

高エネルギー天体グループ

浅野勝晃



High Energy Astrophysics Group
ICRR, the University of Tokyo

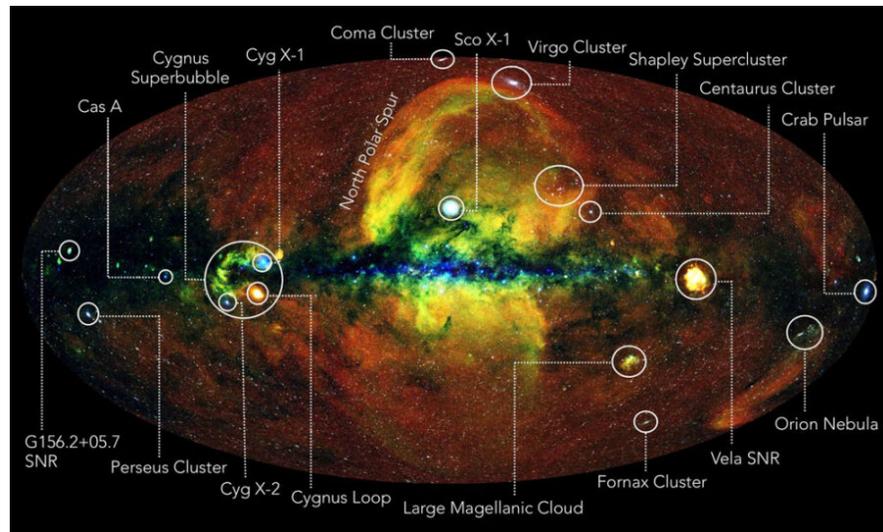
メンバー Members

教員 Staff	准教授 Assoc. Prof.	浅野勝晃 Katsuaki Asano	ガンマ線バースト、レーザー、パルサー
	助教 Assis. Prof.	衣川智弥 Tomoya Kinugawa	重力波天文学、ブラックホール連星
		川口恭平 Kyohei Kawaguchi	数値相対論、中性子星連星合体
研究員 PDs	ICRRフェロー	川島朋尚 Tomohisa Kawashima	ブラックホール降着円盤、輻射輸送
	特任研究員	大村匠 Takumi Ohmura	宇宙ジェット、電波銀河
大学院生 Students	博士課程 Doctor	西脇公祐 Kosuke Nishiwaki (卓越大学院プログラム生)	銀河団、高エネルギーニュートリノ
		後藤瞭太 Ryota Goto (卓越大学院プログラム生)	ガンマ線バースト
	修士課程 Master	草深陽 Yo Kusafuka	

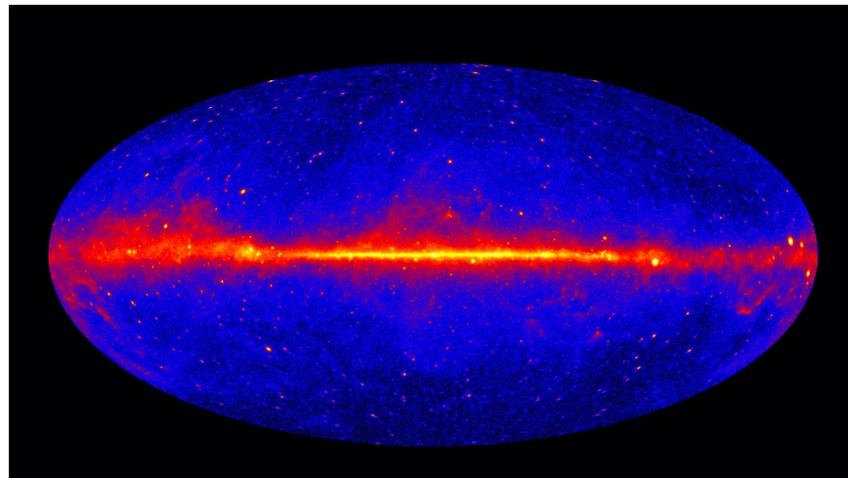
旧メンバー Former Members

高エネルギーで輝く宇宙

X線(>0.3keV)

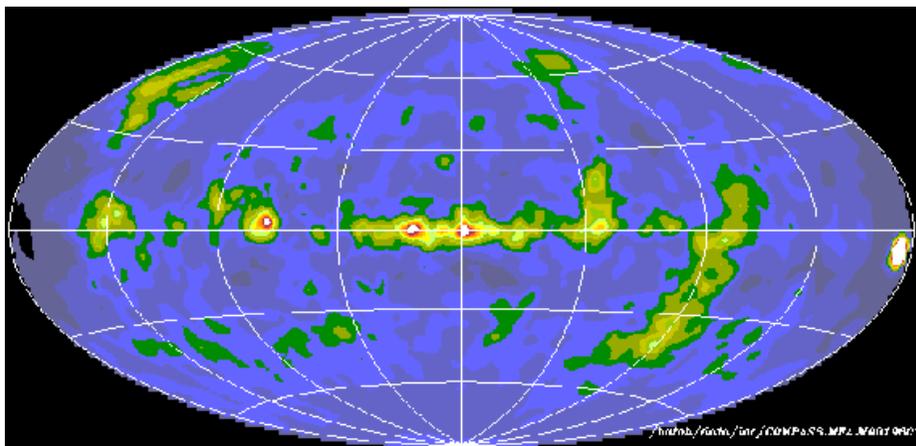


ガンマ線(>1GeV)



陽子質量 $m_p c^2 \sim 0.9\text{GeV}$

ガンマ線(>0.8MeV)



電子質量 $m_e c^2 \sim 0.5\text{MeV}$

ガンマ線(>0.2TeV)

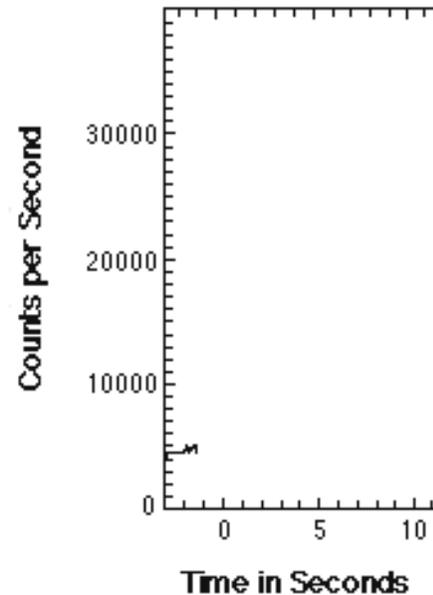
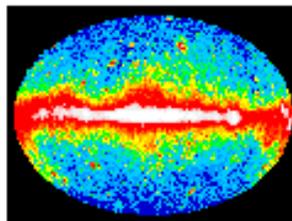


突発現象

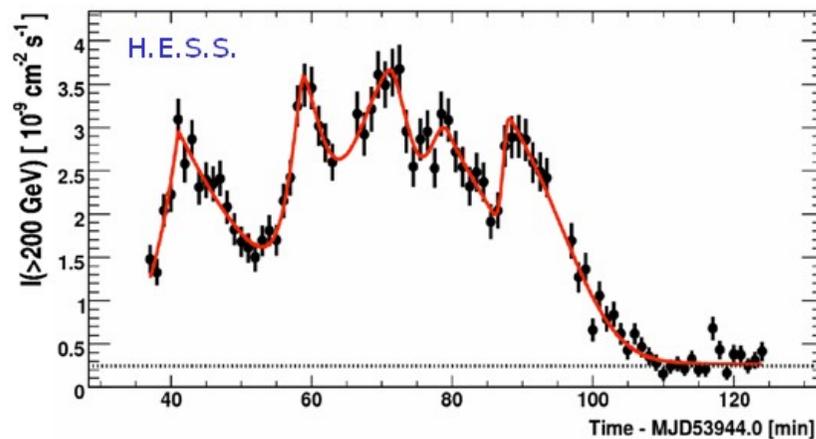
超新星爆発



ガンマ線バースト

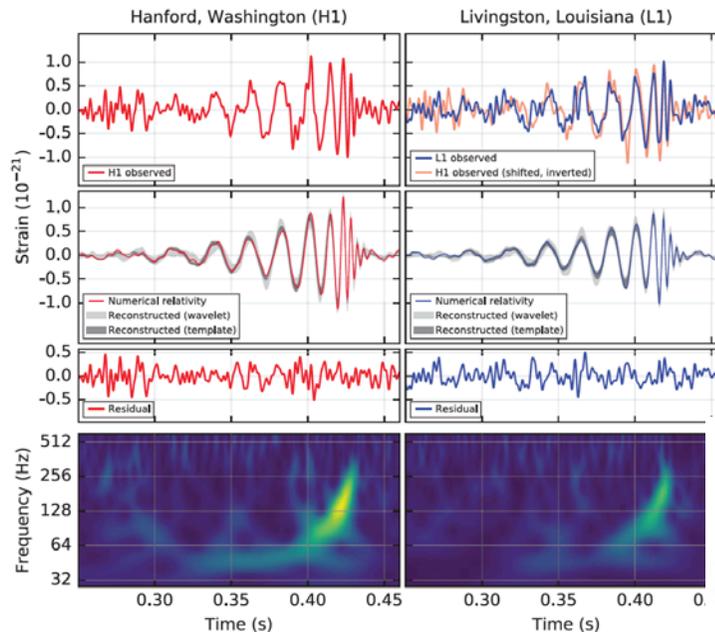
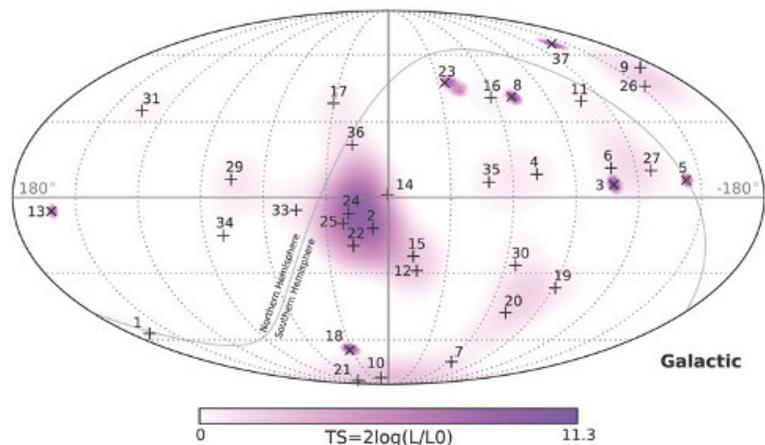
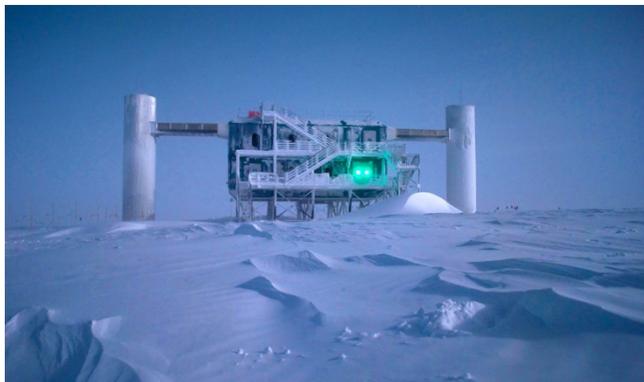


レーザーからのTeVガンマ線変動



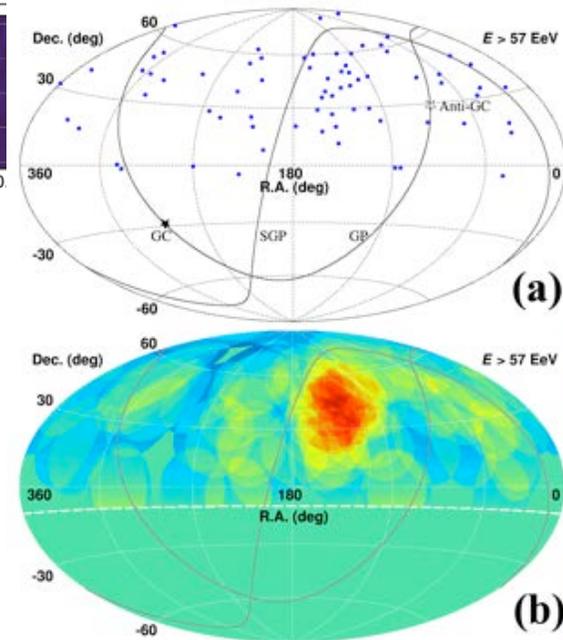
ニュートリノ・重力波・宇宙線

高エネルギー (PeV) ニュートリノ

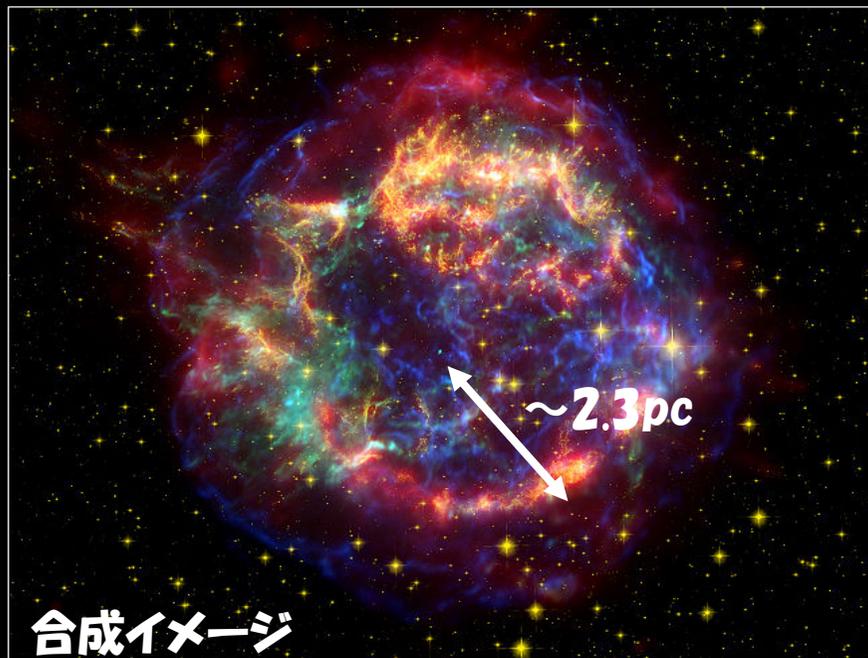


BH+BH 重力波

最高エネルギー宇宙線 (100 EeV)



超新星残骸、宇宙線生成、パルサー



合成イメージ

Cassiopeia A Supernova Remnant
NASA / JPL-Caltech / D. Krause (Steward Observatory)
ssc2005-14c

Spitzer Space Telescope • MIPS
Hubble Space Telescope • ACS
Chandra X-Ray Observatory

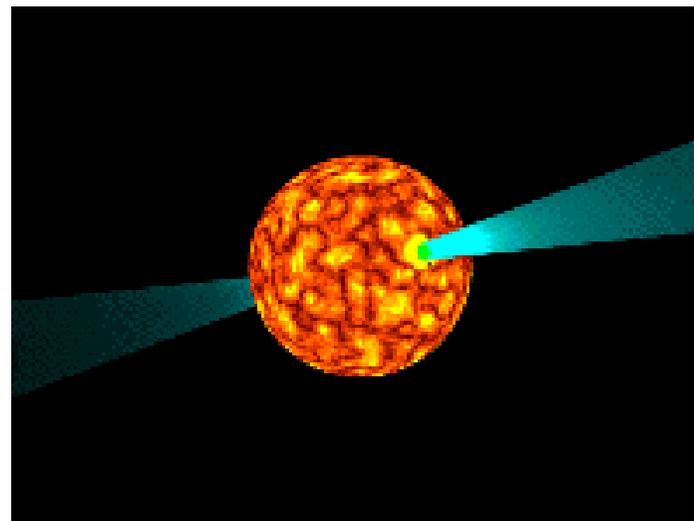
爆発による衝撃波が星間空間を伝播



衝撃波による粒子加速
高エネルギー粒子の生成

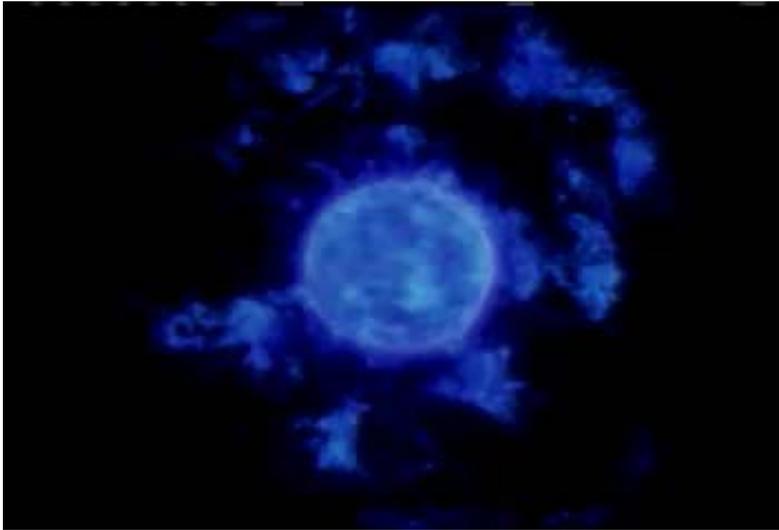
$$\varepsilon \gg m_e c^2, m_p c^2$$

パルサー



強磁場中性子星。周期1ms-1sで自転する半径10kmの高密度天体($\sim 10^{15} \text{g/cm}^3$)。規則正しいパルス放射。
典型的には 10^{12}G 。中には 10^{15}G までにも達するものもあり、マグネターと呼ばれる。QEDの効果が無視できない。

ガンマ線バースト、活動銀河核ジェット



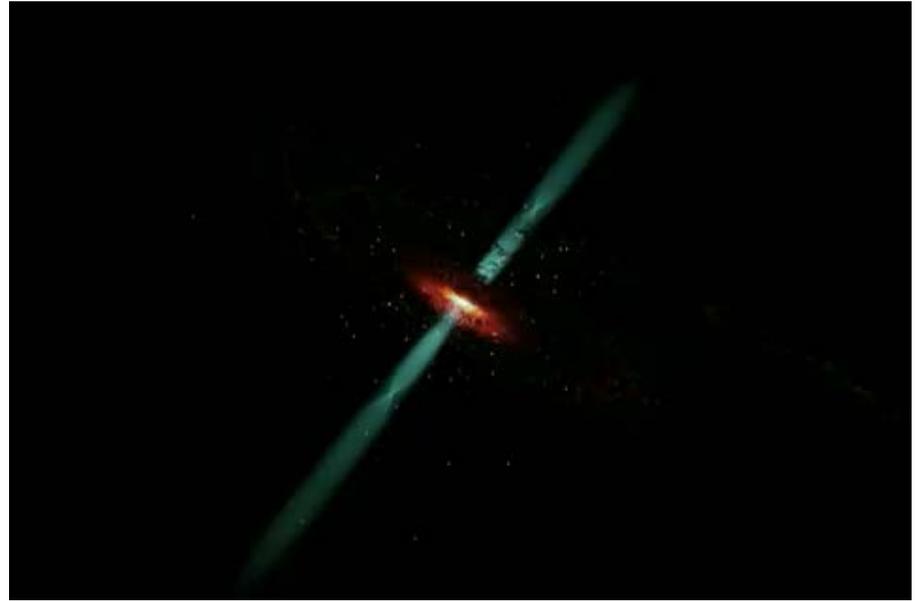
宇宙最大の爆発現象

巨星の核がブラックホールに崩壊。

$\Gamma > 100$ の光速ジェットからガンマ線を放出。

最も明るいものの解放エネルギーは
 $\sim M_{\odot} c^2$ に達する。

相対論的ジェットの運動エネルギーを如何に
ガンマ線へと転換するか？
衝撃波？磁場散逸？



宇宙最大のブラックホール($10^7 - 10^9$ 太陽質量)
からのジェット噴出

$\Gamma > 10$ の光速ジェットから電波、X線、ガンマ線を
放出。

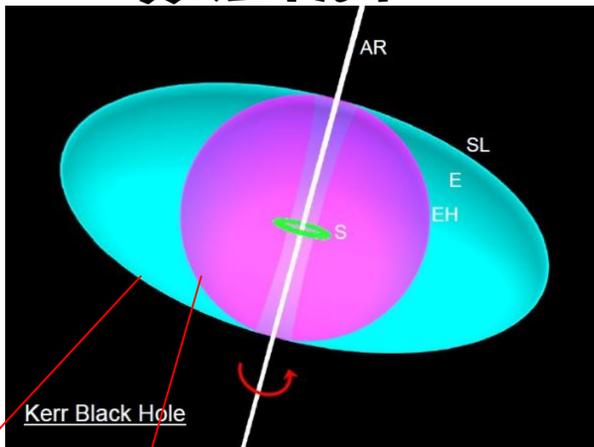
物理学の知識を総動員して天体の真の姿に迫る



激しくジェットを噴き出しているのは…？

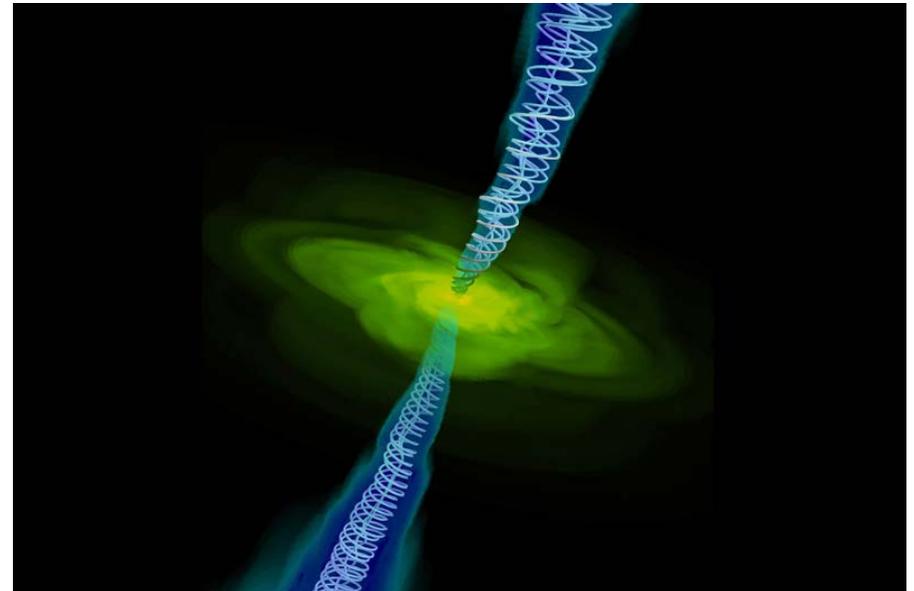
一般相対論的な効果か？

BHの回転エネルギーを磁場を介して引抜く
“負のエネルギー”

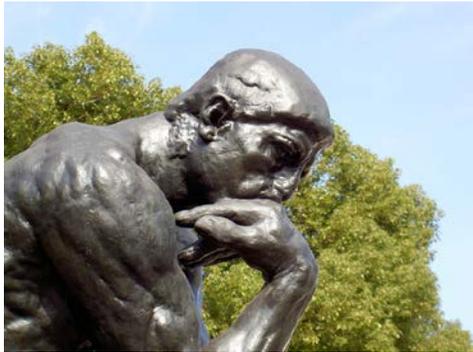


$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_g r}{\Sigma}\right) c^2 dt^2 - \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 - \left(\frac{r_g r}{\Sigma} a^2 \sin^2 \theta + r^2 + a^2\right) \sin^2 \theta d\varphi^2 - \Sigma d\theta^2 + 2 \frac{r_g r}{\Sigma} a \sin^2 \theta c dt d\varphi,$$
$$\Sigma = r^2 + a^2 \cos^2 \theta, \Delta = r^2 + a^2 - r_g r, r_g = 2GM/c^2$$

磁気流体力学的な現象か？



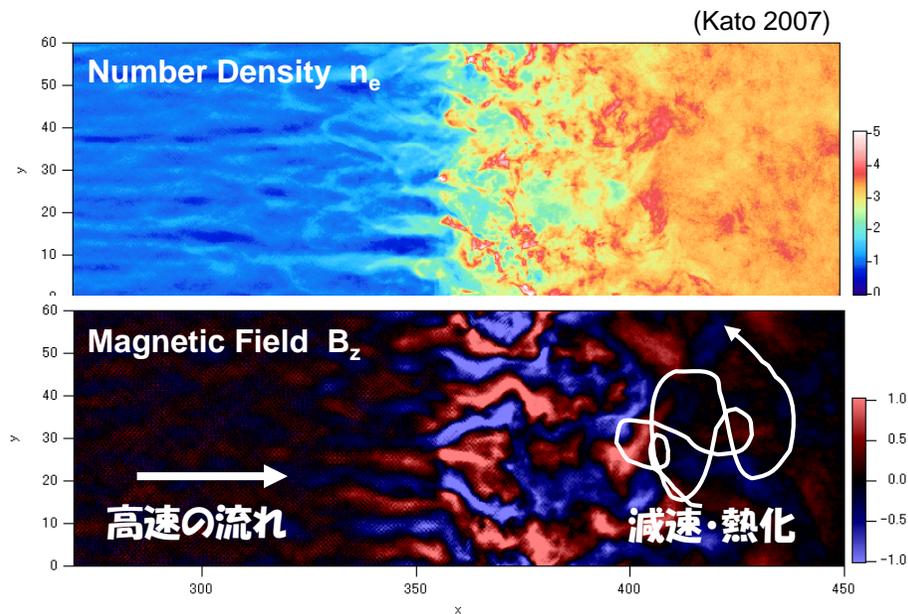
物理学の知識を総動員して天体の真の姿に迫る



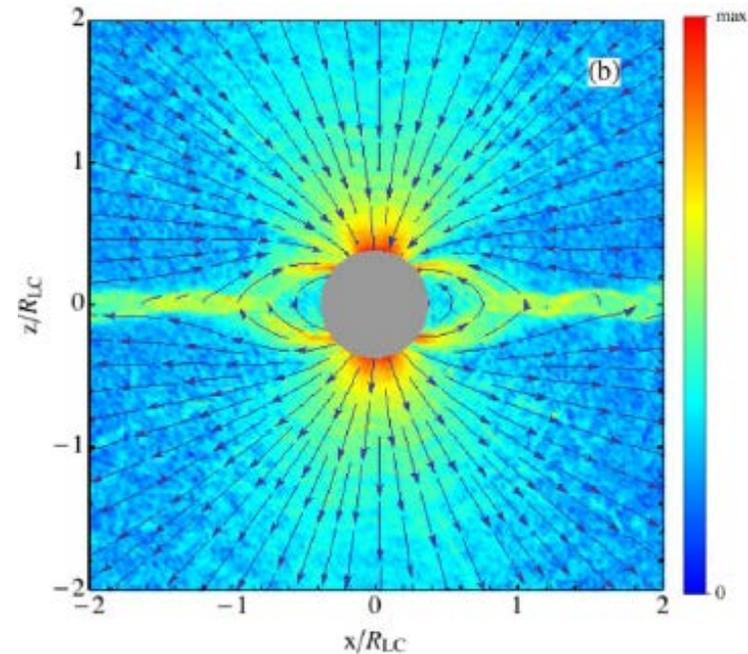
高エネルギー粒子が加速されているのは…？

プラズマ運動論的な効果か？

古典電磁気学で説明可能か？



衝撃波粒子加速(プラズマ波動)



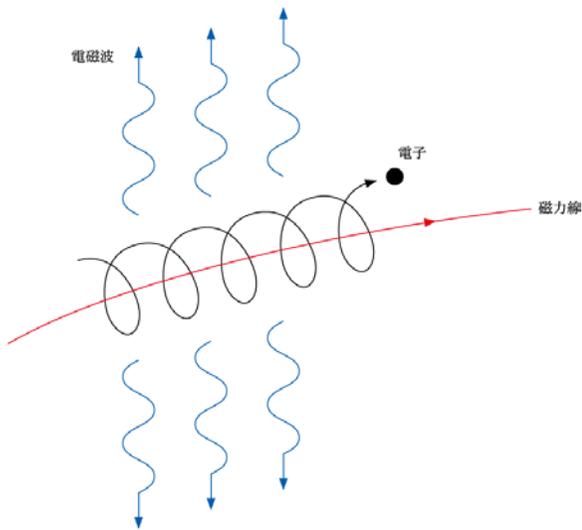
パルサー磁気圏での電場加速

物理学の知識を総動員して天体の真の姿に迫る



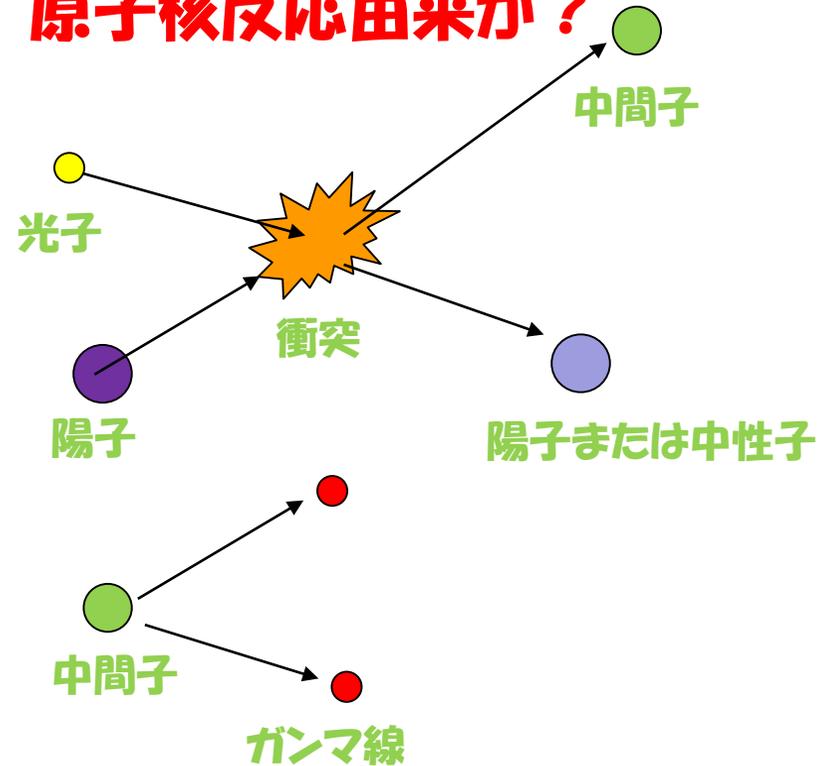
高エネルギーガンマ線は…？

相対論的放射過程か？



シンクロトロン放射
逆コンプトン放射

原子核反応由来か？



物理学の知識を総動員して天体の真の姿に迫る



放射スペクトルは…？

濃いガスを通過したのか？

量子電磁気的効果か？

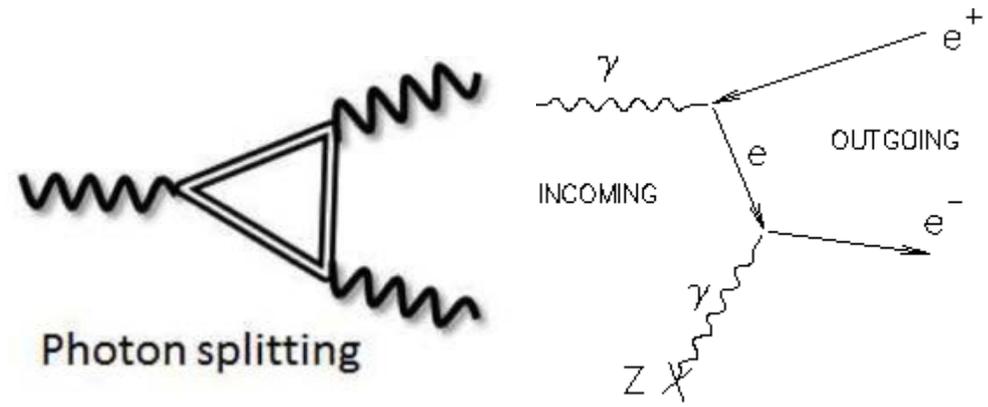
Radiative Transport Equation

$$\frac{dI_\nu}{ds} = \underbrace{j_\nu}_{\text{emission}} - \underbrace{\alpha_\nu I_\nu}_{\text{absorption scattering}}$$

$$I_\nu(\tau_\nu) = \underbrace{I_{\nu 0} e^{-\tau_\nu}}_{\text{self absorption}} + \int_0^{\tau_\nu} S_\nu(\tau'_\nu) e^{-(\tau_\nu - \tau'_\nu)} d\tau'_\nu$$

$$\frac{dI_\nu}{d\tau_\nu} = \underbrace{j_\nu}_{\text{source function}} - I_\nu$$

輻射輸送方程式
原子による吸収、散乱

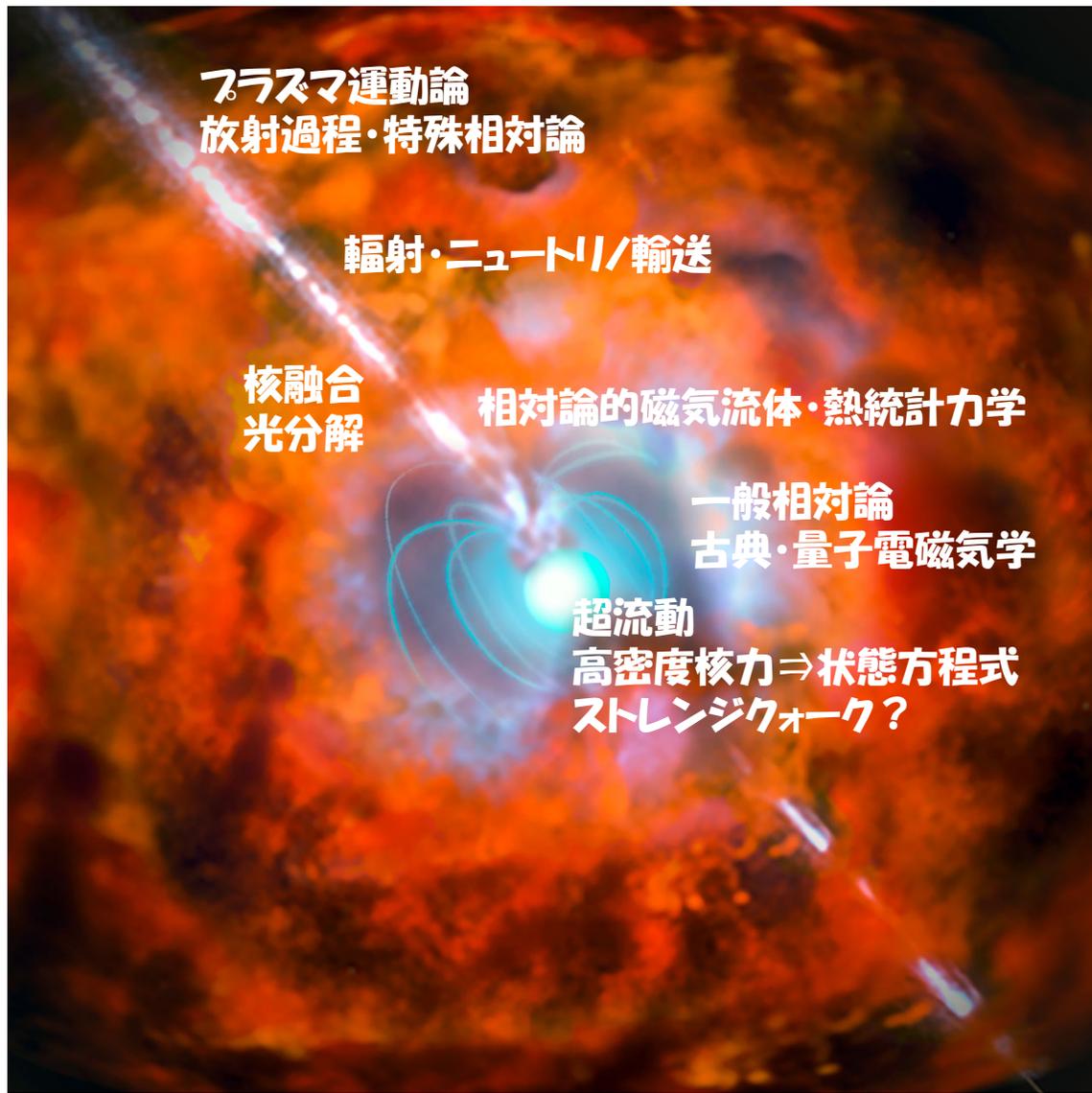
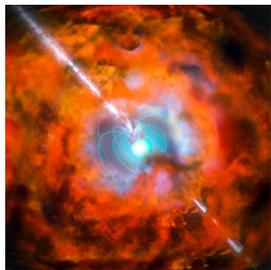


強磁場中での光子分裂、電子・陽電子対生成

まとめ



天文学
宇宙論



高エネルギー天体の理論的研究

- マルチメッセンジャー天文学
- 物理の総合商社的分野(+天文学、宇宙論、素粒子論)
- 電波からX線・ガンマ線にいたる放射メカニズム
- 高エネルギーまで粒子を加速するメカニズム
- ブラックホールから噴出するジェット生成メカニズム
- 超新星爆発のメカニズム
- 10^{20} eVを超える最高エネルギー宇宙線の加速源天体
- 天体からのニュートリノや重力波の放射
- 毎年のように新しい発見が報告される、ダイナミックな分野