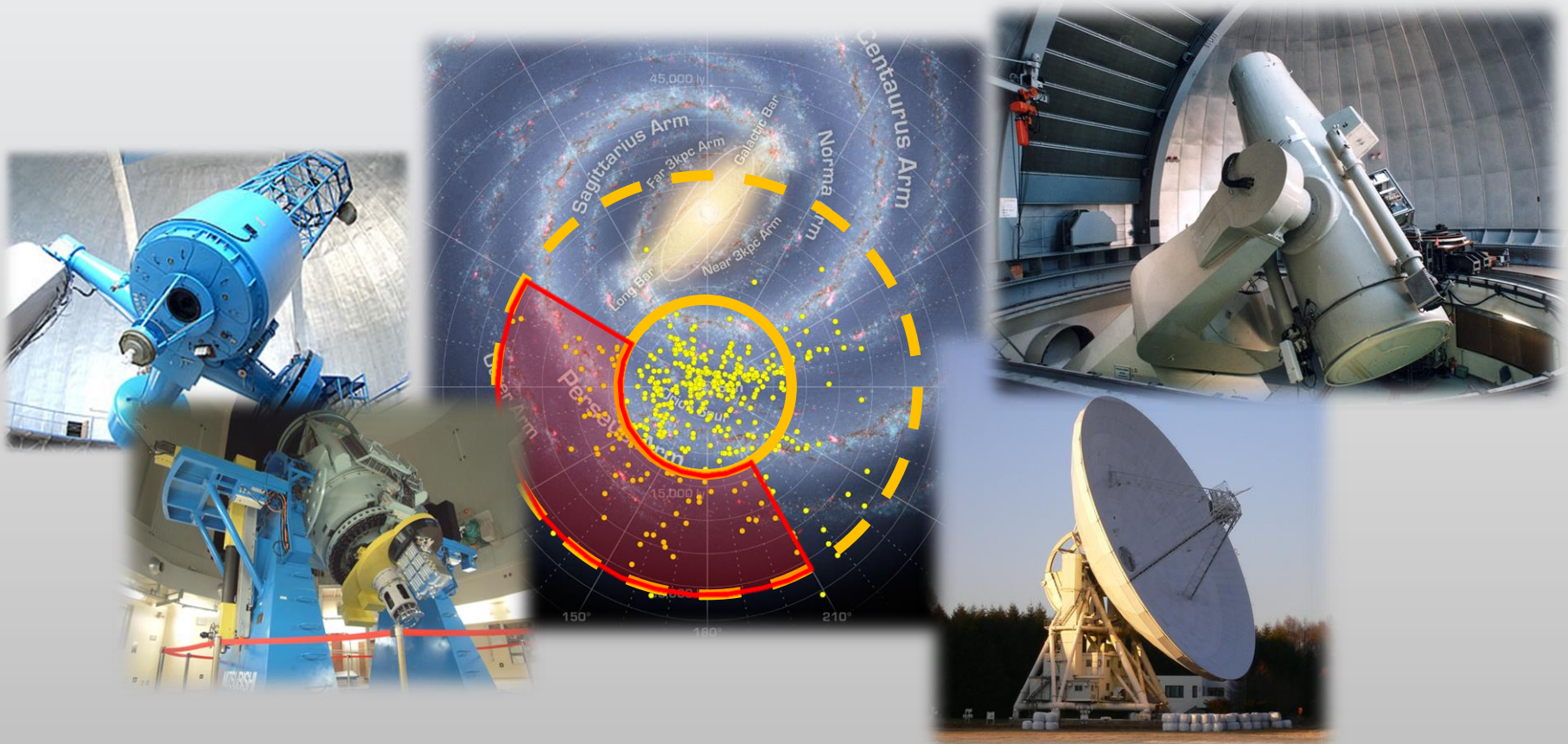


KISOGPミラ型変光星の分類と 銀河系内の分布

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

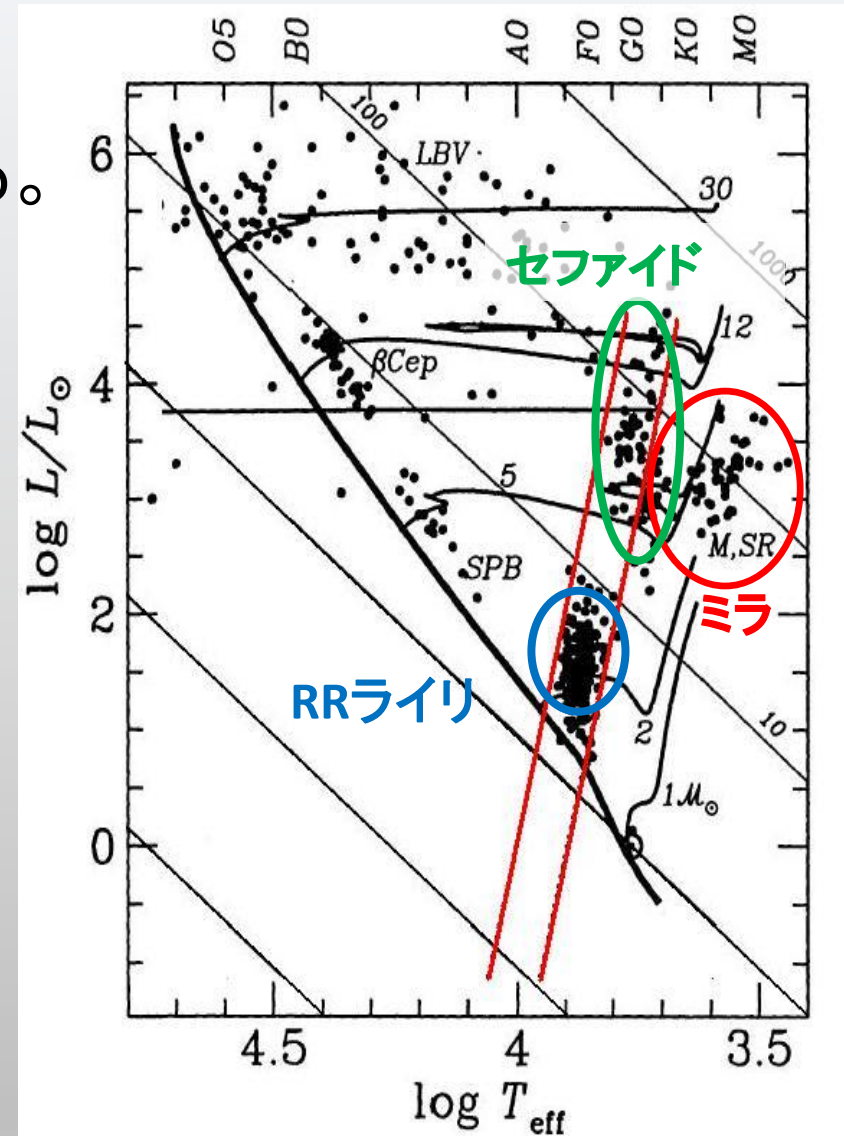
- 小林、三戸、猿楽、山本、諸隈(東大)
- 前原、浮田、柳澤、岩田、田中、泉、坂井、松本、Y. Wu、永山(国立天文台)
- 坂本(日本スペースガード協会→民間企業)
- 小野里、岩崎、花上、板(東北大)
- 福江、新井(京都産業大)
- 山下、面高、永山、中川、上杉(鹿児島大)
- 倉山(帝京科学大)
- M. Richmond(米・ロチェスター工科大)
- R. de Grijs, C. Ma, Y. Yao(中国・北京大)
- L. Deng, Z. Fan, K. Wang(中国・国家天文台)
- G. Bono(伊・ローマ大学)

内容

- 銀河系円盤のトレーサとしての脈動変光星とKISOGPの目的
- 木曾、岡山、西はりまでの観測のまとめ
- 分光観測からの初期成果

脈動変光星 (radial variables)

- 距離や年齢がわかるので、
銀河系のよいトレーサになる。
- ミラ型変光星
 - AGB ($1 \sim 6 M_{\text{sun}}$)
- 古典的セファイド
 - Blue loop ($4 \sim 10 M_{\text{sun}}$)
- II 型セファイド
 - post-HB ($\sim 1 M_{\text{sun}}$)
- RRライリ変光星
 - HB ($\sim 1 M_{\text{sun}}$)



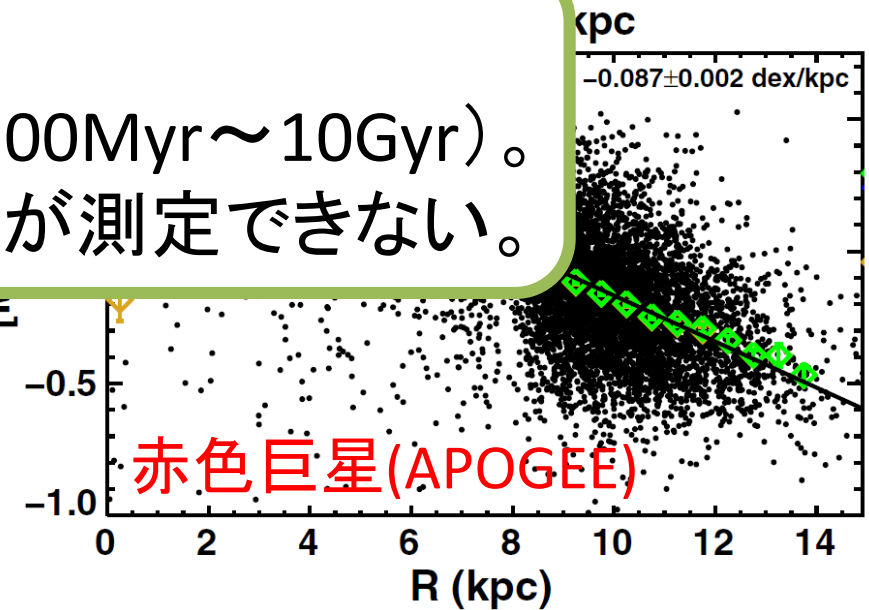
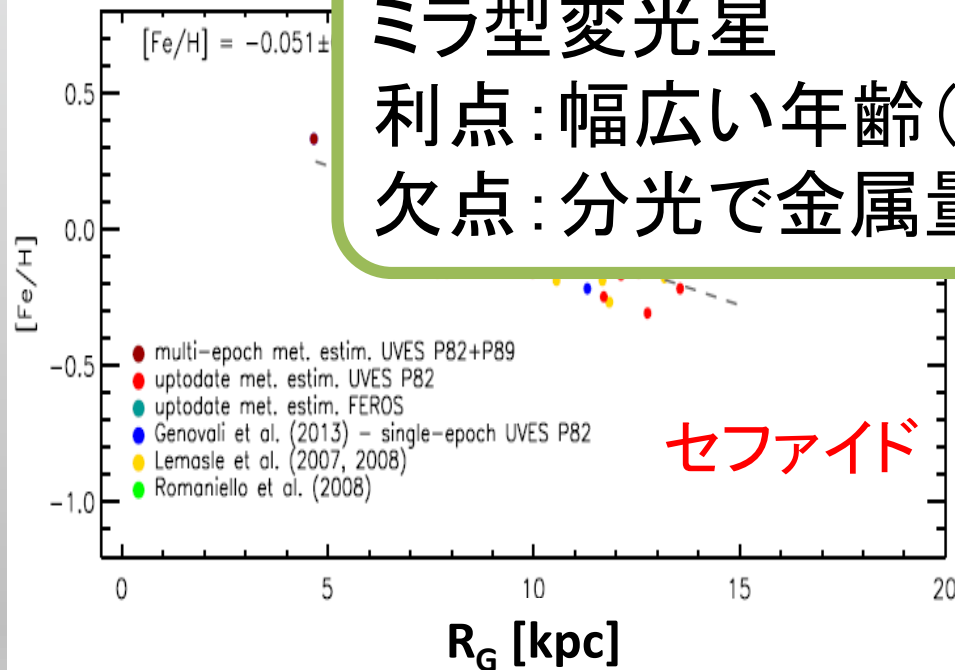
銀河系円盤の金属量勾配

- セファイドで最も強い相関が見える。
- 赤色巨星では、ばらつきが大きい。
- これまでの化学動力学進化(重元素汚染、恒星の移動)の情報が詰っている。

ミラ型変光星

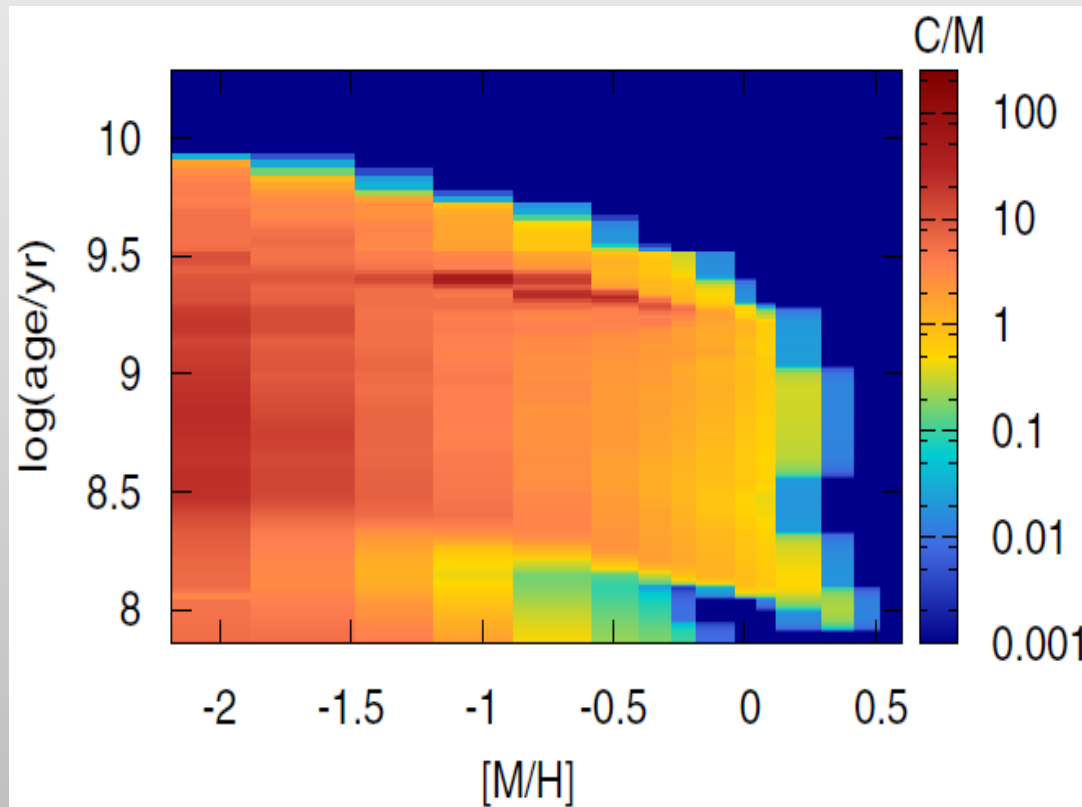
利点: 幅広い年齢(100Myr~10Gyr)。

欠点: 分光で金属量が測定できない。



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

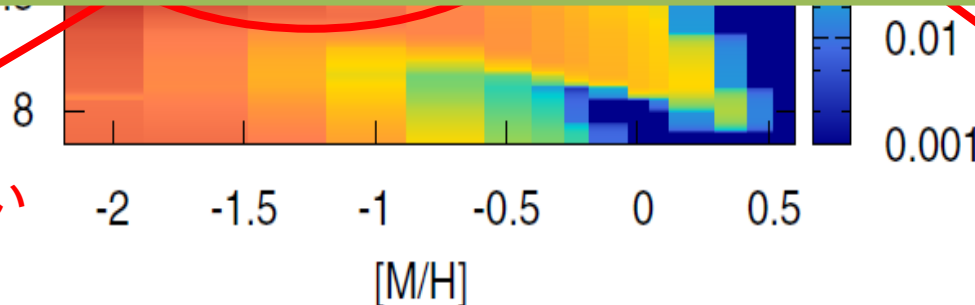
- 炭素星になるかどうかは金属量・質量に依存。
- 炭素星の存在割合は恒星種族の指標になり得る。
 - 主に系外銀河で研究されている(例: Boyer et al. 2013)

古い種族のAGB星は炭素星にならない。



両者の比が円盤の位置によって勾配を示すか。距離のわかるミラで調べたい。

中間年齢の種族のAGB星は炭素星になりやすい(特に低金属量の星は)。



高金属量の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)

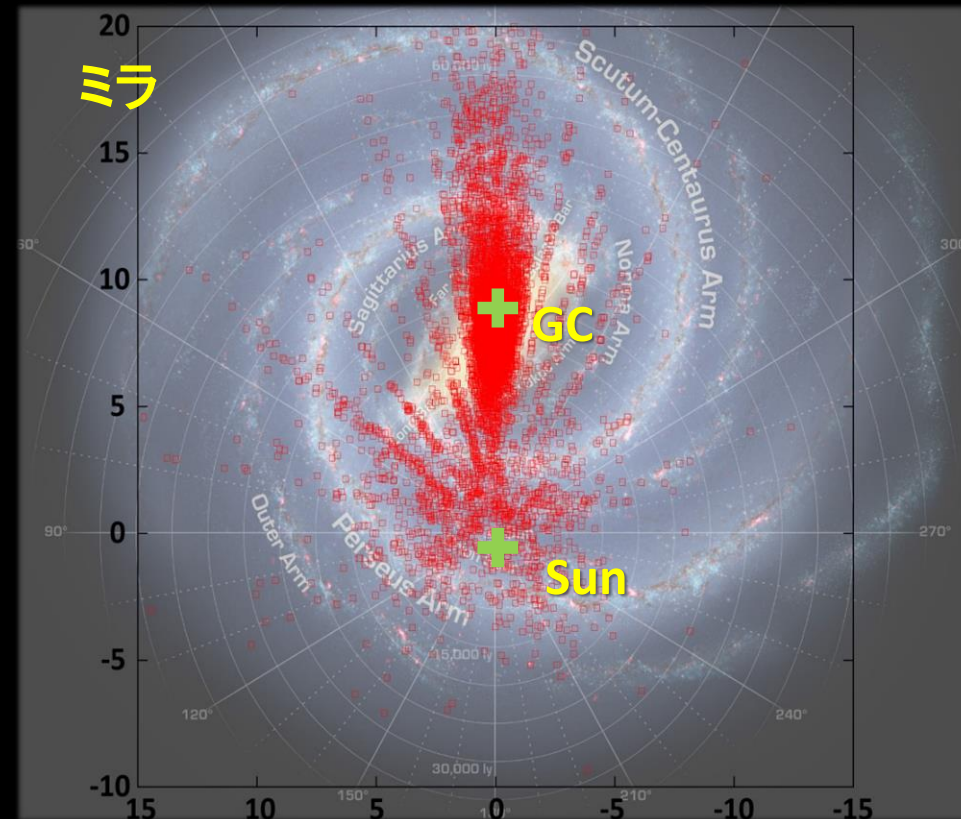
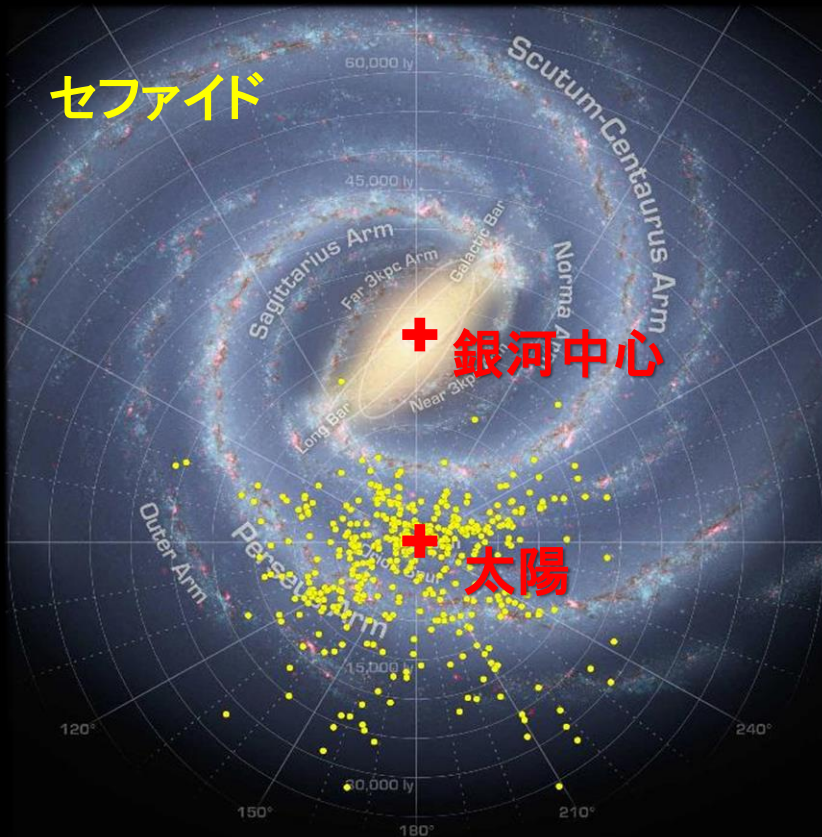
過去の変光星探査の状況

星間減光などのため、円盤部の探査は不完全。

過去(2011年以前)に知られていた約500個のセファイド(DDOデータベース)の分布

www.astro.utoronto.ca/DDO/research/cepheids/

AAVSO Variable Star Indexに記載された銀緯が ± 5 度以内のミラ(約8000個)の分布



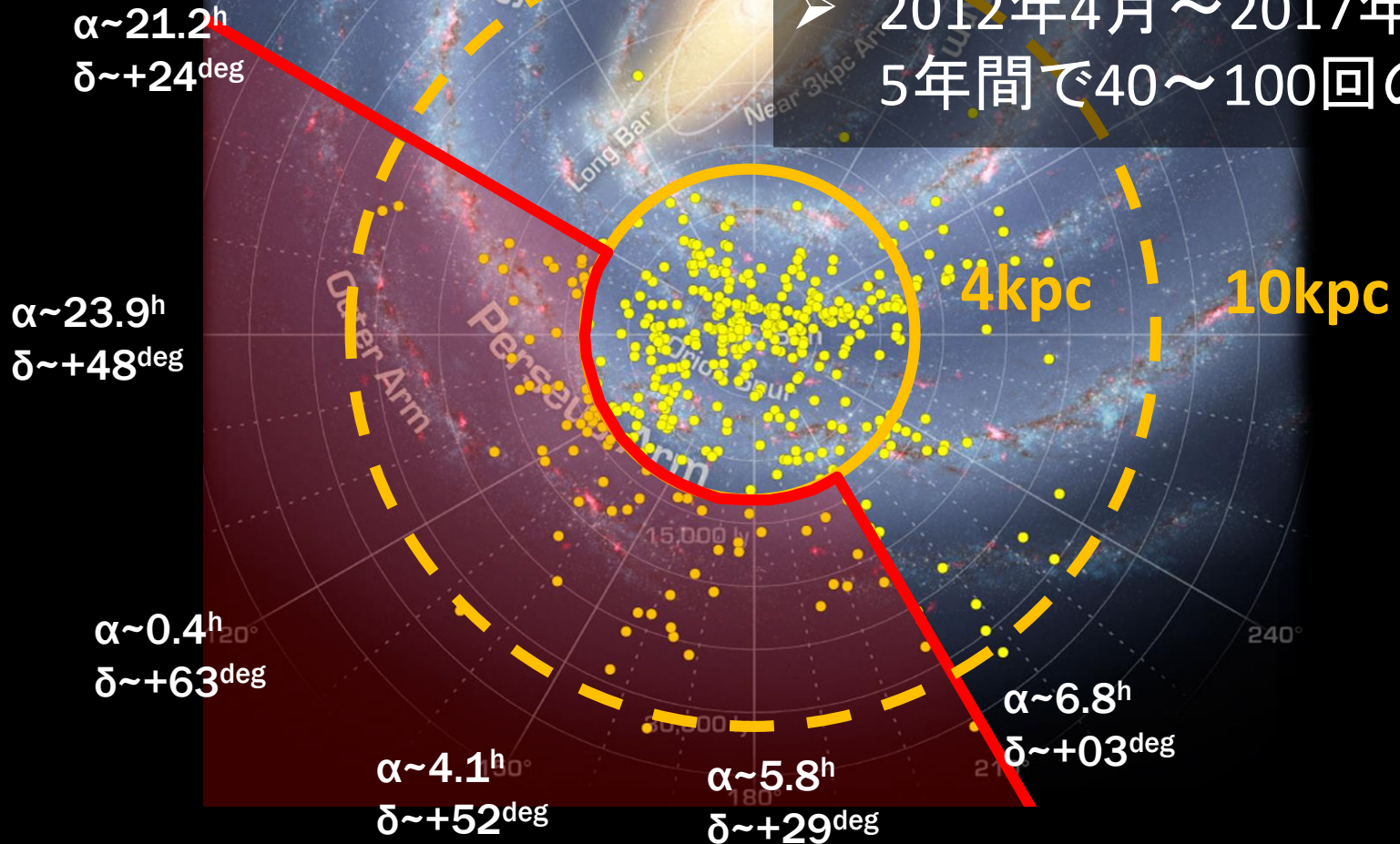
背景は、R. Hurt (NASA/JPL/Caltech)による銀河系の想像図

KISOGPの目的と概要

- KWFC Intensive Survey of the Galactic Plane
 - 2012年度に始まったKWFC大規模観測課題のひとつ
- 円盤部(銀河系の骨格)にある変光天体探査
 - 320平方度。現在約3000個の変光星が知られている領域内で、数千個の新しい変光星の発見を目指す。
 - (周期光度関係をもつ)変光星の分布から銀河円盤の構造を明らかにする。
 - 突発天体やYSOなどその他の変光天体を探し出し、詳細研究へのサンプルを提供する。
- 見つけた変光星の追観測

KISOGPの観測

- 木曽シュミット望遠鏡とKWFCカメラ
- 320平方度(80視野)
- Iバンド
- 限界等級17等(S/N=30)
- 2012年4月～2017年3月の5年間で40～100回の観測



KISOGP ミラの検出

- 783個のミラ(約9割は新発見の変光星)
 - 現在、再解析中でもう少し増える見込み。
- 2MASSの等級に基づく距離(誤差はまだ大きく、最大50%程度)

Red

AAVSO Miras ($|b| < 5^\circ, P > 100^d$)

8191

($60^\circ < |l| < 210^\circ$)

377

Green

KISOGP Miras

783

-10

15

10

5

10°

-5

-10

-15

120°

30,000 ly

240°

270°

90°

-5

0

5

10

15

20

Sagittarius Arm

Quadrant Arm

Scorpius Arm

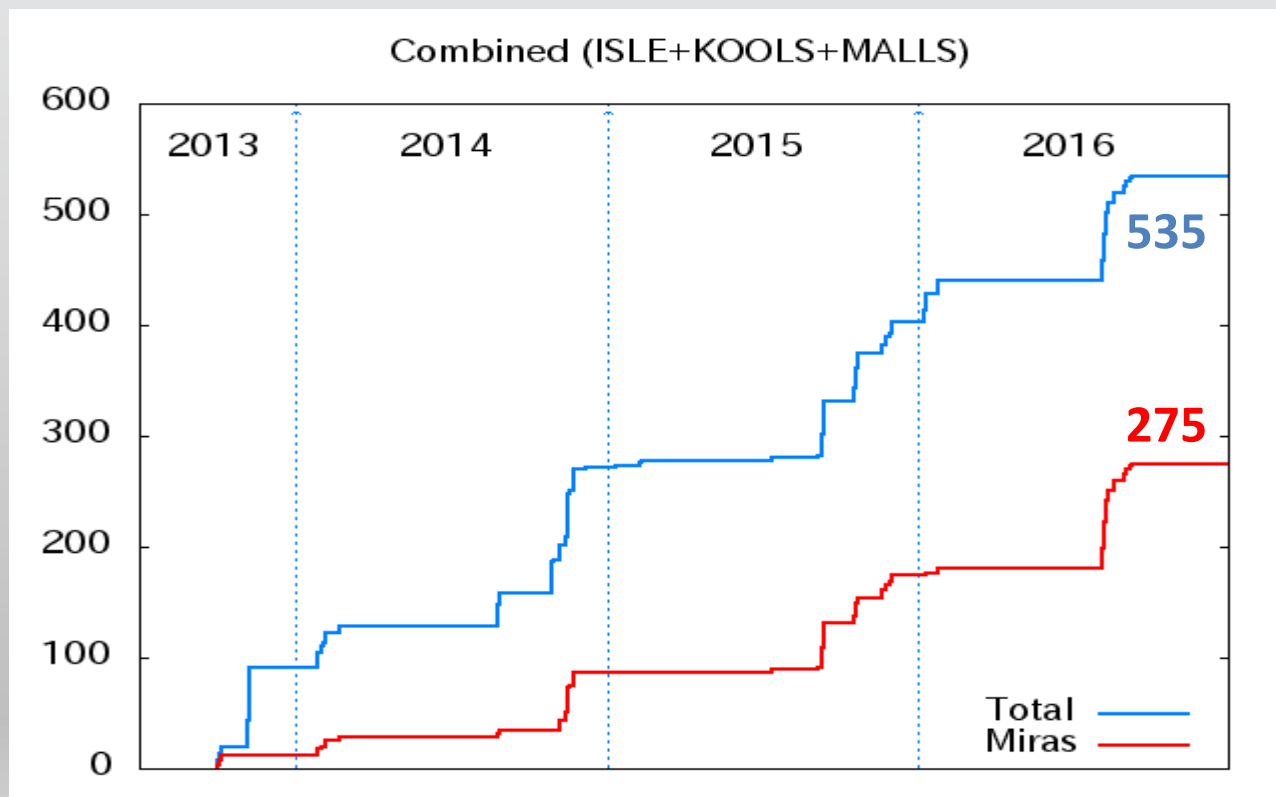
分光追観測

- ミラについて、O-richとC-richの分類を行うために可視光、近赤外での低分散分光観測
 - 国立天文台 岡山天体物理観測所 188cm望遠鏡
 - KOOLS(可視低分散分光) : $I=14$ mag くらいまでの天体 29夜
 - ISLE(近赤外線撮像分光) : 可視で暗く、赤外で明るいミラ 36夜
 - 兵庫県立大学 西はりま天文台 なゆた望遠鏡
 - MALLS(可視中低分散分光) : $I=13$ mag くらいまでの天体 28夜
- (合計 93夜)



分光観測天体数(合計)

- 783個中のミラの275個を分光観測した。
 - 岡山(KOOLS, ISLE)と西はりま(MALLS)での観測の合計
 - ミラ以外の約250天体は、振幅が少し小さいミラとセミ・レギュラの中間的な天体が多い。



解析状況

- 275個のKISOGPミラのスペクトルのうち：
 - 赤外線(ISLE)のスペクトルのある159天体は未解析。
 - 可視光(KOOLS and/or MALLS)のスペクトルのある214天体中、186天体を解析して分類したところ。
 - 19個の炭素星(炭素ミラ)を新たに同定。

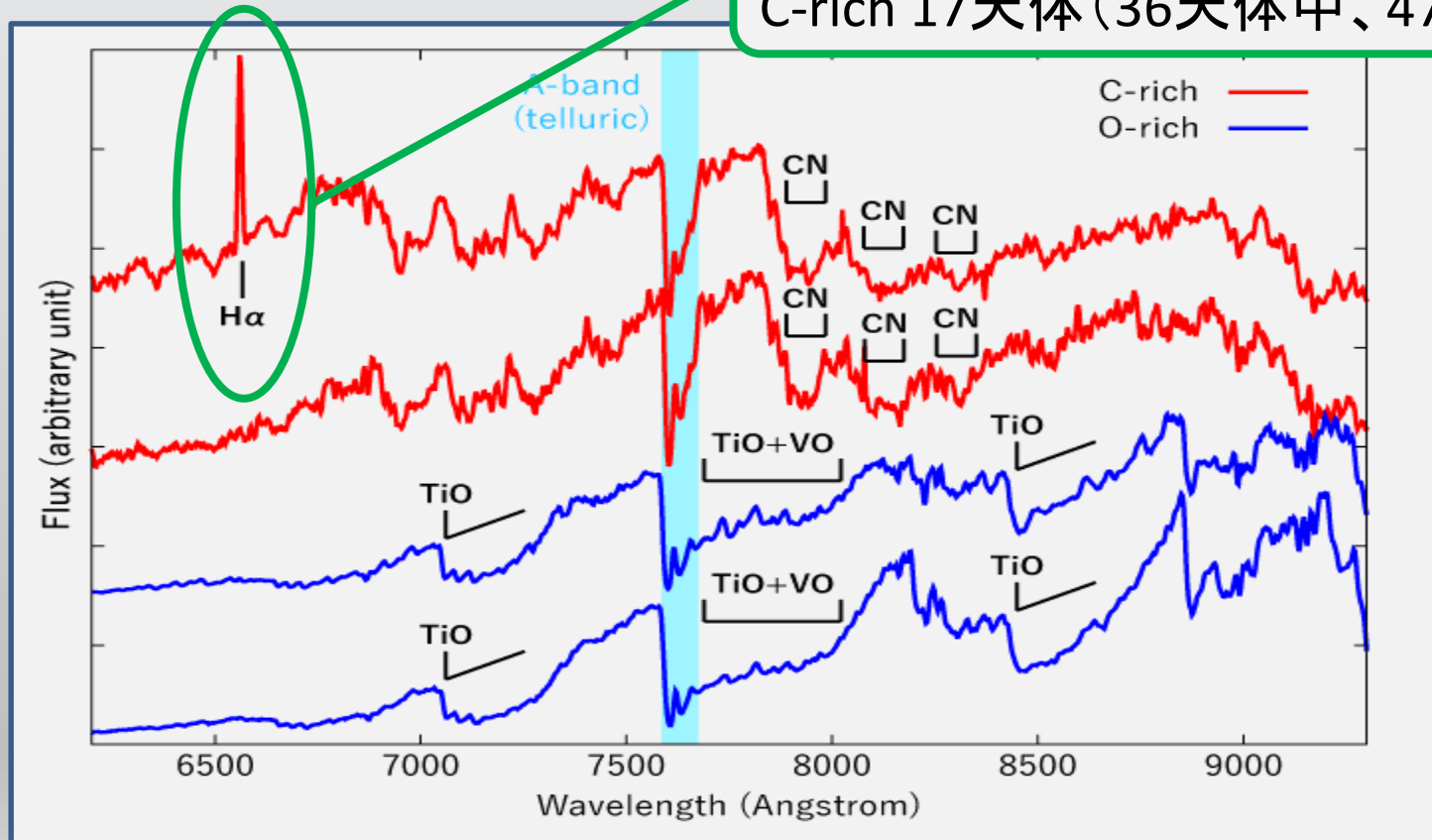
観測装置	炭素星	M型星	未分類	合計
KOOLS	13	74	5	92
MALLS	25	96	22	143
ISLE	—	—	159	159
既知	41	68	—	109
合計	60	198	179	368

一部、複数装置で重複して観測した天体も含む。

スペクトルの特徴

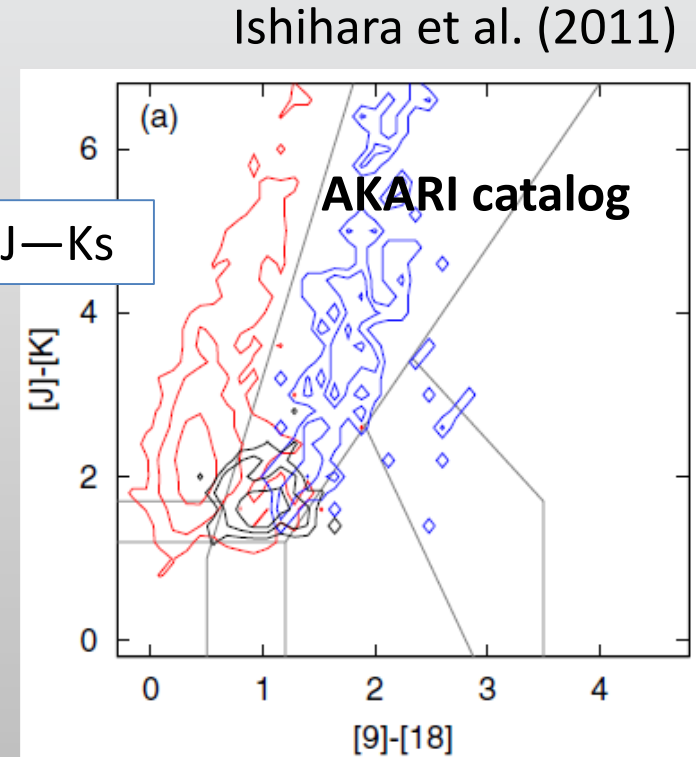
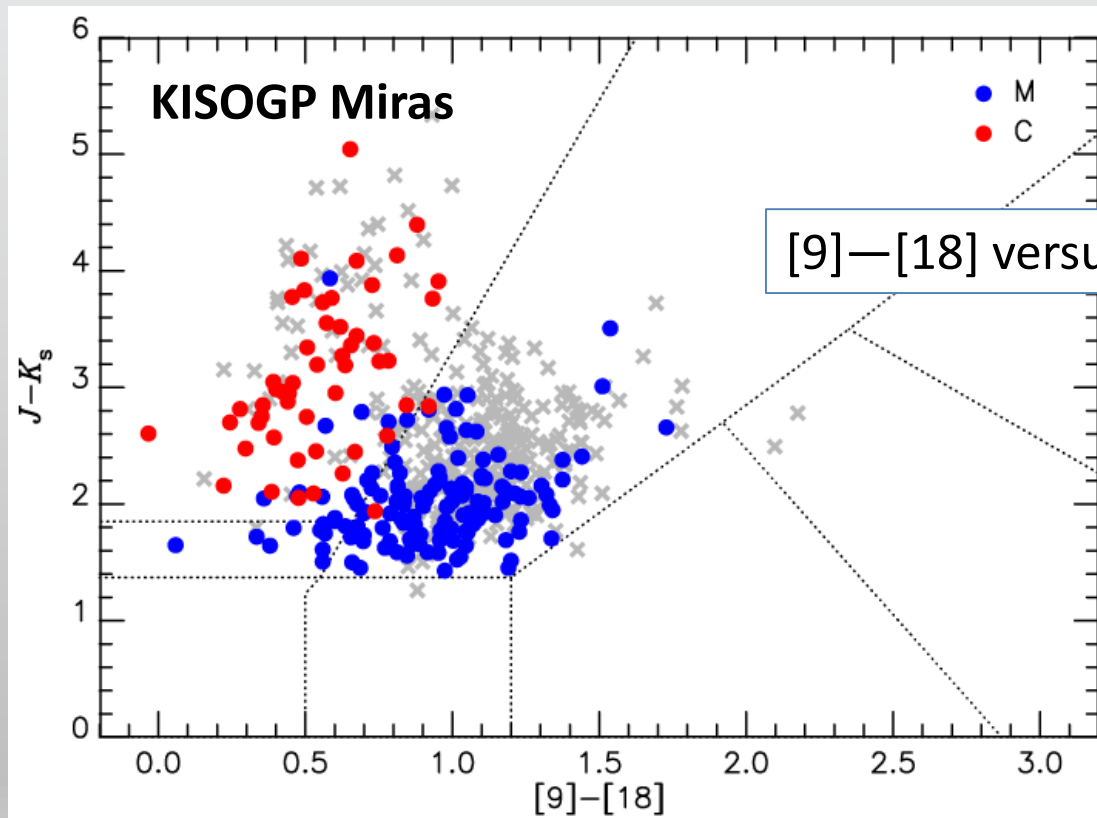
- C-richとO-richのミラを見分けるのは容易
 - C-rich : CN、C₂ (主に6000 Åより短波長) など
 - O-rich : TiO, VO など

O-rich 12天体 (150天体中、8%)
C-rich 17天体 (36天体中、47%)



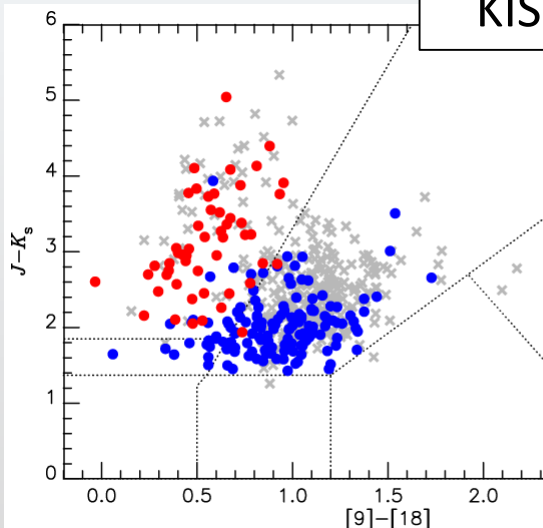
赤外線カラーによる分類との比較

- 一般のAGB星に対して考案されていた二色図による分類(Ishihara+11)が、ミラ型変光星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。



赤外カラーによる分類の利用

KISOGP領域(銀河系円盤)



赤外カラーも利用して

- O-rich : 465個
- C-rich : 112個 (20%)

LMC : O=447, C=1188 (73%)

SMC : O=36, C=314 (90%)

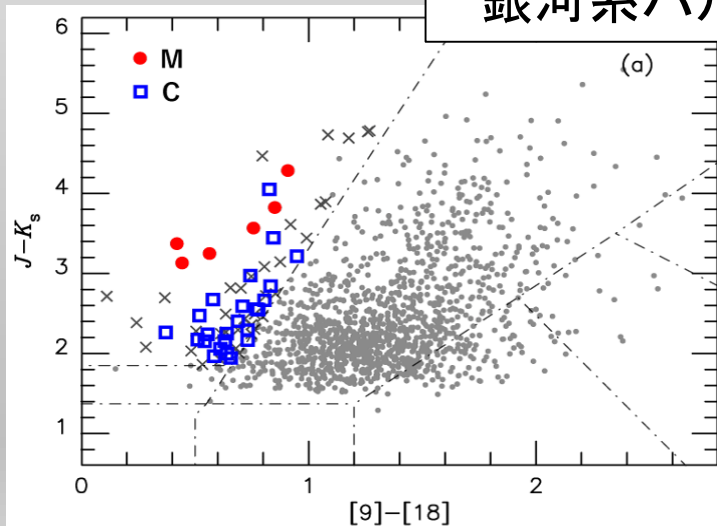
(OGLEカタログ)

赤外カラーでの分類

O-rich	C-rich
15	18
2	49
67	52

カラーによる炭素星の誤検出 (False Positive)

銀河系バルジ(OGLE領域)



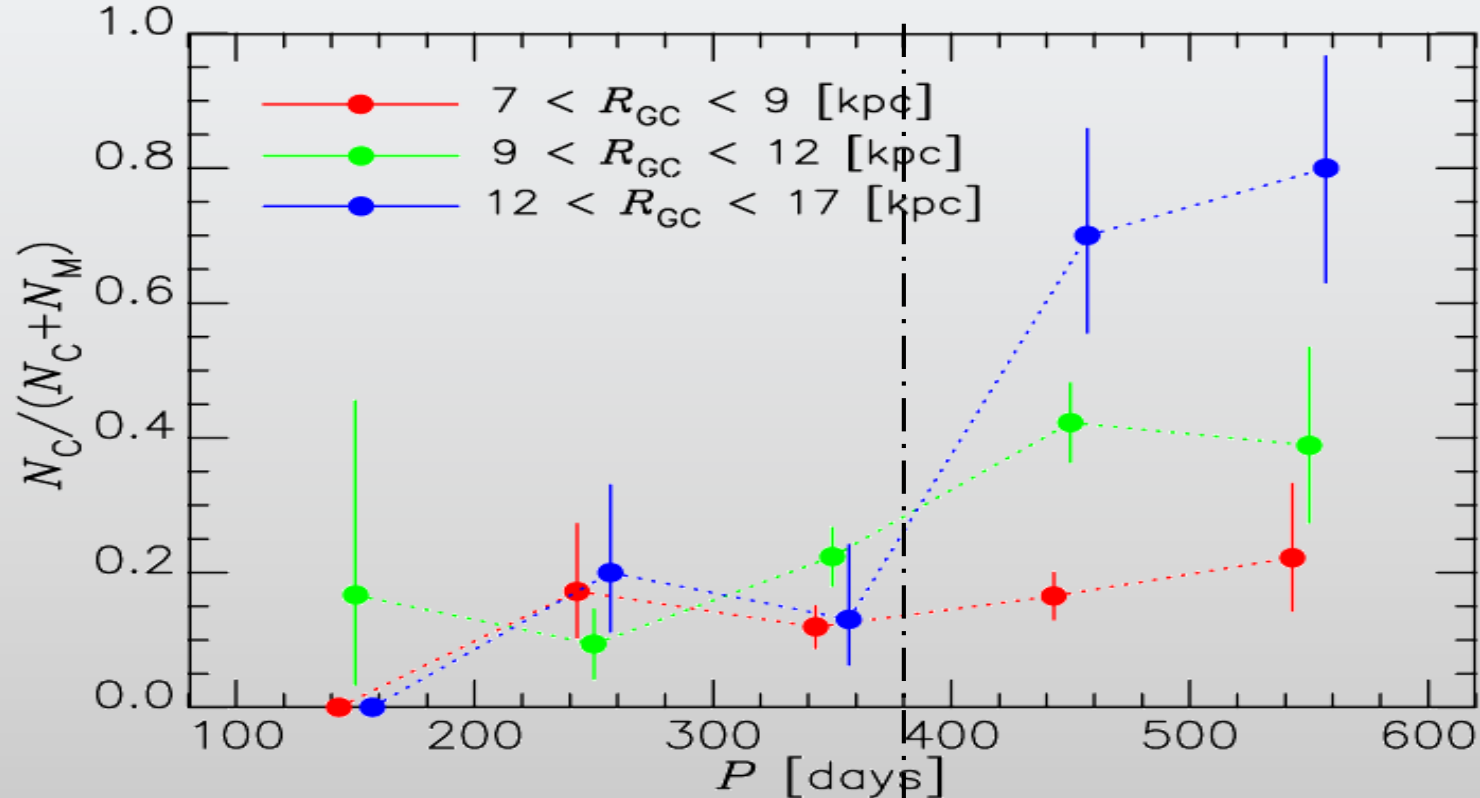
赤外カラーでの分類

分光観測での分類	O-rich	C-rich
	--	27
	--	6
未分類	1151	33

→ Matsunaga et al. (2017, MNRAS, 469, 4949)

周期の効果

(カラーによる分類の結果を含む)

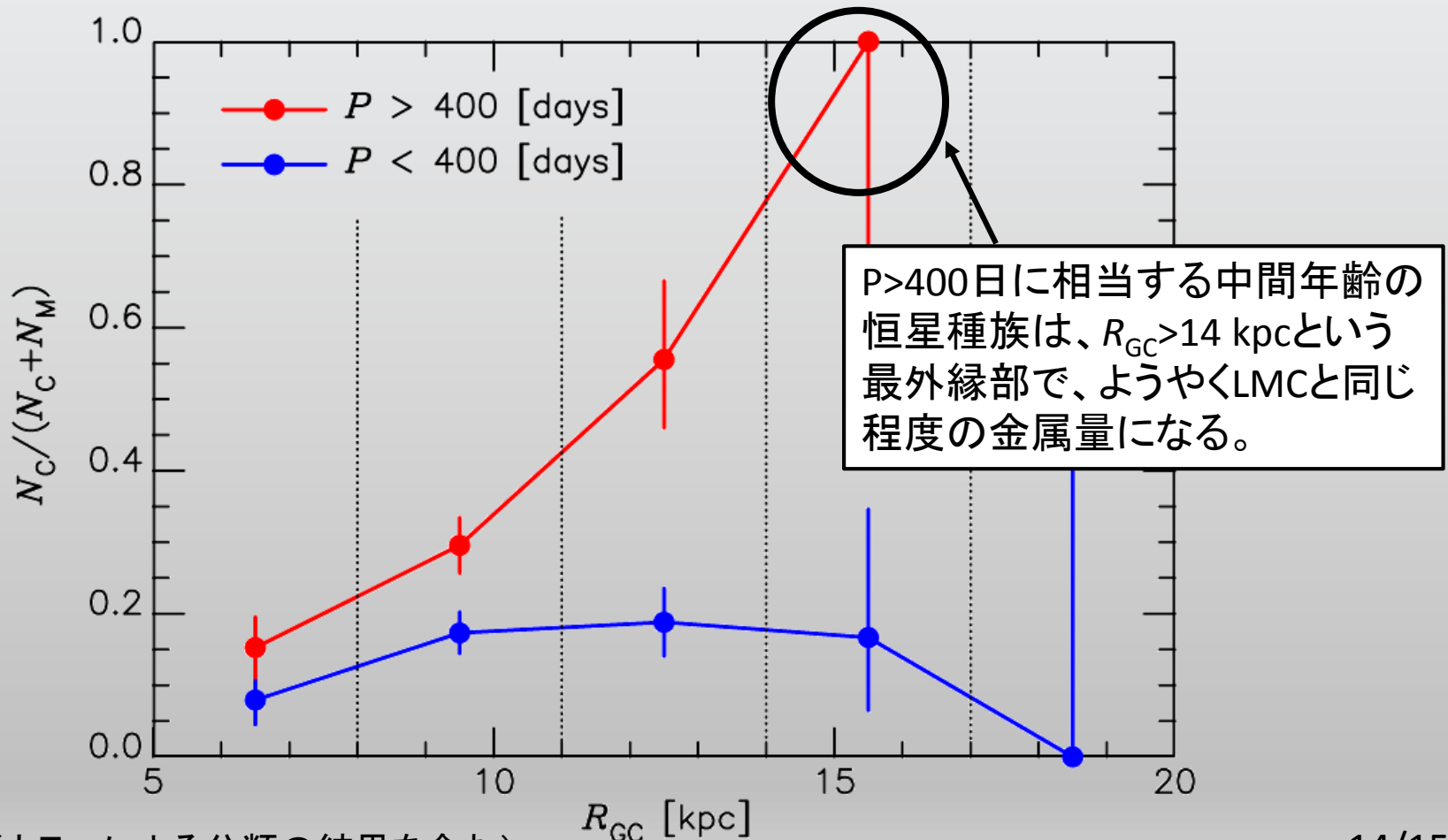


短周期のミラは、銀河系円盤の外側にいっても炭素星の割合が小さい。(LMC、SMCでは300日のミラのほぼ全てが炭素星)

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

- 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

- KWFC、Iバンドで約320平方度の変光星探査
 - 約800個のミラ、約90個のセファイドなどを発見。
- KWFCデータについては、等級ゼロ点較正に使うカタログをPS1に変えるなど、改良を加えながら、データ解析をまとめている。
- 岡山、西はりまでO-richミラ、C-richミラの分類
 - 長周期ミラでは円盤中の位置によってC/Mが変化
 - 短周期ミラでは位置によらずO-richが卓越