

紙製 169 面体プラネタリウム工作キット

“Kent Star” の開発

大石匠海（西大和学園中学高等学校）、中野英之（京都教育大学教育学部）

Development of a 169-faceted planetarium handcraft kit named “Kent Star”

Takumi Oishi (Nishiyamato Gakuen Junior High School and High School)

Hideyuki Nakano (Faculty of Education, Kyoto University of Education)

概要

紙製のピンホール式プラネタリウムは比較的作りやすく材料費も安価で済み、これまでに多くの先行事例が報告されている。しかし、先行事例の教材を実際に製作して使用してみると、円形のピンホールを空けることが難しいことや、教室で使用する場合など使用目的によっては恒星球の大きさが適切でない場合があるなど、いくつかの課題があることが分かった。本研究では、先行事例を踏まえ、教室での学習に適した、なおかつ星像が円形で尖鋭な 169 面体の紙製プラネタリウムを開発した。

Abstract

A large number of studies for making handcraft planetarium have been made, because it is easier and less expensive to make them. However, there are some problems in making and using one proposed in the previous studies. Firstly, it is difficult to open the round-shaped pinholes by using paper drills. Secondly, the size of the projector is not sometimes suitable to use it in a class room. In this study, we developed a planetarium handcraft kit named “Kent Star” that overcame the problems mentioned above.

1. はじめに

近年、安価で高性能の家庭用プラネタリウムが多数販売されるようになってきた。特に、雑誌付録で販売されているプラネタリウム[1]は投影される星数が多く、きれいな星空を再現することに主眼が置かれたもので観賞用として人気が高い。

しかし、こうした市販のプラネタリウムを教育現場で検討しようとする場合、星数が少ない方が良い場合もあり、星数の多いプラネタリウムが必ずしも使いやすいわけではないことが指摘されている[2]。教育効果を上げる

ためには、目的に応じ、プラネタリウムを自作する方が好ましい。

教育上での使用を主目的としたプラネタリウムの作製に関する先行事例は多数みられるが、その殆どがピンホール式プラネタリウムに関するものである。先行事例として、ペットボトルを利用したもの[3]や星像が印刷されている OHP シートを用いたもの[4]もみられるが、多くは紙製のものである。紙製のプラネタリウムには、円筒形のものと多面体の先行事例が報告されている。

円筒形の紙製のものとしては、例えば大平

によるもの[5]が、多面体の紙製のものとしては、例えば阿部・佐藤[2]、大久保・吉田[6]、独立行政法人科学技術振興機構[7]によるものがある。

これらの教材は、比較的手軽に安価にプラネタリウムづくりを体験できるキットとして優れたものである。特に、作成者がピンホールを開けるタイプの紙製のプラネタリウム作成キットは、星座を理解しながら作成に取り組めるなど高い教育効果が期待できる。これらの教材は、教室内や部屋の中での投影を想定しているものもみられるが、投影場所についての言及のないものも見られる。投影条件によっては投影される星像の肥大が顕著になったり、光量不足が生じることも考えられる。また、千枚通しやプッシュピンを使用してピンホールを開けるため、ピンホールに「バリ」が生じて星像が歪んで投影されることも考えられる。個人ユーザーとして楽しめる性能のものであっても授業で使用したり、大人数で利用するには適さない場合もあるであろう。紙製プラネタリウムを授業で使用したり、大人数で利用できるようにするためには、既存のものに更に改良を加える必要があると思われる。

本研究は、安価で気軽に作成できる紙製プラネタリウムの最大の利点を生かし、一般教室での学習に利用できる紙製のプラネタリウムの開発を行うものである。一般教室での利用とは、教室内に設置できるドームで投影したり、天井や黒板、壁などに投影することを想定している。

2. 先行事例の追試を踏まえた新しい紙製プラネタリウムの開発

2.1 先行事例の追試

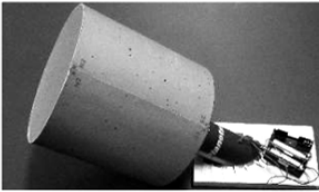
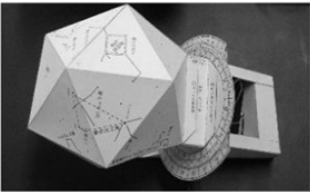
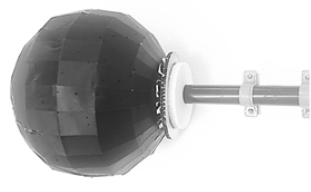
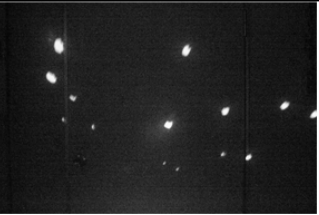
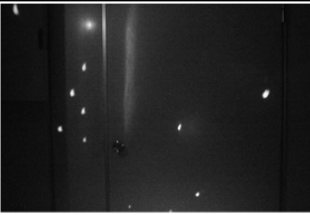
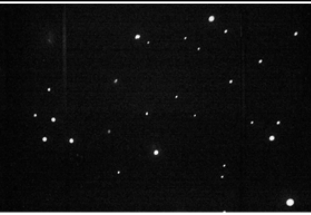
一般教室での学習に利用できるプラネタリウムの条件を探索するために、先行事例で報告がなされているプラネタリウムを試作し、

課題や問題点を抽出することにした。試作したプラネタリウムは、大平による円筒形のもの[5]と、独立行政法人科学技術振興機構による多面体形のもの[7]の2種類である。この2種類のプラネタリウムはインターネット上で簡単に型紙をダウンロードできる。コピー用紙に印刷した型紙を工作用紙に糊付けをしてカッターナイフで切り取って組み立てた。恒星の接着には木工用ボンドを使用した。ピンホールはHP上の解説にしたがって[5]では千枚通しを、[7]はプッシュピンを用いて開けた。光源部には共にスポット球 (ELPA 3.8V 0.5 A) を、電源には単3乾電池3本 (4.5 V) を用いた。ピンホール式プラネタリウムの光源としては、一般的にフィラメントが小さい電球の方が光源として適していることが知られている。本研究ではスポット球以外に、ミニクリプトン球やムギ球、ハロゲン豆電球など様々な光源の使用を試みてみた。その結果、スポット球が最もフィラメントが小さく、恒星像も小さく鮮明に投影できること、ホームセンターで安価で入手できるという理由でスポット球を使用することにした。

完成後、京都教育大学内の暗室内にて、恒星から約 1.5 m 離れた壁面に投影を行い、2種類の紙製プラネタリウムの長所と短所を抽出した (表 1)。

投影実験を行ったところ、どちらの場合も恒星が空間の広さに対して小さいため投影される星像の肥大が著しくなる傾向が見られた。また、円筒型のプラネタリウムの方が多面体形のものに比べて光源から恒星までの距離が大きいため、投影される恒星像が鮮明になることが分かった。できるだけ星像を鮮明に投影するためには、投影場所に対応した適切な大きさの恒星を作製する必要がある。

表 1 先行事例の追試結果

	円筒形[5]	多面体形[7]	本研究で開発したプラネタリウム
試作したプラネタリウム			
ピンホールの作成方法 (ピンホールの直径)	千枚通しを利用 (~ 3 mm)	プッシュピンを利用 (~ 1 mm)	精密皮ポンチを利用 ($1 \sim 4$ mm)
投影される星 ※写真は恒星球から 約 1.5 m 離れた壁に 投影した様子 (カシオペア座付近)	△光源からピンホールまでの距離が[7]よりも比較的遠く、ピンホールの開け方によっては比較的小さい製星像を投影することが可能。 ○4等星まで印字されており、さらに等級に応じて3種類の大きさの穴が用意されており、星座の形が分かりやすい。 ×円筒の角付近の星が特に歪んで投影される。 ×穴あけの際に生じたバリが潰れてしまい、投影された星像が真円にならなかったり、バリの影響で投影されないこともある。 	×光源からピンホールまでの距離が比較的近く、約 1 mm の大きさのピンホールであるにもかかわらず、恒星が肥大する。 △3等星までしか印字されておらず、等級に応じて3種類の大きさの穴が用意されているだけであるので物足りない印象を受ける。 	○光源からピンホールまでの距離が[5][7]よりも遠く、投影される星像が小さく、鮮明である。 ○4等星までを再現している。 ○恒星はきれいな真円な像として確実に投影される。 
安定性	○円筒支持筒と光源部の接触面積が大きく、円筒部の回転がスムーズで安定している。	△回転軸が箸 1 本で固定されているだけなので回転させる際にぐらつきを生じる。	○サドルバンドで恒星球支持筒がしっかり固定されており、回転はスムーズである。
投影できる星空	北緯 35° 付近の星空		北緯 $20^\circ \sim 90^\circ$ までの星空
作製難易度	×円筒と上下蓋部分の接着が非常に困難である。	○組み立ては比較的容易である。	△パーツの数が多く、組み立てに多少根気を要する
その他特記事項	星座早見の機能がある。		—
	○使用する材料が紙であるため、低コストで作製できる。		
	×光源に使用する電球の説明が十分でない。	—	—
	×投影部である型紙を外側から穴を開けるタイプで、型紙に印字されている星図が東西方向が反転されたものであるため、星座の形を確認しながら穴を開けることができない。	○キット化した教材では、恒星球の内側からピンホールをあけながら作成でき、星座の形を確認しながらピンホールを開けることができる。	

また、千枚通しやプッシュピンでピンホールを空ける場合、バリが生じてきれいな真円のピンホールを作成することができないことが分かった。投影された星像の肥大する場合

は、特に星像の荒さが強調される。美しい恒星像を投影するためには、ピンホールを作成する際に小さくきれいな真円に切り抜く必要がある。

大平によるもの[5]は4等星までが、独立行政法人科学技術振興機構によるもの[7]には、3等星までが印字されていたが、星座の形は最低でも4等星まで投影した方が星座の形を認識しやすいと感じた。また、恒星球が球形でない場合、仮にピンホールを真円に空けることができたとしても、空けたピンホールの位置によっては、投影される恒星像が楕円形に投影されてしまうことが考えられる。恒星球はできるだけ球形の方が望ましい。

作製難易度は、予想に反して円筒形の方が多面体形のものに比べてはるかに高いと感じた。円筒形のものは、北・南極部に対応する蓋を円筒部分に接着させることが工作行程としてとりわけ難しい。どちらの場合も時刻盤が印字されており、任意の日時の星空を投影できることや、低コストで作製できることは共通の長所として挙げられる。

2.2 教材開発のコンセプト

前節の追試実験をまとめると、新しい紙製プラネタリウムの作製にあたり求められる要素は、次の4点に集約される；①バリが生じないピンホールを作成すること、②教室で投影するのに適したできるだけ大きな恒星球を作成すること、③4等星までの恒星を再現すること、④多面体の形状で球形に近い形状の恒星球を作成すること。



図1 作成に用いた精密皮ポンチ

紙製のプラネタリウムは安価で作製できる。しかし、安価だからといって質を下げるのではなく、星像が明瞭で美しく、耐久性にも優れた高い質のプラネタリウムの開発を目指すことにした。とりわけ星像の美しさにはこだわりを持って開発にあたることにした。

(1) 真円のピンホールを作成するための工夫

バリのない真円のピンホールを作成する方法としては、高温に熱した釘を紙に当てて焦がしてピンホールを空けたり、レーザー光で紙を焼いて空けたりする方法などが考えられる。これらの方法ではピンホールを千枚通しやプッシュピンで空ける際に生じてしまうバリを焼くことにより取り除くことができる。しかし、高温に熱した釘を利用する方法は安全性の面で問題があることや、レーザー光を用いる場合は装置そのものが高価であることが課題である。そこで本研究では皮細工で使用されるエスケー11社製の精密皮ポンチ(図1)を使用することにした。精密皮ポンチは1~4 mmまでの7種類の円形の穴をくり抜くことができるポンチをスティック部分に差し込み、スティック部分をハンマーで打ち付けることにより紙に穴を開けることができるのである。繰り返し使用する場合はポンチの穴にくり抜いた紙が目詰まりしやすく適宜取り除く必要があり、毎回ハンマーで打ち付ける作業がやや手間を要するが、きれいな真円の穴を確実に開けることができるようになった。

(2) 恒星球の大きさを決めるための投影実験

プラネタリウムに用いる光源が点光源であれば、スクリーン上での光量は、恒星球に空けたピンホールの面積に比例する。したがって、ピンホールの半径は光量の平方根に比例させなければならない[2]。1等級明るくなると明るさは2.51倍明るくなることを考慮に

入れると、4等星のピンホールの直径を1 mmとした場合、3等星、2等星、1等星のピンホールの直径をそれぞれ1.58、2.51、3.95 mmにする必要がある。本研究で開発するプラネタリウムでは、必然的に4等星を1 mmのピンホールで再現することになる。このため、4～1等星を、それぞれ1 mm、1.5 mm、2.5 mm、4.0 mmのポンチを用いて再現することにした。

前節に述べたように、ピンホール式プラネタリウムは、投影条件に適した大きさの恒星球を作製することが重要である。恒星球は大きいほど恒星像を小さくすることが可能である。しかし、恒星球が大きくなるほど、ドーム内での恒星球の占有率が増加し、恒星球が障壁となって学習者が投影された恒星像を見ることができないという事態に陥ることも考えられる。また、入手が容易なA3サイズのケント紙を型紙として使用することを考えると恒星球の直径は最大35 cm程度に留めておいた方がよいという結論に至った。

(3) 恒星球の開発

独立行政法人科学技術振興機構[7]による恒星球は12面体であったが、球形により近づけるために北半球が96面、南半球が72面、天の北極付近が1面から構成される計169面体構造の恒星球を作製することにした。恒星球は図2のように、北半球と南半球をそれぞれ24枚分割したパーツから構成される(図2 a,c)。

天の北極付近は接着をさせることが困難になることが予想されたため、パーツの先端部を切断して、北極星に対応したピンホールを接着する円形の紙製のパーツを用意することにした(図2 b)。なお、図2は図を見やすくするために横幅が誇張されて示されており、縦横幅は正確ではないことに注意されたい。後述するように恒星球の回転軸に接続するた

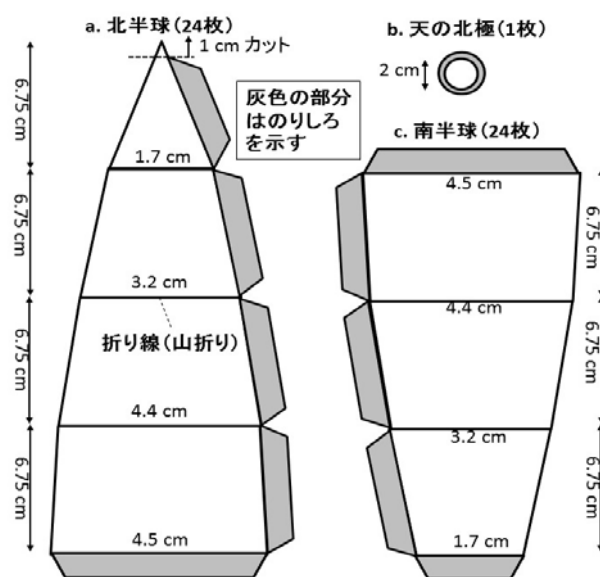


図2 恒星球の各パーツ

めのボイド管に接続する必要があるため、南緯67.5度以南の恒星は再現しないことにした。恒星は4等星までを再現することにした。

パーツは必要枚数をケント紙に印刷する。計49分割されたパーツに、それぞれ恒星を書き込んでいく。原図には西はりま天文台が公開している星座早見盤の恒星盤[8]を使用した。まず、天の赤道を24分割した位置と天の北極と南極を結ぶ補助線と、緯度22.5度ごとの補助線を記入した。次に、原図に記されている恒星を各パーツに書き写していく。この際に1～4等星までのそれぞれの恒星の等級の違いが分かるように、1等星は○、2等星は△というように、違いが分かるようにした。補助的に星座線も書き加えた。

次に、皮ポンチを用いてピンホールを開ける。1～4等星をそれぞれ4 mm、2.5 mm、1.5 mm、1 mmのポンチを用いて切り抜いていく。ポンチを用いてピンホールを開けた後に、カッターナイフを使用してパーツを切り取っていく。この際に、パーツをバラバラにしての並びが分からなくなるのを防ぐために、それぞれのパーツに番号をふっておいた。前述のように星座線を書き加えておくこともパーツ

を組み合わせていく際に間違いを防止する一助となる。パーツの折り線部分は軽くけがいておくと組み立てが容易になる。各パーツは紙テープを用いて接着させていく。半球が完成した後（図 3 a）内側を黒色の艶消しアクリルラッカーで塗装する（図 3 b）。両半球を天の赤道部分で接着させ、恒星球の外側も黒色に塗装して完成となる（図 3 c）。

のりしろ部分が恒星と重なってしまい、ピ

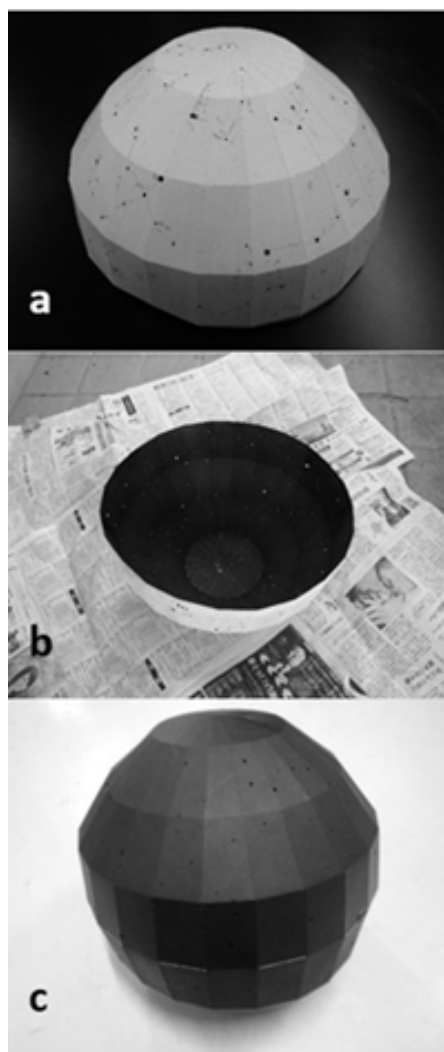


図 3 恒星球の作製方法

- a : 北半球の恒星球を組み立てた様子。
 b : 南半球の恒星球を組み立てた後、内側を黒色の艶消しアクリルラッカーで塗装した様子。
 c : 両半球を天の赤道部分で接着させ、恒星球の外側も黒色に塗装した様子。

ンホールがふさがってしまった場合には、恒星球完成後に再度ピンホールを空けた。1 等星には色の違いが分かるように、赤、黄、青の 3 色のセロハンを恒星球の外側から貼り付け、着色した。完成した恒星球に内径 125 mm、高さ約 5 cm に切断したボイド管を貼り付けた。

(4) 恒星球を載せる架台の開発

恒星球を回転させる架台はいくつかのタイプのものを試作した。ここでは、作製が容易で緯度の調整も容易な三脚固定式のタイプを報告する（図 4）。厚さ 1.5 cm の発泡樹脂であるカネライトスーパーを外径 125 mm の円形 2 枚と、外径 135 mm の円形 1 枚に切断し、それぞれを接着させる。その後、外径 38 mm の塩ビ管が入る穴を開け、塩ビ管を固定する。外径 38 mm の塩ビ管を木片に固定した 2 本のサドルバンドで軽く固定し、外径 38 mm の塩ビ管を回転させることにより日周運動を再現する。外径 38 mm の塩ビ管にはずり落ち防止のためのストッパーとしてねじ山を切ってボルトを差し込んでおいた。恒星球の中

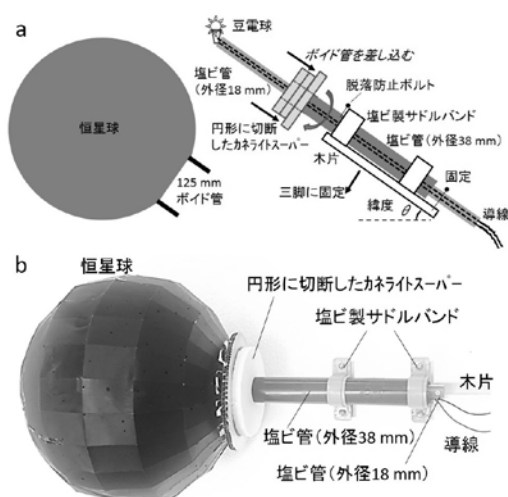


図 4 架台の作製方法

- a : 架台の概略図。b : 完成した架台部。

心に設置する光源は、外径 18 mm の塩ビ管の先端に設置し、外径 38 mm の塩ビ管の中に挿入して点灯させる。ソケットはホットボンドを用いて上に向くように固定する。塩ビ管内部に電源を供給するための配線を留置しておく。恒星球を回転させても光源を設置している外径 18 mm の塩ビ管は回転しないように、図 5a のように外径 18 mm の塩ビ管の一端を木片に木ねじを使用して固定しておく。恒星球と回転部を固定した木片を三脚に固定して使用する。図 5 には、架台の模式図 (a) と実際に恒星球を架台に取り付けた様子 (b) の両方を示している。

完成したプラネタリウムは回転もスムーズで投影される恒星像も真円であり、天の川が投影できないという課題はあるものの、これまでの試作品では考えられないほど質がよく、教室内での学習に十分使用できるものが完成した。表 1 には本研究で開発したプラネタリウムの特徴も合わせて示した。

ドームを使用せずに教室内で使用した場合でも、室内がある程度暗ければ十分に使用することができる (図 5)。教室内で投影する場合は、壁の隅に向かうほど多少星座の形は歪んでしまうが、プラネタリウムの回転軸の向きを任意に変えることにより、東西南北の星空を壁面に投影することができる。40 人程度のクラス人数であっても児童・生徒が全員観察をすることが可能である。プラネタリウムの回転軸を回転させることにより容易に日周運動も再現できる。南半球での星空を投影することはできないが、北緯 $20^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の星空を投影することができる。ホワイトボードが利用できる場合は、日周運動による恒星の位置の変化をボード上にトレースすること等も可能であろう。

これまでに、小学校での出前授業や京都教育大学での天文学、初等理科教育などの授業、天体観測会、天文工作実習のプログラムの一

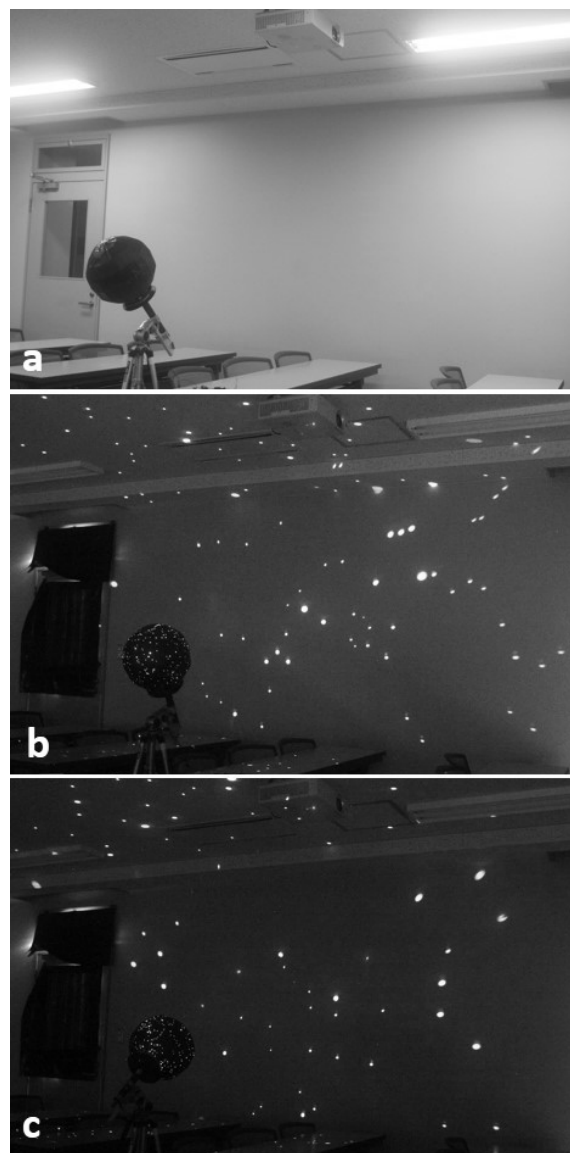


図 5 教室内での投影の様子

a: 投影を行った室内の様子。側壁および天井から約 1.5 m の位置に恒星球を設置した。

b: 南の空を壁面に投影している様子。

c: 北の空を壁面に投影している様子。

部として開発したプラネタリウム用ドーム [9] と開発したプラネタリウムを用いて投影を行ってきた。恒星球をアクリル系の塗料で塗装をしたためか、恒星球の耐久性は高く、作製から 5 年を経過した現在でも問題なく使用できている。

3. 紙製プラネタリウムのキット化教材「Kent Star」の開発

開発したプラネタリウムは、操作性もよく、これまでに投影会に参加した学生や児童・生徒からも好評であった。また、開発したプラネタリウムと同種の教材を学生が作製したり投影を行うことは、学生にとっても教育的効果が高いと考え、教材のキット化を検討することにした。キット化にあたり、教材に名称をつけたいと考えた。製作にケント紙を用い

ているので、「ケントリウム」「ケントスター」などの候補が挙がったが、最終的に「Kent Star」という名称をつけることにした。

プラネタリウムの作製に必要な 49 枚のパーツは 5 枚の A3 大の台紙にまとめ、これを台紙とすることにした（図 6）。恒星球の外側から穴を開けるタイプの教材であると星座の形を確認しながら穴を開けることが困難であるため、内側から星座を確認しながら穴を空けられるようにした。台紙をコピー機でケン

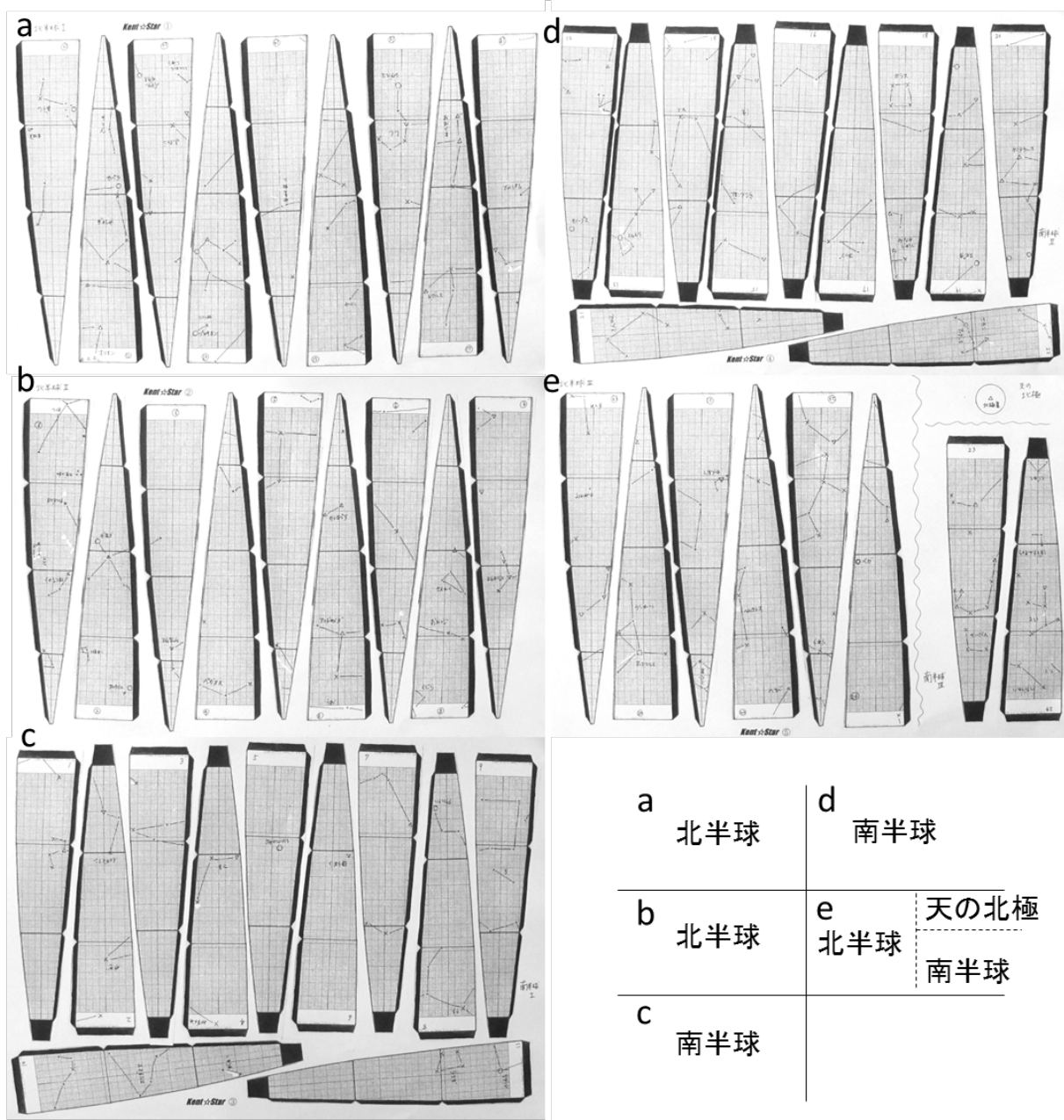


図 6 Kent Star の台紙

ト紙に印刷をして使用する。台紙には、予め 4 等星までの恒星の位置と 1 等星の名称、星座線と星座の名称を記入しておいた。恒星は 1~4 等星までそれぞれ「○、△、×、・」の記号で示した。

キット化を行う際、工程が複雑になることを避けるため、セロファンを用いて 1 等星を着色する行程は省いた。また、皮ポンチを用いての穴あけは、ハンマーを 1 回ずつたたいて空ける比較的手間のかかる作業になる。今回教材開発を行うにあたり、再度皮ポンチについて調べたところ、押し当てるだけで穴を開けることのできるスクリュエ皮ポンチが販売されていることに気がついた。このため、今後はスクリュエ皮ポンチを使用することにした。1~4 等星まで、それぞれスクリュエポンチを用いて 4 mm, 3 mm, 2.0 mm, 1.5 mm の穴を開けることにした。皮ポンチを使用した場合とピンホール径が異なるのは、スクリュエポンチに附属しているポンチ径の制約によるものである。

プラネタリウムの照明や架台については製作者が自由に設計し製作できるようにすることを考えたが、製作者から求めがあった場合に提供できるよう、プラネタリウムの照明や架台についてもキット化を行った。キット化を行った照明や架台は図 6 のタイプのもので、三脚に接続させる代わりに、図 7 のように木片 3 枚を組み合わせた台座に載せて使用するものをキット化した。

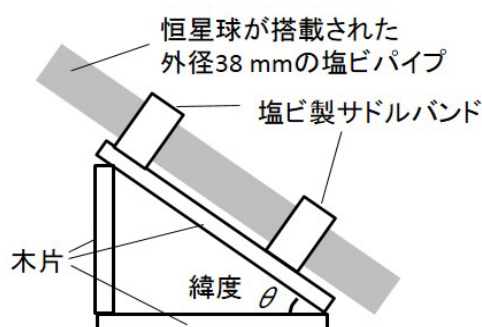


図 7 キット化用の台座

4. 今後に向けて

本研究では、星像が円形で尖鋭で教室での学習に適した紙製の 169 面体ピンホール式プラネタリウムを開発した。現在は、開発した Kent Star を用いた、教員養成系大学の学生を対象とした教育実践も行っている。今後は学生から挙げられた改良点についての指摘を参考に、更に作成しやすく教育効果の高い教材化を目指して改良を加えたい。また、紙製のプラネタリウムでどこまでクオリティの高い星空が再現できるのか、その限界にもチャレンジしていきたいと考えている。更に、中高生や一般市民を対象とした工作教室を開催し、プラネタリウムを作製する面白さを広く伝えていきたいと考えている。

謝 辞

匿名の 2 名の査読者からは大変貴重なコメントをいただきました。ここに謝意を表します。

文 献

- [1] 湯本博文編集 (2005), 大人の科学マガジン vol.09, 学習研究社.
- [2] 阿部 修・佐藤浩之 (2006) 切頭二十面体型プラネタリウムの製作, 北海道教育大学紀要 (教育科学編) vol.57(1) 197-204.
- [3] 山田泰三・栗野論美 (2002) ペットボトルで手作りプラネタリウムを作ろう!, 天文教育, 14(6), 6-12.
- [4] 小貫良行 (2007) 授業教材に適した手作りプラネタリウムについて, 天文教育, 19(1), 30-34.
- [5] 大平貴之,
<http://www.megastar-net.com/desktopschool/desktopschool.html>, 2017 年 9 月 5 日参照
- [6] 大久保秀樹・吉田吏 (2003) 個別学習用プラネタリウムの開発, 教材学研究, 14, 33-36.

-
- [7] 独立行政法人科学技術振興機構,
http://www.jst.go.jp/csc/sciencecommunication/pastrika/kyouzai/data/02/02_02/02_02_03/02_02_03_05/02_02_03_05frame.html
2017 年 9 月 5 日参照
- [8] 西はりま天文台(<http://www.nhao.jp/~tokimasa/hayami> 2012 年 1 月 31 日参照)
- [9] 大石匠海・中野英之・村上忠幸 (2013)
プラダンを用いた可動式プラネタリウムの開発, 京都教育大学教育実践研究紀要, **13**,
93-97.