

Astron. Astrophys. 257、323-328 (1992)

1990年10月13日の地球をかすめて通過した火球

J. Borovicka と Z. Ceplecha

チェコスロバキア科学 Academy の天文学協会、251 65 Ondrejov, チェコスロバキア
11月8日に受理し、1991年11月16日に受諾した

要約。

絶対光度-6等の火球が、ヨーロッパ火球ネットワークの2カ所のチェコの観測所で撮影され、それはチェコスロバキアとポーランドの上空100kmあたりの高さで再び大気圏外へ去っていった。

本体は、41.7km/sの初期速度で、9.8秒間に409kmの発光する実経路を描いた。

タイプI火球は44kgの流星体質量によって生じ、そこから、0.35kgだけ溶発した。

流星体は、軌道が変化し、そして、その表面の上の固まった融解外皮とともに地球を去っていった。

火球実経路と突入及び去っていく軌道の両方の詳細なデータを示した。

ほとんど水平な運動をする長い実経路決定のための特別な方法を考案した。

この方法は優れた記録の観測地と方向があまり良くない観測地との組み合わせから角速度測定値に基づき、このポイントにたいへん近い観測に対するケプラー運動の pericenter 位置を計算する。

キーワード：流星

1. 導入

地球の大気圏への流星体の突入は、通常地球の表面に達する前に本体の完全なアブレーションによって終わる。

条件がそろった場合、大きな本体は、隕石として地球の表面に達する（もっと大きい本体は、爆発性の衝突で破壊される）。

しかし、流星体としての生き残れる別の可能性がある。

それは、ほぼわずかに触れる程度に大気圏に突入したなら、流星として見えだした後、その質量が減じていき、再び大気圏から去り、日心軌道を変え戻っていく。

このタイプの最初の科学的に観測された現象は、アメリカ合衆国とカナダ上空に1972年8月10日の有名な昼間火球であった（ヤッキア、現象の説明について1974年に、Ceplecha、詳しい実経路、質量、軌道はRawcliffeほかの最初の観測データに基づいて1979年に、1974年のネイチャーには3カ所の数値のミスのまま出版：

ネイチャーからデータを使用してはいけない、それらは完全に誤解をまねく）。

1972年の火球は、地球の表面上空で最も低かった高度58kmに達した、その観測された実経路は、1500kmの長いものであった。そして、その地心速度は大気中の飛行の間、15.0から14.2km/sまで減少した。

流星体の見積もられた質量は 10^5 から 10^6 kgであった。我々はここに1990年10月13日のヨーロッパの火球ネットワークの2カ所のチェコ観測地で撮影された二番目となる地球

をかすめて通過した火球を報告する。

流星写真の解析の標準の方法が、今回のケースでは不適切であることがわかったので、流星実経路を確定する特別な方法を開発した (Sect. 3 を参照)。

2. 観測と基本的な解析

2.1 眼視観測

眼視観測はチェコスロバキアでの 3 人の独立した彗星観測者 (P. Pravec, P. Klasek and L. Bulickova) が報告をした。これらの観測は現象の時刻: 03h27m16s \pm 3s UT (出現始め)、そして、南から北への流星飛行の明白な方向を提供した。

痕が 10 秒間残ったのが眼視で見られた。

この火球の電波反射が 03h27m24S \pm 6s UT にデンマークの Havdrup でクリステンセン (1991) が得た。

反射の継続時間は、78 秒であった。

2.2. 写真観測

写真観測は観測地 No.14 Cervena hora ($\lambda = 17^\circ 32' 38"$, $\Phi = 49^\circ 46' 40"$, $h = 750$ m) と観測地 No.9 Svatouch ($\lambda = 16^\circ 02'09"$, $\Phi = 49^\circ 44'08"$, $h = 744$ m) のヨーロッパ火球ネットワークの 2 つの観測地でのカメラで観測された。

両方の写真は、全天魚眼レンズ ($f = 30$ mm, $1 : 3.5$) を装備した固定カメラで撮られた。

カメラは、1 秒につき 12.5 回映像を切断する回転シャッターを備えていた。

これにて、速度の決定を可能にする。

観測地 No.14 での流星映像は、非常に良好であった。

目に見えた実経路は、 110° と長く、南の地平線より上に 51° から見えだし、天頂からわずかに西 1° を通過、北の地平線上の 19° で消えた。

残念なことに、シャッター切断は、この極端な領域において流星の非常に小さい角速度に起因する実経路の最後の 4° で切断されなかった。

観測地 No.9 での写真は、納得できないものである。

流星は北東の地平線より上の 30° であり、そして、それは比較して暗く、たった 15° の長さであった。

2.3 暫定の実経路

2 つの別々の観測地 (あるいは、それ以上) からの写真観測は、純粋な幾何学的方法によって大気圏での流星実経路を確定することを可能性にする。

2 つの方法は、平面の方法 (Ceplecha 1987) と直線の最小二乗法方法 (Borovicka 1990) として Ondrhov 天文台で、一般的に用いられている。

両方の方法は流星実経路が 100km を超えない短い実経路についての普通の流星という完全に通常の十分な前提条件である直線であると仮定する。本論文の流星について、これら標準的な方法は、近似の最初の段階だけ用いた。

それらは、流星が地球の表面の上約 100km の高さで南北方向にほぼ正確に移動したことがわかった。

観測された実経路は長さ 400km で、そして、最少値の高さ (さらに、“近地点” と呼ばれ

る)の点は写真撮影された実経路の中で起こった。

この流星の末端では、すでに地球から去っていく移動をしていた。

この予備的な計算は、流星の平均速度が 42km/s と得た、しかし、観測された飛跡中に 2km/s の速度のみかけの緩やかな増加が認められた。

この物理的に非現実的な作用は単純な幾何学に起因し、そして、それは体系的に間違った結果になった：

直線前提条件は不適切で、さらに、観測地 No.14 が流星実経路のほぼ真下にあったので、直線の傾斜が 観測地 No.9 の悪い観測の平均値を用いて最終確定された。

加速している速度の作用は標準の方法の枠組みの範囲内で除去できなかった。そして、それは特に近地点の計算された位置があり得ないことを指し示した。

セクション 3 に記述したまったく別々の方法は、それから、最終的な実経路を計算するために使用した。

暫定結果は、GVN Bulletin に出版された (Ceplecha et. al. 1991)。

2.4 物理的な特性

流星の明るさは、ほぼ一定だった。

明るさ、速度と高さがわかると、我々は流星体質量と減速を見積もることができる。

我々は、Ceplecha の論文 (1975) から、式(11)を使用した。

それから

$$m = (2I / \tau \sigma K \rho_a V^5)^{3/2} \quad (1)$$

I は、光の輝度 (絶対光度である $M = -2.5 \log I$) であり、 τ は発光効率であり、 σ がアブレーション係数である、 $K = \Gamma A \rho_m^{-2/3}$ は、形状-密度計数であり、 ρ_a は大気密度、V は流星体の速度、 Γ は抵抗係数、A は幾何学的な形状係数、そして、 ρ_m 流星体密度。

いろんな火球タイプについての Ceplecha (1988) による ρ_m と σ の値を仮定すると、火球タイプ I について $K = 0.5$ と仮定し、 $v = 42 \text{ km/s}$ に対して $\tau = 8.5 \times 10^{-13}$ (0 等級ユニットでの I についての組み合わせ： $M = -2.5 \log I$)

式(1)からのタイプ I 火球に対する質量は近地点で 44kg になり、そこで、絶対光度のスムーズな値は -6.25 であった。

タイプ II 火球に対する質量は、4.6kg、タイプ IIIA に対して 0.6kg、そして、タイプ IIIB に対して 0.07kg であろう。

発光方程式 (式 10、Ceplecha 1975) を使用して、我々が見つけ出すことができる

(2)式

ここで Δm が全体の溶発(蒸発)質量である。

この火球について $I dt = 2600$ (t は秒で、0 等級ユニットの I) で (2)式は $\Delta m = 0.35 \text{ kg}$ を与える。

この値は全ての火球タイプについて同じである。なぜなら、 σK に影響されないからである。

しかし、これは明らかに火球タイプ IIIA と IIIB を除く。

この火球の明るさの変化は、全体の写真に撮られた実経路の間、非常に小さかった (図 4 参照)。

直接、輝度の値を測った：

写り始めた点 $M = -5.57 \pm 0.21$ 、末端の点 $M = -6.15 \pm 0.21$ 、最大 $M = -6.45$ 。

もし、我々が写り始めと末端の点を省略するならば、スムーズな値である：

最大 -6.25 と最少 -5.96 ;

個々の測った点の標準偏差は、 ± 0.18 と ± 0.13 の間隔にすべてである。

平均絶対光度は、写真に撮られた実経路の間の 88 地点を測定し、 -6.11 ± 0.02 であった。

(もし、一例として地点を仮定した一定の輝度を測ったとして表すなら、 ± 0.18)

このように、輝度の変化は、我々の測定値の精度の限度であって、 ± 0.2 等級の範囲内で一定である。

速度の変化は、やはり小さい。

2 地点から直接導き出された値は十分に正確でない、しかし、我々は $v = 41.74 \pm 0.08 \text{ km/s}$ の一定の速度で 6.9 秒の時間間隔内でタイムマークの観測された 88 カ所に適合することができた (3.6.セクションを参照)。

末端の地点近くの若干の重要な減速の支持での誤差の系統的な変化がない。(図 2 を参照)

このように、本体は 3 の標準偏差の中でほぼ確かにその速度を保有した：

$41.74 \pm 0.24 \text{ km/s}$ 。

近地点点での空気抵抗減速は、Cepelcha の論文 (1975) の式 (1) から確定できる。

タイプ I 火球について我々が $dv/dt = -1.7 \text{ m/s}^2$ を持っている、それは、写真に撮影された実経路の 6.9 秒にわたって速度が測ることができたところの速度の全体の変化 $\Delta v = 0.012 \text{ km/s}$ に対応する。

タイプ II 火球について同じ量は、 $dv/dt = -5.3 \text{ m/s}^2$ と $\Delta v = 0.37 \text{ km/s}$ である。

このようにやはり、タイプ II 火球は除外される。

この火球による遠くの最大のかかなり確かな状態は 44kg の質量でタイプ I 本体 (隕石落下の火球) に相当する、そこから、だいたい 0.4kg は溶発<蒸発>した。

流星体は変化してしまった軌道そして隕石と同様の本体になったその表面を固められた融合外皮で地球のもとを去り、しかし、再び宇宙に旅だった。

3. 詳細な実経路計算

3.1 問題の記述

タイプ I 火球について、大気中の減速が無視してよかったので、運動は地球の重力分野における単にケプラー運動と同様に扱うことができる (2.4 を参照)。

我々は我々の計算においてタイプ I 火球との仮定をして、追認するこの前提条件を考えてみるだろう。もし、誤差の系統的な変更がないなら結果の発表をする。

地球の近くの重力フィールドは、地球の中心に位置づけられる質量と地球と月 (M で示す) の合計質量に属しているのと同様に考慮される。

残念なことに、実経路 (1/4) の短い一部だけが両方の観測地で記録されただけなので、実経路は、幾何学的に作成できなかった。

速度と軌道要素 (pericenter 最短距離と離心率) の間の物理的な関係式は、使用しなかった。

このように、観測地 No.14 からの観測された角速度は、実経路の決定に追加情報を提供し

た。

その場合速度が赤外線人工衛星によって直接測られ、そして、減速が非常に大きかったので、1972年8月の火球（Ceplecha 1979）の解が別々の問題を意味することに注意しなさい。

3.2. 軌道面

流星軌道の面、すなわち流星実経路と地球中心を含んでいる面は、直線の最小二乗法方法（Borovicka 1990）の解をとった。

この方法が実経路が直線であると仮定するけれども、実経路を含んでいる計算された面は、正しく考慮され、そして、カーブする実経路はこの平面で位置をきめる。

図 1. 円形に近いものでの流星体実経路

これは平面の解が、観測地 No.14 の観測にほぼ完全に依存した事実によって正当化される。そしてそれは 軌道平面に最もクローズし、実経路の湾曲がこの観測地から感知できなかった。

計算は、地球と共に回転しない座標系で実行した。

これは Coriolis コリオリの力を避け、そしてそれは相互回転座標系で観測可能な作用（～140 m 偏り）を生じるだろう。

観測地の座標は、このように時間に依存である。

3.3. 円形近似

本当の流星実経路は、方程式によって記述される軌道の平面の誇張表現である

$$r = (q(e+1) / (1+e\cos\theta)) \quad (3)$$

r が重心からの半径の距離である一方で、 θ は正しい近点離隔、 e が離心率、そして、 q が pericenter 近地点距離（perigee 近地点はここでは別の意味で使用している、Sect. 2.3 参照）である。

軌道速度 v は次による

$$v = \quad (4)$$

ここで、 G が重力定数であり、 M が地球と月の合計の質量であって、そして、 $a = q/(1-e)$ は、軌道長半径である。

大気圏外 ($r \rightarrow \infty$) の速度は、(5)である

$$v_{\infty} = \quad (5)$$

そして、近地点での速度は、(6)である

$$Vq = \quad (6)$$

式(3)と(4)を組み合わせて、本当の近点離角の関数のように速度を表すことができる：

$$v = (7)$$

近似値は、暫定の計算からわかる：

$$Vq \sim 40\text{km/s}, q \sim 6460 \text{ km.}$$

式(6)から $e \sim 25 < 2.5? >$ という結果になる。

流星は、 $l=500\text{km}$ より近地点から大きい距離で疑いなく観測されなかった。

このように、最大の正しい近点離角は、 $\theta_{\max} \sim 1/q \sim 0.077 = 4.4^\circ$ であった。

(7)式中の θ_{\max} に代えて、我々が 比率 $V_{\theta - \theta_{\max}} / vq$ が 0.99989 であることを見つけた、そのように観測された流星径路の端の速度が、たった 4m/s だけ近地点での速度と異なる。

これは、我々の観測の精度以下でよい。

流星速度は、その結果、全ての観測された実経路に沿って一定であると考えられた。

さらに、我々は近地点の間際に接触円で双曲線と入れ替えることができる。

円の半径は、(8)である

この近似の半径の距離（図 1 で三角形 COM から導き出された）は、以下の通りである

$$r = \quad (9)$$

異なる r 間は、(3)式から計算され、 r は、 $\theta = \theta_{\max}$ が 1メートル未満であり、(9)式から計算された。

次の部門で、我々は、もしそれが全部の写真撮影された実経路の間、一定の速度で周回軌道に沿って動くように流星体を考慮する。

これは、実経路のこの一部について、完全に十分な近似を保持している。

3.4. 角速度からの円形の実径路の決定

軌道平面の幾何学的な状況は、図 1 で示した。

円は地球を意味し、そして、円弧は流星体軌道の一部を意味する。

始めに、観測地 No.14 (S 地点) が地球の中心から距離 R で軌道の平面に正確に位置すると仮定しよう。

観測地に関連した近地点の位置は、角度 γ によって記述されている。

流星 (M 地点) の瞬時の位置は、接触円の中央における角度 ϕ によって記述されている。

観測地と流星間の距離は ρ であり、観測地から見られるように流星の位置は、角度 ϕ (“地心天頂距離”) によって記述している。

観測できる数量は、角度 ϕ である。

その時間依存関係は、流星映像のタイムマーク (切断) によって示される。

軌道要素を決定する指示の中に、パラメータの函数のように ϕ の理論上の変化を見つけ出さなければならない。

流星体速度 v が一定であるので、角度 Φ は時間と一直線に比例している：

$$\Phi = \Phi_0 + (v/K) t \quad (10)$$

Φ_0 は 0 時ポイント<近地点にあれば $\Phi=0$ >に依存する。

ϕ と ϕ の間で関係式を導き出すために、我々は軌道の平面 (図 1 を参照) の 2 つの補助長方形の座標系を、始めに、軌道の円 (x_1 (y_1 -システム)) の中央に、そして次に観測地 (x_2 , y_2 -システム) のものをセットした。

これらの 2 つのシステムの間関係式は、次にある

$$X2 = x1 - R \cos \gamma \quad (K - q)$$

$$y2 = y1 + R \sin \gamma \quad (11)$$

最初のシステムの流星体の位置は、次にある

$$x1 = K \cos \phi$$

$$y1 \text{ は、} =K、\phi \quad (12)$$

そして、二番目のシステムで

$$x2 =$$

$$y2 = \quad (13)$$

Eqs. (11)-(13)からの $x1, y1, x2, y2$ を除いて—我々は、次の関係式を得る：

$$\phi = \quad (14)$$

$$\rho = \quad (15)$$

式(14) ϕ によって、 ϕ に変換できる。

反比例関係は、同様に有益である。

それは、式(14)から直接得られる：

$$\sin \phi = \quad (16)$$

一方で

$P =$

流星が観測地の地心頂点を通過するとき、その時をゼロの時刻にセットした。

式(10)の角度 ϕ は、 $\phi = 0$ に対して式(16)から計算できる。

式(10)の速度 v は、式(6)と(8)によって与えられる：

$$v = \quad (17)$$

ϕ の理論上の値は、軌道面にある流星実経路を明確にする 3 つの未知の要素 K 、 q と γ に従い、観測した流星実経路上のタイムマークに対応する個々の時間 t に対して式(10)、(14)からただちに計算できる。

タイムマークが n あって、我々は 3 つの未知の要素に対する n の状況を持っており、そして、 K 、 q 、 γ 最良値は、最小二乗法の直線でない方法で見つける事ができた（パラメータの増加について線形にして、変化しているパラメータによって近似方法を使用して、パラメータの新しい値を得るのに、個々のステップを増やす。）

実際、観測地が必ずしも軌道の平面にないので、我々は直接角度 ϕ を観測できない。

さらに、観測地は地球が回転するのと同様に動いている。

しかし、軌道の平面からの観測地の距離 D は、個々の時間に対してわかっている。

それと本当に交差（実際、流星が出現したときに観測地はちょうど軌道の平面と交差した）し、そして、軌道の平面が南北方向で東向きにされたので、観測地は軌道平面をほぼ垂直に横切らせた。

図 1 の点 S は軌道の平面に観測地の投射をその時に意味し、そして、角度 γ は一定であると考える。

観測地が、平面に垂直な点 S からの距離 D である。

式(14)から計算される角度 ϕ は、公式に従って本当の地心の天頂距離 z に変換ができる

$$\cos z = \quad (18)$$

式(15)によって ρ が得られ、 Rc が観測地の地球半径で、その一方で、 R はその時の地球

中心から S 地点の距離である。:

$$R = \quad \quad \quad (19)$$

このように、最小二乗法の方法は、同様に ϕ の代わりに角度 z に応用することができる。

図 2。

観測からと計算からの観測地 No.14 での火球の地心天頂距離

図 3。

観測地 No.9 での赤道座標における観測 (×) と計算 (線) での火球径路

3.5 追加の距離スケール

前のパラグラフ段落で記述される方法は、観測地 No.14 からのデータに対して使った。

これは、部分的に成功しているだけだった。

近地点 (角度 γ) の位置が明快に決定されるのに対して、その他の 2 つの要素はいまだ明らかにされていなかった。

しかし、これは驚くべきでない。

我々が角速度だけを使用したように、流星が小さい速度あるいは、より大きい距離と高速で短距離内を動くかどうかに関係なく、方法はほとんど決めることができない。

とても正確な観測は、角速度変化だけから距離を導き出すことが必要だった。

距離スケールを持ってくるために、我々は再び二番目の観測地 (No.9) から、観測の向きを変えねばならなかった。

観測地 No.9 からの観測で平均流星経路上の点は重要な点として使った。

この点に相当している方向は軌道の平面内で点を定義し、軌道は接近して通過しなければならない。

この支持する点に算出された観測値 S からの距離 ρ R と 対応する角度 ϕ R は計算し、 ρ (ϕ R) は を支持することへの計画された場所 S からの距離 ρ R に可能性の近い同様には、追加の状況が最小二乗法の方法で造られる。

函数 ρ (ϕ) は利用できない、しかし、 ρ は連続して公式 (16) と (15) を使用して ϕ によって ϕ から計算できる。

天頂距離と距離 ρ R が別々の単位 (それぞれラジアンとキロメートル) で正確に計っているので、最小二乗法の方法の状態のシステムは現在 “heterogeneous ヘテロジーニアス・異質” になる。

最終の状態の重みは、1 から一般に別々でなければならない。

実際、我々はそのウエイトを変化さすことによって、最終の状態の “strength 強さ” に影響させられる。

値 10^{-4} は適切なようである、そして、それはかなり確実であることがわかった。

追加の状態の序論が近地点位置と実経路湾曲の可能性値を制限しないことに注意しな

い。

それらは、角速度によってやはり決定される。

しかし、ただある支持している点は認められる。

さらに点は実経路形状をあらかじめ決めるだろう。

我々は、観測地 No.9 からの観測された流星飛跡の傾斜が全く正しくないということを知っている。

標準の方法が使用されたとき、この事実は見かけの速度増加になった。

たった今、1 点は正しくなければならない。

その結果、重要な点とそれから我々が結果として生じる実経路を比較したように、個々の正確に計った点で、それらが観測地 No.9 から目に見えなければならぬように、我々は平均的経路に沿って別々の点をためした。

最良の適合する実経路は最終的な解として選ばれた。

18 の正確に計った点は 写り終わりの飛跡の測定値 ($\pm 0.03^\circ$) のエラーの範囲内にあり、2 点だけは、より大きい偏り (0.1°) があつた。

流星飛跡がかすかで、そして、それらの偏りが測定値のエラーに起因する疑う余地がないところで、両方の悪い点は観測された経路の写り始めに場所を突き止められる。

従って、我々は両方の観測地から観測と一致している予想される特性 (一定の速度、円形の実経路) の解を見つけ出した。

これは、図 2 と 3 の中で実証した。

図 2 は、観測所 No.14 から天頂距離の観測と計算によるコースを比較したものである。

図 3 は、この観測地から見られるように、最終的な軌道と比較して観測地 No.9 での位置測定値を示す。

3.6. 最終的な軌道

最小二乗法解は、要素 K 、 q と γ ($K = 180\,400\text{ km}$, $q = 6463.8\text{ km}$, $\gamma = 1.766^\circ$) を与えた。

軌道の平面解 (3.2 を参照) は、地心軌道 i の傾斜角と昇交点 Ω の赤経を定義した。

速度は、式 (17) と (8) からの離心率によって計算した。

近地点の引数 (ω) は、観測地 No.14 の位置と角度 γ から得られた。

結果として生じた地球中心の軌道の要素は、表 1 にまとめた。

表 1. 地球中心の軌道

近地点距離

離心率

近地点の引数

昇交点の赤経

傾斜角

近地点通過

近地点での速度

実経路の観測された部分のいくつかの重要な点の地理的座標は、表 2 に示した。

そのうえ、絶対光度対時間は、個々の正確に計った点に対して図 4 に示した。

時間は、高さの 120km 下で 10m の本質的な精度で 適合している公式 $h = 98.672 + 0.12958 \cdot (t - 4.258)^2$ によって、高さに変換できる。

実経路の写真で撮られた部分は、チェコスロバキアの Zlin からポーランドの Poznan に及んでいる。

我々は、火球が 110km の高さで南バルト海の上にやはり目に見えることができたと思う。

表 2。実経路の観測された部分の重要な点の相対的な時間、地理座標と絶対光度
写り始め(発光点)

初期速度点

観測地 No.14

近地点

近地点

末端速度点

写り終わり(消滅点)

観測地 No.14 で天頂に最も近い点

地球との遭遇の前後の日心軌道は、同様に計算した。

地球の影響が除去される時、地球中心の双曲線の漸近線は地球と比較して地球の位置で流星体飛行の方向を定義する。

asymptotic 本当の近点離角が与えられる

図 4。

時間の関数と同様に、絶対光度を測った。

少数のスムーズな変動は指し示される、しかし、それは重要でない。

$$\cos \theta_{\infty} = -(1/e) \quad (20)$$

(式(3)を参照)。

輻射点あるいは、非輻射点 $\alpha \delta$ の赤道の座標 (すなわち漸近線の方向) は次による

$$\sin \delta \quad (21)$$

$$\sin(\alpha - \Omega)$$

そこで上の sin が輻射点にあてはまる。

($\omega + \theta_{\infty}$ が π より大きいならば、式 (21) はわずかに変換されなければならない)。

式(5)から計算した速度 V_{∞} と α と δ は、Cepplecha (1987) の論文からそれぞれ、数量 αG 、 δG と VG (地球中心の輻射点と速度) の相当物である。

日心軌道は、同じ論文により計算された。

結果は、表 3 に示している。

長半径は遭遇の後、減少し、そして、軌道傾斜角、それはすでにかなり大きかったがわず

かに増大した。

— -----

表 3。

日進軌道 (1950.0)

遭遇の前

遭遇の後、

— -----

4. 結論

我々は、1990年の10月13日火球に関する完全なデータをここに発表する。

これは、同時写真測を使った最初のアースグレイジング火球である。

その質量は約 44kg であり、そして、それは大気中のアブレーションによってわずかに変わっただけだった。

流星体は、その質量の 0.35kg だけを失っていて、隕石のような固められた融合外層を形成し、変化した軌道にて地球を去っていった。

アースグレイジング流星は、特にまれではない。

地球の大気圏に突入する流星体の約 0.7%は、表面より上 70km と 120km の間の高さで近地点での実経路がある。

地球との遭遇で生き残るための可能性は 流星体質量、小型性と速度に依存する。

しかし、それらが大気圏の密度の濃くない層を動くので、この種の流星体はとにかくかすかである。

例えば、それが地表面に (41km の高さで-14.6 等、1 グラム以下の質量で 29km の高さで終わっている) 垂直に飛んで行くなれば、ここで発表する火球はほぼ-15 絶対光度に達するだろう。

もちろん、1972年8月10日の火球は、非常に特別なケースであった。

現在の火球の実経路の決定のために開発された方法は、より多方面にわたり使うことができた。

その基礎的な形式で、ケプラー運動に対して角速度測定値から近地点位置を計算することができた。

参考文献