

すばるアーカイブ画像の詳細解析による太陽系外惑星の直接検出

大阪大学理学研究科 宇宙地球科学専攻 芝井研究室

桑田 嘉大

惑星形成理論の構築や、地球外生命体の探査などを目的とした惑星探査が広く行われているが、現在までの成果には惑星検出方法ごとに検出実績の偏りが存在し、中心星からの距離ごとの統計的議論を行う際の障壁となっている。本研究ではこの情報の偏りを改善するため、直接撮像法に注目し、すばる望遠鏡のアーカイブデータを総ざらいすることで系外惑星を探している。

研究目的

系外惑星探査の方法には、視線速度法・トランジット法などの、恒星から届く光の時間変動から惑星の存在を示唆する、間接検出法と呼ばれる方法と、直接検出法と呼ばれる方法として、惑星からの光を直接捉える、直接撮像法がある。これらの惑星探査法が行われてきた成果として、現在 550 個以上の系外惑星が発見された (Fig. 1)。これら発見された惑星の情報を基に、惑星形成理論が改善されている。また発見された惑星を詳細に観測することで、生命の痕跡を見つけ出す試みも行われている。

しかし、発見された惑星の大部分 (~95%) が視線速度法などの間接検出法によって発見されたものである。惑星の検出実績の多さから、統計的な議論を行う際に有利となるという利点がある。一方で、間接検出法では恒星に近い領域 (≤ 1 AU) に惑星検出感度が高いという特性がある。そのためこの方法によって発見される系外惑星は、恒星付近の限られた領域に位置する惑星に偏ることになる。この惑星検出実績の偏りが存在するために、恒星から遠方の領域における惑星の情報を考慮することが難しく、惑星形成理論を観測結果から議論する際の致命的欠陥となっている。

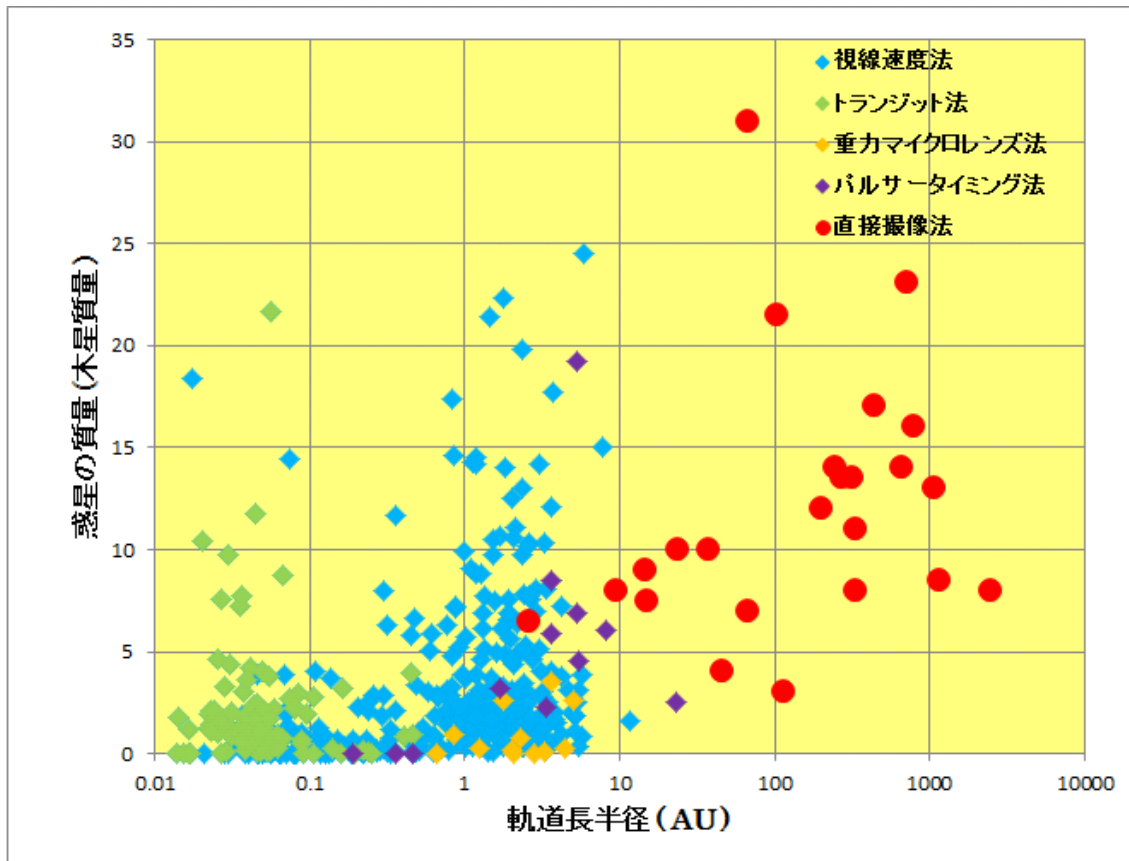


Fig. 1 惑星検出実績 (2011年7月)

「The Extrasolar Planets Encyclopaedia」 (<http://exoplanet.eu/>)

現在までの惑星探査における、検出方法ごとの惑星検出実績の偏りによる情報の不均一性を補うために注目されている方法が、恒星から遠方の領域に存在する惑星にも検出感度のある、直接撮像法である。この方法では、惑星の存在を確定させることが可能である。そして、特に注目されるのが 恒星から離れた領域での惑星探査を行える点であり、これにより間接検出法では検出することが難しい領域での惑星探査が可能である。しかし、直接撮像法による系外惑星探査実績は少なく、現在でも24個の惑星しか直接撮像で見つかっていない。惑星自身の光はかすかであることと、ごく近傍に明るい恒星が存在するためコントラストが大きいという理由のため、直接撮像法による検出は難しい。そのため、大口径の望遠鏡を使用し、長時間露光を行う必要があるなどの観測的制限がある。これにより、直接撮像法の成果による統計議論を行う際の障壁となっている。

そこで本研究では、直接撮像法による太陽系外惑星発見実績の向上を目的とする。過去にすばる望遠鏡の近赤外線コロナグラフ撮像装置 CIAO を用いて撮像され、アーカイブデータとして公開されている画像を入手し、惑星候補を検出することを目的とした詳細解析を行うことで、直接撮像法の検出実績に貢献する。また、アーカイブ画像解析の成果を基に、惑星形成理論に対し、間接検出法で評価できない領域での観測的制限をつけるとともに、惑星の存在確率について統計的に議論する。

研究方法

・アーカイブデータの取得

過去にすばる望遠鏡/近赤外線コロナグラフ撮像装置 CIAO で撮像された恒星の画像を入手する (SMOKA : <http://smoka.nao.ac.jp/index.ja.jsp>)。この装置は近赤外線での観測を行うため、恒星と惑星の明るさの比が他波長に比べて小さい。そのためコントラストの点で惑星観測に有利である。加えて補償光学 (AO) を使用した、高空間分解能での観測を行っているため、惑星検出に都合がいい。

・点光源を目的とした解析

取得した画像の中から、恒星の光のみを取り除くことが必要となる。画像内の点光源を検出するための既存の解析法がいくつか存在し、それぞれに長所・短所がある。その中で本研究では、180度回転引き算法と Median Filter 法、さらに Dithering という解析手法を組み合わせた独自の解析を行っている (Fig. 2)。

・惑星候補のピックアップ

解析を施した画像の中で、点光源と思われるものを惑星候補としてピックアップする。惑星候補が見つかった恒星のうち、複数回の観測が行われているものに関しては、恒星の固有運動から示唆される惑星の存在位置との比較により、惑星候補と背景星との区別を行う。背景星の場合、見かけ上恒星の固有運動の向きとは逆方向に動いているように見える (Fig. 3)。これにより、発見された点光源が惑星なのか、背景星なのかを見分けることができる。

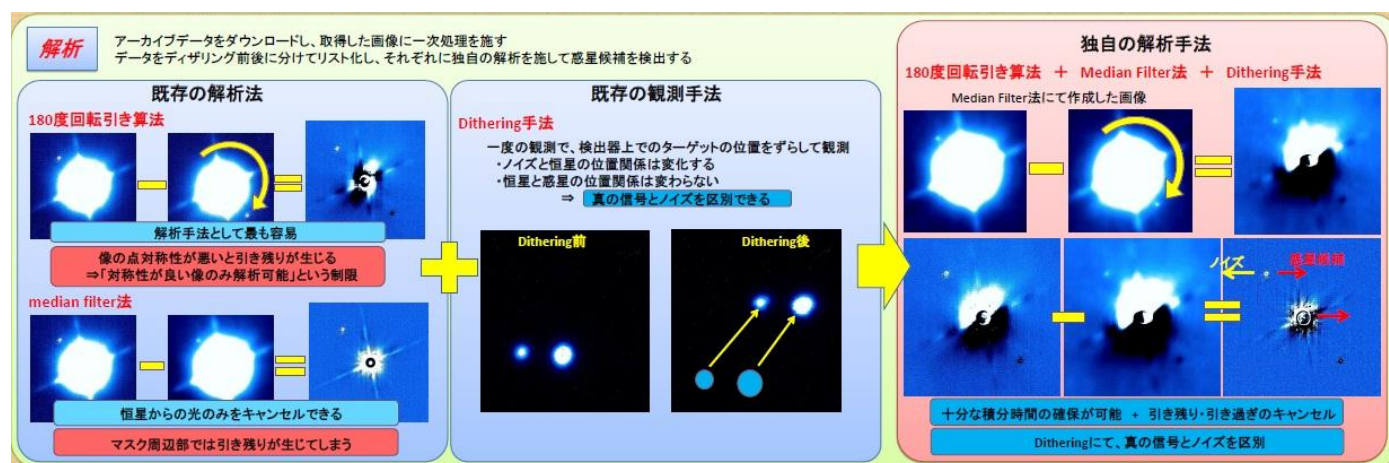


Fig. 2 解析方法略図

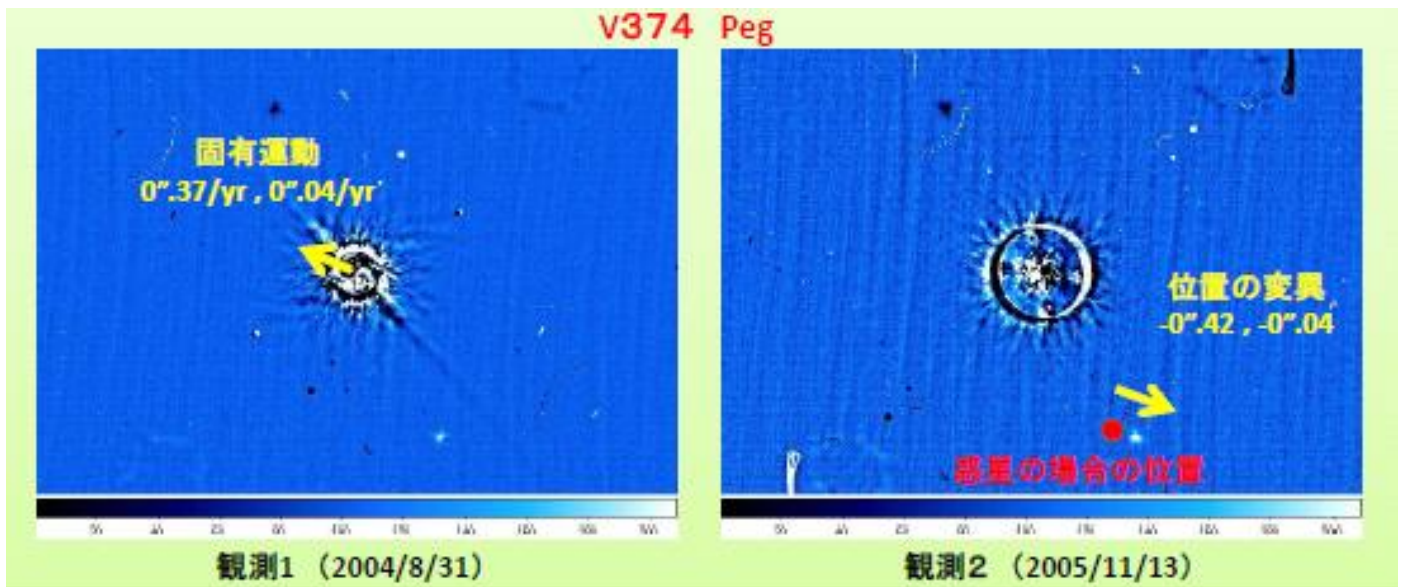


Fig. 3 惑星候補検出例

恒星の固有運動と逆方向に見かけ上移動しているのので、この点光源は背景星と判断できる。

研究成果

これまでの解析成果として 116 個の恒星に対して解析を行った (Fig. 4)。その中で、今後追観測などの追跡が必要な惑星候補が見つかっている。追跡が必要である理由として以下の点が挙げられる。

- ・観測間隔が短く、固有運動を測定できない

固有運動が小さい恒星の場合、観測間隔が短いと恒星の見かけ上の位置が変化しないため、固有運動による背景星との区別ができない。この場合より時間を空けての追観測を行うことが解決策として挙げられる。もしくははより過去のデータを参照する。

- ・固有運動から推定される惑星の位置と観測位置にわずかなずれが見られる

恒星の固有運動との比較の際、カタログに載っている文献値を参照するが、この値はカタログ毎にばらつきがみられる。このばらつきにより、観測位置のずれが説明できるか否かを検討する必要がある。次に、発見された惑星候補が仮に真の惑星であるとしたときに、惑星自身の公転運動によって恒星の固有運動からのずれを説明できるのかを検討する必要がある。

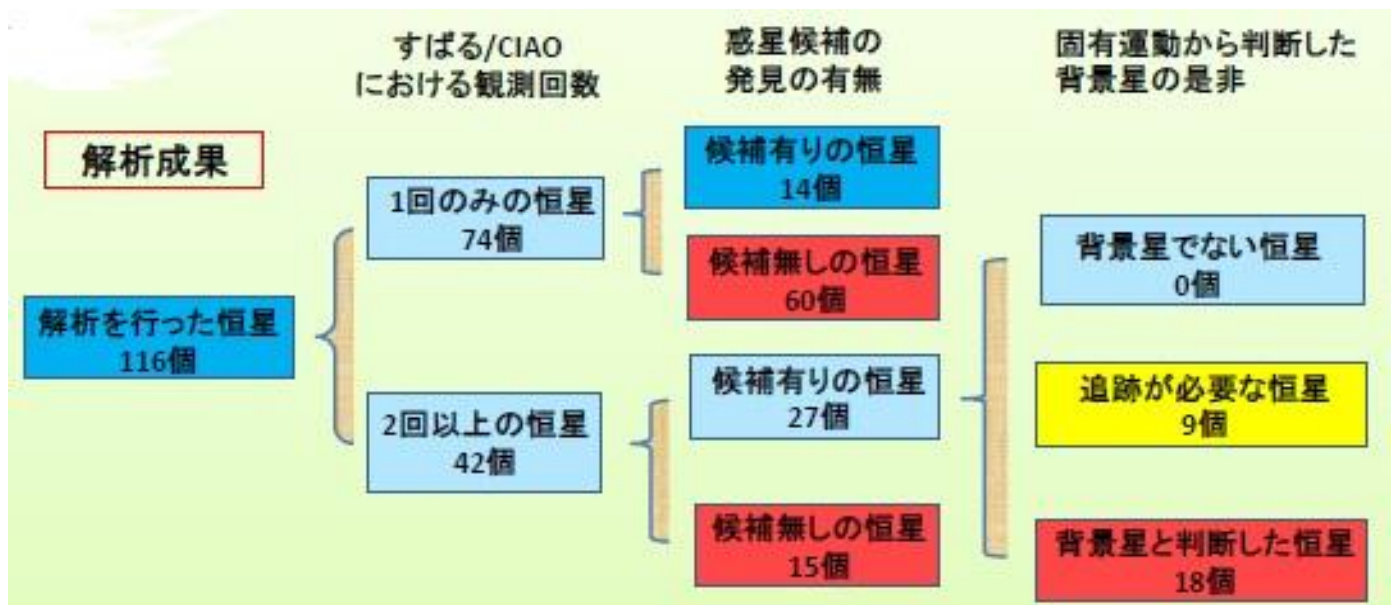


Fig. 4 解析結果の内訳

今後の展望

・ 真の惑星候補と、背景星との識別

これまでの解析で惑星候補が見つかった恒星に関して、すばる望遠鏡の他の観測装置や、他の望遠鏡で観測されたデータを取得・解析することで、複数回の観測で恒星に付随するような動きを示しているものを惑星とみなす。

・ 観測提案の作成・提出

複数回の観測がなされていない恒星に関しては、すばる望遠鏡の共同利用枠、サービス観測枠への観測提案を提出することで再観測を目指す。この研究手法では以下のような利点を主張できる。

1) 1度目の観測がなされているので、再度観測し、惑星候補観測位置と恒星の固有運動と比較することで、惑星か背景星かを判断することが可能。

2) 惑星候補の位置、明るさを事前に見積もることができるので、効率の良い観測が可能。

・ 惑星が発見された場合のパラメータの決定

Geometry(幾何学的位置測定)：複数年にわたって観測を行うことで、惑星の持つ軌道長半径・離心率・軌道傾斜角を決定するための情報を取得する。

Photometry(測光観測)：惑星の明るさを測定し、惑星の年齢と光度進化モデルから、惑星の質量の推定を行う。

Spectroscopy(分光観測)：直接撮像で観測された惑星のうち、十分な明るさを持つものは分光観測を行うことができる。これにより惑星大気情報の入手可能性、ひいては生命の存在可能性を模索することが可能。

・ 解析結果を基にした惑星存在確率に関する統計的議論

観測された個々の恒星における検出限界の情報をもとに、惑星発見数の期待値を算出する。算出した期待値と実際に発見された惑星の個数（未検出も考慮）と比較することで、恒星が惑星を持つ確率に制限がつく。その際あるパラメータに着目した時の相関を検討することも考えられる（恒星質量・年齢・観測者から恒星までの距離・星団 etc.）。また現在はすばる望遠鏡/CIAO に注目しているが、観測望遠鏡・観測装置ごとの結果の比較 or 統合なども検討している。