

東京大学の事例 (Tomo-e Gozen)

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

酒向重行



T O M O · E
G O Z E N



Integrated system with telescope, video camera, and intelligent data processing

T O M O • E G O Z E N

Sako et al. 2018, SPIE

データ駆動型天文学 科研費ベース

Quick data-sharing

On-the-fly processing

Big data of the sky by
wide-field video observations

- 情報系研究者を連携
- 科研費予算の1/3を計算機



105-cm wide-field telescope

Kiso Schmidt telescope

大学共同利用は2017年に終了しました。
現在、共同研究ベース、遠隔自動観測。

- Kiso Observatory, the University of Tokyo
- Kiso, Nagano, JAPAN
- Established in 1974
- Aperture diameter : 105cm
- **Field of View : 9 degrees**
- Focal length : 3,300 mm, f/3.1



Image: KOJI OKUMURA (Forward Stroke)

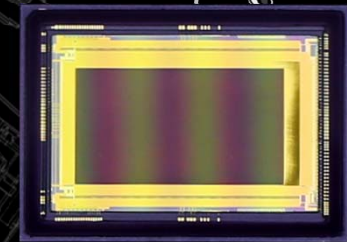
First astronomical wide-field video camera

Mosaic CMOS camera

- On the Kiso 105cm Schmidt telescope
- **Field-of-view : 20 square degrees**
- 84 chips of CMOS sensors with 190 Mpixels
- Video in 2 frames/sec
- **Big data of 30 TB/night → 3PB/yr x 10 yr = 30PB (raw)**
- Optical, single color
- Operation > 10 years

105 cm lens

150 cm mirror



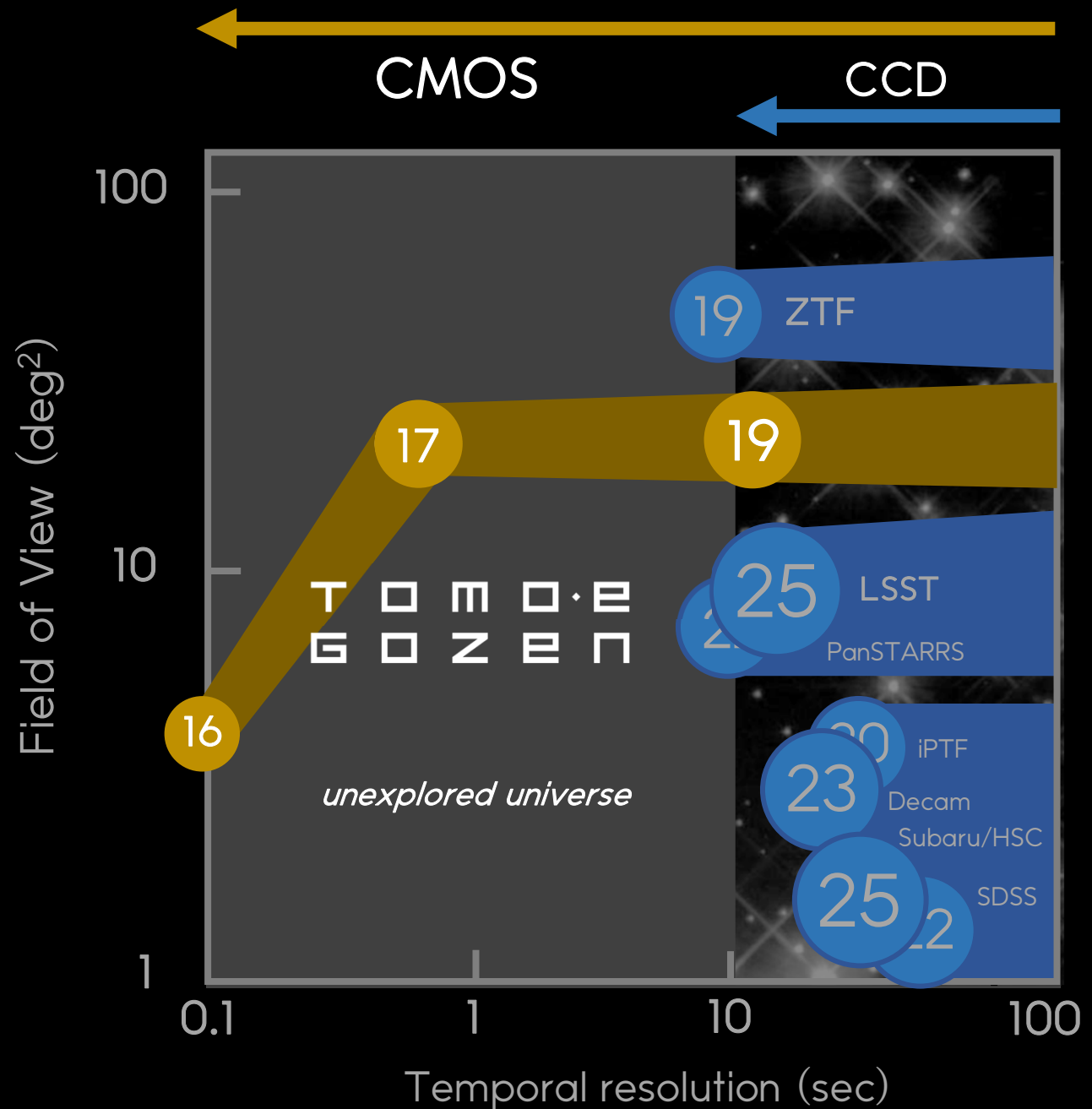
High-sensitivity CMOS video sensors



Camera unit was completed in Apr. 2019

Survey power
for transient
events

広視野
高速動画
世界的に
ユニーク
なデータ



The numbers in the circles show limiting magnitudes.

Comparison of fields-of-view

ZTF/Palomar Schmidt, 1.2 m
CCD, static image

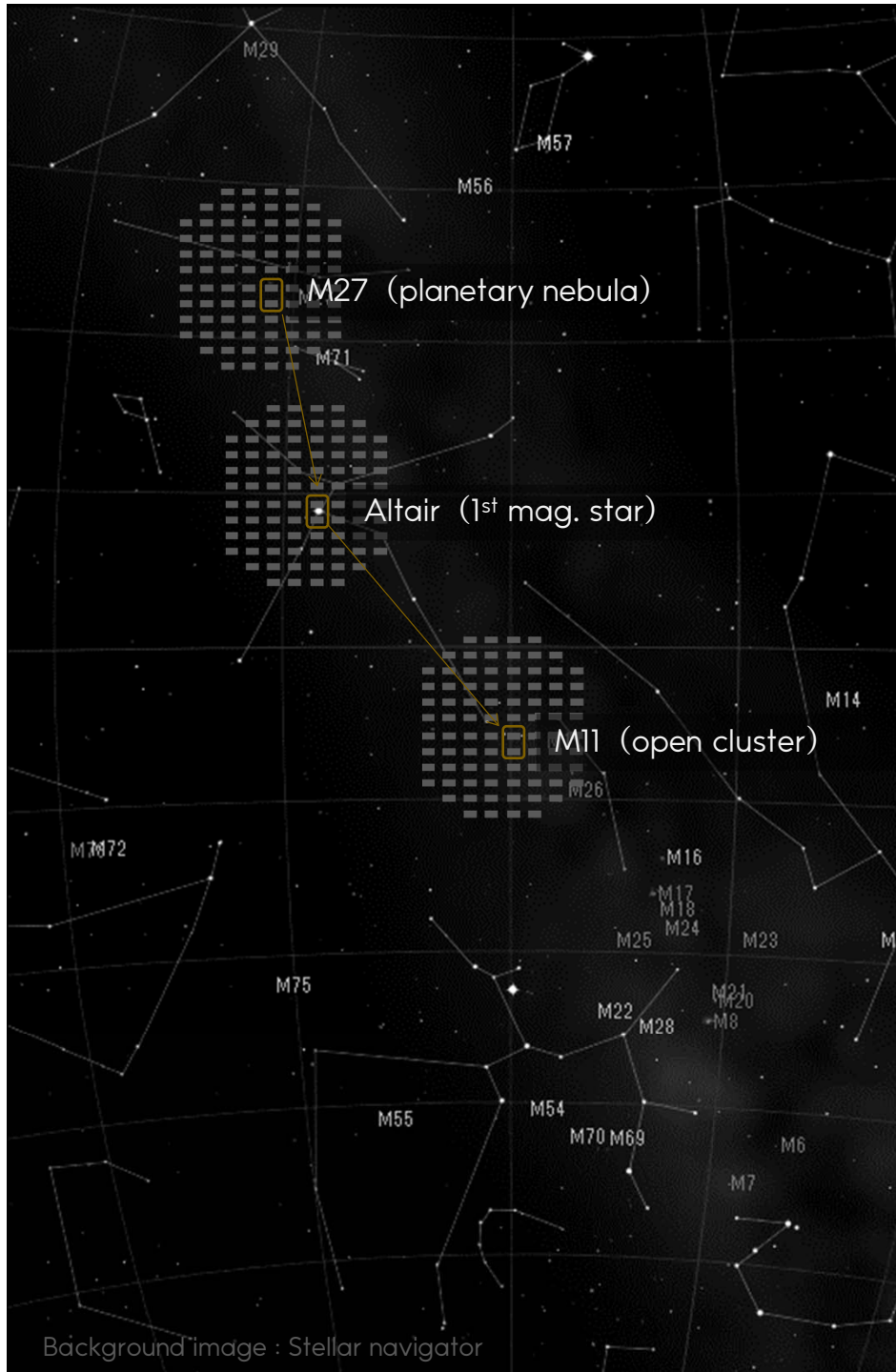


Pan-STARRS, 1.8 m
CCD, static image

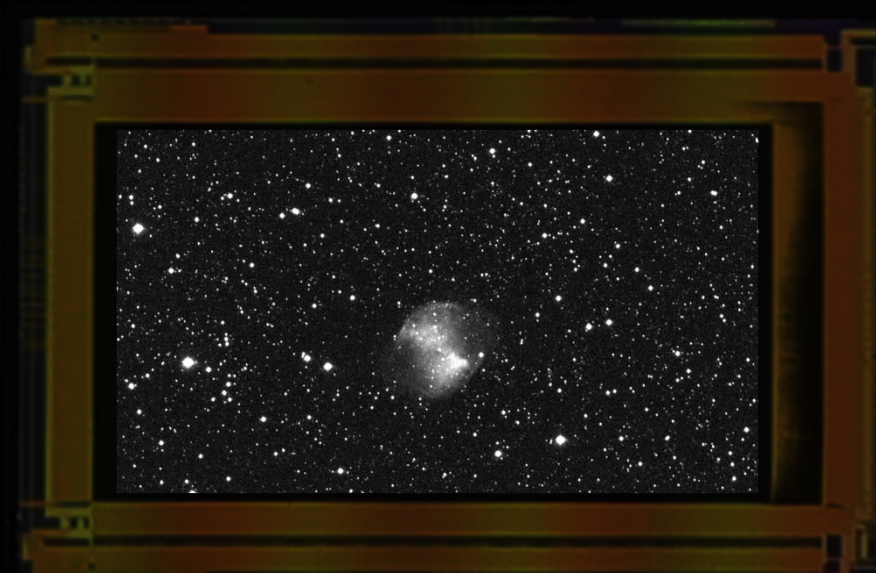
Tomo-e Gozen
Kiso Schmidt, 1.05 m,
CMOS, video

Field-of-view of a single
sensor : $0.66^\circ \times 0.37^\circ$

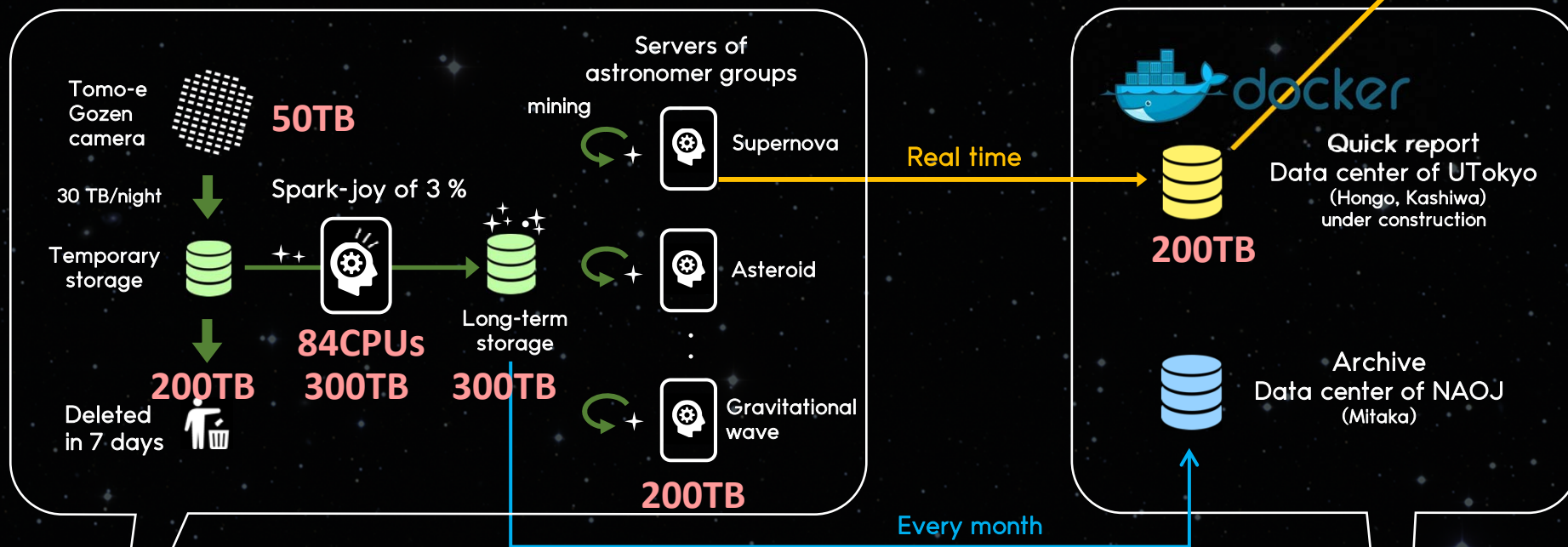
2-fps video taken by 2 sensors of Tomo-e Gozen



Background image : Stellar navigator



Data flow



to the world



Quick report
Data center of UTokyo
(Hongo, Kashiwa)
under construction

200TB

Archive
Data center of NAOJ
(Mitaka)

Real time

Every month

SMOKAチームと試験中

Rawデータとは何を指すのか？

- Freshness is important
- Twitter-like

Kiso, Nagano

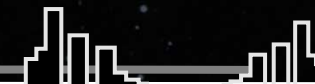


4-Gbps (shared line)

We hope that SINET will be connected to the KISO region.

Mitaka, Hongo
Tokyo

Kashiwa,
Chiba



オペレーション

- ウェブブラウザで操作
- **キューシステム** + スケジューラによる自動観測
- **slack** による迅速な情報共有

Schmidt Status

Date	20190707
Time (JST)	17:22:44
Time (UTC)	08:22:44
LST	12:33:17
Dome Slit	CLOSE
ERROR CODE	no error
Telescope Mode	Tracking/OFF
Dome Angle	319.0
Right Ascension	12:32:45.5
Declination	11:58:14
Hour Angle	0:00:31
Azimuth	359.9
Zenith Distance	82.95
Focus Position	28.14
Mirror Cover	CLOSE
ND Filter	ND1.8
Flat Lamp	OFF

Remote Control: ▲ OK (telescope_lock ON)

Weather: WET 1.085 100000m 67.2% 20.46d

Tomo-e Gozen Field Checker with DSS

Parameters:

- NAK32
- High-speed mode (780)
- (RA, Dec) = (15:08:34.70, +11:56:17.5)
- Area = (2145, 1306, 100)
- Total Observing Time = 50:50 s
- Total Integration Time = 49:59 s
- Sampling Interval = 300 ms
- Frame Rate = 2.5000 Hz

Location: 17° 02' 10.00" N, 139° 07' 00.00" E

Slack Channel: #observation

Shigeyuki Sako

その他の未読 +

スター付き

general

observation

チャンネル

- # alerts
- # db_visualization
- # development
- # olster
- # tomo-e-agn
- # tomo-e-bot
- # tomo-e-cobj
- # tomo-e-data
- # tomo-e-gw
- # tomo-e-ps
- # tomo-e-sn
- # tomo-e-star
- # weather
- # mail
- # telegram

ダイレクトメッセージ

- slackbot
- Shigeyuki Sako (自分)
- moriyuki

Recent Messages:

- too bot** アプリ 16:17
Anyway, this is a test event came during
- Ryo Hamasaki** 17:06
ドーム内の安全を確認しましたので、キャリブレーションを撮ります。
- Ryou Ohsawa** 17:11
よろしくおねがいします。
- too bot** アプリ 17:16
This is a TEST EVENT! (GracelD: MS1812191)
- too bot** アプリ 17:18
visibility and pointings

Tomo-e Gozen Queue Status Monitor

Current Schedule (disabled / blocking) ▶

Executing Queue Item (pid: 18791 / blocking) ▶

History

Scheduled Observations (total: 200)

First 10 Recipes in the Queue (total: 0)

Py Supervisor Monitor

Home Refresh (24)

Process	Status	Actions
tomoedaq-master	STOPPED	Start
daq.clp	STOPPED	Start
daq.exptime	RUNNING 0:45:38	Stop
daq.main	STOPPED	Start
daq.pwr	STOPPED	Start
daq.sync	RUNNING 0:45:38	Stop
monitor.gpstime	RUNNING	Stop
tomoedaq-slave0	STOPPED	Start
daq.frp01	STOPPED	Start
daq.frp02	STOPPED	Start
daq.frp03	STOPPED	Start
daq.frp04	STOPPED	Start
daq.frp05	STOPPED	Start
daq.frp06	STOPPED	Start
tomoedaq-slave1	STOPPED	Start
daq.frp01	STOPPED	Start
daq.frp02	STOPPED	Start
daq.frp03	STOPPED	Start
daq.frp04	STOPPED	Start
daq.frp05	STOPPED	Start
daq.frp06	STOPPED	Start

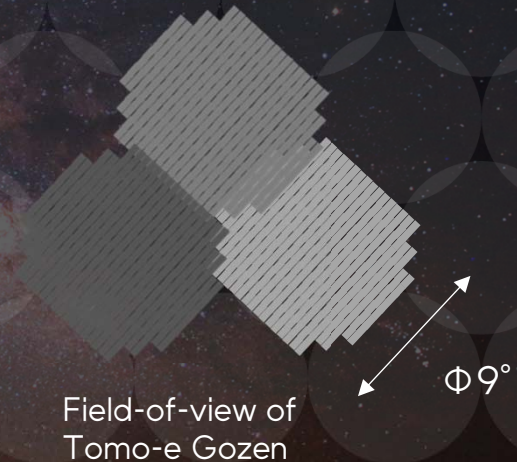
Exposure Log

DATE(JST)	Exp ID	Object	Observer	Project	(RA, DEC)	Frame Size	N _{frame}	Gain	T _{int}	FPS	ZD
2019-07-07 20:17:46	129850	FLAT	Kiso Staff	Sample Recipe	(15:28:21.7, 11:56:18)	2000x1128	90	high	1.0000	1.0000	79.99
2019-07-07 20:13:09	129849	DARK	Kiso Staff	Sample Recipe	(15:23:44.9, 11:56:24)	2000x1128	360	high	0.5000	2.0000	79.99
2019-07-07 20:07:04	129848	DARK	Kiso Staff	Sample Recipe	(15:17:39.8, 11:56:32)	2000x1128	360	high	1.0000	1.0000	79.99
2019-07-07 19:57:59	129847	DARK	Kiso Staff	Sample Recipe	(15:08:34.7, 11:56:43)	400x240	4500	high	0.0410	24.4057	79.99
2019-07-07 19:51:51	129846	DARK	Kiso Staff	Sample Recipe	(15:02:25.9, 11:56:50)	400x24	40000	high	0.0055	181.0610	79.99

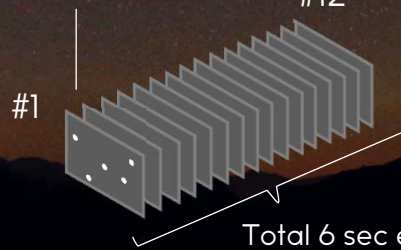
Wide sky areas are scanned in video to reveal rapidly changing universe

- Video observations of each sky area (2 frames/sec, for 6 sec)
- Scanning the sky of elevations $> 35^\circ$ (7,000 deg²) in 2 hours
- Recording all events brighter than 18th mag

100 nights/year x over 10 years



0.5 sec exposure each

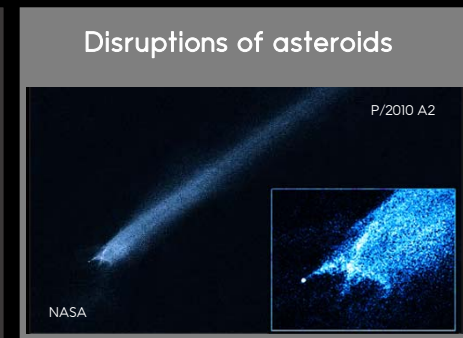
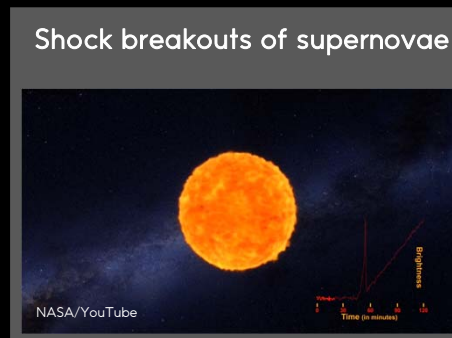
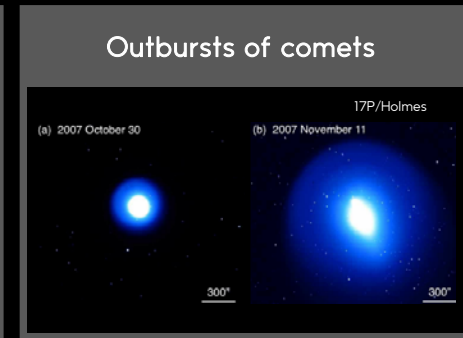
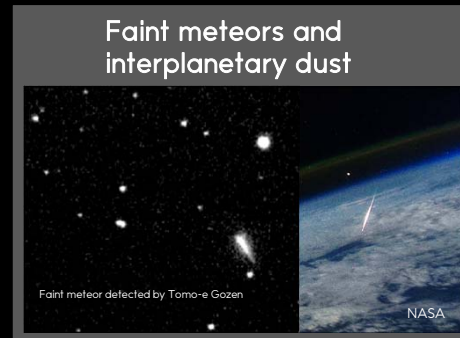
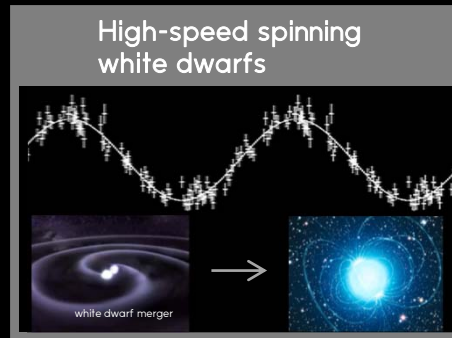
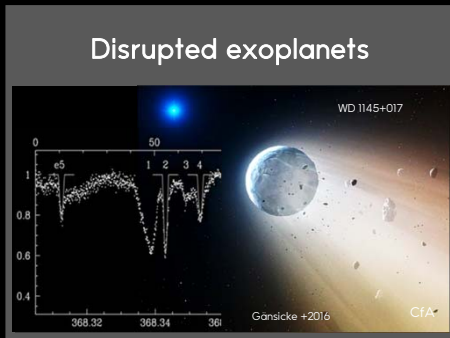


Expected Scientific Results

Discoveries of supernovae 1,000 events/year

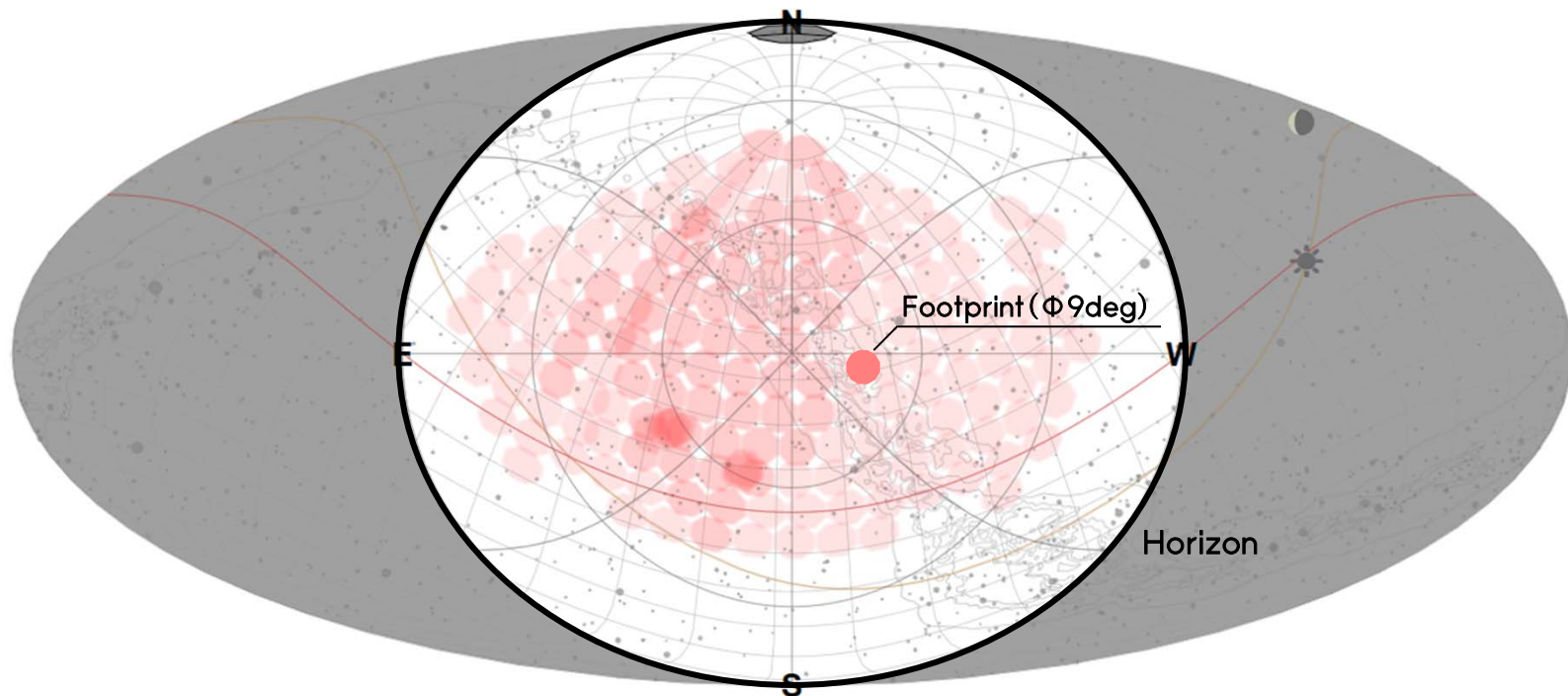
Supernovae just after explosions . . . a few events/year

Near-earth asteroids 100 events/year



Example of wide-field video survey

Footprints of Tomo-e Gozen on 25th Sep. 2019



- Application of optimizations for traveling salesman problem
- Re-optimization according to changing situations (Pedroso in prep.)

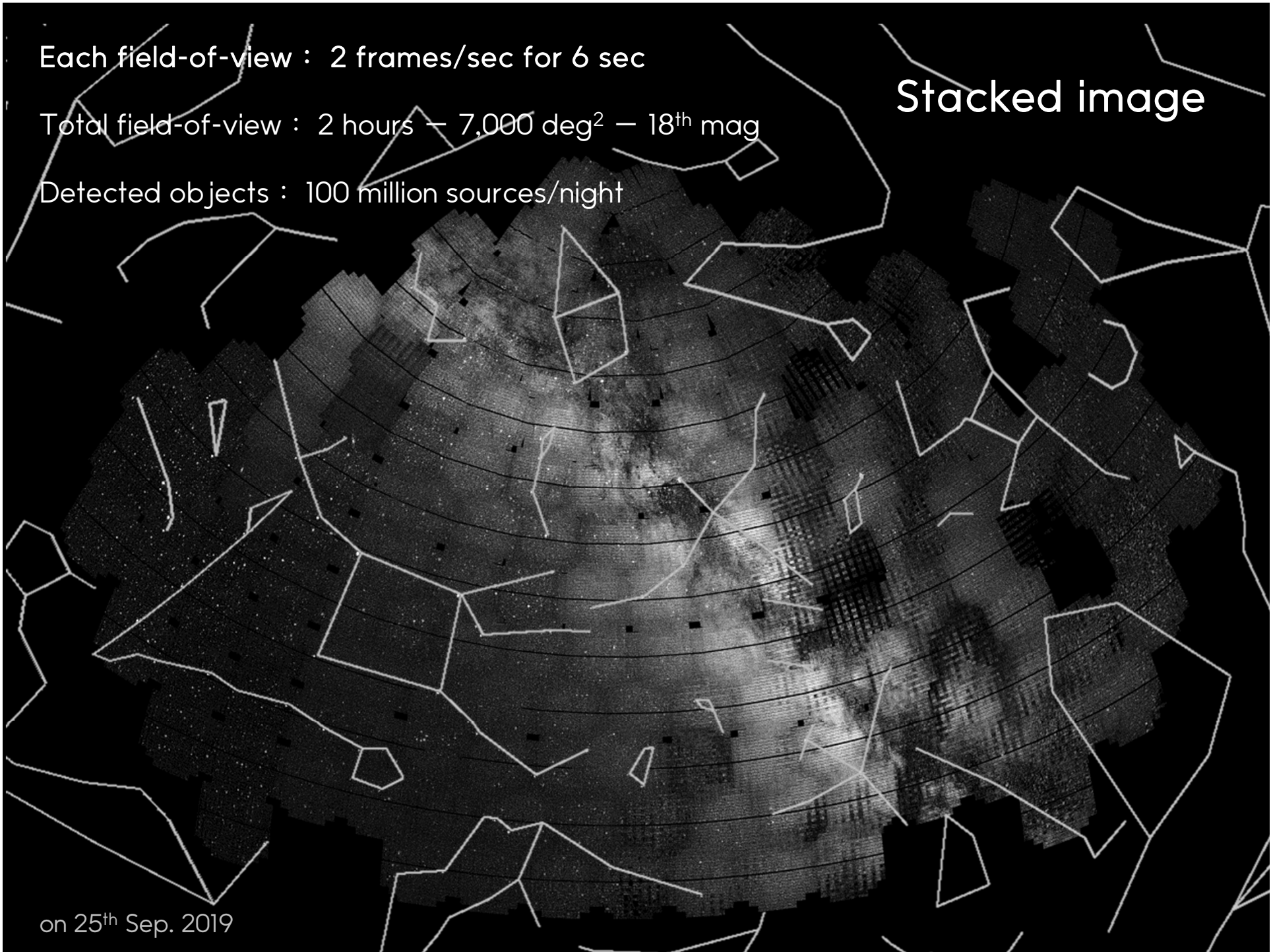
Each field-of-view : 2 frames/sec for 6 sec

Total field-of-view : 2 hours — 7,000 deg² — 18th mag

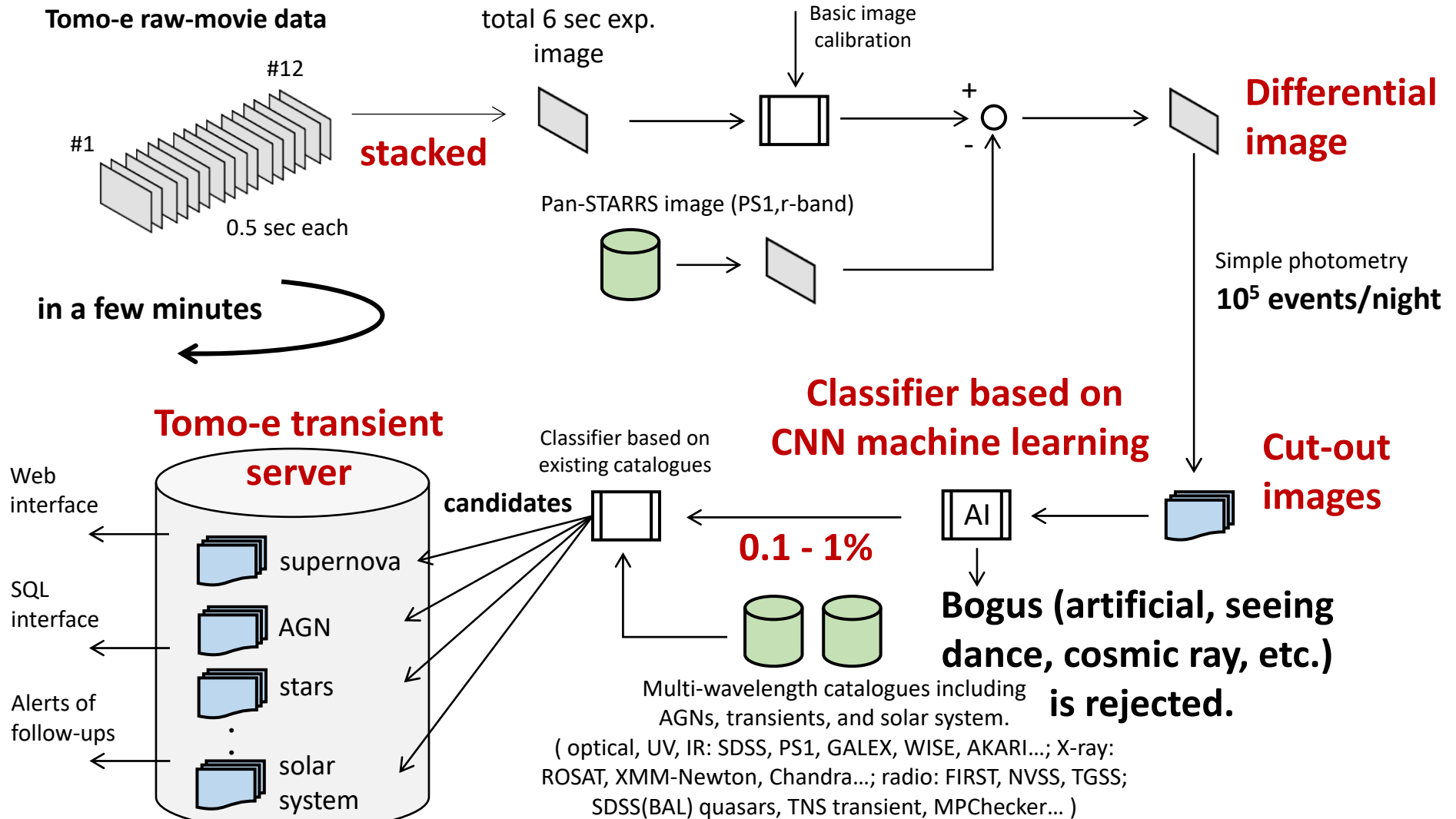
Detected objects : 100 million sources/night

Stacked image

on 25th Sep. 2019



Detection for 'hours timescale' transient events



○ Transient candidates

130 thousand events/night

Supernova 2019cxx discovered in Apr. 2019

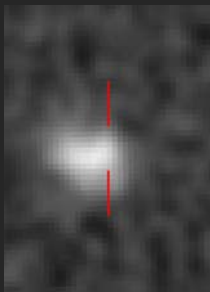
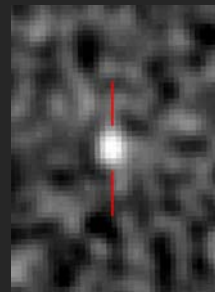


Image taken by
Tomo-e Gozen



Past image taken
by Pan-STARRS
telescope

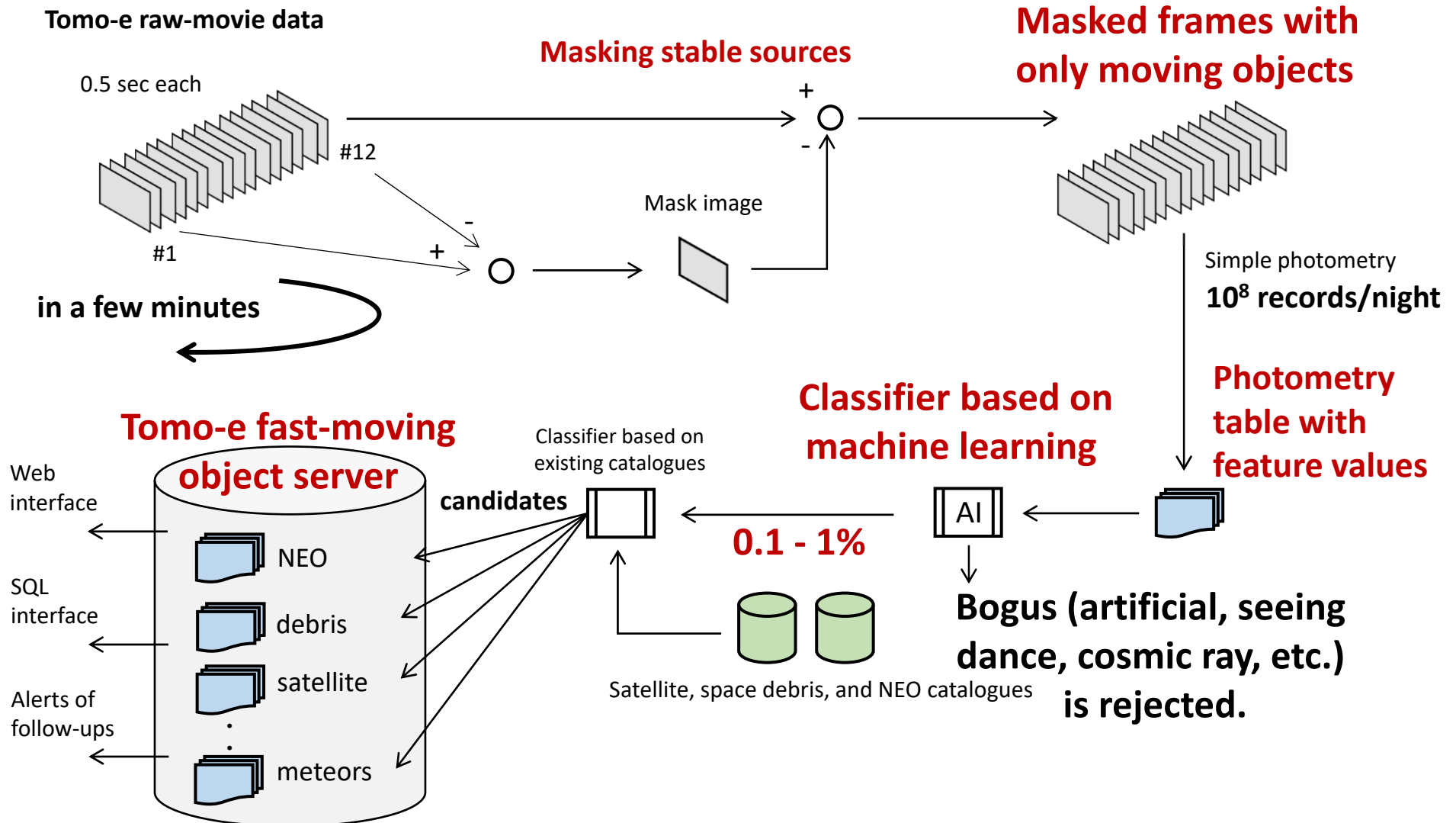


Subtracted image

Refer to the press release on 23rd Apr. 2019

on 25th Sep. 2019

Detection for Fast Moving Objects with $v > 1 \text{ arcsec/sec}$



Detected fast-moving objects

Majority are artificial objects including space debris. There are several near-earth objects in a night.

NO.	DATE(UTC), OBJECT, FITS	MATCHING	IMAGE	LIGHT CURVE	SCORE	RA, DEC	V_MEAN ["/sec]
13	2020-01-02T15:07:37.847 20amkwy_08011+20691 TMQ3202001020021826813.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.983	08h00m41.1176s +20d41m27.3921s	5.35
75	2020-01-02T12:08:03.495 20amkpz_02342+05475 TMQ3202001020021808713.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.982	02h20m29.7541s +05d28m20.9898s	15.18
101	2020-01-02T11:25:29.630 20amklu_04576-05758 TMQ1202001020021797841.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.981	04h34m33.9624s -05d45m30.1496s	7.65
95	2020-01-02T11:27:25.319 20amkma_04592-05750 TMQ1202001020021798431.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.979	04h35m32.1233s -05d45m02.3742s	7.54
4	2020-01-02T15:45:25.683 20amkaj_07903+19973 TMQ4202001020021835714.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.968	07h58m58.351s +19d58m26.8782s	6.44
110	2020-01-02T10:17:42.845 20amkei_04612-07426 TMQ3202001020021778411.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.964	04h36m44.5036s -07d25m26.4031s	10.36
116	2020-01-02T10:09:42.704 20amkdl_03428+04611 TMQ3202001020021776114.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.958	03h25m38.5353s +04d36m29.5043s	14.63
120	2020-01-02T10:05:14.537 20amkcy_04489-03946 TMQ4202001020021774816.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.956	04h29m19.8435s -03d56m45.5029s	12.36
1	2020-01-02T16:02:38.498 20amkcg_05309+12310 TMQ3202001020021840614.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.944	05h18m33.8163s +12d18m34.7262s	6.8

20amknl_05285-04523 TMQ2202001020021802932.fits	Satellite NEO NEOCP			0.895	05h17m06.9961s -04d31m28.2281s	7.28	
19	2020-01-02T15:00:34.544 20amkwf_05498-04235 TMQ1202001020021824944.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.892	05h29m52.3445s -04d14m16.6638s	5.73
8	2020-01-02T15:13:40.957 20amlosh_07252+31691 TMQ2202001020021827713.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.887	07h15m06.8848s +31d41m33.1599s	6.25
79	2020-01-02T12:02:47.375 20amkpk_02634+01881 TMQ1202001020021807232.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.887	02h38m00.6009s +01d52m41.7195s	14.86
64	2020-01-02T12:10:29.257 20amkqg_02473-05748 TMQ2202001020021809432.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.881	02h28m21.6532s -05d44m55.3739s	15.15
68	2020-01-02T12:09:37.519 20amkqe_02499+08385 TMQ2202001020021809242.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.881	02h29m54.2345s +08d23m05.277s	15.39
81	2020-01-02T12:02:11.739 20amkpi_02756+01494 TMQ1202001020021807022.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.881	02h45m23.1962s +01d29m46.7819s	10.92
102	2020-01-02T11:25:12.068 20amklt_04708-04014 TMQ1202001020021797723.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.881	04h42m28.2843s -04d00m57.0347s	7.13
111	2020-01-02T10:17:05.653 20amkeg_04622-05985 TMQ2202001020021778212.fits	Both Satellite NEO NEOCP			0.88	04h37m18.4347s -05d59m08.097s	7.18
115	2020-01-02T10:11:46.413 20amkdr_03181+02923 TMQ1202001020021776734.fits	Both Satellite NEO			0.879	03h10m51.2492s	15.84

Detected fast-moving objects

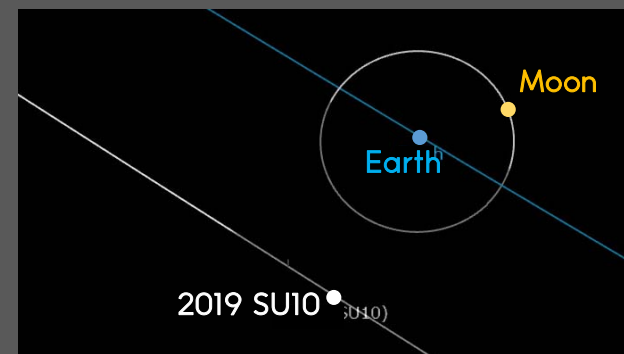
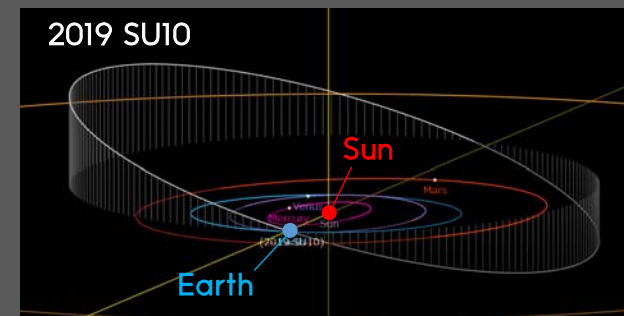
Majority are artificial objects including space debris. There are several near-earth objects in a night.

Discovered Near-Earth Asteroids

6 asteroids were assigned by IAU in 2019.

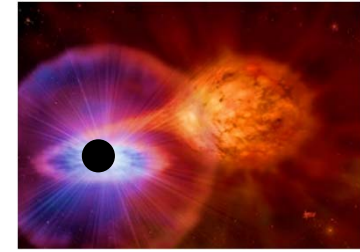
#	Name	Discovery date	Diameter
6	2019 XL3	15 th Dec. 2019	~13m
5	2019 XT2	8 th Dec. 2019	~17m
4	2019 XM2	5 th Dec. 2019	~18m
3	2019 VD3	5 th Nov. 2019	~21m
2	2019 SU10	25 th Sep. 2019	~12m
1	2019 FA	16 th Mar. 2019	~6m

Estimated orbit of 2019 SU10



in partial read mode

Tomo-e very high-speed programs

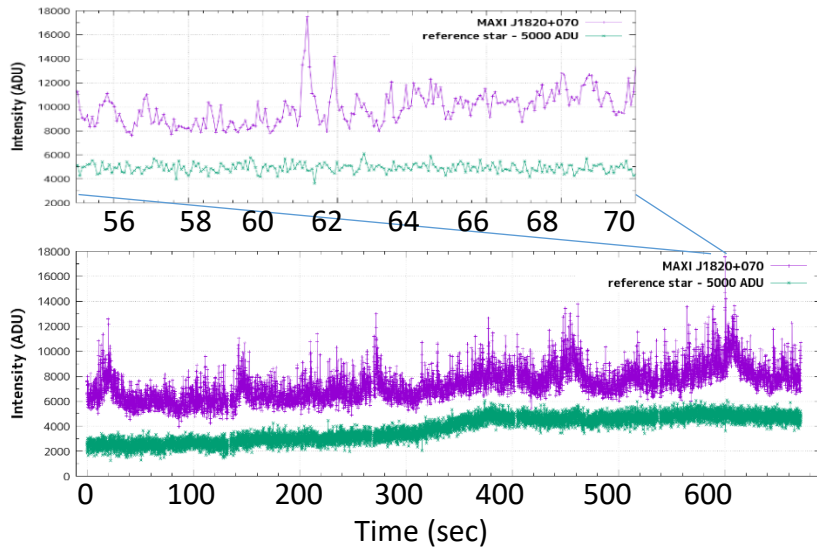


Detection of 10-msec scale flares in the black-hole binary MAXI J1820+070

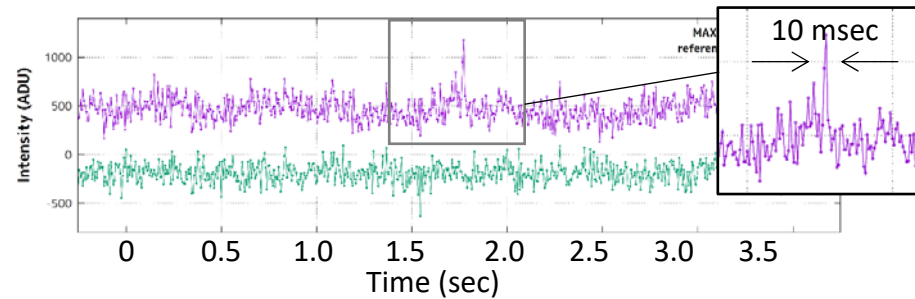
Sako et al. 2018, Atel #11426

Absolute time accuracy: ± 0.2 msec

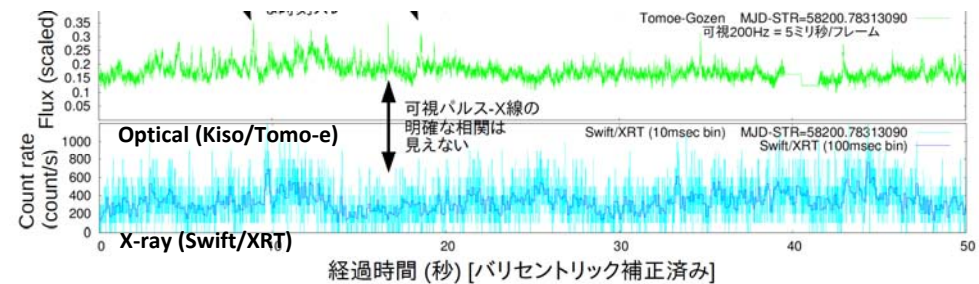
- **66.294 msec/frame**, $9.9' \times 7.1'$,
15 sets of consecutive 2,000 frames



- **6.149 msec/frame**, $1.6' \times 0.79'$
15 sets of consecutive 10,000 frames



Simultaneous observations with Optical and X-ray



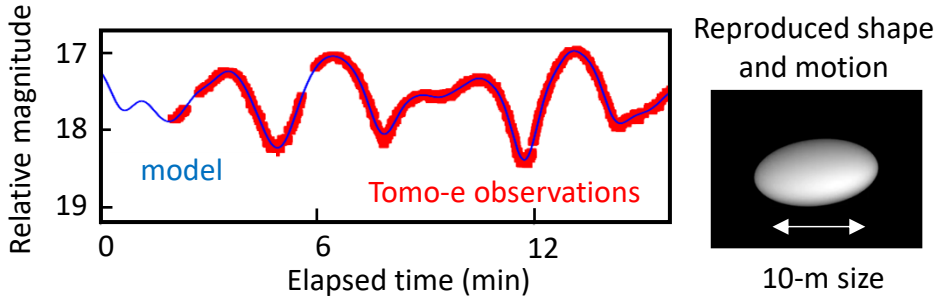
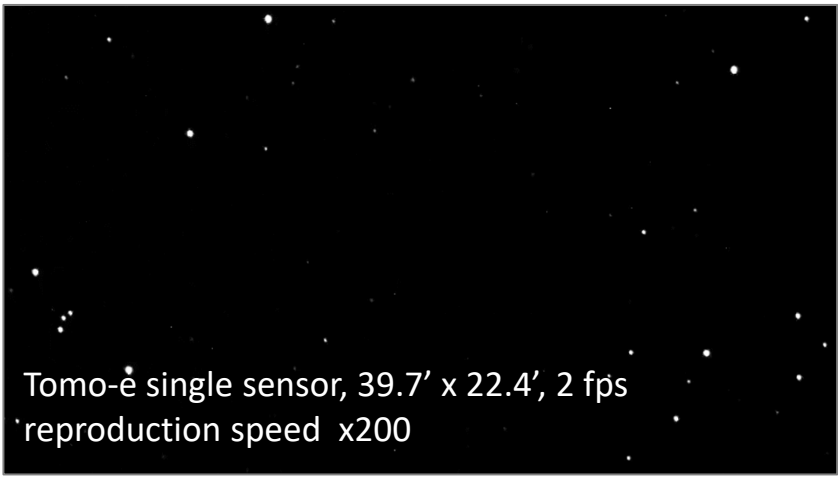
Kokubo+ 2018, ASJ spring meeting

Tomo-e high-speed programs

High-speed imaging of NEO

Urakawa+ 2019, AJ accepted

Near earth object 2012 TC₄

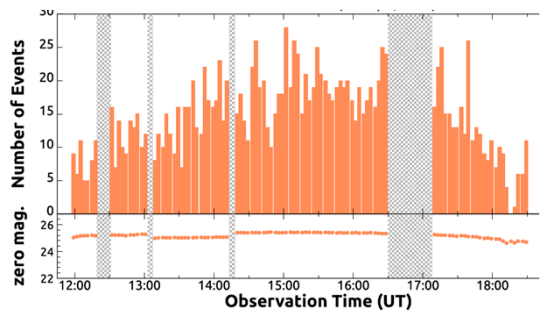
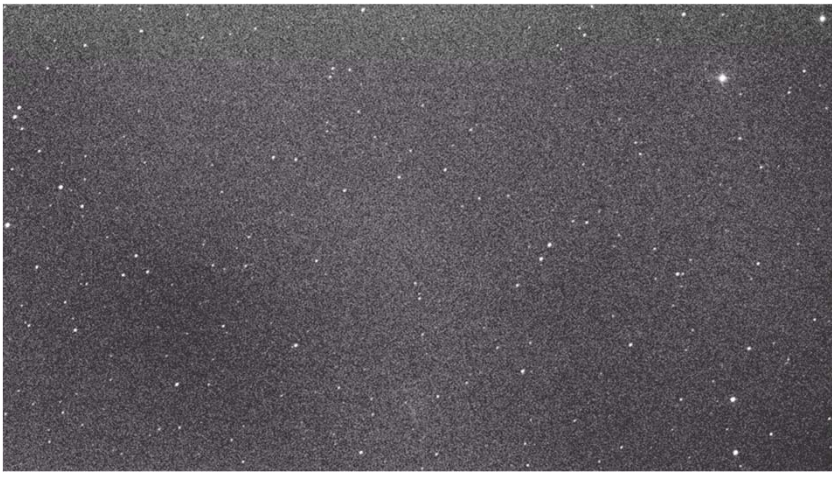


2012 TC4 was produced by impact events within $\sim 3 \times 10^5$ year and has fresh surface.

First faint-meteor survey

Ohsawa+ 2019, Planetary and Space Science

Sample of bright meteor with drifting trail

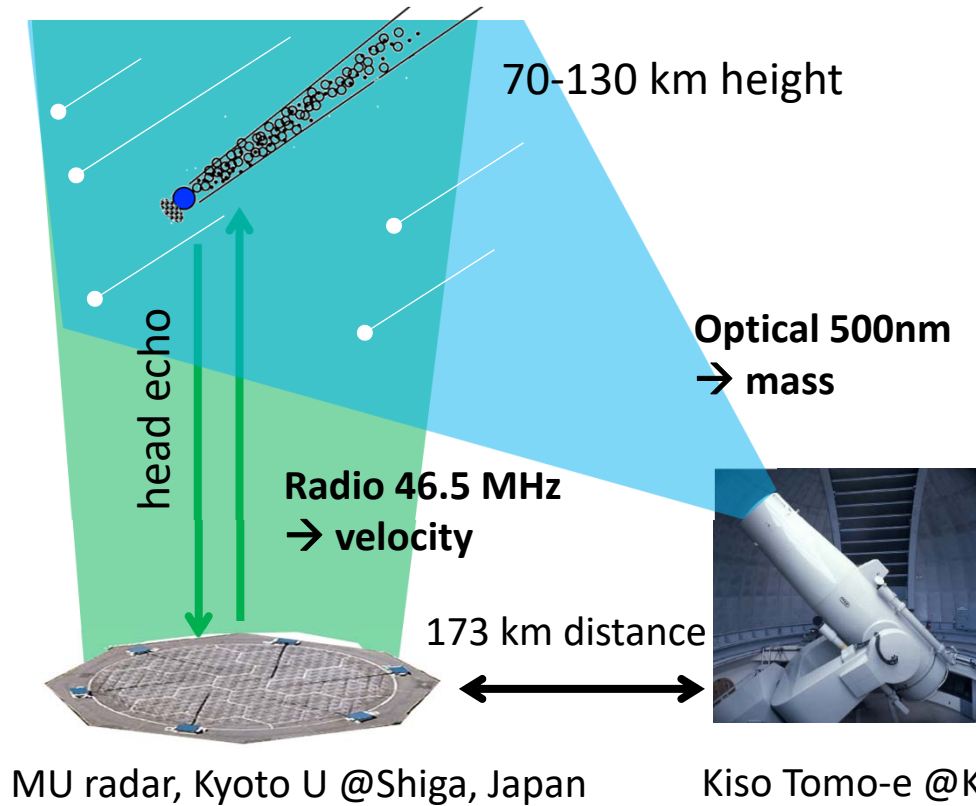


Detection number of meteor
>1,500 events detected in a night.
Brighter than 13 mag

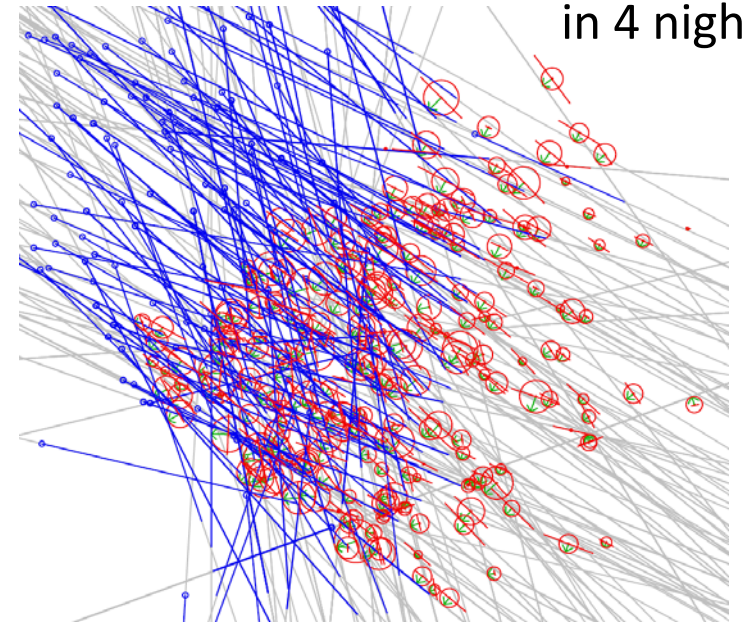
Luminosity function of faint meteors is derived for the 1st time. The slope is consistent with brighter one.

Tomo-e high-speed programs

First simultaneous observations of faint meteors with optical and radio wavelengths



900 events of simultaneous detections in 4 nights



Red: Tomo-e (optical)
Blue: MU radar (radio)

5 deg

Successfully derived relationship between radar cross-section and optical brightness (= mass) for faint meteor.

Multi-messenger gravitational wave astronomy in the 2020s

Listen incoming of gravitational wave

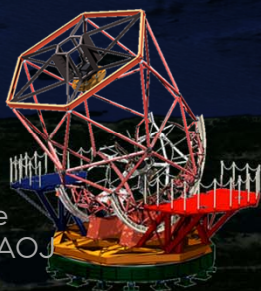


Gravitational-wave
observatory KAGRA



Tomo-e Gozen
Kiso, UTokyo

3.8m SEIMEI telescope
Okayama/Kyoto U, NAOJ



Aim the origin of the gravitational wave

Find out an origin of the gravitational wave

Utilization of sky bigdata in multi-fields

■ Conveying attraction of nature and science to society



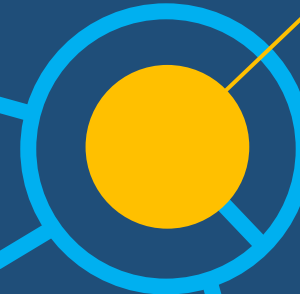
Deriver fresh data of the sky to students



Educational facilities, science museum, planetariums

SINET (science information network of Japan), 100 Gbps

Kashiwa data center of UTokyo



to the world

Tokyo DC

4-Gbps upload (shared line)

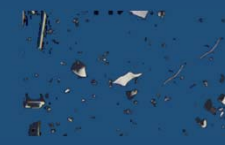
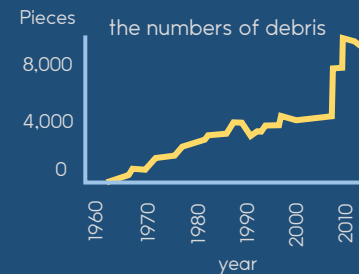
■ Nature bigdata produced in intermountain areas



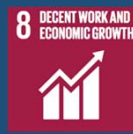
Kiso Observatory Tomo-e Gozen

Kiso wide-area information center network

■ Monitoring space debris, which is serious environmental problem in the future



Connect it to space business



SINET ② 拡張DC拠点候補 (一次検討)

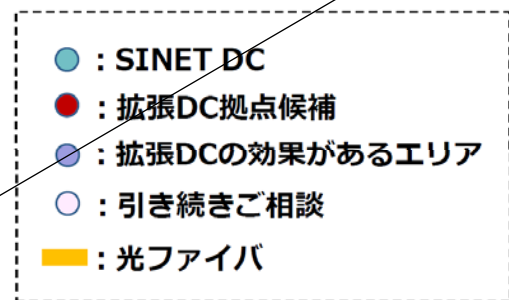
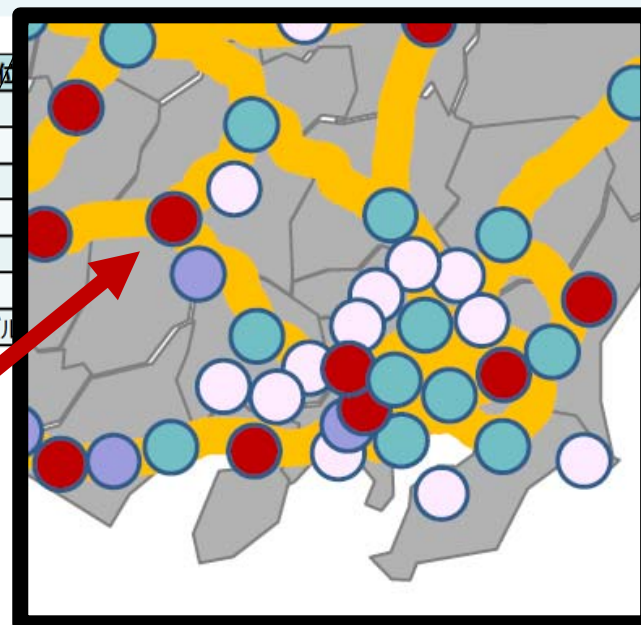
- 一次検討の結果として、拡張DC設置拠点の候補は以下の通りであるが、今後、皆様からの利用計画や要望等をヒアリングし、有効性や将来性等に関して詳細を検討

	都道府県	拡張DC候補	距離*(km)	DCの位置付け
1	北海道	旭川	150	中継
2		帯広	330	中継
3		室蘭	130	ケーブル終端
4		函館	300	ケーブル終端
5	青森	東北部	50	分岐
6	岩手	水沢	80	中継
7	山形	鶴岡	80	中継
8	福島	福島	70	中継
9	茨城	水戸	55	中継
10	千葉	柏	60	中継
11	東京	立川	45	中継
12	神奈川	相模原	60	中継
13	新潟	長岡	80	中継
14	長野	松本	70	中継・分岐
15	岐阜	東濃	65	中継
16		神岡	185	中継

	都道府県	拡張DC候補	距離*(km)	DCの位置
17	静岡	沼津	70	中継
18		浜松	100	中継
19	愛知	岡崎	55	中継
20	滋賀	彦根	80	中継
21	兵庫	姫路	70	中継
22	福岡	久留米	50	中継
23	沖縄	北部	75	ケーブル

* 距離はSINET DCと拡張DC間の光ファイバの想定距離

松本DC





学術高速大容量ネットワーク拠点

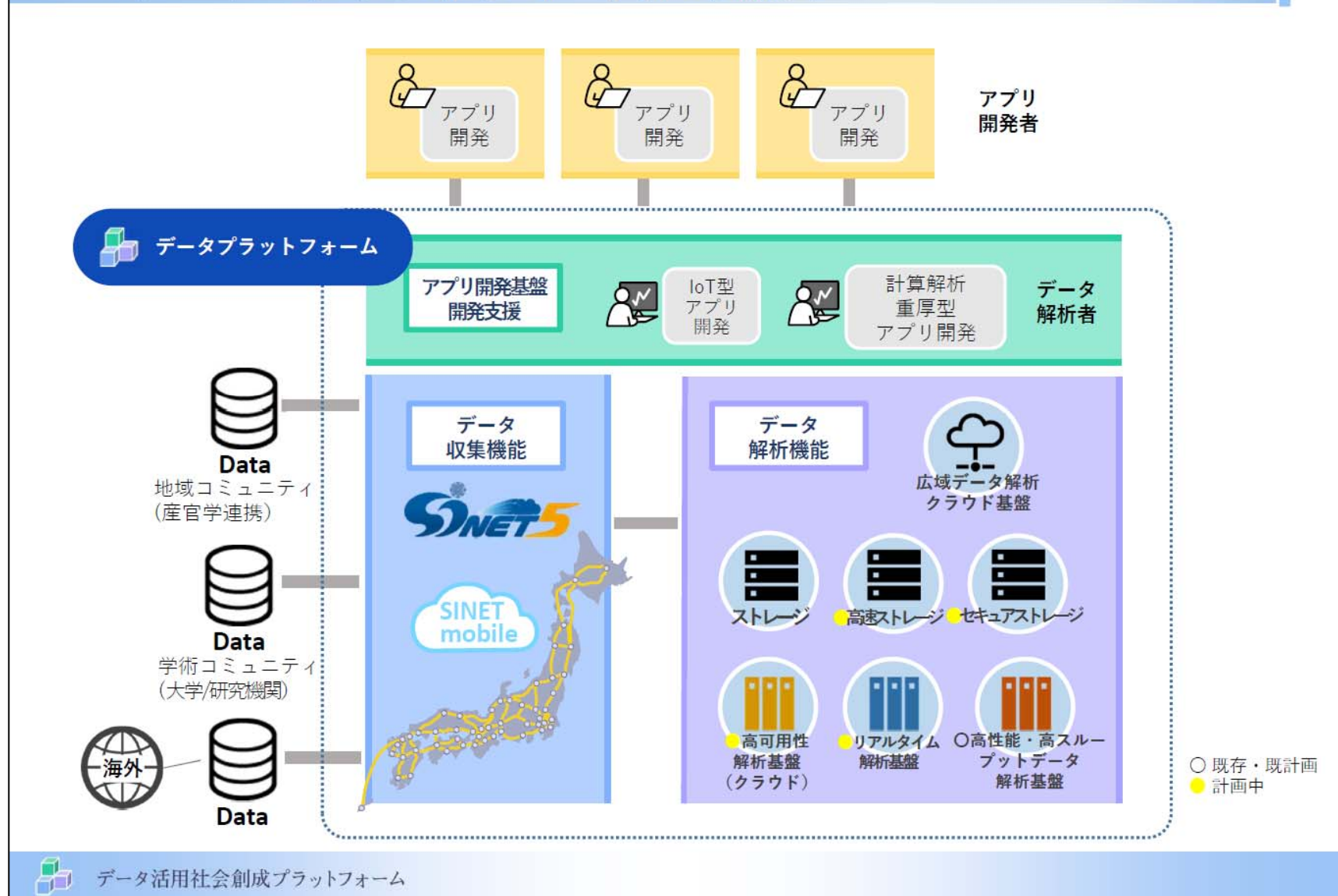
～ 柏IIキャンパスにおけるトップ研究機関連携と情報ネットワーク整備構想 ～

指定国立構想調書：「知識集約型産業集積形成のための拠点」



全国利用を前提とした先導的システム 「データプラットフォーム」の概要

5



データプラットフォームが持つ機能

「データプラットフォーム」は
用途に応じてオンデマンドで**短時間に構築・拡張・融合**できる
データ収集・集積・解析機能を提供するプラットフォーム。

「知」の抽出により、「ビッグデータ等
の新たな技術をあらゆる産業や社会生活
に取り入れてイノベーションを創出
/ Society 5.0」するための「場」



データプラットフォーム 3本柱



SINETを活かしたリアルタイム収集・集積・解析環境の動的な構築

遠隔地のセンサーやストレージ、データプラットフォームの計算資源、ストレージをつないで、リアルタイムに入力から出力を得られるアプリケーションごとの収集・集積・解析環境（仮想データプラットフォーム：仮想DP）を、使いたいときに即時に構築する
SINETモバイル基盤によりセンサー等のデータを安定してセキュアにつなぐ



高性能計算環境によるデータ科学と計算科学の融合

データ科学、計算科学の手法を融合し、さらに国内最高の計算環境を用いて他に無い高精度の予測を行えるようにする



異種データ・異種知識の融合活用の推進と利用者支援

様々な分野のデータ保持者、解析者、利用者が産学にまたがって連携するコミュニティを形成し、新たな価値創造につなげる。
データ活用を目指す利用者へのコンサルティングや開発支援を実施する。

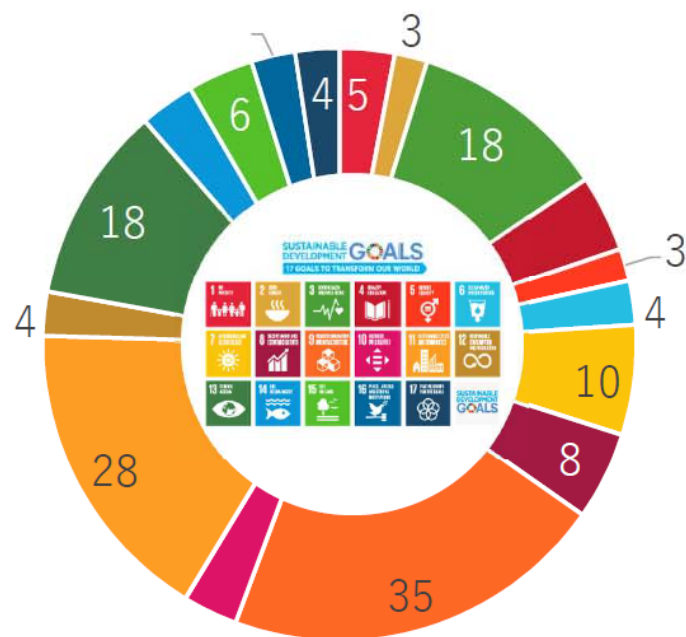




東京大学におけるデータ利活用型研究への取組

データ利活用により社会課題解決を図るプロジェクトを学内で募集(2018/4/24)
1ヶ月程で文系含む22の部局から90件登録。SDGsの17目標をすべてカバー

SDGs目標をカバーするプロジェクト数



応用分野の例 (件数)

- スマートシティ(14)
ー人流マネジメント、交通・物流最適化 等
- 防災(13)
ーリアルタイム地震波解析・予測、洪水予測 等
- 健康、医療(12)
ーVR・3Dシミュレーション応用 等
- 農林漁業 (6)
ー養殖、農業におけるゲノム・環境等データ活用 等
- 地球環境(6)
ー気候予測、風力発電運用高度化、水資源管理 等
- ものづくり(4)
ー構造解析プラットフォーム、暗黙知の解析 等
- 社会科学 (11)
ーライフログ活用、デジタルアーカイブ、政策評価 等

※該当目標の申告があったプロジェクトのみ集計。複数回答。

特徴：応用の多様性、データの多様性

蓄積データ、観測データ、シミュレーションデータ、それらの組み合わせ

→ 広域性 + リアルタイム性 + 大量性

第1回 データ利活用研究コミュニティワーク ショップ

- 2018年9月開催
- 招待講演5件、パネルディスカッション、ポスターセッション40件

未来社会協創推進本部データプラットフォーム



第1回 データ利活用研究コミュニティワークショップ

2018年9月5日(水)13:00~18:30

会場:東京大学本郷キャンパス

伊藤国際学術研究センターB2F 伊藤謝恩ホール・多目的スペース

データ利活用に関する学内でのコミュニティを形成することを目的に、
学内から提案された研究活動を中心に、部局を越えて、人・プロジェクトをつなぎ、学内連携の推進と学外との連携を図ります。



東京大学相原副学長



文部科学省原参事官

パネルディスカッション



ポスターセッション



データ活用社会創成プラットフォーム構想 の推進体制

未来社会協創推進本部

本部長：総長

ビジョン形成分科会

学知創出分科会

データプラットフォーム推進タスクフォース

座長：相原大学執行役

(詳細設計中)

連携支援分科会

国際卓越教育分科会

産学協創分科会

データ基盤WG

データ共創WG

法律・監督WG

支援・マッチング機構

分野データWG

〇〇データサブWG

〇〇データサブWG

...



ワークショップの論点

議題	回答
ワークショップのベースラインとなる論点	
データ保存・公開の意向	<p>【アラート・即時解析データ】 東京大学データセンターに保存・共同研究者にフル公開 一般に限定公開</p> <p>【長期保存データ】 NAOJデータセンターに保存・一般にフル公開</p>
(各機関・装置プロジェクトなどのデータ運用の) 目的と現状、そのギャップ	<p>【目的】 広域高速高頻度観測の獲得 データ駆動型。宝物を探せるかが鍵。</p> <p>【現状】 長期保存データのアーカイブ方法が未決定</p> <p>【ギャップ】 ビッグデータをどのように扱うか？ 日本の天文学が初めて直面する問題 全Rawデータの保存は非現実的 解析済み（長期保存用）データの保存が現実的</p>

ワークショップの論点

議題	回答
Tomo-e Gozenプロジェクトの具体的な論点	
残さないといけないデータとは何か？	解析済み（長期保存用）データ 【サーベイ観測】 画像、測光データ、突発検出データ、移動天体データ、 気象データ、全天モニター画像 【キャンペーン観測】 なし（一般に大データのため困難だろう）
データの順位付けはどのように行うべきか？	最優先は、解析済み（長期保存用）のサーベイ観測データ。
データはどのような状態にして保存・公開すべきか （保管場所、利用しやすさ）	各センサ毎のFITS-cubeが基本。 天域・時刻などの基本情報でクエリを受け付けダウンロード 回線速度の確保が重要
共同利用機関の位置づけ、役割とは	ユニークなデータを日本を代表して世界に広く安定して配信すること 1大学の1グループでは困難
大学・データ生成側チームとデータアーカイブ側の 役割とは	大学はデータ取得、一次処理 データアーカイブ側は、保存、整理、配信
（特に外部経費による）装置開発におけるデータ公開 についてどう要請されているのか、チェックがどう行 われるか、今後どう対応していくか？	広く公開されることを期待されている（JSTビッグデータCREST） 天文学以外の研究分野および社会での再利用が期待されている（東京 大学、文科省、JST）

Schedule of Development

