P-143

核ガンマ線イメージング分光によるサイエンス

水村好貴, 高田淳史, 谷森達, 水本哲矢, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 竹村泰斗, 吉川慶, 中増勇真, 中村優太, 谷口幹幸, [1]黒澤俊介, [2]澤野達哉 (京都大学, [1]東北大学, [2]金沢大学)

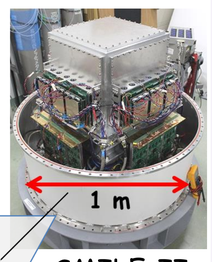
http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/research/MeV-gamma/

核ガンマ線は、原子核固有の情報を遠隔探査でき他の手段に代え難い宇宙科学（天文学・月惑星科学など）が数多く存在するが、**雑音除去**と**イメージング**の難度が高く停滞している。我々は、電子飛跡検出型コンプトンカメラ（**E**lectron-**T**racking **C**ompton **C**amera; **ETCC**）を開発し**SMILE計画**を進めている。従来困難だった核ガンマ線のPoint Spread Functionの定義に成功し、サイエンス開拓の道筋が立った。ここでは、**核ガンマ線イメージング分光**で期待されるサイエンスを紹介する。

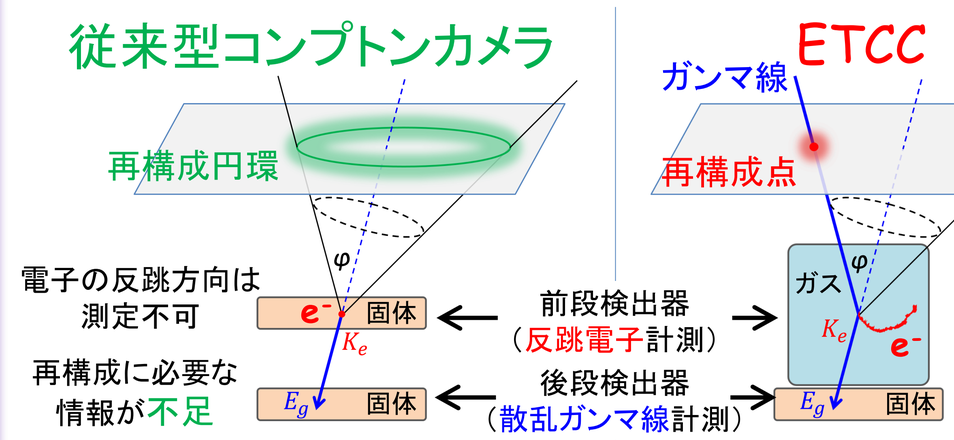
1. 核ガンマ線イメージング分光の手段

核ガンマ線の相互作用はコンプトン散乱が支配的 → 集光が困難

散乱事象を精密に測定し、運動学的に解いて到来方向を得るコンプトンカメラが現実的な手段



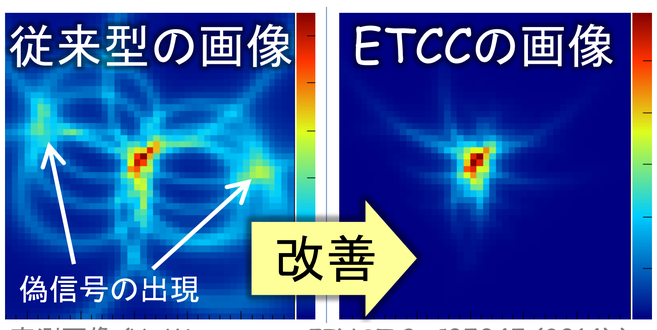
SMILE-II 実機



電子Energy: Ke
光子Energy: Eg
を使って、散乱角 φ を再構成する装置

$$\cos\varphi = 1 - \frac{m_e c^2}{E_g + K_e}\frac{K_e}{E_g}$$

円環が広く重なり不定性の大きな画像となってしまう



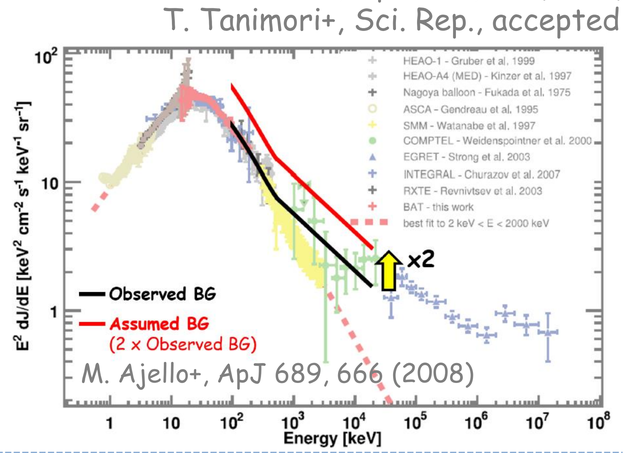
実測画像 (Y. Mizumura+, JINST 9, C05045 (2014))

T. Tanimori+, ApJ 810, 28 (2015)
T. Tanimori+, Sci. Rep., accepted

2. 天文衛星での探査

衛星での探査性能(推定値)

装置: 4 x (50 cm)^3 ETCC
有効面積: 240 cm^2@1 MeV
PSF: <2° @1 MeV
Energy分解能: 5%@662 keV
視野: 2π sr
有効時間(視野込み): 33%
BG仮定量: 2x背景放射量



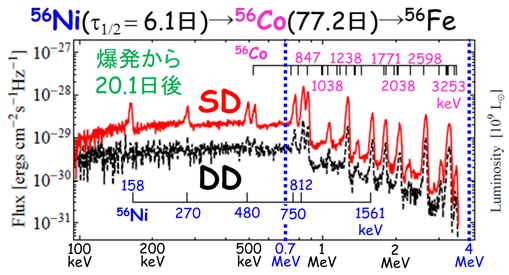
M. Ajello+, ApJ 689, 666 (2008)

2.1. Ia型超新星爆発の爆発過程診断

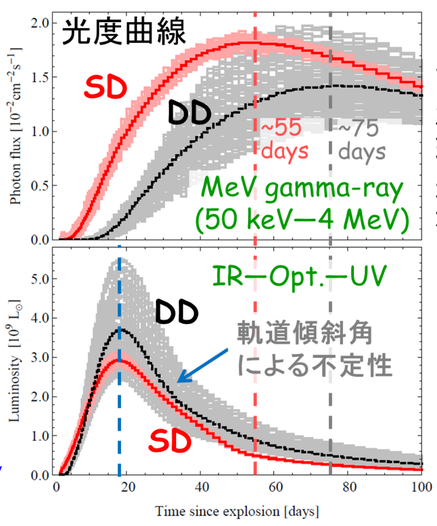
伴星からの質量降着 白色矮星同士の合体



^{56}Ni($\tau_{1/2}$ = 6.1日)→^{56}Co(77.2日)→^{56}Fe



A. Summa+, A&A 554, A67 (2013)

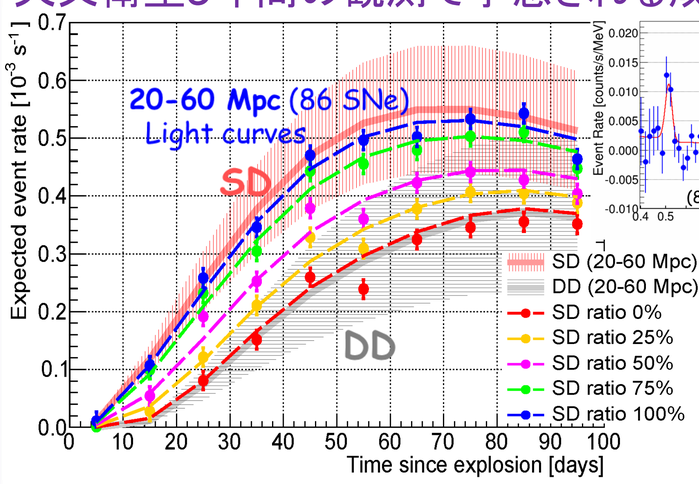


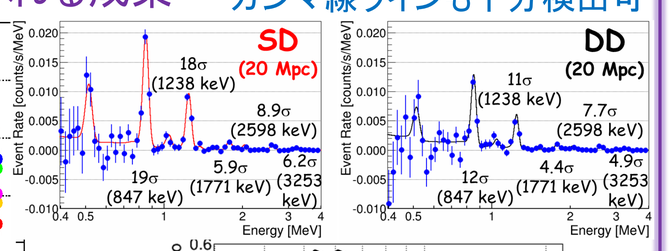
宇宙の距離指標として、宇宙の元素供給源としても重要な天体現象だが、その爆発過程は特定されていない。

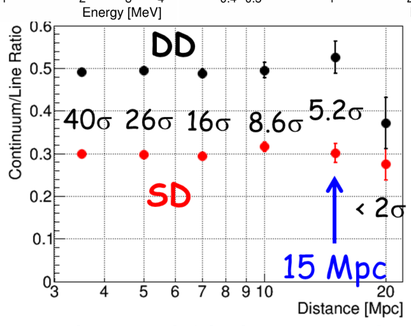
可視光による光度変化はモデル特定能力が十分でないが、MeV帯域のガンマ線観測が爆発過程診断の鍵となり得る。

天文衛星5年間の観測で予想される成果

ガンマ線ラインも十分検出可







近傍宇宙の SD, DD共存比が20%程度の不定性で解明できる

ライン成分と連続成分の強度比から~15 Mpcまでは1天体ごとに弁別可

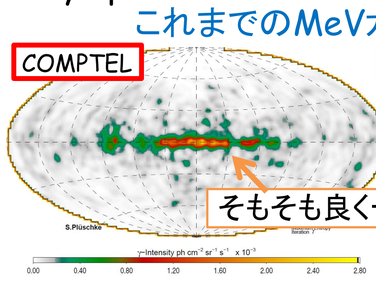
2.2. 銀河面核ガンマ線の観測と銀河内物質循環

^{26}Al → ^{26}Mg + ガンマ線 (1.809 MeV, 半減期~7x10^{5}年)

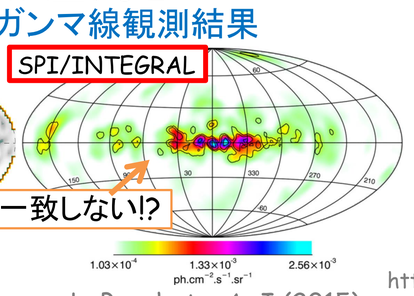
半減期が物質循環タイムスケールと同程度→銀河内の物質移動のトレーサー！

生成源候補は、申請のアウトフロー、Wolf-Rayet星、重力崩壊型超新星、Asymptotic Giant Branch星、など N. Prantzos & R. Diehl, Physics Reports (1996)

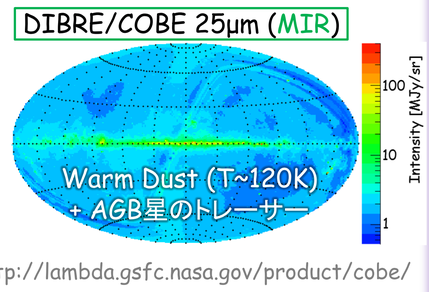
これまでのMeVガンマ線観測結果



S. Plüschke+, ESASP (2001)
J. Knödlseder+, A&A (1999)



L. Bouchet+, ApJ (2015)



http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/

天文衛星で観測されるマップの推定方法

BG(拡散ガンマ線)

系外拡散ガンマ線
分布: 一様・等方を仮定
強度: SMMの観測結果をpower-lawで近似
K. Watanabe+, AIP Conf. Proc. (1997)

系内拡散ガンマ線
分布: EGRETの galactic diffuse model



強度 COMPTELの観測結果 8x10^{-3} MeV/cm^2/s/sr (|l| ≤ 60°, |b| ≤ 20°)
A.W. Strong+, A&AS (1996)

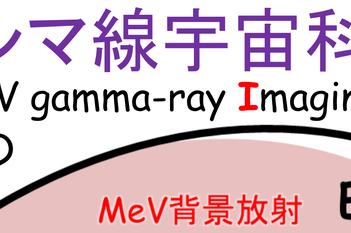
信号(^{26}Al)のtemplate

分布: 他波長の全天観測(DIRBE/COBE)をtemplateとする

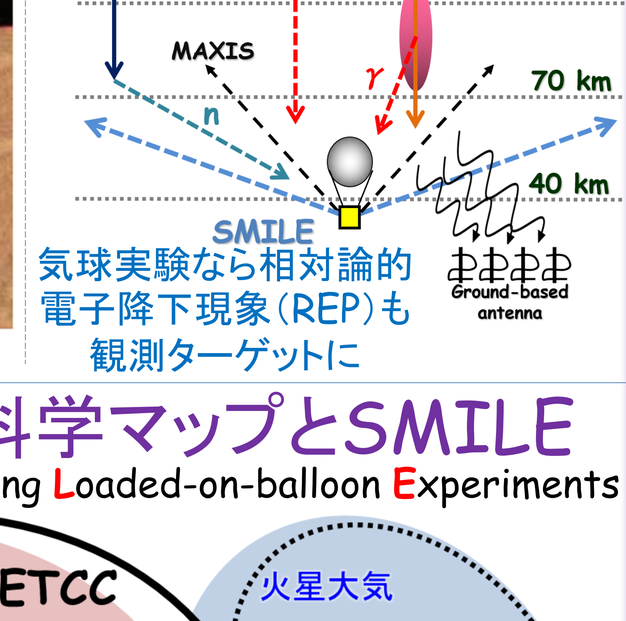


強度: SPI/INTEGRALの観測結果 3.5 × 10^{-4} ph/cm^2/s (|l| ≤ 30°, |b| ≤ 10°)
L. Bouchet+, ApJ (2015)

期待全天マップ(信号+BG)



天文衛星で予想される成果



A. Takada+, Proc. SPIE (2016)

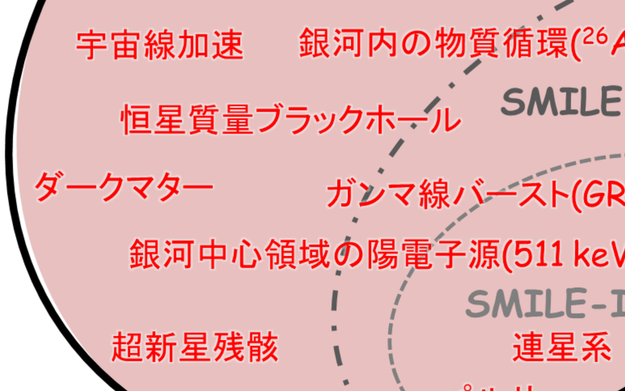
銀河系内の^{26}Al分布からその生成源に決定打

3. 月惑星探査と相対論的電子降下現象

かぐや	X線	ガンマ線
測定対象	Mg, Al, Si, (Ca, Ti, Fe)	(H), O, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Th, U
空間分解能	~20 km @100 km	~130 km @100 km
探査深さ	< 10^{-4}～10^{-2} g/cm^2 (数 μm)	< 4～40 g/cm^2 (数十 cm)
日陰（夜・極域）	探査×	探査○

Hasebe+, J. Phys. Soc. Jpn. 78 (2009) 18

かぐやで~130 kmだった空間分解能を数kmの分解能で資源探査できる



Karouji+, 日本惑星科学会誌 17 (2008) 161-166



気球実験なら相対論的電子降下現象（REP）も観測ターゲットに

4. 核ガンマ線宇宙科学マップとSMILE

Sub-MeV/**M**eV gamma-ray **I**maging **L**oaded-on-balloon **E**xperiments

SMILE装置の詳細は P-159！

mizumura@cr.scphys.kyoto-u.ac.jp

This document is provided by JAXA.