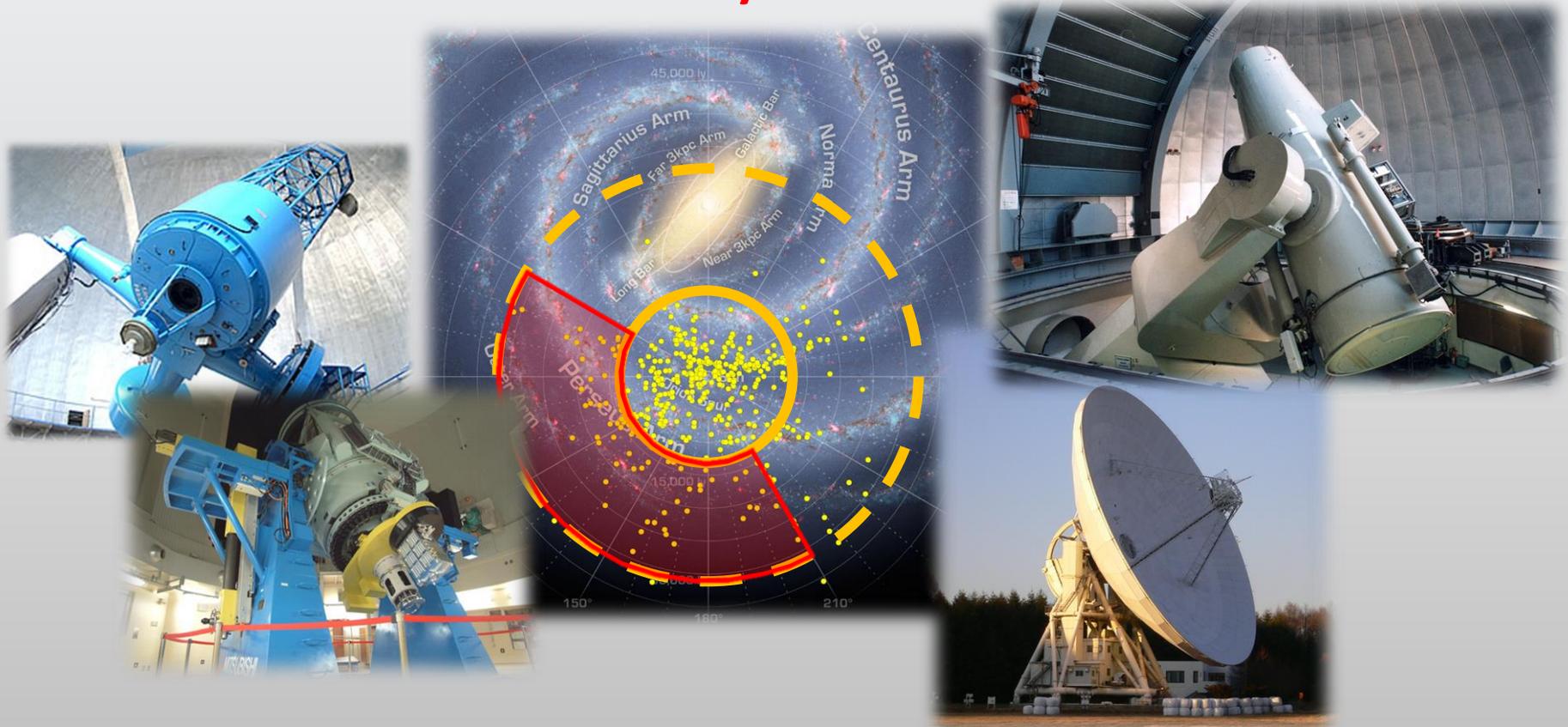


# KISOGPミラ型変光星の分類と 銀河系内の分布

KWFC Intensive Survey of the Galactic Plane



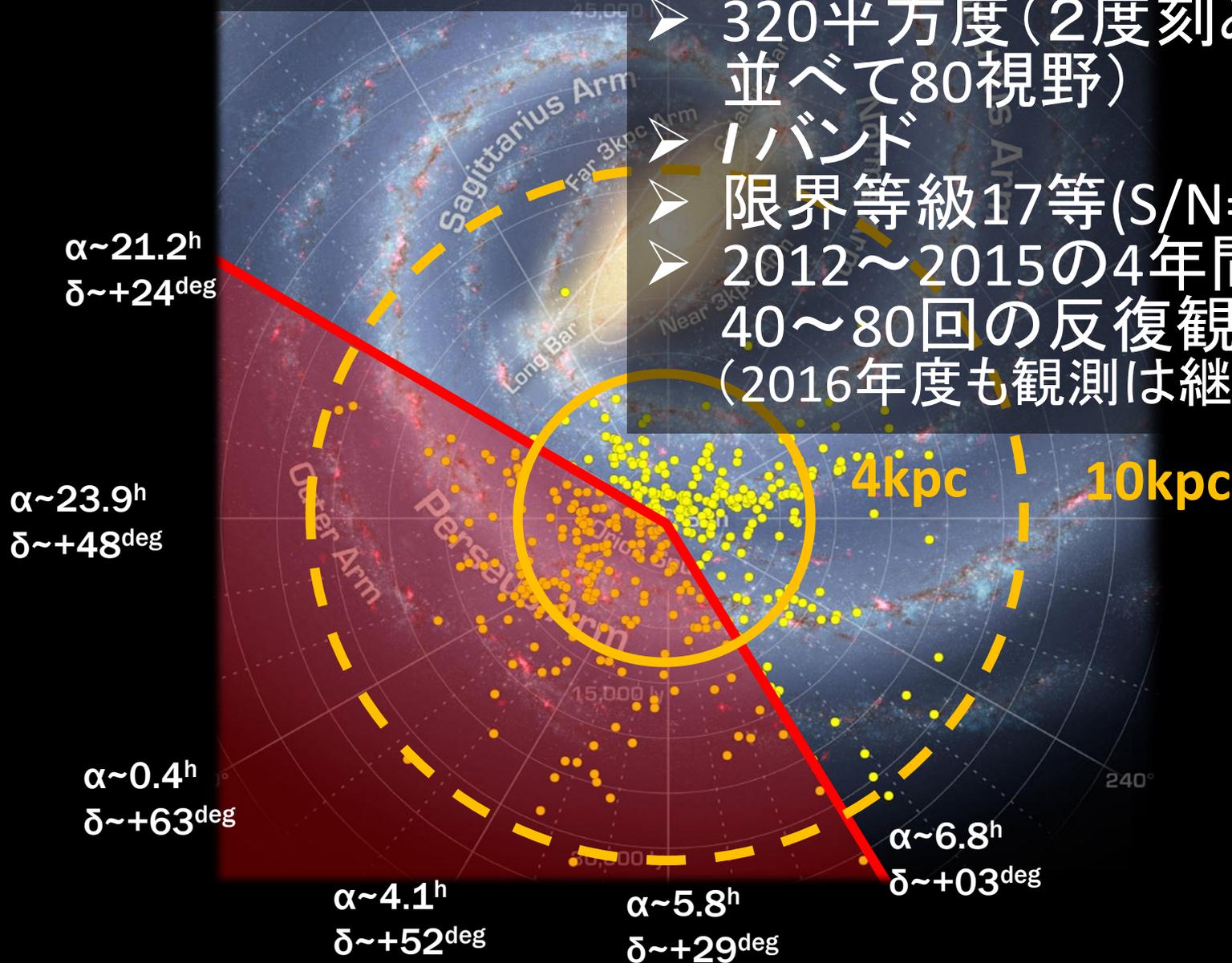
松永 典之 (東京大学・天文学教室)

# 共同研究者

- 小林、三戸、猿樂、山本、諸隈(東大)
- 前原、浮田、柳澤、岩田、田中、泉、坂井(国立天文台)
- 小野里、岩崎、花上、板(東北大)
- 福江、新井(京都産業大)
- 山下、永山、面高(鹿児島大)
- 坂本(日本スペースガード協会→民間企業)
- M. Richmond(米・ロチェスター工科大)

# KISOGPの観測

- 木曾シュミット望遠鏡とKWFCカメラ
- 320平方度(2度刻みに並べて80視野)
- Iバンド
- 限界等級17等(S/N=30)
- 2012~2015の4年間に40~80回の反復観測(2016年度も観測は継続)

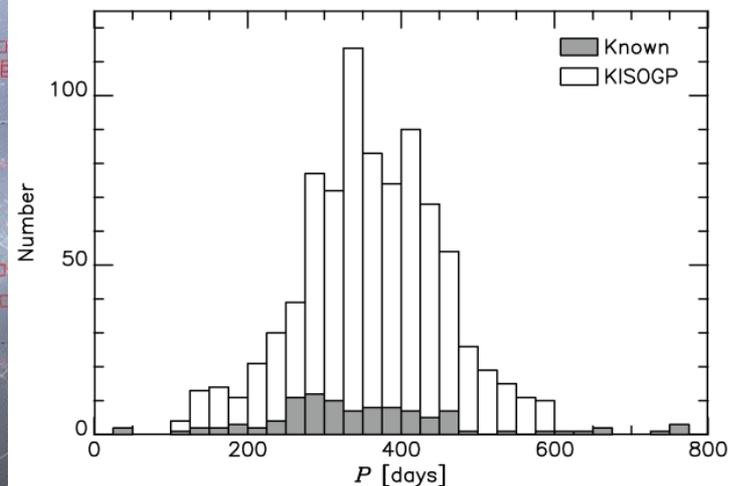


# KISOGP ミラの分布

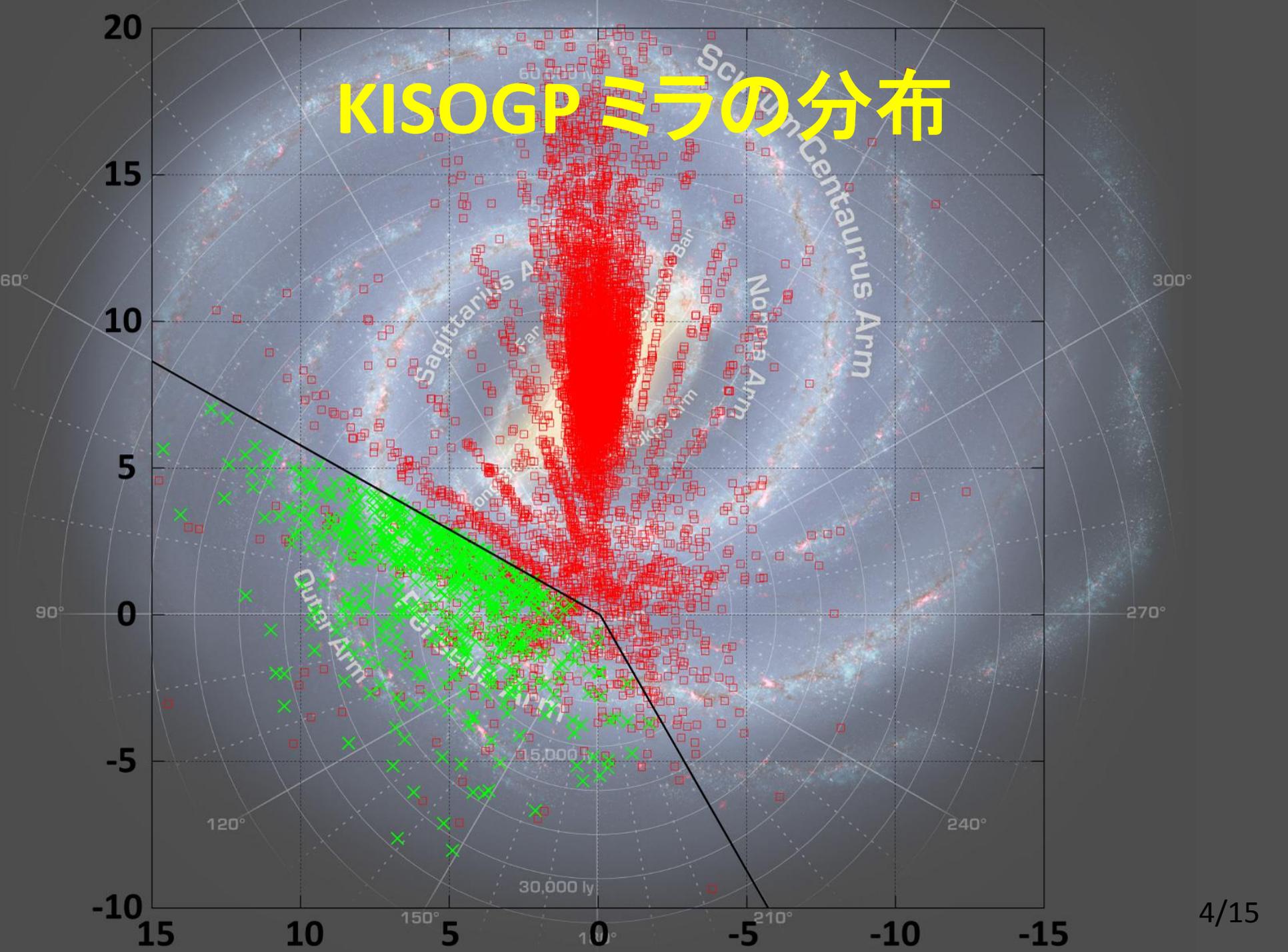
- 783個のミラ(約9割は新発見)
- 2MASSの等級に基づく距離

Red	AAVSO Miras ( $ b  < 5^\circ, P > 100^d$ )	8191
	( $60^\circ <  l  < 210^\circ$ )	377
Green	KISOGP Miras	783

周期分布  
(350~400日にピーク)



# KISOGP ミラの分布

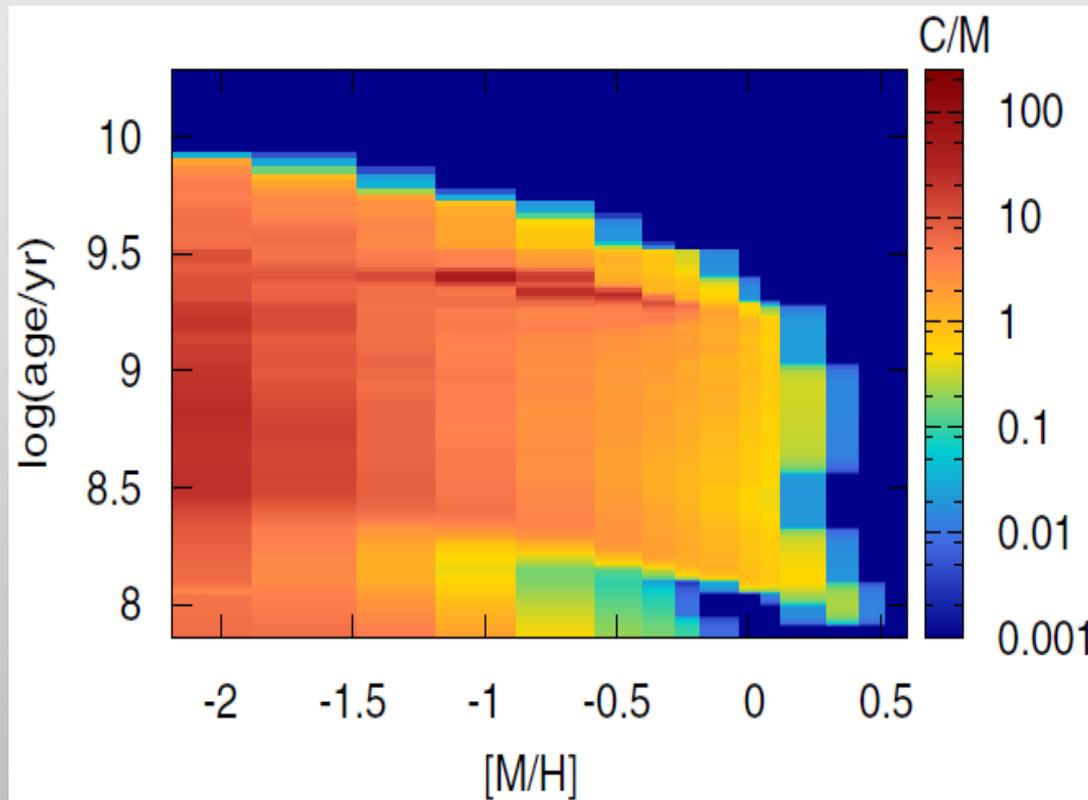


# ミラ型変光星についての追観測

- 近赤外線測光(鹿児島 1m 望遠鏡)
  - 平均等級を求めて、距離を正確に決めるため。
  - ミラは、近赤外線だけで周期光度関係がきれい。
- ◎ 可視・近赤外での低分散分光
  - 岡山188cm望遠鏡、西はりま・なゆた望遠鏡
  - 炭素星(炭素過多)とM型星(酸素過多)の分類
- SiOメーザ探査(野辺山45m電波望遠鏡)
  - 視線速度の測定(および、質量放出星の同定)

# AGB星の酸素過多／炭素過多

- 炭素星になるかどうかは金属量・質量に依存。
- 炭素星の存在割合は恒星種族の指標になり得る。
  - 主に系外銀河で研究されている(例: Boyer et al. 2013)

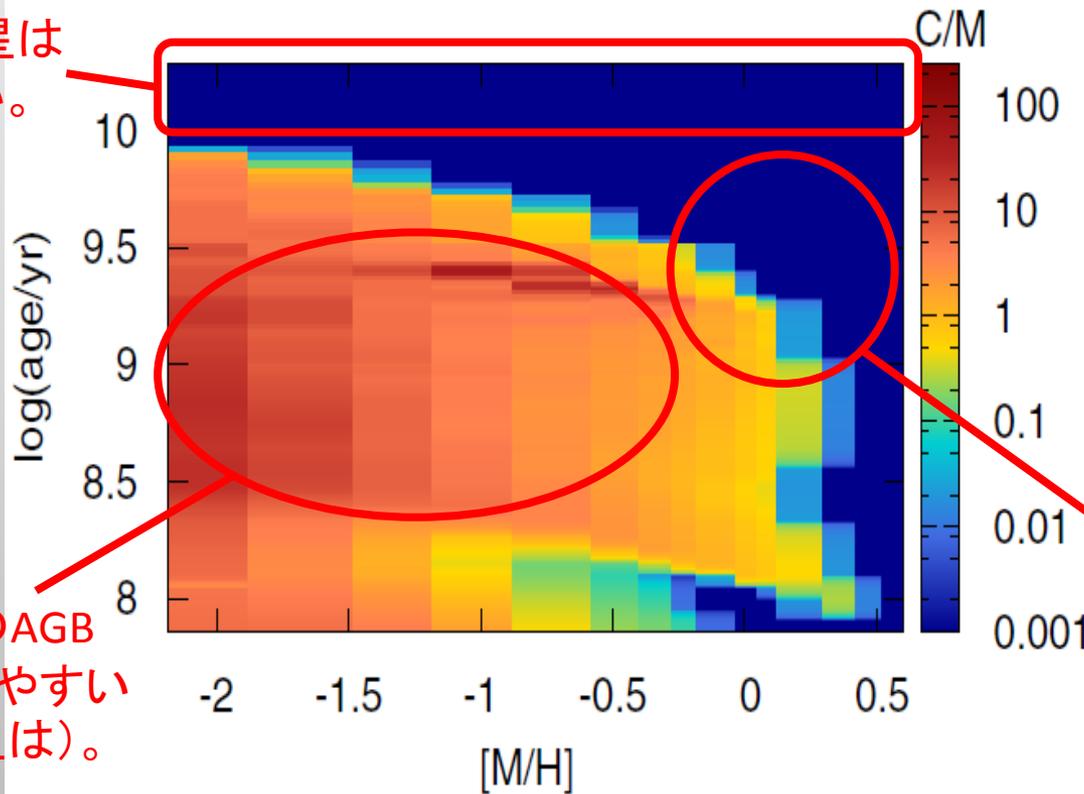


各年齢・金属量で予想されるAGB星のC/M比 (Marigo et al. 2013)

# AGB星の酸素過多／炭素過多

- 炭素星になるかどうかは金属量・質量に依存。
- 炭素星の存在割合は恒星種族の指標になり得る。
  - 主に系外銀河で研究されている(例: Boyer et al. 2013)

古い種族のAGB星は炭素星にならない。



中間年齢の種族のAGB星は炭素星になりやすい(特に低メタルの星は)。

高メタルのAGB星は炭素星になりにくい。

各年齢・金属量で予想されるAGB星のC/M比 (Marigo et al. 2013)

# 低分散分光観測

- 目的: KISOGPミラを炭素星・M型星に分類して、円盤内の位置による恒星種族の変化を調べる。
- 2013年後期～2016年後期
  - 国立天文台・岡山188cm望遠鏡(KOOLS/ISLE)
  - 兵庫県立大・西はりま天文台 2m なゆた望遠鏡(MALLS)
  - これまでに約350個のミラを分光観測

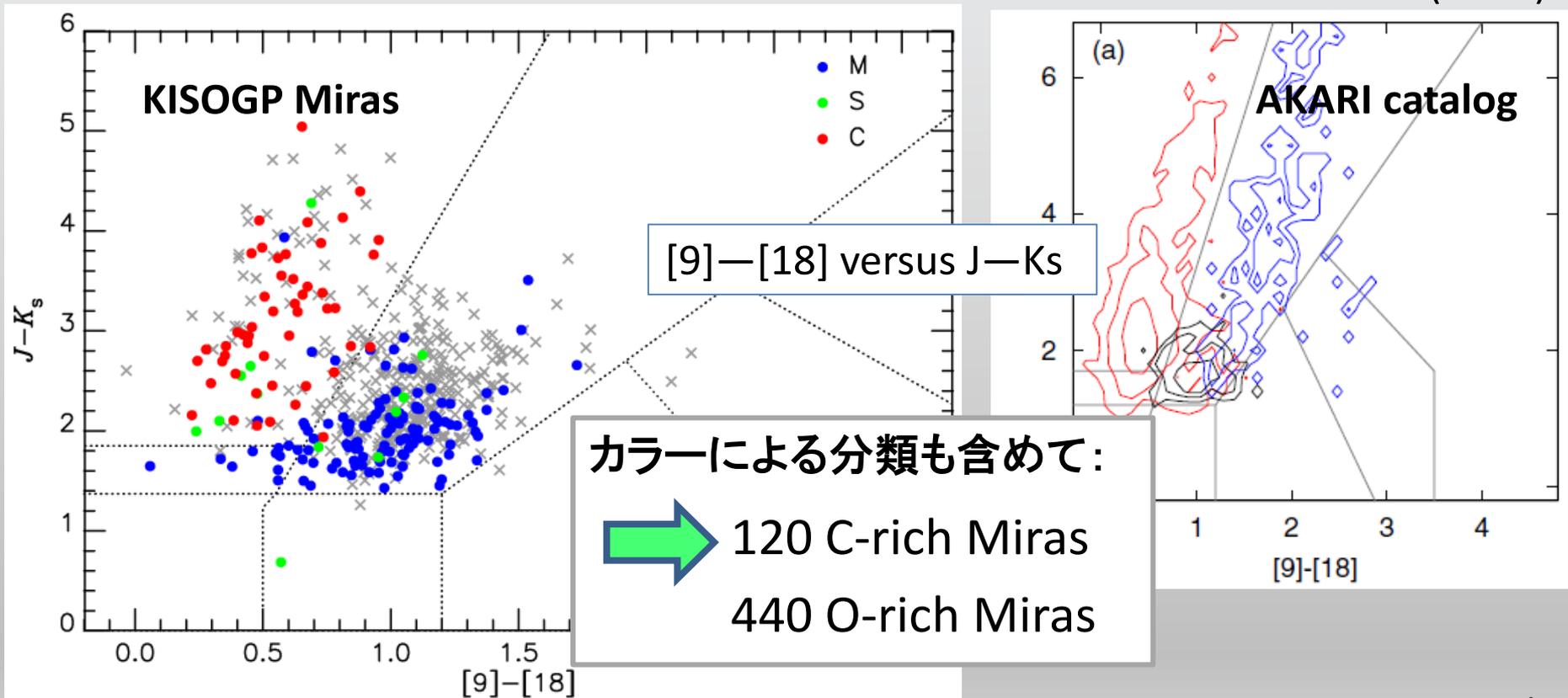
観測装置	炭素星	M型星	未分類	合計
KOOLS	28	83	78	189
MALLS	21	93	51	165
ISLE	—	—	143	143
既知	41	66	—	102
<b>合計</b>	<b>56</b>	<b>167</b>	<b>243</b>	<b>368</b>

一部天体は複数装置で重複して観測した(表の合計数は重複を補正した天体数)。

# 赤外線カラーによる分類との比較

- 一般のAGB星に対し考案されていた二色図 ( $J-K_s$ ) vs ( $9-18$ ) による分類が、ミラに対してもおおよそ正しい分類を与えることが確かめられた。

Ishihara et al. (2011)

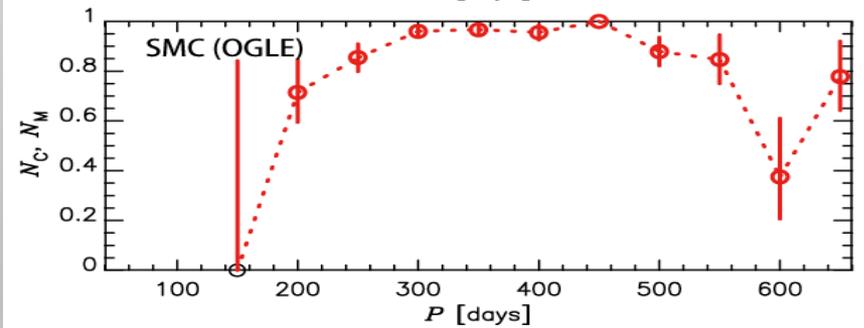
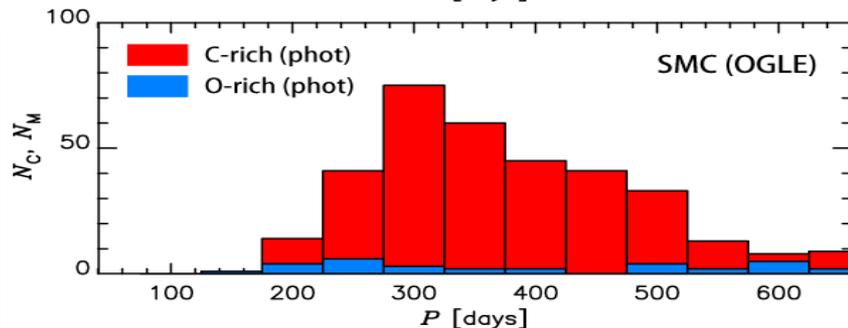
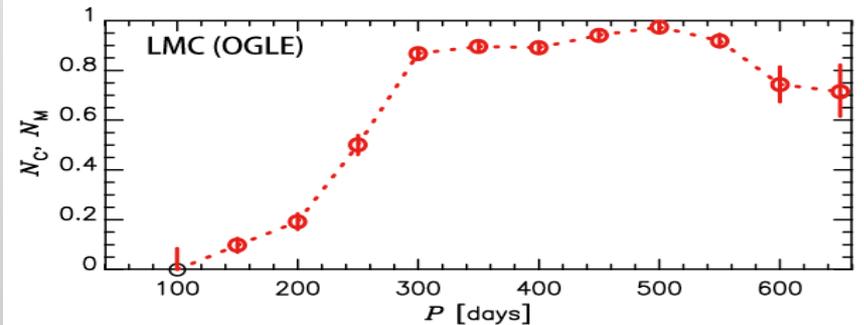
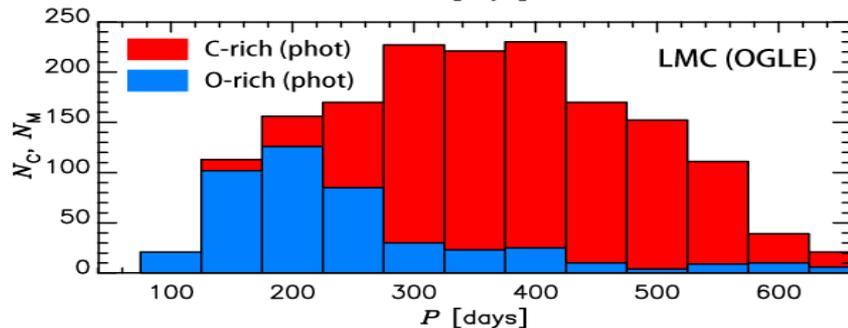
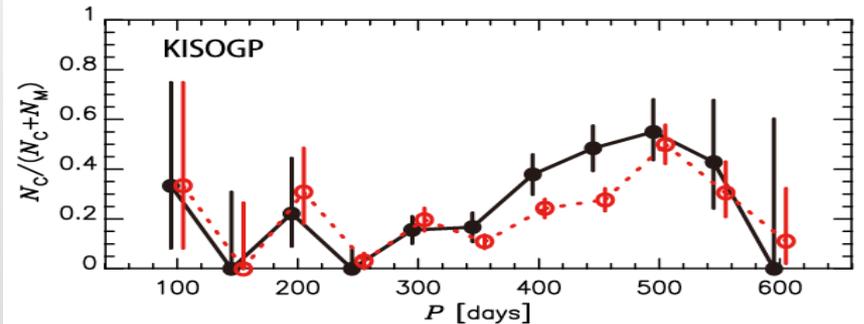
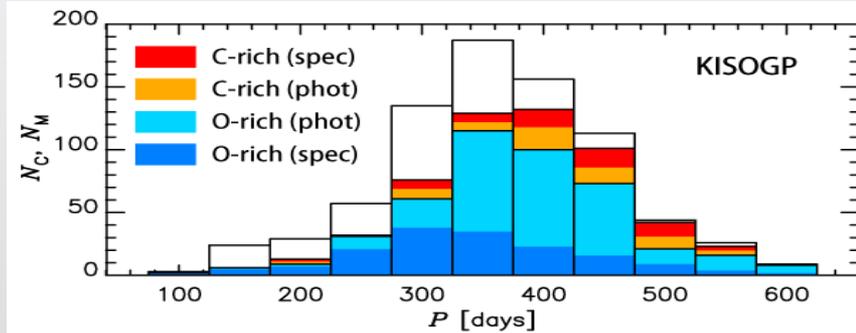


# 分光観測の方針と現状

- 最近の分光観測は、二色図の境界付近にあるものや中間赤外カラーが得られていないミラに対して行っている。
- 可視光で観測できるターゲットは全て観測済み。
- 16年前期まで(明日からの3晩が最終)に行うISLEの観測で、近赤外線観測が必要なターゲットもほぼ終了する見込み。
- 783個のKISOGPミラのうち、約4割の天体の分光データが得られた。

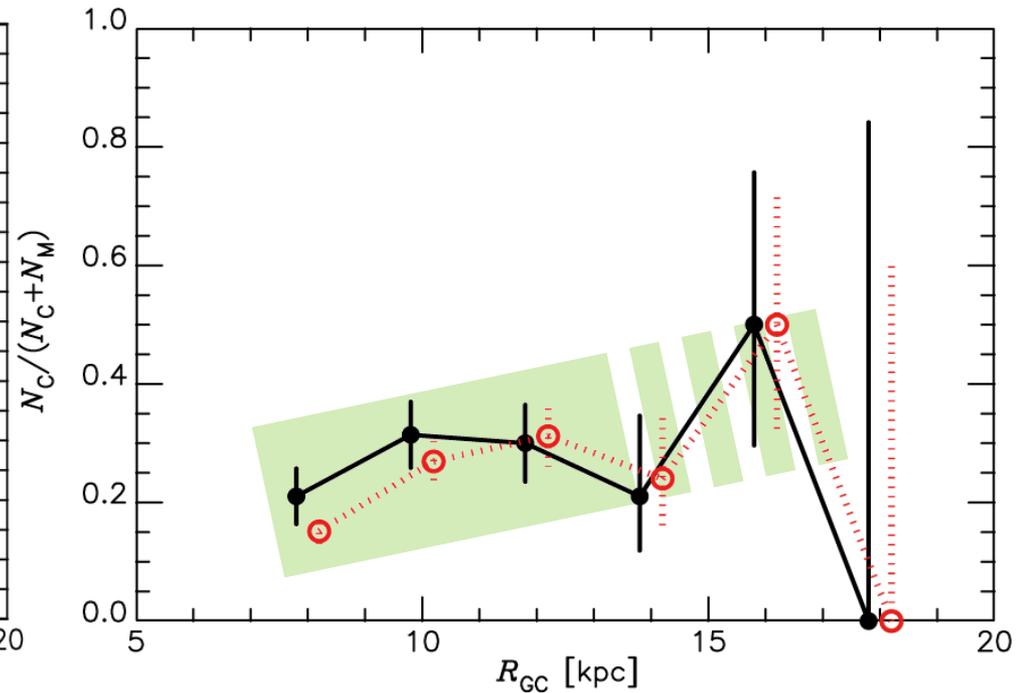
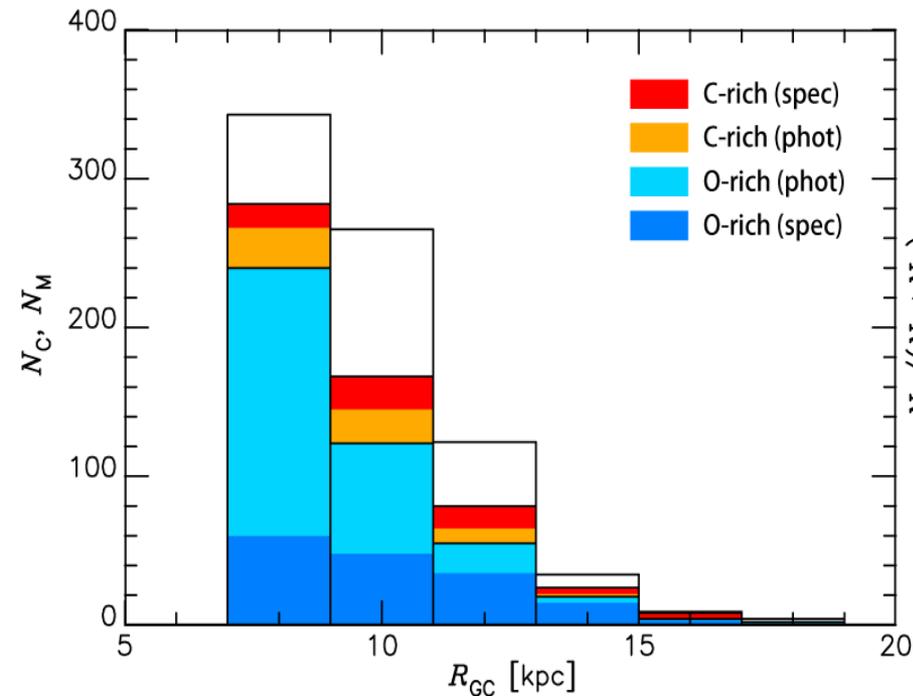
# 脈動周期と炭素星・M型星

- マゼラン銀河とは炭素星の割合・周期分布が異なる。



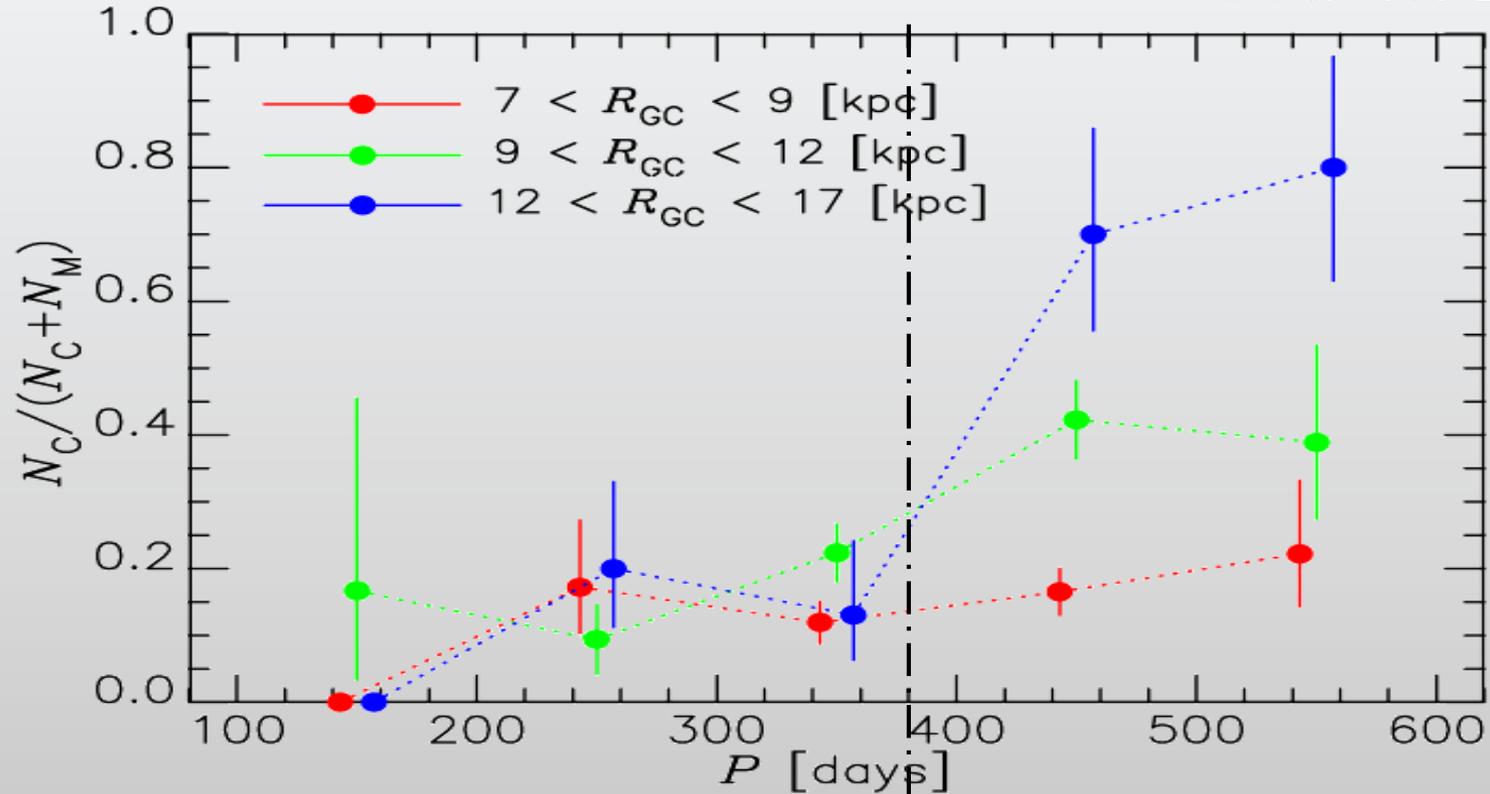
# 銀河系中心距離による変化

- 円盤の外側へ向かって、炭素星の割合がやや増える傾向が見えるが、それほどはっきりしない。



# 周期の効果

(カラーによる分類の結果を含む)

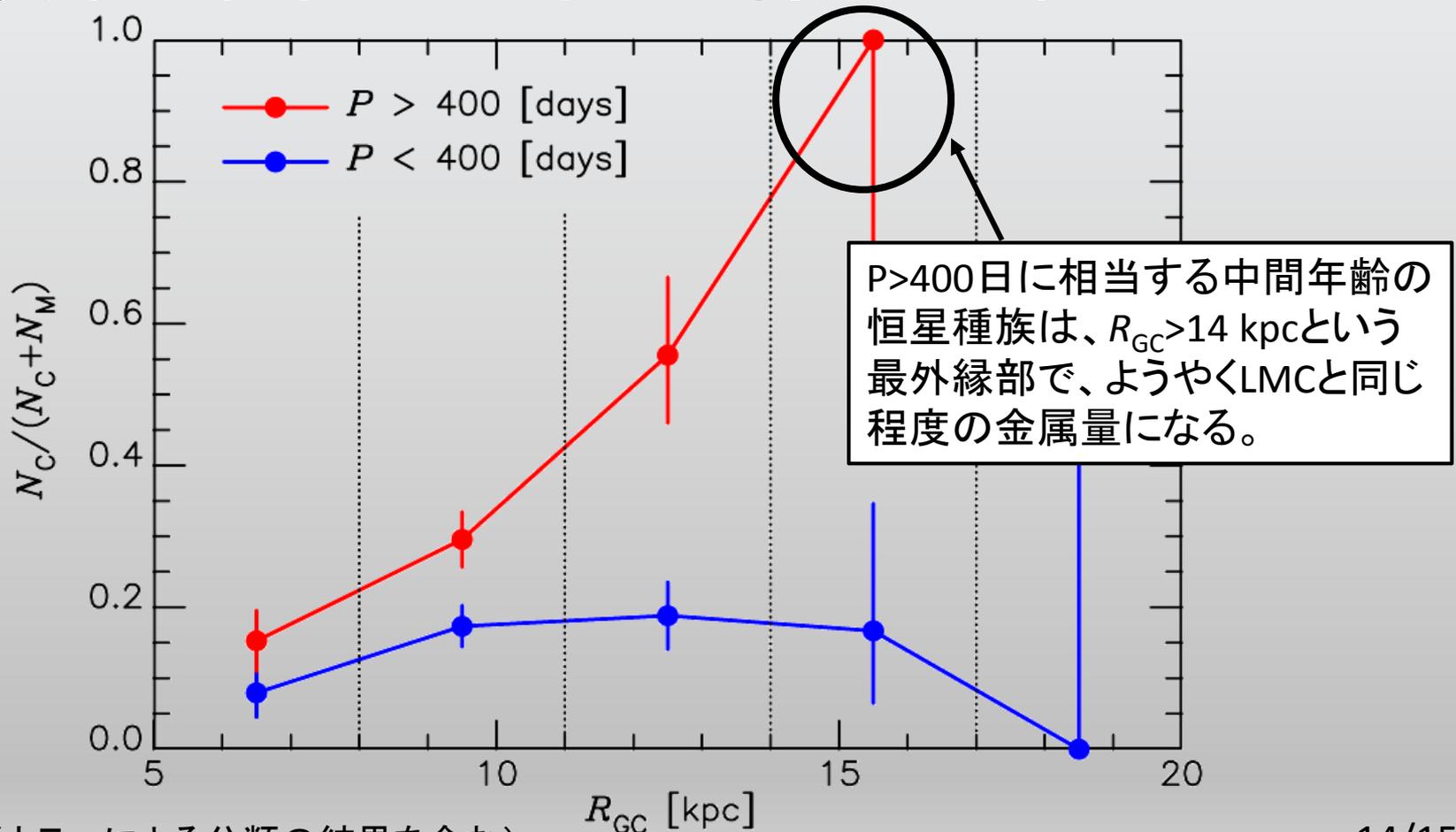


短周期のミラは、銀河系円盤の外側にいっても炭素星の割合が小さい。(LMC、SMCでは300日のミラのほぼ全てが炭素星)

長周期のミラでは、円盤の外側にいくほど炭素星の割合が増える様子がはっきりわかる。

# 銀河系中心距離による変化(2)

- ミラの周期に注目することで、はっきりした炭素星存在比の勾配が得られた。



(カラーによる分類の結果を含む)

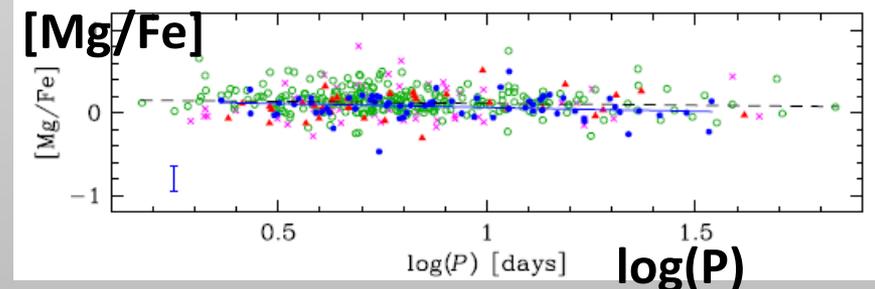
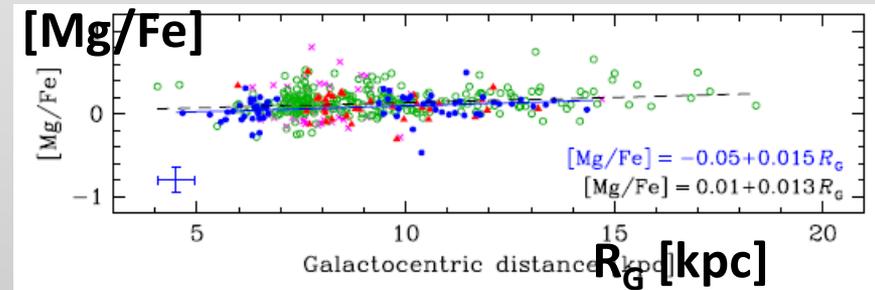
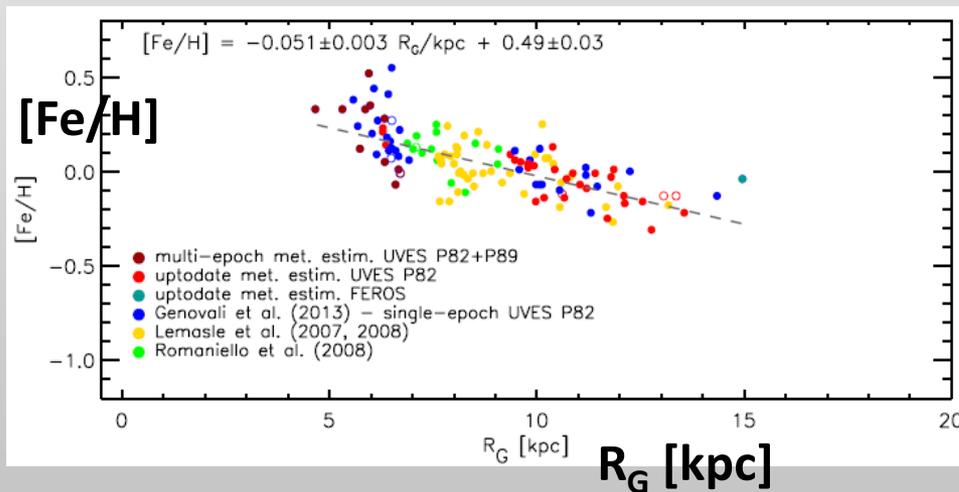
# まとめ

- KISOGPで発見した783個のミラを炭素星（炭素過多）とM型星（酸素過多）の分類している。
  - 188cm望遠鏡（KOOLS、ISLE）と、西はりま・なゆた望遠鏡（MALLS）での低分散分光
- スペクトルと赤外線カラーでの分類がおおよそ一致することを確認。
- 長周期ミラでは、円盤中の位置によって炭素星の存在比がはっきり変わるが、短周期ミラでは変化しない。
- 分光観測キャンペーンは2016年で終了。
  - ご支援・ご協力ありがとうございました。



# セファイドによる円盤の金属量勾配

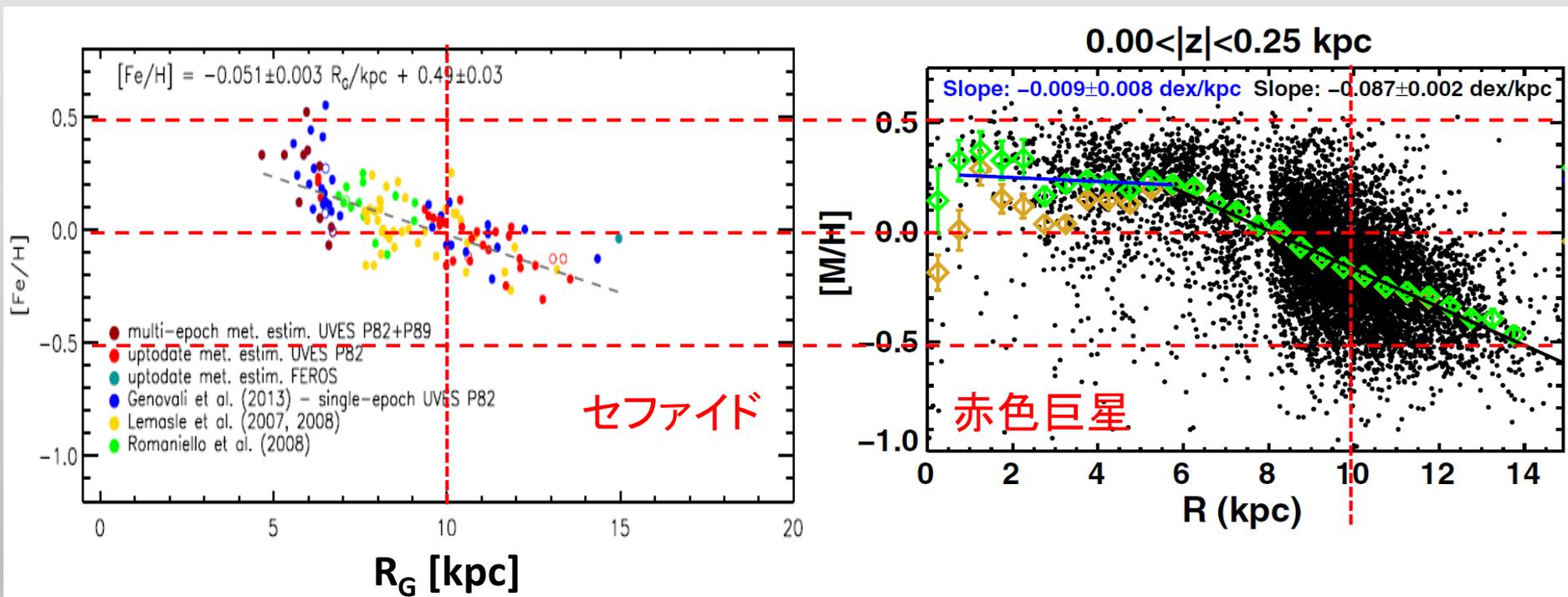
- 周期光度関係による距離→銀河系中の位置
- 10～300Myr(周期年齢関係)
- 高分散分光スペクトルからの化学組成



Genovali et al. (2013, 2014, 2015)

# 恒星種族による金属量分布の違い

- 赤色巨星 (APOGEEサンプル) では、ばらつきが大きい。
- 様々な年齢の天体が混ざっている。



Genovali et al. (2013, 2014, 2015)

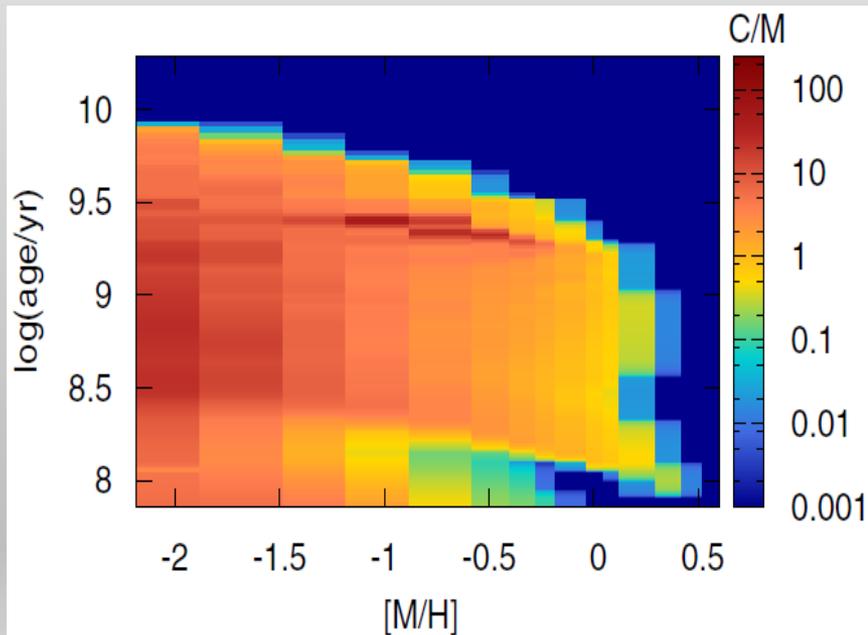
Hayden et al. (2014)

# AGB星の酸素過多／炭素過多

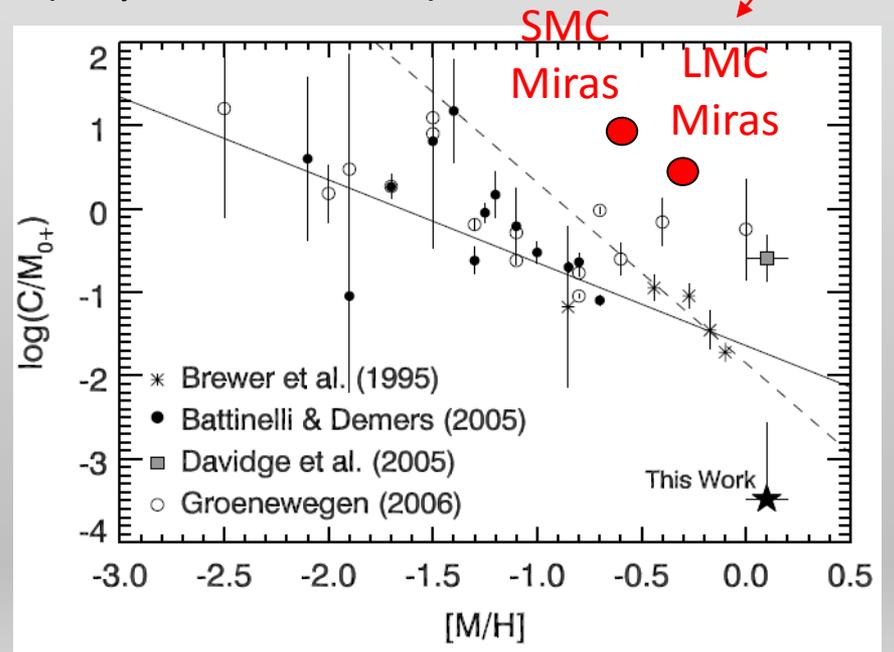
熱パルス(TP)に伴う炭素の汲上げで、表面組成が変化する。

- 炭素星になるかどうかは金属量・質量に依存。
- 太陽金属量では $3 M_{\text{sun}}$ 前後の星が炭素星へ進化

各年齢・金属量で予想されるAGB星のC/M比 (Marigo et al. 2013)

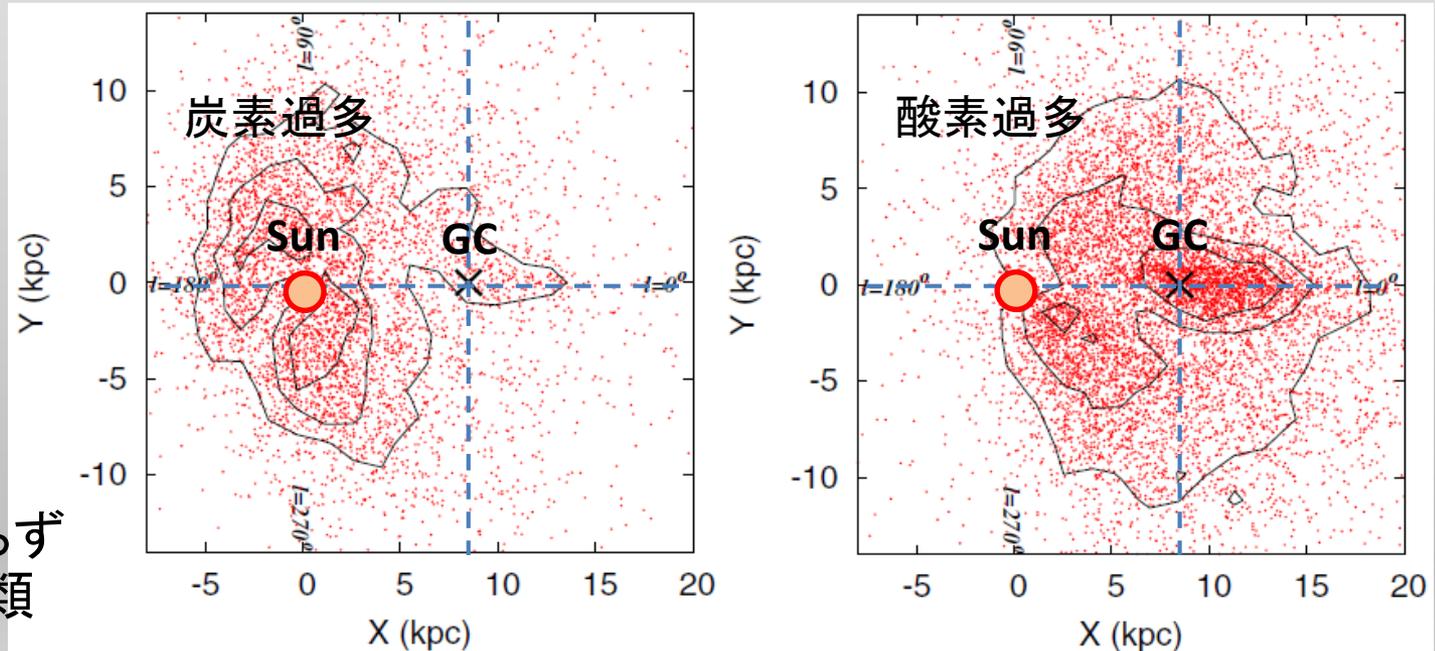


近傍銀河中のC/M比 (Boyer et al. 2013)



# 炭素星の応用と本研究の特徴

- 銀河系中の銀経分布
  - 恒星種族の手がかりとなる。
- 本研究: ミラ(末期のAGB段階)に注目
  - 分光観測による確実な分類
  - 正確な距離の見積もりによって三次元的な密度分布



Ishihara et al.  
(2011)

ミラか否かによらず  
星のカラーで分類

# 円盤の金属量勾配との比較

- 外側へ向けてLMCの金属量に近づいてくる。
- 周期300日前後では、円盤外縁部 ( $R_{GC} > 12$  kpc) でもマゼラン銀河より炭素星が少ない。年齢分布や  $[O/Fe]$  に差がある？

