

K/T 境界における巨大衝突蒸気雲内の SO₂/SO₃ 比の推定Estimation of the SO₂/SO₃ ratio in the vapor cloud produced by the K/T boundary impact event

大野 宗祐[1], 杉田 精司[1], 五十嵐 丈二[2]

Sohsuke Ohno[1], Seiji Sugita[2], George Igarashi[3]

[1] 東大・理・地球惑星, [2] 東大・理・地殻化学

[1] Earth and Planetary Sci., Univ. Tokyo, [2] Earth and Planet. Phys., Univ. of Tokyo, [3] Lab. for Earthq. Chem. Univ. of Tokyo

今から 6500 万年前におきた K/T 境界事件における生物大量絶滅は、小惑星あるいは彗星の高速衝突が原因だと考えられている。また、大量絶滅の主要な原因は、衝突地点から大量に放出された硫黄が成層圏で硫酸エアロゾルを作り太陽光を長期間にわたって遮ることであると考えられている。硫酸エアロゾルの成層圏での滞留期間は、衝突蒸気雲の SO₂/SO₃ 比に大きく左右される。本研究では、蒸気雲内の SO₂/SO₃ バランスについて化学平衡計算を行い、SO₂/SO₃ 比の推定を行った。発表では、YAG レーザーを CaSO₄ に照射して生成した蒸気雲の質量分析計による成分分析実験の結果についても報告する。

今から 6500 万年前、K/T 境界で、恐竜の絶滅を含む生物の大量絶滅が起こった原因は、小惑星もしくは彗星の地球への衝突だとする説が有力である。K/T 境界の大衝突があった、メキシコのユカタン半島の Chicxulub クレーター付近は、硫酸塩岩を多く含む蒸発岩の堆積層で覆われていたであろうことが、現地地質調査から分かっている。衝突時には、衝突地点およびその近傍の硫酸塩岩が衝撃により蒸発・脱ガスし、硫酸エアロゾルとして成層圏に長期間滞留した可能性がある。硫酸エアロゾルが成層圏に多く存在すると太陽から地表への入射光をさえぎり、全地球的な冷却を引き起こし、また、植物の光合成に十分な太陽光入射が得られなくなり、食物連鎖で生態系全体が崩壊する。従来考えられていた衝突時に巻き上げられた岩石の塵による太陽光の遮蔽効果は、継続時間が 100 日程度と短く、大量絶滅を引き起こすには不十分である。それに対し硫酸エアロゾルは、硫酸化物から硫酸エアロゾルに転化するのに時間がかかるので、岩石の塵よりもはるかに長い期間成層圏に滞留する。そのため、太陽入射光遮断の継続時間が長く、K/T 境界の生物の大量絶滅の原因として最も重要であったと考えられる。

ここで重要な点は、硫黄成分の成層圏滞留時間が、その酸化状態(SO₂ or SO₃)に支配されることである。蒸気雲内の SO₃ は H₂O と結合して直ちに硫酸エアロゾルを形成するのに対し、SO₂ は光化学反応で SO₃ になった後硫酸エアロゾルに転化するため年単位の時間がかかる。したがって、衝突蒸気雲内の硫黄が主に SO₂ のときには、非常に長期間にわたる成層圏での硫酸エアロゾル生成と、それによる太陽光の遮蔽、冷却効果が継続する。

そこで本研究では、衝突蒸気雲中の SO₂/SO₃ 比の推定を行った。化学定数からは、高温低圧では SO₂ が、低温高圧では SO₃ が安定であることが直ちに分かる。しかし、衝突蒸気雲では高温高圧から低温低圧への変化がおきるので、どちらがどの条件でより安定であるかは自明ではなく、正確な化学平衡計算が必要である。計算方法はギブス自由エネルギー最小化法で、JANAF の熱力学データを用いた。衝突蒸気雲の初期状態の決定にはランキン=ユゴニオの式と線形速度関係式を用い、理想気体の断熱膨張を仮定して蒸気雲の温度圧力状態を決定した。衝突天体が小惑星の場合と彗星の場合のそれぞれについていくつかの典型的な衝突速度を仮定して計算を行った。計算結果から、衝突蒸気雲内の硫黄は、高温では主に SO₂、低温では主に SO₃ であるということがわかった。また、衝突速度、衝突物が小惑星か彗星かなどの与える初期条件によっても結果は多少異なるが、どの場合も温度が約 1000K から約 2000K の間、圧力が 10000 気圧から 30000 気圧の間で SO₂ の割合が大きく変化する。SO₂ が 9 割まで減少するのは温度が 2000K から 2800K の間で、SO₂ の量が 1 割まで減少する温度は 1000K から 1400K の間であるという結果を得た。

実際の蒸気雲では、膨張の途中でクエンチを起こし、膨張の途中のある点で反応は止まる。K/T 境界の衝突蒸気雲においては、初期条件と蒸気雲の膨張速度が正確にわからないため、クエンチする温度を正確に見積もることは難しい。しかし、研究の比較的良好に進んでいる炭化水素の反応の場合では、巨大衝突蒸気雲内の反応のクエンチは 1000K から 2000K の間で起きると考えられている。もし、この温度域で硫酸化物の反応もクエンチするならば、クエンチ温度によって SO₂/SO₃ 比は大きく変化する可能性がある。というのは、化学平衡計算の結果は、蒸気雲の温度が 1000K から 1400K の条件域では、100K あたり SO₂ の割合が一桁近くも変化するを示しているからである。したがって、化学平衡計算からだけでは蒸気雲内の SO₂/SO₃ 比について定量的な見積もりをすることは非常に困難である。言い換えれば、上の計算結果は、SO₂/SO₃ 比の推定のために蒸気雲が 1000K から 1400K の条件下での反応速度が重要であることを示している。

そこで、K/T 境界の衝突蒸気雲内の SO₂/SO₃ 比を求めるため、実験的に蒸気雲の SO₂/SO₃ 比の測定を行うこと

とした。本来は二段式軽ガス銃などの衝突銃を用いた実験が理想的であるが、衝突蒸発で発生したガスのみを純度良く取り出し分析することが非常に困難なためここでは使用しない。よって、anhydrite(CaSO_4 、硬石膏)の結晶をYAGレーザーで照射、蒸発させ、発生したガスの組成を四重極質量分析計を用いて分析する。発表では、この実験の予備的な結果についても併せて報告する。