

トランジット系外惑星のサーベイ観測

- 系外惑星研究の概観
- 系外惑星の検出方法
- トランジット惑星の重要性
- トランジット惑星の検出確率
- トランジットサーベイの現状
- まとめ

2008.7.11

神戸大学理学研究科
日本スペースガード協会

石隈 慎一郎
浦川 聖太郎

系外惑星への興味

系外惑星：太陽以外の恒星を廻る惑星

●惑星系はどのようにして形成されるのか？

当初は我々の太陽系だけが唯一のサンプル

- 太陽系の形成理論が惑星系一般の標準理論だった。
- 太陽系とは異なる姿の惑星系が多数発見されている。

●地球以外で生命を育む惑星は存在しないのか？

地球に似ている惑星を見つけたい

- 一般の人々にも大きなインパクトを与える問題

系外惑星研究の現状

- 1995年に初めて発見された (Mayor et. al 1995)
- 現在までに300個を超える数が検出されている

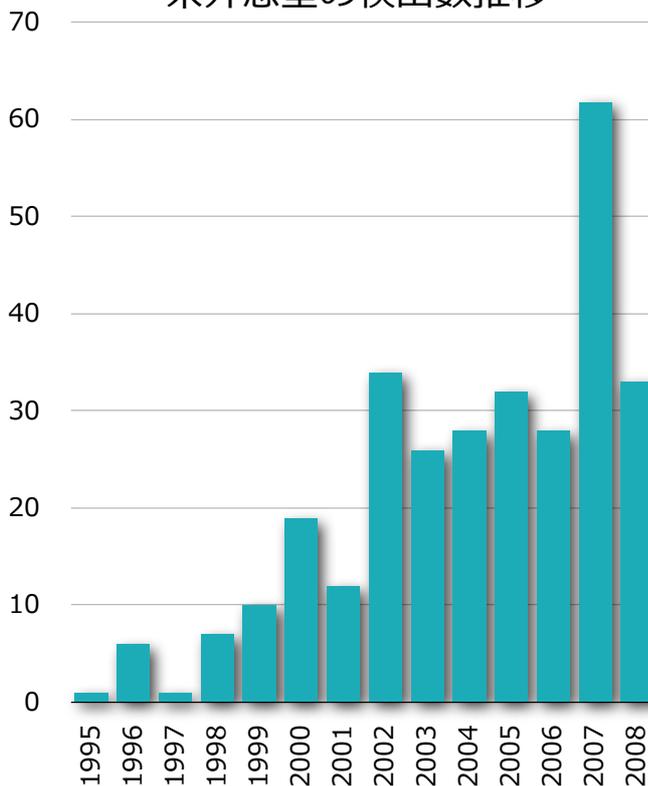


もはや珍しい存在ではない

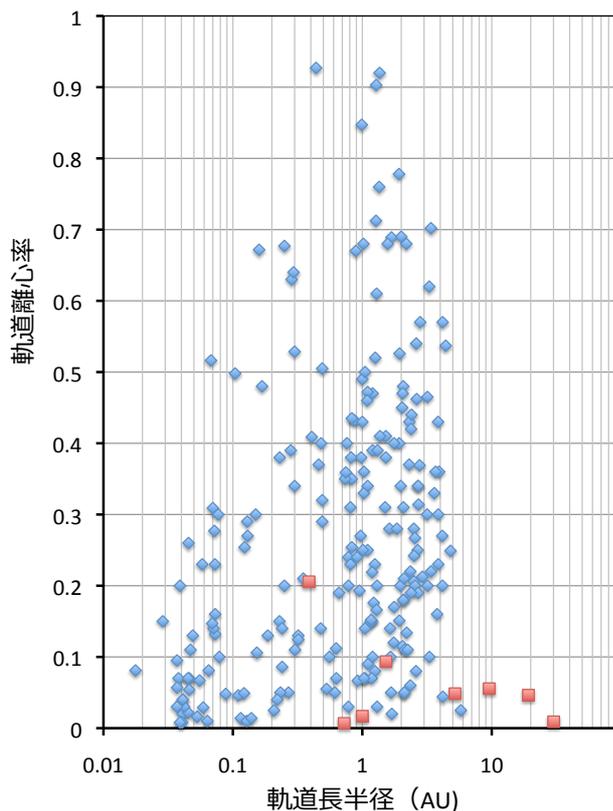
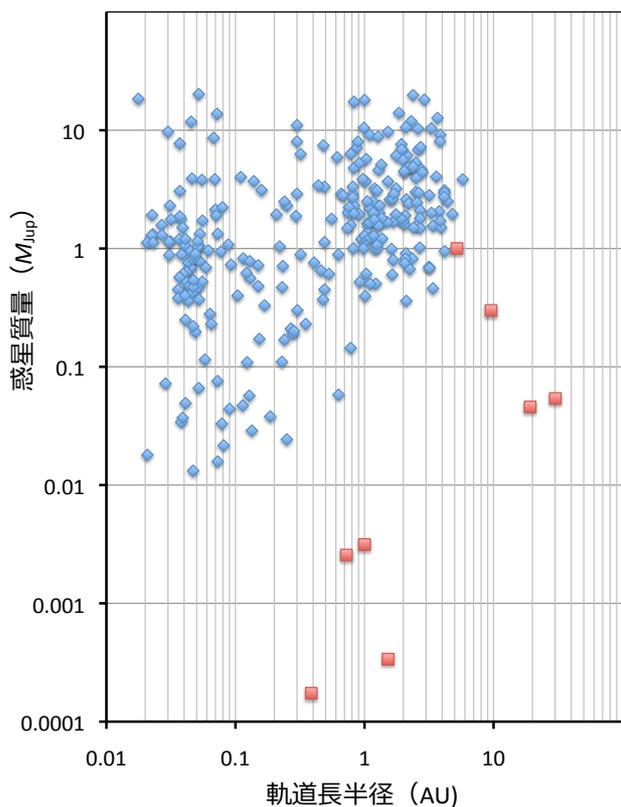


理解を深めるフェーズに突入

系外惑星の検出数推移



発見された系外惑星



系外惑星の検出方法 ～ ドップラーシフト法

惑星が存在することによる恒星の視線速度変化を光のドップラーシフトから検出する

得られる情報

惑星の軌道要素

公転周期 T 、軌道長半径 a 、離心率 e など

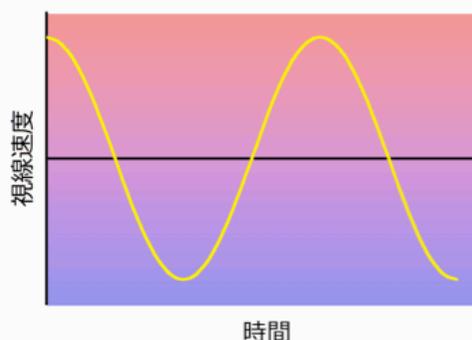
惑星質量の下限値

$M_p \sin i$

検出された約300個の系外惑星のほとんど(約90%)がこの方法で検出されている。

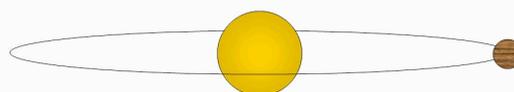
難点:

- 比較的近い星に限られる(およそ100pc以内)
- 早期型星(OBA型)は観測が難しい(吸収線の数が少ない)
- 晩期型星(M型)は観測が難しい(暗い)
- 惑星そのものの情報が得られない



系外惑星の検出方法 ～ トランジット法

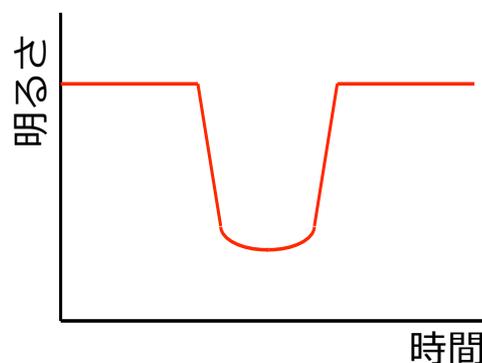
中心星の前を惑星が横切ると……



➡ 惑星によって中心星が隠されるので中心星の明るさが僅かに暗くなる。

もし木星が太陽の前を横切るのを見ることができたら……

➡ 太陽は約1%暗くなる。

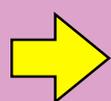


$$\text{減光率} = \frac{L - L_{\text{Tr}}}{L} = \frac{\pi R_*^2 \sigma T^4 - (\pi R_*^2 - \pi R_P^2) \sigma T^4}{\pi R_*^2 \sigma T^4} = \left(\frac{R_P}{R_*} \right)^2$$

系外惑星の検出方法 ～ トランジット法

※惑星の定義： $M_P < 13M_{\text{Jupiter}}$

トランジット法では「質量」を知ることはできないのでこの方法だけでは系外惑星とは確定できない



確定するためには、ドップラーシフト法による追観測が必要

トランジット法で惑星と認識されているものは、全てドップラーシフト法でも観測されている

トランジットを起こす惑星 → 「トランジット惑星」

トランジット惑星の観測から得られる情報

トランジット観測

- 公転周期 T
- 軌道傾斜角 i
- 半径 R_p

ドップラー観測

- 公転周期 T
- 軌道長半径 a
- 離心率 e
- 質量の下限值 $M_p \sin i$

トランジット惑星で得られる情報

- 公転周期 T
- 軌道長半径 a
- 離心率 e
- 軌道傾斜角 i

- 質量 M_p
- 半径 R_p

平均密度 ρ_p



- 地球型or木星型
- 内部構造の推定

- ★トランジット内外のスペクトルの差分
- ★トランジット中の視線速度の微小変化
- ★全公転周期にわたる超高精度測光

惑星大気の成分、恒星自転軸と惑星公転面の傾き、惑星の表面温度分布など

系外惑星の理解を深めるためにはトランジット惑星の存在は重要 → 現在52個：発見数を増やす必要がある

トランジット惑星の検出確率

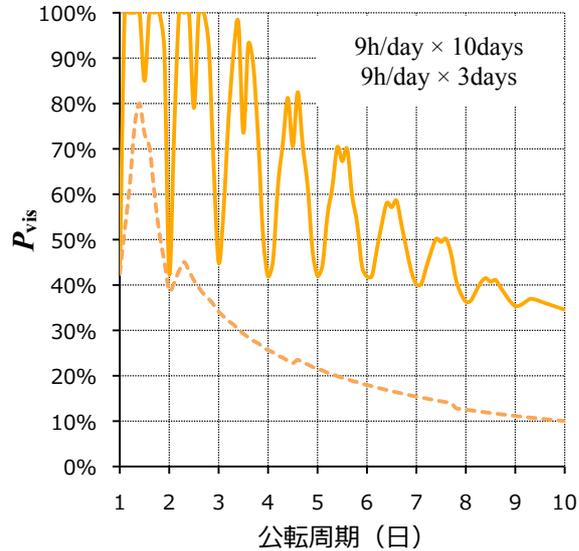
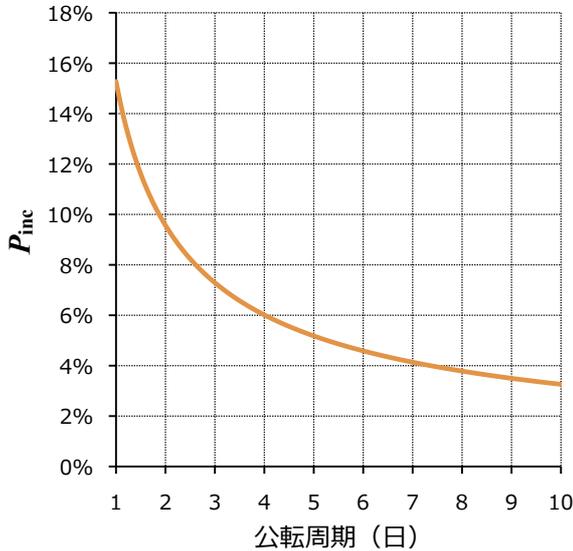
任意の星1個に対するトランジットの検出確率

$$P = P_{\text{hav}} \cdot P_{\text{inc}} \cdot P_{\text{vis}} \quad (\text{Mallen-Ornelas 2003})$$

P_{hav} : 任意の星が惑星を持つ確率(=1.2%:Marcy et al. 2005)

P_{inc} : 惑星がトランジットを起こす軌道に存在する確率

P_{vis} : トランジットが観測期間中に起こる確率



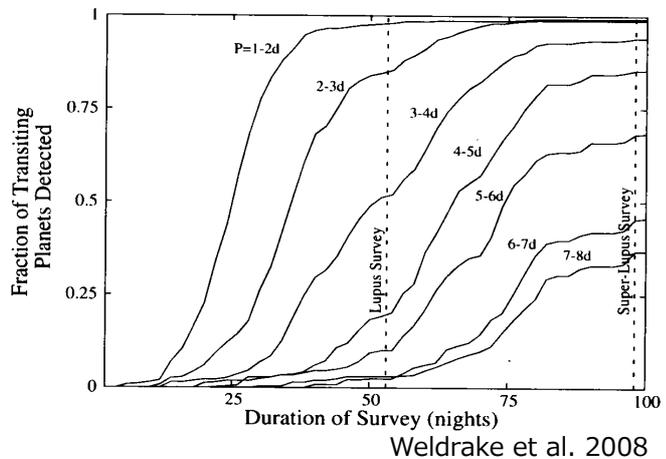
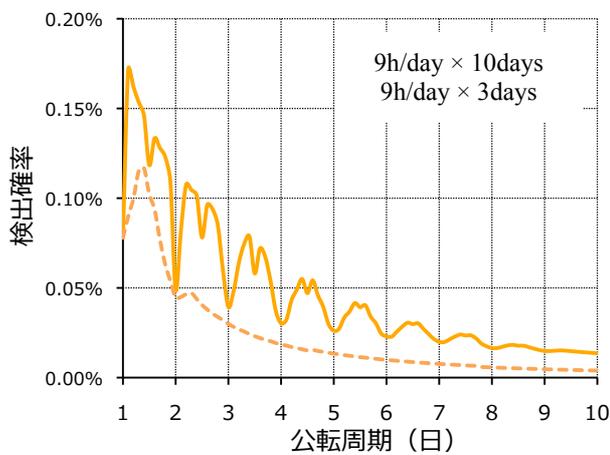
木曾シュミットシンポ2008

9 / 13

トランジット惑星の検出確率

任意の星1個に対するトランジットの検出確率

$$P = P_{\text{hav}} \cdot P_{\text{inc}} \cdot P_{\text{vis}} \quad (\text{Mallen-Ornelas 2003})$$



Weldrake et al. 2008

一度にたくさんの星を長期間観測することに重要!

木曾シュミットシンポ2008

10/13

トランジットサーベイ ~ 多くの星を観測するための戦略

■ 中口径望遠鏡 + モザイクCCD

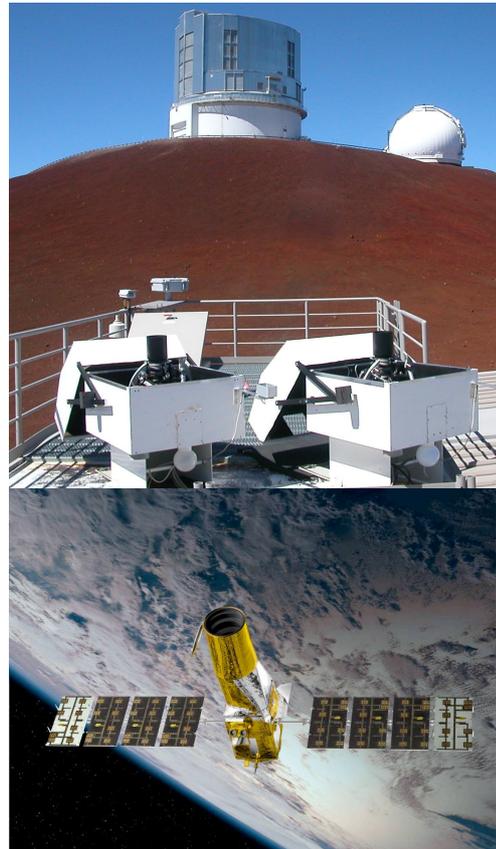
OGLE	1.3m	8k×8k	35'×35'	7個
MOA	1.8m	8k×10k	1.3°×1.7°	
ANU	1.0m	8k×8k	52'×52'	1個

■ 小口径望遠鏡 + 超広視野カメラ

HAT-NET	10cm	2k×2k	8.2°×8.2°	9個
SuperWASP	10cm	2k×2k	7.8°×7.8°	15個
XO	10cm	1k×1k	7.2°×7.2°	5個
TrES	10cm	2k×2k	5.7°×5.7°	4個

■ 宇宙望遠鏡

CoLoT	30cm	ESA	5個
Kepler	95cm	NASA	2009年



木曾シュミットシンポ2008

11/13

トランジットサーベイ ~ 中口径望遠鏡による観測

Lupus-TR-3b (Weldrake et al. 2007) : $V=17.4$

Australian National University 1m望遠鏡(Siding Spring)での発見

	ANU(Siding Spring)	木曾(2kCCD)	木曾(KWFC)
口径	1m	1.05m	1.05m
視野	0.7 deg ²	0.7 deg ²	4 deg ²
CCD	4k x 2k x 8枚	2k x 2k x 1枚	4k x 2k x 8枚
観測日	2005.6 (26日間) 2006.6 (27日間)	2006.10 (12日間) 2007.10 (16日間)	
撮像領域	b=11°、l=331.5°	b=-8°、l=140°	
検出星数	110,372	~10,000	50,000-100,000
測光に適した星数	16,134	~1,100	5,500-11,000以上
検出した変光星数	494	34	
検出したトランジット惑星	1	0	

KWFCに期待!!

木曾シュミットシンポ2008

12/13

まとめ

- 系外惑星の検出数は**300個**を超え、「**発見**」のフェーズから「**理解**」を深めるフェーズに入っている。
- 系外惑星の理解を深めるためには、惑星自身の様々な情報を得ることができる**トランジット惑星の数を増やすことが重要**である。
- 最も成功しているトランジット惑星検出方法は「**小口径自動望遠鏡+超広視野カメラ**」であるが、「**中口径+モザイク**」も実績を上げている。
- KWFC**が導入されると、**検出確率が大幅に向上**することが期待できる。
- 今後、より**長期の観測**を行いたい。
(ただし観測人員の問題あり)