

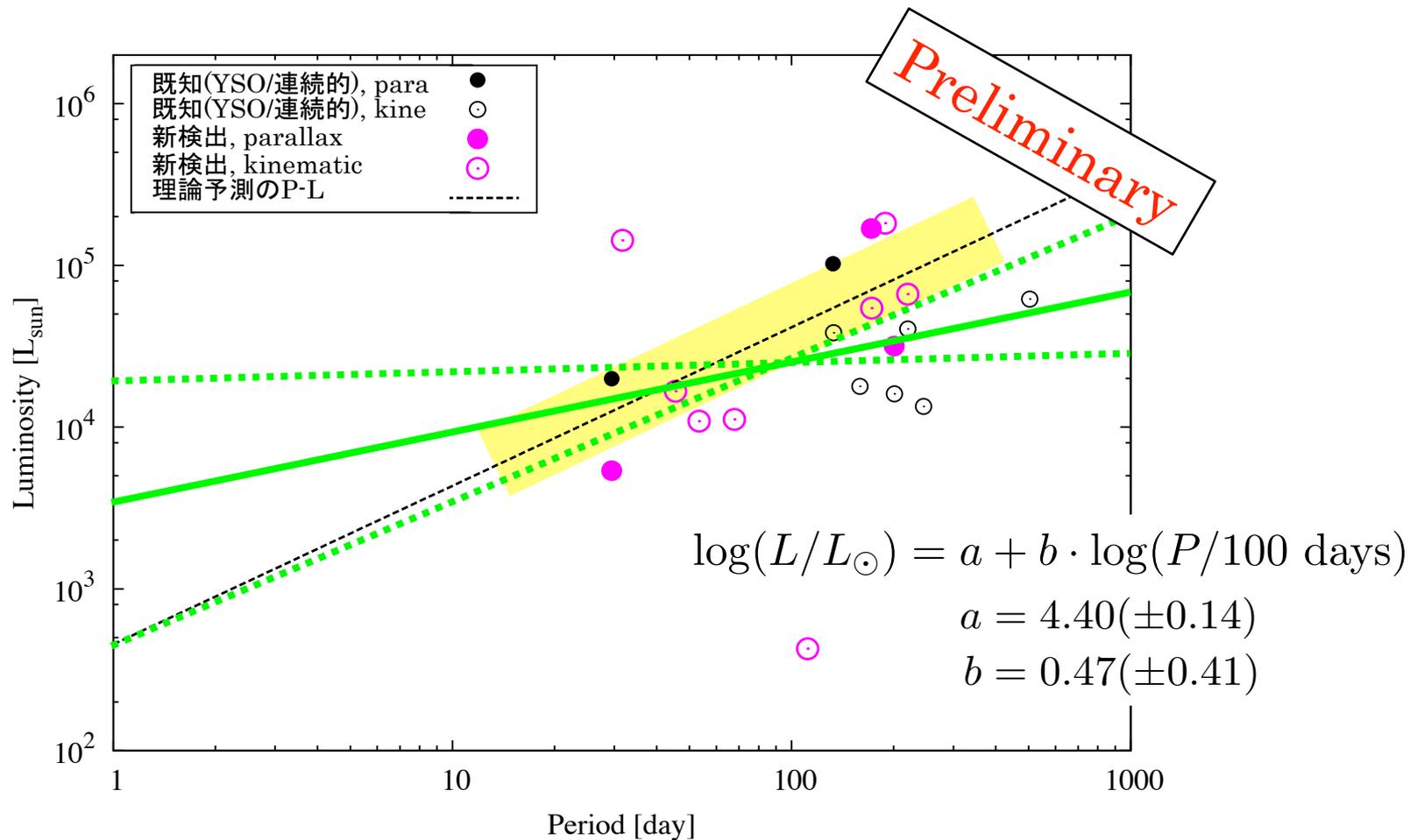
日立32-mを用いた大質量星形成領域に おける 周期変動天体サーベイ

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

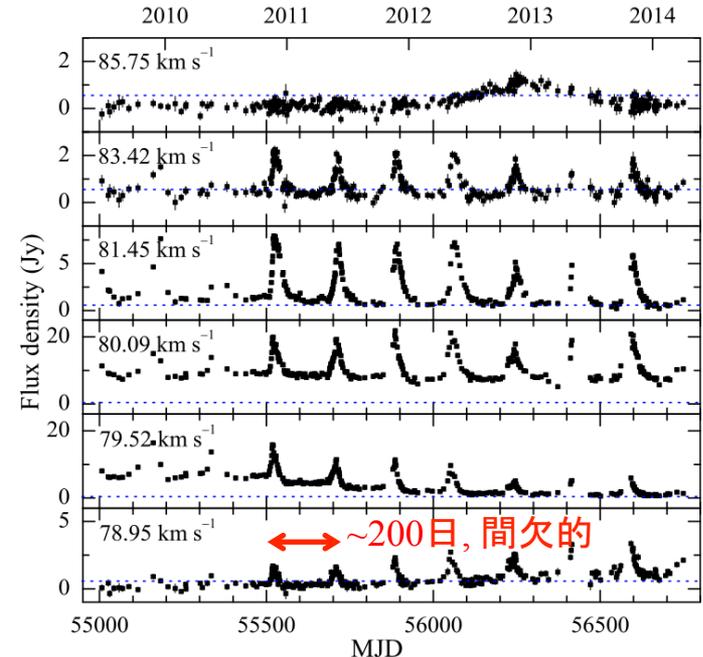


日立32-mを用いた周期変動天体サーベイ

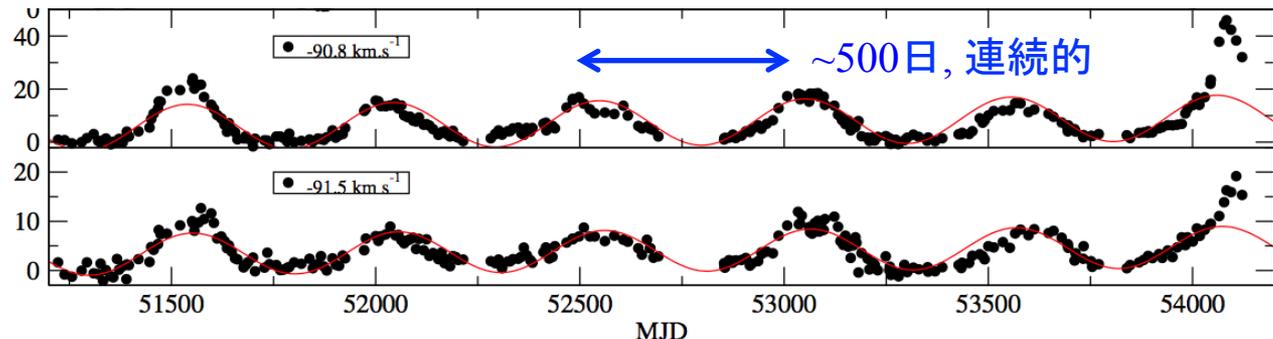
1. 研究背景

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	
IRS22198+6336	※ 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
G 009.62+00.19	※ 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

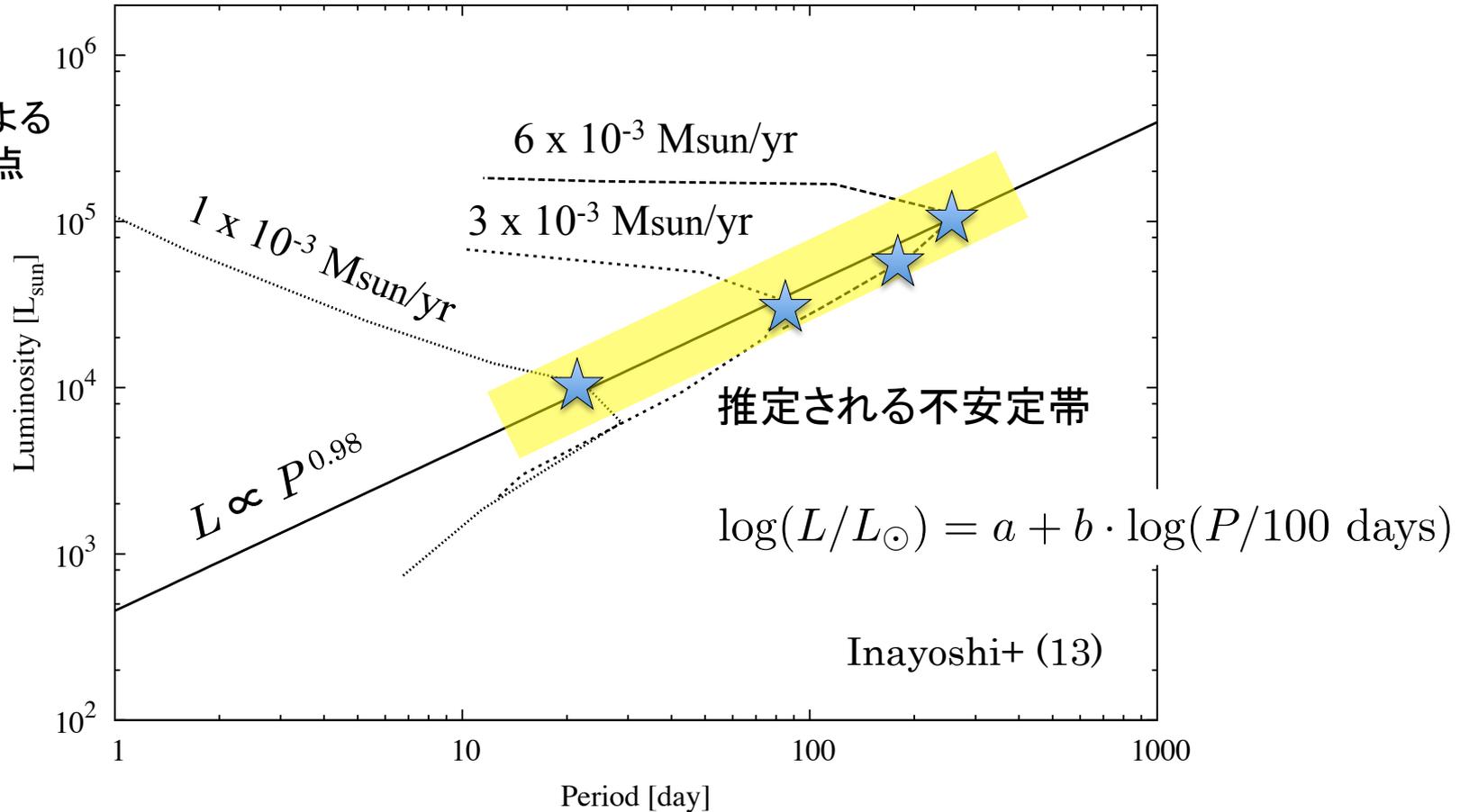
周期変動の変動機構: 様々なシナリオ (e.g., Goedhart+ 08)

- ❑ 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

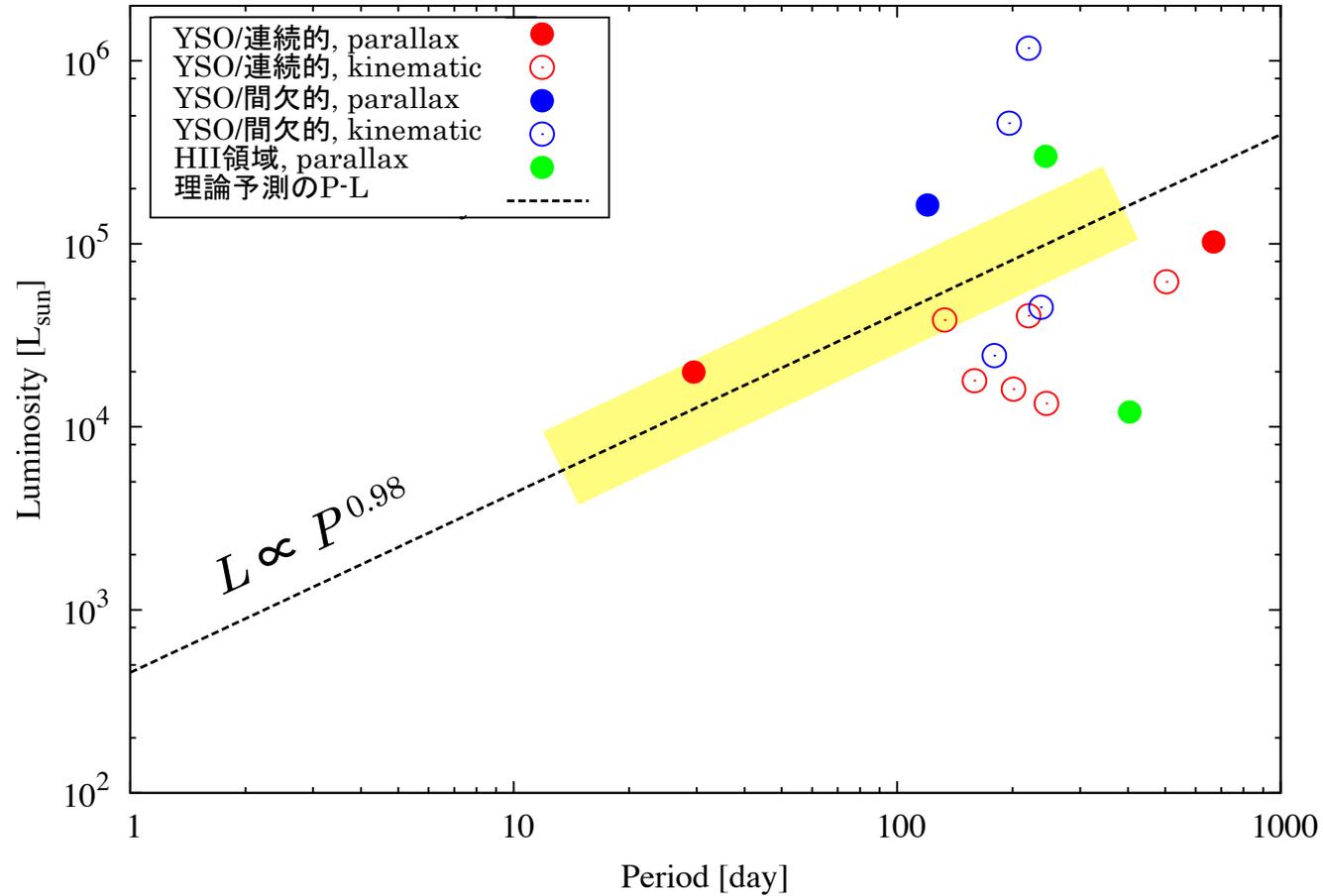


理論計算による
脈動不安定点

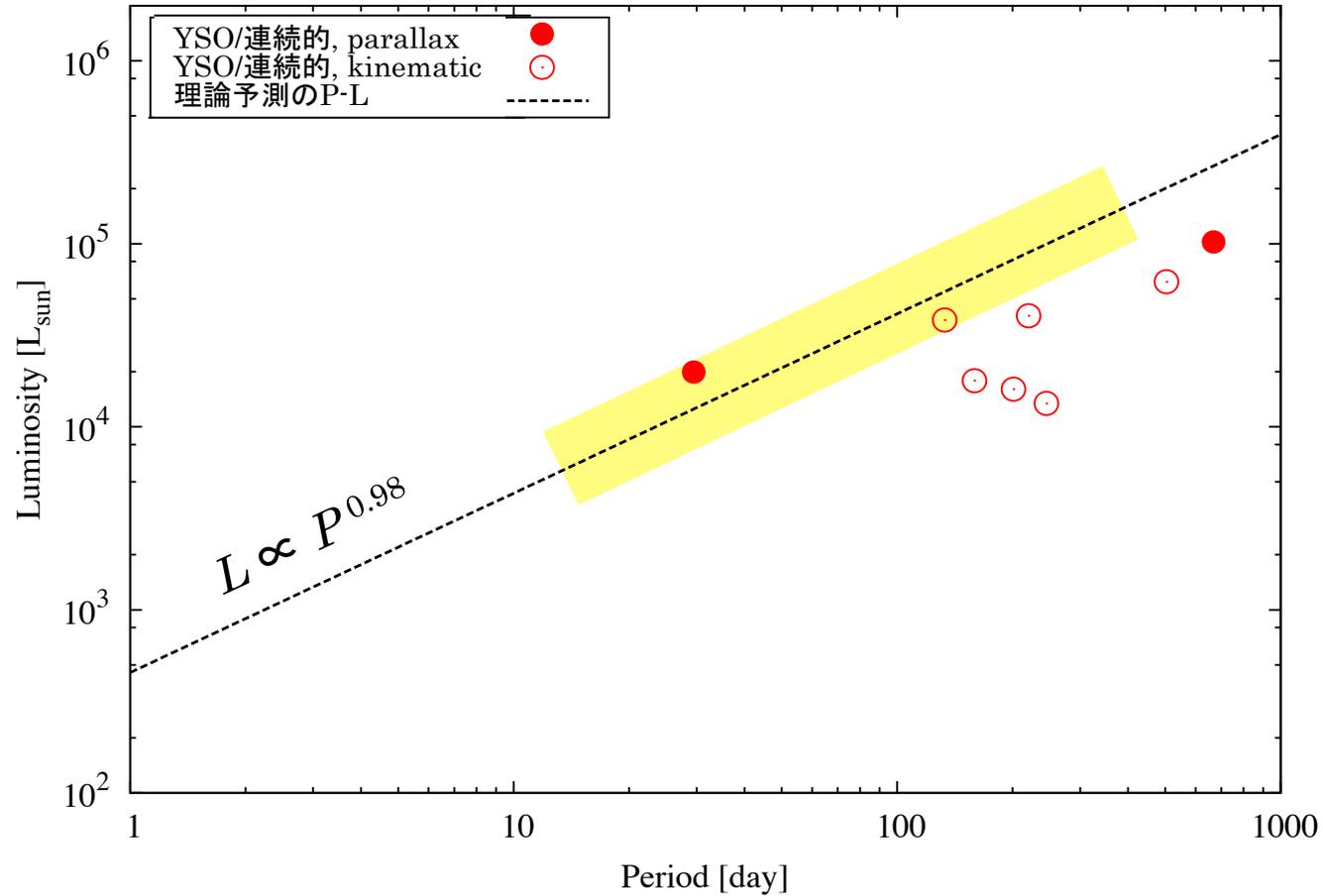


大質量原始星の脈動不安定理論から予想される P-L relation
(図は Inayoshi+ 13 から抜粋・改変)

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

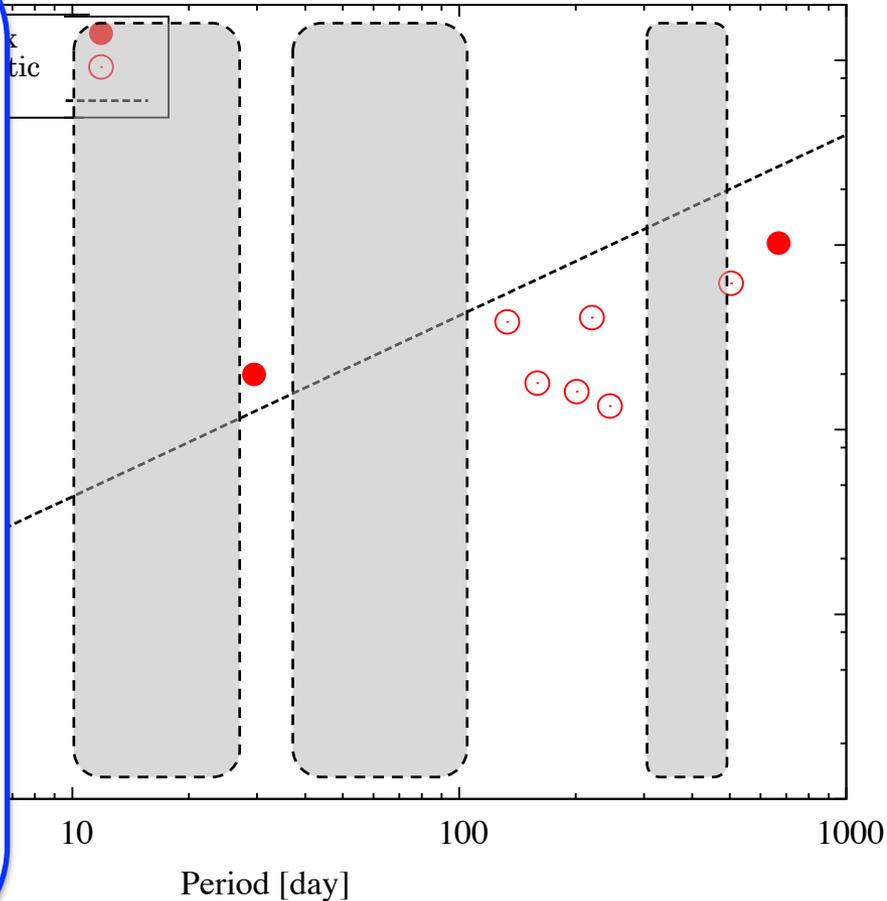
- 母数 > 1000天体 (Breen+ 15)の内、
~170天体のみ
- < 30日, 50-100日,
> 300日 が不足

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 ≥ -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 (5σ)
- 運用頻度：毎日
- 観測頻度：
9-10日に1度／各天体

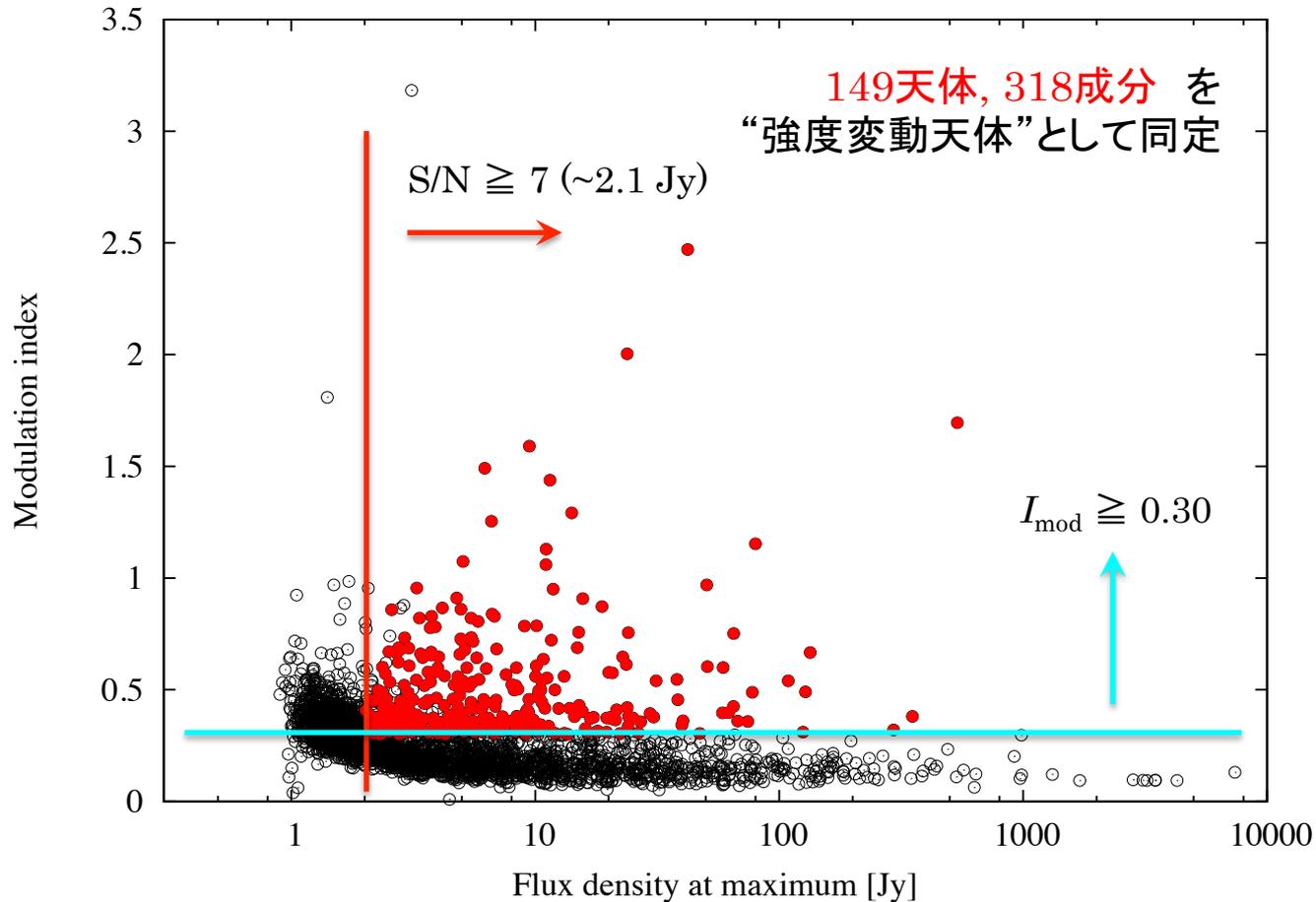
 **441 天体**

 **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

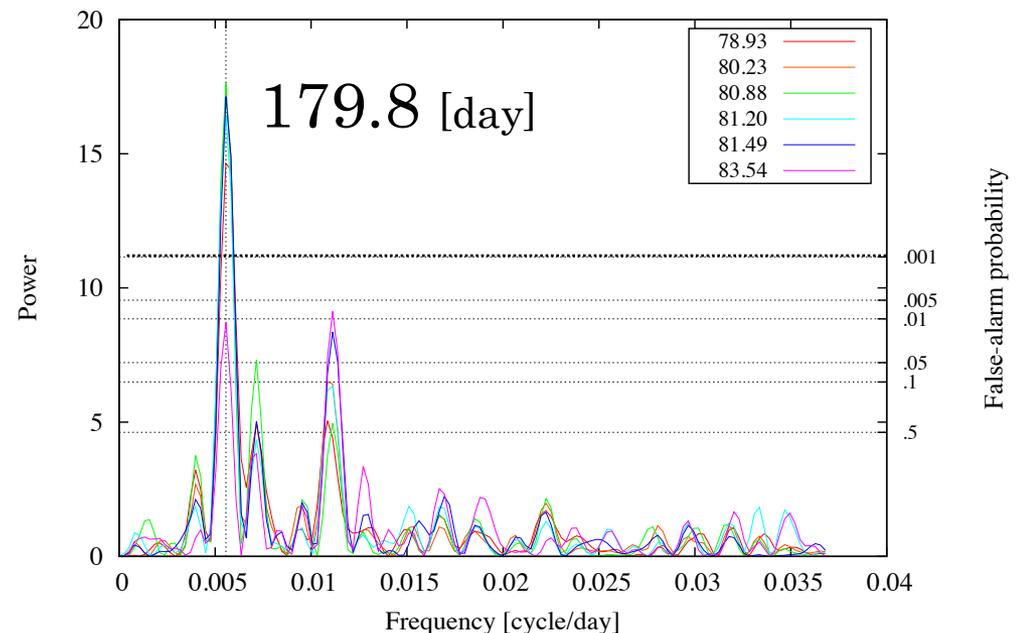
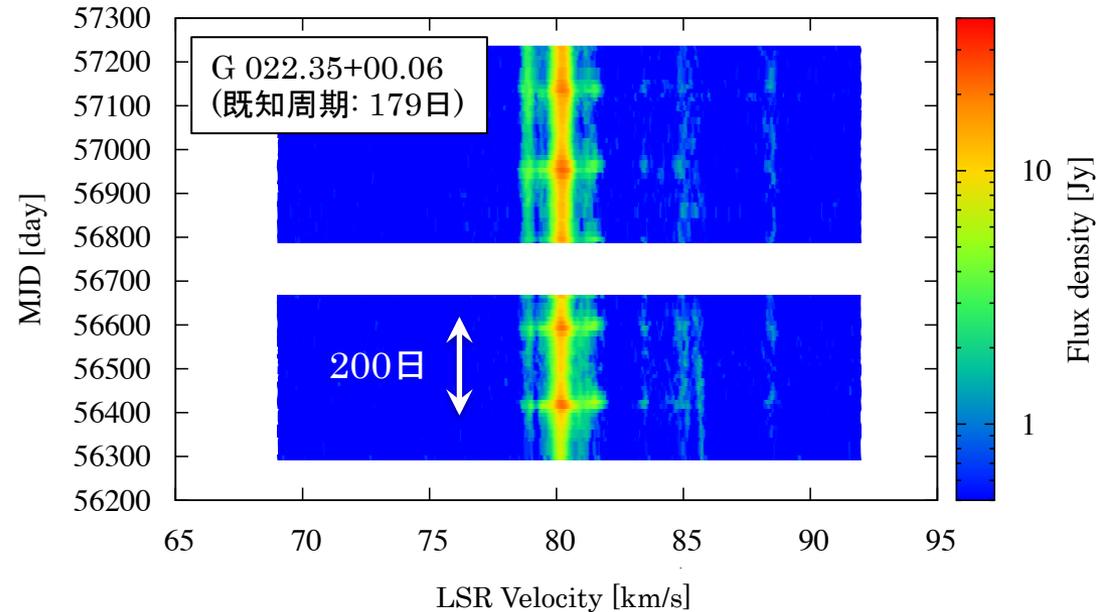
強度変動成分の同定基準: モジュレーションインデックス I_{mod} (= 標準偏差 ÷ 平均値)



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_{mod} 分布: 横軸 - 期間中最大のフラックス密度, 縦軸 - I_{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

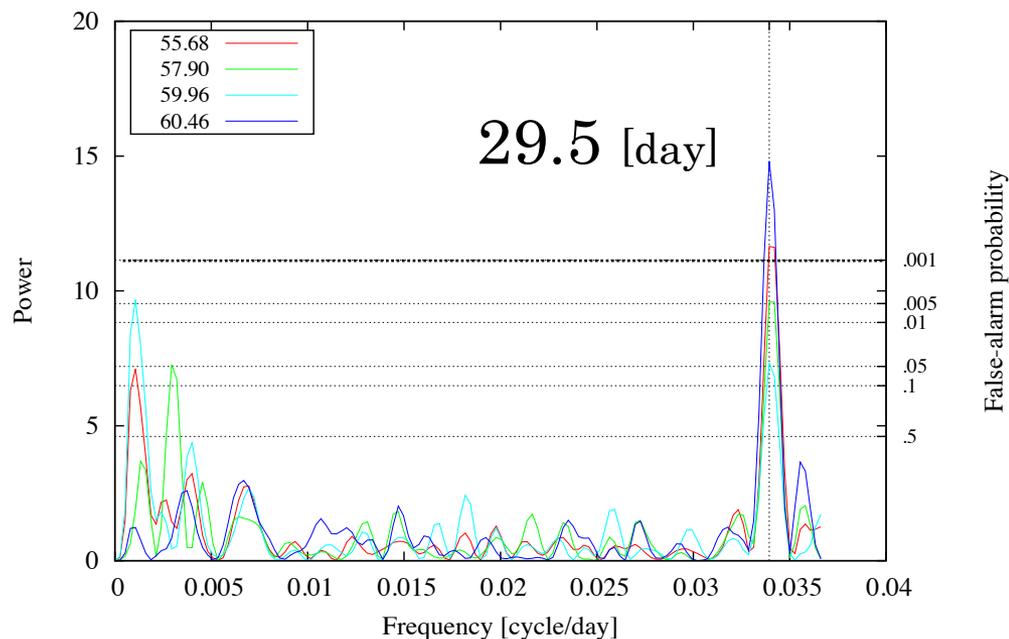
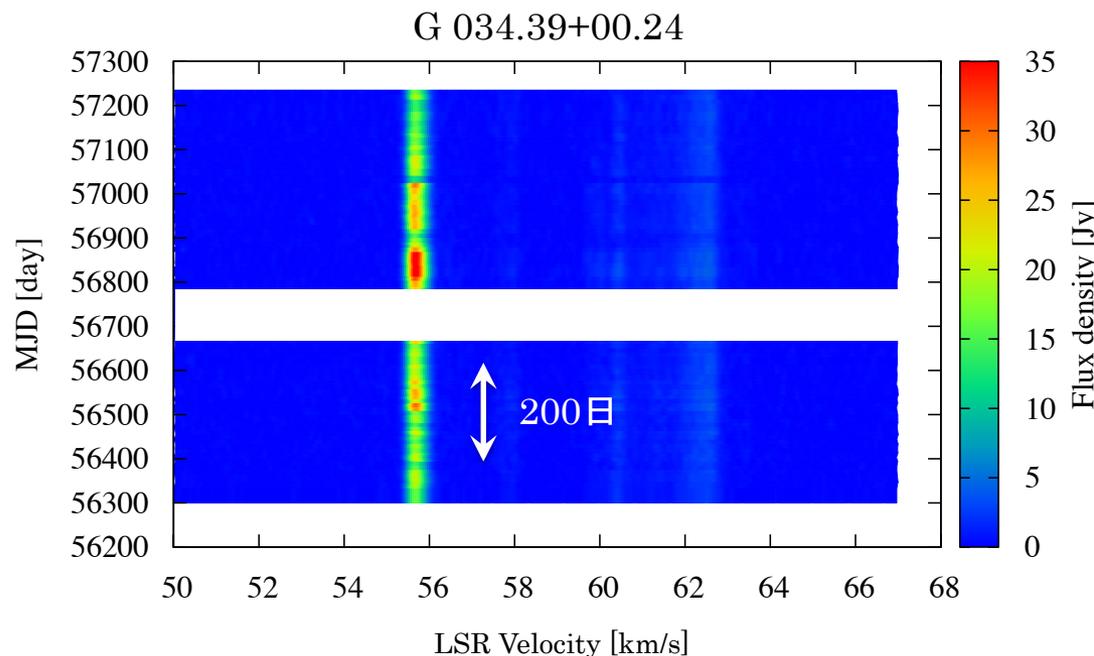
□周期 for 新検出:

- 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

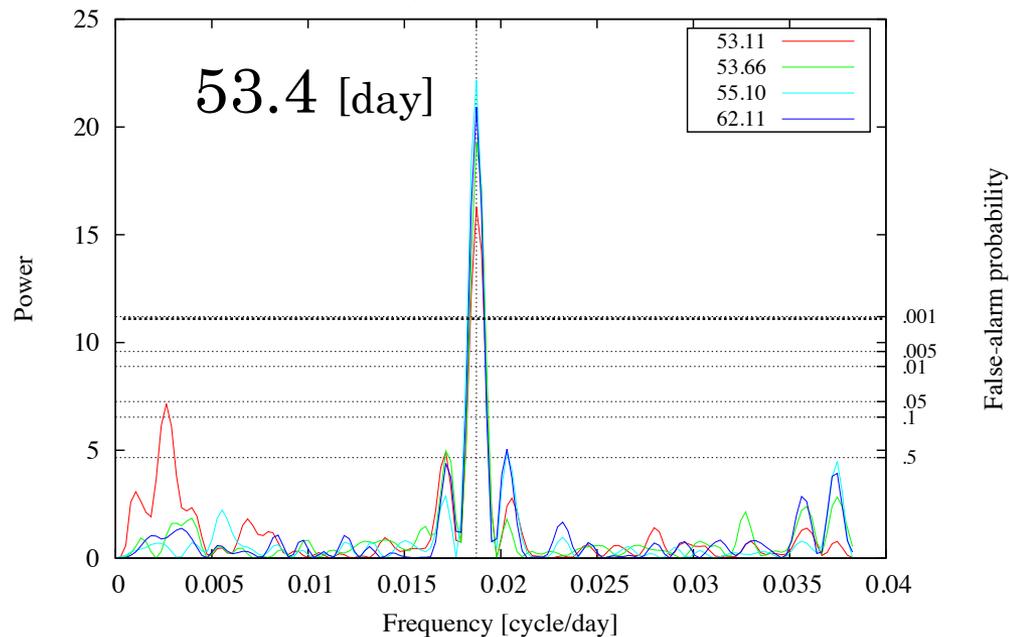
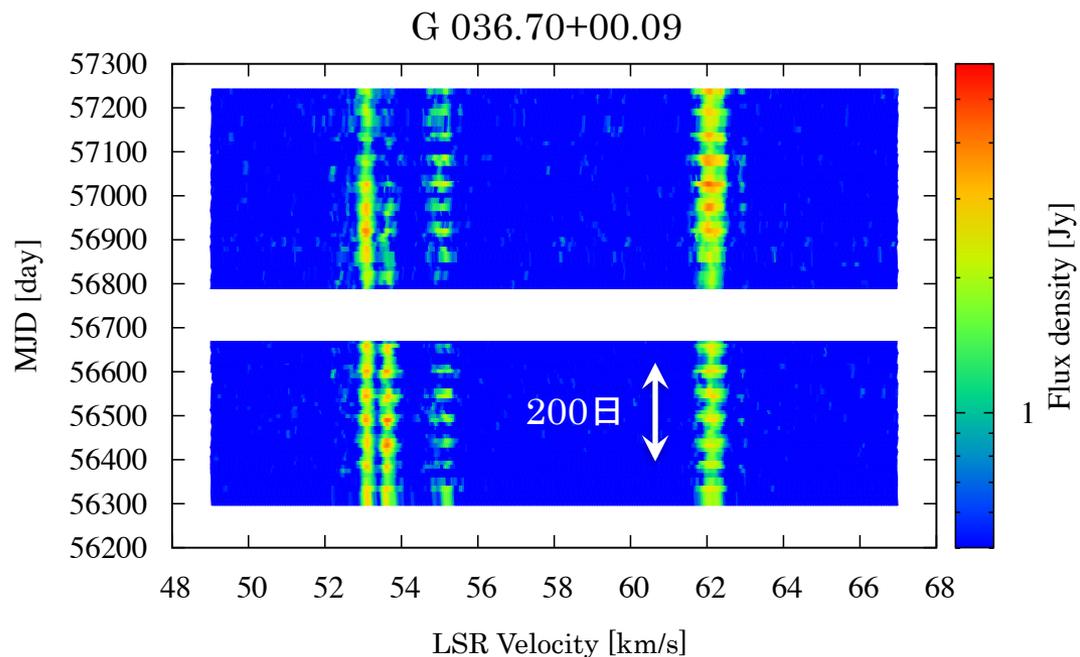
□周期 for 新検出:

- 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

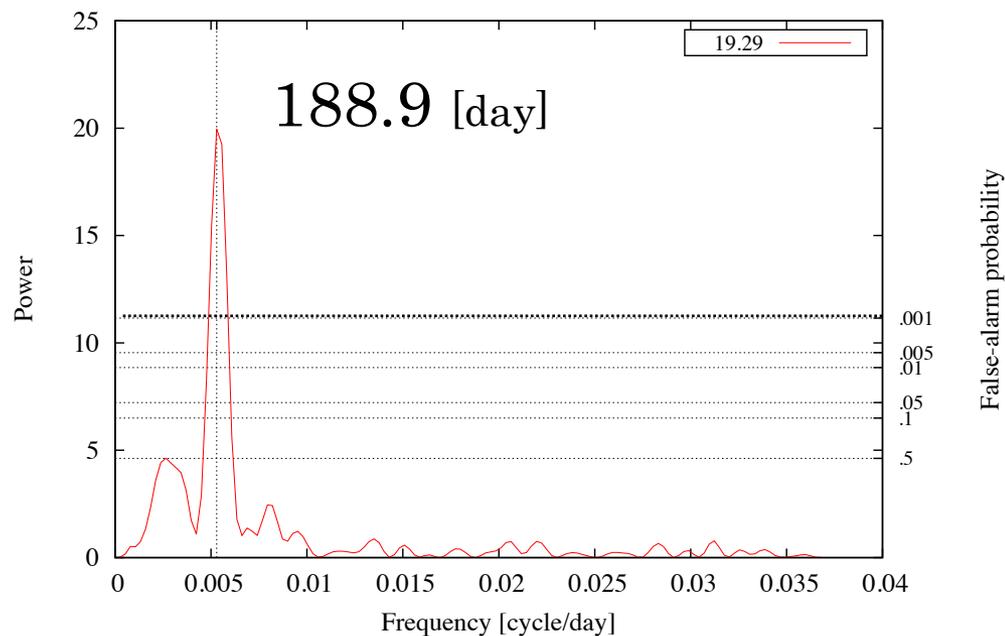
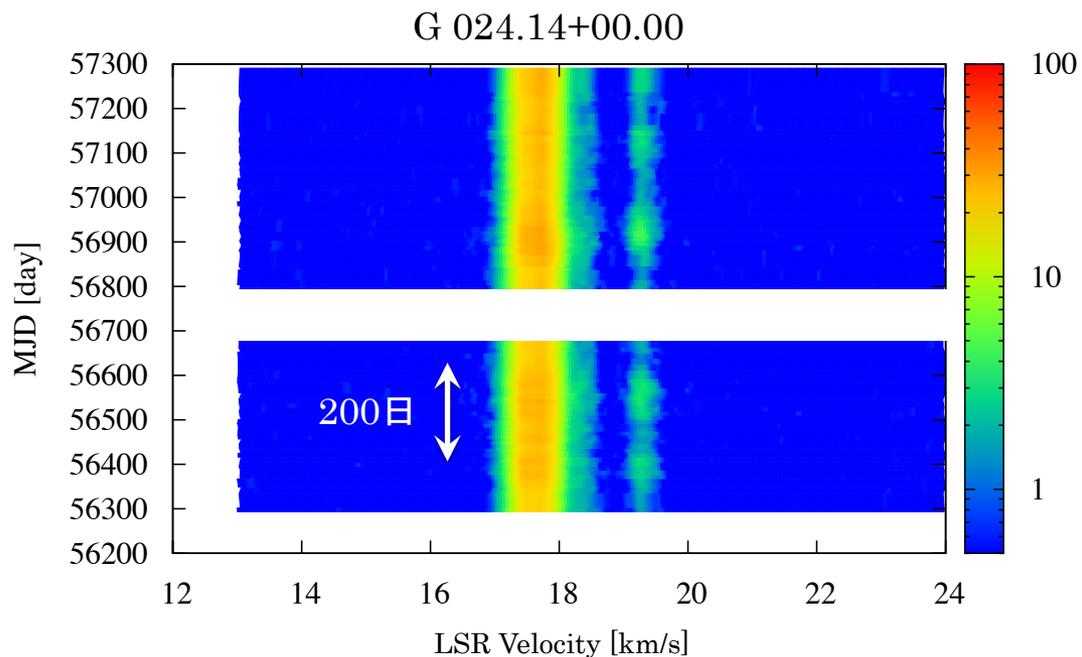
□周期 for 新検出:

- 23.7 – 220.1 日

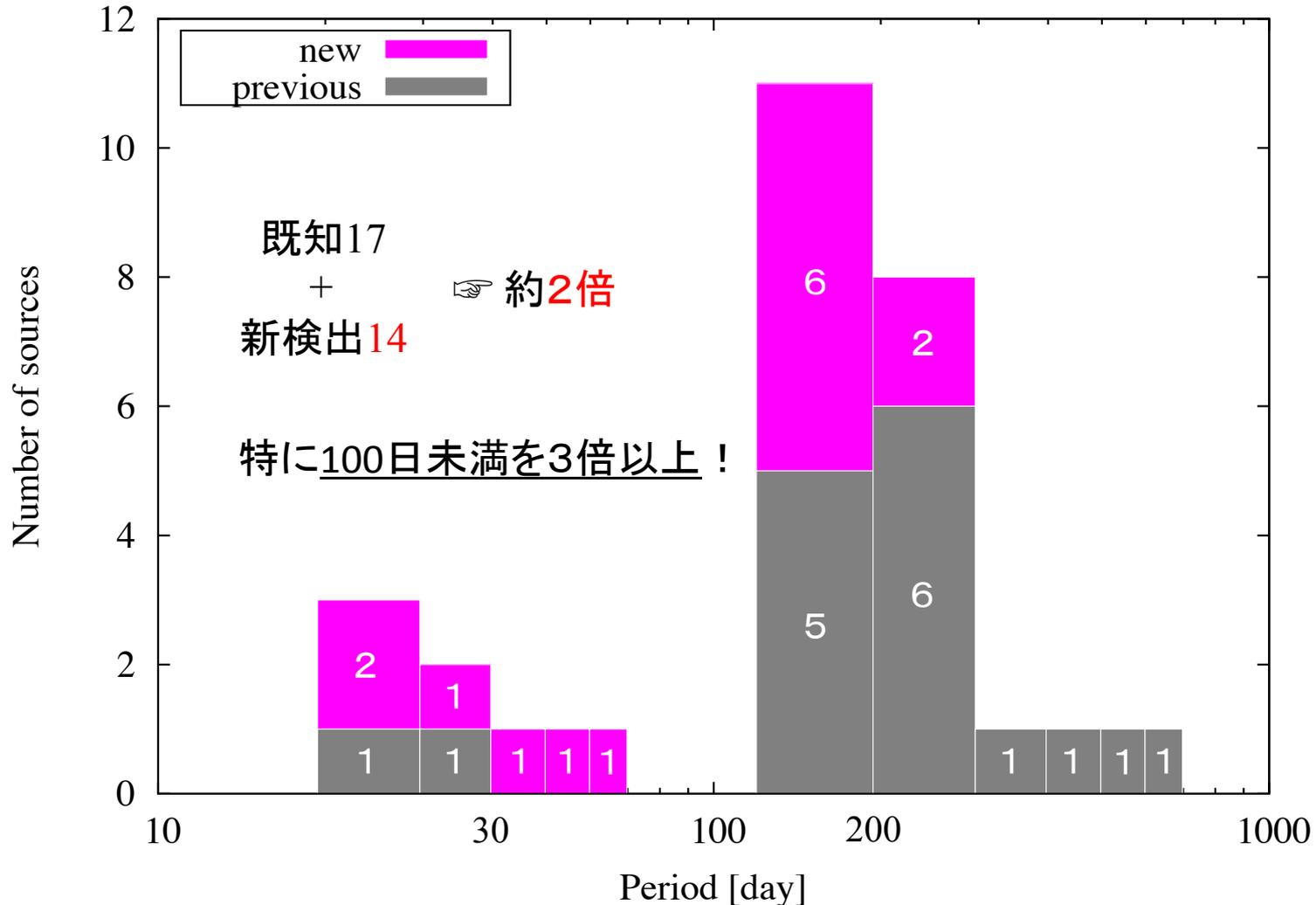
- < 30日: 2 天体

- 30-100日: 4 天体

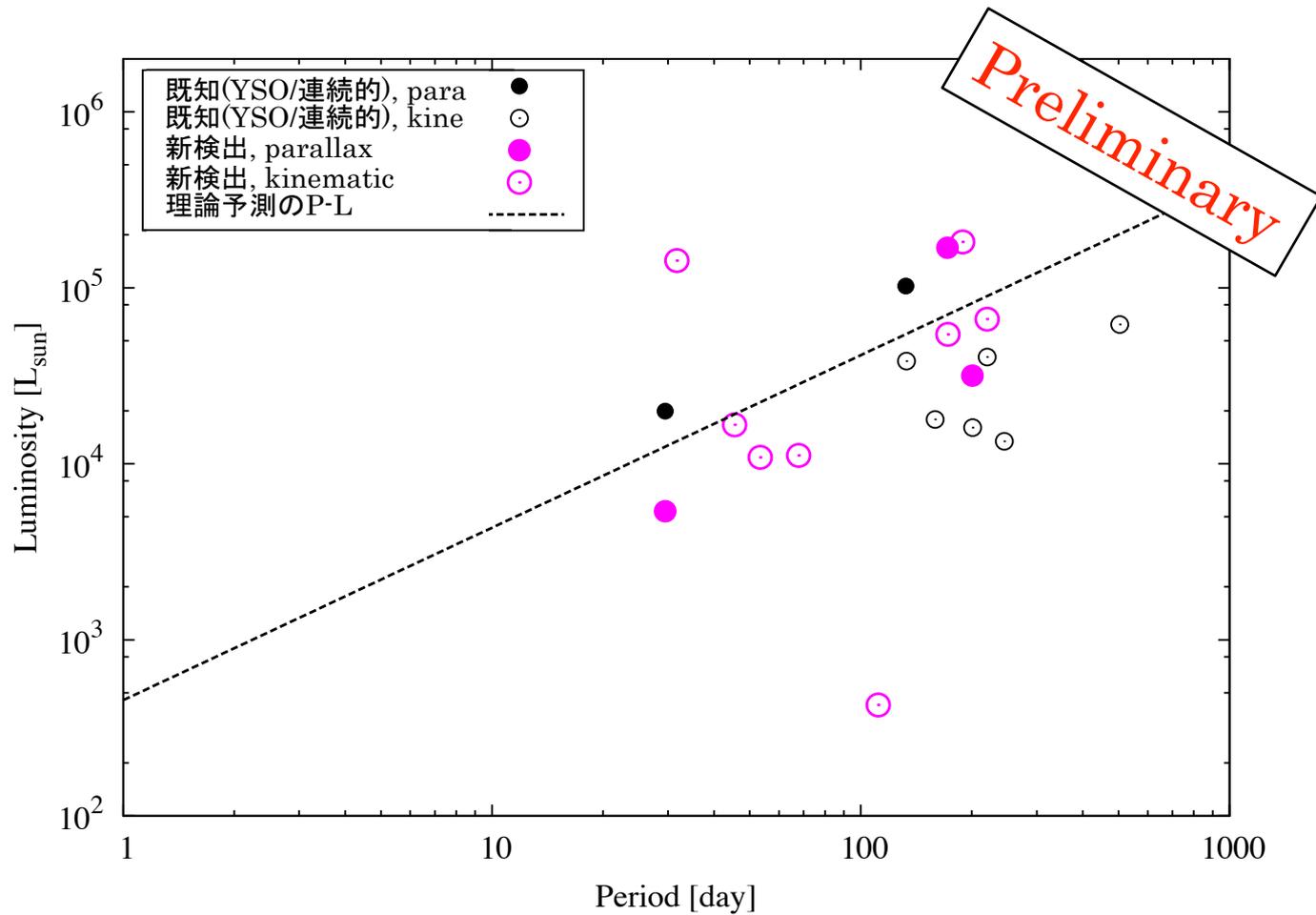
- > 100日: 8 天体



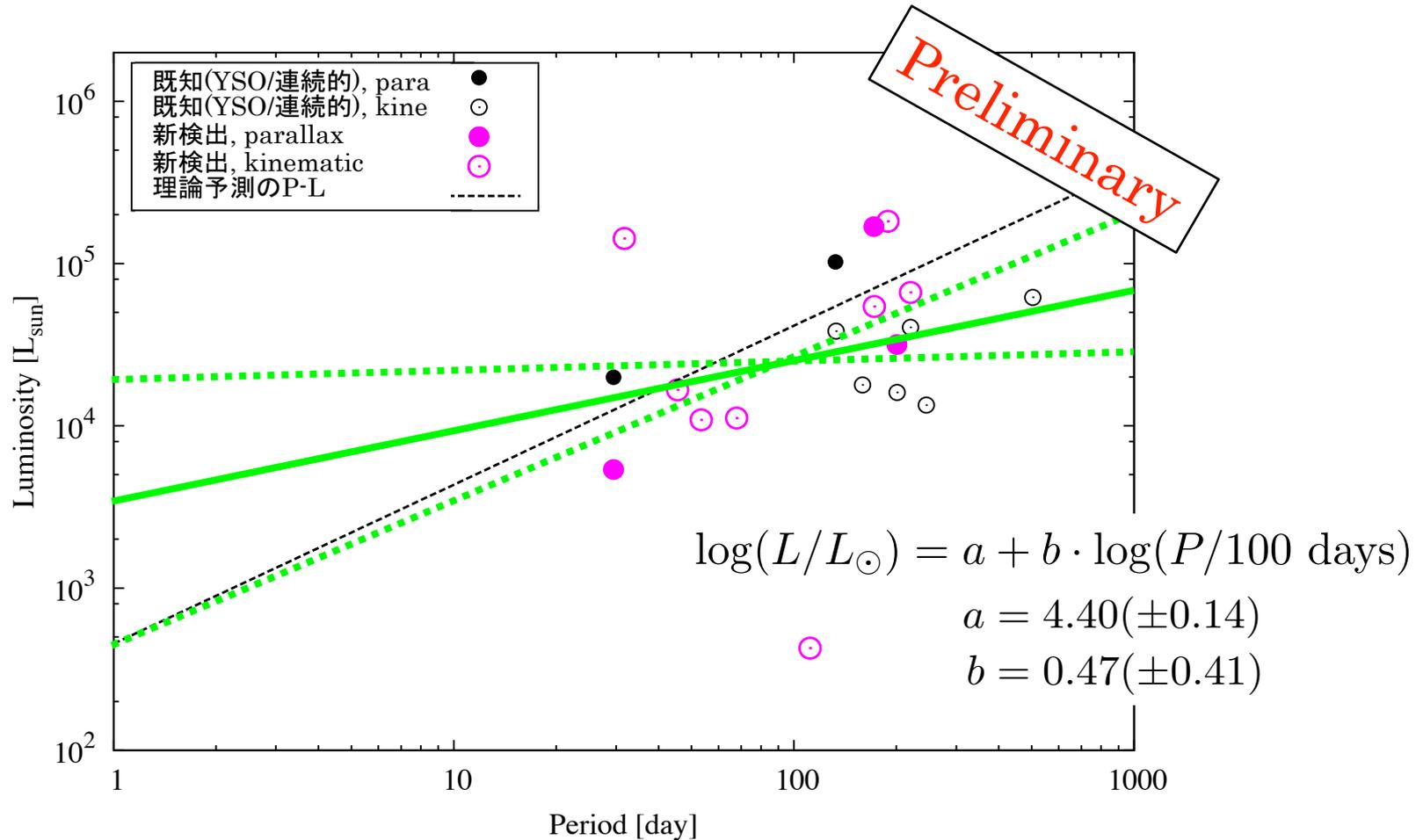
周期ヒストグラム: 既知/新 天体



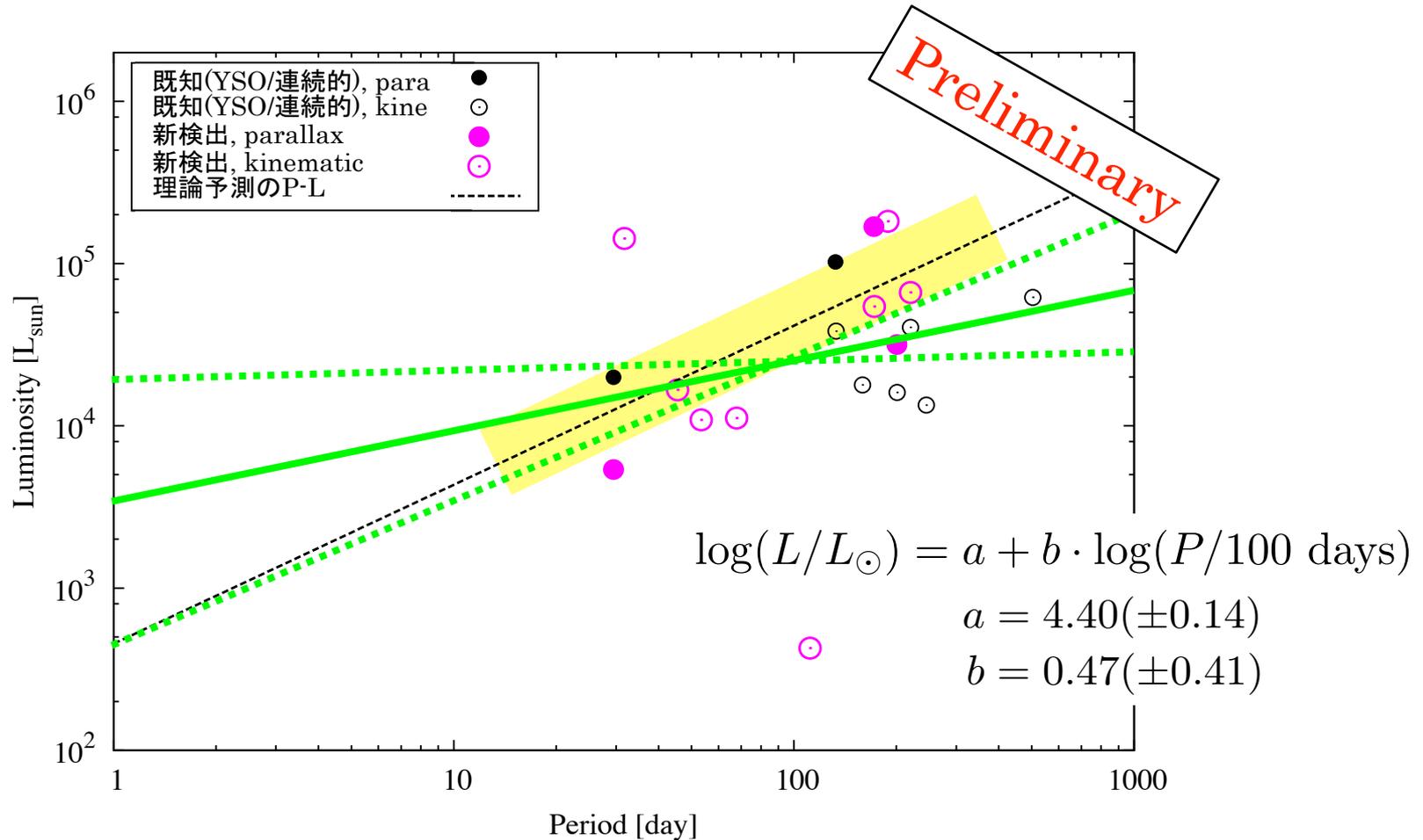
P-L relation の改訂版



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 ≥ -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