

令和 5 年 5 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20933

研究課題名(和文) ADCPによる海中浮遊物の識別手法開発と物質循環研究への応用

研究課題名(英文) Discrimination method of suspended matter by ADCP and its application to investigation of material circulation

研究代表者

大島 慶一郎 (OHSHIMA, Keiichiro)

北海道大学・低温科学研究所・教授

研究者番号：30185251

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：ADCPは、海中において超音波を発信し、散乱体からの反射波のドップラーシフト効果から流速プロファイルを計る測器である。本研究は、今までほとんど使われていなかったADCPの体積後方散乱強度データから、動物プランクトンの活動、堆積物の巻き上がり、海中内部のフラジルアイス、等の海中浮遊物を検知・識別する手法を開発した。識別手法としては、複素EOF解析とバンドパスフィルタリングを主として用いた。手法を適用することで、海中で生成されるフラジルアイスが水深100m付近まで達することや、動物プランクトンの月光による日周鉛直移動の変動等を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ADCPの散乱強度は、動物プランクトンの活動や、生物生産に不可欠な鉄を含む海底堆積物の巻き上がりといった、物質循環や生物生産にとって非常に重要な現象を捉えている可能性がある。しかし、何千何万にも及ぶADCPの散乱強度データが世界中において眠ったままになっている。本課題の手法は、これらのデータを活かすことに繋がる研究であり、発展させることで堆積物の巻き上がりのグローバルマッピングなども実現しうるものである。本研究で明らかになった海中深くのフラジルアイス形成は深層大循環を駆動する南極底層水の起源水生成機構を示す研究と言える。

研究成果の概要(英文)：ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) is an instrument that measures the velocity profile using the Doppler Shift of reflected waves from scatterers in the ocean. We have developed the discrimination method of suspended matter from the ADCP volume backscatter data, which have not been used generally. Specifically, we discriminate among zooplankton, resuspended sediment, and frazil ice, using Complex EOF (CEOF) and bandpass filtering. Application of the method clarified the deep-penetrating frazil ice down to nearly 100m and diurnal vertical migration of zooplankton controlled by moonlight, which helps investigation of material circulation and biological productivity.

研究分野：海洋物理学

キーワード：ADCP 体積後方散乱 物質循環 海中浮遊物 フラジルアイス 動物プランクトン 巻き上がり CEOF 解析

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、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)は、海中において超音波を発信し、散乱体からの反射波のドップラーシフト効果から流速を計る測器である。遠隔的に数百メートルまでの流速プロファイルを測定できることから、今や標準的な測器になっており、日本だけでも3千台以上が出荷されている。ADCPからは、流速の導出に用いるドップラーシフトのデータの他に、体積後方散乱強度(以下、散乱強度と略)データも得られるが、多くの場合このデータはほとんど使われることはなかった。20年ほど前より、ADCPの散乱強度データは、生物(主に動物プランクトン)活動、堆積物の巻き上がり、海中内部で生成される海氷(フラジリアイス)、等の海中浮遊物の検知に有効であることがわかってきた。

(2) 海氷域では、鉄を含む堆積物が巻き上がり、それが海中のフラジリアイスと接触するなどして海氷に取り込まれ、海氷が融解する際に放出され、ブルージング(生物大増殖)をもたらす、というプロセスが提案されている。しかし、この仮説は観測からの裏づけは不十分である。ADCPはこのような海洋の物質循環・生物生産に関わる堆積物、生物活動、フラジリアイス、の全てを検知できる可能性がある。

### 2. 研究の目的

ADCPは海中の散乱体となる、堆積物、動物プランクトン、フラジリアイス、を検知できうるが、これら3者を区別するような手法は確立されておらず、散乱強度データを有効に利用した研究はほとんどない。本研究の主目的は、ADCPの散乱強度データから、海中浮遊物のシグナルを取り出し、必要に応じて他の情報(流速等)と合わせて、それが何なのか(上記～を想定)を識別する汎用性の高い手法を開発することである。さらに、開発された手法を、南極海、北極海、オホーツク海で取得された係留系ADCPに適用し、海氷域での物質循環・生物生産に関わる重要なプロセスを明らかにすることをめざす。

### 3. 研究の方法

強い散乱強度を示す上記～によるシグナルを客観的に分類する手法を確立するのがこの課題の中心となる。具体的には各浮遊物の以下のような特性を利用する。巻き上がり粒子は海底に近いほど濃度が高く、海底付近での流速が大きいときに生ずる。動物プランクトンは光に応答するので強い一日周潮(夜上がってくる)の動きをする。フラジリアイスは海面に近いほど濃度が高く、風速が大きい時に生ずる。

識別手法としては、複素 EOF(CEOF)解析とバンドパスフィルタリングを主として用いた。特に中心周波数24時間のバンドパスフィルタをかけ、CEOF解析を施すと、動物プランクトンの日周活動が明瞭に取り出せる。潮流の強い海域では堆積物巻き上がりも抽出されるが、位相差の違いから両者は識別可能となる。フラジリアイス及び海底堆積物の巻き上がりに関しては、上記による生物活動の除去、ローパス/ハイパスフィルタリング、上層(フラジリアイスの場合)、下層(巻き上がりの場合)に重みをつけたCEOF解析、風速(フラジリアイスの場合)・海底流速(巻き上がりの場合)との結合 EOF解析等を組み合わせることで、これらの成分の抽出がある程度可能となる。

### 4. 研究成果

#### (1) 海中浮遊物の識別

本研究では、堆積物、動物プランクトン、フラジリアイス、を様々な手法を組み合わせで識別する手法を開発したが、3者が共存する北極チュクチ海を例に3者を識別した例を示す。図1(a)は、冬季11月1ヶ月の表層から30mまでの散乱強度データを示したものである。この時期に最も強いシグナルを持つフラジリアイスは、ハイパスとローパスの両方のCEOF第1モードの重ね合わせとして抽出され(図1b)、表層程強いシグナルという特徴が示されている。ハイパスデータにはフラジリアイスの他に動物プランクトンのシグナルも含まれており、CEOF第1モードを除することで抽出される(図1c)。元の散乱強度データ(図1a)から、フラジリアイス(図1b)、動物プランクトン(図1c)を除することで、堆積物の巻き上がりが抽出でき、海底近く程シグナルが大きい特徴が示される(図1d)。

#### (2) 南極沿岸域での適用

本研究で開発された手法は、北極海(図1)、南極海、オホーツク海で取得されたADCPデータに適用されたが、本手法が最も有効に活かされたのは、南極沿岸域で取得されたデータである。ADCPの散乱強度データから、海中で生成されるフラジリアイスが水深100m付近まで達するようなイベントが強風に応じて頻繁に起こることを初めて明らかにした(図2a)。これにより極めて効率的な海氷生産が生じることになり、海氷からの高塩分水排出により低温・高塩の重い水が作られる。このようなプロセスが、この海域を南極底層水の形成域たらしめていることを明らかにした研究である。南極底層水は、沈み込むことで深層大循環を駆動する世界で一番重い海水であり、この成果論文 Ohshima et al. (2022)は Science Advances 誌に掲載され、その号の FOCUS 論文として取り上げられた。生物生産が大きい季節海氷域では、フラジリアイスが生成される際に

鉄等を含む堆積物を取り込み、海水が融解するときには放出することで植物プランクトンの大増殖を誘起する、という仮説が提唱されている。この解析で明らかになったフラジルアイスの生成域が海中深くまで達するという事実は、その可能性を高めるもので、海水を介する物質循環や生物生産の理解にも繋がる研究とも言える。

フラジルアイスが強風時に約 100m 深までも及ぶことは、オホーツク海での ADCP の散乱強度データからも示されており、浅い陸棚海域ではフラジルアイスが海底に達し、海底堆積物を海水に取り込むという、物質循環にとって重要なプロセスを示唆した。この成果論文 Ito et al.(2021)は、Cold Regions Science & Technology 誌に掲載された。

南極沿岸域での散乱強度データ(図 2a)からは、フラジルアイスの他に生物(動物プランクトン)活動のシグナルも顕著に見られる。この元データに、中心周波数 24 時間のバンドパスフィルターをかけ、CEOF 解析を施すと、第 1 モードとして動物プランクトンの日周活動が明瞭に取り出せる(図 2b)。第 1 モードのスコア(図 2c)からわかるように、日が昇らない冬季には、動物プランクトンの日周鉛直活動が新月時に活発化し満月時に弱化するという顕著な 1 ヶ月周期の変動を示す。北極海等では極夜、動物プランクトンの月の満ち欠けに呼応する月光鉛直移動が報告されているが、南極域ではこのような報告はなかった。本研究により、南極域でも月光によりコントロールされる動物プランクトンの日周鉛直移動が初めて示された。この南極域のデータからは冬季、沿岸近傍(図 2c の A1)よりも沖合域(A2)の方が動物プランクトンの日周鉛直活動が活発に行われることも示されており、この傾向はオホーツク海でも確認された。

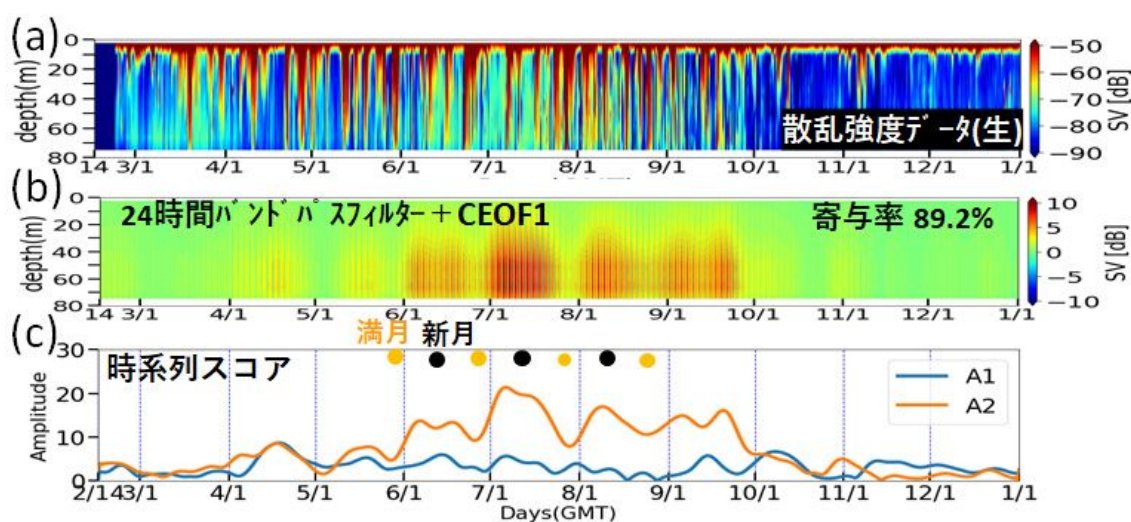


図 1：北極チュクチ海沿岸における 2014 年 11 月における、ADCP 体積後方散乱強度 (a)散乱強度元データ。(b)フラジルアイスの抽出 (ハイパスとローパスの CEOF 第 1 モードの重ね合わせ)。(c)動物プランクトンの抽出 (ハイパスデータからその CEOF 第 1 モードを除いたもの)。(d)堆積物巻き上がりの抽出(元データ図 1a)から、フラジルアイス成分(図 1b)、動物プランクトン成分(図 1c)を除いたもの。

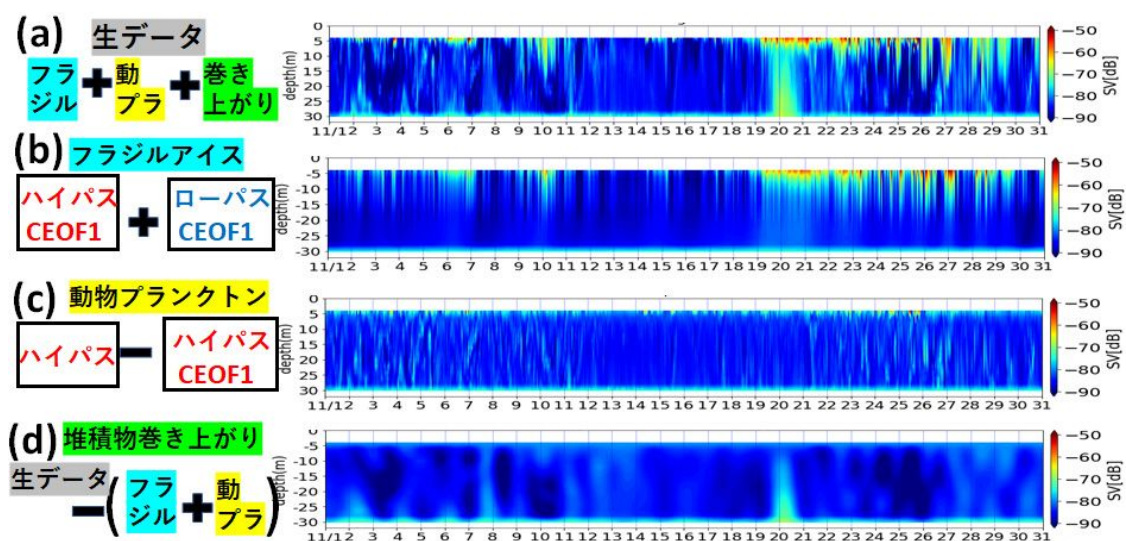


図 2：南極ケーブダンレー沖沿岸 A2 における 2010 年 1 年間の ADCP 体積後方散乱強度 (a)散乱強度元データ。(b)中心周波数 24 時間のバンドパスフィルターをかけた後の CEOF 第 1 モード。(c)CEOF 第 1 モードのスコア(沖合の A2 に加え、岸近くの A1 も示す)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Ohshima, K. I., Y. Fukamachi, M. Ito, K. Nakata, D. Simizu, K. Ono, D. Nomura, G. Hashida, T. Tamura	4. 巻 8
2. 論文標題 Dominant frazil ice production in the Cape Darnley polynya leading to Antarctic Bottom Water formation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eadc9174
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1126/sciadv.adc9174	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 Ito M., K. I. Ohshima, Y. Fukamachi, G. Mizuta, Y. Kusumoto, T. Kikuchi	4. 巻 192
2. 論文標題 Underwater frazil ice and its suspension depth detected from ADCP backscatter data around sea ice edge in the Sea of Okhotsk	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cold Regions Science and Technology	6. 最初と最後の頁 103382
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.coldregions.2021.103382	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 Ito Masato, Fukamachi Yasushi, Ohshima Kay I., Shirasawa Kunio	4. 巻 196
2. 論文標題 Observational evidence of supercooling and frazil ice formation throughout the water column in a coastal polynya in the Sea of Okhotsk	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Continental Shelf Research	6. 最初と最後の頁 104072
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.csr.2020.104072	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12件（うち招待講演 2件／うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Ohshima K. I., Fukamachi Y., Ito M., Nakata K., Simizu D., Ono K., Nomura D., Hashida G., Tamura T.
2. 発表標題 Dominating frazil-ice production in a coastal polynya leads to Antarctic Bottom Water formation
3. 学会等名 AGU Ocean Sciences Meeting 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤 優人, 大島 慶一郎, 深町 康, 水田 元太, 楠本 仁麦, 菊地 隆
2. 発表標題 サハリン沖係留観測で得られたADCPデータを用いたフラジルアイスの存在深度の推定
3. 学会等名 2021年度日本海洋学会秋季大会、オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. I. Ohshima, Y. Fukamachi, S. Nihashi, T. Tamura, K. Iwamoto
2. 発表標題 Global mapping of sea-ice production and discovery of 4th Antarctic Bottom Water
3. 学会等名 Chozen International Symposium on Understanding the Transboundary Pollution along North-South Transect in western Pacific region (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020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	深町 康  (FUKAMACHI Yasushi)  (20250508)	北海道大学・北極域研究センター・教授   (10101)	
研究分担者	伊藤 優人  (ITO Masato)  (40887907)	国立極地研究所・先端研究推進系・特任研究員   (62611)	

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			
米国	ワシントン大学	アラスカ大学		