

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：平成19年～平成20年  
 課題番号：19540451  
 研究課題名（和文）地磁気エクスカージョンと気候変動・海水準変動の相関性についての研究  
 研究課題名（英文）Research on correlation between geomagnetic excursions and climate/sea-level changes  
 研究代表者  
 小田 啓邦（ODA HIROKUNI）  
 独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員  
 研究者番号：90356725

研究成果の概要：

本研究に先立って、我々は九州西方海域から1万4千年前の急激な地球磁場変動の記録を得た。1万4千年前の氷河期から温暖期への移行期に起こったとされる急激な海水準上昇で地球の慣性モーメントが変化し、地球の回転速度が変化することで地球磁場変動が起こったと仮説を立て、証拠固めを目指して研究を行った。九州西方海域で採取した4本の柱状堆積物試料のうち1本で1万2千年前の地球磁場の方位と強度の異常が確認されたが、他の3本では確認されなかった。さらに、異常を示した層準から別試料を採取して再測定したが、異常は確認されなかった。異常の原因は堆積後に生成された不安定な磁性鉱物によると思われる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：地磁気エクスカージョン，海水準変動，メルトウォーターパルス1A，コアーマントル境界，慣性モーメント，堆積物，自然残留磁化，続成作用

1. 研究開始当初の背景

地磁気は核内流体運動（地磁気ダイナモ）により生成・維持されている。地磁気ダイナモは核内で閉じた現象であるとする研究者もいるが、地球磁場変動に地球軌道要素である10万年周期がみられることも示されており(Yamazaki and Oda, 2002)、核外の現象と相互作用していると考えられる。地球磁場の極性は過去に何度も反転を繰り返して来たことが知られているが、これら普通の地球磁場逆転の他に、ごく短い時間だけ極性が反転あるいは仮想地磁気極が横を向いた状態の”地磁気エクスカージョン”が存在することが知られている。これら地球磁場逆転と地磁気エクスカージョンは地球磁場ダイナモシミュレーションによっても再現されており(例えば Takahashi et al., 2005)、地球磁場の基本的性質と考え

返して来たことが知られているが、これら普通の地球磁場逆転の他に、ごく短い時間だけ極性が反転あるいは仮想地磁気極が横を向いた状態の”地磁気エクスカージョン”が存在することが知られている。これら地球磁場逆転と地磁気エクスカージョンは地球磁場ダイナモシミュレーションによっても再現されており(例えば Takahashi et al., 2005)、地球磁場の基本的性質と考え

ることができる。地磁気エクスカージョンは主として地球磁場強度が弱まったときに出現することが指摘されており（小田, 2005）、双極子磁場が弱まったときに現れる地球磁場の非双極子成分と考えることができる。一方で、地磁気エクスカージョンと氷期・間氷期サイクルとの関連性も指摘されているが（Worm, 1997）、これは気候変動に伴う氷床の増減による固体地球（地殻・マントル）の角速度変動がコア-マントル結合を介して外核の流体鉄に伝わって、地磁気エクスカージョンを引き起こしているという考えである。

ブルン正磁極期の中でも19万年前および4万年前に起こったとされるIceland BasinエクスカージョンおよびLaschampエクスカージョンの記録は世界各地から報告されており、これらの全地球的な地磁気エクスカージョンは地球磁場強度の極小値と厳密に対応づけられることがわかっているが氷期-間氷期サイクルとの直接的な関連は示されていない。これら2つの地磁気エクスカージョンは双極子磁場の大きさが小さくなったことで非双極子磁場成分が強調されて現れた、主として地磁気ダイナモの自発的な現象であると考えることができる。一方で、地磁気エクスカージョンには、地球上の一部の地域に限って観測されるものも見受けられる（小田, 2005）。その中でも特に年代が若く比較的信頼性が高いと思われるものは、中国北京近郊の4つのトレンチサイトで観測されている約1万4千年前および約5千年前のほぼ完全な

極性の逆転を伴う短い地磁気エクスカージョンである（Zhu et al., 1998）。また最近になって、九州西方の男女海盆で採取されたMD982195コアの古地磁気記録にも約1万4千年前および6千年前に極性逆転を伴う地磁気エクスカージョンの存在した可能性が我々のグループによって示唆された（図1：Oda et al., 2002）。この時期の世界の他の地域では極性反転を伴うような地磁気エクスカージョンは確認されていない。これらのことから、東アジアにおいて局所的な地磁気エクスカージョンが発生した可能性が考えられる。

## 2. 研究の目的

男女海盆以外で日本の湖および日本周辺海域からは2万年以降に極性反転を伴う地磁気エクスカージョンは報告されていない。本研究では、男女海盆から複数サイトにおいて過去2万年分の堆積物コア試料を採取し、MD982195コアで観測された地磁気エクスカージョンの存在を追認することで証拠能力を高め、東アジアで確認される1万4千年前および6千年前の地磁気エクスカージョンの発生メカニズムを解明することを目的とする。これは、男女海盆では堆積速度が速く残留磁化も安定であり、地磁気エクスカージョンが本物であれば確実に記録に残っていると期待できること、浮遊性有孔虫を用いた<sup>14</sup>C年代測定により精密な決定を行うことが出来ること、そして以下に述べるように海水準の急激な上昇と関連づけることが出来るためである。我々は、2万年前の最終氷期最寒期から現在に向かう融氷期の中でも、特に1万4千年前に海水準が約25m程度急激に上昇したことに着目した（Fairbanks, 1989）。これは、当時カナダに位置していた巨大な氷河湖Lake Agassizが決壊して急激な淡水流入による海水準上昇を招いたためとされており、メルトウォーターパルス1Aとして知られている。このような急激な海水準上昇は地球の慣性モーメントの増加をともない角運動量の保存則から地球（地殻・マントル）の回転速度が急激に減少することが期待される。急激な海水準上昇は、コア-マントル境界に強い差分回転を導入し、融氷が一定である場合の10倍の角加速度を発生させる（Nakada, 2003）。このような大きな角加速度を伴うコア-マントル境界での差分回転が外核に作用することで、地球磁場に大きな変動をもたらすことが予想される。地球回転変動が地磁気変動に影響を及ぼすこと

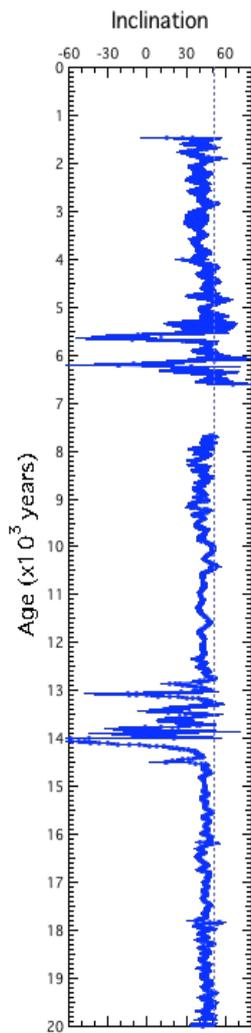


図1：MD982195 コアの古地磁気伏角記録。縦軸は年代。

については、地磁気主磁場の2階時間微分が急に変化する地磁気ジャーク現象が一日の長さの変動と強い相関を示すことから明らかであるが(Holme and de Viron, 2005)、それが地磁気伏角の極性が反転するほどの大きな規模で起こっていたことを具体的証拠を元に示すことができれば、これは世界で初めてのことである。さらに、1万4千年前の地磁気エクスカージョンが東アジア以外で観測されないことについては、以下のような説明が考えられる。地震波の観測から中国北部の下に位置する下部マントルD”層内部にP波を散乱する部分が確認されているが(Kito et al., 2003)、これは過去にユーラシアプレートの下に沈み込んだ冷たく重い過去の海洋プレートの残骸と考えられる。D”層の冷たく重い塊はコア-マントル境界を超えて外核内部に大きな地形的高まりとして突出していることが想定され、地球回転変動に伴って外核に擾乱をもたらし、結果としてその上部に位置する東アジアのみで地磁気エクスカージョンが観測されたと考えられる。

6千年前の地磁気エクスカージョンについても、同様のシナリオを考えることが可能である。今から約6千年前は縄文海進で知られる世界的な温暖期(ヒブシサーマル期)でもあり、3m程度の海水準上昇が認められているが、南極氷床が7~5千年の間に急激に溶けたことに海水準上昇の原因を求める研究者もいる(Ingolfsson and Hjort, 1999)。急激な融氷とそれにとまなう海水準の上昇は同様にコア-マントル境界に差分回転を引き起こし地磁気エクスカージョンが発生したと想定される。

本研究は、男女海盆から採取した複数のコア試料の古地磁気測定により6千年前と1万4千年前の地磁気エクスカージョンの存在を決定的なものにし、上記モデルに基づき、コア-マントル境界の構造と急激な海水準上昇から東アジア地域に観測されるような地磁気エクスカージョンが発生しうることを示すことを目的として行った。

### 3. 研究の方法

男女海盆(図2:中心部分)は北部沖縄トラフと中央構造線から別府-島原地溝帯へと伸びる構造線が交差する所に位置しており、継続的に沈降しているために、千年に1m程度の速い堆積速度で均質な堆積物が堆積している。先述したように、本海盆のMD982195サイトにて1万4千年前および6万年前の地磁気エクスカージョンが確認されている。この地磁気エクスカージョンの記録を追認し、古地磁気の信頼できる

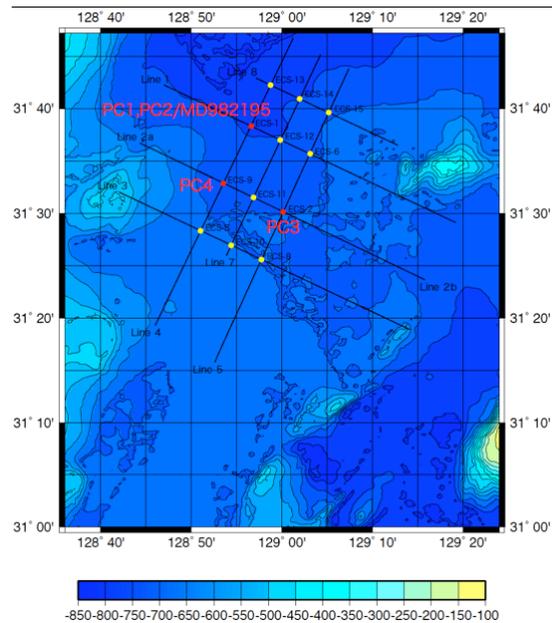


図2:九州西方の調査海域図。水深(m)を下のカラーバーで色分けしてある。赤丸はコア採取地点。

記録として確立するために、平成19年2月24日~3月1日に男女海盆にて海洋調査船「かいよう」にて調査航海を行い、4本のピストンコア試料の採取を行った。図2のMD982195サイト(赤丸)においては2本のコア試料(PC1, PC2)を採取し、先行研究と同一地点での地磁気エクスカージョンの追認を行うと共に、信頼性を高めるために、他の2地点(図2:赤丸PC3, PC4)において1本ずつコア試料を採取した。得られたピストンコアは船上にて半割の後、堆積物記載・写真撮影・色測定を行い、冷蔵保存した。その後、X線-CTによる3次元データ取得およびマルチセンサーコアロガーによるγ線減衰による密度・帯磁率の測定をおこない、古地磁気測定・<sup>14</sup>C年代分析用等の試料採取を行った。

古地磁気試料は半割コアから連続的に2cm角のキューブ試料を採取し、まず帯磁率異方性の測定によりピストンコアリングやスランプによる乱れが無いことを確認した。古地磁気測定は2cm角キューブ試料に対して超伝導磁力計測定システムによる段階交流消磁実験により自然残留磁化(NRM)の測定を行った。各試料の古地磁気測定結果から原点に向かって直線的に減衰する安定磁化方位を求めた。また、非履歴性残留磁化(ARM)の測定を行い、続成作用による磁性鉱物の変質・溶脱等の評価のために用いた。

また、年代軸は浮遊生有孔虫をピックアップし、この試料に対する<sup>14</sup>C年代測定により求

めた。堆積物コア試料に含まれる顕著な火山灰層については同定を行い、年代推定の補助的手段として用いた。

また、地球回転と海水準変動の関係を把握するために、20世紀の全地球的な海面上昇の速度と原因を、地球回転変動と過去140～200年間の海面変化の情報を持つ検潮儀のデータを用いて評価した。

#### 4. 研究成果

4本のコア試料の古地磁気測定を行ったが、地磁気エクスカージョンによると思われる記録は得られなかった。唯一PC1の1層準のみから異常な方位と残留磁化強度を示す記録が得られたが、同層準の別試料および同一地点の別コア試料(PC2)で追認出来なかった。この異常を示す試料の残留磁化の原因は堆積後に二次的に生成された不安定な磁性鉱物によるものと思われる。これら結果の詳細について以下に述べる。

PC1コアの14層準から石灰質の浮遊性有孔虫をピックアップし<sup>14</sup>C年代測定を行い、コア最下部は約2万年前とわかった。これに基づいてPC1コアの年代値の推定を行った。PC1～PC4の4本の堆積物柱状試料について古地磁気測定を行った結果、過去2万年間で地磁気エクスカージョンに相当するような大きな地球磁場変動を示す結果は得られなかったが、PC1については深さ852cmの層準の1試料について異常な偏角・伏角および残留磁化強度を示す結果が得られた(図3:青線、ピンクの帯で示した部分)。12,300年前(深さ852cm)に確認されたスパイク状の異常な残留磁化方位と強度の確認を同一地点の試料PC2(図3:赤線)で行ったが、同層準試料(ピンクの帯で示した部分)では異常な方位は見つからなかった。また、同海域の異なる地点で採取したPC3とPC4の2本のコアについても同層準の記録の確認を行ったが、地磁気エクスカージョンと思われる残留磁化の異常方位は見られなかった。さらに、確認のためにPC1コアの古地磁気試料の横から採取した幅3cm x 厚さ5mmのスラブ試料と半割コアの反対側から採取した幅5cm x 厚さ5mmのスラブ試料の古地磁気測定を行ったがPC1の古地磁気キューブ試料で確認された異常方位(図3:青線)は確認されなかった。特に興味深いのはPC1の非履歴性残留磁化測定結果(図3:右、青線)には自然残留磁化(図3:中央、青線)がスパイク状に急激な増加を示す試料が同様のスパイク状の増加を示さない点である。非履歴性残留磁化がスパイクの層準の上下の試料と連続的に繋がっていることから、スパイク状のピークを示す試料はその前後の試料と岩石磁気学的特性には特に違いが無いものと思われる。

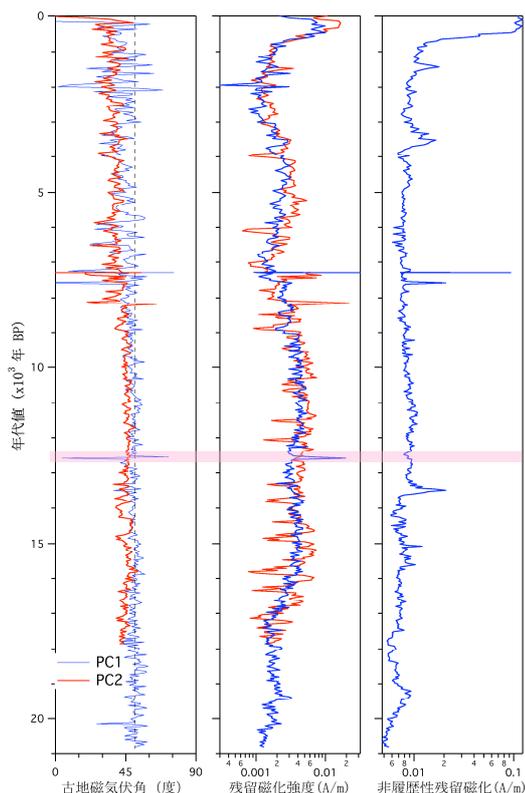


図3. PC1(青)およびPC2(赤)の古地磁気伏角(左)、残留磁化強度(中央)、非履歴性残留磁化(右)を縦軸に年代値をとって示した。ピンクの水平の帯は地磁気エクスカージョンが疑われた層準。

これらの点を考慮にいれて検討をしてみると、異常方位の原因は未だ同定できないが、試料採取時の試料の乱れ、あるいは古地磁気試料のみに含まれていた続成作用で生成した磁性鉱物による化学残留磁化の影響が現れていることが考えられる。PC1試料のコア採取から自然残留磁化測定までの時間が約30日間、自然残留磁化測定から非履歴性残留磁化測定までが約170日間であることから、自然残留磁化測定から非履歴性残留磁化測定の間継続作用による不安定かつ残留磁化強度の強い磁性鉱物が溶けてしまった可能性も考えられる。なお、PC2についてはコア試料採取から自然残留磁化測定までの時間は約510日間経過している。ごく最近発表された論文(Channell and Xuan, 2009)によると、北極海の堆積物は堆積後に酸化生成されたチタノマグヘマイトを含んでおり、チタノマグヘマイトの生成過程で既存の磁性鉱物と磁氣的相互作用を行うことにより逆帯磁の残留磁化方位を示した可能性を示唆した。本研究で使用した試料においても、酸化あるいは還元にもなる続成過程等により二次的磁性鉱物が生成していた可能性が考えられる。特に常温空气中で不安定な硫化鉄鉱物等の場合には、試料採取直後に

は自然残留磁化の測定が可能であった磁性鉱物が実験室での測定途中で消滅していった可能性が考えられる。本研究の動機付けとなった1998年採取のMD982195コア試料で確認された約14万年前の負の伏角を示す層準の複数試料においても、このような原因による帯磁のメカニズムが想定される。さらに、チモール海から得られた堆積物柱状コア試料(MD05-2970)についても約6千年前にスパイク状の逆帯磁および強い自然残留磁化を示す試料が確認されており(主な発表論文等[学会発表]②)、同様のメカニズムが想定される。この点については、さらに試料採取から測定にいたるまで迅速かつ注意深い実験計画を立てることによりメカニズム解明を行うことが望ましい。このことは、堆積物から多数報告されている地磁気エクスカージョンについての見直しを迫る根本的問題をはらんでいるので、古地磁気学にとって極めて重要なテーマである。

なお、古地磁気による地球磁場の急激な変動については当初の仮説を支持するような記録を得ることはできなかったが、上記成果の他に、コアの912-924cmで確認された火山灰(図3の非履歴性残留磁化でピンクの水平の帯の下にピークが見られる層準)が桜島薩摩(現在から約1万3千年前)と同定された。また、本研究に用いた堆積物柱状コア試料は堆積速度が速くかつ信頼性の高い<sup>14</sup>C年代が出ているため、浮遊性有孔虫・放散虫・アルケノン等を用いた古環境復元の共同研究を別途進めている。

さらに、20世紀の全地球的な海面上昇の速度と原因を、地球回轉變動と過去140~200年間の海面変化の情報を持つ検潮儀のデータを用いて評価した。その結果、平均的な海面上昇速度は1.3mm/年以上で、南極とグリーンランド氷床の融解がそれぞれ~0.5mm/年程度寄与していることがわかった。

#### [参考文献]

- Channel, J., and Xuan, C., 2009. doi:10.1016/j.epsl.2009.04.020.  
 Fairbanks, 1989. *Nature*, **342**, 637-642.  
 Holme, R. and de Viron, O., 2005. *Geophys. J. Int.*, **160**, 435-439.  
 Ingolfsson, O. and Hjort, C., 1999. *Polar Res.*, **18**, 323-330.  
 Kito, T., Shibutani, T. and Hirahara, K., 2003. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **138**, 55-69.  
 Nakada, M., 2003. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **138**, 289-315.

- Oda, H., Aoki, K., Ijiri, A. and Oba, T., 2002. *Eos Trans. AGU*, **83**(47), Fall Meet. Suppl., Abstract GP71A-0988.  
 小田啓邦, 2005. *地学雑誌*, **114**, 174-193.  
 Takahashi, F., Matsushima, M. and Honkura, Y., 2005. *Science*, **309**, 459-461.  
 Worm, 1997. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **147**, 55-67.  
 Yamazaki, T. and H. Oda, 2002. *Science*, **295**, 2435-2438.  
 Zhu, R. X., Coe, R. S. and Zhao, X. X., 1998. *J. Geophys. Res.*, **103**, 30323-30333.

#### 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11件)

- ① 小田 啓邦・川村 紀子・板木 拓也, 沖繩周辺海域の柱状コア堆積物の方位傾斜・古地磁気・岩石磁気, 地質調査総合センター速報, 46, 107-125, 2009, 査読無.
- ② Chang, Y.-P., W.-L. Wang, Y. Yokoyama, H. Matsuzaki, H. Kawahata and M.-T. Chen, Millennial-scale planktic foraminifer faunal variability in the East China Sea during the past 40,000 years (IMAGES MD012404 from the Okinawa Trough), *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 19, 389-401, 2008, 査読有.
- ③ Esat, T. M. and Y. Yokoyama, Issues in radiocarbon and U-series dating of corals from the last glacial period, *Quaternary Geochronology*, 3, 244-252, 2008, 査読有.
- ④ Miyahara, H., Y. Yokoyama and K. Masuda, Possible link between multi-decadal climate cycles and periodic reversals of solar magnetic field polarity, *Earth and Planetary Science Letters*, 272, 290-295, 2008, 査読有.
- ⑤ Suzuki, A., Y. Yokoyama, H. Kan, K. Minoshima, H. Matsuzaki, N. Hamanaka and H. Kawahata, Identification of 1771 Meiwa Tsunami deposits using a combination of radiocarbon dating and oxygen isotope microprofiling of emerged massive Porites boulders, *Quaternary Geochronology*, 3, 226-234, 2008, 査読有.
- ⑥ Yokoyama, Y., H. Matsuzaki and T. M. Esat, Prospects for the New Frontiers of Earth and Environmental Science, *Quaternary Geochronology*, 3, 206-207, 2008, 査読有.

- ⑦ Hayashida, A., Hattori, S., and Oda, H., Diagenetic modification of magnetic properties observed in a piston core (MD01-2407) from the Oki Ridge, Japan Sea, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Plaeoecology, 247, 65-73, 2007, 査読有.
- ⑧ Yokoyama, Y., Kido, Y., Tada, R., Minami, I., Finkel, R. C., and Matsuzaki, H., Japan Sea Oxygen isotope stratigraphy and global sea-level changes for the last 50,000 years recorded in sediment cores from the Oki ridge, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Plaeoecology, 247, 5-17, 2007, 査読有.
- ⑨ 能美仁博, 横山祐典, 三浦英樹, 大河内直彦, 深海底堆積物の解析による最終氷期以降の南極半島周辺氷床の消長、第四紀研究, 46, 103-117, 2007, 査読有.
- ⑩ Kondo, R., Tsukamoto, S., Tachibana, H., Miyairi, Y., and Yokoyama, Y., Age of glacial and periglacial landforms in northern Hokkaido, Japan, using OSL dating of fine grain quartz, Quaternary Geochronology, 2, 260-265, 2007, 査読有.
- ⑪ Nakada, M., Quaternary glacial cycles, Earth's rotation and twentieth-century global sea level rise, 第四紀研究, 46, 257-264, 2007, 査読有.

[学会発表] (計9件)

- ① 久保田好美, 木元克典, 多田隆治, 小田啓邦, 横山祐典, Variations of East Asian Summer Monsoon Deduced from the Results of Mg/Ca and Oxygen Isotope of Planktic Foraminifera in the East China Sea Since the Last Deglaciation, American Geophysical Union 2008 Fall meeting, 2008年12月16日, サンフランシスコ.
- ② 小田啓邦, 横山祐典, 堀池智之, Environmental Magnetic Record of the past 220 kyr from Timor Sea, International Conference on Rock Magnetism and its Earth Science, 2008年6月4日, コルシカ.
- ③ 小田啓邦, 望月伸竜, 多田隆治, 横山祐典, 松崎浩之, 沖縄トラフ北端部から得られた過去2万年の古地磁気・岩石磁気記録, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月28日, 千葉.
- ④ 久保田好美, 木元克典, 多田隆治, 小田啓邦, 東シナ海 KY07-04 PC-1 コアにおける過去2万年間の水温塩分変動復元, 日本地球惑星科学連合 2008年大会, 2008年5月26日, 千葉.
- ⑤ 横山祐典, 堀池智之, 坂井三郎, 大河内直彦, 川幡穂高, 鈴木淳, 小田啓邦, 松崎浩之, Australian Monsoon during the last two terminations recorded in the deep sea sediment core MD052970 from Timor Sea, 日本地球惑星科学連合 2008年大会, 2008年5月26日, 千葉.
- ⑥ 小田啓邦, 望月伸竜, 多田隆治, 沖縄トラフ北端部から得られた過去2万年の古地磁気・岩石磁気記録, Blue Earth'08 シンポジウム, 2008年3月13日, 横浜.
- ⑦ 荒井晃作, 井上卓彦, 小田啓邦, 池原研, 多田隆治, 板木拓也, 他, 北部沖縄トラフ・男女海盆における地質構造探査, Blue Earth'08 シンポジウム, 2008年3月13日, 横浜.
- ⑧ 久保田好美, 木元克典, 多田隆治, 小田啓邦, 東シナ海 KY07-04 PC-1 コアにおける過去2万年間の水温・塩分変動復元, Blue Earth'08 シンポジウム, 2008年3月13日, 横浜.
- ⑨ 小田啓邦, 地磁気エクスカッションと急激な海水準変動, 日本地球惑星科学連合 2007年大会, 2007年5月20日, 千葉.

[図書] (計1件)

- ① 横山祐典, 東京大学出版会, 地球温暖化と海面上昇-氷床変動・海水準上昇・地殻変動. 「地球史が語る近未来の環境 第2章」, 2007, 159-178.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小田 啓邦 (ODA HIROKUNI)

独立行政法人産業技術総合研究所・

地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：90356725

(2) 研究分担者

横山 祐典 (YOKOYAMA YUSUKE)

東京大学・海洋研究所

研究者番号：10359648

(3) 連携研究者

中田 正夫 (NAKADA MASAO)

九州大学・大学院理学研究院

研究者番号：50207817