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

木村しずか[1]，榎本浩之[1]，Yongwon KIM[2]，谷川朋範[1]，門崎学[3]，齋藤佳彦[4]，戸城亮[1]
[1]北見工業大学，[2]UAF/IARC，[3]JAXA，[4](株)雪研スノーイーターズ

1. はじめに

衛星データを用いて得られた積雪に関する情報は，水利用や災害，気候変動などの研究に役立てることができる．そこで本研究では，近年気温の上昇が顕著である北極圏のアラスカにおいて積雪縦断観測を行った．またそれらの観測データを比較することにより，衛星データから求めた積雪深について検証を行った．

2. 積雪縦断観測 2005-2007

2-1　期間およびサイト

観測期間は 3 冬季である 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 日に，積雪深，雪質，雪温，積雪密度について観測を行った．観測サイトはアラスカのフェアバンクスから北極海沿岸までの縦断道路沿い，約 25km 間隔に 23 ヶ所設置した．各観測サイトと観測中に滞在した町を示したものが図 1 である．

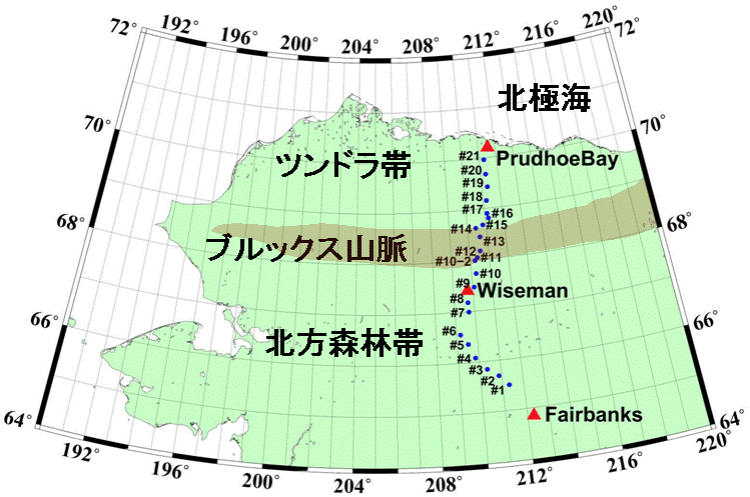

図 1　縦断観測サイトを示したアラスカ地図

アラスカ北部はブルックス山脈を境に，南側を北方森林帯，北側をツンドラ帯に大きく分けることができる．それぞれの特徴として，北方森林帯はどのサイトも森林に覆われており，それに対してツンドラ帯は雪原が延々と続いている．またブルックス山脈の麓に設置したサイトは，南北とも森林のない斜面となっている．これらをまたいで観測することにより，植生による積雪の違いに着目することができる．

2-2　解析結果

各観測サイトにおける 3 年分の積雪深および 2006 年，2007 年の積雪全層密度を示したものが図 2 であり，図 3 には積雪層構造を示した．これらの図中で，観測データが抜けている部分は観測を行っていないサイトであり，図 3 の棒グラフが 2 本示されているサイトはやちとやちの間の凹部（左棒グラフ）とやちの凸部（右棒グラフ）の 2 ヶ所を観測したことを意味する．

まず積雪深について見ると，全体的な傾向として北方森林帯の積雪深は多く，ツンドラ帯は少ないことがわかる．これは，北方森林帯は森林に覆われているために風の影響を受けにくいのに対し，ツンドラ帯はもともと降雪が少なく，さらに障害物がないために風の影響を直接受ける吹きさらしであるということが大きな要因といえる．また 3 年間の比較では，積雪深が減少しているサイトが多く，特に北方森林帯での変化が顕著である．

全層密度は，北方森林帯ではどのサイトも 0.20 g/cm^3 前後を示しており非常に小さい．ツン

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

ドラ帯では 0.20～0.30 g/cm³ の間を示しているが，サイトによりその値にばらつきがある．これらの特徴は積雪層構造の違いによるものである。図 3 を見ると全体的にこしもざらめ雪が分布しており，北方森林帯の層構造は主にこしもざらめ雪としもざらめ雪で構成されている地点

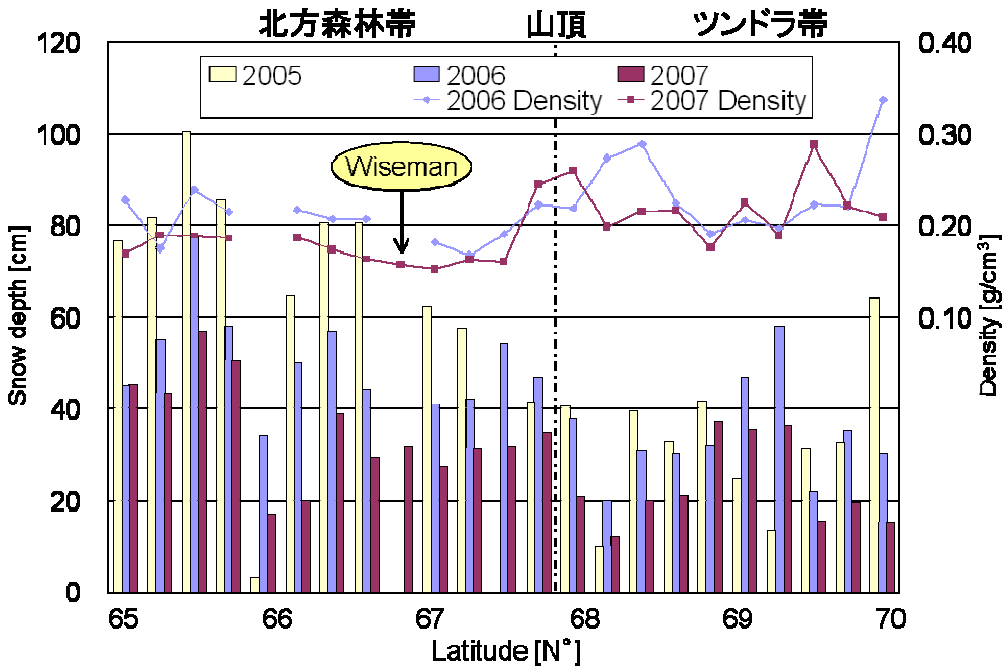

図 2　各観測サイトにおける 3 年間の積雪深と積雪全層密度

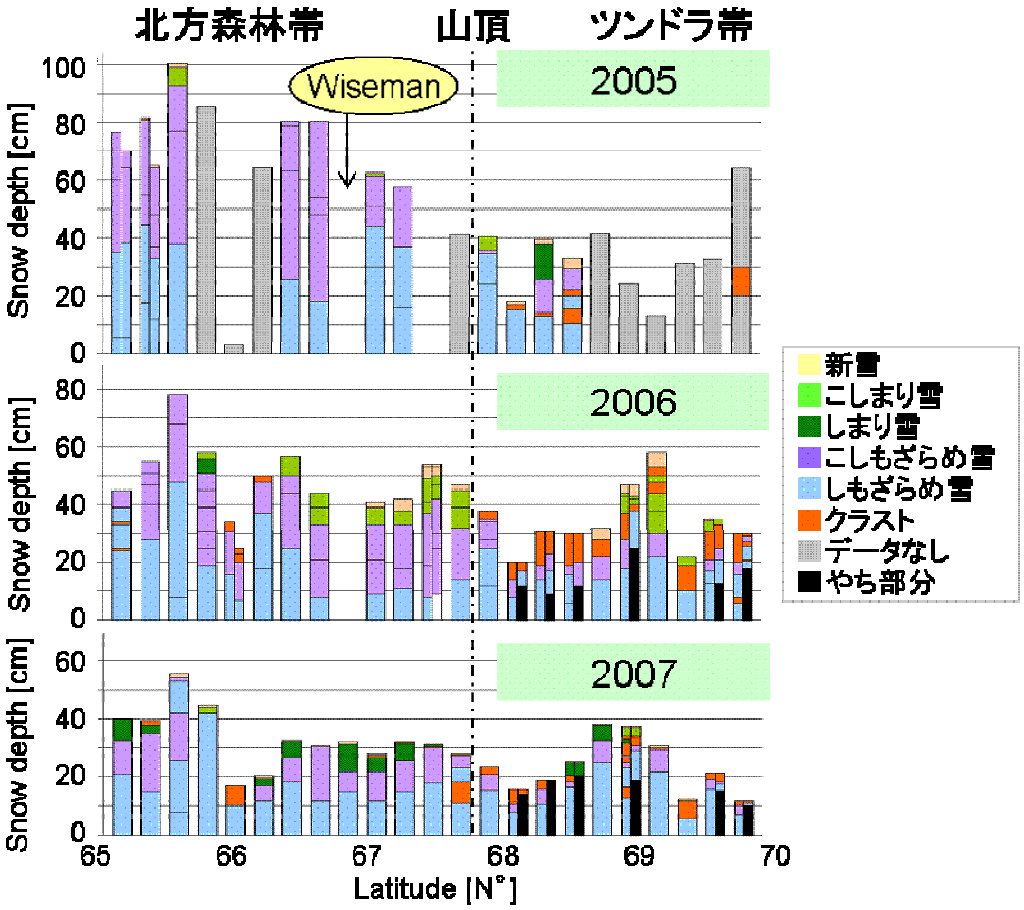

図 3　各観測サイトにおける 3 年間の積雪層構造

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

が多い．その粒子半径が最大 1.5 mm まで発達しているため全層密度が小さくなった．ツンドラ帯には密度の大きなクラストを含んでいる地点が多い．このクラストとは風の作用によりできたウィンドクラストである．ツンドラ帯の積雪全層密度に大きなばらつきがあったのはこのクラストの影響である．なお，南から 5 番目のサイトは岩山の上に位置していて風が強いことが多く，密度の高いクラストを含んでおり，ツンドラ帯と似た層構造になっている．

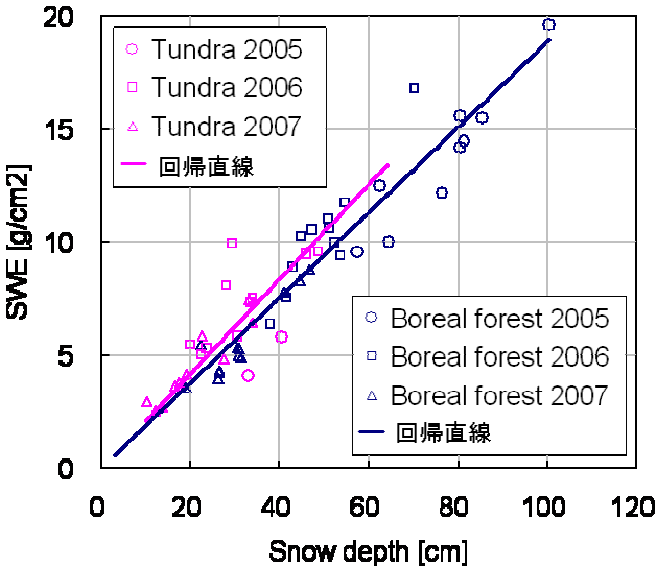

図 4　北方森林帯およびツンドラ帯における 3 年間の積雪水量と積雪深の関係

図 4 は 3 年分の積雪水量を北方森林帯とツンドラ帯に分けて比較したものである．この図にも北方森林帯の積雪深が年々減少している様子が表れている．そして回帰直線の傾きは密度を示しており，北方森林帯よりもツンドラ帯の方が密度が大きい．

3. 衛星データと観測データの比較

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 によって観測されたマイクロ波の輝度温度データ（昼・夜 1 日 2 回観測される）を用いて解析を行った．また本研究では，基礎のアルゴリズム（Chang *et al.*, 1987）を用いて積雪深の算出を行った．図 5 はアルゴリズムから求めた 2007 年 3 月 1 日の積雪分布を表した図であり，この図を用いて積雪が分布する様子，積雪や融解といった季節変化を読み取ることができる．しかしブルックス山脈を境にツンドラ帯の方が北方森林帯よりも値が大きくなっているように見えるため，この図を積雪深を細かく読み取るために用いるには適していない．

図 6 は北方森林帯に位置する集落ワイズマンの 2004 年 10 月～2006 年 4 月（冬季のみ）における衛星データから求めた積雪深と観測データとの比較を示したものである．ここでは観測データとして，毎日現地時刻の 20:00 に観測された積雪深を用いている．この図では，実際の積雪深が 80～100 cm のときに，衛星データから求めた積雪深は 40～60 cm を示しており，観測データを少なく見積もっていることがわかる．基礎のアルゴリズムを用いる際に問題となるのが，森林からの射出により輝度温度が上昇し，積雪深を多く見積もってしまうことである．図 6 でも読み取ることができるよ

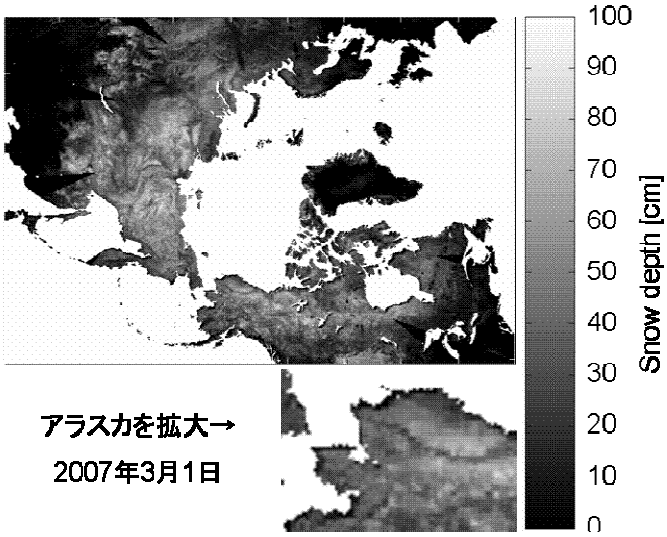

図 5　アルゴリズムから求めた積雪広域分布図（2007 年 3 月 1 日）

Copyright ©　2007　（社）日本雪氷学会北海道支部

うに，北方森林帯において衛星データから求めた積雪深が実際の積雪深を少なく見積もる結果となったのは，この森林被覆による影響が大きな要因であると考えられる．しかしこの 3 年間の観測において，アルゴリズムで仮定されている雪の粒子半径 0.3mm，雪の密度 0.3 g/cm³ に対して，前述のように北方森林帯におけるしもざらめ雪の粒子半径が最大 1.5 mm まで発達していること，密度が 0.2 g/cm³ となっていることがわかった．基礎のアルゴリズムでは，しもざらめ雪の形成により輝度温度（37GHz）が低下し，積雪深を大きく見積もる可能があることも問題とされている．そのためしもざらめ雪が発達した北方森林における積雪深の推定は，森林被覆により積雪深が大きく算出されてしまうこと，一方でしもざらめ雪により積雪深が小さく算出されてしまうことのために複雑になっている．

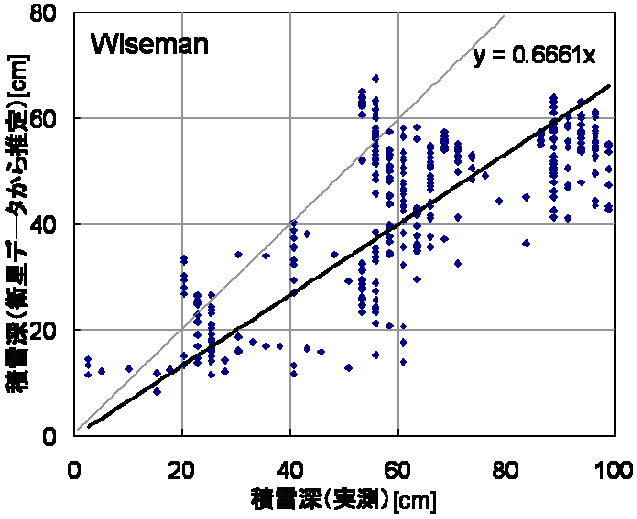

図 6　ワイズマンにおける衛星データから求めた積雪深と観測データの比較

4. まとめ

- 3 年間の積雪縦断観測から，全体的な傾向として北方森林帯の積雪深は多く，ツンドラ帯は少ないことが確認できた．そして特に北方森林帯において，この 3 年間では年々積雪深が減少しているサイトが多いことがわかった．積雪層構造に関しては，全域的に粒子半径の大きなしもざらめ雪が発達しており，さらにツンドラ帯には密度の大きなウィンドクラストを含んでいる地点が多いことがわかった．そのためツンドラ帯の積雪全層密度は北方森林帯よりも大きく，その値には大きなばらつきがある．
- 衛星データと観測データの比較をしたところ衛星データによる積雪深の推定は，広域分布図を示すことにより季節変化を読み取ることができる．
- 北方森林帯における衛星データによる推定は，実際の積雪深を少なく見積もってしまう．これは，森林からの射出により輝度温度が上昇することが大きな要因であると考えられる．一方で，しもざらめ雪の形成が輝度温度（37GHz）を低下させるという影響を受けている可能性があるため，今後も更なる解析が必要である．

謝辞

本研究はアラスカ大学北極圏国際研究センター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 AMSR-E データを提供していただきました．ワイズマンにおける観測データについては，現地在住の Heidi Schoppenhorst 氏に提供していただきました．

参考文献

Chang, A.T.C. and R. Kelly, 1998: Description of snow depth retrieval algorithm for ADEOS Ⅱ AMSR. Annals of Glaciology, 9, 39-44.

Copyright © 2007 （社）日本雪氷学会北海道支部