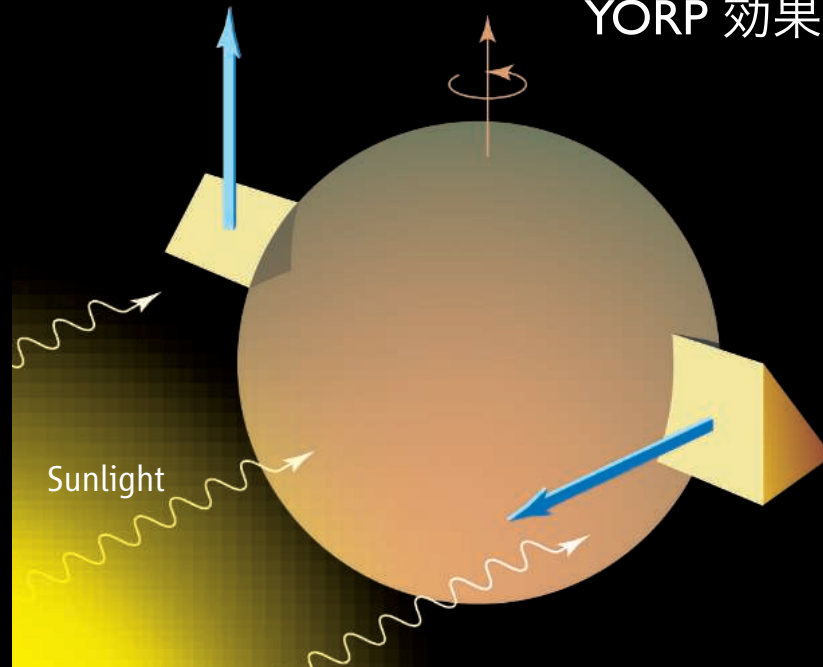


地上観測によって検出された小惑星イトカワのYORP 効果

北里 宏平^{1,2}, 安部 正真²

¹ 東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学

² 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部



YORP 効果 (Yarkovsky-O'Keefe-Raszievskii-Paddack)

太陽輻射圧と熱放射の不均衡によって
回転トルクが発生する効果

→ 自転の加速・減速機構 「風車効果」

YORP トルクの向き

→ 形状, 自転軸

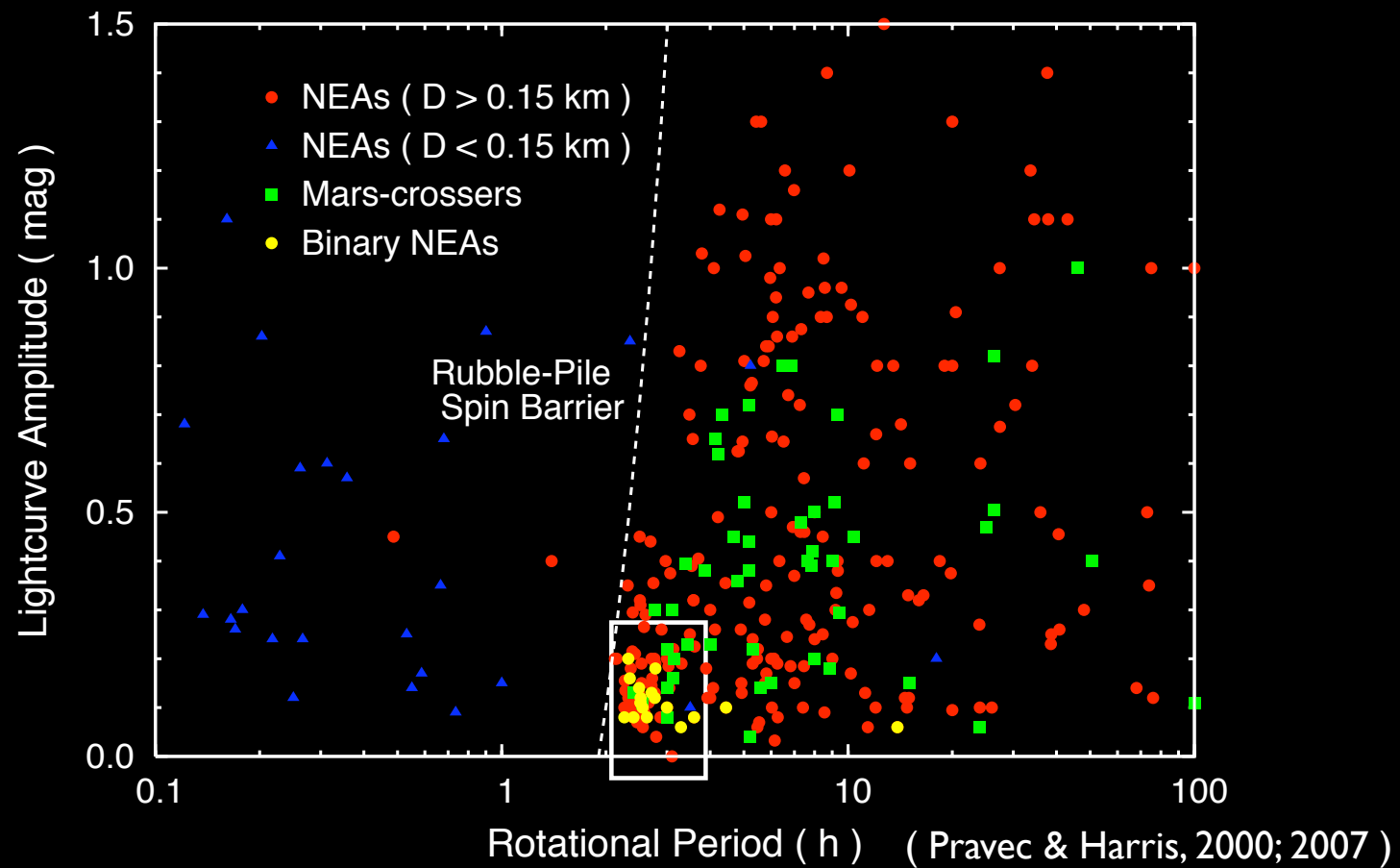
YORP トルクの大きさ

→ 日心距離, 質量, アルベド

(Rubincam & Paddack, 2007)


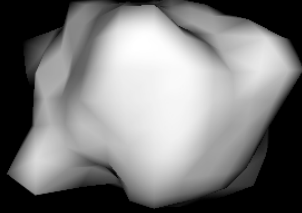
YORP 効果の重要性

- 族小惑星の角運動量分布における二次的影響
- 連星系小惑星の形成を促すスピナップ効果



YORP 効果の検出例

- 今年2月に小惑星 YORP 効果の検出成功が二例報告

小惑星	1862 Apollo	54509 2000 PH ₅
サイズ 自転周期	1.4 km 3.1 hours	0.11 km 12.2 min
形状 モデル		
観測期間	1980 - 2005	2001 - 2005
自転加速度	$7.1 \times 10^{-18} \text{ rad s}^{-2}$	$4.7 \times 10^{-16} \text{ rad s}^{-2}$
Ref.	Kaasalainen et al. (2007) Nature	Lowry et al. (2007) Science

研究目的

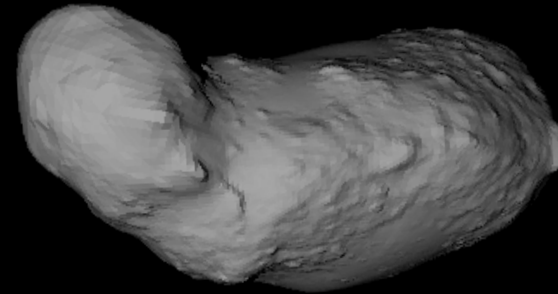
「はやぶさ」の探査天体
近地球型小惑星イトカワのYORP 効果の検出

はやぶさ探査機

実画像



形状モデル



近地球型小惑星 25143 イトカワ

サイズ : 535 m × 294 m × 209 m

自転周期 : 12.13237 hours

自転軸 : $(\beta, \lambda) = (266.02^\circ, -89.53^\circ)$

バルク密度 : $1.9 \pm 0.13 \text{ g/cm}^3$

(Fujiwara et al., 2006, Science)

研究方針

問題

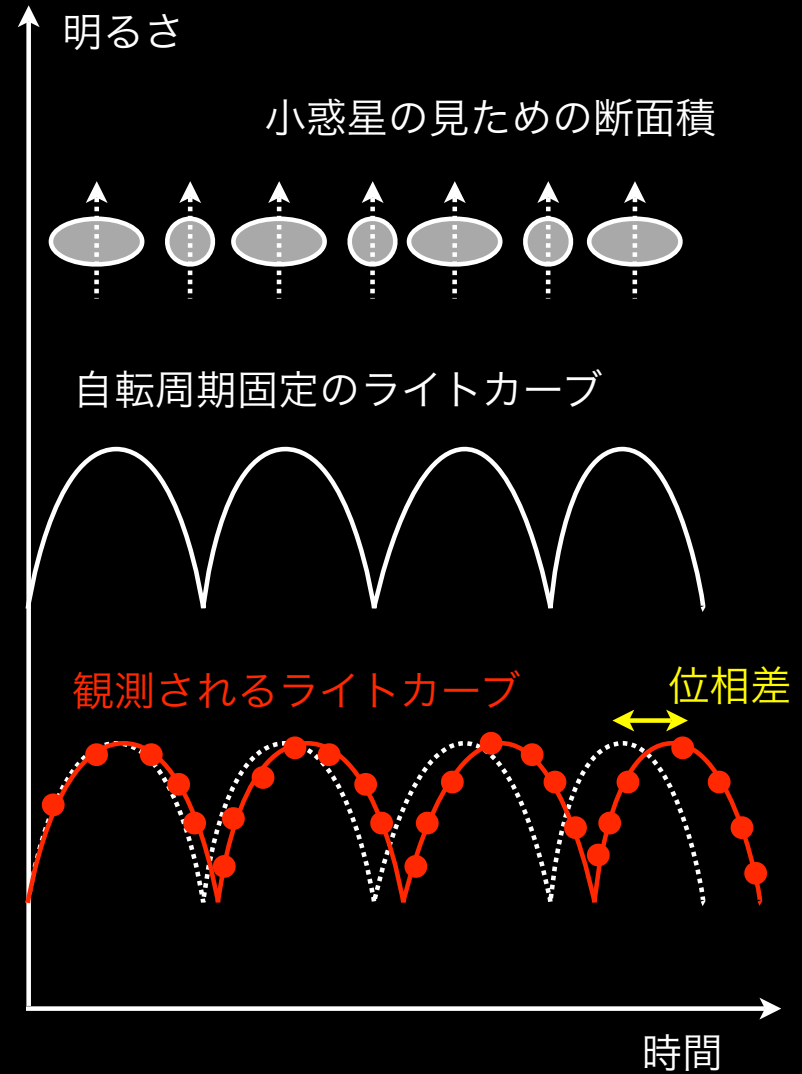
- ・イトカワの長い自転周期 (12 h)
- ・YORP 効果による自転周期の変化が微小

▶ 自転周期そのものの変化を検出することは困難

方法

- ・イトカワの形状モデルを用いた固定の自転周期から推定されるライトカーブ
- ・地上観測から得られるライトカーブ

▶ 自転周期が変化していれば自転の位相差が検出される



小惑星イトカワの地上観測

観測期間：2001-Mar-26 ~ 2006-Dec-22

(7シーズン, 27夜)

見かけの等級：14.3 ~ 20.7 (mag)

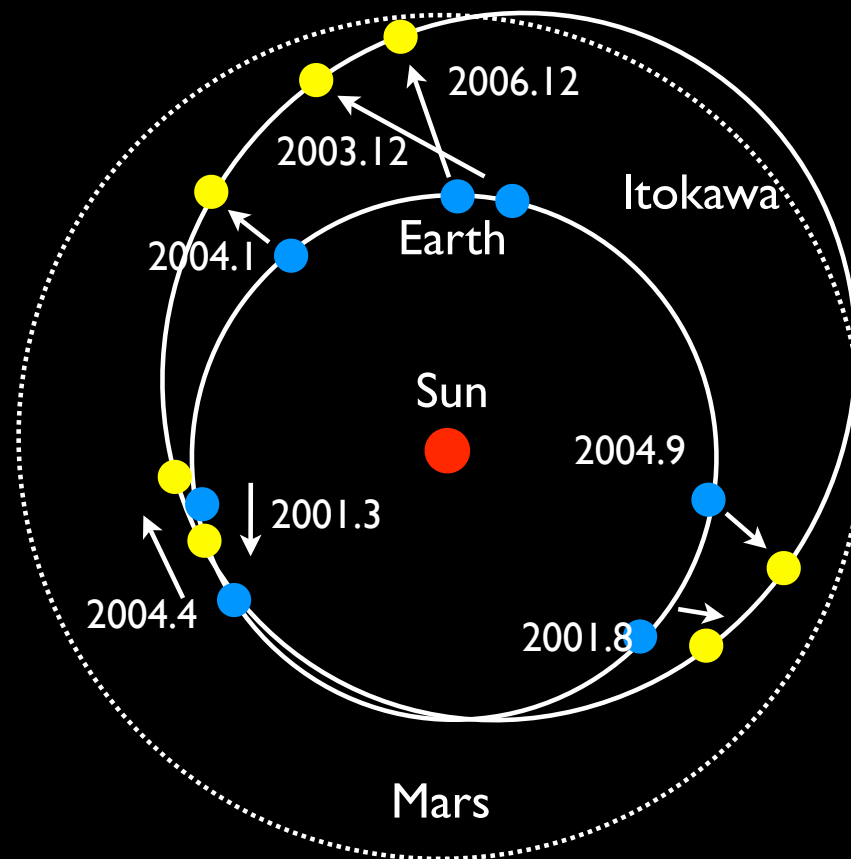
太陽位相角：7 ~ 88 (deg)

望遠鏡：東京大学木曾観測所 (1.05-m)

台湾中央大学鹿林観測所 (1.05-m)

ハワイ大学マウナケア (2.2-m)

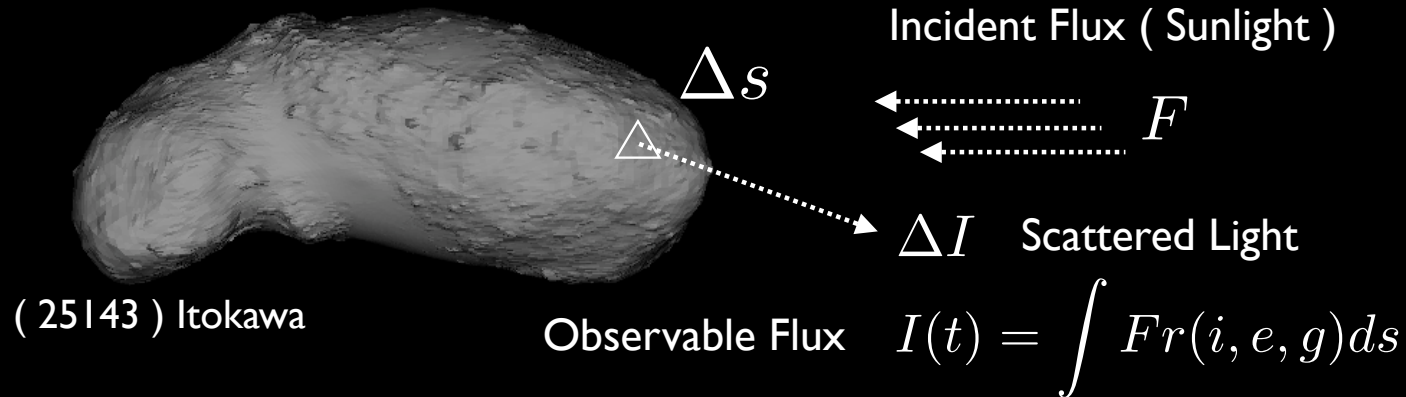
フィルター：R (中心波長：650 nm)



解析手順

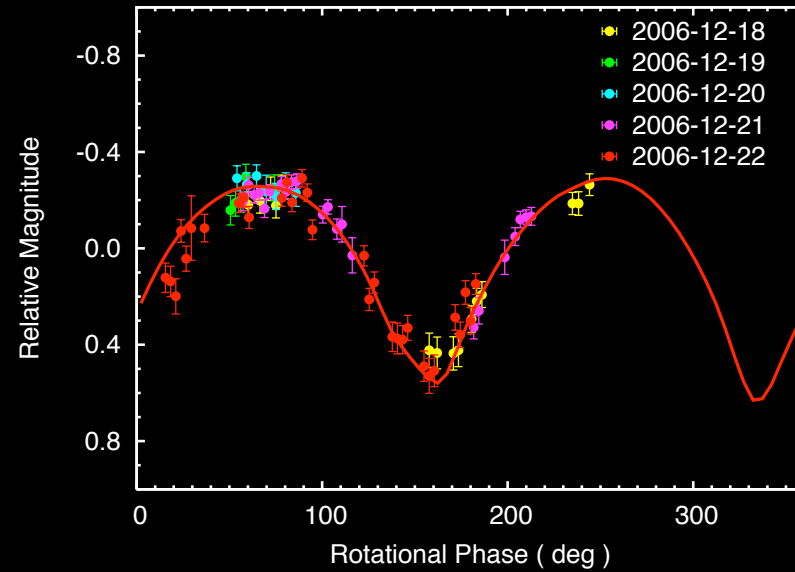
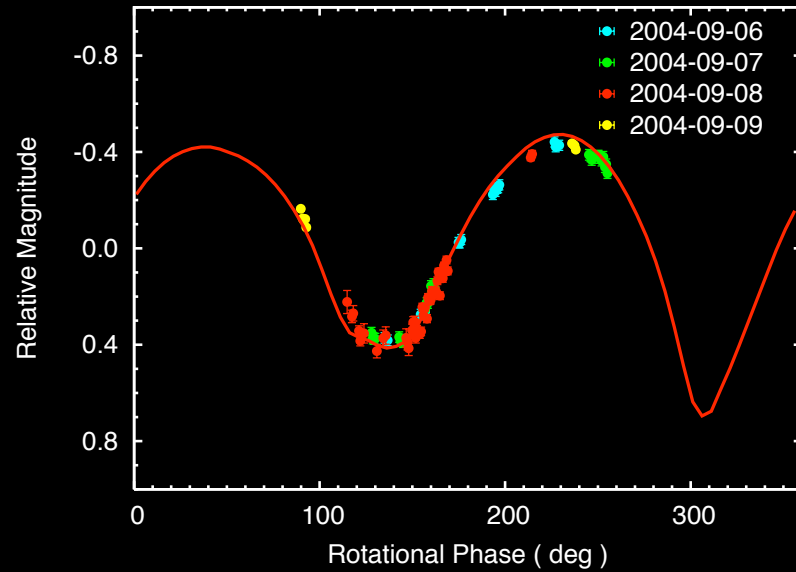
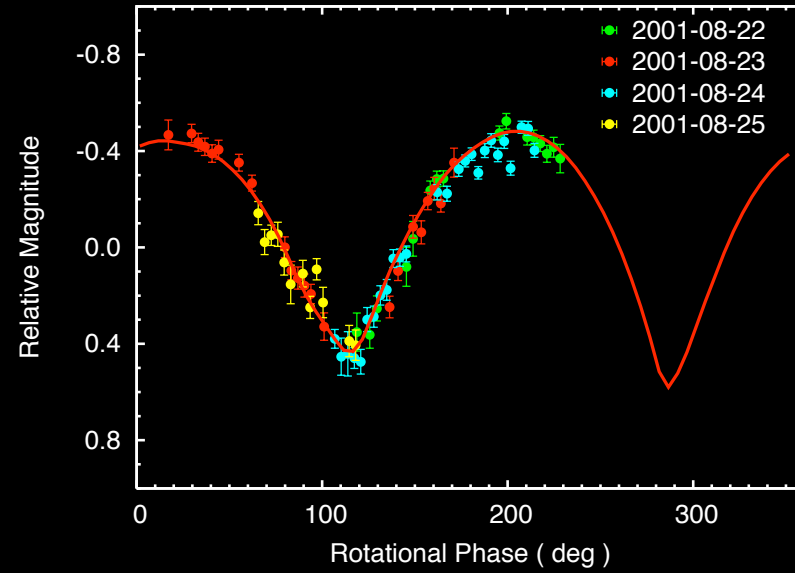
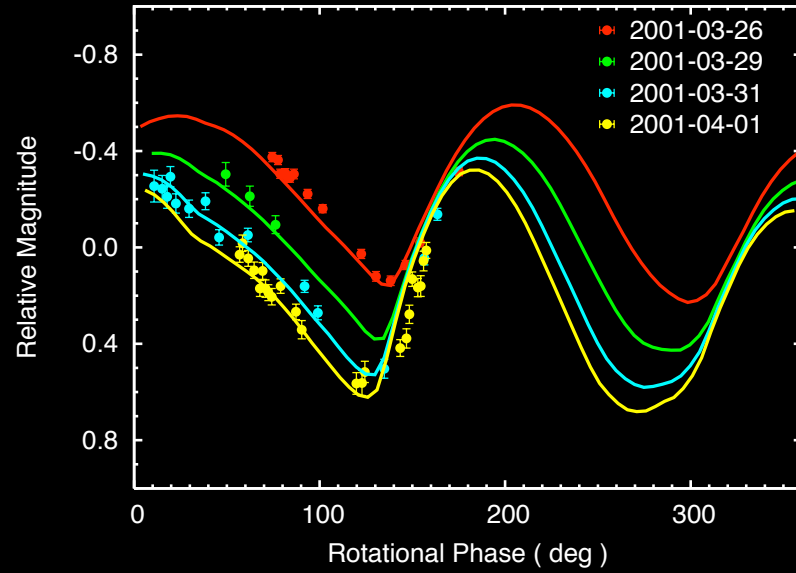
1. 画像の一次処理
(ダーク, フラット補正)
2. 星像の検出, 位置座標の決定
3. 小惑星, 比較星の測光
(IRAF / apphot)
4. 明るさ, 時間補正処理
 - 大気吸収
 - カラー変換
 - 日心, 地心距離
 - 太陽位相角
 - 光到達時間

ライトカーブの数値シミュレーション

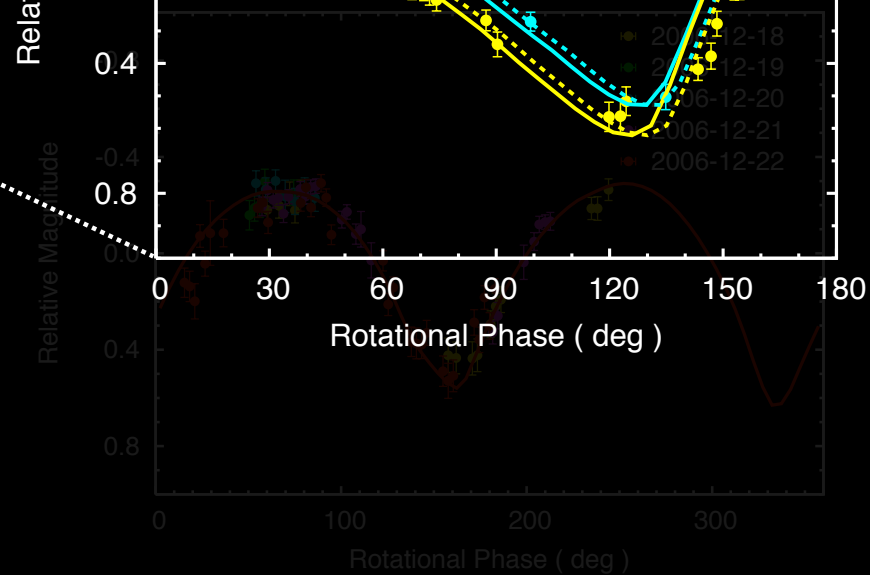
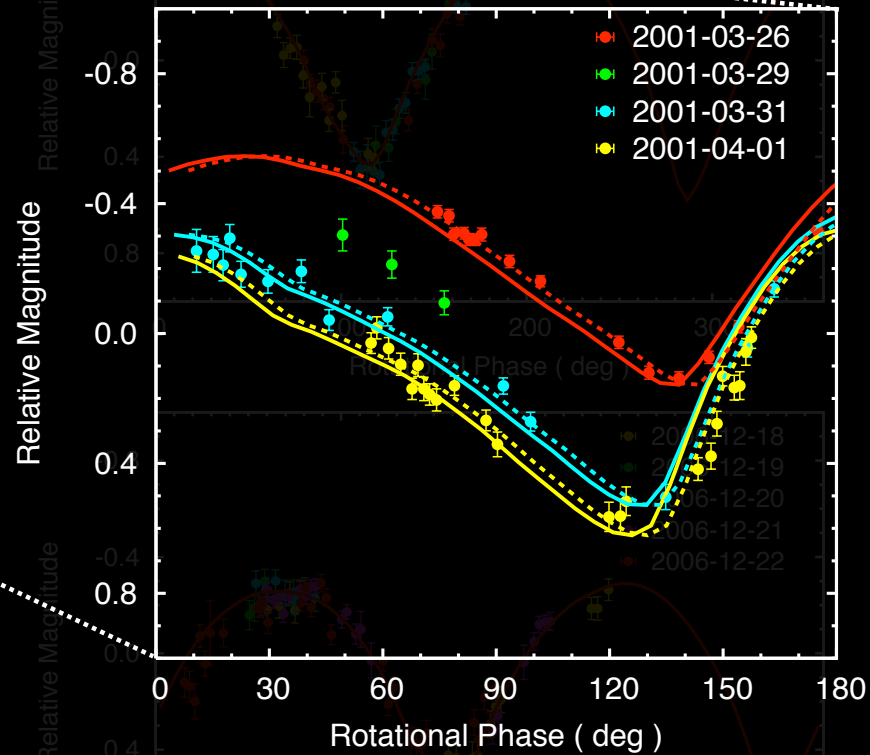
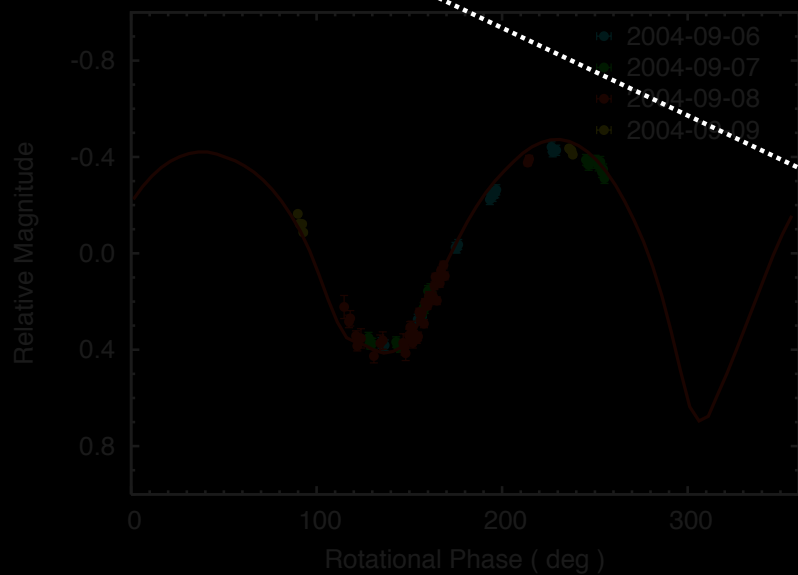
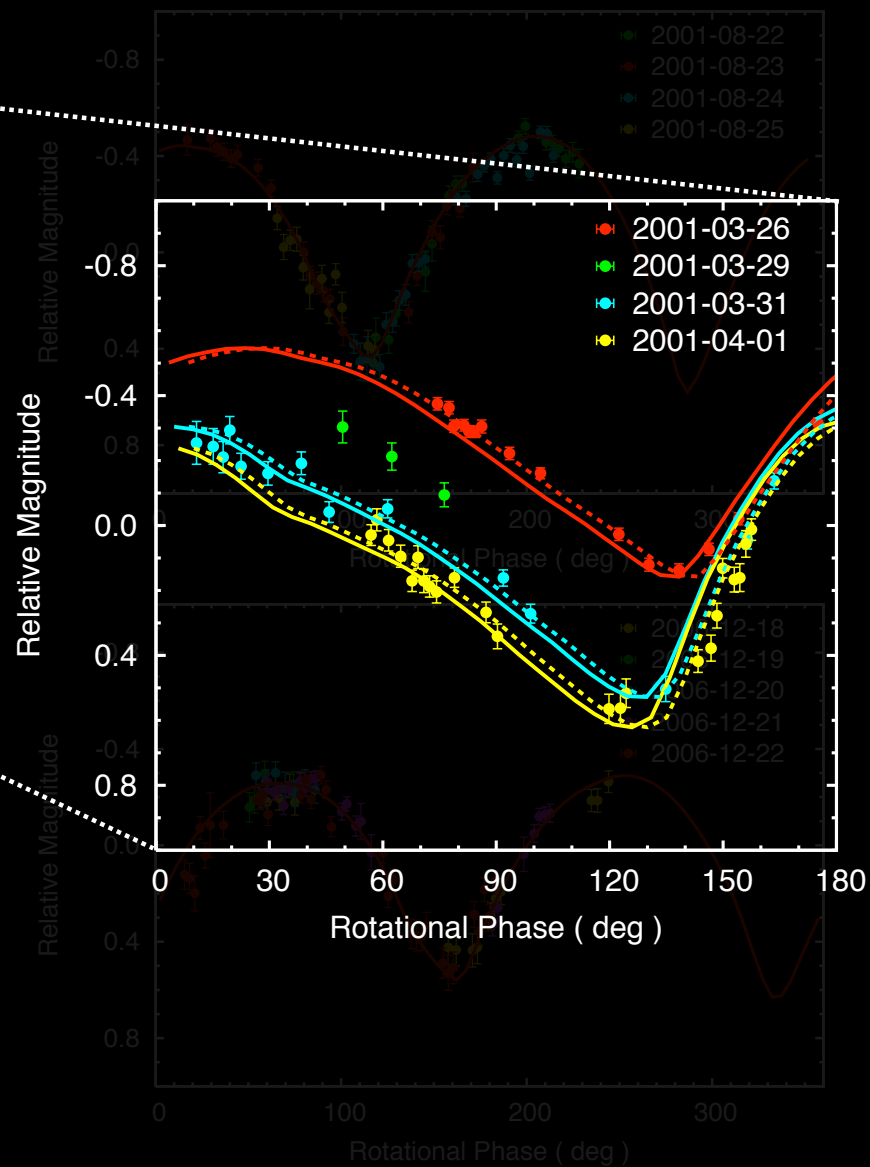
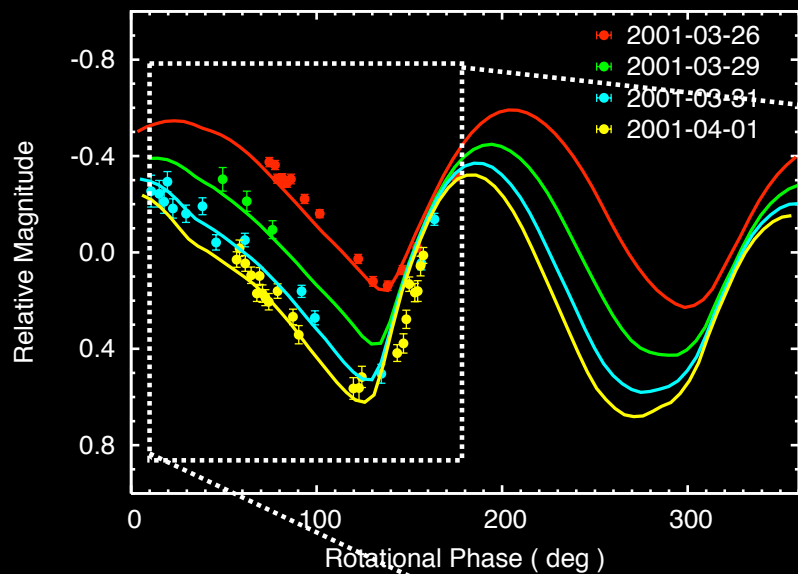


- 形状モデル : Gaskell Shape Model 49,152 facets --- Gaskell et al. (2006)
- 自転軸 : $(\beta, \lambda) = (266.02^\circ, -89.53^\circ)$ --- Gaskell et al. (2006)
- 自転原点 : 2005年9-11月で決定 (精度 : < 0.001 deg) --- Gaskell et al. (2006)
- 自転周期 : 12.13237 hours --- Kaasalainen et al. (2003)
- 光散乱特性 : Hapke's bidirectional reflectance model --- Hapke (1993, 2002)
- $\omega(0.40), g(-0.35), B_0(0.89), h(0.01), \bar{\theta}(26^\circ)$ --- Kitazato et al. (2007)
- 影の効果 : Ray-Tracing Method (二次散乱光は無視)

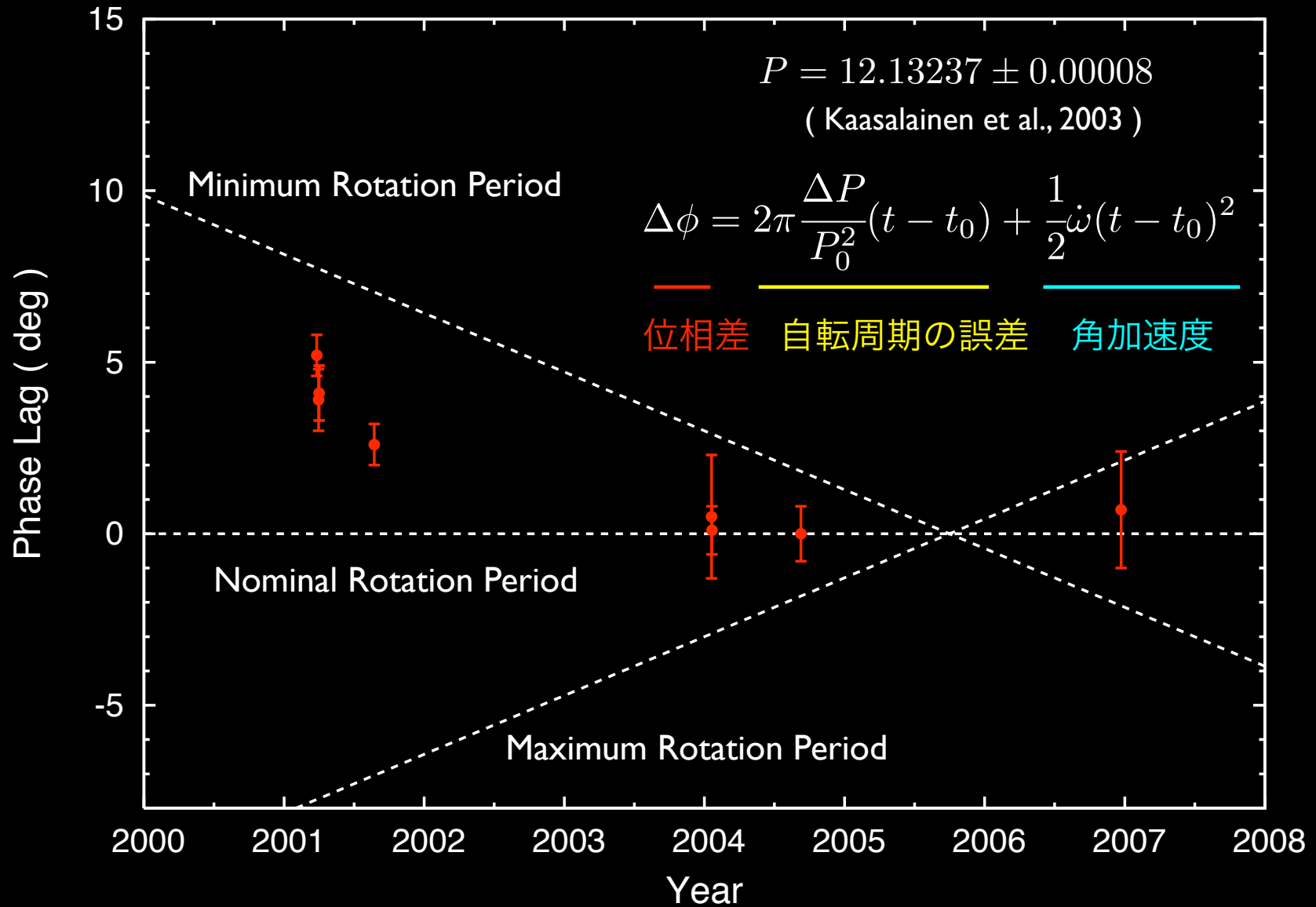
小惑星イトカワのライトカーブ



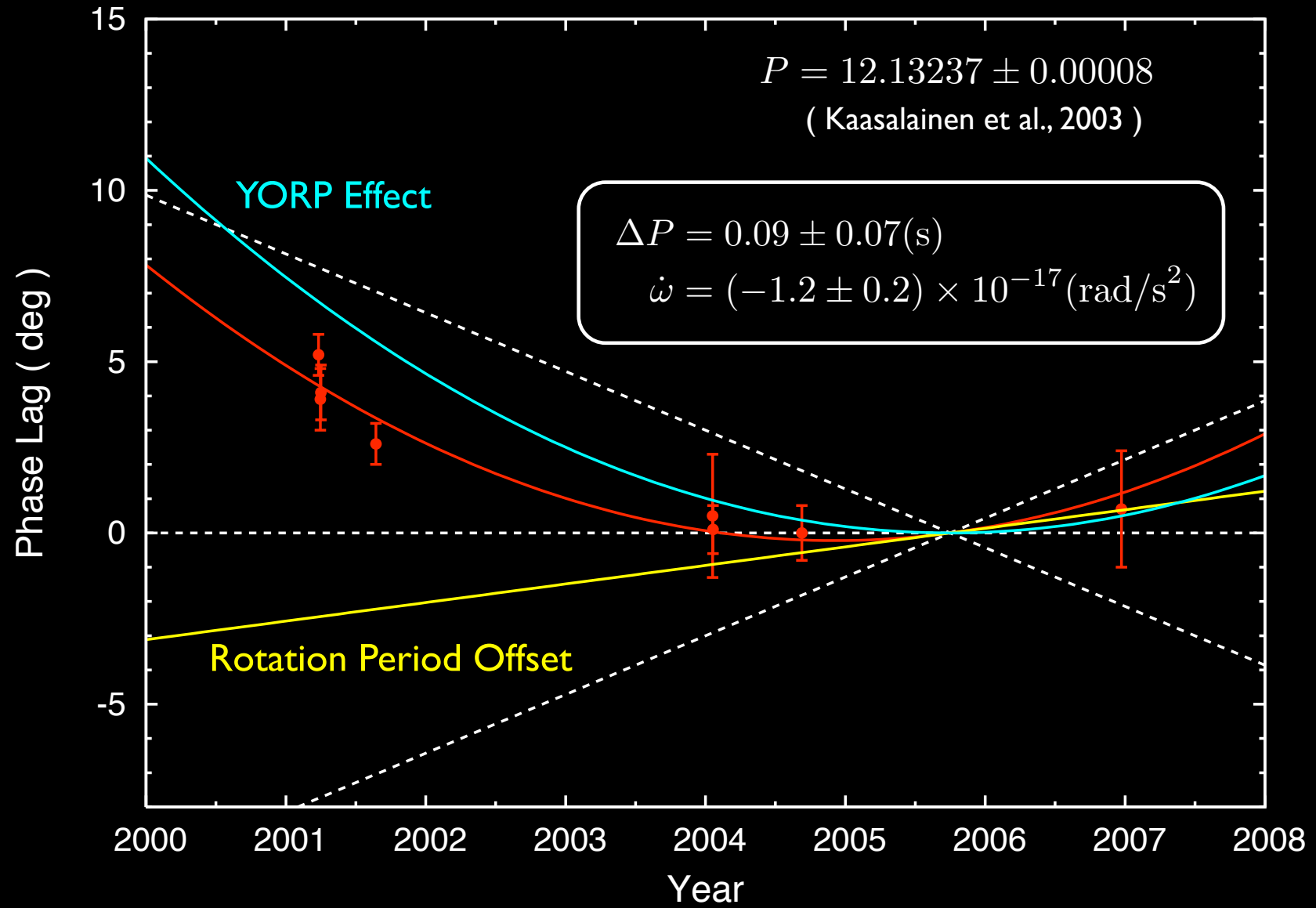
小惑星イトカワのライトカーブ



ライトカーブの位相差



ライトカーブの位相差



YORP 効果の比較

Object	Normalized Acceleration Rate (10^{-18} rad s $^{-2}$)	Ref.
Itokawa (obs)	-2.2	This work
Itokawa (model)	-8.2 ~ -4.6	Scheeres et al. (2007)
Apollo	30	Kaasalainen et al. (2007)
2000 PH ₅	6.2	Lowry et al. (2007)

過去のイトカワの自転

- ・コンタクトバイナリ的形状 (ラッコ型?)

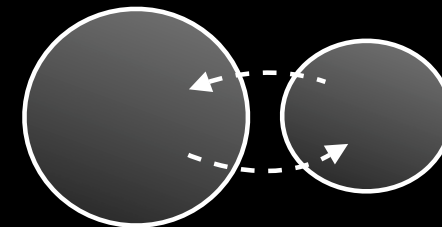
頭部 と 胴体 が分離する自転周期

$$P < 6.5(\text{hours}) \text{ (Scheeres, 2006)}$$

YORP 効果で進化するタイムスケール

$$0.4 \text{ Ma} < \text{NEA のライフタイム} (10 \text{ Myr})$$

イトカワラッコ



まとめ

- 小惑星イトカワのライトカーブ観測とモデル計算の比較から **YORP 効果による自転周期の変化を検出することに成功**
- 検出されたイトカワのYORP 効果は理論的予想とほぼ一致
(減速する傾向は同じだが、値がやや小さい)
- YORP 効果が検出された小惑星のなかでは最も小さい
- 過去にイトカワがコンタクトバイナリへと進化した時期は
約40万年前