

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 18 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2009～2013

課題番号：21246078

研究課題名(和文) 諫早湾における物理・生物環境の総合調査 - 6.27 諫早湾干拓佐賀地裁判決を受けて -

研究課題名(英文) Total Investigation of Physical and Biological Environments in Isahaya Bay under the 6.27 judgement by Saga District Court

研究代表者

松永 信博 (Matsunaga, Nobuhiro)

九州大学・総合理工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：50157335

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,000,000 円、(間接経費) 10,500,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、開門前の諫早湾内の流動特性、水質底質環境特性を詳細に調査し、開門した後の環境変化を明らかにするためのベンチマークデータを蓄積することにある。本研究によって、諫早湾内の底泥環境特性は、湾奥に向かって悪化しており、その悪化速度も湾奥に向かって増加していることがわかった。また、有明海に流入する河川水が諫早湾内に輸送されることにより、大規模な塩淡水成層が形成することを見出し、諫早湾では南南西の風と北北東の風が卓越し、表層の低塩分水塊は、その卓越風によって輸送されることを見出した。さらに、諫早湾内の低酸素水塊は小長井沖付近で発生し、諫早湾全体に大規模化する傾向にあることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The objectives of this project are to investigate in details the environmental properties of flow, water quality and seabed quality in Isahaya Bay before opening the north and south gates of Isahaya reclamation dike and to accumulate significant and useful data to reveal the change in environments after opening the gates as benchmark data. The obtained main results are as follows. 1) The environmental properties of seabed quality in Isahaya Bay become worse toward the inner area of bay from the bay mouth and the deterioration rate also increases toward the inner area of bay. 2) The salinity stratification is formed over the whole region of Isahaya Bay in the rainy season and it is mainly due to the discharge from Chikugo River. 3) The hypoxic water mass tends to be generated off Konagai and become large over the whole region of Isahaya Bay.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：環境水理学 沿岸海域環境学

1. 研究開始当初の背景

有明海は、我が国最大の干満差と強い潮汐流を伴う閉鎖性内湾である。また、湾奥部には筑後川をはじめ数多くの一級河川が流入し、大量の土砂と栄養塩が供給される。このため、湾奥部には約 231km<sup>2</sup>にも及ぶ広大な泥質干潟が発達し、アゲマキ、タイラギ、サルボウをはじめ有明海独自の底生生物が生息し、多様で豊かな生態系が構築されてきた。

1990年農林水産省は洪水対策と農地拡大を目的として諫早湾干拓事業に着工した。1997年には潮受け堤防により諫早湾奥部が閉め切られ、2,900haの干潟を含む3,550haの浅海域が消滅した。その結果、二枚貝をはじめ、多数の底生生物が死滅した。2000年12月有明海で発生した大規模な海苔不作問題を契機に、この諫早湾干拓事業と水産資源激減との因果関係が社会問題となった。2006年11月有明海沿岸の漁師達は「排水門の常時開門」を求めて、佐賀地裁に提訴した。2008年6月27日、佐賀地裁は3年間の猶予の後、5年間の常時開門を行うよう国に命じた。2008年6月27日の諫早湾干拓佐賀地裁判決を受けて、当時農水省は、排水門の常時開門を行い、干拓事業と環境悪化との因果関係を解明するための開門調査を実施するよう迫られた。このような状況にあって、開門実施前の諫早湾内の物理環境と生物化学的環境に関する信頼性の高いデータの蓄積が求められた。

2. 研究の目的

本研究プロジェクトは、「諫早湾干拓事業による環境変化は、まず、干拓堤防に直結している諫早湾において顕在化するはずである。」また、「開門実施前の諫早湾内の物理環境と生物化学的環境に関する信頼性の高いデータを今蓄積しておかなければ、開門後の環境変化を比較検討することはできないであろう」という2つの視点から実施されたものである。その目的は、開門前の諫早湾内の流動特性、水質底質環境特性を詳細に調査し、解析するとともに、開門された時のベンチマークデータとして蓄積することにある。

3. 研究の方法

(1) 有明海と諫早湾の流動特性、水質特性、底質特性について既往の研究論文を調査・整理するとともに、諫早湾内において九州農政局が測得している水質、底質の多点同時長期観測データの整理・分析することにより、それらの経年変化特性を明らかにする。  
 (2) 有明海や諫早湾内の定常的な物質輸送には、海表面に作用する風応力が重要な役割を果たす。有明海における局地的風況特性を周辺のアメダスデータを解析することにより明らかにし、流体界の風応答特性を明らかにする。

(3) 有明海を対象とした3次元流動モデルを構築し、諫早湾に形成される大規模塩淡水成層

構造の形成機構を解明する。

(4) 有明海に流出する筑後川をはじめ一級7河川からの淡水流動特性を3次元流動シミュレーションモデルを用いて再現し、諫早湾内における大規模塩淡水成層構造の寄与率を定量化する。

(5) 潮受け堤防の北排水門と南排水門から諫早湾内に放流される淡水の動態を3次元流動モデルを用いて明らかにする。

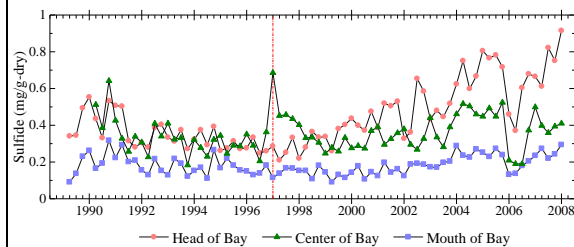
(6) 海表面に作用する風応力を組み込んだ3次元流動モデルを用いて、諫早湾内に形成された大規模塩淡水成層の風応答特性を明らかにする。

(7) 諫早湾に形成される低酸素水塊の特性を明らかにし、その発生機構について明らかにする。

4. 研究成果

(1) 2000年海苔の色落ち問題により諫早湾の干拓事業と有明海奥部の環境異変との関係が顕在化した。10年間の研究成果をまとめるとその因果関係ははっきりしないというのが実情であった。しかし、諫早湾内の環境変化は明瞭であり、諫早湾内の底泥環境は潮受け堤防建設後、著しく悪化していることを確認した。

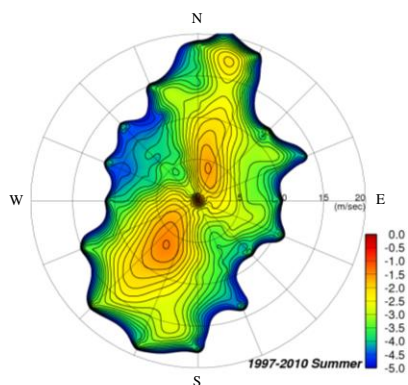
(2) 九州農政局の20年間のデータを解析し、諫早湾締め切りを境に、湾奥部と湾中部で底泥環境の著しい悪化が認められた。諫早湾における底泥環境の総合調査を行い、底泥粒径、含有有機物量、酸化還元電位、酸揮発性硫化物、クロロフィル a、フェオフィチン、間隙水中の栄養塩濃度等を測定した。諫早湾奥部における底泥中にはかなりの有機物が堆積し、嫌気状態となり硫酸還元反応が進んでいることを明らかにした。



底泥中に含まれる硫化物量の経年変化

(3) アメダスデータの解析により、夏季において諫早湾内では南南西の風と北北東の風が卓越することを明らかにした。諫早湾を吹き抜けるこの南南西の風は、雲仙岳と多良岳によって縮流・加速され、風速が強められることを明らかにした。多良岳と雲仙岳の背後には渦流れが形成され、対岸の白石や岱明では風速が弱まり、風向が安定しないことを明らかにした。

(4) 諫早湾内に発生する赤潮と水質動態との関連を明らかにするため、2009年度に引き続き2010年夏季の約1か月間にわたり諫早湾北部海域で多項目水質計による塩分、水温、



諫早湾海上風の出現頻度

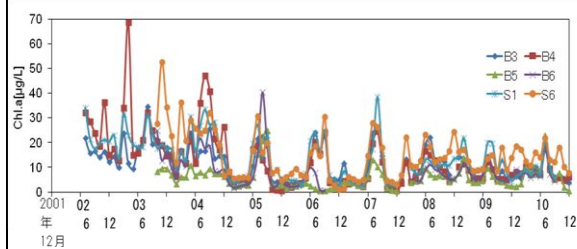
溶存酸素濃度 (DO 濃度) およびクロロフィル a (Chl-a) 等の隔日観測を行った。その結果、2009 年と同様にシャットネラ赤潮の発生とともに、高い値の Chl-a を水表面近傍で計測することができた。さらに、底層に発生する貧酸素水塊の形成に密度成層が強い影響を及ぼしていることを明らかにした。

(5) 九州農政局が測得している水質の同時多点常時観測データを解析し、諫早湾内の低酸素水塊の発生と発達プロセスを調べた。その結果、諫早湾内の低酸素水塊は小長井沖付近で発生し、諫早湾全体に大規模化する傾向にあることを明らかにした。また、小長井沖の水塊が高酸素状態にあれば、約 90% の確率で諫早湾全域は高酸素状態にあること、排水門近くの水塊が低酸素状態にある場合、約 70% の確率で諫早湾全域は低酸素状態にあることを明らかにした。

(6) 海上 10m の高さの平均風速から水表面に作用する風応力を算定する経験式を用いて、海表面に作用する風応力の時・空間分布を求めた。その応力分布を既に構築している有明海 3 次元流動モデルの海表面に作用させ、流動シミュレーションを行った。その結果、諫早湾内に形成される大規模塩淡水成層構造を精度良く再現するとともに、低塩分水塊の風応答特性を明らかにした。

(7) 九州農政局が測得しているクロロフィル濃度の同時多点常時観測データを解析したところ、諫早湾内で夏季に発生する赤潮の濃度並びに変動は経年的に減少傾向にあることが明らかとなった。諫早干拓締切り前後における最も大きな変化は、締切り後調整池の水環境が急速に悪化し、その調整池からの排水を通して、高濃度の有機汚濁物質が諫早湾に流れ込んで環境悪化を引き起こしていることが明らかとなった。

(8) 九州農政局が諫早湾内で測得した 2004 年から 2012 年の水質および風況データを解析し、低酸素水塊の経年変化を調べるとともに、重回帰分析を行うことで底層の溶存酸素濃度 DO の変動要因について調べた。その結果、低酸素水塊の発生割合は諫早湾中央部と湾口北側で大きい値をとること、また、底層 DO

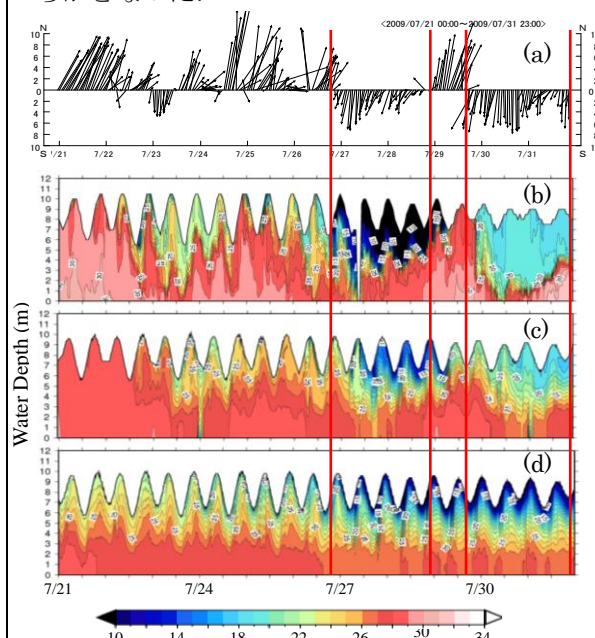


諫早湾 6 地点における Chl.a の最大値の経年変化

濃度の低減には密度成層が、底層 DO 濃度の増加には底層の Chl. a 濃度が支配的であることが明らかとなった。

(9) 諫早湾口北部周辺の流動ならびに物質輸送構造を明らかにするために現地観測を実施した。その結果、成層期には湾口北部で流れに層構造が生じており、この構造により湾口北部から諫早湾内で巻き上げられた懸濁物が流出しやすくなっていることが明らかとなった。

(10) 諫早湾の北部海域における水質動態と赤潮発生との関連性を解明するため、小長井港口から竹崎島周辺の 7 地点において、水温、塩分、濁度、DO、Chl-a 等の鉛直分布を隔日で計測した。その結果、赤潮は、3 日～5 日程度の時間スケールで発生・消散すること、赤潮細胞の増殖には栄養塩と日照量に加えて、25～30℃ 程度の水温および 20～25psu 程度の塩分が必要であり、いずれの条件が欠けても赤潮細胞の増殖には至らないことが明らかとなった。



諫早湾内における (a) 風向・風速の分布と塩分の時空間分布 (b) 観測結果, (c) 現況再現計算結果, (d) 風を止めた仮想計算結果)

(11) 流入水量・負荷量に影響を及ぼす因子を把握するため、30 年間 (1981～2010 年) の有明海陸域からの流入水量・負荷量の推定データを用いて、流域構成要因と環境変動要

因が各河川の流入水量・負荷量に及ぼす因子と影響度を検討した。その結果、流域構成要因を用いた解析では、流域面積が影響因子として抽出された。一方、環境変動要因を用いた解析では、年間降雨量が流入水量・負荷量の変動に与える影響が大きいことが明らかとなった。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 45 件)

- ① 李洪源・樋口秀太郎・松永信博；南風により諫早湾南岸で発生した低酸素水塊の湧昇，土木学会論文集 B2(海岸工学)，第 65 卷，2009，406-410。(査読有)
- ② 松永信博・油野俊也・久田由紀子・李洪源；夏季において有明海に吹き込む南風の特性，水工学論文集，第 54 卷，2010，1579-1584。(査読有)
- ③ LI, H. and MATSUNAGA, N.; Secular and spatial variations on sediment environments behind Isahaya reclamation dike, Ann. J. Hydraulic Engineering, Vol. 54, 2010, 1627-1632。(査読有)
- ④ 李 洪源・松永信博；諫早湾の底泥環境特性，土木学会論文集 B，第 66 卷，2010，321-334。(査読有)
- ⑤ 李 洪源・松永信博；諫早湾底泥の酸素消費速度，土木学会論文集 B，第 66 卷，2010，335-343。(査読有)
- ⑥ 李 洪源・奥田和久・松永信博；2009 年夏季における諫早湾底泥の環境特性，土木学会論文集 B2(海岸工学)，第 66 卷，2010，1061-1065。(査読有)
- ⑦ 松永信博・李 洪源；諫早湾における貧酸素水塊の風応答特性，土木学会論文集 B，第 66 卷，2010，395-406。(査読有)
- ⑧ 多田彰秀・中村康裕・阿部和也・田井明・鈴木誠二・中村武弘；淡水流入が諫早湾の水質動態に及ぼす影響について，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，第 66 卷，2010，366-370。(査読有)
- ⑨ 山田文彦；河口潮間帯干潟の土砂動態に及ぼす潮汐と河川出水の相対的重要度，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，第 66 卷，2010，531-535。(査読有)
- ⑩ Ohgushi, K., Nagafuchi, M., Sumaraw, J. S., Dundu, A. K. T. and Supit, C. J.; Water quality visualization of Isahaya Bay and reservoir by using GIS and remote sensing technique, Proc. 7th Int. Symp. on Lowland Technology, 2010, 688-693。(査読有)
- ⑪ 李洪源・松永信博；諫早湾における筑後川起源水の風応答特性，土木学会論文集 B1 (水工学)，第 67 卷，2011，86-91。(査読有)
- ⑫ 李洪源・馬場歩・松永信博・千葉賢；諫早湾における低塩分水塊の風応答特性，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，2011，I\_366-370。(査読有)
- ⑬ 李洪源・榎藤直道・松永信博・千葉賢・清水康弘；諫早湾潮受け堤防排水門背後の底泥中における物質循環の解析，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，第 67 卷，2011，I\_891-895。(査読有)
- ⑭ 宮原淳也・李洪源・松永信博；諫早湾における低酸素水塊の動態，土木学会論文集 B1(水工学)，第 68 卷，2011，I\_1609-1614。(査読有)
- ⑮ Yamada, F.; Internal sediment density structures around bars due to beach deformation using X-ray CT. J. Coastal Research, SI64, 2011, 716-720。(査読有)
- ⑯ 田井明・小松利光；諫早湾口北部周辺の流動特性について，土木学会論文集 B1(水工学)，第 68 卷，2011。I\_1687-1692。(査読有)
- ⑰ 李洪源，李騫，松永信博，千葉賢；諫早湾内の塩淡成層構造に及ぼす南北排水門からの排水の影響評価，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，第 68 卷，2012，I\_986- 990。(査読有)
- ⑱ 手塚公裕，片野俊也，濱田孝治，加 瑞，日野剛徳，速水祐一，伊藤祐二，大串浩一郎； 諫早湾および隣接する調整池における底質の栄養塩分布，海の研究，21(3)，2012，69-81。(査読有)
- ⑲ 山田文彦，立山龍太，辻本剛三，末長清也，Bernard Long，Constant Pilote；医療用 X 線 CT を用いた波作用下の地形変化・底質輸送の同時連続計測，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，第 68 卷，2012，I\_506 - 510。(査読有)
- ⑳ Dundu, A. K. T. and Ohgushi, K.; A study on impact of storm surge by typhoon PAT(T198513) in Saga lowland and surroundings using hydrodynamic numerical modeling, Proc. 8th Int. Symp. on Lowland Technology, 2012, 961-968。(査読有)
- ㉑ Supit, C. and Ohgushi, K.; Prediction of dam construction impacts on annual and peak flow rates in Kase River basin, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 56, 2012, I\_121-126。(査読有)
- ㉒ Yamada, F., Kobayashi, N., Shirakawa, Y., Watabe, Y., Sassa, S. and Tamaki, A.; Effects of tide and river discharge on mud transport on intertidal flat, J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 138, 2012, 172-180。(査読有)
- ㉓ 馬場歩，李洪源，松永信博，千葉賢；諫早湾における大規模塩淡成層の形成要因，土木学会論文集 B1(水工学)，第 69 卷，2013，I\_1381- 1386。(査読有)
- ㉔ 李洪源，李騫，馬場歩，松永信博，千葉賢； 諫早湾における大規模塩淡成層の消失ブ



- ロセス, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第 69 卷, 2013, I\_1387- 1392. (査読有)
- ②⑤田井明, 小松利光; 諫早湾奥からの物質輸送過程と有明海異変に関する考察, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第 69 卷, 2013, I\_1375- 1380. (査読有)
- ②⑥手塚公裕, 大串浩一郎, 緒方直人; 有明海における陸域負荷の長期変動の推定および赤潮発生に及ぼす流入水量の影響, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第 69 卷, 2013, I\_1735- 1740. (査読有)
- ②⑦千葉賢; 2010 年と 2011 年の伊勢湾の水質と流動の再現計算と海水交換特性について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第 69 卷, 2013, I\_1071- 1075. (査読有)
- ②⑧手塚公裕, 伊藤祐二, 片野俊也, 加瑞, 日野剛徳, 速水祐一, 大串浩一郎; 諫早湾調整池への海水導入を想定した実験による底質からのアンモニウム態窒素溶出量の見積もり, 水環境学会誌, 36(2), 2013, 49-56. (査読有)
- ②⑨千葉賢; 浮遊生態系・海底堆積物結合モデルによる英虞湾の環境応答解析, 四日市大学環境情報論集, 第 17 卷, 2013, 25-58. (査読なし)
- ③⑩千葉賢; 一般曲線座標系を用いた沿岸域用 3 次元流動モデル, 四日市大学環境情報論集, 第 17 卷, 2013, 77-114. (査読なし)
- ③⑪Manu Lusia, 白石紘基, 伊東政和, 外村隆臣, 中條壯大, 小林信久, 黒岩正光, 山田文彦; 平成 24 年 7 月九州北部豪雨の異常出水に伴う潮間帯河口干潟の応答特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第 69 卷, 2013, I\_561-565. (査読有)
- ③⑫Hino, T., Harianto, T., Ohgushi, K. and Ichihara, T.; Geoslicer and its application for soil strata analysis, Lowland Technology Int., Vol.15, 2013, 2-9. (査読有)
- ③⑬Nakshima, H., Morita, T. and Ohgushi, K.; Numerical simulations of flood and inundation using LP data in Jobaru River Basin, Proc. World Academy of Science, Engineering and Technology, Int. Journal of Civil Engineering, Vol.7, 2013, 86-91. (査読有)
- ③⑭Yamada, F., Tateyama, R., Tsujimoto, G., Suenag, S., Long, B. and Pilote, C.; Dynamic monitoring of physical models beach morphodynamics and sediment transport using X-ray CT scanning technique, J. Coastal Research, Vol.65, 2013, 1617-1622. (査読有)
- ③⑮Takeuchi, S. Takahara, Y., Agata, Y., Nasuda, J., Yamada, F. and Tamaki, A.; Response of suspension-feeding clams to natural removal of bioturbating shrimp on a large estuarine intertidal sandflat in western Kyushu, Japan, J. Experimental Marine Biology and Ecology,

- Vol. 448, 2013, 308-320. (査読有)
- ③⑯手塚公裕・大串浩一郎・緒方直人; 有明海流入主要河川の流入負荷特性, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第 70 卷, 2014, I\_1231-1236. (査読有)
- ③⑰Zaizen, A., Li, H., Sugihara, Y. and Matsunaga, N.; Characteristics of hypoxic water mass in Isahaya Bay, J. Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol.70, 2014, I\_1207- 1212. (査読有)

その他 8 件

[学会発表] (計 35 件)

- ①永淵麻理絵(大串浩一郎); GIS とリモートセンシングを用いた諫早湾の水質評価, 平成 21 年度土木学会西部支部研究発表会, 2010 年 3 月 6 日, 崇城大学.
- ②多田彰秀; 諫早湾湾口部における 2009 年夏季の水質動態に関する現地観測, 日本流体力学会年会, 2010 年 9 月 11 日, 北海道大学.
- ③馬場歩(松永信博); 諫早湾における筑後川起源水の流入特性, 平成 22 年度土木学会西部支部研究発表会, 2011 年 3 月 5 日, 九州工業大学.
- ④春野良太(多田彰秀); 2010 年夏季の諫早湾北部海域での水質動態に関する現地観測, 日本流体力学会年会, 2011 年 9 月 9 日, 首都大学東京.
- ⑤手塚公裕(大串浩一郎); 嘉瀬川と本明川の水質変動に及ぼす河口堰と潮受堤防の影響, 平成 23 年度土木学会西部支部研究発表会, 2012 年 3 月 3 日, 鹿児島大学.
- ⑥Miyahara, J.(松永信博); A study of hypoxic water mass in Isahaya Bay, Cross Straits Symposium, 2012 年 11 月 23 日, 九州大学.
- ⑦財前亜美(松永信博); 諫早湾における赤潮の経年変化, 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会, 2013 年 3 月 9 日, 熊本大学.
- ⑧春野良太(多田彰秀); 2012 年夏季の諫早湾北部海域での水質動態に関する現地観測; 日本流体力学会年会, 2013 年 9 月 12 日, 東京農業大学.

その他 27 件

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松永 信博 (MATSUNAGA, Nobuhiro)  
九州大学・大学院総合理工学研究院・教授  
研究者番号: 50157335

### (2) 研究分担者

小松 利光 (KOMATSU, Toshimitsu)  
九州大学・大学院工学研究院・特命教授  
研究者番号: 50091343

大串 浩一郎 (OHGUSHI Koichiro)  
佐賀大学・工学研究科・教授  
研究者番号：00185232

山田 文彦 (YAMADA Fumihiko)  
熊本大学・自然科学研究科・教授  
研究者番号：60264280

多田 彰秀 (TADA Akihide)  
長崎大学・工学研究科・教授  
研究者番号：90144328

千葉 賢 (CHIBA Satoshi)  
四日市大学・環境情報学部・教授  
研究者番号：90298654