

宇宙測地データに見られる北極振動がもたらす積雪量異常のシグナル The signals of anomalous snow accumulation brought about by the Arctic Oscillation as seen with space geodetic data

松尾 功二^{1*}, 日置 幸介¹
Koji Matsuo^{1*}, Kosuke Heki¹

¹ 北大院理自然史

¹ Natural History Sciences, Hokkaido Univ.

北極振動とは、北極域と中緯度地域との間で北緯 60 度を挟み海面更正気圧がシーソー的に変動する現象を言い、冬季の北半球で最も卓越する大気循環の変動パターンである。北極振動の傾向と規模は北極振動指数によって指標化されている。これは、北緯 20 度以北の冬季 (11 月から 4 月) における海面更正気圧を第一次経験的直交解析することで求められる [Thompson and Wallace, 1998]。北極域における海面更正気圧が例年よりも低くなったとき、北極振動指数は正の値を示す。このとき、極の寒波は高緯度地域に留まるため、高緯度地域で寒冷化、中緯度地域で温暖化する傾向になる。また、偏西風が北側で強まり、高緯度地域で降雨・降雪量の異常が生じやすい [Bamzai, 2003]。一方、北極域における海面更正気圧が例年よりも高くなったとき、北極振動指数は負の値を示す。このとき、先ほどの正の場合とは逆の気候変動が生じる。極の寒波が中緯度地域へと活発に流出するため、高緯度地域で温暖化、中緯度地域で寒冷化する傾向になる。また、偏西風が大きく南に蛇行するために、中緯度地域に降雨・降雪量の異常をもたらす。北極振動はとりわけ冬の気候に強い影響を及ぼす [Thompson and Wallace, 2000]。昨年 (2010 年) の冬季には、過去 60 年間の観測史上最も大きい負の北極振動 [L'Heureux et al., 2010] が発生しており、北半球の中緯度地域の各地に記録的な寒波と大雪をもたらされた。

本研究では、このような北極振動によってもたらされた冬季の積雪量異常が、重力変化、地表変位、地球の極移動という、測地学の三大領域で検出されているか解析を行ってみた。データは、重力衛星 GRACE による重力変化、IGS の GPS 連続観測局による地表変位、パリ国立天文台が提供している励起極の時系列を使用した。ただし、これらの時系列データは全て、最小二乗法により経年成分と季節成分を差引いておく。まず、重力変化について議論する。冬の 3ヶ月間 (1 月から 3 月) で平均した重力変化と北極振動指数の相関係数を北半球の全地域にわたって計算したところ、北緯 55 度付近を境に、高緯度側で正の相関、中緯度側で負の相関が見られた。これは、高緯度地域では正の北極振動は正の重力変化を、負の北極振動は負の重力変化をもたらす、中緯度地域ではその逆となることを意味している。特に高い相関を示した地域は、西シベリア地方 (+0.94)、黒海周辺 (-0.88)、パミール高原 (-0.78)、アメリカ東南海岸 (-0.77) であった。また、重力変化から積雪量を算出し、高緯度地域 (北緯 55 度から 80 度) と中緯度地域 (北緯 30 度から 55 度) における総積雪量と北極振動指数との相関係数を導いたところ、高緯度地域で +0.73、中緯度地域で -0.79 となり、北極振動の正負によって積雪分布がダイポールの的に変動していることが確認された。続いて、地表変位を見てみる。中緯度地域に位置するパミール高原に近い GPS 点の上下変位データと北極振動指数の冬の 3 カ月平均は、強い正の相関を示した。つまり、正の北極振動は地表面を隆起させ、負の北極振動は地表面を沈降させた。このような上下変位は、北極振動に伴う積雪量異常を地表面の弾性変形として捉えたシグナルであると推測される。そこで、重力変化から地表面の荷重変形を計算し [Farrel, 1972]、GPS の上下変位と比較した。すると、両者は位相・振幅ともに非常に良い一致を示し、北極振動が地表変位としても検出されることが分かった。最後に、地球の極移動について議論する。北極振動は、高緯度地域と中緯度地域間で大規模な質量の再分布を生じさせる。その二領域間の質量移動量は最大で 1000Gt に達する。これほどの質量変動が生じれば、地球の極は励起させられるはずである。そこで、重力変化から求めた総積雪量を用いて極の励起を導き、パリ国立天文台が提供する VLBI、GPS 等で導かれた極の励起と比較してみた。すると、両者の位相は非常に良い一致を示したが、振幅は半分ほどの大きさとなった。振幅の差異の原因については、これからさらなる検証が必要であるが、北極振動による大規模な質量移動は極の励起を部分的に占めていることは間違いなさであろう。

[参考文献]

- Bamzai, A.S., (2003), *Int. J. Climatol.*, 23, 131-142, doi: 10.1002/joc.854.
- Farrell, W. E., (1972), *Review of Geophysics and Space Physics*, Vol. 10, No. 3, pp.761-797.
- Thompson D.W.J. and J.M. Wallace, (1998), *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1297-1300.
- Thompson D.W.J. and J.M. Wallace, (2000), *J. Climate*, 13, 1000-1016.
- L'Heureux, M., et al., (2010), *Geophys. Res. Lett.*, 37, L10704, doi:10.1029/2010GL043338.

キーワード: 北極振動, 積雪, 宇宙測地学, 重力変化, 地表変位, 極移動

Keywords: Arctic Oscillation, snow accumulation, space geodesy, gravity change, surface displacement, polar motion

ACC030-02

会場:102

時間:5月24日 14:30-14:45

三つの積雪変態スキームの相互比較 Intercomparison of three snow metamorphism schemes

庭野 匡思^{1*}, 青木 輝夫¹, 朽木 勝幸¹, 保坂 征宏¹
Masashi Niwano^{1*}, Teruo Aoki¹, Katsuyuki Kuchiki¹, Masahiro Hosaka¹

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

The snow cover plays an important role in the Earth's climate system. For example, snow albedo feedback results in the enhanced warming especially in the Arctic. Therefore, a sophisticated snow process model with high accuracy is needed in general circulation models (GCM) for climate simulations. Recently, some physically based snow albedo models have been developed. These models explicitly consider the physical nature of the snow albedo that the visible albedo strongly depends on snow impurities such as black carbon or dust, while the near-infrared albedo strongly depends on snow grain size. To utilize these physically based snow albedo models in GCM, optically equivalent snow grain radius (r_{opt}), which is a radius of sphere with the same specific surface area (SSA) as that of a non-spherical real snow grain, is required to be calculated in GCM, because r_{opt} is an input parameter for these physically based snow albedo models. We developed a snow metamorphism module for GCM to calculate temporal changes in r_{opt} . It was developed using a one-dimensional snowpack model; Snow Metamorphism and Albedo Process (SMAP) model (Niwano et al., 2011, manuscript in preparation), and validated against measured data in Sapporo, Japan. In the module, the geometric shape of a snow grain was assumed to consist of two connecting spherical ice particles, which have the same radius r_g and are connected by a neck. The temporal changes in r_g were governed by the following four snow metamorphism processes: (1) equitemperature metamorphism, (2) temperature gradient metamorphism, (3) wet snow metamorphism, and (4) snow metamorphism under alternating temperature gradient. We finally obtained r_{opt} by calculating SSA from r_g and neck size of the snow grain. On the other hand, recently, two parameterizations to calculate snow SSA directly have been developed, though they cannot calculate the changes in snow SSA under wet snow condition. The first one is that by Domine et al. (2007), which employs a diagnostic equation as functions of snow grain shape and snow density (hereafter, we refer to it as 'D07'). The second one is that by Taillandier et al. (2007), which employs a prognostic equation as functions of the initial snow SSA, snow age, and snow temperature (hereafter, we refer to it as 'T07'). These two parameterizations were validated in Alaska, and reasonable agreements against observed snow SSA were demonstrated by Jacobi et al. (2010). However, the effects of D07 and T07 on the accuracy of calculated snow albedo are unclear. Therefore, we incorporated these two schemes into SMAP model, and evaluated their performances together with the original scheme of SMAP model using meteorological and snow impurities data measured in Sapporo. Since D07 and T07 do not take wet snow metamorphism into account, the evaluation was conducted during January and February, 2008. We confirmed that root mean square errors of calculated snow albedos were 0.0491, 0.0467, and 0.0449, and the mean errors were -0.0031, 0.0227, and -0.0041 for SMAP original scheme, D07, and T07, respectively. These results indicate that the performances of these three snow metamorphism schemes are comparable for dry snow.

キーワード: 積雪アルベド, 積雪変態, 積雪モデル, 積雪の比表面積

Keywords: snow albedo, snow metamorphism, snow model, specific surface area of snow

ACC030-03

会場:102

時間:5月24日 14:45-15:00

樹冠による降雪遮断量の評価と蒸発量の高度依存性 Evaluation of snowfall interception of boreal forest and sublimation profile

兒玉 裕二^{1*}, 久野友靖¹, 中井太郎²
Yuji Kodama^{1*}, Tomoyasu Kuno¹, Taro Nakai²

¹北海道大学, ²アラスカ大学
¹Hokkaido University, ²University of Alaska

樹冠による降雪遮断量は積雪流域の水収支を考える上で非常に重要である。樹冠に着雪した雪は数日から数ヶ月そこに留まり、一部は昇華によって大気に戻り、また一部は落雪して地面に堆積する。地面の落ちた雪は積雪の一部となるが、昇華して大気に戻った量は降水の損失となり、水収支を考える場合に重要な要素となる。この研究では、北方林における降雪遮断量の評価することを目的とし、積雪内外の積雪水量を測定して降雪遮断率を求め、樹冠密度や気象要素との関係を考察する。

観測は北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの雨龍研究林内の針広混交林とダケカンバ林において行った。観測した要素は、森林内外の積雪水量、開空率、タワーを利用した気象要素や氷ブロックからの昇華のプロファイル、などである。積雪水量の測定は林内では5m毎のグリッド点で行い、開地では50mの側線を1m毎に測定した。

森林内外の積雪水量の差は、ダケカンバ林では小さく、針広混交林では積雪初期は小さく、融雪期に近づくほど大きくなった。平均の降雪遮断率はダケカンバ林では7.8%、針広混交林では14.4%であった。針広混交林内の積雪水量は開空率と正の相関を示し、遮断率は樹冠密度と良い関係にあった。積雪水量は天頂角10度の範囲内の開空率よりも、天頂角60度の範囲内の開空率と良い相関があり、林内の積雪は頭上の狭い範囲内の樹冠密度よりもより広い範囲の樹冠密度によって決まることがわかった。タワーを利用した氷ブロックからの蒸発の鉛直プロファイルの観測結果から、高度と共に昇華が増大すること、風速と飽差に強く依存することがわかった。

キーワード: 降雪遮断, 北方林, 積雪水量

Keywords: Interception loss, boreal forest, snow water equivalent

ACC030-04

会場:102

時間:5月24日 15:00-15:15

新しい積雪アルベドのパラメータ化 New snow albedo parameterizations

新見 幸奈¹, 山崎 剛^{1*}

Yukina Niimi¹, Takeshi Yamazaki^{1*}

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Tohoku Univ.

積雪の新しいパラメータ化を提案する。積雪アルベドは物理的な放射伝達を解くモデルの開発が進んでいるが、一方で簡単な気象要素から推定するパラメータ化に対する需要も根強い。そこで、日平均気温と日降水量から推定する従来の方法を改良し、より精度のよい実用的な方法を考案し、比較した。検討した方法は以下のとおりである。1) 従来の日平均気温と日降水量から推定する方法。2) 1) と同じ形式だが係数と降雪判断基準を変更した。3) 可視と近赤外を区別して式を作り、全波長のアルベドを推定する方法。4) 3) と同じだが可視・近赤外の比率を日照時間から推定する。5) 新雪の深さに応じてアルベド上昇量を推定する方法。札幌(北大低温研)での観測データをもとに再現性を調べた結果、方法3) は1),2) に比べ再現性が向上した。また、4) も3) に近い推定ができ、アメダスの要素のみで適用可能なため、実用的価値が最も高い。5) はシーズンによっては降雪をよく捉え精度が向上したが、まだ改良の余地がある。

ACC030-05

会場:102

時間:5月24日 15:15-15:30

モンゴル・アルタイ Potanin 氷河の質量収支に影響する周辺の気象・気候条件 Meteorological and climatological feature influenced on mass balance of Potanin glacier, Mongolian Altai

紺屋 恵子^{1*}, 門田勤¹, Davaa Gombo², Pulvedagva Kalzan², 矢吹裕伯¹, 大畑哲夫¹
Keiko Konya^{1*}, Tsutomu Kadota¹, Davaa Gombo², Pulvedagva Kalzan², Hironori Yabuki¹, Tetsuo Ohata¹

¹ 海洋研究開発機構, ² モンゴル気象水文研究所
¹JAMSTEC, ²IMH

1. はじめに

気候変動をはかる指標の一つとして氷河の質量収支変動は注目すべき事象の一つである。モンゴル・ロシア・中国にわたって分布するアルタイ山脈にはいくつかの氷河が存在し、近年後退していることがわかっている。アルタイ地域はユーラシアのほぼ中央に位置しており、乾燥域に属する。雪氷学的・気象学的研究がほとんどなされていないため、どのような条件下に氷河が存在しているかがわかっていない。本研究では、モンゴル・アルタイに位置する Potanin 氷河にて気象観測を行うことにより、この地域の氷河が存在している気候・気象環境を明らかにし、気候モデルによる再現への検証とする。

2. 対象地域

Potanin 氷河 (N49°05', E88°55') はモンゴル西部に位置し、ロシアと中国との国境に接している。この地域では積雪も氷河の数も多い。Potanin 氷河は、標高 4365m から、末端の 2,873m まで、長さ 11km にわたって東方向に流下し、面積が 24.34km² ある。標高 2200m、2700m の各地点でも降水、気象観測をそれぞれ実施した。

3. 方法

NCEP/NCAR 再解析データ、モンゴルとロシアでのステーションデータ、氷河での観測データを使用した。観測データは、氷河および近隣にて AWS に設置した気象観測から得た。氷河での観測は 2007 年 6 月末に開始した。観測項目は、気温、湿度、風向、風速、降水量、気圧、氷河表面低下量、放射 4 成分である。

4. 結果

4.1 気温変動

モンゴル地域もロシア地域も過去約 50 年間に於いて温暖化傾向が見られる。

4.2 降水(雪)変動

ステーションデータからは、長期的な積雪量の変動に顕著な傾向は見られないが、ロシア側で積雪日数は減少傾向にあった。積雪量は地域差が大きく、杉浦他(2008)に報告されている積雪深の標高依存性は、モンゴル側 3 地点のステーションには当てはまらなかった。また、氷河での観測により、氷河下流域では積雪量が非常に少ないことが分かった。

・積雪は場所によって大きく異なり、氷河域での推定が難しい。降雨は氷河から東へ標高の低い方向へ減少傾向にある。

5. 考察

・熱収支計算の結果から融解には放射が大きく寄与することが分かっている (Konya et al., 2010) ため、涵養には積雪/降雪量と気温の変化が大きな影響を与えていると考えられる。

・ロシア・アルタイでは夏涵養が報告されている氷河もある (Fujita et al., 2004)。しかしモンゴル氷河域では標高の低い地域では降雪は冬季だけに見られる。そのため、消耗域では冬季のわずかな降雪と夏季の大きな融解で年間収支はマイナスとなり、涵養域は年間の降雪のためにプラスであると考えられる。

キーワード: 氷河, 気候, 気象, 質量収支, アルタイ

Keywords: glacier, climate, meteorology, mass balance, altai

ACC030-06

会場:102

時間:5月24日 15:30-15:45

モンゴル北部ダルハッド盆地での古永久凍土発達史 Paleo-permafrost development on the Darhad basin, northern Mongolia

石川 守^{1*}, ジャンバルジャ ヤムヒン², 酒井 貴悠¹
Mamoru Ishikawa^{1*}, jambaljav yamkhin², Takahiro Sakai¹

¹北海道大学, ²モンゴル科学アカデミー-地理学研究所

¹Hokkaido University, ²Institute of Geography, MAS

Darhad basin, northern Mongolia, is located on the southern boundary of Eurasian continuous permafrost region. The clear lacustrine terraces indicate the presence of large paleo-lake, which has occupied entire the basin. Geomorphic studies have shown that the lake level was controlled by damming of glacier advance and retreat, and that the lake has completely disappeared in 10ka. A number of permafrost affected landforms presently occurred on the former lake floor would be formed after lake disappearance. In order to reconstruct historical permafrost development of this basin, we investigated intensively a well-developed pingo (i.e. perennial, intrapermafrost, ice-cored hill) on the northern basin. This pingo shows elongated form with the two connected mounds, the higher one has relative height of 14m and convex southern slope. DC resistivity tomography delineated the high electrical resistive materials in the entire of this elongated form, suggesting the occurrence of extensive ground ice. We drilled to 35m depth at the highest point, and found massive ice at the depths between 13 to 23 m. River transported materials with sand and rounded gravels at the depths of 6.0 m indicate that pingo formation has initiated after this sedimentary stage, which was dated as 3,350 - 3,246BC by C14 AMS.

キーワード: 永久凍土, 地下氷, ピンゴ, モンゴル, 永久凍土形成

Keywords: permafrost, ground ice, pingo, Mongolia, permafrost formation