関学チーム大活躍！

今年も小惑星 Phaethon(3200)による恒星掩蔽の観測に大成功！

著者：関西学院大学 理工学研究科 物理学専攻 松浦研究室 M1 林宏憲　2022/11/10

昨年(2021/10/3~4)に引き続き、今年(2022/10/20~22)も小惑星 Phaethon による掩蔽の観測に成功しました！　よっしゃ！！！

～去年の苦い思い出～

ある日、松浦先生から 1 通のメールが届きました。「2024 年度打ち上げ予定である、JAXA や他の研究機関が共同で開発している「DESTINY+」という人工衛星があります。その人工衛星が目指す小惑星 Phaethon が掩蔽を起こすということで、もし興味がある学生は観測してみませんか。」という内容でした。これといって卒業研究も決まっていなかった私は二つ返事で「やってみたいです！」と返信しました。後日、研究室に大荷物が届き、開けてみると見たこともない様な大きい望遠鏡が入っていました。右も左もわからない、望遠鏡に関して何も知らない私たちでしたが、三田天文クラブの加瀬部さんによるご指導もあり着々とできることが増えていき、次第に、本番までのタイムリミットが近づいていることに焦りながらも星や掩蔽に関する知識、望遠鏡の仕組み、観測の楽しさを感じることが出来ました。観測当日はハプニングの連続で、特に広島の百島(無人島)へ望遠鏡を運ぶ過程では副鏡がずれ、思うような綺麗な星像を確保できないことが分かりました。結局それを調整することはできませんでしたが、なんとか対象星を導入し撮影することができました。結果として、減光は見られず通過(減光なし)と判断し小惑星 Phaethon の北限を決める一つの手がかりになることができました。今回、アマチュア天文家とプロ天文研究者の連携で 72 名・36 地点の大規模な観測チームを結成しました。首尾良く 25 もの地点での観測に成功し、見事に Phaethon の形を捉えることができました。

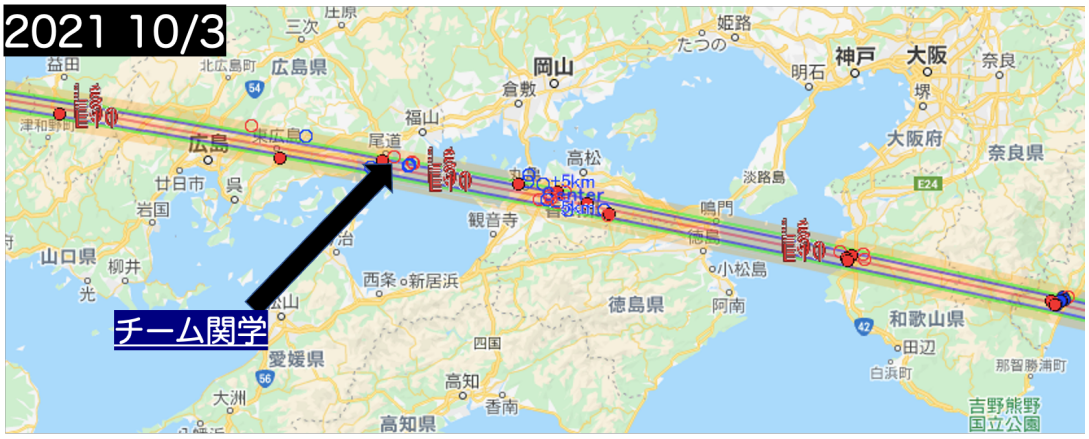


図 1：2021/10/3Phaethon よる日本の恒星の掩蔽現象観測可能地域と観測点候補地点群

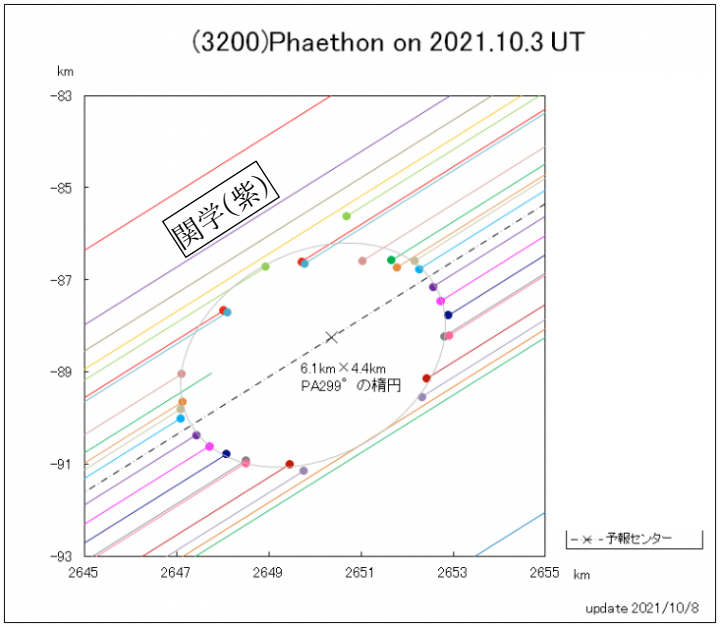


図 2：今回の掩蔽観測で浮かび上がった Phaethon の大きさと形

～北海道 1 日目～

去年の悔しさを胸に挑んだ 2022/10/20~23 の小惑星 Phaethon による掩蔽観測。舞台は広島から移り北の大地北海道へ！去年の広島遠征で共に観測した現在 M1 の石田くんに加え、新しく松浦研に加入した B4 の大内くん、大河内さん、並川さん、濵垣さんを含めた総勢 7 名の大所帯で北海道へ乗り込みました。

私と石田くんは去年に引き続き観測を続けており、失敗や成功を繰り返していく中で多くの知識や対処法をマスターすることができました。それを新たに加入した B4 の皆さんに伝えていき、今まで以上に練習を重ね万全の状態で挑みました。今回、学生 6 名が各々 2 人ずつに分かれ独立で 3 地点観測を行うということ、予報通りでいけば必ず減光が起きる場所を担当したので責任は重大でした。

とは言いつつも、北海道へ到着したらまずは腹ごしらえです。海鮮、ラーメン、スイーツ、スープカレー何にしようか。1 食目、選ばれたのは味噌ラーメンでした。

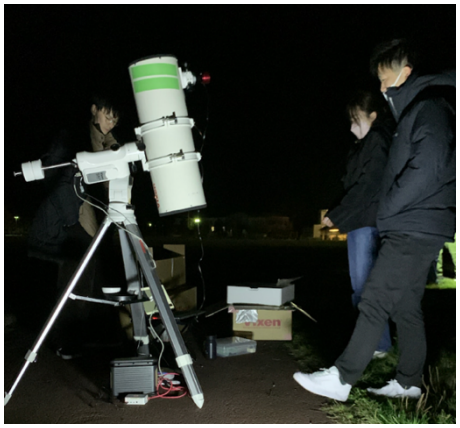
図 3 ：札幌ラーメン共和国(らーめん吉山商店)

北海道大学で望遠鏡を回収し、宿のある新篠津村へ。昼間に下見するはずが着く頃にはもう黄昏時でした。外は薄暗い中、我々は観測する 3 地点の下見に向かいました。それぞれの観測場所は新篠津村にある「たっぷの湯」、「新篠津村運動公園」、「ふれあい公園星座観測場」です。ふれあい公園星座観測場では、この Phaethon 掩蔽観測のリーダーである産業医科大学の吉田さんや整約図の管理をされている早水さんと合流し健闘を称え合いました。また、ここで九州工業大学から掩蔽観測の見学に来られた瀧本さんと當銘くんと合流しました。

図 4：ふれあい公園星座観測場にて記念撮影

九州工業大学の皆さんとは、夜ご飯に以前からおすすめされていた「回転寿しトリトン」へ行きました。個人的には、今までで一番美味しい寿司でした。何から何まで新鮮、プリプリで、苦手なウニが食べれた時は感動しました。

図 5 ：回転寿しトリトンにて



さぁ腹ごしらえは完了です。今からイベント前日の予備観測です。関学からは 2 つの望遠鏡(20cm，26cm)を持参しました。天気には恵まれ雲ひとつない快晴でした。さすが練習しただけあって皆さん颯爽と組み立てを完了し極軸合わせのために北極星を入れました。「なんて高い場所に北極星があるんだ！」と感じ、三田で見ているよりも遥か上にあり驚きました。

図 6：前日のテスト観測(20cm 望遠鏡)

その後 26cm 望遠鏡では対象星の導入を行い、最後のテスト撮影まで順調に進むことができ観測準備としては完璧でした。しかし、ここで 20cm 望遠鏡で問題が起きました。20cm 望遠鏡で導入するために使う PC が思うように動きません。三田での練習の際はこの様なことは 1 度もありませんでした。「なぜ北海道に来て直前でこんなことになるんだ、どうしよう…」この時は外の寒さ以上に背筋が凍りました。その場ではなんとか問題を対処することができ、無事に対象星を導入し、テスト撮影まで完了しました。部屋に戻り PC を再起動し、導入するためのソフト(ステラショット 2)を再度インストールし直しました。今度は、いくら時間が経ってもインストールがされません。とうとう使い物にならなくなってしまいました。

図 7：必死に PC を直している姿

～北海道 2 日目(イベント当日)～

相変わらず、ステラショット 2 は動かないままです。でもお腹は空いてしまう。お昼ご飯に選ばれたのは、スープカレーでした。

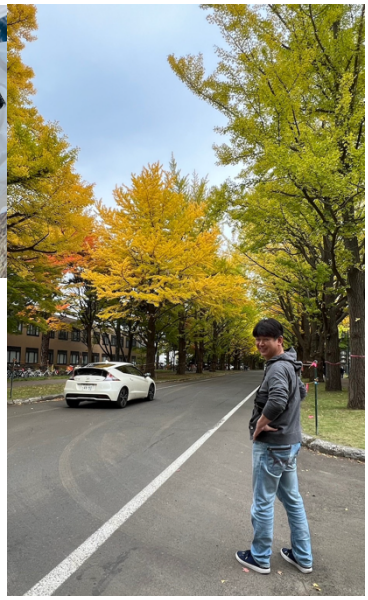


図 8：車中でスープカレー(上)

図 9：北海道大学の銀杏並木と松浦先生(右)

2 日目は私事ですが、北海道大学で行われる「掩蔽観測ワークショップ 2022」の講師として参加することになっていました。内容は、「光度変化測定用ソフト Limovie を用いたデータの解析方法」です。参加者は、解析に関して初めての方から達者な方まで幅広く、各大学の先生方もおられたのでとても緊張しました。この時間における私にとっての目的は、「解析の一連の流れを理解すること」、「なぜその処理をするのか」、「例外ケースが起きたデータの対処法」、「無駄な処理をしない」と言うことを参加者には再度理

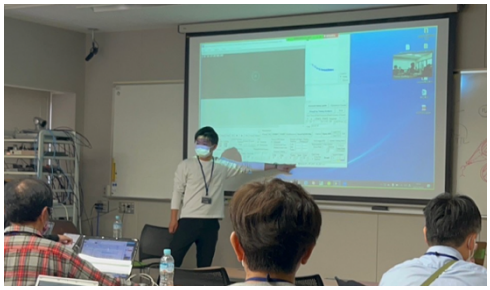


図 10：北海道大学での講演の風景

解していただくことです。思う様に進まない部分もありましたが、様々な質問が飛び交いとても有意義な時間を過ごすことができました。発表の仕方、言葉遣い、気遣い、想定質問、誰よりも詳しく分かっていないといけないなど、たくさん気付くことが多く私も勉強になりました。実は、私の講演中もずっと石田くんと松浦先生は PC と戦っていました。しかし、とうとう間に合わないと判断し、新たな PC を現地調達すると言うワイルドすぎる対処をとっていました。パソコンは手にいれた！これで怖いものはない！不安要素はない！さあ本番！皆さん戦う顔になっていました。新篠津村へ戻り、各観測地点に分かれ観測スタートです。実は、北海道へ行く数日前からイベント当日の天気はずっと晴れ間のない曇り予報でした。絶対に取れないだろうと思いながら、ダメ元で臨んだ北海道遠征だったのです。下を向きながら気持ちがどんよりしている中ふと空を見上げると、雲ひとつない空、星が億千と輝く満点の星空が広がっていました。これは行ける！撮れるぞ！不安が希望に変わった瞬間でした。

今回の掩蔽は、昨年 2021/10/3~4 に起きた Phaethon の掩蔽と比べ難易度はより難しくなりました。隠される対象星の等級は去年の 12 等星に比べ 10 等星と明るくなりましたが、隠される最大の予想減光時間は昨年の 0.6 秒よりさらに短い、0.2 秒となっていました。小惑星の大きさを出したければ 30ms よりも短い露出時間で撮らなければなりません。その様な条件の中で、必死に食らいつきながら観測を進めた各地点での観測の様子を以下に記しました。

・たっぷの湯

（B4 大内 , B4 並川 , 松浦先生 , 九州工業大学の瀧本さん 担当：26cm 望遠鏡）

図 11：たっぷの湯での観測風

ここは 4 回生のみで構成された観測地点でした。関学チームのスーパーバイザーである松浦先生のご指導のもと、前日の練習通り順調に組み立てを開始していました。しかしここで問題が起きました。なぜか望遠鏡と PC を繋ぐ LAN ケーブルが反応してくれません。必要最低限しか北海道へ持ってきていないため替えはありません。何度も繋いでは外してを繰り返していますがなかなか反応してくれません。そこに石田くんが来て、息をふっとかけて挿したところ反応しました。神の息吹でした。その後、対象星までの導入は順調に進み、あとは本番を待つだけと言う状態までできました。

さあ本番、撮影開始です。いよいよイベント数秒前までできました。その時突風が吹き、望遠鏡が風によって振られてしまい、カメラ上で星が思い切りぶれてしまいました。風が止んだ頃には星は元の明るさに戻っており、直接目で減光を確認することができず刻々と時間が流れていきました。正直話を聞いた時には、失敗したと思いました。4 回生 2 人が気分が落ち込む中、観測終了し再度集合した時、すぐに私はデータを解析しました。動画の再生スピードをゆっくりにすると、なんと星がしっかり消えていました。しっかり減光を捉えていました。ホッと一息ついてそれをみなさんに報告しました。まずは 1 地点観測成功！やはりどんな時でも風よけは大切で、コード類の接続確認はいつでも怠っていけないと再確認することができました。

・ふれあい公園星座観測場

（M1 石田 , B4 大河内 , 産業医大の吉田さん , 洞口さん 担当：26cm 望遠鏡）

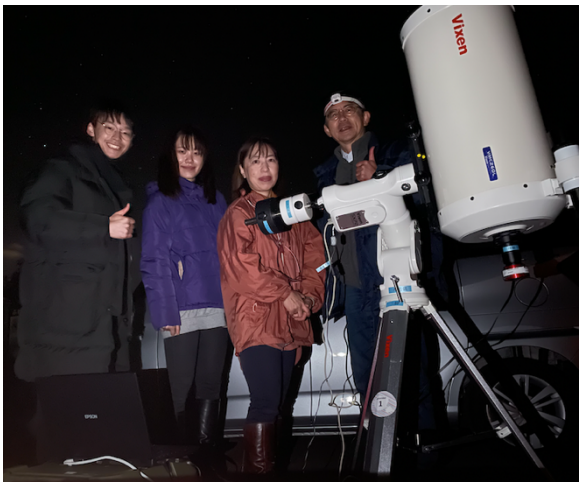


図 12：ふれあい公園星座観測場での観測風景

ここでは、産業医科大学の吉田さんと洞口さんが、26cm 望遠鏡に関してまだ使いこなせるか不安があるという申し出があったため、関学チームから 2 人を送り込みサポートをするということになりました。たっぷの湯で観測している望遠鏡と全く同じ観測系なので十分力になれたと思います。撮影まで順調に進み、無事減光を観測することができました。組み立てから導入までの中で、全て妥協せずに完璧な調整をしたい学生と今までの十分な観測経験からこれで問題ないと判断する、それぞれが違う意見を持っていたため調整には多少手こずった様でした。三脚の水平、望遠鏡の重心、星の同期、露出時間、ゲインの調整、ビニングなどチェックする場所はたくさんあります。後に解析した際は、データのノイズがひどくゲインが高すぎると感じました。解析ではデータがサチっており、減光した時の予想等級落ち幅を適切に処理することが出来ませんでした。フレームレートから判断すると撮影する sharpcap の最短の露出時間は 15ms にもかかわらず、8ms での撮影をしていました。欲しいデータは減光継続時間なので問題なく求めることが出来ましたが、まだまだ確認すること、解析するときの処理も想定して諸値を調整するべきことはたくさんあり、とてもいい経験で学ぶこともんたくさんありました。とりあえず 2 地点観測成功！！

・新篠津村運動公園

（M1 林 , B4 濵垣 , 九州工業大学の當銘くん　担当：20cm 望遠鏡）

私自身はこの 20cm 望遠鏡を担当していました。PC の不安要素を解消し、新たに手に入れ

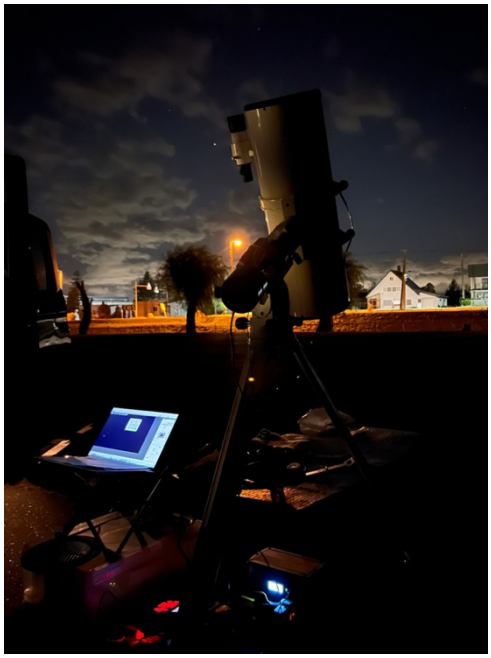


図 13：新篠津村運動公園での観測風景

た PC を手に観測スタートです。順調に組み立てを行い、極軸合わせ、重心、同期などやるべきことを順調に進めていき、イベントの 2 時間半前には対象星を入れることが出来ました。ここで、新たに手に入れた PC の精度を確かめるために、どこまで露出時間を落とすことができるかをテストしました。テスト撮影を何度か繰り返した結果、30ms を下回る 20.8ms で撮影することが可能であることがわかりました。撮影する際は、ステラショット 2 は落とさないといけないため、再度初めから同期を行い対象星を入れ、イベント 2 時間前には無事に対象星を入れることができその時を心待ちにしている状況でした。しかし、ここで問題が起きました。少しずつ画面から星が逃げていくことを確認しました。しかもかなりのスピードで逃げていきました。これはうまく追尾ができていない証拠です。バッテリーは満タンにした、ケーブルはしっかり接続した、三脚の水平もデジタル水平器で確認した、望遠鏡の水平も問題ない、北極星もしっかり導入した、何も問題ない状態にもかかわらず、星が逃げていきました。どこかへ行かないように無理やり元に戻そうとすると、なんと、なぜかはわかりませんがその場で止まってくれる様になりました。ギアがうまく噛み合っていなかったのでしょうか。今から再度やり直すのは、多少リスクがあると感じ、これからイベントまでの 2 時間、星が逃げて行かないように画面を常に確認し続ける戦いが始まりました。全ての調整は人力なので、長時間放置していれば必ず少しずつずれていきます。ずれたら戻すというのを 15 分に 1 度ほどのペースで常に繰り返してました。イベント時間になり、さぁ撮影開始です。着々と時を刻み、その瞬間がきました。そして綺麗に減光しました。最後にフレーム落ちがしていないことを確認し、3 人でハイタッチ！ 3 地点観測成功！！！

～北海道 3 日目～

前日の掩蔽観測の大成功により、夜の宴会は大盛り上がりでした。飛行機の時刻が夜の 7 時ということもあり、それまで時間があるので小樽へ行きました。

図 17：小樽で観光

～関学のチームの大活躍～

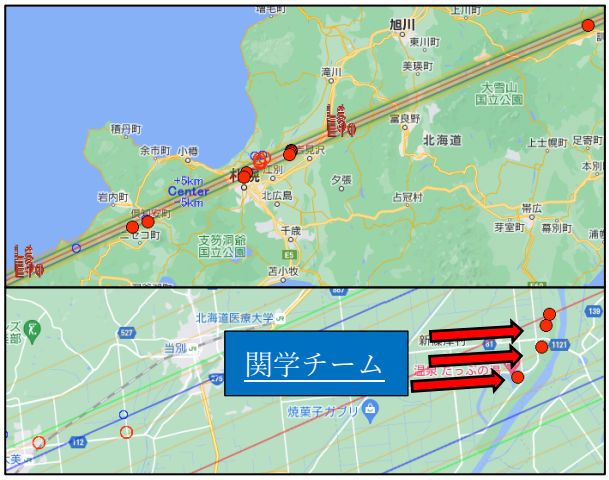


図 14：布陣マップ全体(左上)と拡大図(左下)。関学は矢印の 3 地点を担当。赤が予報中心線。青が掩蔽帯の北限と南限。

今回も、昨年に引き続き大所帯で Phaethon の掩蔽観測に臨みました。プロとアマの連携で観測者 39 名・19 地点のチームを結成しました。今回の掩蔽帯は北海道を広く横切る帯状の地域でした。ほとんどの観測者は私たちのように北海道外を拠点にしている方々で、機材を持ち込んでの遠征が主となりました。天候が悪い場合に備えて山野を越えた遠方にも代替観測候補地を用意する観測者もおられました。私たちも新篠津村でダメならば、富良野まで行く予定も考えておりました。不慣れな土地で夜間の晴れ間を求めて長距離移動する必要に迫られ困難を伴う試みでした。

結果として、多くの観測者が配置された札幌地域が好天に恵まれたこともあり、14 地点での観測に成功しました。内 9 地点で掩蔽現象による減光を検出し、5 地点で通過を確認されました。なんと減光を観測した 9 地点のうち 3 地点を関学チームが捉えることに成功しました。観測データには掩蔽時の減光がはっきりと見られ，Phaethon の形状推定のために重要な情報が得られました。今回は主役級の活躍をしたと言えるでしょう。

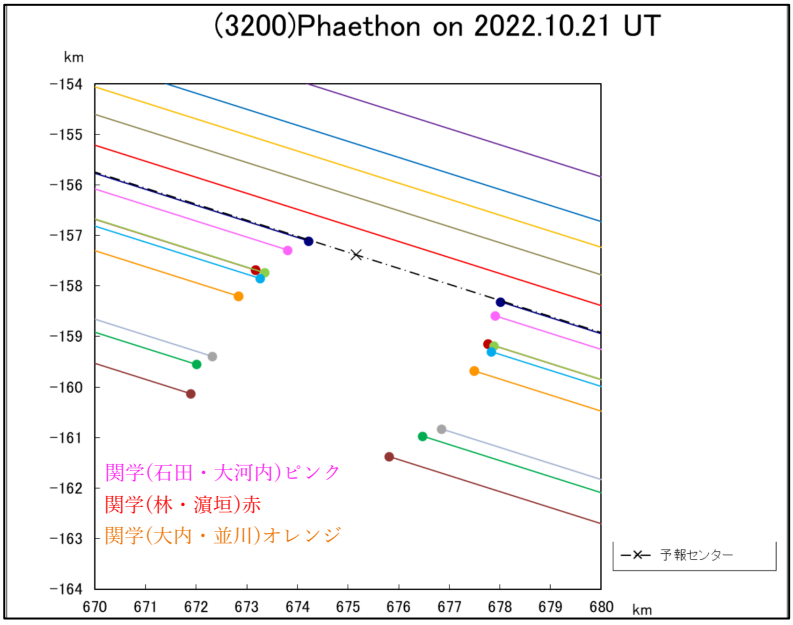


図 17：掩蔽観測からわかった今回の Phaethon の形状

整約図上では関学はピンク、赤、オレンジを担当したことが分かりました。小惑星のセンターは関学のオレンジ、最も長時間の減光した場所は関学の赤点でした。

～北海道遠征を通して私の感想～

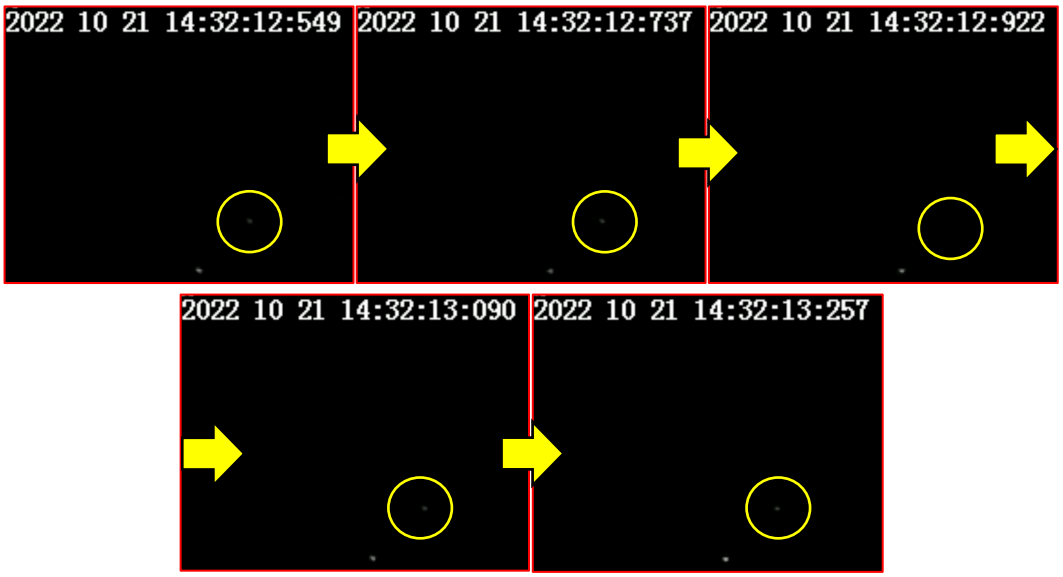


図 15：新篠津村運動公園(M1 林，B4 濵垣，九州工業大学の當銘くん　担当：20cm 望遠鏡)での動画の切り抜き

1 年越しのリベンジ！！今年も、昨年同様に様々なハプニングが起きました。PC トラブル、配線問題、追尾不良、風・夜露対策、撮影の値調整などたくさんありました。その一つ一つのハプニングに対してしっかり対処することが出来たのは昨年の悔しさ、失敗から何がダメだったのか、何が違ったのかを考え、皆さん自身が常に主体的に学ぶ姿勢があったからだと思います。仲間と共に声を掛け合い、互いに刺激し合う過程で、あの子はできていて、自分はまだできていないと焦り、時間があれば自主的に組み立ての練習や、夜遅くまで残り入れたい星をカメラ内に入れる練習など限りある時間を有意義に使うことが出来ました。これが今回の大成功につながった最も大きな要因だと思います。ついに捉えた減光、悲願の減光、待ち望んだ減光。0.2 秒という 1 秒にも満たない、失敗は許されない一瞬のイベントのために何日も前から練習をした甲斐がありました。正直 3 つの内 1 つだけでも撮れれば十分と思っていましたが、全てで観測成功ということで心から嬉しく思います。観測練習中では多少キツく言ってしまう部分もあったと思いますが 4 回生の皆さんもよく頑張ってくれました。何より、望遠鏡をやりたい、掩蔽観測をやりたいと自ら志願し目標に向かって頑張る姿勢は、私も今後忘れずに心がけていこうと思いました。そして星を見て、天文現象を見て楽しそうにしている姿、笑顔になっていた姿はこちらも嬉しく思いました。松浦先生も当日現象を撮れるかどうか分からない中、失敗もあり得る中、はるばる北海道まで遠征に行く許可を得ていただき感謝します。とてもいい経験になりました。

世の中、技術の進歩に伴い想定やシミュレーションが進む中、それに逆行して直に天文現象を捉える掩蔽観測、「天文の原点」という感じがしました。おかげさまで、すっかり魅了されちゃいました。今後も掩蔽に限らず関学屋上望遠鏡を用いてさらに観測の幅を広げ、様々な天文現象の撮影にトライしていこうと思います。

図 16：観測成功を祝してシャンパンで乾杯

私ばかり、この遠征を通して感じたことを書くのは勿体無いと思い、関学チーム皆さんの感想を以下に書かせていただきます。

～関学チームの皆さんの感想～

(M1:石田くん)

昨年の広島遠征では Phaeton 掩蔽で「通過」、北九州遠征では悪天候に見舞われ、対象星を導入していたにも関わらず「悪天候」により断念をしました。苦い思いを残しながら一年待って因縁の Phaeton 相手に北海道遠征にてリベンジのチャンスが到来しました。

今回の遠征は昨年掩蔽を経験した M1 が 2 人と熱意を持って取り組んでくれた B4 が 4 人、天文学の権威である松浦先生の計 7 人の布陣で挑みました。予報では掩蔽の前日までは曇りの表記。正直絶望的な状況でした。ほとんど諦めムードの中、当日の夜を迎えました。それぞれが配置につき、気がついたときには満点の星空。曇りの予報は見事に外れ、最高の環境の中観測は成功しました。今までの敗戦を糧にして無事成功まで繋げることができました。今回の成功は関学観測隊をまとめ上げてくれた林や必死に食らいついてくれた B4 達のおかげに他なりません。今回の成功に甘んずることなく、次の掩蔽の機会に活かすことができればなと思います。

(B4:大内くん)

掩蔽観測を初めてから半年くらいが過ぎて、初めてのビッグイベントとして北海道に Phaethon を観測しに行きました。自分は卒研の内容が掩蔽観測ということもあって、絶対に成功させるという強い気持ちを持って日々練習に励みました。いざ本番に近くなると緊張して不安でいっぱいでしたが、周りのみなさんの協力のおかげで無事に成功することができて本当に良かったです。これからもいろんな場所で観測を重ねて、掩蔽観測をマスターできるように頑張りたいです。

(B4:大河内さん)

最初は、観測を絶対に成功させるという思いから不安を感じていましたが、北海道に着いたとき、そんな不安はなくなり、曇り予報でも絶対に晴れて観測は成功するという謎の自信が湧いてきました。観測に向けて準備をしていく中で、先生や先輩、同期との仲が今まで以上に深まったことで全員が一致団結できました。その思いが、晴れを引き寄せ、観測成功に繋がったと思います。このような貴重な経験をさせていただき、ありがとうございました。大学生活の中で、記憶に残る良い思い出となりました。

(B4:並川さん)

わたしはこの北海道で、研究室に配属されてから 2 度目の掩蔽を観測することができました。北海道行きが決定してからは何度も練習を行っていましたが、天候に恵まれなかったり観測できる条件が揃わなかったりして 1 度も成功した体験がありませんでした。むしろ失敗ばかりしていましたが、たくさん失敗例を経験したおかげで本番起きたトラブルにも冷静に対処できたのではないかと思います。実際に減光を目で確かめることはできませんでしたが、ほかのメンバーから成功報告を聞いたとき無事にやり遂げることができたという実感が湧き、とても感動しました。観測のノウハウをゼロから教えてくださった先輩方と北海道まで連れてきてくださった先生、何度も観測に一緒に取り組んだ同期たちにとても感謝しています。掩蔽現象は一瞬で終わったものの、この観測に向けて練習を重ねた時間や北海道での観測は私にとってすごく素敵な経験になりました。

(B4: 濵垣さん)

本番はもちろん、準備期間・北海道観光もずっと楽しかったです。前日の機材トラブルでは肝が冷えましたが、成功して本当に嬉しい！最高の教授、先輩方、同期達がいて、貴重な経験ができ、環境に恵まれた幸せ者だと感じました。天体観測が更に好きになりました。

(松浦先生)

いやー、みんなよくがんばったなと思います。遠征の前には観測隊の様子をあまりみてなかったので練度に不安しかありませんでしたが、実はちゃんとやってたのですね。当日は林隊長を筆頭に、それぞれがちゃんと役割を全うし成功に至ったことは感動ものでした。北海道まで大人数で遠征して成果ゼロだったら困るなとビビった反面、例え成功しなかったとしてもその経験は糧になると信じて遠征の決心をしました。やって本当によかった。

それから、拠点にした新篠津の宿の皆さんはとても親切でした。観測成果を期待してくれていたようで、成功をお伝えするととてもよろこんでくれましたし、後日連絡した新篠津村の商工観光係の方とも喜びを分かち合えました。ついでに Twitter でしんしのつのおこめちゃんからフォローをもらいました。去年の広島でもそうでしたが、遠征観測って地元の方々と交流できるのがいいですよね。

各地の観測家の方々は DESTINY+の Phaethon フライバイの日までまだまだ観測を続けようと盛り上がってます。研究室のプロジェクトとしても続けたいですね。

完