

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02185

研究課題名(和文) イメージング核分光による銀河内元素合成・循環その場観測

研究課題名(英文) Observation of nucleosynthesis and circulation in the galaxy by nuclear gamma-ray imaging spectroscopy

研究代表者

谷森 達 (Tanimori, Toru)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：10179856

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,310,000円

研究成果の概要(和文)：MeVガンマ線は元素合成を直接観測できる唯一の窓である。しかし不完全な画像法のため停滞していた。我々は電子飛跡検出コンプトンカメラを開発、MeVガンマ線方向測定に成功しガンマ線完全可視化技術を確認、Crab、銀河511keV線が1日で検出可能なSMILE2+装置を開発、18年にJAXA豪州気球を用いて銀河を観測。予定通りに星雲と銀河中心511keVを4～5σで検出さらに銀河拡散ガンマ線、宇宙背景MeVガンマ線はそれぞれ10σ以上で検出し、0.2～7MeVのスペクトルを求めた。特に銀河拡散線が理論より1桁多いことを実証、暗黒物質からの崩壊など未知の機構を示唆する兆候が出た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MeVガンマ線は原子核反応で出る核ガンマ線であり、大きな謎である宇宙元素合成を直接観測出来る窓である。さらに物質状態での最高温度もMeVであり、宇宙の超高温状態を調べる有力な手段である。また太陽や地球近傍での高エネルギー粒子もMeV領域であり地球磁場、気候にも大きな影響を与える。このように宇宙論から地球環境まで重要な情報を与える観測の窓であったが画像法が不確定で天文学の中で唯一20年停滞していた。我々は核ガンマ線の完全可視化に世界で初めて成功、その成果を天体観測に利用し一気に従来法の感度を2桁近く上回ることを実証した。核ガンマ線は医療など応用分野も大きく、今後幅広い応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：MeV gamma astronomy is the only window for the direct observation of nucleosynthesis. However, the study has been stagnated due to the incomplete imaging method and huge background. We developed an electron track detection Compton camera, succeeded in measuring the direction of arrival of a MeV gamma ray, and established a proper gamma ray imaging technology. Then we constructed SMILE2+ instrument that can detect both the gamma emissions of Galactic center 511 keV and Crab in one day. We observed the Galactic Center using JAXA Australian balloon in 2018. As planned, Crab and Galactic Center 511 keV were detected with 4-5σ. Furthermore, both the galactic diffuse and the cosmic diffuse gammas were detected with 10 sigma and more, and their spectra are being obtained. In particular, it is proved that the excess of gammas of Galactic diffuse was more an order of magnitude higher than the theory, which may suggest the existence of an unknown mechanism such as decay from dark matter.

研究分野：宇宙線物理学

キーワード：MeVガンマ線物理学 原子核宇宙物理学 ETCC 銀河拡散ガンマ線 銀河中心 元素合成 暗黒物質 原始ブラックホール

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

### 1. 研究開始当初の背景

MeV ガンマ線天文学は 1990 年代 COMPTEL により開拓された [1]。しかし COMPTEL に使われた従来型コンプトンカメラ(CC)法は反跳電子の方向の欠如から 1 つの到来方向 (ARM) のみ決まり、そのため方向が円環でしか決まらず、大量の放射雑音の除去も困難であった。そのため予想の 1/3 に感度が下がったが 30 個の天体を発見[1]。その後 INTEGRAL は 0.6MeV 以上で 4 天体の観測のみである[2]。今まで CC の開発は多数行われたが観測結果を得たのは UC の NCT・COSI[3]と我々の ETCC のみである。NCT は Ge 製 CC を用い Crab を観測したが、画像処理法 MELM の適用で  $4\sigma$  を検出 (適用しないと信号は無い) しかも検出数は予想の 1/6 であった。我々は ARM と電子飛跡からもう 1 つの到来方向角 SPD も測定出来る ETCC を 2000 年から開発、06 年には気球観測(SMILE1 : SM1)を行い、飛跡エネルギー損失  $dE/dx$  から放射雑音の大半を除去し宇宙拡散 MeV ガンマ線測定に成功した[4]。09 年から中型 30cm 角 ETCC を開発、SM1 より 100 倍の感度を実現、さらに 17 年に電子飛跡精度向上による SPD 改善から CC 法と比べ感度を 6 倍改善。これから光学望遠鏡と同様な Point Spread Function(PSF)を決定し 1 度の解像度の実現性を実証し、1 度の PSF を持つ 50cm 角 ETCC を 4 台使用する衛星で 1mCrab の感度が可能なことを ApJ に発表した[5]。同時に CC 法は PSF が 40 度以上と大きいことが判明、今まで ARM 角の改善にも関わらず感度改善が進展しない理由を解明した。ETCC では CC 法に比べ雑音が PSF の比の 2 乗、1/100 以下に減衰する。このように ETCC は高感度イメージング核分光を世界で初めて実現、CC のような遠方のガンマ線源のしみ込みを大幅に抑えた (図 1b)。この「しみ込み」は CC が広い PSF を持つ確実な証拠である[6]。このためいくらかエネルギー分解能 ( $\Delta E/E$ )が良くても大きな漏れ込みでペクトロスコーピー(核分光)観測は不可能になる。ETCC の GSO は  $\Delta E/E$  が 10%と半導体に比べ約 10 倍悪いが、PSF が 5 度による改善効果は約百倍であり全体で 10 倍の S/N 改善が期待される。この性能を天体観測でも実証出来れば MeV ガンマ線天文学を一期に推進できる

### 2. 研究の目的

MeV ガンマ線観測は超新星爆発(SN)での元素合成を核ガンマ線で直接観測できる唯一の窓であり、銀河進化解明にも重要である。また加速器による不安定核実験からも元素合成が議論されている。しかし宇宙ガンマ線観測は不明確な画像法と高雑音のため結果が少なくデータの比較検討は進んでいない。我々は電子飛跡検出コンプトンカメラ(ETCC : 図 1 a)により MeV ガンマ線の完全な到来方向測定に成功し PSF を定義、PSF1 度の実現で数百の SN が検出可能な 1mCrab の感度の可能性を発見。まず現在の 10 度の PSF から 5 度に改善し JAXA 豪州気球を用いて銀河 511 keV、26Al の精密な銀河面分布を測定、PSF の能力を実証することで、世界に先駆け宇宙核ガンマ観測に基づく「観測的核宇宙物理学」を始動する

### 3. 研究の方法

従来型 CC 同様 ARM のみを用いて感度を計算し 2015 年に Crab 検出を目的として開発した MILE2 (SM2) [5]を、PSF を用いて感度を再評価すると南天からの Crab 検出、銀河中心 511keV の  $3\sigma$  以上の検出には有効面積が不足で、3 倍以上増加必要ことが判明、この申請では SM2 を基に有効面積を 0.5、1MeV で各々 6、30 倍に改善する SMILE2+ (SM2+) を製作する。そのため底面 GSO-PSA の 1 放射長を 2 倍にする。TPC ガス層を 2.5 気圧耐圧に改善、AA ガスを 2 気圧で使用する。さらに底面シンチレーターをガス層内部に設置することで TPC ガス層を飛び出す 300keV 以上の全反跳電子のエネルギー計測を可能にする。このような高エネルギー反跳電子のガス多重散乱は小さく 1000keV 以上のガンマ線の SPD 角分解能を最高 5 度に改善、全エネルギーで PSF、10-20 度を実現、精密な銀河面ガンマ線分布測定を可能にする。この改善で今まで TPC を飛び出してしまい解析に使用できなかった 300keV 以上の電子を捉え、他の上記改善と併せて上に述べた有効面積増加を実現する (図 1c)。

この改善された SM2+を用いて 2018 年、JAXA の豪州気球を用いて 1-2 日の銀河面観測を行う。またそれに備えた熱真空試験など必要な事前試験を行う。Alice Springs の 1 日の銀河中心 (GC) を含む銀河バルジと半分のディスク領域、かに星雲の観測が一度に行える。Crab, GC 511 keV 以外に SM1 で検出した宇宙拡散ガンマ線 (Cosmic Diffuse MeV Gamma, CDG) の高統計なスペクトル観測、さらに銀河拡散 MeV ガンマ線 (Galactic Diffuse MeV Gamma, GDG) の観測も期待される。

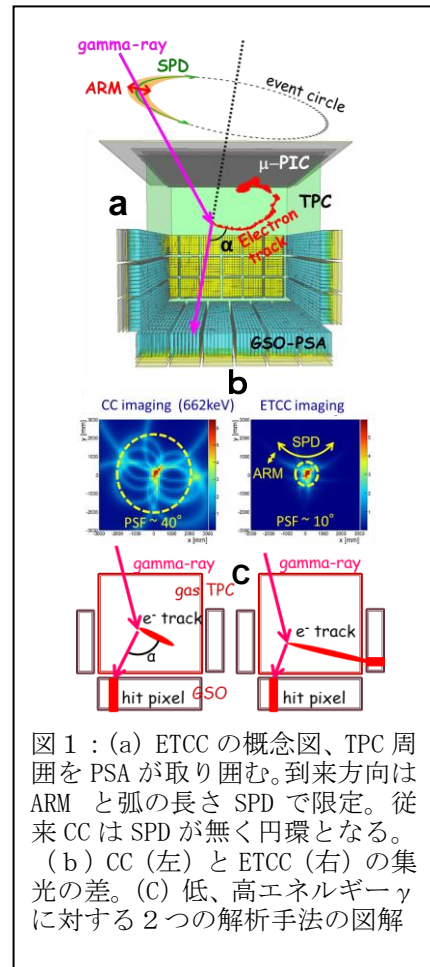


図 1 : (a) ETCC の概念図、TPC 周囲を PSA が取り囲む。到来方向は ARM と弧の長さ SPD で限定。従来 CC は SPD が無く円環となる。(b) CC (左) と ETCC (右) の集光の差。(c) 低、高エネルギー  $\gamma$  に対する 2 つの解析手法の図解

#### 4. 研究成果

2016 年度に現在、次期 MeV 観測提案の多くが採用する従来の CC 法では光学基本原理である照度（単位立体角当たりの光線数）の保存が不可能であり 2 次元 PSF が定義出来ず、数 10 度以上のピンボケ状態であることを解明。そのため原理的に X、GeV 望遠鏡のようにイメージング分光が不可能で定量観測の困難さを実証。一方 ETCC は  $\gamma$  線方向を集光し数度の PSF が可能であり（現在は 15 度）、他波長と全く同じイメージング分光による定量的画像測定を実現した [5, 6]。MeV ガンマ線の定量的画像解析には他波長と同様にイメージング分光の実現が不可欠であることを証明し、さらに福島汚染地区で広がった汚染個所でイメージング分光により画像内の場所毎の正確なスペクトル抽出に成功、有効性を実際の現場測定で実証した [7]。このイメージング分光技術に基づく SM2+ 気球観測装置を 16-17 年で製作 [8]、17 年秋には JAXA での熱真空試験を実施、18 年 1 月に豪州に輸送、18 年 4 月に JAXA 気球により豪州で銀河を含む南天を観測、1 日の観測で MeV  $\gamma$  線天文学を進展させる以下の成果を得た。

(1) Crab、GC-511keV、GDG、CDG はすべて予定感度で検出 (図 5, 6)。Crab は  $3 \sim 5 \sigma$  で INTEGRAL とスペクトルもほぼ一致 (図 6)。COMPTEL 以後、従来 CC 法では予想感度を大きく下回る結果のみが報告、未だに統計的に有意な観測はせいこうしていない。ETCC は 2 次元 PSF と有効面積で決まる感度で予想される精度で検出が出来、イメージング分光の重要性を実証。今後確実に予想に沿った観測が実現する。

(2) 完全なイメージング分光により CC 法より 2 桁以上の雑音除去に成功 (図 2)、図 3、7 の放球後の上昇中の  $\gamma$  線減衰率から大気由来  $\gamma$  線寄与が計算され 4 割程度の寄与と推定。さらに実験終了前 GC が視野に入ると 3 割  $\gamma$  線検出率の向上が 2 つの独立解析で確認 (図 1c、図 3)。この比は CDG と GDG の予想比率と一致し雑音混入が数割以下と判明。このように従来観測の 3 桁雑音から一気に雑音の無い宇宙 MeV  $\gamma$  線取得に成功、今までの観測装置より 2 桁感度向上を達成。

(3) PSF が定義できるためオフ領域が設定でき、GC をオンとし、銀河外をオフとして差引きで装置及び大気雑音除去が可能となり、4 時間の観測で GDG に対して INTEGRAL [2]、COMPTEL [9] の 9 年の観測を統計、系統誤差共に凌ぐスペクトルを取得 (図 4, 7)。特に COMPTEL は未発表の不完全な結果で信用性が非常に低い。従来のデータは宇宙線電子で予想される強度より約 1 桁大きく問題となっていたが [10]、我々のデータによりそれを確定できた (図 7)。同時観測した Crab スペクトルは (1) に述べたように他と一致している。

(4) 511keV ライン  $\gamma$  も  $4 \sigma$  以上で検出し (図 4)、ラインガンマ線でも SM2+ は高エネルギー分解能 Ge を搭載した INTEGRAL の約 5 倍の効率が判明。SM2+ のエネルギー分解能は 12% と Ge より 50 倍悪いがイメージング分光により雑音を 3 桁下げることでラインガンマ線に対しても高い能力を実証。

(5) 上記の (3) と同様、銀河を含まない全領域の平均を OFF として図 5 のように南天全域のサブ MeV-MeV  $\gamma$  線強度分布を世界で初めて得た (COMPTEL は MeV 以上かつ最適化法による疑似画像のみである。最適化法で定量的フラックスを求めるのに成功した例はない、最近の気球実験でも Crab に対して画像はなにか見えているが統計的優位性はないという報告が出ている)。統計は不十分だが銀河中心は広がりハローに見える。(3) のスペクトルの増加、この GC のハロー構造は共に DM 起源の特徴であり高精度観測を早急に実現する必要がある。

(6) 今まで CDG は気球実験やアポロによりスペクトロメーターで測定された実験 [11] は多数あるが雑音の混入評価が難しく信頼性は低いとされていた。広視野から測定した結果は COMPTEL のみだが [12]、直接 CDG の観測が不可能であり、数百倍の雑音から CDG を推測するため雑音計数をゼロまで演繹するという手法を用いたため、9 年の観測があるが大きな統計と系統誤差がある。このように今まで

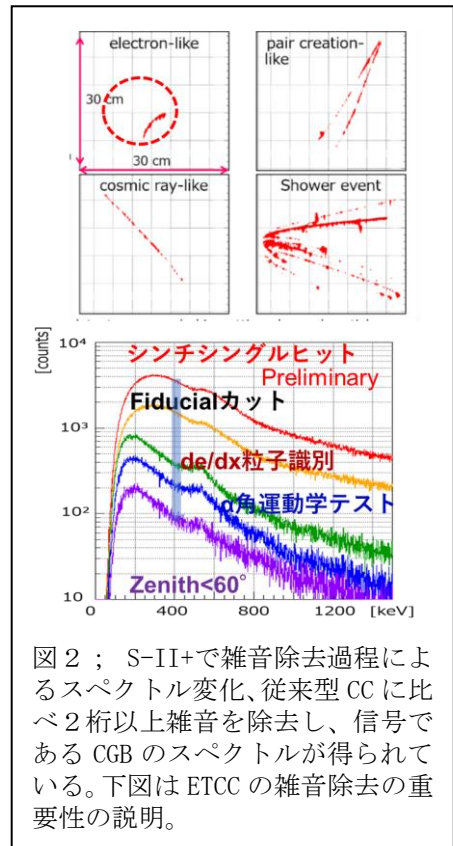


図 2 ; S-II+で雑音除去過程によるスペクトル変化、従来型 CC に比べ 2 桁以上雑音を除去し、信号である CGB のスペクトルが得られている。下図は ETCC の雑音除去の重要性の説明。

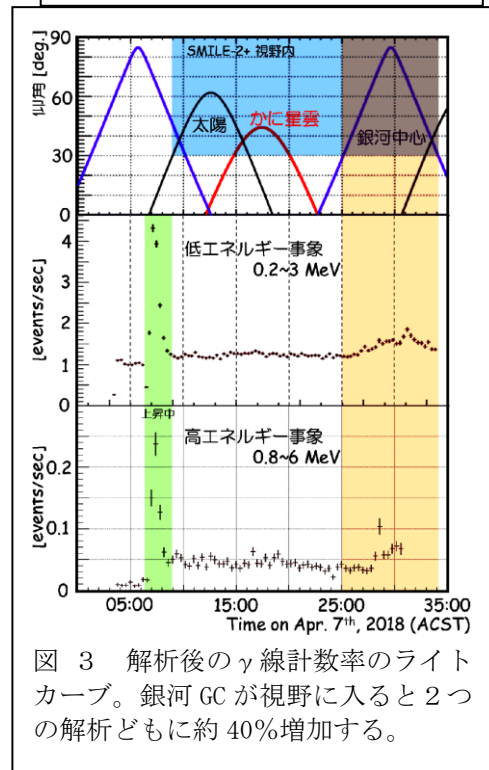


図 3 解析後の  $\gamma$  線計数率のライトカーブ。銀河 GC が視野に入ると 2 つの解析どもに約 40% 増加する。



信頼性のある MeV 領域 CDG の観測結果は無かった。SM2+は(2)で述べたように大気からの雑音混入は2割以下と少ない。しかし CDG 自体が装置と大気から散乱し ETCC に入る成分は ETCC に直接入る成分の数倍あり、これを分離する必要がある。気球では大気上昇中に大気ガンマ線が減少するが上空で CDG の影響で減少率が、CDG が入る上方とそれが無い下方からのガンマ線スペクトルの差から求める手法が確立している。しかし、装置雑音混入など雑音量が不明

であり、信頼性が低かった。ETCC は(2)で述べたように最終的に残っている成分は大気ガンマ線と CDG のみであり CDG が5割程度あるのは確かである。また上昇法は光度と共に大気ガンマ線が減少するのがシミュレーション等でも計算可能なため ETCC の場合は高精度が期待できる。この結果を用いて大気厚さを関数として上方からのガンマ線フラックス変化を表した図8を示す。上空で明らかに CDG の成分が突出してきたのが見える。このように世界で初めて確度の高い、かつ高統計な CDG のスペクトルを得ることに成功した(7) ETCC は水平線下までも観測可能な広視野装置である。そのため大気と宇宙の境界領域で発生する Relativistic Electron Precipitation (PRE) のような地球磁場に関係した高エネルギー事象の観測が可能となる[13]。今回、実験終了間際1時間前にライトカーブの増加があり、銀河中心と同等な程度まで上がり、途中で実験を終了した。約45分以上の継続があり、ガンマ線バーストとは考えにくい。またガンマ線

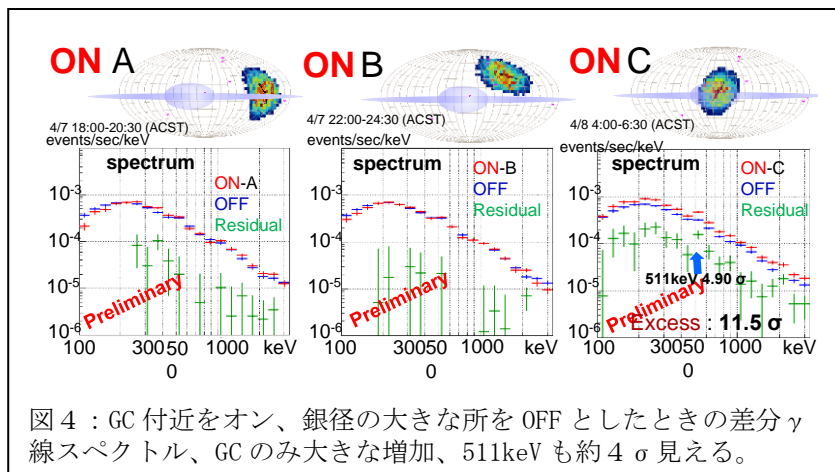


図4：GC付近をオン、銀径の大きな所をOFFとしたときの差分 $\gamma$ 線スペクトル、GCのみ大きな増加、511keVも約4 $\sigma$ 見える。

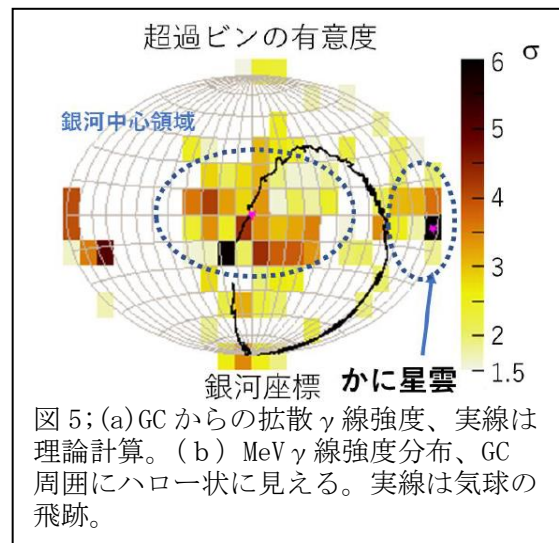


図5; (a)GCからの拡散 $\gamma$ 線強度、実線は理論計算。(b) MeV $\gamma$ 線強度分布、GC周囲にハロー状に見える。実線は気球の飛跡。

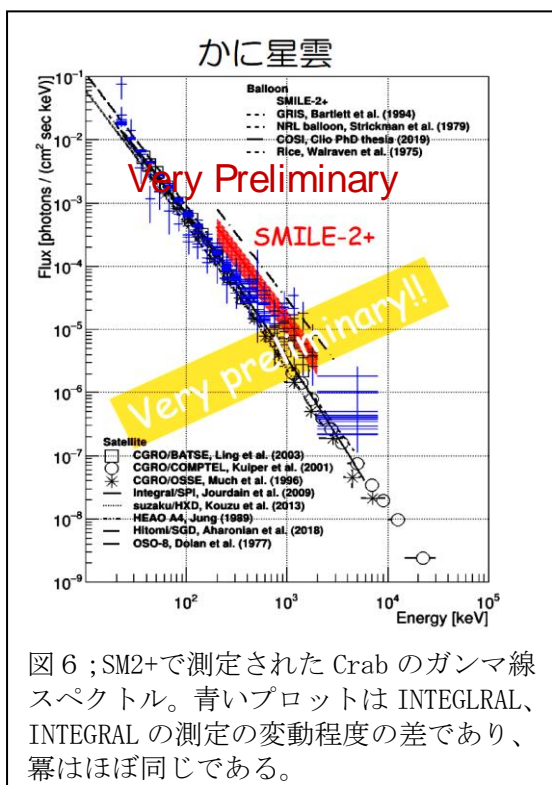


図6；SM2+で測定されたCrabのガンマ線スペクトル。青いプロットはINTEGRAL、INTEGRALの測定の変動程度の差であり、冪はほぼ同じである。

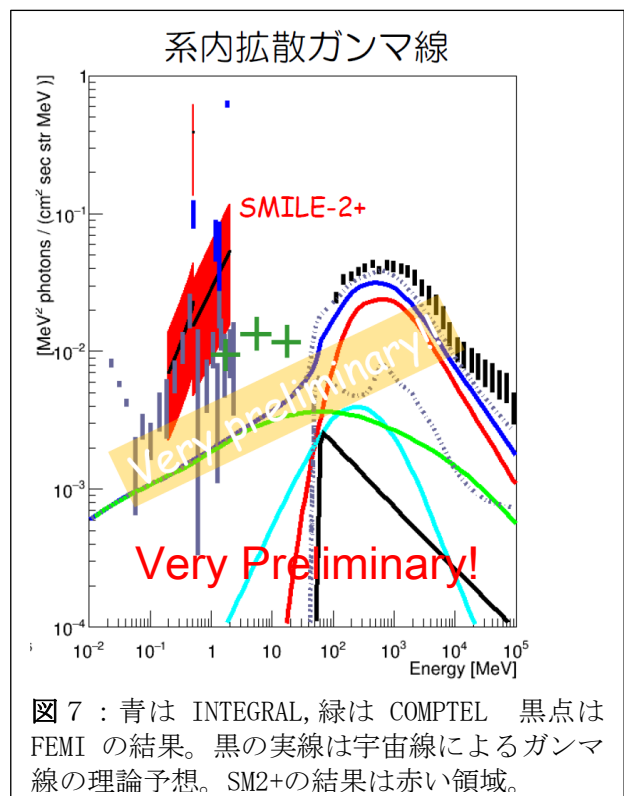


図7：青はINTEGRAL、緑はCOMPTEL 黒点はFEMIの結果。黒の実線は宇宙線によるガンマ線の理論予想。SMILE-2+の結果は赤い領域。

分布は下方、上方共に光っていて明らかに銀河中心のような天空からの事象とは異なっている。明らかにこの境界領域の事象である継続時間、スペクトルは REP の特徴と一致する。ただ我々は低緯度（南緯 23 度）での観測で、REP は極圏域に多い。ただ低緯度領域にもまれに REP にいた事象報告が以前あった。しかし今回観測されたエネルギーフラックスは従来の観測の 2 桁程度低い、今まで地球科学では検出されなかった微弱フラックスである。全く新しい現象の可能性もあり今後精密解析を実施する。

これらの成果は順次、日本天文学会、物理学会、さらに昨年 9 月の TAUP2019、12 月の TeVPA2019、Texas2019、20 年 1 月米国の天文学会の MeV ガンマ線専門会議等と代表的な国際会議で結果の発表を行ってきた。今年論文発表を行う。また NASA の 2020Decadal Survey にこの成果を基に次期 MeV ガンマ線衛星提案を行った[14]

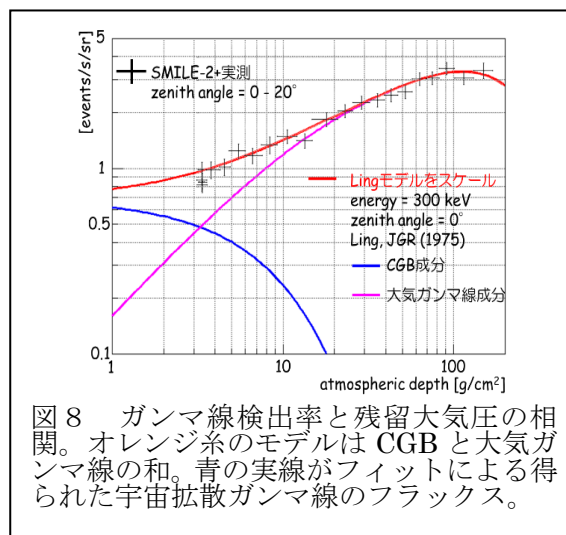


図 8 ガンマ線検出率と残留大気圧の相関。オレンジ糸のモデルは CGB と大気ガンマ線の和。青の実線がフィットによる得られた宇宙拡散ガンマ線のフラックス。

#### 【引用文献】

- [1] V.Schönfelder et al., A&ASS Vol. 143, 145-179 (2000), [2]Bouchet L. et al., ApJ 679, 1315 (2008) [3] C. A. Kierans, astro-ph.HE arXiv:1912.00110v2, (2019) [4]A.Takada et al. , ApJ. 733, 13 (2011) [5]T.Tanimori et al. ApJ 810 (2015), [6]T.Tanimori, et al. Sci. Reports 7, 41511 (2017), [7]T.Tanimori, et al. Sci. Reports 7, 41972 (2017) [8] A.Takada et al. Proc. SPIE 9905., 99052M (2017), [9]A.W.Strong Proc. 3rd INTEGRAL Workshop (1998), arXiv:astro-ph/9811211v1, [10]B.C.Lacki et al ApJ, 786:40, (2014), [11] J.I.Trombka et al., ApJ. 212, 925, (1977), [12]G.Weidenspointner et al., AIP Conf. 510, 467, (2000), [13] J.E.Foat et al., Geo. Re.Lett. Vol.22 4109, (1998), [14] K.Hamaguchi et al., NASA Decadal Survey WP arXiv:1907:06658 (2019)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 T.Tanimori	4. 巻 1468
2. 論文標題 MeV Gamma-ray imaging spectroscopic observation for Galactic Centre and Cosmic Background MeV gammas by SMILE-2+ Balloon Experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12046
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/1468/1/012046	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 T.Takemura et al.	4. 巻 174
2. 論文標題 Development of the micro pixel chamber based on MEMS technology	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 02010
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1051/epjconf/201817402010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Y. Mizumura, T. Tanimori, A. Takada	4. 巻 14
2. 論文標題 Possibility of Systematic Study of Supernova Explosions by Nuclear Imaging Spectroscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 20607
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.7566/JPSCP.14.020607">https://doi.org/10.7566/JPSCP.14.020607</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 T. Takemura, T.Tanimori et a;/	4. 巻 174
2. 論文標題 Development of the micro pixel chamber based on MEMS technology	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 2010
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1051/epjconf/201817402010">https://doi.org/10.1051/epjconf/201817402010</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 T.Tanimori et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 Establishment of Imaging Spectroscopy of Nuclear Gamma-Rays based on Geometrical Optics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 41511
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1038/srep41511	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Tomono, T.Tanimori et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 First On-Site True Gamma-Ray Imaging-Spectroscopy of Contamination near Fukushima Plant	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 41972
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1038/srep41972	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K.Komura, T.Tanimori et al.	4. 巻 839
2. 論文標題 Imaging Polarimeter for a Sub-MeV Gamma-Ray All-sky Survey Using an Electron-tracking Compton Camera	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astro, PhysJ.	6. 最初と最後の頁 41-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa68dc">https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa68dc</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 T.Tanimori
2. 発表標題 MeV Gamma-ray imaging spectroscopic observation for Galactic Centre and Cosmic Background MeV gammas by SMILE-2+ Balloon Experiment
3. 学会等名 TAUP 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Tanimori
2. 発表標題 Imaging Observation for Cosmic MeV $\gamma$ Background and Galactic Diffuse MeV $\gamma$ by SMILE2+ balloon-borne experiment
3. 学会等名 teVPA2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Tanimori
2. 発表標題 New observation for MeV gamma spectra and distributions of both Galactic Center and Cosmic Background MeV gammas by SMILE2+ balloon borne experiment
3. 学会等名 Texas Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Tanimori
2. 発表標題 Electron Tracking Compton Camera (SMILE-Project)
3. 学会等名 AAS 235 Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K.Yoshikawa et al.
2. 発表標題 SMILE-2+ : The 2018 balloon campaign in Australia of MeV gamma-ray telescope
3. 学会等名 42th COSPAR Scientific Assembly (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 K.Takemura et al.
2. 発表標題 Performance of SMILE-2+ Electron-Tracking Compton Camera
3. 学会等名 42th COSPAR Scientific Assembly (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K.Nakamura et al.
2. 発表標題 SMILE-2+: the 2018 balloon flight and the instrument design of the electron-tracking Compton camera
3. 学会等名 SPIE astronomical telescopes + instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T.Tanimori et al.
2. 発表標題 Electron Tracking Compton Camera and its good features for MeV gamma-ray imaging and astronomy
3. 学会等名 To 2020 AND BEYOND Radionucleid Astronomy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高田淳史、谷森達 他
2. 発表標題 SMILE: 究極感度 核ガンマ線全天探査計画
3. 学会等名 2017年度第2回CRC将来計画タウンミーティング
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 谷森達
2. 発表標題 核ガンマ線イメージング分光法が開く新しい地球圏・惑星探査
3. 学会等名 第142回 地球電磁気・地球惑星圏学会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水村好貴 谷森達 他
2. 発表標題 MeVガンマ線天文学開拓のための豪州気球実験SMILE-2+の準備状況
3. 学会等名 日本天文学会 2017年秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K.Yoshikawa T.Tanimori et al.
2. 発表標題 Development of data-acquisition system for reducing dead time in our Gamma Ray Compton Telescope
3. 学会等名 IEEE NSS/MIC/RTSD 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 A.tkada, T.Tanimori et al.
2. 発表標題 MeV Gamma-Ray Observation Based on the Ray-Tracing Cameras Loaded on Balloons
3. 学会等名 The 31st International Symposium on Space Technology and Science
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T.Takemura et al.
2. 発表標題 SMILE: MeV gamma-ray imaging-spectroscopy with well-defined point spread function using gaseous electron-tracking Compton camera
3. 学会等名 Gamma-Ray Astrophysics in Multi-Wavelength Perspective (11th INTEGRAL Conference) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y.Mizumura et al.
2. 発表標題 Possibility of Systematic Study of Supernova Explosions by Nuclear Imaging Spectroscopy
3. 学会等名 14th International symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC XIV) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 A.Takada et al.
2. 発表標題 MeV gamma-ray observation with a well-defined point spread function based on electron tracking
3. 学会等名 SPIE astronomical telescopes + instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 A.Tkakada
2. 発表標題 Proposal of balloon and satellite observations of MeV gamma-ray using ETCC for reaching a high sensitivity of 1 mCrab
3. 学会等名 HEAD 15th Divisional Meeting (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

SMILE Project  
<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/research/MeV-gamma/wiki/wiki.cgi>  
京都大学理学研究科 物理第2分野 宇宙線グループ  
<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/research/MeV-gamma/wiki/wiki.cgi>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----