

10月りゅう座流星群（ジャコビニ群）の2011年の出現予報時刻と 実際の観測値の差に対する考察

佐藤幹哉^{*1}

Examination of the difference between prediction
and observation peak time
about October Draconids (Giacobinids) in 2011
Mikiya Sato^{*1}

10月りゅう座流星群の2011年の出現が複数の研究者によって予測された。実際に、予測に近い極大が観測されたが、予測自体には約40分のばらつきがあり、精度があまり良くないと判断された。この原因として、使用した母天体の軌道要素の差違が考えられるため、これについて検討を行った。その結果、極大予測には、軌道要素の差異はほとんど影響せず、実際の観測結果に非常に近い結果を導き出すことが判明した。

一方で、筆者の以前のシミュレーション結果と、今回の結果との間に矛盾が生じたため、これについて精査を行った。その結果、以前の使用した軌道要素の元期の処理が正しくなかったことが判明した。正しく行われたシミュレーション結果は、実際の観測結果をよく表せている可能性が高い。

I イントロダクション

1. 10月りゅう座流星群

10月りゅう座流星群（旧ジャコビニ流星群）は、ジャコビニ・ツィナー彗星（21P/Giacobini-Zinner）を母天体とする流星群である。母天体の回帰時期の前後に時折活発となり、過去には1933年と1946年に活発な流星雨が観測されている。ところが、1972年には非常に観測条件が良いと予想されながらも不出現に終わったり、反対に、観測条件が悪いと予想された1985年や1998年に突発的な多い出現が観測されたりするなど、かつては、出現予報が困難な流星群だと考えられていた。

2. ダスト・トレイル理論による予測

一方で、ダスト・トレイル理論という新たな手法による予測研究が行われ、1998年頃からのしし座流星群の出現予報が報告されるようになった（McNaught & Asher 1999）。実際に2001年や2002年の流星雨がほぼ予報通りに出現し、流星群の予測が可能となってきている。

その後、ダスト・トレイル理論を用いた研究は、しし座流星群以外の流星群でも適用されるようになった。筆者は、10月りゅう座流星群の1998年の突発出現および1999年中規模出現について検証を行い、ほぼ理論通りに出現したことを報告している（Sato 2003）。

3. 2011年の出現予測

2011年には、10月りゅう座流星群の出現予測が複数の

研究者によって報告された（Vaubailon, Watanabe, Sato et al. 2011, Maslov 2011, Vaubailon, Sato, Moser et al. 2011）。表1にこれらの予報の概略をまとめた。この流星群についての予測が報告されたのは、ダスト・トレイル理論による予報研究がなされて以来、初めてのことである。これらの予報に基づき、世界的規模で観測が計画・実施された。その結果、実際にこの流星群の活発な出現が観測された。筆者も、ウズベキスタンのマイダナク天文台にて、この観測に臨み、ほぼ予報通りの出現を検出している。

4. 出現予測のばらつき

一方で、主極大（1900年に放出したダストが形成したダスト・トレイルによる出現）の予報時刻は、各研究者によって若干のばらつきが見られた。範囲は、10月8日19:57から20:36（世界時）に渡り、その時間幅は約40分であった。

実際の観測では、速報値として20:12の極大が報告されている（IMO 2011, web）。これは、結果的に予測値のばらつきの中央近くであった。この予測の精度は、観測に臨む準備面からみた場合には十分な精度であったが、研究面から考えると、良い精度ではないと判断できる。このばらつきの一因として、使用している軌道要素の違いにあるのではないかと考えた。今回の主極大を形成したダスト・トレイルは、母天体のジャコビニ・ツィナー彗星（21P/Giacobini-Zinner）が発見された1900年にダストが放出されて、形成されたものである。当時の観測精度を考えると、位置観測の採用の是非等によって、計算される軌道が異なる可能性があるからである。そこで本論文の目的は、1900年の軌道要素を複数使用して2011年の極大時刻を計算し、これを実際の観測結果と比較し、その結果より観測結果に近い極大時刻となる軌道要素を見出すことに設定した。

^{*1}川崎市青少年科学館

表 1 各研究者による極大予測結果

研究者	第一極大(副極大)			第二極大(主極大)		
	トレイル (放出年)	時刻 (世界時)	予想 ZHR	トレイル (放出年)	時刻 (世界時)	予想 ZHR
Jeremie Vaubaillon ¹⁾	1873~1894	17:09	~60?	1900	19:57	~600
Danielle Moser ²⁾		15:00		-	19:52	~750
Esko Lyytinen ²⁾	1887	17:02	16	1900	20:12	150
Mikhail Maslov ³⁾	1894	18:06	8	1900	20:13	40~50
筆者 ¹⁾	1887	17:05	75	1900	20:36	520

1) Vaubaillon, Watanabe, Sato et al. 2011, 2) Vaubaillon, Sato, Moser et al. 2011, 3) Maslov 2011

II 研究手法

1. シミュレーション計算

ダスト・トレイルの位置のシミュレーション計算は、最も単純なダスト・トレイル理論の手法によった。母天体からのダスト(流星体)の放出時期は、近日点通過時に1回とした。ダストの放出方向は、近日点における母天体の運動方向及びその反対方向とした。ダストの放出速度は、 $-20\text{m/sec} \sim +20\text{m/sec}$ (マイナスは、母天体の運動方向の逆方向、プラスは、母天体の運動方向)に設定し、この範囲内で2011年に回帰するダスト・トレイルを見出すことにした。摂動計算には、8惑星、冥王星、3小惑星(ケレス・パラス・ベスタ)、月の重力を考慮した。なお、太陽の光圧の影響は考慮しなかった。

2. 軌道要素

使用した軌道要素を表2にまとめた。

III 結果

シミュレーション結果を表3に示した。なおfM値は、ダスト・トレイルの引き伸ばされ具合の目安で、接近するトレイルの部分について、実際に黄道面を通過する時間を Δt_0 、同部分が惑星による摂動が無いと仮定したときの1回帰後に黄道面を通過する時間を Δt としたとき、以下の式(1)によって求められる。

$$fM = \Delta t_0 / \Delta t \quad \dots \text{式 (1)}$$

惑星の摂動が無いと仮定した場合、n回帰後のfM値は、 $1/n$ となる。

計算した3種類の軌道要素毎のシミュレーション結果には、ほとんど差が見られなかった。すなわち、極大時刻は約1分以内で一致し、地球軌道との距離も0.00001AU以内で一致した。fM値についても完全に一致し、すなわち出現規模の予測値にも差がない結果となった。

前節でも述べたとおり、本群の実際の観測から得られた10月りゅう座流星群の極大(速報値)は、2011年10月8日20:12(UT)であった。したがって、今回得られた結果は、約3分の精度で実際の観測と一致することが判明した。この結果は、非常に高い精度で計算できたと判断できる。

IV 考察

1. 1900年放出ダスト・トレイルについて

今回の結果から、軌道要素の差に関わらず、非常に高い精度で2011年の10月りゅう座流星群の極大をシミュレーションできることが判明した。

表 2 計算に使用した軌道要素

	軌道要素 1	軌道要素 2	軌道要素 3
近日点通過 (T)	1900 Nov 28.49587	1900 Nov 28.49650	1900 Nov 28.50300
近日点距離 (q) AU	0.9315160	0.931516	0.9315163
離心率 (e)	0.7315644	0.731570	0.7315674
近日点引数 (ω) °	171.04558	171.0457	171.04561
昇交点黄経 (Ω) °	198.13622	198.1360	198.13599
軌道傾斜 (i) °	29.82922	29.8295	29.82954
元期	1900 Dec 7	1900 Dec 7	1900 Dec 7
出典	1)	2)	3)

1) Kinoshita 2011, <http://jcometobs.web.fc2.com/pcmtn/0021p.htm>

2) JPL 2011, Small-Body Database Browser, <http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi>

3) MPC 2011, Minor Planet & Comet Ephemeris Service, <http://www.minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html>

表 3 結果

	極大		太陽黄経 ²⁾	$\Delta r^{3)}$ (AU)	放出速度 (m/s)	fM
	日付 ¹⁾	時刻 ¹⁾				
軌道要素 1	2011 Oct 08.84	20:09	195.0358	-0.00137	+8.27	0.052
軌道要素 2	2011 Oct 08.84	20:10	195.0360	-0.00137	+8.34	0.052
軌道要素 3	2011 Oct 08.84	20:09	195.0358	-0.00136	+8.30	0.052

1) 世界時, 2) J2000.0 (2000.0 年分点), 3) ダスト・トレイルの降交点における地球軌道との距離

一方で、筆者は Vaubaillon, Watanabe, Sato et al. 2011 の中で、その極大の予報時刻を 10 月 8 日 20:36 として報告している。これは、表 2 の軌道要素 1 を使用して計算した結果であり、今回の結果と矛盾する。そこで、以前の計算手法を精査したところ、使用した軌道要素の元期を処理する段階で、正しくない処理がされていることが判明した。表 2 に示したとおり、軌道要素の元期は、一般的に近日点と一致しない日付となっている。このため、母天体の近日点通過時の正確な軌道要素は、元期を近日点通過時に変換して求めなければならない。しかしながら、この段階の処理が正しくないことが判明した。

実際の観測との差によって、シミュレーションについての精査ができたことは、有意義なことであった。

2. 1900 年以外の年に放出されたダスト・トレイル

今回の結果を得たため、1900 年に放出したダストが形成するダスト・トレイルだけではなく、他のダスト・トレイルについても再度計算を実施した。その結果を表 4 にまとめた。計算には、軌道要素 2 と同じ出展の軌道要素を使用した。

また、国際流星機構 (IMO) の観測結果と、新たに計算した結果の極大予測との関係を図 1 に示した。この図からも、1900 年放出ダスト・トレイルによる主極大が観測されたことがよくわかる。またこの他、1887 年や 1894 年に放出されたダストが形成したダスト・トレイルによっても、なんらかの活動が存在する可能性がうかがわれる結果となった。

V 結論

10 月りゅう座流星群 (ジャコビニ群) の 2011 年の出現において、実際の観測結果に対して予報時刻がばらばらであったことに対する原因を、シミュレーション計算に使用した軌道要素の差違として検討を行った。その結果、

軌道要素の差異による大きな差は見られないことが判明した。また、どの軌道要素を使用しても、実際の観測結果とよく一致する極大時刻の予測結果を得られた。

その一方で、筆者の過去の計算結果と、今回の計算結果に矛盾が生じていることが判明した。精査した結果、過去の計算においては、軌道要素の元期の処理に誤りがあったことが判明した。結果的に、実際の観測結果とシミュレーション結果の極大時刻の差を吟味する本研究によって、この計算上の誤りを検出することにつながった。正しく行われたシミュレーション計算結果は、実際の観測結果をよく表現している可能性が高い。

表 4 2011 年に接近するダスト・トレイル

トレイル (放出年)	極大		太陽黄経 ²⁾	$\Delta r^{3)}$ (AU)	放出速度 (m/s)	fM
	日付 ¹⁾	時刻 ¹⁾				
1880	2011 Oct 08.69	16:31	194.8861	-0.00178	+1.24	0.0045
1887	2011 Oct 08.71	17:00	194.9062	-0.00088	+1.59	0.0078
1894	2011 Oct 08.75	18:02	194.9487	+0.00108	+2.31	0.013
1900	2011 Oct 08.84	20:10	195.0360	-0.00137	+8.34	0.052

1) 世界時, 2) J2000.0 (2000.0 年分点), 3) ダスト・トレイルの降交点における地球軌道との距離

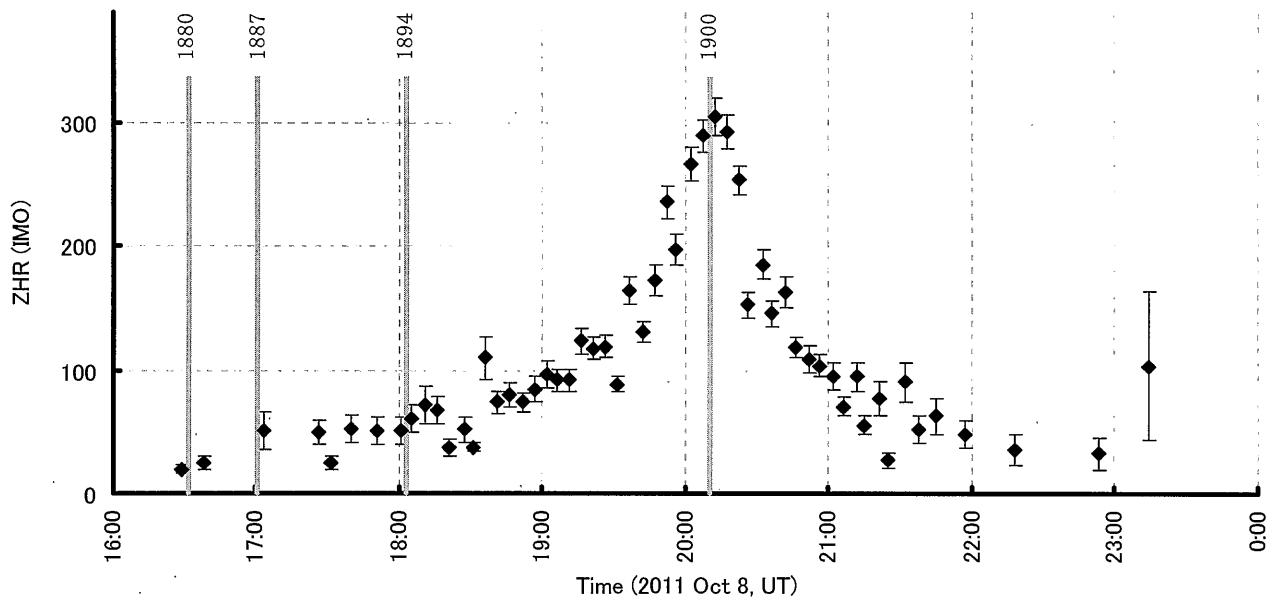


図1 実際の観測からの集計結果¹⁾と予報極大²⁾の比較

1) IMO 2011, web, 2) 数字は各ダスト・トレイルのダストの放出年を示す。

VI 参考文献

IMO 2011, web,

<http://www.imo.net/live/draconids2011/>

Maslov 2011, WGN (Journal of IMO), Vol. 39, No. 3,
p. 64-67

McNaught & Asher 1999, WGN (Journal of IMO), Vol. 27,
No. 2, p. 85-102

Sato 2003, WGN (Journal of IMO), Vol. 31, No. 2,
p. 59-63

Vaubailon, Sato, Moser et al. 2011, CBET No. 2819

Vaubailon, Watanabe, Sato et al. 2011, WGN (Journal
of IMO), Vol. 39, No. 3, p. 59-63