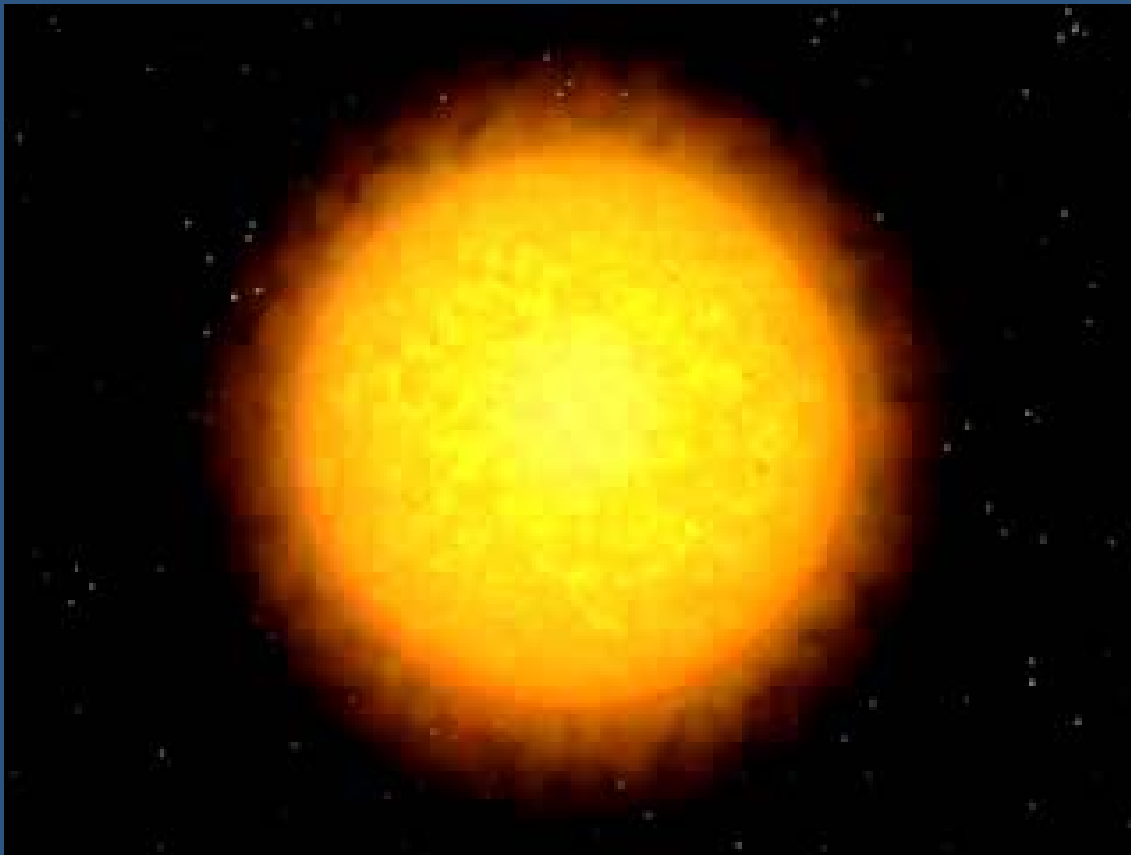


Transiting planet HD209458bの大気観測

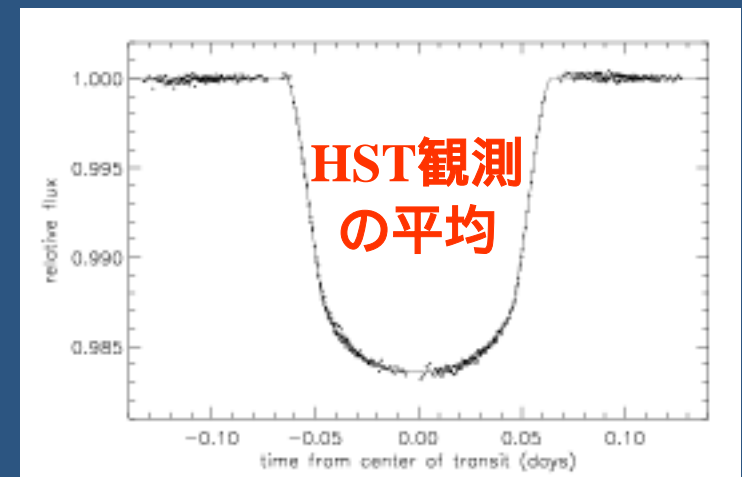
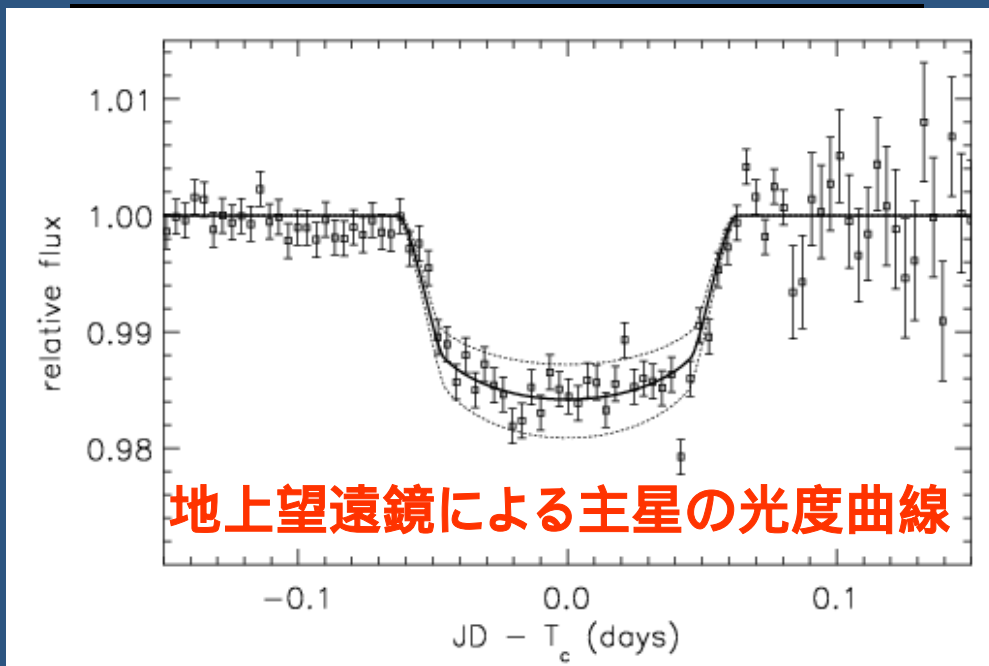
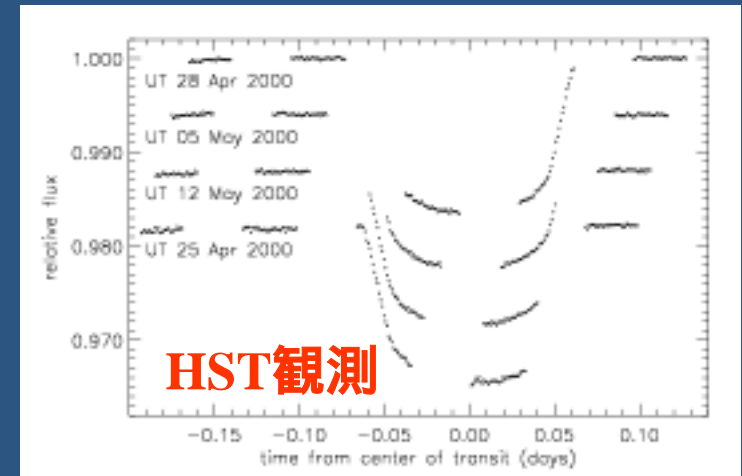


東京大学
大学院
理学系研究科
物理学専攻
須藤 靖

<http://hubblesite.org/newscenter/archive/2001/38/>
2004年4月27日 惑星系セミナー@国立天文台

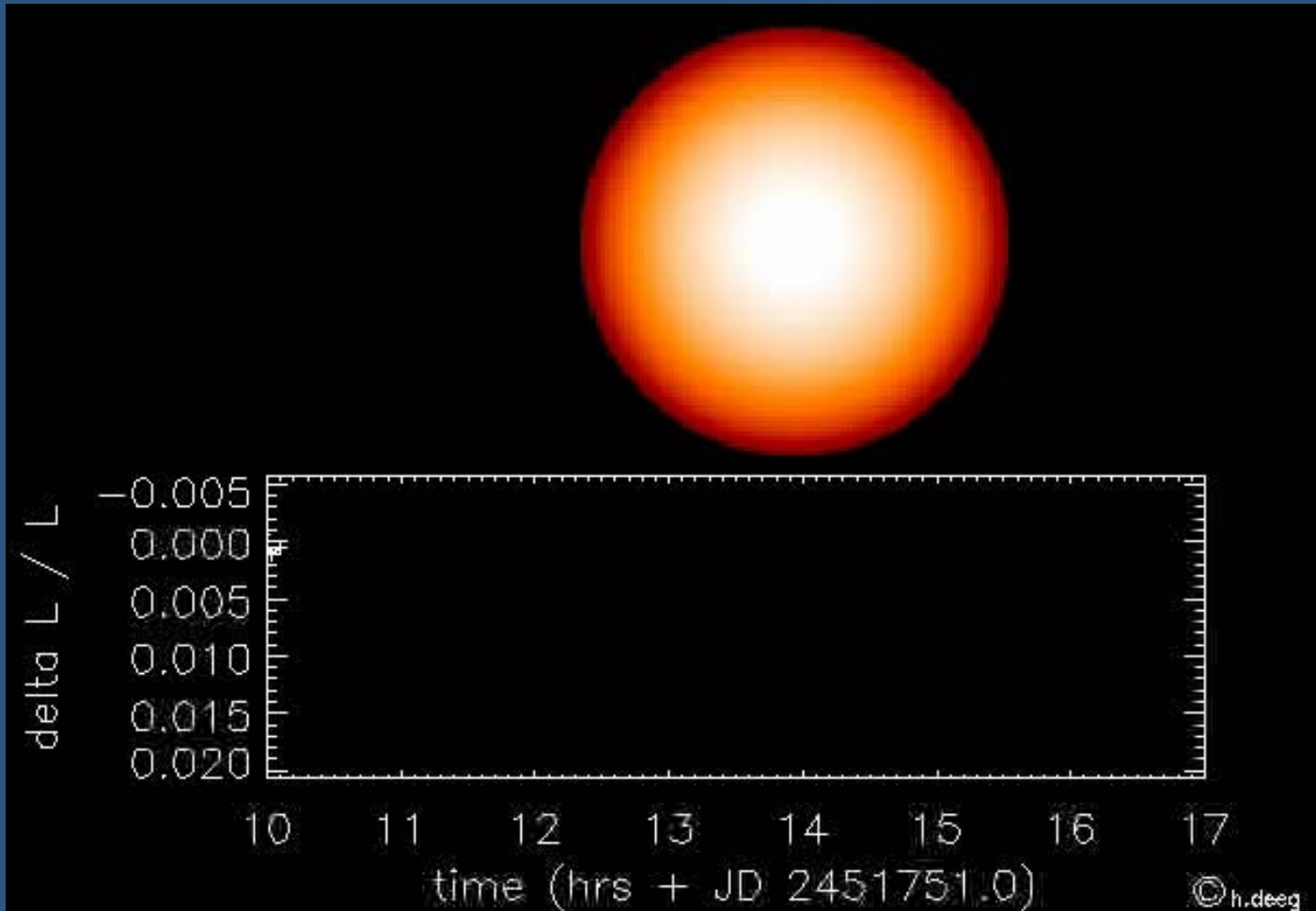
HD209458の食の発見

- 速度変動のデータに合わせて惑星の食を初めて検出 (Charbonneau et al. 2000, Henry et al. 2000)



Brown et al. (2001)

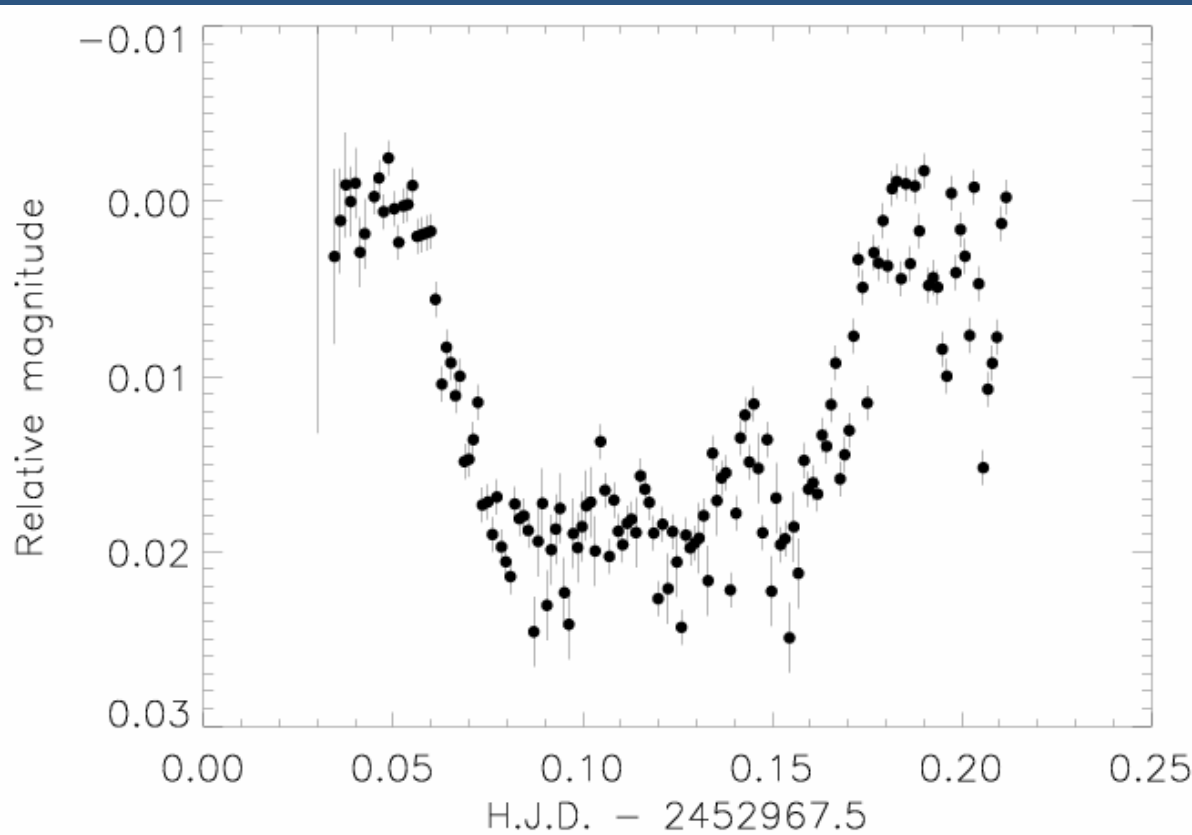
HD209458の食



Transit惑星の重要性

- Radial velocity dataの**解釈の正当性**
- 食の光度曲線より**惑星のサイズ**がわかる
 - Radial velocity dataとあわせて惑星の密度がわかる
 - ガス惑星？ 地球型？
- 惑星大気による吸収より**大気組成**がわかる
- 主星の自転およびLimb darkening等の情報が得られる
- 測光観測だけで系外惑星候補を選ぶことが可能となり、**探査の有効な手段**となり得る
 - Radial velocityは分光観測であるので効率が低い
 - アマチュアによる(だからこそ可能な)長期継続モニター観測によって、より外側の惑星の発見につながる可能性も

小さな望遠鏡でも(でこそ)観測できる



Josh Winn @Whipple Obs (1.2m)
November 24, 2003

- 観測天体があがるまでの時間を利用して、たまたま transit中だった HD209458をHで観測
- 長期間のモニター観測によって、より長周期・小質量の外側の惑星発見も可能
- 大望遠鏡をこのような用途に使うことは不可能

HD209458惑星系のパラメータ推定値

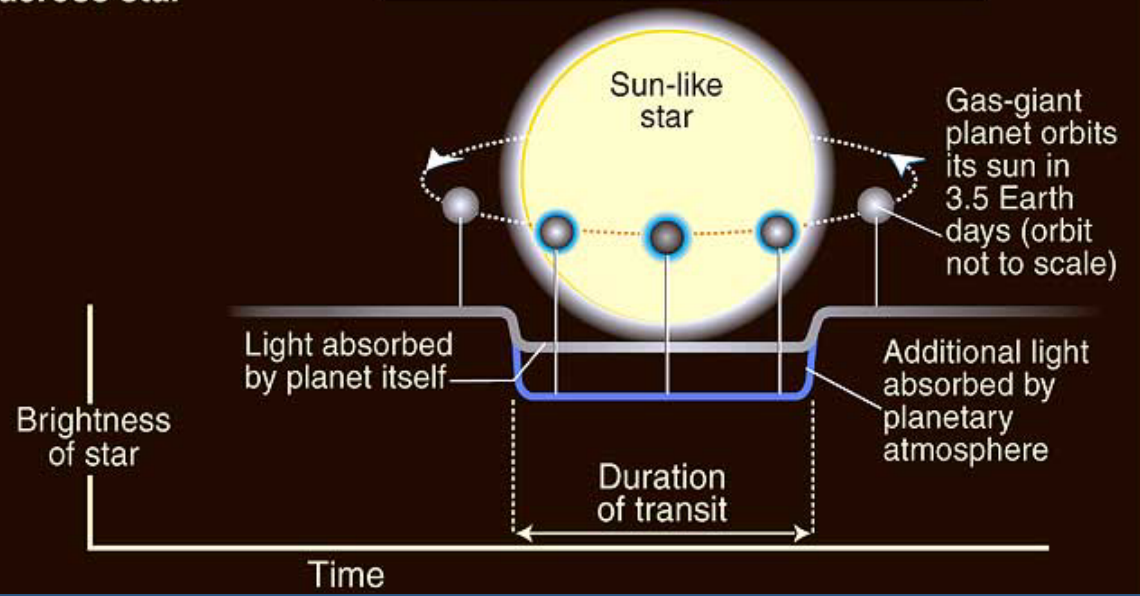
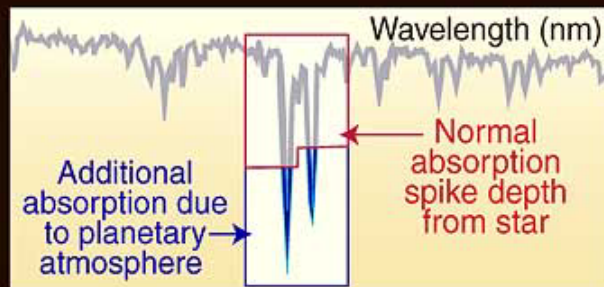
Radial velocity データ + *transit* データ

HD209458 (主星)	スペクトル型	G0V
	Vバンド等級	7.58 (距離=47pc)
	表面温度	6000度
HD209458b (惑星)	公転周期	3.52474 ± 0.00004 日
	<i>軌道面傾斜角</i>	<i>86.68 ± 0.14 度</i>
	質量	0.63 木星質量
	<i>半径</i>	<i>1.347 ± 0.060 木星半径</i>
	<i>密度</i>	<i>0.4g/cc (< 土星密度)</i>
	有効温度	1400度
	<i>大気組成</i>	<i>ナトリウム、水素、 炭素、酸素の存在が報告</i>

HD209458b 惑星大気の 初検出

[http://hubblesite.org/
newscenter/archive/
2001/38/](http://hubblesite.org/newscenter/archive/2001/38/)

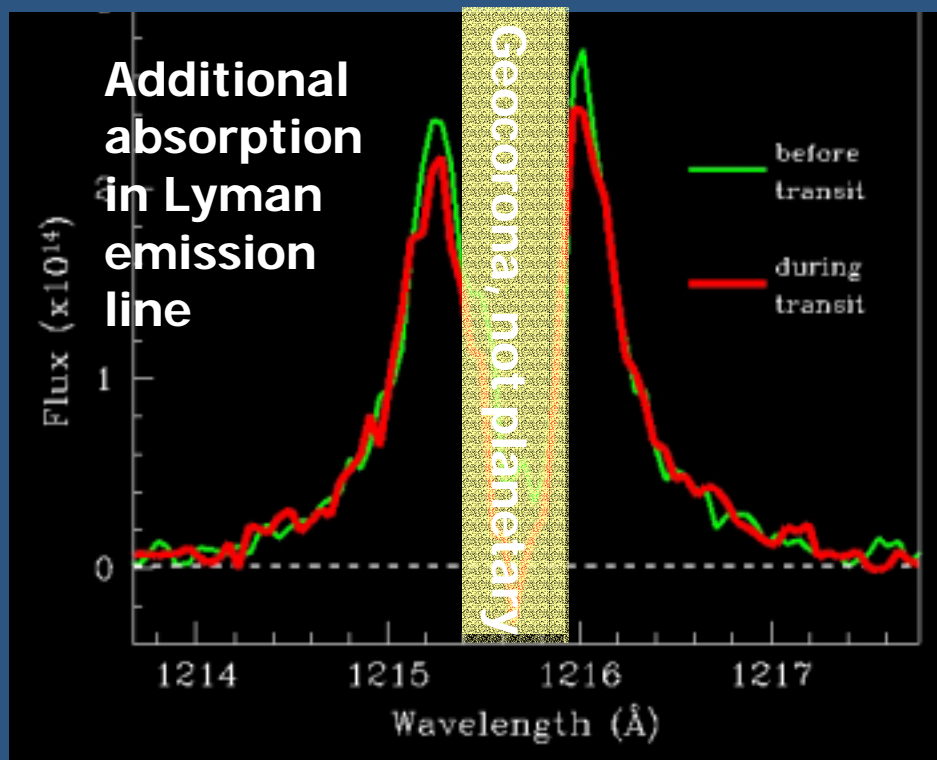
HST detects additional sodium absorption due to light passing through planetary atmosphere as planet transits across star



- 2000年 系外惑星の食を初検出
 - 惑星の大きさがわかる
 - 木星程度の質量という観測データとあわせて密度を0.4g/ccと推定
 - 巨大ガス惑星であることの確認
- 2001年11月 この惑星大気中にナトリウムの存在を発見

HD209458b: 蒸発 しつつある惑星？

予想以上に大きい水素の吸収(15%)
惑星を広くとりまく中性水素雲？



Vidal-Madjar et al. Nature 422(2003)143

<http://hubblesite.org/newscenter/archive/2003/08/>

すばる望遠鏡 による挑戦



太陽系外食惑星HD209458bからの
反射光の超高分散分光観測
2002年10月、2003年7月、8月

須藤 靖、成田憲保 (東京大学)

青木和光、山田亨 (国立天文台)

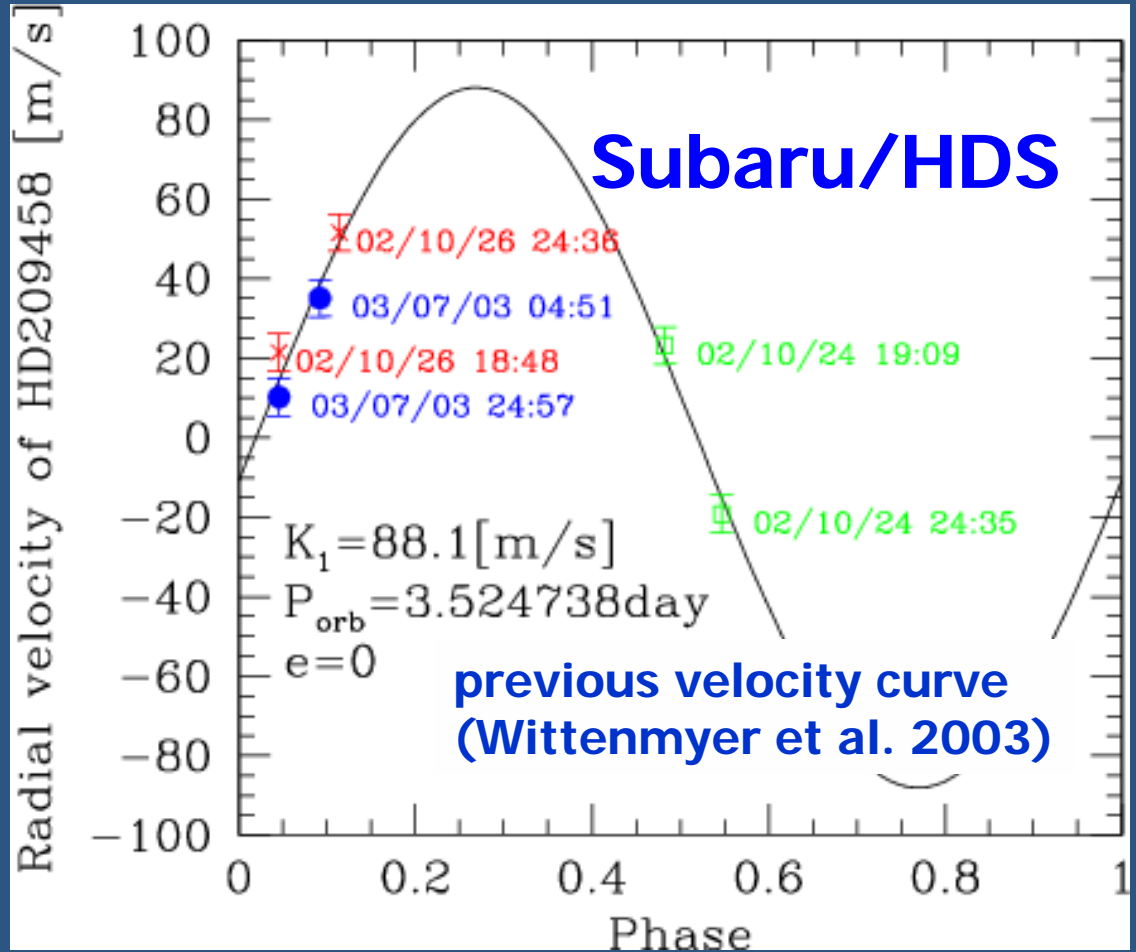
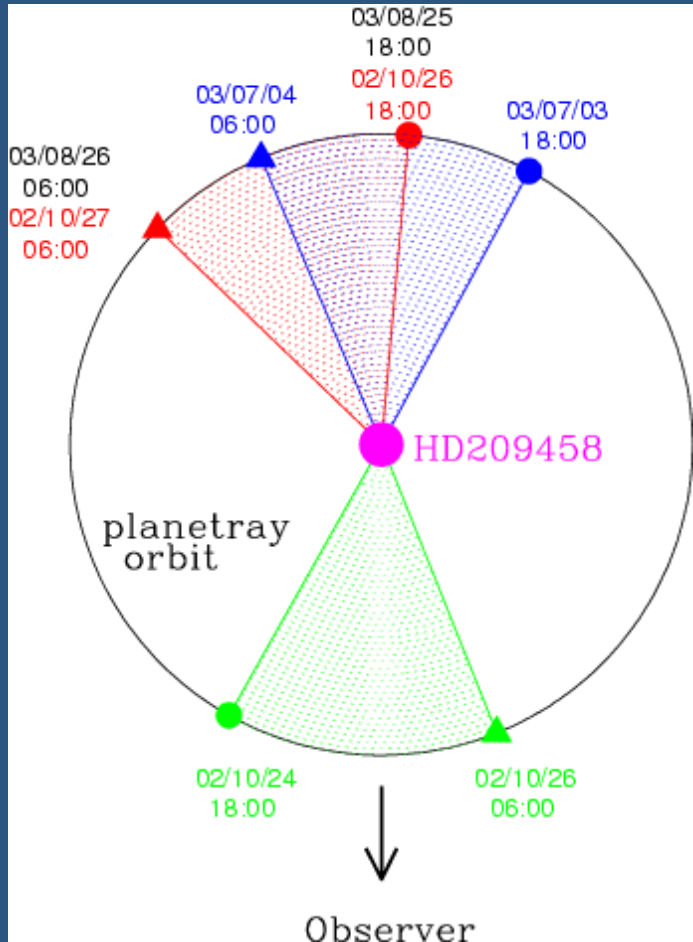
佐藤文衛 (神戸大学)、Josh Winn (Harvard Univ.)

Edwin Turner, Brenda Frye (Princeton Univ.)

HD209458b



HD209458bの位相とradial velocity



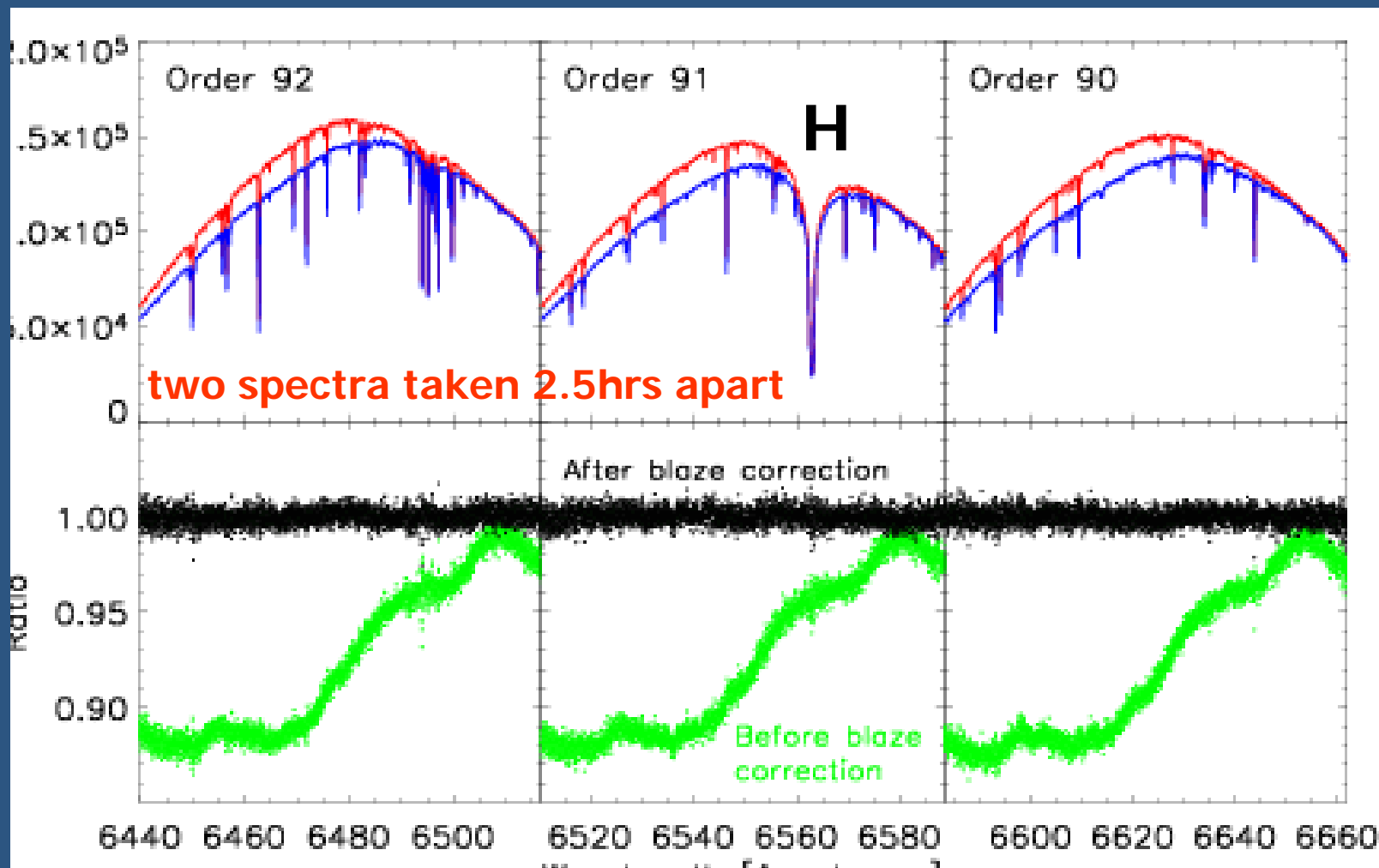
Winn et al. (2004) PASJ, submitted. astro-ph/0404469

現在進行中の3つのプロジェクト

- **地上からの太陽系外惑星大気初検出**を目指す
 - H 吸収の解析は終了、現時点では上限値のみ
 - Winn et al. (2004) PASJ, submitted (astro-ph/0404469)
 - 他の吸収線の解析 (成田 修士論文の予定)
- Transit中の星のradial velocity高精度観測による、星の自転パラメータと惑星軌道パラメータへの制限 (**Rossiter-McLaughlin 効果**)
 - 解析的テンプレート公式の導出
 - Ohta, Taruya & Suto (2004)
 - すばる望遠鏡観測提案中 (S04B0015N)
- **太陽系外惑星反射光の初検出**を目指す
 - 解析を始めるところ(実はもともとの目的だったのだが、、、)

HD209458 Subaru/HDS spectrum

分光器の応答特性 (blaze function)



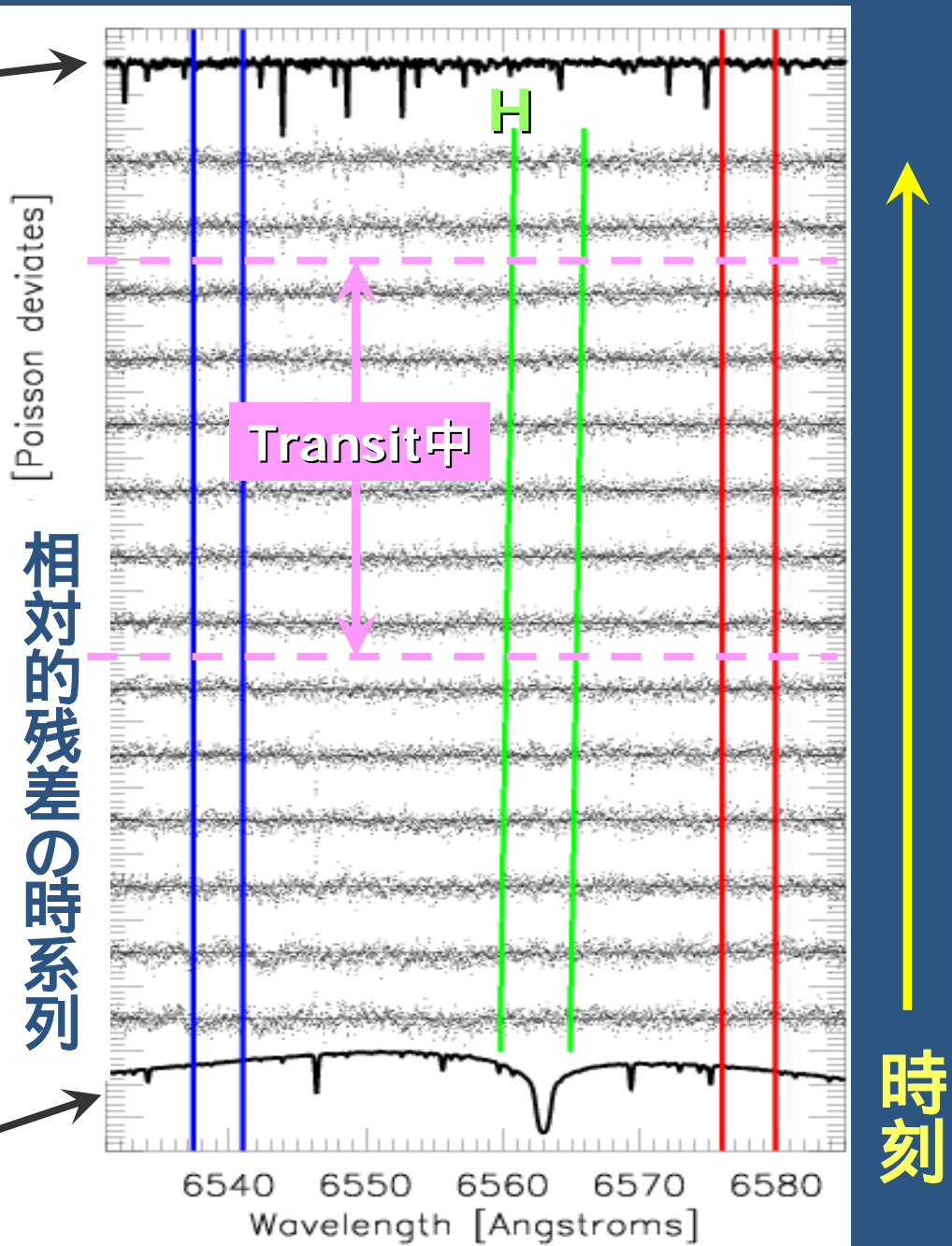
Winn et al. (2004)

HD209458b 惑星大気による 吸収の探査

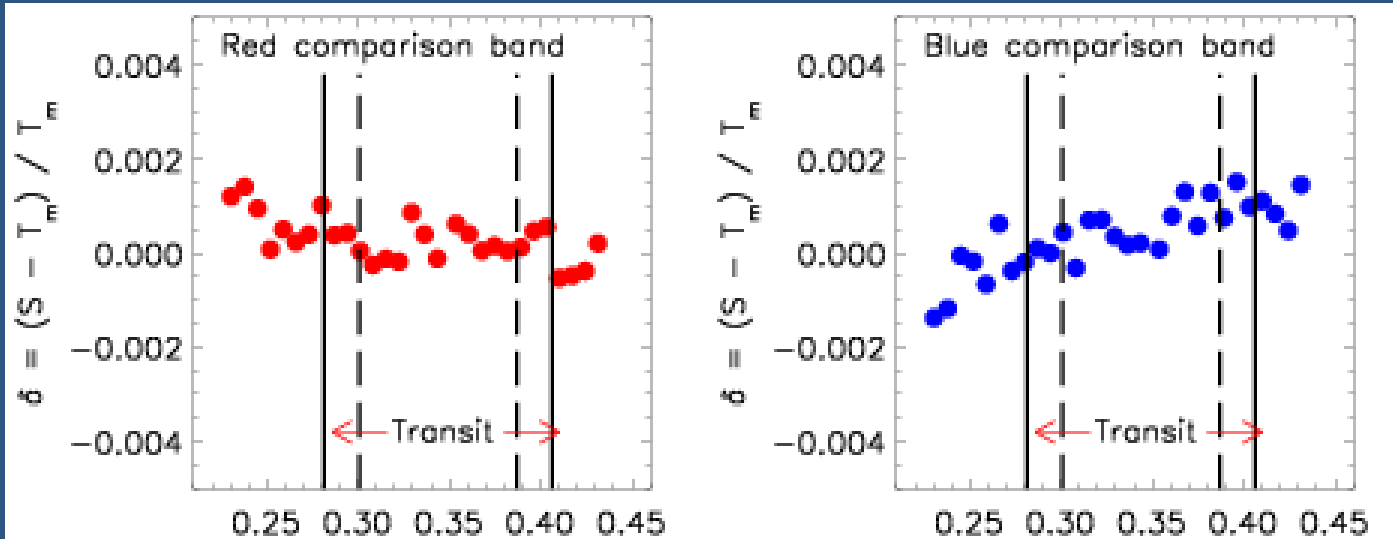
H 付近の
地球大気スペクトル

Na I (D2)	5889.97
Na I (D1)	5895.94
H	6562.81
H	4861.34
H	4340.48

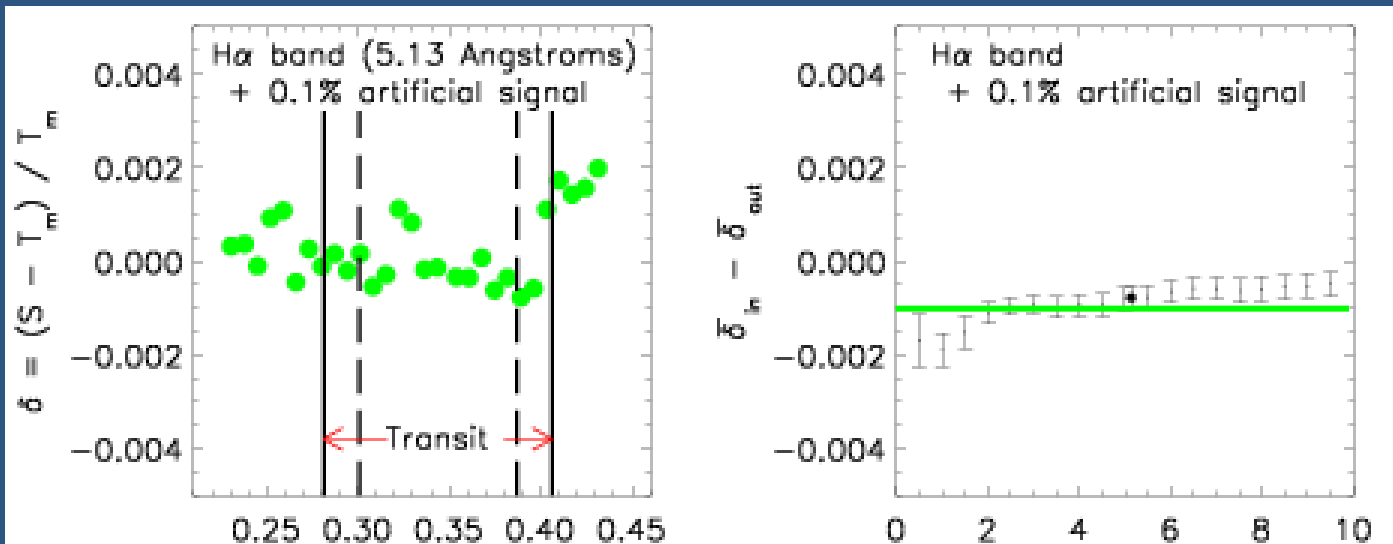
Transit でない時期の
H 付近のスペクトル



系統誤差のチェック

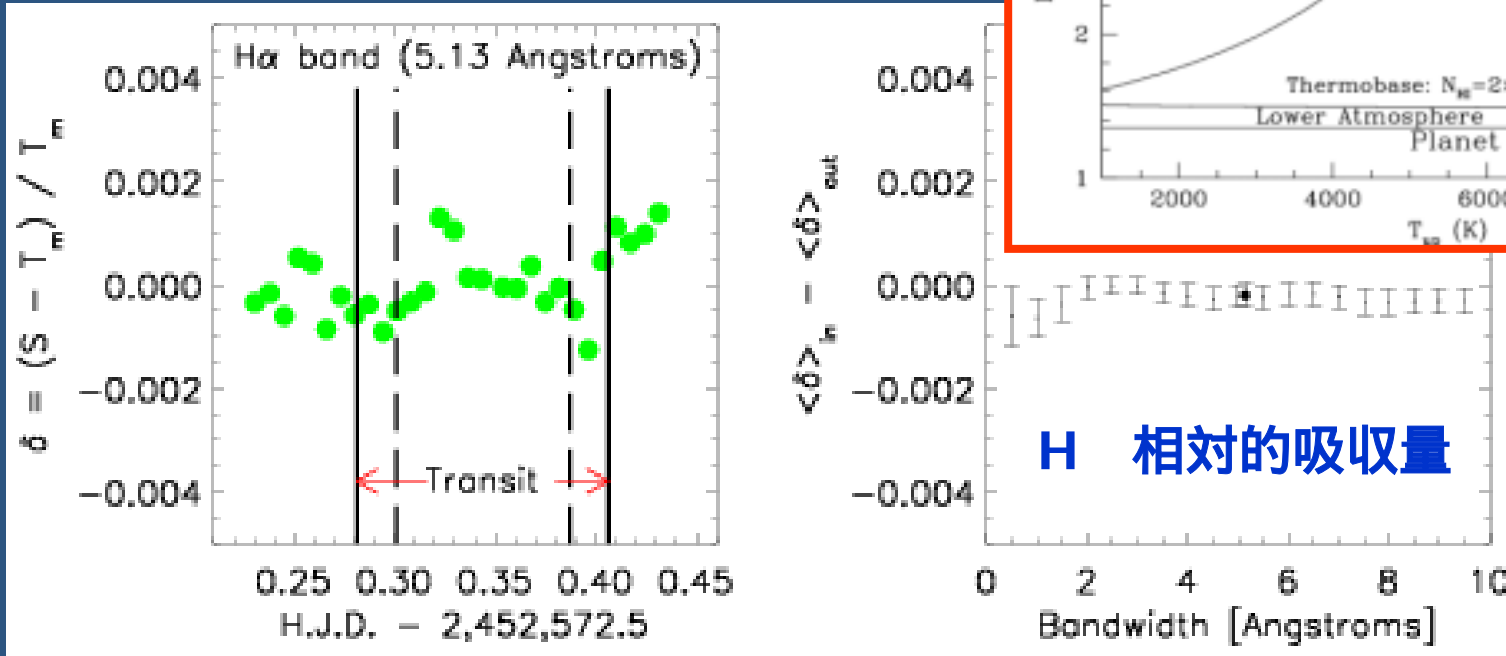
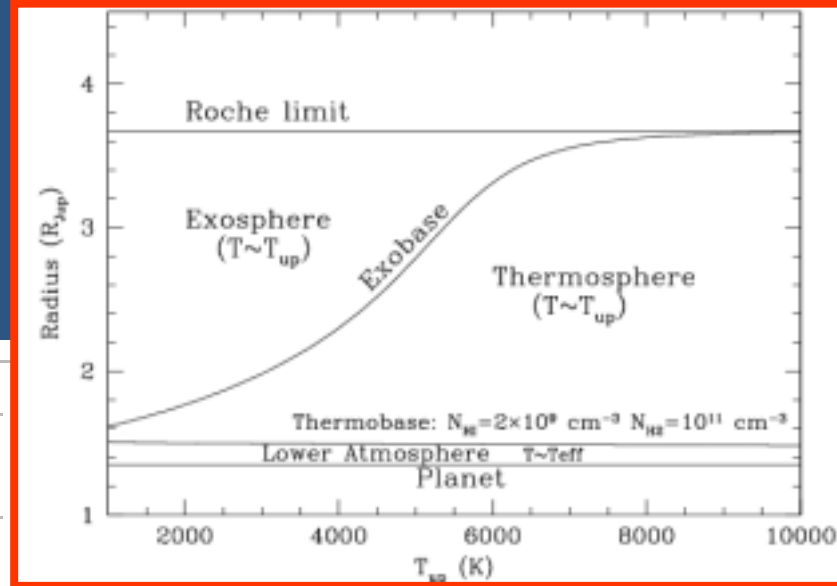


H の波長
を含まない
赤側と青側
での同様の
解析



人工的に
0.1パーセ
ントの吸収
を追加した
場合の検
出度

HD209458b 惑星大気中の 中性水素吸収量と励起温度



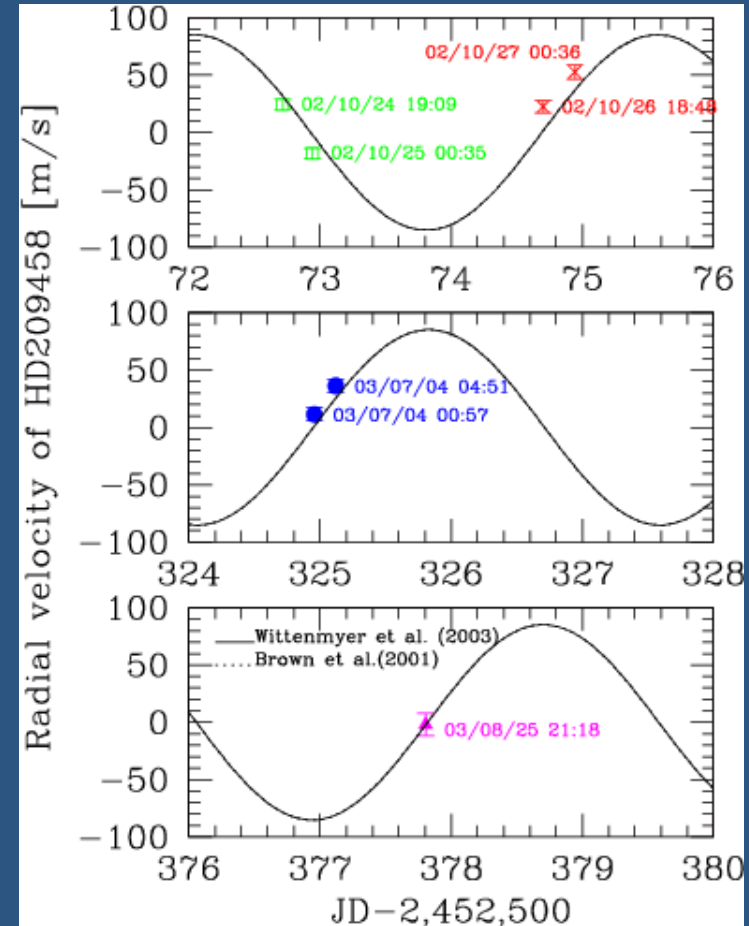
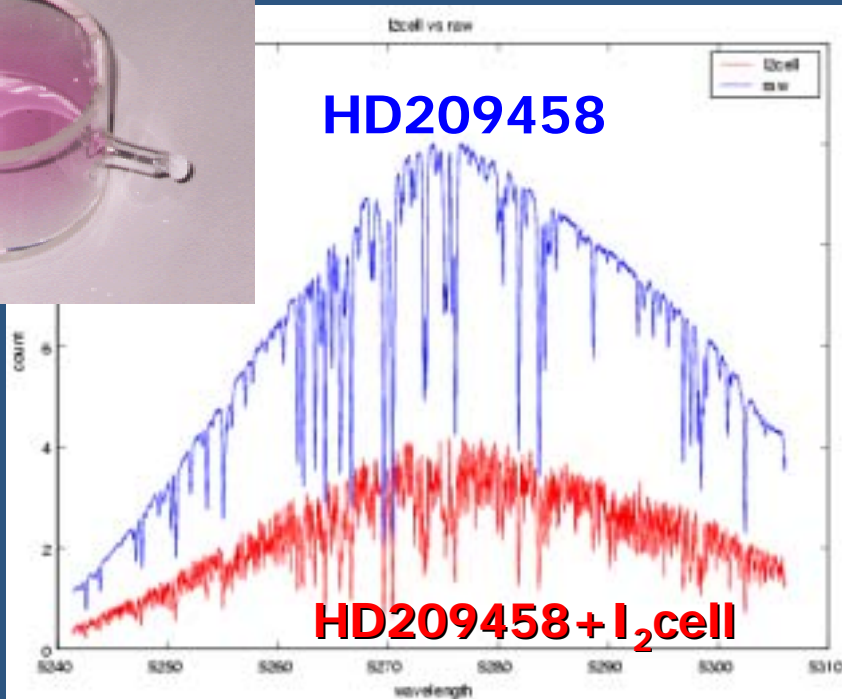
- H 吸収 $< 0.1\%$ (Winn et al. 2004)
- Ly 吸収 15% (Vidal-Madjar et al. 2003)
- $T_{ex} < (0.6-1.3)eV$ (大気モデルに強く依存、不定性大)

ヨードセルを用いたradial velocity測定

- 密集したヨウ素分子の吸収線を天体スペクトル中に焼きこんで、(相対的な)目盛りとして用いる
- 現在、3m/s 程度の精度が達成されている。



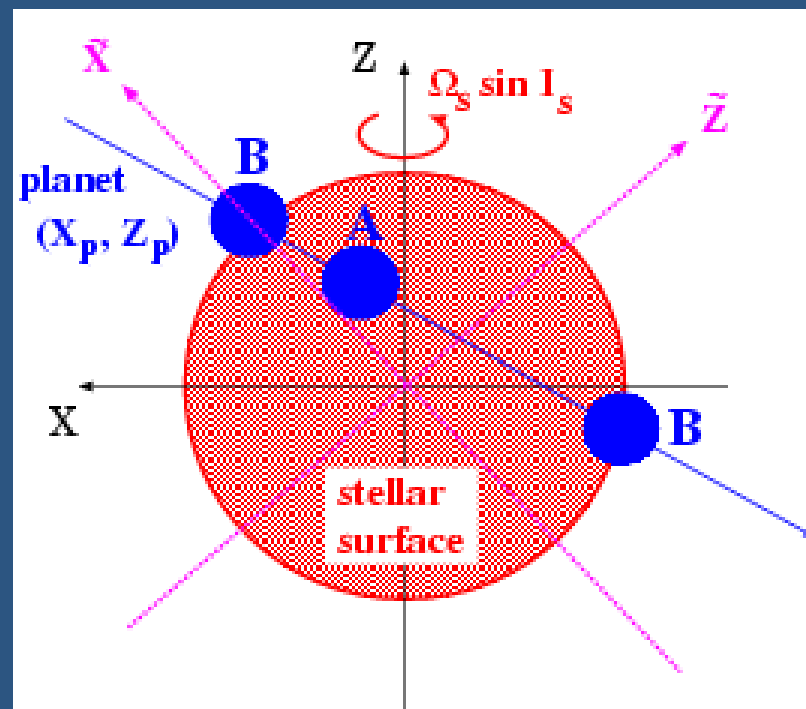
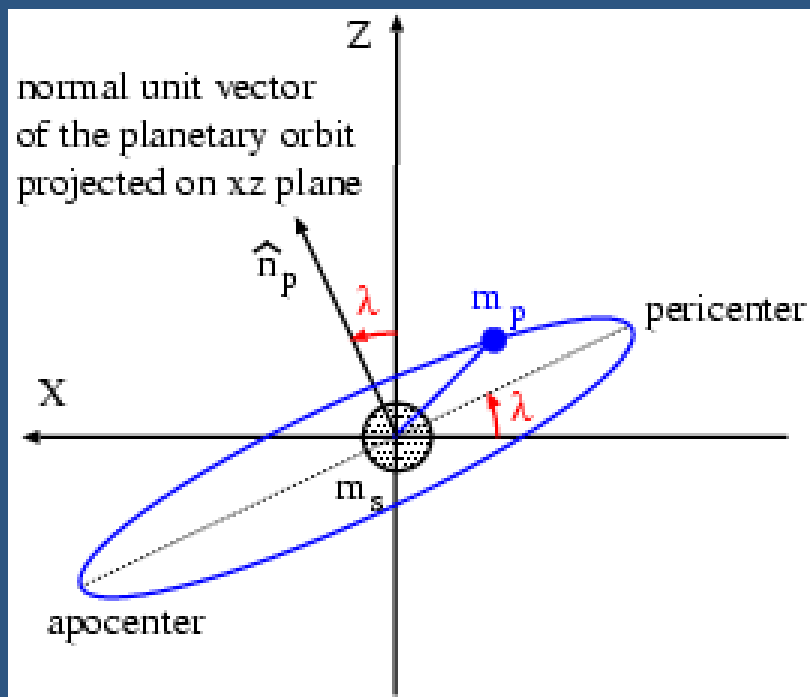
ヨードセル



Subaru/HDS

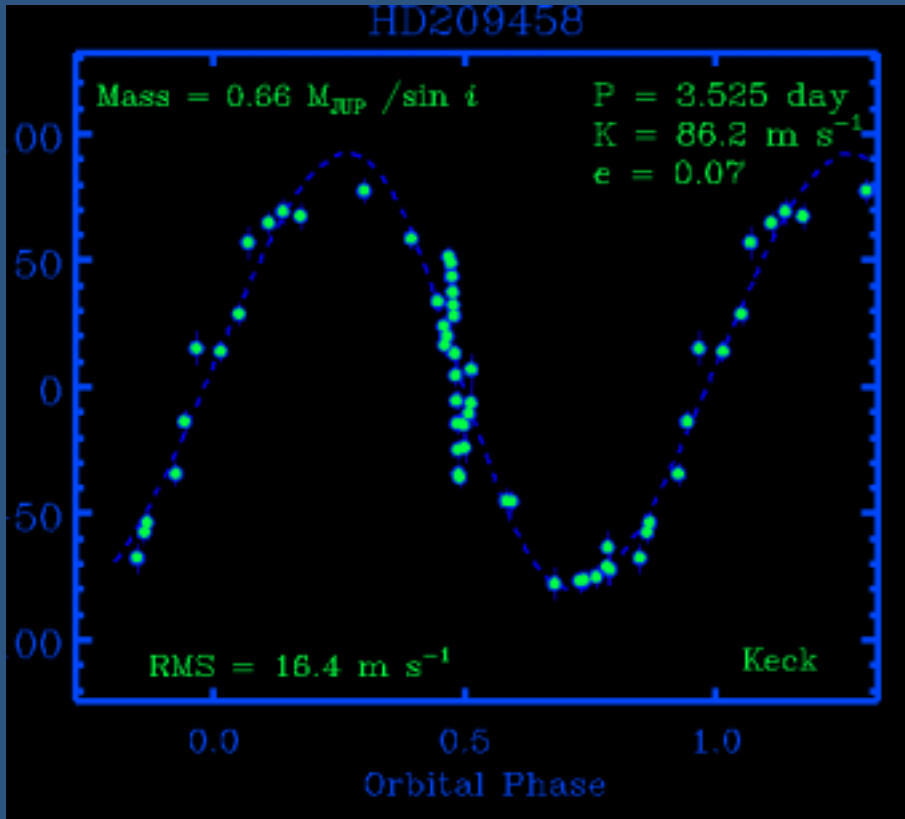
Rossiter-McLaughlin 効果

食連星において、一方の星が他方の星の一部を掩蔽することで、星の自転速度の一部が見かけ上、その星と観測者の相対速度のように見えてしまう現象 (Rossiter 1924, McLaughlin 1924)

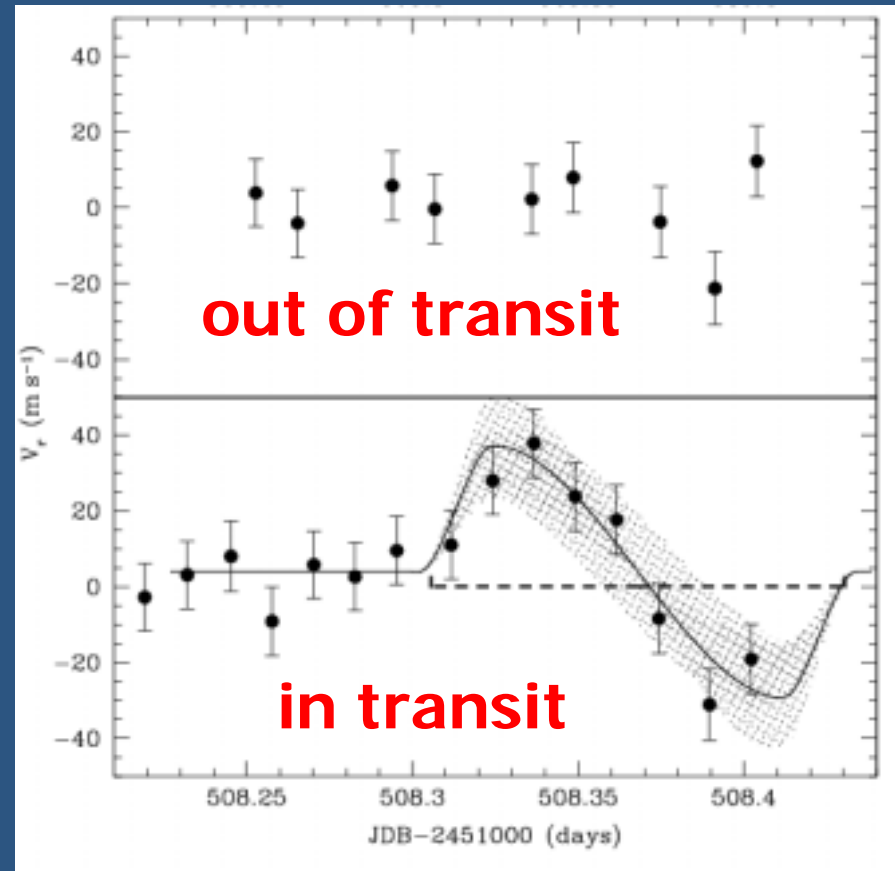


Spectroscopic transit signature

(Rossiter-McLaughlin 効果)



HD209458 radial velocity data
<http://exoplanets.org/>

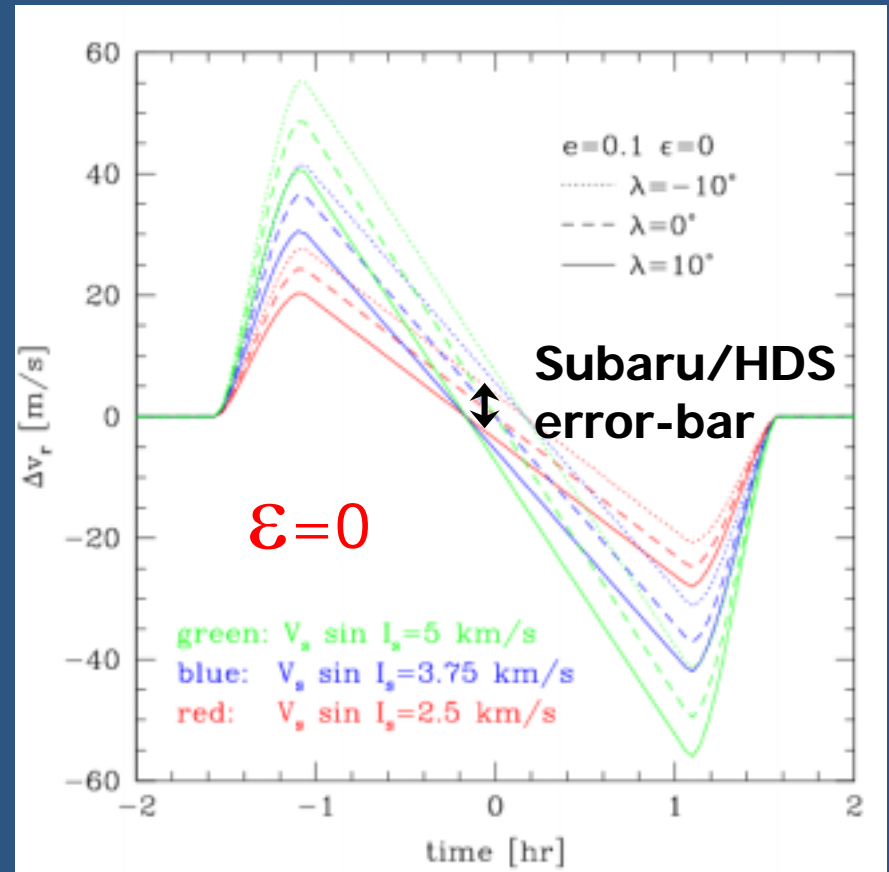
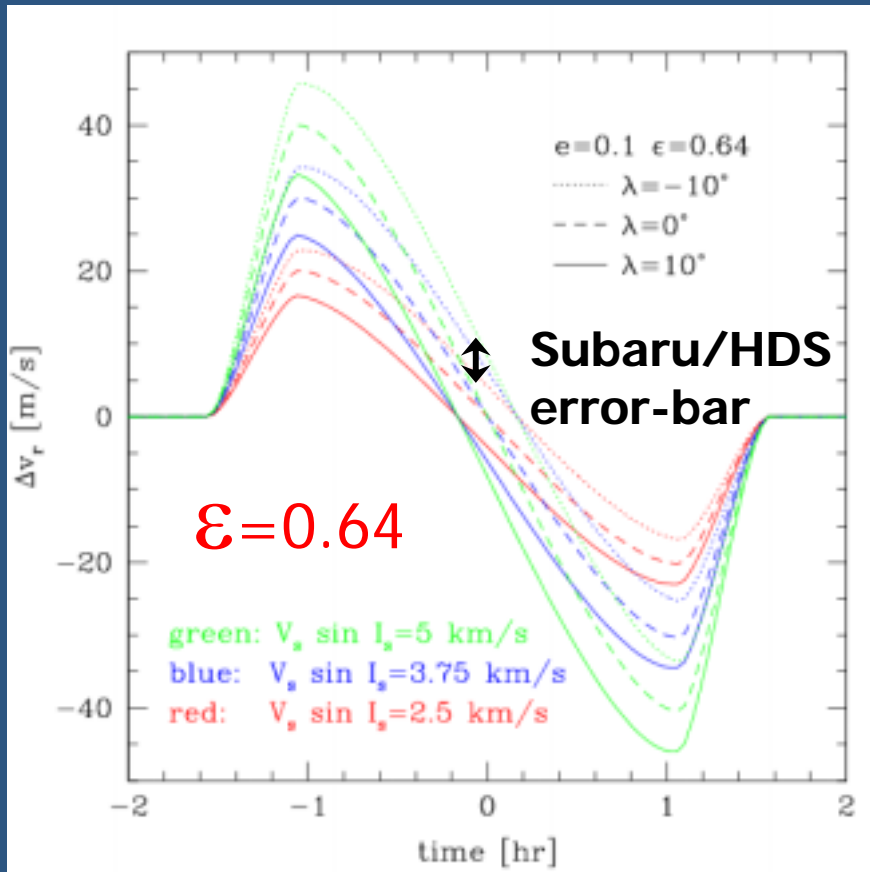


主星の自転と惑星の公転が同方向
Queloz et al. (2000) A&A 359, L13
ELODIE on 193cm telescope

HD209458はRossiter効果の研究に理想的

	連星系	系外惑星系
掩蔽天体	星	惑星
雑音	掩蔽する星自身	惑星は掩蔽するのみ
モデル	困難、数值的 (極度に非線形)	容易、解析的 (摂動論が良い近似)
候補天体	無数	実質的にHD209458のみ
科学的興味	連星系の性質	惑星系の起源と進化 (特に、主星の自転軸と惑星の公転軸の一致の度合い)
歴史	深すぎる (Kopal 1990; Hosokawa 1953)	浅い (1953年生まれの親の息子でも論文が書ける！) Ohta et al. (2004)

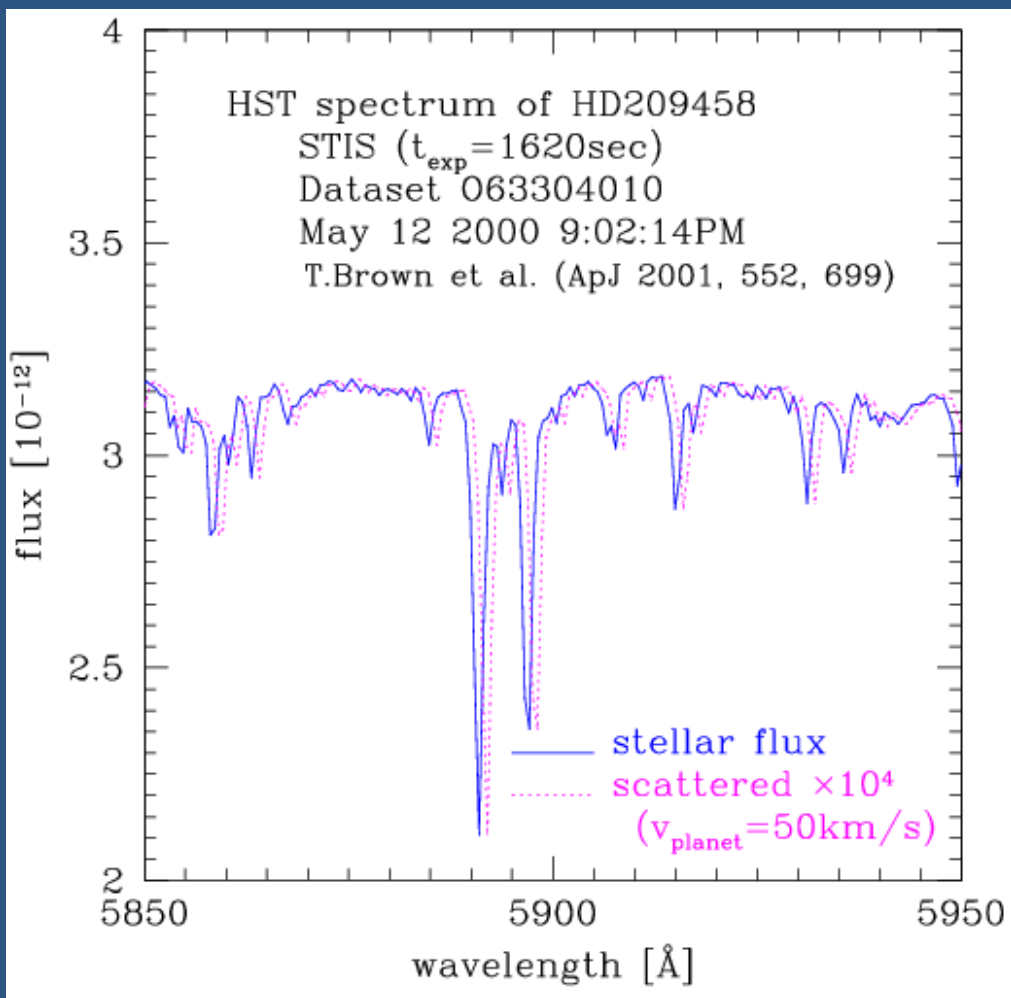
radial velocity の予想曲線



$$\text{Limb darkening: } B = 1 - \epsilon (1 - \cos \theta)$$

(Semi)-analytic template curves (Ohta, Taruya & Suto 2004)

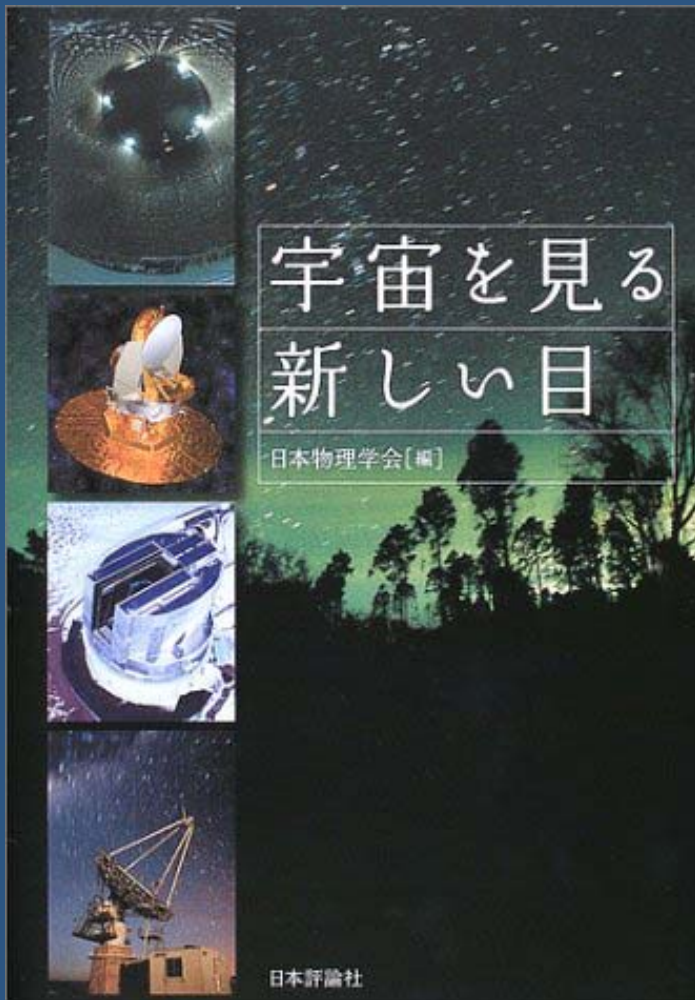
食惑星からの反射光の検出原理



- 惑星の反射光スペクトルは主星のコピー
- ただし、公転速度のために、吸収線の位置が 50km/s 程度だけずれたところにする
- この反射吸収線の強度はわずか 0.01%
- 数百本の吸収線を同時に使って反射光の存在を検出したい
- すばるの高分散分光器 HDSの波長分解能 50000 を最大限活用

「宇宙を見る新しい目」

日本物理学会編：2004年3月刊



- 1章 宇宙マイクロ波背景輻射で見る宇宙
...小松英一郎
- 2章 X線で見る宇宙...大橋隆哉
- 3章 ガンマ線で見る宇宙...谷森達
- 4章 重力波で見る宇宙...三尾典克
- 5章 最高エネルギー宇宙線...手嶋政廣
- 6章 コンピュータシミュレーションから見る宇宙
...吉田直紀
- 7章 超新星で測る宇宙膨張とダークエネルギー
...土居守
- 8章 ニュートリノと素粒子物理...梶田隆章
- 9章 超新星ニュートリノで見る宇宙...佐藤勝彦
- 10章 究極の宇宙論：太陽系外惑星探査...須藤靖