

木星火球シミュレーション：メタンバンド観測の有効性

2012年12月20日(木)

発表者：片桐陽輔 指導教員：柳澤正久

1 概要

木星領域における小天体のサイズ分布は未だ謎が多く、その解明は太陽系の起源や進化に迫るものであると言える。それを知る一つの手立てとして木星火球という現象が挙げられる。本研究室ではこの木星火球の観測を行っており、その際メタンバンドフィルタを用いている。しかし、木星火球観測にメタンバンドフィルタを用いることが有効であるかどうかは木星火球の発光高度に依存するため、現状では不確かである。

そこで本研究では、木星火球を計算機上でシミュレーションするプログラムを作成する。それによって得られる発光高度などの計算値から木星火球観測におけるメタンバンドフィルタの有効性を検討する。

星本体の光を減少させるため、木星火球観測には有効だと言われている。しかし、火球の光吸収率も発光高度に依存するため、発光高度を明確にしない限り、有効性は不確かである。なので、有効性を確かめるために、木星火球のシミュレーションを行ない、発光高度を推定する。

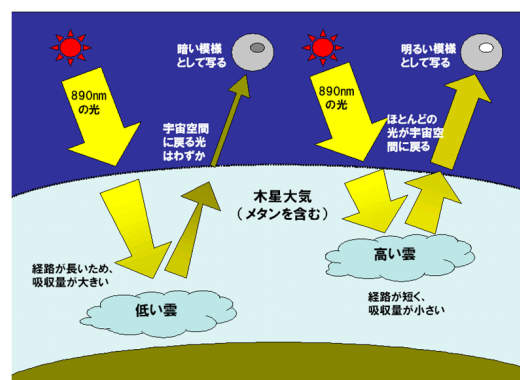


図 2: メタンバンドフィルタ観測の概略図.

2 木星火球観測

2.1 木星火球

木星にメテオロイド(小天体)が衝突した際に発光を生じる。地球の流星現象と同じく木星大気中で発光を生じる。これを木星火球と呼ぶ(図1参照)。



図 1: 木星火球. 2010年6月3日20時31分(UTC).

A. Wesley氏撮影.

<http://www.Gishbartimes.org/2010/09/paper-detection-of-superbolide-on.html>

2.2 メタンバンドフィルタ

889[nm] 付近の波長域のみ透過し、それ以外の波長をカットする。木星大気にはメタンが含まれている。メタンには波長 889[nm] 付近の光を吸収する特性があり、光が反射する高度によって光の明暗が依存する(図2参照)。木

3 木星火球シミュレーション

3.1 基本方程式

木星にメテオロイドが突入する現象を以下の3つの微分方程式[1]で表す。

$$\frac{dv}{dt} = -C_D \frac{\rho_g A v^2}{m} \quad (1)$$

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (2)$$

$$\frac{dm}{dt} = \begin{cases} -\frac{C_H \rho_g A v^3}{2\zeta} \left(\frac{v^2 - v_{cr}^2}{v^2} \right) & (v \geq v_{cr}) (3a) \\ 0 & (v \leq v_{cr}) (3b) \end{cases}$$

t : 時間, v : 速度, x : 進行距離, m : 質量, A : 断面積(時間関数), ρ_g : 大気密度, C_D : 抵抗係数, C_H : 熱伝導定数, v_{cr} : アブレーション臨海速度, ζ : アブレーションに要する熱エネルギー

3.2 木星大気モデル

本研究では木星大気密度が高度のみに依存すると仮定した大気モデル[2]を用いる(図3参照)。そしてそれから得られる指数近似関数を大気密度関数として計算に用いる。メタン濃度に関しても大気密度と同様に高度のみに依存すると仮定したモデル[2]を用いる。

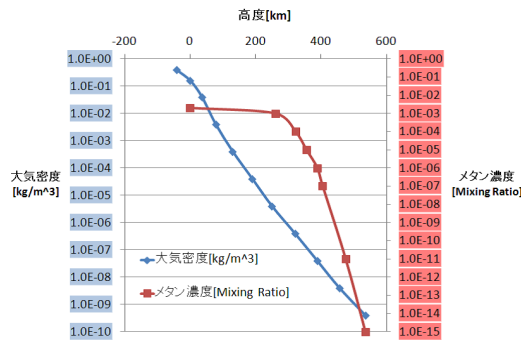


図 3: 高度ごとの大気密度とメタン濃度 [2].

3.3 シミュレーションプログラム

微分方程式の近似解を 4 次ルンゲ=クッタ法を用いて導出するプログラムを作成した。このプログラムを用いて木星火球 (メテオロイドの木星突入) をシミュレーションする。なお、計算時の計算ステップ間隔はメテオロイドの初速度でメテオロイドの半径距離を移動する時間としている。

4 計算結果

シミュレーションプログラムによって得られた計算結果の例を図 4 に示す。メテオロイドのパラメータは以下の通りである。なお、メテオロイドの成分は氷であると仮定する。

- case1

初期半径 $a_0 = 10$ [m], 初速度 $v = 60$ [km/sec],
 密度 $\rho_p = 1000$ [kg/m³], 初期高度 $h_0 = 500$ [km],
 入射角 $\theta = 45$ [°].

- case2

初期半径 $a_0 = 5$ [m], 初速度 $v = 60$ [km/sec],
 密度 $\rho_p = 1000$ [kg/m³], 初期高度 $h_0 = 500$ [km],
 入射角 $\theta = 45$ [°]. 計算結果より、各計算ステップ毎の速

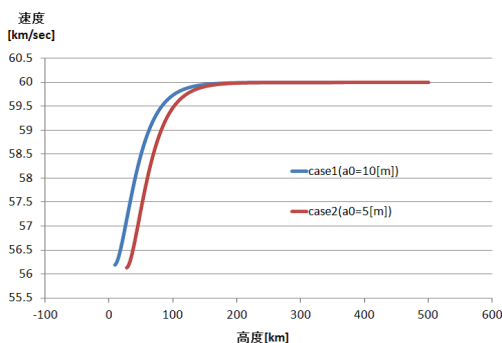


図 4: メテオロイドの速度変化 (case1, 2).

度と質量が得られるのでそこから各計算ステップ毎の運動エネルギーの減少を求めることができる。本研究ではそのエネルギーからメテオロイドの気化熱を引いたエネルギーを発光に用いることができるエネルギーだと仮定する。こ

のエネルギーを計算ステップ間隔で割ることで得られる仕事率 (単位時間あたりのエネルギー) を図 5 に示す。

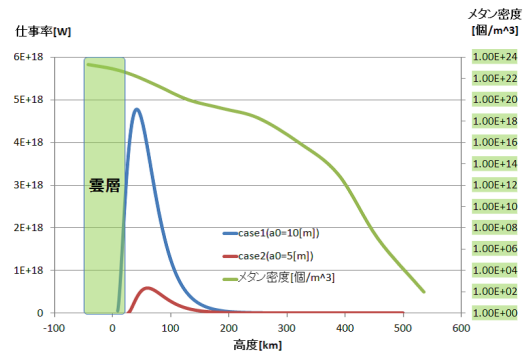


図 5: メテオロイドの消費エネルギーの仕事率 (case1, 2), メタンの個数密度変化。

5 考察

図 5 をみると、2 つの case とも高度 50[km] 付近で消費エネルギーのピークになる。この高度付近で木星火球 (メテオロイドの発光) が起きていると考える。メタン密度をみると、高度が低くなるほど、密度が増加していることがわかる。木星火球は木星本体 (雲) よりも高い高度で発光しているため、メタンによる光吸収率は火球の方が低いと考えられる。

しかし、2 つの高度差はあまり無いので、この結果だけでは木星火球観測においてメタンバンドフィルタが有効だと断言することはできない。更に、今回のシミュレーションではメテオロイドが分裂を起こさないと仮定している。もし、メテオロイドが突入中に分裂した場合、発光は更に上空で起こると考えられる。

6 まとめ・今後の課題

以上より、木星火球は木星本体 (雲) よりも高い高度で発光しており、木星の光 (雲からの反射光) よりもメタンによる光吸収率は木星火球の方が低いと考えられる。しかし、光吸収率の差がわずかと考えられるため、この結果だけでは木星火球観測においてメタンバンドフィルタが有効だと断言することはできない。

今後の課題は、メタンによる光吸収率を求め、木星火球と木星の光吸収量の差分を明確にすることである。また、メテオロイドが突入中に分裂する高度についても検討する必要がある。

参考文献

- [1] Melosh H. J. , “ Impact Cratering ”, Oxford Univ. Press, pp 245, 1989.
- [2] G. Randall Gladstone, “ Hydrocarbon Photochemistry in the Upper Atmosphere of Jupiter ”, ICARUS 119, 1996.