

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19710026

研究課題名（和文）過去の地球温暖期における東アジアの気候安定性

研究課題名（英文）Stability of the East Asian climate during the past warm periods

研究代表者

長島 佳菜 (NAGASHIMA KANA)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・研究員

研究者番号：90426289

研究成果の概要（和文）：

日本海の海底堆積物に含まれる風成塵の供給源を調べた結果、酸素同位体ステージ1、5において、風成塵供給源が数千年スケールで繰り返し変動していることがわかった。この結果は、風成塵を運搬する偏西風ジェットの季節進行が、数千年毎に変動していたこと示唆する。偏西風の季節進行の変化は、アジア夏季モンスーンの降雨の緯度分布を変化させた可能性が高く、温暖期における東アジアの気候変動を空間的に理解する上で重要な知見が得られた。

研究成果の概要（英文）：

Reconstructed provenances of eolian dust in Japan Sea sediments exhibit millennial-scale variations during MIS 1 and 5, which we interpret to reflect changes in the timing of the seasonal northward movement of the westerly jet axis. The westerly jet changes probably cause millennial-scale changes for the latitudinal distribution of the East Asian Summer Monsoon precipitation. The coupled changes represent climate instability in East Asia during past warm periods.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	200,000	60,000	260,000
年度			
総計	2,700,000	450,000	3,150,000

研究分野：古気候学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：気候変動、地球温暖化、アジアモンスーン、古気候、古海洋、偏西風、ESR

1. 研究開始当初の背景

過去100万年間の気候は、約10万年の周期をもつ氷期-間氷期のサイクルで特徴づけられており、過去の間氷期の記録を解析することで、現在同様、もしくはより温暖であった時代の気候システムを理解し、将来予測に役立てることができる。日本を含めた東アジアの国々の気候は、アジア夏季モンスーンの影響を強く受けており、過去の温暖期のアジ

ア夏季モンスーンの挙動を復元することは、アジアの気候システムの理解に繋がる。

近年、中国南部の洞穴から採取された石筍の酸素同位体比の解析や(例えば Wang et al., 2001, 2004)、中国東北部の泥炭層に含まれるセルロースの炭素同位体比(Hong et al., 2005)などから、最終氷期以降の夏季モンスーン降雨量の変動が復元された。その結果、夏季モンスーン降雨は、地域によって異なる

時系列変化パターンを持つことがわかった。すなわち、アジア夏季モンスーンの変動を調べるには、アジア夏季モンスーンの空間分布を把握することが重要と言える。そこで注目したのが、東アジア上空の偏西風の動きである。晩春～初夏の偏西風の位置はアジア夏季モンスーンの北限を支配し、アジア夏季モンスーンの降雨域の空間分布を支配することが知られている（例えば Liang and Wang, 1998）。そのため、過去の温暖期における偏西風ジェットの季節進行を調べることで、アジア夏季モンスーンの温暖期における性質やその安定性を詳しく検証することができるはずである。

2. 研究の目的

東アジア上空の偏西風ジェットは、中国・モンゴルの砂漠域から巻き上げられた風成塵を運搬するため、過去の偏西風ジェットの位置やその変化は、風下域の海洋（日本海や北西太平洋）に堆積している風成塵を調べることで検証することができる（Nagashima et al., 2007）。特に、海底堆積物中の風成塵が、どの砂漠から運ばれてきたものであるのかを調べることで、春～夏にかけての偏西風ジェットの位置を詳しく復元することができる。そこで本研究では、過去の温暖期（酸素同位体ステージ（MIS）1, 5, 11）に海洋に堆積した風成塵の供給源を調べて偏西風ジェットの挙動を復元し、偏西風-アジア夏季モンスーンによって特徴づけられる東アジアの気候が温暖期にどのような特性を持つのか、検証を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

日本海の中中部で採取されたピストンコア KR07-12 PC-5、PC-8、南西部で採取されたピストンコア MD01-2407 およびグラビティコア KR02-06 DGC-6 を用いて、中に含まれる風成塵の供給源の復元を行った。KR07-12 PC-5 はコア上部に一部乱れた層準があるため、MIS 5-11 について分析を行い、PC-8 は MIS 1-4 について、MD01-2407 は MIS 1-5 について、DGC-6 は MIS 1-2 について分析を行った。更に、北西太平洋から採取されたコア試料（MR00K05 PL-1, PL-2, MR01K02 PL-1, MR02K03 PL-1, PL-3）を用いて中に含まれる風成塵の供給源復元を行い、MIS 1 における広域的な偏西風ジェットの位置の復元を目指した。

風成塵の供給源推定には、風成塵の主要構成鉱物である石英の 2 つの指標、ESR（Electron Spin Resonance, 電子スピン共鳴）信号強度と結晶化度を用いた。石英の ESR 信号強度は、岡山理科大学の ESR 分析装置（JEOL, PX-2300）を用いて、石英の結晶化度は、東京大学の粉末 X 線回折分析装置

（PANalytical X'Pert-pro）を用いて測定した。石英中の酸素空孔量を示す ESR 信号 (E_1' 中心) 強度は石英の生成年代を反映し（Toyoda, S., 1992）、結晶化度は石英の生成条件を反映した指標であると考えられている（Murata and Norman, 1976）。風成塵の供給源となるユーラシア大陸の乾燥域は、地域毎に特有の ESR 信号強度および結晶化度を持つことが示されている（Sun et al., 2007）。現在日本に飛来する風成塵の主な供給源と考えられている、モンゴルのゴビ砂漠とタクラマカン砂漠とで採取された石英の値を比較すると、両者はほぼ等しい結晶化度（ ~ 8.5 ）を持つが、先カンブリア時代の基盤岩が周辺に広く分布しているゴビ砂漠では石英の ESR 信号強度が高く（12.3-16.6）、古生代～中生代の基盤岩が周辺に広く分布しているタクラマカン砂漠では低い値（4.5-9.6）を持つことが示されている（Sun et al., 2007）。そこで、本研究では特に石英の ESR 信号強度の変化に注目した。

4. 研究成果

(1) 数万年スケールの風成塵供給源変動

MIS 1-11（過去 40 万年強）に相当する日本海の複数コア試料から、石英の ESR 信号強度と結晶化度の時系列変動が復元され、過去約 40 万年に渡って、タクラマカン砂漠とゴビ砂漠が主な風成塵供給源であること、両砂漠から日本海に供給される風成塵の量の相対比（ここでは各々の砂漠の寄与率と言う）は時代と共に変化していることが示された。風成塵の供給源は、大局的には氷期-間氷期サイクルを反映して変動していたが、北半球中緯度の夏の日射量変動、もしくはそれを強くコントロールする地球の歳差運動の周期（約 2.3 万年）に連動した変動も同時に確認された。すなわち、間氷期および夏の日射量が強い時代には、タクラマカン砂漠の寄与率が高くなり、氷期および夏の日射量が弱い時代にはゴビ砂漠の寄与率が高くなっていた。その結果、MIS 1 はタクラマカン砂漠の寄与率が高く、5 つのサブステージ（MIS 5a, 5b, 5c, 5d, 5e）から成る MIS 5 は、日射量のピークに一致して MIS 5a, 5c, 5e でタクラマカン砂漠の寄与率が増加した。MIS1 でタクラマカン砂漠の寄与率が高いという傾向は、日本海だけではなく、本研究で用いた北西太平洋のコアでも確認されており、東アジアの風下域で共通の傾向と言える。

一方、MIS 11 はその期間を通じた風成塵供給源の特徴は見られず、MIS 11 の前半でゴビ砂漠の寄与率が高く、後半でタクラマカン砂漠の寄与率が高かった。MIS 11 内の風成塵供給源変動は、北半球の夏の日射量変動とも連動していなかった。MIS 11 のデータが得られた KR07-12 PC-5 コアの年代モデルは、

MD01-2407 コアにおいて浮遊性有孔虫の酸素同位体比から認定された MIS events (Kido et al., 2007) を、日本海に特有の明暗互層の対比に基づいて投影して作成しており、MIS 11 付近は最大で数万年の年代誤差が存在する可能性がある。そこで MIS 11 における風成塵供給源の変動については、今後年代モデルを改訂し、新たに議論を行う必要がある。したがって本報告書では、以下に MIS 1, 5 における東アジアの気候特性について得られた結果をまとめる。

(2) MIS 1 の偏西風の変動

AMS¹⁴C による精度の良い年代モデルが構築されている (Yokoyama et al., 2007) 日本海南西部 DGC-6 コアの石英の ESR 信号は (図 1 (e))、MIS 1 の間に振幅 1-2 (spin unit) 程度の変動を何度も繰り返していた。その中で、ESR 信号の負のピーク、すなわちタクラマカン砂漠からの寄与率の増加が起こったのは、約 1 万 5 千年前、9.5 千年前、8 千年前、5.5 千年前、(4 千年前、3 千年前)、2-1 千年前である。中でも約 5.5 千年前には、振幅の大きな ESR 値の極小化が見られた。

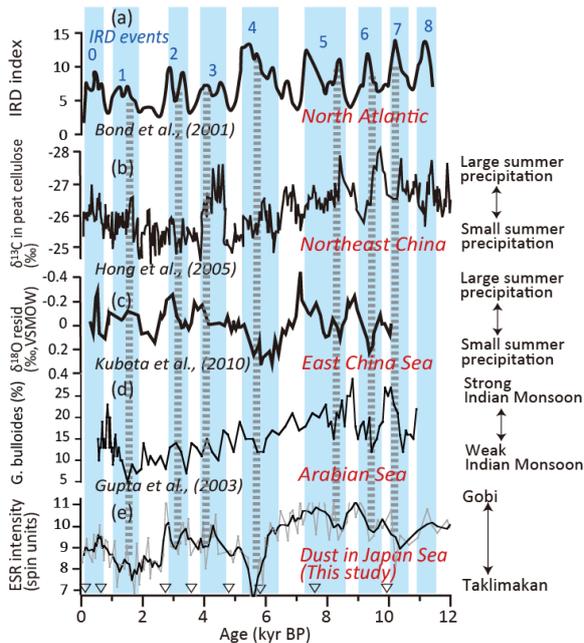


図 1 MIS 1 における (a) 北大西洋の IRD index (Bond et al., 2001)、(b) 中国北東部の泥炭に含まれるセルロースの炭素同位体比 (Hong et al., 2005)、(c) 東シナ海の塩分指標 (Kubota et al., 2010)、(d) アラビア海における *G. bulloides* の産出% (Gupta et al., 2003)、(e) 日本海 DGC-6 コアの ESR 信号強度の時系列変動。(b) (c) はそれぞれ中国東北部と中国南部におけるアジア夏季モンスーン強度を、(d) はインドモンスーン強度を示している。青色のハッチは IRD イベントを、灰

色の点線は ESR 信号強度の極小値イベントを示す。(e) 下の三角印は DGC-6 コアの年代基準面を示す。

偏西風ジェットは、現在、冬～春にかけてチベット高原の南側を通過しているが、晩春～初夏にかけてチベット高原の北にジャンプする。偏西風ジェットがチベット高原の南に位置している時には、ゴビ砂漠が風成塵の主な供給源であるが、チベット高原の北にジャンプすると、ゴビ砂漠での風成塵の巻き上げが減り、タクラマカン砂漠が主な風成塵供給源になる。従って、タクラマカン砂漠からの寄与率が高い (ESR 信号強度が低い) 時代には、偏西風ジェットがチベット高原の北側にジャンプするタイミングが早く、タクラマカン砂漠からの寄与率が低い (ESR 信号強度が高い) 時代には、ジャンプのタイミングが遅いと解釈することができる (Nagashima et al., 2011)。そのため、MIS 1 に度々繰り返される ESR 信号強度の極小化は、偏西風ジェットが北上する季節進行が早かったことを示唆している。

そこで次に、日本海の風成塵供給源の変動を、先行研究で報告されたアジア夏季モンスーンの指標 (図 1 (b) (c)) と比較し、偏西風ジェットの挙動と夏季モンスーン降雨分布の関係を調べた。その結果、上記の ESR 信号の極小値イベントの多くは、中国北東部 (Hong et al., 2005) の夏の降雨量が増加し、中国南部 (Kubota et al., 2010) の夏の降雨量が減少した時代と一致することがわかった。この結果は、偏西風ジェットがチベット高原の北にジャンプするタイミングが早くなったことでアジアモンスーンの降雨域も北にシフトし、その結果、中国の北東部で降雨が増加し、南部で降雨が減少したことを示唆する。したがって、MIS 1 には、1-1.5 千年程度の準周期性を持って、偏西風-アジア夏季モンスーンの季節進行の変化が起こっている可能性が高い。

次に、偏西風-アジア夏季モンスーン変動が東アジアの地域的な気候変動であるのか、それともより広域的な変動の一部であるのかを検証するため、他の地域の古気候指標との比較を行った。ESR 信号強度の変化を、図 1 (d) に示されるアラビア海におけるインドモンスーン指標と比較すると、ESR 信号強度の極小値イベントの多くはインドモンスーンが低緯度で弱化した時期に一致していることがわかった。すなわち、偏西風-アジア夏季モンスーンの季節進行の変化は、インド夏季モンスーンの変動と直接・間接的に関係しており、少なくともアジアの東西に渡る空間スケールを持つ変動である可能性が高い。更に、高緯度の気候システムとの関係性を調べるため、ESR 信号強度の変化を、北大西洋の

IRD 指標 (図 1(a)) と比較した。その結果、ESR 信号強度の極小値イベントの多くは IRD が増加した時期に一致し、偏西風-アジア夏季モンスーンの変動時期に、北大西洋高緯度域には冷たく氷に富んだ水が運ばれてきていたことが分かる。従って、MIS 1 における偏西風-アジア夏季モンスーン変動は、高緯度の気候システムも含めた半球規模の気候変動に関連している。

MIS 1 における千年スケールの気候変動は世界各地の指標から報告されており、徐々にそれらが同時に起こったと考えられるようになってきている (Mayewski et al., 2004)。Bond et al. (2001) は、MIS 1 における半球もしくは全球規模の気候変動を引き起こす原因として、太陽活動の変化を挙げており、それに伴って大気や海洋の循環パターンの大規模な変化が起こった可能性を示している。本研究で得られた、MIS 1 における偏西風-アジア夏季モンスーンの季節進行の変化は、太陽活動の変化に伴って大気・海洋循環の大規模変動が起こったとする説をモデル実験で検証する際に、重要な制約条件になるものと期待される。

(3) MIS 5 の偏西風の変動

MIS 5 における日本海 MD01-2407 コアの石英の ESR 信号強度は振幅 1-3 (spin unit) 程度の増減を何度も繰り返していた (図 2 (c))。MIS 5a, 5c, 5e は、ESR 信号強度の極小化が顕著で、特に MIS 5e は MIS 1 に匹敵する値 (~8 spin unit) を示し、大規模・長期間 (~1 万年) に渡る極小化が見られた。

MIS 5e は、グリーンランド氷床コアの酸素同位体比データから、現在に匹敵するかもしくはそれ以上の温暖な時代であったと考えられており、中でも GRIP 氷床コアの酸素同位体比からは、現在よりもより温暖な気候モードと、より寒冷な気候モードとの間で、急激な気候変動が繰り返した可能性が指摘されている (図 2 (a), GRIP Members, 1993)。その後、GRIP コアの MIS 5e 部分はコアの乱れの可能性が高いとされ (例えば Grootes et al., 1993)、より温暖なモードとの間の急激な変動が起こった可能性については否定的な見方が大半であるが、最終的な決着がっていない。そこで MIS 5e 内の ESR 信号強度の変動を詳しく調べ、この時代に偏西風の季節進行が急激・大規模に変動したか否かを検証した。ESR 信号強度は約 12 万 7 千年前、12 万 5 千年前、12 万 3 千年前、12 万年前、11 万 7 千年前付近で極小値をとっているが、その振幅は 2 (spin unit) 以下で、MIS 1 の変動と同程度、もしくはより小さい変動幅に止まった (図 2 (c))。一方、アジア夏季モンスーンの夏の降雨量変動を反映するとされる中国の石筍の酸素同位体比からは、MIS 5e にお

いて、急激・大規模な変動は見られなかった (Wang et al., 2008, 図 2 (b))。したがって、MIS 5e に現在よりも温暖な気候と寒冷な気候との間で、大規模な気候ジャンプが起こった可能性を支持するデータは、偏西風-東アジア夏季モンスーン指標からは得られなかった。しかしながら、ESR 信号強度の数千年スケールの変動から、MIS 5e において MIS 1 と同様もしくはそれより弱い規模で、偏西風の季節進行が繰り返し変動した可能性が示された。一方、石筍の酸素同位体比は、数千年スケールで 1‰以下の変動がみられるが、石筍毎の値の差が大いため (図 2 (b))、MIS 5 におけるアジア夏季モンスーンの千年スケール変動の有無や時期は明らかになっていない。したがって、MIS 1 同様に MIS 5e においても偏西風とアジア夏季モンスーンの季節進行が千年スケールで連動しているかどうかの検証は、今後の新しいアジア夏季モンスーンデータに期待したい。

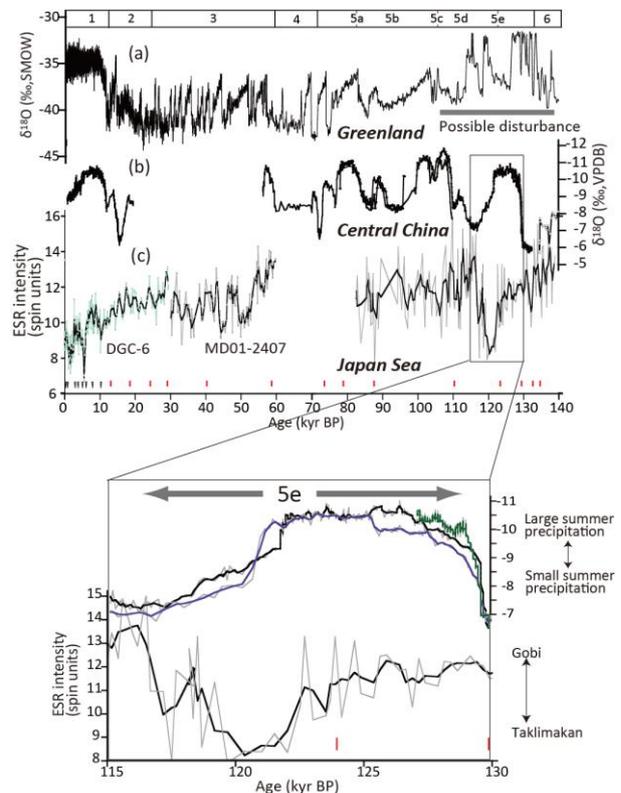


図 2 過去 14 万年間の (a) GRIP の酸素同位体比 (GRIP Members, 1993)、(b) 中国中部 Sanbao cave の石筍酸素同位体比 (Wang et al., 2008)、(c) 日本海 DGC-6/MD01-2407 コアの ESR 信号強度の時系列変動。(a) はグリーンランドにおける気温変化を、(b) は中国中部におけるアジア夏季モンスーン強度を示している。(e) 下の赤線は年代基準面を示す。

本研究において、過去の温暖期における東アジアの数千年スケール気候変動の空間分布が示された。今後は、モデルによる数値実験と共に、変動の要因や東アジアへの伝播メカニズムを検証していきたい。

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 2 件)

① Kana Nagashima, Ryuji Tada, Atsushi Tani, Youbin Sun, Yuko Isozaki, Shin Toyoda, Hitoshi Hasegawa, Millennial-scale oscillations of the westerly jet path during the last glacial period, Journal of Asian Earth Sciences, 査読有, Vol. 40, 2011, pp. 1214-1220

② Kana Nagashima, Ryuji Tada, Shin Toyoda, Provenance study of the Asian dust based on crystallinity and electron spin resonance signal intensity of quartz, Proceedings of the Eleventh Workshop on Environmental Radioactivity, 査読有, Vol. 11, 2010, pp. 10-18

[学会発表] (計 11 件)

① Kana Nagashima, Abrupt changes of the Asian dust flux and provenance recorded in ocean and lake sediments around Japan, PMIP3 workshop, 2010/12/9, Kyoto Garden Palace Hotel, Japan

② Kana Nagashima, Millennial-scale oscillations in westerly jet path and their linkage with East Asian monsoon, 2010 Kochi International Workshop on Paleo, Rock and Environmental Magnetism - Asian Monsoon and Global Climate Change, 2010/2/4, Kochi University, Japan

③ Kana Nagashima, Millennial-scale oscillations in westerly jet path and their linkage with East Asian monsoon, PAGES 3rd Open Science Meeting, 2009/7/10, Oregon State University, USA

④ Kana Nagashima, Westerly jet-Asian Monsoon coupling during the last 30 kyr, 2008 American Geophysical Union Fall Meeting, 2008/12/16, The Moscone Center, San Francisco, USA

⑤ Kana Nagashima, Coupled variations in Asian winter monsoon and westerly jet during the last 60 kyr recorded in the south-central Japan Sea sediments, 9th International Conference on Paleoceanography, 2007/9/4, Shanghai, China

[その他]

ホームページ等

<http://www.jamstec.go.jp/seika/jdb/index.do>

<http://www.jamstec.go.jp/res/ress/nagashimak/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長島 佳菜 (NAGASHIMA KANA)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・研究員

研究者番号 : 90426289