

〈2020年度日本天文学会天文功労賞〉

習志野隕石火球の軌道決定



上田



司馬

上田昌良¹・司馬康生²・金盛亨³〈^{1,2}日本流星研究会〉〈³SonotaCo Network〉e-mail: ¹ueda@meteor.chicappa.jp

このたび「習志野隕石火球の軌道決定」について、天文功労賞（短期部門）の受賞をたいへん光栄に思っている。大火球が出現すると隕石の落下など一般の方々の関心も強い。しかし、大火球出現の予測は困難で偶然に頼るしかないのが現状である。火球はアマチュア流星観測者が熱心に継続観測をしているので心強い。これ以外にもドライブレコーダーや防犯カメラなどにも偶然に写ることもある。今回の習志野隕石に関連する火球の軌道決定ができたのも、多くの方々の協力があったからである。今後も一人でも多くの方が火球に関心を持ってもらいたく思っている。

1. はじめに

1.1 流星の写真観測

流星の撮影は、1972年からフィルムを使ったカメラで行っていた。この写真撮影の方法では、1981年の1年間で62夜撮影し、露出時間が221時間で写った流星が17個だった（カメラは2台使用）。1個の流星を写すのに13時間を要したことになる。この写真撮影方法はかなり非効率で、あまり成果が得られなかった。

1.2 流星のI.I.を使った観測

1987年からイメージインテンシファイア（I.I.）とビデオカメラを組み合わせた方法で流星の撮影を始めた。このI.I.を使うとわずかな光を増幅して明瞭な流星映像として捉えることができ、暗い流星のビデオ映像を写せた。例えば、この装置に望遠レンズを取り付けて撮影すると、1989年1月16日夜の例で、8等までの流星が写り、2時間の撮影で16個を捉えた。1個の流星を写すのに7.5

分とかなり効率が良かった。しかし、欠点もあり、それは2時間ビデオ撮影すると、写った流星を見つけ出すために、その撮影テープを見直さねばならない。そのため撮影時間以上の見直し時間が必要なことだった。

1.3 流星の自動観測

2003年にSonotaCo Network[1]が動体監視ソフトの配布を始め、自然現象を観測し情報交換するオープンネットワークの活動が始まった。これにたくさんのアマチュア流星観測者が参加した。このとき撮影に使ったカメラはワテック社の小型で超高感度のモノクロCCDビデオカメラが主流だった。このカメラに広角レンズを付けて明るい流星を目的に撮影した。

前述した動体監視ソフトは、流星観測者にとって画期的なソフトウェアだった。カメラから撮影動画をパソコンに取り込み動体が写ると、その動画などをパソコンに保存するという優れたものだった。このシステムを使うことによって、無人

流星自動観測ができるようになった。さらに撮影した流星の位置測定および複数地点で同時に観測された流星（同時流星）の軌道計算までソフトウェアによって自動化の処理ができるようになり、2007年から流星撮影の定常観測に入った。

2. 流星観測の現状

2.1 SonotaCo Networkの活動

2020年の1年間にSonotaCo Networkに報告があった集計では、撮影地が39カ所、カメラの総数が159台、各撮影地での総流星数が217,457個、その内の同時流星が33,446個でこれらは全部軌道計算ができた。この同時流星の経路を図1に示した。北海道と沖縄県からは報告がなかったが、それ以外の地域で流星撮影の観測網が整っている。

これだけの膨大な流星の軌道等が計算できていると、出現数の少ない流星群の活動も捉えている。ここから得られた流星群は国際天文学連合（IAU）の流星群リスト [2] に沿ってまとめを行っている。

SonotaCo Networkでは2009年に14個の新流

星群を発見し、IAUから流星群の仮符号を与えられている [3]。また2007から2020年までの35万余件の観測から得た流星軌道データに関しては、IAU流星データセンターを通じて公開予定となっている [4]。

2.2 大火球に伴う隕石落下位置の計算

大火球の消滅点までの軌道計算を上田が、そして、光らなくなってからの隕石落下位置までの計算を司馬が分担して行っている。ここで火球とは、流星の中で金星より明るく見えたものを火球としている。これとは別に、金盛は一人で火球の位置測定、軌道計算、そして、隕石落下位置の計算までをソフトウェアを作り行っている。このようにそれぞれ独立して火球軌道とその隕石落下地点の計算をすることは、結果の比較ができ信ぴょう性が増すのである。

これらの計算処理を本格的に始めたのは、2005年10月28日2:05:27（日本時）に出現した-8.5等の大火球だった。この火球は地球大気への突入時の速度が秒速23.9 kmだった。一般に観測から得られる流星の速度は、秒速11.2 kmから

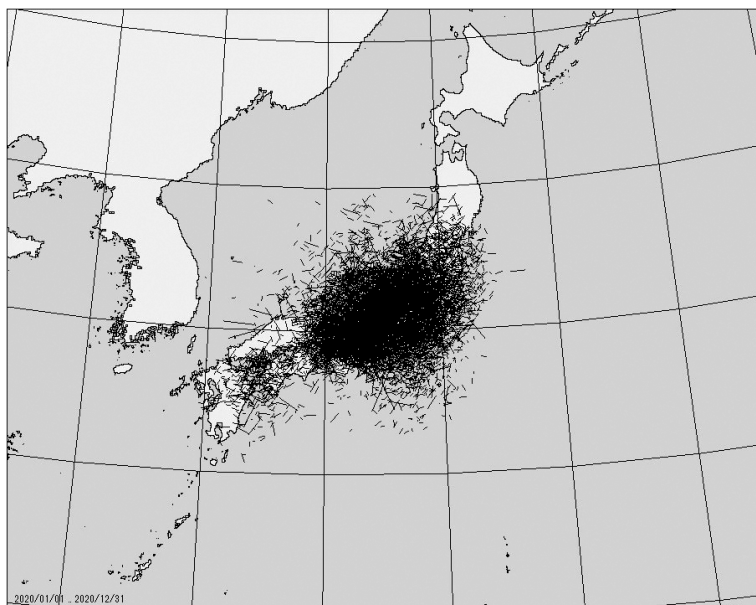


図1 軌道計算ができた同時流星の経路（2020年，SonotaCo Network）。

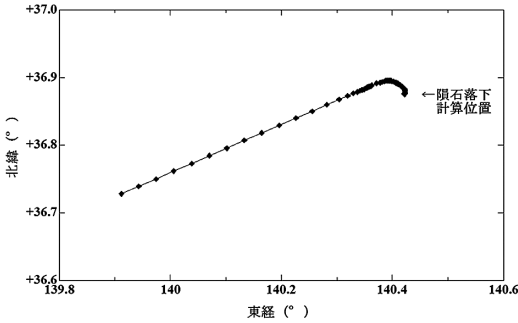


図2 2005年10月28日2:05:27（日本時）に出現した火球からの計算上の隕石落下の経路（計算：司馬）。

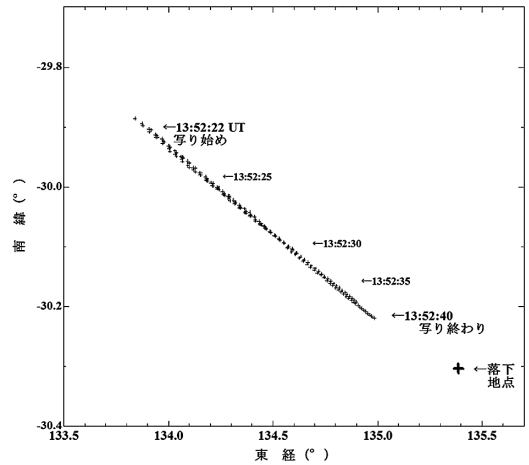


図3 2010年6月13日に地球大気圏に再突入したはやぶさカプセルの対地軌道（計算：上田）。

72.8 km の範囲であるから、この火球の速度はかなり遅いものだった。また、これぐらいの速度の流星の消滅点の高さは、81 から 68 km 程度なので、この火球の消滅点の高さ 25.6 km は異常に低いものであった。つまり速度が遅く、消滅点の高さが低く、さらに明るい火球だったことから隕石の落下が期待できるものだった。司馬の計算によるとこの火球に関連する隕石の落下地点は福島県南部で、50 グラム程度の隕石の予想だった。隕石の計算上の落下経路を図2に示した。残念ながらこの隕石は見つかっていない。

その後、隕石の落下が期待できる火球の出現があれば、その隕石落下地点の計算まで行ってきた。小さい隕石落下も含めれば、平均で年に2件程度あったが、質量が小さかったり、山地や海に落下地点があったりで隕石発見の成果には届かなかった。

3. はやぶさカプセルの観測

小惑星探査機はやぶさが多くの困難を乗り越えて2010年6月13日に帰還した。このときに地球大気圏に再突入し、はやぶさ本体は大気圏で燃え尽きてしまうが、カプセルは地上に落下する。このカプセルの大気圏の再突入を観測することで隕石となる火球を観測するのと同様に、地球大気中の振る舞いの貴重なデータが得られる。

それで、司馬と上田は、JAXA はやぶさカプセ

ル地上観測チームに参加し、はやぶさの帰還地であるオーストラリアの砂漠へ観測に行った。幸い当日は快晴に恵まれ、突入し発光したカプセルを複数カ所で撮影ができたので、その軌道計算をした（図3参照）。図3で+印は、カプセルが落下し回収された場所である。これははやぶさカプセルの大気圏再突入を観測することによって、いろいろな結果が得られた [5]。

4. 習志野隕石火球

4.1 ついに隕石火球に巡り会えた

2020年7月2日2:32:02（日本時）に関東上空に明るい火球が出現し、衝撃音が響いた。自動流星カメラで写したこの火球の報告をその日のうちに金盛、司馬、藤原康徳氏、藤井大地氏がSonotaCo Networkへ速報した。その後も、この火球の情報が続々と集まった。

2020年7月3日に金盛がこの火球の軌道計算から隕石落下位置の計算をし、その落下位置は千葉県花見川区付近で1 kgの隕石予報の速報を出した。

2020年7月5日に司馬は、上田が計算したこの火球の軌道より隕石落下位置を計算し、千葉市花見川区、習志野市、そして八千代市付近の予想位



図4 火球に伴う隕石の落下予報位置と習志野隕石の発見位置。
 ●印は、計算による1.3 kg-180 gの範囲内の隕石落下計算位置。
 ☆印は、習志野隕石1号と2号の発見位置 (計算: 司馬)。

置を SonotaCo Network に発表した (図4)。

2020年7月12日発行の Central Bureau for Astronomical Telegrams (CBET 4810) に明るい火球が出現し、それに伴う隕石が回収されたことが発表になった。

2020年7月13日に国立科学博物館が「速報！各地で観測された火球が隕石であることを確認！」[6]と題した習志野隕石の詳細を発表した。それによると、2020年7月4日に一般の方が千葉県習志野市内でこの隕石を見つけ、千葉県立中央博物館に問い合わせをした。7月5日に実物を確認後、国立科学博物館に調査を依頼した。この習志野隕石1号は、小さな破片も含めて総重量が156 gだった。2号は、7月22日に1号から約1 km離れた船橋市内で見つかった。その後見つかった小さな破片も含め総重量が194 gとなった。

今回、流星の自動撮影用カメラ等で捉えた火球からの隕石が見つかり、その隕石がたどってきた軌道が精密に決定できた意義は大きい。

4.2 隕石落下計算位置の誤差

習志野隕石1号および2号の発見位置と司馬による計算からの落下位置は、約2-3 kmの差が

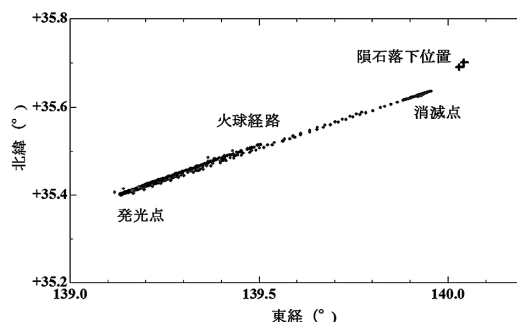


図5 習志野隕石火球の飛行経路と隕石1号の落下位置。

あった。この原因は火球の経路(図5)の決定精度が緯度方向に±0.6 km、高さ方向に±1.1 kmであったこと、落下中に隕石が分裂をしたことや、風の影響も考えられる。もちろん、落下位置の計算には風を考慮しているが、落下中の上空の風は測られたデータがなかったので、茨城県つくば市などの上空の高層大気のデータを使っている。

我々は、見つかった隕石は破片であり、今回の隕石で最も重いものは約1.3 kgで、隕石落下計算位置に落ちているとの希望を持っている。もし、分裂破片でなく最も重い隕石が見つければ、観測データに基づく計算結果が正しいことの実証となる。

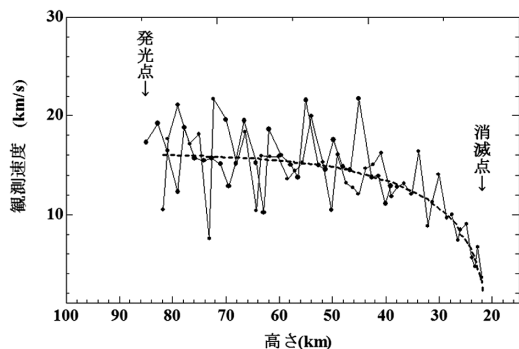


図6 習志野隕石火球の地球大気による減速.

4.3 習志野隕石のふるさと

地球に突入するまでに、習志野隕石がどこからやってきたのかが知りたいものだ。今回は複数箇所でのこの火球が動画撮影されていたので正確な軌道を計算できた。習志野隕石火球の軌道計算の結果は、遠日点距離が2.18 au（天文単位）だった。この位置は、火星と木星の間の小惑星の軌道が集中している小惑星帯である。ここが習志野隕石のふるさとだと思われる。

この習志野隕石火球の軌道を算出するには、速度が重要である。火球の発光点から消滅点までの観測から算出した速度を図6に示した。図6によると発光点での観測速度が秒速16.3 km±4.1 kmだったのが、火球の地球大気との衝突で消滅点では、秒速2.0 km±1.3 kmに減速している。

5. おわりに

今回の天文功労賞の受賞は、我々だけに対する表彰ではないと思っている。今回の習志野隕石火球の軌道を出すまでには多くの方々の目に見えない努力があった。まず、いつ出現するのかわからない火球を捉えるには、毎日、多くの場所での継続した撮影が必要となる。また、撮影された動画はいろいろな形式なので、それに合わせて写った火球の位置測定方法を改良せねばならないし、なによりも撮影した動画の情報収集をすばやくせねばならない。

これら一連のことを一人ではできない。今回の習志野隕石火球の処理から結果を出すまで、たくさんの方々の協力の努力があった。今回の習志野隕石火球に携わった方々、全員への表彰と受け止めている。最後にお世話になった方々に、改めて感謝を申しあげる。

参考文献

- [1] <http://sonotaco.jp/> (2021.11.1)
- [2] IAU Meteor Data Center <https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/> (2021.11.1)
- [3] SonotaCo, 2009, WGN, Journal of the IMO, 37: 2, 55
- [4] SonotaCo, et al., 2021, WGN, Journal of the IMO, 49: 3, 64
- [5] Ueda, M., et al., 2011, PASJ, 63, 947
- [6] <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000110.000047048.html> (2021.11.1)