

区分された領域ごとのハッブル定数測定による宇宙の非等方性の証明に向けた新たなアプローチ

62T

フィゲロア ビクトル龍馬【修道高等学校3年】

研究背景

現代の天文学における重要な問題の一つに、「**ハッブル定数問題**」が存在し、現在の標準モデルである Λ CDMモデルの妥当性が議論されている。 Λ CDMモデルに基づく宇宙の進化は、未確認であるダークマターやダークエネルギーの仮定に基づいているため、解決することは天文学研究において重要さが増している。

※ハッブル定数問題とは
宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の観測や、Ia型超新星爆発などの様々手法で求められるハッブル定数の間には統計的誤差で表すことができない誤差が生じている問題。

研究目的

本研究において「**ハッブル定数問題**」の根本的な解決に向け、新たなアプローチを行った。

「 Λ CDMモデルでは一様等方性の宇宙が仮定されており、近傍宇宙ではそれが成り立たないことによりハッブル定数の測定に差が生じている。」と仮定を行い、近傍宇宙の非等方性を証明することにより仮定の妥当性を検証する。

方法

非等方性を証明するため195の銀河を選択し、赤道座標系に基づき、**天球上の領域を8つに分割**し、各領域ごとにハッブル定数を測定する。

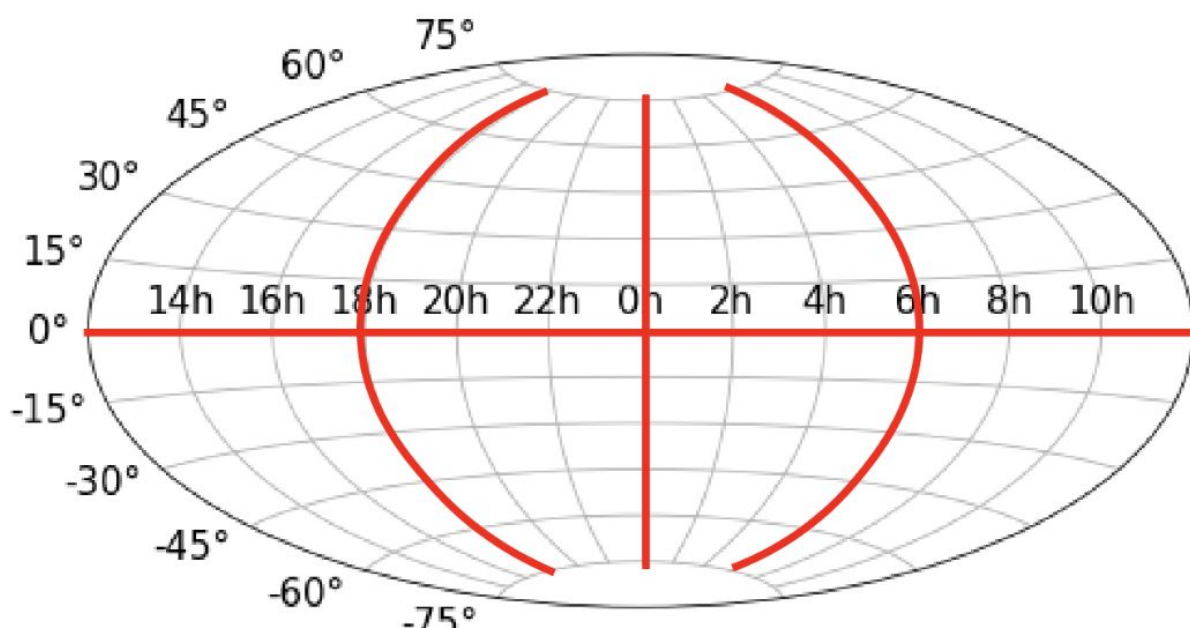


図1.区分した領域の境界線を記した天球

ハッブル定数の測定方法

Hubble-Lemaitreの法則により、銀河などの天体の後退速度 v [km/s]とその距離 r [Mpc]の間に比例関係があることが示されており、その法則は次の式で表される。

$$v = H_0 r$$

この法則に従い、横軸を銀河の距離、縦軸を後退速度のグラフを作成した場合、**プロットされる直線の傾きはハッブル定数を表す**。今回この傾きを求める際に、プロットされたデータに基づき、最小二乗法を適用し、最適な直線を引くことにより、正確なハッブル定数を求めることが可能である。

有意差についての議論

帰無仮説を「ハッブル定数には領域ごとに有意な差が見られない」とし、有意水準を5%とします。求められたハッブル定数の中で仮に棄却域に含まれるデータが存在する場合、帰無仮説を棄却し、対立仮説「ハッブル定数には領域ごとに有意な差が見られる」を採択する。

結果

以下の図について、得られた銀河を赤道座標系で天球上にプロットした図です。

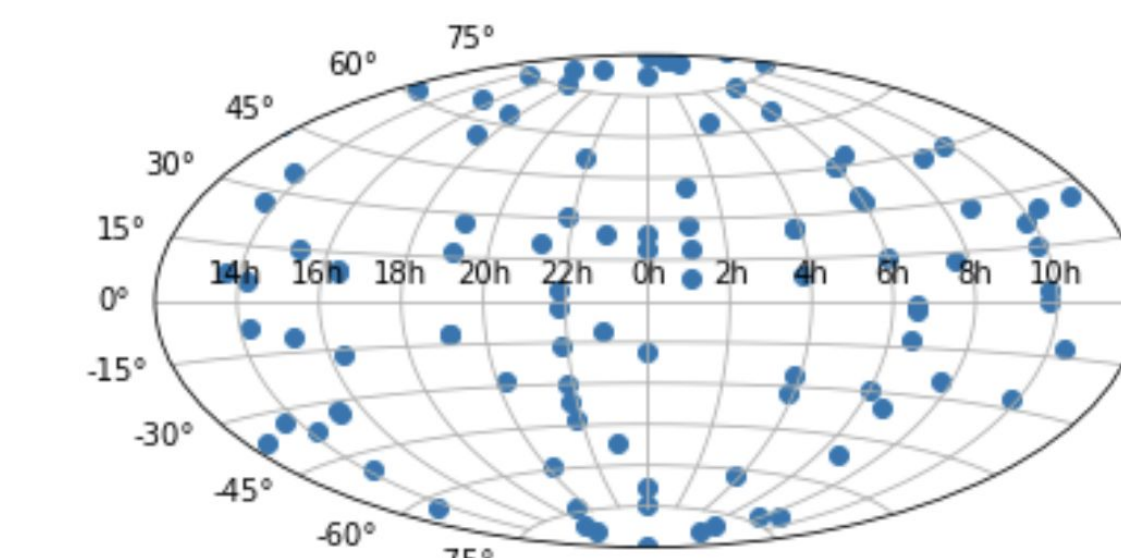


図2.195個の銀河がプロットされている天球図

また以下の図について、各領域ごとに測定された横軸が距離、縦軸が後退速度のグラフを挙げる。青い直線が最小二乗法によりフィッティングされた直線であり、黒い点がそれぞれ銀河のデータを表している。

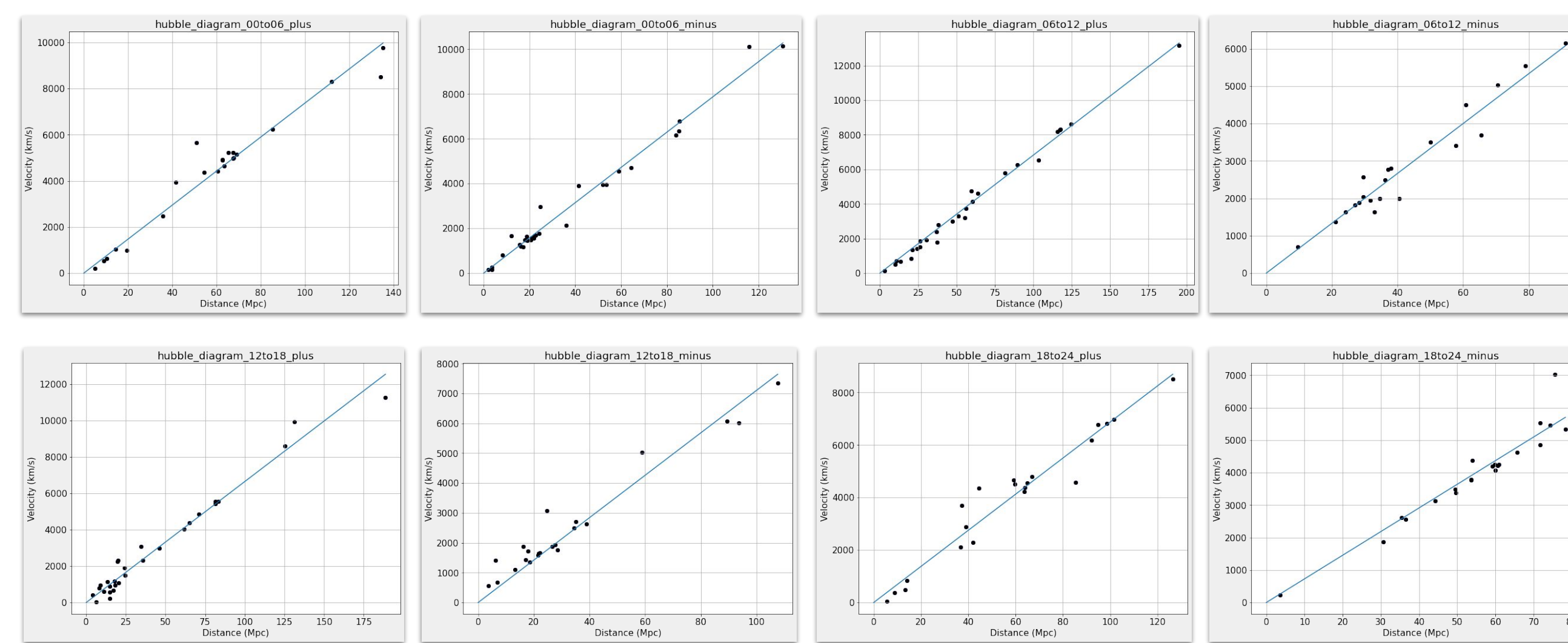


図3.横軸が距離[Mpc]、縦軸が後退速度[km/s]のグラフ

次の表は図3のグラフの傾きにより求められたハッブル定数の値を並べた表です。領域の00to00_とは赤経座標における時刻の単位を意味します。

領域	ハッブル定数 [km/s/Mpc]
00to06_plus	73.6773
06to12_plus	68.2587
12to18_plus	66.4202
18to24_plus	68.7560
00to06_minus	78.6886
06to12_minus	66.6176
12to18_minus	71.0257
18to24_minus	72.7965

表.領域ごとに求められたハッブル定数

考察

標準偏差 $\sigma \approx 3.9$ であり、平均値 $m \approx 70.78$ であるため、棄却域は次の不等式で表される。

$$H_0 \leq 67.29, 74.27 \geq H_0$$

複数の領域において測定されたハッブル定数は棄却域に含まれており、帰無仮説は棄却される。このことから対立仮説が採択され、観測における系統誤差などが影響しない限り、領域ごとに測定されるハッブル定数は統計的な有意な差が見られることが示唆される。

結論

本研究では宇宙が一様等方であるという仮定に対して疑問を呈する結果となりました。特に、特定の領域で顕著な異方性が確認されたことから、従来の Λ CDMモデルに対する新たな視点を提供するものであり、宇宙膨張が一様に生じていない可能性が示唆されます。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、豊田工業高等専門学校電気・電子システム工学科3年の谷敷 怜空氏に適切な助言を賜りました。ここに深謝の意を表します。

文献

- [1] K. Migkas, G. Schellenberger, T. H. Reiprich, F. Pacaud, M. E. Ramos-Ceja, L. Lovisari, A&A, 636 (2020) A15
- [2] R. Brent Tully et al. 2016 AJ 152 50
- [3] Suhail Dhawan, Saurabh W. Jha, Bruno Leibundgut, A&A, 609 (2018) A72
- [4] Nicola Mehrkens et al. https://doi.org/10.48550/arXiv.1106.3056
- [5] Aidan C. Crook et al. 2007 ApJ 655 790
- [6] Jeremy R. Mould et al. 2000 ApJ 529 786
- [7] Armando Gil de Paz et al. 2007 ApJS 173 185
- [8] Seppo Laine et al. 2003 AJ 125 478 [9] Adam G. Riess et al. 2022 ApJL 934 L7