

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：82102  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2020～2023  
課題番号：20K04069  
研究課題名（和文）崎山湾・網取湾自然環境保全地域における沿岸海洋生態系に関わる物理環境勾配の解明  
  
研究課題名（英文）A study on physical environments related to coastal ocean ecosystem in Sakiyamawan-Amitoriwan natural environment conservation area  
  
研究代表者  
下川 信也（Shimokawa, Shinya）  
  
国立研究開発法人防災科学技術研究所・水・土砂防災研究部門・契約研究員  
  
研究者番号：40360367  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：サンゴは、熱帯・亜熱帯の海の多様な沿岸海洋生態系を形成し、人間にも多様な恩恵をもたらしている。しかし、現在、琉球諸島をはじめ世界中で多くの沿岸海洋生態系が危機に瀕している。その保全のためには、空間的側面だけでなく時間的側面も含めた沿岸海洋生態系のモニタリングとその物理環境との関係の解明が必須であるが、研究はまだまだ十分でない。そこで、本研究では、国内唯一の海域の自然環境保全地域であり、また、2021年に世界自然遺産にも指定された西表島の崎山湾・網取湾自然環境保全地域を対象として、生態分布調査、海洋大気河川観測、数値シミュレーションを総合的に活用し、サンゴの分布と物理環境の関係を明らかにした。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

サンゴ等の沿岸海洋生態系に関わる物理環境として、その平均的な状態や空間的な環境勾配は勿論重要であるが、台風や大陸からの季節風等の海象気象イベント等の時間的な環境勾配も重要である。しかし、そのような物理環境勾配が、サンゴ等の沿岸海洋生態系にどのような影響を及ぼすのかは、十分に解明されていない。加えて、本研究の対象地域である崎山湾・網取湾自然環境保全地域は、近年世界自然遺産へ登録され、また、近隣の石垣島での新空港開港に伴い観光客が増加し、自然破壊の懸念が強まっている。そのため、本地域における沿岸海洋生態系とそれらに関わる物理環境勾配の解明が、学術的にも社会的にも早急にかつ強く求められている。

研究成果の概要（英文）：Corals form diverse coastal marine ecosystems in tropical and subtropical oceans and provide diverse benefits to humans. However, many coastal marine ecosystems in the world, including the Ryukyu Islands, are currently threatened. Monitoring of coastal marine ecosystems, not only spatially but also temporally, and elucidation of their relationship with the physical environment are essential for their conservation, but research on this subject is still insufficient. In this study, in the Sakiyamawan-Amitoriwan Nature Conservation Area of Iriomote Island, which are the only marine natural environment conservation areas in Japan and was designated as a World Natural Heritage site in 2021, the relationship between coral distributions and physical environments were clarified by comprehensively utilizing ecological distribution surveys, marine atmospheric and riverine observations and numerical simulations.

研究分野：海洋物理学、沿岸災害、沿岸海洋生態系

キーワード：サンゴ ウミシヨウブ 西表島 崎山湾・網取湾自然環境保全地域 台風

### 1. 研究開始当初の背景

サンゴ等は、熱帯・亜熱帯の海が多様な沿岸海洋生態系を形成し、人間にも多様な恩恵をもたらしている。しかし、現在、琉球諸島をはじめ世界中で多くの沿岸海洋生態系が危機に瀕している。その保全のためには、空間的側面だけでなく時間的側面も含めた沿岸海洋生態系のモニタリングとその物理環境との関係の解明が必須であるが、研究はまだまだ十分でなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、国内唯一の海域の自然環境保全地域であり、また、2021年に世界自然遺産にも指定された西表島の崎山湾・網取湾自然環境保全地域を対象として、生態分布調査、海洋大気河川観測、数値シミュレーションを総合的に活用し、サンゴの分布と物理環境の関係を解明する。

### 3. 研究の方法

西表島網取湾・崎山湾にけるサンゴの生態分布調査により、サンゴの群体形態別の被度とそれに基づく、多様性指数を算出する。また、サンゴの加入率・産卵率等も調べる。波高流速計等による海洋大気河川観測を実施し、特定の場所・時間での波高、流速、水温、塩分、土粒子量、河川流量を得る。その観測値を初期値・境界値として用いた数値シミュレーションを実施し、網取湾全域での各種物理量の時空間分布を得る。得られた結果に基づき、サンゴの群体形態の被度・多様性指数等と物理環境との関係、また、白化の影響・回復状況などを明らかにする。

### 4. 研究成果

2016年のサンゴ大規模白化の前後における網取湾のサンゴ幼生の分散・滞留の状況と物理環境との関係について、検討した。その結果、白化の影響で2017年に37.5%まで減少した産卵率が、2019年には90.0%まで回復したことで、白化前の2016年は、他の年よりも放出された幼生数が多いこと、一斉産卵後の北寄りの風向によって、幼生の湾内の滞留率が高く、外洋への到達率が低くなったことなどを明らかにした(村上ほか, 2020:図1&2参照)。

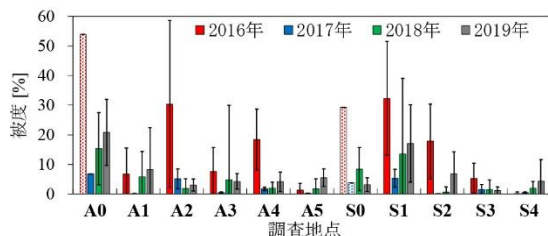


図1 2016～2019年の各地点におけるサンゴ被度；ただし2016年のA0とS0および2017年のS0は推定値である。

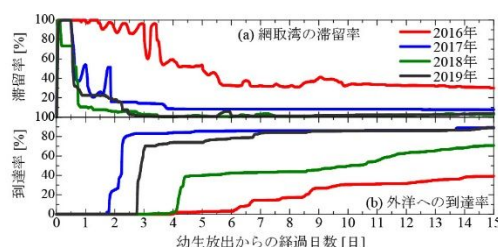


図2 網取湾に滞留および外洋に到達した幼生粒子の割合(滞留・到達粒子数/全放出粒子数)の時系列

網取湾における温暖化時の強大台風と匹敵する台風下での海水流動特性について検討した。その結果、網取湾を通過する台風経路の違い、すなわち、25m/sを越える風速を持つ台風であっても湾内への風向の違いによって、水面表層から下層までの流速の発達および下層への運動量輸送過程に明確な違いのあることを明らかにした(石川ほか, 2020)。

2016年の白化現象直前から白化現象後(2016-2020年)までの網取湾のサンゴ群集の変化(被度や加入率)とミドリイシ属の産卵率(2017-2019年)をモニタリングした。2016年から2017年にかけて、すべてのサンゴ科の被度と加入率は減少したが、被度は2020年までに白化前のレベルに回復し、加入率は2020年には白化前のレベルの約2倍となった。ミドリイシ属の産卵率は、2017年の40.6%から2019年には90.0%へと大幅に増加した。この白化からの回復は、残存サンゴと生き残った5cm未満の稚サンゴの成長に関係していると考えられる。これらの結果から、網取湾のようなサンゴ群集は、地域規模の群集の存続にとって重要であり、ソースとシンクの両方の役割を果たすことが示唆された(Nakamura et al, 2022:表1参照)。

**表1** Numbers of spawned and observed colonies and spawning rates of five *Acropora* corals from 2017 to 2019

Species	Number of colonies	2017				2018				2019	
		V	C	Total of V and C	Spawning rate (%)	V	C	Total of V and C	Spawning rate (%)	V (=C)	Spawning rate (%)
<i>Acropora gemmifera</i>	Spawned	2	4	6	66.7	7	5	12	85.7	9	90.0
	Observed	4	5	9		9	5	14		10	
<i>Acropora hyacinthus</i>	Spawned	-	-			0	1	1	20.0	2	66.7
	Observed	-	-			0	5	5		3	
<i>Acropora nasta</i>	Spawned	1	1	2	40.0	0	2	2	50.0	3	100.0
	Observed	1	4	5		0	4	4		3	
<i>Acropora cf. selago</i>	Spawned	2	2	4	80.0	0	6	6	100.0	4	100.0
	Observed	2	3	5		0	6	6		4	
<i>Acropora tenuis</i>	Spawned	0	1	1	7.7	1	4	5	45.5	9	90.0
	Observed	4	9	13		3	8	11		10	
	Total of spawned colonies	5	8	13	40.6	8	18	26	65.0	27	90.0
Total of observed colonies		11	21	32		12	28	40		30	

Spawning observations were made visually with night diving and by using bundle collectors. V number of colonies observed by visual observation, C number of colonies monitored by bundle collectors. V (=C) shown in 2019 means that colonies observed by visual observation were the same as the colonies monitored with bundle collectors

網取湾において20m/s以上の風速を観測した台風1513号を対象に3次元流動解析を行った。観測された流速との比較を通して、台風モデルで使用される海面抵抗係数とスマゴリンスキー係数が解析結果に与える影響を評価し、その結果から、網取湾の3次元流動特性について検討した。海面抵抗係数について、従来使用されてきた風速に対して単調増加する式を使用すると流速を過大評価する結果になり、ある風速下で海面抵抗係数の増加を制限することが望ましいことが示された。また、網取湾ではリーフ地形が広がる特異な地形条件であることが、流動場に大きく影響していることが明らかとなった。これらの結果から、台風時の複雑な流動場がサンゴ等の生息環境に影響を及ぼしていることが示唆された(川崎ほか, 2022)。

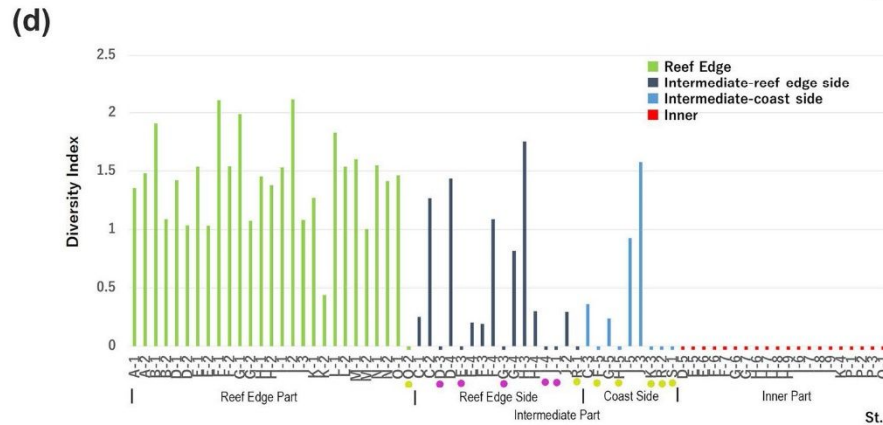
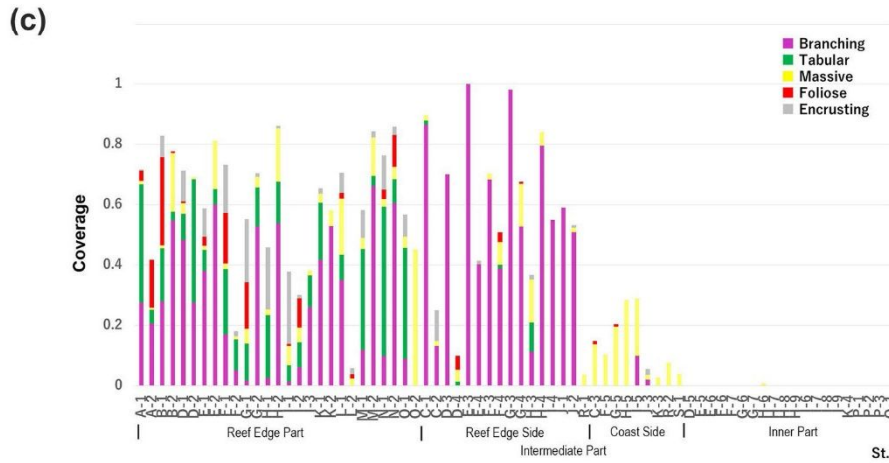
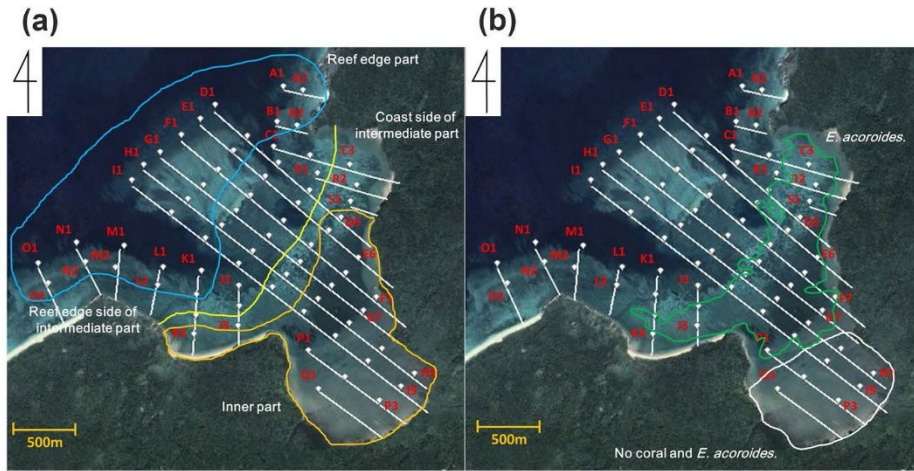
2022年に網取湾において、コドラート法によって礁縁から礁斜面深部の水深40mまでのサンゴを調査し、種同定に基づき被度・白化を評価した。これによって得られた主要な結果は以下である。(1) 調査したサンゴは、12科34属85種に分類された。(2) 2022年のサンゴの白化は、2016年の大規模白化に並ぶものである。(3) 水深3および10mでは、種の多様性が大きく、優占種が不明瞭であった。また、その白化率も種によって大きく異なっていた。(4) 水深20、30および40mでは、優占種が明確であった。(5) ほとんどの種の鉛直分布の範囲は、約10m以下もしくは10~20mに限られる。(6) これらの結果は、従来の形状別や属レベルの分類では十分に評価できない可能性がある(村上ほか, 2023: 表2参照)。

表2 各水深の構成比上位1, 2位の種名・構成比・白化率および構成比の平均値・標準偏差・レンジ

水深	構成比 上位1位		構成比 上位2位		構成比の平均値, 標準偏差, レンジ
	種名, 構成比, 白化率		種名, 構成比, 白化率		
3m	<i>Montipora stellata</i>	14.1% 62.5%	<i>Isopora brueggemanni</i>	13.1% 100.0%	2.6 ± 3.5, 14.1%
10m	<i>Acropora selago</i>	10.8% 71.1%	<i>Anacropora forbesi</i>	10.6% 73.8%	2.1 ± 2.8, 10.8%
20m	<i>Acropora awi</i>	47.4% 100.0%	<i>Montipora aequituberculata</i>	10.0% 100.0%	6.3 ± 11.6, 47.4%
30m	<i>Acropora awi</i>	69.9% 38.2%	<i>Acropora echinata</i>	17.1% 0.7%	9.1 ± 20.7, 69.8%
40m	<i>Leptoseris papyracea</i>	81.4% 0.0%	<i>Pachyseris speciosa</i>	8.6% 0.0%	8.3 ± 23.1, 81.3%

網取湾において台風1515号の来襲時に観測された流速鉛直分布を対象に3次元流動解析を行った。観測された流速鉛直分布の再現性の向上を目的として、鉛直方向の粘性係数と海域の底面粗度係数を対象とした感度分析を実施した。その結果、鉛直方向の粘性係数を小さくすることで表層から底層へ伝播する流れが抑制された。また、サンゴ礁が発達した海域であるため、底面粗度係数を通常の津波・高潮解析で使用される値より大きくすることで観測結果の再現性が向上した。さらに、解析結果の流動分布より、台風1515号の来襲時に網取湾では表層と底層で異なる流動場が形成されていることが明らかになった(二村ほか, 2023)。

網取湾と崎山湾のサンゴの多様性の差異について、多様性指数と中間規模攪乱仮説の観点から、考察した。網取湾では、サンゴの多様度は湾中央部で最大で、波高と土粒子数を外部攪乱として中間規模攪乱仮説が成立している。また、ウミシヨウブは少なく、現在大規模な群落は存在しない。一方、崎山湾では、サンゴの多様度は礁縁で最大で、中間規模攪乱仮説が成立していない。また、湾中央部から湾奥部にかけてはウミシヨウブが広く分布している。これらの差異を特に両湾の地形的な環境勾配の違いによる土砂流入の影響の違いから明らかにした(Shimokawa et al., 2023: 図3参照)。



**3** **a** Classification of parts in Sakiyama Bay. The reef edge part is surrounded by a blue line. The inner part is surrounded by an orange line. The intermediate parts are between them. The reef edge and coast sides are divided by a yellow line. **b** Distribution region of *E. acoroides*. *E. acoroides* is distributed in the region surrounded by a green line. No coral and *E. acoroides* are distributed in the region surrounded by a white line. **c** Coral coverage classified by coral life forms. **d** Diversity index of corals. The zero values of the diversity index in the bay's intermediate part show the existence of only one type of coral (branching or massive). The pink and yellow circles under the station numbers show branching and massive corals, respectively. The zero values of the diversity index in the bay's inner part show no coral, except for St. H-6, where small massive corals exist (see c)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nakamura Masako, Murakami Tomokazu, Kohno Hiroyoshi, Mizutani Akira, Shimokawa Shinya	4. 巻 169
2. 論文標題 Rapid recovery of coral communities from a mass bleaching event in the summer of 2016, observed in Amitori Bay, Iriomote Island, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Marine Biology	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00227-022-04091-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 川崎浩司・二村昌樹・山本 剛士・村上智一・下川信也	4. 巻 78
2. 論文標題 台風1513号来襲時における西表島網取湾の3次元流動解析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2（海岸工学）	6. 最初と最後の頁 I_409～I_414
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/kaigan.78.2_I_409	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Shimokawa Shinya, Murakami Tomokazu, Kohno Hiroyoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Coral distribution and diversity in Sakiyamawan?Amitoriwan nature conservation area of Iriomote Island in Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geoscience Letters	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40562-023-00263-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 村上智一・河野裕美・中村雅子・則武幸輝・木下日波乃・水谷晃・下川信也	4. 巻 76
2. 論文標題 西表島網取湾におけるサンゴ大規模白化前後の幼生分散・滞留の数値解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3（海洋開発）	6. 最初と最後の頁 840-845
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejo.76.2_I_840	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 石川綾乃・小笠原敏記・村上智一・河野裕美・水谷晃・下川信也	4. 巻 76
2. 論文標題 西表島網取湾における長期定点観測による台風時の海水流動特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 127-132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.76.2_1_127	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 村上智一・小林雄生・伊藤英芳・下川信也・杉原薫・山田吉彦	4. 巻 79
2. 論文標題 種同定に基づく2022年西表島網取湾の礁斜面40mまでのサンゴ被度および白化評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 23-18047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.23-18047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二村昌樹・山本 剛士・村上智一・下川信也・川崎浩司	4. 巻 79
2. 論文標題 西表島網取湾における台風来襲時の流速鉛直分布の再現解析	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 23-17052
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.23-17052	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 S. Shimokawa and T. Murakami
2. 発表標題 Coral diversity in Sakiyamawan-Amitoriwan nature conservation area, Iriomote Island
3. 学会等名 AOGS 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川崎浩司・二村昌樹・山本 剛士・村上智一・下川信也
2. 発表標題 台風1513号来襲時における西表島網取湾の3次元流動解析
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Shimokawa, T. Murakami and H. Kohno, A. Mizutani
2. 発表標題 Diversity of coral distributions and the difference in Sakiyamawan-Amitoriwan nature conservation area
3. 学会等名 Japan Geoscience Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Shimokawa, T. Murakami and H. Kohno, A. Mizutani
2. 発表標題 Characteristics of water temperature changes and coral breaching in Amitori Bay, Iriomote Island, Japan
3. 学会等名 Proc. Japan Geoscience Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 下川信也・村上智一・河野裕美・水谷晃
2. 発表標題 西表島網取湾における海水温変動の特徴について
3. 学会等名 日本混相流シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Shimokawa, T. Murakami
2. 発表標題 Characteristics of water temperature and current including typhoon peridos in Amitori Bay of Iriomote Island, Japan and the influence on coastal ocean ecosystem
3. 学会等名 Japan Geoscience Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石川綾乃・小笠原敏記・村上智一・河野裕美・水谷晃・下川信也
2. 発表標題 西表島網取湾における長期定点観測による台風時の海水流動特性
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上智一・小林雄生・伊藤英芳・下川信也・杉原薫・山田吉彦
2. 発表標題 種同定に基づく2022年西表島網取湾の礁斜面40mまでのサンゴ被度および白化評価
3. 学会等名 海洋開発シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 二村昌樹・山本 剛土・村上智一・下川信也・川崎浩司
2. 発表標題 西表島網取湾における台風来襲時の流速鉛直分布の再現解析
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 小林雄生・村上智一・伊藤英芳・下川信也・山田吉彦・杉原薫
2. 発表標題 西表島網取湾の造礁サンゴ群集の垂直分布
3. 学会等名 日本サンゴ礁学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	村上 智一  (Murakami Tomokazu)  (80420371)	国立研究開発法人防災科学技術研究所・水・土砂防災研究部門・主任研究員   (82102)	
研究分担者	河野 裕美  (Kohno Hiroyoshi)  (30439682)	東海大学・沖縄地域研究センター・教授   (32644)	
研究分担者	水谷 晃  (Mizutani Akira)  (80773134)	東海大学・沖縄地域研究センター・技術職員   (32644)	
研究分担者	中村 雅子  (Nakamura Masako)  (50580156)	東海大学・海洋学部・准教授   (32644)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------