

ミラ型変光星を用いた 楕円銀河の高精度距離測定

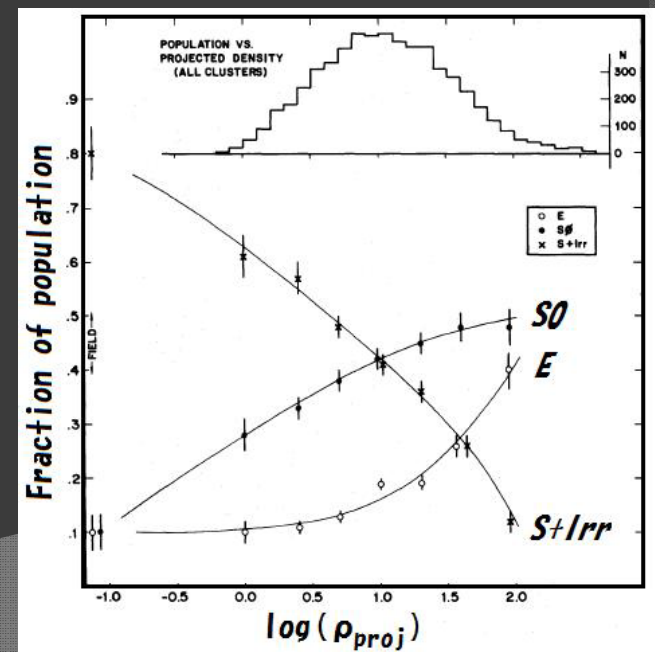
松永典之
(東大天文センター)

はじめに

- ◎ IRSF/SIRIUSの経験から：
 - 安定して常時使うことのできる赤外線装置は大変有効である。
 - 豊富な観測時間を活かして、世界でも稀少な近世外線での変光星観測を行いたい。

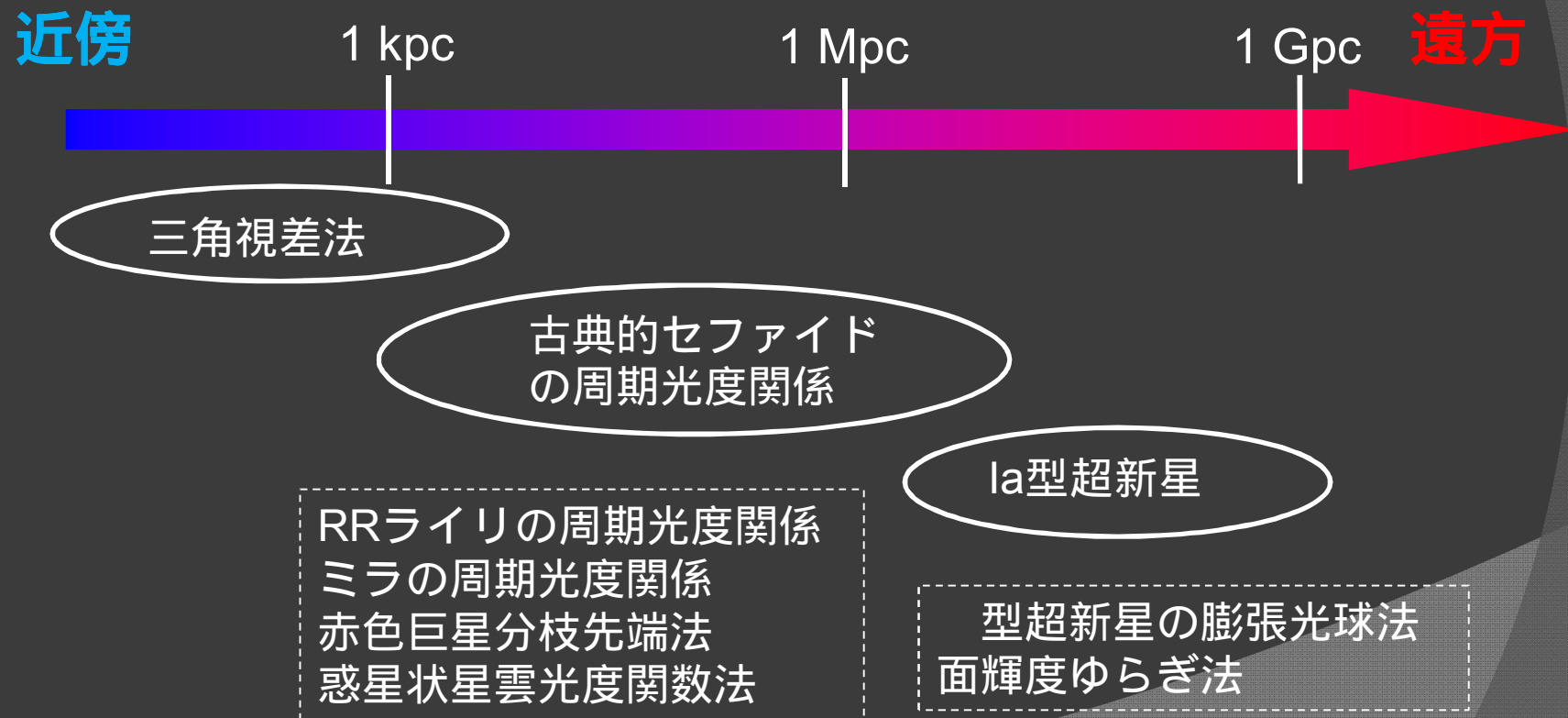
楕円銀河

- ◎ 宇宙初期の銀河形成・進化を物語る重要な化石
 - 古い星が支配的
 - 銀河団の中心部分に向かって多い。
- ◎ 楕円銀河の正確な距離決定によって・・・
 - 渦巻銀河とは異なる銀河団内での分布
(Cf. おとめ座銀河団)
 - 光度など基本的な物理量



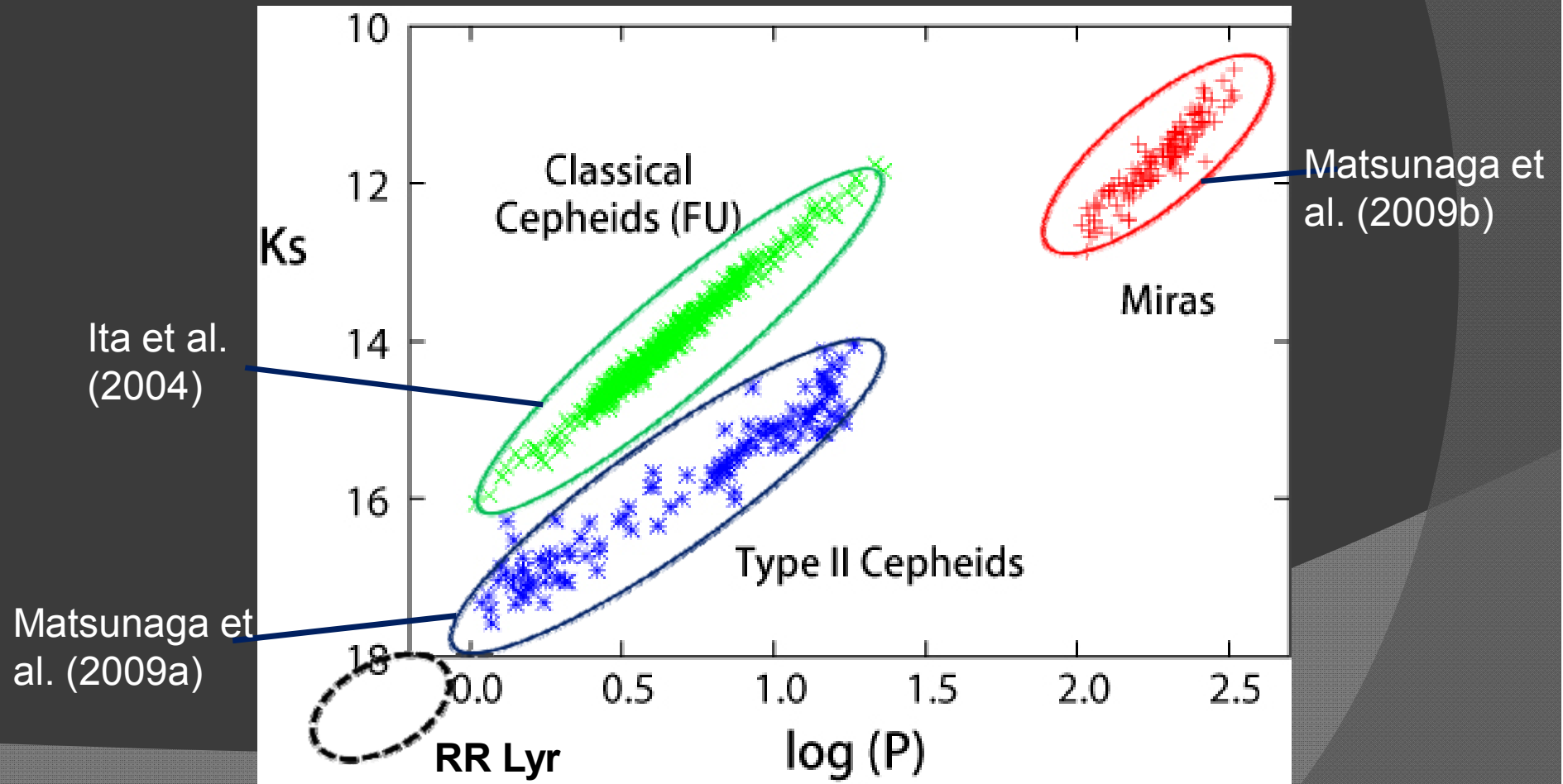
距離のはしご

- ◎ 三角視差法では届かないが、個々の星が見えるという範囲では、セファイドの周期光度関係が基本的な役割を果たす。



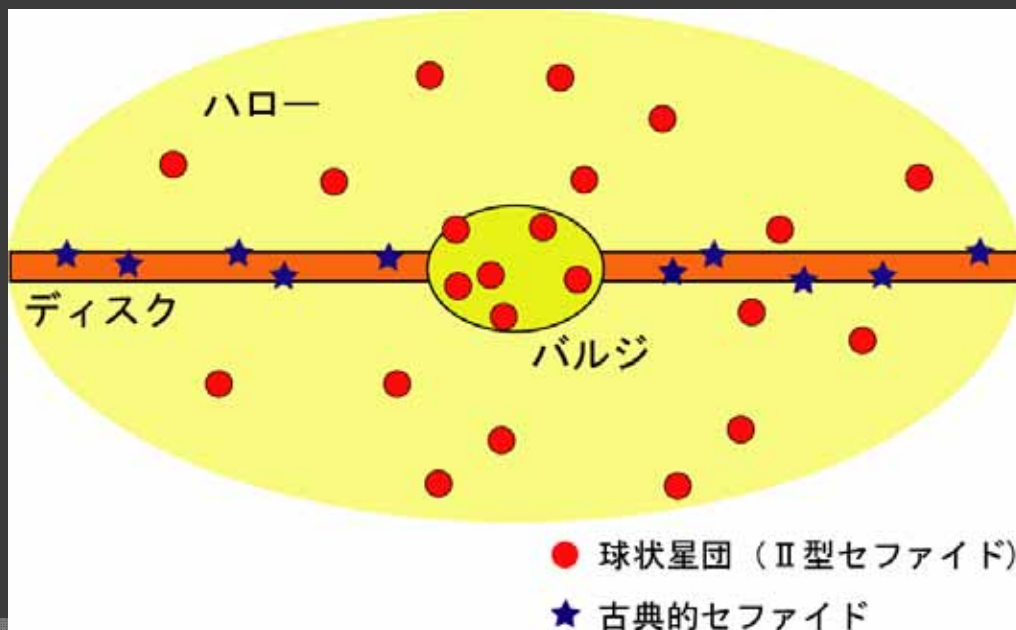
周期光度関係

- ◎ LMCにある数種類の変光星の周期光度関係
 - すべて、IRSF/SIRIUSの観測に基づく。



変光星の年齢

- ◎ 古典的セファイド
 - 若いグループ（ディスクなど）。3 ~ 10 太陽質量。
- ◎ 型セファイド・RRライリ
 - 年老いたグループ（球状星団など）。約 1 太陽質量。
- ◎ ミラ型変光星は 1 ~ 5 太陽質量程度



1 Gyr以上の年齢の星
しかない銀河：

× 古典的セファイド
型セファイド
RRライリ
ミラ型変光星

楕円銀河の距離決定法

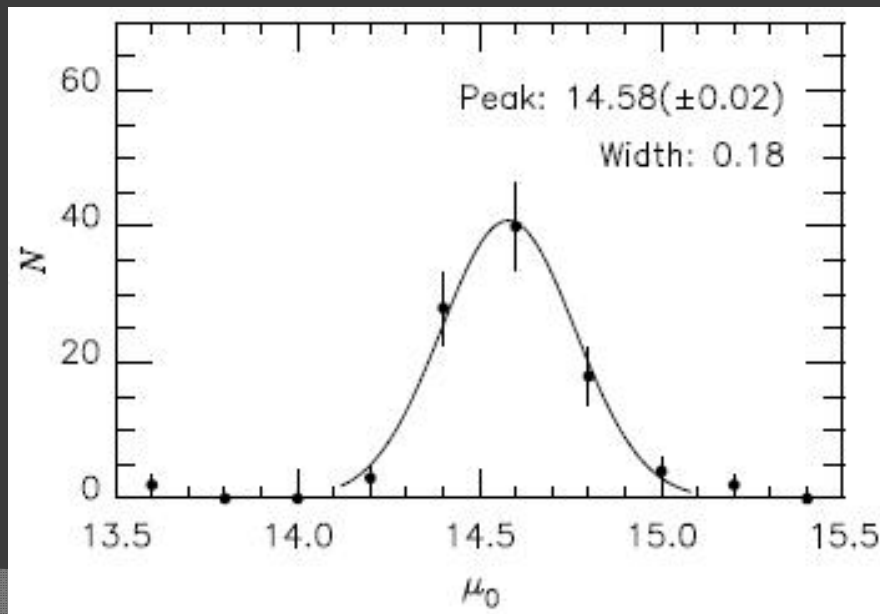
- ◎ 古典的セファイドがないので、高年齢の種族に使える距離指標が必要。

距離指標	精度	到達できる距離
RRライリのP-L関係		×
型セファイドのP-L関係		×
ミラ型変光星のP-L関係		
赤色巨星分枝先端法(TRGB法)		
惑星状星雲光度関数法		
面輝度ゆらぎ法		
フェイバー・ジャクソン関係	×	

ミラ型変光星による距離決定

◎ 周期光度関係の利用

- ひとつひとつのミラに対する距離決定精度は ± 0.2 mag ほど。何十個かまとめて使うことで統計誤差が小さくできる。
- 系統誤差
 - LMCの距離の不定性
 - 金属量への依存性がよくわかっていない。

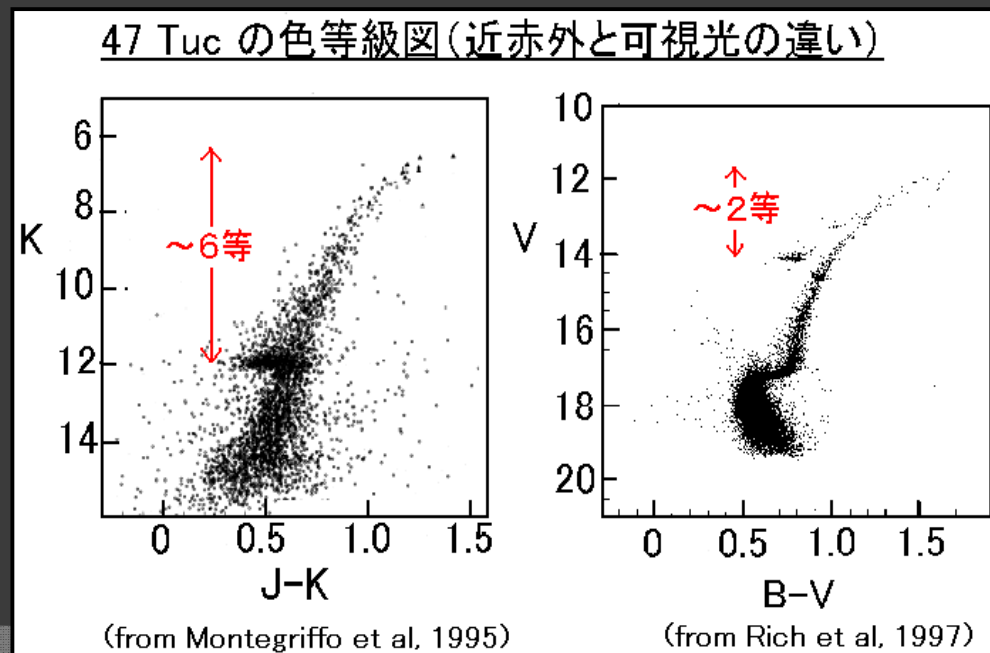


銀河中心の距離決定

$\mu_0 = 14.58 \pm 0.02^{\text{stat}} \pm 0.11^{\text{syst}}$
(Matsunaga et al. 2009)

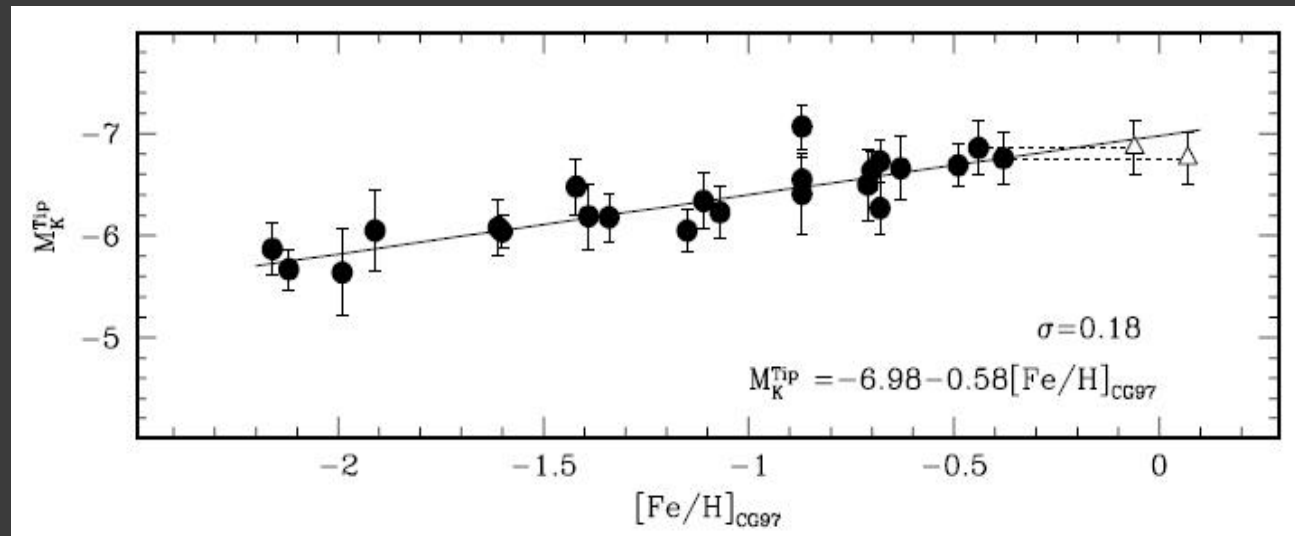
近赤外線観測の有利な点

- ◎ ミラの周期光度関係は近赤外でないとダメ。
- ◎ ミラが目立つので混んだ領域でも検出・測光しやすい。
 - 楕円銀河では重要な利点
 - それでもやはりAOは欲しい。



TRGB法 (赤色巨星分枝先端法)

- ヘリウムフラッシュの光度が、金属量にそれほどよらずほぼ一定であることを利用
 - 比較的精度が高いが、ほとんどの場合tipの等級を求めるのに ± 0.10 等ほどの誤差が出る。
 - S. Sakai氏(UCLA)らが精密な方法論を確立している。



どれくらいの精度が出るか

- ◎ 100個のミラが見つければ

→ ± 0.02 (stat.) ± 0.10 (syst.) mag

$\Delta[\text{Fe}/\text{H}] = 0.3$ dex に対し、 $\Delta\mu_0 \sim 0.05$ mag

(ただし、まだあまり確立されていない。)

- ◎ TRGB法

→ ± 0.10 (stat.) ± 0.10 (syst.) mag

$\Delta[\text{Fe}/\text{H}] = 0.3$ dex に対し、 $\Delta\mu_0 \sim 0.2$ mag (Kバンドの場合)

- ◎ 10Mpcにおけるの $\Delta\mu_0$ の影響

$\Delta\mu_0$ (mag)	0.02	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.50
ΔD (kpc)	90	230	460	690	920	1400	2300

* MWとM31の距離：700 kpc

Cen Aの場合

- ◎ Cen A (NGC 5128)
 - S0銀河
 - 電波銀河で最も近いAGNがある。
 - Rejkuba (ESO)らがミラ型変光星の観測を行った。



Centaurus A
(MPG/ESO 2.2-m + WFI)

ESO PR Photo 14a/03 (10 June 2003)

©European Southern Observatory

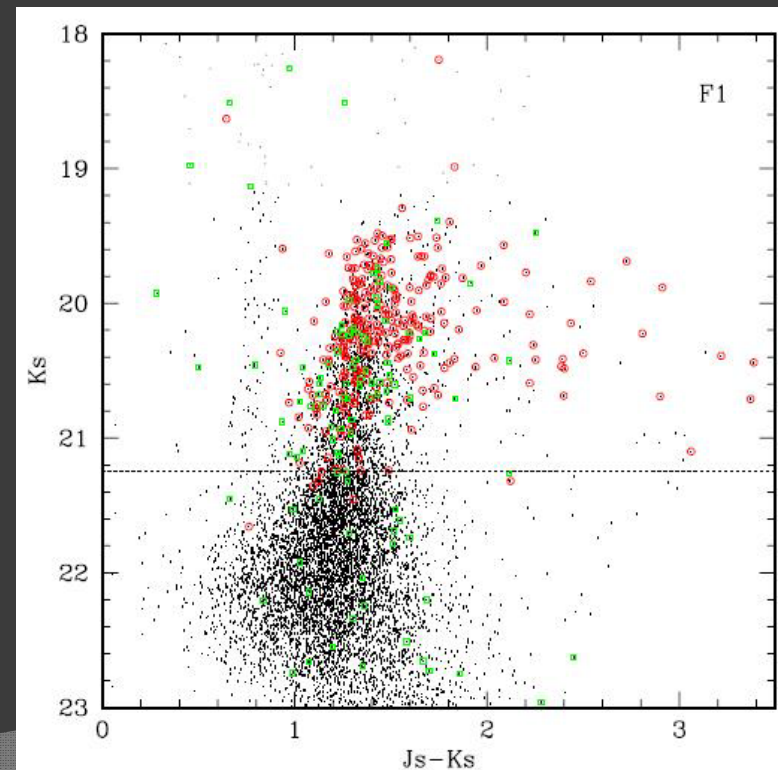
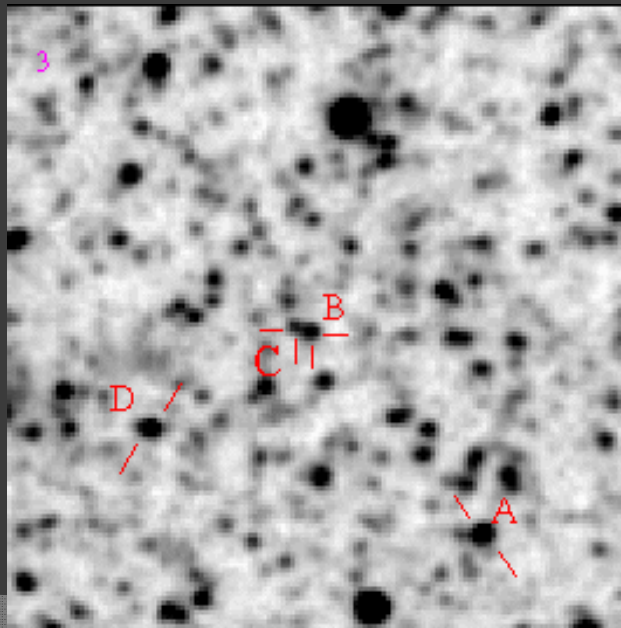


#	DM (mag)	Method	Reference
1	26.6	Stellar luminosity function (LF)	Sersic (1958)
2	29.6	Largest HII regions	Sandage & Tammann (1974)
3	27.73 ± 0.14	Planetary nebula LF	Hui et al. (1993)
4	27.97 ± 0.14	Planetary nebula LF	(3) revised by Harris et al. (1999)
5	27.53 ± 0.5	Globular cluster LF	Harris et al. (1988)
6	27.86 ± 0.16	<i>I</i> -band RGB tip (WF chips of WFPC2)	Soria et al. (1996)
7	27.76 ± 0.16	<i>I</i> -band RGB tip (PC chip of WFPC2)	Soria et al. (1996)
8	27.98 ± 0.15	<i>I</i> -band RGB tip (WFPC2)	Harris et al. (1999)
9	27.48 ± 0.06	<i>I</i> -band SBF	Tonry & Schechter (1990)
10	27.71 ± 0.10	<i>I</i> -band SBF	(9) revised by Israel (1998)
11	28.18 ± 0.07	<i>I</i> -band SBF	(9) revised by Marleau et al. (2000)
12	28.12 ± 0.15	<i>I</i> -band SBF	Tonry et al. (2001)

Rejkuba (2002-2004)の観測

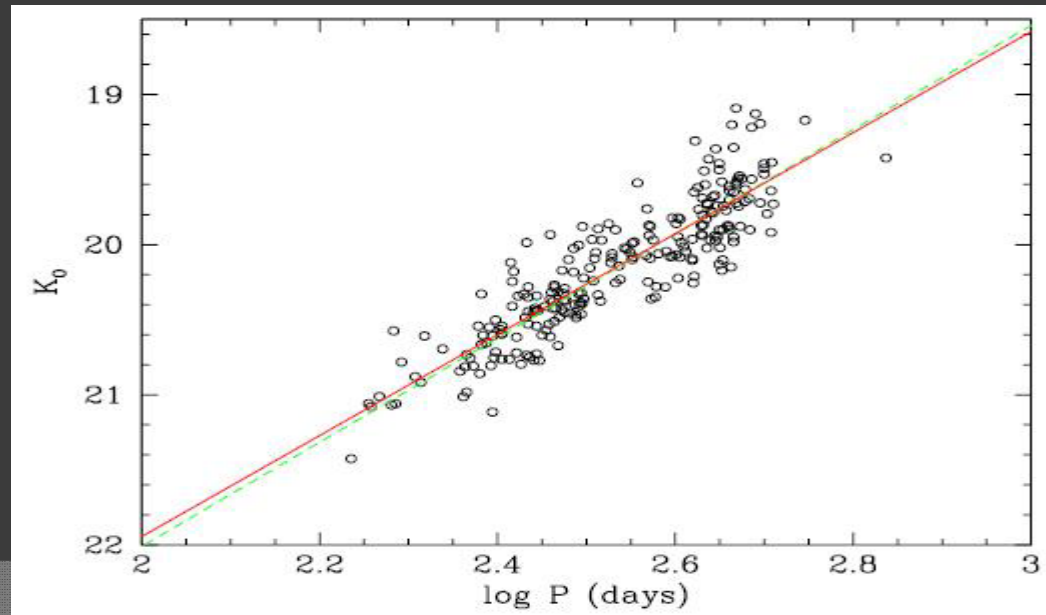
◎ VLT-8.2m / ISAAC

- 1999~2002にかけて約20回
- 0.148"/pix (1k1k Hawaii Rockwell array)
- FWHM ~ 0.4"
- Exposure ~ 60 min



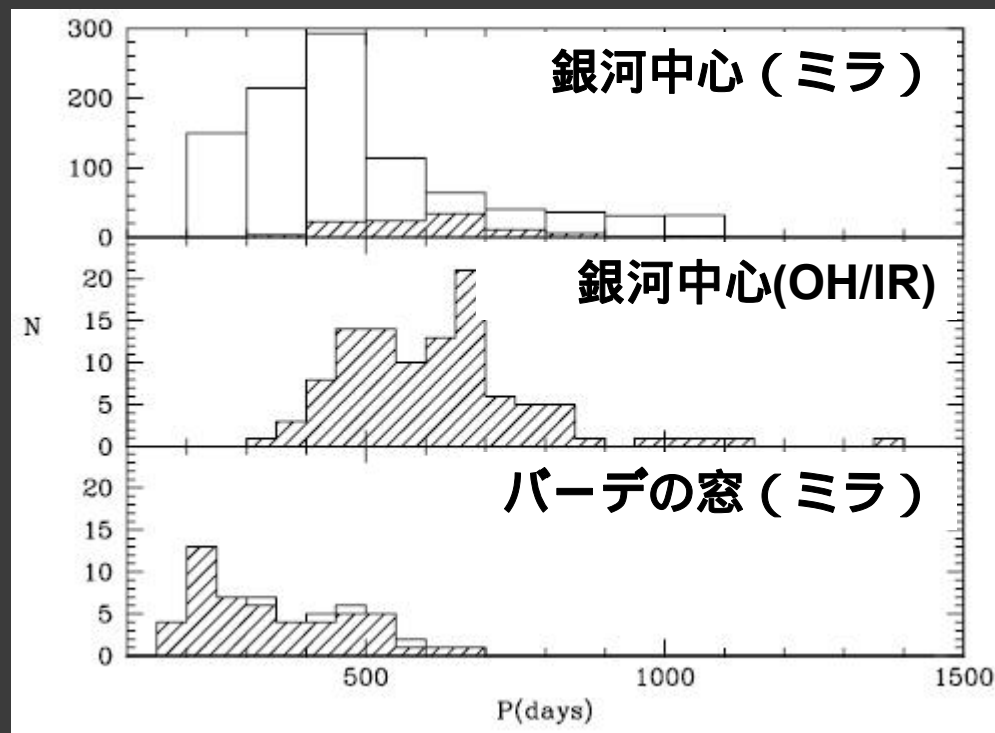
Rejkubaによるミラの発見

- ◎ 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）
- ◎ 周期光度関係を利用して距離測定
 - $\mu_0(\text{Cen A}) = 27.96 \pm 0.11 \text{ mag}$ (系統誤差込み)
 - 同時に求めたTRGB法の結果では $27.87 \pm 0.16 \text{ mag}$



さらにミラ型変光星の応用

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



楕円銀河変光星探査の観測目的

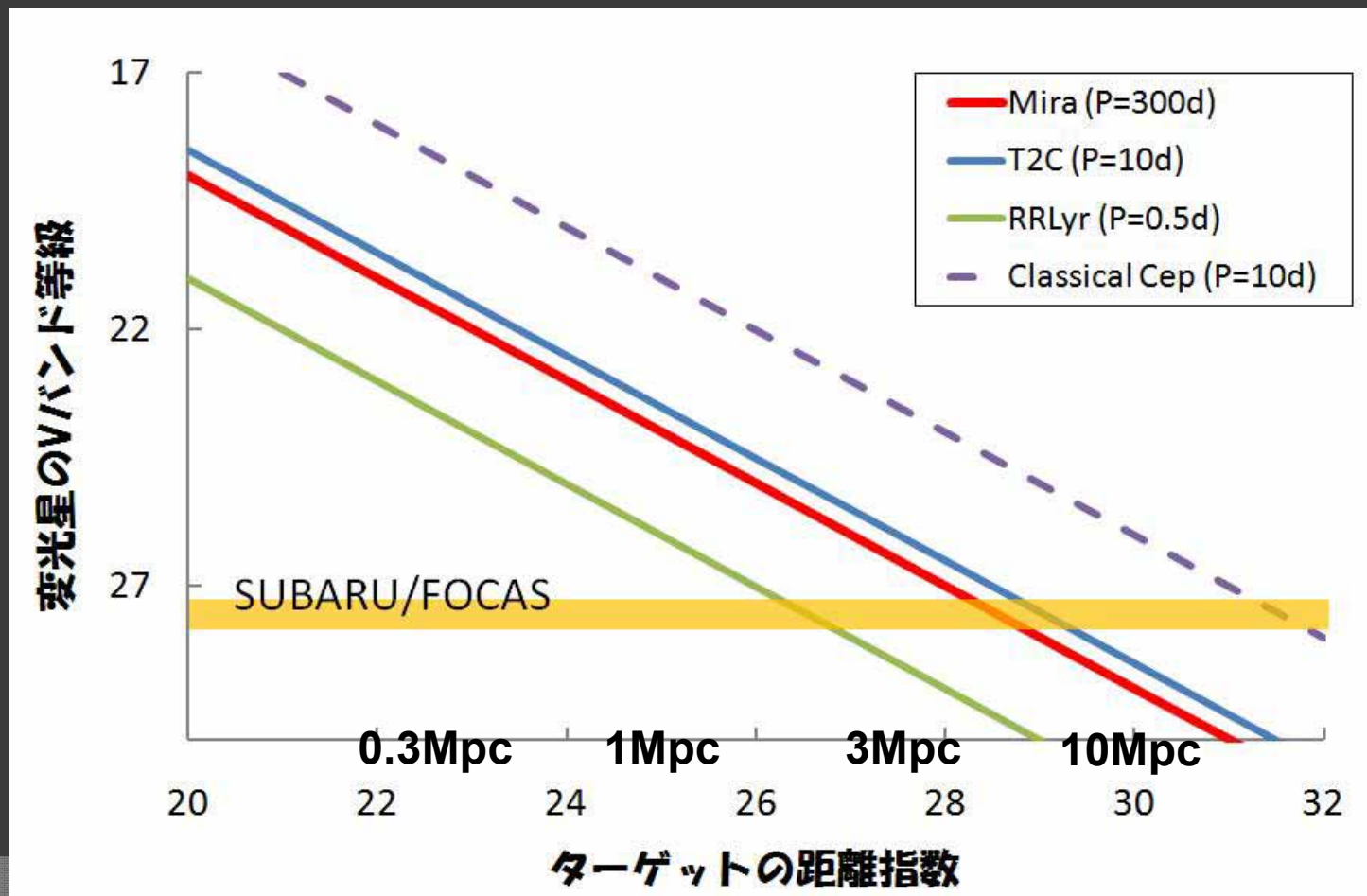
- ◎ 距離と銀河にある恒星の年齢構成の調査
 - ミラ型変光星のP-L関係を利用した距離決定
 - ミラ型変光星の周期分布は、主に100Myr~10Gyrの年齢構成を調べる指標となる。
 - 同時に
 - 赤色超巨星(< 100Myr の若い種族)の探査
 - TRGB法などによる距離決定
- ◎ 銀河群・銀河団内における分布
- ◎ 銀河の基本的な物理量(質量光度比など)の測定

TAO/NIRCAMによる観測

- ◎ 1時間のon-source積分→ $K=22$ mag (5σ)
- ◎ どんな距離にあるどんな変光星が観測できるか

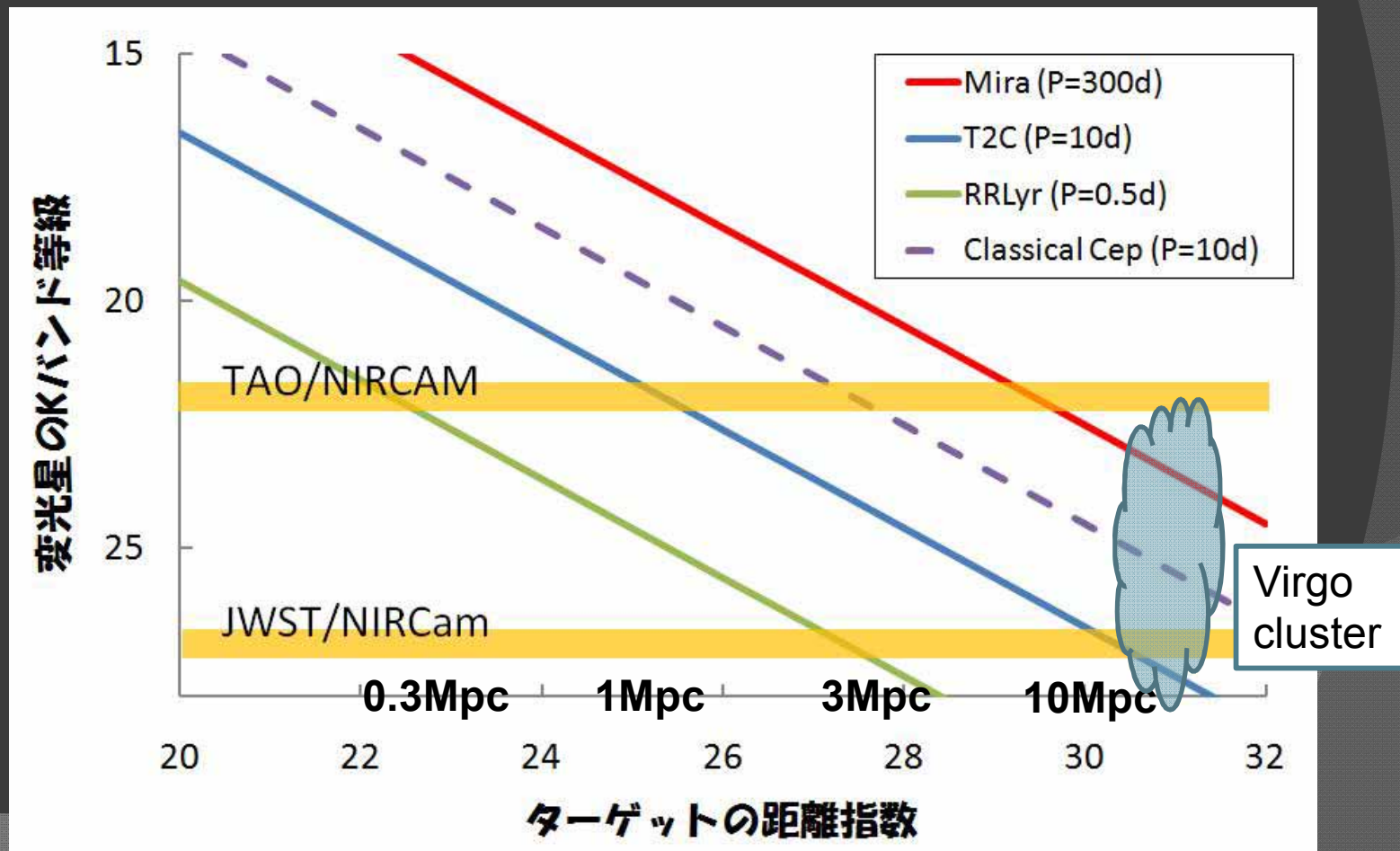
Vバンドでの変光星探査に必要な等級

- 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。

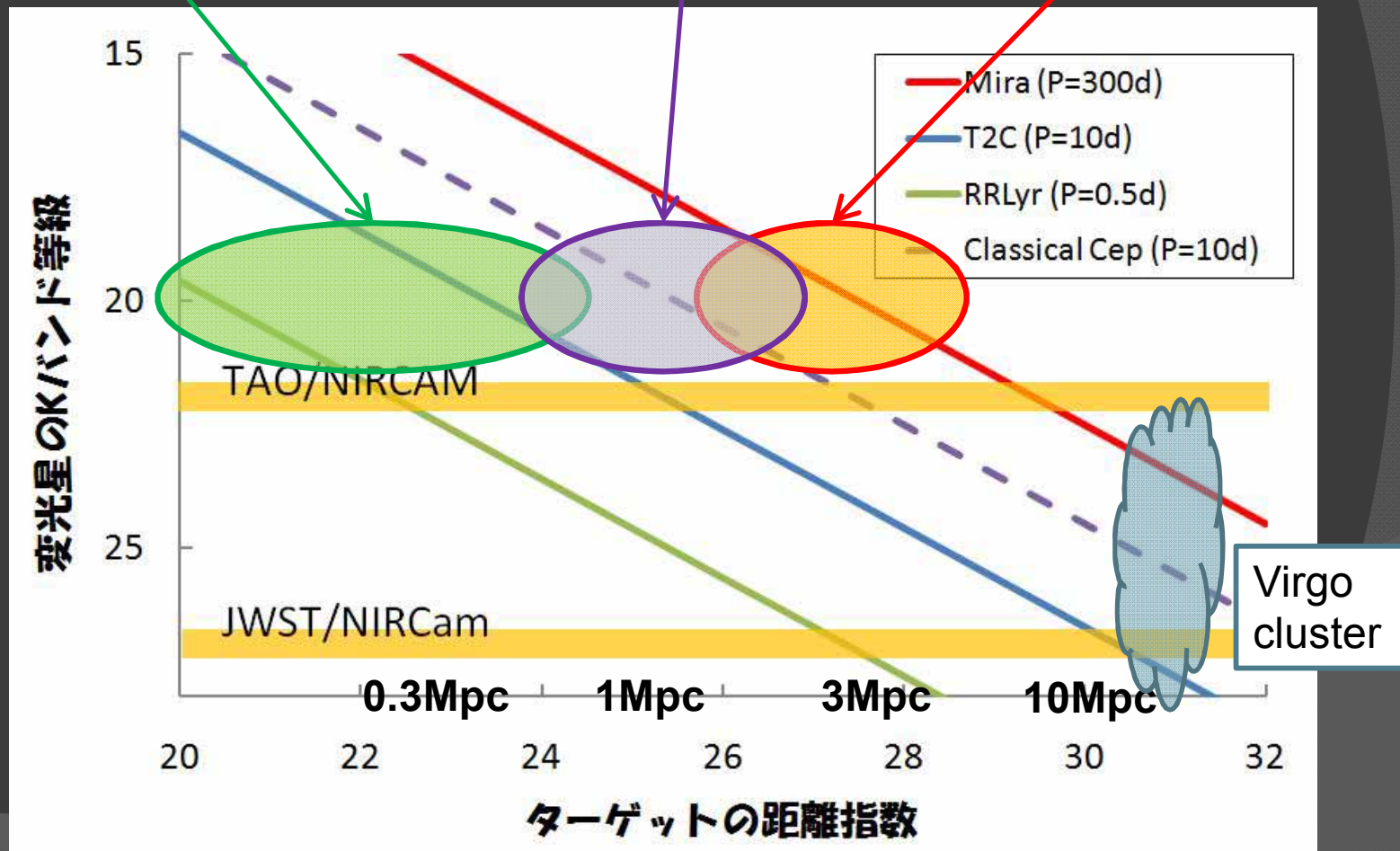


TAO/NIRCAMで観測できる変光星

1 Mpcより近いT2C
及び、300kpcより
近いIRRライリ

3Mpcより
近い古典的
セファイド

10Mpcより
近いミラ



観測ターゲット候補

- ◎ 10Mpc以内にある近傍楕円銀河およびレンズ状銀河
 - 不完全なサーベイだが・・・あまり多くない

名称	別名	形態	RA	DE	およその距離	補足
ESO 294-010		dG	00:27	-41:51	1.9 Mpc	ScI. Group
ESO 410-005		dG	00:16	-32:11	2 Mpc	ScI. Group
NGC 404		dE/S0	01:09	+35:43	3.2 Mpc	LINER-AGN
NGC 3379	M 105	E	10:48	+12:34	8.1 Mpc	LINER-AGN
NGC 5102		S0	13:22	-36:38	3.2 Mpc	Cen A Group
NGC 5182	Cen A	S0	13:25	-43:01	3.8 Mpc	Cen A Group
NGC 5206		S0	13:34	-48:09	4.6 Mpc	Cen A Group

必要な観測時間

- ◎ **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べる。
 - 不可能な場合はSBF法等でおよその距離 (± 0.2 mag)を決める。
- ◎ ミラが検出できそうなら、**3年間**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天体あたり**50時間** (~7夜分)

まとめ

- ◎ 古典的セファイドが存在しない楕円銀河等について、ミラ型変光星を利用した高精度(± 0.1 mag)の距離測定を行う。
- ◎ TAO/NIRCAMで、10Mpcくらいまでの銀河のミラを観測できる。
- ◎ 銀河群・銀河団の構造や、銀河の基本的な物理量（光度など）を精度よく求める。