

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510001

研究課題名(和文) 氷縁域における波-海氷相互作用および氷盤分布の形成過程に関する研究

研究課題名(英文) Wave-ice interaction and its relevance to the formation processes of floe size distribution in the marginal ice zone

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) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：氷縁域において波-海氷相互作用が氷盤分布の形成および波活動に及ぼす影響を明らかにすることを目的として2012年晩冬季に東南極域の海水域で波活動と氷盤分布の同時観測を実施した。ただし天候の事情で氷盤分布は波の影響が少ない海氷内部領域で観測を行い、同海域氷縁域の過去の結果と比較することにより波の影響を推定した。その結果、内部領域においても既に氷縁域で見られる氷盤分布の原型が見られ波-海氷相互作用は新たな氷盤分布を作るというよりはこれらを変調する働きがあること、ストームに伴う大波は内部領域まで侵入して氷盤形成に影響を及ぼし得ることなどが示された。

研究成果の概要(英文)：To improve the understanding of wave-ice interaction and subsequent effects on floe size distribution (FSD) in the marginal ice zone (MIZ), the concurrent measurement of wave activity and floe size distribution was conducted off East Antarctica in late winter 2012. While logistic reasons limited helicopter operation to two interior ice regions, the floe size distribution in the interior region was determined using a combination of heli-photos and MODIS satellite visible images. Our analysis shows: 1) the interior region already possesses two kinds of floe size distributions for both  $d < 100$  m and  $d > 1$  km scales, which exist in the MIZ, however, for a small regime an expected regime shift is absent; 2) the significantly high waves can penetrate into the interior region and affect the FSD there. These results indicate that one role of wave-ice interaction in MIZ is to modulate the floe size distribution that already exists in the interior region, rather than directly create it.

研究分野：海氷科学

キーワード：極地 海氷 波-海氷相互作用 氷盤の大きさ分布 気候変動

### 1. 研究開始当初の背景

海水は海洋から大気に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ずる役割を持つため、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。海水域の中でも、その先端に位置する氷縁域は海水域の拡大・後退の鍵を担う。従って、気候変動に伴う海水域の変動傾向を予測するにあたって氷縁域で生ずる結氷・融解のプロセスを正しく理解することは大変重要な課題である。氷縁域は外洋に接するため、波との相互作用が活発な領域として特徴づけられる。すなわち、海水によって波が急速に減衰する一方で、波による屈曲作用で海水が破碎し比較的小さな氷盤が形成される。このことは特に海水の融解過程に大きな意味合いを持つ。南極海水域の融解過程においては春先に氷盤間の開水面で吸収した短波放射の熱が海水に輸送される過程が本質と考えられている。従って、同じ海水面積を持つ海水域であっても、大きな氷盤が占有する場合よりも小さな氷盤が数多く存在する方が海水に接する面積が大きいため効率的に融解することになる。この効果は直径数十m以下の比較的小さな氷盤で重要になるため氷縁域では特に重要な課題と言える。このように氷縁域の融解速度を知る上で氷盤の大きさ分布は本質的な情報であり、波との相互作用によりどのような氷盤分布が形成されるかはグローバルな観点からも重要な課題である。

この課題に取り組むにはまず現場の氷縁域における氷盤分布の特性を把握する必要がある。研究代表者はこれまで冬季のオホーツク海や南極域での観測結果を元に、1) 基本的には自己相似性が卓越していること、2) ただし直径約 30m以下では分布の特性が変わることなど海域に共通する氷盤分布の基本的な特徴を見出した (Toyota et al., 2006 GRL, 2011DSR)。また、比較的小さな氷盤の自己相似性は波に相対的な海水破碎確率 (fragility) という概念を導入することによりある程度説明可能であること、比較的大きな氷盤は氷盤の集合化の過程が重要であることが提案された。しかしながら一般に氷盤形成過程に関する理解は不十分であり、上記論文で提案されたアイデアも検証を必要とする段階にある。このことが気候モデルにおける融解期の海水域の再現性に支障を来してきたとも考えられる。

一方、波・海水相互作用の研究は 30 年以上にわたるものの、直接観測の困難さの故に観測データは限られており (e.g. Squire and Moore, 1980 Nature)、数値モデルによる計算が主体であった。しかも理想化された氷盤中の波の伝播特性に重点が置かれていたため、実際の氷盤分布の形成に関する研究はほとんどなされてこなかった。そのような状況下で 2012 年 9 - 10 月に東南極域でオーストラリアの研究観測船を用いて研究代表者と研究

協力者 (Dr. Alison Kohout) が中心となって氷縁域の波・海水相互作用の観測が実施されることが計画された。波活動と氷盤分布の計測を同時に実施する点では初めての試みと言える。

### 2. 研究の目的

上に述べた背景をふまえ、本研究ではこの観測を中心に据えて観測データの解析および数値モデルを用いた計算の両側面から、波・海水相互作用を通して氷盤分布が形成される過程を解明することを目的とする。具体的には、東南極氷縁域で波エネルギーと氷盤分布を同時に計測して、氷盤が波エネルギーの伝搬にどのような影響を与えるのか、また波による氷盤の破碎がどのように生じて氷盤分布の形成に影響を与えるのかを吟味する。また、数値モデルも用いて波・海水相互作用の定量的な理解を深め、氷盤分布形成のパラメタリゼーションを開発することを目指す。

### 3. 研究の方法

観測・解析の方法を項目別に示す。

#### (1) 東南極海水域での観測

当初の計画では、まず観測で、外洋から入射する波のエネルギーが氷盤の影響によりどのように減衰するか、また氷盤の分布が波によりどのように影響を受けるかを定量的に調べ、両者を比較することにより波・海水相互作用を明らかにすることとした。この目的のため、8つの加速度計を氷縁から海水内部領域にかけて個々の氷盤上に設置して波エネルギーを連続的に計測し、波エネルギーが氷縁からの距離の関数として減衰する様子を調べる。加速度計のデータは観測期間中アンテナを通して船舶に送信される仕組みになっており、様々な気象条件での計測を実施した。同時にこの目的のため、同じ海域の氷盤分布をヘリコプターに搭載したビデオカメラを用いて計測することとした。

しかしながら、現場では実際に氷盤上に設置した加速度計からデータを受信できたのは5つであり、それらも海流によってはるか東方に流される状況であった。また、氷盤分布の計測は天候等の事情により氷縁域では実現できず、海水内部領域の2箇所までヘリコプターを用いて実施された。このため波活動データと氷盤分布データを直接比較することは叶わず当初の計画を若干変更した。

まず、波活動データに関しては、観測期間中ストームに伴って波高が 3 m を超えるような現象が三回発生したのでこのような大波の伝搬特性および氷盤破壊過程に焦点を当てて解析を行うこととした。また、氷盤分布については波の影響が少ない内部領域における氷盤分布の特性を見出し、過去に同じ海域の氷縁域で得られた氷盤分布特性と比較することにより、氷縁域における波・海水相互作用の働きを間接的に理解することを

目的とした。氷盤分布を解析するに当たって、比較的小さな氷盤はヘリ搭載ビデオ画像、比較的大きな氷盤は衛星画像 (MODIS) を用いた。ヘリ観測は 2 回実施され (9/25 と 11/05)、一定高度を飛行するヘリから観測幅 1~6 km の氷盤分布を 5 秒間隔で撮影し、各々の観測日から解析に適した画像を 2 枚ずつ選択して直径数 m ~ 約 100 m の氷盤を対象として解析を行った。一方、MODIS 画像は観測海域周辺の約 130 km 四方の 4 つの内部領域に焦点を当て、解析に適した 9/24, 10/04, 11/05 の画像を選択して直径約 1.5 km ~ 約 10 km の氷盤を対象に解析を行いその時間変化を調べた。また、従来の数値モデル研究から波海氷相互作用において氷厚は本質的な物理量であることが指摘されているため (Kohout and Meylan, 2008 JGR)、ビデオシステムを用いて航路に沿った海氷厚も計測した。

#### (2) 氷盤分布の画像解析

氷盤解析の手法はヘリ画像、衛星画像共に過去に氷縁域を対象として行った Toyota et al. (2006, 2011) と同様である。すなわち、PC software (Image-Pro Plus) を用いて海水と海氷の輝度の違いに基づいて氷盤を抽出し、抽出した個々の氷盤について面積・周囲長・最大径・最小径を測定した。氷盤の大きさは同じ面積を持つ円盤の直径として定義し、面積 30 ピクセルを解析の下限サイズとした (ヘリ画像で 4 m、MODIS 画像で 1.5 km に対応)。抽出した氷盤の総数はヘリ画像で計 4252 個、MODIS 画像で計 9057 個であった。

#### (3) 数値モデル

観測内容に変更が生じたため、当初の予定を変更して氷盤形成に重要な波の氷盤破壊過程をどのようにモデルに取り入れるかという観点から研究協力者 (Kohout) と検討することとした。手法は南極観測中に遭遇した 3 度のストームに伴って発生した破碎現象の波エネルギーを解析し、現モデルで用いられている理論の検証を行った。また、海洋-海氷相互作用により出現するアイスバンドの形成過程に焦点を当てて分担者 (三寺) が中心となって数値モデルを用いて調べた。パターン形成は Toyota et al. (2011 DSR) で議論されている通り氷盤形成過程において重要な役割があると考えられる。

#### (4) その他 (氷盤上の積雪深への影響)

東南極海氷域における観測時の氷況特性の一つは過去の同海域の観測結果と比較して顕著に厚い氷厚と積雪深 (平均 0.45 m) であった。南極海氷域の変動特性には積雪は重要な役割を担っていると考えられているため、当初の予定に加えて氷盤分布との関係について吟味することとした。海氷域の降雪量は直接観測がないため、気象再解析データ (ERA-interim) の地表および高層 (950-200 hPa の計 10 層) の風・気温・相対湿度データを用

いて大気柱の水蒸気量保存則の式から日々の P-E を見積もることとし、過去データと比較するために 1990~2012 年の期間について解析を行った。解析領域は南極域全体の降雪パターンを知ることが目的として、観測領域のみならず五つのセクターに区分けして各セクターについて経年変動を調べた。

#### 4. 研究成果

本研究の結果は以下の通り要約される。

##### (1) ストームに伴う大波の伝搬特性

氷盤上に設置した複数個のブイデータを用いて波高を氷縁からの距離の関数として表すと、波高が 3 m 以下であれば距離とともに指数関数的に減少するものの、波高が 3 m を超えると減少率が抑制されてほぼ線形に減少することが分かった。すなわち、波高が 3 m を超える波が海氷域に侵入した場合、氷縁域では十分減衰できずに内部領域の深部にまで波が到達して氷盤を破碎する可能性があることが示された (Kohout et al., 2014 Nature)。このことは次の項目で述べる内部領域の氷盤分布特性にも影響を与える可能性を示唆するものであり、本課題にとって重要な結論と考えられる。

また、観測期間中に船の周囲の氷盤が波により破碎される出来事を三回体験した。船で観測した波の周期や波高、それに上で得られた減衰率の特性を与えて破碎を生じた海氷の歪を見積もった結果、従来数値モデルで設定されてきた氷盤の破碎を起こす臨界歪の値は過大であることが明らかとなった (現在、論文改訂中)。このように現在数値モデルで取り扱われている波による氷盤破碎過程は見直しが必要であることを観測データから示すことができた点が新しい点であり、破碎過程の解明のため今後更なる観測が必要であることが確認できた。

アイスバンドの形成に関しては数値モデルを用いた研究により、本質的には海氷-慣性内部重力波の共鳴現象として説明可能であることが分かった (現在、論文改訂中)。

##### (2) 内部領域の氷盤分布特性

2 つの異なるスケールでともに積算個数  $N(r)$  (直径  $r$  m 以上の氷盤の  $10^4 \text{ km}^2$  あたりの個数) は良い近似で  $N(r) \sim r^{-\alpha}$  と書き表されること (図 1)。ただし、直径 100 m 以下と 1 km 以上では  $\alpha$  値は大きく異なり、前者は  $1.41 \pm 0.09$  (9/25) と  $1.27 \pm 0.10$  (11/05)、後者は 4 つの領域平均で  $3.10 \pm 0.46$  (9/24),  $2.93 \pm 0.35$  (10/04),  $2.90 \pm 0.34$  (11/05) と見積もられたこと。氷縁域で見られた直径数十 m を境とする明瞭なレジームシフトは見られなかったこと (図 1)。

これらの特徴を基に、内部領域における氷盤分布形成過程と氷縁域における氷盤分布との関わりについて考察する。まず、とから内部領域においても氷盤分布は基本的には自己相似性の特徴を持ち、各々のスケ-

ルで形成過程が大きく異なることが分かる。波エネルギーの時系列データが観測期間中に約8回ストームを記録したにも拘らず $\alpha$ 値(フラクタル次元)はほぼ一定に保たれた点は興味深い。直径100m以下の $\alpha$ 値はフラクタル図形 Apollonian gasket の次元1.31に近く、氷盤同士の衝突による破碎過程が本質であることを示唆している。一方、直径1km以上の氷盤に関しては、波が内部領域にまで侵入しうることや氷盤間のリードの向きはほぼ風向に直交する傾向があることなどから波で生じたクラックが風により更に発達する過程が重要と推測される(図2)。両スケール共に氷縁域で観測された大小夫々の氷盤の $\alpha$ 値に近い値を取ることを考慮すれば、氷縁域における氷盤分布の原型はすでに内部領域で生成され、波・海水相互作用は氷盤を破碎してこれを変調しレジーム境界を直径数十mに形成する働きがあると考えられる(現在、論文改訂中)。これらの結果は氷縁域における氷盤分布をパラメタライズする上で意義ある情報と考えられる。

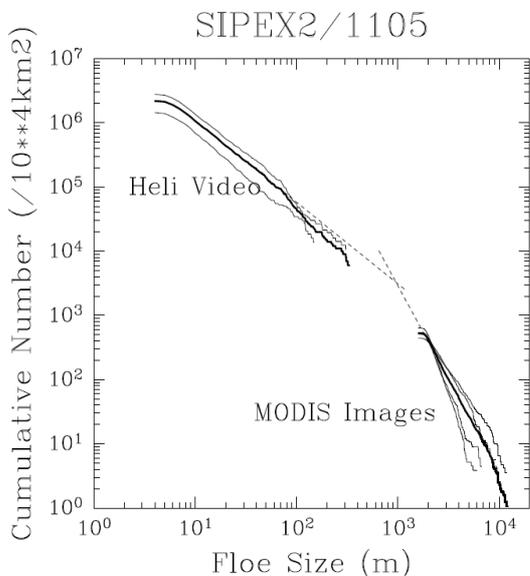


図1. 東南極域海水内部領域における氷盤の積算個数分布(11/5)。太実線は各々のスケールの領域平均を示す。

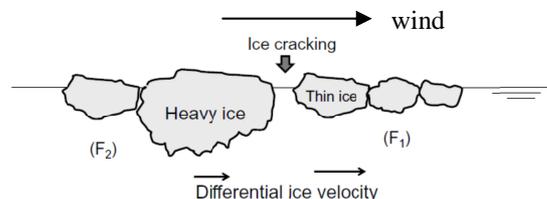


図2. 氷厚が顕著に異なる氷盤間のリードが風によって発達することを示す模式図

### (3) 氷盤上の積雪深への影響について

計算で得られた降雪量の分布はウィルクスランド沖と南極半島西側で多くウェッデル海やロス海沿岸部で少ないという過去の研究の特徴を比較的良く再現していた。しかし、2012年の降雪量が他年と比べて大きい証

拠は得られず、異常積雪深を降雪量のみから説明するのは困難と考えられる。海水域が張り出す冬期(5-9月)の降雪量の合計値で見ても2012年が他年に比べて有意に多い結果は得られなかった。一方、海水コアからは雪ごおりの厚さは2012年は平均6cmと見積もられ、従来の観測(平均約12cm)よりも顕著に少ない結果が得られた。これらを加味して検討した結果、最も大きな違いは氷盤からリードに落下する積雪量が2012年は顕著に少ないことでこれが異常積雪深の原因であったと推定された。この結果は海水上の積雪深や氷厚の変動を考える上で氷盤の大きさ分布もまた積雪・海水相互作用の重要な因子であることを示唆する(現在、論文執筆中)。

以上を総括すると、観測の変更に伴い研究計画を修正する必要が生じたものの、氷縁域で見られる氷盤分布の特性の原型は既に内部領域で見られること、内部領域の氷盤形成においても波による破碎効果が関わりうること、またそこでは大きな氷盤は比較的大きなスケールの波と風の効果が、小さな氷盤は互いの衝突による小さなスケールの破碎過程が重要と推測されること、また氷盤上の積雪深にも氷盤分布が関わっている可能性があることなど、多角的な観点から氷盤分布の特徴を明らかにすることができた。これらは南極での現場観測データがあつてこそ得られた成果であり、本研究の意義ある成果と考えている。今後もさらに発展させてゆきたい。

### 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9件)

Granskog, M.A., D. Nomura, S. Muller, A. Krell, T. Toyota, H. Hattori, Evidence for significant protein-like dissolved organic matter accumulation in Sea of Okhotsk sea ice, 査読有, *Annals of Glaciology*, 56(69), 2015 (in press). (doi:10.3189/2015AoG69A002)

Kanna, N., T. Toyota, J. Nishioka, Iron and macro-nutrient concentrations in sea ice and their impact on the nutritional status of surface waters in the southern Okhotsk Sea, *Progress in Oceanography*, 査読有, 126, 44-57, 2014. (doi: 10.1016/j.pocean.2014.04.012)

佐伯立、三寺史夫、馬目歩美、豊田威信、木村詞明、浮田甚郎、海洋海水間の共鳴相互作用によるアイスバンドパターンの形成、*京大数理解析研究所講究録*、査読無、1890、106-112、2014。

Koda, H., T. Toyota, The formation process of granular ice of the seawater in laboratory experiments, *Proceedings of The 29th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, Mombetsu, Japan, February 16-19*, 査読無, 29, 135-137, 2014.

Toyota, T., I. Smith, A. Gough, P. Langhorne, G. Leonard, R. Van Hale, A. Mahoney, T. Haskell, Oxygen isotope fractionation during the freezing of seawater, *Journal of Glaciology*, 査読有, 59(216), 697-710, 2014. (doi:10.3189/2013JoG12J163)

Ono, J., K.I. Ohshima, K. Uchimoto, N. Ebuchi, H. Mitsudera, H. Yamaguchi, Particle-tracking simulation for the drift/diffusion of spilled oils in the Sea of Okhotsk with a three-dimensional, high-resolution model, *Journal of Oceanography*, 査読有, 69, 413-428, 2013. (doi: 10.1007/s10872-013-0182-8)

Toyota, T., N. Kimura, On the validity of the sea ice rheology by Hibler for the Sea of Okhotsk ice, *Proceedings of The 28th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, Mombetsu, Japan, February 17-21*, 査読無, 28, 91-94, 2013.

漢那直也、西岡純、村山愛子、豊田威信、南部オホーツク海域の海水に含まれる栄養塩と鉄の定量的評価、*月刊海洋*、査読無、44, 517-523, 2012.

中村知裕、古関俊也、三寺史夫、オホーツク海における大気海洋相互作用：夏季の下層雲 - 海面水温フィードバック、*沿岸海洋研究*、査読有、50、71-72、2012.

〔学会発表〕(計 34 件)

豊田威信、他 4 名、2012 年晩冬季に東南極域海水上で観測された異常積雪深の要因について、日本海洋学会春季大会、2015 年 3 月 22 日、東京海洋大学 (東京都港区)

漢那直也、西岡純、豊田威信、他 2 名、オホーツク海の表層鉄濃度を高める海水融解プロセス、日本海洋学会春季大会、2015 年 3 月 24 日、東京海洋大学 (東京都港区)

豊田威信、田村岳史、航空機を用いた海水観測の紹介、「航空機観測による大気科学・気候システム研究」研究集会、2014 年 12 月 19 日、東京大学 (東京都文京区)

豊田威信、他 4 名、What caused the significant snow depth observed off east Antarctica in late winter 2012?, 第 5 回極域科学シンポジウム、2014 年 12 月 2 日、国立極地研究所 (東京都立川市)

大畑有、白岩孝行、豊田威信、網走湖における湖水形成過程と氷厚推移、第 5 回極域科学シンポジウム、2014 年 12 月 2 日、国立極地研究所 (東京都立川市)

Toyota, T., N. Kimura, On the validity of Hibler sea ice rheology for the seasonal sea ice, The Climate Symposium 2014, 15 October 2014, Darmstadt Science and Congress Center, Darmstadt (Germany)

大畑有、白岩孝行、豊田威信、網走湖における氷厚推移 湖水熱フラックスの推定、雪氷研究大会、2014 年 9 月 21 日、八戸工業大学 (青森県八戸市)

幸田笹佳、豊田威信、室内実験における粒

状海水の生成過程について、日本海洋学会秋季大会、2014 年 9 月 16 日、長崎大学 (長崎県長崎市)

Kanna, N., T. Toyota, J. Nishioka, Iron and Macro-nutrient Concentrations in Sea Ice and Their Impact on the Nutritional Status of Surface Waters in the Southern Okhotsk Sea, Asia Oceania Geoscience Society, August 01, 2014, Royton Hotel (Sapporo)

Saiki, R., H. Mitsudera, A. Manome, T. Toyota, N. Kimura, J. Ukita, A Formation Mechanism of Ice Band by the Interaction Between Sea-ice and Internal Wave, Asia Oceania Geoscience Society Friday, August 01, 2014, Royton Hotel (Sapporo)

Toyota, T., Sea of Okhotsk sea ice, Norway-Japan Marine Seminar, June 04, 2014, International Conference Hall (東京都江東区)

漢那直也、豊田威信、西岡純、海水融解が海洋表層の栄養環境と植物プランクトンの増殖に与える影響、日本海洋学会春季大会、2014 年 3 月 29 日、東京海洋大学 (東京都港区)

佐伯立、三寺史夫、藤崎歩美、豊田威信、他 2 名、アイスバンド形成に関する理論と衛星観測の比較、日本海洋学会春季大会、2014 年 3 月 27 日、東京海洋大学 (東京都港区)

豊田威信、アリソン・コホウト、アレクサンダー・フレイザー、東南極域における海水内部領域の氷盤分布特性と氷縁域との関わりについて、日本海洋学会春季大会、2014 年 3 月 27 日、東京海洋大学 (東京都港区)

Toyota, T., A. Kohout, A. Fraser, Formation processes of floe size distribution in the interior ice zone and its relationship to the marginal ice zone, SIPEX2 2012 workshop, March 17, 2014, Hobart (Australia)

Toyota, T., and N. Kimura, On the validity of Hibler's sea-ice rheology for the seasonal sea ice evaluated from ice-drift pattern and SAR-derived ice thickness distribution, International Glaciological Society, March 13, 2014, Hobart (Australia)

Koda, H., and T. Toyota, The formation process of granular ice of the seawater in laboratory experiments, The 29th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, February 19, 2014, 紋別市民会館 (北海道紋別市)

Toyota, T., The possibility of retrieving sea ice growth history from oxygen isotopic fractionation during the freezing of seawater, Norwegian-Japanese mini-symposium for sea ice research, December 16, 2013, ILTS, Hokkaido University (Sapporo)

Toyota, T., A. Kohout and A. Fraser, Formation processes of floe size distribution in the marginal ice zone, American Geophysical Union 2013 Fall Meeting, December 9, 2013, San Francisco (USA) (invited)

豊田威信、巡視船そうやを用いたオホーツク海海水観測の取り組み、低温萌芽研究シンポジウム、2013 年 12 月 5 日、北大低温研

(札幌市)

21 幸田笹佳、豊田威信、室内実験における海水 granular ice の生成過程、第4回極域科学シンポジウム、2013年11月15日、国立極地研究所(東京都立川市)

22 Toyota, T., A. Kohout, and A. Fraser, Properties of floe Size distribution in the interior sea ice region off East Antarctica, 第4回極域科学シンポジウム、2013年11月15日、国立極地研究所(東京都立川市)

23 三寺史夫、海洋海水間の共鳴相互作用によるアイスバンドパターンの形成、非線形波動現象の数理と応用(RIMS 研究集会)、2013年10月17日、京大数理解析研究所(京都市)

24 Toyota, T., I. Smith, A. Gough, P. Langhorne, G. Leonard, R. Van Hale, A. Mahoney, and T. Haskell, Oxygen isotope fractionation during the freezing of seawater, European Geoscience Union General Assembly 2013, April 12, 2013, Vienna (Austria)

25 漢那直也、豊田威信、西岡純、海水融解が海洋表層の栄養環境と植物プランクトンの増殖に与える影響、日本海洋学会春季大会、2013年3月24日、東京海洋大学(東京都港区)

26 豊田威信、木村詞明、オホーツク海における Hibler の海水レオロジーの検証、日本海洋学会春季大会、2013年3月22日、東京海洋大学(東京都港区)

27 佐伯立、三寺史夫、他3名、海水と内部波の相互作用によるアイスバンド形成機構(2)、日本海洋学会春季大会、2013年3月22日、東京海洋大学(東京都港区)

28 Toyota, T. and N. Kimura, On the validity of the sea ice rheology by Hibler for the Sea of Okhotsk ice, 第28回オホーツク海・海水国際シンポジウム、2013年2月20日、紋別市民会館(北海道紋別市)

29 Saiki, R., H. Mitsudera, 他3名, A formation mechanism of ice band by the interaction between sea-ice and internal wave, The 28th international symposium on the Okhotsk Sea and sea ice, 2013年02月18日、紋別市民会館(北海道紋別市)

30 牛尾収輝、海水変動解析プロジェクトチーム、2011/12 シーズン「しらせ」砕氷航行を阻んだ南極リュツォ・ホルム湾の海水状況、第3回極域科学シンポジウム、2012年11月29日、国立極地研究所(東京都立川市)

31 田村岳史、豊田威信、他7名、海水物理・生態研究に関する南極海国際共同観測(SIPEX-2)の速報、第3回極域科学シンポジウム、2012年11月29日、国立極地研究所(東京都立川市)

32 Mitsudera, H., Land-ocean interaction between the Amur River and the Sea of Okhotsk: Transport processes of nutrient matters, such as iron, in the intermediate layer of the Sea of Okhotsk, Fifth Joint Finnish-Japanese Symposium on Northern, Environmental Research, September 10-14, 2014, University of Oulu

(Finland) (invited)

33 Toyota, T., H. Ishii, Temporal evolution of the structural properties of seasonal sea ice during the early melt season, International Glaciological Society, May 28, 2012, Lahti (Finland)

34 Mitsudera, H., and A. Fujisaki, Ice band formation due to resonant interaction between sea ice and internal gravity waves, International Symposium on Modeling the Ocean, May 22, 2012, JAMSTEC 横浜研究所(横浜市)(invited)

〔図書〕(計3件)

豊田威信、「新版 雪氷辞典」(分担執筆)古今書院、307頁(1-2,21-22,192-193,219を担当)、2014

三寺史夫、内本圭亮、中村知裕、西岡純、三角和弘、津旨大輔、「オホーツク海および親潮域における物質循環のモデリング: 第1章4節」、北海道大学出版会、35-45、2012

三寺史夫、中村知裕、数値モデルを用いた環オホーツク地域の環境研究 将来予測へ向けて。「環オホーツク海地域の環境と経済」スラブ・ユーラシア叢書11、北海道大学出版会、61-88、2012。

〔その他〕

テレビ報道

2014年5月18日にNHKでオホーツク海での海水観測研究の活動内容が報道された。

市民向け一般講演

2014年10月6日に北大低温研において公開講座「低温の魅力 ~低温科学の最前線~」で「海水の形が語ること」という演題で研究内容の紹介を行った。

高校での出前講義

2015年1月27日に北海道札幌北陵高校で北海道学力向上プロジェクトの一環として「南極の海水観測」という演題で講演を行った。

## 6. 研究組織

### (1) 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

### (2) 研究分担者

三寺 史夫 (MITSUDERA, Humio)  
北海道大学・低温科学研究所・教授  
研究者番号: 20360943

### (3) 研究協力者

マイク メイラン (MEYLAN, Mike)  
ニューキャッスル大学(豪)・理学部・講師  
アリソン コホウト (KOHOUT, Alison)  
水文大気科学国立研究所(NZ)・研究員