

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料
〔研究進捗評価用〕

平成22年度採択分

平成25年5月31日現在

研究課題名（和文） **赤外線新技术による太陽系外惑星研究の展開**

研究課題名（英文） **Development of Exoplanet Researches with New IR Technologies**

研究代表者

田村 元秀 (TAMURA MOTOHIDE)

東京大学・大学院理学系研究科・教授



研究の概要：高コントラスト赤外線装置を用いて系外惑星を直接撮像すると共に、円盤の詳細構造を描き遠方惑星が形成される過程を解明する。さらに、高精度赤外線ドップラー観測装置を開発し、地球型系外惑星を検出する。波長校正、分散素子、赤外波面補償光学という赤外線新技术開発を推進する。観測結果を惑星形成理論と比較し系外惑星の起源・形成を解明する。

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：光学赤外線天文学、太陽系外惑星、補償光学、赤外線素子、波長校正

1. 研究開始当初の背景

1995年の太陽以外の恒星を周回する惑星（系外惑星）の間接的発見以来、系外惑星の研究は天文学における最重要課題のひとつとなった。太陽系では8個しかない惑星が、わずか15年余のあいだに450個を超える候補が発見された今、最も重要な次のマイルストーンは巨大系外惑星を直接的に多数観測し、それらの惑星の性質を明らかにする「直接撮像」と、より軽い「地球型惑星」の検出である。我々はこの双方に対して、赤外線の新技術に基づく天文観測的手法により挑戦する。

2. 研究の目的

本研究は、太陽系外惑星、および、その誕生の場である原始惑星系円盤の双方の直接撮像観測（すばる戦略枠 SEEDS プロジェクト）を進め、惑星の多様性の起源を探ることを目指す。さらに、高精度赤外線ドップラー観測分光器 IRD を開発し、M型星などの低質量星の周りの生存可能領域にある（ハビタブルな）地球型惑星を検出する。惑星形成理論チームと連携しつつ、木星型および地球型双方の惑星の起源とその形成を解明する。

3. 研究の方法

世界最高レベルの高コントラスト赤外線装置 HiCIAO と補償光学技術を用いて、恒星近傍にある系外惑星を直接撮像する。従来の間接検出法と相補的な遠方惑星を開拓する。また、同半径領域にある原始惑星系円盤の詳細構造を直接観測によって描き、円盤から惑星

が形成される過程を観測する。さらに、高精度赤外線ドップラー観測装置を開発する。そのために、波長校正、赤外線検出器、分散素子、赤外波面補償光学という赤外線の新技術開発を推進する。

4. これまでの成果

(1) SEEDS プロジェクトはすばる戦略枠として順調に観測を進め、本チームが保守・運用する HiCIAO カメラを用いた直接撮像観測により、3つの恒星のまわりの惑星の直接撮像に成功した（図1）。いずれも、恒星から数10AU離れた距離にある3-20木星質量の巨大惑星であり、コア集積モデルでその形成を説明することは難しく、既存の惑星形成理論に変更を迫るデータである。

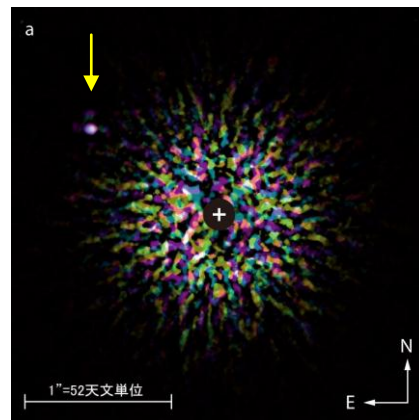


図1 恒星アンドロメダ座κ星のまわりで発見した巨大惑星の赤外線画像。黄色の矢印の先が惑星。

(2) 間接法で発見された惑星系 HAT-P-7 のまわりで伴星を直接撮像により発見し、逆行惑星の形成原因となり得ることを示した。

(3) 惑星形成現場である若い恒星のまわりの原始惑星系円盤の「太陽系スケール」の微細構造を初めて、多数 (10 例以上) 検出し、惑星存在の間接証拠と成り得ることを示した (図 2)。また、得られた小規模渦巻構造に密度波理論を応用した。近赤外線とミリ波との結果の比較から、円盤中の大小ダストの振る舞いの違いを明らかにした。この結果は、直接撮像で発見された遠方巨大惑星の形成と関連し、標準的惑星形成理論に見直しを迫るものである。

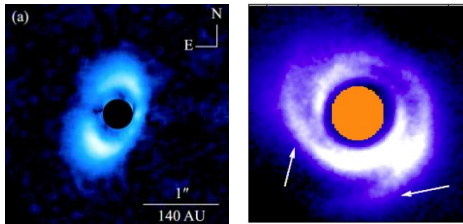


図 2 ギャップ構造および渦巻構造を持つ原始惑星系円盤の近赤外線撮像

(4) 高精度分光器 IRD の設計・製作を進めた。国際レビューにより科学目標と装置仕様の第三者評価を行った。光学設計の概念および詳細設計を完了した。プロトタイプ分光器を製作し、コムを用いて 1m/s の速度決定精度が実現可能性を示した。高分散分散素子の検討を進め、新型エシエル回折格子を製作した。天体光・コム光導入のためのファイバー評価を進めた。IRD 装置の技術検討チームと同装置を用いたサイエンスワーキンググループを結成し、装置と科学の両方の進捗状況を学会等で報告し、報告書を作成した。

(5) 周波数間隔が大きく広帯域な光周波数コムを発生するために、独自のアイデアである SC 光発生法を提案した。実際にコム発生系を構築するとともに、広帯域化に最適な非線形ファイバの性質について検討した。その結果、周波数間隔 12.5 GHz、周波数帯域 1250-1750 nm、周波数安定性 (確度) 1MHz 以下と、ほぼ当初の目標を満足する周波数コムが発生に成功した。

(6) 系外惑星大研究会を 2 回主催した。また、SEEDS 国際会議をプリンストン大学、MPIA、国内でのべ 3 回行った。

(7) プレスリリースは合計 14 回行った。SEEDS および IRD プロジェクトの成果・進捗については、WEB ページで発信している。

5. 今後の計画

SEEDS プロジェクトについては、観測を継続して進め、直接観測による系外惑星と円盤撮像の例を増やす。合計約 500 天体の SEEDS 観測の完成によって、遠方系外惑星の統計、および、その形成理論について、当初の目的であった観測的制限を与える。また、年齢別・カテゴリー別の統計議論も行う。多数の個々の円盤の結果も出版する。個々の系外惑星および円盤の成果公表も進める。IRD プロジェクトは、赤外ドップラー分光器 (IRD) の実機製作を継続する。光周波数コムと検出器系についても製作・最適化試験を継続する。これらのアSEMBルも平成 25 年度中に開始する。IRD に最適かつ現実的な観測を立案・実行する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

(研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

以下、抜粋。

[雑誌論文] (計 50 件)

(1) Carson, J. & 55 co-authors, Direct Imaging Discovery of a "Super-Jupiter" around the Late B-type Star kappa And, *ApJ*, 763, id. 32 (2013).

(2) Tamura, M. & 53 co-authors, Infrared Doppler instrument for the Subaru Telescope (IRD), *Proc. SPIE*, 8446, id. 84461T (2012).

(3) Hashimoto, J., Tamura, M. & 50 co-authors, Direct Imaging of Fine Structures in Giant Planet-forming Regions of the Protoplanetary Disk Around AB Aurigae, *ApJ*, 729, id. L27 (2011).

[学会・国際発表・招待講演] (計 125 件)

(1) 田村元秀, 地球型惑星検出のためのすばる赤外線ドップラー分光器 IRD の開発: 3, 日本天文学会, 2012 年 3 月 22 日, 龍谷大学.

(2) Tamura, M., SEEDS (Strategic Explorations of Exoplanets and Disks with Subaru), *New Trends in Radio Astronomy in the ALMA Era*, 2012 年 12 月 05 日, 箱根 (2012)

[図書] (計 5 件)

(1) アストロバイオロジー、山岸明彦・田村元秀 ほか、化学同人、2013

[受賞] (計 4 件)

(1) 平成 23 年度日本天文学会林忠四郎賞、田村元秀

ホームページ

<http://esppro.mtk.nao.ac.jp/>

<http://optik2.mtk.nao.ac.jp/~hide/>