

巨大天体衝突による大気散逸

Atmospheric Loss by a Giant Impact

玄田 英典[1], 阿部 豊[2]

Hidenori Genda[1], Yutaka Abe[2]

[1] 東大・理・地惑, [2] 東大・理・地球惑星科学

[1] Dep. of Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ., [2] Earth Planetary Sci., Univ. Tokyo

<http://www-sys.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~genda/>

地球型惑星形成の現代的描像において、その集積末期には、火星サイズの天体衝突が複数回起きた可能性があることが知られている。それら火星サイズの天体衝突によって、地球型惑星の保持している大気が吹き飛ばされる可能性がある。したがって、地球型惑星の大気形成・進化を考える上で、巨大天体衝突による大気の剥ぎ取りを考えることは重要である。

巨大天体衝突による大気の剥ぎ取りは、衝突地点付近とそれ以外の場所でメカニズムが異なる。衝突地点付近の大気は衝突地点から高速で噴出した ejecta によって完全に散逸することがわかっている。一方、大気量の大部分を占める衝突地点付近以外の場所では、衝突によって惑星内部を伝わる衝撃波が、惑星表面で開放された時に、惑星表面がもつ速度によって吹き飛ばされる可能性が考えられている。以降、後者の惑星表面の運動による大気散逸について考える。その先駆的な研究として、Ahrens, 1993 がある。

Ahrens (1993) は、密度様の大気を考え、大気上端が惑星の脱出速度を超えるような惑星表面の速度を計算した。その結果、惑星表面が 2km/s 程度以上の速度をもった場合、大気上端が惑星の脱出速度を超えることがわかった。そして、火星質量程度の天体が現在の地球程度の質量の天体に脱出速度 (~11km/s) で衝突した場合、惑星表面が十分 2km/s 以上になることから、巨大天体衝突によって、惑星の大気はすべて失われると結論付けた。

また、Chen and Ahrens (1997) では、大気中を伝わる衝撃波のシミュレーションによって、惑星表面の初速が 8km/s という高速の場合、大部分の大気が散逸するという結果を得た。一方、2km/s という低速の場合は、ほとんど大気は散逸しないという結果を得た。しかし、惑星内部を伝播する衝撃波は、衝突地点の対蹠点に集中し、対蹠点での惑星表面の速度が 8km/s 程度になることが予想され、惑星大気的大部分は巨大天体衝突によって散逸すると結論づけた。

Ahrens(1993)と Chen and Ahrens (1997)の結論は、『惑星大気的大部分は巨大天体衝突によって散逸する』ということでは、調和的ではあるが、結果が異なっている。その原因は明らかになってはいない。そこで、本研究では、Chen and Ahrens (1997)のモデルを改良し、1次元衝撃波のシミュレーションを行い、特に、惑星表面が大気にする仕事、大気の運動エネルギーの増加、内部エネルギーの増加に着目し、Ahrens(1993)の見積もりによって得られた結果と、Chen and Ahrens (1997)の結果が異なった原因を示す。その結果、Ahrens(1993)の見積もりが間違っていたことがわかった。

また、このシミュレーションによって、大気をすべて散逸させるためには、惑星表面が、惑星の脱出速度を超えなければいけないことがわかった。この結果は、Chen and Ahrens (1997)の結果と調和的であるが、結論として、『惑星大気的大部分は巨大天体衝突によって散逸しない』ということを実証する。その理由は、大気的大部分は対蹠点付近以外の場所にあること、そして、対蹠点以外の惑星表面の速度は対蹠点のそれよりも十分遅いということが挙げられる。

次に、上記で得られた結果が、大気組成、大気量、大気組成を変化させた場合でも普遍的なものかどうか調べた。その理由は、巨大天体衝突が起きる直前に、惑星が持っている大気が、どのような大気であったかわからないためである。結果は、散逸量は、大気成分、大気量、大気構造にほとんど依存しなかった。惑星大気が初期の状態でもっている内部エネルギーが、散逸に必要なエネルギーに比べて小さく無視できるため、惑星表面が大気にどれだけ仕事をしたか、言い換えれば、惑星表面の速度によって散逸量が決まるからである。

(研究の)時間があれば、H₂ を主成分とする nebula が太陽系に存在していて、惑星大気がヒル半径の外側まで連続的に存在している場合の、散逸についても発表する予定である。