

令和元年6月10日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12574

研究課題名(和文)高浮力型氷海リアルタイムモニタリングブイシステムの開発

研究課題名(英文)Development of high-buoyancy real-time monitoring float system in ice-covered oceans

研究代表者

青木 茂(Aoki, Shigeru)

北海道大学・低温科学研究所・准教授

研究者番号：80281583

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：極域沿岸氷海域における海洋鉛直プロファイルを実時間送信する定点ブイの実用化を旨とし、高流速対応のシステム設計と運用性向上を検討した。浮力調整式で対応する場合、躯体が非常に大きく、取り扱いが困難となった。実際の環境下での運用状況を調べるため、現有ブイで南極沿岸ポリニヤ域における1年間の観測を行い、約8ヶ月間の運用に成功した。水平流速は強くはなかったが浮上成功率は50%に届かず、水平流速以外の制限要因が存在した。高流速対応の代替策として、深度をウインチで制御するブイの動作試験を行い、同じ沿岸ポリニヤ域への設置に成功した。今後各手法の得失を検討し、効果的な極域海洋モニタリングを実現したい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南極沿岸ポリニヤ域でプロファイルの冬期運用に成功したことは世界初の成果であり、この手法の有効性を示すものであると同時に、対象海域の物理的特性の解析を可能にした。検討した手法を改良して活用することにより、極域沿岸海洋での環境計測を推進することができる。今後、実際の海洋環境下における汎用性と観測実施時における簡便性を追求することで、全球海洋の観測網の空白域を解消することが期待できる。

研究成果の概要(英文)：To develop a new autonomous profiler float to realize a time-series observation of water column in sea-ice covered continental shelf regions, we designed the system and investigated the operational details under high-current environment. A tethered-type float, which is capable of higher buoyancy, was designed, and it turned out to be significantly large for a realistic operational circumstance. Experimental operation by a tethered float with weaker buoyancy was conducted and successfully obtained profiles for more than 8 months. Although current speed was not large during the experiment, profiling completion rate was less than 50%, which shows an existence of limitation factor other than horizontal current intensity. Instead, a winch-driven float was introduced and an experiment was successfully started. With further comparisons among different realization, efficient monitoring of ice-covered ocean is expected.

研究分野：海洋物理学

キーワード：環境分析 海洋機器開発 極域海洋 環境変動 モニタリング フロート

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

1. 研究開始当初の背景

(1) 地球規模の気候変動の解明と予測において、海洋が持つ膨大な熱容量や水循環における役割の重要性から、海洋モニタリング体制の構築が急務となっている。近年のブイの自動浮力制御技術と衛星通信技術の急速な発達により漂流型中層ブイは世界的な観測網を備えるに至ったが、沿岸浅海域や南極海をはじめとする極域海洋は、観測の困難な海域として残されている。こうした観測空白域を埋めるために、沿岸氷海域でも運用可能な海洋鉛直プロファイル観測機能と観測結果のリアルタイム送信機能を有する係留型ブイ観測システムの開発が望まれていた。

(2) 本研究の前身となる研究では、沿岸大陸棚域を想定し、極域海洋で 400m 程度までの鉛直プロファイルを取得可能なリアルタイムプロファイリングブイシステムの設計・実海域試験を行った。実際にプロファイリングブイの動作条件を導入し、オホーツク海知床ウトロ沖において、夏期および冬期の通算 7 ヶ月にわたって実海域試験を行った。プロファイリングブイについてはプログラムした動作のすべてに成功したが、通信成功率つまり海面浮上頻度は全浮上回数 20% 以下に留まった。実測流速により、これは現行のブイの浮上限界流速が約 25cm/s 程度であることに起因することを確認した。これらにより、今後さらに高流速の条件やより多くの実際の現場海洋観測条件での長期運用に対応することが課題として残されていた。

2. 研究の目的

(1) 従来の浮力制御型躯体での実績をベースに、流速 1 ノット(従来型の限界流速の約 2 倍に相当し、比較的強い海流を代表する値)という目標を設定して、耐流速基準に基づく本体ブイの基本設計について検討する。一方で、南極沿岸域では、観測を実施したオホーツク海よりもさらに密度成層が弱いなどの異なる自然環境要件に加え、使用できる船舶に制約がある、作業できる期間は 1 年の中でも夏期に限られる、などといった作業実施面における制約条件がある。こうした実際の条件についてのより詳細な情報の収集と、そのもとで実現可能な設置手法の確立を目的とする。

(2) 氷海域でのリアルタイム通信を実現する方法は浮力直接制御型に限定されるわけではない。海水が安定して存在している場合には、海面をおおう吊り下げ式で通信機能を装備したプラットフォームが幾つか運用されているが、海水の存在が季節的におおきく変化する海域に対しては、やはり海底から立ち上げる手法が安定的である。本研究では後者の海域を想定し、高流速条件に対応する手法として浮力調整型以外の方式を含めて実現性を探ることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 浮力制御型での高流速条件への対応を検討した。また、実際に従来使用した浮力制御型測器と流速計などの観測装置をもちいて、南極海の沿岸ポリニヤ海洋環境での測定や設置作業を実施した。極域では国際的にも一般的に使用される舷高の高い船舶をもちいて、本体ブイを含むシステム全体の設置・回収を行った。氷域における氷塊衝突防止のため、水温による結氷状況判別方法のプロトコルに基づくソフトウェアを実装し、極域沿岸海洋での海水状況発展を背景として長期間の実験観測を行った。観測は南極海ケーブルダンレー沖において、2017 年 2 月 26 日から 2018 年 2 月 26 日まで実施した。この観測は、実際の海況の調査として、流速の情報取得も実施した。

(2) 上記の結果も踏まえ、設置作業における簡便性が高くかつ耐流速性能も高い形態として、予め十分に高い浮力に設定された躯体を用い、ウィンチにより索を繰り出し・巻取りすることで深度制御をする手法の運用可能性を追求した。この方式を氷海で運用するための海水判別方法、耐長期運用性、システム全体の検討を行ったうえで係留システム全体を準備し、実際の係留システムを前回と同じ南極海ケーブルダンレー沖に 2019 年 3 月 3 日に設置した。

4. 研究成果

(1) 高流速対応として浮力を増強して基本的な設計をした結果、従来型と比較して非常に大きな躯体が必要となることが分かった。従来の躯体は全長 2.6m、重量 85kg 程度であるのにたいし、浮力を増強するための体積可変部の容量を増強すると、全長は約 3m 程度で 15% 程度の増加だが、体積が大きく増加し、重量は約 170kg と 2 倍程度と見積もられた。1 年間という運用目標から、その多くがバッテリーを占める。こうした大きな躯体を舷高が高い船で実施するには、現実の設置回収作業に大きな労力が必要であることが明らかになった。

(2) 本システムの特徴の一つである衛星データ通信については、アンテナ突起部分が生命線であり、これを保護するために投入時の海水抵抗や衝撃をできるだけ回避する必要がある。実際の作業を実施するにあたり、設置時のブイ本体の海面での移動などをできるだけ避けるため、補助索に切り離し装置を装着して投入する方法を考案して対応した。これにより、複雑ではあるが、安全性の高い設置方法を確立し、実証することができた。こうした取り組みにより実際に本体システムの設置と回収には成功したものの、この試験で目標とした項目の一部である夏季の衛星経由のデータ回収については、係留を開始した後のデータ通信が確認できなかった。

これは2017年11月18日までは正常に動作しデータを取得したが、期間中を通じて海況が浮上を許容しない海況であったこと(海面付近の水温が結氷温度) その後はバッテリーが枯渇し海底で待機していたことが原因である。従来型のブイでも、アルゴ計画と同様の10日おきの浮上では、バッテリー容量が1年間の作動にたいしては不十分であることが判明した。

(3) 実際の観測では、2017年3月8日から11月13日までの8ヶ月以上稼働し、10日ごとに26プロファイルが取得できた(図1)。全体の平均的なカバー率(20mから180mの範囲を測定できた場合に100%とする)は81%とオホーツク試験時と比較して大幅に改善され、完全ではないものの広範囲のデータを取得できることを確認した。95%以上カバーできたのは、このうち12プロファイルであった。一方で、試験海域での水平流速

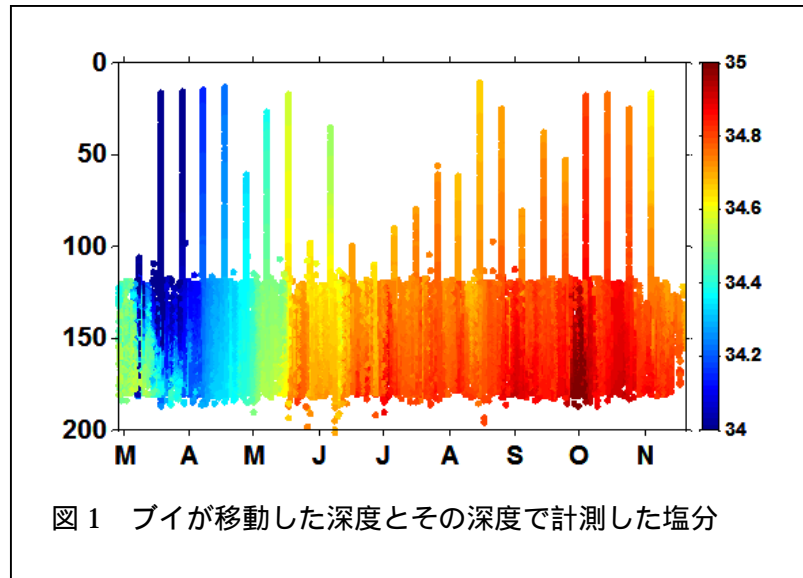


図1 ブイが移動した深度とその深度で計測した塩分

は平均的には10cm/s程度と強くはなかったが、浮上成功率は50%に届かなかった。実際の浮上到達深度とそのときに観測された流速を比較した結果、流速の強いときにはあがらないというリーズナブルな傾向はみられたものの、流速が低い場合でも必ずしも浮上に成功するとは限らず、両者の間に顕著な相関はみられなかった(図2)。この結果は水平流速と浮上到達深度の間に明瞭な相関のあったオホーツク海での状況とは著しく異なる。この相違の原因は明らかではないが、鉛直流速なども関係している可能性がある。これにより、

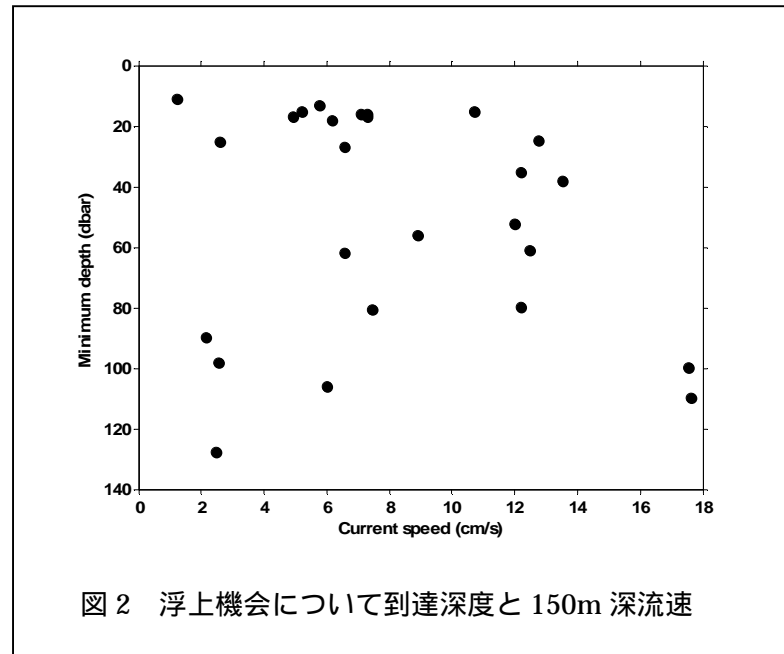


図2 浮上機会について到達深度と150m深流速

実海域での浮上の制限要因は水平流速以外にもあり、オホーツク海と南極海、比較的氷厚の厚い流氷域とポリニヤ域といった海域・氷状の違いでもブイの作動状況が異なることが明らかになった。こうした環境面での多様性への対応能力も含め、浮力調整により高流速条件下で浮沈を制御する方式にはまだ課題が残されていることを示している。

(4) 観測されたポリニヤ海況について、塩分と水温の鉛直プロファイルには顕著な季節的变化が確認された(図1:ここでは塩分についてのもののみ示している)。2017年3月初旬には上部に高温・低塩、下部に高温・やや高塩の状況で、まだ成層が強い。3月中に冷却・混合で水温・塩分ともほぼ鉛直一様化、全層で急激に低塩化し、4月初旬に塩分が極小(塩分約34.2)となった。その後、5月下旬まで急速に、それ以降は緩やかに塩分が上昇して、10月には約35の最大を記録した。11月には、底面付近がやや暖水化し、塩分成層が強くなった。塩分はかなり一様であるが、冬期塩分(10-11月)にもある程度の鉛直勾配があり、これまでに観測されている他のポリニヤよりも強いものであった。水温の鉛直変化もほぼ同様であるが、塩分に対応した結氷温度と対応した。季節的にも、高塩化するにつれ結氷温度に対応した低温化を示した。

(5) 本システムでは、浮上待機中の姿勢維持のために、150mにパーキングしつつ、一定の深度レンジからはずれないように20分おきに深度(圧力)に加え水温、塩分をはじめとする環境データをチェックしている。このため、今回は120m~180mの間でのデータを蓄積しており、

この深度範囲で時間分解能が高いほぼ連続的な係留としても利用することが可能である。150mでの時系列変化をピックアップすると、3月後半から10月までの海水生産期は、塩分があがる傾向に加えて、10日~1ヶ月程度の周期性もみられる。この短期的な挙動も時期によって異なる。4月から5月下旬まではステップ状に増加、そのあとは10月下旬まで増加はするが、減少することも多くなっていく。これにともない、5月までは塩分の増加率は高いが、その後はそれに比べてやや低くなる。こうした塩分の挙動は、高塩分水の排出と水塊の交換がコンスタントに起こることを示唆している。

(6) 高流速環境対応策として、浮力調整式躯体にかえてウィンチ式躯体の可能性を実際に試すこととした。今回導入した躯体は簡易、コンパクトな形状をしており、極域における限られた時間・状況の作業でも投入に成功し、実現可能性の高さを実証できた。今後本体システムを回収し、その結果を詳細に検討する。ただし、今回のコンパクトな形状の躯体は耐圧性・取得可能プロファイル長には制約があり、耐圧は300m、最大プロファイル長は約180mにとどまる。これは、今回観測に使用した浮力調整式躯体の5~7割程度の値となっている。このように原理手法により得失や対応範囲が異なっており、現時点で全ての条件に優位性を持つ汎用性の高い機器開発を実証するには至っていない。

(7) 高流速という条件では浮力調整型にあまり利点がないが、現実の氷海域では必ずしも高流速の環境が必然ではないことも判明した。バッテリーの長寿命化など課題はあるが、これまでに検討、実施できた手法のいっそうの活用により、極域沿岸海洋での環境計測がすすむことが期待できる。今後の実際の観測への普及局面においては、実際の海洋環境下における汎用性と観測実施時における簡便性が普及への鍵となるだろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

青木茂、市川雅明、小野数也、深町康、大島慶一郎、中川敏彦、小林研吾、小竹正人、小澤知史、極域海洋モニタリングブイの開発 - オホーツク海における試験観測、海洋理工学会誌、査読無、印刷中

〔学会発表〕(計 6 件)

Shigeru Aoki, Roles of warm and cold sea water pumps along the coast of East Antarctica, The 1st GRAntarctic International Symposium (招待講演), National Institute of Polar Research, Tachikawa, Tokyo, Japan, December 3, 2018

Shigeru Aoki, Takeshi Tamura, Daisuke Hirano, Masato Ito, Kazuya Ono, Haruhiko Kashiwase, Under-ice application of Remotely-Operated Vehicle on the Antarctic continental shelf, JpGU 2018, Makuhari Messe, Chiba, Japan, May 21, 2018

Shigeru Aoki, Research of Ocean-ice BOUNDARY Interaction and Change around Antarctica (ROBOTICA): a strategy to explore ice-ocean interactions in East Antarctica, FRISP 2017, Panorama Hotel and Resort on Sotra, Sotra, Norway, June 21, 2017

Shigeru Aoki and Takeshi Tamura, Research of Ocean-ice BOUNDARY Interaction and Change around Antarctica (ROBOTICA): A strategy to explore ice-ocean interactions in East Antarctica, AOGS 2017, SUNTEC City, Singapore, August 11, 2017

青木茂、南大洋における大気・海洋結合系の長期変動に関する観測的研究、日本気象学会2017年度堀内賞受賞記念講演、北海道大学学術交流会館(札幌市)、2017年10月31日

青木茂、市川雅明、小野数也、深町康、大島慶一郎、中川敏彦、小林研吾、小竹正人、小澤知史、オホーツク海知床沖における氷海モニタリングブイシステムの試験観測、海洋理工学会平成28年度秋季大会、京都大学楽水会館(京都市)、2016年10月28日

6. 研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名：小野数也

ローマ字氏名：(ONO, kazuya)

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。