

<2021年度日本天文学会天体発見賞>

自作の自動掃天システムによる 超新星 2021afsj の発見



徳岡 修二

<日本天文学会準会員 〒569-0814 大阪府高槻市>

e-mail: shto@nifty.com

デジタル技術の普及により、アマチュアでも観測からデータ処理までの一連の流れを自動で行うことができるようになりました。海外のソフトと若干の自作ソフトを組み合わせた超新星の自動掃天システムを都会地で3年余り運用したところ、超新星2021afsjを発見することができました。改良の余地だらけのシステムですが、その紹介と発見の顛末、新天体搜索をしてみた者の思いを述べたいと思います。

1. 超新星探索に至る天文活動

気楽に天体写真を撮ったり、月や惑星などを観望したりというごく普通の天文少年だった頃から半世紀ほどが経ちました。この間、銀塩フィルムはCCDカメラに、電卓はパソコンに、アマチュアの望遠鏡も大口径化が進みコンピューター制御されたものへと進化を遂げています。学生時代、マイクロプロセッサチップなるものを初めて手に取りこれに半田付けしてLEDが点滅した時も、いつかこれで望遠鏡を遠隔操作して天体を自由に観測できるようになるのではと夢見ていました。その後、初めて冷却CCDのST-4を手に入れ、その撮影画像をダウンロードした時は、どうとうアマチュアでもこのような機材に手が届き都会地でも天体画像が得られるようになったのだと新鮮な感動を覚えるとともに、コンピューターとCCDによって夢のシステムが現実になる可能性を感じていました。

一方で鑑賞用の天体写真はデジタル時代になるにつれ高度なものとなって気楽な撮影ではとても太刀打ちできないようになりました。そんな中

で、アマチュアでも最先端の天文研究に貢献できるものがないかを日々考えるようになり、新天体探索はアマチュアが貢献できる活動の代表例ですので、何か成果を挙げたいと思うようになりました。しかし、社会人となり、機材が少しずつ揃う一方で時間と体力は制限を受けるようになり、新天体を発見することは大変困難なことであることにも気づきました。

特に継続的に探索を続けるためには、スタンバイ状態にあるシステムが必要と思い、マンションのベランダの柵にコンピューター制御できる小型の赤道儀と自作パソコンを置いて自動撮影の真似事をしていました。ただ、ベランダでは視界が限られること、降雨への対応が必要なことなどから、小さくても観測所を持ちたいと思うようになりました。幸い、オーナーがいる賃貸マンションでルーフバルコニーのある物件を見つけ、オーナーの許可を得て25 cmの望遠鏡を据え、手動開閉の小さな観測小屋 (SkyShed POD) を置くことができました。このシステムで彗星や超新星の撮影をしていましたが、データ保存の目的でブログ [1] に撮影データだけを挙げていたところ、大



図1 ルーフバルコニーに設置したスライディング
ルーフと 30 cmF4 ニュートン。
視界は地平線までありますが市街地のため低
空は撮影に向きません。

崎の遊佐徹さんからイタリアの天文学者の方がそのデータ (SN 2014av) を欲しておられることを教えていただき、データを提供したことがありました [2]。

初めてプロの天文学者の方との接点があったことにより、自分の趣味が微々たるものでも何かの役にたつかもしれないと大変嬉しく思ったものです。

これらをきっかけに、望遠鏡を 30 cm, 観測小屋を電動スライディングルーフに入れ替えました (図1)。また、嶋邦博さんに新天体搜索者の Facebook グループ [3] にお誘いいただき、またなよろ市立天文台で開催された第1回新天体搜索者会議に参加して、リアルな情報や刺激を得ることができるようになりました。

このような中で新天体搜索は、彗星がプロのロボット観測システムでほぼ独占されている現状から、アマチュアにも発見の可能性がある超新星を対象とすることにしました。

2. 自動掃天システム

現在の超新星探索システムは、掃天対象銀河リ

ストから対象をスケジューリングして撮影し、この画像と過去の画像との差分画像を作成して蓄積するシステムで、これらを自動的に行います。最終的に蓄積される画像は単なる画像ファイルなので一般の画像ビューアでもチェックでき、差分として表示される赤い点像だけに着目すればよいので、数百枚の画像でも数分でチェック可能です。

このようなシステムで2018年3月頃から継続運用を始め、月齢や空の状態にかかわらず撮れば運用するということになったところ、平均2,3日の頻度で探索が行えました。

また、昼間の仕事に備えて夜間は十分に睡眠を取りたいので、深夜のシステムは全自動で動かして画像を蓄積し、これを翌朝短時間でチェックするというスタイルに落ち着きました。

ここで現在のシステム概要は以下の通りです。

望遠鏡: 30 cmF4 ニュートン式反射

赤道儀: CRUX320 ハーモニックドライブ

カメラ: 冷却 CCD (SX-814 StarlightXpress)

観測所: 電動スライディングルーフ

ルーフ等制御: IPX800 V3 [4]

雨天センサー: AAG CLOUDWATCHER [5]

撮影ソフト: ACP (DC-3 Dreams) [6]

スケジューラー: ACP Scheduler [7]

撮影は、対象の導入、視野の確認・位置修正、撮影、データの解析と自動保存など一連の流れを ACP が実行します。また、どの対象を撮影するかは、あらかじめ作成した対象リストから ACP Scheduler がその時間に適切なものを選択し、ACP に指示します。

さらに、深夜は完全自動で運用しますので、曇天や降雨への自動対応も必須となります。このため、雲や雨の状態を感知するセンサーの情報を ACP が受け、望遠鏡やルーフの開閉を制御します。ちなみに、スライディングルーフは屋根が低いいため、望遠鏡をホーム位置に戻さずにルーフを閉じると望遠鏡を挟んでしまうこととなります。当初はこのあたりの制御に失敗し、望遠鏡を挟ん

でしまうことが何度かあり、赤道儀にセンサーを付加してホーム位置以外ではルーフを閉じることができないようにしました。また、ルーフ内の細かな制御を行うためにLANから制御できるリレーボードのIPX800を使用しています。これは海外の製品で本来ホームオートメーション用のものようですが、何とASCOMドライバも公開されており重宝しています。

また、自動運転には安定したシステム運用が大変重要であることに気づくようになり、例えばケーブル類の取り回し、コネクタの接続、ノイズ対策などチェック項目は多々ありますし、USB機器も安易にハブ接続すると稀に接続が切れることがあり、このようなことが起こると翌朝望遠鏡がハングアップしているということも度々あります。

パソコンはACPなどがインストールされた撮影制御用と、差分画像を作成するデータ処理用の2台を自作してラックマウントに収納し、リモートデスクトップを使用して自室や寝室などから制御しています。また、データはクラウドに格納して各パソコン間のやり取りを行うとともに、差分画像をどこにいてもチェックできるようにしています。

差分画像の作成は、主としてAladin Sky Atlas [8]を利用します。Aladinは高機能であり、過去画像とのブリンク画像も作成できますが、私はRGB画像ビルダを使用して撮影画像をRに過去画像をGBに配置して差分画像を作成しています。これにより図2の通り新天体は赤く表示されます。ただ、Aladinに撮影画像、過去画像を設定し差分画像を得る入力を毎回行うのは面倒です。このため、撮影画像が得られるとAladinのスク립トを作成してAladinを起動するプログラムを作成しました。このプログラムは簡単なもので処理速度も要求されませんので、可読性を上げるため日本語プログラミング言語「なでしこ」[9]を使用しており、日本語のため後で改良する際にもアリゴリズムを思い出しやすくメンテナンスが



図2 超新星2021afsj発見時の差分画像。
右上の銀河UGC4671の上部に過去画像にない超新星の星像が赤く表示されています。
※オンライン版ではカラー表示

楽です。さらに、差分画像は一般の画像ビューアでもチェックできますが、ブリンク画像を簡単に得たり画像整理を簡単に行ったりするため、「なでしこ」で専用ビューアを作成しています。なお、Aladinのスク립トを作成する際に過去画像が存在しない場合は、プログラムが撮影画像を過去画像候補のフォルダに格納しますので、目視でチェック後過去画像として蓄積することになっています。

夜間クラウドに蓄積されていく差分画像は、就寝までの間に自室や寝室でチェックしたり、翌朝出勤してから業務開始までのわずかな間にチェックしたりすることができます。また、もし怪しい画像を見つけた場合は、夜間であればSchedulerに入力してすぐにガイド撮影を開始して確認します。もし、翌朝に気づいた場合は、海外のリモート望遠鏡であるiTelescope [10]を使用して確認をします。iTelescopeは同じACPを使用したシステムのため馴染みがよいのですが、欧州の望遠鏡が少なく米国が夜になる日本の夕方頃まで待つことも多くやきもきさせられます。

3. 超新星 2021afsj の発見

2021年11月29日の夜は快晴でした。帰宅後、いつものようにCCDを冷やし、いつものパトリールプログラムを起動して自動撮影を始めました。19:30頃から1分余りの間隔で撮影は続き、並行して差分画像も蓄積されていきました。リアルタイムでどの辺りまで見たのか記憶はありませんが、いつものように何もなく平和に時が過ぎ、お風呂に入って床に入りました。寝る前にベッドの横のモニターでいくつか画像をチェックしたかもしれませんが、やはり変わったことはなく、眠りに落ちました。

次の朝は、いつも通り起床して京都の事務所に出勤しました。始業までの間に、昨晚チェックできていなかった画像をざっと流していると、ある画像に赤い点が見えた気がしました。画像を少し戻してゆっくりチェックすると2時頃に撮影されたNGC2692の画像でNGC2692の右上にある銀河(UGC4671)の上方にある赤い点がそれだと気づきました。しかし、この画像中にも同じような赤い点がほかにもありましたので、よくあるノイズだろうと思いました。

一応、自作の画像ビューアのコマンドでAladinを起動して、リファレンスとともに撮影画像を見てみることにしました。そうすると、リファレンスの2019年の画像にはない点がより明確にブリンクしていました。ただ、あまりにも銀河の傍で典型的な超新星の位置でしたので、もし、そうだとすれば、いつものようにすでに報告されたものだろうと思い、位置をコピーしてTNS [11]で検索をしてみました。検索結果では1件SNがヒットしたので、すでに報告済かと一安心しましたが、よく見るとSN2000dvで年代が異なります。詳細を見ても位置が少し違うため、これとは異なる何かであるとともに近い過去にも超新星が出現した銀河であるということがわかりました。ただ、まだ超新星とは思えず、次は小惑星だろうと

思いMinor Planet Checker [12]で検索してみましたが、やはりヒットしません。冷静に考えてみるとこんな銀河の傍を偶然小惑星が通過するのも不自然かもしれないと思い始めました。また、最近超新星が出現した銀河だということは、もしかしてという感じもしてきました。

多くの発見者の記事を見ると、このあたりでドキドキしてくるものかと思いますが、まさか本物とは思わなかったのが、本物を見つけた時の練習のつもりで発見データを作ってみることにしました。30秒露出の1枚しかない撮影画像をAstrometrica[13]で処理し、位置と光度を測定し、その値を用意してあった雛形に入れてデータを作ってみました。ちなみに、その直前には3年ぶりにオンライン形式の第3回新天体搜索者会議が開催され、これに参加したことからの刺激を受け、現実にはないとは思いつつも、もしも発見した場合に備えてTNSへの報告様式や報告方法の資料を整理したところでした。データを作るとこれをTNSに報告する真似事をするにしました。以前アカウントを作っていたのでそれを持ち出してTNSにログインし、Facebookグループメンバーの野口敏秀さんが作成されたTNSの入力ガイドを見ながらデータを入力してみました。一通り入力して中々上手く入力できたと悦に入っていました。そのうち送信ボタンを押してみた誘惑に駆られました。もう一度、TNSとMinor Planet Checkerをチェックして、これは本物かもしれないという気がしてきました。今夜、確認観測をして確かであれば送信しようかと思いましたが、その日は日本を寒冷前線が通過する予報になっており、大阪を含め日本全国は荒天が確実でした。そうすると日本からは誰も報告できないかもしれないと思い、やはりノイズだとしても報告した方がよいのではないかと思うようになってきました。新天体搜索者会議に出席した際、「○○の場合はどうしたらよいですか?」という質問が○○を変えて何度もあり、その度に山岡均

先生が「とにかく報告してください」と答えられていたことが思い返されてきました。エンターキーに手を置くと、山岡先生がよく響く低い声が聞こえ、気づくとキーを押してしまっていました。ノイズだった時はゴメンナサイと報告しようと開き直り、iTelescopeで確認をしようと思いましたが、その時夜間の望遠鏡はなく、米国のNewMexicoの望遠鏡の範囲に入る16時頃まで待つしかありませんでした。0.25-m f/3.4 reflector (T5) と 0.43-m f/6.8 reflector (T21) の二つに予約を入れ、現時点でもうできることはないと考えました。

ここでFacebookグループにTNSに報告してしまったことをアップしました。嶋さんから本物であることを祈りますとの励ましをいただき、野口さんや佐野康男さんから晴れたら確認してみますとのコメントをいただいて、iTelescopeの結果を待つことにしました。16時過ぎになってT5の画像が撮れました。見ると確かに何か写っています！すぐにFacebookに上げると、皆さんから「確定ですね」とのコメントをいただき、続いてT21の画像も撮れると、疑いようもなくハッキリと写っていました。嶋さんからTNSとロチェスターに確認観測を報告すると分光してもらえる可能性が高くなると教えていただき、TNSにT21のデータをfollowupした後ロチェスターのDavid Bishopさんに観測データをメールしました。その後、グループの皆さんからご祝辞をいただき、分光結果を待つことになりました。

分光は通常1週間ほどかかるということでしたので、気長に待つつもりでしたが、何と翌日にはTNSに分光データがUPされATからSNにコードが変わりました。分光はイタリアのベテランアマチュアのClaudio Balconさんがされ、これも驚いたことに20 cmの望遠鏡と自作の分光器を使用したとのことでした。その後、Claudioさんと親交のある京大の田口健太さんから、Claudioさんの所属するグループのFabio Brigantiさんがイ

タリアのグループの雑誌[14]に紹介するため、望遠鏡の写真を送ってほしいとの連絡をいただき、写真を送るとともに、Claudioさんへの謝辞をお願いしました。

この超新星はIa型で14等程度まで明るくなり、4ヵ月近くアマチュアの望遠鏡でも確認することができました。

4. 今後の改良と探索戦略

観測地は大阪や京都のベッドタウンであり肉眼では2, 3等星がやっと見えるようなところになります。このような地で実績もないシステムを使い超新星発見などできるのかかなり懐疑的になっていた時に幸運にも今回の発見をすることができました。

ただ、現システムは1画像の取得に1分余りを要するため、一晩の撮影は数百枚が限度です。超新星探索の巨人である板垣公一さんが一晩で数千の銀河をチェックされると聞いたのに比べるとその1割程度にしかなりません。より多くの銀河をチェックしたり、より安定したシステムにしたりするにはどうしたら良いか工夫の余地は山のようにあります。

さらに対象銀河はSIMBAD Astronomical Databaseから赤方偏移の小さなもので明るい銀河を検索して数千件のリストを作成しています。これらの銀河からSchedulerが空の条件のよい子午線付近の観測対象を選ぶのですが、赤道儀がドイツ式のため子午線を跨がないよう東西のどちらかにする必要があります。探索当初は西側を中心にしていたのですが、発見は東側に変えてからでした。どちらでも確率に大差はないように思いますが、雲の状態なども加味してSchedulerが探索方向を変えることができれば少しでも効率が上がるかもしれません。また、一晩で探索できるのは数百件のため数千件のリストからできるだけ異なる銀河を選ぶのか同じような銀河を毎日でも探索するのか等戦略の立て方にも工夫の余地がありそう

で、このようなスケジューリングをするためには独自のソフトが必要かもしれません。

さらに候補を発見した際の確認観測のネットワークも重要と思いました。なぜか天候が崩れる時に限って怪しいものが見つかることが多いため、国内はもちろん、欧州など海外に広がるアマチュアのネットワークがあると心強いです。商用のリモート望遠鏡やTNSもありますが、より気軽に利用できる新天体検索アマチュアのネットワークがあればよいと思うこの頃です。

謝 辞

今回の発見を機に、プロ、アマチュア、様々な方からご連絡やご祝辞をいただき、本当に光栄の極みでした。考えてみると、私にとって新天体発見は、このような方々とお知り合いになって色々教えていただいたり様々な情報交換をしたりしたかったからだと再認識しました。その意味では十分な成果があったので、この後も今まで通り、ぼちぼちとシステムを改良し、その効果を見るためお気楽に新天体の探索を続けてみようと思います。

最後になりましたが、今回の発見に繋がる様々なヒントをいただいた方々、確認観測などを行っていただいた方々、ご祝辞をいただいた方々に心より感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] <https://esutei.hatenablog.com/> (2022.11.1)
- [2] <https://academic.oup.com/mnras/article/456/1/853/1065129> (2022.11.1)
- [3] <https://www.facebook.com/groups/1604371739809167> (2022.11.1)
- [4] <https://www.gce-electronics.com/en/107-ipx800-v3> (2022.11.1)
- [5] <https://lunaticoastro.com/aag-cloud-watcher/> (2022.11.1)
- [6] <http://acp.dc3.com> (2022.11.1)
- [7] <http://scheduler.dc3.com/> (2022.11.1)
- [8] <https://aladin.u-strasbg.fr/> (2022.11.1)
- [9] <https://nadesi.com/top/> (2022.11.1)
- [10] <https://www.itelescope.net/> (2022.11.1)
- [11] <https://www.wis-tns.org/> (2022.11.1)
- [12] <https://www.minorplanetcenter.net/cgi-bin/checkmp.cgi> (2022.11.1)
- [13] <http://www.astrometrica.at/> (2022.11.1)
- [14] <https://www.coelum.com/articoli/supernovae-aggiornamenti-di-dicembre-2021> (2022.11.1)

Discovery of Supernova 2021afsj by a Self-made Sky Survey System

Shuji TOKUOKA

Takatsuki City, Osaka 569-0814, Japan

Abstract: I found a supernova in UGC 4671 by using a self-made sky survey system with a 30 cmF4 reflector on November 29, 2021. I introduce my system and describe how I felt on the supernova survey.