

# コンピュータ理工学特別研究報告書

## 題目

あらゆる場所での 360° 天体写真を楽しめるアプリ  
Planet360VR の開発

学生証番号 744564

氏名 佐野 麻奈果

提出日 令和 3 年 1 月 22 日

指導教員 蚊野 浩

京都産業大学  
コンピュータ理工学部

## 要約

本論文では、ヒッパルコス星表から取得したデータを基に、 $360^\circ$  の天体画像を生成し、それを iPad で閲覧することができるプラネタリウムアプリ Planet360VR を開発した。アプリの機能として、あらかじめ準備した風景の  $360^\circ$  画像と合成して表示する機能や、アプリ起動時の位置・時間に合わせた表示、時間経過による星空の移動、iPad の姿勢に合わせた画像表示、二段階の限界等級の設定、などが可能である。また、本研究では、天体写真の特徴と言える天の川を再現することを目標とした。

ヒッパルコス星表には  $-1.44$  等星から 14 等星までが掲載されている。生成する  $360^\circ$  天体画像では、これらの星の明るさを画素値と面積を制御した円で表現した。1 等級で明るさは 2.5 倍変化するが、それを単純に、面積あるいは画素値によって表現すると、天体写真のような天の川は再現できなかった。最終的には、7 等星を画素値 255 の 5 画素の + パターン（中央と上下左右の 5 画素）で表現し、7 等星と 6 等星の等級差を 2.5 倍の面積で、6 等星よりも明るい星との 1 等級の差を 2.0 倍の面積で表現し、7 等星よりも暗い星は 7 等星と同じ 5 画素の + パターンで、1 等級差を  $1/1.25$  の画素値で表現した。さらに、6 等星よりも暗い星は大きくぼやかせ、6 等星よりも明るい星は小さくぼやかせた。その結果、 $360^\circ$  天体画像全体では、ぼんやりと天の川を再現する事ができた。しかし、天体写真ほどはっきりと再現できず、iPad の限られた画面範囲では天の川として確認することは難しかった。

## 目次

1 章 序論	．．． 1
2 章 従来技術とヒッパルコス星表	．．． 2
2.1 360° 天体写真	．．． 2
2.2 プラネタリウムアプリ	．．． 3
2.3 ヒッパルコス星表	．．． 4
3 章 Planet360VR の要素技術	．．． 5
3.1 360° 天体画像の概要	．．． 5
3.1.1 正距円筒図法による 360° 天体画像	．．． 5
3.1.2 色データの変換	．．． 5
3.1.3 星の明るさの表現	．．． 6
3.2 360° 天体画像の表示技術	．．． 7
3.2.1 端末の姿勢に合わせた 360° 画像の表示	．．． 7
3.2.2 位置と時間に合わせた表示	．．． 7
3.2.3 風景 360° 画像との合成	．．． 8
4 章 360° 天体画像の生成	．．． 10
4.1 微小な円の見え方	．．． 10
4.2 星の等級と描画方法	．．． 10
4.3 天の川の表現	．．． 13
4.4 考察	．．． 16
5 章 結論	．．． 18
参考文献	．．． 19
謝辞	．．． 19
付録	．．． 20

## 1 章 序論

360°画像は、一つの視点から見える全方向の視覚情報を一枚に収めた VR 画像である。本研究では、その天空部分を星空の画像で置き換えることで、プラネタリウムアプリとして動作する iPad 用 360°画像ビューワーPlanet360VR を開発した。

スマホ用に開発されたプラネタリウムアプリは多数存在するが、これらは星座を見つける事に重点を置いたものが多く、実際の夜空と比較しながら利用するようなアプリである。そのため星座の絵と、それを構成する肉眼で確認できる程度に明るい星のみが表示される。一方、天体の楽しみ方の一つとして天体写真がある。天体写真は、肉眼では見えないような天体も鮮やかに再現してくれるので、画像として眺める楽しみを与えてくれる。そこで、天体写真のような星空を楽しむことができるプラネタリウムアプリを開発することを思い立った。しかも、VR 技術によって、どのような場所からでも、満天の天体写真を楽しむことができれば素晴らしいと考えた。

開発したアプリでは、事前に撮影した一枚の 360°画像の天空部分をマスク画像として切り出し、この部分に星空の 360°天空画像を表示させる。星空の 360°天空画像は、ヒッパルコス星表から作成する。機能として、iPad の任意の姿勢に合わせた画像表示や、アプリ起動時の位置・時間、合成する風景画像の場所に合わせた表示、時間の経過に応じた星空の移動、限界等級の設定、などが可能である。

## 2章 従来技術とヒッパルコス星表

### 2.1 360° 天体写真

360° 天体写真は、全天 360° の視野をカバーする天体写真である。これを撮影する簡単な方法はリコーTHETA のような、ワンショットで 360° 写真を撮影できる 360° カメラを使うことである。より高画質な 360° 天体写真を撮影する場合には、複数のカメラを使った装置などが使われる[1]。図1は YouTube に投稿されていた 360° 4K 動画から取り出した1枚の 360° 天体写真である。天の川の詳細な表現が可能になっていることから、高度な装置を使って撮影されたものと推察される。



図1 360° 天体写真の例[6]

(<https://www.youtube.com/watch?v=lhiNnWglMTM&t=47s> から一枚)

人間の目視観察による限界等級は6等級であり、最も観察条件の良い夜空であっても、肉眼で見える最も暗い星は6等星である。通常の市街地では2等星か、せいぜい3等星までしか見えない。

デジタルカメラで撮影した天体写真の限界等級に関する調査[2]によると、使用カメラ：キャノン EOS Kiss Digital、レンズ：焦点距離 200mm の望遠レンズ、絞り：F2.8 開放、ISO 感度：800、赤道儀を使った 300 秒の追尾撮影で、限界等級は 15 等星程度であった。この数値は、同資料に掲載されている銀塩写真による焦点距離と限界等級の数値とよく合っている（原資料は天文年鑑であり、それによると焦点距離 200mm の天体写真の限界等級は 14.7 等星である）。






焦点距離が短くなると画角が広くなり、その結果、星像が小さくなるため、限界等級の数値も小さくなる。天文年鑑によると、焦点距離 50mm のレンズでは限界等級は 11.6 等級である。焦点距離 50mm のレンズで撮影した像の大きさは、200mm に比較すると 1/4

に縮小される。従って像の面積は 1/16 になる。これを等級差に換算すると、 $\log_{2.5}16=3.026$  となる。これは天文年鑑の表による等級差 3.1 とほぼ同じである。市販されている 360° カメラの焦点距離を 10mm と考えれば、焦点距離 200mm のレンズと比較して、像の大きさが 1/20 に縮小される。これを等級差に換算すると  $\log_{2.5}(20)^2=6.54$  となる。従って、通常の 360° カメラを使った天体写真の限界等級は 8 等星程度になる。この限界等級は、真っ暗な夜空において、長時間の追尾露光撮影を行った場合の推定値であるから、通常の観察条件における 360° カメラの限界等級は肉眼とそれほど変わらないと予想される。なお、360° カメラの焦点距離を 10mm とした根拠は、焦点距離を計算する基準になっている 35mm フィルムの水平サイズ 36mm を半円にした場合の半径が、11.5mm であることに基づいている。

天体写真における特徴的な被写体に天の川がある。天の川は銀河系内の密集した恒星の集合体である。これを肉眼や天体写真で観察した場合、個々の星が像を作っているとともに、面的に広がった星の集合体全体が光っているものとして捉えることになる[3]。プラネタリウムアプリは、基本的に、星表をもとにして星を描画するものであるから、これを忠実に再現するだけでは、天体写真に見られる天の川の表現は難しいと予想される。

## 2.2 プラネタリウムアプリ

スマホ用のプラネタリウムアプリに、次のようなものがあった。これらは、星座を見つけることや、天体観測の補助、天文学の学習教材として作られている。代表的なプラネタリウムアプリを表 1 に示す。

	Star Walk		スカイ・ガイド
	Night Sky		星座表
	Stellarium Mobile Free		

## 2.3 ヒッパルコス星表

今回の研究にあたり、星表の電子データを利用した。様々な星表が電子データとして入手可能である。その中からヒッパルコス星表[4]を用いた。

ヒッパルコス星表は、1988年に打ち上げられた欧州宇宙機関の位置天文衛星ヒッパルコスによる4年間の恒星観測の結果をもとに編集され、1997年に発行された。恒星の位置や等級、色などの値や特性が記載されている。約12万星が収録されており、限界等級は12.4等であるが、十分に精度が高いものは9等星程度よりも明るい星とされる。過去の地上観測データよりもはるかに高精度かつ網羅的なデータである。今回はNASAが提供するデータから星の明るさ(等級)、位置、色のパラメータを選択して取得した。

今回利用した星表の等級ごとの星の数と、実際に存在する星の数を表2に示す。この表から、7等星まではほぼ全ての星が網羅されており、8等星についても80%以上がカバーされている。しかし、9等星については30%程度、それよりも暗い星については、ごく一部を扱っているにすぎない。

表2 等級ごとのデータ数

取得した等級ごとのデータ数		実際の等級ごとのデータ数	
等星(近似値)	データ数	等星(近似値)	データ数
-1等星	2	-1等星	2
0等星	8	0等星	8
1等星	12	1等星	12
2等星	71	2等星	71
3等星	192	3等星	195
4等星	634	4等星	710
5等星	1897	5等星	2000
6等星	6054	6等星	5600
7等星	16623	7等星	16000
8等星	36208	8等星	43000
9等星	36952	9等星	120000
10等星	13900	10等星	350000
11等星	4064	11等星	870000
12等星	1230	12等星	2300000
13等星	11	13等星	5600000
14等星	7	14等星	13000000

### 3 章 Planet360VR の要素技術

ここでは、Planet360 を開発するために必要になる関連の要素技術を説明する。

#### 3.1 360° 天体写真の概要

アプリ内に表示する星空の 360° 画像の生成方法を説明する。処理には OpenCV と Python を利用し、黒の単色画像の上に、星の色に合わせた楕円を描画することで星を表現する。

##### 3.1.1 正距円筒図法による 360° 天体画像

まず、ヒッパルコス星表から取得したデータをプログラムで扱うことができるデータに変換する。ヒッパルコス星表では星の位置を赤経・赤緯で表現している。赤経・赤緯は図 2 左のようなもので、地球の赤道を天球に投影した大円を天の赤道と呼び、これを基準にした経度に当たるものを赤経と呼ぶ。春分の日には太陽が天の赤道と交わる位置を赤経 0° とする。赤経を横軸、赤緯を縦軸にとった直交座標に天球を投影した平面画像が、天球の正距円筒画像である。正距円筒画像では、天球上の図形が、赤道の位置から上下に離れるにしたがって水平方向に引き伸ばされ、その割合は  $\cos \phi$  に反比例する。したがって星を円で表現する場合、天の赤道上以外の位置では横長の楕円になる。

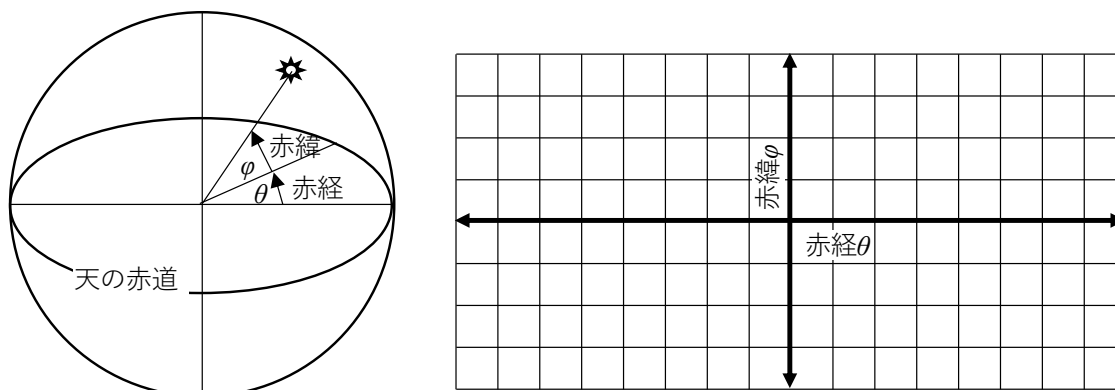


図 2 天球上の位置と正距円筒天体画像の関係

##### 3.1.2 色データの変換

ヒッパルコス星表において、星の色は B-V 色指数で表現される。星の色は恒星の表面温度により決まるが、天体の色を表す指標では、青色を透過する B バンドフィルタと、緑色から黄色を透過する V バンドフィルタのそれぞれで測定した等級の差である B-V 色指数で色を表現する。B-V 色指数から色温度に変換し、XYZ 表色系、RGB へ順に変換することで RGB の値が得られる。

B-V 色指数から色温度への変換式は表面温度を  $T$ [K] として以下の 2 式がある。

$$(a) \quad T = 9000 / ((B-V) + 0.85)$$



$$(b) \quad \log T = 3.939654 - 0.39531(B-V) + 0.282113(B-V) - 0.0604097(B-V)$$

今回は誤差が少ない(b)を採用した。

色温度から XYZ 表色系への変換は JIS Z 8720 に定義されている範囲(4000K~25000K)とし、定義外にある星は白色とする。XYZ 表色系から RGB への変換は、XYZ 表色系を線形 sRGB 色空間に変換後、非線形 sRGB 色空間に変換し、0~255 の整数に丸めることで表現した。

### 3.1.3 星の明るさの表現

今回のデータでは 14 等星から -1.44 等星までの星を取得した。星の明るさは 1 等級変わると 2.5 倍明るくなる。14 等星の明るさを基準にすると、-1.44 等星の明るさは 2.5 の 15.44 乗で 1,393,778.41 倍の明るさになる。画像は画素単位で表現され、画素の明るさが 8 ビット (0 から 255) であることを考慮して、明るい星を表現するために、面積を大きくして対応した。例えば、14 等星を 1 画素、画素値 64 で表現したとすると、-1.44 等星の明るさは 89,201,818.44 になる。これを 255 で割ると、349,811.05 になる。画素値 255 の画素を円状に配置してこの明るさを表現すると、円の直径は 667.4 画素になる。さらに、正距円筒画像に投影するため、赤緯に応じて、水平方向に  $1/\cos \phi$  倍に拡大する必要がある。実際の描画は、これらを近似した計算で行なった。この条件をそのまま反映させ、10240 × 5120 画素の正距円筒画像として生成したものを図 3 に示す。図 3 では明るい星が大きく表示され過ぎ、実際の星空とは程遠い。この画像を実際の天体写真に近付けるために行った検討を 4 章で説明する。

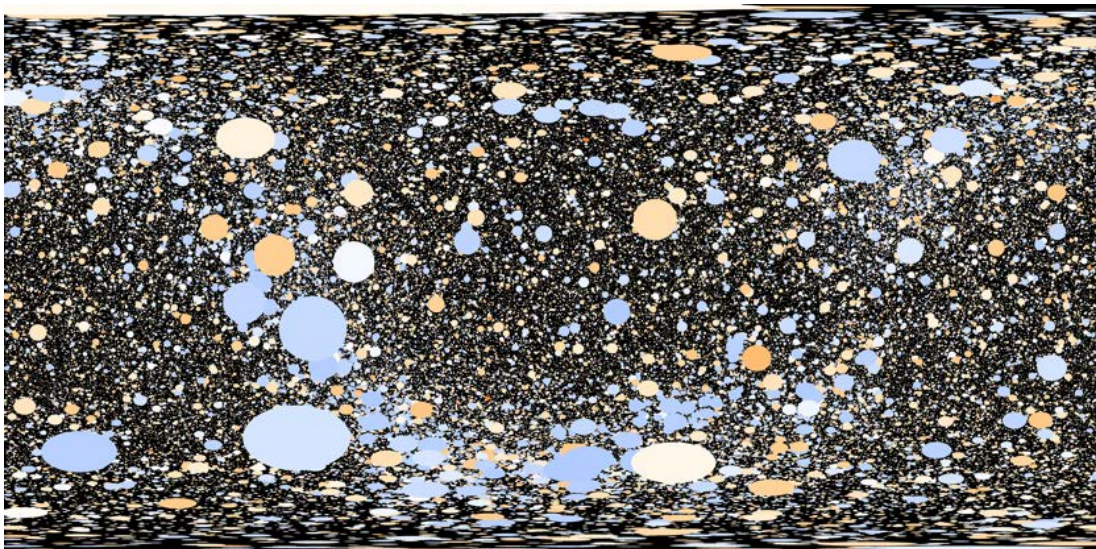


図 3 14 等星を 1 画素・画素値 64 として生成した 360° 天体画像

### 3.2 360° 天体写真の表示技術

開発したアプリでは、アプリ起動時の位置と時間に合わせて、天体を正しく表示できるようにした。また事前に用意した風景の 360° 画像を 360° 天体写真と合成することで、あらゆる場所での 360° 天体写真を観察できるようにした。これらのための要素技術を説明する。

#### 3.2.1 端末の姿勢に合わせた 360° 画像の表示

360° 画像を iPad の画面に表示する場合、360° 画像の一部を切り抜いて、それを平面に投影することになる。これを行うために、内側に 360° 画像をレンダリングした球体を置き、その中心に視点を設定する。表示する画像の視点方向を決めるために、iPad の上下方向、水平方向、垂直方向の 3 軸周りの回転角度（図 4）を取得し、これらの角度を基に視点方向を設定することで、360° の任意方向を見渡すことができるようにした。このような、iPad の姿勢と視線方向を関係づけるために、回転を扱うクォータニオンを利用した。

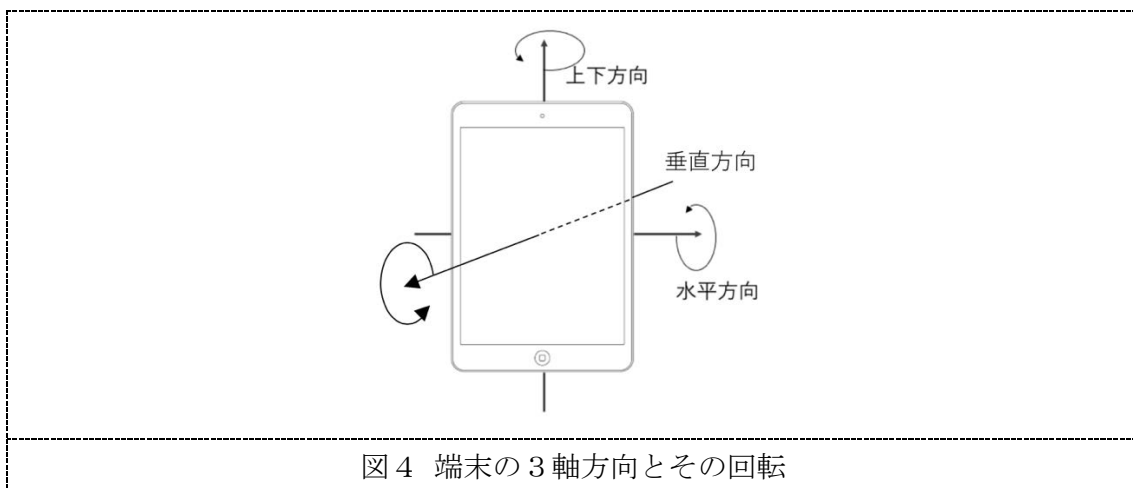


図 4 端末の 3 軸方向とその回転

#### 3.2.2 位置と時間に合わせた表示

アプリ起動時に、起動時点での位置・時間に合った星空を表示させる。このために、起動時の年月日時分と端末の位置と方角の情報が必要である。iPad では、位置情報を緯度・経度の値で取得することができる。位置情報の更新は 10 メートルの移動ごとに行うようにした。位置情報を取得後、その位置から見た方角を取得する。方角の数値は 0~359 の値で表現され、0 が北を表す。取得できる方角には、方位磁石が示す北を基準とする磁北と、真の北方向を基準とする真北の 2 種類が存在したが、今回は星空を表示するため真北を基準とした値を取得する。

このように取得した位置と方角に応じて正しく天体を表示するために、球を3次元的に回転させた。図5のY軸を中心とした回転が、時間とともに変化する星の動きを表現する。基準日を定め、そこからの経過時間分回転させることにより表現する。基準日は生成した画像を球体に貼り付けたそのままの状態と同じ星の並びをしている日とする。また、星の回転は図5に示す条件を基に回転する。この時、基準日が何年何月何日何時何分なのか正確に判断ができなかったが、ここでは似た星の並びになる2019年12月17日6時0分を基準日とした。例えば、取得した現在時刻が2021年1月10日20時0分とした場合、35400分の差が生じるため、8850°回転する。つまり、基準日より210°回転した星空が表示される。

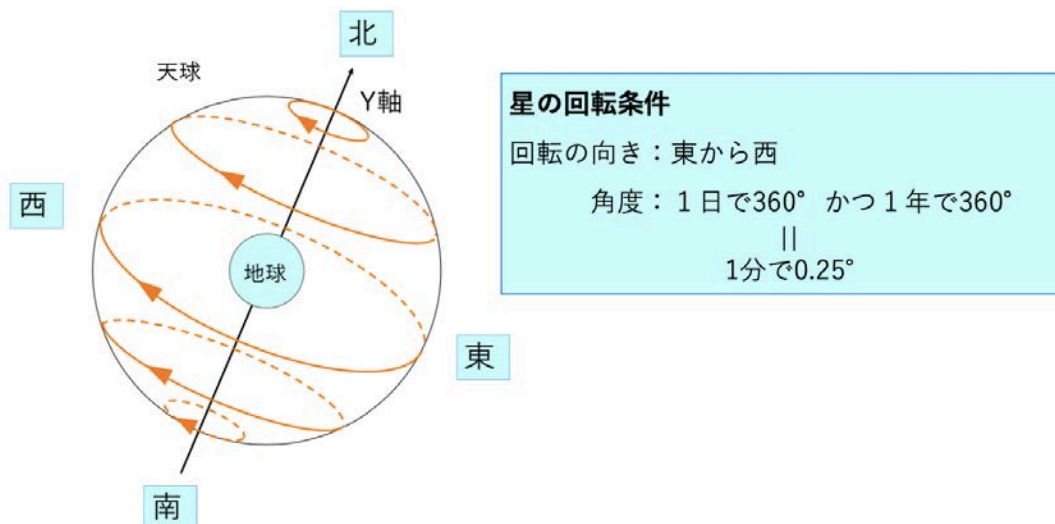


図5 時間経過による天球の回転

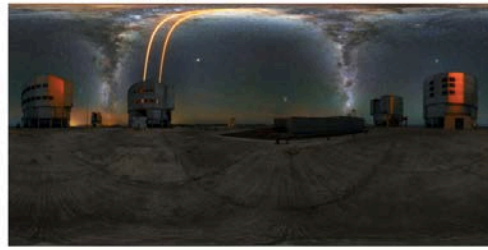
### 3.2.3 風景 360° 画像との合成

Planet360VRでは、あらゆる場所から360°天体画像を鑑賞することができるようにした。アプリ起動時は、初期設定の風景360°画像に合わせて星空が表示されるが、画面上に設定したボタンを選択する事で、その他の世界各地や宇宙での風景と星空が合成表示され、観測が可能になる。今回は、スイスの山脈、チリの天文台、衛星からの写真の三つを利用した。これらの画像を図6に示す。

スイスの山脈



チリの天文台



衛星からの写真

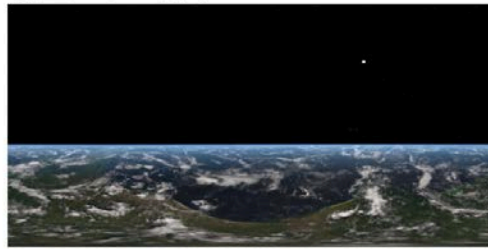
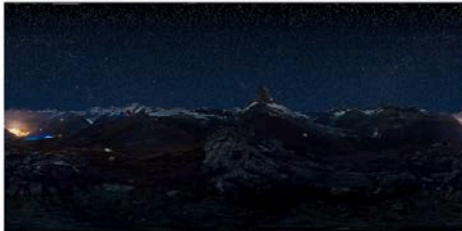


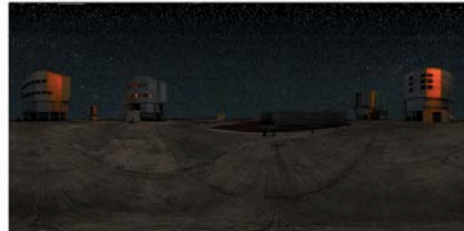
図 6 用意した風景の 360° 画像[5][6][7]

これらの画像の天空部分を切り取り、生成した 360° 天体画像に重ねる。合成時のイメージを図 7 に示す。

スイスの山脈



チリの天文台



衛星からの写真

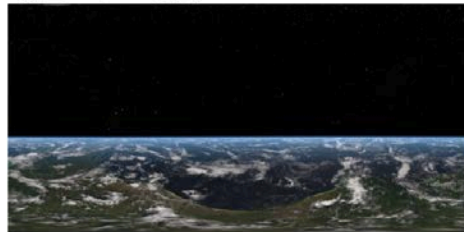


図 7 風景写真と生成した天体画像の合成イメージ

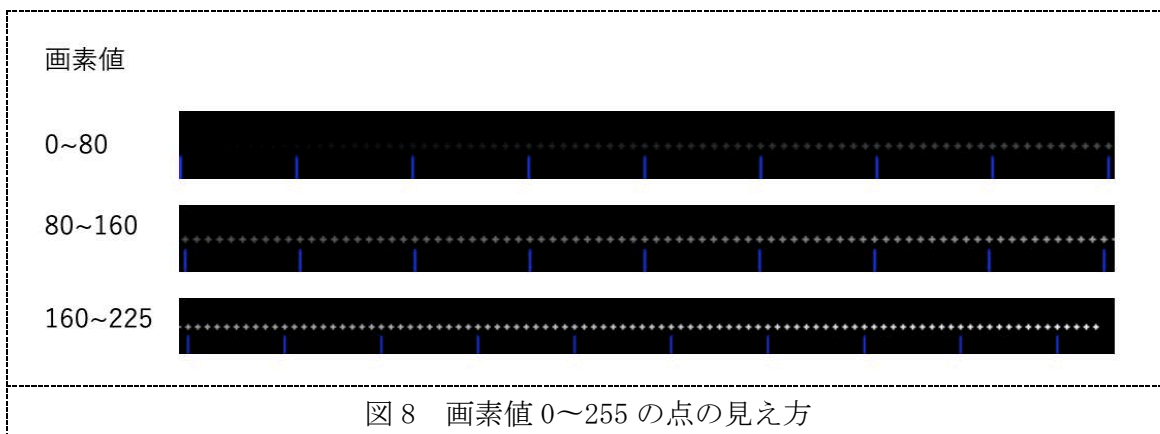
閲覧時には風景写真を固定し、星空画像を時間や位置に合わせて回転させる必要がある。そのため、天体画像を貼り付けた球体の内側にひと回り小さい球体を用意し、そこに風景写真を貼り付ける。これにより風景と天体の合成ができ、風景写真の位置にあった星空の表示を行う事ができた。

## 4 章 360° 天体画像の生成

この章では、図 4 に示した画像が、図 1 の星空の部分の画像に近づくように行った処理について説明する。特に、天体写真の大きな特徴である天の川の再現を目標とした。

### 4.1 微小な円の見え方

真っ黒な画像に微小な円（点）を描いた時、画素値として 1~255 の範囲のどの程度の値から点が視認できるかを確認する実験を行った。図 8 は、画素値 0 から 225 の範囲で、5 画素の+パターン（中央と上下左右の 5 画素からなるパターン）を黒背景の上に描いたものである。1 行目には 81 個の+パターンが表示されており、画素値は 0 から 80 まで 1 刻みで変化させた。画素値が 10 増えるごとに青線を引いて見やすくした。この実験から、5 画素の+パターンが点として確認できる最小の画素値は 20 程度であり、画素値 30~40 以上であれば、少し離れた位置からでも、はっきりと点として確認することができた。この結果から、360° 天体画像に描画する星で、目に見える最も暗い星は、5 画素の+パターンで、画素値 40 程度で表すものとする。



### 4.2 星の等級と描画方法

人が肉眼で確認できる最も暗い星は 6 等星である。そこで予備的な実験として、6 等星を画素値 255 の 1 画素で表現し、等級が上がるごとに画素値 255 の画素の数が 2.5 倍に大きくなるよう描画した。また、6 等星より暗い星は 1 画素で、画素値を  $1/2.5$  に小さくすることで等級差を表現した。例えば、 $-1.44$  等星の画素数は  $2.5^{7.44} = 913.4$  画素となる。これを円で表現すると、直径 34.1 画素の円になる。また、14 等星の画素値は  $255/(2.5^8) = 0.17$  になる。この条件で描画した画像を図 9 (10240 × 5120 画素) に示す。図 9 は暗い星が十分に表現されておらず、天体写真として楽しむには、不十分な感じがする。



図 9 6 等星を 1 画素、画素値 255 として生成した 360° 天体画像

この予備実験の結果を元に、次の考え方で 360° 天体画像を作成した。

- ① 一つの等級を基準として、その等級の星を画素値 255 の 5 画素の+パターンで表現する。基準となる等級を基準等級と呼ぶことにする。
- ② 基準等級よりも明るい星は、画素値 255 で塗りつぶした円で表現する。等級差は面積で表現し、1 等級あたり 2.5 倍にする場合と $\sqrt{2.5}$ 倍 (1.58 倍) にする場合を検討した。 $\sqrt{2.5}$ 倍にすることを検討する理由は、-1.44 等星が大きくなりすぎることを防ぐためである。
- ③ 基準等級よりも暗い星は、5 画素の+パターンで表現する。等級差は画素値で表現し、1 等級あたり  $1/2.5$  倍にする場合と  $1/\sqrt{2.5}$ 倍 (1/1.58 倍) にする場合を検討した。 $1/\sqrt{2.5}$ 倍にすることを検討する理由は、視認させたい星が暗くなりすぎないようにするためである。

ただし、上の説明では正距円筒図法で投影する場合の、横軸方向への円の伸びは無視した。

この考え方にしたがって、いくつかの 360° 天体画像を生成した。その中で、基準等級を 9 等級とし、明るい側の等級差を 2.5 倍、暗い側の等級差を  $1/\sqrt{2.5}$ 倍として生成した画像を図 10 に示す。この時、-1.44 等星は直径 301.4 の円で表現され、13 等星の画素値が 41 になる。同様に、基準等級を 7 等級とし、明るい側の等級差を 2.5 倍、暗い側の等級差を  $1/\sqrt{2.5}$ 倍として生成した画像を図 11 に示す。この時、-1.44 等星は直径 120.1 の円で表現され、11 等星の画素値が 41 になる。



図 10 基準等級を 9 等級とした 360° 天体画像

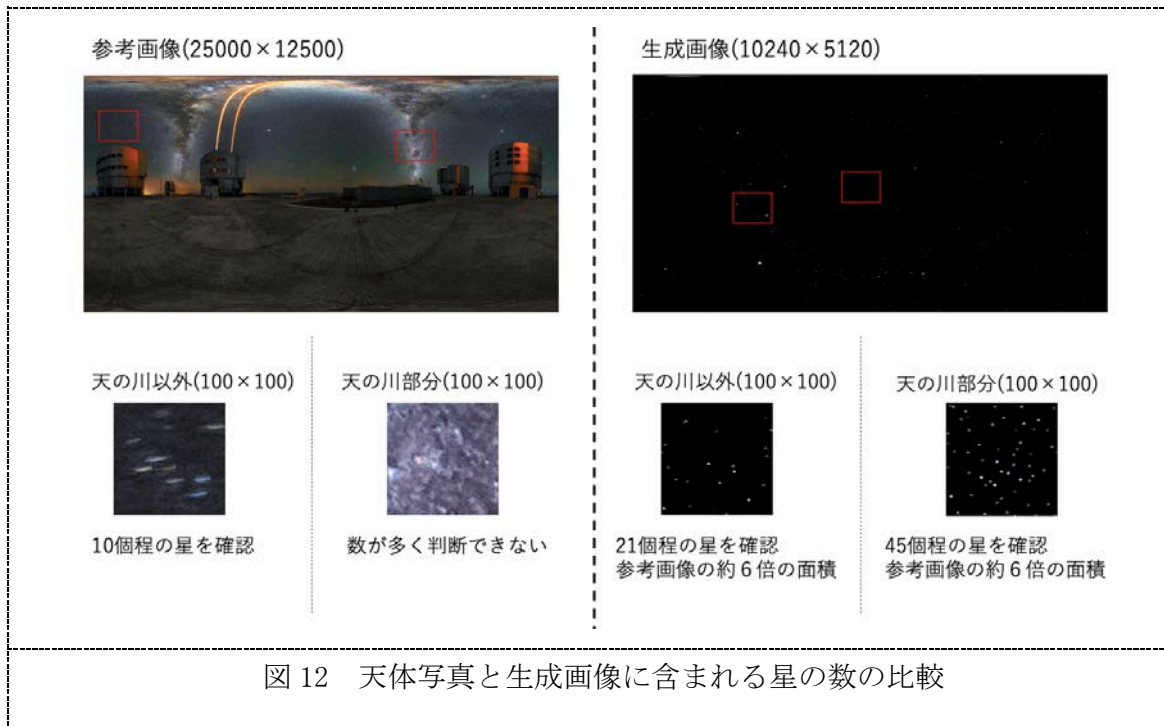


図 11 基準等級を 7 等級とした 360° 天体画像

図 10、図 11 を iPad の画面に表示させると、図 10 では -1.44 等星が大きすぎ、図 11 では、違和感を生じるほどの大きさではなかった。図 10 では 13 等星が視認限界、図 11 では 11 等星が視認限界になる。ヒッパルコス星表では 11 等星よりも暗い星の網羅性が不十分であることも考慮すると、今回の 360° 天体画像として適しているのは図 11 である。

### 4.3 天の川の表現

図 11 と図 1 を比較すると、図 11 は天の川の表現が不十分である。そこで、天の川が綺麗に表現できている高解像度の 360° 天体写真[5]と図 11 を比較した。図 12 の左は高解像度の 360° 天体写真で、この中の 2 カ所から 100×100 画素の領域を抽出した。それぞれの領域で、撮影できている星の数を数えたところ、天の川以外の領域には 10 個程度の星が写っていた。天の川の領域は、いくつかの明るい星が写っていると同時に、全体的に明るくなっている感じであった。図 12 の右は図 12 の中から 2 カ所を 100×100 画素の領域として抽出したものである。なお、生成画像から抽出した 100×100 画素の領域は、高解像度画像から抽出したものに比べて、天球において約 6 倍の面積になる。こちらでは天の川以外の領域に 21 個程度の星が確認でき、天の川の領域に 45 個程度の星が確認できた。これらは両画像の各部分において、10 箇所値を確認し平均したものである。



高解像度の天体写真と生成画像で、天の川以外の領域での星の密度は  $10:21/6=10:3.5$  となり、2.8 倍程度の違いである。表 2 に示した星の等級と星の数から判断して、この 2 枚の画像での限界等級の差は 1 等級程度である。一方、天の川の領域での画像の様子は全く異なっている。このようになる理由として次の 2 つが考えられる。

- (1) ヒッパルコス星表が、天の川の領域における星を十分にサンプリングしていない。
- (2) 天の川の領域ではあまりにも星が密集しているので、個々の星として分離して観察できるほどに明るくなくても、天体写真には星の集合体としての明るさが写る。



この研究でこれらの問題に十分に対処することは難しかったが、生成した画像の天の川を見やすくするため、2つの方法を試した。一つは明るい星の面積拡大率を抑え、かつ、暗い星をできるだけ明るく表示する工夫である。天体写真で暗い星が写るようにカメラ撮影すると、明るい星の輝度は記録可能な範囲を超えてしまう。このようなとき輝点の像は丸く膨れる。本研究における天体画像の生成において、この輝点の面積の拡大率は、基本的に1等級あたり2.5倍として計算してきた。実際のカメラにおいて、どのような像の膨らみ方になっているのか明確ではないが、2.5倍よりも小さい可能性は十分にある。そこで、基準等級の星である7等星から6等星は拡大率2.5倍、6等星より明るい星の拡大率を2倍として計算してみた。また、7等星よりも暗い星をより明るく描画する方が天の川がはっきりすると考えられる。そこで、基準等級(7等星)より暗い星の等級差を $\sqrt{2.5}$ 倍にした画像を図13、等級差を1.25倍にした画像を図14に示す。



図13 7等星より暗い星の等級差を $\sqrt{2.5}$ 倍として生成した画像



図 14 7 等星よりも暗い星の等級差を 1.25 倍として生成した画像

図 13 と図 14 を比較すると、大きな差ではないが等級差を 1.25 倍にした図 14 の方が天の川がはっきり写っている。等級差を 1.25 倍にすると、暗い星の等級間の差がわかりにくくなるが、今回は天の川の再現を目標としているため図 14 の画像を採用する。

次に、大気の影響による星像のボケを考慮した。今回は、6 等星より暗い星には強いぼかしをかけ、6 等星より明るい星には弱いぼかしをかけた。図 14 での処理に加えて、星像をこのようにぼやかせた画像を図 15 (10240 × 5120 画素) に示す。最終的に開発したアプリケーションではこの画像を利用した。



図 15 星像をぼやかせた画像

図 15 と図 11 を比較すると、図 15 の方が天の川が強調された画像になった。しかし、天体写真に見られるような天の川を再現することはできなかった。また、図 15 のような 360° 全体を見回す画像では、天の川を確認出来るが、iPad の画面では、ぼんやりとした印象の天の川の表示にとどまった。iPad の画面で確認した 360° 画像の一部を図 16 に示す。

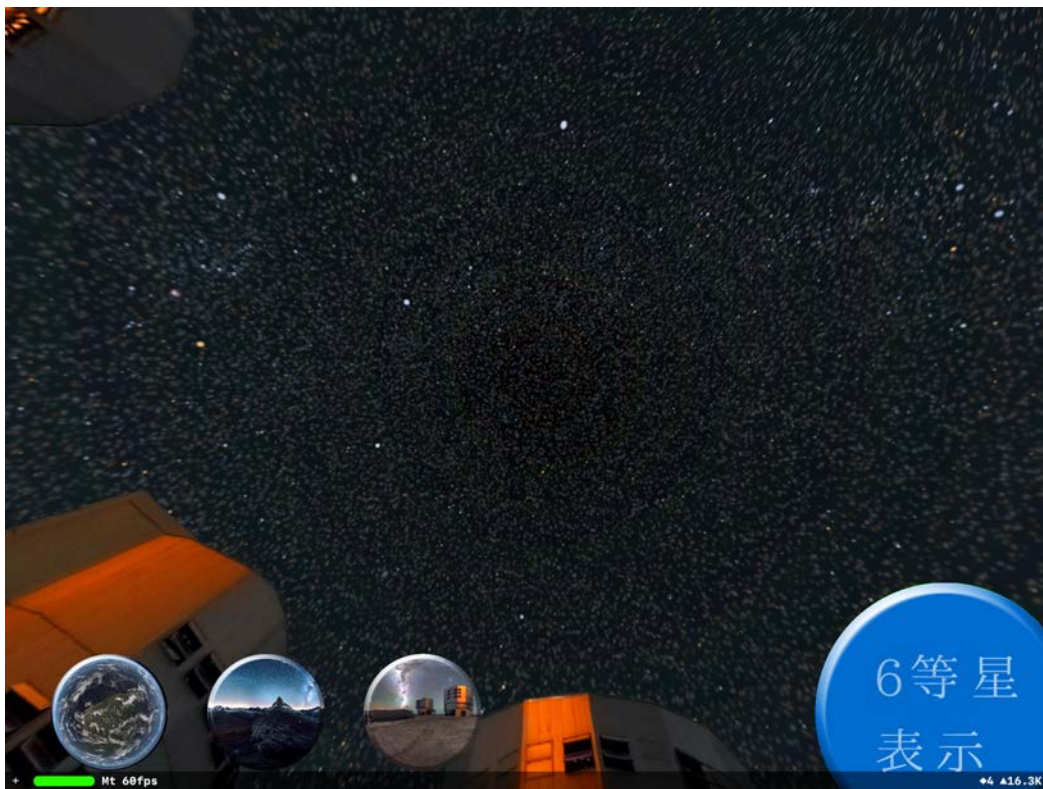


図 16 iPad 画面に表示された天の川

#### 4.4 考察

最終的に、目標とする鮮明な天の川の表現はできなかった。最も大きな理由は星の数が少ない事である。ヒッパルコス星表から取得したデータには 14 等星まで含まれていたが、実際の星の数と比較すると 9 等星以降の星の数が少なかった。特に 11 等星～14 等星の数が極端に少なかった。ヒッパルコス星表は信頼のおける星表との評価ではあるが、天の川を表現するには、よりデータ数の多い星表や、複数の星表を併用する必要があると。

二つ目の理由として大気の影響が考えられる。図 12 の参考画像において、天の川部分の画像と天の川以外の画像では背景の明るさに大きな違いがあり、天の川部分は背景が明るくなっている。これは星の多さに加え、大気の影響により星像が強くぼやけている

るからだと考える。この大気の影響を模擬するために、本研究では二段階のぼかしをかける事で表現を試みた。しかし、星の数が少ないため、本当の天体写真における天の川のような表現はできなかった。

三つ目の理由として iPad 画面における天球の表示範囲が狭いことによって、iPad 画面での天の川の表現が弱くなっていることが考えられる。人間が実際の空を見る時の視野角は、iPad で表示される星空の範囲よりはるかに広い範囲を捉えている。iPad の画面では表示範囲が狭いため、天の川部分と天の川ではない部分の差を捉えにくく、比較が難しい。アプリの機能としてピンチイン・アウトによって視野角を制御できるようにしているが、天球面の広い視野を iPad の狭い画面に表示すると、表示画像に歪みが生じてしまう。これ改善するには、天球面の広い範囲を狭い画面に表示するための工夫が必要だと考える。

## 5 章 結論

本研究では、任意の場所での 360° 天体画像を楽しめるプラネタリウムアプリ Planet360VR を開発した。360° 天体画像はヒッパルコス星表を基に作成し、天体写真の特徴と言える天の川の再現を目標とした。星を円で表現し、-1.44 等星～14 等星の明るさを表現するために、明るさに応じた画素値と面積の円とした。また、大気の影響と天の川の表現のために、星像の明るさに応じて、二段階のぼかしをかけた。

その結果、360° 画像全体を見た場合は、ぼんやりと天の川を確認する事ができた。しかし一般的な天体写真のようなはっきりとした天の川を再現する事はできず、アプリ内の限られた範囲に表示した iPad 画面では、天の川を確認することはほとんどできなかった。

解決できなかった課題として、描画する星の数が少ないこと、最適なぼかしの程度を見つけること、狭い iPad 画面で天の川が見えるようにすること、などがある。ヒッパルコス星表から取得したデータでは天の川を再現するために必要な星の数に足りず、別の星表との併用などの対応が必要である。天の川がはっきりと写った天体写真では暗い星が雲のように広がっていた。これは、大気の影響を強く受けたことが原因と思われる。今回は、生成した 360° 天体画像の星像をぼやかせたが、球体に貼り付けた星像をぼやかせる必要がある。さらに、iPad の画面で表示出来る範囲は肉眼で空を見るよりも小さく、天の川部分と天の川ではない部分との比較が難しい。画面の中での表示範囲を広げる必要がある。

## 参考文献

- [1] [https://www.airpano.com/frequently\\_asked\\_questions.php#equipment](https://www.airpano.com/frequently_asked_questions.php#equipment)、2021年1月6日閲覧。
- [2] 梶井俊彦、「デジタルカメラにより撮影された天体写真を用いた光害調査方法」、<https://www.diges.net/edu/mmasui.pdf>
- [3] 加藤賢一、白井正、「天の川が見える怪 & その後」、[https://tenkyo.net/kaiho/syuroku/21th\\_pdf/21th-37.pdf](https://tenkyo.net/kaiho/syuroku/21th_pdf/21th-37.pdf)
- [4] [https://heasarc.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/W3Browse/w3query.pl?&tablehead=name%3Deasarc\\_hipparcos%26description%3DHipparcos+Main+Catalog%26url%3Dhttp%3A%2F%2Fheasarc.gsfc.nasa.gov%2FW3Browse%2Fstar-catalog%2Fhipparcos.html%26archive%3D%26radius%3D1%26mission%3DSTAR%2BCATALOG%26priority%3D3&mission=STAR+CATALOG&Action=More+Options&Action=Parameter+Search&ConeAdd=1](https://heasarc.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/W3Browse/w3query.pl?&tablehead=name%3Deasarc_hipparcos%26description%3DHipparcos+Main+Catalog%26url%3Dhttp%3A%2F%2Fheasarc.gsfc.nasa.gov%2FW3Browse%2Fstar-catalog%2Fhipparcos.html%26archive%3D%26radius%3D1%26mission%3DSTAR%2BCATALOG%26priority%3D3&mission=STAR+CATALOG&Action=More+Options&Action=Parameter+Search&ConeAdd=1)
- [5] [https://www.eso.org/public/images/ESO\\_Paranal\\_360\\_Marcio\\_Cabral\\_Chile\\_12-CC/](https://www.eso.org/public/images/ESO_Paranal_360_Marcio_Cabral_Chile_12-CC/)
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=lhiNnWglMTM&t=47s>
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=WmgNpfqSy2M>

## 謝辞

本論文を作成にあたり丁寧な御指導を賜りました蚊野浩教授に感謝いたします。

## 付録 本研究で開発したプログラム

360° 天体画像の生成

開発環境：Visual Studio Code、Python3.8.5、OpenCV4.3.0

プログラム名：makePic\_.py

ぼかし加工が必要ない画像の生成プログラム。データの取得から星の色、位置、大きさの処理を行い画像として出力する。

プログラム名：makePic\_cheDark.py

ぼかし加工が必要な画像の生成プログラム。6等星より暗い星のみを描画し画像として出力する。

プログラム名：makePic\_cheLight.py

ぼかし加工が必要な画像の生成プログラム。makePic\_cheDark.py で生成しぼかしをかけた画像を読み込み、6等星より明るい星を上書きし画像として出力する。

アプリの開発

開発環境：Xcode、swift5.2.4

プログラム名：GameViewController.swift

iPad のアプリプログラム。360° 天球画像を球体に貼り付け、その中心にカメラを設定する。また、球の回転や画像の合成を行う。