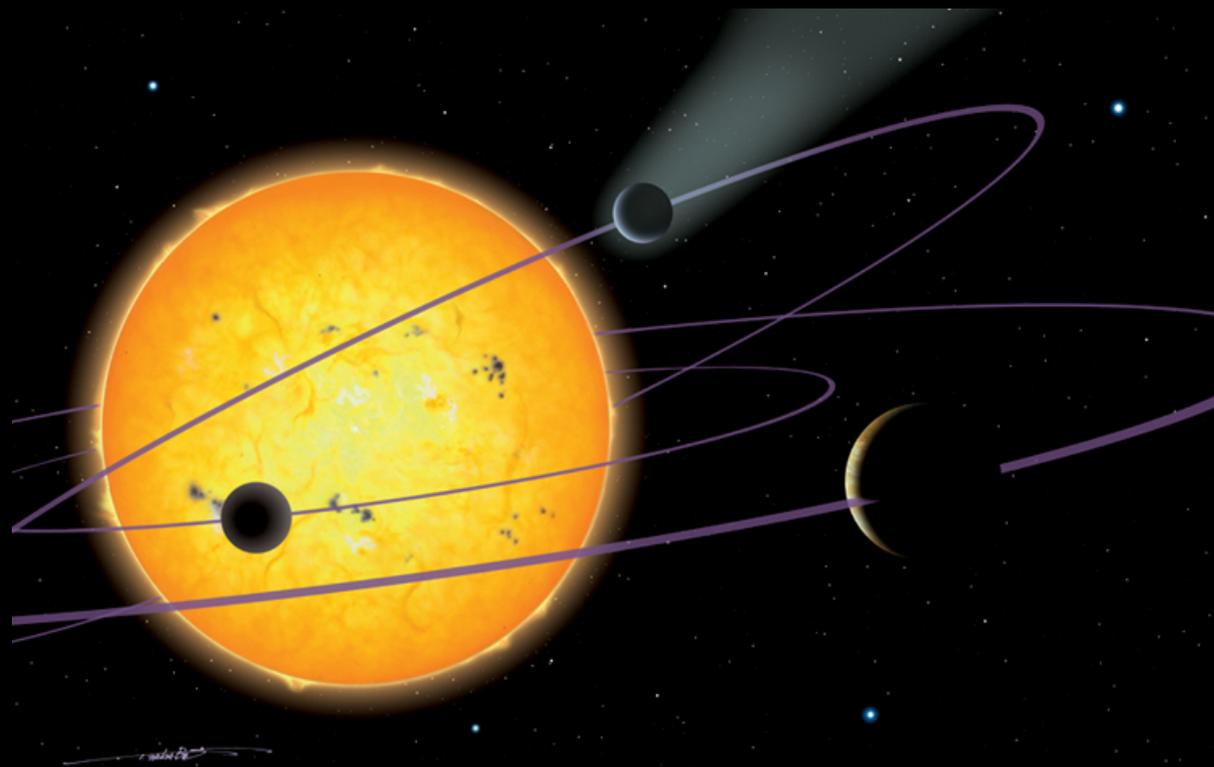


# 系外惑星～未知の惑星への扉

北海道大学 理学部  
地球科学科 惑星宇宙グループ  
学部4年  
岡澤 直也 / 濱本 昂

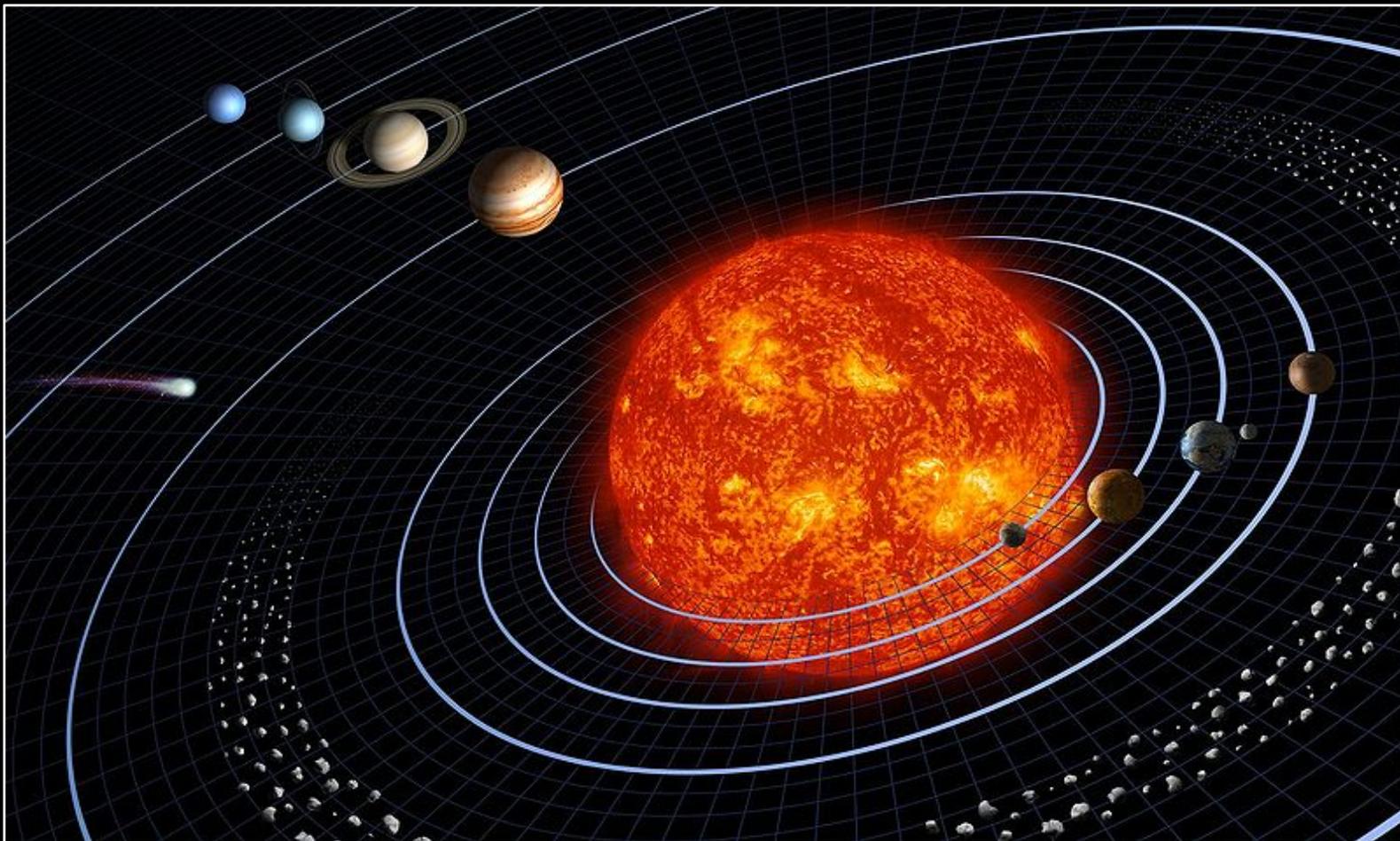
# 系外惑星とは何か？

太陽以外の恒星の周りを回っている惑星  
→系外惑星



# 系外惑星とは何か？

太陽とその周りにある惑星→太陽系と呼ぶ



# 系外惑星とは何か？

太陽を含むたくさんの恒星からなる天の川銀河



[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/spitzer/multimedia/20080603a.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/spitzer/multimedia/20080603a.html)

# 系外惑星とは何か？

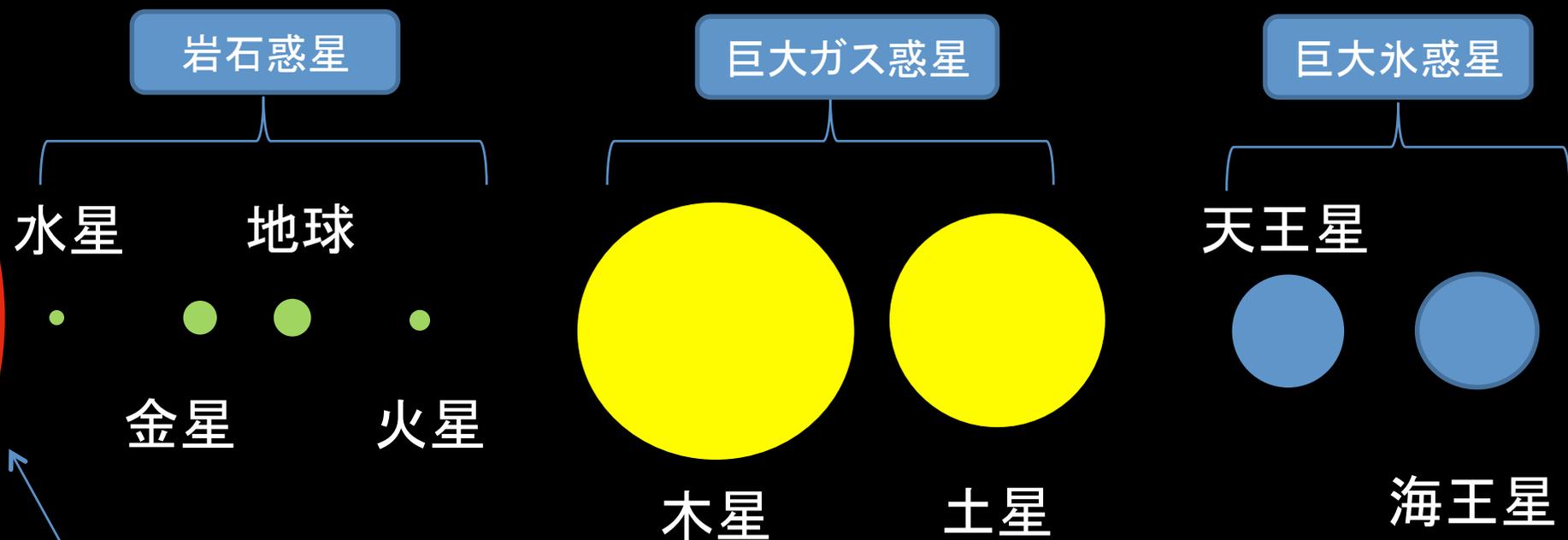
私たちが住んでいる地球



<http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/earth.html>

# そもそも太陽系惑星とは

- 水・金・地・火・木・土・天・海というふう  
に覚えられている。
  - 以前は冥王星も含まれていた。



太陽：太陽系の真ん中にある恒星。

# 惑星発見の歴史

- 水・金・火・木・土星はいつ発見されたかわからない。
  - それほど昔に存在が知られていた
- 天王星・・・1781年発見
- 海王星・・・1846年発見
- (冥王星)・・・1930年発見
- 系外惑星・・・1995年に初めて発見

# 惑星発見の歴史

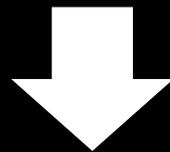
- 系外惑星・・・1995年に初めて発見
- 太陽系惑星に比べてごく最近に見つかり始めたものである  
(皆さんにとっては生まれたころかもしれないが・・・)

ではどのようにして系外惑星が見つかったのだろうか？

# 系外惑星の観測

# 系外惑星を見つけるには

- 惑星は恒星のように光っていない
- 惑星は恒星に比べて暗く見えづらい
- 直接惑星を見つけることは難しい



**間接的**に系外惑星を見つける

# 間接的な見つけ方

## ドップラー法

- 重心
- スペクトル
- ドップラー効果

## トランジット法

- transit: 通過・横断

# 重心



[http://www.youtube.com/watch?v=L3pb5j91\\_uM](http://www.youtube.com/watch?v=L3pb5j91_uM)

# スペクトル



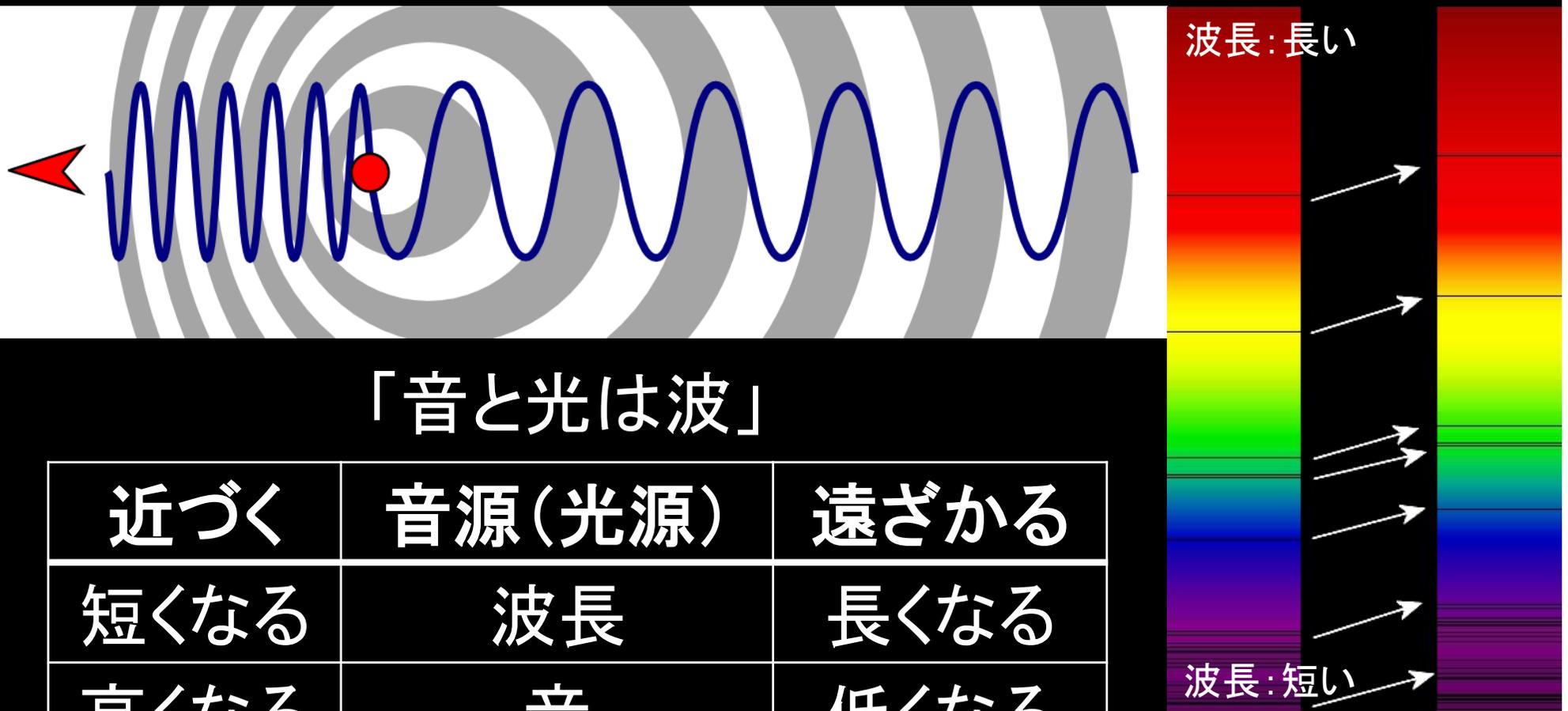
The Department of Physics and Astronomy, The University of Iowa よ

# ドップラー効果



<http://www.youtube.com/watch?v=a3RfULw7aAY>

# 光のドップラー効果



## 「音と光は波」

近づく	音源(光源)	遠ざかる
短くなる	波長	長くなる
高くなる	音	低くなる
青くなる	光	赤くなる

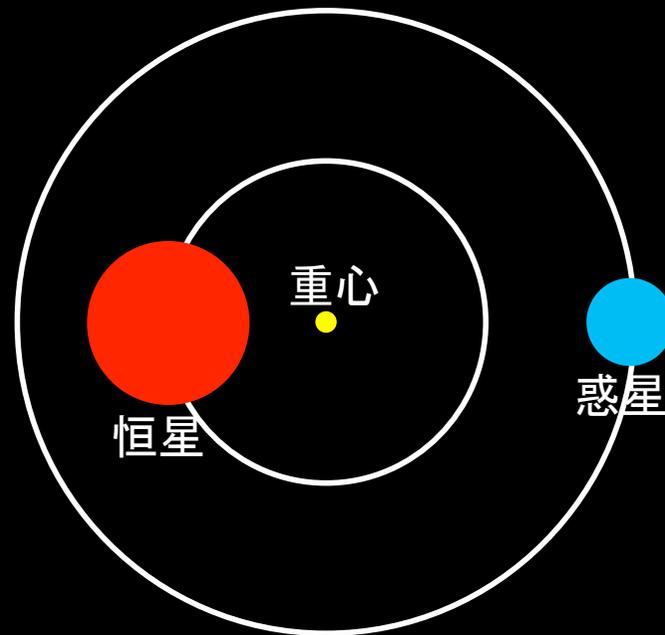
スペクトルの  
赤方偏移

画像左 [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/Doppler\\_effect\\_diagrammatic.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/Doppler_effect_diagrammatic.png)

画像右 <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Redshift.png>

# ドップラー法

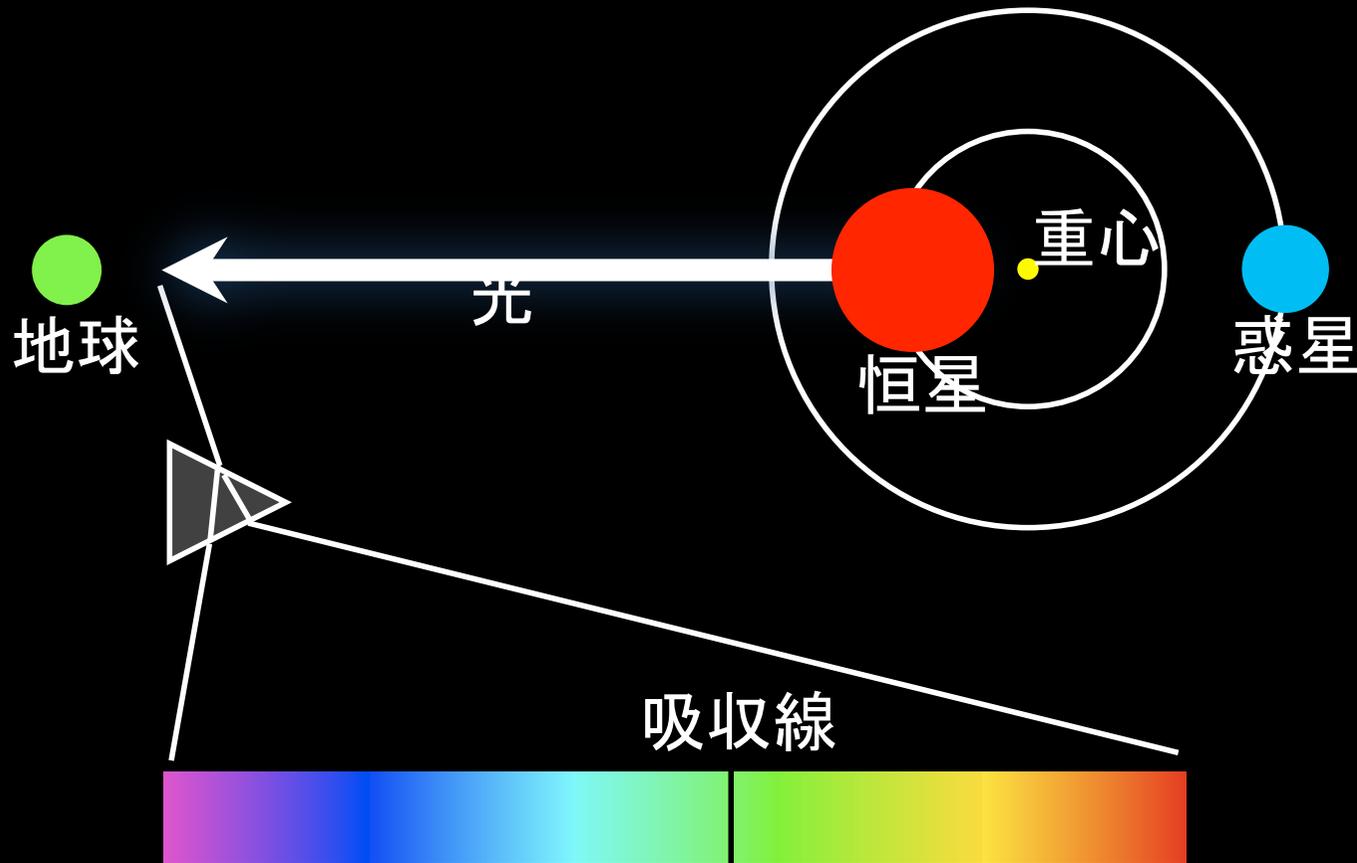
恒星は惑星との重心の周りを回っている



恒星の「ふらつき」 → 「系外惑星の存在」

# ドップラー法

恒星のふらつきによる**恒星のスペクトル**  
**の変化** (ドップラー効果) を測る



(紫外)波長:短い ← 恒星のスペクトル → 波長:長い(赤外)

# ドップラー法

## 得られる情報

- 公転周期、スペクトル変動幅
- 惑星質量(最小値)

## 最高精度: **1m/s**以下

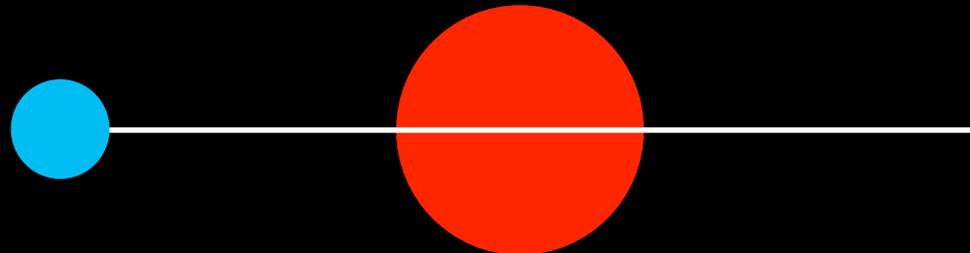
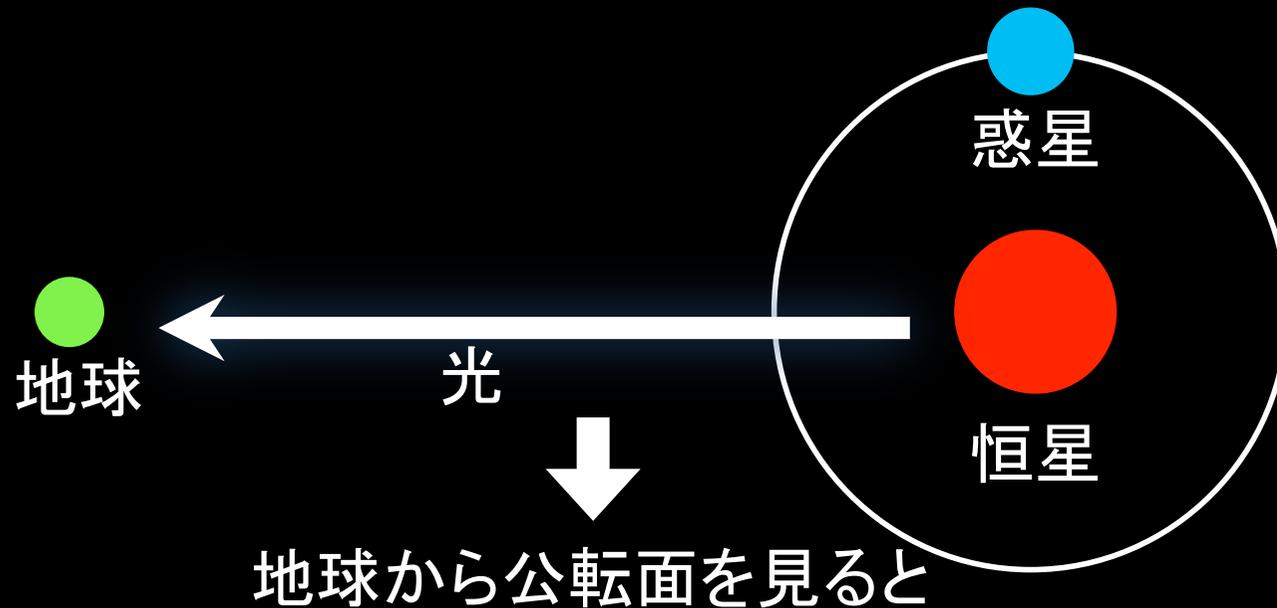
- 木星による太陽のふらつき: **約13m/s**
- 地球による太陽のふらつき: **約0.01m/s**

80%以上の系外惑星はこの方法で発見

- **重い惑星、恒星に近い惑星**が発見されやすい

# トランジット法

惑星が地球と恒星の間を横切ることによる  
恒星の明るさ(地球から見た)の変化を測る

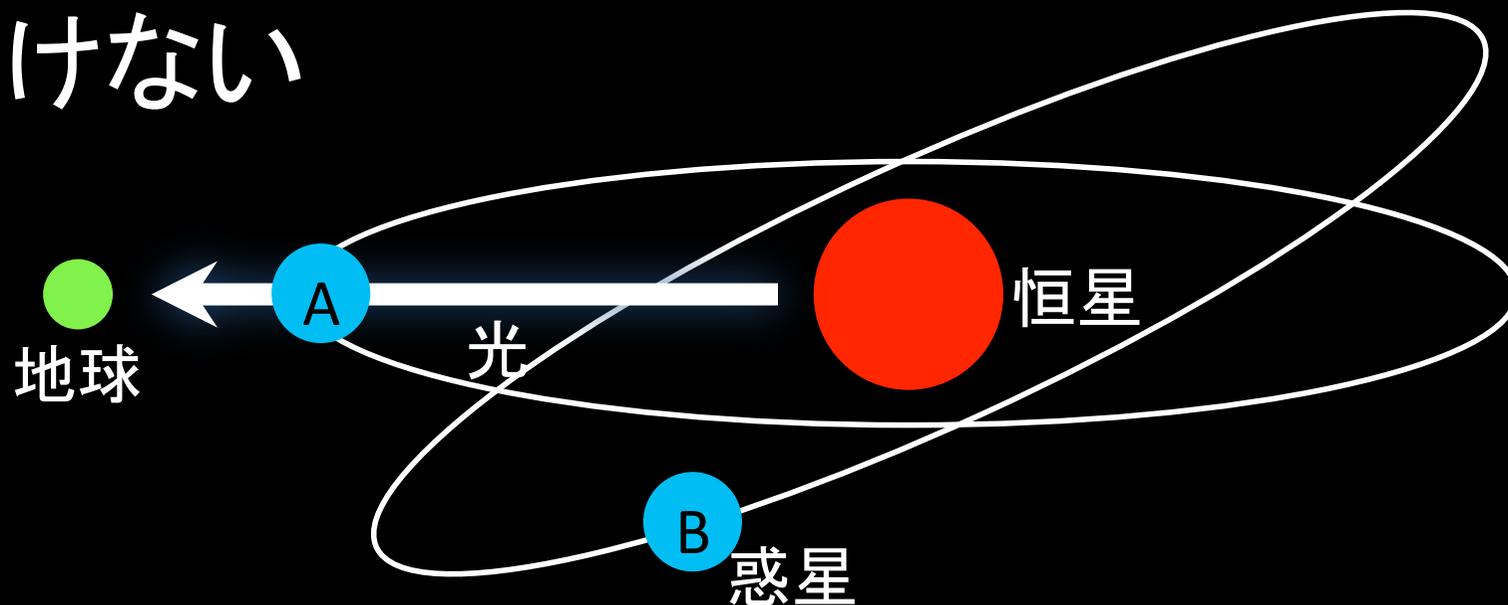


# トランジット法

## 得られる情報

- 惑星半径、軌道傾斜角
- 惑星質量、密度(←ドップラー法と合わせて)

※惑星が地球と恒星を結ぶ直線上にないといけない



# 系外惑星の直接撮像

## 直接系外惑星を撮像するメリット

- 恒星から遠い惑星を見つけられる
- 惑星のスペクトル(=**惑星大気の情報**)が得られる

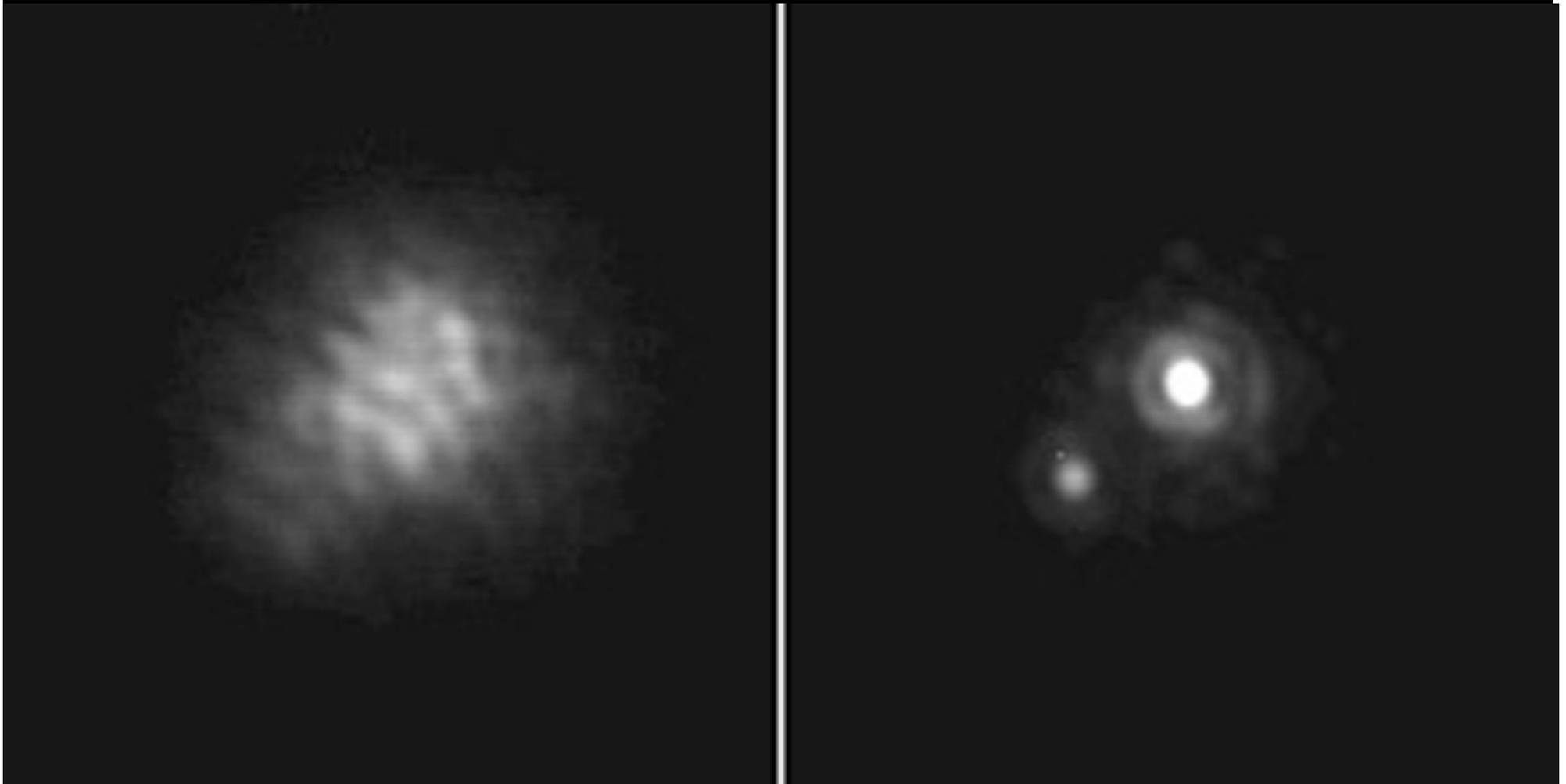
## 直接撮像の難しさ

- 恒星の光で**惑星が見えなくなる**
  - **恒星に近い惑星**を見つけづらい

# 補償光学(Adaptive Optics)

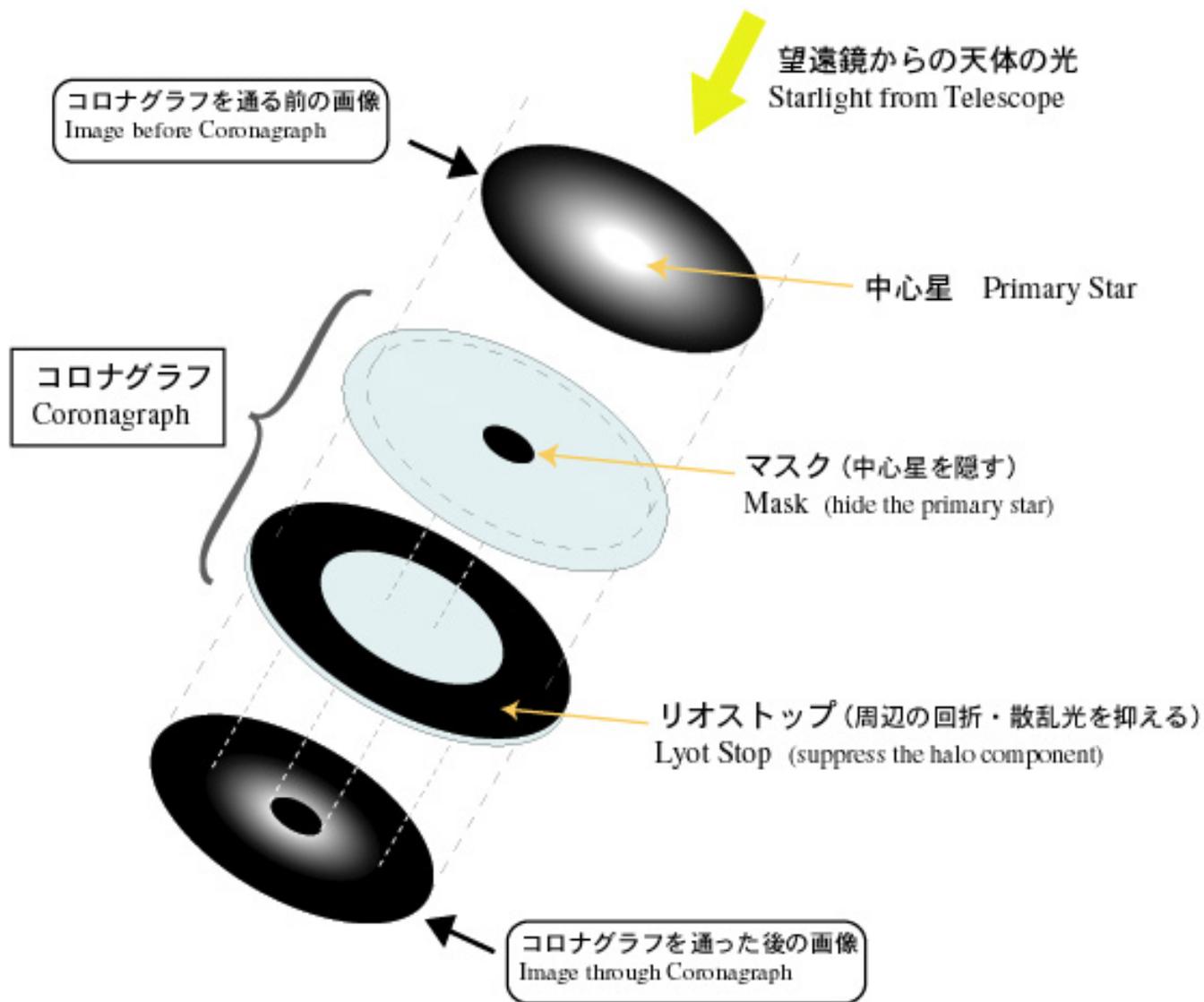
AOなし

AOあり

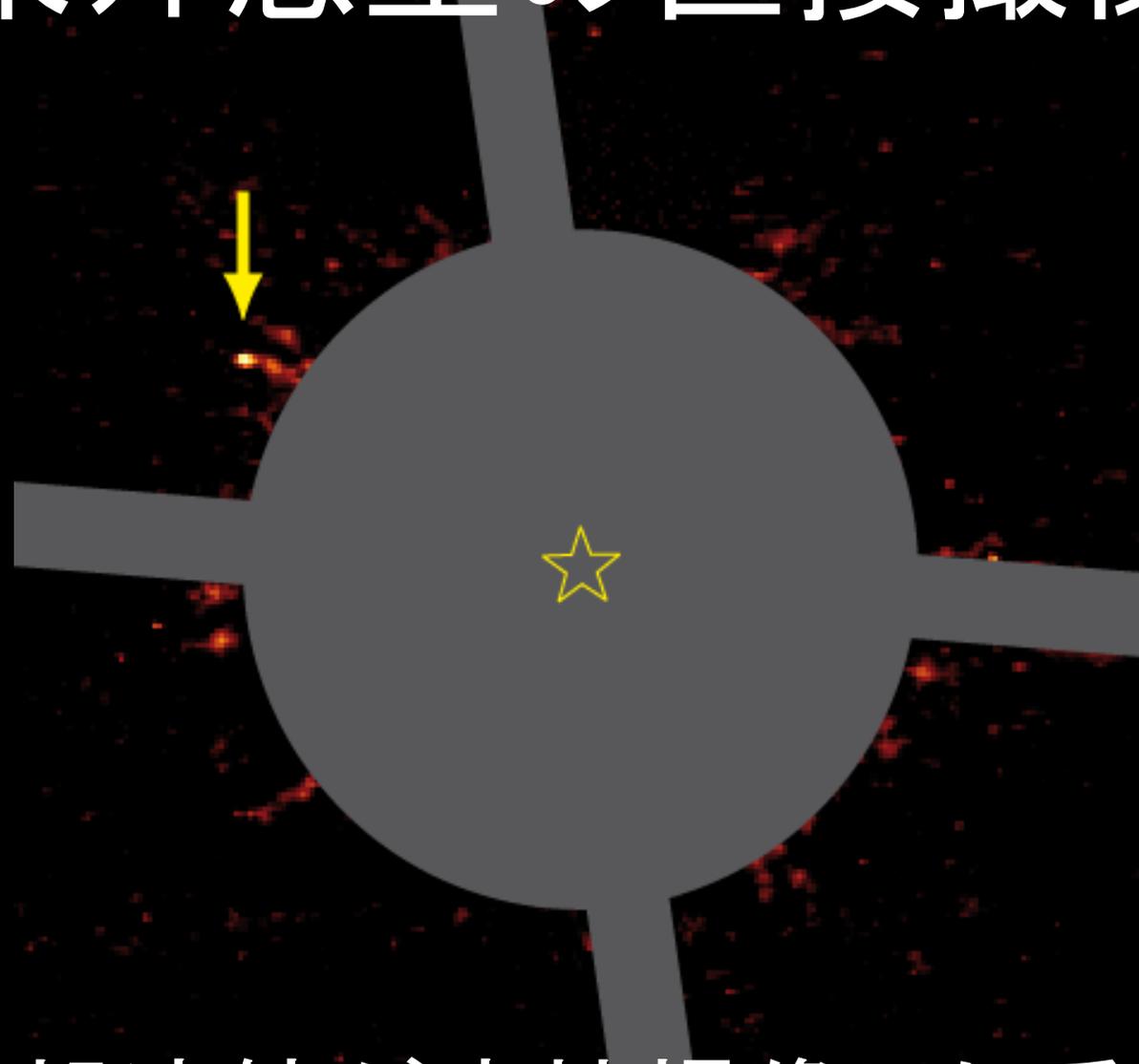


# コロナグラフ

コロナグラフ機能 Coronagraph



# 系外惑星の直接撮像



すばる望遠鏡が直接撮像した系外惑星

国立天文台 提供

# 系外惑星の 意外な特徴

# こんな系外惑星が見つかった

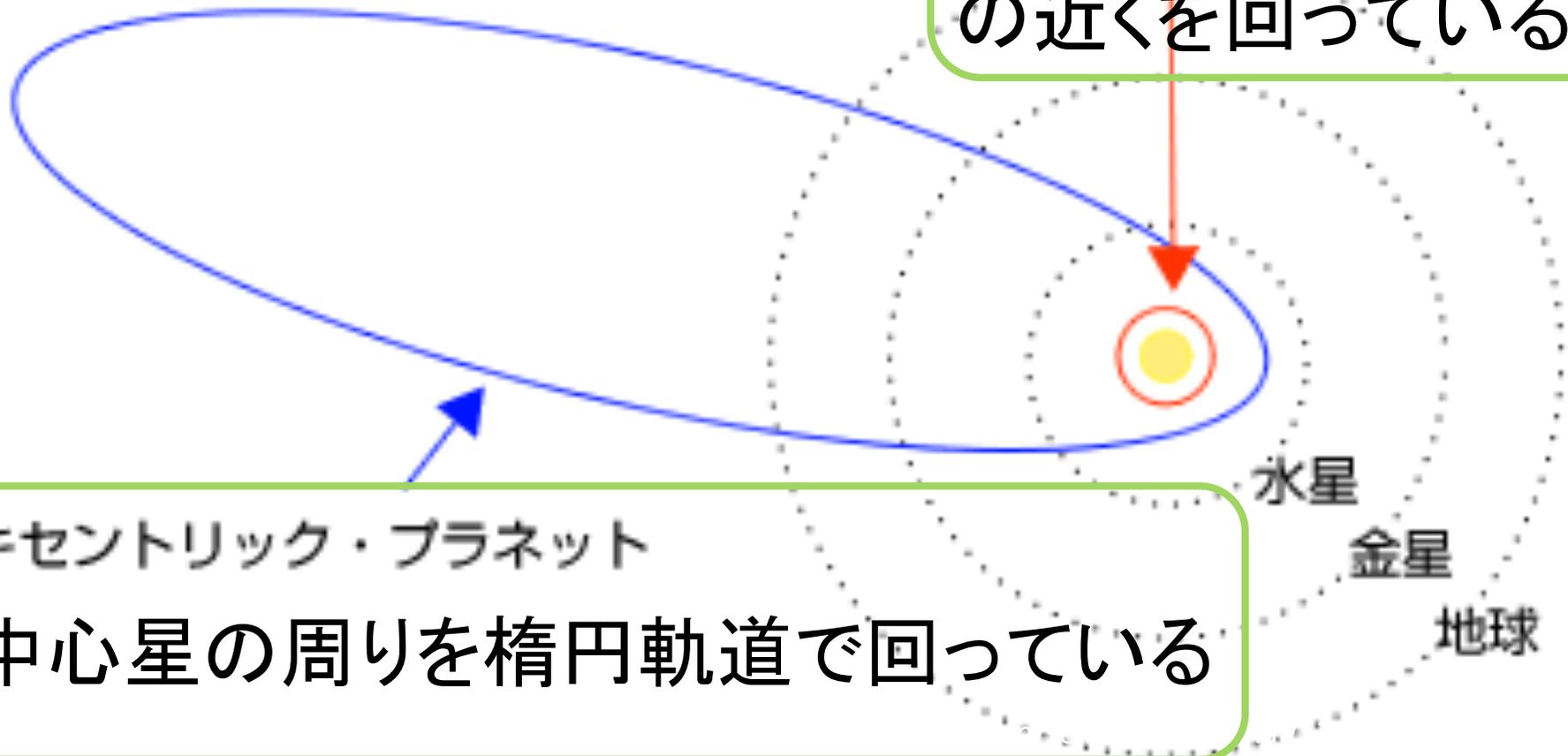
スーパーアース  
地球より少し大きい

ホット・ジュピター

大きな惑星が中心星  
の近くを回っている

エキセントリック・プラネット

中心星の周りを楕円軌道で回っている



# エキセントリックプラネット

- 名前の由来

- Planet : 「惑星」

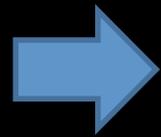
- Eccentric : 「楕円軌道の」

- 「常軌を逸した、奇妙な」

# エキセントリックプラネット

- 恒星の周りを楕円軌道で回っている

– 楕円の程度を表す指標: 離心率 $e$



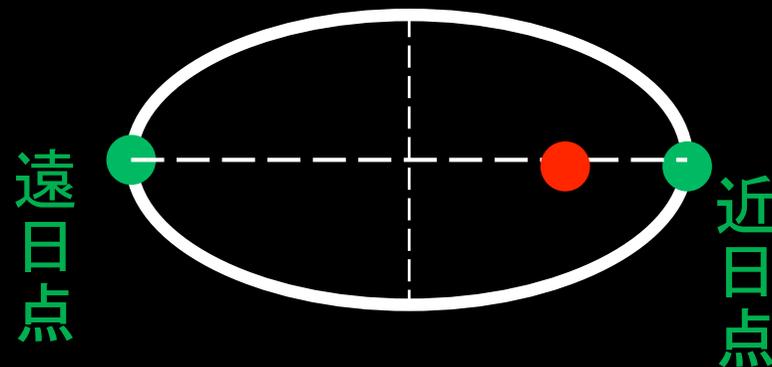
$e$ が大きければ季節の差が大きくなる

- エキシセントリックプラネットでは  
 $e$ が0.5を超えるものも見つかっている。  
(地球:  $e=0.017$ )

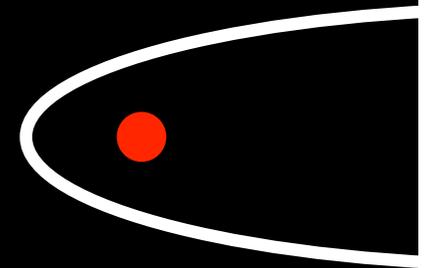
$e = 0$



$0 < e < 1$



$e = 1$



# エキセントリックプラネット

- 非常に“ゆがんだ”楕円軌道で回っている。
- 夏（恒星に近いとき）と冬（恒星から遠いとき）の差がとても大きい。
  - 夏と冬の温度差が $270^{\circ}\text{C}$ にもなると思われる惑星も見つかっている。
- このような環境の惑星では生命が生き続けるのは困難である。

# ホットジュピター

- 名前の由来

- Jupiter : 「木星」

- ・・・木星と同じくらいの大きさ

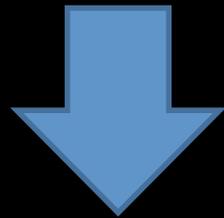
- Hot : 「熱い」

- ・・・温度が高いという意味と、

- ・・・注目のニュース「hot news」のhotの意味

# 1 AU とは？

- 地球と太陽の距離 : 1 AU
- 1 AU = 約 1億5000万 km



地球4000周くらい!!

# ホットジュピター

- 木星との比較

- 恒星からの距離

- 木星 : 5AU程度

- ホットジュピター : 0.1AU程度かそれ以下

- 温度

- 木星 :  $-150^{\circ}\text{C}$

- ホットジュピター :  $1000^{\circ}\text{C}$ 程度かそれ以上

木星程度の大きさの惑星が恒星のとても近くを回っている

# ホットジュピター

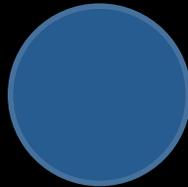
- 温度が $1000^{\circ}\text{C}$ 以上になる。
- とにかく熱い！！
- この惑星でも生命が生き続けるのは困難である。

# スーパーアース

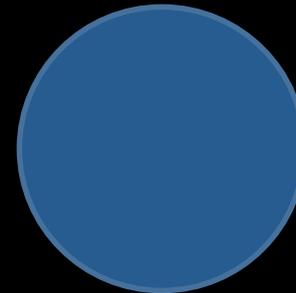
- 名前の由来

- Super : 「超」

- earth : 「地球」



地球の2倍質量



地球の7倍質量

- 地球の数倍程度の質量の系外惑星

# スーパーアース

- ガス惑星ではなく固体惑星である。
- これまで見てきた系外惑星はほとんどが大きなガス惑星である。

(観測編で見たように大きくて重い惑星の方が見つけやすいから。)

➡ 観測技術の発展で小さな惑星も見つけられるようになってきた。

➡ 地球に似た環境の惑星や、地球外生命体の存在する惑星を探せるかもしれない。

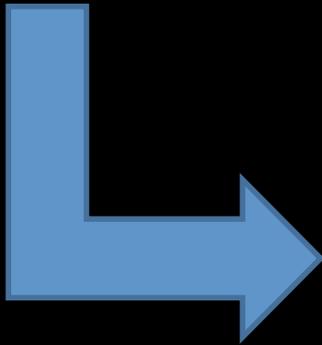
# まとめ

- 観測法
  - ドップラー法
  - トランジット法
  - 直接撮像
- 太陽系の外には不思議な惑星がたくさん見つかってきている。
  - 季節変化の激しいエキセントリックプラネット
  - 恒星のすぐそばにあるホットジュピター
  - 地球より大きな固体惑星のスーパーアース

# まとめ

## 疑問

- どのようにして形成されたのか?
- 第二の地球は見つかるのか?
- 地球外生命体は存在するのか? など



研究はまだまだ続く

# 参考文献

国立天文台 すばる望遠鏡

[http://www.naoj.org/j\\_index.html](http://www.naoj.org/j_index.html)

井田茂, 「異形の惑星」, NHKブックス,  
2003