

ミラ型変光星の
距離指標・種族指標としてのの
確立をめざして

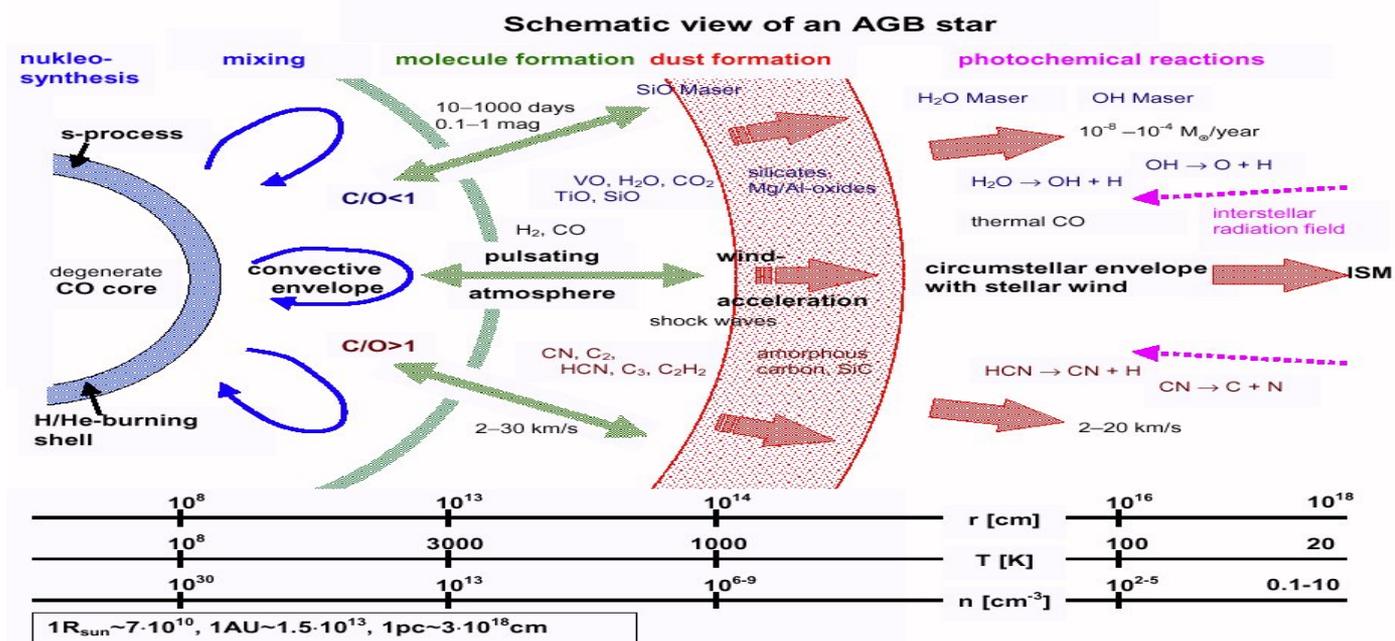
松永典之
(東大・天文学教室)

本発表で話すこと話さないこと

- 話さないこと
 - 系内天体の測光、分光観測。
 - 運動、組成を調べるには分解能(<1000)が低い。
 - 銀河面天体(VISTA変光星他)の分類。
 - 減光の強い領域の変光星を集中的に探査。
- 話すこと
 - 近傍銀河(<5 Mpc)の変光星(特にミラ)の探査
 - 分光(またはNBフィルター)による分類
 - ミラPLRの確立、距離の決定、恒星種族への応用
 - TAOは10個以上の銀河にある十分な数のミラを探せる

AGB (Asymptotic Giant Branch)

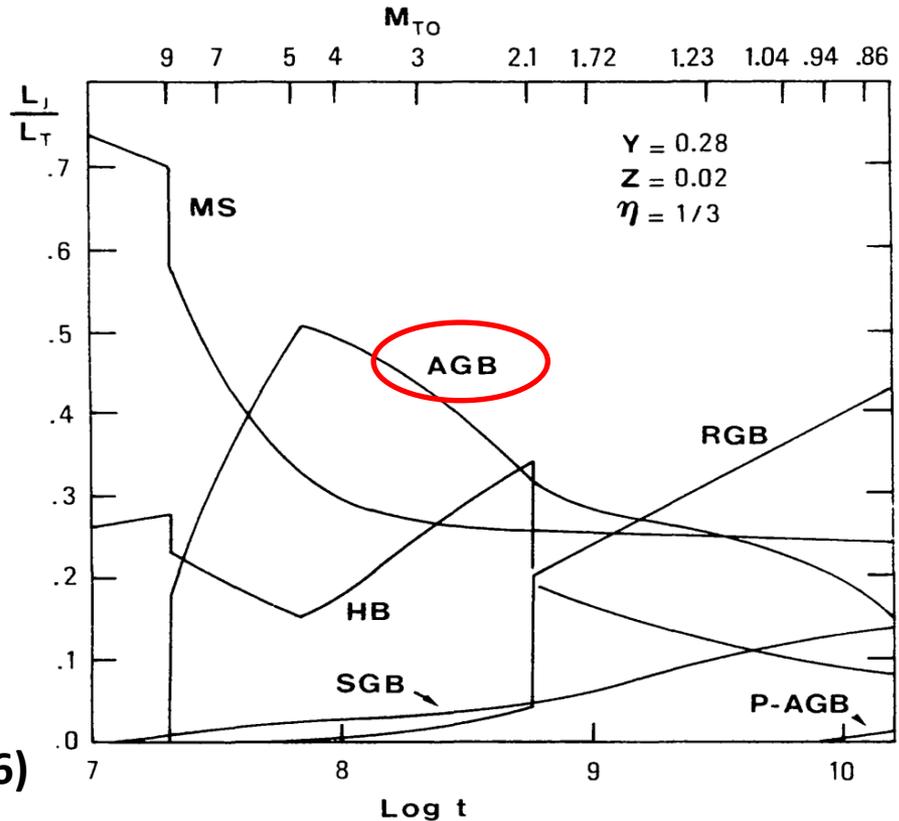
- 約8太陽質量より軽い星の進化の最終段階
- 電子が縮退状態にあるC,Oコア
- 水素殻燃焼(+フラッシュ状のヘリウム殻燃焼)
- 炭素などのコア付近の物質を表面に汲み上げ
- 質量放出が起こり、惑星状星雲、白色矮星へ進化



(c) Hron

AGBの銀河への影響

- 中間年齢の種族の主な光源
- 重元素を含むガス・ダストの供給源
 - ただし、少なくともマゼランではSNの方が影響大 (Matsuura+13)



Renzini & Buzzoni (1986)

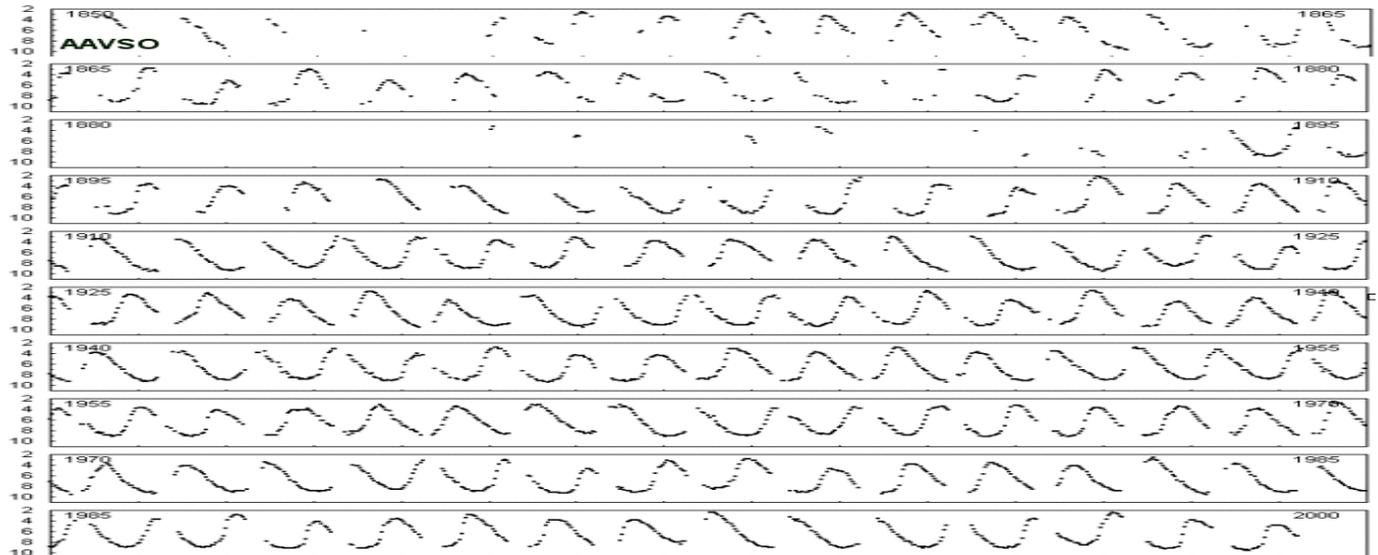
ミラ型変光星

- 脈動(振幅 $\Delta V > 2.5^{\text{mag}}$, $\Delta K > 0.4^{\text{mag}}$ 、周期 100^{d} 以上)
- 10^5 年(小質量星の場合)より短い期間
- AGBの中でも最終段階、質量放出も大きい
- 周期光度関係(P-L関係)を持つ。

Mira (LPV)
1850-2000 (10-day means)

Mira (omicron Ceti) is the prototype of pulsating long period variables and the first star recognized to have changing brightness. It has a period of 332 days. Generally, Mira varies between magnitudes 3.5 and 9, but the individual maxima and minima may be much brighter or fainter than these mean values. Its large amplitude of variation and its brightness make Mira particularly easy to observe.

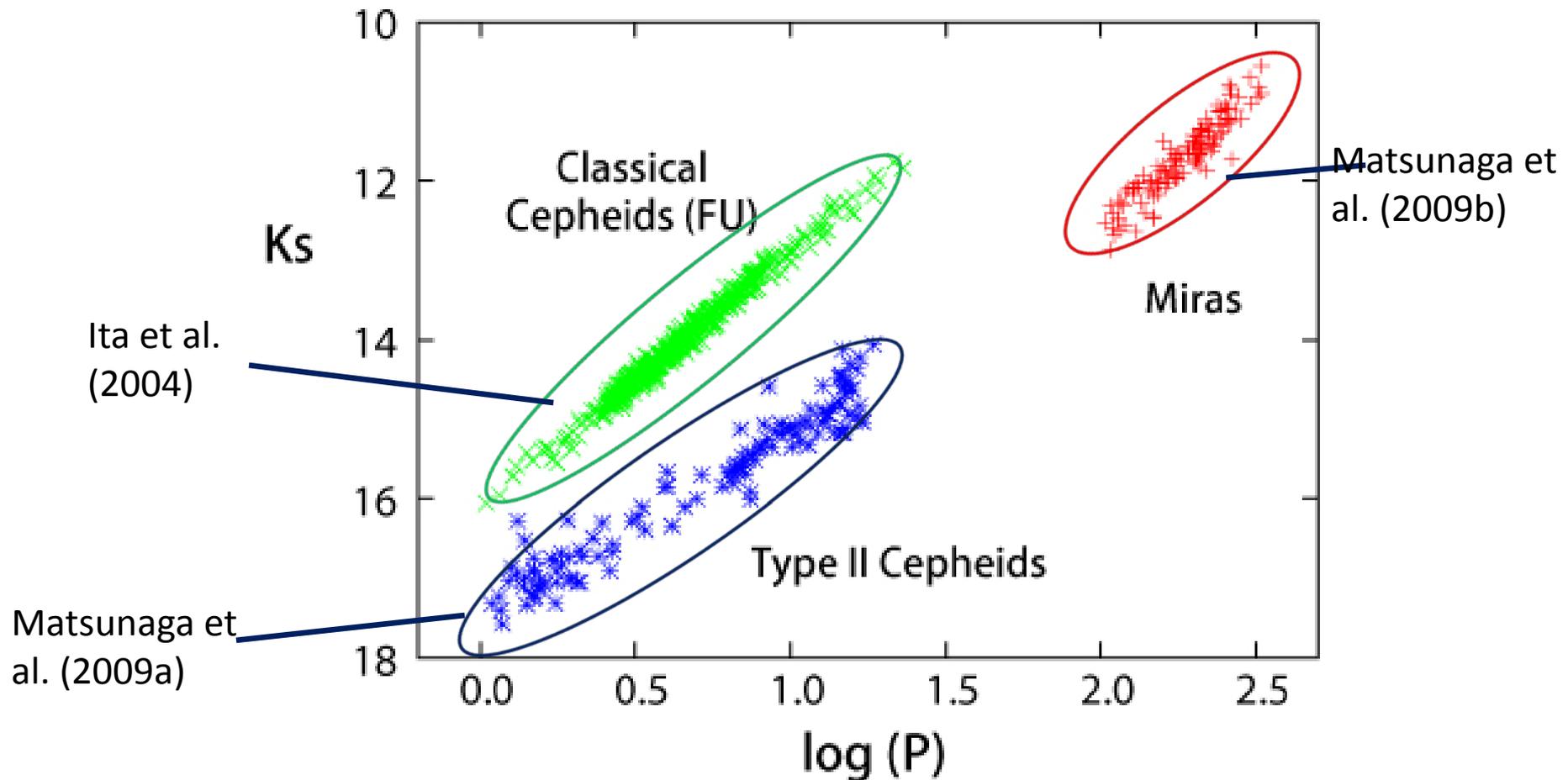
Mira is one of the few long period variables with a close companion which is also variable (VZ Ceti).



150年間のミラの変光
(AAVSOより)

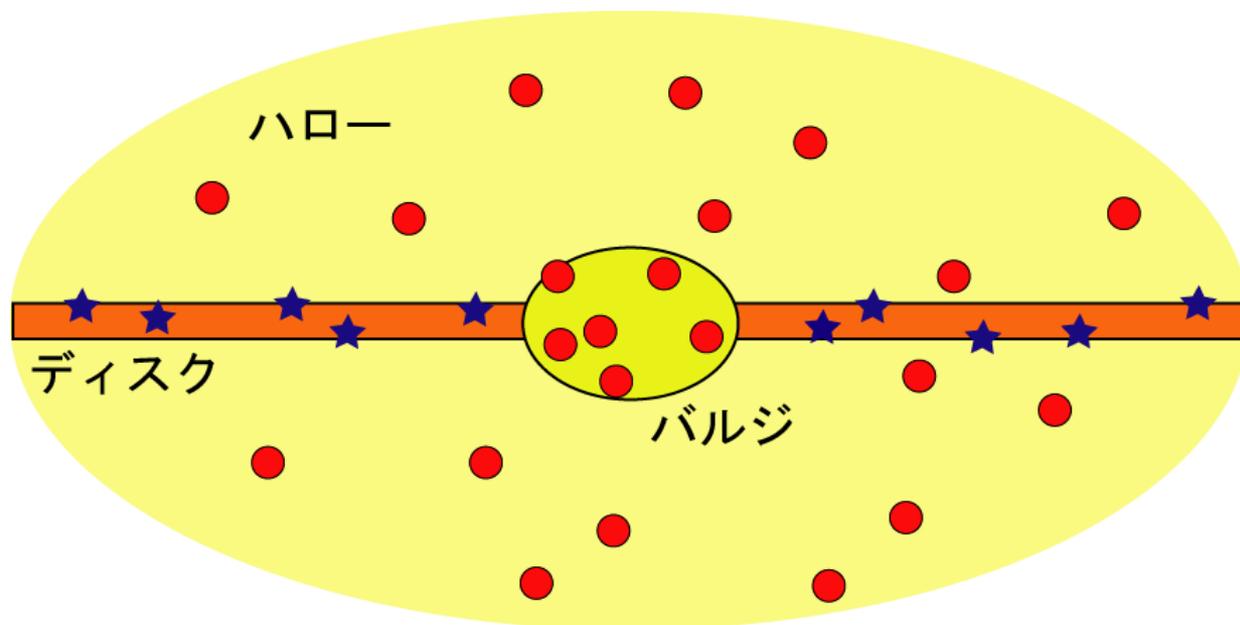
周期光度関係

- LMCにある数種類の変光星の周期光度関係
– IRSF/SIRIUSの観測データに基づく。



変光星の年齢

- 古典的セファイド: 3~10太陽質量。10~300 Myr
- II型セファイド・RRライリ: 約1太陽質量。10 Gyr
- ミラ型変光星: 1~5太陽質量。100 Myr~10 Gyr

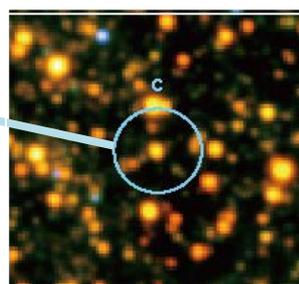
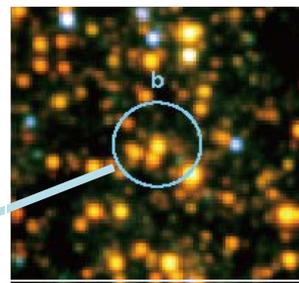
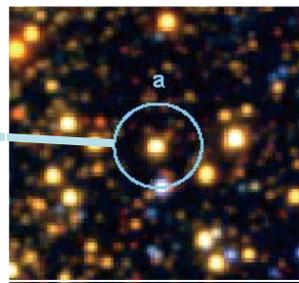
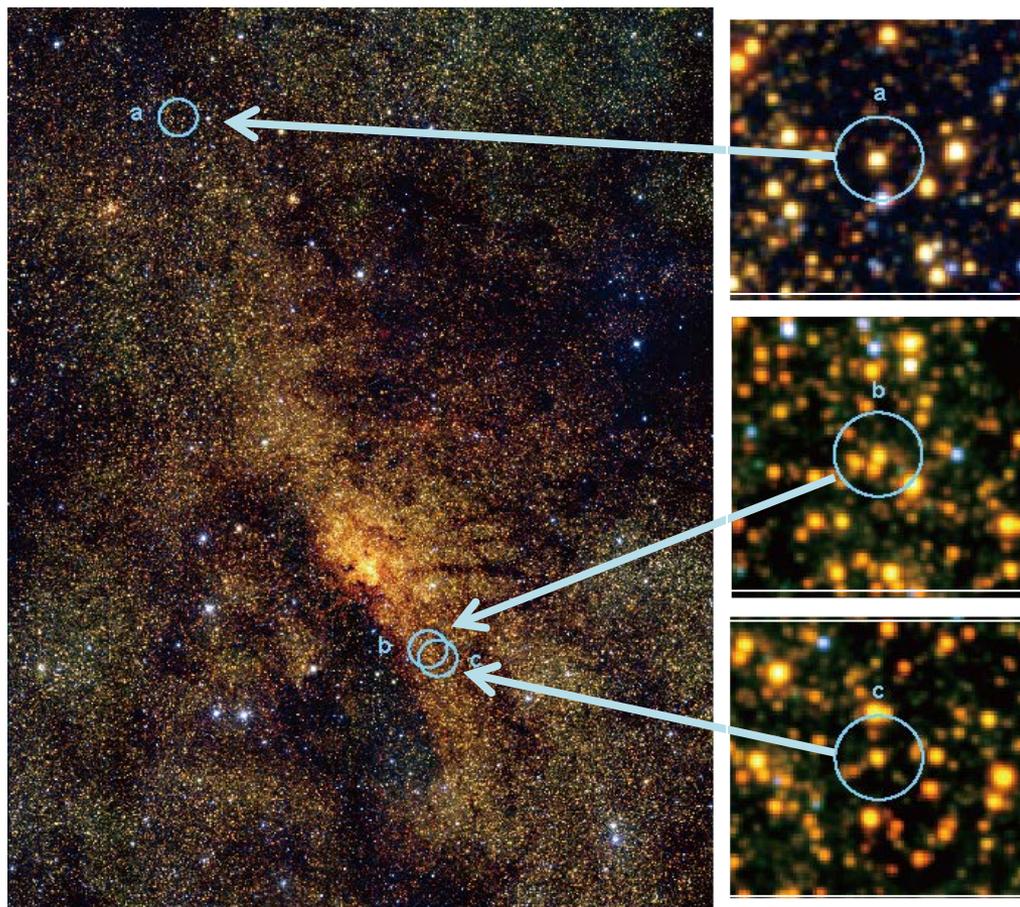


● 球状星団 (II型セファイド)

★ 古典的セファイド

古典的セファイドの場合

- 距離指標として確立され、種族指標としても使いやすい。



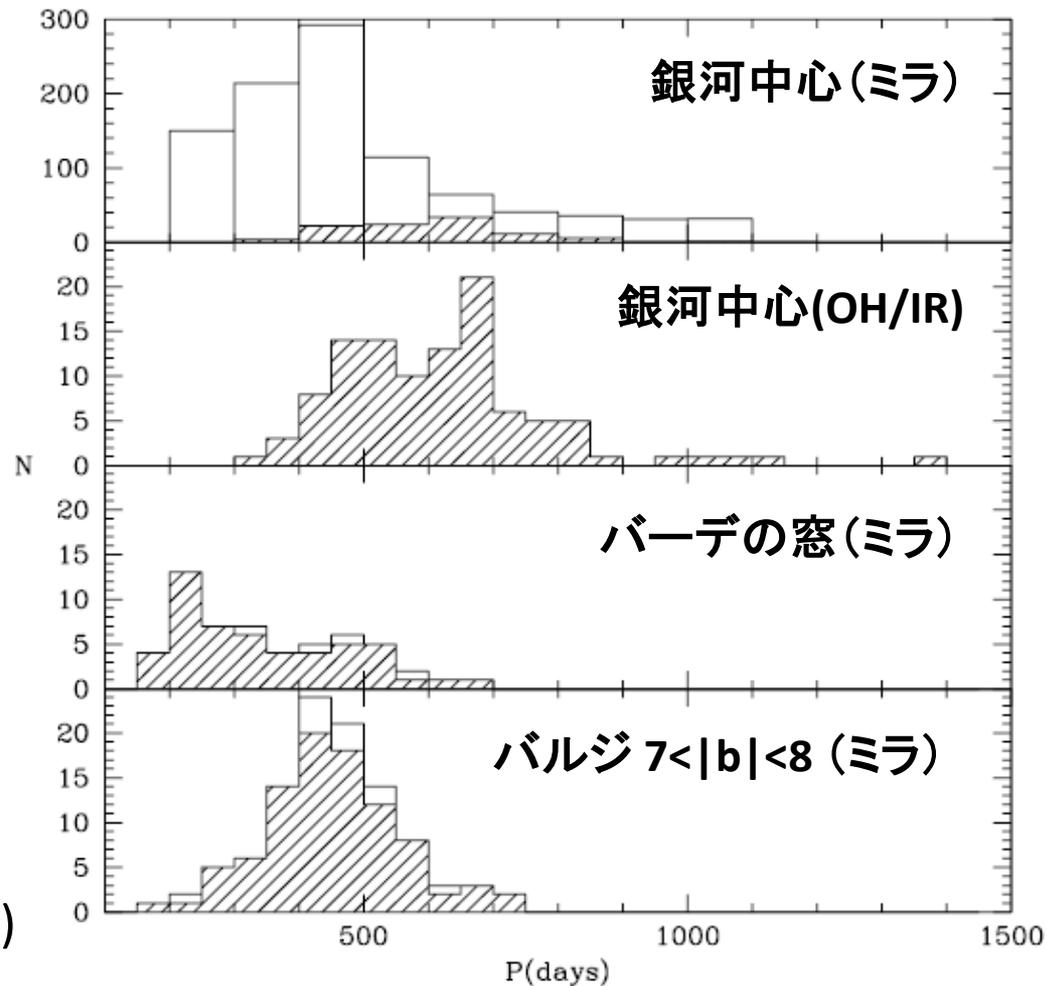
- 銀河系中心までの距離
 $14.47 \pm 0.13 \text{ mag}$
- 20~70 Myr前の星形成史

ミラの特徴(セファイドとの比較)

- 周期光度関係は赤外または輻射等級のみ。
 - 赤外線では明るい。
 - セファイドほど環境依存性の検証が行われていない。
- 幅広い年齢分布。
 - 古い星しかない銀河でも存在する。
 - 年齢決定精度はセファイドより低い。
- 銀河内での分布の集中度が低い。
 - 渦巻き、円盤部以外にも存在している。
 - 分解しやすい。星間赤化の影響が小さい。

周期分布

- 周期分布がどういう年齢の星がいるかの指標になる。
 - 周期が長いほど若い星(100Myr程度まで)の存在を示す。

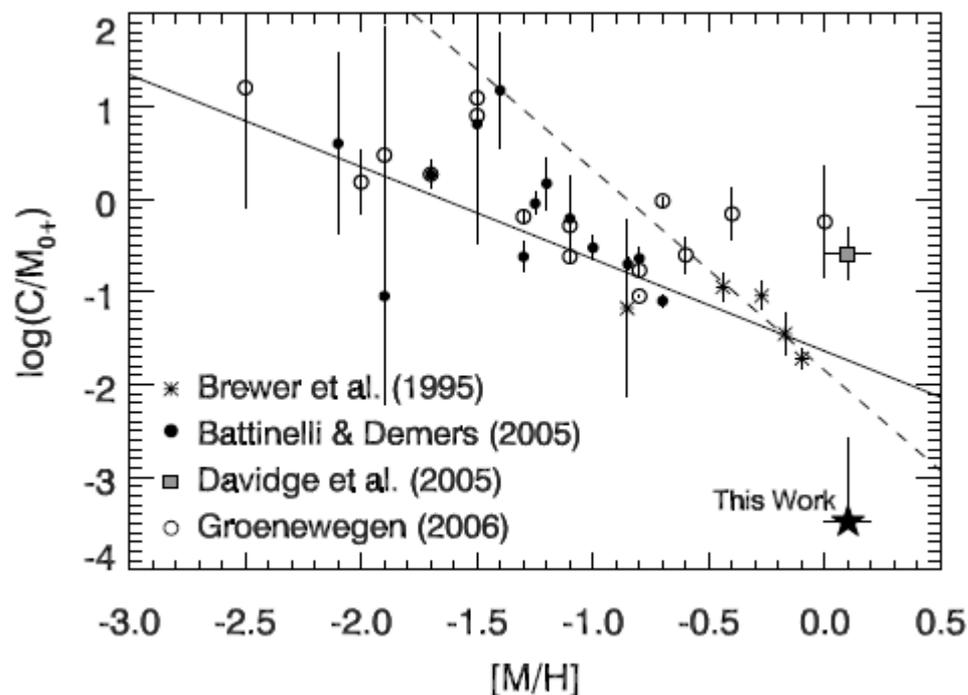


Wood et al. (1998)

AGBの酸素過多／炭素過多

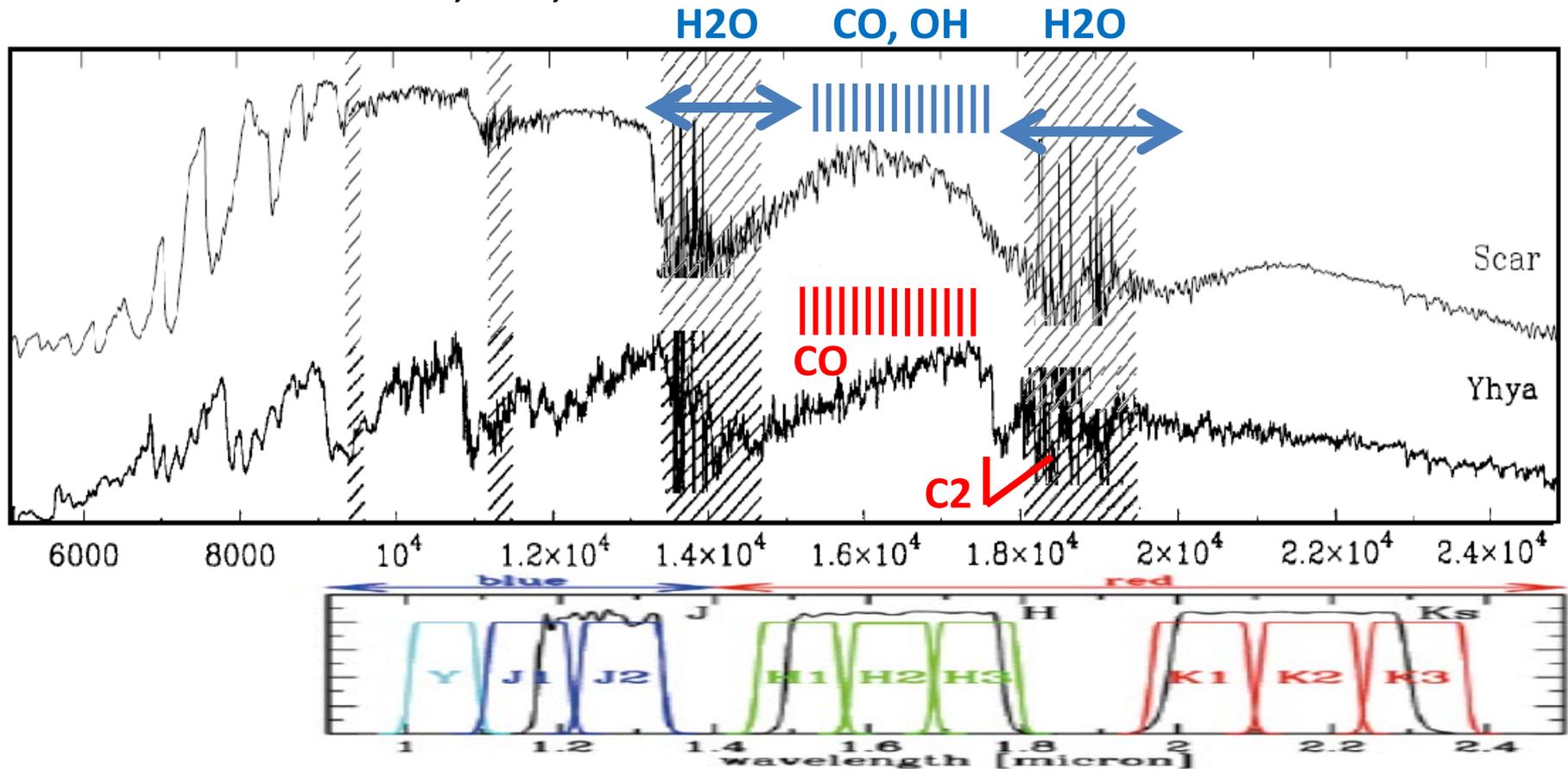
- 炭素の汲み上げでAGB星は二分される。
 - 炭素星になるかどうかは金属量と質量に依存する。
 - 例) 銀河系中の動径分布、近傍銀河のC/M比
- ミラ→AGBの最終段階に限定できる。

近傍銀河での(平均)金属量と、
炭素星・M型星の比
(Boyer + 2013)



酸素過多／炭素過多の分類

- 低分散で分類可能。NBフィルターでも可能？
 - O-rich : CO, H₂O, OH, TiO
 - C-rich : CO, C₂, CN



ミラの観測が重要な理由

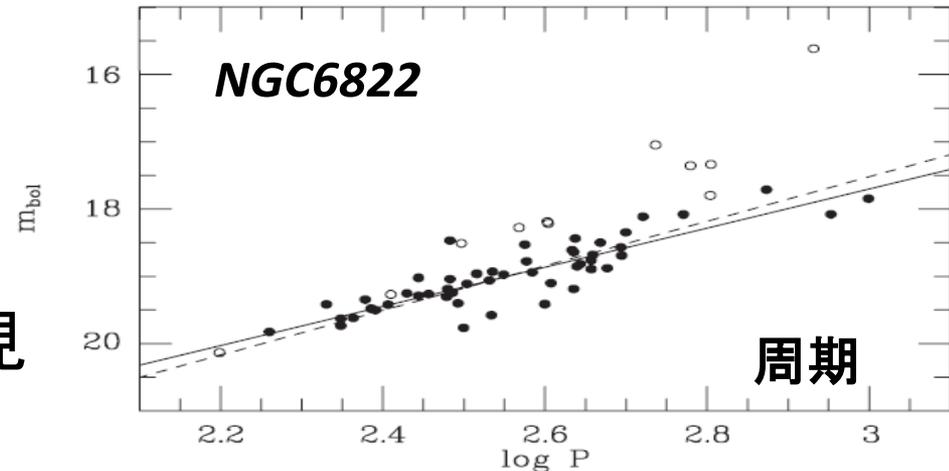
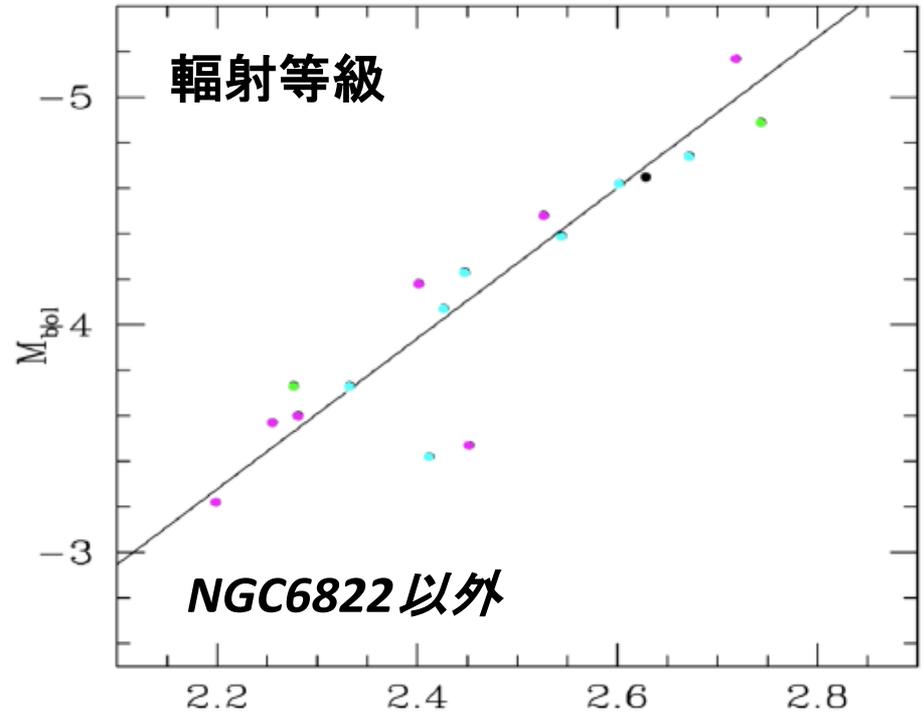
- 恒星進化の残された問題
 - 質量放出、対流と脈動の混在。
 - 光度がわかるのは系外銀河の星→今後の観測
- 距離指標、種族指標としての応用
 - セファイドと並ぶ指標になり得る。年齢分布は広い。
 - 遠くの銀河を分解すると最初に見える星の一種。
 - 振幅が大きいので検出も比較的容易。
- Gaiaの結果で何が分かるかわからない。
 - 距離指標の較正？ 恒星表面の様相？

これまでのミラの観測

- LMC、SMC
 - たくさんの観測が行われてきた。
- 局部銀河群の中の矮小銀河
 - 南ア・日本のグループでまとめられてきている。
- M31、M33
 - まだまだ不完全。→CFHT、Pan-STARRS (PS1)
 - 赤外での観測はほとんどない。
- 局部銀河群の外
 - 例外的にVLTでCen Aの観測 (Rejkuba 2004)

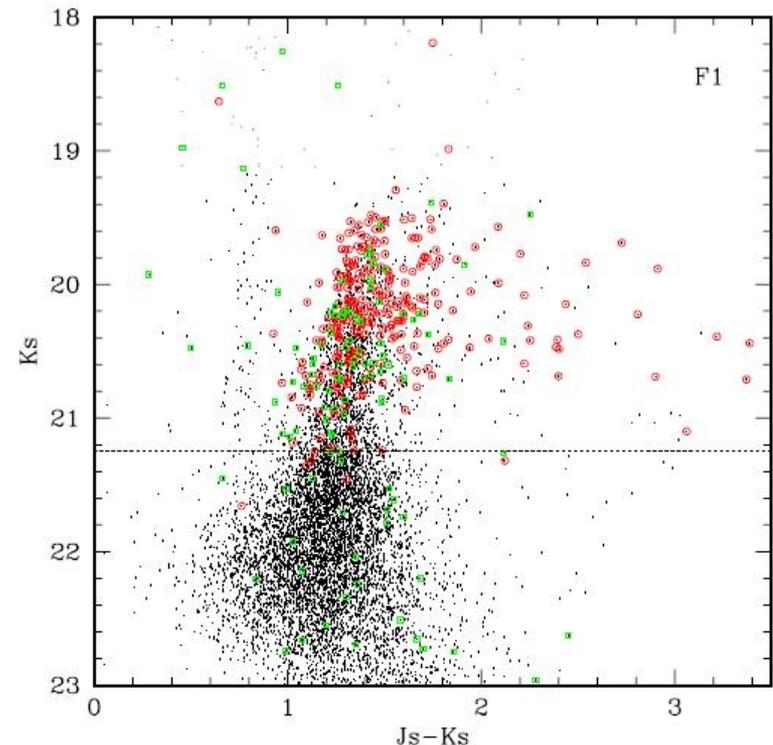
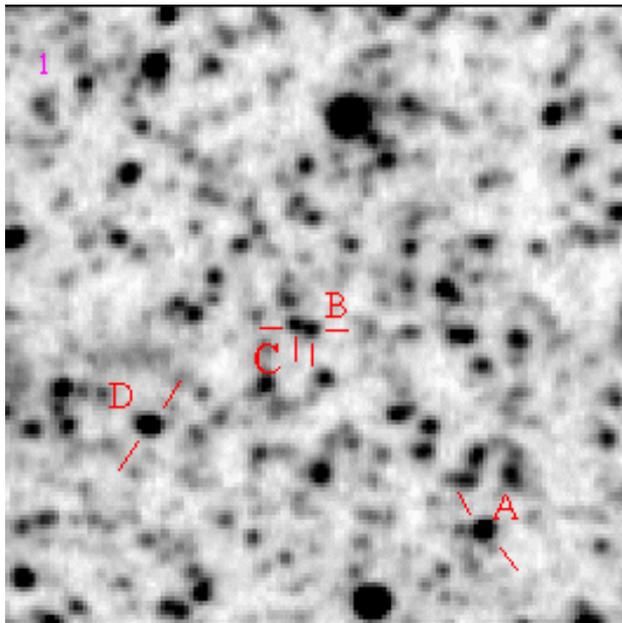
局部銀河群の矮小銀河

- 各銀河に1～約10個
- 炭素星ミラが多い。
- 南アIRSFで、南ア・日本共同の観測
 - Whitelock, Menzies, Feast, 松永, 板, 田辺, 他
 - Fornax, Leol, NGC6822, Sculptor, Phoenix
- 木曾でSextansミラ発見
 - Sakamoto et al. 2012
 - Sgrストリームのミラも発見



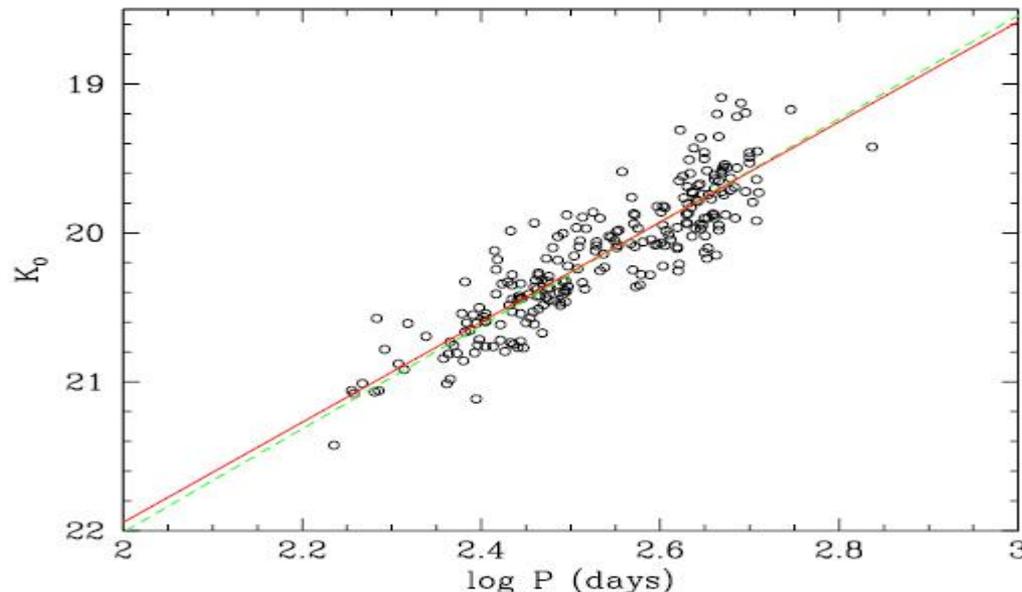
Cen A: Rejkuba (2002-2004)

- Cen A (NGC 5128) 約4MpcにあるS0銀河。
- VLT-8.2m / ISAAC
 - 1999~2002にかけて約20回
 - FWHM $\sim 0.4-0.5''$ 、 $0.148''/\text{pix}$ Exposure ~ 60 min



Cen Aのミラと周期光度関係

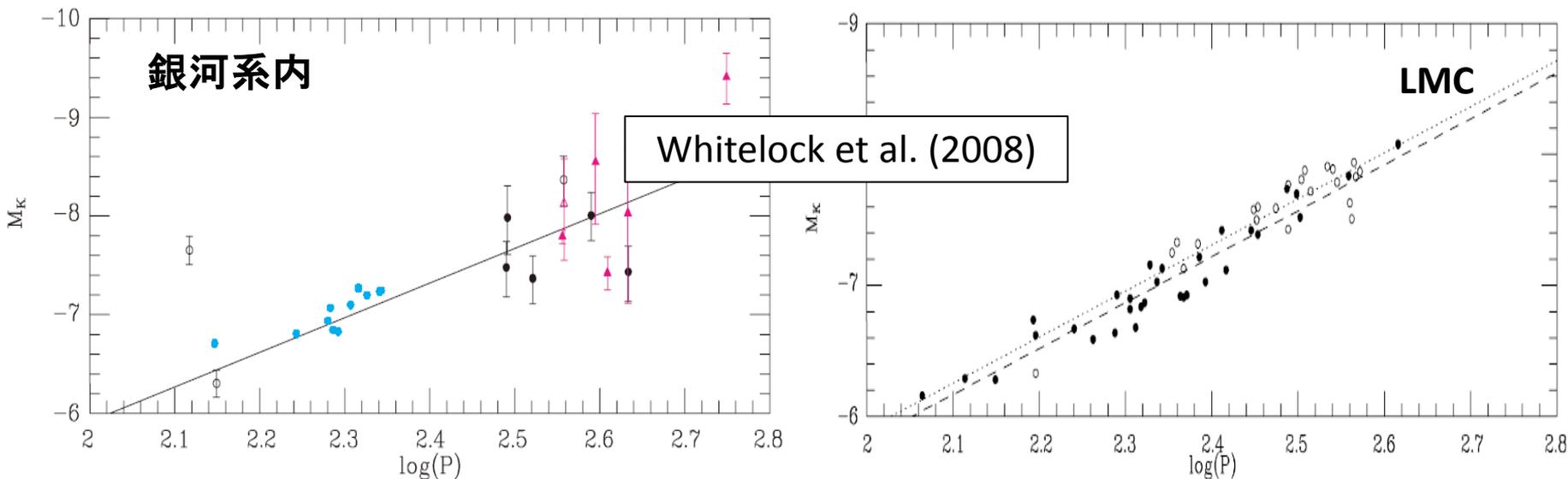
- 1000個以上の長周期変光星を発見
- 局部銀河群の外にある銀河で初めて(現在のところ唯一)
- P-L関係の傾きはLMCなどのものと矛盾しない。
- P-L関係による距離測定
 - $\mu_0(\text{Cen A}) = 27.96 \pm 0.11 \text{ mag}$ (系統誤差込み、本当?)
 - 同時に求めたTRGB法の結果では $27.87 \pm 0.16 \text{ mag}$



Rejkuba
(2004)

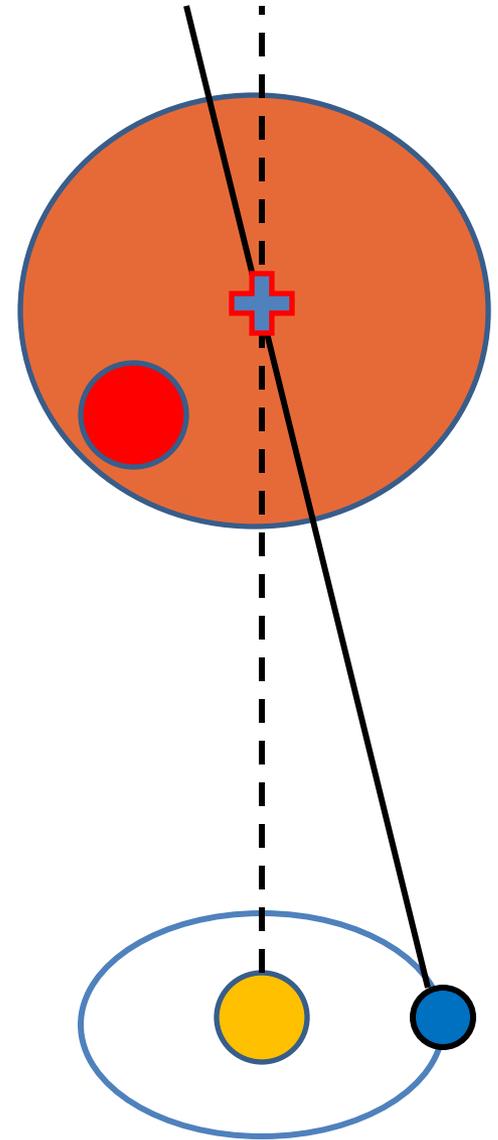
各環境でのミラのP-L関係

- いくつかの恒星系のミラから、おおまかには普遍的なP-L関係の存在が示唆されている。
 - VLBIで年周視差が計測された数天体
 - 球状星団にあるミラ
 - LMC, SMCのミラ。←これが主要な較正天体
 - 局部銀河群の矮小銀河、Cen Aのミラ。



Gaiaとミラ

- 今年打ち上げ予定
- 2019年頃まで観測
- 年周視差が測定できて、P-L関係の較正が可能？
- 大きい表面輝度の活動性が検出される？
 - Hipparcosでは、十分近いミラが存在しなかった。
 - Gaiaでは数多くのミラの年周視差が十分大きくなるが…
 - 大振幅も測定を難しくする。



これまでの観測の問題点

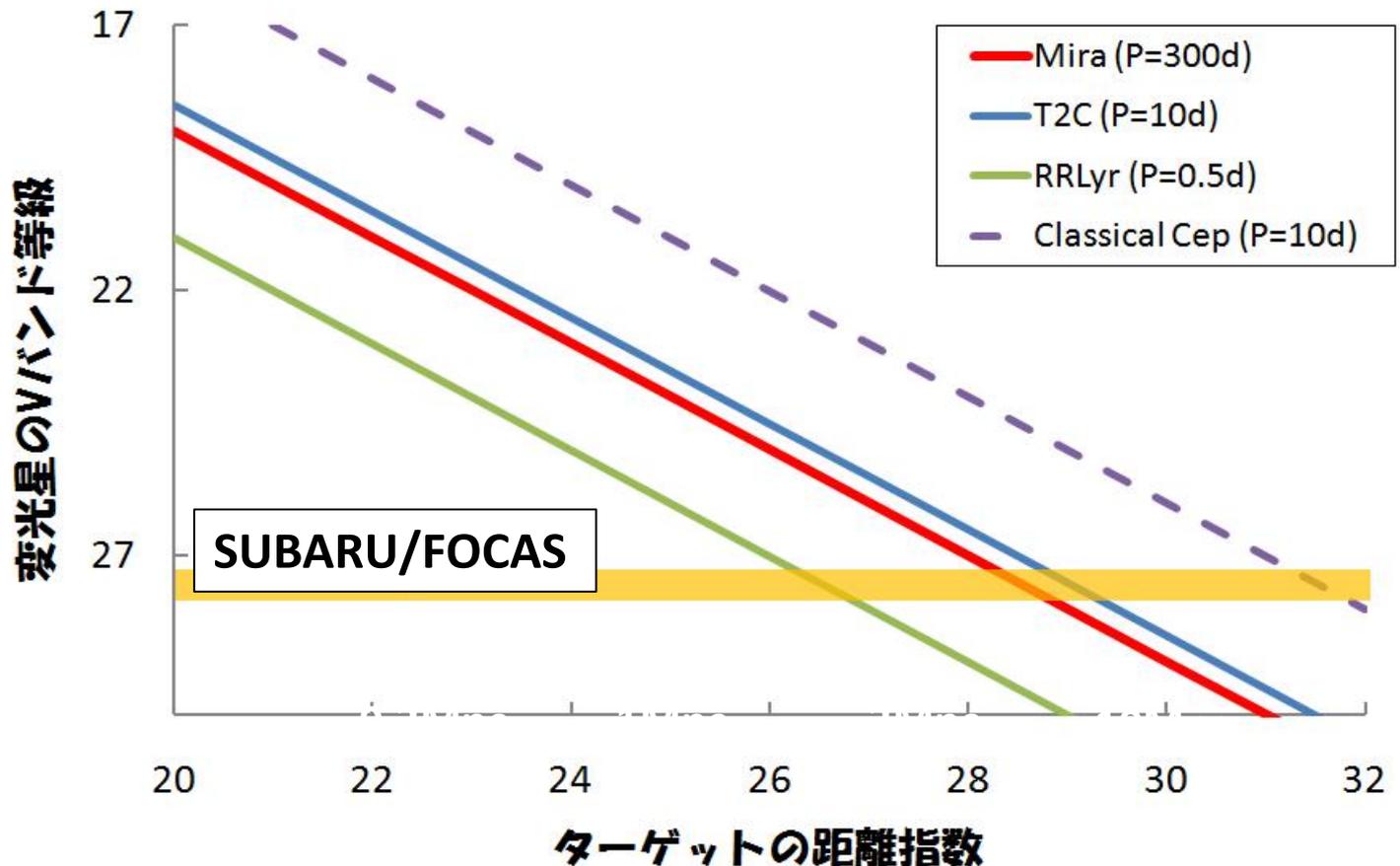
- 十分な個数のミラが存在する銀河での観測が少ない。
 - 環境依存性の調査が不十分。
 - 口径の大きな望遠鏡での反復観測の難しさ
 - 長期にわたって安定した赤外観測を行えるTAOの優位性。
- 年周視差による較正が十分でなかった。
 - Gaiaによって行われるか、または原理的に難しいことがわかる。

TAO/SWIMSによる観測

- 距離と銀河にある恒星の年齢構成の調査
 - ミラ型変光星のP-L関係を利用した距離決定
 - ミラ型変光星の周期分布は、主に100Myr~10Gyrの年齢構成を調べる指標となる。
 - 銀河の型と金属量によるミラの周期分布、O/C-richとP-L関係の変化
- 1時間のon-source積分→ K=22 Vega mag (S/N~25)
 - K=23.7 Vega mag (5σ)

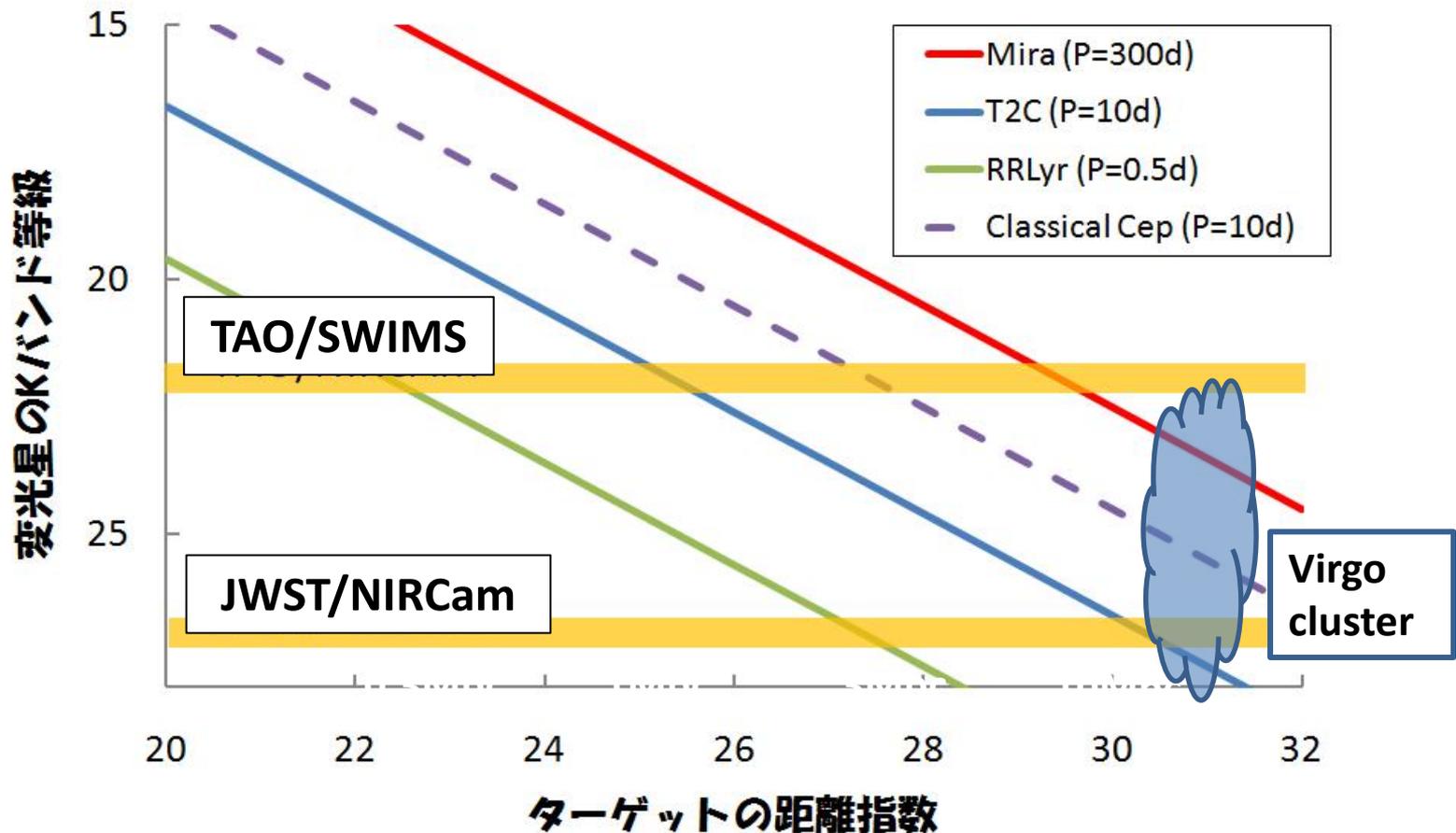
Vバンドでの変光星探査に必要な等級

- HSTでは27等くらいまでの撮像を行い、20Mpcくらいの銀河にあるセファイドを観測。
- ミラはVバンドでは暗く、さらにP-L関係を持たない。

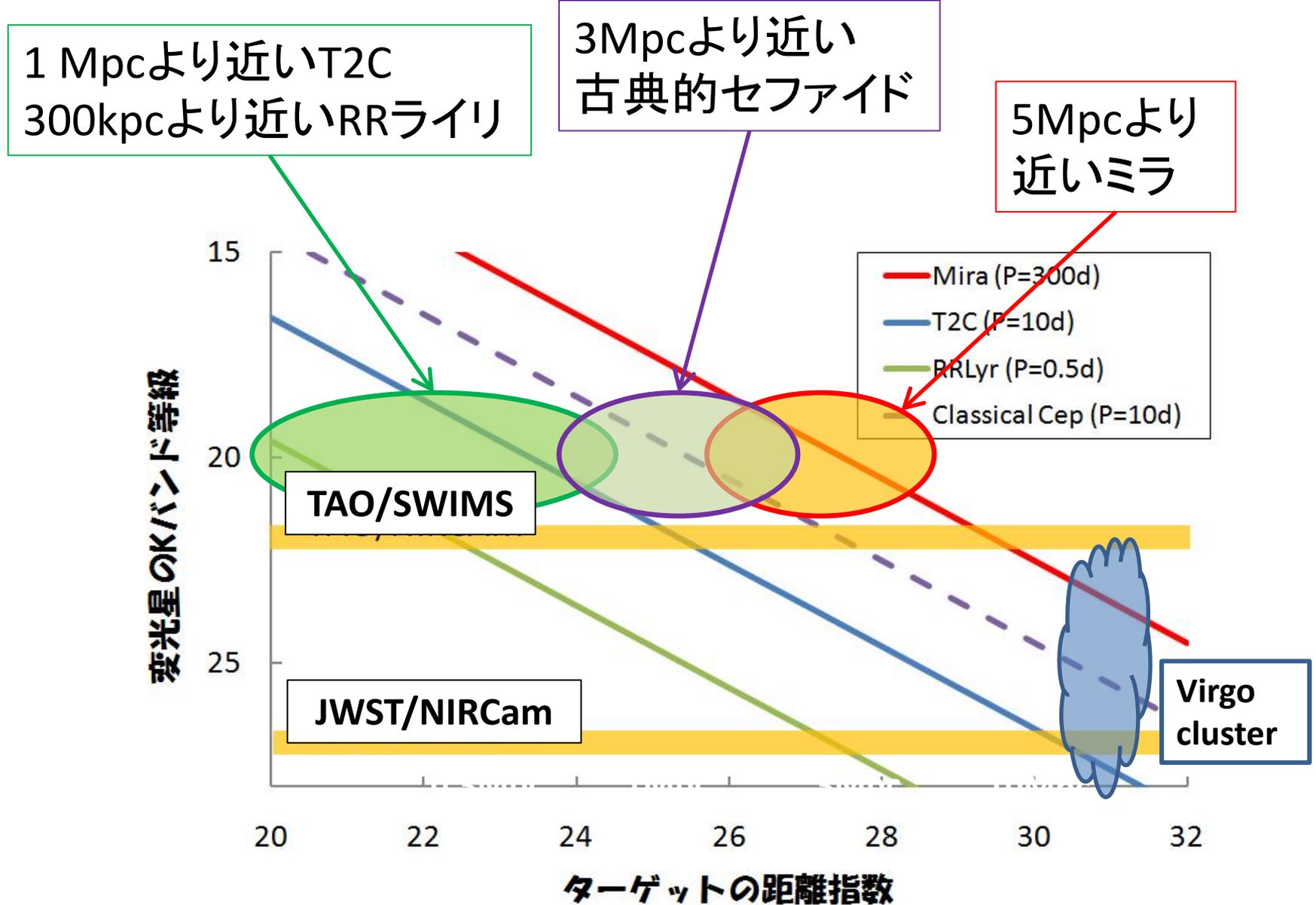


Kバンドでの変光星探査に必要な等級

- ミラ型変光星が明るくなり、赤外の方が探査に有利。
- セファイドが探査可能な範囲は、HST→JWSTでそれほど伸びないが、ミラ型変光星では非常に遠くまで見える。



TAO/SWIMSで観測できる変光星



必要な観測時間(探査)

- 1回あたり1時間の積分を繰り返す。
- 最初の数回でミラの検出が可能かどうか調査。
- ミラが検出できそうなら、3年かけて25回くらい反復観測。
- Overhead(積分時間の2倍)を入れて、1つの銀河あたり50時間(～7夜分)
- 金属量と型(E, SA, SB)の異なる銀河10個程度→3年間に約2カ月半(70夜)
- 1時間単位で自由にアロケート。(Seeing要求有)

必要な観測時間(分類)

- O-richとC-richの区別は、たぶん狭帯域フィルターで可能。
 - 近赤外線領域でのNBフィルターは未確立。
 - 可視光ではWingフィルター(N777/N810)が使われる。
 - マスク交換の手間や将来の応用も考えて。
- 多天体分光
 - 明るい位相のミラを集めて多天体分光
 - $H < 22^{\text{mag}}$ \rightarrow 1~2時間/20~40天体

他の目的、他の観測

- 既知のセファイドの赤外線観測
- Tip of RGB法での距離決定
- RGBのカラーから金属量分布
- 狭帯域フィルターでの輝線星探し
- 他のプログラムでの近傍銀河 (<10Mpc) をそのまま変光星探査のターゲットとする。
- すばるでは、NBフィルターでの恒星分類のテストの一つとして、O/C-richの分類を試す。

まとめ

- 距離指標と種族指標としてのミラ型変光星
- TAO/SWIMSで、10Mpcくらいまでの銀河にあるミラを探索・分類できる。
 - 局部銀河群外の複数の銀河を調べるのは初
 - 10個の銀河のミラを探すのに、3年で約2カ月半のプログラム。
- P-L関係：様々なタイプの銀河にある十分な数のミラを集めることで環境依存性を調査。
- Gaia後、JWST時代にミラが注目されるかも。