

研究報告書

「タイムドメイン宇宙観測用動画データの高速逐次処理法の開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2015 年 10 月～2019 年 3 月

研究者: 酒向 重行

1. 研究のねらい

次世代天文学として注目される動的宇宙の探査では天文学が経験したことのない大量の動画データ(タイムドメインデータ)が生成される。そして、その中に稀に発生する微弱で一過性の変動現象を確実に検出し、早期に追観測へ繋げることが求められている。本研究では世界初の天文観測用広視野動画カメラである Tomo-e Gozen のデータ取得部とデータ処理部の開発を通じて実際の宇宙動画ビッグデータから微弱で一過性の変動現象を検出する技術の創出をめざす。Tomo-e Gozen カメラは東京大学木曽観測所の口径 1m シュミット望遠鏡に搭載され 1 晩に 30 TByte におよぶ大量の動画データを生成する。観測所はネットワーク帯域幅が細い僻地に位置するため、データの処理はオンサイトにて行う必要がある。得られる一過性の変動現象は S/N が低い信号ほど価値が高いが偽信号の確率も高くなる。このような特徴をもつデータと環境の制約に対して、本研究では並列計算、機械学習、動画認識、データ圧縮、データ可視化の技術を導入することで、宇宙の大量動画データから微弱な変動現象を逐次に検出・分類する技術の創出とオンサイト動画データ処理システムの構築を行う。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究は、「サンプルデータの取得と評価」、「逐次処理システムの開発」、「一過性イベントの検出法と分類法の開発」、「データの圧縮と配布システムの開発」、「新しい宇宙動画ビッグデータの取得」の5つのテーマからなり、最終年度にこれらが融合して今後10年間にわたり実施する宇宙の広視野動画サーベイ観測につなぐ計画である。

以下では5つのテーマに対応した研究成果を順に述べる。①世界初の天文観測用広視野動画カメラ Tomo-e Gozen の開発に成功した(Sako et al. 2018)。②東京大学木曽観測所(長野県木曽郡)に 200 CPU、900 TByte ストレージから構成されるオンサイト逐次処理システムを構築した。このシステムを用いて 1 晩(8 時間)連続で 200 Mbyte/sec の宇宙動画ビッグデータの取得に成功した。③動画データの中から突発現象を検出・分類する手法を開発した。代表的なものに、ハフ変換と機械学習を用いた微光流星の検出法の開発(Ohsawa, Sako et al. 2018)、機械学習を用いた高速移動する地球接近小惑星の検出法の開発(Kojima, Sako et al. in prep.)がある。④GoDec 法を用いた天文動画データの圧縮法の開発に成功した(Morii et al. 2017)。また、国立天文台天文データセンターのアーカイブシステムを通じて観測データを世界に公開する準備を開始した。⑤2018 年 11 月から Tomo-e Gozen を用いた継続的な広視野動画サーベイ観測を開始した。

このように本研究では当初計画の各テーマの目標を達成することに成功した。加えて以下の 3 項目に関して計画を上回る成果を挙げた。⑥「天文学の新しいフィールドの開拓」。秒以下の

短時間変動現象の探査(連星ブラックホール;Sako et al. 2018、高速電波バースト、パルサー)、高速移動天体の探査(地球接近小惑星、微光流星)に代表される新しい分野の観測的開拓に成功した。⑦「天文学以外への波及」。動画による広視野探査により、重力波天文学、ニュートリノ天文学との連携を実現した。宇宙機やスペースデブリの地上観測を通じて宇宙工学との連携を実現した。⑧「科学普及」。社会一般および教育機関に対して宇宙動画データを用いて科学の意義と楽しさを伝える活動を実施した。

(2) 詳細

上述した6つのテーマに関する研究成果の詳細を述べる。

① 研究テーマ「サンプルデータの取得と評価」

世界初となる広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen のデータ取得部とデータ処理部の開発に成功した。Tomo-e Gozen は 84 台の 2k x 1k CMOS センサを搭載する天文用カメラであり、木曽シュミット望遠鏡の焦点に設置することで、空の 20 平方度の動画を取得できる(図 1)。高速読み出しが特長である CMOS センサを搭載した広視野カメラは、現状 Tomo-e Gozen のみであり、この装置だけが 10 秒以下のタイムスケールで宇宙を探査することができる。Tomo-e Gozen の開発は計画どおりに進み、2019 年 4 月までに 84 センサの全てが稼働する予定である。

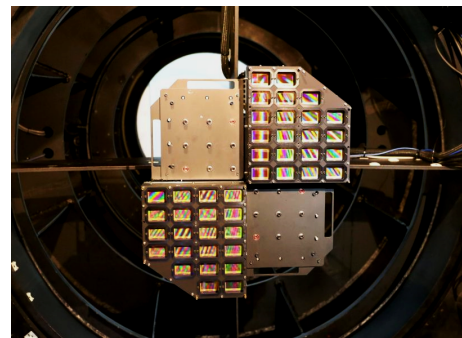


図 1. 木曽シュミット望遠鏡焦点部に設置された Tomo-e Gozen カメラ(センサを 42 チップ搭載)

② 研究テーマ「逐次処理システムの開発」

オンサイトの限られた資源で 30 TByte/夜の動画ビッグデータから一過性イベントをいかに迅速に検出し世界へ公開できるかが課題になる。本研究では取得した観測データを7日間で消去するという天文学では通常採用しない「揮発性」を導入することで、動画ビッグデータに対応できる逐次処理システムを実現した(図 2)。計算機は計 200 台の CPU と計 900 TByte のストレージからなり、望遠鏡システムと連携した自動観測を実現する。また、観測と解析の状況を把握する可視化システムも構築した。

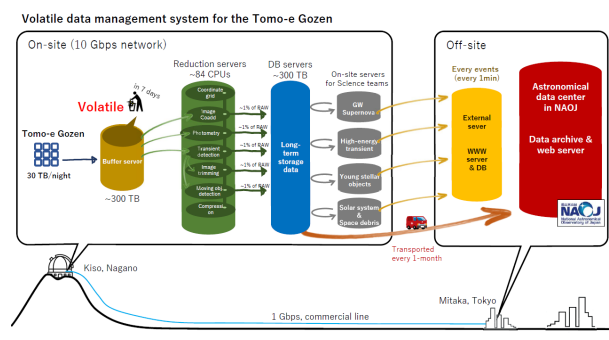


図 2. オンサイト逐次処理システムの概要

③ 研究テーマ「一過性イベントの検出法と分類法の開発」

本研究では天文動画データから短時間の変光現象や高速移動天体を検出する手法の開発を行った。(1)「高速移動する伸びる像」の検出法の開発(Ohsawa, Sako et al. 2018)。微光流星の検出がこれに相当する。各動画フレームをハフ変換した画像に対して信号のピークを検出することで微光流星を検出する。加えて、機械学習にて誤検出を除くことにより、1 晩に 1,500 イベ

ントを超える過去に無い、多数の散在流星の統計データを得ることに成功した。(2)「高速移動する点像」の検出法の開発(Kojima, Sako et al. in prep.)。高速移動する地球接近小惑星(NEO)の検出がこれに相当する。ある天域にて2Hz で6フレーム連続のデータを取得する。そして、天域を次々にスイッチしながら同様のデータを取得する。連続した6フレームの最初と最後の差分をとることで高速に移動する NEO を検出する。加えて、像形状、重心の移動速度と分散などの特徴量を使った機械学習により誤検出を低減する。結果、false-positive rate が1%のモデルを構築することに成功した。

④ 研究テーマ「データの圧縮と配布システムの開発」

本研究では膨大な動画データを科学的な情報価値をできるだけ残したまま圧縮する手法を開発した(Morii et al. 2017)。動画を行列で表現した後、GoDec 主成分分析法を使って、高速に Low-rank とスパースの行列に分解する。これにより Rank を限定することでサイズを約10%に削減できると同時に、スパース行列から突発変動イベントの検出が可能となる。再構成したフレームの天体像に対して物理測定が可能な定量性が保持されていることも確認した。

⑤ 研究テーマ「新しい宇宙動画ビッグデータの取得」

2018年11月から Tomo-e Gozen を用いた継続的な広視野動画サーベイ観測を開始した。評価の結果、設計性能を満たすデータが得られていることが確認された。天の川方向では、2 Hz の観測で1フレームあたり約10万天体が検出される。この動画観測により1晩あたり約23億個の天体の情報が記録される。

⑥ 研究テーマ「天文学の新しいフィールドの開拓」

超新星サーベイや重力波追観測を想定した広域動画サーベイの試験を実施した。この試験により、2時間で高度40度以上の空を全てサーベイする能力があることを実証した。これは高頻度広域サーベイでは世界最高の性能になる。また、地球接近天体 2012TC4 の連続観測や連星ブラックホール MAXI J1820+070 の6msec 時間分解能の高速観測にて初期科学成果を挙げた(図3)。

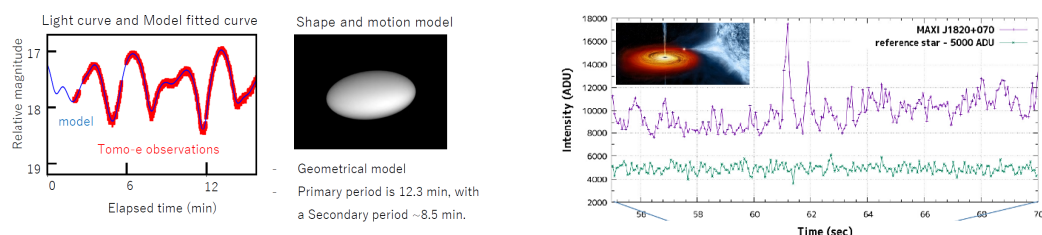


図3. 左: 地球接近天体 2012TC4 のライトカーブと再構成した小惑星の形状モデル。密な連続観測により高精度な形状モデルの構築に成功した(Urakawa et al. 2018)。右: 連星ブラックホール MAXI J1820+070 のライトカーブ。これまで可視光では得ることができなかった多くのフレアをとらえている(Sako et al. 2018)。

3. 今後の展開

本研究により宇宙動画ビッグデータを取得しオンサイトの逐次解析により突発現象を迅速かつ確実に検出する技術を創出することができた。今後は、本研究で得た要素技術を観測システ

ムに本格的に実装することで観測・解析・配信の完全自動化を進める。また、宇宙動画ビッグデータの利活用へと研究範囲を拡大する。宇宙動画ビッグデータの獲得と利用は未だ他国に例を見ない。国際連携を進めつつも日本がイニシアティブをとることができる分野へと成長させていきたい。

4. 自己評価

本研究では当初計画で掲げた各テーマの目標を達成することができた。本研究を通して天文学だけでなく、物理学、惑星科学、数理学、情報学の専門家からなる宇宙動画データの研究チームを形成できたことは今後の発展につながる大きな価値を持つ。また、天文学のために取得した宇宙動画ビッグデータと天文学のために開発したデータ解析技術が、他の自然科学研究分野だけでなく、宇宙産業、環境問題対策、教育普及活動に多大に貢献できることが実証されたことも重要な成果である。今後は宇宙動画ビッグデータの利活用を進めるとともに、広義のネイチャービッグデータを活かした Society5.0 時代の新しい多分野間連携を推進していきたい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

- | |
|---|
| 1. R. Ohsawa, S. Sako et al. "Imaging Observations of Faint Sporadic Meteors with a Wide-Field CMOS mosaic camera Tomo-e PM", Planetary and Space Science accepted, 2018 |
| 2. M. Morii, S. Ikeda, S. Sako, and R. Ohsawa "Slow-scanning in Ground-based Mid-infrared Observations", The Astrophysical Journal, 2017, Volume 835, 5 pp. |
| 3. Y. Utsumi et al. "J-GEM observations of an electromagnetic counterpart to the neutron star merger GW170817", Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 69, 101pp |
| 4. B. P. Abbott, et al. "Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger", The Astrophysical Journal Letters, 2017, Volume 848, 59pp |

(2) 特許出願

研究期間累積件数:0 件(公開前の出願件名については件数のみ記載)

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

国際学会

- ・ S. Sako et al. "The Tomo-e Gozen wide field CMOS camera for the Kiso Schmidt telescope", Proceedings of the SPIE, Volume 10702, id. 107020J 17 pp. (2018), invited.
- ・ S. Sako et al. "Development of a prototype of the Tomo-e Gozen wide-field CMOS camera", Proceedings of the SPIE, Volume 9908, id. 99083P 15 pp. (2016)

報告

- ・ S. Sako et al. "Detection of 10-msec scale optical flares in the black-hole binary candidate MAXI J1820+070 (ASASSN-18ey)", ATel11426 (2018)

プレスリリース

- ・ “Tomo-e Gozen Q3 ユニット ファーストライト”, 2018/11/27
- ・ “東京大学木曾観測所による地球接近天体 2012 TC4 の観測について”, 2017/10/12
- ・ “はやぶさ2」地球スイングバイの観測に成功”, 2015/12/4