

連載

天文ソフトの活用【5】

太陽系シミュレーターとヒップライナー

半田利弘（東京大学大学院理学系研究科）、木村かおる（科学技術館）、
高幣俊之（オリハルコンテクノロジーズ）、野本知理（千葉大学大学院工学研究科）

1. 2次元から3次元へ

知識や概念の伝達にはさまざまな方法があるが、20世紀後半までは口頭説明や図を用いた方法が主流であった。図を用いた説明は、言葉による理解を大きく助けるばかりでなく、時には言葉によるよりもずっと的確に概念を伝達することも可能である。“百聞は一見にしかず”という諺は、このことを的確に示していると解釈することもできよう。

これらの方法は、もちろん教育普及でも長いあいだ使われてきたが、それに適した対象は、“2次元で静止しているもの”であった。ところが、天文学では対象が本質的に3次元であり、太陽系天体など“運動する”対象が相当な割合を占める。したがって、空間把握能力に劣るとされる初心者へ、天文学の話題を提供する際には大きな障害となっていた。

天動説と地動説に象徴される、同一対象に対する異なった視点からのようすを相互に関連づけて理解することは天文学の基本の1つである。しかし、2次元で静止した画像しか使えないと、視点移動を具体的に表現できないため、初学者への理解の妨げとなりやすい。

とはいえ、“3次元”“動き”“視点移動が必要”という概念は、現代社会でもさまざまな分野で必要な素養である。逆にいえば、専門家を目指さない市民にとっても天文学が重要だということを示すポイントなのである。

このように考えると、天文学において“3次元の動く対象”を的確に表示する媒体が極めて重要であることがわかる。このような媒体として、これまでに模型やビデオ、体験か

らの連想など、さまざまな優れた教育指導方法が提案され実施されてきた。しかしながら、近年ではパソコンでも実時間で様々な画像が合成表示できるようになってきた状況を考えると、“3次元で動く対象をさまざまな視点から示す”ことがパソコン上で比較的容易に実現できるようになってきた。

そのようなソフトウェアの例として、ここでは「太陽系シミュレーター」[1]と「ヒップライナー」[2]を紹介する。どちらも、科学技術館での科学ライブショー「ユニバース」([3],[4],[5],図1)を上演するために開発されたソフトウェアがその起源であり、現在でもこれらのショーで使用されることがあるものの、誰でも容易に入手・利用できるものである。



図1 科学ライブショーユニバース。

1996年の開始当時は平面スクリーンで上演していた。現在は立体視ドームでの上演に進化し、ここで紹介するソフトウェアもドーム対応へと移行している。

2. 「太陽系シミュレーター」

2.1 特徴

文字通り、太陽系の惑星などの運行を再現するソフトウェアで、当時、東京大学の学生だった高幣俊之を中心に、丸山義巨・小原淳史らの協力で開発された(図2)。同名のソフトウェアが NASA からリリースされているが、それとは着想も目的も異なり、かつ、NASA のものよりも歴史が長い。

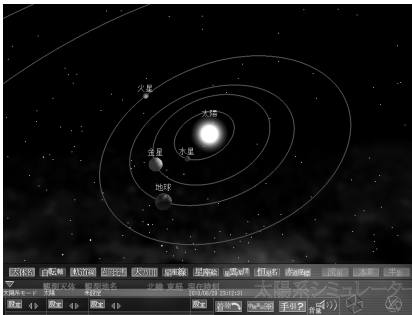


図2 ブルーボックス版太陽系シミュレーターの起動画面。

操作は、マウスドラッグと画面下部のパネルから行うのが標準。

シミュレートしているのは、主として天体の運動であり、登録されている軌道要素にしたがって、任意の時刻での天体の相互配置をさまざまな視点から再現することができる。類似のソフトウェアとしては、本連載で既に紹介されている Mitaka[6]や Celestia[7]が有名である。しかしながら、「太陽系シミュレーター」は、そのいずれよりも早く公開されており[8]、Mitaka の機能拡張・更新版にあたる Mitaka Plus や Mitaka Pro は「太陽系シミュレーター」を元にした改良が加えられたものである。Celestia ではいくつか見られる日本語表記に関する問題も日本人によって開発されたのでほとんどない。

公開時期が早いと陳腐だと思える人もいるかも知れないが、最新の標準性能のパソコンで

も極めて軽快に使用できることが大きな利点である。私が以前愛用していたレッツノート W2 は動画表示能力が劣るといわれていたが、そこで使用してもストレスを感じることはなかった。惑星表面模様の解像度などは昨今のソフトウェアに比べるとかなり見劣りするが、動作の軽快さは初学者の内容理解には極めて重要であり、手軽にどこでも使用できるのは、この欠点を補って余りある。

マウスによる手動操作が基本だが、ほとんど全ての機能にキーボードショートカットが割りつけられており、画面を乱すことなくさまざまな動作を行うこともできる。

専用スクリプトによって操作を記述できるので、独自に編み出した一連の操作をオートプレイとして繰り返し再現することもできる。

2.2 主な機能

「太陽系シミュレーター」の開発コンセプトは基本機能を提供することであり、特定の天文現象・天文概念を紹介するのに最適化した番組自体を提供するものではない。したがって、各自が自分の思うように操作することが基本である。

起動直後の画面は太陽を中心とする太陽系の俯瞰図である。注目している天体に対して、マウスドラッグで視線方向と遠近が変更できる。これによって対象を好きな方向から好きな距離で見ることができる。

中心天体は登録されているものならどれでも選ぶことができる。

時間の加速表示・逆転表示・任意時点への移動が可能である。これによって注目したい運動がよくわかる時間尺度で表示することができる。このとき、注目している中心天体が画面上で停止する座標系を選択するので、太陽以外の天体を選択している場合などは注意が必要である。ただし、これを逆手にとって、簡易的に天動說的惑星運動を画面表示させる

という大技もある。

選択している中心天体の表面に着陸することができる。地球上では主要都市がすでに登録されており、それらの土地から見た夜空の日周運動や季節による星座の変化を示すことができる。ただし、昼間の空を示す機能がないため、常に星空となる。この「離着陸機能」では画面が滑らかにつながって見える工夫がされているため、地上視点と宇宙視点とが切り替えられるという感覚ではなく、両者で移動しているという感じになるため、視点移動が比較的容易に理解できる。

小惑星の表示・非表示が選択できる。出荷時には理科年表から選択した主な小惑星のみが登録されているが、個々の小惑星に対して表示・非表示を切り替えることもできる。なお、開発時には準惑星・太陽系外縁天体の概念がなかったため、これらも一括して小惑星として扱われている。これについては改良が予定されている。彗星についても小惑星と同様の機能を持つ。

惑星の大きさの表示方法で2つのモードを持つのも特徴である。太陽系の俯瞰図は通例、惑星の大きさが異常に大きく描かれているが、これが事実ではないことを示すのと、惑星の識別を容易にすることの両立を図るため、惑星間距離に対して惑星を実寸で表示するモードと拡大して表示するモードが用意されている。

背景の星座については、星座線・星座絵・星座名の表示・非表示が選択できる。これによって黄道面と星座の関係などを示すことができる。

衛星については、個々の惑星ごとに、太陽とその惑星およびその周囲の衛星だけを表示するモードがある。これを用いるとそれぞれの衛星が惑星に対してどのように運動しているのかを見ることができる。

月に対しては日食を説明するためのモードがこれに相当する。このモードでは月が作る本影と半影が表示され、それが地球上のどこを通るのかで宇宙から見た日食の様子を再現できる。



図 3 ブルーボックス版（左）と Windows7/Vista 版（右）の表紙。

2.3 入手方法

「太陽系シミュレーター」は、ほぼ同一のエンジンを用いた3つに大別されるバージョンがあり、それぞれ別の方法で入手できる。

(1) 書店で

多くの人にとって最も簡単な方法は書店で購入することである。講談社からブルーボックス「太陽系シミュレーター」として発売されている書籍（図3）に、同名のソフトウェアのインストーラーがCD-ROMの形で添付されている。同書は、前半がこのソフトウェアを用いて理解する太陽系の構造と運動についての解説になっており、後半が操作マニュアルになっている。その点でも購入して損はない。ただし、Windows98/XP および MacOS-X 版[1]と Windows7/Vista 対応版[9]とは別タイトルの書籍として発売されているので注意されたい（書籍掲載の天文学関連の記述は同一である）。

個人で購入して自分で操作して楽しむことを想定しているため、操作パネルが表示画面と一体になっているのが特徴で、惑星の特徴や星座を簡単に紹介するオートプレーモードもついている。

なお、学校や講演会などで使用する際でも、

特に利用申請などする必要はなく、同時に動作させるパソコンの台数に応じた数の書籍を購入するだけでよい旨、出版社や開発者など関係各位からの了承を得ている。

(2) インターネットから

太陽系シミュレーターは頒布元が独自に公式サイトを持っており、そこからインストーラーや修正パッチを無償でダウンロードすることができる。

<http://www.sssim.com/>

ここからは、プラネタリウムや科学ショーなどで用いることを想定したスタジオ版および教育用普及版がダウンロードできる。基本的な機能は共通しているが、いくつかの点でブルーボックス版と異なる。

スタジオ版はオートプレーモードがなく、操作パネルが表示画面とは別ウィンドウになっている。このため、パソコンの2画面機能を用いれば、観客に見られることなくマウスによるきめ細かい操作も行える。舞台裏を見られたくない場合に便利である。

また、操作のスクリプト記録機能があり、録画するように操作自体を記録でき、その結果生成したスクリプトを編集することで、操作を微調整することができる(図4)。



図4 スタジオ版の画面。

左が表示用ウィンドウ、右は操作用ウィンドウ。

教育用普及版は小・中学校の理科の学習内容に合わせて、月の動きや太陽系のすがたなど、いくつかのプログラムが用意されており、メニューボタンを押すと画面の右側に目次が表示される(図5)。各プログラムには、あら

はじめスクリプトが登録されており、表示画面の下部にあるボタンをクリックすることで起動できる。右下の太陽系を模したボタンをクリックすれば、簡単に表示画面のカスタマイズもできるようになっている。残念ながらダウンロード版はMacOS対応版しか入手することができない。



図5 教育用普及版の表示例。

(3) 講習会で

年に数回程度、科学技術館やJAHOUなどの主催で「太陽系シミュレーター」を用いた教育普及者のための講習会が行われている。ここでは、学校教育で使用することを想定して教育用普及版が使用され、参加資料としてそのインストールCD-ROMが特別配布される。この場合に限り、Windows対応の教育用普及版が提供される。

諸般の事情で講習会の回数と参加人数が限られていることが欠点だが、お知らせを目にしたら応募してみるとよいだろう。

2.4 主な演出例

詳しくはブルーボックスをお読みいただくとして、そこで紹介している主な項目を以下に列挙する。

(1) 地球の運動

自転と日周運動、経度と時差、緯度と星座、公転と季節の星座、太陽日と恒星日。

(2) 月の運動

月の満ち欠け、公転周期と朔望月、自転と

公転。

(3) 惑星の運動

惑星配置、軌道面、黄道面と 12 星座、星座の意義、小惑星帯、彗星の軌道、流星群と彗星、エッジワースカイパーベルトとオールの雲。

(4) 日食

皆既日食、日食の全体像 (図 6)、日食の前月と翌月、日食の頻度。

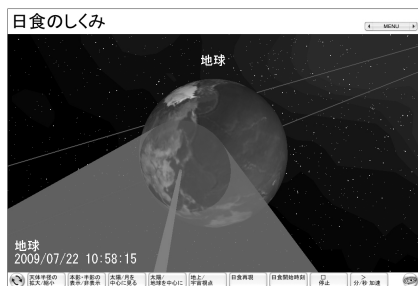


図 6 教育用普及版での日食の説明画面。2009 年 7 月の日食を再現。本影と半影は赤い半透明の領域で示され、内部に入ることもできる。

2.5 上級者向けカスタマイズ

「太陽系シミュレーター」は、もともとライブショーで太陽系の説明をするために開発されたため、随時の追加・変更に対して、テキストエディターで編集できる補助ファイルを書き換えるだけでパラメータや表示文字の追加・変更が行えるように設計されている。この機能によって、着陸地の追加・修正、小惑星・彗星の追加・修正が可能である。さらに、教育用普及版では、シナリオの追加やボタン配置などユーザーインターフェースの変更も簡単にできるようになっている。

この技術情報は未だ公開資料の形にはなっていないが、コンピュータの知識がある人なら比較的簡単に見つけることができ、ファイル構造も比較的単純である。実際、筆者はドイツで上演する際に、当日、テキストエディ

ターでファイル編集作業をして惑星名をドイツ語表示にすることができた。要望があれば、開発者の協力を得て、これらも公開していきたいと考えている。

3. 「ヒップライナー」

3.1 特徴

1997 年に出版された「ヒッパルコス星表」[10]はそれまでと比べて桁違いに高い精度で約 12 万個の恒星について年周視差を測定し、距離と方向が示された星表である。これを使えば、個々の恒星までの距離を 1 つずつ学術的に吟味しなくとも、太陽系近傍の恒星の 3 次元配置を計算機空間上に展開できる。

そこで、同計画担当者に許可を得て、同星表の情報を野本知理 (当時、東京大学在学。現在、千葉大学教員) が実装したのが「ヒップライナー」である。元々は、「太陽系シミュレーター」の背景となる星を結んだ星座線を描画するための GUI として開発されたのだが、直ぐに恒星間を移動する様子をシミュレートする機能に中心が移った。したがって、「ヒップライナー」とは「ヒッパルコス星表に準拠した線引き道具」が原義であったが、「ヒッパルコス星表の宇宙を進む高速航行船」の意味も持つようになっている (図 7)。

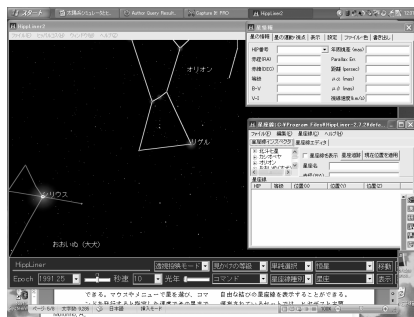


図 7 ヒップライナーの起動画面例。

主な操作は下端のメニューから行う。右側の 2 つのウィンドウは詳細設定用で星表示ウィンドウおよび星座線ウィンドウと呼ばれる。

こちらも、最初のリリース時期が 2001 年と早かったため現在の標準的なパソコンなら極めて軽快に利用できる。OS は、Windows95R2/98/Me/NT/2000/XP に対応しており、おそらく、Windows7/Vista でも問題なく動作すると予想される。Mac 版は開発されていない。

表示可能な対象が太陽近傍恒星に限られているものの、Mitaka 系のソフトウェアが視点の中心を太陽系から動かさない“天動說的”表示であるのに対して、直交 3 次元座標によって全ての恒星を空間的には対等に扱うようになっているのが大きな特徴である。

3.2 主な機能

「ヒップライナー」は 3 次元の恒星間空間を把握し、3 次元分布する恒星間の移動を再現することが主な目的なので、惑星は表示せず、地球の運動が原因である日周運動・年周運動・歳差章動などは一切サポートしていない。その代わり、表示される任意の恒星に移動することができるといった、プラネタリウム系のソフトウェアでは実装していない多くの機能を有している。

マウスやメニューで星を選び、移動コマンドを指示すれば、指定した速度でその星まで移動する様子が画面に動画として表示される。途中で速度を変えることも停止することもできる。

マウスによるドラッグで視線方向が、ctrl+shift+ドラッグで視野の回転が、ctrl+ドラッグで表示視野範囲が変更できる。視線方向は移動方向とは独立に指定できるので、進行正面の様子ばかりでなく、横や後ろを見ることがもできる。視線方向と表示視野の変更は移動中でも可能である。このため、恒星間航行中に好きな窓から眺めた様子を楽しむことができる。

指定した恒星の周囲を上下左右に周回する

ことができる。両眼立体視による立体表示も、対応するグラフィックボードを用いれば可能であり、それと組み合わせると恒星配置を手にとってのような感覚を得ることができる。このとき、観察する視点を恒星から離すこともできる。この距離は shift+マウスドラッグで調整できる（表示視野の変更と誤操作することもあり、その場合にはメニューの「着地／中心から見る」で即座に復帰できる）。

立体配置の理解を補助する機能として、銀河面を示す格子と、そこへ達する垂線を表示する機能もある。

恒星の明るさはヒッパルコス星表に準拠して表現されている（画面表示輝度に限界があるため、画素の輝度と大きさを組み合わせて表示している）。観測地点からの距離に基づき恒星の明るさがリアルタイムで変化するので、移動中には目標の星が次第に明るくなる様子が再現されるほか、星の近くを通過する際には大変実感的なシーンとなる。恒星の色は、ヒッパルコス星表の B-V を元に、黒体輻射の温度に対応する色を RGB で再現して着色しているのが標準であるが、それだと違いがわずかなので意図的に色彩を強調した表示をすることも可能である。

元々が星座線を引くためのソフトなので、自由な結びの星座線を表示することができる。頒布されているセットでは、ヒヤデスと主要星座のほか、IAU88 星座[11]、中国古典星座が選択でき、各自で新たな星座をその場で作することも可能である（図 8）。星座線は恒星と 3 次元的に対応づけられているので、恒星間移動中に星座線の形は刻々と変化し、他の恒星から見た星座の形を直接表示できる。

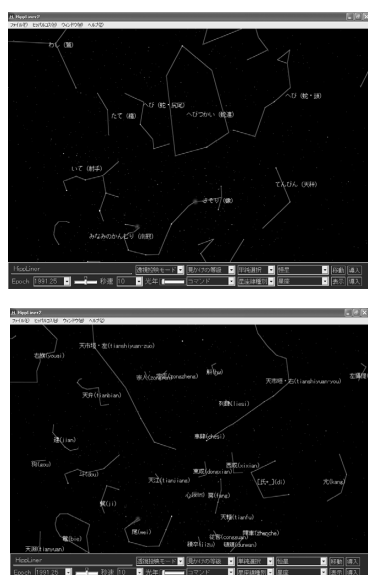


図8 IAU88 星座(上)と中国古典星座(下)。
同じ天域に対して異なる星座線ファイルを読み込むことで、どんな星座線でも表示することができる。

恒星の表示位置はヒッパルコス星表によるが、固有運動の情報も入力されているため、何万年というタイムスケールでの星座の変形を加速表示することも大きな特徴である。15672 個の星については「ヒッパルコス入力星表」[12]から視線速度も入力されているので、実際には 3 次元での固有運動が実装されており、(等速直線運動を続けるという仮定の範囲内で)他の恒星から見た大きく異なる時代の星空を再現することができる。

情報不足の星もあるので、必要に応じて、表示設定の「視線速度が未知の星も表示」「誤差 > 年周視差でも表示」のチェックを外した方がよいだろう。

一方、恒星間飛行の再現だけでは恒星分布の全体像把握には必ずしも適していない。「ヒップライナー」では恒星分布を無限遠から眺め、絶対等級でプロットする機能もある。こ

の場合、長さスケールを表示できるので表示縮尺を容易に認識できる。

このほか、最新版[13]では恒星間移動の際に相対論的光行差とドップラー偏移が実装されており、“星虹 (スターボウ)” が実際にはどうみえるのかも再現することができる。

基本操作は、マウスドラッグと主画面の上端メニューおよび下端コントロールボタンで行い、細かい設定制御は 2 つの制御用ウィンドウから行う。制御用ウィンドウは独立したウィンドウなので、パソコンの 2 画面表示を利用して、操作状況をあまり見せずに他人に演示することも可能であるが、大部分の機能にキーボードショートカットが割り付けられており、ほとんどの操作はキーボードでも行えるので、1 画面の場合でも、演出上問題となることはほとんどない。「ユニバース」での経験からいえば、むしろどのような操作をしているのが観客にも見えるようにした方がブラックボックス感が薄れてよいようである。

3.3 入手方法

「ヒップライナー」は、単行本やソフトウェアとしては発売されていない。したがって、インターネットからのダウンロードが最も安定した入手方法である。

(1) インターネットから

開発者の野本知理が運営している公式サイトがあり、

<http://T.NOMOTO.org/HippLiner/>

でアクセスできる。ここには参考資料や開発の経緯、キーボードショートカットの一覧なども掲載されている。

ほかに、フリーソフト頒布サイトの Vector

<http://www.vector.co.jp/>

にも、Windows、学習&教育、科学、天文・宇宙のカテゴリーで登録されており、そこからダウンロードすることもできる[14]。

3.4 主な演出例

「ユニバース」では、「ヒップライナー」を用いて、これまでに以下のような解説をしている。

(1) 恒星間移動と星座の変形

数光年以上に及ぶ恒星間移動をすると星座の形は見ただけでも変わることがわかる。ここから星座が絶対的なものではないこと、恒星までの距離が個々の恒星で異なることを伝える。恒星間を移動する際の様子を目にするだけで、太陽系が恒星間に漂う存在であることがわかり、天球概念に固定された宇宙観が一変する (図 9)。

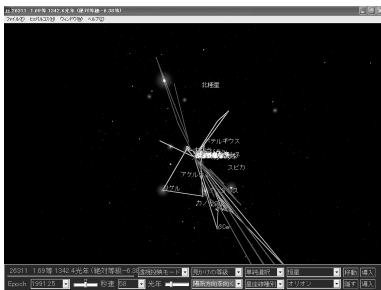


図 9 アルニラムからみた星座。

オリオン座の真ん中の星アルニラムは地球から 1300 光年ほど離れている。ここから太陽系方向を見ると、主要星座が形を成さないことがわかるほか、ペテルギウスとアンタレスが同じ方向に見える。

(2) 星座の変更

星座線を IAU88 星座から中国古典星座のファイルに変えることで、両者を容易に切り替えることができる。これによって、星座の区分は科学的なものというよりは便宜的に決めていることを実例によって示すことができる。星座線と星座名は 1 コマンドで表示・非表示を切り替えられるので、一旦、非表示にしてから入れ替えることもできる。

(3) 運動星団と散開星団

星座線としてヒヤデス星団の主要恒星を結

んだものが用意されている。これを使って、固有運動の加速表示を行うと、オリオン座などの変形に比べてヒヤデス星団の見かけの形状がほとんど変化しないことを示すことができる (図 10)。この後、ヒヤデス星団まで移動し、その周囲を周回することで、これが 3 次元的に集団を成していることを明示することができる。

プレアデス星団 (すばる) を用いても同じ表示ができる。カタログ[15]に基づいた散開星団の分布も表示できる。

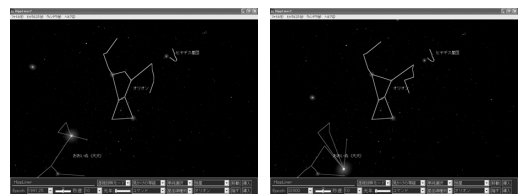


図 10 現在(左)と西暦 32800 年(右)の星座。オリオン座やおおいぬ座はかなり変形しているのに対してヒヤデスはほとんど変形がない。

(4) 恒星分布と銀河円盤

地図モードと絶対等級表示を組み合わせると太陽系近傍の恒星分布の 3 次元地図を表示できる。視線方向を回転させることで立体分布形状を直観的に示すことができ、その分布が厚さ数百光年であることがわかる (図 11)。

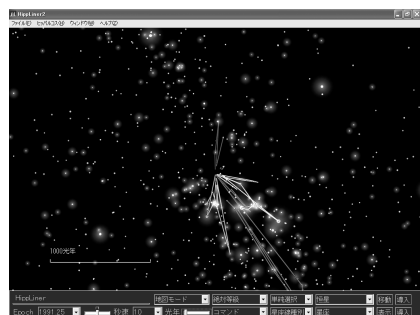


図 11 地図モード+絶対等級表示。

視線を回転させると分布が円盤状であることがよくわかる。線は主要星座の星座線。

なお、ヒッパルコス衛星の測定限界によって、太陽系から数千光年より先では表示される恒星数が激減する。これは観測の都合によるものなので、常に口頭で説明をしている。逆に、天文学では観測限界があり、そのバイアスがかかっていることに言及するきっかけとすることもできる。

(5) 銀河分布と局所超銀河団

「ヒップライナー」は太陽系付近の恒星分布を示すのが主目的であるが、実は、近傍銀河のカタログ[16]も組み込まれている。ただし、航行目的地として指定できるのはヒッパルコス星表番号がある恒星（太陽を含む）だけなので、銀河まで航行することはできない。また、天の川銀河全体を表示する機能がないため、恒星分布と銀河分布とを連続的に説明することもできない。

しかし、地図モードで銀河の分布を立体的に示すことは可能で、おとめ座銀河団を中心とした局所超銀河団の銀河分布を示すことはできる（図 12）。とはいえ、このスケールでは銀河は大きさをもって見えるはずなので、本来、銀河を画像として表示すべきであるが、現状では点像として描画する機能しかない。この点については改善する余地がある。

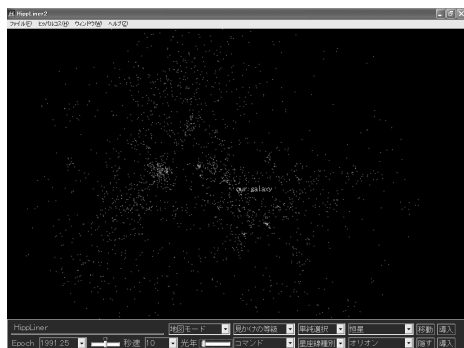


図 12 近傍銀河の分布。

地図モードで表示したもの。左側にみえる塊がおとめ座銀河団。

3.5 上級者向けカスタマイズ

「ヒップライナー」も、ライブショーでの説明を目的に開発されたため、随時の追加・変更に対して、テキストエディターで編集できる補助ファイルを書き換えるだけでパラメータや表示文字の変更が行える。この機能によって、恒星名、星座名と星座線の追加・修正が可能である。これらのファイルについての詳細情報は、添付ヘルプファイルの「ファイルフォーマット」の項目に記載されているので、興味がある方はご覧の上、ご利用いただきたい。

4. おわりに

ここで紹介した 2 つのソフトウェアはどちらも天文学の知識や概念を伝えるための素材である。したがって、これだけで自動的に天文学の教育普及ができるわけではない。これらの素材をどのように使って何を伝えるかは、使用者の知識と腕にかかっている。とはいえ、使っているうちに、新たに説明できることを見いだしたり、当初の想定よりもうまい演出方法を発見することもある。ダウンロードサイトには意見交換の機能もあるので、これらのソフトウェアを利用した人々の間で意見交換が行われ、天文学の教育普及のやり方が全体として向上していくのが開発関係者の望みである。

従来の媒体やソフトウェアを用いた天文学の教育普及に何らかの不満を持っていた人は、ぜひ一度、試用してほしい。

なお、科学技術館では、2009 年 8 月に全天周立体視設備が完成し、「ユニバース」やそこで使用するソフトウェアもこれに対応したものへと発展している。ドームスクリーンとなると教室での利用は難しいが、臨場感は抜群である。興味ある方は、一度、ご来場いただきたい。

文 献

- [1] SSSP 編 (2003) 『ブルーバックス・太陽系シミュレーター』, 講談社.
- [2] 野本知理、半田利弘 (2002) 『太陽系近傍恒星位置 3 次元可視化ソフトウェア HippLiner を用いた科学館での演示』, 日本天文学会 2002 年春季年会講演 Y17b.
- [3] Handa T. (2003) ‘Universe Live-show’, *Hands-on Universe 2002*, eds. A.-L. Melchior & R. Ferlet, Frontier Group, ESA, pp.221-227.
- [4] Ogino S. (2008) ‘Universe Live-show – History and Overview’, *Hands-on Universe 2007 for win-win relations between science research and education*, eds. T. Handa & M. Okyudo, Universal Academy Press, Tokyo, pp.139-142.
- [5] Matsuura K. (2008) ‘Universe Live-show – History and Overview’, *Hands-on Universe 2007 for win-win relations between science research and education*, eds. T. Handa & M. Okyudo, Universal Academy Press, Tokyo, pp.143-145.
- [6] 高梨 直紘 (2010) 「Mitaka を使って宇宙を語る」, 天文教育, **22 (2)** : 66.
- [7] 塚田健 (2010) 「Celestria で宇宙を飛ぶ」, 天文教育, **22 (4)** : 28.
- [8] 「太陽系シミュレーター」の一般への発売は 2000 年発行の『太陽系大紀行』に始まる。Cerestia は 2001 年、Mitaka は 2005 年よりネット上での公開が最初。
- [9] SSSP 編 (2010) 『ブルーバックス・太陽系シミュレーター Windows7/Vista 版』, 講談社.
- [10] ESA (1997) ‘The Hipparcos and Tycho Catalogues’, ESA SP-1200.
- [11] 国際天文学連合が決めた全天 88 星座のこと。
- [12] ESA (1992) ‘The Hipparcos Input Catalogue’, ESA SP-1136.
- [13] Nomoto T. (2008) ‘Interstellar spaceship simulator for astronomical education and communications’, *Hands-on Universe 2007 for win-win relations between science research and education*, eds. T. Handa & M. Okyudo, Universal Academy Press, Tokyo, pp.147-151.
- [14] hippliner で検索すると容易に見つかる。現在、最新版はいずれからも Vector へのリンクになっている。
- [15] Dias W. S., Alessi B. S., Moitinho A., Lepine J. R. D. (2002) ‘New Catalog of Optically Visible Open Clusters and Candidates’, *A&A* **389** : 871.
- [16] Tully R.B. (1988) ‘Nearby Galaxies Catalogue’