

Red Clump で探る銀河系の大きさ

田中宏和【早稲田実業学校高等部】、木下佳祐【木曽青峰高等学校】、齊田智恵【芦屋国際中等教育学校】、大久保瑞希【十文字高等学校】、北川実萌【神戸女学院高等学部】、新井美香【大宮高等学校】、稲垣徳晃【立教池袋中学校】、尾上智【船橋高等学校】、岸薫【国分寺高等学校】、久保川あゆみ【諏訪二葉高等学校】、高木知子【武生商業高等学校】、山田遥子【新潟南高等学校】(ただし所属は研究開始時のもの)

1.はじめに

本研究は、2010年3月に東京大学木曽観測所において行われた銀河学校の「銀河系の姿を探れ」,をテーマとした研究を進めたものである。この研究は Red Clump(以後 RC),と呼ばれる一定の特徴を持つ星を観測し、その明るさからわれわれの住む銀河系の大きさを求めたものである。

2. 観測

使用望遠鏡: 木曽観測所 105cm シュミット望遠鏡

撮影帯: R バンド[中心波長 650nm] I バンド[中心波長 800nm]

露光時間: 共に 300[sec]

解析: マカリィ

撮影領域: 銀河系の反中心方向から、29度と46度の方向、各領域を2バンドで撮影、計4枚

明るさの基準とする標準星: SA98-626

3. 方法

銀河系の大きさを求めるため、「天の川が星々の集まりである」、「銀河系は円盤型である」という2つのことを仮定した。最初に、観測で得られた4枚の画像のゆがみを補正するため一次処理をした。次に、そこに写っている各星に対して、マカリィを使って測光し、Iバンド、Rバンドでの明るさと、それらの比(I/R)を求めた。この比は、星の色の指標となる。縦軸に明るさ(I)、横軸に色(I/R)をとってグラフにした。

4. 観測から得られた結果

その結果、右下の図1~4のようになった。図1~4には以下の特徴があることがわかった。

1. 2つの縦長のグループがある。(図2A,B)
2. 図Bの下側が途中で切れている。(図2C)
3. 図のA, Bが右下がり傾いている。(図2D)

5. 考察

・結果1について

距離が等しい場所にある星について色と明るさのグラフを作ると、左右反転した小文字のyの形の様に並ぶことが知られている(HR図)。HR図で星の多い部分は、図1のEの主系列星と、FのRCである。ここで、距離の違う星を一緒にして、色と明るさのグラフを作った場合を考える。遠い星は暗くなるので、各距離毎の星でできるHR図が縦にずれて重なったようなグラフになるはずである。このことから考えると、われわれの観測データから作った色と明るさのグラフに見える縦長の2本のグループ図2のA,Bは各々、主系列星と、RCに相当していると考えられることが出来る。

・結果2について

主系列星では同程度の明るさの星は見えているのに、RCでは見えていない。このことから、図2のCよりも暗いRCは存在しないと考えることが出来る。そうであると、図2のCのところにあるRCは、銀河系の端のRCということになるので、その距離を求めれば、銀河系の端までの距離を知ることが出来る。そこで、29度と46度の方向に見られる、もっとも暗いRCの距離を求める。それらのRCの明るさと色を表に示す。

全て対数値	$\log(I/R)$	$\log(I)$	$\log(I/R)$
Reg1(46°)	0.37	4.43	0.26
Reg4(29°)	0.35	4.48	0.212

以下の様に変数を定める。

- ・任意のRCの明るさ : $A_{rc}[\text{count}]$
- ・任意のRCの距離 : $D_{rc}[\text{pc}]$
- ・10pcの距離にあるRCの明るさ : $A_{rc10}[\text{count}]$

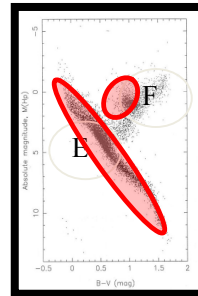


図1 HR図

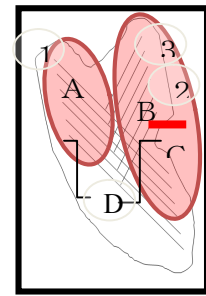


図2 完成したグラフに見られる特徴について

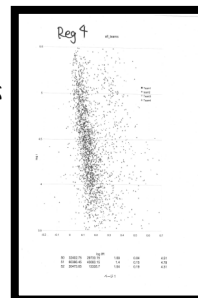


図3 完成したグラフ (29° 方向)

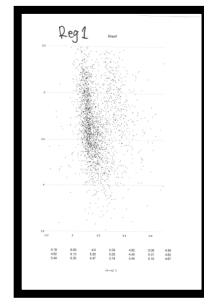


図4 完成したグラフ (46° 方向)

・標準星の明るさ : $A_{sa}[\text{count}]$

文献より, $A_{rc10}/A_{sa} = 311601.83$ (Iバンドの場合) …式(1) という関係があることがわかった.

明るさと距離の間には、「明るさは距離の2乗に反比例する」という関係があることが知られている.

これを使うと $1/(D_{rc})^2 : 1/10^2 = A_{rc} : A_{rc10}$ という関係が成り立つ.

ここから, $D_{rc} = 10 \times \sqrt{A_{rc10}/A_{rc}}$ …式(2) という式が得られる.

式(1)と式(2)から, A_{rc10} を消去する. $D_{rc} = 10 \times \sqrt{311601.83 \times A_{sa}/A_{rc}}$ …式(3)

この式を使って,29度と46度の方向に見られる,もっとも暗いRCの距離(銀河系の端までの距離)を求めた.

29度の方向の銀河系の端までの距離:20961.1[pc]

46度の方向の銀河系の端までの距離:19788[pc]

次に,図5のように,

R : 銀河系の半径[pc]

L : 銀河系の中心から太陽系までの距離[pc]

d : 太陽系から銀河系の端までの距離[pc]

θ : 観測した方向(29°, 46°)[度]

と定義する.

図5より,余弦定理を使うと,

$$R^2 = d^2 + L^2 - 2dL\cos(180^\circ - \theta) \quad \dots\text{式(4)}$$

という関係式が得られることがわかる.

ただし余弦定理を用いるとdに誤差がある場合 R,Lにも誤差が出る.式(4)

に式(3)で得られた結果をそれぞれ代入し,連立方程式を解くと,最終的に, **図5 銀河系と太陽系の位置関係**

銀河系の半径:58513.4[pc],銀河系の中心から太陽系までの距離:10323[pc] という結果が得られた.銀河系の半

径は,文献の値(およそ 20000-25000[pc])と比べると,大きくなっていることがわかった.このことについて,さらに考察をすすめた.

・結果3について

暗くなる原因として,距離のほかに,宇宙空間にある塵の影響が考えられる.そこで,この影響が,明るさと色のグラフでどのように見られるか考察した.夕日は大気中の塵の影響を受けている.その結果,明るさは暗く,色は赤くなっていく.これを,明るさと色のグラフの上で考えると,暗いものほど色が赤くなり,星の集団は,右下がりになるはずである.われわれの観測した星の集団 A,B は,これと矛盾していないので,結果3は,宇宙空間による塵の影響と考えられる.塵の吸収の影響について,文献を調べたところ,

Rバンドの明るさ(吸収あり) : $R'[\text{count}]$ Rバンドの明るさ(吸収なし) : $R[\text{count}]$

Iバンドの明るさ(吸収あり) : $I'[\text{count}]$ Iバンドの明るさ(吸収なし) : $I[\text{count}]$

のとき,

$$\log I = 1.81\{\log(I'/R') - \log(I/R)\} + \log I' \quad \dots\text{式(5)}$$

という関係があることがわかった.

星の集団 B の左上端の RC は,塵の吸収をほとんど受けていないと考えられる.そこで,この色に相当する I/R を,吸収を受けていない RC の I/R とすることができる.これを式(4)に代入し,I'とR'に最も暗い RC の I(吸収あり)と R(吸収あり)を代入することで,I(吸収なし)を求めた.これを式(2)の A_{rc} として使うことで, 吸収の影響を除いて求めた銀河系の半径は,文献の値(およそ 20000-25000[pc])により近づいた.このほかに考慮すべきことがあるのかもしれないが,星の距離を求める場合,少なくとも吸収の影響を考慮しなくてはならないことがわかった.

・銀河系の中心から太陽系までの距離について

求めた銀河系の中心から太陽系までの距離は 10026[pc]で文献値の 8500(±1100)[pc]よりやや大きい.この誤差は結果2において決定した銀河系の端の RC がずれており,銀河系の端までの距離 d, d' がずれ,その誤差を含む距離から余弦定理を用いて銀河系の半径 L を求めたことから生じたと考えられる.

6. 結論

RC を使って,銀河系の大きさを求めた.宇宙空間に存在する塵による吸収の影響を補正し,

銀河系の半径:16276[pc], 銀河系の中心から太陽系までの距離:10026[pc]ということがわかった.

7. 最後に

本研究は三戸洋之さんをはじめとする東京大学木曾観測所のスタッフの方々, NPO 法人サイエンスステーションと TA の大木健さん, 深瀬雅央さん, 済藤祐理子さん, 高山観司さんにご協力いただきました.この場をお借りして厚くお礼申し上げます.

参考文献

・マカリイ関連: <http://makalii.mtk.nao.ac.jp/index.html.ja> ・"Galactic Astronomy" J. Binney and M. Merrifield

・A. U. Landolt, 1992, The Astronomical Journal, Vol.104, L340-L491 ・"Allen's Astrophysical Quantities", Arthur N. Cox

