



系外惑星 ～第二の地球の可能性～

北海道大学

地球惑星科学科 4年

寺尾恭範 / 成田一輝

目次

前半

- 系外惑星とは何か
- 探査方法
 - ドップラー法
 - トランジット法

後半

- 系外惑星の姿
 - ホットジュピター
 - エキセントリックプラネット
 - スーパーアース
- 系外惑星と生命

系外惑星って何？

その前に...

- 太陽系

– 太陽とその周りを公転する惑星等の集まり

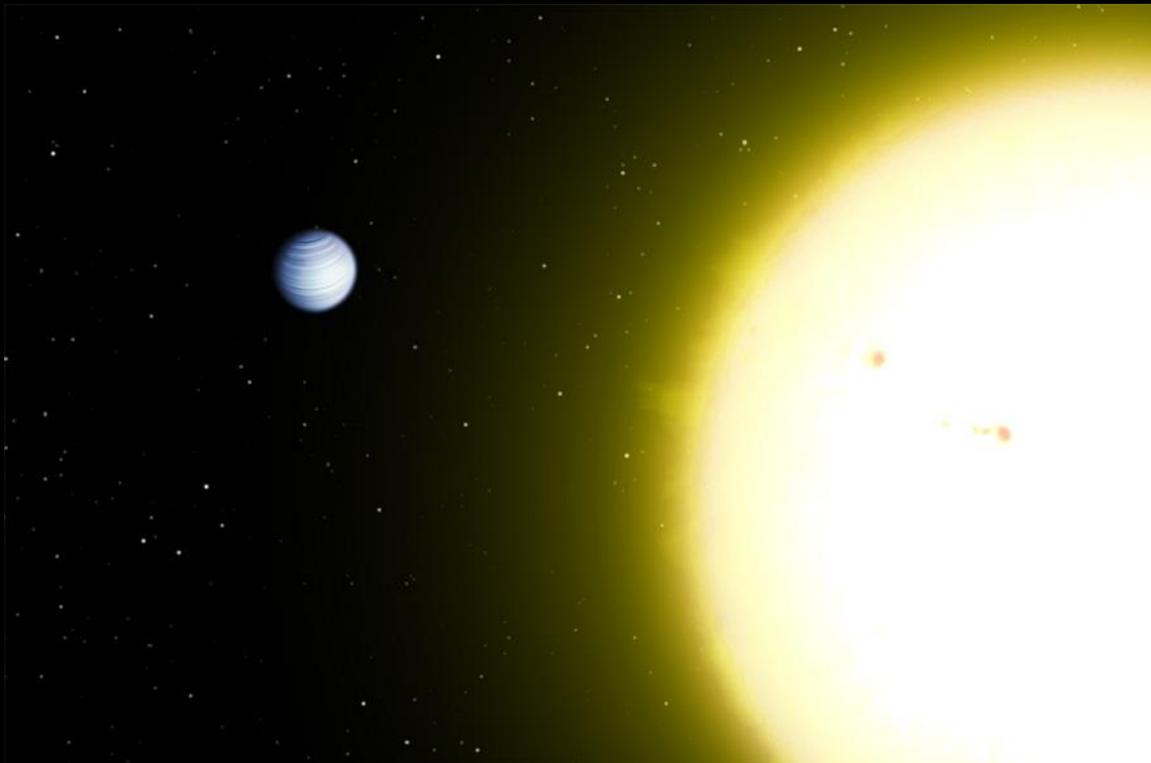


- 系外惑星

- 太陽系の外にある惑星

- 太陽以外の恒星の周りを公転する惑星

- 1995年に初の発見（ペガサス座51番星b）



太陽系の外とは？

- 天の川銀河

- 私たちの住む太陽系を含む銀河

- 現在までに発見された系外惑星のほとんどすべてがこの中に含まれている



銀河クイズ

恒星の集団のことを銀河と呼ぶのですが…

Q. 天の川銀河に含まれる恒星の数はいくつ？

- A: 約200万個 (岐阜県の人口)
- B: 約1億4000万個 (ナルトの発行部数)
- C: 約4000億個 (美濃の国のアリの数)
- D: 約60兆個 (人間の細胞の数)

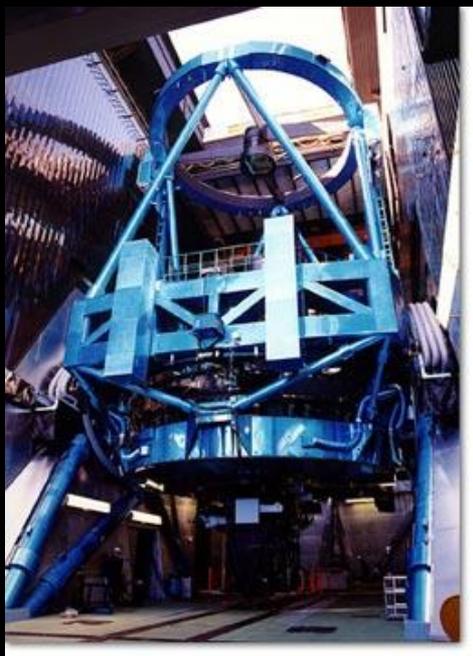
答え

正解は

C: 約4000億個

- 天の川銀河には太陽のような恒星が数えきれないほど存在する
 - 地球に似た惑星をもつ星もたくさんあるはず！
 - 生命の存在する惑星もあるかもしれない

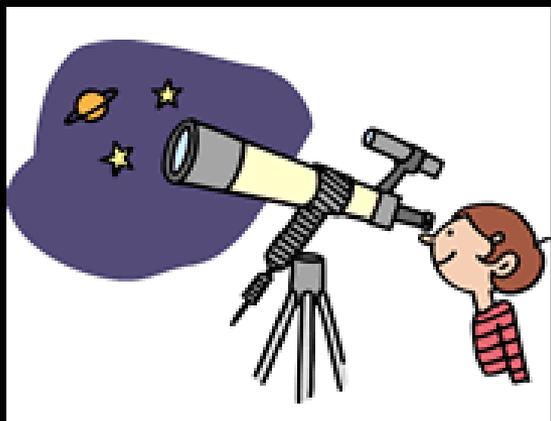
系外惑星を探そう！



http://subarutelescope.org/Introduction/img/telescope_photo.jpg

系外惑星の見つけ方

- 直接見つける
 - 望遠鏡を使って惑星の姿を直接観測する



当たり前？しかし・・・

系外惑星クイズ

今までに見つかった系外惑星は1500個以上

Q. そのうち直接見つかったのはいくつ？

- A: 10個くらい
- B: 100個くらい
- C: 1000個くらい
- D: 全部！

答え

正解は

A: 10個くらい

- 惑星は恒星に比べて非常に小さく暗いため、直接見つけるのは難しい
 - 他の方法を考える必要がある
 - 直接が難しいなら・・・**間接だ!**

間接的な観測方法

- ドップラー法
- トランジット法

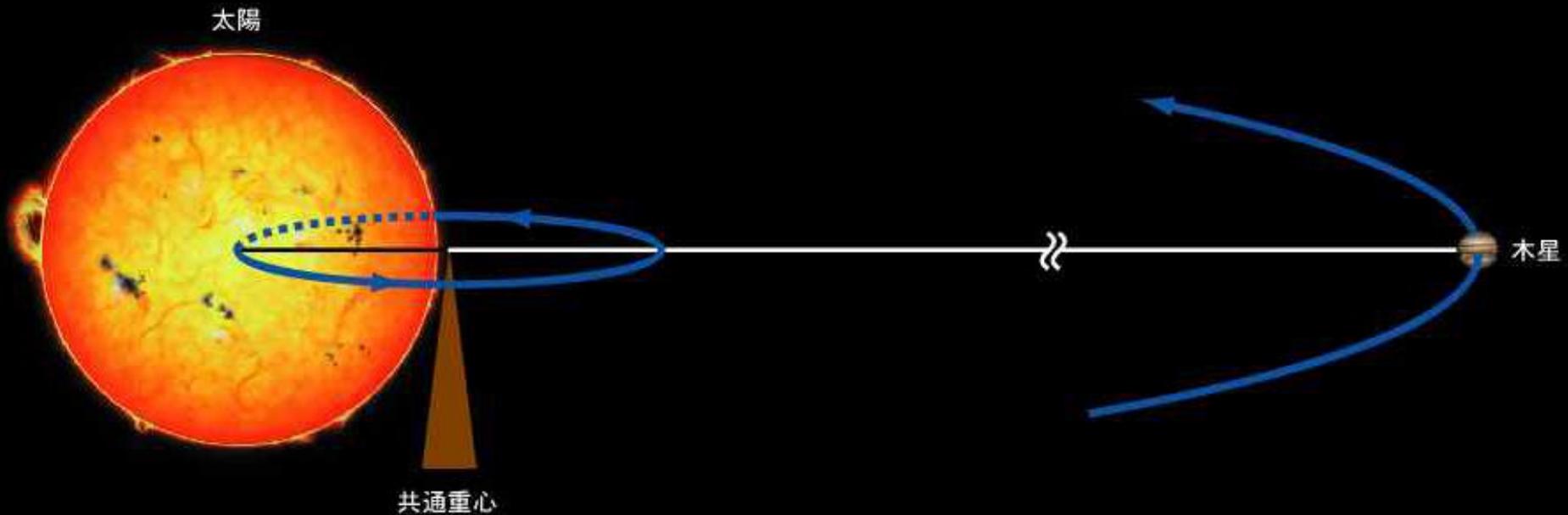
ドップラー法

- 恒星のふらつきによる**光のドップラー偏移**を調べ、惑星の存在を検知する方法



恒星のふらつき

- 互いの引力によって、惑星と恒星は重心の周りを運動する
 - 惑星が存在すると恒星も動く



イメージ

- ハンマー投げ
 - 鉄球(惑星)が回転することによって人間(恒星)はふらつく

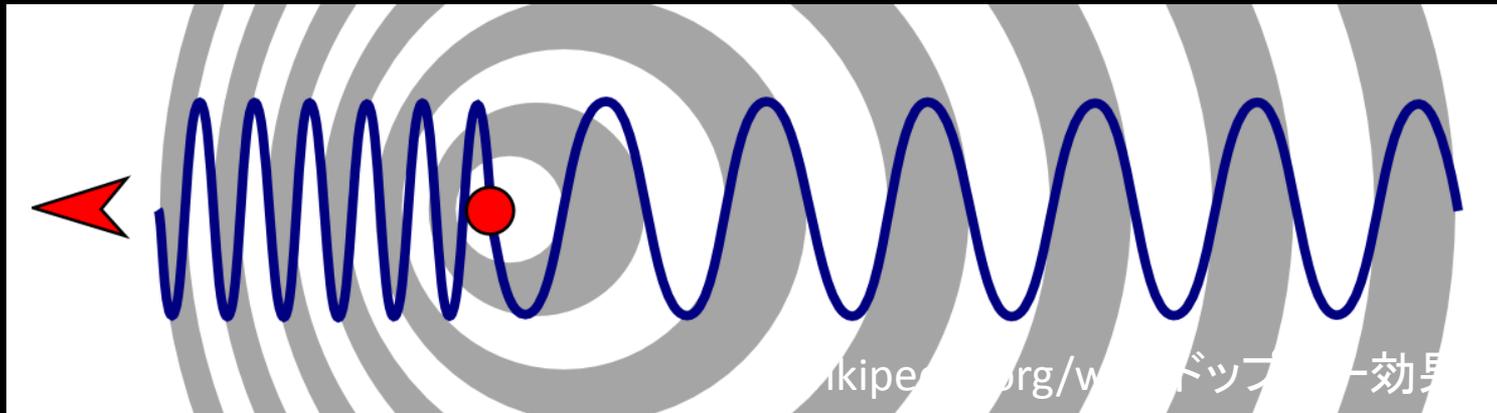


恒星が動くと・・・

- ドップラー効果

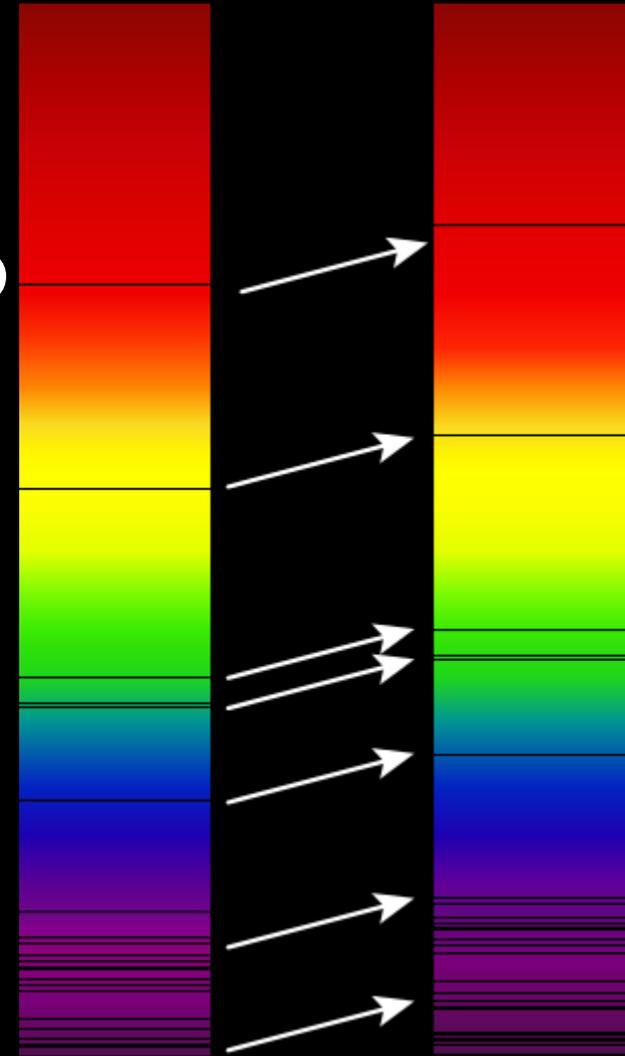
- 観測者から見て遠ざかる物体が出す波の波長は長くなり、近づく物体が出す波の波長は短くなる

- 音や光は波である（例：救急車のサイレン）



波源が左に向かって運動している場合

波長長



波長短

- 光の場合

- 波長が長い光は赤く、短い光は青い
- スペクトルの吸収線(図の黒い線)の周期的なずれ(ドップラー偏移)を調べると、恒星の運動がわかる

- スペクトルとは

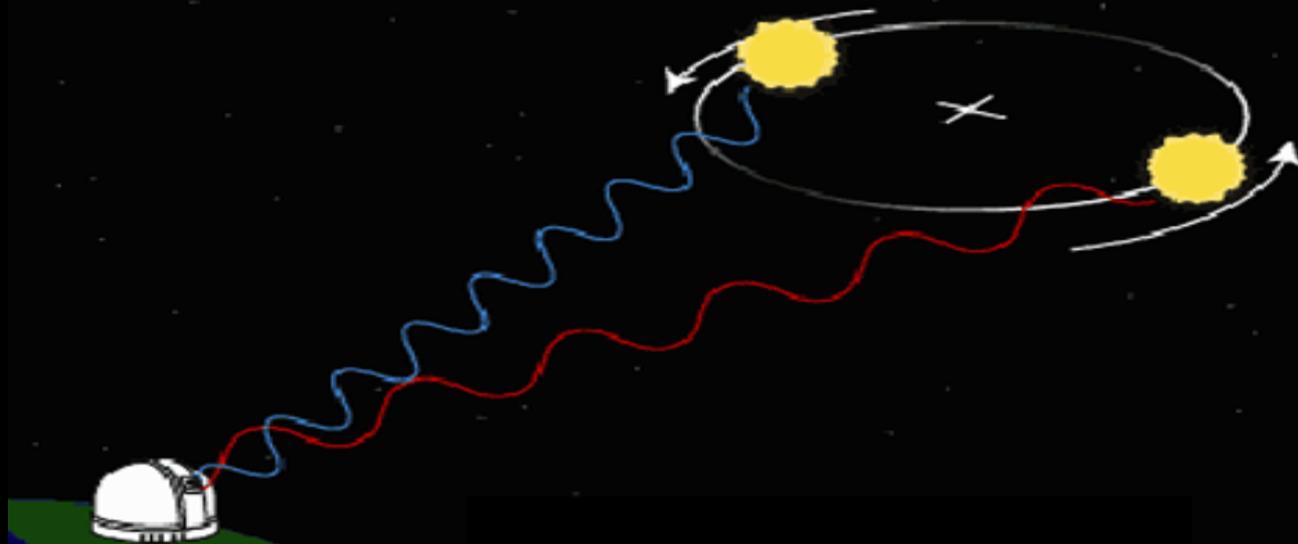
- 光を波長ごとに分解したもの
- 虹は太陽光が空気中の水滴によって分解されたもの

ドップラー法のまとめ

恒星のスペクトルのドップラー偏移を観測

→ 恒星がふらついている(運動している)

→ 系外惑星が存在する！



得られる情報

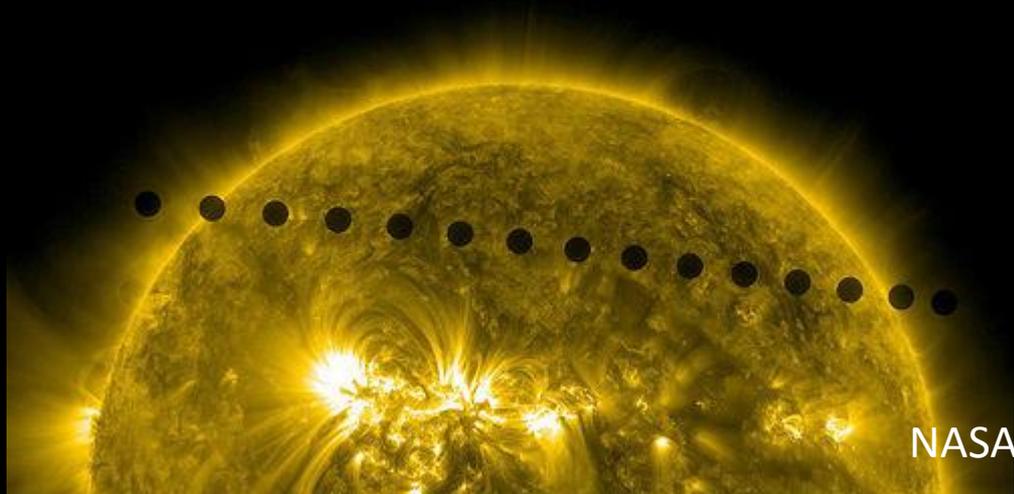
- 惑星の**軌道半径** (恒星からの距離)
 - ドップラー偏移の周期から
- 惑星の**質量の下限**
 - 軌道半径とドップラー偏移の大きさから

ドップラー法に適した惑星

- 重い惑星や軌道半径の小さい惑星
 - 恒星のふらつきが大きくドップラー偏移が検出しやすい
 - **ホットジュピター**が見つかりやすい
- ほとんどの系外惑星はこの方法で発見
 - ペガサス座51番星bも

トランジット法

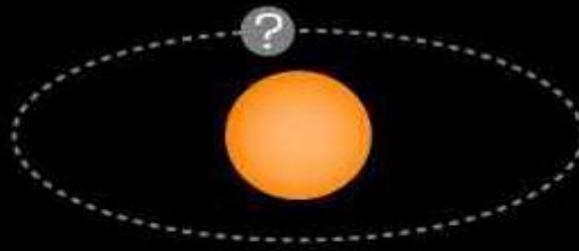
- 惑星の**恒星面通過** (トランジット) による**恒星の減光**を利用して惑星を検出する方法



金星の太陽面通過

惑星の恒星面通過

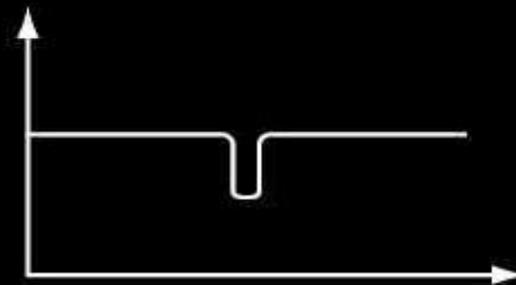
- 惑星が恒星の前を通過すると、地球に届く光は弱まる
 - 月が太陽の前を通過すると日食



恒星面通過がない場合



恒星面通過がある場合



得られる情報

- 惑星の**軌道面の向き**
- 惑星の**半径**
 - 減光率 (恒星と惑星の断面積の比) から
- 惑星**大気の情報**
 - 恒星面通過中とそれ以外のスペクトルの比較から

近年ではトランジット法によって多数の惑星が発見されている

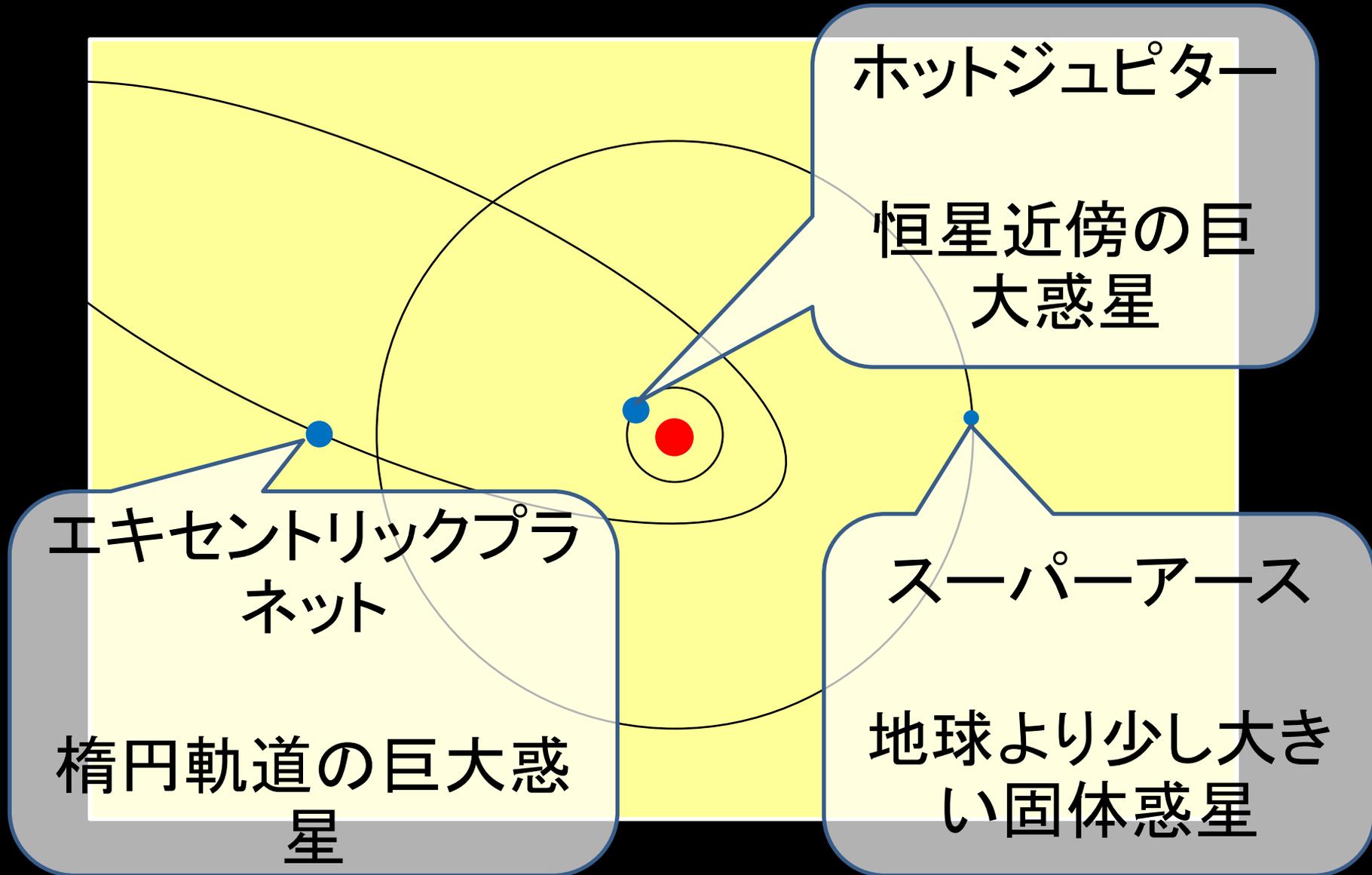
ドップラー & トランジット

- 惑星の**正確な質量**
- 惑星の**密度**
 - 二つの方法を組み合わせると、より多くの情報が得られる

これらの方法によって、様々な特徴を持つ系外惑星が発見されている

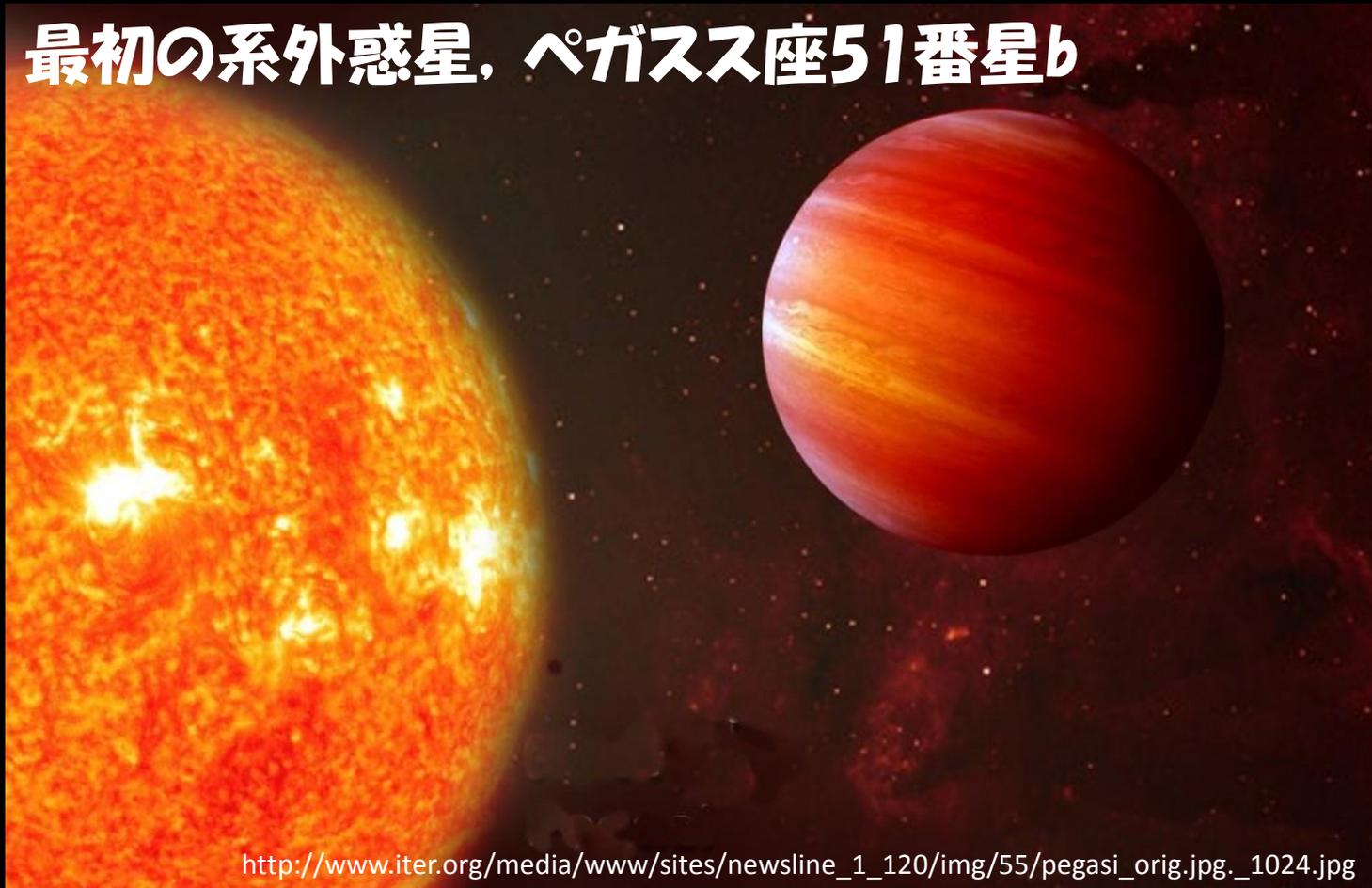
系外惑星の姿

多様な系外惑星



ホットジュピター

最初の系外惑星, ペガス座51番星b



http://www.iter.org/media/www/sites/newsline_1_120/img/55/pegasi_orig.jpg._1024.jpg

Hot Jupiter = 「灼熱の木星」

ホットジュピター (vs 木星)

ホットジュピター		木星
巨大ガス惑星	タイプ	巨大ガス惑星
0.1AU以内	公転軌道半径	5.2AU
数日	公転周期	12年
1000°C以上	表面温度	-150°C

http://www.iter.org/media/www/sites/newsline_1_120/img/55/pegasi_orig.jpg_1024.jpg

<http://sweeper.a.la9.jp/planet/jupiter.htm>

AUって？

AU (Astronomical Unit): 天文学で用いられる長さの単位

1AU (地球と太陽との距離) = 1億5000万 km
(飛行機で20年！)



<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%9C%B0%E7%90%83>



1AU



<http://www.nab.co.jp/~kasugahi/furiwake/taiyou/2007-01/>

ホットジュピター (vs 木星)

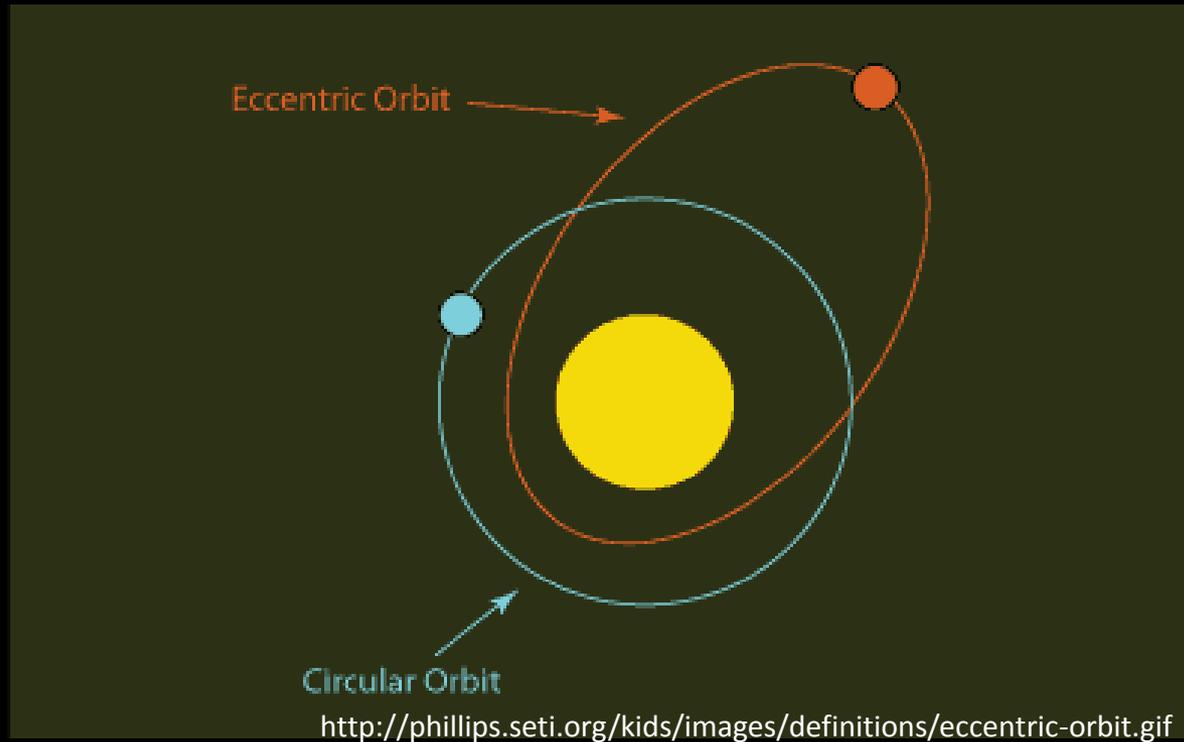
ホットジュピター		木星
巨大ガス惑星	タイプ	巨大ガス惑星
0.1AU以内	公転軌道半径	5.2AU
数日	公転周期	12年
1000°C以上	表面温度	-150°C

http://www.iter.org/media/www/sites/newsline_1_120/img/55/pegasi_orig.jpg_1024.jpg

<http://sweeper.a.la9.jp/planet/jupiter.htm>

ホットジュピターは恒星に近くて公転が早く、そして熱い惑星

エキセントリックプラネット



Eccentric Planet = 「楕円軌道の惑星」

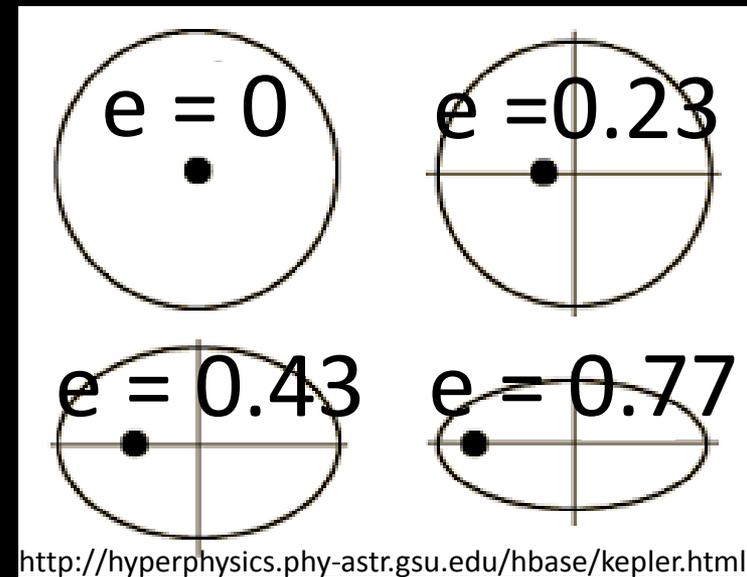
楕円 = 離心率が大きい

離心率(Eccentricity)

- 楕円の程度を示す指標.

頭文字の e で表す

- $e = 0$ 真円
- $0 < e < 1$ 楕円
- $e = 1$ 放物線



地球($e = 0.0167$)をはじめ, 太陽系の惑星軌道は $e < 0.1$ であり, ほぼ真円

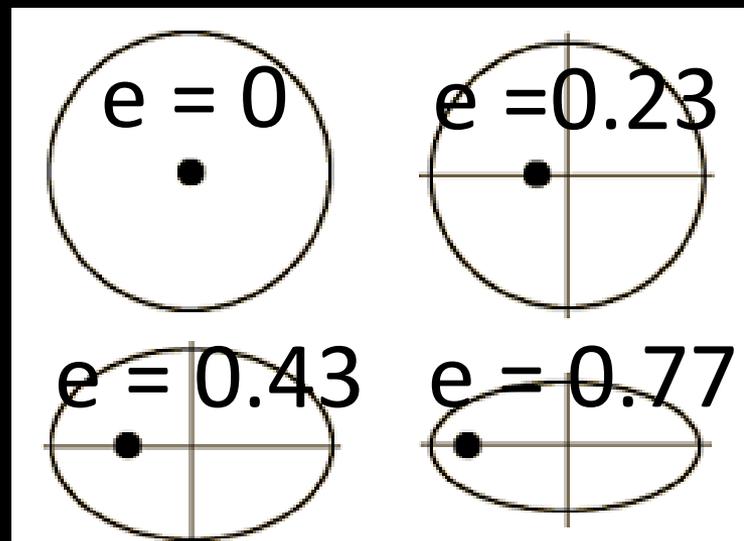
エキセントリックプラネット

- エキシセントリックプラネットの軌道は $0.1 < e \lesssim 0.9$ と, e が大きい

- e が大きいと・・・？

– 軌道がゆがむ

– 恒星からの距離が大きく変化



エキセントリックプラネット

- 恒星からの距離が大きく変わると、季節変化も激しくなる(灼熱の夏, 極寒の冬)

エキセントリックプラネットは大きな離心率のために極端な季節変化を示す惑星



http://imus.co.jp/yotsuya/wp-content/uploads/himawari_006.jpg



<http://plaza.rakuten.co.jp/aisoradaisuki/diary/201304010000/>



<http://livedoor.blogimg.jp/maikono/imgs/6/8/684e690f.JPG>



<http://www.fujiya-hotel.co.jp/ja/f-style/concierge/09/index.html>
<http://blog-imgs-24.fc2.com/c/h/a/chame482hira/201110051839410ee.png>

<http://www.nab.co.jp/~kasugahi/furiwake/taiyou/2007-01/>

スーパーアース

最初のスーパーアース、グリーゼ876d



<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B0%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%82%BC876d>

Super Earth = 「超地球」

スーパーアース

何が新しい(すごい)か? →小さい

- 地球の1~4倍程度の半径
- 地球の1~10倍程度の質量
- ガス惑星ではなく, 固体惑星である

スーパーアースは地球よりも一回り大きな, 地面を持つ惑星



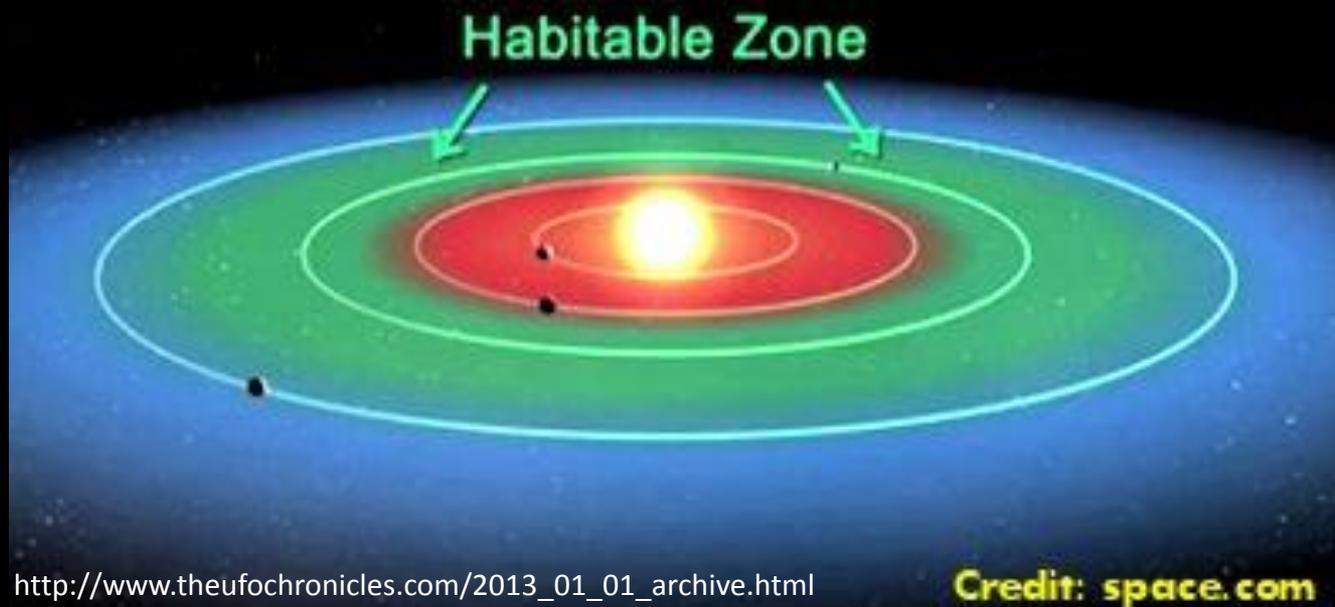
系外惑星と生命

生命存在の必要条件

- 惑星が**ハビタブルゾーン**内に存在すること

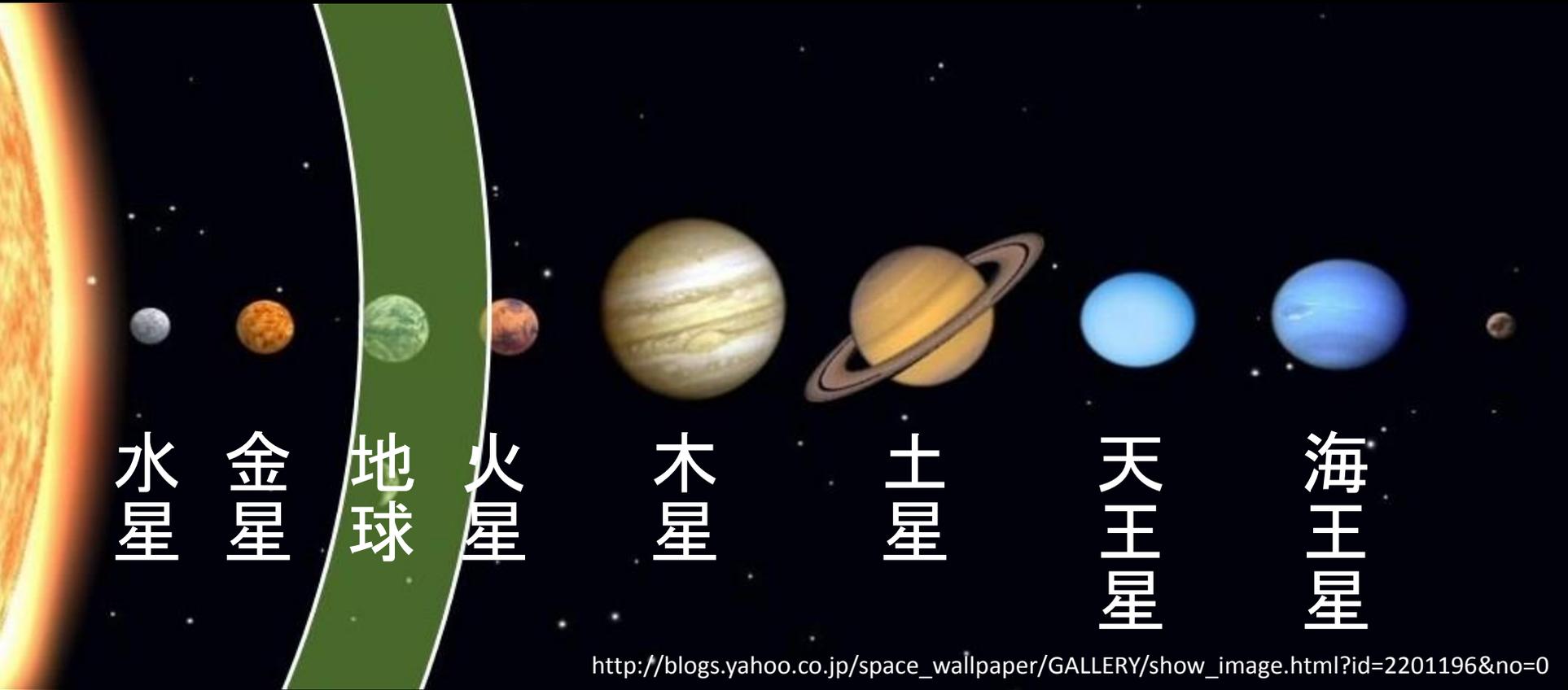
ハビタブルゾーン

= 「惑星に液体の水が存在できる領域」



恒星に**近すぎる**と水は蒸発, **遠すぎると凍結**

ちなみに太陽系



http://blogs.yahoo.co.jp/space_wallpaper/GALLERY/show_image.html?id=2201196&no=0

太陽系のハビタブルゾーンは0.9 AU~1.4 AU
(1AU = 地球と太陽との距離)

系外惑星とハビタブルゾーン

太陽だけでなく、恒星1つ1つにハビタブルゾーンが決まっている



ハビタブルゾーンに入るかどうかで、系外惑星に生命が存在するかどうかを検討できる

系外惑星と生命

- ホットジュピターは恒星に近すぎてハビタブルゾーン外→×
- エキセントリックプラネットは離心率の大きさゆえハビタブルゾーンに留まらない→×
- スーパーアースは軌道半径によってはハビタブルゾーン内→可能性あり

今後のスーパーアース, さらには, より地球に似た系外惑星発見に期待

系外惑星発見の現状

Exoplanet Discoveries

系外惑星は次々と発見されており、これからも続々と見つかるだろう



第二の地球探しは惑星科学研究のフロンティアである

Discovery Year
発見年

まとめ

- 系外惑星 = 太陽系の外にある惑星
- 観測手法にはドップラー法とトランジット法がある
- これまでホットジュピター, エキセントリックプラネット, スーパーアースが発見
- ハビタブルゾーン内の惑星には生命の可能性
- 系外惑星研究は今が旬！

参考文献

- 田村元秀(2014)『第二の地球を探せ!「太陽系外惑星天文学」入門』光文社(光文社新書) 246pp.
- 井田茂, 佐藤文衛, 田村元秀, 須藤靖(2008)『宇宙は“地球”であふれている』(知りたいサイエンスシリーズ) 技術評論社 223pp.
- 「ASTRO ARTS」<<http://www.astroarts.co.jp/index-j.html>>
2014年10月14日アクセス