

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月16日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510002

研究課題名（和文） 季節海氷域の氷厚グローバルマッピングおよび数値海氷モデルへの応用

研究課題名（英文） Global mapping of ice thickness distribution in the seasonal ice zone  
and its application to the numerical sea ice model

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

研究成果の概要（和文）：季節海氷域の氷厚分布を衛星合成開口レーダー（SAR）から見積もるアルゴリズムを開発することを目的として、オホーツク海や北極海で現場検証観測を行った。その結果、L-band SARは季節海氷域のみならず北極海多年氷においても氷厚分布推定に有用であることが確かめられた。また、得られた氷厚分布と海氷漂流速度や密接度データを基に従来数値海氷モデルで用いられてきた海氷力学過程の妥当性についても吟味された。

研究成果の概要（英文）：To develop an algorithm for estimating the ice thickness distribution in the seasonal sea ice zone from satellite, the validation measurement was conducted in the southern Sea of Okhotsk and the Lincoln Sea. It is shown that PALSAR (L-band SAR) is useful for this purpose. Based on the PALSAR-derived ice thickness distribution along with the AMSR-derived ice drift pattern and concentration, the ice rheology by Hibler which has long been used in the numerical sea ice model was also validated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：海氷物理学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：海氷、季節海氷域・氷厚分布・リモートセンシング・合成開口レーダー・氷盤の大きさ分布・数値海氷モデル・極域気候監視

## 1. 研究開始当初の背景

海氷は冬期に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海洋に吸収される日射量を大幅に減ずる役割を持つため、地球の気候システムの中で重要な役割を果たしている。この役割を定量的に理解するためには海氷の氷厚分布は非常に重要なパラメータである。氷厚は大気

—海洋間の熱フラックスを制御し、海氷の力学的な挙動を支配し、さらにその長期傾向は気候変動と密接に関わるためである。

グローバルな氷厚分布を得るためには衛星データは有用であるので、これまでも衛星データを用いた氷厚分布推定に多くの労力が払われてきた。その結果、厚さ数m以上の厚い多年氷については衛星高度計のデー

タからアイソスタシーの原理を用いて推定する方法が有効であることが示された。一方、厚さ 30 cm 以下の薄い海氷に対しては海氷塩分が氷厚とともに減少する性質を利用して衛星マイクロ波データから推定する手法が確立されてきた。

しかしながら、両者の中間にあたる厚さ 30 cm～数 m の氷厚に関しては未解決の課題であった。この領域は全海氷域の半分以上を占める季節海氷域の代表的な氷厚であるので特に重要な課題と言える。氷厚分布の不明瞭性が季節海氷域の数値海氷モデルの開発に支障をきたしてきたと言っても過言ではない。大気と与えるインパクトは、海氷域の中でも特に変動の激しい季節海氷域が鍵を握っていること、近年北極海の多年氷域が急速に減少して季節海氷域の占める割合が増加していることを考慮すると、気候変動の解明のためには季節海氷域の氷厚分布を広域で把握し、数値海氷モデルの力学過程を吟味することは大変重要な課題と言える。

季節海氷域の氷厚分布推定にあたり、ポイントなるのは特有の氷厚発達過程である。これまでの研究代表者等の研究により、季節海氷域においては、厚さ 20–30 cm 以上では基本的には力学的に互いに乗り重なる過程（リッジング）が本質であることが分かってきた。従ってリッジングにより生ずる表面凹凸の度合いが氷厚の良い指標となることが想定される。そこで、本研究の予備的調査としてオホーツク海南部において航空機搭載の L-band 合成開口レーダー（SAR）と船舶から氷厚および表面凹凸との同期観測を実施した。その結果、氷厚および表面凹凸が良い相関があること、また、表面凹凸と SAR 後方散乱係数は良い相関があること、それ故に L-band SAR は氷厚分布推定に有用であることが示された（Toyota et al., 2009）。ただしこれは高い水平分解能（5 m）の航空機搭載 SAR の結果であるので、分解能が 100m の衛星 SAR に適用するには改めて現場検証観測が必要とされる状況にあった。

## 2. 研究の目的

上に述べた背景をふまえ、本研究では現場で衛星 L-band SAR (ALOS/PALSAR) との同期観測を行い、SAR 後方散乱係数から氷厚分布を推定することの可能性を検証し、アルゴリズムを開発することを第一の目的とした。海域は季節海氷域（オホーツク海）を主な対象海域とし、氷厚の季節変化の再現性も含めて検証する。衛星データは PALSAR を中心にすえるが、C-band SAR のデータの有用性についても比較検証することとする。加えて北極多年氷域（リンカーン海）にも拡張して観測を実施し、その有用性を検討する。

次に、季節海氷域で得られた氷厚分布の時間的推移をもとに、AMSR-E データから求めた海氷漂流速度分布と海氷密接度を併せて解析して力学的な氷厚発達過程のパラメタリゼーションを考察することも目的の一つである。特に既存の数値海氷モデルで用いられてきた海氷のレオロジーを検証することに力点を置く予定である。

## 3. 研究の方法

観測・解析の方法を以下に項目別に記す。

(1) 衛星 L-band SAR データを用いて氷厚分布を推定するアイデアの妥当性の検証

衛星 SAR を用いて氷厚推定を試みる基本的なアイデアは、表面の凹凸の度合いと氷厚とは良い相関がある、という想定であった。この想定を過去に南極季節海氷域の氷盤上で直接測定から得られた海氷断面観測データを基に検証する。衛星高度計を用いて海氷の平均フリーボードからアイソスタシーを仮定して見積もる手法との比較も行い、アイデアの妥当性を確かめる。また、L-band SAR を用いることの妥当性についても、C-band SAR と比較検証を行う。

(2) 現場海氷域で PALSAR と同期観測を行い、氷厚推定のアルゴリズムを開発

まず、冬期に巡視船「そうや」を用いてオホーツク海南部で PALSAR の観測日に合わせて航路に沿って氷厚分布と表面凹凸を計測し、SAR 後方散乱係数との相関を調べて後方散乱係数から氷厚を推定する帰式を作成する。できれば同期観測は複数年行い、帰式の妥当性をチェックする。

次に対象海域を北極域リンカーン海に拡張して多年氷域においても同様の手法が適用可能かどうか検証する。観測は晩冬期に当たる 4 月に行い、航空機搭載型の電磁誘導 (EM) 氷厚計測システムを用いて氷厚と表面凹凸を求めて PALSAR 後方散乱係数と比較し、互いの相関性を吟味する。

(3) 氷厚の季節変化の再現の検証

前項で得られた帰式をもとにオホーツク海の海氷分布を冬期間にわたって計算し、得られた氷厚分布の妥当性を気象再解析データ (ERA-interim) を用いて検証する。すなわち、氷厚の発達が気象データから推定される熱力学的成長とおおよそ矛盾がないか、という観点から検証する。

(4) 既存の数値海氷モデルの力学過程の検証

前項で得られた氷厚分布の季節変化を礎として、海氷漂流速度データ、海氷密接度データを用いて数値海氷モデルで従来用いられてきた Hibler の海氷レオロジーの検証を

試みる。このレオロジーはそもそも北極海の多年氷域の季節変化を再現する目的で開発されたものであり、海氷域を密接度に依らず連続体として取り扱ったこと、海氷域全体的を塑性変形する物体として取り扱ったこと、そして降伏曲線を離心率が2の楕円として取り扱ったことなどに特徴がある。季節海氷域は北極海多年氷域とは氷況が大いに異なるため、数値海氷モデルで多年海氷域と同等に同じ海氷レオロジーを用いることに対する疑問が動機となっていた。ここでは Hibler のレオロジーが正しいとすれば海氷域はどのような変形場を持つか、そしてそれは実際の氷厚変化を矛盾なく説明できるか、といった点に着目して解析を行い、数値海氷モデルの力学過程の改善に役立てる方法を考察することとした。

#### 4. 研究成果

個々の項目別に得られた成果は以下の通りである。

(1) 衛星 L-band SAR データを用いて氷厚分布を推定するアイデアの妥当性の検証

観測は東南極海の 11 個の氷盤上で 100~200m のラインを設定して行われ、1 m 間隔で直接掘削することにより詳細な海氷鉛直断面の形状を測定した。その結果、海氷の平均氷厚と最も高い相関を示したのは海氷フリーボード（海氷—積雪境界面の高さ）の標準偏差であり（相関係数 0.86）、L-band SAR の有用性が示された。その他、平均積雪深（同 0.82）、積雪表面の平均高（同 0.78）、平均海氷フリーボードとも概ね良い相関が見られた。しかしながら、積雪深を衛星から見積もるのは現段階では困難であること、衛星高度計の観測誤差 10 cm が海氷厚に数 10 cm の違いを生み出す現状を考慮すれば、やはり海氷表面の凹凸の度合いに対応する L-band SAR が最も有力なツールであると結論された (Toyota et al., 2011DSR)。

衛星 SAR の L-band と C-band との比較検証は PALSAR と RADARSAT-2 を用いて行った。回帰日数が共に数十日のため同じ領域を同時刻に観測するのは稀であるが、運良く 2010 年 2 月に約 4 時間半の違いで撮影された画像が見出されたので両者の比較を行った。その結果、C-band は波長が約 5 cm と短い上に透過深度が浅いため、細かな凹凸により敏感に反応する様子が見出された。このため海氷域を開放水面から抽出するには好都合であるものの、海氷域内においては氷の種類によるコントラストが L-band に比べて小さく、過去の研究 (e.g. Dierking and Busche, 2006) が示す通り、氷厚の推定には L-band の方が適すると判断された。

以上のように、L-band SAR は海氷表面の凹

凸の度合いを良く反映し、表面の凹凸の度合いが海氷厚と良い相関があることが示されたので季節海氷域における氷厚分布の推定に L-band SAR を用いる根拠が得られた。

(2) 現場海氷域で PALSAR と同期観測を行い、氷厚推定のアルゴリズムを開発

広域（観測幅数百 km）をカバーする衛星 L-band SAR への適用可能性を調べるために再度オホーツク海において巡視船「そうや」を用いて ALOS/PALSAR と氷厚・表面凹凸分布との検証観測を行った。表面凹凸はヘリコプターに搭載したレーザー距離計を用いて計測した。SAR 後方散乱係数の入射角依存性や各項目の観測時間のずれの補正を行って慎重に解析した結果、やはり互いに良い相関が見出されたので（図 1）、SAR 後方散乱係数から氷厚を推定する回帰式を導出した。このように、オホーツク海冬期の海氷に対しては衛星 L-band SAR 後方散乱係数は氷厚推定に有用であることが確かめられた (Toyota et al., 2011)。

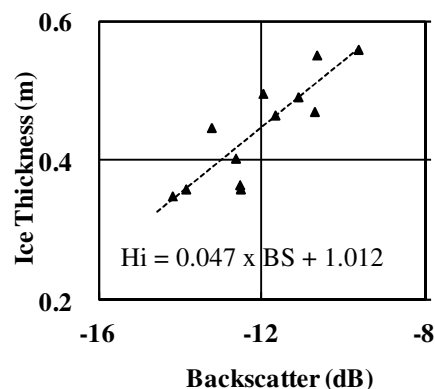


図 1. 後方散乱係数と氷厚との相関  
(各点は約 2km の平均、後方散乱係数は入射角 30 度に規格化したもの)

さらにこの手法が季節海氷域に限らず北極多年氷にも適用可能かどうかをグリーンランド北方（リンカーン海）多年氷（平均氷厚約 5 m）における現場観測を基に検証した。観測手法は、ヘリコプターに搭載した電磁誘導型（EM）氷厚計を用いて数 m 間隔の氷厚分布を測定し、同時搭載のレーザー距離計を用いて表面凹凸を求めて PALSAR 画像から得られた後方散乱係数と比較した。表面凹凸の抽出には Hibler (1972) の手法を用い、1 km 区間の平均値で比較した。その結果、図 2 に示すように氷厚と後方散乱係数には有意な相関がみられ（相関係数 0.64）この手法が多年海氷域においてもある程度有用であることが示された。ただし、後方散乱係数から氷厚を求める回帰式の傾きは図 1 とは異なり、今後の検証が必要とされる。

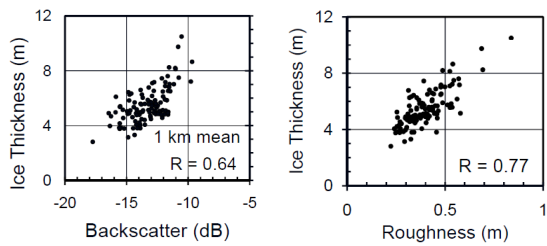


図2. リンカーン海における 1km 平均の氷厚、L-band SAR 後方散乱係数、表面凹凸の相関

### (3) 氷厚の季節変化の再現の検証

次に、オホーツク海南部を対象に季節を拡張し、上で求めた氷厚を求める回帰式が冬期間を通して有用かどうかを検証した。検証には気象グリッドデータ (ERA-Interim) から熱力学的に計算した氷厚推定値を用いた。まず 2010 年 1 月～3 月の期間に得られた全 PALSAR 画像から氷厚分布を求め、氷厚の推移が気象データから鉛直一次元熱力学モデルを用いて計算される氷厚とどの程度合致するかを調べた。モデルにおいては、一日の時間スケールでは海氷表面上での熱フラックス (短波放射、長波放射、潜熱、顕熱、水中伝導熱) がバランスしていると仮定して一日当たりの成長量を計算し、それを積算することにより氷厚を求めた。実際の氷厚はリッジにより様々な氷厚値を取るが  $0.2\text{deg} \times 0.2\text{deg}$  の領域平均でみるとおよそ熱力学的な成長量に相当するというのが基本的な考え方である。その結果、サハリン東方の海域に着目すると図3に示すように両者は概ね良く合致しており、季節を通して回帰式の有用性が確かめられた。図中1月後半に見られる外れ点は大きな水平スケールでリッジが生じたためと推定される。

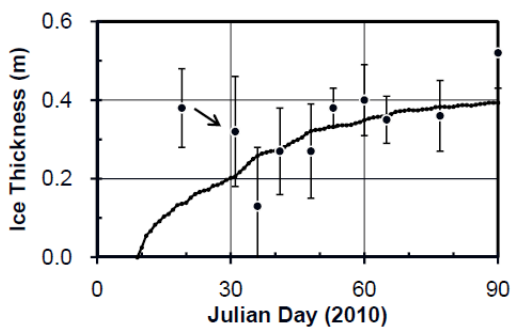


図3. PALSAR から推定した平均氷厚と気象再解析データから計算した氷厚(実線)の比較

### (4) 既存の数値海氷モデルの力学過程の検証

Hibler が導出した構成式を運動方程式に代入して検証するのが直截的な手法であるが、気象や海洋のデータ精度に限界があって容易ではない。そこで本研究では Stern et al. (1995) に倣い、海氷漂流速度のデータセットを用いて変形場から生じる内部応力の

特性という角度から検証した。海氷漂流速度データは AMSR (89GHz) の前後する 2 日間の輝度温度分布から相関法を用いて作成したものであり、37.5 km の水平分解能を持つ。このデータを用いて変形場を計算する。変形場はシアー変形と圧縮変形に分けられるが、領域全体の変形場による内部応力には圧縮変形のみが関わるという前提をおき、領域を構成する各グリッド内の圧縮変形の和が全体の変形場に対して占める割合  $\alpha_r$  が計算できれば海氷内部応力のパラメタリゼーションが可能となり、海氷内部応力を定量的に計算できる。この割合  $\alpha_r$  は塑性体の降伏曲線によって定まり、離心率  $e$  (Hibler の場合  $e=2$ ) の楕円体の場合には下記の式が導出される。

$$\alpha_r(\theta) = -\frac{1}{2} \cos \theta + \frac{1}{2} \sqrt{\cos^2 \theta + \frac{\sin^2 \theta}{e^2}}$$

ここで、 $\theta$  は圧縮変形とシアー変形の比率を表現する物理量である。ここではオホーツク海南部の約 150km 四方の海氷域を対象として、日々の変形場から計算された  $\alpha_r$  がどの程度上式と合致するかを調べた。その結果、図4に示すように  $e=2$  とした Hibler モデルとほぼ合致することが分かった。オホーツク海の北部・中部においてもよく合致し、その妥当性が確かめられた。

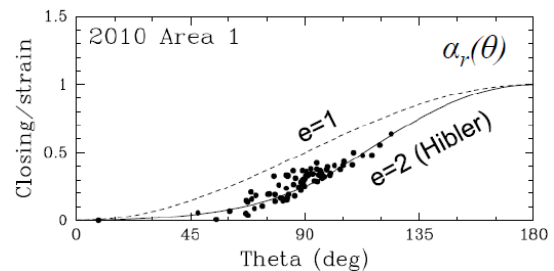


図4. オホーツク海で海氷漂流速度分布から計算した変形場の特徴 (実線は理論)

Hibler のレオロジーのもう一つの特徴は圧縮変形により受ける力を氷厚と密接度の関数として次式で与えたことであった。

$$P = P^* h \exp[-C(1-A)]$$

( $h$ : 氷厚、 $A$ : 密接度、 $C, P^*$ : 定数) この  $P$  に圧縮変形による歪速度をかけた量が仕事率 ( $W$ ) であり、氷厚の力学的な発達と密接に関わっていると考えられる。そこで上で対象としたオホーツク海南部の約 150km 四方の領域で平均氷厚の変化と  $W$  との相関を調べた。その結果、平均氷厚の増加が顕著な事例では確かに氷厚の増加量と  $W$  に良い相関があり、上式の妥当性を確認した。ただし比較的大きな  $W$  に対しても氷厚が減少するケースもあり、季節海氷域に適用するためには、個々の氷盤形態を考慮する必要性も示唆された。

以上、総括すると衛星画像や時間の制約もあって氷厚分布のグローバルマッピングまでには至らなかったものの、季節海水域における氷厚分布推定には L-band SAR が有力であることを示すことができ、また得られた氷厚分布から海水モデルの力学過程の検証もある程度定量的に行うことができた。これは海水の漂流速度、密接度、それに氷厚分布のデータが揃って初めて可能になったことであり、本研究の意義ある成果と考えられる。今後さらに発展させたいと考えている。

#### 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 13 件)

- ①Ishii, H., and T. Toyota, Temporal evolution of the structural properties of seasonal sea ice during the early melt season, *Journal of Glaciology*, 査読有, 58, 2012, 23-37. (DOI: 10.3189/2012JoG11J155)
- ②Ebuchi, N., Self-consistency of marine surface wind vectors observed by ASCAT, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 査読有, in press. (DOI: 10.1109/TGRS.2011.2160648)
- ③Toyota, T., C. Haas, and T. Tamura, Size distribution and shape properties of relatively small sea ice floes in the Antarctic marginal ice zones in late winter, *Deep Sea Research II*, 査読有, 58, 2011, 1182-1193. (DOI: 10.1016/j.dsr2.2010.10.034)
- ④Toyota, T., R. Massom, K. Tateyama, T. Tamura, and A. Fraser, Properties of snow overlying the sea ice off East Antarctica in late winter 2007, *Deep Sea Research II*, 査読有, 58, 2011, 1137-1148. (DOI: 10.1016/j.dsr2.2010.12.002)
- ⑤Toyota, T., S. Ono, K. Cho, and K.I. Ohshima, Retrieval of sea ice thickness distribution in the Sea of Okhotsk from ALOS/PALSAR backscatter data, *Annals of Glaciology*, 査読有, 52, 2011, 177-184. (<http://www.ingentaconnect.com/content/igsoc/agl>)
- ⑥Toyota, T., C. Haas, Possibility of ice thickness retrieval in the Okhotsk Sea and the Lincoln Sea using ALOS/PALSAR, *Proceedings of The 26th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice*, 査読無, 2011, 63-66.
- ⑦Nihashi, S., N. Ebuchi, Y. Fukamachi, S. Takahashi, Characteristics of sea ice in the Okhotsk coastal polynyas revealed by satellites, ice-profiling sonar and digital camera observations, *Annals of Glaciology*, 査読有, 57, 2011, 133-139. (<http://www.ingentaconnect.com/content/igsoc/agl>)

- ⑧豊田威信, 海水過程のパラメタリゼーション—海水と波の相互作用の観点から—, 月刊海洋, 査読無, 号外No.54, 2010, 82-93.
- ⑨Nomura, D., H. Yoshikawa-Inoue, T. Toyota, K. Shirasawa, Effects of snow, snow-melting and re-freezing processes on air-sea ice CO<sub>2</sub> flux, *Journal of Glaciology*, 査読有, 56, 2010, 262-270. (DOI: 10.3189/002214310791968548)
- ⑩Nomura, D., J. Nishioka, M.A. Granskog, A. Krell, S. Matoba, T. Toyota, H. Hattori, K. Shirasawa, Nutrient distributions associated with snow and sediment-laden layers in sea ice of the southern Sea of Okhotsk, *Marine Chemistry*, 査読有, 119, 2010, 1-8. (DOI: 10.1016/j.marchem.2009.11.005)
- ⑪Fujisaki, A., H. Yamaguchi, T. Toyota, A. Futatsudera and M. Miyanaga, Measurements of air-ice drag coefficient over the ice-covered Sea of Okhotsk, *Journal of Oceanography*, 査読有, 65, 2009, 487-498. (<http://www.terrapub.co.jp/journals/JO/frame/65.html>)
- ⑫Toyota, T., K. Nakamura, S. Uto, K.I. Ohshima, and N. Ebuchi, Retrieval of sea ice thickness distribution in the seasonal ice zone from air-borne L-band SAR, *International Journal of Remote Sensing*, 査読有, 30, 2009, 3171-3189. (DOI: 10.1080/01431160802558790)
- ⑬Ebuchi, N., Y. Fukamachi, K.I. Ohshima, and M. Wakatsuchi, HF radar technology in the Sea of Okhotsk., *PICES Scientific Report*, 査読無, 36, 2009, 197-202

[学会発表] (計 18 件)

- ①豊田威信, 他 7 名、海水生成に伴う酸素安定同位体分別係数について、日本海洋学会春季大会、2012 年 3 月 27 日、筑波大学 (つくば市)
- ②Toyota, T. and 7 others、Oxygen-isotope fractionation during the freezing of seawater, 第 2 回極域科学シンポジウム, 2011 年 11 月 15 日、国立極地研究所 (東京都)
- ③江淵直人, インドの海洋観測衛星 Oceansat-2 搭載マイクロ波散乱計で観測された海上風ベクトルの精度評価、日本海洋学会秋季大会、2011 年 9 月 29 日、九州大学 (春日市)
- ④豊田威信, Christian Haas, 衛星 L-band SAR を用いた氷厚分布推定の可能性について、日本海洋学会秋季大会、2011 年 9 月 28 日、九州大学 (春日市)
- ⑤Ebuchi, N., Evaluation of wind vectors observed by ASCAT using statistical distributions, IGARSS, 2011 年 7 月 28 日, Vancouver Convention Center (Canada).

⑥Toyota, T., C. Haas, Possibility of ice thickness retrieval in the Okhotsk Sea and the Lincoln Sea using ALOS/PALSAR, The 26th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, 2011年2月22日, 紋別市文化会館 (北海道)

⑦Toyota, T., R. Massom, K. Tateyama, T. Tamura, A. Fraser, A case study of snow ice formation processes on the sea ice off East Antarctica in late winter, 第33回極域気水圏シンポジウム, 2010年11月30日, 国立極地研究所 (東京都)

⑧Toyota, T., C. Haas, Retrieval of the thickness distribution of sub-Arctic and Arctic sea ice using ALOS/PALSAR, The 4<sup>th</sup> Joint PI Symposium of ALOS Data Nodes for ALOS Science, 2010年11月16日, 大手町サンケイプラザ (東京都)

⑨石井大樹, 豊田威信, 融解初期における海水の構造特性の変化, 日本海洋学会秋季大会, 2010年9月9日, 東京農業大学 (網走市)

⑩Toyota, T., Retrieval of ice thickness in the seasonal ice zone with L-band SAR, ISSI workshop on Assessing Antarctic sea ice, 2010年6月8日, International Space Science Institute (Switzerland).

⑪Toyota, T., C. Haas, T. Tamura, Floe size distribution of relatively small sea ice in the Antarctic marginal ice zone in late winter, International Glaciological Society symposium on sea ice, 2010年6月3日, University of Tromso (Norway).

⑫Nihashi, S., Ebuchi, Y., Fukamachi, S., Takahashi, Characteristics of sea ice in the Okhotsk coastal polynyas revealed by satellites, ice-profiling sonar and digital camera observations, International Glaciological Society symposium on sea ice, 2010年6月3日, University of Tromso (Norway).

⑬Toyota, T., S. Ono, K. Cho, K.I. Ohshima, Retrieval of sea ice thickness distribution in the Sea of Okhotsk from ALOS/PALSAR backscatter data, International Glaciological Society symposium on sea ice, 2010年6月1日, University of Tromso (Norway).

⑭豊田威信, R. Massom, 舘山一孝, 田村岳史, A. Fraser, 東南極域における海水上の積雪の特性, 日本海洋学会春季大会, 2010年3月29日, 東京海洋大学 (東京都)

⑮Ebuchi, N., Dual Frequency Scatterometer (DFS) on GCOM-W2, GCOM PI Workshop 2010, 2010年1月13日, 東京国際交流館 (東京都)

⑯豊田威信, C. Haas, 田村岳史, 晩冬期南極氷縁域における氷盤分布の特徴, 第32回極域

気水圏シンポジウム, 2009年11月17日, 国立極地研究所 (東京都)

⑰石井大樹, 豊田威信, 融解初期における海水の構造特性の変化, 第32回極域気水圏シンポジウム, 2009年11月17日, 国立極地研究所 (東京都)

⑱Ebuchi, N., M. Kubota, M. Kamachi, K. Kutsuwada, N. Iwasaka, M. Konda, K. Ando, O. Isoguchi, H. Shimoda, Evaluation and utilization of sea surface salinity and L-band sigma-0 from Aquarius, 5th Aquarius SAC-D Science Meeting, 2009年10月21-23日, Sindicatura General de la Nacion (Argentina)

[図書] (計4件)

①江淵直人, 理工図書, 基礎からわかるリモートセンシング, 2011, 319.

②豊田威信, 日本雪氷学会北海道支部, 雪氷研究の系譜 - 北海道の雪氷から世界の雪氷圏まで - («海氷研究の進展」の章を担当執筆), 2009, 77-80 (Total 261).

③Toyota, T., VDM Verlag, Germany, A study on growth processes of sea ice in the southern Sea of Okhotsk, 2009, 143.

④Toyota, T., InTech, Vienna, Austria, Advances in Geoscience and Remote Sensing. (Application of remote sensing to the estimation of sea ice thickness distribution の章を担当執筆), 2009, 21-44 (Total 741). Available from: <http://www.intechopen.com/books/advances-in-geoscience-and-remote-sensing/application-of-remote-sensing-to-the-estimation-of-sea-ice-thickness-distribution>

[その他]

テレビ報道

2011年5月22日にHBCでオホーツク海での海氷観測研究の活動内容が報道された。

## 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

江淵 直人 (EBUCHI NAOTO)  
北海道大学・低温科学研究所・教授  
研究者番号: 10203655

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

クリスチャン ハース (Christian Haas)  
アルバータ大学 (カナダ)・理学部・教授