

## 巨大隕石衝突に伴う大気加熱とメタンの生成

### Atmospheric heating and the formation of Methane by large impacts

# 関根 康人[1], 杉田 精司[2], 門野 敏彦[3], 松井 孝典[2]

# Yasuhito Sekine[1], Seiji Sugita[2], Toshihiko Kadono[3], Takafumi Matsui[4]

[1] 東大・理・地球惑星科学, [2] 東大・理・地球惑星, [3] 東大地震研

[1] Earth and Planetary Science., Tokyo Univ., [2] Earth and Planet. Sci., Univ. of Tokyo, [3] ERI, [4] Dept. of Earth and Planetary Phys., Univ. of Tokyo

#### 1：はじめに

今から40億年前までの地球では現在に比べ、巨大隕石の衝突が頻繁に起きていたと考えられる。このような高速衝突現象では、衝突天体と地表の一部が蒸発し衝突蒸気雲をつくる。蒸気雲内の難揮発性物質は凝縮し、蒸気雲の膨張速度で宇宙空間へ飛び出す。そして地球の脱出速度以下のものは再び地球に突入してくる。その際、凝縮物と上層大気はお互いの摩擦により加熱される。それらは大気進化や生命の起源や進化に大きな影響を与えたであろうと推測される。

本研究では、上記のような衝突蒸気雲の膨張という現象に伴い、その運動エネルギーが全球的な大気加熱という熱エネルギーに分配される過程の詳細について検討する。特に、凝縮物の再突入時に起こりうる隕石起源の金属鉄微粒子と大気との Fischer-Tropsch 触媒反応について、その反応率と生成物であるメタンの生成量を計算した。具体的には約40億年前に直径10km, 20km, 25kmの隕石が、速度20km/sで衝突した場合について議論する。

#### 2：衝突蒸気雲の膨張

蒸気雲は半球的とし、速度分布は中心(0km/s)から外端へ直線的に増加するとし、密度分布は Zeld'vich and Razier (1966) の self - similar 解を与えた(蒸気雲が理想気体で等エントロピーで膨張する)。蒸気雲の質量は、衝突天体と186G Pa(断熱膨張して1barでduniteが蒸発しはじめる圧力)以上の圧力領域に含まれるターゲットの質量と仮定し、衝突天体とターゲットの密度は3.0g/cm<sup>3</sup>とした。難揮発性物質はすぐに凝縮し、蒸気雲の膨張運動の速度と角度で宇宙空間へ飛び出すと仮定する。脱出速度以下のものは地球に再突入する。以上のような条件下で、凝縮物の質量フラックス、速度と飛行時間を、ケプラー運動の軌道の式により衝突地点からの関数として求めた。

#### 3：大気加熱

再突入してきた凝縮物は、大気の抗力により数~十数Paの大気圧に相当する高度で止まりエネルギーを失う。大気は2層構造とし、上層を暖まった凝縮物と大気からなる層(以後Envelope層と呼ぶ)とする。熱は宇宙空間と地表に向かって放射される。エネルギーバランスの式によりEnvelope層の温度とその時間変化を求めた。Fig.1は衝突隕石の直径が10, 20, 25kmの場合について、衝突地点からの角度が24-30°のEnvelope層の温度変化を示す。

#### 4：Fischer-Tropsch 触媒反応

Fischer-Tropsch 触媒反応とはCOとH<sub>2</sub>がFe表面で炭化水素(主にメタン)になる反応である。反応温度範囲は400Kから700K程度である。この反応はメタン生成の場合、19の反応stepで成り立っている(Table1)。それぞれのstepを気体の衝突反応論に基づくモデルで考える。表面吸着炭素の水素化反応を律速段階とし、反応式のパラメタは過去の実験結果(Krebs et al., 1979)に基づき定める。そして、反応種についての9つの常微分方程式を解き反応率(メタン生成率)を求める。

#### 5：メタンの生成

衝突天体が直径25kmで、その5wt%が金属鉄として再突入してきた時、衝突地点から24-30°のEnvelope層の温度変化に対するFischer-Tropsch 触媒反応の反応率(メタン生成率)とメタンの積算生成量をFig.2に示す。反応時間は1日以上にわたり、その生成量は1m<sup>2</sup>あたり数十gになることがわかる。このプロセスにおける単位時間、単位面積あたりの還元炭素生成量は、これまで生命の起源物質の生成プロセスと考えられてきた紫外線や宇宙塵による供給などよりも有意に(5桁以上)大きい。生命や生命前駆物質の生成に還元炭素の濃集が必要なることを考えると、生命の原材料を供給するプロセスとしての役割は大きかったと考えられる。

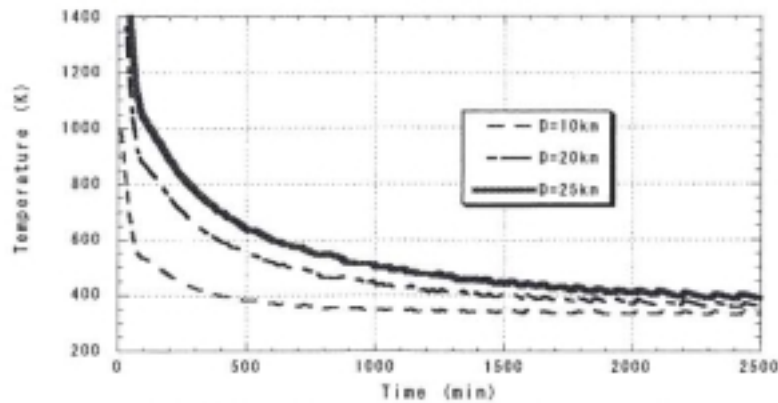


Fig. 1: Temperature time evolution of Envelope in the case of D=10, 20 and 25km impact

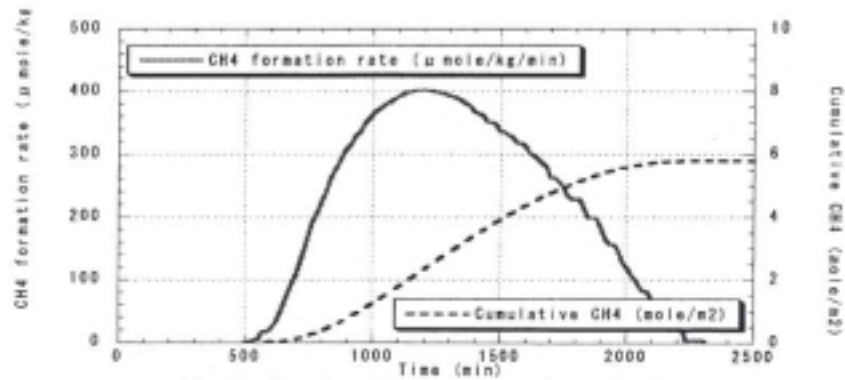


Fig. 2: The formation rate and cumulative production (mole) of CH4 (impactor diameter 25km, at the region 24-30° from impact point:  $p_{H_2}=0.5Pa$ ,  $p_{CO}=2Pa$ )

step	reaction	products
1.	$H_2(g) + 2f_1 \rightarrow$	$2H^*$
2.	$CO(g) + f_2 \rightarrow$	$CO^*$
3.	$2H^* \rightarrow$	$H_2(g) + 2f_1$
4.	$CO^* \rightarrow$	$CO(g) + f_2$
5.	$CO^* + f_5 \rightarrow$	$C^* + O^*$
6.	$C^* + O^* \rightarrow$	$CO(g) + f_2 + f_5$
7.	$C^* + H^* \rightarrow$	$CH^* + f_1$
8.	$CH^* + H^* \rightarrow$	$CH_2^* + f_1$
9.	$CH_2^* + H^* \rightarrow$	$CH_3^* + f_1$
10.	$CH_3^* + H^* \rightarrow$	$CH_4(g) + f_1 + f_2$
11.	$O^* + H^* \rightarrow$	$OH^* + f_1$
12.	$OH^* + H^* \rightarrow$	$H_2O(g) + f_1 + f_5$
13.	$OH^* + f_1 \rightarrow$	$O^* + H^*$
14.	$CH^* + f_1 \rightarrow$	$C^* + H^*$
15.	$CH_2^* + f_1 \rightarrow$	$CH^* + H^*$
16.	$CH_3^* + f_1 \rightarrow$	$CH_2^* + H^*$
17.	$CH_2^* + CH_2^* \rightarrow$	$C_2H_4(g) + 2f_2$
18.	$C^* \rightarrow$	$C^*$
19.	$O^* \rightarrow$	$O^*$

Table 1: The steps involved in the reaction mechanism for the conversion of CO and H<sub>2</sub> to CH<sub>4</sub> over iron catalast. (The chemical species with \* is absorbed to the surface, f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>, f<sub>5</sub> are the free site of H, C, O and G represents the unreactive carbon)