

北極海の海氷激減－海洋生態系へのインパクト－ Catastrophic reduction of sea-ice in the Arctic Ocean - its impact on the marine ecosystems in the polar region-

原田 尚美^{1*}; 木元 克典¹; 小野寺 丈尚太郎¹; 渡邊 英嗣¹; 本多 牧生¹; 岸 道郎¹; 菊地 隆¹; 田中 裕一郎²; 佐藤 真奈美³; 伊藤 史紘³; 白岩 善博³; 松野 孝平⁴; 山口 篤⁵
HARADA, Naomi^{1*}; KIMOTO, Katsunori¹; ONODERA, Jonaotaro¹; WATANABE, Eiji¹; HONDA, Makio¹; KISHI, Michio¹; KIKUCHI, Takashi¹; TANAKA, Yuichiro²; SATOH, Manami³; ITOH, Fumihiro³; SHIRAIWA, Yoshihiro³; MATSUNO, Kohei⁴; YAMAGUCHI, Atsushi⁵

¹ 海洋研究開発機構, ² 産業技術総合研究所, ³ 筑波大学, ⁴ 国立極地研究所, ⁵ 北海道大学
¹JAMSTEC, ²AIST, ³Univ. of Tsukuba, ⁴NIPR, ⁵Hokkaido Univ.

The sea-ice in the Arctic Ocean has dramatically reduced during the past decade. The drastic sea-ice reduction would cause a complicated and difficulty to understand the perspective on marine ecosystem surrounding the Arctic Ocean, because disadvantage phenomena such as ocean acidification and advantage phenomena such as improving light condition for primary producers, respectively, are simultaneously progressing. We have investigated the response of marine organisms caused by catastrophic sea ice reduction in the Chukchi Sea and Northwind abyssal plain at where the sea ice reduction has progressed most seriously in the Arctic Ocean. The aims of our study are No.1 to understand temporal changes in primary production, No.2 to understand the physiological response of marine phyto and zooplanktons having carbonate tests on warming or freshening associated with sea ice melting, No.3 to develop a new model for marine ecosystems in the Arctic Ocean, to reproduce the primary production by using the model and to understand the response of marine ecosystems on the environmental changes caused by rapid sea-ice reduction. In this presentation, we will show an overview of this project composed of three sub-themes, Observation, Culturing, and Modeling. For the observation, we will show a seasonal change in biogenic components flux obtained at the Northwind abyssal plain by a year round time series sediment trap system and seasonal change in dissolution of pteropod tests due to the seasonal change in the ocean acidification. We will also show the potential mechanism of high biogenic fluxes found in the beginning of the sea-ice season using the original Arctic Ocean ecosystem model. For the culture experiment, the physiological response of *Emiliania huxleyi*, coccolithophorid strain on the environmental changes caused by sea-ice melting will be presented.

キーワード: 北極海, 生物起源粒子, 渦, 海洋酸性化, 円石藻

Keywords: Arctic Ocean, Biogenic particle, Eddy, Ocean acidification, Coccolithophorid

Hindcast simulation of the ice and circulation in the Arctic Ocean for 1978-2012: An application of AO-FVCOM.

Hindcast simulation of the ice and circulation in the Arctic Ocean for 1978-2012: An application of AO-FVCOM.

CHEN, Changsheng^{1*}; ZHANG, Yu¹; PROSHUTINSKY, Andrey²; BEARDSLEY, Robert²; LAI, Zhigang³; GAO, Guoping⁴
CHEN, Changsheng^{1*}; ZHANG, Yu¹; PROSHUTINSKY, Andrey²; BEARDSLEY, Robert²; LAI, Zhigang³; GAO, Guoping⁴

¹School of Marine Science, University of Massachusetts, USA, ²Department of Physical Oceanography, Woods Hole Oceanographic Institution, USA, ³School of Marine Sciences, Sun Yet-Sen University, China, ⁴International Center for Marine Studies, Shanghai Ocean University, China

¹School of Marine Science, University of Massachusetts, USA, ²Department of Physical Oceanography, Woods Hole Oceanographic Institution, USA, ³School of Marine Sciences, Sun Yet-Sen University, China, ⁴International Center for Marine Studies, Shanghai Ocean University, China

A high-resolution, unstructured-grid, finite-volume ice-ocean fully coupled model system, named AO-FVCOM, has been developed for the Arctic Ocean. The governing equations are cast in a generalized terrain-following coordinate system with spatially variable vertical distribution in the vertical and are discretized using flexible non-overlapped triangular grids in the horizontal. This model system includes a) an unstructured grid version of the Los Alamos sea ice model Community Ice CodE (UG-CICE), b) hydrostatic and non-hydrostatic dynamics (NH-FVCOM); c) an unstructured-grid version of the Simulating Wave Nearshore model (SWAN) (named SWAVE), d) 3-D wet/dry point treatment, which can simulate flooding/drainage processes in estuaries and wetlands; e) 4-D nudging, OI and Kalman Filters data assimilation algorithms; f) the mass conservative nesting module to integrate multi-domain FVCOM domains; and g) the MPI parallelized visualization tool ViSiT, which allows users to monitor model performance during the simulation and post-process the model output data. An updated version of AO-FVCOM is capable of simulating the ice imbedded in the ocean.

AO-FVCOM is a regional model nested with Global-FVCOM. Two version of AO-FVCOM were configured with a finest horizontal resolution of 300 m and 2 km for the Arctic Ocean, respectively. The 2-km version has run for a period of 1978-2012. Without data assimilation, the model was capable of reproducing the seasonal and interannual variability of the ice coverage area in the Arctic and also significant drops of the ice coverage in 2007 and 2012. The 35-year simulation results for the circulation and water transport are being validated with comparison to field measurement data. The influence of the model resolution on water transport through the Canadian Archipelago has been also examined over seasonal and interannual scales, and an example of the water transport through Nares Strait will be presented.

キーワード: Arctic Ocean Modeling, Global-FVCOM, Arctic-FVCOM, Multi-domain nesting, 35 year Arctic simulation, Ice-Current Interaction

Keywords: Arctic Ocean Modeling, Global-FVCOM, Arctic-FVCOM, Multi-domain nesting, 35 year Arctic simulation, Ice-Current Interaction

Changes in the Western Arctic Biogeochemistry over the Last Three Decades: a Modeling Perspective.
Changes in the Western Arctic Biogeochemistry over the Last Three Decades: a Modeling Perspective.

SPITZ, Yvette H.^{1*}
SPITZ, Yvette H.^{1*}

¹Oregon State University, CEOAS, Corvallis OR 97331, USA

¹Oregon State University, CEOAS, Corvallis OR 97331, USA

Over the last three decades, the Western Arctic Ocean (WAO) seasonal and permanent sea ice have experienced significant changes, with the summer sea ice extent still shrinking to record low levels and the permanent ice thickness being greatly reduced. Thus, the WAO circulation (e.g. intensification of the Beaufort Gyre), the oceanic heat content and biogeochemistry are directly impacted. We use the coupled pan-arctic Biology/Ice/Ocean Modeling and Assimilation System (BIOMAS) to investigate changes in the physical system, nutrient fluxes and productivity of the planktonic ecosystem between 1988 and 2011. Model simulations show that an earlier phytoplankton bloom and a slight increase in its biomass in general characterize the WAO. The largest response in the secondary producers is seen as an increase in the magnitude of the microzooplankton biomass as well as in the duration of its growing season. Primary productivity while increasing on average over the WAO shows some decrease in the Beaufort Gyre due to its intensification. Under ice blooms such as the one observed during the ICESCAPE (NASA funded program) in July 2011 are also intensified. This research was done in collaboration with colleagues from University of Washington (Dr M. Steele and Dr. J. Zhang), Woods Hole Oceanographic Institution (Dr. C. Ashjian) and University of Rhode Island (Dr. R. Campbell).

キーワード: Arctic, Modeling, Primary Productivity, Climate Change, Food Web
Keywords: Arctic, Modeling, Primary Productivity, Climate Change, Food Web

ノースウインド深海平原における基礎生産性とボーフォート循環変動の関係 Relationship of Primary Productivity in Northwind Abyssal Plain with Beaufort Gyre Variation

渡邊 英嗣^{1*}; 小野寺 文尚太郎¹; 原田 尚美¹; 照井 健志²; 岸 道郎³

WATANABE, Eiji^{1*}; ONODERA, Jonaotaro¹; HARADA, Naomi¹; TERUI, Takeshi²; KISHI, Michio³

¹ 海洋研究開発機構, ² 国立極地研究所, ³ 北海道大学

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

The western Arctic marine ecosystem was addressed using a combination year-round mooring observation and multiple numerical models. Our previous studies have revealed eddy-induced biological pump from the Chukchi shelf region to the southern Canada Basin. Whereas this system caused an early-winter peak of sinking flux of Particulate Organic Nitrogen (PON), we then focused on summertime ecological processes. The sediment trap measurements in the Northwind Abyssal Plain (NAP: 75N, 162W) of the western Arctic Ocean captured a maximum diatom flux with dominance of sea ice species in summer 2011. However, the particle fluxes in summer 2012 were considerably suppressed probably due to extension of oligotrophic Beaufort Gyre water to the NAP area. To examine interannual variability in ocean circulation around the target region, the decadal experiment from 1979 to 2012 was performed using the pan-Arctic ice-ocean model COCO. A virtual passive tracer provided inside the Canada Basin certainly suggested that the Beaufort Gyre direction switched southwestward (toward Station NAP) during the early period of 2012. In addition, the three-box lower-trophic model with sea ice species was applied under physical environments at Station NAP to assess an impact of nutrient deficiency on primary production in 2012. Finally, we plan to discuss how to improve existent problems of Arctic marine ecosystem model.

キーワード: 北極海, 低次海洋生態系モデル, アイスアルジー, 貧栄養水

Keywords: Arctic marine ecosystem model, ice algae, oligotrophic water

3次元物理-生態系モデルによる北極海でのシロザケ成長の可能性 Estimating potential habitat for chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the Western Arctic using a bioenergetics model coupl

岸 道郎^{1*}; 尹 そくじん¹; 渡邊 英嗣¹
KISHI, Michio^{1*}; YOON, Seokjin¹; WATANABE, Eiji¹

¹ 北海道大学

¹ Hokkaido University

Chum salmon (*Oncorhynchus keta*) are distributed widely in the Northern Pacific and are an important commercial fisheries resource in North Pacific countries. Chum salmon can be divided into North American and Asian groups, and the Asian groups can be divided further into Japanese and Russian groups, which show different migration routes. Japanese and Russian chum salmon stocks are predominant in the Bering Sea during summer and fall. However, recently, several studies reported different tendency. Higher densities of chum salmon were observed within the vicinity of the Bering Strait and the Chukchi Sea than the eastern Bering Sea on September 2007 and alike Japanese chum salmon migrated to northern areas in the Bering Sea on August 2009. Sea surface temperature in the Arctic marginal seas has increased since the mid-1960s, especially since 2000. We speculated that SST increase affect to salmon northing directly. Therefore, we focused on chum salmon migrating northward to the Western Arctic. We estimated the potential habitat for chum salmon in the Western Arctic using a bioenergetics model coupled with a three-dimensional lower trophic ecosystem model (3-D NEMURO). The model domain contained the entire Chukchi Sea and the southern area of the Canada Basin. The horizontal resolution was about 2.5 km, and there were 25 vertical levels (surface to 4000 m). We assumed chum salmon move to a depth where the growth rate is the maximum within 100 m, because chum salmon migrate vertically to below 100 m depth for controlling their body temperature and searching for prey. The model was run for nine months from March to November 2003, thus representing the entire months chum salmon are distributed in the Bering Sea from June to November. In the bioenergetics model, the growth rate of an individual chum salmon was calculated as a function of water temperature, salinity, and prey density, which were obtained from the 3-D NEMURO model results. We calculated the growth rates of chum salmon of 100 gWW to 4000 gWW and defined 'Potential habitat' as 'an area where chum salmon can grow up (i.e., the growth rate is positive)'. The potential habitat reflected the warm and nutrient-rich Pacific water inflowing from the Bering Strait. That was restricted to the southwestern Alaskan coast on June and expanded to the Chukchi Sea and along the Alaskan northwestern coast from July to September and reduced from October. The main limiting factor was the water temperature on June and November and the prey density on July to October. For global warming scenario, we used the modeled monthly water temperature anomaly between 2005 and 2095 under the IPCC SRES-A1B scenario. Under the global warming scenario, the potential habitat for chum salmon increased during early summer and autumn due to the water temperature increase, whereas during summer the potential habitat for smaller chum salmon increased but that for larger chum salmon decreased because the water temperature exceeded the optimal condition, especially in the southern Chukchi Shelf and near the Bering Strait. The water temperature limitation was relaxed with a water temperature increase on June and November, but regionally the water temperature was the main limiting factor during summer.

キーワード: 北極海, 生態系モデル, シロザケ

Keywords: Arctic, marine ecosystem model, Chum salmon

セジメントトラップに捕集された西部北極海ノースウインド海底平原における動物プランクトン群集と糞粒の季節変動 Seasonal changes in zooplankton swimmer and faecal pellets collected using a sediment trap in the western Arctic Ocean

松野 孝平^{1*}; 山口 篤²; 藤原 周¹; 小野寺 丈尚太郎³; 渡邊 英嗣³; 原田 尚美³; 菊地 隆³
MATSUNO, Kohei^{1*}; YAMAGUCHI, Atsushi²; FUJIWARA, Amane¹; ONODERA, Jonaotaro³; WATANABE, Eiji³; HARADA, Naomi³; KIKUCHI, Takashi³

¹ 国立極地研究所, ² 北海道大学水産科学研究所, ³ 海洋研究開発機構

¹National Institute of Polar Research, ²Hokkaido University, Graduate School of Fisheries Sciences, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

季節海水域である西部北極海は10月-7月にかけて海水に覆われるため、年間を通じた観測が難しく、動物プランクトンの季節変動については不明な点が多い。セジメントトラップは周年を通じた沈降粒子試料捕集が可能であり、半定量的ながら、動物プランクトンの季節変動解析に適した測器である。本研究は、西部北極海ノースウインド海底平原の水深184-260 mに、2010-2012年の2年にわたり設置されたセジメントトラップに捕集された多細胞動物プランクトンに関わる2項目(動物プランクトンスイマーと糞粒)について解析を行い、動物プランクトン群集構造の季節変動を明らかにしたものである。

2010年10月4日-2011年9月28日および2011年10月4日-2012年9月18日に、ノースウインド海底平原(St. NAPt, 水深1975 m)の184-260 mに、開口面積0.5 m²のセジメントトラップを設置し、10-15日間隔で沈降粒子試料を捕集した。全試料数は52である。試料カップにはあらかじめ5%ホルマリン海水を入れた。試料は回収後、1 mmメッシュで分画し、1 mm以下のサイズフラクションを沈降粒子輸送量(mg DM m⁻² day⁻¹)として測定した。<1 mm試料中に含まれていた動物プランクトンの糞粒は形態から4タイプ(楕円型、円柱型、球型、茶色楕円型)に区別して計数した。実体顕微鏡下にて動物プランクトンは分類群、カイアシ類は種および发育段階毎に同定・計数を行った。得られた動物プランクトン個体数データ(ind. m⁻² day⁻¹)は、対数変換した後にBray-Curtisと平均連結法によるクラスター解析を行った。また、SIMPER解析により、群集間に差異を与えていた種を同定した。

衛星データから、St. NAPtにおける結氷期間は11月-6月で、開放水面期間は8月-10月であったことが分かった。また、海表面クロロフィルaは開放水面期間(8月-10月)にのみ検出された。沈降粒子輸送量は0.1-263.3 mg DM m⁻² day⁻¹の範囲にあり、いずれの年も結氷後の11月にピークを示していた。糞粒はその形態から4タイプ(楕円型、円柱型、球型、茶色楕円型)に分けられ、全糞粒数に占める割合は年平均で楕円型が60%、球型が30%であった。一方、茶色楕円型の出現には明確な季節性が見られ、開放水面期の7-8月に多く、数的に最大80%にも達していた。動物プランクトン個体数は35-739 ind. m⁻² day⁻¹の範囲にあり、いずれの年も結氷後の9月-11月に有意に多かった($p < 0.0001$, one-way ANOVA)。個体数にはポエキロストム目カイアシ類が最優占分類群(年平均±標準偏差: 69±18%)で、季節的に二枚貝幼生が10月-11月に優占し(最大53%)、フジツボ幼生は2011年8月に出現したが(最大33%)、2012年には出現しなかった。クラスター解析の結果、2年間にわたる全52試料は5つのグループに分けられた。各グループの出現には明確な季節性があり、結氷期間中にも群集構造の変化が見られ、これは日照時間の変化に起因するものと考えられた。

糞粒において明確な季節性を持っていた茶色楕円型の糞粒は、別途行った船上飼育実験より端脚類の糞粒であると考えられ、開放水面時に端脚類の摂餌活性が高かったことの反映と考えられた。動物プランクトン群集に季節性をもたらしていた二枚貝幼生とフジツボ幼生は、いずれも底生生物により放出された浮遊幼生であり、チャクチ海など浅い海域から移流されてきたものと考えられた。また、フジツボ幼生の出現に年変動(2011年には出現したが、2012年には出現せず)があったのは、St. NAPt表層の水塊構造に年変動があったことの反映と考えられた。

キーワード: 西部北極海, セジメントトラップ, 動物プランクトン群集, 糞粒
Keywords: western Arctic Ocean, sediment trap, zooplankton community, faecal pellets

北極海バロー海底谷における流量、熱、淡水輸送量
Volume, heat and freshwater fluxes of Pacific Water through the Barrow Canyon in the Arctic Ocean

伊東 素代^{1*}; 菊地 隆¹; 西野 茂人¹
ITO, Motoyo^{1*}; KIKUCHI, Takashi¹; NISHINO, Shigeto¹

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

Interest in Pacific Water flowing from the Bering Strait into the Arctic Ocean has increased markedly in recent years, because of warming and increasing of Pacific Water inflow. Barrow Canyon, in the northeast Chukchi Sea, is a major conduit for Pacific Water to enter the interior Arctic basins. Our study focuses on the quantitative estimate of volume, heat and freshwater fluxes through Barrow Canyon by mooring observations with hydrographic surveys. We conducted year-round mooring observations at one station from 2000 to 2001 and at three stations from 2001 to 2013 in the mouth of Barrow Canyon. The annual mean volume, heat and freshwater fluxes through Barrow Canyon were 0.49 Sv, 2.25 TW and 31 mSv, respectively. Annual averaged volume and freshwater fluxes through Barrow Canyon in recent years from 2010 to 2013 were lower than the 2000-2008 averages, mainly due to strong northerly wind. In contrast, heat flux for the period 2010-2013 was higher than the 2000-2008 average. It tended to be three highest maximum in 2007, 2010 and 2012, when summer sea ice extent extraordinary retreats in the Arctic Ocean, mainly because of the warming of Pacific Summer Water. Heat fluxes observed in these years were 3-4 times larger than that observed in summer 1993. It is sufficient to melt 1-m-thick ice over an area of 360,000 km², which is equivalent to the total land area of Japan. The heat possibly contributes to both sea-ice melt in summer and a decrease in sea-ice formation during winter because this water typically subsides just below the surface mixed layer in the Canada Basin.

Keywords: Arctic Ocean, Pacific Water, Heat flux, Sea ice extent

Water masses transporting process from the Bering Sea to the Arctic Ocean revealed from multiple chemical tracers

JIANG, Kai^{1*}; ZHANG, Jing²
JIANG, Kai^{1*}; ZHANG, Jing²

¹Graduate School of Science and Engineering for Education, University of Toyama, ²Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama

¹Graduate School of Science and Engineering for Education, University of Toyama, ²Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama

The Arctic Ocean is tightly connected to the Pacific Ocean through the only oceanic gateway Bering Strait. Water, heat, nutrients, and other substances inflowing via water masses exchanges affect the marine environment in the Arctic Ocean. In recent decades, the Arctic Ocean has changed dramatically, especially the rapid reduction of sea ice. The changing of water masses through the Bering Strait is thought to be one of the main reasons. Thus, focusing on the process of water masses transporting will contribute to understanding and forecasting the marine environment in the Arctic Ocean. In this research, stable oxygen isotopes, salinity and rare earth elements (REEs) are used to reveal the water masses transporting process from Bering Sea to the Chukchi Sea, which data comes from the Oshoro-Marun C255 cruise during 14 June - 07 August 2013. 182 water samples of $\delta^{18}\text{O}$ from 31 stations were analyzed by IR-MS (Isotope Ratio Mass Spectrometry). The $\delta^{18}\text{O}$ composition and salinity are used to separate the different water sources based that river water is highly depleted in $\delta^{18}\text{O}$ relative to marine waters as well as to sea-ice. Rare earth elements in the sediments from 8 stations were also analyzed by the method of BCR sequential extraction procedure which partitions the elements in sediments among various forms. It aims to trace the material sources, reflecting the water masses transporting process indirectly. The investigations show that in the Bering Sea, $\delta^{18}\text{O}$ value is around -2 ‰ in the surface increasing to -0.8 ‰ in the bottom water, closed to the $\delta^{18}\text{O}$ value of Pacific Ocean water, indicating that the upper layer water is obviously affected by freshwater. In the Bering Strait, $\delta^{18}\text{O}$ value is similar in the whole water column, around -1.3 ‰, consistent with salinity, which means that the water is well mixed in the Bering Strait (East side of Bering Strait). In the Chukchi Sea, $\delta^{18}\text{O}$ value is also affected by sea ice melt water. REEs data shows that different fraction of sediment has different sources, most part of sediments originally come from land, after charged into ocean, they combine with particles or substance under different marine environment.

キーワード: Arctic Ocean, water mass, oxygen isotope, rare earth element

Keywords: Arctic Ocean, water mass, oxygen isotope, rare earth element

メキシコ湾流の水温分布変化とバレンツ海の海氷減少の因果関係について Influence of the Gulf Stream on the Barents Sea ice retreat and Eurasian coldness

佐藤 和敏^{1*}; 猪上 淳²; 渡部 雅浩³
SATO, Kazutoshi^{1*}; INOUE, Jun²; WATANABE, Masahiro³

¹ 総合研究大学院大学, ² 国立極地研究所, ³ 東京大学大気海洋研究所

¹The Graduate University for Advanced Studies, ²National Institute of Polar Research, ³Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

Abnormal winter sea-ice retreat over the Barents Sea has been considered as a leading clue to the recent midlatitude severe winters. Barents Sea is considered as a hot spot for the rapid Arctic climate change due to the intense air-sea interaction induced by the sea-ice decrease; however, the underlying mechanisms remain uncertain, in particular causal relation of sea-ice retreat and atmospheric forcing and response. To understand this causality, we selected typical cases, defined as averaged warm and averaged cold years of December using the NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR). The composite analysis, revealed that anticyclonic anomaly is obvious over the northwestern Eurasia. The western Barents Sea and Sbarvard locates at the strong pressure gradient zone, prevailing southerly winds. Over the Barents Sea, the difference in daily mean air temperature between warm and cold winters is more than 10°C, suggesting that warm advection prevails during warm years. Therefore, during warm years, decrease in sea-ice cover is induced by southerly warm advection. The positive anomalies of precipitation from the southeast of Greenland to Barents Sea and negative anomalies of them from Nordic Sea to western Eurasia means the poleward shift of cyclone tracks, suggesting that the moisture transport is also changed poleward. Because the cyclones tend to shift poleward in less sea ice year over the Barents Sea, it is natural that the snow depth over the sea ice near the Fram Strait shows a positive anomaly during warm winters. Here we show that the poleward shift of sea surface temperature over the Gulf Stream, where is situated upstream from the Barents Sea, modifies the horizontal distribution of tropospheric condensational heating resulted from change in convection over the warm current, likely acting as a bridge to the Barents Sea by forcing planetary waves. This remote atmospheric response modifies cyclone tracks poleward, resulting in anomalous warm advection over the Barents Sea sector.

キーワード: メキシコ湾流, 北極, バレンツ海, ユーラシアの寒冷化
Keywords: Gulf Stream, Arctic, Barents Sea, Eurasian coldness

環北極域における大気水循環の経年変動 Study of interannual variability of the atmospheric water cycle in the Arctic circumpolar region

石毛 貴也¹; 檜山 哲哉^{2*}; 藤波 初木³
ISHIGE, Takaya¹; HIYAMA, Tetsuya^{2*}; FUJINAMI, Hatsuki³

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, ² 総合地球環境学研究所, ³ 名古屋大学地球水循環研究センター

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Research Institute for Humanity and Nature, ³Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University

東シベリアのレナ川中流域では2005年から2008年にかけての降水量が多かったため、この間の夏季の融解深が深くなるとともに、融解層(活動層)中の土壌水分量がかなり高い状態で継続した。そのためカラマツに代表されるタイガ林の一部が枯死し、湖沼水が増加するなど、この地域の植生や景観に影響が現れた。このような湿潤状態が過去にも存在したのかどうかを明らかにするために、本研究では、降水量データ(PREC/L)と大気再解析データ(JRA-25およびJRA-55)を用いて、レナ川流域の大気水循環と大気水収支を調べた。従来の研究から、レナ川流域とオビ川流域間には夏季の総観場に負相関があると指摘されていた一方、北米のマッケンジー川流域を含む環北極域の大気水循環の様相は必ずしも明らかになっていなかった。そこで本研究では、北ユーラシア3大河川(レナ川、エニセイ川、オビ川)流域とともに、マッケンジー川流域にも着目し、環北極域の大気水循環と正味降水量の経年変動に関して、レナ川流域を中心とした流域間比較の観点で解析した。解析の結果、以下の3点が明らかになった。

1) 1958年から2012年の期間中のレナ川流域における夏季正味降水量上位5年間には、バレンツ海からレナ川流域にかけて有意な低気圧性偏差がみられた。これにより、レナ川流域に西側から流入する水蒸気フラックスが増大し、夏季正味降水量の正偏差が形成された。

2) 2005年から2008年の夏季に着目した場合、バレンツ海からレナ川流域にかけて低気圧性循環の強化がみられた。その一方、モンゴル周辺では高気圧性循環の強化が確認された。これらにより、レナ川流域の夏季降水量が増加した。

3) 1995年以降、レナ川流域とエニセイ川流域間で、夏季降水量と夏季正味降水量に非常に有意な正の相関がみられた。一方、レナ川流域とオビ川流域間のそれらの負相関は、1993年頃から有意ではなくなっていた。また、レナ川流域とマッケンジー川流域間のそれらの相関には特に有意な相関はみられなかった。

キーワード: 夏季降水量, 夏季正味降水量, レナ川流域, 北極低気圧

Keywords: summer precipitation, summer net precipitation, Lena River Basin, Arctic cyclone

北半球高緯度における 1980-2010 年の地表面湿潤度の広域変動の評価 Evaluation of Large-scale Surface Wetness Variations in Northern High Latitudes During 1980-2010

高田 久美子^{1*}; 徐 健青²; 原 政之²; 野沢 徹³
TAKATA, Kumiko^{1*}; XU, Jianqing²; HARA, Masayuki²; NOZAWA, Toru³

¹ 国立極地研究所/国立環境研究所/海洋研究開発機構, ² 海洋研究開発機構, ³ 岡山大学
¹NIPR/NIES/JAMSTEC, ²JAMSTEC, ³Okayama University

GPCC の降水量と ERAinterim から算定した可能蒸発散量 (E_p) による湿潤度指数 (WI) を用いて、1980-2010 年の湿潤度の広域変動について高緯度を中心に解析した。また、表層土壌水分量の年間気候値や年々変動の偏差が、WI のそれらと良く対応し、降水量よりも相関係数が高いことが示された。従って、WI は表層土壌水分の気候値や年々変動と対応するといえる。

WI、降水量、 E_p の線形トレンドを求め、WI のトレンドを E_p に起因する部分と降水量に起因する部分に分けて定量評価を試みた。ユーラシアの高緯度やカナダ東部では、降水の増大トレンドと E_p の増大トレンドが相殺して WI にはトレンドがほとんど見られなかった。一方、中央アジアや北米西部およびアラスカでは、降水量の減少トレンドと E_p の増大トレンドによって、WI に減少トレンドが見られた。大部分の地域では降水量の変動が WI の変動に支配的である。WI のトレンドに対する降水量と E_p の寄与をしたところ、アラスカでは WI の増大世練度に対する寄与が、降水は 72%、 E_p は 27% となった。一方、 E_p のトレンドが WI のトレンドに重要な地域もあり、モンスーンアジアでは WI の減少トレンドに対して降水の寄与はわずか 3% で、 E_p の寄与が 99% となった。

このように、WI は表層土壌水分と対応して地表面の乾湿状態を表し、WI のトレンドに対して降水の寄与と E_p の寄与を算定できることが示された。今後、WI による地表面湿潤度の広域評価方法を、全球気候モデルの数値実験結果にも適用して、地表面熱水収支の再現性評価を試みたい。

キーワード: 地表面湿潤度, 広域変動, 再解析データ

Keywords: surface wetness, large-scale variations, reanalysis data

地上と衛星の統合観測による周北極域の植生フェノロジーの検出の高精度化 Multidisciplinary in situ and satellite observations for accurate detection of phenology in sub- and Arctic ecosystems

永井 信^{1*}; 鄭 峻介²; 小林 秀樹¹; 伊川 浩樹⁴; 中井 太郎³; 金 龍元⁴; 鈴木 力英¹; 杉本 敦子²
NAGAI, Shin^{1*}; TEI, Shunsuke²; KOBAYASHI, Hideki¹; IKAWA, Hiroki⁴; NAKAI, Taro³; KIM, Yongwon⁴; SUZUKI,
Rikie¹; SUGIMOTO, Atsuko²

¹ 海洋研究開発機構地球環境変動領域, ² 北海道大学大学院地球環境科学研究院, ³ 名古屋大学地球水循環研究センター, ⁴ アラスカ大学国際北極圏研究センター

¹Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Graduate School of Env.Science / Faculty of Env.Earth Science Hokkaido University, ³Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University, ⁴International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks

To accurately evaluate the spatio-temporal variability of ecosystem functions and service in sub- and Arctic regions under rapid meteorological and climate changes, global, long-term, and comprehensive phenological observations are required. Towards this aim, satellite remote-sensing is useful to detect the spatio-temporal variability of plant phenology such as the timing of start (SGS) and end of growing season (EGS). However, from the in situ ecological research viewpoint, the satellite remote-sensing has not been sufficiently tested and validated by ground-truthing. Here, (1) we performed daily field observations with time-lapse digital cameras in boreal forests in Alaska and Siberia; (2) we examined the relationship between satellite-observed vegetation indices and plant phenology; and (3) we evaluated the spatio-temporal variability of the timing of SGS and EGS in sub- and Arctic regions by using MODIS Terra and Aqua-observed green-red vegetation index (GRVI). We found that (1) satellite-observed vegetation indices (i.e. NDVI, EVI, and GRVI) mainly detected the plant phenology of forest floor in sparse forests; (2) large year-to-year variability of the timing of SGS was detected in eastern Siberia and western Ural Mountains, while that of EGS was not clearly detected; and (3) in contrast, large year-to-year variability of the timing of EGS was detected in western Alaska, which is mainly covered by tundra vegetation, while that of SGS was not clearly detected.

キーワード: フェノロジー, リモートセンシング, 陸域生態系, シベリア, アラスカ, 地上真値
Keywords: phenology, remote sensing, terrestrial ecosystem, Siberia, Alaska, ground-truthing

放射性炭素同位体を用いたアラスカ永久凍土における土壌有機炭素収支の推定 Estimate of permafrost organic carbon balance in Alaskan boreal and tundra ecosystems using natural radiocarbon tracer

近藤 美由紀^{1*}; 内田 昌男¹; 内海 真生²; 岩花 剛³; 吉川 謙二³; 岩田 拓記⁴; 原 蘭 芳信³; 中井 太郎⁵; 田邊 潔¹; 柴田 康行¹

KONDO, Miyuki^{1*}; UCHIDA, Masao¹; UTSUMI, Motoo²; IWAHANA, Go³; YOSHIKAWA, Kenji³; IWATA, Hiroki⁴; HARAZONO, Yoshinobu³; NAKAI, Taro⁵; TANABE, Kiyoshi¹; SHIBATA, Yasuyuki¹

¹ 独立行政法人国立環境研究所, ² 筑波大学, ³ アラスカ大学フェアバンクス校, ⁴ 京都大学, ⁵ 名古屋大学

¹National Institute for Environmental Studies, ²University of Tsukuba, ³University of Alaska, Fairbanks, ⁴Kyoto University,

⁵Nagoya University

The high-latitude regions, where a serious warming is expected, currently store large amounts of soil organic carbon in active-layer soils and permafrost, accounting for nearly half of the global belowground organic carbon pool. Despite the importance of these regions in the present carbon cycle, the soil C fluxes and budget are still only poorly known. Here, we use radiocarbon as the tool for quantifying the C balance of the inputs and decomposition in tundra and boreal soil. We evaluated the C inputs (I) and decomposition rates (k , inverse of turnover time) and net C accumulation (CA), using ^{14}C approaches.

Tundra and boreal soils show different patterns of depth distribution and C storage. Cumulative organic carbon stocks in boreal forest are 5.3 and 19.2 kgCm^{-2} , in surface organic layer (0-25 cm), and deep organic and mineral layers (25-70 cm), respectively. Large annual C input ($0.25 \text{ kgCm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) and relatively slow decomposition (27 years) lead to rapid CA ($0.05 \text{ kgCm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) in surface organic layer in boreal forest. Deep organic and mineral layers including near-surface permafrost show slower rate of input ($0.03 \text{ kgCm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) and turnover (617 years) and CA about 20 times slower ($0.003 \text{ kgCm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) than surface organic layer. Decomposition organic matter (Rh), which in accord with C losses from both surface and subsurface layers, was $0.23 \text{ kgCm}^{-2}\text{yr}^{-1}$. This value agreed well with Rh ($0.23 \text{ kgCm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) simulated by process-based models that simulate the biogeochemical and hydrologic cycle, where Rh averaged 45% of ecosystem respiration and 59% of soil respiration.

In contrast, large amount of SOC (36.4 kg m^{-2}) have accumulated over millennia (turnover time: 4540 yrs) below the thin organic layer in tundra. The CA of mineral layer and permafrost is close to zero ($0.003 \text{ kgCm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$), and Rh is $0.008 \text{ kgCm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$. Our radiocarbon data show that the most SOC in tundra soil was mode of stabilizing OC by permafrost and steady-state SOC stocks under current C balance.

アラスカにおける大規模森林火災：2004年と2005年の気象条件 Large-Scale Forest Fires in Alaska: Weather Conditions in 2004 and 2005

早坂 洋史^{1*}
HAYASAKA, Hiroshi^{1*}

¹ 北海道大学工学研究院
¹ Graduate School of Hokkaido University

アラスカでは、2004年と2005年に大規模な森林火災が主に内陸部の森林地帯で広域的に発生した。焼損面積500km²以上の大規模火災が2004年には17箇所、2005年には12箇所が発生した。2004年と2005年の大規模火災の発生により、年間焼損面積は、1956年から2013年までの過去58年間で、2004年の約26,000km²が過去最大、2004年の約18,800km²が第3位であった。

この両年の大規模火災を評価するために、過去58年間の火災データの統計解析を行った。この結果、年平均の焼損面積は3,480km²、標準偏差(σ)の係数は2004年が+4.25、2005年が+2.88であることがわかった。これらの大きな標準偏差係数の背景には、年間焼損面積6,000km²を越す大火災年が過去58年間で11年しかなく、他の47年は年間焼損面積が5,000km²以下という傾向がある。この傾向に加え、6,000km²を越す大火災年の発生は、1950年代から1980年代頃までは、十年に一回程度の頻度であったものが、1990年代頃より増える傾向が見られている。つまり、1957年(第2位)、1969年(第6位)、1977年(第7位)、1988年(第8位)と、十年に一回程度の頻度であった。しかし、1990年代になると、1990年(第4位)、1997年(第9位)、1991年(第11位)の3年に、さらに2000年代になると、2004年(第1位)、2005年(第3位)、2009年(第5位)、2002年(第10位)の4年と、急激に増えつつあることがわかる。この様な最近の大規模森林火災の頻発傾向から、近年の急激な気候変動下での北極海氷の急激な減少現象との関連性が示唆された。

そこで、2004年と2005年の大規模火災発生のプロセスをホットスポットと気象データを使って詳細な分析を行った。この結果、2004年の解析から、寒気の流入による雷の発生、その後の気温が高くなった時期での火災拡大傾向が確認できた。2004年の火災拡大期は7月上中旬と8月下旬の計三回あり、各期の日最大ホットスポット数は、順に約3.9万、3.2万、2.8万個/日であった。2005年の火災拡大期は、2004年と比べ降雨の多い傾向があったにも拘わらず、7月上中旬と8月中旬の計三回あり、各期の日最大ホットスポット数は、順に約1万、1.6万、4.6万個/日であった。2005年8月中旬の日最大ホットスポット数4.6万個/日は、南南西風が東北東に変わり、風速6~8m/s、相対湿度40%以下の条件で生じていた。

本論文での総合的な解析結果から、2004年の過去最大の焼損面積は、カナダ方面からの気圧の尾根が6月から8月までの約3ヶ月間継続した日照り下で長期間燃え続けた結果であった。2005年8月中旬に観測された激しい火災は、高気圧がアラスカ湾からボーフォート海への移動に伴って発生した事を明らかにした。

キーワード: 森林火災, ホットスポット, 気候変動, 雷, ジェット気流, 海氷
Keywords: Forest Fire, Hotspot, Climate Change, Lightning, Jet Stream, Sea ice

Detection and attribution of changes in arctic ecosystems and atmospheric CO₂

PATRA, Prabir^{1*} ; KOBAYASHI, Hideki¹ ; SAEKI, Tazu¹
PATRA, Prabir^{1*} ; KOBAYASHI, Hideki¹ ; SAEKI, Tazu¹

¹RIGC/JAMSTEC

¹RIGC/JAMSTEC

Atmospheric CO₂ responds to terrestrial ecosystem activity widely from sub-hourly to decadal time scales primarily due to photosynthesis, weather and climate variations. The measurements of CO₂ thus consist of source signals from anthropogenic as well as natural ecosystem activities convolved with atmospheric transport. Since the records of CO₂ concentration in ambient air at monthly or finer time resolution began in the late 1950s, the seasonal ecosystem dynamics has enhanced significantly in the recent years (Graven et al., 2013). We further analyse the relative contributions of fossil fuel emissions and atmospheric transport on the CO₂ at a greater number of surface measurement sites since the 1980s using the CCSR/NIES/FRCGC atmospheric general circulation model (AGCM)-based chemistry transport model (ACTM). Our results suggest the trends in fossil fuel emissions and transport have detectable contribution to the CO₂ seasonal cycle changes at the sites in northern tropics to mid-latitudes, and that the seasonal cycle increase in the arctic region is governed mainly by the terrestrial ecosystem.

To attribute causes for the recent changes in carbon cycle dynamics we have chosen the period of 1999-2011, which is covered by high quality process oriented ecosystem parameters from remote sensing and atmospheric CO₂ measurements at the largest network of sites for flux inversion. Our analysis suggests that the early greening by several days in the Alaskan tundra region closely correlated with the amplitude of CO₂ seasonal cycle at Point Barrow, Alaska. But no clear trend in the greening onset is detectable at semi-arid grasslands near Ulaanbaatar, Mongolia, except for the closely coupled interannual variations in greening onset time and CO₂ seasonal cycle amplitude. We estimated CO₂ fluxes from 84-regions of the globe at monthly time intervals using measurements from about 100 sites. The terrestrial CO₂ fluxes are estimated after removing the effects of fossil fuel emissions and oceanic fluxes in measured CO₂ concentrations. We find the carbon exchange of the Alaska region of our inversion is increased both for the seasonal cycle amplitude and net annual uptake over the period of 2002-2011.

Our results have large implications for developing the future and validating the present earth system models for studying climate-carbon-biosphere interactions.

キーワード: CO₂ seasonal cycle, Ecosystem phenology, Arctic environment

Keywords: CO₂ seasonal cycle, Ecosystem phenology, Arctic environment

年代によって異なる東西シベリアの水循環 Epoch difference of water cycles in eastern and western Siberia

大島 和裕^{1*}; 緒方 香都²; 朴 昊澤¹; 立花 義裕²
OSHIMA, Kazuhiro^{1*}; OGATA, Koto²; PARK, Hotaek¹; TACHIBANA, Yoshihiro²

¹ 海洋研究開発機構, ² 三重大学

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Mie University

Among all the rivers flowing into the Arctic Ocean, the three great Siberian rivers; Lena, Yenisei and Ob, are the three largest in terms of water discharge (R), and they are a large source of freshwater. We examined the relationship of long-term water cycle variability between eastern and western Siberia on the basis of net precipitation ($P-E$) estimated from an atmospheric reanalysis, and R s from observations at the river mouths and from a reconstruction based on tree rings.

The relationship of summer ($P-E$)s between the Lena and Ob Rivers is different in the first half and the second half of the past three decades. During 1980s to mid-90s, the ($P-E$)s have a strong negative correlation. These variations were affected by the east-west seesaw pattern of moisture flux. These results are consistent with Fukutomi et al. (2003). The decomposition analysis revealed that the stationary component of moisture flux dominates the seesaw pattern during the period. After mid-1990s, the correlation of the ($P-E$)s between the Lena and Ob becomes weak. During mid-1990s to 2000s, the $P-E$ over the Lena was affected by cyclonic moisture flux over the basin. In addition to the stationary component, the transient component of moisture flux also affects the $P-E$ variation in this period.

Long-term records revealed that the R s of the Lena and Ob Rivers have moderate or weak positive correlations and strong negative correlations before the 1980s. Interestingly, the correlations tend to be distributed in the negative side. It implies that the east-west seesaw pattern frequently appear over Siberia. In conclusion, the moisture transport processes over Siberia are different in each era and they result in the different variability of the R s and ($P-E$)s of the Lena and Ob Rivers.

キーワード: シベリア河川, 水蒸気輸送プロセス, 正味降水量, 河川流量, 経年変動, 長期変動

Keywords: Siberian rivers, moisture transport process, net precipitation, river discharge, interannual variation, long-term variability

The Structure Change of Arctic Cyclones on Cyclone Phase Space The Structure Change of Arctic Cyclones on Cyclone Phase Space

相澤 拓郎^{1*}; 田中 博²
AIZAWA, Takuro^{1*}; TANAKA, Hiroshi²

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

In this study, we investigated the structure change of the Arctic cyclone's life cycle on a cyclone phase space.

キーワード: 北極低気圧, 構造変化, 低気圧位相空間

Keywords: Arctic cyclone, Structure change, Cyclone phase space

近年の秋の北極海海氷減少に伴う北極振動の負位相シフト A negative phase shift of winter AO/NAO due to the recent Arctic sea ice reduction in late autumn

中村 哲^{1*}; 山崎 孝治¹; 岩本 勉之¹; 本田 明治²; 浮田 甚郎²; 三好 勉信³; 小川 泰信¹
NAKAMURA, Tetsu^{1*}; YAMAZAKI, Koji¹; IWAMOTO, Katsushi¹; HONDA, Meiji²; UKITA, Jinro²; MIYOSHI, Yasunobu³
; OGAWA, Yasunobu¹

¹ 国立極地研究所, ² 新潟大学, ³ 九州大学

¹National Institute of Polar Research, ²Niigata University, ³Kyushu University

Attribution of the long-term changes in the wintertime Arctic Oscillation (AO)/North Atlantic Oscillation (NAO) to the recent Arctic sea ice reduction is studied. Observations using ERA interim reanalysis and Merged Hadley/OI-SST show that small (large) sea ice area in summer to autumn leads the negative (positive) phase of AO in early winter and NAO in late winter. Relationship with winter AO/NAO is the strongest with the sea ice variability in November rather than September. To separate influences of sea ice variability and sea surface temperature (SST) anomalies, sensitivity experiments are performed with atmospheric general circulation model (AGCM for Earth Simulator, AFES4.1), in which observed changes (anomalies of 2005-2009 from 1979-1983) of the sea ice and SST are prescribed. The Arctic ice reduction generates the negative AO/NAO pattern that brings cold winter in mid-latitude continental regions. Both SST anomalies in the tropics and mid-/high-latitudes mask the continental cooling. Model-based analysis reveals that stationary Rossby wave response to the ice reduction in Barents Sea induces anomalous meridional circulation corresponding to the negative AO. The ice reduction increases (decreases) a frequency of the large negative (positive) AO occurrence about a twice (half). The anomalous meridional circulation warms the Arctic and cools the mid-latitudes. This provides additional Arctic heating about 25% of heat release due to the ice reduction. As a response to ice reduction, transient eddy activity over northern Eurasia is reduced and the change in the eddy damps the stationary responses.

キーワード: 海氷減少, 北極振動, 長期変動

Keywords: Arctic sea ice loss, Arctic Oscillation, long-term changes

AOI 方程式を用いた北極振動のクロススペクトル解析 Cross spectral analysis of the AO index using the AOI equation

田中 博^{1*}
TANAKA, Hiroshi^{1*}

¹筑波大学 C C S, ²筑波大学生命環境

¹CCS, University of Tsukuba, ²Life and Environmental Science, University of Tsukuba

北極振動 (AO) の成因としては、地球大気の力学的な固有解であるとする説と、EOF 解析に伴う統計的な虚像であるとする説がある。Tanaka and Matsueda (2005, JMSJ) では、順圧大気における力学的な定在解 (振動数が 0) の中で、最も増幅率の大きい順圧不安定解として AO モードが得られており、地表摩擦と擾乱による正のフィードバックを考慮することで、その増幅率も 0 となることを示した。AO は固有値が 0 の力学的な固有解が任意の準定常外力に共鳴して増幅することで生じるという理論を特異固有解理論と呼んだ。一方、北太平洋と北大西洋の間で AO に伴う有意な相関が見られないという問題に関して、Suzuki and Tanaka (2007, JMSJ) では地上気圧ではなく大気の順圧高度場を解析することで北太平洋と北大西洋の間で AO に伴う有意な相関が見えてくることを示した。つまり、無相関問題は大気の傾圧成分の影響によるものである。以上のように北極振動のメカニズムは徐々に解明されつつあるが、10 年スケールの AO の変動が、外部強制によるものではなく、内部力学によって変動することを実際のデータから確認する必要がある。そこで本研究では、北極振動指数 (AO Index : AOI) の変動を力学的に表現した AOI 方程式を導出し、その要因を内部力学の線形項に依存する部分、非線形項 (非定常擾乱との相互作用) による部分、そして外部強制による部分に分離し、AO の変動の原因を解析した。解析の結果、10 年スケールの AOI は線形項と比例関係にあり、 $L \cdot x = a \cdot x$ の関係にあることが分かった。これは線形項の固有解の構造と整合的である。このことは、北半球の大気の 10 年スケールの変動は外部強制によるものではなく、地球大気の内部変動によってもたらされていることを意味する。このことから北半球の長周期変動の大部分が大気の力学的な内部変動 (線形項と非線形項) によって生じており、AO の長周期変動は線形項の共鳴によって特徴づけられることが明らかになった。今回得られた結果は Tanaka and Matsueda (2005) で示された特異固有解理論と整合的であり、AO が大気の固有解であることを示す結果となっている。

キーワード: 北極振動, 温暖化, 長周期変動, 特異固有解理論, ノーマルモード, 順圧不安定

Keywords: Arctic Oscillation, Global warming, Low-frequency variability, Singular eigenmode theory, Normal mode, Barotropic instability

GRENE 北極プロジェクトにおける衛星を使った雪氷研究の進展 Cryospheric studies using satellite data in the GRENE Arctic Project

榎本 浩之^{1*}; アリマス ヌアスムグリ¹; 亀田 貴雄²; 矢吹 裕伯³; 杉村 剛¹

ENOMOTO, Hiroyuki^{1*}; ALIMASI, Nuerasimuguli¹; KAMEDA, Takao²; YABUKI, Hironori³; TAKESHI, Sugimura¹

¹ 国立極地研究所, ² 北見工業大学, ³ 海洋研究開発機構

¹National Institute of Polar Research, ²Kitami institute of Technology, ³JAMSTEC

GRENE 北極気候変動研究プロジェクトでは、北極データアーカイブシステム (Arctic Data archive System: ADS) が整備されている。ADS は GRENE 北極プロジェクトであられた観測データを記録し、多分野及びモデルとの連携研究の進展を目指すものである。また、ADS には JAXA ほかの衛星データも収納される。この研究では、GRENE 北極プロジェクトにおける、雪氷研究活動として、衛星データを使った研究活動について紹介する。

キーワード: 北極, 雪氷圏, 衛星, データアーカイブ

Keywords: Arctic, Cryosphere, Satellite, data archive

グリーンランド氷床における近年の衛星抽出積雪粒径及び雪氷微生物活動 Recent changes of satellite-derived snow grain size and glacial microbial activities in Greenland ice sheet

青木 輝夫^{1*}; 朽木 勝幸¹; 庭野 匡思¹; 谷川 朋範²; 堀 雅裕²; 島田 利元³; 竹内 望³; Stamnes Knut⁴; Li Wei⁴
AOKI, Teruo^{1*}; KUCHIKI, Katsuyuki¹; NIWANO, Masashi¹; TANIKAWA, Tomonori²; HORI, Masahiro²; SHIMADA,
Rigen³; TAKEUCHI, Nozomu³; STAMNES, Knut⁴; LI, Wei⁴

¹ 気象研究所, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 千葉大学, ⁴ Steven Institute of Technology

¹ Meteorological Research Institute, ² Japan Aerospace Exploration Agency, ³ Chiba University, ⁴ Steven Institute of Technology

Snow surface albedo strongly depends on snow grain size and mass concentration of light absorbing impurities. These snow parameters are uncertain factors for the recent drastic snow and ice meltings in the Arctic. Particularly, Greenland ice sheet (GrIS) is presently undergoing drastic changes. In 2012 a record melting event of surface snow/ice occurred over the GrIS. When air temperature increases, snow grain size is also increased by accelerating the snow metamorphism and thus the albedo is reduced (positive albedo feedback). This process is mainly dominant in the accumulation areas. On the other hand, the bare ice area is extended by snow melting on ice associate with air temperature raise in ablation areas. It is recently reported that wide bare-ice areas in GrIS are covered with glacial microbes whose albedos are lower than that of blue ice surface. This albedo reduction effect is also another positive albedo feedback effect by glacial microbes. To examine these feedback effects by snow grain growth and glacial microbial activities in conjunction with air temperature increase, we retrieved snow grain size and glacial microbe concentration from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. The employed algorithm is based on a look-up table method for bidirectional reflectance distribution function at the top of the atmosphere as functions of snow grain size, snow impurity (soot) concentration, solar and satellite geometry. The employed satellite channels are 0.46, 0.86, 1.24, and 1.64 μm . Since the snow impurity concentrations in accumulation area are the same or lower level of the detection limit of soot concentration in GrIS, we use this retrieval result as an indicator of microbial activities in bare ice areas. The monthly averages of snow grain size and snow impurity concentration from 2000 to 2013 in GrIS derived from Terra/MODIS revealed the following facts. (1) The areas of large grain size changed year by year. (2) There is no constant increasing trend, but the larger values were observed in recent years (2009-2012) and especially for 2012 the remarkable increase in whole Greenland. (3) Larger snow grain size and high impurity concentration, which indicate the areas of high glacial microbial activities, are distributed in coastal regions of GrIS in June (mainly in southern part), July and August. These parameters in colder summer of 2013 than the recent several years, were almost the same as those in 2000.

キーワード: グリーンランド, 積雪粒径, 雪氷微生物, アルベド, 衛星リモートセンシング, MODIS
Keywords: Greenland, snow grain size, glacial microbe, albedo, satellite remote sensing, MODIS

グリーンランドの加速的・減速的な氷厚変動：ICESat 衛星 (2003-2009) による観測 Acceleration and deceleration of ice thickness variations in Greenland from ICESat laser altimetry (2003-2009)

松尾 功二^{1*}; 福田 洋一¹; 鈴木 和良²
MATSUO, Koji^{1*}; FUKUDA, Yoichi¹; SUZUKI, Kazuyoshi²

¹ 京都大学 理学研究科, ² 海洋開発研究機構
¹ Graduate school of Science, Kyoto University, ² JAMSTEC

2003年1月にNASAが打ち上げた衛星高度計ICESat(Ice, Cloud, Elevation, Satellite)は、レーザー測距儀を搭載しており、地表高度の変化を数cmの精度で計測する。ICESatは2003年9月から2009年10月の期間、冬(2-3月)、夏(5-6月)、秋(9-10月)の30日間ごとに1年間で計90日間のキャンペーン観測を行ってきた。空間分解能は、グリーンランドでは平均20kmである。本研究では、ICESat衛星の表面高度データから、グリーンランドの加速的・減速的な氷消失のシグナルを捉える。衛星航路に沿って700m間隔で、衛星の繰り返し軌道のズレによって生じる地形の寄与をPlane fitting法(e.g. Zwally et al., 2011)で補正し、表面高度の時系列を1次+2次関数で最小2乗近似する。また、レーザーパルスの大気遅延と地球の粘弾性変形(固体潮汐、極潮汐、海洋潮汐荷重、後氷期回復)の影響は、各種モデルによって補正を行う。このようにして得られた表面高度の1次変化が氷厚の線形的な変動であり、2次変化が氷厚の加速的・減速的な変動である。

得られた1次変化は、グリーンランドの南東部と西部で顕著な氷厚の減少を示す。その速度は年間1.5-2mに及ぶ。内陸部は僅かに氷厚の増加(年間0.3m)が見られた。いずれも近年の温暖化の影響を反映している。すなわち、沿岸部では昇温による融解・消耗が、内陸部は昇温による降雪量の増加が起きている(Matsuo et al., 2013)。表層の積雪(フィルン)密度を、減少域で700kg/m³、増加域で300kg/m³と想定すると、2003-2009年の平均的な氷床質量変化率として約-200 Gt/yrが得られた。これは約0.55mm/yrの海面上昇に寄与していることに相当する。このような結果は、重力衛星GRACEの結果とも調和的であった。

続いて、2次変化に着目する。グリーンランド西部では、顕著な負の2次変化が確認された。これはつまり、西部氷床が加速的に消失していることを意味する。その傾向は、特に主要な溢流水河の1つであるJakobshavn氷河とQaanaaq周辺域で顕著である。一方、南東部では、同じく主要な溢流水河であるHelheim氷河とKangerdlugssuag氷河で負の2次変化を示し、その他の沿岸域は正の2次変化を示した。つまり南東部は、溢流水河域では氷消失が加速しているが、その他沿岸域では氷消失が減速していることを意味する。このように、氷床質量収支の加速的・減速的な変動パターンが、人工衛星から詳細に検出されたことは大変興味深い。重力衛星GRACEから導かれる2次変化を見てみると、空間分解能は約300kmと荒いが、西部で負の変化(加速的消失)、南東部で正の変化(減速的消失)を示しており、ICESatの結果と調和的であった。

グリーンランド西部の加速的な氷消失は近年の温暖化を反映したものであり、Qaanaaqにおける現地観測からも、2000年代後半からカービン氷河の顕著な消耗が確認されている(杉山ほか, 2014)。南東部の沿岸域で見られる氷消失の減速は、北極振動による降雪量の増加を反映したものと考えられる。2007年と2008年の冬期は比較的強い正のフェーズの北極振動が発生した年であり、例年よりも多い降雪がもたらされている(Matsuo and Heki, 2012)。このような降雪量異常が、一時的に氷消失を抑えたものと推測される。事実、GRACE重力観測は、グリーンランド南東部で、2007-2008年は氷消失の減速、2010-2013年は加速を示す。すなわち、南東部は西部と比べ、数年スケールの年々変動が顕著であることが分かる。

キーワード: グリーンランド, 氷厚変動, 気候変動, 宇宙測地学, ICESat, GRACE

Keywords: Greenland, Ice thickness variation, Climate change, Space geodesy, ICESat, GRACE

表面質量収支モデルおよび初期化方法に対するグリーンランド温暖化応答の感度実験
Sensitivity of Response of Greenland Ice Sheet to Global Warming on Surface Mass Balance and Initialization methods

齋藤 冬樹^{1*}; 阿部 彩子²; 高橋 邦生¹
SAITO, Fuyuki^{1*}; ABE-OUCHI, Ayako²; TAKAHASHI, Kunio¹

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
¹JAMSTEC, ²AORI, Univ. of Tokyo

We present a series of numerical experiments of Greenland ice sheet under global warming condition using Ice sheet model for Integrated Earth system Studies (IcIES).

In this study, influence on the simulation from the difference in the method to compute the surface mass balance is focused.

Typically, ice sheet simulation is driven by a *reference-anomaly* method, in which the surface temperature and/or the accumulation are decomposed into the reference terms (e.g., observation), the anomaly (e.g., climate scenario from climate models).

Then the surface melting is computed using parameterization such as positive degree-day (PDD) method with the temperature.

These decomposed terms have own uncertainties, which may influence the ice-sheet simulation.

In this study, impact of these properties to the present-day control case, as well as the response under uniform warming condition are discussed, which is thought be a useful and basic information of the property/sensitivity of the Greenland ice sheet.

In addition, several initialization methods (free spin-up, fixed-topography spin-up, etc) are applied to IcIES in order to evaluate the influence of the error in the present-day simulated topography to the short-term response of Greenland ice sheet.

Keywords: Greenland ice sheet, Ice-sheet model

グリーンランド北西部ボードイン氷河における氷厚変化 Ice thickness change of Bowdoin Gletscher, northwestern Greenland

津滝 俊^{1*}; 杉山 慎²; 榊原 大貴²; 澤柿 教伸³; 丸山 未妃呂²
TSUTAKI, Shun^{1*}; SUGIYAMA, Shin²; SAKAKIBARA, Daiki²; SAWAGAKI, Takanobu³; MARUYAMA, Mihiro²

¹ 国立極地研究所北極観測センター, ² 北海道大学低温科学研究所, ³ 北海道大学地球環境科学研究院
¹ Arctic Environmental Research Center, National Institute of Polar Research, ² Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ³ Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

グリーンランド氷床沿岸に多数存在するカービング氷河では、近年氷河流動の加速によって海洋へ流出する氷フラックスが増加している。この変化は、氷床表面の融解増加と同様に氷床の体積変化および海水準変動に重要な役割を担っている。最近では、人工衛星データを用いてカービング氷河の氷厚変化が明らかになってきている。しかしながら、アクセスの困難さ等の問題から、現地観測が実施されてきたカービング氷河は限られている。従ってその多くは現地観測データによる補正および検証を行わずに人工衛星データのみで議論しているため、見積もられた氷厚変化量の精度は限られている。

本研究では、人工衛星データ解析から得た数値標高モデル (DEM) と現地での GPS 測量データを用いて、グリーンランド氷床北西部に位置するボードイン氷河 (77°41'18"N, 68°29'47"W) の 2007-2013 年の氷厚変化量を明らかにすることを目的とした。DEM の作成には、2007 年 8 月 20 日と 2010 年 9 月 4 日に撮影された陸域技術観測衛星 (ALOS) で得られたパナクロマティック立体視センサー (PRISM) 画像を用いた。直下および後方視画像を、ステレオ視モニターおよびデジタルフォトグラメトリソフトウェアを使用したデジタル図化機を用いて処理した。また 2013 年 7 月に GPS を用いて、氷河の中央流線と 3 本の横断測線に沿って表面高度測量を行った。その結果、氷河の中央流線と 3 本の横断測線における平均氷厚変化は、 $-16.3 \pm 4.0 \text{ m}$ (-5.3 m yr^{-1} : 2007-2010 年)、 $-10.8 \pm 4.0 \text{ m}$ (-3.8 m yr^{-1} : 2010-2013 年) であった。特に氷河末端から約 800 m に位置する横断測線では、上流部よりも氷厚の減少が顕著であることがわかった。観測領域全体を通して、過去 6 年間で氷厚減少速度は小さくなっていることが明らかになった。今後も継続的に氷厚が減少すれば、氷河末端の崩壊 (カービング) が予想される。今後はより多時期に及ぶ氷厚、氷河末端位置の変動や表面流動速度の解析を進めてボードイン氷河の体積変化を明らかにするとともに、近年の氷厚減少メカニズムを明らかにする予定である。

キーワード: カービング氷河, グリーンランド

Keywords: Calving glacier, Greenland

ALOS/PALSAR を用いた Svalbard, NovayaZemlya における氷河の流動速度の検出 Estimation of glacier motions at Svalbard, NovayaZemlya with ALOS/PALSAR

小沼 義季^{1*}; 古屋 正人²
KONUMA, Yoshiaki^{1*}; FURUYA, Masato²

¹ 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻, ² 北海道大学大学院理学研究院自然史科学部門
¹Department of Natural Sciences History, Hokkaido University, ²Department of Natural Sciences History Hokkaido University

本研究は、日本が打ち上げた人工衛星 ALOS「だいち」に搭載された合成開口レーダー PALSAR の観測データを用いて、氷河の流動速度を検出することを試みた研究である。

近年、合成開口レーダー SAR を用いた研究で、グリーンランドの氷河の流動速度が速くなっているということが報告されている (Moon et al., 2012)。これは地球温暖化に伴う、気温・海水温上昇が原因であると考えられている。それでは、同じく高緯度に位置する他の地域の氷河の、近年の流動はどうなっているのだろうか。

Svalbard, NovayaZemlya とは北緯 70° ~81° 付近に位置する北極圏の島で、氷河が多数存在している。この2つの地域で氷河を調べることで、グリーンランドで起こった氷河流動速度の上昇が、他の北極圏の氷河でも起こっているのかを調べた。この2つの地域は、1990年代に SAR を用いて氷河流動が調べられている先行研究がある (Strozzi et al., 2008)。その先行研究ではいくつかの氷河を調べており、本研究ではその中の Duvabreen 氷河 (Svalbard)、Vize Glacier (NovayaZemlya) に注目して観測を行った。

今回、用いたデータは PALSAR が観測したものであり、Duvabreen 氷河は 2007年7月から 2010年10月までの10の時期の観測データを、Vize Glacier は 2007年2月から 2010年12月までの13の時期の観測データを用いた。

これらの観測データを解析して速度計算を行い、先行研究のデータを比べることで、近年の氷河流動速度の変化を調べた。

その結果、本研究で調べた Svalbard, NovayaZemlya の2つの氷河は、どちらも 1990年代の速度よりも速くなっていることが確認された。これは、北極圏にある他の氷河の流動速度が増加していることを示唆しており、グリーンランドで観測された氷河流動速度の増加が、広域で起きている可能性を示した結果となった。

キーワード: 氷河, 速度

Keywords: svalbard, novaya zemlya, glacier, alos, duvabreen, vize glacier

スバルバル諸島ニーオルスンにおいて観測された積雪不純物濃度と積雪粒径 Snow impurity concentration and snow grain size measured in Ny-Alesund, Svalbard

朽木 勝幸^{1*}; 青木 輝夫¹; 庭野 匡思¹; 塩原 匡貴²; 東 久美子²

KUCHIKI, Katsuyuki^{1*}; AOKI, Teruo¹; NIWANO, Masashi¹; SHIOBARA, Masataka²; GOTO-AZUMA, Kumiko²

¹ 気象研究所, ² 国立極地研究所

¹Meteorological Research Institute, ²National Institute of Polar Research

Mass concentration of light absorbing impurities in snow and snow grain size are important parameters controlling snow albedo. An increase in light absorbing impurities such as black carbon (BC) reduces the visible albedo and that in snow grain size reduces the near-infrared albedo. To monitor these snow physical parameters and evaluate those effects on snow albedo in the Arctic, we have measured the snow parameters using a ground-based spectral radiometer system for albedo and flux (GSAF) in Ny-Alesund, Svalbard (78°55'N, 11°55'E). The BC concentration in snow and snow grain sizes in the topmost and subsurface layers were retrieved from spectral albedos measured using the GSAF from March to June, 2013. Furthermore, the retrieved snow parameters were validated by comparing with in-situ measurements based on snow pit work and snow sampling in April, 2013. The collected snow samples were filtrated, and then elemental carbon (EC), organic carbon (OC) and dust concentrations in snow were measured by filter weighing and thermal optical analysis.

The snow depth gradually increased up to 40 cm during the polar night from late October to late February. It maintained around 40 cm until the middle of May, and then rapidly decreased to 0 cm in early June. The BC concentrations retrieved from the GSAF varied little during March to June with about 110 and 40 ppbw for external and internal mixture models employed in the retrieval algorithm, respectively. The in-situ measured EC, OC and dust concentrations were 8-35, 32-190 and 570-3180, respectively. The BC-equivalent concentrations estimated from the light absorbing effects of both EC and dust were 18-43 ppbw, which agreed with the GSAF-derived BC concentrations using the internal mixture model. The topmost layer snow grain radius retrieved from the GSAF were varied within the range 30-300 μm until the middle of May, then increased more than 1000 μm with the snow melting. The snow grain sizes in the subsurface layer were generally larger than those in the topmost layer, which was consistent with the in-situ measurement. We estimated the possible albedo reduction by snow impurities using a physically based snow albedo model with the GSAF-derived snow parameters. The albedo reduction was enhanced to -0.038 during snow melting period after the mid-May, compared with -0.027 before the mid-May, mainly due to the increase in snow grain size.

キーワード: 光吸収性積雪不純物, 黒色炭素, ダスト, 積雪粒径, ニーオルスン

Keywords: light absorbing snow impurity, black carbon, dust, snow grain size, Ny-Alesund

北極域データアーカイブの新たな展開 New developments of Arctic Data archive System(ADS)

矢吹 裕伯^{1*}; 杉村 剛²
YABUKI, Hironori^{1*}; SUGIMURA, Takeshi²

¹ 海洋研究開発機構, ² 国立極地研究所

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

北極域は地球の中でも温暖化が最も顕著に現れている地域であり、大気・海洋・雪氷・陸域が急速に変化している。北極域研究の積極的な推進は、観測データに担うことが大きい。

日本の研究者により北極域の研究は数十年前から広く行われており、現地での観測データやサンプルの分析データといった。現業観測では得られない貴重なデータが含まれる。これらのデータは、研究所もしくは研究者個人によって管理がまかされてきたこともあり、系統的に保管管理されてこなかった。

今回、GRENE 事業北極気候変動分野では、大気、海洋、雪氷、陸域、生態、モデル等の複数分野にまたがるデータの集積・共有を行い、分野間連携及び融合を目的として、国立極地研究所において北極域データアーカイブの構築を行っている。

北極域データアーカイブは、各分野間でのデータの相互利用を図り、現場観測、収集データ、衛星データ、数値実験データ等のデータセットの構築を通して北極域の大気—海洋—陸域システムの変動の実態とプロセスの解明、地球温暖化における北極域の環境変動の影響を評価、将来予測精度の向上に貢献する。

ADS では観測研究者がこれまであまり得意としてこなかった、グリッドデータ（衛星やモデルシミュレーション）の可視化システム VISION を構築した。これらの空間変動を簡単に可視化できるツールは、観測研究者にとっては、現象の理解だけでなく、さらには観測の設計にとっても有効なものとなり得る。

キーワード: 北極域, 環境, 温暖化, ADS, 可視化, VISION

Keywords: Arctic, Environment, Global Warming, ADS, Visualization, VISION

北極環境研究推進に関する最近の動向 Recent advance in discussions on the Arctic Environmental Studies

榎本 浩之^{1*}; 大畑 哲夫²
ENOMOTO, Hiroyuki^{1*}; OHATA, Tetsuo²

¹ 国立極地研究所, ² 海洋研究開発機構
¹National Institute of Polar research, ²JAMSTEC

北極研究について国内外で様々な取り組みが行われている。GREENE北極気候変動プロジェクトは5年計画の4年目に入り、研究成果のとりまとめが望まれている。また国内ではJCARによる長期構想検討が進められている。また、国際的には4月にASSWが開かれ、来年は儲億研究提案にもかかわるICARP-IIIとあわせてASSWが日本で開かれる予定である。また、近年、北極に関する国際検討会も新しいものが生まれ、頻繁に開かれるようになっている。また、米国、カナダ、ノルウェー、ドイツ、ロシアなどとの2国間の協力推進についても多くの話し合いがもたれている。一方、北極圏にとどまらずグローバル気候研究の一端としてGCWやChC、Future Earthなど、WCRPを継承する活動も進められている。

本発表では、急速に変化する北極の環境に対応して、急速に拡大・加速している研究コミュニティの動きについて紹介する。

キーワード: 北極, 環境研究, 研究動向
Keywords: Arctic, Environmental study, planning