

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月1日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2008～2012

課題番号：20224012

研究課題名（和文）大量絶滅の研究：P-T境界とV-C境界事件

研究課題名（英文）Study of mass extinction：the P-T boundary and V-C boundary events

## 研究代表者

磯崎 行雄（Isozaki Yukio）

東京大学・大学院総合文化研究科・教授）

研究者番号：90144914

研究成果の概要（和文）：カンブリア紀初めと古生代末の地球環境変動・絶滅事件について、クロアチア、中国雲南省、さらに岐阜県赤坂・石山、宮崎県高千穂、宮城県気仙沼での野外調査／ボーリング掘削および炭素・ストロンチウム同位体などの分析を行い、古生代末事件が地球磁場強度低下と銀河宇宙線増化による地球規模の寒冷化で始まったこと、またカンブリア紀初期の爆発的進化が特異な南中国のプルーム活動域で局地的に始まったことを初めて解明した。

研究成果の概要（英文）：As to the ancient mass extinctions and global environmental changes, this project clarified that global cooling by weakened geomagnetism/increased cosmic radiation and mantle plume-generated unique setting were critical.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	31,900,000	9,570,000	41,470,000
2009年度	21,400,000	6,420,000	27,820,000
2010年度	21,400,000	6,420,000	27,820,000
2011年度	19,800,000	5,940,000	25,740,000
2012年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
総計	102,900,000	30,870,000	133,770,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・層位・古生物学

キーワード：大量絶滅；生命進化；P-T境界事件；V-C(E-C)境界事件；プルームの冬；グローバル寒冷化；上村イベント；銀河宇宙線

## 1. 研究開始当初の背景

顕生代5.5億年間において、生物の多様性が短期間に激減する大量絶滅事件が5回起きた。大量絶滅は既存の生物群の多様性を減じる一方で、その直後に新しいタイプの生物の出現を促すため、地球生命進化の上で極めて重要な役割を持つ。大量絶滅には汎地球規模環境変動が関連したと考えられるが、環境変動自体の原因はまだ十分に特定されていなかった（Hallam & Wignall, 1997; Erwin,

2006など）。

史上最大規模の絶滅がおきたP-T境界事件の原因に関して、研究代表者は「プルームの冬」仮説を提唱した（磯崎, 1995; Isozaki, 2007）。この仮説は、欧米の研究者達が単純にシベリア等の大規模玄武岩噴火に原因を求めるのに対して、より大きな視点で地球規模の変動原因を地球マントル内のスーパープルームの間欠的運動とみる点が独創的で

あった。さらに代表者は、過去の超海洋中央部の海山頂部で堆積した礁石灰岩の研究から、グローバルな2段階絶滅（P-T境界自体とその1000万年前のG-L境界事件）を世界で初めて確認し（Ota & Isozaki, 2006）、炭素同位体比測定から1回目の絶滅原因とみられる上村寒冷化事件（Kamura event）を発見した（Isozaki et al., 2007a, 2007b）。古生代末の絶滅は2段階でおきたが、汎地球規模の環境変動の始まりはペルム紀中期末に遡ることを初めて指摘した（Isozaki, 2007）。従来の研究はP-T境界の直下／直上に限られた場合が多く、それに先行するペルム紀後半全体の環境変動の解析が著しく遅れていた。

一方、V-C境界（最近ではE-Cと表記）直後に起きた動物の急速な多様化はカンブリア爆発と称されるが、長い間その背景に大量絶滅があったことが見過ごされていた。P-T境界事件との類似性も認められるが、そのような比較研究の例は少ない。

## 2. 研究の目的

本計画は過去の大量絶滅の中でも特に規模が大きかった2つの事件、すなわち2.5億年前の古生代末P-T境界事件および5.5億年前の原生代末E-C境界事件に注目し、その原因およびプロセスの解明を試みる。特に欧米の研究者が注目してこなかったG-L境界事件が絶滅を含むすべての変化の始まりであったことから、その時期の環境変動の原因の特定と絶滅に至る具体的プロセスの解明を試みる。さらに、これまでのP-T境界に関する豊富な経験を生かし、より古く、従って残された情報が少ないE-C境界の研究に応用することを試みる。

## 3. 研究の方法

本計画では、G-L境界での大量絶滅の情報を保存する地層について、ペルム紀末事件に

ついてはクロアチア国ベレビット山地、スロベニア国イドリア溪谷、中国四川省、岐阜県赤坂・石山、宮崎県高千穂、および宮城県気仙沼において、またカンブリア紀初期事件については、中国雲南省において野外調査を各々複数回の野外調査を実施した。各地域では詳細な野外観察と共に、同位体比分析用に新鮮な地層を採取する目的で、以下のボーリング掘削を行った。すなわちH20年度にベレビット山地の中部ペルム系（150 m）、H21年度に雲南省澄江の下部カンブリア系（250 m）、H20・24年度に岐阜県大垣市赤坂の中・上部ペルム系（計200 m）、H21年度に宮崎県高千穂の中・上部ペルム系（120 m）、H22年度に岐阜県本巣市大野町石山の中・上部ペルム系（80 m）、そしてH23年度に宮城県気仙沼市岩井崎の中部ペルム系（80 m）を掘削・採取した。これらのコア試料を東大・磯崎研究室にて整形・初期記載した後に、連携研究者が所属するAIST地質情報部門および熊本大学理学部にて炭素、酸素およびSr同位体比を測定した。

## 4. 研究成果

本計画による主要な成果は以下のとおりである。(1)日本で識別されたG-L境界直前の上村寒冷化事件に相当する炭素同位対比の変化をクロアチアの同時代層から発見した。当時の地球の反対側に位置していた両地域での確認はこの変動がグローバルであったことを示す（Isozaki et al., 2011）。(2)G-L境界直前に海水が顕生代で最低のSr同位対比をもったことを世界で初めて超海洋中央部起源の古海山石灰岩から確認し、この同位対比異常がグローバルであったことを明示した（Kani et al., 2008, 2013）。(3)G-L境界でペルム紀の熱帯生物群、とくに光合成共生を営む特殊な大型化生物群集（フズリナ・二枚貝）が全滅したことを、日本およびクロ

アチア産の化石を用いて示し、寒冷化と富栄養化が重要な絶滅原因であったことを示した(Isozaki & Aljinovic, 2009)。(4)古地磁気極性の経年変化と表層環境変化との時間関係をコンパイルし、イラワラ事件と呼ばれる極性反転パタンの転換期の直後に、生物の多様性や海水の同位体組成が変化し始めたことを初めて指摘した(Isozaki, 2009a)。(5)G-L境界直前の大陸縁辺の中・深層で酸素欠乏域が生じたことを初めて解明した(Isozaki et al., 2008; Saitoh et al., 2013a, b)。(6)上記の発見に加え、海水準の変動との比較から、従来の理解と大きく異なるG-L境界直前のグローバル寒冷化を提唱した(Isozaki, 2009b)。氷河の発達で低いSr比が継続することも説明可能となった(Kani et al., 2013)。(7)すべてを総合化し、マントルプルームの活動が、地球磁場強度低下を誘因し、その結果、銀河宇宙線の流入量の増大が雲量を増加させて、寒冷化を招いたという増強版「プルームの冬」シナリオ(integrated plume winter scenario)を提案した(Isozaki, 2009b)。(8)南中国で初期カンブリア紀の動物多様化が、プルーム火成活動に関連した特異なリン酸塩堆積盆地でおきたことを指摘し、従来の湧昇流起源説とは異なる解釈を提案した(Sato et al., 2013)。

これらの成果は下記の40編の学術論文(国際誌31編;和文誌9編)4冊の書籍および42件の学会講演(国外23件、国内19件)として公表され、未公表分も順次公表の準備を進めている。本研究の成果である31編の英文論文の被引用回数(Web of Science平成25年5月末時点)は総計232回である。中でも地磁気強度の変化と宇宙放射線との関係を指摘した2編(Isozaki, 2009a GRおよびIsozaki, 2009 JAES)は、公表後約3年間で各々33回および22回引用され、また日本で

発見されたペルム紀中期 Kamura event の証拠を世界二例目としてクロアチアから報告した Isozaki et al. (2011 Palaeo-3)も公表後ほぼ1年間で11回引用されており、いずれも本研究の成果に同分野の世界の研究者達が注目している結果と考えられる。

大きな総括として提案した統合版「プルームの冬」シナリオの評価が定まるには多少の時間を要するが、いずれ同様な観点から欧米の研究者達が追随した研究を開始するであろう。今後は、日本の優勢を保ちつつ、P-T境界での2段階絶滅事件だけではなく、E-C境界事件を含む他の生物多様性急減事件について、さらに比較研究を進める必要がある。

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40件)

1. Sato, T., Isozaki, Y., Hitachi, T., Shu, D.G., 2013 in press. A unique condition of the earliest diversification of SSF in Chengjiang, South China: the phosphorite deposition in a restricted basin at Hongjiachong. (査読有)
2. Servais, T., Cecca, F., Harper, D.A.T., Isozaki, Y., MacNiocall, C., 2013 in press. Paleozoic paleogeographical and paleobiogeographical nomenclature. Geol. Soc. London, Memoir. (査読有)
3. Saitoh, M., Isozaki, Y., Yao, J.X., Ji, Z.S., Ueno, Y., Yoshida, H., 2013. Lithostratigraphy across the Guadalupian-Lopingian (Middle-Upper Permian) boundary at Chaotian in Sichuan, South China: Secular change in sea level and redox condition. Global Planetary Change **105**, 180-192. doi:10.1016/j.gloplacha.2012.01.002 (査読有)
4. Kani, T., Hisanabe, C., Isozaki, Y., 2013. The Capitanian minimum of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio in the Permian mid-Panthalassan paleo-atoll carbonates and its demise by the deglaciation and

- continental doming. *Gondwana Research* **24**, 212-221. doi:10.1016/j.gr.2012.08.025 (査読有)
5. Saitoh, M., Isozaki, Y., Ueno, Y., Yao, J.X., Ji, Z.S., 2013. Middle-Upper Permian carbon isotope stratigraphy at Chaotian, South China: pre-extinction multiple upwelling of oxygen-depleted water onto continental shelf. *Jour. Asian Earth Sciences* **67/68**, 51-62. doi:10.1016/j.jseaes.2013.02.009 (査読有)
6. Aoki, K., Isozaki, Y., Yamamoto, S., Maki, S., Yokoyama, T., Hirata, T., Maruyama, S., 2012. Tectonic erosion in Pacific-type orogenic belts: zircon response to Cretaceous tectonics in Japan. *Geology* **40**, 1087-1090. doi:10.1130/G33414.1 (査読有)
7. Sato, T., Isozaki, Y., Seimiya, K., Matsuo, M., 2012. Paleo-redox history of deep ocean across the Triassic-Jurassic boundary and the Toarcian event: Moessbauer study of Upper Triassic to mid-Jurassic deep-sea pelagic chert in Japan. *Hyperfine Interactions* **208**, 95-98. doi: 10.1007/s10751-011-0520-4 (査読有)
8. Igisu, M., Takai, K., Ueno, Y., Nishizawa, M., Nunoura, T., Hirai, M., Kaneko, M., Naraoka, H., Shimojima, M., Hori, K., Nakashima, S., Ohta, H., Maruyama, S., Isozaki, Y., 2012. Domain-level identification and qualification of relative prokaryotic cell abundance in microbial communities by Micro-FTIR spectroscopy. *Environmental Microbiology Reports* **4**, 42-49. doi:10.1111/j.1758-2229.2011.00277. (査読有)
9. Kasuya, A., Isozaki, Y., Igo, H., 2012. Constraining paleo-latitude of a biogeographic boundary in mid-Panthalassa: Fusuline province shift on the Late Guadalupian (Permian) migrating seamount. *Gondwana Research* **21**, 611-623. doi:10.1016/j.gr.2011.06.001 (査読有)
10. Sato, T., Isozaki, Y., Shozugawa, K., Matsuo, M., 2011. <sup>57</sup>Fe Mössbauer spectroscopic analysis of deep-sea pelagic chert: Effect of secondary alteration with respect to paleo-redox evaluation. *Jour. Asian Earth Sciences* **42**, 1403-1410. doi:10.1016/j.jseaes.2011.08.004 (査読有)
11. Aoki, K., Maruyama, S., Isozaki, Y., Otoh, S., Yanai, S., 2011. A new regional HP metamorphic belt in the Sanbagawa metamorphic belt, Japan. *Jour. Asian Earth Sciences* **42**, 355-369. doi:10.1016/j.jseaes.2011.05.001 (査読有)
12. Isozaki, Y., Aljinovic, D., Kawahata, H., 2011. The Guadalupian (Permian) Kamura event in European Tethys. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* **308**, 12-21. doi:10.1016/j.palaeo.2010.09.034 (査読有)
13. Isozaki, Y., 2011. Ordovician rocks in Japan. In Gutierrez-Marco, J.C., Rabano, I., Garcia-Bellido, D., eds., *Ordovician of the World*. Publication of Institute Geol. Miner. Espana, ser. Cuadernos Museo Geominero **14**, 251-252. ISBN 978-84-7840-857-3 (査読有)
14. Yamamoto, A., Lee, K.C., Isozaki, Y., 2011. Lower Cretaceous stromatolites in Far East Asia: examples in Japan and Korea. In Tewali, V., Seckbach, J. (eds.) *Stromatolites: Interaction of Microbes with Sediments*. Springer, Dordrecht, 273-287. doi:10.1007/978-94-007-0397-1\_12 (査読有)
15. Musashi, M., Isozaki, Y., Kawahata, H., 2010. Guadalupian (Middle Permian) carbon and oxygen isotope record in a mid-oceanic shallow marine carbonate buildup: Akiyoshi limestone case. *Global Planet. Change.* **73**, 114-122. doi:10.1016/j.gloplacha.2010.03.013 (査読有)
16. Isozaki, Y., Aoki, K., Nakama, T., Yanai, S., New insight into a subduction-related orogen: Reappraisal on geotectonic framework and

- evolution of the Japanese Islands. *Gondwana Research* 18, 82-105. doi:10.1016/j.gr.2010.02.015 (査読有)
17. **Isozaki, Y.**, 2010. Reply to the comment by J. R. Ali on "Illawarra Reversal: the fingerprint of a superplume that triggered Pangean breakup and the end-Guadalupian (Permian) mass extinction". *Gondwana Research* 17, 718-720. (査読有)
18. **Isozaki, Y., Aljinovic, D.**, 2009. Extinction of the Permian large bivalve Alatoconchidae: End of gigantism in tropical seas at the end-Guadalupian. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 284, 11-21. doi:10.1016/j.palaeo.2009.08.022 (査読有)
19. Kato, Y., **Isozaki, Y.**, 2009. Comment on "Evaluation of palaeo-oxygenation of the ocean bottom across the Permian-Triassic boundary" by Kakuwa (2008): Was the Late Permian deep-superocean really oxid? *Global Plant. Change* 69, 79-81. doi:10.1016/j.gloplacha.2009.01.003 (査読有)
20. **Isozaki, Y.**, 2009. Integrated plume winter scenario for the double-phased extinction during the Paleozoic-Mesozoic transition: the G-Lb and P-TB events from a Panthalassan perspective. *Jour. Asian Earth Sciences* 36, 459-480. doi:10.1016/j.jseaes.2009.05.006 (査読有)
21. Metcalfe, I., **Isozaki, Y.**, 2009. Current perspective on the Permo-Triassic boundary studies. *Jour. Asian Earth Sciences* 36, 407-412. doi:10.1016/j.jseaes.2009.07.009 (査読有)
22. Yamamoto, A., Tanabe, K., **Isozaki, Y.**, 2009. The Lower Cretaceous fresh water stromatolite from Kyushu, Japan. *Paleontol. Res.* 13, 139-149. doi:10.2517/1342-8144-13.2.139 (査読有)
23. **Isozaki, Y.**, 2009. The Illawarra Reversal: a fingerprint of the superplume triggering Pangean breakup and end-Guadalupian (Permian) extinction. *Gondwana Research*, 15, 421-432. doi:10.1016/j.gr.2008.12.007 (査読有)
24. Falkowski, P.G., **Isozaki, Y.**, 2008. The story of O<sub>2</sub>. *Science* 322, 540-542. doi:10.1126/science.1162641 (査読有)
25. **Isozaki, Y., Yao, J.X., Ji, Z.S., Saitoh, M., Kobayashi, N., Sakai, H.**, 2008. Rapid sea-level change in the Late Guadalupian (Permian) on the Tethyan side of South China: litho- and biostratigraphy of the Chaotian section in northern Sichuan. *Proc. Japan Acad.*, 84B, 344-353. doi: 10.2183/pjab/84.344 (査読有)
26. Uchio, Y., **Isozaki, Y.**, Busulov, M.M., Maruyama, S., 2008. Enigmatic phosphatic microfossil from the Ediacaran-Cambrian mid-oceanic paleo-atoll limestone in the Gorny Altai Mountains, southern Siberia. *Gondwana Research* 14, 183-192. doi:10.1016/j.gr.2007.12.009 (査読有)
27. Kawai, T., Windley, B.F., Terabayashi, M., Yamamoto, H., **Isozaki, Y.**, Maruyama, S., 2008. Neoproterozoic glaciation in the mid-oceanic realm: an example from hemi-pelagic mudstone on Llanddwyn Island, Anglesey, UK. *Gondwana Research* 14, 105-114. doi:10.1016/j.gr.2007.12.008 (査読有)
28. **Aljinovic, D., Isozaki, Y.**, Sremac, J., 2008. The occurrence of giant bivalve Alatoconchidae from the Yabeina zone (Upper Guadalupian, Permian) in European Tethys. *Gondwana Research* 13, 275-287. doi:10.1016/j.gr.2007.09.002 (査読有)
29. **Kani, T., Fukui, M., Isozaki, Y., Nohda, S.**, 2008. The Paleozoic minimum of 87Sr/86Sr initial ratio in the upper Guadalupian (Permian) mid-oceanic carbonates: a critical turning point in the Late Paleozoic. *Jour. Asian Earth Sci.* 32, 22-33. doi:10.1016/j.jseaes.2007.10.007 (査読有)

30. 磯崎行雄, 2012. 大量絶滅・プルーム・銀河宇宙線：統合版「プルームの冬」シナリオ. 生命の科学 遺伝, 66-5, 514-521. (査読無)

31. 斉藤誠史・磯崎行雄・姚 建新・紀 戦勝, 2010. 南中国・四川省朝天における上部 Guadalupian (中部ペルム系) の岩相層序：海水準変動と堆積場の酸化・還元条件の変遷. 地質学雑誌 116, 388-399. (査読有)

32. 磯崎行雄・丸山茂徳・柳井修一, 2010. 輸出科学の時代-日本列島の地体構造区分・造山運動研究史-. 地学雑誌 119, 378-391. (査読有)

33. 佐藤友彦・磯崎行雄・松尾基之, 2009: 原生动末期-古生代前期における深海の酸化還元環境： $^{57}\text{Fe}$  メスバウアー分光法による遠洋深海チャートの検討. 地質学雑誌 115, 391-399. (査読有)

ほか7編 (英文2編+和文5編)

[学会発表] (計42件)

Isozaki, Y., 2011. End-Guadalupian event: when all geologically strange phenomena started. Geol. Soc. Amer. Ann. Meet. (keynote) (Minneapolis, USA)

Isozaki, Y., 2011. Growth and shrinkage of an active continental margin: Updated geotectonic history of Japan. Int. Assoc. Gondwana Res., Ann. Meet. (awarded/keynote) (Hyderabad, India)ほか、代表者口頭発表分のみ；国際学会で23件（うち招待・キーノート講演：7件）および国内学会で19件（うち招待・キーノート講演：4件）

[図書] (計4件)

1. 磯崎行雄, 2011. 日本と中国・朝鮮の地質のつながり. 石渡 明・磯崎行雄 (編)：東北アジア大地のつながり, 1-26, 東北大学出版会.

2. 磯崎行雄 (監修) 丸岡照幸・上松佐知子,

2011. 絶滅の大研究：過去の大量絶滅から現在の危機まで. PHP 出版, 64p.

3. 丸山茂徳・熊沢峰夫・磯崎行雄 (編), 2009: 地質学の巨人 都城秋穂の生涯 2：地球科学の歴史と現状. 東信堂, 376p.

4. 丸山茂徳・熊沢峰夫・磯崎行雄 (編), 2009: 地質学の巨人 都城秋穂の生涯 1：自伝. 東信堂, 402p.

[その他]

ホームページ等

<http://ea.c.u-tokyo.ac.jp/earth/Members/isozaki.htm>

<http://kyamadageochem.wix.com/isozakilabo>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

磯崎 行雄 (ISOZAKI YUKIO)  
東京大学・大学院総合文化研究科・教授  
研究者番号：90144914

### (2) 研究分担者：なし

### (3) 連携研究者

松尾 基之 (MATSUO MOTOYUKI)  
東京大学・大学院総合文化研究科・教授  
研究者番号：10167645  
川幡 穂高 (KAWAHATA HODAKA)  
東京大学・大気海洋科学研究所・教授  
研究者番号：20356851  
可児 智美 (KANI TOMOMI)  
熊本大学・大学院自然科学研究科・助教  
研究者番号：60332863