Gaia 衛星のデータを用いた全天星図の作成

Report on the new exhibit, Star Chart based on Gaia EDR3

鈴木　裕司

SUZUKI Yuji

愛媛県総合科学博物館研究報告　第27号　別刷

Reprinted from the

BULLETIN OF EHIME PREFECTURAL SCIENCE MUSEUM No.27

2022

愛媛県総合科学博物館研究報告　Bulletin of Ehime Prefectural Science Museum, No.27（2022）, p. 123－138

技術報告

Gaia 衛星のデータを用いた全天星図の作成

鈴木　裕司 *

Report on the new exhibit, Star Chart based on Gaia EDR3

SUZUKI Yuji

Abstract：A star chart based on Gaia EDR3 was created as a new exhibit in universe zone of permanent exhibition. In this star chart, more than 1.73 billion stars were drawn as color circles almost automatically using JavaScript, Windows Power Shell and Command Prompt. With Gaia EDR3 data, the star chart has a resolution of 10000 pixel / 10 degree. Even in the printed star chart, a star of the 18 magnitude is able to be found as a single dot. While the Milky Way is looked like cloud at a distance of 2 meters, it can be seen as many stars if you look at it closely. After coordinate transformation, the star chart is also used in a planetarium.

キーワード：星図，Gaia EDR3，Illustrator，JavaScript，Windows Power Shell
Key words：Star Chart, Gaia EDR3, Illustrator, JavaScript, Windows Power Shell

はじめに

2021 年度の展示更新で，常設展内の宇宙のゾーンにある展示の更新を行った．宇宙のゾーンの中央を仕切る 3 枚の壁をつなげ，縦 2.5m ×横 8.5m の 1 枚の壁とし，そこに Gaia 衛星のデータを用いて作成した星図を印刷した壁紙を貼り，大きな星図とした（図 1）．Gaia 衛星のデータは Early Data Release 3（EDR3）を使用し，約 17.3 億個の恒星を色付きの丸としてプロットした．手動ではとても処理できない数のため，データ処理は Power shell を用い，描画は Illustrator に対して JavaScript でスクリプトを作成し，バッチファイルを使ってまとまった量の作業が自動で進行するようにして, 星図を作成した．また，作成した星図を座標変換して全球画像を作成し，プラネタリウムへ投影できるようにした. この報告では，主に星図の作成過程について紹介する．

展示更新の方向性

当館に天文の学芸員として着任して以来，常設展の宇宙のゾーンの更新を行うことが課題となっていた．展示更新の方向性としては，説明主体ではなく，現象を記録した画像や観測データを可視化したものを読み解きつつ，天文学について理解ができるものへ変えていくことを考えている．そんな中，最初に更新を行ったのが図 1 にある壁である．もともとはオリオン星雲などの画像が大きく表示されていた（図 2）．見栄えはするものの，情報が少ないため，繰り返し見る展示になり難いのが課題である．これらの壁 3 面を全てつなげて縦 2.5m ×横 8.5m の巨大な 1 枚の壁とし，壁紙として星図を印刷したものを貼ることとした．壁紙の下には鉄板を仕込んで磁石がつくようにし, 解説を更新しやすい仕立てとした．

星図は中緯度域を正距円筒図法で作成し，天の北極・天の南極それぞれから 30 度の範囲は等距離射影方式で作成し，中緯度域とは別枠に配置した．

星図にした理由はいくつかある．①当館にはプラネタリウムがあるせいか，展示の中には星座を扱ったものはあるものの，夜空の星を扱ったものがない点．②夜空の星は天文を知る上での入り口であり，多くの人にとって何かしら知っているものが含まれる点．③夜空全体を網羅することで，例えばニュースで話題になった天体がどこにあるのか，知っている情報とリンクさせることができる点．④大きな壁に対して解像度の高い絵を印刷することで，家やデジタルでは体験できない，大きくかつ細かい圧倒的な情報量を表現できる点．⑤ Gaia EDR3 のデータが 2020 年 12 月に公開されたばかりで，最新の天

* 愛媛県総合科学博物館　学芸課　自然研究グループ
Curatorial Division, Ehime Prefectural Science Museum

文学の成果を反映できるとともに，今後 10 年以上は古くならないと考えられる点である．当初は Gaia 衛星のデータを用いたとしても，1 億個程度の恒星をプロットする想定であった．しかし，星図の中に天の川を描写する方法を当時は知らなかったため，Gaia 衛星のデータを用いて数多くの恒星をプロットすることでリアルな天の川を再現できるのではないかと考え，10 億個以上の恒星をプロットすることとした．天の川を恒星の集まりとして表現することで，遠くから見るとぼやっとした姿に見え，近づくとそれが恒星の集まりに見える状態を再現できることを理想とした．

Gaia 衛星について

Gaia 衛星は，欧州宇宙機関（ESA）によって 2013 年 12 月 9 日に打ち上げられた衛星である．地球と太陽の系のラグランジュ点 L2 に位置し，恒星の 3 次元的な空間・速度分布を測定して物理的性質を求めることで，天の川銀河の構造や進化についての理解を進めることを目的としている．この目的を達成するため，Gaia 衛星は 20 等級までの 10 億個以上の恒星の 3 次元的な位置・固有運動・明るさを調べることを目指した（Gaia Collaboration et al., 2016）．

Gaia 衛星のデータは処理が終わると世界に公開される．最初のデータ公開（DR1）は 2016 年 9 月に行われ，2018 年 4 月に 2 回目（DR2），そして 3 回目の早期データ公開（EDR3）が 2020 年 12 月に行われた．Gaia 衛星のデータは，インターネットを通じてダウンロードすることができる（ESA, gaia archive）．

Gaia EDR3 のデータ

Gaia 衛星の EDR3 のデータには大まかに，天体の ID，位置，年周視差，明るさとその誤差の情報が含まれる．明るさの情報には 3 種類ある．1 つ目が Gaia の G バンドで，位置測定に用いられる．G バンドは 330-1050nm をカバーしており，恒星からの白色光をそのまま観測していることになる．2 つ目と 3 つ目は色情報を取得するもので，330-680nm をカバーする G_{BP} バンドと 640-1050nm をカバーする G_{RP} バンドである（Gaia Collaboration et al., 2016）．公開されているデータには多くの情報が含まれているが，それらのうち，各恒星について天体の ID（designation），赤経（ra），赤緯（dec），G バンド等級（phot_g_mean_mag），G_{BP} バンド等級（phot_bp_mean_mag），G_{RP} バンド等級（phot_rp_mean_mag）を星図作成に用いた．Gaia EDR3 に含まれる天体の数は 1,811,709,771 天体で，そのうち G バンド等級のデータがあるのは 1,809,254,432 天体，G_{BP} のデータがあるのは 1,542,033,472 天体，G_{RP} のデータがあるのは 1,554,997,939 天体となっている（Gaia Collaboration et al., 2021）．

星図における恒星の描写

等級の扱い

Gaia EDR3 の G バンドでの等級ごとの天体の数（Gaia Collaboration et al., 2021, Fig.1）を見ると，約 21 等級よりも暗い側で天体の数が急に減少している．そのため，おおむね全ての天体のデータを取得できているのは G バンドで 21 等級までと判断し，それより明るい 1,734,531,111 天体のデータを使用した．

明るい恒星の中には，Gaia EDR3 のデータに含まれていない天体がある．そこで，明るい恒星の情報は HIPPARCOS カタログ（Perryman et al., 1997）のデータを用いた．HIPPARCOS カタログには，約 9 等級までの 118,218 天体の情報が掲載されている．どちらのカタログにも掲載されている天体については，対応天体のリストを参照し，HIPPARCOS カタログに掲載されているデータを優先した．

HIPPARCOS カタログからは恒星の明るさは V バンドを採用した．これは Gaia の G バンドとは波長特性が異なるため，特に赤い色の恒星では，2 つのカタログでの等級の差が大きくなっている．しかしながら，星図は実視等級もしくは V 等級を使用して作成されることが通常である．そのため，明るい天体まで Gaia の G バンドに直してしまうと，普段目にする星図と比較して違和感が出てしまう．そこで，HIPPARCOS カタログの値を採用した相対的に明るい恒星は V バンド，Gaia EDR3 の値を採用した相対的に暗い恒星は Gaia の G バンドという 2 つの等級を用いることで，−1 等級から 21 等級の恒星まで同一の基準を用いて星図上で表現することができるようにした．

Gaia のデータでは恒星の数が多すぎるため，Illustrator 上で全ての恒星をオブジェクトとして扱うことはできない．そこで，HIPPARCOS カタログを採用した恒星はオブジェクトとして，Gaia のデータを採用した恒星は PNG で書き出した画像の形で星図に用いることとした．

星図のデータでは，全ての恒星はある大きさをもつ丸として表現されている．この時，最小の大きさは印刷可能性から制限され 0.04mm（～ 0.1pt）とした．最大の大きさは，1 つの恒星が目立ち過ぎないよう，2-3cm にとどめた．それに対し，表現するべき恒星の明るさの範囲は，−1 等～ 21 等の 23 等級分であり，明るさの比を面積の比で表現する．等級の定義である 5 等級で 100 倍の差とした場合，明るい恒星が大きくなりすぎてしまうため，この比率を変更し 6 等級で 100 倍の差となるようにした．また，暗い恒星については面積の代わりに不透明

度を変化させることで，上記の明るさの範囲を表現することとした．等級と直径・不透明度の関係をまとめたものを表1に示す．

色情報の扱い

星図では，恒星を表す丸に色情報も付加している．HIPPARCOSカタログにはスペクトル型の情報が含まれているのに対し，Gaiaのデータでは DR2に色温度の情報が含まれている（Gaia Collaboration et al., 2018）ものの，EDR3には含まれておらず，G_{BP} バンドと G_{RP} バンドの等級から推定する必要がある．そのため，Gaia-HIPPARCOSのクロスマッチカタログに含まれる恒星を用いて，スペクトル型と G_{BP}- G_{RP} の関係を求めることとした．図3は横軸にHIPPARCOSカタログのVバンド等級とGaiaのデータのGバンド等級の差（V - G），縦軸にGaiaのデータの G_{BP} と G_{RP} の差（G_{BP} - G_{RP}）をプロットしたものである．これを見ると，スペクトル型に主に分布する領域があるため, 表2のように条件を定め，Gaiaのデータに対してプロット用のスペクトル型を対応させた．ここで，G_{BP} と G_{RP} の両方の値がない恒星はF型，G_{BP} の値のみある恒星はA型，G_{RP} の値のみある恒星はG型とした．このスペクトル型はプロットする時の色を決めるものであり，実際のスペクトル型を表すものではない．それぞれのスペクトル型に対して表2に記されているRGBの値を用いて色を表現した．

恒星のプロットの自動化について

概　　要

先に記した通りに恒星の仕様を決定し，プロットする段階へと進んだ．IllustratorをJavaScriptで動かす方法は書籍が出ている他，星図を作成する方法に絞っても，江越（2019）やhokori（2015）などを参照することができる．しかしながらGaia衛星のデータは，恒星が10億個以上あることから，全ての作業をスクリプトで動かす必要がある．また，1つのデータファイルで完結するサイズでないため，データの事前準備や画像書き出しなどもスクリプト化する必要があることに難しさがある．

星図データ作成の流れを図4に示す．実行端末がWindowsであるため，CSVなどのファイルの読み込み・書き出し・条件分岐などが必要なものはWindows Power Shellでスクリプト（.ps1）を実行し，コマンドの実行などはバッチファイル（.bat）を作成しコマンドプロンプトで実行した．

ダウンロード

指定したURLからのファイルのダウンロードはWidows Power Shellでcurl.exeコマンドを使用することで，コマンドラインから実行できる．例えば，

curl.exe -LO http://適切なURL/GaiaSource_000000-003111.csv.gz

とすることで，GaiaSource_000000-003111.csv.gzのファイルをダウンロードできる．

ESA（2020）を見ると，ファイルの一覧が表示されているので，これをコピーもしくはこのページのソースをコピーし，Excelを利用して置換や余分な部分の削除を行い，上記コマンドの形に整えれば，あとは.ps1ファイルを実行することで，自動で全てダウンロードしてくれる．ただし，データ容量が膨大であることに注意が必要である．

CSVファイルのデータ処理

CSVファイルからのデータの抽出はWindows Power Shellで行った．Windows Power Shellを用いるメリットとしては，import-csvとselectのコマンドを組み合わせることで，望む項目名のデータを抽出できる点が挙げられる．抽出したデータを変数に入れることで，スクリプトで扱うことができ，必要な処理を行った後，書き出しを行う．データの抽出を行うことでデータ容量が軽くなり，全恒星のデータを1つのHDDに格納できるサイズになる（それでも抽出した全てのデータを.txtで書き出した状態で154GBある）．

これらのデータに対し，Gaia-HIPPARCOSのクロスマッチカタログを参照して，HIPPARCOSカタログに含まれる恒星のデータを除く．データ量は膨大だが，GaiaのデータはID順に並んでいるため，クロスマッチカタログもGaiaのID順にソートすることで，計算量をデータ数の和程度に抑えることができる．

HIPPARCOSカタログのデータを除いた後は，全天を赤経・赤緯で10度×10度に区切った領域ごとにデータを分割していく．領域ごとに作業フォルダを作成し，その中に各データファイルのうち，当該領域内の恒星を含むデータを入れていく．この時に，G_{BP} と G_{RP} の等級から判別したスペクトル型を割り当てる．領域ごとに分割されたデータから，プロットするためのJavaScriptファイルなどを作成する．

IllustratorでのJavaScriptによるプロット処理速度

HIPPARCOSカタログの様に，10万個程度の恒星のプロットであれば，速度を気にせず1つのデータファイルに対してスクリプトを実行しても，力業で処理を行うことができる．しかし，Gaiaのデータを用いて10億個以上の恒星をプロットする場合は，そもそも1つのファイルとして扱うにはデータ量が大きすぎる上，分割の仕方でわずかに処理速度が短縮される場合，全体として数時間，時には数日単位での時間の短縮となる．そのため，

処理が速くなるデータの分割条件を探すこととした．なお，下記試行において，処理時間そのものは言及しているパラメータ以外によっても変化することをことわっておく．

まず，1 レイヤーにプロットするオブジェクトの数を調べた結果を表 3 及び図 5 に記す．これを見ると，10000 天体当たりの処理時間が 2 次関数的に増加している（処理時間の累計でないことに注意）．1 レイヤーのオブジェクトを増やしていくと急速に処理時間が長くなるため，1 レイヤーのオブジェクト数はなるべく少ない方がよいということになる．

では，1 レイヤーに配置するオブジェクトの数はどれくらいが適切か．1 レイヤーのオブジェクト数のみを変化させ，HIPPARCOS カタログの全恒星（約 10 万個）をプロットするのにかかる時間を測った結果が表 4 及び図 6 である．これを見ると, 1 レイヤー当たりのオブジェクト数は 300-500 個が理想的で，多くても 1000 個にとどめた方がよいことが分かる．

表 5 は 1 つの .js ファイルで処理するオブジェクト数と HIPPARCOS カタログの処理時間を記したものである．ここから，データは 1000 天体程度に区切って .js で読み込ませた方がよいことがわかる．

表 6 及び図 7 は，書き出し時における 1 つの .ai ファイル上のオブジェクト数とそれを PNG 形式で書き出すための処理時間をまとめたものである．書き出しについても，できるだけオブジェクト数が少ない方が，処理する単位時間が短いことになる．

以上の結果を踏まえて，いくつかのパラメータを変化させながら書き出しまでの処理時間を測ったものが表 7 である．この結果から，Illustrator を JavaScript で処理する時には，1 つの JavaScript で処理するのは 500 天体，1 レイヤーには 1000 オブジェクト，1 つの .ai ファイルで 40000 天体になったら PNG 書き出しを行うこととした．最終的に Gaia のデータで行った際，処理が一番早い PC では 10000 天体当たり 36 秒で書き出しまで終了できるようになった．24 時間当たりに直すと，2400 万天体を処理できることになる．

バッチファイルからの JavaScript の実行

Illustrator へ .js ファイルを入力していることが，恒星をプロットしている作業となる．この作業工程をバッチファイル（.bat）に記述することで自動化した．

コマンドプロンプトにて，

```
"C:¥ai のパス ¥Illustrator.exe"
```

のように Illustrator の実行ファイルを直接指定したコマンドを入力することで，コマンドラインから Illustrator を起動できる．引数としてファイル名を 1 つ入力することができ，

```
"C:¥ai のパス ¥Illustrator.exe" 1-4_0.ai
```

とすれば，「1-4_0.ai」のファイルを開くことができ，

```
"C:¥ai のパス ¥Illustrator.exe" 1-4_1-500.js
```

とすれば，開いているファイルに対して「1-4_1-500.js」を実行することができる．PNG ファイルの書き出しを行う .js ファイルも作成し，

```
"C:¥ai のパス ¥Illustrator.exe"
timeout /t 30
copy 1-4.ai 1-4_0.ai
"C:¥ai のパス ¥Illustrator.exe" 1-4_0.ai
"C:¥ai のパス ¥Illustrator.exe" 1-4_1-500.js
"C:¥ai のパス ¥Illustrator.exe" 1-4_501-1000.js
"C:¥ai のパス ¥Illustrator.exe" 1-4_1001-1500.js
"C:¥ai のパス ¥Illustrator.exe" 1-4_1501-2000.js
"C:¥ai のパス ¥Illustrator.exe" export_png.js
ren output.png 4-8_0.png
taskkill /IM Illustrator.exe
```

の様にバッチファイルの記述することで，描写から PNG 書き出しまでを自動化することができる．ここで，「timeout」コマンドは，指定した秒数間だけ処理を待機させるコマンドである．Illustrator が起動しきらないまま次に進むと，命令が正しく実行されず，バッチ処理が止まる原因となる．Illustrator の起動にかかる時間は端末によって異なるため，このコマンドによって待機時間を調整する．また，「taskkill」コマンドはプロセスを強制的に終了させるコマンドである．Illustrator を起動したまま処理を続けると不具合が起こる可能性があるので，適当なタイミングでアプリを終了し，再起動させるために使用している．

Photoshop で複数の PNG 画像を合成

40000 天体を描写するごとに PNG 画像の書き出しを行うようにしているため，出力される画像はパズルのピースのような形となる．これら複数の画像を足し合わせることで，領域全体の画像が完成する．Illustrator で PNG 書き出しを行う際に，アートボードごとに書き出すようにしておくこと，空白も含めて書き出すことができ，PNG 画像の大きさをそろえることができる．Photoshop ではそれらの画像を全て読み込み，1 枚の PNG 画像として書き出せばよい．領域によっては画像の枚数が数 100 枚になり，全て読み込むと動作が遅くなる．その場合は全体の 1/3 ほどを読み込んで合成して書き出し，再度合成を行う．

10 度× 10 度の画像が全ての領域において作成できたら，それらを大元の星図用の .ai ファイルに貼っていく．ただし，各画像が約 10000 × 10000 の大きさを持ち，全画像で約 52GB のサイズがあるため，1 つの .ai ファイルに全てをまとめようとすると処理が重すぎて動作しな

くなる．そのため，Gaia のデータの画像以外の部分を完成させた後，全体を 7 つの領域に分けて Gaia の画像を配置した．なお，制作の段階において，印刷業者と話し合った結果，印刷する壁紙の大きさから分割数を決めた他，PNG から TIFF に変換した画像を最終的に使用することとした．

恒星以外のデータ

星図には，恒星以外に以下のデータを載せている

・黄道
・赤経赤緯のグリッド
・星座の線
・星座の領域（IAU，The Constellations より）
・星座名，星座略譜
・メシエ天体（NASA，HEASARC より）
・恒星名（IAU，Naming Stars より）
・バイエル符号

最終的な星図のデータの一部を図 8，9 に示す．

星図で表現されているもの

Gaia のデータから 21 等級以上の明るさの恒星をプロットしたが，印刷する時ににじみが発生するため，単一の点として表現されている恒星はもっと明るいものになる．完成した星図では，18 等級の恒星を単一の点として確認できた．それより暗い恒星は，単一では表現されていなくても，集合として明るさに寄与しているのでデータが無駄になってはいない．

星図は暗い天体まで解像度高く表現されているため，星団が恒星の集まりとして表現されている．また，当初意図した天の川の見え方については，色は赤味が強く，コントラストが抑えられているものの，カメラで撮影したかのような姿が表現できている．近づいた時に恒星の集まりとして見えるかについては，冬の天の川で実現できている．夏の天の川は恒星の数が多すぎたため，もはや恒星として分解できないほどであるが，その代わりに暗黒星雲が恒星の抜けの部分としてよく再現されている．星図で表現されている星団・暗黒星雲の例を図 10 ～ 15 に示す．

プラネタリウム投影への応用

制作した星図は他の場面での活用を図っていく．例えば，天の北極と天の南極付近を表現した画像を正距円筒図法へと座標変換し，中緯度域の画像とパノラマ合成することで，プラネタリウムに投影できる全球画像を作成した（図 16）．明るい恒星は投影した際に目立ちすぎるため，Gaia のデータを使用した画像のみで作成した．制作した画像は，当館の博物館講座にて天の川について解説する際に，実際にプラネタリウムに全球画像として投影した．

この時作成した全球画像は 8K × 4K の解像度を持つ．当館のプラネタリウムの解像度が 4K であるため，全球画像として投影するには十分な解像度である．しかしながら，オリジナルの画像は 10 度当たりの解像度が 10K であるため，全体では 360K × 180K の解像度を持つ．すべての画像ファイルの容量を合計すると約 52GB あるため，これを一度にプラネタリウムに読み込ませるのは不可能であるが，ズームした部分だけ読み込んで解像度を高くすることができれば，宇宙を広角で見た場合と望遠で見た場合とをシームレスにつなげることができる．今のところ，当館のプラネタリウムではこれを実現する方法がないように思うが, 実現の方法を探っていきたい．

まとめ

2021 年度の展示更新にて，常設展の宇宙のゾーンに Gaia 衛星の EDR3 のデータを用いた全天星図の展示を制作した．21 等級以上の明るさの恒星約 17.3 億個を色付きでプロットするために，JavaScript，Windows Power Shell，バッチファイルを用いて処理を自動化した．プロットの結果，10 度当たり 10000 ピクセルの解像度を持つ画像データを作成でき，印刷した状態でも 18 等の恒星が単一の点として表現されている非常に解像度の高い星図を作成することができた．冬の天の川については遠くから見るとぼんやりした集合に見え，近づくと恒星の集まりに見えるという，当初意図した展示体験を提供できるようになった．制作した星図は他での活用も図っており，プラネタリウムで投影するために座標変換をして全球画像を作成し，実際に博物館講座にて活用した．星図の画像データは非常に高い解像度を持っているのが特徴であるため，それを活かした見せ方を探っていきたい．

参考文献

江越　航，2019：天文関連の図版作成のための Illustrator の活用，大阪市立科学館研究報告，29，p.31-36

ESA：gaia archive, https://gea.esac.esa.int/archive/（2022.06.18 参照）.

ESA, 2020 : Index of /Gaia/gedr3/gaia_source/, http://cdn.gea.esac.esa.int/Gaia/gedr3/gaia_source/（2022.06.18 参照）.

Gaia Collaboration, PRUSTI, T., DE BRUIJNE, J. H. J., et al., 2016 : The Gaia Mission, *Astronomy and Astrophysics*, 595, A1.

Gaia Collaboration, BROWN, A.G.A., VALLENARI, A., et al., 2018 : Gaia Data Release 2 Summary of the contents and survey properties, *Astronomy and Astrophysics*, 616, A1.

Gaia Collaboration, BROWN, A.G.A., VALLENARI, A., et al., 2021 : Gaia Early Data Release 3 Summary of the contents and survey properties, *Astronomy and Astrophysics*, 649, A1.

hokori, 2015 : Illustrator で星図と星座を描くスクリプト，https://hokori.net/archives-2015/archive-170.html（2022.06.18 参照）.

IAU : Naming Stars, https://www.iau.org/public/themes/naming_stars/（2022.06.18 参照）.

IAU : The Constellations, https://www.iau.org/public/themes/constellations/（2022.06.18 参照）.

PERRYMAN, M.A.C., LINDEGREN, L., et al., 1997 : The Hipparcos *Catalogue, Astronomy and Astrophysics*, 323, p.49-52.

NASA : HEASARC, https://heasarc.gsfc.nasa.gov/（2022.06.18 参照）.

表 1　星図における恒星の等級と直径・不透明度の関係

等級	直径（mm）	等級	直径（mm）	等級	直径（mm）	等級	直径（mm）	等級	直径（mm）
−1	27.252	4	4.000	9	0.587	14	0.086	19	0.040（32）
0	18.566	5	2.725	10	0.400	15	0.059	20	0.040（22）
1	12.649	6	1.857	11	0.273	16	0.040（100）	21	0.040（15）
2	8.618	7	1.265	12	0.186	17	0.040（68）		
3	5.871	8	0.862	13	0.126	18	0.040（46）		

※（　）内の数値は不透明度を表す

表 2　$G_{BP} - G_{RP}$ の値と色の対応

スペクトル型	$G_{BP} - G_{RP}$ の条件	R	G	B
O 型	$G_{BP} - G_{RP} \leqq -0.25$	222	252	255
B 型	$-0.25 < G_{BP} - G_{RP} \leqq 0.1$	198	255	255
A 型	$0.1 < G_{BP} - G_{RP} \leqq 0.4$	255	255	255
F 型	$0.4 < G_{BP} - G_{RP} \leqq 0.7$	255	255	188
G 型	$0.7 < G_{BP} - G_{RP} \leqq 1.0$	255	230	120
K 型	$1.0 < G_{BP} - G_{RP} \leqq 1.6$	255	200	50
M 型	$1.6 < G_{BP} - G_{RP}$	255	150	32

表 3　1 レイヤーのオブジェクト数と 10000 天体当たりの処理時間

オブジェクトの個数	10000 天体当たりの描写時間
1 – 10000 個目	9.7 秒
10001 – 20000 個目	15.6 秒
20001 – 30000 個目	26.6 秒
30001 – 40000 個目	46.1 秒
40001 – 50000 個目	66.8 秒
50001 – 60000 個目	112.8 秒
60001 – 70000 個目	146.9 秒
70001 – 80000 個目	182.3 秒
80001 – 90000 個目	220.4 秒
90001 – 100000 個目	258.3 秒

表4　1レイヤー当たりのオブジェクト数と HIPPARCOS カタログの描写時間

オブジェクト数／レイヤー	描写時間
10000 個	100 秒
1000 個	85 秒
500 個	75 秒
400 個	70 秒
300 個	70 秒
200 個	115 秒

表5　1つの .js ファイルで処理するオブジェクトの数と描写時間

1つの .js ファイルで処理するオブジェクト数	描写時間
500 個ずつ	235 秒
1000 個ずつ	230 秒
2000 個ずつ	320 秒

表6　書き出し時のオブジェクト数と PNG への書き出し時間

書き出し時のオブジェクト数	PNG の書き出し時間	10000 天体当たりの書き出し時間
10000 個	40 秒	40 秒／ 10000 天体
20000 個	95 秒	47.5 秒／ 10000 天体
30000 個	175 秒	58.3 秒／ 10000 天体
50000 個	430 秒	86 秒／ 10000 天体

表7　各パラメータの組み合わせと処理時間

1つの .js で扱う数	1レイヤーの数	書き出し時の数	1万天体当たりの処理時間
500 個	500 個	20000 個	51 秒 /10000 天体
1000 個	1000 個	20000 個	53.6 秒 /10000 天体
500 個	1000 個	20000 個	49.9 秒 /10000 天体
500 個	1000 個	10000 個	57.5 秒 /10000 天体
500 個	1000 個	40000 個	45.8 秒 /10000 天体
500 個	1000 個	50000 個	46.5 秒 /10000 天体

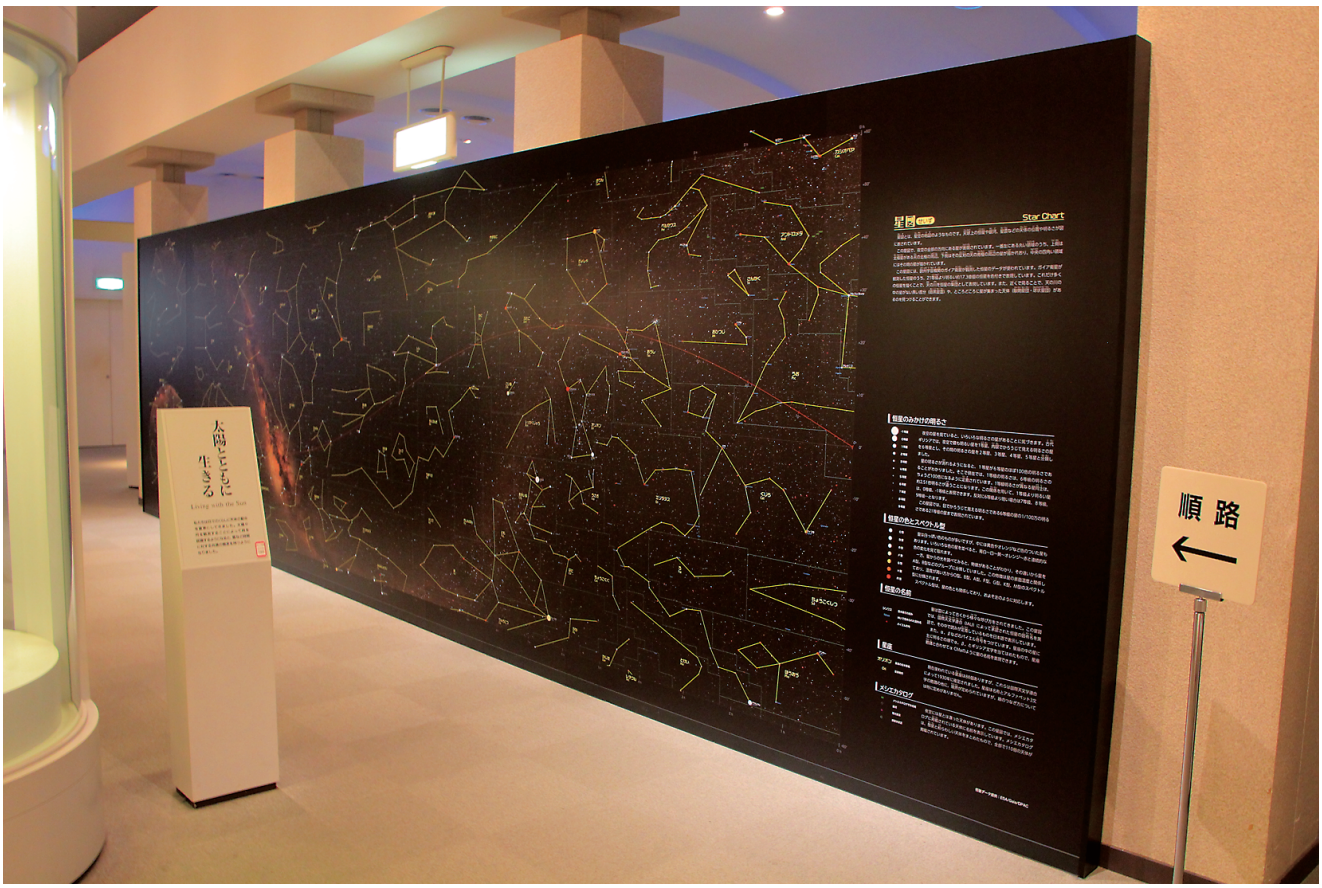

図１　展示更新で作成した星図

図２　更新前の展示

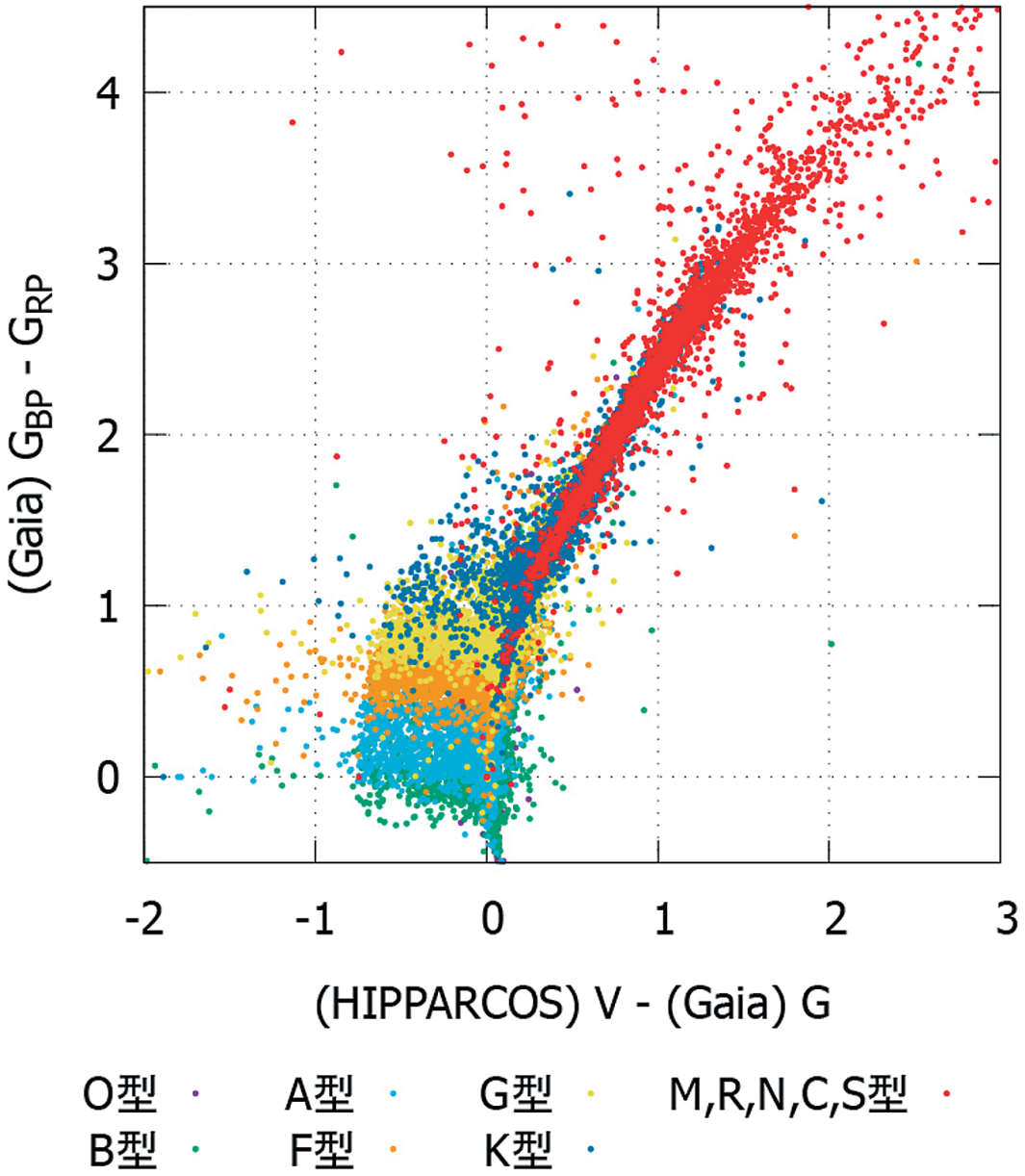

図３　V−G（横軸）と G_{BP}−G_{RP}（縦軸）の関係

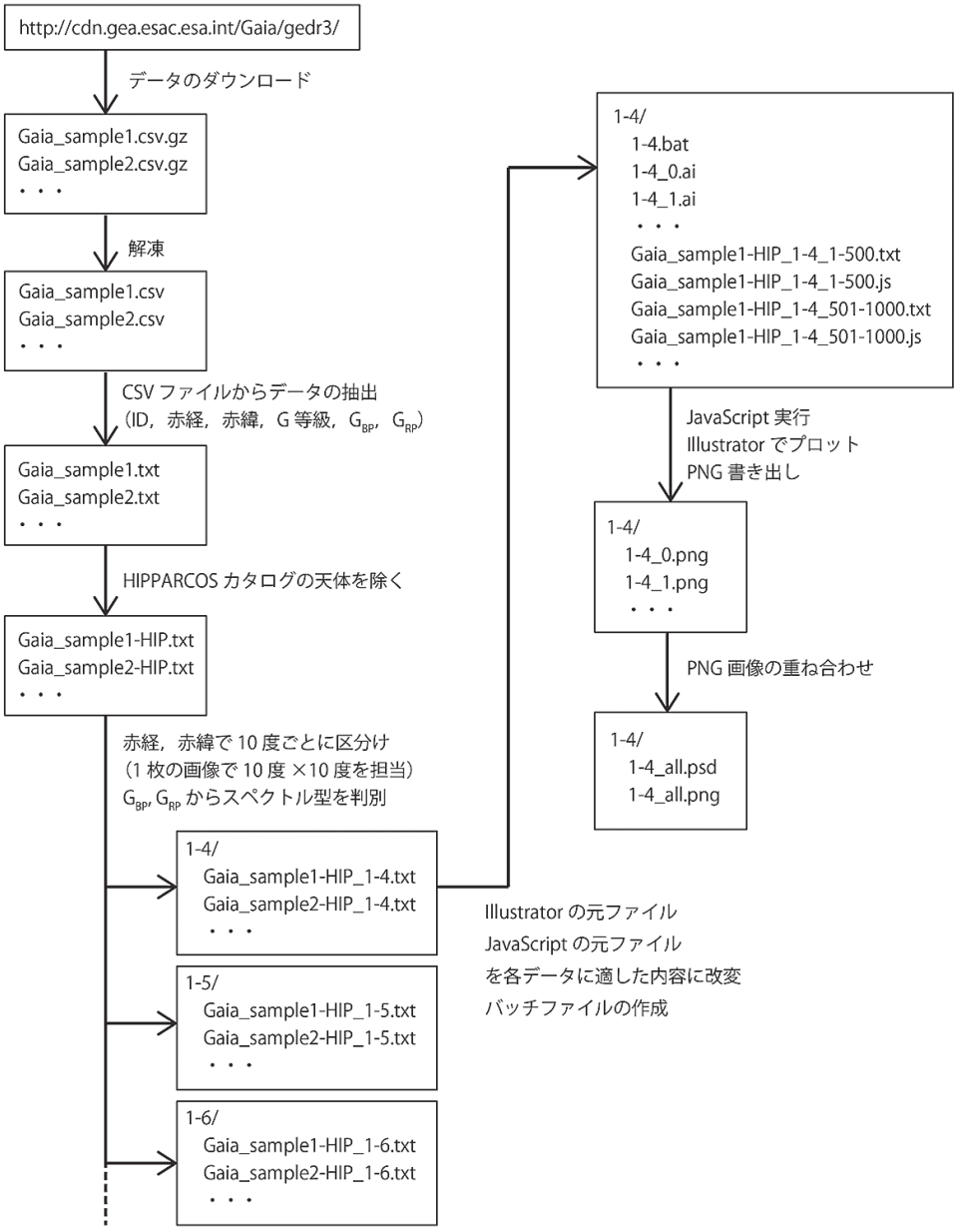

図 4　Gaia のデータのプロットの流れ

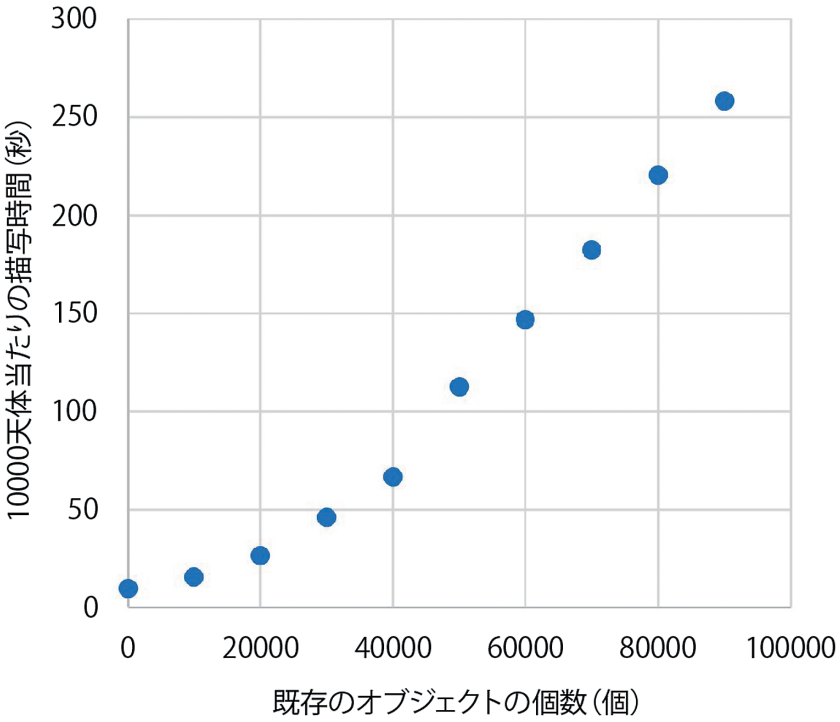

図５　１レイヤーのオブジェクト数と 10000 天体当たりの処理時間

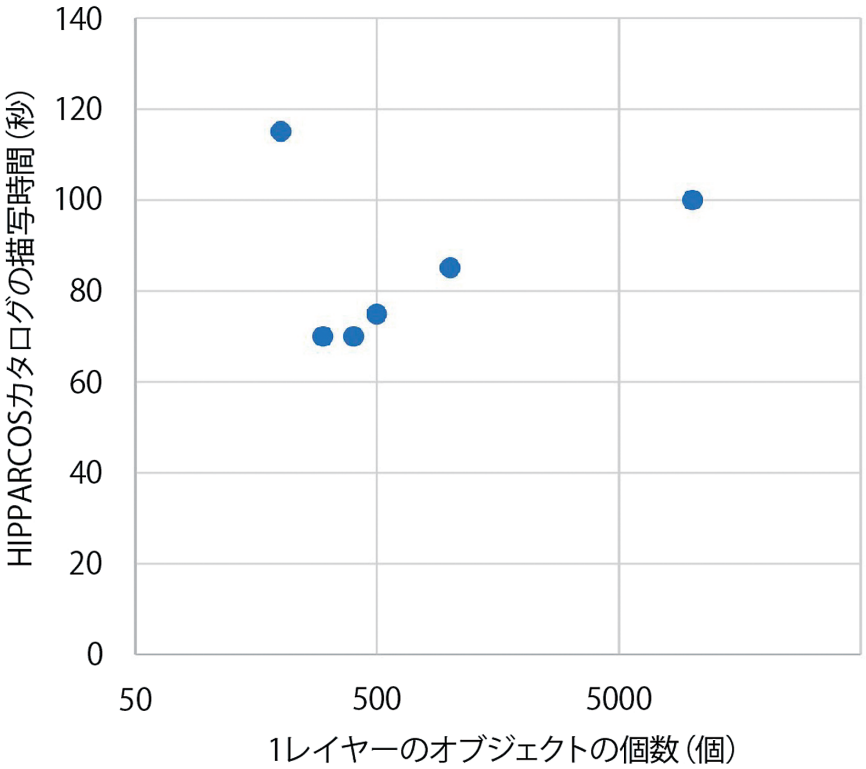

図６　１レイヤー当たりのオブジェクト数と HIPPARCOS カタログの描写時間

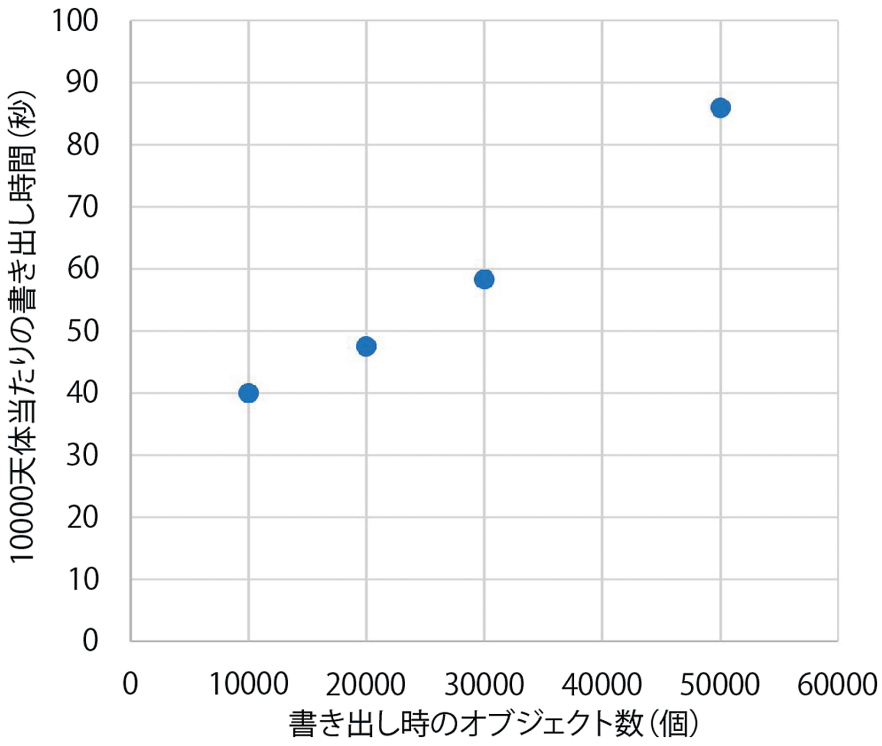

図 7　書き出し時のオブジェクト数と 10000 天体当たりの書き出し時間

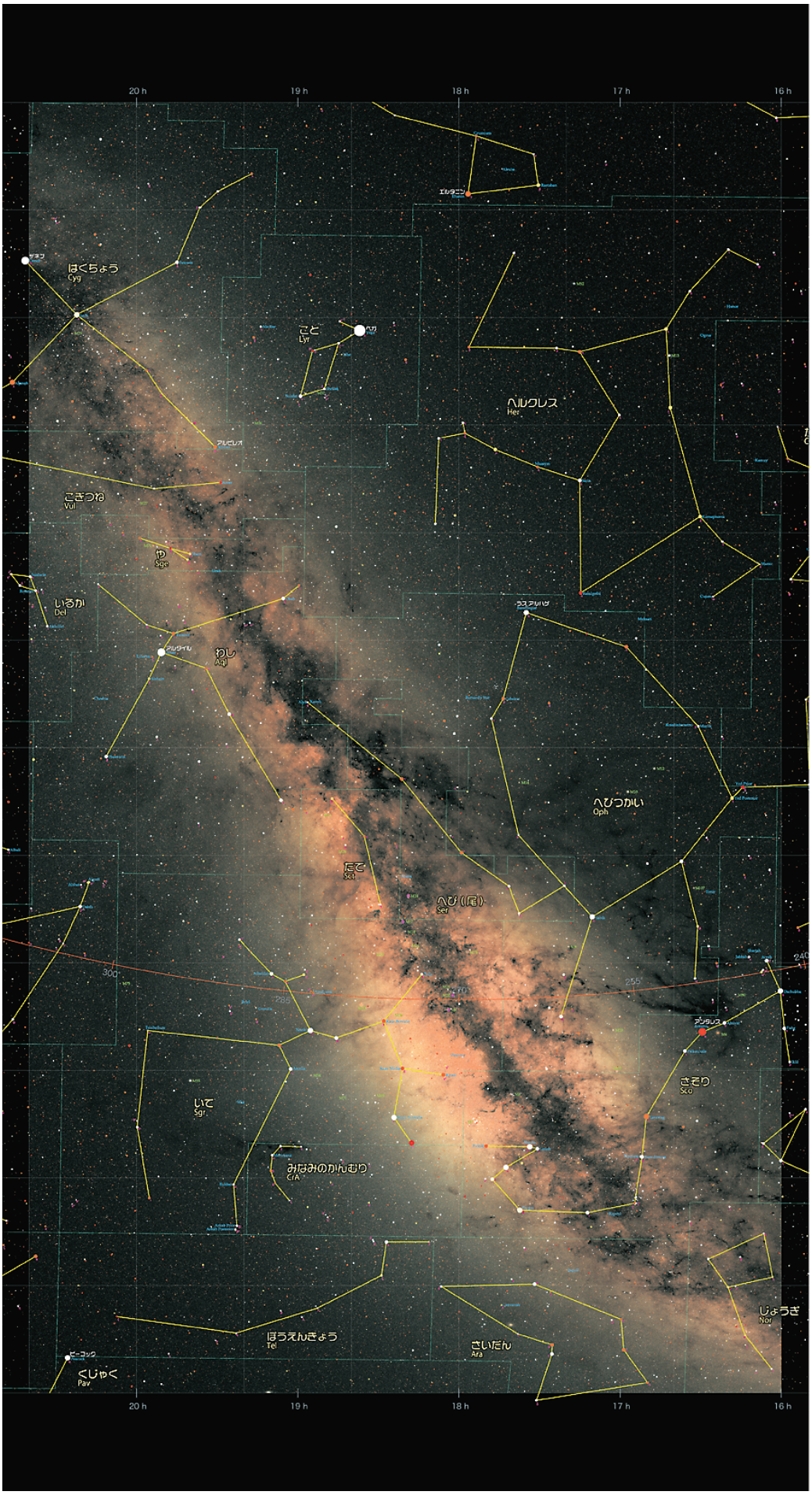

図８　最終的な星図データの一部（16h00m – 20h40m）

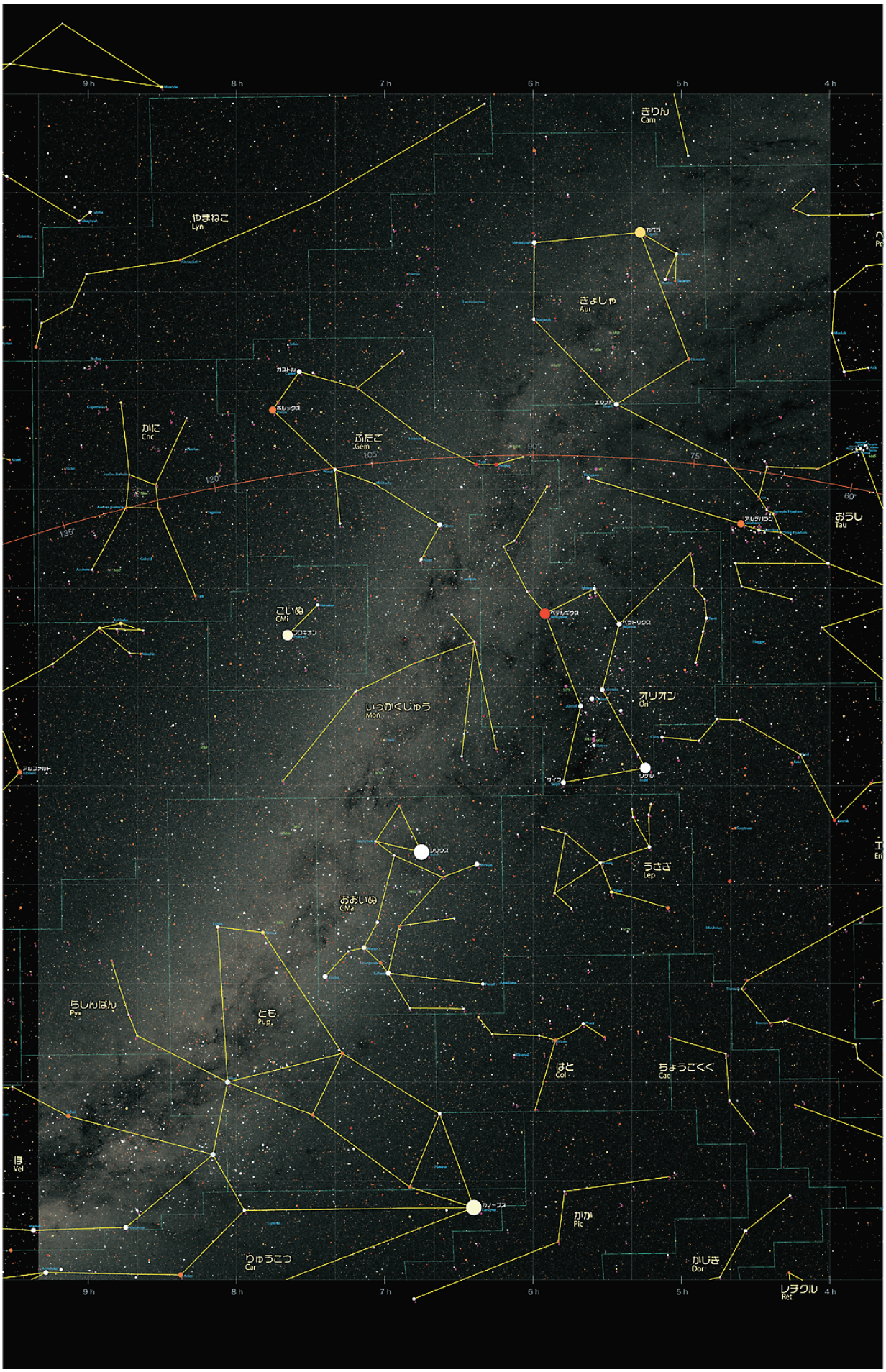

図 9　最終的な星図データの一部（04h00m – 09h20m）

図 10　M3

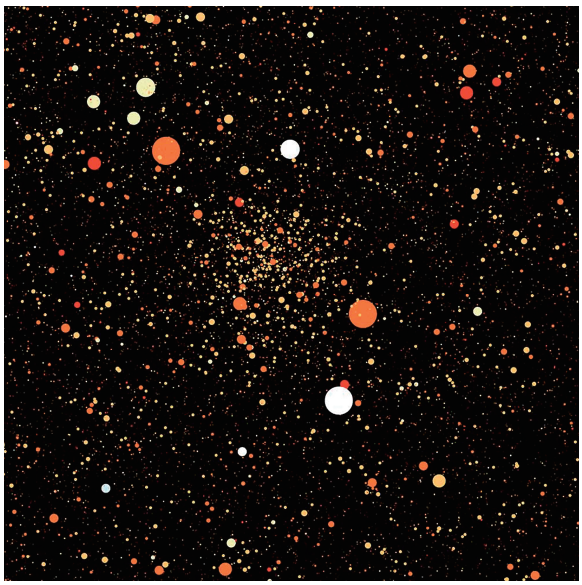

図 13　NGC188

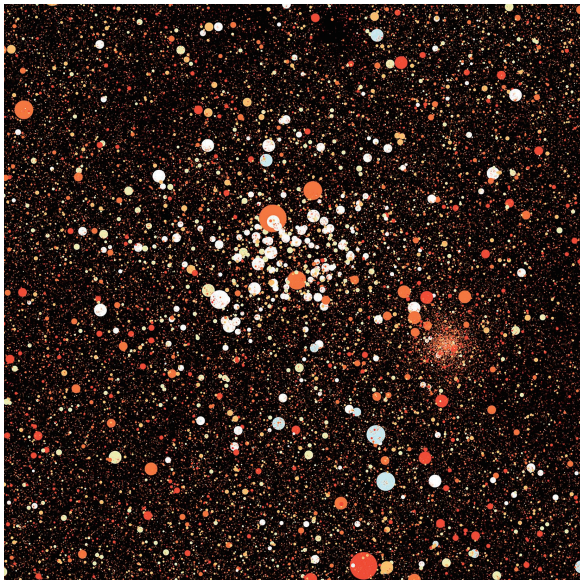

図 11　M35 と NGC2158

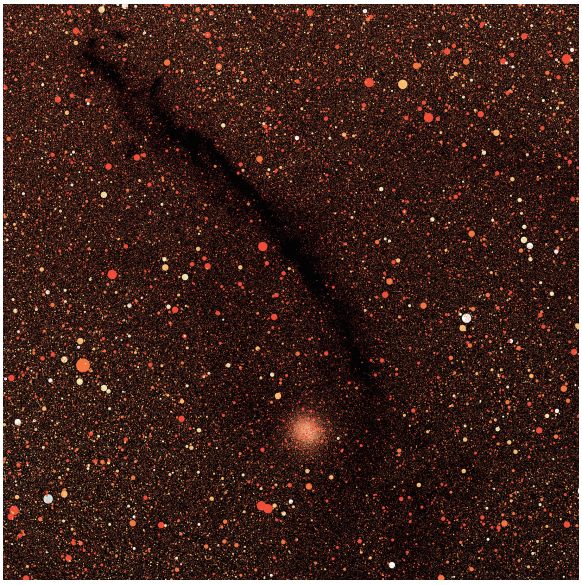

図 14　Dark Doodad Nebula と NGC4372

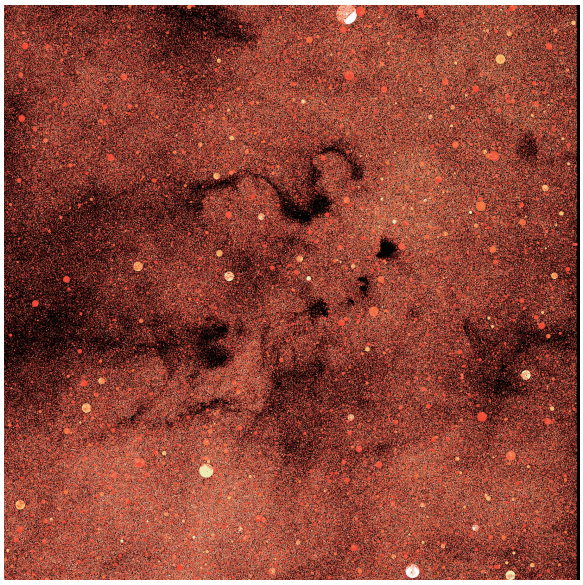

図 12　Snake Nebula

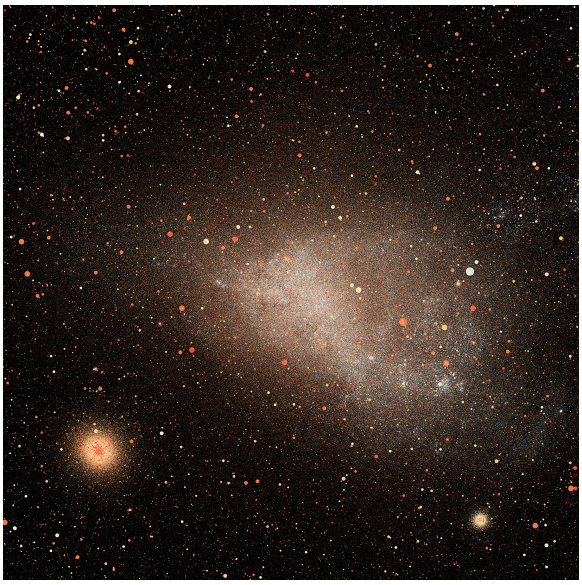

図 15　小マゼラン雲，47 Tuc（NGC104）と NGC362

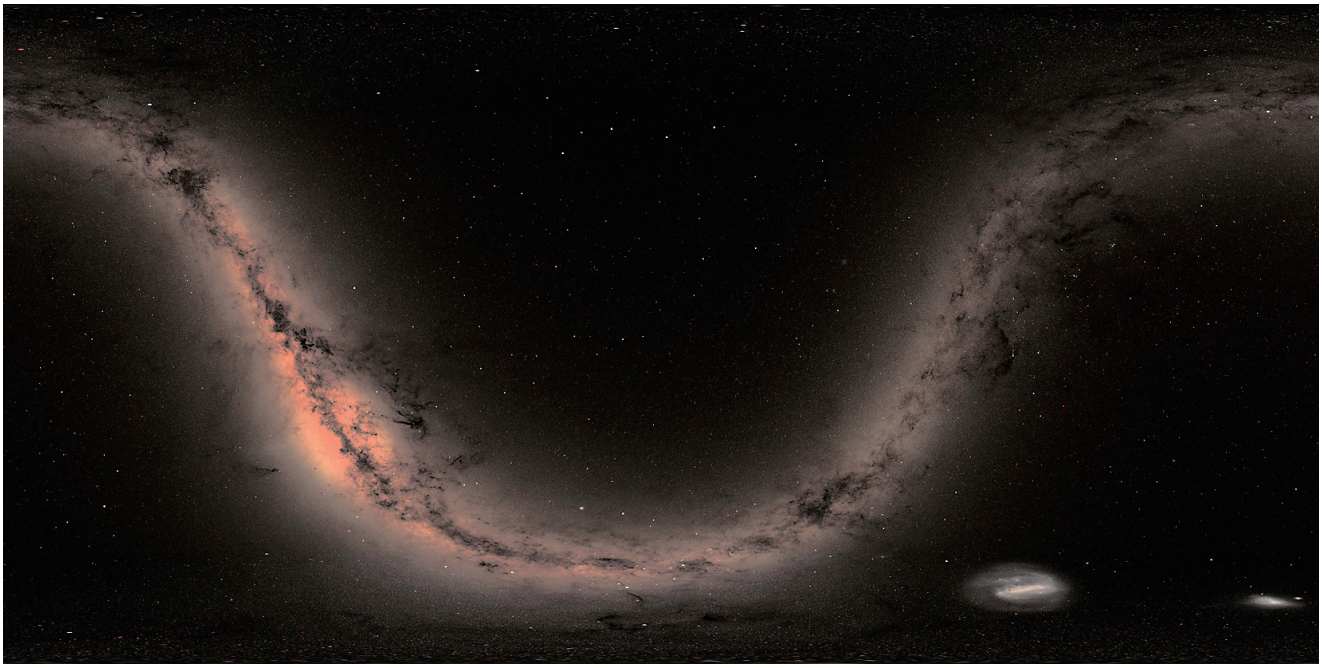

図 16　プラネタリウム投影用の全球画像