属近縁 2 種仔稚魚の初期形態の比較. 稚魚研究会, 2008.12.6, 東北大(仙台市).
- ⑫Yagi Y, I Kinoshita, S. Fujita. Fish larval community in Ariake Bay, being the largest and brackish inlet along the Tsushima Current, branch of the Kuroshio, in Japan. Internat. Symp. Kuroshio Studies, 2008.12.1, 中山大学(高雄, 台湾).
- ⑬八木佑太・木下泉・上田拓史・藤田真二・久野勝利. 有明海奥部河口域におけるニシン目 3 種(エツ, ヒラ, サッパ)仔稚魚の分布および食性の比較. 日本魚類学会年会, 2008.9.22, 愛媛大(松山市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木下 泉 (KINOSHITA IZUMI)
高知大学・教育研究部総合科学系・教授
研究者番号: 60225000

(2) 研究分担者

上田 拓史 (UEDA HIROSHI)
高知大学・教育研究部総合科学系・教授
研究者番号: 00128472
速水 祐一 (HAYAMI YUICHI)
佐賀大学・有明海総合研究プロジェクト・准教授
研究者番号: 00335887
中山 耕至 (NAKAYAMA KOJI)
京都大学・フィールド科学教育研究センター・助教
研究者番号: 50324661

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

藤田 真二 (FUJITA SHINJI)

西日本科学技術研究所

和 吾郎 (NIGI GORO)

西日本科学技術研究所

川村 嘉志 (KAWAMURA YOSHIO)

佐賀県有明水産振興センター