

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26247085

研究課題名(和文) 気候システムにおける氷床変動の役割の解明

研究課題名(英文) Ice sheet fluctuations in the past and global climate changes

研究代表者

横山 祐典 (Yokoyama, Yusuke)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：10359648

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,600,000円

研究成果の概要(和文)：これまでに復元が困難であった南極氷床の過去の変動について、画期的な成果が得られた。現在及び今世紀末の大気二酸化炭素レベルと同様な時期である300-500万年前の氷床変動について、当時の西南極氷床は完全に融解していたものの、東南極氷床には位置特異性があったことが明らかとなった。とくに内陸部においては氷床サイズが増加していたことが世界で初めて明らかになった。また大きな環境変動が起こったとされる最終氷期以降の南極氷床融解史についても重要な知見が得られた。氷床変動と中緯度、低緯度の環境変化についての復元はサンゴ礁の試料などを用いることで、全球的な気候変動との関連性についても明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)：We have studied the past ice sheet histories for both hemispheres as well as their relations to the global climate changes. Using noble geochemical and geophysical tools, timing and extends of glacial fluctuations in particular Antarctic ice sheets was well constrained. This topic is currently discussed in many literatures including IPCC (Intergovernmental panel on climate change) thus contributing greatly to climate modeling community. Global climate relations to the glacial fluctuations were also studied using various climate archives such as corals, marine and lake sediments and tree rings. We found close relations with high- and low-latitude region that will also contribute to better constrain climate models.

研究分野：古気候学

キーワード：古気候 氷床 南極

### 1. 研究開始当初の背景

現在進行中の気候温暖化の中で最も懸念されている事象は、将来の氷床変動である。IPCCの第5次報告書(AR5)でもこの点が強調されている。申請者も執筆者の一人として、多くの科学データを検討しながらその点を強く認識した。大気-海洋変化の時間スケールである1年~10年よりも長い応答特性を持つことがその理由の一つであり、氷床の融解と流動モデルについても、まだ高精度なものは得られていない。一方で気候変動が進行することで南極やグリーンランドの氷床が融け、海水準が上昇することで日本を含む多くの人口が集中する沿岸域の災害確率が上がるなど、社会的な影響が生じる一方、淡水の流入による海洋への影響により、気候変動や生態系といった幅広い領域への影響が生じる恐れがある。

近年では、人工衛星によるレーダー高度計や重力の観測などによる直接観測値が得られているが、高々50年弱のデータしかないことや、それぞれの手法にともなう大きな誤差により、氷床が温暖化に伴う気温上昇により、体積減少を生じさせているのかについて、高いレベルでのコンセンサスは得られていない。

さらに現在の海水準上昇は1-2 mm/年であり、海水準の上昇が気温の上昇に伴う体積膨張に伴うものか、実際の氷床量の減少によるものなのかは意見が分かれているところであり、より長い時間スケールのデータを用いることで、S/N比(シグナル/ノイズ比)が大きい時期の変化を捉え、氷床モデルの制約条件としてデータを供することでモデリングの精度向上に寄与し、人為起源の気候変動との関係を明らかにできる。

そこで本研究では、現在とは気候状態が大きく異なる最終氷期以降の氷床変動について、タイミングと規模そして海洋環境変遷を復元することで、表層環境中の氷床と海洋との相互作用について明らかにする。さらに気候モデルや氷床モデルとの比較を行うことで、現在は予測が難しい将来の氷床モデルの高精度化に寄与し、気候変動の将来予測精度を向上させる。

過去の氷床の2次元的な拡大縮小史は、モレーンなどの年代決定などにより精度よく決められている。しかし3次元的な復元については不確実性が大きい。氷床量の最も直接的で正確なデータは、海水準の変化記録である。ただ、海水準変動記録は、全球氷床のトータルの量的変化を捉えることができるが、融解を起こしたのが南極なのか北半球氷床なのかなどについてはわからない。これは気候復元で重要な最終氷期最

盛期(20,000年前:LGM)の氷床の高度が、復元法により1,000mも異なり、ジェット気流の流路の変化など、大気循環等に与える影響も極めて大きいため、気候モデルの制約をうまく行うことができないなど、気候モデルの精度向上の妨げとなっている。

### 2. 研究の目的

研究期間内には海水準最低下期と海水準上昇時期の南北氷床変動のタイミングと規模を明らかにする。今後の挙動が危惧される南極氷床の変動は、特にこれまでの復元結果の精度が低く、直接的なデータが限られており、全球的な変動から北半球氷床の変動分を取り除いた残渣が南極氷床の変動分であるという間接的な方法で議論が行われていた。そこで南極周辺のデータの採取と同時に北米/北欧氷床近傍のデータを得ることにより、どのタイミングでどの氷床が変動していたかについて正確に把握する。また、全球的な氷床量の変化(線形融解なのか、急激な上昇を伴うのか)についても明らかにする必要があり、これらは、旧氷床域から遠い熱帯域のサンゴ礁試料を用いる。

### 3. 研究の方法

過去の氷床の融解史の決定には、申請者のグループにより近年採取された氷床近傍域の堆積物試料などについて、特定有機化合物放射性炭素年代測定などの年代決定を行うことで明らかにする。またサンゴ骨格および堆積物の有孔虫等の殻や化学分析により、当時の海洋環境の復元も行う。並行して、地球物理学的なモデリングを実施し、氷床量の定量的な復元を行い、気候モデルと氷床モデルの高精度化に寄与する。

### 4. 研究成果

これまでに復元が困難であった南極氷床の過去の変動について、画期的な成果が得られた。一つは現在及び今世紀末の大気二酸化炭素レベルと同様な時期である300-500万年前の氷床変動について、宇宙線照射生成核種を使った新しい分析データと、既存のデータの統合を行うとともに、氷床の数値モデルとの比較を行った。その結果、当時の西南極氷床は完全に融解していたものの、東南極氷床には位置特異性があったことが明らかとなった。とくに沿岸部で氷床が海底に着底しているオーロラベースンとウィルクスベースンは西南極氷床同様に融解していた。しかし内陸部においては氷床サイズが増加していたことが世界で初めて明らかになった。これは温暖化した南極周辺海域の水蒸気輸送量が増加したためと考えられる。近年の東南極氷床増加傾向をNASAが衛星データで観測したが、同様な温暖期の水循環変化に伴う氷床サイズの変動を見ていることがわかった。

また、地質学的により最近で、大きな環境変動が起こったとされる最終氷期以降の南極氷床融解史についても重要な知見が得られた。一つは新しい年代決定法を開発したことで、これまでのロス棚氷の氷床融解の年代が1万年以上ずれていたことを明らかにしたことである。とくに氷床と海洋の境界に位置する棚氷の挙動を復元する間接指標を新たに開発し、その変化のタイミングを捉えることで、これまで考えられていた全球的な海面上昇期とはずれたタイミングで崩壊イベントが起こっていたことが明らかとなった。また、温暖化した地球の影響を受けやすく現在でも大きく融解が進んでいるとされている西南極氷床において、南極半島に位置する氷床が、周囲の海水の侵入によって大きく崩壊が進んだことも明らかにした。

最終氷期最盛期の氷床のもっとも拡大した規模についても海水準復元を行うことで正確に見積もった。多数の年代測定と固体地球変形モデルを併用することで、これまで考えられていた中でも大きい体積を持っていたことが確認され、氷床復元を高精度化した。

氷床変動と中緯度、低緯度の環境変化についての復元は、木材に残された酸素同位体比による降水量復元やサンゴ骨格の水温変化復元、湖沼堆積物を使ったモンスーン変動復元などを行うことで、その連関性を明らかにした。またサンゴ礁の試料を用いることで、氷期から現在にかけての水温変化と大気への海洋からの二酸化炭素の放出経路についての新たな知見を見出すなど、全球的な気候変動との関連性についても明らかにすることができた。

##### 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100件 全て査読あり)

1. Nakamura, A., Yokoyama, Y., Maemoku, H., Yagi, H., Okamura, M., Matsuoka, H., Miyake, N., Osada, T., Adhikari, D. P., Dangol, V., Ikehara, M., Miyairi, Y., Matsuzaki, H., Weak monsoon event at 4.2 ka recorded in sediment from Lake Rara, Himalayas, *Quaternary International*, 397, 349-359, 2016.
2. Ishiwa, T., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Obrochta, S., Sasaki, T., Kitamura, A., Suzuki, A., Ikehara, M., Ikehara, K., Kimoto, K., Bourget, J., and Matsuzaki, H. (2016) Reappraisal of sea-level lowstand during the Last Glacial Maximum observed in the Bonaparte Gulf sediments, northwestern Australia. *Quaternary International*, Volume 397, Pages 373–379, doi:10.1016/j.quaint.2015.03.032
3. Obrochta, S.P., Crowley, T.J., Channell, J.E.T., Hodell, D.A., Baker, P.A., Seki, A., and Yokoyama, Y. (2014) Climate variability and ice-sheet dynamics during the last three glaciations. *Earth and Planetary Science Letters* Volume 406, pages 198–212
4. Obrochta, S.P., Yokoyama, Y., Morén, J., and Crowley, T.J. (2014) Conversion of GISP2-based sediment core age models to the GICC05 extended chronology. *Quaternary Geochronology* 20, 1–7.
5. Kubota, K., Yokoyama, Y., Ishikawa, T., Obrochta, S.P., Suzuki, A. (2014) Larger CO<sub>2</sub> source at the equatorial Pacific during the last deglaciation. *Scientific Reports* 4, 5261.
6. Fells, T., McGregor, H.V., Linsley, B.K., Tudhope, A.W., Gagan, M.K., Suzuki, A., Inoue, M., Thomas, A.L., Esat, T.M., Thompson, W.G., Tiwari, M., Potts, D.D., Mudelsee, M., Yokoyama, Y., Webster, J.M. (2014) Intensification of the meridional temperature gradient in the Great Barrier Reef following the Last Glacial Maximum *Nature Communications* 5, 4102.
7. Yokoyama, Y. and Esat, T. M. (2015) Coral reefs, in Handbook of Sea-Level Research (eds I. Shennan, A. J. Long and B. P. Horton), *John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.* doi: 10.1002/9781118452547.ch7, p104-124.
8. Yamane, M., Yokoyama, Y., Abe-Ouchi, A., Obrochta, S., Saito, F., Moriwaki, K., and Matsuzaki, H. (2015) Exposure age and ice-sheet model constraints on Pliocene East Antarctic ice sheet dynamics. *Nature Communications*, 7016, doi :10.1038/ncomms8016
9. Yokoyama, Y., Anderson, J.B., Yamane, M., Simkins, L.M., Miyairi, Y., Yamazaki, T., Koizumi, M., Suga, H., Kusahara, K., Prothro, L., Hasumi, H., Southon, J.R., and Ohkouchi, N. (2016) Widespread collapse of the Ross Ice Shelf during the late Holocene. *Proceedings of the National Academy of Science*, Volume

113 (9), Pages 2354-2359, doi:  
10.1073/pnas.1516908113.

10. Yokoyama, Y., Maeda, Y., Okuno, J., Miyairi, Y., Kosuge, T. (2016) Holocene Antarctic melting and lithospheric uplift history of the southern Okinawa trough inferred from mid- to late-Holocene sea level in Iriomote Island, Ryukyu, Japan. *Quaternary International*, Volume 397, Pages 342–348, doi:10.1016/j.quaint.2015.03.030

〔学会発表〕(計 115 件)

1. Yokoyama, Y., Anderson, J.B., Yamane, M., Simkins, L.M., Miyairi, Y., Yamazaki, Y., Koizumi, M., Kusahara, K., Suga, H., Prothro, L.O., Hasumi, H., Southon, J.R., Ohkouchi, N., Widespread collapse of the Ross Ice Shelf during the late Holocene reconstructed from compound specific C-14 and meteoric Be-10, 2016 AGU Fall Meeting (San Francisco, USA, 2016.12.12 Mon) oral. **INVITED**
2. Yusuke Yokoyama, Understanding the palaeoenvironmental setting of Mid- to Late Holocene coastal archaeological sites: an example from Japan, *Landscape Archaeology Conference 2016* (Uppsala, Sweden, 2016.8.23 Tue) oral **INVITED**
3. Yusuke Yokoyama, Tezer M Esat, William G Thompson, Alexander L Thomas, Jody M Webster, Yosuke Miyairi, Chikako Sawada, Takahiro Aze, Hiroyuki Matsuzaki, Jun'ichi Okuno, Stewart Fallon, Juan-Carlos Braga, Marc Humblet, Yasufumi Iryu, Donald C Potts, Kazuhiko Fujita, Atsushi Suzuki, Hironobu Kan. Sea level record obtained from submerged the Great Barrier Reef coral reefs for the last 30 ka *INQUA 2015* (Nagoya, Japan, 2015.7.29 Wed) oral□

4. Yokoyama, Y., “Mid to Late Holocene climate and sea level changes and its relations to culture in Japan” *AGU Chapman Conference “Evolution of the Asian Monsoon and its impact on Landscape, Environment and Society: Using the Past as the Key to the Future”* (Chinese University of Hong Kong, Hong Kong SAR, China, 2015.6.18 Thu) oral **INVITED**
5. 横山 祐典, Esat Tezer, 平林 頌子, 宮入 陽介, 深海サンゴと造礁サンゴが示す過去60万年間の年代測定の問題点の解決法, 2017年度地球惑星科学連合大会 (幕張メッセ, 千葉, 2017.5.22) Oral.
6. 横山 祐典, 宇宙線生成核種と地球化学分析を組み合わせた氷床変動と気候変動研究, 日本第四紀学会2016年大会 (千葉大学, 2016.9.17) 口頭. **招待講演**
7. 横山 祐典, ベル 智子, 平林 頌子, 宮入 陽介, 窪田 薫, 関 有沙, 井口 亮, 鈴木 淳, サンゴの生物鉱化作用と古環境復元, 2015年度地球惑星科学連合大会 (幕張メッセ, 千葉, 2015.5.27)口頭. **招待講演**□
8. 横山祐典, 過去の海水準復元と古気候, 日本第四紀学会2014年大会 (東京大学 大気海洋研究所, 柏, 2014.9.8 Mon) 口頭.

〔図書〕(計 0 件)

〔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

<http://aces.aori.u-tokyo.ac.jp/yokoyama/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

横山祐典 (YOKOYAMA, Yusuke)

東京大学 大気海洋研究所・教授

研究者番号：10359648

### (2) 研究分担者

大河内直彦 (OHKOUCHI, Naohiko)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・分野長

研究者番号：00281832

池原実 (IKEHARA, Minoru)

高知大学 自然科学系・教授

研究者番号：90335919

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

( )