

「超広角コンプトンカメラ」による放射性物質の分布の可視化実例

武田伸一郎 Shin' ichiro Takeda (takeda@astro.isas.jaxa.jp)、渡辺伸、高橋忠幸

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 (ISAS/JAXA)

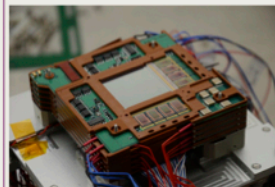
宇宙用検出器の地上用途への応用

ISAS/JAXA 高橋研究室では、過去 15 年にわたる独自の Si と CdTe の半導体検出器開発を土台として、高感度・広視野かつコンパクトな構造を特徴とする、新しいガンマ線イメージング装置、Si/CdTe コンプトンカメラの開発を進めてきた。「ASTRO-H」衛星の軟ガンマ線検出器 (SGD) の主検出部には、天体観測用に最適化した Si/CdTe コンプトンカメラを搭載、100-600 keV にわたって過去最高感度での高エネルギー天体観測を狙う。

一方で、Si/CdTe コンプトンカメラは、天体観測用途にとどまらず分野を超えた応用展開の可能性を有している。なぜなら、コンプトンイメージング法は、これまでに核医学分野などで確立してきたコリメータを用いたイメージング法では困難であった、300 keV 以上の高エネルギーガンマ線を放出する放射性同位体の高精度位置決定を可能とするからである。



「超広角コンプトンカメラ」モジュール



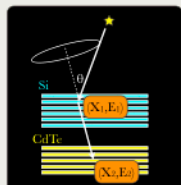
(写真) 250 um pitch の Si 両面ストリップ検出器を 2 層、250 um pitch の CdTe 両面ストリップ検出器を 3 層積層した「超広角コンプトンカメラ」モジュール。最初の医療用プロトタイプ機 (左中段) に比べると感度は 10 倍以上、はるかにコンパクトになった。

東日本震災に伴う福島第一原子力発電所の事故により、放射性物質が広範囲に拡散する事態の中、放射性物質の可視化装置 (イメージング装置) の実用化が強く望まれている。優れたイメージング装置が実現すれば、今後除染を行うにあたり、作業前にホットスポットを特定して重点的な除染を行うことによる作業の効率化、作業後の取り残しチェックによる作業の信頼性向上、等に貢献できる。

事故から約一ヶ月後、東京電力からの相談を契機として、福島用のプロトタイプ機の製作をスタートした。「ASTRO-H」衛星搭載の硬X線イメージャー (HXI) の設計資源を有効利用して、急ピッチで製作したが、Si検出器2層、CdTe検出器3層からなる「超広角コンプトンカメラ」 (左写真) である。

Si/CdTe コンプトンカメラとは？

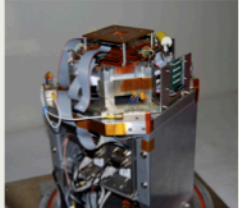
次世代型の「超広角」ガンマ線イメージングシステム



高エネルギー分解能・高精度位置分解能を特徴とする、SiとCdTeの半導体検出器を積層した構造。装置内部で発生したコンプトン散乱のプロセスを記録し、入射ガンマ線の方向をコンプトン運動学から計算、線源位置を特定する。既存の装置で用いられる、コリメータやピンホールマスクを必要としない。そのため、あらゆる方向からのガンマ線を検出でき、小型・軽量の装置で広い視野をカバーできる。

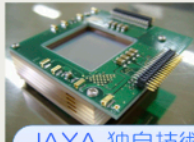
広角撮像能力 (180x180度、半球)
検出器遮蔽を必要としない小型・軽量システム
積層数を増やすことで感度を向上できる

最初の医療用プロトタイプ

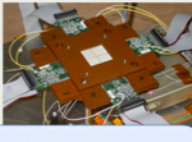


(S.Takeda Ph.D thesis, University of Tokyo 2009)

多積層 DSSD モジュール



多積層 CdTe モジュール

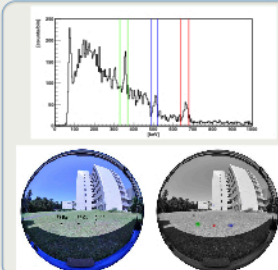
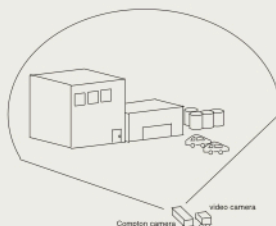
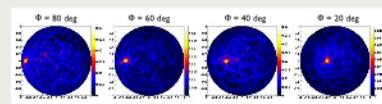


JAXA 独自技術

低ノイズ アナログASIC
高エネルギー分解能 CdTe 検出器
低ノイズシリコン検出器

放射性物質のマッピングへの応用

コンプトンカメラは、フィールド内に位置する放射性物質の可視化に応用可能である。コリメータを用いる方法は、高エネルギー核種への対応が困難であることに加え、ガンマ線の入射が決まった方向に限定されているため、広い範囲を監視することが難しく、現実的でない。コンプトンカメラは、ガンマ線の入射方向を限定しないため、 2π の視野を実現できる。(下図)



コンプトンカメラのもうひとつの特徴は、一度の撮像で、複数の核種の分布をカラー画像化できることにある。左図は、宇宙研中庭に3種類の放射性同位体 137-Cs (662 keV)、22-Na (511 keV) 133-Ba (356 keV)、を配置しておこなった、デモンストレーション実験でえられたもの。スペクトル空間で解析ウィンドウを設定し、各核種からのガンマ線を分離できる(左図上)。左図下が、可視光画像とガンマ線画像を重ね合わせたもの。ガンマ線画像中、緑が133-Ba、赤が137-Cs、青が22-Naである。

参考文献

- ① JAXA プレスリリース "「超広角コンプトンカメラ」による放射性物質の可視化に向けた実証試験について", Online: http://www.jaxa.jp/press/2012/03/20120329_compton.html 2012年3月
- ② 渡辺伸、武田伸一郎、高橋忠幸 "超広角コンプトンカメラによる放射性物質の可視化" 岩波書店「科学」2012年7月号
- ③ 高橋忠幸、渡辺伸、武田伸一郎 "超広角コンプトンカメラによる放射性物質の可視化に向けた実証試験", 宇宙科学研究所 ISASニュース 2012年7月号 Online: <http://www.isas.jaxa.jp/ISASnews/No.376.ISASnews376.html>
- ④ S. Takeda et al. "Applications and Imaging Techniques of a Si/CdTe Compton Gamma-ray Camera", Physics Procedia vol.37, pp. 859-866 (2012)

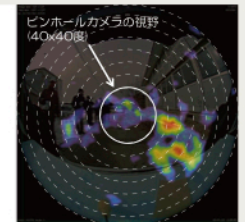
福島での実地撮像実験



(写真) 実地試験で使用した装置。「超広角コンプトンカメラ」モジュールを2つ並べて感度を向上させたものを、冷却ボックスに入れて、車載した状態で測定をおこなった。

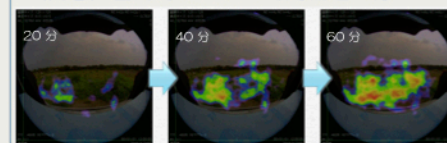
「超広角コンプトンカメラ」の広角撮像能力は、広い敷地におけるホットスポットを探索する上で有利であると考えられる。しかし、広く拡散した放射性物質がバックグラウンドを作っている環境下において、コンプトンカメラが検出した例は過去に無く、どのようなコントラストの画像が得られるかが不明であった。よって、実地での実証実験が不可欠である。関連諸機関の協力をえて、これまでに計5回、装置を実地に持ち込んで実証実験をすすめてきた。左図のように、「超広角コンプトンカメラ」モジュールを2つ並べたものを、冷却ボックスに入れ、車載した状態で撮像実験をおこなった。

(例①) 飯館村で取得した画像



(左) 魚眼レンズを装着したデジタルカメラの可視光画像。(右) 可視光画像にガンマ線画像を重ねたもの。画像中、赤色がガンマ線の強度が強い場所を示している。ここは、建物の屋根をつたって雨水が落ちる場所になっており、最大30 マイクロ Sv/h のホットスポットが存在している。同時に、既存のピンホールカメラの視野 (40x40度) を白円で示した。白点線は10度ピッチで、全体で180x180度(半球)の視野を示す。「超広角コンプトンカメラ」を使えば、ピンホールカメラに比べて、10倍以上の領域からホットスポットを検出できる。

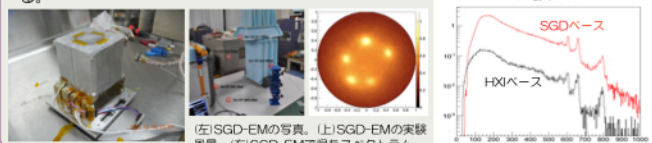
(例②) 富岡町の田畑の時間経過画像



富岡町の田畑の時間経過画像。撮像開始から20、40、60分。データの統計がたまると、より弱い集積が浮かび上がる。

SGDベースの後継機開発

科学技術振興機構(JST)の支援のもと、三菱重工業と名古屋大学と共同で、飛躍的な感度向上を目指した後継機を開発を、急ピッチで進めている。後継機は、「ASTRO-H」衛星の軟ガンマ線検出器 (Soft Gamma-ray Detector, SGD) の技術をベースとしたもので、SiとCdTeの積層枚数を増やすことで、これまでの「超広角コンプトンカメラ」に比べて、10倍以上の感度向上を狙っている。後継機を用いると、数分程度の撮像で放射性物質の集積が検出できるようになり、除染作業者が、作業中にリアルタイムで除染の効果を確認するよう用途への応用も期待できる。



(左) SGD-EMの写真。(上) SGD-EMの実験風景。(右) SGD-EMで得たスペクトラム。