

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20606001

研究課題名（和文）堆積物のキノン分析による過去の微生物群集変動の復元

研究課題名（英文）Reconstruction of variation in microbial assemblage by sedimentary quinone analysis

研究代表者

沢田 健 (SAWADA KEN)

北海道大学・大学院理学研究院・講師

研究者番号：20333594

研究成果の概要（和文）：

堆積物中のイソプレノイドキノンとそれらの類似化合物に着目し、過去の微生物の生物生産や群集組成の年代変動を復元する研究法を開発・検討した。その結果、現世の海底堆積物中の遊離態成分や新第三紀および白亜紀の堆積岩中の高分子有機物(ケロジェン)に結合している成分として、イソプレノイドキノンに構造が類似するトコフェロールが有力な海生藻類バイオマーカー指標として応用できることを提案した。一方、限られた試料において、ケロジェン結合態フィロキノンがシアノバクテリアに由来し、その生産性の指標となることを提案した。また、芳香族キノンが、地衣類の生産性と海洋への移送・堆積量を復元するバイオマーカーに応用できる潜在性も指摘した。

研究成果の概要（英文）：

A research representative developed analytical methods by using isoprenoid quinones and the related compounds in sediment for reconstructing variations in productivity and assemblages of microorganisms in past time. From the results, it was suggested that free and kerogen-bound tocopherols, in which structure are resemble to isoprenoid quinones, could be useful as marine algal biomarker in present and ancient (the Neogene and Cretaceous) sediments, respectively. Phylloquinone bound in kerogen might be derived from cyanobacteria and can be useful as an indicator of its productivity in limited geological samples. In addition, it was pointed out that free sedimentary aromatic quinone, which is thought to be a lichen biomarker, have a potential for reconstructing its productivity and input/sedimentation in marine environment.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：生物地球化学

科研費の分科・細目：地球システム変動

キーワード：微生物、環境変動、地球化学、層位・古生物学、脂質

1. 研究開始当初の背景

近年、典型的な基礎生産者である海生藻類や陸上植物だけでなく、古細菌(アーキア)や真正細菌(バクテリア)のような微生物の活動も地球環境に有意に影響を与えていることが指摘されている。それら微生物活動が長時間スケールの地球表層の環境・気候の変動に関わってきた可能性も注目され、地質時代における微生物活動と地球環境変動との関わりを捉えるために、過去の微生物のバイオマスや群集組成を復元する研究が行なわれている。

2000年代から、白亜紀や第三紀のような古代の堆積物などから微生物に直接由来する生物指標分子(バイオマーカー)が検出・同定され、それらから古微生物活動の情報が得られるようになった。古細菌はアーキオールと呼ばれる膜を構成するエーテル脂質成分を用い、バクテリアは同じく膜脂質の一成分であるホパノイドを用いて研究されている。これらバイオマーカーから過去の微生物活動を復元した具体的な研究例として:1) 白亜紀の無酸素環境がグローバルに広がったと考えられる時代に堆積した有機質の黒色頁岩層から、古細菌に由来するアーキオールが高濃度かつ全有機物の中で高い割合で検出され、その時代に古細菌が卓越した海洋生態系であったことを提唱した研究(Kuypers et al., *Science* 293, 92-94, 2001)や、2) 古第三紀の堆積物においてバクテリアの生体膜を構成するホパンポリオールが高濃度に検出されて、海洋環境における好気性バクテリアのバイオマスの変動を復元した研究(Van Dongen et al., *Organic Geochemistry* 37, 539-557, 2006)などが報告されている。

一方、本研究代表者は新第三紀(約1000~400万年前)に古日本海の沖合域と沿岸域で堆積した泥岩から、イソプレノイドキノンの派生物を検出した(Sawada, *Photo/Electrochemistry & Photobiology in Environment, Energy & Fuel* 2003, 131-146, 2003)。イソプレノイドキノンは現在の海洋などの微生物群集解析に用いられているバイオマーカーである。この化合物は微生物の呼吸または光合成系の必須電子伝達物質であり、真核生物から古細菌、バクテリアにまたがって広く分布し、かつ構造が分類群によって異なることから、キノンの組成によって広い分類群の微生物群集解析が可能となる。Sawada(2003)の研究結果から、古代の堆積物中でもキノンの化合物の検出が可能であるという着想を得た。

2. 研究の目的

研究代表者は、従来のアーキオールやホパノイドのような膜脂質成分に由来する微生物バイオマーカーとは異なる、微生物の代謝

に関わる成分であるキノン化合物に着目して、それらを使った過去の微生物の生産性やバイオマス、群集組成を復元する研究方法の開発を目的に研究を実施した。さらに、古代堆積物のキノン分析からの微生物の生産性と群集組成を復元し、それに関係する地球環境変動を解析した研究例を示すことを目標とした。

3. 研究の方法

(1) 堆積物中の遊離態キノンの分析

堆積物中に遊離態成分として含まれる可能性のあるキノン化合物を検出・同定および定量するために、北西太平洋から採取された現世の海底表層堆積物試料を用いた。それらの試料は北西太平洋の東北沖(LM8; 38°53' N, 143°22' E)、遠州灘沖黒潮流域(LM5P; 33°32' N, 138°36' E)、遠州灘沖合(LM3; 29°46' N, 138°36' E)において、マルチプルコアラーにより採取された。また、古代堆積物試料については、中部日本、高府向斜地域に分布する新第三系(下位から千見層、境ノ宮層、権田層、高府層)堆積岩と、南フランス・セントアンドレに分布する白亜系黒色頁岩層(Goguel層準、Paquier層準)を用いて分析した。堆積物から有機溶媒で抽出し、分離・精製した画分を、当研究室に設置されているガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)によって分析した。

(2) 堆積岩中の結合態キノンの分析

Sawada(2003)では、キノン化合物は堆積物中の不溶性高分子有機物(ケロジェン)の化学分解処理を行なった後に検出された。このことは、キノン化合物がケロジェン中に化学結合で取り込まれた分子として保存されていたことを示している。つまり、キノンは、堆積物中に遊離態成分で残るといよりは、堆積後にケロジェンなどに取り込まれてその一部の化学部位として残ることが推察された。よって、本研究では、ケロジェンから取り出す分析方法を開発し、ケロジェン結合態分子ユニットに注目して検出・同定を試みた。本研究ではケロジェンを化学分解する方法として、3 弗化ホウ素/ジエチルエーテル錯体(BF₃-OEt₂)を用いた環状エーテル切断方法(Sawada, 2003)を用いた。

結合態キノンを分析するために、まず、上記の高府向斜堆積岩と南フランス白亜系黒色頁岩試料から、塩酸・フッ化水素酸を用いてケロジェンを分離した。それらケロジェンに対して化学分解処理を行って、分解産物をGC-MSによって分析した。

(3) 既知標準試料を使ったイソプレノイドキノンの生成・2次反応の確認

ケロジェンからの化学分解法によって起

こる結合態分子ユニットの切断の反応効率や、2次的におこる反応を確認するために、イソプレノイドキノン化合物の既知標準試料を用いた実験を行った。用いた既知標準試料は、フィロキノン(ビタミンK1)、トコフェリルキノン、トコフェロール(ビタミンE; α , β , γ 異性体)とそれらの酢酸エステルである。それらをすべて $\text{BF}_3\text{-OEt}_2$ 処理して反応物を確認した。

4. 研究成果

(1) イソプレノイドキノンと類似したビタミンの標準物質を用いた検討実験：トコフェロールの $\text{BF}_3\text{-OEt}_2$ 反応における2次反応生成物はほとんど生じないことを確認した。特に、それらの分子構造中にある環状エーテル部位の開裂がほとんどおこらないことを確認した。しかし、フィロキノンやトコフェリルキノンは、2次反応によって多くの分解物を生成し、注意を要することを確認した。

(2) 遊離態イソプレノイドキノン分析：北西太平洋の海底表層堆積物(東北沖:LM8, 遠州灘沖:LM5P, 遠州灘沖合:LM3)の0~30cm深度において、フィロキノンなどのイソプレノイドキノンは遊離態成分としてまったく検出されなかった。堆積物表層において極めて分解されやすい化合物であることがわかった。一方、類似する構造をもつトコフェロールの遊離態成分は有意に検出された。その濃度は最上部(0cm深度)においてもっとも高く、深度が増すにつれて指数関数的に減少することがわかった。この遊離態トコフェロールの起源は海生植物プランクトン(微細藻類)であると考えられ、海洋基礎生産の指標として応用できると考えられる。

中部日本、高府向斜地域の新第三系堆積岩と南フランスの白亜系黒色頁岩 Goguel、Paquier 層準からは、イソプレノイドキノン、トコフェロールともに遊離態成分としてはまったく検出されなかった。古代堆積物での遊離態イソプレノイドキノンのバイオマーカー研究が難しいことを再確認した結果となった。

(3) 新第三系および白亜系堆積岩中の結合態イソプレノイドキノン分析：高府向斜地域の新第三系堆積岩から分離したケロジェンを $\text{BF}_3\text{-OEt}_2$ 処理して分解産物を分析した。その結果、もっとも下位層にあたる千見層下部においてのみ、結合態フィロキノンが検出された(図1)。しかし、それより上位の層準では境ノ宮層の1層準(Sak-3)でわずかに検出された以外はすべて含まれていないことがわかった。しかし、類似する結合態トコフェロールはフィロキノンが検出された層準を除いて、すべての層準から検出された。

結合態フィロキノンのみが検出された千見層層準では真核生物に由来するステランがほとんど検出されない(図1)。フィロキノンは光合成生物の葉緑体に含まれることが知られている。真核生物バイオマーカーがほとんど含まれない層準での有意な検出は、この地層においてフィロキノンは光合成を行う原核生物、すなわちシアノバクテリアを起源にしていることが示唆される。一方で、結合態トコフェロールは真核生物の海生植物プランクトン(微細藻類)に由来すると推察した。これらの分析からシアノバクテリアと真核藻類の生産性と、それらの群集組成比を復元できることを提案した。

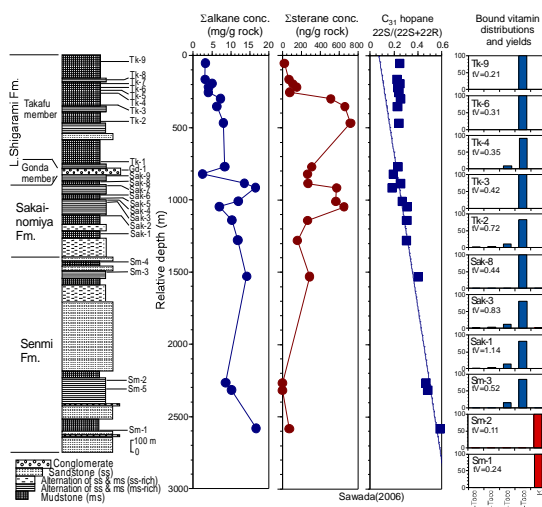


図1 高府向斜地域に分布する新第三系(千見層、境ノ宮層、権田層、高府層)堆積岩から分離したケロジェンの3弗化ホウ素/ジエチルエーテル錯体($\text{BF}_3\text{-OEt}_2$)処理で得られた結合態フィロキノン(K)とトコフェロール(Toco)の化合物分布の変化。N-アルカン濃度、ステラン濃度、熟成度(ホパン異性体比)の変化プロファイルも示した。

南フランスの白亜系黒色頁岩 Goguel、Paquier 層準から分離したケロジェンを $\text{BF}_3\text{-OEt}_2$ 処理すると、結合態トコフェロールは普遍的に検出された。しかし、フィロキノンなどイソプレノイドキノンの結合態成分はまったく検出されなかった。

これらの結果を総合すると、結合態イソプレノイドキノンは稀にしか検出されない一方で、構造が類似するトコフェロールのようなビタミンは古代堆積物から普遍的に検出された。今後、ケロジェン結合態分子研究において、イソプレノイドキノンよりもビタミンに注目して調査するべきであることを指摘する。

(4) 新第三系堆積岩中の遊離態芳香族キノンの分析：高府向斜地域の新第三系堆積岩にお

いて、遊離態成分としてアントラキノンなどの芳香族キノンや、キサントンなどの芳香族ケトン・ピランを同定した。特に、境ノ宮層より上位層において、比較的高濃度で検出されることがわかった。これらの層準では陸上高等植物に由来するバイオマーカーの濃度が比較的高い。したがって、芳香族キノン・ピランは陸源物質の割合の高い層準で高濃度に検出される傾向があるといえる。芳香族キノンは地衣類におもに由来すると推定され、それらの陸域での生産と海洋への移送・堆積量を示すバイオマーカーとなりうることを提案した。イソプレノイドキノンだけではなく、芳香族キノンを新たなバイオマーカーとして応用する研究を立ち上げることができた。

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 14 件)

- 1) Nakamura, H., Sawada, K., and Takahashi, M. (2010) Aliphatic and aromatic terpenoid biomarkers in Cretaceous and Paleogene angiosperm fossils from Japan. *Organic Geochemistry*, 41, 975-980. 査読有
- 2) 中村英人, 沢田健 (2010) 古代の堆積物中の陸上高等植物テルペノイドを用いた古植生解析. *地球化学*, 44, 205-219. 査読有
- 3) 新村龍也, 沢田健 (2010) 海生哺乳類の骨化石中に残された脂質の組成および炭素同位体比～古食性・続成変化の評価への応用. *地球化学*, 44, 17-29. 査読有
- 4) Lyle, M., Pálike, H., Nishi, H., Raffi, I., Gamage, K., Klaus, A. and the IODP Expeditions 320/321 Scientific Party (2010) The Pacific Equatorial Age Transect, IODP Expeditions 320 and 321: building a 50-million-year-long environmental record of the Equatorial Pacific. *Scientific Drilling*, No. 9, April 2010, doi: 10. 2204/iodp. sd. 9. 01. 2010. 査読有
- 5) Kaiho, K., Chen, Z-Q. and Sawada, K. (2009) Possible causes for a negative shift in the stable carbon isotope ratio before, during and after the end-Permian mass extinction in Meishan, South China. *Australian Journal of Earth Sciences*, 56, 799-808. 査読有
- 6) Ono, M., Sawada, K., Kubota, M. and Shiraiwa, Y. (2009) Change of the unsaturation degree of alkenone and alkenoate during acclimation to salinity change in *Emiliania huxleyi* and *Gephyrocapsa oceanica* with reference to palaeosalinity indicator. *Researches in Organic Geochemistry*, 25, 53-60. 査読有
- 7) Pálike, H., Nishi, H., Lyle, M., Raffi, I., Klaus, A., Gamage, K. and the Expedition 320/321 Scientists (2009) Pacific Equatorial Transect: IODP Preliminary Report., 320, doi:10. 2204/iodp. pr. 320. 2009. http://publications.iodp.org/preliminary_report/320/index.htm. 査読無
- 8) Okano, K., Sawada, K., Takashima, R., Nishi, H. and Okada, H. (2008) Further examples of archaeal-derived hydrocarbons in mid-Cretaceous Oceanic Anoxic Event (OAE) 1b sediments. *Organic Geochemistry*, 39, 1088-1091. 査読有
- 9) Okano, K. and Sawada, K. (2008) Heterogeneities of hydrocarbon compositions in mudstones of a turbiditic sequence of the Miocene Kawabata Formation in Yubari, central Hokkaido, Japan. *Geochemical Journal*, 42, 151-162. 査読有
- 10) 岡野和貴, 沢田健 (2008) 有機地球化学からみた白亜紀中期、海洋無酸素事変 1a および 1b における古生態・古環境変動. *Researches in Organic Geochemistry*, 23/24, 23-32. 査読有
- 11) 沢田健 (2008) 堆積有機物に記録されたペルム紀/三畳紀境界の環境擾乱期における陸域生態系の荒廃. *Researches in Organic Geochemistry*, 23/24, 13-22. 査読有
- 12) Okano, K., Sawada, K., Takashima, R., Nishi, H. and Okada, H. (2008) Depositional environments revealed from biomarkers in sediments deposited during the mid-Cretaceous Oceanic Anoxic Events (OAEs) in the Vocontian Basin (SE France), In: *Origin and Evolution of Natural Diversity - Proceedings of International Symposium* (eds. Okada, H., Mawatari, S.F., Suzuki, N. and Gautam, P.), pp. 171-174. 21st COE in Hokkaido University, Sapporo. 査読有
- 13) Sawada, K., Akimoto, S., Tsukagoshi, M., Nakamura, H. and Suzuki, D. K. (2008) Plant Polymer Palaeobiology- Aphidoidea (PL3-A) project: Geochemical and morphological studies on gall (-like) fossils. In: *Origin and Evolution of Natural Diversity - Proceedings of International Symposium* (eds. Okada, H., Mawatari, S.F., Suzuki, N. and Gautam, P.), pp. 171-174. 21st COE in Hokkaido

University, Sapporo. 査読有

- 14) Sawada, K., Arai, T. and Tsukagoshi, M. (2008) Compositions of resistant macromolecules in fossil dry fruits of Liquidambar and Nyssa (Pliocene, central Japan). *Organic Geochemistry*, 39, 919-923. 査読有

〔学会発表〕(計 32 件)

- 1) 沢田健, 中村英人, 荒井高明, 陸上高等植物の抵抗性高分子の植物生理学・生物地球化学的研究. 第 57 回日本地球化学会年会, 2010 年 9 月 8 日, 立正大学, 熊谷市.
- 2) 中村英人, 沢田健, 高橋正道, 古植生指標検討のための植物化石のテルペノイドバイオマーカー分析と続成過程の検討. 第 57 回日本地球化学会年会, 2010 年 9 月 8 日, 立正大学, 熊谷市.
- 3) 竹田真佑美, 沢田健, 高野淑識, 南極スカルプスネス露岩地域の淡水湖・塩湖堆積物のバイオマーカー分析による古環境変動の復元. 第 57 回日本地球化学会年会, 2010 年 9 月 8 日, 立正大学, 熊谷市.
- 4) 小林まどか, 沢田健, 北西太平洋日本沖堆積物コア中の陸上植物テルペノイドバイオマーカーの起源: 古気候指標の検討. 第 57 回日本地球化学会年会, 2010 年 9 月 8 日, 立正大学, 熊谷市.
- 5) 池田慧, 沢田健, 高橋正道, 白亜紀植物化石の抵抗性高分子を構成する分子ユニットの組成分布の多様性. 第 57 回日本地球化学会年会, 2010 年 9 月 8 日, 立正大学, 熊谷市.
- 6) 岡野和貴, 沢田健, 西弘嗣, 高嶋礼詩, 南東フランス・ボコンチアン堆積盆における中期白亜紀海洋無酸素事変(OAE)1a および 1b 時の古環境・古生態系変動の復元. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 28 日, 幕張, 千葉市.
- 7) 中村英人, 沢田健, 高嶋礼詩, 北海道北部, 上部白亜系堆積層の高等植物バイオマーカー分析による古植生変動の復元. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 28 日, 幕張, 千葉市.
- 8) 沢田健, 澤井健之, 関宰, 北海道北部の森林土壌・湿原・湖底堆積物からの高等植物テルペノイドの輸送・続成過程の検討: 陸上環境記録の伝播に注目して. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 26 日, 幕張, 千葉市.
- 9) 小林まどか, 沢田健, 北西太平洋日本沖の堆積物コアからの新しい珪藻バイオマーカー温度計の開発・検討. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 25 日, 幕張, 千葉市.
- 10) 中村英人, 沢田健, 被子植物葉化石を

構成する抵抗性高分子の分子古生物学的特徴: 化学分類および続成変化の検討. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 24 日, 幕張, 千葉市.

- 11) 池田慧, 沢田健, 中村英人, 高橋正道, 白亜系双葉層群産の花化石の有機分子分析による化学分類指標の探索. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 24 日, 幕張, 千葉市.
- 12) 沢田健, 藻類のバイオマーカー研究から地球環境変動を探る. 日本植物学会第 73 回大会, 2009 年 9 月 19 日, 山形大学, 山形市.
- 13) 沢田健, 白岩善博, 長鎖アルケノンの植物生理学的研究: 古水温・古塩分指標に関連して. 第 56 回日本地球化学会年会, 2009 年 9 月 15 日, 広島大学, 東広島市.
- 14) 落合総一郎, 沢田健, 中村英人, 塚腰実, 秋元信一, 化石ゴールのバイオマーカー分析: 植物-昆虫共生系の古生物化学的探索. 第 56 回日本地球化学会年会, 2009 年 9 月 15 日, 広島大学, 東広島市.
- 15) 中村英人, 沢田健, 被子植物テルペノイドバイオマーカーの化学分類学・生理学的研究. 第 56 回日本地球化学会年会, 2009 年 9 月 15 日, 広島大学, 東広島市.
- 16) Takeda, M., Sawada, K. and Takano, Y., Alkenones in sediments from freshwater and saline lakes on the Skarvsnes area, Antarctica. The 24th International Meeting of Organic Geochemistry, 10 September 2009, Bremen, Germany.
- 17) Sawada, K., Reconstruction of paleoproductivity of archaea and bacteria by analysis of isoprenoid quinone in the Miocene sediments of Japan. The 24th International Meeting of Organic Geochemistry, 6 September 2009, Bremen, Germany.
- 18) Nakamura, H., Sawada, K. and Takashima, R., Reconstruction of palaeovegetation by angiosperm biomarker analyses in the Cretaceous sediments of Hokkaido, Japan. The 24th International Meeting of Organic Geochemistry, 6 September 2009, Bremen, Germany.
- 19) 中村英人, 沢田健, 高嶋礼詩, 北海道白亜系堆積岩中の被子植物分子化石-古植生指標の検討. 日本古生物学会 2009 年年会, 2009 年 6 月 27 日, 千葉大学, 千葉市.
- 20) 沢田健, 植物化石の抵抗性高分子からの分子古生物学的研究~北海道および中部日本の第三紀植物化石を例にして. 日本地質学会第 115 年学術大会, 2008 年 9 月 22 日, 秋田大学, 秋田市.
- 21) 岡野和貴, 沢田健, 西弘嗣, 小刀禰宅朗, 中期白亜紀海洋無酸素事変 1a および 1b

- 層準におけるケロジェン分析による古環境変動の検討. 日本地質学会第 115 年学術大会, 2008 年 9 月 22 日, 秋田大学, 秋田市.
- 22) 中村英人, 沢田健, 高嶋礼詩, 被子植物バイオマーカーを用いた北海道下部白亜系における被子植物の出現年代の検討. 日本地質学会第 115 年学術大会, 2008 年 9 月 22 日, 秋田大学, 秋田市.
- 23) 中村英人, 沢田健, 古代ヤシおよびベネチエス化石の抵抗性高分子分析からの化学分類および続成変化の検討. 第 55 回日本地球化学会年会, 2008 年 9 月 19 日, 東京大学, 東京.
- 24) 中塚武, 大西啓子, 沢田健, 中村英人, 塚腰実, 後期中新世(11 - 10Ma)の木材化石の年輪セルロースの $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^{13}\text{C}$: 長時間分解能の気候変動解析の可能性. 第 55 回日本地球化学会年会, 2008 年 9 月 19 日, 東京大学, 東京.
- 25) 沢田健, 堆積物のキノン分析による細菌の古生産性および群集組成の復元: 予察的研究. 第 55 回日本地球化学会年会, 2008 年 9 月 18 日, 東京大学, 東京.
- 26) 岡野和貴, 沢田健, 高嶋礼詩, 西弘嗣, 中期白亜紀海洋無酸素事変 1a および 1b 層準のバイオマーカー分析によるアーキアおよびバクテリア生産の復元. 第 55 回日本地球化学会年会, 2008 年 9 月 18 日, 東京大学, 東京.
- 27) 岡野和貴, 沢田健, 高嶋礼詩, 西弘嗣, 南東フランスの OAE1b 層準中に見出された新たな黒色頁岩層 - Friès level, Bulot level - のバイオマーカー分析. 第 26 回有機地球化学シンポジウム. 第 26 回日本有機地球化学会シンポジウム, 2008 年 7 月 24 日, 名古屋大学, 名古屋市.
- 28) 中村英人, 沢田健, 高嶋礼詩, 北海道白亜系堆積岩中の被子植物バイオマーカーを用いた古植生指標の検討. 第 26 回日本有機地球化学会シンポジウム, 2008 年 7 月 24 日, 名古屋大学, 名古屋市.
- 29) 小野慎子, 沢田健, 北川浩之, Hu Ke, 中国東北部内陸塩湖の堆積物コアのバイオマーカー分析による古気候変動の復元. 第 26 回日本有機地球化学会シンポジウム, 2008 年 7 月 24 日, 名古屋大学, 名古屋市.
- 30) 小刀禰宅朗, 沢田健, 岡野和貴: 南東フランス下部白亜系の海洋無酸素事変層準から得られたケロジェンの熱分解 GC/MS 分析. 第 26 回日本有機地球化学会シンポジウム, 2008 年 7 月 24 日, 名古屋大学, 名古屋市.
- 31) 海保邦夫, 大庭雅寛, B. S. Cramer, 中村正宙, 山本正伸, 沢田健, M. -P. Aubry, J. D., Wright, Marcos A. Lamolda, 暁新世/始新世境界極端温暖化最初期の気候変動. 第 26 回日本有機地球化学会シンポジ

ウム, 2008 年 7 月 24 日, 名古屋大学, 名古屋市.

- 32) 沢田健, 小野慎子, 半田暢彦, 中国東北部内陸塩湖、ダブス湖の堆積コアにおける長鎖アルケノン解析. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008 年 5 月 28 日, 幕張, 千葉市.

[図書] (計 3 件)

- 1) 沢田健 (2010) 第 16 章 地球環境の変遷と生物進化. 在田一則・竹下徹・見延庄士郎・渡部重十 編「地球惑星科学入門」, 北海道大学出版会, 札幌. pp. 185-196.
- 2) 沢田健, 綿貫豊, 西弘嗣, 枋内新, 馬渡峻輔 編著 (2008) 地球と生命の進化学〜新・自然史科学 I. 北海道大学出版会, 札幌. 272p.
- 3) 沢田健, 綿貫豊, 西弘嗣, 枋内新, 馬渡峻輔 編著 (2008) 地球の変動と生物進化〜新・自然史科学 II. 北海道大学出版会, 札幌. 280p.

[その他]

ホームページ等

沢田研究室 HP :
<http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~mmgc/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沢田 健 (SAWADA KEN)

北海道大学・大学院理学研究院・講師

研究者番号: 20333594

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし