

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05674

研究課題名(和文) K/Pg層の超高精度年代モデルの構築と古環境変動の解析

研究課題名(英文) High resolution age model and paleoenvironmental change for K/Pg boundary

研究代表者

高嶋 礼詩 (Takashima, Reishi)

東北大学・学術資源研究公開センター・准教授

研究者番号：00374207

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：6600万年前の白亜紀/古第三紀境界は、巨大隕石の衝突によって恐竜をはじめ、アンモナイトなど多くの生物が絶滅した地球史上でも最も有名な絶滅イベントである。本研究では浮遊性有孔虫化石層序、石灰質ナノ化石層序、炭素同位体比層序を基に、川流布セクションにおいて連続した白亜紀/古第三紀境界層準を特定し、境界を特徴づける顕著なイリジウムと白金のピークを見出すことに成功した。これらの元素のピークから見積もられる白亜紀/古第三紀層の厚さは1mもあり、泥岩主体の地層としては世界で最も厚い白亜紀/古第三紀層である可能性が高い。今後、この地層においてより高解像度での古環境・生態系変遷を解析できることが期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、明瞭な白亜紀/古第三紀境界が東アジアで初めて発見された。また、今回発見された境界層は古環境変動の解析に適した泥質の堆積物の中では世界でも最も厚いため、同イベント発生時における北西太平洋の古環境変動を高解像度で明らかにすることができる。

研究成果の概要(英文)：The Cretaceous/Paleogene (K/Pg) boundary Event, occurred at 66 million years ago, is one of the most famous extinction events in the earth's history, and is characterized by dying out dinosaur and ammonites. Our study discovered a continuous succession from the uppermost Cretaceous to the basal part of Paleocene in the Nemuro Group at Kawaruppu section based on planktic foraminifers, calcareous nannofossils and carbon isotope stratigraphy. We also identified prominent positive peak of iridium and platinum contents at the K/Pg boundary strata in the studied sequence. The K/Pg boundary at Kawaruppu section is 1 m thick strata which is considered to be the thickest K/Pg boundary muddy strata in the world. High resolution study of this strata has a potential to clarify detailed faunal and environmental change in the western North Pacific region during the K/Pg boundary Event.

研究分野：地質学

キーワード：根室層群 白亜紀 古第三紀 絶滅事変

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 白亜紀/古第三紀境界(K/Pg)層研究の国際的な背景

約 6600 万年前の白亜紀末期は恐竜などが姿を消す大量絶滅イベントが発生した。最近の

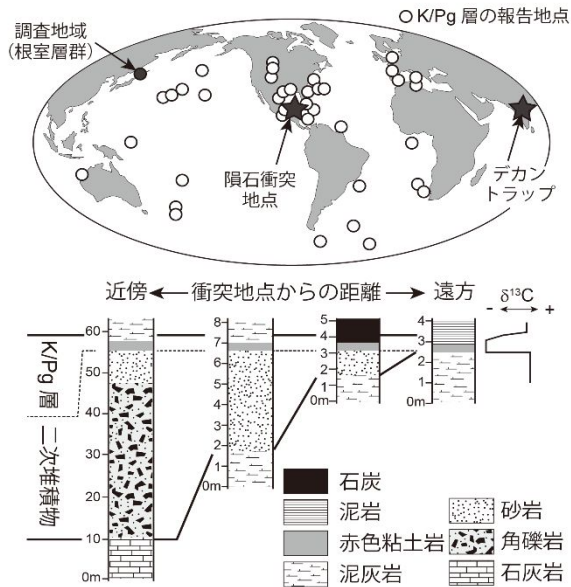


図 1: K/Pg 層の報告地点 (上) とその岩相変化 (下) (Schulte et al., 2010 Science に加筆)

仮説では、白亜紀末の絶滅は 2 段階あり、1 回目の絶滅はデカントラップの噴火による急激な温暖化によって引き起こされ、その数 10 万年後に隕石が衝突して 2 回目の絶滅が起こったとされている (Petersen et al., 2016 Nature Comm.)。このように白亜紀末の環境変動は、急激な温暖化や小天体衝突がもたらす地球環境の変動を理解するうえで重要である。しかしながら、白亜紀末～古第三紀最初期の年代尺度については未解決な部分が多く、絶滅イベント前後の詳細な古環境変動を復元する上で大きな問題となっている。その主な理由としては、以下の 2 点が挙げられる。

#### 1) 放射年代値の不足

白亜紀/古第三紀境界 (K/Pg) 層の研究は、欧米や北アフリカ地域で詳細に検討されている。しかしこれらのセクションの地層は凝灰岩を挟むことが少なく、特に白亜系最上部は凝灰岩がみられない (The Geologic Time Scale 2012)。このため、K/Pg の年代値は、古第三紀下部に挟まる凝灰岩の放射年代とサイクロストラティグラフィーを基に推定されているが (Kuiper et al., 2008 Nature)、境界を挟む上下の層準での凝灰岩は得られていない。

#### 2) 連続層序の不足

白亜紀末の隕石衝突はメキシコ・ユカタン半島付近で起こったとされており、欧米、北アフリカにおける同時期の地層は、隕石衝突による衝撃やそれに起因する津波により、K/Pg 層の一部やその直下の地層が欠如している (図 1)。また、隕石衝突現場から離れた地域では、非活動的大陸縁辺の堆積場であるために堆積速度が遅く (数 mm ~ 2 cm/千年)、炭素同位体比の負のシフト区間で定義できる K/Pg 層は薄い (図 1)。

### (2) 日本の地層における K/Pg 層の研究背景

日本における K/Pg 層は北海道白糠丘陵・茂川流布セクションの根室層群において 1980 年代に発見された (Saito et al. 1986 Nature)。しかし、このセクションでは、K/Pg 層およびその上下の地層に多数の断層が発達しているために、詳細な古環境変動の解析は不可能であった。申請者らは、白糠丘陵地域で詳細な地質調査と微化石・炭素・オスミウム同位体比統合層序を検討することにより、隣接する地域 (川流布セクション) において断層の無い、最上部白亜系から最下部古第三系に至る連続層序を見出すことに成功した。この地層は、暗灰色泥岩から構成され、K/Pg 層を挟んで上下の層準において凝灰岩をしばしば挟む。また、活動的大陸縁辺の前弧海盆で堆積したことから、堆積速度は 10 cm/千年に達し、欧米・北アフリカ地域の 5 倍以上の堆積速度を持つ。以上のことから、白亜紀末の大量絶滅を含む、白亜紀末期～古第三紀前期の年代モデルや古環境変動を高解像度で決定するのに世界で最も

適した地層である。

## 2. 研究の目的

本研究では川流布セクションの根室層群において、予察研究によって得られた試料に加え、K/Pg 層において約 20 cm 間隔で試料採集を行い、下記の 3 つについて検討する。

### (1) K/Pg 層の国際層序対比

図 2 で示したように、微化石・炭素・オスミウム同位体比層序を予察的に検討し、K/Pg 層の区間をある程度、特定することができたが、本研究では、K/Pg 層の約 10m の区間について、さらに高解像度での炭素・オスミウム同位体比層序の作成を行い、K/Pg 境界の国際標準模式層 (GSSPs) であるチュニジアの El Kef セクションやイタリアの Gubbio セクションと詳細な層序対比を行う。

### (2) 超高精度標準年代モデルの樹立

申請者らの予察的検討によると、K/Pg 層を含む本露頭では、合計 6 層の珪長質凝灰岩が挟まり、これらはジルコン・サニディンが豊富に産出する。本研究ではこれらの鉱物の放射年代を測定する。

### (3) 白亜紀末～古第三紀初期にかけての北西太平洋の古環境変動の解明

K/Pg 層 (10m) およびその上下約 10m の区間の泥岩試料から微化石、無機元素分析を実施し、白亜紀末から古第三紀初頭にかけての海洋表層生産性と底層の溶存酸素量の変動を検討する。また、粘土鉱物分析により、陸域の温暖湿潤/寒冷乾燥の変化を見積もる。これらにより、K/Pg における北西太平洋地域の古環境変動を詳細に解明することが可能となる。

## 3. 研究の方法

### (1) 試料採集

北海道浦幌町川流布川および茂川流布川において、ルートマップ・柱状図を作成し、本地域の白亜系-古第三系の詳細な地質構造、岩相層序を検討した。さらに、平成 27~28 年度は川流布セクションの根室層群については、K/Pg 境界を含む約 200m の層厚区間から、泥岩を 200 試料 (約層厚 1m 間隔)、凝灰岩 10 試料を採集した。また、平成 29 年度は、より高解像度での解析を行うために、K/Pg 境界付近の約 40m の区間から泥岩を 200 試料 (約 25 cm 間隔) で採集し、凝灰岩についてもさらに 4 試料を追加で採取した。

### (2) 層序学的検討

採取した泥岩試料については、テトラフェニルホウ酸ナトリウムを用いて分解し、底生および浮遊性有孔虫、炭化植物片の試料を採集した。また、石灰質ナノ化石の分析に関しては、試料を乳鉢で粉碎し、光硬化剤を用いてスミアスライドを作成したうえ、協力研究者のネパール・トリプバン大学の Gyawali Babu Ram 博士が検鏡した。オスミウム同位体比については、メノウ乳鉢を用いて泥岩試料を 10g 粉碎し、分担者の東京大学・黒田博士に依頼した。

### (3) 古環境分析

無機化学分析については、泥岩試料約 10 g を粉末化し、主成分元素については東北大学工学部合同分析班の波長分散型蛍光 X 線分析装置 Bruker S8 Tiger を用い、微量成分元素については同組織の誘導結合プラズマ質量分析計 (Agilent 8800) を用いて測定した。

粘土鉱物分析については、filter transfer 法 (Moore and Reynolds, 1989) に従って粘土鉱物を抽出し、蛍光 X 線回折装置 (Philips X'pert-MPD PW3050) を用いて結晶化度および粘土鉱物組成の測定を行った。

#### (4) 放射年代測定

放射年代の測定に関しては、凝灰岩試料約 500g を粉末化し、椀掛けを行い、粘土成分を除去した。除去した残渣に対して、ポリタングステン酸ナトリウムを用いて重鉱物と軽鉱物に区分し、サニディン及びジルコンの抽出を行った。

### 4. 研究成果

#### 4-1. K/Pg 境界の決定

微化石分析の結果(図 2), ジュラ紀後期から白亜紀に生息し、白亜紀末に絶滅した石灰質ナノ化石の *Watznaueria barnesiae* が 80 m の層準まで産出していることから、80 m の層準までは白亜紀であると考えられる。一方、106~123 m の区間において *Thoracosphaera operculata* と *Thoracosphaera saxea* の多産が見られる。これらの種は K-Pg 境界直上の限られた区間で報告されていることから、106 m の層準は Danian 最下部であると考えられる。これらの微化石分析の結果から、本セクションにおける K-Pg 境界層は 80~106 m の区間に存在すると言える。

一方、本セクションの 91 m の層準においてイリジウムとプラチナのスパイクが見られた。イリジウムや白金族元素は隕石衝突によって地表にもたらされる元素であり、世界中の K-Pg 境界層でこれらの元素のスパイクが見られることから、この層準が K-Pg 境界であることが明らかになった。今回、この結果により、K/Pg 境界に凝灰岩が挟まっていることが明らかになった。この凝灰岩からは残念ながらジルコンは見つけることができなかったが、サニディンを対象とすれば、境界の詳細な年代測定が可能であり、現在、分析を継続中である。

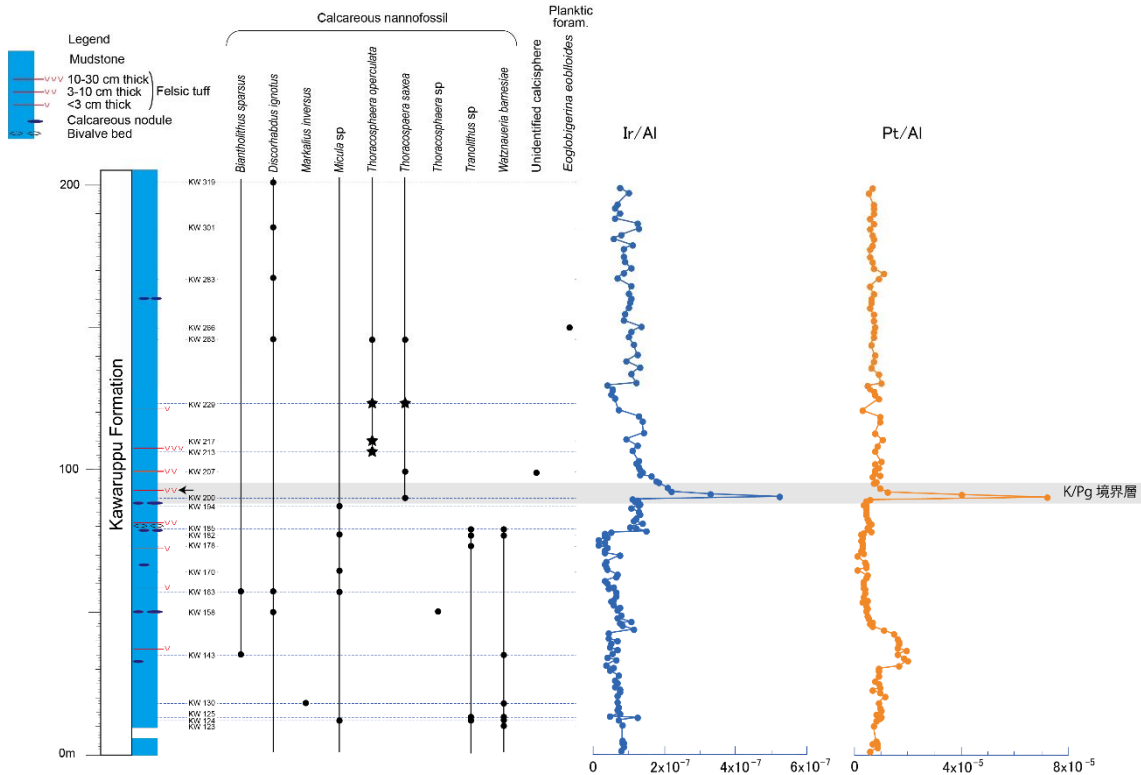


図 2: 微化石層序と元素分析結果による K/Pg 境界層の確定

#### 4-2. K/Pg 境界付近の北西太平洋の古環境変動

##### 酸化・還元指標

海洋の酸化還元環境を示す指標であるクロム、モリブデンの値は、本セクションの 0~60 m 付近にかけて減少し、その後増加するという傾向が見られた。クロムとモリブデンとともに酸化環境では海水に溶けた状態で存在し、還元的な環境に近づくると不溶性の固体と

して沈殿する性質を持つ。これらの値が減少するという事は、海洋が還元的な環境から酸化的な環境へと変化したことを意味する。白亜紀末にあたるこの期間では、海洋の環境が還元的な環境から酸化的な環境へと変化した、その後再び還元的な環境へと変化したことが考えられる。

風化の強度を示すストロンチウム/ルビジウム比とジルコニウム、粘土鉱物の結晶化度の値は、セクションを通して大きな変化が見られなかった。白亜紀末から古第三紀初期にかけてデカントラップの活動が起こっており、大量の二酸化炭素の放出により風化が卓越することが考えられる。しかし、今回の結果ではその傾向が見られなかったことから、この地域では激しい風化が起こっていなかったと考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takashima Reishi, Sano Shin-ichi, Hayashi Keiichi	4. 巻 124
2. 論文標題 Mid-Cretaceous climatic warmings and environmental changes recorded in the lower and middle part of the Yezo Group, Hokkaido, northern Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of the Geological Society of Japan	6. 最初と最後の頁 381 ~ 398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5575/geosoc.2018.0014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takashima Reishi, Nishi Hiroshi, Yamanaka Toshiro, Orihashi Yuji, Tsujino Yasuyuki, Quidelleur Xavier, Hayashi Keiichi, Sawada Ken, Nakamura Hideto, Ando Takuto	4. 巻 52/3
2. 論文標題 Establishment of Upper Cretaceous bio- and carbon isotope stratigraphy in the northwest Pacific Ocean and radiometric ages around the Albian/Cenomanian, Coniacian/Santonian and Santonian/Campanian boundaries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Newsletters on Stratigraphy	6. 最初と最後の頁 341 ~ 376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1127/nos/2019/0472	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Koyasu Hiromichi, Nishi Hiroshi, Takashima Reishi, Suzuki Noritoshi	4. 巻 52/3
2. 論文標題 Cretaceous radiolarian biostratigraphy in the Yezo Group, Hokkaido, Northeast Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Newsletters on Stratigraphy	6. 最初と最後の頁 297 ~ 319
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1127/nos/2018/0357	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Arimoto Jun, Takashima Reishi, Nishi Hiroshi, Yamanaka Toshiro, Orihashi Yuji, Jo Shota, Yamamoto Koshi, Umetsu Keita	4. 巻 92
2. 論文標題 Constraining the depositional age of an Upper Cretaceous non-marine and shallow marine siliciclastic succession, Kuji Group, northeastern Japan, based on carbon isotope stratigraphy and U?Pb radiometric dating	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cretaceous Research	6. 最初と最後の頁 264 ~ 278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.cretres.2018.08.007">https://doi.org/10.1016/j.cretres.2018.08.007</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Komatsu Toshifumi, Urakawa Ryota, Inada Toshitaka, Yamauchi Kazuki, Maekawa Takumi, Takashima Reishi, Williams Mark, Nguyen Phong D., Doan Hung D., Nguyen Minh T., Niko Shuji, Tanaka Gengo, Yamaguchi Tatsuhiko	4. 巻 28
2. 論文標題 The Kellwasser events in the Upper Devonian Frasnian to Famennian transition in the Toc Tat Formation, northern Vietnam	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Island Arc	6. 最初と最後の頁 e12281 ~ e12281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/iar.12281	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kuroyanagi Azumi, Toyofuku Takashi, Nagai Yukiko, Kimoto Katsunori, Nishi Hiroshi, Takashima Reishi, Kawahata Hodaka	4. 巻 34
2. 論文標題 Effect of Euxinic Conditions on Planktic Foraminifers: Culture Experiments and Implications for Past and Future Environments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Paleoceanography and Paleoclimatology	6. 最初と最後の頁 54 ~ 62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018PA003539	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高嶋礼詩・西弘嗣	4. 巻 101
2. 論文標題 白亜紀の火成活動と温暖化・環境変動	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 化石	6. 最初と最後の頁 69 ~ 74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takashima Reishi, Nishi Hiroshi, Yoshida Takeyoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Stratigraphic and Petrological Insights into the Late Jurassic-Early Cretaceous Tectonic Framework of the Northwest Pacific Margin	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Dynamics of Arc Migration and Amalgamation-Architectural Examples from the NW Pacific Margin	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.68289">http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.68289</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takashima Reishi、Kuwabara Sato、Sato Takafumi、Takemura Keiji、Nishi Hiroshi	4. 巻 41
2. 論文標題 Utility of trace elements in apatite for discrimination and correlation of Quaternary ignimbrites and co-ignimbrite ashes, Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Quaternary Geochronology	6. 最初と最後の頁 151 ~ 162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.quageo.2017.04.001">https://doi.org/10.1016/j.quageo.2017.04.001</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 高嶋礼詩・和田穰隆・星博幸・新正裕尚・工藤崇・西弘嗣
2. 発表標題 アパタイト微量元素組成を用いた紀伊半島の中期中新世カルデラ噴出物の対比
3. 学会等名 日本地質学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西弘嗣・静谷あてな・大庭雅寛・高嶋礼詩・小形優加里・小松俊文
2. 発表標題 ベトナムにおけるデボン紀-石炭紀境界・Hangenbergイベント時の古環境解析
3. 学会等名 日本地質学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nishi, H., Omatsu, K., Takashima, R.
2. 発表標題 Mid-Cretaceous Paleoceanographic change in Northwest Pacific based on benthic foraminiferal assemblage
3. 学会等名 JPGU
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 西弘嗣・Gyawali Babu Ram・高嶋礼詩
2. 発表標題 フランスVocontian Basinの上部白亜系統合層序
3. 学会等名 日本古生物学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲田稔貴・小松俊文・浦川良太・前川匠・高嶋礼詩・グエン ダック フォン・ザン ディン フン
2. 発表標題 ベトナム北部シーファイ峠に分布する上部デボン系のコノドント生層序
3. 学会等名 日本古生物学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小松俊文・浦川良太・児子修司・高嶋礼詩・山口龍彦・グエン ダック フォン
2. 発表標題 ベトナム北部のドンバン地域に分布する上部デボン系トクタット層から産出するテナキュリトイド
3. 学会等名 日本古生物学会例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ikeda, M., Sawada, K., Ando, T., Nakamura, H., Takashima, R., Nishi, H.
2. 発表標題 Terrestrial environmental changes reconstructed by 'lower' plant biomarkers across the Cenomanian/Turonian boundary in the Tomamae area, northern Hokkaido, Japan
3. 学会等名 AGU (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原里・高嶋礼詩・西弘嗣
2. 発表標題 アパタイト微量元素組成に基づく白亜系蝦夷層群の凝灰岩標準層序と広域対比
3. 学会等名 日本地質学会第124年学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西弘嗣・高嶋礼詩
2. 発表標題 白亜紀海洋無酸素事変OAE2における年代モデルの樹立と古環境変動・LIPsとの関係
3. 学会等名 日本地質学会第124年学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 安藤卓人・沢田健・高嶋礼詩・西弘嗣
2. 発表標題 南東フランス，白亜系海洋無酸素事変（OAE）1a層準の黒色頁岩のケロジェン熱分解分析 海洋基礎生産の復元
3. 学会等名 日本地質学会第124年学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashima, R., Nishi, H., Kuwabara, S.
2. 発表標題 Utility of apatite trace-element for tephrochronology
3. 学会等名 Japan Geoscience Union
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kuroyanagi, A., Toyofuku, T., Nagai, Y., Kimoto, K. Nishi, H., Takashima, R., Kawahata, H.
2. 発表標題 Implications for paleo-oceanographic oxygen conditions during the Cretaceous OAEs: Results from laboratory culture experiments
3. 学会等名 Japan Geoscience Union
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松井浩紀・西弘嗣・黒柳あずみ・林広樹・池原実・高嶋礼詩
2. 発表標題 前期～中期中新世を通じた赤道太平洋温度躍層の発達史
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	西 弘嗣  (Nishi Hiroshi)  (20192685)	東北大学・学術資源研究公開センター・教授   (11301)	
研究分担者	黒田 潤一郎  (Kuroda Jun-ichiro)  (10435836)	東京大学・大気海洋研究所・准教授   (12601)	
研究分担者	佐藤 隆文  (Sato Takafumi)  (30643332)	東北大学・多元物質科学研究所・助手   (11301)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	折橋 裕二  (Orihashi Yuji)  (70313046)	弘前大学・理工学研究科・教授       (11101)	