

STELLAR LIGHT

ステラーライト【第44号】 NO. 44

CONTENTS

天文トピックス

2015年9月14日、時空が震えた！

一般相対性理論から一世紀の重力波直接観測

カリナ星雲

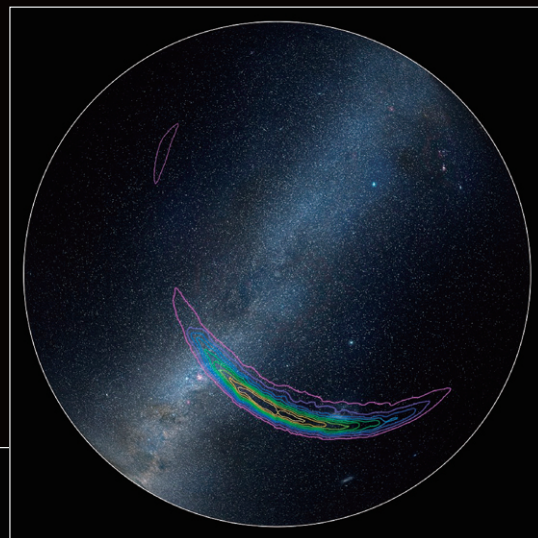
天文台から

群馬県内の小中学校が所有する天体望遠鏡調査結果

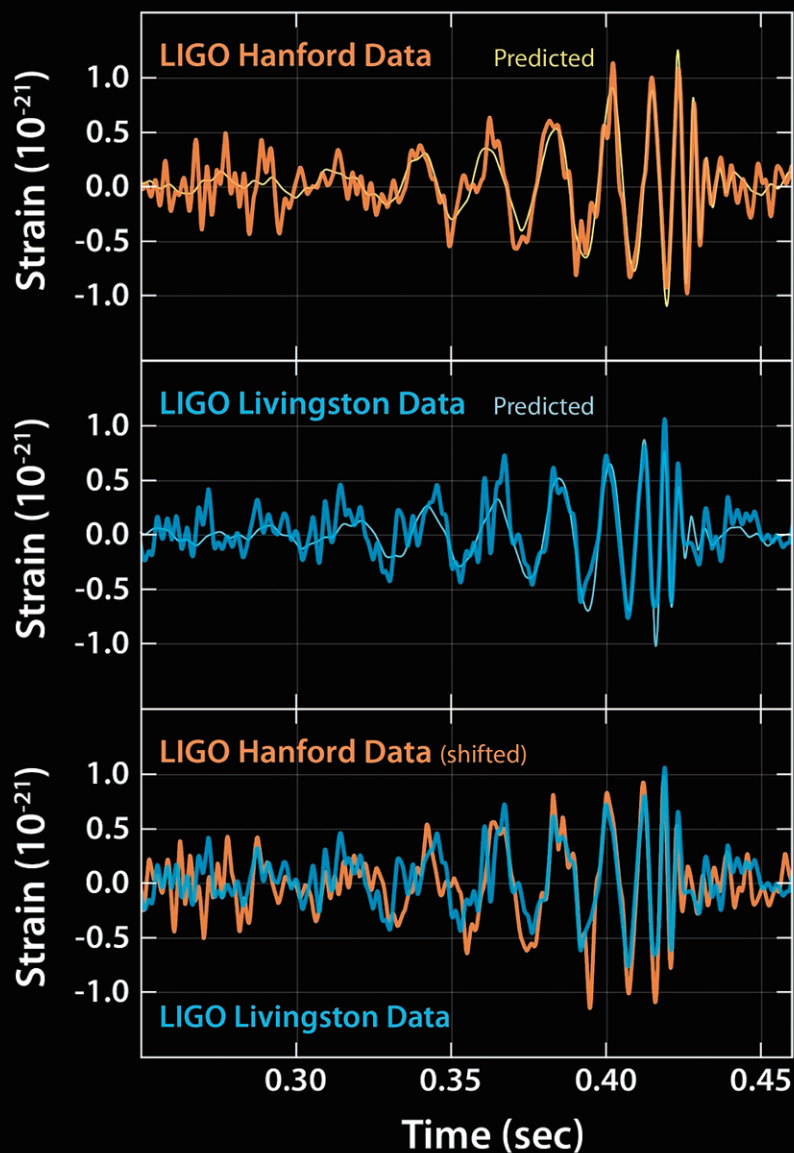
第6回「宇宙・私の夢」児童絵画展

天文授業サポート

天界四季折々



重力波源の位置 (©LIGO/A.Mellinger)



検出された重力波 (©LIGO)



2015年9月14日、 時空が震えた!

一般相対性理論から一世紀の重力波直接観測

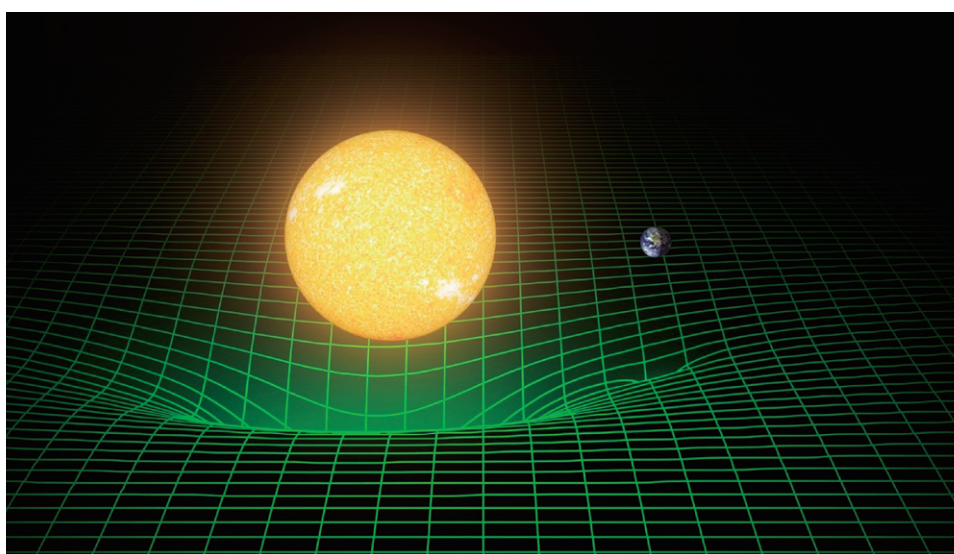


図1：太陽と地球が時空をゆがめているイメージ図 (©LIGO/T.Pyle)

重力波とは?

アメリカのレーザー干渉計重力波観測所「LIGO (ライゴ)」(Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) の科学者グループが2月12日未明(日本時間)に大規模な記者会見を開催し、13億光年彼方で太陽質量の36倍と29倍の質量を持つ二つのブラックホールが合体した際に放出された重力波を、世界で初めて直接検出したと発表した。マスコミ受けする「ノーベル賞確実」の声もあり、科学記事にしては珍しく新聞の1面を飾るなど、このニュースは大々的に取り上げられた。

ちょうど100年前に完成したアインシュタインの一般相対性理論によれば、質量をもった物体が存在するとそれだけで時空にゆがみができる(図1)。そして、その物体が軸対称でない加速度運動をする

と、この「時空のゆがみ」が波として光の速さで広がっていく。これが「重力波」で、いわば時空のさざ波といえる。しかし、重力波はきわめて弱く、アインシュタイン自身も実際に観測することは不可能だろうと考えていたそう。今回観測された現象(2015年9月14日に観測された重力波という意味で、GW150914と呼ばれている)も二つのブラ

ックホールの合体という極めて激しい現象であるにも関わらず、観測された時空のゆがみはピークで 10^{-21} 、太陽から地球までの距離に対して水素原子の大きさ一つ分をわずかにゆがませる程度という気の遠くなるほど小さなゆがみだった。

初めての直接観測

LIGOは、アメリカ北西部ワシントン州ハンフォード(図2a)と、南東部ルイジアナ州リビングストン(図2b)の、3千km離れた2つの観測所にある大



図2a：LIGOハンフォード
(©Caltech/MIT/LIGO)



図2b：LIGOリビングストン
(©Caltech/MIT/LIGO)

型レーザー干渉計から構成されている。それぞれの干渉計はL字型に配置された二つの4kmの長さの腕を持ち、この腕の中でレーザー光を往復させ、時空のひずみを計っている。

今回検出された重力波の信号は表紙左図のようなもので、上からハンフォードで観測された信号と一般相対性理論から予測される信号を重ね合わせたもの、リビングストンの信号と予測値、一番下がハンフォードとリビングストンの比較である（重力波は先にリビングストンに到達し、光速度で進んで、その0.007秒後にハンフォードに到達した。そのタイムラグ分ずらしてある）。波形は、理論予測とぴたりと一致し、また、二つの観測所で検出した信号も見事に一致している。これを見せられれば、流石とうなってしまうほかない。

この重力波の信号を音に例えると、だんだん音程が高くなっていき、同時に音量も大きくなっていく。このような信号を、小鳥や虫が高い音で短く鳴くのになどとえて、チャープ（chirp）信号と呼ぶ。実は、この重力波の音はLIGOのホームページから聞くことができる（<https://www.ligo.caltech.edu/video/ligo20160211v2>）。小鳥が鳴いているというよりは、パイプで水がゴボゴボいって、ポコン（それほど高い音ではない）と鳴っているような不思議な音だ。人類が初めて聞いたブラックホールが合体する音、みなさんもぜひ聞いてみてほしい。

さて、この信号とブラックホールの合体がどう対応しているのだろうか。まず、二つのブラックホー

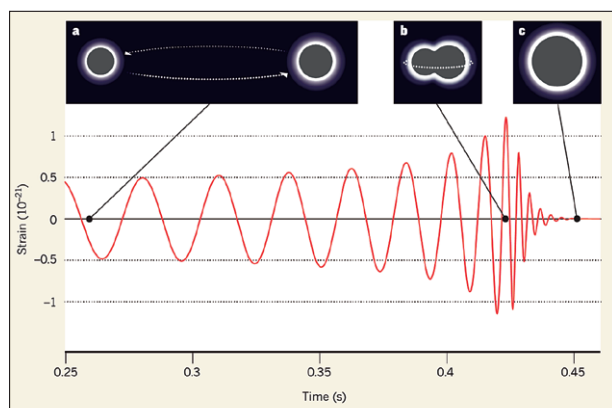


図3：合体するブラックホールから放出された重力波
(Miller 2016 Nature 531, 40)

ルが互いに回りあっている状態（図3a）では、周期的な重力波が発生する。そして、お互いの距離がだんだん近づくにつれ、回転が速くなり、重力波の音はだんだんと音程が上がり、音量も大きくなっていく。そして、二つのブラックホールが合体する（図3b）と音量は最大になり、直後に音は急に小さくなる（図3c）。この急激な減衰が、ブラックホールが誕生したことを示している。ブラックホール合体による重力波放出のシミュレーションCGは、LIGOのホームページで見ることができる（<https://www.ligo.caltech.edu/video/ligo20160211v4>）。

重力波天文学の夜明け

今回観測されたブラックホールの合体は、いったいどこで起きたのだろうか？ 距離は13億光年と分かっているのだが、その方向は、約3千km離れたハンフォードとリビングストンで0.007秒のタイムラグがあることから、表紙右上図の紫色の線で囲まれた広い範囲のどこかにある確率が90%以上ということしか分かっていない。ここ数年で、日本のKAGRAをはじめとして、世界の各地（図4）で重力波の観測が進むだろう。そうすれば、重力波源の位置の精度も上がってくるし、様々な波長の電磁波を使ったフォローアップ観測も進んでくるにちがいない。

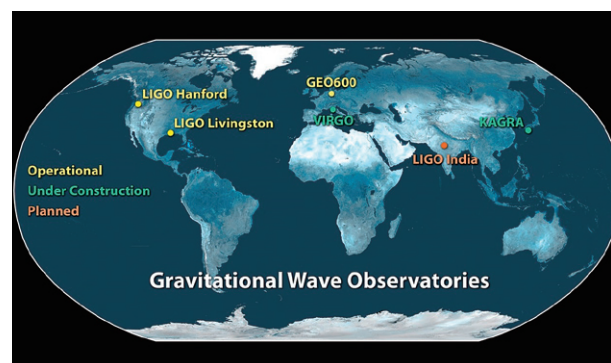


図4：世界に広がる重力波観測所（©LIGO）

重力波天文学は、いわば夜明け前の東の空が薄明るくなっていたところに、今まさに曙光が指してきたといったところだ。これからまたどんな宇宙の謎が明らかになっていくか、本当に楽しみだ。

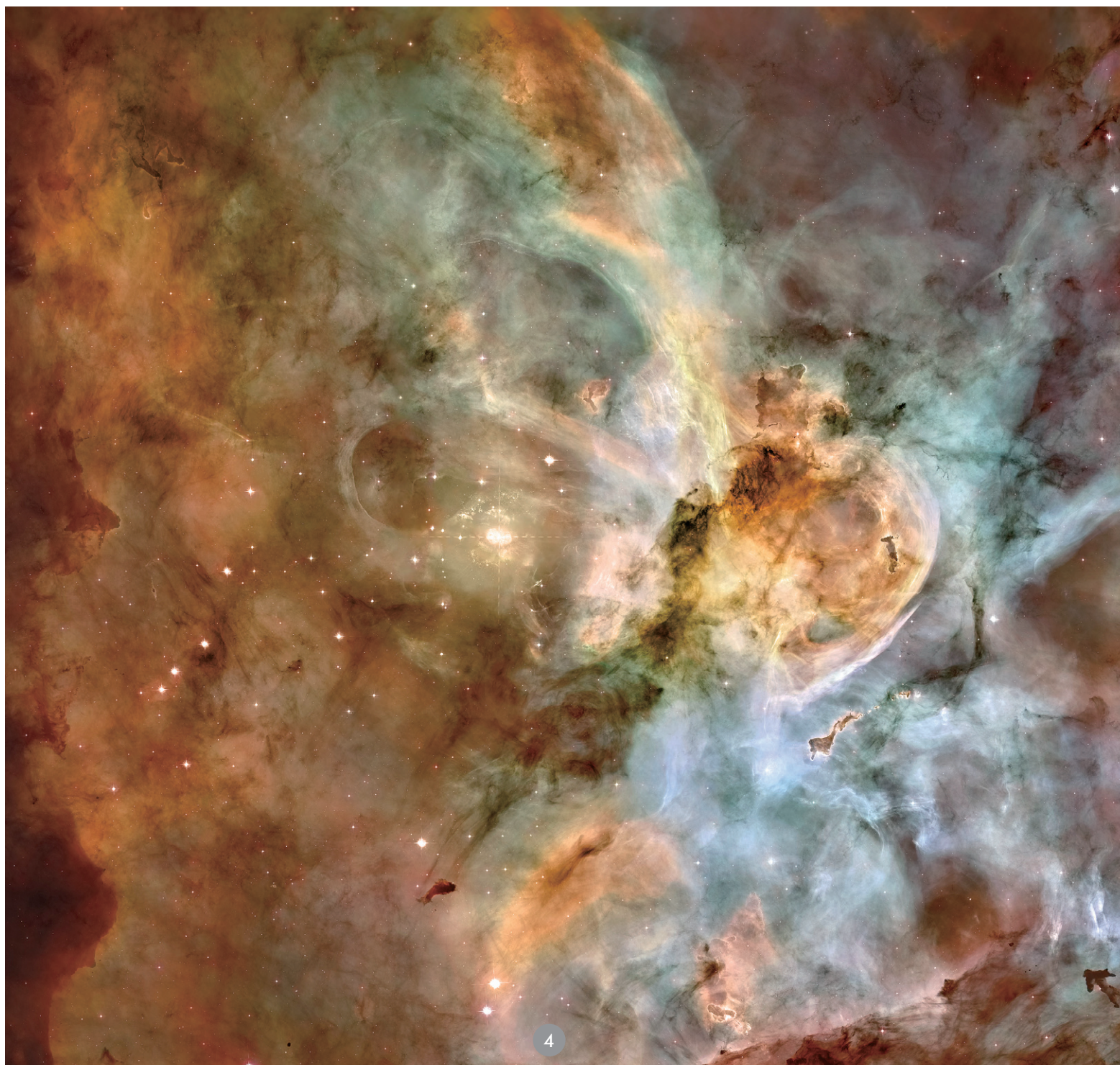
（観測普及研究員 西原 英治）

カーナ星雲

その日から、重力波天文学以外は先端天文学ではなくなった。すべての古典的天文観測は色あせ、系外惑星であれなんであれすべての古典的天文学諸課題はかびくさいものとなった。それまで先陣を切っていたきらめく観測道具は一瞬にして時代遅れとなった。これこそ21世紀の黒船といわずしてなんと

うだろう。しかし、黒船襲来の当時であれ、庶民の暮らしは決してなくなったわけではなかった。我々も（ほとんどの日本人は）等しくその黒船の襲来を受けた庶民の子孫である。歴史は繰り返し、庶民はつましい天文学諸課題のために古典天文観測が進展するのを眺めるのである。

その一例である、もはやセピア色となった観測結果（下図）は、古典的諸課題を一望のもとに復習させてくれる、かつては息をのむばかりだったなんと





も贅沢な平成宇宙絵巻である。銀河系内で起きる物質循環の諸課題はこの領域ですべて研究できるといえるかもしれない。その領域がカリーナ星雲（約7500光年、視野約50光年）だ。大雑把にはオリオン大星雲より数倍遠く大きい類似天体と思っていいだろうが、残念ながら北半球からは見ることはできないばかりに知名度は低い。裏表紙もほぼ同じ領域なので、比較してみよう。裏表紙の画像ならば、絵巻には現れない星団なども見える。この領域にはむろ

ん若いO型の星がたくさんある。銀河系で最も明るいと思われるWR25もあれば、有名な η カリーナもここにある。 η カリーナは重力波を発生させた星よりよほど重い星の連星である。すれば、13億年とされる重力波源に比べかくも至近距離から、過去には、いや、近未来にも、重力波は発生するのかもしれない。しかし結局ここにたどりつくのか。貧困な発想だなあ。（画像提供NASA）

（観測普及研究員 長谷川 隆）



群馬県内の 小中学校が所有する 天体望遠鏡調査結果

～学校の天体望遠鏡の 活用を目指して～

1. 目的

県立ぐんま天文台では、平成21年度から天文分野の授業を総合的に支援する「天文授業サポート」事業を実施している。そして、平成21年度と26年度に県内各校に設置されている天体望遠鏡の利用推進並びに操作、指導技術の向上を目的としたアンケート調査を実施した。その結果に加えて、群馬県の平成27年度の全国学力学習状況調査結果をもとに、県内の小中学校の天体望遠鏡利用の現状を踏まえた小中学校での活用促進の手法等について考えた。

2. 方法

1) 望遠鏡アンケート調査

県内全小中学校に保有・活用状況等のアンケート用紙を送付した。(平成26年度回収率 小学校95%、中学校84%)

3. 結果

1) 保有状況

小学校では66%、中学校では84%が望遠鏡を所有していた。

2) 利用状況

小、中ともに多くの学校で理科授業で天体望遠鏡を使用している。観察対象として小学校では月が



最も多く、次いで惑星、太陽、恒星と続く。しかし、中学校では太陽が突出して多く、月と惑星がほぼ同じくらいの頻度で観察されていた。小学校の教科書では惑星は扱わないが、土星の環や金星、木星などを児童の興味・関心を高めるために観察している様子がうかがえる。また、中学校では教科書で月や金星の満ち欠けも扱っているが、金星観察のための機器操作にはある程度の熟練が必要なため、太陽の観察でとどまっている学校が多いと考えられる。

天体望遠鏡はあるが利用していない理由で最も多いのが、「操作の仕方がわからない」であり、続いて望遠鏡の故障や部品不足が原因に挙げられていた。さらには、夜間に児童生徒を集めることが困難であることや、プラネタリウムやPCのシミュレーションソフトを利用するので望遠鏡の必要性は感じていないという回答もあった。また、望遠鏡を所有する小中学校のうち、指導の場で実際に望遠鏡を使える教員がいる割合は小学校で44%、中学校で69%だった。

4. 考察

群馬県は全国学力学習状況調査では小中ともに理科教室使用の割合が全国平均を上回っている。また、理科の得点も同様に全国平均を上回っている。このことは、観察や実験を重視することが理科の学習成果に結びつくことを示していると考えられる。

1) 教員への支援

小学校では理科の免許を持たない教員が指導することが多く、望遠鏡の所有率も中学校より低い授業で天体観測ををしない指導も多い。したがって、天文台による望遠鏡操作支援の継続が必要と考える。また、教員自身が望遠鏡を授業で使えるように、操作にかかわる研修機会を天文台で設定し、学校保有の望遠鏡を授業で活用することを側面から支援する必要がある。

2) 県内大学へのはたらきかけ

現在、県内の小学校教員養成課程のある大学に天体望遠鏡実習を働きかけ、学生のうちから、天文台で望遠鏡操作等の実習を積める機会を設定している。



3) 県教委との連携

教員が学校の望遠鏡を用いて、授業等で児童生徒に実物の天体にふれさせる機会が増えるよう、県総合教育センター実施の理科教員対象研修講座等で、天体望遠鏡を使用した指導について扱うなど研修機会を工夫していきたい。

5. まとめ

理科授業で実際に天体を観察することは、児童生徒にとって本物にふれる感動に結びつき、その後の学習意欲へと発展していくと考えられる。そのた

め、天体望遠鏡の利用を推進することは、群馬県の理科教育の一層の充実に結びつくことであり、ぐんま天文台としては、それを願って今後も授業支援や研修機会の設定等に引き続き取り組んで行きたい。
(天文係長 山野悟、前指導主事 倉林勉、指導主事 長井隆行)

参考資料

- 1) 群馬県内の学校が所有する天体望遠鏡調査（平成26年）ぐんま天文台
- 2) 平成27年度全国学力・学習状況調査結果分析資料 群馬県



第6回「宇宙・私の夢」 児童絵画展

ぐんま天文台では、県内の小学校3～6年生を対象とした「宇宙・私の夢」児童絵画展を実施しています。夏休み期間中に描いた作品が応募され、天文台には各小学校での選考を経た代表作品が、展示されます。

今年は過去最多となる県内の小学校124校から合

計2106点の応募がありました。そのうち、429点が天文台に展示されました。自分の想像したことを自由に描いた作品がたくさん集まり、毎年来館者をほほえましく迎えてくれます。一人ひとりがどんなことを考えて描いたのかなと、想像しながら鑑賞することも楽しみの一つです。

審査の結果、各学年1点の最優秀賞と、各学年5点の優秀賞が選ばれました。この中から、最優秀賞の4点の作品と、受賞者の作文を紹介します。

第3学年 最優秀賞

「みらいの月」



高崎市立豊岡小学校 3年 峯岸 季市さん

ぼくは、いつも学校で、宇宙船などの絵を描いています。この「宇宙・私の夢」児童絵画展のぼ集が夏休みの宿題で、あったときには、「これだ!」と思い応えました。すると、最優秀賞に選ばれていたのびびっくりしていっしょにかたまっていました。

この絵は、ソユーズというじつざいする宇宙船を描いてあります。ソユーズは、本当は宇宙ステーションに行って帰って来る役目ですが、かっこよくていいなと思い描きました。

宇宙エレベーターには窓がついていません。安全のためです。でも中では、たいくつしないように、テレビがあり、映画が見られます。

かつ走路の近くにあるがい灯は、歩いている人がまちがえて入らないために立てました。

ぼくは、しょう来、宇宙船やロケットを作る夢があるので、まずは絵からだな、と思います。今回は最優秀賞をくださってありがとうございます。来年も「宇宙・私の夢」に応ばしたいです。

第4学年 最優秀賞

「宇宙の都市」



前橋市立駒形小学校 4年 長澤 太郎さん

「宇宙の都市」を書いて

宇宙の絵を書いた理由は、ぼくは自由に書く事が好きだからです。宇宙人は、ぼくがイメージして作って、たて物すべ、ぼくが考えました。外の色は青ではつまらないので金色にしました。青いたて物はこの絵の宇宙人の家です。中央にある大きなたて物は、この星のシンボルです。赤い道路は、ぼくもどこにつながっているのか知りません。ただ、ぐるぐるうずまきになっている道は、ほかのうずまきになっている道につながっています。

ぼくは、この賞をとれてすごうれしいです。今までとった賞の中で一番すごい賞だと思います。最高の気分です。

第5学年 最優秀賞

「宇宙で障害物競走だ!」



富岡市立高瀬小学校 5年 齋藤 柚樹さん

二年生のとき、学級本の中から宇宙図かんを手にとって読みました。月はどうやってできたのか、銀河系の形はどうなっているかなどおもしろいことが、たくさん書いてありました。その図かんを思い出しながら「宇宙・私の夢」を考えてみました。図かんの中で星雲や星がキラキラと光ってきれいでした。その中を自由に飛んでみたいと思い絵にしました。

未確にん生物の、よろろんやチョコキン星人よりも速く飛べるように、プチジェット付きでスピードアップできる羽を背中に付けました。周りの星たちは、観客です。小さな黄色い星はコース係です。

宇宙を本当に飛べるようになるには相当時間がかかると思います。いつの日かこの絵のように自由に飛べる未来が来てほしいです。それが私の夢です。

第6学年 最優秀賞(ぐんま天文台台長賞)

「宇宙で開店!回転寿司」



太田市立荊川小学校 6年 小澤 孝次郎さん

ぼくは、昨年から「宇宙・私の夢」の絵に参加しました。自分の絵が最優秀賞だと聞いたときは、心臓がとび出しそうになりました。まさか、自分の絵が選ばれるとは思わなかったからです。

この絵は、ぼくの大好きな寿司屋さんが、もし宇宙にあったら楽しいだろうなあと想像して、書きました。ぼくは、小さい頃からお寿司が大好きでいつも食べに行っていました。また、将来、宇宙で働くことが夢なので、実際に宇宙空間でこの絵のようなワクワクするお店に行けたら、絶対楽しいと思います。

この絵の工夫したところは、お寿司のレーンです。地球からつながるレーンは、数字では表せられないほど長く、その上に乗るお寿司はものすごい数です。一つ一つていねいに、できるだけ実物に近づくように描きました。

これからも、この夢の絵が実現できるよう、もっと宇宙のことを学んでいくつもりです。

表彰式の様子

(左から、五十嵐台長、峯岸季市さん、
長澤太郎さん、齋藤柚樹さん、小澤孝次郎さん)



天文台から 天文授業サポート

平成21年度から実施している「天文授業サポート」は、今年で開始以来のべ500校を超える利用となりました。県内の小学校、中学校、高校、特別支援学校すべての学校に広報して、星空観察会の支援、天文分野の授業支援、教員研修、望遠鏡の操作指導とメンテナンスを行っています。

天文分野の学習は、夜間の学習が必要であったり、天体望遠鏡の操作技能が必要であったり、実感を伴った理解を図りたくても難しい分野です。そこで、この「天文授業サポート」では、“本物の体験”の機会、天文分野における教師のスキルアップの機会を提供しています。本年度の実施例の一部をご紹介しますので、ぜひご利用いただければと思います。

(1) 星空観察会の支援

星空観察会は主に、①小学4年理科での星空観察、

②宿泊行事での夜の学習、③PTA親子行事、として実施しています。ぐんま天文台から1~3名の職員(場合によってボランティアも数名同行)と望遠鏡・双眼鏡を3~5台程度持参し、学校の先生と一緒に観察会行事を行います。主な内容は ①星座解説、観察会の間の星座の動きを観察 ②望遠鏡観察(星の色の違いの確かめ(例えばベテルギウスとリゲル)、月の表面、惑星、星団(プレアデス星団など)、星雲(オリオン星雲など)) ③観察会中に国際宇宙ステーションが通過するときは、サプライズ観察です。所要時間は60~120分、参加者は保護者・教員を含んで30名から多いところでは180名に達しました。



望遠鏡で見ると明るいね!



あれが冬の三大星だね!

(2)天文分野の授業支援

小中学校では主に、①小学4年理科「月の動きの観察」、②小学6年理科「太陽、月の観察」、③中学3年理科「太陽、金星の観察」、で利用されています。いずれも昼間の授業の時間での観察の支援です。実施時期は単元の導入時であったり、まとめの段階であったりと様々ですが、先生方の授業のねらいに即した内容となるよう、綿密に打ち合わせを行い、計画案を事前に提示しています。課題の提示と観察のまとめは教科担任の先生に行っていただきます。

小学6年の「太陽、月の観察」の支援では、望遠鏡3台を持ち込み、月が昼間に出没している日に行いました。望遠鏡による月の観察、投影像による安全な太陽の観察、H α フィルターをつけた望遠鏡による太陽プロミネンスの観察を行い、また月の形と太陽の位置関係を考察しました。学校の望遠鏡を活用して、先生とチームティーチングも行います。

中学3年の支援でも、太陽は直接投影により黒点や白斑を、H α 望遠鏡によりプロミネンスを観察します。また、「昼間の金星観察」も時期を選べば行えます。金星の欠け方や、太陽からの位置を測ることで、机上で考えていたことを実際の観察で確かめることができます。また、青空の中から肉眼で金星を探すこともできれば、また大きな感動となります。



月のクレーターが見える！

月と同じ光り方にみえるかな。



黒点がよく見えるぜ！

「あ！あれだよ金星!!」 青空の中に発見

(3)教員研修、望遠鏡の操作指導・メンテナンス

群馬県内で実施される教員対象の研修会（実技研修や教材研究）などで、講師の依頼も受け付けています。学校に出向くことはもちろん、群馬県教育委員会主催事業や市町村教育委員会主催の教員研修等でも活用されています。



学校の望遠鏡を持参しての研修

昼間の金星の探し方

(指導主事 長井 隆行)

授業サポートの利用状況（平成27年度）

星空観察会	34校	2337人
学校校庭	20校	1549人
宿泊施設	14校	788人
天文分野の授業支援	34校	2159人
小学4年理科 【月観察・星座講話】	5校	500人
小学6年理科 【太陽、月観察】	14校	933人
小学校その他・特別支援学校 【親子行事等】	3校	125人
中学3年理科 【太陽、金星観察】	12校	601人
教員研修、 望遠鏡の操作指導・メンテナンス	8回	99人
学校	2校	9人
県教委、市町村教委主催研修	6回	90人

天界四季折々

～季節の主な観望天体～

時期、時間帯により見えないことがあります

春～夏季

惑星	木星、土星(ゴールデンウィーク後)、火星
星など	プロキオン、デネボラ、アークトゥルス
星団	M44(プレセペ、散開星団)、M13(球状星団)
惑星状星雲	M57(リング状星雲)
星形成領域	M8(遅い時間帯)
銀河	M81、M51、M104(ソンドレロ)

観望マメ知識

惑星

太陽系の天体で、地球もそのひとつ。みな太陽のまわりをまわっており(公転)、その軌道の内側から順に、水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星となる。2006年までは海王星の外をまわる冥王星も惑星と分類されたが、現在では準惑星という分類になっている。可視光では、太陽の光を反射して光っているといってよい。木星から外の巨大惑星には環があるが、観望会では土星の環しかみえない。最大の惑星は木星(地球半径の10倍)。土星の環は地球半径の約20倍だが、厚みは100m以下ともいわれる。すばる望遠鏡の活躍もあり、木星、土星の衛星はそれぞれ50個以上確認されている。

恒星

中心での核反応をエネルギー源として、みずから光る星。太陽は恒星の中では標準的で、半径は地球の109倍、質量は33万倍(密度では何倍になるか?)。一等星は、数百光年以内の太陽のような普通の星も多いが、デネブ、リゲルなどもっと遠くのものもある。望遠鏡でみると二つ以上見えるものが重星であるが、単に同じ方向に見えるが距離はまったく異なるものもある。星の一生のうち最後の短い期間は赤色巨星とよばれる赤く巨大で明るい星として過ごす。

惑星状星雲

太陽系の惑星とはまったく関係がなく、星の一生の最後のステージである。質量により終末現象は異なる。惑星状星雲は太陽程度の軽い星の終末。なんらかの対称性が見えることが多い。重い星の終末は超新星爆発と考えられている。恒星内部で生産された元素はこのプロセスで宇宙空間に広がる。

星団

恒星の集団。あえて大きく分ければ、古い星の大規模(典型的には数十万個)集団の球状星団と、若い星の小規模集団の散開星団となる。散開星団は天の川沿いにあり、夏の空にも冬の空にも見られる。カタログなどで知られる星団は多くは天の川でできたものだが、例外もあって、これらは天の川の形成の歴史の研究には重要である。

銀河

恒星の大集団であるが、恒星間の空間には水素や一酸化炭素のガス、暗黒物質などを含む。階層構造としては銀河は上記の諸天体を含んだ一ランク大きな階層になる。楕円銀河、渦巻き銀河、サイズの小さな矮小銀河に大別される。天の川は我々の太陽が所属する銀河で、約1000億個の星を含み、典型的な大きさの渦巻き銀河である。

1光年

光が一年かけて進む距離。光速は毎秒30万kmであるから一年の秒数(ほぼ円周率かける千万秒)をかけると約10兆kmと求まる。

等級

天体の明るさを示す。数字が1つ大きくなるごとに約2.5分の1の明るさになる(暗くなる)。5等級の違いが明るさの100倍に相当する。伝統的にはこと座のベガを(ほぼ)0等級としてこれを基準に明るさを測ってきた。

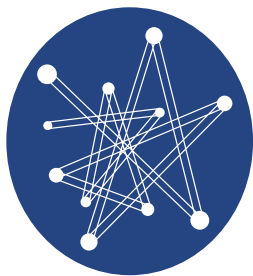
天体カタログ

メシエ天体カタログ: 1780年ころフランス人の天文学者メシエにより出版された天体カタログで110個がリストされているが2つは欠番となっている。

NGC: New general catalogの略で1888年にドレイヤーによりまとめられた7840個の天体のカタログ。



カリナ星雲（ESO VLT望遠鏡による）。4,5ページの見開きはハッブル宇宙望遠鏡とCTIO天文台によるもの。天体を対応付けてみよう。



GUNMA ASTRONOMICAL OBSERVATORY
県立ぐんま天文台

発行日 ▶ 2016年3月 発行 ▶ 県立ぐんま天文台 電話 ▶ 0279-70-5300 FAX ▶ 0279-70-5544

所在地 ▶ 〒377-0702 群馬県吾妻郡高山村中山6860-86

ホームページ ▶ <http://www.astron.pref.gunma.jp/>

※広報誌のバックナンバーは上記ホームページからお取りいただけます。

※広報誌や天文台の利用について、ご意見をお寄せください。