

VERA入来20m望遠鏡を使った漸近巨星分枝(AGB)星に付随する水蒸気レーザー放射の探査

鹿児島大学理学部物理科学科 宇宙コース 面高研究室 4年 澤口真弓

Abstract

本研究では、銀河系内にあるAGB星に対してVERA入来20m電波望遠鏡を用いて水蒸気レーザー源の探査を行った。その結果、水蒸気レーザーを伴う天体を新たに10天体検出し、中には10kpc以上離れたところにあるものも検出された。検出率は、レーザーが付随するAGB星の実視等級と大きく関係している。星本来の明るさが暗かったり、レーザー源の距離が遠すぎたりすると検出されにくい。水蒸気レーザーが検出された星については観測から得られたレーザーの視線速度を、水蒸気レーザー未検出天体に関しては一酸化珪素レーザーの視線速度を使い、銀河回転曲線との組み合わせから推定される星までの距離を算出した。また、近赤外線観測から得られたAGB星の実視等級と変光周期-光度関係を組み合わせることで距離を求め、2つの異なる方法から求めた距離を比較した。結果、前者の距離推定法から、特に太陽系から2kpc以内の近い星については、信頼できる距離を求める事が困難であることが分かった。

Introduction

距離測定の重要性

私たちが住んでいる銀河系は、中心部が少し膨らんだレンズのような形をした半径約30kpcの渦状銀河であると言われているが、自分たち自身が銀河系の内側にいるために、銀河系全体の詳しい構造把握が困難である。それを明らかにするには、銀河系がどのような星で作られているのかを知る必要があり、星1つ1つについて真の大きさや放射エネルギーなど物理的性質や運動について調べる必要がある。しかし、私たちが得ることの出来る星からの情報は見かけの値にすぎず、真の値を知るためには星までの距離が欠かせないものとなる。

本研究の背景

VERAでは、星までの距離を直接測定する方法として最も単純な原理に基づく年周視差法を使い、精度10%以上で1000天体以上の距離を求めることを目指している。年周視差を得るには、一年以上にわたる定期的観測が必要であり、現在全国4か所に設置されたVERAで観測が行われている。しかし、レーザー放射を伴う星をさらに探査して定期的観測天体を増やすことは必要である。

本研究の目的

本研究の目的は、VERAで検出可能なAGB星の水蒸気レーザーを探索することである。AGB星は太陽と同程度の質量を持った晩期型星であり、脈動をすることも星の明るさを変え、多量のガスを放出している。一定の周期で脈動するミラ型変光星の周期と光度は相関関係にあり、正確な周期-光度関係を見出すためには距離の情報が必要である。周期-光度関係の精度を上げるためにAGB星を探索した。そして、この探査によりレーザーが検出された星までの距離を大雑把に推定する。本研究では2つの方法で求めた距離について考察するが、一度の観測で得られた情報や既に得られている情報からどれだけ信頼できる距離を推定できるのかを検証することは有意義である。

2つの距離推定法

1. 銀河系回転を利用した距離Dの求め方



$$V_r = V_0 \sin(180^\circ - \theta) - V \sin \phi$$

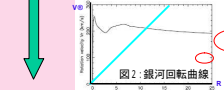
$$\sin(180^\circ - \theta) = \sin \theta$$

$$\sin \theta = \frac{V_r + V \sin \phi}{V_0}$$

これを代入

$$V_0 = \frac{(V_r + V \sin \phi) R_0 \sin \theta}{R \dots (1)}$$

(1)と銀河回転曲線との交点を求める



$V_0 R$ が求まる

余弦定理 $R^2 = R_0^2 + r^2 - 2rR_0 \cos \theta$ より

$$D = R_0 \cos \theta \pm \sqrt{R^2 - R_0^2 \sin^2 \theta} \dots (2)$$

(2)にRを代入してDが求まる

銀河回転
渦巻銀河を構成するほとんどの星は円盤状に分布し、銀河中心の周りを高速回転している。太陽系付近は220km/sであり、銀河回転の速度を銀河中心からの距離の関数で表したものを銀河回転曲線という。
実際には完全な円運動ではない

2. 変光周期-光度関係(P-L)を使った距離Dの求め方

$$M_k = -3.47 \log(P) + 0.84$$

$$M_k = m_k - 5 \log D + 5$$

M_k : 絶対等級(真の明るさ)
 m_k : 実視等級(見かけの明るさ)
 P : 星の変光周期

水蒸気レーザー源の膨張速度 V

水蒸気レーザーは、星周ガス成分のほとんどを占める水素分子と水分子が衝突して、水分子が励起されることで放射される。星周ガス中のダストは中心星からの放射圧を受けて星の外側へと加速され、ガスと一緒に加速される。そこで観測される水蒸気レーザーの膨張速度は星周ガスの厚みが増加するにつれて大きくなる。

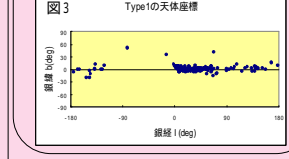
Observations

<観測するために選出したAGB星>

Type 1 以下の条件を全て満たす星

- ・Kバンド(波長2.20 μm)での実視等級が4等級よりも暗い
- ・1m赤外線望遠鏡観測から星の変光周期Pが求められたもの
- ・IRAS2色図上に、a領域のもの

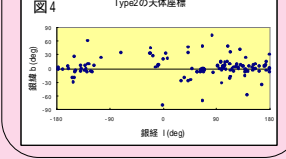
計205天体



Type 2 以下の条件を全て満たす星

- ・Kバンド(波長2.20 μm)での実視等級が5等級よりも明るい
- ・過去に一度でも一酸化珪素レーザーが検出されている
- ・IRAS2色図上に、a, b領域のもの
- ・赤経17h-19h以外から優先して探査

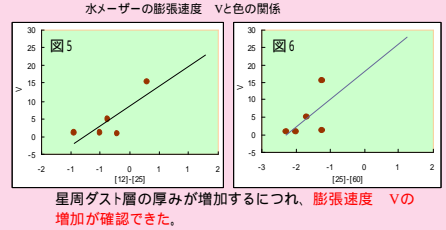
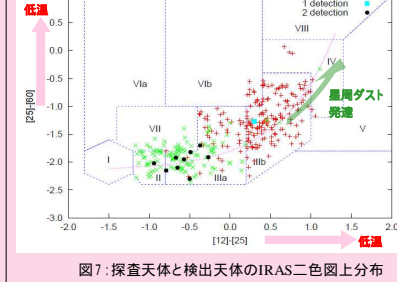
計108天体



<観測>
観測開始: 2007/05/15
積分時間: 1アンテナ温度の雑音レベルが0.05Kになるように設定
観測天体数: Type1 = 116天体, Type2 = 84天体

Results

- Type 1**
1天体検出/116天体観測 検出率 0.86%
IRAS18034-2441
- Type 2**
8天体検出/84天体観測 検出率 9.5%
IRAS00503+6446 IRAS13138+5046 IRAS04209-4800
IRAS06241+1025 IRAS08084-1510 IRAS16438-1133
IRAS21341+5101 IRAS22103+5120



星周ダスト層の厚みが増加するにつれ、膨張速度 V の増加が確認できた。

星の進化段階の指標として用いられるIRAS 2色図
横軸: 星の表面温度
縦軸: 質量放出率

グラフ上を左下から右上にいくにつれ、星周ダスト層の厚みが増加する。Type1とType2で検出率が大きく異なる結果となったが、図7を見ると、検出率の悪いType1の星は、ほとんどが星周ダストが発達しているOH/IR星 (b領域) である。つまり、OH/IR星の水蒸気レーザーは検出されにくいという結果になった。

Discussion

Type1の星: IRAS18034-2441 (OH/IR星)

距離
周期-光度関係から求めた距離33kpc
銀河系回転を利用した運動学的距離14.5kpc

減光について
星-太陽系間に存在するダストが減光の原因。星間ダスト量を調べて、真の実視等級の値を使い、距離を求めた。

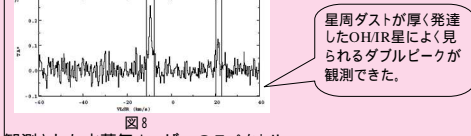
真の実視等級 = 実視等級 m_k - 減光量 A_k
 $A_k = 0.112 \cdot A_V$
 $A_V = R_V \cdot E(B-V)$
 A_V : ダスト量

$E(B-V)$: 色超過
 A_V : Vバンドでの減光量
 A_k : Kバンドでの減光量
 R_V : 標準的に3.1が用いられる

求めた減光量は星よりも向こう側のダスト量も含まれてしまい、多めに減光量を見積もってしまったため、距離が実際の距離を下回ってしまったと考えられる。

太陽系からIRAS18034-2441までの距離は11~14.5kpcであることが分かった。

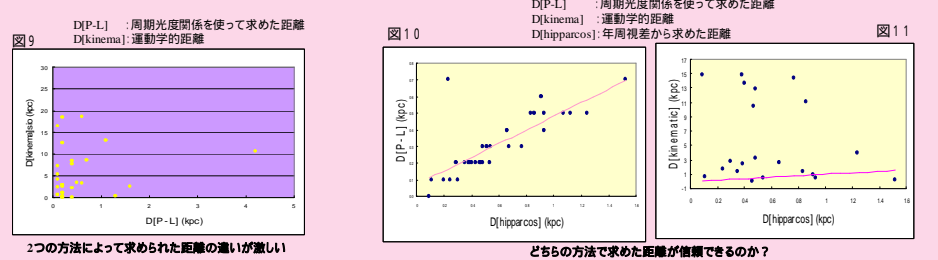
星周ガスの進化段階



観測された水蒸気レーザーのスペクトル

星周ダストが厚く発達したOH/IR星によく見られるダブルピークが観測できた。

Type 2 の星に関して2つの方法で求めた距離比較



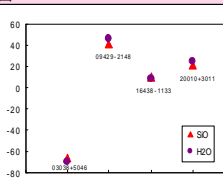
2つの方法によって求められた距離の違いが大きい

どちらの方法で求めた距離が信頼できるのか?

図9より変光周期-光度関係から求めた距離と運動学的距離の差が大きい星が多い事がわかる。どちらの方法で求めた距離の方が信頼性が高いのかを調べるために、視線速度-変光周期とKバンド実視等級-ヒッパルコス天文衛星による年周視差の情報から全て揃っている天体を調べ、2つの方法で求めた距離をヒッパルコスの観測データから求めた精度の高い距離と比較した。

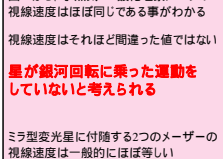
図10-11より、P-L関係から求めた距離の方がヒッパルコスの観測で得られた年周視差を使って距離に近い値であった。ヒッパルコスの観測データから求めた距離は精度が高いことを考えると、**D(P-L)の方が信頼度が高い!**

図12



運動学的距離の信頼度が低い原因は、観測された視線速度の誤差が大きいかから?

図13



本当に銀河回転に乗った運動をしていないのか?

図12から

水蒸気、一酸化珪素レーザーの視線速度はほぼ同じである事がわかる。視線速度はそれと間違った値ではない。星が銀河回転に乗った運動をしていないと考えられる。

ミラ型変光星に付随する2つのレーザーの視線速度は一般的にほぼ等しい

図13から

周期-光度関係から求めた距離が正しいと仮定し、Type 2の星の固有運動($\mu = V_{int}/D$)を計算した。Type 2の星の距離は全て1kpc前後であった。星が銀河回転に乗った円軌道を描くとすると、その固有運動はsinカーブを描く。図13を見ると、実際の星の固有運動はD=1kpcの場合の曲線にのっていないものが多い。

Conclusions and Future work

今回のAGB星に付随する水蒸気レーザー探査で、新たに10天体検出することができた。検出率の悪かったIRAS2色図上 b領域に位置するType1の天体群は、周期-光度関係を使った距離が数十kpcだったので、星までの距離が遠い、または星本来の明るさが暗かったために検出されなかった可能性が高い。太陽系から近い星に関して運動学的距離の信頼性は低く、銀河回転に乗った完全な円運動をしていないことが明らかになった。これは、銀河の中心に対して星が楕円軌道を描いていて、銀河系の棒状構造を示唆しているのかもしれない。今後は、実視等級が同程度の天体を2色図上などの領域からでも同じ割合で選んだ探査を行い、2色図上で異なる場所にある天体群の間での検出率の違いを調べることや、赤外線観測等級の増減から予想されるレーザーの増光時期を狙って観測することで、検出率を上げ、探査効率を上げることが必要である。