

令和元年5月10日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00511

研究課題名(和文) 衛星と現場観測による氷厚分布変動の監視および季節海水域の海水力学過程の解明

研究課題名(英文) Monitoring of ice thickness distribution and investigation of sea ice dynamics in the seasonal ice zone based on satellite and field measurements

研究代表者

豊田 威信 (Toyota, Takenobu)

北海道大学・低温科学研究所・助教

研究者番号：80312411

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：季節海水域における数値海水モデルの精度向上に資することを目的として、北極海やオホーツク海の観測データを基に変形氷を検出するアルゴリズムの開発および従来のモデルの海水力学過程の検証を行った。前者については両海域の観測結果から氷厚値よりも氷厚と密接に関わる変形氷を検出する方が現実的と判断し、PALSAR画像を用いたアルゴリズムを開発して変形氷分布の特徴をある程度明らかにした。一方、後者については従来モデルで慣習的に用いられてきた海水の塑性体としての振る舞いに着目し、降伏曲線の物理的な意味を見出すとともに、AMSR-E画像等から作成した海水速度データを基にその妥当性を定量的に吟味した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の気候モデルで用いられている数値海水モデルは北極海における現実の平均氷厚の急激な減少を十分には予測できておらず、この主な要因として海水力学過程の取り扱いの不十分さが指摘されてきた。力学過程に関する観測データが不十分である現状を踏まえ、本研究では変形氷検出のアルゴリズムの開発と理論的な枠組みの検証に取り組んだ。得られた結果により、氷厚分布変動の実態および力学過程がより定量的に把握できることが期待され、今後の力学過程の改良に向けての重要な道筋が与えられたと考えている。

研究成果の概要(英文)：Aiming to improve the numerical sea ice models in the seasonal ice zone (SIZ), we conducted (1) the development of an algorithm for detecting deformed ice area using PALSAR images and (2) the examination of the dynamical processes used in the models, based on the in-situ measurements in the Arctic Ocean and the Sea of Okhotsk.

With the algorithm of (1), which was represented as a function of the incidence angle and backscatter coefficient of PALSAR images, the temporal and spatial variation of deformed ice area in the Sea of Okhotsk was clarified to some extent. As for (2), the traditional treatment of sea ice as a plastic material was validated from a theoretical aspect, using mainly AMSR-derived gridded ice drift data. As a result, it was revealed that although the traditional method seems to be applicable to SIZ as well, a careful treatment is required for parameterization due to its large variation. These results are considered to shed light on the next step toward our goal.

研究分野：海氷科学

キーワード：季節海水域 海水力学過程 リモートセンシング レオロジー 気候変動 氷盤分布 数値海水モデル 海水-波相互作用

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海水は海洋から大気へ放出される多大な熱を遮断し、また高いアルビードの故に日射量を大幅に減らす役割を持つため、海水域は地球の気候システムの中で重要な役割を果たしている。特に北極海の海水量の増減は広く中緯度の冬期の気候にも影響が及ぶことが指摘されており、将来の気候予測を行う気候モデルの中で海水域の振る舞いが適切に再現されることが望ましい。しかしながら、IPCC 報告書に用いられているいずれの海水モデルも北極海における海水面積や氷厚の急激な減少を十分には予測できていない。モデルの平均氷厚の減少率は観測の約4分の1程度であることから、特に海水力学過程の取り扱いの不十分さが指摘されてきた。これは、現在のモデルで組み込まれている海水力学過程(レオロジー)は基本的には約40年前の大きくて(数km)厚い(3m)多年氷が卓越する北極海の季節変化を再現することを目的として開発されたものであることが一因と考えられる。様々な厚さや大きさを持つ氷盤が存在する季節海水域においての有用性については検証が必要である。北極海で季節海水域の割合が増えている今、季節海水域の海水力学過程の解明が早急に求められていると言える。

海水力学過程において季節海水域を特徴づけるのは氷厚発達過程と氷盤分布である。研究代表者等による観測に基づく研究(Toyota et al., 2004JGR, 2007JO)から、氷厚発達過程は氷盤同士が乗り重なる力学的な変形過程(rafting と ridging)が本質であることが明らかになった。しかしながら、これらの過程は定量的には解明されていないため、また数値海水モデルに組み込むまでには至っていない。鍵となるのは氷厚分布のマッピングとその時空間変動の解析であるが、観測データが不足しているのが現状である。オホーツク海の氷厚分布に関して、研究代表者はこれまでの研究からALOS 衛星 PALSAR が季節海水域の氷厚分布推定に有用であることを示した(Toyota et al., 2011AG)。この結果が広く北極海にも適用できるのかどうかはまだ検証を必要としている段階にある。

一方、季節海水域内の氷盤分布に関しては最近の研究代表者による観測研究(Toyota et al., 2016)から約1kmの大きさを境に2つのレジームが存在することが明らかになった。しかし、海水融解過程とも直に関連する大きさ数m以下の小さな氷盤分布についてはまだ実態がよく分かっていない。氷盤分布は海水域を構成する氷塊の最小単位であるため海水力学過程にとって重要な情報と考えられるが、観測データが少なく時空間変動の実態は明らかになっていない。氷厚分布や氷盤分布の変動はいずれもサブグリッドスケールの現象であり、モデルを改善するためには観測から実態を明らかにする必要がある。

数値海水モデルにおける海水力学過程の改善に取り組むにあたっては、観測による実態把握に加えて従来のモデルで用いられてきた理論的な枠組みの検証が必要である。力学過程のパラメタリゼーションにおいて本質的な役割を担うのは海水レオロジーの定式化の手法である。従来の数値海水モデルでは、海水域は通常の大さの応力で二次元塑性体として振舞うとして定式化された Hibler (1979 JPO) のレオロジーが用いられてきた。しかしながら、季節海水域でこの手法が適用可能かどうかについては海水観測に基づく検証が必要とされている。

2. 研究の目的

上に述べた背景をふまえ、本研究では氷厚分布と氷盤の大きさ分布の実態を最新の観測から明らかにして従来の数値海水モデルの力学過程の理論的な枠組みの検証を行うことを目指した。まず、氷厚分布については、ALOS/PALSARの後継機であるALOS-2/PALSAR-2(分解能100m)の画像を用いて北極海とオホーツク海における現場検証観測との比較から氷厚分布を推定するアルゴリズムを開発し、これらの海域の氷厚分布の時空間変動を把握すること、氷盤の大きさ分布については衛星画像や現場観測から同海域の氷盤分布の時空間変動を把握することとした。これらのデータと衛星マイクロ波データを用いて作成した約40km間隔の海水漂流速度分布と併せて解析することにより、特にサブグリッドスケールの海水の変形過程に着目して海水力学過程の理解を改善することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 観測データの取得および解析

初年度と第二年度は4月にカナダ沿岸のボーフォート海とエレズミア島北西沖で、9月にアラスカ沖ボーフォート海で、2月にオホーツク海南部で現場観測を実施した。しかしながら、応募していたJAXA ALOS-2 研究計画が不採択となり PALSAR-2 の画像が限定されたこと、北極海での観測結果を解析した結果、氷厚と表面凹凸の相関性は海域によって異なることが判明したことなどの理由により、衛星 L-band SAR 画像から氷厚値を見積もるよりも氷厚と密接に関わる変形氷を検出するアルゴリズムを開発する方が現実的だと判断して当初の計画を若干変更した。

手法は、過去(2009-2011年)にオホーツク海で取得した PALSAR 画像と観測データを最大限に活用して L-band SAR が C-band SAR よりも変形氷を見出すのに優れていることを示し、PALSAR 画像を用いて入射角と後方散乱係数から変形氷域を抽出するアルゴリズムを開発した。また、得られたアルゴリズムの検証を行うため、オホーツク海で2016~2018年2月に実施した航海観測データを基に、後継機である PALSAR-2 画像を購入して解析に取り組んだ。

氷盤分布についてはドローンを購入し、沿岸海水域で試験計測を実施して機器の性能を確かめ、巡視船での観測の認可を得てから2018~2019年2月にオホーツク海で実施した。しかしながら天候等の理由により観測が限られたため、本研究では過去の結果を活用することとした。

(2) 数値海水モデルの力学過程の理論の枠組みの検証

鍵となるのは詳細な海水密度、漂流速度、それに氷厚分布であるため、本研究ではこれらのデータが揃った2010年1月～3月のオホーツク海に着目して解析を行った。また海域による特徴を比較するため、同期間のポーフォート海の海水漂流速度データも用いた。更に小さなスケールで検証を行うため2003年冬期に得られた北大流氷レーダーデータも活用した。観測データを用いて検証する場合には、観測誤差が大きい内部応力項を直接計算して運動方程式の各項を比較するのは必ずしも得策ではない。そこで Stern et al. (1995 JGR) を参考に、Rothrock (1975 JGR) が試みた海水変形場によってなされる仕事率という観点から、従来 Hibler モデルで用いられてきた二次元塑性体の形状 (アスペクト比 $e = 2$ の楕円) の検証を行うこととした。海水漂流速度分布は北極海とオホーツク海全域を対象として AMSR-E 89GHz の輝度温度データから cross correlation 法により求めた (水平解像度 37.5km)。北大流氷レーダーに関しては2003年2月～4月の特定日 (計9日間) に10分間隔で取得した紋別沖のデータから同じく cross correlation 法により海水漂流速度を求めた (同 1.3km)。

4. 研究成果

(1) 変形氷の検出のためのアルゴリズムの開発

オホーツク海で撮影した氷況写真と時期の重なる PALSAR 画像 35 日分を用いて種々の氷況に対する後方散乱係数を入射角の関数としてまとめた結果、図 1 a に示すように海水を 3 種類 (変形氷、はず葉氷、ニラス) に分類するための判別式 (対数関数) を導出した。このアルゴリズムを用いてオホーツク海南部の変形氷域を抽出した一例を図 1 b に示す。海水域内部には長さ数 10～100 km、幅 10 km 程度で筋状に分布している様子が見られる一方、氷縁域ではほぼ氷縁に沿って長さ数 100 km、幅数 10 km の規模で分布している様子が見られる。時系列で見ると変形氷域の変動は大きく、海水漂流速度分布のみでみた収束域とほぼ対応することが確かめられ、氷盤同士が乗り重なる変形過程によって生じたと解釈される。一方、については波 - 海水相互作用が重要と考えられるが、恒常的に存在しており解釈には注意を要する。

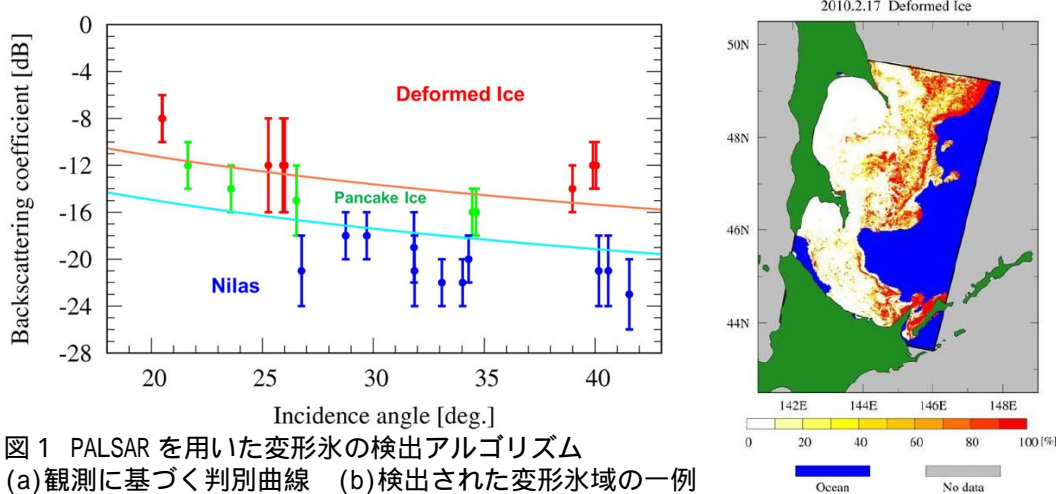


図 1 PALSAR を用いた変形氷の検出アルゴリズム
(a) 観測に基づく判別曲線 (b) 検出された変形氷域の一例

次に、このアルゴリズムを基に、2010年2月22日にほぼ同時刻に観測された PALSAR (L-band) と RADARSAT-2 (C-band) 画像の後方散乱係数を用いて氷況ごとに波長の異なる SAR 画像を比較した結果、PALSAR の方が変形氷と比較的薄い氷とのコントラストがより大きく、オホーツク海南部においても変形氷の検出には C-band よりも L-band の方が適していることが確認された。

PALSAR-2 画像の解析からは、アルゴリズムの有用性が確認された一方、年による氷況と後方散乱係数の特性の違いから、海水表面の凹凸のみならず氷盤の大きさも後方散乱係数に有意に寄与すること、この特性は HH 偏波よりも HV 偏波でより強いこと、従って HH 偏波と HV 偏波の組み合わせにより変形氷がより正確に検出できる可能性などが示された。

(2) 数値海水モデルの理論的な枠組みの検証

まず、Hibler が用いた降伏曲線が塑性理論から導かれる降伏曲線と比較的良く合致することを見出して物理的な根拠を与えることに成功した。次にオホーツク海の特徴的な約 150 km 四方の領域を対象に、日々の漂流速度から計算した収束の度合いと理論式から計算された収束の度合いを速度の発散・シア成分比の関数としてプロットして理論との比較を行った (図 2)。その結果、図 2 右に示すように、観測値は Hibler モデルとほぼ合致していることが分かる (最適値は $e = 1.7 \sim 2$)。ポーフォート海を対象とした解析結果もほぼ同様であった。一般に塑性体においては理論的には降伏曲線は $e = 1.7 \sim 2$ の楕円となることが知られており、この結果は、両海域ともに約 150 km のスケールでは海水域を塑性体として扱うことの妥当性を示すものと考えられる。一方、流氷レーダーを用いた 10-26 km 四方の領域においてもほぼ同様な結果が得られ、オホーツク海南部の海域では幅広いスケールで塑性体として取り扱いの妥当性がある程度裏付けられた。このように、時間や空間のスケールに依らず本質的には Hibler の定式化と整合

した。ここで空間的なスケール普遍性は氷盤分布のフラクタルの特性に起因すると考えられる。しかしながら、速度場の空間変動はオホーツク海ではポーフォート海に比べて顕著に大きく、サブグリッドスケールの速度の空間変動を正しく表現せねば Hibler の定式化は機能しないことも明らかになり（図 2 左）、新たなパラメタリゼーションを開発する必要性が提起された。

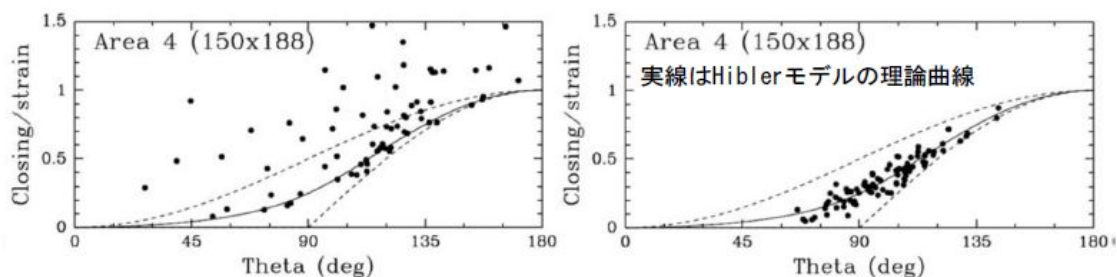


図 2 着目した領域の海水速度場の収束の度合い。横軸は速度の発散・シアー成分の比に相当するパラメータ。サブグリッドスケールの速度の空間変動場を考慮しなかった場合（左）、考慮した場合（右）(Toyota and Kimura, 2018 JGR)

以上、本研究の成果により変形氷を検出する手法の開発や力学過程を解明するための基盤を整えることができたため、今後の海水の力学的成長過程の理解に寄与することが期待される。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 16 件)

Toyota, T., and J. Ishiyama: Application of ALOS-2/PALSAR-2 for detecting deformed sea ice area in the Sea of Okhotsk, *Proceedings of the 34th International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans 2019*, 査読無, 34, 279-282, 2019.

Ito, M., T. Toyota, and 5 others: Grease ice observations in the southern Sea of Okhotsk with P/V Soya, *Proceedings of the 34th International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans 2019*, 査読無, 34, 247-250, 2019.

Kanna, N., Y. Sibano, T. Toyota, and J. Nishioka: Winter iron supply processes fueling spring phytoplankton growth in a sub-polar marginal sea, the Sea of Okhotsk: Importance of sea ice and the East Sakhalin Current, *Marine Chemistry*, 査読有, 206, 109-120, 2018. DOI:10.1016/j.marchem.2018.08.006

Nihashi, S., N.T. Kurtz, T. Markus, K.I. Ohshima, K. Tateyama, and T. Toyota: Estimation of sea-ice thickness and volume in the Sea of Okhotsk based on ICESat data, *Annals of Glaciology*, 査読有, 59(76), 101-111, 2018. DOI:10.1017/aog.2018.8

Miyama, T., H. Mitsudera, H. Nishigaki, and R. Furue: Dynamics of a Quasi-Stationary Jet along the Subarctic Front in the North Pacific Ocean (the Western Isoguchi Jet): An Ideal Two-layer Model, *Journal of Physical Oceanography*, 査読有, 48, 807-830, 2018. DOI:10.1175/jpo-d-17-0086.1

Toyota, T. and N. Kimura: An examination of the sea ice rheology for seasonal ice zones based on ice drift and thickness observations, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 査読有, 123(2), 1406-1428, 2018. DOI:10.1002/2017JC013627

Toyota, T., and J. Ishiyama: Properties of deformed sea ice area in the southern Sea of Okhotsk derived from satellite SAR images, *Proceedings of the 33rd International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans 2018*, 査読無, 207-210, 2018.

Takahashi, S., and T. Toyota: Changes of Sea-Ice nomenclature from WMO 1970 to WMO 2014 -What is the English name of "Ryuhyo" (in Japanese)? *Proceedings of the 33rd International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans 2018*, 査読無, 322-325, 2018.

Ohata, Y., T. Toyota, and A.D. Fraser: The role of snow in the thickening processes of lake ice at Lake Abashiri, Hokkaido, Japan, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 査読有, 69:1, 1391655, 2017. DOI:10.1080/16000870.2017.1391655

Ohata, Y., T. Toyota, and T. Shiraiwa: Lake ice formation processes and thickness evolution at Lake Abashiri, Hokkaido, Japan. *Journal of Glaciology*, 査読有, 62(233), 563-578, 2016. DOI:10.1017/jog.2016.57

Toyota, T., R. Massom, O. Lecomte, D. Nomura, P. Heil, T. Tamura, and A.D. Fraser: On the extraordinary snow on the sea ice off East Antarctica in late winter, 2012, *Deep-Sea Research II*, 査読有, 131, 53-67, 2016. DOI:10.1016/j.dsr2.2016.02.003

Toyota, T., A.L. Kohout, and A.D. Fraser: Formation processes of sea ice floe size distribution in the interior pack and its relationship to the marginal ice zone off East Antarctica, *Deep-Sea Research II*, 査読有, 131, 28-40, 2016. DOI:10.1016/j.dsr2.2015.10.003

Lecomte, O., and T. Toyota: Influence of wet conditions on snow temperature diurnal variations: An East-Antarctic sea ice case study, *Deep-Sea Research II*, 査読有, 131,

68-74, 2016. DOI:10.1016/j.dsr2.2015.12.011

Kohout, A.L., M.J.M. Williams, T. Toyota, J. Lieser, and J. Hutchings: In situ observations of wave-induced sea ice breakup, *Deep-Sea Research II*, 査読有, 131, 22-27, 2016. DOI:10.1016/j.dsr2.2015.06.010

Toyota, T., and H. Koda: Tank experiments on the granular ice formation processes, *Proceedings of the 23rd IAHR International Symposium on Ice, Ann Arbor, USA*, 査読有, 23, 8 pages, 2016.

Ohata, Y., T. Toyota, A.D. Fraser, and T. Shiraiwa: The role of snow-ice in the thickening processes of lake ice at Lake Abashiri, Hokkaido, Japan. *Proceedings of the 23rd IAHR International Symposium on Ice, Ann Arbor, USA*, 査読有, 8 page, 2016.

[学会発表](計 28 件)

Toyota, T., J. Ishiyama, Application of ALOS-2/PALSAR-2 for detecting deformed sea ice area in the Sea of Okhotsk -Toward understanding ice deformation processes-, The 34th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans, Mombetsu, Japan, on February 19, 2019

Ito, M., T. Toyota, 他 5 名, Grease ice observations in the southern Sea of Okhotsk with P/V/ Soya, The 34th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans, Mombetsu, Japan, on February 19, 2019

豊田威信、海氷の結晶成長の特徴、低温科学研究所共同研究集会「結晶表面・界面での相転移ダイナミクスに関するその場観察および理論」、2019 年 1 月 28 日、北海道大学(札幌市)

Toyota, T., J. Ishiyama, Retrieval of deformed sea ice area in the southern Sea of Okhotsk using satellite L-band SAR images, The Ninth Symposium on Polar Science, Tokyo, Japan, on December 5, 2018

Mitsudera, H., Dynamical frontogenesis in the transitional regions between the subtropical and the subpolar gyres, JpGU 2018, Makuhari, Japan, on May 20, 2018

Toyota, T., N. Kimura, An examination of the sea ice rheology for the seasonal ice zones, based on ice drift and thickness observations, MOSAiC Science Workshop, Potsdam, Germany, on May 29, 2018

Takahashi, S., T. Toyota, Changes of Sea-Ice Nomenclature from WMO 1970 to WMO 2014 -What is the English name of “Ryuhyo” (in Japanese)?, The 33rd International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans, Mombetsu, Japan, on February 19, 2018

Toyota, T., J. Ishiyama, Properties of deformed sea ice area in the southern Sea of Okhotsk derived from satellite SAR images, The 33rd International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans, Mombetsu, Japan, on February 20, 2018

Mitsudera, H., Y. Hirano, H. Nishikawa, On the seasonal variations of the Bering Slope Current, The 33rd International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans, Mombetsu, Japan, on February 20, 2018

高橋修平、豊田威信、What is the English name of “Ryuhyo” (in Japanese)? - Changes of WMO Sea-ice Nomenclature-, The Eighth Symposium on Polar Science, National Institute of Polar Research, Tokyo, on December 5, 2017

Toyota, T., N. Kimura, Some results on sea ice rheology for the seasonal ice zone, obtained from the deformation field of sea ice drift pattern, American Geophysical Union 2017 Fall Meeting, New Orleans (LA), USA, on December 13, 2017

豊田威信、砕氷巡視船「そうや」を用いたオホーツク海氷観測研究、極域・寒冷域研究連絡会(日本気象学会 2017 年度秋季大会):「数十年スケールで見る環オホーツク域の海氷研究」、2017 年 10 月 30 日、北海道大学、札幌市

豊田威信、木村詞明、漂流速度分布から見た季節海氷域における海氷レオロジーに関する一考察、日本海洋学会 2017 年度秋季大会、2017 年 10 月 15 日、仙台国際センター、仙台市
佐伯立、三寺史夫、馬目歩美、豊田威信、木村詞明、アイスバンドの融解について、日本海洋学会 2017 年度秋季大会、2017 年 10 月 16 日、仙台国際センター、仙台市

三寺史夫、平野洋一、西川はつみ、Bering Slope Current とその周辺で生成する渦の季節変動、日本海洋学会 2017 年度秋季大会、2017 年 10 月 15 日、仙台国際センター、仙台市
大畑有、豊田威信:「網走湖における湖氷フェノロジー」、雪氷研究大会、2017 年 9 月 26 日、クロステン十日町、十日町市

石山惇応、豊田威信、衛星 SAR 画像を用いたオホーツク海南部海氷域における変形氷分布の抽出 -季節海氷域の力学過程の解明に向けて-、雪氷研究大会、2017 年 9 月 26 日、クロステン十日町、十日町市

高橋修平、豊田威信、「流水」の英語は Pack ice か Drift ice か? -WMO 海氷用語の変化-、雪氷研究大会、2017 年 9 月 26 日、クロステン十日町、十日町市

三寺史夫、平野洋一、Bering Slope Current とそれに伴う高気圧性渦の季節変動について、JpGU、2017 年 5 月 23 日、幕張メッセ、千葉市

Ishiyama, J., T. Toyota, An attempt to extract deformed sea ice area using L-band SAR

- images in the Sea of Okhotsk, Workshop on Sea Ice Remote Sensing and Modeling, University of Tokyo, Tokyo, on January 23, 2017
- 21 Toyota, T., S. Ushio, 他 4 名, Growth and decay processes deduced from the fast-ice cores collected near the Syowa Station, The Seventh Symposium on Polar Science, National Institute of Polar Research, Tokyo, on November 30, 2016
- 22 Ishiyama, J., T. Toyota, Comparison between spaceborne L-band and C-band SAR imagery for sea ice area in the southern Sea of Okhotsk, The Seventh Symposium on Polar Science, National Institute of Polar Research, Tokyo, on November 30, 2016
- 23 Ushio, S., T. Toyota, D. Nomura, K. Naoki, Quasi-periodic breakup of multi-year landfast ice in Lützow-Holm Bay, Antarctica: Physical processes and some possible factors of breakup events, The Seventh Symposium on Polar Science, National Institute of Polar Research, Tokyo, on November 30, 2016
- 24 Nomura, D., S. Aoki, D. Shimizu, T. Toyota, 他 3 名, Incorporation and degradation processes of biogeochemical compounds within Antarctic multi-year land-fast sea ice, The Seventh Symposium on Polar Science, National Institute of Polar Research, Tokyo, on November 30, 2016
- 25 豊田威信、木村詞明、季節海氷域における海氷レオロジーの検証 仕事率の観点から、雪氷研究大会、2016年10月1日、名古屋大学野依記念学術交流会館、名古屋市
- 26 大畑有、豊田威信、網走湖における湖氷成長過程と氷厚推移 氷厚成長における雪の役割、雪氷研究大会、2016年10月1日、名古屋大学、名古屋市
- 27 加藤龍太、豊田威信、大気的全エネルギー収支からみたオホーツク海の海氷の役割、日本海洋学会 2016 年度秋季大会、2016年9月14日、鹿児島大学、鹿児島市
- 28 豊田威信、東南極域海氷上の積雪の質量収支について、低温科学研究所共同研究集会「大気・雪氷・海洋間の物質交換・循環と極域への物質輸送に関する研究集会」、2016年8月1日、北海道大学低温科学研究所、札幌市

〔図書〕(計 4 件)

- 豊田威信、「海洋観測ガイドライン第七巻」(分担執筆)、日本海洋学会編、232 頁(第 5 章「海氷」G705JPr1:001-043 を担当)、2018
<http://kaiyo-gakkai.jp/jos/guide/download>
- Toyota, T., Guideline of Ocean Observations, Vol.7 (分担執筆), The Oceanographic Society of Japan, 170pp. (Chap. 5, Sea Ice, G705ENr1:001-047 を担当), 2018
<http://kaiyo-gakkai.jp/jos/en/guide/content>
- 豊田威信、「低温環境の科学事典」(分担執筆)、朝倉書店、411 頁(第 5 章「海洋物理・海氷」、p134-139 を担当)、2016
- 三寺史夫、「低温環境の科学事典」(分担執筆)、朝倉書店、411 頁(第 9 章「寒冷圏から見た大気・海洋相互作用」、p324-327 を担当)、2016

〔その他〕

新聞記事の掲載

2019年2月8日に北海道新聞の地方版にオホーツク海での海氷観測についての紹介記事が掲載された。

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：三寺 史夫

ローマ字氏名：(MITSUDERA, Humio)

所属研究機関名：北海道大学

部局名：低温科学研究所

職名：教授

研究者番号(8桁)：20360943

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：木村 詞明

ローマ字氏名：(KIMURA, Noriaki)

海外の研究協力者氏名：Christian Haas、Jennifer Hutchings、Alexander Fraser

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。