

茨城32-m電波望遠鏡を用いた大質量星 周囲における周期的な強度変動探査

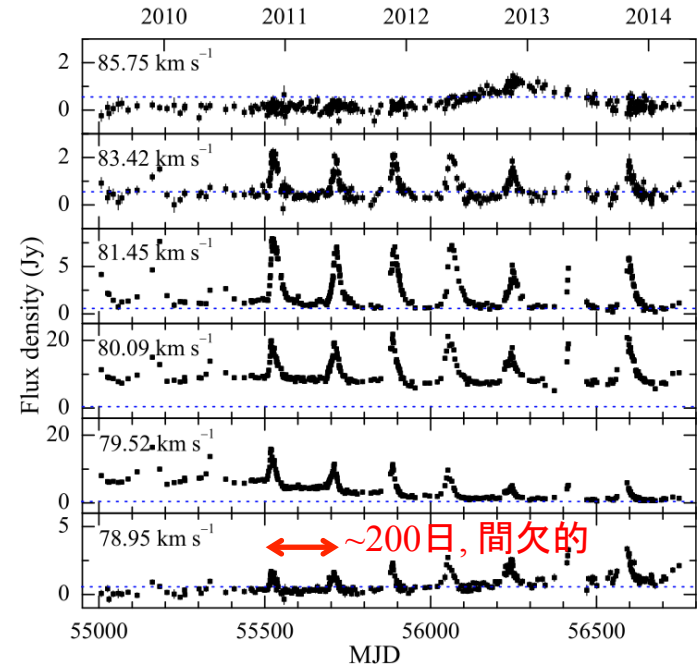
杉山 孝一郎

(茨城大学 宇宙科学教育研究センター)

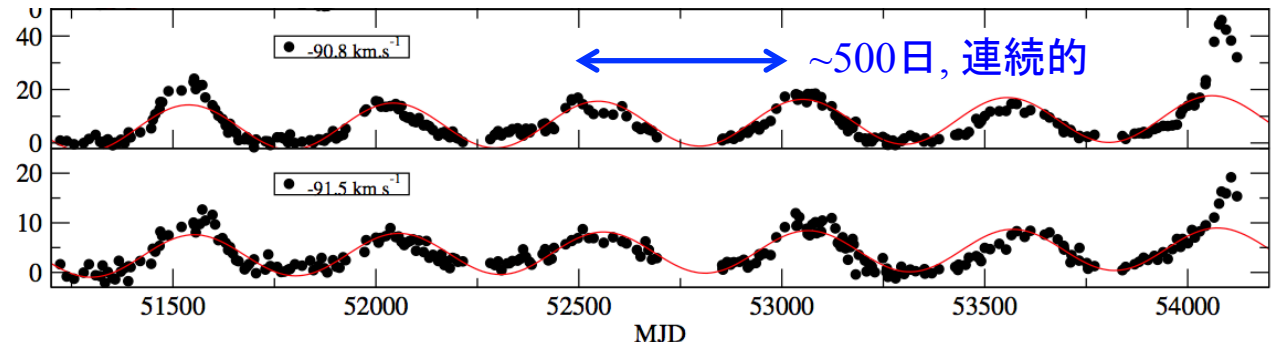
共同研究者: 米倉覚則, 齋藤悠, 永瀬桂, 安井靖堯, 佐藤宏樹, 宮本祐輔, 百瀬宗武 (茨城大学), 元木業人, 本間希樹, 内山瑞穂, 田崎文得 (国立天文台), 藤沢健太, 蜂須賀一也 (山口大学), 稲吉恒平 (コロンビア大学), 田中圭 (フロリダ大学), 細川隆史 (東京大学)

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

- 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)



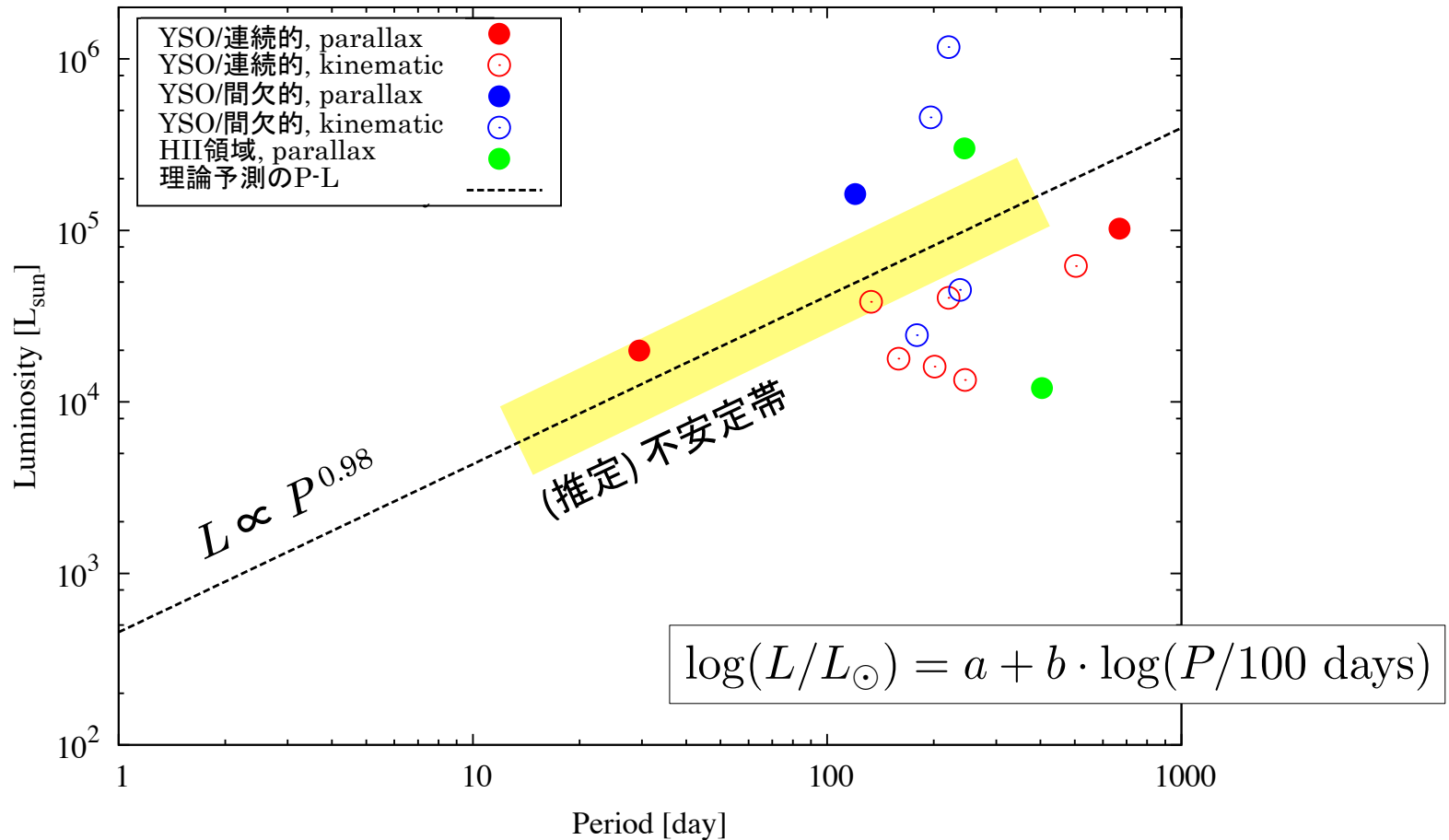
天体名	周期 [day]	変動傾向	出現時期	備考	Ref.
G 012.88+00.48	29.5	連続的	YSO		1
IRS22198+6336	34.6	間欠的	中質量星？		2
G 075.76+00.34	120	間欠的	YSO？	一部の成分	3
G 338.93-00.06	133	連続的	YSO？		4
G 073.06+01.80	159	連続的	YSO？		3
G 022.35+00.06	179	間欠的	YSO		3
G 045.47+00.13	196	間欠的	YSO	一部の成分	3
G 339.62-00.12	201	連続的	YSO		4
G 328.23-00.54	220	間欠的	YSO		4
G 358.46-00.39	220	連続的	YSO		5
G 037.55+00.20	237	間欠的	YSO	一部の成分	6
G 009.62+00.19	244	間欠的	HC HII		4
G 025.41+00.10	245	連続的	YSO		3
G 012.68-00.18	307	連続的	UC HII？	“準”周期的	4
G 188.94+00.88	404	連続的	HC HII	一部周期終了？	4
G 331.13-00.24	504	連続的	YSO		4
G 196.45-01.67	668	連続的	YSO	2周期のみで同定	4

1. Goedhart+ (09); 2. Fujisawa+ (14); 3. Szymczak+ (15); 4. Goedhart+ (04); 5. Maswanganye+ (15); 6. Araya+ (10).

研究背景: 周期変動の(推定)変動機構 (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

研究背景: 予言される P-L relation with 既知の周期天体



大質量原始星の脈動不安定理論から予想される P-L relationと
既存周期天体観測点 (図は Inayoshi+ 13 から抜粋・改変)

研究背景: 観測的検証における課題

1. サンプル不足

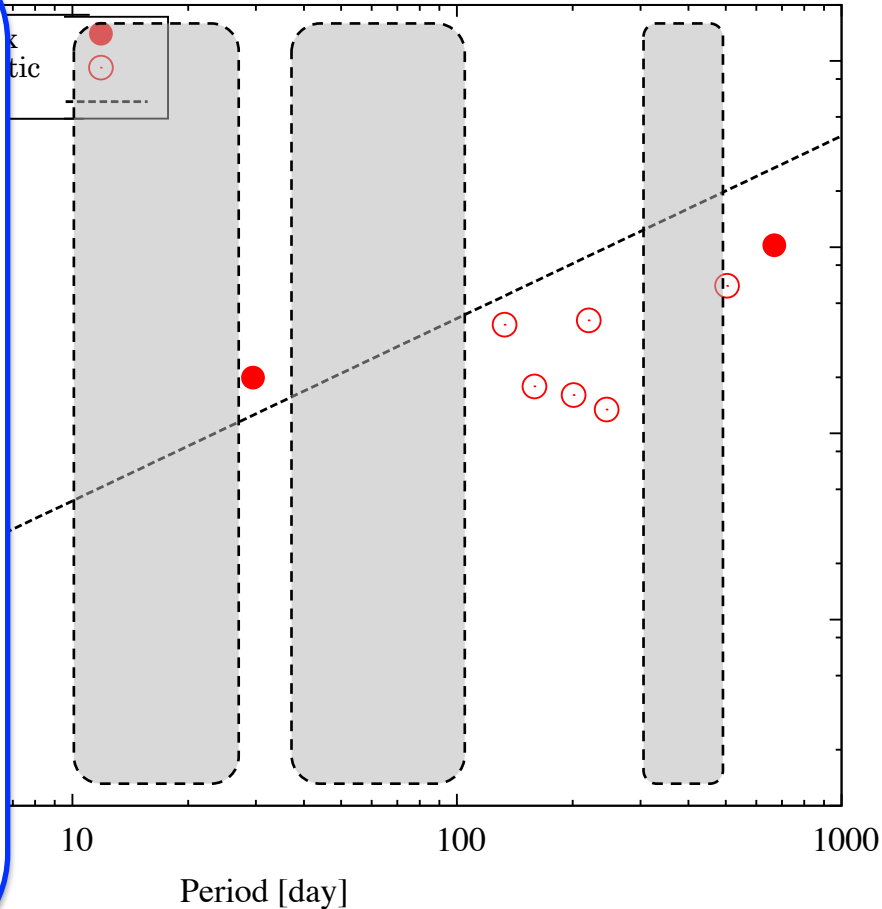
- 母数 > 1000天体 (Breen+ 15)の内、
~170天体のみ
- < 30日, 50-100日,
> 300日 が不足

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?



茨城32-m単一鏡による大規模 モニターサーベイプロジェクト: 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)
- 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

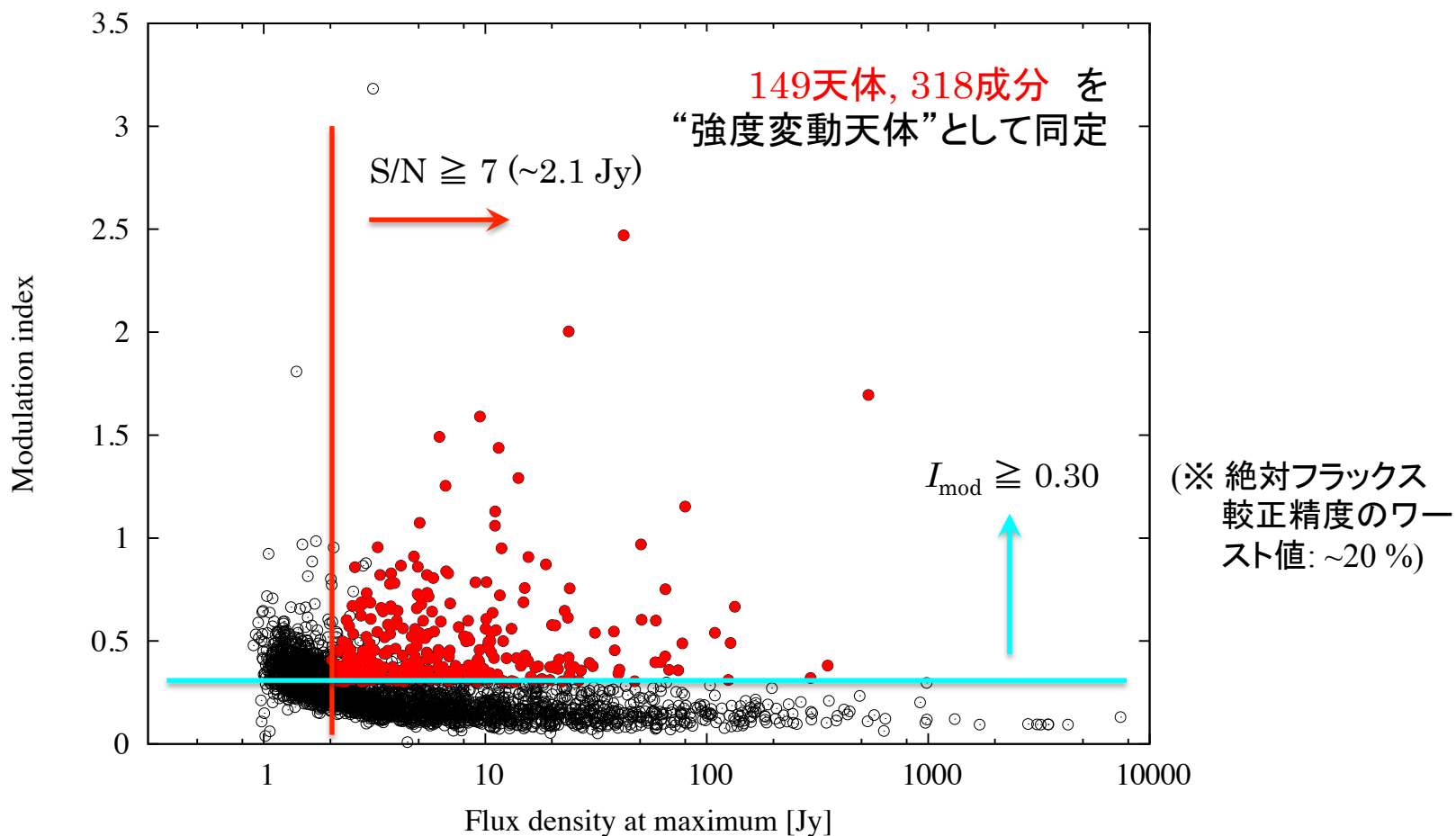


403 天体



**30日以上
の短・中周期変動の
検出に
相当**

“強度変動天体・成分”の同定基準： モジュレーションインデックス I_{mod}



全403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}

周期解析: Lomb-Scargle法

(Lomb+ 76; Scargle+ 82)

□ 不等間隔な離散データに対する周期解析法

□ 式

$$P_N(\omega) \equiv \frac{1}{2\sigma^2} \left\{ \frac{[\sum_j (h_j - \bar{h}) \cos \omega(t_j - \tau)]^2}{\sum_j \cos^2 \omega(t_j - \tau)} + \frac{[\sum_j (h_j - \bar{h}) \sin \omega(t_j - \tau)]^2}{\sum_j \sin^2 \omega(t_j - \tau)} \right\}$$

$$\tan(2\omega\tau) = \frac{\sum_j \sin 2\omega t_j}{\sum_j \cos 2\omega t_j}$$

ω : Frequency

τ : tからのズレ

(離散データに対して万能に機能)

□ 閾値

- (False-alarm probability = significance level)

$$P(> z) \equiv 1 - (1 - e^{-z})^M$$

本モニターでの適用 例: 妥当性の確認

□ 茨城大M2 安井氏 (共同研究者) チューニングのプログラムを使用

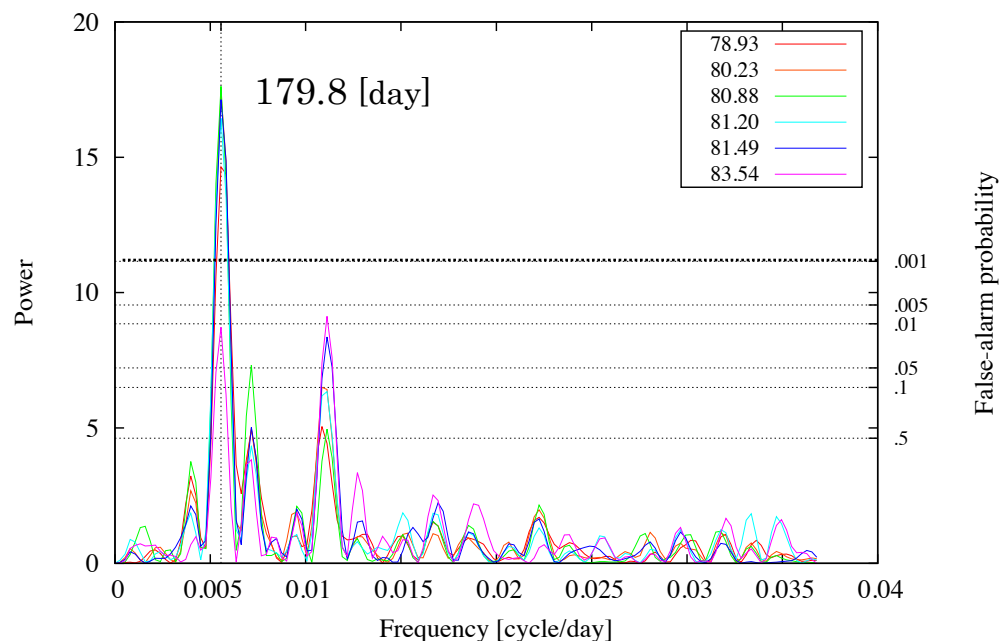
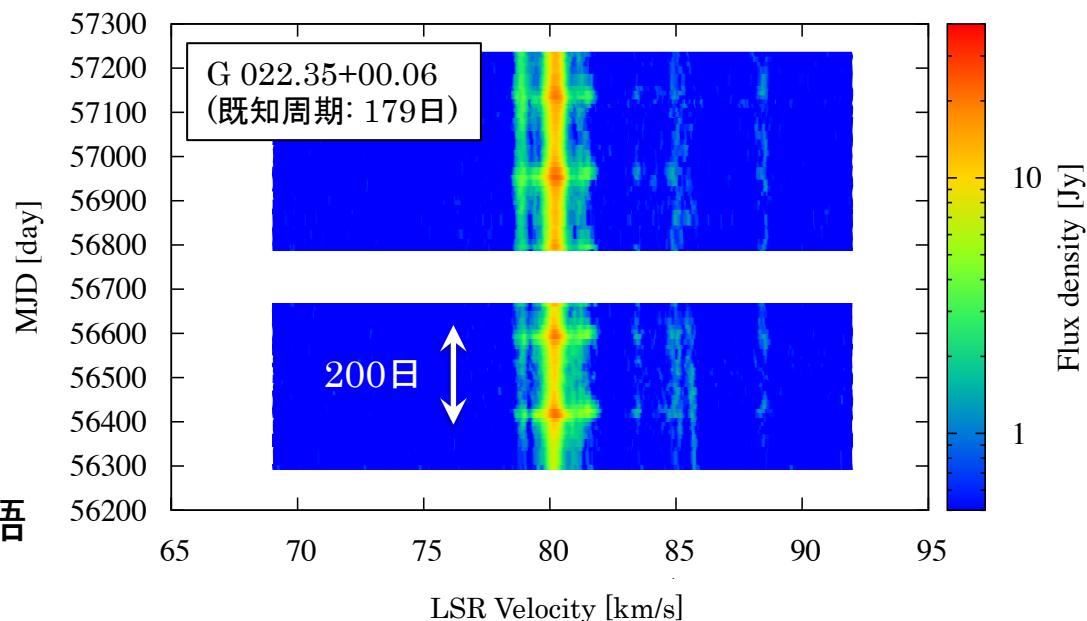
- Numerical Recipe のC言語プログラムをベースに

□ 既知周期179日のG 22.35の周期を忠実に再現

□ 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



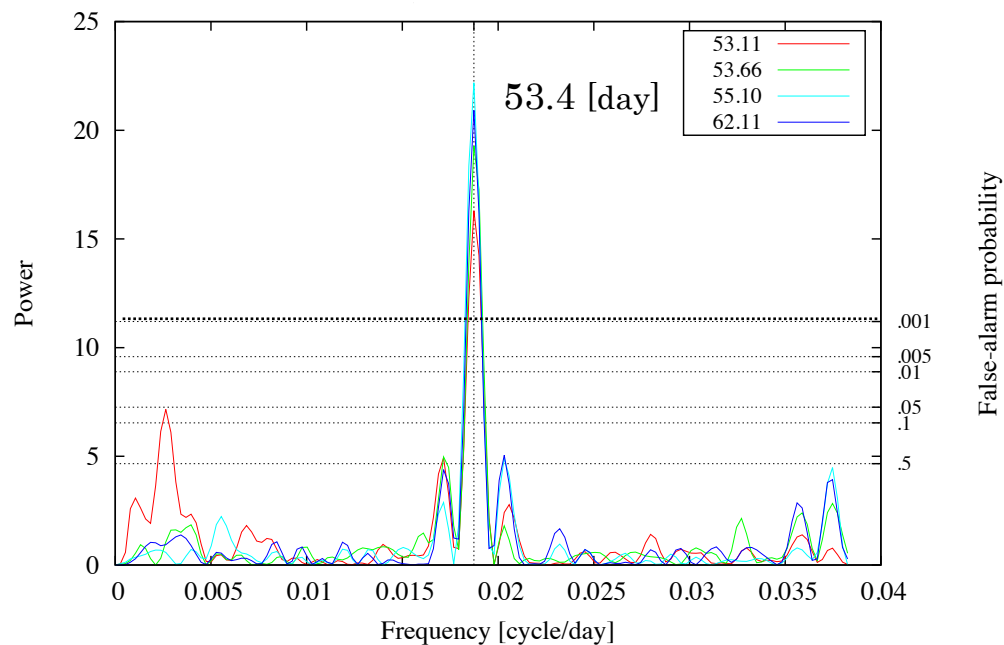
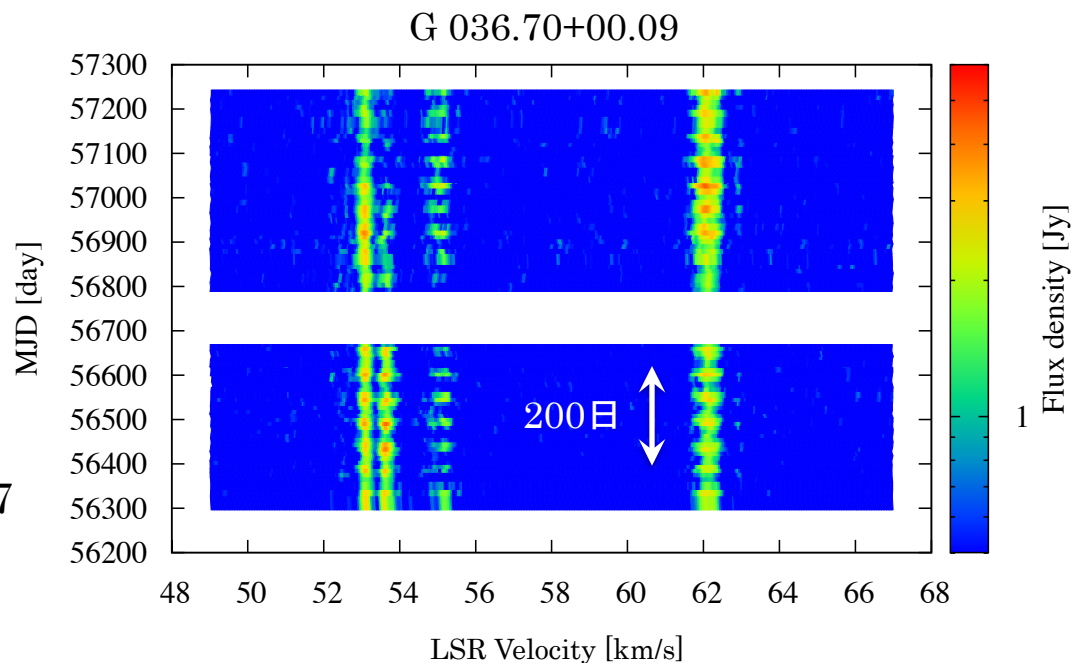
新検出の周期天体 (例: G 036.70+00.09)

□ 検出天体数: 25

- 既知: 11
 - 内、1天体 G 196.45-01.67 は周期改修 (👉 132.5日)
- 新検出: 14

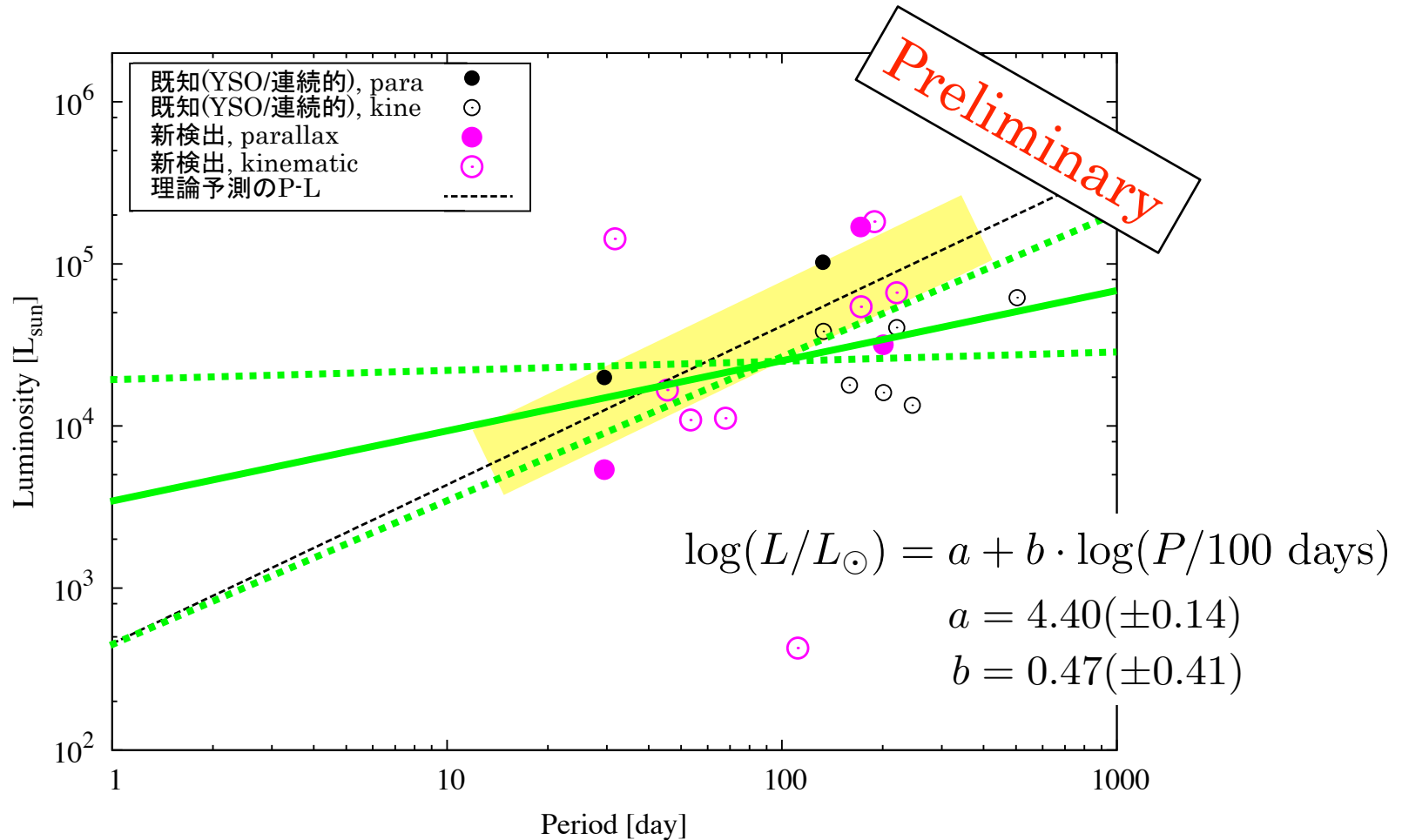
□ 周期 for 新検出:

- 23.7 – 220.1 日
 - < 30日: 2 天体
 - 30-100日: 4 天体
 - > 100日: 8 天体



P-L relation の改訂版

with 新検出周期変動天体



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4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

□ 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)

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

□ 茨城(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: 403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

Reference

- Araya, E. D., et al. 2010, ApJL, 717, L133
Fujisawa, K., et al. 2014, PASJ, 66, 78
Goedhart, S., et al. 2004, MNRAS, 355, 553
Goedhart, S., et al. 2007, IAU Symp., 242, 97
Goedhart, S., et al. 2008, ASPC, 387, 124
Goedhart, S., et al. 2009, MNRAS, 398, 995
Goedhart, S., et al. 2014, MNRAS, 437, 1808
Inayoshi, K., et al. 2013, ApJL, 769, L20
Lomb, N. R. 1976, Ap&SS, 39, 447
Maswanganye, J. P., et al. 2015, MNRAS, 446, 2730
Parfenov, S. Yu. & Sobolev, A. M. 2014, MNRAS, 444, 620
Scargle, J. D. 1982, ApJ, 263, 835
Szymczak, M., et al. 2015, MNRAS, 448, 2284
van der Walt, D. J. 2011, AJ, 141, 152