

要 旨

カメラ間の経度差の距離と同時刻の月の視差を用い、地球から月までの距離を三角関数を用い導き出した。さらに、その方法を応用し星までの距離から視差を求め、アナグリフ方式による立体星座カードを制作した。

月までの距離を求める

1-1. 使用機材

安八町側: ZWO Seestar S50 (図1) 焦点距離250mm、
撮像サイズ5.6mm×3.2mm、解像度1,920×1,080px
板橋区側: タカハシ屈折望遠鏡FC100
焦点距離800mm、キャノンEOS60D、
センササイズ22.3×14.9mm、解像度5,184×3,456px



図1 Seestar S50

1-2. 方法

- 視差を出す基点として、月と土星を同一視野に入れて同時刻に撮影した画像を利用する。なお、同時刻に板橋区から撮影した画像データ(以下、板橋区画像)は船越浩海先生にご提供頂いた。
- 画像サイズが異なるため、Seestar S50で撮影した画像に合わせるよう、板橋区画像のサイズを調整し、月の陰影に重ね合わせる。
- 視差を計測し、月までの距離を導き出す。

1-3. 結果

岐阜県安八町(北緯35.335度、東経136.663度)と板橋区(北緯35.763度、東経139.679度)から同時刻に撮影した月の合成画像(以下、視差画像)を図2に示す。



図2 視差画像

1-4. 考察

- 撮影した2点間の経度差の距離(以下、2点間距離)を求める。
同緯度とし高精度計算サイト(以下、計算サイト)に入力したところ、273.852958kmであった。
- 月の視差を求める。
図3のように、月の視差(以下、視差)を水平に計測した。さらに、図4のように三角形(青)は視差(mm)を底辺、焦点距離250mmを高さとし、三角形(赤)はレンズ間距離を底辺、求める距離を高さとした。図4の $\angle A$ 、 $\angle a$ 、 $\angle a'$ は同位角となり、三角形(青)と三角形(赤)は相似の関係であるといえる。よって、三角形の底辺から垂線を伸ばした直角三角形も相似関係となる。
 - 1px当たりの幅(mm)
 $0.00296\text{mm}/\text{px} \div \text{横センササイズ}3.2\text{mm} \div \text{横画像サイズ}1080\text{px}$
 - 視差の単位pxをmmへ変換する
視差 $0.18667\text{mm} \div \text{センササイズ}0.00296\text{mm} \times \text{視差}63\text{px}$
計算結果は、視差63pxは、 0.18667mm であった。
 - 視差の単位mmを度に変換する
計算サイトの三角関数の計算を用い、視差(mm)の1/2を直角三角形の底辺とし視差を求める。
底辺 $0.09333\text{mm} \div \text{視差}0.18667\text{mm} \div 2$
Seestar S50焦点距離250mmを高さとして、視差の1/2は 0.02139度 となり視差は 0.04278度 となった。
- 視差1/2の 0.02139度 (頂角)を使い、月までの測心距離(斜辺)を求める
計算サイトの三角関数の計算を用いて求めた。
底辺 $136,926,479\text{mm} \div 2\text{点間距離}273.852958\text{km} \div 2$
月までの測心距離 $366,767,359,703\text{mm} \div 366,767\text{km}$ (約36.68万km)
- 計算結果の精度を検証する
月までの距離の計算値は、約36.68万kmであった。計算精度の確認のため、ステラナビゲーター12(天文シミュレーションソフト。以下、ステラナビゲーター)で撮影日時の月までの測心距離を調べたところ、36.86万km(誤差0.5%)であり遠方対象物までの距離を正確に計算できていた。

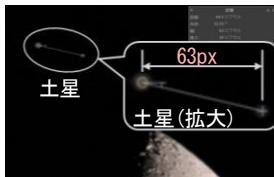


図3 視差計測の様子

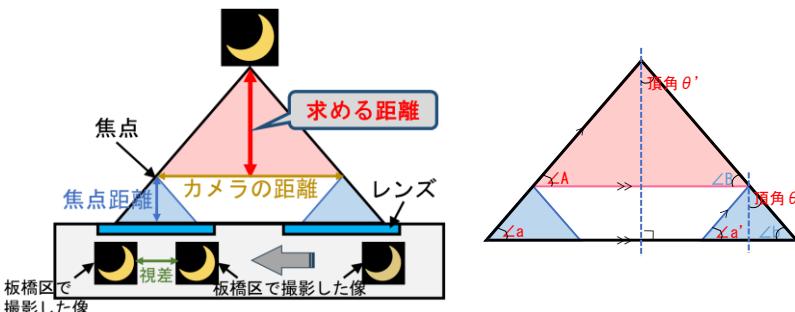


図4 視差と求める距離の模式図及び相似の関係

立体星座カードの制作

2-1. 制作方法

- ステラナビゲータを使用し星の距離と等級を調べる。
- ステラナビゲータで星座線を結ぶ星(以下、星座星)の距離に応じた視差を計算する。
- アナグリフ方式で左右の画像を合成し専用メガネで見ることで立体的に見る。左目を赤、右目をシアン(シアン)のフィルムを用いる立体星座カードを制作した。

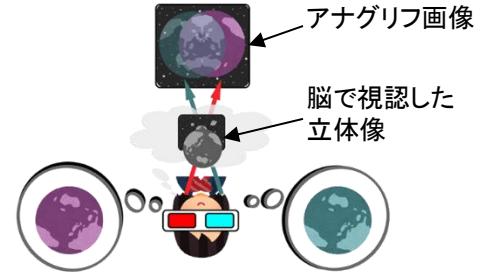


図5 アナグリフ方式の仕組み

なお、アナグリフ方式とは、図5のように左右それぞれの目で異なる角度から見た画像を重ね合わせ赤(シアン)のフィルターで左右の目で別々に見ることで脳が奥行きや立体感を知覚する仕組みである。

2-2. 結果

ステラナビゲータを用い、星座星の等級と距離(光年)を調べた結果を表1に示す。

表1 いるか座の星座星データ

| バイエル符号 | 等級 | サイズ(等級を四捨五入) | 星座星までの距離(光年) | 距離(光年)の最大値と最小値の差が20mmの場合の星座星の比 |
|------------|------|--------------|--------------|--------------------------------|
| α | 3.77 | 4 | 241.0 | 18.43 |
| β | 3.64 | 4 | 97.4 | 7.45 |
| γ | 4.27 | 4 | 101.0 | 7.72 |
| δ | 4.43 | 4 | 203.0 | 15.52 |
| ϵ | 4.03 | 4 | 359.0 | 27.45 |

2-3. 考察

- 視差を計算する。
いるか座での例
 - 距離(光年)の最大と最小との差が立体感が強調される20mmの場合の1光年当たりの比
 $1\text{光年当たりの比}0.07645 \div 20\text{mm} \div (\text{最大距離}359\text{光年} - \text{最小距離}97.4\text{光年})$
 - 距離(光年)の最大と最小の差が20mmの場合の星座星の比(いるか座 α 星の場合)
距離差20mm時の比 $18.43 \div 241\text{光年} \times 1\text{光年当たり比}0.07645$

対象の「星座星における距離(光年)の最大値と最小値の差が20mmの場合の比」を表1に記した。また、星座カード制作時は、GIMPでのピクセル差の最大が左右差20が最も立体感を認識しやすかった。そのため「距離差20mmとした場合の星座星の比」の左右10になるよう置き換えた。距離と赤青の星座星の配置を表2に示す。

表2 アナグリフ遠近と配色

| 色 | 距離 | 星座星の赤青のズレ(比) |
|----|----|--------------|
| 赤青 | 遠 | 赤左10, 青右10 |
| 赤青 | | 赤左5, 青右5 |
| 白 | | 白0 |
| 赤青 | 近 | 青左5, 赤右5 |
| 赤青 | | 青左10, 赤右10 |

星座カードの制作には、ステラナビゲータで取得した星座画面と等級サイズ、及び前述の比を用いた。近い場合は左に青、右に赤、遠い場合は左に赤、右に青になるよう星座星を配置し、赤青の重なる部分は光の三原色を応用し、白を配色し図6のように制作した。

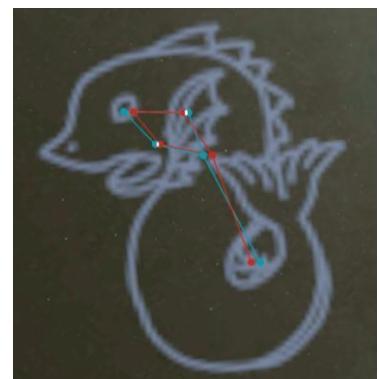


図6 いるか座星座星カード(拡大)

3. 結論

視差から月までの距離が36.68万kmと導き出した。また、制作した星座カードを専用メガネで覗くと、近い星座星は手前に遠い星座星は奥側に認識できた。以上より、視差と距離には反比例の関係がある。

4. 謝辞

板橋区立教育科学館研究員船越浩海先生には、撮影画像をご提供頂きました。生涯学習センターハートピア安八天文担当加藤祥吾先生には、ご指導を頂きました。ありがとうございました。

5. 参考文献

カシオ計算機株式会社「高精度計算サイト」 <https://keisan.site/>
ステラナビゲーター12 株式会社アストロアーツ