

ガンマ線で見える激動の宇宙

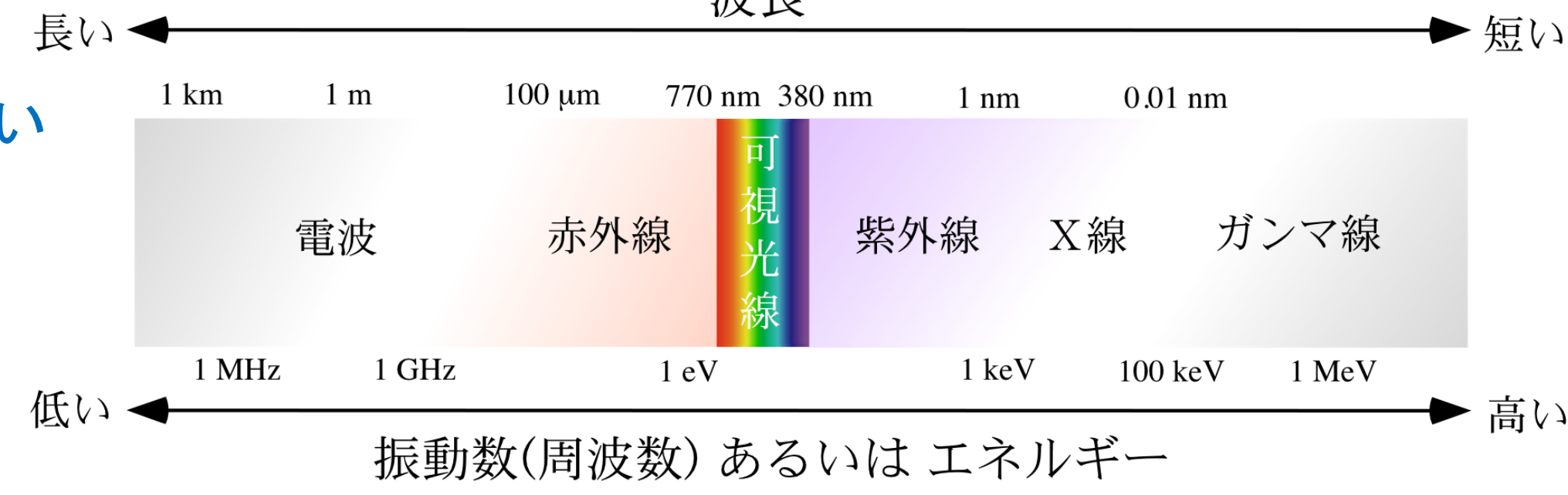
私たちが普段、目で見える宇宙は星が輝ききれいなものですが、ガンマ線で見える宇宙はどのようなものでしょうか？
ひとたびガンマ線で宇宙を見るとブラックホール近傍のジェット現象や星の爆発現象といった激動の宇宙が見えてきます。
今回の講演では、このような宇宙現象を紹介し、我々が開発している検出器についても紹介します。

超新星爆発などの高エネルギー天体現象に興味がある人大歓迎です。

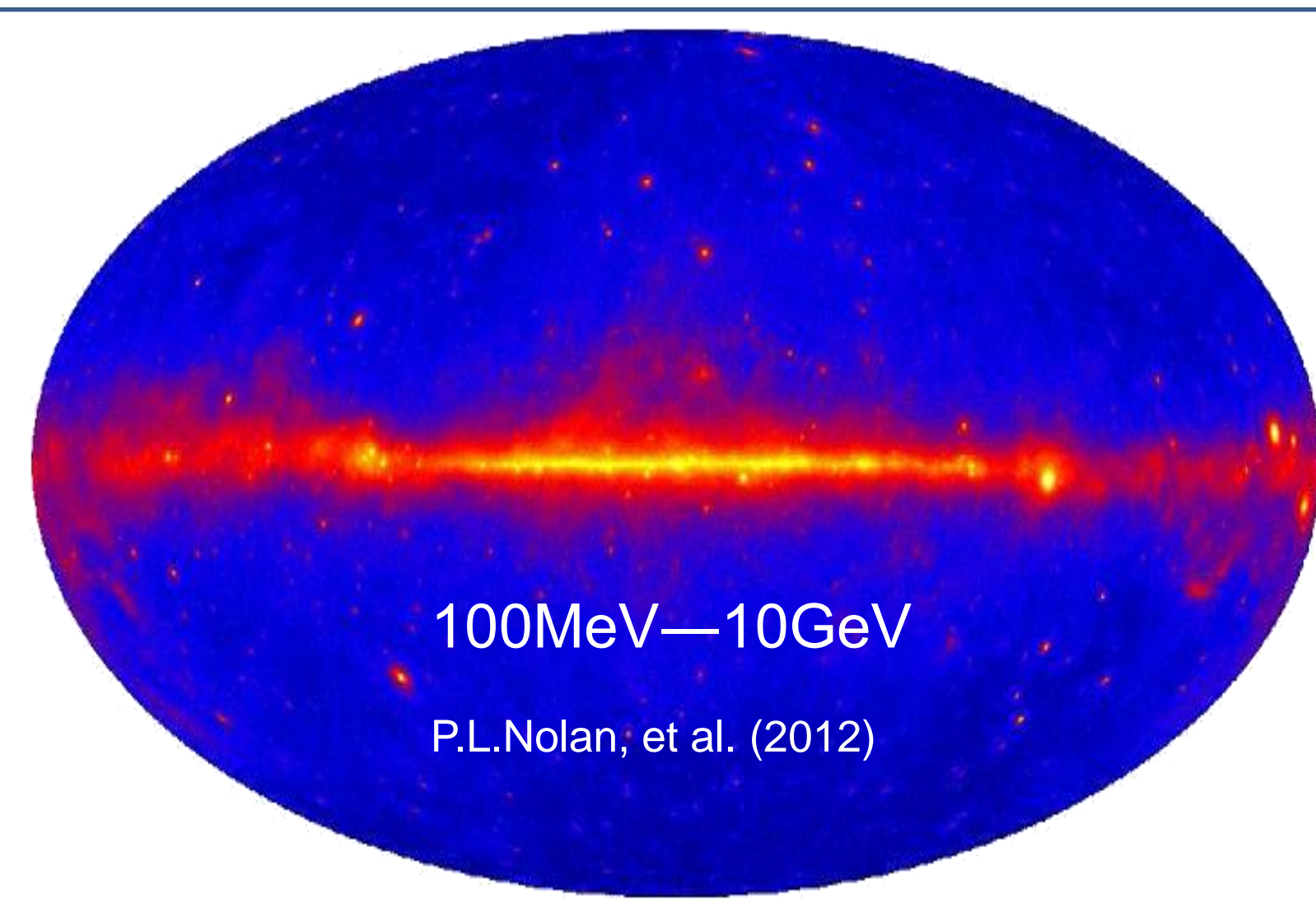
1. ガンマ線で見える宇宙

ガンマ線領域では高エネルギー天体現象の解明に重要な手がかりを観測できる

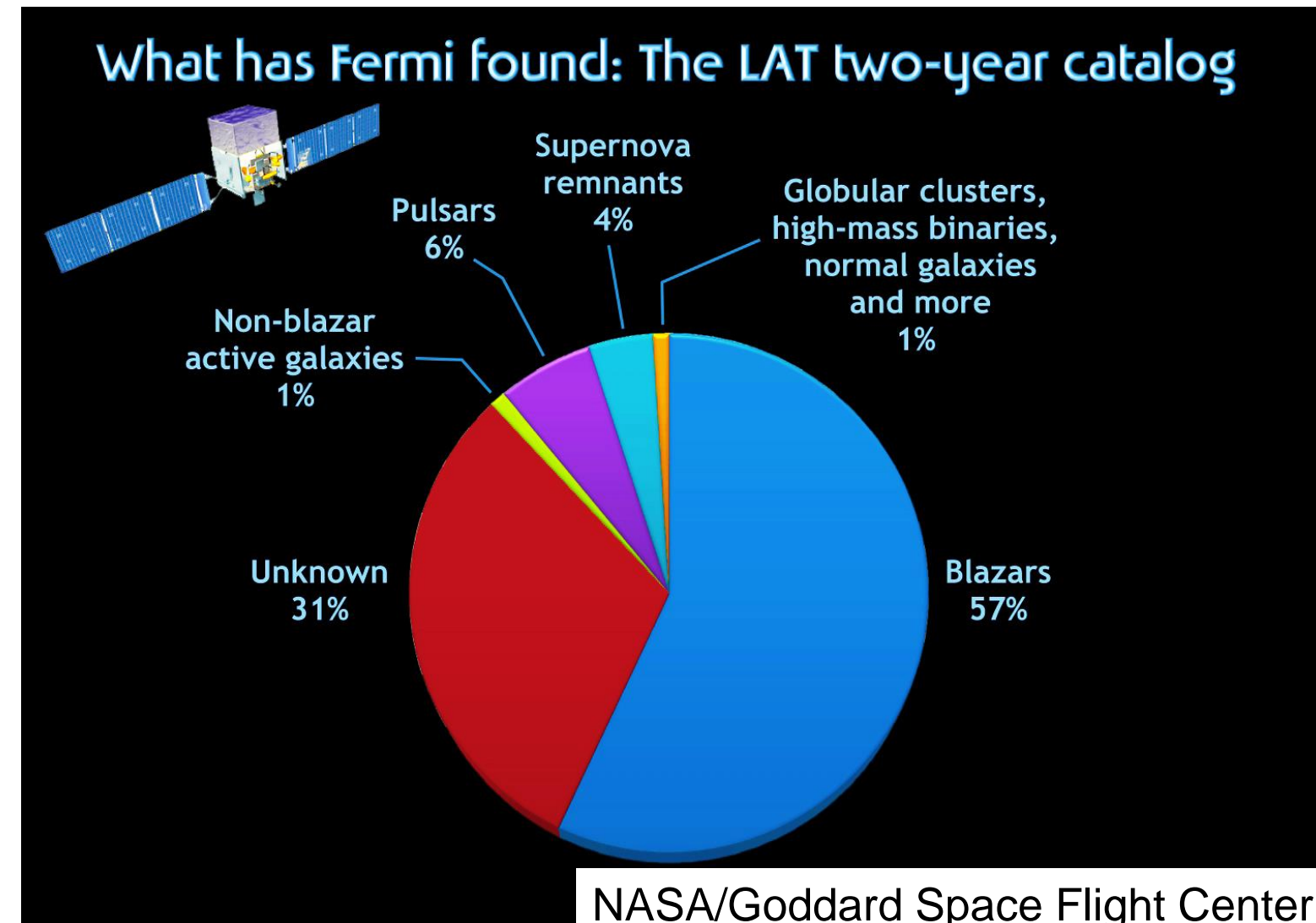
ガンマ線は可視光や電波と同じ電磁波である。
可視光との違い: 波長が短い=エネルギーが大きい
1keV~10keV → X線
100keV以上 → ガンマ線
 $1\text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19}\text{ J}$



ガンマ線では可視光と違った宇宙の高エネルギー現象を見ることができる。



ガンマ線観測衛星Fermiによる全天マップ
図の中央が銀河中心
銀河面からのガンマ線の他に点源も見られる



Fermiの2年間の観測により発見されたガンマ線源1873個の内訳
約57%は活動銀河天体である。
約1/3は現在正体不明の天体である。

2. ガンマ線天体

ガンマ線は高エネルギー天体現象と密接に関係する。

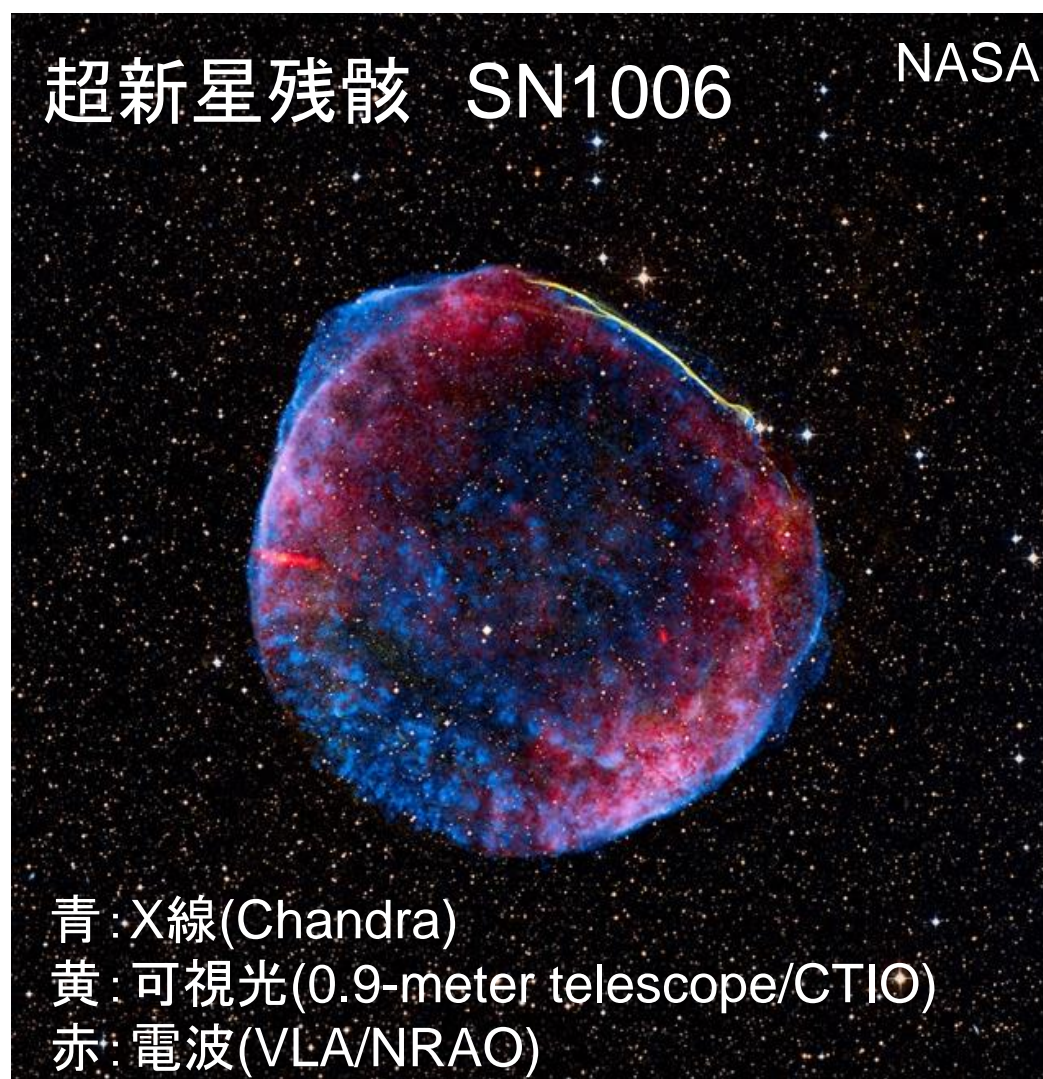
ガンマ線の観測によって得られる情報

- スペクトル → 加速された粒子の情報や爆発のメカニズム
- 時間変動 → 放射領域の空間的な広がり
- 偏光 → 磁場などのベクトル構造

超新星爆発

超新星爆発は、太陽質量の8倍より重い星が寿命の最期に中心のFeコアが崩壊して起こす爆発、または白色矮星に物質が降着し臨界質量を超えて起こす爆発現象である。
超新星爆発によりFeより重い元素が合成されると考えられており、放射されるガンマ線を観測することで元素合成の現場を見ることができる。
Ia型超新星爆発では太陽質量の0.6倍程度の⁵⁶Niが生成され、⁵⁶Co、⁵⁶Feへと崩壊することがわかっている。
2014年に発見された超新星SN2014JからはINTEGRAL衛星が⁵⁶Coが崩壊する際に放出される847keVの核ガンマ線を検出した^[1]。

[1] E. Churazov et al. (2014)



パルサー

パルサーは電波や可視光で非常に短い周期のパルスを出している天体である。中心には強い磁場を持つ中性子星が存在しており、高速で回転しているためパルスとして観測されると考えられている。特にCrabパルサーは電波からガンマ線まで広いエネルギーの放射をするよく知られた天体である。
かに星雲からの放射は時間変動しないと考えられており、X線やガンマ線の標準光源として利用されている。
しかし2010年、ガンマ線望遠鏡であるAGILE衛星からかに星雲のフレアの報告があり、間もなくFermi衛星でもフレアが確認された。一方で、X線、可視光、電波ではフレアは観測されず、高エネルギー天文学界に衝撃を与えた^[2]。

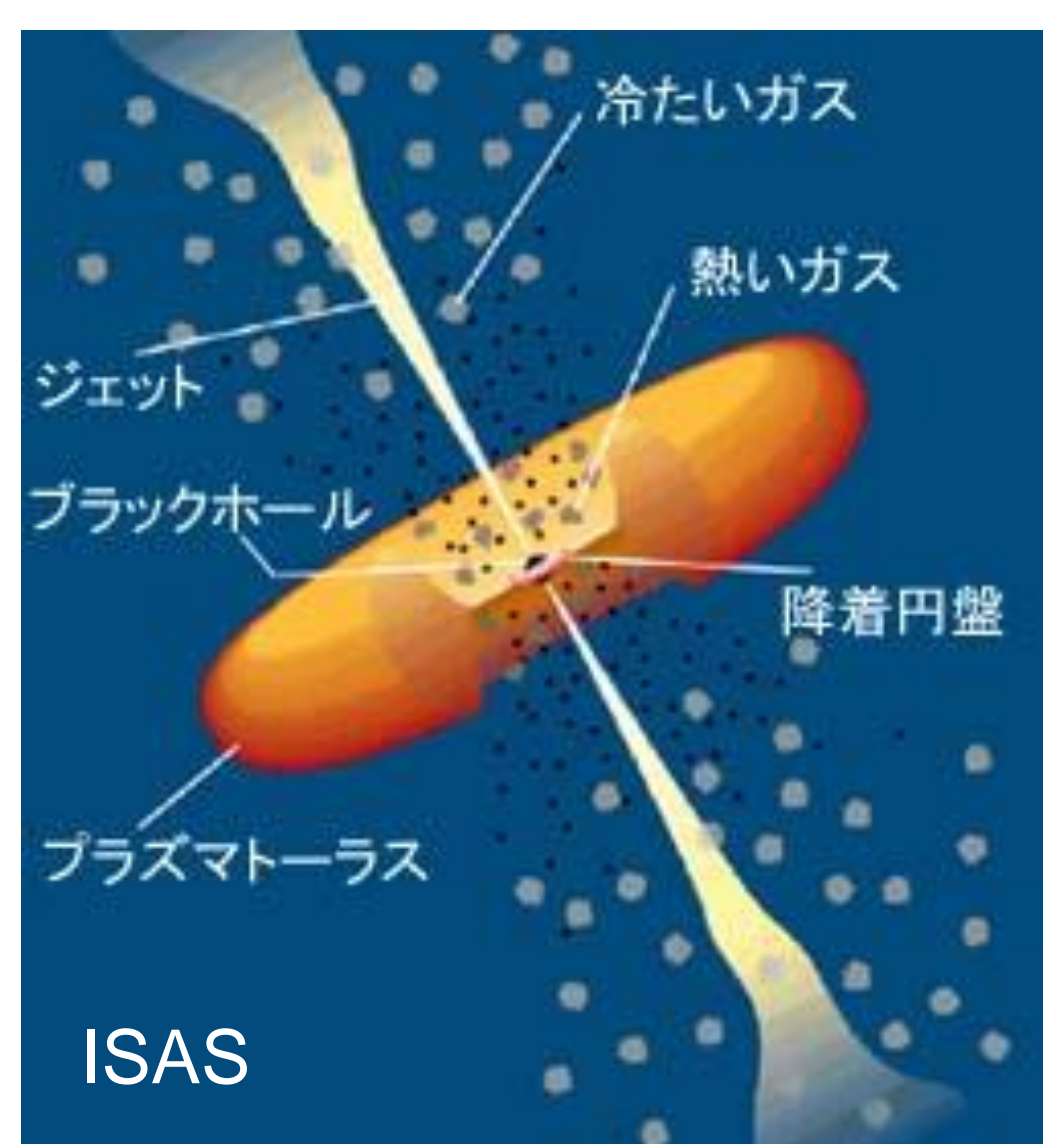
[2] Caraveo et al. (2014)



活動銀河核・電波銀河

活動銀河核は中心に太陽質量の10⁶~10⁹倍の巨大ブラックホールを持っており、非常に強力なジェットを噴射していると考えられている。2012年、チェレンコフ望遠鏡MAGICは電波銀河IC310から約5分間という短時間で激しく変動するガンマ線の放射を観測した。この時間変動から推測される放射領域の大きさの上限は、今まで考えられていたブラックホールの大きさの20%以下という非常に狭い領域であることがわかった^[3]。

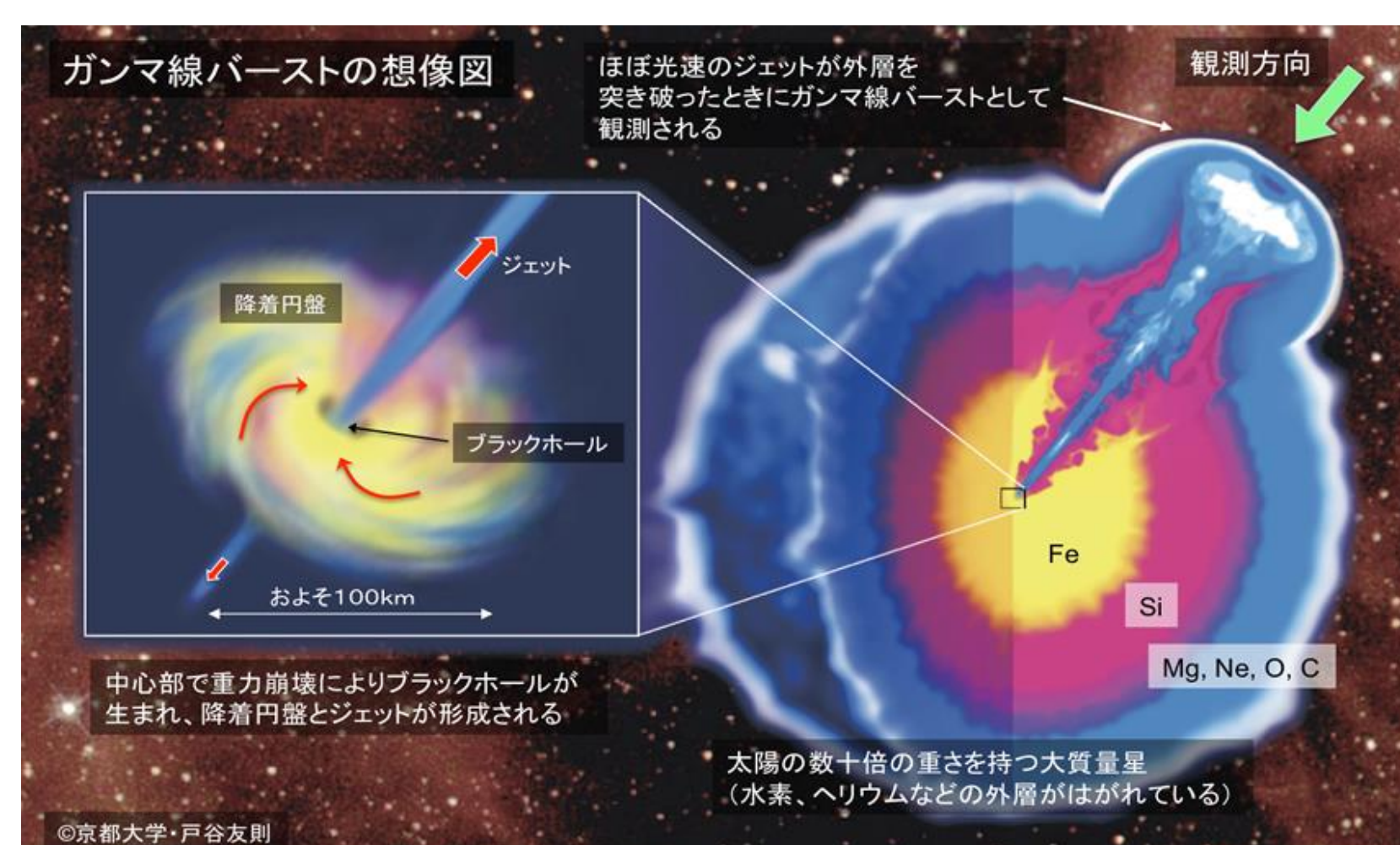
[3] P. A. Caraveo (2014)



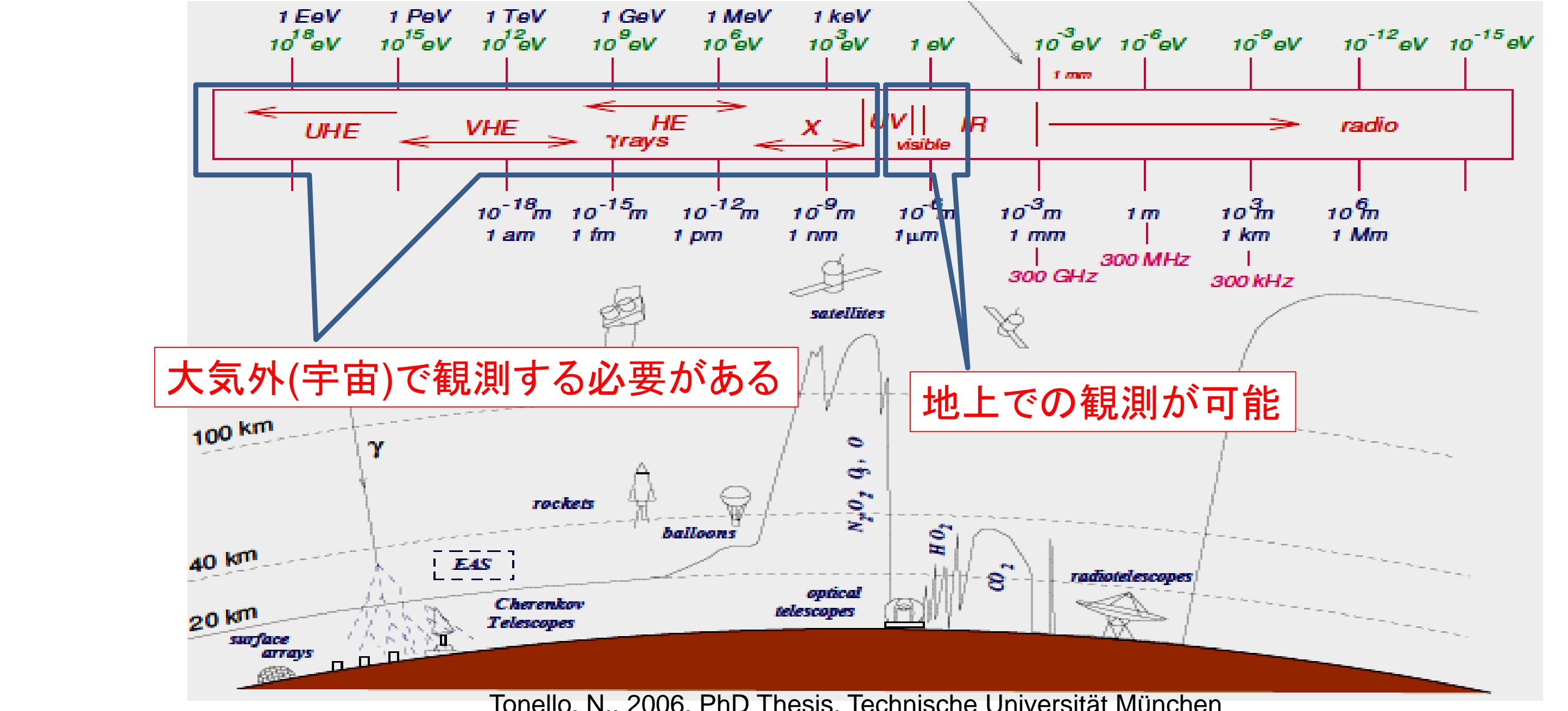
ガンマ線バースト

ガンマ線バーストは宇宙最大の爆発現象であり、ミリ秒程度の短く激しい変動を示す。
ガンマ線バーストは全天に一律に分布しており、非常に遠方で起こっている爆発であることがわかっている。
IKAROS搭載のガンマ線バースト偏光観測器GAPは、2010年にガンマ線バーストを偏光度27±11%で観測した^[4]。
ガンマ線バーストの偏光観測はまだ3例しかなく、今後観測例が増えることで爆発メカニズムの解明が期待される。

[4] D. Yonetoku et al. (2011)

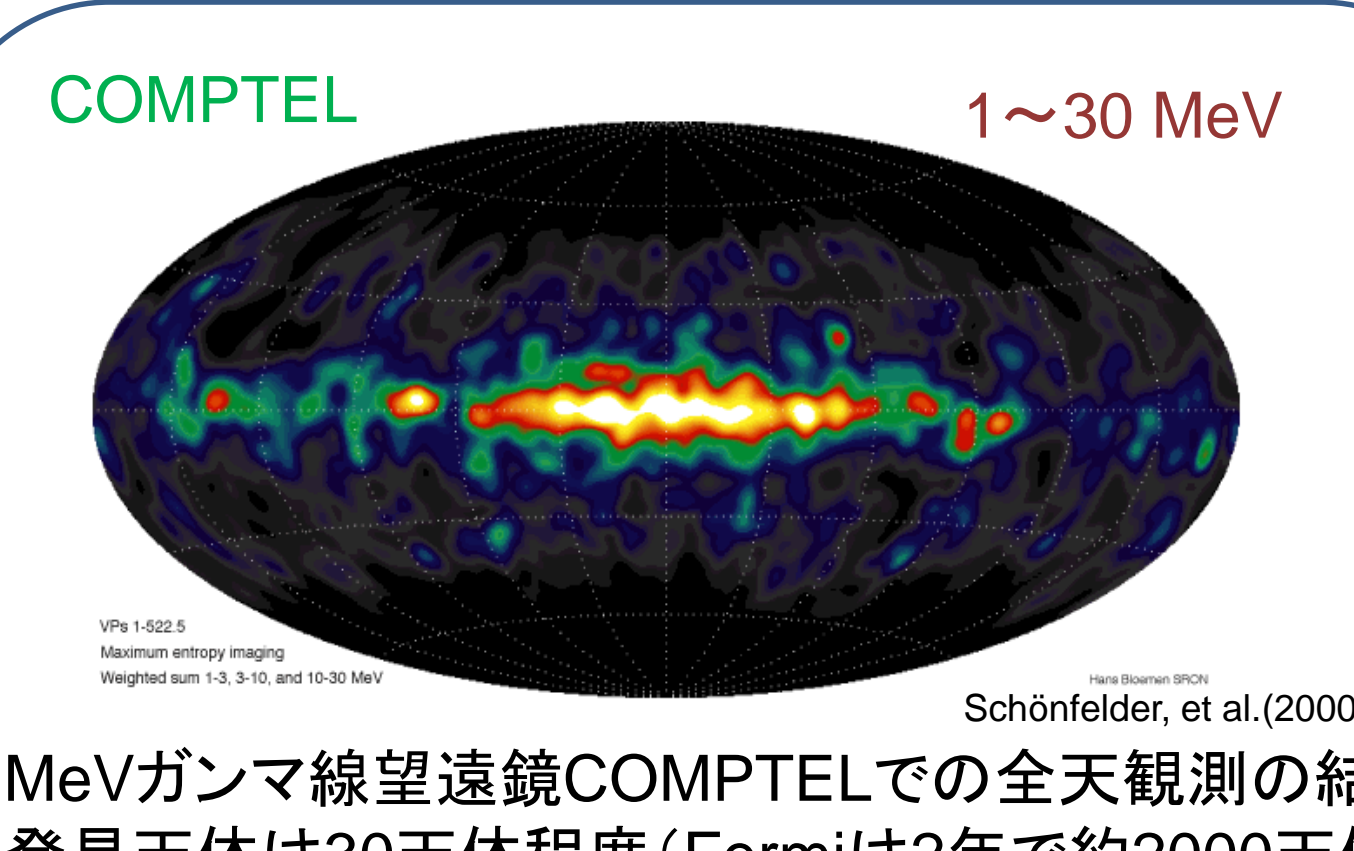
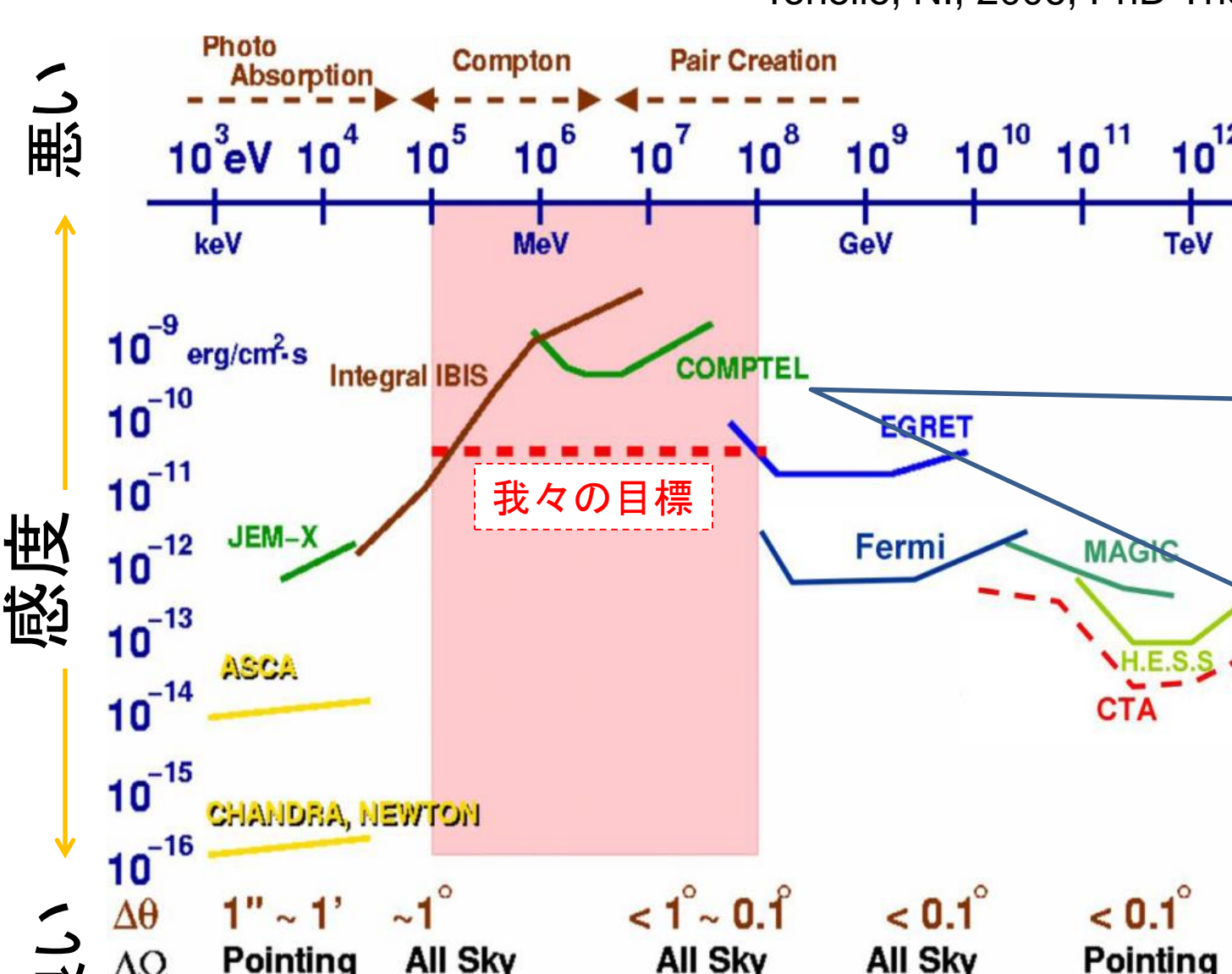


3. MeVガンマ線での観測は難しい



大気外(宇宙)で観測する必要がある

地上での観測が可能



- 紫外線やX線と比べて光子の数が少ない
- 電波や可視光、X線と違い集光が難しい
- 宇宙線と観測機器や大気との相互作用で生じるガンマ線などの雑音が多い
- 透過性の高さから遮蔽による雑音の除去が難しい
- イメージングが難しい

他の領域に比べ観測が進んでいない、つまり

MeVガンマ線天文学は未発展の分野であり
新たな発見をなすチャンスも大いにある

SMILE (MeVガンマ線気球観測実験)

Sub-MeV γ -ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment

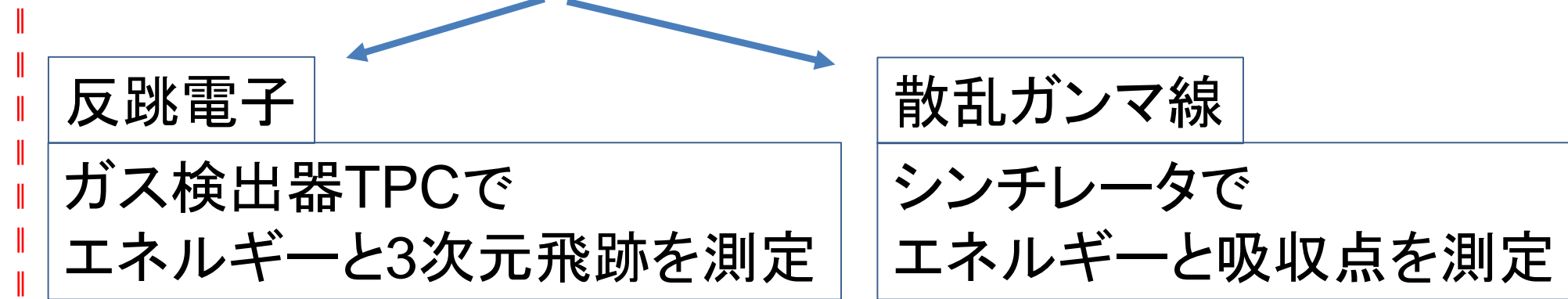
気球による観測実験 (SMILE) が進行中！
目指すは、衛星によるMeV領域での全天観測！

4. 独自のMeVガンマ線カメラを開発

ガンマ線が電子と衝突してコンプトン散乱を起こすと反跳電子と散乱ガンマ線が生じる。MeV領域ではこのコンプトン散乱が優位であり、我々は独自の電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC: Electron-Tracking Compton Camera) を開発している。このカメラは μ -PICという高位置分解能検出器を利用して電子の3次元の飛跡も測定可能になっている。これによって1光子毎にコンプトン散乱を完全に再構成することができる。さらにガス中を通過した粒子の飛距離に対するエネルギー損失率を求めることで種類を判別することもでき、雑音を効果的に落とすことができる。ETCCを用いてMeV領域における高視野で高感度な全天観測を行うことが可能である。

● ETCCシステム

検出原理: コンプトン散乱

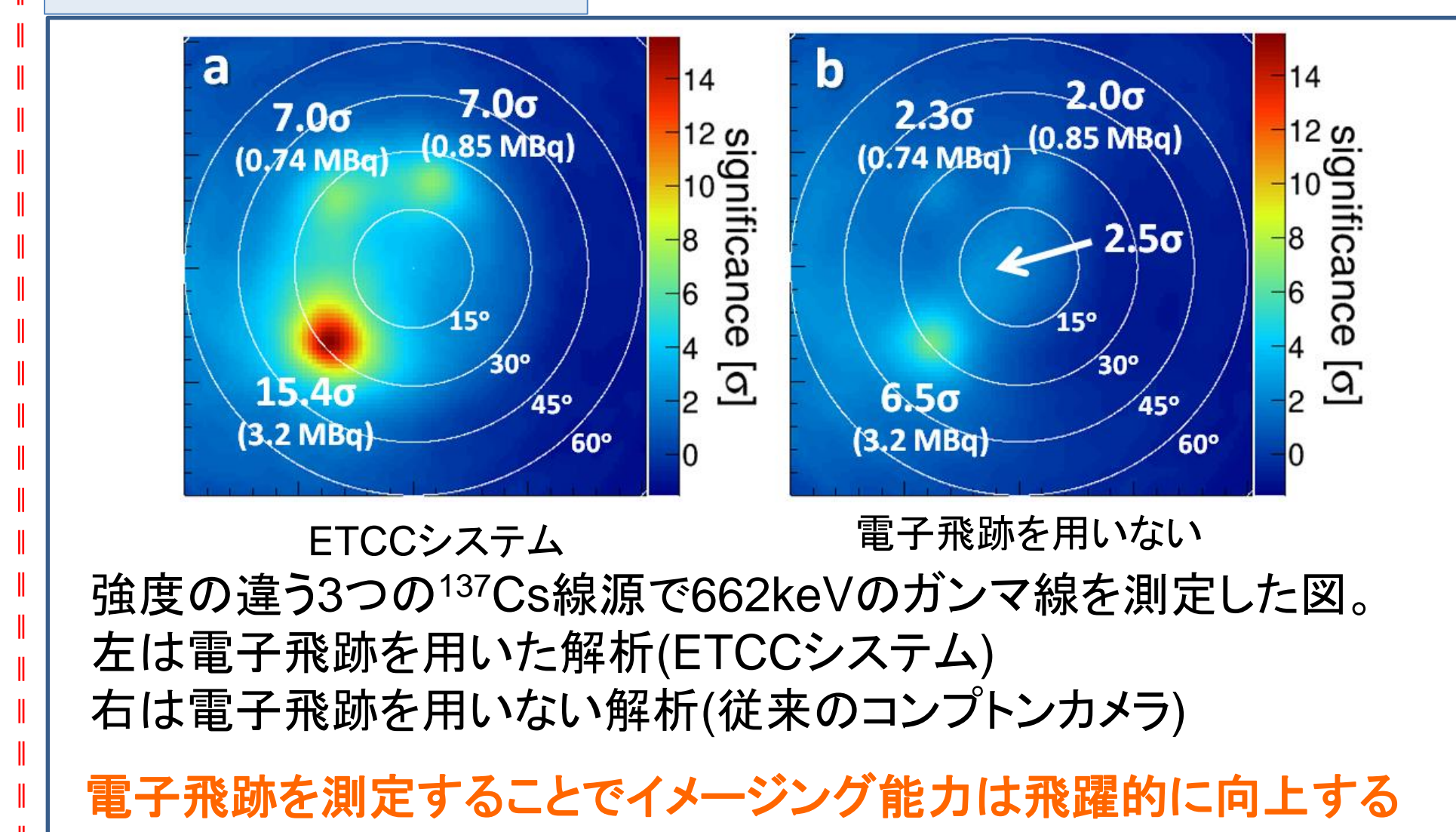


反跳電子
ガス検出器TPCで
エネルギーと3次元飛跡を測定

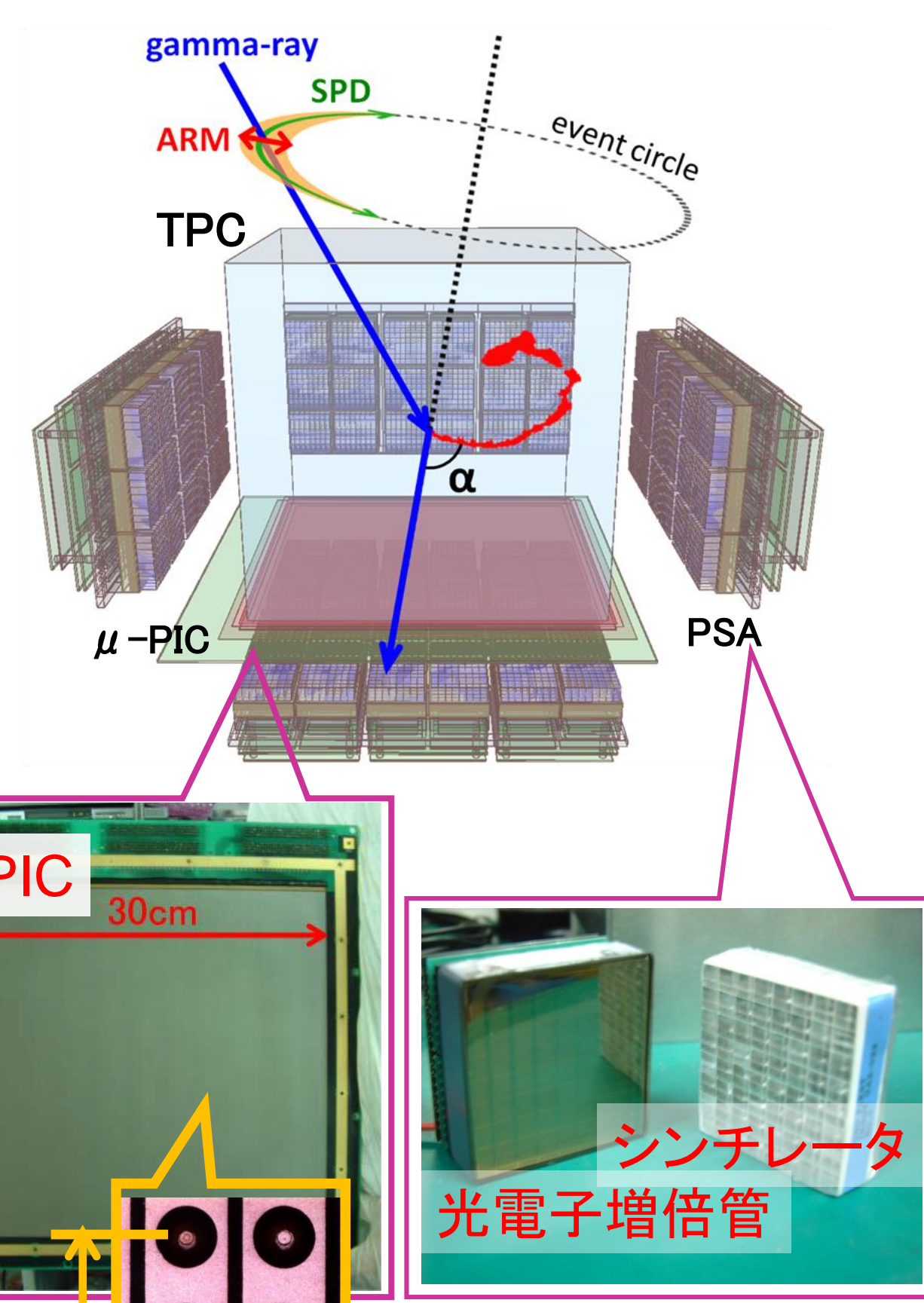
散乱ガンマ線
シンチレータで
エネルギーと吸収点を測定

入射ガンマ線の到来方向とエネルギーを
1イベントごとに1意に再構成できる

地上での撮像試験



電子飛跡を測定することでイメージング能力は飛躍的に向上する



5. 気球実験: SMILE-II

かに星雲などのMeV領域で明るい天体でのイメージング実証が目的である

30cm角のETCCを開発

現在はフライトモデルは完成しており、地上での性能試験も完了している。

~40 km、数時間の飛行でかに星雲の5 σ 撮像を目指す

要求性能

- 有効面積: >0.5 cm² @ 300 keV
- 角度分解能: <10° @ 600 keV

現在のETCC

- 0.7 cm² @ 300 keV
- 5.3° @ 662 keV

気球実験の要求性能を達成！

2015~2017年 米国での気球実験を目指す

