

GW170817の電磁波追観測

Electromagnetic follow-up observations of GW170817

富永望
(甲南大学)



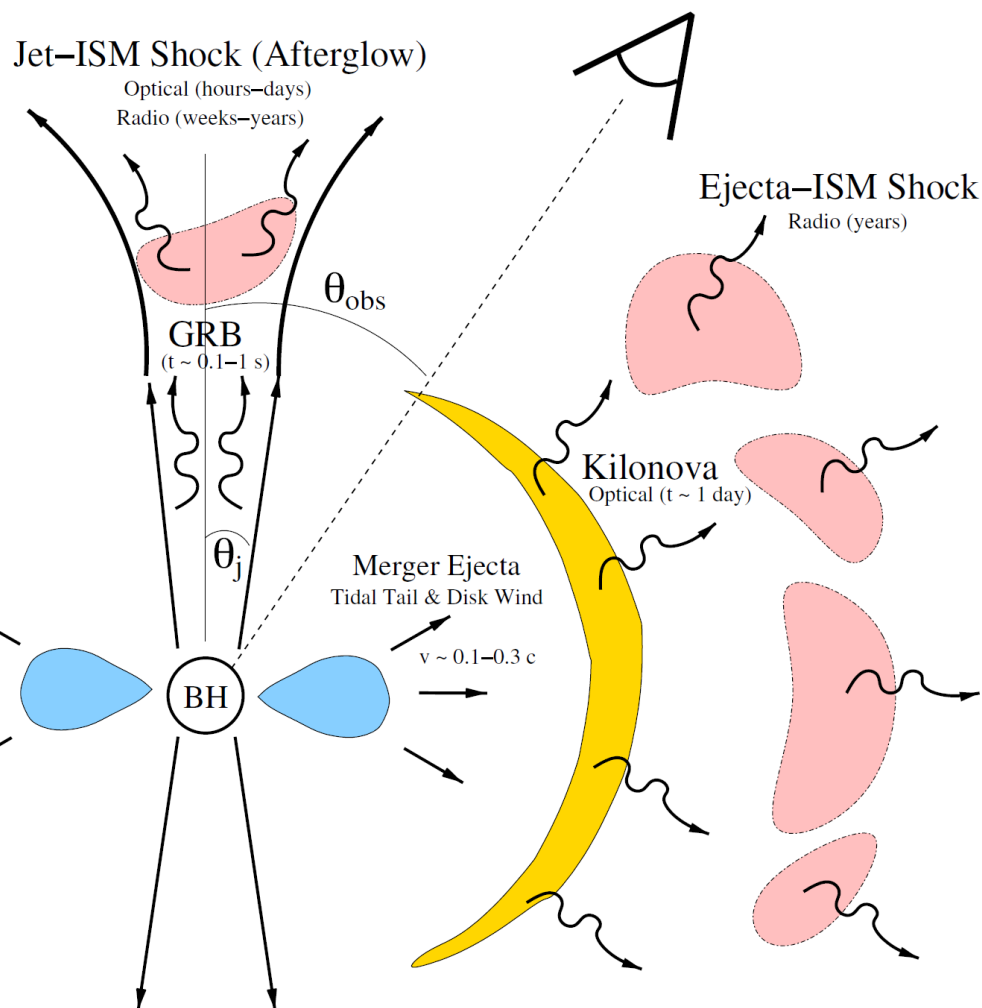
24th Mar 2018
重力波天文学の幕開け

重力波源の電磁波対応天体

中性子星合体からの重力波

-> 柴田さん講演

重力波源の電磁波対応天体



タイムスケール **短** (<週)

- 短ガンマ線バースト (sGRB)
- 相対論的ビーミング

γ , X, opt, IR

• キロノバ/マクロノバ

- rプロセスノバ

opt, IR

タイムスケール **長** (~年)

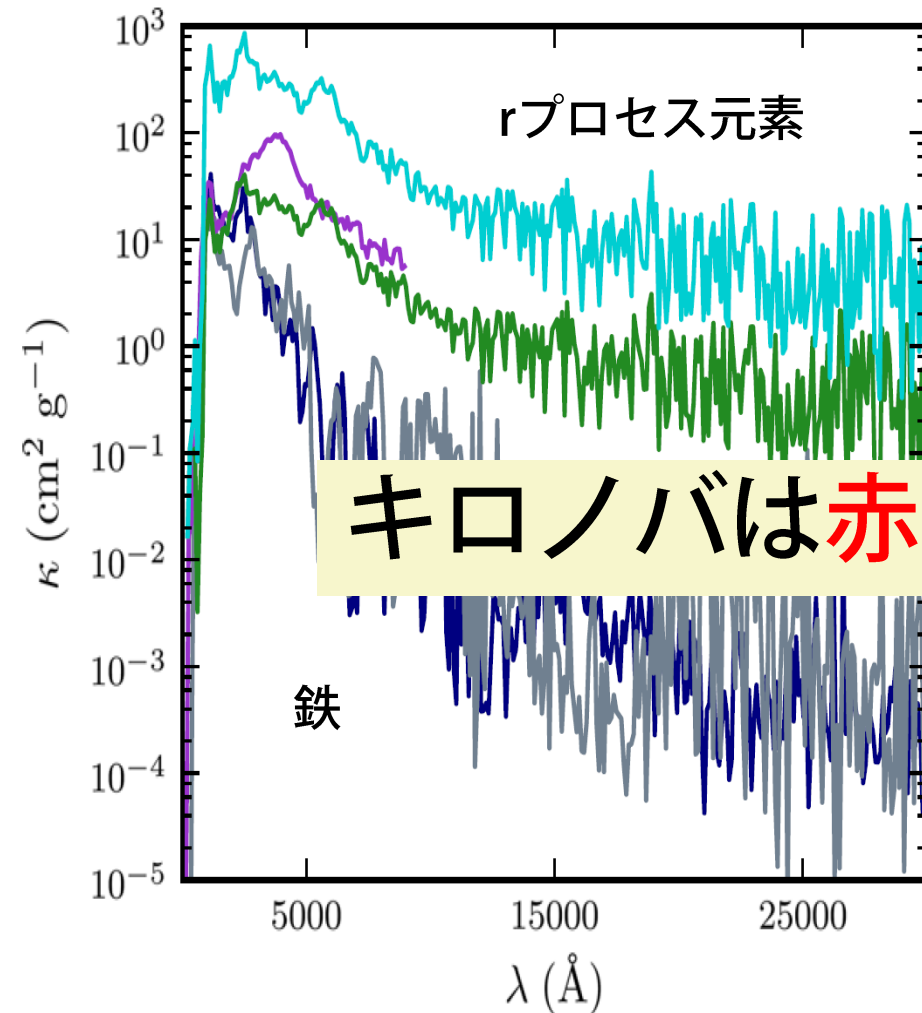
- GRB残光
- 星間物質との衝突

radio

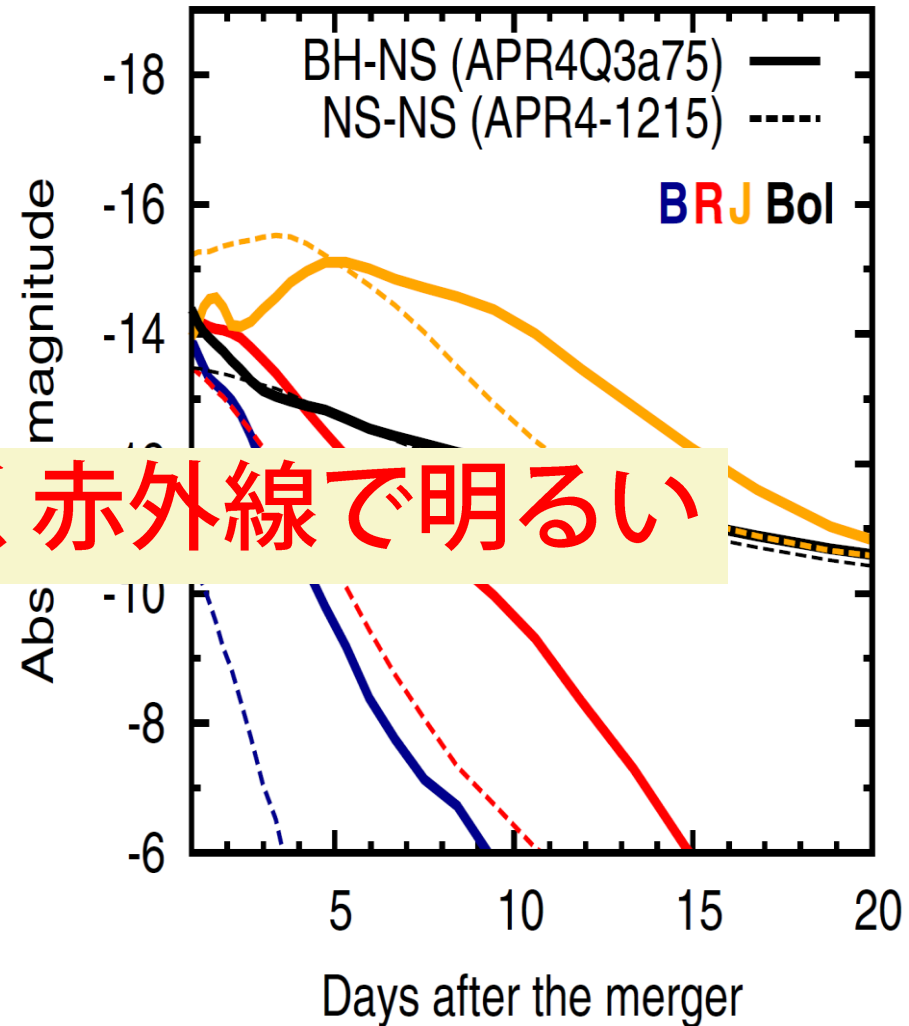
radio

キロノバの理論光度曲線

吸収係数

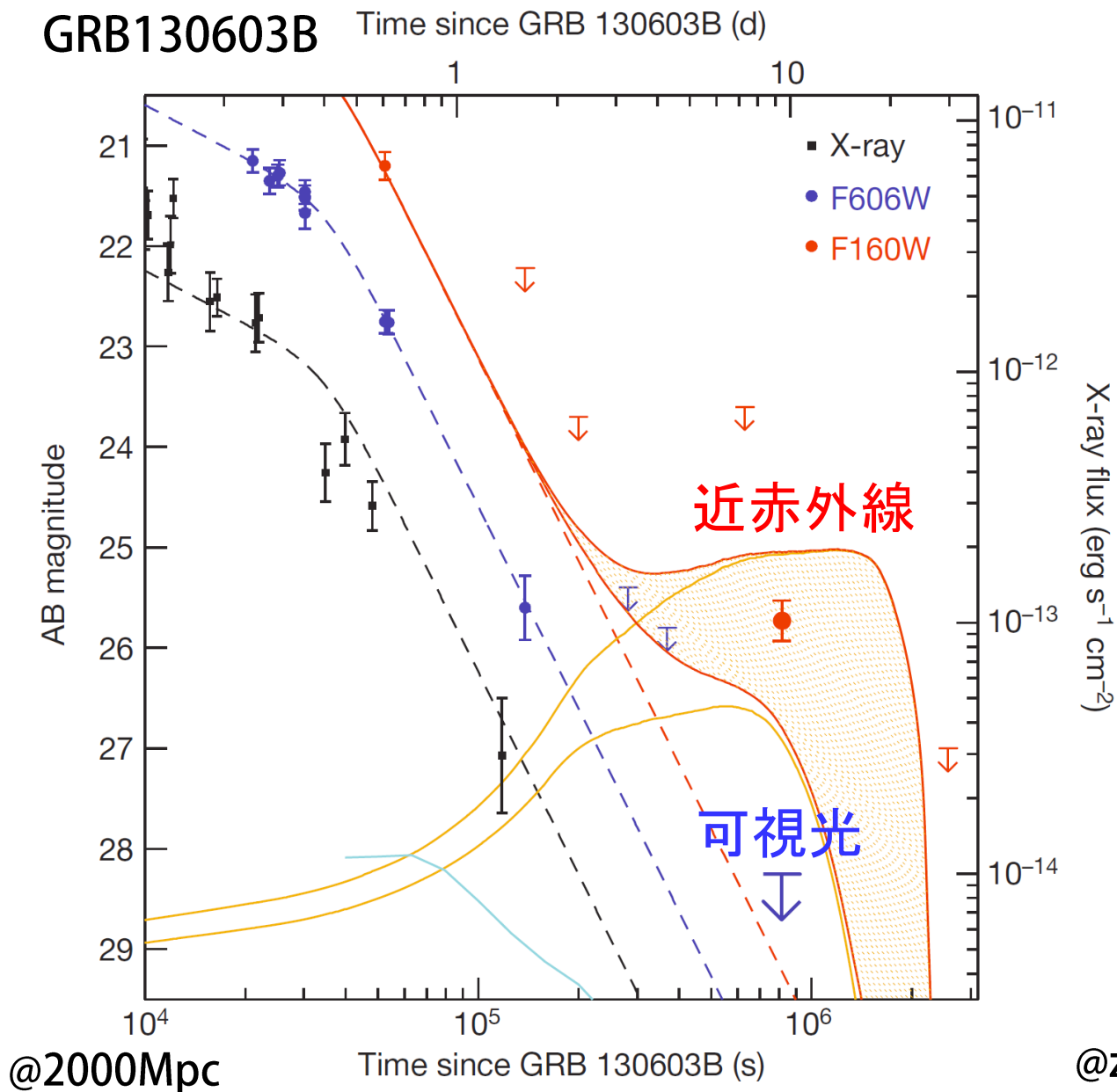


光度曲線



キロノバは赤く赤外線で明るい

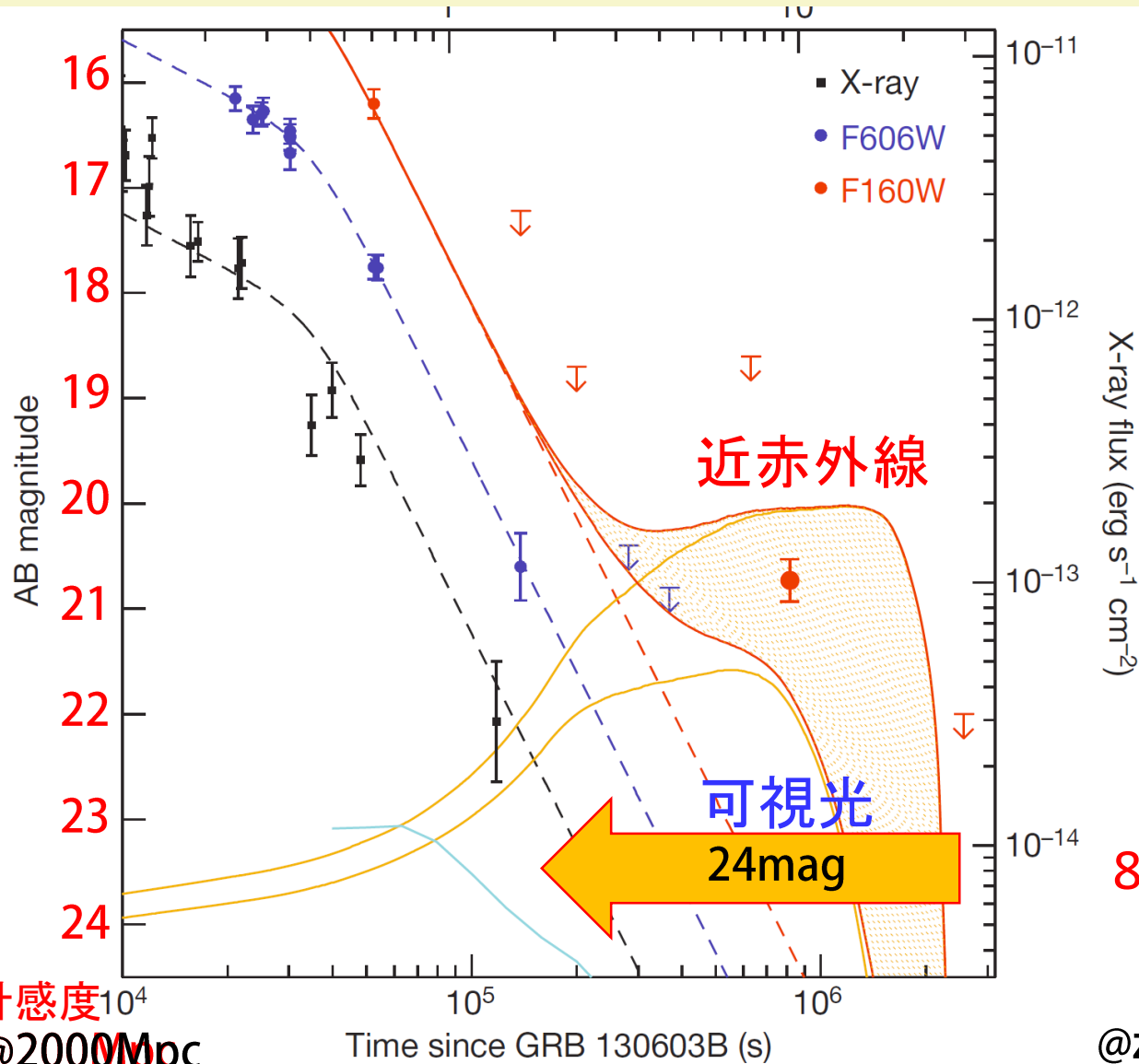
sGRB残光中の赤外超過



Berger+13
Tanvir+13

sGRB残光中の赤外超過

キロノバは重力波源の電磁波対応天体として有望



8m望遠鏡が必要

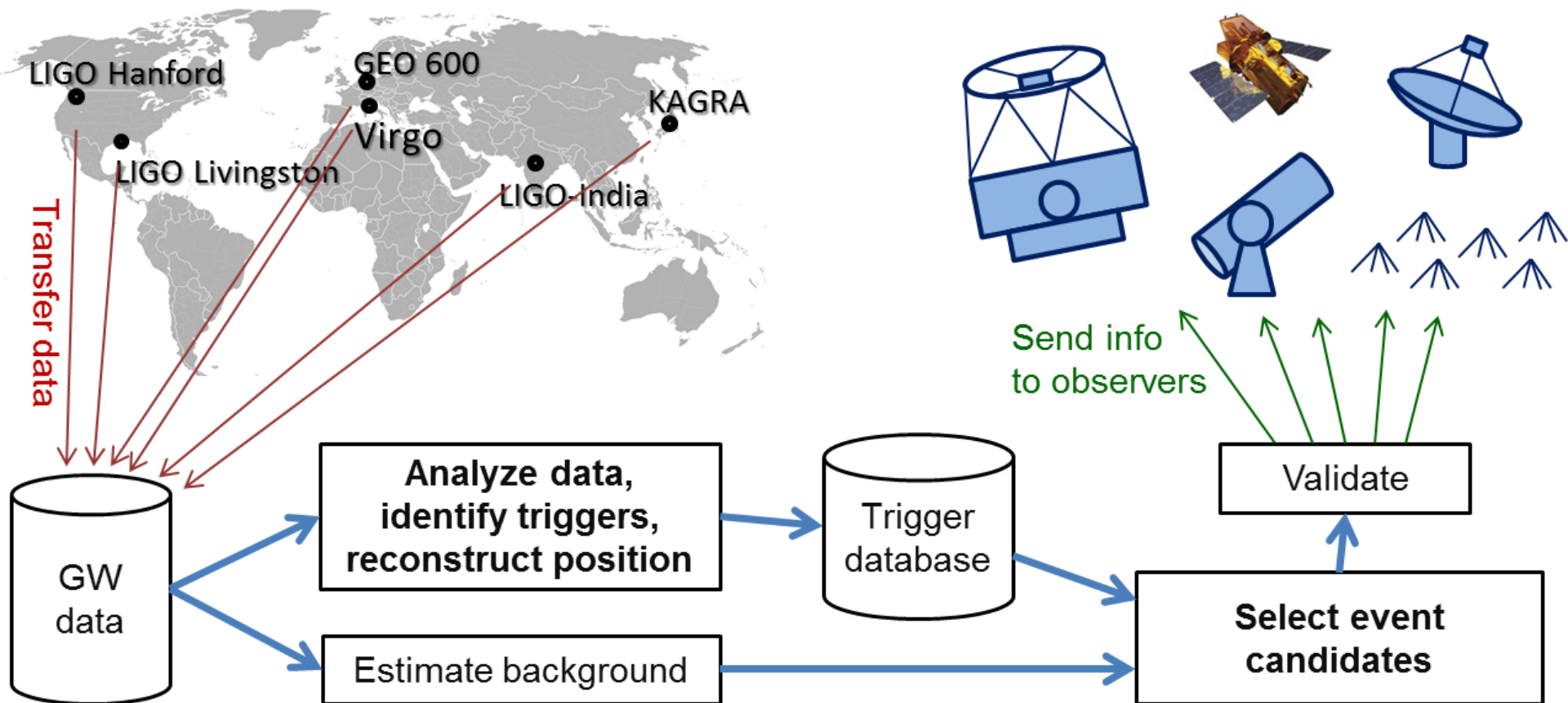
LIGO設計感度
@2000Mpc

@z=0.356

Berger+13
Tanvir+13

重力波の追観測体制

重力波アラートの流れ



重力波追観測グループ (84チーム,02)

AAO GW Candidate Obs.

AGILE

Apertif-EVN

ARAE

Astrophys. Research Inst., Liverpool

AROMA

ATLAS

AZTEC

Berger Time-Domain Research Group

BlackGEM

CALET

Caltech-NRAO Radio Transient Group

COSI

CRTS

CTA

CZTI-IUCAA

DLT40

DES

DWF

EWE follow-ups at Nanshan

Fast Spectroscopy with LBT

FAST

Fermi GBM and LAT

FIGARO

FLEAS

FRBSG

GOTO

GROND

GRA SAO RAS

HAWC

H.E.S.S.

HETGS

HXMT

HTRU

Huntsman

INAF-GRAWITA

IPN

ISDC INTEGRAL Science Data Centre

IUCAA

J-GEM

KU Korea-Uzbekistan Consortium

LCOGT

LGT Lulin

LOFAR-TKSP

LSQ

LV Swift MIT EM Follow-up

MAGIC

MASTER

MAXI

MeerKAT

MWA Murchison Widefield Array

NenuFAR

NTE

OGWARTS

OVRO

Pan-STARRS

PESSTO

Pi of the Sky project

PIRATE

RAPTOR

RATIR

RIMAS

RoboPol

SAAO

SkyMapper

SRO7

SVOM

Swift Mission

Terskol-GW follow-up

TLC X-ray Imaging

TLS

TTU LSC group

TTU Observatory

TOROS

TZAC

Leicester transient science team

UNC-LFP

USO

VAST

VERITAS

Wise-GECO

XMM-Newton Science Ops Centre team

XMM ToO

ZTF

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

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

A part of the project “Multi-messenger Observations of GW sources”

* collaborating with the KAGRA data analysis team

Main features:

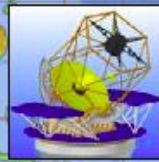
5 deg² opt. imaging w/ 1m
1 deg² NIR imaging w/ 1m
opt-NIR spectroscopy w/ 1–8m
opt-NIR polarimetry



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



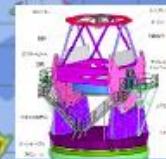
50cm telescope
(Hiroshima Univ. 2016)



3.8m telescope
(Kyoto Univ. 2017)



HSC, Subaru @Hawaii



TAO 6.5m (Tokyo Univ. 2018)



MOA-II, B&C (Nagoya Univ.) @ New Zealand



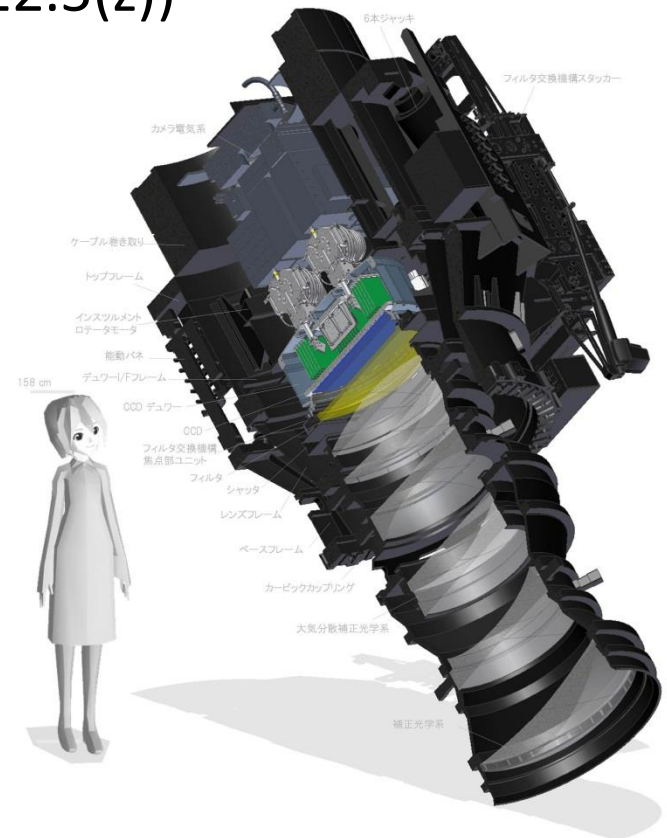
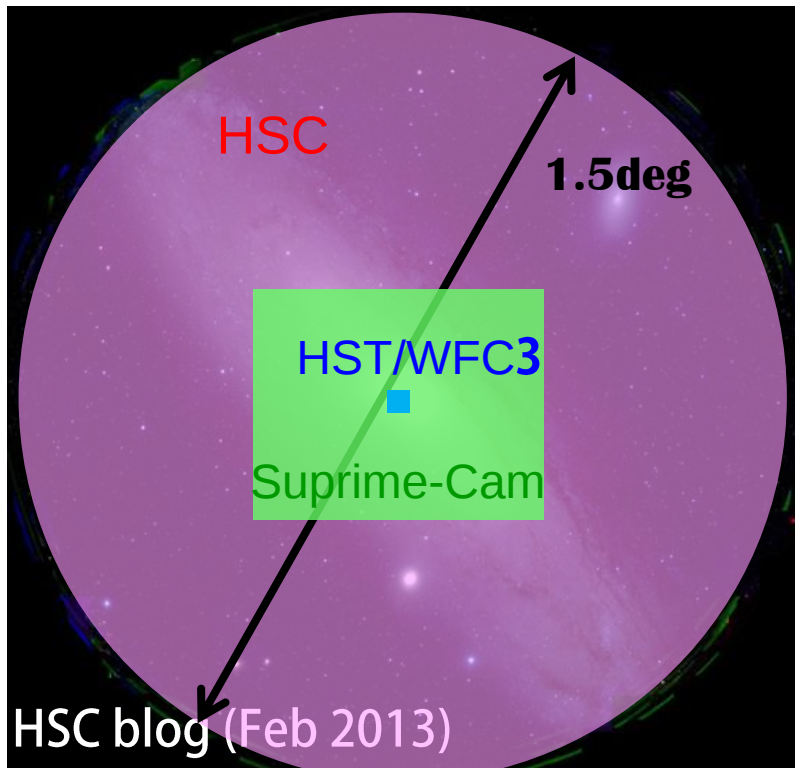
IRSF (Nagoya Univ.) @ South Africa

miniTAO (Tokyo Univ.)
ASTE (NAOJ) @ Chile

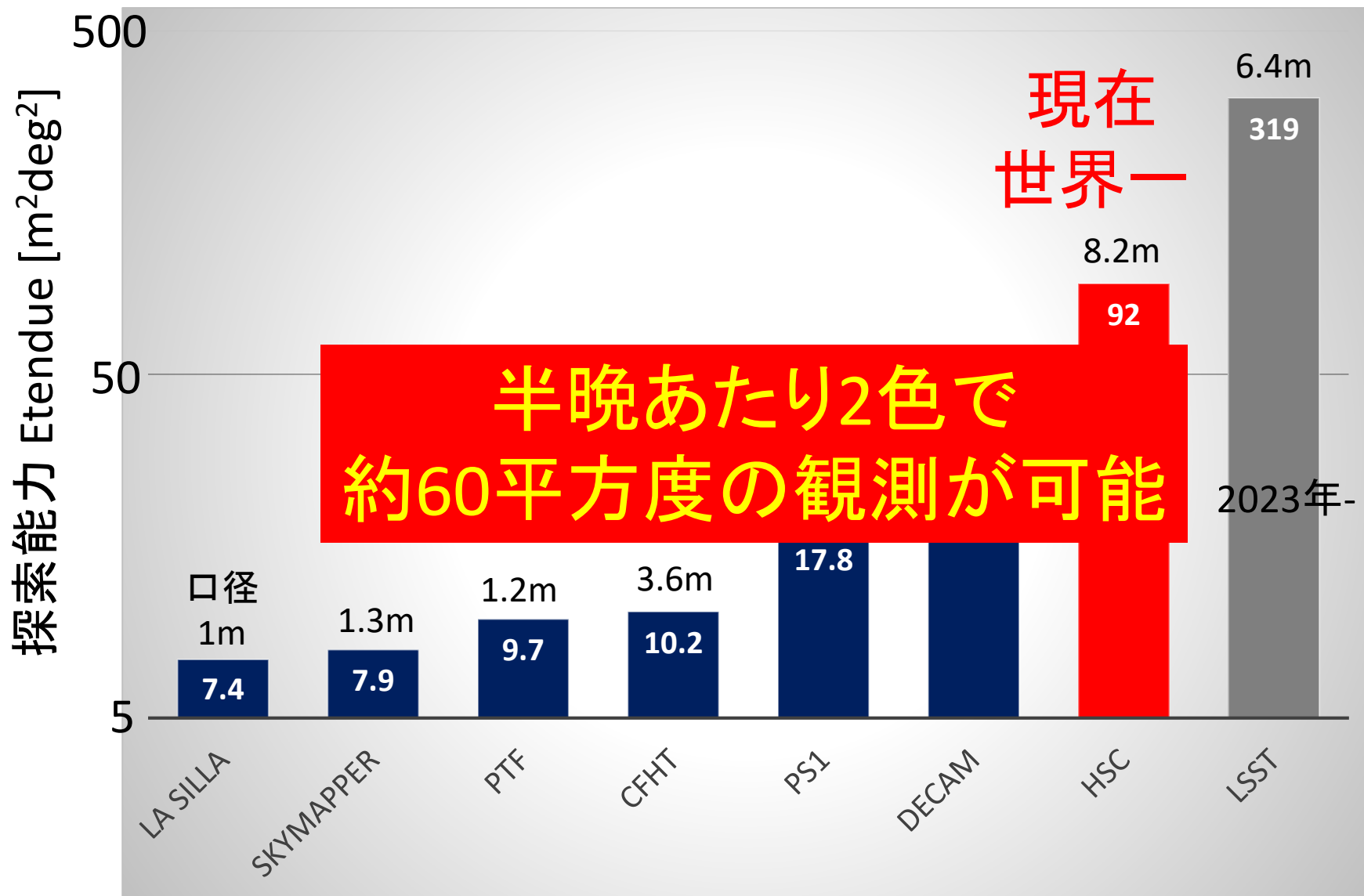


すばる望遠鏡HSC

- Hyper Suprime-Cam (HSC)
 - 口径: 8.2m, 視野: 1.77deg^2 , $\sim 900\text{M}$ pixels
 - 限界等級(1分, 5σ): **24.5(i)**, **23.8(z)**
(DECam 1分: 23.3(i), 22.5(z))



可視光望遠鏡の探索能力



J-GEMによる重力波追観測

- GW150914 ($36M_{\odot} + 29M_{\odot}$, 230平方度)
 - Morokuma et al. PASJ 2016
- GW151226 ($14M_{\odot} + 8M_{\odot}$, 850平方度)
 - Yoshida et al. PASJ 2017
 - Utsumi et al. PASJ 2018
- GW170104 ($30M_{\odot} + 20M_{\odot}$, 1200平方度)
 - 東京工業大明野観測所MITSuMEによる追観測
- GW170608 ($12M_{\odot} + 7M_{\odot}$, 520平方度)
 - 東京大学木曾観測所KWFCによる追観測
- GW170814 ($30M_{\odot} + 25M_{\odot}$, 60平方度) Virgoの参加
 - すばる望遠鏡HSC、名古屋大IRSF/SIRIUSによる追観測
 - 論文準備中

GW170817

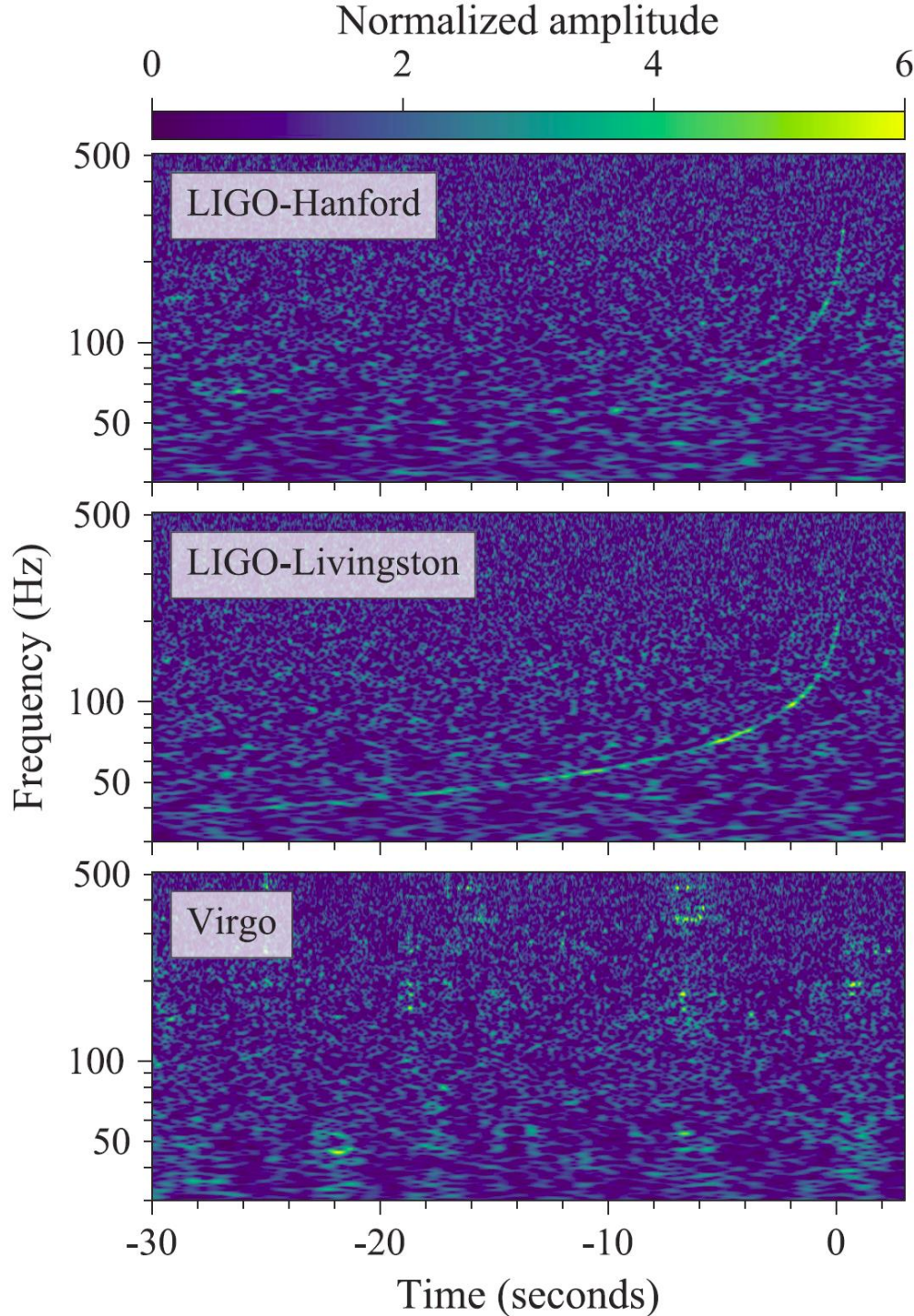
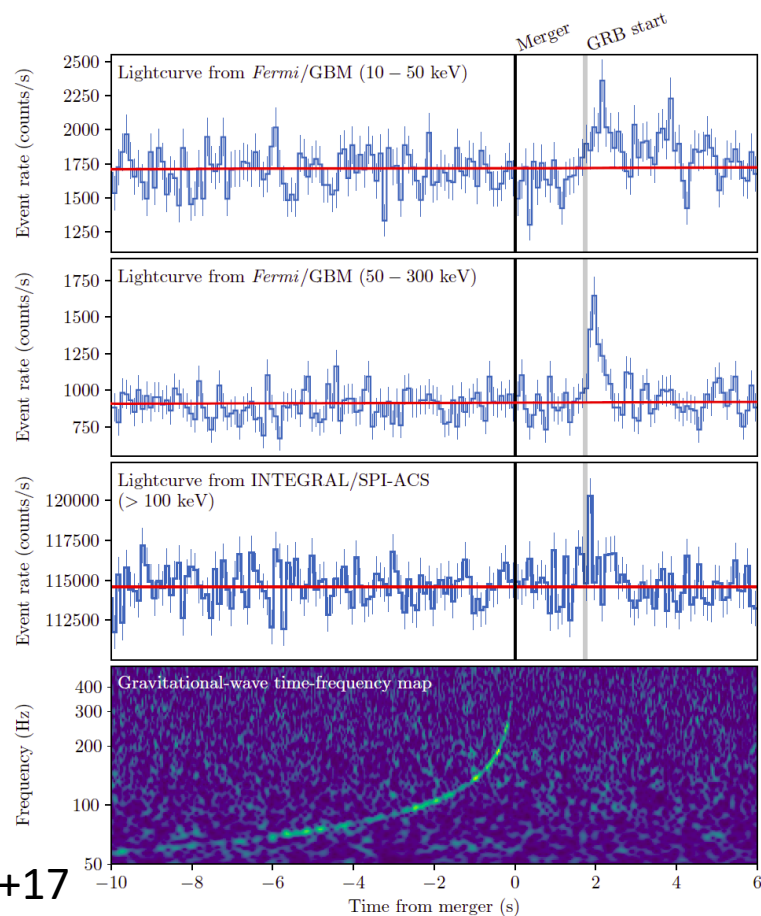
2017年10月16日

80本以上の論文が arXiv に提出された

Utsumi, Tanaka, NT + PASJ 17 (arXiv:1710.05848) -> 田中さん講演
Tanaka, Utsumi, Mazzali, NT + PASJ 17 (arXiv:1710.05850)
Tominaga, Tanaka, Morokuma + PASJ 18 (arXiv:1710.05865)

GW170817

それぞれの質量: $1.17\text{--}1.60\text{ M}_{\odot}$
全質量: $2.74^{+0.04}_{-0.01}\text{ M}_{\odot}$.



First circular

TITLE: GCN CIRCULAR

NUMBER: 21505

SUBJECT: LIGO/Virgo **G298048**: Fermi GBM trigger 524666471/170817529:

LIGO/Virgo Identification of a possible gravitational-wave counterpart

DATE: 17/08/17 13:21:42 GMT

FROM: Reed Clasey Essick at MIT <ressick@mit.edu>

The LIGO Scientific Collaboration and the Virgo Collaboration report:

The online CBC pipeline (gstlal) has made a preliminary identification of a GW candidate associated with the time of Fermi GBM trigger 524666471/170817529 at gps time 1187008884.47 (Thu Aug 17 12:41:06 GMT 2017) with RA=186.62deg Dec=-48.84deg and an error radius of 17.45deg.

The candidate is consistent with a neutron star binary coalescence with False Alarm Rate of $\sim 1/10,000$ years.

An offline analysis is ongoing. Any significant updates will be provided by a new Circular.

すばる望遠鏡HSCの対応

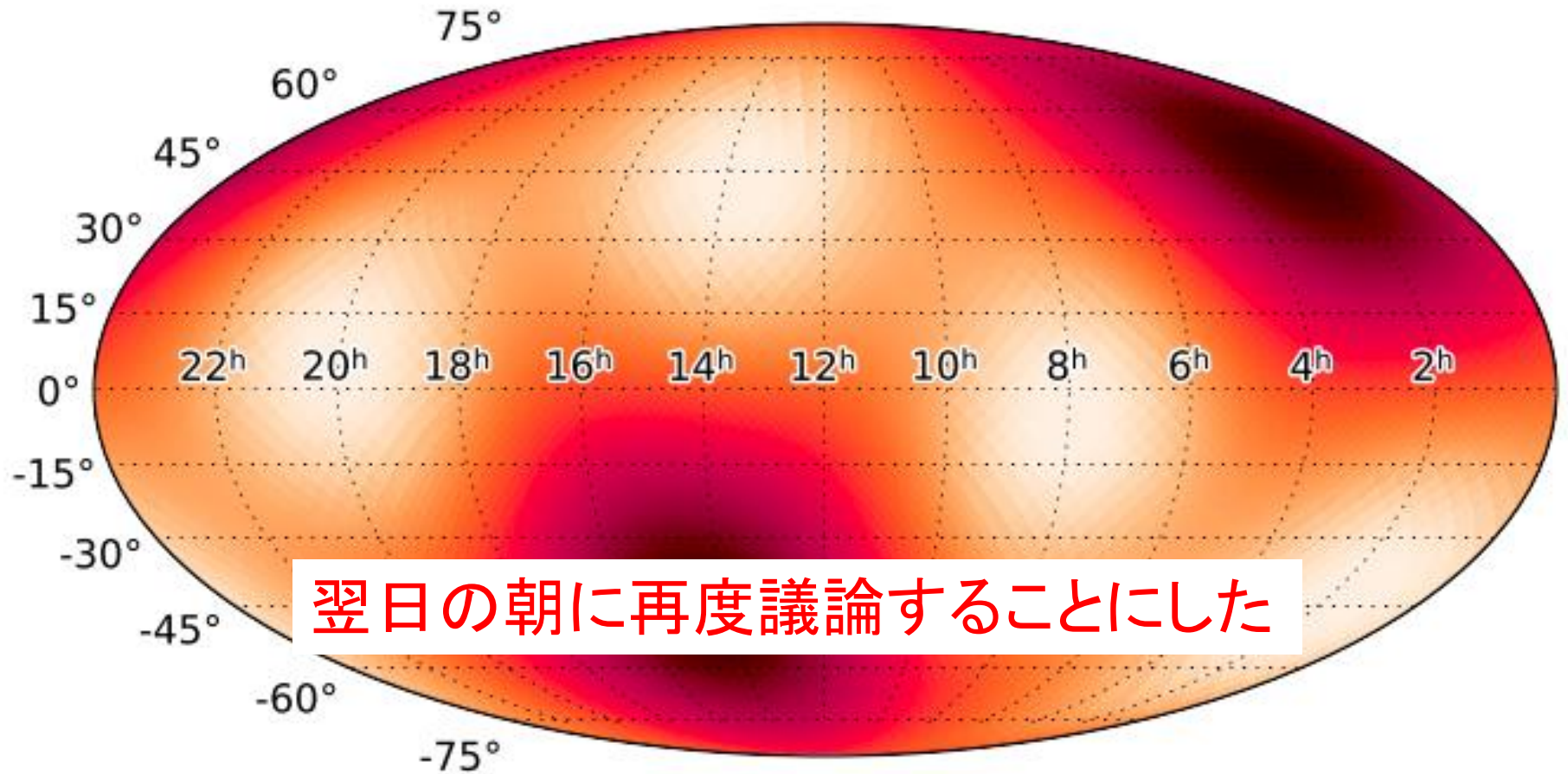
- 17/08/17 13:21:42 GMT
 - LIGO/Virgo Identification of a possible gravitational-wave counterpart (Fermi GBM/LVC CBC pipeline)
- 17/08/17 14:09:25 GMT
 - Identification of a binary neutron star candidate coincident with Fermi GBM

Aug 13	Aug 14	Aug 15	Aug 16	Aug 17	Aug 18	Aug 19
S17B-093 Currie CHARIS+SCEXAO	S17B-130 Kotani CHARIS+SCEXAO	SSP HSC	S17B-108(EAO) Jose HSC	S17B-003[ToO] Yoshida HSC	S17B-003[ToO] Yoshida HSC	SSP HSC
Eng SCEXAO	Eng SCEXAO	S17B-003[ToO] Yoshida HSC	S17B-003[ToO] Yoshida HSC	Keck Bradac HSC	Keck Bradac HSC	Keck Bradac HSC

GW170814の★観測

GW170817 ©すばる望遠鏡観測スケジュール
(ハワイ時間)

この時点での到来方向分布

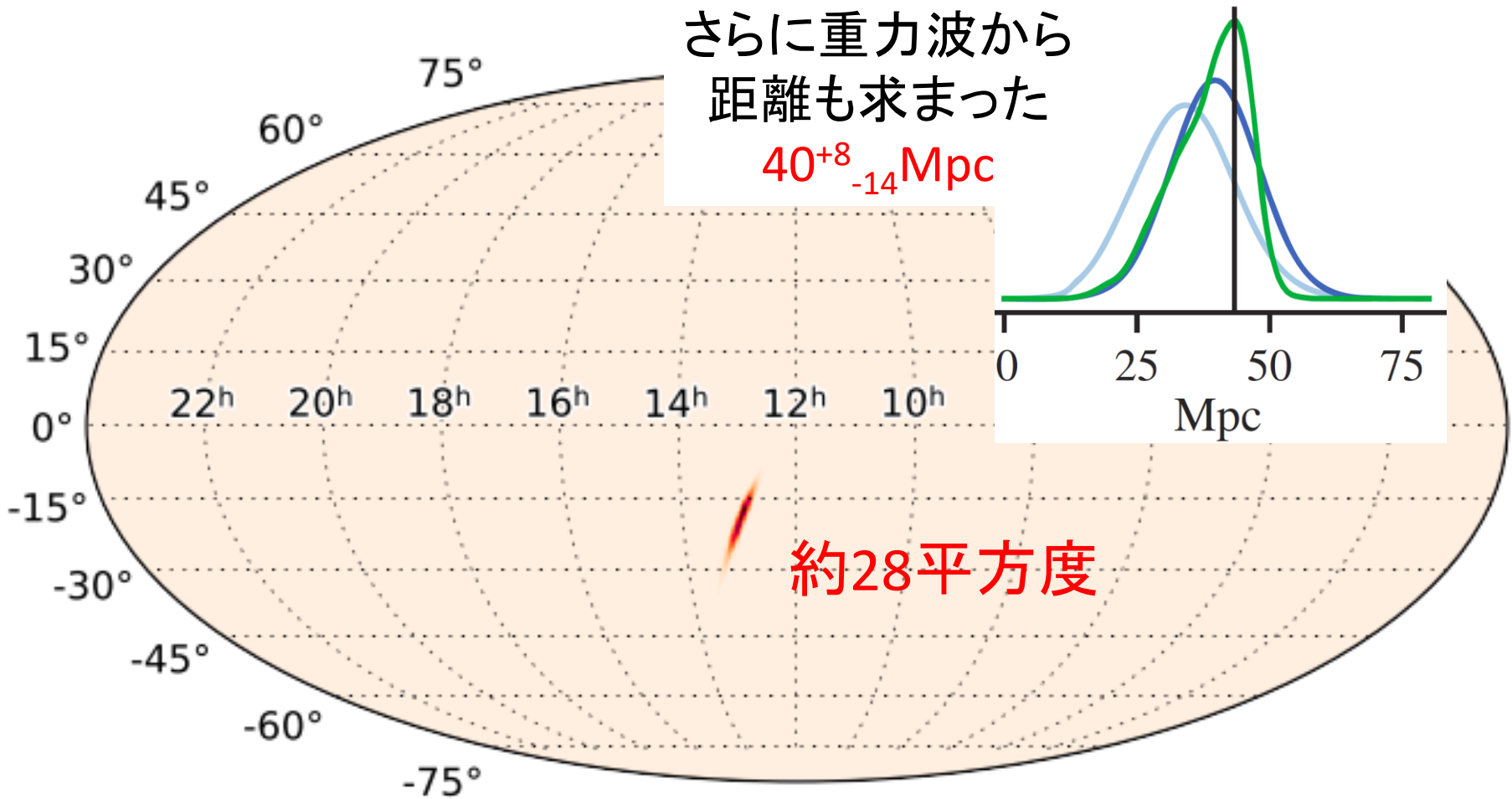


LIGO-Hanfordのみ

タイムライン

- 17/08/17 13:21:42 GMT
 - LIGO/Virgo Identification of a possible gravitational-wave counterpart (Fermi GBM/LVC CBC pipeline)
- 17/08/17 14:09:25 GMT
 - Identification of a binary neutron star candidate coincident with Fermi GBM
- 17/08/17 17:54:51 GMT
 - Initial skymap is announced
- 17/08/17 23:54:40 GMT
 - Preliminary skymap is announced

この時点での到来方向分布



LIGO-Hanford, LIGO-Livingston, Virgo

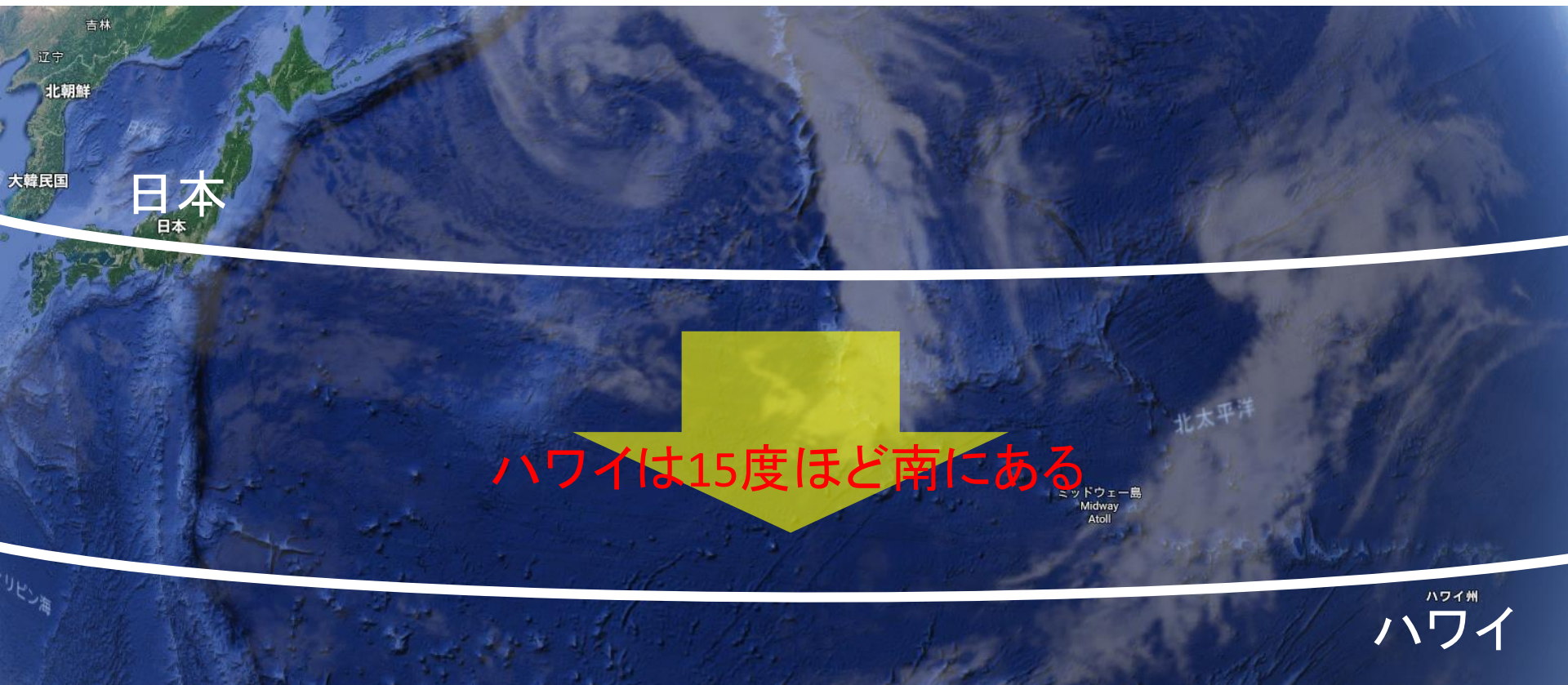
GW170817の到来方向

- 北半球からの観測は厳しかった



GW170817の到来方向

- 北半球からの観測は厳しかった

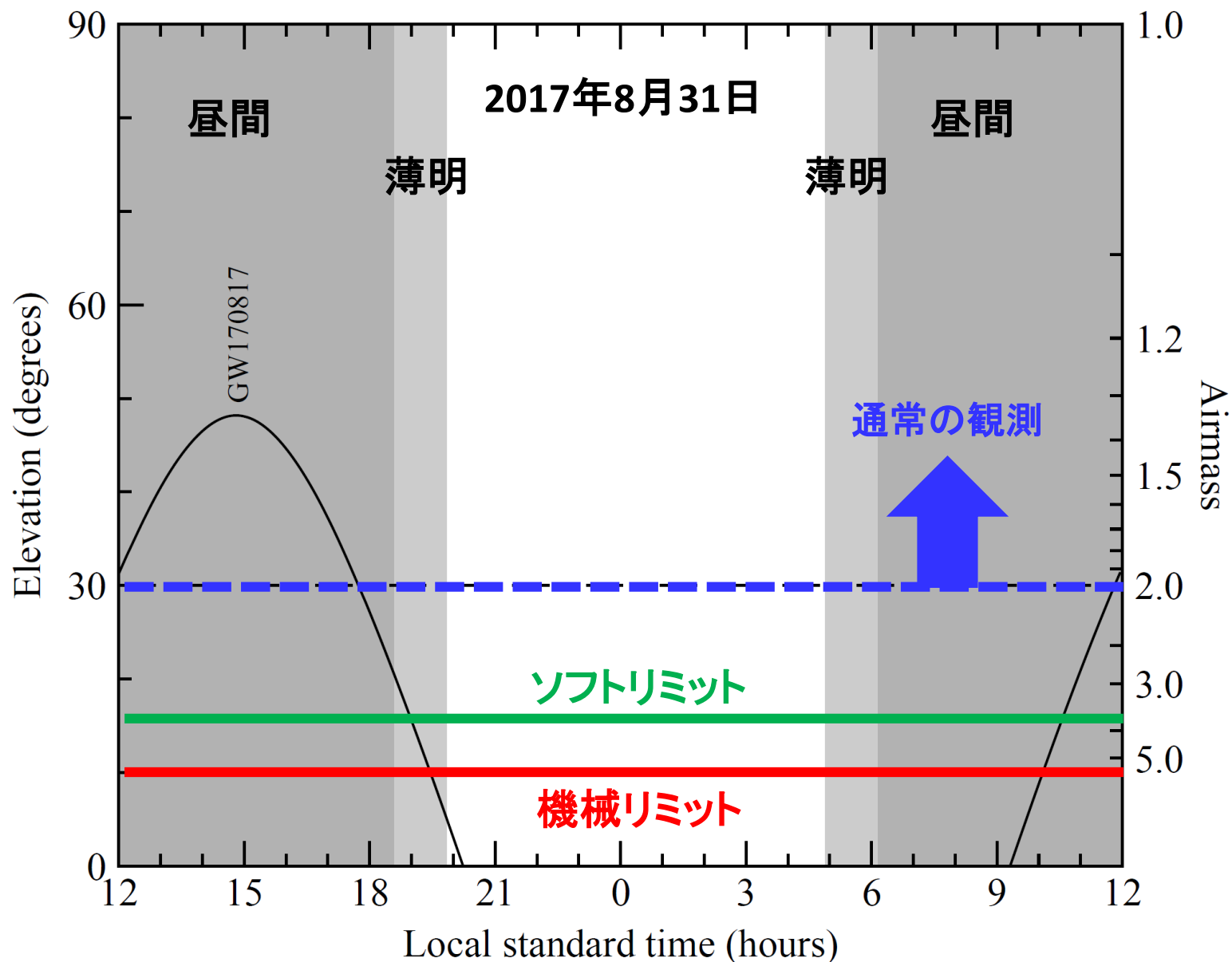


GW170817の到来方向

- 北半球からの観測は厳しかった

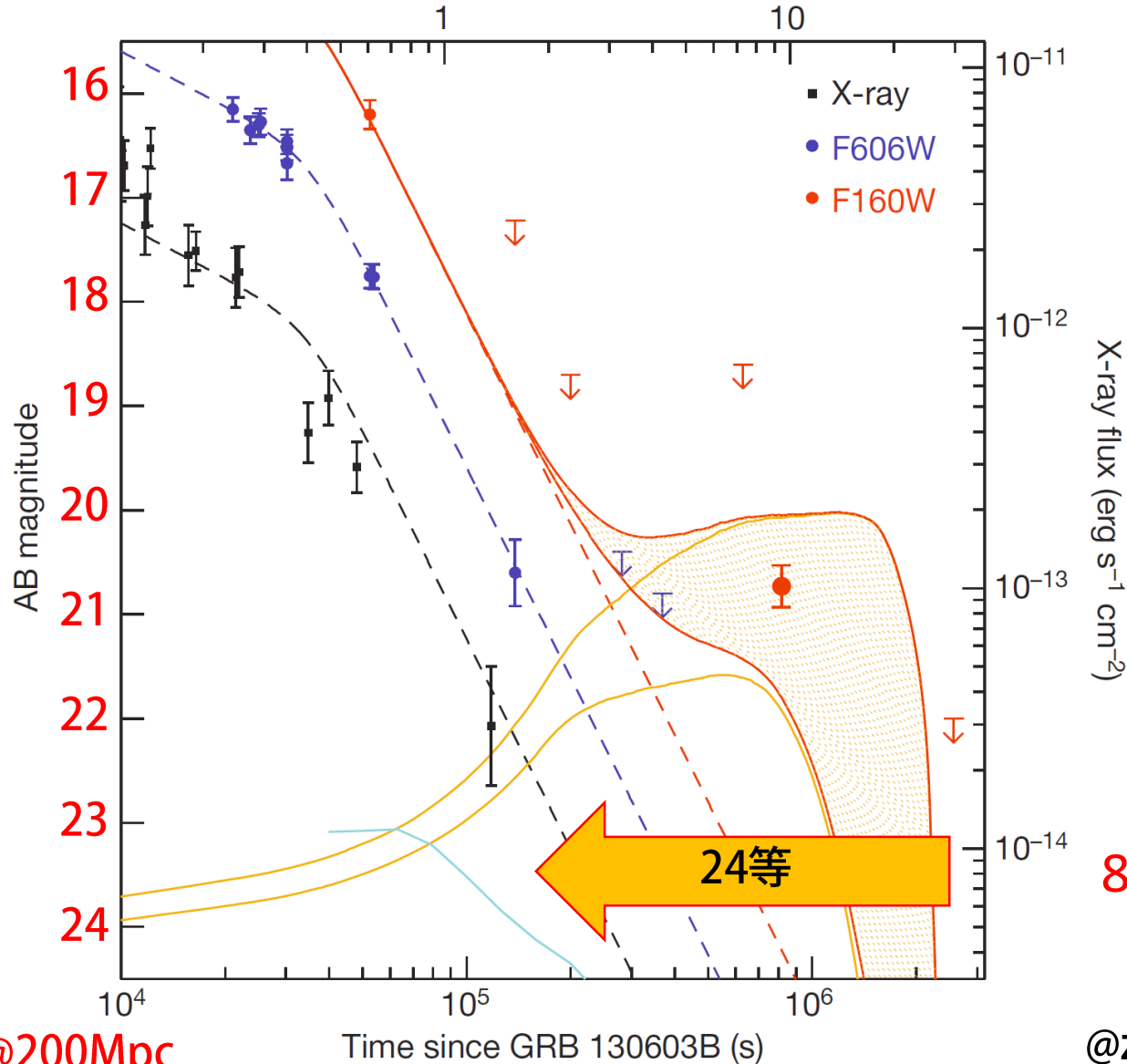


ハワイからでも非常に困難



GW170817は非常に近かった

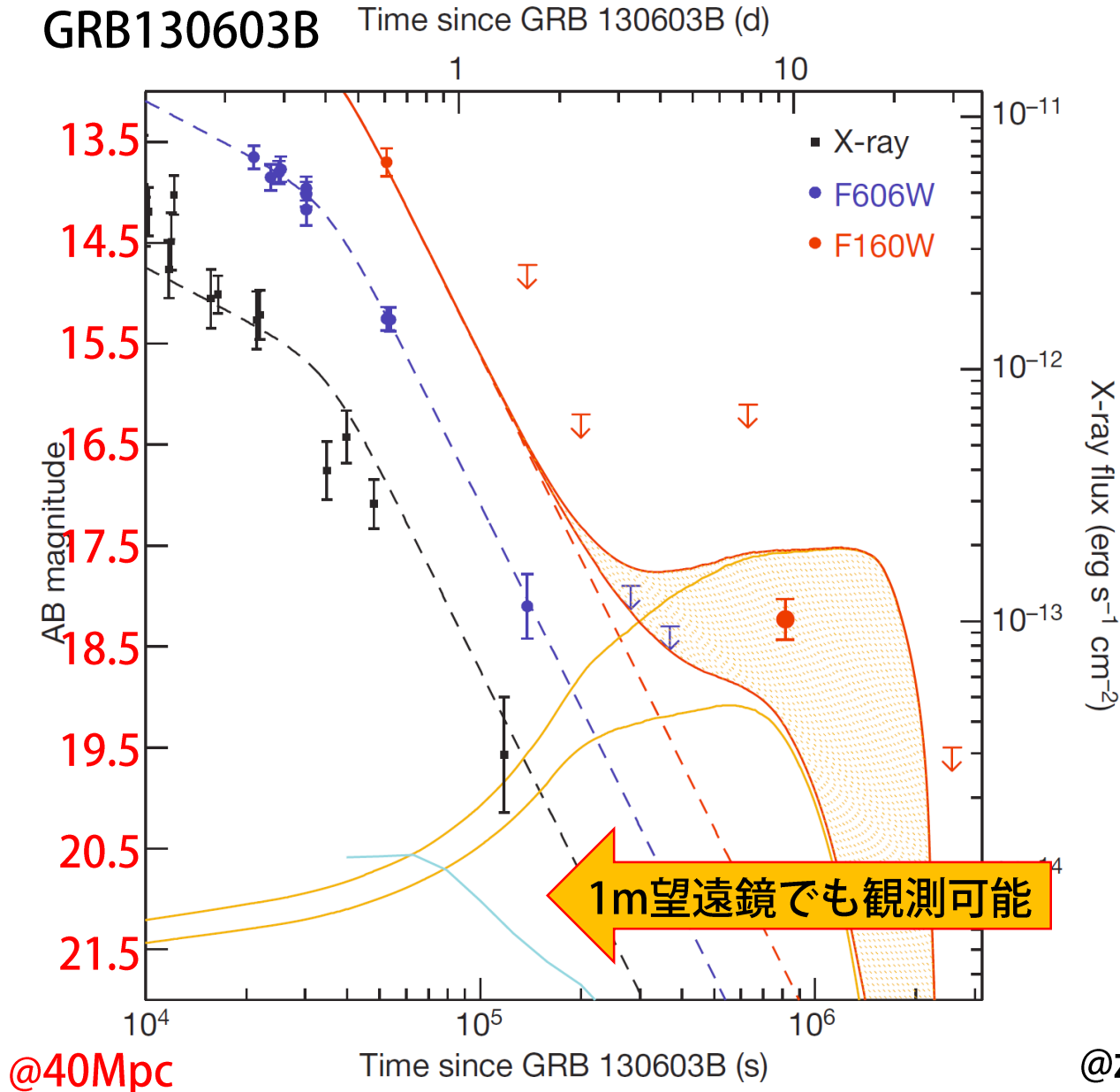
GRB130603B Time since GRB 130603B (d)



8m望遠鏡が必要

Berger+13
Tanvir+13

GW170817は非常に近かった



Berger+13
Tanvir+13

タイムライン

- 17/08/18 01:05:23 GMT
 - Potential optical counterpart discovered by **Swope** telescope
- 17/08/18 01:15:01 GMT
 - **DECam** optical candidate
- 17/08/18 01:41:13 GMT
 - **DLT40** optical candidate



チリにある望遠鏡で
候補天体発見

GW170817の観測可能時間

Aug 13	Aug 14	Aug 15	Aug 16	Aug 17	Aug 18	Aug 19
S17B-093 Currie CHARIS+SCEXAO	S17B-130 Kotani CHARIS+SCEXAO	SSP HSC	S17B-108(EAO) Jose HSC	S17B-003[ToO] HSC	S17B-003[ToO] HSC	SSP HSC
Eng SCEXAO	Eng SCEXAO	S17B-003[ToO] HSC	S17B-003[ToO] HSC	Keck Bradac HSC	Keck Bradac HSC	Keck Bradac HSC

GW170817の観測

GW170814の観測

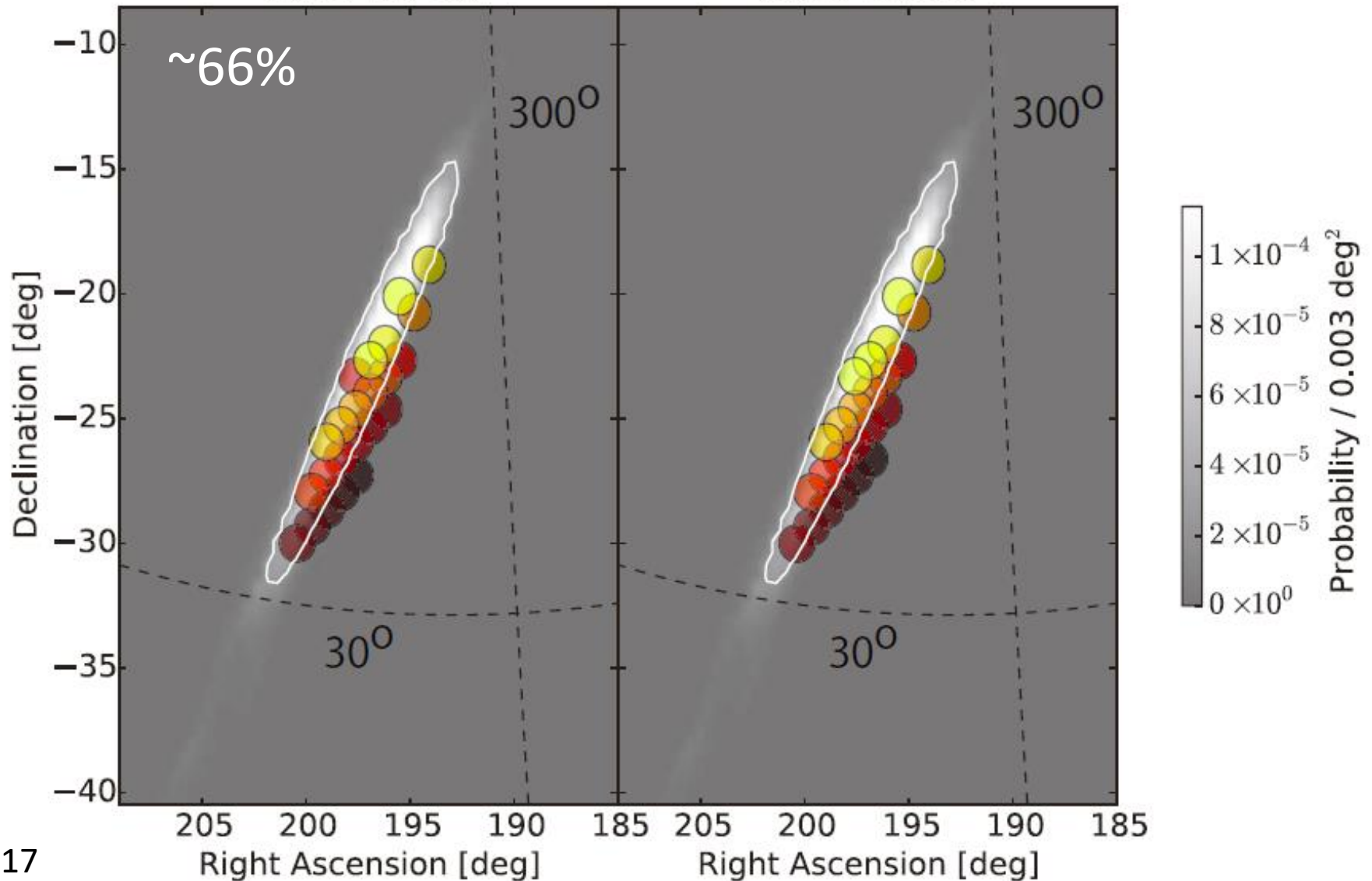
GW170817 ©すばる望遠鏡観測スケジュール
(ハワイ時間)

すばる望遠鏡HSCの観測

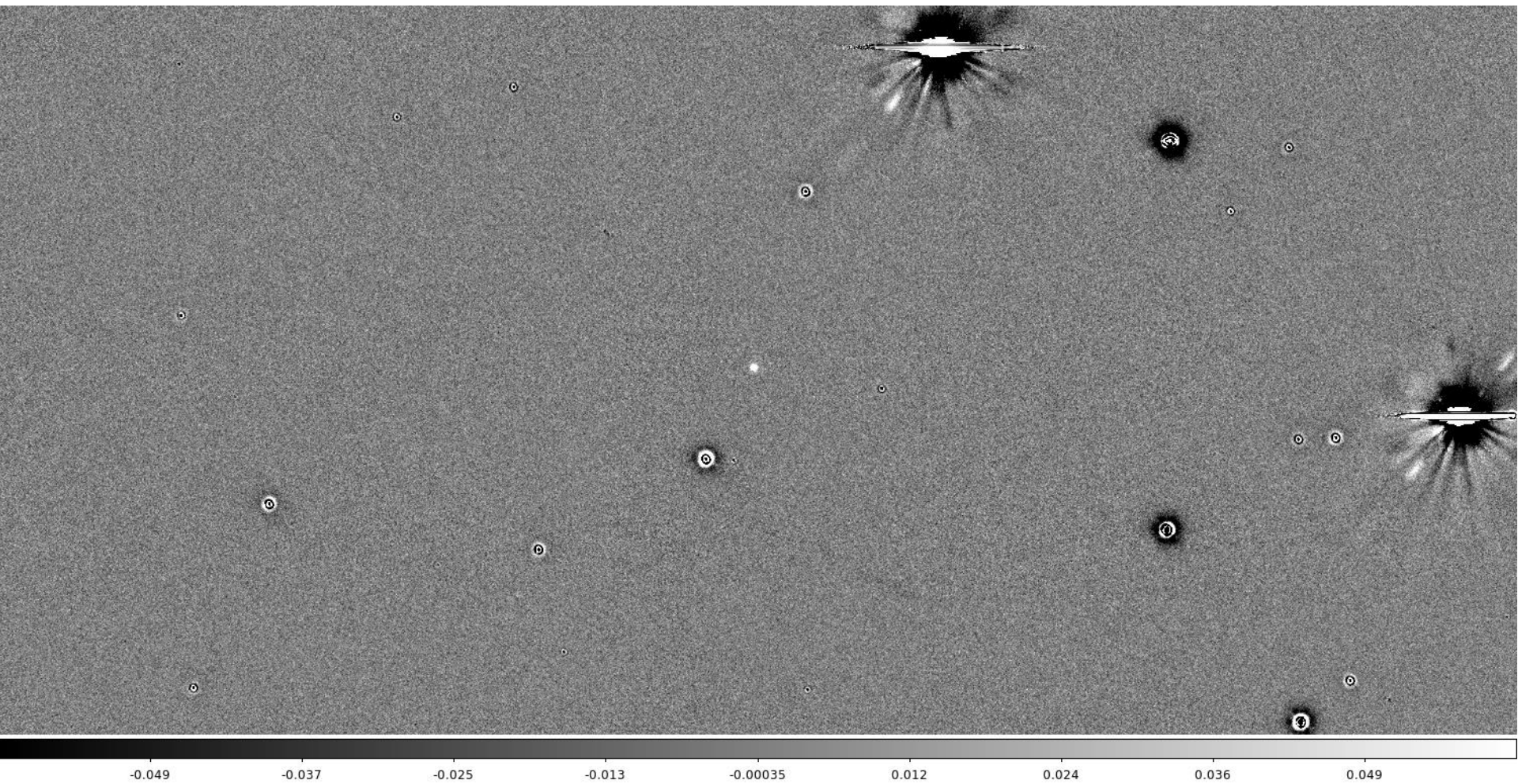
HSC Pointing map for GW170817

2017-08-18

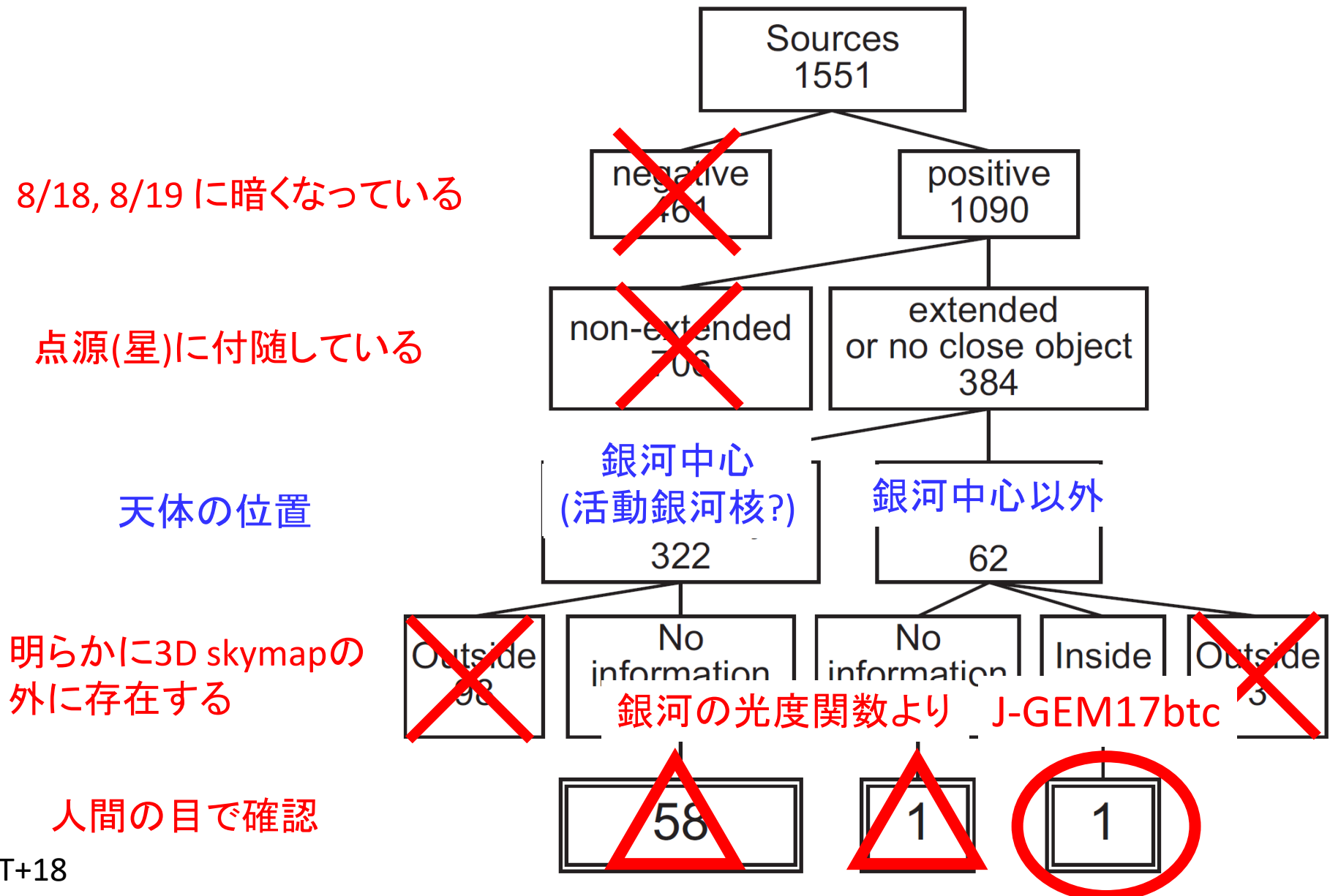
2017-08-19



変動天体検出 -画像引き算-

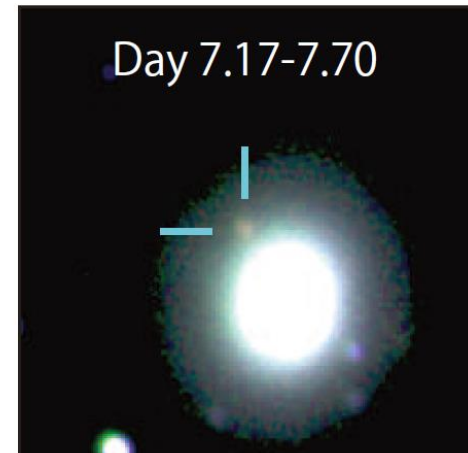
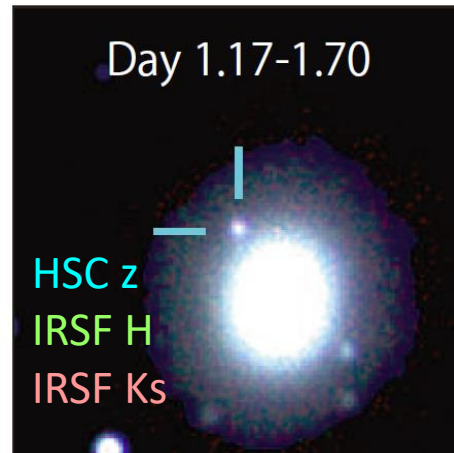
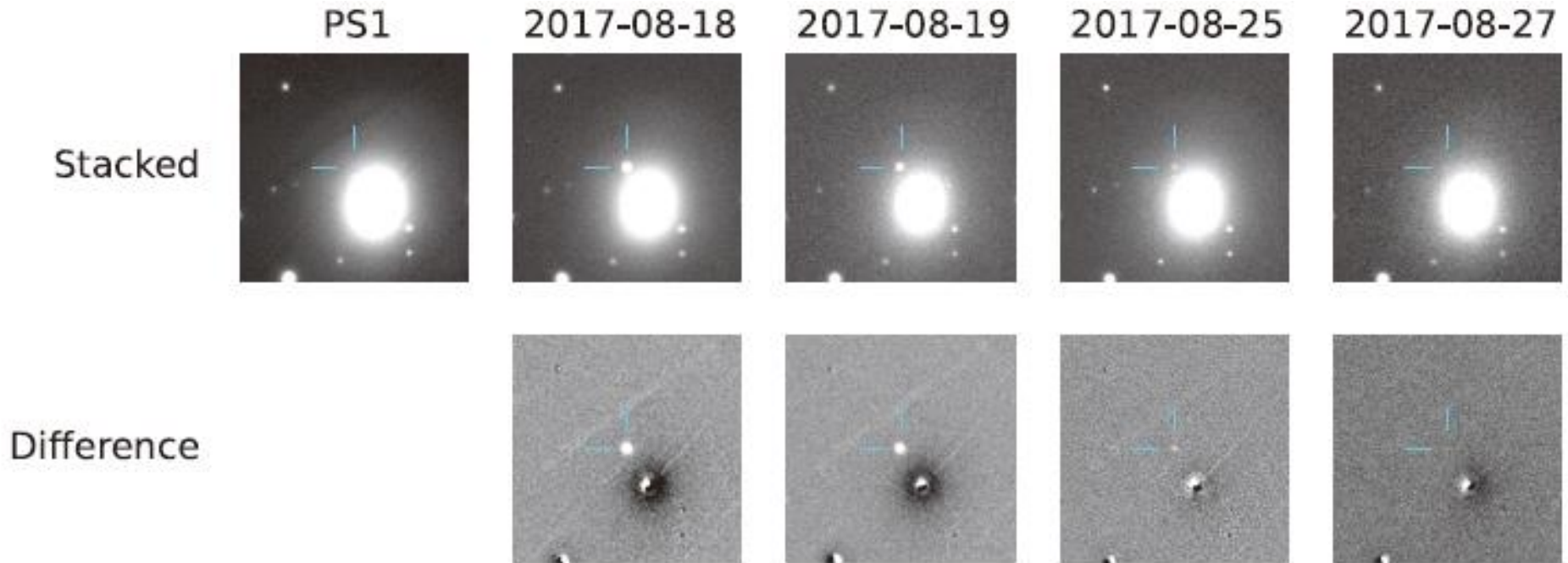


候補天体の選択

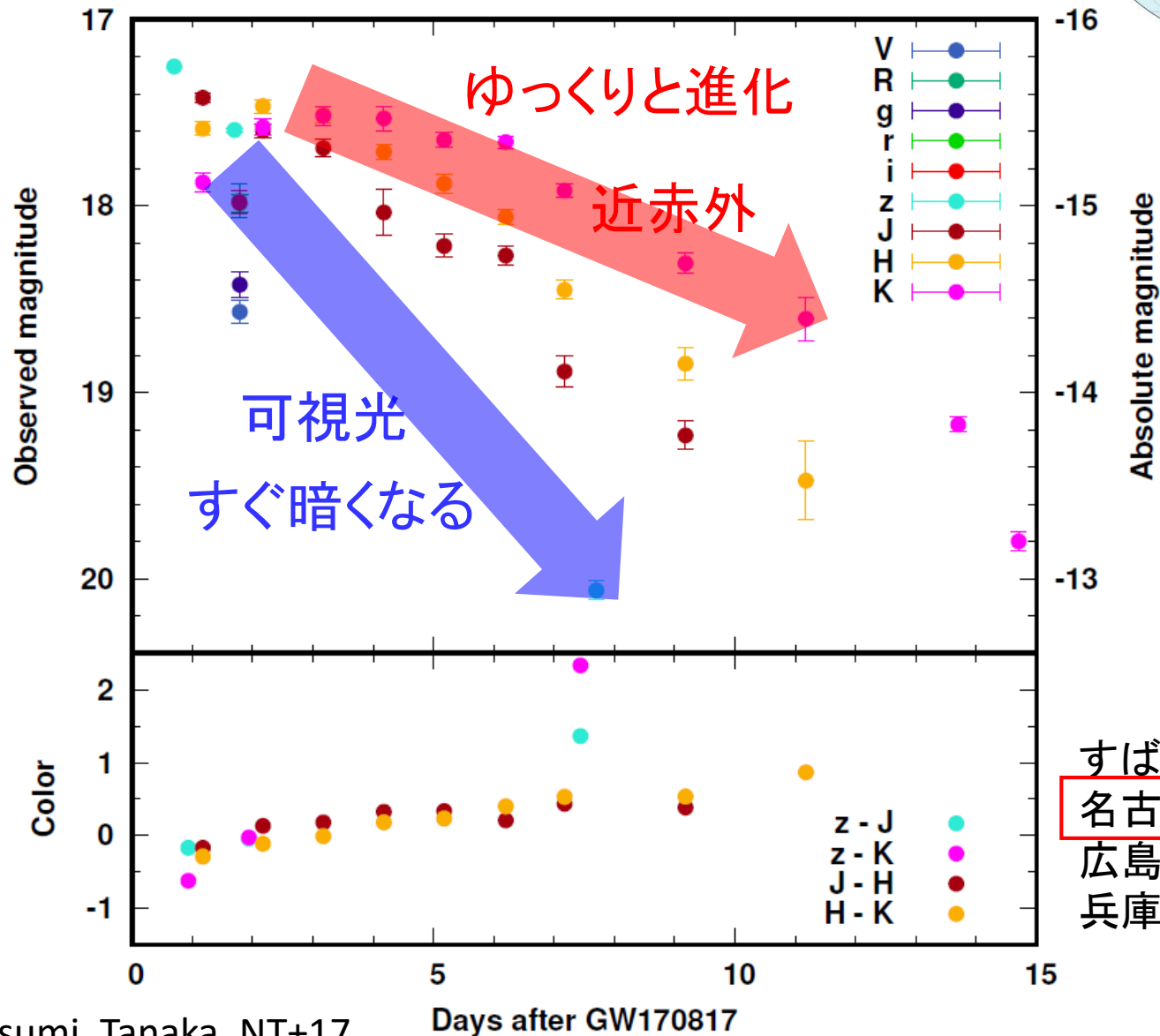
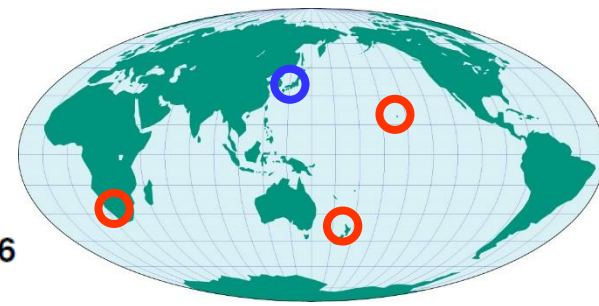


J-GEM17btc (SSS17a)

他に有力な可視光対応天体候補は存在しないことを示した



多色光度曲線

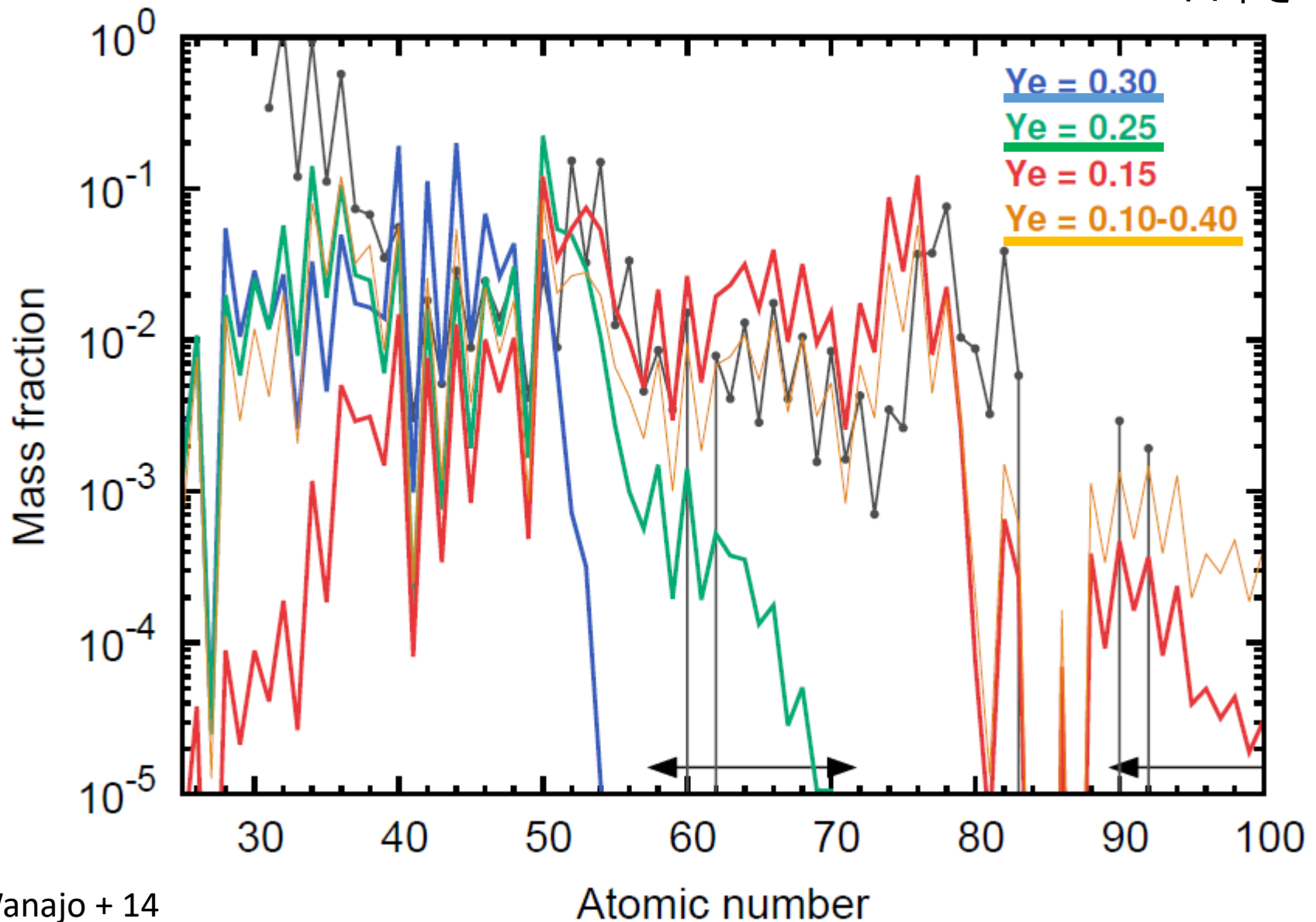


すばる望遠鏡/HSC, MOIRCS
 名古屋大/IRSF, MOA-II, B&C
 広島大/Kanata
 兵庫県立大/Nayuta

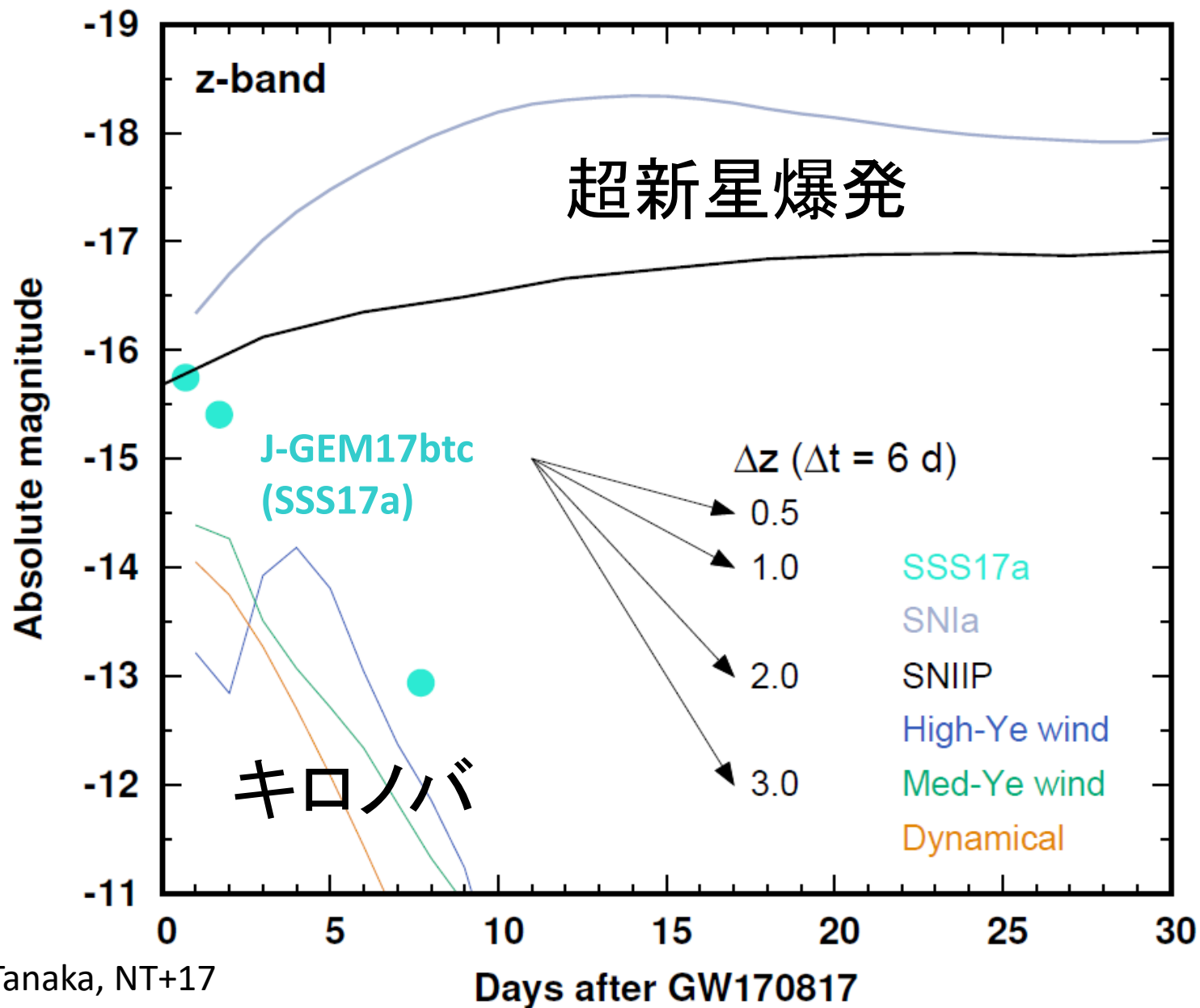
南半球

キロノバの理論モデル

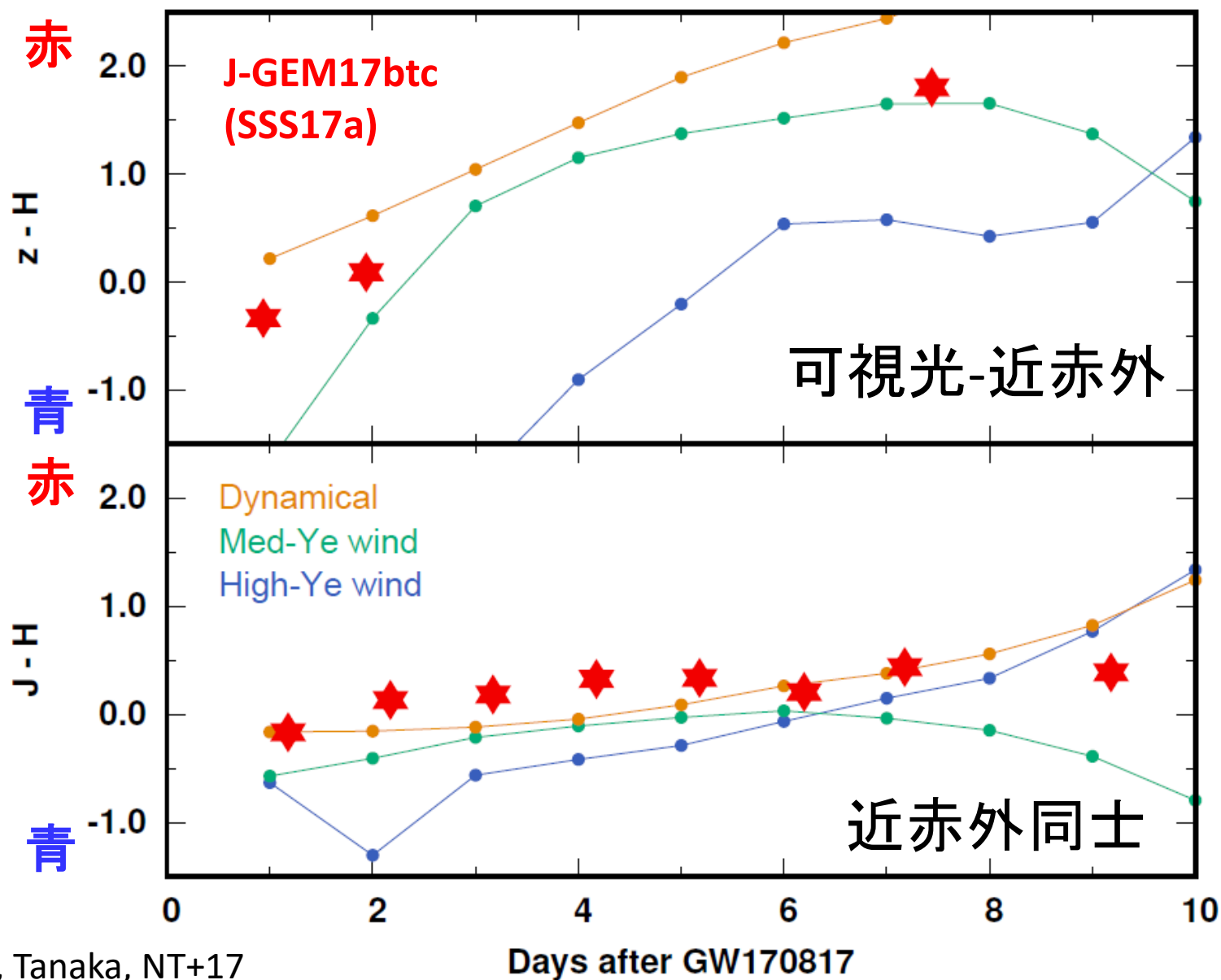
-> 田中さん講演



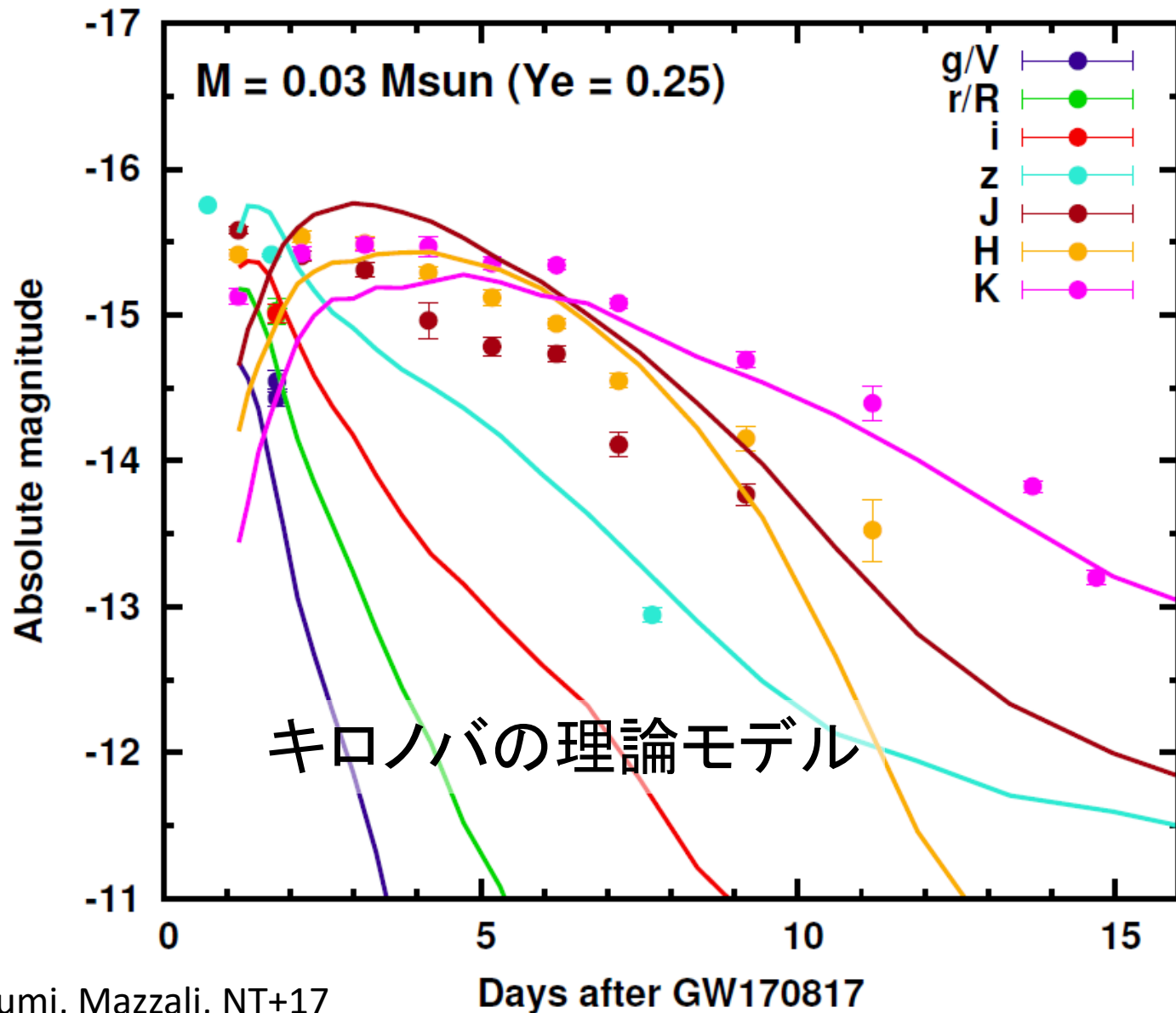
可視光での急減光



色進化



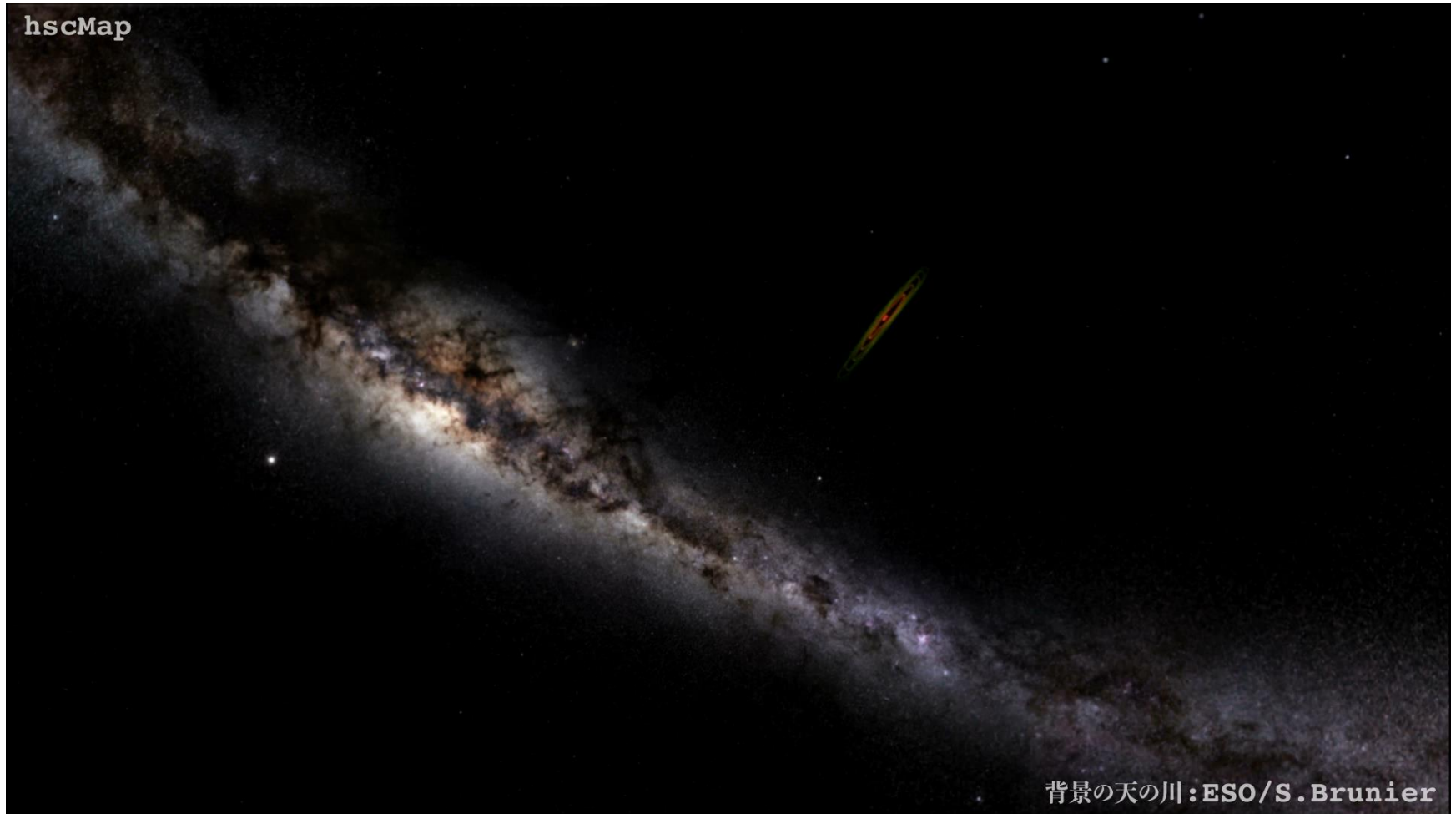
多色光度曲線の比較



まとめ

- J-GEMは精力的に重力波追観測を行ってきた
- J-GEMによるGW170817の追観測
 - すばる望遠鏡/HSC (可視光): 1, 2, 8日目
 - すばる望遠鏡/MOIRCS (近赤外): 14, 15日目
 - 名古屋大学IRSF (近赤外): 1-7, 9, 11日目
 - 名古屋大学B&C and MOA-II (可視光): 2日目
 - 広島大学Kanata/HONIR (可視・近赤外): 3日目
 - 兵庫県立大学Nayuta/NIC (近赤外): 1-3日目
- J-GEM17btc (SSS17a) の他に可能性の高い**可視光対応天体候補は存在しない**
- **可視光での急減光**および**近赤外での緩やかな減光**は**キロノバの理論モデルと一致**する (田中さん講演)
- 今後サンプル数が増える -> キロノバの多様性

GW170817可視光対応天体を探せ



<http://jgem.hiroshima-u.ac.jp/hscmap.html>