

木曾超広視野高速CMOSカメラTomo-e Gozenと他計画との感度比較

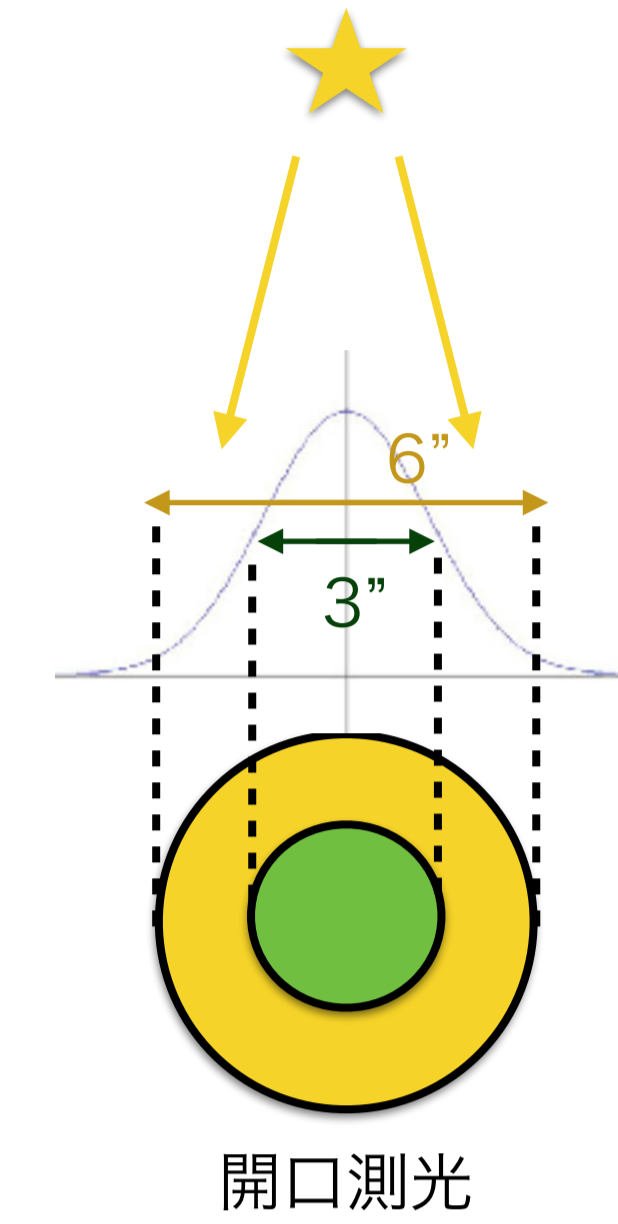
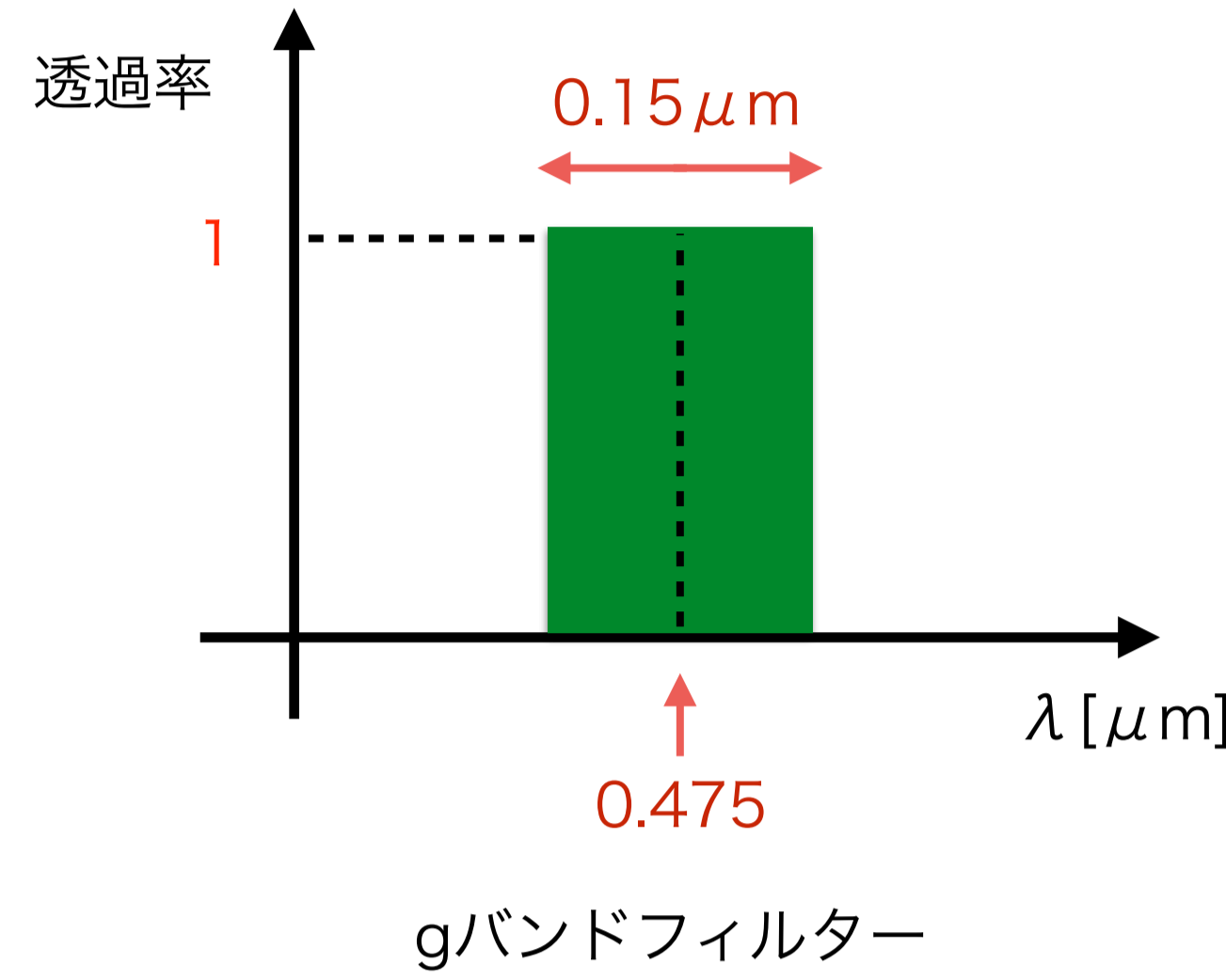
小島悠人, 酒向重行, 大澤亮, 高橋英則, 一木真, 土居守, 小林尚人, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 小西真広, 満田和真, 有馬宣明, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 猿楽祐樹, 森由貴, 中田好一, 戸谷友則, 松永典之, 茂山俊和 (東京大学), 白井文彦 (神戸大学), 渡部潤一, 山下卓也, 田中雅臣, 前原裕之, 春日敏測, 有松亘, 猪岡皓太 (国立天文台), 冨永望 (甲南大学), 板由房, 小久保充 (東北大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所), 佐藤幹哉 (日本流星研究会)

1.はじめに

木曾のシーイングと木曾シュミット望遠鏡の口径を考えると、Tomo-eは他の大型広視野カメラと比べて、長時間露出での感度は劣る。しかし、CMOSセンサーの特徴である高速読み出しと低い読み出しノイズにより、フラッシュ天体・移動天体などに対しては他の大型広視野装置に匹敵する感度が見込まれる。今回は、このような天体に対して行った感度の計算結果を紹介する。

表1 Tomo-eと他の広視野カメラの性能比較

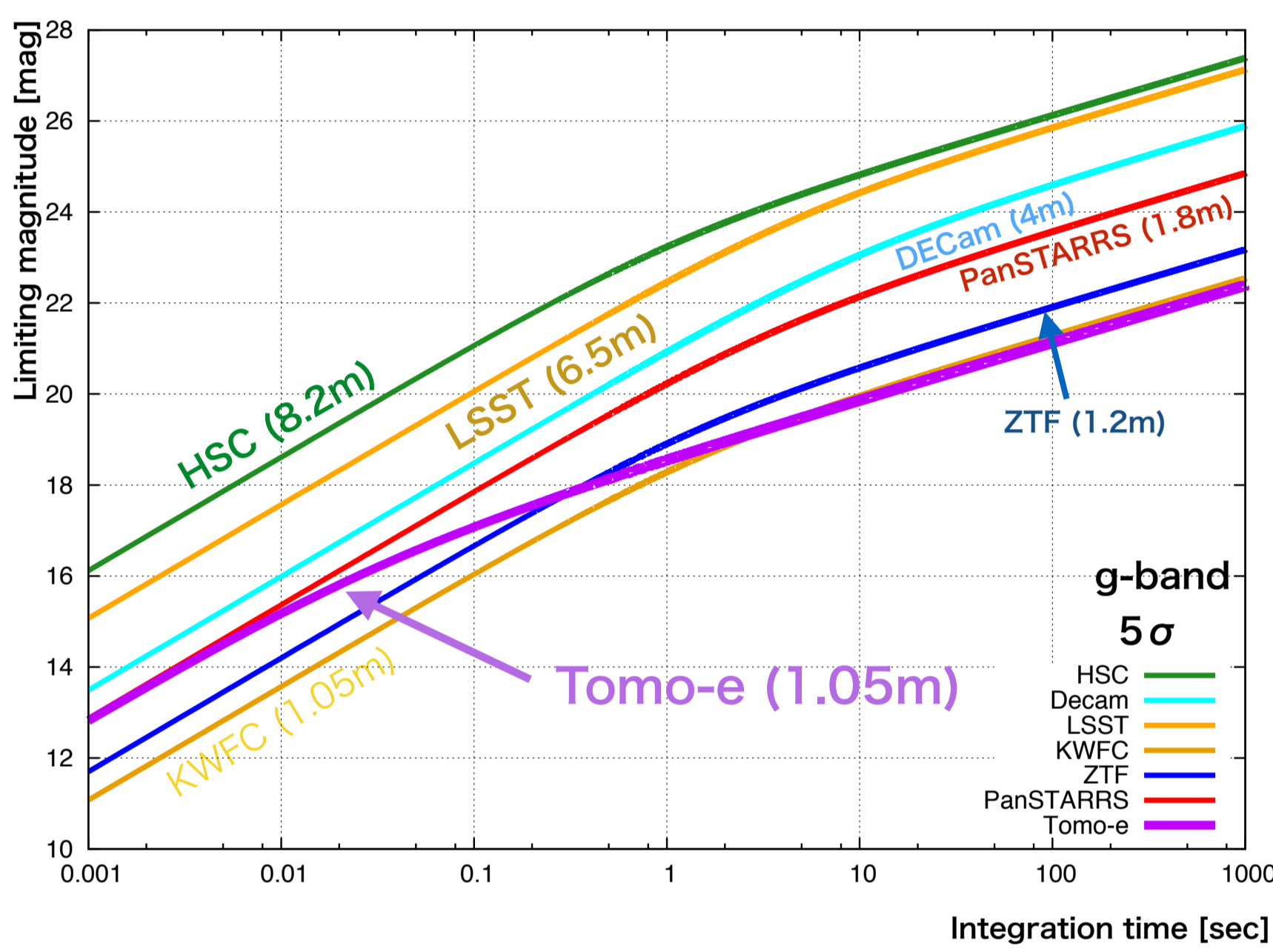
	Tomo-e	KWFC	ZTF	Pan STARRS	DECam	HSC	LSST
口径[m]	1.05	1.05	1.2	1.8	4	8.2	8.4(6.5)
視野[deg ²]	20	4	47	7	3	1.8	9.6
センサ	CMOS	CCD	CCD	CCD	CCD	CCD	CCD
読み出しノイズ [e/pix]	0.5	5	5	3	7	4.5	9
ピクセルスケール [arcsec/pix]	1.2	0.94	1.0	0.26	0.26	0.17	0.2
シーイング [arcsec]	3	3	2.2	0.7	0.95	0.7	0.7



開口測光をシーイングの2倍に取ると、開口測光内に含まれるピクセル数は下式のように表される。

$$N_{\text{pix}} = \pi \left(\frac{\theta_{\text{seeing}}}{\theta_{\text{pixscale}}} \right)^2$$

2.一定光度・静止天体への感度比較

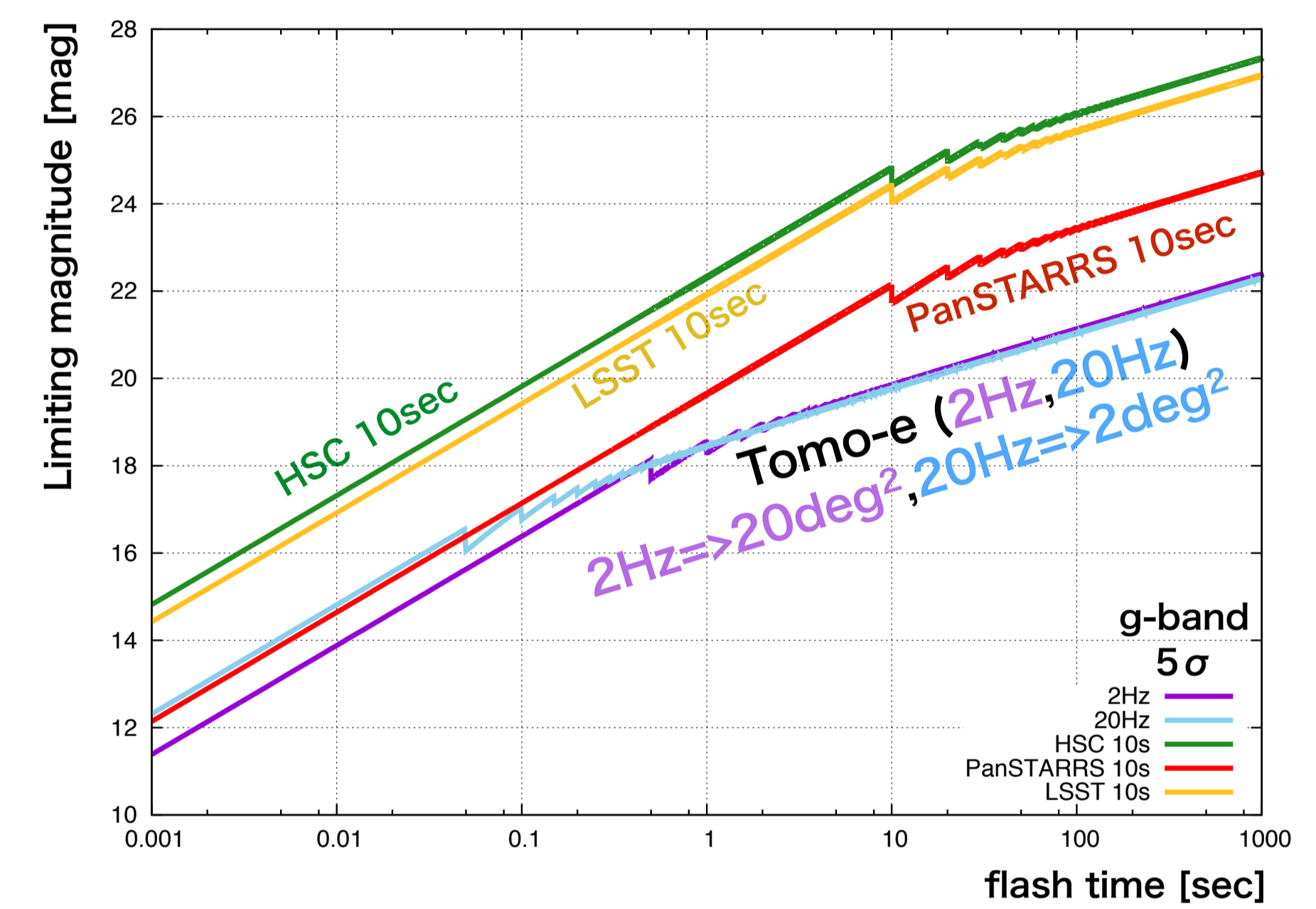
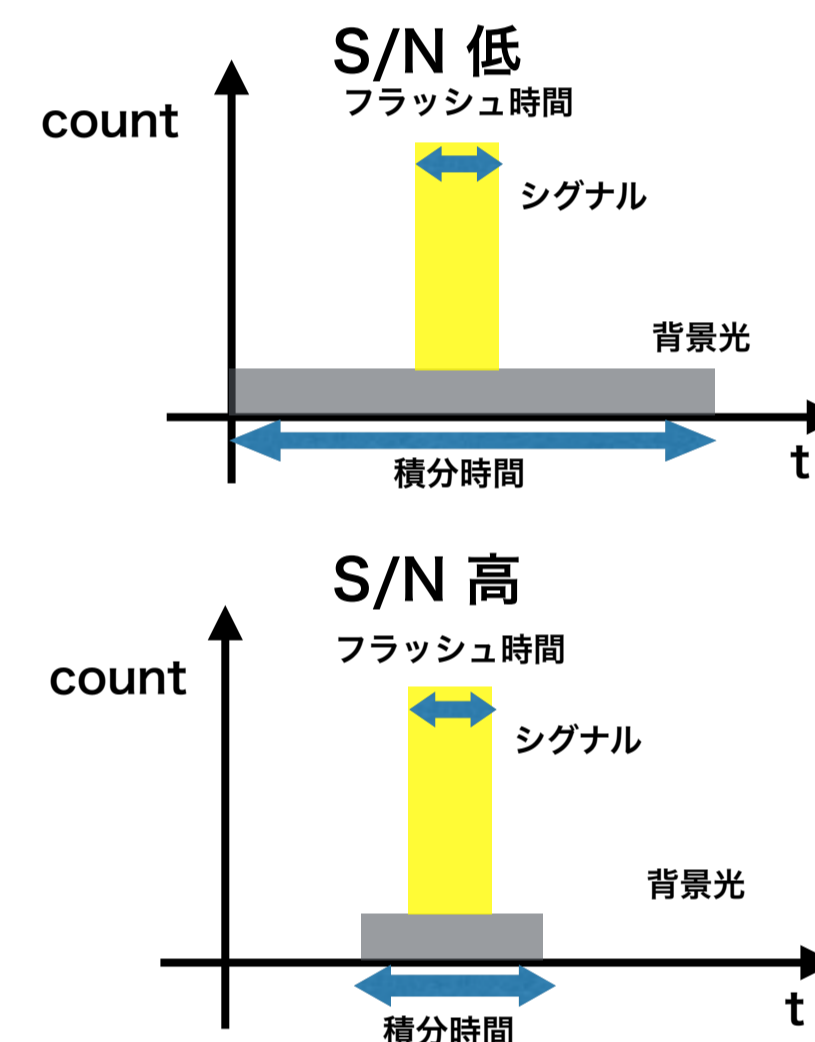


図はg-band、S/N=5での各装置の一定光度・静止天体への感度を表したものである。口径が大きい望遠鏡に取り付ける装置の感度は高い。

バックグラウンドリミットに達する時間は、CCDセンサで約3秒、CMOSセンサで約0.05秒である。

4.フラッシュ天体への感度比較

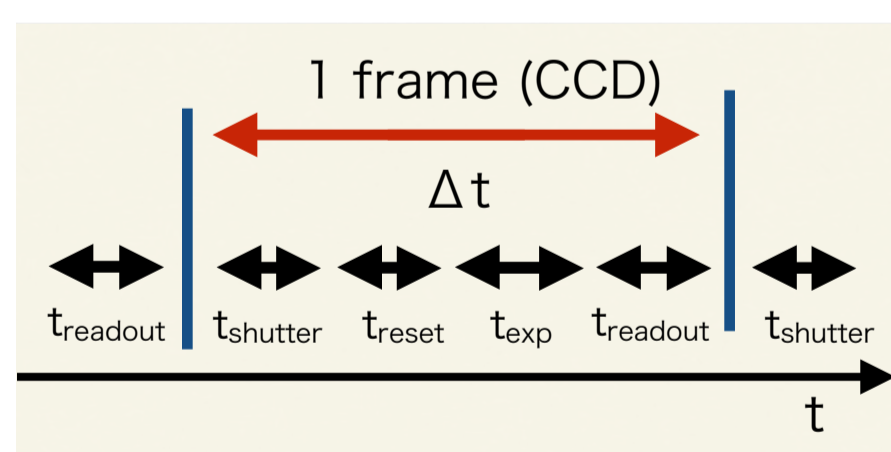
- Fast Radio Burst
- パルサーのジャイアントパルス
- マグネターのバースト
- 太陽系内天体の衝突



図はフラッシュ天体の発光時間に対する感度である。Tomo-e以外の装置は10秒積分、Tomo-eは2Hz・20Hzである。図中のステップはフレームの重ね合わせによるものである。

3.時間分解能の比較

- 時間分解能: Δt
- シャッター開閉時間: t_{shutter}
- 電荷リセット時間: t_{reset}
- 積分時間: t_{exp}
- 読み出し時間: t_{readout}



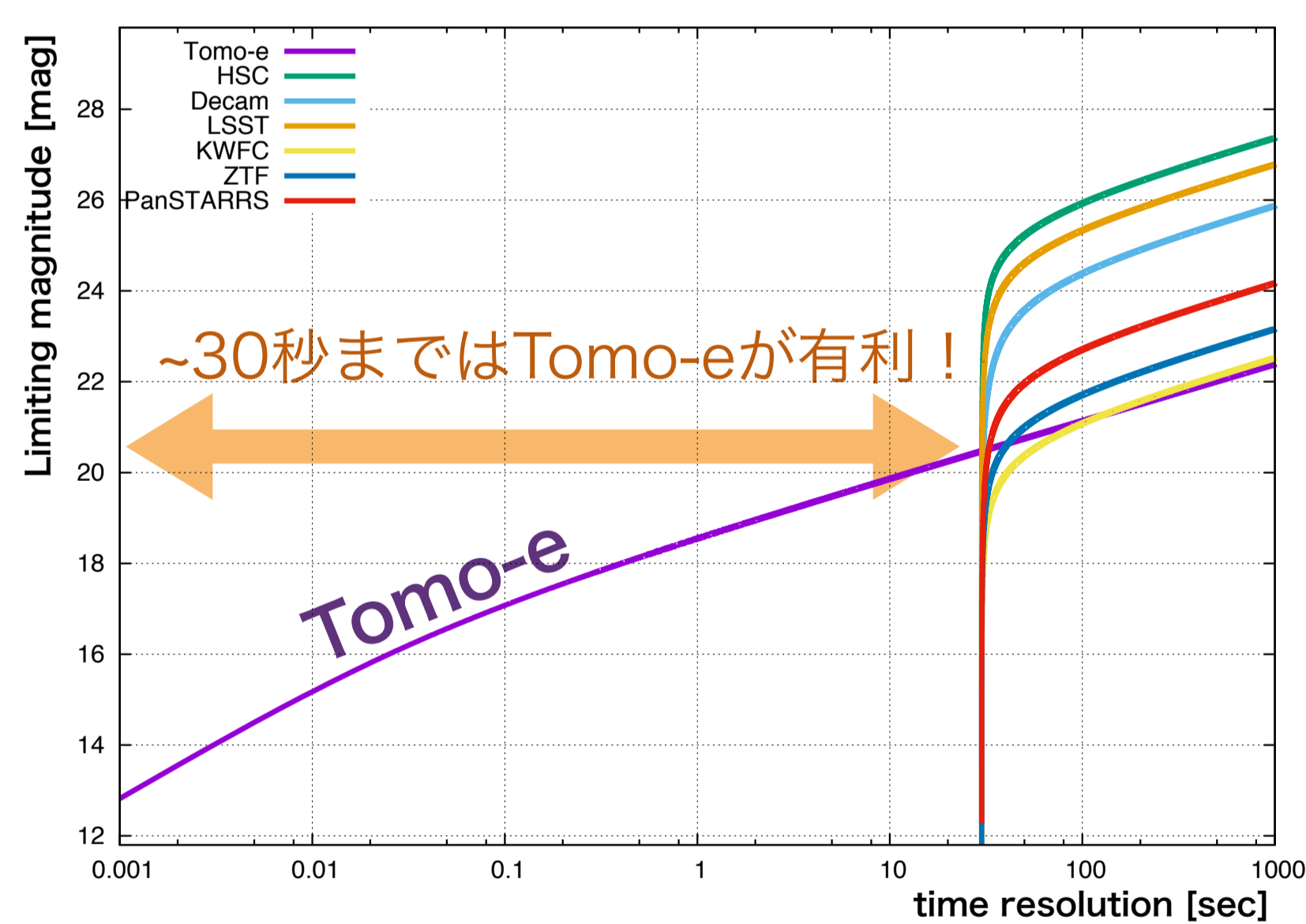
$$\Delta t = t_{\text{shutter}} + t_{\text{reset}} + t_{\text{exp}} + t_{\text{readout}}$$

$$= t_{\text{dead}} + t_{\text{exp}}$$

$$t_{\text{dead}} = t_{\text{shutter}} + t_{\text{reset}} + t_{\text{readout}}$$

$$t_{\text{dead, CCD}} \sim 30[\text{s}]$$

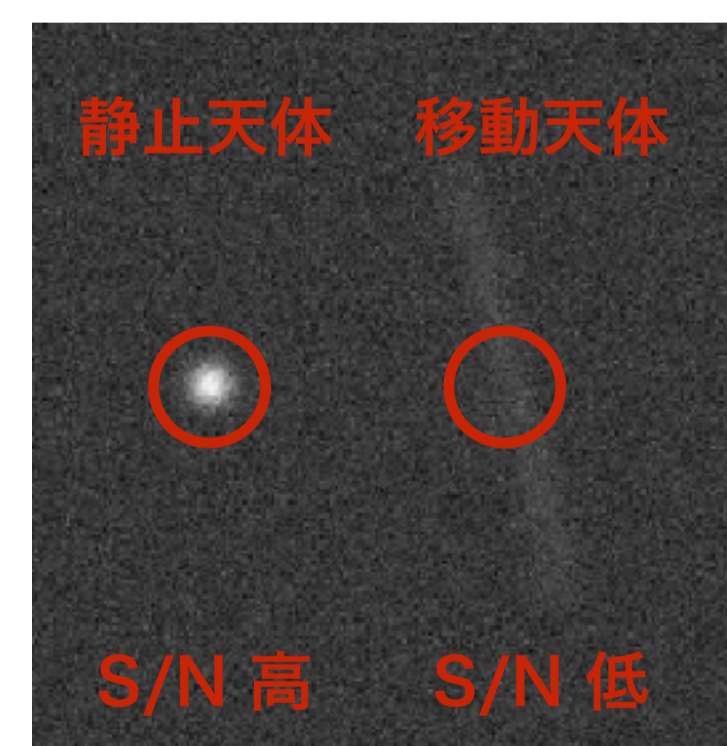
$$t_{\text{dead, CMOS}} \sim 0[\text{s}]$$



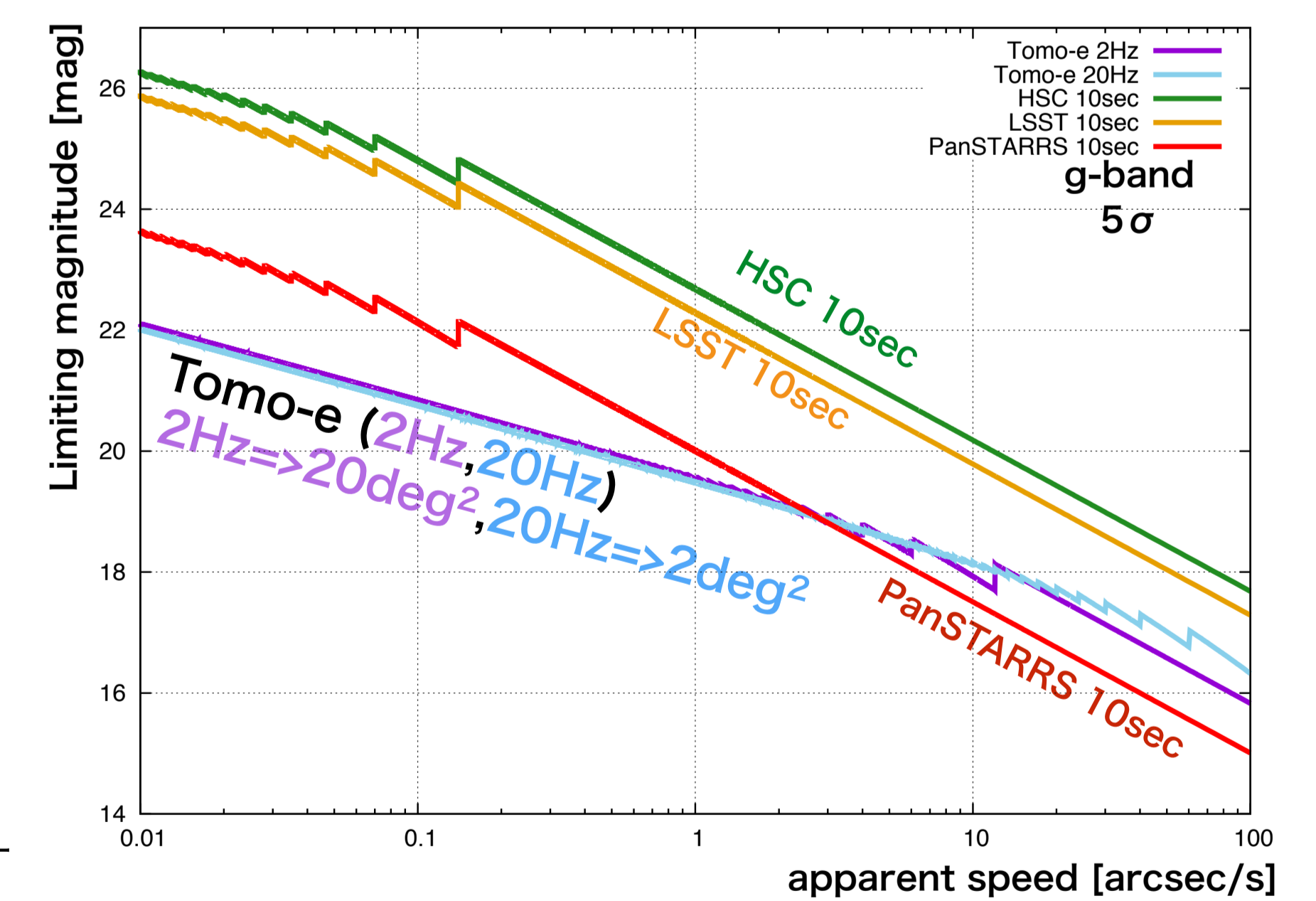
図はg-band、S/N=5での各装置の時間分解能を比較したものである。CCDのdeadtimeが約30秒であるから、それ以下の天体の時間変動を捉えることができない。数秒スケールでの時間変動を捉えることができるのはCMOSセンサを搭載するTomo-eのみである。

5.移動天体への感度比較

- Near Earth Object
- 微光流星
- スペースデブリ



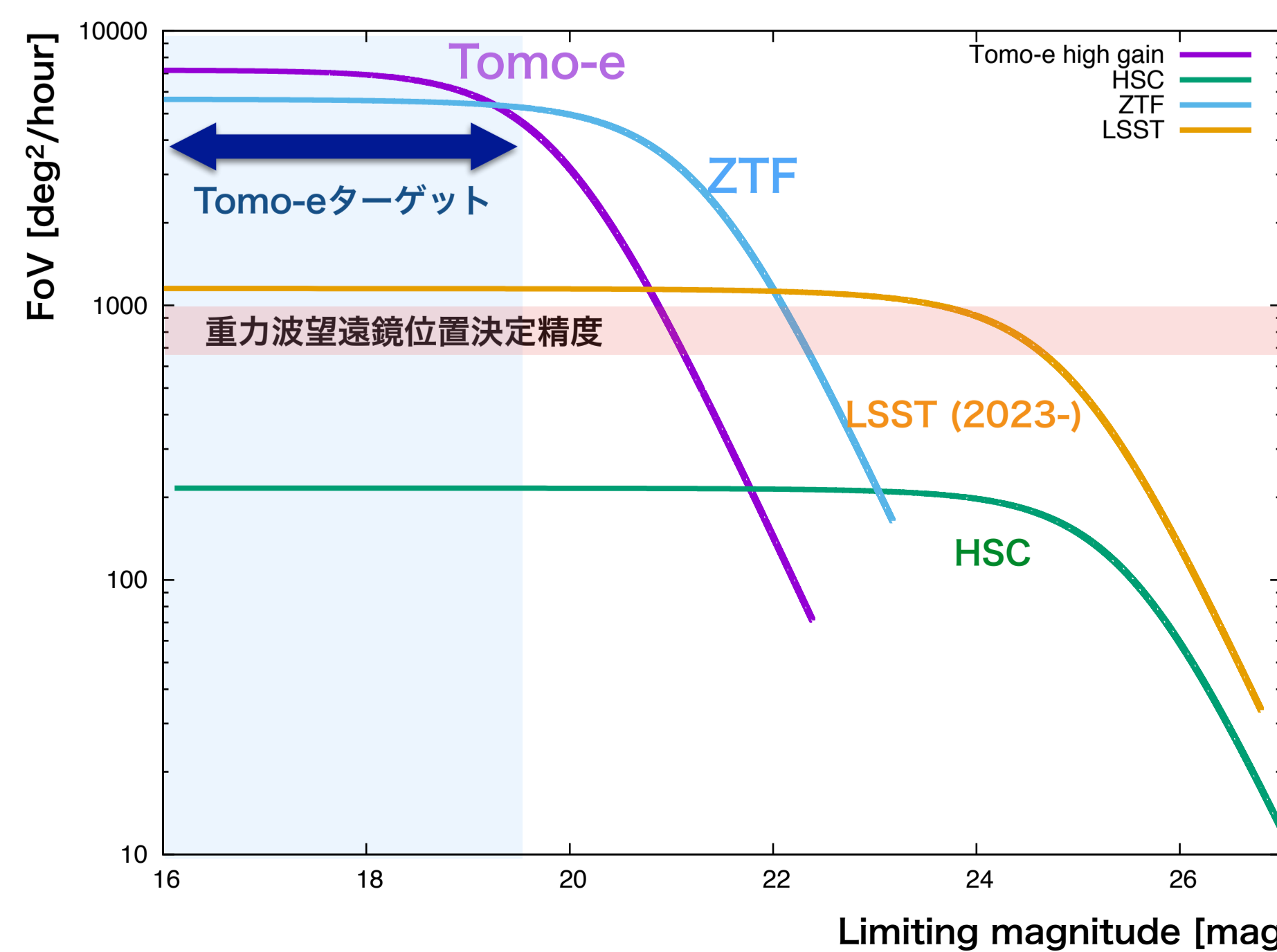
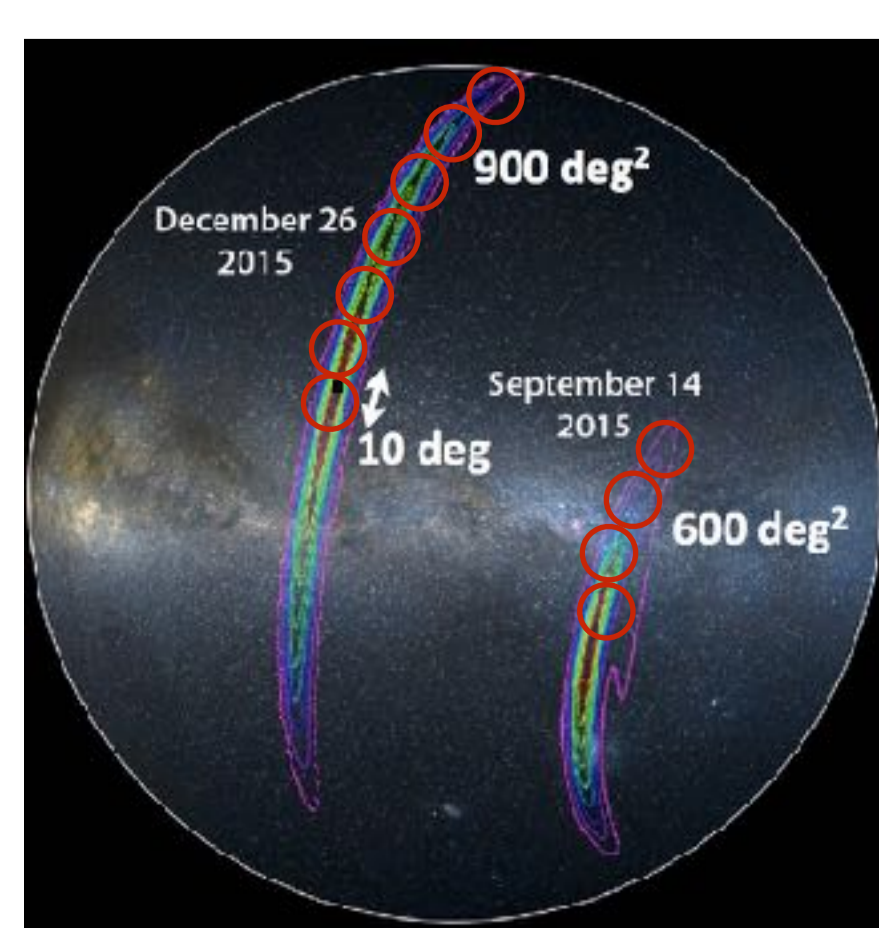
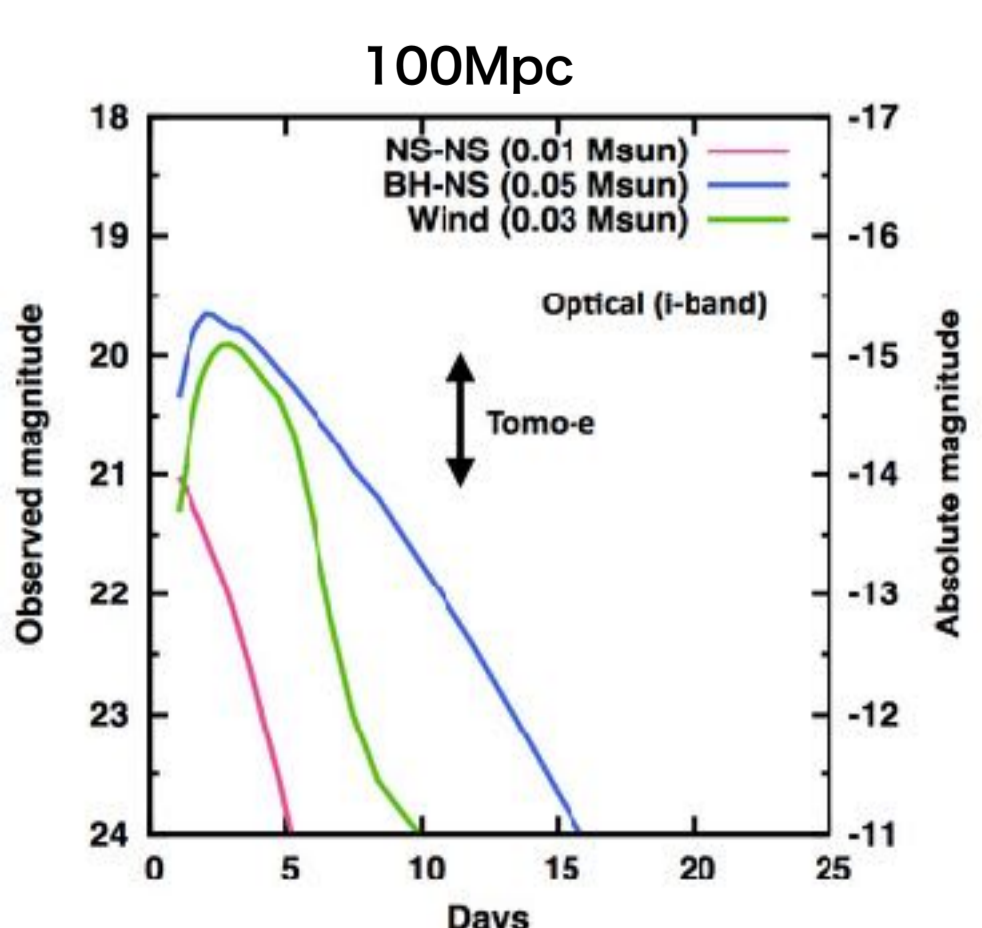
上の画像で、2つの天体の総シグナルは等しい。しかし、同じ測光開口を考えた時、移動天体の場合はS/Nが低くなるのが確認できる。



図は見かけの移動速度に対する感度である。Tomo-eは高速移動天体への感度の高さに加え、時間分解能の高さから移動天体の軌道も捉えることができる。

6.重力波可視光対応天体の探査能力の比較

現在の重力波望遠鏡の位置決定精度は600~1000degほどである。重力波源から放射される電磁波はイベント後数日で減衰すると予想されており、特に数時間以内の光度変化を計算できない状況にある。そのため、イベント後数時間以内の探査が重要となる。



図はある限界等級でサーベイ観測をした時に1時間あたりに掃ける視野を表している。観測のdeadtimeは、望遠鏡移動時間とCCDの読み出し時間を合わせて30秒と仮定した。Tomo-eに関しては望遠鏡移動時間10秒のみを考慮した。Tomo-eのターゲットである16~19等の天体に対しては、Tomo-eが最も効率のよいサーベイ観測が可能である。