

令和 2 年 5 月 27 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H03723

研究課題名(和文)大陸棚縁辺における海底境界流と潮汐過程を含む沿岸海洋循環の実態解明

研究課題名(英文) Coastal circulation driven by bottom currents associated with tides around the continental shelf break

研究代表者

田中 潔 (Tanaka, Kiyoshi)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号：20345060

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：大陸棚縁辺における潮汐過程と海底境界流を含む沿岸海洋循環の実態を、海洋観測と数値実験を連携させて調べた。海洋観測では三陸沖の大陸棚縁辺域において、小型船を利用した船舶観測や係留観測を実施した。一方、数値実験においては、内部潮汐過程を適切に再現することが可能な非静水圧モデルや、西部北太平洋域の流況を再現する海洋循環を用いて数値実験を実施した。その結果、潮流を始めとして海盆上で生成される外部モードの振動流が大陸棚縁辺に達したとき、斜面上で生じる内部モードの流れは海底付近においてこれまで考えられた以上に強化され、沿岸域の海洋循環に重要な役割を果たしていることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果は沿岸起源の海洋環境問題や漁業問題における喫緊の社会的諸問題の解決に必須であるのみならず、2011年3月に発生した東日本大震災で甚大な被害を受けた三陸地域の震災復興に対しても貢献する。例えば、本研究で明らかにされた大陸棚上の流況や水温分布の実態は、効率的な漁業活動や海洋土木工事の安全確保などに役立てられる。また、陸棚斜面に沿って湧昇する内部潮汐流は多量の栄養塩を水深200 mより深い層から沿岸陸棚域へもたらすことから、本研究で明らかにされた海底付近の強い流れや内部潮汐流の生成機構は、今後の沿岸生態系の維持と保全策の策定にも貢献する。

研究成果の概要(英文)：Strong currents associated with internal tides near the bottom around a continental shelf break were investigated by conducting oceanographic surveys and performing numerical experiments. Shipboard and mooring monitoring surveys were conducted in the coastal ocean off the Sanriku region. A non-hydrostatic model and an ocean general circulation model were developed in the numerical experiments to investigate physical oceanographic processes over the coastal ocean including the continental shelf, continental slope, and deep basin. It was elucidated that internal mode motions are generated by convergence and divergence of flows impinging on or separating from the continental slope, which originate from barotropic tides generated on the ocean basin. The internal mode motions play important roles in the coastal ocean circulation, because they are particularly strengthened near the bottom around the continental shelf and slope.

研究分野：海洋物理学

キーワード：海洋物理学 沿岸海洋力学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年になって大陸棚縁辺では、海底直上の流れが沿岸の流動構造に本質的な役割を果たしていることが明らかになってきた。例えば、大陸棚で冲向きに流れる海底境界流が、浮力(沿岸の低塩分水)を陸棚外縁(shelf break)まで輸送し、そこで外洋水との間に前線(front)とそれに伴う沿岸密度流を形成していることなどが分かってきた(Pickart, 2000, J.Phys.Oceanogr.)。しかし、大陸棚上の海底境界流に関するこうした今日までの研究は、潮汐等の振動流の影響が考慮されていない点で重大な問題を抱えている。一般に起伏が有る海底地形上では内部潮汐(傾圧応答)が発生し、特に大陸棚縁辺では強い内部潮汐が生じることが指摘されている(Baines, 1982, Deep Sea. Res.)。内部潮汐は深さ 100 ~ 200 m の大陸棚上に厚さ数 10 m の底層流を形成し得るが、この厚さは海底境界流の厚さ(10 ~ 20 m)より大きい可能性があり、それは大陸棚縁辺の海洋力学にも大きな影響を及ぼすはずである。

(2) しなしながら、上述のような視点からの研究はこれまでほとんどなされてこなかった。その主たる理由は、陸岸から遠く離れた大陸棚縁辺では、海底近傍までを含めての精細な海洋物理観測を行うことは容易ではないことにある。また、数値実験的にも、海底近傍の内部潮汐を高度な非静水圧モデルによって再現できるようになったのは 1990 年代後半以降であり、この分野の研究は進んでいなかった。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、大陸棚縁辺における海底境界流と潮汐過程を含む沿岸海洋循環の実態を、海洋観測と数値実験を連携させて解明する。すなわち、太平洋で生成される外部モードの流動が大陸棚縁辺の斜面上に達したとき、鉛直断面内で流れの収束・発散が生じることで内部モードの流れが作られる過程を、特に斜面の役割と海底近くの流動構造に着目して、係留系や船舶による観測研究と数値実験を実施して調べる。そして、観測研究の結果と数値実験の結果を有機的に連携させることで、大陸棚縁辺における潮汐等の振動流と海底境界流を含む沿岸海洋循環の実態を明らかにする。

そのため、観測においては岩手県大槌町を拠点として、時系列データを詳細に取得することが可能な係留観測と、空間分布データを詳細に取得することが可能な船舶観測を多数実施し、大陸棚上の海洋循環場について前例の無い高品質のデータを取得する。一方、数値実験においては、大陸棚縁辺を対象域とする高解像度の非静水圧モデルと、太平洋で生成される外部モードの流動が大陸棚縁辺に達する過程を再現する西部北太平洋海洋循環モデルを開発する。

(2) 得られる成果については学術誌への投稿のみならず、効率的な漁業活動や海洋土木工事の安全確保にも資するべく、沿岸の水温・塩分変動や流況情報をインターネット上のウェブサイト等で随時発信・更新する。

3. 研究の方法

(1) 海洋観測

係留観測については大槌湾内に水温計、塩分計、電磁流速計を図 1 のように設置した。

一方、船舶観測は図 2 の海域で、ADCP(超音波ドップラー多層流向流速計)と CTD(水温・塩分・深度計)による観測を実施した。

(2) 数値実験

非静水圧モデルについては、三陸沖の大陸棚縁辺の斜面と成層を模した鉛直 2 次元のモデルを開発した。そして、モデルの外部境界条件に順圧半日周潮(M2 潮)を課して、順圧(外部)モードの潮流が斜面上での収束発散を介して内部モードの流れを生成する過程を調べた。

海洋循環モデルについては、プリンストン海洋モデル(POM)を基に開発した。西部北太平洋の日本周辺を対象海域とし、水平格子間隔は約 20 km、鉛直 26 層を設定し、側面境界は放射条件を課した。

4. 研究成果

(1) 係留観測の結果

大槌湾内では夏季に、底層で数時間から 1 日程度の周期で、低温水の出現を伴う顕著な水温振動が存在することが知られている(Tanaka et al., 2017, J. Oceanogr.)。そして、本課題の遂行時、注目すべき大きな変動が台風の通過時に生じていることが明らかになった。図 3 は、台風がまさに

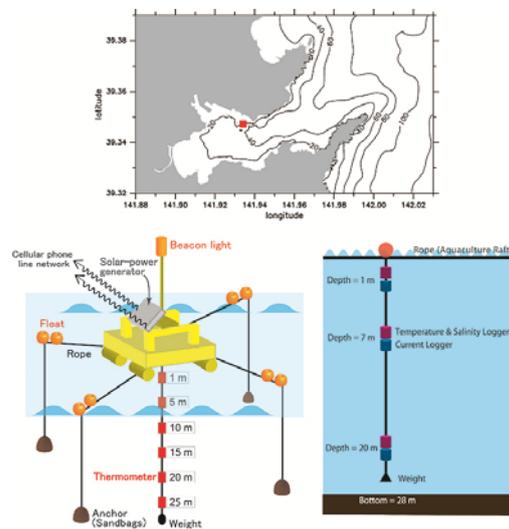


図 1. 係留仕様。【上】係留位置(赤色点) 【下左】水温計、【下右】塩分計と流速計。

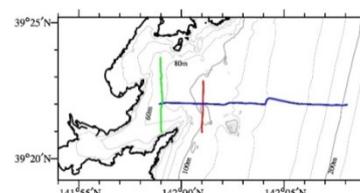


図 2. ADCP 観測線。2015 年、2016 年、2018 年の観測線をそれぞれ赤、青、緑で示す。

三陸上空を通過したタイミングで水温変動を捉えることに成功した結果を示す。すなわち、台風 10 号が 2016 年 8 月 30 日 17 時半頃に大船渡市に上陸した後 (図 4)、31 日 3 時頃に大槌湾の底層水温が大きく低下し、その後数日間に渡って続く水温昇降が捉えられた (図 3)。

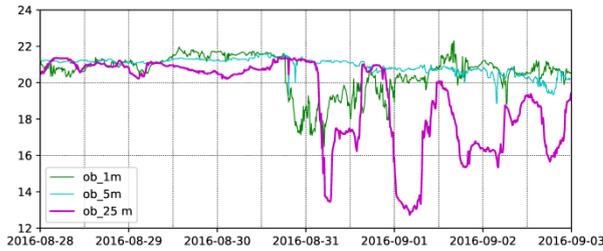


図 3 . 台風通過時に大槌湾で計測された水温の時間変化(2016 年 8-9 月)。紫色が底層(25 m 深)水温を示す。計測点の水深は 28 m。



図 4 . 2016 年の台風 10 号の移動経路。

(2) 船舶観測の結果

2015 年は陸棚上の南北線上で実施した (図 2)、上げ潮時に観測された ADCP 鉛直断面分布を図 5 に示す。底層に強い西向き流が存在している。一方,2017 年は斜面を下る東西線上で実施した。下げ潮時の結果を図 6 に示す。このときは底層に強い東向き流が存在している。すなわち、どちらの観測でも (陸棚上と斜面上、上げ潮時と下げ潮時) 底層では順圧 (外部) 潮流と順方向の流れが、その上層では逆方向の流れが生成されていることが明らかになった。

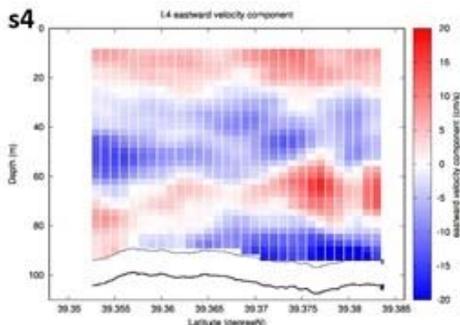


図 5 . 2015 年 7 月 (上げ潮時) に実施した陸棚南北線上の ADCP 鉛直断面分布。赤色が東向き、青色が西向き流を示す。

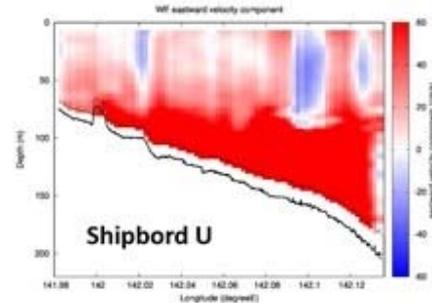


図 6 . 2018 年 6 月 (下げ潮時) に実施した斜面を下る東西線上の ADCP 鉛直断面分布。赤色が東向き、青色が西向き流を示す。

(3) 非静水圧モデル実験の結果

斜面上の流動場を再現する非静水圧モデル実験について、順圧 (外部) 潮流が下げ潮時の結果を図 7 に示す。底層では順圧潮流と順方向の東向き流が生じる一方、その上層では逆方向の西向き流が生じている。これは上記 4 . (2) で見られた観測結果と一致する。そして特に着目すべき点として、底層の流れは海底に近いほど強化されていることがある。一般に海底付近では海底摩擦によって流れは減衰することが多いが、実験ではそうした減衰はごく薄い層にのみ限られている (従って、図中では識別できない)。すなわち、斜面上で生じる内部潮汐流は、大陸棚縁辺における海底付近でこれまで考えられた以上に強化され、沿岸域の海洋循環に重要な役割を果たしていることが明らかになった。

(4) 海洋循環モデル実験の結果

上記 4 . (1) で述べた台風通過時の海洋応答を、海洋循環モデルで再現した結果 (表層流速場) を図 8 に示す。台風経路上の流速場は、時間とともに流向が時計回りに変化する慣性振動流の特徴を示す。そして、このときモデルの中の大槌湾に相当する格子点では、図 9 のような水温の時間変化を示した。すなわち、湾内底層 (25 m 深)

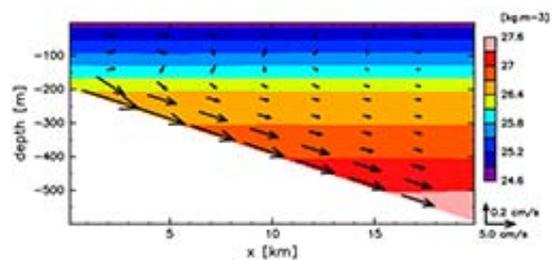


図 7 . 非静水圧鉛直 2 次元モデルの実験結果。下げ潮時の流速 (矢印) と成層分布 (カラー)。

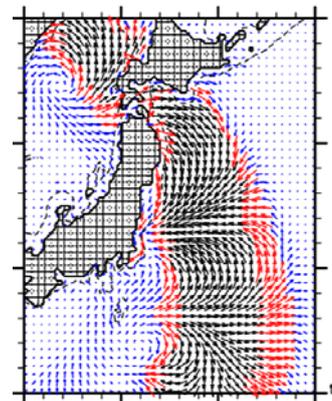


図 8 . 海洋循環モデルで再現された 2016 年 8 月 31 日 3 時における表層 (25 m 深) の流速分布。黒・赤・青の順に絶対値が大きい。

の水温は、31日0時から急低下し、同日4時に極小となり、その後19時間周期の変動が続いた。この周期(19時間)は、三陸の緯度帯での慣性周期18.9時間とほぼ一致する。そしてそれは、上記4.(2)で提示した実際に観測された水温変動(図3)ともほぼ一致する。このことは、台風時に観測された大槌湾底層の降温とそれに続く昇降温は、台風によって生成された慣性振動流があたかも潮流と同様の力学的作用によって大陸棚縁辺の底層流を強化したことを意味する。台風下におけるこうした現象を、観測と数値実験の両面から解き明かした類例は世界的に見てもほとんどなく、大変意義の大きい成果を提示するに至った。

(5) インターネット上での成果配信

得られた成果のうち観測データ(水温・塩分変動や流況)については、学術誌への投稿のみならず、効率的な漁業活動や海洋土木工事の安全確保にも資するべく、インターネット上のウェブサイトで随時発信・更新している(図10)。

(6) 成果の位置づけとインパクト

三陸沖の海況は、当該研究分野で最も先行する海域の一つである北アメリカ東岸(Mid-Atlantic Bight)と類似している(南北に長く延びる沿岸を北から沿岸密度流が流れる一方、南からは暖水が進入)。一般に陸岸から遠く離れた大陸棚縁辺において、海底付近の流れを詳細に観測することは容易ではないが、三陸ではその間の距離が比較的近いため、本課題では世界的な普遍性を有する大陸棚縁辺の海洋構造を極めて機動的・効果的に観測することに成功した。その結果、上述の通り世界的に重要な新しい知見が数多く得られた。

(7) 今後の展望

大陸棚縁辺の海洋構造を正しく解明することは、沿岸海洋問題を考える際の外側境界条件として重要であるのみならず、縁辺の海洋変動に伴う沿岸と外洋間の海水交換過程と、それを介して引き起こされる地球規模環境問題にとっても重要である。本課題で明らかにされた成果はそうした地球環境問題の解決や、今後の沿岸生態系の維持と保全策の策定等に資するものである。

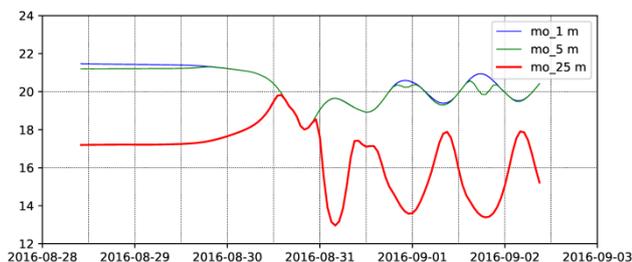


図9. 図3と同じ(2016年8-9月の大槌湾の水温の時間変化)。ただし、海洋循環モデルによる再現結果。赤色が底層水温を示す。

大槌湾 海洋環境モニタリング リアルタイム中継

映像

水温

塩分・流速

風速

気温
気圧
雨量
湿度
日射

大気海洋研究所
大槌湾

東京大学大気海洋研究所では、岩手県大槌湾で様々な自動観測機器を用いて海洋環境のモニタリングを実施しています。

リアルタイムデータ

- ・水温(赤浜)データ: [クリックして閲覧](#): 携帯電話端末用は[こちら](#)。
[こちら\(東北水産サーブ\)](#)でも、同内容のデータを見ることも出来ます
(! 東京大学サーブの調子が悪いときはこちらをご利用下さい)。
毎年2回(5月下旬~6月頃、及び11月下旬~12月頃)に、メンテナンスで休止します。
- ・風速(検定済み)データ: [クリックして閲覧](#): 携帯電話端末用は[こちら](#)。
リンク先ページの左上欄【観測要素選択】で、「風」を選択して下さい。
- ・気温/気圧/雨量/湿度/日射(研究用):
[クリックして閲覧](#): 携帯電話端末用は[こちら](#)。
リンク先ページの左上欄【観測要素選択】で、「気象」を選択して下さい。
- ・映像データ: [クリックして閲覧](#)。

過去データ (2000.2.23更新)
過去のいくつかのデータを圖にまとめています。 [こちらをクリック](#)。

図10. 本研究で取得された観測データをインターネット上で配信しているウェブサイト (http://www.icrc.aori.u-tokyo.ac.jp/member/ktanaka/contents_j/kankyo-monitor/index_kankyo.html)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yanagimoto D, Tanaka K, Fujio S, Nishigaki H, Ishizu M	4. 巻 1
2. 論文標題 Observation of Near-Bottom Current on the Continental Shelf Off Sanriku	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Oceanography Challenges to Future Earth	6. 最初と最後の頁 171 - 178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/978-3-030-00138-4_13	査読の有無 無
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 Tanaka, K. and Oka, E.	4. 巻 42
2. 論文標題 A brief overview of recent activities and approaches for investigating shelf-basin exchange processes and coastal sea circulation around Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Coastal Marine Science	6. 最初と最後の頁 12-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 田中潔、羽角博康、小松幸生、伊藤幸彦、柳本大吾、坂本天、仁科慧、道田豊	4. 巻 83
2. 論文標題 三陸沿岸の海洋物理学研究について	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本水産学会誌	6. 最初と最後の頁 644-647
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 田中潔、孫艶枚、道田豊、柳本大吾	4. 巻 -
2. 論文標題 岩手県三陸沿岸における海洋物理学研究 (2017年度)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第67回東北海区海洋調査技術連絡会議事録	6. 最初と最後の頁 27-30.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Tanaka, K., K. Komatsu, S. Itoh, D. Yanagimoto, M. Ishizu, H. Hasumi, TT. Sakamoto, S. Urakawa, and Y. Michida	4. 巻 73
2. 論文標題 Baroclinic circulation and its high frequency variability in Otsuchi Bay on the Sanriku ria coast, Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 25-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-015-0338-9	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 田中潔、羽角博康、小松幸生、伊藤幸彦、柳本大吾、坂本天、石津美穂、浦川昇吾、道田豊	4. 巻 54
2. 論文標題 三陸沿岸の流況	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 沿岸海洋研究	6. 最初と最後の頁 97-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Yanagimoto, D., K. Tanaka, S. Fujio, H. Nishigaki, and M. Ishizu	4. 巻 1
2. 論文標題 Observation of spatial distribution near -bottom current speed on bottom current speed on the continental shelf off Sanriku	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Marine ecosystems after Great East Japan Earthquake in 2011 -Our knowledge acquired by TEAMS-	6. 最初と最後の頁 39-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Tanaka, K., K. Komatsu, S. Itoh, D. Yanagimoto, M. Ishizu, H. Hasumi, TT. Sakamoto, S. Urakawa, and Y. Michida	4. 巻 1
2. 論文標題 High-resolution hydrographic observation with local communities in the Sanriku coastal seas, Japan	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Marine ecosystems after Great East Japan Earthquake in 2011 -Our knowledge acquired by TEAMS-	6. 最初と最後の頁 35-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kiyoshi Tanaka, Yutaka Michida, and Daigo Yanagimoto
2. 発表標題 Oceanographic Observation Using Fishing Boats in Many Coastal Seas Around Japan
3. 学会等名 Ocean Obs ' 19 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西垣肇、高田佑太、田中潔、柳本大吾、藤尾伸三、仁科慧
2. 発表標題 大槌湾沖の陸棚における海洋観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仁科慧、田中潔、柳本大吾、西垣肇
2. 発表標題 三陸沿岸における内部潮汐について
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JPGU) 連合大会2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 孫艶枚、田中潔、道田豊、柳本大吾、仁科慧
2. 発表標題 防波堤再建後の釜石湾の海洋環境
3. 学会等名 2017年度日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 仁科慧、田中潔、柳本大吾、西垣肇
2. 発表標題 三陸沖のshelf breakにおける内部潮汐の発生過程
3. 学会等名 2016年度日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yanagimoto, D.
2. 発表標題 Observation of near-bottom current on the continental shelf off Sanriku
3. 学会等名 The 16th Japanese-French Oceanography Symposium (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 田中潔
2. 発表標題 三陸沿岸の流況
3. 学会等名 2016年度日本海洋学会春季大会シンポジウム -震災復興に対する沿岸海洋学の貢献-
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kiyoshi TANAKA, Hiroyasu HASUMI, Kosei KOMATSU, Sachihiko ITOH, Daigo YANAGIMOTO
2. 発表標題 Physical Oceanography After the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami in the Sanriku Coastal Area, Japan
3. 学会等名 2018 Asia Oceania Geosciences Society Meeting
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室ホームページ
<http://www.icrc.aori.u-tokyo.ac.jp/member/ktanaka/index.html>

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	柳本 大吾 (Yanagimoto Daigo) (40260517)	東京大学・大気海洋研究所・助教 (12601)	
研究 分担者	西垣 肇 (Nishigaki Hajime) (70253763)	大分大学・理工学部・准教授 (17501)	
連携 研究者	藤尾 伸三 (Fujio Shinzo) (00242173)	東京大学・大気海洋研究所・准教授 (12601)	