

宇宙が地球環境に与える影響

二村徳宏¹⁾・ 戎崎俊一²⁾・ 片岡龍峰³⁾・ 丸山茂徳⁴⁾

¹⁾ 日本スペースガード協会 ²⁾ 理研 ³⁾ 極地研 ⁴⁾ ELSI

Global dramatic environmental changes controlled by extraterrestrial triggers

Tokuhiro NIMURA¹⁾, Toshikazu EBISUZAKI²⁾, Ryuho KATAOKA³⁾, and Shigenori MARUYAMA⁴⁾

Abstract

Our Earth has gone through environmental changes, for example, snowball earth and mass extinction. Maruyama and Santosh (2008) suggested that the changes are controlled by extraterrestrial triggers associated with the solar system and/or our galaxy¹⁾. A nebula encounter may lead to an environmental catastrophe²⁻⁸⁾. The encounter leads to a “Nebula Winter”^{9,10)}, in which an environmental catastrophe of the Earth is driven by an enhanced flux of cosmic dust particles and cosmic rays, which cause global cooling and destruction of the ozone layer. Nimura et al., (2016) found the evidence of a nebula encounter in the deep sea floor as an iridium-rich layer¹¹⁾. Past environmental and ecosystem changes by asteroid impact is needed to investigate addition to numerical calculation. We have conducted research on global environmental changes to study about past example such as the End-cretaceous mass extinction. It was discussed in the following.

Key Words: Nebula Winter, dark cloud encounter, mass extinction

1 はじめに

天の川銀河は直径10 kpc、幅200 pcあり、太陽系は、その中心から約8.5 kpcの位置にある。そして、暗黒星雲は、この天の川銀河内に分布している。暗黒星雲とは、大きさが約0.2-174 pc¹²⁻¹⁴⁾の高密度(100-1000 protons / cm³)および低温(8-40 K) (10-100 K)¹³⁾のガスと塵からなる天体である。この暗黒星雲は、地球が誕生してから約46億年の間に地球に遭遇したと考えられている⁶⁾。Maruyama and Santosh (2008)は、いくつかの大規模環境変動は、地球外、太陽系外、または銀河系外からの影響によるものであると指摘した¹⁾。そして、過去の多くの研究において、星雲遭遇は地球に大きな環境変動を起こすことを示した²⁻⁸⁾。Kataoka et al., (2013), (2014)は、星雲遭遇による地球環境変動の見積もりを行い^{9,10)}、これにより、宇宙から地球へ宇宙塵が供給され日射遮蔽・寒冷化が生じること、また、宇宙線照射量の増加に伴いオゾン層が破壊されることを示し、その結果、地球全球凍結や大量絶滅が起こることを指摘した。

私たちは、北太平洋の深海底掘削コア試料からイリジウムの幅広(長期間)の分布を発見した¹¹⁾。この分布は、地球外物質の寄与がないと説明することができない。この試料の解析により、白亜紀末の長期間の日射遮蔽・寒冷化は星雲遭遇によって説明可能であることを示した。

2 星雲遭遇による白亜紀末の大規模寒冷化

2.1 深海底掘削コア試料

図1aは北太平洋(44° 41.384' N, 168° 14.400' W)の深海底(水深5797.1 m)掘削コア試料のイリジウム分布¹⁵⁾である。65.5 Maの巨大隕石衝突によるイリジウムピーク(図1aの矢印)の他に5 m以上の幅広のイリジウム分布がある。地層の拡散作用および生物攪乱による効果は、いずれも約10 cm^{16,17)}であることから、これらにより、イリジウムピークが広がり、幅広いイリジウム濃集層が形成されたということでは説明はできない。また、実際の試料中の生物攪乱の痕が非常に小さい。

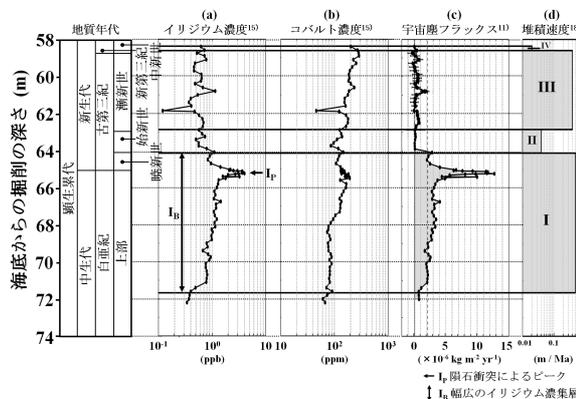


図1. 深海底掘削コア試料データ。左から地質年代、イリジウム濃度(a)¹⁵⁾、コバルト濃度(b)¹⁵⁾、宇宙塵フラックス(c)¹¹⁾、および堆積速度(d)¹⁸⁾。

2.2 Co-Irダイアグラム

この幅広のイリジウム濃集層の原因を明らかにするため、図2に地層の各深さにおけるイリジウムおよびコバルトの濃度(図1aおよびb)¹⁵⁾をそれぞれ炭素質コンドライトのイリジウム濃度(470±5 ppb)¹⁹⁾およびコバルト濃度(502±5 ppm)¹⁹⁾で規格化したグラフを示す。分岐点は地球表面物質²⁰⁻²⁷⁾および炭素質コンドライトを示す。また、火山物質の値^{28,29)}を三角形のプロットで示した。地層が地球表面物質であれば、灰色の地球表面物質領域にプロットされ、地球外物質(炭素質コンドライト)の混合があるとこの領域より上方にプロットされる。図2より、図1のイリジウムのピーク(I_p)および幅広のイリジウム濃集層(I_B)は、地球表面物質領域より上方の炭素質コンドライト側にプロットされる。よって、これらの物質は、地球外の物質が含まれることが明らかになった。

2.3 宇宙塵フラックスと星雲遭遇

図2より、地層の各深さにおけるイリジウムの量と地球物質線の差(Y_{EX})を求める。そして、地球に供給される年間の宇宙塵量(宇宙塵フラックス: f_{EX})は以下のように求めることができる¹¹⁾。

$$f_{EX} = v q \left(\frac{Y_{EX}}{Y_{CI}} \right) \quad (1)$$

このとき、v, q, およびY_{CI}は、それぞれ堆積速度、試料の密度(3 g/cm³)、および炭素質コンドライトのイリジウム濃度¹⁹⁾である。そして、星雲の密度(N)は、

$$N = 1000 \text{ protons/cm}^3 \left(\frac{f_{EX}}{1.0 \times 10^{-8} \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}} \right) \left[1.0 \left(\frac{V}{20 \text{ km s}^{-1}} \right) + 4.6 \left(\frac{V}{20 \text{ km s}^{-1}} \right)^{-2} \right]^{-2} \quad (2)$$

となる^{9,10)}。このときVは太陽系と星雲の相対速度である。式(1)および(2)より、白亜紀末の地球に降着する年間の宇宙塵フラックスおよび星雲密度を求めた(図3a)。これより、相対速度が典型的な場合(V=10 km/s)は、73-65 Maの間、星雲密度が2200 protons/cm³以上となる¹¹⁾。これは、典型的な暗黒星雲のコア密度である。このとき、放射強制力は非常に強い氷河期に相当する(-9.3 W/m²以下)。よって、大量絶滅を起こすには十分に長期間、十分な寒冷化が生じたことを示す。また、約73 Maから星雲遭遇が始まったことは、同時期から恐竜の生存率が減少する傾向と整合的である(図3b)³⁰⁾。さらに、推定した星雲遭遇期間に全球的な酸素同位体比の上昇があった³¹⁻³⁴⁾。これは寒冷化を示す。同時にストロンチウム同位体比の上昇も確認されている^{31,35,36)}。これは寒冷化により、氷河・氷床が発達し、大陸棚が露出することによる大陸地殻の削剥率の増加により説明することができる。

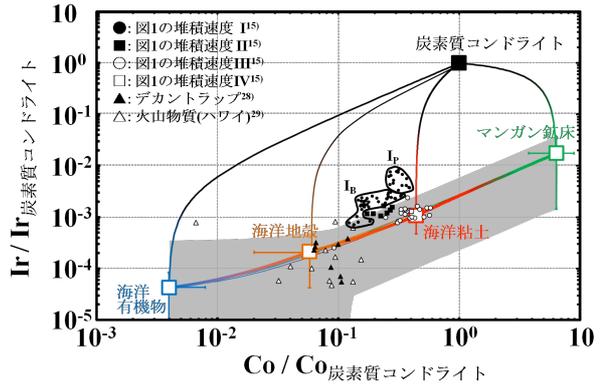


図2. Co-Ir ダイアグラム。横軸は試料のコバルト濃度および縦軸はイリジウム濃度を示しており、それぞれ地球外起源物質である炭素質コンドライトで規格化している。地球物質を結ぶ線上から3σの誤差領域(灰色の領域)内のプロットは地球物質を示す。

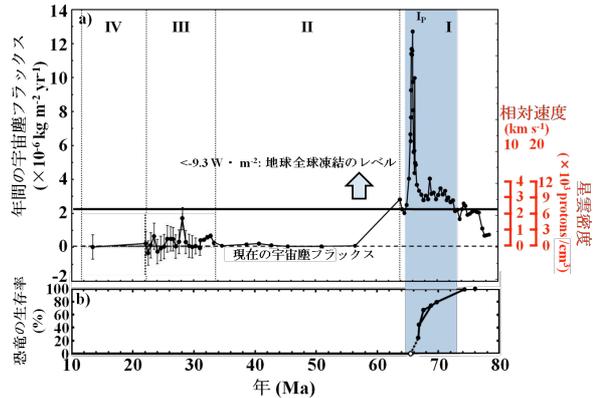


図3. 年代と宇宙塵フラックス(aの左軸)および対応する星雲密度(太陽系と星雲の相対速度が10 km/sおよび20 km/sの場合)(aの右側)。化石の数から推定した恐竜の生存率³⁰⁾(b)。

3 まとめ

深海底掘削コア試料の解析より、白亜紀末は太陽系に大きさ約82 pc、密度2200 protons/cm³以上の星雲が遭遇し、大量の宇宙塵が地球に供給され約800万年の間、強い寒冷化が生じた結論付けた。星雲遭遇の模式図を図4に示す。

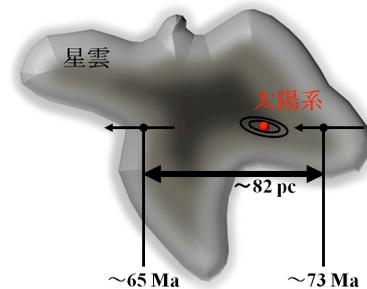


図4. 白亜紀末の星雲遭遇の模式図。

4 最後に

宇宙が地球環境に与える影響として、星雲遭遇による白亜紀末の大規模寒冷化を中心に解説した。星雲が太陽系に近づくと小惑星の軌道が乱れ、一部が地球に衝突した可能性があり、この一つが白亜紀末の隕石衝突であったかもしれない¹⁰⁾。大量絶滅は顕生累代の約6億年の間に白亜紀末以外に主に4回(三疊紀末、ペルム紀末、デボン紀末、およびオルドビス紀末)あったことが知られており、これらについても暗黒星雲や超新星による影響を明らかにする必要があると考えている。また、Kataoka et al., (2014)では、地球全球凍結[ヒューロニアン氷河期(約22億)、スターチアン氷河期(約7億)、マリノアン氷河期(約6.5億年)]およびカンブリア爆発の時代について、星雲遭遇または超新星との関係を以下のように指摘している¹⁰⁾。この時代は天の川銀河はスターバーストの時代およびその後の回復期にあたり、多くの超新星(残骸)および暗黒星雲が存在した。太陽系はこれらと頻繁に遭遇し、これに伴う高頻度の大量絶滅があった。大量絶滅後は生物多様性は増加することが知られており、この高頻度の大量絶滅がカンブリア爆発につながった。

今後は上記の証拠も地層から発見される可能性がある。しかしながら、白亜紀末以外の大量絶滅、さらにそれ以降の地質記録は深海底には残っていない。海洋プレートにより移動して、海溝に沈みこむときに大陸に付加した付加体を調べる必要がある。

参考文献

- 1) Maruyama, S. and Santosh, M., Models on snowball Earth and Cambrian explosion: a synopsis, *Gondwana Research*, 14, 22-32, 2008.
- 2) Whitten, R. C., et al., Effect of nearby supernova explosions on atmospheric ozone, *Nature*, 263, 398-400, 1963.
- 3) Ruderman, M. A., Possible consequences of nearby supernova explosions for atmospheric ozone and terrestrial life, *Science*, 184, 1079-1081, 1974.
- 4) Begelman, M. C. and Rees, M. J., Can cosmic clouds cause climatic catastrophes? *Nature*, 261, 298-299, 1976.
- 5) Clark, D. H., et al., Frequency of nearby supernovae and climatic and biological catastrophes, *Nature*, 265, 318-319, 1977.
- 6) Talbot, R. J. and Newman, M., Encounters between stars and dense interstellar clouds, *The Astrophysics Journal Supplement Series*, 34, 295-308, 1977.
- 7) Pavlov, A. A., et al., Catastrophic ozone loss during passage of the solar system through an interstellar cloud, *Geophysical Research Letters*, 32, L01815, 2005.
- 8) Pavlov, A. A., et al., Passing through a giant molecular cloud: "Snowball" glaciations produced by interstellar dust, *Geophysical Research Letters*, 32, L03705, 2005.
- 9) Kataoka, R., et al., Snowball Earth events driven by starbursts of the Milky Way Galaxy, *New Astronomy*, 21, 50-62, 2013.
- 10) Kataoka, R., et al., The Nebula Winter: The united view of the snowball Earth, mass extinctions, and explosive evolution in the late Neoproterozoic and Cambrian periods, *Gondwana Research*, 25, 1153-1163, 2014.
- 11) Nimura, T., et al., End-cretaceous cooling and mass extinction driven by a dark cloud encounter, *Gondwana Research*, 37, 301-307, 2016.
- 12) Dame, T. M., et al., The largest molecular cloud complexes in the first galactic quadrant, *The Astrophysical Journal*, 305, 892-908, 1986.
- 13) Goldsmith, P. F., Molecular clouds: An overview. In: Hollenbach, D. J., Thronson, H. A. Jr. (Eds.), *Interstellar Processes. Proceedings of the Symposium on Interstellar Processes, Held in Grand Teton National Park, July 1986.* *Astrophysics and Space Science Library*, 137, 51-70, 1987.
- 14) Solomon, P. M., et al., Mass, luminosity, and line width relations of Galactic molecular clouds, *The Astrophysical Journal*, 319, 730-741, 1987.
- 15) Kyte, F. T., et al., Identification and characterization of the Cretaceous/Tertiary boundary at ODP Sites 886 and 803 and DSDP Site 576, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 145, 427-434, 1995.
- 16) Snoeckx, H., et al., Eolian and silica deposition in the central north pacific: results from sites 885/886, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 145, 219-230, 1995.
- 17) Colodner, D. C., et al., Post-depositional mobility of platinum, iridium and rhenium in marine sediments, *Nature*, 358, 402-404, 1992.
- 18) Boudreau, B. P., Mean mixed depth of sediments: the wherefore and the why, *Limnology and Oceanography*, 43, 524-526, 1998.
- 19) Lodders, K., Solar system abundances and condensation temperatures of the elements, *The Astrophysical Journal*, 591, 1220-1247, 2003.
- 20) Martic, M., et al., Determination of trace elements in marine organisms by neutron activation analysis, *Journal of Radioanalytical Chemistry*, 59, 445-451, 1980.
- 21) Wells, M. C., et al., Iridium in marine organisms. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 1737-1739, 1998.
- 22) Taylor, S. R. and McLennan, S. M., *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, Blackwell Scientific Publications, Oxford (312 pp.), 1985.
- 23) Goldberg, E. D., et al., Some comparative marine chemistries of platinum and iridium, *Applied Geochemistry*, 1, 227-232, 1986.

- 24) Terashima, S., et al., Platinum and palladium abundances in marine sediments and their geochemical behavior in marine environments, *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 53, 725-747, 2002. (2017年4月28日受付, 2017年5月10日受理)
- 25) Harriss, R.C., et al., Palladium, iridium and gold in deep-sea manganese nodules, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 32, 1049-1056, 1968.
- 26) Glasby, G.P., et al., The distribution of rare earth, precious metal and other trace elements in Recent and fossil deep-sea manganese nodules, *Geochemical Journal* 12, 229-243, 1978.
- 27) Usui, A. and Moritani, T., Manganese nodule deposits in the central Pacific basin: distribution, geochemistry, mineralogy, and genesis. in Keating, B.H., Bolton, B.R., (Eds.), *Geology and offshore mineral resources of the central Pacific basin, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series*, 14, Springer New York, 205-223, 1992.
- 28) Shukla, P. N., et al., High iridium concentration of alkaline rocks of Deccan and implications to K/T boundary, *Journal of Earth System Science*, 110, 103-110, 2001.
- 29) Crocket, J. H., Platinum-Group elements in basalts from Maui, Hawaii: low abundances in alkali basalts, *The Canadian Mineralogist*, 40, 595-609, 2002.
- 30) Sloan, R.E., et al., Gradual dinosaur extinction and simultaneous ungulate radiation in the Hell Creek Formation, *Science*, 232, 629-633, 1986.
- 31) Barrera, E., et al., Evolution of antarctic waters during the maestrichtian: foraminifer oxygen and carbon isotope ratios, leg 113, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 113, 813-827, 1990.
- 32) Barrera, E. and Savin, S. M., Evolution of late Campanian-Maastrichtian marine climates and oceans, *Geological Society of America Special Paper*, 332, 245-282, 1999.
- 33) Li, L. and Keller, G., Maastrichtian climate, productivity and faunal turnovers in planktic foraminifera in South Atlantic DSDP sites 525A and 21. *Marine Micropaleontology*, 33, 55-86, 1998.
- 34) Li, L. and Keller, G., Variability in Late Cretaceous climate and deep waters: evidence from stable isotopes, *Marine Geology*, 161, 171-190, 1999.
- 35) Ingram, B. L., Ichthyolith strontium isotopic stratigraphy of deep-sea clays: Sites 885 and 886 (North Pacific transect), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 145, 399-412, 1995.
- 36) Sugarman, P.J., et al., Uppermost Campanian-Maastrichtian strontium isotopic, biostratigraphic, and sequence stratigraphic framework of the New Jersey Coastal Plain, *Geological Society of America Bulletin*, 107, 19-37, 1995.