

03T 自作の四分儀を用いた緯度・経度の測定から地球の円周を求める

【長野工業高等専門学校 天文部】 藤田 乃亜、塚田 耕大、若井 由衣、上田 成花、上本 衣都、笹澤 愛花、佐藤 陽、下島 周、高橋 恵来

1. 概要

自作の四分儀を用いて緯度・経度を精密に測定し、地球の大きさを求めることを目標とした。昨年の課題を踏まえ、計9個の恒星の南中高度・時刻を測定する子午線観測を行った結果、既知の値との差が緯度0.1度、経度0.04度の範囲で求めることができた。今後は、この観測値を基に2地点間の差から地球の円周を特定することを目指す。

2. 研究の背景

昨年の成果と課題

地球の円周の導出には、2地点間の緯度・経度差とその間の弧長が必要である。昨年度は、自作した四分儀を用いて約50km離れた2地点間の緯度観測を行ったが、算出された地球の円周は真値(約40,000km)に対して約30%の誤差が生じた。一方で、北極星の日周運動を捉えられたことから、四分儀自体の工作精度は十分であり、誤差の主因は設置精度等の系統誤差であると推測した。

研究の目的

本研究では観測精度向上を目的に、複数の恒星の子午線観測を行った。高度の変化の対称性から南中時刻を特定する手法は、高度の絶対値を用いないため器械の系統誤差を排除できる利点がある。南中時刻から経度、南中高度から緯度を導出して、2地点の観測結果から地球の円周を高精度に決定することを目指す。



図1 製作した四分儀

3. 観測および解析方法

(I) 四分儀を用いた測定

昨年度製作した、0.01度まで読取り可能なダイアゴナル目盛付きの四分儀を使用した(図1)。

- ① 下振りを用いて器械を水平に設置し、望遠鏡で恒星を視準する。
- ② 視準時の高度および時刻(電波時計)を記録する。

(II) 子午線観測

恒星の日周運動に伴う高度変化を捉えるため、自作の四分儀を用いて複数回の観測を行う。観測対象は、オリオン座および冬の冬の大三角の9つの恒星とした。観測は、基準点となる長野工業高等専門学校にて実施し、恒星が南中する前後の高度変化を記録した。緯度・経度決定の幾何学的原理を図2及び図3に示す。

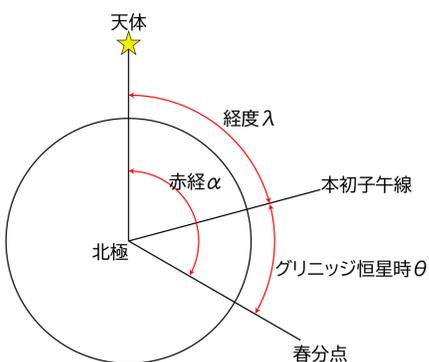


図2 経度導出の仕組み

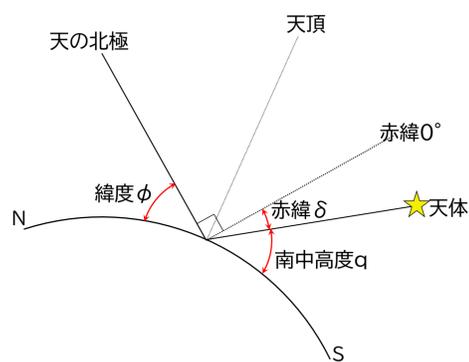


図3 緯度導出の仕組み

(III) 解析

恒星の南中が1日に約4分ずつ早くなることを利用して時刻補正を行い、複数日の観測結果を統合した。得られた高度(y)と時刻(x)のデータセットに対し、最小二乗法により二次関数でフィッティングを行った。

$$y = a(x - p)^2 + q$$

ここに、p: 南中時刻、q: 南中高度である。

得られた南中時刻から、経度を以下の式より求める。

$$\lambda (^{\circ}) = (\alpha - \theta) \times 15$$

ここに、 λ : 経度、 α : 赤経、 θ : 南中時刻pにおけるグリニッジ恒星時。また、緯度を以下の式より求める。

$$\phi (^{\circ}) = \delta + (90 - q)$$

ここに、 ϕ : 緯度、 δ : 赤緯。赤経・赤緯とグリニッジ恒星時は、国立天文台暦計算室のデータ^{[2][3]}を参照した。

4. 結果の整理

5. 考察・今後の課題

恒星の高度の変化(表1)をプロットし、二次式で近似する(図4)。南中時刻・南中高度から経度・緯度を計算すると、
経度: $138.27 \pm 0.87^{\circ}$ 、緯度: $36.57 \pm 0.16^{\circ}$ となった。

表1 経度の計算結果

No.	恒星名	HIP	南中時刻	南中高度	赤経	グリニッジ恒星時	赤緯	経度	緯度
1	ベテルギウス	27989	2026/1/9 22:26:58	60.81	5h 55m 10.29s	20h 43m 21.609s	7° 24' 25.3"	137.95	36.59
2	リゲル	24436	2026/1/9 21:38:45	45.07	5h 14m 32.27s	19h 55m 00.688s	-8° 12' 06.0"	139.88	36.73
3	ベラトリックス	25336	2026/1/9 21:50:06	59.63	5h 25m 07.87s	20h 06m 23.553s	6° 20' 59.0"	139.68	36.71
4	サイフ	27366	2026/1/9 22:20:53	44.14	5h 47m 45.39s	20h 37m 15.610s	-9° 40' 10.6"	137.62	36.20
5	アルニタク	26727	2026/1/9 22:12:24	51.67	5h 40m 45.52s	20h 28m 45.216s	-1° 56' 33.3"	138.00	36.39
6	アルニラム	26311	2026/1/9 22:06:50	52.20	5h 36m 12.81s	20h 23m 10.302s	-1° 12' 06.9"	138.26	36.59
7	ミンタカ	25930	2026/1/9 22:03:00	53.11	5h 32m 00.40s	20h 19m 19.672s	-0° 17' 56.7"	138.17	36.59
8	シリウス	32349	2026/1/9 23:17:45	36.66	6h 45m 09.25s	21h 34m 16.952s	-16° 42' 47.3"	137.72	36.63
9	プロキオン	37279	2026/1/10 0:14:04	58.58	7h 39m 18.54s	22h 30m 45.203s	5° 13' 39.0"	137.14	36.65

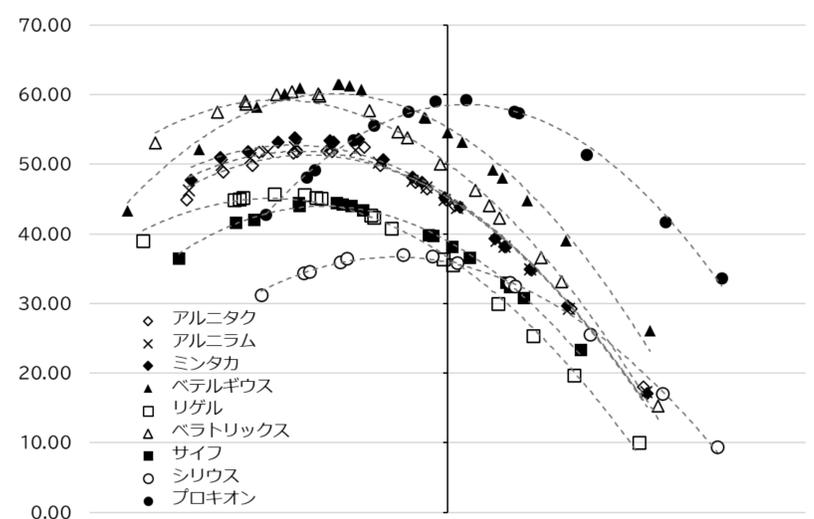


図4 二次関数で表した高度の変化

6. 参考文献

誤差の要因について

経度の測定値と既知の値(138.23°)の差は $0.040 \pm 0.87^{\circ}$ であり、南中時刻に換算すると 9 ± 207 秒の誤差に相当する。また、緯度の測定値と既知の値(36.68°)の差は $0.10 \pm 0.16^{\circ}$ であった。観測データは南中後の測定点が多く、南中前後で非対称な分布となっていた。(図5)このことが南中の決定精度を低下させ、緯度経度の測定誤差に影響したと考えられる。この誤差は、南中より前の観測回数を増やすことで低減できると考える。

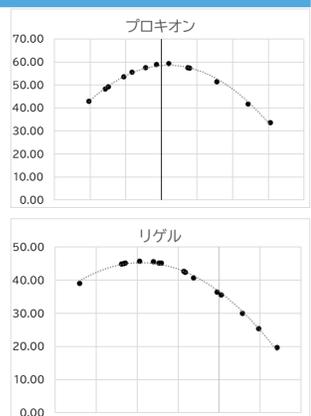


図5 非対称な分布の様子

別の地点で同様の観測を行い、2地点間の緯度差・経度差と、それぞれの東西距離および子午線距離から地球の円周を求めることができる。今後も四分儀を用いた観測を継続し、比較的短い基線長(~100km)でどこまで正確に地球の円周が測定できるか挑戦したい。

今後の展望

- [1] 自作の四分儀を用いて地球の円周を求める,長野高専天文部,2025年ジュニアセッション予稿集
- [2] 恒星の出入りと子午線通過,国立天文台暦計算室, https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/cande/risaset_rhip.cgi (2026/01/10閲覧)
- [3] グリニッジ恒星時,国立天文台暦計算室, <https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/cande/gst.cgi> (2026/01/10閲覧)