

平成22年4月9日現在

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2007～2009

課題番号：19201001

研究課題名(和文) 地球環境変化のインディケータ北極・南極域と亜寒帯域のフィードバック

研究課題名(英文) Feedback mechanisms between the polar regions as indicators of global change and subpolar areas

研究代表者

池田 元美 (IKEDA MOTOYOSHI)

北海道大学・大学院地球環境科学研究所・教授

研究者番号：50261227

研究成果の概要(和文)：本科学研究費補助金研究は、極域の大気と海洋のそれぞれにおいて、気候変動に重要となるプロセスを解明することに加え、大気と海洋の相互作用、地球化学の要素、さらには陸面の植生まで含めた極域全体のシステムが、如何に機能しているかを調べたものである。特にこれから深刻化する地球温暖化に伴う変化を予測する基礎情報として、海洋生物生産の低下、亜寒帯陸域における植生の劣化が避けられないこと、およびそれが炭素循環に悪影響を与える可能性を示唆した。大局的視点からのまとめを2008年と2009年の北海道大学サステナビリティ・シンポジウムで報告した。

研究成果の概要(英文)：The investigation was carried out for exploring important processes for climate change in the polar ocean and atmosphere as well as atmosphere-ocean interactions and bio-geochemical systems. Under the global change, the key findings include the deteriorating carbon cycle associated with reduction both in marine ecosystem production and boreal forests. These results were reported at the international symposia of Hokkaido University in 2008 and 2009.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
2008年度	8,800,000	2,640,000	11,440,000
2009年度	10,200,000	3,060,000	13,260,000
年度			
年度			
総計	28,800,000	8,640,000	37,440,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：極域環境監視

1. 研究開始当初の背景

地球環境の将来予測は人類の生存に欠かせない科学作業であり、変化の大きな極域の予測を格段に精確なものにして、次のIPCCレポ

ートに多大な貢献をする必要がある。

最近10年で、北極海の海氷はなお急速に減少し、シベリアとアラスカの凍土は融解している。成層圏の極渦は強まり、雲が増えていく。しかし、南極周辺の変化は温暖化の兆

候はあるものの、まだ確定してない。南極周辺には大陸がなく、南大洋の大きな熱的慣性が違いの理由と考えられる。また全海洋コンベアベルトに伴う深層水が熱源として南極大陸周辺に働く。北極と南極の違いを、南極大気と南極氷床、南大洋のフィードバックに注目して解明する必要がある。

2. 研究の目的

地球温暖化に代表される地球規模の環境変化が100年スケールで進行しており、その中でもインディケータとなりうる北極と南極の予測をより信頼できるものとするのが目的であった。最近40年で海氷が減少している北極海は、太平洋と大西洋から温暖な海水が流入すると同時に、陸域からは河川水が流入し、大気とも熱フラックスをやりとりする。これまで見過ごされてきた太平洋・北極海・大西洋通過流のメカニズムを明らかにし、河川水流入と大気海洋相互作用を合わせて、北極海と亜寒帯のフィードバックを総合的に評価する。

さらに地球温暖化が進行する状態で、海陸内部に貯蔵されていた温室効果気体 (GHG) の放出増加を見積もる。特に注目するのは、海氷を通した二酸化炭素フラックス、およびツンドラの融解とタイガ土壌の乾燥化に伴う二酸化炭素とメタンのフラックスである。季節海洋域が増加する北極海では植物プランクトンが増殖し、昇温と乾燥化によって陸域生態の機能が低下する影響を推定することが鍵となる。

3. 研究の方法

代表者らは、北極圏と中緯度域を中心に、海氷分布と水循環を仲介とする大気海洋結合系メカニズムの解明が温暖化予測の重要な鍵になることを提示した。また生物活動が変化する結果として、海面炭素フラックスと雲形成が変化する可能性があることも示し、物理化学生物を統合した統合環境科学の推進が必要であることを強く提起した。これらの基礎の上に、北極海の水氷海洋モデル結果と海洋化学データの比較、南大洋モデルとデータの比較を行うこととした。

また、本研究のプラットフォームとなる大気モデルを開発したことに加え、シベリア河川流量と水蒸気収束の関係を示し、河川モデルの改良を示唆した。大気、海氷海洋、陸面の相互作用を解明するために、陸面海面条件によって大気モデルを試している。これらを

基に、大気モデルと雲などを含めた観測データの比較、安定同位体データの解析による水循環の解明を試みることにした。

さらに、地球シミュレータの全球海洋および大気モデルを個別要素まで詳細に検討し、海氷分布の検証、北極域と南大洋の季節変動と10年周期変動に関し、地球シミュレータを利用した大気海洋結合モデルの結果を解析することも試みた。

4. 研究成果

(1) 大気海洋相互作用と雲分布の解析

極域気候変化に重要な大気現象であり、20世紀再現実験や温暖化実験の結果を解析することを試みた。北極海通過流の変動を見積もるため、太平洋域の海面高度データを解析したところ、1960年代後半と1997年前後に海面が高くなり、それは北極海から大西洋に海氷と海水が流出した時期と一致していることを示せた。

20世紀再現実験や温暖化実験の結果を解析する計画を立て、北太平洋から極東アジアにかけた気候変動データ (降水量など) を用意し、北太平洋域の微細な大気海洋結合を調べるため、高解像度大気モデルを用いた感度実験結果を解析した。海面上の大気境界層は水温の影響を強く受け、特に黒潮のように中規模変動のあるところでは、その影響が総観規模擾乱にも現れる。これを高解像度大気大循環モデルによって調べた結果、海面水温の偏差がある海域を大気擾乱が通過する時、水蒸気は正味でより多く放出されており、潜熱放出が大気擾乱をより長く維持する。そのため大循環場が強められることが示唆された。

(2) 高解像度海洋モデルによる海洋現象解明

渦追跡や水塊形成に焦点を当てたモデルとデータの解析を、北太平洋と南大洋を対象に試みることにし、まず南大洋のトレーサー実験を行った。表層水のもぐりこみを示すフロン分布を海氷海洋モデルの結果と比べると、氷縁域の表層水収束が明確に見えた。

海氷海洋モデルをオホーツク海と南大洋のシミュレーションに用いたところ、オホーツク海では千島列島の海峡で交換する海水が準定常状態の熱バランスに決定的な役割を持っていることがわかった。南大洋では低緯度側から混合する海水が、海氷の融解に伴って低塩化し、中層水の起源の一部として再び低緯

度に拡がり、大西洋で特に重要であることが示された。

(3) 北極海化学データの解析による物理・生物化学プロセス

北極海化学データセットの解析を行い、太平洋と河川から入るケイ素は、2000m以深でも太平洋の方が高いことを見出した。酸素は大西洋の方が高く、pHは太平洋の方が高いことを確認できた。ケイ素に加えて溶存酸素の分布も合わせた結果として、表層においては太平洋起源の海水がカナダ海盆をほとんど占めているのに対し、深層では大西洋起源の海水が反時計回りに侵入していることがわかった。大気変動に応答して、太平洋側と大西洋側の間でシーソーのように海水が移動し、海氷もほぼ同時に移動するため、海氷に数年周期の多寡が両端で現れることを示した。

(4) 陸面と大気の相互作用

凍土融解、積雪分布変化、植生変化などの進む原因、およびそれらの大気への影響を調べるため、陸面データとも合わせ、水蒸気に注目して再解析データを見た。レナ川流域で同位体データを集め、凍土融解による水循環の変化を見出した。水循環と炭素循環は生態系による影響を受け、夏に雨が多いと翌年の土壌水分が高くなるが、カラマツは生長を早め、蒸散が活発になって土壌から水を大気に出すことがわかった。

東シベリアは降水量が300mm程度で乾燥した地域である。そのタイガ林において大気と降水の中の水蒸気同位体を計測したところ、降水は西側から運ばれてきた水蒸気と、森林から蒸散する水蒸気の混合したものであることがわかった。すなわち森林を含む陸域の水循環が重要な役割を果たしている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計24件)

- ① Byrd, G.V., W.J. Sydeman, H.M. Renner and S. Minobe, Responses of piscivorous seabirds at the Pribilof Islands to ocean climate, *Deep Sea Research II*, **55** 1856-1867, 2008.
- ② Hiraike, Y., and M. Ikeda, Descending surface water at the Antarctic marginal ice zone and its contribution to

intermediate water: An ice-ocean model. *J. Oceanogr.*, **65**, 587-603, 2009.

- ③ Ikeda, M., R. Greve, T. Hara, Y.W. Watanabe, A. Ohmura, A. Ito and M. Kawamiya, Identifying crucial Issues in climate science, *Eos*, Transactions, AGU, **90**, 15, 2009.
- ④ Itoh, M., N. Ohte, K. Koba, A. Sugimoto and M. Tani, Analysis of methane production pathways in a riparian wetland of a temperate forest catchment, using $\delta^{13}\text{C}$ of porewater CH_4 and CO_2 . *J. Geophys. Res.*, **113**, G03005, doi 10.1016/j.agee.2008.04.002, 2008.
- ⑤ Itoh, S., I. Yasuda, H. Nishikawa, H. Sasaki, and Y. Sasai, Transport and environmental temperature variability of eggs and larvae of the Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) and Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the western North Pacific estimated via numerical particle tracking experiments. *Fisheries Oceanography*, **18**, 118-133, 2009.
- ⑥ Koseki, S., and M. Watanabe, Atmospheric boundary layer response to the meso-scale SST anomalies in the Kuroshio extension. *J. Climate*, (in press).
- ⑦ Tanaka, S.S., and Y.W. Watanabe, High accuracy method for determining nitrogen, argon and oxygen in the seawater. *Marine Chemistry*, **106**, 516-529, doi:10.1016/j.marchem.2007.05.005, 2007
- ⑧ Valsala, K.V., S. Maksyutov and M. Ikeda, Design and validation of an offline Oceanic Tracer Transport Model for Carbon Cycle study. *J. Clim.*, **21**, 2752-2769, doi:10.1175/2007JCLI1905.1, 2008.
- ⑨ Wang, J., J. Zhang, E. Watanabe, M. Ikeda, K. Mizobata, J.E. Walsh, X. Bai, and B. Wu, Is the Dipole Anomaly a major driver to record lows in Arctic summer sea ice extent? *Geophys. Res.*

Lett., 36, L05706,

doi:10.1029/2008GL036706, 2009.

- ⑩ Watanabe, Y. W., M. Shigemitsu, K. Tadokoro, Evidence of change in oceanic fixed nitrogen with decadal climate change in the North Pacific subpolar region. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L01602, doi:10.1029/2007GL032188, 2008.

[学会発表] (計 35 件)

- ① Watanabe, Y. W.: Decadal change in N/P/Si ratio over the North Pacific subpolar region. North Pacific Marine Science Organization 16th Annual Meeting, Victoria, Canada, 2007.
- ② Ikeda, M.: Global physical and chemical changes. Impacts of Climate Change on the Maritime Industry Conference, Malmo, Sweden, June 2-4, 2008.
- ③ Sasai, Y., A. Ishida, Y. Yamanaka, and H. Sasaki: Anthropogenic gas distribution in the southern ocean: Formation and spreading of SAMW and AAIW. The Ocean in a High-CO₂ World II, Monaco, October 6-9, 2008.
- ④ Sugimoto, A.: Water budget & ecosystems in Northeast Eurasia, IGBP Symposium: Frontiers of Integrated Research Activities in East Asia and the Global Environment, Apr 14, 2009, Otaru
- ⑤ Watanabe, M.: Compensating meridional energy transports associated with stationary eddies and transients. MOCA-09, July 19-29, 2009, Montreal, Canada.
- ⑥ Ikeda, M.: Sea ice cover anomaly and geochemical tracers in the Arctic Basin associated with the dipole mode of sea level pressure. AGU/ASLO Ocean Science Meeting, February 22-26, 2010, Portland, US.

[図書] (計 2 件)

- ① 池田元美・山中康裕、国際関係と社会システムで考える地球温暖化、「地球温暖化の科学」、(編、池田元美他)、北海道大学

出版会、2007

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田元美 (IKEDA MOTOYOSHI)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教授

研究者番号：50261227

(2) 研究分担者

渡邊豊 (WATANABE YUTAKA)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・准教授

研究者番号：90333640

渡部雅浩 (WATANABE MASAHIRO)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・准教授、東京大学・気候システム研究センター・准教授

研究者番号：70344497

杉本敦子 (SUGIMOTO ATSUKO)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教授

研究者番号：50235892

見延庄士郎 (MINOBE SHOSHIRO)

北海道大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：70219707

笹井義一 (SASAI YOSHIKAZU)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター・研究員

研究者番号：40419130

(3) 連携研究者

研究者番号：