

論文の内容の要旨

Abundance Determinations of Classical Cepheids in the Galactic Center with Near-infrared High-resolution Spectroscopy

(近赤外線高分散分光による銀河系中心セファイドの金属量決定)

福江 慧

我々の太陽系が属している銀河系では、約 130 億年の時間をかけて鉄をはじめとする様々な重元素が増加してきた。この重元素は超新星爆発をはじめとする恒星進化の現象を通じて生成され、絶えず星間空間に供給されてきたものである。重元素の増加の歴史 (すなわち化学進化) は銀河系の中の位置によっても異なり、銀河系の進化を考える上で重要な情報が含まれている。ここでは、銀河系ディスクにある恒星の金属量が内側ほど高くなっているという特徴 (金属量勾配) に注目する。様々な天体トレーサーの中でも、距離や年齢などを正確に求めることのできるセファイド型変光星は非常に有効な天体である。銀河系中心からの距離 (R_{GC}) が 5 kpc 以下の領域にはほとんどセファイドが見つかっていなかったが、Matsunaga et al. (2011, 2015) によって銀河系中心領域 ($R_{GC} < 200$ pc) に 4 つの古典的セファイドが発見された。このような中心部にあるセファイドの金属量は過去に調べられたことが無く、その測定が本研究の目標である。銀河系の内側ほど星間減光が強くなるため、可視光ではなく赤外線での観測が必要となるが、近赤外線でのセファイドの高分散分光はほとんどなされていない。従って、本論文の主な目的は、(1) 近赤外線高分散分光データによる組成解析方法の確立、(2) 銀河系中心領域に見つかった新しいセファイドの金属量の導出、という 2 点である。そのために、*Subaru*/IRCS を用いて、銀河系中心セファイドの H バンドスペクトル ($R=20,000$, $\lambda = 14600\text{--}17900$ Å) を取得した。また、金属量等が良くわかっている校正用の天体として、G または K 型の巨星/超巨星や標準的なセファイド (δ Cep, X Cyg) についてもスペクトルを取得した。

まず最初に、G や K 型の標準星 10 天体の H バンドスペクトルの解析から、組成解析方法を確立し、その検証を行った。我々は恒星大気モデルの計算やモデルスペクトルの合成に、ATLAS9 (Kurucz, 1993a) を基盤とした MPFIT (Takeda, 1995) というツールを用いた。ラインリストには Meléndez & Barbuy (1999) のものを用いることで、モデルスペクトルが観測スペクトルに良く合致することが分かった。ミ

クロ乱流速度 ξ と、同時に決定された最終的な金属量も文献値と一致した。

次に、ライン強度比を用いた有効温度の決定方法を構築した。これは、異なる励起ポテンシャルを持つ吸収線の比を温度指標として用いる方法であり、最も重要な利点は星間赤化や減光に強いことにある。また、この指標は単純な観測量 (吸収線の深さ) によって経験的に構築、校正される。この方法は可視光スペクトルに対してこれまでも用いられてきたが、 H バンド波長帯で適用できる温度指標を今回初めて発見した。金属量標準星 8 天体から、9 つの吸収線のペアを作成し、これらを用いることで G と K 型の巨星/超巨星の温度を ~ 40 K の精度で決定できることが分かった。さらに今回構築した 9 つのライン強度比について、恒星大気パラメータの影響を調査した結果、太陽金属量から大きく異なる場合、見積もられる温度にバイアスのかかることが分かった。また、このようにライン強度比が金属量等の恒星大気パラメータにも依存性を持っていることから、ライン強度比から主要な恒星大気パラメータ (T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, ξ , $[\text{X}/\text{Fe}]$) を決定する方法についても議論した。その結果、理想的なモデルの場合は十分な精度でパラメータが決定できるが、観測誤差が少しあるだけで精度が大きく落ちることが分かった。そこで本研究では、ライン強度比から導出する有効温度と MPFIT を組み合わせた手法で金属量を求めることとした。

まずその解析手法を、2 つの校正用のセファイド (δ Cep, X Cyg) に対して適用した。導出された有効温度と金属量は、可視光のスペクトルから導出された文献値と合致し、セファイドの位相に応じた有効温度を導出できている事も確認できた。最後に、銀河系中心のセファイドについて、同じ手法で有効温度と金属量を導出した。校正用の天体と比較して、銀河系中心のセファイドのスペクトルのクオリティは低い ($S/N=30-70$) が、有効温度、マイクロ乱流速度、金属量のそれぞれを $\Delta T_{\text{eff}}=120-300$ K、 $\Delta \xi=0.5-1.0$ km/s、 $\Delta [\text{Fe}/\text{H}] \sim 0.06$ dex (パラメータ誤差の影響まで考慮すると $0.1-0.3$ dex) という精度で決定することができた。導出した 4 つの銀河系中心セファイドの金属量は、3 つが $[\text{Fe}/\text{H}]=0.1-0.2$ dex、1 つは (スペクトルの S/N が最も低いものの) 0.6 dex と見積もられた (Figure 1)。さらにライン強度比が金属量に依存することを考慮して、温度と金属量を逐次的に見積もる方法を構築し、高い金属量を得た 1 つのセファイドに対して適用した (Figure 2)。

過去の観測的研究では、銀河系中心付近にある他の天体に対しても太陽と同程度か僅かに高い $0.0-0.2$ dex という金属量が報告されている。それらの天体のうちのいくつかはセファイド等よりも古く、少なくとも数 Gyr 程度の年齢であると考えられる。このことは、銀河系中心領域 ($R_{\text{GC}} < 200$ pc) の星の金属量が、銀河系進化の大部分の期間でほとんど一定だったことを示唆している。これらの金属量は、銀河系バルジ ($R_{\text{GC}} < 3$ kpc 内) にある古い星の金属量の平均値と近い。このことからバルジの星の mass-loss によって放出されたガスの集合体が、銀河系中心領域 ($R_{\text{GC}} < 200$ pc) における星形成の元になったというシナリオが支持される。一方で、銀河系ディスク内縁 ($3.5 < R_{\text{GC}} < 5$ kpc) にあるセファイドの金属量は高いことが知られているが、我々のターゲットの 1 つで見積もられた $+0.6$ dex と最も近い。この高い金属量のセファイドは、ディスク内縁からの高金属量のガスによって説明できると考えられる。

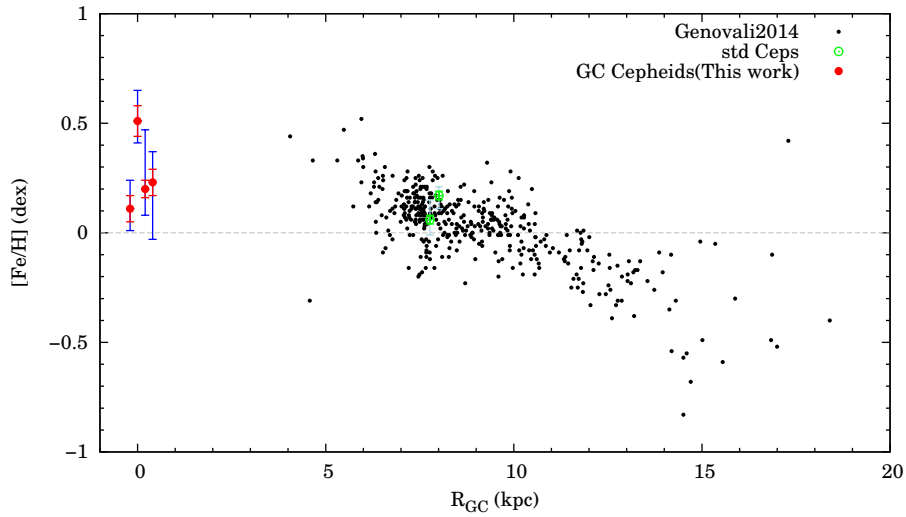


Figure 1 セファイド型変光星の金属量勾配。赤い点は今回測定した銀河系中心領域 ($R_{GC} < 200$ pc) に位置する4つのセファイドの結果である(4つの点の横方向の位置は見やすいように左右にずらしている)。緑および黒の点は、今回測定した2つの標準セファイドと Genovali et al. (2014) にリストされている銀河系ディスクのセファイドを示す。

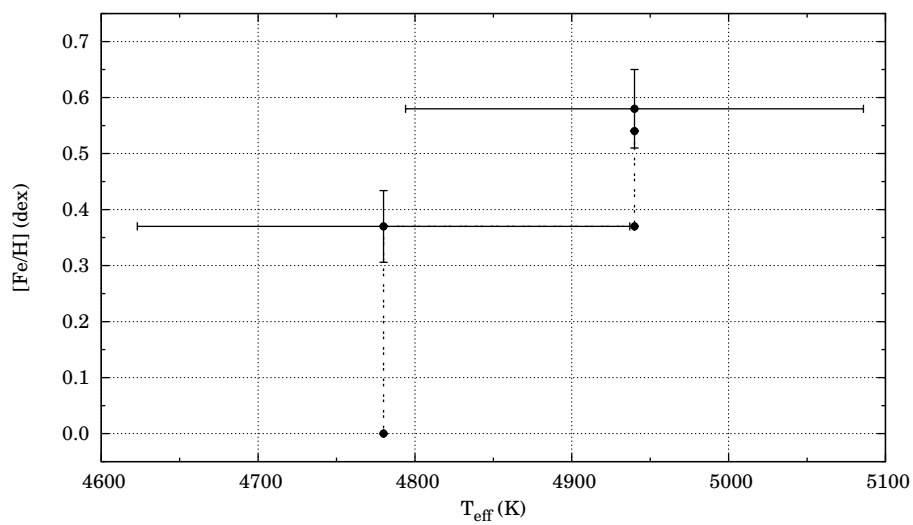


Figure 2 太陽金属量の3倍以上という高い値を得たセファイド1天体に対して、有効温度 T_{eff} と金属量 $[\text{Fe}/\text{H}]$ に対する逐次解析を行った様子。太陽金属量でのライン強度比から求めた温度は4780 Kだが、最終的に $T_{\text{eff}} = 4940$ K、 $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.58$ dex という値を得た。