



TOHO University

Observational results with Subaru telescope (Inside Galaxy)

- Extrasolar planets
- Discovery of Trojan asteroid in Lagrange point of Neptune

November 5, 2010
ASA, YAMA
TOHO University

Extrasolar planets

Outline

- What is extrasolar planets?
- Observational methods
- Results



What is extrasolar planet?

- ・系外惑星とは？

系外惑星とは、太陽系の外にある惑星で、現在、銀河系内に400以上の系外惑星が観測によって確認されている。

- ・研究の目的

系外惑星の研究は、

- ・太陽系や地球が、宇宙の中で一般的なのか？
- ・太陽系は昔どんな様子で、これからどう進化していくのか？
- ・地球のように、生命が存在する星が他にいいのか？
- ・...

といった疑問を解決することを期待されている。



Observational methods(Indirect)

- Doppler method

恒星は、惑星との重心の
周りを小さな半径で回転



地球に対しての相対速度に
微小な変化が起こる



ドップラー効果で波長変化

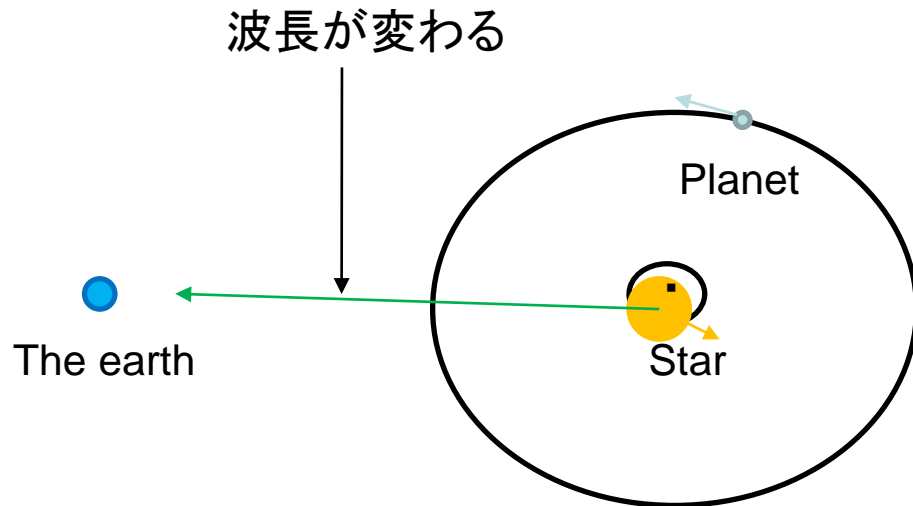


恒星の運動を計算



その周りに存在する天体の
質量の最小値

軌道決定が出来ないため



現在知られる系外惑星のうち
80%以上がこの方法で発見

Observational methods(Indirect)

- Transit method

惑星が地球に届く恒星からの
光を遮る



惑星が恒星と地球の間に
入った時に食を起こす



光の強度が惑星の断面積に
応じて減少

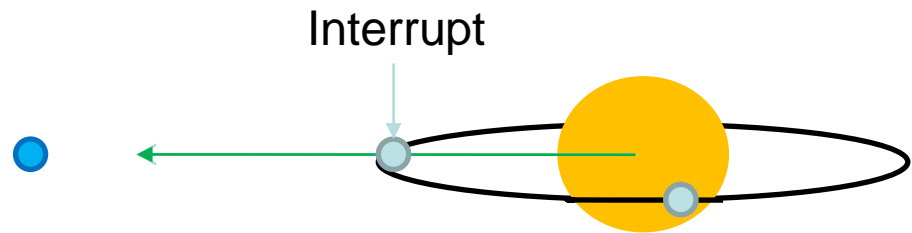


惑星の軌道面、断面積

+

質量、恒星との距離、密度

Doppler法との組み合わせ



2009年10月までにおよそ50例が観測

間接的なため観測可能な量は限られ、不定性を持つ



直接観測の必要性⇒CIAO

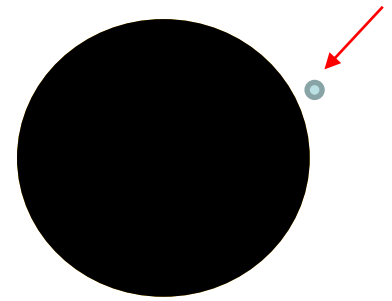


TOHO University

Observational methods(Direct)

- Coronagraph

コロナグラフとは、元々は太陽コロナを観測するために、人工的に日食を起こす装置である。なぜ日食かといえば、太陽の光はその周りに対して非常に強く、太陽周囲の現象の観測において邪魔である。実際、太陽コロナは普段は肉眼で見る事は出来ないが、皆既日食時には、肉眼で太陽コロナを簡単に確認出来る。これを、系外惑星の観測において、恒星が惑星に対して非常に明るいため惑星の直接観測が出来ないという問題に対して応用したのがCIAOである。



→位置、スペクトル、明るさ、温度...

Results

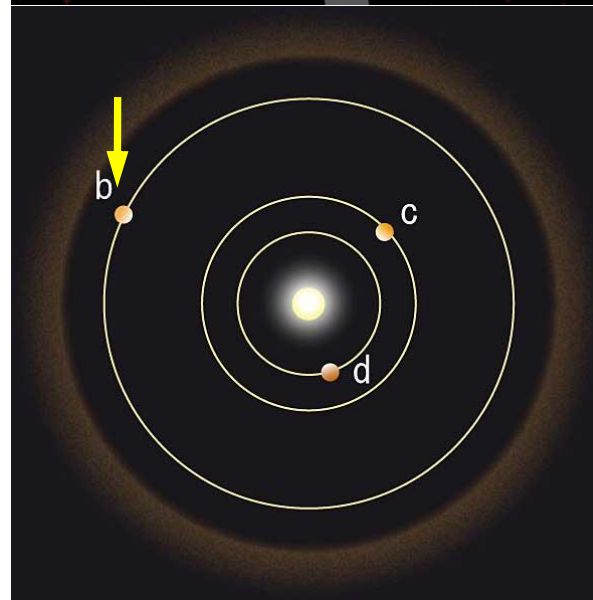
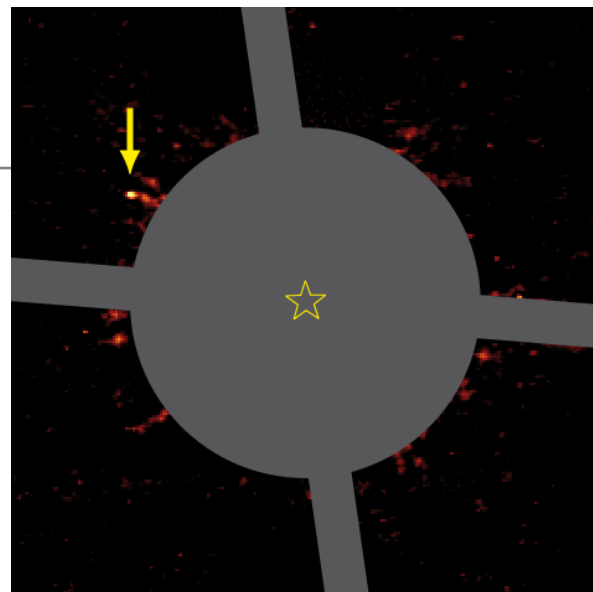
HR8799の周りを周回する惑星

撮像2002年(発表は2009)

グレーで隠された部分がマスク、黄色い☆マークの位置にHR8799がある。下の図はHR8799の観測結果に基づいたイメージ。

2008年に発表されたケック、ジェミニ、ハッブルの結果と共に、軌道決定を担った。

当初は別の目的で撮像された写真であったため、系外惑星の直接撮像として世界初の発表とはならなかったが、すばるの観測精度の高さは十分直接観測に足る事を示した。

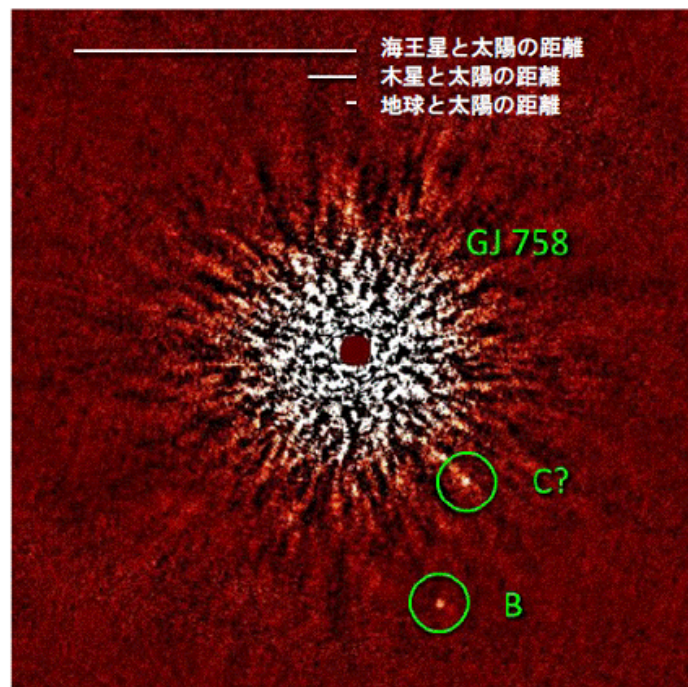


HiCIAO

- HiCIAO

CIAOをより高精度、高機能に進化させた最新のコロナグラフ撮像装置。
現在テスト観測中。

今後、本格的にHiCIAOが稼働すれば、
さらに右図のような観測が行われ、系外惑星の研究が発展することが期待される。



GJ758			HR8799		
主星	質量 (太陽質量)		主星	質量 (太陽質量)	
A	0.97		A	1.5	
伴星	質量 (木星質量)	主星からの見かけの距離 (AU)	伴星	質量 (木星質量)	主星からの見かけの距離 (AU)
B	10 (最大値 40)	29	B	7 (最大値 36)	68
C	12 (最大値 47)	18	C	10 (最大値 50)	38
-	-	-	D	10 (最大値 50)	24

HiCIAOがとらえた系外惑星



まとめ

- 系外惑星の観測から得られる物理量
惑星の質量、密度、軌道面、軌道、位置、明るさ、スペクトル、温度、、、
- そこからわかること
軌道や質量などから、その惑星系の運動がわかる
→太陽系のような形は一般的か？という問いに答える
スペクトルから、構成元素などがわかり、太陽系の元素と比較できる
→太陽系の構成元素が一般的か？という問いに答える
惑星や恒星の明るさ、質量、温度等から、その惑星系の年齢がわかる
→太陽系の過去や未来の姿が予想できる
- 今後の観測への期待
さらなる詳細な観測で、惑星の大気や構成元素を調べることができるようになれば、地球のように生物の居る星が見つかるかもしれない！



参考

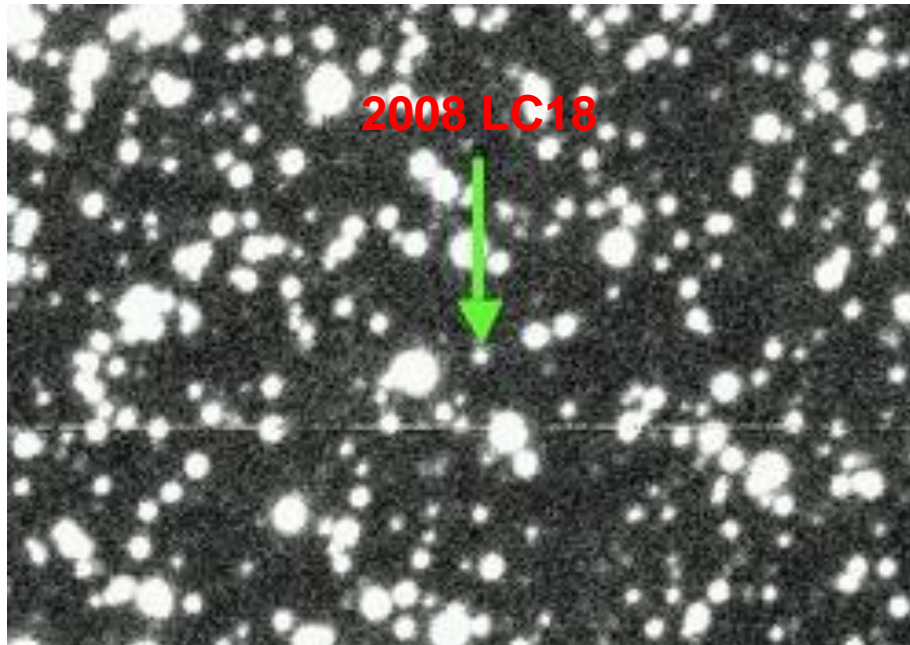
- 田村元秀 「すばるが迫る太陽系外惑星と惑星誕生のなぞ」 パリティ
2009.10 丸善
- 国立天文台HP



TOHO University

Discovery of Trojan asteroid in Lagrange point of Neptune.

はじめに



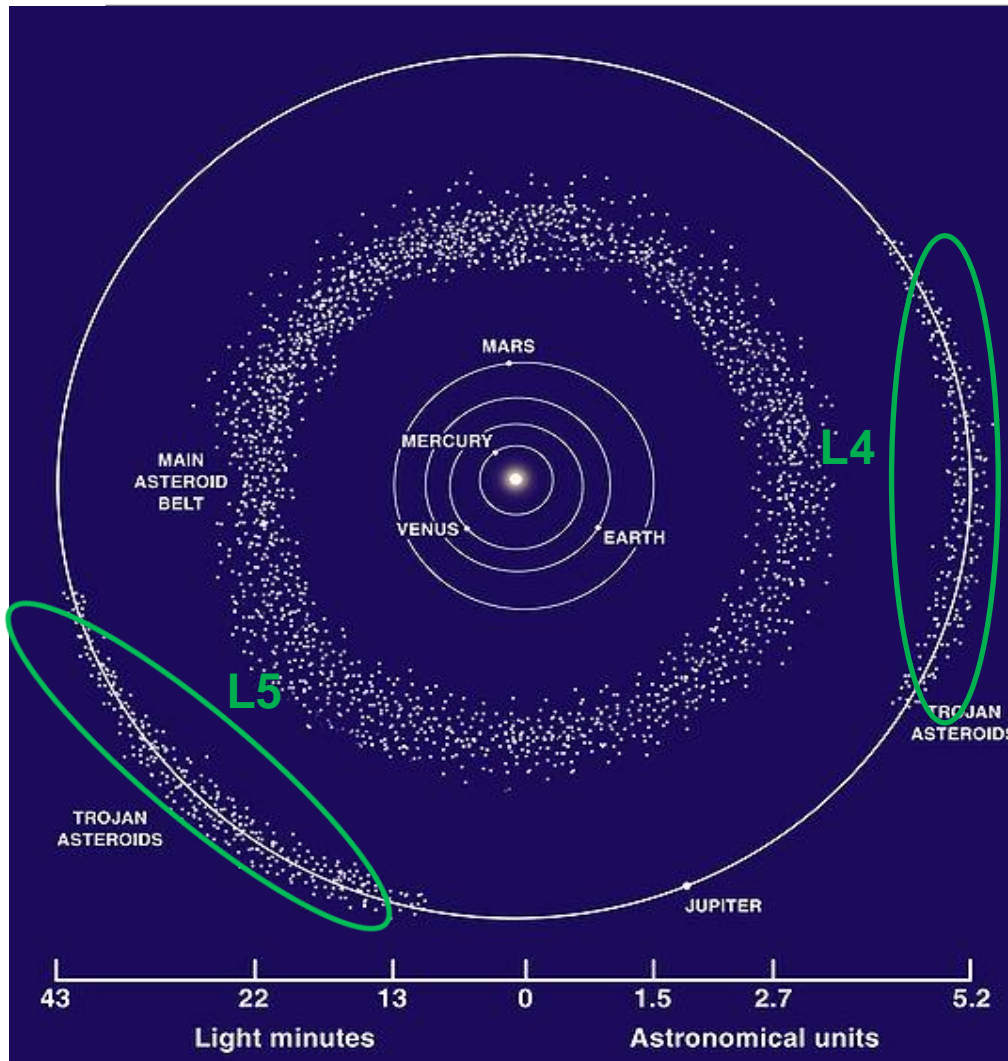
(提供:国立天文台)

2008年6月7日（世界時）にすばる望遠鏡は海王星のラグランジュ点L5という観測が難しい位置において主焦点カメラ「Suprime-Cam」によってトロヤ群小惑星2008 LC18を発見する。



TOHO University

Trojan asteroid



惑星の公転軌道上の太陽から見て、その惑星に対して60度前方(L4)または60度後方(L5)にある小惑星群のこと。

一般的にはトロヤ群というと木星のトロヤ群をさす。



現在(2010年8月現在)

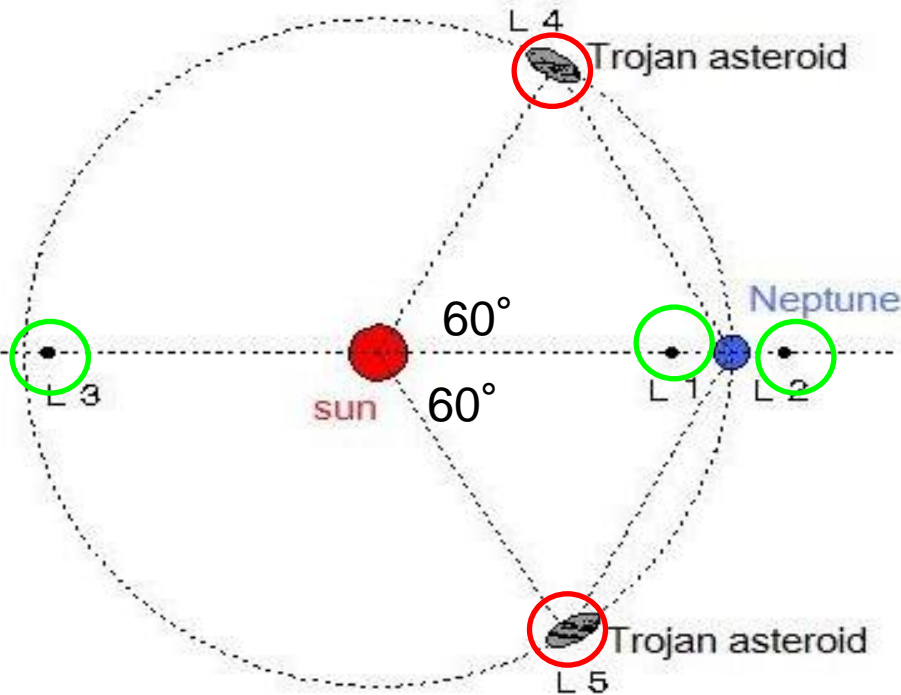
木星のラグランジュポイントにおいて4559個！

海王星では、まだ7個しか発見されていない。←暗い天体で観測しづらい



TOHO University

Lagrange point

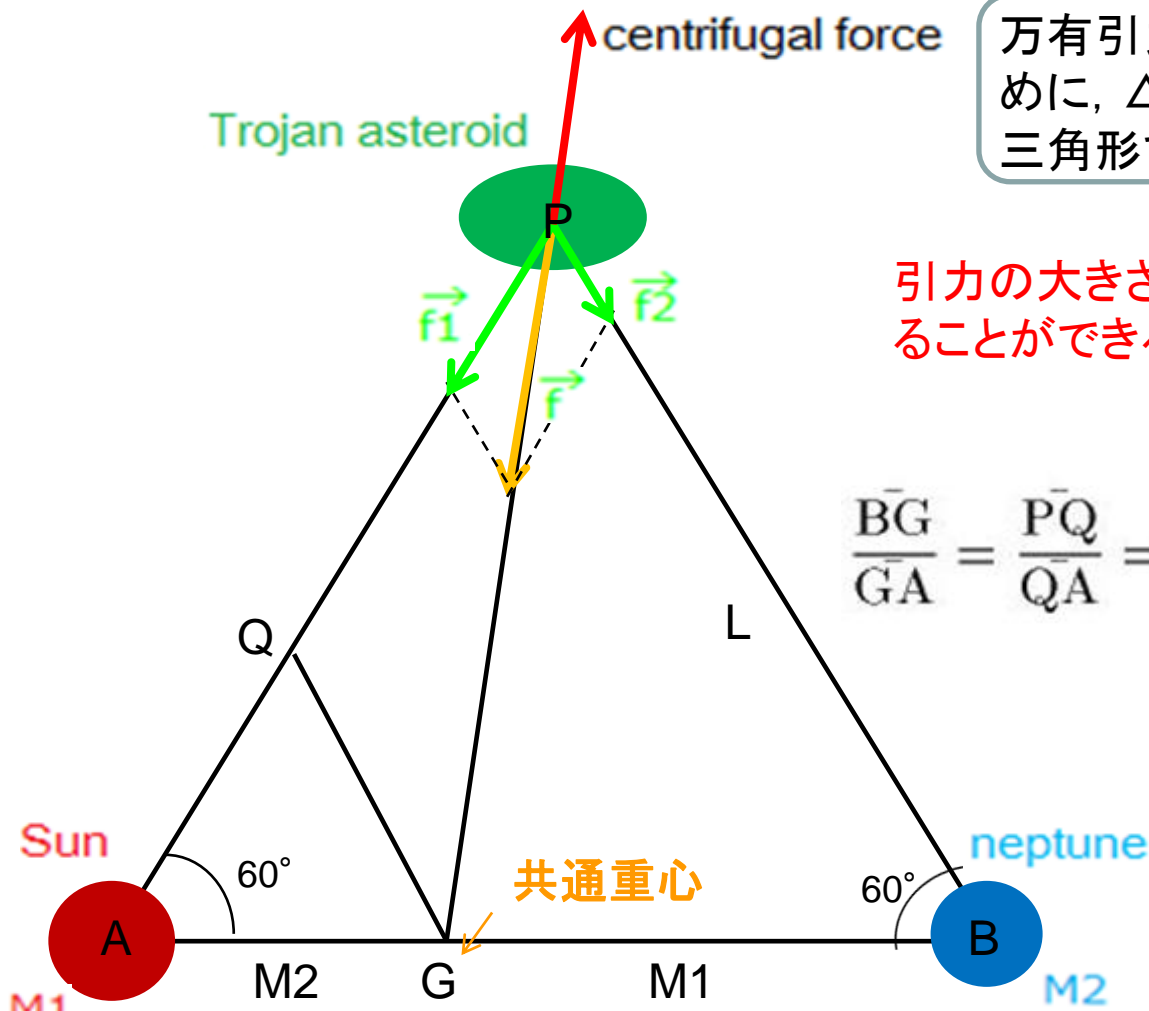


2天体の共通重心を中心として、2天体を作る万有引力が遠心力と釣り合っているところにあるもの。L1～L5の五つがある。太陽と海王星は等速円運動をしている

→L1～L5は相対運動をする

直線上のためL1～L3は不安定であるが、L4・L5は復元力により安定 →小惑星帯が存在する。

Computational method of Lagrange point(L4,L5)



万有引力の合力が共通重心Gに向くために、 $\triangle PAB$ は2等辺三角形もしくは正三角形であるとする。

引力の大きさの比は単に質量の比だけで決めることができる！

$$\frac{\overline{BG}}{\overline{GA}} = \frac{\overline{PQ}}{\overline{QA}} = \frac{\overline{PQ}}{\overline{QG}} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{\frac{GmM_1}{L^2}}{\frac{GmM_2}{L^2}} = \frac{M_1}{M_2}$$

△PABが正三角形のときのみに絞ると

→ $L=L_0$ 、 $\theta=60^\circ$

$$\begin{aligned} f &= \sqrt{f_1^2 + f_2^2 - 2f_1f_2\cos 2\theta} \\ &= \sqrt{\left(\frac{GmM_1}{L^2}\right)^2 + \left(\frac{GmM_2}{L^2}\right)^2 + \frac{GmM_1}{L^2} \cdot \frac{GmM_2}{L^2}} \\ &= \frac{Gm}{L_0^2} \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + M_1M_2} \end{aligned}$$

$$\therefore m\omega_0^2 r - f = 0$$

一方、点Pにおける遠心力は

$$\begin{aligned} m\omega_0^2 r &= m \left(\sqrt{\frac{G(M_1 + M_2)}{L_0^3}} \right)^2 \sqrt{L^2 + l_G^2 - 2L \cdot l_G \cos \theta} \\ &= \frac{Gm(M_1 + M_2)}{L_0^3} \sqrt{L_0^2 + \left(\frac{M_2}{M_1 + M_2} L_0\right)^2 - L_0 \cdot \frac{M_2}{M_1 + M_2} L_0} \\ &= \frac{Gm}{L_0^2} \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + M_1M_2} \end{aligned}$$

L4・L5の安定性について(復元力)

たとえば h だけ移動したとすると、慣性力は「遠心力」以外に「コリオリの力」も働く

L2では...

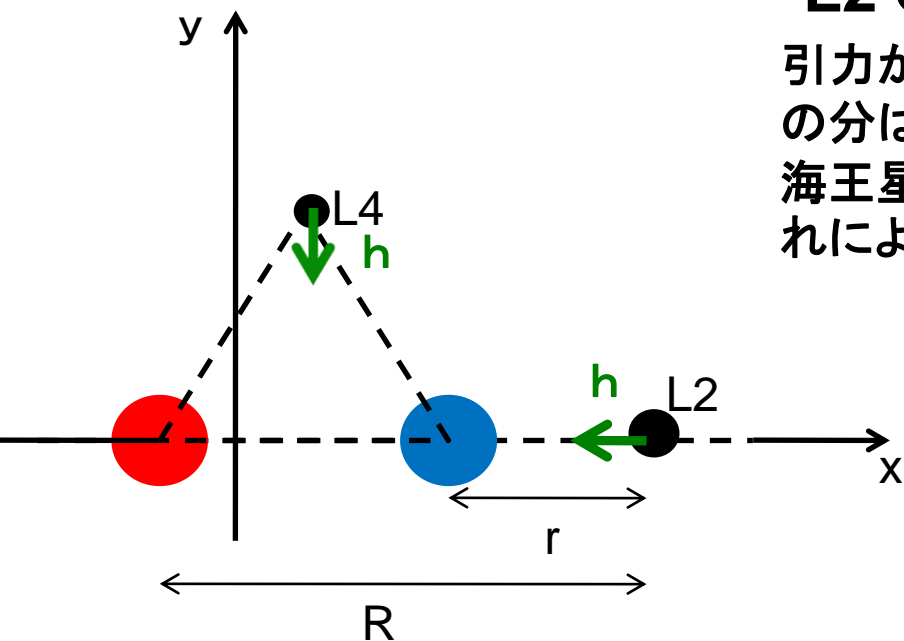
引力が太陽からの分は $(R-h)$ の二乗に、海王星からの分は $(r-h)$ の二乗にそれぞれ反比例して変化する→海王星からの分は太陽からの分には比べ急激な変化！それによってコリオリの力も働いていないように見える。

つまり、少しの変化でも安定しない！

L4では...

引力は側面から作用しているため、距離そのものの変化は相対的に少なく、さらにコリオリの力も働き安定する。

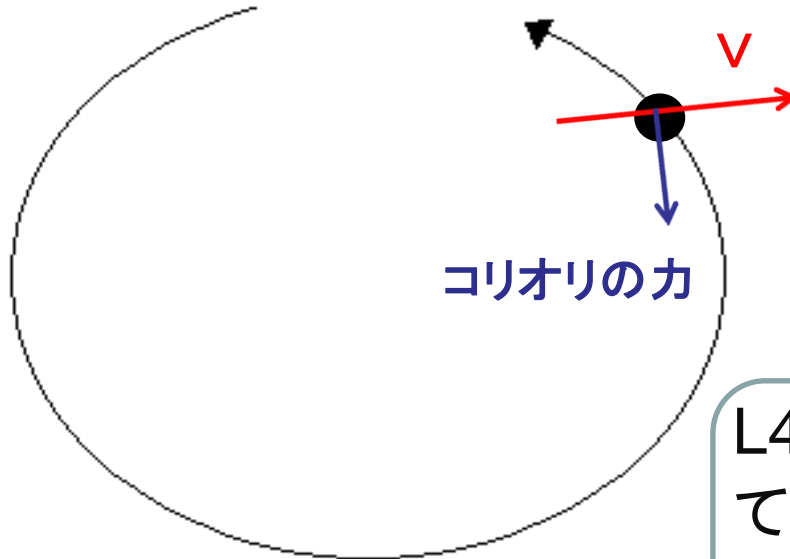
これが復元力！！



Coriolis effect

回転座標系について速度 v を持つ物体に対して
垂直方向にかかる力

→コリオリの力(慣性力)



L4・L5では小惑星の移動が発生しても万有引力と慣性力である遠心力とコリオリの力のつり合いにより元の位置に戻ることができる！

まとめ

- 今回、海王星におけるトロヤ群小惑星を調べるうえで重要だったことは
 - ラグランジュポイントにおける引力と遠心力(慣性力)のつり合い
 - ラグランジュポイントにおける、L1~L3とL4・L5の安定性の違い。
 - 慣性力である遠心力とコリオリの力により発生する復元力でのL4・L5の安定性。
 - 海王星は非常に遠いので、小惑星は暗く観測が困難である
- この4つだと思う。
- また、木星におけるものとの発見数を比べてもわかるように、観測が困難であることから、すばる望遠鏡の観測技術の高さを知った。

参考文献

シリーズ現代の天文学(日本評論社)より

太陽系と惑星 渡部潤一・井田茂・佐々木晶(編)

天体の位置と運動 福島登志夫(編)

