

**X線突発天体の監視による重力波源の同定とブラックホール  
形成メカニズムの研究**

Identification of Gravitational Wave Sources with X-ray  
Transient Monitor and Study of Black Hole Formation  
Mechanism

課題番号：16H06342

**米徳 大輔** (YONETOKU, DAISUKE)

金沢大学・理工研究域・教授



研究の概要（4行以内）

近年、非常に注目されている重力波天文学の発展を目指し、超小型衛星プラットフォームを用いた広視野X線撮像観測を展開する。重力波の検出と同期したX線突発天体の発生時刻・発生方向を同定し、世界中の観測者が迅速に追観測を行える環境を構築する。これらの観測により、ブラックホールが誕生する瞬間に、極限的な時空環境で生じる物理現象を理解する。

研究分野：

キーワード：ガンマ線バースト、重力波、人工衛星、検出器開発

1. 研究開始当初の背景

2015年9月15日に米国の重力波観測施設LIGOによって、史上初となる重力波の直接検出が実現した。人類は「重力波」という宇宙観測の新たな手段を獲得したため、「重力波」と「電磁波」の連携観測によって、未だ誰も実現したことのない宇宙物理学を展開できるはずである。特にブラックホールが形成する瞬間や、その周辺環境で生じる現象など、強い重力場における物理学の理解が飛躍的に進むだろう。

しかしながら、重力波の観測だけでは方向決定精度が不十分なため、電磁波で輝く天体を発見することが困難な状況である。本研究では、重力波観測が本格化する2018年頃に、広視野X線撮像検出器を搭載した超小型衛星を打ち上げ、重力波の発生と同期した突発天体の発見を目指す。X線・ガンマ線天体の発見情報を迅速に通報し、可視光・赤外線・電波などのあらゆる波長帯での追観測を展開することで「重力波天文学」という新たな学術分野の創成・発展に貢献する。

2. 研究の目的

我が国のKAGRAをはじめとして世界に大型の重力波干渉計が建設されており、2019年頃から本格的な同時観測がはじまる。重力波観測のみでは現象の発生方向の同定精度が不十分であるため、重力波と同時に発せられる電磁波を観測することが期待されている。

電磁波の中でも、X線観測は全天の1/10以上の領域を網羅する超広視野観測を実現できるため、重力波が発生した瞬間を同時に観測できるという特徴がある。本研究では、我々がこれまでに開発してきた広視野X線撮像検出器のフライトモデルを開発し、突発天体の発見をいち早く通報するシステムを導入した超小型衛星を開発する。本研究で構築する衛星を観測拠点とし、地上・宇宙の大型観測施設による追観測を行うことで、より詳細で多様な観測データを取得する環境を構築することを目的とする（図1）。

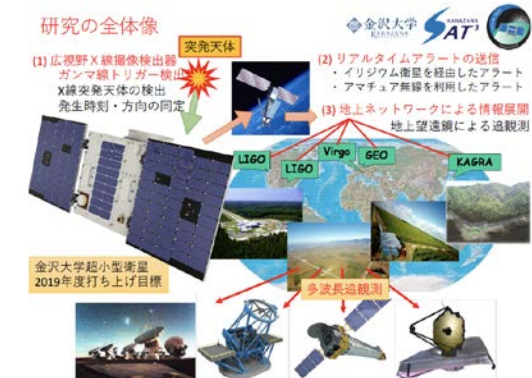


図1. 本研究の全体像を示した図

3. 研究の方法

金沢大学では、宇宙理工学が一体となった教育プロジェクトとして超小型衛星の開発を進めて

いる。我々はこの超小型衛星プラットフォームに、高感度のX線撮像検出器を搭載し、重力波と同期したX線観測を展開する。本研究では、  
[1] 衛星搭載検出器のフライトモデルの開発、  
[2] 観測に必要な衛星バスシステムの開発を行うことで、超小型衛星による広視野X線観測を展開する。さらに、本計画の期間中に、  
[3]重力波と電磁波観測が融合した宇宙物理学を展開することで、「重力波天文学」という新たな学問領域の発展に貢献することを目標とする。

#### 4. これまでの成果

1次元ストリップ型シリコン半導体検出器とアナログ集積回路を組み合わせたセンサー基板、デジタル回路基板、および符号化マスクと組み合わせた撮像検出器のフライトモデルを開発した(図2)。集積回路は池田博一教授(ISAS/JAXA)の協力を得て開発し、高利得・低雑音な集積回路としては世界最高峰の性能を示すものとなっている。



図2. 広視野X線撮像検出器のフライトモデル

本研究で開発した広視野X線撮像検出器の期待される検出感度は、10キロ電子ボルトよりも低エネルギーで輝く突発天体については、NASAのSwift衛星と同等以上の性能となる。本研究の観測対象である中性子星連星を起源とする重力波源からは、短時間ガンマ線バーストに伴うX線超過成分が観測されるはずで、超小型衛星であっても現行の大型衛星と比肩する成果を挙げられる性能と言える。

これまでに、図3に示すような金沢大学超小型衛星の熱構造モデルを開発した。寸法50cm立方、重量50kg級の超小型衛星であり、この衛星プラットフォームに広視野X線撮像検出器を搭載する。金沢大学衛星開発室(クリーンルーム)に設置した熱真空チャンバーを用いて熱真空試験を実施し、協力企業や九州工業大学の加振器を用いて振動試験を実施している。これらの開発成果をふまえて、衛星のフライトモデルの開発を進めている。

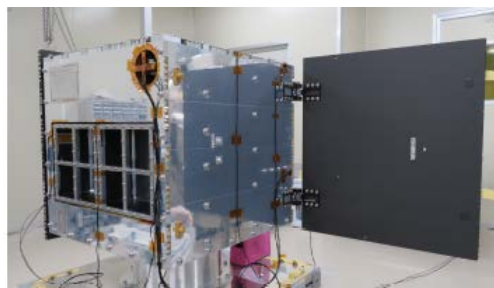


図3. 金沢大学超小型衛星の熱構造モデル

#### 5. 今後の計画

衛星搭載用の機器はほぼ全て揃い、単体試験も順調に進んでいる。今後は衛星フライトモデルを組み上げ、全機器を統合するためのソフトウェアを構築していく。研究期間内の衛星打ち上げを目指し、科学成果の創出を行うまでを目標とする。

#### 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

[1]Kanazawa-SAT<sup>3</sup>: micro-satellite mission for monitoring x-ray transients coincide with gravitational wave events

Yoshida, Kazuki; Yonetoku, Daisuke; et al. Proceedings of the SPIE, Volume 10699, id. 1069962 9 pp. (2018).

[2]Neutrino transport in black hole-neutron star binaries: Neutrino emission and dynamical mass ejection

Kyutoku, Koutarou; Kiuchi, Kenta; et al. Physical Review D, Volume 97, Issue 2, id.023009 17 pp. (2018)

[3]Development of digital system for the wide-field x-ray imaging detector aboard Kanazawa-SAT<sup>3</sup>

Y. Kagawa, Yonetoku, Daisuke; et al. Proceedings of the SPIE, Volume 10397, id. 103970N 13 pp. (2017).

・金沢大学功労表彰 2017年3月  
・第14回日本学術振興会賞 2018年2月  
・平成30年度文部科学大臣表彰・科学技術賞(研究部門) 2018年4月

#### 7. ホームページ等

<http://astro.s.kanazawa-u.ac.jp/~yonetoku/>  
<http://kanazawa-sat.w3.kanazawa-u.ac.jp/index.html>