

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23340158

研究課題名(和文) LIP形成時の放出CO<sub>2</sub>による温暖化パルス：白亜紀OAE2の「2万年事変」の検証研究課題名(英文) Warming pulse triggered by CO<sub>2</sub> released during LIP formation: evaluating 20 kyr event during Cretaceous OAE2

研究代表者

長谷川 卓 (Hasegawa, Takashi)

金沢大学・自然システム学系・教授

研究者番号：50272943

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,600,000円、(間接経費) 4,680,000円

研究成果の概要(和文)：白亜紀セノマニアン/チューロニアン階境界付近に生じた海洋無酸素事変(OAE2)は、海底下で広範囲に有機物が埋没すると同時に、炭素循環の激変に伴う大規模な気候変動が生じた時期として知られる。北海道では他地域ではなしえない高解像度の研究が可能だが、近年、わずか2万年の期間に強い環境変化が生じていた可能性が示唆された。本研究ではその環境変動(NSP)について、バイオマーカー(有機分子化石)分析、特に陸上高等植物由来分子の個別分子炭素同位体比について調査した。その結果、NSPに連動して陸上植物組成に一定の変化が見られ、OAE2期間、東アジアの陸域で短期的な気候変動が生じていたことが示された。

研究成果の概要(英文)：Cretaceous Cenomanian/Turonian boundary is known as a period of Oceanic Anoxic Event 2 (OAE2). During OAE2, large amount of organic matter deposited over extended sea bottom of the global oceans, and considerable climatic change associated with the disturbance of carbon cycles are under debate. From the Yezo Group in Hokkaido, stratigraphic studies with exclusively high resolution suggested that strong environmental perturbation happened within duration of twenty thousand years. We focused on that event (NSP) and studied biomarkers (organic molecular fossils), especially compound-specific carbon isotope values on biomarkers derived from terrestrial higher plants. Our results showed short term climatic change prevailed just before NSP over terrestrial East Asia during OAE2 interval.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学，層位・古生物学

キーワード：海洋無酸素事変 OAE2 バイオマーカー 古環境 環境変動 白亜紀 蝦夷層群

### 1. 研究開始当初の背景

白亜紀セマリアン/チューロニア (C/T)境界に発達した海洋無酸素事変 2(OAE2)に対応する層位範囲は、北海道やサハリンで、炭素同位体比 ( $^{13}\text{C}$ )、浮遊性有孔虫、大型化石類により国際対比が進んでおり、「地球」という枠組みの中で議論ができるようになった。特に、北海道・達布クシオンにおいては世界最高の解像度の  $^{13}\text{C}$  層序が確立したが、英国 Eastbourne (欧州の模式的クシオン)の炭酸塩には見られない、負エクスカッションが北海道の有機炭素同位体比曲線に確認され、それは約 1-2 万年間という地質学的に短い時間に完結したことが判明した (Nemoto & Hasegawa, 2011, Paleo-3, vol. 309, 271-280; 以後 N&H11 と言及)。この同位体比イベントを NSP と呼ぶ。 $^{13}\text{C}$  層序による対比では Eastbourne, 米国 Pueblo (C/T 境界の GSSP 模式地)およびイタリアの Botaccione において NSP 相当層準に大規模火山活動の証拠が提示されており、カブコビアの大規模火成区 (LIP)との関連が指摘されている。

### 2. 研究の目的

「蝦夷層群に炭素同位体比イベントとして明瞭に記録される NSP は温暖湿潤化を反映しており、2 度目の火成活動に対応している」という作業仮説を検証することを目的とした。この NSP を含む約 5 万年間に対応する層位範囲 (約 10m)を火山由来元素、風化粘土鉱物、バイオマーカー、陸上高等植物由来分子の炭素・水素同位体比について最先端の微量分析手法を用いて 500 年以下の世界最高の解像度で調査し、OAE2 時の大規模火成活動と気候の因果関係を明らかにする。火山活動の活発化 -  $\text{CO}_2$  増加に反応して陸域の温暖湿潤化は如何に進行するか、火山活動終焉時に元の環境を回復するのに何 kyr を必要としたか、植生の反応時間は 500 年以下かを理解する。

### 3. 研究の方法

先行研究で NSP 層準が明らかになっており、試料も手元にある北海道・小平町達布・金尻沢から採集した試料について研究を着手した。NSP 層準から 12 試料及び全体のプロファイルを理解する上で他層準から 25 試料の計 37 試料を選別し、ガスクロマトグラフ (GC)・ガスクロマトグラフ質量分析装置 (GC-MS)を用いてバイオマーカー分析を行った。一部試料についてはガスクロマトグラフ/同位体比質量分析装置 (GC/C/IRMS)による分子レベル炭素同位体比測定を行った。

NSP と、それに関連する環境変化の空間的な広がりを理解するため、達布地域よりも約 120km 南に位置する北海道大夕張地域の対応層準 (Hasegawa, 1997, Palaeo-3, vol. 130, 251-273), およびニュージランド南島のガイコウ (Sawpit Gully section; Hasegawa et al., 2013, Cret. Res., vol. 40, 61-80)についても N&H11 と同様の方法で連続試料を採集した。大夕張とニュージランドから得た試料につ

いては現段階で分析結果が得られていない。

粉末化した泥岩試料 (約 10g)は高速溶媒抽出装置 (ASE350)を用いて抽出を行い上記メソッドにて分析を行なった。使用機器は HP 社製 HP-6890 (カラム: HP-5, 30m x 0.32mm i.d., 0.25um f.t.), 島津製 GCMS-QP2010 (カラム: HP-5MS, 30m x 0.25mm i.d.)である。

個別有機分子の  $^{13}\text{C}$  測定については長鎖 n-アルカに焦点を当て、2 種類の検討を行った。まず予察的に脂肪族炭化水素フュージョンを直接 GC/C/IRMS に打込む方法、次に直鎖 n-アルカを尿素アタクト法によりその他分子を除去した上で GC/C/IRMS に打込む方法である。分析には Thermo & Fisher 社製の Trace GC+Isolink+ConFlo IV+Delta V を使用した (カラム: DB-5MS 60m x 0.25mm i.d., 0.25um f.t.)。JAMSTEC C/H STD 試料を用いた複数分析の結果、GC/C/IRMS の  $^{13}\text{C}$  測定誤差は  $\pm 0.4\text{‰}$  である。尿素アタクトの回収率は n-C27, n-C29, n-C31 試薬について 87%であった。分析手法詳細は紙面の都合上、割愛する。

火山起源物質の追跡に関しては、達布の試料では堆積速度が速すぎ、希釈されていることと、堆積盆の近傍に位置していたと考えられる火山弧からの供給物の影響が強いことから評価が難しく、十分な結果が出せていない。新たに試料採集をした大夕張とニュージランドは達布地域に比べて堆積速度が遅いため、今後、分析を進めていく予定であるが、現時点では成果が得られていない。

### 4. 研究成果

GC 及び GC-MS による分析の結果、脂肪族炭化水素類では 30 の有機化合物を検出・同定し、全試料通じて長鎖 n-アルカは奇数炭素数のものに優勢であった。その中でも特に炭素数 27, 29, 31 の検出量が高いという結果を得た。芳香族炭化水素類では 37 の有機化合物を検出・同定し、特にペリリンの検出量が高かった。本研究では作業仮説として、NSP が陸上気候の温暖湿潤化を反映したものとして進めているが、全岩測定での炭素同位体比を変動させる二次要因として、熱熟成による同位体比変化や、異なる起源を持つ有機物の寄与率の増加 (例えば海洋プランクトン由来有機物の  $^{13}\text{C}$  は植物起源のものと比較すると重い)などが挙げられる。まず熱熟成度の評価及び有機化合物起源の評価を行った。

熱熟成度を評価するバイオマーカーとして、C29 ステラン・C31 ホルン・メチルエタノールの各異性体の構成比に着目し、その層序学的分布パターンを明らかにした。C29 ステランの構造異性体比 (20S/(20S+20R))とメチルエタノール指標 (MPI-1) は全層準を通して安定した値で推移しており (Fig.1 d), C31 ホルンの構造異性体比 (22S/(22S+22R))については  $^{13}\text{C}$  イベント Peak a 付近の層準と NSP 直前の層準で 20S 体の割合が多くなるが (Fig.1 d), いずれの層準でも熱熟成度はトリナイト反射率換算値で 0.7%未満と未熟成な状態であった。

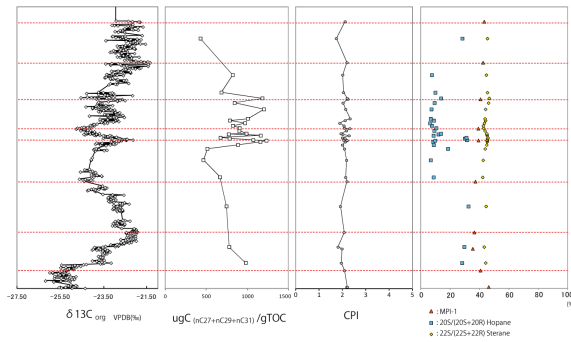


Fig.1. 北海道達布地域金尻沢に分布する OAE2 相当層準における a)バルク  $\delta^{13}\text{C}$  記録(Nemoto and Hasegawa, 2011), b)含有長鎖 n-アルカン存在量 (n-C27+n-C29+n-C31), c)炭素数優位性指標(CPI), d)熱熟成指標である C29 ステラン・C31 ホパン・メチルフェナントレンの各異性体の構成比。

C29 ステランの構造異性体比 (20S/(20S+20R)) と C31 ホパンのジアステロマー比から、その熱熟成度は大夕張と苫前地域の間であり、石油生成帯に入らない未熟成状態である。有機化合物のクラッキングや同位体比への影響は少ないと考えられ、定量及び同位体比の議論を行うのに十分な保存状態を示している。

有機化合物の起源評価として、飽和脂肪炭化水素類である n-アルカの炭素優位性指標 (CPI) の層序学的分布パターンを確認した。全層準を通して CPI は 1.8-2.3 と安定した値であり (Fig.1 c), 異起源を持つ有機物の大規模流入はなかった。n-C27, n-C29, n-C31 の存在量が多いこともその起源が陸上植物であることを示す。堆積物中のイソプレノイド型炭化水素と短鎖 n-アルカは有機分子の起源によってその構成比分布が異なる (Cortes et al., 2013)。Pristane/n-C17 と Phytane/n-C18 のジアステロマー比は本研究で用いた有機物が陸上植物起源であることを示している (Fig.2)。

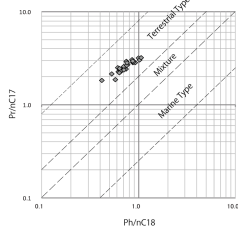


Fig.2. イソプレノイド型炭化水素 (Pristane, Phytane) と短鎖 n-アルカン (n-C17, n-C18) 構成比を用いた有機分子起源評価。本研究における試料中の有機分子はすべて陸上起源に区分されるといふ結果を得た。

以上より、NSP の同位体比変化は熱熟成や異なる起源を持つ有機物の寄与率変化による可能性は低いといえる。そこで本研究では、奇数優位性をもつ長鎖 n-アルカン類 (n-C27, n-C29, n-C31) : 陸上高等植物の葉のワックス由来; Tissot and Welte, 1984), 1,1'-ジメチル-2,2'-ビフェニル型芳香族トリテルペノイド及びジテルペノイド類 (それぞれ被子植物・裸子植物に由来する; Nakamura et al., 2010) を対象に、その構成比の層序学的記載を行なった。

長鎖 n-アルカの構成比は NSP 以前層準から n-C29 の割合が低下し、逆に n-C31 の割合が増加した。その後、NSP 期間中に n-C29 の割合は再び増加し、合わせて n-C31 の割合は低下した (Fig. 3b)。n-アルカの平均長 (ACL) も同様に NSP より下位の層準から平均炭素鎖長が長くなり、NSP 開始層準を境に急激に短

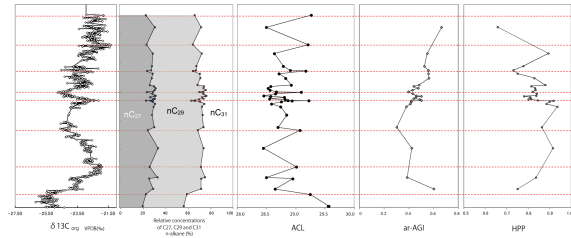


Fig.3. 北海道達布地域金尻沢に分布する OAE2 相当層準における a)バルク  $\delta^{13}\text{C}$  記録(Nemoto and Hasegawa, 2011), b)n-C27, n-C29 及び n-C31 構成比の層序学的記録, c)平均炭素鎖長(ACL), d)オレアナン・ウルサン・ルパン型の芳香族トリテルペノイド及びジテルペノイド類の構成比から求めた被子植物寄与指標(ar-AGI; Nakamura et al., 2010), e)レテンとカダレンの構成比から求めた陸上高等植物指標(HPP; Aarssen, 2000)

くなる (Fig. 3c)。植物種によって生成する n-アルカの平均炭素鎖長が異なることが知られており (Chikaraishi and Naraoka, 2003), n-C27, n-C29, n-C31 の構成比とも相関関係が見られることから、以上の変化は後背地の植生変化、または後背地から供給される植物種の寄与率の変化を反映する可能性が高い。

被子植物指標とされる ar-AGI は同位体比イベント区分の Peak a からトワ部分にかけて減少する傾向がみられ、トワ部を境に増加傾向となる。NSP 層準では 0.1 ほどの値の増減は確認できるものの、その変化はあまり明瞭ではない (Fig. 3d)。針葉樹指標とされる HPP (Retene/(Retene+Cadalene)) は NSP 層準において急激な減少が確認された (Fig. 3e)。その後徐々に増加するものの、再度値は減少する。HPP の大局的な変動は同位体比イベント区分の Peak a からトワ部分にかけて増加する傾向がみられ、NSP 開始層準付近を境に減少傾向となり、その傾向は ar-AGI と逆相関傾向がある。ar-AGI と HPP の相関係数をとったところ、 $R^2=0.49$  と一定の相関が得られた。

これら陸上植物バイオマーカーの層序学的変動パターンから、大局的には同位体比イベント区分の Peak a からトワ部分にかけて針葉樹の割合が増え (乾燥化?), トワ部または NSP 以降に針葉樹の割合が減少し、被子植物の割合が増加した (湿潤化?) と考えられる。NSP 層準については NSP の開始と同時に n-C27 及び n-C29 の割合が急増すること、ACL が急激に短くなること、ar-AGI 値が増加すること、HPP 値が急激に減少する事から、後背地植生が一時的に被子植物優勢になった可能性がある。

以上のことをさらに議論するため、分子レベルでの炭素・水素同位体比分析が必要である。陸上高等植物の葉の部分は特に外部環境の変化には敏感であると思われるため、本研究では葉のワックス由来長鎖 n-アルカン類に着目し、その  $^{13}\text{C}$  分析を行なった。分子レベルの同位体比分析にはガスクロマトグラフィー上で対象とする有機化合物が明瞭に分離されなければならない。この分離方法の検討に当初予定以上の時間を要したため、分子レベルの  $^{13}\text{C}$  分析の時間解像度をバイオマーカー構成比分析のそれと同レベルまで引き上げる事ができなかった。 $^{13}\text{C}$  イベントとして重要な 7 イベントに関して結果を報告する。分離処置を行っておらずピーク分離は不十分ではあるが、予察的に 30 試料の分子レ

パールの<sup>13</sup>C分析も行った。

Fig. 4に同一試料の尿素アダクト外処理と処理後のグラフを示す。処理により、上図グラフに見られていた UCM の大部分を除去し、対象とする n-アルカ類のみ抽出することに成功した。

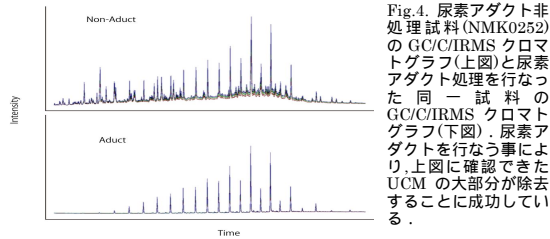


Fig.4. 尿素アダクト外処理試料(NMK0252)のGC/IRMSクロマトグラム(上図)と尿素アダクト処理を行った同一試料のGC/IRMSクロマトグラム(下図)。尿素アダクトを行なう事により、上図に確認できたUCMの大部分が除去することに成功している。

選別した7試料について尿素アダクト外処理をおこなった後の長鎖 n-アルカ類の<sup>13</sup>C分析の結果を Fig.6 c に示す。値の変動規模には差異はあるものの、各分子の<sup>13</sup>Cはパルルな変動傾向を示した。N&H11のパール<sup>13</sup>Cと同様、Peak a及びb部分が長鎖 n-アルカ類の<sup>13</sup>Cにも確認でき、その変動規模はパールと比較して0.5-1.5%程大きい。NSPに対応する急激な<sup>13</sup>C値の負シフトも確認できたが、その傾向は異なる。パールではおよそ5mの層位範囲において徐々に負シフトするのに対し、n-アルカ類ではNSP開始層準を境に急激に負シフトし(n-C27: -2.99%, n-C29: -1.86%, n-C31: -2.55%),その1m上位の層準で元の値付近にまでV字回復する変動パターンをとった(Fig. 5c)。このNSP層準内回復のタイミングはFig. 3b, eに示したn-C27, n-C29, n-C31の構成比及びHPPの変動のタイミングと同時期である事から、植生の変化(相対的な針葉樹の減少)と関連した変化だと推察される。パール測定で分析した有機物の大部分は木質部のマセラルに由来しており、長鎖 n-アルカ類は植物葉のワックス由来である事から両者の<sup>13</sup>Cに見られた差異は、その運搬様式・運搬時間の

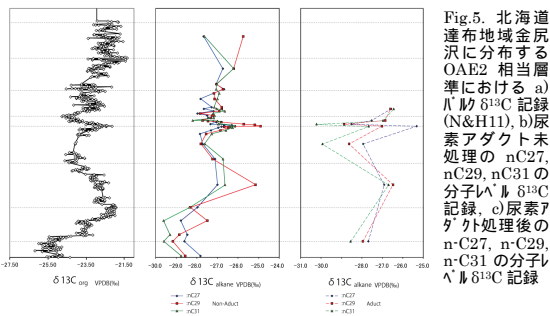


Fig.5. 北海道達布地域金尻沢に分布するOAE2相当層準における a)パール<sup>13</sup>C記録(N&H11), b)尿素アダクト未処理のn-C27, n-C29, n-C31の分子レベル<sup>13</sup>C記録, c)尿素アダクト処理後のn-C27, n-C29, n-C31の分子レベル<sup>13</sup>C記録

違いを反映している可能性がある。長鎖 n-アルカ類は燃焼や大気中の粒子に付着したものが大気輸送や河川輸送を通じて海底中に埋積するものと考えられ、環境変化とのタイムラグが比較的短いと思われる。例えば Yamamoto and Kawamura(2010)では大気エアロゾルから採取した長鎖 n-アルカ類の水素同位体比に弱くは有るが季節変動が記録されている事を報告している。一方、木質部を大量に含む土壌有機炭素は河川輸送を通じて海底中に埋積までに約1万年の滞留時間を要する(Eglinton et al., 1997, Matsumoto et al.,

2001)。

長鎖 n-アルカ類の<sup>13</sup>C記録とパール-カ構成比の層序学的記録から NSP は植生の変化と関連しており、N&H11 から推定されていたよりも短期的イベントである可能性が本研究の成果として得られた。N&H11 で報告された層準全体の大局的及び NSP 層準のパール-カ構成比の層序学的記載に関しては当初の研究計画通り進んだが、後背地における植生の変化及び<sup>13</sup>Cの変動が陸上気候の温暖湿潤化を反映したか否かについては、現状のデータからは確証を得るまでには至っていない。

### 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14件)(すべて査読有)
- 1. Li, G., Ando, H., Hasegawa, H., Yamamoto, M., Hasegawa, T., Ohta, T., Hasebe, N. & Ichinnorov, N., Confirmation of a Middle Jurassic age for the Eedent Formation in Dundgobi Province, southeast Mongolia: constraints from the discovery of new spinicaudatans (clam shrimps). *Alcheringa* (2014), vol. 38, DOI:10.1080/03115518. 2014. 870834.
- 2. Kakizaki, Y., Weissert, H. J., Hasegawa, T., Ishikawa, T., Matsuoka, J. and Kano, A., Strontium and carbon isotope stratigraphy of the Late Jurassic shallow marine limestone in western Palaeo-Pacific, northwest Borneo. *Journal of Asian Earth Sciences* (2013), 73. 57-67, DOI: 10.1016/j.jseaes. 2013. 04.020.
- 3. Hasegawa, T., Crampton, J., Schiøler, P., Field, B., Fukushima, K. Kakizaki, Y., Carbon isotope stratigraphy and depositional oxia through Cenomanian/Turonian boundary sequences (Upper Cretaceous) in New Zealand. *Cretaceous Research* (2013), 40, 61-80, DOI: 10.1016/j.cretres.2012.05.008.
- 4. Sawada, K., Nakamura, H., Arai, T. Tsukagoshi M., Evaluation of paleoenvironment using terpenoid biomarkers in lignites and plant fossils from the Miocene Tokiguchi Porcelain Clay Formation at the Onada mine, Tajimi, central Japan. *International Journal of Coal Geology* (2013), 107, 78-89, DOI: 10.1016/j.coal. 2012.10.013.
- 5. Moriya, K., Goto, A. and Hasegawa, T., Stable carbon and oxygen isotope analyses of carbonate using a continuous flow isotope ratio mass spectrometry, *Science Report of*

- Kanazawa University (2012), 56, 45-58, <http://hdl.handle.net/2297/35196>.
6. 後藤 (桜井) 晶子, 沖野 遼, 長谷川 卓, ガス/安定同位体比質量分析計を用いた連続70-システムによる炭酸塩の炭素, 酸素安定同位体比測定 - 条件設定に向けての検討, 福井県立恐竜博物館紀要 (2012), 11, 2012, 49-55, <http://www.dinosaur.pref.fukui.jp/archive/memoir/memoir011-049.pdf>.
  7. 安藤 卓人, 沢田 健, 堆積岩中における A 環状脂肪酸 (ステロイドおよび三芳香環ステロイド) の GC/MS 解析. Researches in Organic Geochemistry (2012), 28, 31-41, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009593004>.
  8. Ono, M., Sawada, K., Shiraiwa, Y., Kubota, M., Changes in alkenone and alkenoate distributions during acclimatization to salinity change in *Isochrysis galbana*: implication for alkenone-based paleosalinity and paleothermometry. Geochemical Journal (2012), 46, 235-247, <http://www.terrapub.co.jp/journals/GJ/pdf/4603/46030235.pdf>.
  9. Sawada, K., Kaiho, K., Okano K., Kerogen morphology and geochemistry at the Permian - Triassic transition in the Meishan section, South China: implication for paleoecological variation. Journal of Asian Earth Sciences (2012), 54/55, 78-90, DOI: 10.1016/j.jseaes.2012.04.004.
  10. Nemoto, T. and Hasegawa, T., Submillennial resolution carbon isotope stratigraphy across the Oceanic Anoxic Event 2 horizon in the Tappu section, Hokkaido, Japan. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology (2011) vol. 309. 271-280, DOI: 10.1016/j.palaeo.2011.06.009.
- (他 4 件)
- [学会発表] (計 21 件)
1. 長谷川 卓・守屋 和佳・Haggart, J., 白亜紀温室地球の初期寒冷化のカギ: 北太平洋縁辺域のシアンコ階 マストリヒト階泥質堆積物, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 5 月 2 日, パシフィコ横浜 (横浜市).
  2. 長谷川 卓・媚山 陽介・米澤 駿介・鈴木 崇明・Jenkins, R・森 尚仁, 石灰質バブルを用いた海底古水温推定, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 4 月 28 日, パシフィコ横浜 (横浜市).
  3. Nakamura, H., Sawada, K., Kanou, C., Araie, H., Suzuki, I., Shiraiwa, Y., Diversity of n-alkenes in the haptophyte algae - A possible hydrocarbon resource, 18-19 September 2013, Costa Adeje (Tenerife), Spain.
  4. 長谷川 卓・沖野 遼・守屋 和佳, 始新世の海洋変革: 硫酸態硫黄の同位体比から何が解る?, 日本地質学会第 120 年学術大会, 2013 年 9 月 16 日, 東北大学 (仙台市).
  5. 中村 英人, 沢田 健, 根本 俊文, 長谷川 卓, 北海道達布地域の白亜紀海洋無酸素事変 OAE2 相当層における陸上植物バイオマーカー分析. 第 31 回有機地球化学シンポジウム (日本有機地球化学会 2013 年会), 2013 年 8 月 19 日 (倉敷市芸文館, 倉敷市).
  6. 宮田 遊磨, 沢田 健, 中村 英人, 池田 慧, 北海道中部, 白亜系堆積物中の陸上植物由来ケロジンの抵抗性高分子分析: 新しい古植生指標の提案. 日本地球化学会第 59 回年会, 2012 年 9 月 13 日. 口頭発表. 九州大学, 福岡市.
  7. 沢田 健, バイオマーカーによる環境擾乱期古環境の復元. 日本古生物学会 2012 年年会, 2012 年 6 月 29 日. 名古屋大学, 名古屋市, 口頭発表 招待講演.
  8. 宮田 遊磨, 沢田 健, 中村 英人, 池田 慧, 北海道白亜系堆積物中の陸上植物由来ケロジンの結合態分子組成: 陸域古環境指標の検討. 2012 年度日本地球惑星科学連合大会, 2012 年 5 月 23 日, 幕張メッセ, 千葉市.
  9. Hasegawa, T., Crampton, J., Field, B., Poul Shioler, Unique paleoenvironmental change in southern high latitude across the Cretaceous Cenomanian/ Turonian boundary, 6th International Symposium of IGCP507, 15 August, 2011, China University of Geosciences, Beijing, China.
  10. 長谷川 卓, 特別講演 (学術賞受賞講演) 白亜系層序と国際対比: 温室地球子環境の理解に向けて. 日本古生物学会 2011 年会, 2011 年 7 月 2 日, 金沢大学, 石川県.
  11. 沖野 遼, 長谷川 卓, James Crampton, 南半球高緯度地域から得られた上部白亜系の有機炭素同位体比変動. 日本古生物学会 2011 年会, 2011 年 7 月 2 日, 金沢大学, 石川県.
  12. 長谷川 卓, 根本俊文, 柿崎喜宏, 富永嘉人, 化学層序による白亜系国際対比と古環境評価. 日本古生物学会第 160 回例会, 2011 年 1 月 28 日, 高知大学 (高知県).
- (他 9 件)
- [図書] (計 1 件)
1. 沢田 健 (2012) 第 1 編 藻類の基礎 第 2 章 代謝と物質 1 エネルギーと物質代謝 10 アルケノン. 渡邊信 監修「藻類ハンドブック」. エヌ・ティー・エス, 東京. pp. 196-201.
- [その他]
- ホームページ等  
[http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/Paleo\\_Lab/index.html](http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/Paleo_Lab/index.html)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

長谷川 卓 (HASEGAWA, Takashi )  
金沢大学・理工研究域自然システム学系・  
教授

研究者番号：50272943

(2)研究分担者

沢田 健 (SAWADA, Ken )  
北海道大学・理学研究院・准教授  
研究者番号：20333594