

木曾観測所Tomo-e Gozen計画

酒向 重行(東京大学), Tomo-e Gozenチーム

Sako et al. 2018, SPIE
Kojima et al. 2018, SPIE
Osawa et al. 2016, SPIE

the first wide-field CMOS camera
The Tomo-e Gozen

- FoV of 20 deg² in φ 9 deg
- 84 chips of CMOS, 1k x 2k pixels
- Consecutive frames in 2 fps (max)
- Big movie data of 30 TB/night (max)

Tomo-e Q0 (4 chips) assembling

Data Management System

On-site management (10 Gbps network)

Design concept

- ✓ **Discovery of transients**
- ✓ **Wide-field and high-speed**
- ✓ **Simple design**
 - ordinary temperature and pressure
 - w/o moving parts
 - easy maintenance
- ✓ **All of raw data is deleted in 7 days.**

First light observations of Tomo-e Gozen Q0
2017/10/3

Off-site

Astronomical data center
in National Astronomical Observatory (NAOJ)
at Mitaka, Tokyo

Data archive & web server

Survey power for transient events

First light observations of Tomo-e Gozen Q1
2018/2/20

Data Analysis

Informatics method
Machine learning, Sparse modeling, Movie recognition, Data compression

Comparison of Field-of-Views

Picture taken on 2018/6/4

Schedule

Intensive Science Programs

- Northern sky survey**
 - Elv > 40 deg (7,000 deg²) every 2 hours
 - 3 visits per night
 - Record all events < 20 mag (dark clear night)
 - SNs, Novae, variables
- Follow-up / Simultaneous**
 - GWs, neutrinos
 - FRBs, NSs, BBHs, meteors, NEO
- Fixed FoV + high-speed**
 - 2-fps @ 20 deg² ~ 200-fps @ 52" x 38"
 - Occultation of TNOs, YSOs, flares, FRBs, NSs, BBHs, meteors, NEOs

Q3 sensors has been installed on 2018/7/6

Fact sheet of the Tomo-e Gozen

Telescope	the Kiso 1.0-m F2.1 Schmidt telescope, Kiso Observatory, the University of Tokyo
Sensor	Canon CMOS2000M, 20 mm from-illuminated CMOS sensor with microlens array and AR coated cover glass
Sensor format	2,160 x 1,200 pix chip (total), 2,095 x 1,138 pix chip (photosensitive)
The Number of sensor chips	84 chips
Field of view	39.7° x 22.4° (φ 9 deg, 20.8 deg ²)
Pixel size and scale	19 mm pix ⁻¹ , 1.189" pix ⁻¹
Sensitivity wavelength	350-730 nm
Photoelectric conversion efficiency	0.8 at a peak of 500 nm
Photosensitive area / package area	0.35
Filters	Pre-cut: transparent windows, optical filters, grisms (optional) Changeable: 4 pieces of F3° with the 8FX size
Max frame rate	2 fps in full frame, maximum 500 fps in partial frame
Read noise (2 fps)	2.6 e ⁻ , 3.2 e ⁻ in High-, Mid-, Low-gain
Well depth (linearity < 5%)	6,000, 25,000, 53,000 e ⁻ in High-, Mid-, Low-gain
Dark current	0.5 e ⁻ sec ⁻¹ pix ⁻¹ at 200 K in High-, Mid-, Low-gain
Sky background (dark night)	50 e ⁻ sec ⁻¹ pix ⁻¹ (transparent windows)
Gain conversion factor	0.23, 0.94, 2.1 e ⁻ ADU ⁻¹ in High-, Mid-, Low-gain
So limiting mag. (High-gain)	16.7, 18.5, 19.9 mag at 1 sec ⁻¹ of 0.1, 1.0 sec w/transparent windows
Photometric stability	1 to 30 mill mag time scale < 5 sec
Stability of frame read time	1 to 3 mill mag time scale < 100 sec
Absolute time accuracy of time stamps	10.2 millisecond
Stability of frame read time	10 ²
Output file (full frame)	4.9 MByte/frame ⁻¹ , 16 bit cubic FITS
Data production rate (full-frame, 2 fps)	830 MByte s ⁻¹ , 30 TByte/night ⁻¹

Limiting magnitude

CMOS : efficiency=0.65, N_{read}=2 e⁻, efficiency=0.90, N_{read}=3 e⁻
assuming same filter bandwidth and pixel size

Tomo-e Gozen : 0.5 sec/frame, N_{read}=2 e⁻
Pan-STARRS, ZTF : 30 sec/frame, N_{read}=3 e⁻
LSST : 60 sec/frame, N_{read}=10 e⁻

Filter exchange unit (optional)

- In GW observation case, self-follow-ups would be required.
- Gimick to take color images quickly
- 4 colors of φ 2.5 arcmin
- Choose filters by telescope pointing

Tomo-e Gozenに関する研究費 (2018年7月現在)

- ・ 科研費基盤S (H26 - H33)
- ・ 『素粒子天文学による宇宙中性子星合体現象の研究』, 代表 渡山俊和
- ・ 科研費基盤S (H30 - H35), 新規
- ・ 『銀河団からの観測による超新星の距離測定』, 代表 土田守
- ・ 科研費基盤A (H26 - H32)
- ・ 『銀河団の超新星観測による大質量星形成の多角的検証』, 代表 藤原雅貴
- ・ 科研費基盤B (H30 - H33), 新規
- ・ 『太陽系外縁小惑星の高速広域探査』, 代表 渡野謙一
- ・ 科研費基盤B (H30 - H33), 新規
- ・ 『太陽系外縁小惑星の高速広域探査』, 代表 渡野謙一
- ・ 科研費若手B (H30 - H34), 新規
- ・ 『銀河団天文学による超新星観測データの統合解析』, 代表 大塚亮
- ・ 新学術領域『重力波・新世紀』(代表 田中貴裕, H29 - H34)
- ・ B03『重力波の光学的対応天体観測による中性子星合体の完全合成』, 代表 吉田直利
- ・ 新学術領域『重力波・新世紀』B03研究領域提案型 (H30 - H32), 新規
- ・ 『Tomo-e Gozenカメラによる重力波対応天体観測の長期継続観測』, 代表 藤原雅貴
- ・ IST (さかかけ) (ビッグデータ領域, H27-H31)
- ・ 『タイムドメイン宇宙観測用ロボットからの高速遠隔制御の開発』, 代表 酒向重行
- ・ 光学外縁小惑星探査 (H2 - H34), 代表 リーダー 藤原雅貴
- ・ ビンゴウ宇宙国際観測センター (NEOS/CUL), メンバー 渡山俊和, 土田守
- ・ NINS 東分野共同研究 (H30), 新規
- ・ 『時系列高次元データからの潜在ダイナミクス抽出と可視化』, 代表 藤原雅貴
- ・ 東京大学宇宙観測所定費
- ・ 施設維持費, 光熱費, 装置開発費 - 経費をのぞく