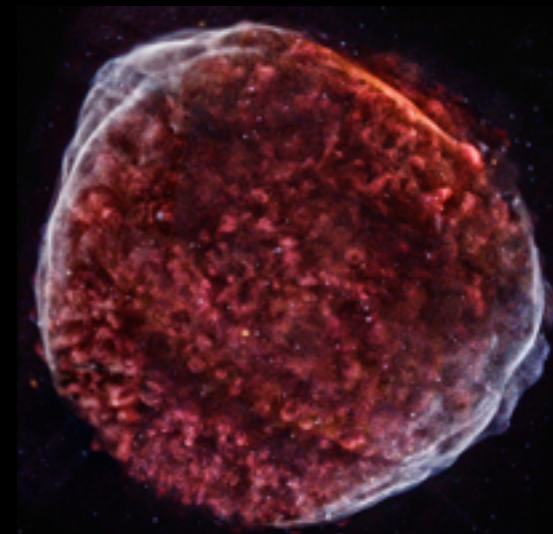
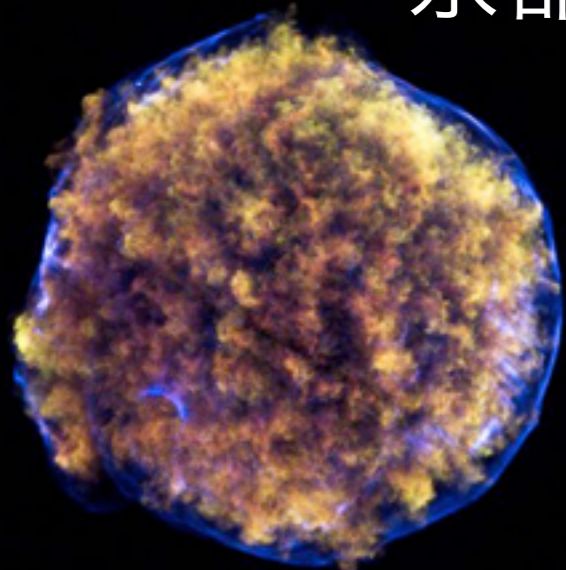




X線・ガンマ線で探る 超新星残骸における宇宙線加速

京都大学 大学院 理学研究科 物理学第二教室

田中 孝明



宇宙線



スパークチェンバーで捕らえられた宇宙線の軌跡

KEK ホームページより

宇宙線



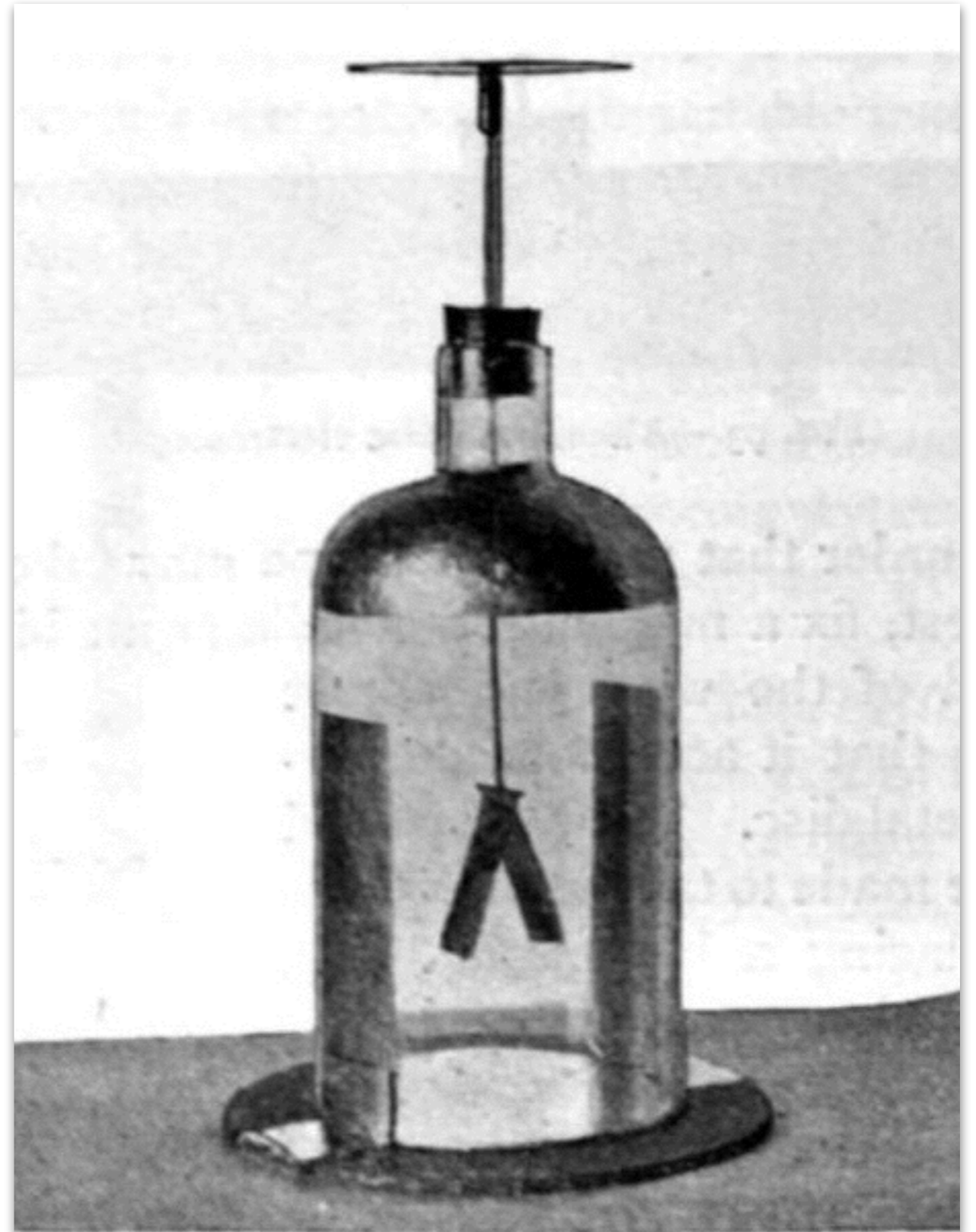
スパークチェンバーで捕らえられた宇宙線の軌跡

KEK ホームページより

宇宙線発見のきっかけ

20 世紀初め、そのまま放置しておくとも箔が閉じることが知られていた

地球からの放射線が原因か？



Wulf のエッフェル塔での実験

1910 年

地上とエッフェル塔 (高さ 324 m) の頂上で放射線強度を比較



Datum	O r t	Ionen
		ccm sec
28. März	Valkenburg	22,5
29. "	Paris, Boden	17,5
30. "	" Eiffelturm	16,2
31. "	" "	14,4
1. April	" "	15,0
2. "	" "	17,2
3. "	" Boden	18,3
4. "	Valkenburg	22,0

Wulf (1910)
Phys. Zeit. 11, 811–813

エッフェル塔頂上ではわずかに強度が小さい
地上からの放射線だけではなさそう

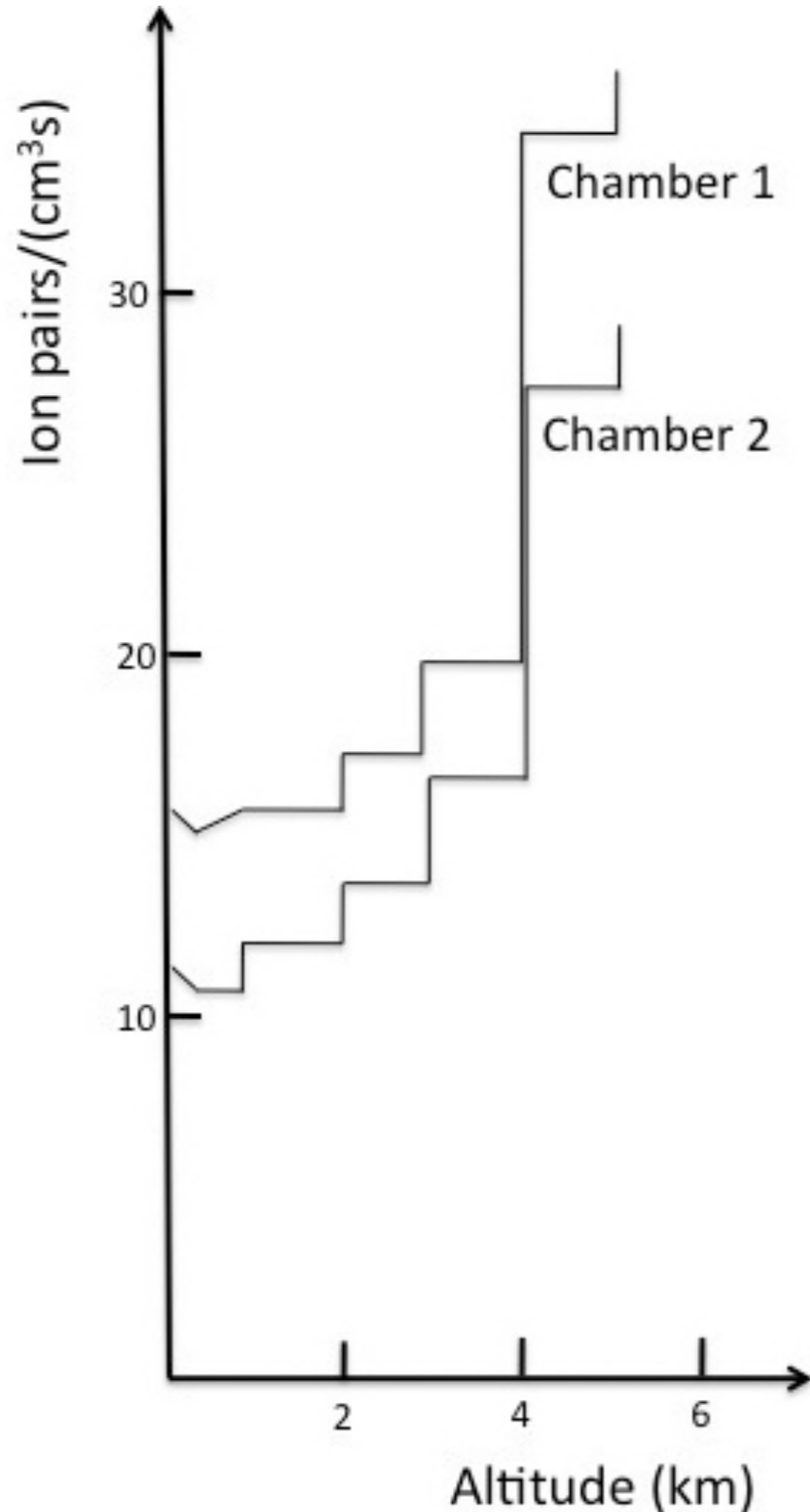
Hess の気球実験

1911-1912 年

自ら気球に乗り高度約 5 km まで
放射線強度の高度依存性を調査

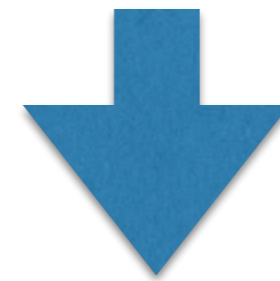


宇宙線の発見




高度が上がるにつれて強度が上がる
放射線の存在を発見

日食時の測定からこの放射線が太陽から
来ている可能性も棄却



宇宙線の発見

Nobel Prizes and Laureates

Physics Prizes  < 1936 >

[▶ About the Nobel Prize in Physics 1936](#)

▼ Victor F. Hess

- [Facts](#)
- [Biographical](#)
- [Nobel Lecture](#)
- [Documentary](#)

[▶ Carl D. Anderson](#)

[All Nobel Prizes in Physics](#)

[All Nobel Prizes in 1936](#)



The Nobel Prize in Physics 1936

Victor F. Hess, Carl D. Anderson

Victor F. Hess - Facts



Victor Franz Hess

Born: 24 June 1883, Peggau, Austria

Died: 17 December 1964, Mount Verno, NY, USA

Affiliation at the time of the award: Innsbruck University, Innsbruck, Austria

Prize motivation: "for his discovery of cosmic radiation"

Field: Astrophysics, cosmic radiation

Cosmic Rays

In reactions between radiation and atoms, charged ions are often produced. Victor Hess, using balloons, measured in 1912 atmospheric ionisation as function of altitude. To his surprise he found that the ionisation first decreased, but later for the highest altitudes, increased strongly. He concluded that a penetrating radiation is evident on the earth from outside. He could also exclude that this radiation emanates from the sun. Cosmic rays were discovered.



Help Us Improve Nobelprize.org



Take a few minutes to answer ten questions!



一次宇宙線・二次宇宙線

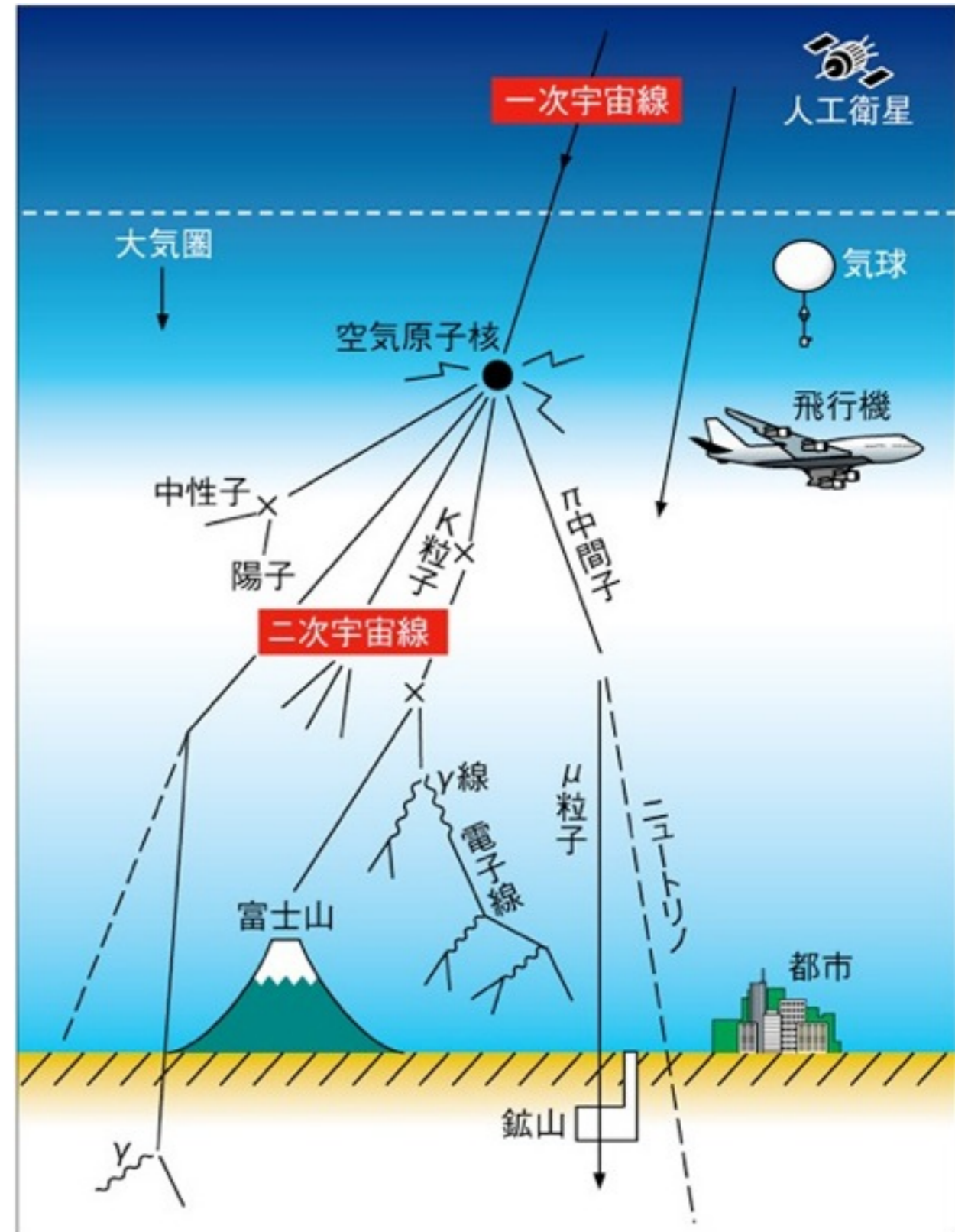
宇宙から地球に降り注ぐ高エネルギー粒子
= 一次宇宙線

陽子やヘリウムなどの原子核、電子など

一次宇宙線が大気を構成する原子核と衝突して
生成されるもの = 二次宇宙線

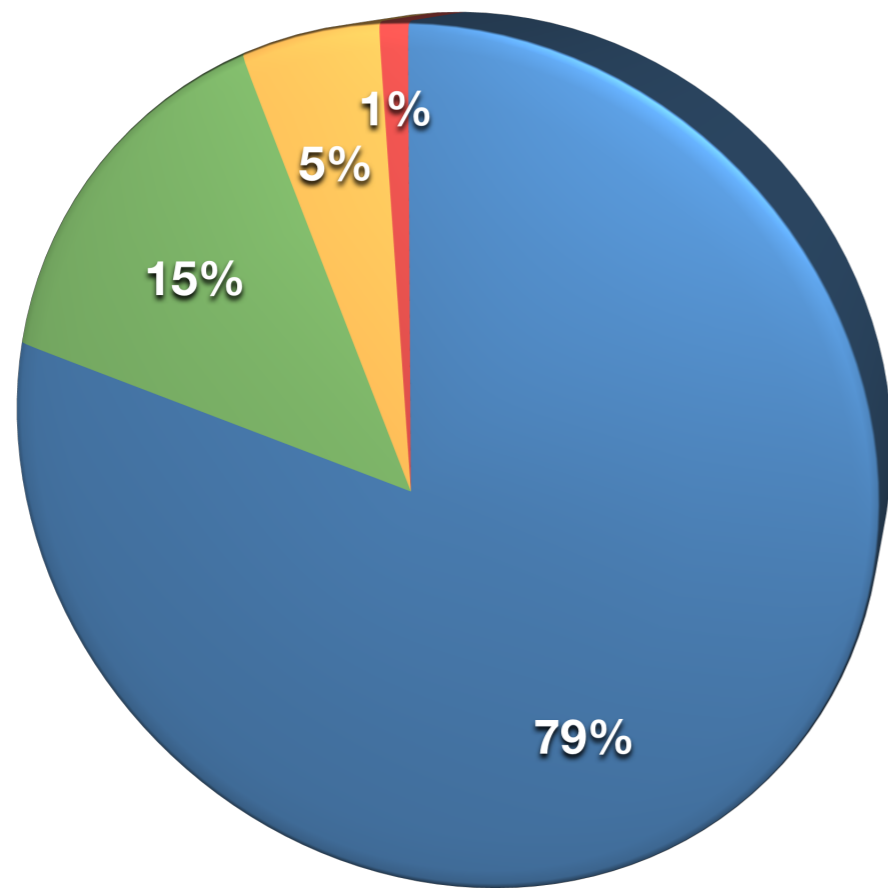
電子やミュー粒子など

建物内では主にミュー粒子が観測される



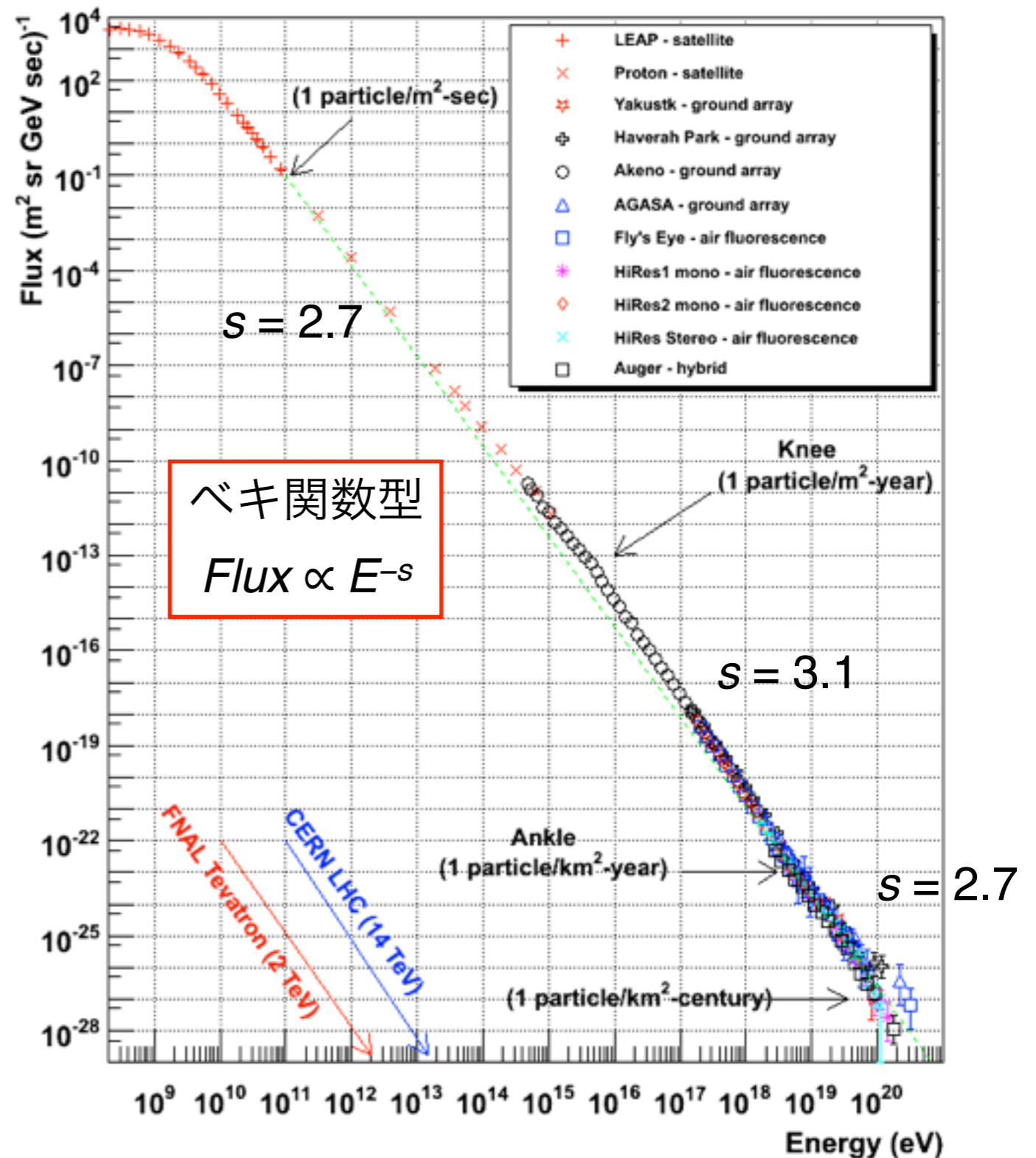
宇宙線の組成・スペクトル

宇宙線の組成



- 陽子
- ヘリウム
- それ以外の原子核
- 電子

Cosmic Ray Spectra of Various Experiments



宇宙線のエネルギー密度

$$\rho_{\text{CR}} = 1 \text{ eV cm}^{-3}$$

宇宙線のエネルギー密度

$$\rho_{\text{CR}} = 1 \text{ eV cm}^{-3}$$

Star Light



© Axel Mellinger

宇宙線のエネルギー密度

$$\rho_{\text{CR}} = 1 \text{ eV cm}^{-3}$$

Star Light

$$\rho_{\text{SL}} = 0.3 \text{ eV cm}^{-3}$$



© Axel Mellinger

宇宙線のエネルギー密度

$$\rho_{\text{CR}} = 1 \text{ eV cm}^{-3}$$

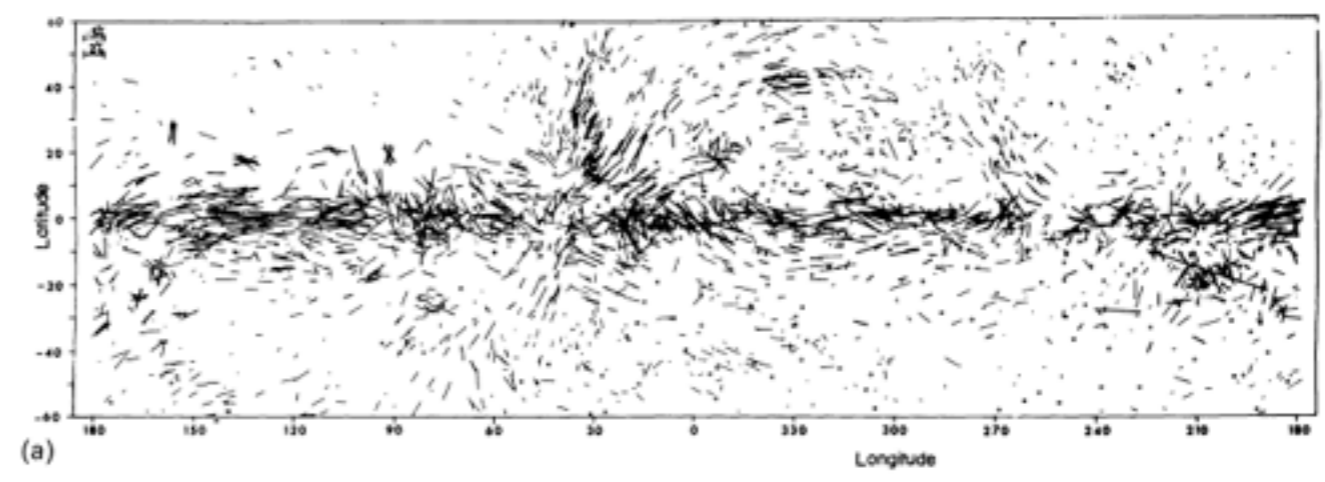
Star Light

$$\rho_{\text{SL}} = 0.3 \text{ eV cm}^{-3}$$



© Axel Mellinger

Magnetic Field



Heiles (1976)

宇宙線のエネルギー密度

$$\rho_{CR} = 1 \text{ eV cm}^{-3}$$

Star Light

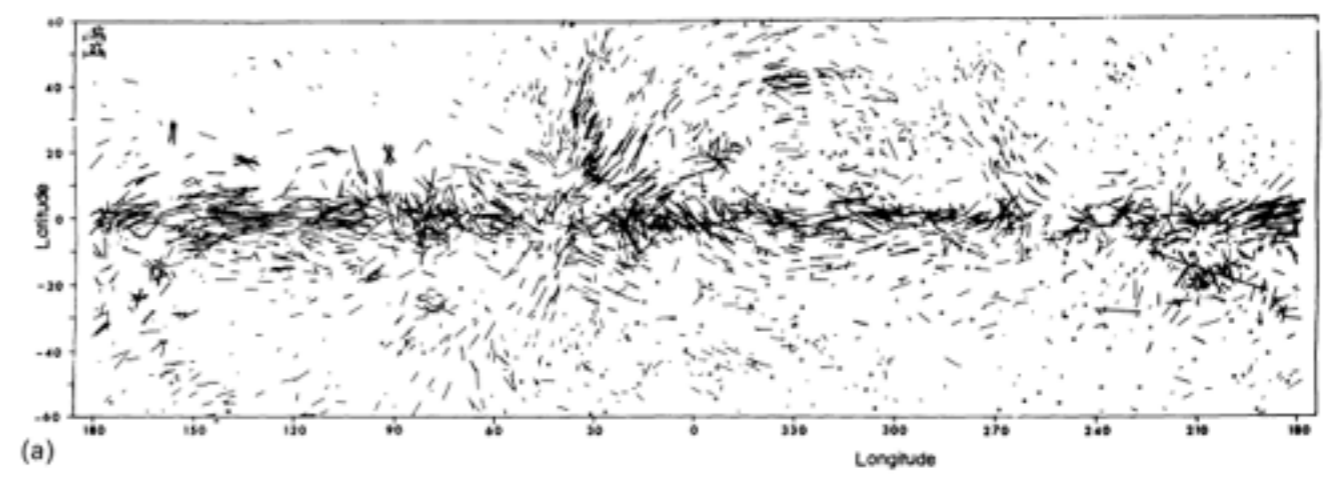
$$\rho_{SL} = 0.3 \text{ eV cm}^{-3}$$



© Axel Mellinger

Magnetic Field

$$\rho_B = 0.2 \text{ eV cm}^{-3}$$



Heiles (1976)

宇宙線のエネルギー密度

$$\rho_{\text{CR}} = 1 \text{ eV cm}^{-3}$$

Star Light

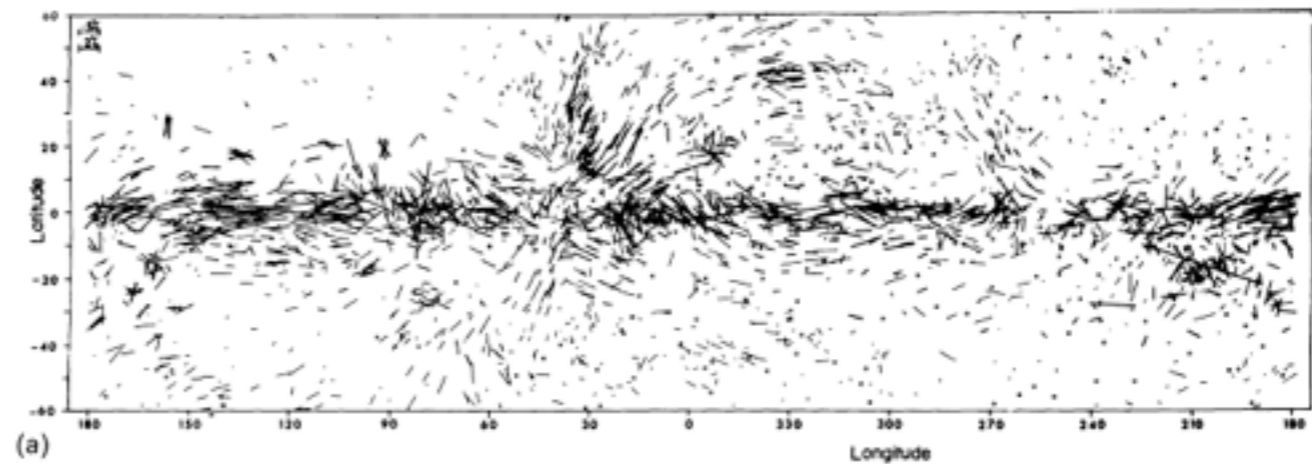
$$\rho_{\text{SL}} = 0.3 \text{ eV cm}^{-3}$$



© Axel Mellinger

Magnetic Field

$$\rho_B = 0.2 \text{ eV cm}^{-3}$$



Heiles (1976)

宇宙線はエネルギー密度の観点で見ると我々の銀河の主要構成要素

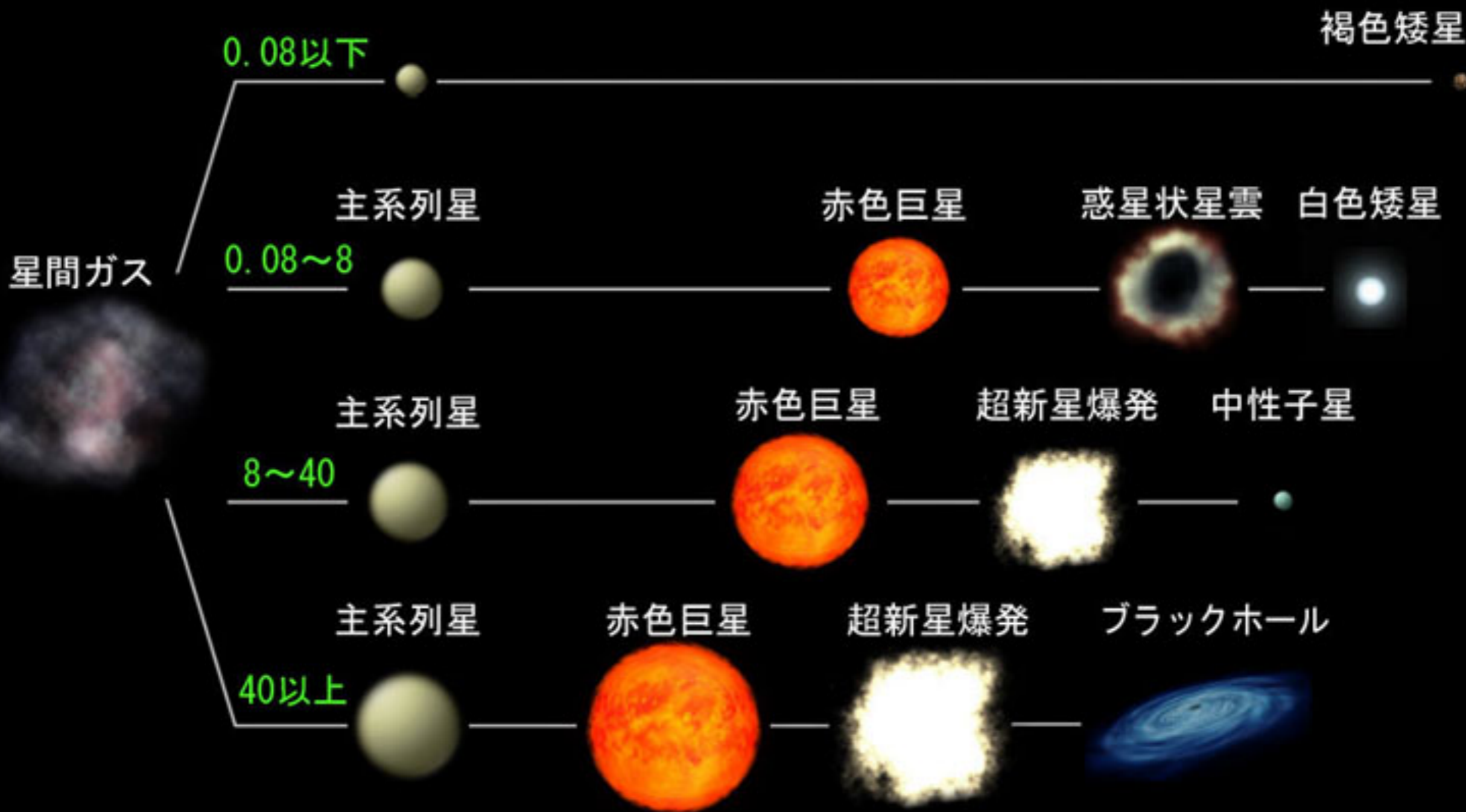
宇宙線の起源は？

knee (PeV) 以下の宇宙線の起源は超新星残骸が有力な候補

Baade & Zwicky (1934)

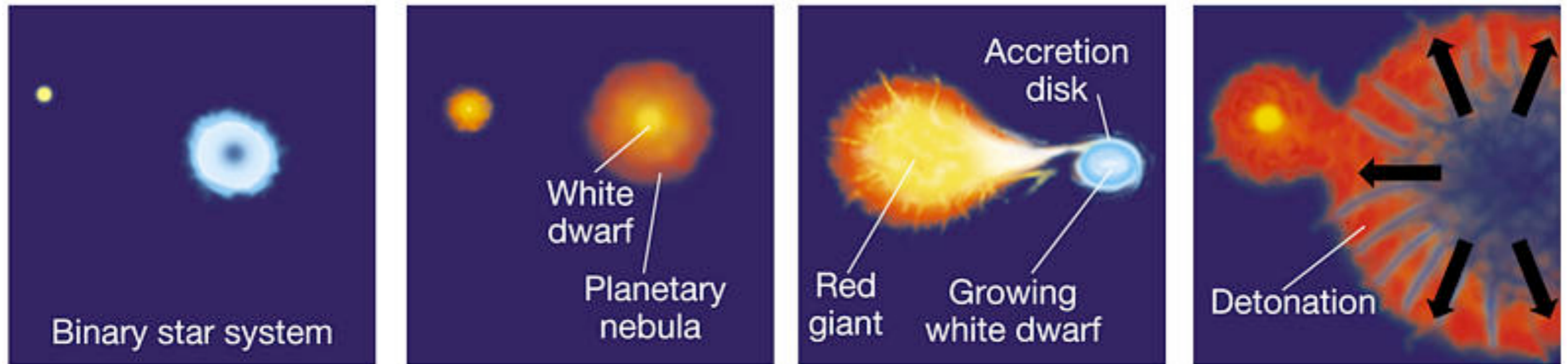
星の一生

質量範囲[太陽質量]



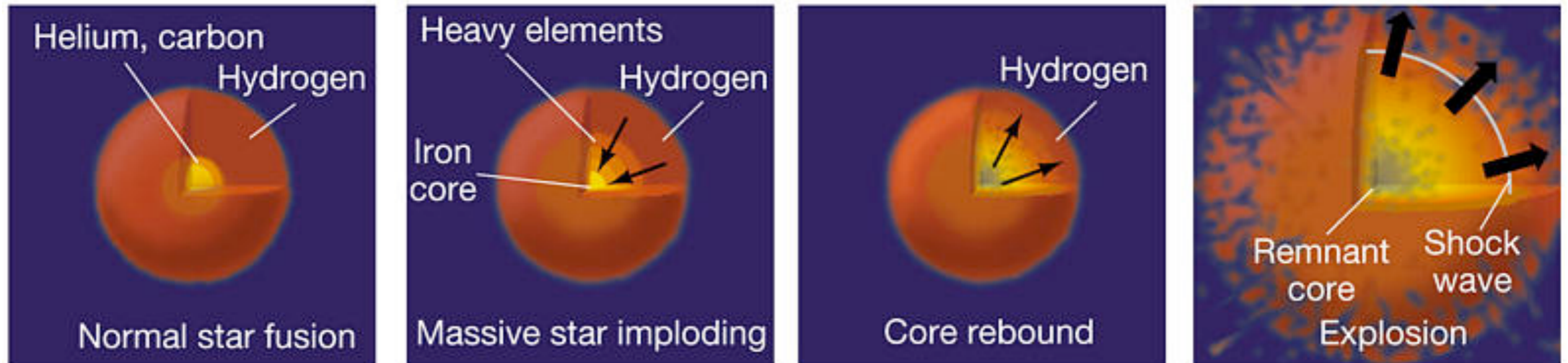
超新星爆発

(a) Type I Supernova



Time

(b) Type II Supernova

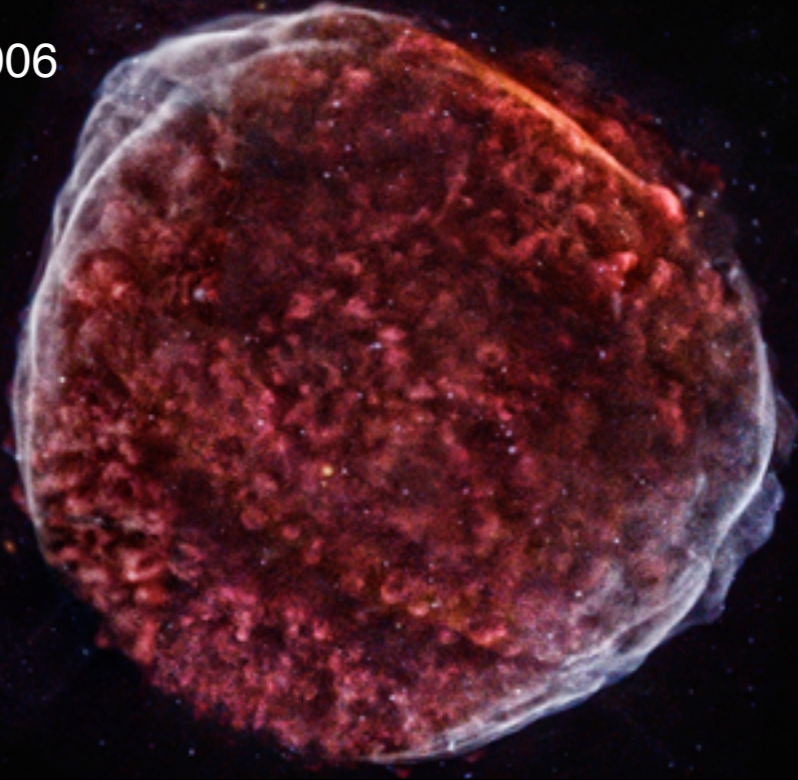


Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

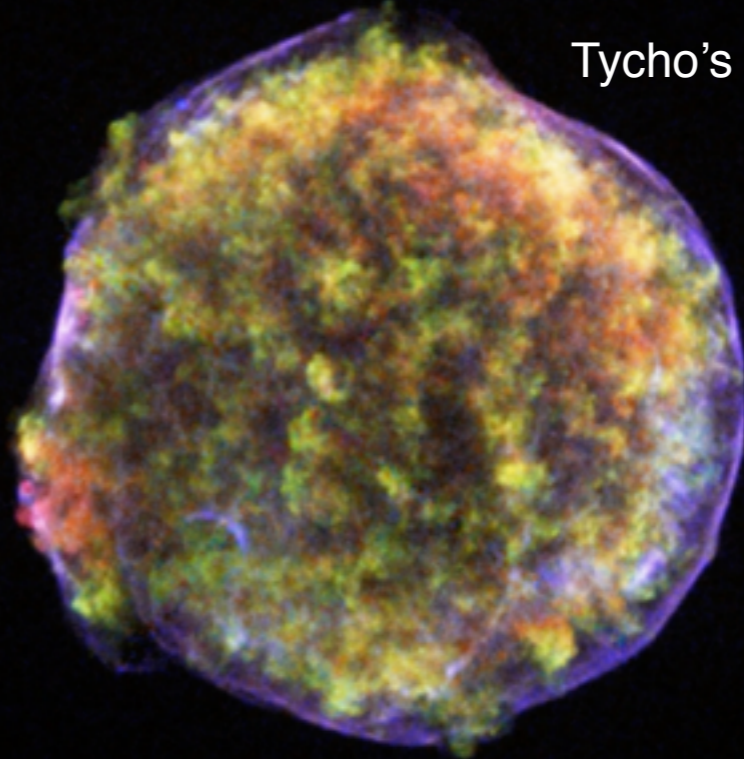
いずれの爆発型でも $\sim 10^{51}$ erg の運動エネルギーが解放される

X線で見えた超新星残骸

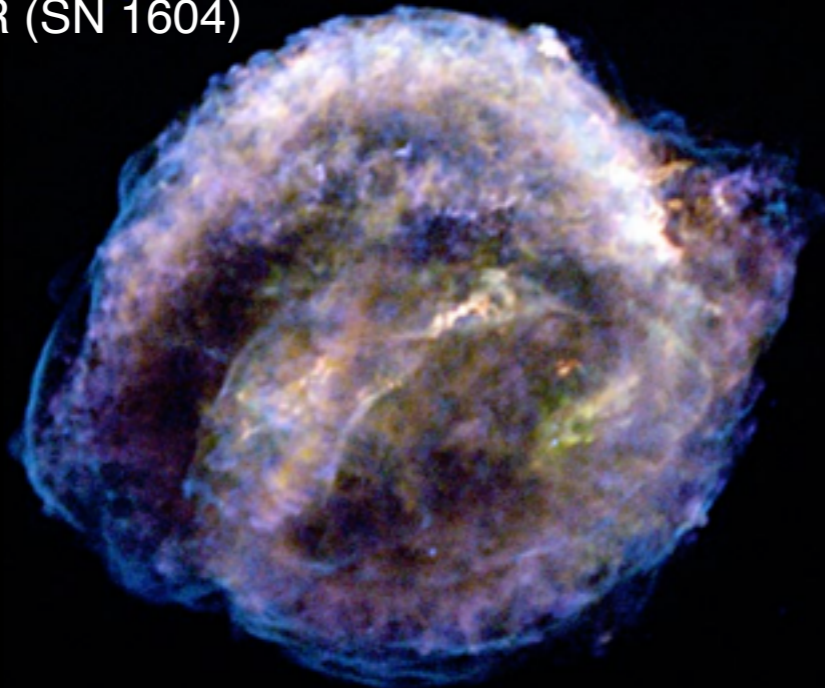
SN 1006



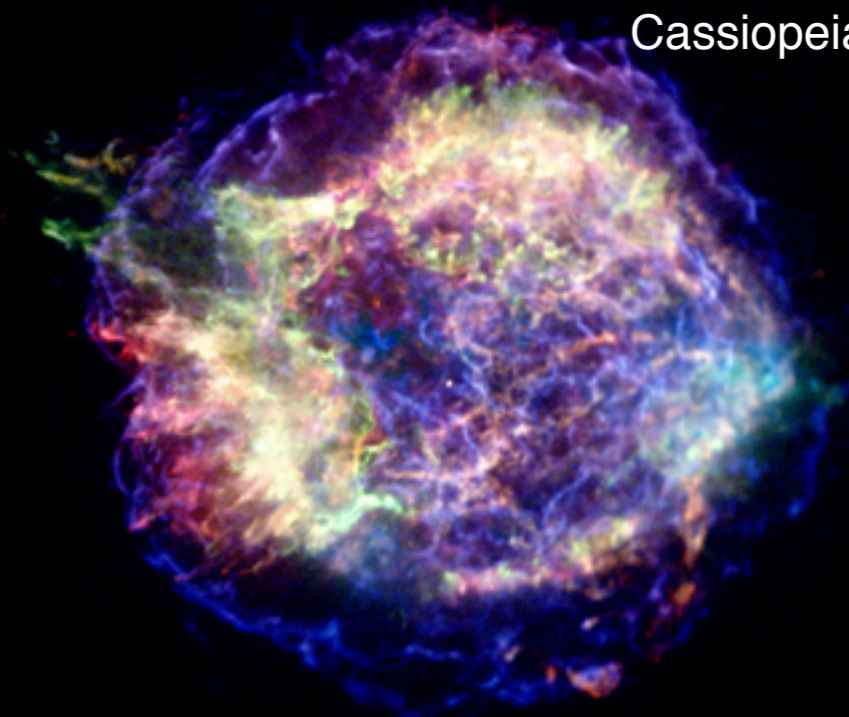
Tycho's SNR (SN 1572)



Kepler's SNR (SN 1604)



Cassiopeia A (SN 1680?)



宇宙線の起源は？

knee (PeV) 以下の宇宙線の起源は超新星残骸が有力な候補

Baade & Zwicky (1934)

① エネルギー収支

- ・ 銀河系内の宇宙線生成率

$$L_{\text{CR}} = 5 \times 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$$

- ・ 超新星爆発のエネルギー

$$\frac{10^{51} \text{ erg}}{30 \text{ yr}} = 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$$

1-10% のエネルギーが加速
に使われれば説明可能

② 宇宙線スペクトル

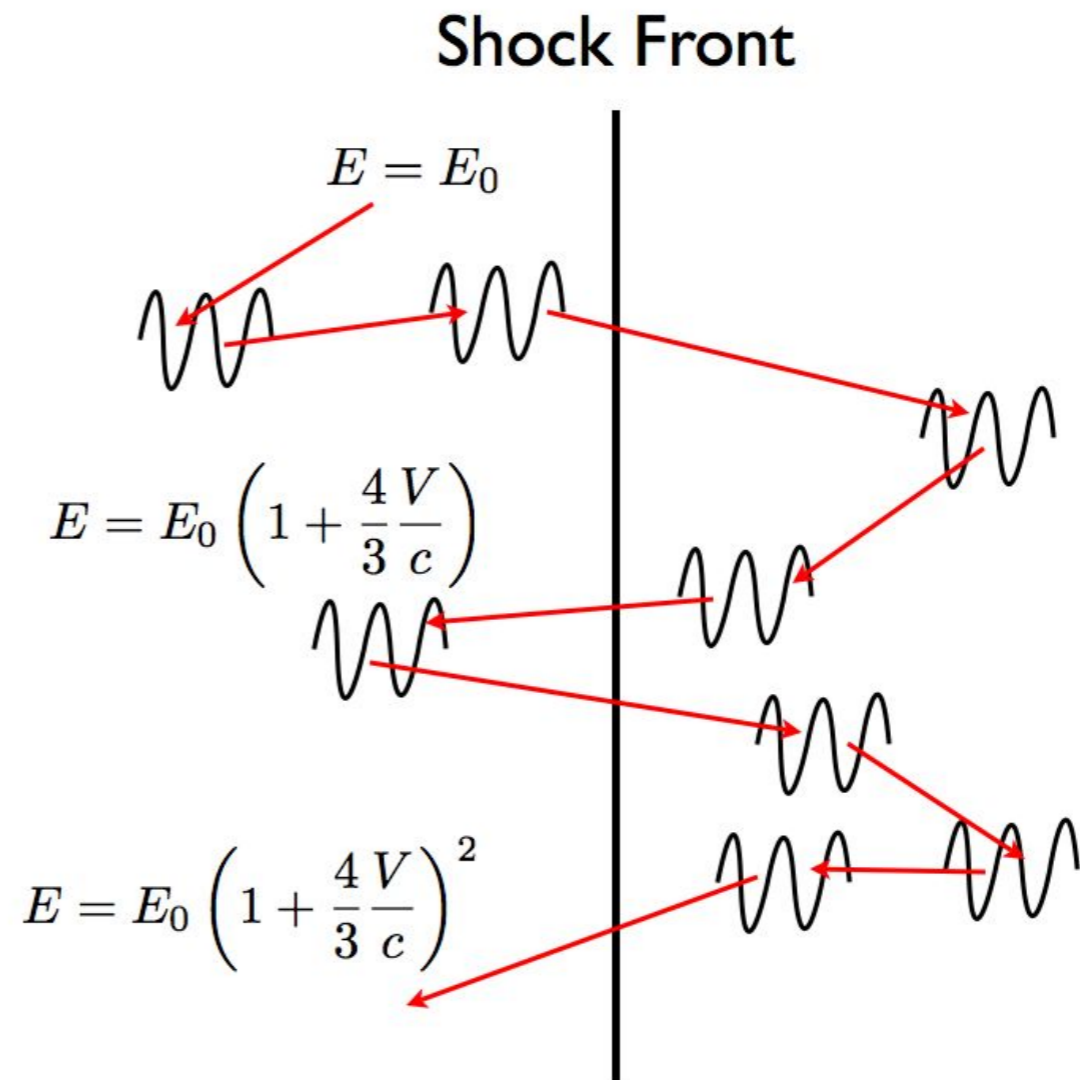
超新星残骸の衝撃波

→ 衝撃波統計加速
(Fermi 加速)

宇宙線のベキ型
スペクトルを自然に説明

衝撃波統計加速

荷電粒子が磁場乱流で弾性散乱
↓
衝撃波面を往復する
↓
一往復ごとに少しずつエネルギーを増していく



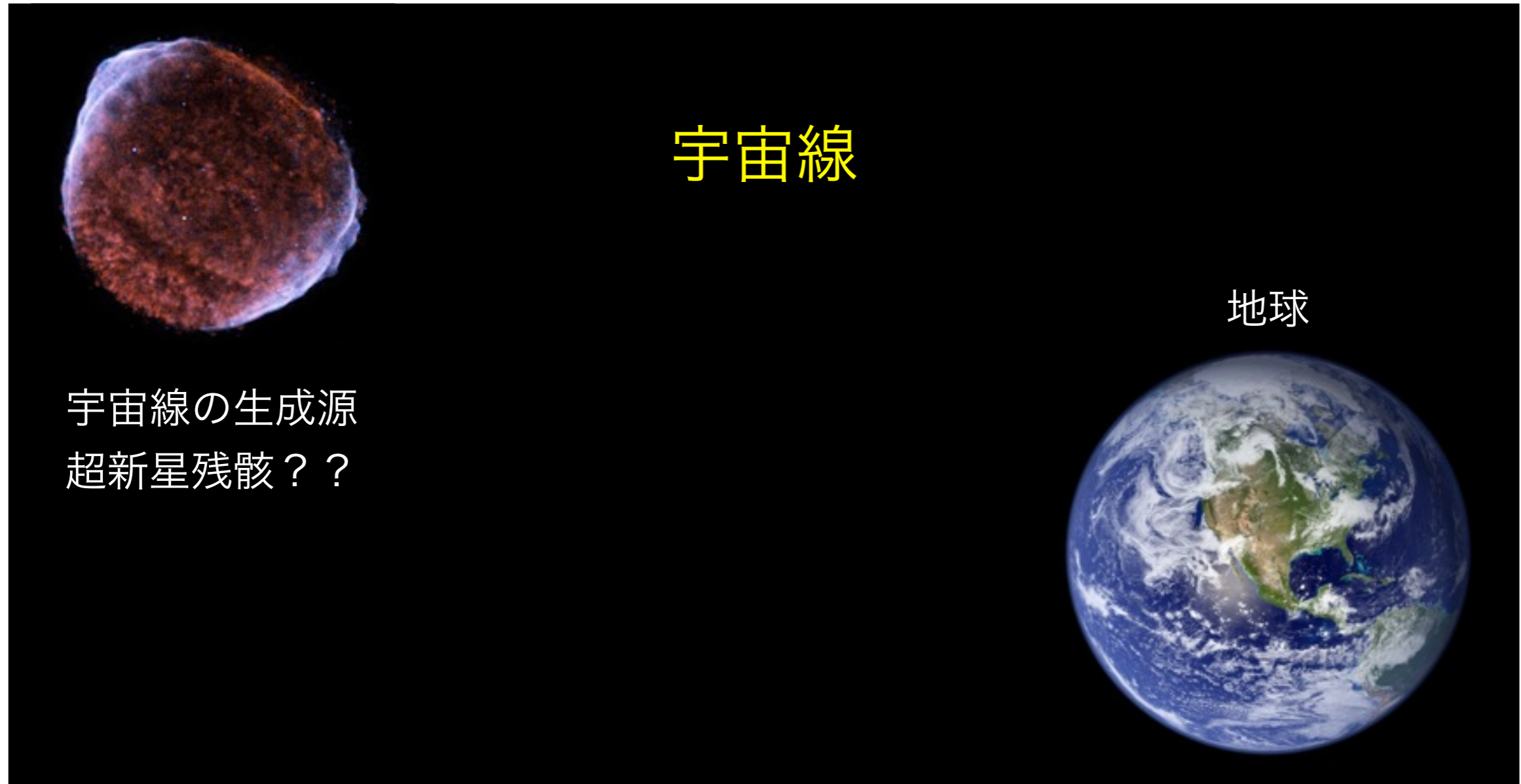
さらに、下流から粒子がプラズマの流れとともに逃げていく確率を考慮すると

$$dN/dE \propto E^{-s}$$

というべき型のエネルギー分布になる

強い衝撃波では $s = 2$ となる

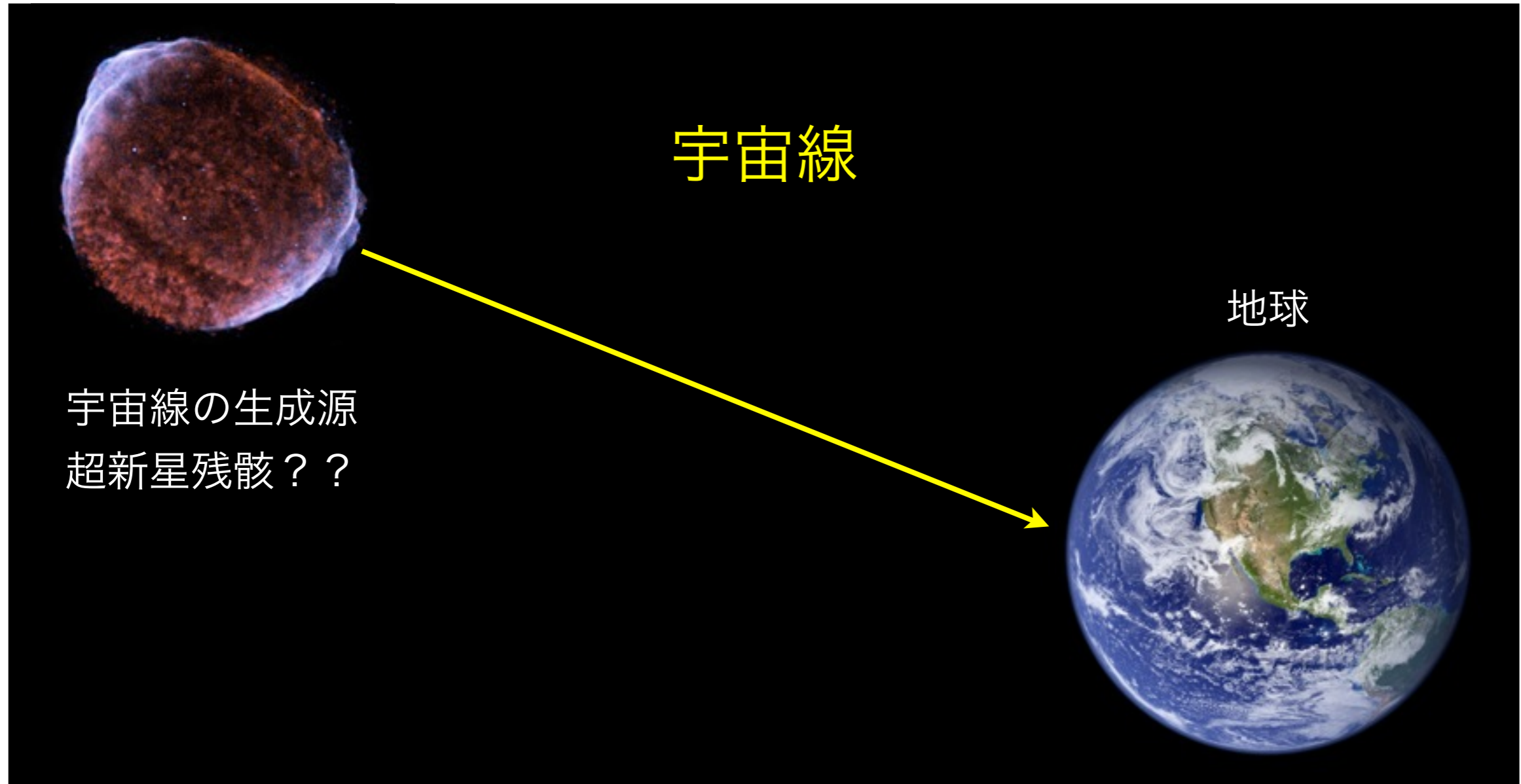
宇宙線の起源に迫るには



宇宙線は電荷を持つために、生成源から地球に届くまでに星間磁場で方向を変えられてしまう。 → 宇宙線を直接観測しても、どこからやって来たかわからない。

宇宙線が出す電磁波放射 (ガンマ線、X線、電波など) は磁場で方向を変えられることはないので、それを検出することで生成源を特定することができる。

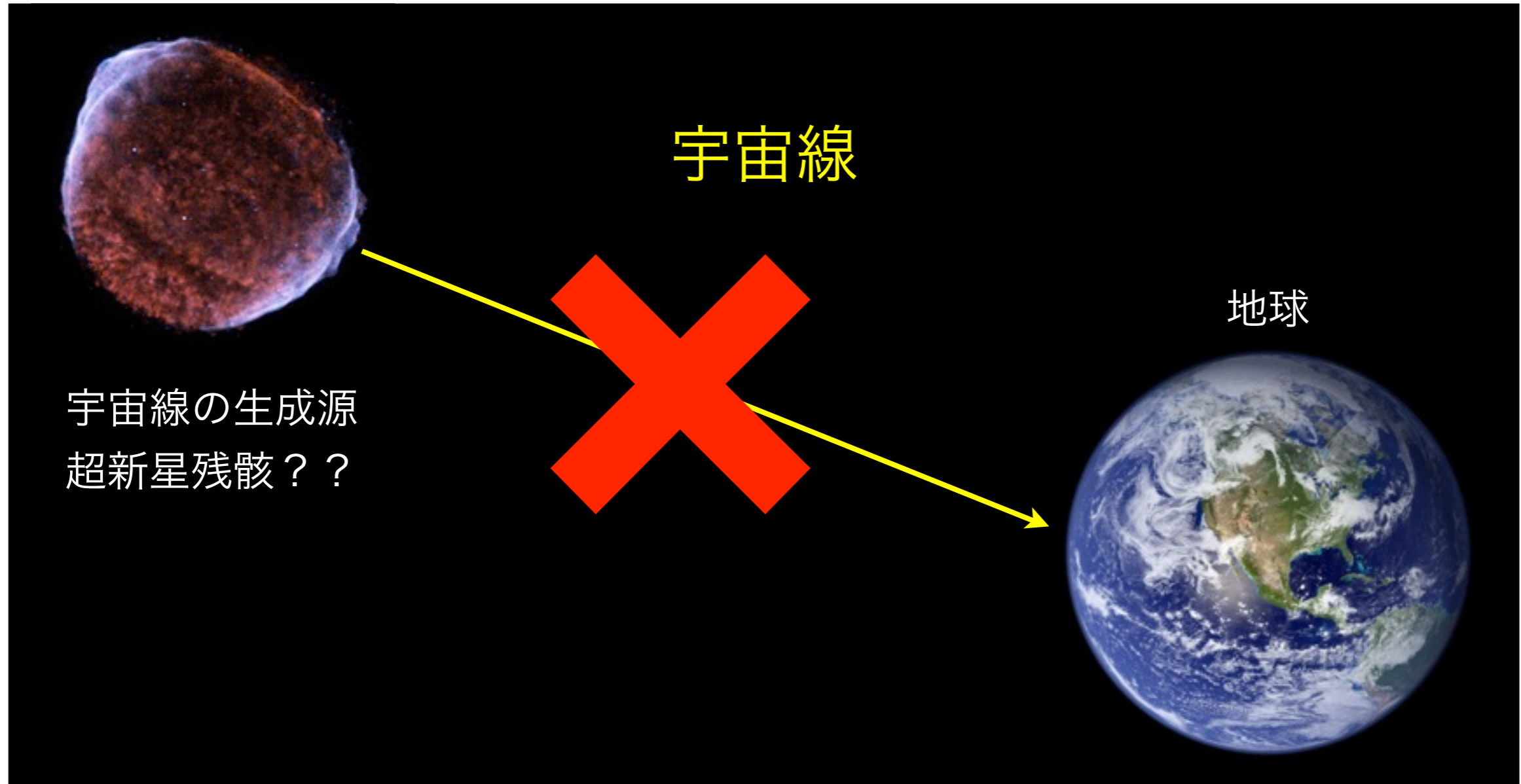
宇宙線の起源に迫るには



宇宙線は電荷を持つために、生成源から地球に届くまでに星間磁場で方向を変えられてしまう。 → 宇宙線を直接観測しても、どこからやって来たかわからない。

宇宙線が出す電磁波放射 (ガンマ線、X線、電波など) は磁場で方向を変えられることはないので、それを検出することで生成源を特定することができる。

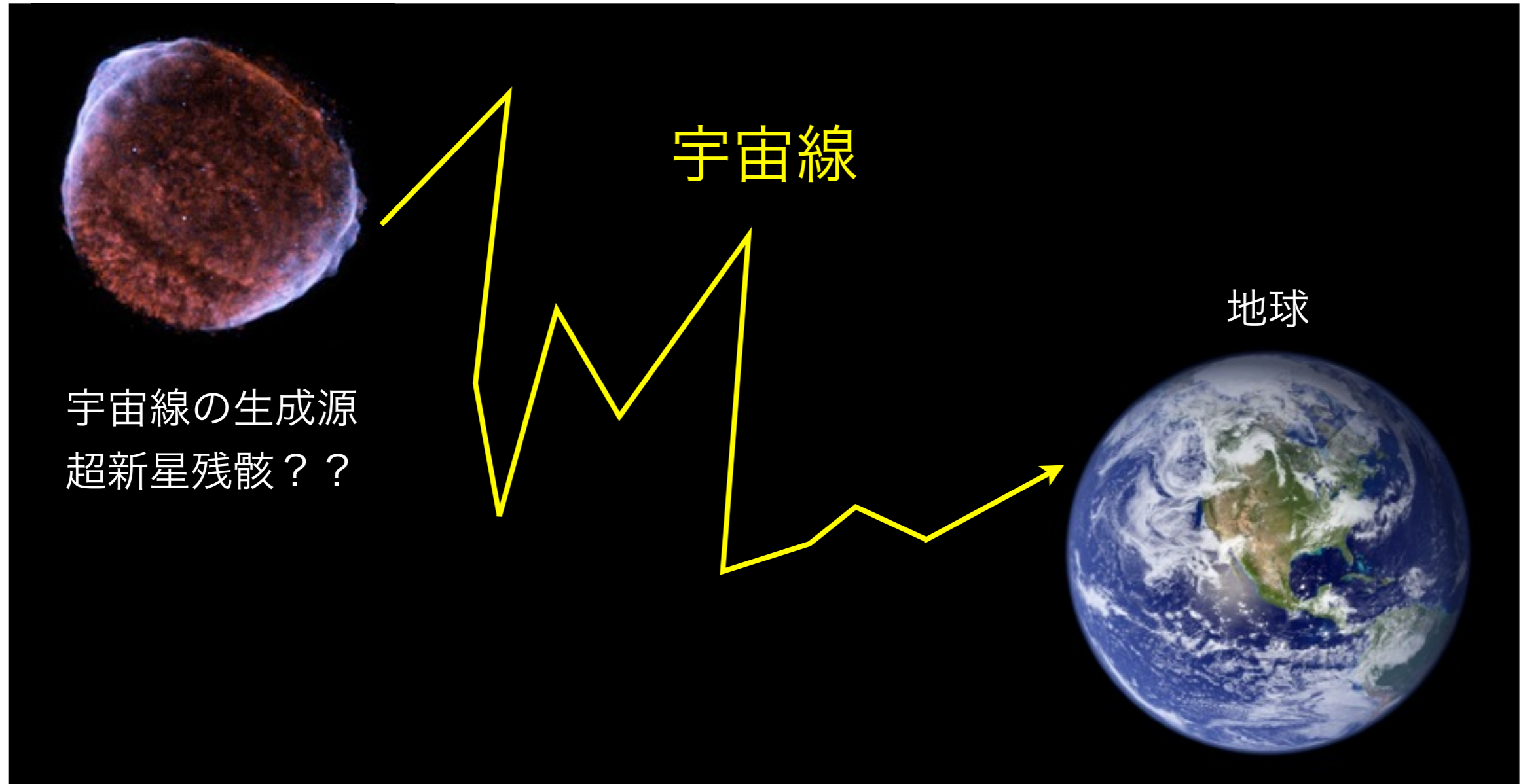
宇宙線の起源に迫るには



宇宙線は電荷を持つために、生成源から地球に届くまでに星間磁場で方向を変えられてしまう。 → 宇宙線を直接観測しても、どこからやって来たかわからない。

宇宙線が出す電磁波放射 (ガンマ線、X線、電波など) は磁場で方向を変えられることはないので、それを検出することで生成源を特定することができる。

宇宙線の起源に迫るには



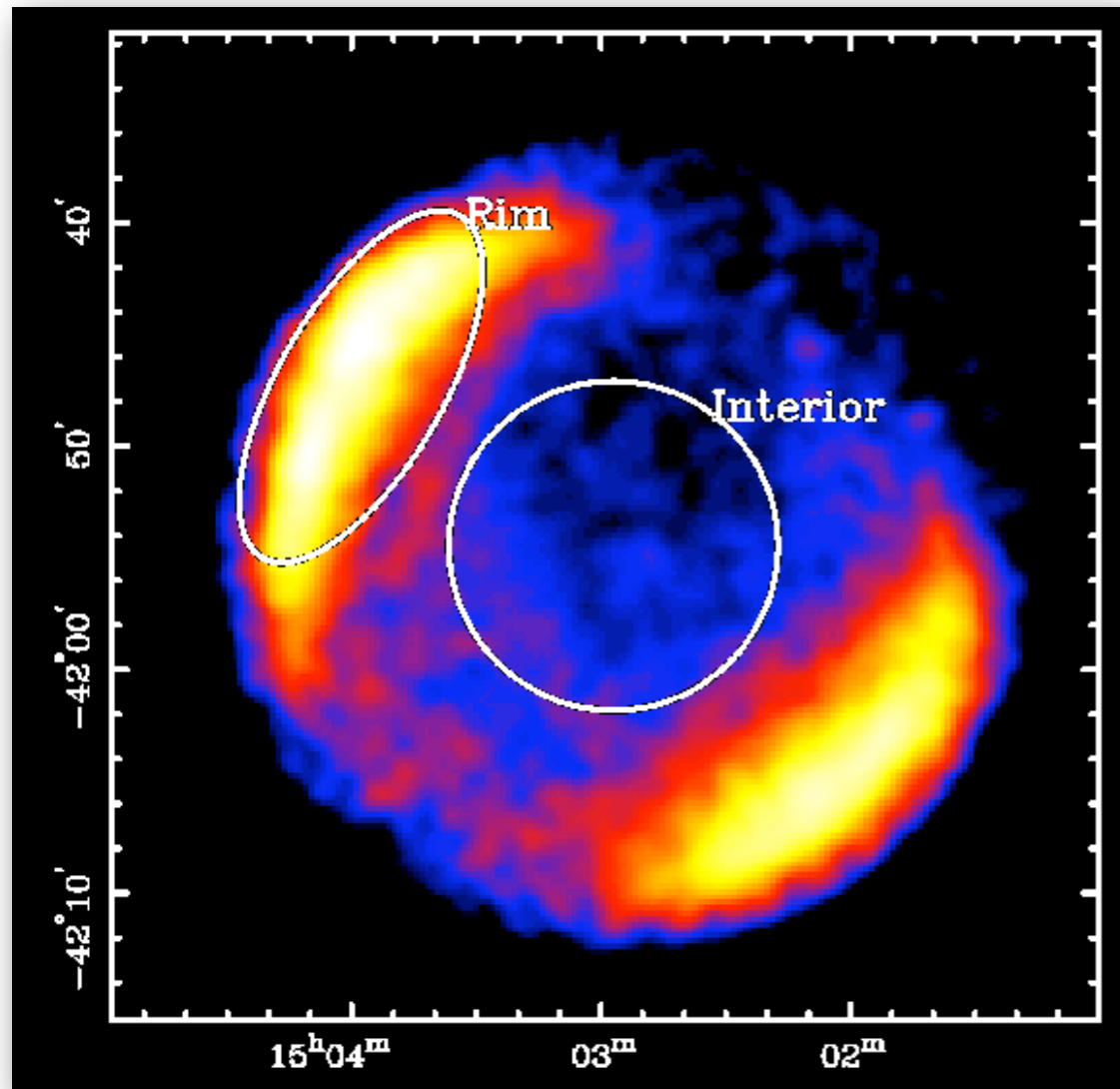
宇宙線は電荷を持つために、生成源から地球に届くまでに星間磁場で方向を変えられてしまう。→ 宇宙線を直接観測しても、どこからやって来たかわからない。

宇宙線が出す電磁波放射 (ガンマ線、X線、電波など) は磁場で方向を変えられることはないので、それを検出することで生成源を特定することができる。

SN 1006 からの X 線放射

日本の X 線天文衛星「あすか」(1993–2001) による成果

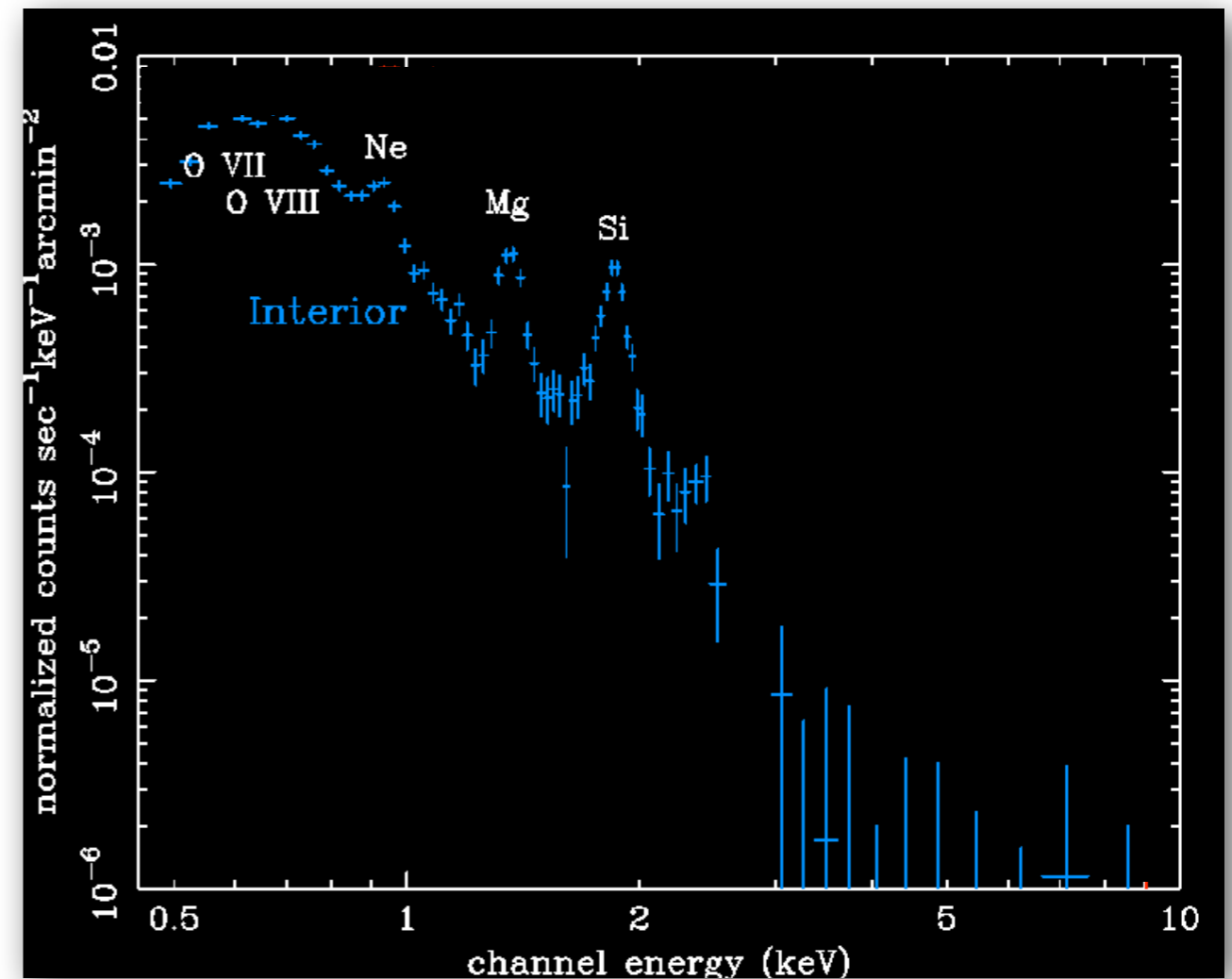
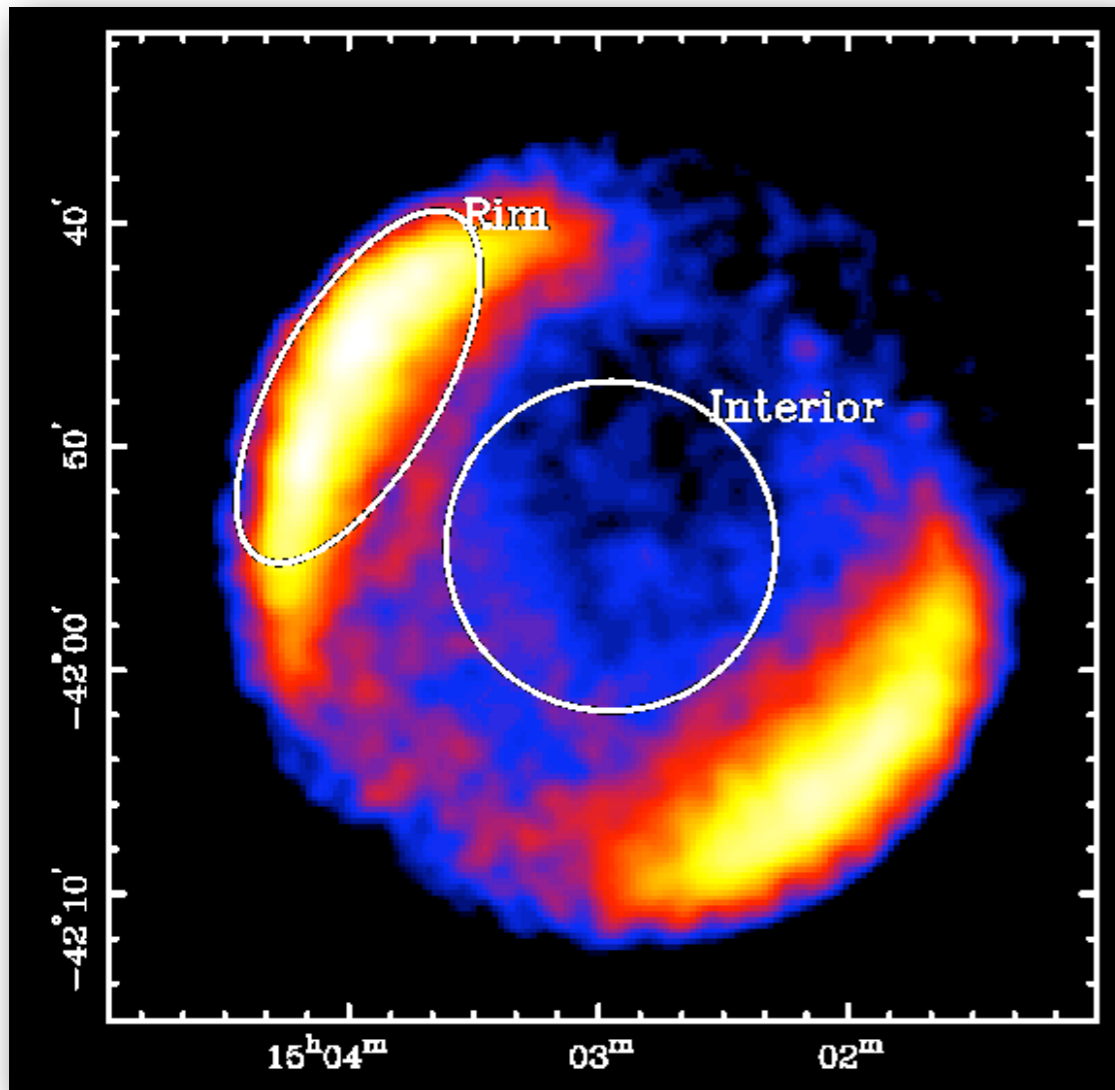
Koyama+ (1995)



SN 1006 からの X 線放射

日本の X 線天文衛星「あすか」(1993–2001) による成果

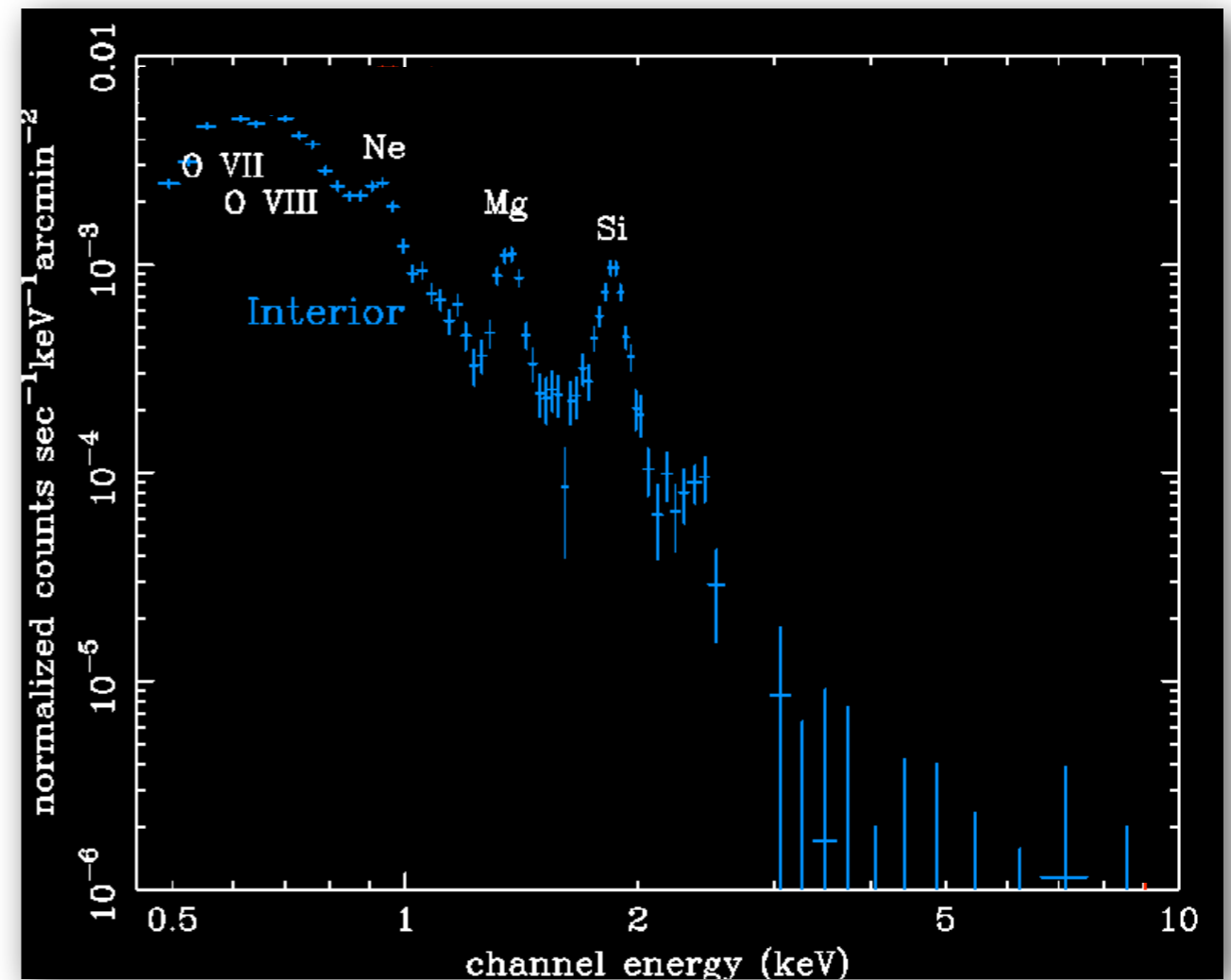
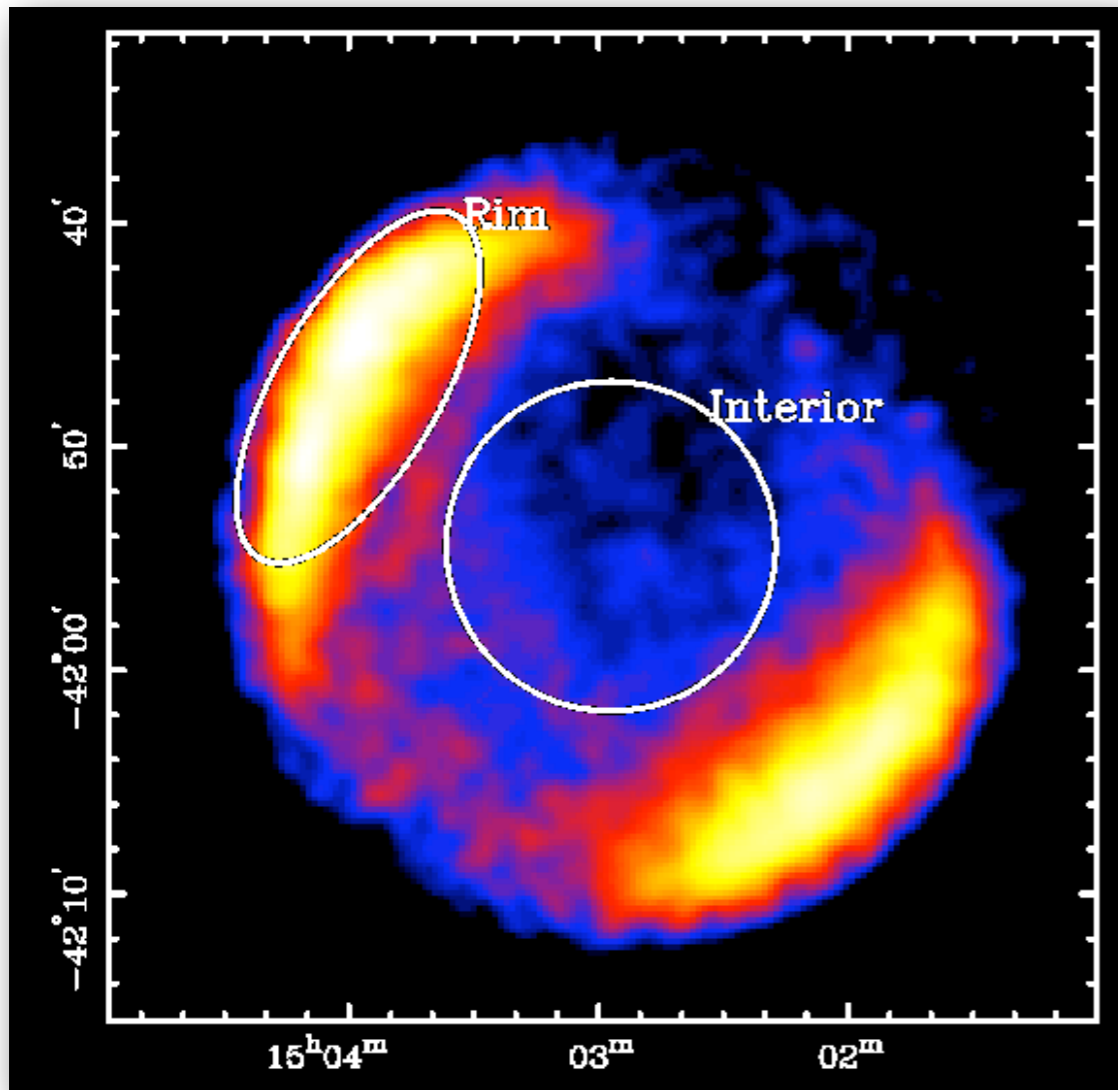
Koyama+ (1995)



SN 1006 からの X 線放射

日本の X 線天文衛星「あすか」(1993–2001) による成果

Koyama+ (1995)

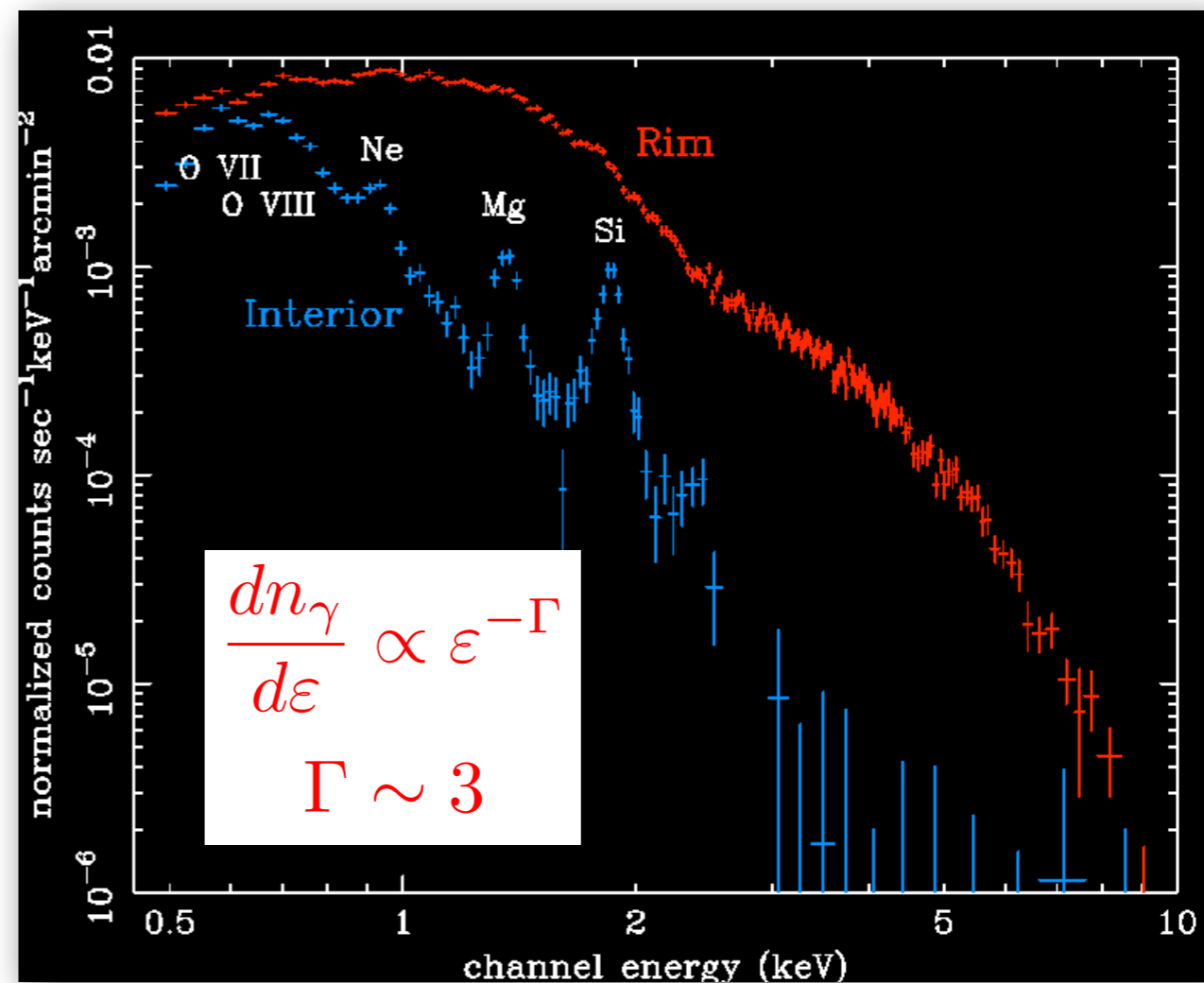
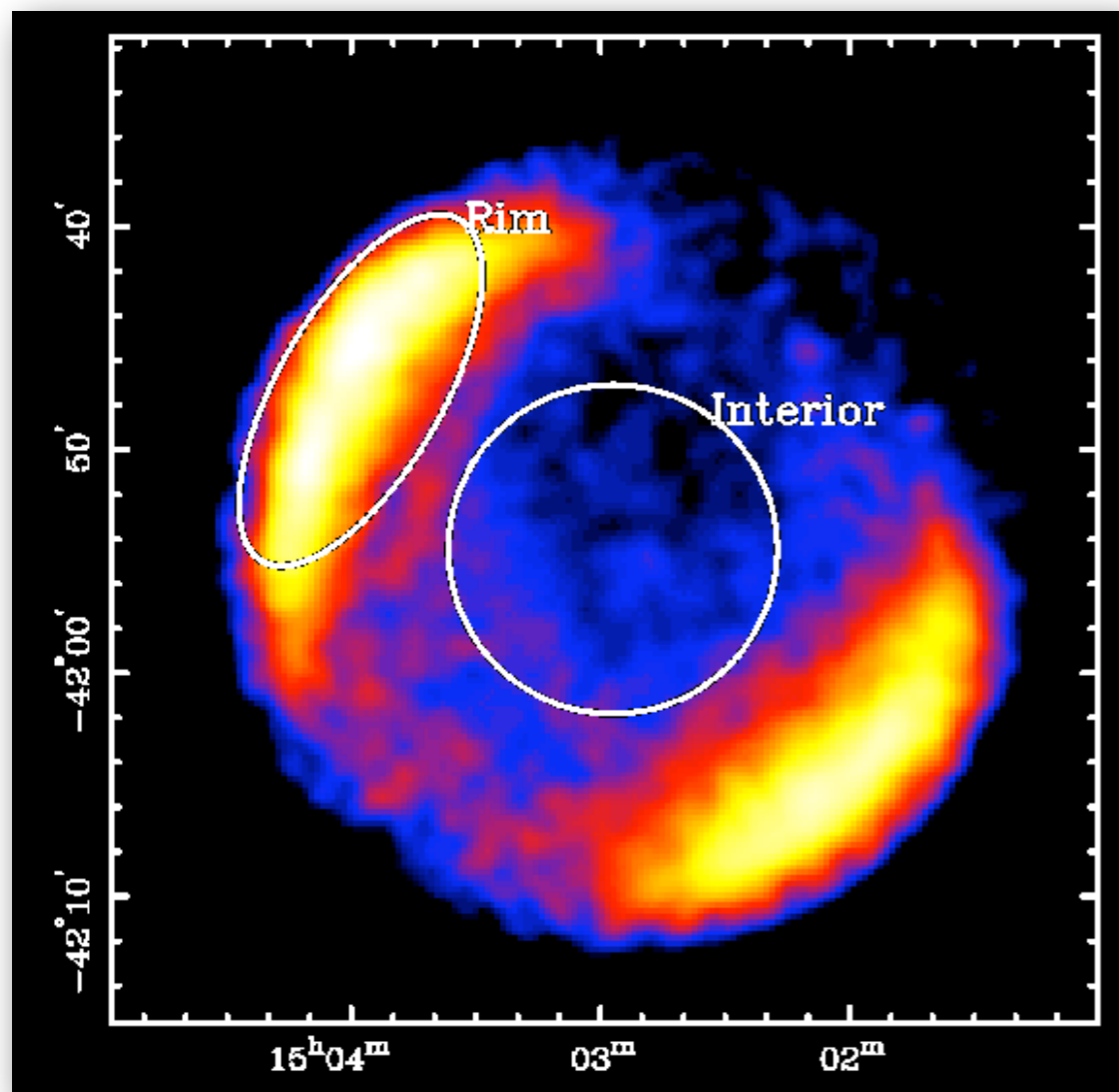


熱的分布 (Maxwell-Boltzmann 分布) を持つ電子からの制動放射 + 特性 X 線

SN 1006 からの X 線放射

日本の X 線天文衛星「あすか」(1993–2001) による成果

Koyama+ (1995)

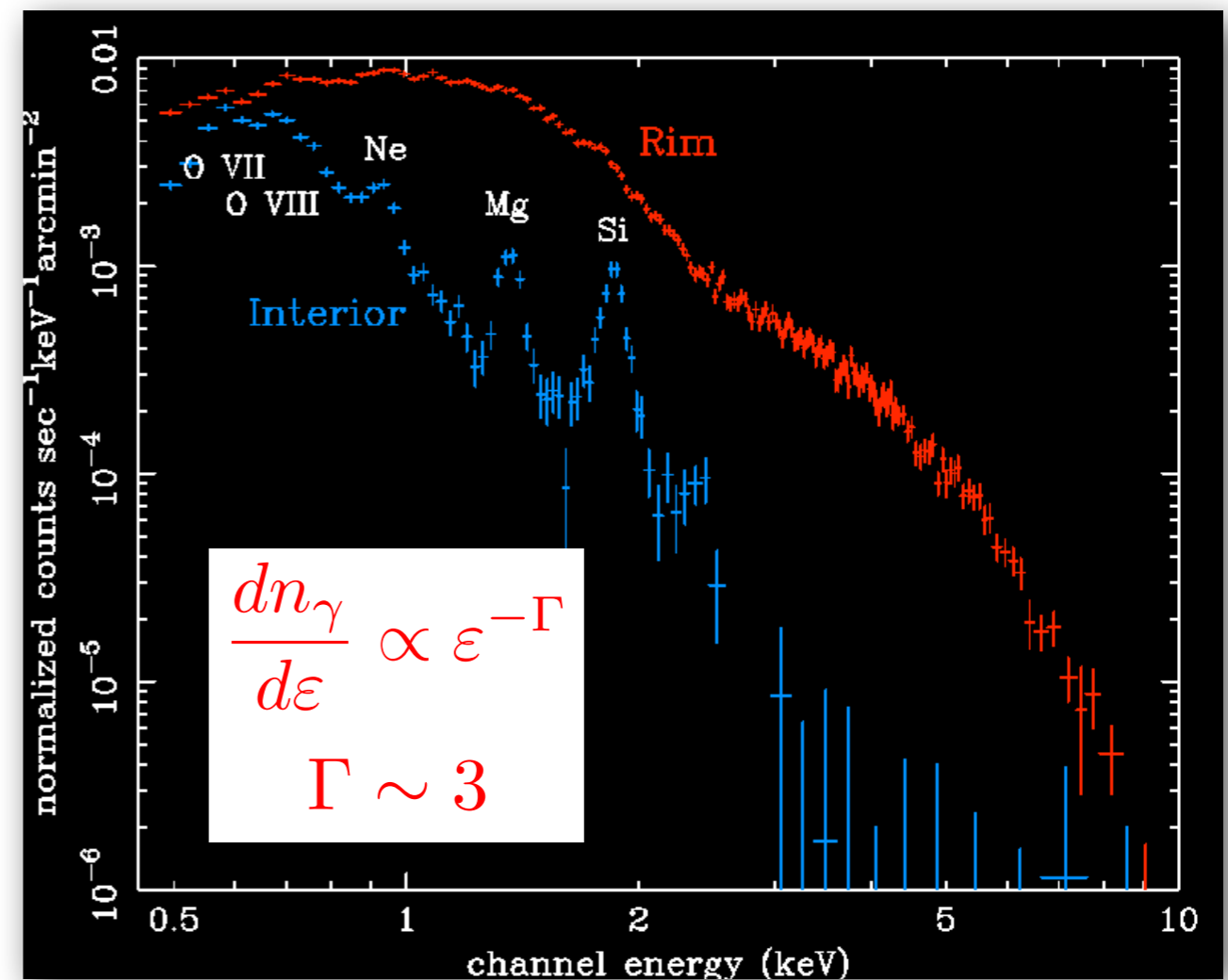
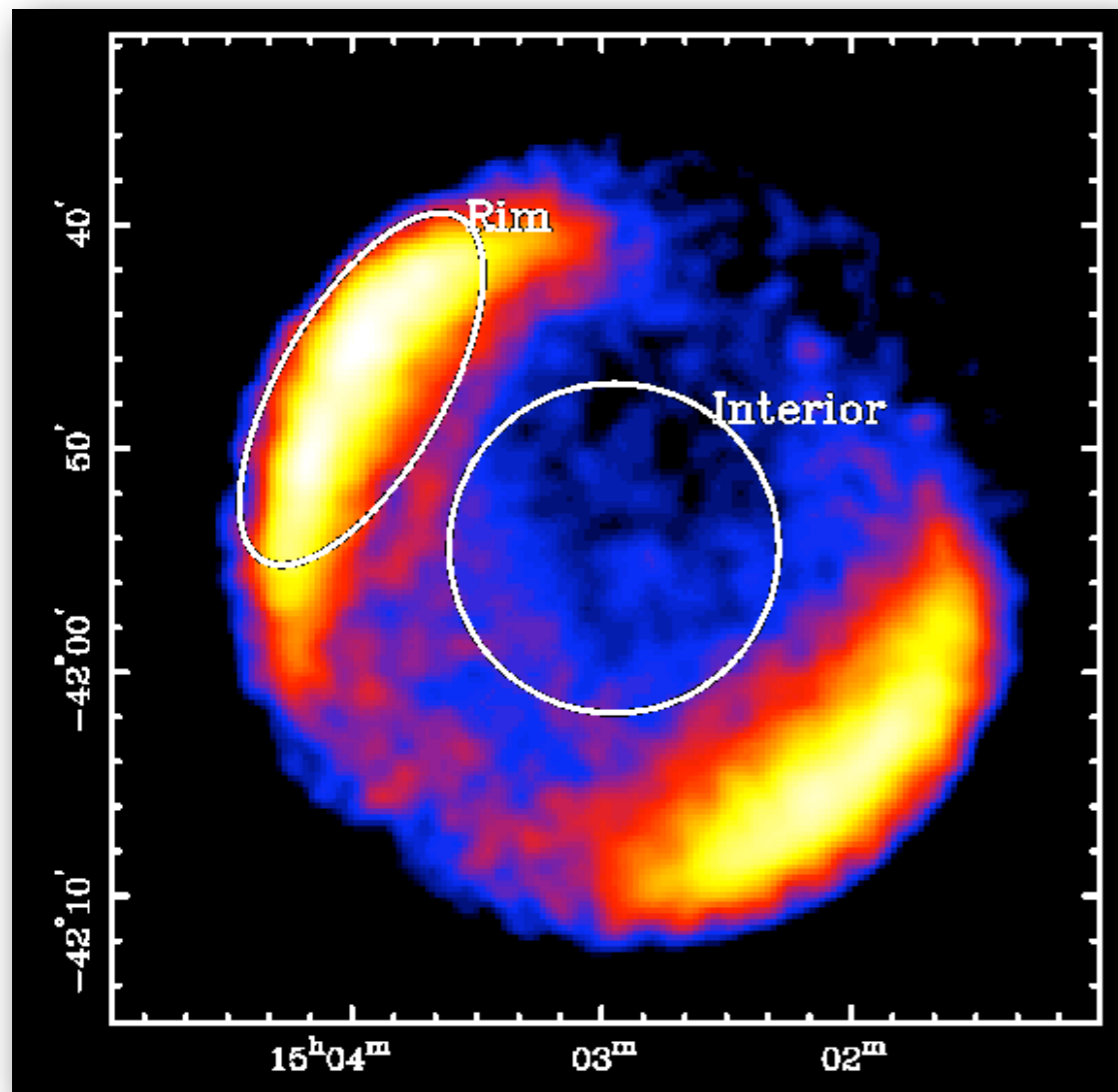


熱的分布 (Maxwell-Boltzmann 分布) を持つ電子からの制動放射 + 特性 X 線

SN 1006 からの X 線放射

日本の X 線天文衛星「あすか」(1993–2001) による成果

Koyama+ (1995)

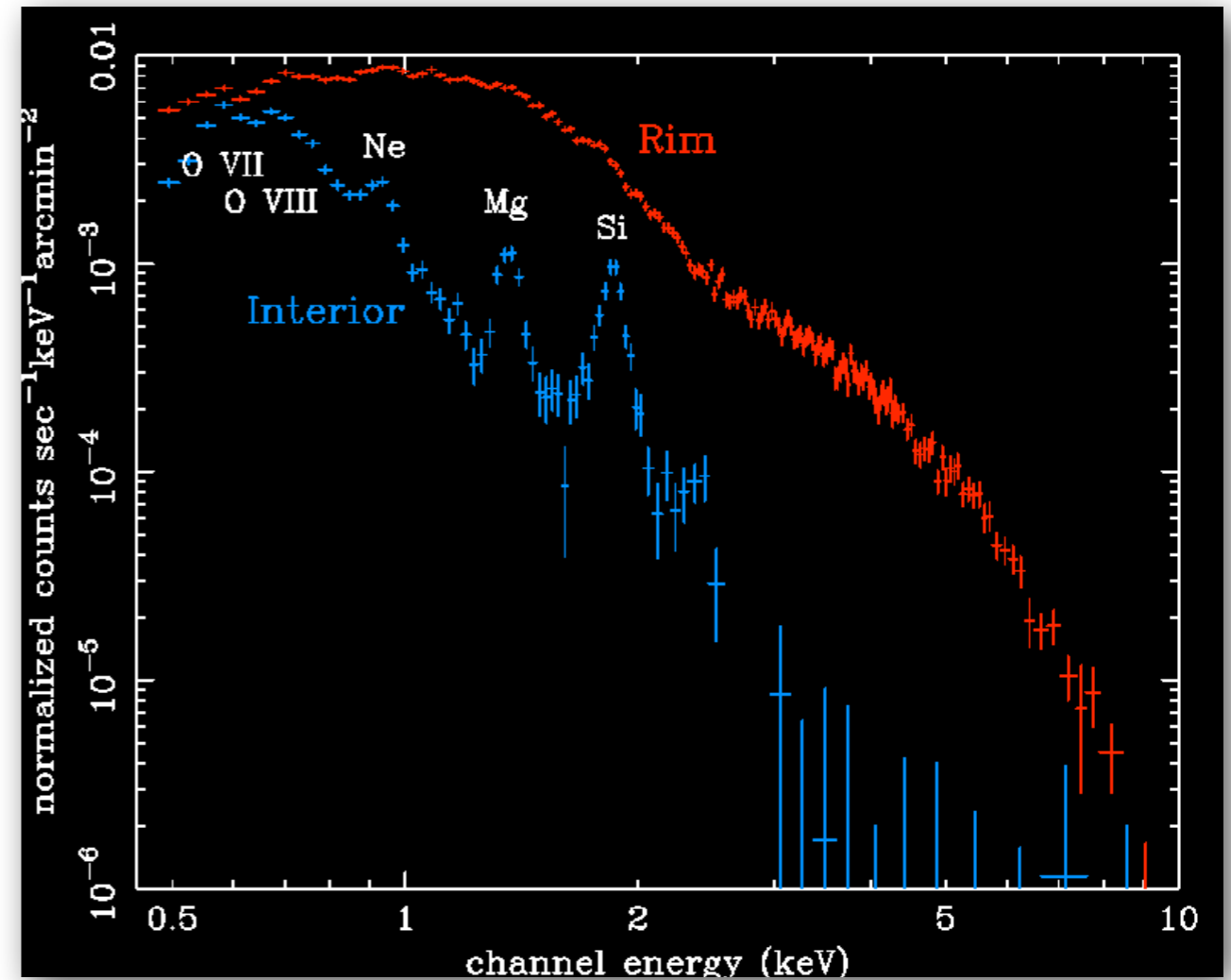
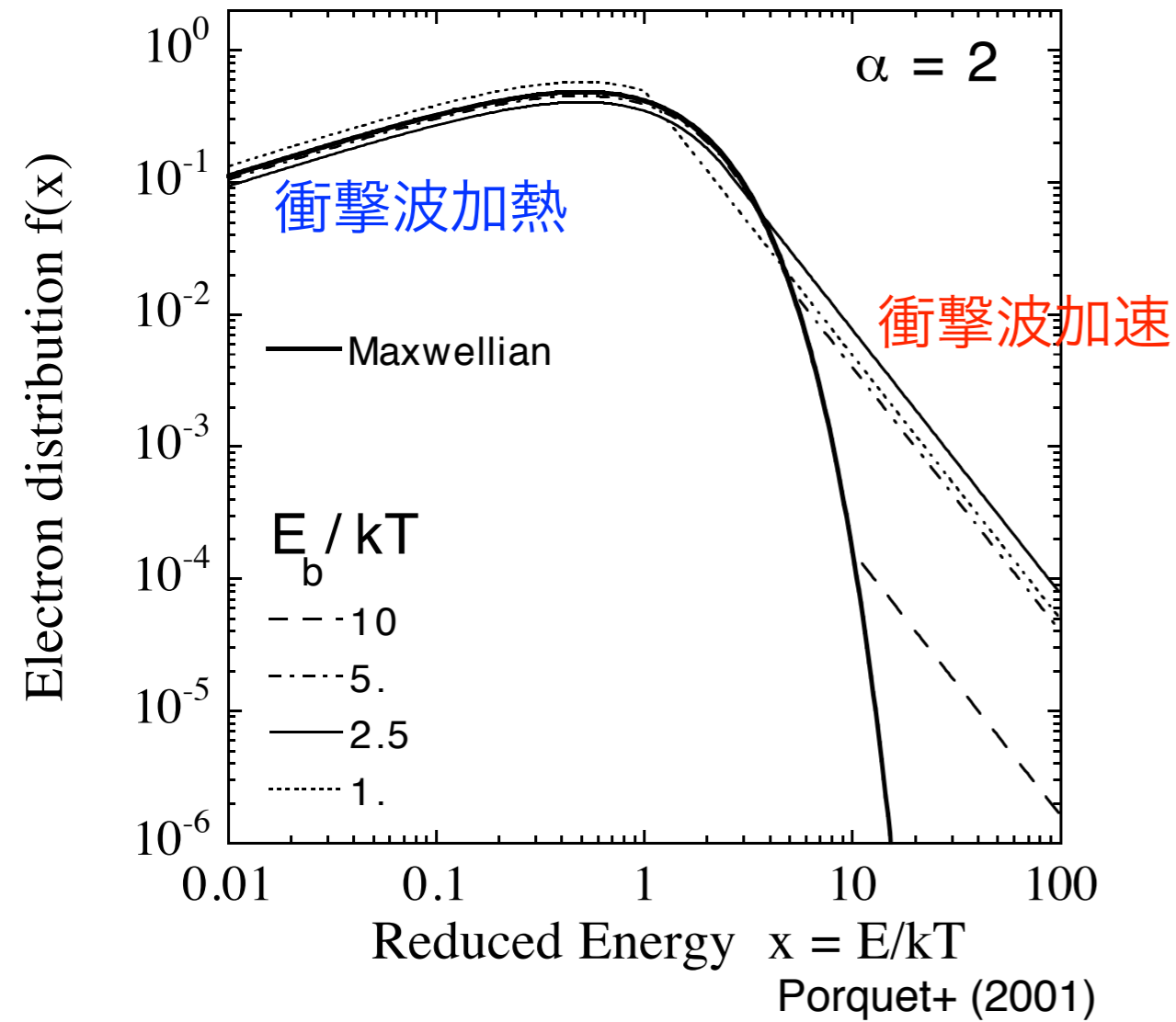


熱的分布 (Maxwell-Boltzmann 分布) を持つ電子からの制動放射 + 特性 X 線

非熱的分布を持つ高エネルギー電子からのシンクロトロン放射

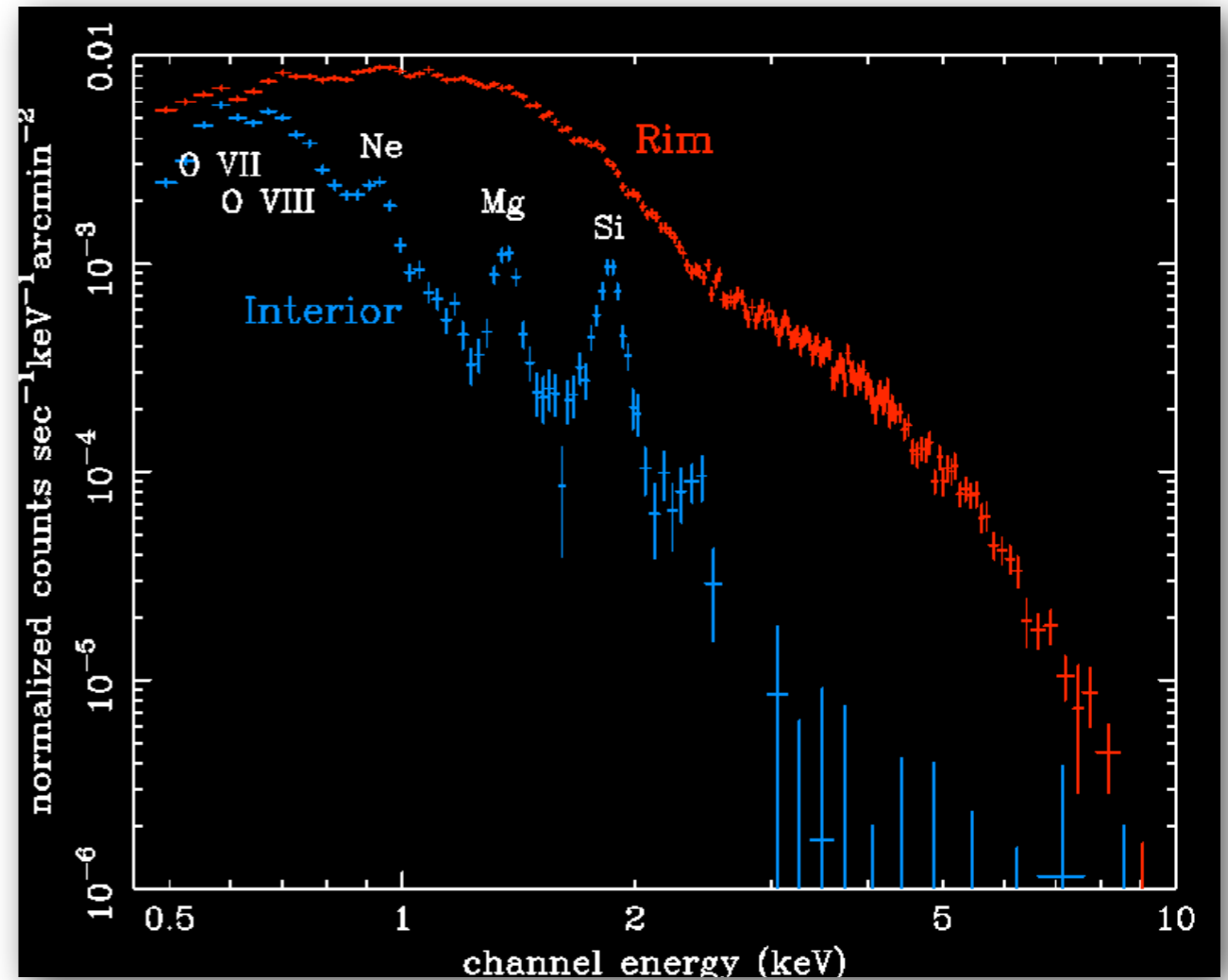
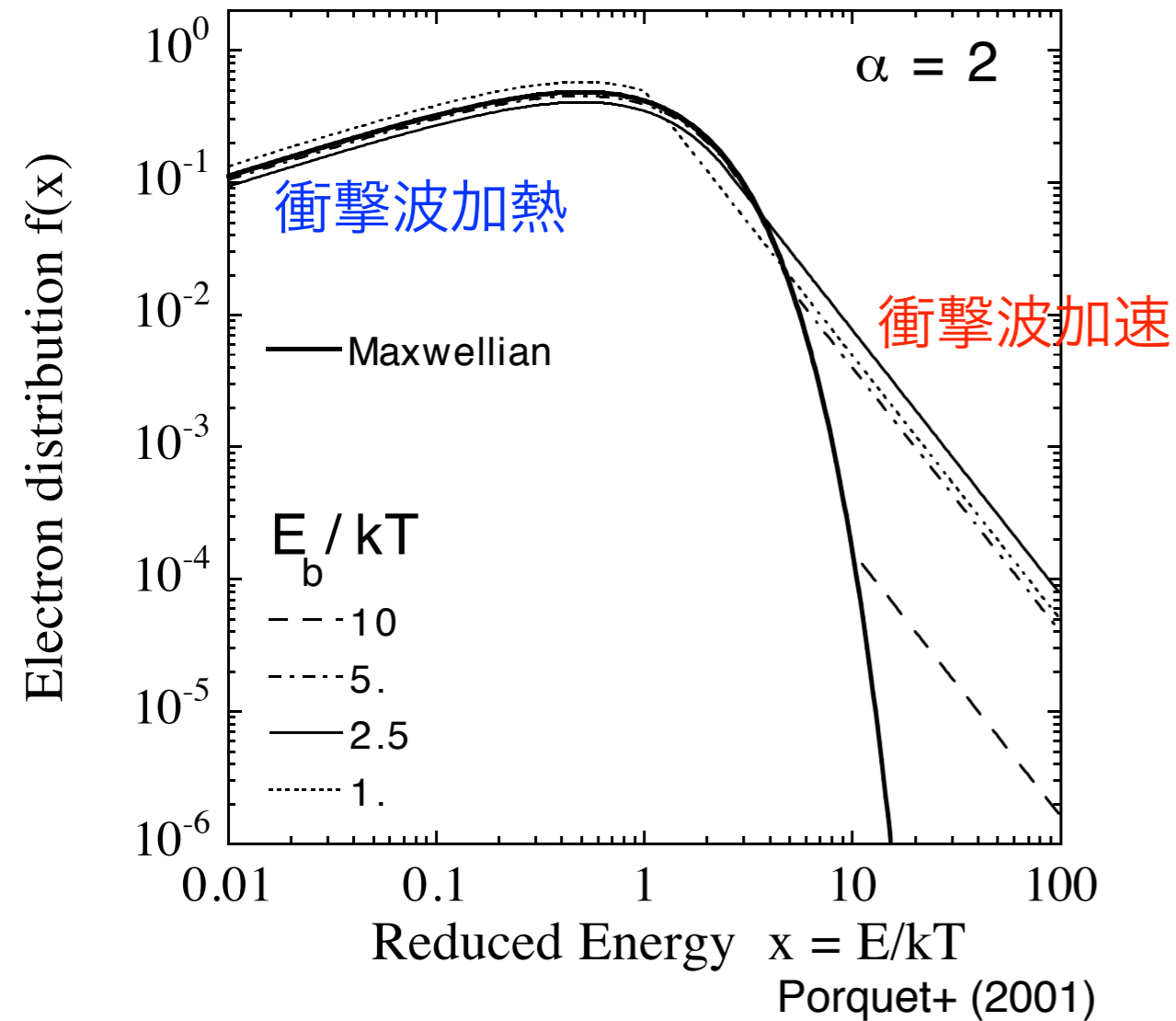
熱的・非熱的成分

超新星残骸における
電子のエネルギー分布



熱的・非熱的成分

超新星残骸における
電子のエネルギー分布



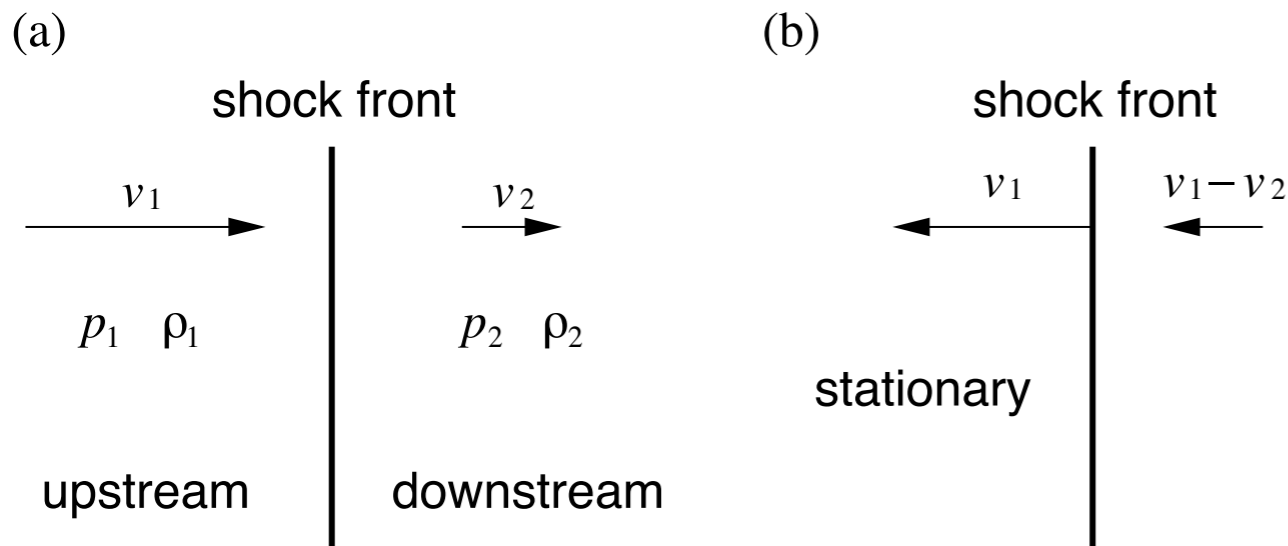
衝撃波で高エネルギーに加速された非熱的電子からの放射

衝撃波加熱

超新星残骸内には何故高温ガスが存在するのだろうか？

爆発噴出が超音速で広がり衝撃波を形成

衝撃波前後での質量、運動量、エネルギーの連続の式 (ランキン-ユゴニオの関係)



$$\begin{aligned}\rho_1 v_1 &= \rho_2 v_2 \\ p_1 + \rho_1 v_1^2 &= p_2 + \rho_2 v_2^2 \\ \rho_1 v_1 \left(\frac{1}{2} v_1^2 + \frac{u_1 + p_1}{\rho_1} \right) &= \rho_2 v_2 \left(\frac{1}{2} v_2^2 + \frac{u_2 + p_2}{\rho_2} \right)\end{aligned}$$

この関係式を使って計算すると...

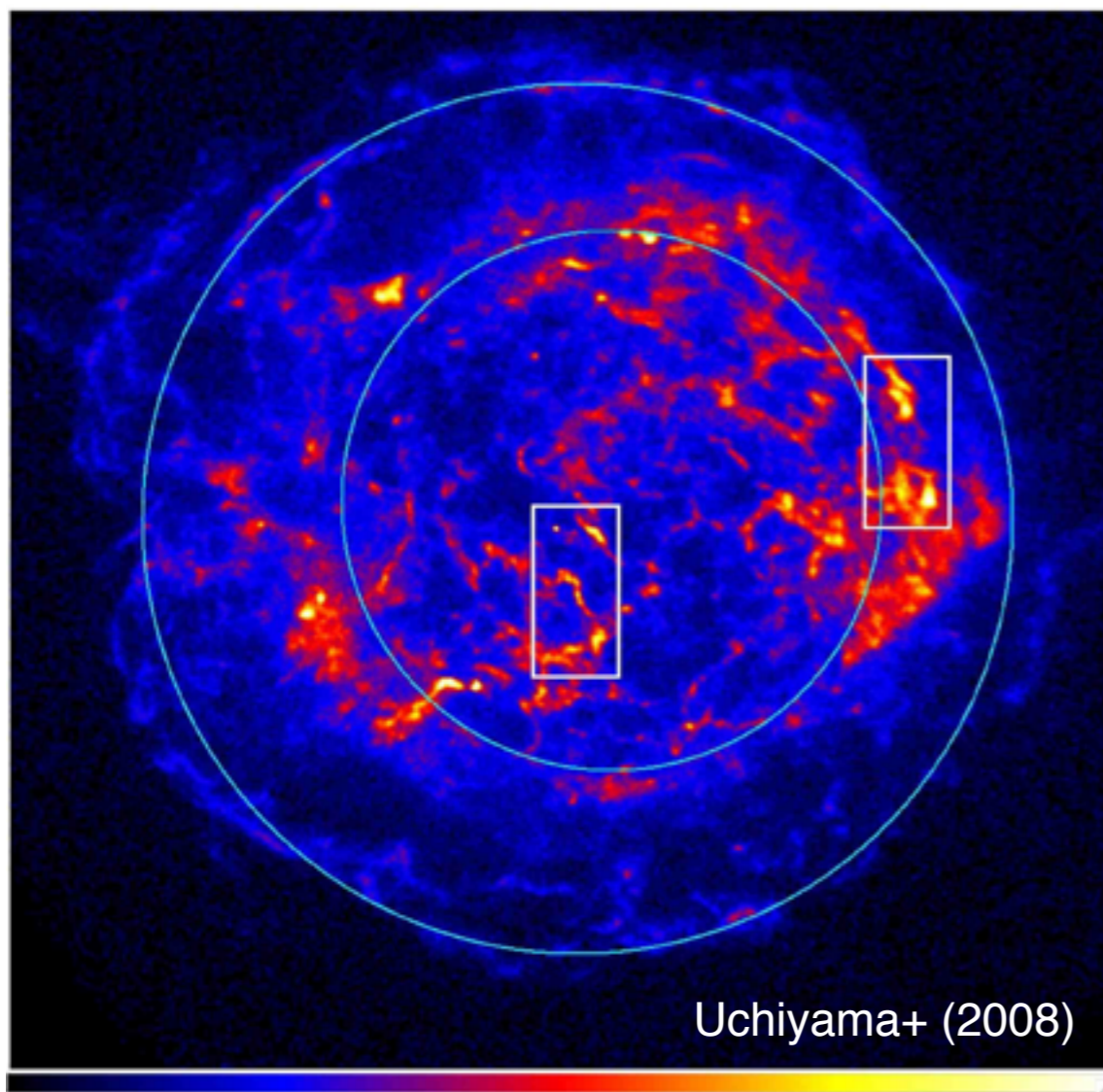
$$kT_2 = \frac{3}{16} \mu m_H v_1^2$$

μ : 平均分子量
 m_H : 水素原子の質量

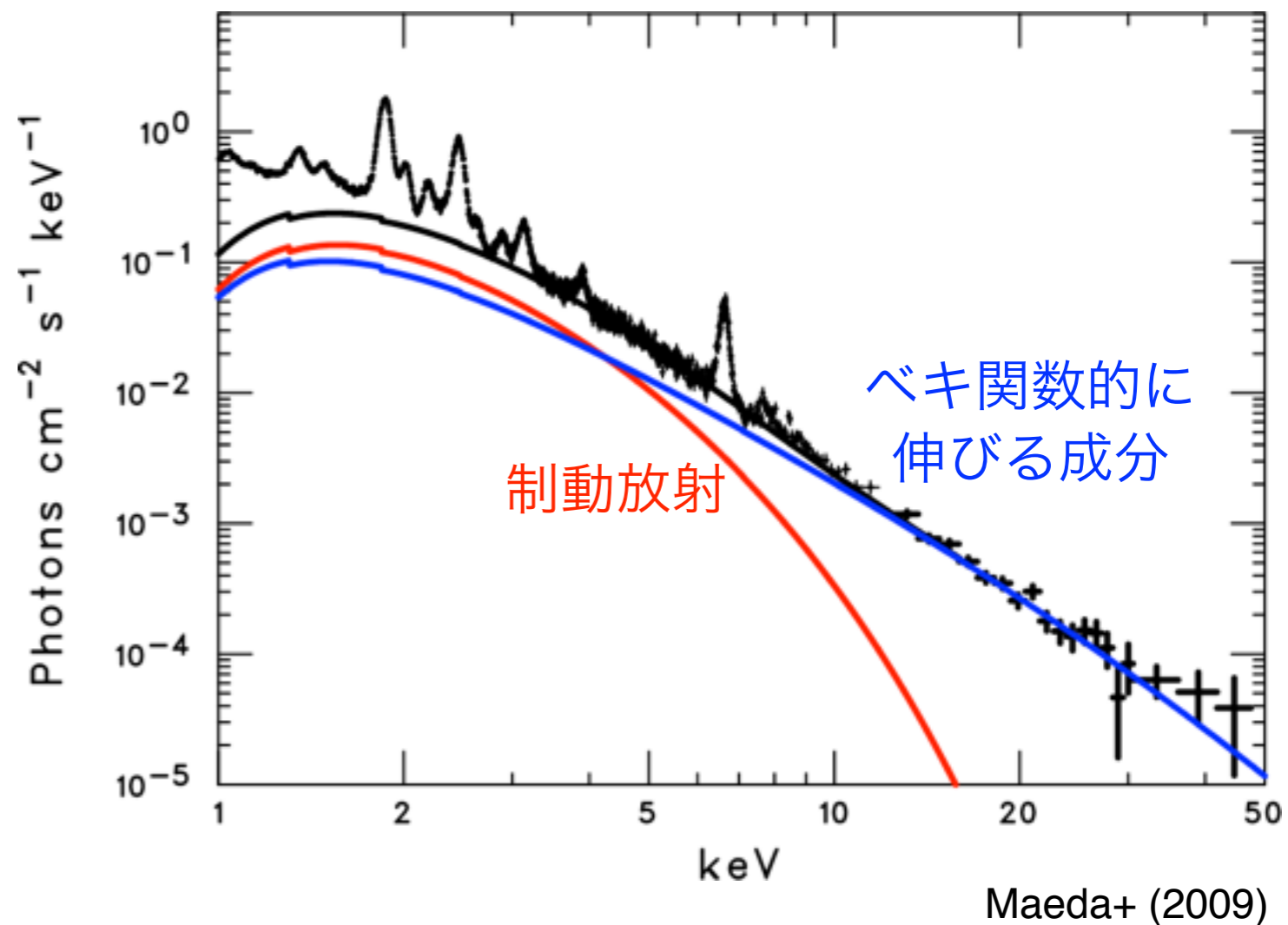
マクロな運動エネルギーが熱エネルギーに変換される

Cassiopeia A

Chandra によって得られた
シンクロトロン放射 (4–6 keV) の分布

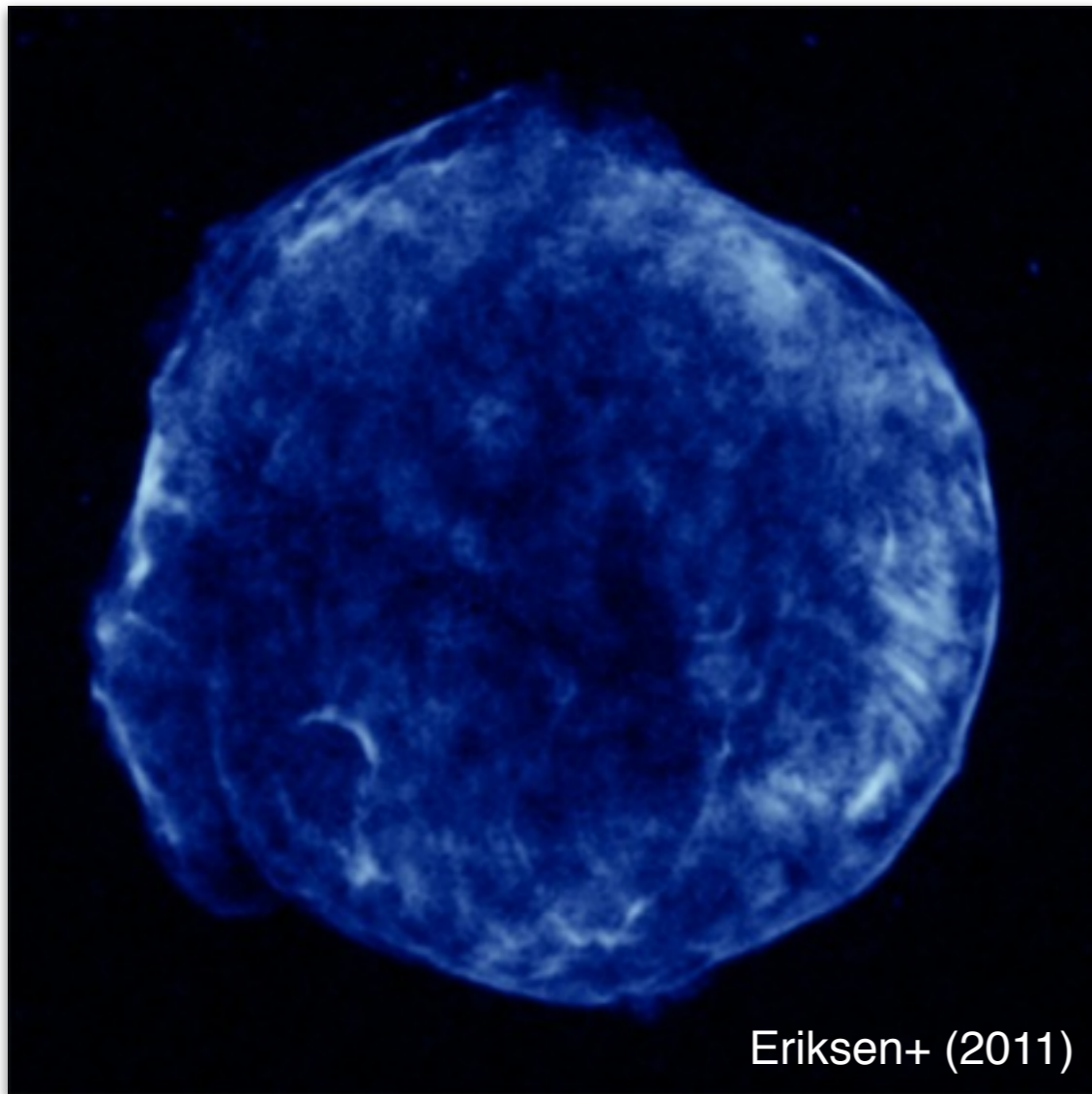


「すざく」 によって得られた
広帯域スペクトル

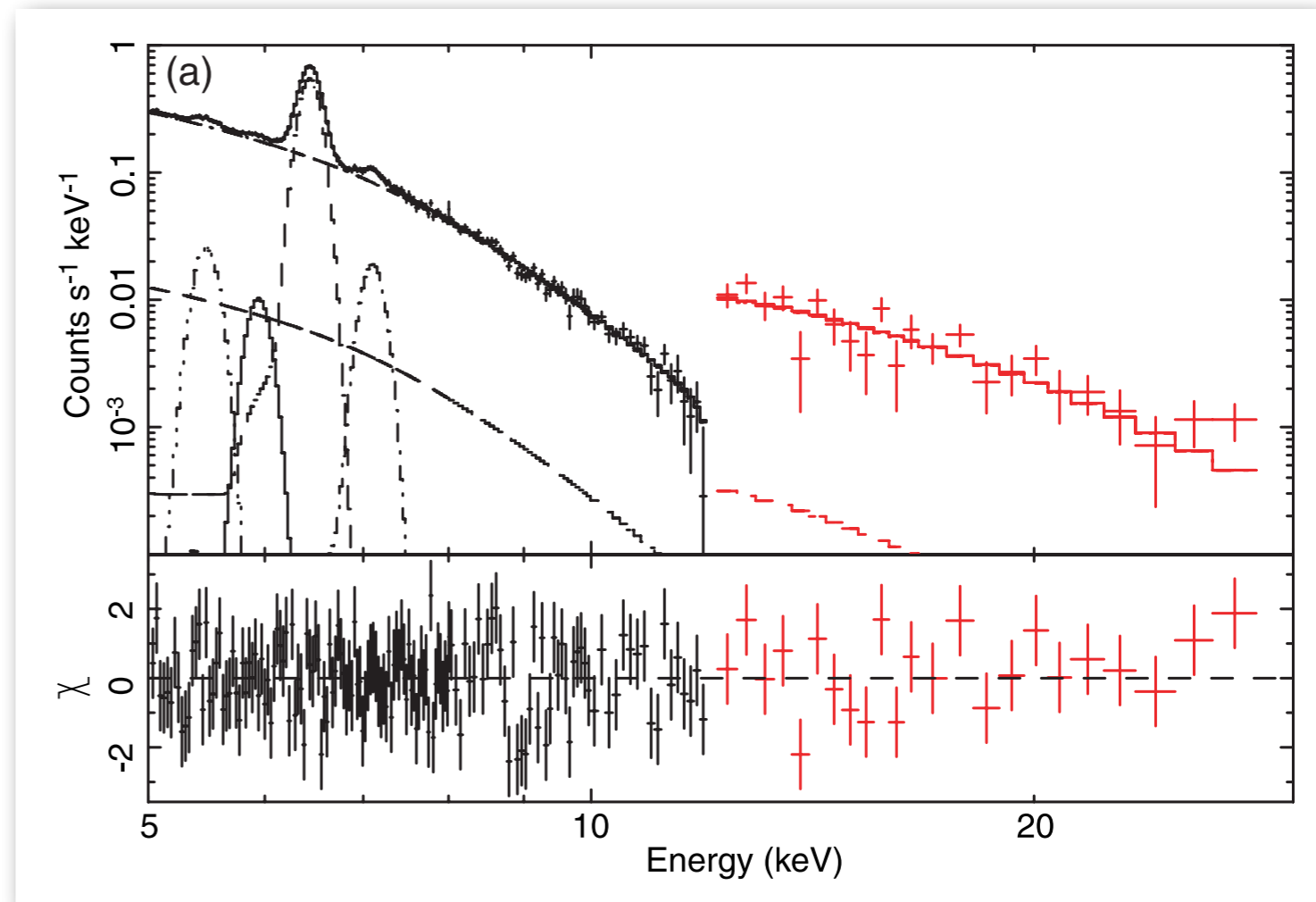


Tycho's SNR (SN 1572)

Chandra によって得られた
シンクロトロン放射 (4–6 keV) の分布



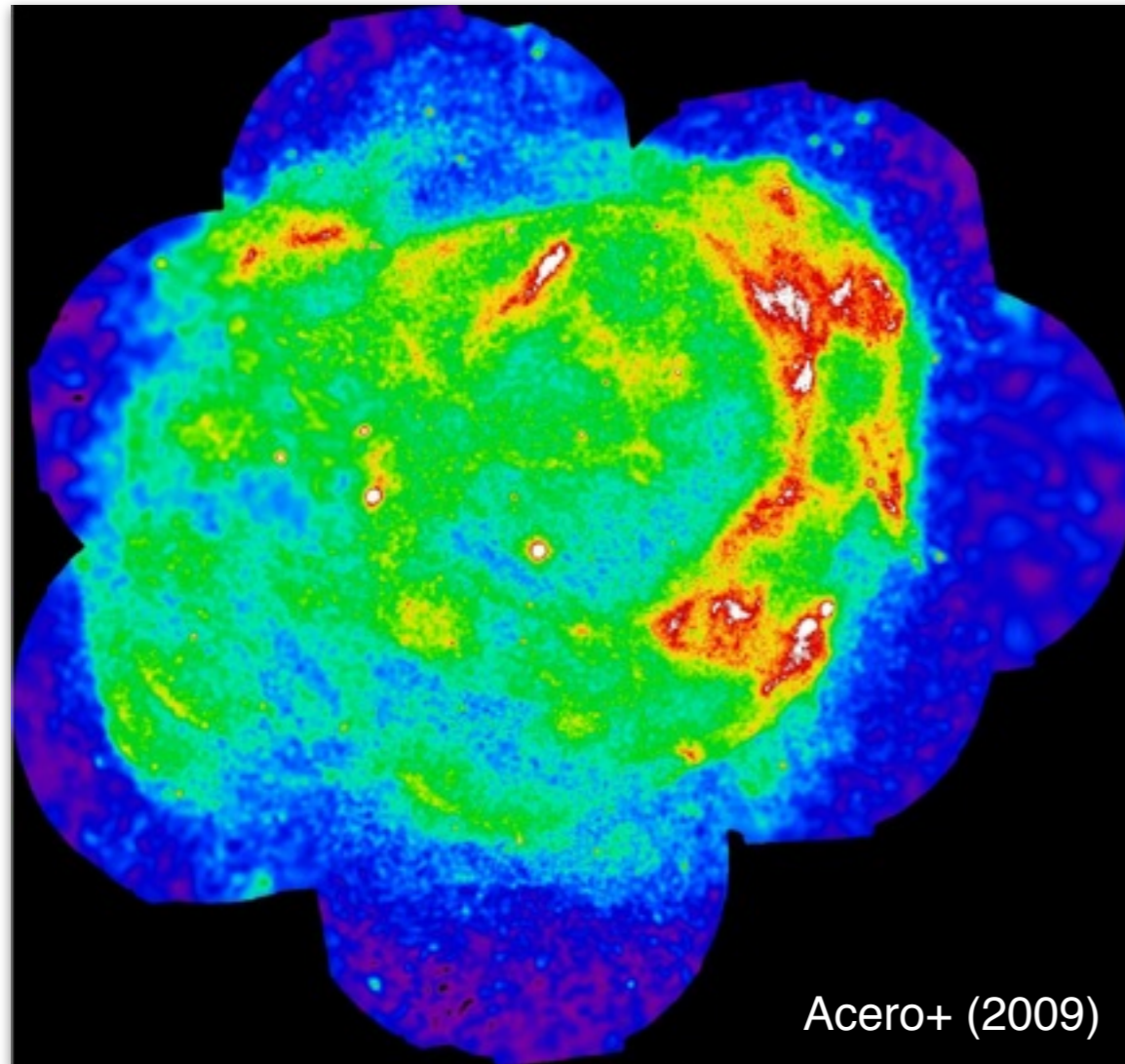
「すざく」 によって得られた
広帯域スペクトル



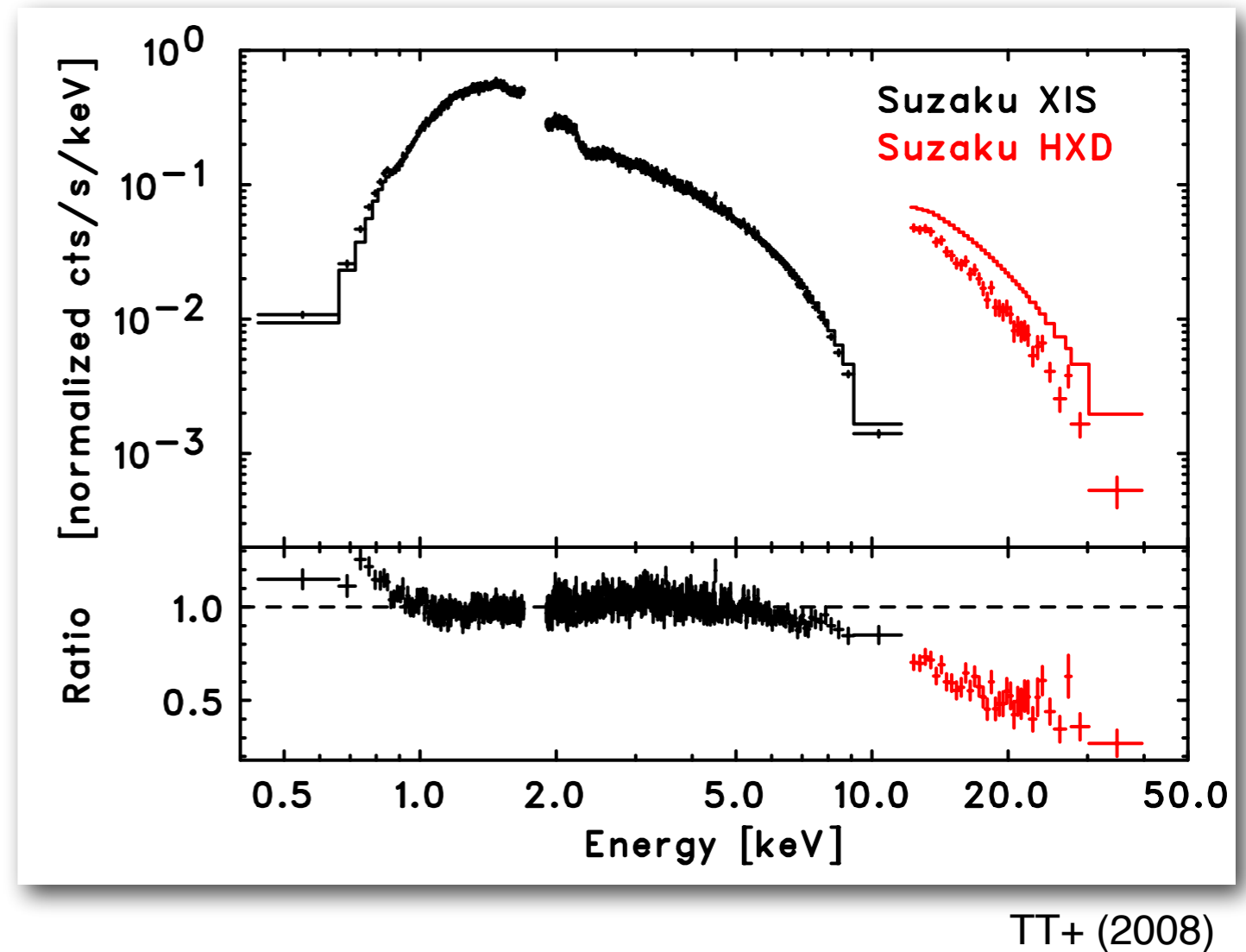
Tamagawa+ (2009)

RX J1713.7-3946

XMM-Newton によって得られた
シンクロトロン放射の分布



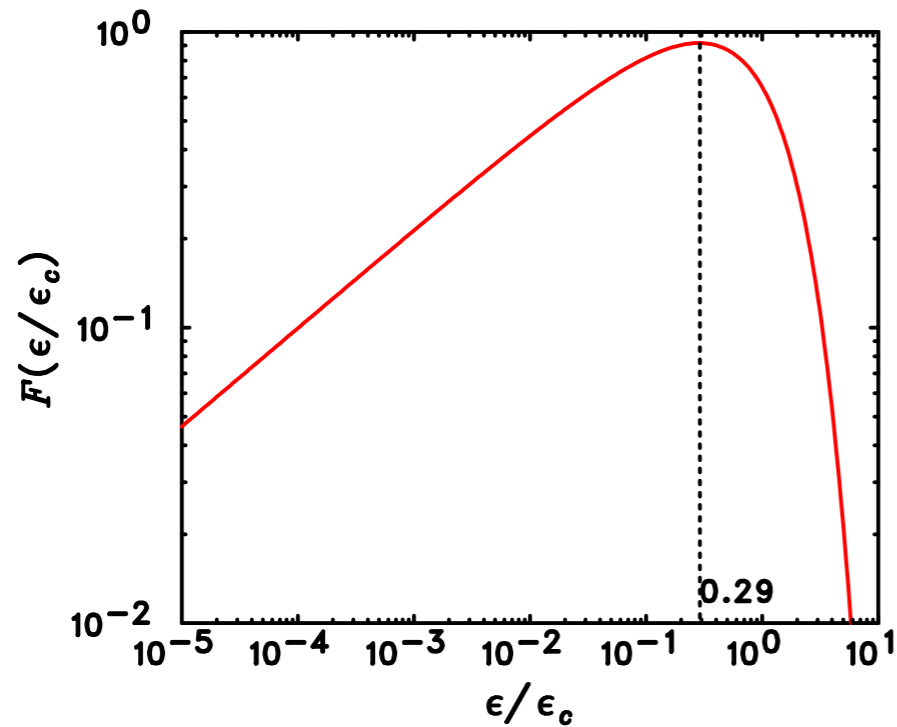
「すざく」によって得られた
広帯域スペクトル



Note: RX J1713.7-3946 は熱的放射が全く見えないという特異性をもつ

シンクロトロン放射

1つの電子からのシンクロトロン放射



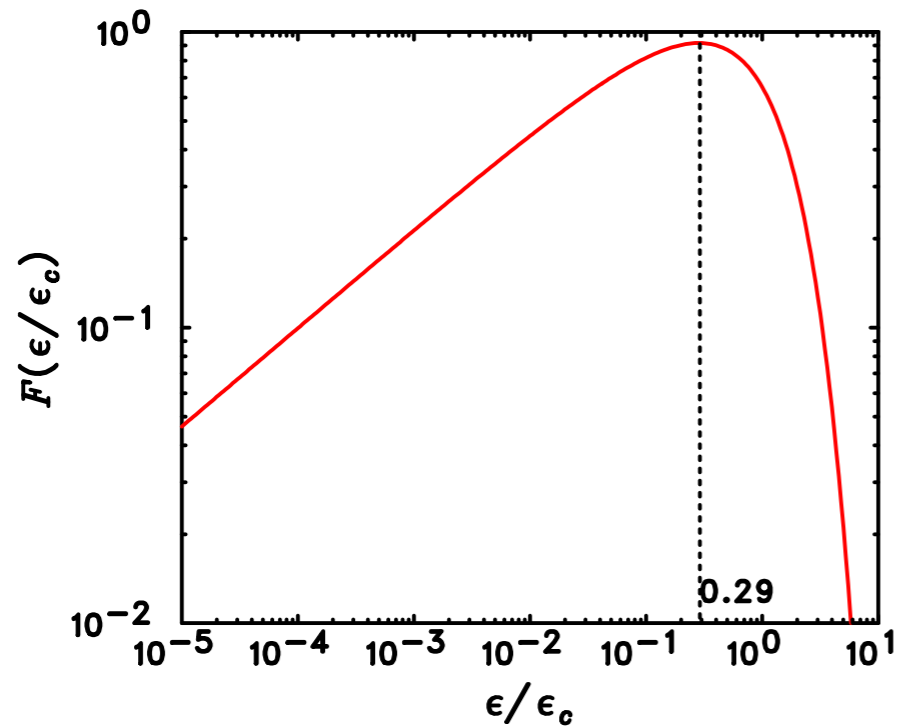
$$P(\epsilon) = \frac{e^3 B}{\sqrt{2}\pi m_e \hbar c^2} F\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_c}\right)$$

ここで $\epsilon_c = \sqrt{6}\mu_B B \gamma^2$

$$= 5.43 \left(\frac{B}{10 \mu\text{G}}\right) \left(\frac{E}{100 \text{ TeV}}\right)^2 \text{ keV}$$

シンクروتロン放射

1つの電子からのシンクروتロン放射



$$P(\epsilon) = \frac{e^3 B}{\sqrt{2}\pi m_e \hbar c^2} F\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_c}\right)$$

$$\text{ここで } \epsilon_c = \sqrt{6}\mu_B B \gamma^2$$

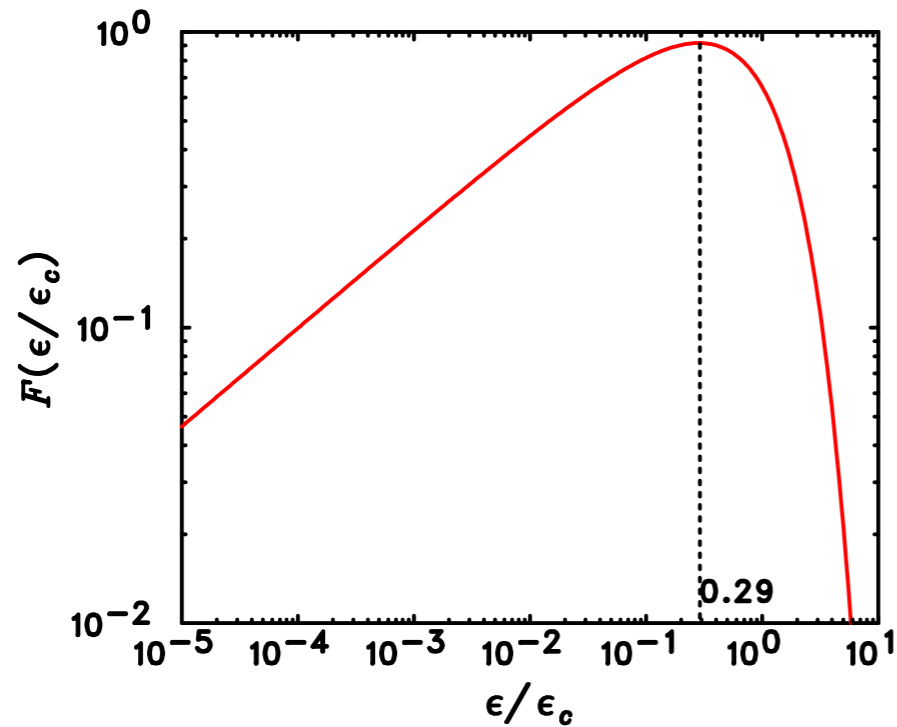
$$= 5.43 \left(\frac{B}{10 \mu\text{G}}\right) \left(\frac{E}{100 \text{ TeV}}\right)^2 \text{ keV}$$

シンクروتロン X 線の検出

→ 電子が ~ TeV にまで加速されている証拠

シンクロトロン放射

1つの電子からのシンクロトロン放射



$$P(\epsilon) = \frac{e^3 B}{\sqrt{2\pi} m_e \hbar c^2} F\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_c}\right)$$

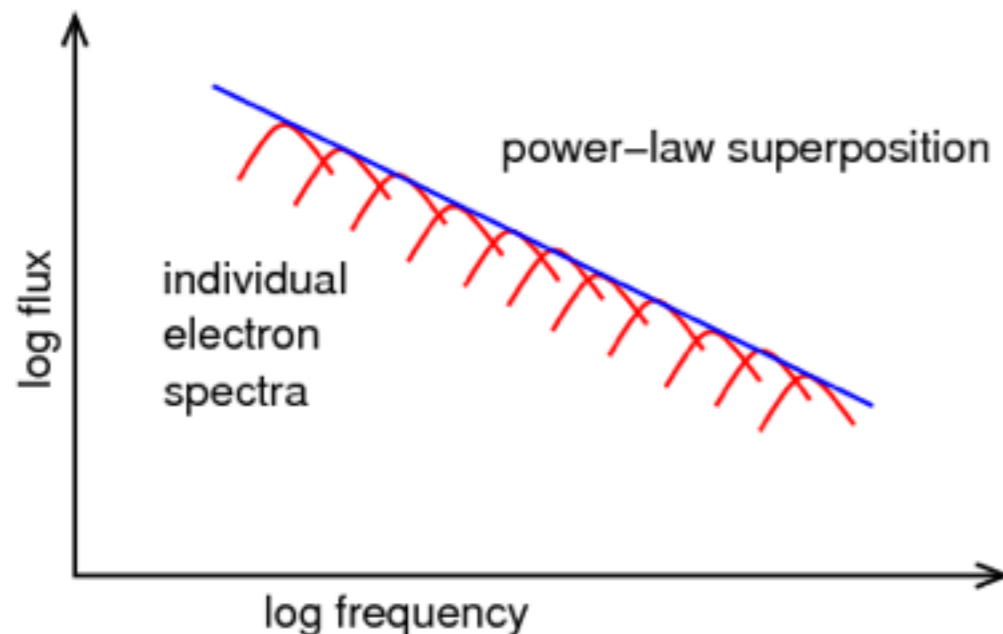
$$\text{ここで } \epsilon_c = \sqrt{6} \mu_B B \gamma^2$$

$$= 5.43 \left(\frac{B}{10 \mu\text{G}}\right) \left(\frac{E}{100 \text{ TeV}}\right)^2 \text{ keV}$$

シンクロトロン X 線の検出

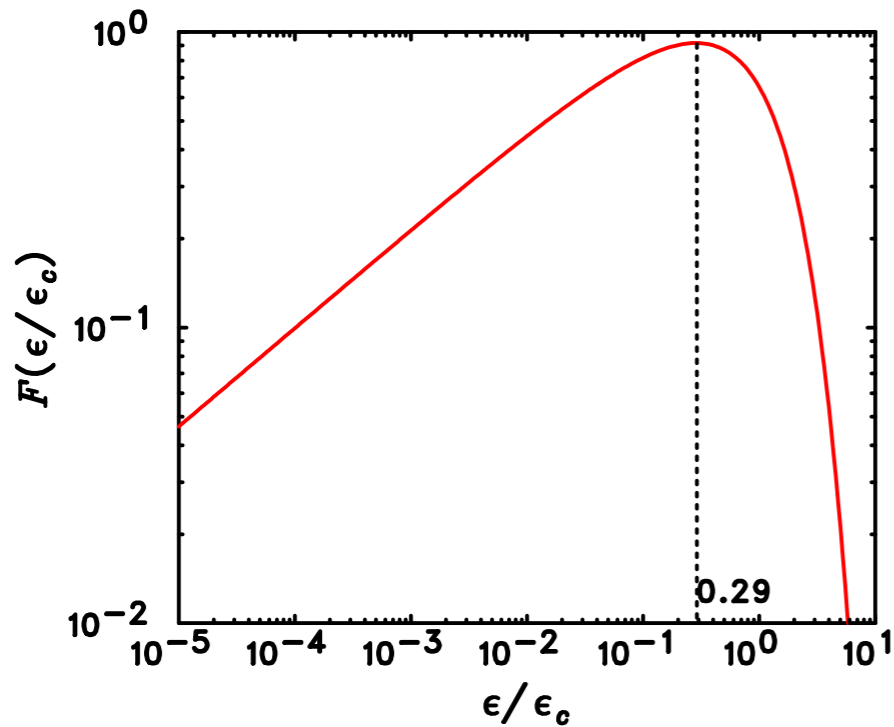
→ 電子が ~ TeV にまで加速されている証拠

ベキ関数分布をもつ電子からのシンクロトロン放射



シンクロトロン放射

1つの電子からのシンクロトロン放射



$$P(\varepsilon) = \frac{e^3 B}{\sqrt{2\pi} m_e \hbar c^2} F\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c}\right)$$

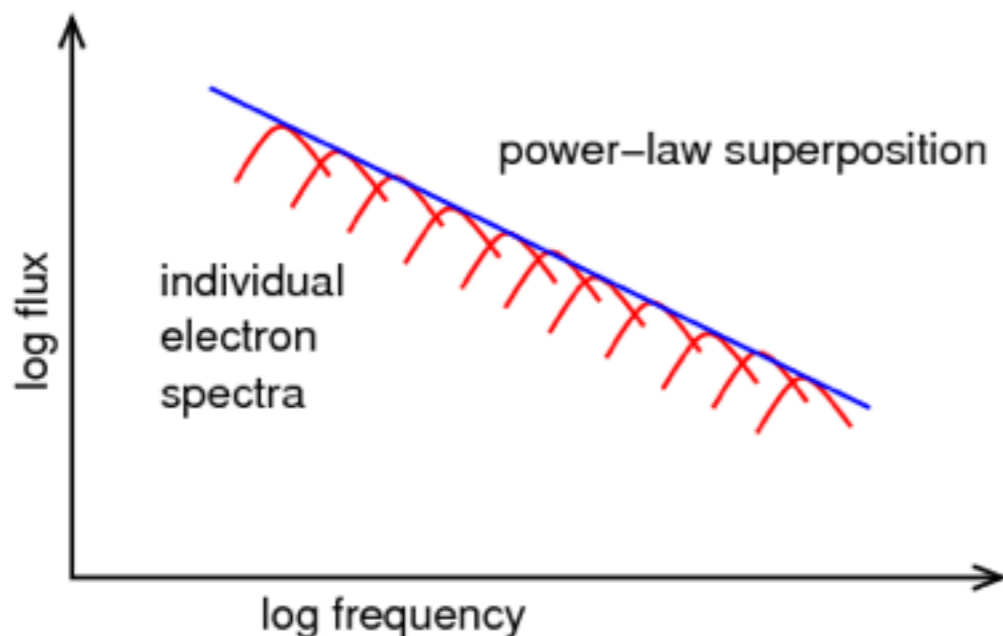
ここで $\varepsilon_c = \sqrt{6} \mu_B B \gamma^2$

$$= 5.43 \left(\frac{B}{10 \mu\text{G}}\right) \left(\frac{E}{100 \text{ TeV}}\right)^2 \text{ keV}$$

シンクロトロン X 線の検出

→ 電子が ~ TeV にまで加速されている証拠

ベキ関数分布をもつ電子からのシンクロトロン放射



電子スペクトル: $\frac{dN_e}{dE_e} \propto E_e^{-s}$

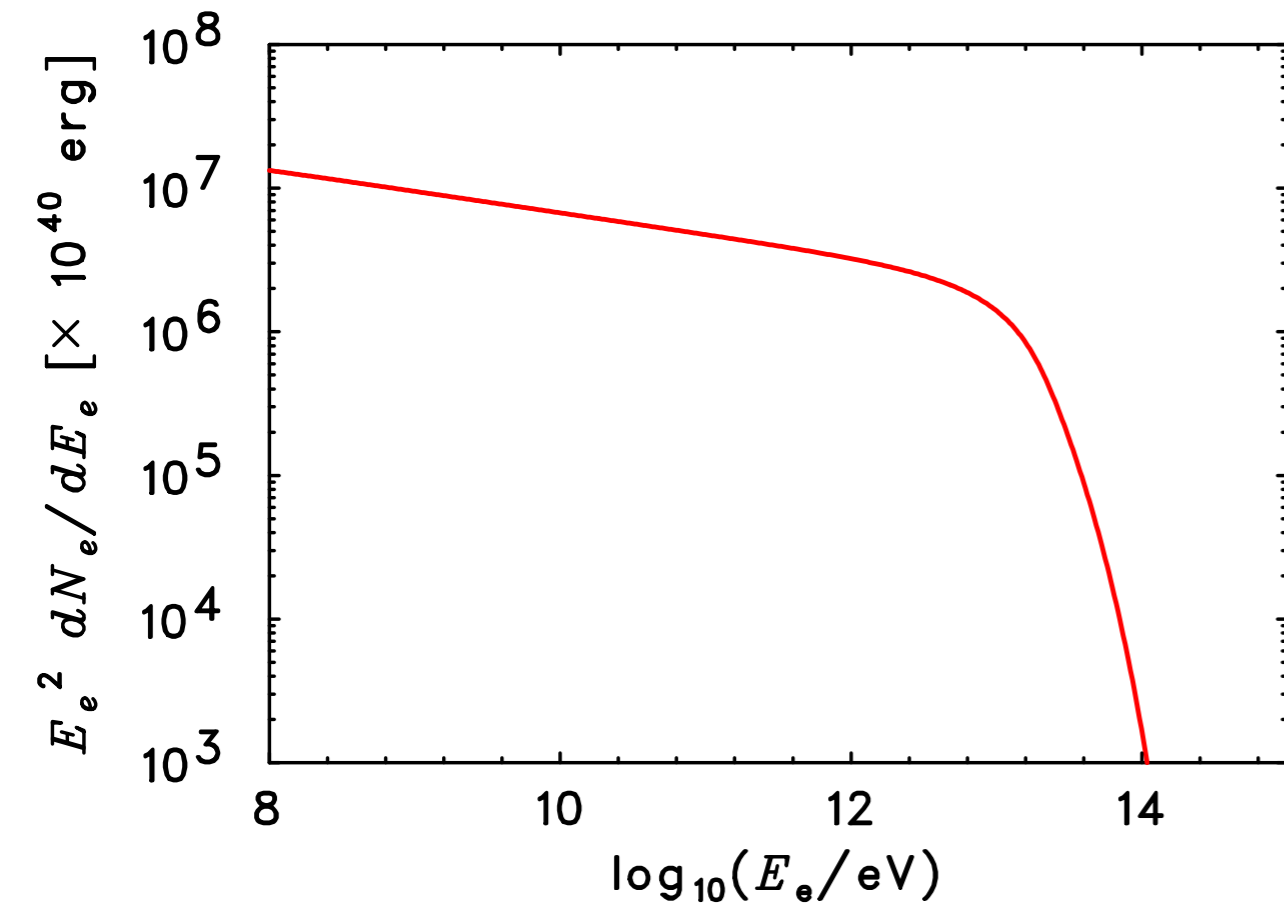
放射スペクトル: $\frac{dn_\gamma}{d\varepsilon} \propto \varepsilon^{-\Gamma}$

ここで $\Gamma = \frac{s+1}{2}$

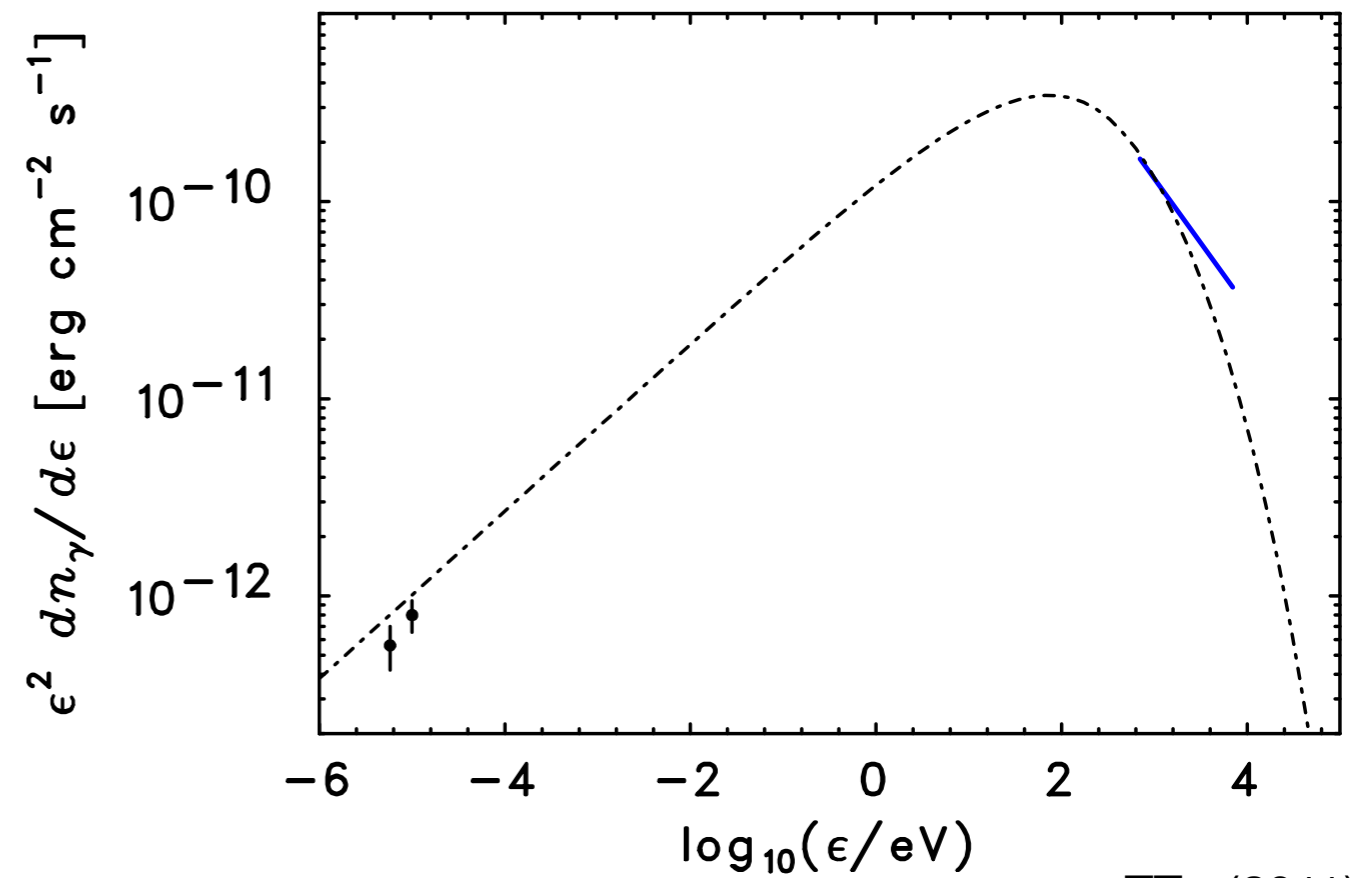
シンクロトロン放射

RX J0852.0-4622 (Vela Jr.) の場合

電子スペクトル



放射スペクトル

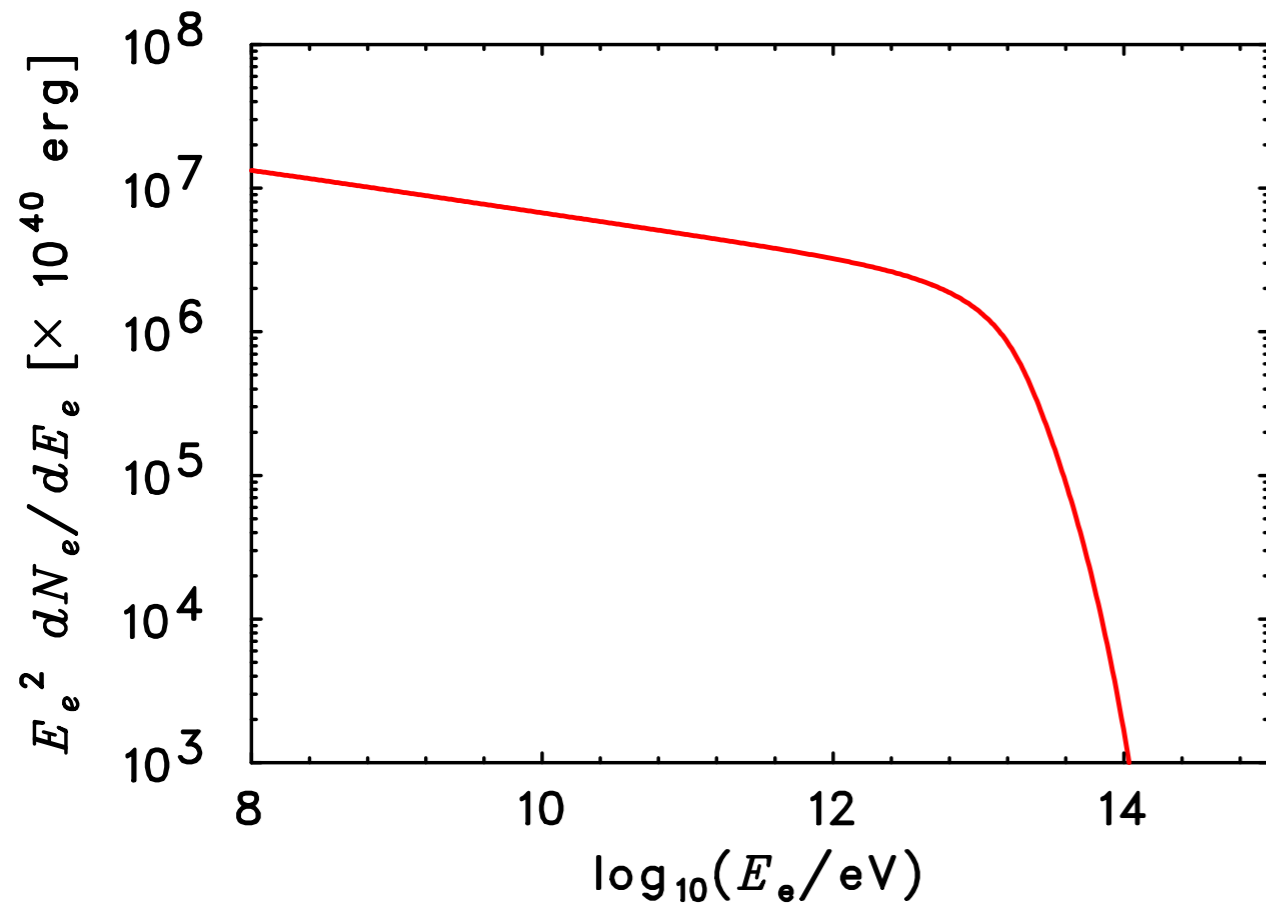


TT+ (2011)

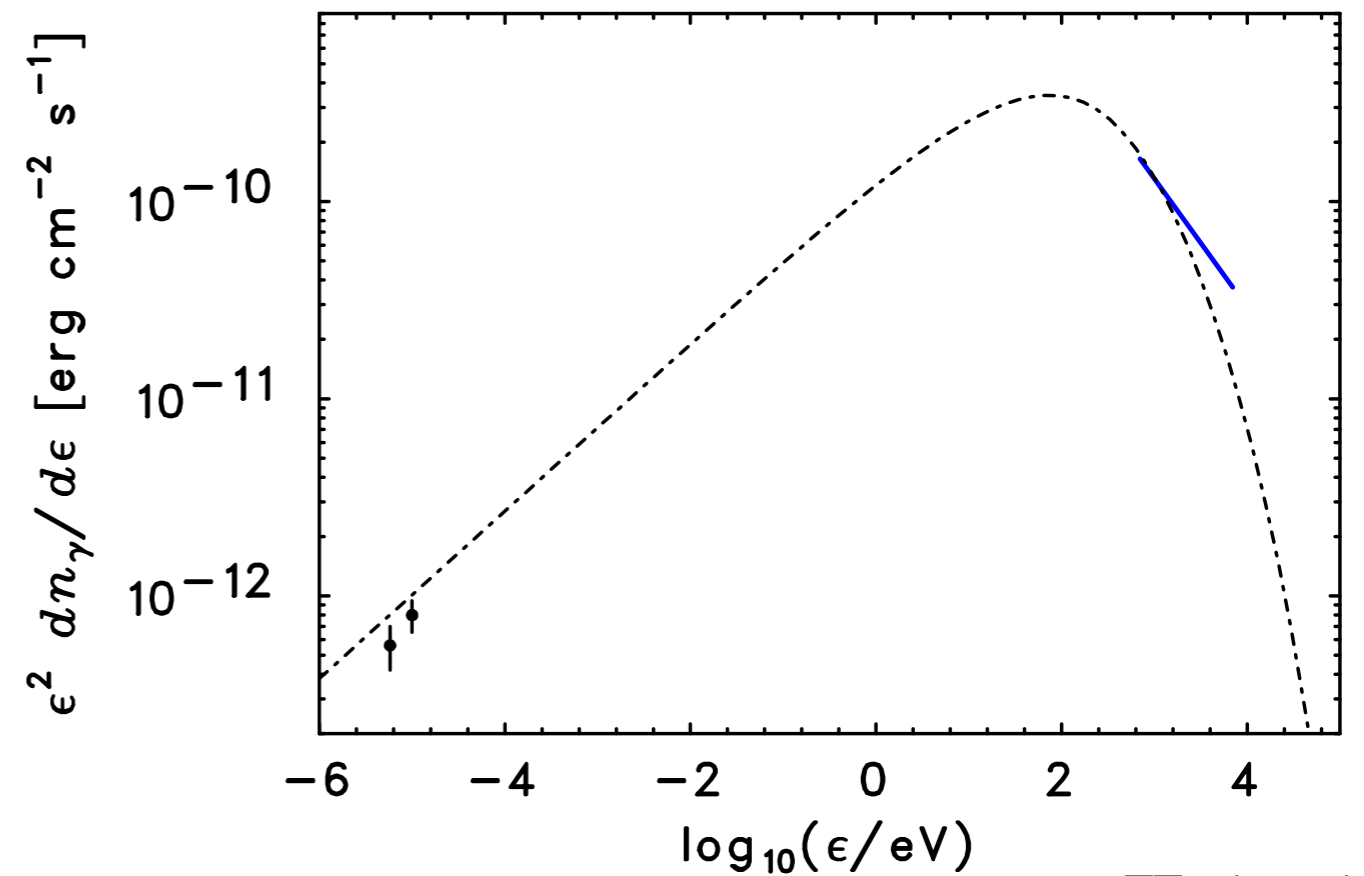
シンクロトロン放射

RX J0852.0-4622 (Vela Jr.) の場合

電子スペクトル



放射スペクトル



TT+ (2011)

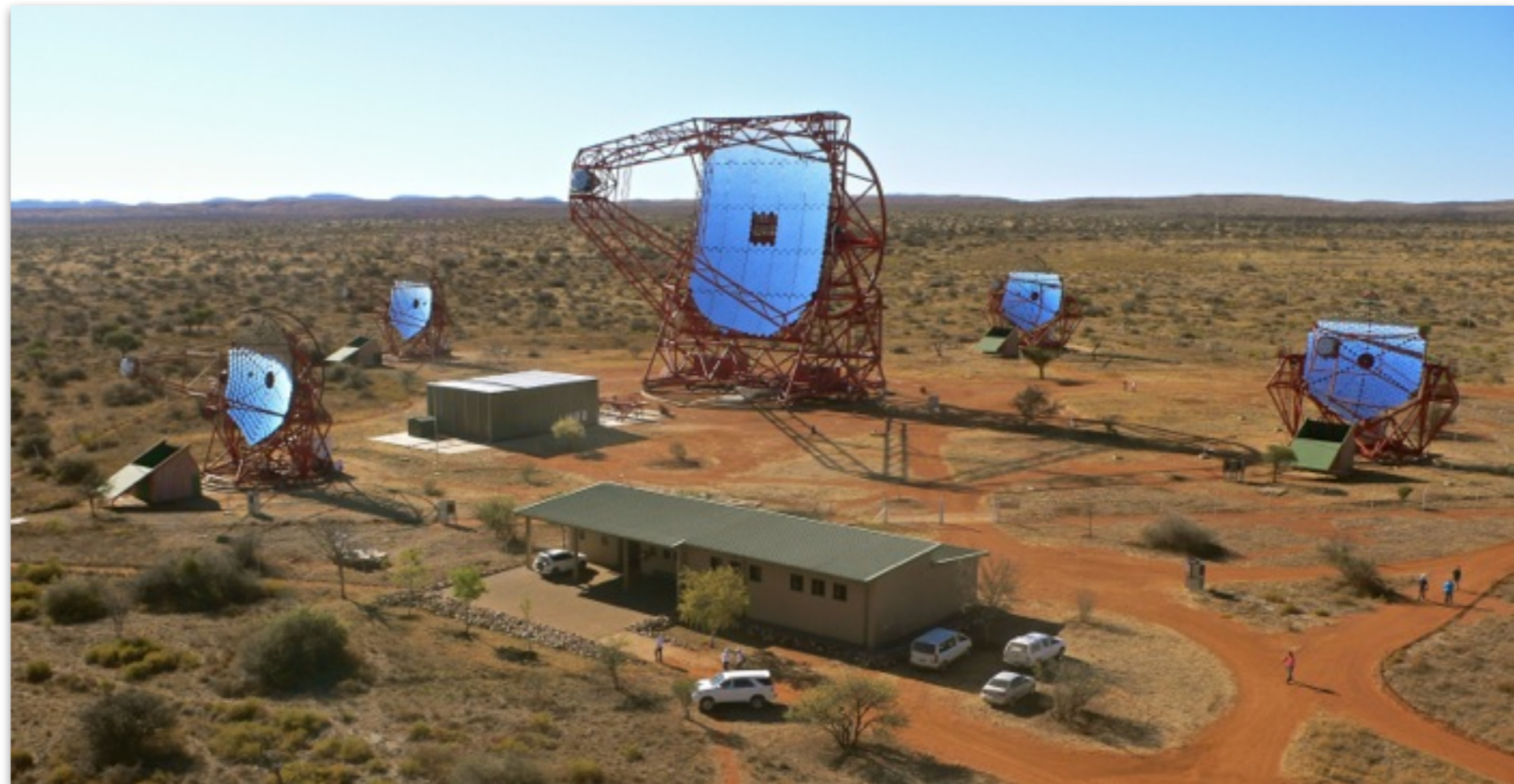
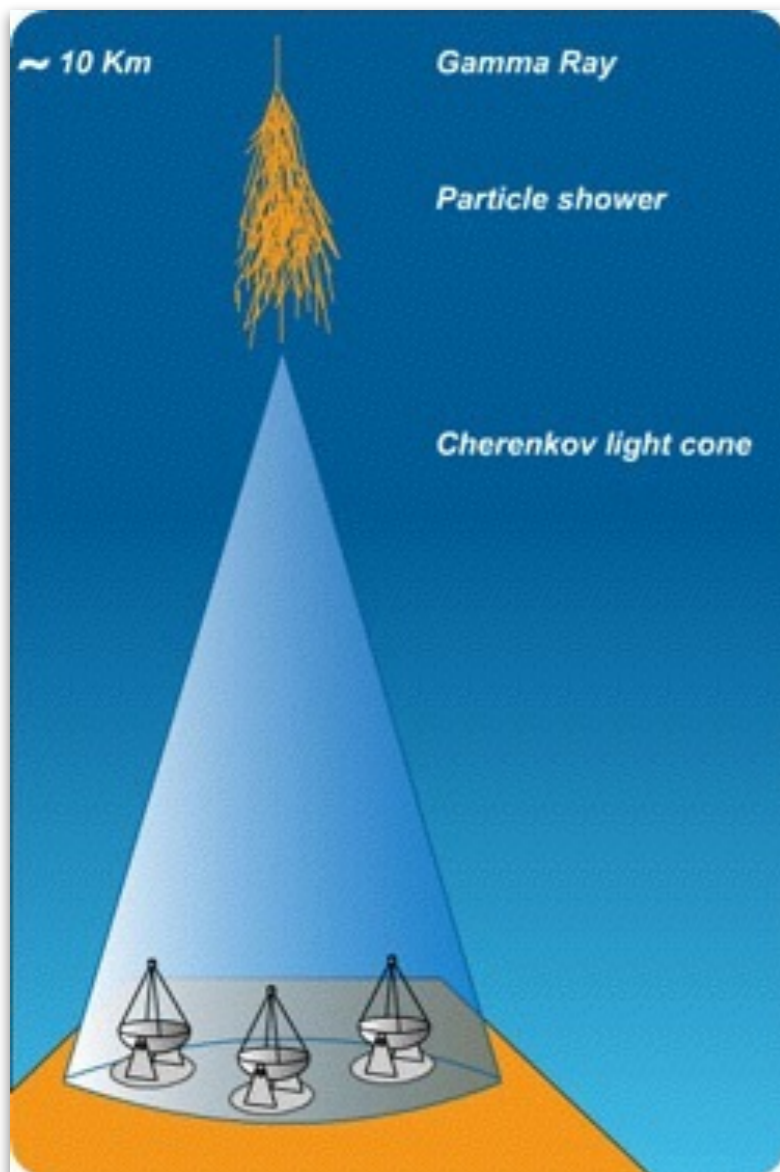
シンクロトロン X 線は最高加速エネルギー付近の電子からの放射

大気チェレンコフ望遠鏡

TeV のエネルギーを持つ粒子があるなら TeV ガンマ線も放射しているはず

TeV ガンマ線が大気中で電磁シャワーを発生
→ 荷電粒子からのチェレンコフ光を捕らえる

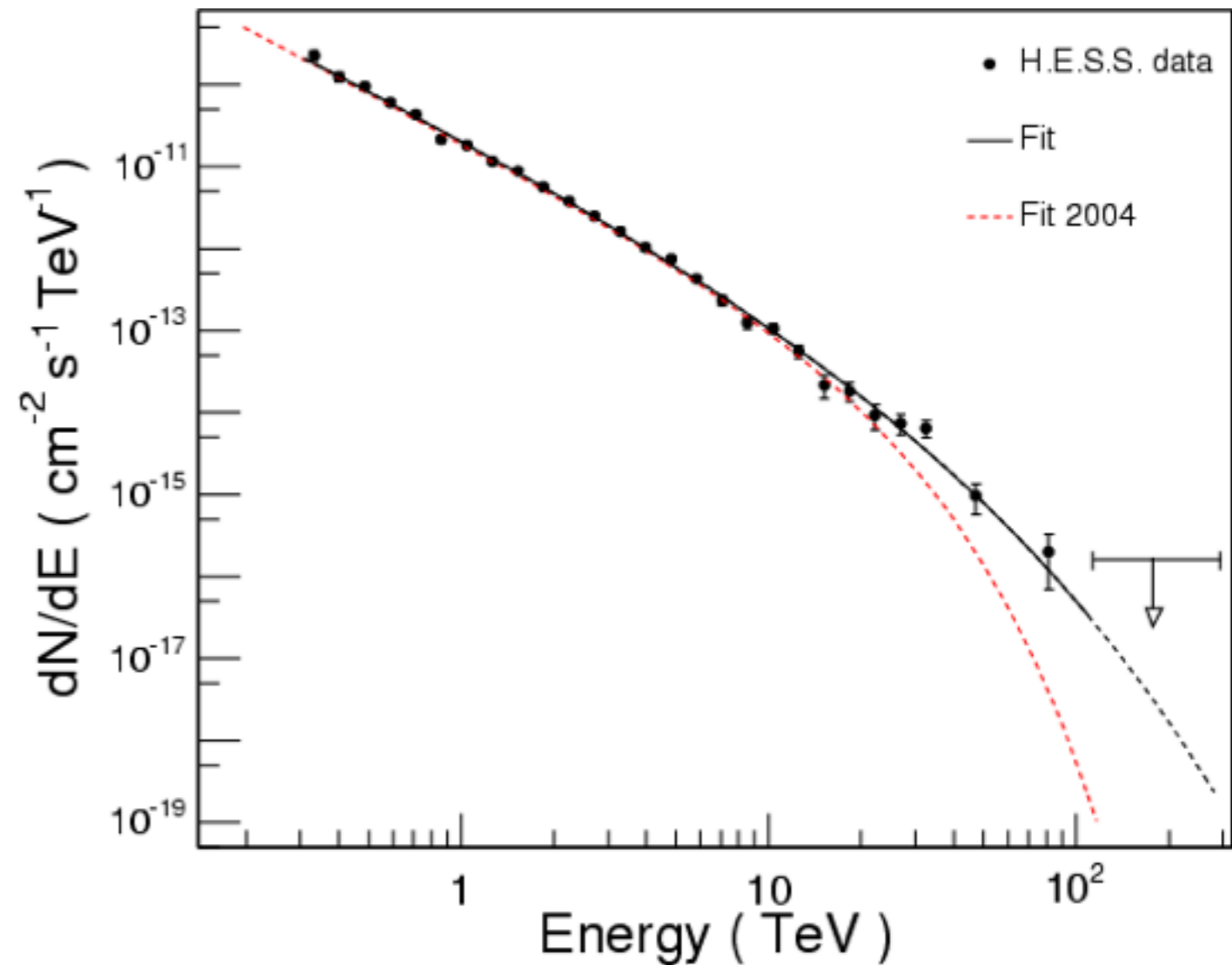
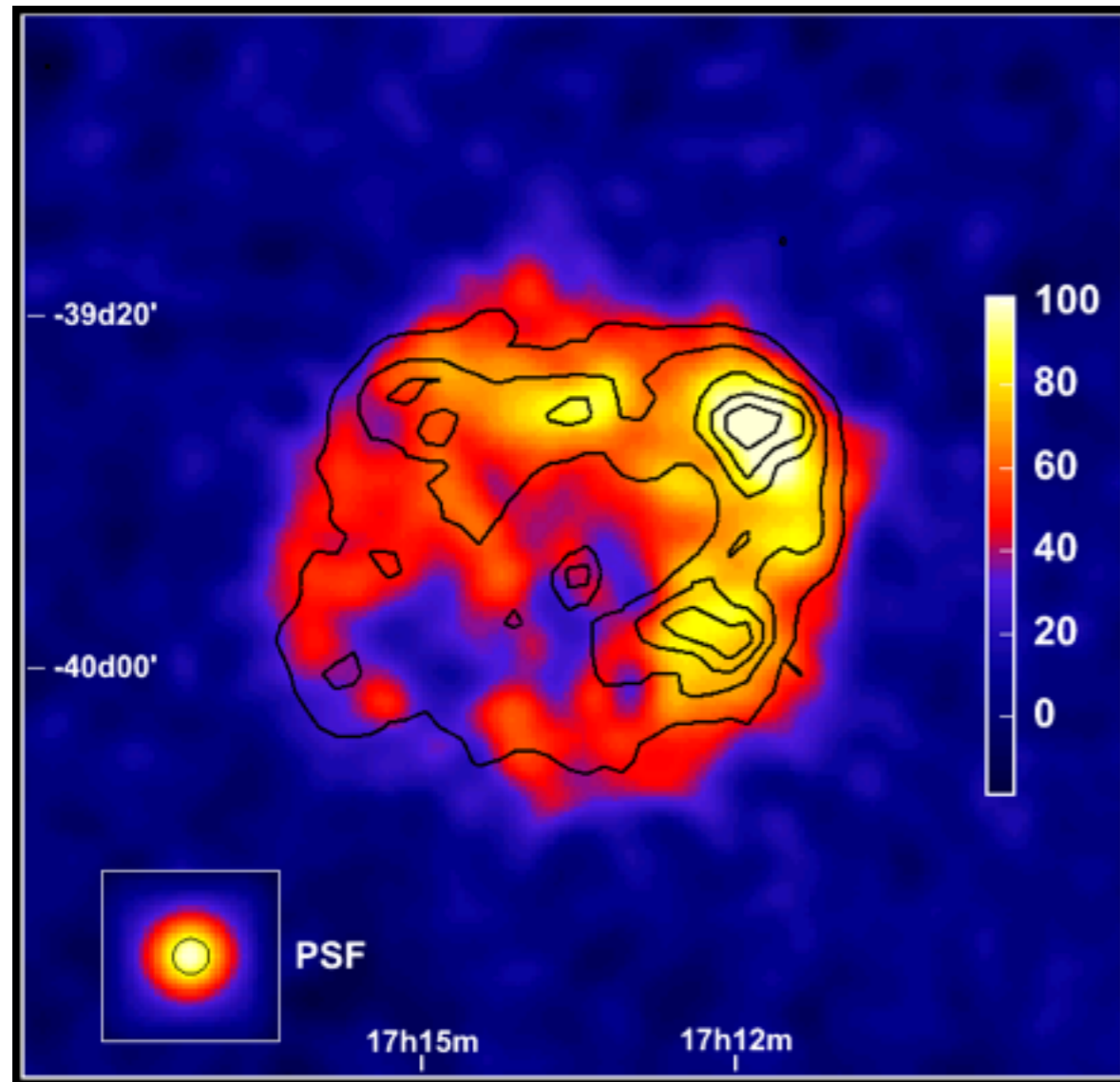
H.E.S.S. 望遠鏡 @ ナミビア



RX J1713.7-3946

TeV ガンマ線で非常に明るい超新星残骸

H.E.S.S. により空間分布や高統計のスペクトルが得られている



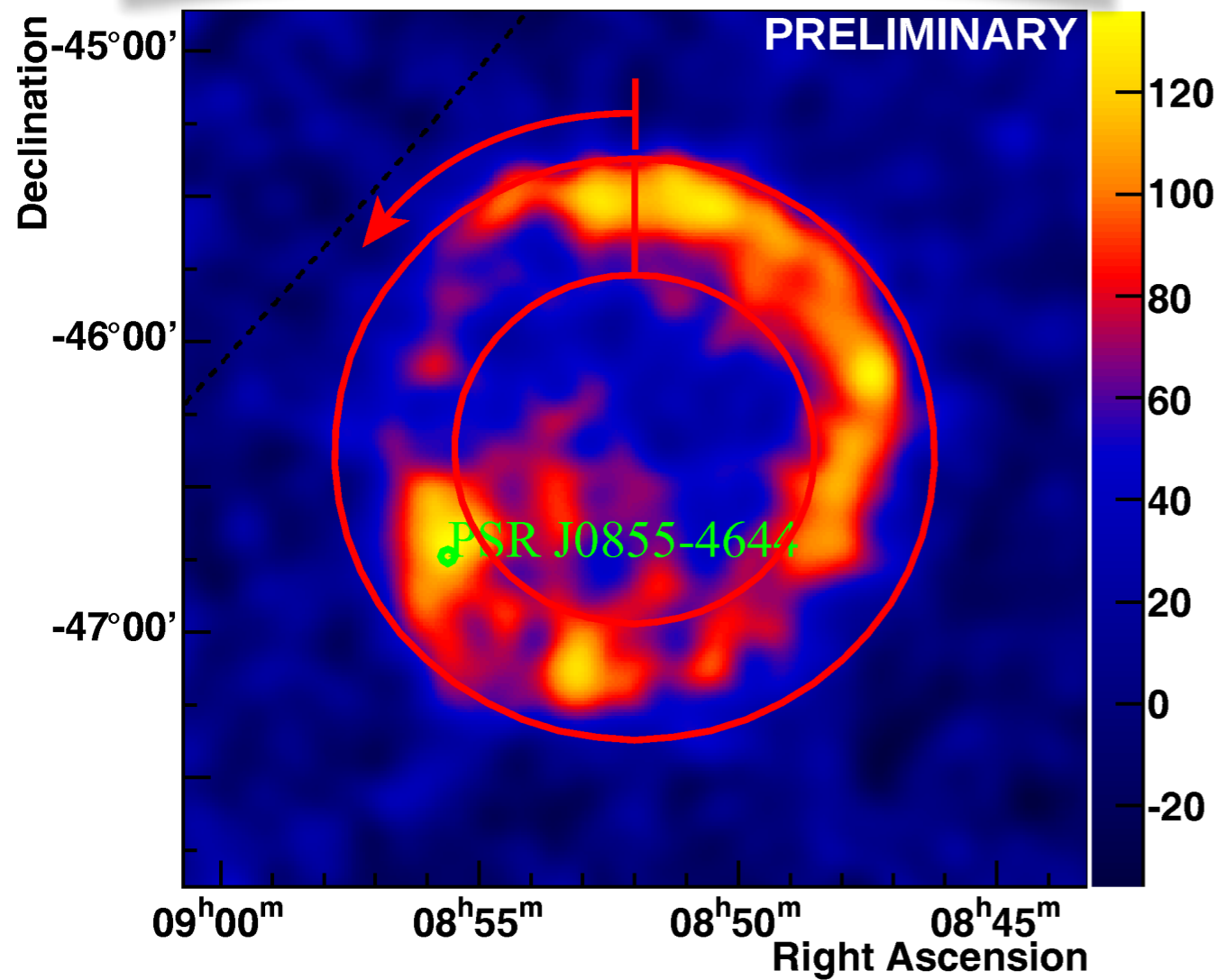
Color: Gamma Rays by H.E.S.S.
Contours: X-rays by ASCA

Aharonian+ (2007)

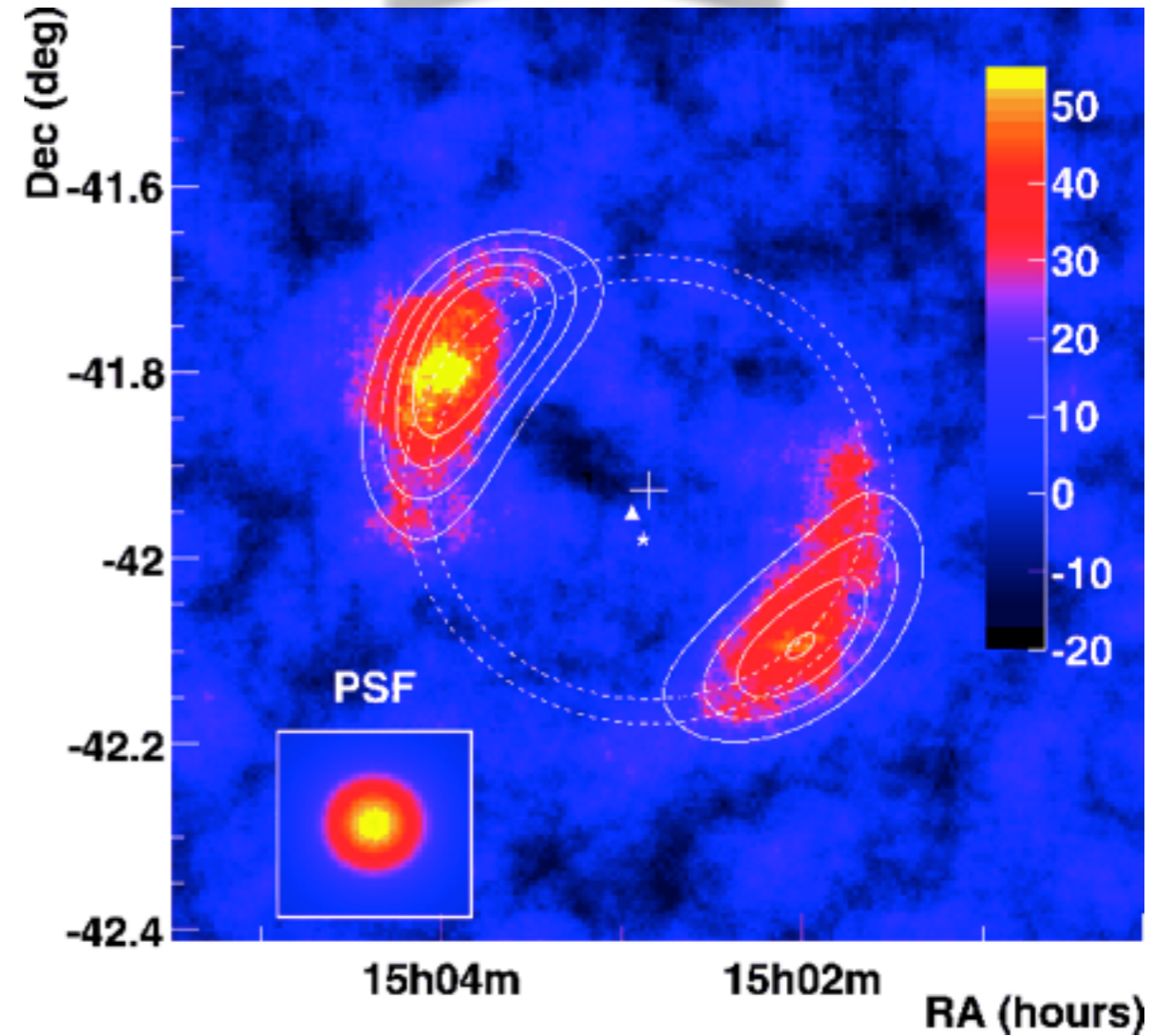
TeV-emitting SNRs

RX J0852.0-4622 (Vela Jr.)

SN 1006



Paz Arribas+ (2012)



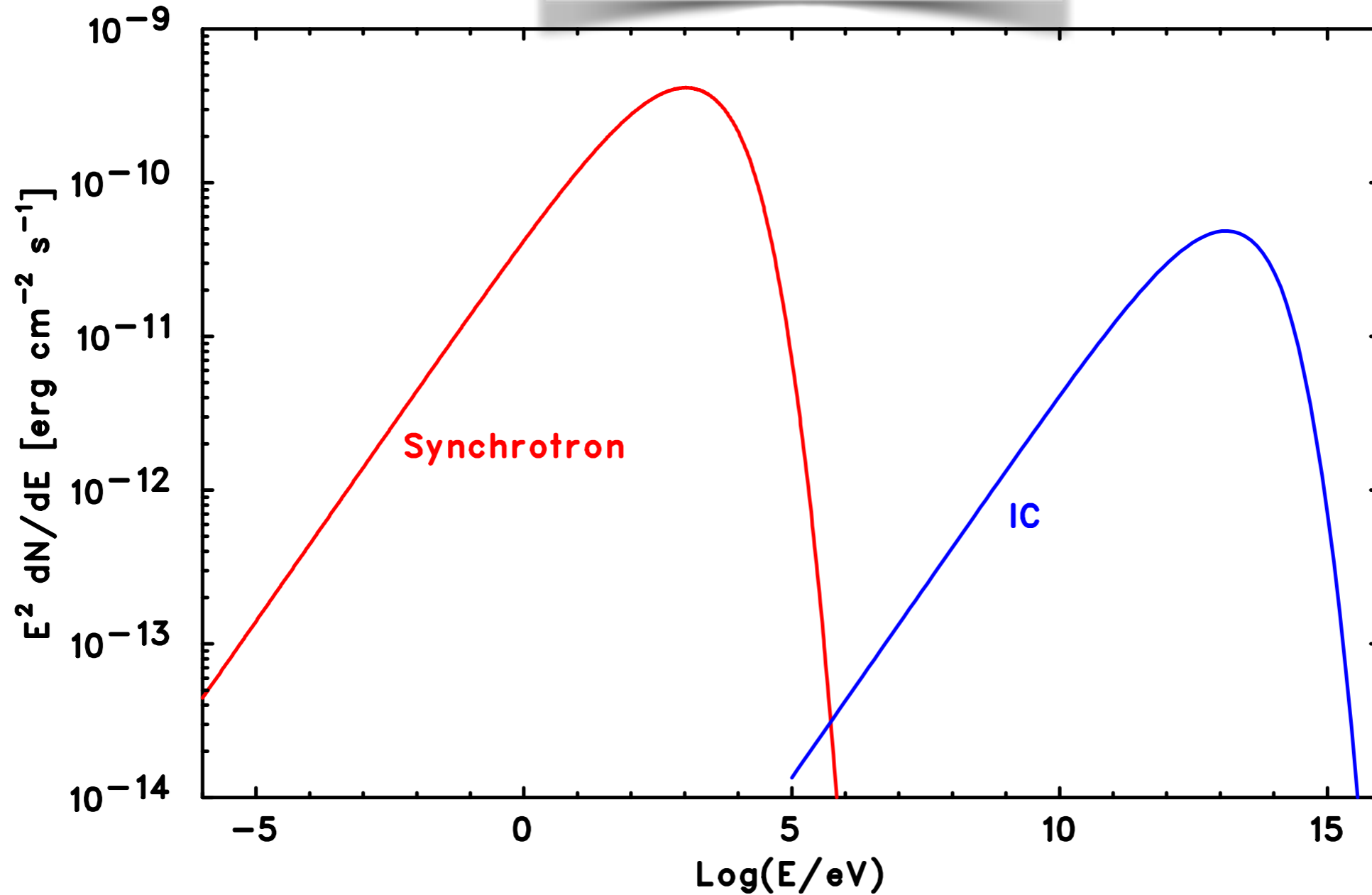
Acero+ (2010)

他に Cassiopeia A, Tycho, RCW 86, IC 443 などからも TeV ガンマ線が検出

粒子が TeV にまで加速されていることを示すより直接的な証拠

ガンマ線の放射機構

逆コンプトン散乱

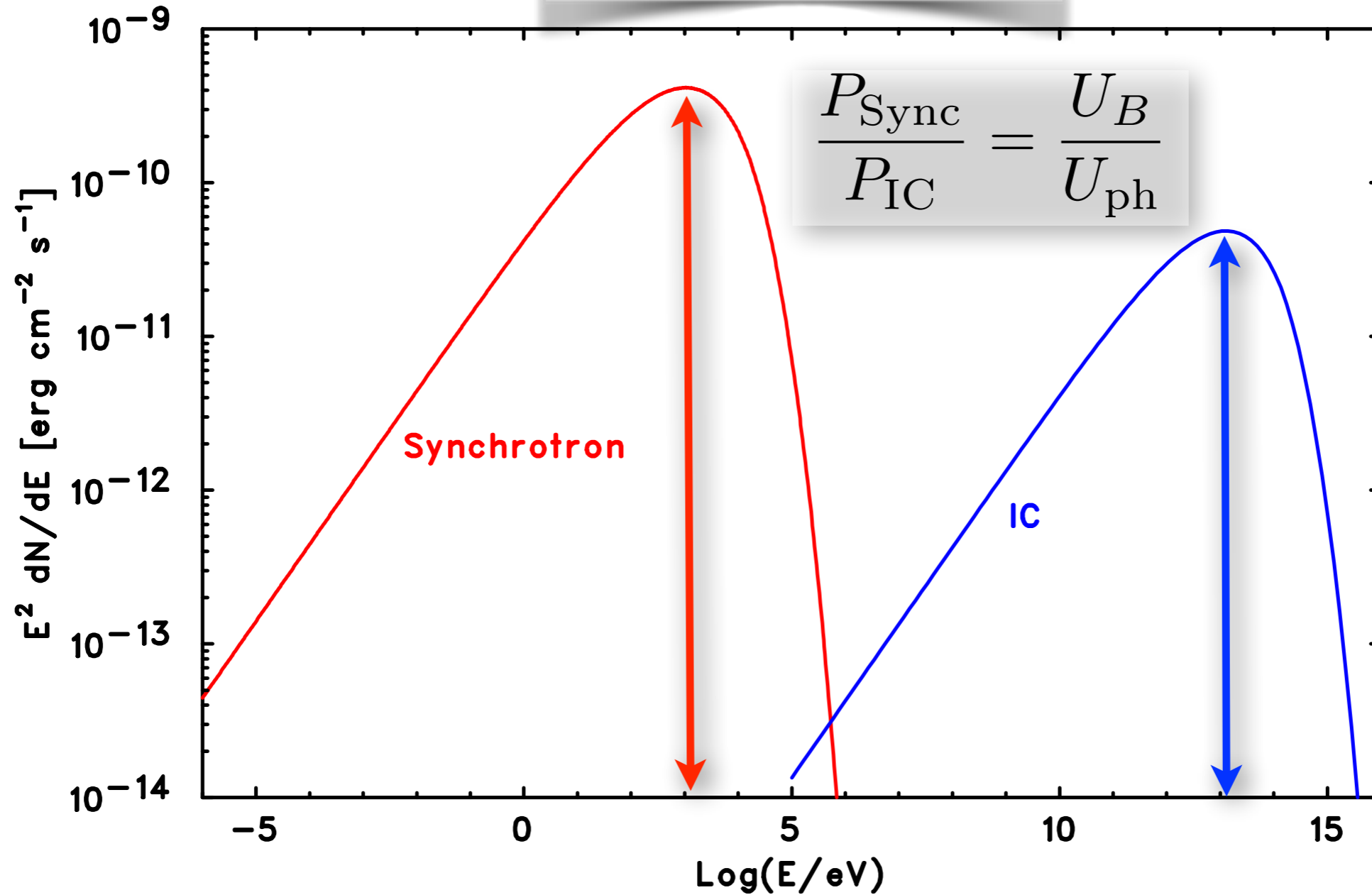


加速された電子

- 磁場と相互作用：シンクロトロン放射
- 光子（CMB など）と相互作用：逆コンプトン散乱

ガンマ線の放射機構

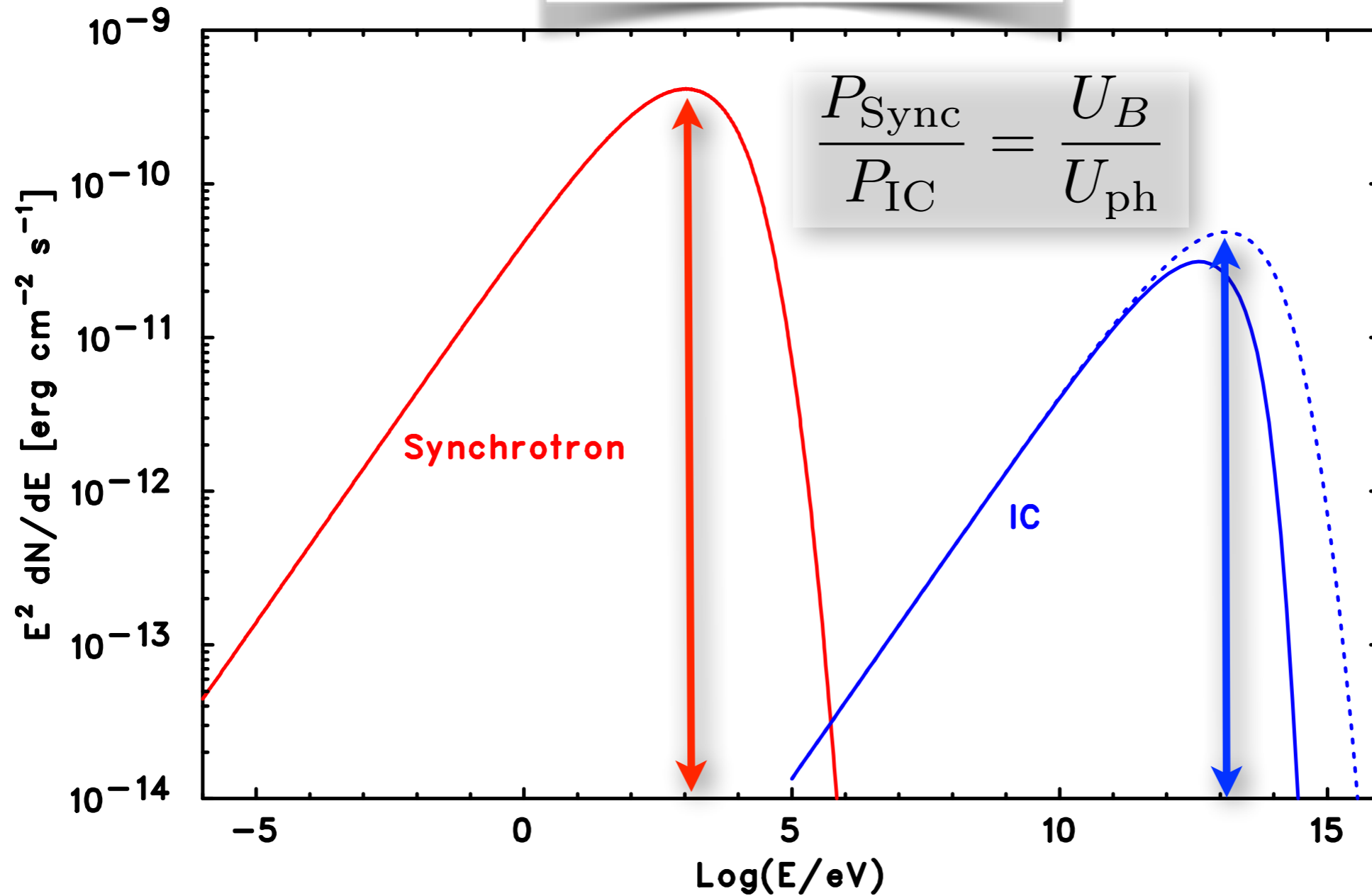
逆コンプトン散乱



- 加速された電子
- 磁場と相互作用：シンクロトロン放射
 - 光子（CMB など）と相互作用：逆コンプトン散乱

ガンマ線の放射機構

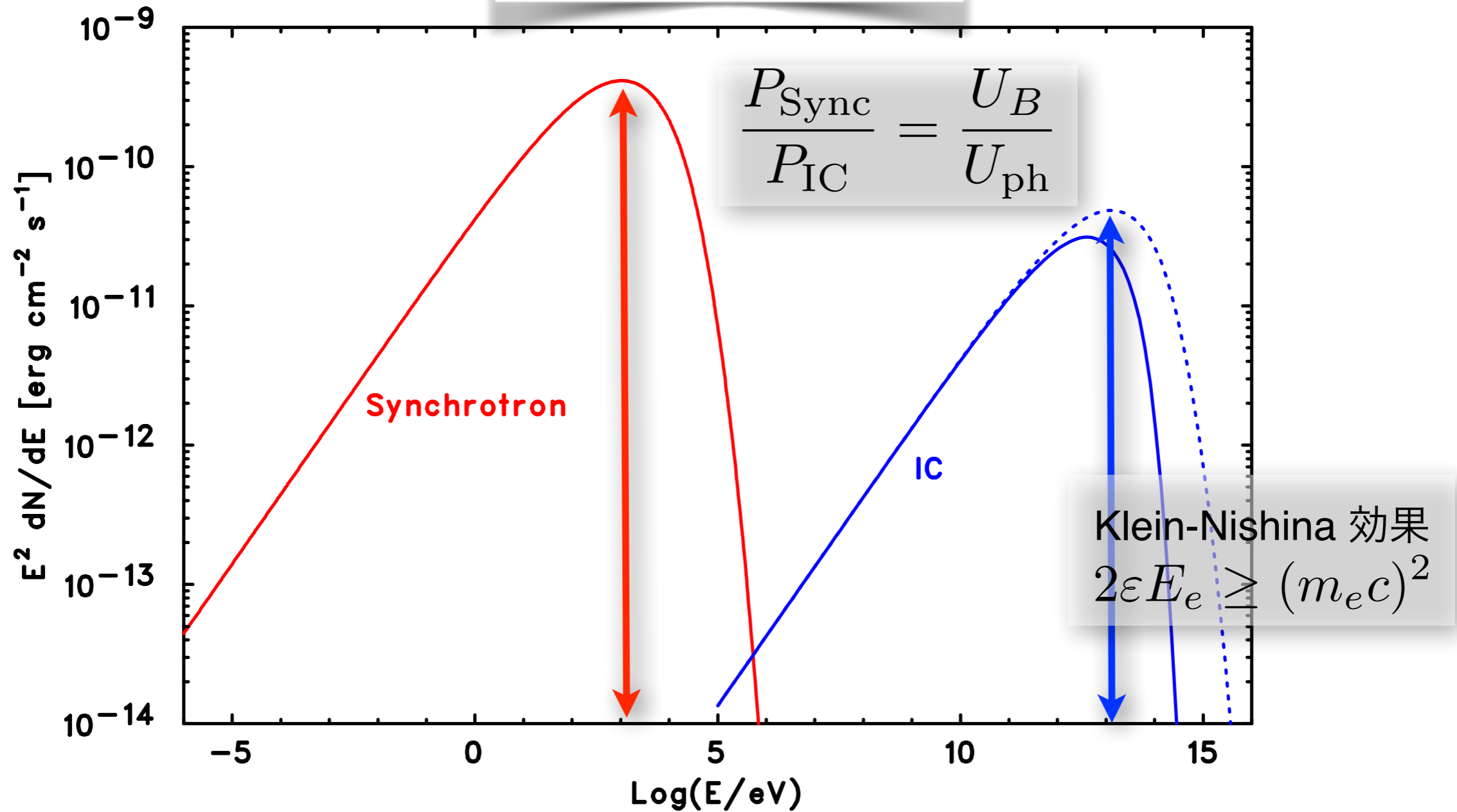
逆コンプトン散乱



- 加速された電子
- 磁場と相互作用：シンクロトロン放射
 - 光子（CMB など）と相互作用：逆コンプトン散乱

ガンマ線の放射機構

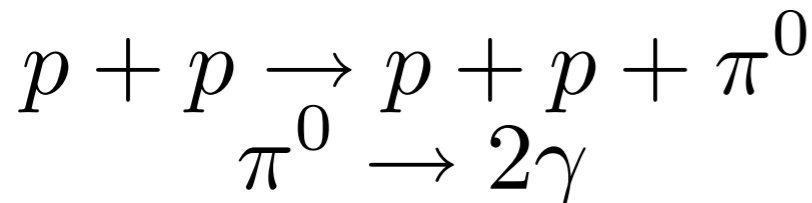
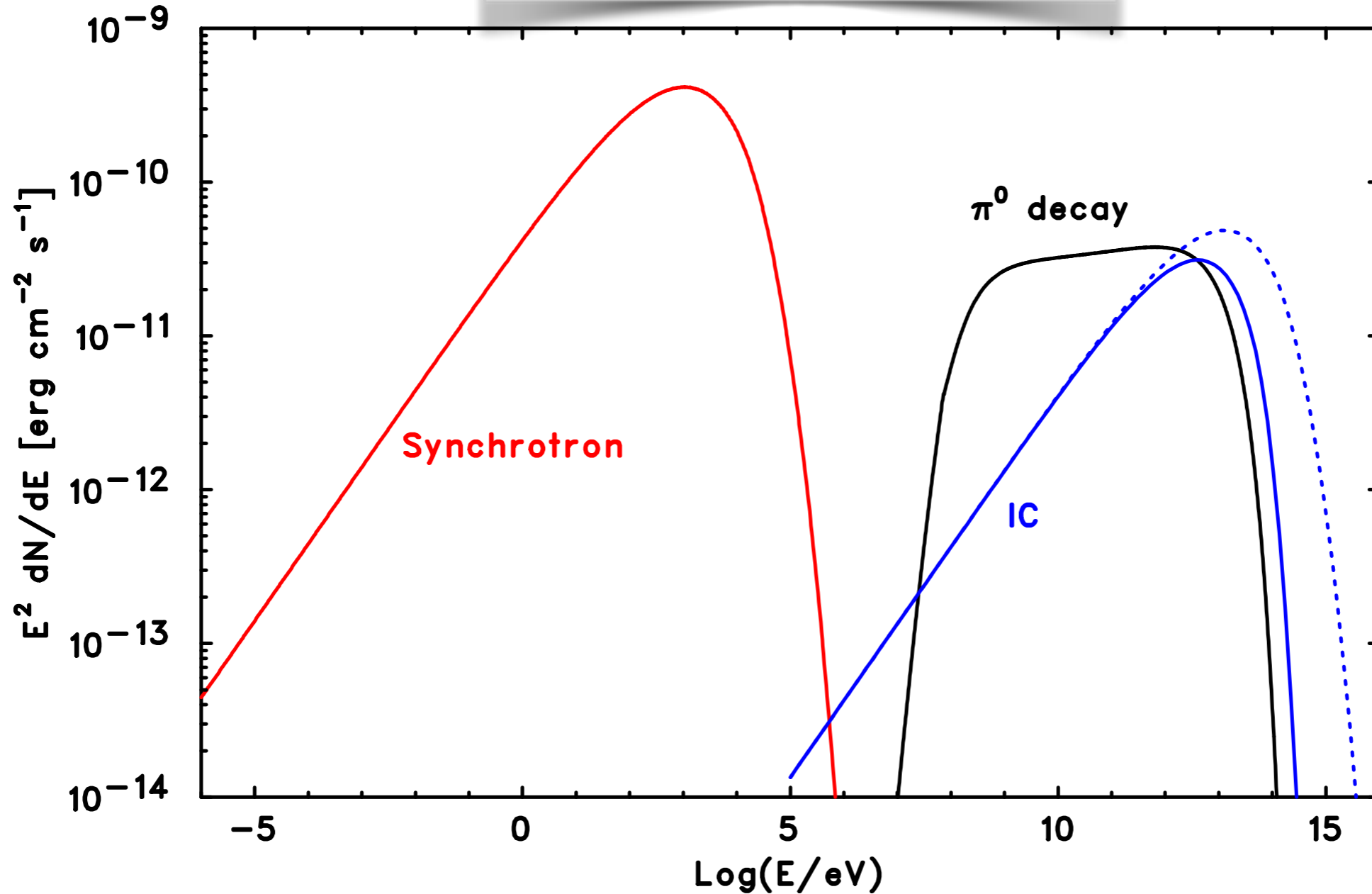
逆コンプトン散乱



- 加速された電子
- 磁場と相互作用：シンクロトロン放射
 - 光子（CMB など）と相互作用：逆コンプトン散乱

ガンマ線の放射機構

中性パイ中間子の崩壊



加速された陽子が周囲のガスと相互作用

生成した中性パイ中間子が崩壊 (寿命 = 8.4×10^{-17} s)

加速された陽子成分からのプローブする数少ないチャンネルのひとつ

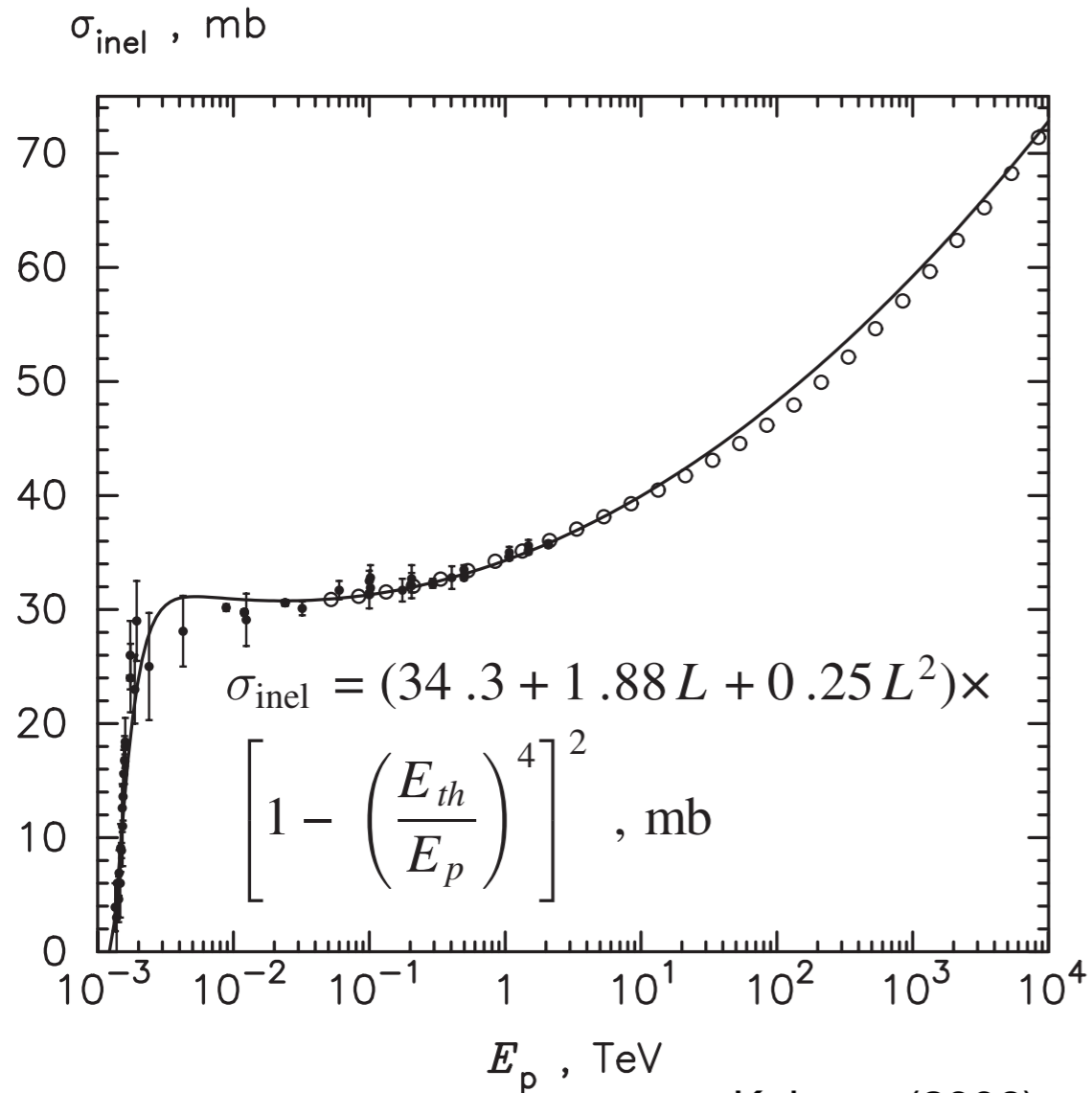
中性パイ中間子崩壊

中性パイ中間子の生成

放射スペクトル

陽子のエネルギーが $E_p > 1.22$ GeV
のとき中性パイ中間子が生成

$$E_\pi \approx 0.17 (E_p - m_p c^2)$$



Kelner+ (2006)

$dn_\gamma/d\varepsilon$

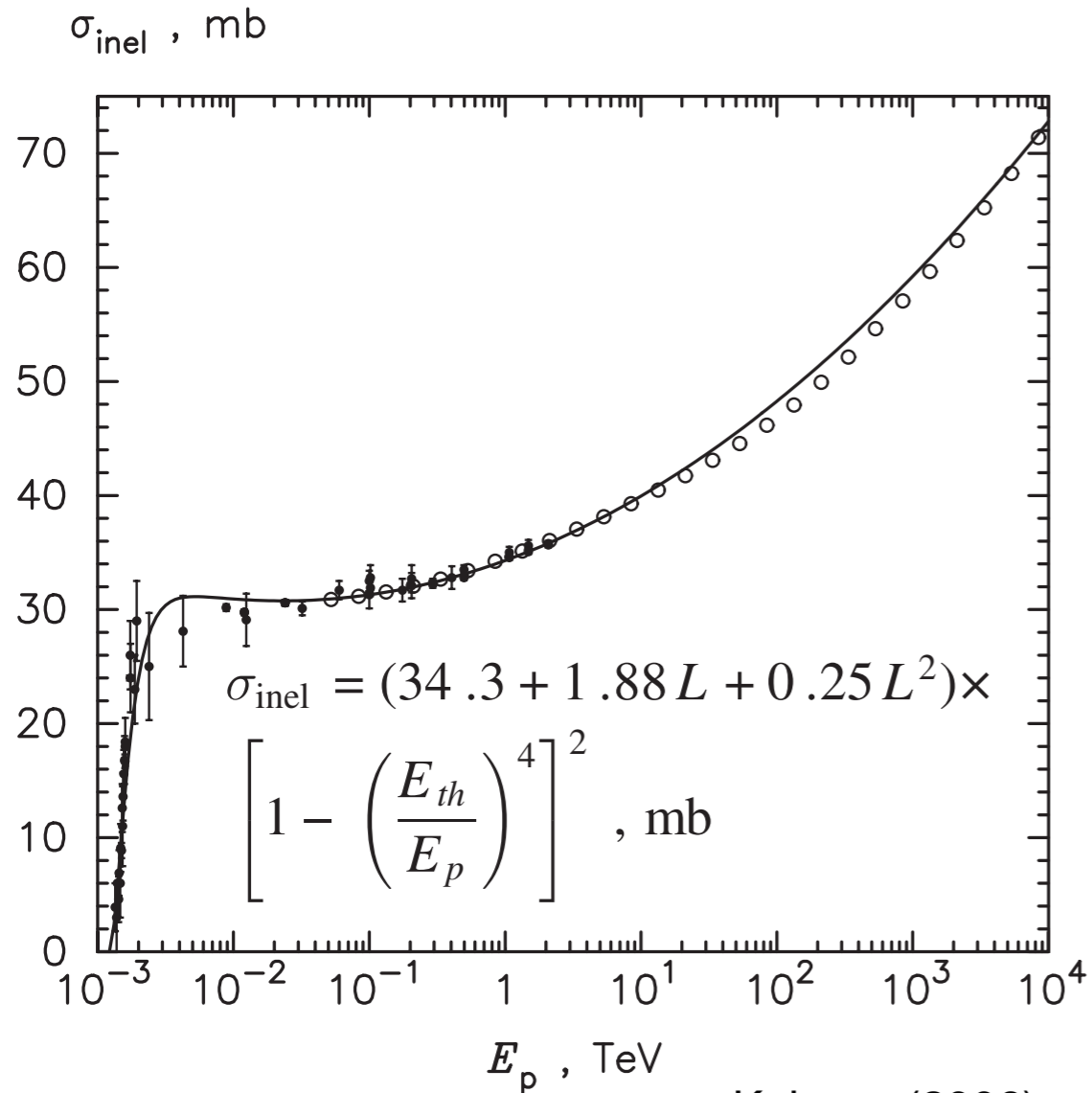
$\log(\varepsilon)$

中性パイ中間子崩壊

中性パイ中間子の生成

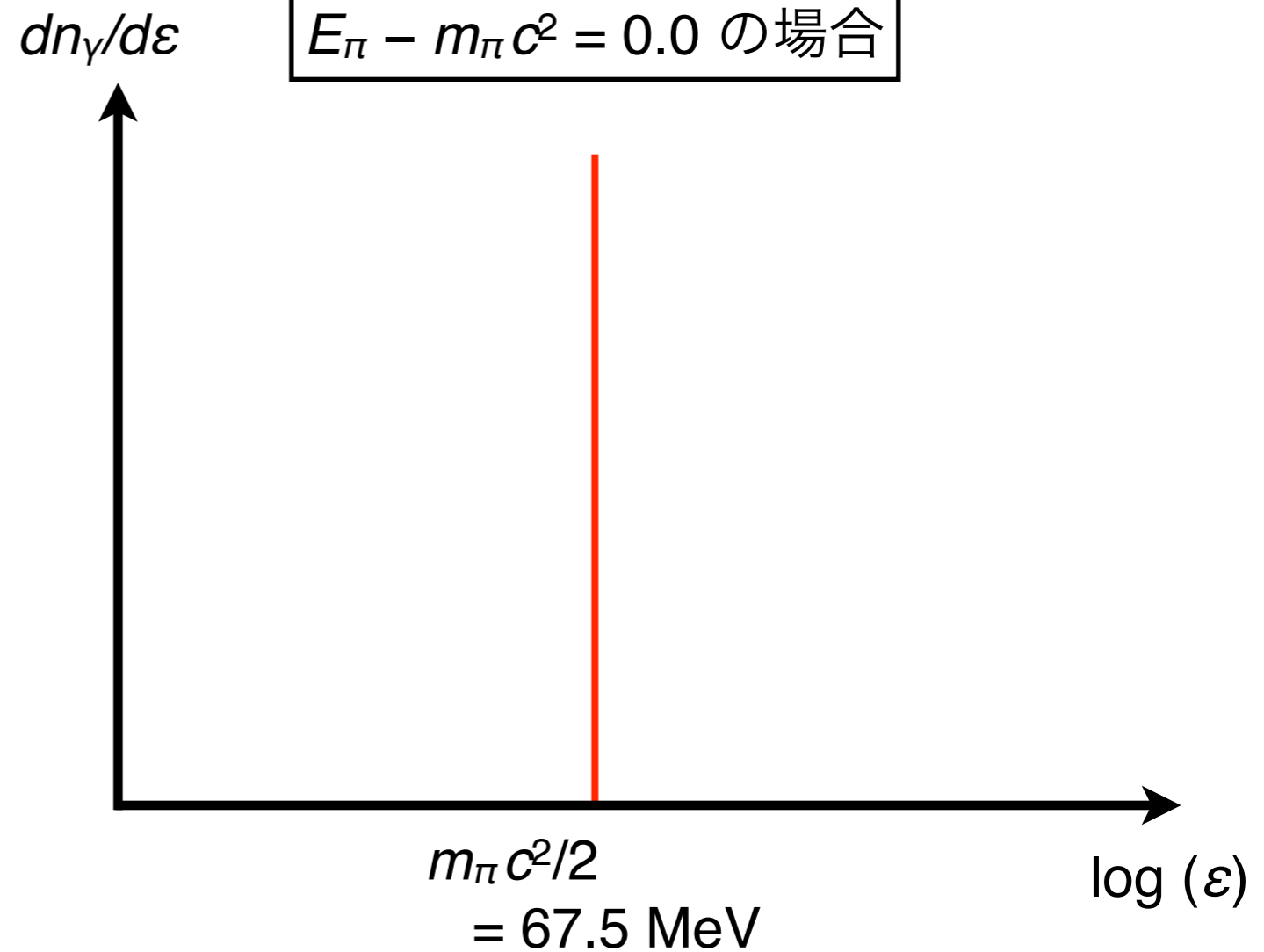
陽子のエネルギーが $E_p > 1.22 \text{ GeV}$
のとき中性パイ中間子が生成

$$E_\pi \approx 0.17 (E_p - m_p c^2)$$



放射スペクトル

$E_\pi - m_\pi c^2 = 0.0$ の場合

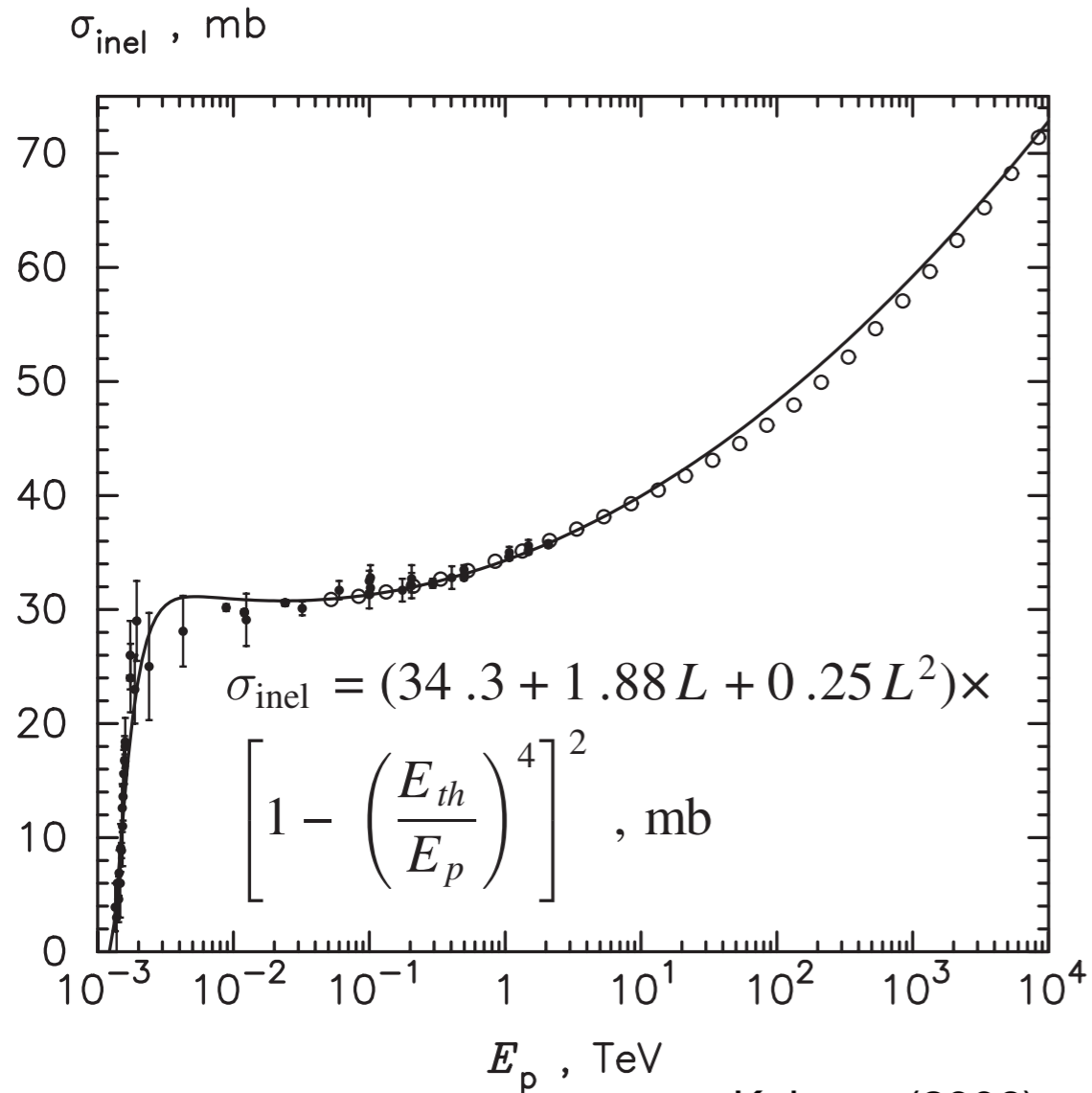


中性パイ中間子崩壊

中性パイ中間子の生成

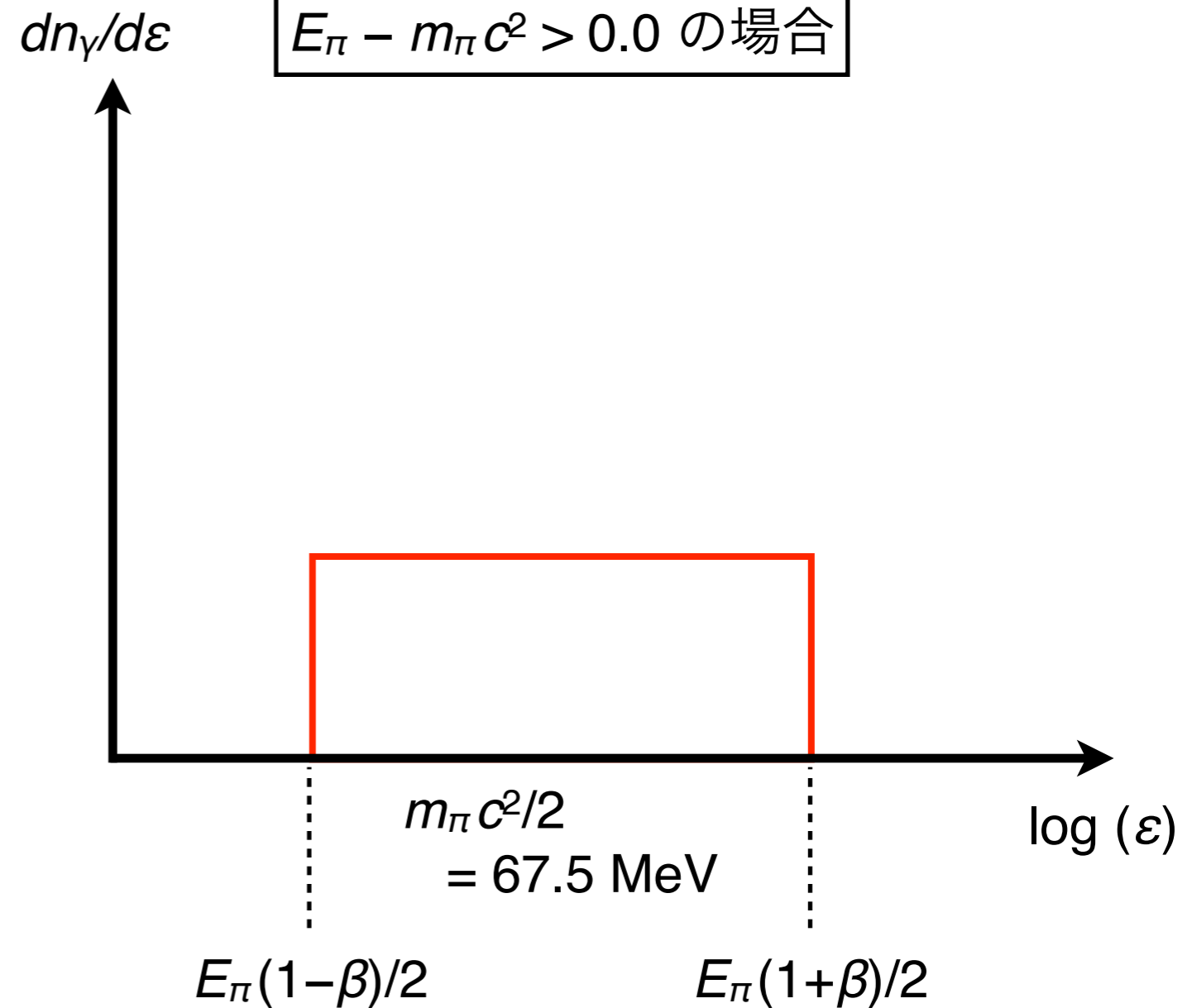
陽子のエネルギーが $E_p > 1.22 \text{ GeV}$
のとき中性パイ中間子が生成

$$E_\pi \approx 0.17 (E_p - m_p c^2)$$



放射スペクトル

$E_\pi - m_\pi c^2 > 0.0$ の場合



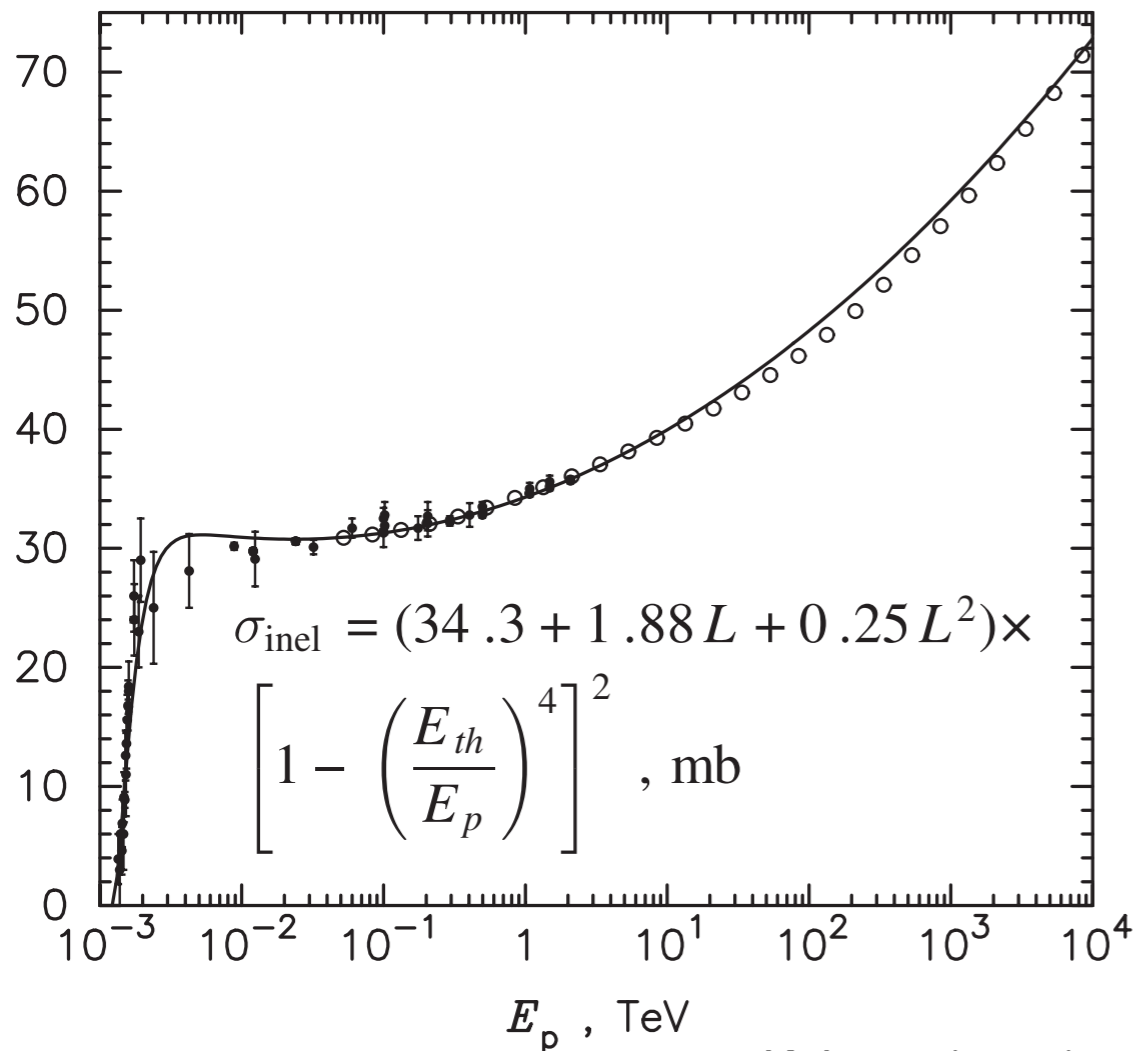
中性パイ中間子崩壊

中性パイ中間子の生成

陽子のエネルギーが $E_p > 1.22 \text{ GeV}$
 のとき中性パイ中間子が生成

$$E_\pi \approx 0.17 (E_p - m_p c^2)$$

σ_{inel} , mb

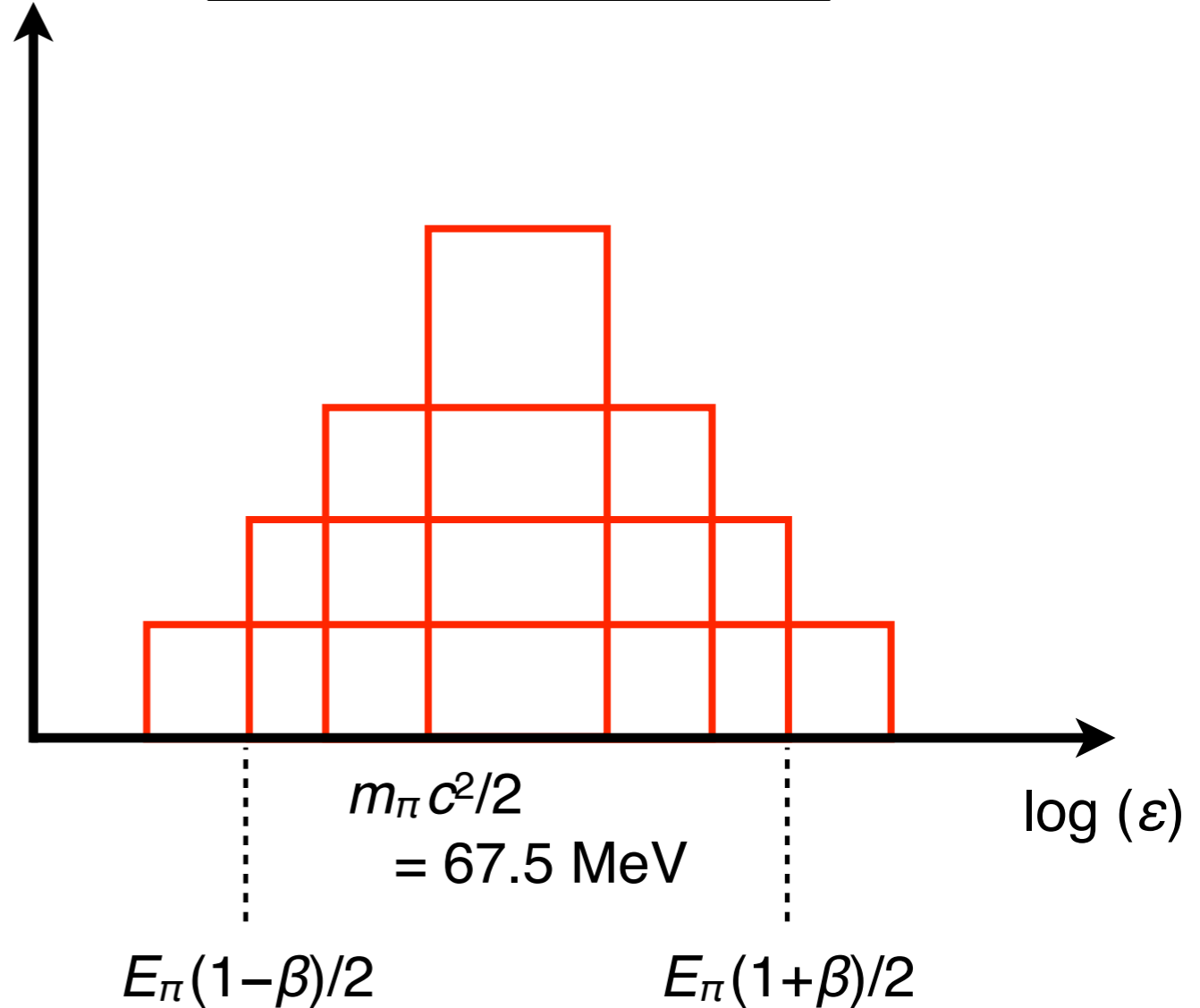


Kelner+ (2006)

放射スペクトル

$E_\pi - m_\pi c^2 > 0.0$ の場合

$dn_\gamma/d\varepsilon$



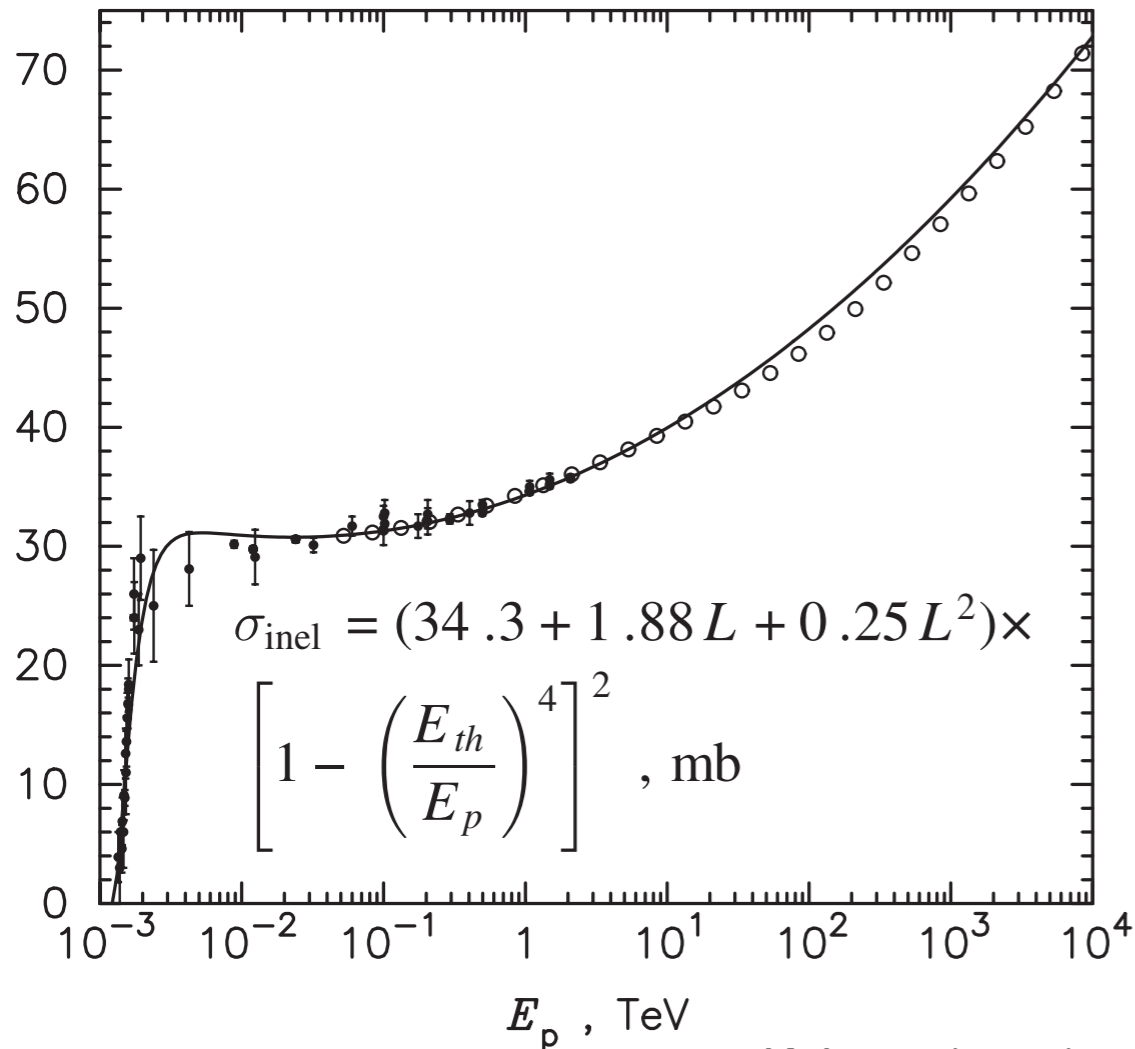
中性パイ中間子崩壊

中性パイ中間子の生成

陽子のエネルギーが $E_p > 1.22 \text{ GeV}$
 のとき中性パイ中間子が生成

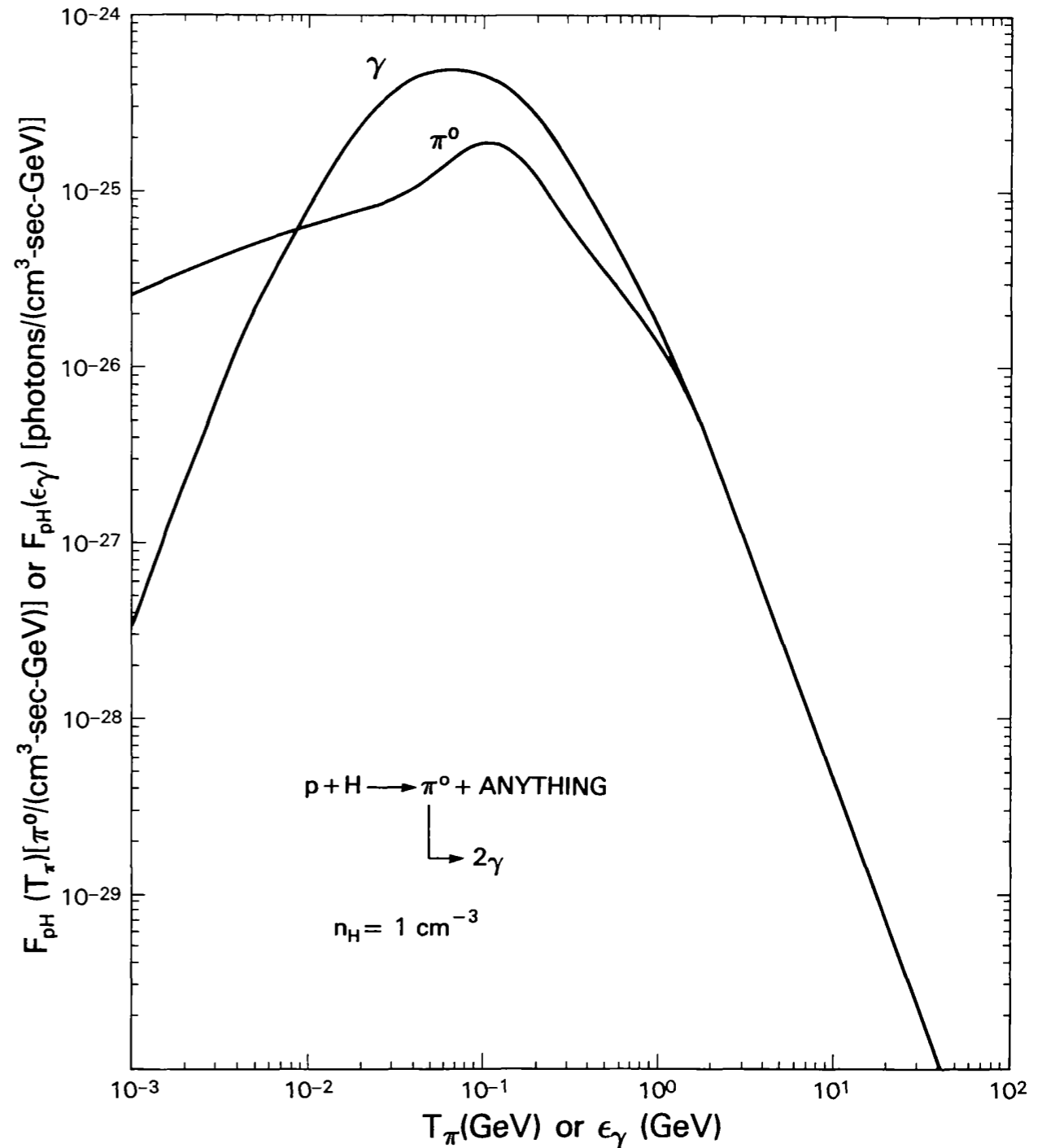
$$E_\pi \approx 0.17 (E_p - m_p c^2)$$

σ_{inel} , mb



Kelner+ (2006)

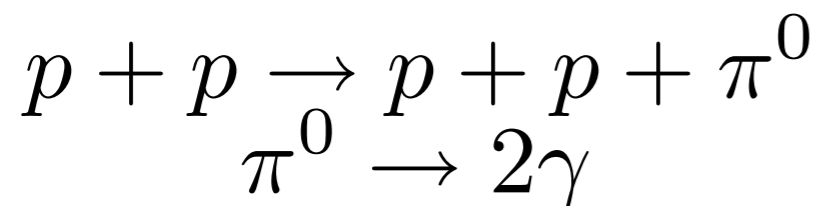
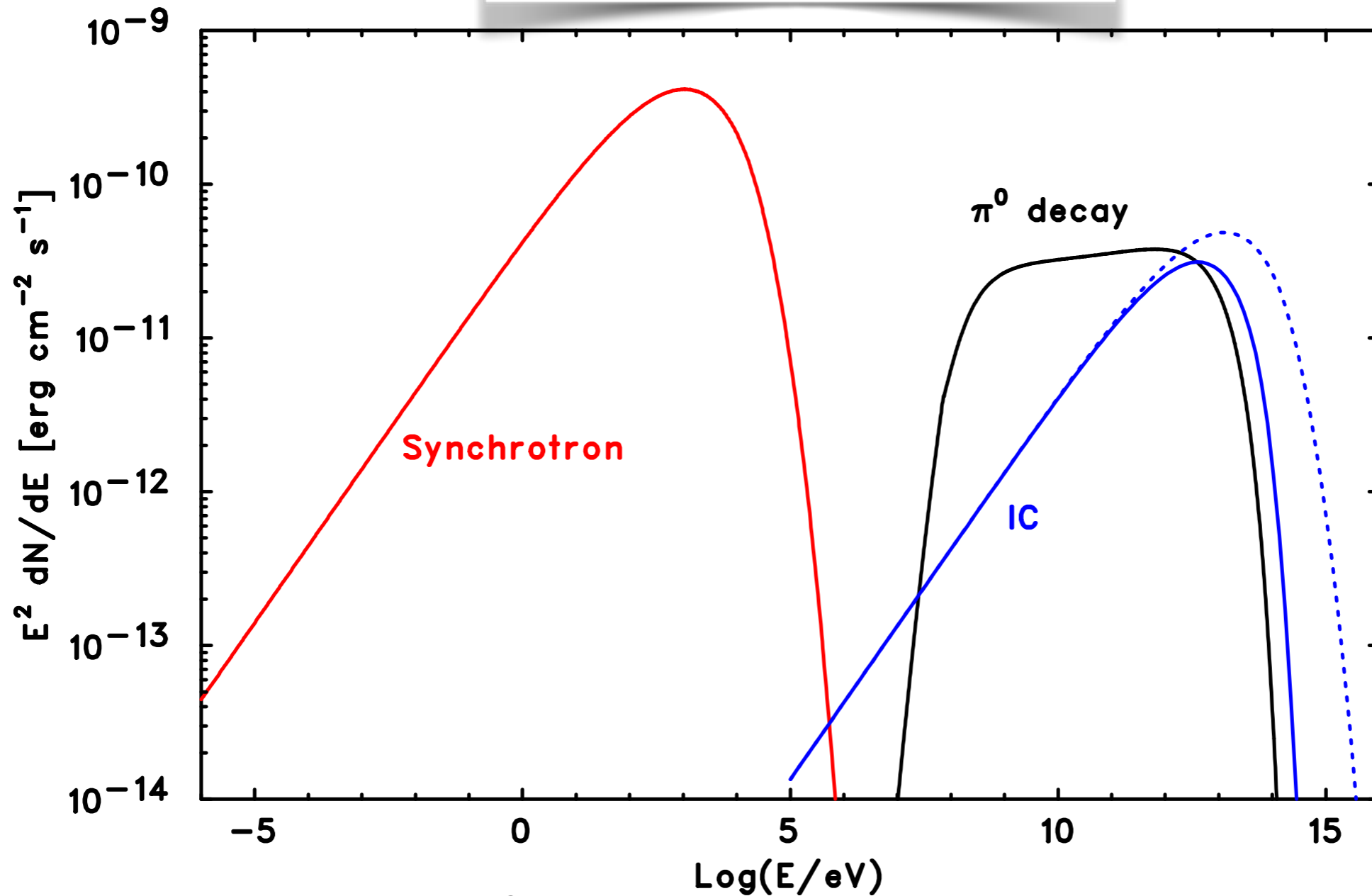
放射スペクトル



Dermer+ (1986)

ガンマ線の放射機構

中性パイ中間子の崩壊

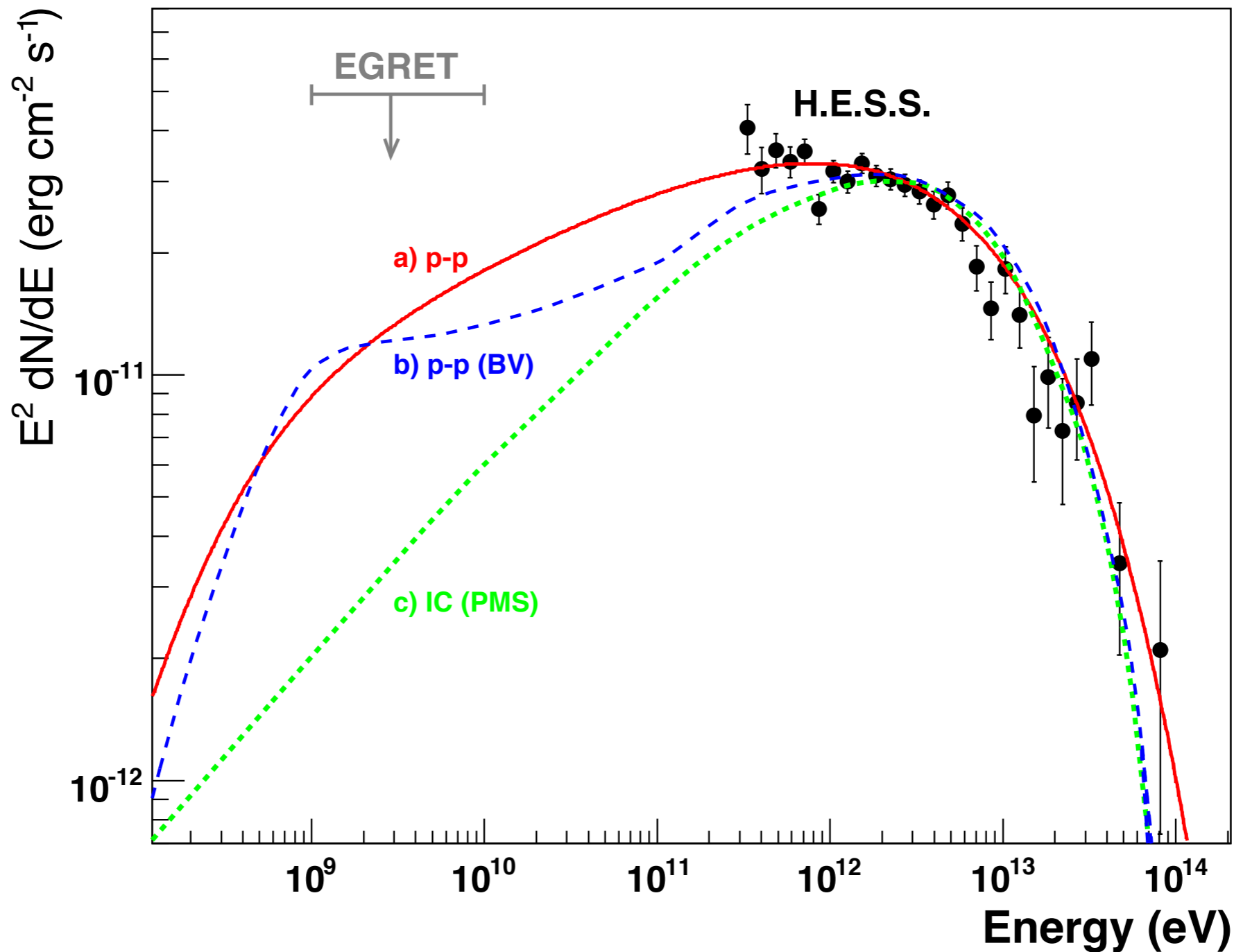


加速された陽子が周囲のガスと相互作用

生成した中性パイ中間子が崩壊 (寿命 = 8.4×10^{-17} s)

加速された陽子成分からのプローブする数少ないチャンネルのひとつ

RX J1713.7-3946 の例



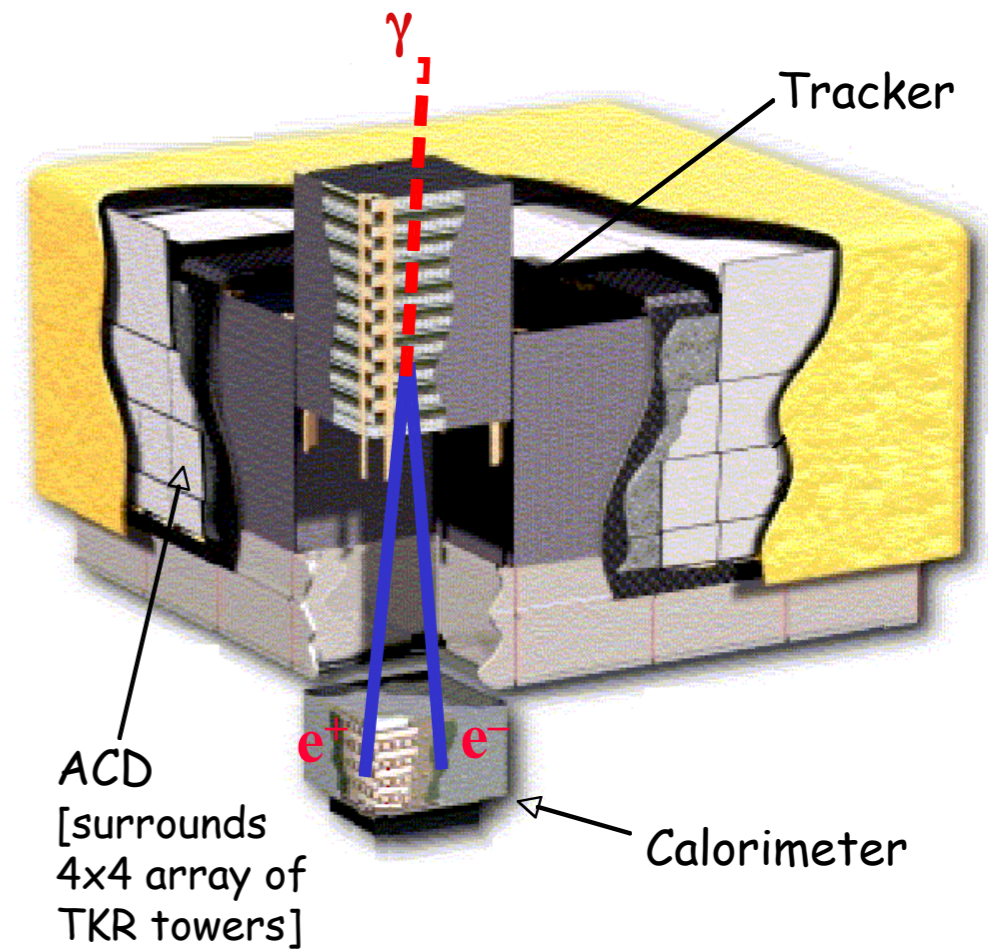
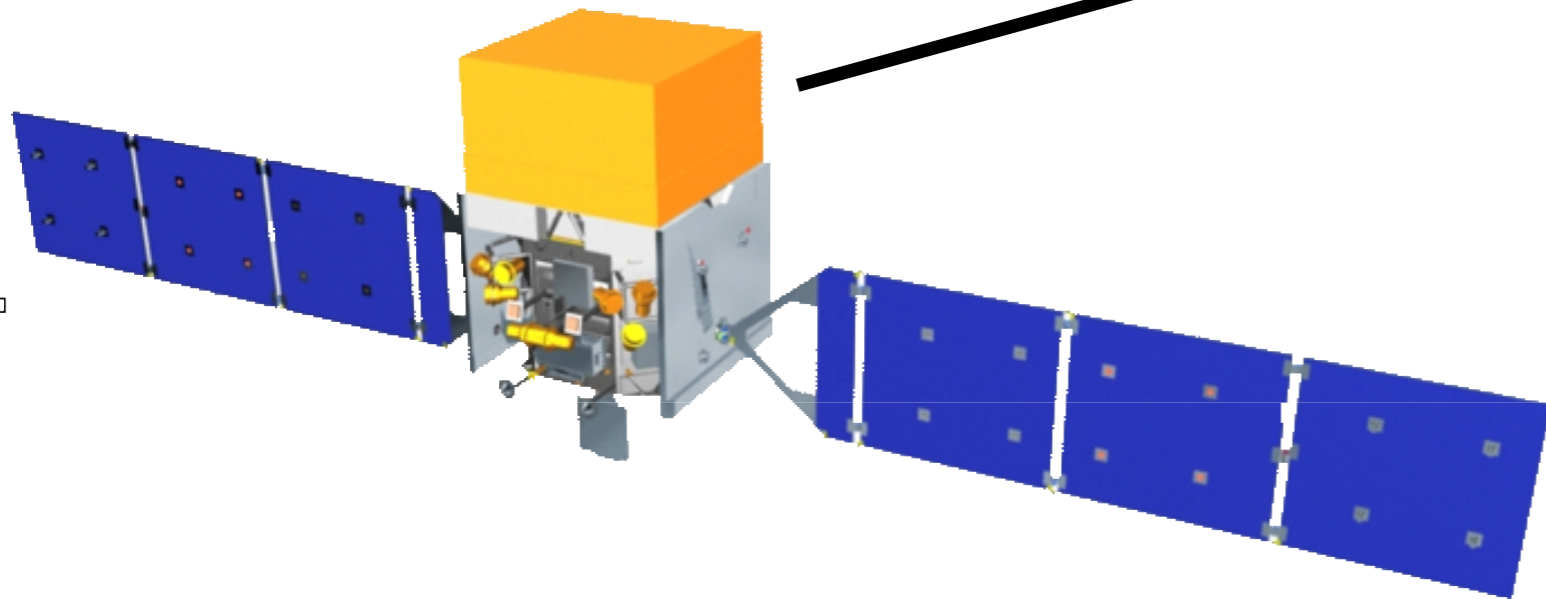
Hinton (2009)

TeV ガンマ線の観測だけでは2つのシナリオの区別は難しい
→ より低エネルギーのガンマ線の観測が重要

Fermi 衛星 LAT 検出器

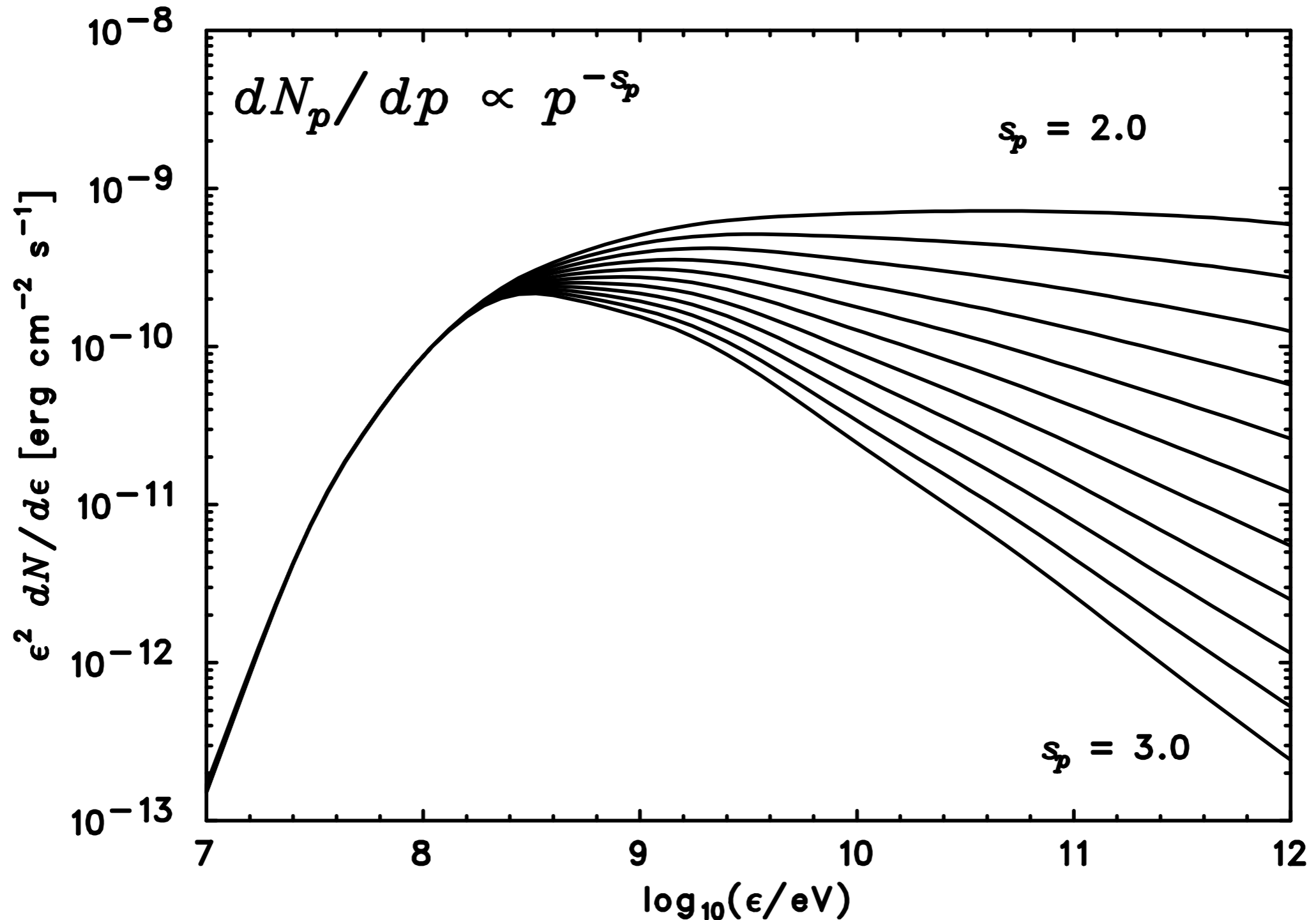


Pair-production telescope launched in June, 2008
Energy Range: from 20 MeV to > 300 GeV
Angular Resolution: $< 1^\circ$ (68% containment at 1 GeV)
Effective Area: 8000 cm^2 (on axis at 1 GeV)
Field of View: 2.4 sr (all-sky coverage in ~ 3 hr)



日本も開発初期から大きく貢献

中性パイ中間子崩壊スペクトル

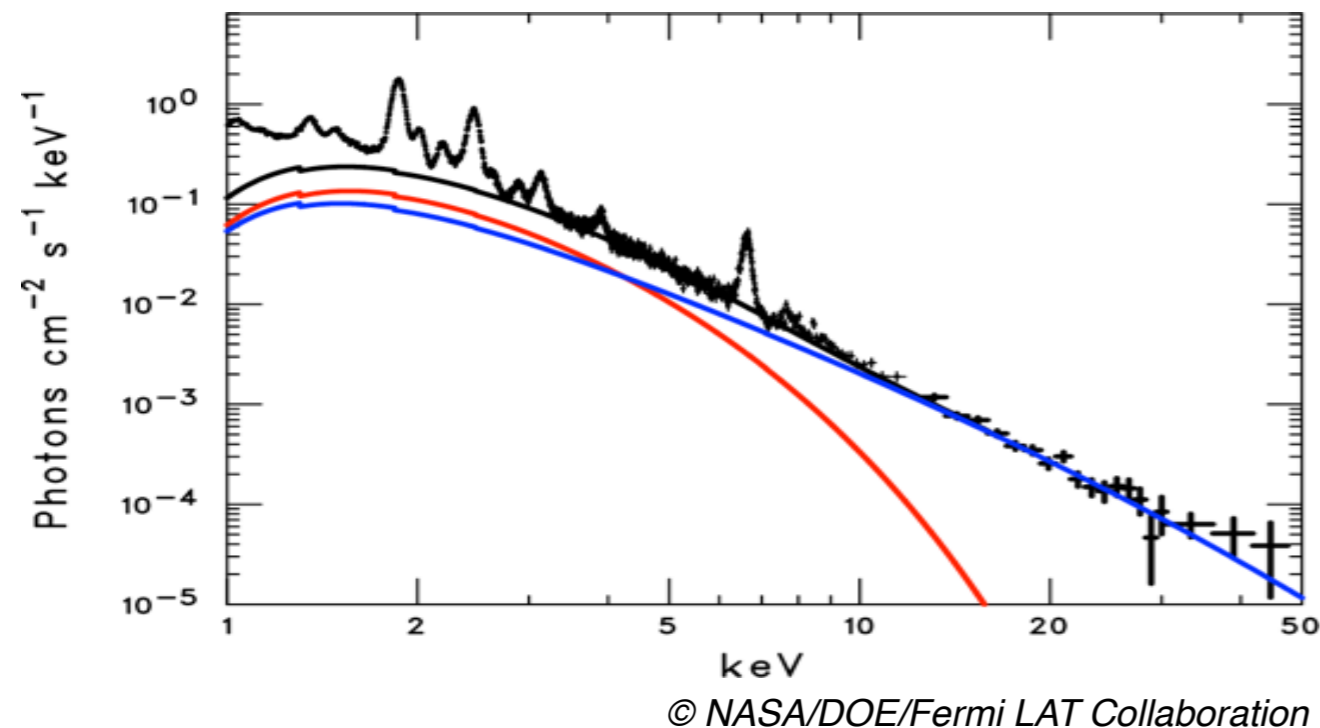


~ 100 MeV 以下に特徴的なスペクトル構造

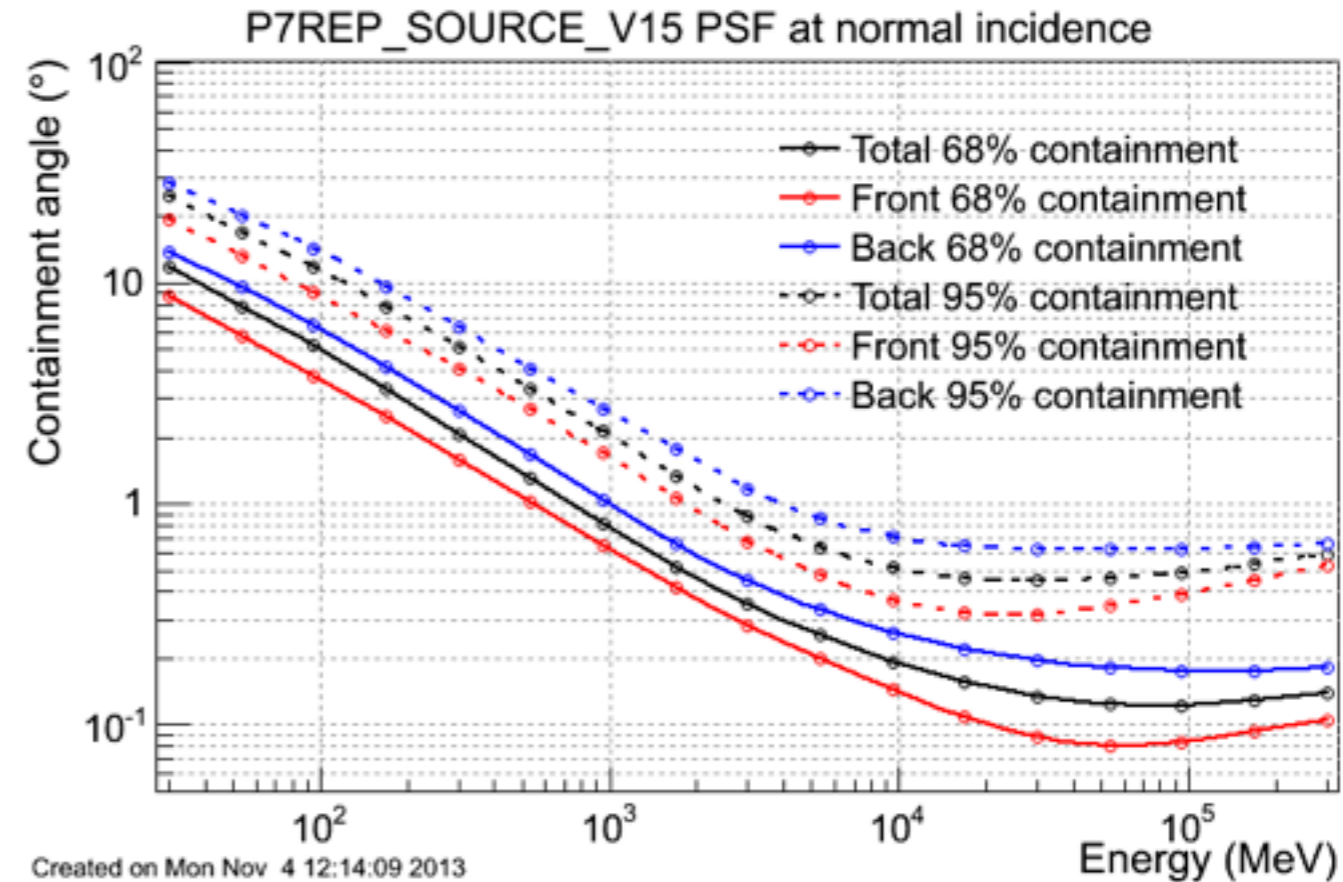
この検出を目指す

観測・解析の難しさ

Fermi LAT による全天マップ



Fermi LAT の角度分解能

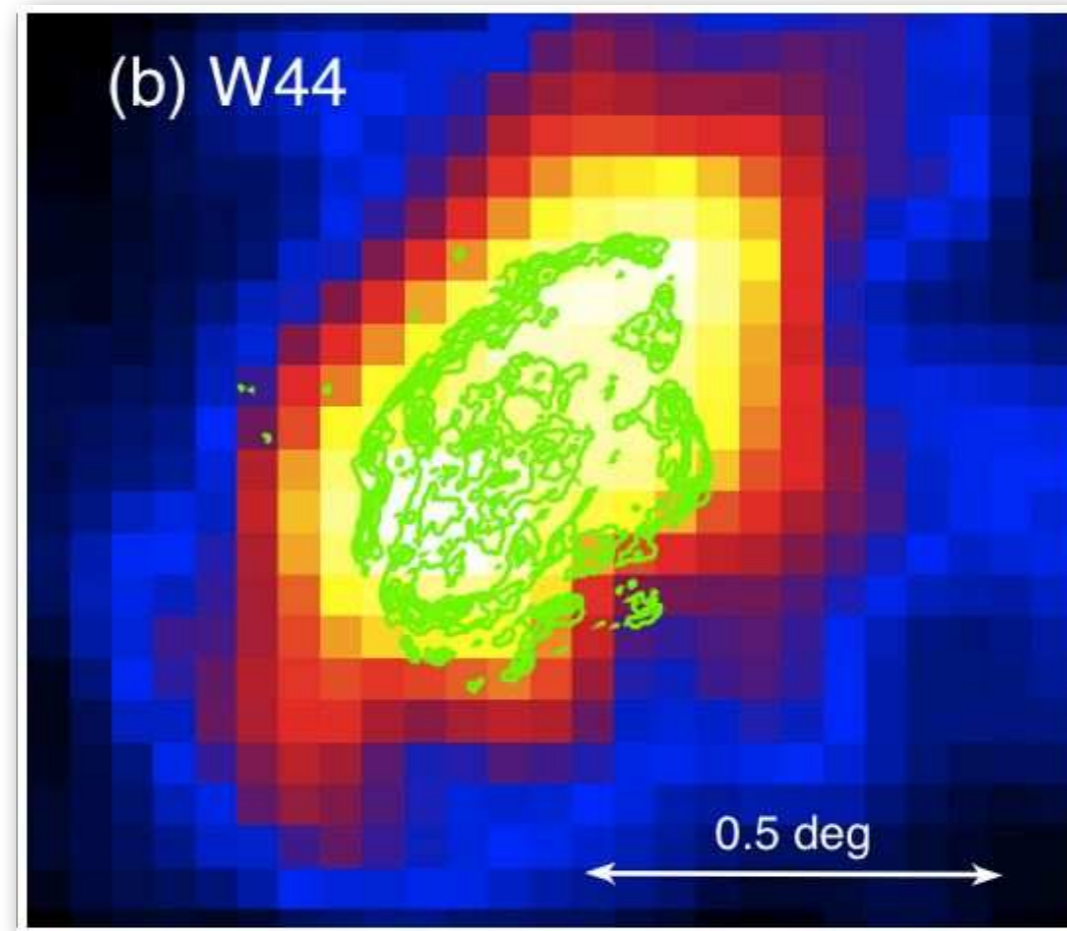
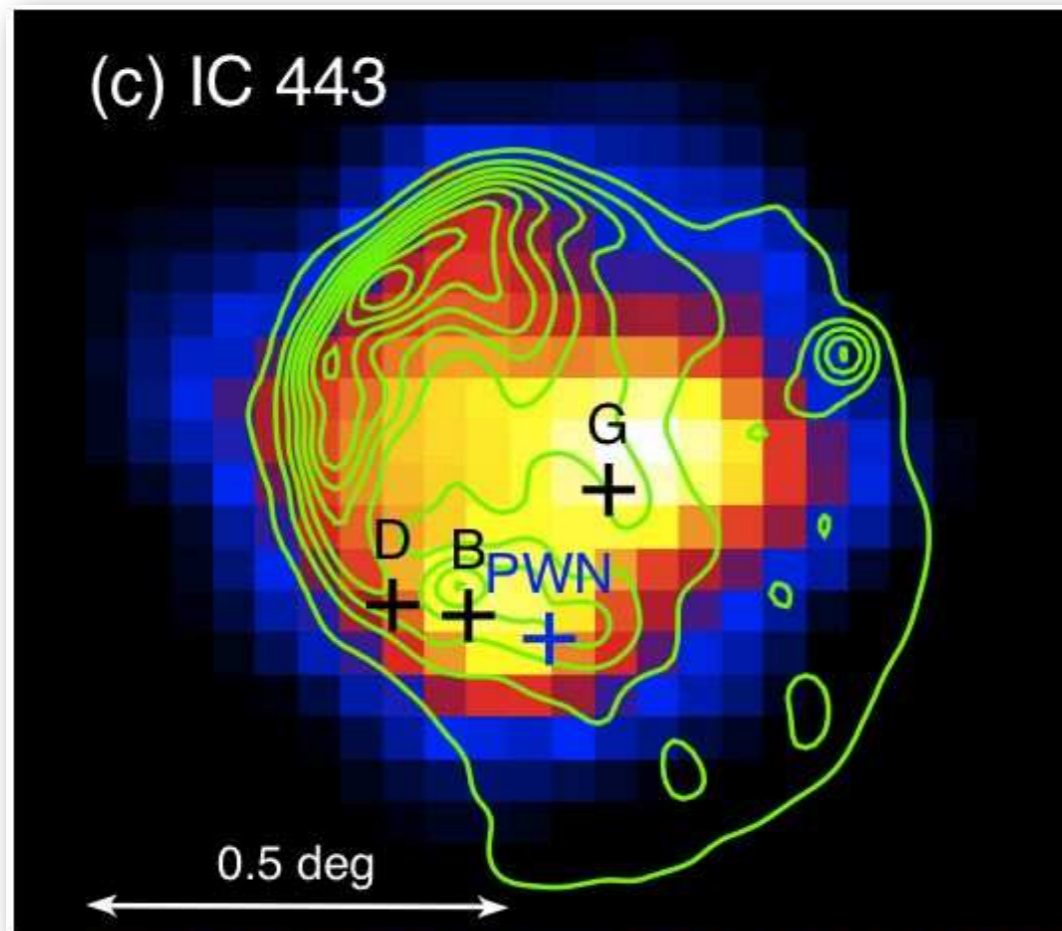


銀河面放射が超新星残骸からの信号にとってバックグラウンドとなる
低エネルギーになるほど角度分解能が悪くなる

IC 443 & W44

GeV 帯域で最も明るい 2 つの超新星残骸に注目

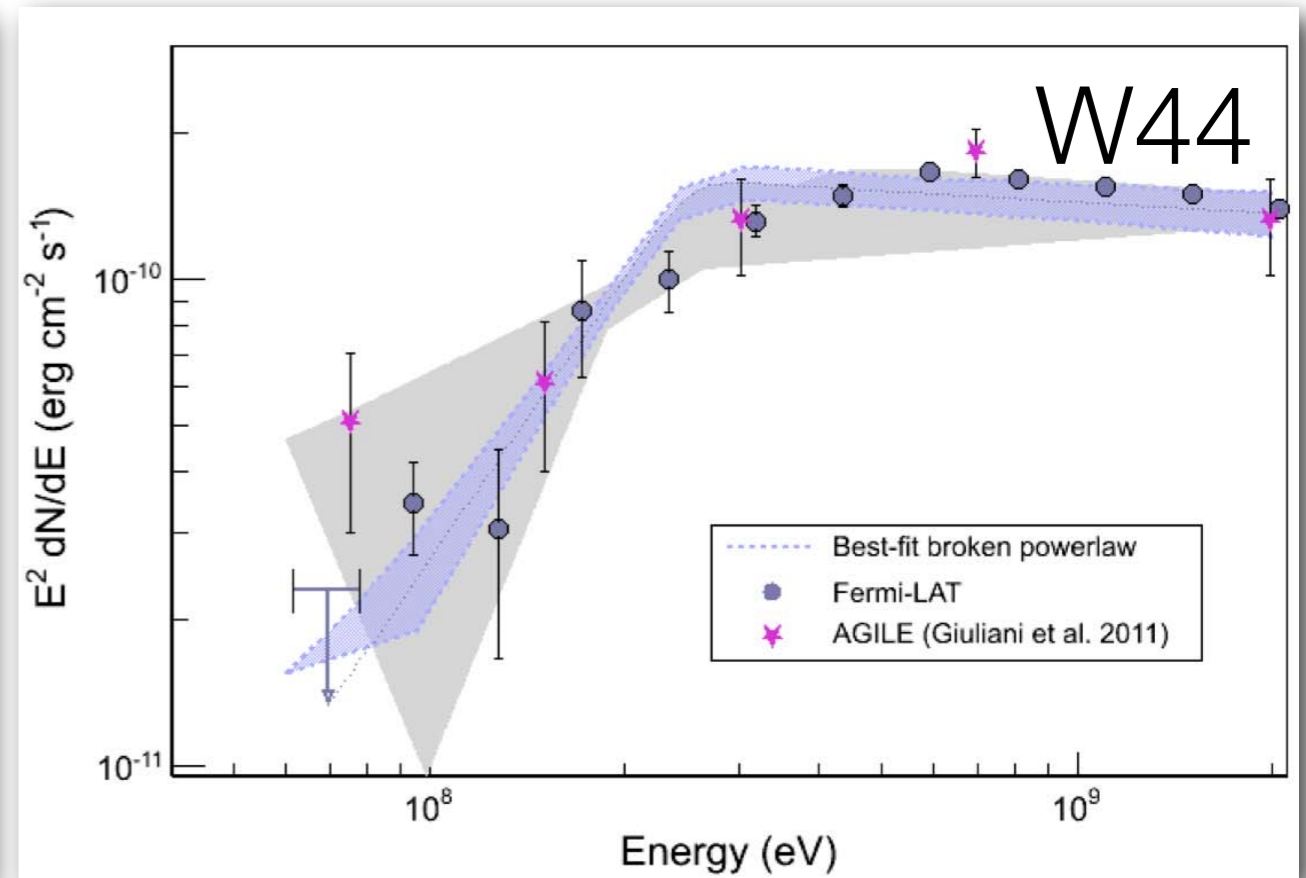
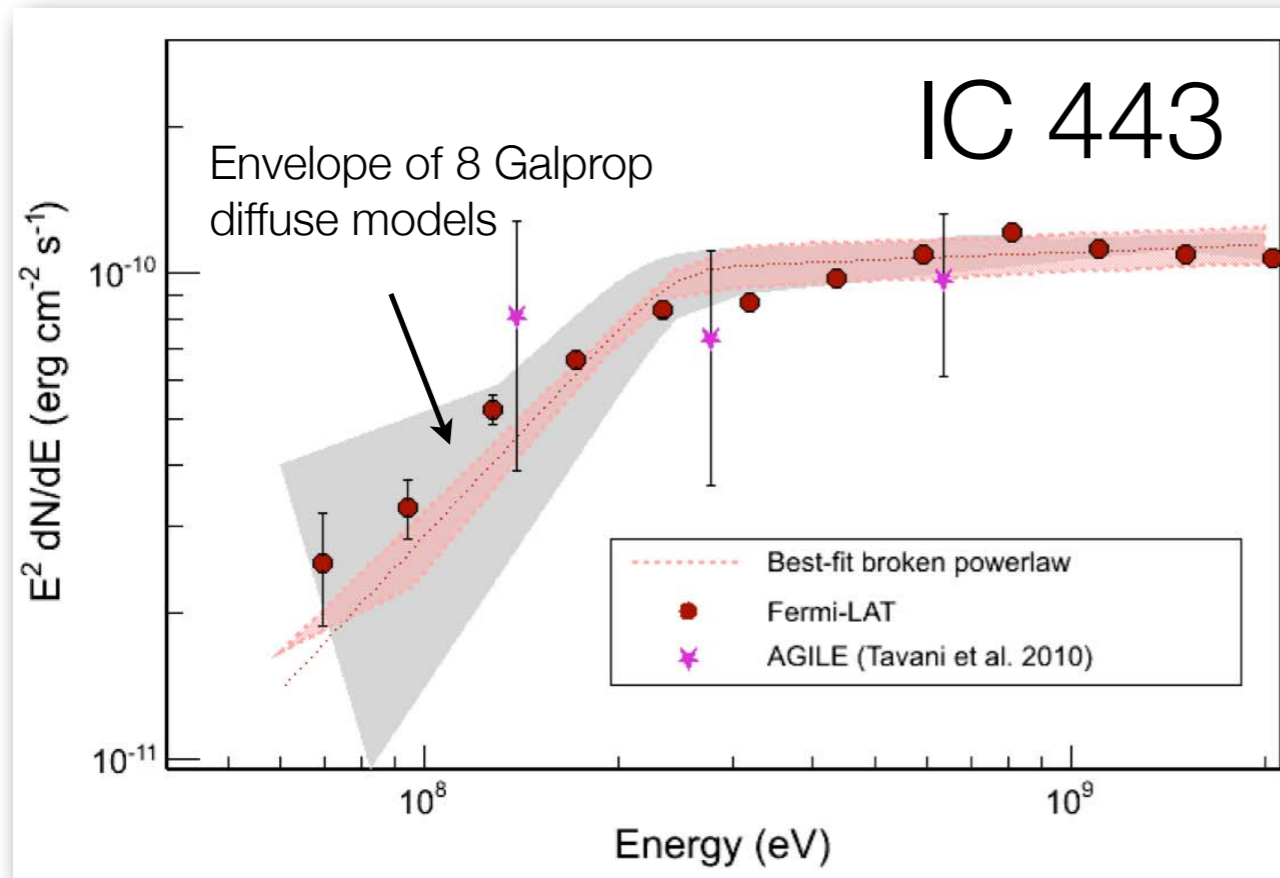
バックグラウンドの不定性に注意しながらスペクトルを導出



Color: Gamma Rays by Fermi LAT
Contours: Radio Continuum by VLA

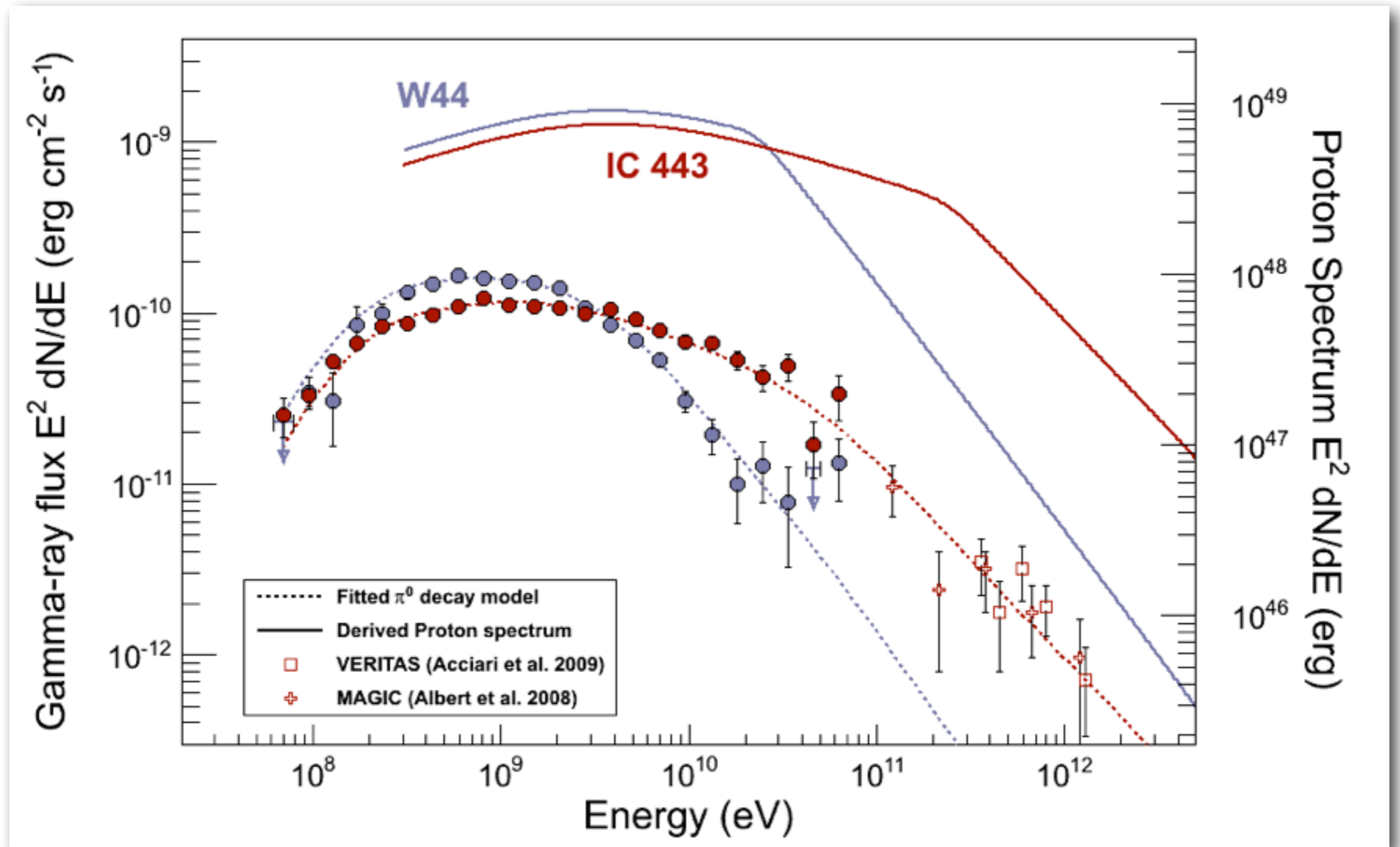
Thompson, Baldini,
& Uchiyama (2010)

Fermi LAT スペクトル



- 低エネルギー側にスペクトル・ブレイクを検出
- グレーの領域はバックグラウンドの不定性による系統誤差

陽子加速の証拠



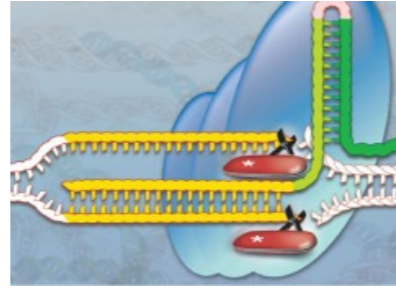
Ackermann+ (including TT as a corresponding author) (2013)

超新星残骸で宇宙線の主成分である陽子が加速されていることを証明

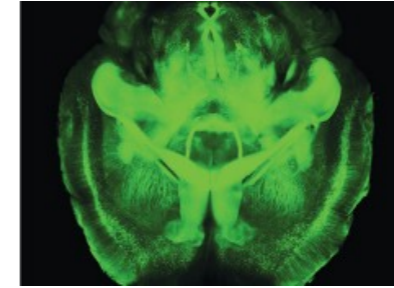
Breakthrough of the Year 2013

Runners Up

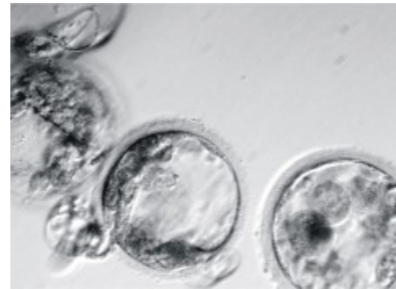
**Genetic
Microsurgery for
the Masses**



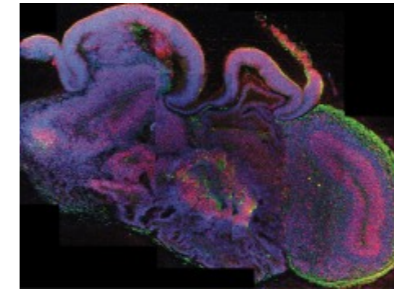
**CLARITY Makes It
Perfectly Clear**



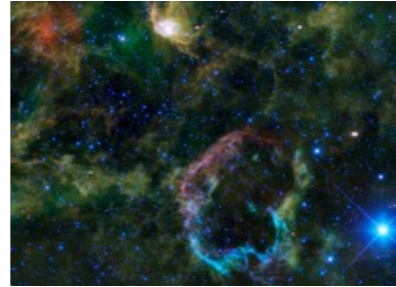
**Human Cloning
at Last**



**Dishing Up Mini-
Organs**



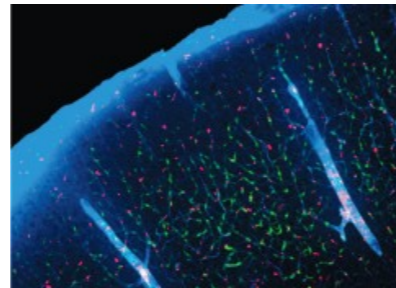
**Cosmic Particle
Accelerators
Identified**



**Newcomer Juices
Up the Race to
Harness Sunlight**



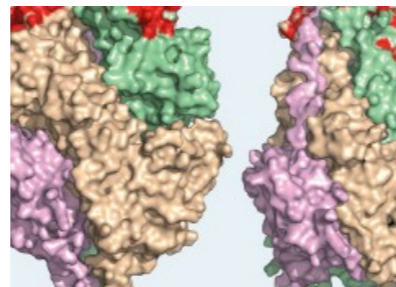
**To Sleep,
Perchance to
Clean**



**Your Microbes,
Your Health**



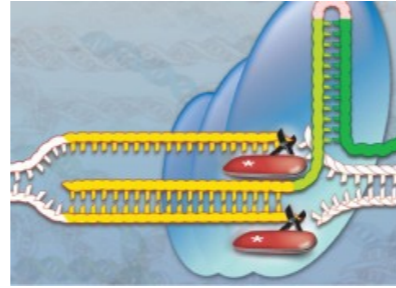
**In Vaccine
Design, Looks Do
Matter**



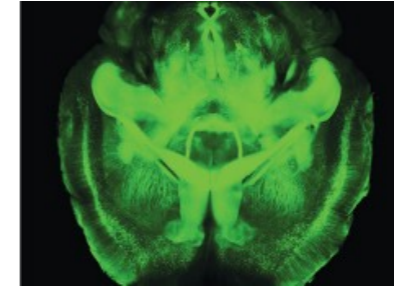
Breakthrough of the Year 2013

Runners Up

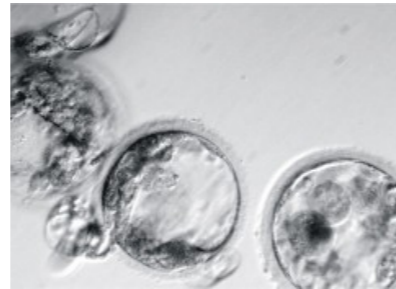
**Genetic
Microsurgery for
the Masses**



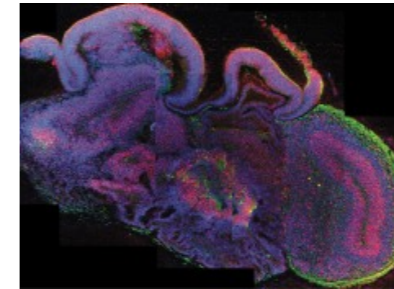
**CLARITY Makes It
Perfectly Clear**



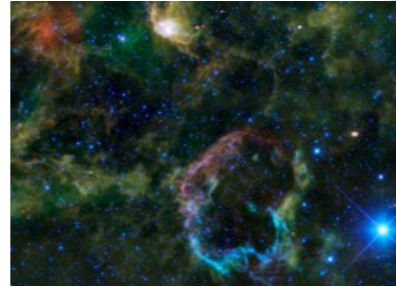
**Human Cloning
at Last**



**Dishing Up Mini-
Organs**



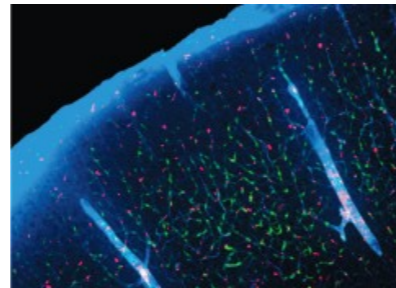
**Cosmic Particle
Accelerators
Identified**



**Newcomer Juices
Up the Race to
Harness Sunlight**



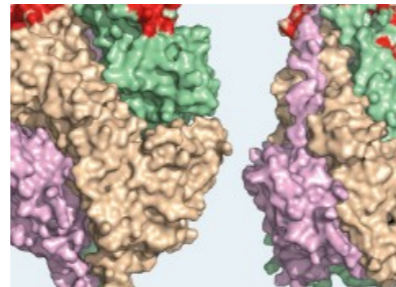
**To Sleep,
Perchance to
Clean**



**Your Microbes,
Your Health**



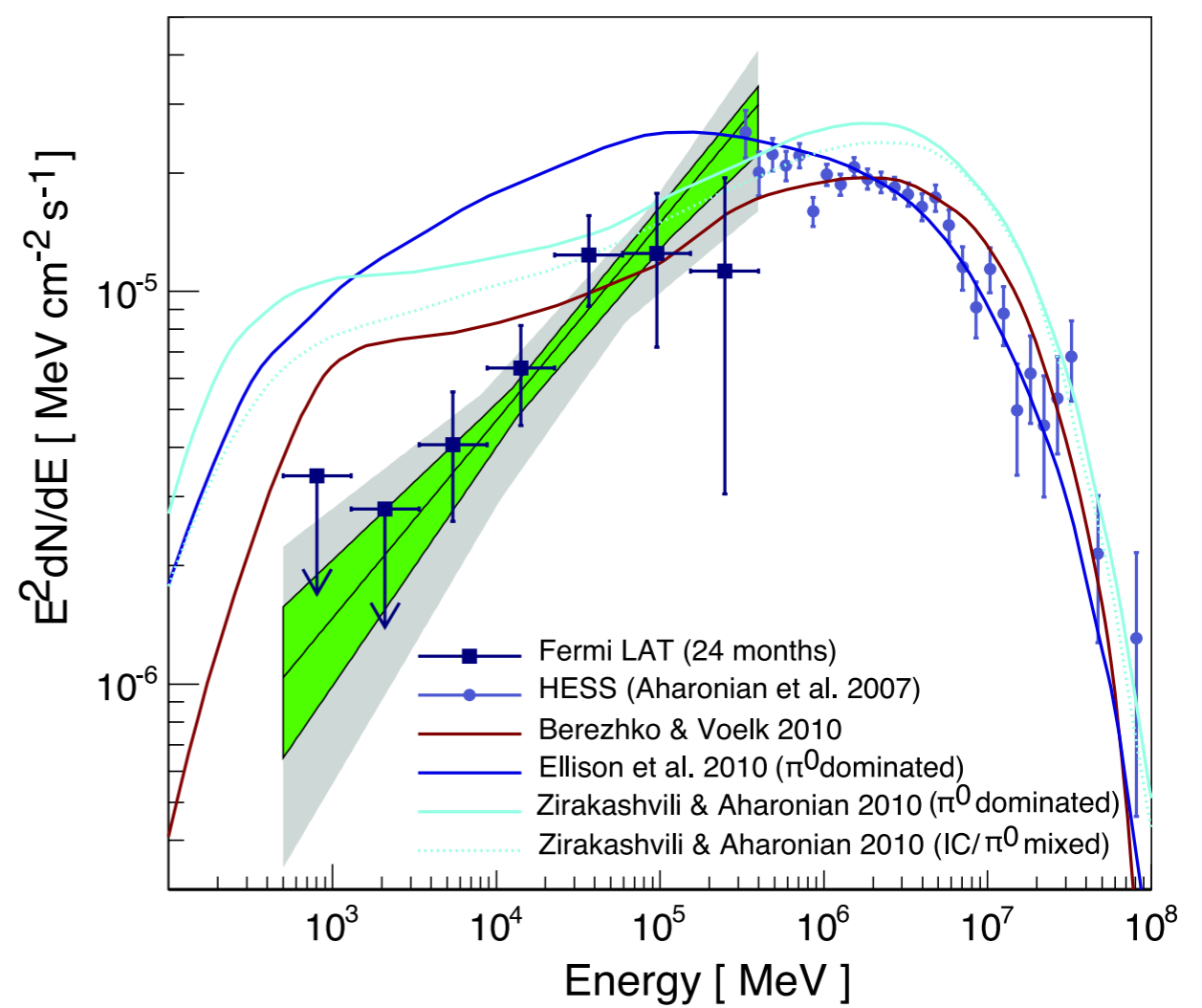
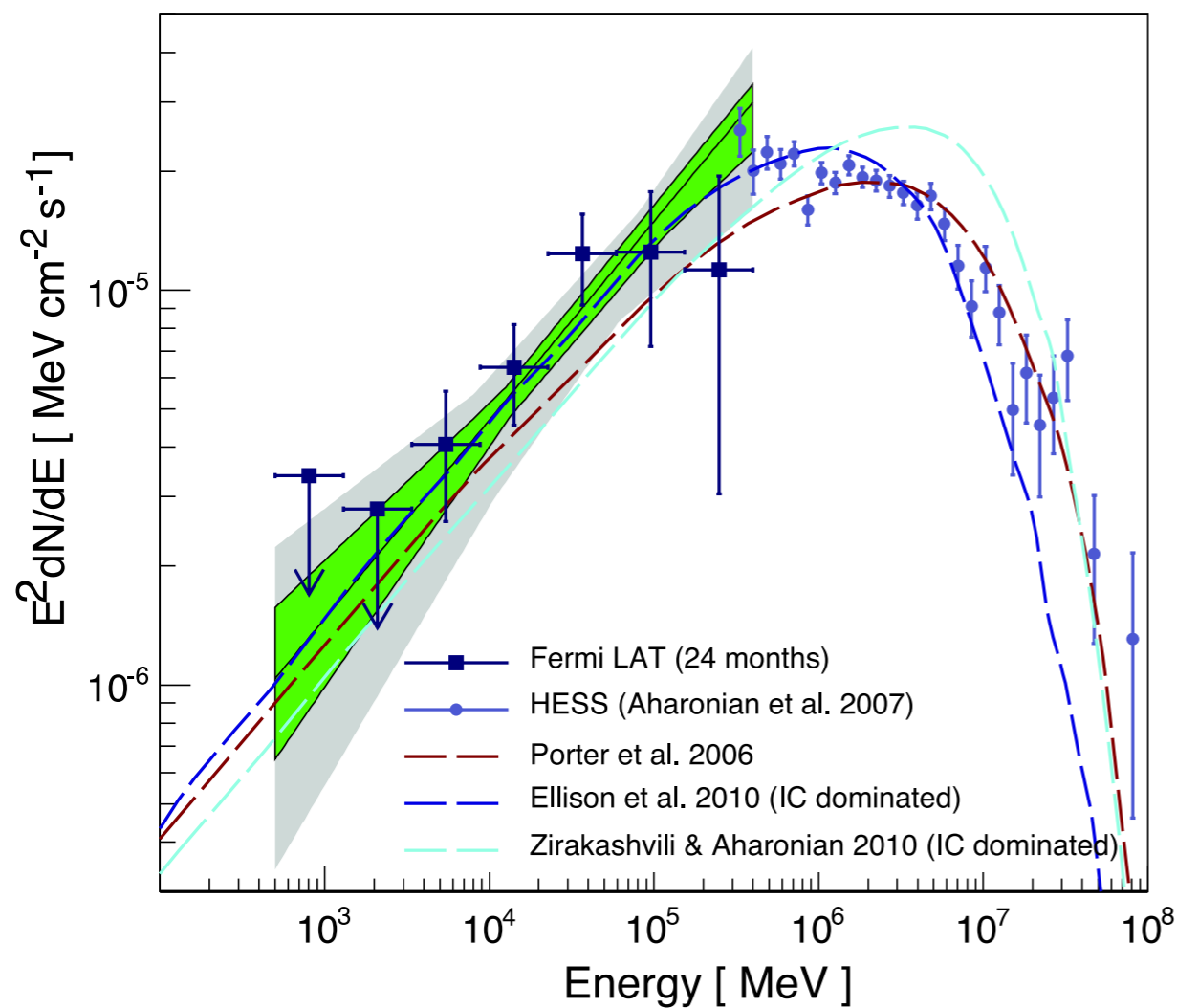
**In Vaccine
Design, Looks Do
Matter**



RX J1713.7-3946 は？

Fermi LAT のスペクトル

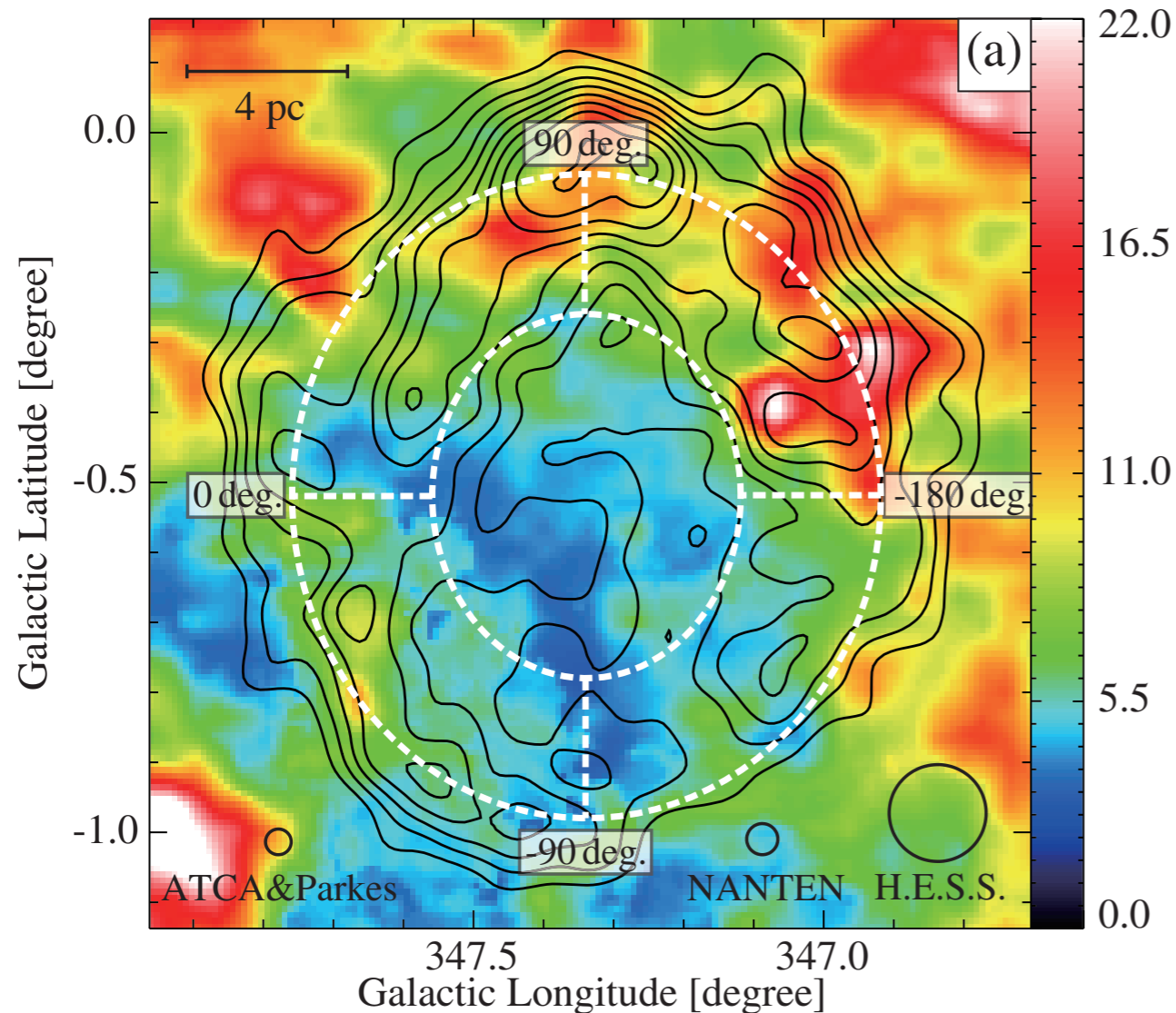
$$\Gamma = 1.5 \pm 0.1 \text{ (stat)} \pm 0.1 \text{ (sys)}$$



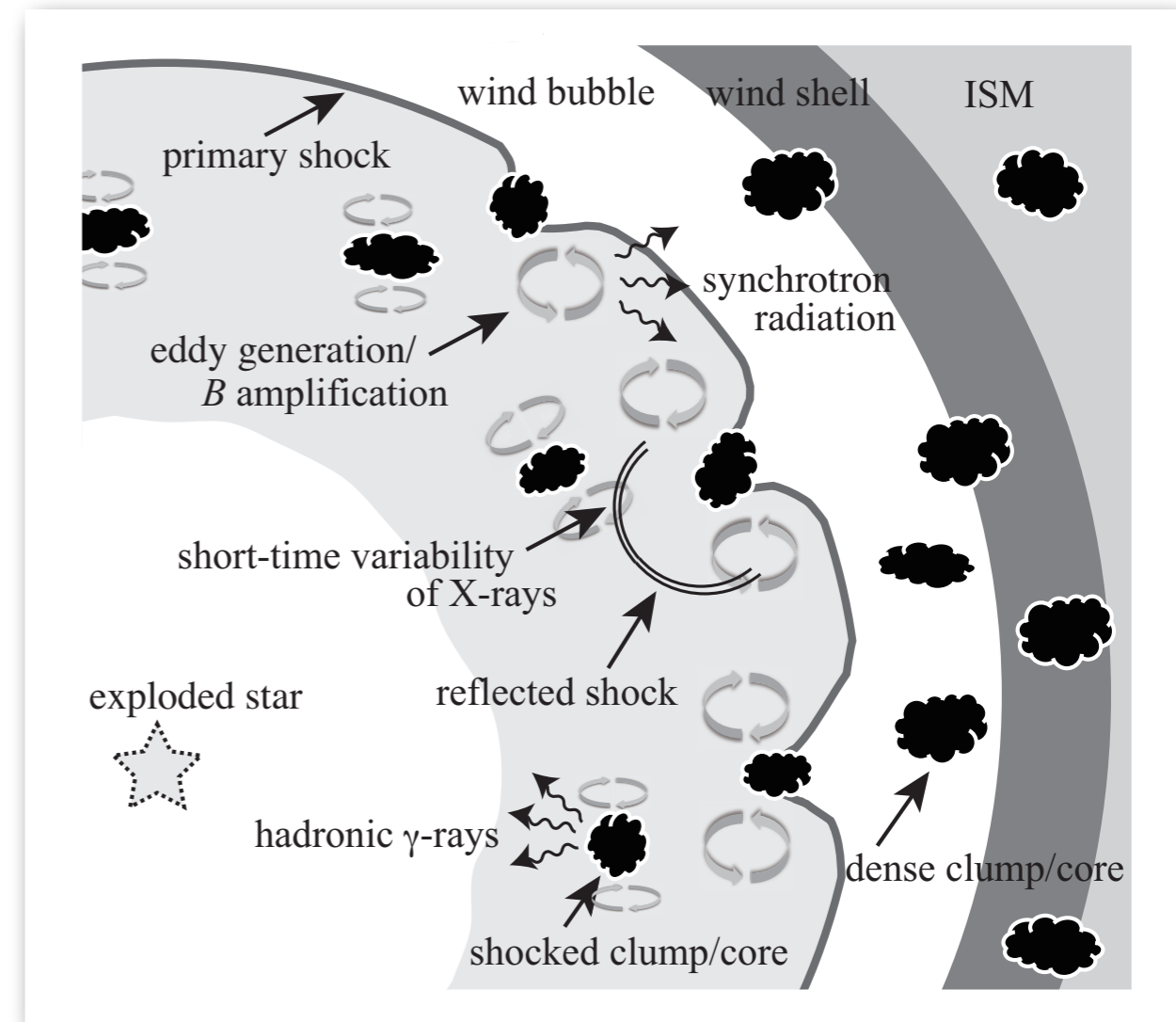
Abdo+ (2011)

ガンマ線放射機構は逆コンプトン散乱か

星間ガスとの相互作用



Fukui+ (2012)



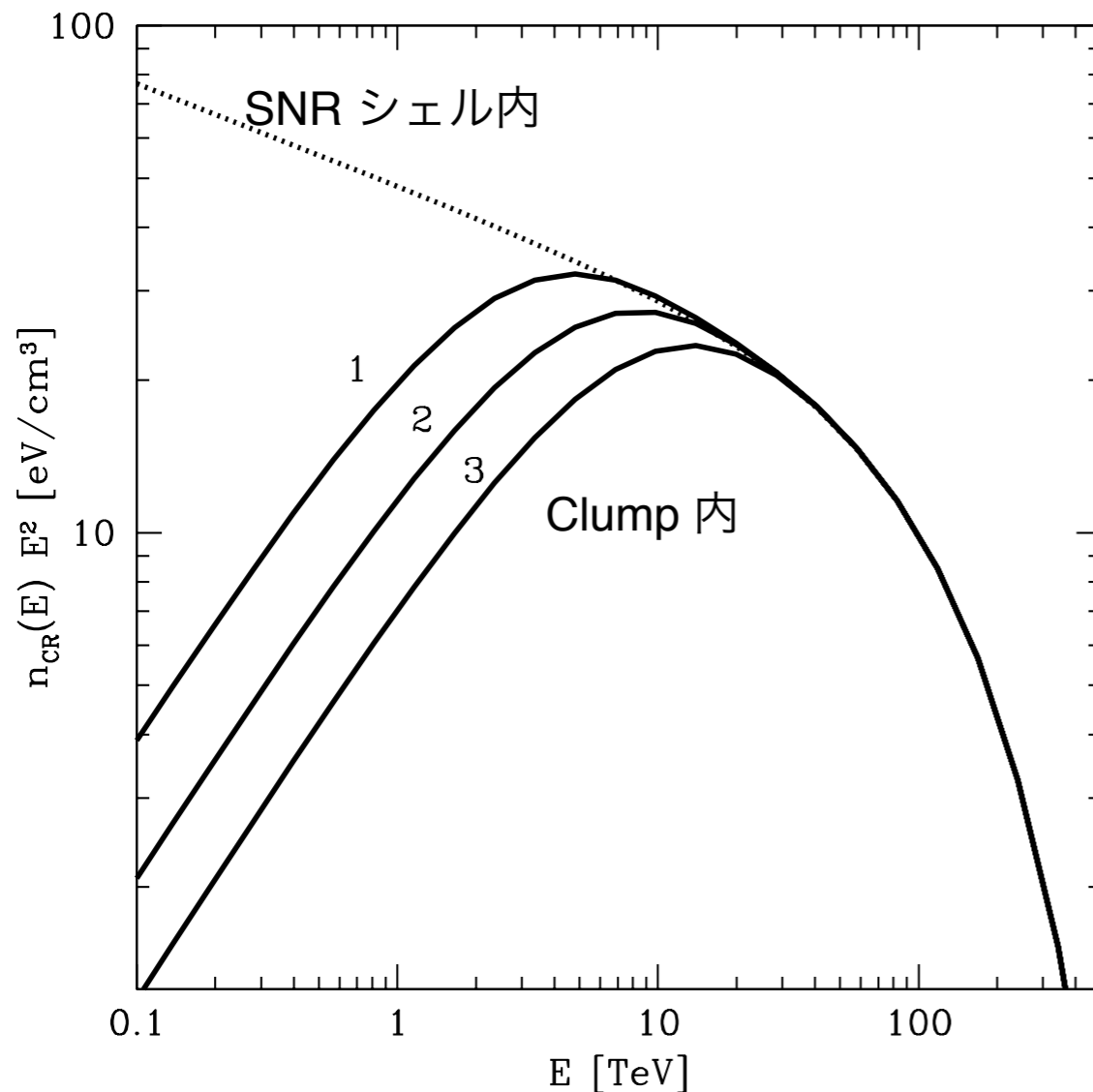
Inoue+ (2012)

CO および HI の観測は星間ガスと衝撃波の相互作用を示唆

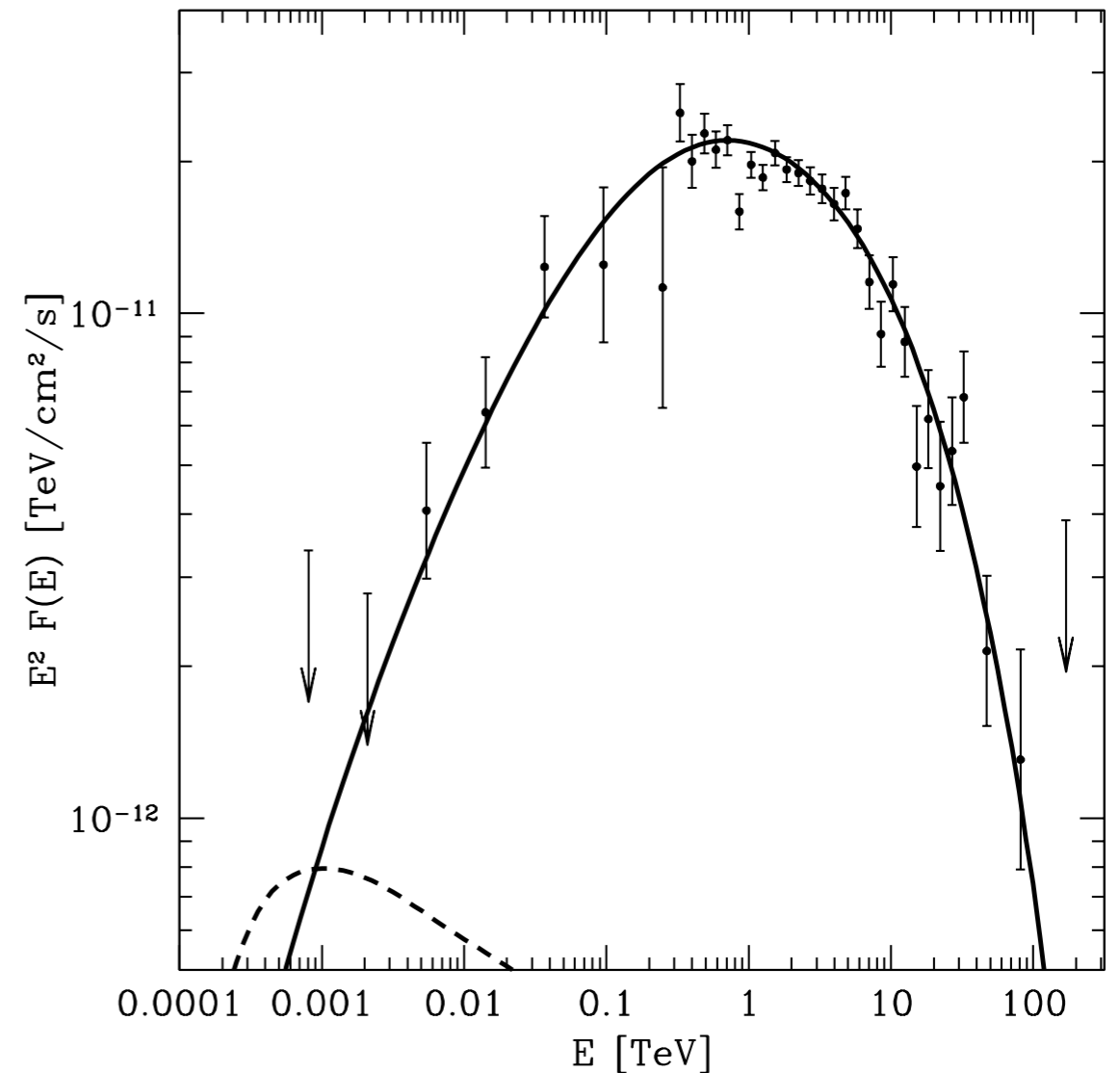
Clumpy なガスがある場合ガンマ線放射はどう見えるか？

陽子放射でも説明可能？

陽子スペクトル



中性パイ中間子崩壊ガンマ線



Gabici+ (2014)

RX J1713 のガンマ線放射機構は陽子起因でも説明可能
ガンマ線スペクトルのベキだけではシナリオの区別は難しい

ASTRO-H 衛星

- Launch in 2015
- Launch site:
Tanegashima Space Center, Japan
- Launch vehicle: JAXA H-IIA rocket
- Orbit Altitude: 550 km
- Orbit Type: Approximate circular orbit
- Orbit Inclination: ~31 degrees
- Orbit Period: 96 minutes

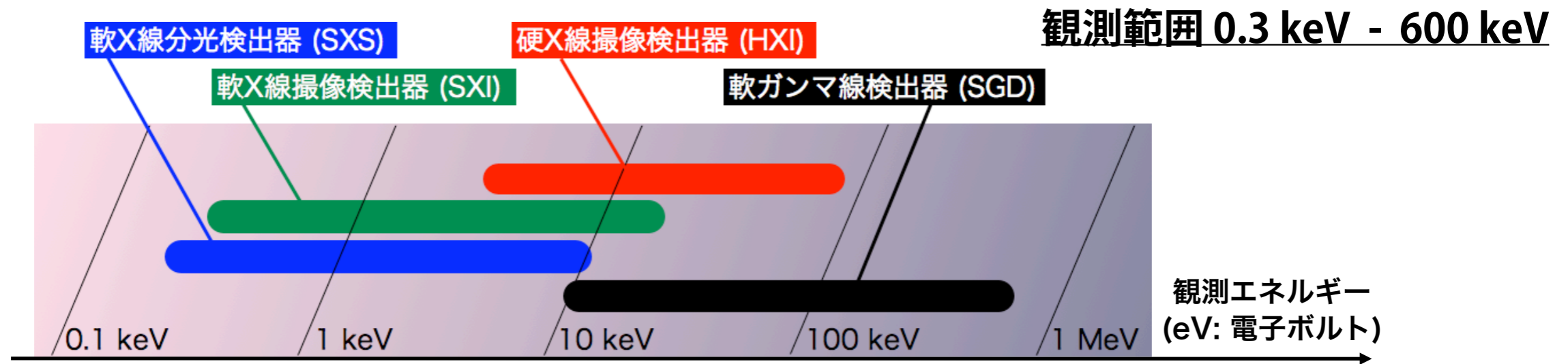
- Total Length: 14 m
- Mass: < 2.6 metric ton
- Power: < 3500 W
- Telemetry Rate: > 8 Mbps (X-band)
- Recording Capacity: > 12 Gbits
- Mission life : > 3 years



ASTRO-H

Suzaku (6m, 1.7t)

ASTRO-H 衛星搭載機器



硬X線撮像システム

HXT
(望遠鏡)

HXI

国産ナノ技術を駆使し、世界に先駆けて開発した**硬X線望遠鏡**と、ASTRO-Hをめざして開発した新しい高効率CdTe半導体素子に基づく**硬X線撮像検出器**を組み合わせ、硬X線帯で初めての集光撮像を実現し、飛躍的な高感度を実現。

軟X線分光システム

SXT-S
(望遠鏡)

SXS

大面積かつ軽量の軟X線望遠鏡と、50ミリ度という極低温技術によって超高分解能分光を実現する**軟X線分光検出器**を組み合わせ、超精密X線分光を実現 (高信頼性冷却系で、復活の責務を果たす)

軟X線撮像システム

SXT-I
(望遠鏡)

SXI

軟X線望遠鏡と、大面積低雑音X線CCD素子を用いた**軟X線撮像検出器**を組み合わせ、広い視野を持ち観測の基本となるX線撮像を実現。

軟ガンマ線検出器

SGD

独自のアイデアである狭視野半導体コンプトンカメラに基づいた**超低雑音軟ガンマ線検出器**により、一桁以上の感度の向上と、ガンマ線偏光観測能力を実現。

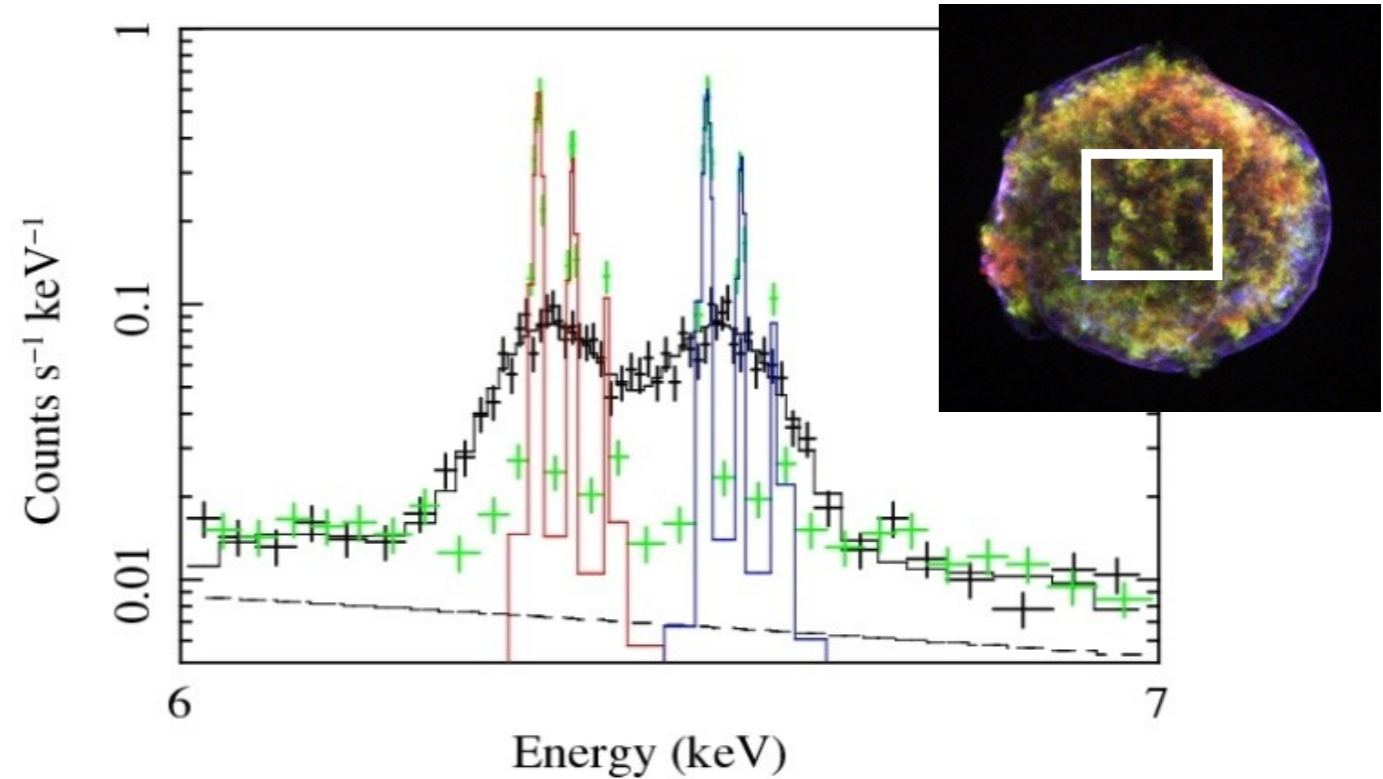
これら4種類の観測システムが同時に機能することで、3桁にもおよぶ広帯域において、「すざく」より10倍から100倍高感度の観測を実現して、最大限の科学的成果を引き出すことが可能となる。

ASTRO-H で狙うサイエンス

SXS

輝線を超精密分光

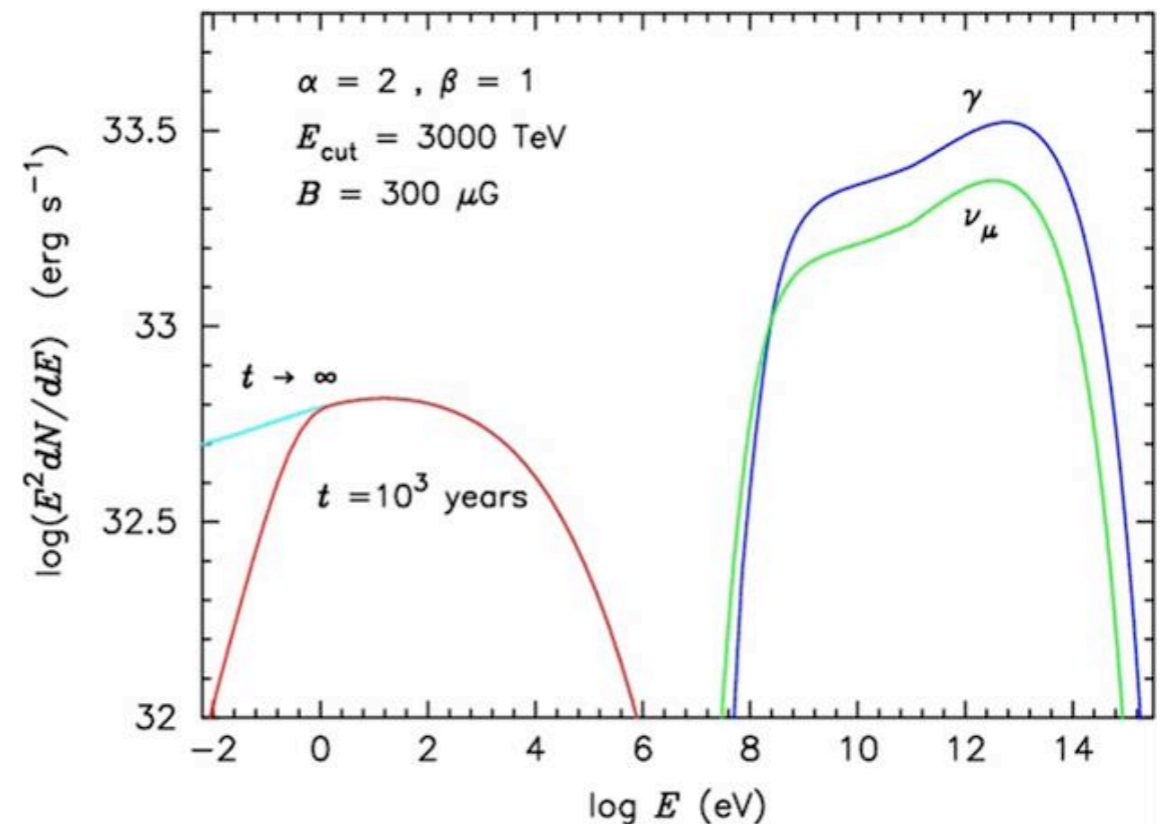
- イオン温度の測定
宇宙線加速効率を間接的に測定
- 衝撃波速度の測定



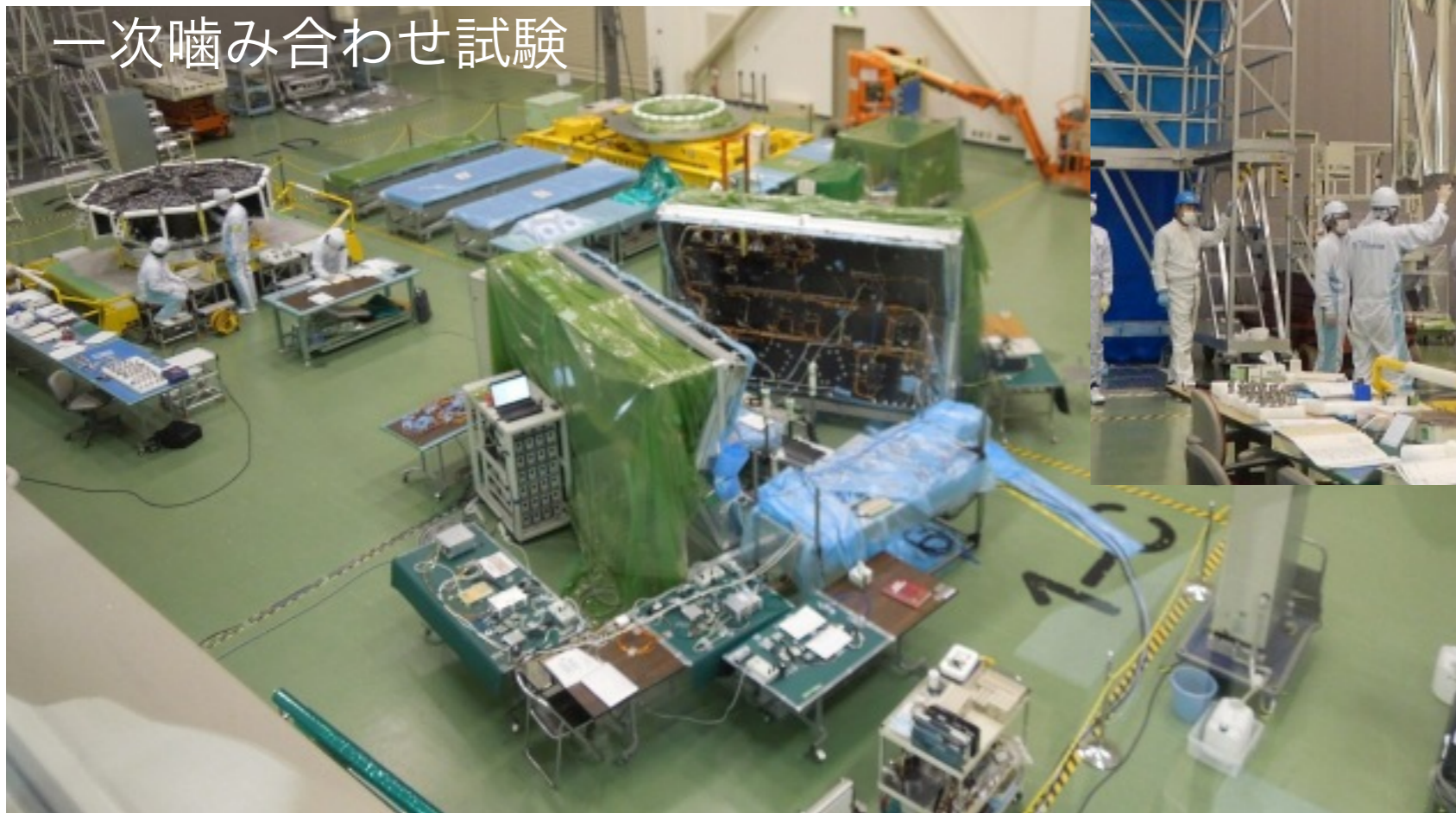
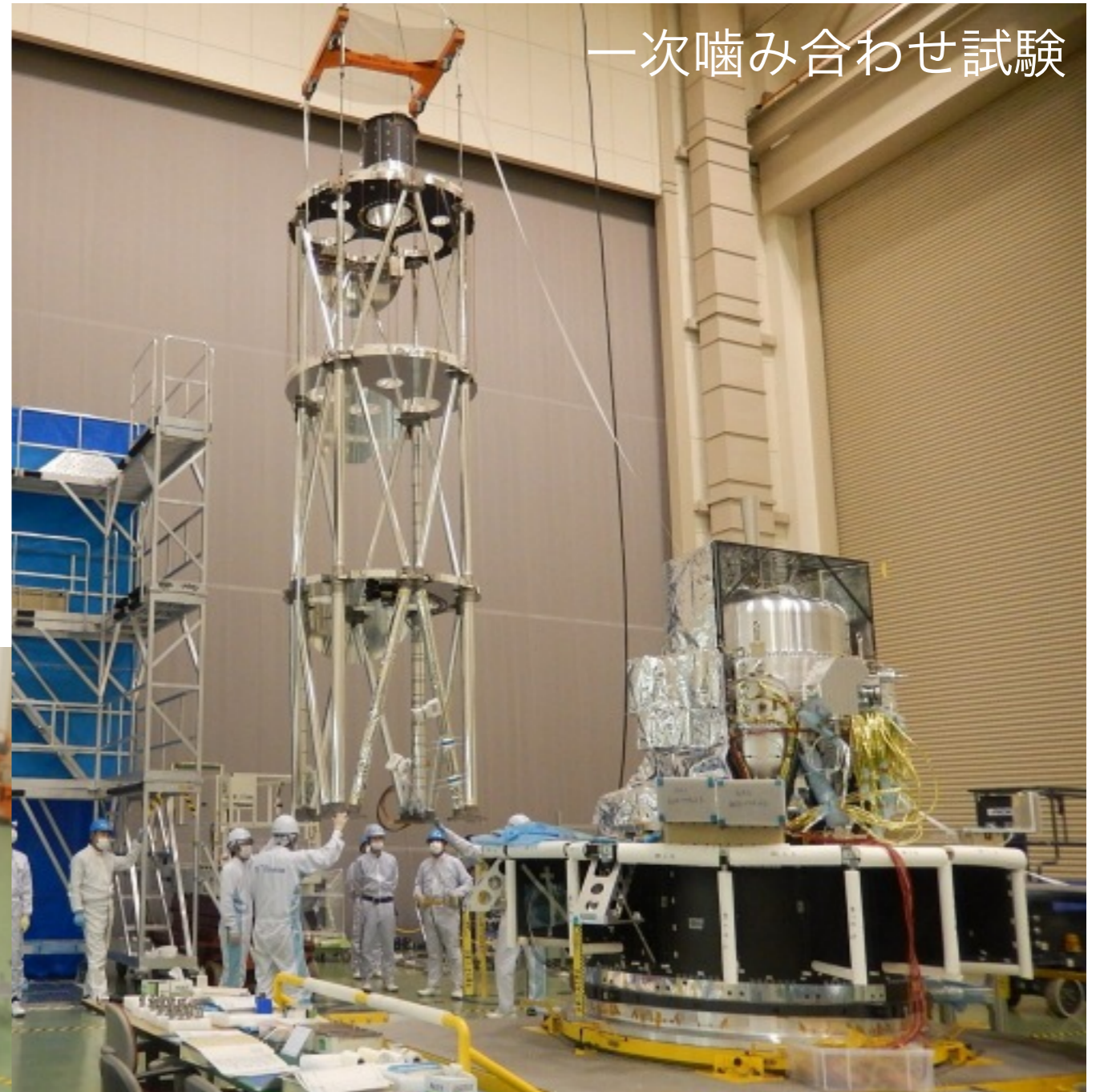
HXI

> 10 keV で撮像分光

- 最高加速エネルギー付近の電子からの放射を精密にプローブ
- 2次電子からのシンクロトロン放射
荷電パイ中間子由来の電子・陽電子からのシンクロトロン

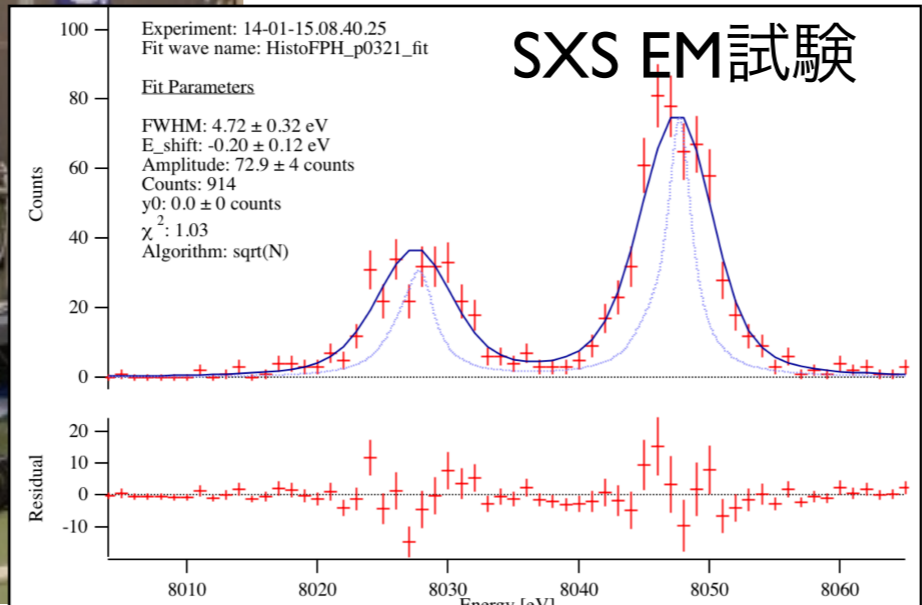


ASTRO-H の現状



ASTRO-H の現状

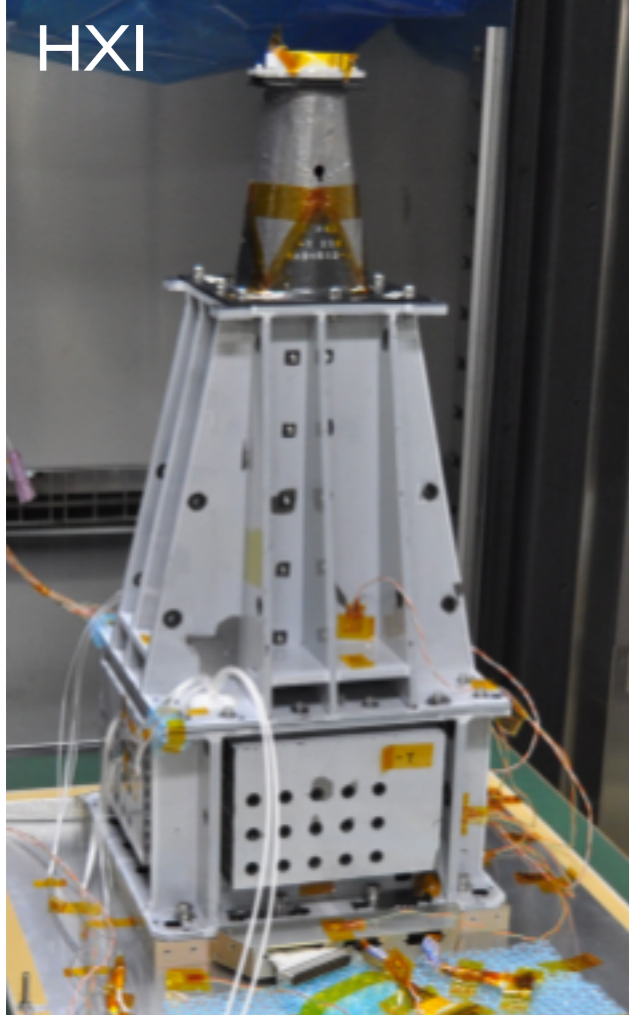
SXS EM試験



SXT



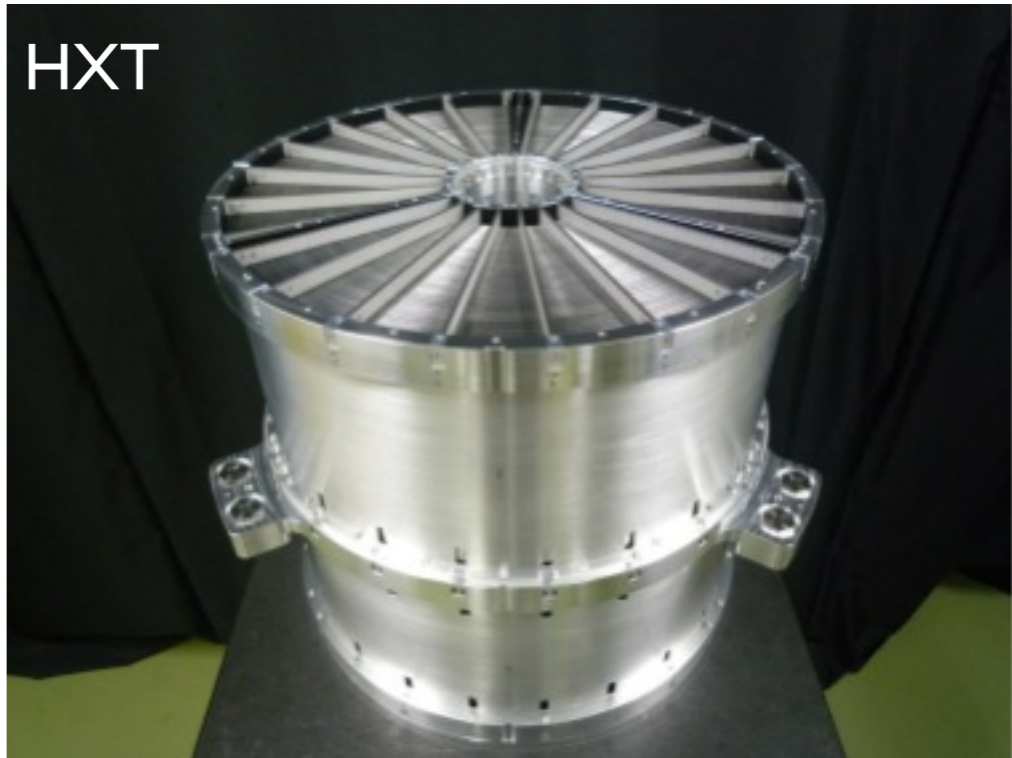
HXI



SXI



HXT



まとめ

- 宇宙線がどこで加速されているかという問題は長い間未解決であった。
- 加速された粒子が放射する電磁波の観測は、宇宙線の起源を探る有効な手段である。
- 近年のX線により超新星残骸からシンクロトロン放射が発見され、衝撃波で電子がTeV程度のエネルギーまで粒子が加速されていることがわかった。
- さらにTeVガンマ線の検出によりより直接的にTeV程度のエネルギーを持つ粒子の存在が証明された
- Fermi衛星のLAT検出器により複数の超新星残骸から中性パイ中間子の崩壊によるガンマ線放射が検出された。
- これは宇宙線の主成分である陽子が超新星残骸で加速されていることを意味する。
- 2015年打ち上げ予定のASTRO-Hや2017年に観測を開始するTeVガンマ線望遠鏡CTAなど次世代の観測機器によってさらに理解が深まると期待されている。