

# 惑星系の形成

金光研究室 若竹 純平

## 1. 序論

広大な宇宙の中には、地球のような惑星が存在し、生命は存在するのか。惑星とは、恒星ができるときに副産物として形成される原始惑星系円盤中で生まれて、恒星のまわりをまわり続ける天体のことである。1995年に初めての系外惑星（51 Pegasi b）がペガサス座 51 番星のまわりに発見されたのを筆頭に、これまでにいくつもの系外惑星が発見されている。以来、現在（2006/01/5）までに私たちの太陽系以外の恒星のまわりで、150 個以上の惑星が見つまっている。これらの惑星は、太陽系以外の惑星という意味で系外惑星と呼ばれている。しかし、未だ宇宙生命が存在するという確証は得られていない。

本研究では、これまでに見つかった系外惑星のデータをもとに、惑星の軌道半径、離心率などを図やグラフにした。

## 2. 惑星系の形成過程

そもそも太陽系のような惑星系はどのようにして創られたのか。これにはいろいろな説があるが、現在では、太陽のような星（恒星）は、銀河を漂う水素ガスとヘリウムガスを主成分とする星間雲（ガスや塵）の中で密度が高い部分が自身の重力により収縮して形成されたと考えられている。その収縮の過程で恒星の周りにガスや塵による円盤が形成され、この円盤の中で惑星が形成されるようである。

## 3. 太陽系の特徴

太陽系惑星の特徴は次のようにまとめられる。

- ・ 軌道半径 0.4AU から 40AU に 9 個ほどの惑星がある。
- ・ 惑星間隔は系統的に外側ほど広がる。
- ・ 惑星軌道はほとんど同一平面内にあり軌道は円にきわめて近い。
- ・ 惑星は大きく次の 3 種類に分類される。
  - ① 地球型惑星（水星、金星、地球、火星）
  - ② 巨大ガス惑星（木星、土星）
  - ③ 巨大氷惑星（天王星、海王星）

## 4. これまでに見つかった系外惑星

今まで見つかった系外惑星は太陽系で見られる惑星とは掛け離れたものばかりである。初めて発見された系外惑星（51 Pegasi b）は、巨大ガス惑星にも関わらず、恒星に限りなく近い位置で周回している。そしてこの発見以来見つかった惑星も巨大で、離心軌道に乗っているものが圧倒的に多い。最初に見つかった 150 個以上のうち、実に 66 個が 0.5AU 以下の距離で公転している。この事実から、太陽系をもとに考えられた惑星系の形成論も覆られた。ただここ数年は木星と同じような距離に位置するものや円形の軌道に乗っているものも発見されている。

## 5. 系外惑星の観測方法

現在用いられている観測方法には大きく分けて直接観測と間接観測の2つがある。間接観測には様々なものがあるが、ここでは系外惑星発見のために活躍している2つの方法を紹介する。

### ① ドップラー偏移法

ドップラー偏移法とは、惑星によって恒星が視線方向にふらついた時に起こるドップラー偏移によるスペクトル変化を調べることで系外惑星を探す方法である。この方法は惑星の質量が小さく、軌道半径が大きいほど惑星を発見しにくいという特徴をもつ。「51 Pegasi b」をはじめ、多くの惑星がこの方法によって発見された。

### ② トランジット法

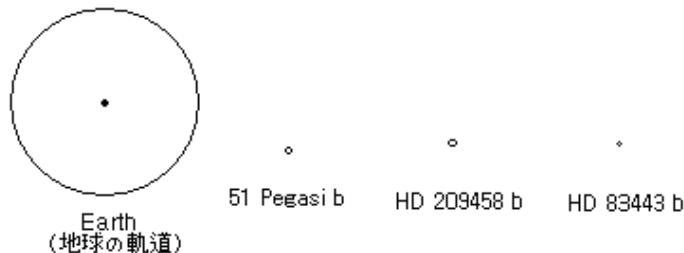
トランジット法とは、惑星が恒星の前を横切る時の明るさの変化によって惑星を探す方法である。地球から見て惑星が恒星面を通過する確率は非常に小さいと考えられるため、実在する惑星に対しこの方法によって発見できる惑星の割合は小さい。恒星面通過が観測された惑星は視線方向とのなす角が分かるため、惑星の質量を厳密に求めることができる。

## 6. 系外惑星の分類

これまでに発見されている系外惑星は大きく分けて次の3つに分類できる。

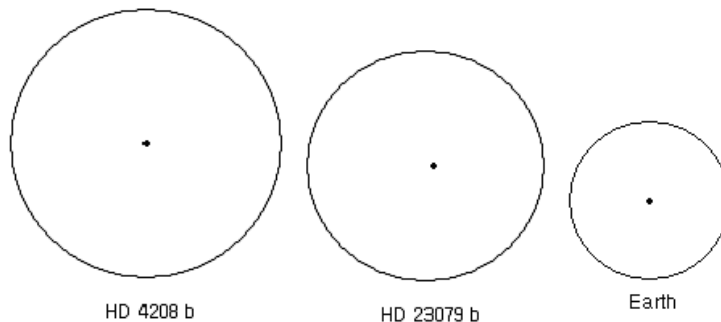
### ① ホット・ジュピター (Hot Jupiter)

ホット・ジュピターとは太陽系外の恒星をめぐる太陽系外惑星のうち、中心の恒星から地球—太陽間の10分の1以下という至近距離にある軌道上を、高速で公転する巨大ガス惑星のことである。恒星に極めて近く、強烈な恒星光を浴びるため表面温度は高温になっていると予想されている。代表的なものに「51 Pegasi b」、「HD 209458 b」、「HD 83443 b」などがある。



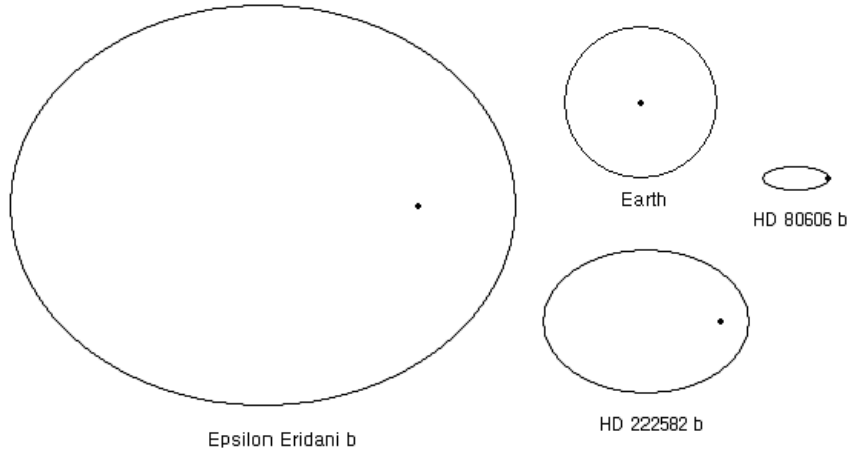
### ② 木星類似惑星

これは、恒星からかなり離れていて、また、軌道もかなり円に近いもので、太陽系の木星に近いといえる惑星である。ただし、現段階では木星くらいの質量で恒星から5AU以上離れている惑星は見つかっていない。代表的なものに「HD 4208 b」、「HD 23079 b」などがある。



③ エクセンリック・プラネット（楕円軌道型惑星）

エクセンリック・プラネットとは灼熱から酷寒までの激しくめまぐるしい「四季」をもつ楕円軌道巨大惑星のことである。これまでに発見された系外惑星の3分の2がこの惑星である。代表的なものに「Epsilon Eridani b」、「HD 222582 b」、「HD 80606 b」などがある。



7. 離心率、軌道半径、惑星質量の相互関係

現在使われている観測方法には限界があり、軌道半径、離心率の大きい惑星ほど発見しやすいという特徴があると予想される。そこで Excel のグラフウィザードを利用して相互関係性を調べてみた。

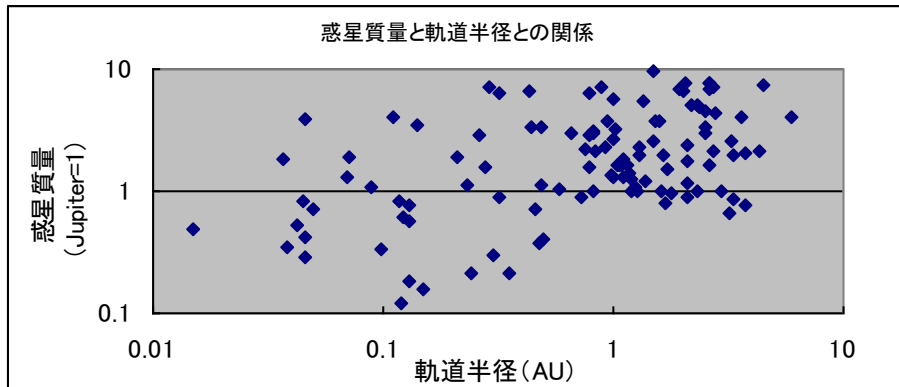


図 1

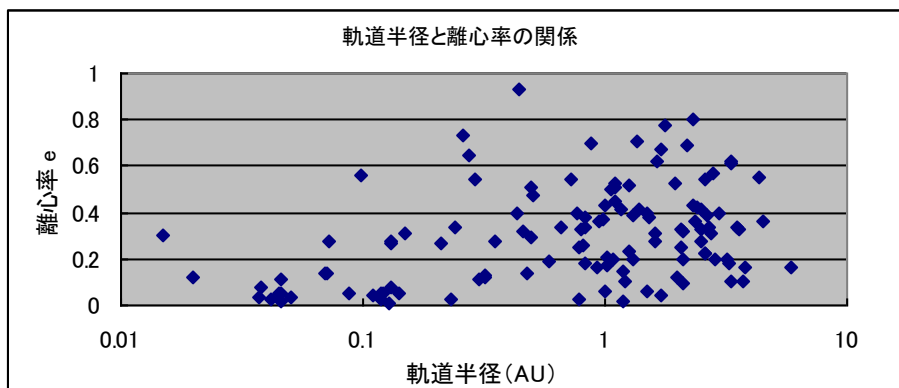


図 2

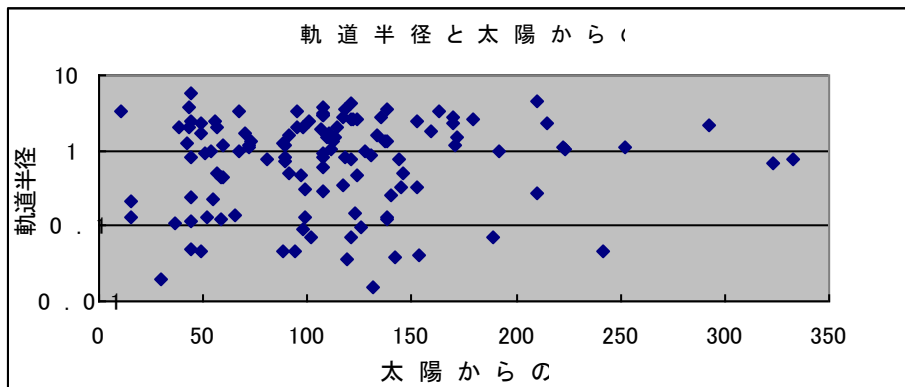


図 3

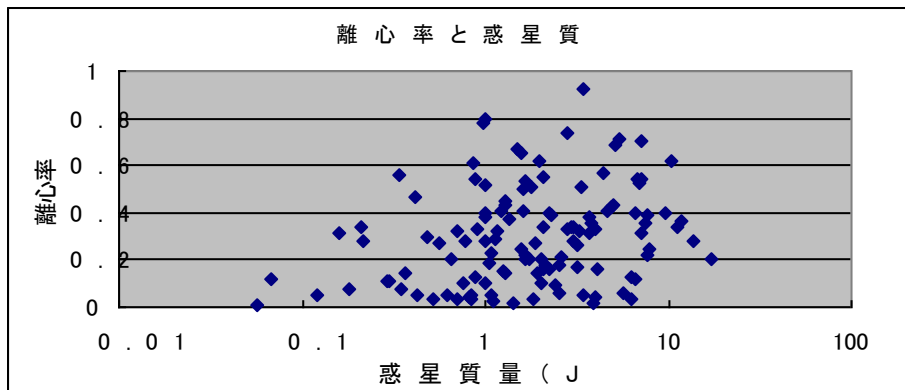


図 4

## 8. 結果と考察

図 1 より、大きな質量をもつ惑星が比較的多く発見されている。逆に、小質量惑星はあまり発見されておらず、その中でも大きな軌道半径をもつ惑星はほとんど発見されていない。系外惑星発見のために用いられている観測方法がドップラー偏移法であるため小質量、大軌道半径をもつ惑星は発見されにくい。図 2 では、軌道半径の大きな惑星は離心率の大小に関わらず発見されているが、軌道半径の小さな惑星の発見は小離心率惑星に限られている。おそらく恒星の重量による影響が大きいため大きな離心率をもつ惑星は存在できないと考えられる。図 3 は、観測地点からの距離が遠くなると系外惑星は発見されにくいことを示している。以上の結果より、軌道半径の大きさは系外惑星の発見に大いに関係していると言える。

残念ながら今のところ太陽系のような惑星系や地球程度の質量をもつ惑星は発見されていない。巨大な惑星しか探し出せないのは、現在の技術レベルや望遠鏡の感度の問題だと考えられている。惑星の成分も現在の技術では測定することが困難である。

## 9. これからの系外惑星探査

NASA は現在 3 つの計画を進めている。「ケック干渉計計画」の 2 基の望遠鏡は基 2 とも直径 10m の鏡を持つ世界最大の光学+赤外線望遠鏡である。計画では、この 2 基の望遠鏡を連動して稼働させることで、85 メートル相当の望遠鏡に匹敵する力を発揮することが可能になる。「Space Interferometry Mission」の目標は宇宙からの観測に挑み、星の正確な位置を測定することである。これは、2010 年の打ち上げが予定されている。「Terrestrial Planet Finder」は 2010 年以降の打ち上げとなる。目的は地球型惑星の搜索・分類で、生命の存在を突き止める能力まで持つ。技術の改良・開発が常に進んでおり、10 年以内に地球クラスの惑星も見つかるのではないかと期待されている。