

系外惑星系の中心星依存性

井田茂（東工大）

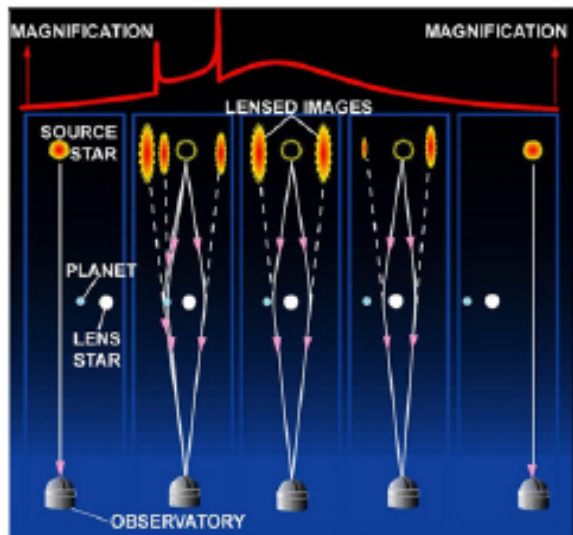
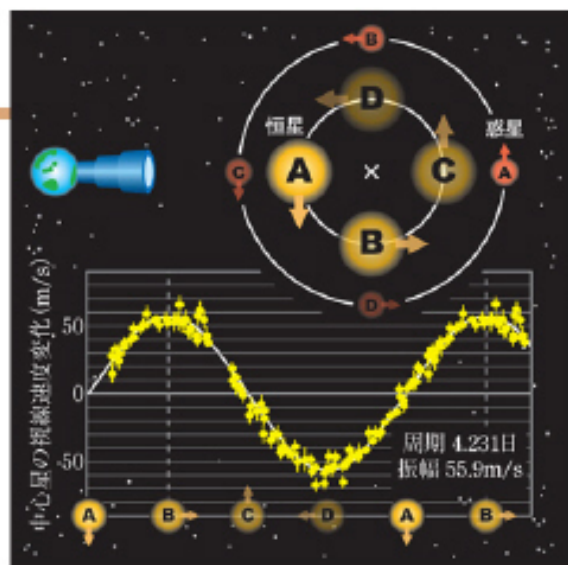
共同研究者：佐藤文衛, 生駒大洋, 玄田英典(東工大)

D.N.C.Lin(UCO/Lick), A.Burkert(Munich), T.Guillot(Nice)

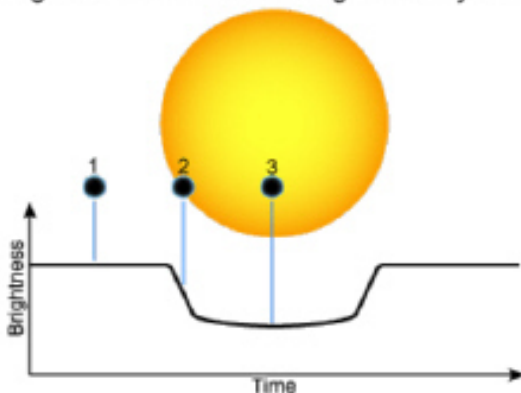
- **系外ガス惑星**：発見数 >200個 → 統計的議論がスタート
 - FGK dwarfs: 存在度が恒星金属量に強く依存 (組成も?)
 - M dwarfs: ガス惑星が極めて少ない (固体惑星は多い?)
 - GK giants: <0.7AUで惑星欠乏 Sato et al.(2007)
 - F dwarfs: 0.1-0.5AUで惑星欠乏? Burkert & Ida(2007)
- **理論モデルのチャレンジ** Ida & Lin(2004ab,05,07)
- **次に何を観測すべきか** Sato, Ida, ...
- **系外地球型惑星** ← 超高精度分光、重力マイクロレンズ、衛星望遠鏡(測光)に期待 → 系外生命へ

系外惑星の観測

- 視線速度法 190+29の星,
226+29個
- トランジット 29+5個
- 重力レンズ 10個
- 直接撮像 0個?
- アstrometry 1個?



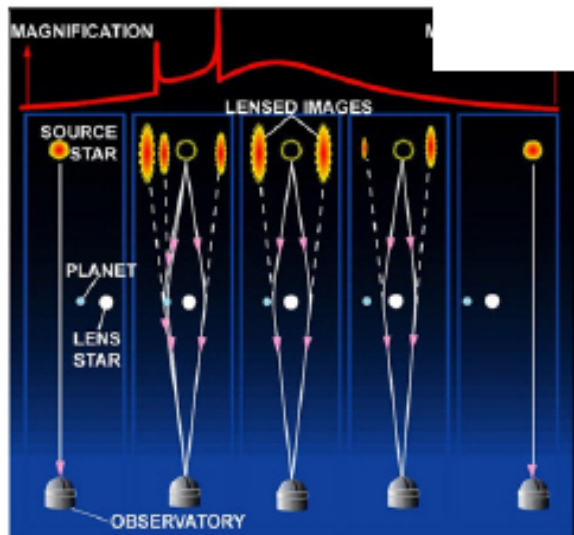
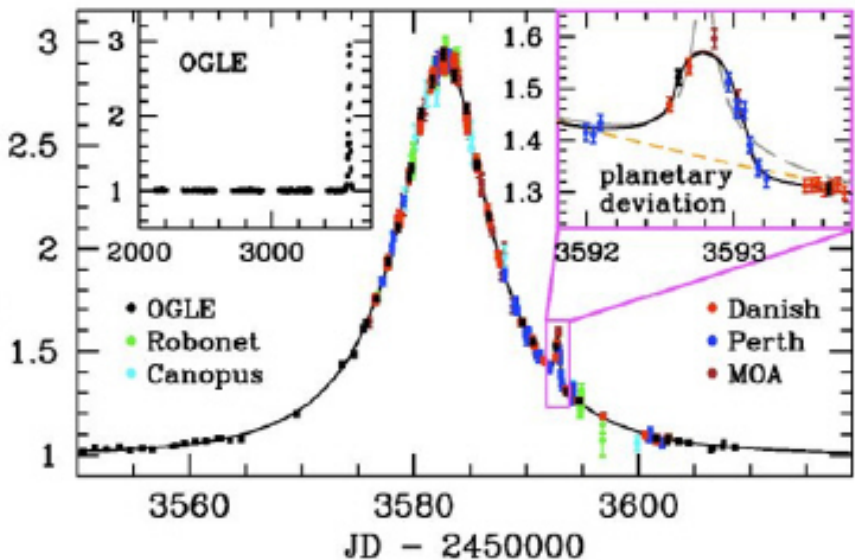
Light Curve of a Star During Planetary Transit



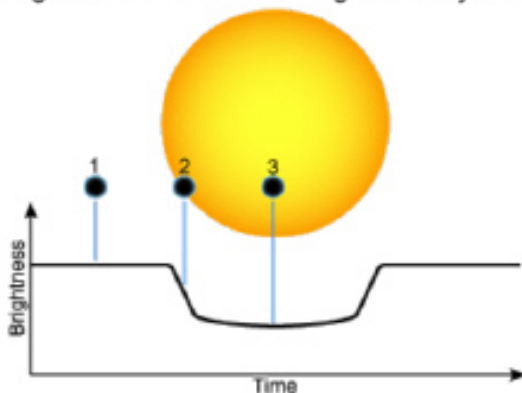
系外惑星の

- 視線速度法 190+290
226+29個
- トランジット 29+5個
- 重力レンズ 10個
- 直接撮像 0個?
- アストロメトリ 1個

Magnification

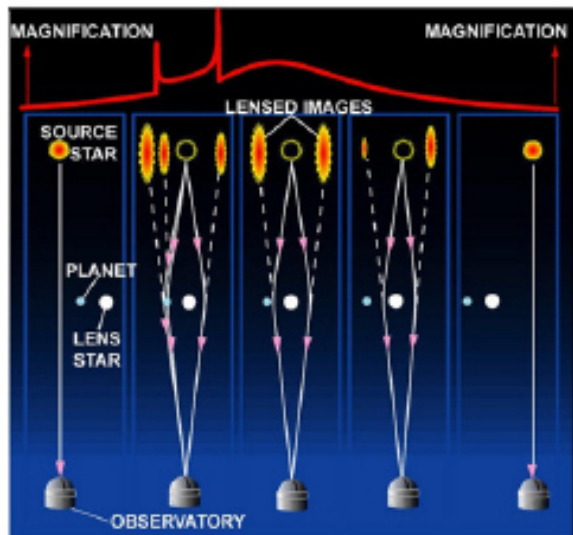
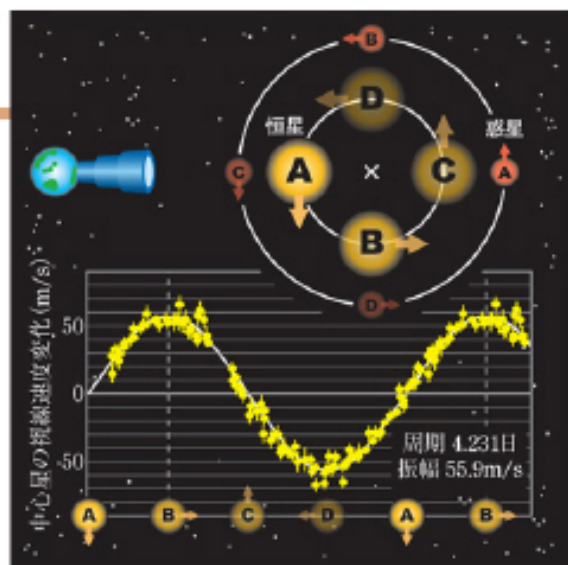


Light Curve of a Star During Planetary Transit

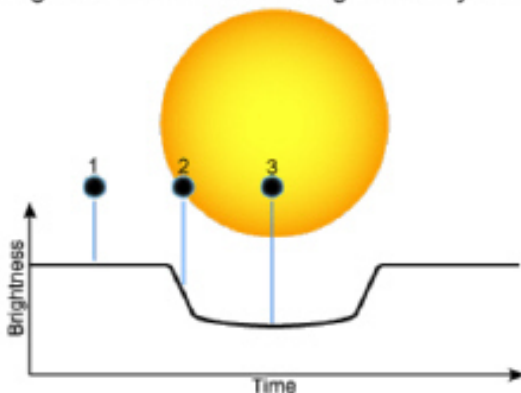


系外惑星の観測

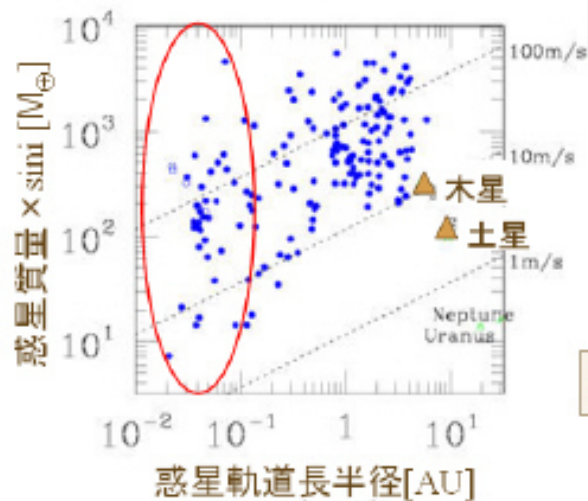
- 視線速度法 190+29の星,
226+29個
- トランジット 29+5個
- 重力レンズ 10個
- 直接撮像 0個?
- アstrometry 1個?



Light Curve of a Star During Planetary Transit



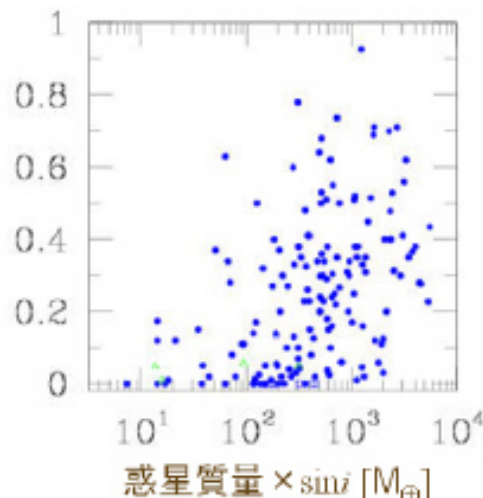
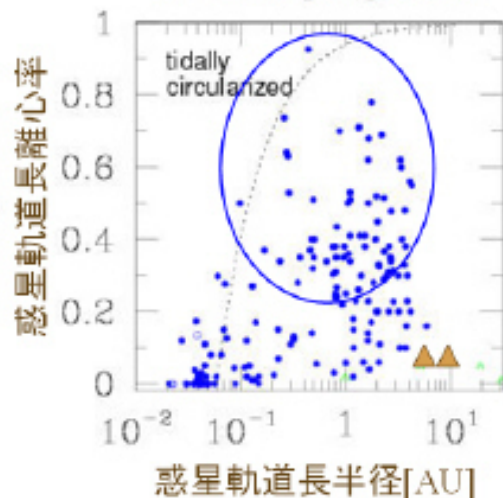
観測された惑星：多様な軌道



エキセントリック・プラネット



ホット・ジュピター



惑星軌道移動 → ホット・ジュピターの起源

Lin & Papaloizou 1985

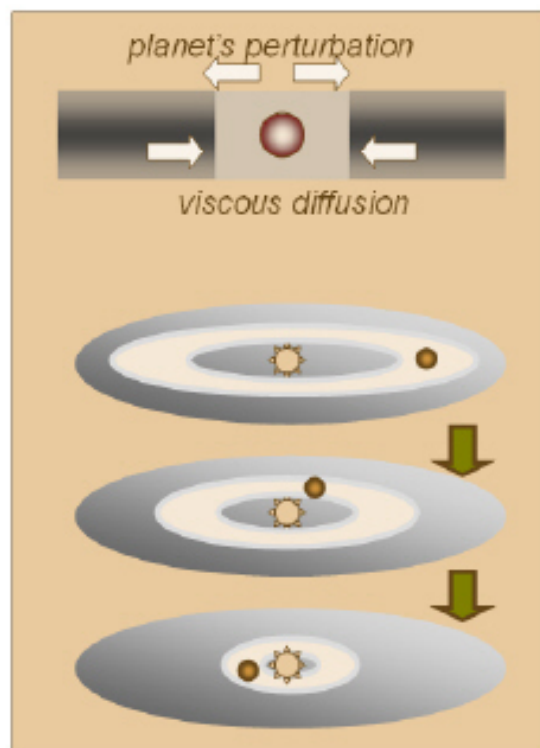
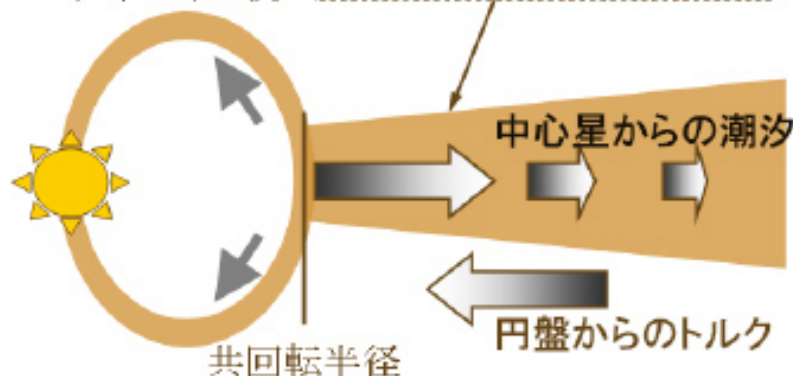
Lin et al. 1996

中心星の潮汐トルクで
惑星は角運動量を得る

⇒惑星軌道移動ストップ？



チャンネル流



惑星軌道の不安定化→エキセントリック・プラネットの起源

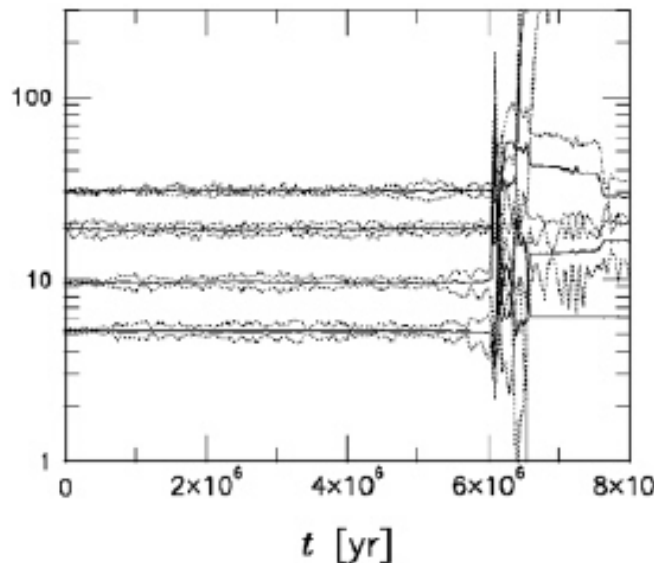
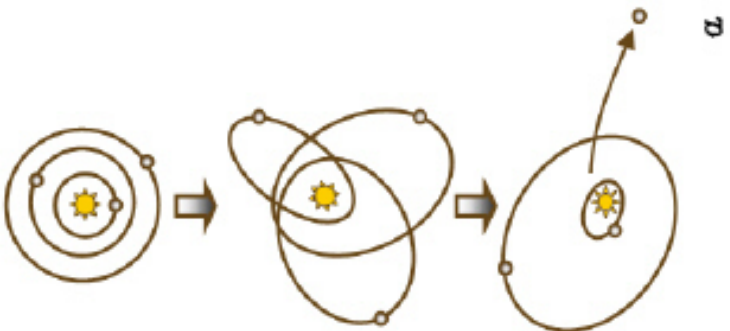
Chambers et al. 1996

Weidenschilling & Marzari 1996, Lin & Ida 1997

- 3個以上の巨大惑星（円軌道） [2個では安定]
- 永年摂動で軌道交差開始
- 一つが放出

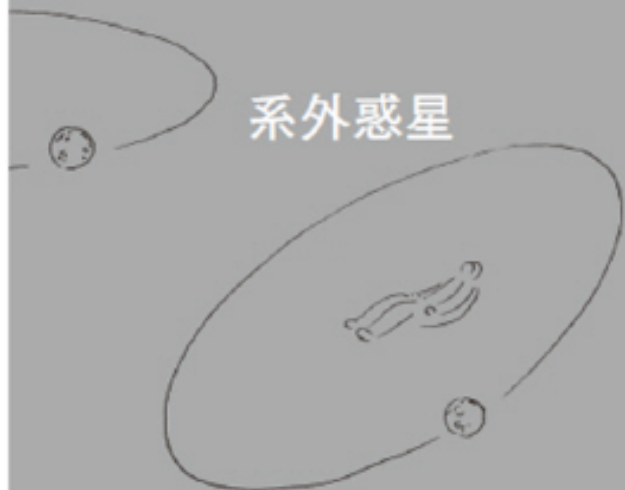
残りが分離した安定楕円軌道

- $a_{in,最終} \sim 0.5a_{in,初期}$
- $a_{out,最終} \sim 10-50AU$



井田茂

系外惑星



"Our world, other worlds"

(太陽系)

(系外惑星系)

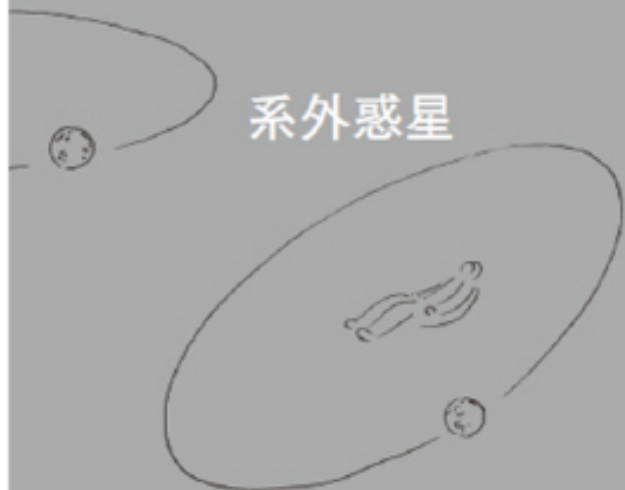
ペガサス座 51 番星の惑星の発見により、
大きな変更をせまられた惑星形成論。

地球科学から生命科学までに、
新しい可能性を開く天文学の
最新成果をあますところなく解説する。

東京大学出版会

井田茂

系外惑星



"Our world, other worlds"

(太陽系)

(系外惑星系)

ペガサス座 51 番星の惑星の発見により、
大きな変更をせまられた惑星形成論。

地球科学から生命科学までに、
新しい可能性を開く天文学の
最新成果をあますところなく解説する。

東京大学出版会

爆笑問題のニッポンの教養

井田茂



宇宙人はどこに
いるのか？

爆笑問題



地球のように、
生命を育む環境を持つ星は
どれくらいあるのか？

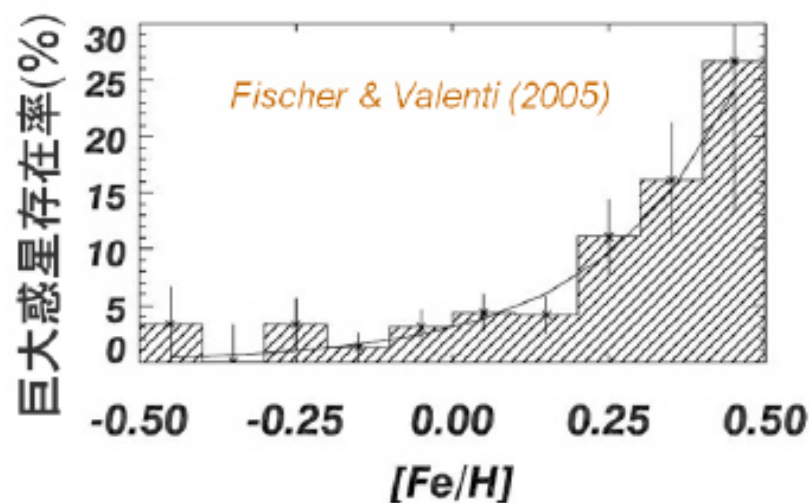
宇宙に100億の「地球」が
存在するとすれば……

爆問学園

NHK教育テレビ
放送日時 23:00-24:00
絶賛放送中

NHK

中心星金属量依存性: FGK dwarfs

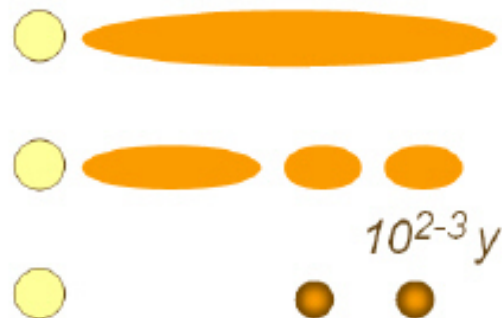


$$[\text{Fe}/\text{H}] = \log_{10} \left(\frac{(\text{Fe}/\text{H})_{*}}{(\text{Fe}/\text{H})_{\text{sun}}} \right)$$

惑星形成のコア集積モデルを支持

惑星形成モデル

自己重力不安定モデル

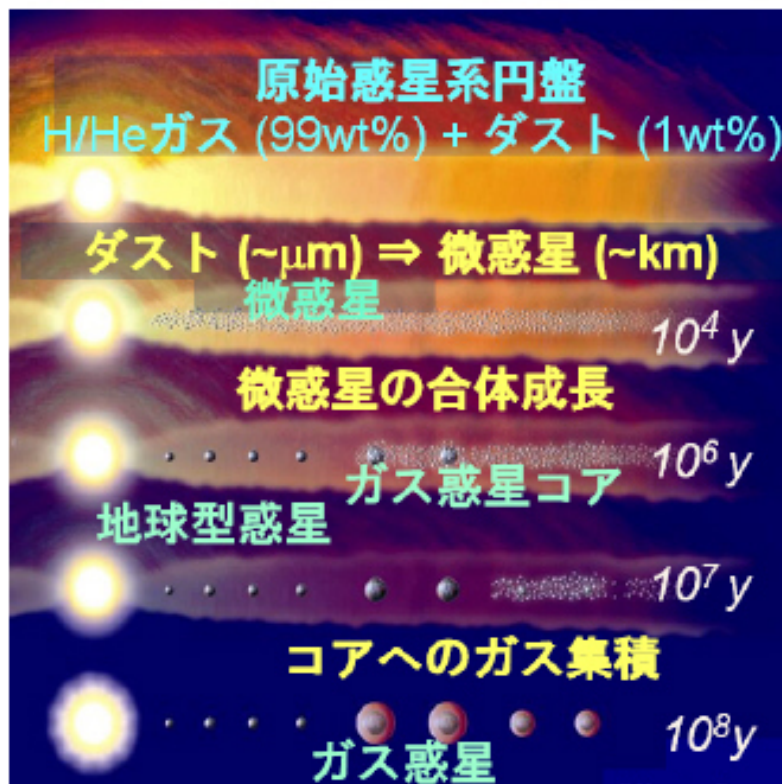


問題点

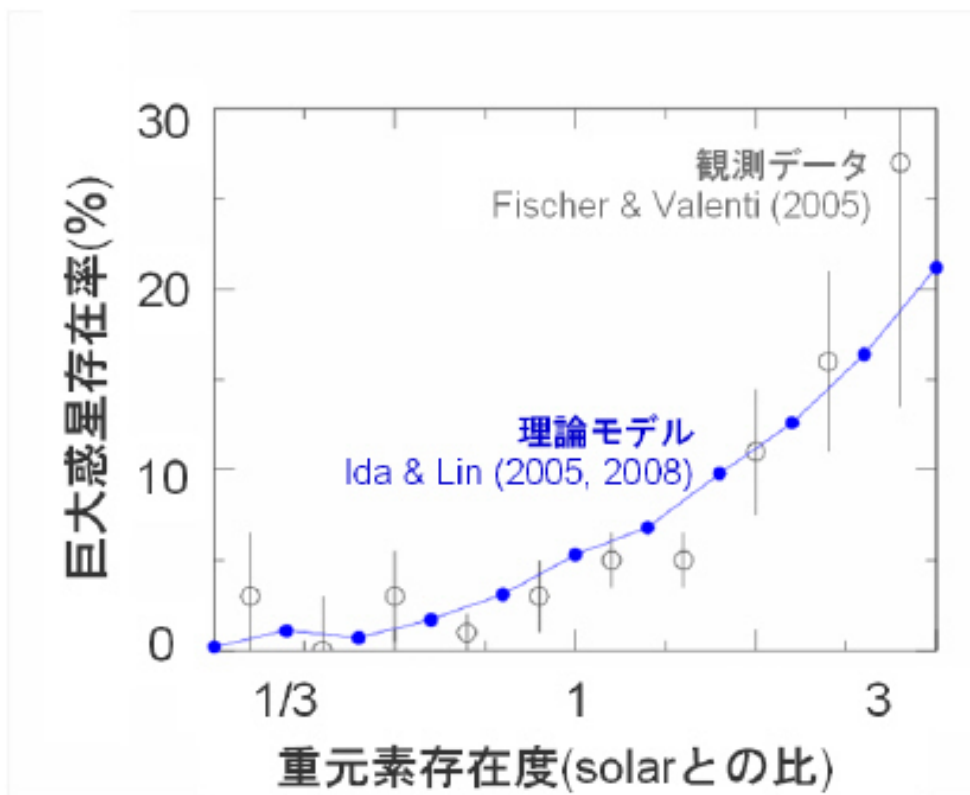
[Fe/H]依存性

$\sim 10M_{\oplus}$ の惑星多数発見

コア集積モデル(標準モデル)

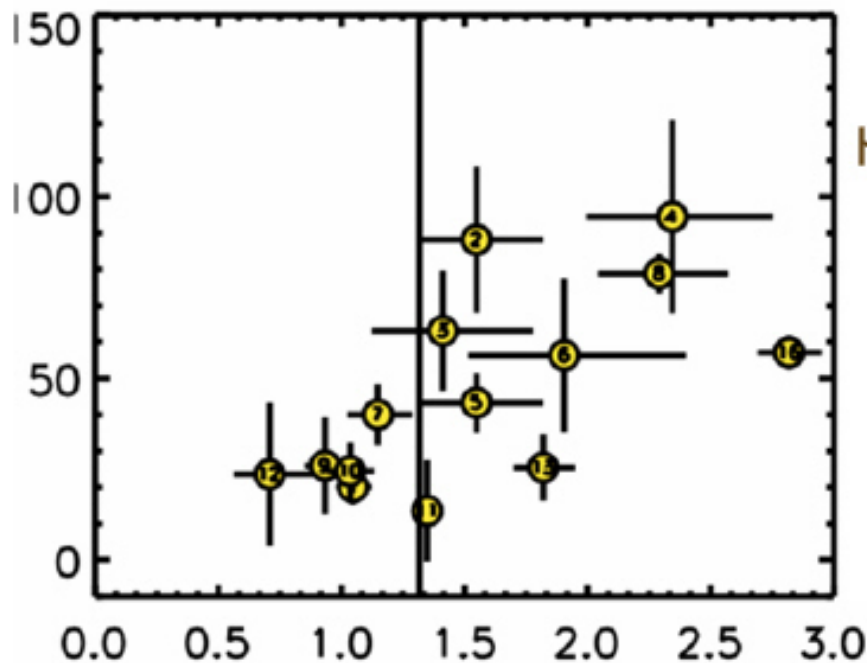


恒星金属量依存性: FGK dwarfs



[Fe/H]依存性: GK dwarfs

コア質量
(地球質量)



視線速度観測:

$M \sin i$

トランジット観測:

R_p

↓

密度の推定

↓惑星内部構造

↓理論モデル

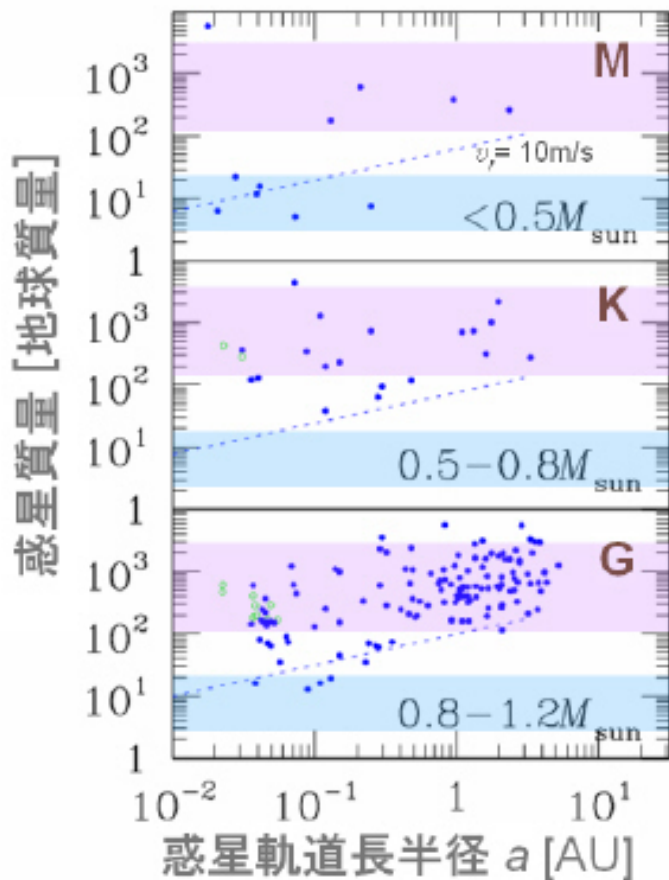
コア質量

重元素存在度(solarとの比)

中心星質量依存性

依存性は強い
惑星形成モデルを制約

低質量星(M dwarfs)



視線速度観測

● FGK dwarfs

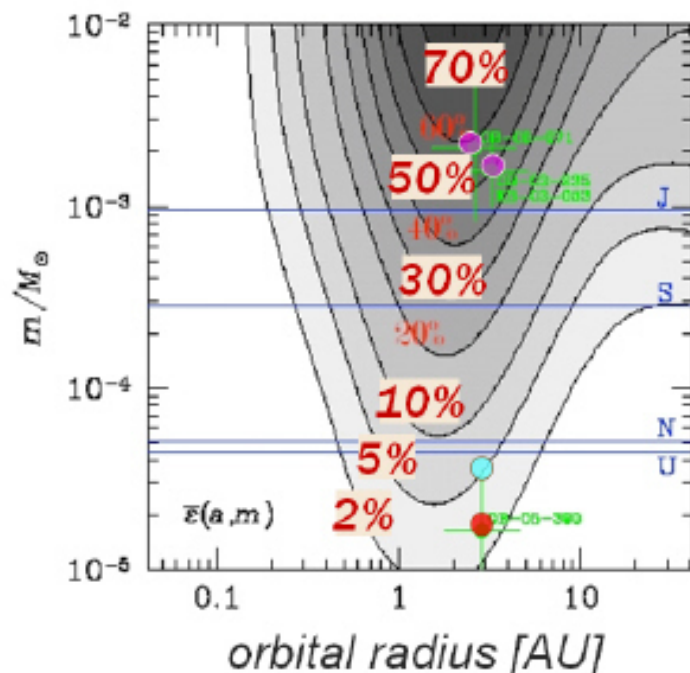
- ターゲット星：数千
- Jupiter-class 惑星が大半

● M dwarfs

- Jupiters は稀
- ターゲット星：数百
- 多数の "Super Earths"
- habitable planets?
- 氷惑星？

低質量星(M dwarfs)

PLANET detection efficiency
on prime events (~1/3 of sample)



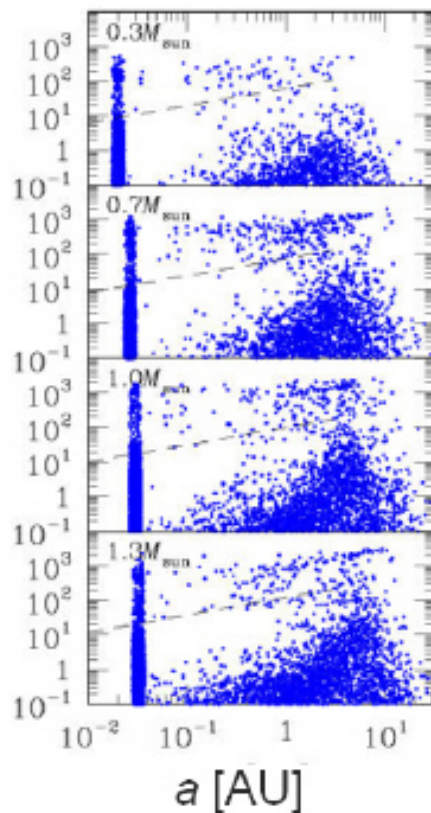
A. Cassan et al. (PLANET collaboration), in preparation

重カレンズ観測

- レンズ天体は殆どM型星
- 1-3AUが感度高い
- やはりM dwarfsでは
 - Jupiters は稀
 - 多数の"Super Earths"

理論モデル

惑星質量 [M_{\oplus}]

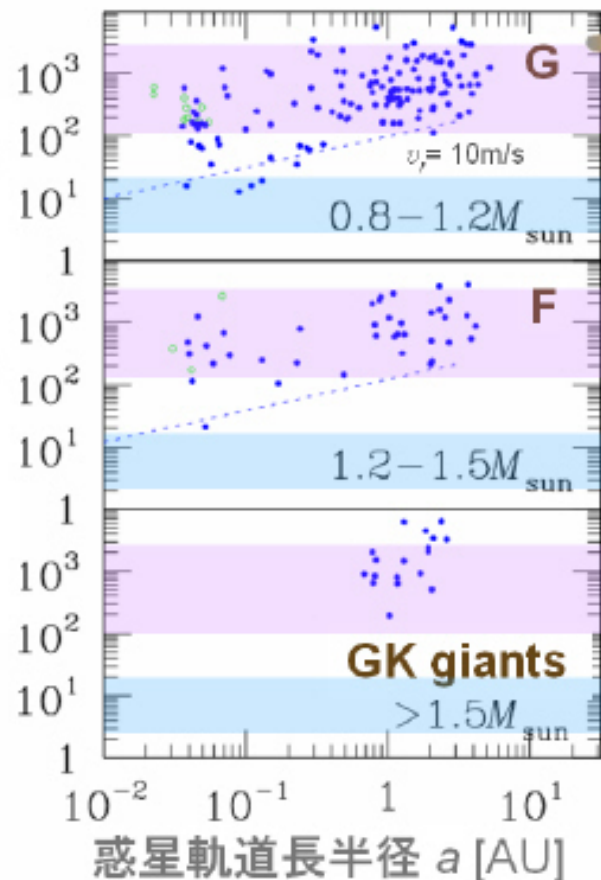


- 低質量星でjupiters欠乏
 - 円盤ガスが軽い (ガス惑星コアの材料物質が少ない)
 $dM_*/dt \propto \Sigma_{\text{disk}} \propto \nu \propto M_*^2$
- Super-Earthsは多い
 - 円盤が低温
1AUでも氷物質存在
コアへのガス流入阻害

Ida&Lin (2005, ApJ)

高質量星

惑星質量 [地球質量]



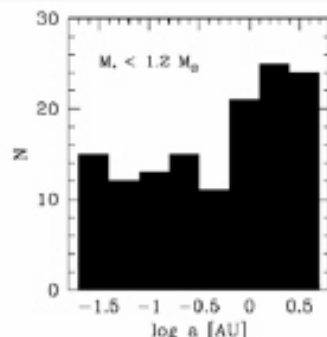
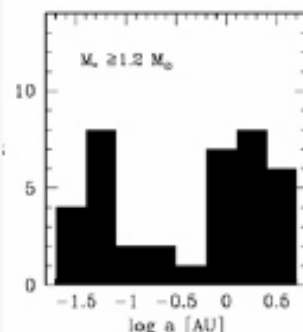
F dwarfs: 0.1-0.5AUにギャップ?

Burkert & Ida (2007, ApJ)

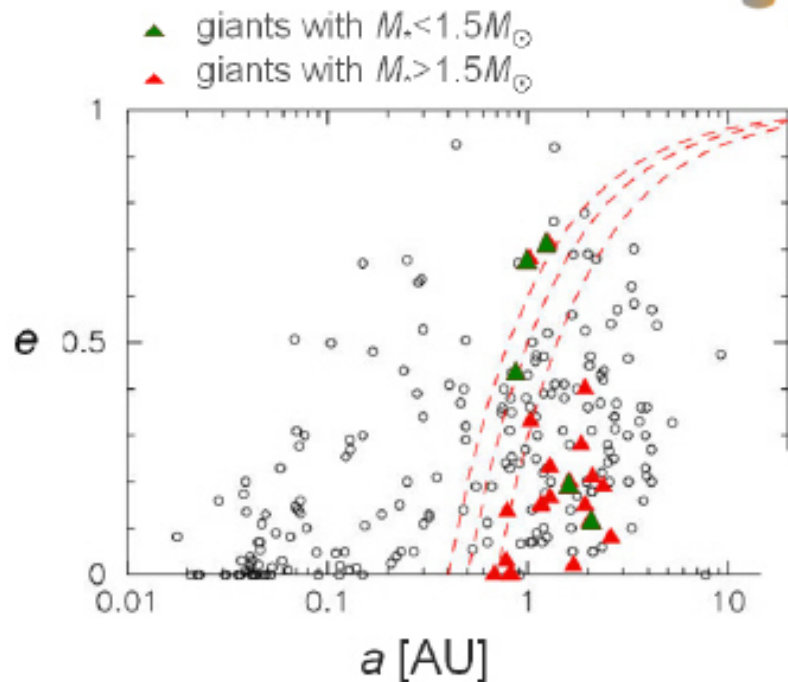
- 円盤寿命が短い? (円盤サイズが小さい?)
- ガス惑星が遠方で形成

α 惑星移動が非効率?

GK giants ではもっと顕著?



GK giants



● cut-off at $a \sim 0.7$ AU

Sato et al. (submitted)

(1) original?

GK giants ← AB dwarfs
F dwarfs の場合の延長?

(2) tidal decay?

- He flash (RGB)の前か後
- He flashの後:
decay for $q < \sim 0.7$ AU
- He flashの前:
decay for $q < \sim 0.4$ AU

観測では(1)or(2)は不明
理論モデルも未発展

鍵は AB dwarfs

恒星質量依存性：惑星形成モデルを制約

- 円盤面密度(質量+サイズ) → 惑星材料物質
- 円盤温度(恒星ルミノシティ) → 氷境界
- 円盤進化(寿命, 光蒸発) → 惑星移動

進化段階依存性：
恒星モデルを制約
- RGBフェイズ
(恒星サイズ変化、
質量放出...)
- 潮汐

恒星質量 進化段階	$< 0.5M_{\odot}$	$0.5-1.5M_{\odot}$	$>1.5M_{\odot}$
主系列	M dwarfs 発見惑星~10個	FGK dwarfs ~200個	AB dwarfs 0個!
巨星	---	subgiant ~5個	GK giant ~15個

⇒ AB dwarfs の惑星の観測をすべき

AB dwarfs の惑星の観測

- エリア・サーベイ (トランジット、重力レンズ)
 - 存在数が少ないので難しい
- 視線速度サーベイ
 - 不向きな点があり、これまで行われてきていない
 - noisy: 高速回転、表面活動...
 - ヨードセルによる高分散分光(すばる,岡山)が使えない
 - どうするか? (Sato, Ida,...)
 - 非ヨードセル型高分散分光器の開発 1.5億円あれば...
 - 小口径(~1-2mクラス)望遠鏡による連続観測 名寄天文台?
 - ターゲット星の選択
 - トランジットによるフォローアップ ネットワーク構築済
- アstrometry・サーベイ
 - 原理的にはOKだが、地上からは無理

