

AROMA-W を使用した可視光突発・変光 天体検出システムにおける検出効率の評価

青山学院大学 M1

菅井 駿

概要

ガンマ線バースト(GRB)には、X線から電波までの広い波長にわたる残光(afterglow)を伴うことが発見され、可視分光観測等から宇宙論的遠方での大爆発現象であることがわかった。現在までに様々な研究がなされ、GRBの多くの謎が解明されつつあるが、未解明のものも多く残されている。GRB観測衛星の位置速報を受けての追観測では速報から観測開始までのタイムラグのためにGRB発生直後の振舞やバースト以前の様子を観測することは出来ない。この問題に対し、これまでに地上からGRB観測衛星の視野を常時観測し追観測では捉えられない時間領域のGRB可視残光の振舞を捉えようとする広視野観測システムが様々な研究者によって開発されてきたが、専用システムであり一般に高価になりがちである。

これに対し現在、我々は民生用デジタル一眼レフカメラ及び、アマチュア用赤道儀を使用した安価な広視野観測装置 AROMA-W を開発中である。このシステムは2種類の単焦点レンズを付けたカメラを複数台搭載することで広視野を実現し、天体の導入から撮像する過程を自動化することによりGRBを始め様々な突発天体や変光天体等、可視光で明るさの変化の伴う天体現象すべてに対し、常時観測を目的としている。

これまでの研究開発によりハードウェアの自動制御、撮像プログラム、画像処理・解析プログラムが整備され、天体導入から撮像データの解析・星の検出・ピクセル座標から赤経・赤緯への変換までの工程が行えるようになった。そこで、私は星の検出段階でピックアップされる星が本当に変光星なのか、そしてその検出システムにおける検出限界等級と変光星の平均等級、周期等が検出精度に影響を与えるのかについての検証をカタログと比較することで行った。その結果、平均等級に関してはカメラの撮像できる限界等級(露光時間100secにおいてEOS kiss Digital Nは12等級、EOS 5Dは13等級)の1等級暗い星までであれば、平均すると約70%の検出率で変光星を検出出来ていることがわかった。周期に関しては検出された変光星の分布が0.1~1dayと10~100day付近に分布が集中したが、長周期のものに対してはミラ型(M)変光星のような変光幅が大きいいため検出されたと考える。しかし、これらの検出された変光星の中には誤検出、つまり星の変光以外の要因を誤って変光星とみなしてしまう問題がある。さらには周期が短く、明るい天体でも検出出来ない未検出といった問題もある。今後はこれらの問題を解決するために検出システムの改善と検証におけるデータの精査を行う必要がある。

目次

第1章 可視光領域における光度変化の伴う天体 (現象)

1.1 可視光変光天体(Variable Stars).....	5
1.1.1 爆発変光星.....	5
1.1.2 脈動変光星.....	5
1.1.3 回轉變光星.....	5
1.1.4 激変変光星.....	5
1.1.5 食変光星(食連星).....	6
1.2 可視光突発天体(Optical Transient).....	8
1.2.1 ガンマ線バースト(GRB:Gamma-Ray Burst).....	8
1.2.1.1 ガンマ線バースト残光.....	8
1.2.1.2 可視光閃光現象(optical flash).....	9
1.2.2 超新星.....	9
1.2.3 重力レンズ現象.....	9

第2章 広視野観測装置 AROMA-W

2.1 AROMA-W とは.....	11
2.2 使用機材.....	12
2.2.1 デジタル一眼レフカメラ(Digital Single Reflex Camera).....	12
2.2.2 赤道儀.....	13
2.3 解析パイプライン概要.....	14
2.4 変光天体の検出.....	14
2.4.1 検出システム.....	14

第3章 検出システムの検証

3.1 突発変光天体の検証方法.....	16
3.1.1 カタログ.....	18
3.2 検証結果.....	19
3.2.1 平均等級.....	19
3.2.2 周期.....	20
3.3 結論.....	22

第4章 まとめと今後の展望

参考文献

謝辞

第1章 可視光領域における光度変化の伴う天体(現象)

宇宙には様々な天体、現象が存在する。この章では可視光で捉えることが出来る天体(現象)の中で、主に光度変化を伴うものについてまとめる。

1.1 変光天体(Variable Stars)

この章では変光天体についてまとめた。変光星は大きく以下の5種類に分類される。

1.1.1 爆発変光星

恒星の外層や大気の爆発によって変光する星で、変光に規則性が見られない。脈動変光星の不規則型(L)以外の不規則変光星全てが含まれる。スペクトル型がB-Cの炭素に富み水素が少ない超巨星で、不規則に1~数等の減光を示すかんむり座R型変光星(RCB)、スペクトル型がB-Fの非常に明るい青色超巨星で、不規則に1~7等変光するかじき座S型変光星(SDOR)、比較的若い赤色矮星で普段は暗いが、彩層で発生したフレアにより急激に増光するくじら座UV型変光星(UV)、などに分類される。

1.1.2 脈動変光星

脈動変光星は、膨張と収縮を繰り返すことにより、または星の形状が変化すること(非動径振動)により明るさが変化する変光星のこと。その変光周期及び規則性により8種類(より細かく分類すると13種類)に細分類される。ミラ型(M)やセファイド型(CEP)、不規則変光星(L)等があり、この他にもSPB(Slowly Pulsating B star)やroAp(rapidly oscillating Ap star)、太陽型振動などのタイプもある。

1.1.3 回転変光星

星の表面の明るさの分布が一様でないとき、星の自転に伴って明るさが変化して見える星。りょうけん座RS型(RS)、りゅう座BY型(BY)、回転楕円体星(ELL)、かみのけ座FK型(FKCOM)、パルサー(PSR)、おひつじ座SX型(SXARI)の6種類に細分類される。回転星の変光範囲は小さいものが多いので、眼視観測には適さない。

1.1.4 激変変光星

突発的に増光する星で、新星(N)、新星状天体(NL)、反復新星(NR)、超新星(SN)、

ふたご座U型 (UG)、ヘラクレス座AM型 (AM)、アンドロメダ座Z型 (ZAND) の7種類に分類される。恒星の一生を終えるときに引き起こす大爆発により発生するSN型を除けば、白色矮星と赤色星が回りあっている近接連星系で起きる爆発的な増光であるといえる。また、SN型でもIa型の超新星は近接連星系で起こる。

ここでは新星について説明する。

・ 新星

新星 (nova 又は classical nova) は、夜空に明るい星が突如輝き出し、まるで星が新しく生まれたように見える天体現象である。新星爆発を起こす星は、白色矮星と通常の恒星の連星であり、恒星から白色矮星に降着円盤を通じて水素が供給され、白色矮星表面に降り積もった水素が熱と圧力で熱核融合反応を起こす。新星爆発後も連星系に大きな変化はないため、いずれ再び新星爆発を起こすこととなるが、爆発の間隔は 1000 年から 10 万年と推測されており、ほとんどの場合、1 度きりの爆発しか観測されていない。ただし、白色矮星の質量が大きく、連星系のもう片方が赤色巨星の場合は、爆発の間隔は 10 年から数十年と短くなり、繰り返し爆発が観測される。このような新星は反復新星や回帰新星と呼ばれ、10 例程度が発見されている。降着円盤の崩壊である矮新星とは別の現象であるが、矮新星爆発により白色矮星に水素が供給されるため、矮新星はより長い周期で新星爆発を起こす可能性が指摘されており、2007 年には矮新星きりん座 Z 星に新星爆発の痕跡星雲が発見された。新星爆発により白色矮星の質量はわずかに増加し、いずれ Ia 型超新星爆発を起こす可能性が指摘されている。

1.1.5 食変光星(食連星)

食変光星は、共通重心の周りを回る 2 つの星が互いの光を覆い隠し合うことによって、みかけの明るさ (2 星の合成光度) が変わるタイプの変光星である。そのため、食変光星は必ず連星系を形成しており、2 つの星の軌道面が地球と連星系を結んだ直線を含む平面上に存在する。一般的に、恒星自身の明るさは変わらず、規則的に変光するのが特徴である。

アルゴル型(EA)

食のとき以外は大きな光度変化が起こらない型で、平常光度ははっきりしているのが特徴。この型の連星系は、星同士が比較的離れている。

こと座β型(EB)

星の表面の明るさが一定ではなく、アルゴル型のような平常光度は存在しない。連星がかなり接近しているため星の形が楕円になっていることや、片方の星がもう片方の星を照らす反射効果が起こることがその理由である。このタイプの変光星を Lyrid という。

おおぐま座 W 型(EW)

同じくらいの大きさの星による接触した連星系で、星は完全に楕円形になっていて共通の大气を持っている。主極小と副極小の差が小さく、滑らかに光度変化をし、食と食外の区別がはっきりしない。また、短周期(1日以下)の星が多い型である。

1.2 可視光突発天体(Optical Transient)

この節では、突発的に可視光領域で増減光する可視光突発天体に関してγ線バーストを中心にこれまでの研究から解明されてきた事についてまとめる。

1.2.1 ガンマ線バースト(GRB:Gamma-Ray Burst)

ガンマ線バーストは、宇宙空間のある方向から莫大な量のγ線が非常に短い時間(数ミリ秒~数1000秒)に降り注ぐ現象である。このガンマ線バーストの研究は、1967年の核実験監視衛星VELAによる偶然の発見から始まった。その後、様々な観測衛星により観測が続けられ1990年代に打ち上げられたBATSE(CGROに搭載)とBeppoSAXによって目覚ましい発展をとげた。

BeppoSAXは、1997年2月28日に発生したガンマ線バーストGRB970228において、初めてバーストに付随するX線残光を発見した。これをきっかけに様々な波長での残光が発見され、可視光残光の精度良い位置情報を用いて更なる詳細な観測が実行された。その結果、ガンマ線バーストに伴う残光やその母銀河のスペクトルに高赤方偏移の吸収線が観測されたことからガンマ線バーストは数10億光年から百数十億光年もの宇宙論的遠方で発生している大爆発現象であることが明らかにされた。しかし、どのようなメカニズムでどのような天体が起こす爆発かは未だに解明されていない。現在最も有力な説として、太陽の数十倍以上の質量を持つ巨大な星が一生を終え、重力崩壊してブラックホールになるときにほぼ光速のジェットを噴出し、そのジェットが地球の方向をむいて際にガンマ線バーストとして観測されるというものがある。

また、1999年1月23日に発生したGRB990123では、赤方偏移 $z=1.60$ という遥か遠方で起きたにも関わらず、バースト発生約50秒後に9等級という非常に明るい可視光の閃光の観測がなされた。2003年3月29日に発生したGRB030329では明るさが13等台という比較的明るい残光が初めて日本のアマチュア天文家によって観測され、このガンマ線バーストは距離が18億光年という地球からかなり近いところで起こったものの一つとされている。また超新星爆発と非常に似たスペクトル成分を持つ事でも注目された。

1.2.1.1 ガンマ線バースト残光

ガンマ線バーストには、残光と呼ばれる現象がある。この残光は、X線で始まり、紫外線、可視光線、赤外線、電波と光度ピークが移行するのが一般的で、残光により可視光・電波での比較的長い時間観測が可能になると正確な発生位置がわかり、様々な調査が出来るようになった。発生源までの距離の測定、母銀河の発見とガンマ線バーストの研究に大きな進展をもたらした。

このGRB残光は1997年にイタリア、オランダのX線観測衛星BeppoSAXによってガンマ線バーストに“X線残光”が伴っていることにより初めて発見されたものである。

1.2.1.2 可視光閃光現象(optical flash)

1999年1月23日に発生したガンマ線バースト(GRB990123)では、初めてバースト発生中に”可視光フラッシュ(optical flash)”現象が観測された。

この観測は ROTSE-1 という 135 タイプ(ライカ型) カメラ用レンズを用いた小型観測システムによって、自動で行われた。その結果、バースト発生約 22 秒後から観測を始め、約 50 秒後には約 9 等級に増光し、その後急速に減光する様子を捉えた。その後の残光の分光観測から発生源が $z=1.6$ という高赤方偏移での天体現象であることが判明した

1.2.2. 超新星

超新星

超新星 (supernova) という名称は新星 (nova) に由来するものであるが、1885 年、アンドロメダ銀河中に、本来の新星よりはるかに明るく輝く星が現われ、それまで知られていた新星とは異なった更に明るいものが存在する事がわかり「超」新星の存在が確認された。発する光は-13 等級から-19 等級増加し、この明るさは新星を遥かに凌ぐ。爆発によって星の本体は四散するが、爆発後に中心部に中性子星やブラックホールが残る場合もある。

超新星は、そのスペクトルに水素の吸収線が見られない I 型と、水素の吸収線が見られる II 型とに分類される。III 型、IV 型、V 型といった分類もかつては使われていたが、現在ではこれらはまとめて II 型に分類される。

極超新星(Hypernova)

超新星のうち、特に爆発エネルギーが大きいもの(通常の 10 倍以上)を、特に極超新星 (IIn 型) と呼び区別している。通常の超新星よりも遥かに大きな極大光度を持ち、スペクトルにおいて、水素、珪素、ヘリウムの各吸収線が見られず、さらに従来の Ic 型とも類似性が認められない。爆発の際に生成される大量の放射性元素がエネルギー源となって膨張を速めるため、爆発で飛散するガスの速度は光速の 10% 近くにも達する。幅の広い特徴的な吸収線は、その際のドップラー効果によるものと考えられている。

極超新星は、太陽の 20 倍以上の質量を持つ恒星が重力崩壊を起こして生じるものと考えられている。また、ガンマ線バーストの可視光での残光が極超新星として観測された例があることから、それとの関連も指摘されている。極超新星の誕生はブラックホールが生まれたことを意味する。

1.2.3. 重力レンズ現象

重力レンズ (Gravitational lens) とは、恒星や銀河などが発する光が、途中にある天体などの重力によって曲げられたり、その結果として複数の経路を通過する光が集まるために明るく見えたりする現象。光源と重力源との位置関係によっては、複数の像が見えたり、弓状に変形した像

が見えたりする。重力レンズ効果とも言われる。また、リング状の像のものはアインシュタインリングと言われる。

光が曲がることは一般相対性理論から導かれる現象で、一般相対性理論の正当性を証明した現象のひとつである。光は重力にひきつけられて曲がるわけではなく、重い物体によってゆがめられた時空を進むために曲がる。対象物と観測者の間に大きい重力源があると、この現象により光が曲がり、観測者に複数の経路を通った光が到達することがある。これにより、同一の対象物が複数の像となって見える。光が曲がる状態が光学レンズによる光の屈折と似ているため重力レンズと言われる。

強い重力レンズ(Strong lensing)

レンズ源の影響が強く、アインシュタイン・リング、弓状に変形した像(arc)、複数の像など、光の曲げられる現象が明らかに観測されるもの。

弱い重力レンズ(Weak lensing)

レンズ源の影響が比較的弱く、多くの天体の光線データを集計することによって、統計的にレンズ効果と判定される現象。宇宙初期の背景マイクロ波が地球に届くまでに銀河形成によって揺らぐ統計などの研究がなされている。

多胡天体

アマチュア天文学者、多胡昭彦(たごあきひこ)氏が、2006年10月30日に自宅の観測所の赤道儀に取り付けたデジカメで撮影したカシオペア座付近の画像中から、11.8等級の天体が8.8等級まで増光しているのを発見した。多胡氏の観測によると、10月下旬から徐々に増光し始め10月31日には7.5等級まで増光した。安定した星のスペクトルを示し、スペクトルの変化がないにもかかわらず、これほどの増光を示したことから、この増光現象は「マイクロレンズ現象」ではないかと考えられている。

第2章 広視野観測装置AROMA-W

2.1 AROMA-Wとは

前節で述べた可視光突発天体はいつどこで発生するかわからなく、また可視光変光天体は周期が短いものと一日以下、長いものと数百日に及ぶ天体があり、これらを効率的に観測するためには広視野での常時観測が必要となる。そこで吉田研で開発・運用を行っているのが観測装置AROMA-Wである。

AROMA-W(Aoyama Robotic Optical Monitor for Astrophysical object-Wide field) はデジタル一眼レフカメラ複数台と赤道儀を用いた広視野常時観測装置である。赤道儀をPC制御し、カメラによる撮像からデータ解析までの自動化を目指している。



図2.1 デジタル一眼レフカメラを12台搭載したAROMA-W

2.2 使用機材

この節では、AROMA-Wの開発に使用した機材についてまとめる。

2.2.1 デジタル一眼レフカメラ(Digital Single Lens Reflex camera)

一眼レフカメラ(Digital Single Lens Reflex camera,以下DSLR)とは、単一のレンズを用いて、実際に撮影されるイメージをファインダーで確認することができるカメラ、様々な焦点距離のレンズを組み合わせることで画角や光学性能を変えることができる。



図2.2 EOS Kiss Digital



図2.3 EOS 5D

カメラ	CMOSサイズ	有効画素数	レンズ	視野	搭載台数	撮影限界等級
Canon EOS Kiss Digital N	22.2×14.8mm	800万	EF 100mm F2.0	9° × 13°	10台	約12等級
Canon EOS 5D	35.8×23.9mm	1280万	EF 200mm F2.8	7° × 10°	2台	約13等級

表2.1 デジタルカメラ仕様(この限界等級は露光時間100秒、上限値3σとした)

EOS Kiss Digital N

APS-CサイズCMOSイメージセンサーを搭載したデジタル一眼レフカメラ。このカメラを選じた理由は、インターバル撮影が出来るDSLRの中で比較的安価かつusb2.0による高速画像転送が可能のためである。

EOS 5D

EOS5D は35mm版フルサイズのCMOSイメージセンサー(35.8×23.9mm)を搭載しているにも関わらず、他のフルサイズDSLRと比べて安価な価格で購入出来る、35mmフィルム一眼レフカメラと同じ画角感覚でレンズ群を使用出来る。大きなCMOSセンサーにより広い画角と感度の高い撮像が可能。

2.2.2 赤道儀

赤道儀には複数台のカメラを乗せることができる同架重量の大きいものでかつ PC から天体の導入方向を制御できる自動導入に対応している必要があるため、この2つの条件を満たすタカハシ社製 EM-400-Temma2 赤道儀をこのシステムの架台として採用した。



図 2.5 EM400-Temma2 赤道儀

EM-400 Temma2 赤道儀仕様	
形式	2 軸モーター内蔵、ドイツ式赤道儀
本体重量	約 30kg
同架重量	約 35kg
極軸望遠鏡	固定内蔵式、倍率 11 倍
価格	約 70 万円

表 2.2 赤道儀仕様

2.3 解析パイプラインの概要

ここでは本解析パイプラインの流れについてフローチャート形式で簡単に説明する。図2.6のような流れで処理が行われている。

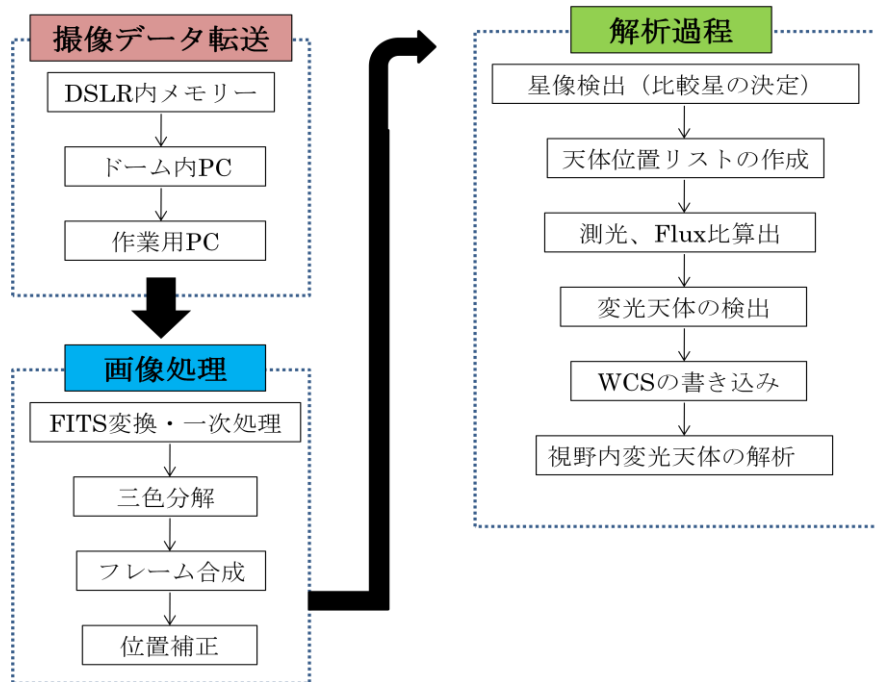


図2.6 解析パイプラインのフローチャート

2.4 変光天体の検出

次にこの節ではパイプライン処理に取り入れられている変光天体の検出について述べる。

2.4.1. 変光星検出システム

このセクションでは変光星検出システムのアルゴリズムについて説明する。

検出アルゴリズム

検出された全ての星像に対して、フレーム数ごとに測光することでFlux比の変動、つまり光度曲線(ライトカーブ)が描かれる。描かれたライトカーブにおいて、一定フレーム数(フレームを時間MJDに対応させておく)ごとにFlux比の加重平均の最大値と最小値を順次更新し、最大値、最小値の差が閾値以上になった場合、変光天体として検出する。閾値は先行研究により 3σ が採用されている。

MJD

世界時を使用し、紀元前4713年1月1日からの連続した通し番号の日数であるユリウス日(Julian Day:JD)から2400000日と半日(12時間)引いたものを準ユリウス日(Modified Julian Day:MJD)と言う。天文学や年代学等で使われている。

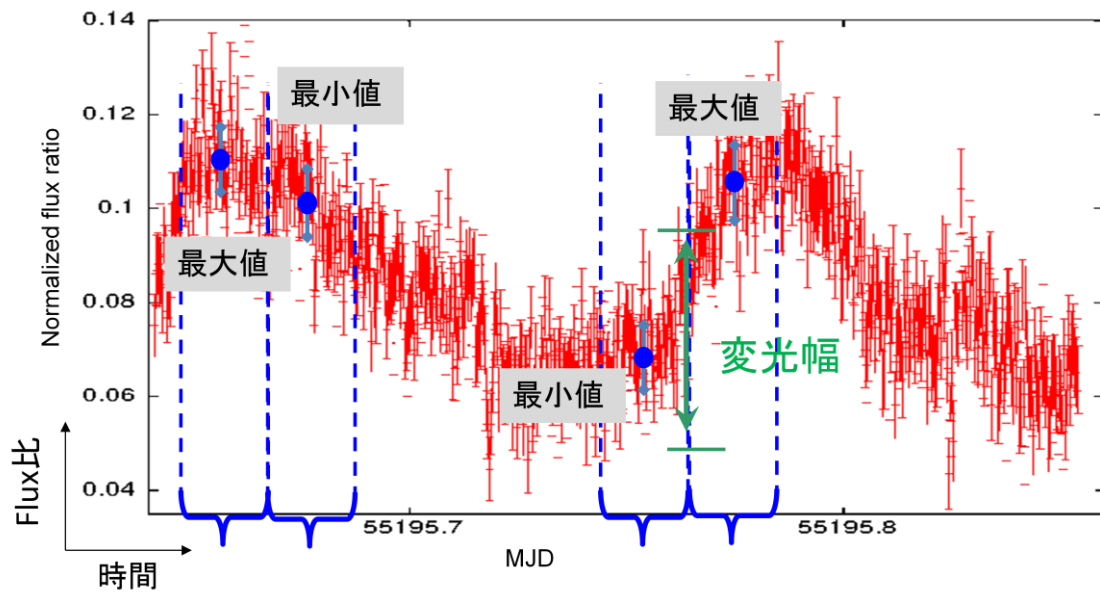


図2.7 変光星検出システム イメージ図

第3章 検出システムの検証

前章で述べた変光星検出システムにより、フラックスが変動する星はピックアップされるようになった。しかし、ピックアップされる変光星の検出精度についての検証は行われていなかった。そこで、私は検出精度が変光星の平均等級、周期にどれほど影響を受けるのかについての検証を行った。この章ではその詳細について述べる。

3.1 突発変光天体の検証方法

この節では検証方法について述べる。

初めに、検出システムで受かった星をリスト化する。次に撮像データに WCS を書き込むことで画像 XY 座標を赤道座標に対応させ、その赤経赤緯を元に変光星のカタログ(後述)に載っている変光星の位置を重ね、撮像データの視野内に存在する変光星をリスト化する。そして検出システムのリストとカタログのリストを比較することで検証を行った。

また、この検証に用いた観測データの詳細を表 3.1 に載せる。

観測日	観測フレーム数	観測視野
2009/12/15	348	ふたご座
2009/12/18	561	
2009/12/19	1000	
2009/12/20	700	
2009/12/21	688	
2009/12/22	1000	
2009/12/23	700	
2009/12/28	1000	
2009/12/30	800	
2010/1/2	500	
2010/1/5	1000	
2011/12/12	600	ペルセウス座

表 3.1 撮影日とフレーム数

撮影設定はすべて W バンド、1 フレーム当たり 20 秒で行った。

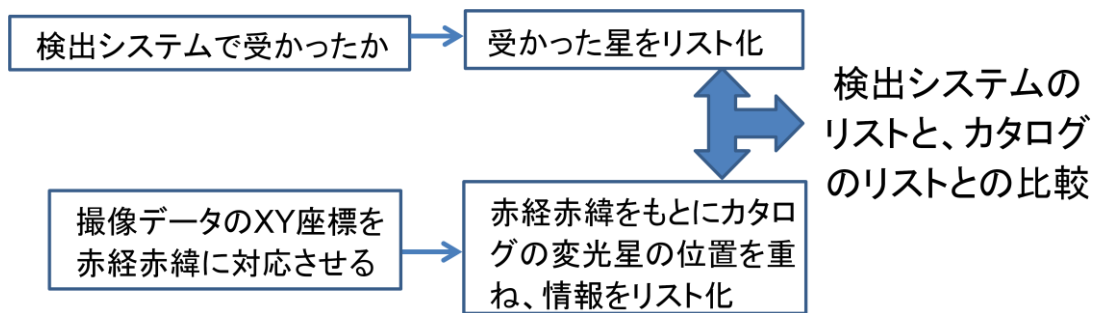


図 3.1 検証方法 イメージ図

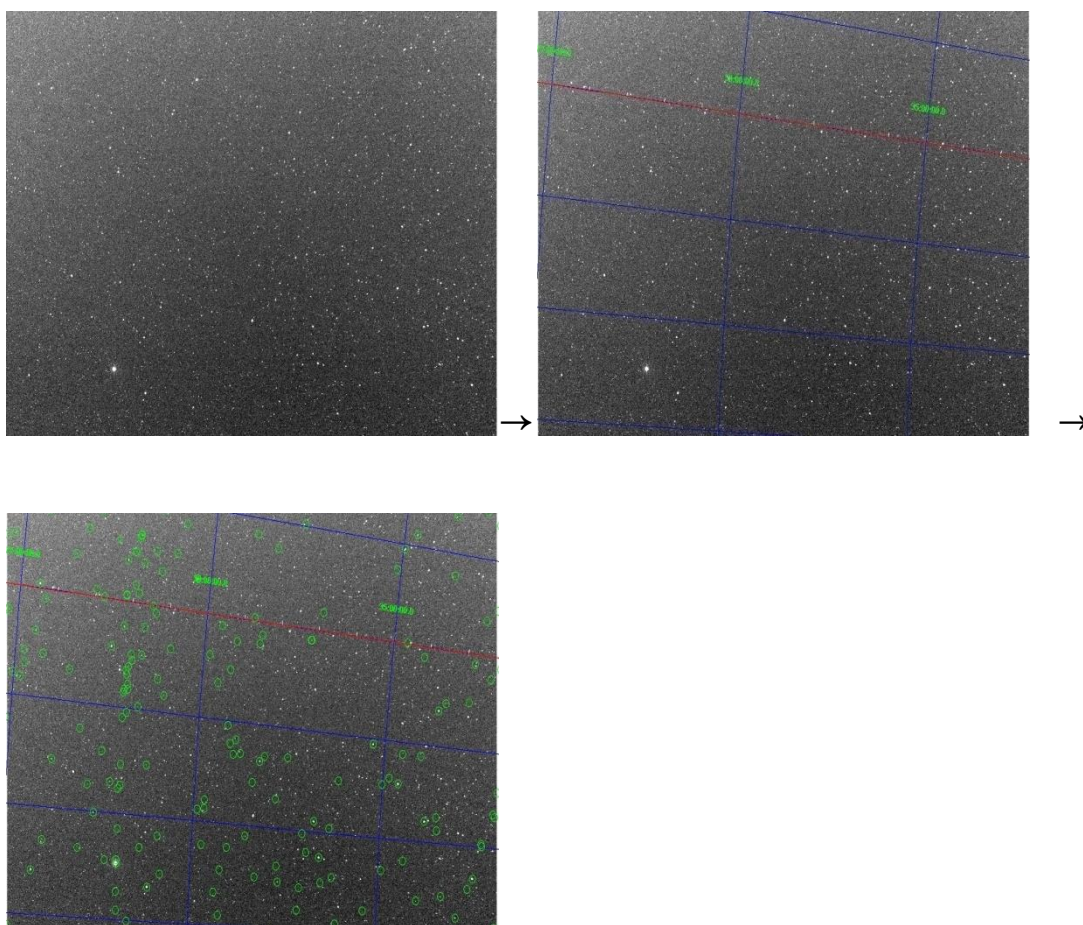


図 3.2 撮像データの XY 座標に赤経・赤緯を対応させ、その赤経・赤緯を元に、カタログに載っている変光星の位置を重ねる工程(青と赤と線が赤道座標、緑色の円が変光星の位置を示す)

3.1.1. カタログ

このセクションでは使用した変光星のカタログについて説明する。

VSX

アメリカ変光星観測者協会(American Association of Variable Star Observers)が作成した変光星のカタログ(Variable Star Index)。2012年2月では約20万の変光星が登録されており、変光星の名称や赤道座標、等級、周期についての情報が載っている。特定の変光星を検索することも可能。

<http://www.aavso.org/vsx/>

RAJ2000	DEJ2000	OID	n_OID	Name	V	Type	l_max	max	u_max	n_max	f_min	l_min	min	u_min	n_min	L_Period	Period
114.21667	+26.13000	84085	B	ASAS J07310		MISC		10.540	V	(			0.060				25.23199500
114.34583	+24.93667	84112	B	ASAS J07310		EDIESD		13.850	V	(			0.490		V		0.254256000
114.36250	+24.56633	84116	B	ASAS J07310		CW-FOJEC		10.820	V	(			0.090		V		0.957310000
114.43185	+30.42184	67106	B	NSVS J07310		L:		12.177	R1	(			0.543		R1		117.0000000
114.50208	+26.02139	180647		[WM2007] 51		VAR		17.470	V	(			0.410		V		
114.56250	+26.61500	84163	B	ASAS J07310		ECIESD		11.230	V	(			0.430		V		0.34929700
114.57392	+28.92214	132303	B	SDSS J07310		cv		16.900	CR				19.500		CR		0.087500000
114.60292	+32.54861	55965	B	NSV 17530	1	SR:		10.400	pg				11.800		pg		
114.62592	+33.71153	14639	B	V0345 Gem	0	EW		7.820	Hp				7.880		Hp		0.27477360
114.65568	+29.64206	269876	B	VSX J073810		EB		14.990	CR				15.220		CR		0.400900000
114.73333	+25.23167	84201	B	ASAS J07310		MISC		9.340	V	(			0.250		V		63.7000000
114.79858	+34.48272	14314	B	ST Gem	0	M		11.000	pg				15.500		pg		246.2300000
114.98771	+36.66664	17909	B	RU Lyn	0	M		11.000	pg			<	16.000		pg		243.4700000
114.99167	+26.37000	84269	B	ASAS J07310		MISC		10.820	V	(			0.090		V		33.2300000
115.23083	+26.08472	180649		[WM2007] 61		VAR		13.910	V	(			0.140		V		
115.24414	+33.91700	226537		NSVS 732610		EW		13.560	R1	(			0.870		R1		0.64525000
115.26200	+30.78940	129674	B	NSVS 732610		EBIEW		12.317	R1				12.733		R1		0.352894000
115.42696	+38.14117	249955		HD 61580	0	DSCTC		9.120	V								
115.52089	+32.88035	226539		NSVS 732710		RS		11.960	R1	(			0.690		R1		2.98489466
115.61113	+37.10589	249923		HD 61768	0	VAR		7.670	V								
115.62858	+34.63638	67119	B	NSVS J07410		L:		10.319	R1	(			0.471		R1		73.0000000

表 3.2 撮像データ内でカタログに載っている変光星のリストの一部

3.2. 検証結果

この節では行った検証の結果を述べる

3.2.1. 平均等級

前述したような検証方法で”EOS kiss Digital N”と”EOS 5D”で分け、横軸を変光星の最大等級と最小等級の平均(平均等級)とし、縦軸を検出システムで受かった数(検出数)、カタログに載っている数(カタログ数)、また検出数とカタログ数との比(検出率)としたグラフが図 3.3、図 3.4 のようになった。また、横軸の平均等級の上限を 13 等級としたのは、kiss の撮影できる限界等級(露光時間 100 秒)は 12 等級、5 D の撮影できる限界等級(露光時間 100 秒)が 13 等級だからである。

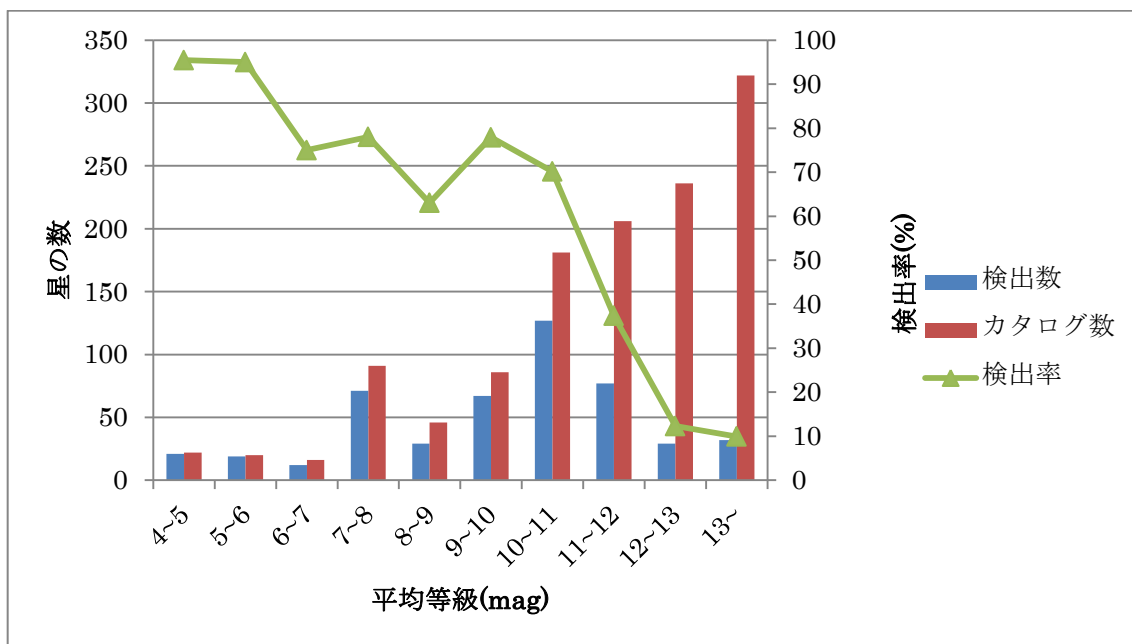


図 3.3 EOS 5D における平均等級ごとの検出率

図 3.3 を見ると、5 D の限界等級である 13 等級近く、つまり 12~13 等級より暗い星に対しては検出率が 20%以下まで落ちていることがわかる。また 6~7,8~9 等級で検出率が落ちているのは、統計量が少ないためであると考えられる。

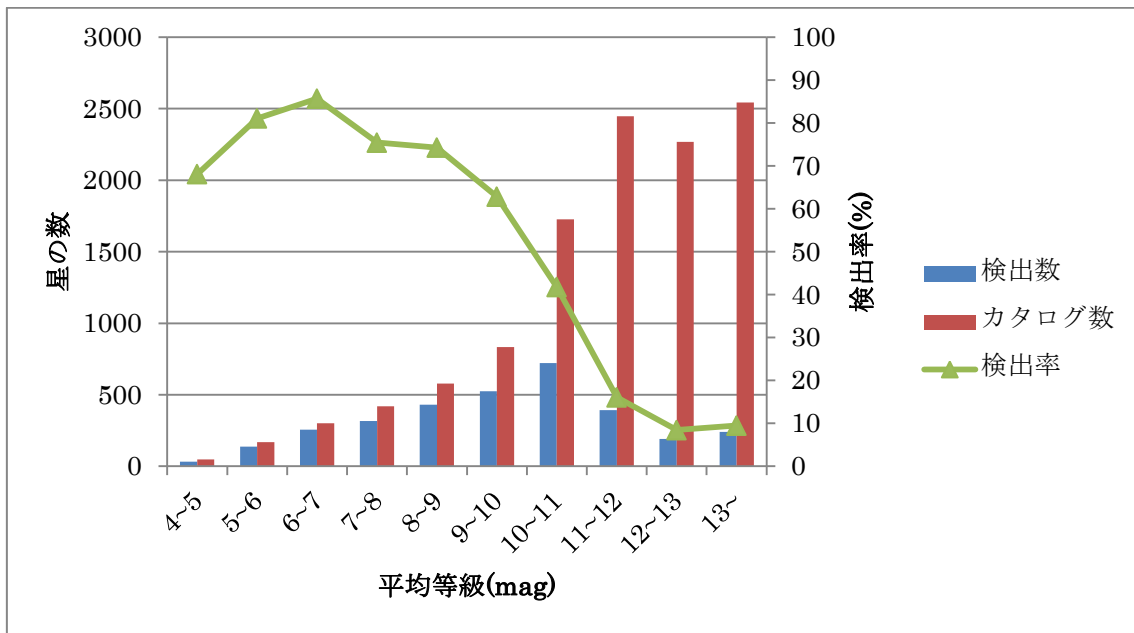


図 3.4 EOS kiss Digital N における平均等級ごとの検出率

図 3.4 でも同様に kiss の限界等級である 12 等級近く、11~12 等級より暗い星に対しては検出率が 20%以下まで落ちていることがわかる。

以上より、現在の検出システムにおける検出限界は各カメラの限界等級より 1 等級暗い等級、つまり”EOS kiss Digital N”では平均等級が 11 等級、”EOS 5D”では 12 等級程度であると推察でき、検出限界より平均等級が明るい星に対しては約 70%の検出精度であることがわかった。

3.2.2. 周期

同様に、カメラごとに横軸を平均等級、縦軸を周期として周期の検出精度への影響の調査を行った。それが図 3.5、3.6 である。赤色が検出システムで受かった変光星、グレーが受からなかった変光星となっている。

平均等級-周期

初めに横軸を平均等級、縦軸を周期とした図について述べる。予想では平均等級が暗くても周期が短ければ、また平均等級が明るければ周期が長くても検出出来ると考えていた。しかし、図 3.12、3.13 では縦軸の周期に対しては分布の傾向はみられなく、カタログの分布に従う形で 0.1 ~ 1day と 10 ~ 100day 付近で検出出来たものが多く見られた。この長周期の変光星にはミラ型 (M) のように変光幅が大きいため検出出来たと考えられる。

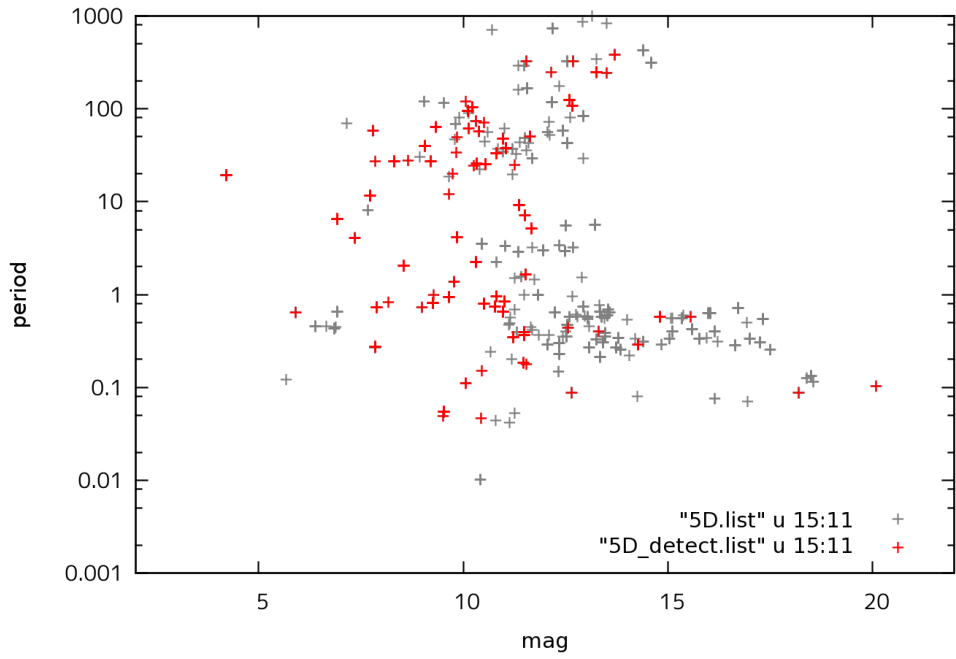


図 3.5 EOS 5D の平均等級-周期における分布

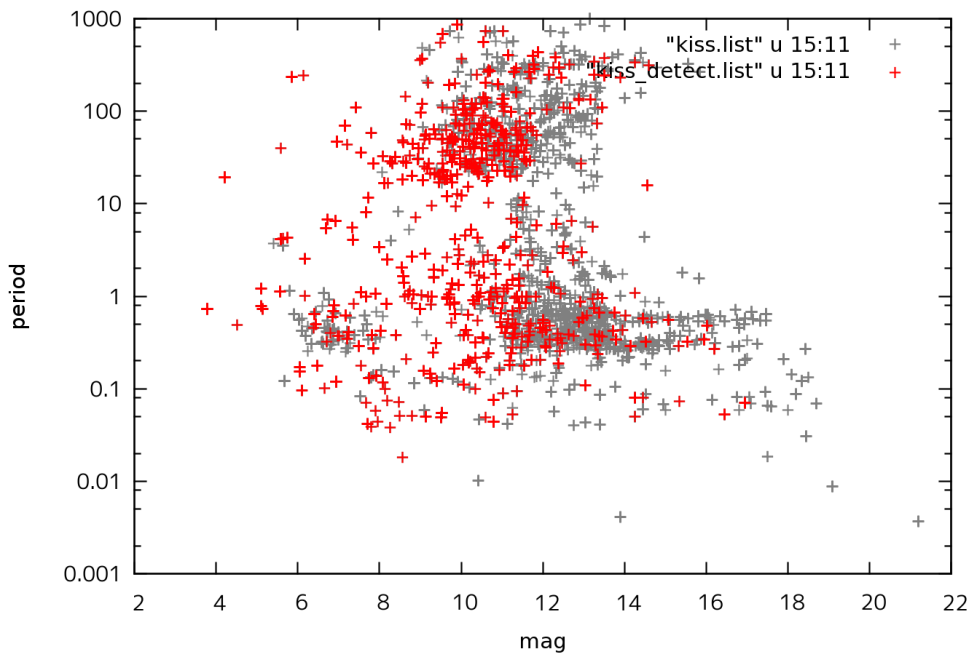


図 3.6 EOS kiss DN の平均等級-周期における分布

3.3. 結論

今回の検証の結果として、現在の変光星検出システムはカメラの撮像できる限界等級(EOS 5Dであれば13等級、EOS kiss DNであれば12等級)より1等級暗い星、つまりEOS 5Dは12等級、EOS kiss DNは11等級程度が検出限界であることがわかった。そして検出限界より平均等級が明るい変光星に対しては約70%の検出率で変光星を検出出来ている。そして周期ごとにデータを分けたが、検出出来たものはカタログの分布の偏りに従う形となり、検出精度への影響を見つけることは出来なかった。

第4章 まとめ・今後の展望

我々は広視野常時観測装置 AROMA-W を開発・運用中である。AROMA-W では可視光突発・変光天体が観測可能であり、視野内に写るライトカーブを描き、そのライトカーブを元に変光星を検出する工程までが自動で行える。

今回私はその検出精度の検証を行った。その結果、カメラの限界等級(EOS kiss Digital N は 12 等級、EOS 5D は 13 等級)より平均等級が 1 等級暗い星までが検出システムにおける検出限界であり、検出限界までであれば、平均すると約 70%の検出率で変光星を検出出来ていることがわかった。そして周期ごとにデータを分けたが、検出出来たものはカタログの分布の偏りに従う形となり、検出精度への影響を見つけることは出来なかった。今後はさらなるデータの精査を行う必要がある。

また、今回は変光星ではない星を誤って検出する誤検出や、カタログには載っているが検出できていない未検出といった検出システムの問題についての調査を行うことが出来なかったので、検出システムの改善のためにこれらの問題の傾向とその対策を調査していく必要がある。

参考文献

1. 高橋 一郎 著 『GRBにおける近赤外・可視光残光の即時追観測システムAROMAの開発』 青山学院大学 修士論文
2. 綱島 浩介 著 『広視野観測システムAROMA-Wにおける突発変光天体検出のアルゴリズムの構築』 青山学院大学 卒業論文
3. 松岡 俊幸 著 『AROMA-Wによる変光天体の周期特定と解析システムの評価』 青山学院大学 修士論文
4. 竹田 辰人 著 『AROMA-Wにより観測された変光天体の検出限界の調査』 青山学院大学 卒業論文
5. 『American Association of Variable Star Observers (AAVSO)』
<http://www.aavso.org/>

謝辭

The authors thank the Yukawa Institute for Theoretical Physics at Kyoto University, where this work was initiated during the YITP-W-12-08 on "Summer School on Astronomy & Astrophysics 2012".