

北極海航路上の海氷厚モニタリング技術の開発

舘山一孝¹、田中康弘²、星野聖太²、徳留泰行¹

¹ 北見工業大学

² 北見工業大学大学院

Development of monitoring technique for sea ice thickness along the Arctic sea route

Kazutaka Tateyama¹, Yasuhiro Tanaka², Seia Hoshino² and Yasuyuki Tokudome²

¹ Kitami Institute of Technology

² Graduate school of Engineering, Kitami Institute of Technology

Algorithms which estimate sea ice thickness and melt pond fraction from the satellite passive microwave radiometers such as AMSR-E and AMSR2 had been developed based on the in-situ ice thickness derived from ice profiling sonars moored in the Canada basin during 2002-2015. This study validated these algorithms by comparing with another in-situ ice thickness data which derived from ice mass balance buoys and other satellite sensor.

1. 研究背景と目的

人工衛星による広域観測が開始された1979年以降、30年以上にわたって北極海の海氷面積の情報が蓄積されてきた。海氷厚については潜水艦や係留ブイのソナー（例えば Rothrock et al., 2008; Melling et al., 2005）、海氷質量収支ブイ（Richter-Menge et al., 2006）によって取得された現場観測データが存在し、近年の薄氷化傾向を示しているものの、データの取得期間は断続的・短期的であり、場所も限定されている。北極海航路を利用実現に向けて、北極海全域の氷厚分布をリアルタイムで監視する手法が必要とされている。人工衛星に搭載された光学センサやマイクロ波センサによる海氷厚分布の推定は、可視近赤外放射計やマイクロ波放射計を用いた薄氷厚の推定（Drucker et al., 2003; Tamura et al., 2008）や、レーダー高度計などを用いて海氷のフリーボード高さを測定し全氷厚を推定する手法が開発されている（Kwok et al., 2007; Laxon et al., 2013）。前者のアルゴリズムは積雪のない薄い氷に限定された手法であり、後者は北極海全域をカバーするのに1ヶ月かかってしまう欠点がある。本研究は、衛星搭載マイクロ波放射計を用いて北極海全域を準リアルタイムで毎日監視できる手法の開発を行った。

2. 海氷アルゴリズム

筆者らは、衛星搭載マイクロ波放射計 AMSR-E および AMSR2 の輝度温度データ (*T_B*: Brightness Temperature) と海氷密接度プロダクト (*ICO*: Ice COncentration) を用い、北極海に設置された係留系の氷厚データとの比較から海氷厚推定手法 (Krishfield et al., 2014) を実験的に開発した。融解期の海氷は表面に水溜り (Melt Pond) が生じており、マイクロ波では Melt Pond を透過して下の海氷情報を得ることはできない。すなわち、融解期に Melt Pond が多く分布する海氷域では正しい厚さを推定することができない。従って、この海氷厚推定手法では、第一段階として海氷上の Melt Pond の割合 (*MPF*: Melt Pond Fraction) を推定し、*ICO* が 80% 以上かつ *MPF* が 20% 以下の海氷域を抽出した (Fig.1)。第二段階として、改良を加えた NASA Team アルゴリズム (Cavarieli et al.,) を使用して一年氷と多年氷に分類した。最終段階は、係留ブイの実測氷厚データと *T_B* を比較して、一年氷は偏波比 (*PR*: Polarization Ratio)、多年氷は周波数比 (*GR*: Radiation Ratio) を用いた氷厚換算式をそれぞれ開発した。2002年から2014年にかけて毎年9月10日の北極海全体の海氷厚および *MPF* の分布図を Fig.2 に示す。

2. アルゴリズム推定精度の検証と改良

本研究は海氷厚の推定精度を検証するため、*MPF* の精度を可視近赤外放射計 MODIS から求めた値や漂流ブイ (*IMB*: Ice Mass Balance buoy) による実測値、海氷厚の推定精度は同じく *IMB* による実測値と CryoSat-2 のレーダー高度計から得られた氷厚値と比較した。図3は *IMB* の表面温度と AMSR-E で求めた *MPF* との比較、図4は *IMB* の積雪深と氷厚の実測値と AMSR-E による推定氷厚との比較をそれぞれ表している。*MPF* が 21% 以上のときに最も *IMB* の表面温度が 0°C 以上を示すときと良い一致を示した。海氷厚については AMSR-E の推定値は *IMB* の実測値よりも小さい値を示す傾向が見られた。*IMB* や CryoSat-2 の氷厚データと比較することで AMSR-E/AMSR2 の推定氷厚の時期や海域の違いによる誤差を評価し、アルゴリズムの改良について検討した。

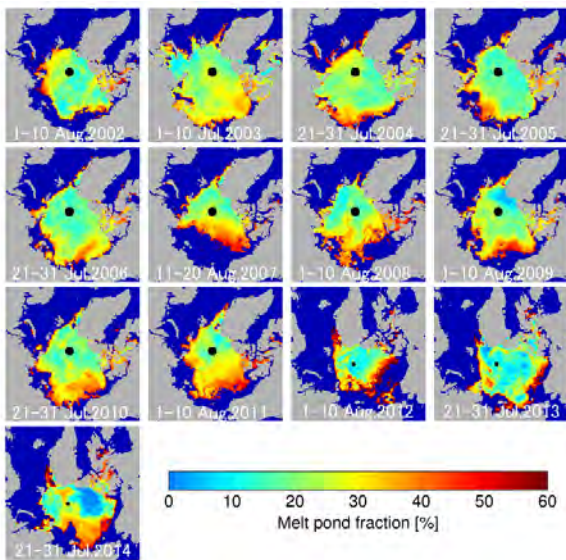


Figure 1. Distribution of MPF during 2002-2014 calculated from AMSR-E and AMSR2.

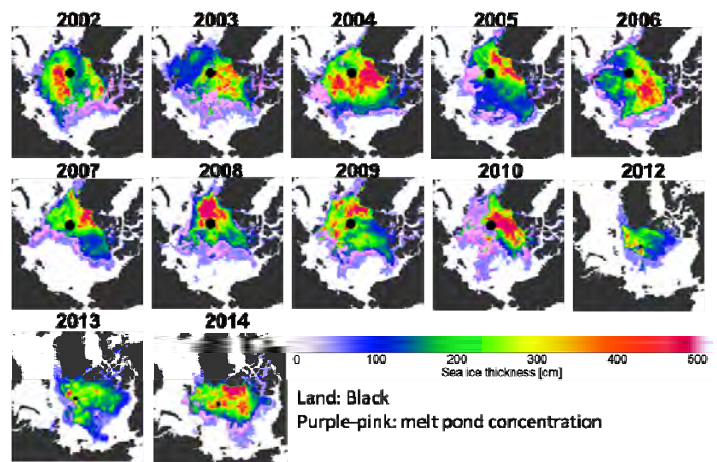


Figure 2. Distributions of ice thickness using AMSR-E/AMSR2 for every 10th of September during 2002 - 2014.

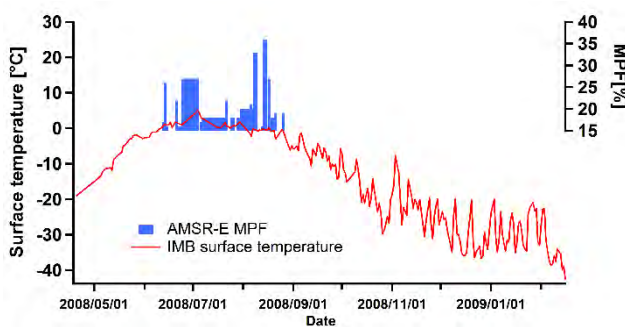


Figure 3. IMB surface temperature (red line) and AMSR-E MPF (blue bar) in 2008 summer.

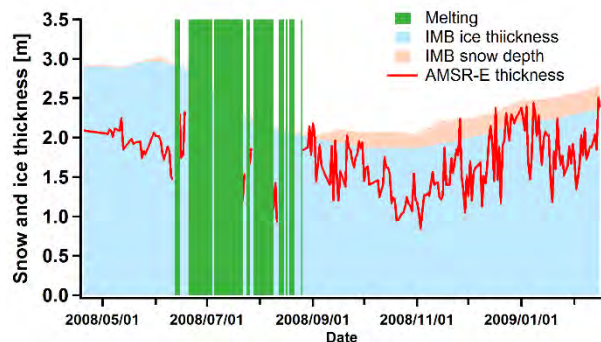


Figure 4. IMB snow (light orange area) and ice thickness (light blue area), melting (green bar) and AMSR-E thickness (red line) in 2008 summer.

References

- Drucker, R., S. Martin, and R. Moritz, Observation of ice thickness and frazil ice in the St. Lawrence Island polynya from satellite imagery, upward looking sonar, and salinity/temperature moorings, *J. Geophys. Res.*, 108(C5), 3149, doi:10.1029/2001JC001213, 2003.
- Krishfield, R. A., A. Proshutinsky, K. Tateyama, W. J. Williams, E. C. Carmack, F. A. McLaughlin and M.-L. Timmermans, Deterioration of perennial sea ice in the Beaufort Gyre from 2003 to 2012 and its impact on the oceanic freshwater cycle, *J. Geophys. Res.*, 119(2), 1271–1305, 2014.
- Kwok, R., Cunningham, G., Zwally, H., and Yi, D, Ice, Cloud, and land Elevation Satellite (ICESat) over Arctic sea ice: retrieval of freeboard, *J. Geophys. Res.*, 112, C12013, doi:10.1029/2006JC003978, 2007.
- Melling H., D. A. Riedel and Z. Gedalof, Trends in the draft and extent of seasonal pack ice, Canadian Beaufort Sea, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L24501, doi:10.1029/2005GL024483, 2005.
- Richter-Menge, J. A., et al., Ice mass balance buoys: A tool for measuring and attributing changes in the thickness of the Arctic sea ice cover, *Ann. Glaciol.*, 44, 205 – 210, 2006.
- Rothrock, D. A., Y. Yu, and G. A. Maykut, Thinning of the Arctic sea-ice cover, *Geophys. Res. Lett.*, 26(23), 3469 – 3472, doi:10.1029/1999GL010863., 1999.
- Tamura, T., K. I. Ohshima, and S. Nishashi, Mapping of sea-ice production for Antarctic coastal polynyas. *Geophys. Res. Lett.* 35, L07606, 2008.
- Laxon, S. W., Giles, K. A., Ridout, A. L., Wingham, D. J., Willatt, R., Cullen, R., Kwok, R., Schweiger, A., Zhang, J., Haas, C., Hendricks, S., Krishfield, R., Kurtz, N., Farrell, S., and Davidson, M., CryoSat-2 estimates of Arctic sea ice thickness and volume, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 732–737, doi:10.1002/grl.50193, 2013.