

令和元年6月12日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12591

研究課題名(和文) 自動昇降型中層フロート観測情報を用いた海洋鉛直流の推定

研究課題名(英文) Estimate of ocean vertical velocity using observation information of profiling floats

研究代表者

吉田 聡 (Kuwano-Yoshida, Akira)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：90392969

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：海洋に3000台以上展開されているアルゴフロートは、10日に1度、水深2000mから海面まで浮上しながら水温、塩分の鉛直分布を観測している。本研究では代表者と協力者が投下したアルゴフロートのセンサーサンプリング回数が高解像度のフロート浮上速度情報に変換できることを見出した。さらに浮力調整ピストン変化の記録から浮力調整量を推定し、海流の鉛直速度を推定する手法の開発を試みた。そのために海洋中の鉛直流の高頻度分布を推定するための情報抽出プログラムを作成した。しかし、時刻情報のみのピストン変化記録と圧力情報のみの水温・塩分記録との対応が難しく、研究期間内に鉛直流速を推定するには至らなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋の鉛直流は海面で吸収する太陽・大気からの熱エネルギーや風の運動エネルギー、大気中成分の海洋内部への輸送を担い、地球の大気海洋循環システムで重要な役割を果たす。しかし、その振幅は小さく実測するのは困難である。本研究では既に海洋中に3000台以上展開されているアルゴフロートと呼ばれる自動観測器に記録されているセンサーのサンプリング頻度がフロートの浮上速度に変換できることを発見した。さらに海洋の鉛直流速を推定する画期的な手法の開発を目指した。実現すれば水深2000mから海面までの鉛直流速をこれまでにない時間空間解像度で得ることができ、海洋循環、生態系、漁業資源といった分野に新たな情報をもたらす。

研究成果の概要(英文)：Argo floats, which are distributed more than 3000 in world ocean, observe vertical profiles of temperature and salinity from 2000 m depth to sea surface. In present study, we found that sampling frequency of temperature sensor could be converted into high-resolution vertical velocity of floats. In addition, we tried to reduce step-like velocity change by artificial buoyancy control using logs of buoyancy control piston change in order to extract ocean vertical velocity from the float vertical velocity. We finished to make a program to get the information of sensor frequency and piston change from log files. However, the vertical velocity estimation has not been achieved, because it is difficult to connect pressure coordinate of sampling frequency and time coordinate of piston change.

研究分野：気象学

キーワード：アルゴフロート 海洋観測 海洋循環

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

海洋内の上昇下降流(鉛直流)は海洋の物理、化学、生物学的特徴を規定する重要な要素である。物理学的には深層循環を説明する鉛直混合がメカニズム、混合量ともにいまだミッシングリンクとして問題になっており、化学・生物学的には、環境中に放出された人為起源物質や植物プランクトンの成長に必要な栄養塩の鉛直流による輸送量の見積もりが現状モニタリングや将来変化の正確な予測に必要とされている。しかしながら、海洋の循環は黒潮・親潮やメキシコ湾流に代表される水平流が卓越し、一ケタ以上小さい鉛直流は観測自体が困難である。そのため従来は水平流速の収束発散から見積もられてきた。最近では、乱流計と呼ばれる水平流の鉛直シアを観測する機器によって鉛直混合率が見積もられているが、鉛直流の直接計測にはいまだ至っていない。

一方、2000年にArgo計画がスタートし、自動昇降型の中層フロートが海洋全体に3000台以上展開されている。このフロートは油圧ピストンで油室と呼ばれる袋に油を注入することで一定の上昇速度になるよう浮力を自動調整し、2000m深から水面から上昇する際、1Hzのセンサーで水温、塩分をサンプリングし、2dbar(2mに相当)毎に平均したデータを作成する。10日毎に実施される鉛直観測は、衛星通信によってリアルタイム配信されており、海洋物理学は大きく進展した。また、フロートの水平移動から滞在深度である1000mの水平流速を見積もったYoMaHaというデータセットも構築されている。近年、従来のARGOSシステムを用いた通信よりも大容量高速のイリジウム通信機を搭載した中層フロートが開発された。これによって、フロートから水温、塩分の観測データだけでなく、センサーのサンプリング回数や浮力を変化させるピストン位置、平均鉛直速度などのデータも取得可能になった。

研究代表者は爆弾低気圧が海洋に与える影響を研究するため、イリジウム搭載中層フロートで6時間間隔という高頻度で延べ1148本の鉛直プロファイルを観測した(科研費若手研究A「爆弾低気圧は海洋を変えるか? : 高解像度海洋モデルと高頻度自動観測網による実態解明」, 2014年度~2016年度、図1)。この観測で得られた2dbar毎のセンサーサンプリング回数をプロットしたところ、ピストン調整時の平均鉛直速度とよく一致し、より細かい変化も捉えていた(図2)。この変化が海洋の鉛直流変動を反映しているものと考え、このデータからの海洋鉛直流の推定を着想した。

### 2. 研究の目的

本研究では、サンプリング回数からの2dbar毎のフロート鉛直速度の算出手法と、水温・塩分データとピストン位置情報を用いた浮力による上昇速度の見積もり手法を開発し、この両者の差から中層フロートが経験した海洋鉛直流を推定することを目的とした。この推定された鉛直流と高解像度海洋数値シミュレーション、同化データとの比較により精度を確認するとともに、鉛直流の物理的要因について解明を目指した。

現在、海洋の鉛直流を直接観測する手段は確立されておらず、この目的が達成されれば、海洋内の直接観測可能な新たな物理量を生み出す。また、現在広域に展開されている中層フロートのデータを利用するため、新たな機器の開発を必要とせず、手法が確立した時点でこれまでの観測を含めた広域の鉛直流分布の把握が可能となる。鉛直流分布の把握は海洋大循環の物理的メカニズムを明らかにし、人為起源物質の環境中輸送、生物生産の予測といった海洋学全体の発展に貢献する。また、台風の発達を左右する海面水温変化の予測精度向上にも貢献し、防災的意義も期待できる。

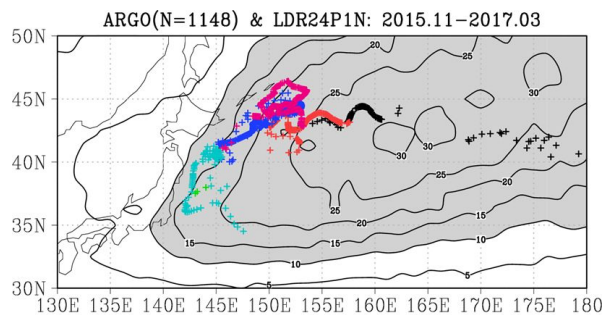


図1. 2015年11月から2017年3月までの6台のアルゴフロートの観測点。陰影は爆弾低気圧の通過数。

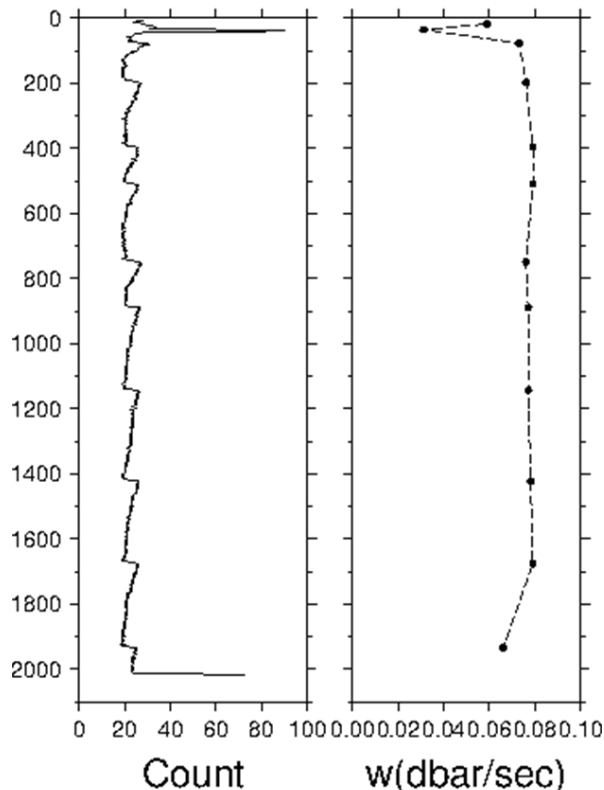


図2. 2dbar毎のセンサーカウント数(左)とピストン調整時の平均鉛直速度(右)の例。

### 3. 研究の方法

本研究で利用する中層フロートは指定した観測時に指定した水深まで下降し、そこから上昇しながら水温、水温、塩分を 1Hz でサンプリングする。海面浮上後、2dbar 毎に平均した水温、塩分とともに、各平均に用いたサンプリング数(カウント数)、浮力調整用ピストン位置、ピストン調整時の平均上昇速度を送信する機能を持っている。図 2 はカウント数、平均鉛直速度の観測例で、ピストン調整時にカウント数が 20 程度に減少し、徐々に増えていっている。カウント数が多いほど鉛直速度が遅いことを示す。平均鉛直速度がある閾値以下になるとピストン調整を行うため、カウント数がノコギリ状に変化しているが、その上に微細な揺らぎが乗っている。本研究ではこの詳細なカウント情報と浮力速度から海洋の鉛直流速を推定する。

まず、代表者が北太平洋に展開中のイリジウム通信型中層フロート 6 台を用いて、高頻度観測を実施する。利用するフロートは 2015 年(平成 27 年)に 4 台、2016 年に 2 台北西太平洋に投入、観測を開始し、各年度冬季に最大 6 時間毎の集中観測を実施した。観測可能回数が限られているため、中層フロートの観測頻度を衛星通信によって随時変更する手法を取った。観測時期の決定には気象庁の週間アンサンブル予報を利用する。通常時はバッテリー消費量を抑えるため、10 日毎に 1000m 深までの観測を行い、11 月から 3 月までの冬季の通常時は 1 日毎、爆弾低気圧や台風等の大気擾乱通過が予測された際には 6 時間毎の観測を実施した。

次に、これらの観測情報を元に鉛直流速を推定する手法を開発するために、水温、塩分、圧力データから浮力計算に必要な密度分布を計算する。また、データとして出力されている平均鉛直速度はピストン調整時のみ記録されているため、1Hz 間隔のカウント数から 2dbar 毎のフロート上昇速度を計算する。数十秒から数十分間隔で行われるピストン調整量と計算された海洋密度分布からフロートの浮力を計算し、浮力による上昇速度を見積もる。この浮力上昇速度と観測された上昇速度の差が海洋の鉛直速度となる。さらに、この鉛直速度の 6 時間毎時系列データを作成し、フロートが経験した海洋変動を記述する。

さらに、海洋の鉛直流速がどのような状況で発生しているか把握するため、観測船を用いた大気海洋観測を実施した。観測場所には渦解像海洋シミュレーションの結果を元に、鉛直流速が大きいと推定される潮岬沖の黒潮域を選んだ。観測には東京大学大気海洋研究所の「新青丸」、三重大大学の「勢水丸」、海洋研究開発機構の「ちきゅう」を用いた。新青丸と勢水丸では、GPS ゾンデによる海上大気気温、湿度、風向風速の鉛直プロファイル、CTD、UCTD、XBT による海水温、塩分の鉛直プロファイル、ADCP による海洋流速を観測した。ちきゅうでは海上 120m の檣上の気圧、気温、湿度、降水量、風向風速、ROV による水海洋鉛直プロファイルを観測した。観測期間は、新青丸が 2018 年 10 月 11~20 日、勢水丸が 11 月 5~9 日と 11 月 12~16 日、ちきゅうが 2018 年 10 月 7 日~2019 年 3 月 31 日である。また、新青丸と勢水丸の航海時には、比較のため、京都大学防災研究所潮岬風力実験所でも GPS ゾンデ、ドップラーライダー、ドローン、パイロットバルーンによる気温、湿度、風向風速の鉛直プロファイル観測を実施した。

### 4. 研究成果

#### (1) フロート情報抽出プログラムの作成

アルゴフロートが出力するファイルの中から、鉛直流速推定に必要なモニタリング情報を抽出するプログラムを作成した。水温・塩分観測データの出力である Msg ファイルからは 2dbar 毎の圧力、水温、塩分、計測カウント数、フロート状態モニタリングの出力である log ファイルからは、投入時の沈降開始からの経過時間、ピストン変化量、平均鉛直速度を抽出することができた。

#### (2) 鉛直流速成分抽出アルゴリズムの開発

ピストン変化率と水温塩分プロファイルから鉛直流速成分を抽出するアルゴリズム開発に取り組んだ。まず、水温、塩分、圧力情報から環境場の密度プロファイルを計算した。次に、センサーカウント数から 2dbar 毎の上昇速度を計算した。この上昇速度にはピストン変化による浮力変化成分が含まれているため、ピストン変化情報と対応づけて、浮力変化成分を除去するアルゴリズムの作成を試みた。しかし、時刻情報しかないピストン変化記録と圧力情報しかない水温・塩分記録との対応関係の精度良い推定が難しく、研究期間内に鉛直流速を推定するには至らなかった。

#### (3) 爆弾低気圧下のアルゴフロート挙動の解析

2015 年から 2017 年の冬季に得られた 1148 プロファイルのうち、爆弾低気圧の通過を経験したものは 73 プロファイルあった。このうち、最も急発達した 2016 年 3 月 1 日の事例では、水温塩分プロファイルは低気圧通過に伴って、混合層の深さが 100m 程度深くなっていた。また、センサーカウント数から計算した鉛直流速が混合層付近で変動が大きくなり、爆弾低気圧に励起された鉛直流速がアルゴフロートの挙動に反映されていることが推察された。

#### (4) 黒潮域の大気海洋観測

2018 年度に、海洋渦や強風によって強い海洋の鉛直流速が励起される黒潮域の大気海洋状態を把握するため、船舶と沿岸での海陸同時観測を実施した。東京大学の「新青丸」、三重大大学の「勢水丸」

丸が潮岬沖の黒潮付近で海上海洋観測を実施し、陸上観測は京都大学防災研究所潮岬風力実験所で実施した。船舶ではGPSゾンデによる大気鉛直プロファイル観測とCTD、UCTD、XBTによる海洋鉛直プロファイル観測を実施した。陸上ではGPSゾンデ、ドップラーライダー、パイロットバルーン、ドローンによる大気境界層観測を実施し、近接する海洋と陸上の大気状態の違いを観測した。しかし、集中観測期間中は観測海域を激しい気象擾乱が通過せず、黒潮も沖合に大きく蛇行していたため、強い鉛直流が現れる海域を観測することはできなかった。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計13件)

- Chihiro Kodama, Akira Kuwano-Yoshida, Shingo Watanabe, Takeshi Doi, Hiroki Kashimura, Tomoe Nasuno, JAMSTEC Model Intercomparison Project (JMIP), JAMSTEC Report of Research and Development, 査読有, Vol. 28, 2019, 5-34. DOI:10.5918/jamstecr.28.5
- Yasumasa Miyazawa, Akira Kuwano-Yoshida, Takeshi Doi, Hatsumi Nishikawa, Tomoko Narazaki, Takuya Fukuoka, Katsufumi Sato, Temperature profiling measurements by sea turtles improve ocean state estimation in the Kuroshio-Oyashio Confluence region, *Ocean Dynamics*, Vol. 69, 2019, 267-282, DOI:10.1007/s10236-018-1238-5
- Makio C Honda, Yoshikazu Sasai, Eko Siswanto, Akira Kuwano-Yoshida, Hidenori Aiki, Meghan F Cronin, Impact of cyclonic eddies and typhoons on biogeochemistry in the oligotrophic ocean based on biogeochemical/physical/meteorological time-series at station KE0, *Progress in Earth and Planetary Science*, 査読有, Vol. 5, 2018, 42, DOI: 10.1186/s40645-018-0196-3
- Nobumasa Komori, Takeshi Enomoto, Takemasa Miyoshi, Akira Yamazaki, Akira Kuwano-Yoshida, Bunmei Taguchi, Ensemble-Based Atmospheric Reanalysis Using a Global Coupled Atmosphere-Ocean GCM, *Monthly Weather Review*, 査読有, Vol. 146, 2018, 3311-3323, DOI:10.1175/MWR-D-17-0361.1
- Matthew Collins, Shoshiro Minobe, Marcelo Barreiro, Simona Bordoni, Yohai Kaspi, Akira Kuwano-Yoshida, Noel Keenlyside, Elisa Manzini, Christopher H O'Reilly, Rowan Sutton, Shang-Ping Xie, Olga Zolina, Challenges and opportunities for improved understanding of regional climate dynamics, *Nature Climate Change*, 査読有, Vol. 8, 2018, 101, DOI: 10.1038/s41558-017-0059-8
- Satoru Okajima, Hisashi Nakamura, Kazuaki Nishii, Takafumi Miyasaka, Akira Kuwano-Yoshida, Bunmei Taguchi, Masato Mori, Yu Kosaka, Mechanisms for the Maintenance of the Wintertime Basin-Scale Atmospheric Response to Decadal SST Variability in the North Pacific Subarctic Frontal Zone, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 31, 2018, 297-315, DOI: 10.1175/JCLI-D-17-0200.1
- Akira Kuwano-Yoshida, Shoshiro Minobe, Storm-track response to SST fronts in the northwestern Pacific region in an AGCM, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 30, 2017, 1081-1102, DOI:10.1175/JCLI-D-16-0331.1
- Akira Kuwano Yoshida, Hideharu Sasaki, Yoshikazu Sasai, Impact of explosive cyclones on the deep ocean in the North Pacific using an eddy resolving ocean general circulation model, *Geophysical Research Letters*, 査読有, Vol. 44, 2017, 320-329, DOI: 10.1002/2016GL071367
- Yoshimi Kawai, Qoosaku Moteki, Akira Kuwano-Yoshida, Takeshi Enomoto, Atsuyoshi Manda, Hisashi Nakamura, Impact propagation of radiosonde data assimilation over the Kuroshio and Kuroshio Extension: Case study on the early summer (Baiu) in 2012, *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 査読有, Vol. 95, 2017, 71-90, DOI: 10.2151/jmsj.2017-004
- Akira Yamazaki, Takeshi Enomoto, Takemasa Miyoshi, Akira Kuwano-Yoshida, Nobumasa Komori, Using observations near the poles in the AFES-LETKF data assimilation system, *SOLA*, 査読有, Vol. 13, 2017, 41-46, DOI: 10.2151/sola.2017-008
- Christopher H O'Reilly, Shoshiro Minobe, Akira Kuwano Yoshida, Tim Woollings, The Gulf Stream influence on wintertime North Atlantic jet variability, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 査読有, Vol. 143, 2017, 173-183, DOI: 10.1002/qj.2907
- Fumiaki Ogawa, Hisashi Nakamura, Kazuaki Nishii, Takafumi Miyasaka, Akira Kuwano-Yoshida, Importance of midlatitude oceanic frontal zones for the annular mode variability: Interbasin differences in the southern annular mode signature, *Journal of Climate*, 査読有, Vol. 29, 2016, 6179-6199, DOI: 10.1175/JCLI-D-15-0885.1
- Christopher H O'Reilly, Shoshiro Minobe, Akira Kuwano-Yoshida, The influence of the Gulf Stream on wintertime European blocking, *Climate Dynamics*, 査読有, Vol. 47, 2016, 1545-1567, DOI: 10.1007/s00382-015-2919-0

[学会発表](計14件)

吉田聡、2017年3月27日那須雪崩をもたらした低気圧の予測可能性、日本気象学会2018年度春季大会、2018年

Akira Kuwano-Yoshida, Hideharu Sasaki, Yoshikazu Sasai, Shigeki Hosoda, Impact of explosive cyclones on the deep ocean in the North Pacific: Simulations and observations, OCEANS '18 MTS/IEEE Kobe/Techno-Ocean2018, 2018年

吉田聡、細田滋毅、アルゴフロートを用いた北西太平洋爆弾低気圧下の高頻度海洋観測、JpGU 2018、2018年

Akira Kuwano-Yoshida, Hideharu Sasaki, Yoshikazu Sasai, Shigeki Hosoda, Yasumasa Miyazawa, Katsufumi Sato, Takuya Fukuoka, Tomoko Narazaki, Impact of Explosive Cyclones on the Deep Ocean in the North Pacific: Simulations and Observations, AOGS 2018, 2018年

吉田聡、細田滋毅、有吉慶介、美山透、宮澤泰正、土井威志、佐藤克文、榎崎友子、福岡拓也、米原善成、後藤佑介、台風・爆弾低気圧に対する海洋応答の観測的研究、日本海洋学会2018年度秋季大会、2018年

Akira Kuwano-Yoshida, Hisashi Nakamura, Long-term Changes in Explosive Cyclone Activity over the Midwinter North Pacific, SPARC General Assembly 2018, 2018年

吉田聡、2018年7月豪雨の総観場予測可能性、日本気象学会2018年度秋季大会、2018年

吉田聡、佐々木英治、笹井義一、細田滋毅、北太平洋海洋深層への爆弾低気圧の影響：シミュレーションと観測、JpGU-AGU Joint Meeting、2017年

吉田聡、佐々木英治、笹井義一、細田滋毅、北太平洋の爆弾低気圧が海洋深層に及ぼす影響、日本気象学会2017年度春季大会、2017年

吉田聡、中村尚、竹見哲也、中北英一、d4PDFにおける北太平洋低気圧活動の長期変化、日本気象学会2017年度秋季大会

吉田聡、佐々木英治、笹井義一、相木秀則、平田英隆、川村隆一、爆弾低気圧に対する大気応答、日本海洋学会2016年度秋季大会、2016年

吉田聡、気候と爆弾低気圧と私、第28回日本気象学会夏季特別セミナー、2016年

Akira Kuwano-Yoshida, Shoshiro Minobe, Impact of ocean fronts on explosive cyclone, NORPAN Kick off meeting, 2016年

吉田聡、見延庄士郎、北西太平洋海面水温前線に対する大気応答実験、日本気象学会2016年度春季大会、2016年

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

なし

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：細田 滋毅

ローマ字氏名：(HOSODA, Shigeki)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。