

ジョンソンの立体を用いた公開講座による理科教育の試み

相馬 岳

A trial of science education by open seminars using the Johnson solid

Takeshi SOUMA*

Abstract

理科教育はわが国にとっては重要な教育タスクであり、高専としても小中学生の理科教育に対する寄与が必要となる。本論文では、ジョンソンの立体を題材とした小学生向けの公開講座を開催し、理科教育のみならず「算数」や「図工」の要素も含んだものづくり教育を試みた事例を紹介する。ジョンソンの立体とは二種類以上の正多角形で構成された正凸多面体の一種であり、正多面体（プラトンの立体）や半正多面体（アルキメデスの立体）に比べて珍しく、教材として取り上げた例が少ないのが特徴である。本公開講座においてはその中で小学生でも工作が容易な二種類を選定し教材とした。参加者は小1～小6まで多岐にわたったが、いずれの学年でも楽しく工作しながら立体図形を理解できたと考える。また、アンケート結果においても概ね良好な結果が得られ、参加者の理科、算数、図工に対する関心度が判明した。

Keywords: ジョンソンの立体, 理科教育, 公開講座, 立体図形, 小学生

1. 緒言

理科教育の重要性が広く認識されるようになってかなりの時間が経過した。その背景としては言うまでもなく児童・生徒の「理科嫌い・理科離れ」があり、それらの言葉が1980年代後半に世に登場¹⁾してから四半世紀が過ぎようとしている。その対策として、「理科教育の充実」が学習指導要領の改善事項として挙げられて早くも十年が経過しようとしている。中学卒業者を受け入れ技術者の養成を行う高等専門学校（以下高専）においても、理科教育の重要性を単に認識するだけではなく、具体的な手段を講じなければならない状況と言える。

長沼²⁾は理科離れの動向を非常に幅広く調査し、小学5年生を境に学年進行的に理科および科学への関心が急激に低下する傾向を見出し、そこから理工系学部志願比率・数の低下や理工系学部志願者の学力低下が懸念されることを提案した。また、同研究においては、理科離れの教育的環境の原因の一つとして、小学校教員の高校時代に物理の未履修者が61.3%と高いことを指摘している。

一方、石川ら³⁾は理科離れを引き起こす要因に関して調査し、「理科離れ」の原因の一つを小学校から中学校へ移行する段階での子供の理科に対する肯定的意識の減少としてとらえ、子どもと教師の意識の実態を分析した。また、同論文においては、小学校教師の理科の授業に対する苦手意識をもったことがある割合の多さも指摘している。

同様の研究例として、田島³⁾は小学校理科の授業向上に関する研究を行い、その中で理科の指導を苦手とする教師が年々増える傾向があることを言及している。

以上のような状況を踏まえ、高専としても可能な範囲で小中学生の理科教育に何らかの貢献をすることが肝要と考えた。加えて、理科教育のみならず算数（数学）や図工も含んだ「ものづくり」の面白さを伝えることも重要である。著者は平成29年度に高松こども未来館において小学生を対象とした公開講座（体験教室）を実施する機会を得た。本論文は、同講座において理科教育を踏まえた教材の作製や公開講座の実施状況およびアンケートによる評価についてまとめ、公開講座の効果を考察したものである。

* 香川高等専門学校 機械電子工学科

2. 講座内容の設計

2.1. 立体図形を模型化した教材の考案

本公開講座においては各種の立体図形（多面体）を模型とした教材を参加者（小学生）が自分で工作して組み立てる内容を基本とした。この内容であれば理科教育のみならず、算数（立体図形分野）や図工（工作分野）もカバーでき、ものづくりに興味を持つ子供を増やすことができると考えた。

2.2. 小学校における立体図形のレベル

公開講座の教材設計においては、対象となる小学生の立体図形に対する学年別の理解度を考慮する必要がある。納土ら⁴⁾は文部科学省学習指導要領解説から立体図形に関する学年別のレベルを表1のようにまとめた。

表1 小学校算数教科における立体図形の学習レベル⁴⁾

学年	学習指導要領解説によるレベル
1	身の回りにあるものの形の観察や構成などの活動を行い、ものの形を認めたり、形の特徴をとらえたりすることを指導する。身の回りにある立体について、児童が例えば、「箱の形」、「ボールの形」などと呼んだり、その特徴を調べたりできるようにする。
2	箱の形をしたものについて指導する。また、頂点、辺、面という用語も指導する。
3	立体図形としては、球について指導する。平面図形の円と比べながら、球の中心、半径、直径についても指導する。
4	立方体、直方体について理解する。直方体に関連して、直線や平面の平行や垂直の関係について理解できるようにする。また、直方体、立方体の見取図や展開図を描くことを指導する。
5	角柱や円柱について指導する。また、角柱、円柱の見取図や展開図をかくことを指導する。底面、側面という用語についても指導する。
6	「C図形」の領域では、立体図形の内容を示していないが、「B量と測定」の領域で、角柱および円柱の体積の求め方を考えることを指導している。

表1によると、小学1年生では箱等の立体図形の概念を理解し、同2年生では頂点、辺、面を学習していることになる。同3年生では立体図形である球を学習

し、平面図形である円との相違を指導されている。第4学年以降においては格段にレベルアップし、立体図形の展開図や体積も理解できることになる。

しかしながら、文部科学省が提示する学習レベルとは別に理解度の個人差も考慮しなければならない。牛奥ら⁵⁾は小学4年生を対象とした空間的思考力を高める実践的な算数授業を提案し、直方体と立方体を切り開く授業により立体・平面操作の念頭操作には個人差が多くみられることを報告している。

以上に示したような小学生の立体図形に対する理解度を考慮して教材を設計しなければならないが、公開講座が学校外の教育であることを考慮すると小学校の授業とは異なる教材を開発する必要が生じる。また、公開講座は純粋な学校教育とは異なり任意参加であるため、各学年に対応した「遊び」の要素を盛り込むことも考えなければならない。このような条件を勘案して教材となる立体図形を模索した。

2.3. 正多面体の分類

小学生に対する教育効果を考えると、教材となる立体は、ある種の規則性を有しているほうが好ましく、また全ての面が正多角形であるほうが理解しやすいと考えた。

一種類の正多角形のみで構成された立体は正多面体と呼ばれ、別名プラトンの立体と呼ばれる。それは全部で5種類であり、面が少ないほうから正四面体、立方体、正八面体、正十二面体、正二十面体である⁶⁾。納土ら⁴⁾は小学校5および6年生を対象に、全ての面が正三角形からできている3種類の正多面体（正四面体、正八面体、正二十面体）について、展開図を描いて組み立てる企画を学校外で実施した。その結果、立体に対する楽しさや、立体図形を完成させたときの達成感を感じている子が多いことを報告している。

一種類だけではなく二種類以上の正多角形が各頂点まわりに同じ状態で集まる多面体を、正多面体の規則性が半減しているため半正多面体という⁷⁾。この半正多面体のうち、正多角形と同じ対称性をもつ13種類をアルキメデスの立体と呼称する⁸⁾。

正多面体や半正多面体の他に正多角形のみで構成される立体としては正角柱と反角柱がある。これらも頂点形状が同じで正多角形の面を持つ立体だが、底面は正多角形であれば頂点がいくつでも良いため、無限集合となる⁹⁾。

このように正多角形で構成される立体図形は多岐にわたることが分かる。その中から教材として適した立体図形を選定する必要がある。

2.4. ジョンソンの立体の概要

5種類のプラトンの正多面体, 13種類のアルキメデスの立体, 無数に存在するアルキメデスの正多角柱と反正多角柱を除くと, 正多角形のみで構成される凸正多面体(整多面体)は92種類である. この92種類の立体を1966年に最初に発見した数学者にちなんでジョンソンの立体と呼称し, それぞれ J_n のジョンソン番号が付されている. 証明については, 数年後にロシアのザルガラーが実施したため, ロシア側ではザルガラーの多面体と呼称することがある¹⁰⁾.

ジョンソンの立体は全て正三角形, 正方形, 正五角形, 正六角形, 正八角形, 正十角形を組み合わせる構成されるが, 一般的に J_n の番号が小さいほど形状が単純である. そのため, 小学生用の教材とする場合 n が小さいほど工作しやすいが, J_1 は正四角錐(底面が正方形, 側面が正三角形), J_2 は正五角錐(底面が正五角形, 側面が正三角形)といったシンプルな錐体であるため算数の教科書等で散見でき面白さに乏しいと考えた. その次の J_3 は正三角台塔, J_4 は正四角台塔といった立体図形で, その概要は表2のとおりである. この程度の図形であれば複雑さと面白さがほど良くバランスし小学生用の教材として扱えると判断した.

表2 正三角台塔と正四角台塔の概要

名称	正三角台塔	正四角台塔
J_n 番号	J_3	J_4
頂点数	9	12
辺数	15	20
面数	8	10
正三角形	4	4
正方形	3	5
正六角形	1	—
正八角形	—	1

2.5. 公開講座用教材の設計

本公開講座においては, 一般的に小学校の図工の時間に使用される工作用紙に平面的な展開図を記述して型紙とし, それを参加する小学生が切り抜いた上で立体図形として組み立てる方式を採用した. 図1および図2に正三角台塔の型紙と試作品を, 図3および図4に正四角台塔の型紙と試作品をそれぞれ示す.

設計時の工夫点として, まずは展開図をなるべくシンプルにするとともに組み立て易さを考慮した形態とした. 展開図は両立体図形ともに正多角形の組み合わせで構成され幾通りのパターンがあるが, 実際に組み立てる際に最も容易となるような配置とした. また,

接着部分(のりしろ)を赤で示すとともに接着部材としては幅5mmの両面テープを使用することで即座に接着できる仕様とし, 小学生が工作するのを容易にする工夫を行った.

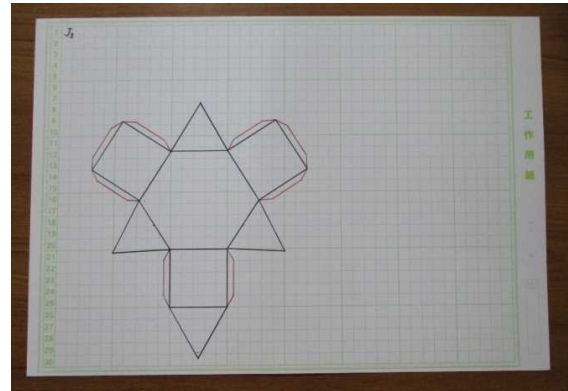


図1 正三角台塔(J_3)の型紙

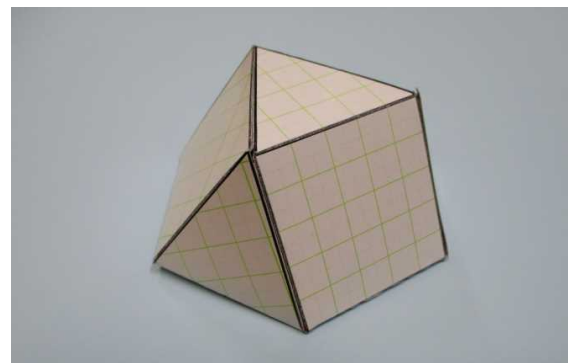


図2 正三角台塔(J_3)の試作品

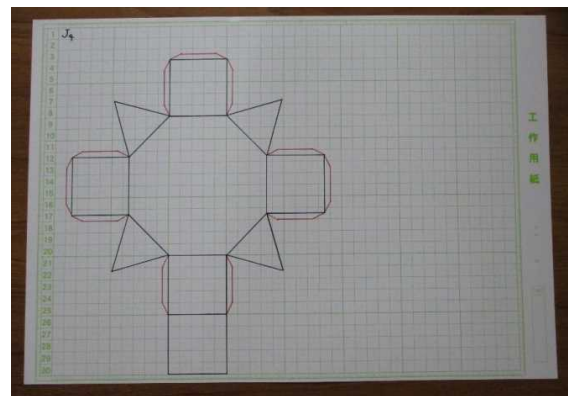


図3 正四角台塔(J_4)の型紙

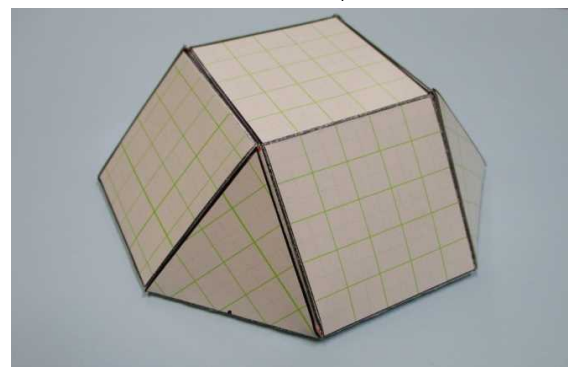


図4 正四角台塔(J_4)の試作品

3. 公開講座の実施

3.1. 公開講座の実施状況

本公開講座は平成29年9月18日の祝日(敬老の日)に実施した。場所は高松市こども未来館4Fの科学体験ひろばであり、開講時間については午前10:00~12:00、午後13:30~15:30の二回とし、一回当たりの参加者数を10名に設定した。実際の当日の参加人数は午前9名、午後7名(保護者除く)であった。

講座の冒頭に講師である著者が挨拶とガイダンスを実施した(図5)。その際の工夫点としては、パワーポイント等のスライドを用いずに4枚のA1サイズのパネルを用い、ガイダンス終了後も必要に応じて確認できるようにした。また、正三角台塔(図2)と正四角台塔(図4)の模型をはじめプラトンの立体の模型を展示し、小学生が手に取って見る事ができるような配慮をした。なお、今回の講座においては相馬研究室の学生二名がアシスタントとして参加し、小学生の工作を適宜サポートした。



図5 公開講座冒頭のガイダンスの様子

ガイダンスの後に参加小学生に工作をスタートさせた。工作用紙の裁断については安全面に配慮してカッターナイフを用いずにハサミのみで対応した。図6および図7に工作の様子を示す。高学年については比較的スムーズに工作を進めていた印象である。低学年について適宜保護者にサポートしてもらいながらの作業が見受けられた。いずれの学年においても設定時間内に正三角台塔および正四角台塔の2個の立体図形の工作を終えることができた。



図6 工作の様子(小学生高学年)

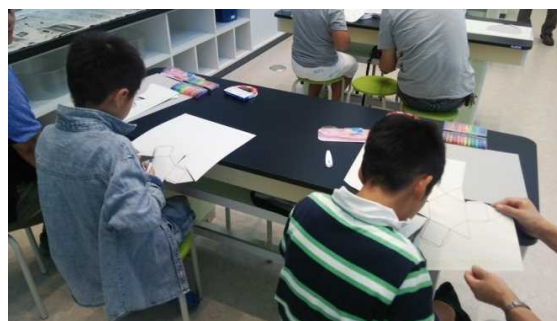


図7 工作の様子(小学生低学年)

3.2. 小学生による作品例

今回の公開講座における「遊び」の要素として、出来上がった各自の立体図形にはシールとサインペンで思いのままにデコレーションさせた。4年男子の作品(図8)についてはシールで海の生き物をイメージしたものであり、6年男子の作品(図9)においてはシールに加えサインペンも活用して牧場をイメージした高度なアレンジを行っていた。いずれの参加小学生においても楽しそうにデコレーションしていたのが印象に残った。



図8 正三角台塔作品例(4年男子)



図9 正三角台塔作品例(6年男子)

3.3. 空き時間に対する工夫

設定時間よりも大幅に早く工作が終了した参加小学生のために、今回は市販の立体パズルを活用した空き時間に対する工夫を行った。パズルに取り組む様子を図10に示す。このような工夫により、時間が余った参加小学生に対しても飽きることなく時間を過ごせるように配慮した。



図10 空き時間の工夫例

4. アンケート集計結果および考察

本公開講座（体験教室）においては実施後にアンケートを集計した。アンケートはA4用紙1枚に8個の設問を用意した。なお、アンケートの有効回答数は15人であった。

4.1. 広報と参加学年

広報と参加学年に関する設問をまとめたものを表3に示す。まず、体験教室の情報入手先としては高松市の広報誌が12人、香川高専HPが3人であり、それ以外はゼロであった。本公開講座は高松子ども未来館で開催されたこともあって、高松市の広報誌からの情報が多かったものとする。次に参加者の学年については低学年である1～2年生が5人、中学年である3～4年生が5人、高学年である5～6年生が5人と均等に参加した結果となった。なお、本公開講座は小学生以上で募集したが中学生以上の参加は皆無であった。これも高松市子ども未来館といった施設の性格を反映したものと推定される。

表3 アンケート集計結果（広報と参加学年）

1. 本体験教室をどこで知りましたか？	人数
① 香川高専HP	3
② 高松市の広報誌	12
③ その他のメディアから	0
④ 人から聞いて	0
⑤ その他	0
2. 何年生ですか？	人数
① 1年生	3
② 2年生	2
③ 3年生	1
④ 4年生	4
⑤ 5年生	2
⑥ 6年生	3
⑦ その他	0

4.2 算数、理科、図工の好き嫌い

参加者の算数、理科、図工の好き嫌いに関する設問をまとめたものを表4に示す。まず、算数に関しては「①すごく好き」と「②どちらかといえば好き」が11人と2/3以上を占めたが「④どちらかといえば嫌い」が3人いたことが特徴的だった。この3人の内訳は低学年が1人、高学年が2人であった。次に、理科に関しては①と②が11人と高い割合であったが、③については4人おり、④と⑤は皆無であった。他方、図工については①と②は14人で③は1人、④と⑤は皆無であり、3教科の中で最も好かれている教科であることが判明した。

表4 アンケート集計結果（3教科の好き嫌い）

3. 算数は好きですか？	人数
① すごく好き	8
② まあまあ好き	3
③ ふつう	1
④ どちらかといえば嫌い	3
⑤ すごく嫌い	0
4. 理科は好きですか？	人数
① すごく好き	10
② まあまあ好き	1
③ ふつう	4
④ どちらかといえば嫌い	0
⑤ すごく嫌い	0
5. 図工は好きですか？	人数
① すごく好き	11
② まあまあ好き	3
③ ふつう	1
④ どちらかといえば嫌い	0
⑤ すごく嫌い	0

4.3 ものづくりへの興味および公開講座の評価

ものづくりの仕事に関する関心と本公開講座の評価についてまとめたものを表5に示す。まず、ものづくりの仕事について、「①すごくしたい」が6人、「②まあまあしたい」が2人、「③ふつう」が5人であり関心度が分散した結果となった。また、「⑥考えていない」が2人であることから、小学生においてはものづくりの仕事の具体的なイメージが掴めないことが示唆される。

また、今回の公開講座（体験教室）に対する評価として、「①すごく楽しかった」が13人、「②まあまあ楽しかった」が2人と良好な結果であることが分かる。これより立体図形といった教材選定やシール等を用い

たデコレーションによる「遊び」が公開講座の内容として適切であったことが分かる。

表5 アンケート集計結果 (ものづくり関係)

6. 将来ものづくりの仕事をしたいですか?	人数
① すごくしたい	6
② まあまあしたい	2
③ ふつう	5
④ どちらかといえばしたくない	0
⑤ まったくしたくない	0
⑥ 考えていない	2
7. 今日の体験教室は楽しかったですか?	人数
① すごく楽しかった	13
② まあまあ楽しかった	2
③ ふつう	0
④ あまり楽しくなかった	0
⑤ すごく楽しくなかった	0

4.4 好きな立体図形および将来展望

設問8については8個の選択肢のうち上位三項目を順位付けして選択させる方式としたので、一位を3点、二位を2点、三位を1点として集計した。表6は項目別の得点を集計した結果である。また、プラトンの立体である①～⑤は公開講座における展示模型であり、⑥～⑦は参加者自身が作製した工作物なので、いずれも実物を見ての判断となる。

表6より、最も得点が高かったのが正二十面体の23ポイントであり、二位が正十二面体の21ポイント、三位が正八面体の19ポイントと続いた。今回教材として取り上げた正三角台塔は9ポイント、正四角台塔は6ポイントに留まった。一般的に言えることとして、今回参加した小学生においては、より複雑な立体図形に興味を持っている様子である。よって、今後同様の講座を実施する際は、より複雑な立体図形の選定が可能であることが示唆された。

表6 アンケート集計結果 (好きな立体図形)

8. おもしろかった立体を3個	得点
① 正四面体 (プラトン)	5
② 正六面体 (プラトン)	0
③ 正八面体 (プラトン)	19
④ 正十二面体 (プラトン)	21
⑤ 正二十面体 (プラトン)	23
⑥ 正三角台塔 (ジョンソン)	9
⑦ 正四角台塔 (ジョンソン)	6
⑧ その他	0

5. 結論および今後の展望

今回の小学生向け公開講座の実施およびアンケート調査結果の考察により以下の結果が得られた。

- (1) 今回の公開講座においてはジョンソンの立体を用いた理科教育を試みた。ジョンソンの立体は小中高では扱わない珍しい立体であるが、今回選定した正三角台塔 (J_3) および正四角台塔 (J_4) については1～6年の各学年において問題無く工作することができた。
- (2) 立体図形の工作に加えシールやサインペンを用いたデコレーションによる「遊び」の要素を取り入れ、参加小学生の創造性を育む試みも行った。アンケート調査から今回の公開講座には概ね満足している結果が得られた。
- (3) 数学、理科、図工の三教科に対する好き嫌いに関するアンケートから、理科については2/3程度が「好き」であったが、1/3程度が「ふつう」と回答していた。また、図工に関しては大半の学生が好きと解答したが、算数に関しては苦手意識を持つ子がいることが分かった。
- (4) 好きな立体図形に関するアンケートから、参加した小学生はより複雑な立体図形に関心があることが判明した。次回においては、より複雑な立体の選定が望ましいことが示唆された。

今回のジョンソンの立体を用いた小学生向け公開講座の実施は最初の一步であり、まだまだ改善の余地は多々あると考えられるが、理科教育としては一定の成果を挙げたと言える。今後も何らかの形で理科教育に対する発展的な試みを継続したいと考える。

6. 謝辞

本公開講座の実施においては会場の提供および多大な御協力をいただいた高松市こども未来館の皆様および関係者の皆さまに深く感謝する。また、公開講座実施時においてアシスタントとして協力いただいた相馬研究室の学生達に深謝する。最後に、広報や事務手続きにご尽力いただいた本校事務職員の方々に感謝の意を表する。

7. 参考文献

- 1) 長沼祥太郎, 理科離れの動向に関する一考察—実態および原因に焦点を当てて—, 科学教育研究, Vol. 39, No. 2, pp.114-123, 2012.
- 2) 石川智恵, 坂本憲明, 理科離れを引き起こす

要因に関する研究 ―子どもと教師の意識の
ずれを中心に―, 科教研報, Vol. 24, No. 2,
pp.95-100, 2009.

- 3) 田島与久, 小学校理科の授業の向上に関する
研究③ ―指導内容, 方法の工夫・改善―,
北海道文教大学研究紀要, 第37号, pp.45-54,
2013.
- 4) 納土恵美香, 山路健祐, 立体図形に対する感
覚を豊かにする教材の提案, 岐阜数学教育研
究, Vol. 11, pp.154-161, 2012.
- 5) 牛奥祐太郎, 井上早矢, 遠藤清香, 空間的思
考力を高める算数授業の提案 ―小学4年生
を対象として―, 山梨学院大学短期大学研究
紀要, 第36巻, pp.121-126, 2017.
- 6) ダウド・サットン著, 駒田 曜訳, プラトン
とアルキメデスの立体, pp.2-3, 創元社, 2012.
- 7) 宮崎興二, 多面体百科, pp.206-208, 丸善出版,
2016.
- 8) 宮崎興二, 多面体百科, pp.6-7, 丸善出版, 2016.
- 9) ダウド・サットン著, 駒田 曜訳, プラトン
とアルキメデスの立体, pp.32-33, 創元社,
2012.
- 10) 宮崎興二, 多面体百科, pp.106-108, 丸善出版,
2016.