

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：80122

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04153

研究課題名（和文）暁新世-始新世境界温暖化極大時に北西太平洋で生じた陸-海の環境変動の解明

研究課題名（英文）Paleoenvironmental studies of terrestrial and marine sequences in Northwest Pacific region during Paleocene-Eocene Thermal Maximum.

研究代表者

林 圭一（Hayashi, Keiichi）

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・産業技術環境研究本部 エネルギー・環境・地質研究所・主査

研究者番号：30707906

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：暁新世-始新世境界（約5600万年前）に起こった突発的な温暖化イベントである暁新世-始新世境界温暖化極大（PETM）の際の北西太平洋域の古環境を明らかにするため、深海の地層である根室層群において渦鞭毛藻シスト化石-炭素同位体比層序を確立した。また、渦鞭毛藻シスト化石による古環境の検討により、北西太平洋域では、PETMの温暖化をきっかけとし、それまで貧栄養で一次生産の低い海域であった北西太平洋が、一次生産の高い海域に転じたことが明らかになった。これは、温暖化により陸域が湿潤化したことで、雨量が増加し、河川による栄養塩の流入が増加したことが原因であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、PETMの研究において、これまで研究の少なかった地域である北西太平洋域においてPETM時の陸域～海域の古環境を解明することにある。特に、本研究では、深海域で形成された根室層群と浅海～陸上で形成された羽幌層の2つの異なる環境で形成された地層において古環境を比較検討することで、当時の陸域および海域の環境変動を明らかにできる。

また、PETMは大量の二酸化炭素などが大気中に放散されて生じたと考えられることから、現在進行中の温暖化のアナログ（相似事例）と考えられており、PETM時に生じた古環境変動の解明は、現在、進行中の温暖化の将来予測のための重要な知見となる。

研究成果の概要（英文）：The Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM) is well known as the prominent short-term global warming event at the Paleocene-Eocene boundary. In this study, we examined the integrated stratigraphy of dinocyst-carbon isotope of the Tomikawa Formation, the uppermost part of the Nemuro Group, because of the formation is considered to be formed during early Paleocene to early Eocene. As a result, it is revealed that the negative carbon isotope excursion of PETM is in the upper middle part of the Tomikawa Formation.

Furthermore, we examined the paleoenvironment, especially the sea surface primary productivity, by dinocyst assemblage changes across the PETM. The productivity gradually declined with the global warming in the late Paleocene, and very poor in the latest Paleocene. After that, the productivity turned to increase onset of the PETM. It is considered that the high productivity in the sea surface caused by enhanced run-off, because the humid and warm environment in the PETM period.

研究分野：地質学，古生物学，古環境学

キーワード：暁新世-始新世境界温暖化極大（PETM） 北西太平洋 根室層群 羽幌層 渦鞭毛藻シスト化石層序 古一次生産

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 暁新世 - 始新世境界温暖化極大 (PETM) と古環境

暁新世 - 始新世境界 (約 5600 万年前) には、全世界的に急激かつ突発的な温暖化が生じ、深海底の底生有孔虫などの海洋生物の大規模な絶滅、陸上での哺乳類の放散などのイベントを引き起こしたとされている (Kennett and Stott, 1991 など)。この温暖化は、暁新世 - 始新世温暖化極大 (以下、PETM) と呼ばれる。PETM は、炭素同位体比の急激な負のエクスカージョン (以下、CIE) で特徴付けられることから、大気中へ ^{12}C に富む CO_2 の急激なインプット (例えば、大規模火山活動、メタンハイドレート層の崩壊) により、炭素循環に大規模な擾乱が生じたことが原因と考えられている (Dickens et al., 1995; Bralower et al., 1996 など)。このように PETM は、大量の CO_2 の大気への放出によって生じたイベントであるため、現在進行している地球温暖化の相似事例として注目されており、当時の環境を研究することは地球環境の将来予測のための基礎的な知見として非常に重要である。

(2) 北西太平洋域の古第三系、根室層群と羽幌層

PETM は、重要な古気候イベントであることから世界中で研究がなされているが、これまで北西太平洋域における研究例がない。そこで、北海道に分布する PETM 層準を含むことが期待される地層である根室層群富川層 (Kaiho, 1984; Kurita, 2004) および羽幌層 (栗田ほか, 1992; 栗田・小布施, 1994) を研究対象として選定した。

これらの地層のうち、根室層群富川層は、深海で形成された地層であり、羽幌層は浅海～陸上で形成された地層であることから、堆積環境の異なる地層を検討することで、PETM 時に北西太平洋域で生じた古環境変化を陸から海洋にかけて復元することが期待できる。

2. 研究の目的

北海道に分布する暁新世 - 始新世境界を含む北西太平洋域の前弧海盆堆積物のうち、深海で堆積した地層である根室層群富川層と浅海～陸域で堆積した羽幌層の異なる 2 つの環境で堆積した地層において、古環境の変遷を明らかにすることで、これまで研究例が少なかった北西太平洋域における PETM 時の古環境を陸域～海域にかけて明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 渦鞭毛藻シスト化石-炭素同位体比統合層序

北海道に分布する根室層群富川層および羽幌層において、PETM の層準を特定するために、渦鞭毛藻シスト化石層序により、P-E 境界の層準を絞り込む。さらに、堆積物中の炭化植物片の炭素同位体比を検討し、その変動を渦鞭毛藻シスト化石層序による地質年代対比と併せて検討することで、PETM の特徴である CIE を認定する。

また、陸成層を含む羽幌層においては、海生微化石の産出が少なく、相対年代の対比が困難であるため、補助的に凝灰岩中のジルコンの放射年代分析を行った。

(2) 渦鞭毛藻シスト化石群集の解析による古環境の推定

本研究では、PETM 前後を含む時代の古環境変遷を明らかにするため、暁新世～始新世初期にかけて、渦鞭毛藻シスト化石群集の検討を行った。渦鞭毛藻は、特に、海洋の古一次生産の変化に鋭敏に反応して、その群集を変化させることが知られている。

4. 研究成果

(1) 根室層群・富川層の渦鞭毛藻シスト化石-炭素同位体比層序

根室層群・富川層において、渦鞭毛藻シスト化石-炭素同位体比統合層序を検討した結果を示した (図 1)。このうち、渦鞭毛藻シスト化石層序の結果から、本層は、下部暁新世～始新世初期にかけての地層であることが明らかになった。また、年代示準種の産出から、本層上部の *Pyxidinospis crassimurata* 帯～*Spinidinium colemanii* 帯にかけての層準に P-E 境界があることが推定された。しかし、この層準付近では、PETM 時に渦鞭毛藻シスト化石の *Apectodinium* 属が多産するイベントが認められなかった。

一方、富川層の炭素同位体比は、古第三紀の標準的な炭素同位体比変動 (Cramer et al., 2009 による深海底の石灰質底生有孔虫の炭酸塩殻の同位体比のコンパイル曲線) とよく似た変動を示しており、暁新世～始新世初期の各時代境界などが明らかになった。また、渦鞭毛藻シスト化石で PETM 層準付近と考えられる *Pyxidinospis crassimurata* 帯～*Spinidinium colemanii* 帯付近において、30～50cm 間隔で試料を採集し、炭素同位体比を高解像度に検討した結果、PETM の CIE と考えられる顕著な負のエクスカージョンを見いだした (図 1)。

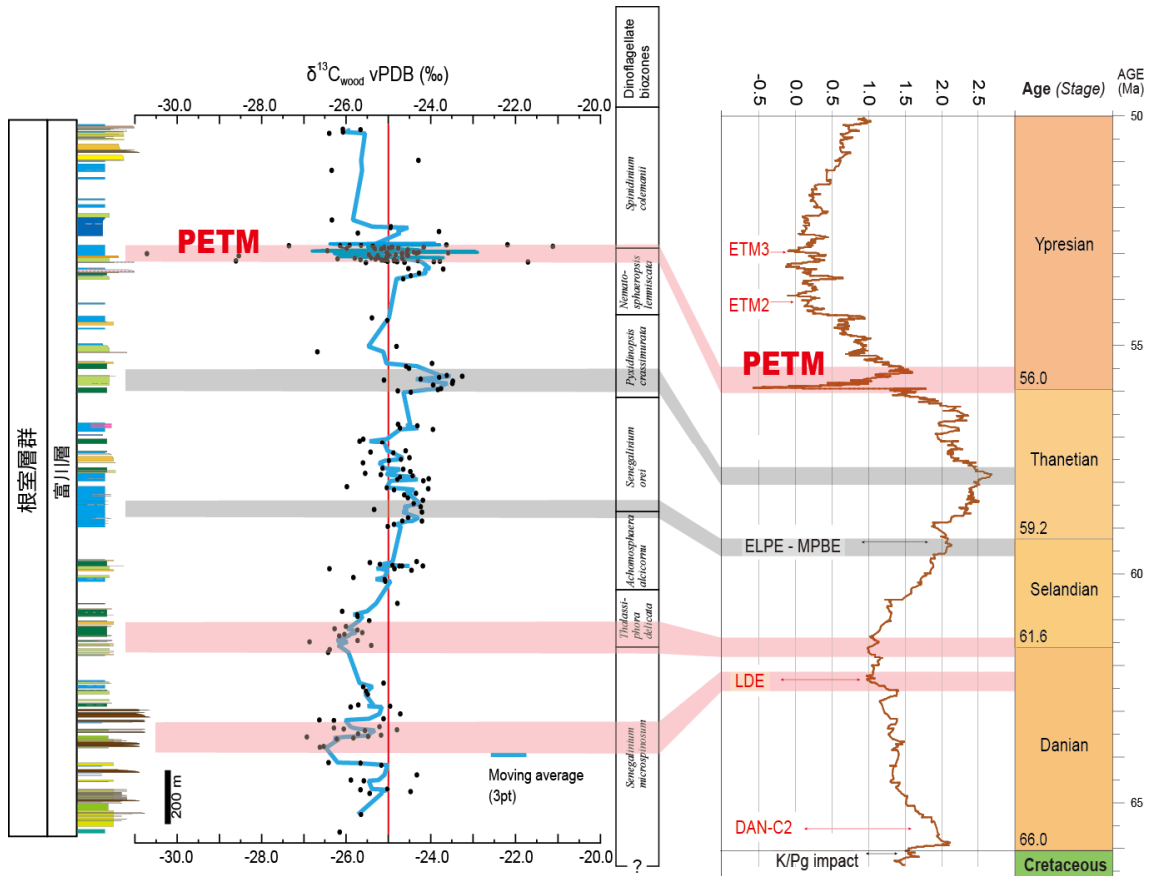


図1：根室層群・富川層の渦鞭毛藻シスト化石-炭素同位体比統合層序と、汎世界的な炭素同位体比変動 (Cramer et al., 2009) の対比。富川層上部に PETM 層準と考えられる CIE が認められた。

(2) 羽幌層の堆積環境と地質年代層序

先行研究では、羽幌層の堆積環境は、その堆積相から浅海～陸上で堆積した地層であると考えられてきた (栗田・小布施, 1994; 保柳, 1995)。本研究では、羽幌層の地質調査を実施し、堆積相解析を行うとともに海生微化石である渦鞭毛藻シスト化石の産出状況から堆積環境について再検討を行った。

本研究の結果、羽幌層の大部分が陸上で形成されており、羽幌層下部のみが浅海で形成された地層であった。特に、暁新世後期～始新世前期に相当すると考えられる羽幌層の中部～上部は、氾濫原で堆積した泥質堆積物に細粒砂岩の薄層が挟在する互層、石炭層、河川の流路で形成された斜交層理の見られる細粒～中粒砂岩と泥岩など、ほとんどが蛇行河川の近傍で形成された地層であり、海生微化石である渦鞭毛藻シスト化石の産出がなかった。

また、本研究では、炭化植物片の炭素同位体比を検討したが、深海底の石灰質底生有孔虫の炭酸塩殻から得られた古第三紀の標準的な炭素同位体比変動と比較して、明確な対比が困難であったことに加え、CIE に相当するような明確な負のエクスカージョンが見つからなかったため、PETM 層準の特定に至らなかった。

炭素同位体比による対比が不明瞭であったことは、羽幌層が陸成層であり、複数のハイエタス (無堆積区間) を含んでおり、連続的な地層記録ではなかった可能性があること、陸成層であるため海生微化石などの明確な相対年代指標が得られず、炭素同位体比の対比の根拠に乏しかったことが原因である。

なお、本研究では、羽幌層中部の凝灰岩中のジルコンの U-Pb 年代を検討した結果、暁新世前期の年代であった。この結果は、先行研究で報告される暁新世後期～始新世初期という羽幌層の年代 (栗田・小布施, 1994) と矛盾しており、今後、羽幌層の地質年代層序について再検討する必要がある。

(3) 暁新世後期～始新世初期の古一次生産

連続的な海洋の記録の得られた根室層群・富川層において、渦鞭毛藻シスト化石の群集組成から、古一次生産を復元した。本研究では、渦鞭毛藻の産出数、産出種数、Shannon-Wiener の多様度指数、Pielou の均衡度指数を検討するとともに、渦鞭毛藻シストの従属栄養～混合栄養型の Peridinioid (P-cyst) と、独立栄養型の Gonyaulacoid (G-cyst) の比である P/G 比 (P-cyst の個体数/全個体数) を検討した。P/G 比は、海洋表層の一次生産量を反映する。

渦鞭毛藻シスト化石群集から、北西太平洋域は、暁新世前期～中期にかけて一次生産の高かったが、後期暁新世の温暖化に伴い、一次生産が徐々に低下し、暁新世末には著しく海洋一次生産が低下していた。また、PETM 時には、産出数、産出種数、P/G 比の上昇が見られ、一次生産が回復していることがわかった。

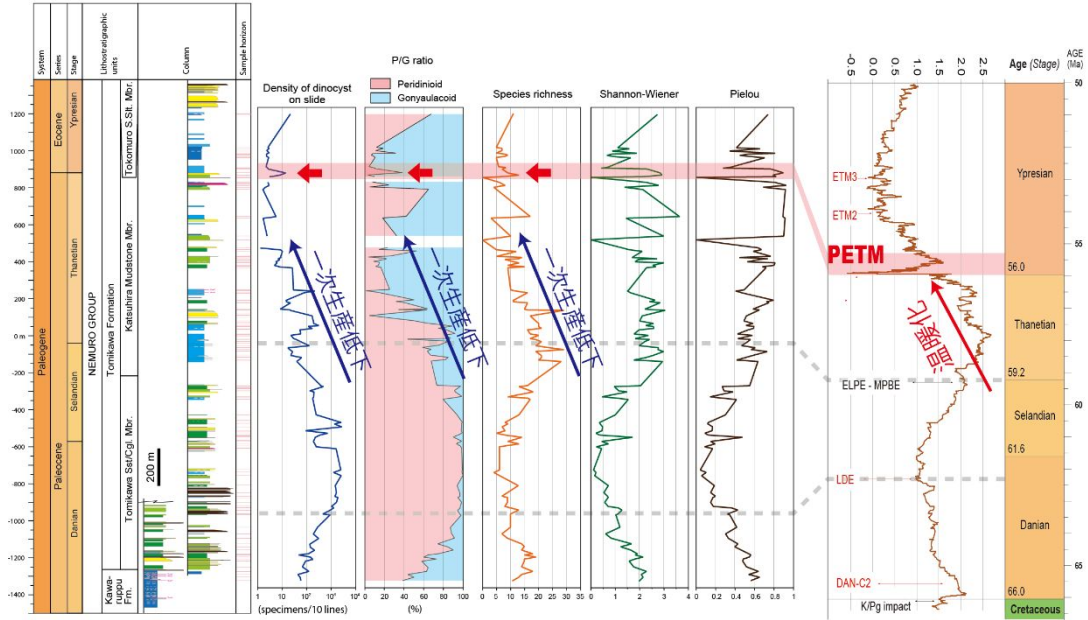


図 2：根室層群・富川層における古一次生産の各指標。

暁新世前期～中期の高一次生産から暁新世後期の温暖化に伴って、一次生産が低下しているが、PETM 時には、一時的に生産性が回復している (赤矢印)。

(4) PETM 時の海洋における渦鞭毛藻シスト化石群集の変化

根室層群富川層においては、渦鞭毛藻シスト化石-炭素同位体比統合層序は、汎世界的な炭素同位体比層序とよく対比でき、PETM 時の CIE を見いだすことができた。この PETM 層準における渦鞭毛藻シスト化石の層位分布を示す (図 3)。

本研究では、先述の通り、PETM 時に、汎世界的に認められる渦鞭毛藻シストの *Apectodinium* 属の多産イベントは認められなかった。本地域の渦鞭毛藻シスト化石群集は、PETM 期間の前後で大きな群集変化は認められない。

先述の通り、本地域では、直前まで著しく低下していた海洋表層の生産性が、PETM 時に回復している (図 2)。群集の構成種をみると、PETM 以降、それまで産出していなかった *Spinidinium* 属が産出するようになる (図 3)。*Spinidinium* 属は、高栄養塩海域に

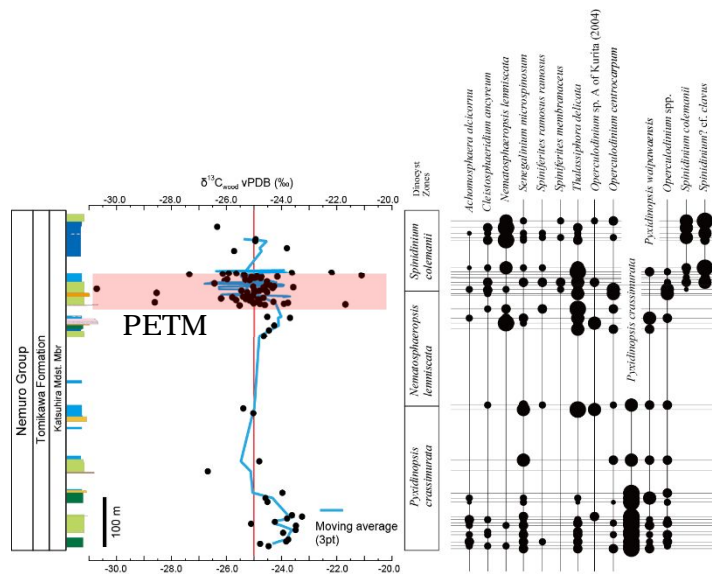


図 3：PETM 付近の層準の渦鞭毛藻シスト化石の層位分布

卓越する属であることから (Sluijs et al., 2008), 北西太平洋の沿岸域では, PETM 時に栄養塩の流入があり, それによって一次生産が増加していたと考えられる. この栄養塩の流入は, PETM の温暖化に伴う湿潤化により, 後背地の降雨が増加し, 河川による陸上からの栄養塩流入が強化されたことが原因であると考えられる.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 林 圭一、西 弘嗣、高嶋礼詩、山中寿朗
2. 発表標題 北海道東部に分布する根室層群における暁新世～始新世前期の渦鞭毛藻シスト化石 - 炭素同位体比統合層序
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023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	高嶋 礼詩 (Takashima Reishi) (00374207)	東北大学・学術資源研究公開センター・教授 (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------