

小型望遠鏡を用いた突発天体の自動広視野サーベイ

前原裕之^{*1}

Automated Wide-field Survey for Transient Objects with a Small Telescope

Hiroyuki Maehara^{*1}

Abstract

We report an outline of the automated wide-field optical survey system for bright transients and variable stars using a small CCD camera and a telephoto lens. Our survey system named “Kiso/Kyoto Wide-field Survey (KWS)” has a field-of-view of 5 degrees x 7.5 degrees and could cover a survey area of about 100 degrees x 120 degrees per night (8 hours). We achieve a photometric precision of <5% for stars with a V magnitude of between 5 and 11. We also developed a web-based tool for data retrieval. We discovered more than 100 new variable stars and obtained pre-discovery images of 2 new transients with the KWS.

概要

明るい突発天体および変光星の探査を目的として、可視光で広い視野を自動的にサーベイするシステムを小型の CCD カメラと写真レンズを用いて開発したので、その概要を報告する。本システムは $5^\circ \times 7.5^\circ$ の視野を持ち、1 晩で $100^\circ \times 120^\circ$ の範囲を観測することができる。V 等級で 5-11 等の天体について、5% 以下の測光精度を達成している。また、サーベイデータを取得できる Web ベースのプログラムの開発も行った。本システムを用いて、100 以上の未知変光星と、2 つの突発天体の発見前の様子を観測することができた。

Keyword: sky survey, variable star

1. はじめに

新星や超新星、ガンマ線バーストといった突発天体はいつどこに出現するか予測できず、また一般に増光後短時間で暗くなってしまう。このため、それらの天体の性質や増光の物理機構を探るためには、(1) 広い範囲をモニターし、(2) 早期に検出してアラートを出し、(3) より大きな望遠鏡を用いた詳細な観測(分光など)に繋げる必要がある。また、突発天体をターゲットとした、広視野・高頻度のサーベイ観測では膨大な数の天体の測光データが得られるため、本来の目的以外の様々な天体の中長期的な変動の研究にも非常に有用なデータとして利用することができる。近年では、このような突発天体や変光天体をターゲットとして、広い範囲を可視光でサーベイするプロジェクトとして、All Sky Automated Survey (ASAS)¹⁾、Pi of the sky²⁾、Catalina Sky Survey³⁾などが多くの成果を上げている。

突発天体や変光天体を検出する方法には大きく分けて、(1) 基準画像を作成し、撮影画像と基準画像の差分から検出する方法、(2) 画像中の星をすべて検出して測光してデータベース化し、個々の天体の測光データから検出する方法とがある。前者は超新星サーベイのように、銀河の非常に近い場所に出現した天体であっても、超新星が写っている撮影画像から写っていない基準画像を引き算することで、超新星を検出することができるという利点がある。また、後者はすべての天体を測定するため、データ量が非常に多くなるので、突発天体だけを効率的に検出する目的からするとやや不利な面もあるが、写っているすべての天体の測光データが得られるという利点がある。

突発天体の増光メカニズムの解明には、前述のとおり検出後の高分散分光や高時間分解能の連続分光観測など、詳細な観測が不可欠である。しかし、大きな望遠鏡を用いた深いサーベイでないと検出できない暗い突発天体では、そのような観測を行うことは 8-10m クラスの望遠鏡であっても難しい。一方で、中小口径の望遠鏡で詳細な観測が行える明るい突

^{*1} 東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター木曾観測所
(Kiso Observatory, Institute of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo)

発天体は発生頻度が極めて小さいと予想されるため、空の広い範囲を監視する必要がある。本研究では、明るい突発天体のうち特に突発的な短時間の増光を起こす晩期型星であるフレア星の検出および、大きな黒点を持つフレア星の自転による光度変化を観測することを目的に、市販の CCD カメラと写真用のレンズを用いた広視野サーベイシステムを開発した。突発的な増光だけでなく、増光を起こす天体の普段の明るさの変化も同時にとらえる必要があるため、本研究では前述の2つの方法のうち、(2)の全天体の測光カタログを作成する方法を用いた。2010年から焦点距離50mmのレンズとCCDカメラを使ったWindowsPCベースの自動観測とPyraf, SExtractor, MySQL等を用いた解析システムを立ち上げ、このシステムで2010年12月から2012年3月まで(Phase I)、その後2012年3月から2013年4月まではカメラのみ焦点距離105mmのレンズとより大面積のチップのCCDカメラへ更新したシステム(Phase II)、さらに2013年5月以降は自動撮像システムをLinuxPCベースとして複数台のカメラの制御に対応したシステム(Phase III)を用いて、定常的な観測を行なった(現在も観測継続中)。本論文では、第2節で自動撮像、解析システムの概要および処理のフローを説明し、第3節で測光精度や解析パイプライン等の処理時間などの性能評価および、検出された変動天体を紹介する。第4節ではまとめと今後の課題について述べる。

2. 構築システム

2.1. 自動撮像

本研究では、観測を完全に自動化するため、あらかじめ指定した座標を順次撮影するシステムを制作した。使用した赤道儀や撮像・望遠鏡制御ソフトウェア等を表1にまとめた。また、その晩に観測できる座標リストを自動的に生成し、使用したソフトウェアで利用できるよう、CSV形式で座標リストを出力するプログラムをPython言語で作成した。このプログラムでは、月と撮影する座標の角距離を計算し、月の20度以内の座標は観測しないようになっている。なお、いずれのシステムもBessell Vバンドのフィルターを組み込み撮像している。

表1 ハードウェア、ソフトウェアの組み合わせ

	カメラ+レンズ	赤道儀	カメラ/ 望遠鏡制御ソフトウェア	FOV	積分時間
Phase I (2010/12-2012/03)	f=50mm F/2.0 + SBIG ST-7E	VixenSP+Skysensor 2000PC	StellaGear ¹ (WindowsPC)	5.1° × 7.7°	30 秒
Phase II (2012/03-2013/04)	f=105mmF/2.0 + SBIG ST-8XME	同上	同上	5.0° × 7.5°	15 秒
Phase III (2013/05-)	同上	Vixen SXW	Nightview ² / 自作Python script (LinuxPC)	同上	同上

2.2. 解析パイプライン

解析パイプラインはPythonおよびshell scriptで作成した。一次処理を行うimage_reduction.py, WCSの書き込みおよび測光を行うautophotoの2つからなる。

- image_reduction.py

FITSヘッダーのDATA_TYPを見て、OBJECTになっている画像の場合、ヘッダーのEXPTIMEに対応するダークフレームおよび予め登録されているフラットフレームを用いて一次処理を行う。処理にはPyRAF³を用いた。

- autophoto

天体検出にSExtractor⁴, WCS書き込みにWCSTools⁵およびSCAMP⁶を用いる。処理は以下の手順で実行し、最終的に天体の座標(天球座標およびCCDチップ上の座標)と機械等級、等級エラーをファイルとして出力する。

① SExtractorで星を検出し、CCDチップ上の座標および機械等級、等級のエラー(X_IMAGE, Y_IMAGE, MAG_

1 <http://www.astroarts.co.jp/products/stlgear/>

2 <http://www.physics.muni.cz/mb/nightview/>

3 http://www.stsci.edu/institute/software_hardware/pyraf

4 <http://www.astromatic.net/software/sextractor>

5 <http://tdc-www.harvard.edu/wcstools/>

6 <http://www.astromatic.net/software/scamp>

APER(1), MAGERR_APER(1)) をテキスト形式で出力する .

- ② 前の手順で作成したファイルを WCSTools の imwcs コマンドで , Tycho2 カタログ⁴⁾ を用いて WCS のパラメータを決め , FITS ヘッダーに追加する .
- ③ 再度 , SExtractor で 星 を 検 出 し , XWIN_IMAGE, YWIN_IMAGE, ERRRAWIN_IMAGE, ERRBWIN_IMAGE, ERRTHERAWIN_IMAGE, FLUX_AUTO, FLUXERR_AUTO, FLUX_APER, FLUXERR_APER の各値を FITS-LDAC 形式⁷⁾ で出力する .
- ④ SCAMP を用いて前段で作成した FITS-LDAC 形式のファイルから再度 WCS のパラメータを求める . 基準星の位置のカタログには , 固有運動分を補正し , 観測年の位置 (ICRS 座標) に変換した Tycho2 カタログを用いる . これは , Hipparcos/Tycho カタログ元となった観測から既に 20 年以上が経過し , 本研究で対象としている 5-6 等星のように , 比較的近距离にあり見かけの固有運動が大きな天体 (100-1000 mas 程度) では , 数秒から数十秒程度カタログ位置からずれていることが見込まれ , 50-100mm 程度の焦点距離のレンズであっても , その影響が無視できないためである . SCAMP を用いて求めた WCS のパラメータを再度 FITS ヘッダーに書き込む .
- ⑤ WCS が書き込まれた画像に写っている天体の明るさを SExtractor を用いて測定し , 天体の座標 (天球座標および CCD チップ上の座標) と機械等級 , 等級エラーを出力させる . 等級は aperture size を固定した aperture 測光の等級 (MAG_APER(1)) を用いる .

2.3. 測光・解析用データベース

測光データの保存や , 等級ゼロ点の決定 , 既知天体との照合のためのデータベースを MySQL を用いて作成した . データベースには以下のテーブルを含む .

- Frame_Info

frame_id を主キーとするテーブルで , 画像のファイル名 , 撮影日時や露出時間 , フィルター , pixel scale などの FITS ヘッダーに含まれる情報の他 , 等級ゼロ点や等級ゼロ点の誤差 , 等級ゼロ点の決定に使用した標準星の数 , 視野中心の airmass を保管するテーブル .

- Object_Info

oid を主キーとするテーブルで , 検出した画像の frame_id , SExtractor で検出した全天体の天球座標 , CCD チップ上の xy 座標 , 機械等級 , 機械等級の誤差 , airmass などを保管するテーブル . frame_id をもちいて , Frame_Info テーブルに保管されている情報との対応をとることができる . 天体の位置については後述する通り , Yamauchi (2011)⁵⁾ の方法でカタログマッチングを行うため , 以下の方法で求めた x, y, z の値も保持している .

$$x = \cos \alpha \cos \delta \tag{1}$$

$$y = \sin \alpha \cos \delta \tag{2}$$

$$z = \sin \delta \tag{3}$$

- HIP

Hipparcos カタログ⁶⁾ のデータを保持している . ただし , 天球座標はオリジナルの座標ではなく , 固有運動を補正した 2011 年の ICRS 座標とし , 式 (1) ~ (3) から計算した x, y, z の値も保持する .

- TYC

Tycho2 カタログのデータを保持している . HIP テーブルと同様に座標は固有運動を補正した 2011 年時点の ICRS 座標で , x, y, z の値も保持する .

- GCVS

変光星総合カタログ (GCVS+NSV)⁷⁾ と ASAS の変光星カタログ⁸⁾ のデータを保持する . 座標はオリジナルのカタログの値をそのまま使用し , x, y, z の値も保持する . また , 本研究で新たに変光していることが分かった天体についても , 逐次追加している .

2.4. データベースへの登録および等級ゼロ点の決定

一次処理および測光の終わったファイルおよび検出天体の情報は以下の手順でデータベースに登録され , Hipparcos カタログの V 等級を基準に用いて各画像ごとに等級ゼロ点を決定する .

⁷ http://marvinweb.astro.uni-bonn.de/data_products/THELIWWW/index.html

① 画像ファイルの登録 : insert_file.py

WSC を書き込み済みの FITS ファイルのファイル名および FITS ヘッダの内容、撮影日時と視野中心の座標から計算した airmass を Frame_Info テーブルに登録する。

② 検出天体の登録 : scat2id.py

SExtractor で検出・測光した天体の座標、機械等級などが保存されているファイルの内容および、各天体の airmasse を計算し、それらを Object_Info テーブルに格納する。

③ カタログマッチングと等級ゼロ点の決定 : identify_sql.py

Hipparcos カタログ (HIP テーブル) から等級ゼロ点決定用の標準星として、測光精度が十分確保できる明るさでかつ CCD のリニアリティが保証される範囲内にあり、変光しておらず、極端に赤くない天体を選択する。また、近くに星があり重なって分離できないと正確な測定ができないため、近くに別な星がある天体は標準星として用いないようにする必要がある。本システムでは以下の A~E 全ての条件を満たす天体を選択し、標準星として用いた。

- A) $5.5 < V_{\text{mag}} < 9.5$
- B) $V_{\text{scatter}} < 0.02$
- C) $B - V < 1.2$
- D) 3 pixel 以内に Tycho2 カタログの天体がない
- E) 変光星カタログに登録されている天体ではない

実際には、上記の条件を満たす HIP テーブルの天体を含む view を HIP_obs という名称で作成する。その後、Object_Info に含まれる検出天体と、HIP_obs の天体を下記のような SQL クエリーでマッチングした結果を HIP_Reference という view として作成する。

```
CREATE OR REPLACE VIEW HIP_Reference AS SELECT h.hid as hid, o.obj_id as obj_id, (h.vmag - o.phot_i_mag)
as diffmag, o.phot_i_mag_err as phot_i_mag_err, h.vmag as vmag, h.bv as bv, h.flg_tmp as flg_tmp from HIP_obs h,
Object_Info o WHERE h.flg_tmp=1 AND o.frame_id=%s AND o.flg_ok=1 and (1.0 - o.x*h.x + o.y*h.y + o.z*h.z)<%s and
o.phot_i_mag<0.0 and o.flg_ok=1
```

※ %s にはマッチングする画像の frame_id と、同一天体であるとみなす閾値 (σ) が入る。

カタログマッチングは、検出天体の座標方向の単位ベクトルと基準星方向の単位ベクトルの内積と同一天体であるとみなす閾値 (σ) を比較することで行っている。検出天体の座標方向の単位ベクトル \vec{o} 、基準星となる Hipparcos カタログの天体の座標方向の単位ベクトル \vec{h} 、2つの単位ベクトルのなす角度を θ とすると、この2つの単位ベクトルの内積 $\vec{o} \cdot \vec{h} = \cos \theta$ は θ が十分に小さければ $\vec{o} \cdot \vec{h} \approx 1 - \theta^2/2$ となる。したがって、検出天体とカタログ天体が閾値よりも接近している条件は、

$$1 - \vec{o} \cdot \vec{h} \approx \frac{\theta^2}{2} < \sigma \quad (4)$$

となる。本システムでは、経験的に検出天体の測定位置とカタログ位置の角度差 θ が 0.7 pixel に相当する角度よりも小さい場合に同一天体とみなすように設定した。1 pixel あたりの角度を $s [\text{arcsec}] = 4.8 \times 10^{-6} [\text{rad}]$ とすると、閾値は $\sigma = 5.9 \times 10^{-12} s^2$ となる。

次に、SExtractor で測定した機械等級と対応する Hipparcos 天体のカタログにある V 等級の差の平均値および標準偏差を求める。いったん求めた平均値および標準偏差を使い、(機械等級 - カタログ等級) が 3σ の範囲に収まっていない天体を除外し、再度 (機械等級 - カタログ等級) の平均値および標準偏差を計算し、この値を等級ゼロ点およびその誤差として、Frame_Info テーブルに保存する。天体の等級は Frame_Info テーブルの等級ゼロ点の値と、Object_Info テーブルの機械等級を足すことで求められる。

2.5. Web インターフェース

観測データのチェックや公開のため、Web ブラウザから特定の天体を検索してデータおよび光度曲線を表示する CGI を作成した。入力フォームに GCVS テーブルにある天体名または、天体の座標をもとにした ID (例えば天体の赤経を

01h23m45s, 赤緯を $-10^{\circ} 20' 30''$ とすると, ID は 012345-1020.5 となる) を入力することで, その天体の位置に対応する検出天体のデータおよび光度曲線を表示する (図 1). また, 天体の oid のリンクをクリックするとその天体を中心とする $300 \text{ pixel} \times 300 \text{ pixel}$ の範囲を JPEG 画像として表示することができる. この Web フォームは <http://kws.cetus-net.org/~maehara/Vsdata.py> で公開している.

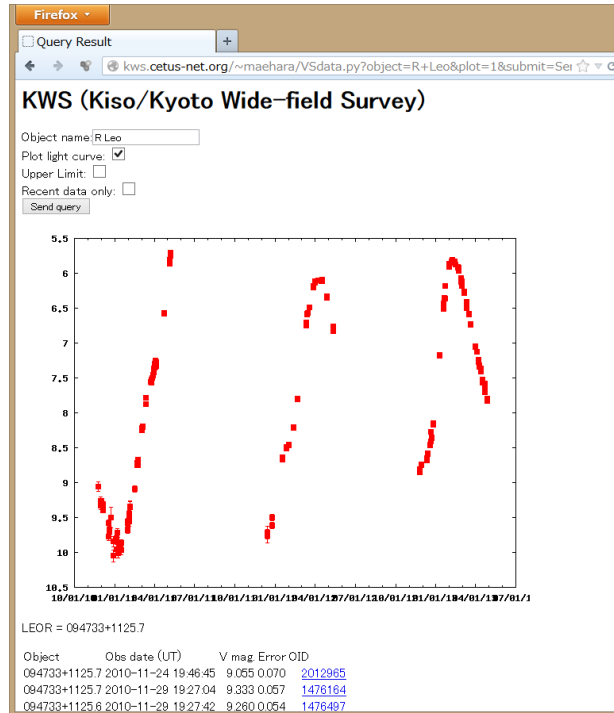


図 1 データ表示用の Web フォーム

3. 運用状況と性能評価

2010 年 12 月の運用開始から 2013 年 4 月末までの 266 夜の観測で 103,053 枚の画像を撮像し, 延べ 1 億 9694 万天体を検出してデータベースに登録した. 図 2 に 2010 年 12 月から 2013 年 4 月までの観測夜数の分布を示す. 現在のサーベイは子午線付近の赤緯 $-33^{\circ} \sim +66^{\circ}$ の範囲を南から撮像し, 続いて赤経を 28 分ずらして再び赤緯 $-33^{\circ} \sim +66^{\circ}$ を撮像するようになっており, 一晚 (8 時間) で $100^{\circ} \times 120^{\circ}$ 程度の範囲を撮像することができる.

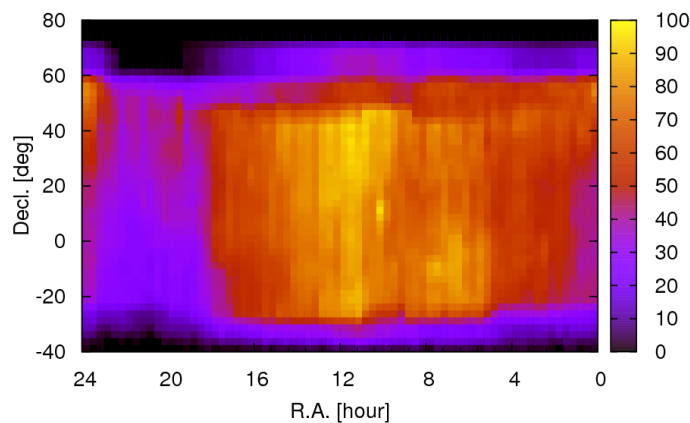


図 2 天球面上での観測夜数の分布 (2010 年 12 月 - 2013 年 4 月)

3.1. 測光精度

本研究で作成した測光データベースを利用すると、検出された天体ごとに位置の誤差範囲内のある天体を同定して、その測光値の時系列データを得られる。変光していない天体であれば、測光値は理想的には一定であり、そのばらつきは測光精度を表すと考えることができる。図3、4に各天体の明るさと、測光値の標準偏差の散布図を示す。図3は2012年3月から2012年11月までの観測で得られたもので、表1のPhase IIの機器を京都大学花山天文台に設置して観測を行ったデータから作成したもので、図4は同じ機材を東京大学木曾観測所に移設して、2012年12月から2月までの観測で得られたデータから作成したものである。花山天文台(京都市内)と比べると木曾観測所のほうが空が暗いため(背景の明るさが1/30程度)、花山天文台に設置していた時には5%以下の標準偏差となる明るさは5-10等であったのに対し、木曾観測所設置時には5-11等で5%以下の標準偏差となった。5等よりも明るいところではCCDの飽和のために正しい測定値が得られていない。

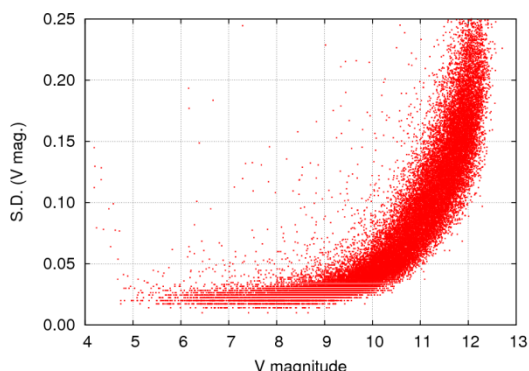


図3 天体の明るさと測光値の標準偏差
(京都; 2012/03-2012/11)

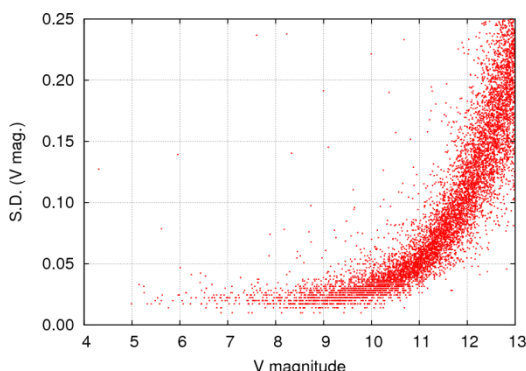


図4 天体の明るさと測光値の標準偏差
(木曾; 2012/12-2012/02)

3.2. 処理速度

突発天体の観測には検出した画像を即時に検出する必要がある。表2に本システムで撮像したデータを処理し、データベースへの登録および過去のデータとの比較を行って、新天体および新変光星候補をリストアップするまでにかかる時間をまとめた(すべてシングルスレッドで処理)。解析およびデータベースには以下の環境を用いた。

- ハードウェア: Intel Xeon E5-2620 (2.0GHz), 32GB memory, Intel 335 240GB SSD
- OS: Scientific Linux 6.3 (kernel 2.6.32) x86_64
- データベース: MySQL 5.1.69
- 解析パイプライン: IRAF 2.16, PyRAF 2.1, WCSTools 3.8.7, SExtractor 2.8.6, SCAMP 1.7.0

表2 各領域のデータ処理にかかる所要時間

視野中心座標	14h48m, +16°	16h12m, +12°	17h30m, -19°
検出天体数	2588	3520	4871
一次処理+WCS	6.4 [sec]	7.6 [sec]	8.7 [sec]
DB insert (file/object)	1.1/2.2 [sec]	1.1/2.7 [sec]	1.1/3.2 [sec]
等級ゼロ点決定	1.5 [sec]	1.8 [sec]	2.2 [sec]
新天体・変光星検出	397 [sec]	541 [sec]	776 [sec]

観測領域によって検出天体数が異なるため、1視野の天体数が増加するにしたがって、処理の所要時間も増加する。積分時間は15秒なので、撮像後次のフレームの撮影が終わるまでの間に、一次処理とデータベースへの登録、および等級ゼロ点の決定までは終了する。また、おおむね10-15分以内には新天体と新変光星のチェックまで終了し、結果をHTMLファイルとして出力できる。

3.3. 変動天体の検出例

2013年4月までに観測したデータから、本研究のデータから変光が検出された天体のうち、既知の変光星ではない天体は109個であった。これらのうち大部分がIRASソースであり、光度曲線からRGB/AGB星の脈動変光星であると考えられるものが98天体、残りの11天体は食連星であると考えられる。図5,6に検出された新変光星の光度曲線の例を示す。

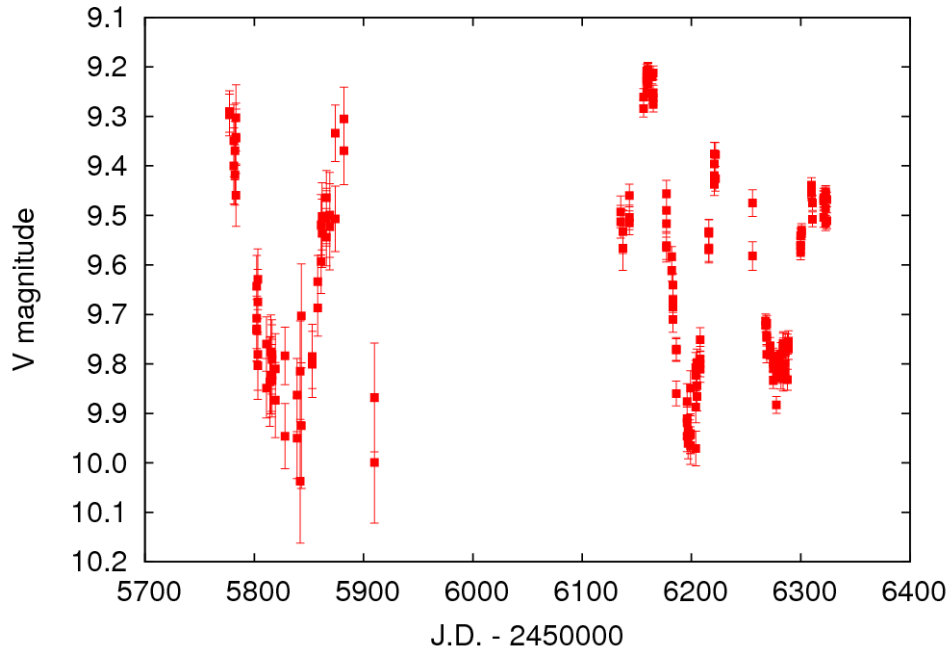


図5 J235339+5335.3 (脈動星候補)の光度曲線

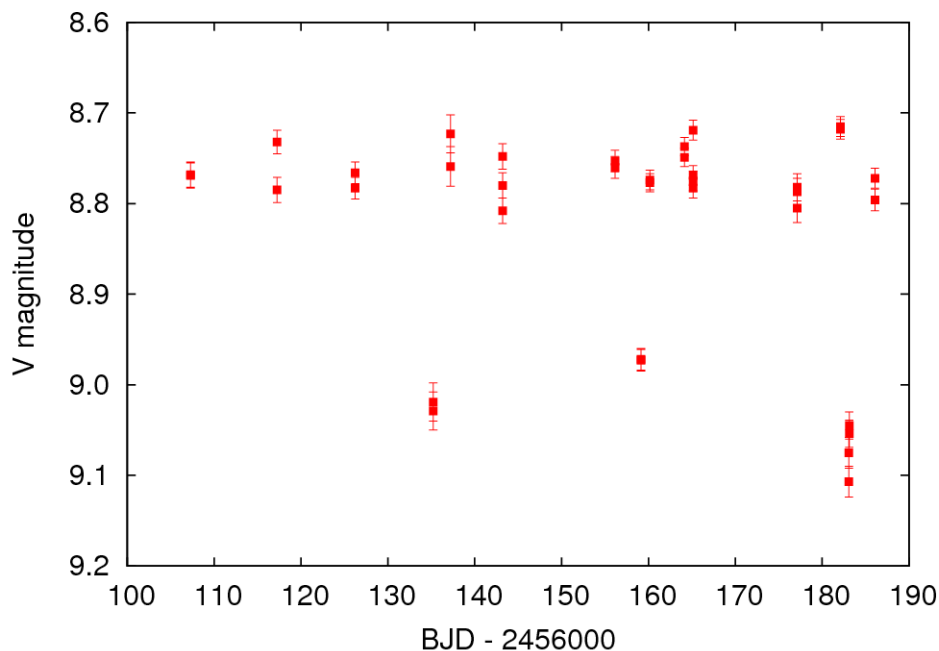


図6 J 231202+5320.5(食連星候補)の光度曲線

新天体については、撮影地(木曾)と解析用計算機の設置場所(京都)までのデータの転送に時間がかかったために、いずれも他のサーベイでの発見後の確認となったが、矮新星1天体⁹⁾と新星1天体¹⁰⁾の発見前の状態が捉えられていた。2013年3月以降は解析用計算機も木曾に設置し、撮影後ただちに解析が行われるようにした。

4. まとめと今後の展望・課題

市販の CCD カメラおよびカメラレンズ、PC からの制御に対応した赤道儀を組み合わせることで、完全自動のサーベイシステムを作成することができた。また、得られたデータを自動解析し、データベース化することで、変動天体や突発天体の観測的研究に有用な測光データベースを構築することができた。本システムで使用した CCD カメラとレンズは約 40 万円程度、PC からの制御に対応した赤道儀も 20 万円程度であり、制御用 PC や解析・データベース用の計算機も含めても 100 万円未満のコストに抑えることができた。

現在のシステムでは、撮像後のデータ処理およびデータベースへの登録等は撮影時間内に終了しているが、突発天体・変動天体の検出に 1 視野の撮影にかかる時間の 10 倍程度の時間がかかっている。この時間の大部分は、約 2 億件のデータからなる検出天体テーブルから、該当する天体の過去のデータを取り出すために費やされており、今後もデータが増えるのに伴って処理時間が増大すると考えられる。突発天体をほぼ撮影時間と同程度の時間で検出するために、検出天体テーブルから測光値の平均値や標準偏差、最大・最小値などをカタログ化し、生の観測データではなく、作成したカタログを検索することや、適切な領域分割を行うことで、テーブルサイズを縮小する等により、検索速度を上昇させる必要がある。今後は撮像後ただちに検出が終了するようにすることで、新星・矮新星等の突発天体の他、恒星フレアのような短時間のイベントについても、暗くなる前に増光していることが判定できるように、システムの改良を進める予定である。

本システムで検出できる突発天体は 11 等よりも明るい天体であると考えられる。このような明るい突発天体の分光等による詳細な観測は口径 1-2m クラスの望遠鏡でも可能であり、例えば光・赤外線天文学大学間連携⁸に参加している機関の望遠鏡で、追跡観測が行えると考えられる。また、本システムは市販の機材およびオープンソースのソフトウェアを利用しているので、開発した解析パイプラインを天文アマチュアも含め広く利用できるように配布や利用のためのドキュメントの整備等を進める予定である。

Acknowledgment

本研究の一部は JSPS 科研費 23740150 の助成を受けて行ったものである。また、本研究で作成したシステムのテストには日本変光星研究会の清田誠一郎氏にも協力いただいた。

References

- 1) Pojmanski, G. “The All Sky Automated Survey. Catalog of Variable Stars. I. 0h - 6h Quarter of the Southern Hemisphere” *Acta Astronomica*, 52, (2002), pp. 397-427
- 2) Burd, A., et al., “Pi of the Sky - all-sky, real-time search for fast optical transients” , *New Astronomy*, Volume 10, (2005), pp. 409-416
- 3) Drake, A.J., et al. “First Results from the Catalina Real-Time Transient Survey” *The Astrophysical Journal*, 696, (2009), pp. 870-884
- 4) Høg, E., et al., “The Tycho-2 catalogue of the 2.5 million brightest stars” , *Astronomy and Astrophysics*, v.355, (2000), pp. L27-L30⁹
- 5) Yamauchi, C., “Development of 2MASS Catalog Server Kit” , *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Volume 123, (2011), pp.1324-1333
- 6) Perryman, M.A.C., & ESA, *ESA Special Publication*, 1200, (1997)¹⁰
- 7) Samus, N.N., Durlevich, O.V., Kazarovets, E.V., Kireeva, N.N., Pastukhova, E.N., Zharova, A.V., et al., “General Catalog of Variable Stars (GCVS database, Version 2012 Jan)” , *CDS B/gcvs*, (2012)¹¹
- 8) Kazarovets, E.V., Samus, N.N., Durlevich, O.V., Kireeva N.N., Pastukhova, E.N., “The 80th Name-List of Variable Stars. Part III -- RA 16h to 24h” , *IBVS No.6052*, (2013)

8 <http://oister.oao.nao.ac.jp/>

9 <http://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?I/259>

10 <http://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?I/239>

11 <http://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?B/gcvs>

- 9) vsnet-alert 15240, <http://ooruri.kusastro.kyoto-u.ac.jp/mailarchive/vsnet-alert/15240>
- 10) Nishiyama, K. et al., “NOVA CEPHEI 2013 = PNV J23080471+6046521”, Central Bureau Electronic Telegrams, 3397, 1, (2013)