

# DISCOVERY OF THE COLDEST IMAGED COMPANION OF A SUN-LIKE STAR

山田研修士 2 年 塚本淳

# GJ758とは？



こと座の方向(夏の大三角の内側)約50光年にある太陽に似た星

スペクトル型

G9

視等級

6.36

距離

15.5pc

質量

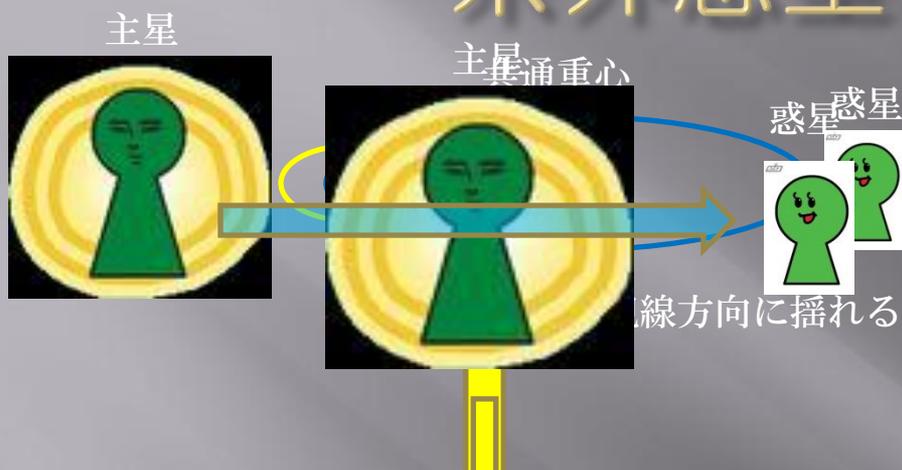
$0.97M_{\text{Sun}}$

半径

$0.88R_{\text{Sun}}$

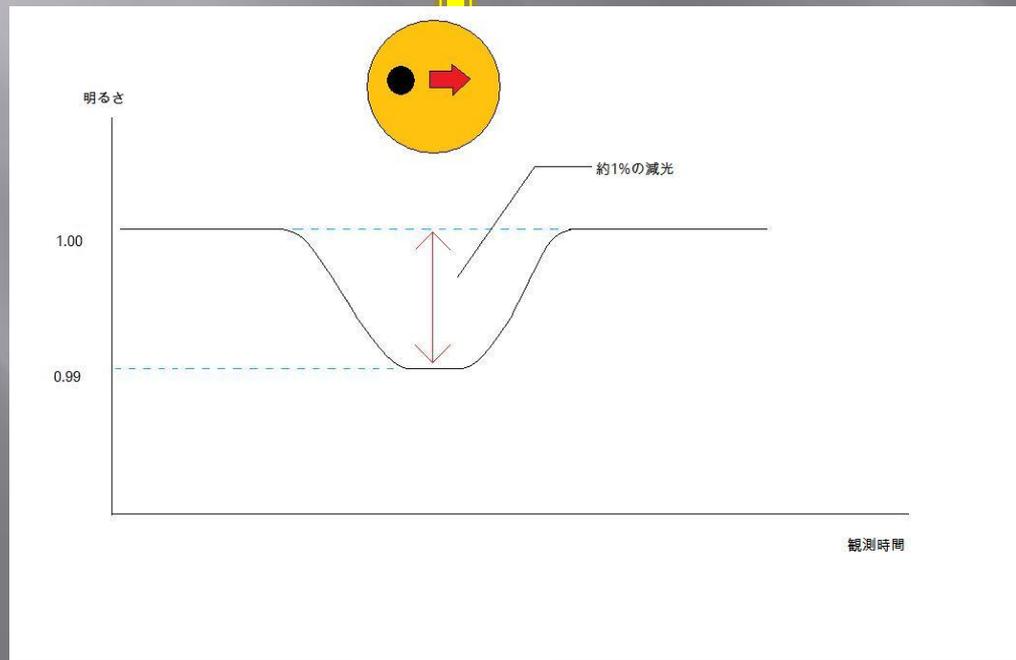
赤外放射の超過が見られ、星周デブリディスクの存在が予想されている。

# 系外惑星の観測方法



## <視線速度法>

伴星との共通重心を主星が公転する。この視線方向の揺れを観測。



## <トランジット法>

主星の前を伴星が横切る際の主星の光の減光を観測する。

# 直接撮像のメリット

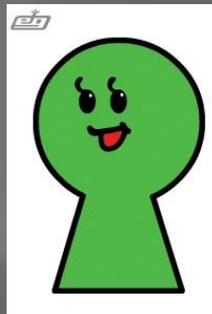


軌道長半径の大きい伴星でないと主星の光に埋もれてしまうため検出できない。

大気組成、有効温度などがわかる。

星周円盤などが見える

観測者



- 伴星からの放射を直接捉えるので惑星の性質がわかる。
- 軌道長半径の大きい軌道の惑星を発見できる。
- 主星周辺の構造がわかる。

# GJ758Bの発見

観測日	2009年5月3日
すばる望遠鏡	HiCIAO ADIモード
視野	20" × 20"
ピクセルスケール	9.5mas
撮像バンド	Hバンド, 1.6 $\mu$ m
露出時間	15s × 10



主星の近くを回る新天体を5 $\sigma$  confidenceで発見！

# GJ758C?の発見

Follow-up観測

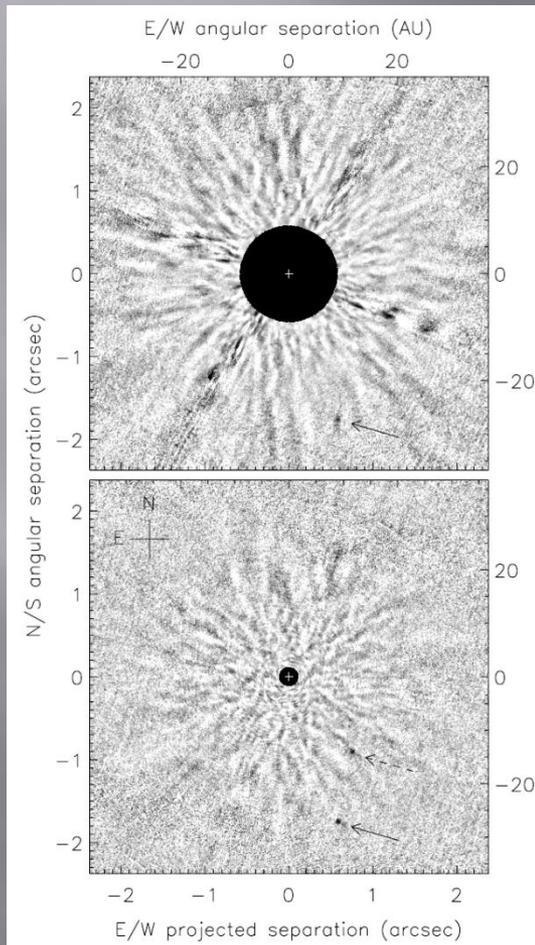
観測日 2009年8月6日

露出時間 9.7s × 46



8.5 $\sigma$  confidenceでGJ758Bを検出。さらにこの天体の内側に5.6 $\sigma$ のシグナルも検出。GJ758Cの可能性がある。現在フォローアップ待ち。

# GJ758 S/N maps

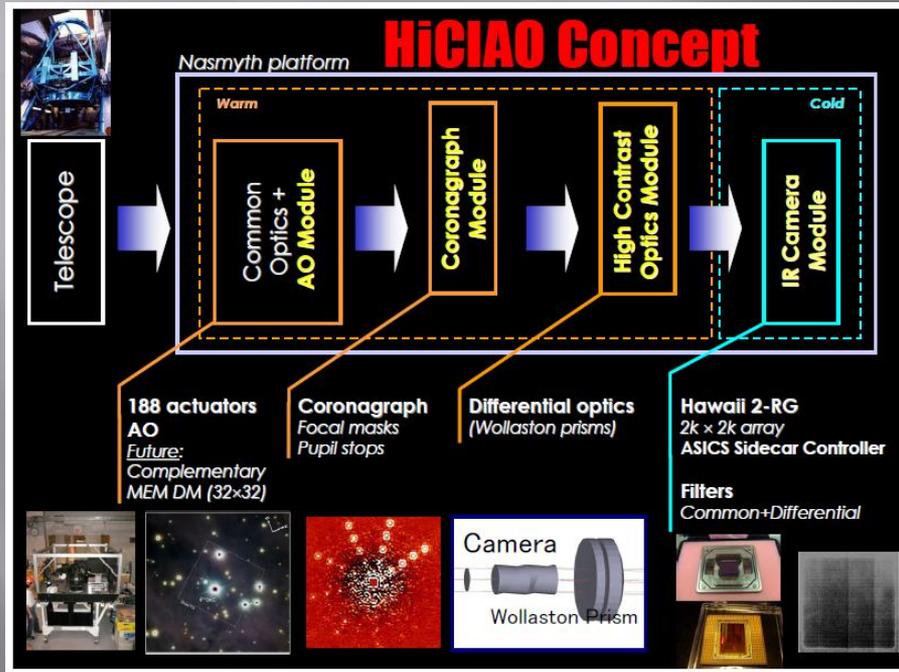


- 上図が2009年5月、下図が2009年8月のもの。
- 濃さに応じて $-1\sigma$ から $5\sigma$ まで示してある。
- 中心の黒丸はADIによる視野の回転が不十分な領域
- 矢印で示しているのがGJ758BとGJ758C。

# HiCIAOとは？

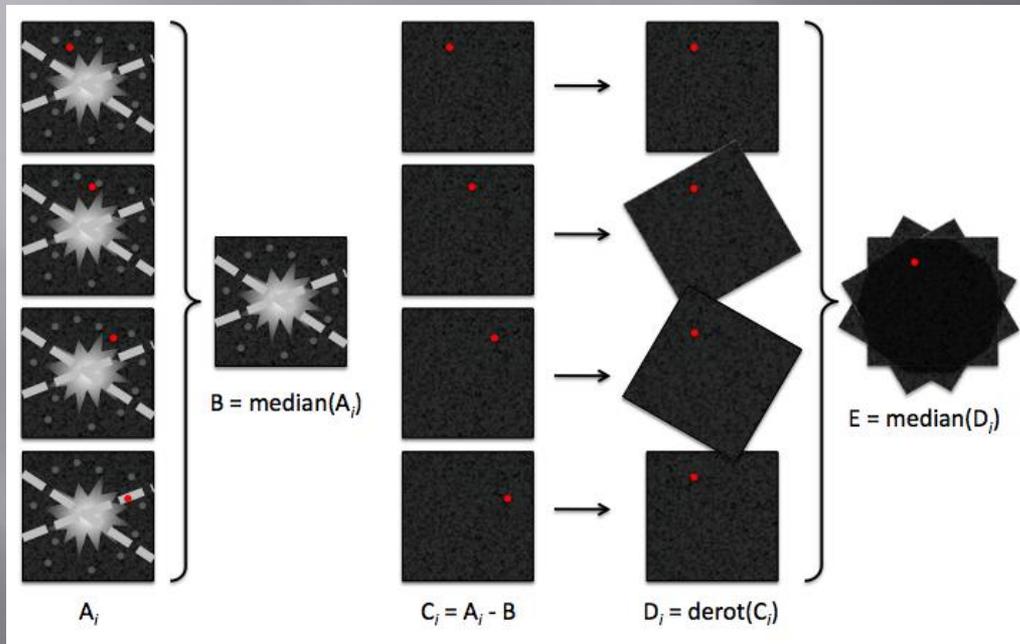
HiCIAO (High Contrast for new generation Adaptive Optics)

補償光学装置、コロナグラフ、赤外線カメラなどを組み合わせた高コントラスト装置



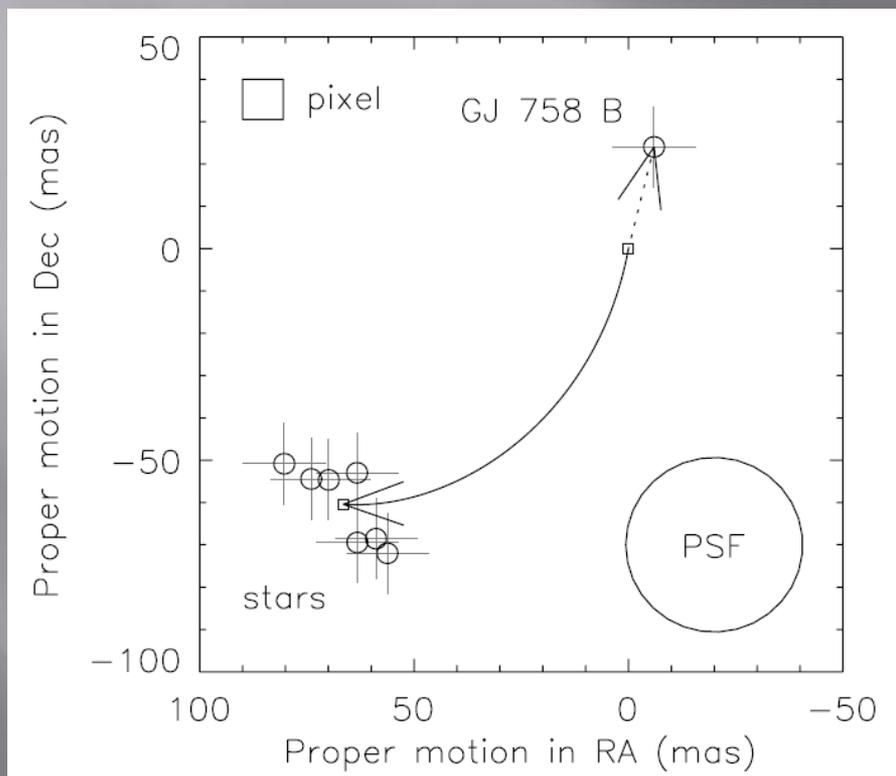
主星に比べて桁違いに暗い惑星を検出するのでコントラストはとても重要！！

# ADI(Angular Differential Imaging)



観測の間視野を回転させる。  $A_i$ の画像のMedianをとるとBのように伴星を除いた画像が得られる。これを元の  $A_i$ から引くことによってPSFノイズを抑えることができる。

# 固有運動解析



- GJ758Bの固有運動は背景の星と $10\sigma$ もずれていた。
- 一方主星の固有運動とはほぼ一致していた。
- わずかに主星とずれているのは惑星の公転運動を表している。

# 系の年齢

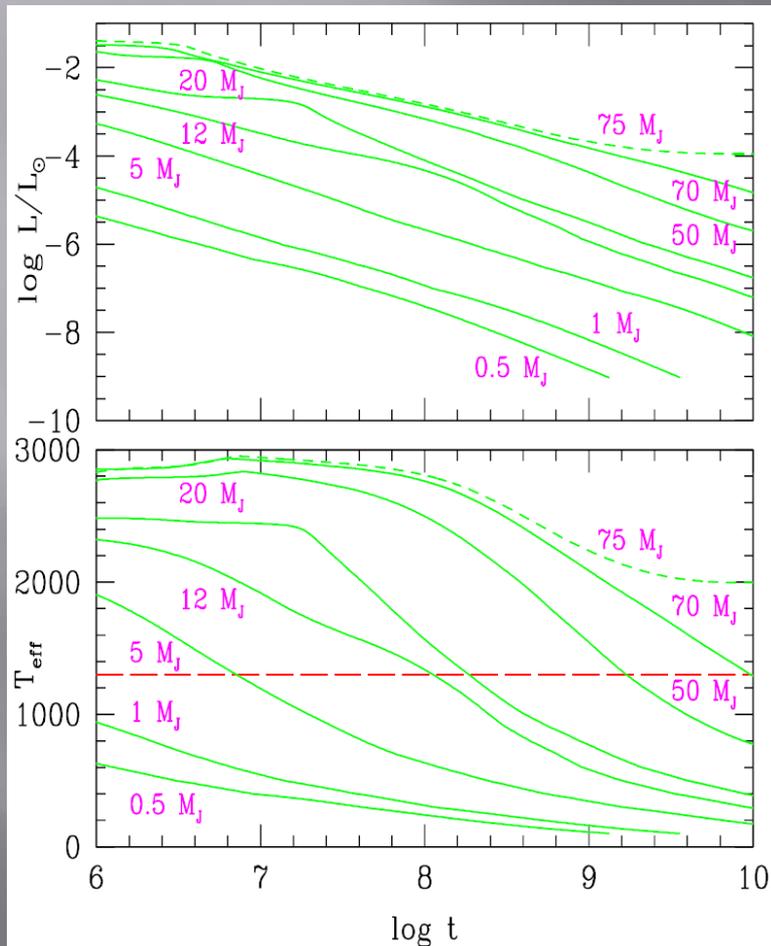
- GJ758と一緒に運動している星団がないため年齢を決めるのが難しい。
- GJ758は太陽に比べて金属量が多い。  
→ 世代が新しい=年齢が若い
- 自転周期39日、彩層活動 $\log R'_{\text{HK}} = -5.06$ から年齢を予想。  
→ 0.7Gyr~8.7Gyrの年齢として考える。

# GJ758B、Cの物理的性質

Observed quantity	GJ 758 B	"GJ 758 C"		
Photometry on 2009 August 6				
App. <i>H</i> mag.	19.26 ± 0.16	18.47 ± 0.24		
Abs. <i>H</i> mag.	18.30 ± 0.16	17.51 ± 0.24		
Contrast ( $\Delta$ mag)	14.51 ± 0.16	13.72 ± 0.24		
Contrast ( $10^{-6}$ )	1.57 ± 0.18	3.24 ± 0.65		
Astrometry on 2009 May 3				
Proj. sep. (")	1.879 ± 0.005	...		
Proj. sep. (AU)	29.12 ± 0.08	...		
Position angle (°)	197.77 ± 0.15	...		
Astrometry on 2009 August 6				
Proj. sep. (")	1.858 ± 0.005	1.188 ± 0.005		
Proj. sep. (AU)	28.80 ± 0.08	18.42 ± 0.08		
Position angle (°)	198.18 ± 0.15	219.16 ± 0.08		
Assumed age (Gyr)	Mass ( $M_{\text{Jup}}$ )	Temperature (K)	Mass ( $M_{\text{Jup}}$ )	Temperature (K)
0.7	10.3	549	11.7	631
2.0	16.6	592	20.4	679
4.5	28.6	623	35.0	715
6.2	34.3	624	41.0	717
8.7	39.6	637	46.5	733

- 年齢によって質量が大きく変化する。
- 一方有効温度はあまり年齢によらない。
- 今まで太陽型の星の周りで直接撮像された伴星の中で最も低温。

# 惑星の年齢と質量



Baraffe et al. 2003

- 惑星は年齢と共に輝度が低下して行く。



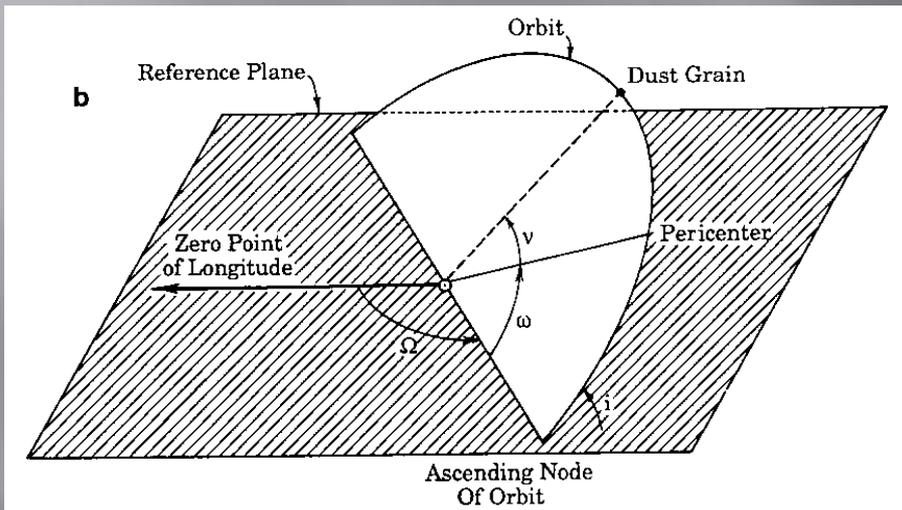
観測された輝度から考えた場合年齢が若いほど低質量といえる。

- 一方主系列星はほとんど輝度の変化を起こさない。



若い系のほうが主星と伴星のコントラストが低く観測しやすい！

# A custom Monte Carlo simulation



Hamilton, D.P. (1993)

- 離心率 $e$ 、軌道傾斜角 $i$ 、近日点角 $\omega$ 、昇交点経度 $\Omega$ 、仮の軌道長半径をランダムで与えた $10^6$ 個の軌道を考える。
  - 軌道の楕円の大きさは観測された2地点の間点に一致するように決める。
- これにより軌道長半径の最終的な値を決める。

# 続き

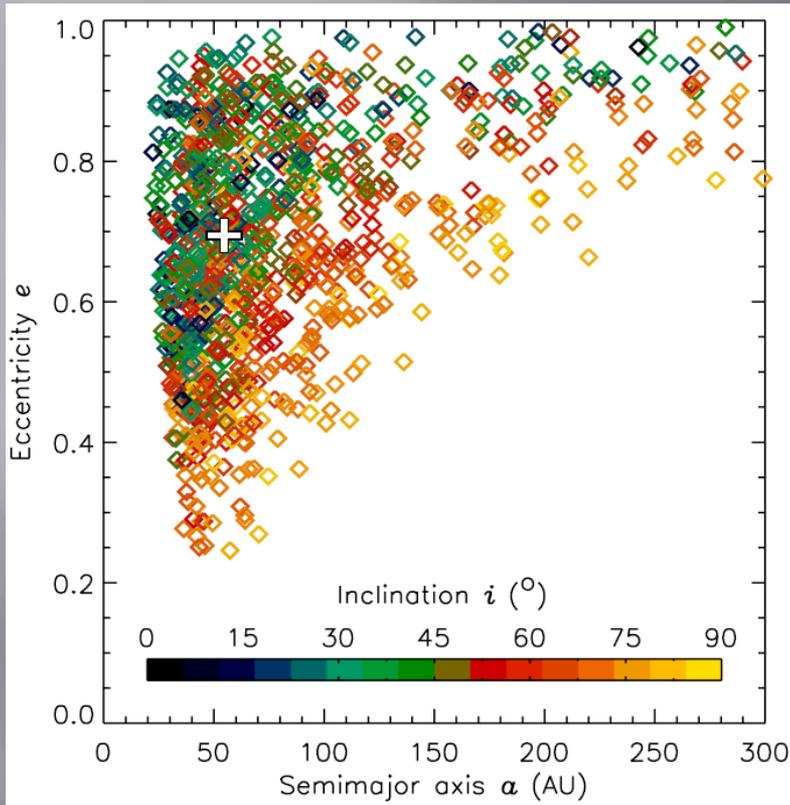
- それぞれの軌道に対して先程の中間点での速度ベクトルを計算し、天球面に投影して観測した運動と比較。

➡ この2つがエラーバー内で一致する「正しい軌道」は全体の約6%。

- 「正しい軌道」をそれぞれの軌道平均速度と現在の速度の比 $\langle v \rangle / v_{\text{obs}}$ によって重みづけ。

➡ 現在の位置で伴星を検出する統計的確率を表す。

# 結果



- $\langle v \rangle / v_{\text{obs}}$  の重みづけによって選び出した1000種類の軌道。
- $e_{\text{WM}} = 0.691$  と高くこの付近に集中している。
- $e < 0.25$  の軌道でエラーバー内で観測と一致するものはない。

Estimated Orbital Parameters of GJ 758 B

Orbital parameter	Weighted Median	68% Likelihood
Semimajor axis $a$ (AU)	54.5	33.9–118.0
Eccentricity $e$	0.691	0.497–0.866
Inclination $i$ (°)	46.5	24.0–67.4
Period $P$ (yr)	291	170–658

# 考察

- 33.9AU~118.0AUという軌道半径はコア降着によるin situ formationと考えるには大きすぎる。
- 重力不安定性による形成はあり得るが、すぐに1つの恒星にまで成長してしまうかもっと遠くへ散乱されてしまうと考えられている。
- 離心率が高いことは重力散乱により外側へ移動したという説には一致する。GJ758CはGJ758Bよりも重いのでこの説に当てはまるが、散乱のパートナーにしては軌道が大きすぎる。
- 主星が形成されたときに分子雲が分裂して同時に形成した可能性もある。しかしこの場合も他の伴星との相互作用で系外に飛ばされたり降着が起こり恒星になってしまったりすると考えられる。



褐色矮星砂漠の原因

# まとめ

3ヶ月という短い期間でGJ758の周りの惑星/褐色矮星を検出することができた。



公転周期が長い伴星でも直接撮像なら観測可能！

ADIの有効性を示すことができた！

惑星、褐色矮星の形成、進化メカニズムを直接研究する上で価値のある見本となる！！



to be continued...