

令和元年6月5日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05572

研究課題名(和文) 前期三畳紀に形成されたチャート堆積全史の解明

研究課題名(英文) The whole history of sedimentary process of the Early Triassic bedded cherts

研究代表者

相田 吉昭 (Aita, Yoshiaki)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号：90167768

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：汎世界的にチャートギャップとして知られている前期三畳紀の期間において、パンサラサ海の南半球中緯度海域ではチャートを代表とする深海堆積相が例外的に堆積していた。HF処理したチャートのSEM観察により堆積構造を区分してマイクロ堆積相区分を行った。その結果、アローロックス島に露出するオルアテマヌ層の層序断面(Griesbachian-Spathian)において、Unit 2b - Unit 3では放散虫殻密集相(G1相)が存在し、放散虫を多産する生物源シリカ相(G1+G2+G3相)が30-70%と優勢であるが、Unit 4では遠洋性珪質粘土E相が卓越し生物源シリカは漸次減少することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果に基づいて、P-T境界で海洋生物の96%が絶滅した後、前期三畳紀の海洋生態系が回復途上にある時期において、動物プランクトンである放散虫がどのようにP-T境界を生き残り、前期三畳紀の海洋において放散虫が繁栄することのできた唯一のレフュージ海域が南半球のニュージーランド海域に存在したことを明らかにしたことは学術的意義が大きい。前期三畳紀の層状チャート(Griesbachian - Dienerian)において放散虫殻を多産する生物源シリカ相が卓越するが、Dienerian中期からSpathianにかけて生物源シリカ相が次第に減少することから海洋環境の悪化が推察される。

研究成果の概要(英文)：The Early Triassic bedded chert sequences from Unit 2b to Unit 4 of the Oruatemanu Formation on Arrow Rocks, New Zealand are unique because the Early Triassic bedded chert was very rare elsewhere during the Chert Gap period. The SEM observations on the acid-etched chert slabs to unravel the sedimentary facies and microstructure of a single bedded chert resulted four microfacies recognized. Facies G1-3: pelagic facies with densely packed radiolarian shells (>70%), Facies G2: a chert matrix with a high biosiliceous component (30-70%), Facies G3: a chert facies with a few biosiliceous component (10-30%), and Facies E: a pelagic clay matrix with a low content (1-10%) of biosiliceous shells and spicules. Biogenic facies with abundant radiolarian shells (G1+G2+G3) indicates enhanced flux change up to 30-70% within the Units 2b-3 during the Griesbachian and mid Dienerian, while biogenic facies (G2+G3) ratio gradually decreased to 4.7-7.7% and pelagic clay facies dominated in the Unit 4.

研究分野：地質学・古生物学

キーワード：ニュージーランド アローロックス島 オルアテマヌ層 前期三畳紀 層状チャート 堆積相解析 生物源堆積相 遠洋性粘土相

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

三疊紀の最初期から前期にかけて、汎世界的に層状チャートが堆積していない約 500 万年間の期間はチャートギャップ(図 1)として知られている。一方、パンサラサ海の南半球中高緯度海域では、チャートギャップの期間に層状チャート層が連続して堆積していることを研究代表者らは初めて明らかにしてきた(Aita and Spörli, 2007, Spörli et al., 2007)。しかしながら、このチャート層がどのような成因で堆積し、どのような構成成分からなるのか、つまり生物遺骸あるいは碎屑粘土粒子からなるのか、どのような海洋環境変遷と呼応して堆積しているのか、さらにチャート単層を構成する微細な堆積相は年代とともにどのように変遷してきたのかに関しては、ほとんど明らかにされていなかった。

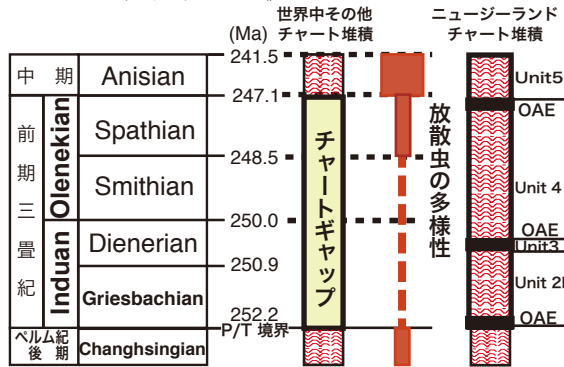


図 1. 前期三疊紀の汎世界的チャートギャップとニュージーランドにおけるチャート堆積

## 2. 研究の目的

前期三疊紀にはチャートギャップと呼ばれるチャートがほとんど存在しない汎世界的現象が知られているが、パンサラサ海の中高緯度帯収束域においては例外的にチャートを含む珪質粘土岩が連続的に形成されている。本研究の目的はチャートギャップ期間に形成されたチャート層の堆積過程を解明することである。

- (1) 三疊紀前期から中期の各年代を代表するチャート層について、高精細 SEM による堆積学的解析を行い堆積構造・生物源構造によりマイクロ堆積相を区分しチャートを構成する生物源遺骸成分や珪質粘土岩成分がどのように変遷していくのかを明らかにする。
- (2) 前期三疊紀のチャート堆積が、当時の還元的海洋環境に生息していた海綿や放散虫の多様性の変化や繁栄・多産出イベントの程度とどのように対応してきたかを年代毎に解明して古海洋環境を復元する。

## 3. 研究の方法

三疊紀前期のチャート単層の堆積プロセスを明らかにする上で、チャート堆積断面の研磨面を HF 処理し高精細 SEM で観察することで、堆積過程が視覚化できチャートの起源を明らかにできる研究手法を新たに開発してきた。ニュージーランド北島のモツタプ島の中部三疊系赤色チャート層の堆積断面の SEM 観察と堆積相区分を事例として解析方法を以下に示す。

- 1) チャート単層 (厚さ 3-5cm) を直方体のプラスチック製の容器に入れて石膏で固める。
- 2) 石膏で固めたチャートを層理面と直交する堆積断面を 0.7-1cm の厚さに岩石カッターで平行に切り出してチャートスラブを作成する。平行面を作成することが重要である。
- 3) チャートスラブの堆積断面を研磨後、研磨面を HF 溶液に 40-48 時間浸す。
- 4) HF で堆積断面をエッチングしたスラブを水洗した後、乾燥させる。
- 5) チャートの堆積断面の観察試料の表面をプラチナでコーティングする。
- 6) 大型の試料室を有する JEOL JSM-6100 にサンユー電子製ディジ・キャプチャー装置 SUP-7707 を装着した高精細 SEM でチャートの堆積断面を観察・画像を撮影する。  
10-15 倍の低倍率で、2 種類の高精細モード (5120 x 3840, 10240 x 7680 pixels) で広領域の画像を取得することが可能である。
- 7) 高精細 SEM 画像を集成して、チャートの堆積断面をカバーする全体画像を作成する。
- 8) チャート単層を構成する微細な堆積相を図 2 の堆積相区分に基づいて認定する。
- 9) 層状チャート層の下部から上部にかけて、マイクロ堆積相がどのように変遷するのかを解析する。

### マイクロ堆積相の区分(図 2)

チャート単層中には単一の堆積過程で形成されたことでは説明がつかない、様々な堆積過程の履歴を示す堆積構造が複数存在していることが判明した。このチャート単層の内部

に認められる堆積構造を明確に分類するため、マイクロ堆積相区分を行った(図 2)。珪質生物遺骸の含有量 70-100%の遺骸密集層を G1 相と区分する。とくに放散虫殻と海綿骨針密集層は G1-1 相、海綿骨針の密集層は G1-2 相、放散虫殻の密集層は G1-3 相と区分する。

Facies (堆積相)	Facies 細区分	堆積環境
生物遺骸のみで構成される <b>G1</b>	G1-1 放散虫と海綿骨針の密集層	放散虫と海綿の生産性が非常に高い環境下
	G1-2 海綿骨針の密集層	海綿の生産性が非常に高い環境下
	G1-3 放散虫の密集層	放散虫の生産性が非常に高い環境下
生物遺骸を多く含む チャート質マトリックス <b>G2</b>	G2-1 珪質化石 30-70%の 高珪質粘土。無構造	・定期的に粘土と生物遺骸が堆積している。 ・底生生物の活動があった
	G2-2 珪質化石 30-70%の 高珪質粘土。平行葉理有り	・定期的に粘土と生物遺骸が堆積している。 ・底生生物の活動が少ない
生物遺骸を多少含む チャート質マトリックス <b>G3</b>	G3-1 珪質化石 10-30%の 珪質粘土。無構造	・定期的に粘土と生物遺骸が堆積している。 ・底生生物の活動があった
	G3-2 珪質化石 10-30%の 珪質粘土。平行葉理有り	・定期的に粘土と生物遺骸が堆積している。 ・底生生物の活動が少ない
生物遺骸を極少量含む 粘土質マトリックス <b>E</b>	E-1 珪質化石 1-10%の 低珪質粘土。無構造	・無構造の泥/粘土でプランクトン生物が少ない環境下で堆積 ・底生生物の活動があった
	E-2 珪質化石 1-10%の 低珪質粘土。平行葉理有り	・泥/粘土でプランクトン生物が少ない環境下で堆積 ・異質葉理発達で、底生生物の活動なし

珪質化石含有量 30-70%の高珪質粘土層を G2 相、珪質化石含有量 10-30%の珪質粘土層を G3 相、珪質化石含有量 0-10%の珪質遠洋性粘土層を E 相と区分した。さらに基質が無構造な G2-1, G3-1, E-1 相と平行葉理が発達する G2-2, G3-2, E-2 層に区分した。

G1 相は生物源の殻や骨針などの遠洋性堆積相を示す。G2 相および G3 相は生物遺骸の寄与が顕著な堆積相である。E 相は遠洋性珪質粘土であり、チャートの基質を構成している。

図 2. チャート単層におけるマイクロ堆積相区分。

#### 4. 研究成果

前期三畳紀のチャートを代表とする深海堆積相は世界中では稀で欠如しており、チャートギャップと呼ばれる汎世界的現象が知られているが、当時のパンサラサ海の南半球中高緯度海域においては例外的にチャートおよび珪質粘土岩が連即して堆積している。とくにニュージーランド北島、アローロックス島に露出するオルアテマヌ層 Unit 2b から Unit 4 の層序断面(Griesbachian- Spathian)について、岩石スラブ研磨面、HF 処理したスラブの SEM 観察により堆積構造の認定、マイクロ堆積相区分および堆積相解析を行った。

##### 4-1. オルアテマヌ層 Unit 2b から Unit3 の層序断面の解析結果(図 3)

1) Unit 2bの中下部から中部(Griesbachian上部～Dienerian中部)では、チャートはG1, G2, G3相と遠洋性粘土E相で構成され、生物源シリカはほとんどが放散虫殻からなり海綿骨針はほとんど含まれない。生物源シリカ相(G1+G2+G3 相)は 30%から 100%に変動しており、放散虫殻の埋没フラックスが高いことを示す。遠洋性粘土 E 相は 40%から 80%で変動する。

2) Unit 2b の中上部 (Dienerian 中部)では生物源シリカ相(G1+G2+G3 相)は 5-8%と低く、遠洋性粘土 E 相が優勢であり、平行葉理が発達する。Mn 球状粒子の密集層である H 相が 10-20%含むことで特徴づけられる。Unit 3 は黒色チャートと黒色珪質泥岩互層であり、生物源シリカ相(G1+G2+G3 相)は 60-100%と優勢である。

##### 4-2. オルアテマヌ層 Unit 3 から Unit 4 の層序断面の解析結果(図 4)

3) Unit 3 (Dienerian)では生物源堆積相(G1+G2+G3)の割合は59.3-100%と高く、放散虫殻の生産量は高い事が示唆される。生物源シリカはほとんどが放散虫殻からなり海綿骨針はほとんど含まれない。

4) 一方、Unit 4最下部から上部にかけて (Dienerian後期)では、非生物源の遠洋性珪質粘土であるE相が優勢であり、定常的な遠洋性粘土の堆積が続く間に、生物源堆積相である放散虫殻の埋没量は52.8%から段階的に28.9%まで減少する。従ってDienerian中期から後期にかけて、放散虫殻の生産量が量的に減少している傾向が認められる。

5) Unit 4上部 (Smithian)では生物源堆積相は一時的に32.5%と高くなるが、Spathian前期には4.7-7.7%と低下することが読み取れる。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1. 菊川照英, 相田吉昭, 亀尾浩司, 小竹信宏, (2018) 鹿児島県種子島北部, 熊毛層群西之表層の地質. 地質学雑誌, 124(5): 313-329. doi.org/10.5575/geosoc.2017.0082 [査読有]

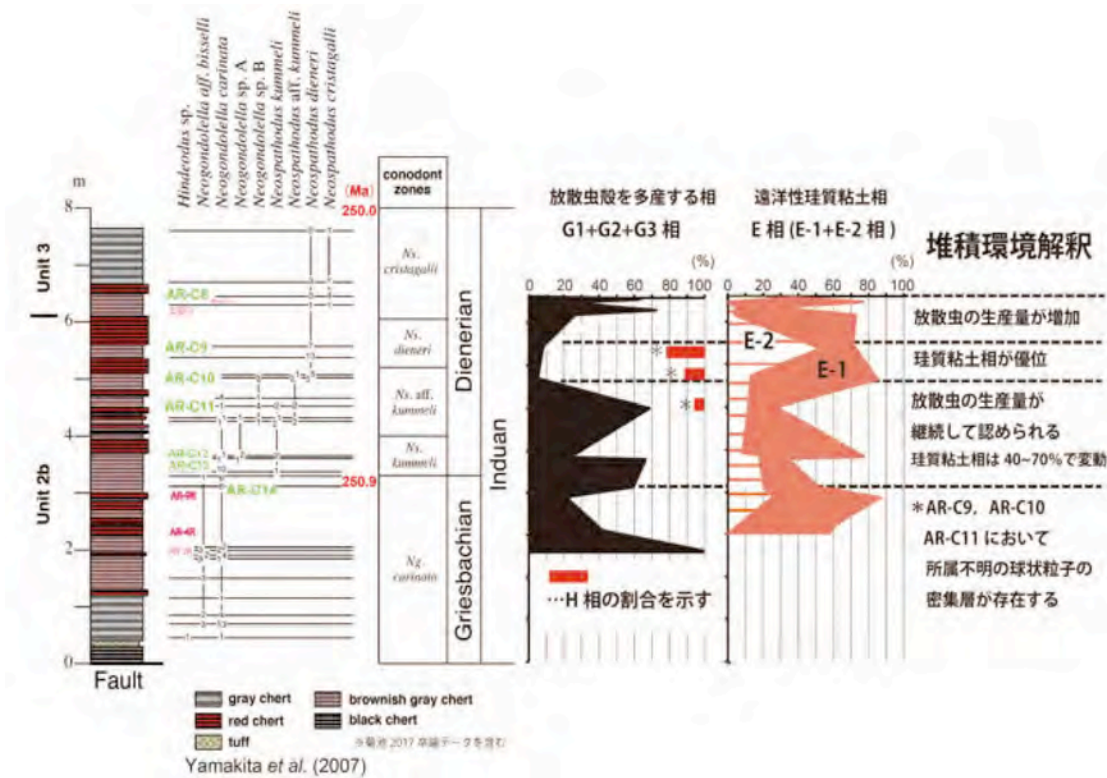


図3. オルアテマヌ層 Unit 2b から Unit 3 の層序断面の堆積相, 生物源シリカ(G1+G2+G3)相と遠洋性珪質粘土(E-1+E-2)相の層位的変化の層位的変化

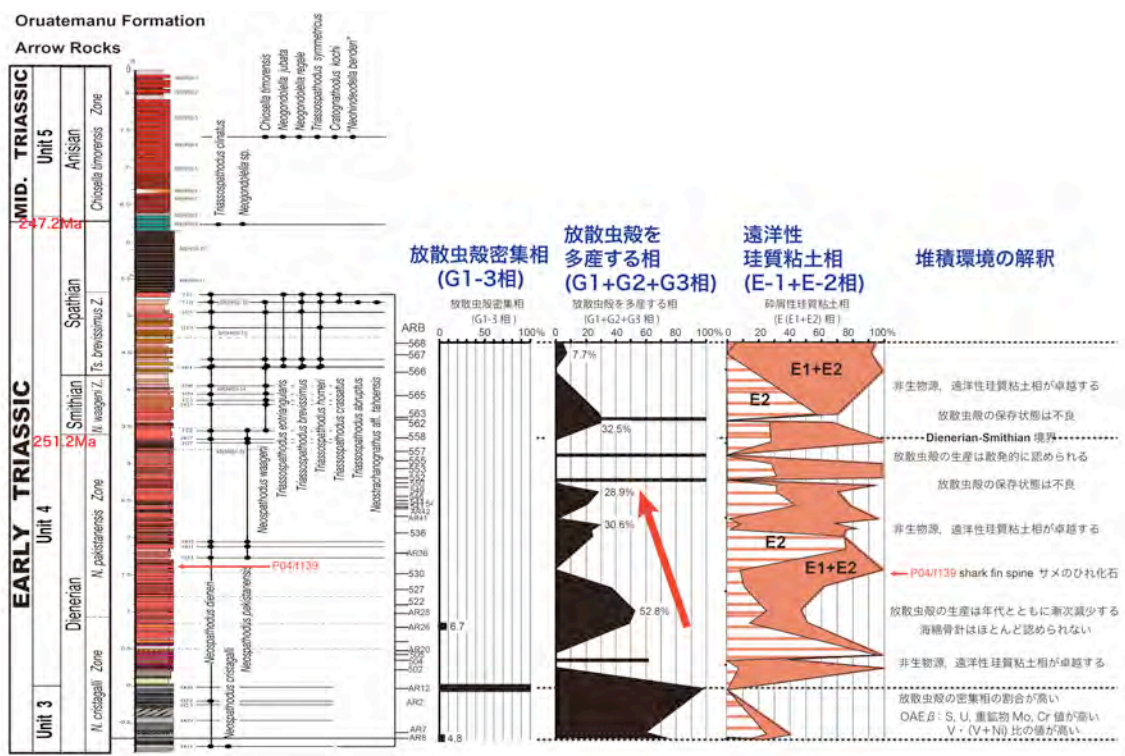


図4. オルアテマヌ層 Unit 3 から Unit 4 の層序断面の堆積相, 生物源シリカ(G1+G2+G3)相と遠洋性珪質粘土(E-1+E-2)相の層位的変化

2. Muto, S., Takahashi, S., Yamakita, S., Suzuki, N., Suzuki, N. and Aita, Y. (2018) High sediment input and possible oceanic anoxia in the pelagic Panthalassa during the latest Olenekian and early Anisian: Insights from a new deep-sea section in Ogama, Tochigi, Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 490: 687-707. doi.org/10.1016/j.palaeo [査読有]

3. Dumitrica, P. and Aita, Y. (2017) Progress on Triassic radiolarian taxonomy: in honour of Heinz Kozur and Helfried Mostler, *Revue de micropaleontology*, 60(1): 1-4.  
doi.org/10.1016/j.revmic.2017.03.003 [査読無]  
〔学会発表〕(計 22 件)
1. Hori, R.S., Sakakibara, M., Akikuni, M., Okada, Y., Grant-Mackie, J. A., Spörli, K. B., Aita, Y., Sakai, T., Takemura, A., Yamakita, S., Ikehara, M., Kodama, M. and Campbell, H.J. (2018) Triassic-Jurassic boundary studies on Murihiku and Waipapa Terranes, NZ. *Geoscience 2018. Abstract volume*, Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 151A., 125. 27-30 November 2018. Napier Conference Centre.
  2. 相田吉昭 (2018) 「ミクロな化石から探る地球環境の変遷—放散虫の内部構造からチャートの堆積過程まで」2018 JEOL SEM ユーザーズミーティング(第11回), 浅草橋ヒューリックホール, 東京会場 2018年10月2日, 大坂会場 2018年10月10日
  3. Uetake, Y., Yasuaki, Y., Asahina, S., Suzuki, S. and Aita, Y. (2018) Analysis of Internal structure for Radiolarian microfossil by SEM via Ar<sup>+</sup> beam cutting method. Abstract ID 1223. IMC19 (19<sup>th</sup> International Microscopy Congress), Sydney, 9-14 September 2018
  4. 相田吉昭・山北 聡・武藤 俊・Hamish Campbell (2018) 「ニュージーランド北島 Kapiti 島から産出する後期三畳紀放散虫—高緯度型固有種は存在するのか?」日本古生物学会 2018 年年会 講演予稿集, 33, 日本古生物学会, 2018 年 6 月 22 日~24 日 東北大学 (仙台市)
  5. 児矢野愛海・金子優樹・佐藤遼祐・篠崎愛恵・岸本直子・相田吉昭 (2018) 「X 線 micro-CT による *Glomeropyle* 属放散虫の形態と内部構造- *Glomeropyle bispinosa* と *Glomeropyle* sp. の比較研究」日本古生物学会 2018 年年会 講演予稿集, 43, 日本古生物学会, 2018 年 6 月 22 日~24 日東北大学 (仙台市)
  6. 鈴木桜子・相田吉昭・岸本直子(2018) 「X 線 micro-CT による *Glomeropyle* 属放散虫の内部構造- *Glomeropyle grantmackiei* と *Glomeropyle mahinepuaensis* の比較研究」日本古生物学会 2018 年年会 講演予稿集, 43, 日本古生物学会, 2018 年 6 月 22 日~24 日東北大学 (仙台市)
  7. 植竹勇介・山本康晶・朝比奈俊輔・相田吉昭 (2018) 「内部骨針を持つ放散虫 *G. grantmackiei* の Ar<sup>+</sup>イオンビーム加工を用いた走査電子顕微鏡(SEM)による微細立体構造の解析」日本古生物学会 2018 年年会 講演予稿集, 43, 日本古生物学会, 2018 年 6 月 22 日東北大学 (仙台市) 8.
  8. 相田吉昭・堀 利栄(2018) 「ゴンドワナ由来の三畳紀~ジュラ紀放散虫フォーナ」日本古生物学会第 167 回例会 講演予稿集, 6, 日本古生物学会 シンポジウム「ゴンドワナ生物相—その進化と特異性—」コンペナー(堀 利栄・相田吉昭) 2018 年 2 月 2 日~4 日, 愛媛大学 (松山市)
  9. 山北 聡・竹村厚司・相田吉昭・堀 利栄・高橋 聡・Hamish Campbell, Bernhard Spörli(2018) 「両極分布を示す前期三畳紀コノドント *Wapitiodus*。」日本古生物学会 第 167 回例会 講演予稿集, 29, 日本古生物学会. 2018 年 2 月 2 日~4 日, 愛媛大学(松山市)
  10. Aita, Y., Kikuchi, N., Kusaba, K., Maruyama, T., Yamakita, S., Takemura, A., Hori, R.S., Takahashi, S., Saito, M., Kubota, Y., Spörli, K.B. and Campbell, H.J. (2017) Biosiliceous facies and flux change of the Early Triassic bedded chert from Arrow Rocks, New Zealand, Panthalassa ocean. InterRad XV in Niigata 2017. Abstracts 110-111, Niigata University, 22-27 October 2017.
  11. Aita, Y., Kuki, R., Suzuki, S., Niimura, K., Mashiko, K., Ishizaki, Y. and Kishimoto, N. (2017) Diversity and newly revealed internal morphology of Middle Triassic Radiolaria *Glomeropyle* species. InterRad XV in Niigata 2017. Abstracts 220-221, Niigata University, 22-27 October 2017.
  12. Niimura, K., Aita, Y., Suzuki, S., Mashiko, K., Ishizaki, Y. and Kishimoto, N. (2017) Detailed internal structures of Middle Triassic *Glomeropyle galagala?* and unnamed *Glomeropyle* sp.

- with the use of X-ray micro-CT. InterRad XV in Niigata 2017. Abstracts 222-223, Niigata University, 22-27 October 2017.
13. Yamakita, S., Takemura, A., Aita, Y., Hori, R.S., Takahashi, S., Grant-Mackie, J.A., Spörli, K.B. and Campbell, H.J. (2017) Early Triassic conodont provincialism and its implication for the paleoceanography of Tethys and Panthalassa. InterRad XV in Niigata 2017. Abstracts 132-133, Niigata University, 22-27 October 2017.
  14. Uetake, Y., Yamamoto, Y., Yamaguchi, Y., Asahina, S., and Aita, Y. (2017) Analysis of internal structure of Eocene *Lithochytris vespertilio* by Cross section Polisher method using a broad Ar+ ion beam. InterRad XV in Niigata 2017. Abstracts 234-235, Niigata University, 22-27 October 2017.
  15. 相田吉昭, 菊池那津子, 草場研太, 丸山 巧, 山北 聡, 竹村厚司, 堀 利栄, 高橋 聡, 斎藤めぐみ・久保田好美, Spörli, K.B., Campbell, H.J. (2017) パンサラサ海に堆積したアローロックス島の前期三疊紀層状チャートにおける生物源シリカ相とそのフラックス変動 日本地質学会第 124 年学術大会. 講演要旨 123, 愛媛大学 2017 年 9 月 16 日
  16. 鬼丸舜平, 相田吉昭, 中澤克昂, 山北 聡, 竹村厚司, 堀 利栄, 高橋 聡, Spörli, K.B. (2017) ニュージーランド北島, モツタプ島に分布する中部三疊系層状チャートの生物源シリカ相の変遷. 日本地質学会第 124 年学術大会. 講演要旨 265, 愛媛大学 2017 年 9 月 16 日
  17. Aita, Y., Kikuchi, N., Yamakita, S., Takemura, A., Saito, M., Kubota, Y., Spörli, K. B., and Campbell, H.J. (2017) Enhanced biogenic silica sedimentation processes revealed in the Early Triassic, Induan bedded chert from Arrow Rocks, Panthalassa ocean. IGCP 630 annual meeting in Sendai, Abstracts of the IGCP 630, 72, Tohoku University.
  18. Yamakita, S., Takahashi, S., Kaiho, K., Fujibayashi, M., Kojima, S., Takemura, A., Aita, Y., Rie Hori, R.S., Spörli, K.B. and Campbell, H.J. (2017) Smithian/Spathian boundary detected slightly below OAE-related black sediments in oceanic sequences in Japan and New Zealand. IGCP 630 annual meeting in Sendai, Abstracts of the IGCP 630, 78, Tohoku University.
  19. Yamakita, S., Takemura, A., Aita, Y., Hori, R.S., Takahashi, S., Grant-Mackie, J.A., Spörli, K.B. and Campbell, H.J. (2017) Conodont provincialism in the Early Triassic environmental extreme. IGCP 630 annual meeting in Sendai, Abstracts of the IGCP 630, 78, Tohoku University.
  20. 相田吉昭・草場研太・丸山 巧・山北 聡・竹村厚司・堀 利栄・Hamish Campbell・K. Bernhard Spörli (2017) 前期三疊紀のチャートギャップ期に形成されたチャート層の珪質生物源堆積相について, 日本古生物学会第 166 回年会, 講演予稿集, 25, 早稲田大学
  21. 新村憲人・益子佳公・石寄美乃・岸本直子・相田吉昭(2017) X 線 micro-CT による *Glomeropyle* 属放散虫の形態と内部構造-その 1 *Glomeropyle* sp. の解析. 日本古生物学会第 166 回年会, 講演予稿集, 40, 早稲田大学.
  22. 益子佳公・新村憲人・石寄美乃・岸本直子・相田吉昭(2017) X 線 micro-CT による *Glomeropyle* 属放散虫の形態と内部構造-その 2 *Glomeropyle waipapaensis* の解析. 日本古生物学会第 166 回年会, 講演予稿集, 40, 早稲田大学.

〔図書〕(計 2 件)

1. 相田吉昭(2018) ミクロな化石から探る地球環境の変遷—放散虫の内部構造からチャートの堆積過程まで. 2018 SEMユーザーズミーティングセミナー予稿集, 55-64. SEMユーザーズミーティング事務局, 日本電子株式会社
2. 相田吉昭・酒井豊三郎(2017) 大谷石の作る景観と地質—大谷層の成り立ちを探访する 14-23, 宇都宮美術館

〔その他〕 ホームページ等

ニュージーランドの地質について

<http://agri.mine.utsunomiya-u.ac.jp/hpj/deptj/plaj/Labo/Geology/column2.html>

NZ調査隊の記録1

<http://agri.mine.utsunomiya-u.ac.jp/hpj/deptj/plaj/Labo/Geology/nzresearch.html>

NZ調査隊の記録2

<http://agri.mine.utsunomiya-u.ac.jp/hpj/deptj/plaj/Labo/Geology/nzresearch2.html>