第 36 回全国数学教育学会　2012 年 6 月 23 日
於：岡山大学

高校における構造指向の数学的活動について

兵庫教育大学 濱中裕明・加藤久恵

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考えられている。しかし、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」を考えることはできないか。ここでは、そのような活動の枠組みを提案し、実践にむけた具体案を模索したい。

１．数学的活動と応用指向・構造指向

広く知られているように、平成２０・２１年告示の小学校・中学校・高等学校の学習指導要領では、算数科・数学科の目標の冒頭に「算数的活動を通して」「数学的活動を通して」という文言が置かれており、この算数的活動・数学的活動が強く重視されている。高校では平成２４年から第１学年において新しい学習指導要領に基づく授業の実施が始まっており、特に数学的活動を重視した内容として「課題学習」を「数学Ⅰ」、「数学Ａ」で必ず行うとこととされていて、高等学校の教育現場ではこれへの対応を迫られている。

数学的活動とはそもそも何か。平成２０年からの学習指導要領を待つまでもなく、「算数的活動・数学的活動」という語は以前から使われており、長谷川（2010）がまとめているように、これに関連するテーマの研究が数多く行われてきている。

特に、阿部(2008,2009)は、数学的活動を数学的リテラシー育成のための教授・学習としてとらえなおしており、その研究は興味深い。ヴィットマン(2004)は、「「応用指向」と「構造指向」の２つの相補的側面をもつ「パターンの科学」として数学をとらえる」と述べており、また、「この２つの側面がバランスよく考慮されないならば、数学教育は強固な基礎の上に構築することはできない」と両者のバランスの重要性を述べているが、阿部(2009)は、この構造指向と応用指向の数学の方法を

(1) 構造指向における数学の方法
　現実の事象から数学化し、さらに数学内で数学化することで、数学の概念形成および数学を発展させることに焦点があたる。

(2) 応用指向における数学の方法
　現実の事象から数学化し、数学的モデルを作り、数学を現実へと応用することに焦点があたる。

とまとめたうえで、「これまでのわが国の数学教育は「構造指向」に傾いていた」という反省にたち、「今日の数学的リテラシーにとっては、構造よりはむしろ応用指向的数学の方法的側面への注目こそ重要である」と述べている。なるほど、その指摘はある意味で的を射ており、確かにこれまで応用指向的な数学の方法への注力が十分でなかったことは否めないし、この点に数学的活動を積極的に用いていくことも大いに意味があると思う。また阿部(2009)は、日本の数学教育の歴史を振り返り、昭和４０年代の数学教育の「現代化」において極端に強調された数学という客体から、子どもという主体へと焦点を移すことが「問題解決」という数学教育の方法の理念的背景であったと指摘し、しかしながら問題解決の授業において構造指向が強調されてきたならば、「理念的には主体に焦点化されて導入された問題解決であったが、その教授・学習の焦点は客体である数学に焦点があり、その意味で主客の乖離が存在する」と述べている。

しかし一方で、ヴィットマンの述べるように、構造指向の数学もまた応用指向の数学と同等に強調されなければならない。応用指向ばかりが強調されすぎれば、数学の文化的意義は忘れられ、プラグマティズムに基づいた有用性・実用性だけを追求した数学になりかねないからである。阿部(2009)もこのバランスの必要性については言及している。バランスを保つための構造指向の強調とは単に、従来の構造指向型授業をもっと推し進めるということではないはずであり、阿部(2009)の指摘する「主客の乖離」を改善する形で、構造指向の数学学習を図っていく必要があろう。特に、高等学校の教育現場では、数学の学習内容と、主体である学習者との乖離がはなはだしい。例えば平成 18(2006)年に実施された PISA 調査（OECD 生徒の学習到達度調査）において、「数学で学ぶ内容に興味がある」との問いに肯定的な回答をした日本の高校１年生の割合は 33%であり、OECD 平均値の 53%を大きく下回っている。このような学習者の興味の実態において、学習指導要領に掲げられる「数学学習にかかわる目的意識をもった主体的活動」(文部科学省(2009))である数学的活動を展開するのは、相応の工夫と努力が必要となるだろう。しかし逆にいえば、数学的活動をうまく展開することで、応用指向ではなく、数学で学ぶ内容そのものに興味をもたせることはできないだろうか。例えば、2008 年の答申では理数教育の充実に関する基本的な考え方として、「分かる喜びや学ぶ意義を実感することが算数・数学や理科に対する関心や学習意欲を高めることにつながる」(中央教育審議会 2008)と述べている。ここでいう、「学ぶ意義」が応用指向の数学教育に呼応するならば、別の方向の「分かる喜び」を刺激する数学教育も必要ではないだろうか。ただ、そのもう一方の数学教育というものが、はたして単に構造指向と呼ぶべきなのかどうか。そのように短絡していいかどうかには考察の余地があるが、ここでは、ひとまずそのもう一方の数学教育の指向に基づく数学的活動を「構造指向の数学的活動」として、その枠組みと教材例を模索したい。

２．数学的活動と学習の動機付け

前節で述べたように、高校生に学習内容そのものへの興味を持たせるためには、どうすればよいだろうか。数学的活動が、学習者による「主体的活動」であるならば、そこには活動を行うための動機付けが必要となるだろう。学習の動機付けの研究は旧来、いわゆる「外発的動機付け」と「内発的動機付け」という区分を元にして行われてきたが、これをもとにして更なる分類の精緻化を目指した調査・提案がこれまで多数なされている。その中でも特に市川(1995)は、動機付け調査において、研究者による動機付け分類の概念化や項目作成を先行させるようなトップダウン的方法を廃して、自由記述によって広く収集した学習動機を整理・構造化する手法を採用し、これにより得られた「2 要因モデル」を提唱している。

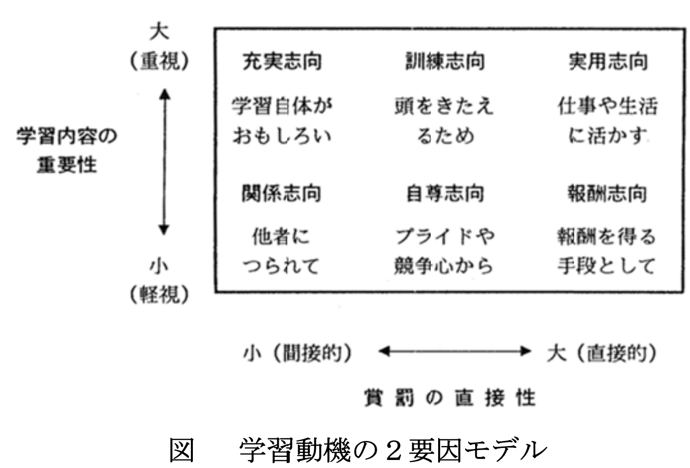

図　学習動機の２要因モデル

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 充実指向：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。元来、高校での数学学習への動機付けにおいては、大学受験の占めるウェイトが大きく、報酬志向、つまり、外発的な動機付けによる学習が大きかったと言える。この市川(1995)の提唱する学習動機モデルを参照すると、目的意識をもった主体的活動としての数学的活動を重視する現在の学習指導要領は、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していると読み取ることができる。すなわち、数学を現実に応用しようとする応用指向に焦点を当てた数学的活動により実用志向の学習動機を刺激すること、および、知的好奇心を呼び起こすような数学的活動により充実志向の学習動機を刺激すること、この２つが求められている。では、知的好奇心を刺激するような数学的活動とはどのようなものだろうか、また、どのようにそのような教材・授業を設計していけばよいのだろうか。

３．本質的学習場

ヴィットマン(2000)は、機械論的に指導計画を組み立て、学習者を工業製品のようにスモールステップ方式で計画された学習のなかにおき、知識・技能を植え付けていくといった数学教育のパラダイムではなく、数学的内容を豊富に含んだ算数・数学のシチュエーションを与えていくことで、学習者が問いをもって主体的な探究を発展させることが可能となるような、生命論的過程としての数学教育のパラダイムを提唱している。そこで、最も重要な概念のひとつが本質的学習場である。本質的学習場は、単なる数学教材の概念ではなく、背景となる数学教育観までを含めて理解すべき概念である。

本質的学習場とは、ヴィットマンによれば次のように定義されている。すなわち、本質的学習場とは、以下の性質をもつ指導・学習の単元のことである。(ヴィットマン(2000))

① 算数・数学的指導の主要な目的、内容、原理が或る水準において示されていること。
② この水準を超えた重要な数学的な内容、過程、方法と結びついており、数学的活動の豊かな源であること。
③ 柔軟性を持ち、個々の学級の特殊事情に合わせることができること。
④ 算数、数学指導に関する数学的、心理学的、教授学的観点を統合し、実証的研究の豊かな場を形作ること。

実際、ヴィットマンらは、上記の生命論的数学教育のパラダイムに基づいて、本質的学習場を重視した算数のテキスト「数の本（Das Zahlenbuch）」を開発している。

鈴木ら(2003)は、数の本のなかでも「数の石垣」と呼ばれる本質的学習場に基づいた教材をとりあげ、この教材を用いた日本における実践調査を、小学校 3 年生を対象として行っている。「数の石垣」は、“生産的練習”と呼ばれる本質的学習場の一つであり、表面的には計算練習の教材でありながら、そこには何らかの数学的規則性が隠されている。本質

的学習場に基づく授業で提示されるとき、学習者にとって「数の石垣」は、無味乾燥な計算練習ではなく、規則性の発見や予想をしたり、さらにそこから条件を変えてみたり、どうしてそのような規則性があるのかを考えたりと、個々の学習のレベルに合わせて、探究活動までを行うことができるような場となっている。鈴木ら(2003)の実践調査のなかでは、「児童は「数の石垣」に規則性が含まれていることに、おもしろさを見出していた」と報告されており、また、この「楽しい」「面白い」といった感想の記述が、２ヶ月にわたる実践のなかで継続してみられることから、「児童が教材の新鮮さから一時的に教材に興味を持ったのではなく、教材に取り組む中で、教材そのものに魅力を感じていたことが伺える」と述べられている。実際に、筆者もこの「数の石垣」の教材を、大学生・大学院生に提示したことがあるが、授業後の感想には「指示されて考えるのではなく、取り組むうちに、極めて自然で自発的に探究活動に入っていた」といった教材の魅力を述べる声が多かった。鈴木ら(2003)は、「数の石垣」と子どもの活動の関連を、次の図２を用いて「児童が「数の石垣」という本質的学習場から何らかの規則性（パターン）を発見し、そこで起こった疑問や問題意識が主体的・能動的な探究活動への動機となっていた」と説明している。

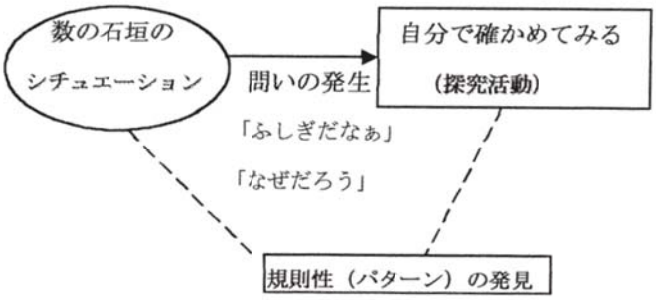

図　「数の石垣」と子どもの活動の関連

この「数の石垣」のように、生産的練習と呼ばれる本質的学習場の教材は、応用指向の教材ではないが、そのような教材によるシチュエーションを提示することで、学習者の数学的発見を促し、そこから主体的な考察を含めた探究活動へと学習者を導くことができるものである。このような教材設計・授業設計の枠組みを、高等学校などの中等教育でも展開できるのではないか、と考えた。

４．数学の指導における実験

飯島(1988)は、算数・数学の指導に実験を取り入れることの意義について考察している。まずそこでは、「算数・数学における実験」は、「算数・数学的事実について何らかの意味における仮説を作ったり、それを検証したりするための実験的な性格をもつ一切の作業である」と定義されている。そして、「ふつう、算数・数学の授業では教師も生徒も、他人から与えられたものを与えられた方法で考えさせられていることが多い。したがって、算数・数学では問題解決が大切であると言いながら、問題を見つけるという一番大切なことでは苦労していないことになる。また、単に数学の内容－事柄－の理解に止まるのではなく、それを通して研究の方法を学ぶというのであれば、定理を予想したり発見したりすることはきわめて大切なことであり、それをどう証明していくかを含めて、その構想を立てることは重要なことである」と述べている。つまり、「算数・数学における実験」を通して、そこから数学的仮説を学習者自らが発見すること、これが問題解決の真の始点であり、実験とは、「それを取り入れることによって、科学的な方法や数学的な考えを身につけさせようとするものであり、それを通して考える方法を学ばせる」ものであると述べている。

このような自ら数学的仮説を発見する、という実験の特徴を、上記の本質的学習場における規則性の発見と照らして考えれば、実験によって科学的・数学的な考える方法を学ぶという意義のほかにも、実験を取り入れることには、主体的な考察活動の促進、つまり、問題を自らが考えるべき問題として自発的にとらえ、自然に探究活動へと導入することができるという効果があるのではないかと考えられる。このことを数学的活動に取り入れることによって、応用指向的な数学の実用性ではなく、数学そのもの、もしくは、数学的に考察することの面白さを強調した活動を展開できないかと考えた。

例えば一つの証明すべき命題を挙げ、これを証明しなさい、と教師が促しても、そこから生徒の主体的な証明活動はなかなか期待できまい。この状況で、なぜその命題が正しいと想定されるかといえば、「教師がそれを提示したから」である。また、なぜその命題を証明する必要があるのかといえば、「教師が促したから」である。つまり、これでは生徒にとって、自らが自分の証明活動の原因となりえず、主体的な学習活動とはほとんどなり難い。つまり、考察すべきテーマを教師があからさまに提示することは、課題学習においてはあまり得策とはいえない、むしろ回避すべきことといえる。そこで、授業で扱うテーマを自然に、自らが取り組むべき探究課題として、高校生に感じさせるために、例えば、一連の活動や測定、実験等を通して、生徒が意外性のある結果を予想するような場面を設定する。このとき、生徒からその予想が自然に発せられれば、この予想は「生徒のもの」であり、教員側からは「なぜ？本当にそうなるの？」という疑問を自然に発することができる。このやりとりで、生徒が「提案者」、教員が「疑義をはさむ者」の役割を担うことができれば、生徒にとって自然に「証明をする役割」が発生するのではないか。

５．構造指向の数学的活動

以上の考察から、構造指向の数学的活動のサイクルモデルを提案したい。実はこれは、数学者の研究活動の縮図でもある。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。そして、得てしてこの起点となるアイデアを見つけることは難しく、そこには不連続な発想の飛躍が必要となる場合が多い。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。

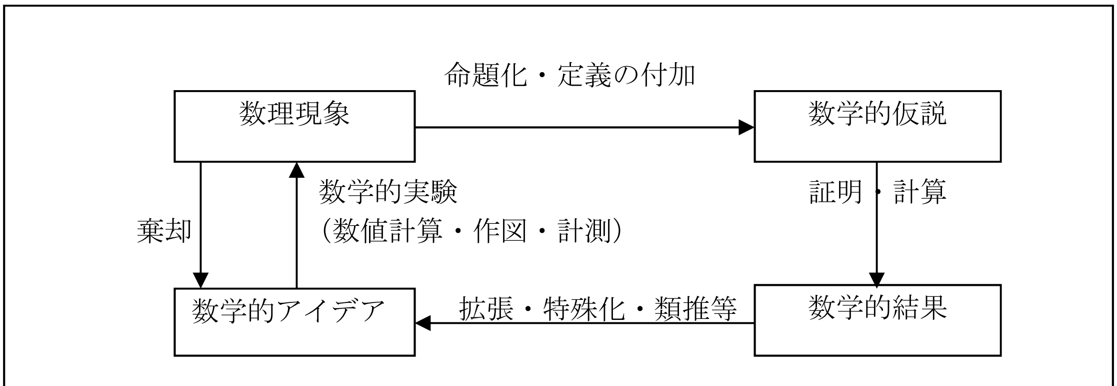

図　構造指向の数学的活動モデル

1）数学的アイデアの提示：上で述べたように、数学的アイデアを生み出す部分は得てして難しいことであり、また教師による適切な学習の方向付けも必要であることから、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ろう。

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と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。

あらためて、図３のサイクルを見てみると、数学的モデリングの活動サイクルの図４と似ている部分もある。（図４は柳本(1996)による。）しかし、構造指向の数学的活動モデルでは、現実の事象への応用の中で見出される数学の実用的価値ではなく、数学的アイデアが現象の体感を経て、数学的結果として結実していく活動自体に楽しさを見出すことを重要視したいのである。そして、このような活動を、すでに出来上がった数学を記憶していくという数学観から、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したい。

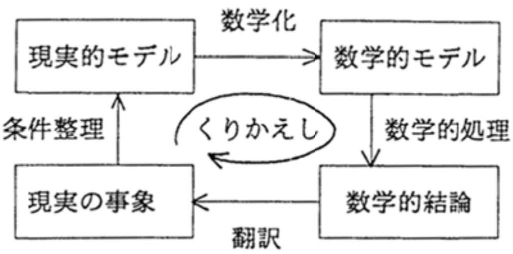

図　数学的モデリングの活動サイクル

６．教材例

では、そのような構造指向の数学的活動モデルで扱う教材となるような数学的題材としては、具体的にどのようなものがあるだろうか。飯島(1987)は、科学的方法や数学的考えを学ぶという目的に照らして、扱う題材に以下のような意義を求めている。

① 問題を感じ取らせ、問題を発見させるもの。
② 解決方法を思いつく（仮説を立てられるもの）。
③ さらに詳しい理論研究への意欲を起こさせるもの。

④ 実験的に得られた事実は理論的研究によって確かめ、理論的に得られた事実は実験的研究によって確かめる態度を育てるもの。

ここでは、科学的方法・数学的考えを学ぶという目的に加えて、主体的な考察へと導くという目的も加味し、上記の①から④を以下のように、題材を開発する際の視点として整理した。

1．そこに意外性のある発見があること。

「数の石垣」における子どもの活動でもそうであったように、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。つまり実験等の外的活動が、学習者の内的考察へと導かれる必要がある。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。学習者が個々に考察を深めることが出来れば、それは考察内容を発表したり表現したりする意欲へとつながるであろうし、発表を共有する場を設定することもできよう。

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。数学の実用性を訴える、数学的モデリングや応用指向の数学的活動も、この点を意識して提案されているといえよう。しかし、抽象的・具体的という言葉は、実は相対的な概念である。例えば、数学を研究する者は「この関数を具体的な式の形で書けば」などという表現を用いることがある。数学に携わらない者からみれば、関数の式が与えられても、それはまったく具体的ではないであろうが、これは具体的・抽象的という語の相対性によるものである。高校の学習内容においても、その抽象性を緩和し実感を伴わせるという点では、現実の問題まで具体性を持ち出さずとも、数学的な具体例を考察したり、数学的な実験を行ったりすることで、可能な部分があると思われる。つまり、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。

以上のような視点をふまえて、ここでは、多角形の外角の和から多面体の曲率和への展開を例示する。以下に述べる、多角形の外角を曲率とみる考え方や、また、そこから多面体へと拡張していく内容は古くはユークリッドやデカルトにまでさかのぼるが、その教材としての価値は今岡ら(2007)も指摘している。

1）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。

２）ここから実際の凹多角形の具体例を観察､計測するという数学的実験が考えられる。例えば、次の図５を観察したとすると、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。ここの外角を－９０°と決めてみると、やはり外角が３６０°となることが発見できる。

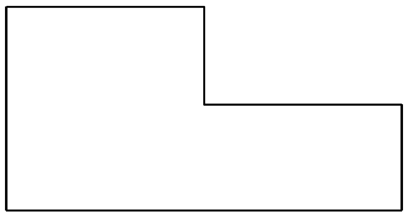

図　凹多角形

３）どうして外角を－９０°としたのか。それは、外角＝１８０°－内角という式を定義の拡張に用いたからである。このように考えを整理することができれば､「凹多角形においても、外角＝１８０°－内角という式を外角の定義とすれば、外角の和は３６０°で一定であろう」という数学的仮説が成り立つ。

４）この仮説は､「凹多角形においても、ｎ角形の内角の和が(ｎ－２)×１８０°」という定理を用いることで、証明できる。つまり、数学的結果が得られる。

５）次に、この結果を基にして、新しい数学的アイデアを提示する。つまり､「外角とは多角形を時計回りに一周する際に、頂点で右に何度曲がったか（左曲がりは負の角度曲がるとする）を表していると考えられる」というアイデアである。そして､「３次元空間内の多面体についても、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」というアイデアも提示する。

６）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。ここでは、多面体は「辺において曲がっている」と考えて、２面角の補角の和を計測・計算したとしよう。すると、立方体と正三角柱では「各辺における２面角の補角の和」が一定とならないという計算結果になり、いったん数学的アイデアは棄却される。

７）そこで､「では、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。そして、数理現象としても､「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はどうか」という実験のアイデアを提案する。

８）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。

９）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。

１０）学習者が「ａ°の切れ込みがある紙から作った錐面において、錐面の頂点を囲む多角形では、外角の和が３６０°－ａ°となる」という仮説を立てることができたなら、証明を促していく。実際、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。

１１）この数学的結果をもとに、さらに、数学的アイデアを提示することができる。それは「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」というものである。
１２）このアイデアから、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。
１３）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。

このように、「外角の和が一定となることの凹多角形への拡張」、「多角形の外角の和から、多面体についての不変量の模索」、「多面体の頂点周りをモデル化した錐面における多角形の外角の和」といったアイデアを、活動のサイクルのなかで提示し、実験と発見・定式化による仮説の立案・自発的考察による証明へと、つなげていけるのではないかと考える。
また、この活動の中には、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、また、錐面上のｎ角形の内角の和を計測した結果である表から、一次関数の関係を見出し、関数の式を作るという数量関係領域の学習内容などが含まれており、単に興味関心を惹くといった内容ではない。さらに、この探究の先を追っていくと、多面体のオイラー数といった発展的内容へと繋がっている。

７．今後の課題

３節では本質的学習場をとり上げたが、本来ヴィットマンの提唱する生命論的数学教育のパラダイムにおいては、本質的学習場の扱いについて、これは投げ込み型ではなく、長期的視野に基づいた全体論的な提示をされるべきものであると強調されている。しかしながら、５節で述べた「構造指向の数学的活動」を、高等学校において実際に長期的視野に基づいて実践することができるかといえば、これは相当に困難であろう。そういう意味で、ここでいう「構造指向の数学的活動」は、かならずしも本質的学習場の本来の考え方に基づいた教育思想に沿ってはいない。しかしながら、現在の日本の高等学校の教育現場において、平成２１年度告示の学習指導要領に基づいた教育が開始されたことをふまえ、まずは、可能なことから、現実的な教材設計の枠組みを考えることも必要であろうし、その効果を検証することが課題となる。
実際、前節で述べた「多角形の外角和・多面体の曲率和」に関する数学的活動の内容については、今までに筆者が高大連携授業等で実践を行っている。しかしながら、まだその実践の効果については、十分な検証と分析を行っていない。
ただし、十分に準備された検証ではないものの、これまでの実践経験を通して、感じていることもある。つまり、活動を通して高校生から自分自身の探究するべき課題を自然に発見・認識させるという方法の成否については、その学校ごとの生徒の学力の度合いと与える課題とのバランスなどに大きく左右されるということである。逆に言えば、適した難易度の課題を含む活動を提示していくことが重要である。
また、高校生は考察活動そのものの楽しさよりも、結果の美しさに目を奪われがちである。数学的に高度な結果としての美しさの提示よりも、高校生が自ら考察して得られる範囲の興味深い数学的内容に係る教材を、もっと開発する必要がある。

参考文献：
阿部好貴(2008)
「数学的リテラシーの育成に関する基礎的研究 ― 「数学の方法」としての数学化と数

学的モデル化の関係の考察 —」全国数学教育学会誌 数学教育学研究 14. pp.59-65.

阿部好貴(2009)
「問題解決から数学的活動へ：その架け橋としての数学的リテラシー」日本数学教育学会 年会論文集 33, pp,111-114

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 巻、第 12 号, 2000, pp.30－41

ヴィットマン, ミュラー, スタインブリング著 國本景亀、山本信也訳(2004)
「PISA を乗り越えて 算数・数学 授業改善から教育改革へ」東洋館出版社

長谷川順一(2010)
「算数的活動・数学的活動」数学教育学研究ハンドブック、日本数学教育学会編、東洋館出版社

国立教育政策研究所(2007)
『生きるための知識と技能３』ぎょうせい

文部科学省(2009)
高等学校学習指導要領解説 数学編

中央教育審議会（2008)
「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について」（答申）
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/news/20080117.pdf

鈴木牧子、重松敬一、日野圭子(2003)
「本質的学習場に基づく教材の実践的研究」、奈良教育大学紀要（人文・社会科学）52(1),pp.71-83.

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 vol.13,pp.215-224.

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.

柳本哲(1996)
「中学校における数学的モデリングについて — 給水タンクを事例として —」、日本数学教育学会誌, 78(5) pp.2-9.

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.