

地球外天体の衝突による環境変動

筑波大学大学院 生命環境科学研究科
生命共存科学専攻 環境病理学分野

丸岡 照幸

〒305-8592 茨城県つくば市天王台 1-1-1

Tel./Fax. 029-853-4241

E-mail: maruoka@ies.life.tsukuba.ac.jp

はじめに

地球表層物質に枯渇しているイリジウムの濃縮をもとに、Alvarez et al. (1980)は白亜紀-第三紀(K-T)境界における生物大量絶滅の原因として地球外天体の衝突を提案した。この研究以降、精力的に K-T 境界に関する研究が進められ、K-T 境界に対応する地層に隕石衝突の証拠が多く見つかるようになった。これらの研究によって現在では Alvarez らの仮説は一般的に認められるようになってきている。このように隕石衝突と生物大量絶滅の関わりは明らかになってきたが、生物大量絶滅の直接の原因は隕石衝突ではなく、隕石衝突により起きた環境変動のほうである。しかし、この環境変動に関しては今もって明確な答えがないのが現状である。特にここ数年のコンピュータシミュレーション等の発達により、隕石衝突直後の様子を正確に模倣することが可能になりつつあり、80-90 年代に提案された大量絶滅の直接要因について再考を余儀なくされている(丸岡、2005)。本稿ではこれまでに提案されている隕石衝突後に予想される環境変動を挙げて、それらが大量絶滅の直接原因となりえるのかを議論する。

隕石衝突後に何が起きたのか？

有孔虫の炭酸塩殻の炭素同位体比は、その炭酸塩が生成された場における二酸化炭素の炭素同位体比を反映している。海洋表層では光合成によって有機物が生成されるが、この反応には同位体比の分別を伴う。生成される有機物の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ はもとの CO_2 の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ に比べて低いので、残った CO_2 は $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ が高くなる。生成された有機物は沈降し、表層から分離される。このようにして光合成が活発になればなるほど、表層に残った CO_2 の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ は高くなっていく。したがって、表層有孔虫起源の炭酸塩鉱物の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ は光合成による生物生産量の指標として使う事ができる。 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ が高いほど生物生産量が高く、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ が低いほど生物生産量は低くなる。これまでの研究によって世界中の K-T 境界に対応する層で $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ が急激に低下することから、K-T 境界において光合成による生物生産量が低下したことが明らかになっている。このような光合成すなわち植物プランクトンの活動の低下により、それを基盤とする生物すべてがダメージを受け、大量絶滅につながったと考えられている。したがって、隕石衝突後の環境変動は光合成を低下(場合によっては停止)させるものでなければならない。

K-T 境界における環境変動の候補

光合成の低下を引き起こすような環境変動として、(1) 太陽光遮断、(2) 温度変化、(3) 酸性雨が挙げられている。

太陽光遮断

太陽光遮断の要因として、(1) 破砕物ダスト、(2) 硫酸エアロゾル、(3) 煤が挙げられている。いずれの場合にせよ、光合成の低下を引き起こすためには数年程度にわたって太陽光が遮蔽される必要がある。大きな粒子は速やかに落下するので、長期間浮遊することのできる $1\mu\text{m}$ 以下の粒子がそのような役割を果たすことになる。Pope (2002)は $1\mu\text{m}$ 以下のターゲット物質を起源とする破砕物がどれだけ形成されるかを見積もり、そのような粒子が太陽光を十分遮蔽する量は存在しなかったと結論づけた。

衝突のターゲットになった地層は炭酸塩-硫酸塩鉱物に富む堆積層であった。衝突に伴い、その地層から硫黄を含むガス(SO_2 or SO_3)が放出されたと考えられている。そのようなガスは硫酸エアロゾルを形成し、太陽光を遮蔽する可能性が示唆されている。エアロゾルの存続時間は、ガスが SO_2 、 SO_3 どちらのガス種として放出されるのかに依存する。数年程度太陽光の遮蔽を続けるためには、十分量の SO_2 が必要であるが、Ohno et al. (2004)によればガスは主として SO_3 として放出されるので、短期間の間に硫酸酸性雨として地表に戻ったようである。したがって、硫酸エアロゾルによって数年にわたり太陽光を遮蔽するのは困難である。

煤は隕石衝突による大気加熱で起きた山火事によってもたらされると提案されているが、Belcher et al. (2003)によれば山火事は起こったが、全地球規模ではなかったことが示されている。したがって、全地球を覆うような十分量の煤は生成されていない可能性がある。

したがって、K-T 境界直後の隕石衝突で生成された微粒子により太陽光を数年程度遮蔽した明確な証拠は今のところ存在しない。

温度変化

K-T 境界直後の起きたとされる温度変化には(1) 太陽光の遮断による温度の低下、(2) CO₂による温室効果による温度上昇が挙げられている。太陽光の遮断については上で述べた。核戦争後におけると予想されている太陽光の遮断「核の冬」になぞらえて、K-T 境界における隕石衝突後に「衝突の冬」が起こると 80 年代には考えられていた。しかし、最近ではそれほどの寒冷化が起こらず、「衝突の秋」程度であると言われている(Pierazzo et al., 2003)。

上でも述べたように隕石衝突のターゲットになったのは炭酸塩-硫酸塩からなる地層であり、隕石衝突より大気に CO₂ が放出されたと考えられている。この CO₂による温室効果で気温が上昇したという考えがある。しかし、温度の変化に弱いはずの変温性の爬虫類、両生類などが絶滅から免れていることから温度の変動は大きくなかったと予想されている。

酸性雨

上でも述べたように隕石衝突後には硫酸エアロゾルが形成されたと考えられている。これが硫酸酸性雨として地表に戻ったはずである。Maruoka and Koeberl (2003)はK-T 境界における隕石衝突により起きたであろう酸性雨の量を見積もった。この酸性雨の存続期間として最も長い推定値(10 年; Pierazzo et al., 2003)を使っても、1 年あたりの酸の量は現在の陸水に付加されると生物に影響が出る量(陸水の化学組成が戻っても生物組成が戻らない閾値、“critical load”; $(0.6-2) \times 10^{-3} \text{ kgm}^{-2}\text{y}^{-1}$)に比べて 2 桁程度高いことを示している。したがって、少なくとも陸水において、隕石衝突後の酸性雨の影響は免れない。K-T 境界層において、(1) ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr が高くなること(大陸で風化速度が高くなったことを意味する)、(2) スピネル粒子に酸で溶解したような跡“etched pits”が見つかること(Preisinger et al., 2002)、(3) 陸水堆積岩に硫化物の濃縮が見出せること(Maruoka et al., 2002; 陸水において硫酸イオンが増加したことを意味している)、などが陸水における酸性雨の証拠と考えられる。一方、海洋においては、酸性雨の影響が実際にありえるのか評価できていない。また、その酸の効果をどのように地球化学的指標として読み取ることができるのかは明確になっていない。

本稿で紹介したように、隕石衝突後にどのような環境変動が起こったのかに関しては明確な結論がない。したがって、今後も新たな地球化学的な指標を導入し、環境を読み取る指標を確立する必要がある。

参考文献

- Alvarez L. W., Alvarez W., Asard F. and Michel H. V. (1980) Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science* 208, 1095-1108.
- Belcher C. M., Collinson M. E., Sweet A. R., Hildebrand A. R., Scott A. C. (2003) Fireball passes and nothing burns: The role of thermal radiation in the Cretaceous-Tertiary event: Evidence from the charcoal record of North America. *Geology* 31, 1061-1064.
- 丸岡 照幸、硫黄および炭素の安定同位体を用いた生物大量絶滅を引き起こした環境変動に関する研究、*地球化学*, 2005, vol. 39, p. 73-88
- Maruoka T. and Koeberl C. (2003) Acid-neutralizing scenario after the K-T impact event. *Geology* 31, 489-492.
- Maruoka T., Koeberl C., Newton J., Gilmour I., and Bohor B.F. (2002) Sulfur isotopic compositions across terrestrial Cretaceous-Tertiary boundary successions. In: *Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond* (eds. C. Koeberl and K. G. MacLeod) *Geol Soc Am. Sp. Pap.* 356, pp. 337-344.
- Pierazzo E., Hahmann A.N., and Sloan L.C. (2003) Chicxulub and climate: Effects of stratospheric injections of impact-produced S-bearing gases. *Astrobiology* 3, 99-118.
- Pope K. O. (2002) Impact dust not the cause of the Cretaceous-Tertiary mass extinction. *Geology* 30, 99-102.
- Preisinger A., Aslanian S., Brandstätter F., Grass F., Stradner H., and Summesberger H. (2002) Cretaceous-Tertiary profile, rhythmic deposition, and geomagnetic polarity reversal of marine sediments near Bjala, Bulgaria. In: *Catastrophic events and mass extinctions: Impacts and beyond* (eds. C. Koeberl and K. G. MacLeod) *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 356, 213-229.
- Ohno S., Sugita S., Kadono T., Hasegawa S., Igarashi G. (2004) Sulfur chemistry in laser-simulated impact vapor clouds: implications for the K/T impact event. *Earth Planet. Sci. Lett.* 218, 347-361.