

令和元年6月17日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02139

研究課題名(和文) 日本内湾の堆積物を用いた高時間解像度の環境復元と人間社会への影響評価

研究課題名(英文) Reconstruction of environmental parameters by using sediments collected in Japanese bays and evaluation on the human society by climatic change

研究代表者

川幡 穂高 (Kawahata, Hodaka)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：20356851

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,000,000円

研究成果の概要(和文)：気候を表すパラメーターの中で、気温は最重要である。日本の湾あるいは沿岸では冬季以外、水温と気温が高い相関を示すことから、アルケノン水温より気温を復元した。噴火湾、下北沖、陸奥湾、東京湾、大阪湾、広島湾で初夏の気温を誤差0.2程度で、場所により違いはあるが、過去3,000年間にわたる気温を初めて復元した。気温は寒暖を伴いながら変化してきました。大気中の二酸化炭素濃度、日射量、火山の爆発、エルニーニョ、アジアモンスーンなどさまざまな因子が影響してきましたが、気温変化は単一因子のみでは説明できず、複数の因子が関係してきたと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

過去2,000年間の高時間解像度の気温および気候関連データは、国際プロジェクトPAGES-2k(2,000年)に提出され、世界的なデータベース構築へ貢献でき、21世紀末と22世紀の気候・環境予測のためのモデリング研究を介して、気候予想、気象災害(防災)、農林水産業の対策に直接役立つと期待される。より基礎的な研究分野に対しては、関連分野へのデータの供給とともに、地球外要因(日射量)、地球内要因(二酸化炭素濃度、火山噴火、植生、エルニーニョ・南方振動、アジアモンスーン)の境界条件が異なる再現データの取得となるため、地球表層システムにより深い理解に通じ、最終的に中期・長期予報への貢献が期待される。

研究成果の概要(英文)：A continuous reconstruction of quantitative paleotemperatures in the Holocene was conducted by using alkenone sea surface temperature (SST) measurements from coastal sedimentary cores because of the strong correlation of SST with atmospheric temperature (AT) in the coastal bay area. The past SSTs and ATs were reconstructed in Funaka, Mutsu, Tokyo, Osaka, and Hiroshima Bays and off Shimokita mainly for the last 3,000 years. These temperature fluctuations cannot be explained by a single cause but rather by two or more external and internal drivers of climate variability (e.g., volcanic forcing, ocean-atmosphere interactions, and solar forcing). With respect to the influence of climate on human activity, major shifts in social systems appeared to coincide with cold periods in western Japan.

研究分野：地球化学

キーワード：気候変動 気温 高時間解像度 地球表層環境システム 日本社会 環境指標

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

気候変動が日本史に及ぼした影響は興味ある課題であるものの、現在のところ歴史文献にある数少ない定性的な気候の記録があるのみだった。気温、降水量、風という気象指標の中でも、気温は最重要の項目である。これまで気温の復元は半定量的なものが最善で、定量的な復元が求められていた。さらに、将来の気候変動予測にも資するため、これらに影響を与える自然プロセスを解明が必要であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、湾内の水温が気温と高い相関を有するという特性を活かして、沿岸堆積物柱状コアを用いて高時間解像度で高精度の気温と関連環境指標の復元を行い、これらに影響を与えた自然環境プロセスを明らかにするとともに、人間活動への影響を評価する事である。換言すると、人間社会はいかなる気候および環境変動により影響を受け、変遷してきたのかという問いに客観的な束縛条件を与える事である。これは、社会の変化が人間社会の内部要因によるのかどうかを判断する基礎データとなる。最重要の時間目標は弥生人が最初に日本に渡来した3,000年前(¹⁴C年代で紀元前10世紀)以降とするが、過去数千年間についても自然環境プロセスとの関係を解析する。

3. 研究の方法

定量的な温度の復元に際し、「湾」内の浅海堆積物コアを用いる。特徴は連続的な記録(陸は削剥、海は堆積の場)、正確な年代決定(炭酸塩殻の産出)、アルケノン水温計(誤差0.3)、陸の気温と湾内の水温との高い相関、である。

水温はアルケノン古水温計で求める。炭素数37-39で二重結合を2-4個持つメチルおよびエチルケトンのことを長鎖不飽和アルケノンと呼ぶ。これは円石藻により生合成される有機化合物で深海底堆積物中に含まれる。これらのアルケノンのうち炭素数37のアルケノンの3不飽和のもの([C37:2])と3不飽和のもの([C37:3])の生合成比(不飽和度)は生育温度に比例して変化する。アルケノンの不飽和度は以下の式で定義される： $Uk37' = [C37:2] / ([C37:2] + [C37:3])$ 。最もよく使われている換算式はPrahl et al.(1988)によるものである。 $Uk37' = 0.034 \times T (^{\circ}C) + 0.039$

実験室での飼育実験に基づく検量線は相関係数1.00であり、現代の大西洋の表層水温と海底表層泥のアルケノン古水温計のキャリブレーションも1000観測点以上で実施され、信頼性が高い。他に有孔虫炭酸塩殻の酸素同位体比、Mg/Ca比を用いて水温を求める。これと気温の高い相関を利用して、気温を推定する。なお、湾での採泥については、ピストンコアの採取に失敗した場合、倒れる方向によりピストンコアに繋がるワイヤーが研究船のプロペラに絡み付くと重大なトラブルとなる。そのため、これまで実施されてこなかった。今回、表層堆積物採取、4mコアリング、6mコアリングと順番に採取を行うことで、危険を回避して、試料を採取できることとなった。

4. 研究成果

<氷期か融氷期(過去25,000-7,000年前)の温度変化>

大氷床が存在していた過去27-5千年の記録は、大きく9期間に分類することができる：最終氷期最盛期以前(23.0-17.0千年BC)、初期融氷期(17.0-14.8千年BC)、ハインリッヒ・イベント(Heinrich Event) I(14.8-13.6千年BC)、親潮が日本海に流入しだす遷移期(13.6-12.67千年BC)、Bølling/Allerød温暖期(12.67-10.9千年BC)、新ドライアス期(10.9-9.5千年BC)、前Boreal温暖期(9.5-8.3千年BC)、最終融氷期(8.3-5千年BC)、後氷期(5千年BC以降)。

大陸氷床量が最大だったのは最終氷期最盛期だったので、この時が最も寒かったと考えられやすいが、日本列島北部では、ハインリッヒ・イベントIの時に最寒冷期(8.7[°]C)を経験した。この温度は現在(15.7[°]C)と比べると7程度低かった。その後、Bølling/Allerød温暖期、新ドライアス期、前Boreal温暖期など融氷期には、短期間の寒暖の激変を伴いながら、温暖化していった。海水準は最終氷期最盛期には現在より120m程度低かったから、氷床が融解すると海水準は上昇し、5千年BC前までに、南極とグリーンランドを除くと大陸氷床は融解してしまった。

現在、青森県に存在する縄文遺跡は、海拔数mに位置するものが多い。融氷期の遺跡も当時の海岸に近い所にあったとすると、現在は海の底に遺跡を見つけることは難しい。6,200年BDに小さな寒冷期は、グリーンランドでも明瞭に認められる「8.2ka寒冷イベント」に対応していたものである。

<過去7,000年間の温度変化>

この期間の総海水量はほぼ一定であった。噴火湾での、水温平均は14.5、その幅は8.7(最高・最低温度は、それぞれ14.5、23.2)であった。過去7,000年間の温度は時間とともに増加してきたが、これは津軽暖流が強くなったためかもしれない。この増加トレンドからの偏差は-2.6 ~ -3.9で、変動中は6.5となるので、この地域はかなり大きな環境変動を経験してきた。温度の極大は4529年BC、2546年BC、759年AD、1782年ADの他に、小さな極大が4057年BC、3585年BC、3018年BC、1885年BC、1508年BC、1035年BC、469年BC、122年、

381年, 1164年に認められた。4500-4000年BC, 2550-2000年BC, 760-1080年には, 温度は大きく落ち込み, 数に及んだ。古い方から, 縄文海進後の降温期, 三内丸山遺跡の崩壊期, 平安後期の宮廷政治の衰退期とタイミングが一致している。

<過去3,000年間の温度変化>

高時間解像度での温度復元は, 「2Kプロジェクト」と呼ばれる国際プログラムでは, 過去2,000年間を対象である。日本の場合には, 現代日本人に通じる弥生人が最初に日本列島にやってきたのが紀元前10世紀なので, 過去3,000年間を対象とるよう拡大した。

文献値が残る600年以降の期間については, 復元気温と歴史記録とが整合的か検証した。気象予報士Ishii (2002)による, 600-1250年までの宮廷の日記などの記録より復元された定性的な気象と比較した結果, 本研究の結果は歴史記録とも整合的であった。SSTの平均は22.1, 最高値は24.3 (820年), 最小値は22.2 (760年BC), 22.4 (990年)であった。比較的高温だった期間は, 30年BC-510年, 670-940年, 1170-1420年であった。低温期は, 1000-940年BC, 770-620年BC, 490-330年BC, 220-110年BC, 560-620年, 990-1150年, 1440-1570年。で, 950から1190年の期間は値が大きく変動し, 気候が不安定であったことを示していた。これまで世界的規模で発表されてきた復元気温との大きな違いは, 「日本には中世温暖期」がなかったことである。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

Kawahata, H., Matsuoka, M., Togami, A., Harada, N., Murayama, M., Yokoyama, Y., Miyairi, Y., Matsuzaki, H., and Tanaka, Y., Climatic change and its influence on human society in western Japan during the Holocene. *Quaternary International*, 英文査読有, 440, 2017, 102-117, DOI:10.1016/j.quaint.2016.04.013.

Kawahata, H., Ishizaki, Y., Kuroyanagi, A., Suzuki, A., and Ohkushi, K., Quantitative reconstruction of temperature at Jomon site in the Incipient Jomon period in northern Japan and its implication for the production of early pottery and stone arrowheads. 英文査読有, *Quaternary Science Reviews*, 157, 2017, 66-79, DOI: 10.1016/j.quascirev.2016.12.009.

Isaji, Y., Kawahata, H., Ohkouchi, N., Murayama, M., and Tamaki, K., Terrestrial environmental changes around the Gulf of Aden over the last 210 kyr deduced from the sediment n-alkane record: Implications for the dispersal of Homo sapiens. *Geophysical Research Letter*, 英文査読有, 42, 2015, 1880-1887, doi: 10.1002/2015GL063196.

Isaji, Y., Kawahata, H., Ohkouchi, N., Murayama, M., Tamaki, K., Varying responses to Indian monsoons during the past 220 kyr recorded in deep-sea sediments in inner and outer regions of the Gulf of Aden. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(11), 英文査読有, 2015, 7253-7270. DOI: 10.1002/2015JC010982.

Irizuki T., Kobe, M., Ohkushi, K., Kawahata, H., Kimoto, K., Centennial- to millennial-scale change of Holocene shallow marine environments recorded in ostracode fauna, northeast Japan. *Quaternary Research*, 英文査読有, 84, 2015, 467-480. Doi.10.1016/j.yqres.2015.10.006

Iwasaki, S., Inoue, M., Suzuki, A., Sasaki, O., Kano, H., Iguchi, A., Sakai, K., Kawahata, H., The role of symbiotic algae in the formation of the coral polyp skeleton: 3-D morphological study based on X-ray microcomputed tomography. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 英文査読有, 17, 2016, doi:10.1002/2016GC006536.

Zakir, H.M.Z., Kawahata, H., Manaka, T., and Otani, S., Geochemical characteristics of major rivers sediments in Myanmar and Thailand: implications for source area weathering and provenance. *Erde-Geochemistry*, 英文査読有, 77, 2017, 443-458, DOI: 10.1016/j.chemer.2017.07.005.

Kajita, H., Kawahata, H., Wang, K., Zheng, H., Yang, S., Ohkouchi, N., Utsunomiya, M., Zhou, B., Zheng, B., Extraordinary cold episodes during the mid-Holocene in the Yangtze delta: Interruption of the earliest rice cultivating civilization. *Quaternary Science Reviews*, 英文査読有, 201, 2018, 418-428, Doi. 10.1016/j.quascirev.2018.10.035

Kessarkar, P.M., Naqvi, S.W.A., Thamban, M., Fernandes, L.L., Siebert, C., Rao, V.P., Kawahata, H., Ittekkot, V., Frank M., Variations in denitrification and ventilation within the Arabian Sea oxygen minimum zone during the Holocene. *Geochemistry*

〔学会発表〕(計3件)

川幡穂高「気候変動による人間社会の変遷について」北海道考古学会・招待公演・18.5.12

川幡穂高「縄文時代の環境と縄文人の暮らし」石神井公園ふるさと文化館・招待公演 18.8.5

川幡穂高「現代日本人に至るホモ・サピエンスが経験した環境変動ートバ超巨大噴火、アフリカ出、ボンドイベント 3(4.2ka)、三内丸山遺跡)」人類学会年会、招待公演・18.10.21

〔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：
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：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://ofgs.aori.u-tokyo.ac.jp/kawahata/kawahata-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：鈴木淳

ローマ字氏名： Suzuki, Atsushi

所属研究機関名：産業技術総合研究所

部局名：地質情報研究部門

職名：研究グループ長

研究者番号(8桁)：60344199

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：山岡香子

ローマ字氏名： Yamaoka, Kyoko

所属研究機関名：産業技術総合研究所

部局名：地質情報研究部門

職名：研究員

研究者番号(8桁)：30610399

(2) 研究協力者なし

研究協力者氏名：なし

ローマ字氏名：なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。