

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26340013

研究課題名(和文) 薄い一年氷の表層部における電気的特性の研究

研究課題名(英文) Study on surface dielectric property for thin first year ice

研究代表者

中村 和樹 (NAKAMURA, Kazuki)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：60435500

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：合成開口レーダを用いた海水厚の抽出には、海水表面の誘電率を正確に知る必要があるが、誘電率の計測機器は高額かつ可搬性に乏しく、現場観測は困難であった。近年、可搬性に優れたVNAが利用できるようになり、雪氷域において自由空間法を基礎とした、マイクロ波を観測対象に垂直入射する場合の反射係数計測を用いた誘電率計測手法が提案され、その利用可能性が示されている。このことから、本研究では可搬型VNAと自由空間法を組み合わせたシステムを現場観測に応用することにより、海水上の氷表面における誘電率の直接計測を実施した。誘電率の計測結果を誘電率モデルと比較した結果、過小評価の傾向にあるものの調和的な結果を得られた。

研究成果の概要(英文)：The estimation of ice thickness using Synthetic Aperture Radar (SAR) data needs to precisely extract the dielectric constants of ice surface derived from its backscattering coefficient. However, the direct observation of dielectric constant is difficult for in-situ measurement outside because an instrument to measure is expensive and less portability of conventional one. We recently can choose a portable Vector Network Analyzer (VNA) for outside measurements with carrying easily. The microwave measurement method of dielectric constants based on free space method can be considered to be applied to targets of snow and ice. Therefore, this study established a system for dielectric constants measurement which was used portable VNA and with free space method. Our system was applied to measurements the dielectric constants of sea ice surface directly, and the results showed reasonable estimations of dielectric constants.

研究分野：リモートセンシング工学

キーワード：オホーツク海 サロマ湖 一年氷 氷厚 誘電率 マイクロ波

1. 研究開始当初の背景

IPCC 第5次評価報告書で指摘されているように、地球全球の気温は上昇を続けており、北極海の海水面積が急激に減少し、このことがさらなる気温上昇を加速することが懸念されている。オホーツク海の海水は、冬季に生成して春季に融解することから一年氷と呼ばれ、北半球において海水が存在する南限として知られており、気温上昇による影響が顕著に現れると考えられる (Ohshima et al., 2003)。したがって、オホーツク海とその周辺海域や湖に生成する海水の監視は、気候変動との応答特性の知見を得るため大変重要である。現在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、漂流ブイや係留系の点データだけでなく面データが必要であり、衛星データから推定される海水分布情報が極めて有効である。

衛星観測から得られる物理量は面積や移動といった基礎的な海水情報のほか、海水の厚さ情報の抽出が試みられている。海水の厚さは大気-海水-海洋のフラックスを知り、気候変動を理解する上で重要であるが、その情報抽出には未だ不確実性が残されており、精度向上と信頼性の評価が課題となっている。衛星観測による海水モニタリングは、昼夜および天候を問わずに観測できるマイクロ波センサが有効で、光学センサに匹敵する分解能が得られる合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) が適している。SARを用いた海水の厚さ情報の抽出には、海水の誘電率を正確に知る必要がある。例えば、SARデータによる海水厚推定のためのアルゴリズム開発には、現場観測データによる評価やフィードバックが必要不可欠であり、現場観測による誘電率に関連するデータの取得が重要となる。

2. 研究の目的

誘電率の直接計測は計測機器が高額かつ可搬性に乏しいため、現場観測での使用は現実的ではなく、海水のサンプリングにより計測される塩分を入力とする誘電率モデル (例えば、Vant et al., 1978) により算出するのが一般的であった。そのため、現場観測で取得した海水サンプルから塩分を計測した結果から、半経験的物理モデルを適用して誘電率を算出するアルゴリズムを構築してきた (中村ら, 2002)。海水サンプルはコアラーを用いて取得できるが、その際にブライン (鹹水) の脱落を完全には避けられず、自然状態に近い状態での誘電率を算出するための障害になっているのが現状である。このことは、マイクロ波センサにより抽出された海水の厚さ情報の不確実性の原因の1つになっていると考えられる。

近年、可搬性に優れたベクトルネットワークアナライザ (Vector Network Analyzer: VNA) が利用できるようになり、雪氷域において自由空間法 (橋本, 2003) を基礎とした、マイク

ロ波を観測対象に垂直入射する場合の反射係数計測を用いた誘電率計測手法が提案され、その利用可能性が示されている (Osa et al., 2011)。誘電率の計測には自由空間法の他に、導波管法や共振器法があるが (橋本, 2003)、観測対象を非破壊で計測することができない。

以上から、可搬型 VNA と自由空間法を組み合わせたシステムを現場観測に応用することにより、海水上の氷表面における誘電率の直接計測の可能性を検証した。

3. 研究の方法

(1) 誘電率の計測概念

誘電率は複素数で式 (1) として表される。

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1)$$

ここで、 ε' と ε'' はそれぞれ誘電率の実部と虚部を示す。誘電率は、媒質を構成する物質の電気的特性を表わす重要なパラメータであり、媒質の物理状態に依存することが知られている。媒質中を伝播する電波の変化を計測することにより誘電率が推定でき、その結果を用いて媒質の物理状態を推定することが可能となる。

異なる誘電体の接する境界面に向けて平面波を照射すると、その境界面において反射が生じる。本研究では、平面波を入射角 0° で照射するものとし、半無限誘電体が平坦な表面を有する場合、境界面における入射波の電界 E_i と反射波の電界 E_r の比で定義された反射係数 Γ は、比透磁率 $\mu=1$ の物質の場合に、垂直入射の式として表される。なお、この反射係数はベクトル量であり、反射応答ベクトル Γ として式 (2) で表現することができる。

$$\Gamma = |\Gamma|e^{j\phi} \quad (2)$$

ここで、 $|\Gamma|$ は複素反射係数の大きさ (強度もしくは振幅)、 ϕ は位相を示す。

上式は異なる誘電体の接する境界面における平面波の反射を表わす解析モデルであり、一般的に応答としての反射係数から誘電率を直接逆算することは難しいと考えられる。したがって、応答としての反射係数から誘電率を逆算するためには、式 (2) を用いて逆問題解析を行い解析変数として誘電率を推定する必要がある。すなわち、上式の解析モデルで表現可能な測定系において電界ベクトル計測でその系の複素反射係数を計測し、得られた計測値に対して、ある誘電率を与えて上式で近似する。このときの誘電率の値を以て、その系の誘電率の推定値とするものである。

前述の解析モデルを、大気と海水との層状誘電体を構成するものと単純化して考える。大気と海水の境界面へ垂直に平面波を照射するものとする。 ε_0 および ε_1 をそれぞれ大気と海水の誘電率とすると、自由空間との境界面である海水表面の反射係数 $\Gamma(\omega)$ は、周波数を f 、平面波の角周波数を $\omega (= 2\pi f)$ として式

(3) で表現される。

$$\Gamma(\omega) = (1 - \sqrt{\epsilon_1(\omega)}) / (1 + \sqrt{\epsilon_1(\omega)}) \quad (3)$$

ここで、 ϵ_1 は海氷の誘電率を示す。なお、誘電体（海氷）を半無限の広がりをもて存在すると仮定し、その境界面における反射のみを考慮した場合のものである。また、式(3)は、垂直入射におけるフレネル反射係数を求めるための式と同一である。

(2) 海氷の反射応答ベクトルの計測

結氷したサロマ湖上における誘電率を推定するための電界ベクトルの計測は、観測対象に非接触で計測が可能である自由空間法（橋本, 1998）を基礎としており、観測対象からの反射応答ベクトル（電界強度と位相）の計測には、矩形ホーンアンテナ、誘電体レンズ、VNA に Anritsu MS2036A を組み合わせて用いた。図1には現場観測における誘電率の計測例を示す。

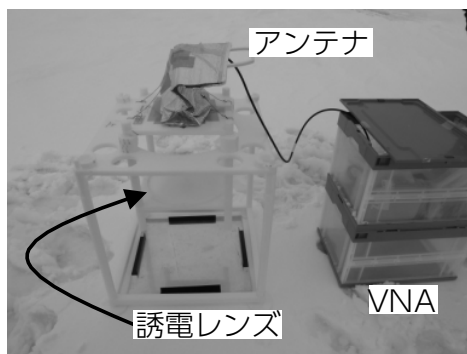


図1 誘電率の計測例

反射応答ベクトルの計測に当たり、海氷上の積雪は除雪して誘電率の計測点において計測を実施した。反射応答ベクトルの計測値は、 S パラメータ（散乱行列） $S_{11}(\omega)$ の周波数特性として表される。VNAにより発生させた角周波数 ω の正弦波を、VNAに接続されたアンテナから観測対象に照射し、それにより発生する観測対象からの反射波を同じアンテナで受信することにより、VNAで電界ベクトルを計測する。本研究では掃引周波数の範囲を4 GHzから6 GHzに設定し、この範囲を551~1024分割した周波数幅で正弦波を発生させることにより、各周波数における S パラメータの強度と位相を記録した。

各反射応答ベクトルの計測は、反射応答の分離と反射係数の校正のための計測を含んでいる。反射応答の分離では後述するタイムドメインゲージング、電界ベクトル回転法（橋本, 1998）を適用するため、アンテナと観測対象までの距離を1 cm刻みで変化させながら、基準位置から最大6 cmの距離差で往復させることにより、合計11回の反射応答ベクトルを計測した。さらに、観測対象である海氷と反射係数を校正するためのアルミニウム板の反射応答ベクトルの計測についても同様に実

施した。海氷の反射応答ベクトルの計測後に、海氷上にアルミニウム板を設置して計測することにより、観測対象である海氷と校正のためのアルミニウム板をそれぞれ11回計測することを組として、1つの計測点において22回の反射応答ベクトルの計測を実施した。これらの反射応答ベクトルから、一時に誘電率の推定結果を得るものである。

(3) タイムドメインゲージング

VNAとアンテナ系により計測した S パラメータには、計測の目的としている観測対象からの反射だけでなく、周囲からの反射波やアンテナへ直接伝搬する波が含まれている。さらに、実際は海氷の下に海水が存在するため、3層構造となっており、海氷からではなく海面からの反射も観測される。そのため、この海面からの反射波も不要波となる。そのような不要波を抑制する方法としてタイムドメイン（時間領域）法がある（森・渡辺, 1990）。VNAにより計測される周波数領域の測定特性は、逆フーリエ変換により時間領域に変換でき、時間領域では反射強度がアンテナからの距離の関数として表現される。

本研究ではアンテナから観測対象までの距離が既知であり、この距離を中心にハミング窓としてゲージング（時間領域のデータから不必要な時間領域のデータを削除すること）を施し、観測対象以外の不必要な時間領域のデータを削除した。このようなタイムドメインゲージングを施した時間領域データを、フーリエ変換により再び周波数領域へ変換した。これにより、観測対象の周囲からの反射波や海面からの反射波、そしてアンテナへ直接伝搬する波の影響が抑制された観測対象そのものの周波数特性が得られる。

(4) 不要反射の分離

さらに、VNAとアンテナ系により計測した S パラメータには、観測対象とは別にアンテナ系のコネクタ等による反射が重畳するため、式(4)のように観測対象からの反射応答は、実際の反射応答と差異が生じる。

$$S_{11} = A\Gamma_{meas} + \Gamma_{res} \quad (4)$$

ここで、 A は測定系の損失を示し（任意のスカラー定数）、 Γ_{meas} は観測対象による反射応答、 Γ_{res} は不要反射応答を示す。したがって、この S パラメータ計測値から不要な反射応答を分離して除去すると共に、反射係数を校正する必要がある。反射応答の分離および抽出には電界ベクトル回転法（橋本, 1998）を用いる。観測対象からの反射係数は複素表示により式(5)で表される。

$$\Gamma_{meas} = |\Gamma_{meas}|e^{j\phi} \quad (5)$$

ここで、 $|\Gamma_{meas}|$ と ϕ はそれぞれ、観測対象による反射係数の大きさと位相を示す。正弦波を照射中に観測対象とアンテナ系との距離を変化させると、移動量に比例して反射応答の位

相が変化する (式 (6))。

$$\phi = -2\beta\Delta l + \phi_0 \quad (6)$$

ここで、 β は自由空間における位相定数、 ϕ_0 は基準位置における初期位相を示す。この式を式 (5) に代入し、さらに式 (4) へ代入して式 (7) を得る。

$$S_{11} = A|\Gamma_{meas}|e^{-2j\beta\Delta l + j\phi_0} + \Gamma_{res} \quad (7)$$

式 (7) から、当該反射係数は観測対象の移動により複素平面上 (極座標) において半径 $A|\Gamma_{meas}|$ の円を描き、 Γ_{res} はアンテナ系や周辺の状態が大きく変化しない限り一定となるため、その円の中心を指すベクトルとして表現されることになる。

このようにして複数の Δl で計測された S パラメータにより、複素平面上において円の方程式で近似する。この近似円の中心位置ベクトルを不要反射応答ベクトルとみなし、計測値から差し引くことにより観測対象による反射応答と分離する。さらに、 Δl による位相を差し引くことにより基準位置における初期位相 ϕ_0 を求め、これを各周波数に実施する。以上により、計測された S パラメータから Γ_{res} を分離して、式 (8) を得る。

$$\Gamma_{meas} = A|\Gamma_{meas}|e^{j(\phi_{cal} + \phi_0)} \quad (8)$$

ここで、 ϕ_{cal} は電界ベクトル回転法を適用後の観測対象の位相を示す。

(5) 反射係数の校正

測定系の損失である A を決定するため、既知の反射係数を持つ試料として導体平板を用いて観測対象の反射係数を校正 (正規化) する。そのため、観測対象の計測後に観測対象表面位置へ導体平板としてアルミニウム板を設置し、観測対象と同様の計測手順によりアルミニウム板を計測し、前述の手順により解析して得られた反射係数を Γ_{ref} とする。

$$\Gamma_{ref} = A|\Gamma_{ref}|e^{j\phi_{ref}} \quad (9)$$

なお、導体平板の強度は $|\Gamma_{ref}| = 1$ 、位相は $\phi_{ref} = \pi + \phi_0$ であり、 Γ_{ref} により Γ_{meas} を除して、式 (10) のように観測対象の反射係数を校正する。

$$\Gamma_{cal} = \frac{\Gamma_{meas}}{\Gamma_{ref}} = \frac{|\Gamma_{meas}|e^{j(\phi_{cal} + \phi_0)}}{|\Gamma_{ref}|e^{j(\pi + \phi_0)}} = |\Gamma_{cal}|e^{j\Delta\phi} \quad (10)$$

ここで、 $|\Gamma_{cal}|$ は校正された反射係数の強度比、 $\Delta\phi$ は位相差 (= $\phi_{cal} - \pi$) を示す。

(6) 反射係数に基づく誘電率の推定

誘電率は、計測対象の解析モデルを表現する反射係数モデルを仮定し、反射係数の計測値と比較することによって推定される。つまり、計測された反射係数に対する誘電率の推定は、計測対象の反射係数モデルを表す反射係数の理

論式 (式 (3)) を用いた逆問題解析により行う。これは、計測値から誘電率の組を入力値とする反射係数の理論式で近似することにより、誘電率を推定するものである。

本研究における計測値は、掃引周波数の範囲を 4 GHz から 6 GHz に設定し、この範囲を 551 分割した周波数幅による正弦波を用いて計測し、不要反射を分離した上で校正された結果である。ここで、周波数分割数を n とすれば角周波数は式 (11) で示される。

$$\omega_n = 4 + [(6 - 4)/551] \times 2n\pi \quad (11)$$

ここで、 $0 \leq n < 551$ である。ある角周波数 ω_n における反射係数の計測値を $\Gamma(\omega_n)_{meas}$ 、理論式の値を $\Gamma(\omega_n)$ として近似誤差 σ を算出する。

$$\sigma^2 = \{[\text{Re}(\Gamma(\omega_n)_{meas}) - \text{Re}(\Gamma(\omega_n))]\}^2 + \{[\text{Im}(\Gamma(\omega_n)_{meas}) - \text{Im}(\Gamma(\omega_n))]\}^2 \quad (12)$$

ここで、 Re および Im は複素表示の実部および虚部をそれぞれ示す。式 (12) の値が最小となる解析変数を以て誘電率の推定値が得られ、これが誘電率の計測結果となる。

4. 研究成果

(1) データ取得

オホーツク海の海水は時々刻々と動くため、現場においてそのような海水を直接計測することは難しい。サロマ湖は、北海道東部に位置するオホーツク海と 2 つの湖口で繋がる汽水湖であり冬季には結氷する。これまでのサロマ湖の観測結果から、結氷する湖水はオホーツク海の海水とほぼ同様な性質を持つことが分かっている (例えば、中村ら, 2000)。したがって、オホーツク海の海水を模擬したデータ取得が可能で、結氷したサロマ湖を現場観測場所とした。本報告では、サロマ湖において実施した誘電率の直接計測結果とモデル計算結果が調和的であった、2012 年の結果を例示する。

2012 年 2 月下旬の東岸が結氷したサロマ湖において、1 km のメッシュ状 (一部では 500 m 間隔) にトゥルースデータ取得点を設定し、全 44 点における主なデータの取得項目として、GPS 受信機による位置 (緯度および経度)、積雪深、氷厚、氷表面の塩分および表面粗度 (ラフネス) を取得した。ラフネスは全取得点の内 33 点において計測した。氷表面の塩分は氷表面から C バンドのマイクロ波が氷へ侵入する深さを考慮した約 5 cm までをアイスドリルで掘削し、掘削した際に排出されるドリルチップを採取して持ち帰り、屋内で融解させてデジタル塩分計により計測した。氷表面のラフネスは串間隔が 2 mm の串形ラフネス計 (例えば、中村ら, 2000) により計測した。

図 2 にサロマ湖におけるトゥルースデータの取得点を示す。氷厚に応じて寒色系 (薄い) から暖色系 (厚い) となる色彩を施している。トゥルースデータ取得結果の平均は、積雪深、

氷厚、氷表面の塩分とラフネスの表面高さの標準偏差および相関長の平均がそれぞれ 9.6 cm、33.3 cm、12.4 ppt、3.2 mm、32.9 mm であり、例年と大きな違いは見られなかった。

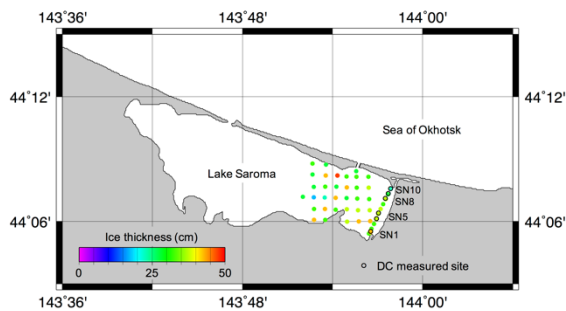


図2 トゥルースデータの取得点

44 のトゥルースデータ取得点の内、6 点 (SN1, 2, 3, 6, 7, 10) においては、VNA を用いた誘電率の計測を実施した。表 1 に誘電率の計測を実施した 6 点における積雪深、氷厚、氷表面の塩分とラフネスの計測結果をまとめる。

表 1 誘電率計測点におけるトゥルースデータ取得結果

Site name (SN line)	Snow depth H_s (cm)	Ice thickness H_i (cm)	Ice surface		Ice surface roughness	
			Salinity S_s (ppt)	R_s (mm)	R_t (mm)	R_b (mm)
N	10	7.7	21.0	17.9	3.1	14.3
↑	9	7.7	26.0	5.3	2.5	27.3
	8	12.7	38.0	6.2	3.4	24.2
	5	14.8	35.0	12.5	2.8	56.6
	4	13.5	35.0	10.0	3.1	53.6
	S	1	10.0	32.0	2.9	2.1

注) R_s, R_t はそれぞれラフネスの表面高さの標準偏差および相関長を示す。

(2) 解析結果

以上による誘電率の計測結果を氷表面の塩分と比較した。図 3 に氷表面の塩分と誘電率の計測結果の関係を示す。この図から、氷表面の塩分の増加に伴い、誘電率も増加する正の相関関係が見られた。この関係を回帰分析した結果、相関係数は 0.94 と求められ、誘電率の計測結果は氷表面の状態をよく捉えられていると考えられる。

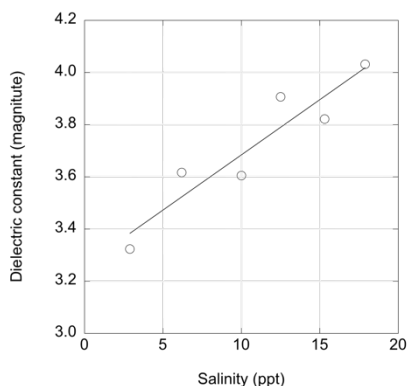


図 3 氷表面塩分と誘電率計測結果の関係

さらに、誘電率の計測結果を誘電率モデル

による計算結果と比較するため、Vant et al. (1978) による誘電率モデル (以降、Vant モデルと呼ぶ) で計算した。このモデルは C バンドを想定した場合、以下のように表される。

$$\epsilon' = (0.995 - 0.00154 \times (freq)) \times (3.05 + 7.20V_b) \quad (14)$$

$$\epsilon'' = (0.914 - 0.00546 \times (freq)) \times (0.024 + 3.29V_b) \quad (15)$$

ここで、 $freq$ は周波数 (GHz)、 V_b はブライン体積 (cm^3) を示す。

以上の Vant モデルを用いた誘電率の計算には、誘電率の各計測点におけるトゥルースデータ取得結果 (積雪深、氷厚、塩分) を入力値としており、周波数は電界ベクトル計測における中心周波数である 5 GHz、気温は SAR 観測に同期することを想定して、RADARSAT-2 の観測日である 2012 年 2 月 19 日の平均気温を常呂のアメダスより入手して -15.3°C とし、水温は結氷温度である -1.8°C を入力値とした。

図 4 に Vant モデルによる誘電率の計算結果と現場観測による誘電率の計測結果の関係を示す。この関係を回帰分析した結果、相関係数は 0.95 と求められ、誘電率の計算結果と計測結果は調和的である。しかし、誘電率の計測結果は Vant モデルよりも過小評価の傾向を示した。現場観測において、氷表面の塩分を計測するために海氷をサンプリングするが、この際に海氷の高い透水性により海水が氷表面に浸み上がりやすいことから、計測された氷表面の塩分は、浸み上がってきた海水の影響が不可避であり若干高い値になりやすい。これにより、Vant モデルは誘電率の計測結果よりも高い値になっていると考えられた。

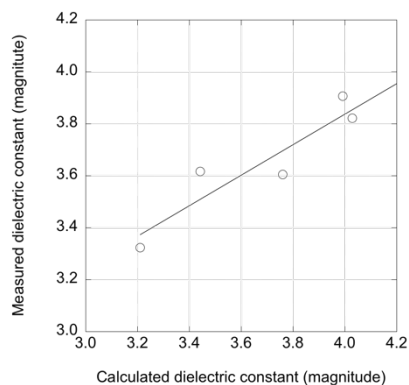


図 4 誘電率の計算結果と計測結果の関係

(参考文献)

Ohshima, K. I., T. Watanabe and S. Nishishi, 2003: Surface heat budget of the Sea of Okhotsk during 1987-2001 and the role of sea ice on it. J. Meteor. Soc. Japan, 81, 653-677.

Osa, K., J. T. S. Sumantyo and F. Nishio, 2011: An application of microwave measurement for complex dielectric constants to detecting snow and ice on

- road surface, IEICE Trans. Commun., E94-B (11), 2987-2990.
- 橋本修, 1998: マイクロ波・ミリ波帯における測定技術～その基礎から応用まで～, リアライズ社, ISBN489808009X.
- 橋本修, 2003: 高周波領域における材料定数測定法, 森北出版, ISBN4627791615.
- 中村和樹, 西尾文彦, 若林裕之, 2000: 合成開口レーダによるサロマ湖の氷厚分布推定への適用研究, 雪氷 (日本雪氷学会誌), 62 (6), 537-548.
- 中村和樹, 若林裕之, 西尾文彦, 浦塚清峰, 2002: 多入射角 SAR データによるサロマ湖氷のラフネスと氷厚の推定, 日本リモートセンシング学会誌, 22 (4), 405-422.
- Vant, M. R., R. O. Ramseier and V. Makios, 1978: The complex - dielectric constant of sea ice at frequencies in the range 0.1-40 GHz, *J. Appl. Phys.*, 49, 1264-1280.

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2件)

- ① 中村和樹, 森山敏文, 長康平: 薄い一年氷における誘電率の直接計測手法の検討, 雪氷 (日本雪氷学会誌), 査読有, 79 巻 1 号, 2017, 73-81.
- ② 北桃生, 舘山一孝, 星野聖太, 中村和樹, 牛尾収輝: 橋搭載型電磁誘導式氷厚計を用いたサロマ湖氷厚の測定に関する研究, 北海道の雪氷, 査読無, 35 巻, 2016, 111-114.

[学会発表] (計8件)

- ① M. Kita, K. Tateyama, S. Hoshino and K. Nakamura: The Measurement of Ice Thickness using An Electromagnetic Induction Device onboard A Sled in Saroma-ko Lagoon, The 32nd International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans, 2017年2月21日, 紋別市民会館 (北海道紋別市).
- ② S. Uto, T. Matsuzawa, K. Hasegawa K. Izumiya, K. Tateyama, K. Nakamura, C.k. Rheem, A. Asada, J. Yamamoto and T. Asanuma: Development of Accurate Ice Observation Technologies and Ice Database for Oil & Gas Development in Arctic Region : 2nd Report Summary of the R&D results, The 32nd International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans, 2017年2月20日, 紋別市民会館 (北海道紋別市).
- ③ 中村和樹, 森山敏文, 長康平, 舘山一孝: 2016年におけるサロマ湖氷の誘電率計測, 雪氷研究大会(2016・名古屋), 2016年9月30日, 名古屋大学 (愛知県名古屋

市).

- ④ 北桃生, 舘山一孝, 星野聖太, 中村和樹, 牛尾収輝: 橋搭載型電磁誘導式氷厚計を用いたサロマ湖氷厚の測定に関する研究, 日本雪氷学会北海道支部研究発表会, 2016年5月14日, 北海道大学 (北海道札幌市).
- ⑤ 中村和樹, 森山敏文, 長康平: 2015年におけるサロマ湖氷の誘電率計測, 日本リモートセンシング学会第59回学術講演会, 2015年11月26日, 長崎大学 (長崎県長崎市).
- ⑥ 中村和樹, 舘山一孝, 若林裕之: 2014年におけるサロマ湖氷の誘電率計測, 雪氷研究大会 (2014・八戸), 2014年9月21日, 八戸工業大学 (青森県八戸市).
- ⑦ 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), 2014年9月21日, 八戸工業大学 (青森県八戸市).
- ⑧ 中村和樹: 合成開口レーダとその利用について, 雪氷研究大会 (2014・八戸) 衛星観測分科会, 2014年9月20日, 八戸工業大学 (青森県八戸市).

[その他]

- ① <http://www.cs.ce.nihon-u.ac.jp/~nakamura/Study.html>
- ② 氷況観測機、初運用に成功, 日本大学新聞, 第1349号, 2016年4月20日.
- ③ 地球環境の把握につながる氷況観測に挑む, 日本大学工学部広報, No. 247, 2016年7月25日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 和樹 (NAKAMURA, Kazuki)
日本大学・工学部・准教授
研究者番号: 6 0 4 3 5 5 0 0

(2) 研究分担者

舘山 一孝 (TATEYAMA, Kazutaka)
北見工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 3 0 3 7 4 7 8 9

(3) 連携研究者

森山 敏文 (MORIYAMA, Toshifumi)
長崎大学大学院・工学研究科・准教授
研究者番号: 2 0 4 5 2 8 7 3

(4) 研究協力者

戸村 嘉実 (TOMURA, Yoshimi)
森 裕太 (MORI, Yuta)
山川 紘一 (YAMAKAWA, Koichi)
田中 智之 (TANAKA, Tomoyuki)
西戸 義博 (NISHITO, Yoshihiro)
池浦 友亮 (IKEURA, Tomoaki)
照井 敬晶 (TERUI, Takaaki)
八鍬 杏平 (YAKUWA, Kyohei)
星野 聖太 (HOSHINO, Seita)
北 桃生 (KITA, Momoi)