

〈2016年度日本天文学会天体発見賞〉

超新星搜索の自動撮影システム

青木昌勝

〈〒939-8192 富山県富山市布市新町 121〉

e-mail: aoki@aoki-erde.jp



このたびは、私の16年ぶり13個目となる超新星2016Cの発見に対し栄誉ある天体発見賞をいただきありがとうございます。今回の発見は、2014年に岐阜県の奥飛騨に超新星搜索の自動撮影を目的に新設した50cm望遠鏡での発見でした。超新星の搜索は海外の搜索チームでは当然のようにオートメーション化されているようですが、国内の公開天文台やアマチュア天文台では搜索目的で自動化されている天文台はまだまだ少ないのではないのでしょうか。私が1996年から超新星搜索を始めたきっかけや、超新星2016Cの発見につながった自動撮影システムの開発の経緯とシステムの内容について少しご紹介させていただくことになりました。これからの自動撮影の分野において何かの参考になれば幸いです。

はじめに

天文の世界に入ったのは、知人に見せてもらった1枚の天体写真がきっかけでした。その写真はオリオン座の大星雲で、四十年足らず経った今も鮮明に脳裏に焼き付いています。この1枚の天体写真がその後の私の人生を決めたといっても過言ではありません。

当時、写真に興味があった時期でもあり、自分で星雲の写真をとってみたいという欲望から早速15cm反射望遠鏡を購入し庭先で教えてもらいながら練習しました。そうして天体写真にのめり込み、いつしか望遠鏡制御の道へと進んでいったのです。

超新星搜索を始めたきっかけ

目標の天体を望遠鏡の視野内に入れる、という作業は、昔は星図を片手にファインダーをのぞきながら機械を操作して導入していました。やがてモーターの高速化や機械の回転角度を読み取るエ

ンコーダーがアマチュアの赤道儀にも普及しデジタルの時代へと発展を遂げていきました。

エンコーダーが赤道儀に組み込まれれば目標の天体が簡単に視野内に導入できる、と誰もが考えたことでしょう。ところが現実はその甘くはありません。赤道儀の機械的な直行誤差や赤道儀対光学系の角度誤差、極軸のセッティング誤差などの要因により必ずしも視野内に導入できるわけではない、ということがわかってきたのです。

このことから、これらの誤差を補正し確実に目標天体を視野内に導入できる装置の開発に乗り出しました。

それから約2年の歳月をかけ1995年に天体自動導入装置が完成しました。誤差を補正する方法は天空を縦横10°のメッシュ(324分割)で区切り、それぞれの空域に誤差補正值を記憶させるという方法です。実際には324の分割空域すべてに補正值を記憶させる必要はなく、10-50空域ほどで実用的には十分な精度で導入することが可能です。

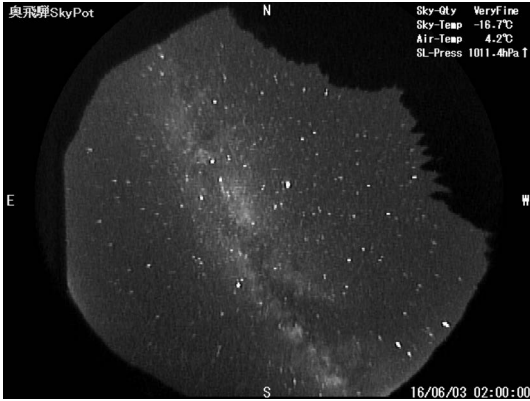


図1 奥飛騨観測所の全天Skyカメラの画像。

完成した天体自動導入装置の長期の実地テストを兼ね、何か適当な観測対象はないかと考えました。装置の実力を検証するには、導入精度が要求される観測で、かつ全天で多数の天体を導入する観測でなければなりません。

当時は冷却CCDカメラがようやく手が届くような価格帯になったこともあり、自宅に備え付けの43 cm望遠鏡と冷却CCDを使って、その頃まだ国内では観測者も少なかった超新星の搜索に的を絞り観測することにしました。

超新星搜索は確実に対象銀河を撮影画角内に導入する精度が要求されとともに多くの銀河を導入する必要があるので自動導入装置のテストにはうってつけの観測対象になると考えました。

搜索を優先した日々

完成した自動導入装置や冷却CCDカメラなど搜索に必要な機材はそろい、視野導入精度も苦労して開発した甲斐がありドイツ式赤道儀にもかかわらず、ほぼ3分角以内に自動導入できるようになりました。

しかしどんな方法で超新星を探せばよいのかわからず、発見経験者の方々に訪ね搜索方法などいろいろ教えていただきました。

基本的なことは教わったものの機材や観測環境はそれぞれ違うのでシステムの調整や効率的に観

測できるようパソコンのファイル管理方法などさまざまなことを自分なりに試行錯誤しながら整えていく日々が続きました。

ある程度観測環境が整いスムーズに使えるようになったのは1996年の春頃からで、そこから本格的な搜索が始まりました。

その後の4年間というもの仕事以外で外出することはほとんどなく、晴れれば観測、曇っていても明け方までデータの整理などで毎日徹夜状態の日々が続きました。

そんな超新星搜索を優先する生活を過ごした2000年までの5年間に12個の超新星を発見することができました。

その後仕事が忙しくなったことや体調を崩したこともあり2000年から一時休止することを余儀なくされました。

自動撮影システムの構想

超新星搜索を一時休止してから12年、体調も戻り仕事にもある程度時間ができるようになったことから搜索の再開を考えるようになりました。

しかし、年も年だし徹夜続きではまた体調をくずしかねない、そんな心配が頭をよぎります。そこで、ニュートリノの観測施設(カミオカンデ)で有名な岐阜県神岡町から車で15分ほど走った奥飛騨に以前から土地を借りていた場所があったので、そこに観測所を作り自宅から遠隔操作と自動撮影で搜索しようと思ったのです(図2)。

標高750 mの山の中でシーイングは悪く晴天率もよくありません。それに冬は1 m以上も雪が積もり使えなくなる、そんな天体観測には最悪の環境とも思える場所ですが、空の暗さだけは申し分ありません。この場所に決めた一番の理由は自宅から1時間余りで行ける距離だったからです。遠隔操作であれば遠くても良いのでは?と思われるかもしれませんが、いろいろメンテナンスが必要になったり、万一のときには短時間で行ける距離ということが重要ではないかと考えたからです。



図2 標高750 mにある奥飛騨観測所。

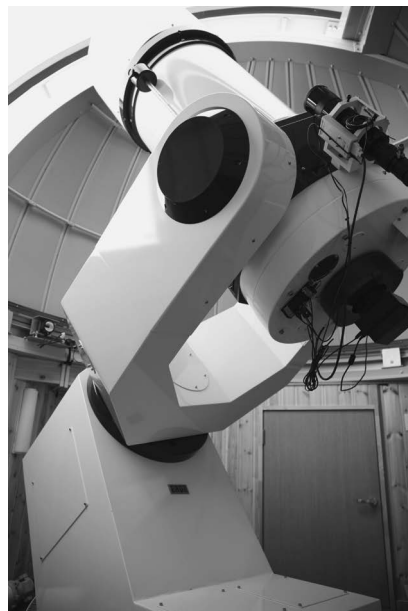


図3 奥飛騨観測所の望遠鏡。エルデ光器50 cm リッチー・クレチアン。

さまざまな問題点

さて場所は決まったものの遠隔操作と完全無人の自動撮影を実現するにはどうすればよいのか具体的に考えなければなりません。当初、望遠鏡やドームや冷却 CCD カメラ、その他撮影に必要な機器はパソコンから操作できるのでそれほど難しくはないだろうと考えていました。しかしいざ詳しく考えていくととても複雑になることに気づきました。その場にいれば簡単にできることでもすべての操作を PC を介してコントロールしなければなりません。無人の自動撮影に必要なと思われる項目を具体的に挙げると次のような情報と処理が不可欠であると考えました。

- ・システムの電源 ON/OFF
- ・天候判断 晴れ or 曇り
- ・撮影開始と終了の時刻決定
- ・ドームの連動回転
- ・望遠鏡の蓋開閉
- ・オートフォーカス
- ・各動作のタイミング
- ・降雨時の処理
- ・強風時の処理
- ・停電時の処理
- ・観測所での視界設定（撮影可能空域）
- ・撮影する銀河リストの作成と撮影順
- ・冷却 CCD カメラのコントロール

- ・自動導入と冷却 CCD カメラの連携
- ・外気温変化時の再フォーカス

これらのことを矛盾なく一つひとつ順序よく確実に進めなければ無人の完全自動撮影は不可能です。さらに一番難しいのはイレギュラーな事態が発生したときにどう対応し安全を確保するかということでした。もし撮影中に停電や強風や降雨になったときどう対処するのか、あるいは何らかの原因でパソコンがハングして制御できなくなった場合どんな対応方法があるのか。さらに想定外のことを想定するとすれば、ドームスリットに異物が挟まりスリットが閉まらなくなることや、停電時に UPS が故障してしまうことや、自動撮影中に落雷でシステムがダウンしてしまうなど、偶然が重なって思わぬことが起こるのではないかと考えればきりがありません。

そういった万一の事態を想定したとしても遠隔ではどうにも対処できないことがあり対応には限度があると思います。ですから遠隔地での無人撮影にはある程度リスクが伴うことを覚悟のうえ

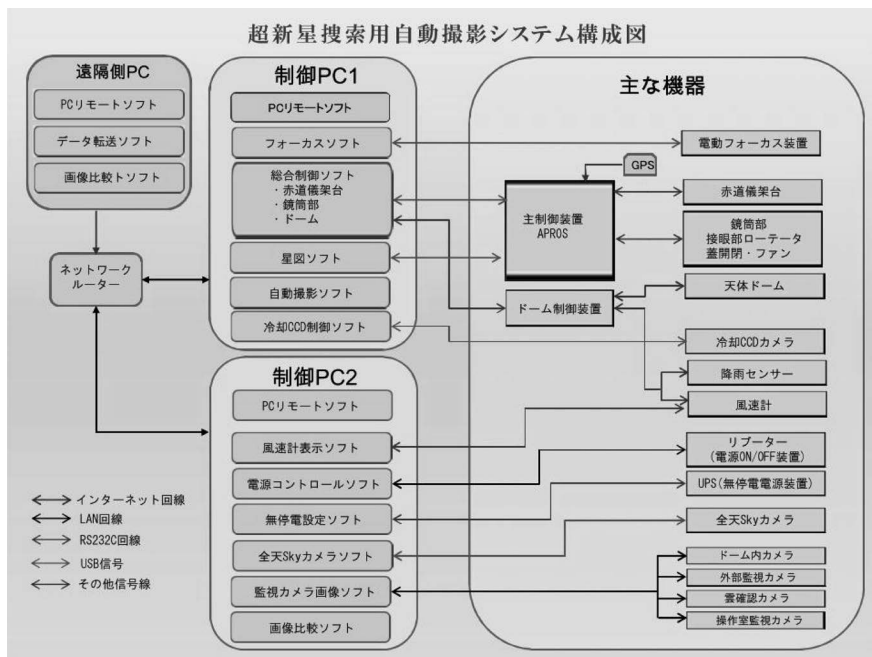


図4 自動撮影システムの付属機器とソフトウェア構成図。

でやるしかないと考えることにしました (図4)。

自動撮影のプロセス

これまで手動で行ってきた操作を自動化するために進行手順を決めることにしました。

(1) 撮影する銀河の抽出

日中に検索対象銀河の抽出を行い夜に撮影する銀河を決める。抽出方法は、あらかじめ登録してある検索対象銀河 (私の場合は3,000銀河余り) の中からここ7日間 (任意設定) 撮影していない銀河だけを抽出ソフトで選び出し、そのリストを自動撮影ソフトに転送しておく。

(2) 自動撮影ソフトの起動

指定時刻に自動撮影ソフトが自動起動して待機。

(3) 観測準備の開始

撮影開始時刻の2時間 (任意設定) 前になると、観測条件*1が整っていれば自動で観測準備*2を

始める。

観測準備が終わり、待機状態のときに曇り・強風・降雨などのアラームが入ったときはドームスリットを閉め再び待機状態を維持する。

停電になった場合は終了処理に移行する。

(4) オートフォーカス

撮影開始時刻になったら望遠鏡を天頂に向けオートフォーカスを実行 (1回でフォーカスが取れなかった場合は場所を変えて複数回実行)。

(5) 撮影開始

抽出された今夜撮影する銀河リストを基に撮影優先空域設定に従って撮影開始。

(位置計算→自動導入→撮影→データ保存→位置計算→自動導入→撮影) この流れを繰り返す。

(6) 自動撮影中に監視する項目

- ・天候監視, アラーム監視 (電源・降雨・強風), 外気温監視。

*1 観測条件とは天候・電源・風速・降雨を指す。

*2 観測準備とはドームスリット開, 望遠鏡の蓋を開, 望遠鏡の座標基準取得, 冷却CCDカメラを冷却開始して待機状態になる。ドーム内気流や筒内気流を軽減するため, 撮影開始の2時間前からドームスリットを開く。

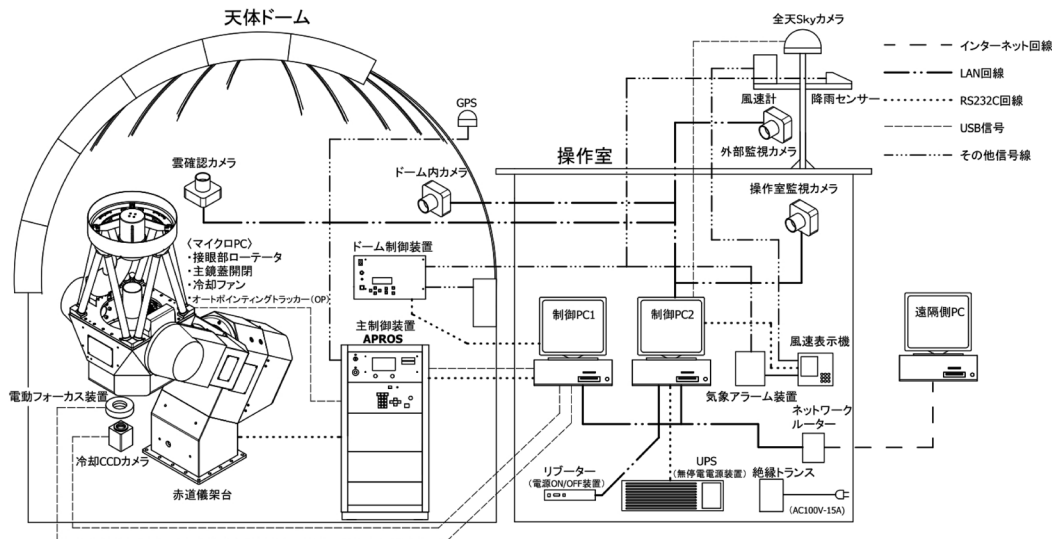


図5 自動撮影システムの主な機器の接続図。

- ・自動撮影中に曇りの判断になればドームスリットを閉め望遠鏡はホームポジションへ移動して待機状態になる。
- ・降雨や強風も同じ動作をする。これらのアラームが解除されたら引き続き自動撮影を開始。
- ・停電信号ONで終了処理を実行。その後システム電源をOFFしてからPCもシャットダウン。
- ・常に外気温を監視し、最初にフォーカスを合わせた時の外気温から、温度（任意設定）が変化した場合は自動撮影を一時中断し、望遠鏡を天頂に向けて再フォーカスを実施。その後自動撮影に戻り撮影を継続する。

(7) 観測の終了処理

自動撮影は明け方薄明が始まってから30分（任意設定）後まで撮影するよう設定している。

撮影終了後は次のように終了処理を実行する。

1. ドームスリット閉
2. 望遠鏡をホームポジションへ
3. 冷却CCDカメラのウォームアップ
4. 起動している各ソフトを閉じる
5. システム電源OFF

このようにこの自動撮影システムは、その日の

夜に撮影する銀河を日中に指定しておくだけで、電源管理から観測準備、撮影、データ保存、終了処理まですべてフルオートで進めてくれるシステムとなっています（図5）。

撮影済み画像のチェック

撮影済み画像の確認は、専用の画像比較支援ソフトを使って目視でチェックしています。

一晩に自動撮影した数百の画像の一つひとつ読み込んでコントラスト調整したり拡大縮小したり画像データを保存する作業はたいへんな労力と時間を要することになります。

そこで、効率よく短時間で画像をチェックできるように画像比較支援ソフトを作ることになりました。画像比較支援ソフトは、撮影日を指定するとその日に撮った撮影済み画像が左側に、過去に撮った比較画像が右側に表示されます。コントラスト調整はあらかじめ10段階の調整値を記憶させておくことができるのでワンタッチでコントラストを変えて微光星から銀河の中心核付近までスピーディーに確認することができます。また、拡大や縮小もそれぞれキーを割り当ててあるので素

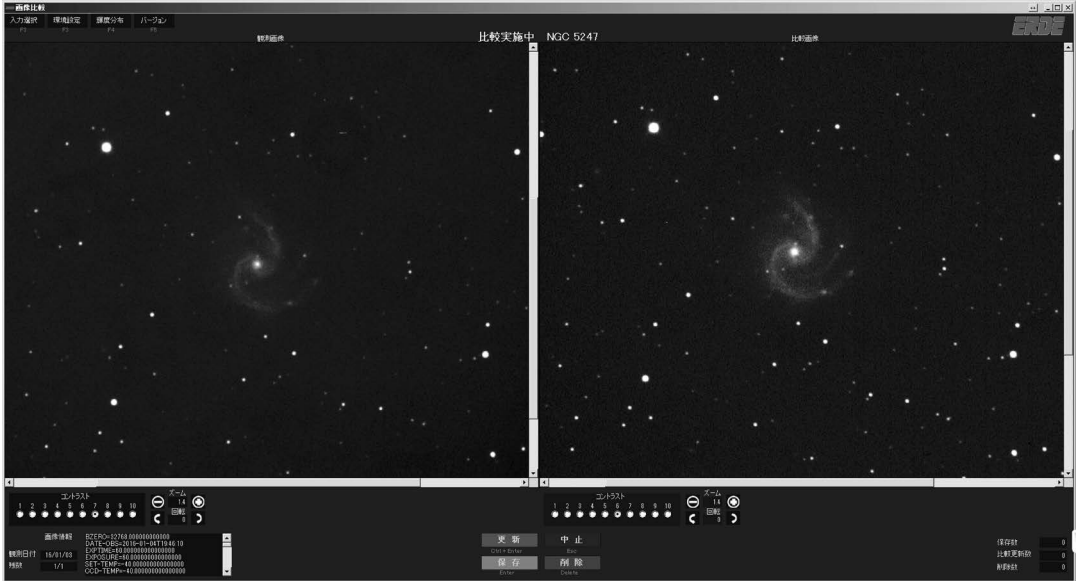


図6 画像比較支援ソフトの画面 (SN2016Cの発見画像)。左図中央銀河の上部(北部)スパイラル左側(東側)に超新星が見られる。

早く切り替えることが可能です。

確認後はエンターキーを押すだけで年月日別のフォルダーに自動保存され、次の画像が自動読込されます。このように、マウスを使うことなく最小限のキー操作だけで次々に効率よくチェックできるよう工夫してあります(図6)。

16年ぶりの発見

2000年から休止していた搜索活動ですが、自動撮影という形で身体への負担なく再開することができました。

2016年1月3日(日本時)、この時期としては珍しく奥飛騨に積雪はなく、夜は快晴となりました。翌日は仕事始めということもあり自動撮影に任せて早々に休むことにしました。

翌朝、観測所のPCにリモート接続して撮影済みの501個の画像を順に調べていたところ、朝5時過ぎに撮影されたNGC5247に15.7等の恒星像が見つかりました。そのときにはすでに夜が明け、明るくなっていて再撮影はできませんでした。

ノイズとは違う比較的明るい恒星像であったことや登録済みの小惑星ではないことなどから、通常は移動の確認や2夜の観測後に報告していますが、この発見については1フレームのみで超新星webサイトに発見報告を書き込みました。

その後、広島大学宇宙科学センターの口径1.5m望遠鏡で4日と6日(世界時)に、インドの天文台が口径2mの望遠鏡で1月7日(世界時)に、共にスペクトル観測が行われII P型の超新星であることが確定しました。そしてSN2016Cの符号がつき、実に16年ぶり13個目の発見となったわけです。

さらなる進化を目指して

この超新星搜索自動撮影システムを使い始めてから想定外の事故や故障などは起きておらず、システム上の大きな問題点も特にありませんが、いくつかの追加機能とさらに効率よく撮影できるように改良を加えていきたいと思っています。

一つは、撮影対象の銀河を決める方法です。現在は、搜索対象の登録済み銀河データから〇月

○日以降撮影していない銀河を抽出してリストを作り、それを自動撮影ソフトに転送しています。自動撮影ソフトは受け取った銀河リストを基にあらかじめ決められた優先空域にある銀河から順に撮影する仕様になっています。この方法の利点は撮影リストを短時間で簡単に作ることができ、後は自動撮影に任せきりにできることです。

しかし任意の空域だけを撮影したり、あるいは特定の銀河だけを優先に撮影したりする機能はありません。たとえば月の周辺の空域は避けて離れた空域を優先に撮る機能や、再撮影したい銀河を優先的に数フレーム撮影してくれる機能などあればさらに便利で効率的な観測が可能になると思います。

もう一つは、無人の自動撮影だけではなくリアルタイムで任意の空域にある銀河を自動撮影するセミオート撮影ができるようになればさまざまな使い方が可能になると思います。

機会があればこれらの機能も付け加え、より充実した超新星搜索自動撮影システムにしたいと考えています。

おわりに

こうして完成した超新星搜索の自動撮影システムでSN2016Cを発見することができ、結果が出せたことは、私をはじめこのシステムの開発にご協力いただいた方々の苦勞が報われる思いです。

晴天率が必ずしも良いとは言えない場所で、一台の望遠鏡だけで超新星を発見することは今日では難しくなっています。現にこの自動撮影システムが稼働を始めた2014年から今日まで十数個-20個の超新星を捉えることができましたが、い



図7 1996年に超新星搜索を始めたころの様子。

ずれも数日-2週間ほど遅かったという結果で、発見には至りませんでした。

もし晴天率の良い場所であつたら…という悔しい思いは正直あります。しかしこの奥飛驒の場所を選んだことに後悔はありません。1時間余りで行ける場所で、晴れた夜にのんびり星を楽しみたいと思っている私にとっては最高の場所なのです。

全天Skyカメラの画像(図1)を見ていただいてもわかるように、光害も少なく夏の天の川はもちろん、冬の天の川もはっきり観ることができるほど国内では一級の暗さを誇る場所であると思っています。

今後は超新星搜索だけではなく、星雲の観賞写真や惑星などの撮影にも取り組んでいながら、たまには椅子に座って天の川の星々をぼんやり眺めて宇宙を想像する、そんな「気楽に星を楽しむ」という時間も大切にしていきたいと思っています。