

アラスカにおける積雪縦断観測および 衛星データを用いた新アルゴリズムでの積雪深比較

佐々木孔明¹, 木村しずか², 榎本浩之¹, Kim Yongwon³, 舘山一孝¹,
谷川朋範¹, 斉藤佳彦⁴, 門崎学⁵, 戸城亮⁶

¹北見工業大学, ²サンスイコンサルタント, ³アラスカ大学,

⁴(株) 雪研スノーイーターズ, ⁵リモート・センシング技術センター, ⁶道路建設(株)

1. はじめに

衛星を用いて得られた積雪情報は、積雪水文情報として農業などへの利用や近年の気候変動などの研究に役立てることが出来る。高緯度地域（北極圏）の積雪は地球温暖化の影響が顕著に現れることで知られている。この高緯度地域の積雪情報は、地球の状況を知る手がかりとなるため重要な情報を含んでいる。

しかし従来の積雪深算出アルゴリズムは、森林域では実際の積雪深よりも少なく、ツンドラ域では多く推定してしまうという誤差が生じていた。

本研究ではこの誤差を改善するために、アラスカでの現地観測データと地球観測衛星 Aqua に搭載されているマイクロ波放射計 AMSR-E のデータを用いてアラスカにおける正確な積雪深推定を行えることを目的としている。

2. アラスカ積雪縦断観測

2.1 概要

積雪縦断観測は2005年からアラスカ内陸のフェアバンクスから北極海沿岸のプルードベイ間にあるハイウェイ沿いに観測サイトを設けて行っている。

積雪縦断観測はこれまで冬季の4年間（2005年1月24日－1月27日，2006年2月4日－2月16日，2007年2月22日－3月6日，20

08年3月1日－3月14日）行った。観測サイトはアラスカにあるダルトンハイウェイ沿いに設置し、その間隔は平均30 kmである（木村ほか，2006；2007）。各年共通で観測している項目は積雪深・積雪内部温度・雪質・積雪密度である。

2.2 積雪深

積雪深は（北側の）ツンドラ域よりも（南側の）森林域で多い傾向にあり、多い年はおよそ1 m ちかい積雪深が観測された。しかし、森林域の積雪深は変動が大きく、2005－2007年は減少傾向にあり、2007年はツンドラ域の積雪深とそれほど違いがみられなかった。しかし、2008年は観測直前に起こった降雪により、結果として観測域全体で積雪深の増加が見られた（図2）。一方、ツンドラ域は森林域に比べ年による変動は小さく、この時期の積雪深は20－40 cmであった。

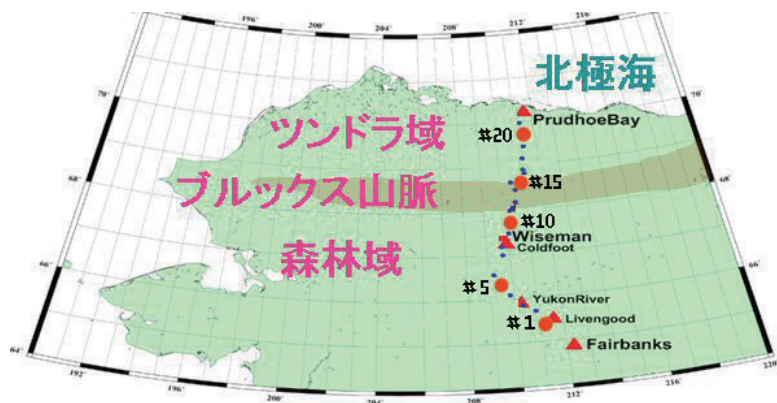


図1 アラスカの積雪縦断観測地域を示した地図（地図上の番号は観測サイトを示している。）

2.3 積雪内部構造

2005 年－2008 年の 4 年間で観測域の全体でしもざらめ雪とこしもざらめ雪が多く観測された。また、ツンドラ域では森林域よりクラストとアイスレイヤー(氷板)が多く観測された(図 2)。

この地域ではしもざらめ雪とこしもざらめ雪が作られやすい大きな温度勾配であることがわかる。2008 年には降雪直後であったためしまり雪とこしまり雪が多く観測された。

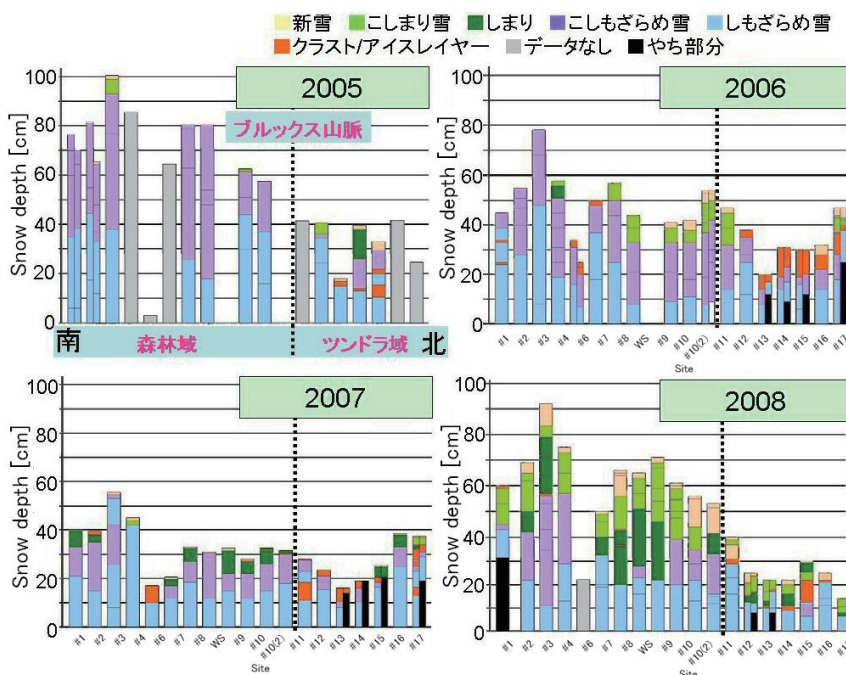


図 2 アラスカ積雪縦断観測における 2005 年－2008 年の積雪深と積雪層構造の実測データ(南側の #1－#10(2)を森林域、北側の #11－#17 をツンドラ域である。中間にある点線はブルックス山脈を示している。)

3. 衛星による積雪深の推定

高緯度地域の積雪情報は水資源情報としての利用や気候変動の指標にもなるため衛星データから出来るだけ正確に積雪深を求める必要がある。これまで多くの研究者によって積雪面積の季節変動や分布が捉えられてきた。その中でも Chang *et al.* (1987)の積雪深算出アルゴリズムは多くの研究者に指示され、さまざまな衛星データに適用された。この積雪深算出アルゴリズムは次式によって定義される

$$SD = 1.59(Tb_{18H} - Tb_{36H}) \text{ [cm]} \quad (1)$$

ここで、 SD (Snow depth)は積雪深、 Tb_{18H} と Tb_{36H} はそれぞれ 18GHz と 36GHz の水平偏波の輝度温度データ、係数 1.59 は雪粒子半径 0.3 mm、積雪密度 0.3 g/cm³と仮定した積雪マイクロ波放射伝達モデルから決められた値である。このアルゴリズムは森林域では木の影響により輝度温度が上昇し実際の積雪深よりも少なく推定してしまうことが報告されている(Foster *et al.*, 1987)。また積雪粒径、密度の違いからツンドラ域でも実際の積雪深よりも過大評価する傾向にある(図 3, 4)。

そこで本研究では森林域とツンドラ域で精度よく積雪深を算出するために、アラスカ積雪縦断観測のデータ(2005 年－2007 年)とマイクロ波の輝度温度データの各チャンネルの相関を求め、積雪深と最も相関の高かった 6GHz と 36GHz の 2 つの水平偏波の輝度温度データを用い、以下のような積雪深を求める推定式を開発した

$$SD = \frac{Tb_{6H} + Tb_{36H} - 399.07}{0.8366} \text{ [cm]} \quad (2)$$

ここで、 Tb_{6H} と Tb_{36H} は 6GHz と 36GHz の水平偏波の輝度温度データ、399.07 と 0.8366 は回帰解析から求めた係数である。本研究では 1 日 2 回測定している AMSR-E によって観測され

たマイクロ波の輝度温度データを用いて積雪深を算出した。

3. 1 新アルゴリズムによる積雪深算出と比較

それぞれのアルゴリズムから作成した積雪深の空間分布図を示す(図3)。またアラスカの縦断観測データとこの2つのアルゴリズムで推定した積雪深との比較を図4に示す。

Chang *et al.* (1987)が開発した積雪深算出アルゴリズムでは、実際の観測データと比較してツンドラ域では多く森林域では少なく推定されていた。この森林域とツンドラ域の誤差は新しいアルゴリズムによって解消されていることがわかる。しかし、2008年のグラフでは森林域において実際の積雪深よりも過小評価した結果となった。その原因は2つ考えられる。1つ目は雪質の違いである。新アルゴリズムは2005年～2007年の主にしもざらめ雪やこしもざらめ雪が多く存在している縦断観測データで作成されている。そのため2008年のこしまり雪しまり雪に対応していないと考えられる。2つ目は降雪直後で樹木への冠雪が多かったことも原因として考えられる。

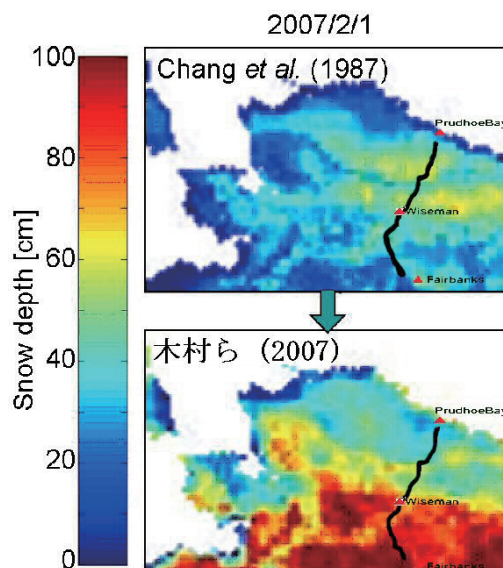


図3 衛星データを使用して推定した積雪空間分布図(上:基礎アルゴリズム, 下:新アルゴリズム, 曲線は縦断観測サイトを示す)

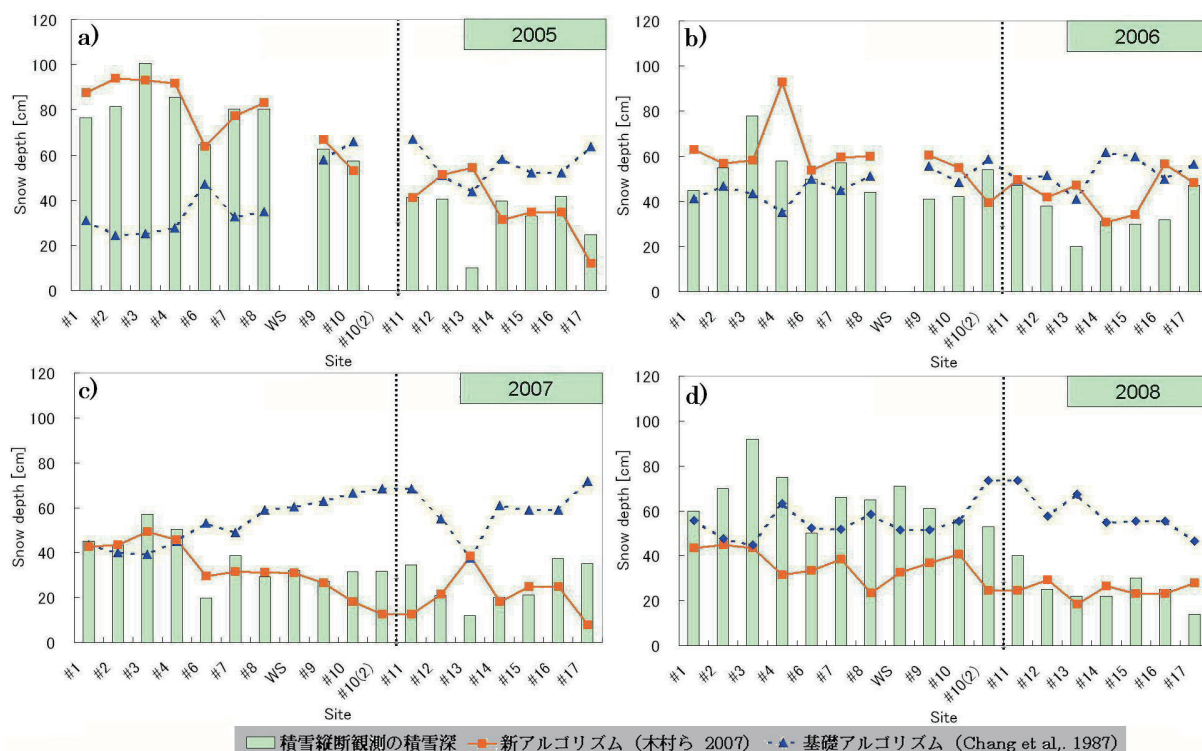


図4 衛星データから求めた積雪深と縦断観測で得られた積雪深との比較(2005年～2008年) 棒グラフは積雪縦断観測の積雪深、実線は新アルゴリズム(木村ら, 2007)で求めた積雪深、点線は基礎アルゴリズム(Chang *et al.*, 1987)で求めた積雪深を示す。

4. まとめ

積雪縦断観測では、2005年から2007年まで減少傾向にあった積雪深が2008年においてはほぼ全サイトにおいて増加しており、観測直前の降雪の影響からしまり雪やこしまり雪が多く観測された。

新アルゴリズムでの積雪深推定は、Chang *et al.* (1987)が開発した積雪深算出アルゴリズムでツンドラ域では多く森林域では少なく推定されていた問題を解消することが出来た。新アルゴリズムを使用しての積雪深推定は2005年–2007年ではほぼ実測値とあっているが、2008年は森林域において実測値よりも少なく算出していた。この誤差は、しまり雪こしまり雪などの雪質の違いや冠雪などの影響で輝度温度が上昇してしまったためと考えられる。

今後は、この森林域における算出誤差をなくしていくために森林のマイクロ波に与える影響や冠雪が積雪深推定に及ぼす影響について調べていく予定である。

謝辞

本研究はアラスカ大学国際北極圏研究センター(IARC)との共同研究の一環として行いました。使用した衛星データについては宇宙航空研究開発機構(JAXA)からAMSRE データを提供していただきました。ご協力いただき感謝致します。

参考文献

- Chang, A.T.C., J.L. Foster and D.K. Hall, 1987: Nimbus-7 SMMR derived global snow cover parameters. National Aeronautics and Space Administration/ Goddard Space Flight Center, *Annals of Glaciology*, 9, 39-44
- Chang, A.T.C. and R. Kelly, 1998: Description of snow depth retrieval algorithm for ADEOS II AMSR. *Annals of Glaciology*, 9, 39-44.
- Foster J. L., Hall D. K., Chang A. T. C., Rango A, 1984: An overview of passive microwave snow research and results. *Reviews of geophysics and space physics*, 22(2), 195-208
- 木村しずか, 榎本浩之, Kim Yongwon, 斉藤佳彦, 戸城亮 (2006) : AMSR-Eを用いたアラスカの融雪の検出. 北海道の雪氷, **25**, 36-39
- 木村しずか, 榎本浩之, Kim Yongwon, 谷川朋範, 斉藤佳彦, 戸城亮, 門崎学 (2007) : アラスカにおける積雪縦断観測および衛星データを用いた積雪比較. 北海道の雪氷, **26**, 69-72