

東京大学木曾観測所夜天光全天カメラに 記録されていた2001年しし座流星群



吉田英人

〈東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1〉
e-mail: yoshida@eps.s.u-tokyo.ac.jp

東京大学木曾観測所に設置されていた夜天光全天カメラは、2001年に大出現したしし座流星群の活動の時間変化を完全に記録していたが未公開であった。このたび当時フィルムで記録されていたものをデジタル化して観測所ホームページで公開したので、デジタル化の作業を含めて紹介する。これらの画像は科学的記録としてだけでなく、広報普及活動にも役立つであろう。

1. はじめに

2001年のしし座流星群は、日本時間の11月18日夜半から19日明け方にかけて活発に、かつ長時間にわたり活動した（以下すべて日本時間）。特に19日3時15分前後にはZHR（Zenithal Hourly Rate: 1人の観測者が、雲がなく6.5等星まで見える空で、放射点が天頂にあるときに観測できる1時間当たりの流星数）に換算して約4,500個の流星が出現し[1]、その光景に驚嘆しつつ神秘性や荘厳さをも感じさせる天文現象であった。

この流星群は、思いがけない光景を目のあたりにして胸が高鳴る感動を誰にでも与えた天文現象であるとともに、天文学的には彗星から放出されたダストの力学進化の研究を進展させたことでも特筆すべき天文現象であった[2]。

この長時間の活動の様子が、快晴に恵まれた東京大学木曾観測所の夜天光全天カメラに記録されていた。このカメラの画像は視野180度なので、全天に現れる多くの流星をとらえることができ、流星群の活動変化の様子や天球の一点から流星が流れ出す群流星の特徴が一目瞭然に認識できる。そこで、この希有な流星群の活動をとらえたフィルム写真の画質の劣化や消失を防ぎ、かつ貴重な

映像記録として後世に残し、さらに天文関係者以外にも興味を持っていただきたく、当時フィルムに撮影されていたものをデジタル化しアーカイブとして残すことにしたので、ここに報告する。

2. 日本では300年ぶりの大出現

しし座流星群の母彗星は、周期約33.2年の55P/Tempel-Tuttle彗星である[3]。ということは母彗星が回帰するたびにその前後の年も含め活発な活動が期待されるはずであるが、実際はそうではない。日本でのしし座流星群の大出現は、ZHR値は定かでないが、文献に記録が残るものでは967, 1002, 1035, 1037, 1237, 1238, 1466, 1533, そして1698年だけである[4]。2001年の大出現は有史以来10回目であった。特に活動ピーク時のZHRで1,000個以上観測されたのは、科学的観測がなされるようになった近年では1833年の北アメリカでの出現（ZHR: 60,000）、1866年の北アメリカとヨーロッパでの出現（ZHR: 6,000～10,000）、1966年のアメリカでの出現（ZHR: 80,000～100,000）、1998年の西アジア、ヨーロッパ、北部アフリカでの出現（ZHR: 3,700）だけであり、日本ではこれまで観測されていなかった[5,6]。この希有な天文現象が日本でこの年見ら

れた理由はいくつかある。

まず、彗星が近日点通過近傍で放出したダストの中でも放出速度が遅い比較的大きな粒子は、彗星の前後の公転軌道に拡散せずにチューブ状の細長く伸びたダスト・トレイルとして存在する [7]。ダスト・トレイル理論によれば、母彗星が回帰するたびに形成された生成時期が異なるそれぞれのダスト・トレイルの軌道は、惑星からの摂動の受け方も違うので一緒ではなくなり、母彗星の公転軌道に沿って複数存在することになる。このダスト・トレイルのいずれかに地球が接近しなければ大出現は起こらないのである [2]。そしてこの日はまさに、いくつかのダスト・トレイルに地球が接近することが予測されていた [8-10]。

次に、当然であるが活動のピークが観測地点では夜間でなければならない。1999年のしし座流星群の活動を、ダスト・トレイル理論で計算したピーク時刻と観測された活動ピーク時刻の差を10分以内の精度で予測を成功させた実績から [2]、2001年の活動ピーク時の観測最適地の一つは夜間となる東アジアであることが予測された [8-10]。ついに夜間の日本で活動ピークを迎える可能性が大いに高まったのである。

最後に、月明かりがなかったことである。この日の月齢は3であったため、しし座流星群の放射点が上る前にすでに沈んでいる好条件であった。

ダストの挙動の研究が進んだことにより予測は成功し、さらに幸いにも快晴であったので、日本では都会でさえ見ることができる有史以来10回目、科学的観測が行われるようになってからは初めてとなる大出現に遭遇できたのである。

3. 夜天光全天カメラとは

東京大学木曾観測所では1977年から2004年まで夜天光全天カメラが主に天候をモニターする目的で運用された (図1) [11]。カメラはNikon F2で、レンズは現在では手に入らないNikkor f=8 mm F2.8である。レンズカバーにはIn₂O₃が

コーティングされており電流を流すことにより結露しない仕組みになっている。フィルムはFuji-film SSS (Neopan ISO-400) で露光時間は1時間である [11]。

通常上記の構成では火球といわれる特に明るい流星 (おおむね-4等級以上のもの) の出現を全天にわたり監視・記録するのに適している [12]。しし座流星群の場合、母彗星の軌道傾斜角が162度と逆行軌道なので [3] 地球とはほぼ正面衝突することとなり、大気圏突入前の流星の速さは70.7 km/秒と速く、小さな粒子でも明るく発光する [13]。加えて夜天光全天カメラのレンズは焦点距離が短いため長い焦点距離のものに比べフィルム上での流星の光路が短く、動きが遅くなるので感光しやすくなり、多くの流星を記録できると期待される。

なお夜天光自体は大気光、黄道光、星野光、銀河散乱光、銀河系外光からなり、それぞれが多く情報を持っている。例えば大気光は太陽活動を反映した地球の超高層大気の物理的状態の情報をもたらしてくれる [11, 14]。

4. フィルムのデジタル化

フィルムの保存状態は良好であるが、20年近く経過しているので長巻の直交方向にも顕著な反りを帯びてかまぼこ状になっていた。さらにループで確認できるくらいのゴミが付着していた。そこでまず、確認できるゴミはブロワーで払い、何度も確認を行った。それでも取れないゴミは、無理にとるとフィルムを傷つけるのでそのままとした。もしカビが生えていたり、大きな汚れがあったりした場合は水洗いをして乾燥させるか、市販のフィルムクリーナーを用いるのがよいだろう。

フィルムのデジタル化には木曾観測所のA3判フラットベットスキャナー EPSON ES-G11000を用いた。まずスキャナーのガラス面をキムワイブに無水エタノールを含ませて拭く。次にフィルムのセットであるが、フィルムの反りが強いので附



図1 夜天光観測装置。
左側から全天カメラ，大気光天頂測光器，夜
光分光器（提供：木曾観測所）。

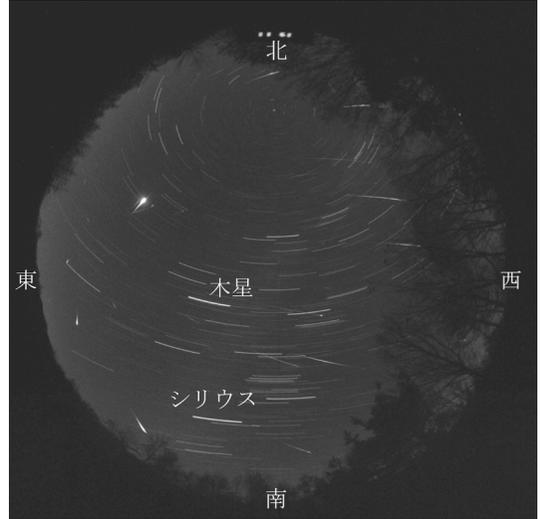


図2 2001年11月19日1時から2時までの撮影像。東
側にしし座が昇ってきている。しし座から離
れたところに出現した流星は放射点が低い
ので長経路の流星として記録されている様子
がよくわかる。

属のフィルムホルダーを使っても全面が水平にならないため、薄い定規を原稿台の長辺に平行にセットしてガイド代わりに使用した。これでフィルムが斜めにセットされることはなくなるうえ、全面を原稿台にほぼ密着させることができる。フィルムの上からガラス板を置く方法もあるが、この場合はモアレ（網目状の模様）が現れてしまう。スキャナーには画像処理でこれを除去する機能はあるが、解像度を上げたときに必ずしも除去しきれない場合がある。次の作業は、フィルムが完全に原稿台に密着していない可能性があるので焦点の確認作業である。このスキャナーには焦点位置を変更できる機能があるので、これを利用してシャープな像が得られるように調整を行った。こうした作業のあと画像データ 8 bit、解像度 3,200 dpi でデジタル化を行った。どんなに気をつけても静電気の影響で新たにゴミが付着してしまっている場合があるので、デジタル化した画像を拡大して確認を行う。例えば一見すると流星のように見えても、写った光跡が不自然なものや暗い静止流星のように写っているものもあり、このような場合はもう一度ブロワーでゴミを払い再びデジタル化すると消えている場合がある。このようにゴ

ミの除去ができるまで何度も繰り返したが、完全に除去しきれしていない部分もわずかに残っている。

5. デジタル画像の公表

デジタル化した画像は、木曾観測所のホームページトップの「画像のご使用」にあるのでご覧いただきたい [15]。ここには2001年11月19日1時から5時まで1時間毎の撮影像が掲載されている。画像をクリックすることで拡大して見ることができる。ご使用のモニターがきちんと調整されていないと暗い流星は見えないので注意が必要である。一例として2001年11月19日1時から2時までの撮影像を図2に示す。なお画像の上部が北である。

掲載されている画像には写真等級で3等級の流星から写っている（実視等級へは変換が必要 [12]）。流星以外でこれらの視野中最も明るいのは木星である（この時の光度は -2.6 等）。それより明るい流星はいずれの時間帯でも出現してい

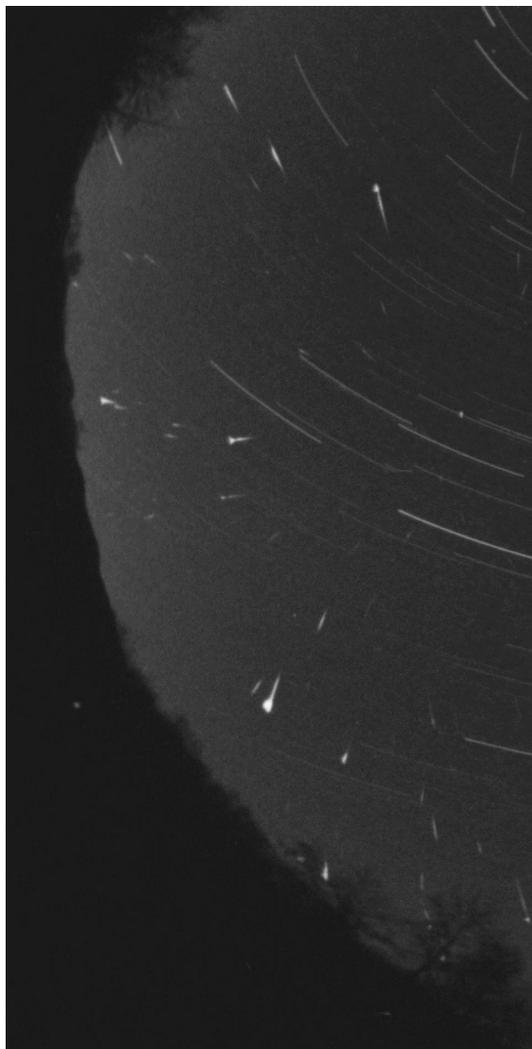


図3 2001年11月19日3時から4時までの撮影像の一部。中央右側の最も明るい光跡はしし座のレグルス。流星が放射状に流れている様子がよくわかる。

るが、木星の明るさより暗い流星の数は時間が経つにつれ増えていくことがわかるであろう。特に3時から4時のときは最多となる。これは周期33.2年の55P/Tempel-Tuttle彗星が回帰するたびに放出したダストの中でも1699年と1866年に形成されたダスト・トレイルに地球が遭遇したためである[8-10]。また放射点を中心に流星が流れている様子がよくわかる(図3)。このことは次の4

時から5時の画像でも確認できる。さらに4時から5時の画像では東側に黄道光も映り込んでいる。古いダストが最後に定置した場所で太陽光に照らされた淡い光と新鮮なダストが発する鮮烈な光と、時にはダストの軌道に大きな影響を及ぼす木星[16]の光を重層的に関連づけて見ることで、より深い興味が得られるであろう

これらの画像は木曾観測所に届けを提出し、クレジットを標記していただければどなたでも使用できる。最後に留意点を述べておく。それぞれの画像は前述の通りフィルムが反っているのも、同じ画角で切り出しているが若干画素数が異なる。そのため単なる重ね合わせの合成はできない。

6. おわりに

流星を観測することは、太陽系内のダストの分布を知ることだけでなく、その起源や組成を明らかにすることにより彗星や小惑星の活動進化を推定するうえでも重要である。さらに黄道光を形成するダストがどのように供給されるのか、そのメカニズムを明らかにすることにもつながる。一方近年、彗星起源のダストや隕石中から有機物が発見されている[17,18]。10月りゅう座流星群の母天体である21P/Gacobini-Zinner彗星からは有機物が見いだされている[19]。これらのことから流星が生命の起源を運ぶ一つの候補者となりえることが提案されているが、地球大気を通過する流星から有機物の存在はまだ観測されていない。さらに2017年には恒星間天体が発見された[20]。太陽系内にどれくらい太陽系外の物質が流入しているのかを知ることは重要な問題である。流星の電波観測では、観測された全体の約1%を占める対地速度100 km/秒以上の流星は、太陽系外起源の星間塵であるとされている[21]。ところがこのことはまだ十分に確認されていない。

こうした様々な問題を解決するためにも、多くの観察記録を蓄積していくことが大切である。そしてここで紹介した画像は流星科学の記録として

だけではなく、ぜひ広報普及活動にも活用していただき、多くの方が天文学への興味を喚起するきっかけになれば幸甚である。

謝 辞

木曾観測所では長年観測所を支えてきた所員が次々と定年を迎えている。このままだと貴重な記録が埋もれてしまうかもしれないので、僭越ながらこの作業をさせていただいた。申し出に快く承諾していただき、原稿も読んでくださった小林尚人木曾観測所所長、高度なフィルム現像技術を持ち長年観測所の維持に貢献してきた樽澤賢一技術専門員、そしてウェブサイト上で見やすい工夫をしていただいた森由貴特任専門職員。以上の方々に感謝申し上げる次第である。

参考文献

- [1] Ogawa, H., & Uchiyama, S., 2001, WGN, 29, 206
- [2] Watanabe, J., 2004, Earth Moon Planets, 95, 49
- [3] Yeomans, D. K., 1981, Icarus, 47, 492
- [4] 渡部潤一, 1998, しし座流星雨がやってくる (誠文堂新光社), 202
- [5] Brown, P., 1999, Icarus, 138, 287
- [6] Arlt, R., et al., 1999, WGN, 27, 286
- [7] Sykes, V. M., et al., 1986, Science, 232, 1115
- [8] McNaught, R. H., & Asher, D. J., 2001 WGN, 29, 156
- [9] Lyytinen, E., et al., 2001, WGN, 29, 110
- [10] Jenniskens, P., 2001, WGN, 29, 165
- [11] 田鍋浩義, ほか, 1991, 国立天文台報, 1, 309
- [12] Miyashita, A., et al., 2009, Publ. Natl. Astron. Obs. Japan, 12, 11
- [13] Jacchia, L. G., et al., 1967, Smithsonian Contrib. As-

trophys., 10, 1

- [14] 永田武, 等松隆夫, 1973, 物理科学選書6超高層大気の物理学 (裳華房), 300
- [15] <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/IMAGES/pics/SOLAR/leonids2001.html> (2020.8.21)
- [16] Asher, D. J., et al., 1999, MNRAS, 304, L53
- [17] Elsila, J. E., et al., 2009, Meteorit. Planet. Sci., 44, Nr9, 1323
- [18] Chan, Q. H. S., et al., 2018, Sci. Adv., 4, eaao3521
- [19] Ootsubo, T., et al., 2020, Icarus, 338, 1
- [20] Micheli, M., et al., 2018, Nature, 559, 223
- [21] Taylor, A. D., et al., 1996, Nature, 380, 323

The Leonid Meteor Storms in 2001 Recorded by the All-Sky Camera at the Kiso Observatory, the University of Tokyo

Hideto YOSHIDA

Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

Abstract: The all-sky camera installed at the Kiso observatory of the University of Tokyo recorded the time variation of the Leonid meteor storms in 2001. Since the images were recorded on analog film at that time, we digitized and released the data on the observatory website. Anyone can clearly see the time variation of the number of meteors to confirm that the meteors appearing radially around the Leonids radiant. These images could be useful for outreach activities.