

巻頭言：Gaia時代の光赤外位置天文学

河田大介

〈Mullard Space Science Laboratory, University College London, Holmbury St. Mary, Surrey, RH5 6NT, UK〉

e-mail: d.kawata@ucl.ac.uk

1. Gaia時代の幕開け

2013年12月、ついに多くの天文学者が待ち焦がれていたGaia衛星が欧州宇宙機構により打ち上げられ、運用が開始された。打ち上げ直後こそ予期しない迷光や、ほぼ動かないはずの2枚の主鏡の向きが変動するといった問題に見舞われたが、関係者の絶え間ない努力のおかげで、現在は予定通りの観測精度を達成している。特に約2年分のデータを利用した2018年5月の第2期データリリースでは、全天にわたる10億個以上の星の位置天文情報が測定され、明るい星では数10マイクロ秒角（1マイクロ秒角=1/100万秒角）という画期的な精度が達成された。

位置天文観測は、星などの天体の位置を何年にもわたって正確に測定することにより達成される観測である。これにより年周視差という地球が太陽の周りを公転することによる見かけの位置の変動を測ることができ、三角測量により天体までの距離を導くことができる。また、固有運動と呼ばれる年周視差による運動を差し引いた天体の天球上での動きも位置天文観測によって得られる。このような観測は、より一般的な測光観測で得られる天体の天球上での分布や、分光観測で得られる視線速度とは文字通り次元の違う情報を提供するため、Gaiaデータは太陽系内天体や系外惑星、星形成領域や星団の構造や運動、銀河系の形成と進化の歴史、そして宇宙論までに及ぶ幅広い研究に革命をもたらしている。実際にGaiaデータは、2023年1月の時点で約8,300本もの査読論文に利用され、Gaiaデータを利用した年間論文数はそ

れまでの不動の王者であったHubble宇宙望遠鏡を抜いてトップに立ち、Gaiaミッションが名実ともに最も有益な天文学プロジェクトとなった。

Gaiaの革新的な第2期データの公開以降、実際に様々な分野で利用され革命的な成果を挙げているのは、10億個以上におよぶ星の位置天文情報のカタログがデータリリースとして完全一般公開されているからである。公開後は世界中の研究者が利用できるのも、カタログデータからの宝探しの一番乗りを果たすのは競争である。筆者も第2期データリリースの前は、科学目標を定め解析用のコードを準備し、論文をほぼ完成させてデータを待つのみという臨戦状態で臨んだ。実際に公開されたデータを用意していた解析コードで解析したら、想像を絶する詳細な星の波のような運動を見ることができ、公開の次の日に論文を投稿することができた。その後、理論と観測の両方の研究が急激に進み、このような星の速度構造が銀河系の渦巻き構造や棒状構造、または銀河系に現在落ち込んできている射手座矮小銀河などの影響によって引き起こされている可能性が示唆されている（朝野・馬場氏の記事参照）。しかし、現在のところ決定的な理論モデルはまだ存在していない。言い換えれば、今までほぼ軸対称のモデルで理解できると思われていた銀河系円盤の描像が、Gaiaデータによってパラダイムシフトがもたらされたことで、星の速度構造から銀河系構造全体を包括的に理解する銀震学（星震学からの造語）に注目が集まっている。さらに銀河系形成に関するGaiaの革命的発見は、約100億年前に、銀河系がかなり大きな（約1/10以上）銀河と衝突し

た痕跡がハロー星の運動を詳細に調べることで見つけたことである。その後も、その他の複数の銀河を飲み込んだ証拠なども発見され、100億年以上前に銀河系で起こった歴史を読み解く、まさに「銀河系考古学」が可能になった（服部氏の記事参照）。

また、Gaiaの観測による詳細な星の動きからは、連星系をなしている場合、その連星運動も測定することができる。最近（2022年6月）公開された約3年分の観測データから得られた第3期Gaiaデータリリースでは、連星による軌道のモデルも加えた星の運動の解析結果も発表された。この中には明るい星が周りにないが、質量の大きい伴星が存在しないと説明できない運動をもつ星が観測され、その伴星はブラックホール候補として注目を集めている（鹿内氏の記事参照）。また、同じ仕組みで星はその周りがある惑星の重力の影響を受け微小な周期運動をするはずで、今後Gaiaデータが蓄積されてくると位置天文観測により系外惑星を発見できるようになるはずである。Gaiaデータから他の手法では観測できない種類の系外惑星が発見されることが期待されている（葛原氏、福井氏の記事参照）。さらに、最近Hubble宇宙望遠鏡を用いた約10年に及ぶ観測により、星の前を重力レンズ源となる天体が横切ったときに発生するマイクロレンズング現象による星像中心の位置のずれであるアストロメトリックマイクロレンズングが検出されたが、同じような現象がGaiaによっても観測されることが期待されており、ブラックホールや浮遊惑星などの発見が期待されている（越本氏の記事参照）。

このように、Gaiaによって位置天文学の新しい時代が開けたと言える。今後もGaiaデータにより、様々な天文学の分野で革新的な科学的結果やパラダイムシフトが期待される。

2. Gaiaの今後と将来への展望

Gaiaミッションは、このような圧倒的なイン

パクトを幅広い分野の研究に与えたことが認められ、当初の5年の計画から延長され、最終的には10年に及ぶ観測が行われる予定である。今後も、まだ公開されていない時間ごとの位置データが第4期データリリース（2025年以降）に発表される予定で、そのデータは膨大なものとなるだろう。まだまだとてつもないお宝が眠っているはずである。さらに最終データリリースでは、10年分のすべてのデータが公開されるので、そのデータを料理するための新しいデータ解析の手法が必要となるであろう。

Gaiaが成し遂げた成功は、位置天文観測データが幅広い分野の天文学に多大な影響を与えることを証明した。Gaiaの次の位置天文衛星として国内では世界に先駆け、ダストに対して透過性のよい近赤外線波長を用いて、銀河系中心領域の星に対してGaiaと同程度の高精度な位置天文観測を行うというJASMINEミッション（郷田氏の記事参照）がJAXA宇宙科学研究所により選定され、2028年の打ち上げを目指して準備をすすめている。また、すばる望遠鏡の次世代広視野高解像近赤外観測装置ULTIMATE-Subaruでも、銀河系中心の観測が計画されている（西山氏の記事参照）。ULTIMATE-Subaruのデータと、JASMINEにより精度よく観測される明るい星の位置や運動を参照星として組み合わせて解析することにより、すばる望遠鏡で観測できるより暗い星の位置天文観測を精度よく行うことができる。これにより、日本主導の銀河系中心の近赤外位置天文学の幕が明けようとしている。一方、欧州ではGaiaの後継機として、2040年代に近赤外での位置天文観測を全天で行うというGaiaNIR計画が提案されている。今回の特集は、このような将来計画を見据え、このGaia時代に得られた革命的な結果や今後期待される革新的な成果を、第一線で活躍する研究者に執筆していただいたので、常に革新を遂げる位置天文学研究を感じていただければ幸いである。