

K7-31

大型レーダー・流星ヘッドエコー観測と太陽輻射圧を考慮したダストの軌道進化

Meteor Observation using Large Radar Meteor Head Echo Observations and Orbital Evolution Considering Solar Radiation Pressure

弘田旭¹, 阿部新助²Akira Hirota¹, Shinsuke Abe²

Abstract: Solar system small bodies ranging between 10^{-15} and 10^{15} g are continuously colliding with the Earth. Majority of them are so called meteoroids whose diameters are estimated between 10 and several 100 μm . High power large aperture (HPLA) radar observations have enabled to provide information on individual meteoroids' orbits and influx rate. The meteor head echo observation has been carried out using the middle and upper atmosphere radar (MU radar) of Kyoto University at Shigaraki (34.9N, 136.1E). We estimated size distribution of meteoroids using simultaneous observation results with MU radar. In order to consider orbital evolution by solar radiation pressure, we added size information to individual dust and use D-criterion to investigate similar orbits.

1. 研究背景・目的

流星(meteor)とは彗星や小惑星が起源のメテオロイド(meteoroids)やIDPs(Interplanetary Dust Particles)と呼ばれるダスト(dusts)が惑星大気に突入した際に発光する現象のことである。^[1] このダストは惑星と同様に体積に比例した重力を受けて太陽の周りを公転している。同時に反太陽方向に断面積に比例した太陽輻射圧を受けているため、サイズの小さいダストほど輻射圧の影響が顕著に表れる。さらにダストは自身の運動のためにダストから見ると輻射圧の一部が制動力となり、結果太陽に螺旋降下してゆきこれをポインティングロバートソン効果(Pointing-Robertson effect; PR 効果)という。^[2] これらの摂動を受けてダストの軌道進化が起こる。

京都大学・生存圏研究所・信楽 MU 観測所の MU レーダー(Middle and Upper Atmosphere Radar)では流星のヘッドエコー観測により個々のメテオロイドの軌道が求められるが、それらのサイズや組成は不明である。これは、レーダー観測から得られる RCS(Radar Cross Section ;RCS)が、メテオロイドのサイズや速度、組成、形状などに複雑に関係しているため、直接サイズに変換することが困難なためである。

RCS はレーダーから電波の照射を受けた時にアンテナの方向に電波を反射させる能力の尺度で受信電力 P_r , 目標距離 R , 送信アンテナゲイン G_t , 受信アンテナゲイン G_r , 目標方位角 θ , 目標仰角 ϕ 送信電力 P_t , レーダー波長 λ としてレーダー方程式から次のように書ける。^[3]

$$\text{RCS} = \frac{(4\pi)^3 P_r R^4}{G_r(\theta, \phi) G_t(\theta, \phi) \lambda^2 P_t} \quad (1)$$

2009, 2010年のMUレーダーと超高感度カメラを用いた同時観測結果から同一流星を絞りこみ、それらのRCSと等級の関係について対地速度毎に決定した暫定モデルを用いて地球降着ダストのサイズ分布を求めた(Fig.1)。

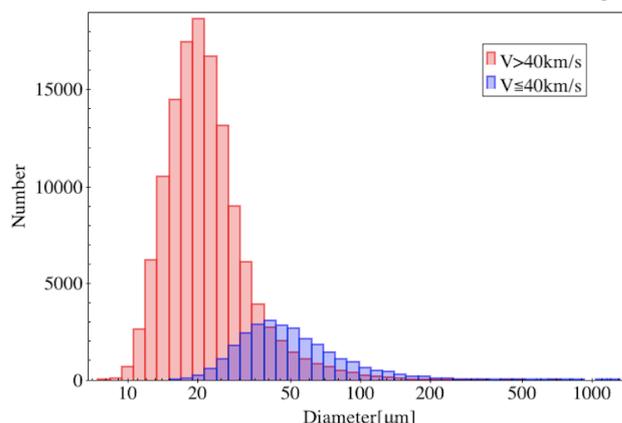


Fig1. Meteoroid's Size Distribution

本研究の目的はレーダー観測で得られた流星の軌道データにサイズ・質量(密度を仮定)を加えることで直径数十 μm , 質量 10^{-9} g クラスのダストの太陽輻射圧を考慮した軌道進化について考察することである。

2. 観測装置

観測装置MUレーダーは下層・中層及び超高層大気を観測するために作られた大気観測用大型レーダーであり、高度2kmの対流圏から、高度500kmの熱圏・電離圏に至る大気の観測を行なっている。^[4] Table1にMUレーダーの諸元を記す。

1 : 日大理工・院(前)・航宇, Aerospace Engineering, CST, Nihon-U. 2 : 日大理工・教員・航宇, Aerospace Engineering, CST, Nihon-U

Table1 Specifications of MU radar

位置	滋賀県甲賀群信楽町 (34° .51'N,136° 06'E)
中心周波数	46.5MHz
周波数帯域	3.5MHz
アンテナ	直行八木アンテナ
構造	直径 103m 円形アレイ
機能	電子ビーム方向走査
ビーム幅	3.6°
送信出力	1MW(尖頭電力)

3.結果及び考察

メテオロイドの軌道類似性を調べるパラメーターとして D-criterion(D_{SH})^[5]を用いてふたご座流星群^[6]の類似軌道を求めた(Fig.2).これは軌道 5 要素を用いた 2 つの軌道の無次元距離であり,式(2)で求められる.

$$[D_{SH}]^2 = (e_2 - e_1)^2 + (q_2 - q_1)^2 + \left(2\sin\frac{I_{21}}{2}\right)^2 + \left(\frac{e_1+e_2}{2}\right)^2 \left(2\sin\frac{\Pi_{21}}{2}\right)^2 \quad (2)$$

式中の I_{21} , Π_{21} , Γ は以下の式で表される.

$$I_{21} = \arccos[\cos i_1 \cos i_2 + \sin i_1 \sin i_2 \cos(\Omega_2 - \Omega_1)] \quad (3)$$

$$\Pi_{21} = \omega_2 - \omega_1 + 2\Gamma \arcsin\left(\cos\frac{i_2 + i_1}{2} \sin\frac{\Omega_2 - \Omega_1}{2} \sec\frac{I_{21}}{2}\right) \quad (4)$$

$$\Gamma = \begin{cases} +1 & (|\Omega_2 - \Omega_1| \leq 180^\circ) \\ -1 & (|\Omega_2 - \Omega_1| > 180^\circ) \end{cases} \quad (5)$$

ここで, e は離心率, q は近日点距離(au), i は軌道傾斜角度(deg), Ω は昇交点黄経(deg), ω は近日点引数(deg)である.(2)式で求めた軌道のサイズ毎の周期の分布を記す(Fig.3).数十 μm サイズのダストの軌道は母天体(3200P Phaethon)の軌道周期(緑線)に対し,内側に落ち込んだものと外側にはじき出されたものが存在し,軌道の進化が起こっていることが伺える. Fig3 よりサイズの小さいダストほど軌道の進化が顕著に表れている.

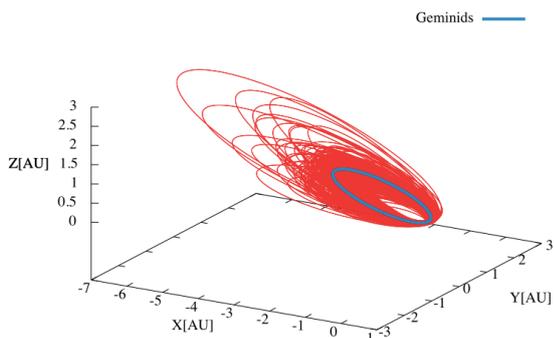


Fig2. Meteor orbits(Dsh<0.1)

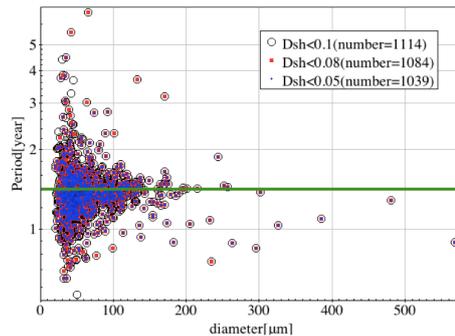


Fig3. Meteoroid's Period

4.今後の展望

MU レーダーと約 13 等級の超微光流星まで観測可能な超高感度カメラ Tomo-e Gozen との同時観測を行う.これにより微光流星を含めた RCS と測光質量の関係が明らかになり,直径 10 μm ,質量 $10^{-9} g$ のダストの起源と軌道進化について考察可能な統計的なデータの取得が期待される.

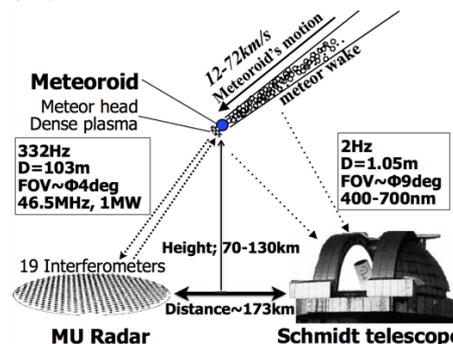


Fig4. MU radar and Tomo-e Gozen simultaneous observation

5.参考文献

[1] Shinsuke Abe : Meteoroids and Meteors - Observations and Connection to Parent Bodies , Lecture Notes in Physics , pp 1-38 , 2009
 [2] 向井 正 : 宇宙における固体微粒子 , The Japan Society of Plasma Science and Nuclear Fusion Research , pp 77-80 , 2006
 [3] Shinsuke Abe et al. : Orbit Determination of Meteoroids by MU Radar Meteor Head Echo Observations , Proc. 30th International Symposium on Space Technology and Science(ISTS) , Vol.30 , pp. 1-4 , 2015
 [4] 京都大学 生存圏研究所 MUレーダー , At <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/mu/radar.html>
 [5] Southworth,R.B.and Hawkins.G.S.,:Statistics of meteor streams,Smithsonian Contributions to Astrophysics,7,261-285,1963
 [6] Peter Jenniskens:Meteor shower and their Parent Comets.p 740,2006