

2010年10月～2012年9月ノースウィンド深海平原における珪質植物プランクトンの沈降フラックス
Sinking fluxes of siliceous phytoplankton in the Northwind Abyssal Plain, Oct. 2010-Sep. 2012

小野寺 丈尚太郎^{1*}, 原田 尚美¹, 本多 牧生¹, 田中 裕一郎²
Jonaotaro Onodera^{1*}, Naomi Harada¹, Makio Honda¹, Yuichiro Tanaka²

¹ 海洋研究開発機構地球環境変動領域, ² 産業総合技術研究所地質情報研究部門
¹JAMSTEC-RIGC, ²AIST-IGG

Time-series sinking fluxes of siliceous phytoplankton (diatom, silicoflagellate, chrysophyte cyst, endoskeletal dinoflagellate *Actiniscus*, and edridian) were studied at Station NAPt in seasonal sea-ice area of the Northwind Abyssal Plain (75N 162W, 1975m water depth) from 4 Oct. 2010 through 18 Sep. 2012. Total of 51 sediment trap samples obtained at 180m water depth were applied in this study. Sinking flux of total mass (mainly composed of lithogenic materials) was relatively high in Nov.-Dec. 2010, July-Aug. 2011, and Nov.-Dec. 2011. However, total mass and siliceous phytoplankton fluxes in summer 2012 were relatively low compared to those in 2011. High diatom flux was observed in early winter (Nov.-Dec.) and Aug.-Sep. 2011. The diatom sinking flora except for Aug.-Sep. 2011 was mainly composed of *Chaetoceros* spp., their resting spores, and *Thalassionema nitzschioides*. This flora is similar to the diatom assemblage in the Canada Basin. The diatom sinking flora in Aug.-Sep. 2011 was mainly composed of *Fossula arctica* and *Fragilariopsis oceanica*. In this period, abundant gelatinous house of Appendicularia was also contained in the samples. The high abundances of *Fossula*, *Fragilariopsis*, and Appendicularia were not observed in summer 2012. Silicoflagellate flux showed maxima in early winter and summer both 2011 and 2012. Based on the comparison of diatom sinking flora around the study area, the absence of diatom flux peak in summer 2012 is probably due to significant influence of Beaufort Gyre waters rather than shelf waters. Chrysophyte cysts and heterotrophic siliceous dinoflagellate genus *Actiniscus* were observed throughout the sampled duration. The sinking flux of edridian *Ebria tripartita*, which is mainly observed in the outer continental shelf of Chukchi Sea, increased in Nov. 2010. The high biogenic flux in early winter did not reflect the high primary production at Station NAPt due to limited light condition in polar night. The large portion of high total mass flux in every early winter is probably explained by lateral particle transportation into the Northwind Abyssal Plain from the Chukchi Sea shelf.

キーワード: 珪藻, 植物プランクトン, 沈降粒子フラックス, セディメントトラップ, ノースウィンド深海平原, 北極海
Keywords: diatom, phytoplankton, sinking particle flux, sediment trap, the Northwind Abyssal Plain, the Arctic Ocean

西太平洋テレコネクションパターンの維持メカニズムと海氷への影響 Maintenance Mechanism of the Western Pacific Teleconnection Pattern and Its Impact on Sea Ice

田中 翔^{1*}, 中村 尚¹, 西井 和晃¹, 宮坂 貴文¹

Sho Tanaka^{1*}, Hisashi Nakamura¹, Kazuaki Nishii¹, Takafumi Miyasaka¹

¹ 東京大学先端科学技術研究センター

¹ RCAST, University of Tokyo

冬季北西太平洋において高度偏差の南北双極子構造を持つ西太平洋テレコネクションパターン (WP パターン; Wallace and Gutzler, 1981) がしばしば観測される。この北側の循環偏差はカムチャツカ半島上空に存在し、これが高気圧性偏差となる正位相時には、海氷は例年よりもオホーツク海及びベーリング海のロシア沿岸付近では減少し、ベーリング海アラスカ沿岸付近では増加する傾向が知られている (Linkin and Nigam, 2008)。海氷分布への影響のみならず、WP パターンは日本に寒波をもたらすなど極東の気候に大きな影響を与えるが、その維持メカニズムは未解明である。

本研究では、大気再解析データを用いて、1948年から2010年冬季 (DJF) に卓越した32イベントの正位相のWPパターンを抽出し、偏差場の持つ運動エネルギーと有効位置エネルギーの収支の観点からWPパターンの維持メカニズムを調査した。この32イベントに基づく合成図解析により、WPパターンに伴う南北の気圧偏差の鉛直構造は、大まかにみれば等価順圧構造を示すものの、対流圏下層から中層にかけて高さとともに南西に傾く傾圧構造を持つことが初めて示された。この特徴は、海洋上で冬季に卓越する他のテレコネクションパターンに伴う循環変動が等価順圧構造を持つことと対照的である。従来、海洋上の停滞性の循環変動パターンは等価順圧構造を持つと考えられて来たため、移動性擾乱からの渦度フラックスを介した順圧的フィードバックや西風ジェット気流出口での運動エネルギー変換が、その維持にとって重要であると考えられて来た。WPパターンにおいてもこれらの維持メカニズムは働いているものの、傾圧構造に伴う熱フラックスを介した気候平均場から偏差場への有効位置エネルギー変換が最も重要であることが見出された。この有効位置エネルギー変換には、気候平均惑星規模波動に伴う北西太平洋上空の東西気温傾度を横切る東西風偏差による熱輸送が特に重要なことも示された。一方、移動性擾乱活動の変調に伴う降水偏差やWPパターンに伴う下層気温偏差による海洋からの顕熱供給偏差は、WPパターンの有効位置エネルギーを効果的に減衰させようと働くことも分かった。しかしながら、減衰の効果を加味しても気候平均場からの傾圧的・順圧的エネルギー変換や移動性擾乱からの順圧的フィードバックが効率的にWPパターンにともなう偏差を維持・強化することが見出された。大会当日は、以上のエネルギー収支に基づくWPパターンの維持メカニズムと共に、WPパターンの海氷分布への力学的・熱力学的影響についても発表する予定である。

キーワード: テレコネクションパターン, 西太平洋パターン, オホーツク海, ベーリング海, 傾圧エネルギー変換

Keywords: Teleconnection Pattern, Western Pacific Pattern, Sea of Okhotsk, Bering Sea, Baroclinic Energy Conversion

2012年8月に発生した顕著な北極低気圧：北極低気圧への遷移機構 An Intense Arctic Cyclone in August 2012: A Transition Mechanism to Arctic Cyclone

相澤 拓郎^{1*}, 田中博²

Takuro Aizawa^{1*}, Hiroshi L. TANAKA²

¹ 筑波大学生命環境科学研究科, ² 筑波大学計算科学研究センター

¹Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, ²Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

An intense arctic cyclone in August 2012 is investigated in this study. Especially, we analyzed i) three dimensional structures and ii) mechanisms of the development focused on a transition process to arctic cyclone from extratropical cyclone.

The center pressure of the arctic cyclone decreases to 965 hPa, which is an all-time minimum in August arctic cyclones. In the early phase, the arctic cyclone is a shallow baroclinic cyclone originated with an arctic front of 60 degree north. Then the baroclinic cyclone undergoes the transition process of the arctic cyclone due to the merger with a relatively weak (990 hPa) preceding arctic cyclone. The shallow baroclinic cyclone becomes a deeper and wider barotropic cyclone with a couple of stratospheric warm core and tropospheric cold core. Analyses show that the transition to arctic cyclone plays some important role in the development of the arctic cyclone.

キーワード: 北極低気圧, 温帯低気圧, 遷移過程

Keywords: arctic cyclone, extratropical cyclone, transition process

4倍大気二酸化炭素時の温暖化と極域増幅に対するサブグリッド積雪分布の寄与 The contribution of sub-grid snow distributions to climate change and polar amplification in a quadrupled CO₂ world.

大石 龍太^{1*}, 新田友子¹, 高田久美子¹, 末吉哲男², G. E. Liston³, 阿部彩子⁴

Ryouta O'ishi^{1*}, NITTA, Tomoko¹, TAKATA, Kumiko¹, SUEYOSHI, Tetsuo², G. E. Liston³, ABE-OUCHI, Ayako⁴

¹ 国立極地研究所, ² 海洋研究開発機構, ³ コロラド州立大学, ⁴ 東京大学大気海洋研究所

¹National Institute of Polar Research, ²Research Institute for Global Change, JAMSTEC, ³Colorado State University, ⁴AORI the University of Tokyo

大気大循環モデルを用いた将来気候予測において、積雪被覆の変化は積雪アルベドフィードバックを通じて極域増幅に対して寄与する重要な要素である。本研究では、サブグリッド積雪被覆スキーム SSNOWD(Liston 2004) を大気大循環モデル MIROC の陸面サブモデル MATSIRO に組み込んだ。この SSNOWD を導入した MIROC を用いて産業革命前と 4 倍大気二酸化炭素実験を行い温暖化を推定した。

また、簡易な経験式に基づいて積雪被覆を表現している現行の MIROC による 4 倍大気二酸化炭素実験と比較することで、サブグリッド積雪被覆の導入による large-scale の気候変動と極域増幅に対する寄与を推定した。

キーワード: 積雪被覆, 大気大循環モデル

Keywords: snow cover, GCM

MIROC 気候モデルにおけるフィードバックプロセスの北極域温暖化増幅への寄与 Relative contribution of feedback processes to Arctic amplification of temperature change in MIROC GCM

吉森 正和^{1*}, 渡部 雅浩¹, 阿部 彩子¹, 塩竈 秀夫², 小倉 知夫²

Masakazu Yoshimori^{1*}, Masahiro Watanabe¹, Ayako Abe-Ouchi¹, Hideo Shiogama², Tomoo Ogura²

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 国立環境研究所

¹The University of Tokyo/AORI, ²National Institute for Environmental Studies

The finding that surface warming over the Arctic exceeds that over the rest of the world under global warming is a robust feature among general circulation models (GCMs). While various mechanisms have been proposed, quantifying their relative contributions is an important task in order to understand model behavior and operating mechanisms. Here we apply a recently proposed feedback analysis technique to a GCM under different external forcings including elevated and lowered CO₂ concentrations, and increased solar irradiance. First, the contribution of feedbacks to Arctic temperature change is investigated. Surface air temperature response in the Arctic is amplified by albedo, water vapor, and large-scale condensation feedbacks from that without a feedback although a part of it is suppressed by evaporative cooling feedback. Second, the contribution of feedbacks to Arctic amplification (AA) relative to global average is investigated. Under the positive radiative forcings, the albedo feedback contributes to AA predominantly through warming the Arctic more than the low latitudes while the evaporative cooling feedback contributes to AA predominantly by cooling the low latitudes more than the Arctic. Their relative effects vary with the applied forcing, however, and the latter dominates over the former in the increased solar irradiance and lowered CO₂ experiments. The large-scale condensation plus evaporative cooling feedback and the dynamical feedback contribute positively and negatively to AA, respectively. These results are consistent with an increase and a decrease of latent heat and dry-static energy transport, respectively, into the Arctic under the positive radiative forcings. An important contribution is thus made via changes in hydrological cycle and not via the 'dry' heat transport process. A larger response near the surface than aloft in the Arctic is maintained by the albedo, water vapor, and dynamical feedbacks, in which the albedo and water vapor feedbacks contribute through warming the surface more than aloft, and the dynamical feedback contributes by cooling aloft more than the surface. In our experiments, ocean and sea ice dynamics play a secondary role. It is shown that a different magnitude of CO₂ increase introduces a latitudinal and seasonal difference into the feedbacks.

キーワード: 北極域温暖化増幅, 全球気候モデル

Keywords: Arctic amplification, global climate model

北極温暖化増幅と北極振動 Arctic Amplification and Arctic Oscillation

田中 博^{1*}

Hiroshi Tanaka^{1*}

¹ 筑波大学

¹University of Tsukuba

最近の地球温暖化研究の最前線は、北極圏の温暖化の研究にあると言っても過言ではない。地球温暖化は北極圏で最も顕著に現れ、北極圏で昇温が増幅することから、この現象を北極温暖化増幅と呼ぶ。北極温暖化増幅が起こる原因として、アイス - アルベドフィードバックが考えられてきた。その後の研究ではこの効果を除いても北極温暖化増幅は生じることから、大気と海洋による極向き熱輸送の増大が原因で、アイス - アルベドフィードバックがそれを増幅していると考えられる。この北極温暖化増幅が原因となって、最近では内部変動としての北極振動(AO)が負となっている。北極圏で気温が上昇する一方で、中緯度で気温が低下する大気固有の自然変動が進行している。ここで、北極温暖化増幅の意味を考えてみる。放射平衡から計算される極と赤道の温度差は約 100K もあり、力学的不安定により極域に熱が輸送されることで極域の気温は放射平衡よりも 50K も高くなっている。よって寒い極域が冷却地域になっている。したがって、北極温暖化増幅は、熱の再配分によって最も効率よく地球を冷やすメカニズムなのである。自然変動である北極振動も AO マイナスとなることで地球を冷やす方向に働く。二酸化炭素の増加で地球大気が一様に加熱される中、極向き熱輸送が高まり、海水が融けると、北極温暖化増幅が起こり、AO が負にシフトし、効率よく地球を冷却することから、全球気温の温暖化が足踏み状態となるのである。IPCC - AR4 では、今後 AO は正傾向となると予測されているが、北極温暖化増幅理論から AO は負傾向になるのが正しいと予測される。

キーワード: 北極, 北極振動, 地球温暖化, 北極温暖化増幅, アイスアルベドフィードバック, 熱輸送

Keywords: Arctic, Arctic Oscillation, Global Change, Arctic Amplification, Ice-Albedo Feedback, Heat Transport

グリーンランドの氷河の暗色化とクリオコナイト Darkening glaciers and ice caps in Greenland by cryoconite

竹内 望^{1*}, 植竹 淳², 永塚 尚子², 島田 利元¹

Nozomu Takeuchi^{1*}, Jun Uetake², Naoko Nagatsuka², Rigen Shimada¹

¹ 千葉大学, ² 国立極地研究所

¹Chiba University, ²National Institute of Polar Research

近年、グリーンランド氷床の表面が暗色化していることが注目されている。氷河の暗色化は、アルベドの低下によって日射の吸収を増やし、氷河の融解を促進する効果がある。したがって、暗色化のプロセスを理解することが重要である。暗色化の原因は雪氷面に含まれる不純物と考えられるが、その中でもクリオコナイトとよばれる微生物由来の物質が効果が大きいと考えられる。しかしながら、不純物の実態、起源や形成過程は、まだ明らかになっていない。そこで本研究では、2012年にグリーンランドで行った氷河表面の調査、および衛星画像の解析から、氷河の暗色化の実態と原因を明らかにすることを目的とした。

調査の結果、グリーンランド北西部のカナック氷帽の特に中流部に、顕著な量の不純物が堆積し暗色化していることがわかった。顕微鏡分析の結果、その不純物の大部分は微生物由来のクリオコナイトであった。衛星画像の分析の結果、2000年代初期に比べても、2010年以降、顕著に暗色化していることがわかった。2004年と2012年の画像の比較の結果、不純物量に換算すると1 m²あたり約30 gの不純物が増えていると見積もられた。この不純物の増加には、雪線の後退、シアノバクテリアという微生物の増加などが原因として考えられる。

キーワード: グリーンランド, 氷河, 氷床, 微生物, アルベド

Keywords: greenland, glacier, icesheet, microbes, albedo

グリーンランド SIGMA-A で観測された積雪粒径と不純物濃度がアルベドに与える効果

Possible effects of snow grain size and snow impurity concentration on the albedo measured at SIGMA-A in Greenland

青木 輝夫^{1*}, 的場 澄人², 山口 悟³, 谷川 朋範⁴, 庭野 匡思¹, 山崎 哲秀⁵, 朽木 勝幸¹, 本山 秀明⁶, 堀 雅裕⁴

Teruo Aoki^{1*}, Sumito Matoba², Satoru Yamaguchi³, Tomonori Tanikawa⁴, Masashi Niwano¹, Tetsuhide Yamasaki⁵, Katsuyuki Kuchiki¹, Hideaki Motoyama⁶, Masahiro Hori⁴

¹ 気象研究所, ² 低温科学研究所, ³ 防災科学技術研究所, ⁴ 宇宙航空研究開発機構, ⁵ 北極探検家, ⁶ 国立極地研究所

¹Meteorological Research Institute, ²Institute of Low Temperature Science, ³National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ⁴Japan Aerospace Exploration Agency, ⁵Arctic Explorer, ⁶National Institute of Polar Research

Snow and ice in the Arctic are presently undergoing drastic changes. The snow surface albedo strongly depends on snow grain size and mass concentration of light absorbing impurities. To clarify the contributions of light absorbing snow impurities to recent abrupt melting of snow/ice in Greenland, intensive observations of meteorological and snow parameters have carried out at the site SIGMA-A (78°03'N, 67°38'W, 1,490 m a.s.l.) on northwestern Greenland ice sheet during the intensive observation period (IOP) from June 26 to July 16, 2012. We installed automatic weather station to measure the meteorological elements, radiation budget, snow temperatures, and relative snow height. We have also performed snow pit work and snow samplings for light absorbing snow impurities. During the IOP no precipitation was observed in the first two weeks and a large amount of rainfall with remarkable lowering of snow surface was observed in the middle of July, when a melting event of surface snow/ice over 97% of Greenland ice sheet occurred. Snow grain shapes observed from snow pit work for snow layer of about 80 cm (annual accumulation) changed from melt forms for upper layer and depth hoar beneath that to melt forms for all layers during the IOP. Light absorbing snow impurities found from snow samples were black carbon (BC) and mineral dust, whose concentrations at surface were both increased from 0.9 ppbw to 4.9 ppbw and from 102 ppbw to 1327 ppbw during the IOP, respectively. We calculated the possible albedo reduction by the measured snow impurity concentrations using a physically based snow albedo model. The maximum albedo reduction due even to EC of 4.9 ppbw is less than 0.01 for typical grain size of melt forms, while it could be enhanced by the effect of dust of 1327 ppbw. BC equivalent total impurity concentration is estimated to be about 15 ppbw (albedo reduction -0.015). This result was consistent with the albedos measured during the IOP. The particle size of mineral dust found in surface snow during the latter half period of IOP was larger than 5 micrometers. This indicates a possible transport of mineral dust onto ice sheet surface. Mineral dust is important as nutrient salt for glacial microbial activities, which reduce the albedo in ablation area and could accelerate the melting of ice sheet.

キーワード: グリーンランド, アルベド, 積雪粒径, 光吸収性積雪不純物, 黒色炭素, ダスト

Keywords: Greenland, albedo, snow grain size, light absorbing snow impurities, black carbon, dust

積雪変質モデルを用いた、2012年夏期の北西グリーンランド SIGMA-A における急激な表面融解の解析

Assessing the extreme surface melt at SIGMA-A, northwestern Greenland during 2012 summer using a physical snowpack model

庭野 匡思^{1*}, 青木 輝夫¹, 的場 澄人², 山口 悟³, 谷川 朋範⁴, 本山 秀明⁵, 朽木 勝幸¹

Masashi Niwano^{1*}, Teruo Aoki¹, Sumito Matoba², Satoru Yamaguchi³, Tomonori Tanikawa⁴, Hideaki Motoyama⁵, Katsuyuki Kuchiki¹

¹ 気象研究所, ² 北海道大学 低温科学研究所, ³ 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター, ⁴ 宇宙研究開発機構 地球観測研究センター, ⁵ 国立極地研究所

¹Meteorological Research Institute, ²Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ³Snow and Ice Research Center, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ⁴Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency, ⁵National Institute of Polar Research

It is reported that extreme surface (or near surface) melt occurred on the Greenland Ice Sheet (GrIS) across 98.6 % of its entire extent on around 12 July 2012. At the site SIGMA-A (78°03'N, 67°38'W, 1,490 m a.s.l.), which locates on northwest part of GrIS, we also observed near-surface melt, and accompanying rapid surface lowering especially during the latter half of our intensive field observation carried out from 26 June to 16 July. In this study we focus extreme near-surface melt occurred during 10 to 13 July at SIGMA-A. During the period average air temperature rose noticeably compared to the first half of the expedition period (30 June to 9 July) by about 1.6 °C, and we encountered heavy rain on snow event. Furthermore, near-surface mass concentrations of snow impurities (black carbon and dust) slightly increased to about 4.9 ppbw and 1327 ppbw, respectively.

In order to understand the detailed mechanism of the extreme near-surface melt, we employed a physically based 1-D snowpack model named Snow Metamorphism and Albedo Process (SMAP) forced by in-situ meteorological and snow data, and performed numerical sensitivity tests to assess relative contributions of temperature rise (Test-I), rain fall (Test-II), and snow impurities (Test-III), which can heat near-surface snowpack. SMAP with the default setting (CTL) was already tested using these data and we obtained reasonable results (root mean square errors for shortwave albedo and snow surface temperature were 0.024 and 0.373 °C, respectively) during 30 June to 14 July. In the Test-I input air temperature was reduced by 1.6 °C and downward longwave radiant flux was also modulated accordingly. For the Test-II we input no precipitation. Finally, in the Test-III we performed "pure snow" run where no snow impurities were input to drive SMAP.

Comparing each result by these sensitivity tests (Test-I, Test-II, Test-III) against that by CTL, and found average reductions in shortwave albedo (0.000, -0.003, and -0.013) and average increases in snow surface temperature (0.106 °C, 0.000 °C, and 0.002 °C) due to temperature rise, precipitation, and snow impurities, respectively during 10 to 13 July at SIGMA-A. These results indicate that albedo reduction is mainly caused by snow impurities, however, its extent is not sufficiently large to modulate surface energy balance dramatically. Instead, temperature rise increases net longwave radiant flux and sensible heat flux at the snow surface and heat the surface significantly, suggesting that temperature rise played an important role in the extreme surface melt at SIGMA-A during 10 to 13 July.

Keywords: Greenland, extreme melt event, snowpack model, snow albedo, snow surface temperature

3次元氷床モデルより求められた氷床融解史によるグリーンランドの地殻変動 Crustal rebound in Greenland inferred from ice sheet history derived from three-dimensional ice sheet modelling

奥野 淳一^{1*}, 齋藤 冬樹², 阿部 彩子³, 高橋 邦生²

Jun'ichi Okuno^{1*}, Fuyuki SAITO², Ayako Abe-Ouchi³, Kunio Takahashi²

¹ 国立極地研究所, ² 海洋研究開発機構, ³ 東京大学大気海洋研究所

¹NIPR, ²JAMSTEC, ³AORI, Univ. Tokyo

It is very important to determine the temporal variation of meltwater volume and the spatial extent of ice sheets in late Quaternary for studying past and future climate changes and for constraining mantle rheology. Most of the melting histories of ice sheets from Last Glacial Maximum have been inferred on the basis of geophysical and geological constraints (e.g., Peltier, 2004) using the glacial isostatic adjustment (GIA) modelling. However, such reconstructions have ice thickness that is unconstrained in regions from which the required geophysical data are unavailable and furthermore insufficient constraint that might support them to be glaciologically self-consistent. And also there are some difficulties in the geophysical reconstructions that are the ambiguity between ice load magnitude and the timing of ice load removal.

On the other hand, three-dimensional ice-sheet modelling (e.g., Abe-Ouchi et al. 2007) produces physically self-consistent ice sheet which further constrains the history and spatial variations of the load, but have difficulties due to their high sensitivity to the various climate forcing as well as from uncertainties associated with basal processes. However, it is clear that the combination of these two approaches would be expected to lead to a much more highly constrained reconstruction of ice sheet history.

In this study, we try to combine the two methodologies based on the three-dimensional thermo-mechanically coupled ice-sheet model and the bedrock deformation derived from GIA model. As a first step, we evaluate the crustal deformation in Greenland based on the ice models deduced by ICIES (Ice sheet model for Integrated Earth system Studies: Abe-Ouchi et al., 2007). Crustal deformation includes vertical uplift and subsidence, geoid height variations, and regional sea level variations along the coasts of Greenland. We compare the sensitivity of the adoption of ice sheet histories. In particular, we clarify the effect of Laurentide ice sheet on crustal deformation in Greenland.

キーワード: グリーンランド氷床, 氷床モデル, アイソスタシー, 地殻変動, 海水準変動

Keywords: Greenland Ice Sheet, ice sheet modelling, isostasy, crustal deformation, sea level change

アラスカにおける大規模森林火災発生時の気象条件 Weather Conditions for Large Scale Forest Fire Occurrence in Alaska

早坂 洋史^{1*}

Hiroshi Hayasaka^{1*}

¹ 北海道大学工学研究院

¹ Graduate School of Hokkaido University

近年の気候変動に伴いアラスカでは大規模な森林火災が頻発する傾向が見られる。この背景には、温暖化傾向下での雷の発生回数の増加などの影響があると考えられる。本研究では、アラスカ火災局 (AFS) の有する 1956 年からの火災データと、2000 年頃からの雷データとを分析し、アラスカの大規模な森林火災の発生特性を明確にすると共に、大規模な火災の発生した気象条件につき考察を加えた。

アラスカは北緯 60 度以北に位置するが、夏には最高気温が 30 度を越え雷が発生する。一日に雷が 1 万回以上発生する日もあり、雷が原因で北方林に火災が発生する。実際に 2004 年のアラスカ最大の大火災では、雷による大規模な火災で 26,700km² が燃えた。9 箇所の焼損面積 1,000km² を越す、大規模な火災が記録的な高温と強い日照り下で発生した。2004 年の全焼損面積は、アラスカで 1956 年に記録を取り始めてからの最大のものとなった。2005 年の焼損面積、19,000km² と足し合わせた、この 2 年での焼損面積は、アラスカの森林面積の 10 % に相当した。

大規模な火災年の気象条件を明確にするため、1956 年から 2012 年の過去約半世紀の火災を分析した。その結果、年間焼損面積が 5,000km² を越した大火災年は、上述の 2004 や 2005 年などの 11 年であった。これらの年の火災発生傾向から、アラスカでは、大規模な火災は主に 6 月に発生していることが明らかになった。さらに、11 大火災年における、この他の火災と気象条件について詳しく調べた。

キーワード: 森林火災, 雷, アラスカ

Keywords: Forest Fire, Lightning, Alaska

アラスカにおける亜寒帯林の植生物理量に対する ALOS/PALSAR の後方散乱強度の感度

Sensitivity of backscatter intensity of ALOS/PALSAR to biophysical parameters of boreal forests in Alaska

鈴木 力英^{1*}, 金 龍元², 石井 励一郎¹

Rikie Suzuki^{1*}, Yongwon Kim², Reiichiro Ishii¹

¹ 海洋研究開発機構 地球環境変動領域, ² アラスカ大学フェアバンクス校 国際北極圏研究センター

¹Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks

アラスカの亜寒帯林において、衛星 ALOS のマイクロ波合成開口レーダー PALSAR の観測から得られる後方散乱強度が、森林の植生物理量(地上部バイオマス、樹高、胸高直径、立木密度)に対して、どの程度感度を持っているかを調べた。アラスカの中央を南北に貫く西経 150 度線におおかた沿う、内陸部の亜寒帯林から北部のツンドラへのエコトーンにおける 29 か所の森林で 2007 年に調査を行った。ビッターリッヒ法とビッターリッヒ法によって選定される立木の胸高直径と樹高を測定する方法を組み合わせ、植生物理量を現地で測定した。得られた測定値を ALOS/PALSAR の後方散乱強度と比較した。その結果、森林地上部バイオマスについては HV モードの後方散乱強度との間に強い相関が発見された。しかし、森林地上部バイオマスがおよそ 120.7 Mg/ha を超えると後方散乱強度は飽和してしまい、十分な感度が得られなくなることが分かった。同様に樹高や胸高直径と HV モードの後方散乱強度との間にも強い相関が見られたが、立木密度に関しては明瞭な相関は得られなかった。なお、HH モードの後方散乱強度は、すべての植生物理量に関して相関が弱かった。過去の同様の研究と比較して、森林地上部バイオマスに対する HV モードの後方散乱強度は強めであった。これは、アラスカの亜寒帯林の林床が Tussock などによって凸凹しており、その微地形の影響で後方散乱が強くなっているようである。HV モードの後方散乱強度に基づき、対象地域の森林地上部バイオマスが地図化された。大局的に見て、南部の亜寒帯林から北部のツンドラへの植生変化に従い、森林地上部バイオマスが小さくなる傾向があることが分かった。

キーワード: エコトーン, クロトウヒ林, 森林地上部バイオマス, 合成開口レーダー, ビッターリッヒ法

Keywords: ecotone, black spruce forest, forest above-ground biomass, synthetic aperture radar, Bitterlich method

航空レーザー測距の反復によるカナダ北西部南北750km トランセクトの8年間のバイオマス変化の推定

Estimation of biomass change by multi-temporal airborne laser profiling along S-N 750 km transect in northwestern Canada

都築 勇人^{1*}, 末田 達彦¹, ロス・ネルソン²
 Hayato Tsuzuki^{1*}, SWEDA, Tatsuo¹, NELSON, Ross F.²

¹ 愛媛大学農学部, ² 米国航空宇宙局生物圏科学部門
¹Faculty of Agriculture, Ehime University, ²Biospheric Sciences Branch, NASA

Multi-temporal airborne laser profiling missions over S-N 750 km transect along the Dempster highway from Dawson (64.0 degrees N, 138.8 degrees W), Yukon Territory to Inuvik (68.3 degrees N, 133.5 degrees W), Northwest Territories in Canada were conducted in summer of 2003 and 2011 for estimating terrestrial biomass change and monitoring how northern plants respond to possible global warming. By processing original surface profiles of the term-head and end missions, vegetation profiles were obtained as a difference between surface and ground profiles. Then standing stock, and aboveground biomass every 100 m along transect at the term-head and end were obtained by applying equation those vital indices measured at 80 sample plots on ground against average laser vegetation height. Average vegetation height, standing stock and biomass entire 750 km transect were increased from 0.51 m, 15 m³/ha and 9.0 ton d.m./ha in 2003 to 0.81 m, 23 m³/ha and 14.0 ton d.m./ha in 2011 as average annual increment of 0.037 m, 1.1 m³/ha and 0.64 ton d.m./ha. Biomass increment was much larger in forest dominated section (0-70 km from Dawson; nearly 2 ton d.m./ha/year) than tundra dominated section (450-550 km from Dawson; 0.1 ton d.m./ha/year). Air temperature and warmth index in recent 25 years have been rising 0.34 degrees and 1.2 degrees-month (more than 0 degrees Celsius in mean monthly temperature) in Dawson, 0.63 and 0.3 in Eagle plains (the middle point of transect), and 0.78 and 1.9 in Inuvik respectively and which supports soil temperature should have also been rising in this area. Both the air and soil temperature rising causes the releasing growth limitation of plants in this region. However, biomass carbon loss from forest fire seems not significant at least along the laser transect from year 2003 to 2011 from the combination of analysis of multi-temporal airborne laser profiling data set, fire history map from Yukon Territory, and observation from the air and ground.

キーワード: カナダ亜寒帯林, 周極域, 温暖化, バイオマス変化, 航空レーザー測距法, 多時点測定
 Keywords: Canadian boreal forest, circumpolar, global warming, biomass change, airborne laser altimetry, multi-temporal measurement

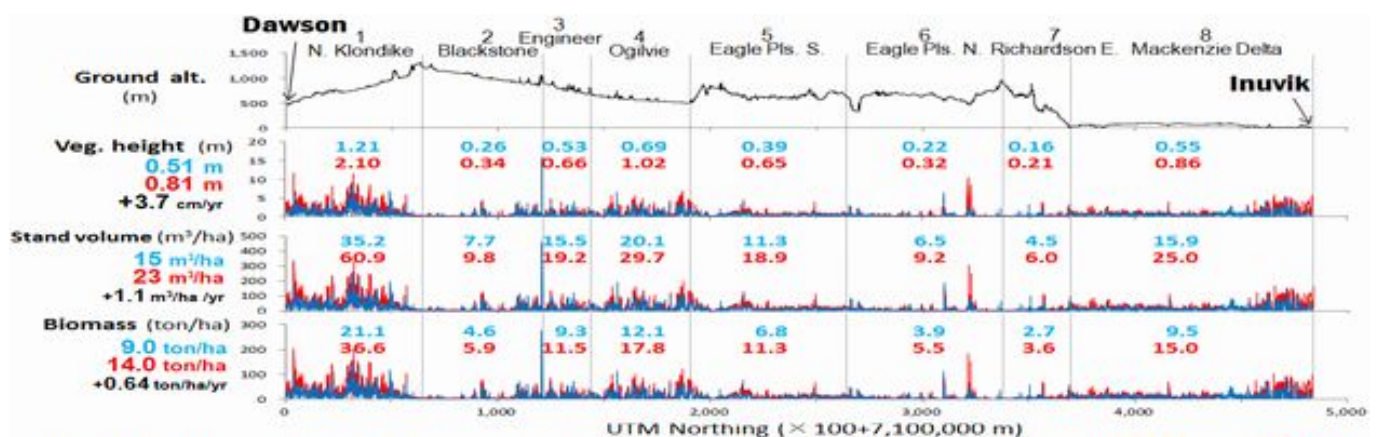


Figure Vegetation height, stand volume, and aboveground biomass in 2003 and in 2011

2005年から2008年のレナ川河川流量と正味降水量の変化

Changes in the Lena River discharge and net precipitation over the basin during 2005-2008

大島 和裕^{1*}, 飯島 慈裕², 堀 正岳², 猪上 淳³, 檜山 哲哉¹

Kazuhiro Oshima^{1*}, Yoshihiro Iijima², Masatake E. Hori², Jun Inoue³, Tetsuya Hiyama¹

¹ 総合地球環境学研究所, ² 海洋研究開発機構, ³ 国立極地研究所

¹Research Institute for Humanity and Nature, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³National Institute of Polar Research

東シベリアに位置するレナ川の河川流量は、海水生成や海洋大循環にとって重要な北極海の淡水収支に対して、大きな供給源の一つである。その流量は、他の河川流量や正味降水量（降水量と蒸発散量の差）、海流を含めた全淡水流入量の約7%を占めている。レナ川中流のヤクーツク周辺では2005年から2008年にかけて降水量が多く、これと関連して洪水の拡大や凍土活動層の深化といった顕著な陸域水循環変化が観測された。一方で同期間にレナ川河口の流量と流域全体で平均した正味降水量は多かった。そこで本研究では、前者のローカルな変化と後者の流域の広域にわたる変化との関係を明らかにするため、広域な水蒸気輸送や大気循環、低気圧活動との関係を調べ、それらの変化の原因を検討した。

過去30年間のレナ川における年平均の流量と正味降水量の経年変動は、両者に3か月程度の時間ラグがあるものの、強い正相関を示し、振幅も同程度である。これらの変動は降水量とも強い正相関を示す。よって、レナ川河川流量の経年変動は、蒸発散量や陸水貯留量の影響をあまり受けず、降水量によってコントロールされている。

月平均の変動においても、レナ川流域で平均した正味降水量は、同領域における水蒸気フラックス収束や降水量と強い正相関を示す。さらに日平均降水量データを解析すると、月平均の降水量は、強い降水の日数との相関が強く、強い雨に依存していることがわかった。これらの時系列を1997年から2010年の14年間で比較すると、2005年から2008年間の降水量は幾つかの月で多く、ヤクーツク周辺での観測結果と整合する。また、降水日数は2005年と2006年に少なく、2007年に多かった。この結果は年ごとや月ごとに大きな降水量をもたらしたプロセスが異なることを示唆する。

月平均の降水量が1番目と2番目に多かった2006年8月と2005年8月を例に解析した結果、この2か月間は降水量と水蒸気フラックス収束が多く、強い降水日数が多かった。しかし、成分分けをした水蒸気フラックス収束の寄与は異なっており、2005年8月は全水蒸気フラックス収束に対して擾乱成分が大きく寄与し、2006年8月は定常成分の寄与が大きかった。これらの違いは東シベリア域の水蒸気フラックス場および大気循環場の偏差においても確認された。これらの結果から、2005年8月は低気圧活動に伴う水蒸気輸送によって強い降水がもたらされ、一方で2006年8月は平均的な大気の大規模循環に伴う水蒸気輸送によって強い雨がもたらされたと考えられる。

今後は低気圧トラッキングデータを解析することで、水蒸気輸送の擾乱成分や強い降水と低気圧活動との関係を調べる。また、2005年から2008年の間で降水量が多かった期間は今回解析した2か月間だけでなく、他の期間の解析は今後の課題である。

キーワード: 東シベリア, 近年変化, 河川流量, 正味降水量, 低気圧活動

Keywords: Eastern Siberia, Recent Change, River Discharge, Net Precipitation, Cyclone Activity

東シベリアにおける野生トナカイの生態変動とその影響

Ecological changes and their influences of wild reindeer populations in eastern Siberia

立澤 史郎^{1*}, オクロブコフ・イノケンティ², トロエバ・エレナ², キリリン・イゴール², ニコラエフ・イゴール², ソロモノフ・ニキータ²

Shirow TATSUZAWA^{1*}, OKHLOPKOV, Innokentiy M.², TROEVA, Elena I.², KIRILLIN, Egor V.², NIKOLAEV, Egor A.², SOLOMONOV, Nikita G.²

¹ 北海道大学大学院文学研究科, ² ロシア科学アカデミー寒冷地生物問題研究所

¹Graduate School of Letters, Hokkaido University, Japan, ²Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Russia

北極圏および亜北極圏には、大規模な季節移動で知られるトナカイ *Rangifer tarandus* が広域分布し、多くの北方先住民がそれを糧として暮らしてきた。しかし近年の急激な気候変動は、北方文化を支えてきたこの大型草食獣の生態や生活史を変化させ、“トナカイの民”の暮らしや社会も変容しつつある。本講演では、ロシア連邦の全国土面積の5分の一を占めるサハ共和国における、1) 野生トナカイの生態変化の実態とその要因、2) それらが生態系におよぼしつつある影響、3) 1および2が先住民の生活や社会に及ぼす影響、について報告する。演者らは、東シベリアでもとりわけ著しい密度変動を示しているオレニョク地方の野生トナカイ個体群を対象とし、衛星テレメトリ法によって毎年の季節移動の実態を追跡している。その移動ルートは毎年変動するだけでなく、かつて報告された数千頭以上にも及ぶような大集団ではなく少数集団で分散的に移動し、しかも wondering 行動が頻繁に見られた。また、季節移動時のトナカイの利用植生を検討したところ、いわゆるトナカイゴケの資源量が豊かなハビタットを選択し、かつ、人為的な影響の大きい場所を避ける傾向が顕著であった。これらの結果から、直接的には近年の気候変動によるトナカイゴケ植生の衰退と土地開発の進行が、野生トナカイの季節移動行動を攪乱していると考えられた。このようなトナカイの行動パターンの変化は、トナカイ集団の増加率を低下させるだけでなく、局地的な高密度化（稀少植生への採食圧・踏圧の上昇）、野生トナカイ狩猟の高コスト化、ジャコウウシ（絶滅危惧種）との競合強化、さらにはオオカミ個体群の分布拡大や家畜被害の増加などを引き起こしており、生態系管理、北方少数民族の権利保全など、複合的な政策が求められる。

キーワード: 東シベリア, 野生トナカイ, 行動圏, 地球温暖化, 北方少数民族, 植生

Keywords: eastern Siberia, wild reindeer, migration, global warming, northern indigenous peoples, vegetation

GRENE 北極気候変動プロジェクトにおける雪氷研究 CRYOSPHERIC STUDY IN THE GRENE-ARCTIC PROJECT

榎本 浩之^{1*}
Hiroyuki Enomoto^{1*}

¹ 榎本浩之
¹Hiroyuki Enomoto

GRENE 北極気候変動研究プロジェクトにおいて、北極圏の積雪・氷河・氷床の研究が開始した。2012年から2013年にかけて、グリーンランド、シベリア、アラスカ、スカンディナビアにおける観測と記録計設置、衛星観測などが実施されている。各地の観測結果から、将来予測のためのモデル計算につなぐ計画が進められている。2012年夏季には北極圏での雪氷減少や融解が多数報告された。現地に展開していた観測グループは各地域でのそれらの観測を実施することができた。本発表では2012-13年の観測活動の紹介と各地域の変動関連性を北極圏全体の現象から議論する。

キーワード: 北極, 雪氷圏, 積雪, 氷河, 氷床
Keywords: Arctic, Cryosphere, snow, glacier, ice sheet

MIROC-ESMを用いた過去1000年シミュレーションにおけるシベリア雪氷圏の変動 The variation of the Siberian cryosphere in the Last Millennium experiment using MIROC-ESM

末吉 哲雄^{1*}, 大垣内 るみ¹, 吉森 正和², 羽島 知洋¹, 近本 めぐみ³, 阿部 学⁴, 岡島 秀樹¹, 齋藤 冬樹¹, 大石 龍太², 山本 彬友², 渡邊 真吾¹, 河宮 未知生¹, 阿部 彩子²

Tetsuo Sueyoshi^{1*}, Rumi Ohgaito¹, Masakazu Yoshimori², Tomohiro Hajima¹, Megumi O. Chikamoto³, Manabu Abe⁴, Hideki Okajima¹, Fuyuki SAITO¹, Ryouta O'ishi², Akitomo Yamamoto², Shingo Watanabe¹, Michio Kawamiya¹, Ayako Abe-Ouchi²

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 東京大学大気海洋研究所, ³ ハワイ大学国際太平洋研究センター, ⁴ 国立環境研究所
¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ² Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo,
³ International Pacific Research Center, University of Hawai'i, ⁴ National Institute for Environmental Studies

1. はじめに

本研究では、MIROC 開発チームによって開発されている地球システム統合モデル MIROC-ESM を用いた過去 1000 年再現実験 (Last Millennium Experiment: 以後 LM と略記) の結果を解析し、モデルで再現される雪氷圏の応答を確認するとともに、可能な範囲で古気候指標データとの比較を行う。この実験で扱う西暦 850 年以降の期間には、ヨーロッパ地域が中世にやや温暖だったとされる「中世温暖期」や、ほぼ全球的に寒冷な気候が続いたとされる「小氷期」が含まれており、特に雪氷圏に関しては、小氷期の気候がどの程度再現されるかが課題になる。

2. モデルと境界条件

2.1 モデルの構成

本研究で用いるモデルは、東京大学・海洋研究開発機構・国立環境研究所を中心に継続的に開発が行われている大気海洋結合大循環モデル MIROC を地球システムモデル化した、MIROC-ESM(*1) である。水平解像度 T42 (2.8°格子)・80 層の大気モデルと中解像度 (0.5-1°×1.4°) の海洋モデルをベースに、6 層 14m の 1 次元陸面モデル MATSIRO、陸上動態植生モデル SEIB-DGVM、エアロゾル輸送モデル SPRINTARS、及び海洋生態系モデルを統合したものである。陸面モデルでは、雪面・氷床上での融解水によるアルベド低下、並びにダストおよびブラックカーボンの沈着によるアルベド低下を考慮している。

2.2 初期値と境界条件

実験設定は Paleoclimate Modelling Intercomparison Project Phase III (PMIP3) の仕様に従い、西暦 850 年から西暦 2000 年まで、時間変化する境界条件を与えて時間発展問題として実施した。与える境界条件は軌道要素、太陽の日射量変動、火山活動の影響、温室効果ガス濃度が含まれる。本実験では大気 CO₂ 濃度については強制条件とせず、炭素循環コンポーネントが予報した値を大気モデルの放射過程で参照する、CO₂ 濃度予報実験とする。

初期値としては、大気海洋陸面とも、Preindustrial Control と呼ばれる 1850 年条件の標準実験から開始してスピニングを行った。西暦 850 年と 1850 年では強制条件の値が似通っており、地形などの境界条件に変更はないため、60 年分のスピニングで大気物理場が平衡に達したのちに本実験へと移行した。

3. 予備的な結果と今後の展望

得られた結果の中から、シベリア地域の雪氷圏に関わる変数について予備的な解析を行った。

20 世紀の温暖化は顕著であり、これにともなって積雪量の減少が起きていることが示されている。降水量全体としては変化は少なく、降水中の雨/雪比率の違いが原因である。この結果は、流出量の季節変動にも影響している。

一方、この実験では小氷期は顕著には現れておらず、これは今回の実験仕様で太陽放射の復元が変化の少ないものになったことに起因していると考えられる。

参考文献

*1) Watanabe, et al. (2011): MIROC-ESM: model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments, Geosci. Model Dev. Discuss., 4, 1063-1128, 2011

キーワード: 地球システム統合モデル, 過去 1000 年, 気候変動, 雪氷圏

Keywords: Earth System Model, Last Millennium, climate change, cryosphere

東シベリアタイガ-ツンドラ境界の環境傾度と植物の分布

Vegetation distribution along environmental gradient at taiga-tundra boundary ecosystem in eastern Siberia

両角 友喜^{1*}, 梁 茂¹, 新宮原 諒¹, 鷹野 真也¹, 鄭 峻介¹, 杉本 敦子¹

Tomoki Morozumi^{1*}, Maochang Liang¹, Ryo Shingubara¹, Shinya Takano¹, Shunsuke Tei¹, Atsuko Sugimoto¹

¹ 北海道大学大学院環境科学院/地球環境科学研究所

¹ Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University

北極圏における気温上昇に伴い予想される北極生態系の変化について、北極圏の生態系は炭素の蓄積や温室効果ガスの放出に大きな役割を果たしており、気候変動の影響を強く受けるとし、さらに気候変動による北極圏森林限界の北上を予想されている。これらの気候変動をうけて、物質循環の観点から北極圏陸上生態系の変化の研究がアラスカや北欧をはじめ各地でなされているが、世界最大最深の永久凍土帯であり、広大な森林を持つシベリアの森林限界域における研究はまだそれほど多くはない。そこで、本研究は北極圏のタイガ-ツンドラ植生の境界にみられる森林限界域のカラマツ林において、環境変動による生態系の変化をとらえることを目指し、森林限界での環境傾度に対する植生分類と植物種の分布に大きな影響を及ぼす植物種を探ること、植生に関わる物質循環を読み解くために植物の化学的な環境応答の解析を行った。

ここでは植生と環境傾度の対応関係の解明をめざし、典型的な植生を含むトランセクトにおいて種とバイオマスの分布の特徴を土壌水分に着目し植物葉の炭素及び窒素含有量・同位体比と合わせて調べた。

水分環境傾度に沿って植物種の分布を見ると、分布する水分傾度の広さは植物種ごとに異なっていた。ここでは植生を4つの群落タイプに分けることができ、最も乾燥した場所で Tree mound(Larix, Orthilia etc.)、Shrub(Betula etc.)、Sphagnum(Petasites etc.)、最も湿潤な Hollow (Carex etc.) となった。また、水分傾度の中間域にミズゴケが優占することで、コケを除く植物の葉面積や乾重量が減少した。

Rubus(キイチゴ属)を除く草本植物、ヤナギ、ミズゴケ及びその他の蘚苔類は湿潤な場所で生育するものほど delta 13C が高くなる傾向は見られた。

分類群ごとの delta 15N 値の違いは共生根菌のタイプに依存すると考えられている。水分との関係では、ヤナギについて N 含量は湿潤になるにつれて減少した。同じく水分中間域において、草本及び木本双子葉類、蘚苔類は、N 含量が減少し優先するミズゴケが優占し、N 循環の違いをもたらしていると考えられる。

キーワード: 北極圏植生, 炭素窒素同位体, カラマツ林, 環境傾度, 生態系変動, 泥炭湿原

Keywords: arctic vegetation, C / N isotope, Larch forest, environmental gradient, ecosystem change, peatland

東シベリアのカラマツ林2サイトにおける過去150年間のカラマツ年輪幅と炭素同位体比 Tree growth and tree-ring delta-13C over the past 150 years at two larch forests in eastern Siberia

鄭 峻介^{1*}, 杉本 敦子², 米延 仁志³, Maximov Trofim⁴
Shunsuke Tei^{1*}, Atsuko Sugimoto², Hitoshi Yonenobu³, Trofim Maximov⁴

¹ 北海道大学大学院環境科学院, ² 北海道大学地球環境科学研究所, ³ 鳴門教育大学大学院学校教育研究科, ⁴ Institute for Biological Problems of Cryolithozone of Siberian Branch of Russian Academy of Science

¹Graduate School of Environmental Science., Hokkaido Univ., ²Faculty of Environmental Earth Science., Hokkaido Univ., ³College of Education, Naruto University of Education, ⁴ Institute for Biological Problems of Cryolithozone of Siberian Branch of Russian Academy of Science

Global climate change scenarios predict an increase in average global precipitation in the present century and this change will be most pronounced in high latitudes [IPCC, 2007]. Previous studies reported that decrease in precipitation with global warming cause quite severe drought stress and consequently significant reduction of tree growth [e.g. Barber et al., 2000; Sarris et al., 2007]. However, it is not clear whether increase in precipitation causes better tree growth even under global warming, especially in dry region like as eastern Siberia. Here, we report an analysis of larch tree-ring width and delta-13C over the past 150 years in eastern Siberian.

Radial growth and delta-13C of larch tree rings were measured at two larch dominated forests; Yakutsk (YK; 62N, 129E) and Elgeei (EG; 60N, 133E) in eastern Siberia.

Negative responses of larch tree growth to summer temperature were observed in YK for the past 100 years, which may be explained as temperature-induced drought stress [Barber et al., 2000]. On the other hand, larch trees in EG had shown no negative response to summer temperature probably due to large summer precipitation until 1990. However, the negative response with rapid temperature rise was observed after 1990 even in EG. Since 1990, higher tree ring delta-13C revealed iWUE (intrinsic water-use efficiency) improvements at both two sites sharply. These results indicate that higher temperature after 1990 cause more severe drought resulting in great improvement of iWUE and reduction of tree growth, suggesting that the improvement of iWUE seem to be insufficient to compensate for the negative effects of the increasing water limitation on growth.

Therefore, even if precipitation increases, reduction of larch tree growth and in consequence the fall of the carbon assimilation of a forest in eastern Siberia under global warming might be expected.

キーワード: タイガ林, カラマツ, 年輪, 炭素同位体比, 温暖化, 乾燥

Keywords: Taiga forest, Larch, Tree ring, Carbon isotope ratio, Global warming, Drought

東シベリアカラマツ林における二酸化炭素吸収特性 - 群落構造と地中環境の影響 Carbon dioxide exchange of larch forest at eastern Siberia - effect of canopy structure and soil environment

林美晴¹, 小谷 亜由美^{1*}, 太田 岳史¹

Miharu Hayashi¹, Ayumi Kotani^{1*}, Takeshi Ohta¹

¹ 名古屋大学生命農学研究科

¹ Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University

東シベリア地域の2ヶ所の森林における二酸化炭素フラックスの観測値を用いて、群落 CO₂ 吸収量の環境応答の比較と、その時間変動に対する影響要素の抽出を行なった。いずれの森林も高木のカラマツを中心に、中・低木のシラカンバやヤナギで構成されるが、樹高や植物量、樹種構成には違いがある。2 サイト間では大気環境の違いは小さいが、土壌特性には違いがあり凍土融解や土壌水分量が異なる。2 サイトでの個葉スケールの光合成能力には違いがみられなかったが、群落 CO₂ 吸収量には最大 1.5 倍の違いがあり、群落内の葉量の違いによるものと考えられる。群落 CO₂ 吸収量の環境応答を比較すると、光合成有効放射量、気温、大気飽差に対する応答に違いがみられた。カラマツの樹冠面積が比較的大きく、林内の中・低木の樹冠への透過光が少ないサイトではカラマツの応答特性が、カラマツの樹冠が疎で林内への透過光が比較的大きいことに加えて、シラカンバの構成比が大きいサイトではシラカンバの応答特性が、群落スケールの応答に現われていた。夏季の群落 CO₂ 吸収量の変動を説明する環境要素を重回帰分析(変数選択)によって抽出したところ、上記のカラマツ応答のサイトでは光合成有効放射量が、シラカンバ応答のサイトでは地温が、CO₂ 吸収量の変動を説明する主要因であった。また、サイト間の違いも含めた変動を説明する要素は、主に土壌水分と地温であった。

キーワード: 東シベリア, 北方林, 群落光合成

東シベリアタイガ ツンドラ境界における凍土及び表面水の安定同位体比の観測 Observations on stable water isotopes in permafrost and surface water in taiga-tundra boundary ecosystem of northeastern

鷹野 真也^{1*}, 岩花 剛², 鄭 峻介¹, 新宮原 諒¹, 杉本 敦子³

Shinya Takano^{1*}, Go Iwahana², Shunsuke Tei¹, Ryo Shingubara¹, Atsuko Sugimoto³

¹北海道大学大学院環境科学院, ² アラスカ大学国際北極圏研究センター, ³ 北海道大学大学院地球環境科学研究院

¹Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, ²IARC, University of Alaska, ³Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

ユーラシア大陸北東部に位置する東シベリアは世界最大の永久凍土帯であり、永久凍土は東シベリアの水循環システムの中で重要な役割を担っている。東シベリアを北極海に向かって流れる Indigirka 川は流域が北極圏内にあり、中下流域に低地が広がっている。地球温暖化により永久凍土のシステムの攪乱が懸念されているが、それにより水循環や物質循環、植生の変化にまで影響が及ぶ可能性があり、低地の広がる Indigirka 中下流域ではその影響が極めて大きいと予想される。永久凍土帯での水循環システムや水の安定同位体比を用いた研究は報告されるようになってきたが、東シベリアでの研究例はまだ少なく、知見は極めて限られている。そこで本研究では 2009~2012 年に、Indigirka 下流部の村 Chokurdakh 周辺に 6ヶ所の観測サイトを設定し、河川と陸の間の水の動き、及び氷の形成と融解過程を明らかにすることを目的として河川水や土壌水、凍土の水(氷)、降水を採取し、その水素・酸素同位体比を測定した。また地温・土壌水分の他に植生や微地形、比高を観測した。

観測サイトには湿地の景観のエリア (wet area) と、ヤナギ等の低木やカラマツが生育するハンモック (ここでは tree mound と呼ぶ) が広がっている。観測サイトのうち集中観測を行った K サイトにおいて、異なる植生・地形を含んだトランセクトを設定し、約 1m の永久凍土コアを採取した。2011 年は 30m のトランセクトで 6m 毎、2012 年は 15m のトランセクトで 3m 毎に採取した。

2010~2012 年における Indigirka 本流の同位体比は、融雪が起り流量が増え始める 5~6 月に急激に低下し、流量がやや減った夏に上昇するという規則的な季節変化を示した。2011 年夏期に Indigirka 支流の水同位体比が本流と同程度の値を示し、7 月末に急上昇した。これは 2011 年の河川水位が高かったため、本流の水が支流に逆流したと考えられる。

融解層と永久凍土層の土壌水(氷)の同位体比は上部の植生と微地形に対応した特徴が見られた。サンプリングサイトごとに差が見られたが、全体として深度が増すにつれて低下する傾向が見られた。tree mound の地下には氷の豊富な層が見られ、wet area の地下にはあまり見られなかった。氷が豊富で含水率が高い層では 値の上昇が見られ、これは凍結フロントに水が移動し、同位体分別が起こったためだと考えられる。2011 年トランセクトでは tree mound の融解層内の土壌水同位体比に特徴的なピーク(低い 値)が見られ、直下の凍土層の氷にも 値の低下が見られた。これは同位体比の低い水が表層から融解層下部へ浸透し、凍結層上部で再凍結した可能性を示唆している。一方、湿地においては全ての年で融解層や凍結層上部の水同位体は比較的 low、鉛直方向の変動幅は小さかった。また、融解層及び凍結層上部の水同位体比が低い 値と高い d-excess を示したことで、それらの起源となる水が融雪水である可能性が示唆された。

キーワード: 東シベリア, インディギルカ川, 水安定同位体比, 永久凍土

Keywords: eastern Siberia, Indigirka river, stable water isotopes, permafrost

アラスカのクロトウヒ林における光合成有効放射吸収率の空間依存特性の解析 Spatial scale-dependent characteristics of the fraction of absorbed photosynthetically active radiation

小林 秀樹^{1*}, 鈴木力英¹, 永井信¹, 中井太郎², 金龍元²
Hideki Kobayashi^{1*}, Rikie Suzuki¹, Shin Nagai¹, Taro Nakai², Yongwon Kim²

¹ 海洋研究開発機構, ² アラスカ大学フェアバンクス校国際北極圏研究センター

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks

The fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FAPAR) is a ratio of absorbed PAR to incident PAR in plant canopies and is an important vegetation parameter and is widely used for the gross primary production estimation. The absorbed PAR and incident PAR are both spheradiances (actinic fluxes). The FAPAR definition that ignores the horizontally incident PAR component (FAPAR1d) results in unrealistic FAPAR estimates in heterogeneous forest when looking at high spatial resolution. We investigated the spatial-scale dependence of the relationship between FAPAR1d and the normalized difference vegetation index (NDVI) in highly heterogeneous Alaskan black spruce forest. We collected most of the necessary forest structural datasets used for three-dimensional radiative transfer simulation. At high spatial resolutions (0.1 m), FAPAR1d reaches 6. As the pixels are merged, it converges on the domain-average values. To estimate a domain-average FAPAR from satellite data, 5-meter or coarser resolution is required in sparse forests, depending on the canopy structural conditions and solar geometry.

キーワード: リモートセンシング, 極域, 放射計算

Keywords: remote sensing, polar region, radiative transfer

衛星リモートセンシングによるアラスカの陸域生態系のフェノロジー観測に関する地上検証

Ground-truthing for phenological observations by using satellite remote sensing in terrestrial ecosystem in Alaska

永井 信^{1*}, 中井太郎², 小林秀樹¹, 鈴木力英¹, 金龍元²

Shin Nagai^{1*}, Taro Nakai², Hideki Kobayashi¹, Rikie Suzuki¹, Yongwon Kim²

¹ 海洋研究開発機構地球環境変動領域, ² アラスカ大学フェアバンクス校国際北極圏研究センター

¹Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks

Satellite remote-sensing is a useful tool to detect seasonal and interannual variations in sub- and Arctic terrestrial ecosystems with a high spatio-temporal resolution. However, from the *in situ* ecological research view point, the satellite remote-sensing approach has not been sufficiently tested and validated by ground-truthing. We examined the relationships between seasonal patterns of camera-based canopy surface indices, eddy-covariance-based gross primary productivity (GPP) and satellite-observed vegetation indices at a daily time step by performing field studies in an open canopy black spruce (*Picea mariana*) forest in Alaska. The ratio of the green digital number to the total digital number, green-excess index, hue (in the hue, saturation, and intensity colour model), GPP, satellite-observed normalized difference vegetation index (NDVI), enhanced vegetation index (EVI) and green-red vegetation index (GRVI) showed bell-shaped seasonal patterns (increasing in spring and decreasing in autumn) and their correlations were detected. Although the upper layer of forest is fully covered by evergreen black spruce, canopy surface images mainly detected seasonal changes in forest-floor vegetation (*Sphagnum* moss and shrubs) and snow cover on the forest floor. These facts suggest the importance of the seasonal patterns of forest canopy and floor status for the observations of satellite-remote sensing in sparse boreal forest in Alaska. Further consideration of parameters such as the degree of canopy openness and the seasonal changes in forest-floor vegetation will therefore be required to accurately detect the intra- and interannual phenological changes in sub- and Arctic ecosystems by using the satellite remote-sensing approach.

キーワード: 衛星リモートセンシング観測, 地上検証, 植生フェノロジー, アラスカ

Keywords: satellite remote sensing, ground-truthing, phenology, Alaska

衛星観測による GRENE 北極プロジェクト各観測点の年々変動および地域差 Interannual and regional variations of GRENE Arctic observation sites by Satellite

アリマス ヌアスムグリ^{1*}, 榎本 浩之¹, 高橋修平², 亀田貴雄²
Nuerasimuguli Alimasi^{1*}, Hiroyuki Enomoto¹, Shuhei Takahashi², Takao Kameda²

¹ 国立極地研究所, ² 北見工業大学

¹National Institute of Polar Research, ²Kitami Institute of Polar Research

2011年度よりグリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス (GRENE) 北極気候変動研究プロジェクトが開始し、北極圏の各地で雪氷に関わる観測開始した。マイクロ波放射計のデータを用いて観測地点の積雪期間、融雪期間、凍結開始などの観察を行った。北極研究プロジェクトで注目する北極圏の雪氷情報の取得、観測地域や観測時期の確認などを行ない、地域差や年々変動の特徴をつかむ。

観測地域は北極域の GRENE 北極プロジェクトの雪氷及び陸域観測サイトおよび関連サイトであり、地域差の確認のために、アラスカ、グリーンランドではそれぞれ南北および東西の観測トランセクトを設定して、アラスカ南北の地域差やグリーンランド氷床の高度別の地位差を観測した。シベリアでは内陸/沿岸、高山の違い、北極海沿岸では結氷との比較も見られるようサンプリングサイトを選んでマイクロ波データを抽出した。

キーワード: 北極, 積雪, 衛星観測, GRENE 北極プロジェクト

Keywords: Arctic, snow, satellite observation, GRENE Arctic project

北極域での地表面熱水収支の広域長期変動の解析

Large-scale analysis on long-term changes in the energy-water balance in the Arctic

高田 久美子^{1*}, 徐 健青³, 原 政之³, 野沢 徹²

Kumiko TAKATA^{1*}, Jianqing Xu³, HARA, Masayuki³, Toru Nozawa²

¹ 国立極地研究所, ² 国立環境研究所, ³ 海洋研究開発機構

¹National Institute of Polar Research, ²National Institute for Environmental Studies, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

地表面の熱水収支は、大気の下端条件を左右し、地表面付近の気候に大きな影響を及ぼす。これまで、気温と降水量を組み合わせた経験式による干ばつ指数を用いた研究や、地表気温による変動解析が行われてきた。一方、熱収支式に基づいて算定した気候湿潤度 (WI, Kondo and Xu, 1997) を用いた研究では、中国のステーションデータを用いて気候区分や植生分布とよく対応することが示されている (Xu et al., 2005) ほか、全球再解析データを用いて NDVI や植生タイプの分布との関係が示されている (Suzuki et al., 2006)。

WI は、可能蒸発散量 (Ep) と、降水量 (Pr) との比 (Pr/Ep) で定義され、Ep は地表面熱収支式：

$$R_{net} = H + E_p$$

から、一様な浅い水面 (e.g. 田植え直後の水田) を仮定したパラメタを用いて算定する。Ep は月平均で算定し、地中熱流量は 0 と仮定する。本研究では、長期全球データを用いて WI を算定し、広域スケールでの変動特性を明らかにすることを目的とし、北極域に着目して WI の長期変動の特徴を解析した。

Ep を算定する入力データは地上の気温、湿度、風速、下向き放射 (日射 + 赤外)、気圧で、NCEP による全球再解析データ NRP を用い、降水量は GPCC を用いて、月平均値で算定する。北半球の水文年を考慮して、前年 11 月?10 月までの年間 Pr と年間 Ep から年間 WI を算定し、解析期間は 1951-2010 年とした。

全球陸上を Sheffield and Wood (2007) を参考に 26 地域に分け、地域毎に WI、Pr、Ep の長期トレンドを直線回帰により調べた。北緯 45 以北の地域のうち、2 要素以上で 60 年間のトレンドが RMSE より大きくなったのは北欧と東シベリアだった。北欧では、WI にトレンドが無かったが、Pr と Ep には正トレンドがあり、これらが打ち消し合ったと考えられる。東シベリアでは、WI に負トレンド、Ep に正トレンドがあった。WI は、その定義 (Pr/Ep) から、通常 Pr の変動の影響を寄り強く受けるが、東シベリアでは Pr のトレンドが小さく、Ep の正トレンドによって WI が負トレンドを示したと考えられる。

WI は、これまでに用いられてきた経験的な式やパラメタを用いた干ばつ指数と異なり、熱収支式に基づいて算定していることから、その定義式を用いてトレンドをもたらしている要因について定量的な評価ができる可能性がある。今後は、変動要因の定量評価を試みるとともに、トレンドを算定する期間やトレンドの有意性について検討を進める予定である。

(謝辞：本研究の一部は、GRENE 北極気候変動研究事業によって実施された。)

キーワード: 地表面熱水収支, 長期変動, 北極域, 広域解析

Keywords: surface energy-water balance, long-term changes, Arctic regions, large-scale analysis

Diagnostic analysis of temperature changes in the Arctic region Diagnostic analysis of temperature changes in the Arctic region

Alexandre Laine^{1*}, Abe-Ouchi Ayako¹

Alexandre Laine^{1*}, Abe-Ouchi Ayako¹

¹AORI, University of Tokyo

¹AORI, University of Tokyo

The Arctic region is experiencing one of the greatest warming on Earth and is expected to continue doing so in the near future. Because of the specificities of its climate, especially in terms of snow and sea-ice cover, the mechanisms associated with this warming are partly different from the ones of other regions in the world. One obvious contribution comes from albedo effect due to sea-ice retreat, but other specific mechanisms are possibly linked with this specific thermal response, e.g. in terms of cloud cover changes.

In this study, we decompose the surface energetic fluxes locally in order to consider the different factors influencing the temperature changes at the surface. The relative role of the different factors is considered for the Arctic region and for the whole globe separately in order to highlight the specificities of the Arctic warming.

キーワード: Arctic, Surface energetics, climate warming, temperature change

Keywords: Arctic, Surface energetics, climate warming, temperature change

海水分布が地上気温に与える影響評価

Influences of the sea ice concentration and sea surface temperature to the atmosphere

寺崎 康児^{1*}, 田中 博²

Koji Terasaki^{1*}, Hiroshi Tanaka²

¹ 国立極地研究所, ² 筑波大学計算科学研究センター

¹National Institute of Polar Research, ²Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

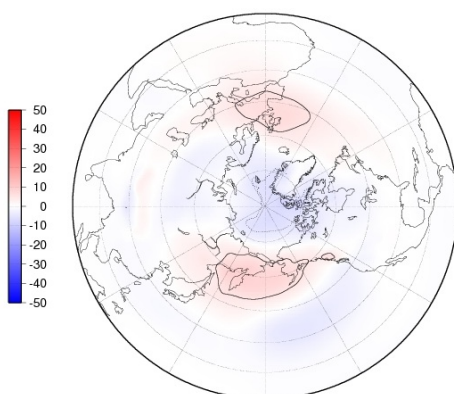
Since 1980s the sea ice extent in the Arctic Ocean has been decreasing. It is important for the climatology in the Arctic whether the sea ice exists or not. The purpose of this study is to investigate the differences of the influences to the atmosphere due to the different conditions in sea ice concentration and sea surface temperature with global atmospheric model NICAM (Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model).

Two experiments will be carried out. One is that the monthly climatology of the sea ice concentration and sea surface temperature is used as the boundary condition (normal year), and the other is that the monthly data of them in 2007 is used (less sea ice year). The time integration will be conducted for 50 years for each experiment. The sea ice concentration, sea ice mass and sea surface temperature are fixed within each month during the integration. The horizontal resolution is 112 km (glevel-6) and 40 points are taken for the vertical grid. The experiment is now in progress.

Surface air temperature over the Arctic Ocean on 2007 Experiment is much higher than that on climatological experiment especially in winter. The difference in horizontal distribution of the surface air temperature in summer season is very small compared to in winter season. The maximum difference locates where the sea ice does not exist on September but on January. The strong warming over the Arctic Ocean occurs, the difference is more than 10 degree Celsius. It is found that differences of the sea level pressure in September and January between 2007 experiment and climatological experiment shows positive AO (Arctic Oscillation) distribution, which indicates positive anomaly in mid-latitudes and negative anomaly in Arctic region.

キーワード: 北極温暖化増幅, 北極振動, NICAM, 海水

Keywords: Polar amplification, Arctic Oscillation, NICAM, Sea ice



西部北極海の淡水寄与と栄養塩分布 Freshwater and nutrient distribution of the western Arctic Ocean

平山 翔子^{1*}, 張 勁¹, 成田 尚史², 西野 茂人³, 川合 美千代⁴, 菊池 隆³, 島田 浩二⁴

Shoko Hirayama^{1*}, Jing Zhang¹, Hisashi Narita², Shigeto Nishino³, Michiyo Yamamoto-Kawai⁴, Takashi Kikuchi³, Koji Shimada⁴

¹ 富山大学, ² 東海大学, ³ 海洋研究開発機構, ⁴ 東京海洋大学

¹University of Toyama, ²Tokai University, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁴Tokyo University of Marine Science and Technology

近年、北極海での夏季の海氷面積の減少は顕著であり、2012年には、最小記録を更新した。それまで海氷が制限していた熱・物質交換がなくなることで、海洋環境の大きな変化が懸念されている。夏季の海洋環境は冬季の海氷生成にも影響するため、その実態を把握することは重要である。

本研究では、海氷の生成・融解を支配している要因として淡水寄与の影響を評価すること、栄養塩環境として海底堆積物中の間隙水が海水中に及ぼす影響を評価することを目的とした。試料は2000・2004・2012年の夏季(9-10月)に海洋地球研究船「みらい」で採取された水試料(2000・2004年)及び堆積物から採取した間隙水試料(2000・2012年)を利用した。CTDデータ(水温・塩分・溶存酸素)・栄養塩データの解析および酸素同位体比(測定誤差:±0.04)を使用した。

2004年と2012年の水温・塩分を比べると、塩分に差がないのに対し、水温が2℃上昇していた。この水温変化は、淡水寄与による塩分の供給では補えない上昇分であった。ベーリング海峡～カナダ海盆を縦断する西経168度の観測点では、陸棚上で低塩の海水が密度躍層を形成しており、特に2012年9月で顕著で、密度差は大きかった。密度躍層以浅で河川水・海氷融解水・海水の混合割合を算出した結果、2004年では河川水起源の淡水は10%以下でそのほとんどが海水起源の太平洋水であったのに対し、2012年9月では15～30%の河川水起源の淡水が流入していて、10月でも表層で約10%の淡水が流入していることがわかった。2012年の観測結果から、陸棚域海底付近で溶存酸素濃度が9月から10月にかけて低下した。これは、淡水の流入強化による結果と考えられた。

溶存無機窒素(DIN)と溶存無機リン(DIP)の比(塩分33以下でDIP1以上)を、緯度で比較したところ、ベーリング海峡から北上するにつれて、その比が大きくなった(海峡:11.8, 陸棚:13.5, 海盆:14.2)。この結果から、ベーリング海峡を流入した海水は北上するにつれてDINの大きな水と混合している可能性が示唆された。2012年に堆積物試料から採取した間隙水中の栄養塩濃度は、DINで29.3～1241μmol/kg, DIPで0.9～7.17μmol/kgで、底層水(海底直上～1m)のDINの16.1～49およびDIP1.04～3.3μmol/kgと比べて有意に高いことから、チャクチ海内で堆積物試料からのDINの付加がある可能性が高い。

キーワード: 西部北極海, 淡水寄与, 栄養塩, 酸素同位体比

Keywords: Western Arctic Ocean, freshwater distribution, nutrient, oxygen isotope ratio

鉛直1次元熱力学モデルによる北極海の海氷の経年変動の解析 Simulations of interannual variations in Arctic sea ice thickness with a one-dimensional vertical thermodynamic model

森本 有利恵^{1*}, 山根 省三²
Yurie Morimoto^{1*}, Shozo Yamane²

¹ 同志社大学工学研究科, ² 同志社大学理工学部

¹Graduate School of Engineering, Doshisha University, ²Faculty of Science and Engineering, Doshisha University

Recently, Arctic sea-ice in summer decreases and the rate of decrease increases. The decrease of Arctic sea-ice affects on the climate not only in Arctic region but also in mid-latitudes, such as Japan. We have investigated the factors affecting on the interannual variations in sea ice thickness around Arctic sea ice by means of numerical experiments with a one-dimensional vertical thermodynamic model, introduced by Bitz and Lipscomb (1999). The model needs four surface flux inputs to calculate the temporal variations of sea ice thickness: downward shortwave radiation, downward longwave radiation, sensible heat, and latent heat. These four inputs are generated from the daily Japanese 25-year Reanalysis (JRA-25) and JMA Climate Data Assimilation System (JCDAS) from 1979 to the present, averaging over the area of 75-90N and 135-225E. The influences of each surface flux input on the interannual variations in sea ice thickness have been examined by conducting numerical experiments with some inputs for some seasons replaced by their 33-year daily climatology. The interannual variability and trend of the sea ice thickness in the control experiment, with all four inputs having interannual variability in all times, are in reasonable correspondence with those of the observed sea ice extent in the area. It is found that this correspondence is mainly attributed to the interannual variations in summertime longwave radiation, and that the interannual variations in summertime shortwave radiation play a role in suppressing the influences of longwave radiation. The recent decrease in sea ice extent brings the increase in upward sensible and latent heat flux from the ocean, and promotes the formation of thick sea ice in cold seasons. However, the promotion is almost canceled by the simultaneous increase in downward longwave radiation, presumably owing to the increase in air temperature and water vapor content. The results obtained with the model exhibits a strong sensitivity of the interannual variations in sea ice thickness to summertime (June and July) downward radiations.

キーワード: 鉛直一次元モデル, 海氷厚さ, 熱収支, 経年変動

Keywords: one-dimensional vertical model, sea ice thickness, heat balance, interannual variability

MODIS データを用いたグリーンランド氷床表面温度と表面反射率の時間変化 Recent temporal change of Greenland ice sheet surface temperature and reflectance derived from MODIS data

島田 利元^{1*}, 竹内望¹, 青木輝夫²

Rigen Shimada^{1*}, Nozomu Takeuchi¹, Teruo Aoki²

¹ 千葉大学, ² 気象研究所

¹Chiba University, ²Meteorological Research Institute

Rapid Arctic climate changes are reported in recent decades. Greenland ice sheet holds approximately 10% of the fresh water on earth. If it melts all, sea level rises about 7.2meter. It is reported that mass of Greenland ice sheet is decreasing with temperature rising of climate change. However many climate models aren't able to simulate the recent melting of snow and ice in the Arctic including Greenland. One of the possible causes is albedo reduction of snow and ice surface by light absorbing snow impurities such as black carbon and dust and by glacial microorganisms. In addition, there are reports that the dark region darkened with glacial microorganisms has emerged in the southwestern part of Greenland (Wientjes and Oerleman., 2010). However there are few researches for effect of glacial microorganisms in wide area. So it is important to clarify the impact of glacial microorganisms in wide area.

The goal of this study is to clarify the effect of microorganism on Greenland ice sheet surface temperature change using satellite images and observation carried out in northwestern Greenland.

In this paper, we show the temporal change of monthly average ice sheet surface temperature derived from MODIS/Aqua July in recent years, from 2002 to 2010.

We use MODIS LST Product as ice sheet surface temperature. It estimates land surface temperature using Land Surface Temperature Algorithm based on split window method (Wan et al., 1996). We analyzed surface temperature on dark region (68.45N, 49W), downstream of dark region (68.45N, 50W) and upstream of dark region (68.45N, 48W).

Monthly average ice sheet surface temperature is falling in recent years around dark region. The rate of temperature change on downstream is -0.08 degree Celsius per year and the rate of temperature change on upstream is -0.07 degree Celsius per year. The rate of temperature change on dark region is -0.007 degree Celsius per year, it shows less change than the other area. It is considered that low surface reflectance advances solar radiation absorption caused by glacial microorganism. Cooling on the other area seems to be caused by appearance of low temperature ice body under the snow cover especially downstream of dark region. Low temperature ice body controls glacial microorganism growth. Cooling trend on downstream of dark region is caused by suppression of glacial microorganism.

In the future, in order to clarify the relationship between temperature change and glacial microorganism, we will develop product to determine the quantity of glacial microorganism by satellite images.

キーワード: グリーンランド, 表面温度, 反射率, 雪氷微生物

Keywords: Greenland, Surface temperature, Reflectance, Glacial microorganism