

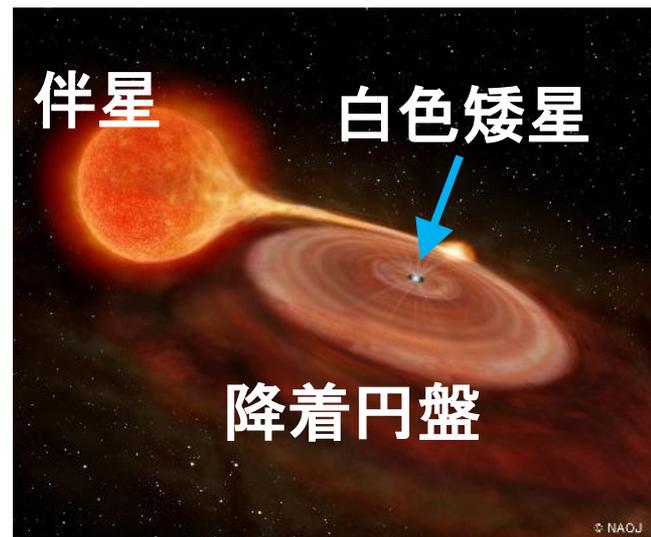
Swift とZTF archive data による 多波長モニタ一観測

磯貝 桂介 京都大学 岡山天文台 研究員

加藤太一, 小路口直冬, 若松恭行, 大西隆平, 野上大作 (京都大学),
河合誠之, 谷津陽一, 伊藤亮介, 村田勝寛 (東京工業大),
大島誠人 (兵庫県立大), 佐野康男, 伊藤弘, 清田誠一郎,
笠井潔 (VSOLJ), Geoff Stone, Tonny Vanmunster, Pavol A. Dubovsky,
Elena Pavlenko, 他 VSNET Collaborations

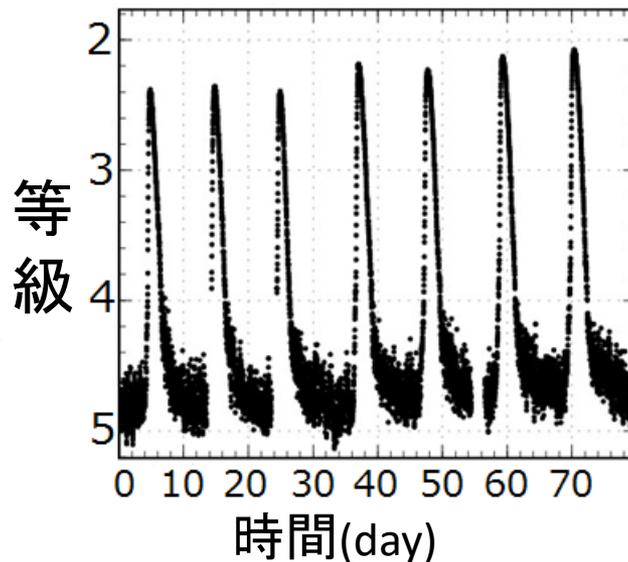
激変星

- 主星に**白色矮星**を持つ**近接連星系**
- 伴星からガスが流れ込み**降着円盤**を形成



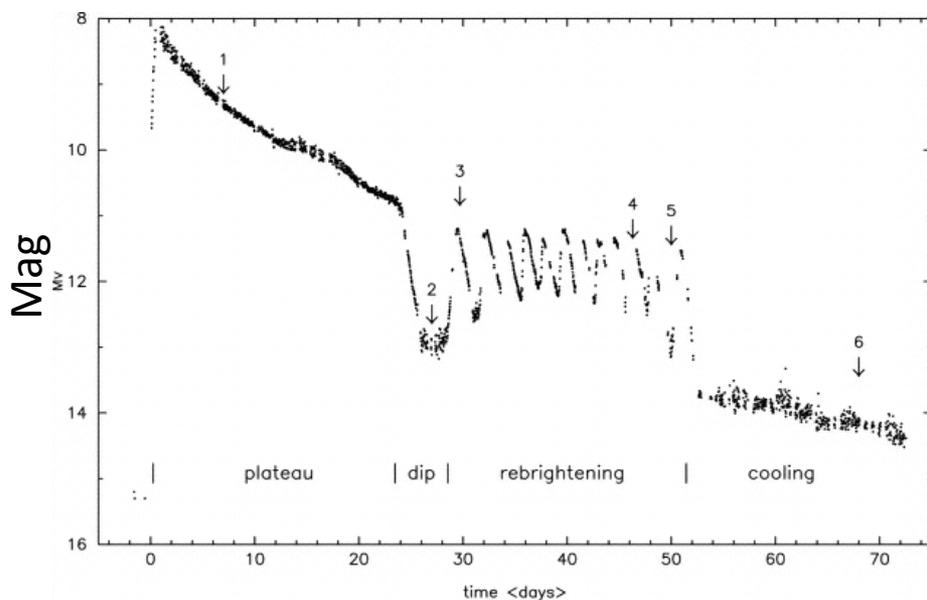
矮新星

- 激変星のsubclass
- 軌道周期1-9時間ほど
- **outburst**と呼ばれる、数等級の突発的な増光現象を起こし、
数日かけて減光する
- recurrence timeは数週間から数十年

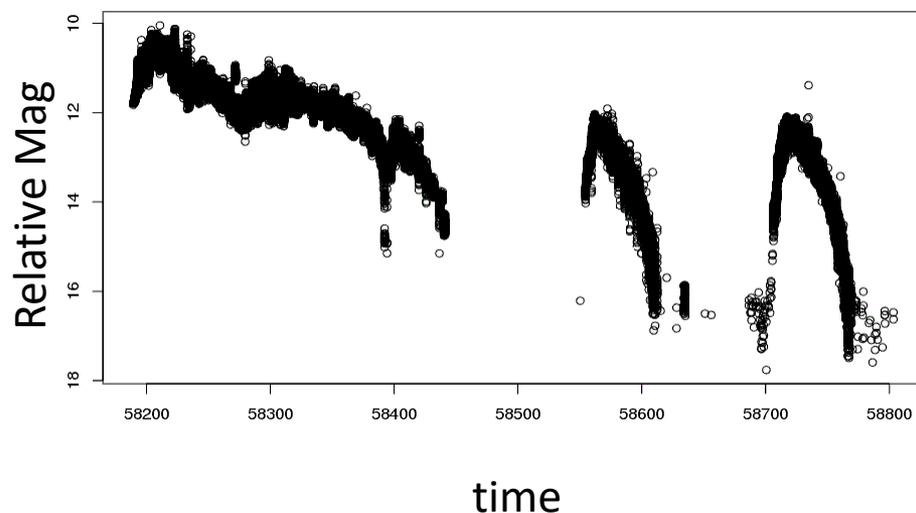


再増光の起源

- 一部の矮新星やX線連星は superoutburst 後に再増光を示す。



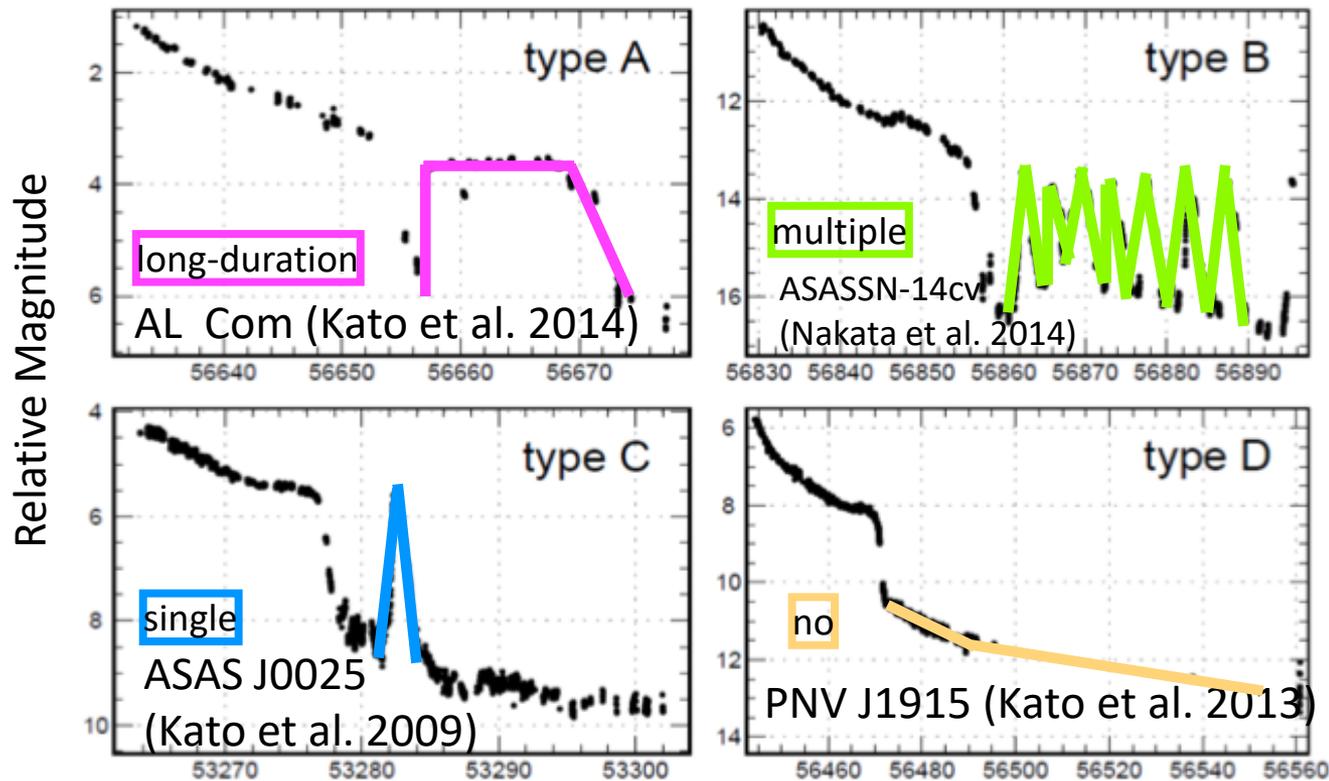
矮新星 WZ Sge (Godon+ 2004, data from VSNET)



ブラックホール連星 ASASSN-18ey
(Niijima+ in prep., data from VSNET)

再増光のタイプいろいろ

Kato (2015)



BJD-2400000

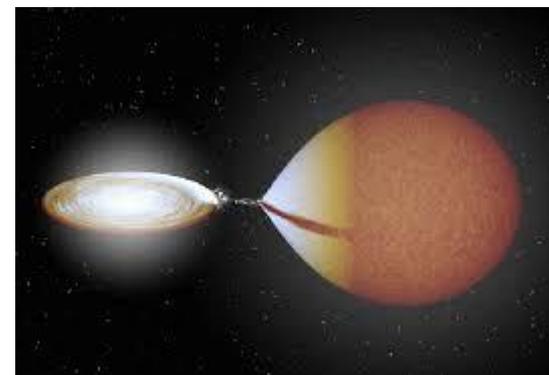
同じ天体は、(ほぼ)毎回同じ再増光タイプを示す。

⇒ **メインアウトバースト + 再増光**で、

ひとつのlimit cycleを形成している？

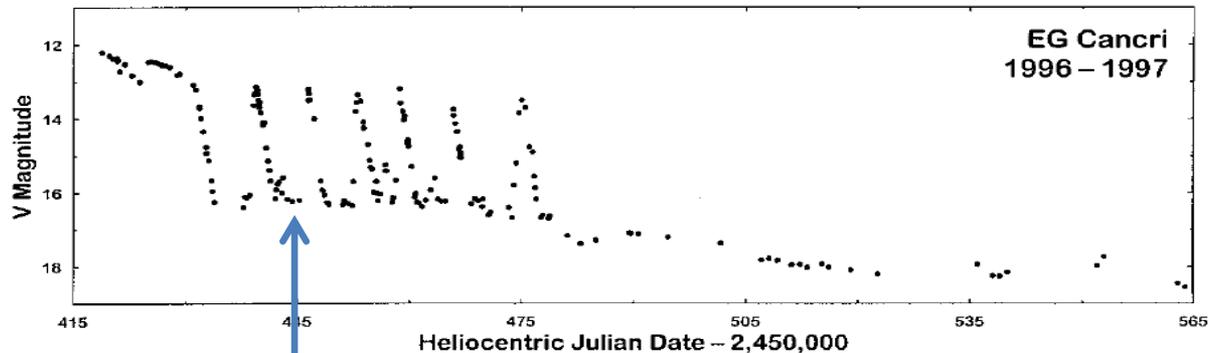
再増光モデル

- メインアウトバースト終了後すぐに、
何度も再増光を起こすためには
降着円盤に質量が供給されなければならない。
- **Enhanced Mass Transferモデル** (Hameury et al. 2000)
 - 伴星からの質量輸送率が一時的に上昇するモデル
 - アウトバーストによる照射で伴星が加熱されることで発生
 - 降着流が円盤にぶつかる点 (hot spot) が明るくなるはず
- **Mass Reservoirモデル** (Kato et al. 1998)
 - アウトバースト終了後に
大きく広がった円盤が残っており、
その円盤が徐々に内側に降り注ぐモデル
 - 低温の円盤成分が見えるはず



多色モニター観測

- 再増光を起こす前後の観測から、降着円盤の変化を調べることで再増光モデルに決着をつける。



ここで高温のhot spotが見えるか？
低温の円盤成分が見えるか？

(Patterson et al. 1998)

再増光のモニター観測の課題:

再増光を起こす天体は増光頻度が低く、ほとんどが新天体。
新天体は再増光を起こすかどうか事前に予測するのが難しく、
更にアウトバースト終了後は暗い(17-19等)ので
柔軟な観測が出来る小口径望遠鏡では観測が困難

- Zwicky Transient Facility (ZTF)による深い多色データ(g, r, i)を利用した

How to use ZTF data

公式サイト (<https://www.ztf.caltech.edu/>)

Public ZTF Events on the TNS
All ZTF Targets Confirmed SNe
Bright Transient Survey

ZTF Alerts
Public Archive Nightly Summaries

ZTF Public Data Release 3
Description Data Access Guide Data Access

Matching support from the National Science Foundation MSP program will enable public ZTF surveys, data releases, and annual

Technical Specifications

Telescope	Samuel Oschin 48-inch Schmidt, Palomar Observatory
Field of View	47 square degrees
Detectors	16 e2v 6k x 6k CCD231-C6
Pixel size	15 micron
Pixel scale	1.0"/pixel
Median Delivered Image Quality	2.0" FWHM
Exposure Time	30 sec
Readout Time	10 sec
Median Time Between Exposures	15 sec
Median Single Visit Depth (5 sigma, R band)	20.4 mag (all lunar phases)
Filters	ZTF g, ZTF r, ZTF i
Areal Survey Rate	3750 square degrees/hour

データアクセス

Public Data Release 3

マニュアル

Contents

- Summary of the ZTF Surveys
 - Acknowledging ZTF and Referencing Data Product usage
- Scope of this Release
- Summary of Data Products
- File-based Product Statistics
- Source and Lightcurve Statistics
- DR3 Sky Coverage
- Lightcurve products: timespans, cadence, and epoch distributions
- File-based Product Listings in Archive
 - Single-Exposure Image Products
 - Reference Image Products
 - Other File Products
- Epoch-based Data Quality Flags and Filtering
 - Quality Filtering of Single-Exposure File Products
 - Quality Filtering of Epochs in Lightcurves
- What you should know about the ZTF Release Products
- Extended (detailed) Advisories and Cautionary Notes

irsa NASA/IPAC INFRARED SCIENCE ARCHIVE
IRSA | DATA SETS | SEARCH | TOOLS | HELP Login

IRSA services will be unavailable for scheduled maintenance on Tuesday, 1 December 2020, from 8a-12p (PST)

Zwicky Transient Facility

ZTF CATALOGS VO/API DOCUMENTATION

ZTF Image Access Catalog Search ZTF Program Interface ZTF Documentation

Mission Characteristics

Survey Duration: Feb 2018 -
Partners: Caltech, IPAC, the Weizmann Institute for Science, the Oskar Klein Center at Stockholm University, the University of...

Schematic of the workflow

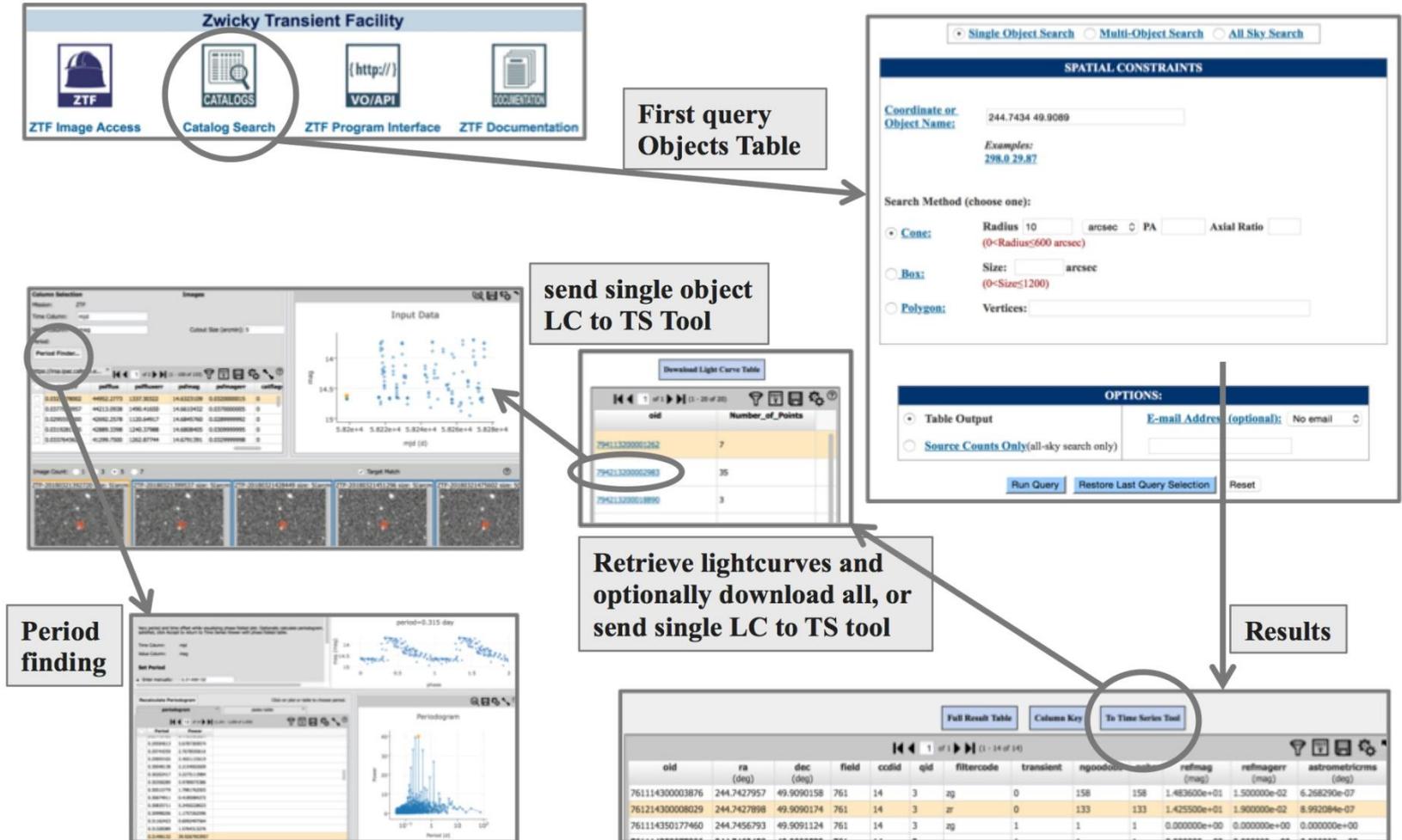


Figure 5 in <https://www.ztf.caltech.edu/page/dr3#12>

生画像チェック

IRSA | DATA SETS | SEARCH | TOOLS | HELP

Pixel Size: EQ-12000: Image Pixel

Lock by click

Background Monitor

Prepare Download

Column Selection

Mission: ZTF

Time Column: mjd

Value Column: mag

Cutout Size (arcmin): 5

Period:

Period Finder...

https://irsa.ipac.caltech.e... x

1 of 2 (1 - 100 of 121)

oid	expid	hid	mjd	maq	mag
592107300047747	56538020	2458319.884977372	58319.380208300000	15.3249741	0.0162
592107300047747	56842494	2458322.929752144	58322.424942100000	15.2373390	0.0161
592107300047747	57141216	2458325.917002923	58325.412164400000	15.2651978	0.0162
592107300047747	57444611	2458328.950966534	58328.446111100000	15.1524801	0.0160

mag

Input Data

mjd (d)

データをクリックすると
生画像が表示される

Image Count: 1 3 5 7

Target Match

ZTF-20180723424931-zg size: 5(arcmin) FOV: 9.4'

ZTF-20180726412153-zg size: 5(arcmin) FOV: 9.4'

ZTF-20180729446100-zg size: 5(arcmin) FOV: 9.4'

ZTF-20180801309491-zg size: 5(arcmin) FOV: 9.4'

ZTF-20180807372593-zg size: 5(arcmin) FOV: 9.4'

これをクリックすると
画像拡大

生画像チェック

- 邪魔なマーカーは下図の赤丸を上から順にクリックすると消える

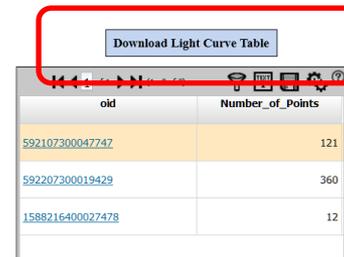
The screenshot displays the IRSA Time Series Tool: Viewer interface. The top navigation bar includes the IRSA logo, menu items (IRSA, DATA SETS, SEARCH, TOOLS, HELP), and a Login button. The main area shows a grid of astronomical images. A central 'Layers' panel is open, listing two layers: 'ZTF-20190620475752-zg size: 5(arcmin) Image' and 'https://irsa.ipac.caltech.edu/cgi-bin/q2p/nph-q2p?dataid=ou&pr...'. Red circles highlight a yellow crosshair marker in the top-left image and a red square marker in the top-right image. The interface also features a toolbar with various icons, a 'Background Monitor' button, and a 'Target Match' checkbox.

Download

- まとめてDL (fits形式)

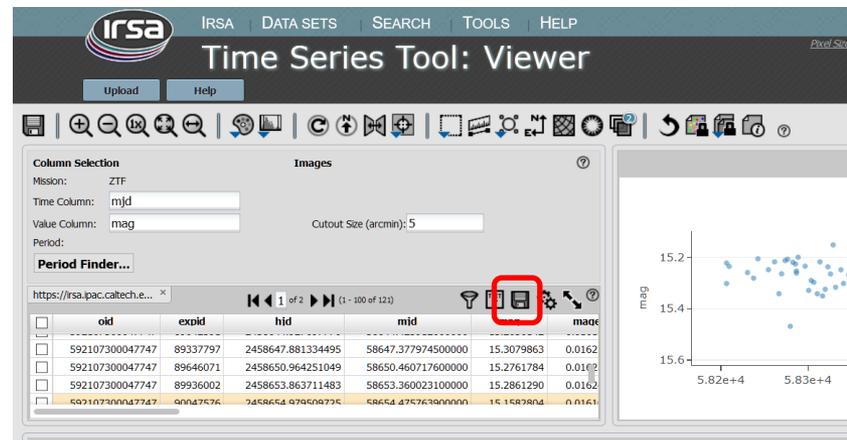
List of Sources with Light Curves

Depending on the search size, your query may have resulted in multi-epoch measurements for more than one source. Each unique source is listed below. Click on a *oid* to interactively visualize the light curve for that source using IRSA's Time Series Tool.



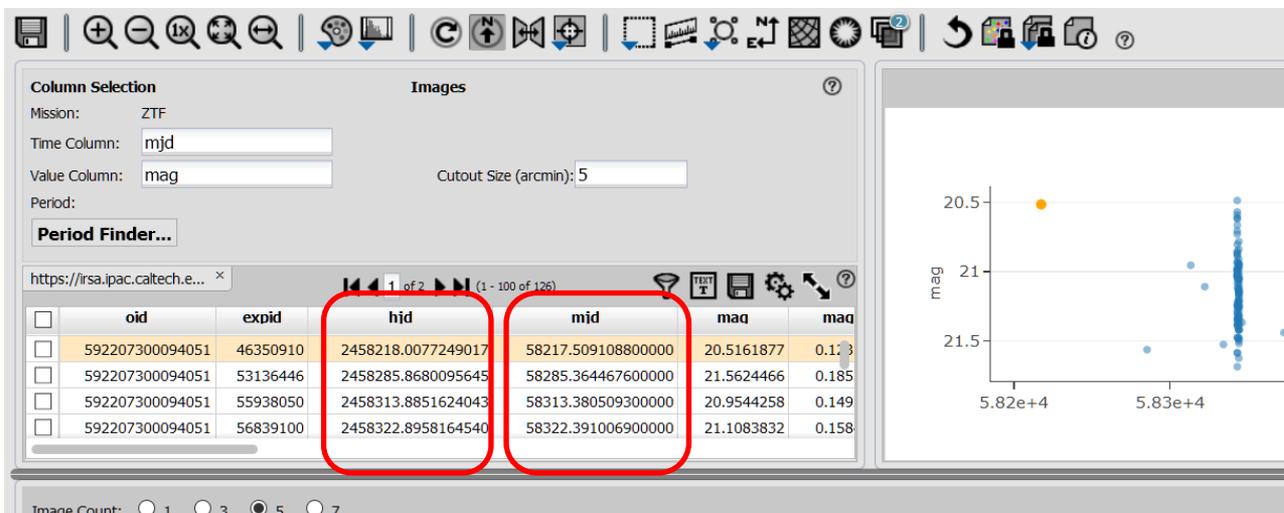
oid	Number_of_Points
592107300047747	121
592207300019429	360
1588216400027478	12

- Time Series Toolから1つずつDL (ASCII形式)



ZTF dataの注意点

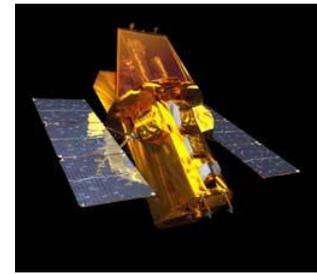
- HJDは積分中央時刻
MJDは積分開始時刻



積分時間の情報はexptime columnにある(基本的に30sec)

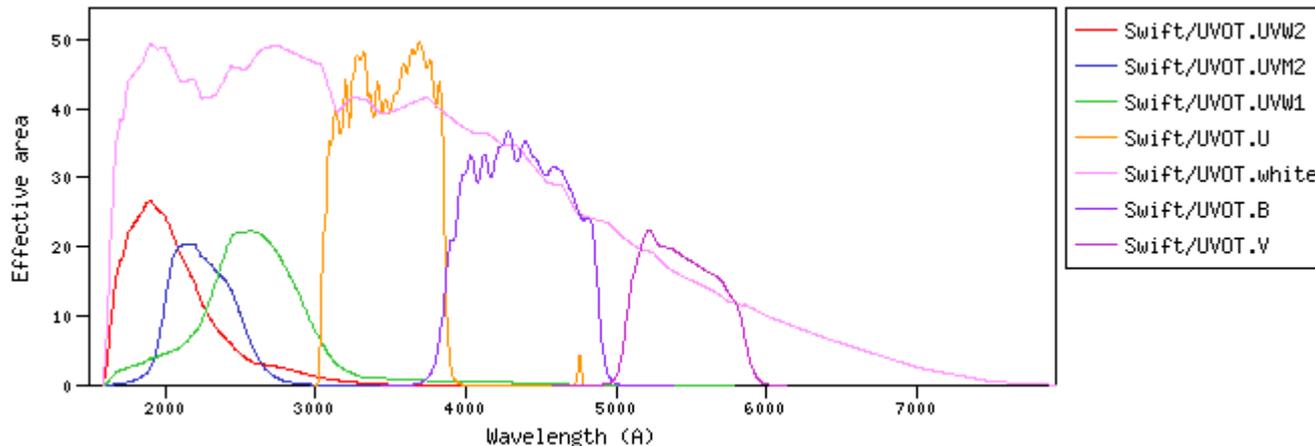
- $JD = MJD + \text{exptime} / 2 / 86400 + 2400000.5$
- その他、より詳しいマニュアル:
https://irsa.ipac.caltech.edu/data/ZTF/docs/ztf_pipelines_deliverables.pdf

Swift UVOT



NASA

- 矮新星の降着円盤全体を見るには紫外～近赤外が必要。
(中心星が白色矮星なのでそこまで高温にならない)
- 紫外線は地上からは観測が困難。
- Swiftが搭載する紫外～可視観測装置UVOT



UVOT filters (SVO Filter Profile Service)

- 地上望遠鏡のU bandより短波長側を見ることが出来る！

Swift UVOTによる再増光モニター

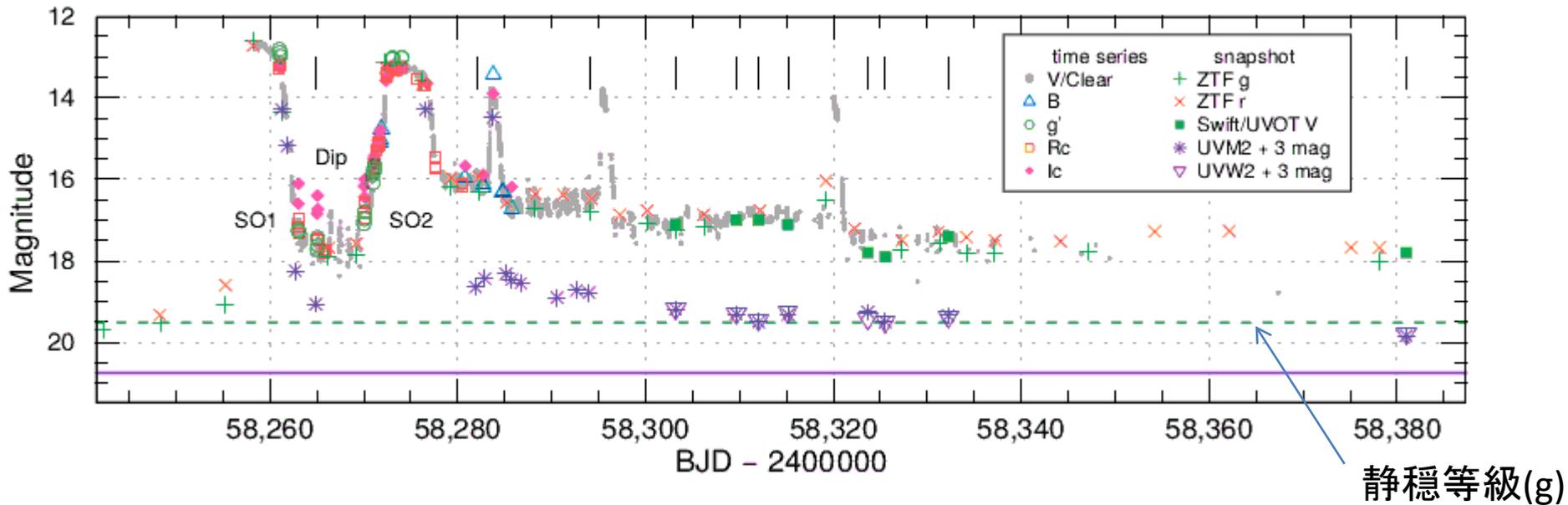
- X線グループが矮新星の再増光前後をSwiftで観測していた。X線論文は出版済みだが、降着円盤にとって大事な紫外はlight curveが載せられているだけで、**一切解析に使用されていなかった**。
- 自力で解析したかったがやり方が分からず仕方なくX線論文のtableの値をそのまま使うことに...
- 今回のような研究会があればハードルが大きく下がる。

後に志達さんに教えて頂いたUVOT 解析用リンク一覧

- UVOT Data Analysis:
<https://www.swift.ac.uk/analysis/uvot/index.php>
- 解析ツール HEASoft:
<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/software/heasoft/>
- CALDB(校正用データベース):
<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/caldb/install.html>
- UVOTの CALDB:
https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/caldb/caldb_supported_missions.html

多色モニタ一観測の結果

- ZTFのpublic data (g, r, i band)
+ swiftのUV (一部 U, B, V)
+ 東工大岡山MITSuME(g, Rc, Ic)

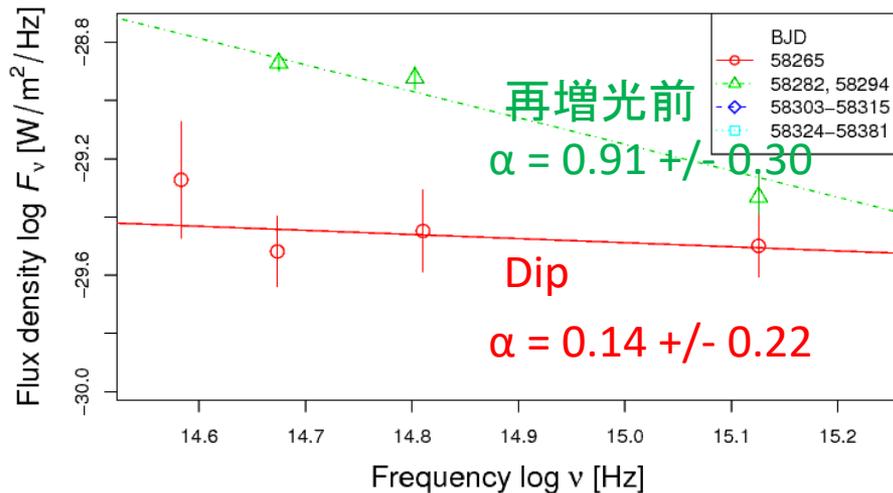


- 再増光を起こさなくなるまで、長期の多色データが得られた。
- 再増光前後の円盤の色変化から、円盤の状態を推定できる。

スペクトル指数

- ただし、SED解析をするにはデータが心もとない
 - 多色といいつつ可視 + 紫外の3~6色だけ
 - 観測期間によってフィルター・装置が異なる
- 色指数の代わりにスペクトル指数 α を使う。

スペクトル指数の定義: Flux density $F_\nu \propto \nu^{-\alpha}$



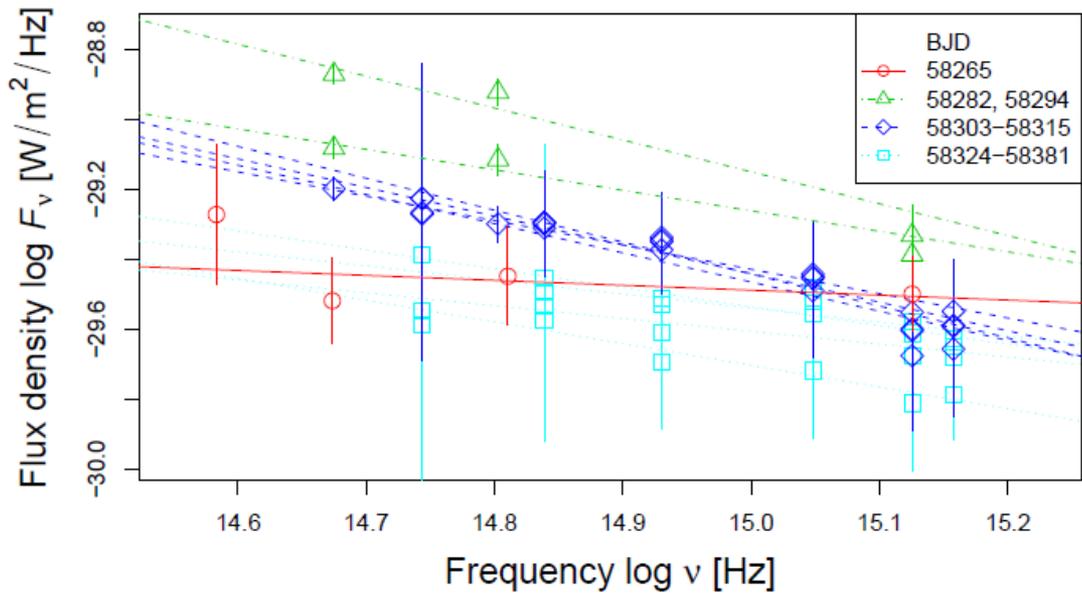
傾きが色、切片が明るさを意味している。
Black Bodyを仮定すると、それぞれ
温度、面積に対応する。

色指数と等級で
評価するのとあまり変わらないが、
多少は情報量が増えてうれしい。

スペクトル指数(全体)

α の値一覧

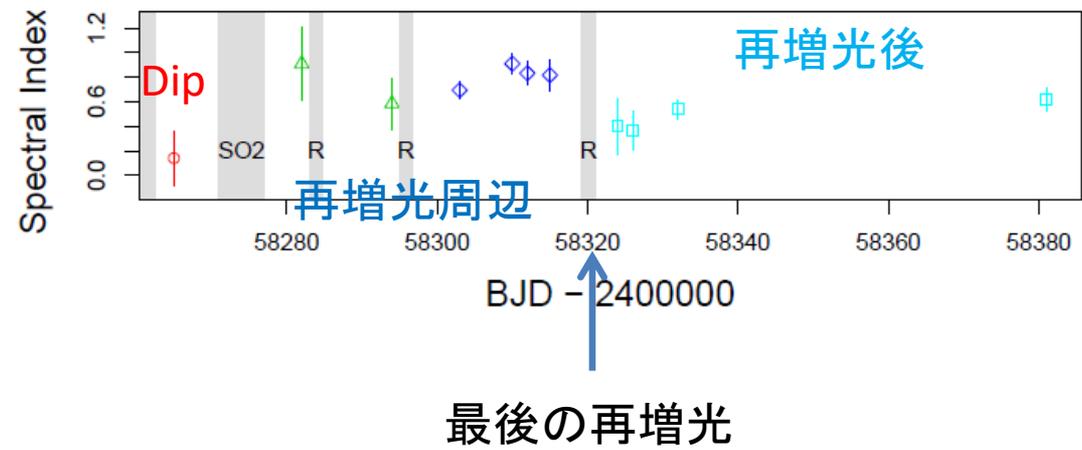
Date*	α	$\bar{\alpha}^+$	Phase
264.98	0.14(22)	0.14(22)	dip
282.13	0.91(30)		
294.14	0.59(21)		
303.20	0.696(67)	0.789(42)	between rebrightenings
309.65	0.911(85)		
312.09	0.834(93)		
315.16	0.82(12)		
323.66	0.40(23)		
325.52	0.37(16)	0.540(54)	after the last rebrightening
332.22	0.539(79)		
380.98	0.620(90)		



最後の再増光の前後で
優位な色の変化が見られた。

Enhanced Mass Transferが
正しいとすると、最後の
再増光によって質量輸送が
止まったことになる。

貯まったmassを使い果たしたと
解釈するのが自然。
つまり、赤くなる原因は円盤。



最後の再増光

まとめ

- ZTFは広範囲を限界等級 20mag程度で多色サーベイしており、予測が難しい突発天体の色変化を調べるのに最適。
- SwiftはX線衛星というイメージが強いが突発天体の紫外観測でも威力を発揮する。
- ZTF, Swiftいずれもarchive dataを利用しただけだが、再増光を紫外～可視でモニター観測できたのは今回が初。
- 今回のような研究会を通じて公開データの利用方法に明るくなれば研究の幅が広がる。