

高校における構造指向の数学的活動に関する考察¹

—多面体に関する授業実践をとおして—

兵庫教育大学 濱中裕明・加藤久恵

1. はじめに

近年特に重視されている数学的活動の内容としては、数学の実用的価値に重点をおいた応用指向の数学がとりあげられる場合が多い。しかし一方で、数学の内容や考察そのものを面白いと思わせるような、主体的・能動的な考察活動を促す「構造指向の数学的活動」を考えることも重要ではないか。本研究では、そのような活動の枠組みを提案し、実践を通してその効果を検証しながら、「構造指向の数学的活動」の教材開発を行うことを目的としている。

これまでの研究のなかで、市川の学習動機の 2 要因モデルを参照し、学習の動機付けの観点から考えれば、目的意識をもった主体的活動としての数学的活動は、より内発的な学習動機を学習者のなかで高めていくという意義があることが指摘できることを述べた。また、充実志向の学習動機を刺激するような、知的好奇心を呼び起こす数学的活動を含む教材・授業の設計のために、ヴィットマン(2000)の述べる本質的学習場と、飯島(1988)の述べる「数学の指導における実験」に注目し、それらをふまえて次節に述べるような「構造指向の数学的活動のサイクルモデル」を提案した。(濱中・加藤(2012))

本稿では、そのような「構造指向の数学的活動のサイクルモデル」に沿った授業実践を紹介・考察し、これまでに考えてきた構造指向の数学的活動の意義に照らして、効果を検証し、さらなる教材開発のための示唆を得ることを目的とする。

2. 構造指向の数学的活動のサイクルモデル

次の図 1 に示すのが、濱中・加藤(2012)で述べた「構造指向の数学的活動のサイクルモデル」である。これは、数学者の研究活動の縮図として構想されている。

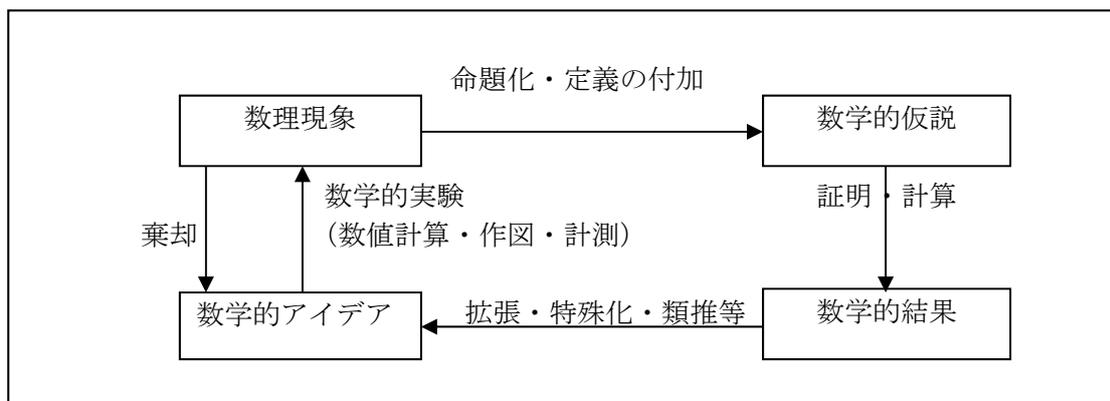


図 1 構造指向の数学的活動モデル

数学者の研究の起点となるのは、何らかの数学的アイデアである。それは何か既知の数

¹ 本研究は科研費(23531192)の助成を受けています。

学的結果からの類推であったり、拡張であったりするが、具体的に定式化されたものではなく、インスピレーションや課題意識といった程度のことも多い。数学的なアイデアは、数学的な実例の計算等によって確かめられ、定義を付加したり、命題化したりすることで数学的仮説（予想）となる。もちろん、数学的仮説が、数学的に証明されれば、それは数学的な研究成果となり、次の数学的アイデアを生むための素となる。このサイクルを縮図化して、数学的活動における一つのモデルとするのである。

- 1) 数学的アイデアの提示：数学的アイデアを生み出す部分は得てして難しいことが多く、また教師による適切な学習の方向付けも必要であるから、数学的アイデアの提示は教員主導でも構わない。この数学的アイデアの提示がサイクルの起点となる。
- 2) 数理現象の発見：そのアイデアを数学的に具体化したものとして、実例の計算や計測などの数学的実験の活動を行う。その数学的実験の方法は、自然に学習者から想起される場合もあるであろうし、やはり教師の提案が必要となる場合もあろう。また、仮にこの実験で、当初の数学的アイデアに基づいた結果が得られなければ、いったんアイデアは棄却され、修正を求められる。また、この数学的実験の中から興味深い数理現象が発見できれば、その発見を数学的に述べて整理することが求められる。特に、ここでは学習者の発見が自然に生起するような配慮が必要である。
- 3) 数学的仮説を立案：すなわち、数学的仮説を立てる段階である。ここでもまた、発見した内容から整理された数学的仮説を学習者が自分自身のもので認識するような配慮が必要であろう。そして、そのような認識が学習者に生まれれば、そこから主体的な考察活動へと自然に展開することが可能ではないか。
- 4) 数学的結果を獲得：すなわち前段階で立てた数学的仮説について、数学的に証明したり、計算したりして、数学的結果を得る段階である。仮説が「自分のもの」という認識に立てば、そこには証明をする責任が自然に発生するであろう。そのような主体的な考察による結果の獲得によってこそ、「分かる喜び」を実感させることができるのではないか。また、ここで得られた結果を基にして、新しい数学的アイデアを提示していくことで、次の数学的活動のサイクルへとつなげることができる。

また濱中・加藤(2012)では、上記のようなサイクルに沿った活動を展開するための、数学の題材を開発する際の視点として次の4点を挙げた。

1. **そこに意外性のある発見があること。**
学習者を主体的・能動的な探究へと誘う契機となるのは、数理現象のなかから学習者が見出す発見である。つまりそこには、数学的に興味深く、学習者にとっても魅力的な発見が含まれる必要があり、また、その発見は学習者が見出すことができるレベルのものである必要がある。
2. **そこから考察へとつながる内容であること。**
数学的活動は、単なる活動ではなく、数学的な学習の一環としてなされるのであるから、発見は適切な考察へとつながるものでなければならない。そのために、発見された内容は意外性があるだけでなく、適切な学習内容と結びついていて、また、適度な難易度の方法によって解決できるものである必要がある。
3. **さらなる探究活動へとつながるものであること。**
研究活動の縮図として設計されたこの数学的活動モデルにおいては、活動全体が一つの教授内容として閉じたものではなく、学習者が自分だけの考察を深めたり、そこから作品化したりできるものを目指したい。
4. **抽象と具体をつなぐものであること。**

高校での数学の学習内容は、抽象度が高く、学習者にとって実感を伴わない内容であるといわれる。構造指向の数学的活動においても、数理現象を直接に実測したり計算したりするなかで、抽象的な学習内容に実感を持たせるという意義を持たせたい。

3. 多面体に関する授業実践

上記のような視点をふまえた数学的題材として、濱中・加藤(2012)でも多面体に関する題材を例示したが、ここではこれを実際の授業として行った実践例を紹介する。

(1) 授業の対象

以下に述べる授業は3つの高校で行った。対象となった生徒たちの平均的な学力は、数値化することはできないが、学校ごとにかなり異なる。A高校は全国でも屈指の学力の高校であるし、C高校は県内では平均的な学力であるといえる。また、B高校の学力はその中間に位置する。

県立A高校：1年生39名（理数クラス）

県立B高校：1年生40名

県立C高校：1年生28名・2年生24名（合同クラス）

(2) 授業の位置づけ

実際の授業実践は高大連携のための特別授業として行った。平成24年度からは、高等学校1年生の数学Aの内容として、多面体の性質、特にオイラー数が2というオイラーの定理などが含まれている。今回の授業は時期として、その内容の前後に行った。

(3) 授業内容

高大連携のための特別授業として行ったため、実際の授業時数も3つの学校でそれぞれ異なる。実際には以下のとおり。

A高校：1時間の授業を連続して3回

B高校：65分の授業を連続して2回

C高校：55分の授業を連続して2回

そのため、授業の展開もやや異なるものとなる。以下、授業の流れをAからFまで示すが、B、C高校ではこの通りに、AからFまでを行い、A高校では時間数に余裕があったため、Fの代わりに後述の内容により授業を展開した。

A) **多角形の外角の和の話**: 平面上の凸多角形の外角の和は 360° であることは知られている。この数学的結果を基にして、では凹多角形ではどうなるか、という数学的アイデアを提示する。

例えば、次の図5を観察すると、そのとき、内角が 180° を超える角をどうするか、という問題が発生する。実際、内角が 270° の頂点における外角をどうとらえるか。この外角を -90° と決めてみると、やはり外角の和が 360° となることが発見できる。

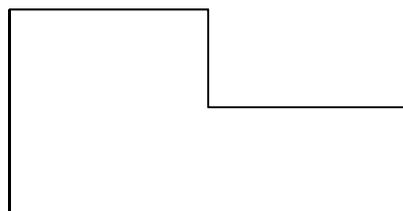
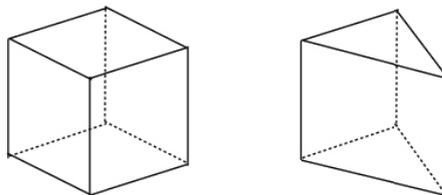


図2 凹多角形

つまり、 $\text{外角} = 180^\circ - \text{内角}$ という式を定義の拡張に用いれば、「外角の和は、凸であろうと凹でなかろうと、どんな多角形でも 360° で一定」という数学的結果が成り立つ。A)の中だけでも、1つの数学的活動のサイクルを展開することもできるがここではA)を基にした次のサイクルに注目する。

次に、A)の結果を基にして、新しい数学的アイデアを提示する。つまり、「多角形には、いつでも“等しくなる和”が存在したのであるから、3次元の多面体にも、何か一定となる「曲がり具合を示す角の和」がないだろうか」というアイデアである（**数学的アイデアの段階**）。

そこで、具体的な多面体、たとえば立方体と正三角柱において、何か角度を計測・計算してみようという実験が考えられる。そこで、多面体は「辺において曲がっている」と考えて、各辺において面と面がなす角の和やその補角の和の計算を促すが、立方体と正三角柱では『各辺における2面角の補角』の和が一定とならない。（**数理現象の観察と仮説の棄却**）



- B) **錐体の側面上の多角形の内角和の計測**：そこで、「では、辺ではなく、多面体の頂点部分で、何か「曲がり具合」を示す角はないか」というアイデアを提示する。（**新たな数学的アイデア**）そして、頂点付近と平面との比較をするために、「多面体の頂点部分をモデル化した錐体の表面上で、多角形の内角の和を計測してみてもどうか」という実験のアイデアを提案する。そして、実際に、錐体の側面上で、多角形の内角を計測する活動を行い、3角形、4角形、5角形等の内角の和がどうなるかを表にまとめるという活動を行う。（**数理現象の観察**）今回は、切欠きが 90° の用紙と切欠きが 60° の下図のような用紙を用意して、計測を行わせた。

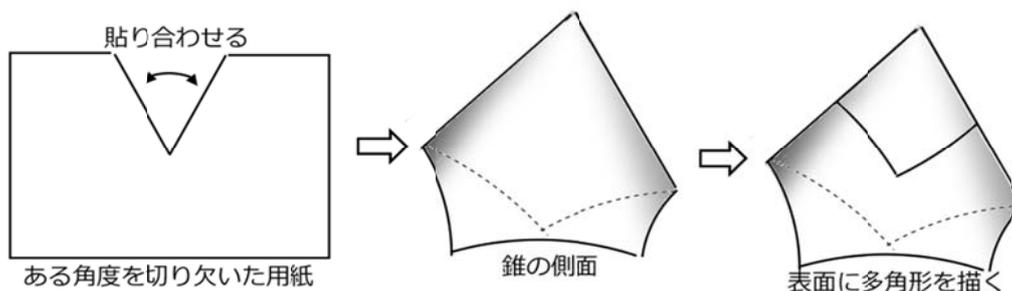


図3 切り欠いた用紙から錐体側面を作る

表1 90° を切り描いた用紙での計測例

頂点数	3	4	5	6
内角の和	268,270 270,268	445,451 450,450	630,632 633,631	805,813 812,811

- C) 錐体の側面上の多角形の内角和を考察：この表にまとめるという作業のなかから、自然に「一般に n 角形だったらどうなるか」という予想をたて、数学的仮説を立案するように誘起する。生徒から、錐体の側面上の内角和や外角和についての仮説が発言されたなら、証明を促していく。実際、錐体を切り開いた展開図において、中心角が 360° に a° 足りないならば、錐体の頂点を囲む n 角形の内角和は
- $$180 \times (n - 2) + a^\circ$$
- となる。その証明はいま作った錐面を切り開くことで、中学生程度の知識でも可能である。(数学的仮説から数学的結果への段階)

特に、今回の授業実践では上記の B)、C)の部分が、重要である。なぜなら前節で構造指向の数学的活動に関する題材開発の視点として述べた、生徒にとって自ら見出すことが可能な数学的発見と、生徒にとって解決可能な考察活動が、ここの部分に組み込まれているからである。そして、それこそが、生徒による「数学学習にかかわる目的意識をもった主体的な活動」としての数学的活動たりえる部分だからである。

- D) この数学的結果をもとに、「多面体の頂点の周りの局所的な部分において、これを頂点の周りに切り開いたとき、 360° に足りない角度、つまり切り開いたときの「切れ込み角の大きさ」を頂点の周りの「曲がり具合」を表す角としてはどうか」というアイデアを提示し、ただちに、立方体、正三角柱、各種正多面体などについて、「頂点周りの切れ込み角の大きさ」の和を計測・計算するという実験が展開できる。(数学的アイデアと数理現象の観察) 実際、凸多面体においては、その大きさは 720° となり、学習者にとって新しい発見となる。その発見をきちんと証明する方法を、生徒自身が見つけるのは極めて困難と予想されるので、ここでは教師の側から解説することに留めたが、その内容としては意外性があるものの極めて素朴な証明となるように配慮した。
- E) その後、前後の学習内容と関連付けるために、ここで発見された 720° という一定和から、オイラーの定理(凸多面体のオイラー数が 2 となること)へと学習内容を導いた。
- F) B 高校、C 高校においてはこの後に、高大連携授業として大学の数学への展望を、不変量というテーマで簡単に述べた。

A 高校においては時間に余裕があったので、F) の代わりに、正多面体の拡張としての半正多面体の定義を提示し、オイラー数等を用いて半正多面体の候補を各自で考えさせ、実際に紙によって工作して作り上げ、最終的には半正多面体の分類を示したが、今回の研究とのかかわりでは A) から E) の部分が考察の中心となる。

以上の内容の背景には、多角形の外角を曲率とみる考え方や、そこから次元を上げて多面体の曲率としての「頂点での不足角」といった理論が含まれているが、これらの考えは古くデカルトやユークリッドにまでさかのぼる。また、今岡ら(2007)も「多角形の内角・外角の和の性質が、その不変性を拡張することで、多くの組み合わせ的性質に発展する」と

述べ、「それは、図形教材の広がりを図る上でも有効である」と述べている。

さらに今回の題材では、主として表面的には多面体に関する数学の内容を取り扱っているが、その各部においては図形にとどまらない数学の知識・技能が必要となる。B)の部分では、 90° の切欠き用紙から作った錐体の側面上で n の値をいろいろ変えながら、 n 角形の内角の和を計測するわけだが、C)ではそこから内角の和と n の関係を見出すことが促される。実際には内角の和は n に関して 1 次式で表され、 n が 1 増えるごとに内角の和は 180 ずつ増加している。ただし、計測値は厳密値より少し誤差が生じるため、ここでは近似的にとらえながら 2 つの量の 1 次式の関係を読み取ることが求められる。また、C)ではさらに見出した関係を証明することが促されるが、そこではそれほど難易度が高くはないものの、多角形の内角や外角の和、および、それらを用いた証明といった図形領域の学習内容が含まれている。さらに、E)に示すように、その内容が、多面体のオイラー数といった高校での学習内容へと繋がるものとなっている。

4. 分析の視点と方法

まず、分析の着眼点について述べる。

1. 構造指向の数学的活動に関する題材開発の視点に関して：

第 2 節で、題材開発の視点として 4 点を挙げたが、そのなかでも特に初めの 3 つの視点に照らして、今回の題材が目的にかなうものであったかどうかを検証する。つまり、活動のなかで意外性のある発見が生徒から見出されたのか、それが生徒自身の考察や探究へと導くような題材であったか、を検証する必要がある。

2. 課題を自分のものと捉え、授業に主体的に参画することができたか：

生徒が発見や考察を行ったとしたなら、それは主体的なものであったのかどうかを検証する必要がある。特に、生徒自身が自らを振り返ったときに、積極的な参加をしたと思うかどうか。また、積極的な参加がどのような動機付けから生じたものなのかを検証する。

3. 自分なりの発見や考察をすることができたのか：

授業全体としては、生徒の発言や発表によって、課題がクリアされていったとしても、実際にその課題に寄与したのは一部の生徒であって、個々の生徒にとっては達成感がないという場合もありうる。個々の生徒にとって、自分なりの発見があったのか、自分でそれを考察したという感覚をもっているのか。そのような感覚こそが、数学的活動のなかでもっとも好奇心を刺激する部分ではないかと考える。

4. 数学観への寄与：

もちろん、1 回の授業で数学観が急に変わることは考えにくいですが、数学者の活動の縮図として構想した「構造指向の数学的活動のサイクルモデル」が、すでに出来上がった数学を記憶するという数学観から、自分で生み出していくという数学観への転換のきっかけとなることを期待したい。

以上のような着眼点を意識して、B 高校、C 高校では授業後に選択肢によって設問に答えるタイプのアンケート I を、A 高校、B 高校では A4 一枚程度の授業に対する感想を自由記述型で答えるアンケート II を促した。アンケート I の内容は、別紙として添付する。

特にアンケート I の設問 VIII について、これは上記の着眼点の 2. に関連して講義への積極的な参加の理由を問うものであるが、その選択肢となる 6 つの理由は、市川による学

習の動機付けの2要因モデルの分類に近いものとなるように設定した。このモデルでは「学習内容の重要性（縦軸）」と「賞罰の直接性（横軸）」によって構造化されており、学習動機を6種類に分類している。（図1）

- ① 充実志向：知的好奇心や向上心のために学習する。
- ② 訓練志向：知力を鍛えるために学習する。
- ③ 実用志向：仕事や生活に役立つ知識を得るために学習する。
- ④ 関係志向：他の生徒や先生につられて学習する。
- ⑤ 賞賛志向：他者に褒められたいから学習する。
- ⑥ 報酬志向：成績に伴う物質的報酬や学歴・出世を期待して学習する。

このモデルにおいては、報酬志向に属するものが従来の典型的な外発的動機付け、また、充実志向に属するものが典型的な内発的動機付けであり、右下が外発的に近く、左上が内発的に近いということになる。特に、目的意識をもった主体的活動としての数学的活動は、より内発的な学習動機を学習者のなかで高めていくことを目指すという立場に立ち、知的好奇心と呼び起こすような構造指向の数学的活動により、充実志向の学習動機が刺激するのではないかという仮説をたて、検証する。

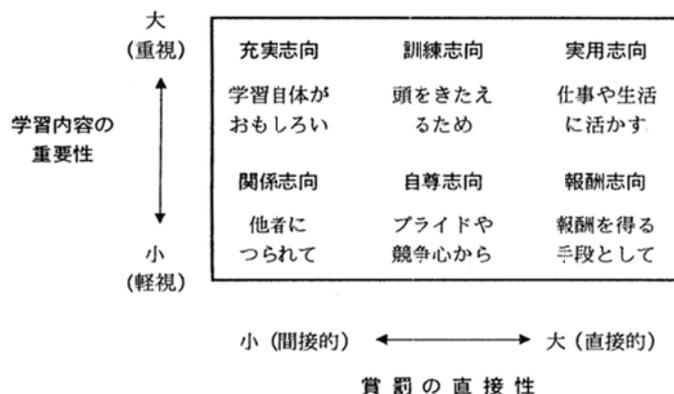


図4 学習動機の2要因モデル

3. アンケート結果等の考察

以下、授業後のアンケートI、IIを基にした考察結果を述べる。

まず、講義全体について、生徒たちが講義の内容を受け入れることができたのかどうかを検証する。B高校においては、75%を超える生徒が講義の内容を「やや難しかった」と回答しているが（設問V）、同時に75%を超える生徒が「面白かった」と回答しており（設問I）、80%の生徒が「分かりやすかった・やや分かりやすかった」と答えている（設問VI）ことから、内容は大多数の生徒に受け入れられたと考えてよいと思われる。

C高校については、「面白かった」という回答は半数程度だが、「面白かった・少し面白かった」を合わせれば90%以上であった（設問I）。ただし、内容を「難しかった」と答えている割合も40%を超えており、自分の力量よりも難易度が高いと感じた生徒がいたことも無視できない。それでも、「分かりやすかった・やや分かりやすかった」と答えた生徒が70%を超えていたことから、まったく分からないという状態の生徒は少なかったと思われる。

1. 構造思考の数学的活動に関する題材開発の視点に関して：

では、一連の授業のなかで、各部分は生徒にとって面白いと思えるものだったのだろうか、また、一番面白いとおもったところはどこだったのか。そして、面白いと思ったのはどういう理由からだろうか。授業の題材開発の視点からいえば、発見や考察する部分が面白いと感じる部分であろうと期待できる。特に、C)の部分は生徒自身が発見し考察できる数学的題材を含んでおり、そこに発見や自分なりの考察があったことを理由として、C)の部分が面白かったという回答が得られることが期待される。以下に B 高校、C 高校のアンケート結果（設問 II、III、IV）の結果を示す。

この結果を見ると、まず設問 II に関して、B 高校では C)の部分を面白いと感じた率が一番高く（70%）、C 高校では B)の部分を面白いと感じた率（69%）が高い。また、C 高校でも C)の部分を面白いと感じた率は 60%を超えている。実際、一番面白かった部分はどこかという設問に対して、B 高校では C)の部分という回答が一番多く、C 高校では B)、C)ともに回答は多いものの、B)の部分という回答が僅差で一番多かった。

また、その部分を面白いと思った理由（設問 IV）も合わせてクロス集計した結果を見ると、B 高校、C 高校ともに、C)を楽しいと選んだ生徒のなかでは、「考えるのが楽しかったから」、「知らないことだったから」という理由を選んだ生徒が多い。ただし、C 高校においては、「作業が中心だった」ことを理由に B)の部分を面白いと感じた生徒がかなりの数いた。

上記の結果から、B 高校では、題材開発の視点に従って、B)の計測を基に C)の部分で自分なりの発見や考察を行うことで、考えることが楽しいと感じさせるという、ねらいどおりに数学的活動が機能していたことが見受けられる。また、C 高校でもそのような機能が部分的に果たされたことが見受けられるものの、一部の生徒たちにとっては、発見や考察の楽しさよりも、単なる作業としての活動になってしまった可能性もある。

2. 課題を自分のものと捉え、授業に主体的に参画することができたか：

設問 VII では積極的に授業に参加できたかを質問したが、その結果を見ると、「積極的に参加できた」と答えた割合は B 高校で 88%、C 高校で 82%とおおむね積極的に参加した生徒が多かった。

つぎにその積極的な授業への参加の動機付けはどこにあるのかについて、設問 VIII の結果をもとに考察する。市川の学習動機の 2 要因モデルに基づいて、アンケート結果をグラフ化したものを別紙に示す。このグラフを見ると、生徒たちは今回の授業において、より内発的な動機づけを刺激されて積極的に授業に参加したことがうかがえる。

3. 自分なりの発見や考察をすることができたのか：

以下、B 高校でのアンケート II の記述から関係する記述を抜粋する。

- ・分かったときは楽しかった
- ・何か規則があるだろうなと思いました
- ・今日は授業を受けるというか、一緒に授業をしている感じがして、参加できたのでとても楽しかったです。
- ・授業で聞いている数学より自分も積極的に参加でき、考えることができたので楽しかったです。
- ・様々なことを自分で考えることができ、とても良い経験だったと思う。
- ・「Y 理論」とかの解説は分かりにくかったけど、そういう性質があることに自分たちで気づけたのが楽しかった。（Y 理論とは、同級生の Y が提案した発見内容のこと）

- ・“自分で考える”ことは楽しいと思いました。
- ・錐の公式を友達同士で「なぜそうなるんだろう」と話し合いながら考えるのが楽しかった。
- ・知らないことを、実験から発見していく数学はなかなかないのでとても楽しめたと、そこからみんなで考えてゆくのも面白いと感じました。
- ・今日の授業はいつもの講義とは違って聞くだけでなく自分で考えたり、作業をしたりしたのでとても楽しむことが出来ました。
- ・自分が本当に「どうしてそうなるのかな？」と思った内容を証明するのは本当に楽しかったです。
- ・自分で考える時間が結構多くあったから、自分で“気づき”もたくさんあった。
- ・自分で考えたり、友人と考えたりする時間もあって話を聞くだけじゃなかったのも、時間がすぎるのが早く感じた。

もちろん、自分で発見したり、証明を見出したりすることは重要であるが、これらの記述を見ると、自分が発見できずとも、自分なりに考えることの経験が充実感につながっていることが見て取れる。また、たとえ自分自身が見つけたわけではなくても、自分も一緒に考えたという経験をへて、自分たちで見つけることができたという達成感につながっているように感じられる。

4. 数学観への寄与：

アンケートの自由記述の中には、どの高校でも「知らないことを知れてよかった」というタイプの記述が一定数存在する。この記述からは数学において、考えることよりも、知ることを重視する傾向が見てとれる。そして、それは公式を覚えるといった現在多くの高校で散見される学習スタイルを背景としているのであろう。

しかしながら、今回のA高校、B高校でのアンケートIIの記述内容からは、数学で考えることへの興味や、それを重視する傾向を示す記述も多数見受けられた。以下、関係する記述を抜粋する。

A 高校

- ・今後もこの講義で知った実験→証明の手順をほかの場面でも活用していきたい。
- ・講義の途中では、結果がどのようなものになるのか推測してから、検証・考察するという流れが多くあった。今後新たな疑問に出会ったときは、自分なりの考えをもちつつ学んでいきたいと思う。
- ・今回の講義で、自分で考え、予想を立て、実際に自分でやってみて確かめるということの楽しさがわかりました。
- ・多角形の外角の性質を多面体に発展させるというように、既知の事実を発展させていくことの楽しさ、素晴らしさを感じることができた
- ・自分で予想を立て、それを証明したり実証したりすることは将来といわず、今でも必要な力なので、それを養うことができてよかった。
- ・今回の講義で学んだことの基本は今まで教科書で学習してきたことだったけれど、「この場合はどうなるんだろう？」と疑問を持ち試していくことで、いくらでも知識を深めていくことができると感じた。

B 高校

- ・数学という学問について改めて知った気がしました。

- ・普段の授業でも公式をそのまま覚えるだけでなく、どうしてそうなるのかという疑問を持ちつけて、数学の授業をうけたいと思います。
- ・不思議に思ったのはすべての結果に必ず理由あることです。
- ・法則や式を覚えるだけじゃなくて、どうしてそうなるのかも考えていきたい。
- ・調べていったら本当に（不変量が）あって、凄いなあ、うまくできているんだと感じた。
- ・決められている定理などに「なぜ？」と思う気持ちや考えることを大事にしたいと思いました。

どうしても高校では、公式を記憶するタイプの学習が多くなるなかで、上記のように、どうしてそうなるのかを考えることの大事さに気付いたという記述が多かった。また、自分なりに予想をたてて、実証していくという活動の良さに気付いた記述も多かった。

7. まとめと今後の課題

前節の分析から得られた示唆をまとめれば、以下のようになる。

- ・今回行った構想思考の数学的活動の中に含まれる、自分たちで行う発見、考察、探究というサイクルは、内発的な学習動機付けを刺激することについてかなり有効に働くこと。
- ・そのような構造思考の数学的活動のための題材として、今回の多面体に関するテーマは、かなり効果をあげたこと。
- ・その場合、かならずしも自分自身が発見や証明を見いだせずとも、自分で考える時間を十分にとることで、充実感や達成感を得ることができること。
- ・一方で、一部の高校では、角度の計測のほうが、考察よりも楽しかったという声もあった。つまり、対象となる生徒にあわせた適切な課題を用意しないと必ずしもクラス全体に対して効果的とは言えない場合があること。
- ・今回の構造思考の数学的活動を通して、知ること、覚えることを重視する数学の学習態度から、予想する・理由を考えるとといった数学の探究活動につながる学習態度へと転換を促すきっかけとなりうることが分かったこと。

今回は多面体に関する題材で実践を行ったが、今後、今回得られた示唆をもとに、他の領域や生徒の学力に合わせたさまざまな教材の開発・実践研究を重ねていきたい。

参考文献：

飯島康男(1988)

「算数・数学の指導に取り入れる実験の意義」, 日本数学教育学会誌. 臨時増刊, 数学教育学論究 49・50, pp. 3-27.

市川伸一 (1995)

「学習動機の構造と学習観との関連」 日本教育心理学会第37回総会発表論文集, p.177.

今岡光範、速水誠(2007)、「多角形の内角・外角の和に関する考察—図形の組み合わせ的性質の視点から—」、全国数学教育学会誌『数学教育学研究』第13号、pp.215-224.

濱中裕明、加藤久恵(2012)

「高校における構造指向の数学的活動について」全国数学教育学会 第 36 回研究発表会.

文部科学省(2009)

高等学校学習指導要領解説 数学編

ヴィットマン、港三郎訳(2000)

「算数・数学教育を生命論的過程として発展させる」『日本数学教育学会誌』、第 82 卷、
第 12 号, 2000, pp.30-41

授業アンケート I: 今回の講義の内容について忌憚なくアンケートに回答ください。

I. 今回の講義の内容全体に対して、面白いと感じましたか。

- 1. 面白かった。
- 2. 少し面白かった。
- 3. やや興味を持てなかった。
- 4. 興味が持てなかった。

II. 講義の次の内容 A から F について、それぞれ面白いと感じたでしょうか？次の選択肢 1～4 から選んで、それぞれの () に記入してください。

- 1. 面白かった。
- 2. 少し面白かった。
- 3. やや興味を持てなかった。
- 4. 興味が持てなかった。

- A: 多角形の外角の和の話 ()
- B: とんがった帽子の上の多角形の内角の和を計測 ()
- C: とんがった帽子の上の多角形の内角の和を考察 ()
- D: 多面体の曲率の和が一定になる話 ()
- E: オイラー数の話 ()
- F: 不変量の話 ()

III. もっとも面白かったところを一つ上げるとしたら、A から F までのどの部分ですか。
()

IV. 上の III. で回答した部分は、どのような点が面白かったのでしょうか？以下から選んでください (最大 3 つ)

- 1. 作業が中心だったから。
- 2. 自分なりに発見があったから。
- 3. どうしてなのか気になったから。
- 4. 知らないことだったから。
- 5. 考えるのが楽しかったから。
- 6. 生徒同士で一緒にやったから。
- 7. コンピュータを使った説明だったから。
- 8. 受験に役に立ちそうだったから。
- 9. 意外な結果を聞いたから。
- 10. その他 (下に書いてください。)

[]

V. 今回の講義の内容は難しかったですか。

1. 難しかった。
2. やや難しかった。
3. すこし易しかった。
4. 易しかった。

VI. 今回の講義の説明は分かりやすかったですか。

1. 分かりにくかった。
2. やや分かりにくかった。
3. やや分かり易かった。
4. 分かりやすかった。

VII. 今回の講義に積極的に参加できたと思いますか。

はい いいえ

VIII. 6で「はい」と答えた方に聞きます。積極的に参加した理由として次のうち自分の考えに近いものにマルをつけてください。(最大3つ)

1. 内容そのものが面白いと思ったから。
2. こういう内容を学習するのは頭の訓練になると思ったから。
3. 将来、役に立ちそうだったから。
4. みんなと一緒にやるのは楽しかったから。
5. 分からないことがあるのは嫌なので。
6. しっかり聞かないと叱られるから。

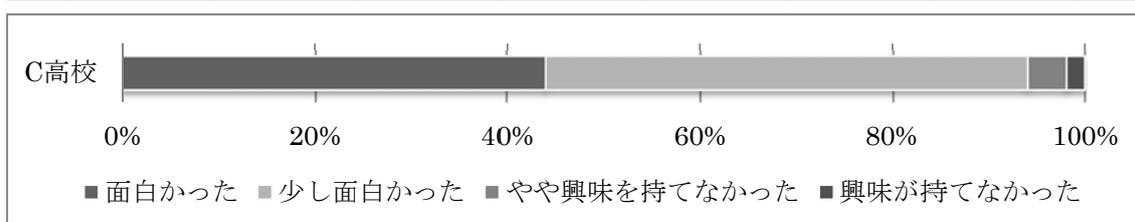
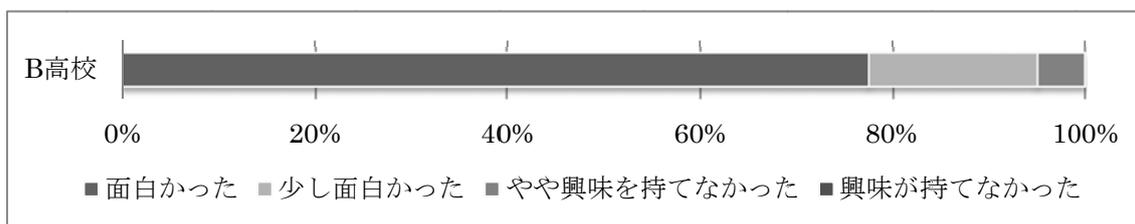
IX. 今回の講義で、感じたこと、思ったことがあればご自由にお書きください。
質問でも結構です。

記述欄：

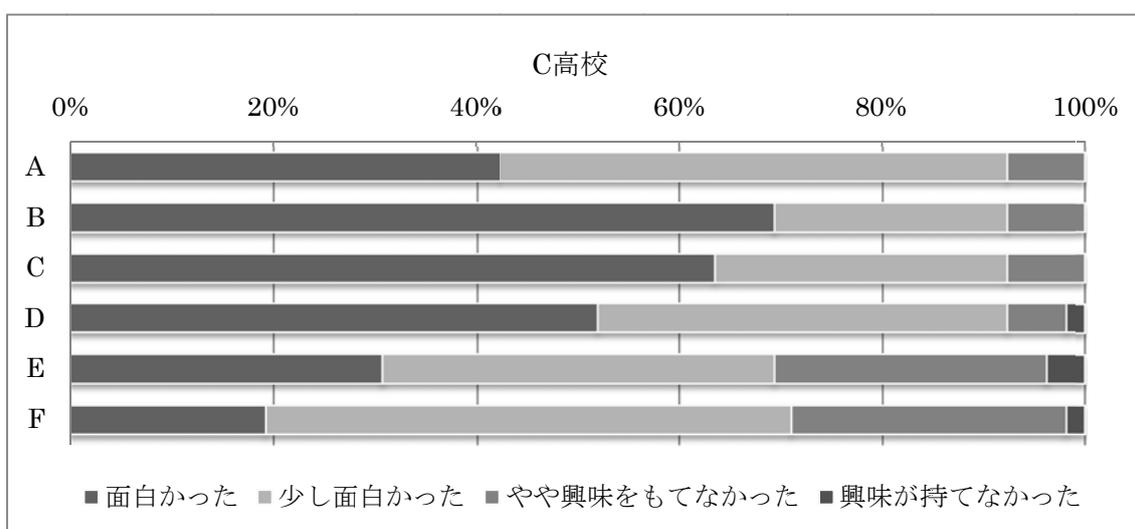
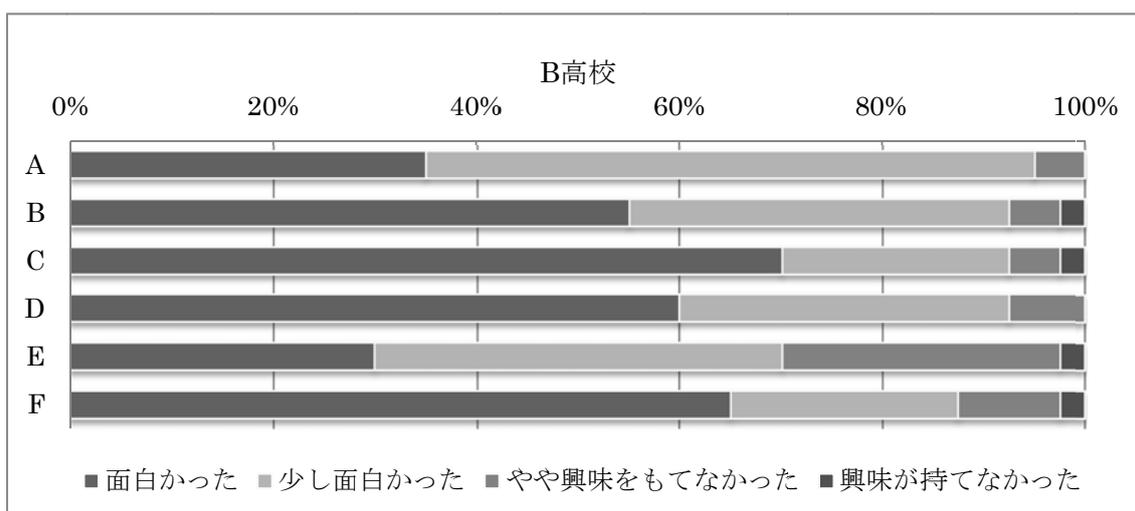
--

アンケート結果

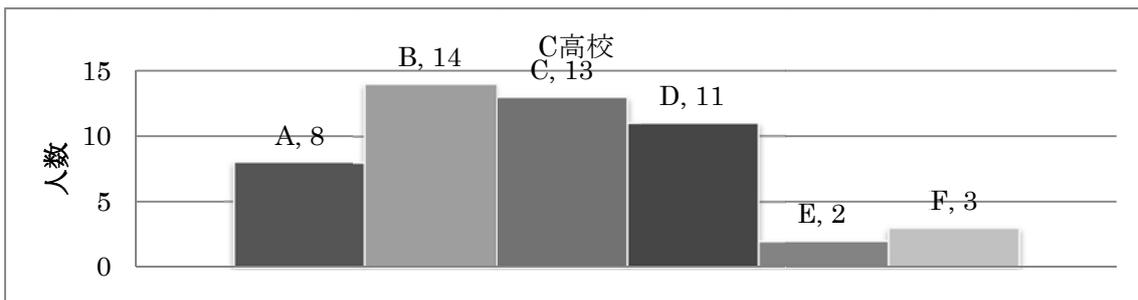
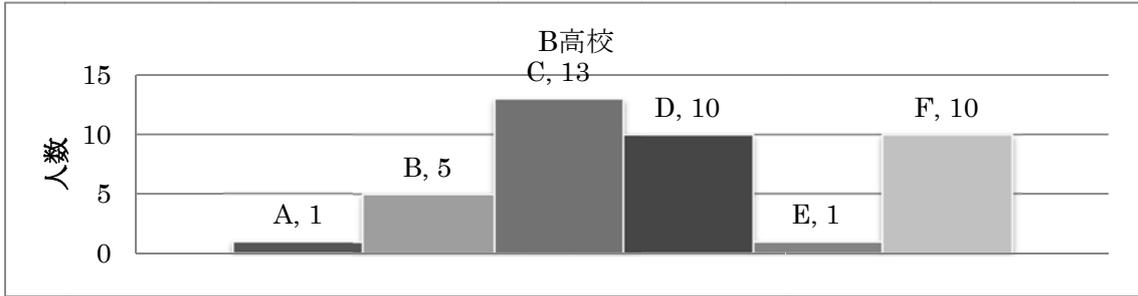
設問 I：今回の講義の内容全体に対して、面白いと感じましたか。



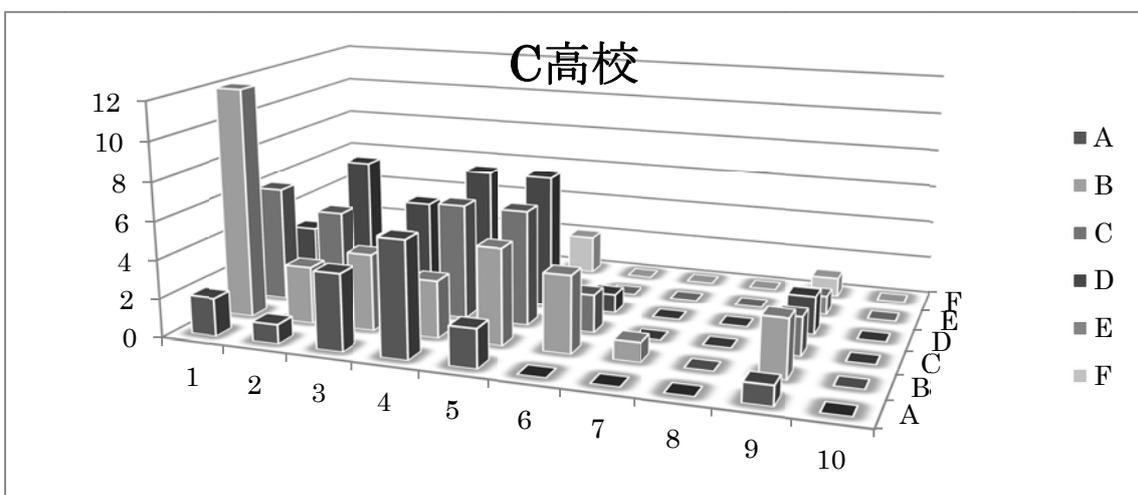
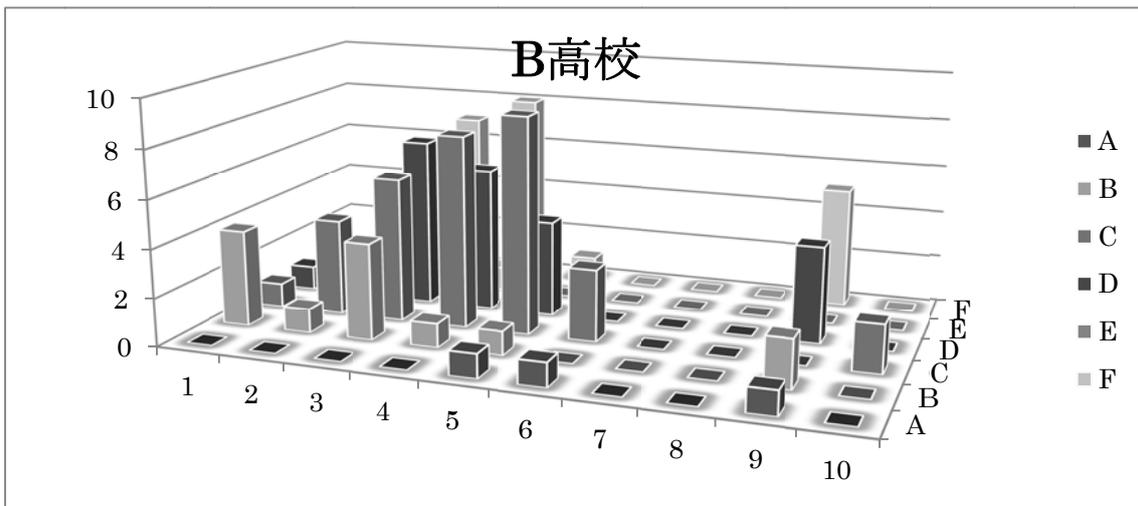
設問 II：講義の次の内容 A から F について、それぞれ面白いと感じたでしょうか。



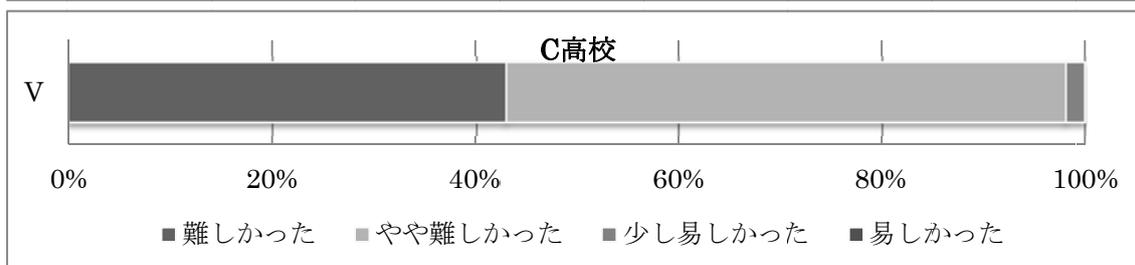
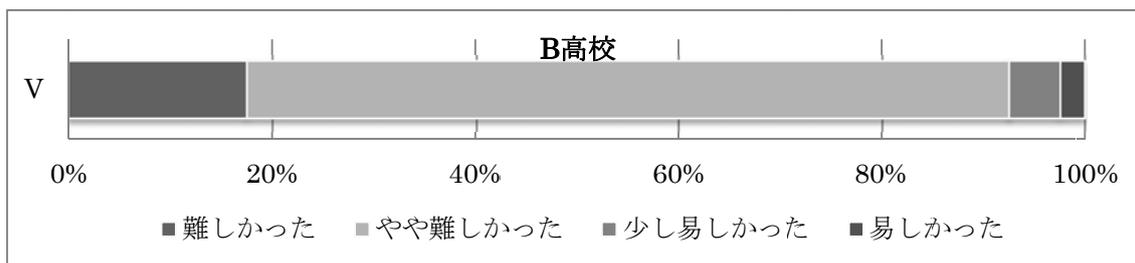
設問 III：もっとも面白かったところを1つ挙げるとしたら、AからFのどの部分ですか。



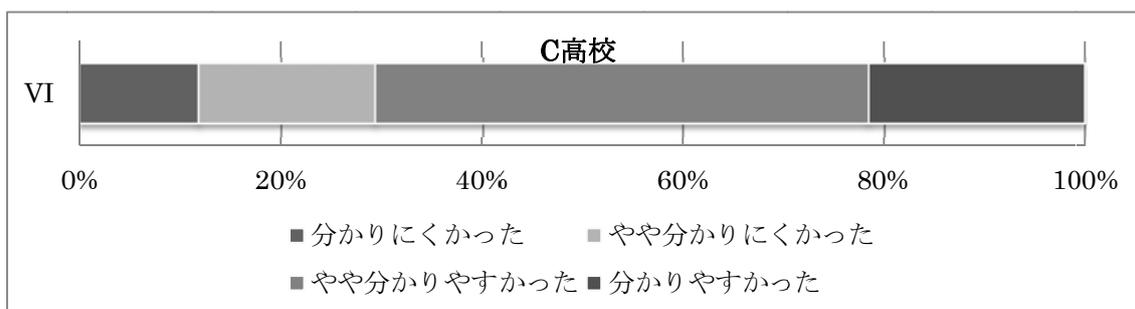
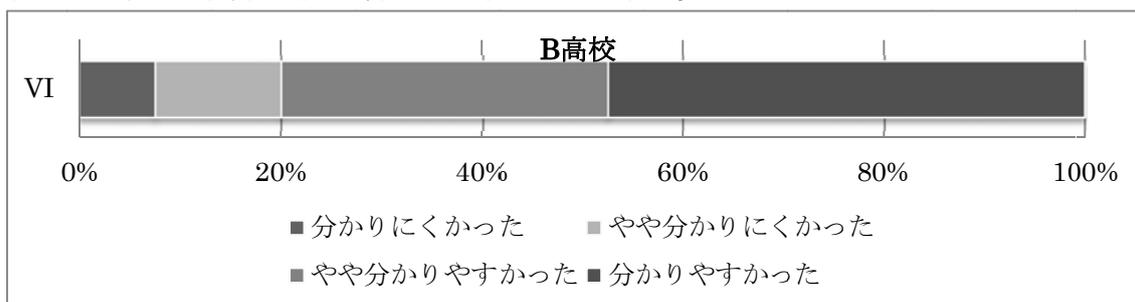
設問 IV：III.で回答した部分は、どのような点が面白かったのでしょうか（クロス集計）



設問 V: 今回の講義の内容は難しかったですか。



設問 VI: 今回の講義の説明は分かりやすかったですか。



設問 VII: 講義に積極的に参加できたと思いますか。

B 高校			
	Yes	No	
VII	35	5	88%

C 高校			
	Yes	No	
VII	42	9	82%

設問 VIII：積極的に参加した理由（最大3つ）

