研究ノート

“3rd Pacific Workshop on Discrete Mathematics” における数学・科学展示

平野 葉一[*1] 阿部 善宏 木村 奈央
長谷川 彩 佐伯 昌紀 鷹取 勇希[*2]

§1．はじめに

2010年12月7日から12月10日まで、ハワイの東海大学パシフィック・センター（Tokai University Pacific Center）において第3回離散数学研究集会（3rd Pacific Workshop on Discrete Mathematics）が開催された。これは、離散数学の分野を中心とした日本人および米国を主とする海外の研究者によって3年～4年ごとに開催されている国際研究集会である。この研究集会では、主にグラフ理論など離散数学の理論に関する研究および数学教育なども含めたその応用に関わる研究について報告および議論がなされる。今回は実行委員会[1]の許可を得て、東海大学文学部ヨーロッパ文明学科平野研究室として数学文化史の分野から1件の研究発表[2]、数学および科学に関する作品展示を行った。

展示は「数学教育および科学教育のための教具に関する研究」(Study on the devices for Mathematics and Sciences classroom)[3]と題する形で実施されたが、以下はその報告である。なお、今回の展示の意義を述べる上で、本研究室の展示活動の意図および活動経緯についてもふれる。

§2．展示の目的（1）— 平野研究室の展示活動

平野研究室では2004年以来、数学教具を中心としたさまざまな作品を制作し展示を行っている。これは平野がかねてから検討していた数学博物館構想に端を発するもので、1996年8月には数学教育学会主催のシンポジウム開催に至っている[4]。しかし、こうした構想を具体的な展示活動へと実現させたのは1998年から東海開発研究所主催で開催された「Mathematical Art展」で、これは数学教育という視点から多くの子供たちや一般の人々に数学のおもしろさを伝える意図をもった数学普及の試みであった。この「Mathematical Art展」[5]は後に国立科学博物館を中心とした全国巡回展「かたちと数のワンダーランド」[6]へと展開し、全国の多くの科学博物館で展示が催された。

2004年以来、平野研究室では、これまでの数学に加えて科学に関わる作品も取り入れて展示活動を行ってきた。これは、本研究室が文明研究を主とする学部・学科に位置づけられることもあり、自然理解に対する古代ギリシアの叡智や古代ローマの技術、レオナルド・ダ・ヴィンチに代表されるルネサンス期の工夫を凝らしたアイデアやその後の自然科学普及の動向などを取り入れることで、数学や科学を人間の文化・文明の一端として捉えることを意図

[*1]東海大学文学部ヨーロッパ文明学科（文学研究科文明研究専攻）
[*2]東海大学大学院文学研究科大学院生：阿部（文明研究専攻博士課程後期）、木村・長谷川・佐伯（同専攻博士課程前期）、鷹取（英文学専攻博士課程前期）

したものである。いうなれば、中国・北京師範大学客員教授で数学教育学会の重鎮である横地清氏の提唱する“数学文化史”[7]をさらに広範に捉え、数学や科学を単に学問（discipline）そのものではなく人間活動の一環と見なすことで、これらの学術がそれぞれの時代や地域の文化・文明形成にいかに影響したかについて探ろうという試みである。多少詳述すれば、数学史や科学史研究は人間営為としての数学、科学の成立過程の探求を目指す。そこでは概して数学や科学そのものがターゲットとなる。その一方で、数学や科学が明らかにする事実—やがては数学や科学の理論として結実される事実も含めて—はそれぞれの時代や地域の人間営為に何らかの影響をもたらしているはずである。そこには人間による文化・文明の形成を理解する一つの鍵が隠されているとも考えられる。それゆえに、数学や科学の歴史経緯の探求は、これらの学問をとおして文化・文明を理解する上でも重要であると思われる。本研究室の展示が目指しているのはまさにその点である。

こうした意図の下、本研究室ではさまざまな展示活動を重ねてきた。2004年当初は「機械仕掛けの数学マジック展」（後に名称を「機械仕掛けの数のマジック展」と変更）として展示会を開催していたが、最近ではとくにルネサンス期に着目し、レオナルド・ダ・ヴィンチの手稿に見られるアイデアの具現化や、当時の遠近法に関するものやその延長上にある錯覚を用いた作品などを制作し展示を行っている[8]。今回の研究集会での展示は数学者を対象にするという点で「数学展示」への原点回帰という感もあるが、基本的には上で述べた本研究室の基本姿勢の延長上に位置づけられる。

§3．展示の目的（2）— 今回の展示の目的

今回の研究集会は離散数学を主としたものである。離散数学とは有限で離散的な対象を扱う数学の一分野で、代表的な例としてはグラフ理論や組合せ論、最適化問題などがある。ここで"離散的"というのは、たとえば組合せの数や対象となるものの個数を求めるというような意味合いをもつからであるが、それだからといって離散数学は勿論それだけのものではない。本稿で離散数学とは何かについて解説することは容易なことではなく筆者の手に余る問題であるので、以下に、とくに数学理解における離散数学の重要性について横浜国立大学人間科学部の根上生也教授の言葉を紹介する。

根上教授はホームページ上に掲載された「離散数学で変わる数学教育」[9]と題された論考において、離散数学は「有限的な方法で規定できる構造を扱う数学･･･「無限」と「連続」で象徴される従来の数学と対峙する新しい数学だと言われることもよくあります。」と述べている。また、いくつかの具体的問題例を示しながら、離散数学では「･･･数式の計算や平面幾何のような形式的な技能とは異なる能力を必要とします。」と指摘し、さらに、学校教育（初等中等教育）において「構造の理解を促進しつつ、数学的技能を身につけていけるようなカリキュラム」として、「「道具としての数学」と「実践の場としての数学」という二重構造を与えることが必要」であると提唱する。

筆者は根上教授の意見には賛成であるが、多少異なった点から考察する。本来数学とは二つの特徴をもつ。一つは抽象性と論証性であり、それゆえに数学は人間の意志とは隔離され

た確固たる理論形成を可能にする。そして、それが抽象性を有するがゆえにもう一つの特徴である高度な応用可能性が生じる。しかし、数学が高度なればなるほどその応用も高度な専門性の世界へと向かう。つまりは、科学技術が展開する現代文明にあっては、さまざまな技術の根拠が高度な専門性を備えた数学に委ねられ、もはや一般の人々は蚊帳の外に置かれることになる。このように考えると、学校教育において学ばれる数学はそうした高度な数学の基礎に当たり、それゆえに人間営為から乖離するように見えることになる。すなわち、学校教育においては本来学ぶべき抽象性や論証性以上に数学の専門性そのものが問われているように見えてしまうのである。これに対し、離散数学は、勿論一方ではそうした専門性はあるものの、有限の事象を対象とした構造を考える上での思考法を養うという点で、人間の思考に訴えやすい面を備えていると思われる。それは、離散数学が数学パズルやゲームという問題を扱うという意味ではなく、実在する対象に対する人間の思考を喚起する側面をもちやすいという意味である。

実際、今回の離散数学研究集会での展示—むしろ平野研究室の展示それ自体—も同様の発想に依拠している。本研究室では、数学や科学の理論、諸定理や諸法則を具体的な道具として作品制作を行っている。具体的な内容は次節の展示概要で紹介するが、本来は人間の思考の内部にある諸理論を、また、数学や科学の歴史において発想された数学者や科学者、技術者のアイデアを、作品という一つの具体的な形で表すのである。

勿論、具体的な作品はそれ自体が一般性や普遍性を提示していることにはならないし、また厳密な証明を意味してはいない。たとえば、直角三角形の３辺について成り立つ「三平方の定理」（ピタゴラスの定理）はいかなる直角三角形にも普遍的に成立する性質であるが、作品という道具が表現しているのは、具体的な一つの直角三角形について成り立つ性質である。むしろ自然科学の方が、現象を視覚的に表すという点では理解しやすいかもしれない。たとえば、古代から議論されていた水力学や空気力学を象徴する「ヘロンの噴水」は、水の重さと空気圧が動力なしで噴水を噴き上げるという点で、その現象の現実性を如実に表現する。

本研究室の作品制作および展示の目的もそこにある。それぞれの作品は、人間の思考を一つの具体的な形で表現することで、先ずはそこから帰納的に数学や科学に関する諸理論の理解を促すことを意図している。そして、その一般性、普遍性に関しては観る側の思考—演繹的思考—に委ねようというのである。同時に、もう一つ重要な点は、それぞれの作品が過去の人間の発想や思考に負っていること、つまりは文化・文明を築き上げてきた人間営為に依拠することへの理解を促す点にある。それは逆に、数学や科学に対する思考がそれぞれの時代、地域の人間営為にどのような変化をもたらすかということにもつながる。すなわち、文化・文明への理解を導く一つの手段になると考えられるのである。

今回の研究集会の参加者は基本的には数学者である。今回の展示はそうした専門家を対象に作品展示を行うことで、数学理解の一つの方法論を提示するとともに、別な意味では数学教育への示唆を行うことを目指した。それは文明研究を中心とする本研究室による問題提起としてのパフォーマンスでもあると考えている。

§４．展示概要

上でも述べたとおり、今回の展示は「数学教育および科学教育のための教具に関する研究」(Study on the devices for Mathematics and Sciences classroom) と題したもので、全体は次の３セクションから構成される：

[Ⅰ] レオナルド・ダ・ヴィンチの手稿に関連する作品
(Devices associated with the notebooks of Leonardo da Vinci)

[Ⅱ] 自然と人間営為および科学に関連する作品
(Nature, Human & Sciences)

[Ⅲ] 数学教具に関する作品
(Mathematical　Devices)

このうち、[Ⅲ]の作品は第２節で述べた「Mathematical Art展」においてすでに展示していた作品であり、今回は数学者の研究集会ということもあって作品の一部を再度制作して展示を行った。ただし、今回は運搬上の都合もあり、手荷物として持ち込める作品に限って会場で展示と解説を行い、それ以外の作品は展示作品集の中で写真を紹介し、解説するにとどめた。

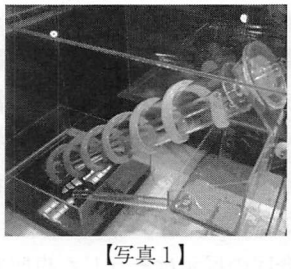
以下順に作品の概略について紹介する。

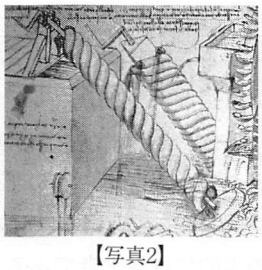
[Ⅰ] レオナルド・ダ・ヴィンチの手稿に関連する作品

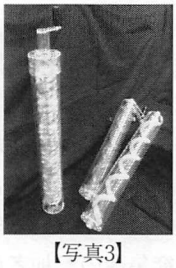
１．水力学および空気力学に関する作品 (Hydraulics & Pneumatics)

(1－1) アルキメデスの揚水機 (Archimedean Screw (Water Pump))

これは「Mathematical Art展」でも展示していた作品である (【写真１】)。本来はネジの螺旋構造を利用して水を汲み上げる仕組みで、紀元前1世紀頃のウィトルウィウス『建築十書』にも記述が見出される。レオナルド・ダ・ヴィンチの『アトランティコ手稿』[10]には、筒状の周りに細いパイプを螺旋状に巻いたデッサンが描かれている (【写真2】)。これはレオナルド自身のアイデアであると考えられるが、それ以上にパイプが３連になっていて、おそらくはレオナルドが効率よく水を汲み上げることを考えたものと推察される。今回はこのデッサンを具現化した模型だけを展示した (【写真3】)。


【写真１】

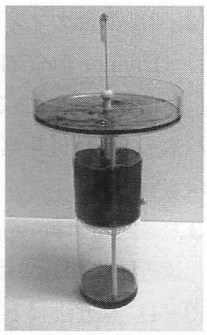

【写真2】


【写真3】

(1－2) ヘロンの噴水 (Heron's Waterspout)

レオナルドの『マドリッド手稿』[11]に描かれている水の重さと空気圧を利用した噴水模型で、もともとは紀元頃にアレクサンドリアで活躍した数学者、技術者であるヘロンの考案とされている。しかし、古代では水力学や空気力学の研究者としてクテシビウスやフィロンの名も

知られている。作品は上層を含めて3層に分けられた水槽を3本の管でつないだもので、上層部に注いだ水が下層部に落ち、それにしたがって中層部に送られた空気の圧力によって水を押し出される構造となっている（【写真4】）。

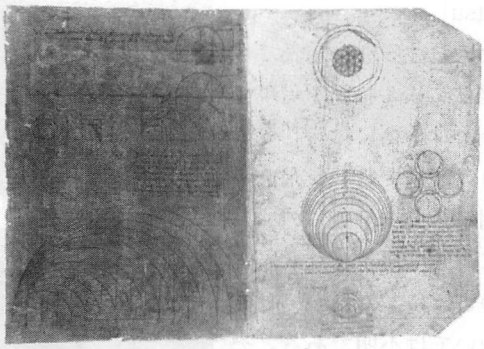


【写真4】

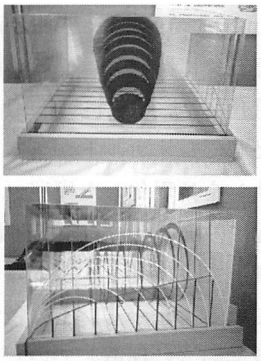
(1－3) レオナルドの三日月型模型

(Leonardo's Crescent-Shaped Model)

レオナルドの『アトランティコ手稿』に描かれたデッサンを具現化した模型で、おそらくは円の面積の研究に関わるとされる（【写真5】と【写真6】）。それぞれの三日月型の部分の面積は常に最初の最小の円に等しい。したがって、最初の円の半径を1とすると、それぞれの円の半径は順に1，$\sqrt{2}$，$\sqrt{3}$，・・・というように平方根で増えていくことになる。レオナルドは、これらの長さを半円内に内接する直角三角形の相似を用いて作図している（【写真5】の左部分）。今回は写真のみの紹介となった。



【写真5】

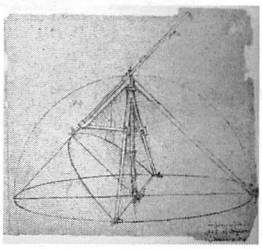


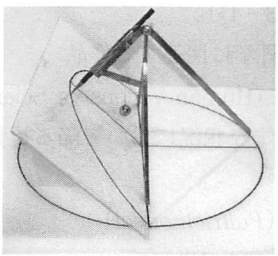
【写真6】

2．機械的作図に関する作品（Mechanical Construction）

(2－1) 放物線作図器（Drawing machine for Parabola）

これもレオナルドの『アトランティコ手稿』に描かれたデッサンをもとに制作した作品。円錐の切り口が円、楕円、放物線、双曲線となることは古代ギリシア以来知られていたが、レオナルドは円錐を母線に平行な平面で切ることで放物線を作図する道具を設計していた（【写真7】）。



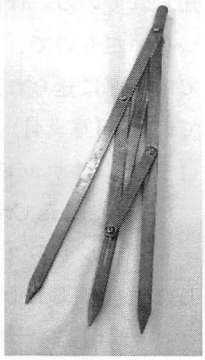


【写真7】

(2－2) 黄金比コンパスおよび楕円コンパス

(Divider for Golden Section & Elliptic Compass)

レオナルドによる放物線作図器に因んで、常に黄金分割が可能なコンパスの模型（【写真8】）および楕円を作図する作図器（コンパス）の展示も行った。



【写真8】

3．遠近法（Perspective）

遠近法に関しては以下の作品を展示した（(3－1) を除く）。

(3－1) 遠近法（1点透視図法）に関するレオナルドのイメージ

(Image for the Perspective Drawing, sketched by Leonardo)

(3－2) 作品「最後の晩餐」（写真での展示）

(A Study for Leonardo's "Last Supper")

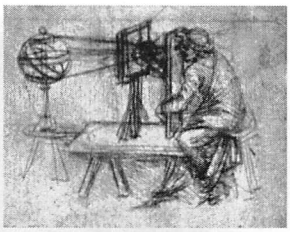
(3－3) レオナルドによる人間の目を表した“アナモルフォーズ”のデッサン

(Leonardo's Anamorphose, "human eye")

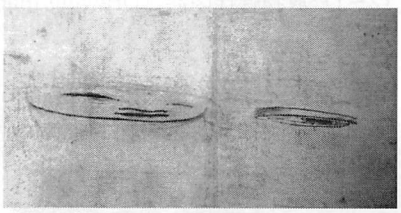
(3－4) 明祥印刷株式会社の立体的に浮かび上がる絵“Zign-Up”[12]

("Zign-Up", presented by Meisho Insatsu)

このテーマに関しては、この研究集会における別な発表でも詳細を紹介した。(3－1) は、1点透視図法による描画を実現する道具としてレオナルドが『アトランティコ手稿』に残しているデッサンを具現化した模型（【写真9】）。展示では、レオナルドと遠近法の関わりについて問題点を指摘した。(3－2) の「最後の晩餐」では、レオナルドは遠近法に関して卓越した才能を発揮している。しかし、その技法をどのように学んだか、どこまで“数学的”に理解していたのかについては不明である。それでも、レオナルドは平面上の画像を1点から（すなわち片方の目で）見た場合に立体的な画像が得られることは知っていたようで、それを示すのが『アトランティコ手稿』に描かれた彼のデッサン（3－3）である（【写真10】）。これは今日では一種の“アナモルフォーズ”として知られるが、展示では視点を固定することで平面上の画像を立体的に見せる技法がさまざまな分野で利用されている点も指摘した（作品（3－4））。



【写真9】



【写真10】

[Ⅱ] 自然と人間営為および科学に関連する作品

4．人間の視覚と科学の眼（Human Visions vs. Scientific Sight）

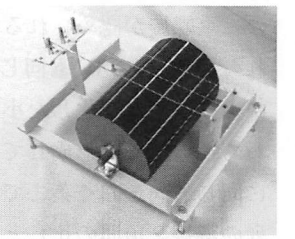
ここでは、人間がさまざまな状況において陥る視覚の変化、錯視などについて扱った2作品を提示した。

(4－1) プルフリッヒ効果（*Pulfrich effect*）

(4－2) 弦の振動の可視（Visible Vibration）

（4－1）の“プルフリッヒ効果”とは、片方の目を暗いフィルタなどで覆って明るさ（輝度）を減じ、その状態のまま両目で水平に振れる振り子を見ると、振り子が平面的ではなく楕円運動に似た動きをするように見えることをいう。これは、暗い方の目が対象の認識にやや遅れを生じることで、左右の動きの一方向は実際より近くを通過し、逆方向は遠くを通過するように感じることによって生じる現象である。

また、（4－2）では、黒と白の縞模様が回転するドラムの前で弦を振動させると、弦が振動して波を描いたまま静止しているように見える（【写真11】）。これは、科学博物館やサイエンス・センターでよく見かける展示作品であるが、弦の振動と背景がシンクロしていわゆるストロボ効果と同様の効果が生じ、振動した弦が静止したように見える現象を表している。



【写真11】

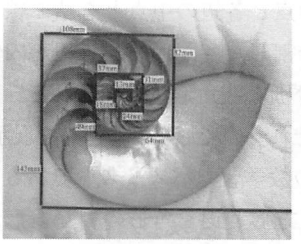
今回これらの作品を展示したのは、学校教育においても比較的容易に制作が可能であり、身近な現象を認識できるという点を提示するためである。

5．自然と数学（The Nature and Mathematics）

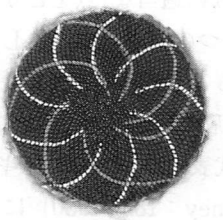
このセクションのもう一つの展示は、自然のなかに見出すことができる黄金比とフィボナッチ数列に関する２作品である。ただし、これら２作品は写真のみの紹介にとどめた。

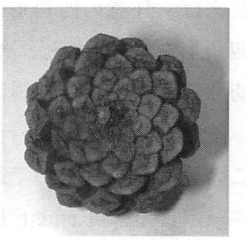
（5－1）オウムガイの螺旋と黄金比（Chambered Nautilus and Golden Ratio）

（5－2）ヒマワリの種が作る二重螺旋とフィボナッチ数列（Seeds of the Sunflower and Fibonacci Sequence）



【写真12】





【写真13】

これらの２作品は“自然に潜む黄金比”の具体例としてさまざまな文献でも紹介されているが、結果のみの場合が多く、今回は内容について多少解説できるようにした。

（5－1）はフィリピン産のオウムガイの外殻を正中線で切断した断面で、内部に現れた螺旋に直交する（水平方向、垂直方向）の接線を引くと、接線間で区切られる線分の長さは黄金比の平方根を公比とする等比数列となる（【写真12】）。いいかえれば、写真の水平方向および垂直方向のそれぞれでは、線分長が黄金比の比率で増加することになる[13]。また、水平方向の接線の接点を結ぶとこれらが一直線上に並び、また、垂直方向でも同様であることがわかる。そこで、それぞれの接点間を結んだ2本の直線の交点を中心として螺旋上の各点までの距離を考えれば、この螺旋が対数螺旋（等角螺旋）となることが確認できる。すなわち、数学的には、オウムガイがもともとは細長い円錐状の形状をしたイカで、それが進化とともに丸まったと推察することができる。

一方、(5－2) のヒマワリはロシア産の大型の品種を標本にしたものである（【写真13】左)。このヒマワリの中央の種（小花）の配列には二重の螺旋が認められる。その螺旋の本数は、左回り（反時計回り）に55本、右回り（時計回り）に89本であることがわかる。これら2数(55と89）はそれぞれフィボナッチ数列の隣接する2項となる。また、マツボックリにも同様の二重螺旋が認められるが、この場合は左回りに5本、右回りに8本の螺旋が見出される。これら２数（5と8）も同じくフィボナッチ数列の隣接する２項となる。ヒマワリは集合花で、中央には葉が進化した小花が集まっている。したがって、茎に対する葉の付き方が小花すなわち種の螺旋を形成していると考えられる。すなわち、下から順に見ると、１枚の葉から次に同じ方向を向く葉までの間では、回転数と枚数の比が黄金比（離散的にはフィボナッチ数列の隣接２項間の比）となることが指摘されている。東川和夫氏はこの関係性をもとにヒマワリの種の螺旋を数学的に議論している[14]が、その分析を用いれば、全体の大きさ（種の数）に応じて螺旋の本数の“見え方”も変わってくる―つまりはヒマワリもマツボックリももともとは同じ螺旋を描いている―ことがわかる。

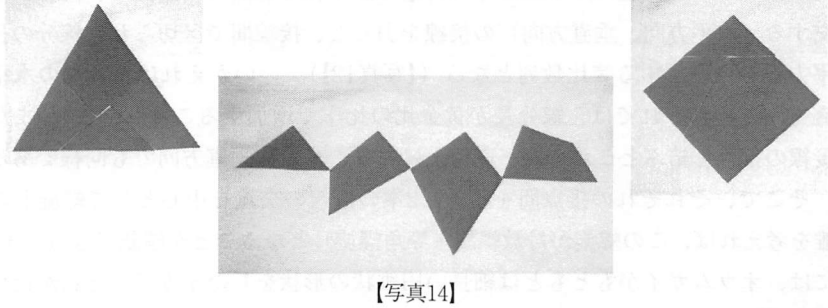
[Ⅲ] 数学教具に関する作品

このセクションの作品は、今回の研究集会の参加者が数学者であることを考慮し、数学の諸理論の具現化あるいはその応用に関するものとした。ただし、上でも述べたとおり、これらの作品はすでに「Mathematical Art展」で展示していたものである。

６．等積変形（ Equivalent Deformation）

これは、ある図形をうまく切り分けて並べ替えることで別の図形に変形させる作品である。たとえば、任意の四角形の内部に適当な1点をとり、この点と各辺の中点とを結ぶ線分でこの四角形を4分割する。次に一つの中点を中心にして、分割した各図形を、各辺が内側にまた切り分けた線分が外側に来るように回転させると、再び別な四角形が形作られる。ここでは、任意の四角形から平行四辺形や長方形、三角形のそれぞれへの変形を表す作品を展示した。

この等積変換のなかで最も代表的な一つに、イギリスの数学者でパズリストであるデュードニー（Henry Ernest Dudeney：1857-1930）による正方形と正三角形の相互変形がある（*Dudeney's* dissection,【写真14】)。これは、1辺が1である正三角形の面積が$\sqrt{3}/4$であることを考えれば、正方形の1辺として3の4乗根（$4\sqrt{3}$）を作図することが求められる問題である。



【写真14】

7．三平方の定理（ピタゴラスの定理）（Pythagorean Theorem）

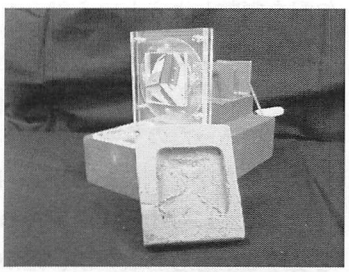
学校教育で最もよく用いる定理の一つで、それだけに子供たちの記憶に残っているのが三平方の定理（直角三角形の直角を挟む2辺をa、bとし、斜辺をcとするとき、$a^2+b^2=c^2$となる）である。これは各辺をそれぞれ1辺とする正方形の面積の関係として捉えられる。すなわち、二つの正方形の面積（a^2とb^2）の和が残りの正方形の面積（c^2）に等しいことが示されればこの定理が証明されたことになる。いいかえれば、これもある種の等積変形であると考えることができる。

世界のさまざまな科学博物館では、この定理を図形上で視覚化した教具が見られる。今回は、「Mathematical Art展」の際に東海大学教育開発研究所が制作した“切り分けモデル”を二種類展示した。

8．四角ドリル、六角ドリル

回転ドリルでは通常は円形の穴があく。今回展示したドリルは、回転することで正方形と六角形の穴をあけることができるドリルである。これは“ルーローの三角形”と呼ばれる図形を基礎にしている。正三角形の各頂点を中心にそれぞれ1辺を変形とした円弧を描くと、正三角形の周りに“オムスビ型”の図形ができる。これが“ルーローの三角形”と呼ばれる図形で、これは2本の平行線で挟むことで幅を測ると、どの位置でも一定の幅をもつ—定幅図形である—ことがわかる。この幅を1辺とする正方形内に“ルーローの三角形”を内接させると、この図形を正方形に内接しながら回転させることができる。ただし、その際に中心は1点に固定されず微妙な動きを見せる。

教育開発研究所では、中心の微妙なズレを制御することで“ルーローの三角形”の回転ドリル模型を制作し、正方形の穴をあけることができる回転ドリルとして「Mathematical Art展」で展示した（【写真15】）。同時に、この三角形を拡張した“ルーローの五角形”を用いて、正六角形の穴をあけられる回転ドリル模型も制作している。



【写真15】

§5．おわりに—まとめと今後の方向性

前節では、多少長くなったが、今回の研究集会での展示内容について紹介した。その作品の一つひとつは数学や科学の諸理論を具現化し、また、それらを応用したものである。第3節でも述べたように、今回の展示の主旨を端的にいえば以下のとおりとなる。それは、展示した作品はあくまで一つの具体的な例示に過ぎないが、そこから個々の作品が表す一般的な理論、性質に対する帰納的な理解を導き、また、一つの作品の理解が逆に演繹的思考によって数学、科学への理解を促すことになる、ということである。そして、それは同時に、人間が築いてきた数学や科学という学問（discipline）を人間の精神性や日常営為と結びつけることで、人間の文化・文明への理解につなげられないかという問題提起も意味しているのである。

たとえば、数学を例にとって考えてみる。人間は登場以来さまざまな知恵を働かせて文明を展開させてきたが、そうした文明形成の過程では人間の「数学的認識」、「数学的思考」、

「数学的作業」が重要な役割を担ってきた。ここで「数学的認識」とは、人間が身の周りの対象を数や図形といった“数学的対象”に置き直して把握することを意味する。たとえば，古代の租税徴用において土地の面積や収穫量の把握がこれに当たる。また、「数学的思考」とは、把握した“数学的対象”がもつ性質を検討し、必要に応じて理論化することである。時代を経るにつれて人間の活動が広がると、「数学的認識」も複雑化し、また、抽象化へと向かう。それにしたがって、「数学的思考」もまた高度に複雑化し、やがては学問としての体系的理論形成へと向かう。

一方、こうした「数学的認識」や「数学的思考」の高度化は重要であるにしても、人間営為に直接関わるのは「数学的作業」である。「数学的作業」とは、人間がさまざまに抽出した“数学的対象”を実践に応用することを意味する。たとえば、古代エジプトの『リンド・パピルス』では、穀物の量を未知数とした方程式を解くことで租税として徴収すべき穀物の量を計算している。また、17世紀の科学革命にあっては、ニュートンは曲線運動の微少な変化を扱う微分積分学を構築し、それを応用して太陽の引力に従う惑星の運動を楕円軌道に位置づける。これらは、まさに後の数学理論の形成へと向かう基礎となるべき事柄である。

しかし、実際にはそれ自体が数学理論の構築という意識をもたないまま展開される「数学的作業」も存在する。それは、太陽の動きから年周期を求めて暦を作成しようという試みであったり、地面に立てた棒の影からピラミッドの高さを求めようという試み（これが逸話であるにしても[15]）であったりとさまざまである。また、泉から街まで水を引く際に水道橋の勾配を調整しようという試みも見られる。あるいは、ルネサンス期に登場した遠近法や人体比例論もまた同じ範疇に捉えられる。それらの技法は根底に数学的原理を秘めながらも、決して数学的理論の構築を目指したものではなく、人間にとって最もふさわしい絵画を描く試みなどであったのである。

以上は数学の例であるが、自然に対する科学的発意も同様であろうと思われる。「数学や科学は自然に対する人間精神の発露である」—などというと人文社会科学の研究者から批判を受けるかもしれないが、確かに人間は自然と対峙しながら精神を駆使して自らの世界を築いてきたのである。そして、その精神は、一方では学問としての数学や科学を成立に至らしむが、他方では自らの日常営為に還元させる知識、それを支える技術を育んできた。それゆえに、本来数学や科学には人間営為に関わる“何もの”かが潜んでいることになる。今回の研究集会での展示—それは平野研究室の作品制作および展示活動そのものにも関わるが—が根ざしていたのはまさにその点であった。

今回の展示では対象が数学者であった。その意味では、数学の具体的表現としての作品はある種の“新鮮さ”を提示できたと思われる。とくに歴史的な作品は、単に歴史上の数学者や科学者の発想を紹介するだけではなく、それぞれの学問の形成プロセスの一断面を示唆するという点で多少の“驚き”をもって受け止められたとも感じられる。

そうした“新鮮さ”や“驚き”について—これは本展示と同時に行った研究発表にも関連する問題でもあるので—最後に簡単にふれておく。これは上でもふれた遠近法に関する問題である。遠近法とその展開にしても、もともとは古代ギリシアのユークリッドの幾何学、光

学、反射光学などに端を発するものが、ルネサンス期に数学者というよりもむしろ芸術家たちによって議論されたという経緯がある。その成果は、平面上に空間を描き出した数々の絵画作品を考えれば十分に理解できる。その一方で、数学理論としての画法幾何学や射影幾何学は17世紀のデザルグや18世紀のモンジュなどの数学者の手によって成される。ここで興味深いのは、遠近法はそのまま"素直に"理論構築へと向かうのではなく、むしろ一旦絵画から逸脱し、レオナルド・ダ・ヴィンチの"目の作品"(3－3)に見られるようなある種の"騙し絵"を描く方向へと向かう点である。まさに、正道からの逸脱が次の数学的議論を準備することになる。こうした数学や科学の紆余曲折を明らかにすることは歴史を振り返る醍醐味の一つでもあるが、それ以上に、そうした内容を提示できる作品からは人間理解の一端を垣間見ることができる。

作品制作とその展示をとおして人間の文化・文明を考える試みは、実際には気の遠くなるような道のりである。個々の具体的作品が必ずしも連続的な文化・文明の流れを表すものではないからである。今回の展示の反省点を挙げれば、展示規模が小さく、また、短時間であったため、必ずしも十分なものであったとはいえない点である。それでも、作品を制作する側として本稿で議論したことを十分に心に据えるよう自らに課して本報告を終える。

参考文献

[1]レオナルド・ダ・ヴィンチ,『アトランティコ手稿』(復刻版)
Il codice atlantico : edizione in facsimile dopo il restauro dell'originale conservato nella Biblioteca ambrosiana di Milano, Firenze : Giunti-Barbera , c1973-c1975, 12 v.
[2]レオナルド・ダ・ヴィンチ,『マドリッド手稿』(復刻版)
「マドリッド手稿ＩＩ」, 原典翻刻・解題：ラディスラオ・レティ, 日本語訳：小野健一, 裾分一弘, 久保尋二, 他, 岩波書店, 1975年, (スペイン語書名：Tratado de estatica y mechanica en Italiano).
[3]東川和夫,「ひまわりのたね」,『数学セミナー』, 日本評論社, 1985年7月号, pp.34-43.
[4]根上生也,「離散数学で変わる数学教育」
URL http://www.ngm.edhs.ynu.ac.jp/negami/document/discmath/discmath.html
[5]平野・谷・山上,「オウムガイの螺旋構造に関する一考察」,『東海大学文明研究所紀要』, 東海大学文明研究所, 第17号 (1996), pp.97-102.

1 本研究集会の委員長は恵羅博教授(文教大学), 副委員長は土屋守正教授(東海大学).
2 研究発表は遠近法の展開としてのアナモルフォーズについてで, 題目は以下のとおり：HASEGAWA , A. & HIRANO, Y. ："How can mathematics explain the human vision?"展示でもその一部を作品として紹介した.
3 研究集会では, 展示作品の写真および解説を記載した展示作品集として"*Study on the devices for Mathematics and Sciences classroom*"を配布した.
4 シンポジウム「数学を博物館に」, 1996年8月に東海大学にて開催. 世話人は当時の東海

大学海洋学部渡辺信氏と平野が担当.

5　「Mathematical Art展」は，当時の東海大学教育開発研究所秋山仁教授を中心とした数学普及を目的とした展示活動で，1998年の旭川市での開催を皮切りに国内外（フィリピン・マニラ展，韓国・ソウル展などを含む）においてさまざまな形で開催された．また，2000年に東京で開催された数学教育国際会議ICME9においても展示が催された．平野は旭川展，熊本展，マニラ展にスタッフとして参加している．なお，この展示の意義および概要に関しては以下の論文を参照のこと：
秋山・大矢・河村・神崎・菊地・佐藤・鈴木・平野・山口，「数学教育的視点から見たMathematical Art展の意義」，『東海大学教育研究所紀要』，東海大学教育研究所，第6号（1998），pp.85-97.

6　全国巡回展「かたちと数のワンダーランド」では平野もワーキング・グループの一員として参加している．この概要に関しては以下の記事を参照のこと：
平野，「巡回展・数学と遊ぼう／かたちと数のワンダーランド」，『数学セミナー』，日本評論社，1999年12月号，pp.24-30.

7　横地清氏は1990年頃から数学文化史の重要性を提唱し，中国やアメリカ，ドイツ，フランスを中心に定期的に国際会議を開催するなどの活動を続けている．

8　平野研究室では一般的名称をラボ・アッシュ（Labo-H）として展示活動を展開してきた．とくに，作品制作に元東海大学技術員である菊地宣行氏を専門スタッフとして迎え，第1回目の展示を2004年8月に新潟県の柿崎町で開催し，その後2005年から2007年までは，各年3月に新潟県長岡市の市民ホールを会場にして大規模な展示会を実施した．また，韓国ポハンでの科学フェアや近畿地区の数学教育者の会に参加する他，東海大学においてもサテライト・オフィス，建学祭（大学祭），文学部展示室，オープンキャンパスなどで展示を重ねている．
なお，当初の展示に関しては以下を参照のこと：
平野・菊地・丹治・中村，「実践報告「機械仕掛けの数のマジック展」—数学展示から見た数学教育—」，数学教育学会2005年秋季例会（口頭発表，予稿集有）．
また，ラボ・アッシュに関しては以下のホームページを参照のこと：
URL　http://www.labo-h.net/

9　根上生也，「離散数学で変わる数学教育」
URL　http://www.ngm.edhs.ynu.ac.jp/negami/document/discmath/discmath.html

10　レオナルド・ダ・ヴィンチ，『アトランティス手稿』の詳細に関しては参考文献一覧を参照のこと．本稿の図版はこの書からの引用である．

11　レオナルド・ダ・ヴィンチ，『マドリッド手稿』の詳細に関しては参考文献一覧を参照のこと．本稿の図版はこの書からの引用である．

12　"Zign-up"はデンマークの同名の会社が制作したもので，明祥印刷株式会社が取り扱い店となっている商品である．

13　オウムガイの螺旋と黄金比の関係については以下の研究がある：

平野・谷・山上,「オウムガイの螺旋構造に関する一考察」,『東海大学文明研究所紀要』,東海大学文明研究所,第17号(1996),pp.97-102.

この論文では,フィリピン産のオウムガイ(*Nautilus pompilius*)の螺旋が対数螺旋であるなら,その比が黄金比(1.618･･･)よりもわずかに大きいことを検証している.

14 東川和夫,「ひまわりのたね」,『数学セミナー』,日本評論社,1985年7月号,pp.34-43.

15 ミレトスの最初の自然学者の一人であるタレスがピラミッドの高さを測定したというのは逸話であり,実際のところは確認されていない.