

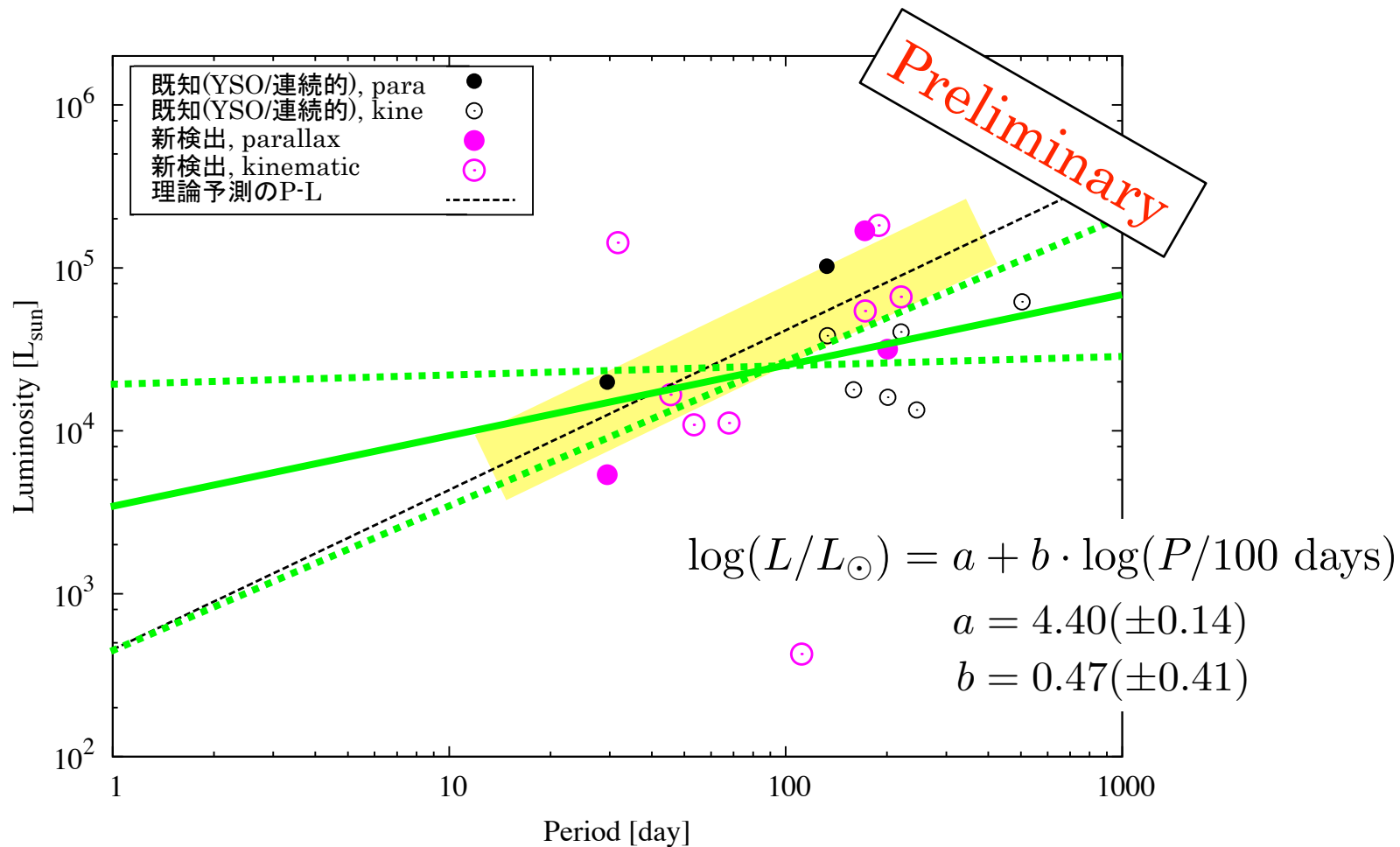
# 日立32-mを用いた大質量星形成領域に おける 周期変動天体サーベイ

杉山 孝一郎

(茨城大学 宇宙科学教育研究センター)

**共同研究者:** 米倉覚則, 齋藤悠, 永瀬桂, 安井靖堯, 佐藤宏樹, 宮本祐輔, 百瀬宗武 (茨城大学), 元木業人, 本間希樹, 内山瑞穂, 田崎文得 (国立天文台), 藤沢健太, 蜂須賀一也 (山口大学), 稲吉恒平 (コロンビア大学), 田中圭 (フロリダ大学), 細川隆史 (東京大学)

# 大質量星周囲における P-L relation の観測的初検証結果

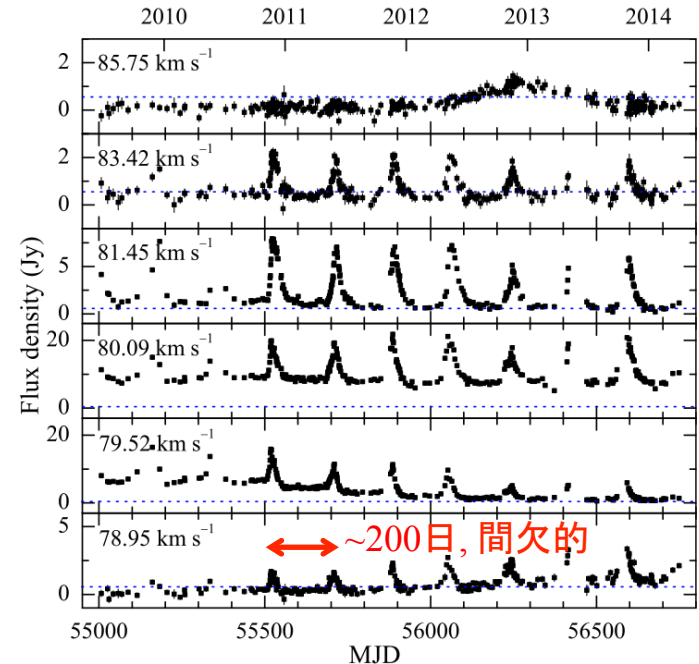


日立32-mを用いた周期変動天体サーベイ

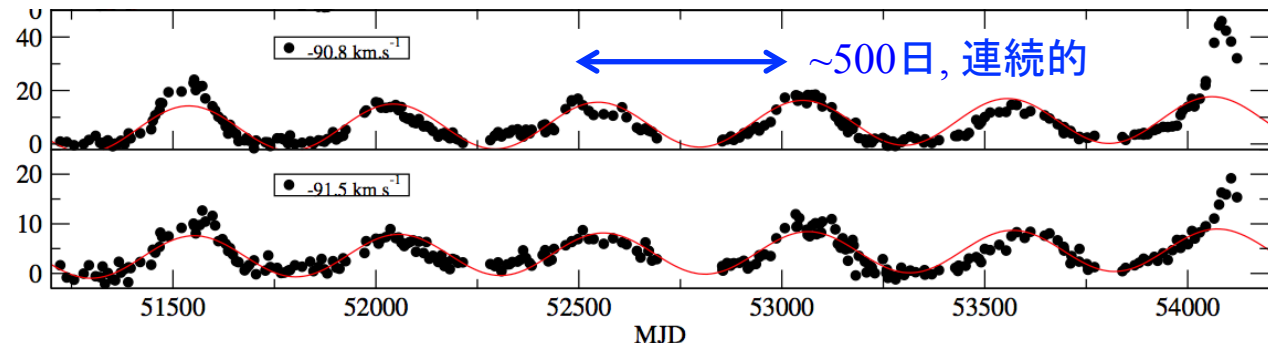
# 1. 研究背景

# 6.7 GHz メタノールメーザーに見られる 周期的な強度変動 from 2003 yr

- 大質量星周囲では初検出
  - これまでに 17天体から検出
- 周期: 30-670日
- 変動傾向: 間欠的/連続的
- 全スペクトル成分間で同期している天体が多い
  - 励起源(近傍)の変動?



周期変動を示すメタノールメーザー天体:  
 (上) G 022.357+0.06  
 (Szymczak+ 15),  
 (下) G 331.13-00.24  
 (Goedhart+ 07)



天体名	周期 [day]	変動傾向	出現時期	備考
G 012.88+00.48	29.5	連続的	YSO	
IRS22198+6336	34.6	間欠的	中質量星？	
G 075.76+00.34	120	間欠的	YSO？	一部の成分
G 338.93-00.06	133	連続的	YSO？	
G 073.06+01.80	159	連続的	YSO？	
G 022.35+00.06	179	間欠的	YSO	
G 045.47+00.13	196	間欠的	YSO	一部の成分
G 339.62-00.12	201	連続的	YSO	
G 328.23-00.54	220	間欠的	YSO	
G 358.46-00.39	220	連続的	YSO	
G 037.55+00.20	237	間欠的	YSO	一部の成分
G 009.62+00.19	244	間欠的	HC HII	
G 025.41+00.10	245	連続的	YSO	
G 012.68-00.18	307	連続的	UC HII？	“準”周期的
G 188.94+00.88	404	連続的	HC HII	一部周期終了？
G 331.13-00.24	504	連続的	YSO	
G 196.45-01.67	668	連続的	YSO	2周期のみ観測

Ref.: Goedhart+ (04); Goedhart+ (09); Araya+ (10); Fujisawa+ (14); Maswanganye+ (14); Szymczak+ (15).

天体名	周期 [day]	変動傾向	出現時期	備考
G 012.88+00.48	29.5	連続的	YSO	
<b>IRS22198+6336</b>	※ 茨城大M1 宮本氏ポスター 参照			
G 075.76+00.34	120	間欠的	YSO ?	一部の成分
G 338.93-00.06	133	連続的	YSO ?	
G 073.06+01.80	159	連続的	YSO ?	
G 022.35+00.06	179	間欠的	YSO	
G 045.47+00.13	196	間欠的	YSO	一部の成分
G 339.62-00.12	201	連続的	YSO	
G 328.23-00.54	220	間欠的	YSO	
G 358.46-00.39	220	連続的	YSO	
G 037.55+00.20	237	間欠的	YSO	一部の成分
<b>G 009.62+00.19</b>	※ 茨城大M1 佐藤氏口頭 (12/24 pm) 参照			
G 025.41+00.10	245	連続的	YSO	
G 012.68-00.18	307	連続的	UC HII ?	“準”周期的
G 188.94+00.88	404	連続的	HC HII	一部周期終了?
G 331.13-00.24	504	連続的	YSO	
G 196.45-01.67	668	連続的	YSO	2周期のみ観測

Ref.: Goedhart+ (04); Goedhart+ (09); Araya+ (10); Fujisawa+ (14); Maswanganye+ (14); Szymczak+ (15).

天体名	周期 [day]	変動傾向	出現時期	備考
G 012.88+00.48	29.5	連続的	YSO	
IRS22198+6336	34.6	間欠的	中質量星？	
G 075.76+00.34	120	間欠的	YSO？	一部の成分
G 338.93-00.06	133	連続的	YSO？	
G 073.06+01.80	159	連続的	YSO？	
		間欠的	YSO	
		間欠的	YSO	一部の成分
		連続的	YSO	
		間欠的	YSO	
		連続的	YSO	
		間欠的	YSO	一部の成分
G 009.62+00.19	244	間欠的	HC HII	
G 025.41+00.10	245	連続的	YSO	
G 012.68-00.18	307	連続的	UC HII？	“準”周期的
G 188.94+00.88	404	連続的	HC HII	一部周期終了？
G 331.13-00.24	504	連続的	YSO	
G 196.45-01.67	668	連続的	YSO	2周期のみ観測

## 変動傾向

連続的: 10 天体  
 間欠的: 7 天体

天体名	周期 [day]	変動傾向	出現時期	備考
G 012.88+00.48	29.5	連続的	YSO	
IRS22198+6336	34.6	間欠的	中質量星?	
G 075.76+00.34	120	間欠的	YSO?	一部の成分
G 338.93-00.06	133	連続的	YSO?	
G 073.06+01.80	159	連続的	YSO?	
		間欠的	YSO	
		間欠的	YSO	一部の成分
		連続的	YSO	
		間欠的	YSO	
		連続的	YSO	
		間欠的	YSO	一部の成分
G 009.62+00.19	244	間欠的	HC HII	
G 025.41+00.10	245	連続的	YSO	
G 012.68-00.18	307	連続的	UC HII?	“準”周期的
G 188.94+00.88	404	連続的	HC HII	一部周期終了?
G 331.13-00.24	504	連続的	YSO	
G 196.45-01.67	668	連続的	YSO	2周期のみ観測

## 出現時期

YSO : 13 天体  
HII領域: 3 天体



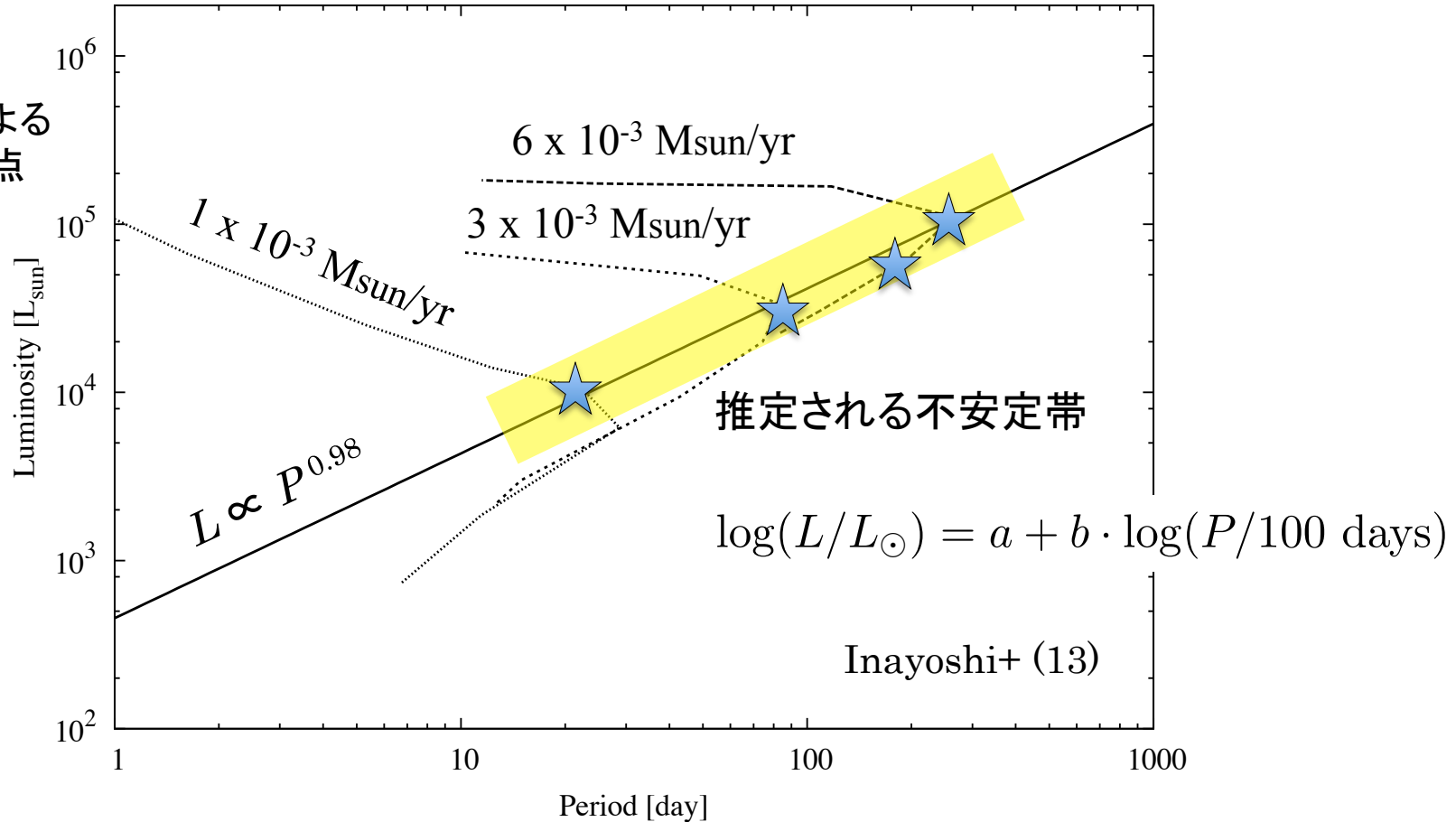
# 周期変動の変動機構: 様々なシナリオ (e.g., Goedhart+ 08)

- Colliding wind binary (van der Walt 11)
  - 近接点における恒星風同士の衝突, 種光子(free-free)の強度変動
  - ☞ “HII領域”の3天体以外は励起困難 ...
- Stellar pulsational instability (Inayoshi+ 13)
  - 主系列直前の不安定期, 脈動変動による周囲のダスト温度変動
  - ☞ “YSO” かつ “連続的” な天体を説明可能
- Circumbinary accretion disk (Araya+ 10; Parfenov & Sobolev 14)
  - Rotating spiral shock により、円盤上のダスト温度を変動
  - ☞ “YSO” かつ “間欠的” な天体を説明可能
- Precessing jets
- Density enhancements in a rotating accretion disk
  - 中心星放射, ダスト放射の遮蔽

# 脈動不安定から予言される P-L relation

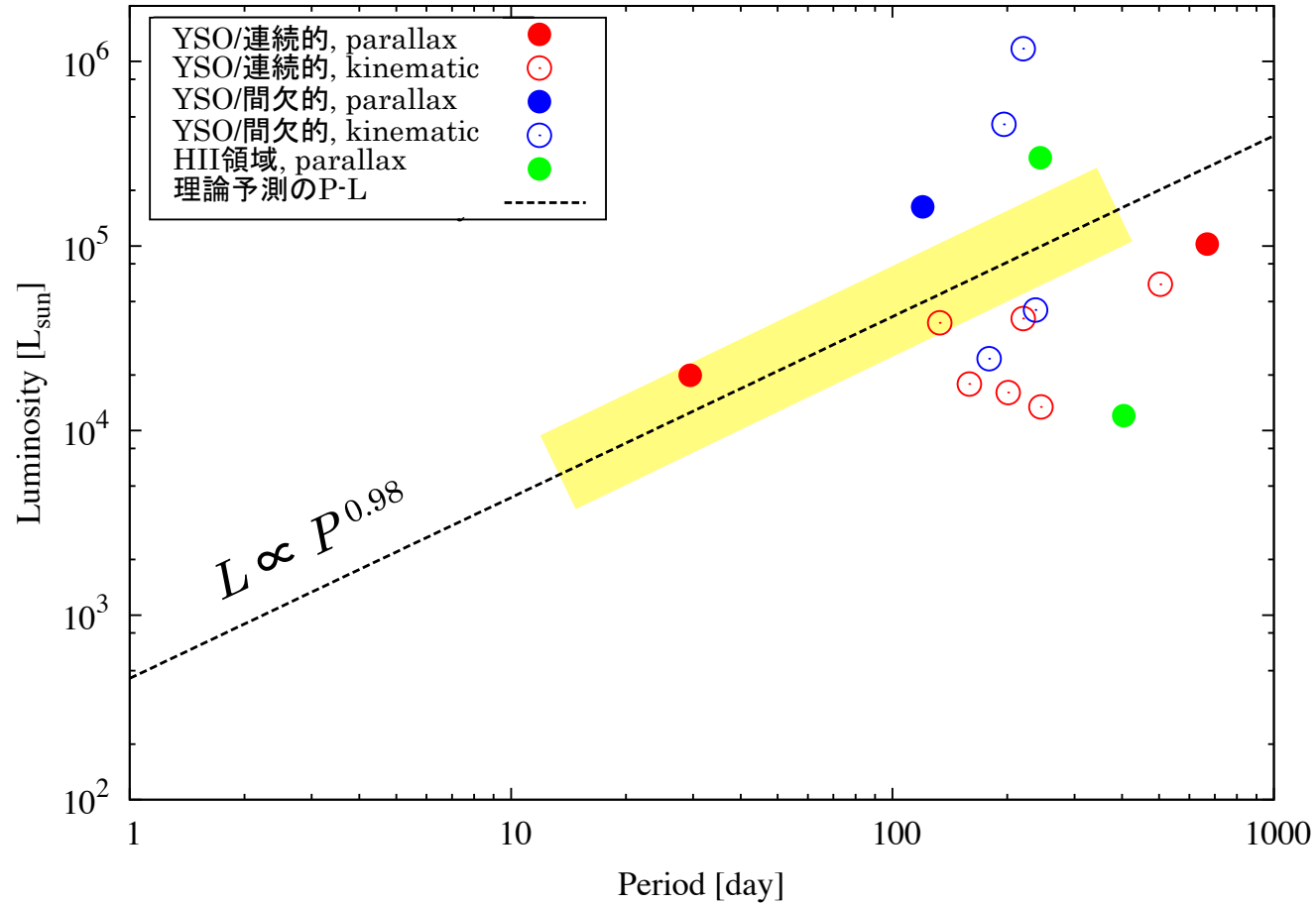


理論計算による  
脈動不安定点

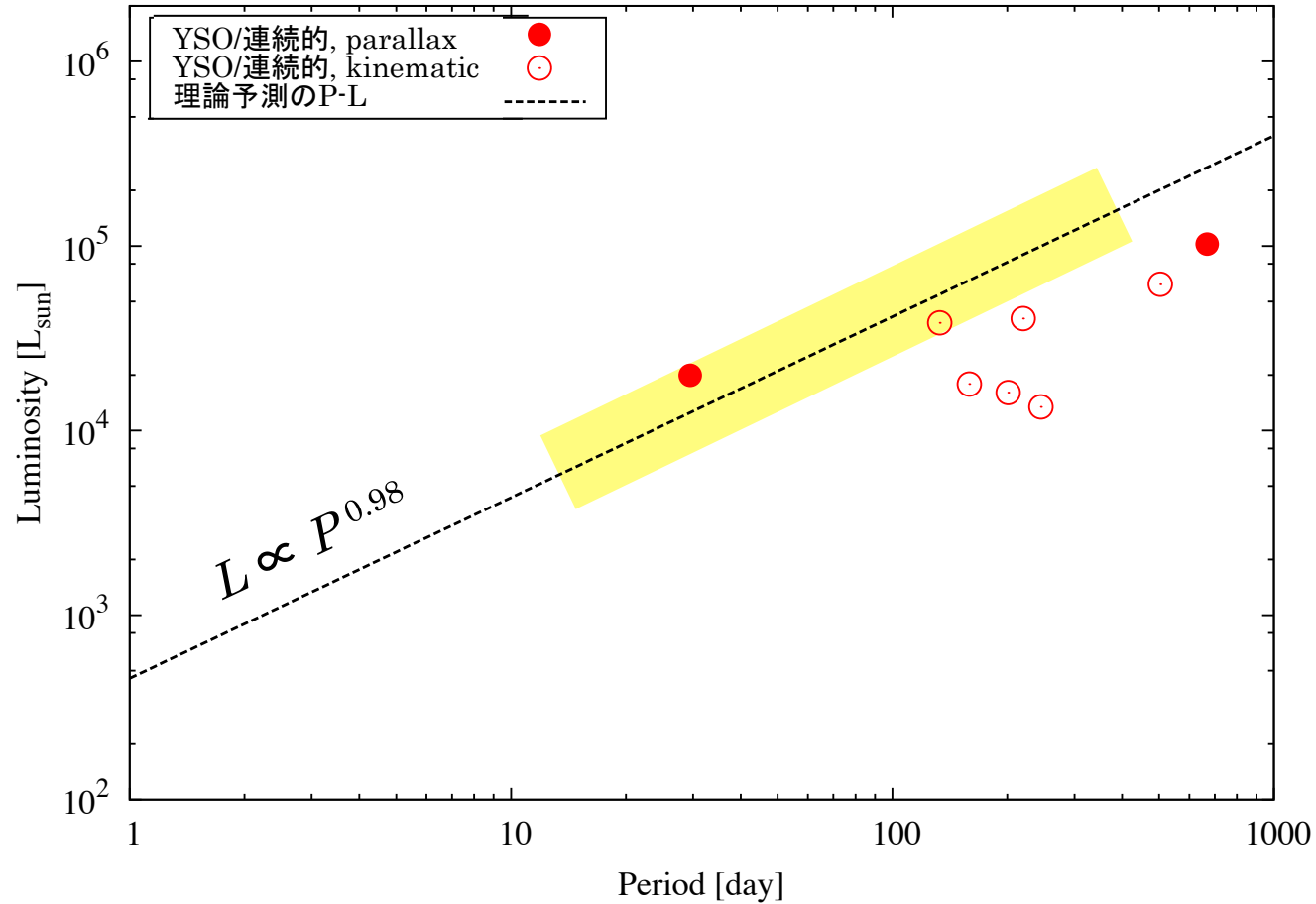


大質量原始星の脈動不安定理論から予想される P-L relation  
(図は Inayoshi+ 13 から抜粋・改変)

# P-L relation: 既知の周期天体から検証



# P-L relation: 既知の周期天体から検証



# P-L relation: 観測的検証における課題

## 1. サンプル不足

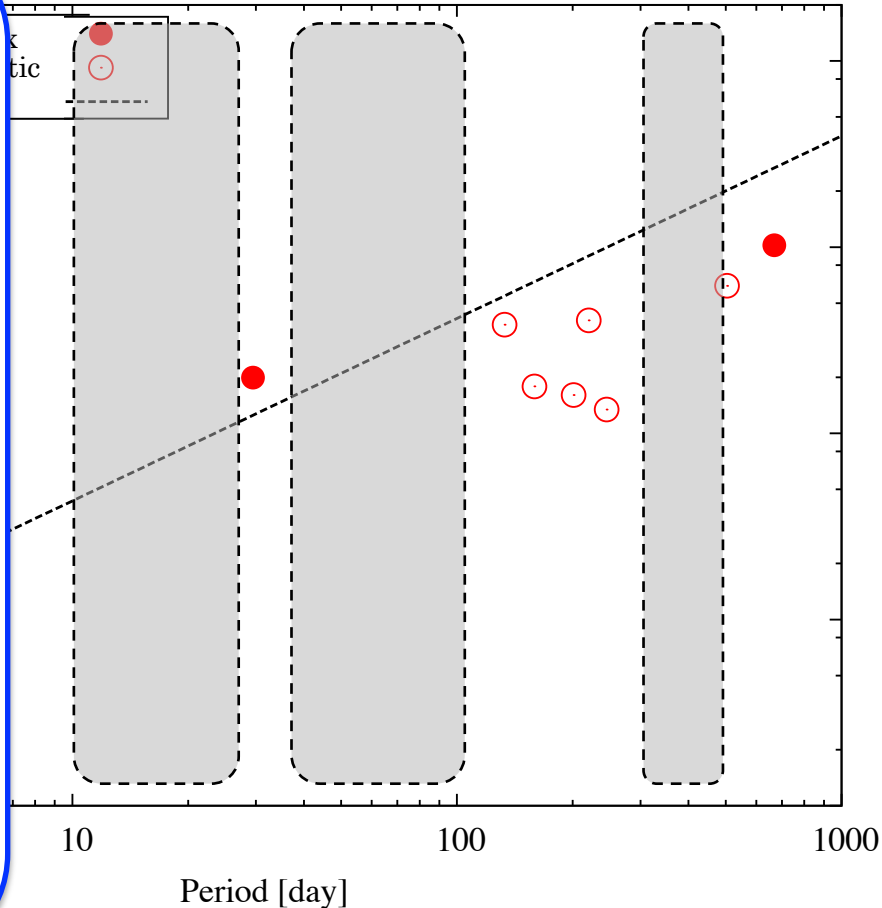
- 母数 > 1000天体 (Breen+ 15)の内、  
~170天体のみ
- < 30日, 50-100日,  
> 300日 が不足

## 2. 距離の不定性

- (連続/YSO傾向の天体に限っても)  
6/8 天体が  
kinematic dist.

## 3. 赤外線の変動との比較

- ご本尊, 及び反射光  
やダスト温度の変動との  
相関性は?



日立32-mを用いた周期変動天体サーベイ

## 2. 大規模モニターサーベイ


# 単一鏡モニタープロジェクト：観測概要

## □ メーザー観測候補天体

- 母体：~900天体（当時）
  - 既存のメタノールカタログをコンパイル
- 選出条件：
  1. 赤緯  $\geq -30$  deg
  2. 使用する望遠鏡のビーム内に複数天体が混入する場合、サイドローブとして除去

## □ モニター概要

- 望遠鏡：日立32-m (~4.6 arcmin)  
(※ **米倉氏ポスター** 参照)
- 期間：
  - 1期：2012/12/30 ~ 2014/01/10
  - 2期：2014/05/07 ~ 2015/08/24
- 検出感度：~1.5 Jy ( $5\sigma$ )
- 運用頻度：毎日
- 観測頻度：  
9-10日に1度／各天体

 **441 天体**

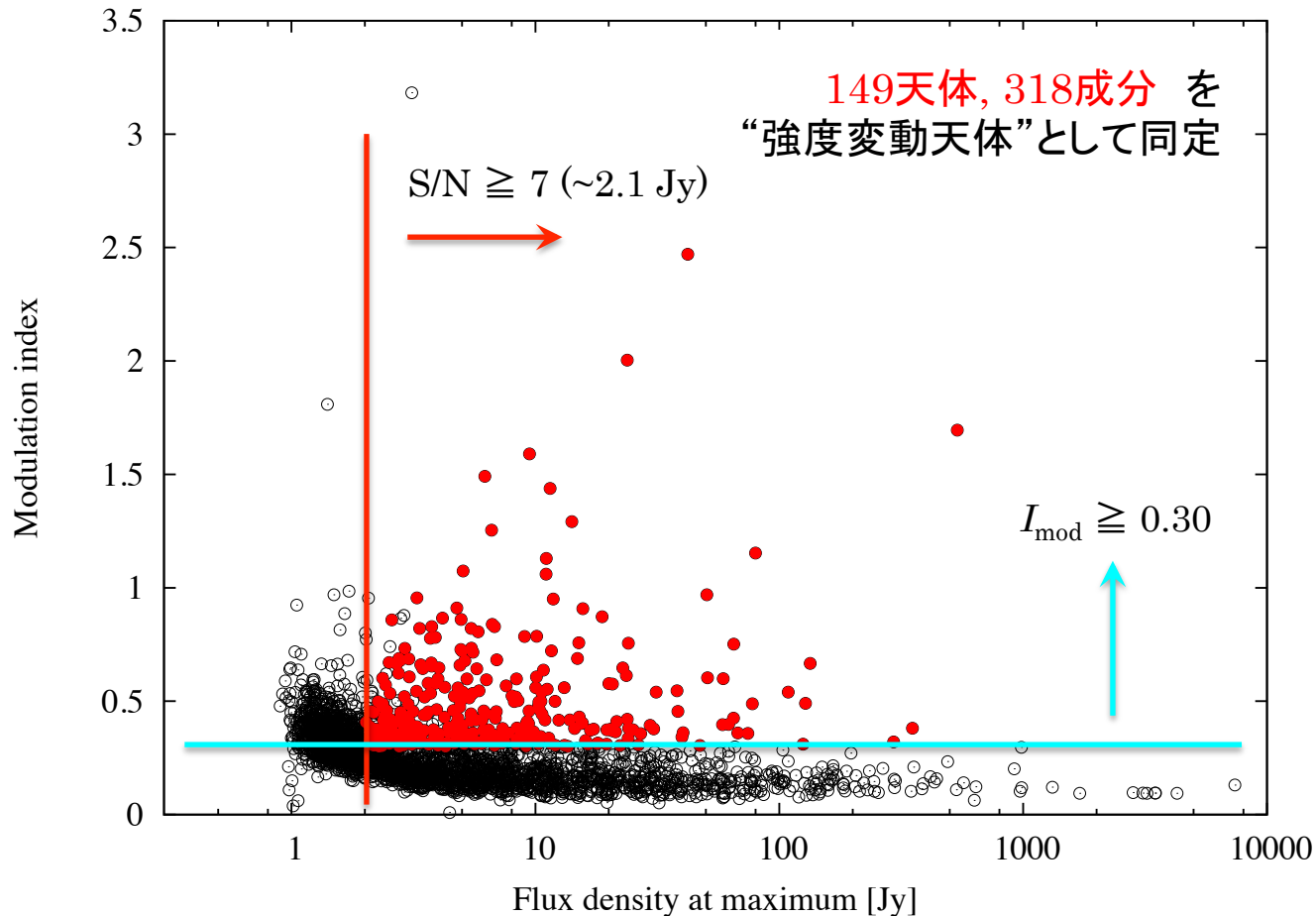
 **30日以上**の短・中周期変動の  
**検出に相当**

日立32-mを用いた周期変動天体サーベイ

## 3. 観測結果 & 周期解析



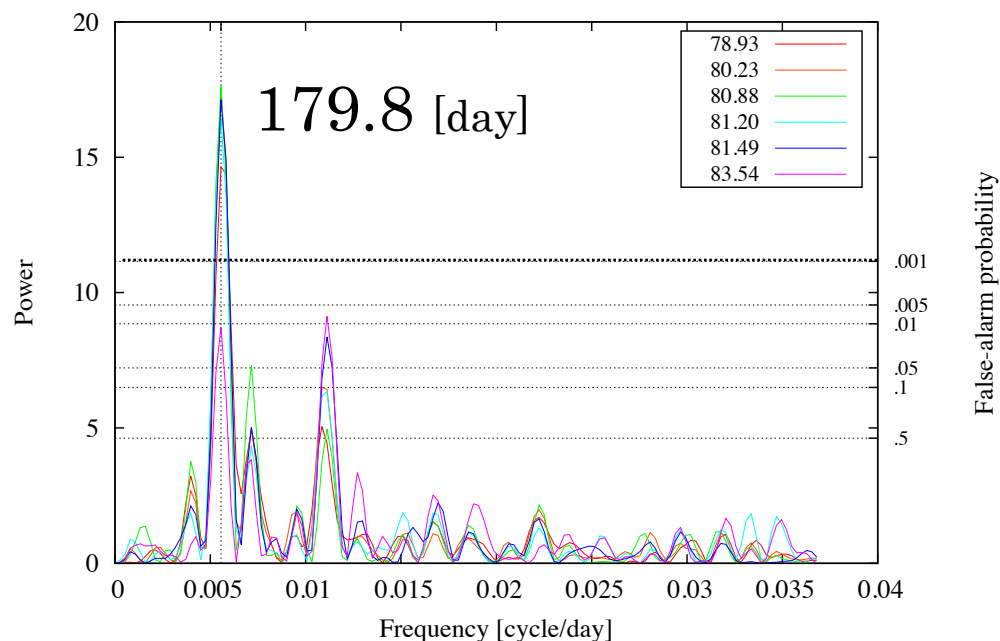
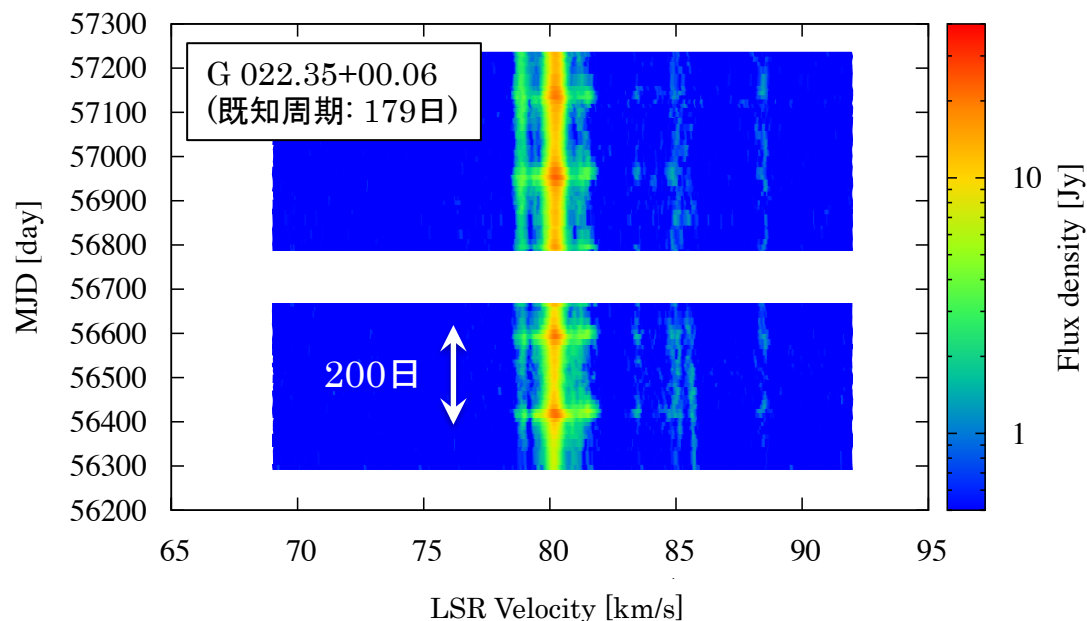
# 強度変動成分の同定基準: モジュレーションインデックス $I_{\text{mod}}$ (= 標準偏差 ÷ 平均値)



全441天体, 3282成分に対する変動指数モジュレーションインデックス  $I_{\text{mod}}$  分布: 横軸 - 期間中最大のフラックス密度, 縦軸 -  $I_{\text{mod}}$

# 本モニターにおける 周期解析

- Lomb-Scargle法を適用  
(Lomb+ 76; Scargle+ 82)
  - 不等間隔な離散データに対する周期解析法
  - 茨城大M2 安井氏 チューニングのプログラムを使用  
(※ 安井氏ポスター 参照)
- 周期変動天体の選出条件
  - $FaP > 0.001$
  - モニター期間(~970日)において、3周期以上捉えられる周期を示している
  - ☞ 300日以下の周期
- 既知 11天体で周期を再現
  - 内, 1天体で新たな周期を発見



# 新検出の周期天体 (例: G 034.39+00.24)

□新検出: 14 天体

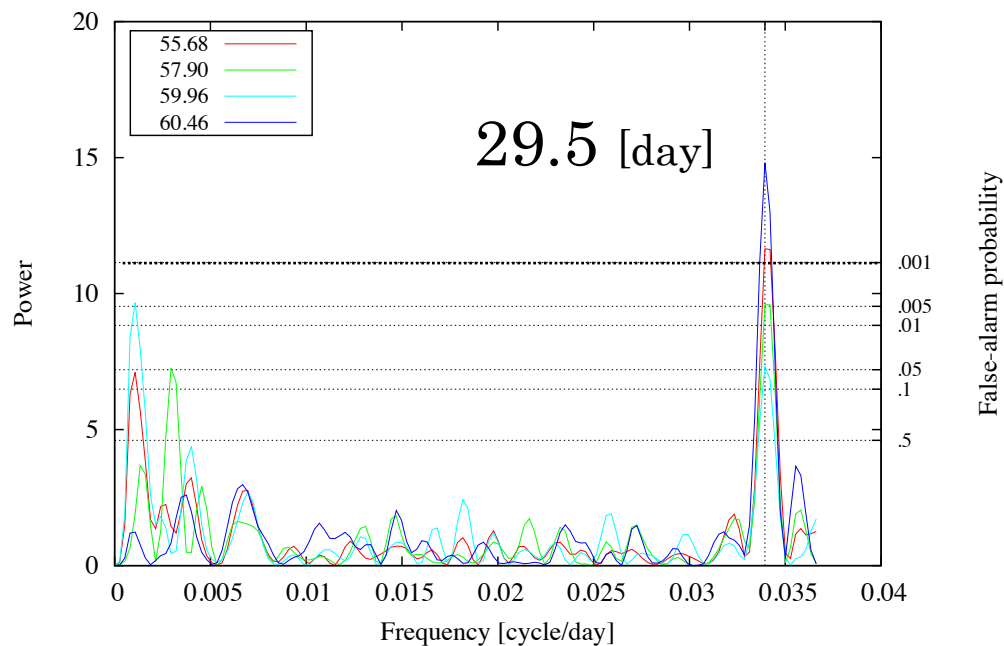
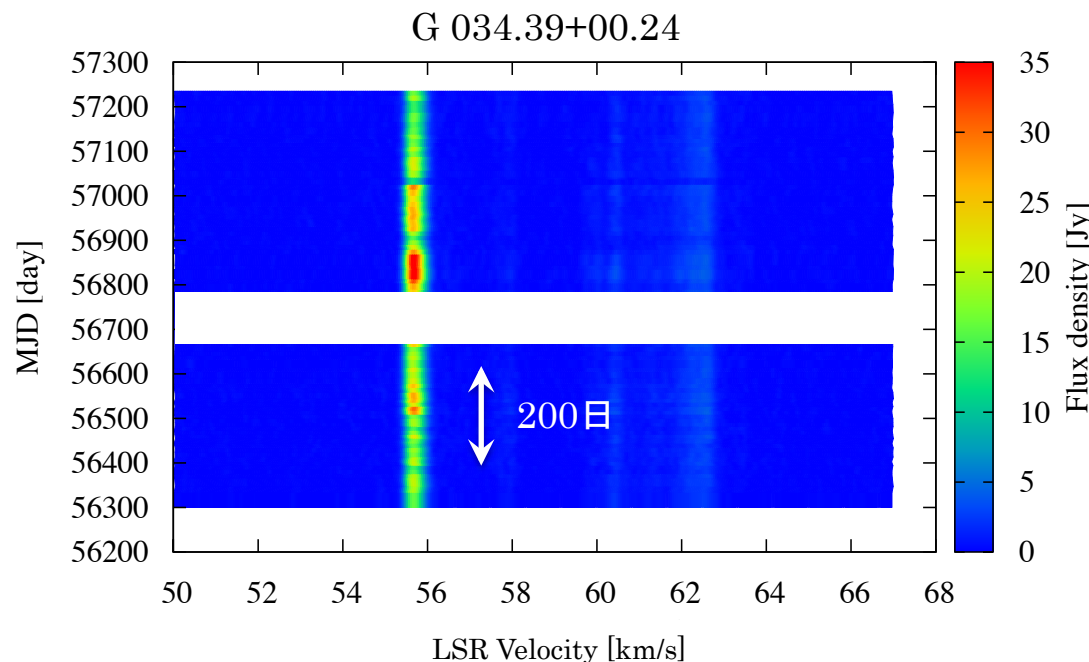
□周期 for 新検出:

- 23.7 – 220.1 日

- < 30日: 2 天体

- 30-100日: 4 天体

- > 100日: 8 天体



# 新検出の周期天体 (例: G 036.70+00.09)

□新検出: 14 天体

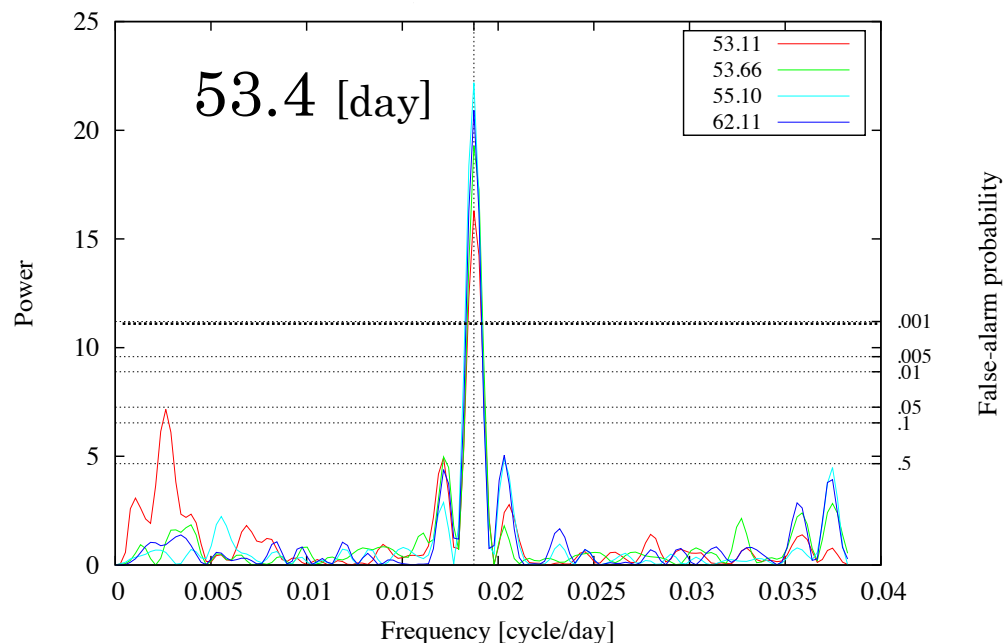
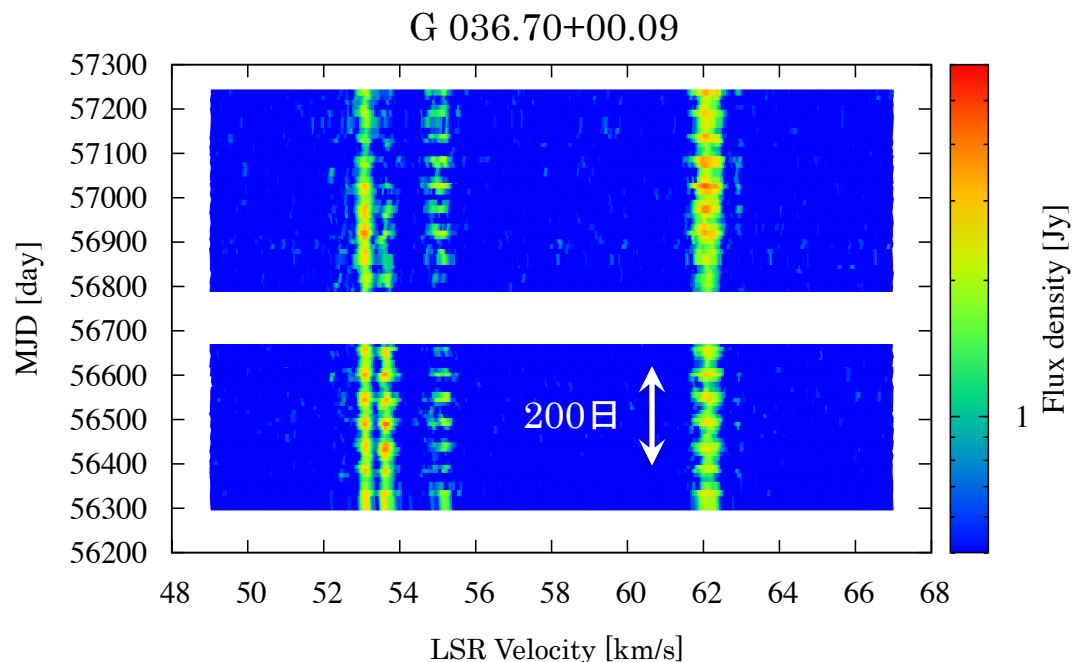
□周期 for 新検出:

- 23.7 – 220.1 日

- < 30日: 2 天体

- 30-100日: 4 天体

- > 100日: 8 天体



# 新検出の周期天体 (例: G 024.14+00.00)

□新検出: 14 天体

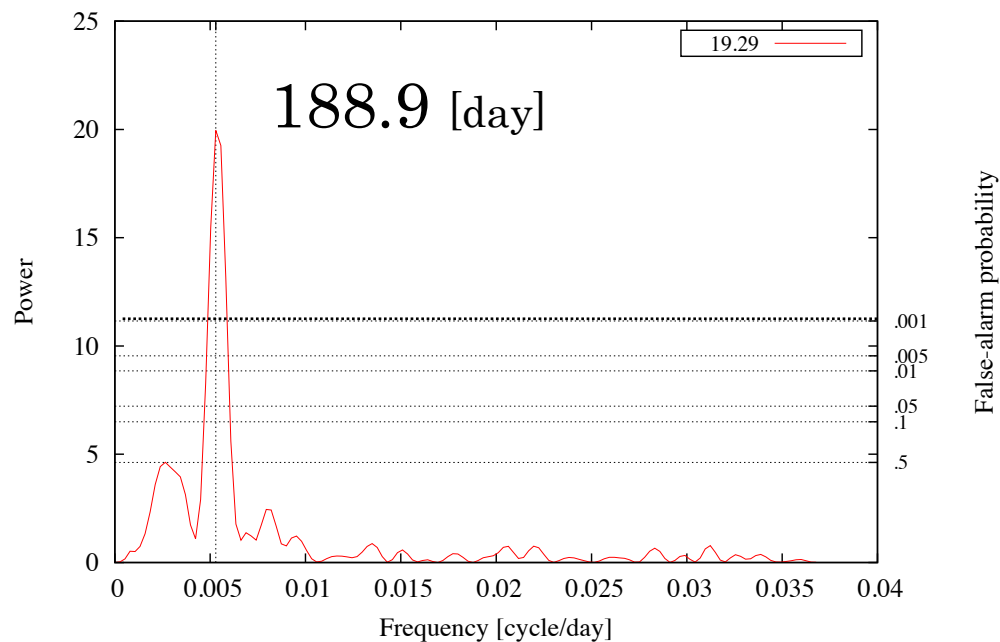
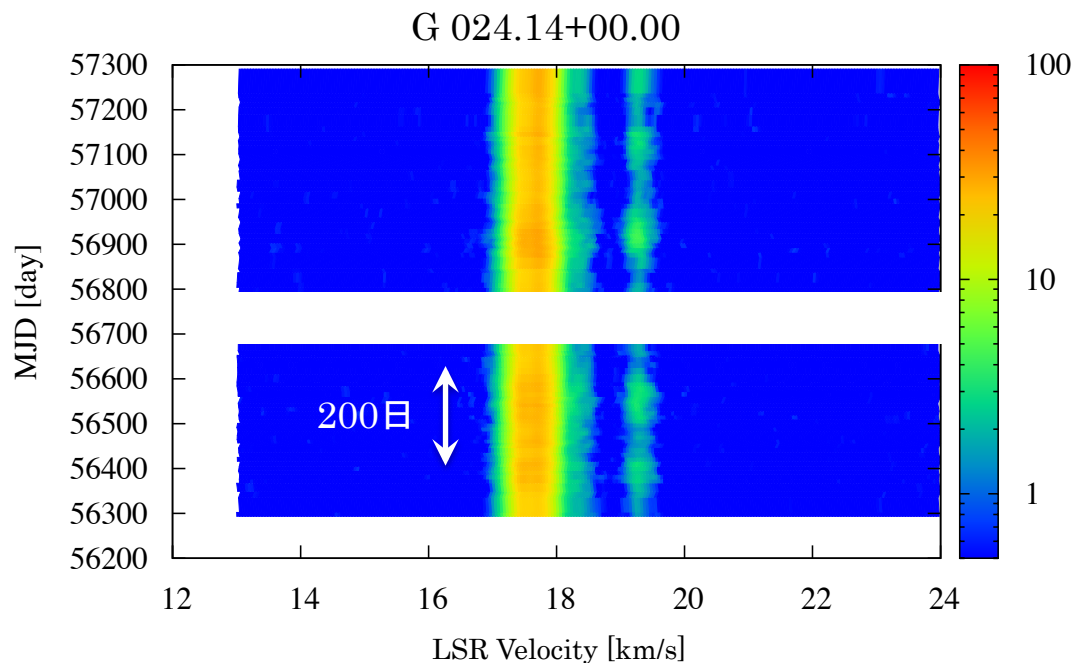
□周期 for 新検出:

- 23.7 – 220.1 日

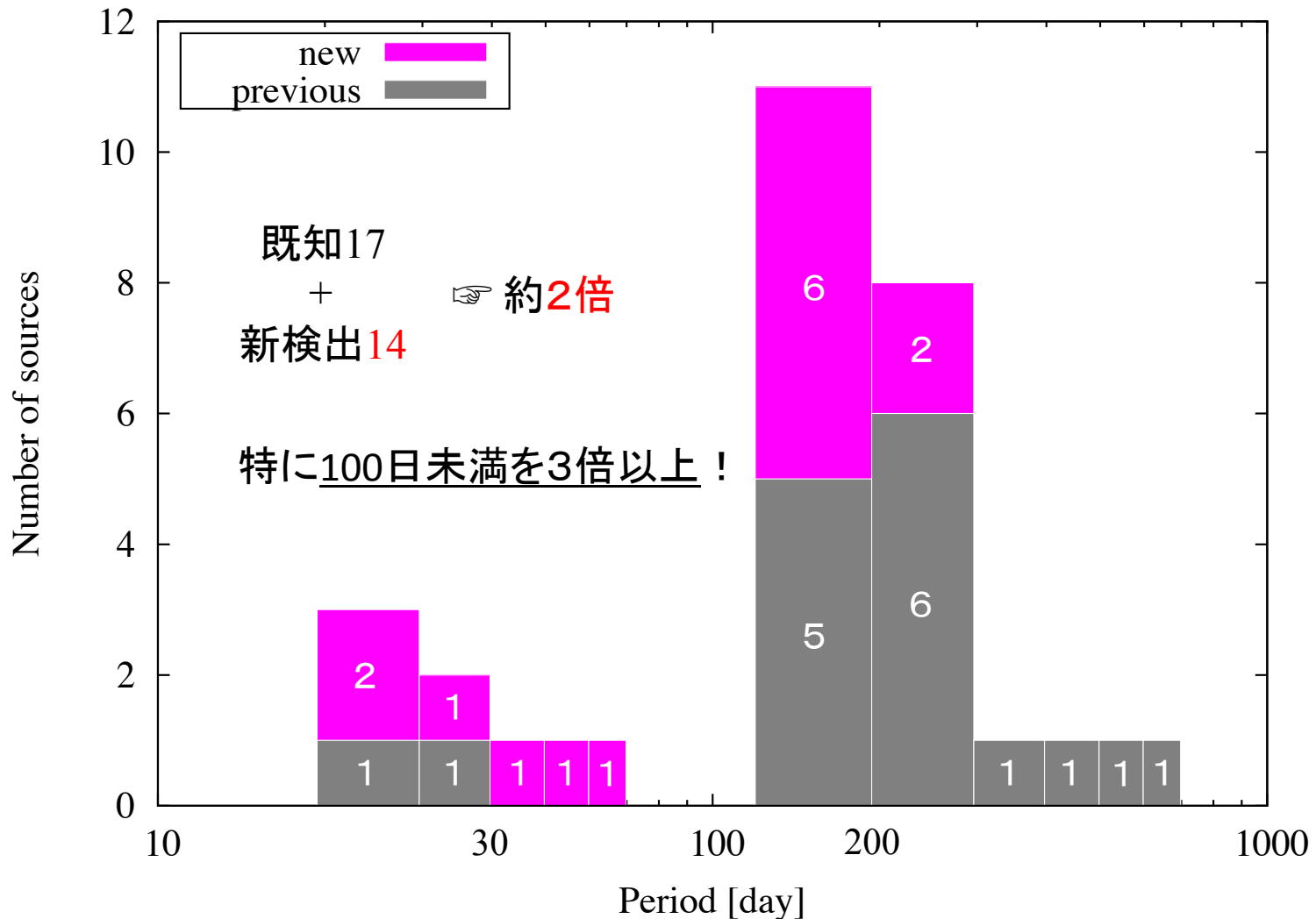
- < 30日: 2 天体

- 30-100日: 4 天体

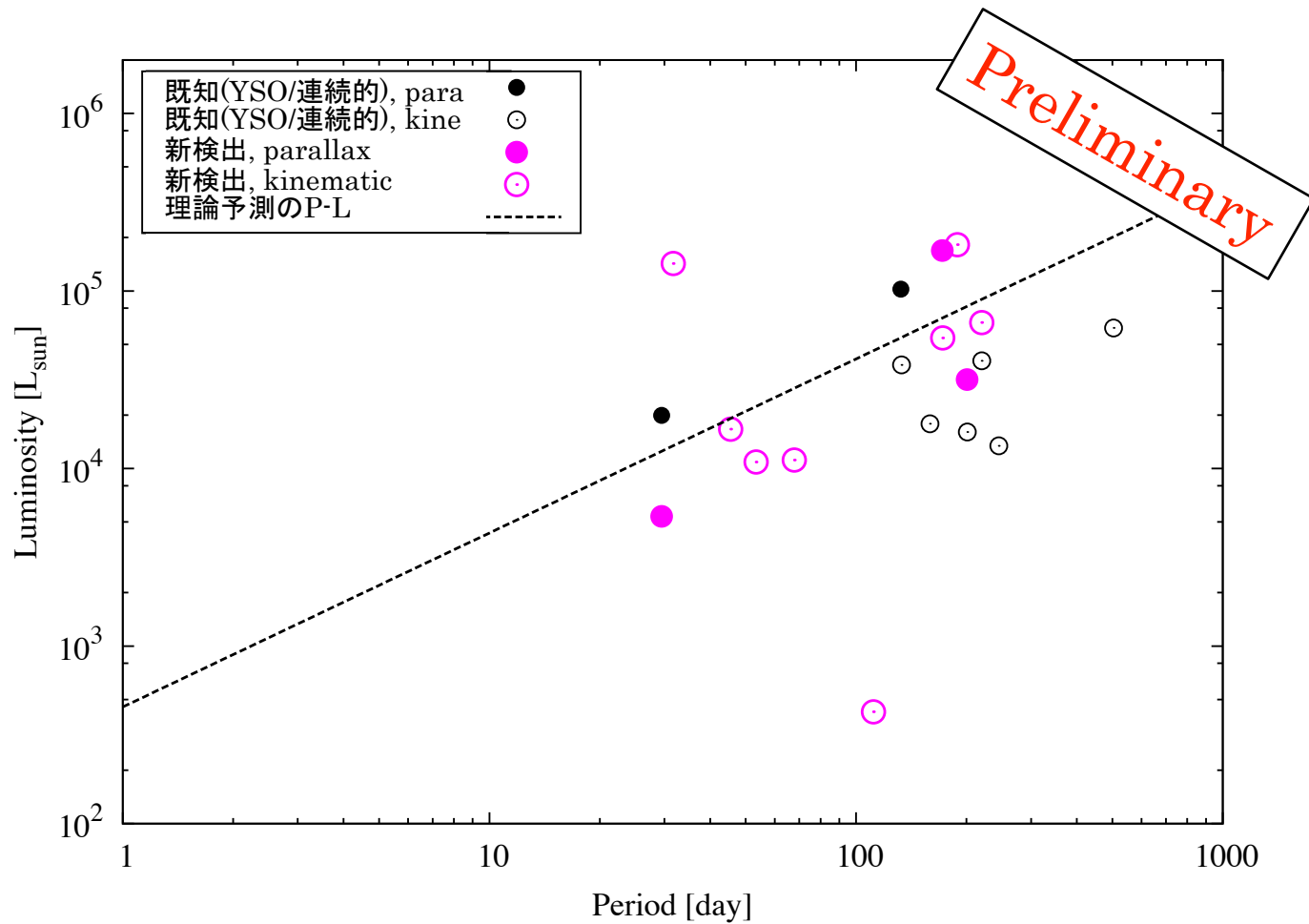
- > 100日: 8 天体



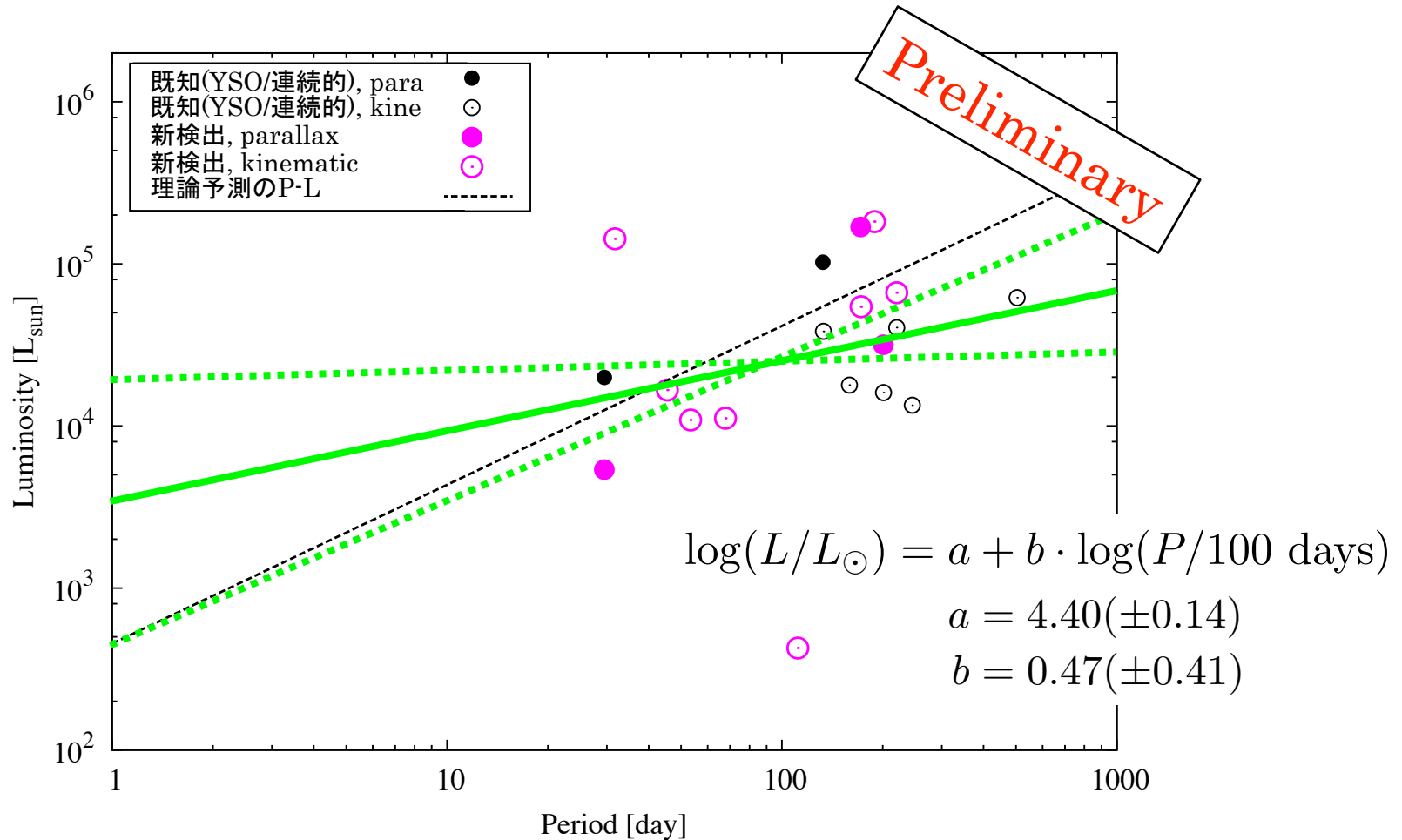
# 周期ヒストグラム: 既知/新 天体



# P-L relation の改訂版

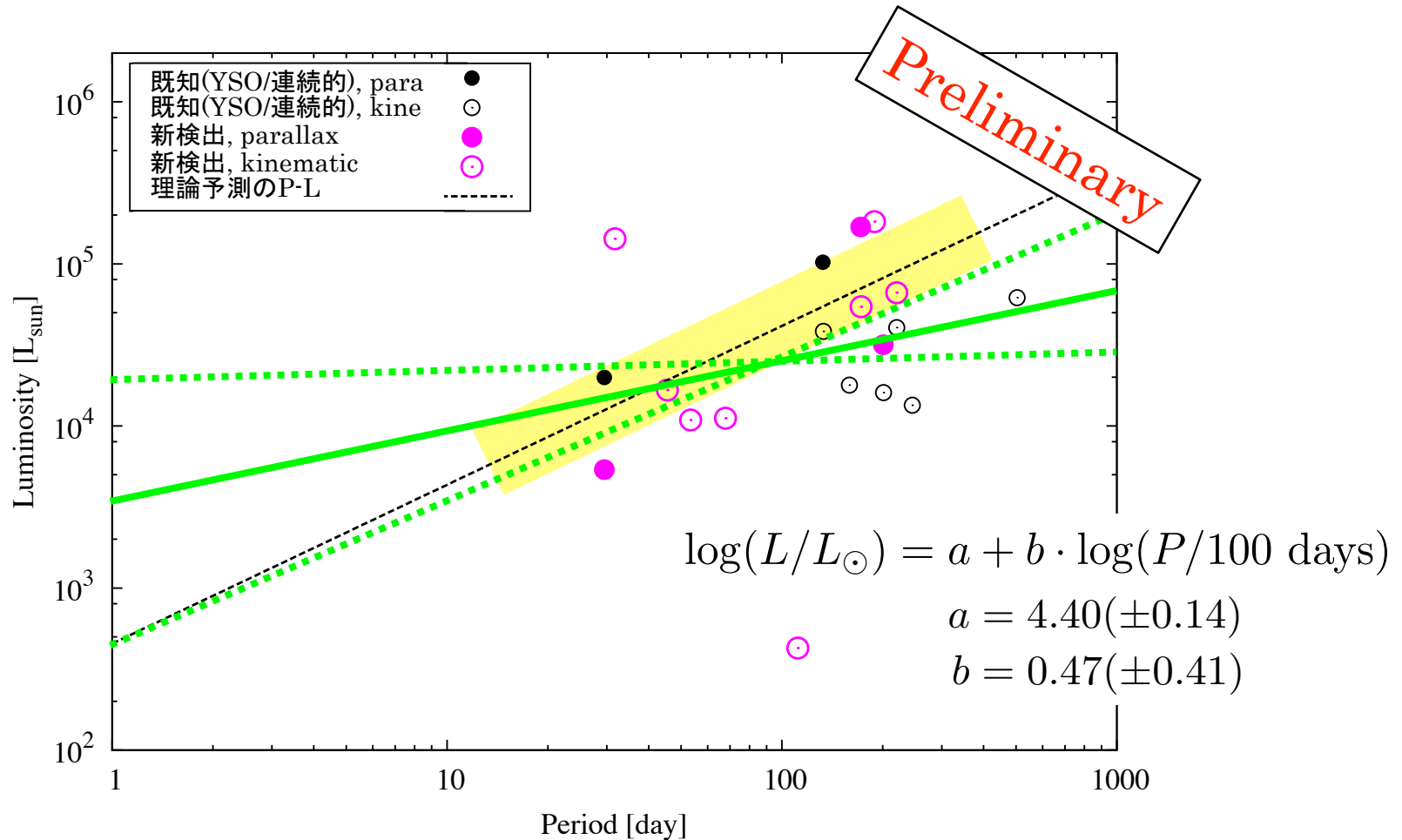


# P-L relation の改訂版





# P-L relation の改訂版



# 残る課題点 & 展望

## □ 10日程度 & 1年以上の周期天体のコンプリート

- 第3期モニターを 2015/09/18 から開始: 各天体5日に1度の頻度で継続
- 10日程度の周期天体コンプリート by 齋藤氏 (茨城大D)

## □ 距離不定性の改善

- LBAを用いた南半球既知天体の年周視差計測
  - 2015/03 から開始 by 杉山
- 北半球天体(既知 & 新検出)はVERAを用いた年周視差計測を計画
  - G073.06+01.80 (周期: 159.0日) に対し, 共同利用観測 (2015/11/02 締め)へ提案

## □ 近赤外線モニター、及び比較

- 内山氏 (国立天文台) 主導
- 既知の周期天体で、近赤外線が点源に近い天体を選出し、鹿児島1-m光赤外望遠鏡を用いて高頻度モニター (2014年秋季年会, 内山氏, P136a)

日立32-mを用いた周期変動天体サーベイ

## 4. まとめ

# まとめ

- 6.7 GHz メタノールメーザーの周期的な強度変動に着目
  - 特に“YSO付随”かつ“連続的な変動傾向”を示す天体
    - 大質量原始星の Stellar pulsational instability (Inayoshi+ 13) で説明可能?
  - P-L relation の観測的検証により、原始星表面の物理パラメータを導出可能な唯一の手法となり得る
  
- 日立32-m を用いた大規模なモニターサーベイを開始
  - 観測概要:
    - ターゲット天体: 441天体 (赤緯  $\geq -30$  deg)
    - 第1期: 2012/12/30 ~ 2014/01/10, 第2期: 2014/05/07 ~ 2015/08/24
    - 運用頻度: 毎日, 観測頻度: 9-10日に1度/天体
  - 結果:
    - 25天体から周期変動を検出 (既知: 11天体, 新検出: 14天体) by Lomb-Scargle法
    - P-L relation を観測面から検証 (19天体の周期・光度を使用)
  
  - ☞ 互いのエラーの範囲内でコンパラ,  
ではあるが、残る課題を克服することで更なる検証が必要