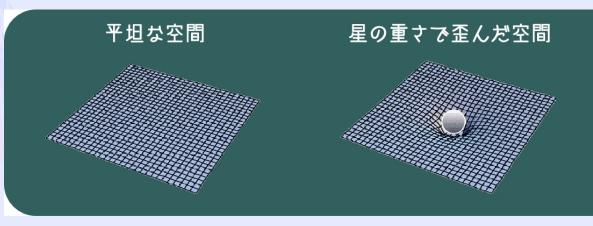
重力波対応天体の追跡

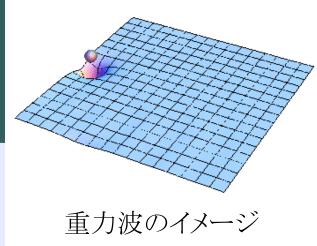
広島大学・宇宙科学センター 吉田道利

重力波とは何か?

◆ 質量を持つ物体は空間をゆがめる。その物体が 運動をすると、周りのゆがんだ空間が波のように広 がる ◆ 一般相対論



重い星が運動して重力波発生 (例:連星中性子星)



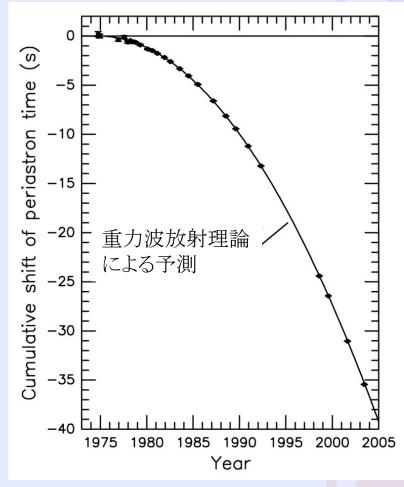
重力波の直接検出

- 一般相対論の検証
- 強い重力場での物理
- 重力波天文学の創生

重力波の間接的証拠

- ◆ 中性子連星PSR1913+16 の発見(1974年)。
- ◆ その連星運動から強い重力波が発生していたら、連星の公転周期が短くなるはず。
- ◆ PSR1913+16の公転周期の変化を観測→公転周期の変化を観測→公転周期の短縮が、重力波が原因であると仮定して得られる理論的な予想と一致(1979年)

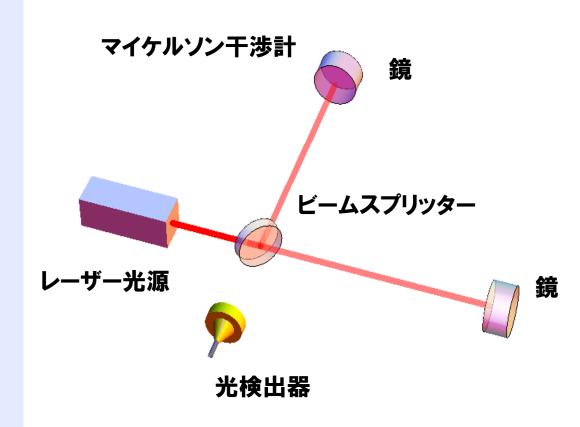
PSR1913+16の公転周期の変化



Hulse and Taylor (1979)

世界の重力波望遠鏡

▶レーザー干渉計(マイケルソン干渉計)タイプが主流



世界の最新鋭重力波望遠鏡



LIGO アメリカ

4km×4km 重力波望遠鏡 (2015年末から運用開始)



LIGO ハンフォード(ワシントン州)



LIGO リビングストン(ルイジアナ州)

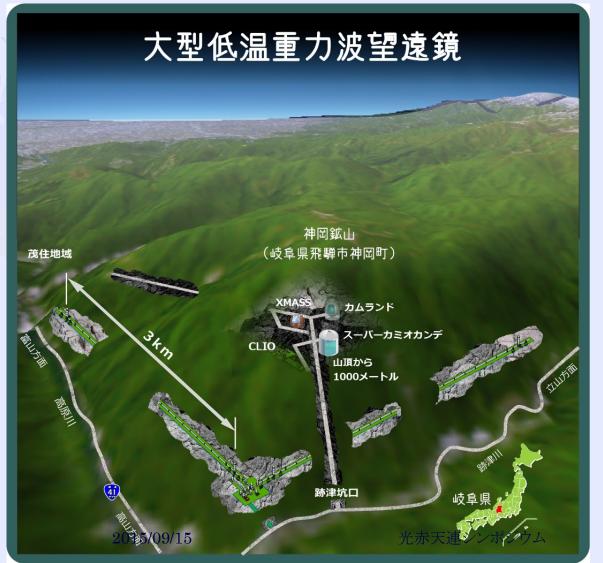
Virgo ヨーロッパ

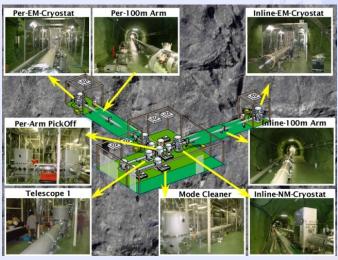
3km×3km 重力波望遠鏡 イタリア・ピサ郊外 (2016年から運用)



KAGRA 大型低温重力波望遠鏡

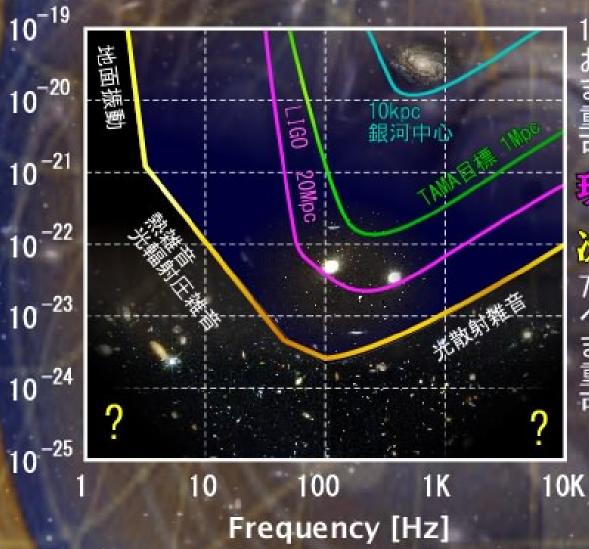
神岡鉱山(岐阜県) 3km×3km重力波望遠鏡 (2017年から運用)







最新鋭の重力波望遠鏡の性能

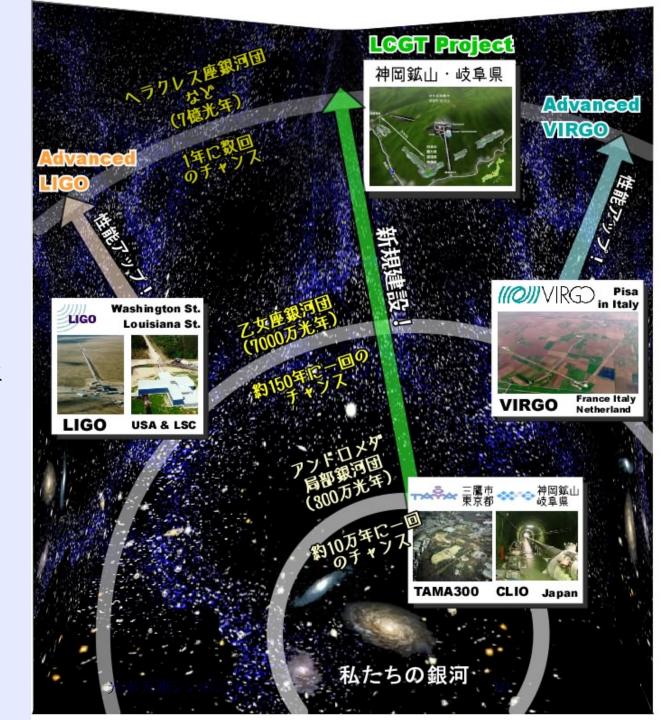


1000万光年離れた おとめ座銀河団 まで見える 重力波を観測できる 可能性は1000年に1回程度 現世代重力波準度資

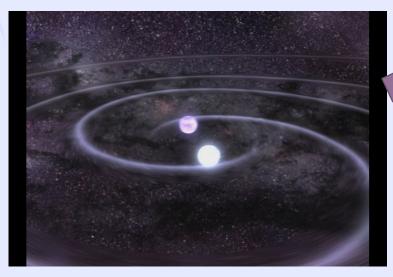
次世代重力波望遠鏡

7億光年先の ヘラクレス座銀河団 まで見える 重力波を観測できる 可能性は1年に数回程度 建設中のLIGO、 Virgo、KAGRA なら中性子星合 体からの重力波 を200Mpcまで観 測することができ

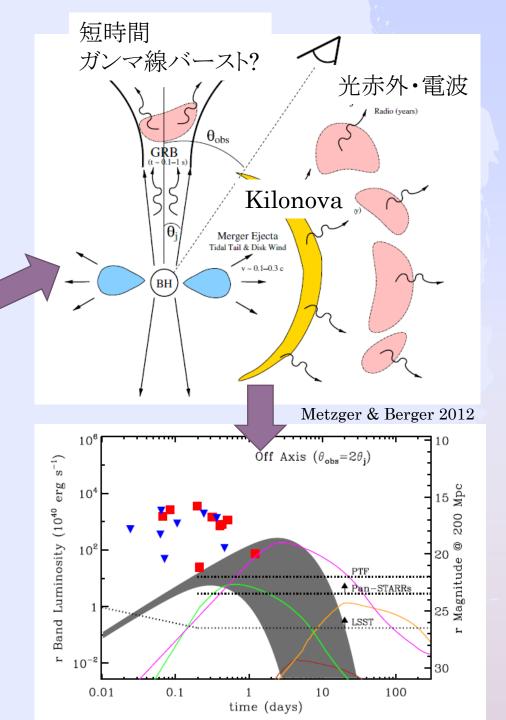
→1年に10回程 度重力波をとらえ られるようにな る!



Searching for EM counter part is crucial for understanding the nature of GW sources

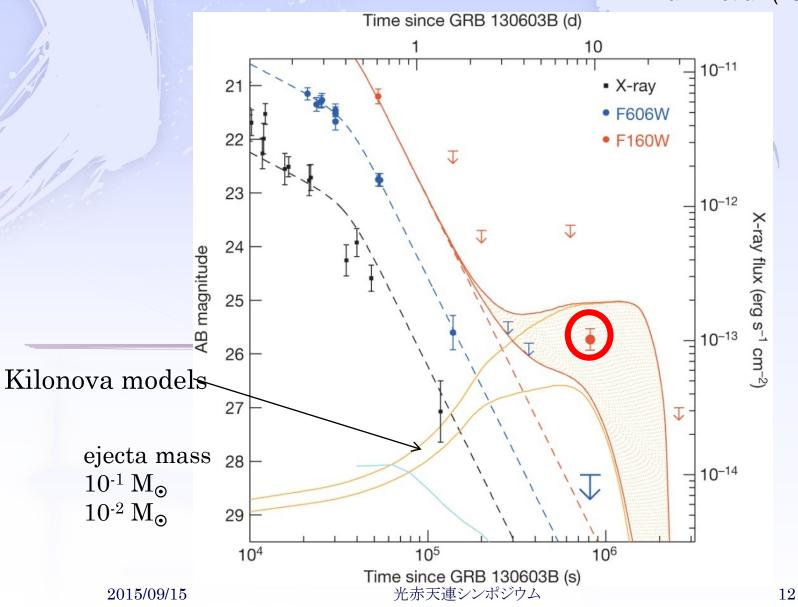


The most promising GW sources → NS-NS merger

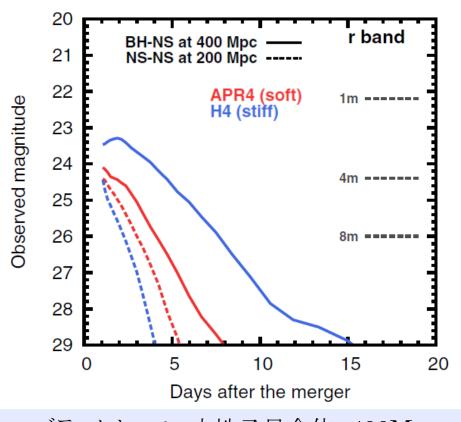


Optical, NIR and X-ray light curves of GRB130603B.

NR Tanvir et al. (2013)



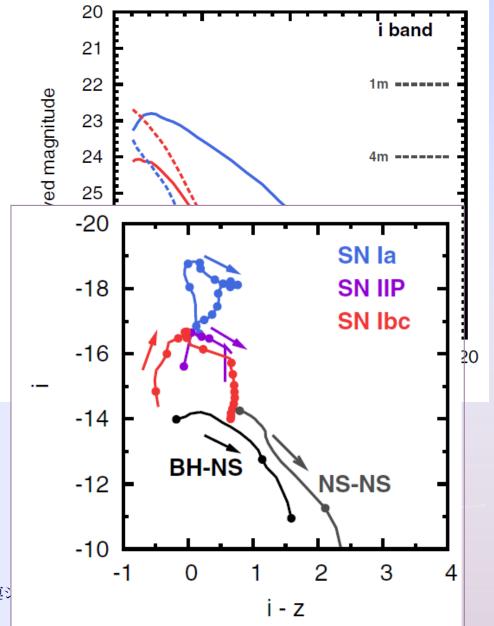
Kilonova model (Tanaka+ 2014)



ブラックホール・中性子星合体 400Mpc 中性子星・中性子星合体 200Mpc

カラー進化でSNと弁別できる

2015/09/15 光赤天連ジ



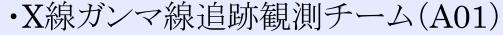
重力波天体の多様な観測による宇宙物理学の新展開

New development in astrophysics through multimessenger observations of gravitational wave sources

文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究」 2012年度~2016年度

研究代表者:中村卓史(京都大学基礎物理学研究所教授)

KAGRAのデータ解析チーム(A04)を中心に



- ・光赤外電波追跡観測チーム(A02)
- ・ニュートリノ追跡観測チーム(A03)
- ・理論研究チーム(A05)



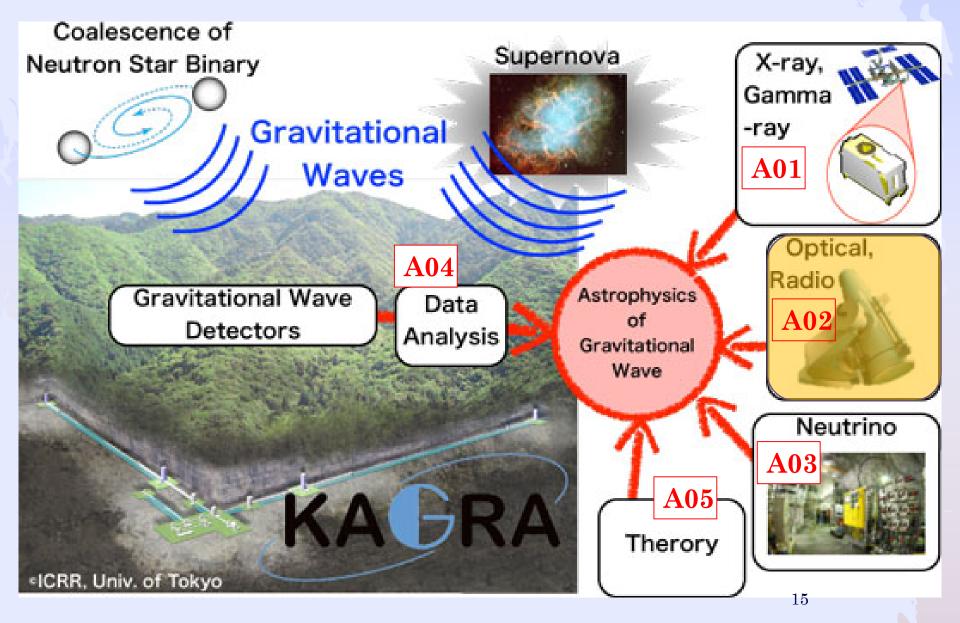






が協力して、重力波の追跡観測体制を構築

Overview of the project



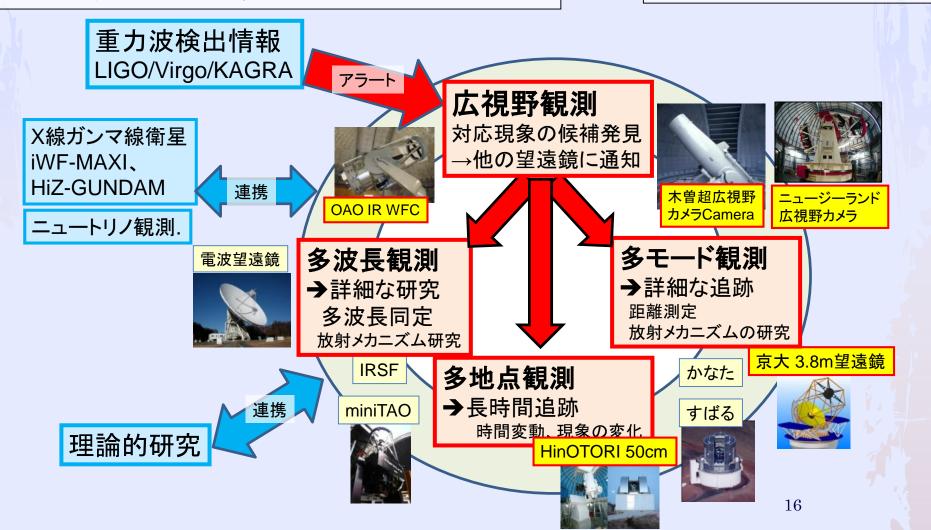
重力波の光赤外対応現象の探索

重力波望遠鏡での重力波検出

→多数の望遠鏡を使って追跡観測



重力波発生源の正体をあきらかに



重力波追跡観測網J-GEM

- ◆ Japanese collaboration of Gravitational wave Electro-Magnetic follow-up observations
- ◆ 新学術領域A02の拡張
- ◆日本の光赤外電波望遠鏡を結集

J-GEM の概要

日本および世界に散らばる日本の望遠鏡群のネットワーク重力波対応現象の探索

主な観測能力:

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



- 1m 木曽シュミット望遠鏡(東大) 超広視野カメラ→36平方度
- 1.5m かなた望遠鏡(広大)
- 50cm MITSuME望遠鏡(国立天文台)
- 91cm 広視野赤外線望遠鏡 (国立天文台)
- 32m 電波望遠鏡(山口大)

TAO (東京大学 2018)



50cm 望遠鏡 (広島大学 2016)



3.8m 望遠鏡 (京都大学 2018)

すばる望遠鏡





IRSF (名古屋大学) @ 南アフリカ



MOA-II (名古屋大学) @ ニュージーランド miniTAO (東京大学) @ チリ



LIGO/Virgoの運用計画

		Estimated	$E_{GW} =$	$10^{-2} M_{\odot} c^2$			Number	% BNS	Localized
		Run	Burst Range (Mpc) BNS Range (M		ge (Mpc)	of BNS	W.	ithin	
	Epoch	Duration	LIGO	Virgo	LIGO	Virgo	Detections	$5 \mathrm{deg}^2$	$20 \mathrm{deg}^2$
	2015	3 months	40 - 60		40 - 80	_	0.0004 - 3	_	_
٦	2016–17	6 months	60 - 75	20 - 40	80 - 120	20 - 60	0.006 - 20	2	5 - 12
	2017-18	9 months	75 - 90	40 - 50	120 - 170	60 - 85	0.04 - 100	1 - 2	10 - 12
	2019+	(per year)	105	40 - 80	200	65 - 130	0.2 - 200	3 - 8	8 - 28
	2022+ (India)	(per year)	105	80	200	130	0.4 - 400	17	48

Table 1: Summary of a plausible observing schedule, expected sensitivities, and source localization with the advanced LIGO and Virgo detectors, which will be strongly dependent on the detectors' commissioning progress. The burst ranges assume standard-candle emission of $10^{-2} M_{\odot} c^2$ in GWs at 150 Hz and scale as $E_{\rm GW}^{1/2}$. The burst and binary neutron star (BNS) ranges and the BNS localizations reflect the uncertainty in the detector noise spectra shown in Fig. 1. The BNS detection numbers also account for the uncertainty in the BNS source rate density [28], and are computed assuming a false alarm rate of $10^{-2} \, {\rm yr}^{-1}$. Burst localizations are expected to be broadly similar to those for BNS systems, but will vary depending on the signal bandwidth. Localization and detection numbers assume an 80% duty cycle for each instrument.

LIGO first run (O1):2015年9月18日スタート 3ヶ月間

MoU with LIGO/Virgo collaboration

LIGO-M1400069, VIR-0127-14

1

Memorandum of Understanding between J-GEM and LIGO and VIRGO

regarding follow-up observations of gravitational wave event candidates

April 5, 2014

This Memorandum of Understanding (MOU) establishes a collaborative effort among the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) and LIGO Scientific Collaboration (LSC), the European Gravitational Observatory and Virgo Collaboration (EGO/Virgo), and Japanese Collaboration for Gravitational-Wave Electro-Magnetic Follow-up (J-GEM) in order to participate in a program to perform follow-up observations of gravitational wave (GW) candidate events with the sharing of proprietary information (see LIGO-M1300550 and VIR-0494#-13 for an overview).

The purpose of this MOU is to reference the parties involved and their relevant policies; define the appropriate data and information that is to be shared under this arrangement, and its permitted use; and establish how any publications and presentations coming out of this work will be handled. By signing this MOU, the parties agree that they understand the nature of the collaborative work, consider it to be scientifically worthwhile, and will do their best to bring it to successful completion.

1. LIGO/Virgo schedule

year	duration	telescope	burst	BNS	localization
2015	3 months	LIGO	40-60 Mpc	40-80 Mpc	$100\text{-}500~\mathrm{deg^2}$
2016-17	6 months	LIGO	60-75 Mpc	80-120 Mpc	$50\text{-}100~\mathrm{deg^2}$
		Virgo	20-40 Mpc	20-60 Mpc	$50\text{-}100~\mathrm{deg^2}$
2017-18	9 months	LIGO	75-90 Mpc	120-170 Mpc	$20\text{-}50~\mathrm{deg^2}$
		Virgo	40-50 Mpc	60-85 Mpc	$20\text{-}50~\mathrm{deg^2}$

2. Timeline of LIGO First Observing Run (O1):

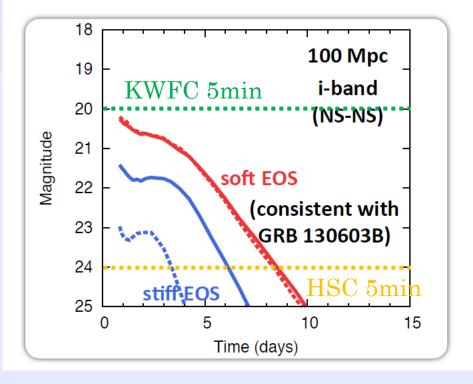
Sep.14 – Dec.13 (tentative) + Virgo short run (Oct.12) LIGO duty cycle: < 80 %

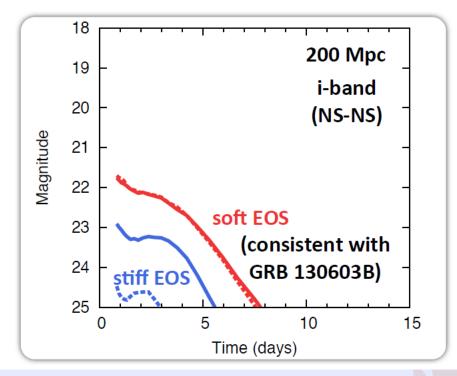
3. GW alert will be issued as VOEvent through GCN/TAN

Expected brightness of "kilonova" Mi ~ -14 mag@ peak, 1d

Barnes & Kasen 2013, ApJ, 775, 18 Tanaka & Hotokezaka, 2013, ApJ, 775, 113 Tanaka et al. 2014, ApJ, 780, 31

distance	80 Mpc (μ = 34.5mag)	180 Mpc (μ = 36.3mag)		
i-band mag@1d	~20 mag	~22 mag		
i-band mag@1week	~22 mag	~24 mag		





Follow-up observation strategy

(とりあえずLIGO O1対応)

- Blind survey
 - ◆ 10 deg² 100 deg² blind survey within GW error area
 - Wide field facility: KWFC, OAO-WFC, HSC
 - ◆ 1 color with short exp-time (5 min) survey → at least 2 times visit with an interval of a few days
- Targeted observation
 - Select target galaxies using nearby galaxy catalogs
 - Kyoto IFU-KOOLS, Hiroshima Kanata, Nagoya MOA and IRSF, and Subaru S-Cam, FOCAS, and MOIRCS
 - ◆ 2 colors with short exp-time (5 min) per one galaxy

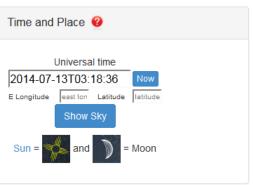
LIGO/Virgoから提供されるskymap

0 45°
30°
15°
0° 10^h 8^h 6^h 4^h 2^h 0^h -2^h
-15°
-30°
45°

Skymap Viewer

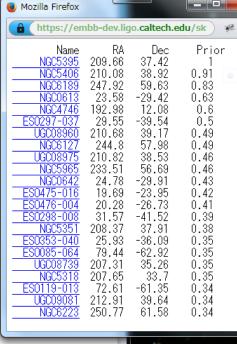
A sky atlas for understanding LIGO-Virgo skymaps. Help here, and skymaps here. If you do not see the big dark sky look below and widen your browser. Zoom with the + and - at the right of the sky.











まとめ

- ◆ 重力波の検出とその放射機構の解明
 - ◆ 一般相対論の検証、強い重力場での物理解明、重力波天文学の創生
- ◆ 次世代重力波望遠鏡(LIGO、Virgo、KAGRA)が2016~2018
 に立ち上がる
 - ◆ <200MpcまでのNS-NS合体が検出可能</p>
 - ~10イベント/年
- ◆ 重力波望遠鏡の位置決定精度~10-100平方度 → 重力波 放射現象の正体を知るには、電磁波対応天体の同定が極めて 重要
- ◆ 光赤外追跡観測 → 広視野撮像(HSCが鍵)+ターゲット追跡 (近傍銀河探索)+多波長連携(X線ガンマ線)
- LIGO first run (O1)が2015年9月18日に開始される → J-GEMで対応