

**ガンマ線バーストの
散乱モデルと
GW170817/GRB 170817A**

木坂 将大

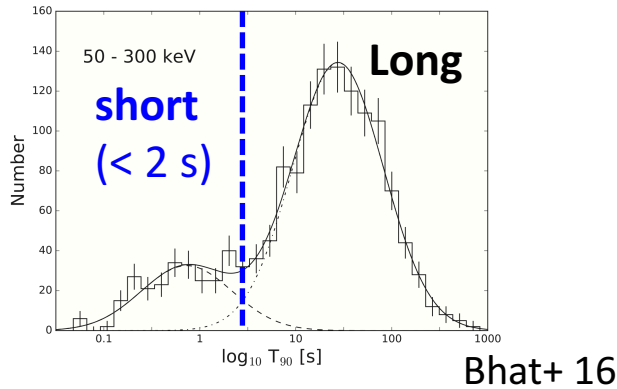
(青山学院大学)

井岡 邦仁, 檜山 和己, 中村卓史

arXiv:1711.00243

Short GRB = Binary NS Merger?

ショートガンマ線バースト



放射エネルギー

$\sim 10^{50} - 10^{51}$ erg

変動タイムスケール

< 1 ms

イベントレート

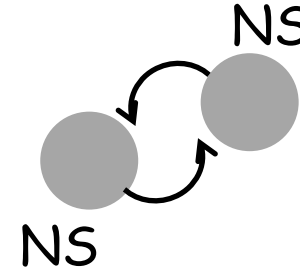
$\sim 10^2$ Gpc⁻³ yr⁻¹

超新星は付随しない
母銀河の多様性

...

(e.g., Berger 14)

連星中性子星合体



系のエネルギー

$< 10^{53}$ erg

半径

$\sim 10^6$ cm $\rightarrow \sim 0.1$ ms

合体レート

$\sim 10 - 10^3$ Gpc⁻³ yr⁻¹

合体のタイムスケール

$\sim 0.1 - 10$ Gyr

GW170817/GRB 170817A

Abbott+ 17
Goldstein+ 17
Savchenko+ 17

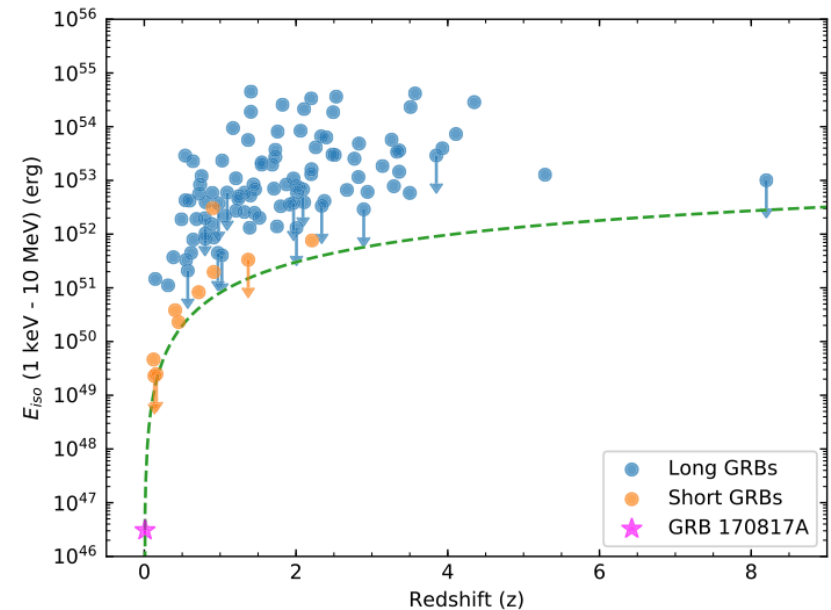
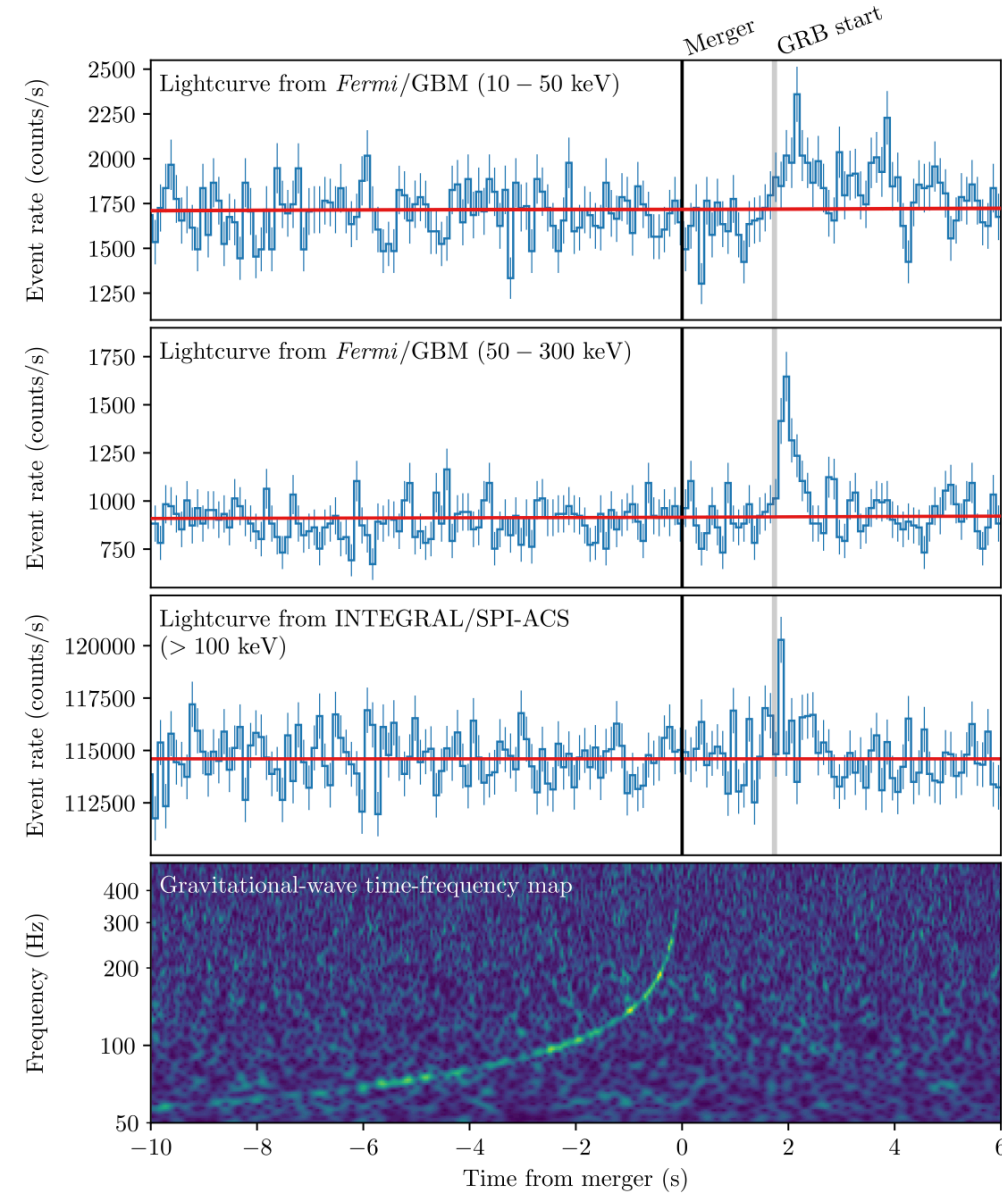
連星中性子星合体 = ガンマ線放射天体

継続時間 ~ 2 s

時間差 ~ 1.7 s

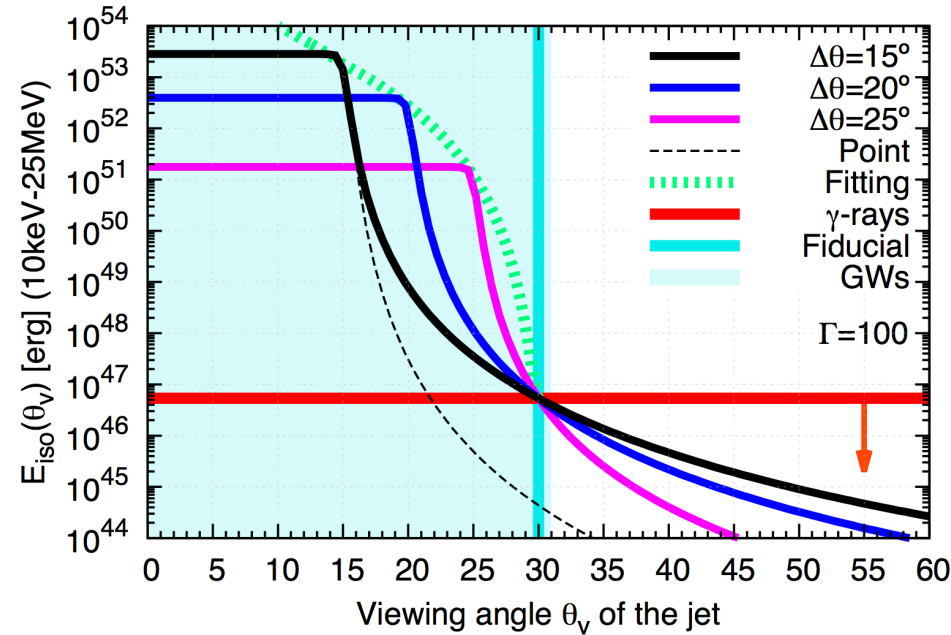
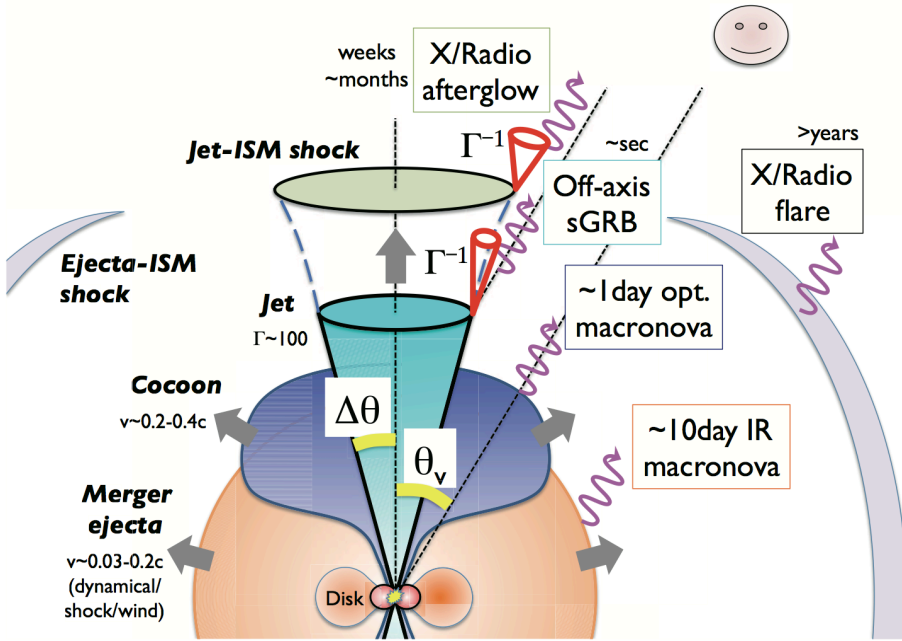
放射エネルギー $\sim 5 \times 10^{46}$ erg

ピークエネルギー $\sim 185 \pm 62$ keV



Off-axis Emission

Ioka & Nakamura 01, 17
 Murguia-Berthier+ 17b,
 Abbott+ 17, Kim+17,
 Lamb & Kobayashi 17,
 Granot+ 17



放射エネルギー

$$E_{\text{iso}}(\theta_v) \sim 10^{46} \text{ erg} \left[\frac{\Gamma_j(\theta_v - \Delta\theta)}{10} \right]^{-4} \left[\frac{E_{\text{iso}}(0)}{10^{50} \text{ erg}} \right]$$

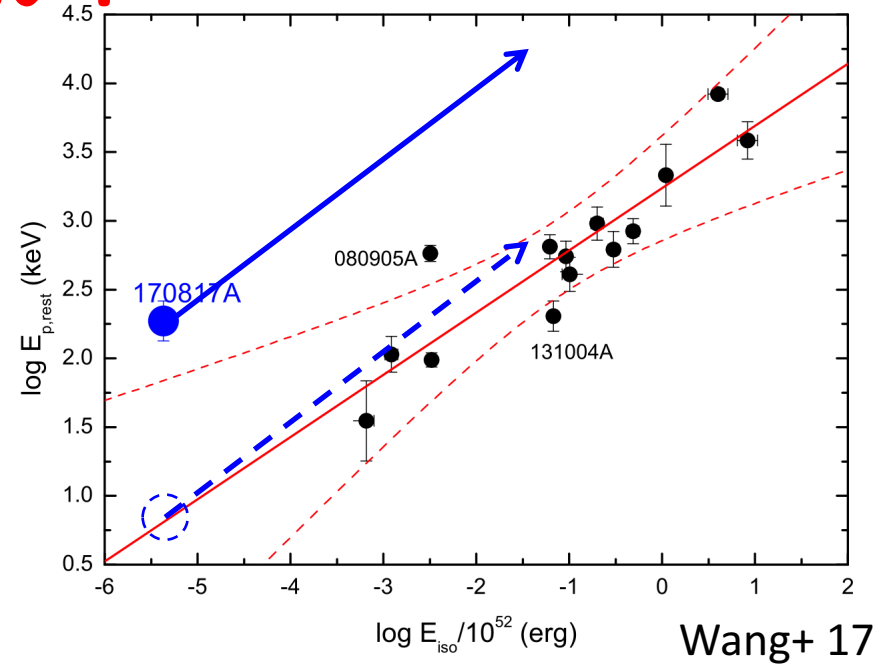
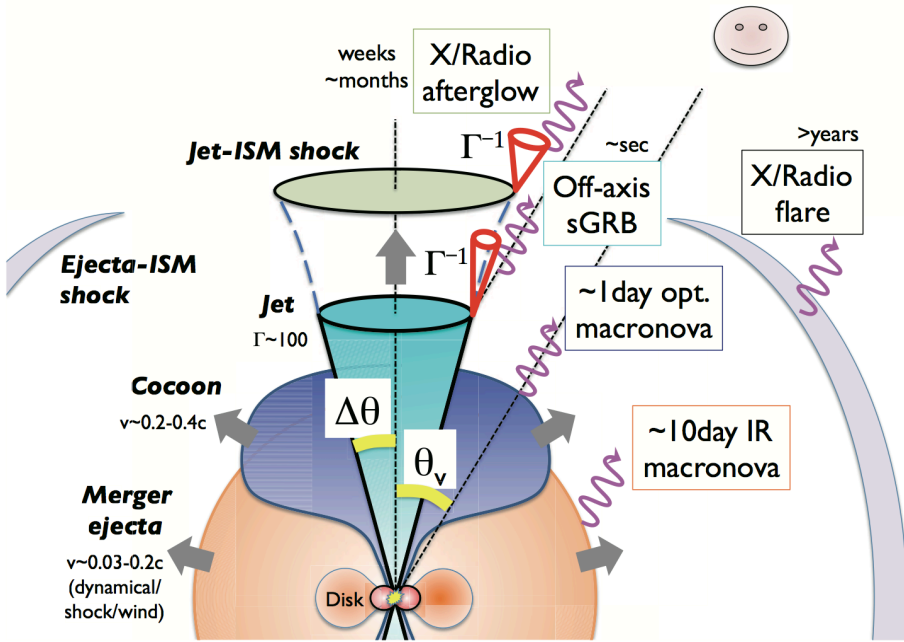
ピークエネルギー

$$E_p(\theta_v) \sim 10 \text{ keV} \left[\frac{\Gamma_j(\theta_v - \Delta\theta)}{10} \right]^{-2} \left[\frac{E_p(0)}{1 \text{ MeV}} \right] \quad (\Delta\theta \lesssim \theta_v \lesssim 2\Delta\theta)$$

Off-axis Emission

Ioka & Nakamura 01, 17
 Murguia-Berthier+ 17b,
 Abbott+ 17, Kim+17,
 Lamb & Kobayashi 17,
 Granot+ 17

Amati関係に従わない?
 E_p がもっと低い?



放射エネルギー

$$E_{\text{iso}}(\theta_v) \sim 10^{46} \text{ erg} \left[\frac{\Gamma_j(\theta_v - \Delta\theta)}{10} \right]^{-4} \left[\frac{E_{\text{iso}}(0)}{10^{50} \text{ erg}} \right]$$

ピークエネルギー

$$E_p(\theta_v) \sim 10 \text{ keV} \left[\frac{\Gamma_j(\theta_v - \Delta\theta)}{10} \right]^{-2} \left[\frac{E_p(0)}{1 \text{ MeV}} \right] \quad (\Delta\theta \lesssim \theta_v \lesssim 2\Delta\theta)$$

GW170817/GRB 170817A

ガンマ線放射モデル

- ・ **ショートガンマ線バーストのoff-axis放射**
→ Amati関係からはずれるか、 E_p が小さい?
Ioka & Nakamura 01, 17, Murguia-Berthier+ 17b, Abbott+ 17, Kim+17, Lamb & Kobayashi 17, Granot+ 17
- ・ **低光度ショートガンマ線バースト** Murguia-Berthier+ 17b, Zhang+ 17
→ jetがejectaを突き破れるか? Nagakura+ 14, Murguia-Berthier+ 14, 17a
- ・ **コクーンの衝撃波ブレイクアウト** Kasliwal+ 17, Gottlieb+ 17, Bromberg+ 17
→ jetからの放射ではなかった?

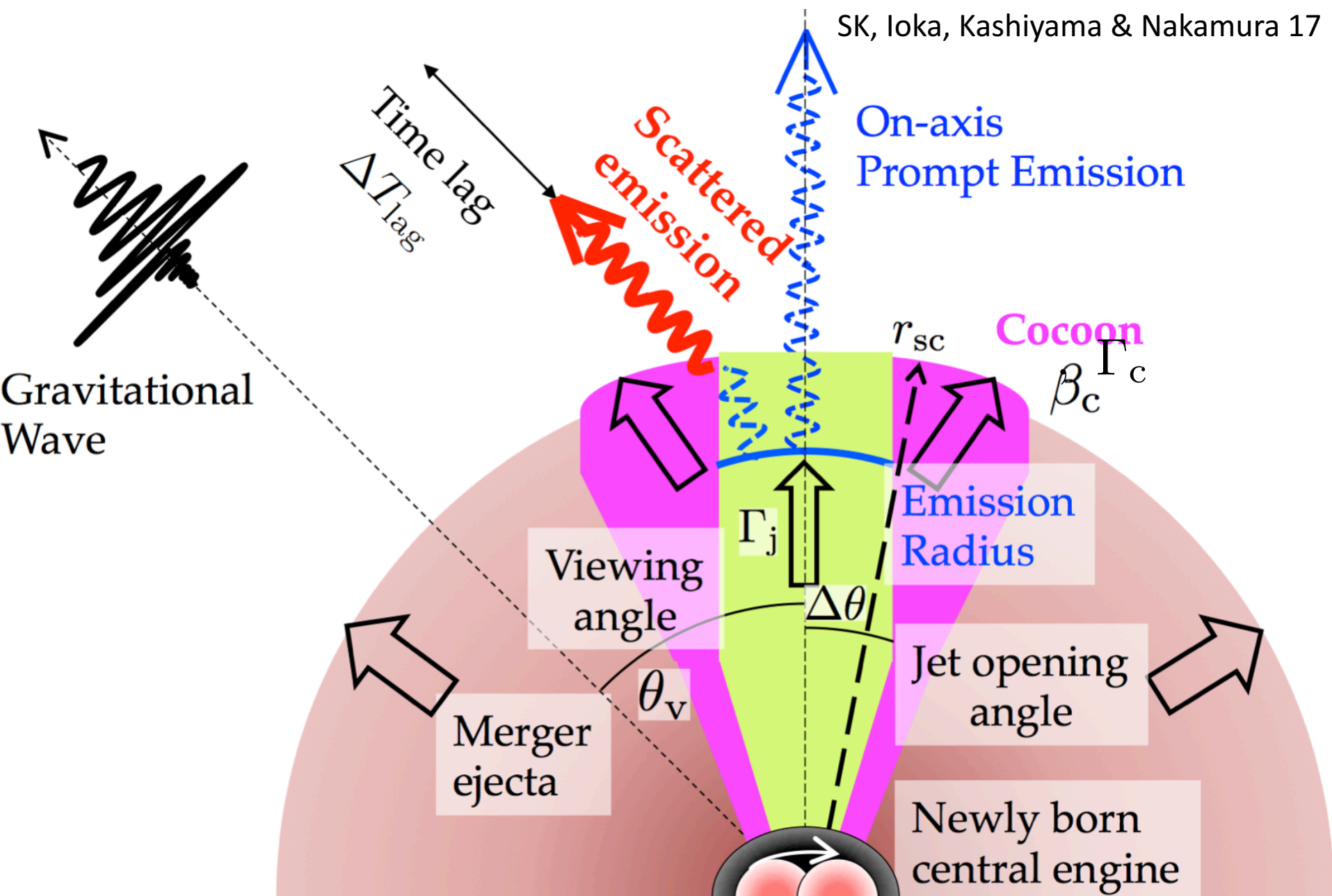
残光からは jet の存在の証拠はまだ得られていない。

Troja+17, Margutti+ 17, Haggard+17, Hallinan+ 17, Alexander+ 17, Mooley+ 17, Ruan+ 17, Lazzati+ 17

Amati関係に従うショートガンマ線バースト起源かつ
 $E_p \sim 100 \text{ keV}$ の放射を観測した可能性はないか？

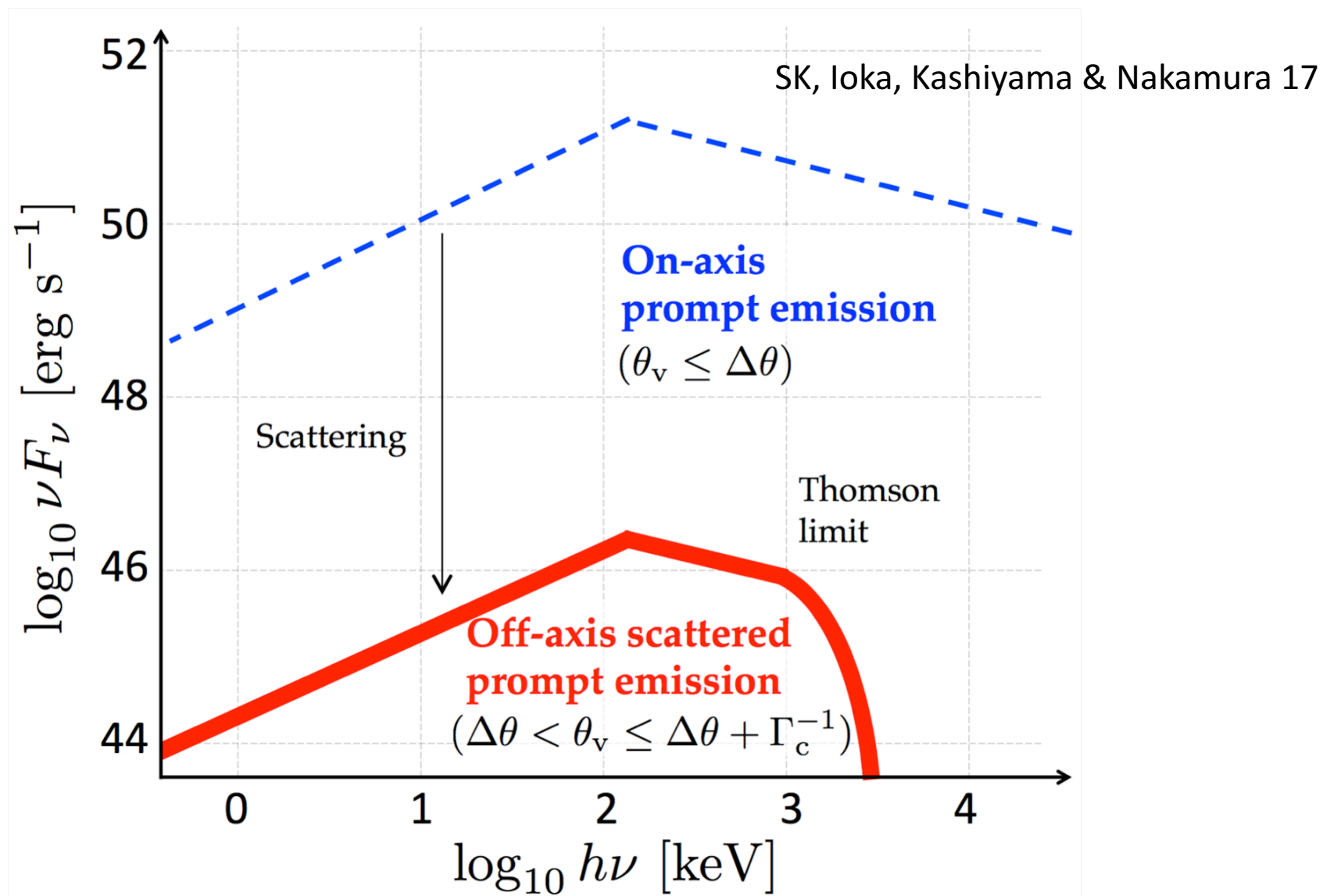
Scattered Prompt Emission

SK, Ioka, Kashiyama & Nakamura 17



Spectrum

トムソン散乱なら E_p は on-axis の場合と同程度 ($E_p < 1\text{MeV}$)



Luminosity & Duration

光度

$$(\Gamma_c^{-1} > \theta_v - \Delta\theta)$$

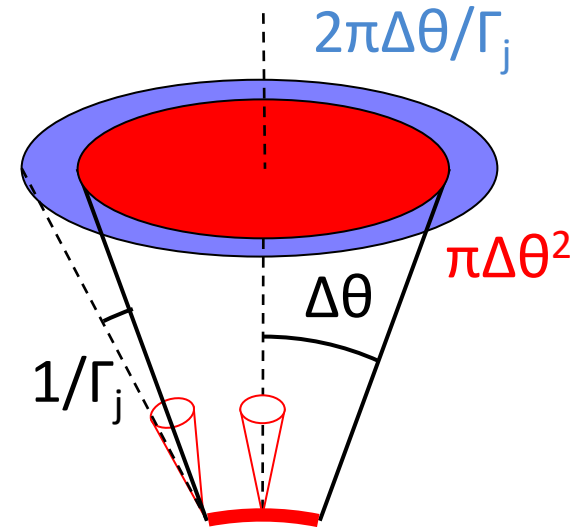
$$L \sim \frac{2}{\Gamma_j \Delta\theta} \times \frac{t_{\text{dur}}}{T_{\text{dur,sc}}} \times \Gamma_c^2 \times \epsilon_{\text{sc}} \times \frac{\Delta\theta^2}{2} L_{\text{iso}}$$

継続時間

$$T_{\text{dur,sc}} \sim \max\{t_{\text{dur}}, \Delta T\}$$

$$\Delta T \sim \frac{r_{\text{sc}}}{2c\beta_c\Gamma_c^2}$$

t_{dur} : Intrinsic engine activity timescale



Scattering Conditions (relativistic)

トムソン散乱に対する光学的厚み

$$(\Gamma_c^{-1} > \theta_v - \Delta\theta)$$

$$\tau \sim 1 \rightarrow r_{\text{sc}} \sim 10^{12} \text{ cm } M_{e,-7}^{1/2}$$

放射領域

$$r_{\text{emi}} \lesssim r_{\text{sc}} \rightarrow \text{Photosphere model} \\ \text{or internal shock model}$$

ペア生成に対する光学的厚み

$$\tau_{\gamma\gamma} < 1 \leftrightarrow \tau_{\gamma\gamma} \sim 10^{-1} L_{\text{iso},51} \Gamma_{j,2}^{-5} r_{\text{emi},11}^{-1} E_{p,2}^2$$

$$\tau_{\gamma\gamma} \sim \frac{L_{\text{iso}} \sigma_{\text{T}}}{4\pi E_{\text{p}} c r_{\text{emi}} \Gamma_j^2} \left(\frac{\Gamma_j m_e c^2}{E_{\text{p}}} \right)^{2(1-\beta_{\text{B}})}$$

Implications to GW170817/GRB 170817A

GW170817/GRB 170817A

$$T_{\text{dur}} \sim 2 \text{ s}$$

$$\Delta T_{\text{lag}} \sim 1.7 \text{ s}$$

$$E_{\text{iso}} \sim 5 \times 10^{46} \text{ erg}$$

$$\theta_v < 36^\circ$$

Scattering model (relativistic)

$$t_{\text{br}} \sim t_{\text{dur}} \sim 0.1 \text{ s} (\gg t_j)$$

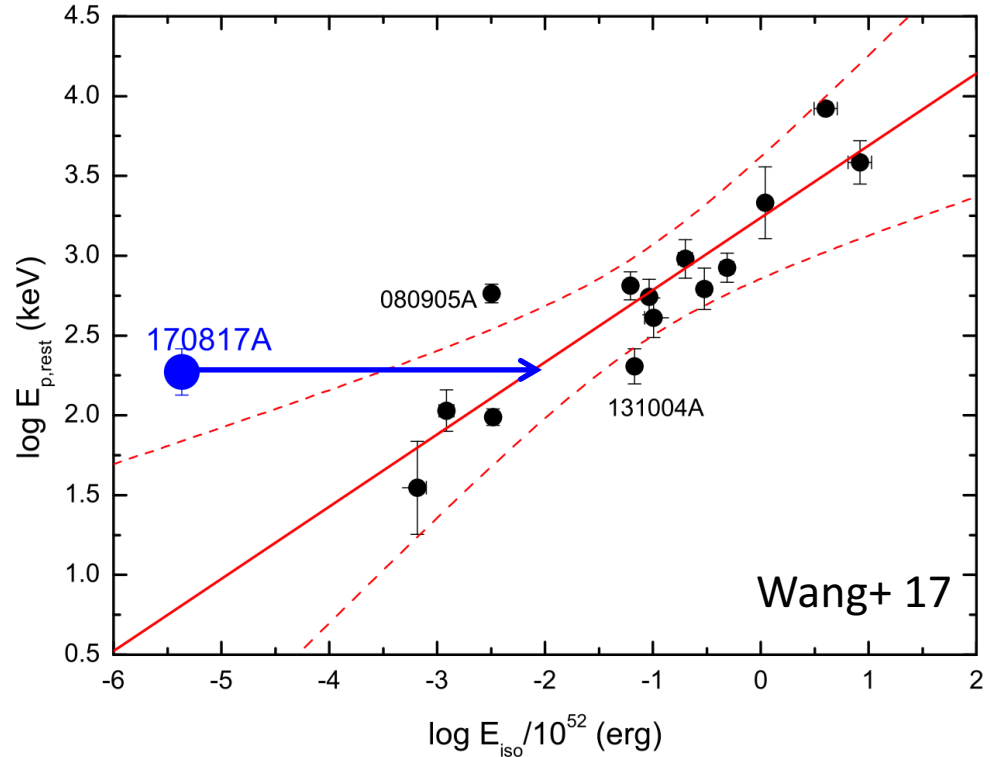
$$L_{\text{iso}} \sim 10^{51} \text{ erg s}^{-1}$$

$$\Gamma_j \sim \eta \sim 100$$

$$\Gamma_c \sim 1-10$$

$$r_{\text{sc}} \sim 10^{12} \text{ cm}$$

$$M_{\text{ej}} \sim 10^{-8} - 10^{-6} M_{\text{sun}}$$



→ Photosphere model
or internal shock model

Summary

- 連星中性子星合体GW170817と同時にガンマ線イベント GRB 170817A が検出された。
- off-axis 放射モデルで説明できるが、Amati関係に従わないガンマ線バーストか E_p が観測値より低い (3σ)。
- 残光からはjetの存在の証拠はまだ得られていない。
- 散乱モデルは、Amati関係に従うショートガンマ線バースト起源かつ $E_p \sim 100 \text{ keV}$ のガンマ線を説明可能。