

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：12614

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870203

研究課題名(和文) 冬期北極海におけるポーフォート循環と海洋温暖化の実態解明

研究課題名(英文) Elucidation of the Beaufort Gyre and Oceanic warming in the Arctic Ocean during winter

研究代表者

溝端 浩平 (Mizobata, Kohei)

東京海洋大学・学術研究院・助教

研究者番号：80586058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：衛星レーダー高度計CryoSat-2/SIRALの観測データからこれまで不明であった冬季北極海の月平均海面力学高度・地衡流場を導出した。海上風・海水運動との比較から、冬季においても海面応力の変動に応答して、北極海のポーフォート循環は順圧応答により時空間変動を示すことがわかった。また、ポーフォート循環は海面応力の強化に伴い、西方に分布を拡大させることがあることもわかった。冬季海水下でのポーフォート循環の変動は、海水減少をもたらす夏季太平洋水の行方を決める重要な要因であり、本研究の成果は北極海の海水変動予測に資するものである。

研究成果の概要(英文)：Wintertime monthly dynamic ocean topography (DOT) and geostrophic velocity were derived from CryoSat-2/SIRAL (Radar Altimeter). Investigation of DOT comparing with sea surface wind and sea ice motion shows that the Beaufort Gyre responds to the variability of sea surface stress due to sea surface wind and sea ice motion, as Barotropic response. Also our analysis revealed that strong wind field resulted from intensified Beaufort High sometimes induces the westward expand of the Beaufort Gyre. The spatio-temporal variability of the Beaufort Gyre during winter alters the pathway of the warm Pacific Summer Water, which contributes to sea ice reduction. Our results will be helpful for understanding the fate of Arctic Sea ice.

研究分野：海洋物理学・衛星リモートセンシング

キーワード：北極海 ポーフォート循環 海洋温暖化 海面高度計 衛星リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

北極海の海水激減は、海洋から大気への莫大な熱輸送をもたらし、地球気候システムを変化させる。その一方で、この海水激減は海運業界に「北極海航路の利用可能性」という期待をもたらしている。いまや海水激減メカニズムの解明は、気候変動予測のみならず、商業的な側面からも喫緊の課題である。現在、“気候変動に関する政府間パネル (IPCC) による地球温暖化予測モデル (以下、予測モデル)” は、海域に関係無く、北極海の海水が一樣に減少すると予測している (IPCC 第4次評価報告書、2007)。しかし実際には、海水は太平洋側北極海で激減している。これは夏期にベーリング海峡から流入する暖かい太平洋水が冬期ポーフォート循環に輸送され、同海域の冬期における海洋温暖化を招き、結果的に海水の成長が抑制されるためである。そこで、申請者は衛星データを用いて、ベーリング海峡から流入する太平洋水起源の熱フラックスを明らかにした (Mizobata et al., 2010)。しかし、この熱フラックスの経年変動は、太平洋側北極海における海水面積の経年変動と一致しなかった。この事実、冬期ポーフォート循環とそれに伴う海洋温暖化には、“ベーリング海峡の熱フラックスに依存しない固有の変動があり、冬期ポーフォート循環の実態を解明する必要がある。しかし、冬期ポーフォート循環の実態解明について、世界の研究者が直面する問題は 海水に覆われる冬期は、広範囲の船舶観測が不可能なこと、冬期ポーフォート循環の駆動力は海水による海面応力だが、精確な海水分布・種類が再現できない現在の予測モデルでは、冬期ポーフォート循環の精確な再現自体が困難なことである。

2. 研究の目的

ポーフォート循環の規模・強度は、海面のジオイド面からのずれ「海面力学高度」にあらわれる。北極海の海面力学高度は、レーザー高度計 GLAS (NASA の衛星 ICESat、平成 15 年 1 月打ち上げ、平成 21 年 10 月まで運用) およびレーダー高度計 SIRAL-2 (ESA の衛星 CryoSat-2、平成 22 年に打ち上げ、運用中) により観測されている。高度計観測では、衛星センサーのフットプリント内にある海水のリードからの散乱が大きな誤差要因となるため、利用可能なデータの判別、氷面・海面の区別については、Armitage and Davidson (2014) にならって Pulse Peakiness パラメータ (PP) を考慮し、PP > 0.25 となるデータのみを採用する。本研究では上記の衛星による観測値から、海盆スケールの季節内変動を解像する月平均の太平洋側北極海における海面力学高度を計算する。また、結氷期を含む現場観測を行う海水設置型の海洋観測装置 Ice Tethered Profiler で得られたステリックハイトおよび海底設置型海底圧力計を用いて、衛星観測か

ら導いた海面力学高度データセットを検証する。以上により、衛星高度計観測データを用いて、冬季海面力学高度『冬期北極海において、海洋温暖化を引き起こす海水下の海洋循環 (ポーフォート循環) の時空間変動』を明らかにする。また、衛星高度計の観測データから明らかにするポーフォート循環の時空間変動と、衛星搭載型マイクロ波放射計 AMSR-E および AMSR2 により算出された海水運動・NCEP2 気候再解析データセットによる記述される大気運動 (海上風・海面気圧など) との関係および、ポーフォート循環の変動過程を明らかにする。さらに海面力学高度から得た地衡流場を用いて、移流拡散方程式によりラグランジュ粒子追跡実験 (トレーサー実験) を行う。具体的には、11 月にバロー沖に到達するベーリング海峡由来の夏季太平洋水を想定したトレーサーが、衛星観測から明らかにした地衡流場 (冬季ポーフォート循環) によって移流される場所とそのタイミングの季節経年変動を明らかにする。

3. 研究の方法

はじめに、ICESat/GLAS および CryoSat-2/SIRAL-2 による観測値から海面力学高度を得る。力学高度計算では、「準拋楕円体からの衛星の高度」から「高度計で計測した衛星から海面までの距離」を差し引き、ジオイド高・潮汐効果の除去および対流圏湿度補正、電離層遅延補正、逆気圧応答補正を行う (e.g., Mizobata et al., 2004)。双方の衛星データセットの整合性を確認し、2003 年からの各軌道下における海面力学高度を計算する。但し、表面状態の判定等については、PP パラメータを用いて、利用可能な衛星搭載型高度計データの選定を行う。またジオイドモデルについては DTU13 と EGM2008 の両者を比較検討し、より妥当性の高いモデルを採用する。高度計データは、空間方向に離散的であり、かつ平均する期間内で時間変動成分による誤差が含まれるため、Kwok and Morison (2011) にならって 100km x 100km のガウシアンフィルターを施し、グリッド化した海面力学高度分布を得る。

データの検証には前述した ITP によるステリック高およびウッズホール海洋研究所が展開している係留系により得られている海底圧力計によるデータを使用する。海底の圧力 OBP は、海面力学高度と Steric Pressure Anomaly の合計であり、ここでは密度 1028 Kg/m³ で正規化した OBP を使用する。得られたステリック高と正規化した OBP を用いて、海面力学高度データセットの整合性を得る。この検証を行ったのちに、得られた海面力学高度データセットを用いて、ポーフォート循環の規模・強度のプロキシである、「冬期海面力学高度分布」のデータセットを作成する。

得られた海面力学高度で明らかにするポーフォート循環の時空間変動とマイクロ波センサー AMSR-E および AMSR2 により推定され

た海水運動・NCEP2 再解析データ（海上風および海面気圧）により記述されている大気運動との関係および、ポーフォート循環の変動過程について明らかにする。変動過程についても、前述した ITP によるステリック高および正規化した OBP を用いる。また各年の夏季太平洋水の行方を探るため、海面力学高度から得た地衡流場を用いてラグランジュ粒子追跡実験（トレーサー実験）を行う。本研究で得る海面力学高度は、高度計の軌道設計上月平均場までであるので、このトレーサー実験では、1 ヶ月間同じ流速場を与えて行うこととする。

4. 研究成果

CryoSat-2/SIRAL の観測データを用いて、2010 年～2016 年冬季の月平均海面力学高度場・地衡流場を明らかにした。推定誤差は 0.12m と TOPEX/Poseidon や Jason シリーズの精度よりは低いものの、後述するとおり北極海の海洋循環（ポーフォート循環）の時空間変動の記述に十分に耐えられるものである。本研究では海面力学高度を算出する前に、ジオイドモデルの選定を行った。DTU13 と EGM2008 を比較すると、DTU13 では北極点周辺においてランダムな誤差があり、結果的に正しく地衡流が計算できないため、本研究では EGM2008 を採用することとした。最終的に得られた冬季の海面力学高度を、ITP で得られる 500dbar 基準のステリック高と比較すると、 $R = 0.88$ で精度良く推定できていることが明らかになった。そこで、はじめに冬季平均の海面力学高度場を算出してみると、2010 年～2015 年の冬までに明らかにポーフォート循環の空間分布に経年変動が認められた。特に 2012 年/2013 年の冬にポーフォート循環は西方へ大きく拡大していた。そこで、2012 年 12 月～2013 年 3 月までの月平均毎の海面力学高度分布を調査すると、2012 年 12 月から 2013 年 1 月にかけてポーフォート循環は西方に拡大し、2013 年 2 月にはポーフォート循環の空間分布は若干縮小し、2013 年 3 月には流速場が強化されていたことが明らかになった。同期間の海水運動・海面気圧・海上風は、2013 年 1 月と 3 月のポーフォート高気圧と海水運動の強化を示しており、結果的に海面での応力が強化されたことを示唆していた。また 2013 年 2 月にはポーフォート高気圧と海水運動が弱まっていたことから、海面応力の弱化によって、ポーフォート循環が変形・弱化したことも示唆された。従来、海水に覆われる冬季北極海では海水下のポーフォート循環に大きな変動はないとされてきたが、本研究ではポーフォート循環が、海上風・海水運動による海面応力の変動にตอบสนองして、少なくとも月平均での時空間変動を示すことが明らかになった。この応答は、海底圧力計による正規化した OBP との比較から、応答速度の早い順圧応答であることも明らかになった。この結果は、海水-海洋結合モ

デルによるシミュレーションによっても支持された。またポーフォート循環はポーフォート高気圧の強化と海面応力の強化にともなう、西方に拡大していたが、この傾向は 2013 年 1 月～3 月に特に顕著であった。ポーフォート循環に依存する冬季における夏季太平洋水の行方を調べるため、トレーサー実験を実施した結果、特に 2013 年 1～3 月には海水激減域であるノースウインド海嶺ではなく、さらに西方へ夏季太平洋水は輸送されることが明らかになった。本研究の成果は、北極海の海水減少をもたらす海洋温暖化の進行する海域が、大気運動・海水運動・海洋循環の関係によって大きく変化することを示唆している。

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 1 件)

Mizobata K., E. Watanabe and N. Kimura, Wintertime variability of the Beaufort Gyre in the Arctic Ocean derived from CryoSat-2/SIRAL observations, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, doi:10.1002/2015JC011218

〔学会発表〕(計 4 件)

1. Mizobata K., E. Watanabe and N. Kimura, Wintertime variability of the Beaufort gyre in the Arctic Ocean derived from CryoSat-2/SIRAL observations, Japan Geoscience Union Meeting 2016, May 26th 2016.
2. Mizobata K., Variable pathway of the Pacific water in the Pacific sector of the Arctic Ocean, Arctic Science Summit Week 2015, April 30th 2015.
3. Mizobata K. and N. Kimura, Intra-seasonal variability of the Beaufort Gyre and its impact on the fate of Arctic Sea ice in the Pacific Sector of the Arctic Ocean, European Geoscience Union General Assembly, April 14th 2015.
4. 溝端浩平・木村詞明, Cryosat-2/SIRAL から見た 冬季北極海における海洋循環の時空間変動, 日本海洋学会春季大会, 2015 年 3 月 21 日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~mizobata/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

溝端 浩平 (MIZOBATA, Kohei)

東京海洋大学・学術研究院・助教

研究者番号： 80586058

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()