Lethal billiards

恐竜を絶滅させた小惑星の玉突き

Philippe Claeys & Steven Goderis

1 億 6000 万年前に小惑星帯で大規模な衝突が起こり、これにより生じた破片が内部太陽系に入り込み、ピンボールのように衝突してまわった。その破片の 1 つが、地球上から恐竜を一掃した 6500 万年前の大量絶滅を引き起こした可能性がある。

Nature vol.449 (30-31) / 6 September 2007

空が頭上に落ちてくる可能性はどのくらいだろうか？ 小惑星が地球に衝突する可能性はどのくらいかという意味であるなら、何が起こるかかわからないとしかいいようがない。どのような近似を用いるかによって¹、今日の地球に隕石が衝突する頻度の推定値が 5～10 倍も違ってくるだけでなく、衝突頻度は常に一定であったのか、あるいは地質年代を通じて変化してきたのかもわかっていないからである。

ある理論では、隕石の衝突頻度は過去 1 億年程度の間に増加してきたのではないかとされている。2007 年 9 月 6 日号の *Nature* では、そのように考えられる理由について、Bottke² が興味深い説明を提案している。それは、かつて火星と木星の間の小惑星帯で激しい衝突が起き、そのときに生じた破片がさまよい込んできたとするものである。

衝突クレーター群、隕石の衝突により噴出した物質の層、および、一部の堆積岩に含まれる地球外物質の濃度の高さは、数回の氷河時代の間に地球・月系に異常に高い頻度で隕石が衝突していたことを示唆しているようである。例えば、約 800 万年前の中新世後期には直径 1 μm ～1mm の惑星間塵の粒子束が著明に増加しているが、これらは小惑星帯の中で起きた衝突によって生じた可能性がある³。また、小惑星シャワーあるいは彗星シャワーは、約 3500 万年前の始新世後期に惑星間塵の粒子束が増加していることを説明するために提案された現象であるが、衝突クレーターの異

常な集中とも関係がありそうである^{4,5}。地質年代の中では比較的新しい時代にできた 2 つの最大級のクレーターであるシベリアのボピガイクレーター（直径 100km）とメリーランド州沿岸のチェサピーク湾クレーター（直径約 85km）も、こうしたクレーターの例である。

隕石の衝突が多かった時代の記録は、さらにさかのぼることができる。スウェーデン南部の 4 億 8000 万年前のオルドビス紀の石灰岩に含まれている大量の微小隕石は、おそらく小惑星帯で大規模な衝突が起きた後に、その破片が地球に到達したものである⁶。この時代の付近では地質学的記録がかなり少ないにもかかわらず、複数の衝突クレーターが集中してみられる。さらに時代をさかのぼると、隕石の衝突により噴出した物質の層は、26 億 5000 万年前～25 億年前までと、34 億 7000 万年前～32 億 4000 万年前までの 2 つの時期に集中していることがわかる⁷。最後に、最も劇的な出来事といえば、月のクレーターの記録から推測されている 38 億年前のいわゆる後期重爆撃（Late Heavy Bombardment）である⁸。地球上では、その痕跡は地質学的活動によって消えてしまったが、月のデータに基づいて⁹、地球にも直径 20km 以上のクレーターが 2 万 2000 個近く形成されたと推測されている。地球がここまで激しい爆撃を受けたのは、おそらく巨大ガス惑星の軌道の変化により小惑星の軌道が乱れ、互いに衝突したためだろうと考えられている¹⁰。

F. KYTE

D. DAVIS / SWRI

図1 壊れるのはとても簡単。Bottke ら²は、1億6000万年前に起きた小惑星どうしの衝突による破片が、その約9500万年後に地球の白亜紀-第三期境界で起きた大量絶滅の主要な原因となったと提案する。このころに、1つの特に大きな破片が地球に衝突し、ユカタン半島のチクシュルーブ・クレーター（右の図2参照）を作ったのである。左上の写真は、この出来事と同時代にまでさかのぼれる北太平洋の粘土層から収集された、この隕石の残遺物と考えられているものである¹¹。

Bottke ら²は、主小惑星帯の内部領域に、もう1つの巨大な衝突の残遺物が隠されていることを発見した。それはバティスティーナ族とよばれる小惑星群であり、298 バティスティーナという直径40kmの小惑星を筆頭に、よく似た組成と軌道形状をもつさまざまな大きさの天体から構成されている。著者らはコンピューターシミュレーションを使用してこれらの破片の軌道を形成時までさかのぼり、問題の衝突が約1億6000万年前に起きたに違いないことを発見した。データに最もよく合うのは、直径60kmの天体が、直径170kmの天体にほぼ正面から衝突した場合である。秒速3kmの速度で起きたこの衝突は、直径1kmを超える大きな天体を1000個以上も生成させた（図1）。

著者らの力学モデルは、バティスティーナの破壊が小惑星帯の中の特殊な領域、すなわち、火星と木星の重力の影響により多数の大きな破片が地球と交差する軌道に入り込んでしまうような領域で起きたことを示唆している。これらの破片のうち、ごく一部だけが地球と衝突したと考えれば、白亜紀（約1億4500万前

～6500万年前まで）から新生代の初期にかけてクレーターの形成頻度が高くなっていることが説明できる。実際、これらの破片は内部太陽系に約1億年にわたって続く小惑星シャワーを引き起こしたと考えられる。

分光測定によれば、298 バティスティーナの組成は原始的な「炭素質コンドライト」とよばれる種類の隕石によく似ている。炭素質コンドライトはかなり珍しいタイプの隕石であり、異常に大量の水と有機化合物を含んでいる。これは一大ニュースといってよい。なぜなら、直径10kmの炭素質コンドライトといたら、メキシコのユカタン半島にチクシュルーブ・クレーターを作ったと考えられている天体と同じタイプのものであるからだ^{11,12}（図1、左上写真）。この衝突が白亜紀と第三紀の境界の6500万年前に起きた、恐竜の絶滅を含む「K/T大量絶滅」を引き起こしたのはほぼ確実である。

後期重爆撃による地球付近での隕石の衝突頻度を、同様の組成の天体が衝突する背景レベルと比較したBottke ら²は、チクシュルーブ・クレーターを作った天体は90パーセントの確率で後期重爆撃に由来するも

図2 チクシュループ・クレーター。メキシコのユカタン半島にある隕石衝突跡で、直径 180 km にも及ぶクレーターは地下 900 m に埋没している。地表に現れている部分は、深さ 3~5 m、幅 5 km の浅いトラフ（窪地）である。トラフはクレーターの南側の縁の一部に当たり、クレーターの中心部はユカタン半島の北岸の沖合に位置する。

のであると見積もっている。同じ時代に内部太陽系の天体にできたほかのクレーターも、同じ起源をもっている可能性がある。その候補の1つは月のティコ・クレーターであり、後期重爆撃による小惑星シャワーが最も激しかったと考えられる1億900万年前に形成された。

この仮説は非常に刺激的である。それは、過去1億6000万年間に地球上に形成されたかなりの数のクレーターが、炭素質コンドライトの衝突により生じたことを意味しているからである。隕石の衝突により溶けた岩石中の白金族元素とクロム同位体の濃度を測定することで、衝突した天体の種類に関する正確な情報を知り、炭素質コンドライトをほかのタイプの隕石から区別することができる。地球上には、2億年以内に形成された直径1km以上のクレーターが8つある。ここで、直径が1km以上ということは、衝突天体の直径が50m以上であったことを示しており、2億年以内に形成されたということは、衝突天体の組成を明確に特定できることを意味している。この8つのクレーターのうち、炭素質コンドライトによってできたクレーターはチクシュループ・クレーターだけである¹³。後期重爆撃の時期に、これよりも小さな天体が地球に衝突することはなかったのだろうか？ それとも、衝突天体の種類が解明されているクレーターの数が少ないために、チクシュループ・クレーターが例外的な存在のようにみえているだけなのだろうか？

今は、この質問に答えることはできない。とはいえ、太陽系のはずれから危険な彗星がやってきたのでないかぎり（その可能性は低い）、後期重爆撃によりチクシュループクレーターができた可能性が否定されるこ

とはない。約1億6000万年前に起きたバティスティーナの衝突により、その頃にはほとんど進化していなかった恐竜が白亜紀の末に絶滅する運命が決まってしまったことを思うと、胸が痛む。

バティスティーナ族の小惑星について Bottke ら²が発見した最も重要な事実は、小惑星帯で起きた激しい衝突が地球-月系にここまで大きな影響を及ぼするということである。隕石が地球に頻繁に衝突していた時代を特定し、これを理解し、火星と木星の軌道の間で今日もなお、繰り返されている大がかりで危険な玉突きと関連づけていくためには、地球上に残った衝突記録を精査する必要がある。

Philippe Claeys & Steven Goderis、ブリュッセル自由大学（ベルギー）

- French, B. M. *Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures* (Lunar Planet. Inst., Houston, TX, 1998).
- Bottke, W. F., Vokrouhlický, D. & Nesvorný, D. *Nature* **449**, 48.53 (2007).
- Farley, K. A., Vokrouhlický, D., Bottke, W. F. & Nesvorný, D. *Nature* **439**, 295.297 (2006).
- Farley, K. A., Montanari, A., Shoemaker, E. M. & Shoemaker, C. S. *Science* **280**, 1250.1253 (1998).
- Tagle, R. & Claeys, P. *Science* **305**, 492 (2004).
- Heck, P. R., Schmitz, B., Baur, H., Halliday, A. N. & Wieler, R. *Nature* **430**, 323.325 (2004).
- Simonson, B. M. & Glass, B. P. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **32**, 329.361 (2004).
- Ryder, G., Koeberl, C. & Mojzsis, S. J. in *Origin of the Earth and Moon* (eds Canup, R. M. & Righter, K.) 475.492 (Univ. Arizona Press, Tucson, 2000).
- Kring, D. A. & Cohen, B. A. *J. Geophys. Res.* **107**, 10.1029/2001JE001529 (2002).
- Gomes, R., Levison, H. F., Tsiganis, K. & Morbidelli, A. *Nature* **435**, 466.469 (2005).
- Kyte, F. T. *Nature* **396**, 237.239 (1998).
- Shukolyukov, A. & Lugmair, G. W. *Science* **282**, 927.929 (1998).
- Tagle, R., Goderis, S. & Claeys, P. *Lunar and Planetary Science Conference 2007*, League City, TX, abstr. 2216.