

平成 22 年 6 月 30 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19612005

研究課題名 (和文) 海洋表層の短時間変動が大気に与える影響の解明

研究課題名 (英文) Study on the effect of short-term variations in the upper ocean on the atmosphere

研究代表者

川合 義美 (KAWAI YOSHIMI)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・チームリーダー

研究者番号：40374897

研究成果の概要 (和文)：日本周辺の北西太平洋を対象に、短時間スケールの海洋表層の変動とそれが大気に与える影響を調べた。人工衛星データの解析から、海面水温急低下を伴う表層クロロフィル濃度の急増加現象は、低気圧が通過することの多い縁辺海や沖縄や本州の南方、及び黒潮・親潮続流域周辺で発生しやすいことが明らかになった。また大気海洋結合領域モデルを用いた数値実験を行い、海面水温の日変化が梅雨期の降水量や台風の強度に影響を与え得ることが示された。

研究成果の概要 (英文)：We investigated short-term variations of the upper ocean and their impacts on the atmosphere in the northwestern Pacific Ocean around Japan. It was revealed from an analysis of satellite data that the surface chlorophyll-a quick increase events with quick sea surface temperature (SST) drop tended to occur south of Okinawa and Honshu, and in the Kuroshio-Oyashio Extension region, where cyclones often pass. We also performed numerical experiments by using an ocean-atmosphere coupled regional model, and shown that the diurnal variation of SST can modify precipitation in the Baiu season and the intensity of a typhoon.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：海洋学

科研費の分科・細目：地球システム変動

キーワード：大気海洋相互作用 リモートセンシング 海洋物理・陸水学 自然現象観測・予測 大気海洋結合モデル 日変動 海面水温 植物プランクトン

1. 研究開始当初の背景

地球上の大気と海洋は相互に影響するシステムとして変動しており、大気海洋間相互作用は地球の気候システムにおいて重要な役割を果たしている。比較的長時間スケールが

長い全球・大洋規模の現象における大気海洋相互作用の研究は多く見られるものの、時間スケール 1 日～数 10 日程度でかつメソ～総観スケールの現象における大気と海洋の関わり合いに関する研究はまだ少ない。

しかし気候場を構成する要素である、時間・空間スケールの小さな個々の大気及び海洋現象における相互作用のプロセスを解明することは、全球規模の長周期の気候変動を理解するうえでも大きな意義がある。例えば、台風などの気象擾乱は中層の海水を上層へ運び上げることにより、表層に水温や栄養塩、クロロフィルのアノマリを短時間のうちに生じさせることがある。このような表層の海水特性の変化は、日射の吸収率や海面熱フラックスの変化を通して大気場に何らかのフィードバックを返す可能性がある。また、風が弱くかつ日射が強い時には海面水温は大きく昇温し、朝から半日足らずの間に数度も上昇することも珍しくない。このようなケースでもやはり大気は海面熱フラックスの変化を通して影響を受けると考えられるが、従来のほとんどの大気モデル、及び大気海洋結合モデルはこのような短周期の海洋現象を考慮していない。

海洋の日変動と大気場の変動との関係については1990年代以降徐々に研究者の関心が強まっており、欧米や豪州などではすでに海面水温の日変動を現実的に再現できるスキームを海洋モデルに取り込み大気への影響を調べるという試みが始まりつつある。彼ら・彼女らの関心は、主に熱帯域の季節内変動や降水過程に海洋日変動が与える影響である。一方、日本国内では海面水温の日変動現象はあまり関心を持たれておらず本研究代表者を除いて研究はほとんど行われていない。

また現在、海洋化学・生物過程と海洋大気との相互作用の解明を目的とした SOLAS (Surface Ocean-Lower Atmosphere Study) と呼ばれる国際プロジェクトが進行している。日本国内でも主に海洋化学、海洋生物学及び大気化学の研究者が海洋と大気境界を中心とした物質や熱の交換過程の研究を進めている。台風通過に伴う生物生産の急激な増加現象は近年注目を集めているが、太平洋ではまだ研究例が少なく、発生頻度などもよく分かっていない。

2. 研究の目的

主に日本周辺の太平洋亜熱帯から中高緯度の海域を対象とし、暖候期における時間スケール1日～数10日程度の現象に着目する。この海域における海洋表層の短時間スケールの変動を明らかにし、またその短期変動が大気場に与える影響を数値モデル実験により調べる。

3. 研究の方法

衛星観測や再解析データの解析と、数値モデルによるシミュレーションを中心に研究を進める。使用する衛星・再解析データは海

面水温、海上風、及びクロロフィル濃度等である。解析期間は2002年8月から2007年7月までの5年間、対象海域は北西太平洋(0度～北緯60度、東経100度～西経160度)である。

数値シミュレーションには気象研究所の高解像度非静力学大気モデルと海洋混合層モデルを結合させた大気海洋結合モデルを使用する。大気側は非静力学モデルで高度約23kmまでを鉛直40層で表現しており、鉛直解像度は40m(地表付近)から1180mである。大気モデルではKain and Fritsch (1990)の積雲対流パラメタリゼーションを使用している。海洋側は混合層スラブモデルを用いており、混合層の深度と水温が予報されるようになっている。数値モデルでは物理過程を主に扱うが、海水の短波放射吸収率が表層クロロフィル濃度にも依存するパラメタリゼーション (Ohlmann and Siegel, 2000) を組み込み、クロロフィル濃度の変化が海面水温に与える影響を評価する。また、計算機に大きな負担をかけずに海面水温の日変化を数値モデル内で表現できるスキーム (Schiller and Godfrey, 2005) を海洋モデルに組み込んで、日変化が大気に与える影響を調べる。

4. 研究成果

(1) 海面水温低下を伴う表層クロロフィル濃度急増加現象の検出。

比較的浅い所に水温躍層(上層の暖かい水と下層の冷たい水の境目)が形成されている時、低気圧が海洋上を通過すると下層の冷水が持ち上げられて海面水温が短時間で大幅に低下する。この時、下層から栄養塩が供給されることにより植物プランクトンの光合成が盛んになり、クロロフィル濃度が急激に増加することがある。人工衛星データの解析により、日本周辺でこのような現象がどこで起きやすいのか調査した。

まず人工衛星によって観測された表層クロロフィル濃度(以下Chl)の10日間以内の増加量とその月の標準偏差を超えるケースを各格子点において抽出した。以下ではこれを「イベント」と呼ぶ。本研究では衛星Chlデータを0.25度の格子点で平均化して使用した。次に各イベントについてイベント期間とその前5日間を合わせた期間を対象に、海面水温(以下SST)の低下量を調べた。これは対象期間内における「5日以内での最大水温低下量」で定義した(以下では Δ SSTと呼ぶ)。また同様の期間における海上風速の最大値も衛星データから求めた。

① イベントの発生頻度

解析の結果、 Δ SSTが 2°C 以上のChl急増イベントは日本海や東シナ海、オホーツク海などの縁辺海、沖縄や本州の南方、及び本州

東方の黒潮・親潮統流域で発生しやすいことが分かった (図1)。

大きな SST 低下を伴うイベントは5月頃から北緯 35 度以南の海域で見られるようになり、季節が進むにつれて発生頻度が高くなる。夏から秋にかけて日本海や黒潮・親潮統流域でもイベントが多くなり、発生頻度は秋に最大となる。これは海洋の季節温度躍層の発達や低気圧の通過経路の季節変化に対応している。南方海域のイベントは熱帯低気圧 (台風を含む) によるものであり、一方、日本海や黒潮・親潮統流域では温帯低気圧の通過によるものが主である。

大気擾乱通過によって引き起こされる Chl の増加量は、ほとんどの海域では年間の総 Chl 増加量の 10%以下であるが、南シナ海や日本海、黒潮・親潮統流域などでは局所的に年間総増加量の数 10%を占めることもあることが分かった。近年大気擾乱と生物生産との関係について SOLAS のような国際的プロジェクトで研究が進められているが、本研究により特に注目すべき海域が明確に示された。

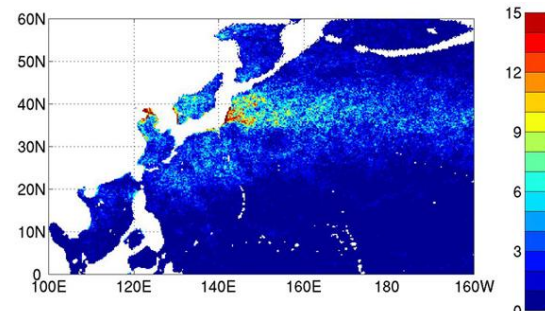


図1. Δ SST が 2°C 以上の Chl 急増イベント。5 年間の発生回数

② Chl 増加量と SST 低下量及び最大海上風速との関係

上記の検出されたイベントについて、海域毎に Δ SST と Chl 増加量 (Δ Chl)、及び最大海上風速の関係性を調べた。イベント期間中の最大海上風速と Δ SST との関係については、貧栄養の海域でも富栄養の海域でも概ね比例に近い関係があった。即ち、風が強い時ほど Δ SST は大きくなる傾向が見られた。

また、急増前の Chl が $0.4\text{mg}/\text{m}^3$ 以下の比較的貧栄養の海域では、 Δ SST が大きくなるほど Δ Chl も大きくなる関係が見られた (図2)。貧栄養の海域では、水温低下の大きさは下層からの栄養塩供給量にある程度反映している。この結果は、衛星で観測可能な Δ SST が生物生産の指標の一つになり得る可能性を示唆するものである。

一方、比較的富栄養の海域では Δ SST が大きくなっても Δ Chl は増えないか、逆に減少する傾向が見られた。これは、表層で栄養塩が枯渇していない場合は、下層からの栄養塩

供給は生物生産にそれほど重要でないためであると考えられる。 Δ Chl と最大海上風速との関係も、貧栄養の場合には風速が強いほど Δ Chl が大きくなる傾向があるのに対し、富栄養では明瞭な関係が見られなかった。

衛星データを用いた Chl 急増現象に関する過去の研究はほとんどが事例研究であり、このような統計的な解析を行った研究例は他にない。この研究で得られた知見は、国際的に開発が進められている生態系モデルの検証等にも寄与すると考えられる。(この研究成果は論文にまとめられ、平成 22 年 6 月現在、査読付国際誌 International Journal of Remote Sensing に投稿中である。)

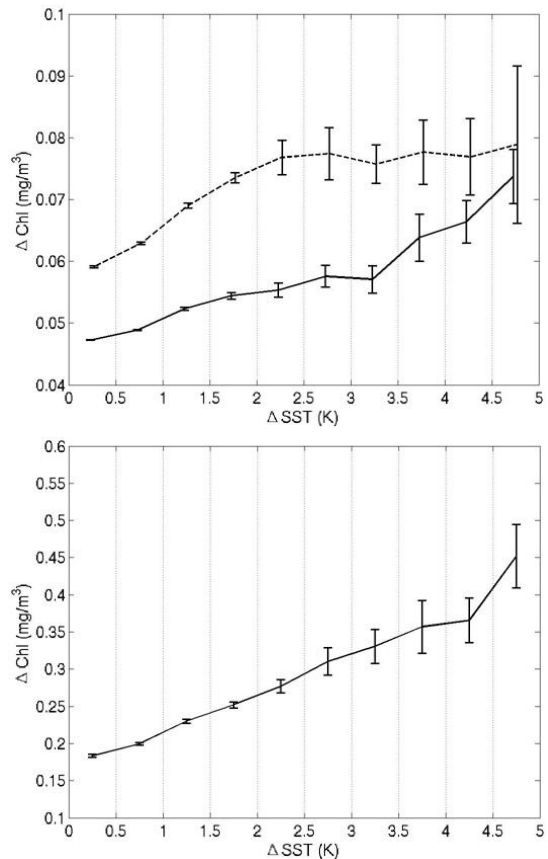


図2. Δ Chl と Δ SST の関係。 Δ Chl は 0.5 度毎に平均している。誤差棒は標準偏差を示す。(上) 増加前の Chl が $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 以下の場合 (実線) と $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ より大きくかつ $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下の場合 (破線)。

(下) 増加前の Chl が $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ より大きくかつ $0.4\text{mg}/\text{m}^3$ 以下の場合。

(2) 結合モデル実験による海面水温日変動の影響

① Chl が SST に与える影響

結合モデル実験前の予備的実験として、鉛直 1 次元のモデル実験により Schiller and Godfrey の提案した日変化スキーム (以下 SG スキームと呼ぶ) の妥当性と、Chl に対する SST の感度を調べた。快晴で (日射の日最大

値は $1000\text{W}/\text{m}^2$ 、日射以外の正味海面熱フラックスは $50\text{W}/\text{m}^2$ と仮定した。また日射以外の熱フラックス及び海上風速は一定とした。

$\text{Chl}=0.1\text{mg}/\text{m}^3$ の場合（透明度の高い外洋の水に相当）、SST の日振幅は風速 $2.8\text{m}/\text{s}$ で約 1°C 、 $2.2\text{m}/\text{s}$ で約 1.5°C と、概ね妥当な結果を得た（例えば Kawai and Kawamura, 2002 など）。SG スキームを用いなくても日変化は表現されるが振幅は半分程度かそれ以下であり、SG スキームの妥当性が示された。

透明度の低い $\text{Chl}=1\text{mg}/\text{m}^3$ の場合には海面付近での日射吸収が強まるため日中の SST はやや高めになる。但し $\text{Chl}=0.1\text{mg}/\text{m}^3$ の場合との差は海上風が弱い場合でも 0.1°C 程度であった。Chl に対する SST の感度はそれほど高くない。数値モデルを長期積分する際にはこの差は無視できない大きさに成長する可能性も否定できない。しかし本研究で実施する 20 日程度の比較的短期の積分では Chl の変動に対する SST の変化は日変動に比べて十分小さく重要性は小さいと考えられる。このため、以降のモデル実験では Chl の変動は考慮せず、一定として取り扱った。

② SST 日変動が梅雨期の降水に与える影響

2004 年の梅雨期を対象に結合モデルを用いた数値実験を行った。SG スキームを使用して SST の日変動を考慮したラン（SG ラン）と SG スキームを使用しないラン（noSG ラン）を走らせ、その違いを見ることにより SST の日変動が大気場に与える影響を調べた。計算海域は西日本・沖縄周辺の海域（図 3 参照）で大気・海洋モデルともに水平解像度は 8km 、格子数は東西、南北共に 162 個である。期間は 6 月 22 日から 21 日間とした。

SG ランと noSG ランの SST の日振幅差を図 3 に示す。noSG ランでも最大で 1°C 程度の SST 日振幅は表現されるが、SG ランでは SST 日振幅は最大で 3°C に達した。SST 日変動は黒潮の流路付近で極小となり、日本海南部や黄海付近で大きい。黒潮流域で日振幅が小さかったのは、前線や低気圧がこの付近に位置することが多かったためと考えられる。またそれに加え、水温が高いため大気に奪われる熱が周囲に比べ多いことも影響したと思われる。

2 つのランの結果を比較した結果、SST の日変化が海上風や降水量に差を生じさせることを確認した（図 4）。降水・曇天域では SST 日変化はほとんどないため、晴天域での SST 日変化が直上の海上風速に変化を生じさせ、それが降雨域に伝播し降水量に影響したと考えられる。低緯度地域で SST の日変化が大気を与える影響に関する研究はすでに欧米で進められているが、結合領域モデルを用いて中緯度でも広範囲で大気場に差が生じ得ることを示したのは

本研究が初めてである。この結果は近年国際的に注目を集めている「中高緯度の気候海洋相互作用」研究において、SST 日変動も考慮すべき重要な要素の一つであることを示すものである。

数値モデルで表現された大気場の違いが比較的小さな SST 日昇温に起因する有意なものであるかどうかを更に確かめるため、21 年度には SST の場にランダム誤差を付加した実験も実施した。この結果に関してはまだ解析途中であり、21 年度以降も引き続き解析を続ける予定である。

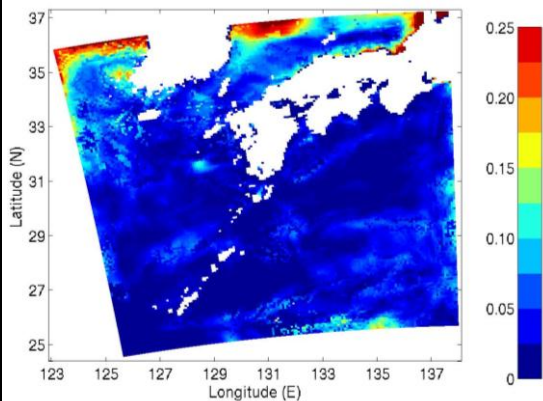


図 3. SG ランと noSG ランの SST の日振幅差 ($^\circ\text{C}$)。2004 年 6 月 23 日から 7 月 12 日までの平均。

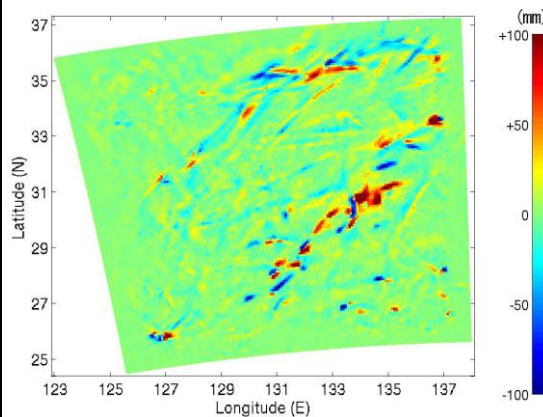


図 4. 全期間を通した SG ランと noSG ランの積算降水量の差 (mm)。

③ SST 日変動が台風に与える影響

2005 年の台風 Hai-Tang を対象に、SST 日変化が台風強度予測に与える影響を上記の結合領域モデルを用いて調査した。その結果、SST の日変化を考慮すると、考慮しない場合に比べて中心気圧に数 hPa 程度と小さいながらも差が生じることが分かった（図 5）。SST 日昇温は台風の進行方向前面で明瞭になる。つまり進行方向前面でまだ晴れている海域における SST の差が、大気下層の温度や水

蒸気量に違いを生じさせ、それが台風の発達に影響したと考えられる。両ランの差は約24時間後から明瞭になり始めた。台風予測においては比較的小さなSSTの時間的、あるいは空間的変動も十分考慮する必要があることを示唆する結果となった。

現在、米国と台湾が合同で台風と海洋の相互作用の解明を目的とした大規模な観測プロジェクト (ITOP: Impact of Typhoons on Ocean in the Pacific) を北西太平洋で実施中である。台風の発達・衰退に海水温が本質的に重要であることはよく知られているが、SSTの日変化に着目した研究は世界でも例がない。本研究の結果は台風研究への新たな問題提起となるものである。

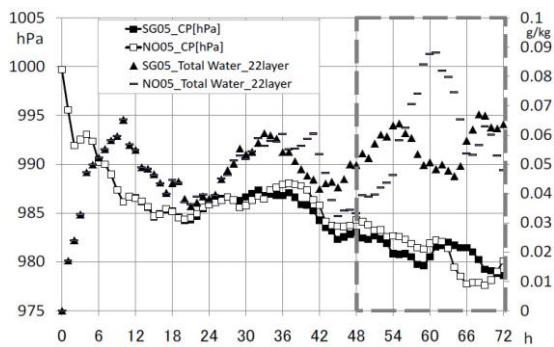


図5. 台風 Hai-Tang の中心気圧 (hPa、■: SG ラン、□: noSG ラン) 及び半径300km 以内の全水滴 (g/kg、▲: SG ラン、—: noSG ラン) の積分開始時刻からの時系列。

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10件)

- ① Wada, A., N. Kohno, and Y. Kawai (2010): Impact of wave-ocean interaction on Typhoon Hai-Tang in 2005. SOLA, 6A 巻, pp.13-16, 査読有.
- ② Wada, A., N. Kohno, and Y. Kawai (2010): Formation of the effect of breaking surface waves on entrainment and its impact on Typhoon Hai-Tang in 2005. Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 40 巻, pp. 915-916, 査読無.
- ③ Wada, A., Y. Kawai, and N. Usui (2010): Impact of diurnally-varying sea-surface temperature on the predictions of Typhoon Hai-Tang in 2005. Part II. The impact on the thermodynamics field around Hai-Tang's center. Research

Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 40 巻, pp. 911-912, 査読無.

- ④ Wada, A., Y. Kawai, and N. Usui (2010): Impact of diurnally-varying sea-surface temperature on the predictions of Typhoon Hai-Tang in 2005. Part I. Intensity prediction. Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 40 巻, pp. 909-910, 査読無.
- ⑤ 和田章義・川合義美・碓氷典久 (2009): 海面水温日変化が台風強度予測に与える影響, 台風災害の歴史と教訓—伊勢湾台風から50年—, 1 巻, pp.78-83, 査読無.
- ⑥ Wada, A., and Y. Kawai (2009): The development of diurnally-varying sea-surface temperature scheme. Part II. Idealized numerical experiments. Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 39 巻, pp. 909-910, 査読無.
- ⑦ Wada, A., and Y. Kawai (2009): The development of diurnally-varying sea-surface temperature scheme. Part I. Preliminary numerical experiments. Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 39 巻, pp. 907-908, 査読無.
- ⑧ Wada, A., N. Usui, K. Sato, and Y. Kawai (2009): The impact of pre-existing oceanic condition on the ocean response to Typhoon Hai-Tang in 2005. Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 39 巻, pp. 809-810, 査読無.
- ⑨ Kawai, Y., K. Ando, and H. Kawamura (2009): Distortion of near-surface seawater temperature structure by a moored-buoy hull and its effect on skin temperature and heat flux estimates. Sensors, 9 巻, pp.6119-6130, 査読有.
- ⑩ Wada, A., K. Sato, N. Usui, and Y. Kawai (2009): Comment on “Importance of pre-existing oceanic conditions to upper ocean response induced by Super Typhoon Hai-Tang” by Z.-W. Zheng, C.-R. Ho, and N.-J. Kuo. Geophysical Research Letter, 36 巻, L09603, doi:10.1029/2008GL036890, 査読有.

[学会発表] (計10件)

- ① 川合義美、梅雨期の降水イベントと海面水温日変化に関する数値実験 (I)、日本気象学会 2009 年度秋季大会、2009 年 11 月 25 日、アクロス福岡 (福岡市)
- ② 和田章義、海面水温日変化が台風強度予測に与える影響、日本気象学会 2009 年度秋季大会、2009 年 11 月 25 日、アクロス福岡 (福岡市)

- ③ 川合義美、海面水温日変動の大气に対する影響 (I) 梅雨期の事例研究、2009 年度日本海洋学会秋季大会、2009 年 9 月 26 日、京都大学吉田キャンパス北部構内 (京都市)
- ④ 和田章義、海面水温日変化が台風強度予測に与える影響、京都大学防災研究所研究集会、2009 年 9 月 18 日、京都大学防災研究所 (宇治市)
- ⑤ Yoshimi Kawai, Detection of short-term chlorophyll-a change with sea surface cooling from satellite data. 2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 年 7 月 14 日、ケープタウン大学 (南アフリカ・ケープタウン)
- ⑥ 和田章義、台風発達期における台風 Hai-Tang(2005)と海洋との相互作用、日本気象学会 2009 年度春季大会、2009 年 5 月 31 日、つくば国際会議場 (つくば市)
- ⑦ Akiyoshi Wada, The ocean response to typhoon Hai-Tang in 2005 and its influence. International workshop on tropical cyclone-ocean interaction in the northwest Pacific, 2009 年 4 月 27 日, Seogwipo KAL Hotel (韓国・済州島)
- ⑧ 和田章義、海面水温日変化スキームの開発と大気海洋結合モデルへの適用、日本気象学会 2008 年度秋季大会、2008 年 11 月 21 日、仙台国際センター (仙台市)
- ⑨ 川合義美、北西太平洋におけるクロロフィル a 濃度増加を伴う海面水温急低下現象、2008 年度日本海洋学会秋季大会、2008 年 9 月 25 日、広島国際大学呉キャンパス (呉市)
- ⑩ 和田章義、海洋表層の短時間変動が大气に与える影響 -2004 年梅雨期の降水日変化に関する数値実験-、日本気象学会 2007 年度秋季大会、2007 年 10 月 14 日、北海道大学 (札幌市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川合 義美 (KAWAI YOSHIMI)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境
変動領域・チームリーダー
研究者番号：40374897

(2) 研究分担者

和田 章義 (WADA AKIYOSHI)
気象庁気象研究所・台風研究部・主任研究
官
研究者番号：20354475

(3) 連携研究者

該当無し

(4) 研究協力者

碓氷 典久 (USUI NORIHISA)
気象庁気象研究所・台風研究部・研究官
研究者番号：50370333
笹岡 晃征 (SASAOKA KOUSEI)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境
変動領域・研究員
研究者番号：20371148