

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：10106
研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2012～2014
課題番号：24510005
研究課題名(和文) マイクロ波センサを用いた海氷厚推定手法の検討およびリモートセンシングへの応用

研究課題名(英文) Examination and application of techniques for estimating the sea ice thickness using the microwave sensors

研究代表者
館山 一孝 (Tateyama, Kazutaka)
北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：30374789

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)：平成24年度から平成26年度の3冬期にかけて、サロマ湖氷上とオホーツク海洋上および大学構内において、海水と積雪のマイクロ波放射・反射・散乱特性の観測と基礎実験を行い、海氷のラフネス、積雪深、氷厚、内部温度と塩分、表面融解等に敏感な周波数や偏波を検討した。得られた知見をもとに衛星搭載マイクロ波センサに適用し、砕氷船による外洋での現場観測データと比較することで衛星データから海氷の厚さや表面状態を推定/検知するアルゴリズムの開発を行った。このアルゴリズムを用い、オホーツク海と北極海の正確な海氷密接度と氷厚のデータセットを作成し試験的に公開した。

研究成果の概要(英文)：From 2012 to 3 winter season of 2014, We carried out several in-situ measurements and the fundamental experiments for characteristics of microwave radiation, reflection and scattering by the snow and sea ice in Saroma-ko lagoon, in the Sea of Okhotsk ocean, and in the campus during 2012-2014 winters. We examined which frequencies and polarization were sensitive to roughness, snow depth, ice thickness, vertical profiles of internal temperature and salinity, and surface melting on sea ice. Then we applied the ice parameters which derived from field observations to satellite-borne microwave sensors, and developed the algorithms that are able to estimate or detect thickness and surface state of sea ice from satellite data. The estimated results were validated by comparing with the in-situ data derived from observations with the icebreakers. With this algorithm, we published experimentally data sets for ice concentration and thickness for the Sea of Okhotsk and the Arctic Ocean.

研究分野：雪氷学

キーワード：海氷 氷厚 衛星リモートセンシング マイクロ波放射計 合成開口レーダ サロマ湖 オホーツク海

1. 研究開始当初の背景

現在北極海で起こりつつある気候変動のメカニズムを正確に把握するためには海水の面積だけでなく厚さの情報も不可欠である。しかしながら海水の厚さ分布を把握することは極めて難しく、観測データは大幅に不足している。この問題を解決するために、衛星観測の利用が期待されている。海水の衛星観測には、太陽光の反射や熱放射を測定する光学センサよりも、天候や昼夜を問わず観測できるマイクロ波センサが適している。海水観測に使用されているマイクロ波センサには、対象から自然放射される微弱なマイクロ波を輝度温度 T_B として測定するマイクロ波放射計 (Passive Microwave Radiometer: PMR) と、マイクロ波を照射して対象から散乱される後方散乱係数 σ^0 を測定する合成開口レーダ (Systematic Aperture Radar: SAR) の2種類がある。マイクロ波帯の電磁波の特徴として、海水の表面状態だけでなく内部の構造や成分、温度や密度などの物理情報を反映した観測値が得られる。

申請者らは、1993年より冬期の北海道サロマ湖やオホーツク海において実施された宇宙開発事業団(現:宇宙航空研究開発機構)や通信総合研究所(現:情報通信研究機構)の新型PMRやSARの地上検証実験に参加し、海水密接度の高精度化と海水厚などの新規物理量開拓の研究に取り組んできた。同時に非破壊式の電磁誘導式氷厚計や可搬型PMRの導入・開発など観測手法の高度化に注力し、海水のマイクロ波放射・散乱特性の測定を実施してきた。それらの現場観測データをもとに、海水上の積雪や表面ラフネス、海水内部の温度・塩分といった物理特性と輝度温度 T_B ・後方散乱係数 σ^0 の相関関係を定量化し、統計的手法と理論モデルの両方のアプローチから海水密接度と海水厚の推定アルゴリズム開発の基礎研究に取り組んできた。

2. 研究の目的

本研究は衛星搭載マイクロ波センサを用いた①海水厚推定手法の確立と②海水の種類や状態が混在する海水域での密接度算出精度の向上を目的とした。

海水は成長して厚くなるにしたがって表面と内部の物理化学構造にも変化が現れる。このような変化に呼応して、海水のマイクロ波放射・散乱特性は各成長段階で異なる周波数・偏波依存性を示している (Eppler et al., 1992)。このような海水厚の違いを表すシグナルを正確に捉えるために、自然状態の様々な厚さの海水を多周波・多偏波PMRで観測し、同時に表面ラフネス(粗度)、内部の温度やブライン体積の鉛直分布を測定することで、既往のPMRとSARを用いた海水厚推定研究を進化させた改良版アルゴリズムを開発する。また、表面融解を検知するアルゴリズムを追加し、冬期だけでなく融解が進む夏期にも正確な海水密接度と氷厚の推定を可能に

する必要がある。これらのアルゴリズムを衛星搭載PMRデータへ適用し、オホーツク海や北極海での正確な海水密接度と氷厚のデータセットを作成することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、北海道東部のサロマ湖氷上での現場観測や北海道教育大学および北見工業大学構内での簡易プールを用いた人工海水での再現実験を実施し、海水の厚さや状態を判別するパラメータの検討を行った。さらに、巡視船「そうや」によるオホーツク海観測やカナダの砕氷船ルイスサンローランによる北極海観測、砕氷艦しらせによる南極海観測などの種々の現場観測から得られたデータを用い、マイクロ波センサから海水のラフネス、氷厚、表面融解等の海水状態を推定/検知する各種アルゴリズムの開発を行った。

①SARによる海水の表面ラフネス推定:

SARで観測される海水からの後方散乱は表面散乱が支配的であり (Nakamura et al., 2006)、海水表層の誘電率とラフネスの寄与が大きい。筆者らはこのことを利用し、異なる入射角や異なる偏波の観測から得られたデータに物理散乱モデルを適用することで誘電率とラフネスの推定を行ってきた (Nakamura et al., 2005; Nakamura et al., 2006)。本研究ではこれらの成果を応用して、SARデータから得られる推定ラフネス分布をもとに海水の厚さの推定を行った。

②PMRによる薄氷の氷厚推定:

サロマ湖や簡易プールで18GHzと36GHzの可搬型PMRを用い、厚さ10cm以下の薄氷に対して多周波・両偏波の輝度温度観測と海水サンプルの構造解析を実施し、マイクロ波射出に対する海水構造の影響を調査した。得られた結果をもとに、輝度温度から薄氷の厚さを定量的に推定する手法の検討を行った。

③PMRによる厚氷の氷厚推定:

筆者らはオホーツク海や北極海、南極海において砕氷船に搭載した電磁誘導式氷厚計 (Electro-Magnetic induction device: EM) と可搬型PMRの同時観測を行い、その結果から現場観測レベルのPMR氷厚推定アルゴリズムを開発した (館山と榎本, 2011)。塩分と氷厚が反比例の関係を示す季節海水域では、PMRの36GHzの偏波比が有効であり、塩分が脱落しきって一定値を示す多年氷域では18GHzと36GHzの周波比が氷厚の変化を捉えるのに有効であることがわかった。しかしながら約1.5m以上の厚い海水や積雪の多い海水に対する推定精度は急激に低くなるなどの問題点があった。これらの問題点を解決し厚い海水の氷厚測定を実現するため、より低い周波数センサと新たなパラメータの導入を行った。

④PMRによる海水表面状態の判別:

砕氷船に設置したインターバルカメラの画像をもとに海水の表面状態のデータカ

ログを作成し、これまで区別が困難であった開放水面と海氷上の水溜り（メルトポンド）を区別したマイクロ波センサによる正確な海水密度度の算出方法の開発を行った。

4. 研究成果

2012年度から2014年度は、サロマ湖氷上において SAR による海氷厚推定アルゴリズム開発のための広域観測と PMR による薄氷厚推定アルゴリズムの開発のための定点プール観測を行った。オホーツク海では巡視船そうや、北極海ではカナダ砕氷船ルイ S サンローラン、南極海では砕氷艦しらせに EM と PMR、前方カメラを設置して、海氷厚と輝度温度の関係および海氷表面状態を記録した。2013年度から2014年度は大学構内で人工海水の生成実験を行い、薄氷の輝度温度変化を PMR で測定した。

1) サロマ湖観測結果

2012年度から2014年度の2月に結氷したサロマ湖上で電磁誘導式氷厚計やドリル等を用い、積雪深、氷厚、塩分、ラフネス等の広域観測を行った。その観測結果の例（2013年2月14～21日）を図1に示す。本観測を通じて、効率的な現場海氷厚分布の取得方法の確立などの成果が得られ（学会発表⑫、⑭など）、図2に示す RADARSAT-2 の多偏波データから、SAR による海氷厚推定を開発を行った（論文④、⑤、学会発表⑤、⑨、⑪、⑮など）。

また、広域観測と同時に湖氷を切り出して1m四方の観測プールを造成して定点観測を行い、薄氷の結氷過程を PMR で測定した（学会発表⑩、⑫など）。

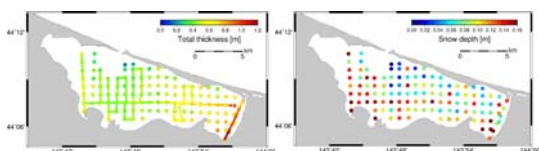


図1 2012年度のサロマ湖観測結果。(左) 氷厚、(右) 積雪深

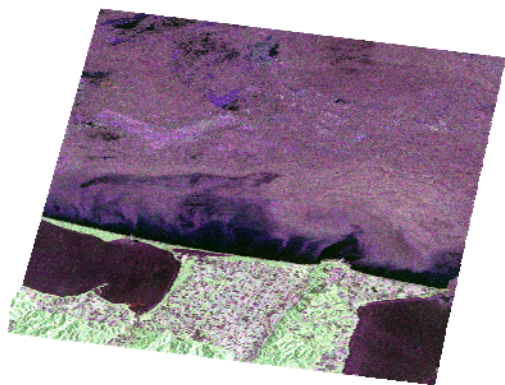


図2 2013年2月のサロマ湖とオホーツク海の RADARSAT-2 画像 (R:HH 偏波、G:HV 偏波、B:VV 偏波)

2) 人工海水生成実験

サロマ湖のような自然状態では気温を制御することはできず、降雪などの影響で結氷速度をコントロールすることが不可能であり、海氷の厚さと輝度温度の関係を得るのは難しい。実験を効率的に行うために、大学構内で冷却ユニットを用いた人工海水生成装置の開発を行い、厚さ10cmの海氷のマイクロ波放射特性の観測を行った（図3、学会発表⑬、⑯）。

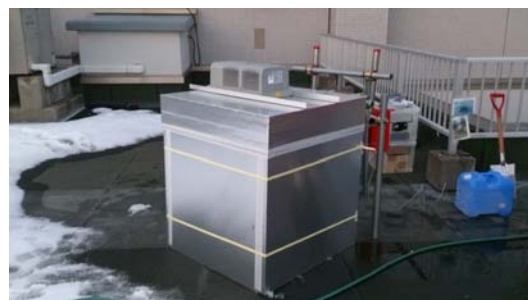


図3 大学構内に設置した人工海水生成装置

3) 衛星搭載 PMR への応用

砕氷船による観測データをもとに、衛星搭載 PMR である AMSR-E および AMSR2 の輝度温度データと海水密度度プロダクトを用い、海水密度度80%以上の海水域を抽出して海氷厚さを推定するアルゴリズムを開発した。これは海氷厚の変動と密度度の変動に伴うマイクロ波輝度温度の変化がそれぞれ似た挙動を示すため、密度度が高い海水域に限定して対して海氷厚の計算を行った。これにより、海氷厚の違いによる輝度温度の変化のみを抽出することを目的とした。

次に、海氷の種類ごとに適切な氷厚パラメータを用いて海氷厚の推定を行った。北極海では、一年氷と多年氷を GR_{06-36} (Gradient Ratio: 6GHz と 36GHz の垂直偏波比) を定義して $GR_{06-36} = -0.035$ を閾値として、それ以下であれば一年氷、それ以上であれば多年氷として計算した。

$$GR_{06-36} = \frac{TB_{06V} - TB_{36V}}{TB_{06V} + TB_{36V}} \quad (1)$$

一年氷の海氷厚は、オホーツク海と南極海で電磁誘導式氷厚計 (EM) と可搬型マイクロ波放射計 (PMR) の観測結果から得られた表面塩分の違いに敏感な式 (2) の PR_{36} (Polarization Ratio: 36GHz の垂直・水平偏波比) を用い、式 (3) の氷厚換算式を使用した。

$$PR_{36} = \frac{TB_{36V} - TB_{36H}}{TB_{36V} + TB_{36H}} \quad (2)$$

$$PR_{36} \text{ thickness [m]} =$$

$$2.34 \exp\left(\frac{PR_{36} - 0.0019}{0.0283}\right) + 0.085 \quad (3)$$

多年氷の海水厚は表面塩分が低い値で一定で、 PR_{36} を用いた一年氷用の氷厚推算アルゴリズムでは判別できない。そこで北極海カナダ海盆において実施したEMとPMRの観測結果から、 GR_{06-36} を用いた多年氷の海水厚の計算を採用し、式(4)のように氷厚換算式を定義した。

$$GR_{06-36} \text{ thickness [m]} = 0.244 \exp(-20.785GR_{06-36}) + 0.162 \quad (4)$$

夏期に海水には積雪が融解した水溜り(メルトポンド)が存在する。融解水の存在で輝度温度が著しく低下してしまうため、海水の表面がメルトポンド覆われている海域では海水厚の正確な計算が不可能となる。そのため次の段階として、メルトポンドが分布している海水域をマスキングし、融解水が存在しない領域においてのみ海水厚を計算する必要がある。本研究はAMSR-EやAMSR2の輝度温度データと現場のメルトポンド分布を比較してアルゴリズムの開発を実施するため、北極航海観測で得られた船前方の氷況を撮影したカメラ画像から開放水面、メルトポンド、海水を検出する画像解析法を開発した(論文①、学会発表⑦など)。現場のカメラ観測で得られたメルトポンド被覆率から、AMSR-Eの各観測周波数の輝度温度と比較し、メルトポンドに敏感な周波数の検討を行った。その結果、最も高い相関係数を示したのは6GHzの水平偏波であった($R=-0.74$)。低周波帯ではメルトポンド被覆率に対して明瞭な反比例の関係を示すが、周波数が高くなるにつれてその関係は弱まっていき、89GHzに至っては比例関係に転じた。この関係を利用して、メルトポンド被覆率に敏感な指標 Melt Pond index (MP)とし、次式のような指標を定義した。

$$MP = \frac{TB_{6H} - TB_{89V}}{TB_{6H} + TB_{89V}} \quad (5)$$

(5)式で判別した MP とメルトポンド被覆率 A_p の関係を図4に示す。 MP を用いることで衛星データからメルトポンドの割合を計算することが可能となった(図5)。本研究は、メルトポンドの割合が20%以下の海水域において(1)~(4)式を用いた海水厚推算を行った(学会発表①など)。

これらのアルゴリズムによって推算した融解の無い海水の厚さと、北極海に設置された係留ブイによって通年取得された現場氷厚データを比較した。その比較結果を図6に、これらのアルゴリズムを用いてAMSR2のデータから推算した2014年9月1日の北極海の海水厚分布の例を図7に示す。海水厚の推算精度は平均二乗誤差で0.6~0.8mであった。

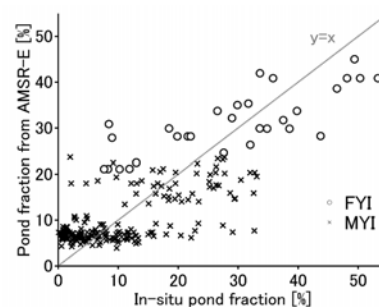


図4 AMSR-Eのデータから計算した MP 値と現場のメルトポンド被覆率 A_p の関係

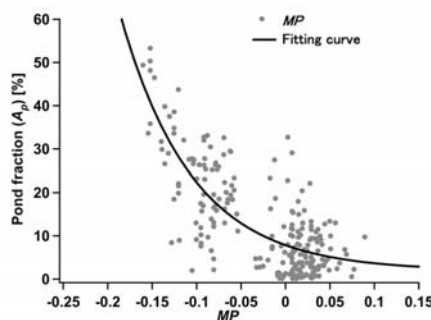


図5 AMSR-Eのデータから計算したメルトポンド割合と現場のメルトポンド被覆率 A_p の関係

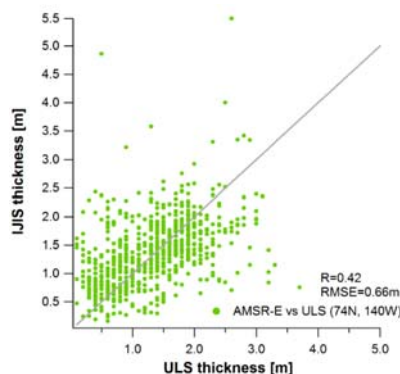


図6 AMSR-Eのデータから推算した氷厚と係留ブイによる実測氷厚の比較例。

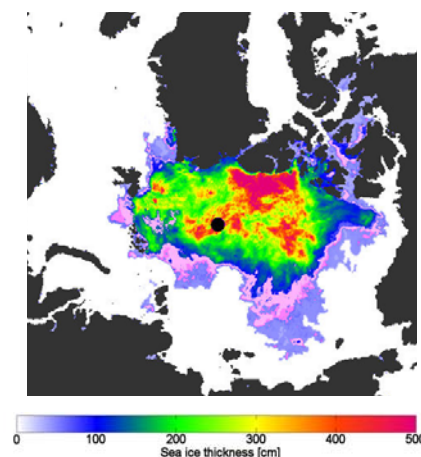


図7 AMSR2のデータから推算した2014年9月1日の北極海の海水厚分布

誤差は融解期で増大するなど特徴的な季節変化が見られた(論文③、学会発表②、⑥など)。

現在、本研究で得られた北半球(北極海とオホーツク海など亜極海を含む)の海水厚分布のデータは、国立極地研究所の北極域データアーカイブを通じて国内外で利用可能となっている。今後、同手法を南極海の現場観測データ(学会発表⑭など)と比較することで、南極海の海水への適用・発展を行っている。将来的に両極に対応し、推定精度 0.5m 以下のアルゴリズムの完成を目指している。本研究で得られた成果は、気候変動研究に留まらず、北極海航路や氷海海底資源開発などの安全な極域活動の拡大への貢献が期待できる。

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 6 件)

- ①田中康弘、舘山一孝、高橋修平、亀田貴雄、榎本浩之、北極海における氷況把握のための画像解析法の開発—自動化した表面状態判別とその測定結果、日本雪氷学会誌、査読有、77 巻、2 号、2015、pp.173-190.
- ② Tanikawa, T., M. Hori, T. Aoki, A. Hachikubo, K. Kuchiki, M. Niwano, S. Matoba, S. Yamaguchi, and K. Stamnes, In situ measurements of polarization properties of snow surface under the Brewster geometry in Hokkaido, Japan, and northwest Greenland ice sheet, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 査読有, Vol.119, 2014, 13946–13964
Doi:10.1002/2014JD022325.
- ③ Krishfield, R. A., A. Proshutinsky, K. Tateyama, W. J. Williams, E. C. Carmack, F. A. McLaughlin, and M.-L., Deterioration of perennial sea ice in the Beaufort Gyre from 2003 to 2012 and its impact on the oceanic freshwater cycle, *J. Geophys. Res. Oceans*, 査読有, Vol.119, 2014, 1271–1305.
Doi:10.1002/2013JC008999.
- ④ 森裕太、若林裕之、中村和樹、PALSAR データを使用したオホーツク海の海水検出に関する研究、日本リモートセンシング学会誌、査読有、34 巻、1 号、2014、pp. 10-21.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/rssj/34/1/34_10/_pdf
- ⑤ Wakabayashi, H., Y. Mori, K. Nakamura, Sea ice detection in the sea of Okhotsk using PALSAR and MODIS data, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 査読有, Vol.6, No.3, 2013, pp. 1516-1523.
Doi:10.1109/JSTARS.2013.2258327
- ⑥ Shibata, H., K. Izumiya, K. Tateyama,

H. Enomoto and S. Takahashi, Sea ice coverage variability on the Northern Sea Routes, 1980-2011, *Annals of Glaciology*, 査読有, Vol.54, No.62, 2013, pp. 139-148.

[学会発表] (計 55 件) 以下、主な発表 15 件

- ① Tanaka, Y., K. Tateyama, T. Kameda, H. Enomoto, Estimation of melt pond fraction on Arctic sea ice using satellite microwave data, the 30th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, Mombetsu, Japan, Feb. 2015.
- ② 舘山一孝、ここまできた北極海の海水観測—海水の厚さを知る、GRENE 北極気候変動研究事業特別セミナー「北極海航路の利用実現に向けて」、東京都品川区、2014 年 10 月.
- ③ 舘山一孝、星野聖太、中山雅茂、高瀬雄麻、森下裕士、吉田僚、ヌアスムグリアリマス、低温室簡易水槽と可搬型マイクロ波放射計を用いた海水成長・融解実験、雪氷研究大会 (2014・八戸)、青森県八戸市、2014 年 9 月.
- ④ 舘山一孝、中村和樹、星野聖太、橋搭載型電磁誘導式氷厚計を用いたサロマ湖広域氷厚観測、雪氷研究大会 (2014・八戸)、青森県八戸市、2014 年 9 月.
- ⑤ 中村和樹、舘山一孝、若林裕之、2014 年のサロマ湖水の観測、雪氷研究大会 (2014・八戸)、青森県八戸市、2014 年 9 月.
- ⑥ 舘山一孝、榎本浩之、田中康弘、星野聖太、衛星搭載マイクロ波放射計データを用いた北極海水厚分布データセットの開発、日本海洋学会、長崎県長崎市 2014 年度秋季大会、2014 年 9 月.
- ⑦ Tanaka, Y., K. Tateyama, J. Hutchings, T. Kameda, Automated detection of melt pond distribution during 2007-2013 summers in the Arctic Ocean, International Glaciological Society, Hobart, Tasmania, Australia, Mar. 2014.
- ⑧ 中村和樹、舘山一孝、若林裕之、多偏波 C バンド SAR による薄い一年氷を模擬したサロマ湖氷からの後方散乱、日本リモートセンシング学会第 55 回学術講演会、福島県郡山市、2013 年 11 月.
- ⑨ 森裕太、中村和樹、若林裕之、合成開口レーダを使用した海水物理量推定に関する研究、日本リモートセンシング学会第 55 回学術講演会、福島県郡山市、2013 年 11 月.
- ⑩ 直木和弘、中山雅茂、長康平、6-18GHz 帯における海水の複素誘電率測定、雪氷研究大会 (2013・北見)、2013 年 9 月、北海道北見市.
- ⑪ 中村和樹、舘山一孝、長康平、若林裕之、RADARSAT-2 によるサロマ湖水の観測、雪氷研究大会 (2013・北見)、2013 年 9 月、北海道北見市.
- ⑫ 中山雅茂、直木和弘、サロマ湖上における

薄氷のマイクロ波放射計観測、雪氷研究大会（2013・北見）、2013年9月、北海道北見市。

- ⑬ 舘山一孝、星野聖太、中村和樹、山川絃一、戸村嘉実、森裕太、電磁誘導式氷厚計を用いた2013年サロマ湖の湖氷観測、日本雪氷学会北海道支部研究発表会、北海道札幌市、2013年5月。
- ⑭ 星野聖太、舘山一孝、牛尾収輝、田村岳史、現場観測データ及び衛星データを用いた南極昭和基地周辺定着氷の海水厚モニタリング、日本雪氷学会北海道支部研究発表会、北海道札幌市、2013年5月。
- ⑮ 東大輔、若林裕之、中村和樹、南極氷床のPALSARモザイクデータを使用した後方散乱変化抽出と検証、日本リモートセンシング学会第53回学術講演会、広島県東広島市、2012年11月。

〔図書〕（計3件）

- ① 増田研、梶丸岳、椎野若菜編（PARTⅢ第6章執筆者：舘山一孝）、古今書院、フィールドの見方（FENICS 100万人のフィールドワーカーシリーズ2）、2015、214。
- ② 日本雪氷学会編（執筆者：舘山一孝、谷川朋範、中村和樹、直木和弘ほか182名）、古今書院、新版雪氷辞典、2014、315。
- ③ 青田昌秋著（編集者：舘山一孝、永田隆一、高岸ひとみ）、成山堂書店、流氷の世界（気象ブックス038）、2013、180。

〔産業財産権〕

○出願状況（計2件）

- (1)名称：遠隔氷厚測定方法、遠隔氷強度測定方法、遠隔測定方法、遠隔氷厚測定装置、遠隔氷強度測定装置、及び遠隔測定体
発明者：松沢孝俊、舘山一孝
権利者：独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(50/100)、独立行政法人海上技術安全研究(25/100)、国立大学法人北見工業大学(25/100)

種類：特許

番号：特願 2014-254285

出願年月日：2014年12月16日

国内外の別：国内

- (2)名称：雪氷モニタ装置

発明者：神田淳、舘山一孝、原田康浩、高橋修平、大前宏和、三宅俊子

権利者：宇宙航空研究開発機構(60/100)、国立大学法人北見工業大学(20/100)、株式会社センテンシア(20/100)、

種類：特許

番号：特願 2015-050304

出願年月日：2015年3月13日

国内外の別：国内

○取得状況（計1件）

- (1)名称：マイクロ波センサ

発明者：山本朗人、田中聖隆、榎本浩之、

高橋修平、舘山一孝

権利者：三菱電機特機システム株式会社、国立大学法人北見工業大学

種類：特許

番号：特許第5561974号

出願年月日：平成21年9月4日

取得年月日：平成26年6月20日

国内外の別：国内

〔その他〕

国立極地研究所 北極域データアーカイブ

<https://ads.nipr.ac.jp/ja/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

舘山 一孝 (TATEYAMA, Kazutaka)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：30374789

(2)研究分担者

中山 雅茂 (NAKAYAMA, Masashige)

北海道教育大学・教育学部・講師

研究者番号：60371150

中村 和樹 (NAKAMURA, Kazuki)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：60435500

(3)連携研究者

谷川 朋範 (TANIKAWA, Tomonori)

宇宙航空研究開発機構・地球観測研究センター・研究員

研究者番号：20509989

直木 和弘 (NAOKI, Kazuhiro)

東海大学 情報技術センター・特定研究員

研究者番号：80463834

(4)研究協力者

北見工業大学大学院生・学部生

柴田 啓貴 (SHIBATA, Hiroki)

田中 康弘 (TANAKA, Yasuhiro)

星野 聖太 (HOSHINO, Seita)

島崎 将司 (SHIMAZAKI, Yusaku)

湊谷 悠作 (MINATOYA, Yusaku)

高瀬 雄麻 (TAKASE, Yuma)

森下 裕士 (MORISHITA, Hiroshi)

吉田 遼 (YOSHIDA, Ryo)

北 桃生 (KITA, Momoi)

日本大学大学院生・学部生

戸村 嘉実 (TOMURA, Yoshimi)

森 裕太 (MORI, Yuta)

山川 絃一 (YAMAKAWA, Koichi)

田中 智之 (TANAKA, Tomoyuki)

西戸 義博 (NISHITO, Yoshihiro)

照井 敬晶 (TERFUI, Takaaki)

八鍬 杏平 (YAKUWA, Kyohei)

池浦 友亮 (IKEURA, Yusuke)