

一家に1枚宇宙図2013

高梨直紘

〈東京大学 〒113-8654 東京都文京区本郷7-3-1〉
e-mail: naohiro.takanashi@emp.u-tokyo.ac.jp

小阪淳

e-mail: kosaka@jun.com

縣秀彦

〈国立天文台 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1〉
e-mail: h.agata@nao.ac.jp



高梨



小阪



縣

宇宙図は、天文学が対象とするさまざまな研究分野を俯瞰することができるポスターである。宇宙を時間と空間に分けてその膨張史を示すとともに、宇宙の中で起きてきたいろいろな出来事を時系列に沿って配置することで、天文学の構造化を試みている。1枚のポスターに宇宙の全体像を詰め込んだ宇宙図は、天文学を専門としない一般市民に向けた教育・普及活動において、宇宙の全体像を掴む手助けになることが期待される。

1. はじめに

一家に1枚宇宙図は、2007年の科学技術週間¹⁾に合わせて作成された、宇宙全体を俯瞰するためのポスターである(図1)。国立天文台および天文学普及プロジェクト「天プラ」²⁾によって企画され、文部科学省および日本天文学会天文教材委員会の監修の下で、宇宙図制作委員会が制作にあたった。2007年の科学技術週間には文部科学省より計20万枚が、2013年にはクラウドファンディングを通じて調達された資金によって約5万部が、全国すべての学校や科学館に無料配布されている。公式サイト³⁾上からダウンロードできるほか、公益財団法人科学技術広報財団⁴⁾から有償頒布も行われている。小・中・高校生が読むことを前提に制作されているが、難しい概念でも不必要に易しく説明することは避け、じっくりと読み込むことで宇宙全体を俯瞰できるよう設計されており、大人の鑑賞にも十分に耐えるものと

なっている。

われわれは、2007年に初版を公開した後も必要に応じて随時改訂を行ってきたが、2013年春に全体的な更新作業を行い、一家に1枚宇宙図2013(以下、宇宙図)として新たに公開することにした。本稿では、この宇宙図について、その構成を概説すると同時に、制作側の考える意義についても紹介し、教育・普及現場での活用を働きかけたい。

2. 宇宙図の構成

宇宙図の中核をなすのは、中心に据えられた宇宙の膨張史を示す、すり鉢型のグラフである。縦軸には時間軸を、横軸には距離(固有距離)をとり、現在観測可能な最古の宇宙の姿である宇宙背景輻射を放った領域が、138億年の間にどの程度の大きさまで膨張してきたのかを表現している。すり鉢の形は、曲率ゼロを仮定したルメートルモデルに最新の宇宙論パラメーターのセットを適用

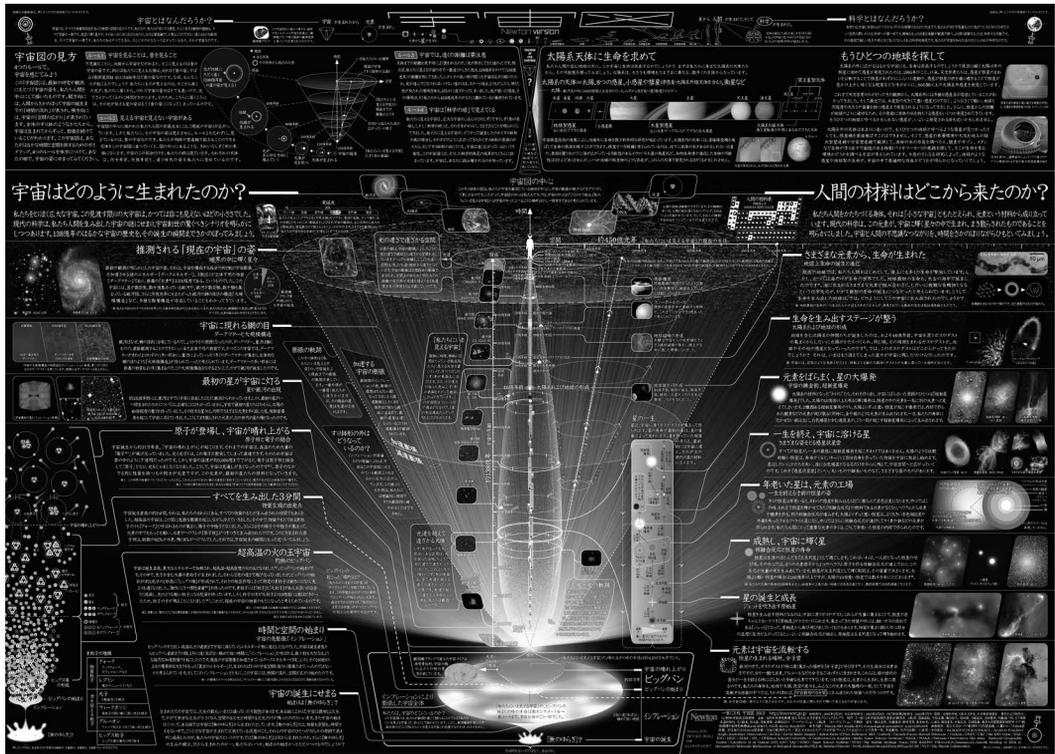


図1 宇宙図2013の全体像，配布版では裏面が英語になっている。

して計算されており（詳細は付録を参照），その意味においてこの図は模式図ではなくグラフであると言える（膨張の軌跡に定規を当てれば，減速膨張から加速膨張に転じた点もわかる！）。

宇宙図では，このメインビジュアルを中央に据えながら，左上，右上，左，右の四つのパートに分割して解説を行っている。面積の大きい左右のパートでは，それぞれ「宇宙はどのように生まれたのか?」，「人間の材料はどこから来たのか?」というテーマを掲げて，関連する研究分野の概観を試みている。右上のパートでは宇宙と生命に関連する話題を，左上のパートでは宇宙図自体の見方について紹介を行っている。

各パートはそれぞれがまた小さな段落へと分けられており，それらの段落が時系列に沿って並べられている。現在から過去へ，つまり，上から下へと読み下っていくことで各パートの全体像が理

解できるように設計されている。理解を助ける，あるいはイメージを膨らませるために適切だと思うられる，さまざまな写真や模式図も適宜配置されている。

3. 宇宙図の意義

最初にも述べたとおり，宇宙図のねらいは，手に取った人に宇宙全体の物語をつかんでもらうことである。近年では，新聞や雑誌などさまざまな媒体で天文学に関係する話題を取り上げてもらうことが多くなったが，その研究が宇宙全体のどこに関係している話なのかが十分に伝わっているとは言いがたい。それは，無理からぬことである。急速に天文学が発展する現代において，深く狭く先鋭化した最先端の研究の意義を宇宙全体の大きな物語と関連づけながら理解することは，ますます難しくなっている（このことは，天文学分野に

限った話ではないだろう⁵⁾).

天文学の各研究分野の関連性についても、同様である。天文学が対象としている世界は、文字どおり天文学的に広大だ。星の誕生と銀河形成の話はどのように関連しているのか。流れ星とダークエネルギーの研究は関係しているのか、いないのか。太陽系外惑星の研究はブラックホールと関係するのか、しないのか。その研究が宇宙のどこの話をしているのかわからない限り、互いの関係を理解することは、天文学に親しんでいるわけではない一般市民にとっては簡単ではない。

もちろん、「シリーズ現代の天文学」⁶⁾ など、体系だって知識が整理された教科書を読めばその全体像をつかむことは可能ではある。しかし、現実問題として、天文学の専門家や特別な関心がある市民を除いて、大多数の人間にとっては日常生活の中においてそこまでの時間をかけることは難しいだろう。本来であれば十分な時間を使って理解を深めてもらいたい天文学の世界であるが、限られた時間の中でも宇宙の全体像を俯瞰できる教材も必要なのではないか。

以上のような課題意識の下で、宇宙図は作成されている。宇宙を時間と空間に分解し、その中に天文学の各研究分野の話題を配置することで、天文学の構造化を行っている。全体の構造を把握することで、日常的に見聞きする天文学に関する話題が、全体においてどういう位置づけにあるのかを理解する助けになることを期待しているのである。

4. 教育・普及現場での活用

我々は宇宙図の教育・普及現場での活用も期待している。宇宙図にはさまざまな使い方が考えられるだろうが、ここではいくつかの実例を挙げて紹介してみたい。

宇宙図を天体観望会や宇宙シミュレータの Mitaka^{7), 8)} (図2) と組み合わせて使うことは、宇宙図のもつ宇宙全体を俯瞰するという機能を最

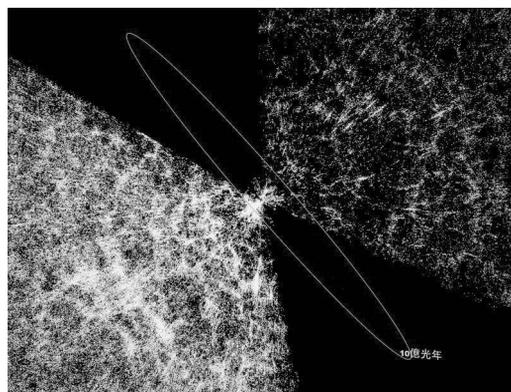
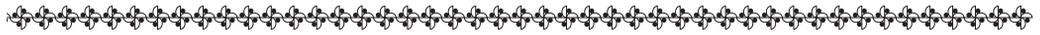


図2 国立天文台4D2Uプロジェクトが開発した宇宙シミュレータ Mitaka.

も活用できる方法の一つだ。完全に概念化された宇宙を表現した宇宙図に対して、日常生活の中で私たちが目にする星空から宇宙の果てまでをシームレスにつなぐことができる Mitaka、そして私たちの日常の一部である星空を対象とする天体観望会は、それぞれに特色のある教育・普及のためのツールであり、相補的な関係にある。天体観望会単独では宇宙全体のことは理解できないし、逆に、宇宙図だけでは日常的に見上げている星空との関係がわからない。宇宙図に関連づけられている天文学の各分野の研究が、私たちが日常で目にする星空とどのようにつながっているのか。両者をつなぐ Mitaka と合わせることで、最先端の天文学と身近な世界の関連を意識することができるだろう。

同様に、宇宙の全体像を俯瞰できるという意味では、大学や高校における一般教養の講義や、一般市民向けの講演会などでの利用もお勧めしたい(図3)。講義や講演の内容が、宇宙全体のどこと関係した話であるのかを宇宙図を使って示しておけば、聞き手にとっては話の内容を整理しながら聞くことが出来るだろう。宇宙図を常にアンカーに使うことで、異なる講義や講演の関連性を見いだすことができれば、聞き手にとってはその講演がスタンドアローンな存在ではなく、大きな連環



の中の一つとして認識されるだろう。例えば、天文学普及プロジェクト「天プラ」が主催する一般向けの講演会では、講演の最初に今日の話が宇宙図のどこに関連する話なのかを示すようにしているが、参加者にとっては全体の関係性を意識する良いきっかけになっているようだ。

サイエンスカフェなど、近年流行している対話型イベントにも宇宙図は向いている。対話型イベントでは、話題提供者である講師だけでなく、参加者の側からも話題を振っていくことで、双方向コミュニケーションが成り立つ必要がある。しかしながら、遺伝子組換え作物や放射線問題などいわゆるトランスサイエンス⁹⁾な領域に比べて、天文学分野は専門知が日常的な社会生活との関係が薄く、“私知っている人、あなた知らない人”の関係になりやすい。そのため、双方向で活発に議論を交わす、というスタイルにはなりにくい。しかし、宇宙図は参加者が意見を述べることを手助けする、強力なツールになりうる。概念的な宇宙像が可視化され図となっていることで、直観的な理解が進むと同時に、新たな疑問を生み出す素地にもなる。また、話題提供者と参加者が同じイメージを共有しているほうが、議論は進みやすいだろう。例えば、「宇宙の外はどうなっているのか?」という素朴な疑問はそれだけだと漠然としすぎているが、宇宙図を前に議論することで、具

体的にここの線よりも外はどうなっているのかという当を得た問いになる。宇宙図がコミュニケーションを媒介するのである。

最初にも紹介したが、宇宙図のPDFデータは、宇宙図公式サイト (<http://www.nao.ac.jp/study/uchuzu2013/>) に用意されているのでそこからダウンロードして使っていただきたい。印刷版については、A1およびA2サイズの宇宙図が公益財団法人科学技術広報財団から有料頒布されている。科学館やプラネタリウム等のミュージアムショップ、大学や一般の書店でも取り扱いがあるところもある。また、Amazonでも取り扱いが始まっており、オンラインで購入することも可能だ。教育普及用にまとめて購入する場合には割引価格も適用される。詳細は販売元である財団に問い合わせをしてほしい。宇宙図のより詳しい内容については、株式会社ニュートンプレス社から別冊ムックとして出版されている¹⁰⁾ので、そちらも参照されたい。

5. 今後の展望

ここまで述べてきたように、宇宙図は天文学分野を俯瞰した図である。それと同時に、天文学と他分野の関係性を示すことのできる図であると私たちは考えている。

例えば、2013版ではあえて観測可能な宇宙の領域(宇宙背景輻射に相当する領域)を越えた部分についても、宇宙を描いている。2007年版では、観測可能性がない領域については実証科学の範疇から出ると考えたため表現しなかったが、2013年版ではあえて描くことにこだわった。これは、「科学とは何か?」という問いを象徴している。図に描き出すことで、天文学に関係する哲学的な問いを端的に表現できると、私たちは考えたのだ。

ほかにも、元素周期表やDNA、生物進化など、天文学に関係する他分野の話題を2013年版には取り込んだ。このような仕掛けを通じて、文理を



図3 宇宙図を活用したイベントの様子。

問わず、他分野が扱っている世界がどのように天文学と関連しているのかを示すことで、森羅万象を天文学の世界にひきつけて語る可能性を追求したいと考えている。

最後となったが、宇宙図の制作にご協力いただいた皆さんに御礼を申し上げたい。本稿の著者に加えて、コピーライターの片桐 暁氏には文章を全体的にディレクションしていただいた。平松正顕氏、亀谷和久氏、塚田 健氏、川越至桜氏、成田憲保氏、内藤誠一郎氏、日下部展彦氏、高田裕行氏、石川直美氏、杉山 直氏、市來淨與氏、山岡 均氏には、制作委員会として執筆や編集作業にご協力いただいた。また、観山正見氏、佐藤勝彦氏、駒宮幸男氏、青木和光氏、三浦 均氏、額谷彦彦氏、杵島正洋氏、石崎昌春氏、村山 齐氏、Kevin Bundy氏には、専門的見地からの監修・アドバイスをいただいた。豊田哲也氏、長山省吾氏、夏苺聡美氏、玉置陽一氏、小林秀明氏には、ウェブサイトの制作にご協力いただいた。2013年に全国の学校や科学館等へ無料配布した際には、クラウドファンディングを通じた資金調達を担当した岡島礼奈氏、送付に協力いただいた科学技術振興機構「サイエンスウィンドウ」誌の佐藤年緒氏および編集部の皆さんにお世話になった。快く画像データなどを提供くださった皆さん、宇宙図の普及事業にご協力いただいた皆さん、さまざまな立場からプロジェクトに対してアドバイスいただいた皆さんにも、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 文部科学省科学技術週間 <https://stw.mext.go.jp/>
- 2) 天文学普及プロジェクト「天ブラ」<http://www.tenpla.net>
- 3) 一家に1枚宇宙図2013公式サイト <http://www.nao.ac.jp/study/uchuzu2013/>
- 4) 公益財団法人科学技術広報財団 <http://www.pcost.or.jp/>
- 5) 小宮山 宏, 2004, 知識の構造化 (オープンナレッジ)

- 6) 岡村定矩ほか, 2007, 現代の天文学「人類の住む宇宙」, 岡村定矩編 (日本評論社)
- 7) Mitaka公式サイト <http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/>
- 8) 高梨直紘, 2010, 「天文ソフトの活用 (2) Mitakaを使って宇宙を語る」, 天文教育22 (2), 66-71
- 9) 小林傳司, 2007, トランス・サイエンスの時代 (NTT出版ライブラリーレゾナント)
- 10) 小阪 淳ほか, 2013, 宇宙図新改訂第2版, ニュートン編集部編 (ニュートンプレス)
- 11) Peebles P. J. E., 1993, Principles of Physical Cosmology, Princeton University Press, Princeton

付録: 宇宙図のメインビジュアルの算出方法

宇宙図のメインビジュアルである「すり鉢形」や「しづく形」は、曲率ゼロを仮定したルメートルモデルに基づいて計算されている (一般的な宇宙論の教科書にも解説はあるが、例えばPeebles 1993, pp 310-321などを参照)。すり鉢形は、宇宙の晴れ上がり時点 (開闢後、約37万年後) をスタート時点とし、宇宙背景マイクロ波放射として観測されている領域がどのように膨張していったのかを表現している。一方で、しづく形は「私たちに今見える宇宙」にある天体が、光を放った時点で私たちからどれくらい離れた位置にあったのかを表現している。これらの形を再現するには、共動距離 (comoving distance) と固有距離 (proper distance) の、二つの距離の概念を理解する必要がある。

共動距離は、空間上に固定された任意の2点間の距離を、空間の伸縮と比例して伸縮する (共動する) 物差しで測った距離である。物差し自体が空間と共に伸縮するので、この物差しで距離を測れば、両者の距離は常に一定になる。

一方、固有距離は、空間上に固定された任意の2点間の距離を、空間の伸縮と関係なく一定のサイズを保つ物差しで測った距離になる。私たちが日常的に用いている“距離”の概念と同じものと言えるだろう。物差し自体は空間の伸縮と関係なく一定のサイズを保つので、この物差しで距離を測れば、両者の距離は空間が膨張すれば大きくなるし、逆に、空間が縮小すれば距離は小さくなる。

る。共動距離は、ある赤方偏移で観測された天体までの、現在における距離として定義されている。宇宙図においては、すり鉢形の上面（現在）における、横軸方向の大きさに相当している。曲率をゼロとすれば、ある赤方偏移 z の天体までの共動距離 $D_C(z)$ は、

$$D_C(z) = D_H \int_0^z \frac{dz'}{E(z')} \quad (1)$$

$$D_H \equiv \frac{c}{H_0}, \quad E(z) \equiv \sqrt{\Omega_M(1+z)^3 + \Omega_\Lambda} \quad (2)$$

と書ける。ここで c は光速度、 H_0 はハッブル定数、 D_H はハッブル距離、 Ω_M は密度パラメーター、 Ω_Λ は宇宙項を表している。

これに対して、任意の時点において、その天体がどれくらい離れた距離にあったかを示しているのが、固有距離である。曲率をゼロとすれば、赤方偏移 z に対応する時代での共動距離 D_C の天体までの固有距離 $D_P(z)$ は、

$$D_P(z) = \frac{D_C}{1+z} \quad (3)$$

と書ける。定義から、現在 ($z=0$) での固有距離 $D_P(z=0)$ は、共動距離と等しくなる。

すり鉢形は、宇宙背景マイクロ波放射を放った領域 ($z=1,090$) までの各時代における固有距離をつないだものである。一方、しずく形は、任意の赤方偏移にある天体が光を放った時点における

固有距離を、 $z=0$ から $z=1,090$ までつないだものとなっている。縦軸は時間軸であるので、次の式に従って赤方偏移から Look back time t_L を計算する。

$$t_L(z) = t_H \int_0^z \frac{dz'}{(1+z')E(z')} \quad (4)$$

ただし、ここで t_H はハッブル時間 ($=1/H_0$) である。

以上の計算に基づき、メインビジュアルは描画されている。各パラメーターの値は Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters, arXiv: 1303.5076 の Table 5 [Planck+WP+high-1] より引用しており、 $H_0=67.15$ (km/s/Mpc)、 $\Omega_M=0.317$ 、 $\Omega_\Lambda=0.683$ である。

The Diagram of Our Universe 2013
Naohiro TAKANASHI,¹⁾ Jun KOSAKA and
Hidehiko AGATA

¹⁾ *Institute of Industrial Science, the University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, Japan*

Abstract: "The Diagram of Our Universe" is a poster which shows a perspective of Astronomy. The poster shows the history of the Universe with topics of each field of Astronomy. We can easily understand the relation among the field because they are structured. We expect the poster helps activities of education and public outreaches.