

天文シミュレーションソフト「Mitaka」の 開発ヒストリー ～20余年の歩み～



加藤 恒彦

〈立教大学大学院人工知能科学研究科〉

2025年3月に、「4次元デジタル宇宙ビューワー Mitakaの開発」に対して2024年度日本天文学会天文教育普及賞を受賞しました。このような栄えある賞を頂戴し大変光栄に思っております。「Mitaka」は「科学に裏付けされた最新の宇宙像」をリアルな3次元のCGを用いて分かりやすく見せることを主な目的として、20年余りにわたり私が開発を行ってきたソフトウェアです。この度の受賞は天文教育普及に携わる方々をはじめ多くの方々にご活用いただいたおかげであり、感謝の念に堪えません。本稿では、Mitaka開発の原点およびその歩みについて振り返りたいと思います。

はじめに

「Mitaka」とは、天文学の様々な観測データや理論的モデルに基づき、「最新の宇宙像」をリアルな3次元のコンピュータ・グラフィックス(3DCG)で描き出すソフトウェアです。PCの画面上やスクリーン等で、地球から出発して太陽系、恒星の世界、銀河の世界、そして観測可能な宇宙の果てに至るまで、広大な宇宙の階層構造の中を思いのままに探訪し、その姿を眺めることができます。地上から見た星空を再現したり、時間を進めたり戻したりすることも可能です。

もともとはシアター上映用に2003年に開発をスタートしたソフトウェアですが、2005年に公式サイト[1]においてフリーソフトとして公開を開始して以降は、天文学の教育普及に携わる方々をはじめ、多くの方々に広く使っていただくようになり、2023年の時点でダウンロード数は累計で110万件に達しています。

この度、「日本天文学会天文教育普及賞」という栄誉ある賞をいただくことができましたのも、Mitakaをご活用くださった皆様のおかげと考えており

ます。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

子どもの頃より「コンピュータの中に宇宙を再現したい」という夢を持っていました。その夢が「Mitaka」という形で実現したことを嬉しく思うとともに、それが天文教育普及の場でも広くご活用いただけるソフトとなり、さらにこの度の受賞へとつながったことに、万感の思いを抱いております。

本稿では、Mitakaがどのような背景や経緯で開発されてきたのか、いくつかのエピソードやこだわった点の説明なども交えて概観します。

開発の原点

Mitaka開発の原点は三つあると考えています。第一に、いわゆる天文少年だったことです。幼少の頃、両親に星や宇宙の綺麗な写真や図が載っている図鑑を買ってもらい、夢中になって眺めていました。小学生の頃に渋谷にあった五島プラネタリウムに何度も連れて行ってもらったこともよい思い出で、特に月面の解説などに大変興奮したことを覚えています(もしかしたら、今回同時に受賞された村松修さんの解説だったかもしれませ

ん). こうして天文に興味を持った私は、友人と双眼鏡で星を見たり、天文の本を読んだり、月食の際にはその観察ノートを作るようになりました。このような天文への関心も影響して、後に宇宙物理学の研究の道に進むこととなります。

第二に、コンピュータやプログラミングが好きだったことです。父の仕事の関係で自宅にPCがあり、幸運にも小学生の頃からプログラミングをする環境がありました。「パソコン」(当時は「マイコン」と呼ぶことも多かったです)が普及し始めた時代で、PCはNECのPC-8001やPC-8801を使い、プログラミング言語にはN-BASICやN88-BASICを用いて、本や雑誌に載っている1, 2ページほどのソースコードを入力して遊んだり、父にも教わりながら簡単なプログラムを自作するなどして楽しんでいました。中学生・高校生の頃にはPC-9801を使ってBASICで自作した簡単な対戦型ゲームなどで友人と遊んだりしたものです。大学生になると自分で購入したPC-9821で、C言語やアセンブリ言語を用いて3DCG用のライブラリの自作などを行い、Windowsの時代になって高性能な3DCGライブラリOpenGLが登場してからは、布の動きの物理シミュレーションなど、3DCGを使用した多種多様なプログラムを作成しました。このようにして身に付けた様々な開発経験が後のMitakaの開発の礎になったと考えています。

第三に、物理学を学んだことです。大学では物理学を専攻し、その後宇宙物理学の研究に携わりました。物理学や宇宙物理学・天文学の知識はMitakaの多岐にわたる要素の開発に役立っています。特に、宇宙物理学の放射過程の教科書として有名な「Radiative Processes in Astrophysics」(Rybicki & Lightman 著)で学んだ輻射輸送(光の伝搬)の理論は、Mitakaでの「物理学に基づいた可視化」の基礎になっています。

Mitakaの開発に直接的につながる原体験も二つあります。一つは、小学生か中学生の頃に電気

店の店頭で見かけたPC(おそらくApple IIシリーズ)のデモンストレーション映像です。当時は画面の解像度も低く、表示できる色数も8色程度でしたが、画面上にはゆっくりと自転する木星が映し出され、時折、ガリレオ衛星が木星表面に影を落とす様子までもが再現されていました。その映像にしばらく見入ってしまったことを覚えています。このときの感動は、「コンピュータの中に宇宙を再現したい」という夢を抱くきっかけとなりました。もう一つは、Mitakaの開発に着手する数年前に登場した宇宙シミュレーションソフト「Celestia」です。3DCGによるリアルタイムの宇宙旅行シミュレーションとその描画のリアリティに深い感銘を受けました。これらの原体験と心に抱いた夢が、Mitaka開発の根幹にある強い原動力であり続けています。

開発の歩み

Mitakaの黎明期(第1期プロジェクト)

2001年12月、国立天文台で「4次元デジタル宇宙(4D2U)プロジェクト」が開始され、同時に研究開発に実際に携わる研究員(ポスドク)も公募されました。具体的な職務内容は「天文学の観測データや数値シミュレーションのデータを可視化して立体視シアターで見られるようにする」ことで、上述のように天文+プログラミング+3DCGが好きだった私は「これは面白そうだ」と思い応募しました。結果、幸いにも採用され、2002年5月に、林満さん、武田隆顕さん、私の3名が着任し、プロジェクトが具体的に動き始めました。当時は全員が天文学の研究者で、研究者自身が開発・制作を手がけることがプロジェクトの特色の一つであり意義であったように思います。

同年8月、開発室があるプレハブの建物内に、1辺2m弱の正方形スクリーンを3枚接続した偏光方式の立体視シアターが完成しました。そこで、まずは天文学の数値シミュレーションの立体視動画を作ってそれを上映することが目標とな

り、林さんと武田さんが自らのシミュレーションデータなどを可視化した立体視動画の制作を担当し、私はその動画を3面のスクリーンに同期再生*1するソフトウェアの開発を行いました。こうしてシアターのハードウェアとソフトウェアが出揃い、その年の国立天文台三鷹地区特別公開で一般の方々に向けて初上映されました。概ね好評ではありましたが、アンケートを見ると、夜空の星々や太陽系の天体など、馴染みのある話題と結びつく上映コンテンツが求められていることが伺え、このことがMitakaの開発を始める発端となります。

翌2003年2月、一般向けにわかりやすいコンテンツとして「太陽系近傍の恒星の3次元的な配置を3DCGとして立体視シアターに映し出して見せる」という案が浮上し、そのためのソフトウェアの開発を私が担当しました。これが現在のMitakaの原型です。データとして使用したHipparcos星表の名前を取って、当時は「Hipparcosプラネタリウム」と呼んでいました。

その後、「コンピュータの中に宇宙を再現したい」という夢を長年抱いてきたこともあり、恒星分布のスケールだけではなく、太陽系、銀河系、近傍銀河、宇宙の大規模構造に至るまで、観測されている宇宙全体の各階層のスケールの天体も表示できるように拡張を重ね、さらに地上から見た星空を表示する「プラネタリウムモード」も搭載し、現在の形のMitakaに進化していくことになります。

Hipparcosプラネタリウムの開発を始めてから2ヵ月ほど経った同年4月、1つの“事件”がありました。朝日新聞に掲載された「夢の3次元プラネタリウム」と題された記事でプロジェクトが紹介されたのですが、そこには立体視シアターの

「6月からの一般公開」が告知されていたのです。現場には寝耳に水の話だったことから大変慌てましたが、その期日へ向けて“怒涛の開発”を開始することになりました。その直後の5月にはNHKのテレビ番組「おはよう日本」でも「新しい形態のプラネタリウム」としてシアターが生中継で紹介され、注目と期待の中で（嬉しい）悲鳴を上げながら必死で開発を行いました。過去に興味で自作した3DCGのプログラムや関数ライブラリなどにも助けられ、なんとか6月の期日までに開発を間に合わせる事ができ、立体視シアターの一般公開は無事に初日を迎えました。

この一件は、結果的には実験用プロトタイプから一般向けシアター上映用に使えるソフトウェアに移行するよい転機となったと振り返ります。そして、この頃までには、画面上で「宇宙の階層構造のスケール間を連続的に移動できる」ようにしたり、「現在見ているスケールを『スケール円』によって表示する方式」を採用したり、ライブ上映でも使えるように「ゲームコントローラでインタラクティブに操作を行う機能」を実装するなど、Mitakaの基本的な構成要素はすでにできあがっていたと言えます。

その後、それまで銀河系の絵を貼り付けた板（ビルボード）で簡易的に表現していた銀河系を、点群を用いた立体的なモデル（図1）に更新しました*2。このモデルは当時としては画期的なものだと自負していましたが、100万点以上の点群を用いていたため当時のPCの性能では描画がとても遅いという課題もありました。そのほか、それまで別ソフトで行っていた立体視動画の同期再生機能もHipparcosプラネタリウムに内蔵し、単体でシアター上映をすべて行えるように改良しました。その後も機能追加や改良を重ね、2004年11

*1 シアターは複数台のPCとプロジェクトにより構成されているため、PC間の同期を取って動画の再生をする必要がありました。

*2 銀河系全体の観測はされていないため、「想像図」としてのモデルです。

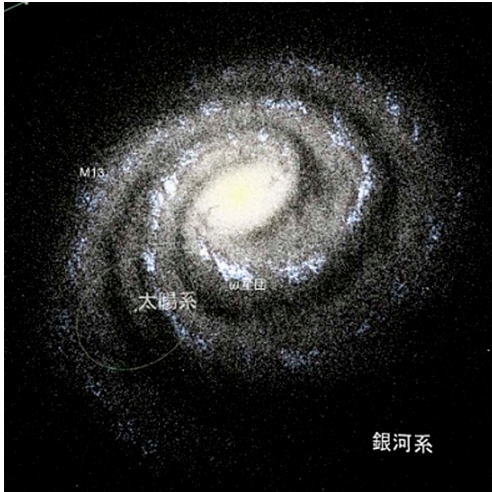


図1 点群で表した銀河系の立体モデル。
(Mitaka: ©2005-2023 加藤恒彦, 4D2U Project, NAO)

月に第1期の4D2Uプロジェクトが終了します。プロジェクト終盤の頃には、Hipparcosプラネタリウムは開発場所である国立天文台三鷹キャンパスにちなみ、開発コードネーム「Mitaka」の名前で呼ばれるようになっていました^{*3}。

第2期プロジェクト

2004年12月から、引き続き第2期の4D2Uプロジェクトが開始されました。国立天文台に加えてコニカミノルタプラネタリウムや五藤光学研究所、理化学研究所などの企業・組織も参画する共同プロジェクトで、主な目標は、立体視が可能なドームシアターの構築、それに対応するソフトウェアの開発、上映コンテンツの制作でした。

まずMitakaを一般ユーザーでも使えるように整備して、フリーソフトとして公開することになり、この際に開発コードネームだった「Mitaka」が正式な名称として採用されました。そして2005年2月にMitakaの公式サイトを開設し、ベータ版である「Mitakaバージョン1.0ベータ1」の

公開を開始しました。

公開直後にフリーソフト紹介サイト「窓の杜」で早速取り上げられたこともあり[2]、ブログなどでも感想が広がりました。そこには、「宇宙の広大さがわかった」「宇宙の中での地球がとてもかけがえのない存在に思えた」「たまには星でも見てみようと思った」などの声並び、予想を超える好意的な反響でした。皆様からいただいたこれらのお声は、その後のMitakaの開発を続ける上での何よりの励みとなりました。そして同時に、シアター用としてだけではなく、一般向けのフリーソフトとしての側面も重視して開発を進めていく契機にもなりました。

「物理学を学んだ研究者が開発する可視化ソフト」であるという自負もあり、「物理学に基づいた可視化」も積極的にMitakaに取り入れました。輻射輸送の理論と人の目で見た時の見え方のモデル(等色関数^{*4})に基づいて、まず導入したものが地球大気と銀河系の可視化です。「地球大気(空)の見え方」については、近似的に多重散乱の効果も取り入れたレイリー散乱モデルに基づいて可視化計算を行うことで、プラネタリウムモードでは太陽の位置に応じて自動的に青空や夕焼け空が再現されるようになりました。「銀河系の見え方」については、前述の点群を使用したモデルに代えて、発光体(恒星)と吸収体(塵)の空間的分布の理論モデルと腕のパターンを表すモジュレーションマップ、そしてリアルタイムのボリュームレンダリング手法を組み合わせた新しいモデルと描画法を提案して実装しました。この際、ピクセルごとに輻射輸送の計算をしていたのでは時間がかかりすぎるため、銀河系モデルの形状に基づいて7000点ほどの評価用サンプル点を生成してその点の方向のみ計算を行い、サンプル点から作られる三角形ポリゴンを描画してその内

*3 小久保英一郎氏命名。

*4 光のスペクトルと人の目で見た色を関連付ける関数で、国際照明委員会(CIE)により定義されています。

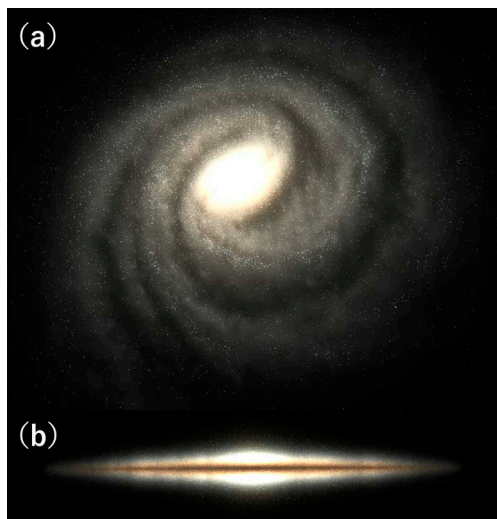


図2 銀河系のボリュームレンダリングモデル。
(a) 斜めから見たところ、(b) 横から見たところ。
(Mitaka: ©2005-2023 加藤恒彦, 4D2U Project, NAOJ)

部は補間する，という工夫を取り入れました。この結果，点群モデルに比べて格段にリアルかつ美しい描画が可能になり（図2a），描画速度も大きく向上しました^{*5}。銀河系を横から見た時の塵（暗黒星雲）による光の吸収で生じる暗い筋（ダストレーン）も再現されます（図2b）。このようにして，「見え方についても可能な限り科学に基づいて行う」というMitakaの1つの柱（こだわり）も確立していきました。

Mitakaの操作感や見た目については，当時，理化学研究所から4D2Uプロジェクトに参加していた額谷宙彦さんの協力で大きく改善されました。操作感については，額谷さんからの「視点移動が急に止まるのは体感上良くない」という指摘を元に，視点移動に慣性と摩擦を導入して滑らかに停止するように改良しました。また，軌道線の配色，メニューのデザイン，起動時に表示される

スプラッシュウィンドウの作成などを額谷さんに担当していただきました。

そして，第2期プロジェクトの大目標である立体視ドームへの投影にも無事に対応しました。こうして，立体視ドームシアター（「4D2Uドームシアター」と命名）は完成し，第2期プロジェクトは2007年3月に終了，同年4月にはドームシアターの一般公開も開始されました。4D2Uプロジェクトはこの第2期までは外部予算のプロジェクトでしたが，その後は国立天文台内部のプロジェクトとして存続することになります。

ボランティア時代

2007年4月に私は大阪大学へ，2011年には広島大学へと移動しましたが，宇宙物理学の研究の傍ら，可能な範囲で個人（ボランティア）としての開発・発信を継続しました。2007年5月には「Mitakaバージョン1.0」の正式版をリリースし，同時にそのソースコードも公開しています。このソースコードに基づき，移動後しばらくは「Mitaka++」という派生版^{*6}の形で開発を行いました[3]，これは後に国立天文台版のMitakaに統合をしています。バージョン1.0リリース後の2007年12月には，窓の杜が主催する「窓の杜大賞」でMitakaが銀賞を受賞しました[4]。

2009年には，オーストリア・ウィーンの国連本部で開催された国連宇宙空間平和利用委員会（COPUOS）において，「日本における宇宙・天文教育ツールの一例」としてMitakaのプレゼンテーションを行う機会をいただきました。会場ではゲームコントローラを用いてMitakaのリアルタイム操作デモを行い，リアルな天文データのインタラクティブな可視化の教育的有用性をアピールしました。

^{*5} 点群データ自体は立体銀河系モデルのレーザー彫刻用として今も活用されていて，国立天文台の寄付返礼品のほか，いくつかの製品でも使用されています。

^{*6} 派生版とは，オリジナルのソースコードに改変を行ったバージョンのことです。「Mitaka++」は私自身が開発をしたものですが，オリジナルのMitakaの開発には関係していない第三者による派生版も存在しました。

2012年には、当時市場に出回っていた立体視テレビ向けの立体表示機能の追加等を行い、Mitakaの大きな特長の一つである「立体視機能」の強化も行っています [5].

本務としての開発再開

2014年10月に私は再び国立天文台4D2Uプロジェクトに着任し、Mitakaの開発を本務として再開しました。それから2023年3月にプロジェクトを離れるまでの8年半の間、集中して開発に取り組みました。ここではその主なものを紹介します。

まず、かねてより要望があった多言語に対応しました。このために、Mitakaで扱う文字列をすべてユニコード^{*7}で定義するようにし、その「文字列定義ファイル」を差し替えることで多様な言語に対応できる仕組みを導入しました。文字列定義ファイルの大部分は国立天文台天文情報センターの縣秀彦さんや白田-佐藤功美子さんをはじめとした多くの方々（当時）の協力のもと作成され、9ヵ国語、11言語に対応できるようになりました。これにより、Mitakaを海外の多くの国でも広く使っていただくことが可能になりました。

「物理学に基づいた可視化」にもさらに力を入れて開発を重ねました。「天の川の見え方」については、当時公開されたばかりのGaia宇宙望遠鏡により得られた約13億個もの恒星の観測データ（測光データ）に基づいて全天の輝度マップを生成し、それを天の川画像として使用することにしました。この結果、非常にリアルで高精細な天の川を表示できるようになりました（暗黒星雲も精緻に再現されています）。もともと、実際の天の川は無数の星々の集合を見ているものなので、観測された個々の星の光を足し上げて画像にすれば天の川が自然と現れるはずだと思ってはいましたが、Mitaka上に映し出された天の川画像を初めて見た時には、想像以上のリアルさに息をのみました。

また、土星リングや月面の「見え方」についても、微小粒子による光の散乱の物理モデルを導入して可視化の計算を行うことで、その反射特性、特に衝効果^{*8}も再現されるようにしました。

さらに、銀河系中心（いて座A*）に近づくとブラックホールの重力レンズ効果により背景の星々の像が歪んで見える様子もシミュレーションして見ることができるようになりました。このシミュレーションでは、シュヴァルツシルト・ブラックホールを仮定し、事前に光の測地線方程式を数値的に解いた結果をテーブル化しておくことでリアルタイムでの可視化を実現しています。

特に、観測の進展と同時進行でわくわくしながら開発を行ったのは冥王星表面の表示についてです。2015年7月14日にNASAの探査機ニュー・ホライズンズが初めて冥王星の近傍を通過し、それまで謎であった冥王星の姿が明らかになりました。この瞬間を長年楽しみに待っていた私は、Mitakaユーザーの皆さんにも一刻も早くMitakaで真の冥王星の姿を見ていただきたいと思ひ^{*9}、冥王星表面の画像が入手出来次第すぐにMitakaに反映させてリリースできるように事前に準備を済ませスタンバイしていました。ニュー・ホライズンズからのデータ転送に要する時間とそれが表面画像として使える形になるまでの時間があるため、観測日直後とはなりませんでしたが、2週間後には観測したての冥王星とその衛星カロンの表面画像を実装したMitakaをお届けできました。

そして、Mitakaに導入した大きな機能の1つが「ユーザーによるカスタマイズ機能」です。コマンドを使ってMitakaの設定や動作をカスタマイズできる「コマンド実行機能」や、メニューのカスタマイズ機能、さらに星座線やアステリズムを自由に定義できる機能などを追加しました。これにより、Mitakaの活用の幅が大きく広がったこ

^{*7} 世界中の様々な文字や記号を統一的に扱うための文字コード規格。

^{*8} 光源を背にして対象を見た時に特に明るく見える現象。

^{*9} それまでは冥王星の表面画像には「想像図」が使われていました。

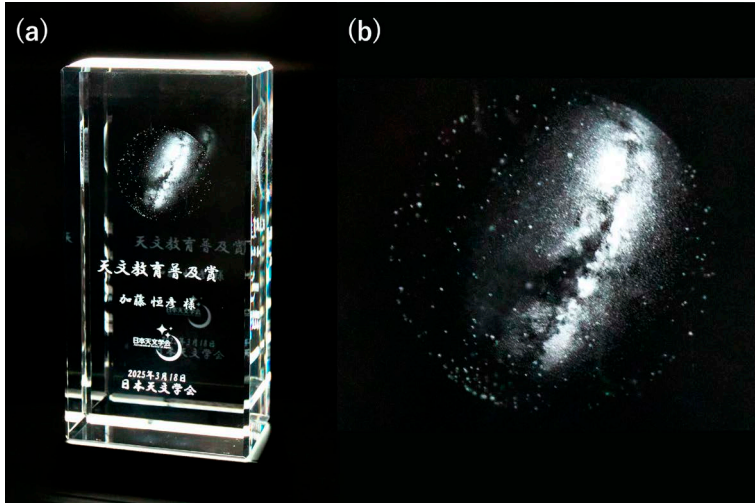


図3 天文教育普及賞のトロフィー。
(a) 全体, (b) 天球儀部分のズームアップ。

ペットのインコの名前も「チロ」に改名したほどでした。今回、小学生の頃からの憧れの存在だった藤井旭さんと同じ賞をいただけたことは深い喜びであります。また、私がデータ制作を担当したトロフィーを藤井さんにご覧いただけたことも大変嬉しく思っております。

謝 辞

まず、天文・宇宙のデータを無償で公開している世界中の研究機関に対して感謝の意を表します。こうしたオープンなデータは、天文学の研究のみならずその教育普及に対しても多大な恩恵を与えています。それを享受することで、私も Mitaka の開発という形で天文学の教育普及に微力ながら貢献することができました。

国立天文台の4次元デジタル宇宙プロジェクトでは合計で13年5ヵ月もの長い間お世話になりました。その間、比較的自由に開発を行う機会を与えていただいたこと、3Dモデルの作成などでご協力いただいたこと、そして現在もサポートをいただいていることに感謝しております。

また、プロジェクト以外にも実に多くの方々にご支援をいただきました。開発やその普及活動に

関わることなど多方面にわたってサポートをしてくださった国立天文台天文情報センターの皆さん、波田野聡美さんをはじめとする日本天文教育普及研究会「Mitaka ワーキンググループ」の皆さん、特に、教育の観点からご教示いただき科研費による共同研究でもお世話になりました松村雅文さん、そのほかご協力やアドバイスをいただいた多くの方々に心より感謝申し上げます。

教育や普及の現場で Mitaka をご活用いただいている皆様にも厚く御礼申し上げます。様々な場所で、世代を問わず多くの方々から「Mitakaを知っています」「授業で見ました」というお声を伺い、その度に Mitaka が天文教育普及の一助となっていることを実感いたします。それはまさに開発者冥利に尽きることであり、皆様には感謝の念に堪えません。

そして、Mitaka を使ってくださったすべての皆様にも心よりお礼を申し上げます。皆様からのご声援が大きな励みとなり、これまで開発を続けることができたと言っても過言ではありません。

最後に、Mitaka の開発につながる様々なきっかけを与えてくれた両親と、いつも支えてくれてる妻に心からの感謝を伝えたいと思います。

参考文献

- [1] <https://4d2u.nao.ac.jp/mitaka/> (2025.10.14)
- [2] <https://forest.watch.impress.co.jp/article/2005/02/07/mitaka.html> (2025.10.14)
- [3] <http://www.magneticfield.jp/mitaka/> (2025.10.14)
- [4] <https://forest.watch.impress.co.jp/prize/2007/result.html> (2025.10.14)
- [5] 林満, 加藤恒彦, 2012, 天文教育, 24, 50
- [6] 土井守, 2019, 天文月報, 112, 730
- [7] 藤井旭, 2021, 天文月報, 114, 216

The Development History of the Astronomical Simulation Software “Mitaka”: A Journey of Over 20 Years

Tsunehiko KATO

Graduate School of Artificial Intelligence and Science, Rikkyo University

Abstract: I am deeply honored to receive the 2024 ASJ Award for Education and Public Outreach in Astronomy for the “Development of the 4D Digital Universe Viewer Mitaka.” For over 20 years, I have developed this software to clearly visualize the latest, scientifically-backed universe using 3D CG. This paper reviews the origins and journey of its development.