

スパイラル流星痕

観測: 戸田雅之 小林正人 測定: 重野好彦

要旨

スパイラル形状の流星痕の同時観測に成功した。スパイラルは周期 4.17msec で、直径 461m の円を描いていることが分かった。この流星物質に生じる遠心加速度と大気抵抗を求めた。その結果、流星物質はスパイラル運動をしていないことが分かった。流星物質から放出されたガスだけがスパイラル形状をしている。

非直線流星経路にはスパイラルの他に、カーブ及び分岐がある。力学的な考察を試みた。しかし大気から受ける力に比べて、運動エネルギーが非常に大きい。流星物質の運動の変化は、あまり大きくならないことが分かった。

1. はじめに

ほとんどの流星経路は直線である。しかし一部の流星経路は非直線であるという観測報告がある。Beech(1989, 1992) [1, 2]はこれらの情報を精力的に収集している。これらの中から、1852年のスパイラル流星経路のスケッチを図1に示す。

さらに Beech(1988) [3]は、主に 1800年代の多くの眼視観測から、非直線流星の分析を行っている。非直線流星にはカーブ、スパイラル、分岐、及びそれらの組み合わせられた経路がある。この様子を図2に示す。また分類結果は以下の通りである。

- 1) 約0.5%の流星が非直線であった。
- 2) 非直線流星の内、60%がカーブ、40%がスパイラルであった。
- 3) 様々な継続時間、等級、色の流星で、これらの現象が起きている。



M. W. Van Morsel saw this meteor, with its peculiar spiral motion, move across the skies of Province de Namur, France, in October 1852. The meteor was also said to have 'hissed' as it flew by.

Fig.1 A spiral meteor motion.

Fig.2 Schematic illustrations of the various meteor trail types.

Classification	Typical Appearance	Description
Primary Classification		
C		Continuous curve
S		Sinoidal
Sub Groups		
CR		Abrupt angular change in direction
CS		Curved sinoidal
SF		Fragmenting meteor: sinoidal component
CF		Fragmenting meteor: curved component

Beech はこれらの現象を流体力学の Magnus effect、Torque-free precession で説明している。回転する野球ボールはカーブし、フットボールはスパイラルを描く。しかし写真による非直線の流星を見たことがないと述べている。重野(1997) [4] も同時流星観測を行い、1000以上の写真及びTV流星を測定したが、非直線流星を見たことがない。スパイラル流星写真の1例としては Sky and Telescope(1989) [5] がある。

一方、鈴木(1982) [6] は双眼鏡で、スパイラル状の流星痕のスケッチを取っている。これを図3に紹介する。戸田はこの現象を調べるため、写真観測を続けてきた。そして1997年11月17日に、小林と共に、しし座流星群のスパイラル流星痕の同時観測に成功した。

本報では、この同時流星痕から、スパイラル形状の解析を行った。さらには非直線流星経路のメカニズムを考察した。

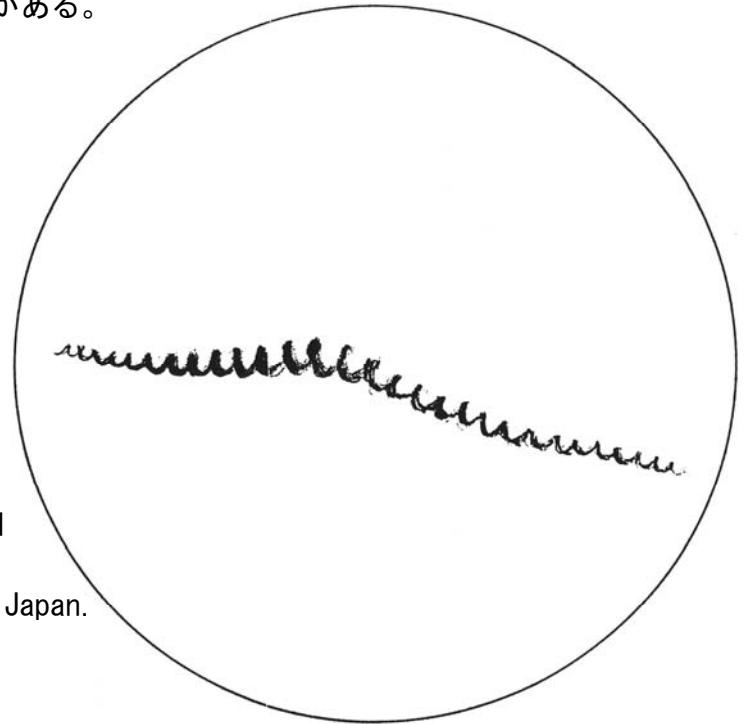


Fig.3 Kunihiko Suzuki saw this Orionid spiral meteor train by binoculars 9*35, at 18:14(UT) Dec 22, 1982 in Mt. Tsukuba Japan. 10sec to 15sec after meteor appeared.

2. 観測

図4にスパイラル流星痕の写真を示す。経路途中からスパイラルが始まり、また直線に戻っている様子が分かる。残念ながら、この流星痕は同時観測されなかった。同時観測されたのは、この2分前に出現した流星痕である。この写真を図5に示す。距離が約250kmと遠いため、微小構造は分からないが、スパイラル形状の測定は可能であった。



Fig.4 -3mag. Leonid meteor appeared at 17:44:47(UT) Nov 17, 1997.
The meteor train photographed by M.Toda from 17:44:56 to 17:45:00(UT).
and enlarged.
Nikon F4s 200mm F2.0 Fuji HR1600 film.



Fig. 5 -4mag. Leonid meteor appeared at 17:42:26(UT) Nov 17, 1997.
 Left: The meteor train photographed by M.Toda from 17:42:35 to 17:42:39(UT). Nikon F4s 200mm F2.0 Fuji HR1600 film.
 Right: The meteor train photographed by M.Kobayashi from 17:42:36 to 17:42:40(UT). Nikon F3 85mm F1.4 Konica GX3200 film.

測定結果を表 1 に示す。観測地間距離は 72.0km であった。痕の発光点高度は 102.2km、スパイラル開始点が 97.7km、スパイラルの測定開始点が 95.0km、スパイラルの終了点が 92.8km、痕の消滅点が 89.1km である。スパイラルの 1 周期後までの移動距離を L_s 、スパイラルの 1 周期の時間を P_s (流星速度を 72 km s^{-1} と仮定) (Lindblad, 1987) [7]、スパイラルの回転直径を D_s で示した。スパイラルは周期 4.17msec で、直径 461m の円を描いていることが分かった。

Table 1 Positions of the meteor train.

	Lng(deg)	Lat(deg)	H(km)	L_s (m)	P_s (msec)	D_s (m)
Obs. 1 Loc.	138.79861	35.33333	1.420	(Mt. Fuji Half-point)		
Obs. 2 Loc.	138.36694	35.87813	1.049	(Mt. Yatsugatake)		
Train Begin	140.92983	34.23761	102.202			
Spiral Begin	140.89171	34.23332	97.701			
Spiral 0	140.86089	34.23217	94.987			
Spiral 1	140.86057	34.23110	94.680	331	4.59	438
Spiral 2	140.86023	34.22999	94.358	345	4.79	439
Spiral 3	140.86001	34.22923	94.140	234	3.26	405
Spiral 4	140.85970	34.22821	93.845	317	4.41	488
Spiral 5	140.85941	34.22722	93.560	306	4.25	561
Spiral 6	140.85911	34.22623	93.275	306	4.25	493
Spiral 7	140.85881	34.22521	92.984	314	4.36	504
Spiral End	140.85857	34.22442	92.755	247	3.43	358
Train End	140.81869	34.22507	89.100	-	-	-
Spiral Mean				300	4.17	461
Spiral S. D.				39	0.54	64

3. 考察

スパイラルを流星物質の回転運動と仮定すると遠心加速度は(1)となる。

$$r\omega^2 = 3.1 \times 10^8 \text{ m s}^{-2} \quad (1)$$

ここで r は回転半径 ($D_s(461\text{m})$ -痕の直径(185m))/2、 ω は角速度である。この結果は非常に大きい値であり、現実にはありえない。

流星物質が大気中を進むときに受ける抵抗を計算する。流星の観測等級 -4mag から絶対等級 -5.5mag を求めた。次に長沢(1972) [8]の式により、流星物質の質量を 5.8g とした。さらに流星の密度を 0.6 g cm^{-3} (Verniani, 1967) [9]とし、流星物質の直径を 26mm とした。近年では Babadzhanov (1992) [10]が、しし座流星群の密度を 2.5 g cm^{-3} としている。しかしどちらにしても本報の結論が変化することはない。

次に大気抵抗(F)の式として Barger and Olsson(1973) [11]の以下の(2)式を使用した。

$$F = -0.5 \times CD \times S \times \rho_a \times V^2 = -2.2 \text{ kg m s}^{-2} \quad (2)$$

ここで抵抗係数 $CD(1.0)$ 、流星物質の断面積 S 、大気密度 $\rho_a(1.6 \times 10^{-6} \text{ kg m}^{-3})$ 、流星速度 $V(72 \text{ km s}^{-1})$ とした。 CD は地上の大気密度で、球が運動する場合には 0.4 である。しかし大気密度が非常に低いため 1.0 とした。また ρ_a は U. S. 標準大気(1962) [12]から作成した寺田の式(1984) [13]を使用して、高度 94km の大気密度を求めた。(2)式の使用範囲は地上の大気密度で、亜音速である。しかし本報の目的のためには十分である。

この力により流星物質が受ける加速度を求めると -380 m s^{-2} となる。この加速度を 0.1 秒間受け続けると流星は 38 m s^{-1} 減速される。これは大気減速として妥当な値である。

(2)で求めた大気抵抗に対して、(1)の加速度はあまりにも大きいことが分かる。よって流星物質はスパイラル運動をしていなかったことになる。流星痕のスパイラル形状は、流星物質から放出されたガスだけが、スパイラル形状をしていることで説明ができる。例えば、メカニズムは多少違うと思うが、彗星のスパイラルジェット(Sekanina, 1987) [14]が連想される。

スパイラル痕の形成メカニズムを考察する。Knudsen 数(Kn) (Nanbu, 1992) [15]を求めると(3)式となる。

$$Kn = \lambda/L = 2.2 \quad (3)$$

ここで高度 94km の大気平均自由行程 $\lambda(56\text{mm})$ 、物体の大きさ $L(26\text{mm})$ とした。Knudsen 数が 0.01 以上の場合は、希薄気体として扱う。よって流星物質の自転に同期してスパイラル痕が形成されたことになる。

しかし流星物質から発生したガスは大気以上に濃いと考えられる。その場合、流星物質後方に渦が生じる。流星物質の自転と共に渦が回転し、ガスはスパイラル状に放出される。この場合は流星物質の自転はスパイラル痕よりも高速である。

ここで流星物質から発生するガスの密度を求めてみる。流星直後のガス流の太さを流星物質の断面積と同じと仮定する。また流星の経路長は 16.7km である。よってガスの密度は $6.6 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-3}$ となる。これは大気密度の約 400 倍である。

今回の観測がどちらに相当するかは、はっきりしない。スパイラルが経路途中で始まり、そして途中で終わっていることが、解決の糸口となるかも知れない。

さらに考察を進めて、カーブする流星経路を考えてみる。上記流星の進行方向に直角な方向に力が加わりカーブすると考える。例えば 0.1 秒間に 10 km s^{-1} の速度を与える力は 580 kg m s^{-2} となる。大気抵抗は(2)式の通りであるから、このような大きなカーブは有り得ない。また上記したように高層大気は希薄気体である。流星物質が自転していても、カーブするための力は生じにくい。

次に分岐する流星経路を考えてみる。ここでは自転する1つの流星物質が分裂して2個となり、それぞれが違う方向に進む例を考える。図6にこの様子を示す。しし座流星群の流星(速度 72 km s^{-1})が進行方向を 15deg 変化させると仮定する。この場合、進行方向と直角の方向に 19.3 km s^{-1} で移動しなければならない。分裂直前の2質点が 2 cm 離れて、お互いの周りを公転していると考え。 19.3 km s^{-1} のための回転数は、 $3.1 \times 10^5 \text{ rev. s}^{-1}$ となる。それぞれの質点の質量を 1 g とすると、遠心力は $3.7 \times 10^7 \text{ kg m s}^{-2}$ となる。これは非常に大きい力であり、この回転数になる前に、流星物質は分裂してしまう。よって自転による分裂で流星経路が分岐するというメカニズムは成り立たない。

高温になった流星物質の爆発を原因と考えることもできる。しかしジェット噴射なしで、一瞬にして秒速数十 km もの加速を与える爆発とは何であろうか。

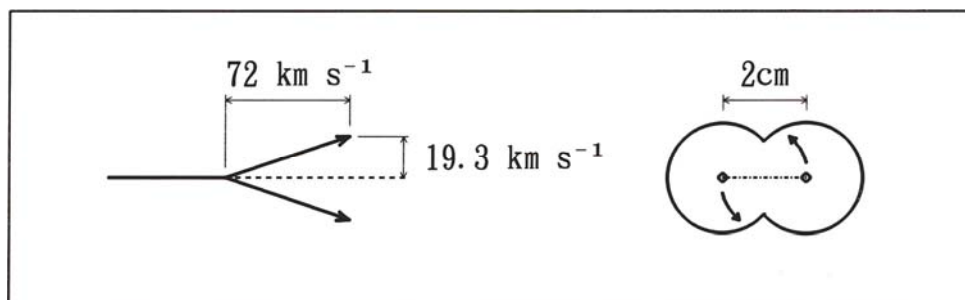


Fig. 6 The branching meteor trail.

重野は1975年8月12日14時30分14秒(UT)に分裂火球を目撃している。 -1mag 、赤色、継続時間7秒、速度の遅い散在流星だった。初め1点だった光が、経路途中で分裂し、経路上を先行する光と、遅れる光とに別れた。つまり経路は同じである。この流星は写真にも撮られたが、経路が同じため、分裂した様子は写っていない。この現象は次の説明が可能である。

- 1) 先行する光は流星物質本体。
- 2) 遅れた光は本体から別れた微粒子。分解した流星物質であれば、大気抵抗で急激な減速をする。

(2)式を使用して、 0.1 秒後に速度が10%減速する粒子直径を求めてみる。流星物質の密度 $\rho_m (1 \text{ g cm}^{-3})$ 、大気密度 $\rho_a (2 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-3}$ 高度 80km)、流星速度 $V (20 \text{ km s}^{-1})$ と仮定すると粒子直径は 0.3 mm となる。

4. 結論

大まかに言って 100km 上空の大気密度は地上の約 100 万分の 1 である。そして流星の速度は野球ボールの約 1000 倍である。大気抵抗は速度の2乗となるため、流星が受ける抵抗と野球ボールが受ける抵抗はほぼ同じである。しかし流星物質の運動エネルギーは約 100 万倍である。よって大気抵抗による流星物質の運動の変化は、あまり大きくなると考えられる。

それではカーブまたは折れ曲がる流星経路は目の錯覚であろうか？ 例えば、手にペンを持って直線を書くときは、腕の筋肉を連続的に伸縮させる必要がある。しかし筋肉は滑らかに伸縮せずに、断続的な伸縮が起こる。結果として直線は少しジグザグとなる。この手の震えは多くの人が経験していることだろう。

移動する流星を目で追い掛けた場合を考えてみる。眼球を回転させる筋肉は断続的に伸縮して、眼球の移動は断続的に行われる。結果として流星はジグザグに観測される可能性がある。

本報では、流星痕のスパイラル形状を明らかにすると共に、流星物質の自転を示唆することができた。観測数は少ないが、スパイラル形状の流星痕は少なくないようである。このスパイラル痕を解像度の低い写真で撮影すると、細かい明暗を繰り返して写るであろう。また露出時間が長くなると多くの筋状に写るだろう。

それ以外のカーブ、折れ曲がる流星経路に関しては悲観的な結論を出す結果となった。さらに分裂して、2経路に別れる流星に関しては、全く説明ができない。カーブ、折れ曲がる、分岐する流星経路に関して、さらに考察が必要である。

5. 謝辞

本報をまとめるにあたり、寺田充氏、塩井宏幸氏、田部一志氏のご協力をいただいた。流体力学に関して高橋聡氏のご意見を伺った。また長沢工先生から貴重なコメントをいただいた。皆様に心から感謝します。

6. 参考文献

- [1] M. Beech, "Meteors Off The Straight And Narrow", Astronomy Now, August 1989, pp. 18-20.
- [2] M. Beech, "Non-Linear Meteor Trails", WGN 20:1, 1992, pp. 2-3.
- [3] M. Beech, "NON-LINEAR METEOR TRAILS", Earth, Moon, and Planets 42, 1988, pp. 185-199.
- [4] Y. Shigeno, H. Shioi, S. Tanaka, "Double-Station TV Meteor Observations in 1996", WGN 25:4, 1997, pp. 161-165. (<ftp://ftp.imo.net/pub/data/msswg>).
- [5] Sky and Telescope, "Spinning Meteors", January 1989, pp. 11-12.
- [6] K. Suzuki, Proceedings of the Meteor Science Seminar 2/2, 1982, p. 80.
- [7] B. A. Lindblad, "Physics and Orbits of Meteoroids", The Evolution of the Small Bodies of the Solar System, Soc. Italiana di Fisica Bologna 1987, pp. 229-251.
- [8] K. Nagasawa, "Approach the meteor", Chijin-Shokan, 1972, p. 50.
- [9] F. Verniani, "Meteor Masses and Luminosity", Smithsonian contributions to astrophysics, Vol. 10, 1967, pp. 181-195.
- [10] P. B. Babadzhanov, "QUASICONTINUOUS FRAGMENTATION AND METEOROID DENSITY", Astronomicheskii Vestnik, 26-5, 1992, pp. 80-84.
- [11] V. Barger, M. Olsson, Classical Mechanics, 1973, McGraw Hill.
- [12] U. S. Standard Atmosphere, Prepared under NASA, USAF and USWB, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. , 1962, p. 278.
- [13] M. Terada, in K. Saito, K. Nagasawa (eds.), Meteor-II, Kousei-sha Kousei-kaku, 1984, p. 63.
- [14] Z. Sekanina, "Anisotropic Emission from Comets: Fans versus Jets", Symposium on the Diversity and Similarity of Comets, ESA SP-278, 1987, pp. 315-336.
- [15] K. Nanbu, in M. Yasuhara, H. Dajugji (eds.), Numerical fluid dynamics, Tokyo univ. publisher, 1992, p. 288.

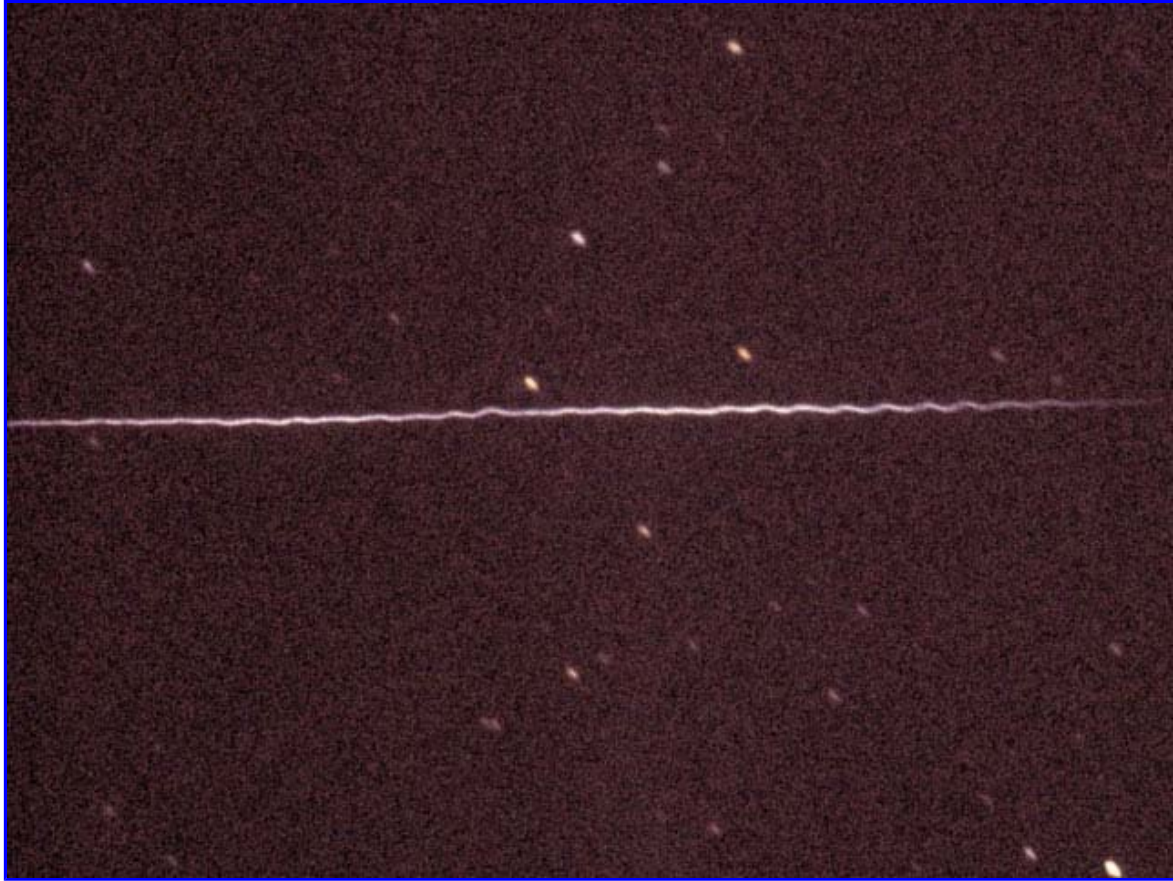
7. 付録

この「スパイラル流星痕」の記事がNASAのホームページで紹介されました。次の<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap050202.html> の説明文の中で [spray fast moving debris](http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-bib_query?bibcode=1998JIMO...26..220S) (http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-bib_query?bibcode=1998JIMO...26..220S) をクリックすると本報告が紹介されています。

Astronomy Picture of the Day

[Discover the cosmos!](#) Each day a different image or photograph of our fascinating universe is featured, along with a brief explanation written by a professional astronomer.

2005 February 2



A Twisted Meteor Train

Credit and Copyright: [Jimmy Westlake](#) ([Colorado Mountain College](#))

Explanation: Did this meteor leave a twisting path? Evidently. [Meteor trains](#) that twist noticeably are rare - and even more rarely photographed - but have been [noted before](#). The underlying reason for [unusual meteor trains](#) is that many meteors are markedly non-spherical in shape and non-uniform in composition. Meteors, usually sand sized grains that originate in comets, will disintegrate as they enter the [Earth's atmosphere](#). Non-uniform [meteors](#) may evaporate more on one side than another. This may cause a [rotating meteor](#) to wobble slightly in its path, and also to [spray fast moving debris](#) in a nearly spiral path. The fast moving meteor debris ionizes molecules in the Earth's atmosphere that [subsequently glow](#) when they reacquire [electrons](#). Surely no meteor is perfectly uniform and spherical, so that a slight swagger that is below perceptibility is likely typical. Meteors may well have seeded [Earth](#) with the [prebiotic molecules](#) that allowed for the [development of life](#).

Tomorrow's picture: [Smart Moon](#)

< | [Archive](#) | [Index](#) | [Search](#) | [Calendar](#) | [Glossary](#) | [Education](#) | [About APOD](#) | >

Authors & editors: [Robert Nemiroff](#) (MTU) & [Jerry Bonnell](#) (USRA)

[NASA Web Site Statements, Warnings, and Disclaimers](#)

NASA Official: Jay Norris. [Specific rights apply](#).

A service of: [LHEA](#) at [NASA](#) / [GSFC](#)
& [Michigan Tech. U.](#)

[Sign on](#)

[SAO/NASA ADS Astronomy Abstract Service](#)

- [Find Similar Abstracts \(with default settings below\)](#)
- [Full Refereed Journal Article \(PDF/Postscript\)](#)
- [Full Refereed Scanned Article \(GIF\)](#)
- [Citations to the Article \(3\) \(Citation History\)](#)
- [Refereed Citations to the Article](#)
- [Also-Read Articles \(Reads History\)](#)
- [Translate This Page](#)

Title: A Spiral Meteor Train
Authors: [Shigeno, Y.](#); [Toda, M.](#); [Kobayashi, M.](#)
Publication: WGN, Journal of the International Meteor Organization, vol. 26, no. 5, p. 220-225
Publication Date: 10/1998
Origin: JIMO
Bibliographic Code: 1998JIMO...26..220S

Abstract

A spiral meteor train was successfully observed and photographed at two stations. The spiral was 4.17 ms in period and 461 m in diameter. We calculated the centrifugal acceleration and atmospheric drag of the meteoroid, and found that it is not the meteoroid but only the emitted gas which is making a spiral motion. A non-linear meteor trail may be curved or branched, if not spiral. We attempted a dynamic study. Since a meteoroid has a very large kinetic energy, compared to the force received from the atmosphere, its motion is not changed greatly.

Printing Options

Send high resolution image to [Level 2 Postscript](#) Printer

Send low resolution image to [Level 2 Postscript](#) Printer

Send low resolution image to [Level 1 Postscript](#) Printer

Get high resolution [PDF](#) image

Get low resolution [PDF](#)

Send 300 dpi image to [PCL](#) Printer

Send 150 dpi image to [PCL](#) Printer

[More Article Retrieval Options](#)

[HELP for Article Retrieval](#)

[Bibtex entry for this abstract](#) [Preferred format for this abstract](#) (see [Preferences](#))

Add this article to private library

Remove this article from private library

Find Similar Abstracts:

Use: Authors

Title

Abstract Text

Return: Query Results Return | 100 items starting with number 1 |

Query Form

Database: Astronomy

Physics

arXiv e-prints

Send Query

Reset

[SAO/NASA ADS Homepage](#) | [ADS Sitemap](#) | [Query Form](#) | [Basic Search](#) | [Preferences](#) | [HELP](#) | [FAQ](#)