

堆積岩の微量元素組成から読み取る地球外天体衝突後の環境変動

丸岡 照幸

筑波大学大学院 生命環境科学研究科 生命共存科学専攻

西尾 嘉朗

海洋研究開発機構 高知コア研究所

白亜紀-第三紀(K-T)境界における生物大量絶滅は隕石衝突の結果により生じたと考えられている。Alvarez et al. (1980)による K-T 境界層にイリジウム濃縮の発見に始まり、衝撃石英、ダイヤモンド、マイクロテクタイトなどの隕石衝突の物質的な証拠が数多く見出されている。隕石衝突が起きたことは確かであると考えられているが、それはあくまでも大量絶滅の「引きがね」であって直接要因は地球環境変動である。しかし、この隕石衝突直後の環境変動に関しては予想されているが、どれが実際に大量絶滅を引き起こした要因であるのかに関しては議論が進んでいない。

予想されている環境変動として次のような現象が挙げられている。

(1) CO₂ 濃度上昇に伴う気温上昇

K-T 境界において隕石は CaCO₃ を大量に含む地域に落下した。この CaCO₃ が衝突に伴う高温により分解し、CO₂ が大気に放出されたと考えられている。CO₂ による温室効果により気温が上昇し、生態系が崩壊したとされる。このような温度上昇は数万年-数十万年程度続いたと予想されている。しかし、酸素同位体比などからは明確な温度上昇の証拠が見出されていない。

(2) 塵による太陽光の遮断

隕石衝突に伴い物質は大気に放出される。そのうちの微小な粒子(1μm 以下)はすぐに表層に落下せず、大気中に留まることになる。これにより太陽光が遮断され、光合成が停止し、生態系が崩壊したと考えられている。このような塵は数年程度にわたって太陽光を遮断したとされる。この説(「衝突の冬」仮説)は Alvarez et al. (1980)により提唱されたものであったが、太陽光を遮断するのに十分な量の微小塵はなかったとする報告もある。

(3) 硫酸エアロゾル

隕石衝突地点には CaSO₄ も豊富に含まれており、熱分解で生じた SO₂ が放出されたと考えられている。また、隕石自体にも硫黄分があり、それが酸化されると SO₂ を発生する。SO₂ は酸化を経て硫酸エアロゾルとなり、上で述べたような塵と同様に太陽光の遮断を引き起こす要因となる。また、硫酸エアロゾルは地表に落下することで硫酸酸性雨になる。これも環境変動のひとつである。K-T 境界粘土層に含まれるスピネル粒子に酸のエッチングで生じるような穴(エッチングピット)が見出されるなど物質的な証拠も存在している。SO₂→H₂SO₄ への変換は最大で数年以内に終わるので、酸性雨は数年程度以内で収まったと考えられる。

環境変動を読み取るためには堆積岩からなんらかの情報を抽出する必要がある。しかし、上述の各要因のところで述べているようにこれらを完全に読み取るためには数年から数百年程度の時間間隔で何らかの分析をする必要がある。現在同じ地層の隣り合った粒子でさえも、数年単位で考えると違う時間を起源としている可能性もあるので、このような高精度の時間分解能を得ることは難しい。また、環境「変動」を読み取るためには、イベントの前でも後でも同じ物質が含まれている必要がある。隕石に特徴的な粒子(衝撃変成石英やダイヤモンドなど)は衝撃に特有な粒子であるので、衝突前と時間経過したのちにはそのような粒子は含まれておらず、「変動」を解析する目的には使えない。これらの理由により隕石衝突「直後」における環境変動の読み取りは成功していないと考えている。

それではどうすればそのような隕石衝突直後の情報を読み取れるのかについて述べたい。我々は「再び」イリジウム濃度を指標とすることを考えている。これまでイリジウム濃度は地球外天体の有無の指標として使われてきたが、我々は時間を表す指標として使えるのではないかと考えている。海水における元素濃度は「供給」と「消費」に支配されているが、隕石衝突後には海洋に入ったイリジウムは「消費」によって濃度が(一方的に)低下していくことになる。したがって、K-T 境界粘土層に含まれている同じ物質のイリジウム濃度を比較してやることで、どちらの粒子がより隕石衝突に近い時代を反映しているのかを理解することができる。また、それぞれの粒子に対して、同位体比や微量元素分析を行うことで、環境「変動」を読み取ることができるのではないかと考えている。

上述のような方法には「仮定」が存在している。それは「イリジウムが海洋に溶解して供給されていた」ということである。イリジウムを含め白金族元素は難揮発性元素であるので、隕石衝突による高温により一旦蒸発しても凝縮最初期に固体に戻ったはずである。K-T 境界粘土層には高温凝縮するような酸化物も存在しており、イリジウムがこのような粒子に取り込まれている場合には時間の指標には使えない。

Schmitz (1988)は「分別溶解法」を用いて、イリジウムが K-T 境界粘土層においてどのような相に存在するのか議論している。半分程度のイリジウムは塩酸-弗酸処理によって溶解するが、残りの半分程度は溶解せず、濃硝酸(酸化)処理で溶解することを示している。先に述べた高温で形成される酸化物はこれらの処理には反応せず、残渣に残る。したがって、イリジウムの担体とは考えにくい。

塩酸-弗酸処理では分解せず、酸化により分解する成分として、有機物と硫化物(特に pyrite)が挙げられる。Gilmour and Anders (1989)により、イリジウム濃度が As, Sb, Zn などの親銅性元素との非常に高い相関性を考慮すると硫化物の可能性が高いと考えている。(我々も最近親銅元素との高い相関を別の場所における K-T 境界粘土層に見出している。)

硫化物は境界前後でも形成され、また酸化-還元状態や pH などの環境によって含まれる微量元素、同位体比、粒子径が変化する。この性質とイリジウム濃度を組み合わせれば、隕石衝突「直後」の環境変動を見出せると考えている。我々は現在 SPring-8 における高輝度シンクロトロン放射光蛍光 X 線分析を利用して、イリジウムの担体粒子を見出そうと研究を進めている。