

火球の光学観測から予想された地域における隕石の回収について

2020年7月13日 V1.46

2020年7月15日追記1

SonotaCo Network

2020年7月2日02時32分02秒(JST)に南関東上空を西南西から東北東に爆発を繰り返しながら移動する継続時間約7秒の満月より明るい火球が発生しました。この火球によると推定される隕石が千葉県習志野市の住民とその住宅関係者によって7月3日と4日にわたり2個(計133g)が回収されました。回収された隕石は近隣の博物館を経て国立科学博物館に送られ、その外観および簡易な検査からこの火球がもたらした普通コンドライト隕石と推定されました。

本火球は本ネットワークに参加する5台の流星自動観測カメラおよび、多数の市中カメラ(防犯カメラ、定点観測カメラなど)によって記録され、表1に示す合計9本の映像がSonotaCo Networkに集まりました。SonotaCo Networkではこれら映像を順次分析しました。外部より提供された映像の手動測定は下田(2)と川上(1)によって行われました。それらを元に7月3日12:00に最初の落下位置推定計算を公表しました。その結果は同日午後に報道機関により千葉県北西部に隕石落下の可能性があると報道されました。

隕石の回収状況については国立科学博物館のプレスリリースが予定されているのでそちらを御参照下さい。

状況および国立科学博物館において行われた予備的なガンマ線測定等の結果から発見された隕石は本ネットワークで光学観測された火球のものである可能性が極めて高く、この火球はほぼ正確な軌道が計算可能であり、正確な軌道からは親天体となる小惑星の推定が可能であるため、今回の光学観測と隕石の回収は特定の小惑星の組成研究に貢献する可能性があります。その意味では人為的ではないサンプルリターンとも言うことができ、新たな成果が得られる可能性があると考えています。

回収場所はSonotaCo(1)が行った最初の予想の中心位置から約8.6km離れていましたが、これは同予測の中で誤差範囲として示唆された範囲10km内でした。5日と9日に公表された上田(1)司馬(2)による予測では誤差は約1kmから3kmに縮まっています。これが今回最も精度の高かった予測です。火球の光学観測から隕石発見前の軌道計算にもとづく落下推定地域で隕石が回収されることは極めて希で、国内ではこれが初めてです。これは隕石の経路計算の精度の確認ができるだけでなく、地球に至る正確な軌道が判明し、その親天体推定が可能となることか

ら、天文学的に大きな意味をもつものです。11日になって、すでに隕石が回収されている模様であることが判明したため、SonotaCo Network より科博に対して回収が事実である場合には国際天文学連合 IAU に報告を行いたい旨を連絡したところ、回収の事実が確認され、IAU への報告に同意を頂きました。これを受けて軌道計算者 3 名は 11 日 22 時に IAU に本経緯を報告しました。IAU はこれを流星研究のみならず小惑星研究においても意義あるものとして、通常小惑星発見等で使用される電子速報 CBET にてこの千葉県内における隕石の回収を 12 日 12 時 20 分に CBET 4810 として発行し全世界の研究者に通知しました。今回、当ネットワークによる分光観測で火球のスペクトルも取得されたことから、落下隕石が石質隕石（コンドライト）であることが類推され、これは CBET の報告文章に盛り込まれました。

SonotaCo Network のこれらの分析過程は以下のオンラインフォーラム トピックにてリアルタイムで公開されてきました。

(<https://sonotaco.jp/forum/viewtopic.php?t=4610>)

現在の推定軌道および隕石落下地域予想は添付資料に示すものです。流星発光開始位置は神奈川県足柄上郡上空高度 85km 付近、流星発光終了点は千葉県浦安沖東京湾上空高度 23km 付近、落下予想地域は千葉県千葉市花見川区長作町を中心とした半径 5km 程度の円領域から佐倉市佐倉駅を頂点とする扇型の領域と推定されています。関係する市と区は千葉県千葉市花見川区を中心とした稲毛区、習志野市、四街道市、佐倉市、八千代市、船橋市の一部です。現状で本隕石の親天体として可能性のある小惑星は次の 3 つです。これらは 関口(2),阿部(3)により推定計算されました。2020 LT1, 2008 WH96, 2019 NP1.

尚、今回の火球については、その光芒と衝撃波を伴った点などから落下隕石の質量は回収された質量より大幅に大きい可能性が指摘されています。また火球は映像上で複数回の爆発と分裂が確認されており、細かく分かれた場合、予想域以上の広い地域に様々な質量の隕石が落下している可能性も考えられます。しかしながら現在は新型コロナウイルスの問題から組織的な現地調査は避けるべき状況にあります。このことから、SonotaCo Network と日本流星研究会では通常この地域を生活圏とする居住者、通勤通学者による発見を期待し、探索者の集中を避けるためより可能性のある地域を広く示した推定図(図 4)を作り公開しました。この図をもとに広域での地元関係者による発見が続くことを期待しています。

より多くの隕石の発見は、今後の隕石落下計算精度の向上に役立つだけでなく、推定親天体に対するより多くの知見に繋がるものです。多くの方のご協力を期待しています。

世界における過去の軌道が判明している隕石は、隕石回収後に軌道が判明したものを含めると 42 個知られています。しかしながらその軌道精度はまちまちであり、精度の高い観測は多くなく、落下位置の事前予測があったものは希です。また隕石の種類に偏りもあり、今後の精度計算および成分分析が注目されます。

本 SonotaCo Network (ソノタコネットワーク)は 2003 年に設立されました。大気圏内の発光現象の観測情報を交換するために生まれたインターネット上の任意団体です。アマチュア天文家、大学あるいは研究施設の研究者、博物館学芸員などが参加しています。現在登録者は内外の約 370 名であり、内 20 名程度は毎晩国内で定常観測をしています。おのおの自費で設備した 1 台から、より広範囲を高精度で観測するための 10 台程度の超高感度カメラ(SD,HD,4K 混在)とその制御用コンピュータを稼働させています。ネットワークは、多数の観測者のデータの集配によって、同時観測の発見と軌道計算をするためのデータハブ機能を果たしています。使用する設備とソフトウェアは学生でも操作できるもので、文部科学省のスーパーサイエンスハイスクール制度の一部として多数の高校に配備されたことがあり、そこから得られた高高度発光現象に関する学術的成果を高校生が国際学会にて発表するケースにもつながったことがあります。今回の観測でも本火球の観測に成功した磐田南高校の観測はその延長上で継続されていた学生による観測です。参加するアマチュア天文家の観測目的は主に流星と高高度発光現象の観測です。流星観測においては 2007 年より現在まで毎年約 20 万件の流星を記録し、内同時観測となった年間約 2 万件の流星軌道を計算し、データベース化し、これを全世界の流星研究者に提供しています。

<https://sonotaco.jp/doc/SNM/index.html>

本データは世界最大規模の流星軌道データベースとして過去に多くの新流星群の発見に使用されており、国際的な流星研究に数多く貢献してきました。アマチュアの参加者の多くは、個人の趣味として本ネットワークに参加しており、未知の事象を知り、その映像を記録することおよび科学に貢献することを主なるモチベーションとしていますが、今回、観測結果の一部が隕石発見につながり、それが IAU によって小惑星研究者にとっても意味あることと判断されたことは、観測者にとっても大きな精神的報酬となりました。今後とも可能な限り観測を続け、ネットワーク上のみの集団でありながら科学に対する貢献を続けていきたいと考えています。

謝辞

表 1 に示す映像提供元に深い感謝と敬意を表明します。ビデオの観測と提供過程に貢献された磐田南高校の学生諸氏に感謝します。IAU との連絡に当たりご協力いただいた本ネットワーク参加者でもあり、IAU 委員経験者である日本大学理工学部阿部新助 准教授に感謝いたします。IAU CBET の発行にご協力頂いた SETI Institute

Peter Jenniskens 氏に感謝いたします。サンプルリターンについてアドバイス頂いた JAXA 吉川真 准教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) Peter JENNISKENS at el, Orbit and origin of the LL7 chondrite Dishchii'bihoh (Arizona), Meteoritics & Planetary Science 55, Nr 3, 535–557 (2020)
- 2) Peter Jenniskens, Review of asteroid-family and meteorite-type links, Proceedings IAU Symposium, 2018
- 3) SonotaCo Network Meteor Database
<https://sonotaco.jp/doc/SNM/index.html>

所属

- (1) SonotaCo Network
- (2) SonotaCo Network & 日本流星研究会
- (3) SonotaCo Network & 日本流星研究会 & 日本大学理工学部

修正

- V1.43 2020 7/15 司馬の推定位置誤差、親天体候補名に誤りがありその他誤字を修正しました。
V1.45 2020 7/16 CBET4810 の説明および SonotaCo Network の説明に加筆しました。
V1.46 2020 7/17 ビデオ#8, #9 の分析結果を含め、図 1 を更新し、図 1b, 2b を追加した。

添付資料

表 1 火球記録ビデオ一覧

| # | Location ID | 略号 | 撮影地 | 撮影者/提供者 | 所属 | 分析 |
|----|-------------|-----|-------|----------|--------------------------|------|
| #1 | Tokyo8 | TK8 | 東京世田谷 | SonotaCo | SonotaCo Network | 自動分析 |
| #2 | KanagawaB | KNB | 神奈川藤沢 | 藤井大地 | SonotaCo Network | 自動分析 |
| #3 | Shizuoka2 | SZ2 | 静岡磐田 | 磐田南高校 | SonotaCo Network / 磐田南高校 | 再分析済 |
| #4 | Nara3 | NR3 | 奈良 | 藤原康徳 | SonotaCo Network | 自動分析 |
| #5 | Hyogo2 | HG2 | 兵庫 | 司馬康生 | SonotaCo Network | 自動分析 |
| #6 | - | TKx | 東京 | KAGAYA | KAGAYAスタジオ | 手動測定 |
| #7 | - | NNx | 長野 | 高橋織男 | 彗星物理水曜ゼミ | 手動測定 |
| #8 | - | Aix | 名古屋空港 | 毛利 勝廣 | 名古屋市科学館 | 手動測定 |
| #9 | - | Aiy | 四日市市 | 毛利 勝廣 | 名古屋市科学館 | 手動測定 |

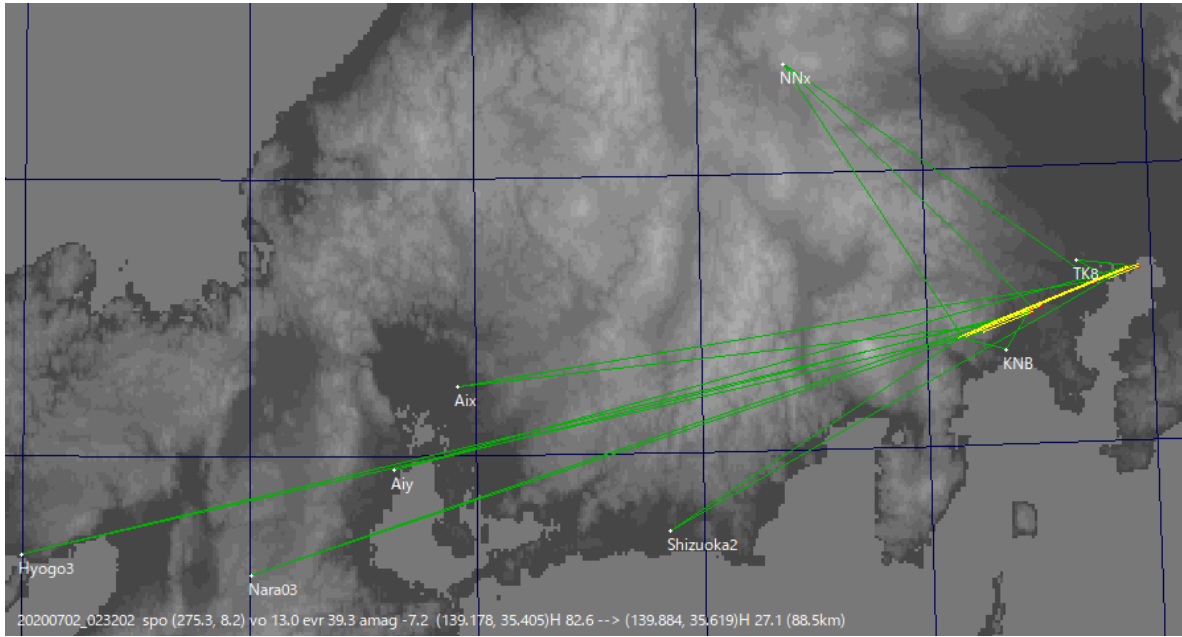


図 1 地上経路図(広域)

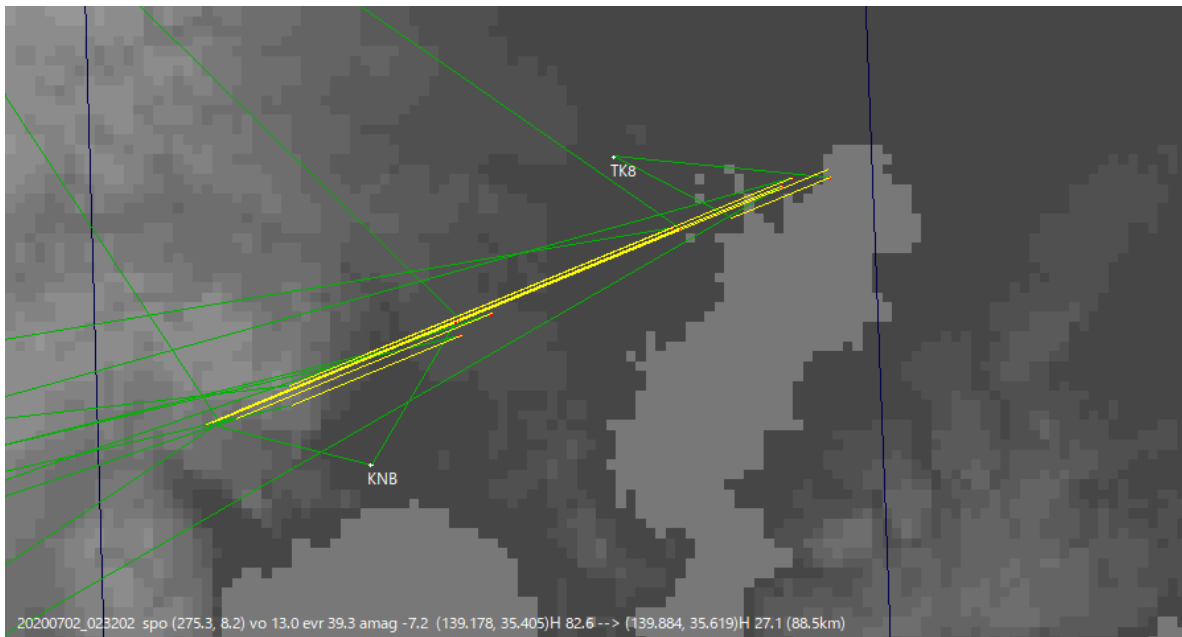


図 1b 火球経路拡大図

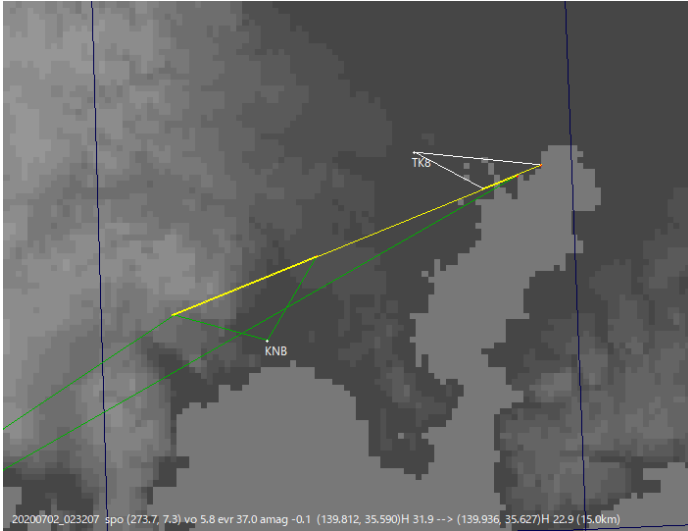


図 2 地上経路図(火球末端)

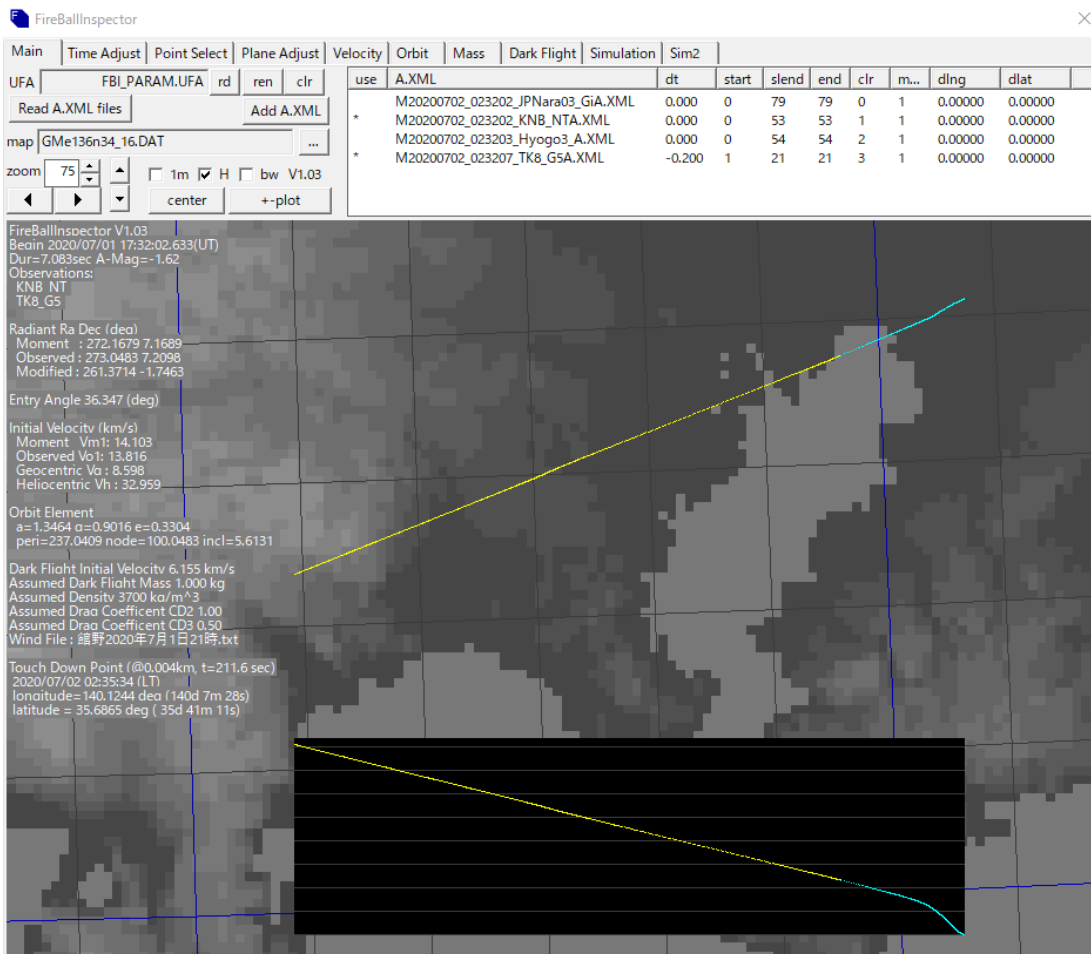


図 2b 最初の落下地点予測計算(7月3日 12:00 公開)

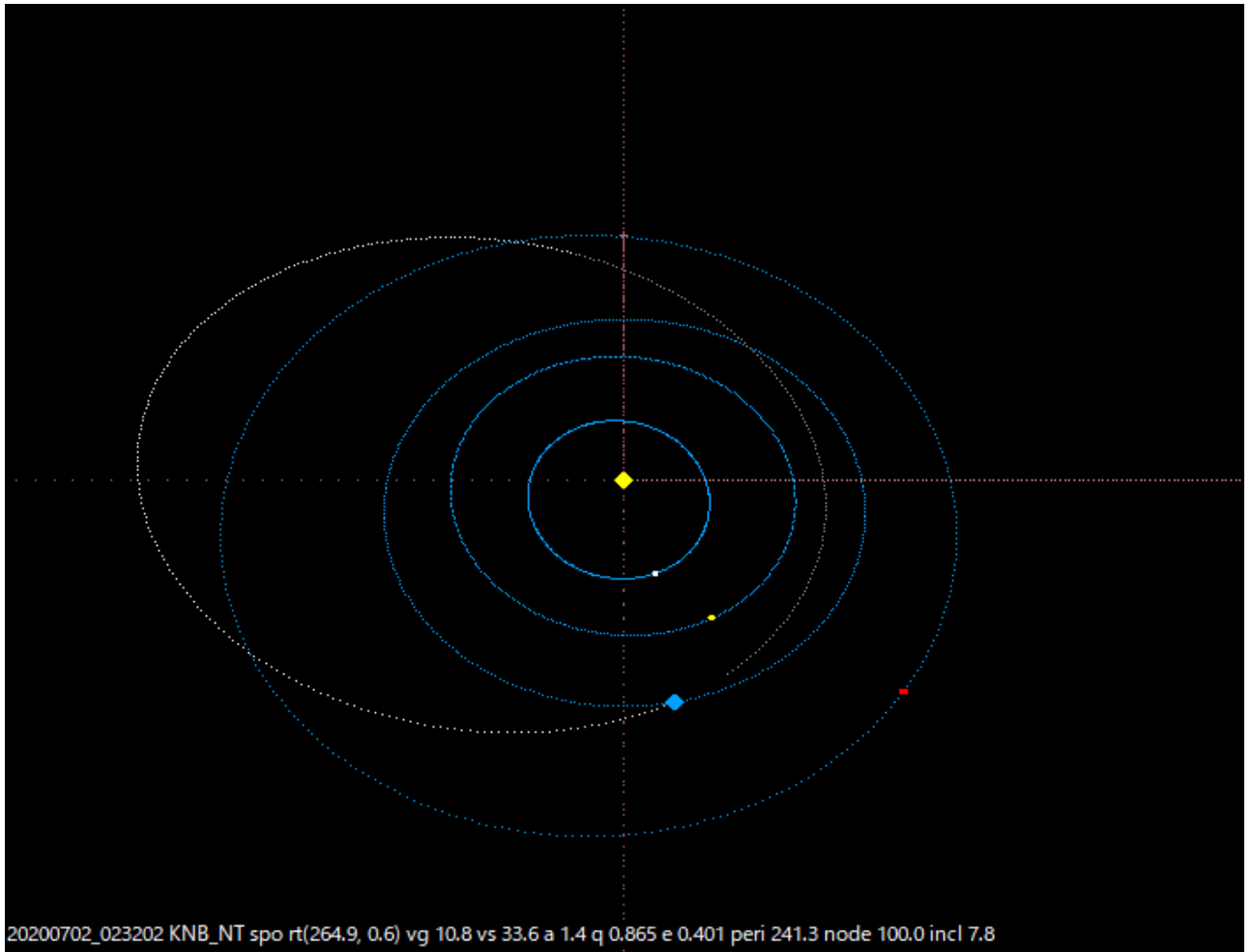


図 2 日心軌道図

図 3 落下地点予想図 詳細版 (プライバシー保護および新型コロナウイルス感染症問題の観点から落下位置詳細情報は非公開とします。関連情報はフォーラムの書き込みをご参照下さい。)



図 4 落下可能性のある地域(広域図)

以上
(以下に追記があります)

習志野隕石(仮称)と待ち受け型のサンプルリターンについて

2020年7月15日 追記 1

SonotaCo

[火球の名称について]

回収された隕石は国立科学博物館により「習志野隕石」として隕石学会に申請予定であるとのプレスリリースが出ています。

<https://www.kahaku.go.jp/procedure/press/pdf/421874.pdf>

これまで本火球を「2020年7月南関東衝撃波火球」と呼んできましたが、今後は本火球を「習志野隕石火球」と呼ぶこととしたいと思います。

[サンプルリターンとの関係について]

小惑星探査機「はやぶさ」プロジェクトのJAXA吉川真准教授より、今回の火球の軌道計算と千葉県における隕石の回収 (IAU CBET4810) について、以下のコメントを頂きました。

頂いたコメントから、今後、隕石回収に詳細な火球軌道計算が伴った場合、これをサンプルリターンの一種と考える場合には「待ち受け型サンプルリターン」と呼びたいと考えました。

お許しを頂いたのでメールの一部を掲載します。

吉川@JAXA です。

ご連絡、どうもありがとうございます。

そうですね、隕石の研究とサンプルリターンは相補的な関係があると思います。ご存じだと思いますので改めて書く必要はないと思いますが、サンプルリターンのメリットは

- (1) 地球物質に汚染されていない物質が手に入る
- (2) 隕石としては地上に落ちてこない (大気中で燃えてしまう) 物質が手に入る
- (3) 物質の出自がはっきりしている

ということだと思います。一方で、隕石のメリットは

- (4) 地球に居ながらにして、地球外物質が手に入る
- (5) 多種多様な地球外物質がかなりの量、手に入る

ということだと思います。今回の場合には、隕石の方にも上記の(3)が加わることになるので、非常に貴重な例になると思います。

(中略)

「その意味では人為的ではないサンプルリターンとも言うことができ、新たな成果が得られる可能性があると考えています。」

くらいでしょうか。

(後略)

[観測を続けてこられた皆さんへ]

SonotaCo Network は 観測者の皆さんの未知への探求心によって支えられてきたと考えています。

自費でシステムを維持し、毎日分析結果を整理し、そして報告することを 10 年間以上続けるということがどういうことなのか、何故そんなことができるのか、外部の人からは想像も理解もできない領域だろうと思います。

全世界の小惑星発見などを含めた CBET の 4810 番目として発行されたことは、本件が国際的に見ても天文学的に重要だと認識されたことを示しています。

CBET 4810 には SonotaCo Network が毎年 200k 個の流星を記録し、20k 個の流星軌道を公開していると特記されています。この実績が Peter Jenniskens と CBAT 編集者の Dan Green の協力につながり、登録発行が実現されました。皆さんの長年の観測なくしてこの登録はありませんでした。

今回は全国的な悪天候の中であったにも関わらず落下位置予想を実現できましたが、精度については改善の余地がありました。また、感染症問題とプライバシー保護の観点から、予測と実際の落下位置の詳細な説明ができませんでした。これらは次回のための検討課題と考えています。

今回の火球観測からの隕石回収は、まさに**宇宙からの贈り物**でした。

ネットワークは夢の一つを実現したように思います。喜びを共有したいと思います。

2020 年 7 月 15 日 SonotaCo

以上(追記 1)