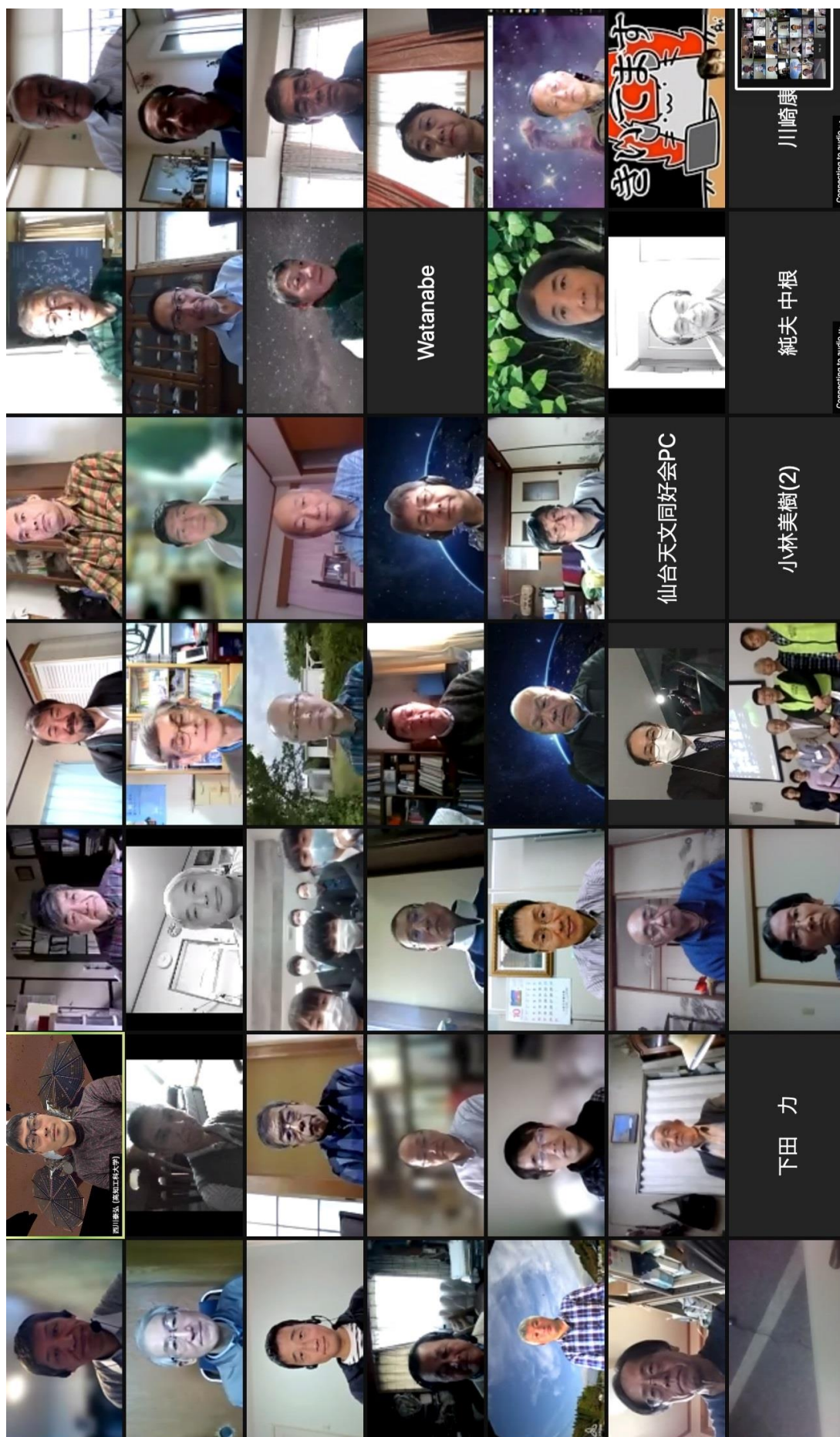


第 61 回 日本流星研究会 Zoom 流星会議 集録



2021年10月31日



流星会議を持ち回りで開催して、各地を巡るということは楽しい発想です。残念ながら参加できなかった年もありますが、北海道から、四国まで訪ねることができました。東北には4回のうち3回行った記憶があります。

しかし、近年、会員数の減少に伴い、地方での開催は実質的に1、2名の方に負担を掛けることになりがちで、心苦しく感じるが増えています。東北での開催について殿村さんに打診した時も無理ではないかという気持ちが半分ありました。幸い、快く引き受けていただき、さすが複数回流星会議を支えてこられただけのことはあるとほっとしたことを思い出します。

いよいよ開催の年を迎えたときに、降ってわいたようなコロナ禍。準備を始められていたのに苦渋の開催延期となりましたが、それにもかかわらず開催への意欲を持ち続けてここまで到達されたことには敬意と感謝のみです。ZOOMでの開催という、初めての歴史的な流星会議となりました。どのような流星会議になるのか、来年以降の流星会議、集会の開催方法を考える上での重要なものとなります。参加者のみなさんのご協力も極めて大切な要素になるでしょう。ZOOMに慣れている人、不慣れな人による受け止め方の差もあるでしょう。通信環境の問題からトラブルもあるかもしれません。そのような問題は、機械での初期故障と同じで、今後の向上に欠かせない要素だと考えられます。皆さんで支えて、今回の流星会議を実りあるものにいたしましょう。

今年、ご講演をいただく土佐誠先生は仙台市天文台名誉台長ですが、1972年に仙台市天文台開催された流星会議には自身も参加した思い出があります。ジャコビニ群の年で、中野さんが「今年、大出現はしない」と予報されました。長谷川先生からは、「そうだとすると、出るとして準備しよう」と指導を頂きました。自分も仙台流星会議でペルセウス群についての発表もしましたが、印刷が間に合わず、ロウ原紙持参して印刷させていただくという冷や汗ものでした。また、会議の日には肉眼で見える巨大黒点が発生していたので、皆さんで夕陽を眺めたことが印象に残っています。藪さん、竹内さんも若々しい姿で臉に浮かびます。

最後に、繰り返しになりますが、実行委員長またそれを支えるスタッフの皆さん、研究発表をされる高校生、講演者の方に感謝を申し上げて、ご挨拶といたします

2021年(ZOOM)流星会議実行委員長挨拶

流星会議実行委員長 殿村 泰弘

本来2020年8月に開催する予定でした流星会議を、この新型コロナ感染の拡大に伴い、1年延期することで、しかもZOOMでの開催にこぎ着けたことに、実行委員長としてホッとしています。これまで流星会議は、日本各地の持ち回りで開催してきました。その歴史については日本流星研究会のHPで確認していただくとして、今回ZOOMでの開催になりましたが、「地方持ち回り」という理念は残して、何とか開催したいと考え、宮城県地元の中学生、高校生の研究発表、仙台市天文台の名誉台長の土佐誠先生に講演をいただくことで、会議自体はZOOMですが、持ち回りの会議の趣旨を残すことが出来ました。私はこれまで、仙台市茂庭荘、岩手県一戸町での流星会議、東日本大震災発生の2011年の川渡温泉「玉造荘」での流星会議と3回の流星会議の実行委員長を行いました。もう引き受けることがないと思っていましたが、2019年7月に東京都渋谷区で開催された「流星物理セミナー」に参加したところ、隣に座った小関会長から休憩時間に「来年の流星会議の開催地が決まっていけないのだが。。。と、声をかけられました。そのときは6月に「彗星会議」の実行委員長として会議を終了したばかりでホッとしたところでした。「彗星会議」で地元の高校生が研究発表をしました。流星関係の研究を行っている生徒もいることを聞いていたので、全国の流星研究者に知ってもらいたい機会と考え、引き受けることにしました。

しかしそのときは、1年延期になるとは思いませんでした。それでも2年前に亡くなられた藪保男さんに生前、OAAのこととかNMSの状況をお目にかかるたびに伝えてきた私としては、何とか天国から見守られている藪さんのことも思い、延期となりましたが、開催できたことにホッとしています。初めてのZOOM開催、不慣れなところがありますが、今回は仙台天文同好会の協力をいただき、開催することが出来ました。アクシデントなどが起こるかもしれませんが、ZOOMとはいえ、仙台に来たつもりで参加して頂ければ幸いです。

2021年10月31日

2021 年 ZOOM 流星会議日程

2021 年 10 月 31 日(日)

10:00 日本流星研究会総会と幹事会選挙

10:30 ZOOM 流星会議開会

実行委員長挨拶 殿村 泰弘

日本流星研究会会長挨拶 小関 正広

諸連絡

11:00 研究発表 1

研究発表 5 年間の定点 TV 観測から得られた流星群とその活動

II. 流星群の極大前後の変化

鈴木 悟

研究発表 聞こえない音で見る はやぶさ 2 の帰還カプセル

西川 泰弘

研究発表 江戸時代の流星情報の伝播-秋田の 1704 年流星の場合

渡邊 美和

12:00 昼食・休憩 ※ ZOOM 接続のままなので交歓

13:00 講演

講師紹介 長妻 努

講師 仙台市天文台 名誉台長 土佐 誠 先生

「仙台市天文台の 60 年と私の星空体験」

14:00 記念撮影 (表紙のもの)

14:05 宮城県古川黎明中学高等学校自然科学部研究発表

中学校 流星の電波観測における周波数の違いと検知数について

高校 流星の分光観測による発光メカニズムの研究

15:05 研究発表 2

研究発表 4K ビデオ流星観測による鉄のスペクトルの特徴

前田 幸治

研究発表 2018 年 10 月から 2021 年 2 月のスペクトル解析結果と考察

関口 孝志

研究発表 中焦点距離レンズを用いた流星の同時ビデオ観測

藤原 康德

研究発表 散在流星源のビデオ観測による年変化

前田 幸治

研究発表 流星関連のインフラサウンド観測について

山本 真行

16:40 閉会行事

閉会の挨拶

次年度担当者から

丸山 卓哉

諸連絡

土佐誠先生のプロフィール紹介

長妻 努（仙台天文同好会）

土佐誠先生は昭和 19(1944)年東京都のお生まれです。中学 2 年生の時に仙台市天文台の第 2 代台長の小坂由須人さんとの出会いがあり、学校がお休みの期間中に東京から仙台にやってきて、天文台の望遠鏡で天体観測をされていたと伺っています（詳細は先生のお話にて！）。当時は天文台の職員から「土佐坊」と呼ばれ、大変可愛がられていたそうです。昭和 38(1963)年に東北大学理学部に入学し、天文学科(天文及び地球物理学科第一)に進学。昭和 48(1973)年に理学博士号を取得して東北大学大学院を修了後、名古屋大学理学部の助手を務められ、その間の昭和 54～55(1979～80)年に、英国ウェールズのカーディフ大学に研究員として 2 年間勤務されました。英国の有名な天文学者のサー・フレッド・ホイル（専門は恒星内部の元素合成理論、「ビッグ・バン」の名付け親としても知られる）が当時カーディフ大学に籍しており、先生もセミナーなどで何度かその姿を見かけたそうです。

昭和 58(1983)年からは東北大学理学部の助教授、平成元(1989)年には教授となりました。先生のご専門は銀河の理論的研究で、計算機シミュレーションなどを用いて銀河磁場の構造や生成、銀河の進化の研究などに取り組んでこられました。平成 19～20(2007～08)年には、学会創立 100 周年の節目を挟んで日本天文学会理事長に就任されています。平成 20(2008)年 3 月に東北大学を定年退官された後、同年 4 月に仙台市天文台の第 7 代台長に就任、令和 2(2020)年 7 月からは名誉台長となりました。また、教育・文化の分野において仙台市の振興発展に寄与された功績が認められ、同年 10 月に仙台市の特別市政功労者として表彰されています。

土佐先生は温和で穏やかな人柄で、昔から仙台天文同好会の若者達にも気さくに接して下さっていました。私が学生の頃、先生が SONY の NEWS というワークステーションを購入され、この計算機の素晴らしさを楽しそうに語っておられたことを思い出します。当時計算機といえば大勢が利用する大型計算機か、MS-DOS ベースの PC98 が主流だった時代で、パーソナルに使いやすいインターフェースで高機能な計算処理が行えるワークステーションの登場は、先生のご研究にとっても画期的だったのではないかと思います。また、平成 5(1993)年 7 月 26 日に車椅子の天体物理学者ホーキング博士がお忍びで仙台を訪問されて、先生がホスト役を務められたことがありました。この時、私は仙台市天文台で博士来訪の話を聞きつけ、土佐先生にお願いをして少人数の夕食会でホーキング博士と直接お話する機会を与えて頂いたことは今でも忘れられない思い出です。

仙台市天文台長に就任後、土佐先生は飲食自由の気軽な雰囲気の中で宇宙をテーマにお話をするトワイライトサロンを土曜日の夜に継続的に開催しており、その数は 600 回以上を重ねています。これからも天文少年の心を忘れない科学者として、私たちに宇宙について語りかけて頂けたらと思います。

2020年ZOOM流星会議参加者自己紹介

	氏名	フリガナ	所属	研究発表
1	松本 誠樹	マツモト セイキ	NMS	なし
	3個のCCDカメラUFOCAPTUREFREEの利用とUFO形式アンテナでのFM2波による東西方位のFM電波流星観測をしています。データーは送信されていたのか。			
2	小林 美樹	コバヤシ ミキ	NMS	なし
	小林美樹@名古屋市昭和区です。名古屋市の光害に負けじと観測をしています。ここ数年、昼間は晴天、夜は曇天というお天気に悩まされています。			
3	伊藤 修	イトウ オサム	NMS、岩手地区流星観測者会	なし
	新型コロナ感染で「岩手地区流星オリエンテーション」ができずにいます。コロナ禍で観察会できずにいるため、「自宅からでも星は見える、ぜひ眺めて下さい、癒されます」と地元FM局のメッセージで話してもらってます。			
4	橋本岳真	ハシモトタケマ	NMS	なし
5	前田幸治	マエダコウジ	NMS、SonotaCo Net	有り
	宮崎の前田です。今回もオンラインなので、参加することができました。ビデオ観測で、群流星の定点観測とスペクトル観測を中心に行っています。スペクトル観測は解析に時間がかかるのが問題ですが、面白い結果が出るので楽しいです。よろしくお願いします。			
6	鈴木 悟	スズキ サトル	NMS、ダナの会	有り
	藪先生から天文回報を引き継いで来年で25年になります。NMSのHP共々更に充実したものになるよう会員の皆さんのご協力をお願いします。空の良い市外でのTV観測で、より暗い流星を含めた流星群の活動を知りたいと思います。			
7	中根 純夫	ナカネ スミオ	NMS	なし
	電波と宇宙と数理科学に興味を尽きません。			
8	佐藤 幹哉	サトウ ミキヤ	NMS	なし
	ペルセウス座流星群の1日半遅れの突発出現に驚いております。現時点では、約2000年前までのダストの放出によるダスト・トレイルでは見出せず、研究発表には至りませんでした。なお検討予定です。どうぞよろしくお願い致します。			
9	前川 義信	まえかわ よしのぶ	仙台天文同好会	スタッフ
	主な流星群の写真観測をやっております。放射点流星の撮影も目指しております。			
10	泉 陽子	いずみ ようこ	仙台天文同好会	スタッフ
	流星会議には以前より参加したいと思っておりました。学生時代、流星観測と写真撮影をしていました。土佐先生のお話と黎明中高の研究発表を楽しみに参加いたします。よろしくお願いいたします。			
11	殿村 泰弘	トノムラ ヤスヒロ	NMS、仙台天文同好会	なし
	流星会議実行委員長です。最近観測を本格的に再開しました。双眼鏡観測を行っていますが、長時間の観測が難しく双眼鏡での観測は1時間程度に決めています。火球パトロールカメラを設置してビデオ観測もしています。			
12	高橋 清利	たかはしきよし	仙台天文同好会	
	つくば市在住の仙台天文同好会員です。流星観測の最新の課題に関心があります。			
13	植村 暢子	ウエムラ ノブコ	仙台天文同好会	
14	伊藤芳春	いとう よしはる	仙台天文同好会	
	天文ソフトとExcelで計算をしない流星経路調べを楽しんでいます。			

	伏見 賢一	フシミ ケンイチ	NMS	なし
15	最近は観望が主になってしまいました。流星を楽しみ、その楽しさを多くの人に伝えたいと思っています。			
	川崎 康寛	カワサキ ヤスヒロ	NMS ・関西天文同好会	なし
16	東日本大震災の年の宮城県大崎市での流星会議は自分たちが元気づける立場でした。今年も同じ宮城ですが、コロナ感染症でバタバタしている中で気分転換という不純な動機を含めて参加します。元気をもらって帰りたいと思います。			
	関口孝志	セキグチ タカシ	NMS	有
17	埼玉県の関口です。2018年10月からスペクトルの観測と解析を続けています。今回も解析からまとめたことを発表します。また、皆さんの発表を聞き、お話ができるのを楽しみにしています。			
	田中 正一	たなか しょういち	NMS	無
18	千葉県我孫子市の田中正一です。NMSの選挙管理委員をしています。今年の流星会議では幹事選挙を行います。立候補が無い役職もありますので、これからでも遅くありませんから、ぜひ、立候補をお願いします。			
	泉 潔	イズミ キヨシ	NMS	無
19	流星の眼視観測歴50年です。早くコロナが収束して皆さんに直接お会いできるのを願っています。			
	長妻 努	ながつま つとむ	仙台天文同好会	無
20	縁あって、2年前から仙台に戻ってきました。単身赴任なのを良いことに(?)、流星観望や写真観測もどきをやってます。どうぞよろしくお願い致します。			
	佐藤 正道	サトウマサミチ	仙台天文同好会	無
21	代表的な流星群のピークの頃に、ぼーっと流れ星を眺めてきています。眺める視野に合わせて撮影していて、今回のペルセウス座流星群のように皆さんと重なれば、おもしろいですね。			
	柳 信一郎	ヤナギ シンイチロウ	NMS	無
22	新型コロナウイルスの蔓延、異常気象で悪天候など、観測を妨げる要素が近年は多いです。まあ最も強い外力は残業の増加ですが。皆さんと直接お会いできないのは残念ですが、今年はZoomで盛り上がりたいです。			
23	齋藤 弘一郎	サイトウ コウイチロウ	宮城県古川黎明中学高等学校教員	
24	宮城県古川黎明中学校自然科学部		宮城県古川黎明中学校自然科学部	有
25 ～ 31	宮城県古川黎明中学校自然科学部天文班です。私たちは流星電波観測を使い、HROとVORの2周波の検知数についての対照実験を行なっています。日々、装置を雨風から守り抜くため、部活で試行錯誤しながら活動しています。			
32	宮城県古川黎明高等学校自然科学部 1		宮城県古川黎明高等学校自然科学部	有
33 34	私達は2014年から回折格子を用いた流星の分光観測を行っている。分光画像上の輝線の間隔から、発光に関する元素の種類を推測し、さらに1つの流星を多地点で同時に観測することで、高度と輝線の強度の関係を明らかにする。これまでに59枚の分光画像を撮影し、流星群毎の含有元素の傾向を考察した。			
	小川 宏	おがわ ひろし	流星電波観測国際プロジェクト	無
35	流星電波観測国際プロジェクトとして流星電波観測者の情報共有・情報発信の場を提供しています。ここ数年、ようやく時間がとれるようになってきました。久々の流星会議が楽しみです			
	西川泰弘	ニシカワ ヤスヒロ	高知工科大学	有
36	高知工科大学の西川泰弘です。以前はパリ大学でNASAの火星探査ミッションをしていましたが、今年8月に高知工科大学に着任し、インフラサウンドの観測結果からはやぶさ2の帰還カプセルの軌道計算を始めました。			

37	丸山卓哉	マルヤマタクヤ	NMS 長野県は宇宙県	無
	長野県は北アルプスのふもとでNMS事務局をお預かりしています。			
38	佐藤 孝悦	サトウ コウエツ	NMS ・仙台天文同好会	無
	仙台市在住の佐藤です。NMSに入会して、「正式な」眼視観測を始めてから30年あまり経ちましたが、相変わらず遠征して観測を続けております。			
39	塩谷 一昭	シオタニ カズアキ	NMS ・ 富山県天文学会	無
	今回はリモート開催ということで、直接会えないのは残念ですが、画面を通してでも久しぶりに皆さんの顔を拝見しながら、実りある時を過ごしたいと思っております。			
40	司馬 康生	シバ ヤスオ	NMS, 日本スペースガード協会	無
	仕事は、今年度で定年。十分忙しくしていますが、来年度は何か取り組みたいですね。火球の報告をお送り頂ける皆様、ありがとうございます。			
41	上田昌良	ウエダ マサヨシ	NMS	無
	NMSのTV観測部門幹事をやってます。毎月、TV観測報告を受け取り、そのまとめを「天文回報」に発表しています。熱心な観測者からの報告に接し、つついそのまとめのページ数が多くなってしまってます。これからもっと幹事を困らせるぐらい大量の報告を期待してます。			
42	戸田 雅之	トダ マサユキ	NMS ・ 多摩天文グループ	無
	ご無沙汰しております。都会、狭視界、光害の3重苦の条件下でデジカメと広角レンズを用いた「おうちで流星」を始めて2年経過しました。仰角80度にも関わらず、月平均1～2個の火球が獲れるので、コロナ禍の下でも観測意欲が低下せずいられます。よろしくお願いします			
43	渡邊 美和	ワタナベ ヨシカズ	NMS、東亜天文学会、星の会MAOCY	有
	久しぶりに参加です。よろしくお願いします。仙台といえば1972年のジャコビニ群直前にも会議が開催されました。来年はいよいよその1972年ジャコビニから50年です。その間、ナニをしていたの私。			
44	植原 敏	ウエハラ サトシ	NMS・SonotaCoネットワーク・関西天文同好会・日本天文同好会	無
	相変わらず細々とビデオ観測を続けています。さすがに20年近く経つと、カメラもずいぶん草臥れてきて数年前から機材をハイビジョンにグレードアップと、人と会うたびに口にしつつも、仕事や家庭生活の多忙を言い訳に有言不実行の状況が続いています。皆さんの話を聞いて、一発奮起したいと思ってます。			
45	藤原康德	フジワラ ヤスノリ	NMS、日本天文同好会、OAA	有
	年金・無職老人に加えて、コロナでの外出自粛で引きこもり状態です。体力的にも精神的にも一段と老化を感じる今日この頃です。ビデオ観測だけは何とか続けています。			
46	岡本 貞夫	オカモト サダオ	NMS	無
	自動TV観測を自宅 で細々続けています。			
47	小関 正広	コセキ マサヒロ	NMS	無
	無理を願って開催を引き受けていただいたのに、去年の無念の中止、そして今年のZOOMでの開催。敬意と感謝で一杯です。ZOOMは以前にインストールだけしてありますが、使ったことがありません。どうなりますか、よろしくお願いします。			
48	山本 真行	やまもと まさゆき	NMS、高知工科大学	有
	高知工科大学の山本です。流星会議へは時々に参加程度になってしまっていますが、どうぞよろしくお願いします。最近はインフラサウンド観測を使った防災関連の研究のウエイトのほうが大きくなっている状況です。今回は、インフラサウンド観測の方法やセンサーの現状についてお話する予定です。			
49	松岡 義一	マツオカ ヨシカズ	日本天文教育普及研究会 一般普及分	無

50	神作哲夫	カミサク テツオ	NMS同報	無
	東京都東村山市で主に電波観測をしています アンテナは全て、相模湾・太平洋方向に向けています 都会の雑音電波から逃れるために、いろいろ工夫しています			
51	遊佐 徹	ユサ トオル	仙台天文同好会	無
	1980年のペルセウス座流星群をきっかけに星を見るようになって41年。流星は、私の天文人生の原点です。会議当日は聴講だけになりそうですが、熱のこもった発表と皆さんの顔を拝見できることを楽しみにしています。			
52	下田 力	シモダ チカラ	NMS	無
	信州の山の中で火球を見えています。コロナの前からほとんど外に出ていないので、生でお会いする機会が減ってしまいました。			
53	阿部 幸恵	あべ ゆきえ	仙台市天文台スタッフサポーター	無
	仙台市天文台とパレットおおさきでボランティア活動をしております、阿部幸恵と申します。よろしくお願いいたします。			
54	登坂滋	トサカシゲル		
	仙台市在住で最近、星に興味を抱いている退職者です。			
55	信太 浩信	シダ ヒロノブ	NMS	無
	秋田県秋田市と三種町で電波観測とビデオ観測(AK2南向き、AK3北向き)を運用しています。最北のビデオ観測点の為、同時観測用の北向き(AK4)を検討中です。			
56	飯山 青海	イイヤマ オオミ	NMS	無
	日本流星研究会で眼視観測部門の幹事を務めております。眼視観測を中心に活動しております。大阪市立科学館のプラネタリウム担当の学芸員でもあります。お近くの方、お気軽にお声掛けください。			
57	齊藤美紀	さいとう みき		
	仙台市天文台でボランティアをして10年をこえました。今は秋田に転勤して星が綺麗で感動しています。11月まで秋田内陸縦貫鉄道で「星空電車」の企画があるので行ってみたいと思っています。			
58	渡邊 堯	ワタナベ タカシ	情報通信研究機構	
59	石井崇裕	イシイタカヒロ	鴨川市に天文台をつくろう会	無
	千葉県鴨川市に公開天文台を建設しようという活動【鴨川市に天文台をつくろう会】をしています。今年のペルセ群突発出現をHROデータで楽しんでいました。よろしくお願いします。			
60	嵯峨山 亨	サガヤマトオル	NMS	無

5年間の定点TV観測から得られた 流星群とその活動(Ⅱ)

Ⅱ. 流星群の極大前後の変化

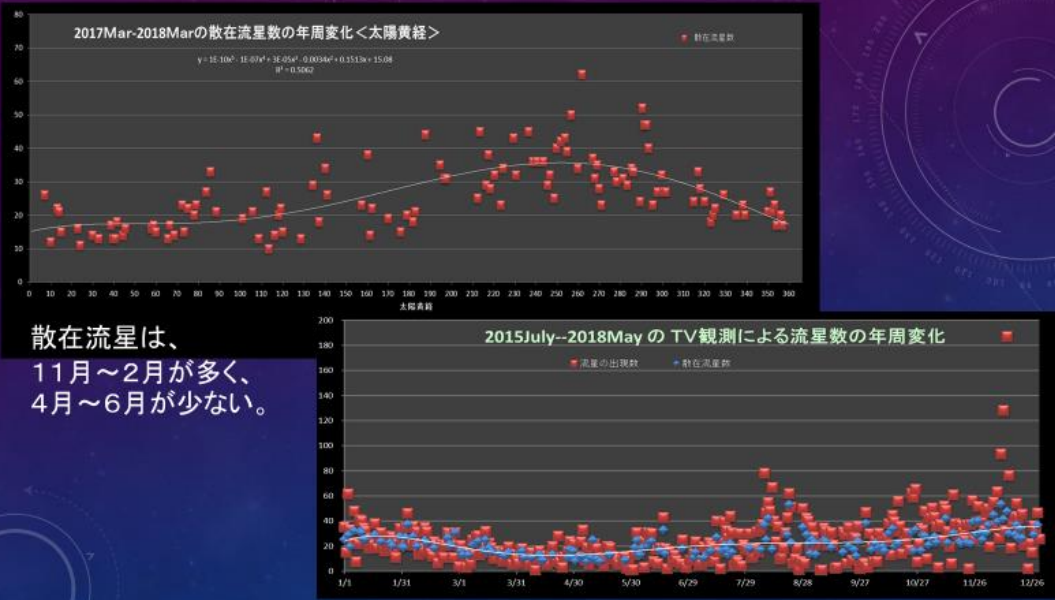
愛知県岡崎市 鈴木 悟
(日本流星研究会、ダナの会)

1.はじめに

- ・1台のTVカメラで2016~2020年まで5年間同じ視野を撮り続けてきた。
- ・これによる散在流星の年周変化については2019和歌山流星会議で発表し、このシステムでの散在の様子が分かった。
- ・5月のオンライン流星クラブで「Ⅰ.流星群の分類」を発表。

2.概要

- ・北北東、仰角45° 視野45×34° Watec-100N + fl:8mm F:0.8レンズ
- ・UFO Capture V.2により流星を記録
- ・UFO Analyzer2により測定・判定



流星群とその活動度 (1月~6月) ONR: ONE NIGHT RATE

流星群分類	month	1月	2月	3月	4月	5月	6月
大流星群	毎年出現 周期的に大出現をする群	しぶんぎ					
中流星群	毎年ONR10程度以上の出現が見られる				こと	ηみずがめ	
小流星群	ほぼ毎年ONR4程度に出現	かみのけ αうみへび πおとめ γからす	δへび *ケンタウルス πうみへび	ηおとめ	αてんびん		
	群活動が年により濃淡がある	η-δかに	εおとめ		λおとめ	αさそり 5月へびつかい	η-6月わし
不明確群	あまり捉えられない	ξおおぐま ρふたご	δしし	ξへび	αうしかい hおとめ	ηこと	おひつじ σいて

流星群とその活動度 (7月～12月)

流星群分類		7月	8月	9月	10月	11月	12月
大流星群	毎年出現 周期的に大出現をする群		ペルセウス		オリオン		ふたご
中流星群	毎年ONR10程度以上の 出現が見られる		s-δ みずがめ		ε ふたご α おおいぬ	しし sおうし nおうし α オリオン	σ うみへび 12月いっかくじゅう こじし
小流星群	ほぼ毎年ONR4程度 コンスタントに出現	α やぎ n-δ みずがめ φ うお	η エリダヌス β うお υ くじら さんかく n-ε みずがめ	ε ペルセウス ν エリダヌス ε エリダヌス β ぎょしゃ	σ オリオン 10月いっかくじゅう β かに	ζ かに 11月うみへび	θ らしんばん μ ほ
不明確群	あまり捉えられない	n-6月わし 群活動が年により激減 がある	κ はくちょう	ぎょしゃ	こじし	アンドロメダ	こぐま

大流星群 ペルセウス群、オリオン群、ふたご群

(1). 極大前後の増減パターンの違い

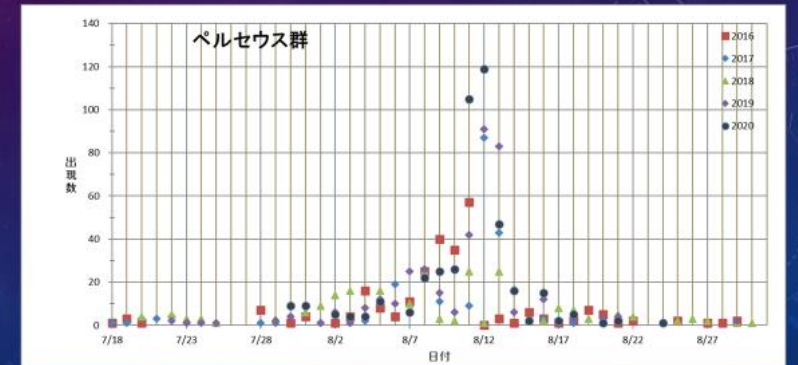
多くの流星群は数を増やしながら極大に達し、その後また少しずつ出現数が減っていく。そのパターンは、大きく3つに分けることができる。

A. 増加と減少が同じような傾向 B. 増加は急で減少は穏やか C. 増加は穏やかで減少は急激

その他、極大が複数ある、はっきりしない など

ペルセウス座流星群

cタイプ



散在流星の光度分布

1等: 0.5～1.4等までのもの



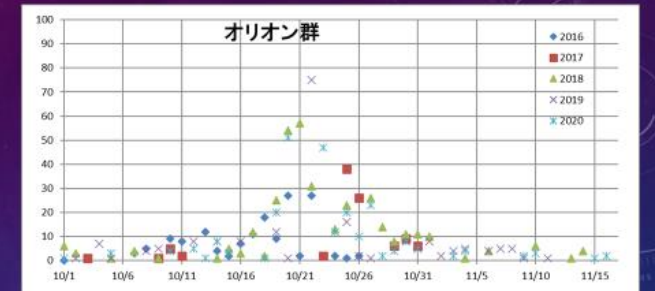
2等級までは増加し、3等級になると数が減っている。この観測では‘2等台’までは捉えられていると考えられる。

・SonotaCo-NetのTV同時観測で捉えられる流星光度分布よりも眼視観測で捉えられる分布に近いものであるというのが今回の1点観測のデータの特徴である。

・同じ視野方向、同じ機材の使用で2016～2020年という現在の流星群の活動の概要を表していると考えている。

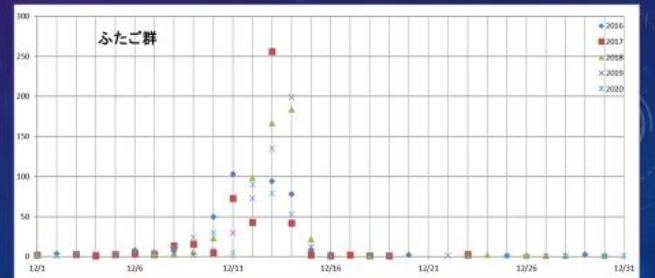
オリオン座流星群

Bタイプ



ふたご座流星群

cタイプ



(2). 光度分布の変化 ふたご群の極大前後の違い



2016: 12/13日は悪天により欠測
13/14, 14/15は明るいものが多い。

2017: 13/14日の出現数はこの5年で最も多い
14/15は、数は少ないが0等以下が4割

0, 1, 2等台の累積数の常用対数を取り光度比を求め、以下の表にまとめた。

2016-20年の太陽黄経ごとの出現数														
観測可能時間帯					昼間					極大				
明るい流星の割合が小さい					明るい流星の割合が大きい									
太陽黄経	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271
date	10	11	12	13	14 満月	15								
Gem		50	103	不可	94	78								
光度比		0.84	0.94		0.52	0.63								
2017 date	10 下弦	11	12	13	14	15								
Gem	16	5	73	43	256	42								
光度比			1.14	0.62	0.64	0.24								
2018 date		11	12	13	14	15 上弦	16							
Gem		23	不可	99	167	184	22							
光度比				1.00	0.85	0.59	0.68							
2019 date		11	12 満月	13	14	15	16							
Gem			30	73	135	198	12							
光度比				0.80	0.86	0.35								
2020 date	10	11	12	13	14	15 新月								
Gem	24	30	不可	90	79	53								
光度比				0.60	0.32	0.30								



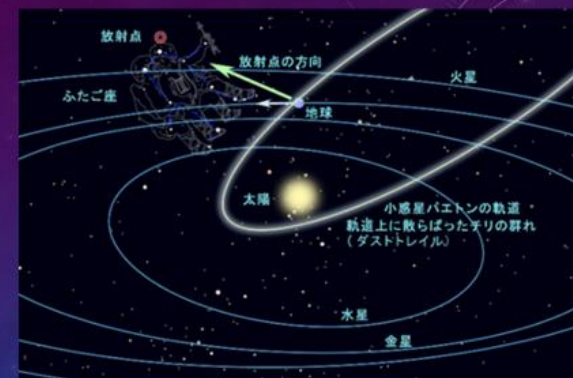
2018: 12/13日から4夜好天が続いた。
14/15, 15/16は明るいものが多い

2019: 満月後の時期で暗い流星が少
ない。14/15は特に明るい流星が多
い。0等以下が49%

2020: 極大期に雲が多く出現数
は半分ほど。
13/14, 14/15は明るいものが多い。
14/15は0等以下が55%

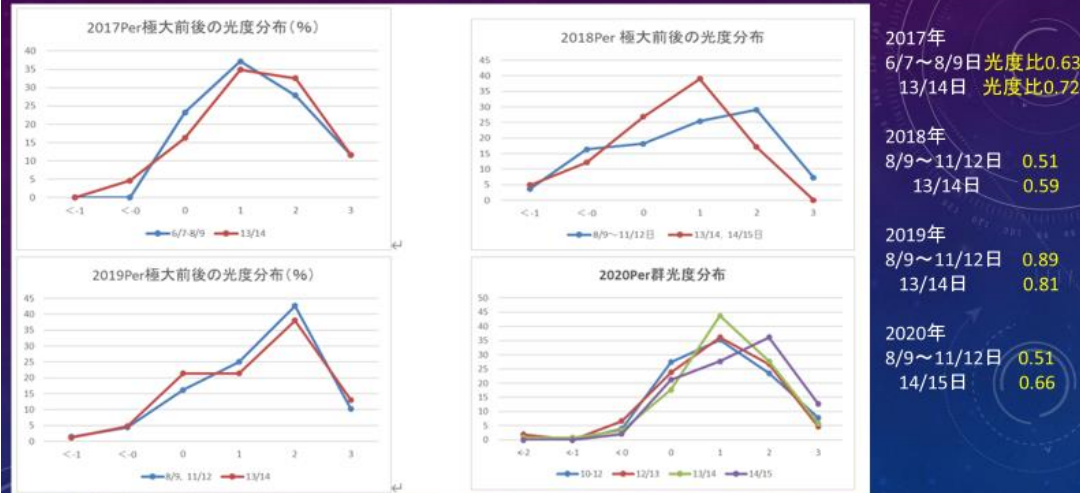
ふたご群では、5年間すべて極大後になると明るい流星の割合が
多くなっていることがわかる。

極大の太陽黄経262.1~2°
を境にして、毎年、極大前は
光度比が大きい(明るいもの
が少ない) 極大後は光度比
が小さい(明るいものが多い)



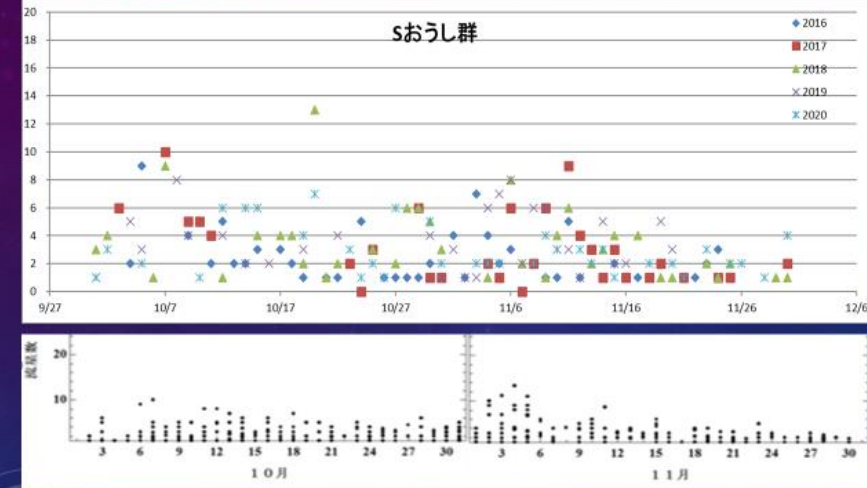
このことは、ほかの群でも同じなのか違うのかと考えて
ペルセ群、オリオン群について調べた。

ペルセ群の光度分布

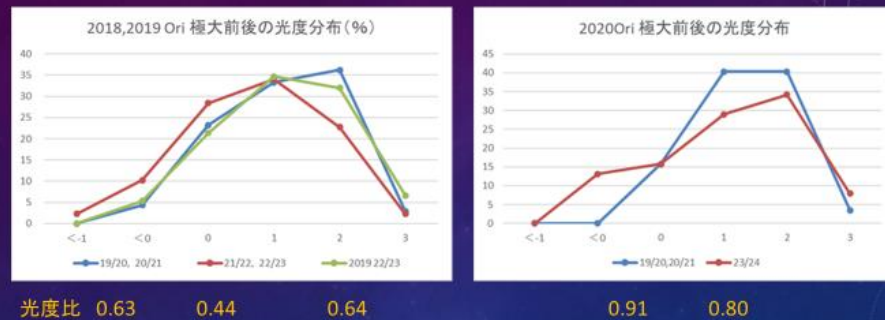


極大前後の光度分布(光度比)に大きな違いがない

中流星群 s-おうし群



オリオン群の光度分布



ペルセ群もオリオン群も、極大前後に光度分布に大きな違いはないが、ふたご群だけは明らかに異なる。

中流星群 n-おうし群



聞こえない音で見る はやぶさ2帰還カプセルの軌道

西川泰弘¹, 山本真行¹, E. K. Sansom², H. A. R. Devillepoix², 平松良浩³, 川村太一⁴,
藤田和央⁵, 吉川真⁵, 石原吉明⁵, I. Hamama^{1,6}, 瀬川典久⁷, 柿並義宏⁸, 片尾浩⁹,
井上祐一郎¹, 蓮見佑太¹, P. A. Bland²

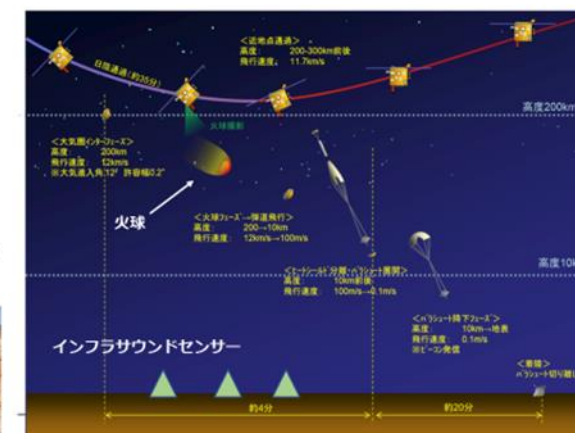
1:高知工科大学2:Curtin大学3:金沢大学4:パリ地球物理研究所:宇宙航空研究開発機構
6:エジプト国立天文台・地球物理学研究所 7:京都産業大学 8:北海道情報大学
9:京都大学防災研究所地震予知研究センター

クレジット (JAXA)

はやぶさ2

2014/12/3 打ち上げ
2018/6/27 小惑星リュウグウに到着
2019/2/22 リュウグウ表面のサンプル回収
2019/7/11 サンプル回収 (2回目)
2020/12/6 カプセルが大気圏に再突入、
オーストラリア南部に軟着陸成功

高知工科大学と Curtin 大学が臨
時の観測ネットワークを構築、
28台のインフラサウンドセンサ
ーを7箇所に設置。
再突入のカプセルのインフラサ
ウンドの観測に成功。
(Sansom et al., under review)



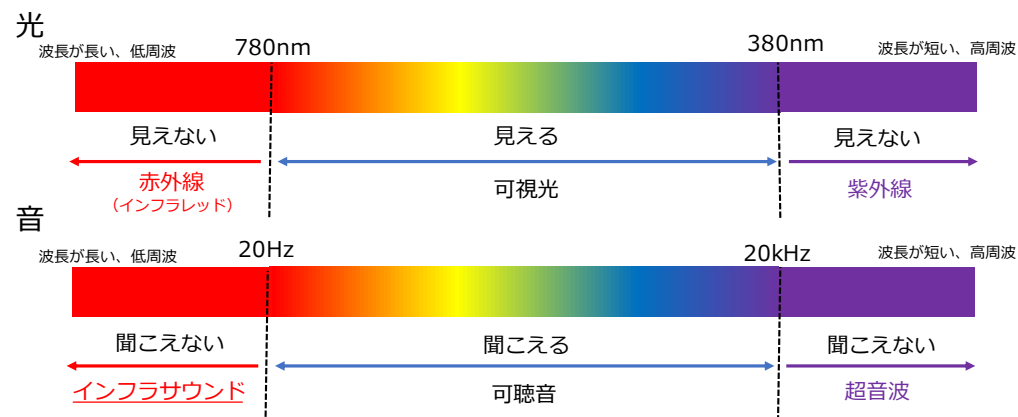
はやぶさ2 記者説明会資料(2020年11月30日)掲載図より改変



Introduction → Method → Result → Discussion → New Result → Conclusion

NMS 2021 31st Oct

聞こえない音 インフラサウンド



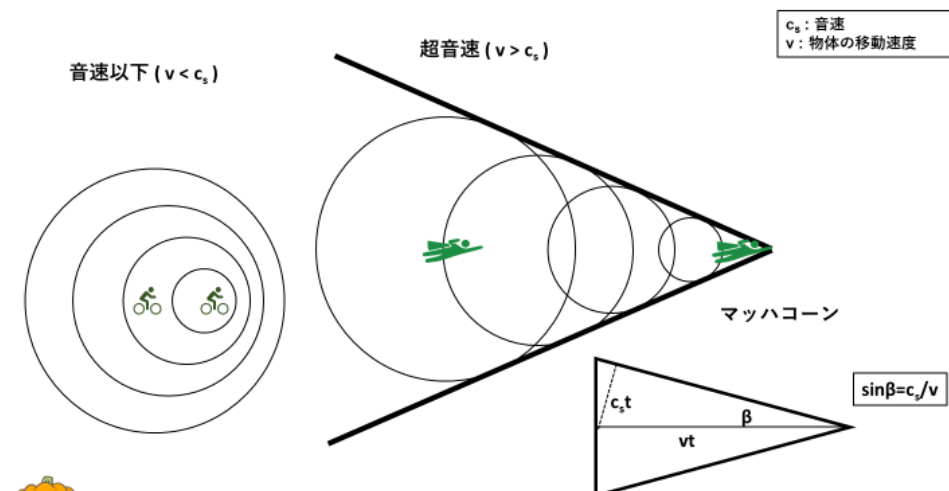
インフラサウンドの特徴: 大規模現象で発生する、可聴音より遠くまで届く。

NMS 2021 31st Oct

Introduction → Method → Result → Discussion → New Result → Conclusion



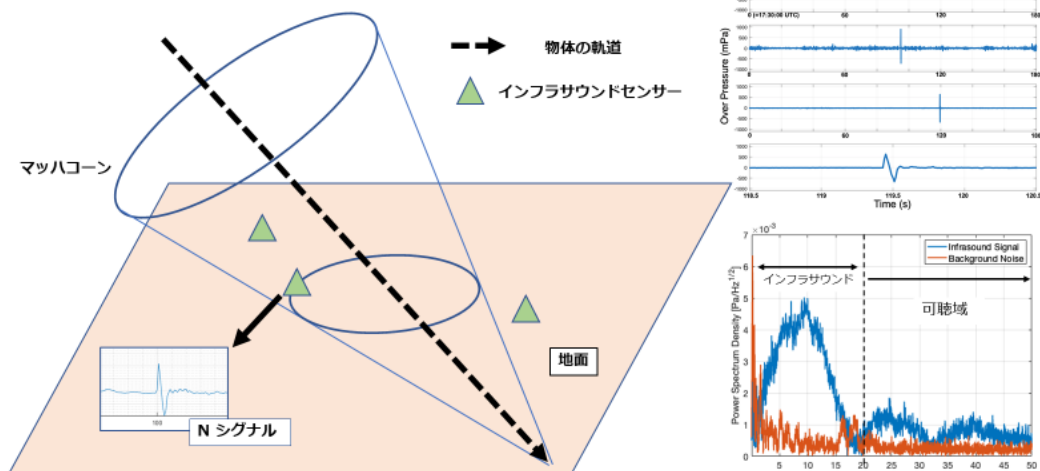
衝撃波面



Introduction → Method → Result → Discussion → New Result → Conclusion

NMS 2021 31st Oct

観測データ



座標の導入

計算を簡単にするために直交座標系(x, y, z)に加えて、**Z軸がカプセルの軌道と同じ**になるような新しい座標系(X, Y, Z)を導入する。

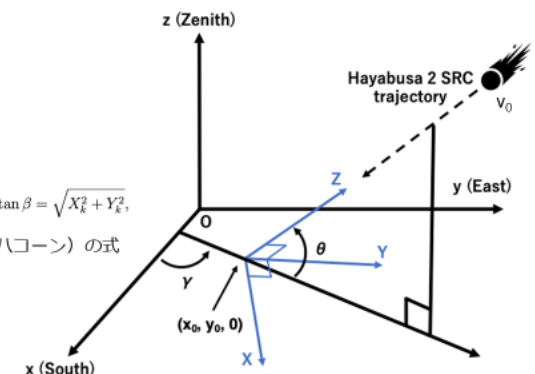
$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma \sin \theta & \sin \gamma \sin \theta & -\cos \theta \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ \cos \gamma \cos \theta & \sin \gamma \cos \theta & \sin \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z \end{pmatrix} \cdot (v_0(t_k - t_0) + Z_k) \tan \beta = \sqrt{X_k^2 + Y_k^2}$$

回転項 平行移動項

円錐 (マッハコーン) の式

任意の場所 (X_k, Y_k, Z_k) での衝撃波の到達時刻 t_k が計算できる。

未知数の $v_0, x_0, y_0, \theta, \gamma, t_0$ を与えて、**モンテカルロ法と χ^2 検定**を用いて最も観測値に近い未知数のセットを求める。



解析に用いる座標系

Nagasawa & Miura, 1987
Ishihara et al., 2003,2004

Introduction → Method → Result → Discussion → New Result → Conclusion

Introduction → **Method** → Result → Discussion → New Result → Conclusion

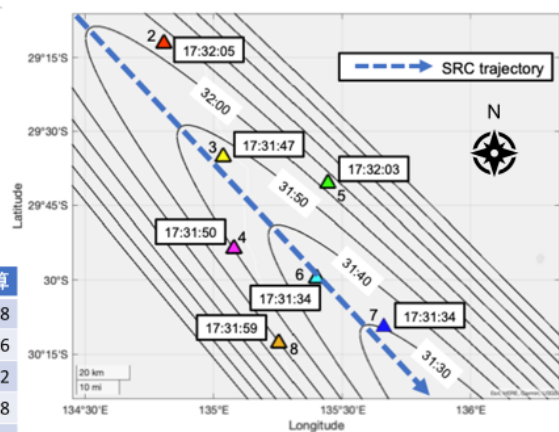
Result

Table 1. Search domain, grid interval and optimum value of each parameter.

Parameter	Search Domain	Grid	Optimum Value	Error
v_0 (km/s)	10 ~ 40	1.0	23	+6/-4
x_0 (km)	-200 ~ -600	1.0	-480	+8/-7
y_0 (km)	200 ~ -600	1.0	479	+7/-7
γ (°)	3 ~ 15	0.5	4.0	+0.5/-0.5
θ (°)	215 ~ 225	0.5	222.5	+0.5/-0.5
t_0 (s)	-50 ~ 50	1.0	22	+5/-5

* The origin is (30°S, 130°E, 0) at 17h30m00s UTC.

No	観測値	計算結果	観測-計算
2	2020/12/5 17:32:04.9	17:32:04.1	0.8
3	31:46.8	31:47.4	-0.6
4	31:50.5	31:49.3	1.2
5	32:02.9	32:03.7	-0.8
6	31:33.8	31:36.2	-2.4
7	31:34.2	31:32.1	2.1
8	31:59.3	31:58.7	0.6



NMS 2021 31st Oct

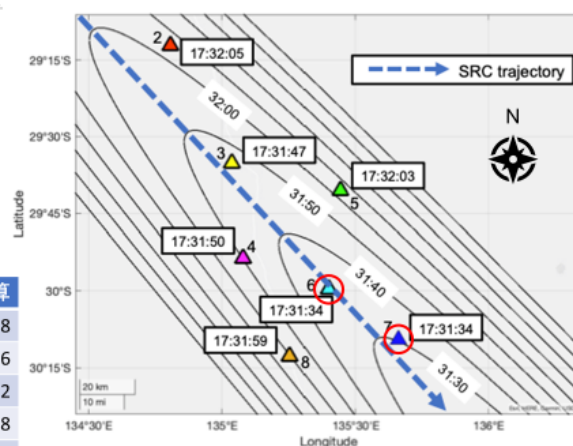
Result

Table 1. Search domain, grid interval and optimum value of each parameter.

Parameter	Search Domain	Grid	Optimum Value	Error
v_0 (km/s)	10 ~ 40	1.0	23	+6/-4
x_0 (km)	-200 ~ -600	1.0	-480	+8/-7
y_0 (km)	200 ~ -600	1.0	479	+7/-7
γ (°)	3 ~ 15	0.5	4.0	+0.5/-0.5
θ (°)	215 ~ 225	0.5	222.5	+0.5/-0.5
t_0 (s)	-50 ~ 50	1.0	22	+5/-5

* The origin is (30°S, 130°E, 0) at 17h30m00s UTC.

No	観測値	計算結果	観測-計算
2	2020/12/5 17:32:04.9	17:32:04.1	0.8
3	31:46.8	31:47.4	-0.6
4	31:50.5	31:49.3	1.2
5	32:02.9	32:03.7	-0.8
6	31:33.8	31:36.2	-2.4
7	31:34.2	31:32.1	2.1
8	31:59.3	31:58.7	0.6



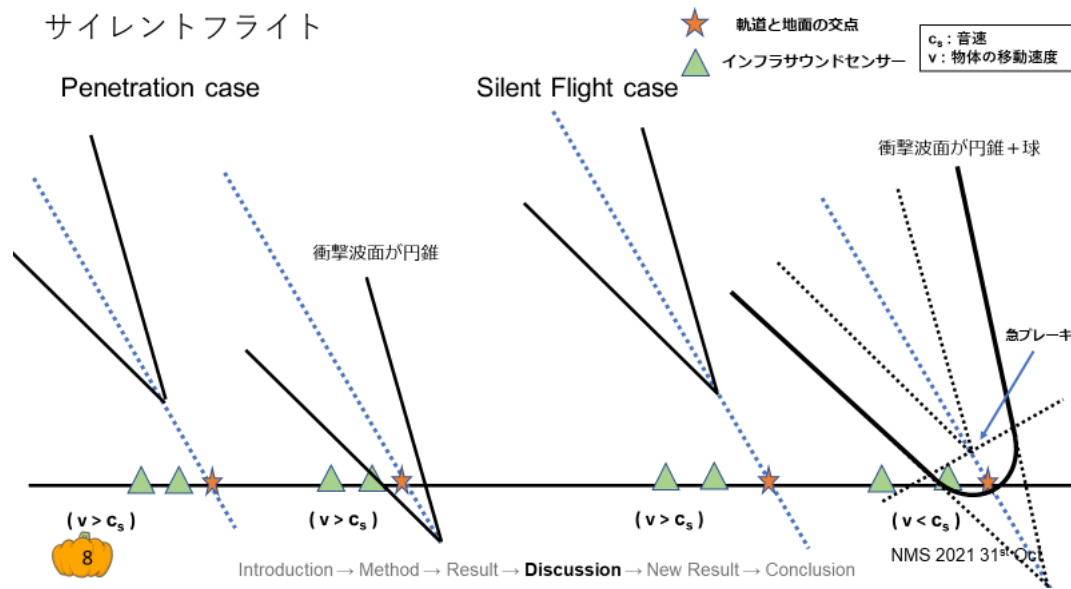
χ^2 検定 $\chi^2_{\text{all}} = 0.107$
 $\chi^2_{\text{without7}} = 0.0012$

→ 7 番のデータの扱いがおかしい

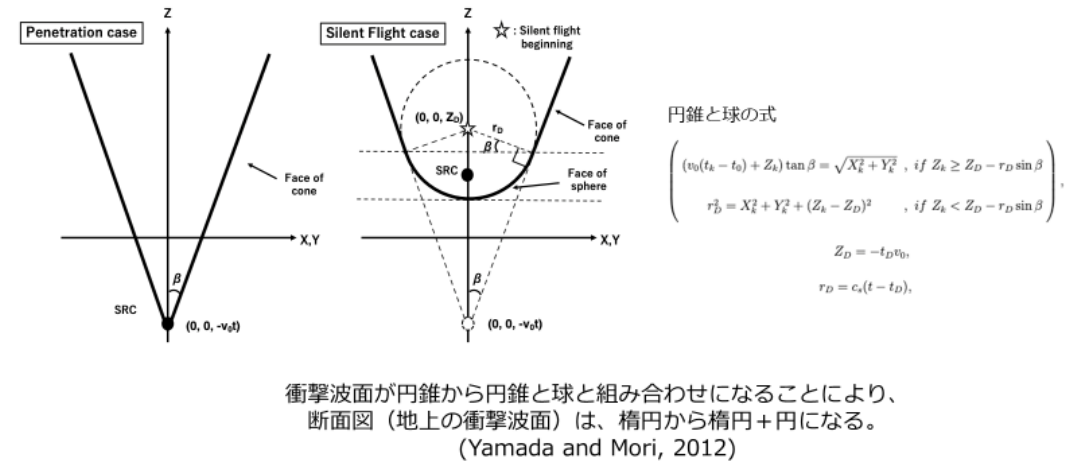
NMS 2021 31st Oct

Introduction → Method → **Result** → Discussion → New Result → Conclusion

サイレントフライト



サイレントフライト



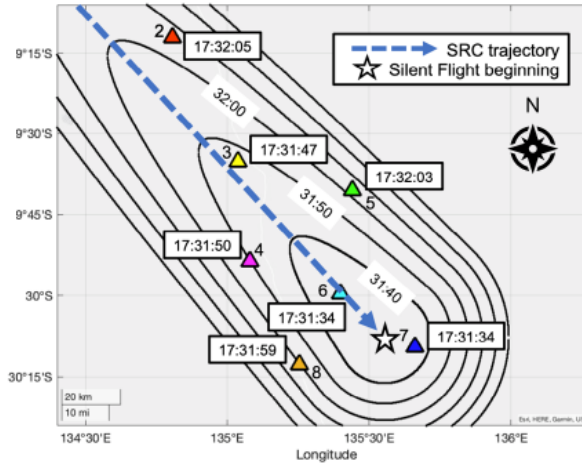
New result

Table 3. Search domain, grid interval and optimum value of each parameter.

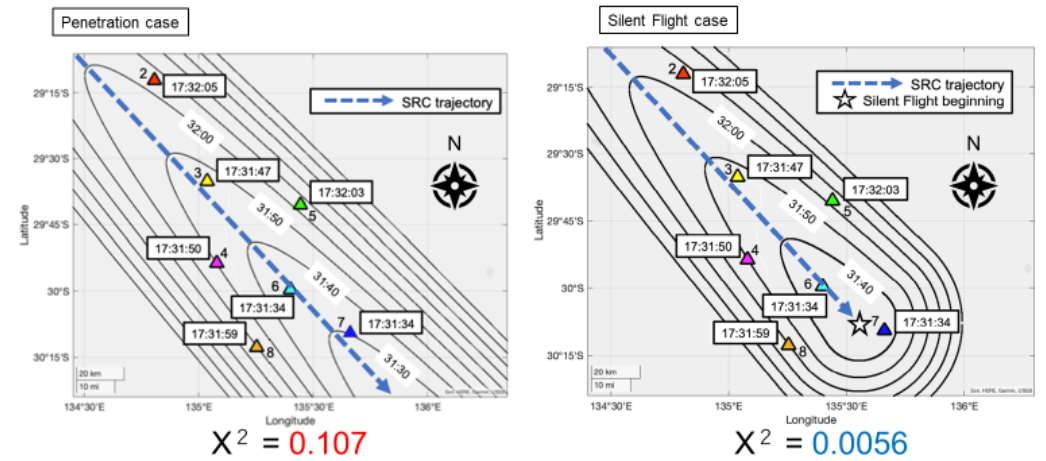
Parameter	Search domain	Grid	Optimum value	Error
v_0 (km/s)	10 ~ 40	1.0	12	+1/-3
z_0 (km)	-200 ~ -600	1.0	-310	+8/-4
β_0 (km)	200 ~ 400	1.0	314	+7/-7
γ (°)	3 ~ 15	0.5	5.5	+0.5/-0.5
θ (°)	215 ~ 225	0.5	223.5	+1/-1
t_0 (s)	-50 ~ 50	1.0	0	+6/-4
t_D (s)	-60 ~ 20	1.0	-33	+1/-1

* The origin is (30°S, 135°E, 0) at 17:00:00 UTC.

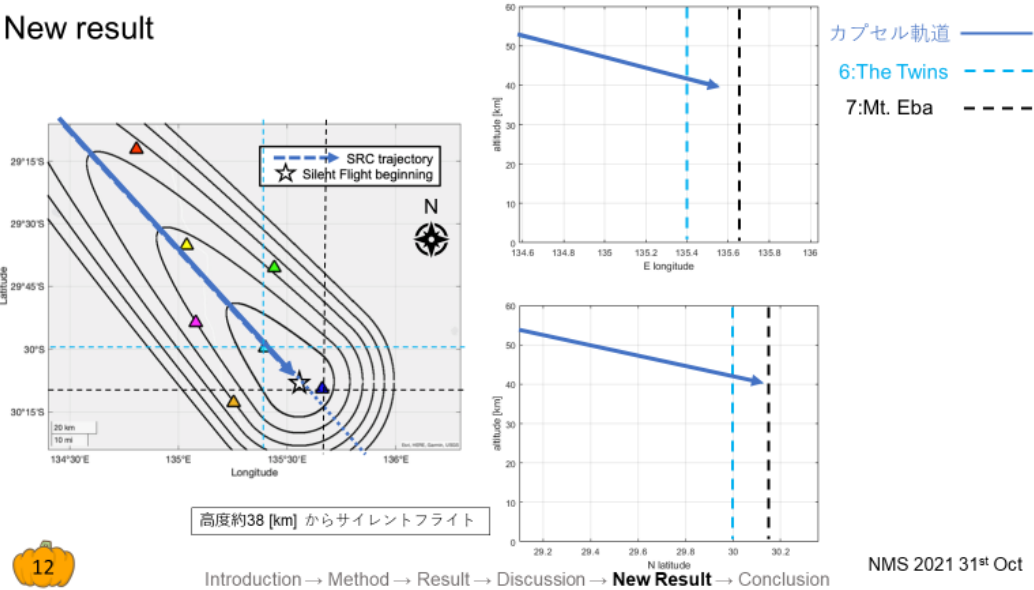
No	観測値	Penetration case	Silent Flight case
2	17:32:04.9	17:32:04.5	17:32:04.5
3	31:46.8	31:47.6	31:47.0
4	31:50.5	31:49.4	31:49.9
5	32:02.9	32:02.8	32:03.1
6	31:33.8	31:34.5	31:33.7
7	31:34.2	31:32.0	31:34.4
8	31:59.3	31:58.9	31:59.2
χ^2		0.107	0.0056



New result



New result

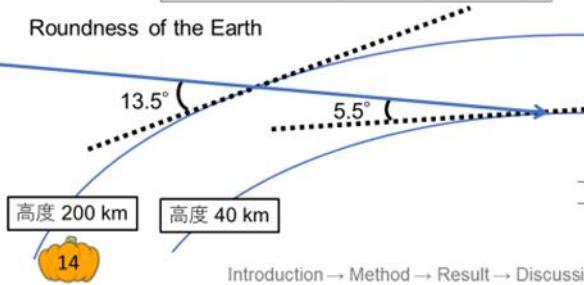


他観測との比較

JAXAのレポートとの比較		
	仰角	高度
My calculation	5.5°	40 km
JAXA report	12°	200 km

Jaxa Hayabusa2 Project (2020)
"Asteroid explorer, Hayabusa2 reporter briefing."

Roundness of the Earth



光学観測との比較

Curtin大学の光学観測によって求められた軌道を用いて、インフラサウンドの到達予想時刻を求めた。

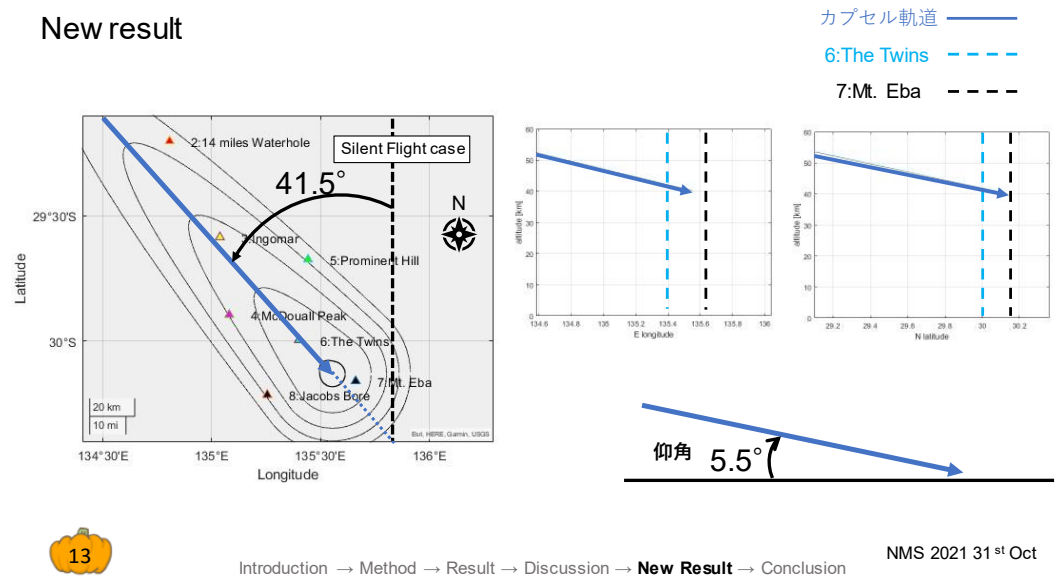
No	観測値	光学計算	Silent Flight 開始を1秒早くした計算
2	17:32:04.9	17:32:06.5	17:32:04.5
3	31:46.8	31:48.2	31:47.0
4	31:50.5	31:49.2	31:49.9
5	32:02.9	32:04.3	32:03.1
6	31:33.8	31:34.1	31:33.7
7	31:34.2	31:53.0	31:50.7
8	31:59.3	31:56.3	31:59.4

7番のデータだけ大きく遅れる
→ Silent Flight が早く始まった場合の結果に近い
→ 光学的には透明 (Dark Flight) だが、
音響学的には Silent ではない区間が約1秒、10km存在する。

Introduction → Method → Result → Discussion → **New Result** → Conclusion

NMS 2021 31st Oct

New result



Conclusion

- ・ 帰還カプセルの軌道の下にセンサーを設置することで、カプセルから発せられるインフラサウンドの観測に成功した。
- ・ 大気圏外からの飛来物の軌道を音（インフラサウンド）のデータのみから推定した。
- ・ 同一飛翔体からのサイレントフライト前後の観測を行うことで、サイレントフライトの効果による衝撃波面の変化を示唆することができた。
- ・ サイレントフライトの効果を考慮することで、より精度の高い衝撃波面と軌道を描くことができた。
- ・ 光学的に透明だが音を発している区間の存在を示唆した。
- ・ 火球の観測装置としてのインフラサウンドセンサーの紹介。

Submit to Journal of the Acoustic Society of America.

Introduction → Method → Result → Discussion → New Result → **Conclusion**

NMS 2021 31st Oct

江戸時代の流星情報の伝播 -秋田の1704年流星の場合

What was described in Edo Shougunate palace regarding meteor-like phenomena watched at Akita in 1704 ?

静岡県沼津市 渡邊 美和 WATANABE
Yoshikazu junowat@hi3.enjoy.ne.jp

特定非営利活動法人 東亜天文学会、日本流星研究会、星の会AOCY 会員



本業は非鉄金属の需給動向調査です(現役)。

← 日経新聞 日経ヴェリタス紙 2017.12.31

2003年から5年間、千葉市立郷土博物館プラネタリウムで非常勤投影解説もしていました。

流星会議2021 (仙台)ZOOM会議 2021年10月31日(日)

本稿は2019.03.11に国立天文台三鷹キャンパスで開催された第7回「歴史的記録と現代科学」研究会での筆者による「江戸時代に秋田で見られた大流星の江戸城内でのうわさの紹介」を加筆修正した。

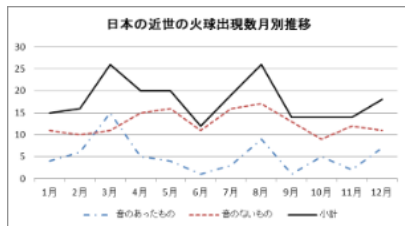
対象の記録の背景

「続近世日本天文史料」及びその後筆者らにより収集された173の江戸時代史料から、のべ470例の流星に関する記録が抽出でき、それらを整理し、実質で218例の火球記録が得られた。

ただし、いわゆる「普通の流れ星」についての記録は多くはない。

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
音のあったもの	4	8	15	3	4	1	3	9	1	8	2	7
音のないもの	11	10	11	15	16	11	16	12	13	9	12	11
小計	15	18	26	18	20	12	19	21	14	17	14	18

総数は出現日不明の例をのぞき214である。



時刻	4時	音のあった車数	音のなかった車数	合計
午 九時	12	2	3	5
十 時	14	2	2	8
十一時	16	1	2	9
正 午	18	1	2	11
一 時	20	1	2	13
二 時	22	1	2	15
三 時	24	1	2	17
四 時	26	1	2	19
五 時	28	1	2	21
六 時	30	1	2	23
七 時	32	1	2	25
八 時	34	1	2	27
九 時	36	1	2	29
十 時	38	1	2	31
十一時	40	1	2	33
正 午	42	1	2	35
一 時	44	1	2	37
二 時	46	1	2	39
三 時	48	1	2	41
四 時	50	1	2	43
五 時	52	1	2	45
六 時	54	1	2	47
七 時	56	1	2	49
八 時	58	1	2	51
九 時	60	1	2	53
十 時	62	1	2	55
十一時	64	1	2	57
正 午	66	1	2	59
一 時	68	1	2	61
二 時	70	1	2	63
三 時	72	1	2	65
四 時	74	1	2	67
五 時	76	1	2	69
六 時	78	1	2	71
七 時	80	1	2	73
八 時	82	1	2	75
九 時	84	1	2	77
十 時	86	1	2	79
十一時	88	1	2	81
正 午	90	1	2	83
一 時	92	1	2	85
二 時	94	1	2	87
三 時	96	1	2	89
四 時	98	1	2	91
五 時	100	1	2	93
六 時	102	1	2	95
七 時	104	1	2	97
八 時	106	1	2	99
九 時	108	1	2	101
十 時	110	1	2	103
十一時	112	1	2	105
正 午	114	1	2	107
一 時	116	1	2	109
二 時	118	1	2	111
三 時	120	1	2	113
四 時	122	1	2	115
五 時	124	1	2	117
六 時	126	1	2	119
七 時	128	1	2	121
八 時	130	1	2	123
九 時	132	1	2	125
十 時	134	1	2	127
十一時	136	1	2	129
正 午	138	1	2	131
一 時	140	1	2	133
二 時	142	1	2	135
三 時	144	1	2	137
四 時	146	1	2	139
五 時	148	1	2	141
六 時	150	1	2	143
七 時	152	1	2	145
八 時	154	1	2	147
九 時	156	1	2	149
十 時	158	1	2	151
十一時	160	1	2	153
正 午	162	1	2	155
一 時	164	1	2	157
二 時	166	1	2	159
三 時	168	1	2	161
四 時	170	1	2	163
五 時	172	1	2	165
六 時	174	1	2	167
七 時	176	1	2	169
八 時	178	1	2	171
九 時	180	1	2	173
十 時	182	1	2	175
十一時	184	1	2	177
正 午	186	1	2	179
一 時	188	1	2	181
二 時	190	1	2	183
三 時	192	1	2	185
四 時	194	1	2	187
五 時	196	1	2	189
六 時	198	1	2	191
七 時	200	1	2	193
八 時	202	1	2	195
九 時	204	1	2	197
十 時	206	1	2	199
十一時	208	1	2	201
正 午	210	1	2	203
一 時	212	1	2	205
二 時	214	1	2	207
三 時	216	1	2	209
四 時	218	1	2	211
五 時	220	1	2	213
六 時	222	1	2	215
七 時	224	1	2	217
八 時	226	1	2	219
九 時	228	1	2	221
十 時	230	1	2	223
十一時	232	1	2	225
正 午	234	1	2	227
一 時	236	1	2	229
二 時	238	1	2	231
三 時	240	1	2	233
四 時	242	1	2	235
五 時	244	1	2	237
六 時	246	1	2	239
七 時	248	1	2	241
八 時	250	1	2	243
九 時	252	1	2	245
十 時	254	1	2	247
十一時	256	1	2	249
正 午	258	1	2	251
一 時	260	1	2	253
二 時	262	1	2	255
三 時	264	1	2	257
四 時	266	1	2	259
五 時	268	1	2	261
六 時	270	1	2	263
七 時	272	1	2	265
八 時	274	1	2	267
九 時	276	1	2	269
十 時	278	1	2	271
十一時	280	1	2	273
正 午	282	1	2	275
一 時	284	1	2	277
二 時	286	1	2	279
三 時	288	1	2	281
四 時	290	1	2	283
五 時	292	1	2	285
六 時	294	1	2	287
七 時	296	1	2	289
八 時	298	1	2	291
九 時	300	1	2	293
十 時	302	1	2	295
十一時	304	1	2	297
正 午	306	1	2	299
一 時	308	1	2	301
二 時	310	1	2	303
三 時	312	1	2	305
四 時	314	1	2	307
五 時	316	1	2	309
六 時	318	1	2	311
七 時	320	1	2	313
八 時	322	1	2	315
九 時	324	1	2	317
十 時	326	1	2	319
十一時	328	1	2	321
正 午	330	1	2	323
一 時	332	1	2	325
二 時	334	1	2	327
三 時	336	1	2	329
四 時	338	1	2	331
五 時	340	1	2	333
六 時	342	1	2	335
七 時	344	1	2	337
八 時	346	1	2	339
九 時	348	1	2	341
十 時	350	1	2	343
十一時	352	1	2	345
正 午	354	1	2	347
一 時	356	1	2	349
二 時	358	1	2	351
三 時	360	1	2	353
四 時	362	1	2	355
五 時	364	1	2	357
六 時	366	1	2	359
七 時	368	1	2	361
八 時	370	1	2	363
九 時	372	1	2	365
十 時	374	1	2	367
十一時	376	1	2	369
正 午	378	1	2	371
一 時	380	1	2	373
二 時	382	1	2	375
三 時	384	1	2	377
四 時	386	1	2	379
五 時	388	1	2	381
六 時	390	1	2	383
七 時	392	1	2	385
八 時	394	1	2	387
九 時	396	1	2	389
十 時	398	1	2	391
十一時	400	1	2	393
正 午	402	1	2	395
一 時	404	1	2	397
二 時	406	1	2	399
三 時	408	1	2	401
四 時	410	1	2	403
五 時	412	1	2	405
六 時	414	1	2	407
七 時	416	1	2	409
八 時	418	1	2	411
九 時	420	1	2	413
十 時	422	1	2	415
十一時	424	1	2	417
正 午	426	1	2	419
一 時	428	1	2	421
二 時	430	1	2	423
三 時	432	1	2	425
四 時	434	1	2	427
五 時	436	1	2	429
六 時	438	1	2	431
七 時	440	1	2	433
八 時	442	1	2	435
九 時	444	1	2	437
十 時	446	1	2	439
十一時	448	1	2	441
正 午	450	1	2	443
一 時	452	1	2	445
二 時	454	1	2	447
三 時	456	1	2	449
四 時	458	1	2	451
五 時	460	1	2	453
六 時	462	1	2	455
七 時	464	1	2	457
八 時	466	1	2	459
九 時	468	1	2	461
十 時	470	1	2	463
十一時	472	1	2	465
正 午	474	1	2	467
一 時	476	1	2	469
二 時	478	1	2	471
三 時	480	1	2	473
四 時	482	1	2	475
五 時	484	1	2	477
六 時	486	1	2	479
七 時	488	1	2	481
八 時	490	1	2	483
九 時	492	1	2	485
十 時	494	1	2	487
十一時	496	1	2	489
正 午	498	1	2	491
一 時	500	1	2	493
二 時	502	1	2	495
三 時	504	1	2	497
四 時	506	1	2	499
五 時	508	1	2	501
六 時	510	1	2	503
七 時	512	1	2	505
八 時	514	1	2	507
九 時	516	1	2	509
十 時	518	1	2	511
十一時	520	1	2	513
正 午	522	1	2	515
一 時	524	1	2	517
二 時	526	1	2	519
三 時	528	1	2	521
四 時	530	1	2	523
五 時	532	1	2	525
六 時	534	1	2	527
七 時	536	1	2	529
八 時	538	1	2	531
九 時	540	1	2	533
十 時	542	1	2	535
十一時	544	1	2	537
正 午	546	1	2	539
一 時	548	1	2	541
二 時	550	1	2	543
三 時	552	1	2	545
四 時	554	1	2	547
五 時	556	1	2	549
六 時	558	1	2	551
七 時	560	1	2	553
八 時	562	1	2	555
九 時	564	1	2	557
十 時	566	1	2	559
十一時	568	1	2	561
正 午	570	1	2	563
一 時	572	1	2	565
二 時	574	1	2	567
三 時	576	1	2	569
四 時	578	1	2	571
五 時	580	1	2	573
六 時	582	1	2	575
七 時	584	1	2	577
八 時	586	1	2	579
九 時	588	1	2	581
十 時	590	1	2	583
十一時	592	1	2	585
正 午	594	1	2	587
一 時	596	1	2	589
二 時	598	1	2	591
三 時	600	1	2	593
四 時	602	1	2	595
五 時	604	1	2	597
六 時	606	1	2	599
七 時	608	1	2	601
八 時	610	1	2	603
九 時	612	1	2	605
十 時	614	1	2	607
十一時	616	1	2	609
正 午	618	1	2	611
一 時	620	1	2	613
二 時	622	1	2	615
三 時	624	1	2	617
四 時	626	1	2	619
五 時	628	1	2	621
六 時	630	1	2	623
七 時	632	1	2	625
八 時	634			

大流星情報の伝わり方-2



次のようなもう少し広い範囲での記録が、埼玉県「古今稀成年代記」の万延元年1861.01.02の現象として残っている。

申十一月廿二日昼四ツ半頃、横道向岩辺より青キ玉飛出し、勘次郎殿瀬戸とおもふ処二而雲之中へ飛込、右青キ玉五ツニ相成、尻尾式三尺と相見へ、少々返雷之如二鳴物いたし、亦かくら二而見候もの咄シニ者、八王寺峠より飛出し、炭屋入はてのかや辺江右之如し、飛候物音同雷之如し、亦咄し承り候処、飯能下も秩父吉田辺右之如し、古今稀成珍敷事也

現埼玉県入間郡名栗村の平山家蔵資料で第号(弘化3~明治13)第2号(明治13~同21)第3号(明治22~大正8)から成る年代記。平山家は林業・材木商を営み、村役人として組頭をつとめた家。第1号は七代目源一郎(明治19に73歳で没)が弘化坂年にさかのぼって安政六年に書き始め、八代源一郎により明治3年に閉じられ、以降は第2号に続く。近郷の暮らしに関する事項のほか、社会や災害、伝聞なども記録されている。幕末から明治初年にかけて天変地異に関する記録も多い。なおここでは江戸記のみ調査したが明治15彗星の絵も収集済み。(加藤衛弘氏解説を要約)

このうちの、横道、向岩、八王子峠、飯能、吉田などは現在の埼玉

宝永元年の江戸城内での光物のうわさ



秋田県立公文書館蔵の岡本元朝日記にみられる(宝永元年)七月八日の記録の

読み下しなどは次の通り。(宝永元年=1704年)

この晩(七月八日)に「秋元但馬守様御家来古田十左衛門」に呼び出されて参上した「下山田新五郎」に対して、

「世間では秋田にて去月廿二日廿三日廿四日ころに光り物が飛んだと噂されていて、殿中でもそれが真であるのかどうか確認したいので尋ねる」と言っている。それを岡本は書き写し、岡本は「去月」と問われたことを「六月」と認識し、「六月廿四日に秋田を足った飛脚や、同月廿日頃に秋田を出た藩士に対して確認している。

七月十日に岡本元朝は「下山田新五郎」を通じて「秋田ではそのような事実は確認できなかった」と復命させている。それに対して「阿部豊後守」=古田十左衛門は、「そのようなことだとは思っていたが、世間で取りざたされていたので確認したのみ」と答えた。

その後、岡本元朝日記にはこれに関する記述はないようである。

なお、「去月」が五月であった可能性もぬぐいきれない

7

大流星情報の伝わり方-3



更に当時の国を越えた記録としては次のような記録が現宮崎県の「日向動変記事」の中に承応元年九月八日1652.10.10の記録として残る。

承応元年九月八日戌の刻、西の方より東の方へ大なる光物飛ぶ。其太さ、五六尺廻りの大壺を口を跡になし底を先にしたる跡にて、四五尺程跡へ引はえて火花はかはかとちり、高く在る所は高くとび、低く在る所は低く飛び、其村々々にて見様定まらず。光物の大小も其の所々にて違い有り。一在所にても遠く見る人も有り、近く見る人も有り。或は二十丁と見る人もあり、一里計りと見る人もあり。一ツ屋敷の内にてても別してあつかりつると云う人もあり。一切定まらず。十人は十様百人は百様皆々見様格別なり。(略) 扱又佐土原にては、鬼津久米沖に雷鳴りたると人々聞きたり。又清武、飢肥の沖に雷落ちたりと聞く。何れ定まりなきなり。薩摩も光物は西より東へ飛び、鳴物は東にしたるとなり。(略) 又同日同刻に四国路三帆に船かけたる人あり。光物は見ぬが雷は聞えたるとなり。是にて海に落ちたる事必定なり。京都、大阪の事を聞くに同日亥の刻の頭に、天目程の光物西より東に高く飛びたるとなり。

宮崎県の佐土原藩の現西都市のうちの三納村の人により成ったと推定されている記録で著者は不明。解題によれば寛文頃までの記録が基となり、明治年間に写されている。日記形式ではなく、事件ごとにまとめられ、この中にここに採録した「第十五西国光の物の事」がある。

6

島根県浜田での記録



ところが、島根県の「邑智郡宇都井村年代記」という史料にも、或いは同様かとも見られる記録が筆者により確認された。

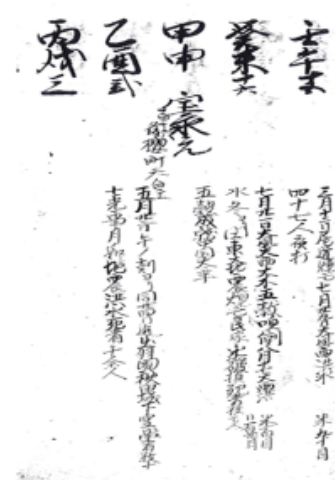
宝永二年 五月 二十二日 1705.7.12

五月廿二日午ノ刻ヨリ同廿四日迄出羽國
秋田城下空ニ星数十七光事月ノ如シ

(注；この記録は宝永元年の欄の百十六後櫻町天皇に続いて記載され、元年とも二年ともとれる位置に書き込まれている)

この記録では「星」として「数(は)十七」、更に「月ノ如シ」と記述されている。「月ノ如シ」が明るさか見かけの大きさかが不明で、さらに「五月廿二日午ノ刻ヨリ同廿四日迄」と見られた時期を限定していることは、彗星も思わせる。

現島根県羽須美村宇都井に残された年代記で江戸時代初期からの事情が編年で綴られているが詳しいのは明応ころからで、近代で統一されている。明治27年までの編年の年号の文字が同一人物によるものと見られ、写されたものか。



8

新井白石の記録



新井白石日記七 近世日本天文史料 p46、大崎政次編 原書房刊1994.2
に同時期の次のような記録がある。

宝永元年七月

七月十二日、昨日聞、此間之大雨に、二子山かけて道中六日とまるといふ。又五月廿四日の秋田の大地震之時、出ル日一丈二尺ほどに見ゆと云々。又此間客星東方に出つ。

七月十二日に記載された記事で、先日の大雨で街道の往来が数日にわたって閉ざされたこととともに、秋田で地震があった際の天文現象を記載している。ただし、「客星」が「東方」に出たのは「此間」と時間的な広がりを含んでいるように見える。

記録の出所については示されていない。

新井白石日記は元禄6年から享保8年に至る間の日記で、白石は元禄6年（1693年）に甲府藩主である徳川綱豊のもとに仕官。その後、綱豊の將軍就任（家宣）の宝永6年（1710年）に伴い、間部詮房とともに側近として登用され幕政に臨んだ。家宣の没後も7代將軍・徳川家継の下で引き続き間部と共に政務を担当したが、家継夭折後に8代將軍として徳川吉宗が就任した際に失脚し、公的な政治活動から退いた。

以下の記録は甲府藩主徳川綱豊に仕官していた当時とみられるが、記録したまたは噂の出所がどこかは判然としない。

9

仮説 江戸から島根県への伝播



相互に似た個所と齟齬が感じられる個所があるものの、
同じ現象が異なる記録者により記録されていた可能性もある。

改めて、邑智郡宇都井村年代記の来歴などを調査し直してみると、

島根県邑智郡宇都井村は旧石見国の浜田藩領の港であった。そして当時の藩主は松平康宣（まつだいらやすのり）で、その正室は阿部正能の娘であったことが分かった。

岡本元朝が日記の中で述べていた「阿部豊後守」の「御用人」から下山田新五郎が「御尋」されたとしていた「阿部豊後守」は、武蔵忍藩主の阿部正武（あべまさたけ）で、当時は老中5人制であった。

恐らくはこの関係に基づく行き来の中で、江戸城内のうわさが浜田藩へ、そして現在の島根県浜田藩領に伝わって記録されたのかもしれない。

また、寛文十二年（1672年）に河村瑞賢により、北前船航路が開設され、秋田も浜田もその寄港地であったことも関係しているかもしれない。

11

時代背景としての天災



江戸近辺も秋田もこの頃は大きな天災などが発生していた大変な時代であった。

・宝永元年羽後・津軽地震、宝永元年四月二十四日（1704年5月27日）午の下刻（午後1時ごろ）、羽後（秋田県）及び津軽地方にM7±¼の激震。羽後北部の能代の被害が大きく、地震の後、直ちに火事が起こり、炎が倒壊した家々をなめた。死者58人。

（出典：宇佐美龍夫著「日本被害地震総覧」4 被害地震各論 76頁～77頁：150 V、池田正一郎著「日本災変通志」近世 江戸時代前期＞宝永元年 418頁）

・関東大洪水、宝永元年七月三日～四日（1704年8月3日～4日）江戸川決壊、江戸東部、下総洪水。葛西、亀戸、本所、深川の辺の浸水は床上六七尺（約2m）に及ぶ。下総古河より東は行徳（浦安市）、西は浅草まで水害に及ぶ。

（出典：東京都編「東京市史稿：データベース選択＞所蔵史料目録データベース＞東京市史稿＞No.2＞震災編2＞00121～000126：宝永元年大水災」）

10

それではなぜ、幕閣でそのような天文現象が関心を持たれたのであろうか。

隕石の落下に際してには、地元の藩や代官所などを通じての幕府への報告も行われていた例が多く見られ、次の史料では江戸に運ばれたという記述がある。

元禄三年四月十六日1690.05.24

是年四月能州隕星為石、土人打割之。其石十六日に郡奉行より執政所へ出之、五月金沢より其割石一奉之、隕時光あり、其時は柔にして次第に堅実す、江戸へ越候石は一二寸許、外は瓦の如にして黒く、内は常石とは違ひ、沙のかたまれる様にして堅し、色青黒うして重し 加賀藩史料 石川 前田育徳会 復刻S45。
前田家が明治期にまとめた史料集で天正～明治。前田家蔵の史料から編年体で編纂されたもの。

文化十四年十二月朔日1818.01.07

文化十四丁丑年十二月朔日、駿州志太郡広野村宇兵衛なる者の庭へ天地鳴動した一つの玉落つる、取りて見るに熱し、袂に乗せて運び此のよし御陣屋に達しけるに、江戸へ遣し候、占せ給ふに弁才天の玉なりと云ふ

万延二酉年二月九日、飛物致し、西ノ方より飛出し、東ノ方江落候、其音大筒鉄胞炮打如し、朝六ツ頃

岩村概略記パンフレット 岐阜 「駿国雑誌」に同事象と思われる記録がある。ただし、「十一月」「有度郡広野村」と記載され、本記録とやや異なる。二つの記録は同じ現象と推察される。
なお、広野村は現在の静岡市に含まれ有度郡が正しいと思われる。

12

隕石の為政者への報告-2



宝永元年一月十二日1704.02.16

宝永元甲申年正月十二日昼之九ツ時分に当地在郷笹瀬村蔵福寺之地中内江天ヨリ玉壺ツ落申候、此玉四角にて御座候由、いかさてんもく程御座候而、貫目三百拾六匁程御座候而、其玉当御城主本庄安芸守様江戸ニ被成御座候御時江戸江参候由

旅籠町平右衛門記録 静岡 浜松市史史料編1 浜松市役所 S32

宝暦2頃成立した旅籠の書留め。日記形式ではなく見聞したことを項目毎にまとめている。

これは篠ヶ瀬隕石の記録で、そのほか隕石として何らかの形で江戸にもたらされ

た記録は八王子隕石の記録にもみられる。

また、天保八年1837.07.13の米納津隕石でも長岡の役所に持参されたとの記録

御領分蒲原吉田村枝郷留長と申所江、同酉とし六月十一日昼七ツ時半時、目方八貫為余之大石、天ヨリ舞へ落候、土中江壺丈位もうづまり候由、尤田中へ式三間之通り大損し候趣、右石は長岡へ早速御取寄、御家老様御覧被遊候趣、誠ニ前代未聞なる事と存し候、右石、天より舞へ落候節、黒雲中ヨリ出候様子、響き音ハ大鉄砲のこくと、近所近辺ハ不申及、此辺ニ而も誠ニ大難至極、音響等いたし候事、尤大雷位ひなる音なりし、但し、後ヨリ風説ニハ弥彦山ヨリ天狗之仕業ニ而も有之哉ニ申触し候、石は焼石のよし(注:「留長」は「富永」のことらしい)

中沢新田庄屋書留 現新潟県中沢新田の庄屋山本仁之進が凶作天変地異など諸事を書留めた記録。

13

曾根隕石の場合の鉄砲との関連



時代は下るが兵庫県三田市に残された「諸事風聞日記」の曾根隕石に関する記録として次のような記述がある。

慶応二年四月二十六日頃 1866.6.8-9頃

爰ニ天変不思議之事御座候、丹州天田郡曾根村と申田地江、四月廿五六日頃ニ昼九ツ時ニ大音致シ、大筒之音也、曾根村百姓田中へ罷出候処、其音之時土煙上リ、天より真直ニ四貫目斗リ之石落ル、田地へ三尺斗リ入、其石式ツニ割レ、此曾根村ハ天下領ニ候間、その殿様篠山様隣国ニ候間、申上ルニ付見分有之候処、丸石ニてなし、割石ニて角石ニ付、鉄砲江ハ不入候と申事也(以下略)、(注:この記事の一つ前に以下の鉄砲記事がある;「慶応式丙寅四月廿九日、四五日以前ニ丹後国宮津之御城江船ニて来リ、夜中ニ大筒鉄砲式ツ打込、其俟直ニ引取候由、御城ハ屋形城也、御殿様ハ当時御老中役也」)

北摂三田鍵屋重兵衛家文書で、鍵屋は当時の摂津国河馬郡三田の旧家で、(現在の三田市)南町東組の町年寄をつとめたこともある家。著者の鍵屋重兵衛は野津の朝野庸太郎で、鍵屋として廻・金物商農作を生業としていた。三田だけでなく、兵庫西宮などの事件も記され、大坂の米相場なども書かれている。ここでは慶応元年～明治六年(ただし明治三四年は欠)が含まれている。

15

為政者の恐れは鉄砲や大砲か



よくわからないのが、幕府がなぜ秋田の光物のうわさを知っていたかのその噂の出处と、なぜ、それに関心を抱いたかである。

ここから先は全くの個人的な推察に過ぎないが、筆者は、浜松の笹ヶ瀬隕石が「玉」と記載されていることが多いことを踏まえて、或いは笹ヶ瀬隕石の場合、領内での大砲騒動と間違われたいような対応があったのではないかと推察したことがある(渡辺美和、「静岡県旧引佐町『宮田日記』に見られる笹ヶ瀬隕石らしき記録について」、浜松スペースハンタークラブ「ほしNo142」、2011)

音の聞こえた火球について「鉄砲のような」と記載された記録は数多い。例えば

同七日、七ツ時過、鳴物壺貫目筒之如く北ヨリ南へ渉る(注:雷の可能性もあり)

本藩明実録本藩事実集 天保十四年十一月 1843.12.27

弘前藩九代藩主寧親に仕え足輕頭を勤めた百二十石取りの中級武士山形宇兵衛(明和5?～嘉永6)の著。永禄元年から天保十五年までの285年間の記録されているが、寛延三年七月を境に録と集に分けられる。録は永禄日記其の他の編纂物により、集は著者が活躍した江戸時代の記録を記述している。

仮まとめ



- 江戸時代に記録された記録に、江戸幕府の中樞部が秋田で見られたという流星かもしれないものに関心を抱いていたことがわかった。
- 大流星の記録などは口伝えなどにより、近郷などに伝播していたが、その規模により、当時の国内あるいは国を越えても伝播していた。
- 為政者の根幹を揺るがしかねない災害が連続多発していた時期でもある。幕府も、種々の情報も独自に入手していたのであろう。そんな背景を基に、宝永元年1704年の六月或いは五月の大流星の噂は幕閣に及んだ。なぜ、老中の縁故者である浜田までこの情報が流れたのか、それには老中の縁故者に対するそれとなくの幕府の情報管理を知らしめていたのではないかとさえ想像される。もちろん、単なる幕府関係者の茶話であったとも。
- なぜ、幕府がそのような情報に関心を寄せていたかの背景として、鉄砲や大砲の取り締まりを受けた各藩の疑似現象に対して、疑いを抱かれないような対応があったのではないかと見られることが推察できる。
- ただし、まだ数少ない傍証例にとどまり、今後ともこのような情報収集と制度研究の成果を待つところが大きい。

おしまい

ご清聴、深謝

16

4Kビデオ流星観測による鉄のスペクトルの特徴

NMS / SonotaCo Net 前田 幸治

1

流星スペクトルについて-分類-

- 金属では、Mg、NaとFeの輝線が見つけやすい出現する波長は決まっている。
- 強度比から、流星の分類がされている
- 鉄が主成分のものを鉄流星と呼ぶ

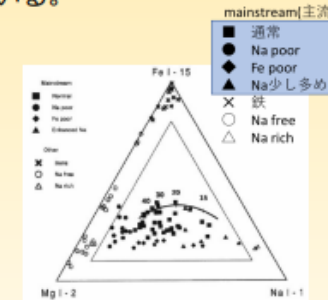
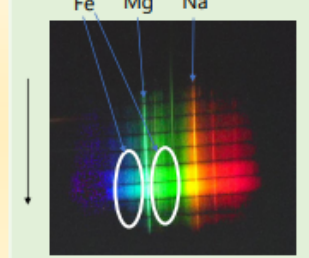
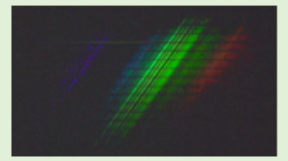


Fig. 4. Diagram showing the measured relative intensities of the Mg (1), Na (1), and Fe (1) multiplets in 96 meteor spectra. This diagram forms the basis of spectral classification of these meteors. Different classes are marked by different symbols. The solid curve shows the expected range for chondritic composition as a function of meteor speed. The speeds (in km/s) are marked with numbers. For speeds larger than 40 km/s, the line ratios should not change substantially.

典型的なしし群のスペクトル



鉄流星スペクトル



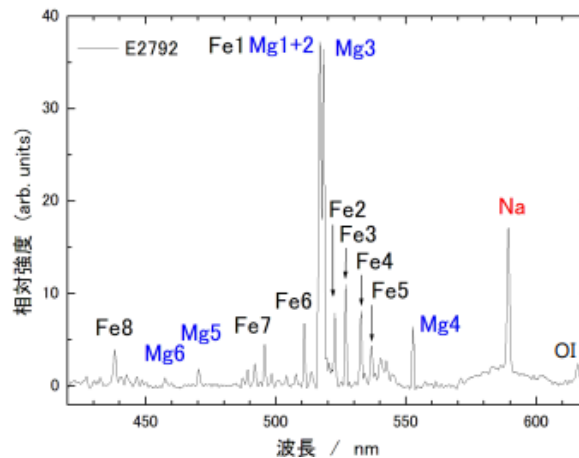
2

Mg, Fe線の同定

スペクトルの解析

一般の流星のスペクトル (ノーマルタイプ)

516.7nmはFeとMgが重なる



省略記号	文献値 / nm	同定	観測値 / nm	備考
Mg1	516.73	—	—	—
Mg2	517.27	Mg1+Fe1	517.7	分離できない
		Mg12	516.8	通常分離できない
		Mg12+Fe1	516.8	通常分離できない
Mg3	518.36	—	518.0-518.4	—
		Mg123	517.8付近	分離できないこともある
Mg4	552.8	—	552.8	—
Mg5	470.3	—	470	—
Mg6	457	—	457	—
Fe1	516.75	—	—	Mgが無いと観測可能
Fe2	522.72	—	522.7	—
Fe3	526.95	—	527	—
Fe4	532.8	—	533	—
Fe5	537.15	—	537	—
Fe6	511.04 *	—	510.9	—
Fe7	495.76 *	—	495.6	—
Fe8	438.36 *	—	438	—
Na	589.2	—	589.2	重複線

*他にも候補あり

理科年表, Boruvkaより

3

Feのスペクトルの問題点

- FeとMgの区別が難しい(516.7nm)
スペクトルの分類に影響
- Feのスペクトルの強度比は、いつも同じか？
プラズマ温度の影響
同じなら、516.7nmの線の分離に使える

4

今回の目的

FeとMgのスペクトルが重なっているあたりの波長帯の検討

- 複数の鉄流星のスペクトルを比較し、一般的な特徴と特殊な場合を区別する
- プラズマ温度

注意

鉄流星
Feのスペクトル
鉄流星のスペクトル

5

方法

- 1, 鉄流星と、ノーマルな流星を比較して、
FeのみとMg+Feのスペクトルの違いを調べる
- 2, なるべく多くの鉄流星を使って、
代表的な鉄流星のスペクトルの特徴を求る
鉄のスペクトル線間の強度比を求める
プラズマ温度を求める

6

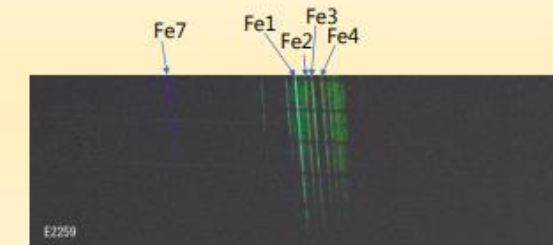
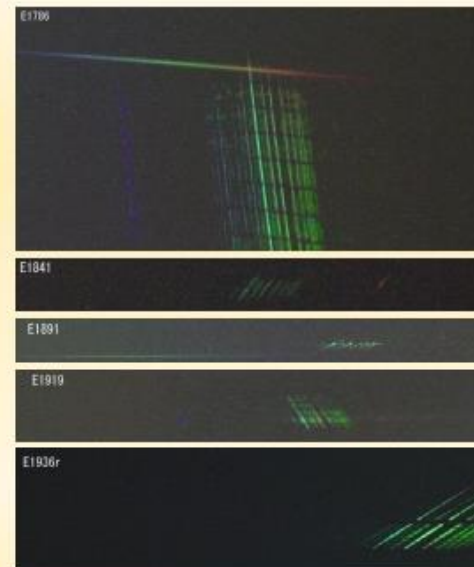
鉄のスペクトルまとめ

- 鉄流星のほとんどは、Feのスペクトルのみで、Mgは出てない
- 鉄流星の輝線間の強度は、だいたい比例している
(しかし、Fe1/Fe3の強度比が大きく異なる流星もある)
↓
ノーマル流星から真のMgの強度が推定できそう
- 鉄流星のプラズマ温度は、 3791 ± 281 K

今日の結論

7

解析に用いた鉄流星画像



8

スペクトルの解析方法

1. 4K ビデオでスペクトル撮影
2. 飽和していないかチェック
3. ガンマ補正
4. 波長同定
5. スペクトル感度校正
6. ピーク積算

9

1. スペクトル撮影

Table of observational conditions

station	Miyazaki (MZ1) 131.42 E, 31.83 N, 13 m
Camera	SONY alpha 7s (normal)
Video mode	4K (3840 x 2160), 30p
Lens	FD24mmF1.4L, FD85mmF1.2L Sigma 50mmF1.4, 35mmF1.4
Grating	300, 600 grooves / mm, VIS,UV, Edmund opt.
Software	UFOCaptureHD2 V4.10→4.60 UFOAnalyzer V2.42→2.65
wavelength	400 - 660 nm
observation type	Single station

スペクトル解析BASS : Basic Astronomical
Spectroscopy Software,
<https://uk.groups.yahoo.com/neo/groups/astrobdger/info>



10

3. ガンマ補正

永井 和男 氏 作製のUFOCaptureの出力したbmpファイルを
SONYのITU709プロファイルでガンマ補正するソフト
"ITU709_gamma.exe"を使用
(α7sのPP4設定)

MSS onlineに解説記事

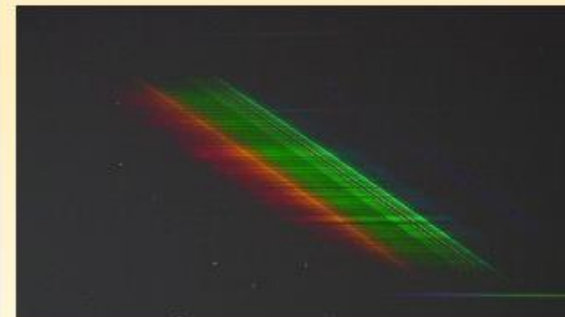
<http://msswg.net/mssonline/MSS19-spectrum-20210307-Nagai-gammaHOSEI.pdf>

上のファイルの3ページ目のURL が、ファイルのダウンロード先

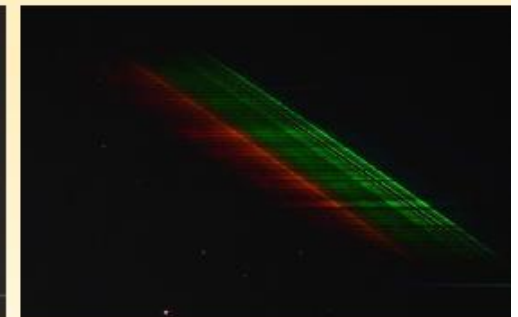
http://binary.cocolog-nifty.com/blog/files/gamma_itu709.zip

11

ガンマ補正例



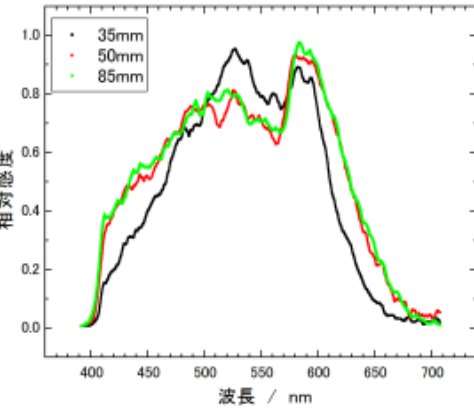
生画像 E3059



ガンマ補正後画像

12

5. 感度校正



- 今回は、35mmと50mmを使用
- 基準星はシリウス、リゲル
- 解析はBASS Project

実際は観測スペクトルのベースラインを0にするところで手間がかかる。

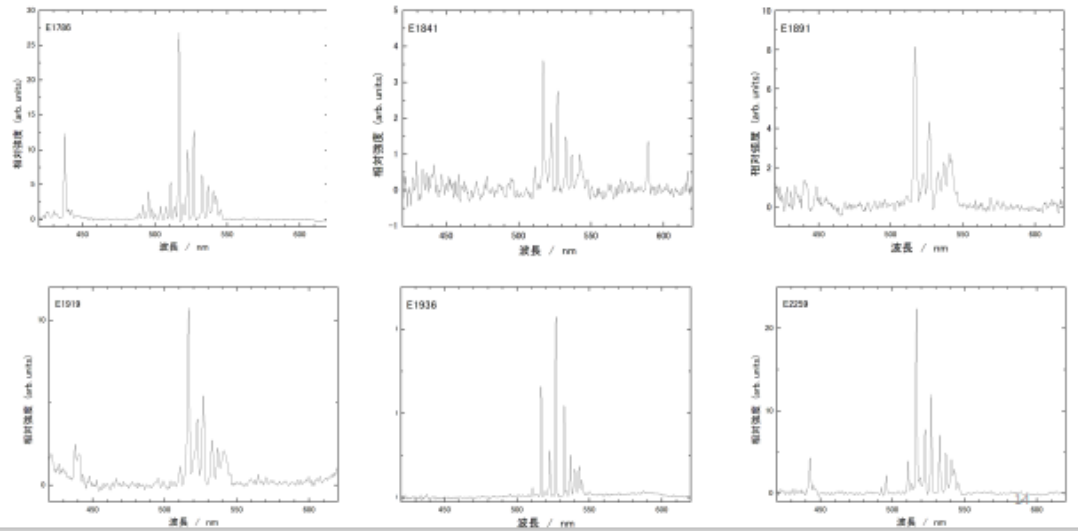
参考にした菅原 賢 氏のページ

<https://drive.google.com/file/d/1InYmC9LRKyQMxPL36tn5-nO-qKuyoldW/view>

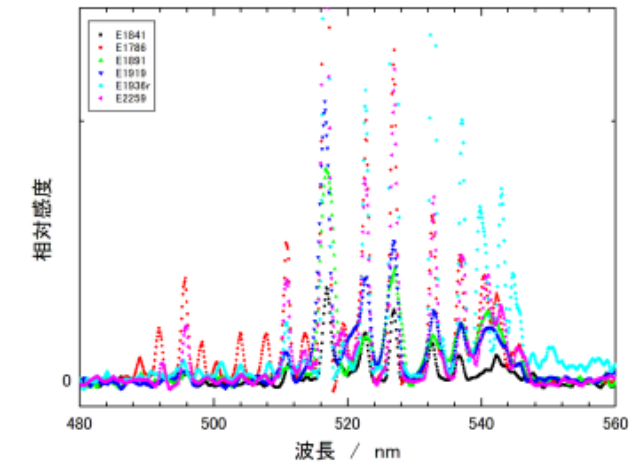
スペクトルの解析

鉄流星のスペクトル例

スペクトルの解析



鉄流星のスペクトル例 2



重ねてプロット
↓
ピーク位置はよく一致

スペクトルの解析

6. ピーク積算

ピークの広がりや考慮して面積を積分
その後、規格化

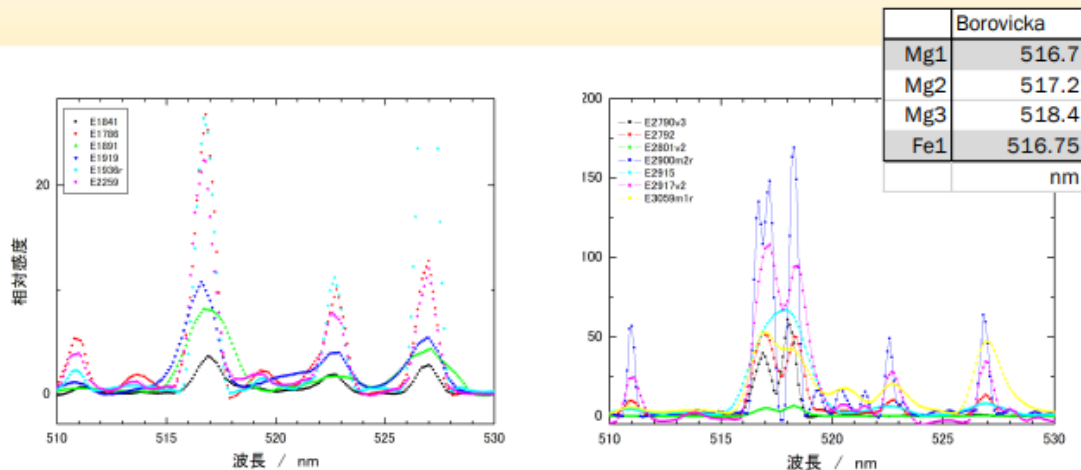
鉄流星 ピーク強度

ID	Mg12+Fe1	Fe3	Fe2	Fe4	Fe5	Fe6	Fe7	Fe8
nm	516.8	527	522.7	533	537	510.9	495.6	438
E1841	3875	3452	2881	2372	1536	673	524	888
E1786	25089	13783	12037	8707	6581	5018	3347	6414
E1891	11411	11086	5236	5558	6061	1443	951	2699
E1919	12487	9526	7626	5119	3764	1107	198	2148
E1936r	23987	44649	12908	23668	11367	2931	1544	2098
E2259	22116	12632	9848	8104	5583	3664	1438	-166

強度規格化

ID	Mg12+Fe	Fe3	Fe2	Fe4	Fe5	Fe6	Fe7	Fe8
nm	516.8	527	522.7	533	537	510.9	495.6	438
E1841	1	0.891	0.74	0.61	0.4	0.17	0.14	0.23
E1786	1	0.549	0.48	0.35	0.26	0.2	0.13	0.26
E1891	1	0.972	0.46	0.49	0.53	0.13	0.08	0.24
E1919	1	0.763	0.61	0.41	0.3	0.09	0.02	0.17
E1936r	1	1.861	0.54	0.99	0.47	0.12	0.06	0.09
E2259	1	0.571	0.45	0.37	0.25	0.17	0.07	-0.01

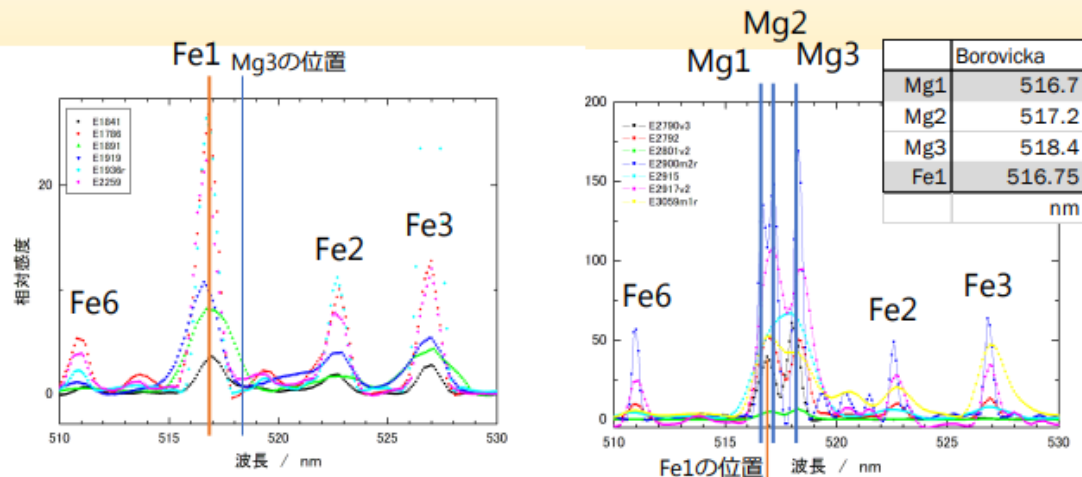
鉄流星とノーマル流星の比較



鉄流星スペクトル拡大

ノーマル流星スペクトル拡大

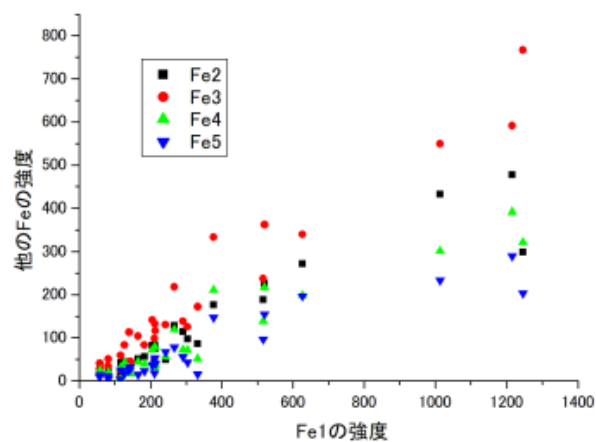
鉄流星とノーマル流星の比較



鉄流星スペクトル拡大図

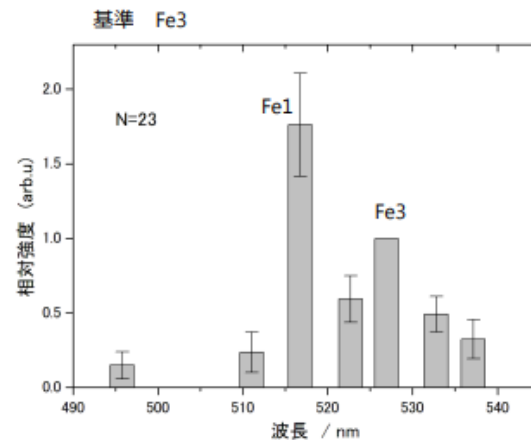
ノーマル流星スペクトル拡大図

Fe1と他のFeの輝線間の強度比



Fe2~Fe5の輝線は、
その比はほぼ一定

Feのスペクトルの強度比



ID	波長	平均	σ
Fe1	516.8	1.76	0.35
Fe2	522.7	0.59	0.16
Fe3	527	1	
Fe4	532.8	0.49	0.12
Fe5	537.2	0.32	0.13
Fe6	511	0.24	0.14
Fe7	495.8	0.15	0.09

Feのスペクトル線間には
一定の強度比の関係がある

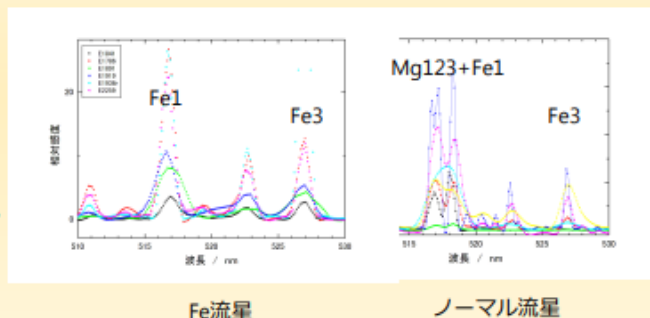
Fe1 : Fe3 = 1.76 : 1

強度のばらつきはプラズマ温度の
違いの可能性もある

Feの影響を考慮したMgの強度

- Fe1 : Fe3=1.76 : 1 より、
F1=2.32・Fe3
- 517nm付近の全ピーク強度I(517)は、
Mg123とF1の和なので、
Mg123=I(517)−2.32・Fe3

これより、より正確なFe:Mgの比が求まる。



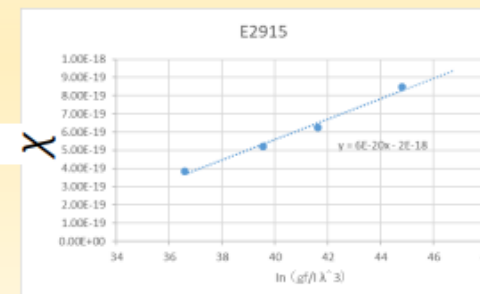
なお、Borovicka (2005)の分類法では、Feは、527-545nmの強度のみを用いるので、Fe1をFeのスペクトルの強度に加える必要はない。

21

プラズマ温度の求め方

$$\chi = kT \ln \frac{gf}{I\lambda^3} + kT \ln C$$

χ : 各励起ポテンシャル
 k : ボルツマン定数
 T : プラズマ励起温度
 g : 下位レベルの統計的ウェイト
 f : 振動子の吸収強度
 I : 各遷移の発光強度 (Fe2, Fe5, Fe6, Fe7)
 λ : 発光波長
 C : 定数



傾きより $T=4056 \text{ K}$

長沢 工 MSS資料集No.19 より

22

鉄流星のプラズマ温度



28個の鉄流星から求めた
プラズマ温度

$3791 \pm 281 \text{ K}$

23

鉄のスペクトルまとめ

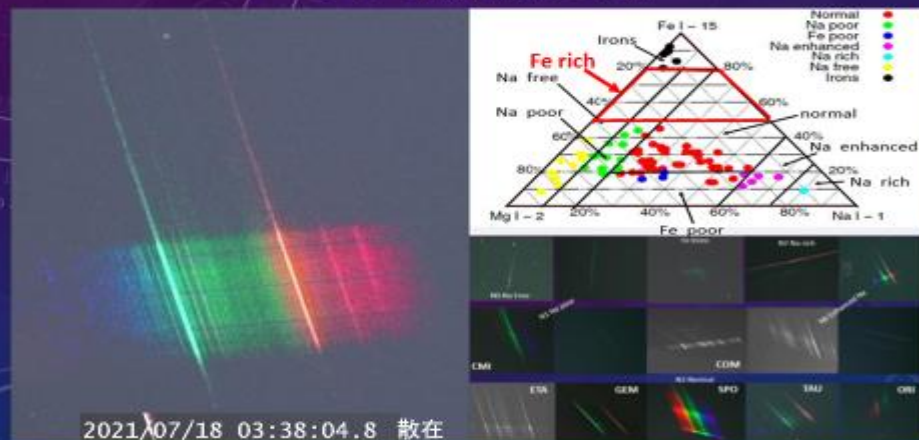
- 鉄流星のほとんどは、Feのスペクトルのみで、Mgは出てない
- 鉄流星の輝線間の強度は、だいたい比例している
(しかし、Fe1/Fe3の強度比が大きく異なる流星もある)
↓
ノーマル流星から真のMgの強度が推定できそう
- 鉄流星のプラズマ温度は、 $3791 \pm 281 \text{ K}$

24

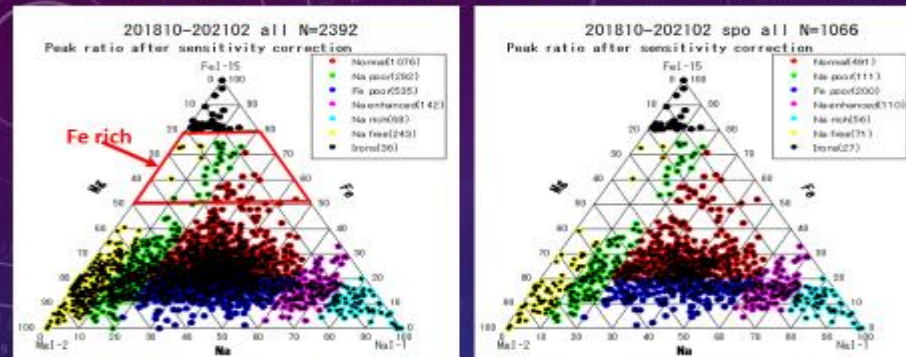
2021年(ZOOM)流星会議発表資料

関口 孝志 20211031

2018年10月から2021年2月までの
スペクトル解析結果と考察

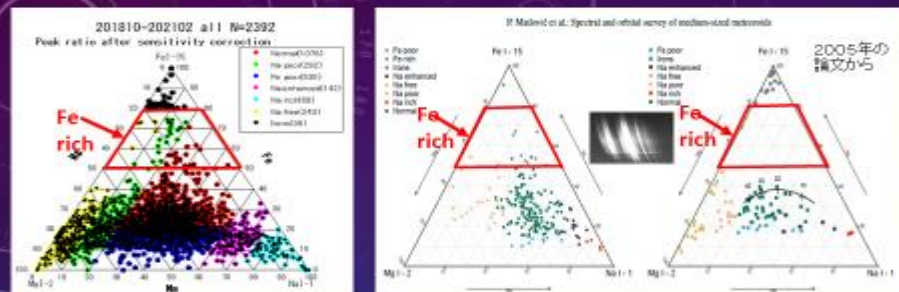


2018年10月から2021年2月のスペクトル解析結果と考察



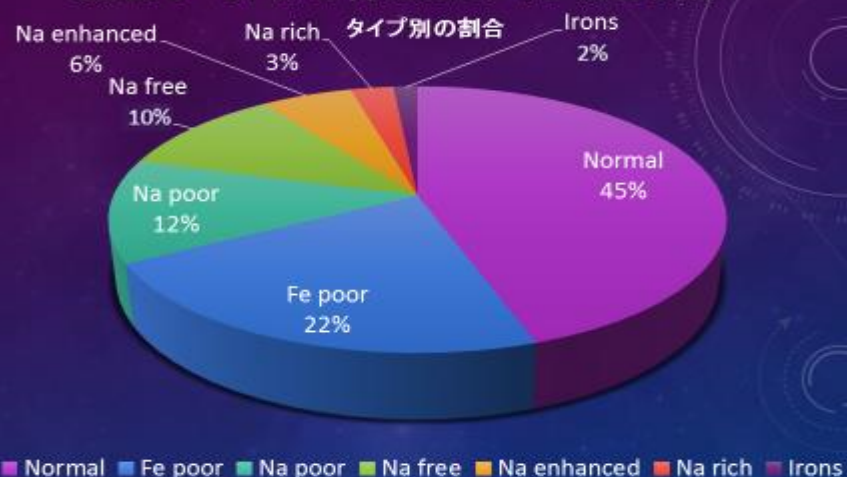
2018年10月から2021年2月までの2392個のスペクトル解析結果です。カメラや解析方法やソフトや分類の仕方は、2019年の流星会議の私の資料を参考にしてください。最後のスライドにアドレスがあります。グラフは、カメラ8台の感度補正までのピーク比です。左が全流星のタイプ別の三角図です。中央部分に集中が見られます。Feが50-80%になっているタイプが54個ありました。ここをFe richとして新グループとしている論文(2019年PAVOL MATLOVIC)にもあります。全てのタイプのスペクトルが撮影されています。Na rich(68個)とIrons(36個)が少ないです。右が1066個の散在判定のみのタイプ別の三角図です。やはり、中央部分に集中が見られFeが40%以上の流星とNa richとNa enhancedとIronsの流星の殆どが散在流星になっています。2020年5月までの分布とあまり変わりません。

タイプ分類の2005年と2019年の論文との比較



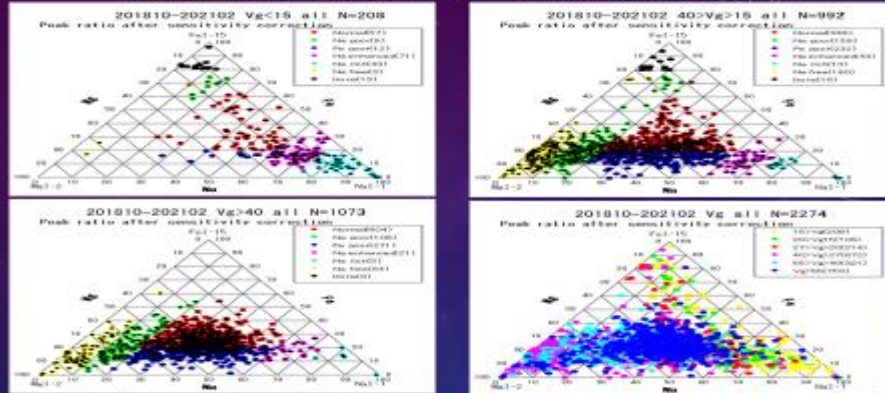
前のスライドのFeが50-80%になっているタイプをFe richとして新グループとしている論文(2019年PAVOL MATLOVIC)のSPECTRAL AND ORBITAL SURVEY OF MEDIUM-SIZED METEORIDSとの比較です。右側の三角図の分類は、この論文で、2005年のJ. BOROVICKA, ET AL ICARUS 174, 15の論文と比較しています。一番右がもともになっている2005年の論文の三角図です。ここには、Fe richが一つもありません。なので7つのタイプで分類されています。真ん中が2019年の論文で8つのタイプに分類されています。しかも、2005年の分類とは、少し異なっています。8個がFe richになっています。この領域には、4個の別のタイプも含まれています。左が私の結果です。Fe richのこのタイプが54個ありました。この図は、2005年の分類でしているので、3つのタイプが合わさっています。しかし、どうも1つのタイプにした方がよいと思っていた所で、この論文を見つけ、納得しました。

流星スペクトルの得られたタイプ別の割合



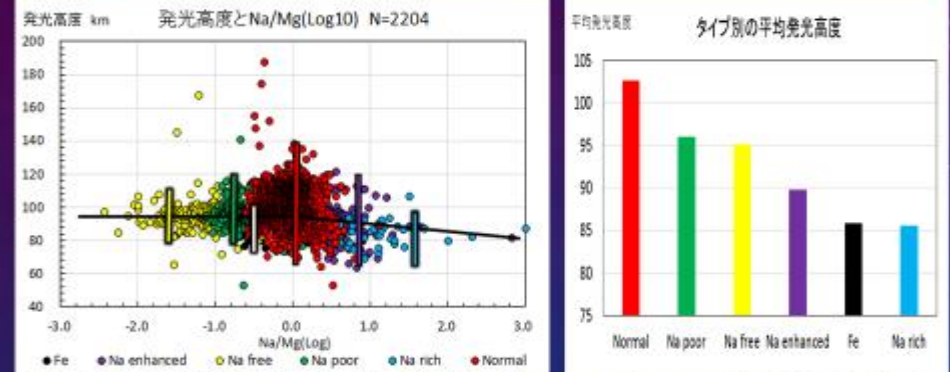
2392個の全流星のスペクトルのタイプ別の割合です。Normalが45%と一番多かったです。次にFe poorでこの2つで約3/4になります。Na richとIronsは、合わせても全体の5%しかありませんでした。Fe richは、分類していません。第3回スペクトル研究会等の資料の時と殆ど変わっていません。

全流星の速度によるタイプ別の三角図



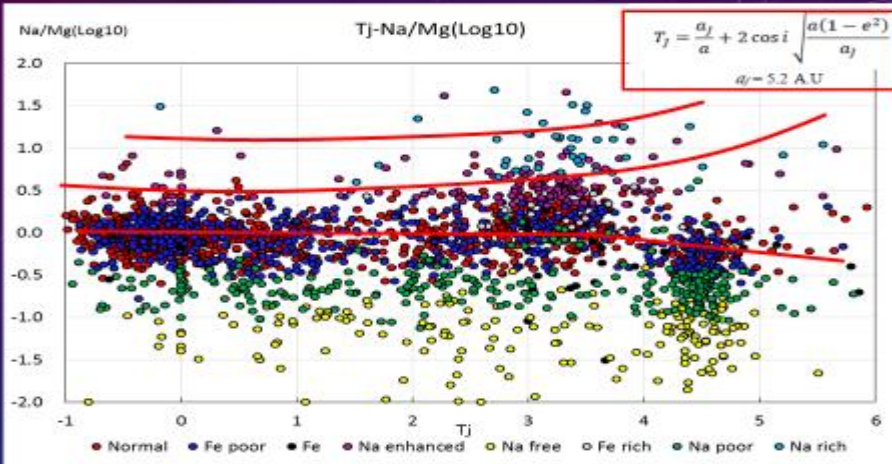
全流星の速度でのタイプ別の三角図です。左上は、 V_g が15km以下です。7つの全部のタイプがみられます。 Mg の量は、0-30%の間に集中しています。 Fe と Na の量の差で各タイプに分かれています。右上は、 $40km > V_g > 15km$ です。こちらも7つのタイプが見られます。IronsとNa enhancedは、左上と同じくらい見られます。Na richは、少なくなっています。Na freeとNa poorとNormalとFe poorは、 Fe の量が10-40%に集中しています。Na poorとNormalは、やや鉄の量が多いものが中央の上に固まっています。左下は、 V_g が40km以上です。Ironsは、ありません。Na richとNa enhancedが少し見られます。Na freeとNa poorとNormalとFe poorは、右上より集中が少なくなっています。Normalが一番多く中央の下に集中しています。右下は、全流星の速度別の三角図です。この図から、IronsとFe richとNa richとNa enhancedは、低速流星が多いということがわかります。

全流星の発光高度とNa/Mgの関係等



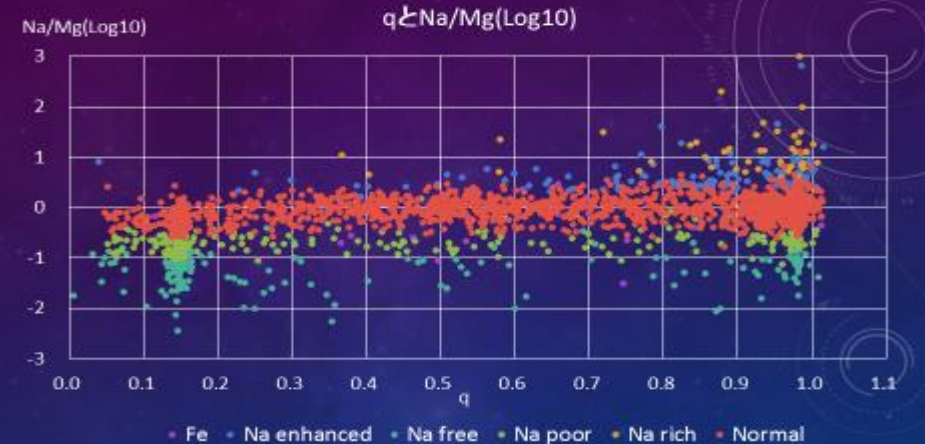
左は、全流星の発光高度とNa/Mg比です。どのタイプ(Fe richとFe poorは、分類してなくNormalに含めています。)も100km付近からの発光が見られます。Na/Mg比が0以下では、集中している部分が殆ど100kmです。Na/Mg比が0以上では、100kmから80kmへと低くなっています。タイプでは、Na enhancedとNa richです。これらは、低速流星が多いので低くなっているのがわかります。右は、タイプ別の平均の発光高度です。これを見ても、Na enhancedとNa richとIrons(Fe)が低速が多く低くなっていることがわかります。前のスライドからもNormalとNa poorとNa freeは、中高速が多く発光点が高くなっています。Normalに比べるとNa poorとNa freeは、暗い流星が多く高度の差が小さくなっています。

全流星のTj(Tisserand parameter)とNa/Mgの関係



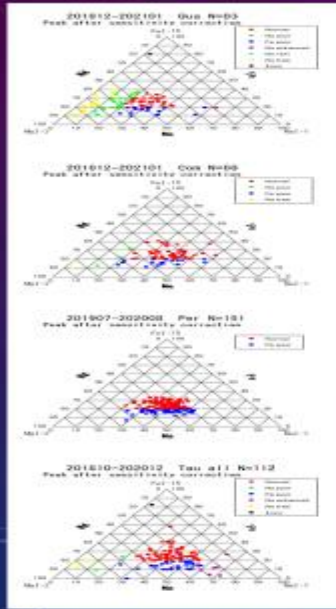
全流星のTj(Tisserand parameter 上の赤四角の式 a_J は、木星の軌道長半径)とNa/Mg比です。NormalとNa poorとNa freeは、特に変化が見られません。Na enhancedとNa richは、Tj 3以下でほぼ一定ですが、Tj 3からNa/Mgの比の増加がやや見られます。Fe poorは、Tj 3以上でNa/Mgの比の減少がやや見られます。

全流星のq(近日点距離)とNa/Mgの関係等



上は、全流星のqとNa/Mg比です。これを見ても、Na richとNa enhancedがqが小さくなるに従ってNa/Mg比が低くなっていることがわかります。前のスライドとNaが減る似た傾向があります。Na poorとNa freeは、もともとNaの量が少ないので特に大きな変化が見られません。Normalは、qが0.35以下になると少しずつ低くなっています。

Qua群とCom群とPer群とTau群の三角比



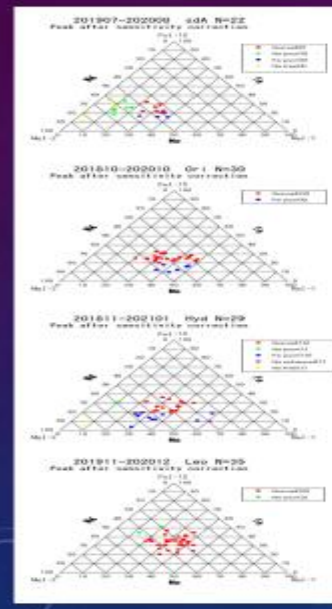
1つ目は、2018年-2021年のしぶんぎ群の全流星83個のスペクトルのタイプ別の三角図です。三角図の中央から左側によっています。Naの割合が0-40%に集中が見られます。また、鉄の割合は、10-40%に集中しています。4つのタイプが多く大体同じ割合で分布しています。後のスライドのふたご群と似ています。

2つ目は、かみのけ群の全流星68個の結果です。NormalとFe poorが殆どで中央に集中しています。Naの割合が30-50%に集中が見られます。鉄の割合は、10-40%に集中しています。Na poorとNa Freeが少しあります。

3つ目は、2019年から2020年のペルセ群の全流星151個のスペクトルの三角図です。三角図の中央に集中しています。NormalとFe poorが殆どです。明るい流星が多くスペクトルがよく出ています。Naの割合が30-50%に集中が見られます。また、鉄の割合は、10-30%に集中しています。

4つ目は、おうし群全体のタイプ別の結果です。6つのタイプに分けられました。NormalとFe poorが殆どです。火球が多く爆発時のFeの割合が影響しFe割合の幅があります。いくつか散在判定と紛らわしいものがあります。中央から外れているものは、散在の可能性もあります。

sdA群とOri群とHyd群とLeo群の三角比



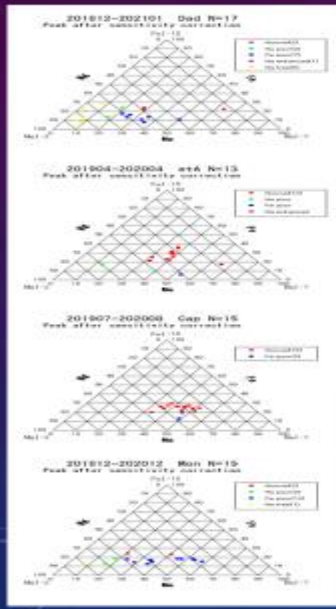
1つ目は、2019年-2020年の水がめ南群の全流星のスペクトルのタイプ別の三角図です。三角図の中央から左側によっています。Naの割合が0-40%に集中が見られます。また、鉄の割合は、10-40%に集中しています。4つのタイプが多く大体同じ割合で分布しています。しぶんぎ群とふたご群と似ています。

2つ目は、2018年-2020年のオリオン群の結果です。NormalとFe poorが殆どで中央に集中しています。Naの割合が20-50%に集中が見られます。鉄の割合は、10-40%に集中しています。ペルセ群と似ていますが同じ母天体の水がめ群とは、少し違うようです。

3つ目は、2018年-2021年のうみへび群の結果です。三角図の中央に集中しています。NormalとFe poorが殆どです。Naの割合が20-40%に集中が見られます。また、鉄の割合は、10-35%に集中しています。

4つ目は、しし群全体のタイプ別の結果です。Normalが殆どです。Na poorが2つあります。火球が多く爆発時のFeの割合が影響しFe割合が20-50%と幅があります。高速でスペクトルがきれいにるのでペルセ群と似たような感じです。でも、明らかに鉄の割合が多いのが違います。

Dad群とetA群とCap群とMon群の三角比



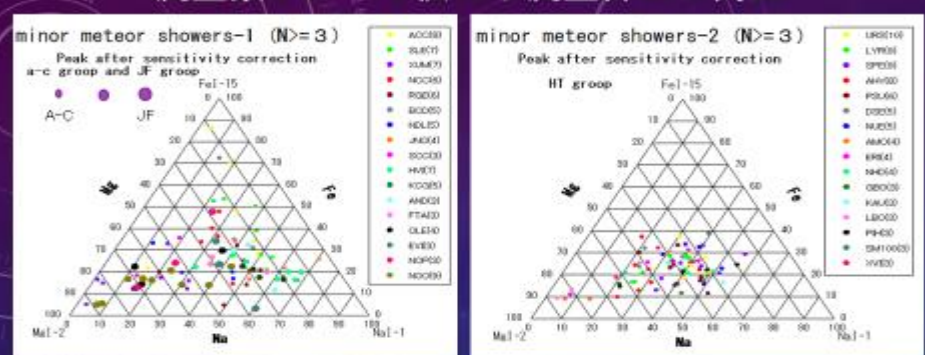
1つ目は、2018年-2021年の12月から1月のりゅう群のスペクトルのタイプ別の三角図です。三角図の中央から左側によっています。Naの割合が0-40%に集中が見られます。また、鉄の割合は、10-30%に集中しています。4つのタイプが多く大体同じ割合で分布しています。しぶんぎ群と判定が難しいですが似ています。

2つ目は、5月のみずがめ群の結果です。Normalが殆どで中央に集中しています。Naの割合が30-40%に集中が見られます。鉄の割合は、20-35%に集中しています。

3つ目は、2019年-2020年のやぎ群の全流星15個のスペクトルの三角図です。三角図の中央に集中しています。NormalとFe poorが殆どです。明るい流星が多くスペクトルがよく出ています。Naの割合が30-50%に集中が見られます。また、鉄の割合は、10-30%に集中しています。

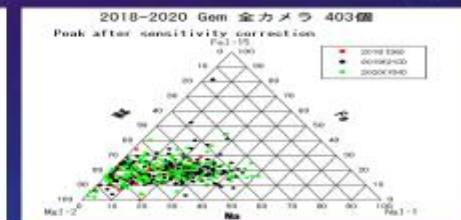
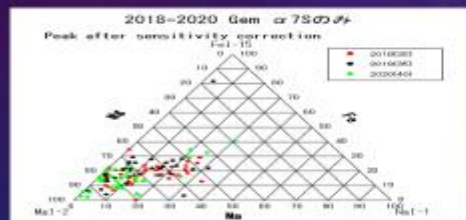
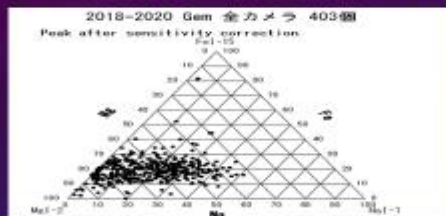
4つ目は、一角獣群のタイプ別の結果です。4つのタイプに分けられました。Fe poorが殆どです。Naの割合が10-60%と広く分布しています。qが小さいのでNaの枯渇が見られているようです。

流星数が3~10個の小流星群の三角比



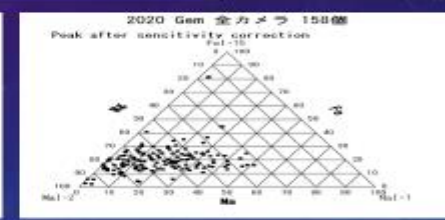
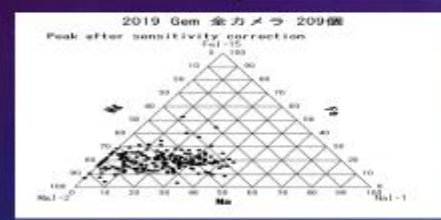
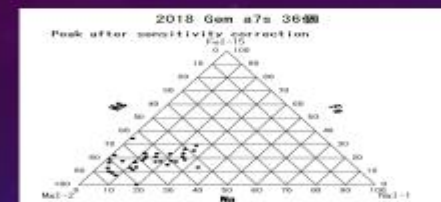
左がA-CとJFグループで、右がHTグループに分けてあります。左右から分かることは、Naが0-30%と少ない群は、軌道から見るとSCC(q=0.1 i=5 a-c)とXUM(q=0.2 i=67 a-c)とNDL(q=0.5 i=5 a-c)とACC(q=0.5 i=8 a-c)とNOO(q=0.1 i=20 JF)とOLE(q=0.1 i=30 JF)となっています。これらは、全てで、qが小さくAsteroidal-chondritic class(A-C)とJupiter-family orbits(JF)です。また、Halley-type orbits(HT)タイプのものでAHY(q=0.3 i=60 HT)とAMO(q=0.4 i=130 HT)とLBO(q=0.97 i=80 HT)とGBO(q=0.9 i=80 HT)があります。Naの少ない群は、Naの枯渇があるものと考えられます。Feが多い群としてACC(q=0.5 i=8 a-c)とNCC(q=0.4 i=3 a-c)とSLE(q=0.7 i=5 a-c)さらに、Naが多い群としてHVI(q=0.8 i=1 JFとa-c)とJNO(q=0.8 i=5 a-c)とKCG(q=0.9 i=30 JFとa-c)とBCD(q=0.8 i=6 a-c)があります。他の小流星群は、中央部に分布しています。

流星スペクトルの得られた全Gem群の三角比



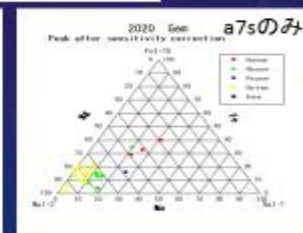
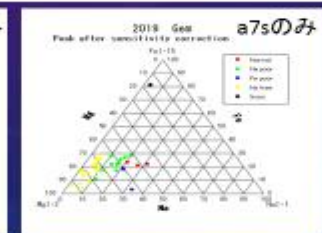
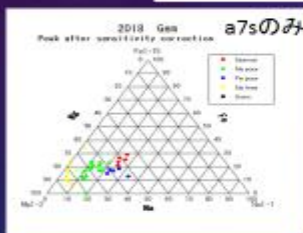
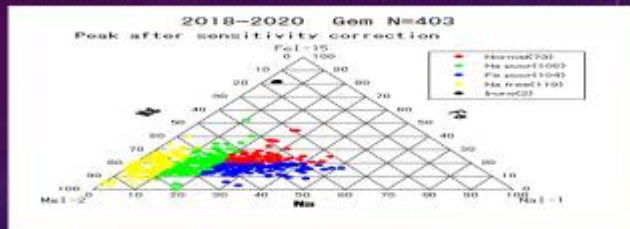
上は、2018年から2020年のふたご群の全流星のスペクトルの三角図です。三角図の中央から左側によっています。Naの割合が0から40%に集中が見られます。また、鉄の割合は、10-30%に集中しています。鉄流星が2個撮影できています。左下は、a7sのみの結果で3年分を分けています。右下は、全カメラの3年分を分けています。2018年は、赤点。2019年は、黒点。2020年は、緑点です。A7s(50mm)のみと全カメラでは、ともに年によって分布の仕方が違います。全カメラは、6mmが多いので明るい流星も多く広い範囲に広がってます。

流星スペクトルの得られたGem群の年別の三角比



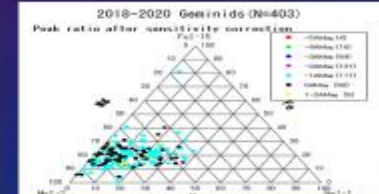
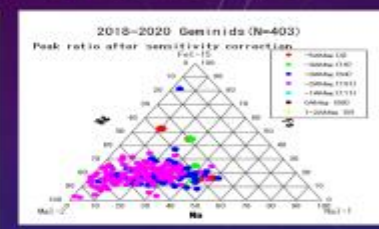
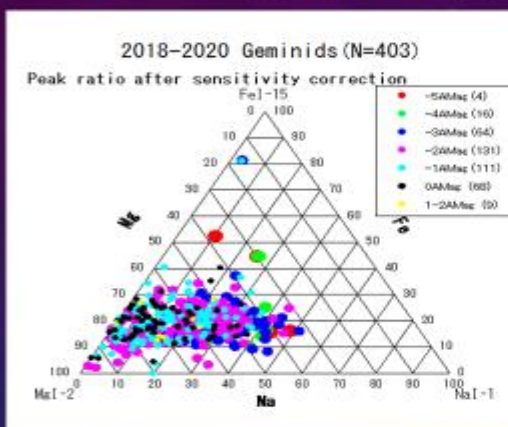
前のスライドの上の全部のふたご群のグラフを年毎に分けました。上は、2018年のa7sのみの結果です。Naは、30%以下です。左下は、2019年の全カメラによるふたご群の結果です。極大付近の明るいものが焦点距離の短いレンズでたくさん撮影され、Naの20-40%に集中が見られます。右下は、2020年の全カメラのふたご群のスペクトルの結果です。2020年の方は、Naの割合が30-40%に集中が見られなくて、0-30%に集中しています。年によって分布の集中の違いが見られますがFeの分布の範囲は、10-30%と似た傾向があります。

流星スペクトルの得られたGem群のタイプ別の三角比



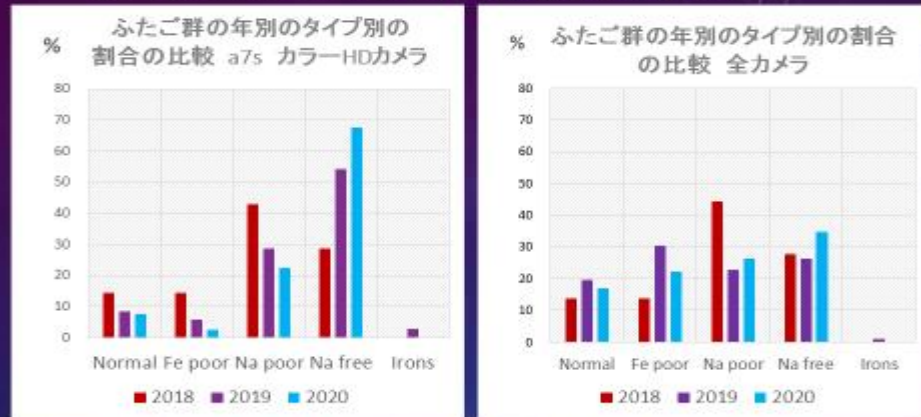
上は、全カメラのタイプ別三角図です。4つのタイプが大体同じですが、Na poorとNa Freeがやや多くなっています。下の3つは、a7sの50mmレンズのみのふたご群全部の年別のタイプ別です。年によるタイプ別の割合の違いが見られます。Nomallは、少なく、Na freeとNa poorが年によってばらつきが見られます。2018年は、Na poorがやや多かったですが、2019年と2020年は、Na Freeの方が多かったです。

スペクトルの得られたGem群の絶対光度別の三角比



左は、2018年から2020年の全カメラによるふたご群の全絶対光度別の三角比です。中央に明るいものが左に暗いものが集中しています。重なりが多いので2つに分けました。右上は、絶対等級-5等から-2等までの明るい流星の分布です。右下は、絶対等級-1等から2等までの暗い流星の分布です。-2等から-1等は、やや広がりが大きいです。集中部のずれは、10%程度あります。0等から2等は、左の0-10%の範囲が多くなっています。暗い流星は、Naの量が少ないので、暗い流星ほどNaの枯渇が起きやすいと考えられます。

Gem群のカメラごとの年によるタイプ別の割合



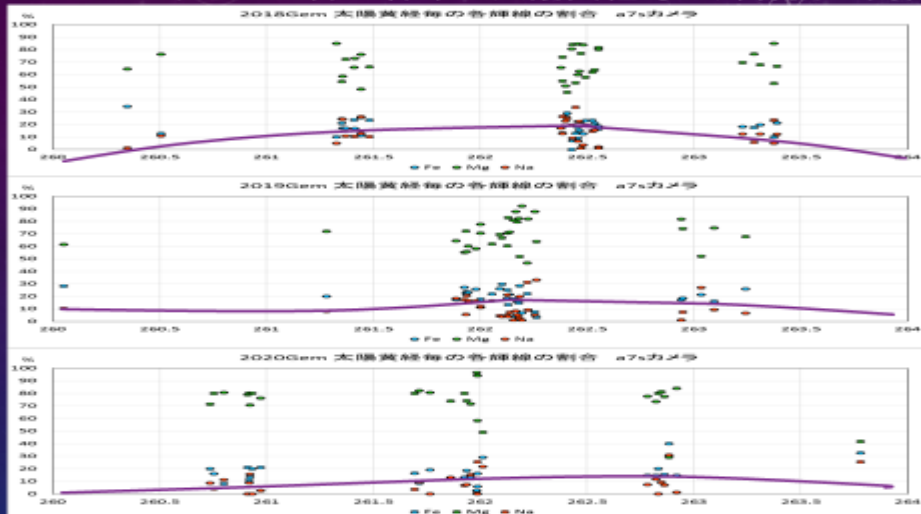
左は、a7sの50mmレンズのみのふたご群のタイプ別の割合の年による変化です。年によって割合の違いが見られます。NormalとFe poorが少なく、Na freeとNa poorが多いですが年によってばらつきが見られます。Na Freeが、毎年割合が増えていて他の3つは逆に毎年減っています。右は、全カメラの結果です。こちらも、年によってタイプの一番多いものは、違います。2019年だけがNormalタイプとFe poorが他の年より多かったことがわかります。2018年と2020年の方は、反対にNa freeとNa poorが多かったことがわかります。

全Gem群のタイプ別の輝線の割合の平均の比較



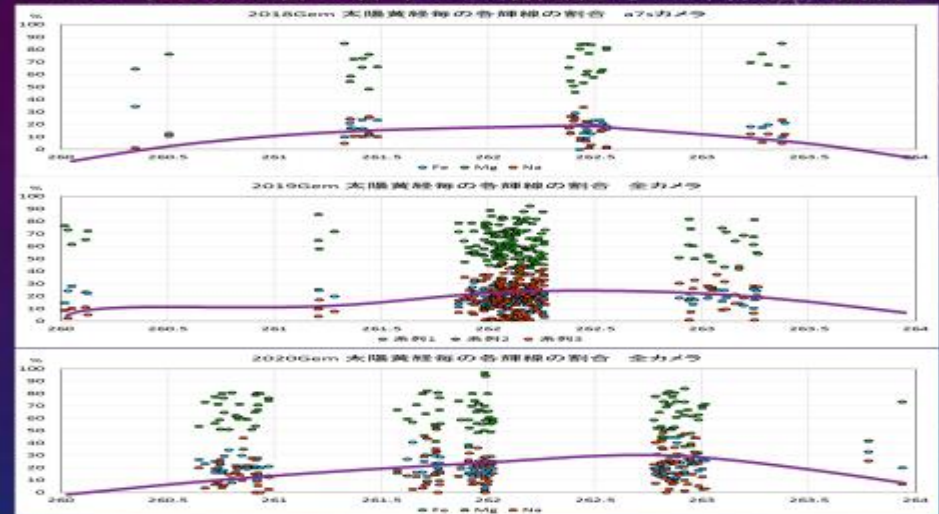
左は、全カメラのふたご群のタイプ別の輝線の割合の表です。上が私の結果で、下が阿部さんの結果です(第三回スペクトル研究会資料参照)。タイプによって輝線の割合の違いが見られます。ともに、Na freeが一番多くNaの枯渇がわかります。タイプ別の輝線の割合も大体似た傾向になっています。右は、私の左の表をグラフにしたものです。Feは、Ironsを除くとタイプ別でも大体同じ割合ですが、Mgは、タイプによって減っています。Naは、逆に増えています。このことからふたご群は、Na freeが多いのでNaの枯渇が起きていることがわかります。

a7sのカメラのGem群の各年の太陽黄経毎の輝線別の割合



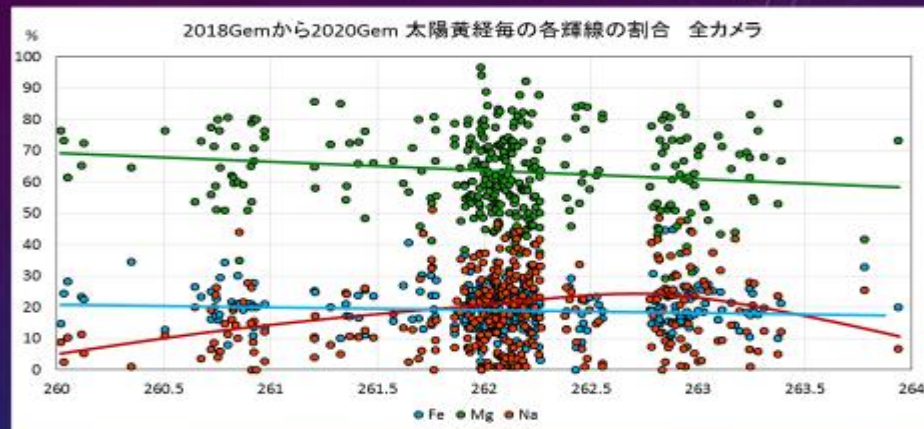
上は、a7sの50mmレンズのみのふたご群の輝線別の割合の年による変化です。年によって大きな違いは、見られません。Mgが一番多く、次にFeが多く、Naは、一番少なくなっています。このことからNaの枯渇がわかります。どの年も極大付近でNaがやや多くなる傾向が見られます。2019年は、極大前が天候が悪く数が少なくなっています。

全カメラのGem群の各年の太陽黄経毎の輝線別の割合



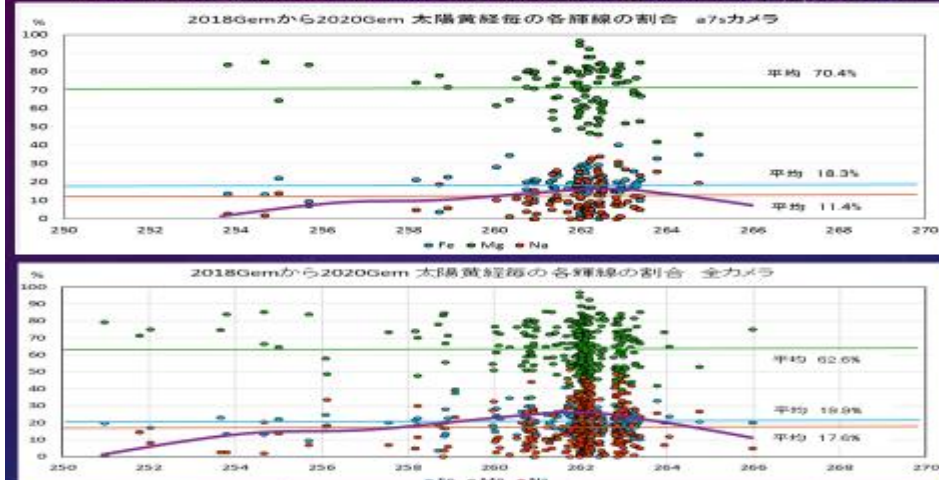
上は、全カメラのふたご群の輝線別の割合の年による変化です。どの年も極大付近と極大前後にNaがやや多くなる傾向は、前のスライドと変わりません。2019年は、極大付近のため、Naが、他の年よりもやや多くなっています。2018年と2020年は極大後の方が少しNaが多くなっています。Feは、広がりが一番少ないです。Naの増加曲線は年によって違った変化をしています。

全カメラの3年分のGem群の太陽黄経毎の輝線別の割合



全カメラの3年分のふたご群の太陽黄経毎の輝線別の割合の変化です。まとめたことでふたご群全体の傾向が見えてきました。Feの割合は、20%程度の広がり、広がりの範囲は、一番少ないです。Naは、極大付近と極大前後にやや多くなる傾向は、変わりません。また、Naは、極大前より極大後にやや多くなっています。Mgは、Naと反対で極大付近と極大前後にやや減る傾向が見られます。まだ、隙間がありますが今年の結果が入ると4年分となりまた、傾向がわかりやすくなると思われます。

a7sと全カメラのGem群の3年分の太陽黄経毎の輝線別の割合



上は、a7sの50mmレンズのみの3年分のふたご群の変化です。太陽黄経の範囲を前後少し増やしました。Mgの平均は、約70%で、Feの平均は、約18%で、Naの平均は、約11%です。下は、全カメラの3年分です。Mgの平均は、約63%で、Feの平均は、約20%で、Naの平均は、約18%です。カメラによってやや違いが見られます。前のスライドと同様に、Naは、極大付近と極大後にやや多くなる傾向は、変わりません。MgとFeの傾向も変わらずよくわかります。

全Gem群の各年のAMagとNa/Mg(Log)の関係

AMag-Na/Mg(Log) 2018Geminids(N=35)

AMag-Na/Mg(Log) 2019Geminids(N=150)

AMag-Na/Mg(Log) 2020Geminids(N=134)

○ Na free ● Na poor ● Normal

左は、2018年の a7sの50mm レンズのみのふたご群のタイプ別のAMagとNa/Mg(Log)の関係のグラフです。3つのタイプともAMagが小さくなるとNa/Mg(Log)の値も小さくなっています。真ん中は、2019年のふたご群のタイプ別のAMagとNa/Mg(Log) の関係のグラフです。右が2020年のふたご群のタイプ別のAMagとNa/Mg(Log) の関係のグラフです。3年間とも3つのタイプで似たような直線の傾きになっています。2019年と2020年は、2018年よりもNaのばらつきが大きくNa Freeが2つのグループに分かれているように見えます。暗い流星ほどNaが少なくなっているのがNaの枯渇が見られていることがわかりやすくなったと思われます。

全Gem群のNaとMgとFeのそれぞれの割合とMassの関係

2018Gemから2020Gem mass毎の各輝線の割合 全カメラ

2018Gemから2020Gem mass毎の各輝線の割合 全カメラ

● Fe ● Mg ● Na

左は、2018年から2020年までの3年間のふたご群の全流星のNaとMgとFeのそれぞれの割合とMassの関係のグラフです。質量の小さいほどMgの割合が多くなっています。Feは、殆ど変わりません。Naは、質量の小さいほど割合が少なくなっています。このことから、Naのみ質量に依存して変動や枯渇していると言えます。右のグラフは、縦軸を対数にしています。また、年ごとにマークを変えています。MgやFeに比べて、Naの広がりが大きいことがわかります。年によっての質量の違いも見られます。2018年は、0.1gから1gに集中しています。2019年は、0.6gから6gと幅広くて分布し、15gから70gまでの重いものもあります。明るい流星が多かったことからもうなづけます。2020年は、1から10gに集中しています。

全Gem群の年別の太陽黄経とNa/Mgの関係



全カメラの3年分のふたご群の年別の太陽黄経とNa/Mg比です。太陽黄経の範囲は、250-265です。極大は、2019年の262.1度付近としました。これを見ると、**2018年と2020年**が極大後に少しNa/Mg比が多くなっています。2019年は、ほぼ極大で極大前と比べると極大後の方が約2倍近く多くなっています。これは、261度付近は、天候が悪かったのもう少し多かったものと思われる。このことから、**ダストトレイルの分布は、太陽黄経によってNa量の分布が異なる**と考えられます。前のスライドと合わせるとNaが多いほど質量が大きいという結果から、**小さい流星ほどポイントイング・ロバートソン効果が大きく効き、極大前に小さい流星が観測されやすい**と考えられ今までの先行研究と似た結果になりました。

軌道の求まったGem群のTJとKBとTJとPEの関係

左は、2018年から2020年までの3年間の軌道の求まったふたご群の全流星のKBとTJの関係のグラフです。**ふたご群は、TJでは、小惑星とコンドライトA-Cタイプ**です。KBのタイプでは、astタイプには、Fe poorとNa poorとNa freeが見られます。**Aタイプには、殆どのタイプがTJ4-5に集中しています。特にNormalとFe poorが多いです。Na poorとNa freeは、ややばらけています。CとDタイプは、殆どありません。**右は、PEとTJの関係のグラフです。**PEのタイプでは、Iのタイプは、NormalとFe poorだけです。IIのタイプもNormalとFe poorが殆どで、Na poorとNa freeが少し見られます。IIIAタイプには、殆どのタイプがTJ 4-5に集中しています。Na poorとNa freeが多く中央に集中していますがやや広がりもあります。このIIIAタイプが一番多いです。IIIBは、Na poorとNa freeが多くNormalとFe poorは、ほんの少しです。**

12月下旬から1月初めに似た軌道の低速流星

No	ID	月	出現時刻	群名	群名	mag	dur	速度	Na	Mg	Fe	合計	Na%	Mg%	Fe%	Na/Mg	Fe/Mg	Na/Fe	タイプ	タイプ
			JST	単点	同時	amsec		Vr	509.2	618.2	526-645								(Mg+Na)前田氏論文	
2465	SZ600327	12	20201226 013236	同群	α-Ort	-0.5	0.8	14.4	260	171	85	524	51	33	16	1.57	0.50	0.61	N6	Normal
2468	SZ600330	12	20201226 212600	同群	α-Ort	-0.9	1.8	11.1	291	85	104	480	61	18	22	3.42	1.22	0.77	N7	Na enhar
2469	SZ600331	12	20201226 195813	同群	α-Ort	0.5	1.9	13.1	134	0	55	197	68	4	20	16.75	6.88	0.94	N7	Na enhar
2470	SZ600332	1	20210101 005705	同群	α-Ort	-0.9	1.6	13.5	652	473	607	1732	38	27	35	1.38	1.29	0.58	N3	Normal

上の写真は、今回似た軌道のスペクトルと本体です。長めの3つは、光度変化がよく似ています。最後の1個も最初の淡い発光側の様子が似ています。低速のため静止画では、良く見えないので動画の静止画から測定しました。下の表は、スペクトル解析結果の一覧です。**低速のため継続時間も長く、Naが多め**になっています。

12月下旬から1月初めに似た軌道の低速流星

左は、今回の4個のスペクトルの輻射点分布です。低速のため広がっています。右は、1月中旬から2月から始めのIw JNO群の輻射点分布です。やはり広がっています。輻射点の赤経の移動量を0.3として判定させると1月上旬から判定され、今回のスペクトルの流星でも判定されたものもありました。たぶん太陽黄経からみても、**Iw JNO群の初期の活動**と思われます。

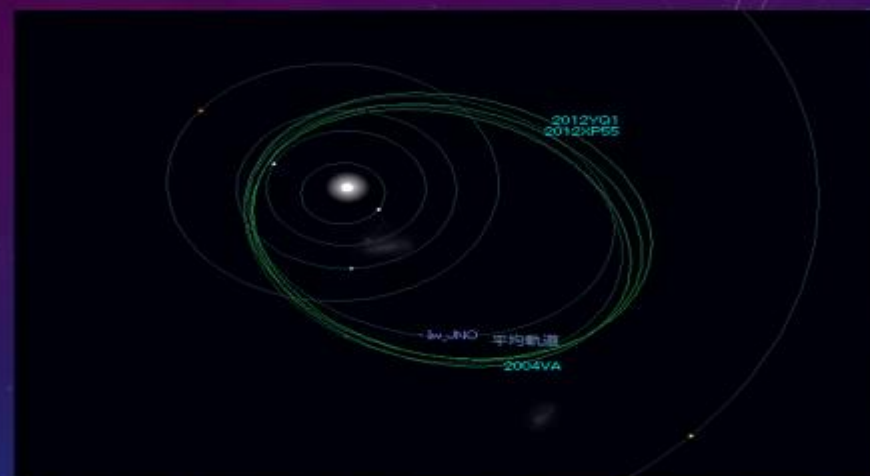
上は、今回の4個のスペクトルの軌道図です。低速のためよく一致しています。下は、1月中旬から2月から始めのIw JNO群の赤経方向の移動量を入れて計算した軌道図です。似た軌道をしています。1月上旬から判定され今回のスペクトルの流星でも判定されたものもありました。**軌道図からみてもIw JNO群の初期の活動**と思われます。

12月下旬から1月初めに似た軌道の低速流星

localtime	amag	ra_t	dc_t	vg	a	q	e	p	peri	node	incl	stream	H1	H2	
20201226.013236	-0.5	77.7	10.4	14.4	2.0	0.80	0.60	2.9	59.0	94.1	5.2	Je_ORs	86.4	75.7	
20201226.212600	-0.9	71.0	18.3	11.1	1.8	0.86	0.51	2.4	50.3	94.9	1.3	sno	78.0	50.4	
20201228.195813	0.5	78.6	13.6	13.1	1.9	0.82	0.56	2.6	56.7	96.9	3.5	sno	83.5	55.5	
20210101.005755	-0.9	81.8	20.7	13.5	1.9	0.82	0.58	2.7	57.5	100.2	1.0	sno	81.8	57.3	
平均軌道	-0.5	77.3	15.8	13.0	1.9	0.83	0.56	2.6	55.9	96.5	2.7		82.4	59.7	
		ra_t	dc_t	vg	a	q	e	p	peri	node	incl		D判定	$\lambda_{\square}$	$\beta_{\square}$
平均軌道		77.3	15.8	13.0	1.9	0.83	0.56	2.6	55.9	96.5	2.7		0.00	153.55	2.92
Iw_JNO		88.0	12.0	12.0	1.9	0.85	0.52		51.7	112.5	4.1		0.12	164.13	3.22
母天体候補	2012YQ1					0.87	0.57		42.1	120.2	5.2		0.06	162.13	3.45
2004VA						0.77	0.60		43.1	108.6	3.7		0.08	152.71	2.53
2012XP55						0.78	0.60		77.0	80.2	2.8		0.08	157.32	2.73

上は、4つのスペクトルの得られた軌道などです。低速のため輻射点は、広がっていますが軌道は、そろっています。1日に1個ですが確実に群活動をしていると思われます。IAUの軌道リストを見るとFireball streamsで1月1日から2月4日 μ -Ori群となっています。母天体候補は、2003 AC23? となっています。 μ -Ori群の平均軌道からでは、母天体候補は、2012YQ1となりました。また、4つのスペクトルの母天体候補は、2004VAと2012XP55となりました。このことから、複合群の可能性もあるかもしれません。軌道のタイプは、Asteroidal-chondritic class (A-C)タイプです。

12月下旬から1月初めに似た軌道の低速流星の母天体等軌道図



上は、今回の4つのスペクトルの得られた低速流星の平均軌道の軌道図とIw_JNO群と母天体候補の小惑星の軌道図です。2004VAがよく似た軌道をしています。後の二つも類似しています。これらの軌道図からみて、 μ -Ori群とIw_JNO群は、同じ群で、今回のこの低速群は、この群の初期の活動と思われる。

8月下旬のはくちょう群と思われる流星のスペクトル



上は、8個のはくちょう群と思われるスペクトル画像です。似たような光度変化をしています。タイプは、NomalとFe poorが多いです。もう一つ下のサイトにアップしてあります。<http://sonotaco.jp/forum/viewtopic.php?t=4982> また、軌道計算結果等もアップしてあります。今年は、7年周期で活発な活動がとらえられました。3つの群の複合群のようです。

流星スペクトルの解析のまとめ

- 8台のカメラの観測で、ほぼ2年4か月で2390個近くのスペクトルが得られました。今回のデータは、2018年10月から2021年2月までの解析をしました。8つのタイプが得られました。Feが50-80%になっているタイプが46個得られました。Fe richのタイプであることが2019年の論文からわかりました。発光高度とNa/Mg比や速度によるタイプの違いを調べ速度によって違いが見られました。
- 解析結果を元にQua群Com群Per群Tau群や小流星群のタイプ別に分類し比較しました。Gem群の三角図を作成し考察しました。今回は、ふたご群の年とカメラによる三角比やタイプ別の割合等を比べました。ふたご群の年やカメラによって違いが見られました。また、色々な方法でNaの枯渇が見えてきました。
- 12月下旬から1月初めに似た軌道があり、調べた結果、1月から2月の μ -Ori群とIw_JNO群と関連があり初期活動をとらえたと言えそうです。また、母天体候補も見つかりました。低速でNaが多い群であることもわかりました。
- 8月のはくちょう群と思われるスペクトルと軌道の結果から似たような光度変化をしていてタイプは、NomalとFe poorが多いことがわかりました。
- 2019年の流星会議の自動観測によるスペクトル観測と結果「2018年から2019年3月まで」の結果は、以下に公開しています。
<https://www.web-nms.com/app/download/13829249327/%EF%BC%A8%EF%BC%B0%E7%89%88%E9%9B%86%E9%8C%B2-5.pdf?t=1572683438>
- オンライン流星物理セミナーに2018年10月から2020年8月までの詳細の結果を以下に公開しています。
- <http://msswg.net/mssonline/MSS19-spectrum-20201125-Sekiguchi-2018to20.pdf>

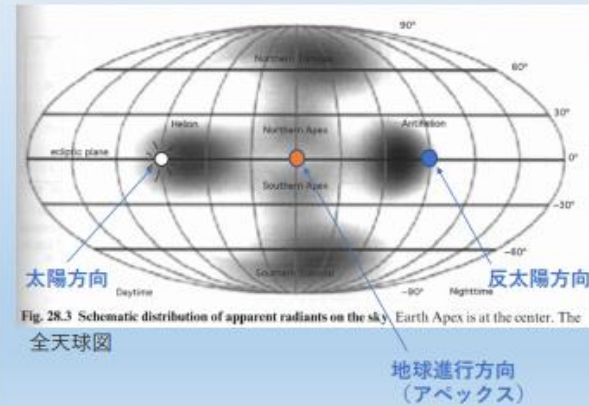
散在流星源のビデオ観測 による年変化

NMS / SonotaCo Net 前田 幸治

1/22

散在流星源

散在流星の輻射点が見かけ上集まって見える方向

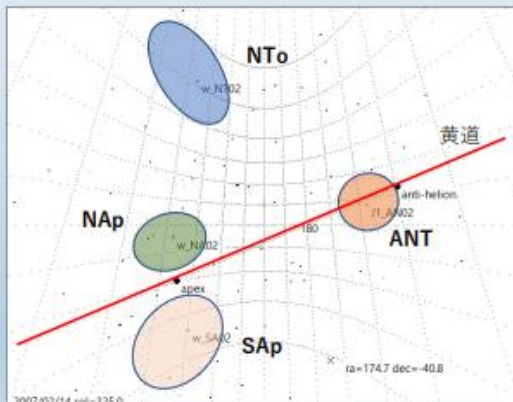


- ヘリオン、アンチヘリオン (HE, ANT) :
木星族彗星、小惑星起源の散在流星
反対用方向より少し西側
- 南北アベックス (SAP, NAp) :
ハレータイプ、長周期彗星起源の散在流星
- 南北トロイダルソース (NT_o, ST_o) :
Jones and Brown によって、1995年にレーダ
観測で発見
起源はよく分かっていないが、ヘリオン、アン
チヘリオンが散乱した散在流星とも言われる
- 上の散在流星源以外の流星をここでは
「ランダムな散在流星」と呼ぶ

2/22

P. Jenniskens, *Meteor Showers and their Parent Comets*, Cambridge, New York (2006)

散在流星源の観測される方向



2月14日の各輻射領域の位置関係
半径は10度とした

ANT 反太陽方向より10度西

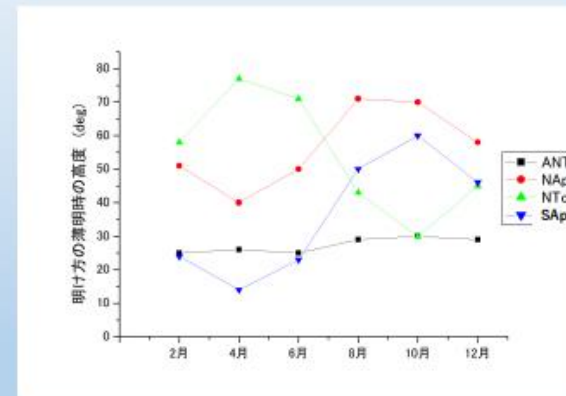
NAp, SAp: アペックス (地球進行方向)
の南北15度

NT₀, ST₀: アペックスの南北70度

心射投影星图

3

各散在流星源の動き



ANT 季節によらず、am1時に南中し、明け方西の空

NAP 10月-3月 0時ごろ地平線から登り、
明け方高く南中する直前に夜明け
4月-9月 2時ごろ地平線から登り、輻射領域
が低いうち夜明け

SAP NApの動きを25度ぐらい仰角低く移動

NT0 2-8月 時ごろ地平線からでて、明け
方南中、輻射領域は高い
9-12月 周極星となるが、輻射領域は低い

STo 12月に3時頃南中するが高度は10度

4

観測目的と方法

観測目的

- ・ 散在流星源は、どのくらいを占めているか
- ・ 年によって散在流星源が、どのくらい変化しているのか
- ・ トロイダルは、電波観測が主なので、TV観測でどのように見えるか

観測方法

- ・ 流星群と同様に輻射点領域が広い流星群として、方向と速度より、1点TV観測により、計数観測する
- ・ 天気の影響を除くために、ランダムな散在流星で各散在流星源を規格化して、比率の変化を月別に調べる

5/22

観測システム

観測条件

station	宮崎市 (MZ1) 131.42 E, 31.83 N, 13 m
Camera	Wat100N (1台)
Video mode	SD (720 x 480)
Lens	CBC6mmF0.8 fov : 55 x 42 deg
方向	南、仰角 33 deg
Software	UFOCaptureV2, HD UFOAnalyzer V2
観測方法	1点観測

観測期間

2010年1月1日 - 2020年12月31日
(11年間)

1ヶ月単位で集計して、各散在流星源の流星数とした



各散在流星源パラメータ

	太陽黄経	α	δ	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	Vg		太陽黄経	α	δ	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	Vg		太陽黄経	α	δ	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	Vg			
NApex	1月	294.6	209	4	0.929	-0.337	62	NToroidal	1月	294.6	220	59	0.433	-0.31	40	AntiHelion	1月	294.6	127	17	1.01	-0.256	30
	2月	326.2	239	-5	0.964	-0.195	62		2月	326.2	237	51	0.45	-0.21	40		2月	326.2	159	7	0.996	-0.351	30
	3月	354.8	267	-8	0.981	-0.02	62		3月	354.8	251	46	0.474	-0.12	40		3月	354.8	187	-4	0.998	-0.373	30
	4月	25.3	297	-6	0.457	0.153	62		4月	385.3	266	44	0.517	-0.02	40		4月	25.3	218	-15	0.998	-0.2	30
	5月	54.9	324	1	0.895	0.321	62		5月	54.9	283	45	0.541	0.084	40		5月	54.9	247	-22	0.98	-0.135	30
	6月	84.5	350	13	0.878	0.378	62		6月	84.5	299	49	0.517	0.19	40		6月	84.5	276	-23	0.999	0.071	30
	7月	113	15	23	0.945	0.344	62		7月	113	314	56	0.533	0.275	40		7月	113	305	-18	1.016	0.257	30
	8月	142.6	45	33	1.079	0.251	62		8月	142.6	327	65	0.499	0.332	40		8月	142.6	335	-8	0.997	0.332	30
	9月	173.2	80	38	1.199	0.065	62		9月	173.2	341	76	-0.14	0.366	40		9月	173.2	5	3	0.931	0.35	30
	10月	202.7	117	37	1.166	-0.164	62		10月	202.7	319	87	-4.02	0.157	40		10月	202.7	31	13	0.947	0.317	30
	11月	233.3	150	28	1.047	-0.344	62		11月	233.3	197	81	0.303	-0.37	40		11月	233.3	62	21	1.064	0.164	30
	12月	263.8	181	16	0.963	-0.392	62		12月	263.8	206	70	0.467	-0.35	40		12月	263.8	96	23	1.061	-0.065	30
SApex	1月	294.6	197	-23	0.993	-0.353	62	SToroidal	1月	294.6	134	-56	0.208	-0.11	40	IMO_WL2007							
	2月	326.2	231	-34	1.185	-0.261	62		2月	326.2	149	-66	0.525	-0.33	40	広がりはすべて半径10度 速度(Vg)も考慮して判定							
	3月	354.8	268	-39	1.221	-0.022	62		3月	354.8	160	-76	0.553	-0.36	40								
	4月	25.3	303	-35	0.501	0.217	62		4月	25.3	162	-87	-2.17	-0.06	40								
	5月	54.9	335	-26	0.997	0.338	62		5月	54.9	12	-80	-2.15	-0.06	40								
	6月	84.5	2	-15	0.895	0.361	62		6月	84.5	27	-70	0.617	0.344	40								
	7月	113	27	-5	0.878	0.327	62		7月	113	40	-60	0.633	0.327	40								
	8月	142.6	53	4	0.913	0.217	62		8月	142.6	54	-51	0.667	0.234	40								
	9月	173.2	82	8	0.982	0.048	62		9月	173.2	70	-46	0.685	0.116	40								
	10月	202.7	112	7	0.966	-0.131	62		10月	202.7	86	-44	0.685	0.034	40								
	11月	233.3	140	0	0.933	-0.311	62		11月	233.3	102	-44	0.688	-0.07	40								
	12月	263.8	169	-12	0.93	-0.375	62		12月	263.8	119	-48	0.67	-0.2	40								

ANTは、IMOの流星カレンダーより
他は、Apexの位置より概算
最大2度程ずれあり

7

広がりはずべて半径10度

速度(Vg)も考慮して判定

ANTは、IMOの流星カレンダーより
他は、Apexの位置より概算
最大2度程ずれあり

7

散在流星源と流星群

散在流星源の中に、輻射点がある流星群の表

散在流星源	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
ANT			EVI					BIP△		NTA	NTA	NTA
							CAP	CAP△		STA	STA	NOO
								SDA△				
NAp									SPE△	EGE△	LEO	
SAp								ERI	NUV△	ORI		
	QUR			LYR								URS△
NTa											KDR	KDR
												DAD△

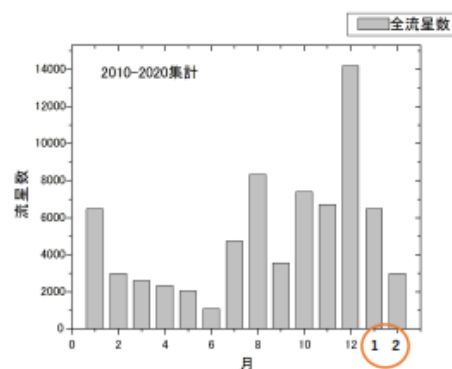
無印：重なる群、△：接近する群

- ・ 10、11月のNTA, STAの時期も別々にカウント

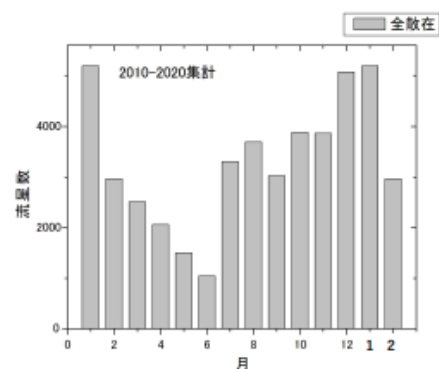
8/22

観測結果

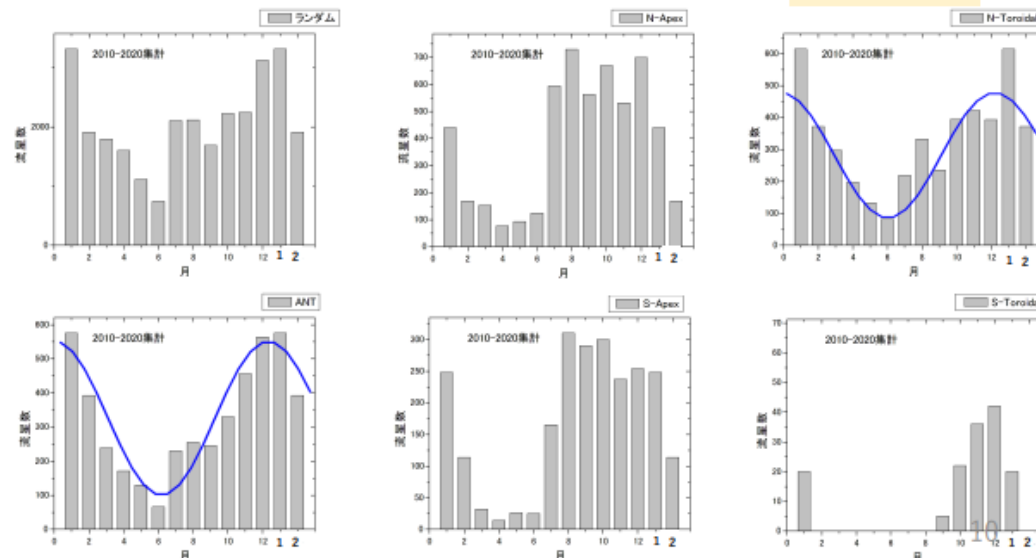
全流星数の変化 N=62361



全散在流星数の変化 N=38125
(ランダム, ANT, NAp, SAp, NTo, STo)

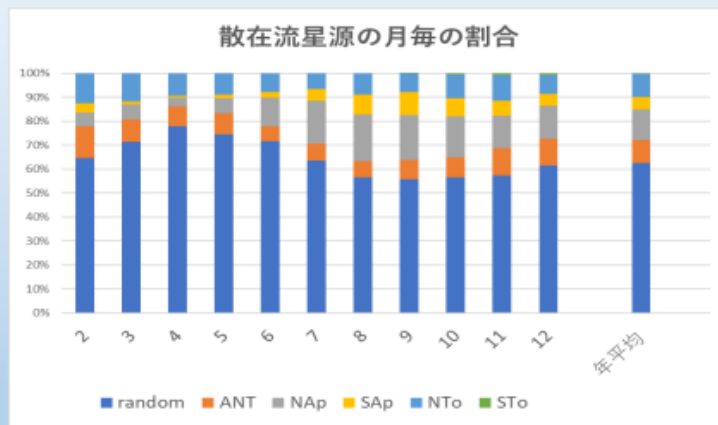


各散在流星源の月毎集計結果



ANTとNToはsin型

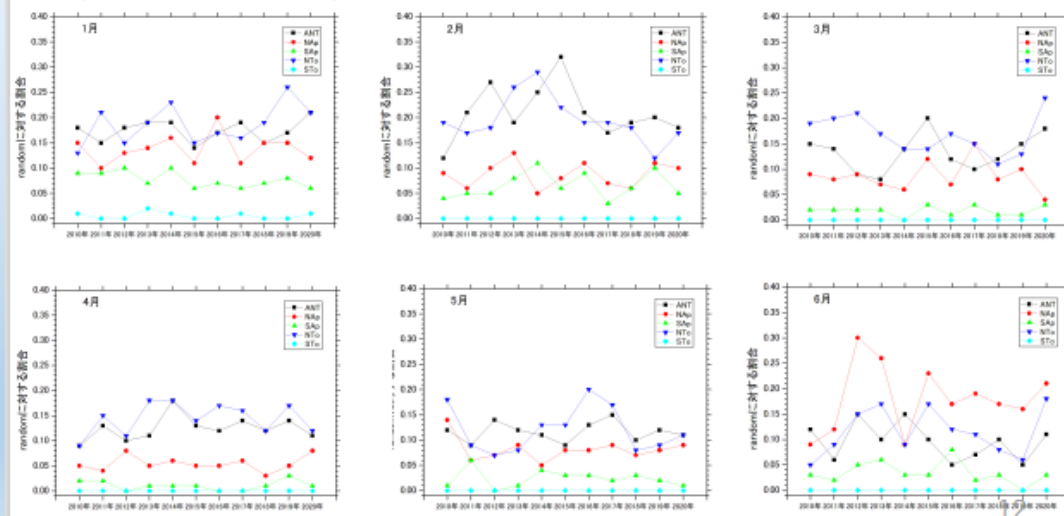
散在流星源の月毎の割合



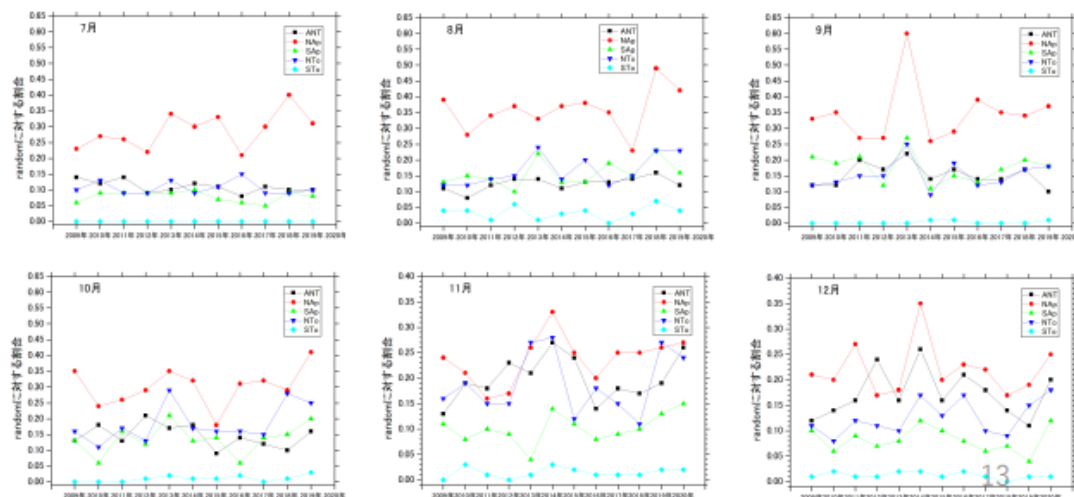
割合 ランダム : ANT : NApex : SApex : NTo : STor
63% 10% 13% 5% 10% 0.3%

規格化した散在流星源の経年変化 (1-6月)

(ランダムな流星で割った数)



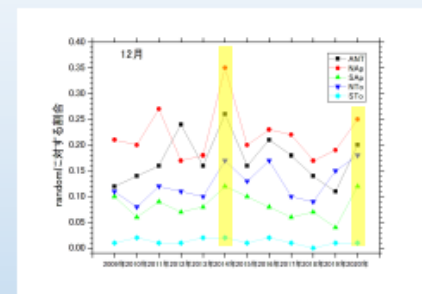
規格化した散在流星源の経年変化（7-12月）



経年変化の解析の前に

- 6月は流星数が少ないので、議論しない
- STaは、数が非常に少ないので除く
- すべての散在流星源の割合が増加した月（以下の5ヵ月）は除く

→ ランダムの流星が少なかった?ことが推定



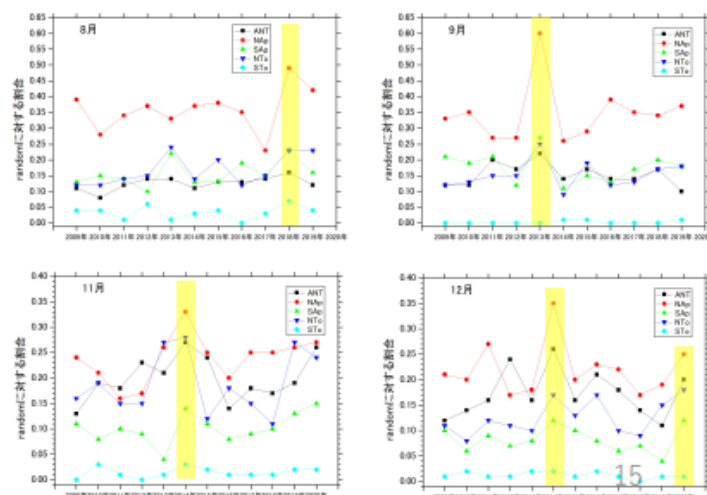
12月の一例：2014年と2020年は除いた

9月	2014年	ORIとNTA, STAが特に多い
11月	2014年	"
12月	2014年	"
8月	2019年	全流星が例年の40%しかない、非常に天気の悪かった月
12月	2020年	天気は良いがランダムが10%ぐらい平年より少ない 特に特殊な条件はない?

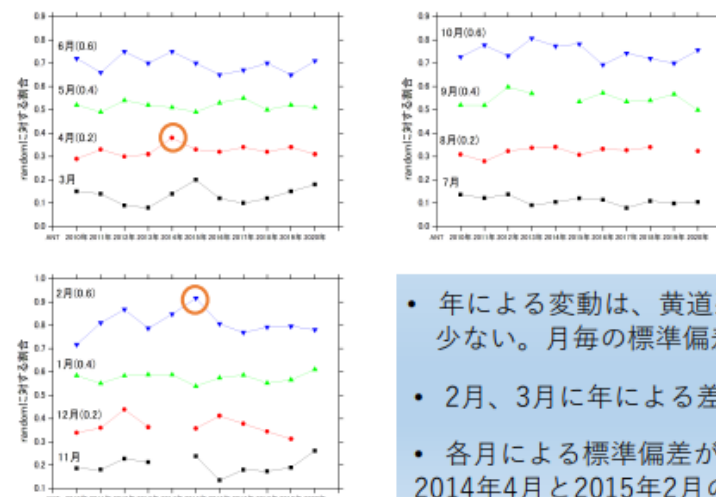
14/22

散在流星源の経年変化

- 解析に使わなかった5ヶ月



ANTの経年変化

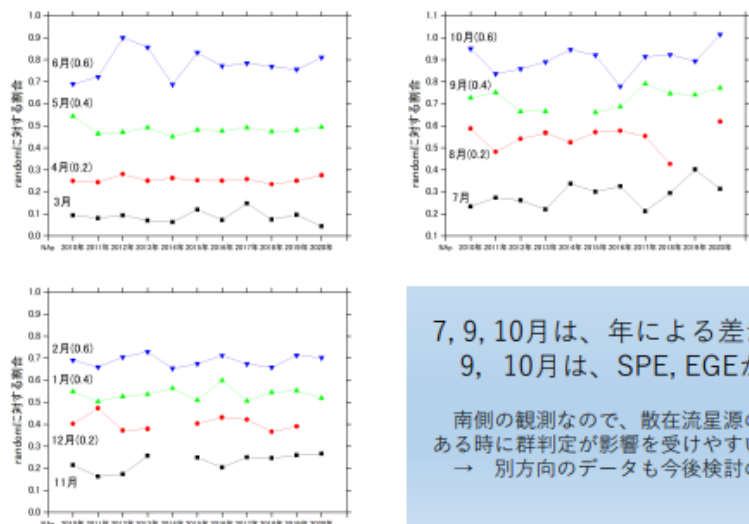


重ならないようにベースラインを0.2ずつ加えたグラフ

- 年による変動は、黄道系の活動があるにしては少ない。月毎の標準偏差 σ は平均値の20%(6月除く)
- 2月、3月に年による差が大きい
- 各月による標準偏差が 2σ を超えたのは2014年4月と2015年2月のみ

16/22

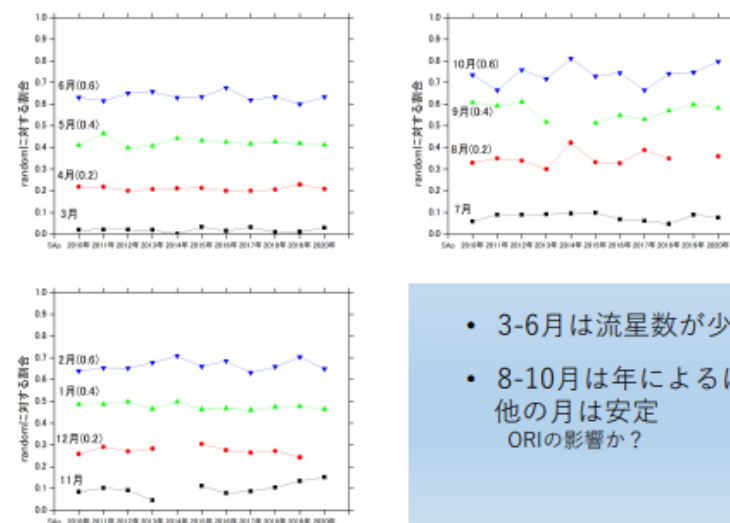
NApexの経年変化



7, 9, 10月は、年による差が大きい
9, 10月は、SPE, EGEが隣接している影響が
南側の観測なので、散在流星源の南に流星群がある時に群判定が影響を受けやすい
→ 別方向のデータも今後検討の必要あり

17

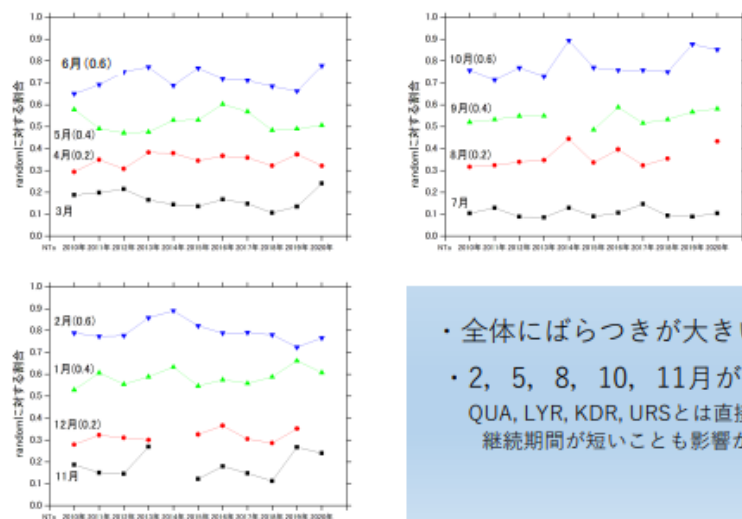
SApの経年変化



・ 3-6月は流星数が少ない
・ 8-10月は年によるばらつきが大きい
他の月は安定
ORIの影響か?

18

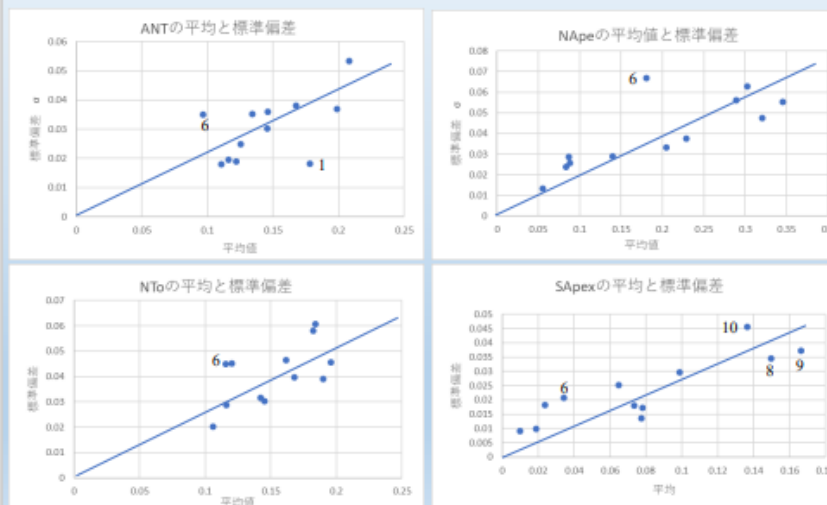
NToの経年変化



・ 全体にばらつきが大きい
・ 2, 5, 8, 10, 11月がばらつきが大きい
QUA, LYR, KDR, URSとは直接関係は無いよう
継続期間が短いことも影響か

19/22

各月の平均値と標準偏差の関係（経年変化）



・ 年平均値と標準偏差は比例

・ 傾きを取ると

	傾き
ANT	0.21
NAp	0.19
SAp	0.27
NTo	0.27

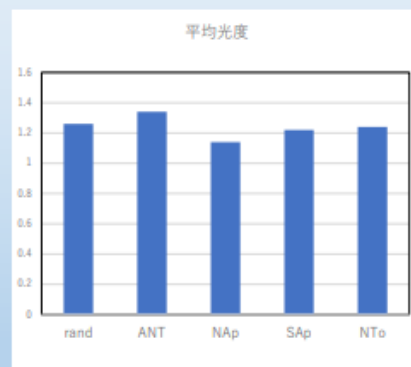
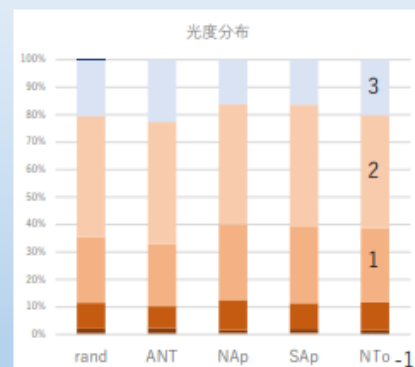
SAp, NToは大
→ ばらつきが大

ANT, NApは小
→ 出現数に対して
毎年安定して出現

20

各散在流星源の光度分布

2015年の5918個より



明らかな差はない

観測された結果を見るとNToが、暗いわけではない (光度関数は同じ)

21

まとめ

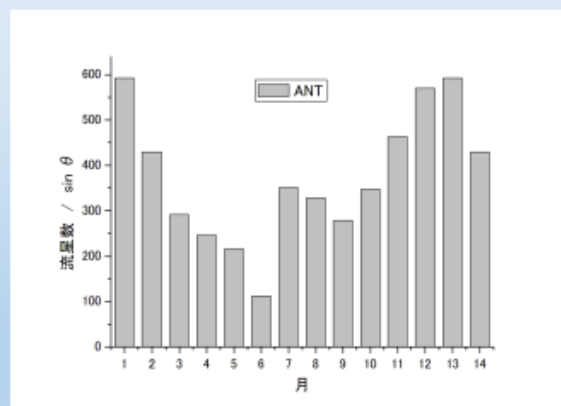
- 2010-2020のTV観測の結果より散在流星の割合は
ランダム : ANT : NApex : SApex : NTor : STor
63% : 10% : 13% : 5% : 10% : 0.3%
- 出現数変化 ANTとNTor : 12月にピークのsin型
N, SApex : 2-6月はsinよりさらに少ない
- 毎月の経年変化 標準偏差がANTと NApexで20%、
SApexとNTor で27%とやや大きかった

問題点、今後

- 出現領域が上がっている時間が異なる散在流星源を積算して比較したので、月間の比較ができなかった
- ランダム流星で規格化したことによる限界 → 流星数で平均値やばらつきを出したい

22

補助図



ANTの出現数を輻射領域の高度で
補正した物

↓
大きな変化はない

23

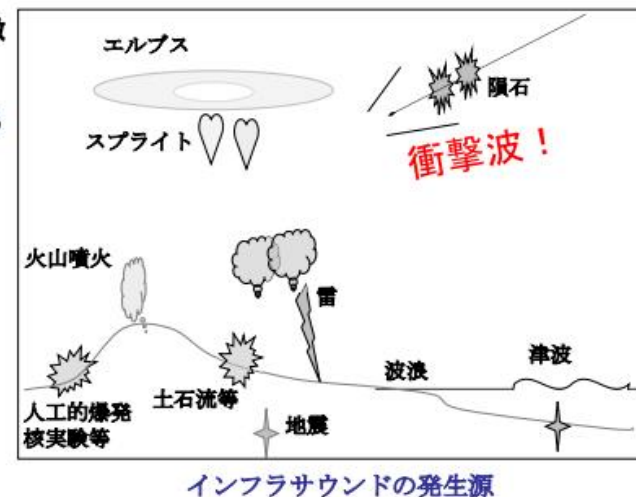
流星関連のインフラサウンド観測について

山本 真行(高知工科大学 システム工学群)

(併任: 高知工科大学 総合研究所 インフラサウンド研究室、
情報システム研究機構 国立極地研究所 客員教授)

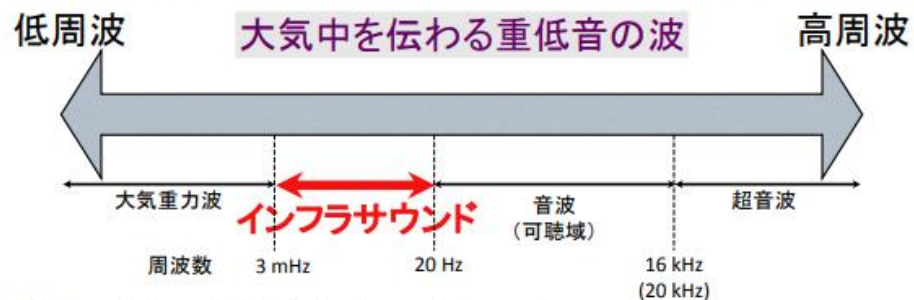
長い距離を伝わる超低周波音(インフラサウンド)

インフラサウンドの特徴

音波(可聴音)と違い
非常に長い距離伝わる
(~数千キロ)1m@1kHz
=100,000km@0.1Hzひそひそ声は近くに
しか伝わらないが、
爆発音は遠くまで届く大きな動きは共振して
必ず重低音を生む

インフラサウンドとは?

(=低周波地震計と同じ周波数範囲、大気中リモートセンシング手段)



「象の耳」で危険を知らせるセンサー

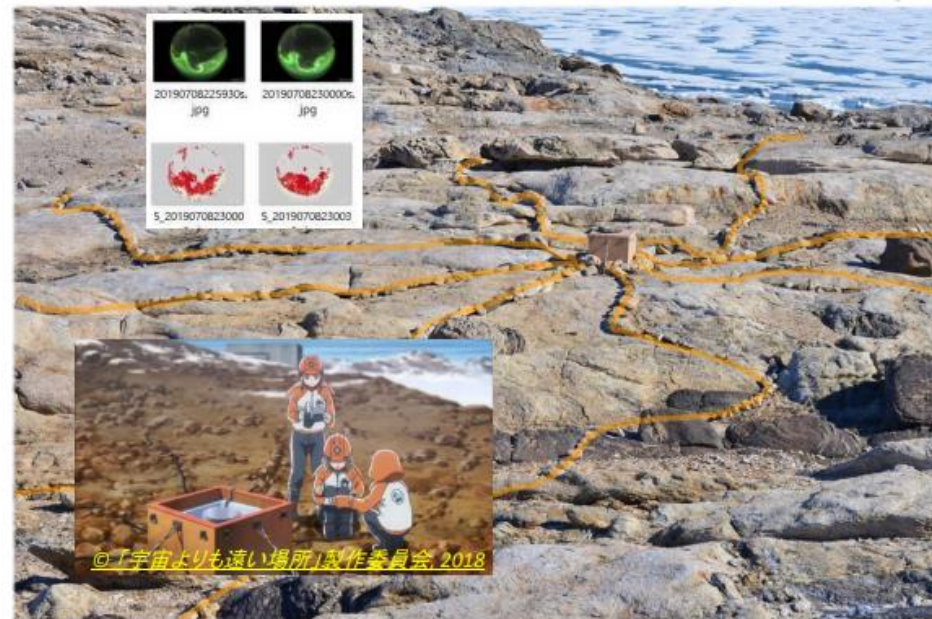
⇒ 津波、火山噴火、雷、土砂崩れ、雪崩、竜巻、隕石

地球上の破壊現象で発生し、遠くまで伝わる性質がある!

音は音速で伝わるので、津波よりも先に情報が届く!

波源やエネルギー(規模)の情報を遠隔検知できる!

3

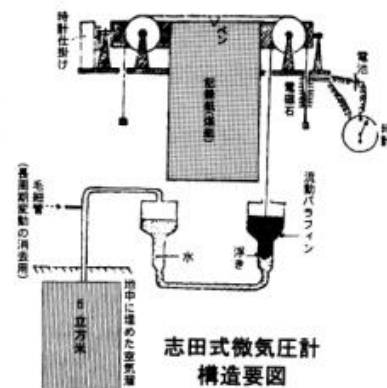
インフラサウンドを聞いてみよう?! 

志田式 微気圧計

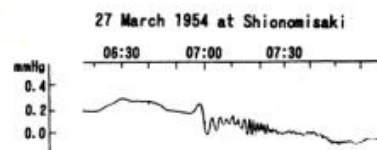


志田式微気圧計主要部分

© 明月記と最新
宇宙像(京都大学
総合博物館)

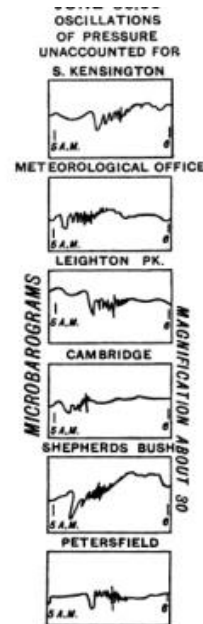


第1図 志田式微気圧計の構造の概念図。

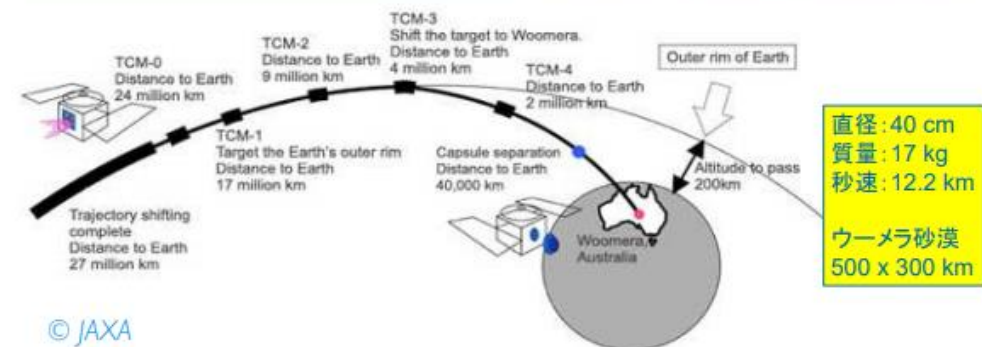
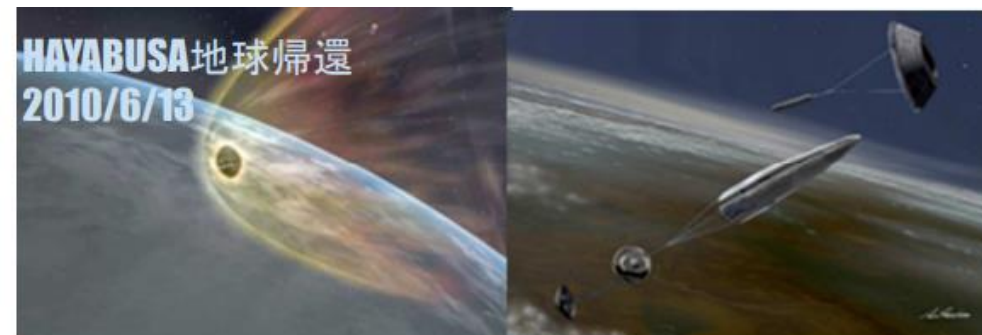


第2図 1954年3月27日の潮岬での志田式微気圧計の記録。水爆実験による気圧振動の発見の契機となった気圧振動(山元, 1954)。

山元 龍三郎, 1999



Reproduced from
Whipple (1930)
第3図 1968年6月30日の英国
各地でのShaw式微
気圧計の記録。Shaw

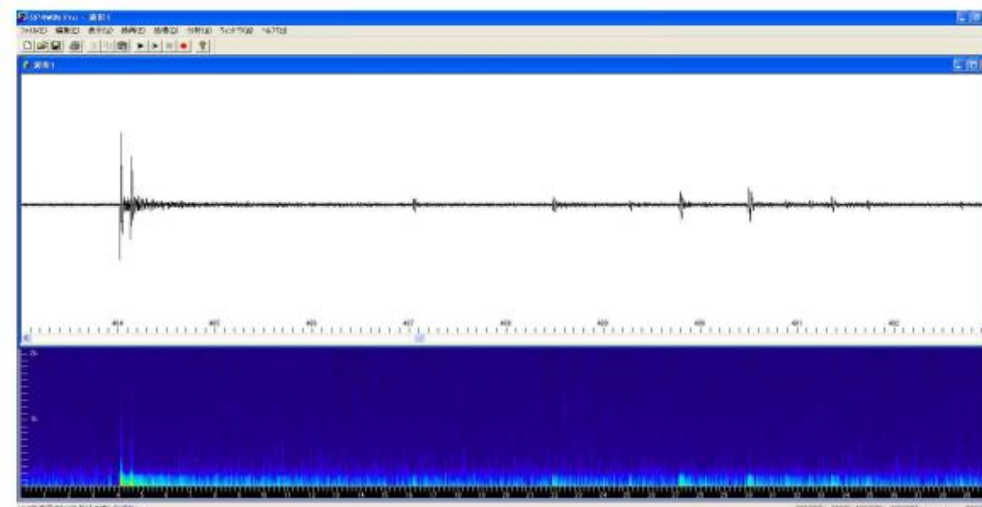


© JAXA



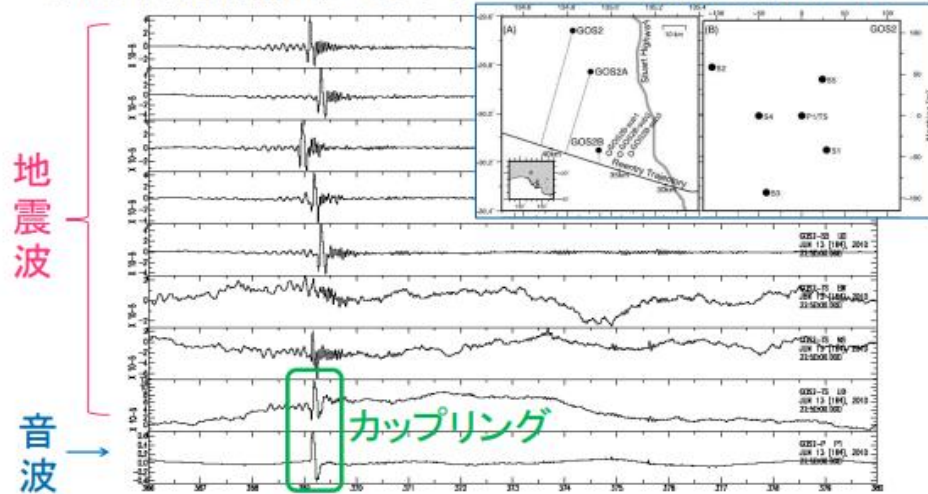
(c)高知工科大学、国立天文台、金沢大学、名古屋大学、JAXA

はやぶさ帰還時の「音」を聞いてみよう！



「はやぶさ」帰還時のインフラサウンドと励起地震動 (初号機では、カプセルと一緒に母船も再突入した)

当時は十分な台数のインフラサウンドセンサーは用意できなかった

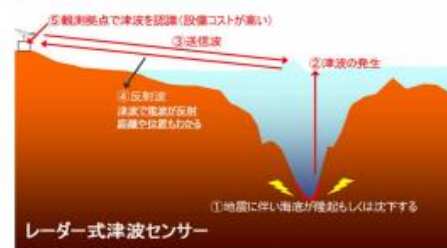
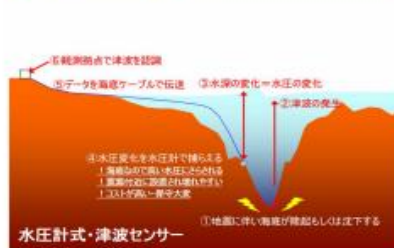
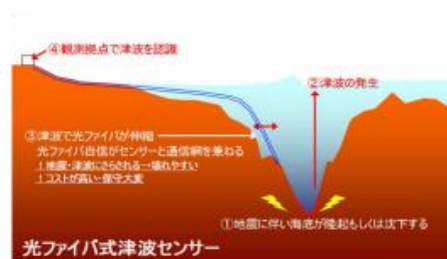


Ishihara et al., 2011

研究助成: JSPS科学研究費補助金・基盤研究(B)

2011年3月11日 14:46 日本時刻

既存の津波検出方式

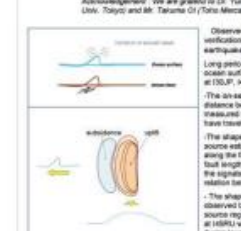


JS-P7

Infrasound signals excited by up during the tsunami gene

Notar AFM (notar@nsl.ac.jp), Taniuchi T.

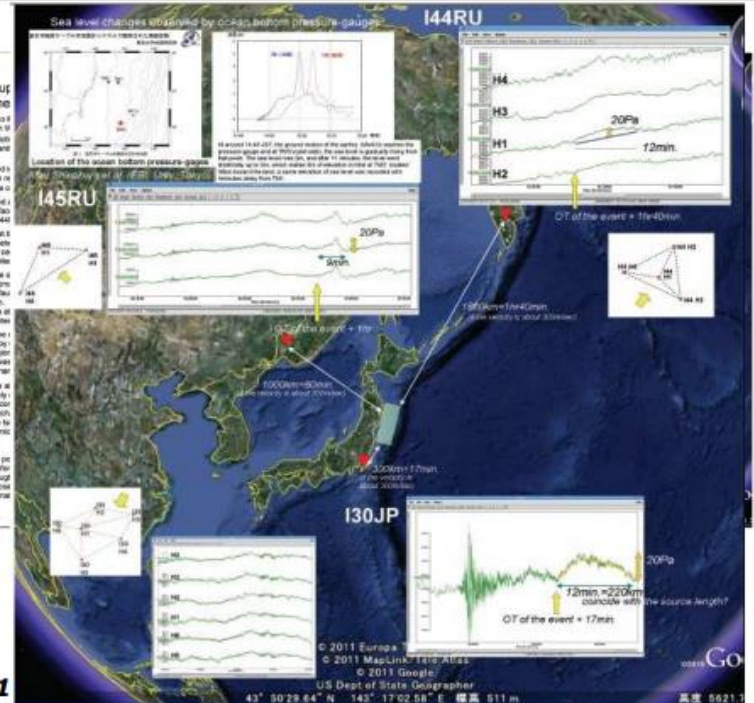
Acknowledgment: We are grateful to Dr. Toshiyuki Ueda, Tokyo and Dr. Tetsuo Ochi, Tokyo



The maximum amplitude of all observed acoustic waves were at split or subsidence of the sea surface (P can be approximately surface). It is sound velocity near the sea surface and v is the sound velocity of the source region. Therefore, tsunami amplitude may not have enough if an infrasound observation network was deployed along the coast through the network would replace the tsunami warning system.

When tsunami early warning is provided to the public, the priority of the tsunami location and the magnitude and rate the source region. Therefore, tsunami amplitude may not have enough if an infrasound observation network was deployed along the coast through the network would replace the tsunami warning system.

Arai et al., 2011



インフラサウンド観測の防災活用を目指して

- ・ インフラサウンドは、遠隔地における地球物理学的現象を検知するリモートセンシング法の一つと見做すことができる。
- ・ 特に、津波検知では、実際の海面変動の到来より前に、音速で届くインフラサウンドは、警報システムへの貢献が期待できる。
- ・ 1地点で、地震動とそれに続くインフラサウンドを適切に検出できれば、通信網途絶の際にも、設置場所にて独立に警報可能な堅牢・確実なシステムを構築できる。



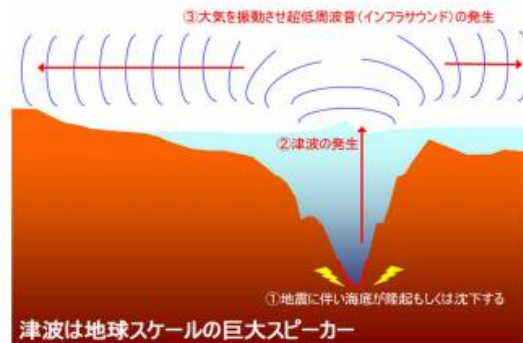
SAYA ADXII-INF01C

Frequency range:

0.001 ~ 6.25 Hz

Pressure sensitivity:

0001 Pa



20地点の整備(GPS波浪計であれば1台分の費用)で、第1段階として、太平洋側の全国の岬をほぼ網羅できる。



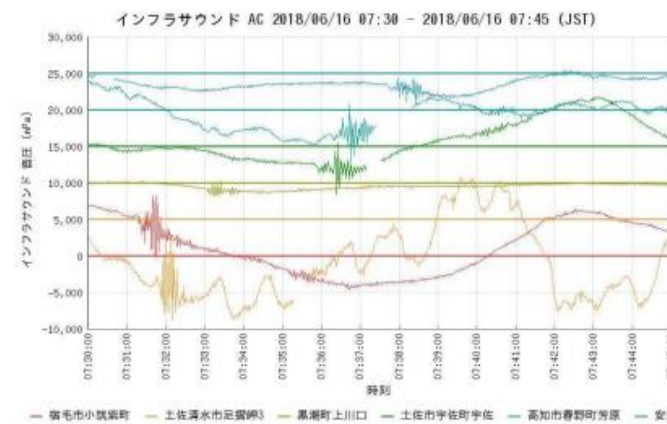
地震観測点、測位観測点、波浪観測点、気象観測点、灯台などの既存施設を活用できればさらに低コスト化

北海道: 尻羽崎、襟裳岬
東北: 尻屋崎、大山崎、黒崎
関東: 塩屋崎、犬吠崎、野島崎
伊豆: 伊豆大島、八丈島、石廊崎
中部: 御前崎、大王崎
関西: 潮岬
四国: 室戸岬、足摺岬
九州: 都井岬、奄美大島
沖縄: 沖縄本島、宮古島



研究助成: セコム科学技術振興財団研究助成
JSPS科学研究費補助金・基盤研究(B)
総務省SCOPE電波有効利用促進型研究開発

桜島噴火時インフラサウンド



Ash top: 4700 m
© Kyodo Press

Infrasound:
24 Pa at JMA Yokoyama site

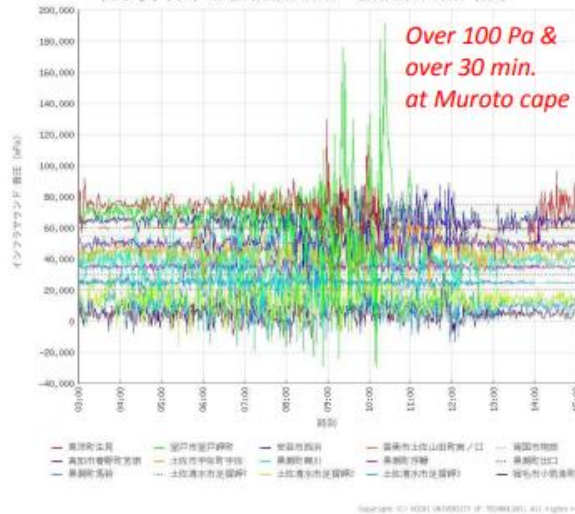
Distance from Sakurajima
243 km Sukumo
255 km Tosashimizu 3
275 km Kuroshio 3
332 km Tosa
341 km Kochi
372 km Aki

Copyright (C) JMA. PRIVACY OF TOP SECRET, ALL rights reserved.

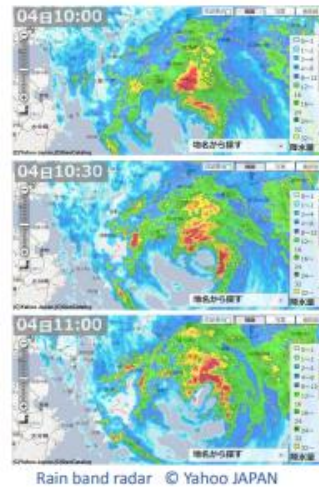
台風直撃時インフラサウンド

Sep. 4, 2018

インフラサウンド AC 2018/09/04 03:00 - 2018/09/04 15:00 (JST)



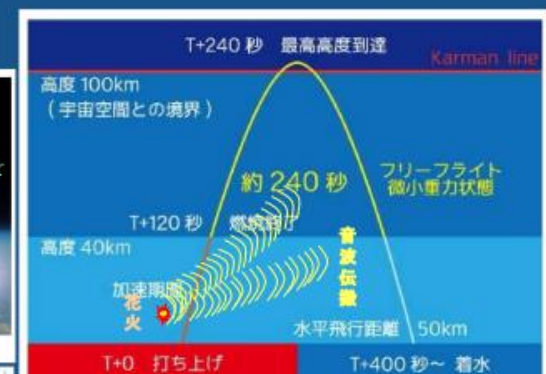
台風21号(関空等で被害)



IST社MOMO2ロケット
June 30, 2018 -> 爆発!!



観測ロケット「MOMO2号機」

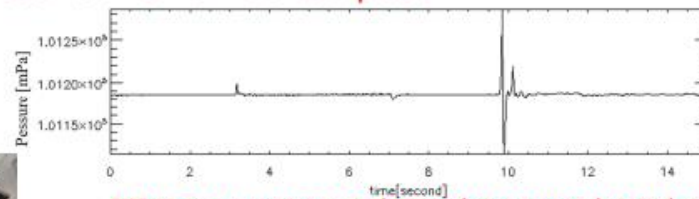


観測ロケット「MOMO2号機」の飛行経路

観測ロケットを用いた高層大気中における音波伝播の計測



Energy estimation of MOMO2 rocket explosion



170 Pa p-p overpressure detected at a sensor located at 50 m from the rocket explosion point on ground.



The energy was about 710 kJ.
(170 g of TNT bomb level)

It seems NO severe explosion.

Only liquid Oxygen tank broken.

Without mixing full of fuel and liquid Oxygen.

We successfully measured energy of the rocket explosion...(-_-)

2021/5/4 IST社MOMO3大成功！ 高度113.4 kmの宇宙到達 日本初の民間単独開発ロケットによる成功



HAYABUSA2カプセル大気圏再突入 (2020/12/6)に向けた道のり



- 過去10年の蓄積で、十分な台数のセンサーを確保
- 「はやぶさ2」帰還時科学観測のJAXA公募(2020/1)
⇒ JAXA共同研究課題に採択(2020/3)
- 科研費不採択 ⇒ 村田学術振興財団の研究助成に採択(2020-2021)
- データロガーシステムを構築しIST社MOMOロケットの際に試験観測

- オーストラリアCurtin大学チームの火球カメラDFNと連携
- ウーメラ砂漠周辺にINF04インフラサウンドセンサーを面的配置
- オーストラリア政府からの着陸許可が下りた(JAXA, 2020/8)

2020/9にPlan-Bでの実施を決断・・・

- 日本、オーストラリアは、相互に入国制限(JAXA隊はチャーター機)
- 如何なる状況でもデータを得るべく最大限の準備
- Curtin大学へ完全委託観測を決定(Carnet一時輸出入も独自に実施)

SAYA INF04LEセンサー および
研究室(学生)自作ロガー21台
+ 数理設計研究所製ロガー7台



Plan-B研究者チーム

Curtin大、JAXA(共同研究)、
高知工科大、日大、茨城大
(PI, Lead Co-I)

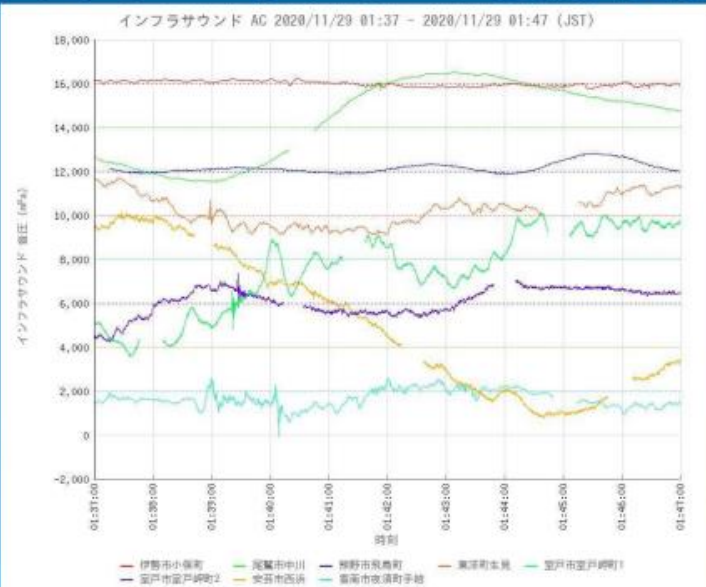


今回のチームでは、
・光学・分光観測
・インフラサウンド観測
・励起地震波観測
・プラズマ励起UHF観測
を計画・実施した。

金沢大、北海道情報大、京都産業大、京都大、
パリ地球物理研究所、(株)数理設計研究所 (Co-I)

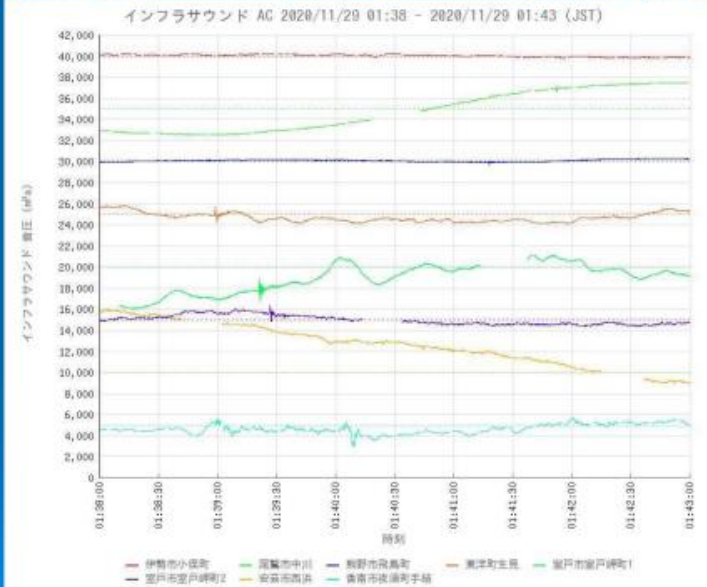
2020年11月29日 1:34 日本時刻

火球インフラサウンド観測事例

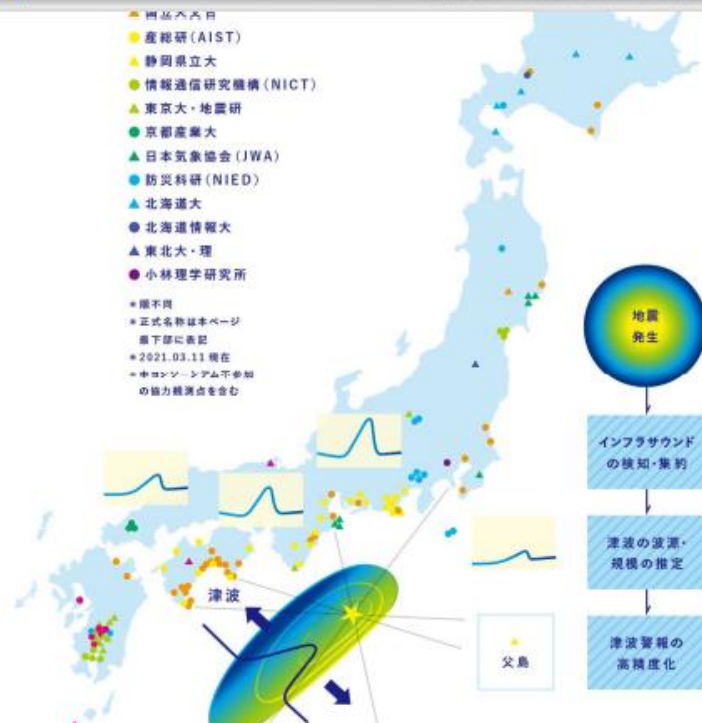


Copyright © 2021 UNIVERSITY OF TSUBAKI, all rights reserved.

火球インフラサウンド観測事例



Copyright © 2021 UNIVERSITY OF TSUBAKI, all rights reserved.

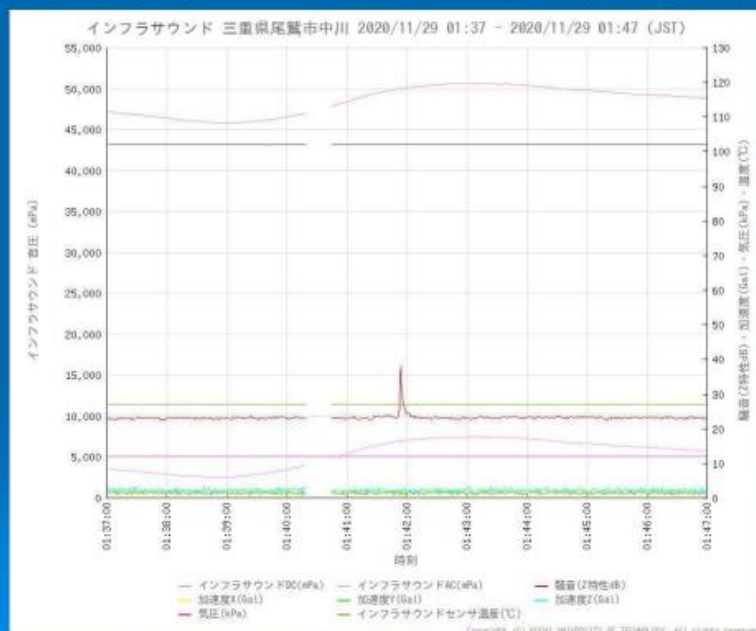


火球インフラサウンド観測事例



Copyright © 2021 UNIVERSITY OF TSUBAKI, all rights reserved.

火球インフラサウンド観測事例

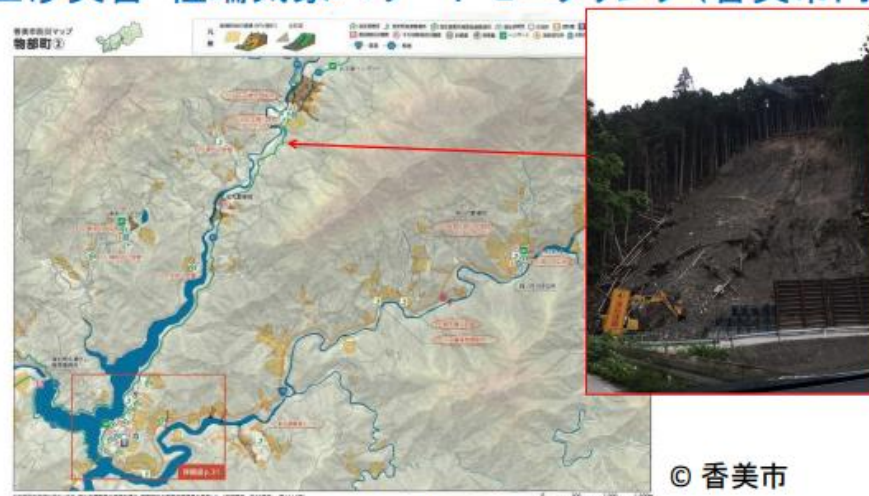


SonotaCo Network Forum 流星談話室より

<https://sonotaco.jp/forum/viewtopic.php?t=4729&start=0&postdays=0&postorder=asc&highlight=>



インフラサウンドセンサー群を用いた山間道路沿い 土砂災害・極端気象ハザードモニタリング(香美市内)



研究助成: NEXCO関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
 一般財団法人高銀地域経済振興財団助成事業

まとめ

「はやぶさ2」大気圏再突入カプセルの衝撃波を委託観測した
 地上7地点での「アレイ観測」に成功！
 衝撃波データのみからの軌道決定に向けた解析がほぼ完了

インフラサウンド(超低周波音)観測網で火球・隕石が観測できる
 津波・火山噴火・雷・台風などへの防災・減災へも活用可能
 (2021/9 ディープテックグランプリにてIT賞を受賞)

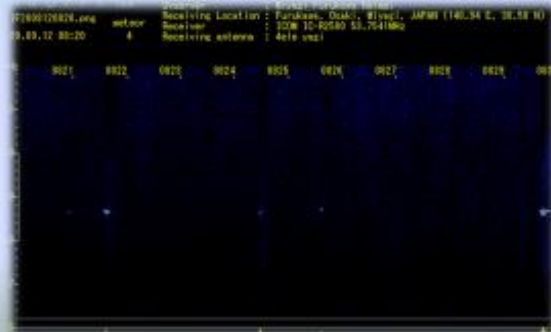
⇒ 観測協力者を募集したい！

将来は、

土砂災害等への活用を目指して研究を進めるとともに、
 大気のある惑星・衛星の宇宙探査にも活用したい！
 (MIM国際ミッション検討中)

流星の電波観測における周波数の 違いと検知数について

宮城県古川黎明中学校 自然科学部 天文班



動機

中学生の夜間の天体観測活動

- × 部活動の時間での活動
- × 観測施設への移動
- × 天候の影響

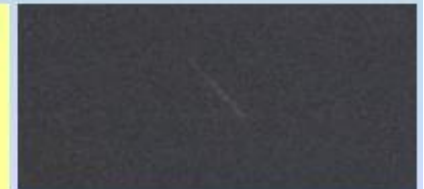
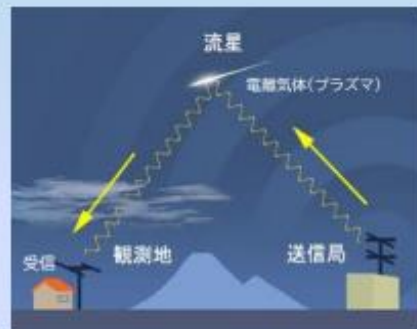


写真1 古川黎明高等学校 三野が
撮影した流星

流星の電波観測

- ◎ 昼夜を問わず観測が可能
- ◎ データ解析は室内で行える
- ◎ 雨天・曇天でもほとんど影響なし

電波観測の原理



引用: <https://www.astroarts.co.jp/special/leo2002/hro/hro.jpg>

図1 流星が出現したときの様子

流星・・・宇宙空間にある塵

流星が発光
→ 電離気体(プラズマ)が発生



プラズマが反射体となり、電波を反射する

電波観測の方法

Google Map より作成

図2 VOR-RO発信局
小松空港 (112.00MHz)



図3 HRO発信局
福井県永平寺町(53.755MHz)



	小松空港VOR (石川県小松空港)	福井HRO (福井県永平寺町)
古川黎明中学校との 距離	515Km	470Km
海拔	海拔5m	海拔10m
送信電波周波数	112.00MHz	53.755MHz
平均気温	14.3℃	14.9℃
年間降水量	2168ml	2602ml

表1: 福井HRO発信局と小松空港VOR電波発信局との比較
(小松市<https://www.city.komatsu.lg.jp/>
永平寺町<https://www.town.eiheiji.lg.jp> ホームページより作成)

5

対照実験をする動機

○スプラディックE層(Eスポ)によるノイズの増加

➡ 検知数の伸びが悪くなる

HROはEスポやノイズの影響を
受けやすい

より短波なVOR-ROであれば
検知数の伸びが良くなる

6

使用装置の安全対策

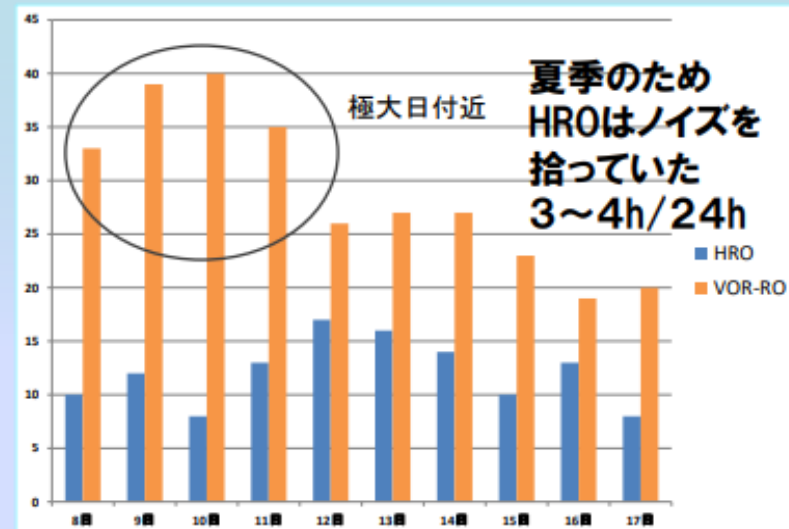
使用している装置

- × 夏の高温対策
- × 降水・降雪



工夫・対策

- ・容器に風通し穴をあける。
- ・容器の底上げをする。
- ・ビニールシートをかぶせる。



グラフ1 2020年ペルセウス座流星群の極大日付近の検知数の変化

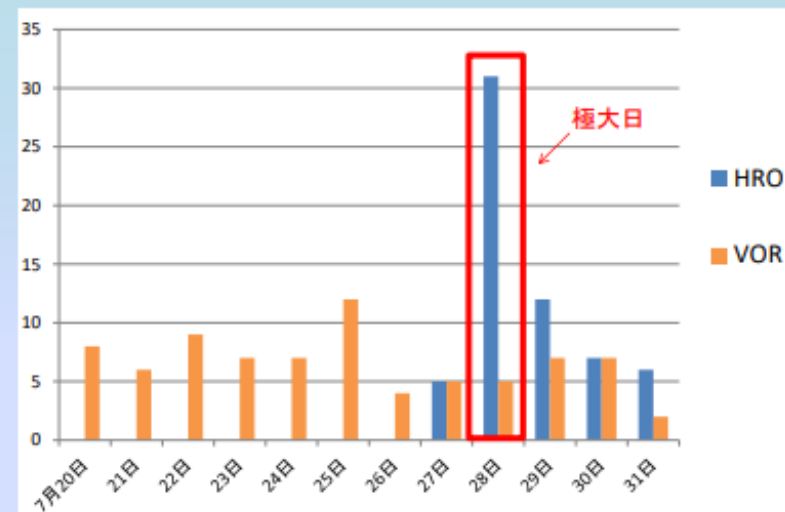
仮説

	ノイズの影響	検知数の変化
VOR-RO	HROよりも 受けにくい	HROよりも 多い
HRO	VOR-ROよりも 受けやすい	VOR-ROよりも 少ない

- VOR-ROのほうがHROよりもノイズが発生している時間は短かった
➡ より短波な電波を用いるとノイズによる影響が軽減される。

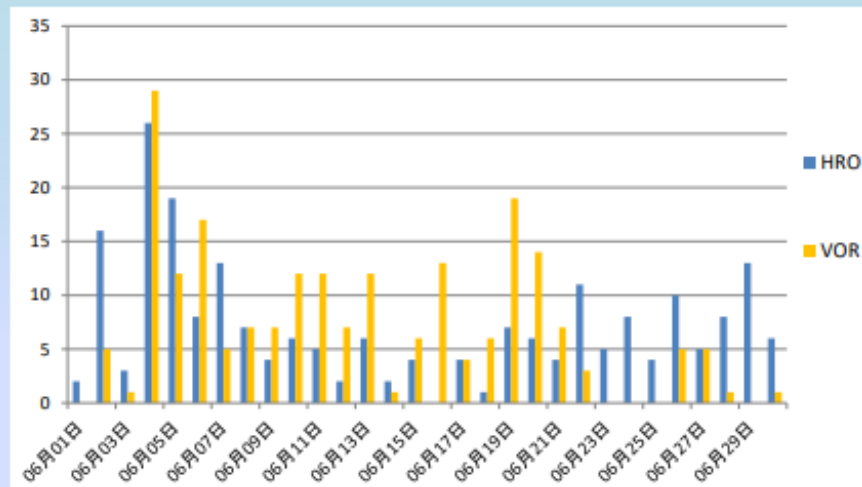
- HROのほうがVOR-ROよりも検知数が少ない
➡ これはノイズの影響であると推察される。
ノイズの影響を受けにくいVOR-ROが功を奏した。

13



グラフ2 2021年みずがめ座流星群の極大日付近の検知数の変化

10



グラフ3 2021年6月の検知数の変化

新たな結果・考察

- HROでも、検知数の盛り上がりを確認できた。・・・①
- HROとVORで、検知数にばらつきがあった。・・・②

- ①から、
周波数によって検知しやすい流星の種類が異なる？
- ②から、
それぞれの周波数で観測された流星は全く違う流星である？
それとも何か他の要因が？

今後の課題



○機械不良, 機械故障による観測精度の低下



・定期的な機械設備のメンテナンス

○正確なノイズ期間の記録

○HROとVOR-ROのどちらが流星の観測に適しているのか追及

謝辞

本研究を行うに当たり(株)バスキュール 武田様には機材提供, 観測方法についてご協力・ご指導いただきました。
本当にありがとうございました。

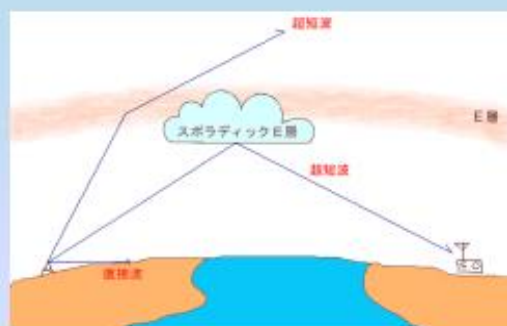
参考文献

<https://www.astroarts.co.jp/special/leo2002/hro/hro.jpg>

ご清聴ありがとうございました。

14

〈スプラディックE層〉



引用: <https://www.basekernel.jp/cgi-bin/adiary/adiary.cgi/radiocpu/D408>

5月中旬～8月上旬にかけて
発生頻度が上がる。

午前11時～12時、
午後17時～18時頃に
強いEスポが発生。

◎強いスプラディックE層が発生

➡ 通常は反射しない電波が反射され、ノイズが発生する。

〈電離気体 (プラズマ)〉



引用: http://j-sl.com/feature/gas/study3_02

◎電離気体(プラズマ)

- ・宇宙の塵の粒が地球の大気と衝突→高温になり分解される
- ・さらに温度が上昇すると「電離」という現象が起きる
- ・電気を帯びた粒子を含む気体

流星の分光観測による発光メカニズムの研究

宮城県古川黎明高等学校 自然科学部天文班

1. 研究概要

流星をデジタル一眼レフカメラで撮影した際に、その色が途中で変化していることに気づいたことから本研究が始まった。研究当初は、撮影した流星の RGB の強度変化を調べるという初歩的な観測だったが、色の変化をより定量的に解析するため、回折格子を用いて流星を撮影する現在の手法に至った。加えて、分光観測において推測した酸素禁制線発光と推測された輝線が、実際に起こりうる条件下で撮影されたものなのかをより確実にするために多地点同時観測による流星の発光高度の推測も行っている。昨年度からは、推測した分光画像の輝線の文献値との誤差に着目し、その誤差の原因解明のための考察も行っている。

2. 研究目的

- ・流星の分光画像の輝線の位置から、発光に関する元素の種類を推測する。
- ・1つの流星を、多地点で同時に観測することによって、高度と輝線の強度の関係を明らかにする。
- ・輝線の文献値との誤差の原因を究明する。

	デジタル一眼レフカメラ	レンズ	撮影写野	回折格子	赤道儀 Vixen ポータブル赤道儀 星空雲台 ポラリエ
①	Canon EOSS kissx4	単焦点レンズ SIGM 30mm F1.4 HSM	40.7×27.8 (対角48.1°)	透過型ブレード 回折格子 (格子数1000本/mm)	無
②	Canon EOSS kissx8i				有

表1: 観測機材

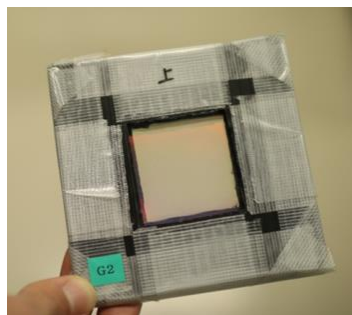
3. 研究方法

〔分光観測〕

(1) 観測

主に上記の3台のカメラによる観測を行う。ブレード回折格子(画像1)を用いて自作した回折格子を、画像2のようにデジタル一眼レフカメラのレンズに取り付ける。

流星群の活動時期、極大日前後数日を中心に、レンズに取り付けた回折格子に対して流星が縦に入射するように、輻射点の位置が画面上部になる向きにカメラを設置し、一時間ごとに15°ずつ撮影する方向を変えながら、連続して撮影を行う。



画像1: ブレード回折格子



画像2: カメラに取り付けた様子

(2) 解析

流星の分光画像上の輝線がどの元素に由来するのかを調べる。あらかじめ波長がわかっている光を、画像上の流星(0次光)と同じ位置に入射させ(画像3)、画像上の流星の位置と、輝線の波長を対応させる。

次に、流星画像における輝線の位置から各輝線の波長を求め（画像4）、発光に由来する元素を特定する。

また、数種類の元素の光を発光させ（画像3、4）、輝線の波長を数通りに対応させて、輝線のスケールを計算し、算出したいくつかの値の平均値を取ることで、正確性を向上させている。



画像3:校正(Na 管の発光)



画像4:校正(水素管の発光)

※解析には、makalii（国立天文台・アストローツ）を用いる。

[高度観測]

- 複数の地点で同じ時間に流れた流星を撮影する
- 観測地点間の距離を求める
- 流星の消失点付近にある星を特定し、その高度を求める
- 三角比を利用して発光高度を求める

4. 結果

流星群名	観測日	観測地	撮影枚数	検知数
ペルセウス(2016)	2016/08/12~/13	宮城県大崎市・栗原市	約25000枚	1枚(群)
しし(2017)	2017/11/17~/19	宮城県大崎市	約39000枚	2枚(群&別群)
ふたご(2017)	2017/12/13~/15	宮城県大崎市・栗原市	約42000枚	28枚(群)
ペルセウス(2018)	2018/08/11~/14	宮城県大崎市・栗原市	約45000枚	12枚(群)
オリオン(2018)	2018/10/21~/23	宮城県大崎市	約21000枚	6枚(群)
しぶんぎ(2019)	2019/01/03~/04	宮城県大崎市・栗原市	約7000枚	0枚
こと(2019)	2019/04/21~/24	宮城県大崎市・栗原市	約27000枚	1枚(群)
みずがめη(2019)	2019/05/03~/8	宮城県大崎市・栗原市	約24000枚	0枚
みずがめδ(2019)	2019/07/31~/08/02	宮城県大崎市・栗原市	約24000枚	0枚
ペルセウス(2019)	2019/08/12~/14	宮城県大崎市	約20000枚	0枚
りゅう(2019)	2019/10/9~/10	宮城県大崎市	約7000枚	0枚
しし(2019)	2019/11/20	宮城県大崎市	約10000枚	0枚
ふたご(2019)	2019/12/16	宮城県大崎市	約11000枚	0枚
しぶんぎ(2020)	2020/1/5	宮城県大崎市	約13500枚	1枚(群)
ペルセウス(2020)	2020/08/11~/08/13	宮城県大崎市	約49000枚	6枚(群)
オリオン(2020)	2020/10/20~/10/21	宮城県大崎市	約13500枚	1枚(群)
しぶんぎ(2021)	2021/01/03~/01/04	宮城県大崎市	約5000枚	0枚
こと(2021)	2021/04/22~/04/23	宮城県大崎市	約8500枚	0枚
みずがめη(2021)	2021/05/06~/05/07	宮城県大崎市	約10000枚	0枚
うしかい(2021)	2021/6/27	宮城県大崎市	約3000枚	0枚
みずがめδ(2021)	2021/8/1	宮城県大崎市	約5400枚	1枚
計23群			約409900枚	59枚

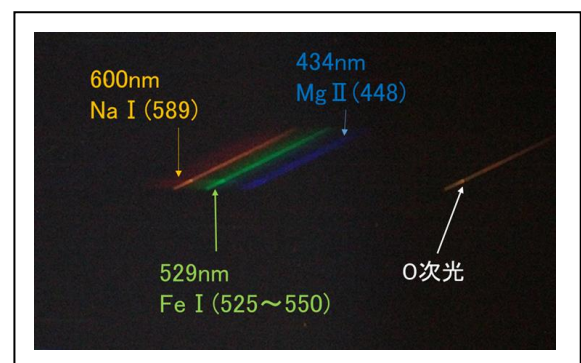
表2:これまでの観測結果

これまで、約598300枚撮影し、そのうち解析可能な光度の輝線は59枚撮影できた。

次の画像は、2020年10月のオリオン座流星群で撮影された分光画像である。

右の輝線から Mg II, Fe I, Na I の3種類の元素を推定したものの、カッコで示した

文献値と5～15nm程度の誤差が生じた。



画像5:2020年10月オリオン群での分光写真

5. 考察

(1) 分光観測

	ふたご群(28枚) 2017/12/1	ペルセ群(10枚) 2018/8/1	オリオン群(5枚) 2018/10/1	こと群(1枚) 2019/4/1
Ca II (396 nm)	4%(1枚)			
Mg II (448 nm)	21%(6枚)	10%(1枚)		
Fe I (496 nm)	7%(2枚)	10%(1枚)		
Mg I (518 nm)	96%(27枚)	40%(4枚)	80%(4枚)	100%(1枚)
Fe I (525~550 nm)	21%(6枚)	10%(1枚)		
O I (558 nm) 禁制 線発光	39%(11枚)	90%(9枚)	100%(5枚)	100%(1枚)
Na I (589 nm)	64%(18枚)	40%(4枚)	20%(1枚)	100%(1枚)
O I (615 nm)	18%(5枚)	20%(2枚)		
Si II (634 nm)	11%(3枚)	10%(1枚)		
N I (648 nm)	7%(2枚)			

表3: 流星群と検出した元素

観測によって検出した元素の種類と観測件数を流星群毎に表3に示した。ほとんどの流星群で検出されたMgとNaを比較すると、2018年ペルセウス群では、MgIを4件、NaIを4件確認した一方、2017年のふたご群では、MgIの27件に対して、NaIが18件である。結果として、ふたご群でMgに比べNaの確認件数が少ない傾向がみられた。

Naの沸点がMgと比べて低く揮発性が高いことから、ふたご群の母天体のファエトンでは、他の母天体と比べてNaが減少しており、ふたご群の流星物質が生成された時期は、他の流星群の流星物質が生成された時期よりも時間が経過しているのではないかと考えられる。

また、そもそも母天体のファエトン自体に含まれているNaが少ないため、ふたご群に含まれるNaも少ないと考えられる。

表3からさらに、酸素禁制線についてペルセウス群では10枚中9枚、オリオン群では5枚中5枚とペルセウス群とオリオン群の多くで、酸素禁制線の輝線を推測できた。

酸素禁制線発光は他の発光と比べて多くのエネルギーが必要なため、発光の条件が限られており、流星の対地速度が速いこと、大気密度が薄いことが関わっているとみられる。表4では、主な流星群の流星の対地速度を示している。表4から、ペルセウス群は58.6km/s、オリオン群は64.5km/sと他の流星群の対地速度よりも速いことが分かる。ペルセウス群とオリオン群で多く酸素禁制線を推測することができたのは、他の流星群と比べて流星の対地速度が速いからだと考ええる。

流星群名	対地速度(km/s)
しぶんぎ座	40.5
こと座	47.1
みずがめ座η	65.3
みずがめ座θ南	38.4
ペルセウス座	58.6
おうし座南	29.6
オリオン座	64.5
おうし座北	29.6
ふたご座	32.9
りゅう座	19.3
しし座	70.4

表 4: 主な流星群の対地速度一覧
「理科年表 平成 31 年」より

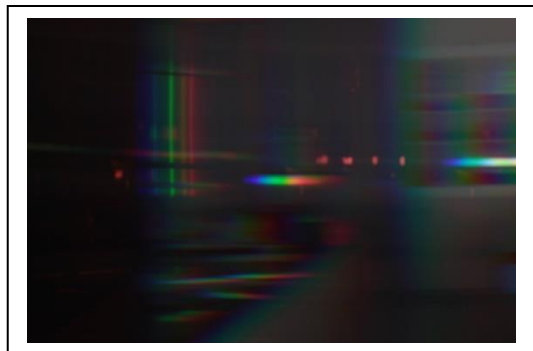
・Mg II と Na I で測定値に 10 nm 程度誤差が見られた。これは画像がぼやけて不明瞭になったことで輝線の幅が広がってしまったことが原因と考えられる。今後は観測前のピント調整や結露対策を徹底したい。

不明瞭に撮れてしまった画像は、回折格子のスケールを求める際に必要な画像を同程度ピントをずらして撮影し、使用することで正確に測定できると考える。

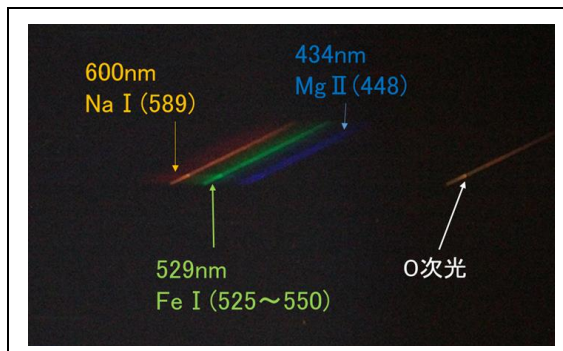
○再推測

画像7は不明瞭なことによる文献値と誤差が生じたことから、同程度ピントをずらした状態でスペクトル管(Na)を撮影したものを用いて画像7を再解析した。結果として、この場合はNa Iの誤差は小さくなったが、Mg IIは変わらず大きな誤差があった。画像上のピントのずれを同程度に設定することは難しいため、この手法は不明瞭な画像の再解析には不適切であったと考える。Fe Iと推測した輝線を酸素禁制線と仮定してほかの輝線の元素を推測すると、輝線①の値が文献値と大きな誤差があり、酸素禁制線であるという確証は持てなかった。

我々の技術では、今回のようにぼやけてしまった画像の正確な推測は困難であるという結論に至った。



画像6:ぼやかした Na 管の発光

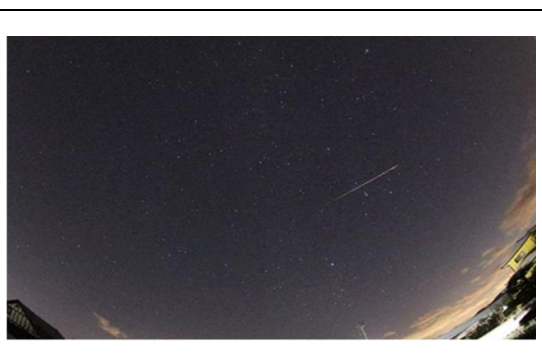


画像7:2020 年 10 月オリオン群分光写真

(2) 高度観測



画像8:同時に撮られた流星1(古川)



画像9:同時に撮られた流星2(美里町)

画像8, 9は2017年のふたご群において二地点で同時に撮影された流星の画像である。撮影された時刻が同じだったことと、同じような位置を流れていることから、この2つの流星は同じものだと断定した。

それぞれの流星画像を拡大すると、流星の発光の終わりの点には星があることが確認できた。ステラナビゲーターを用いてその星を調べたところ、画像8の消失点はエリダヌス座のクルサであり、画像9の消失点はHIP22812という星であることが分かった。さらにそれらの星について、ステラナビゲーターで撮影された時の方位と高度を調べた。

調べた結果は図1のようになった。地点Aは消失点の真下を示している。

図より高度を求めた結果、消失点の高度は約94.7 kmと推測できた。

画像9の分光画像からは酸素禁制線を確認することもできた。

また、図2より95 km付近には酸素原子が存在しており、この酸素禁制線発光には大気中の酸素または流星物質中の酸素、もしくはその両方が使われた可能性がある。

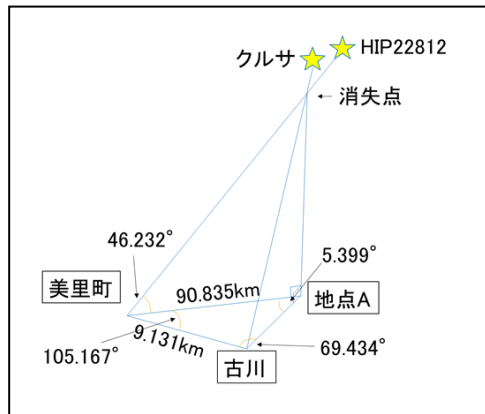


図 1: 多地点同時観測

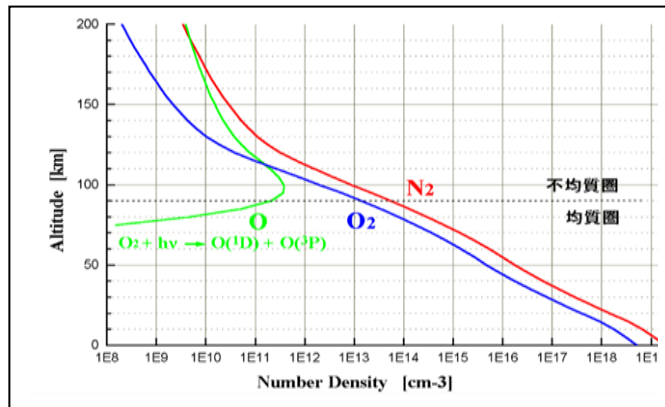


図2: 大気成分の高度変化

6. 課題・展望

- ・ 画面に対して流星が垂直に入射するように、事前に輻射点の位置や撮影する範囲を確認し、手動での撮影方向の角度のずれを解消するため、順次赤道儀を導入する。
- ・ 主な流星群の時期を中心に継続して分光観測を行うとともに、これまでに撮影した流星画像において検出された元素を整理して、流星群毎の元素の傾向をさらに明確にする。
- ・ 多地点同時観測は難しくデータを集めることが難しいため、今後も継続して高度の推測を行い、酸素禁制線発光と高度の関係性を追求していく。
- ・ 動画撮影の解像度が向上して価格も低下したため、動画撮影に変えることによって、来の連続撮影と同等の画質や精度で、より確実に多くの流星を捉えることができるようになると思う。

7. 参考文献

- 1) Millman.P.M. (1963) : A general survey of meteor spectra, Smithsonian Contributions to Astrophysics, Vol.7, P.119.
- 2) J Borovička, H Betlem(1997) : Spectral analysis of two Perseid meteors, Planetary and space science, Vol.45, No.5, P.563-575.
- 3) 長沢工(1997) : 「流星と流星群」 地人書館
- 4) 国立天文台(2014) : 「理科年表 平成 27 年」 丸善出版
- 5) 春日敏測 : 「流星の発光メカニズム」
<http://www.perc.it-chiba.ac.jp/~kasuga/papers/meteor.pdf> (2017/03/30 参照)
- 6) 鈴木湧平(2017) : 「流星による熱圏・電離層の観測」 日本天文学会 2017 年春季年会ジュニアセッション
- 7) 藤井旭(2016) : 「藤井旭の天文年鑑 2016 年版」 誠文堂新光社
- 8) 藤井旭(2017) : 「藤井旭の天文年鑑 2017 年版」 誠文堂新光社
- 9) 春日敏測 : 「流星科学の最前線 流星 - 彗星, 小惑星の熱的進化に迫る」
日本惑星科学会誌 Vol.15No.3 (2006 年)
- 10) 国立天文台(2019) : 「理科年表 平成 31 年」 丸善出版
- 11) 国際極地研究所『南極におけるオーロラ研究』
http://Polaris.nipr.ac.jp/~aurora/aboutAurora/aboutAurora_frame.h

8. 謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導していただいた高知工科大学 教授 山本 真行先生、東北大学大学院 1 年 鈴木 湧平様に厚く御礼申し上げます。

はやぶさ2 サンプルリターンカプセル再突入に伴う ELF/VLF 電波放射の観測（速報）

渡邊 堯 (NICT, WDS-Japan)、小林美樹 (NMS)、加藤泰男 (名大ISEE)、大矢浩代 (千葉大)、塩川和夫 (名大ISEE)、鈴木和博 (NMS)、はやぶさ-2 カプセル回収チーム (JAXA)

1. 観測の概要

2020年12月6日にオーストラリアで実施された、「はやぶさ2」サンプルリターンカプセル（以下カプセルと略称）の地球大気圏再突入に伴う、ELF/VLF電波放射と異常音の検出を目的とし、JAXAの公募科学観測として採択された。当初は現地（南オーストラリア州ウーメラ地区）での観測を行う予定であったが、Covid-19の影響によりオーストラリア入国が困難となったため、ELF/VLF電波と環境音声の採取のみ、カプセル回収チームによる代理観測として実施することとなった。観測機器の概要と設置状況を第1図に示す。

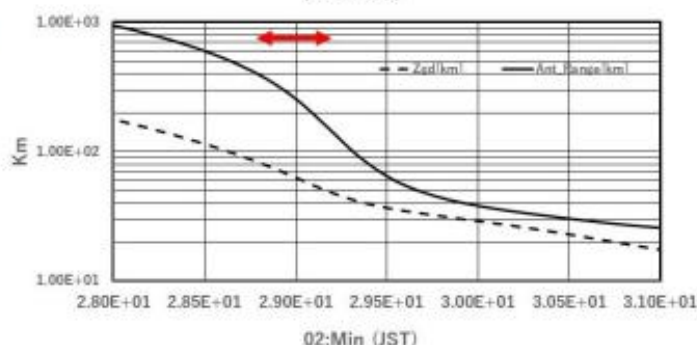


第1図: 観測器機の構成。(左) 構成図、(右) 観測地における器機の設置状況 (JAXA提供)。黄丸はアンテナ。

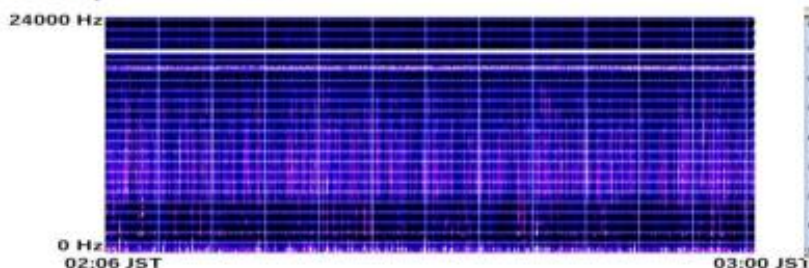
2. カプセル再突入軌道の概要

解析の初期段階では、再突入時のカプセルの軌道のノミナル値（シミュレーションによる推定値）を使用した（第2図）。詳細な解析においては、部分的に実測値を使用している。

Hayabusa-2 Capsule Re-entry Trajectory
(Nominal)

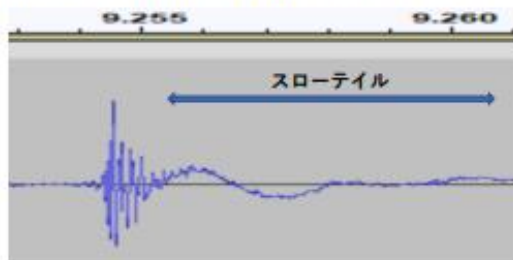


3. ELF/VLF電波環境



4. スローテイルによる空電距離測定

この距離測定法は、導波管モードで伝播するVLF空電と、それよりも少し低い速度で導波管中を伝播するELFスローテイルの到達時間差が距離と共に拡大するという観点に立っており、通常は導波管モデルの適用が可能な、1000 km以遠で発生した空電に対して適用される。



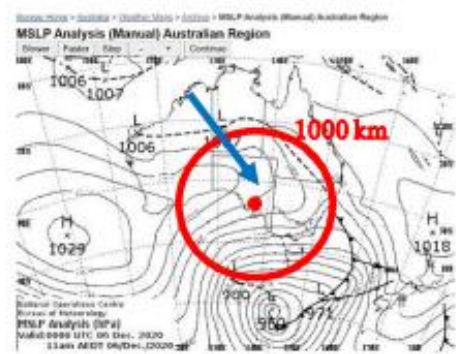
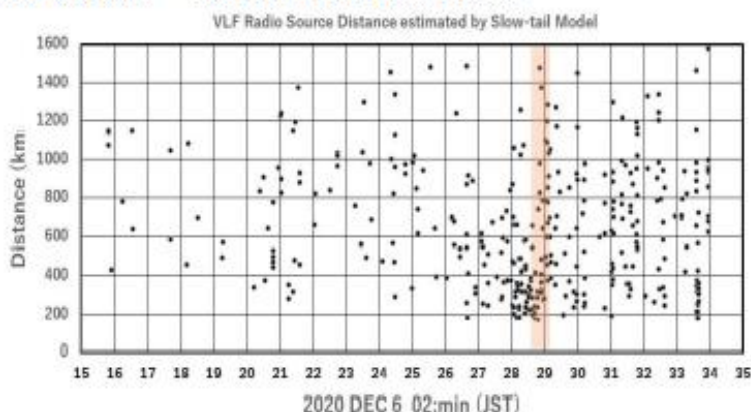
第4図：スローテイル空電と距離算出式

$$t_s = 0.09 \left(\frac{\rho}{2h} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\sigma_1}} + \sqrt{\delta} \right)^2,$$

- t_s : 空電開始とslow tailの最初の1/4サイクルのピークとの間の時間差 (sec)
- ρ : 空電源の距離
- h : 電離層の高さ
- δ : VLF空電パルスの幅 (sec)

しかし過去の研究では500 kmくらいの距離に対して適用された例があるが、適用例が少ないことから、この方法による距離測定の信頼性のチェックを兼ねて、今回の観測記録への適用を試みた。スローテイルの典型的な波形と距離の算出式を第4図に示す。上記の距離推定法では、空電波形に見られるVLF空電パルスとスローテイルとが分離して現れていることが想定されているが、このような分離が明確になるのは、空電源までの距離が約1000 km以上の場合であるが、400 km程度の距離になると、スローテイルの元となったVLF空電とスローテイルとの重なりが生じるため、スローテイルの最初のピークの位置の決定が難しくなるだけでなく、VLF空電の継続時間をどう決めるかの問題が発生するため、測定精度が大幅に低下する。しかし観測された空電とスローテイルが約400 km以上の遠距離から来たものか、少なくともそれよりも近い距離で発生したものであるかどうかの判別には利用できる。また、カプセル再突入当日のVLF/ELF電波環境がどうであったかを知ることは、観測データの解釈において重要な情報である。

今回の観測で得られた約30分間にわたるVLF/ELF記録に、上記の方法を適用して得られた結果を第5図に示す。但し、サンプリングは一律ではなく、図中に示したカプセル火球フェイズ(12月6日02時28分40秒〜29分20秒)の前後の時間帯のサンプリング数が多くっており、研究目的の性格上、比較的近距离のケースにウエイトが置かれている。また、VLF空電とスローテイルとの組み合わせが解析可能な形で現れるサンプルの出現頻度は一律でなく、時間帯によってはサンプリングのギャップが発生する。同図右に示したオーストラリア地域の地上天気図や気象衛星写真と比較すると、観測地(南オーストラリアウーメラ地区)の北側1000 kmを中心線として東西に延びる気圧の谷があり、やはり観測地の南東方向1000-2000 km には強い低気圧と前線が存在することから、これらの領域における雷雲活動による空電が多く観測されたと思われる。またオーストラリア西側のインド洋上や赤道地域が起源の、遠距離発生スローテイルも多く観測されている。カプセルは観測地から見て北西方向から進入するため、ELF/VLF電波観測においては、特に北から西側にかけて伸びる低圧部における雷雲活動の影響を、大きく受けていることが分かる。今回の観測では方向探知を行っていないが、再突入経路の南側からだけの観測であった場合、空電の到来方向のデータのみによって再突入との関連を議論するのは難しかったことが分かる。火球フェイズにも相当数の近距离空電が受信されているが、スローテイルを示すような強い空電の大部分は雷空電と思われる波形やスペクトルを示しており、この解析だけではカプセル起源の電波放射であるかどうかの判別は困難である。しかし観測当日のELF/VLF領域の電波環境がどのようなものであったかが良く分かり、観測データの解釈に役立つと思われる。



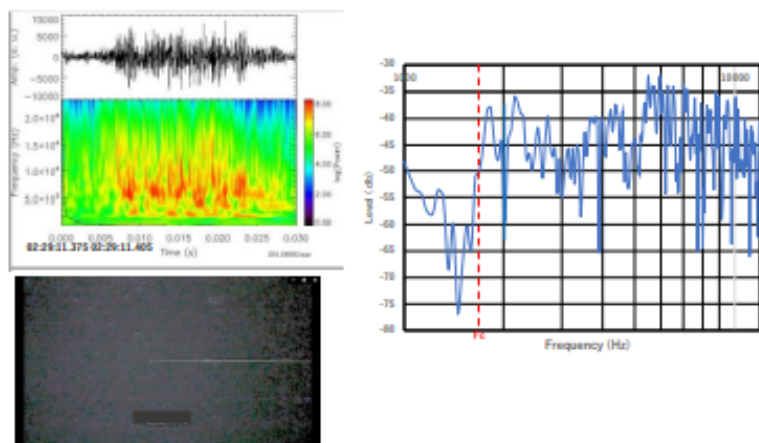
第5図：スローテイル解析による空電源の距離推定。(左)2020年12月6日2時15分〜35分(JST)に南オーストラリア州ウーメラ地区で観測されたスローテイルによって推定した空電源の距離(km)。オレンジ色の帯は、はやぶさ2サンプルリターンカプセル再突入時における火球フェイズの時間帯(概略)を示す。(右上)2020年12月6日00:00 UTCにおけるオーストラリア地域地上天気図。赤丸が観測点の位置。青矢印はカプセル進入経路(概略)、(右下)2020年12月6日における気象衛星ひまわり画像(赤外線)。



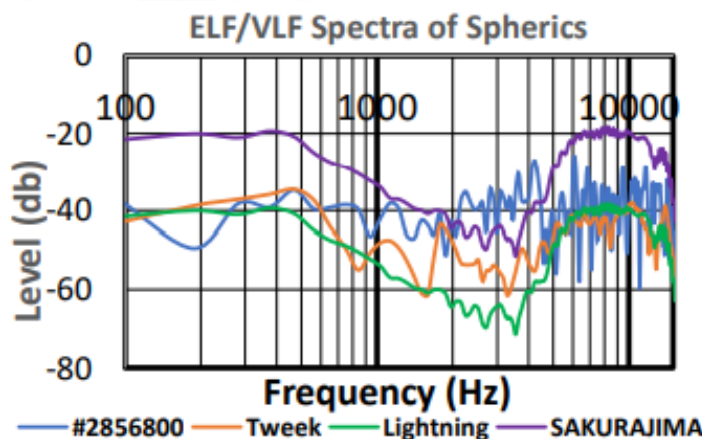
5. 継続性のあるELF/VLF電波

第2図にあるように、カプセルの高度が電離層下層部(約100 km)に達した時点におけるカプセルと観測点までの距離は約400 kmであったが、その後観測点に約60kmまで接近した。もしカプセル起源のELF/VLF放射が存在するとすれば、地表・電離層導波管によるモード伝播では無く、かなり極端なNear Field(近接界)における電波が観測される、という状況にあった。導波管モードで伝搬してくる遠・中距離空電の大部分は、スローテイルの存在や、1-10kHz帯の周波数スペクトルに見られる吸収や分散などの、良く知られた特徴を基準に判別が可能のため、これらの特性を見ることによって、通常の空電とは異なる性質を示す現象の抽出が可能と思われた。そこで詳細に観測データをチェックした結果、カプセル再突入の火球フェイズにある02時29分11秒台(JST)に、第6図に見られるように、通常の雷起源の空電と比べて緩やかな立ち上がりで継続性(約20ミリ秒間)を示すELF/VLFノイズが存在することが分かった。このようなノイズのスペクトルを、雷空電や火山雷など他の空電ノイズと比較すると(第7図)、明らかに他の空電と異なった、広周波数域で比較的フラットな、白色ノイズ的なスペクトルを示すことが分かる。

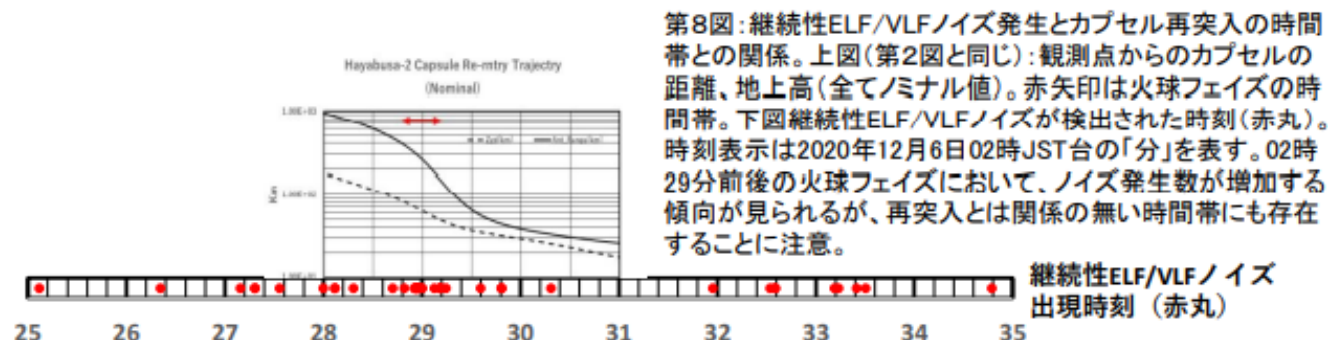
以上のように、この継続性ELF/VLFノイズは、他の一般的な空電現象とは異なったスペクトルを有しているため、再突入と関連を持っていることが示唆されるが、類似の現象が再突入とは関係の無い時間帯でも見られるかどうかの検証が必要である。そこで再突入火球フェイズを含む02時25分—35分の10分間についてチェックしたところ(第8図)、火球フェイズの時間帯に検出数が若干増加する傾向は認められたものの、全区間にわたって毎分数個程度の発生が見られた。このことは、何らかの気象条件(例えば雷雲における弱い放電)によっても、このような電波が発生することを意味しているため、空電源の位置の確定が必須となる。



第6図: カプセル火球フェイズの2020年12月6日02時29分11秒台に記録された継続性のあるELF/VLFノイズ。左図: 上から波形とWavelet法による高分解能動スペクトル、カプセル再突入火球フェイズのビデオ画像(JAXA提供)。右図: 左の継続性ノイズの平均的な周波数スペクトル。赤線(F_o)は、当日におけるtweek空電の周波数特性から推測した、電離層・地表導波管の遮断周波数。



第7図: 2020年12月6日02時28分56.8秒JSTに出現した継続性ノイズ(#2556800、青)、典型的なTweek空電(橙)、雷空電(Lightning、緑)、火山雷空電(SAKURAJIMA、紫)の周波数スペクトル(100-15000 Hz)。雷空電と火山空電のスペクトルは、大変良く似ていることに注意(電波放射過程の類似性)。Tweekでは、約1.7 kHzに鋭い立ち上がりが見られる。1-2kHzに見られる吸収帯(導波管のカットオフ領域)以下の領域では、地上波(0次モード)による遠距離伝播が可能となる。なお各空電のレベル差は、観測状況に依存する。なお火山空電は、2009年12月における桜島噴火を、鹿児島県垂水市名古屋大学鹿児島観測所で観測したもの。

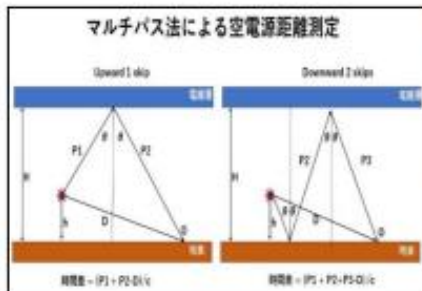


第8図: 継続性ELF/VLFノイズ発生とカプセル再突入の時間帯との関係。上図(第2図と同じ): 観測点からのカプセルの距離、地上高(全てノミナル値)。赤矢印は火球フェイズの時間帯。下図継続性ELF/VLFノイズが検出された時刻(赤丸)。時刻表示は2020年12月6日02時JST台の「分」を表す。02時29分前後の火球フェイズにおいて、ノイズ発生数が増加する傾向が見られるが、再突入とは関係の無い時間帯にも存在することに注意。

継続性ELF/VLFノイズ
出現時刻(赤丸)

6. マルチパス遅延解析による電波源高度と距離の推定

前節で議論した連続性ELF/VLFノイズの一部には、気象現象によるものも含まれていることから、カプセルによるものかどうかの判定には、電波源の距離だけでは無く、高さに関する情報も必要である。そこで電波発生時刻におけるカプセルの位置が既知であることを利用して、地表や電離層での反射によるマルチパス伝播による予想遅延時間遅との整合性を調べた。直接波と反射波との間の遅延時間には、第9図にあるように、「電離層1回反射」、「地表・電離層夫々での1回反射」の2種類がある(夫々、 T_1 と T_2)。ここで c は光速、 D は電波源と観測点との距離、 H は反射点高度、 h は電波源高度である。雷空電など地球の気象現象に関係する放電の発生高度は高々数kmであり、再突入の場合は60–100 kmの高度での発生となるため、遅延時間において明瞭な差が現れることが期待される。



第9図：電離層、地表反射によって形成されるマルチパス(左)電離層1回反射、(右)地表・電離層1回反射。直接波との到達時間差(遅延時間)は、夫々次式によって与えられる。 H ：電離層高度、 h ：カプセル高度、 D ：カプセルと観測点間の距離、 θ ：反射角。SQRTは平方根

電離層1回反射

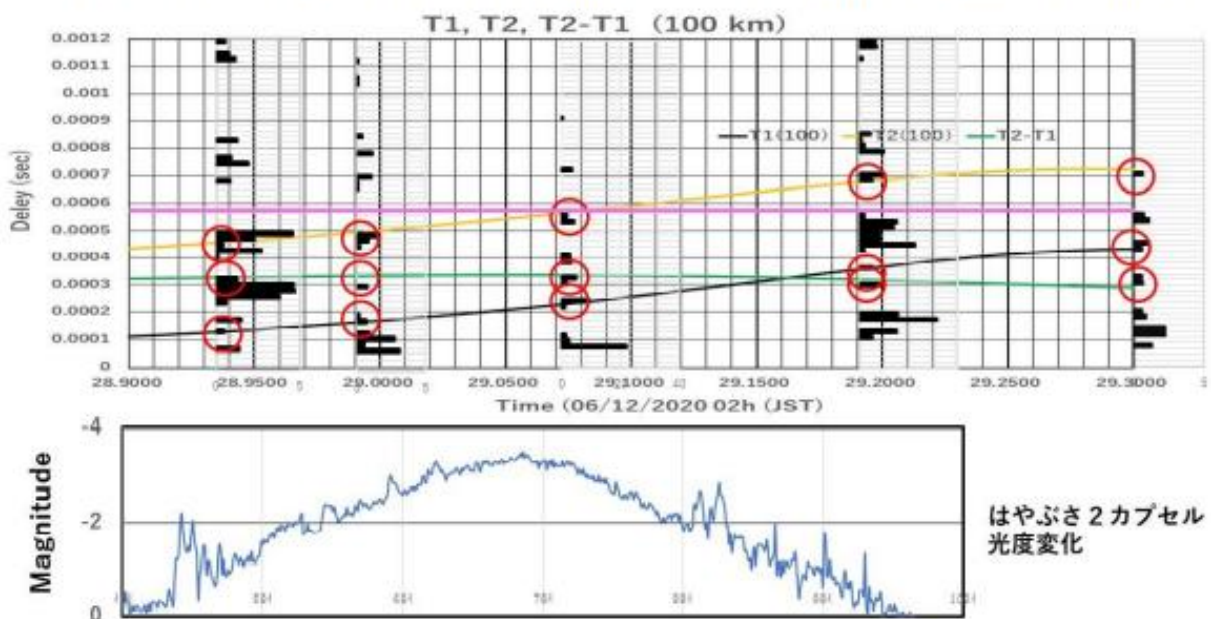
$$T_1 = 1/c \text{SQRT}(D^2 + (2H-h)^2) - 1/c \text{SQRT}(D^2 + h^2)$$

地表電離層各1回反射:

$$T_2 = 1/c \text{SQRT}(D^2 + (2H+h)^2) - 1/c \text{SQRT}(D^2 + h^2)$$

現地におけるELF/VLF電波の反射高度は実測されていないため、当日の電離層・地表導波管のカットオフ周波数や、オーストラリア南部地域における電離層観測データ(Space Weather Services)を参考に、100 kmの高度を想定した。マルチパスによる距離の議論では、受信波形の繰り返し時間の測定が容易なパルス状の雷空電が対象とされているが、継続的ノイズでは明瞭な繰り返しパターンの検出が困難なため、波形の自己相関解析によって、上記2種類の遅延時間(T_1, T_2)と両者の差($T_2 - T_1$)の3種類の遅延時間を求め、予想値との比較を行った(第10図)。ただし、自己相関解析によって得られる遅延時間には、放射電波自体の周波数特性や伝播の影響も含まれていることに注意が必要である。特に：week空電の分散成分(1.7–1.8 kHz)は、自己相関関数上では約0.00055秒の遅延時間に相当し、通常の雷起源空電がピークを持つ周波数帯に相当する0.00014秒のあたりに強い相関が現れる場合があるため、これらの周波数帯に予想遅延時間が重なる場合は注意を要する。

第10図に、カプセル再突入の火球フェイズで観測された6件の代表例について、予想遅延時間と実際に相関が現れた遅延時間との比較を示す。仮定した反射点高度(100 km)の不確定さを考慮すると、各予測値と観測値との間に良い整合性が認められるが、このような3種類の予想遅延時間と解析値とが、短時間のうちに連続的に全て一致する確率は極めて低く、カプセル再突入火球フェイズとの関連が示唆される。また第10図下段にある火球フェイズ光度曲線と比較すると、最大光度直前の02時56分後半の時間帯に発生したカプセルの断続的な急上昇の発生直後からELF/VLF継続性ノイズが多発していることも電波発生過程の推定において、重要な観測結果と思われる(非定常状態における、局所的高電圧場形成の可能性を示唆)。

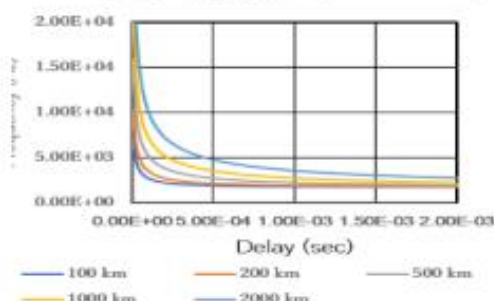


第10図：上図：電離層1回反射波と、地表・電離層夫々での1回反射波と地上波との間の遅延時間の推定値(緑： T_1 、黄： T_2 、黒： $T_2 - T_1$)と、ELF/VLFノイズ波形の自己相関解析によって求めた遅延時間との比較。 f_c は地表・電離層導波管の遮断周波数(1734 Hz)に相当する遅延時間。下図：再突入火球フェイズにおけるビデオ映像(JAXA提供)から推定した光度変化(暫定)。時刻表示は全てJST。

7. 分散解析による空電源の距離測定

マルチパス解析によって、カプセル起源のELF/VLF電波放射が示唆される観測例が得られたが、統計的な有意性を補強するため、電離層・地表導波管を伝わるELF/VLF電波は分散(周波数によって、電磁波の伝播速度が変化)を受けることを利用した距離測定を行う。この分散はTweek空電(例:第3図右)で見られるように上記導波管の遮断周波数約1.7 kHzにおいて顕著に見られ、低周波の伝播距離が長い程遅れて到達する。Tweek空電の分散特性は、第11図にあるような曲線を示す。従って分散曲線と観測された空電の分散特性との比較により、空電源の距離測定が、原理的には可能となる。しかし近距離の場合は分散量が小さいため、通常のスเปクトル解析では測定が非常に難しい。今回の解析では、音声解析で良く使われているFFTでは時間分解能が不十分であるため、FFTよりも高分解能解析が可能なWavelet変換による解析を行った。一例として、28分56.6秒に観測された、比較的継続時間が短いノイズの動スเปクトルに、50-2000 kmの伝播距離に対する分散曲線を重ねたものを第12図に示す。このノイズは近距離発生のため分散量が小さく、正確なフィッティングは困難であるが、50 kmから200 kmの間の距離で発生したことが推定される。このノイズは第10図にあるマルチパス解析結果にも含まれており、マルチパスによる距離推定の結果と整合性がある。更に継続時間が長いノイズの場合はスเปクトルの幅が広がるため、正確な距離の推定は難しいが、同じく第10図に示した観測例について、近距離発生であることを示唆するスเปクトルが得られている。しかし、このスเปクトルの分散特性を利用した、近距離空電の距離測定を正確に行うためには、今後解析手法の改良が必要と思われる。

Tweek空電の分散特性 (Fo = 1734 Hz)



第11図: Tweek空電の分散特性。電離層・地表導波管の遮断周波数は、1734 Hzを仮定。左図の縦軸は周波数(Hz)、横軸は遅延時間(秒)。伝播距離dに対する遅延時間 $F(t, d)$ は以下で与えられる。

$$F(t, d) = Fc / \sqrt{1 - (d/(d + c \cdot t))^2}$$

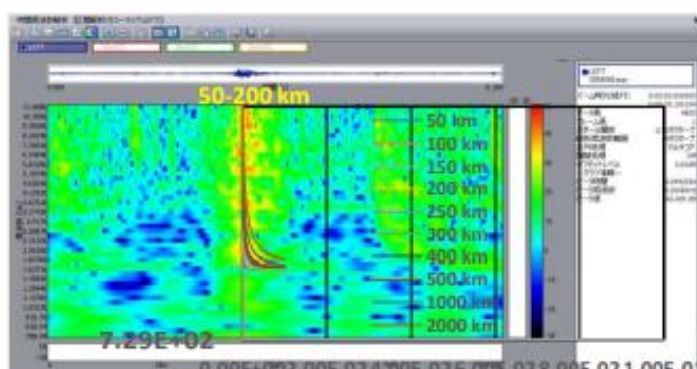
Fc: 電離層・地表導波管の遮断周波数

c: 光速

t: 時間

d: 伝播距離

Yano, T. Ogawa, H. Hagino // Res. Lett. Atmos. Electr. - 1989. - 9. - P. 31-42.



第12図: 2020年8月06日02時28分56秒台に出現した、継続時間約10 msecの近距離ELF/VLFノイズのWavelet動スเปクトル。解析時間幅は100 msec、表示周波数領域は729 Hzから11660 kHz。50 kmから2000 kmまでの伝播距離に対する分散特性曲線を重ねて示す。解析には小野測器社製振動解析ソフトOscope(試供版)を使用した。

8. まとめ (暫定)

1. 再突入するカプセルが、概ね50-100kmの高度に達したときに発生した「火球フェイズ」において、10-50 msecの継続時間を持ち、緩い立ち上がり波形と比較的フラットなスเปクトルを持つELF/VLFノイズが、多く検出された。しかし気象現象による放電と思われる類似の性質を持ったノイズは、頻度は低いものの(毎分数発程度)、カプセル再突入とは無関係に存在するため、両者の区別が必要である。スเปクトルや波形の類似性から、どちらも継続性のある放電との関連が示唆される。
2. 再突入の火球フェイズにおける、連続性のある低レベルノイズの発生数の有意な増加、マルチパス遅延時間と分散特性の解析から推定した電波発生源の推定距離と、カプセル実距離との整合性などから、カプセル再突入に伴って発生したELF/VLF電波が、観測地の優れた観測環境により受信された可能性が高い。
3. カプセルの火球フェイズに観測された連続性のあるELF/VLFノイズの多くは、アブレーションを起こしながら高速で飛行するカプセルとその周辺における、比較的緩やかな放電によって発生したことが推測される。また全般的に観測される類似のノイズは、近距離の雷雲活動によって発生した、弱い放電現象によるものと思われる。
4. 解析で使った空電の距離測定法は、そのまま流星のELF/VLF電波観測に適用できるが、今回の解析によって適用限界や改善すべき点が明確になった。また、流星の電波放射機構の研究においても、新しい視点が得られた。

中焦点距離レンズを用いた流星の同時ビデオ観測

－SonotaCo ネットワークの現状とそれとの比較

藤原康德（大阪市）

4 等級より暗い流星の軌道を求めるために実施している高感度一眼レフカメラ（ $\alpha 7s$ ）と（35mm 版カメラでの）中焦点距離大口径レンズとを組み合わせた 2 点同時観測の結果について紹介する。併せて SonotaCo ネットワークの現状と得られた同時観測結果との簡単な比較を示す。

1 SonotaCo ネットワークの現状 新たな軌道計算結果リストと流星群リスト

日本における流星のビデオ観測については、SonotaCo 氏（ネットワーク上のハンドル名）が開発された UFOCapture シリーズを用いた観測法が広く行われている。UFOCapture シリーズには、流星を自動検出する UFOCaptureHD2 (UFOCaptureV2)、その検出された流星の位置・光度等を測定する UFOAnalyzerV2、さらには分析された個々の流星のデータを組み合わせて流星の対地・日心軌道を計算する UFOOrbitV2 と 3 種類のソフトがある。最近（2021 年 9 月末）、UFOAnalyzerV2 と UFOOrbitV2 でそれぞれ大幅な改定が加えられた v300 バージョンが公開された。

SonotaCo ネットワークの活動は、SonotaCo さんがネット上で開設されている SonotaCo Network Forum 上で行われている。このフォーラム上では、観測法や観測結果の公開や質疑応答等が行われている談話室とともに UFOAnalyzerV2 で測定された観測結果（個々の観測結果を記述した csv ファイル）をアップロードするための同時観測計算用 csv ハブ（M.csv exchange hub）が設置されている。観測結果のアップロードは観測者の自由意志で行われており、アップロードされた csv データは公開されており、ダウンロードも任意に行うことができる。この観測結果の csv を UFOOrbitV2 で処理することにより個々の同時流星の軌道が得られる。

このハブでは月単位でデータを集めてあり、早い観測者では観測明けの午前中には csv データをアップロードされており、翌月の中旬までには（アップロードされた）データはほぼ出そろっている（これ以上の csv がハブ内で増えることは極めて少ない）。2021 年 4 月の例では、アップロードされた観測者は 27 名（観測地点は 29 ヶ所、カメラ台数 91 台）で、総流星数（個々のデータを単純に加算）は 14,959 個、軌道が計算できた総流星は 6,331 個、得られた軌道は 1,922 個であった（注意－途中経過 2021 年 10 月末で確定数字ではない）。

さらに 1 年間のデータをまとめて、データの再チェックを行ったうえで集約することが推奨されているが、必ずしも毎日（毎月）観測報告を行っている観測者がここでデータの再集約をおこなっているわけではない。このデータをもとに SonotaCo さんが UFOOrbitV2 で計算された流星軌道リストが SonotaCo Network Simultaneously Observed Meteor Data Sets (SNM0000 - 0000 には年が入る)として公開されている。なお、1 年間のデータとしてまとめられていないデータは、毎月アップロードされている csv をもとに SonotaCo さんが集約されている。

これまでの流星軌道データセット SMN0000 には、観測誤差が軌道計算結果に反映されていなかった。UFOOrbitV2 v300 では、モンテカルロ法を用いた 1000 回の繰り返し計算により、観測誤差を誤差伝搬して、計算結果に誤差を付加する機能や同時観測点数が 3 点以上の場合に 最も誤差が小さくなる組み合わせを探索して結果を計算する機能等が加えられ、誤差を評価基準としてより精度が高い流星軌道の選択ができるようになった。

SonotaCo さんにより 2007 年から 2020 年までの全観測データが UFOOrbitV2 v300 により再計算され、新たな流星軌道リスト（流星軌道数:353,251 個）として 2021 年 10 月に公開された (SNMv3_2007-2020_all.csv)。さらにこのリストの中より一定の誤差範囲内（輻射点の位置 1 度以内、地心速度 5%以内）の精度の高い流星軌道のリスト SMNSNMv3_2007-2020_Er1Ev5.csv（流星軌道数:128,228）が合わせて公開された。このリストは、SonotaCo ネットのホームページからダウンロードできるとともに、IAU Meteor Data Center のホームページからもアクセスすることができる。

この SNMv3_2007-2020_Er1Ev5.csv を基データとして、SonotaCo さんが開発された流星群検出アルゴリズムにより検出された流星群リストが公開された (J14 リスト)。この J14 流星群リストには、新たに検出された 17 個の新流星群を含む 136 個の流星群が上がっている。これにともない UFOAnalyzerV2 と UFOOrbitV2 の v300 で群判定に用いられる流星群は基本的に J14 リストによることになっている。

具体的には次の二つの論文を参照されたい。

SonotaCo, T. Masuzawa, T. Sekiguchi, T. Miyoshi, Y. Fujiwara, K. Maeda, S. Uehara

SNMv3: A Meteor Data Set for Meteor Shower Analysis WGN, the Journal of the IMO 49:3 (2021)

2 中焦点距離レンズ（準望遠レンズ）を用いた流星の同時ビデオ観測

SonotaCo ネットワークで得られた同時流星の光度（絶対光度）の数は、0 等が一番多くて、マイナス 1 等、1 等が 0 等に次いで多い。それに対して 4 等以下（暗い）同時流星は、ほとんどない（前掲 SonotaCo et al. 2021 の最初の論文の Figure4 参照）。これはネットワークの観測機材が、ワテックの CCD カメラ（WAT-100N、WAT-902H2U）と 35mm 版カメラでの広角から準広角レンズに該当するレンズ（焦点距離 2mm～6mm）との組み合わせた観測システムから始まったこと、現在でもワテック高感度 CCD カメラより高解像度のカメラの利用が増えてきたもののレンズは、広角から標準レンズが主流であることの結果である。

4 等以下の「暗い」流星を観測するためには、ワテックの CCD カメラだと 12mm F0.8 や 25mm F0.95 のような準望遠から望遠系のレンズが必要となる（それでも 4 等が限界か？）。

$\alpha 7s$ や DMC-GH 5s のような高感度カメラの場合でも、4 等以下の暗い流星を撮影するには準望遠から望遠レンズが必要となる。 $\alpha 7s$ に FD85mm F1.2 レンズを用いたケースでは、観測条件にもよるが、観測等級（絶対光度ではない）で 5 等から 6 等の流星が観測可能である。 $\alpha 7s$ に FD200mm F1.8 のレンズを組み合わせるとさらに 1 等級暗い流星まで観測可能になる。

同時流星からの軌道を求めるためには、言うまでもなく 1 観測点からだけの観測（撮影）だけではだめで、少なくとも 2 観測点からの観測が必要となる。例えば、1 点で $\alpha 7s \cdot 85mm$ を用いて観測を行い 4 等以下の「暗い」流星を捉えたとしても他の観測点での機材が「暗い」流星を捉えることができないと、当然のことであるが「暗い」流星の同時流星は得られない。同時流星という観点からは、（準）望遠レンズを用いることにより、観測視野が狭くなり、かえって他地点との同時流星数は広角から標準レンズを用いた場合より少なくなる。

したがって（準）望遠レンズを用いて「暗い」流星を観測対象に同時流星を得るためには、最初から 2（あるいはそれ以上）観測点で「暗い」流星を捉えることのできる高感度カメラシステムが必要となり、なおかつ狭い観測視野を同時流星が得られるように重ね合わせることが必要となる。

そこで、「暗い」流星を観測対象に大阪市（自宅：以下大阪と表示）と奈良県宇陀市（室生観測所：以下室生と表示）の 2 か所に $\alpha 7s$ に FD85mm F1.2 レンズでの観測システムを設置して UFOcaptureHD2 を用いた観測を 2019 年 11 月末から実施している（試験的運用を含めて）。本研究では、2021 年 4 月に行われた観測の結果を SonotaCo ネットワークに報告されたデータからの比較・検討を交えて紹介する。



図1 観測システム $\alpha 7s$ (IR カットフィルター除去済み) FD85mm F1.2

$\alpha 7s \cdot 85mm$ を入れているハウジングには日光遮断用のシャッターが付いている。室生に設置したシステム（ $\alpha 7s \cdot 85mm$ + 観測記録用パソコン）は、自宅からネットを介して遠隔操作している。

2-1 観測システム 大阪と室生に設置しているのは、Sony の $\alpha 7s$ と FD85mm F1.2 のレンズを組み合わせたもので、 $\alpha 7s$ については、IR カットフィルターを除いたものである。両者のシステムは同一（図 1 参照）で、UFOCaptureHD2 を使った自動観測を行っている。観測結果は、UFOAnalyzerV2 で流星の位置、光度等を測定した。

2-2 観測結果 図 2 に大阪の図 3 に室生で観測された流星の光度分布を示す。光度は、見かけの等級である。大阪では、4,5 等級の流星が多いのに対して室生では 5,6 等級の流星が多い。3 等級の流星数がほぼ同数であるのに対して 4 等級より暗い流星では、観測結果に大きな差がついている。これは、大阪と室生との観測条件＝空の明るさを明確に反映した結果となっている。

図 4 に大阪-室生間の同時観測で得られた同時流星の対地軌道を示す。UFOOrbitV2 で Quality を Q1 で計算した。図 5 は、SonotaCo ネットワークの 2021 年 4 月分の csv 交換室にアップロードされたデータを用いて UFOOrbitV2 で計算（Q1 で）した同時流星の対地軌道図を示す。図 5 からは、大阪一室生間の同時流星が得られている部分に特に同時流星が集中していることが読み取れる。

大阪一室生間の同時流星は、147 個で、同時率は大阪の観測で 22.0%(147/668)、室生では、7.8%(147/1877)だった。大阪の観測条件（空が明るい）が悪いことが主原因ではあるが、さらに付け加えて、室生側にカメラ設置上の制約があり同時観測に適した視野になっていないことも同時率が低いことの理由だと考えている。同時観測となる領域は、現在は、室生の北東側になっているが、より大阪に距離的に近い北西側に設定することが望ましいと思われる。

SonotaCo ネットワークのデータを処理しているときに Osaka03 の 12mm カメラ（観測地：羽曳野市、観測者：上田昌良さん、以下羽曳野）と大阪一室生間の観測とで同時流星が多いことに気が付いた。大阪一室生一羽曳野の同時流星数について表 1 に、対地軌道を図 6 に示す。この組み合わせから得られた同時流星は 218 個で 3 点ともに観測された同時流星は 54 個だった。羽曳野の観測では、12mm のレンズは 35mm 版カメラでの中焦点距離望遠レンズに相当し、また、口径比も 0.8 と小さいので検出流星数のピーク光度は 3 等級で 4 等級の流星も 99 個と相当数検出している（図 7 参照）。このことが、3 点間で同時流星が得られたことにつながったと考えられる。先に示した図 5 での同時観測エリアでの同時流星が集中しているのには、この羽曳野も加えた 3 点間の同時観測結果が反映している。

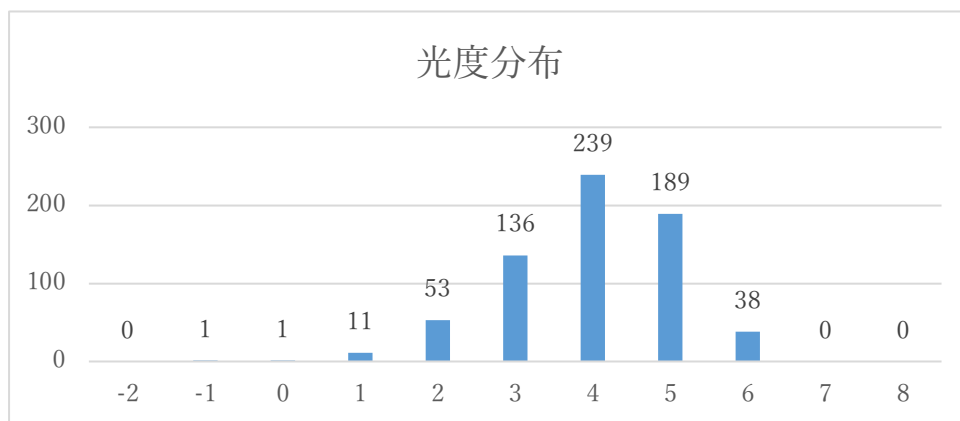


図 2 大阪での光度分布
横軸は見かけの光度 縦軸が流星数

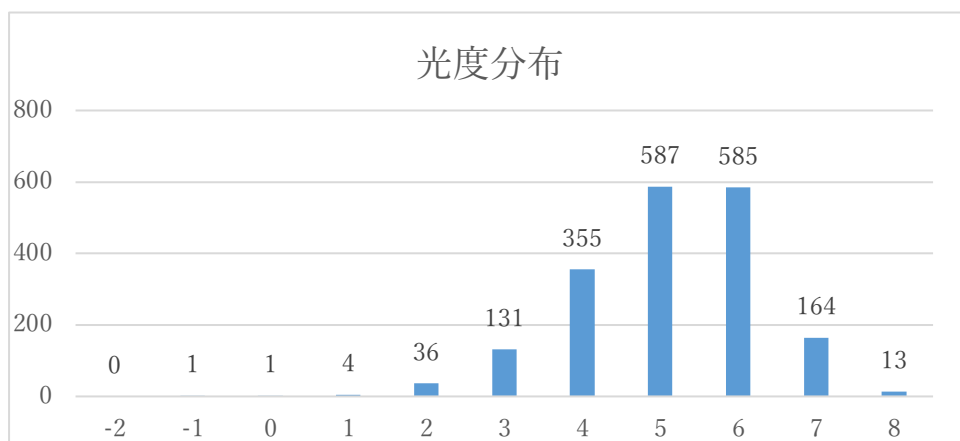


図 3 室生での光度分布
横軸は見かけの光度 縦軸が流星数

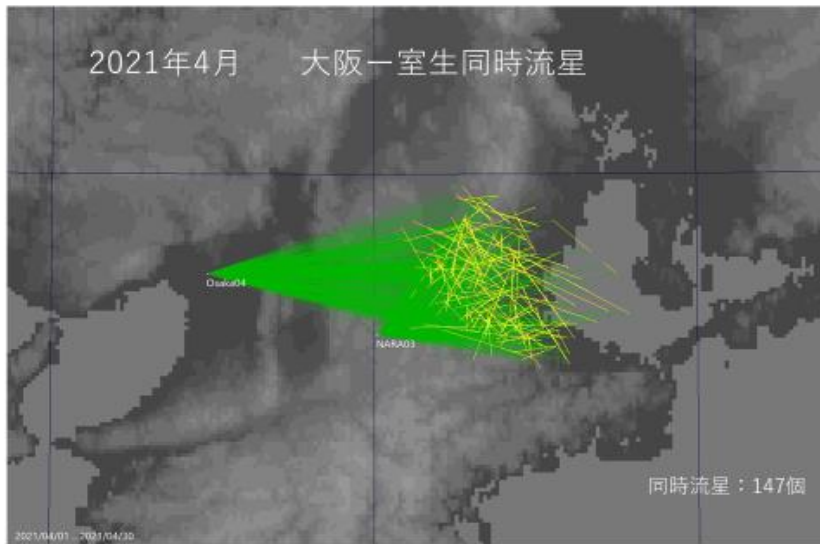


図4 大阪-室生間の同時観測で得られた同時流星の対地軌道

緑色の線が観測点から見た出現点・消滅点への方
向を示す。

黄色の線が流星の対地経路で赤い点が消滅点を示す。

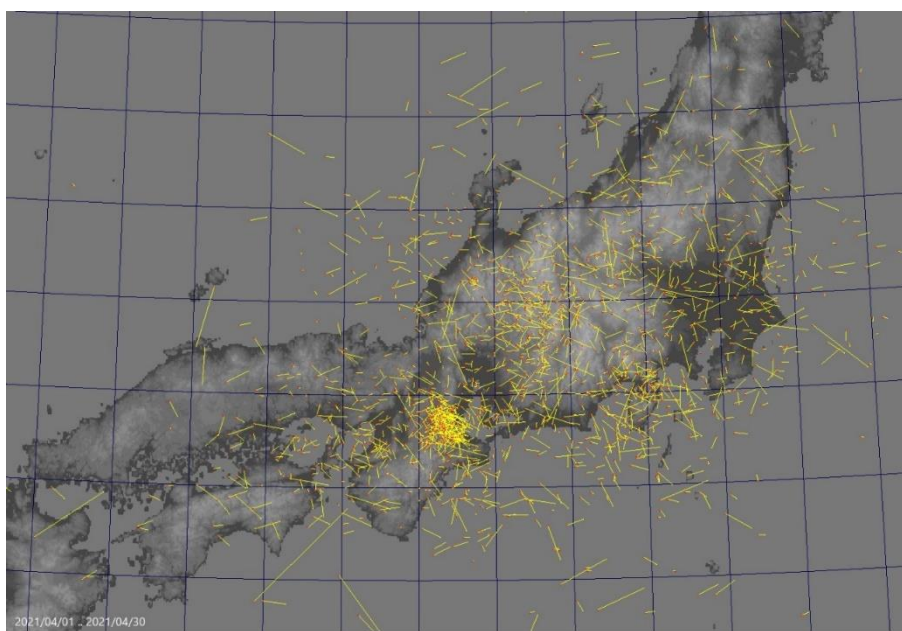


図5 は、SonotaCo ネットワークの 2021 年 4 月分の同時流星の対地軌道図

黄色の線が流星の対地経路で赤い点が消滅点を示す。

	単点での観測 流星数	大阪-室生 同時流星数	大阪-羽曳野 同時流星数	羽曳野-室生 同時流星数	3 点同時 その 1	3 点同時 その 2
大阪 85mm	668	147	99		194	54
室生 85mm	1877	147		75	171	54
羽曳野 12mm	446		99	75	125	54

表 1 大阪－室生－羽曳野の 3 点からの同時流星数

羽曳野 12mm：ワテック+12mm F0.8 FOV(31 × 23°)

3 点同時その 1：同時流星数全体 合計 218 個

3 点同時その 2：3 点すべてで観測された同時流星数 54 個

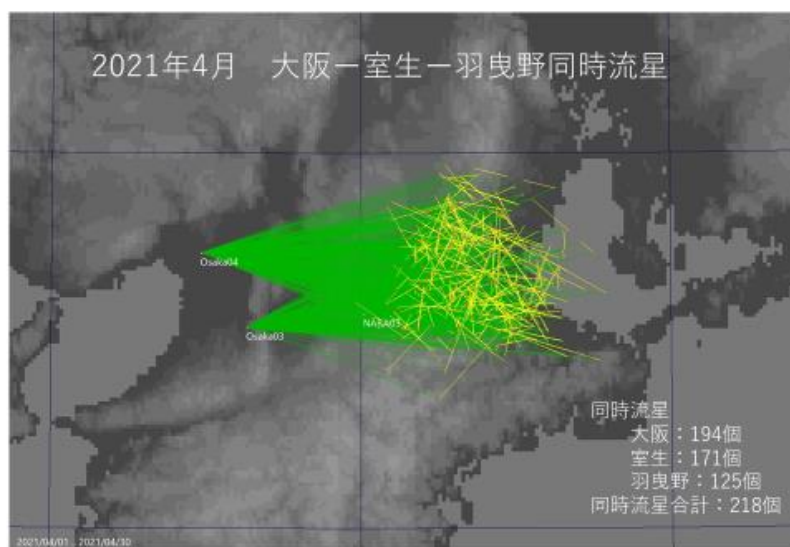


図6 大阪-室生間の同時観測で得られた同時流星の対地軌道

緑色の線が観測点から見た出現点・消滅点への方向を示す。

黄色の線が流星の対地経路で赤い点が消滅点を示す。

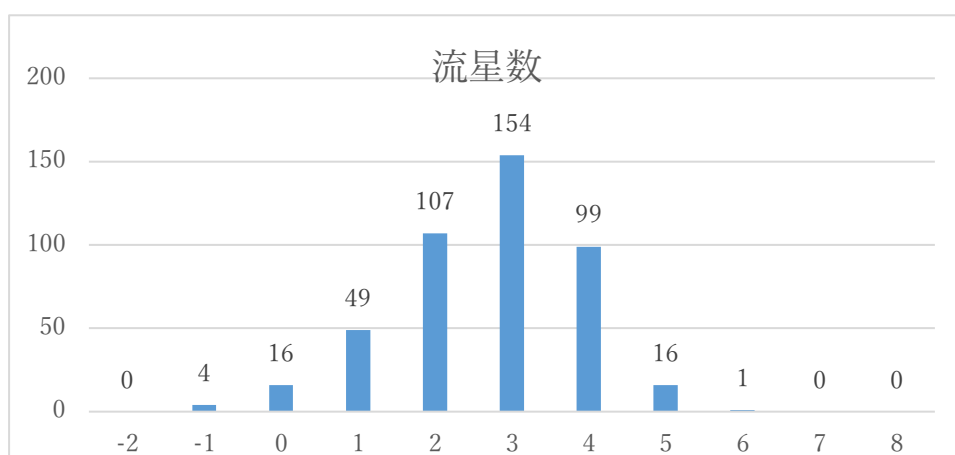


図7 羽曳野 12mm 光度分布 横軸は見かけの光度 縦軸が流星数

同時流星 218 個の光度分布を図8に示す。光度は絶対光度で示されている。

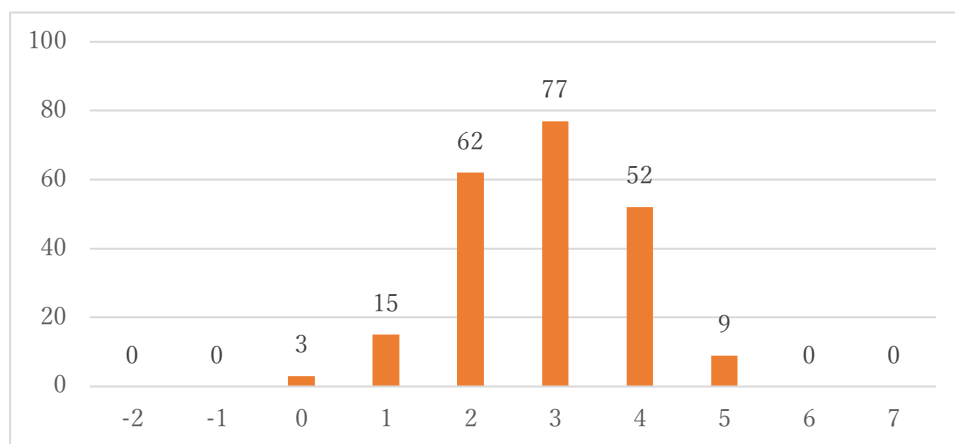


図8 大阪-室生-羽曳野の同時観測流星での光度分布 横軸は絶対光度 縦軸が流星数

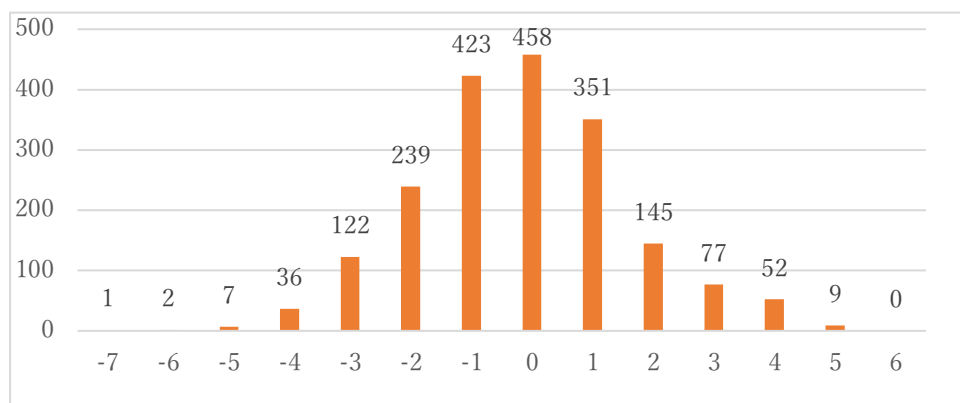


図9 SonotaCo ネットワークの2021年4月同時流星の光度分布（絶対光度）

図9に SonotaCo ネットワークの 2021 年 4 月分の csv 交換室にアップロードされたデータを用いて UFOOrbitV2 で計算 (Q1 で) した同時流星 1922 個の光度分布を示す。光度分布は絶対等級で示されている。流星数のピークは 0 等級で、続いてマイナス 1 等、1 等級の流星が多いのは先に示した SonotaCo et al. (2021) と同じである。3 等以下の暗い流星も観測されている結果となっている。

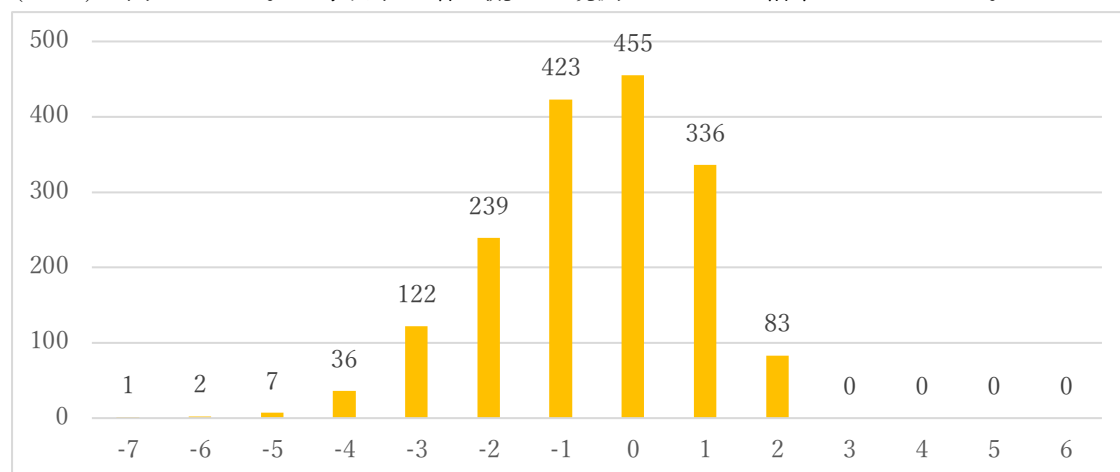


図 10 SonotaCo ネットでの全観測結果から大阪－室生－羽曳野の 3 点同時流星を抜いた同時流星の光度分布 (絶対光度)

図 10 は、図 9 で示した SonotaCo ネットワークの 2021 年 4 月分の csv 交換室にアップロードされたデータを用いて UFOOrbitV2 で計算 (Q1 で) した同時流星の光度分布から図 8 で示した大阪－室生－羽曳野の 3 点同時観測から得られた同時流星の光度分布を差し引いた結果の光度分布を示す。すなわち、SonotaCo ネットでの全観測結果から大阪－室生－羽曳野の 3 点同時流星を抜いた結果を示している。

その結果として、図 10 では、1 等級以上の明るい流星ではほとんど影響がないが、2 等級の流星では、145 個から 83 個と約 4 割減、特に 3 等以下の暗い流星は「0 個」となる。2021 年 4 月の SonotaCo ネットでの同時流星で 3 等級以下の暗い流星は、大阪－室生－羽曳野の 3 点観測からのみ得られたという結果となっている。

このことは、「暗い」流星を観測対象に同時流星を得るためには、最初から 2 (あるいはそれ以上) 観測点で「暗い」流星を捉えることのできる高感度カメラシステムが必要となり、なおかつ狭い観測視野を同時流星が得られるように重ね合わせる必要があるという先に述べた前提条件が非常にシビアに効いていることを示している。

3 まとめ

- (1) SonotaCo ネットの現状と新しい解析ソフトウェアについての紹介 (レビュー)。
- (2) 新ソフトウェア (UFOOrbitV2 バージョン 300) を用いて SonotaCo さんが行われた過去の観測データの再計算結果に基づく流星軌道計算リストと流星群リストの紹介 (レビュー)
- (3) 暗い流星 (4 等級以下) を狙った同時ビデオ観測について
 - (a) $\alpha 7s$ と 85mmF1.2 と UFOCaptureHD2 を使った自動観測を大阪と室生の 2 点で実施した
 - (b) 4 等以下の同時流星を捉えることはできたが、観測機材の設置状況等の観測条件が不十分のため同時流星率は低い数字でとどまった。
 - (c) 現状の SonotaCo ネットの同時流星からは、4 等級以下の同時流星を得るのは難しいことが分かった。
 - (d) 4 等級より暗い流星を得るためには、そのためのシステム構成・運用が必要となることが実例として明らかになった。

4 謝辞

SonotaCo ネットワークで観測された同時の流星計算には、SonotaCo Network Forum の同時観測計算用 csv ハブ (M.csv exchange hub) にアップロードされたデータ (2021 年 4 月分) を使いました。データをアップロードされた観測者のみなさまに感謝します。

上田昌良さんから上田さんが同時観測計算用 csv ハブにアップロードされたデータの解析の実施についての許可を頂きました。ありがとうございました。解析結果については、私 (藤原) に全責任があります。