

望遠鏡の連携観測・自動化編

101cm
(半自動)



伊藤亮介
(美星天文台/広島大学)
2024-3-8@OISTER workshop

7cm
(リモート/ロボット)

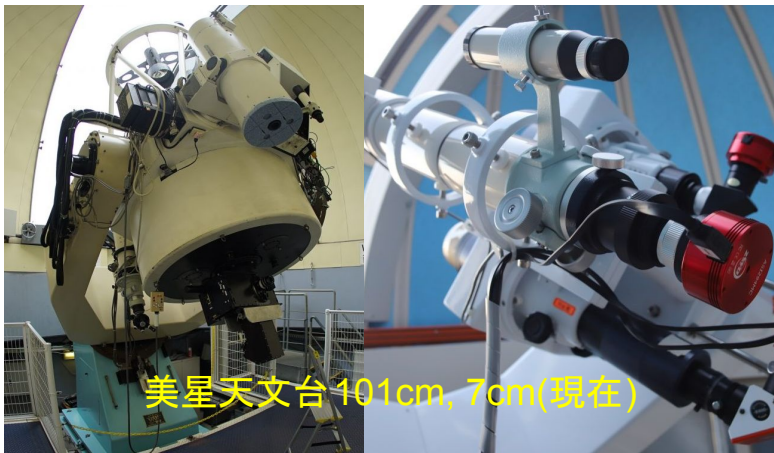
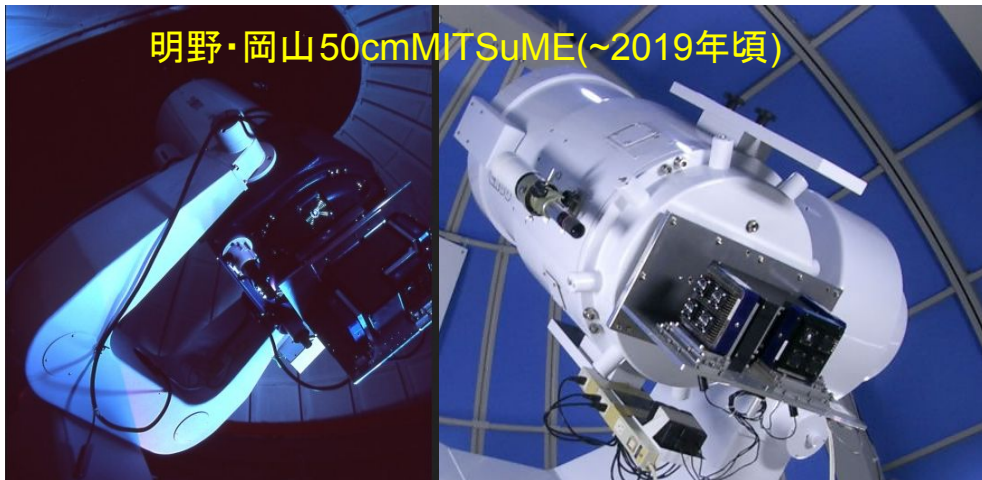


これまで携わってきた(半)自動観測システムたち

広島大学/かなた望遠鏡 (~2013年頃)



明野・岡山50cmMITSuME (~2019年頃)



美星天文台 101cm, 70cm(現在)

Caltech | GROWTH
Global Relay of Observatories Watching Transients Happen

J-GEM (Japanese collaboration for Gravitational-wave Electro-Magnetic follow-up)

Extension of A02 project of the innovative area
"Multi-messenger Observations of GW sources"

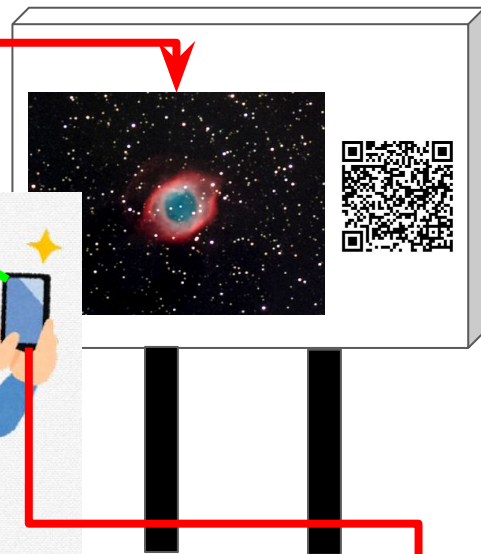
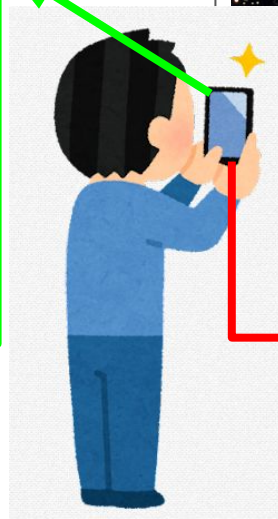
Main features:
5 deg² opt. imaging w/ 1m
1 deg² NIR imaging w/ 1m
opt-NIR spectroscopy w/ 1-8m
opt-NIR polarimetry

- 1m Kiso Schmidt telescope
- 8 deg² camera → 36 deg²
- 1.5m Kanata telescope
- 2m Nayuta telescope
- 50cm MITSuME
- 91cm OAO-WFC of NAOJ
- Yamaguchi 32m radio telescope

ToO特化
マーシャルシステム

美星天文台7cmロボット

館内モニター



入館者がスマホで簡単に操作可



美星天文台7cmロボット



空き時間にメシエ天体などをパトロール観測

1年で250時間程度観測
割り込み観測にも対応



美星天文台のリモート環境

望遠鏡操作UIについては、HTML化完了済

メリット:

ITに不慣れな利用者でも、ブラウザ一つで望遠鏡動かせる

デメリット:

セキュリティ対策はしっかりと

かなた望遠鏡(AutoBlazar, ~2013)

偏光撮像マスク(HOWPol, 1' x 15')

ブレーザー天体のモニター観測用

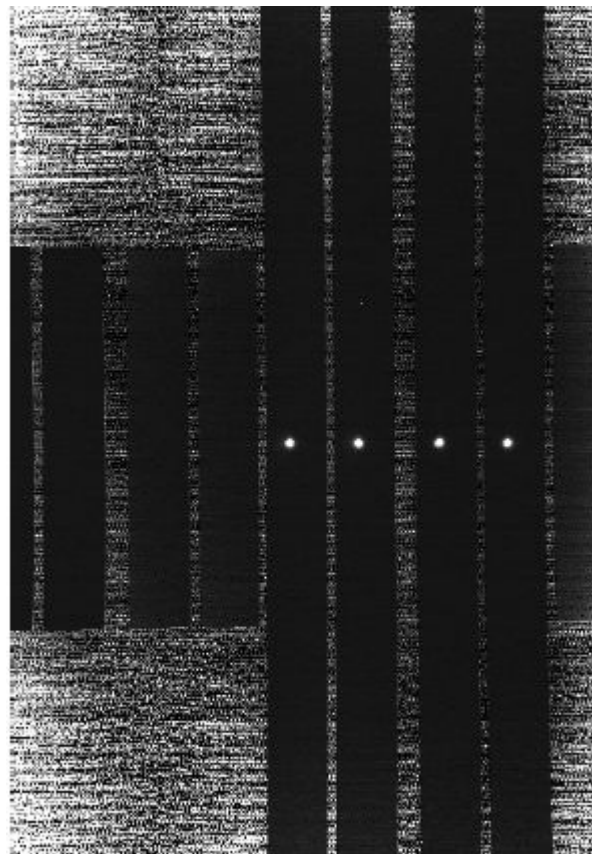
- 撮像・偏光・分光観測を自動化

天体位置の特定・簡易測光のS/Nから
露出時間決定

天体同定が課題

視野が特殊で、一般的なplate solver
(astrometry.net等)では、同定が困難

比較星も同一視野に入れる場合は、視野
回転も考慮に入れる



かなた望遠鏡/HONIR

可視近赤外同時撮像・分光・偏光

やれることが多いと、自動化も大変

特に近赤外線

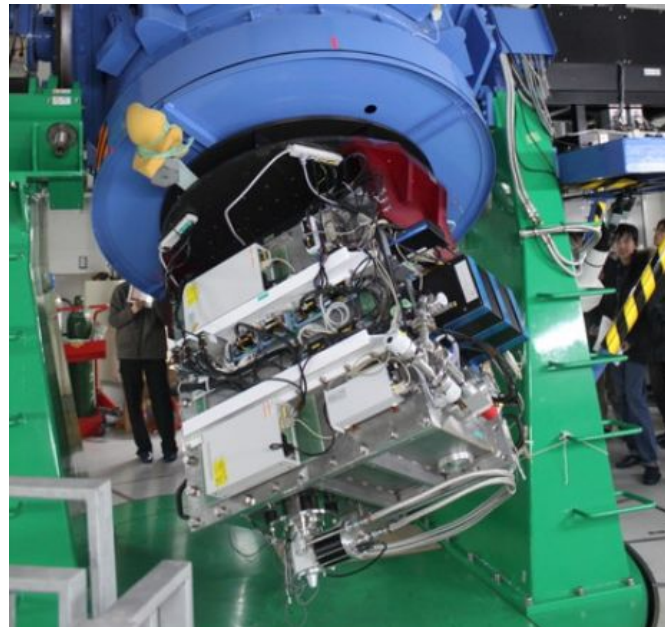
Skyを引かないと天体同定が困難

可視と比べるとノイズ大

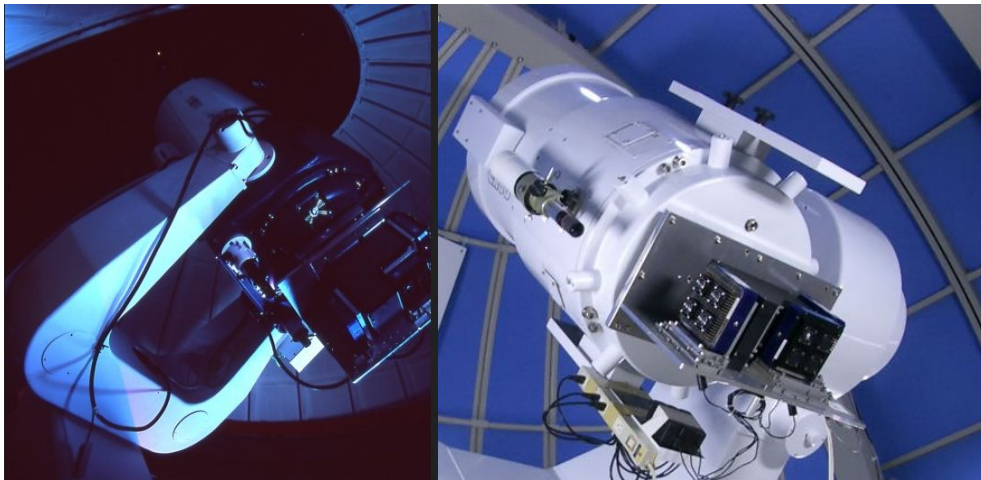
露出時間の調整(可視との同時撮像)

分光の場合はsky用nodding

装置が正常に動いているかのモニター



MITSuME明野・岡山統合観測システム(通称 AO² Akeno Okayama Auto Obs)

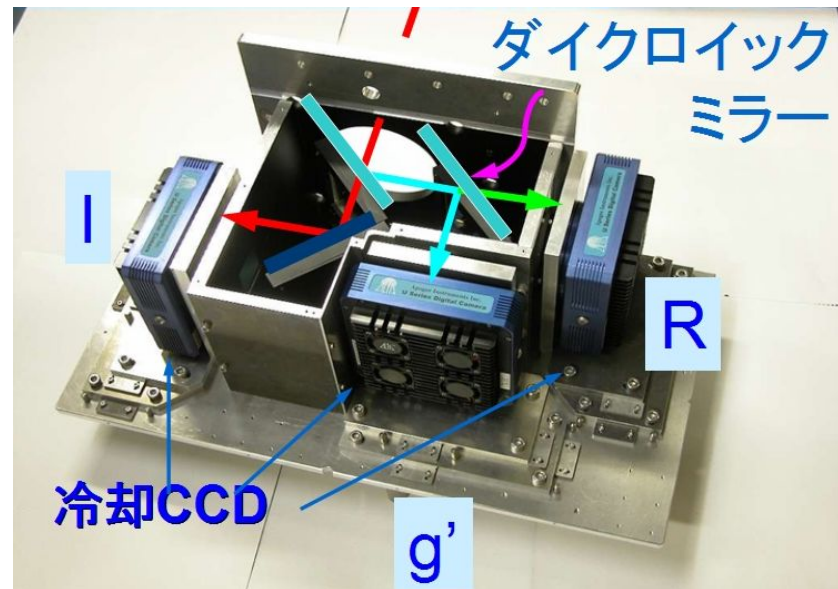


完全ロボット望遠鏡

観測装置は 3色同時カメラ

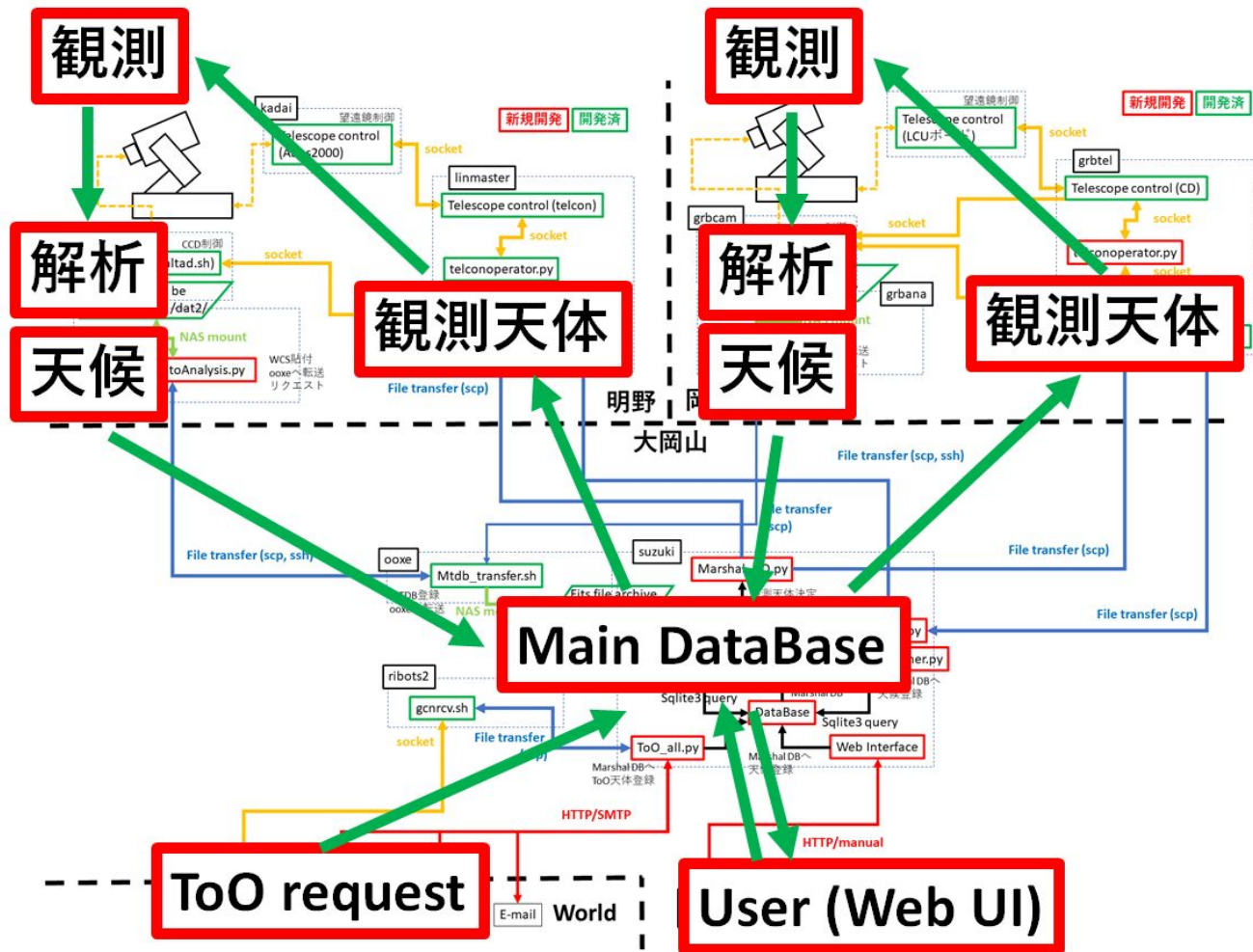
広視野・フィルター交換なし・可視光
=> すごく自動化が楽

従来のシステム
GRBがメインターゲットで、
他のToOイベントは対応がしにくかった

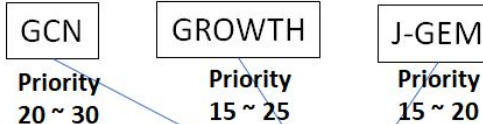
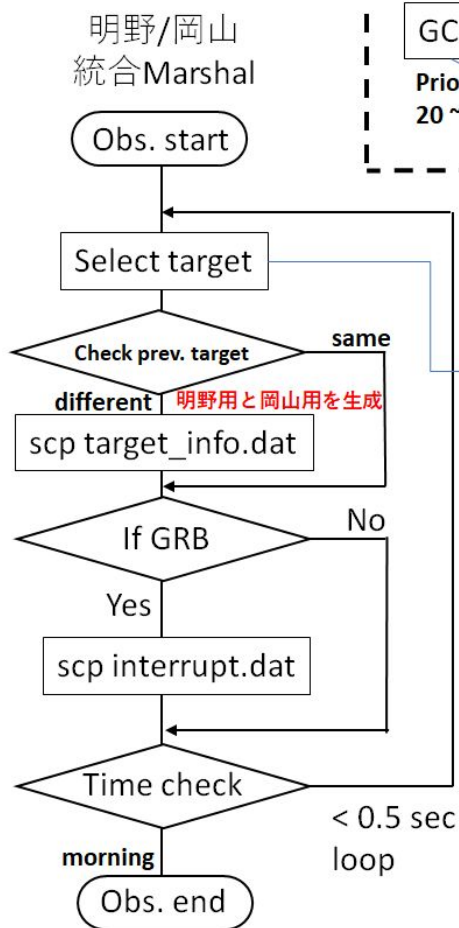


Basic Concept

- 望遠鏡操作と観測計画立案を完全分離
- GRB, GW, IceCube etc...を含む多種多様な観測を一元管理
- 観測計画は1秒ごとに更新
- 各観測所のリアルタイム天候・撮像状況に応じて柔軟に観測計画を構築

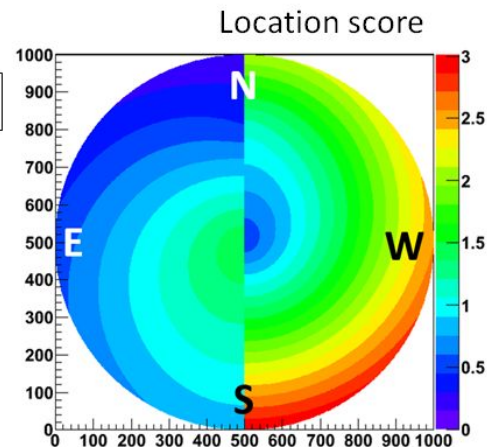


03 観測プラン



ToO collector

Akeno & Okayama
Target list DB

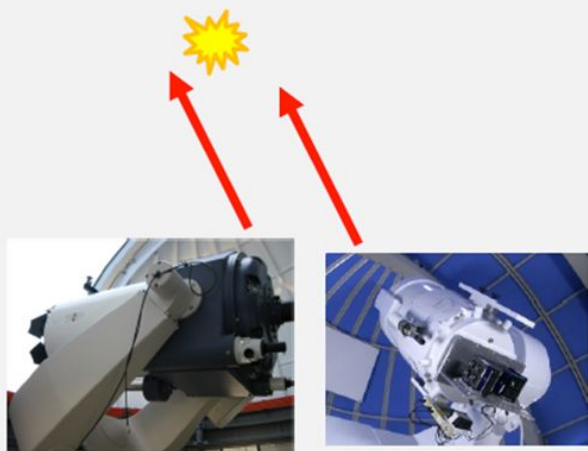


1. J-GEM galaxy list の天体**全て**を target listへ登録
2. J-GEM galaxy listでobs-flagがついたものを target list から削除(観測flag=Nへ変更)
3. 観測しやすい天体を1つ選定 (priority & visibility)
4. J-GEM galaxy listへ“reserve”登録
5. 観測
6. 取得画像の質判定 (写った星の数)
7. 十分なデータが取れたらJ-GEM galaxy listへ“observed”登録
8. 次のステップへ

明野・岡山50cm望遠鏡の連携観測

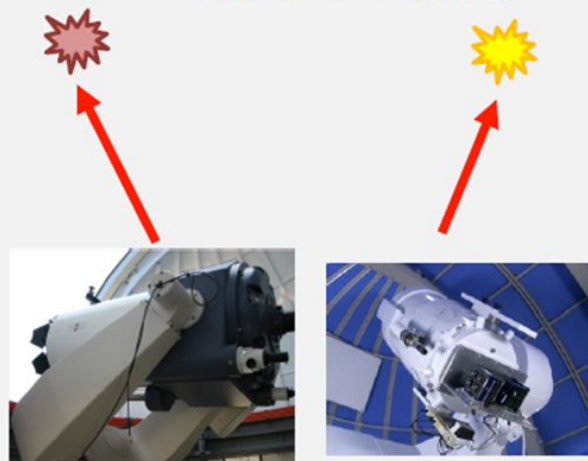
2017年11月より岡山天体物理観測所のMITSuME 50cm望遠鏡と連携した2台体制での観測を開始

2台で同一天体観測



時間にクリティカルな観測 etc.
→ 天候リスクの回避

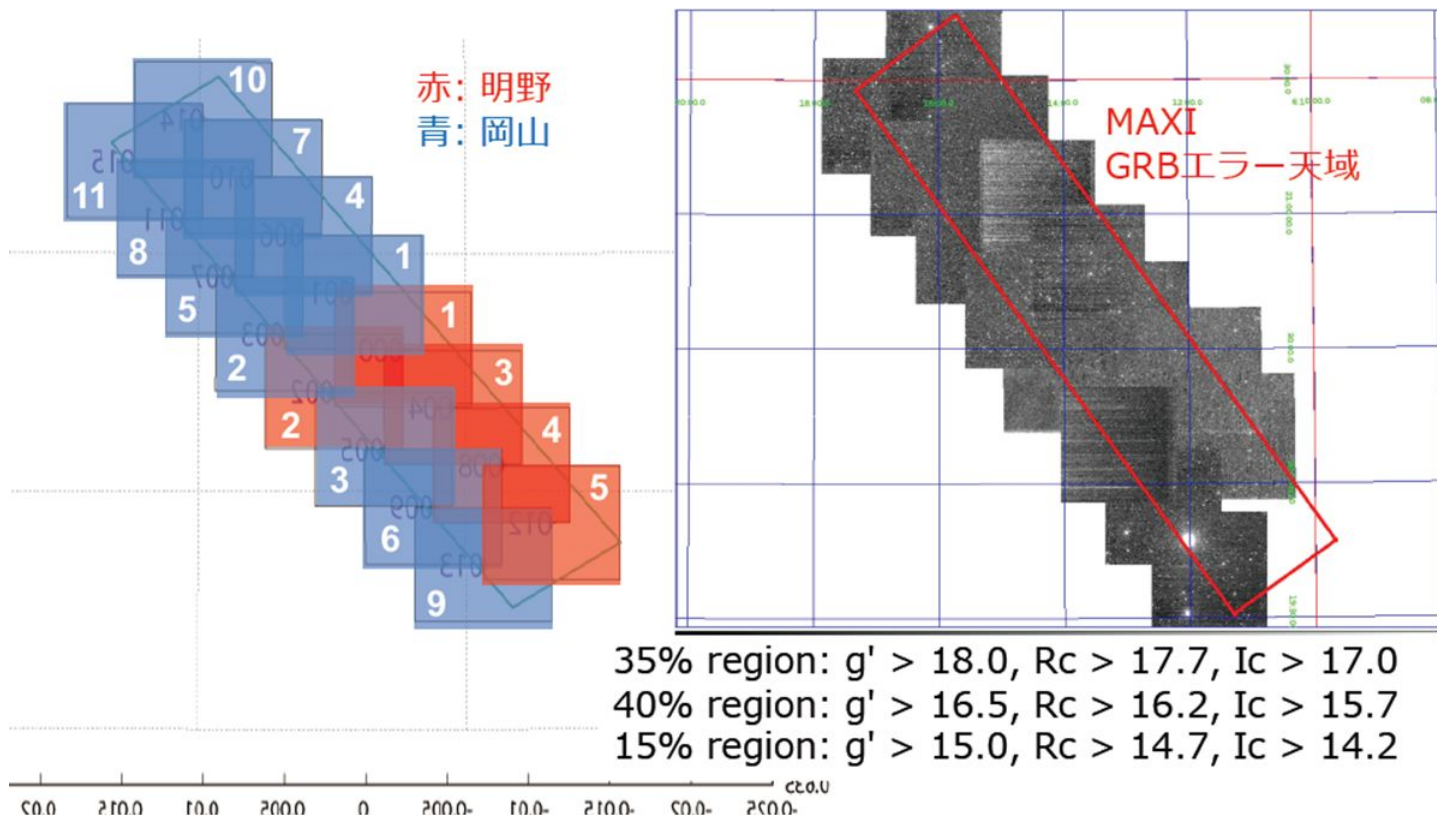
2台で別天体観測



個々の天体の密なモニター観測
モニター観測可能な天体数の増加

連携観測の例 : MAXI GRB 181011A

明野・岡山の連携観測でMAXIエラー天域の90%以上をカバー
限界等級をGCNに報告(Adachi+2018, GCN#23345)



User Interface

webでDBを
管理

天体管理を
より手軽に

New AutoObs page test

192.168.1.108/AutoObs/

80%

検索

Marshal Marshal Database GRB ToO Mail ToO GROWTH J-GEM ToO MAXI ToO
Akeno Telescope CCD AutoAna Okayama Telescope CCD AutoAna

Akeno memo 通常観測 Okayama memo sobs運用 (ドームPC用JPS故障したが、別JUP change Time stamp; 2018/03/16 14:28:15 JST None

[Show schedule](#)
[Target List](#)
[ToO List](#)
[Add target](#)
[Manual](#)

[Akeno status](#)
[Okayama status](#)
[MTDB](#)
[J-GEM](#)
[GROWTH](#)
[GCN](#)

Search box e.g. 3C454.3 (objectname, priority, telescope, pi, ...)
or R.A. hh:mm:ss or dd.dd and Decl. dd:mm:ss or dd.dd within 10.0 arcmin (hh:mm:ss or dd.ddd)
show all obsflag=Y obsflag=N

Search: Total: 303 Objects
Multi-updater: select and

	Obsflag	Object ↑↓	Priority ↑↓	R.A. ↑↓	Decl. ↑↓	Exp. ↑↓	Set # ↑↓	Dith. ↑↓	Interval ↑↓	Telescope ↑↓	Start Time [UT] ↑↓	End Time[UT] ↑↓	HPO ↑↓	PI ↑↓	Updated time (JST) ↑↓
<input type="checkbox"/>	Y	GRB180316-2	30.0	17:41:42.0	+00:44:53.0	60.0	200.0	5	0.5	ALL	00:00:00	24:00:00	Y	ToO_GRB.py	2018/03/16 14:16:34
<input type="checkbox"/>	Y	GRB180316-1	30.0	17:41:42.0	+00:44:58.0	60.0	200.0	5	0.5	ALL	00:00:00	24:00:00	Y	ToO_GRB.py	2018/03/16 13:59:28
<input type="checkbox"/>	Y	MAXI J1820+070	30.0	18:20:20.0	+07:11:07.0	60.0	200	5	0.5	AKENO	00:00:00	24:00:00	Y	ToO_GRB.py	2018/03/15 15:03:20
<input type="checkbox"/>	Y	GRB180314-6	30.0	19:51:31.0	+23:37:25.0	60.0	200	5	0.5	OKAYAMA	00:00:00	24:00:00	Y	ToO_GRB.py	2018/03/15 14:48:19
<input type="checkbox"/>	Y	GRB180314-5	30.0	19:51:34.0	+23:37:20.0	60.0	200.0	5	0.5	ALL	00:00:00	24:00:00	Y	ToO_GRB.py	2018/03/15 07:25:32
<input type="checkbox"/>	Y	SN 2018zd	15.0	06:18:03.0	+78:21:52.0	60.0	10	5	0.5	AKENO	13:00:00	16:00:00	N	Tachibana	2018/03/13 18:57:17
<input type="checkbox"/>	Y	MAXI J1813-095	15.0	18:13:30.0	-09:31:59.0	60.0	20	5	0.5	ALL	none	none	Y	None	2018/02/22 09:47:47
<input type="checkbox"/>	Y	3A0620-003	5.0	06:22:44.0	+00:20:44.0	60.0	3	5	3.0	ANY	none	none	Y	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	Swift J1753-0127	5.0	17:53:28.0	-01:27:08.0	60.0	5	6	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	MAXI J1910-054	5.0	19:10:17.0	-05:47:06.0	60.0	10	6	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	Swift J1357-0933	5.0	13:57:16.0	-09:32:38.0	60.0	5	5	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	MAXI J1659-152	5.0	16:59:00.0	-15:15:27.0	60.0	5	6	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	MAXI J1836-194	5.0	18:35:43.0	-19:19:12.0	60.0	5	6	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	XTE J1818-245	5.0	18:18:24.0	-24:32:17.0	60.0	5	5	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	GRS 1716-249	1.0	17:19:35.0	-25:01:02.0	60.0	9	6	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	MAXI J1828-249	5.0	18:28:58.0	-25:01:44.0	60.0	3	6	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	H1705-250	5.0	17:08:14.0	-25:05:30.0	60.0	5	5	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	V4641 Sgr	5.0	18:19:21.0	-25:24:25.0	60.0	5	5	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	XTE J1817-330	5.0	18:17:43.0	-33:01:07.0	60.0	5	5	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	XTE J1859+226	5.0	18:58:41.0	+22:39:29.0	60.0	5	5	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	GS2000+241	5.0	20:02:49.0	+25:14:11.0	60.0	5	5	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21
<input type="checkbox"/>	Y	GRO J0422+32	5.0	04:21:42.0	+32:54:27.0	60.0	5	5	3.0	ANY	none	none	N	Kawai	2018/02/05 18:18:21

Marshal	Marshal	Database	GRB ToO	Mail ToO	GROWTH	J-GEM ToO	MAXI ToO
Akeno	Telescope	CCD	AutoAna	Okayama	Telescope	CCD	AutoAna

Akeno memo 通常観測 Okayama memo sobs運用 (ド→ム内PC用UPS故障した) change Time stamp; 2018/03/15 17:50:12 JST None

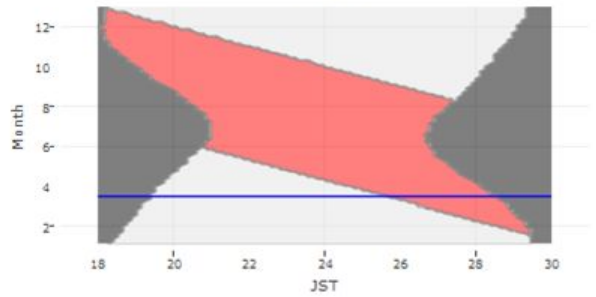
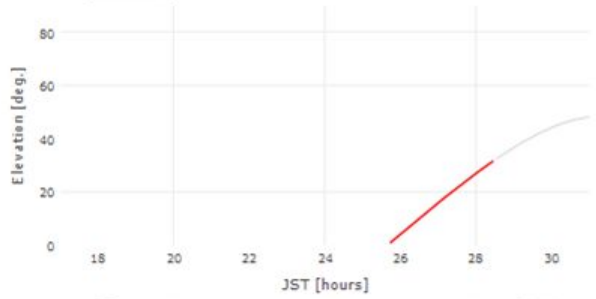
天体毎の個別情報

- [Show schedule](#)
- [Target List](#)
- [ToO List](#)
- [Add target](#)
- [Manual](#)
-
- [Akeno status](#)
- [Okayama status](#)
- [MTDB](#)
- [J-GEM](#)
- [GROWTH](#)
- [GCN](#)

object	MAXI_J1910-054
obsflag	Y
Priority	5.0
R.A.	19:10:17.0
Decl.	-05:47:06.0
interval	3.0
start time	none
end time	none
set number	10
dither pattern	6
exposure	60.0
Telescope	ANY
PI	Kawai
HPO	N
Update	2018/02/05 18:18:21

[Modify this information](#)

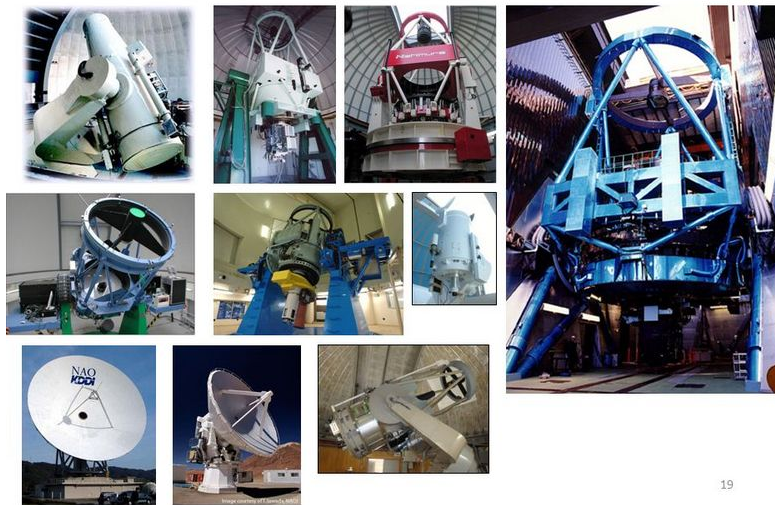
Visibility at 180315 (Red: alt>0deg, Yellow: Today obs)



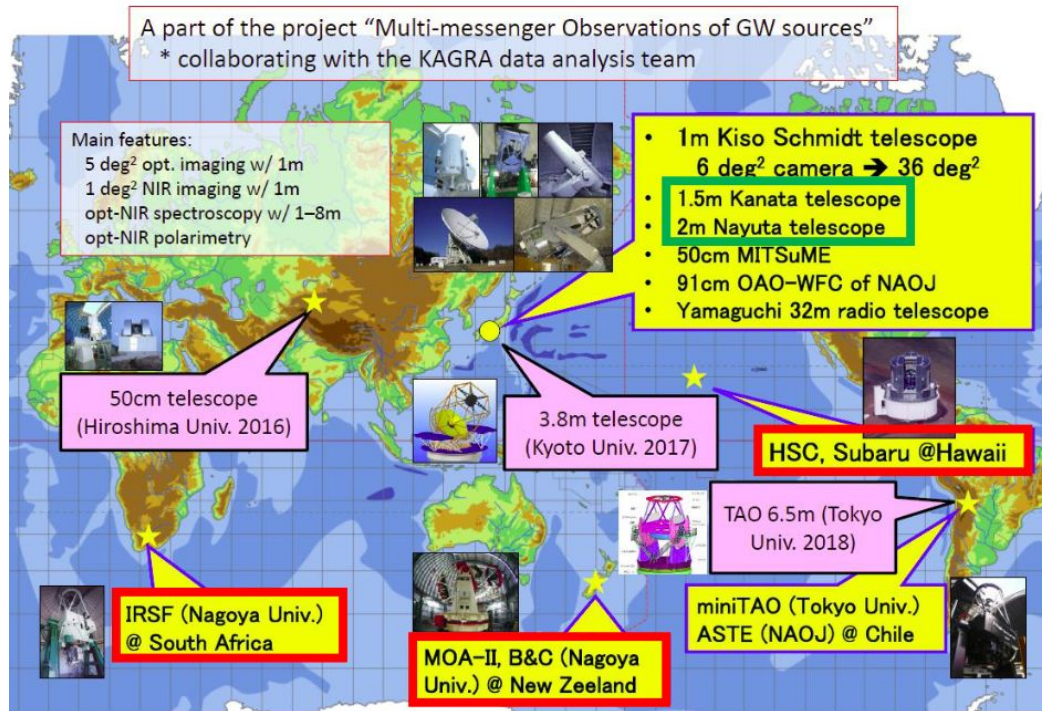
Light curve



J-GEM



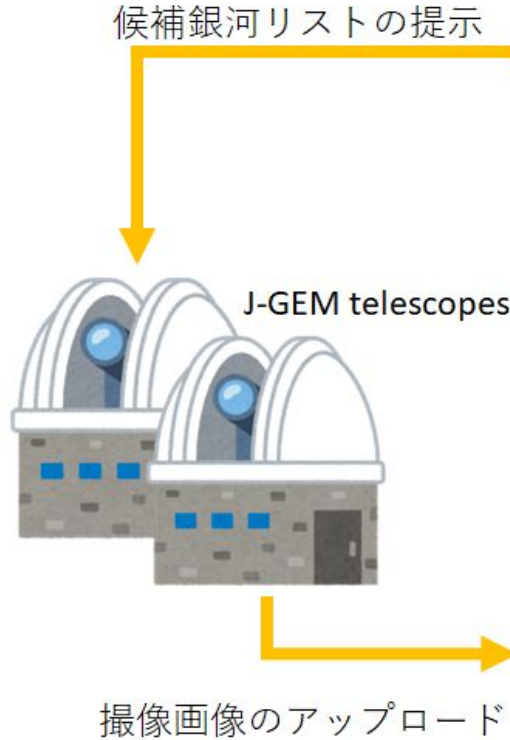
19



特徴:手動望遠鏡と自動望遠鏡がごちゃまぜ
観測モードもごちゃまぜ

J-GEM planner/ Image Server

複数望遠鏡を
使ったの
効率的な
領域探査



planner@Hiroshima



新天体の
有無の登録



Image Server@TITECH

J-GEM メンバーによる
目視による新天体探査



J2000 06 19 26.702 -06 38 15.25

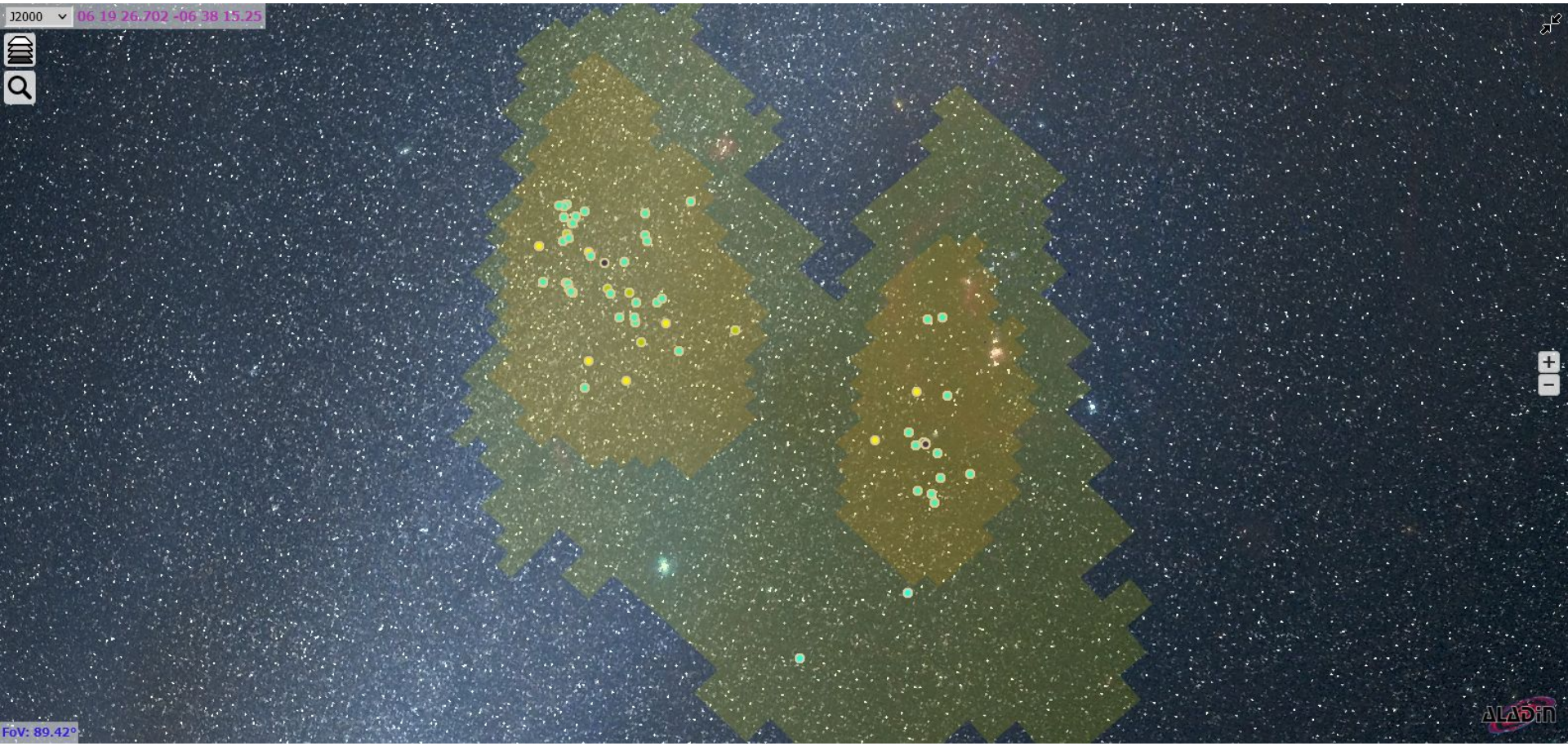


32

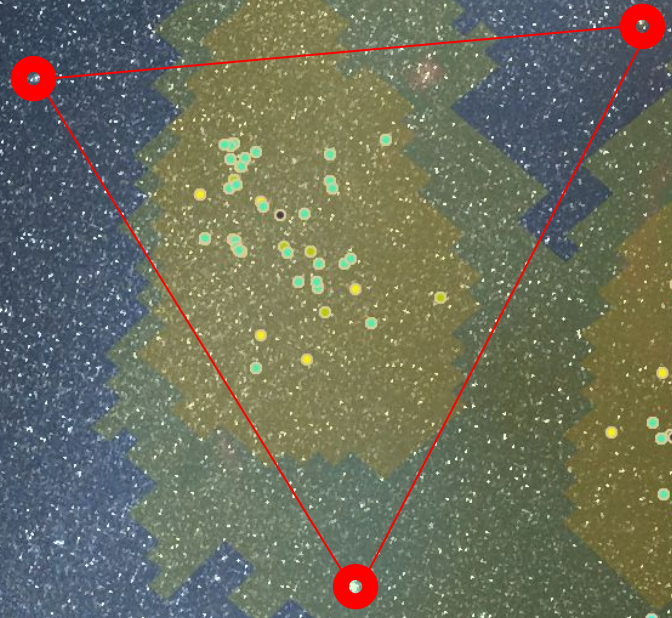
FoV: 89.42°



ALADIN



J2000 06 19 26.702 -06 38 15.25



FoV: 89.42°



Image Serverの機能

Web ブラウザ上で必要なことをすべて確認できるよう設計

<= Orange: Original fits
<= Blue: Reference image
Change images: chose fits from 'File' Jag.
Blink images: chose 'View'-->'blinking' command
Change scales: chose 'Scale'-->'set limits to zscale z1/z2' command

Event ID	U190130
Link to planner	link
Galaxy	GL004803:024632
Obs. MJD	58513.4750238
Obs. UTC	2019-01-30 11:24:02
Telescope	Kanata
Filter	H
Exposure [sec]	540.0
Upper Limit[mag]	>999.00
possible candidates	Load on JS9 , download
results of photometry	Load on JS9 , download
Has Transient?	NOTFOUND
Has Reported?	Yes
Original fits	download
Ref fits	download
sub fits	download
photometry file	download
info text file	download
Known Transient DB	R.A. and Decl. are unknown...
Minor planet DB	R.A. and Decl. are unknown...

Has Transient??
Reports have already been sent to J-GEM planner.
Do you really want to report it again?
 BAD data
or
 YES
R.A.
Decl.

- JS9: ds9 の [javascript](#) 版. Web 上で ds9 と同等の操作
- PS1 (or DSS) 画像との比較による新天体探査
- 限界等級、全天体の簡易測光
- 候補天体の自動検知、表示
- 既知突発天体(超新星 etc.), [小惑星DB](#) への問い合わせ link
- [Planner](#) への新天体の有無の報告機能
- FITS etc.. のダウンロード

(私が好んで)使っているツール

Python:

メリット: 天文系ライブラリが豊富

デメリット: 非同期処理はちょっと大変

SQLite:

メリット: 設定が簡単、軽い

デメリット: ない (数万人がアクセスするなどの用途では厳しいか)

HTML:

とりあえず表示するだけなら簡便で標準的

スマホ等から簡便にアクセス出来る環境を考えると、
Slack(mattermost) , google document との連携

既存クラウドシステムの活用は、容易に導入出来て良い一面もあるが、有料化、接続制限、継続性などで課題が出る場合も...

大変なこと① プライオリティの決定

政治的要因

- 誰の指示の観測が一番重要か？
e.g. 重力波天体の場合、J-GEM or GROWTH or GCN or

事前によく相談すること。また、システムとして、最終手段用の「絶対命令権」の余地を残しておくこと。

天候要因

- 薄雲をどこまで許容するか
- 月あかり、月との離角
- 薄明の取り扱い

明野・岡山の場合

観測優先順位

1. メール (専用アドレス)
2. GROWTH 重力波候補天体
3. J-GEM 重力波候補天体
4. GRB
5. J-GEM 銀河ターゲットリスト
- 6.

大変なこと② ハードウェアの不具合検知

ハードウェアの”癖”をプログラムに落とせるか

- フィルターホイールが(たまに)回らない
が、望遠鏡を天頂に向けるとちゃんと回る(負荷のバランス)
==> フィルター交換がうまく行っていないときは、一度天頂に向けて
ホイール交換をし、再度天体へポインティング

フィルター交換が失敗してても、そのまま撮りたい(GRBなど1秒が惜しい場合)

- フラットのズレ, bad pixel, マスクずれ...

大変なこと③ 望遠鏡の足並みを揃えること

望遠鏡のスペック一覧を作るだけでも大変なのに、リアルタイムの稼働状況を収集するのは不可能に近い

自動化が一番難しいところ(装置故障など)

尻を叩き、引っ張り上げるリーダーが必要(J-GEMの場合、内海さん)

We have ROBOT telescope but ...,

e.g., GW 170104

2017-01-07 05:17 (JST)

GROWTH ML e-mail alert was derived

2017-01-07 05:40 (JST)

Having been waked up

2017-01-07 05:50 (JST)

Added a source to observing list
of Akeno telescope

(Twilight was started on 05:35 JST...)

