

KISOGP ミラ型変光星に対する炭素星とM型星の分類

松永典之¹, 岩崎仁美², 前原裕之³, 浮田信治³, 坂本強⁴, 泉奈都子¹, 山本遼¹, 福江慧^{1,5}, 小林尚人¹, 三戸洋之¹, 青木勉¹, 征矢野隆夫¹, 樽澤賢一¹, 猿楽祐樹¹, 酒向重行¹, 諸隈智貴¹, 土居守¹, 中田好一¹, 田中雅臣³, 岩田生³, 柳澤顕史³, 板由房², 小野里宏樹², 花上拓海², 山下智志⁶, 新井彰⁵

(1) 東京大, (2) 東北大, (3) 国立天文台, (4) 日本スペースガード協会, (5) 京都産業大, (6) 鹿児島大

1. ミラ型変光星と炭素星・M型星

銀河面は多くの星が集まる銀河系の骨格部分であるが、強い星間減光のため星の分布などよく分かっていないことが多い。我々が銀河系のトレーサとして注目しているミラ型変光星は、周期光度関係や恒星進化理論に基づく年齢や距離の情報を得られるので、銀河系の構造や恒星種族を調べるために有効なトレーサである。ミラ型変光星（さらにAGB星）の中には、表面組成が全く異なる2つのグループが存在する。ミラ型変光星が生じるAGB後期では、熱パルスとそれに伴って起こる汲み上げ(3rd dredge up)によって、星内部での合成された元素が恒星表面に運ばれる。表面の酸素と炭素の比が逆転すると、酸素過多の星(低温であれば、M型星)から炭素過多の星(炭素星)に変化する(Marigo et al. 2008)。炭素星になるかどうかは、その星の初期質量(年齢)や金属量に依存する。そのため、炭素星の分布や酸素過多の星(M型星)との存在比は恒星種族を考えるうえで重要な観測量である(Cioni & Habing 2003, Boyer et al. 2013)。銀河系においても、分光探査や赤外線観測カタログの解析により、炭素星の分布が議論されてきた(Noguchi 2004, Ishihara et al. 2010)。しかし、それらの研究では各炭素星までの距離の不定性が大きく、銀河系中の分布については大まかな議論にとどまっている。本研究の目標は、距離、年齢、進化段階のわかるミラ型変光星の分布に酸素・炭素過多の区別も加えて、銀河系中の10億年より古い恒星種族が銀河系円盤の場所によってどのように異なる性質を持つか明らかにすることである。

2. KISOGPによるミラ探査

我々は、東京大学木曾観測所の超広視野カメラ KWFC(視野4平方度)を利用し、銀河面領域の広い範囲に対する変光星の探査(KISOGP = KWFC Intensive Survey of the Galactic Plane)を2012年3月から行っている。探査の範囲は、銀経60~210度の範囲(約320平方度)で、限界等級は17等級(S/N=30、Iバンド)である。これまでの解析で、周期100~600日のミラ型変光星を783個検出した。このうち、これまで変光が報告されていたのは約100個であり(GCVS, AAVSO)、9割近くは新発見の変光星である。2MASS近赤外線カタログのJHKs等級を用いた予備的な解析では、これらのミラ型変光星(Ksバンドでは2~10等級)が距離にして数~15kpc(星間減光量は0.3~1等級程度)の広い範囲に分布していることがわかった。

3. KISOGPミラの分光追観測

我々は、国立天文台岡山天体物理観測所の188cm望遠鏡(KOOLS、ISLE)及び西はりま天文台なゆた望遠鏡(MALLS)を用いて、KISOGPで発見したミラの分光観測を進めている。これまで、2013年10月~2016年1月に西はりま天文台(MALLS)で24夜、岡山観測所で55.5夜(KOOLS 30夜/ISLE 25.5夜)のアロケートを受けた。KOOLS、ISLE、MALLSでそれぞれ189、165、143個のKISOGPミラ(のべ497個)の観測を行った。また、スペクトル型がすでに知られているミラ型変光星が100個程度である。ただし、既知の明るい天体を観測しなおしたり、複数の装置で重複している観測している場合もある。これまでの解析で、56個のミラが炭素過多、167個のミラが酸素過多であることを分光的に確認した。

4. 議論

図2は、2MASSとAKARIのカタログの等級を組み合わせ、KISOGPミラのうちJ-K_sと[9]-[18]の両方のカラーが得られる天体をプロットした二色図である。すでに知られていたスペクトル型および今までの分光観測で得られた分類を、Ishihara et al. (2011)の分類(点線で仕切られた領域)と比べると、ミラ型変光星でも測光カラーによる分類とスペクトルによる分類の結果がおおよそ一致していることがわかる。以下では、この二色図による分類の結果も合わせて、2つのグループの存在比を議論する。図3は、周期によって炭素星の割合がどのように変化するかをプロットしたものである。OGLE (Soszynski et al. 2009, 2011)によるマゼラン銀河のミラ型変光星の分類と比べて、KISOGPミラでは炭素星が少ないことがわかる。さらに、銀河系中心からの距離に応じた炭素星の割合の変化を図4にプロットした。特に、周期が400日より長いミラの場合に、銀河系の外側で炭素星の割合が大きくなる傾向がはっきりと見られた。これは、ミラ型変光星が代表する恒星種族も金属量勾配をもつことを示している。ただし、炭素星の多いR_{GC}>12 kpcの領域でも、マゼラン銀河より炭素星が少ない様子が見られる。これは、銀河系円盤とマゼラン銀河の恒星種族(年齢と金属量)の違いを反映していると考えられる。

参考文献

AAVSO International Variable Star Index (Watson et al. 2014)
Boyer et al. 2013, ApJ, 774, 83
Cioni & Habing, 2003, A&A, 402, 133-133
GCVS (Galactic Catalogue of Variable Stars, Samus et al. 2013)
Ishihara et al. 2011, A&A, 534, A79
Marigo et al. 2008, A&A, 482, 883-905
Noguchi et al. 2004, A&A, 418, 67-75
Soszynski et al. 2009, Acta Astron. 59, 239
Soszynski et al. 2011, Acta Astron., 61, 217

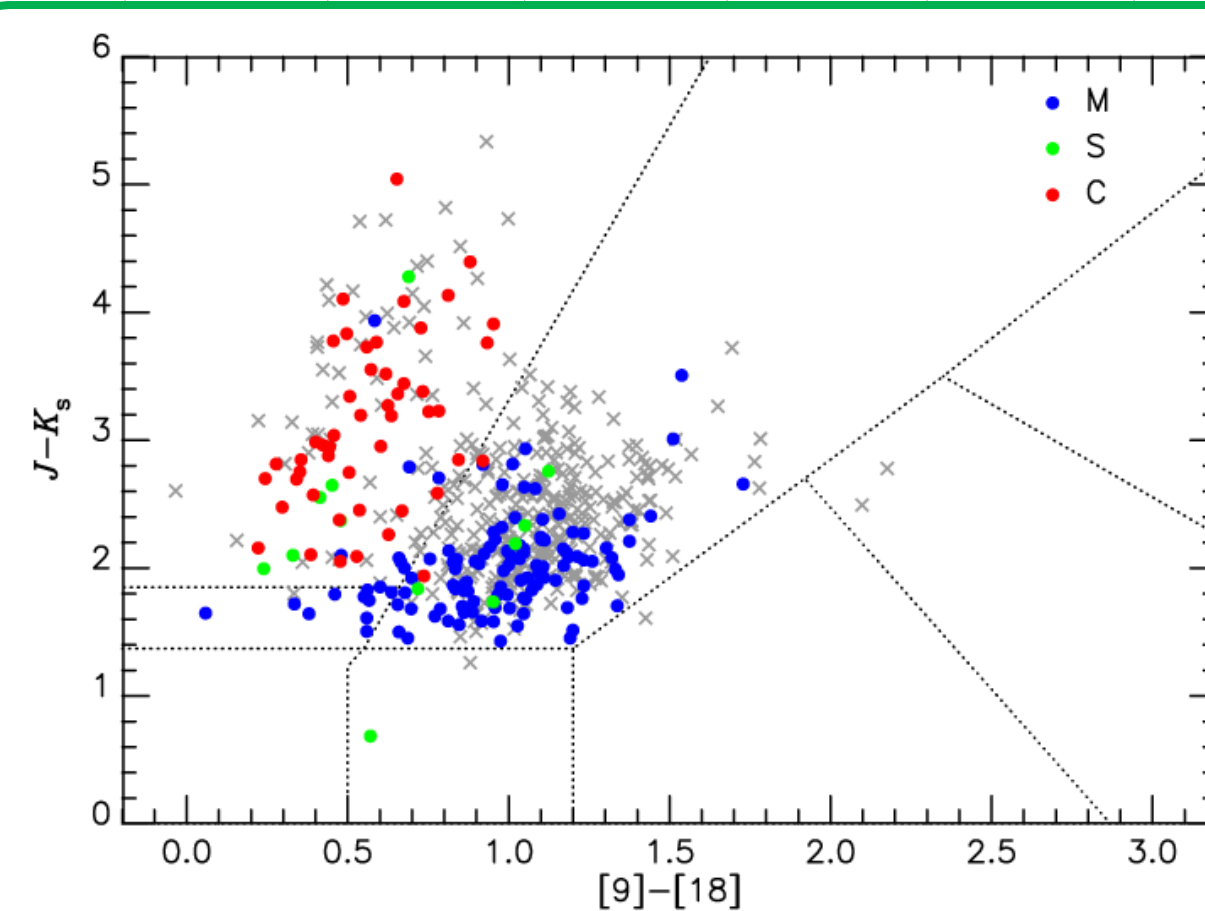


図2 KISOGPミラ型変光星に対する赤外線カラー(2MASSとAKARI)の二色図。これまでに行った分光とSimbadに記載されたタイプで、M型星または炭素星とわかっている天体は、凡例が示すようなシンボルでプロットした。点線は、Ishihara et al. (2011)による分類のための領域を示し、Eに炭素星、FにM型星が多い。

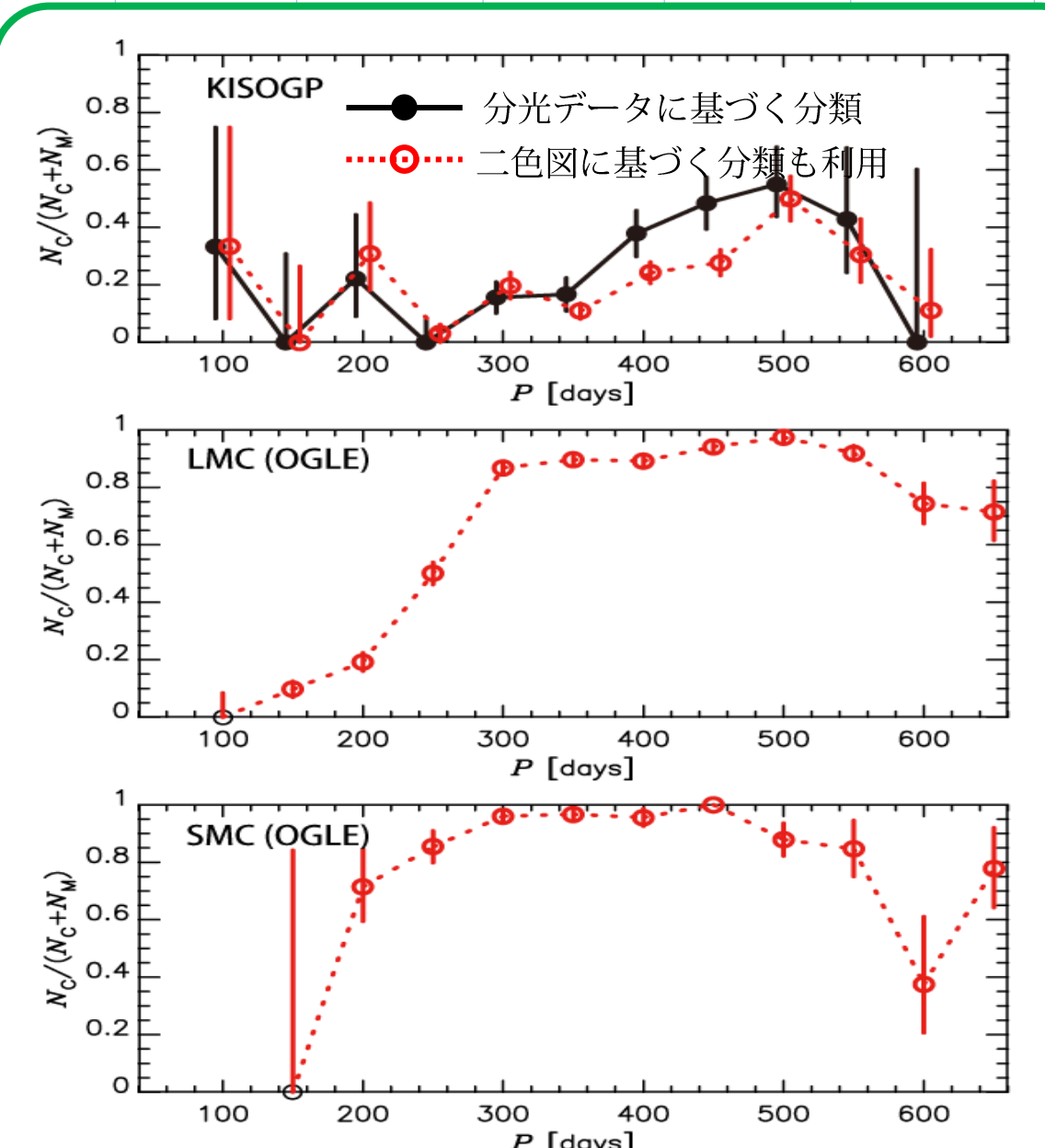


図3 KISOGPおよびOGLEによるマゼラン銀河探査(Soszynski et al. 2009, 2011)で調べられているミラ型変光星の炭素星に割合が周期にどのように依存するかプロット。

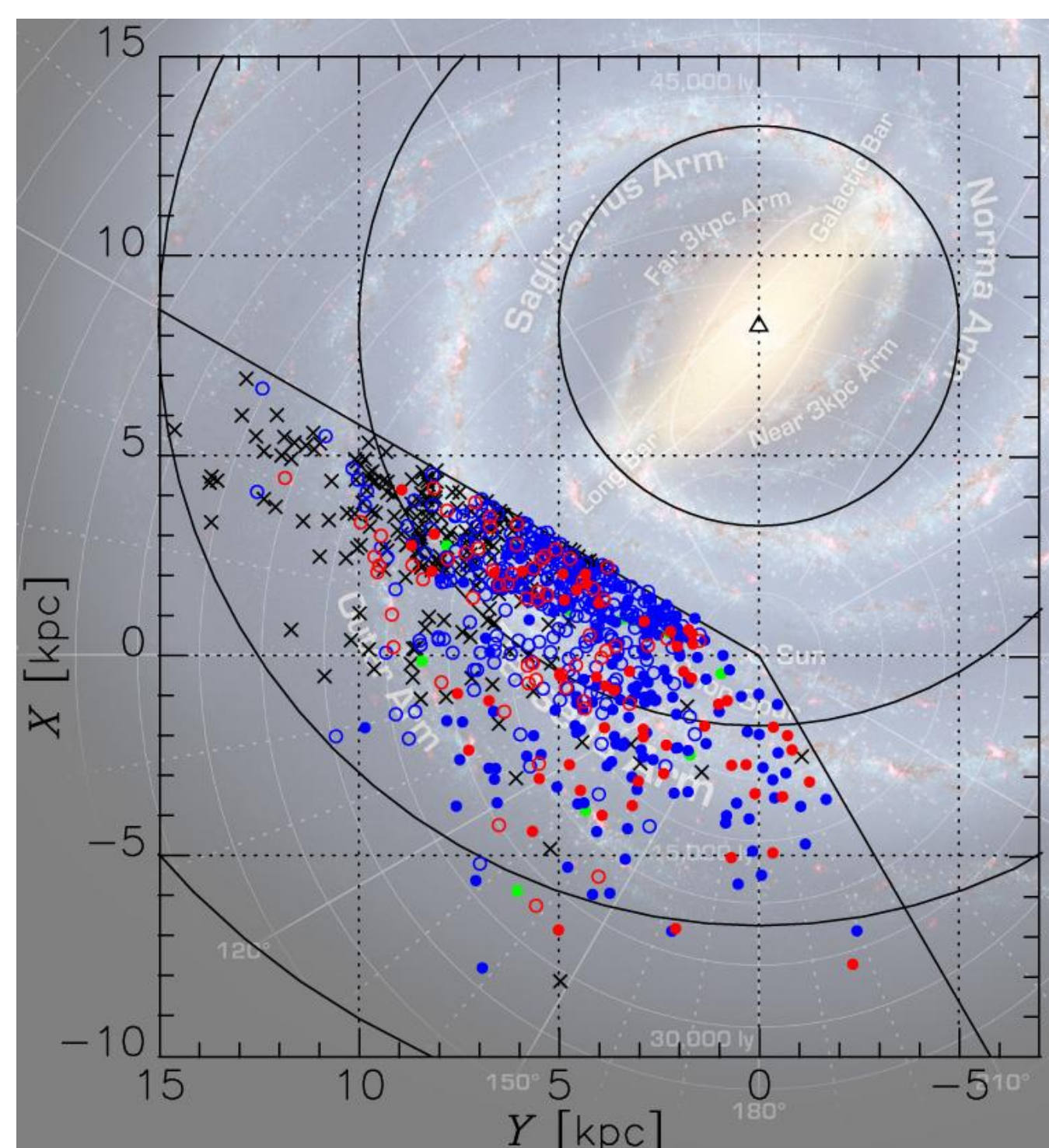


図1 KISOGPで検出したミラ型変光星の銀河系円盤における分布。赤、青、緑の丸印はそれぞれ炭素過多、酸素過多、S型(中間型)と分類されたミラである。ただし、塗りつぶされた丸は分光データ、中抜きの丸は二色図に基づく分類である。×印はタイプがわからないもの。

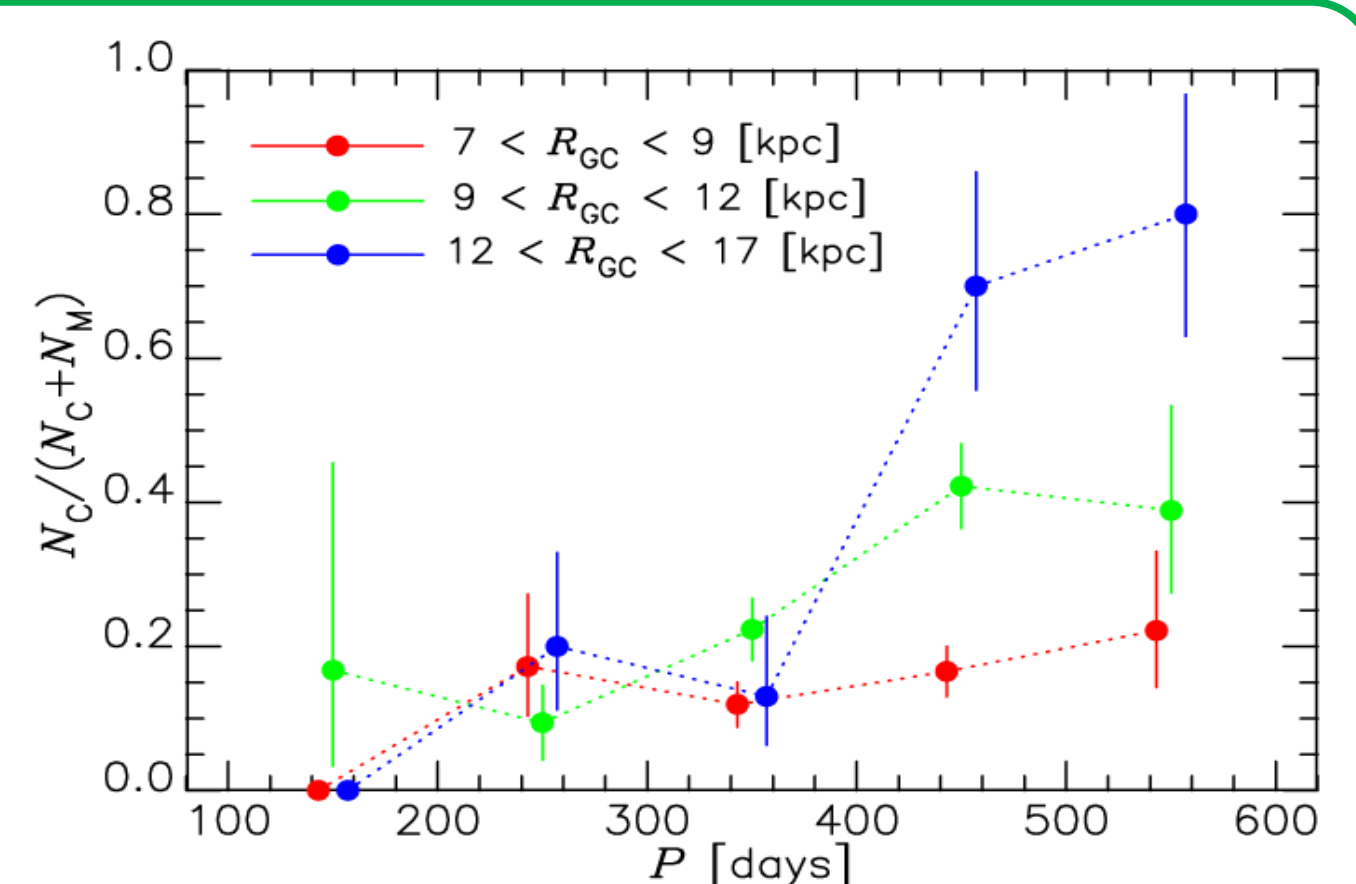
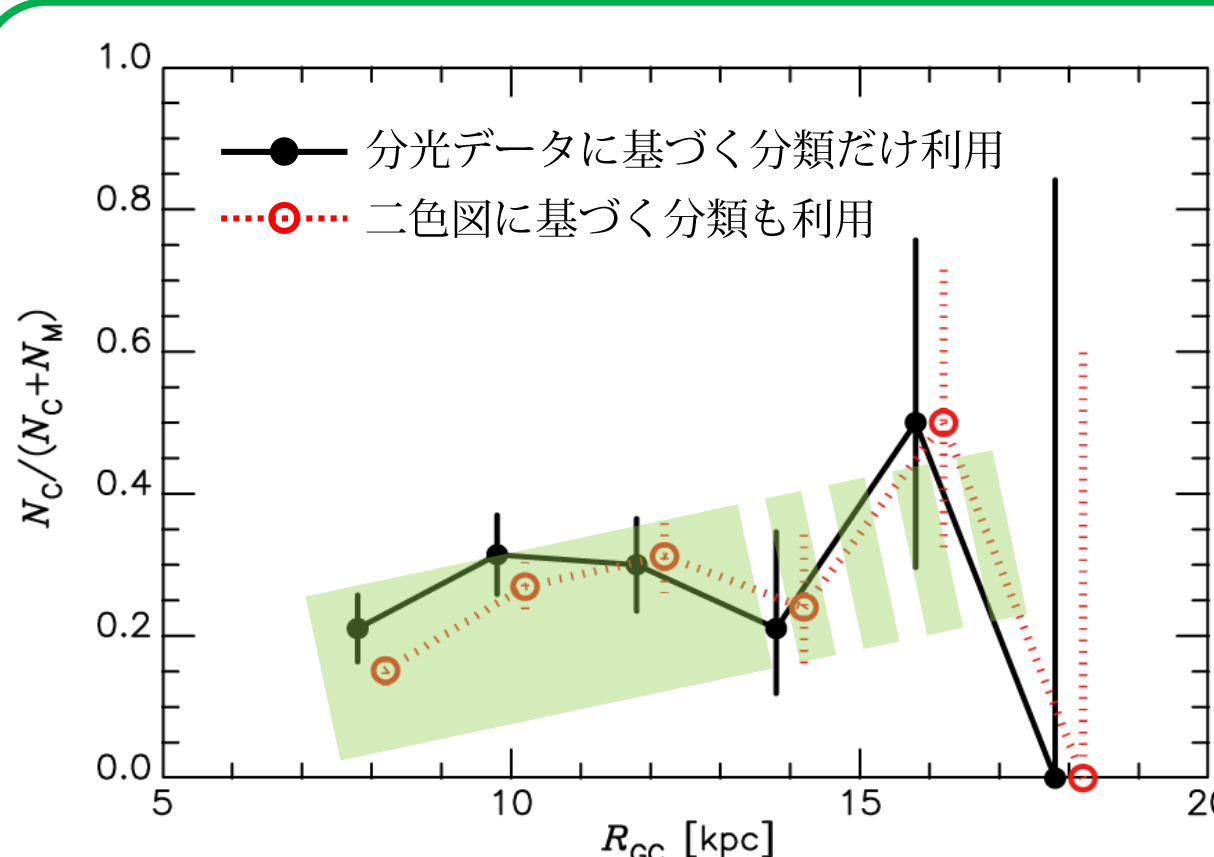


図4 (左) KISOGPミラに占める炭素星の割合が、銀河系中心からの距離によってどのように変化するかをプロットした。分光データに基づく分類だけのサンプルと、二色図(図2)での分類も考慮に入れたサンプルをそれぞれ黒、赤で示しているが、両者の結果が一致している。銀河系円盤の外側に向かって、炭素星の割合がゆるやかに大きくなっていくように見えるが、勾配はそれほどはっきりしていない。(右) 銀河系中心からの距離に応じてKISOGPミラを3つのグループに分け、炭素星の割合が周期によって変化する様子をそれぞれプロットした。周期400日以下ではどのグループも炭素星の割合が小さいが、長周期のミラには炭素星が多く、その割合が銀河系円盤の外側に向かって増えている様子が見られる。