

超低面輝度の可視光天体の探査
による新たな高エネルギー天文学
の開拓へむけて

青山学院大学 山崎 了

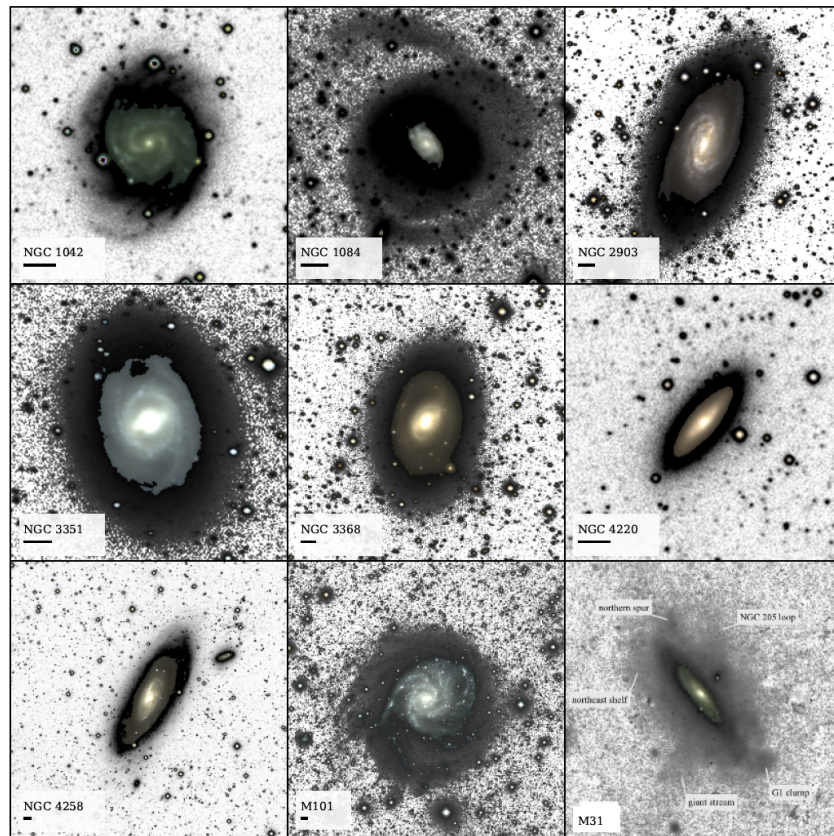
(with 大平豊、田中周太、勝田哲、坂本貴紀、太田耕司、藤田裕...)

超低面輝度可視光観測による高エネルギー天文学

超低面輝度(32mag/arcsec^2 かそれ以下)の可視光の広がった天体を観測する手法を高エネルギー天体に展開し、新たな分野を開拓したい！

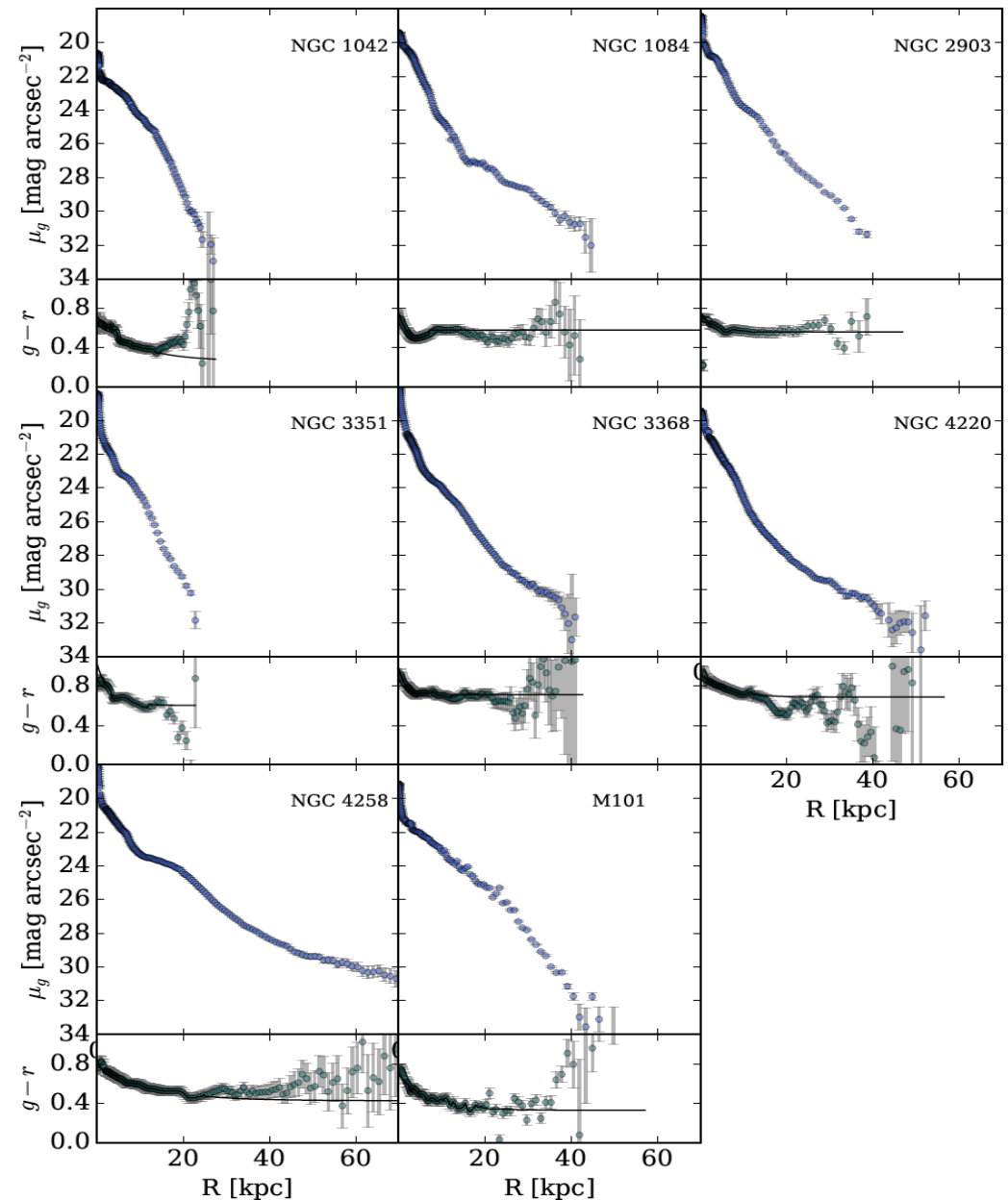
- 1: 超新星残骸のシンクロトン放射
- 2: パルサー星雲のシンクロトン放射
- 3: 銀河団の逆コンプトン散乱放射
- 4: GeV/TeVガンマ線未同定天体
- 5: 銀河風、Fermi bubble

DragonFlyで取得された観測結果の例



上図の黒線は1 arcmin。

Merritt et al. (2016)



DragonFly/Huntsmanの基本概念

Abraham & van Dokkam '14, PASP; Abraha et al. arXiv:1612.06415)

広がった天体に対する感度 (ピクセル当たりの photon count rate):

$$\Phi \propto \mu a \eta f^{-2}$$

(μ : surface brightness, a : pixel area, η : throughput, f : focal ratio)

⇒ 口径比 $f = L/D$ (L : 焦点距離, D : 口径) が小さいほど感度が良く、
また口径 D そのものが大きくなっても良い (小型望遠鏡で十分)。

どうやら、こういうことらしい。。

(ピクセルの面積) \propto (焦点距離 \times ピクセルが張る角度)²

(上記面積に入る光量) \propto (口径)²

⇒ $\Phi \propto$ (口径/焦点距離)² $\propto f^{-2}$

また、レンズを N 個ならべて天球内の同じ場所をみると、実効的な f は $1/\sqrt{N}$ 。

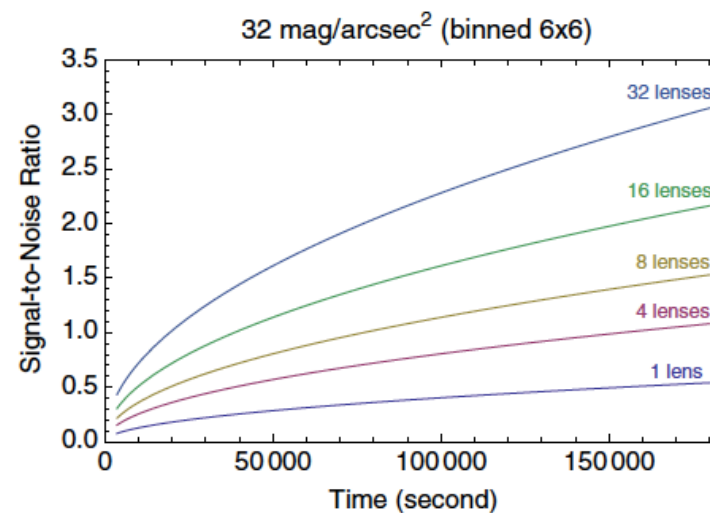
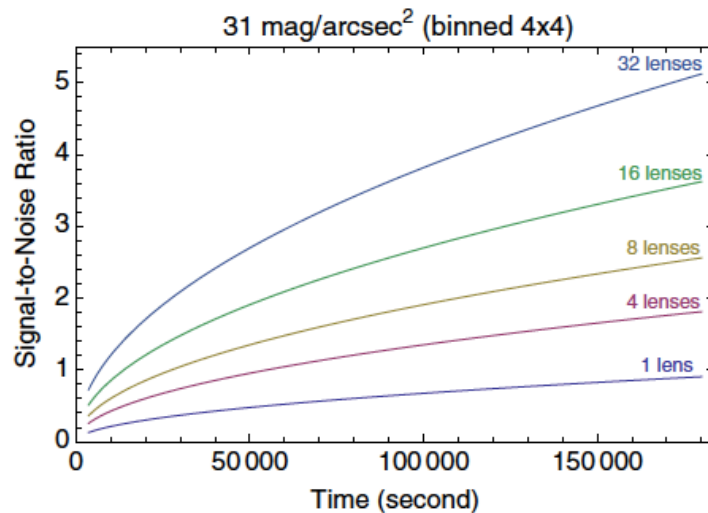
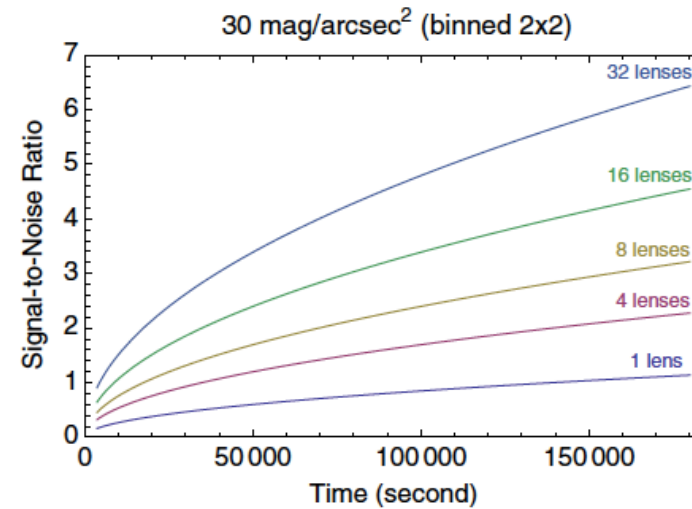
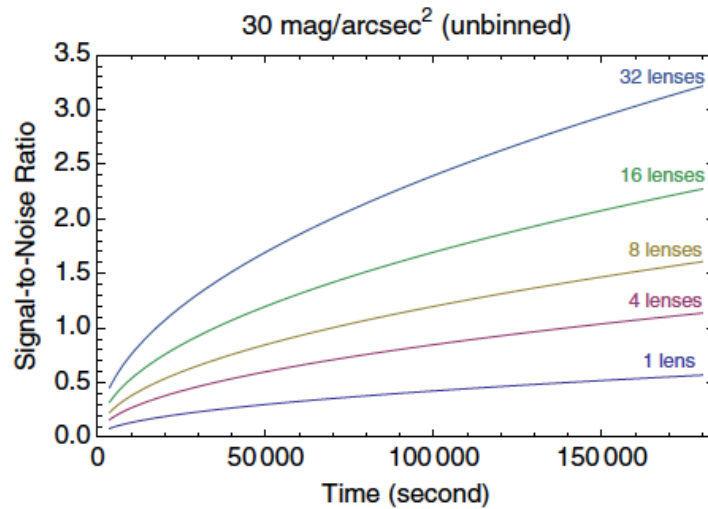
(\because ピクセルに入る光量は N 倍になるので、 $N\Phi \propto f^{-2}$ だから、 $f \propto N^{-1/2}$)

DragonFlyでは、 $f/2.8$ のレンズを 8(初期) ~ 40(現在)個ならべている。

(将来的には $N=500$ を目指し、 $f/0.13$ を目指しているらしい。)

DragonFly/Huntsumanの基本概念

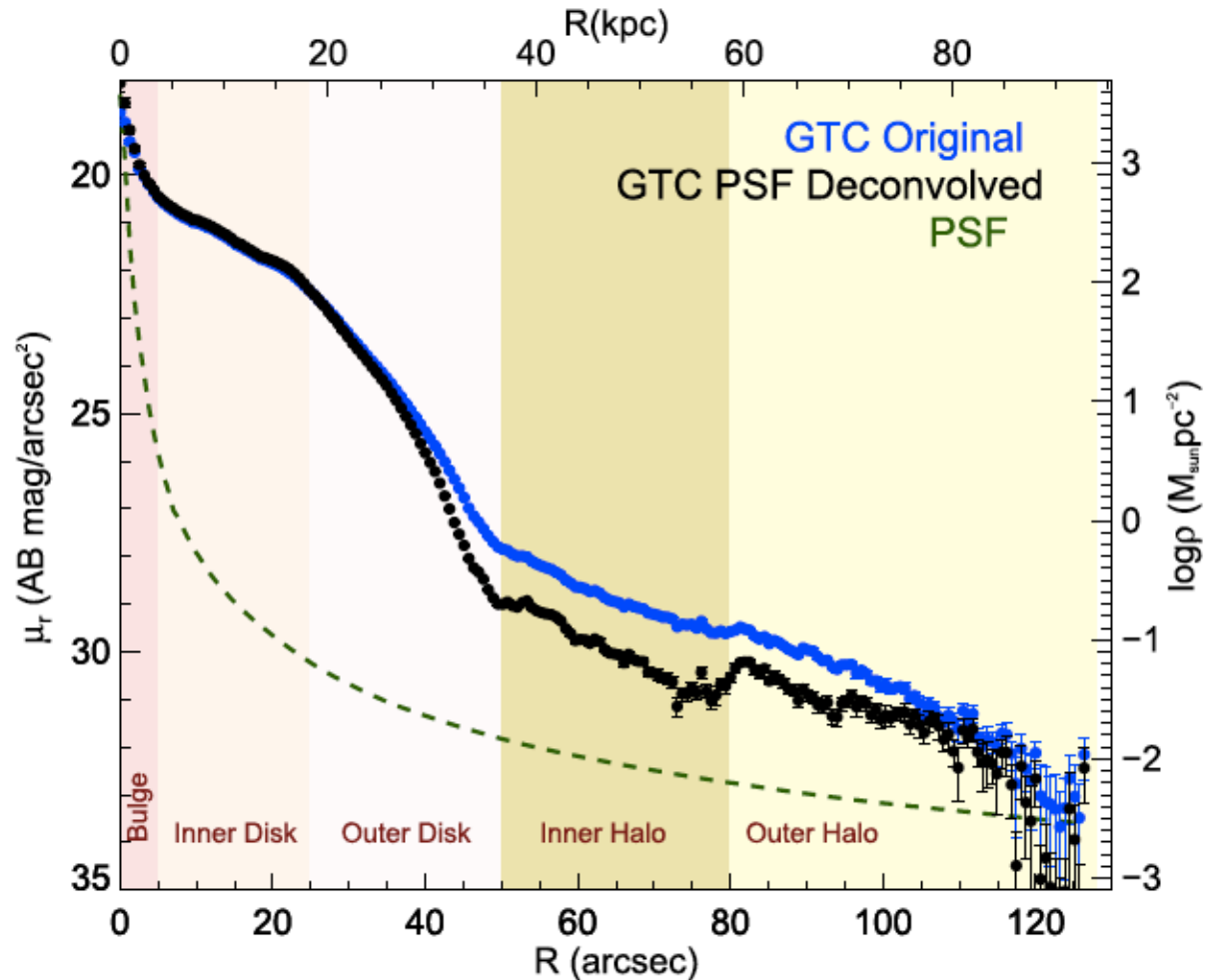
Reasonableなexposure timeで32mag/arcsec²かそれ以上を達成可能。



ちなみに、大型望遠鏡でもある程度のはできるらしい。

[Trujillo & Fliri \(2016\), ApJ:](#)

10.4m GTC (=Gran Telescopio de Canarias) によって銀河「UGC 00180」(~150Mpc) を観測 (8.1hr on source)し、下記のプロファイルを取得。



衛星計画もあるらしい。

Formation and Evolution of Galaxy Outskirts
Proceedings IAU Symposium No. 321, 2016
A. Gil de Paz, J.H. Knapen & J.C. Lee, eds.

© International Astronomical Union 2017
doi:10.1017/S1743921316011388

The MESSIER surveyor: unveiling the ultra-low surface brightness universe

David Valls-Gabaud^{1,2} and the MESSIER collaboration

¹CNRS, Observatoire de Paris, France

²Institute of Astronomy, Cambridge, UK

Abstract. The MESSIER surveyor is a small mission designed at exploring the very low surface brightness universe. The satellite will drift-scan the entire sky in 6 filters covering the 200–1000 nm range, reaching unprecedented surface brightness levels of 34 and 37 mag arcsec⁻² in the optical and UV, respectively. These levels are required to achieve the two main science goals of the mission: to critically test the Λ CDM paradigm of structure formation through (1) the detection and characterisation of ultra-faint dwarf galaxies, which are predicted to be extremely abundant around normal galaxies, but which remain elusive; and (2) tracing the cosmic web, which feeds dark matter and baryons into galactic haloes, and which may contain the reservoir of missing baryons at low redshifts. A large number of science cases, ranging from stellar mass loss episodes to intracluster light through fluctuations in the cosmological UV-optical background radiation are free by-products of the full-sky maps produced.

MESSIER space mission: $f/2$, 35 mag arcsec⁻² (350-1000 nm)

A fast, wide-field and distortion-free telescope with curved detectors for surveys at ultra-low surface brightness

EDUARD MUSLIMOV^{1,2,*}, DAVID VALLS-GABAUD^{3,4,5}, GÉRARD LEMAÎTRE¹, EMMANUEL HUGOT¹, WILFRED JAHN¹, SIMONA LOMBARDO¹, XIN WANG⁶, PASCAL VOLA¹, AND MARC FERRARI¹

¹Aix Marseille Univ., CNRS, LAM, Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, 38, rue Joliot-Curie, 13388 Marseille, France

²Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 10 Karl Marx, Kazan 420111, Russian Federation

³LERMA, CNRS, PSL, Observatoire de Paris, 61 Avenue de l'Observatoire, 75014 Paris, France

⁴Institute of Astronomy, Madingley Road, Cambridge CB3 0HA, United Kingdom

⁵Key Laboratory for Particle Astrophysics, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, 19B Yuquan Road, Beijing 100049, China

⁶Shanghai Institute of Technical Physics, 500 Yutian Road, Shanghai 200083, China

* Corresponding author: eduard.muslimov@lam.fr

Compiled October 25, 2017

We present the design of an all-reflective, bi-folded Schmidt telescope aimed at surveys of extended astronomical objects with extremely-low surface brightness. The design leads to a high image quality without any diffracting spider, a large aperture and field of view, and a small central obstruction which barely alters the PSF. As an example, we design a high-quality, 36 cm diameter, fast ($f/2.5$) telescope working in the visible with a large field of view ($1^{\circ}.6 \times 2^{\circ}.6$). The telescope can operate with a curved detector (or with a flat detector with a field flattener) and a set of filters. The entrance mirror is anamorphic and replaces the classical Schmidt entrance corrector plate. We show that this anamorphic primary mirror can be manufactured through stress polishing, avoiding high spatial frequency errors, and tested with a simple interferometer scheme. This prototype is intended to serve as a fast-track scientific and technological pathfinder for the future space-based MESSIER mission.

OCIS codes: (080.4228) Nonspherical mirror surfaces; (110.0110) Imaging systems; (110.6770) Telescopes; (040.1520) CCD, charge-coupled devices.

<http://dx.doi.org/10.1364/ao.XX.XXXXXX>

←

arXiv:1710.08776 ---
MESSIER のdetector
の論文

例1：超新星残骸の可視光シンクロトン放射

若い超新星残骸の 電波～可視光～X線 のシンクロトン放射スペクトルから
電子スペクトルを推定し、単一なべき分布からのズレ(可視光で大きくなる)を測定する。

=>加速理論への示唆が得られる。

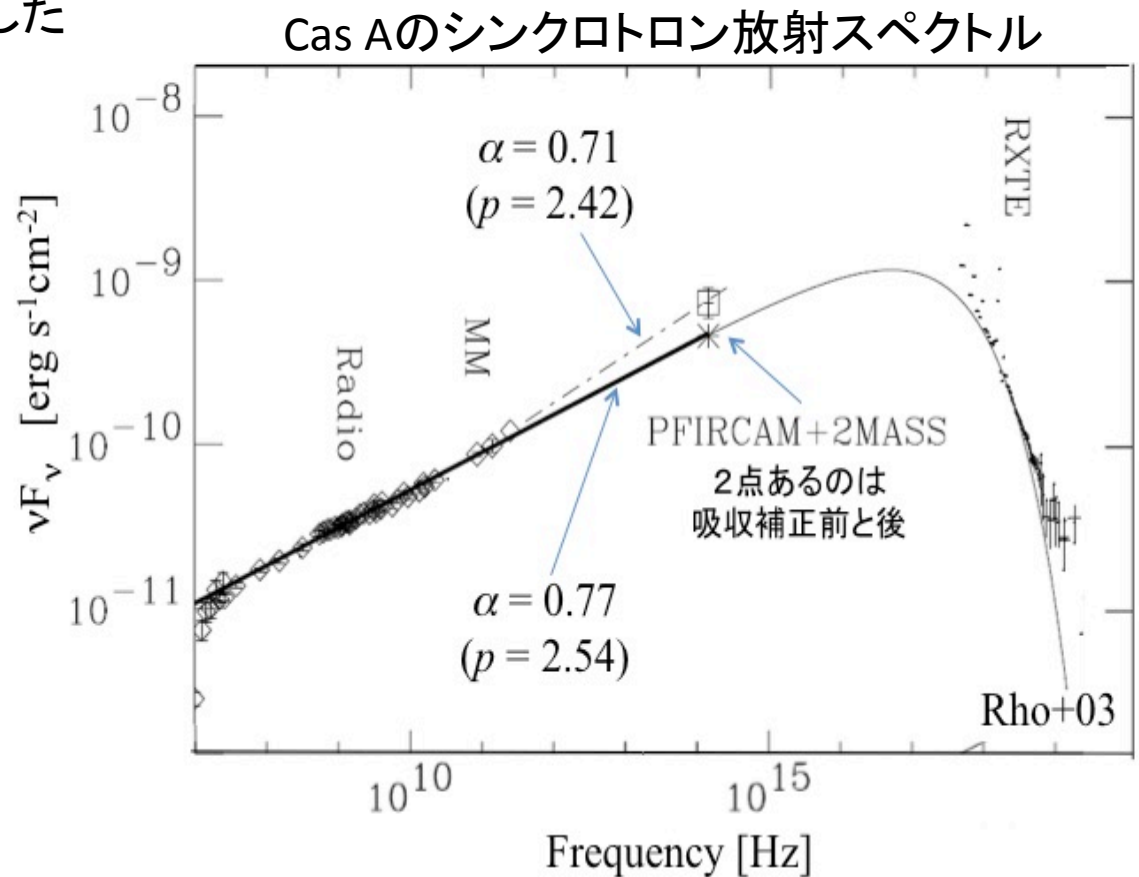
電波のスペクトルを g-band へ外挿した
フラックス(星間吸収補正後)

Cas A : 24 mag/arcsec²

Tycho : 24 mag/arcsec²

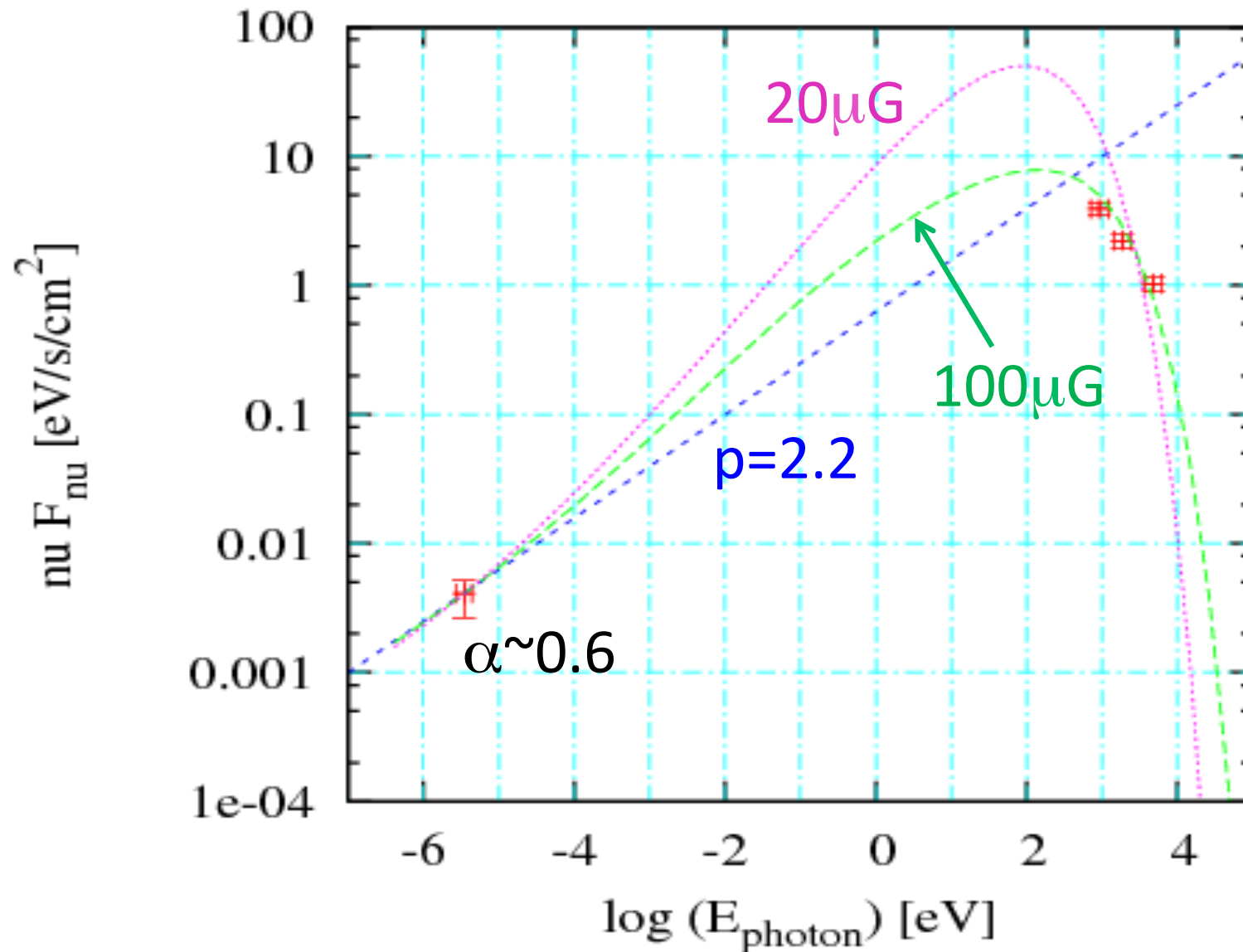
SN 1006 : 29 mag/arcsec²

=> つまり容易に検出可能？



Synchrotron spectrum of RCW86

For $M_0 \sim 50$ case, $B \sim 100 \mu\text{G}$ is needed to fit radio-X synch.

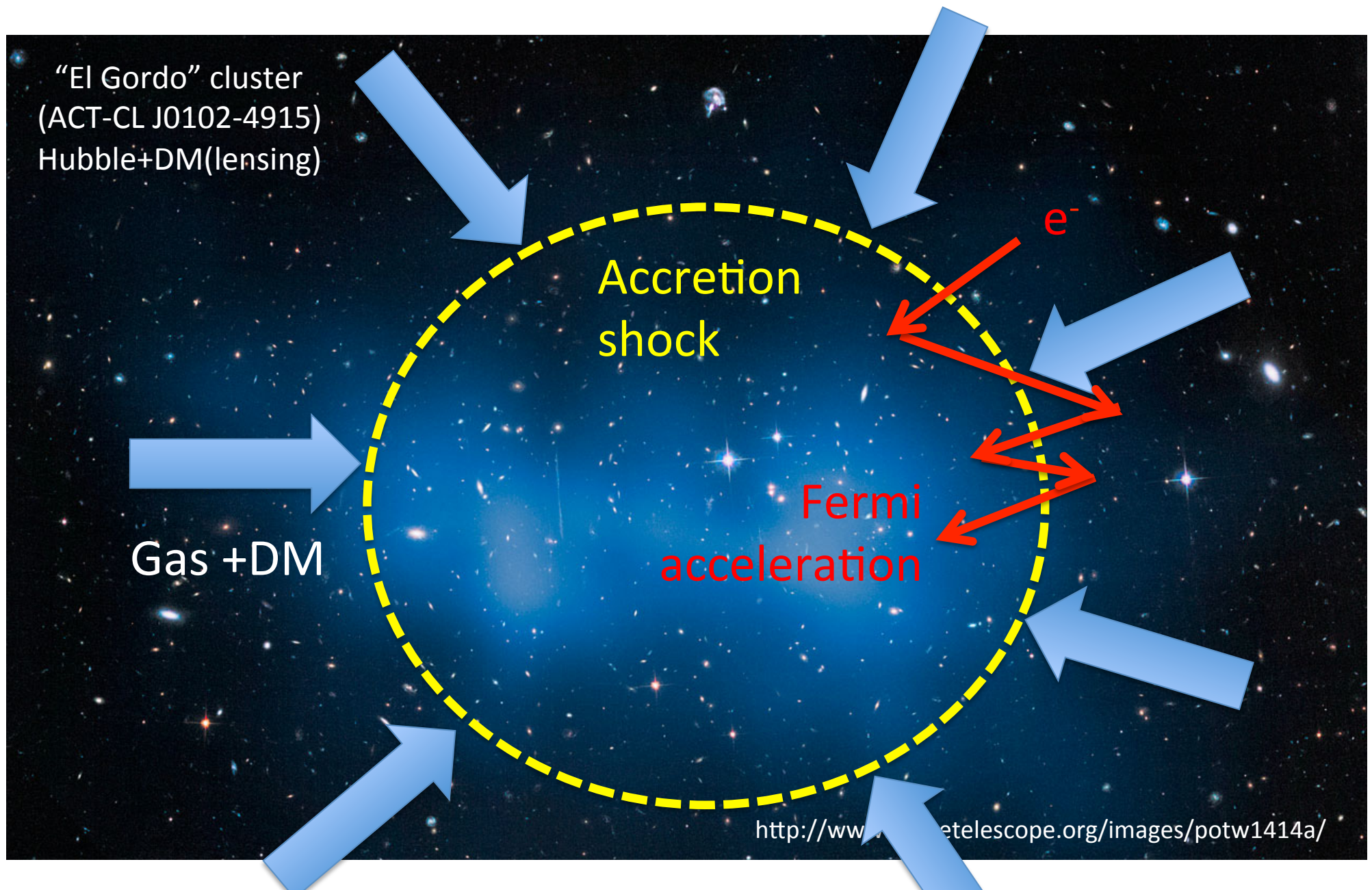


例2: パルサー星雲の可視光シンクロトン放射

(田中周太氏提供)

Name	Size	Flux [Jy]	SB [Jy/arcsec ²]	SB [mag/arcsec ²]	Av[mag]	Absorbed SB
1E1547.0-5408	1'x1'	2.4e-6	8.4e-10	32	43.4211	75
79Kes 75	26''x20''	1.4e-3	3.5e-6	23	56.0702	79
Crab	7.6'x5.0'	3.5	3.3e-5	20	4.8231	25
G21.5-0.9	80''x80''	1.4e-2	2.7e-6	23	24.4006	47
G54.1+0.3	2.5'x2'	3.9e-4	2.3e-8	28	10.7081	39
G0.9+0.1	2'x2'	8.9e-4	7.9e-8	27	142.2170	170
3C58	6'x9'	4.3e-3	2.8e-8	28	2.6144	30
G310.6-1.6	1.3'x1.3'	2.8e-3	5.8e-7	24	10.2823	35
G11.2-0.3	80''x80''	3.1e-4	6.2e-8	27	46.5110	73
G292.0+1.8	4'x4'	1.3e-3	2.8e-8	28	2.2739	30
B0540-69.3	10''x10''	6.2e-4	7.9e-6	22	7.0236	29

Optical inverse Compton emission from clusters of galaxies
(Yamazaki & Loeb, 2015, MNRAS)



例3：銀河団の逆コンプトン散乱放射

Yamazaki & Loeb (2015), MNRAS

Accretion shockで加速された電子の逆コンプトン散乱放射
⇒Virial shockの位置を同定できるか？

Table 1. Predicted surface brightness in SDSS *g* band for specific clusters.

Name	z	M^a ($10^{14} M_{\odot}$)	Surface brightness ^b (mag arcsec ⁻²)		
			$p = 2.0$	$p = 2.5$	$p = 3.0$
IDCS J1426.5+3508	1.75	5.3	34.1 (C2)	32.1 (B2)	31.2 (B3)
SPT-CL J2106–5844	1.132	9.8	34.2 (B2)	32.1 (B2)	31.8 (B3)
ACT-CL J0102–4915	0.870	22.3	33.7 (B2)	32.1 (B3)	32.7 (B3)
SPT-CL J2344–4243	0.596	25.0	34.0 (B2)	32.3 (B3)	32.8 (B3)
MS 1054–0321	0.83	12	34.4 (B2)	32.3 (B2)	32.0 (B3)
SPT-CL J0658–5556	0.296	31.2	34.3 (B2)	32.5 (B3)	33.1 (B3)
XDCP J0044.0–2033	1.579	4.4	34.5 (C2)	32.6 (B2)	31.7 (B2)
SPT-CL J2337–5942	0.775	10.5	34.7 (B2)	32.6 (B2)	31.9 (B3)
Coma	0.0232	27.8	35.0 (B2)	32.7 (B2)	32.9 (B3)
MACS J1206.2–0847	0.44	14.1	34.9 (B2)	32.8 (B2)	32.2 (B3)
Abell 2390	0.228	18	35.1 (B2)	32.9 (B2)	32.5 (B3)
XLSSU J021744.1–034536	1.91	$\approx 2^c$	35.0 (C2)	33.3 (B2)	32.6 (B2)
Abell 2744	0.3064	70	33.4 (B2)	33.3 (B3)	33.9 (B3)

例4：銀河風、Fermi bubble？

天の川銀河のFermi bubbleの可視光対応放射があるか？

ちょっと苦しい？(下図)

エッジが明るくなっていけばもしかしたらうかるかもしれない？

同様のものが近傍の銀河にもあるか(星形成銀河ならもっと明るい)？

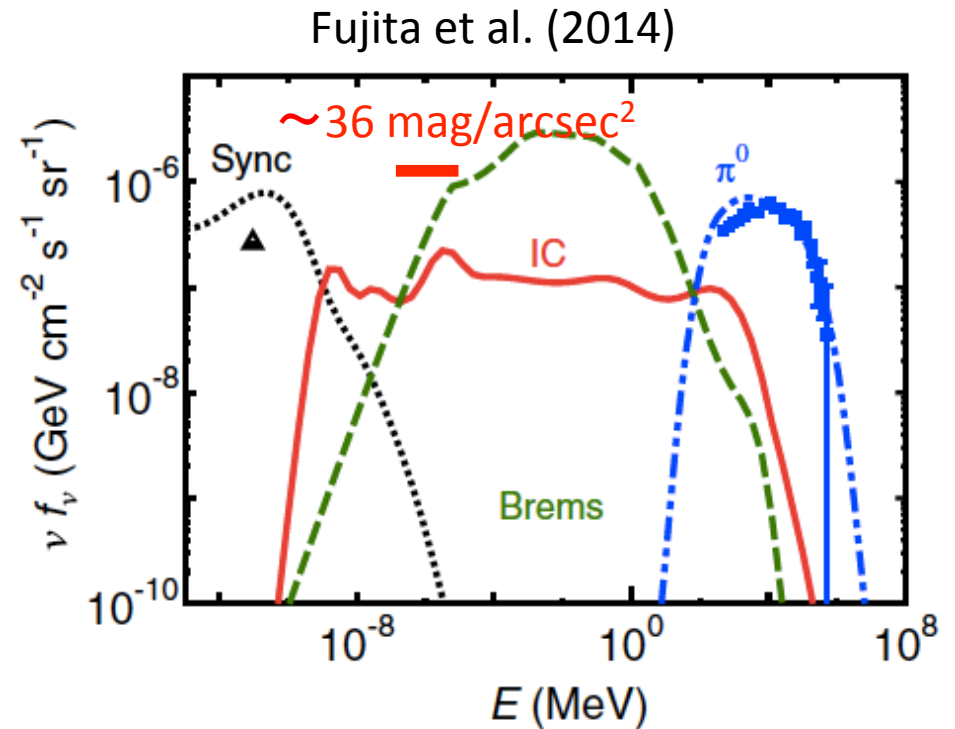
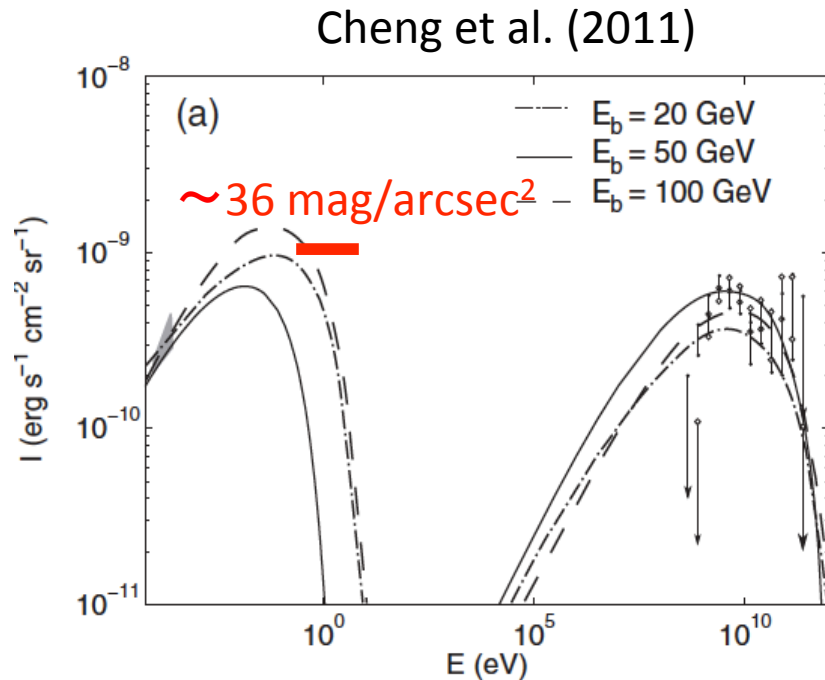


Figure 11. Same as Figure 4 but for Model EL.

自作する？

太田さんに「自分で作ったら？」と言われてその気になった。

坂本さんに話したところ、重力波などの広視野の突発天体観測と相性も良さそう。

ひとつひとつのパーツ(鏡筒、CCDなど)は100万円以下なので、小さな予算を組み合わせて製作できそう。

坂本さんのご所望の望遠鏡を(坂本さんが)買ってみた:

鏡筒: Veloce RH-200 (Officina Stellare 社): $f=3.0$,

CCD: Atik 11000 (ATIK社): $4007 \text{ pixel} \times 2671 \text{ pixel}$

⇒ sampling sizeは 3.1秒角、視野は 3.4度 \times 2.3度。

⇒ 3台ならべると、Abraham & van Dokkam の式が正しいならば、実効的に

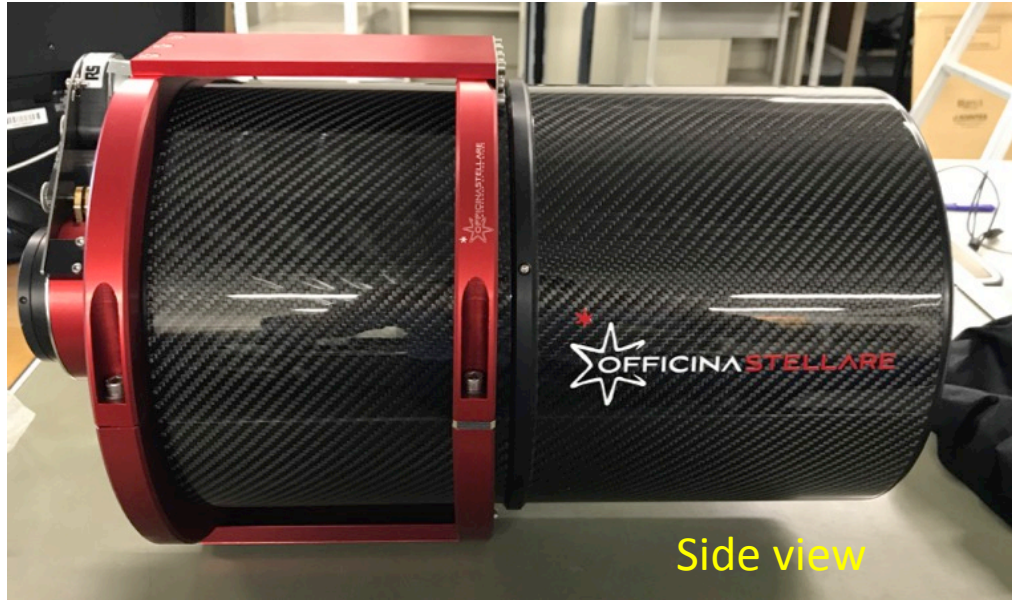
$f = 3.0/\sqrt{3} = 1.7$ 、口径 $20\text{cm} \times \sqrt{5} = 35 \text{ cm}$ 。

⇒ $29 \text{ mag arcsec}^{-2}$ くらいの感度を達成できそう？

とりあえず町田の青学のグラウンドに設置してプロトタイプを作るが、完成したらもっとseeingの良いサイトにおいて観測してみたい。

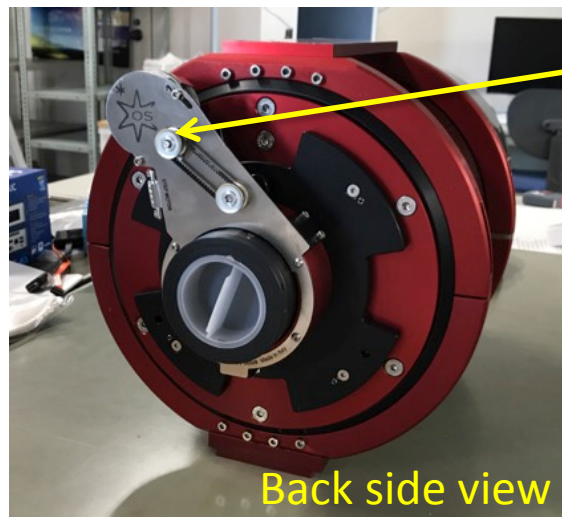
⇒ 東広島天文台に設置するのは可能でしょうか？

Veloce RH-200 Telescope

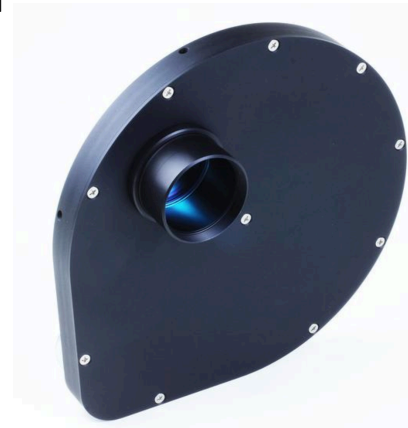


Veloce RH-200 specification

Aperture size	200 mm
Focal ratio	F/3
Focal length	600 mm
Weight	9 kg
Optics	Riccardi-Honders
Focus	Motorized focuser



Motorized focuser



Color filter wheel
(FLI CFW 2-7):
50 mm; U,V,B,R,I, H α

ATIK-11000 Camera



Sensor type	CCD: Kodak KAI 11002
Sensor size	37.25 mm x 25.70 mm
Pixel size	9 um x 9 um
Pixel resolutions	4007 pixels x 2671 pixels
ADC	16 bit

Expected performance: RH-200+ATIK-11000

- Sampling size: 3.1"
- Field of view: 3.4 deg x 2.3 deg
- Surface brightness: ~ 29 mag/arcsec²



Image of M31 by RH 200

まとめと今後

- 個別の天体について、もう少し詳細な見積もりを行う必要あり。
=> 観測ターゲットの選定。
- いまのところrバンドとgバンドが主だが、将来的にはH α 輝線の観測 (e.g. 衝撃波同定) も面白いかもしれない。
- DragonFly/Huntsman チームと連携(?)
(すでにTychoを観測済だがデータが送られてこない。。。)
- 独自の望遠鏡を設計中。今後、予算獲得を目指す。
- 一緒にやってくれる人を募集中！