

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：16301  
研究種目：基盤研究(C) (一般)  
研究期間：2013～2015  
課題番号：25400488  
研究課題名(和文) 中和される海洋(Ocean Neutralization)の解明

研究課題名(英文) A study on ocean Neutralization

## 研究代表者

堀 利栄 (Rie, S. HORI)

愛媛大学・理工学研究科・教授

研究者番号：30263924

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：過去の海洋酸性化の記録から、どのように海洋が元の状態へ復帰していったかを明らかにするため、本邦美濃帯犬山地域、秩父帯明浜地域、ニュージーランド・ワイパパ帯、トルコ・アンタルヤ地域の遠洋三畳系ジュラ系境界層を学際的に検討した。その結果、三畳紀最末期の海洋酸性化の後、海洋中和過程を示唆する異常組成層準が発達し、微化石生物相の移り代わりが短期間(<10万年)に起こるといった現象が汎世界的に識別され、海洋中和・回復過程に関する新たな知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：Multidisciplinary research has been performed on the pelagic sequences of Triassic-Jurassic boundary from the Inuyama, Mino Belt and Akehama, Chichibu Belt, Japan, from the Waipapa Belt, N.Z. and Antalya, Turkey, in order to clarify the meditation process from oceanic acidification event. The results of this study suggest that oceanic neutralization, indicating by extraordinary compositions of sediments such as Ca rich, occurred after acidification, and then faunal turnover of microfossils such as radiolarians continuously happened in a short duration <100kyr. This phenomenon strongly linked to the end Triassic mass extinctions suggested by a negative peak of stable Carbon isotopic ratios and also decreasing of biogenic magnetite in sediments.

研究分野：層序学

キーワード：海洋酸性化 T-J境界 中和 大量絶滅 放散虫

### 1. 研究開始当初の背景

現在の海洋は、人類活動による大気中の CO<sub>2</sub> 増加によって酸性化が徐々に進行し、海面表層が現在の pH8.1~8.2 の弱アルカリ性から 2100 年は pH7.8 へ減少し、海洋の生態系に多大なダメージを与えることが予測されている。過去にもこのような CO<sub>2</sub> の異常増加による海洋酸性化があったことが報告されており、例えば Permian-Triassic 境界、Triassic-Jurassic (Tr-Jr) 境界、PETM(Paleocene-Eocene Thermal Maximum)などがあげられている(Hönisch et al., 2012 Science)。なかでも Tr-Jr 境界では、大西洋の形成に伴う LIPs の大規模火山活動(CAMP)による CO<sub>2</sub> 増加の影響で、海洋酸性化が引き起こされた証拠が多数報告されている(Greene et al., 2012 Earth-Science Review)。申請者は長年深海堆積物中の Tr-Jr 境界を生層序学および地球化学的に分析検討してきた(e.g. Hori et al., 2007; Kuroda, Hori et al., 2011)。近年、本申請の共同研究者らとチャート中の磁性粒子特性の解析より海洋酸性化もしくは biogenic-magnetite 生物の絶滅の証拠を三畳系最上部チャート中に発見したことを報告した(Abrajevitch, Hori and Kodama, 2013)。一般に、遠洋チャート中には陸起源の magnetite 粒子、生物起源 magnetite (biogenic magnetite)、hematite が含有されており、その含有比が炭素同位体比変動と呼応して Tr-Jr 境界で顕著に変化することを我々は発見した。その結果、三畳系最末期において biogenic magnetite が消滅する(ほとんど含有率 0)時期が数万年間存在することを明らかとなり、その期間はコノドントの絶滅層準と炭素同位体比極小値とほぼ一致する事が判明した。ここで大切なのは、海洋プランクトンである放散虫の faunal turnover 層準(Radiolarian Tr-Jr 境界)と、コノドント絶滅層準や biogenic magnetite 消滅層準が一致しないことである。放散虫の

Tr-Jr 境界は、ほぼアンモナイトによる Tr-Jr 境界と一致、または少し早く、海洋炭素同位体比のプラスへの変動直後である事が知られている(Hori et al., 2010 Earth Science Frontiers)。一方、magnetite 含有極小 + hematite 高含有を示す層準は、すでに報告されている海洋酸性化が引き起こされた層準と対比される事から、海洋酸性化イベントとの強い関係が示唆される。それは、海洋炭素同位体比の正への変動の直前である。海洋酸性化の可能性の高い層準と放散虫化石に代表される海洋プランクトンの Tr-Jr 境界には、タイムラグが確認されている(堀, 2012 地質学会)。炭素同位体比層序からみると、炭素同位体比が正へと変化する層準は、浅海での海洋酸性化による石灰岩層の欠如層準とほぼ一致していることは、海洋酸性化と本研究検討課題である海洋環境復帰過程の解明に関する有力なヒントとなる。

### 2. 研究の目的

海洋酸性化は、地球温暖化に伴う地球環境悪化の一例として現在の海洋で問題視されているが、酸性化した海洋がいかに元の状態に復帰するかという検討は未だ十分になされていない。本研究課題では、過去の酸性化海洋(Ocean Acidification)の記録から、どのように海洋が異常な酸性状態へ移行し、そして、元の状態へ復帰していったかを学際的に解析する事を目的に実施した。本研究では、この海洋環境の酸性化された状態 中性/弱アルカリ性への復帰プロセスを **“海洋中性化(Ocean Neutralization)”**と呼ぶ事を新たに提案し、そのメカニズムの解明を目的に研究を進めた。検討した堆積物は、顕生累代において海洋酸性化が短期に顕著に現れたとされている三畳系-ジュラ系境界層である。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、以下の項目について明らかにすべく研究を実施した。

- ( 1 ) Tr-Jr 境界チャート層の磁性特性の高解像度解析により、酸化イベントから中性化までの海洋環境記録の検出を行う。
- ( 2 ) Tr-Jr 境界層の元素組成比のSubbed オーダーでの分析を実施し、特に Ca, Na, K などの微量元素の異常値を検討する。また酸化還元環境変化に敏感な元素 (U, V 等) の元素組成変動を明らかにし Anoxic ではなくより酸性 中和化である事を高解像度の分析で証明する。
- ( 3 ) 上記 ( 1 ) の海洋酸化イベントから中性化までの持続時間の特定を検討する。
- ( 4 ) 海洋環境変動の規模の確認のため、本邦だけでなく、世界各地の T-J 境界層の検討を実施する。

#### 4. 研究成果

本課題研究期間において検討した T/J 境界は、下記 4 カ所である。1) 本邦西南日本内帯 美濃帯犬山地域、2) 西南日本外帯 秩父帯 明浜地域、3) ニュージーランド・ワイパパ帯 パキヒ地域、4) テチス海域 トルコ・アンタルヤ帯。犬山地域には代表研究者らが報告した (Hori, 1992; Carter and Hori, 2005) 遠洋深海堆積物中の Tr-Jr 境界チャート層が分布し、微化石層序による詳細な境界層の決定が行われている。本研究期間において、さらに高解像度のサンプリングを行い、Subbed オーダーでの解析をおこなった。また、同時に有機炭素同位体比層序や化学組成分析、Os 同位体比分析も実施した。2) 地域の T-J 境界層については、これまで報告がなく、代表者らが始めて微化石層序解析によってその存在を検討した。これまで、本邦西南日本外帯に分布するチャート層においては T-Jr 境界層の存在は示されていたが、単層オーダーでの検討はされておらず、内帯犬山地域との詳細な対比を行う上で重要で

ある。3) のニュージーランド・ワイパパ帯における T-J 境界層については、代表者らがこれまで放散虫層序解析によって T-J 境界層の検討を行ってきたが、今回、Subbed オーダーでの試料採取を行い、1) の犬山地域との詳細な対比を行うことが可能となった。HF エッチングを含む堆積学的検討、微化石層序学的検討、化学組成分析、炭素同位体比分析を実施した。その成果の一部を大阪微化石研究会誌特別号の代表者編集号において、岡田・堀ほか (2015) で報告した。本編集号については、2016 年中にオープンジャーナルとなる予定である。公表された成果のうち特記すべき事項は、1) T-J 境界層の全岩有機炭素同位体比層序は、グローバルに使える指標として有効であり (図 1)、炭素同位体比変動が正に変動する層準において、K, Ca などの異常濃集が世界的に認められる事である。また、犬山地域の T-J 境界層について地球化学的な解析により海洋酸性化の検討をおこなった成果を Ikeda, Hori et al. (2015) によって報告した。犬山地域の T-J 境界層については、Subbed オーダーの古地磁気学的検討を実施した。その結果、遠洋海域における酸化状態の変化は、チャート単層中の Subbed 内で行っていることが明らかとなった。チャート単層が 1000 年オーダーでの堆積物とすると (Hori et al., 1993)、その変化は 100 年単位での環境変動であると推定された。詳細な成果については、本研究課題の海外研究協力者とともに論文化する予定である。

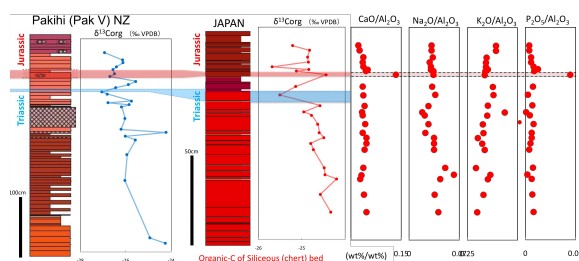


図 1 NZ と本邦犬山地域の T-J 境界層解析結果

4)トルコのアンタルヤ帯の T-Jr 境界層は、CCD 前後の石灰岩層とチャート層が堆積するテチス海遠洋海域の堆積物で構成され、本研究課題の検討に適した地層である。放散虫微化石層序によって T-J 境界が詳細に決定されており(Tekin, 2002)、本邦のチャート層から産出する最初期ジュラ系放散虫示準化石 *Parahsuum* 属などと同種の産出が確認されており、詳細な層序対比が可能である。トルコ三畳系最上部には、Subbed 構造が発達するチャート層が特徴的に分布し、T-J 境界直下に異常な石灰岩層が分布することが判明した(図2)。本地域の堆積速度を考慮すると、その堆積は<1000年と考えられ、このような岩相層序変化は、われわれの作業仮説とよく一致する事が明らかとなった。現在詳細な化学分析および微化石層序解析を継続中である。

(下:図2 トルコの T-J 境界層)



以上のような総合的な検討により、本研究課題のテーマである三畳紀末における海洋酸性化と中和プロセスの解明が半世界的規模で検討可能となった。つまり、三畳紀末の海洋酸性化によって石灰層溶融が起こり炭酸塩起源の重い炭素が海洋に供給される炭素同位体比の正スパイクを形成その後海洋が中和され定常的な海洋環境へ復帰したことが証明可能となった。その成果の詳細(未公表データ)については、現在論文化準備中である。

#### <引用文献>

Elizabeth S. CARTER and Rie S. HORI (2005) Global Correlation of the radiolarian faunal change across the Triassic-Jurassic boundary. *Canadian Journal of Earth Sciences*. Vol. 42, No.5, 777-790.

Rie HORI (1992) Radiolarian Biostratigraphy at the Triassic/Jurassic period boundary in bedded cherts from the Inuyama Area, Central Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, Vol.35, Art.4, 53-65.

Rie S. HORI, Chang-Fee CHO and Hiroyuki UMEDA (1993) Origin of cyclicity in Triassic-Jurassic radiolarian bedded cherts of the Mino accretionary complex from Japan. *The Island Arc*, Vol.3, 55-65.

Masayuki Ikeda, Rie S. Hori, Yuki Okada, Ryoichi Nakada (2015) Volcanism and deep-ocean acidification across the end-Triassic extinction event. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 440, 725-733.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.09.046>

岡田 有希・堀 利栄・池田昌之・池原 実 (2015) パンサラッサ海深海堆積物における三畳系—ジュラ系境界層の地球化学的検討. 大阪微化石研究会誌 特別号 第15号, 219-232

Kagan U. Tekin (2002) Late Triassic (Late Norian-Rhaetian) radiolarians from the Antalya Nappes, Central Taurides, Southern Turkey. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 108, 415-440.

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8件)

Myriam Kars and Kazuto Kodama (2015) Authigenesis of magnetic minerals in gas hydrate-bearing sediments in the Nankai Trough, Offshore Japan. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 16, 947-961. 査読有, Doi: 10.1002/2014GC00561.

Masayuki Ikeda, Rie S. Hori, Yuki Okada, Ryoichi Nakada (2015) Volcanism and deep-ocean acidification across the end-Triassic extinction event. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 440, 725-733. 査読有 <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.09.046>

岡田 有希・堀 利栄・池田昌之・池原実 (2015) パンサラッサ海深海堆積物における三畳系—ジュラ系境界層の地球化学的検討. *大阪微化石研究会誌 特別号 第15号*, 219-232, 査読有.

Rie S. Hori, Koji Takayama, Jack A. Grant-Mackie, Bernhard K. Spörlib Yoshiaki Aita, Toyosaburo Sakai, Atsushi Takemura, Kazuto Kodama (2015) New high latitude Capnuhosphaera species (Triassic Radiolaria) from Waipapa Terrane, New Zealand. *Revue de micropaleontology*, 58, 13-28. 査読有, <http://dx.doi.org/10.1016/j.revmic.2015.02.001>

Junichiro Kuroda, Natsuko Ihoriya, Rie S. Hori, et al. (2015) Geochemistry of an Aptian bedded chert succession from the deep Pacific basin: New insights into Cretaceous oceanic anoxic event (OAE) 1a. *Geological Society of America Special Papers*, 511, 305-328. 査読有, doi:10.1130/2015.2511(16)

Masayuki Ikeda, Rie S. Hori (2014) Effects of Karoo–Ferrar volcanism and astronomical cycles on the Toarcian Oceanic Anoxic

Events (Early Jurassic). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 410, 134-142. 査読有, doi:

10.1016/j.palaeo.2014.05.026

Alexandra Abrajevitch, Rie S. Hori, Kazuto Kodama (2013) Rock magnetic record of the Triassic-Jurassic transition in pelagic bedded chert of the Inuyama section, Japan. *Geology*, 41, 803-806, 査読有, doi:10.1130/G34343.1

Špela Goričan, Elizabeth S. Carter, Jean Guex, Luis O'Dogherty, Patrick De Wever, Paulian Dumitrica, Rie S. Hori, Atsushi Matsuoka, Patricia A. Whalen (2013) Evolutionary patterns and palaeobiogeography of Pliensbachian and Toarcian (Early Jurassic) Radiolaria. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 386 (2013) 620-636, 査読有, <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.06.028>

[学会発表](計13件)

池田昌之・堀 利栄・池原 実・宮下怜・千野将史・Maximilian Bole, Peter O. Baumgartner (2015) 海洋無酸素事変(OAE)のトリガーとしての火成活動と日射量変動ジュラ紀 Toarcian OAE の例, 地球環境史学会年会, 東京大学(東京都文京区本郷)11月21日

仲村康秀・今井一郎・宗宮麗・堀 利栄・鈴木紀毅・辻 彰洋(2015)黒潮域に生息するフェオダリア類(単細胞動物プランクトン)の分布と生態, 2015年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会, 北海道大学(北海道札幌市)9月3日

堀 利栄・新木雄之・鈴木紀毅・辻 彰洋(2015)蛍光試薬 HCK-123 による現生放散虫スプレラリアの殻成長観察. 日本古生物学会2015年会, 産業技術研究所(茨城県つくば市)6月27日

Rie S. Hori, Minoru, Ikehara (2014) The Triassic-Jurassic boundary record of deep-sea sediments from Panthalassa. AOGS, ロイトンサッポロホテル(北海道札幌市)8月1日

Alexandra Abrajevitch, Rie S. Hori, Kazuto Kodama (2014) Pelagic record of the Triassic-Jurassic transition: a

rock magnetic study of Inuyama chert sequence, Japan. AOGS, ロイトンサッポロホテル(北海道札幌市) 8月1日

Junitiro Kuroda, Rie S. Hori, Katsuhiko Suzuki, Darren Grocke, Naohiko Ohkouchi, Tetsuji Onoue (2014) Geochemical records of chert from Panthalassa: Implications for the end-Triassic event. AOGS, ロイトンサッポロホテル(北海道札幌市) 8月1日

Yoshiaki Aita, Hayato Tamura, Satoshi Yamakita, Atsushi Takemura, Rie S. Hori, Satoshi Takahashi, K. Bernhard Sporli, Hamish Campbell (2014) Biogenic silica sedimentation processes revised in Middle Triassic bedded chert from Panthalassa ocean. AOGS, ロイトンサッポロホテル(北海道札幌市) 8月1日

Maximilian Bole, Peter O. Baumgartner, Rie S. Hori (2014) Redox condistion and Trace elements in Mesozoic radiolarites: comparison between Tethys and Panthalassa. AOGS, ロイトンサッポロホテル(北海道札幌市) 8月1日

Peter O. Baumgartner, Marco Chiari, Masyuki Ikeda, Rie S. Hori (2014) Possible cuases of a Lower Jurassic oceanic chert gap in Neotethys, InterRad2015, クラウンプラザ・アンタルヤ(トルコ アンタルヤ市) 3月 23-26 日 (ポスター発表)

池田昌之・堀 利栄 (2013) Toarcian 海洋無酸素事変のトリガーとしての火成活動と天文学的強制力: 下部ジュラ系層状チャートからの示唆. 日本地質学会第 120 回大会, 東北大学(宮城県仙台), 9月 16 日

相田吉昭・田村隼人・山北 聡・竹村厚司・堀 利栄・K. Barnhard Sporli・Hamish Campbell (2013) ニューゼーランド北島モツタブ島に分布する中部三畳系層状チャートの堆積過程. 日本地質学会第 120 回大会, 東北大学(宮城県仙台), 9月 16 日

相田吉昭・田村隼人・山北 聡・竹村厚司・堀 利栄・K. Barnhard Sporli・Hamish Campbell (2013) 高精細 SEM による中部三畳系層状チャートの堆積過程の観察 ニューゼーランド北島モツタブ島の事例. 日本地質学会第 120 回大会, 仙台(東北大学), 9月 16 日

堀 利栄・池田昌之・小玉一人・山北聡・竹村厚司・相田吉昭・酒井豊三郎・高橋聡・K. Barnhard Sporli・Jack A. Grant-Macike・Hamish Campbell・Chris J. Hollis (2013) ニューゼーランド遠洋 P/T 境界層における環境変動解析. 日本地質学会第 120 回大会, 東北大学(宮城県仙台市), 9月 15 日

〔図書〕(計 1 件)

堀 利栄・竹村厚司(編)大阪微化石研究会、

大阪微化石研究会誌 特別号 No.15 -A tribute to Prof. Kojiro NAKASEKO、2015、232pp.(ISSN 0287-0436)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕  
研究課題 ホームページ

<https://sites.google.com/site/tjevent2013/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

堀 利栄 (HORI, S. Rie)  
愛媛大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号: 30263924

### (2) 研究分担者

小玉 一人 (KODAMA, Kazuto)  
高知大学・教育研究部・教授  
研究者番号: 00153560

### (3) 連携研究者

### (4) 研究協力者

池田 昌之 (IKEDA, Masayuki)  
静岡大学・理学研究科・助教

Alexandra ABRAJEVITCH, PhD.

ロシア科学アカデミー テクトニクス・  
地球物理研究所・Research Scientist