



特集

博物館における 文化財科学

サイエンス・インタビュー

数学と錯覚が生み出す 不思議な立体の世界！

明治大学研究・知財戦略機構特任教授 / 同大学先端数理科学インスティテュート所長 **杉原 厚吉**

「milsil(ミルシル)」について
「milsil(ミルシル)」の「mil(ミル)」は「見てみる」「聞いてみる」「やってみる」の「ミル」。そのような「ミル」から、新たな、そして豊かな「sil(シル=知る)」が得られるでしょう。この雑誌とともに、皆様楽しい「ミルシル」体験をされることを願っています。

CONTENTS

3 サイエンス・インタビュー 科学のいま、そして未来
数学と錯覚が生み出す不思議な立体の世界!
杉原 厚吉 (明治大学研究・知財戦略機構特任教授/同大学先端数理科学インスティテュート所長)

6 【特集】博物館における文化財科学

6 博物館における臨床保存
神庭 信幸 (東京国立博物館名誉館員)

10 正倉院宝物を支える保存科学
中村 力也 (宮内庁正倉院事務所保存課整理室長)

12 世界の資料を保存する
園田 直子 (国立民族学博物館教授)

14 DNAから博物館資料を考える
木川 りか (九州国立博物館博物館科学課長)

16 小判を金色に見せる技術「色付」
齋藤 努 (国立歴史民俗博物館研究部教授)

18 X線CTを用いた文化財の科学調査
鳥越 俊行 (奈良国立博物館学芸部保存修理指導室長)

20 標本の世界
新時代の菌類標本の活用
細矢 剛 (国立科学博物館植物研究部菌類・藻類研究グループ長)

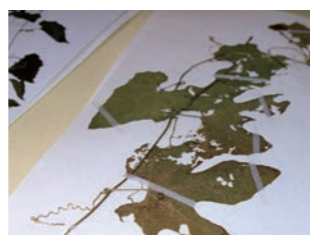
22 日本の国立公園 第9回
白山国立公園 ～迫力ある火山地形と可憐な高山植物たち～
宮下 央章 (環境省中部地方環境事務所白山自然保護官事務所自然保護官) 取材協力
大塚 健斗 (白山市白峰化石調査センター化石調査員) 取材協力

26 親子で遊ぼう! 科学冒険隊
#65 偏光板ってなんだろう?
大山 光晴 (秀明大学学校教師学部教授) 監修

30 DNAを知る 第6回
遺伝子操作でできること② ～CRISPR-Cas9がもたらした大革命～

32 NEWS & TOPICS
世界の科学ニュース & おもしろニュースを10分で

34 milsil カフェ / 編集後記 / 定期購読のお知らせ / 次号予告



ニコチンという毒のあるタバコを食べてしまうタバコシバムシにより食害された植物標本。 写真提供: 木川りか



表紙写真

上の3点は、中国古代青銅器「細線鬚饗紋罍」の外観(左)とCT画像(中央)、3D断面画像(右)。

下は、正倉院宝庫内での点検作業の様子。 写真提供: 奈良国立博物館(上の3点)、中村力也(下)

数学と錯覚が生み出す
不思議な立体の世界!

手前から見ると四角い筒を並べた立体。ところが、これが鏡に映ると、筒はなんと丸い形に変身!? (図1) こんな不思議な立体アートを、数学を駆使して次々に生み出し続けているのが杉原厚吉先生です。「不可能立体」や「変身立体」と名づけられた、錯覚を利用した数々の作品を前に、作品が生み出されるプロセスや錯覚の不思議について語っていただきました。

■ 最初はロボットの目の研究から始まった

先生は「不可能立体」の研究以前は、どのような研究をなさっていたのですか。

私は大学と大学院で、数理工学を学んでいました。数理工学とは、簡単にいえば、数学を道具としていろいろな工学の分野に活かす研究です。大学院を修了した年に就職した電子技術総合研究所では、その知識を活かして、ロボットの目を研究するグループに配属されました。人間は目の網膜に映った画像を脳に送って、見ているものを認識します。それと同じことをロボットにさせようという研究です。ロボットの場合はカメラに映ったデジタル画像をコンピュータに送り、コンピュータが処理して認識結果を示します。

私が受けもった課題の一つが、平面(2



明治大学研究・知財戦略機構特任教授/同大学先端数理科学インスティテュート所長

杉原 厚吉 すぎはら こうきち

1973年東京大学大学院工学系研究科計数工学専門課程修士課程修了。工学博士(1980年東京大学)。1973年東京大学工学部助手、通商産業省電子技術総合研究所研究官、名古屋大学助教授、東京大学教授などを経て、2017年より現職。東京大学名誉教授。錯覚作品「Impossible Motion: Magnet-Like Slopes」でBest Visual Illusion of the Year Contest 2010 優勝。「不可能物体の数理」「だまし絵のトリック」「新 錯視図鑑」など著書多数。

次元) 画像からコンピュータに立体の奥行きを推測させるというものです。そのためには方程式を立てて、推測される立体の頂点の3次元座標を求めます。「1枚の平面画像が与えられたときに、それと同じように見える立体は?」という方程式を立てると、画像が正しければその答え(解)は無数に出てきます。でも、人間は網膜像から即座に単一の立体の形を思い浮かべることができません(図2)。人間と同じことを

させようとしたら、コンピュータにどんな計算をさせる必要があるのか。それを考えるのが研究テーマでした。

ロボットの目の研究と、「不可能立体」の作品づくりは、いつ、どのように結びついたのですか。

一連の研究のなかで、線図形でできた絵をロボットに見せ、それがどんな立体かを判定するコンピュータ・プログラムをつくりました。その性能を確かめるた

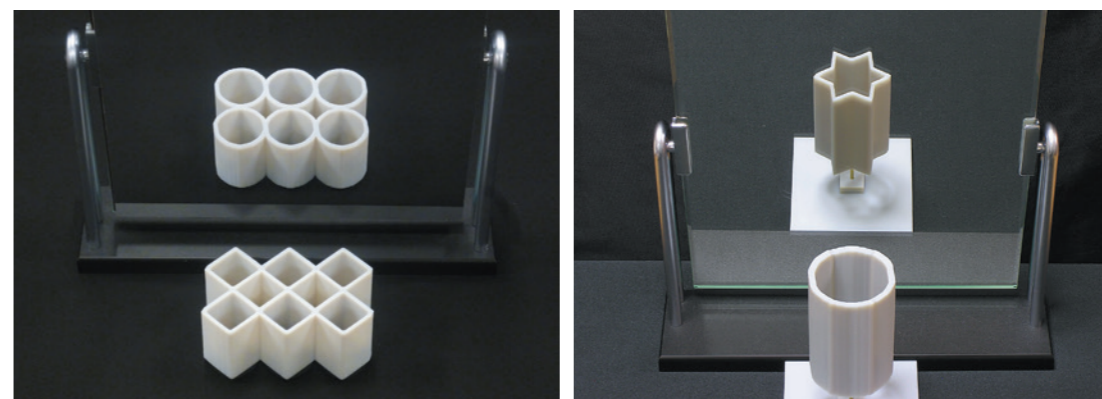


図1 変身立体「四角と丸」(左)、「満月と星」(右)

手前から見た立体と、鏡に映った立体の形が異なるものに見える。互いに向かい合う方向から45°の角度で見下ろすと、錯覚によって両側の立体の形が変わって見えるように設計されている。

写真2点: 杉原厚吉

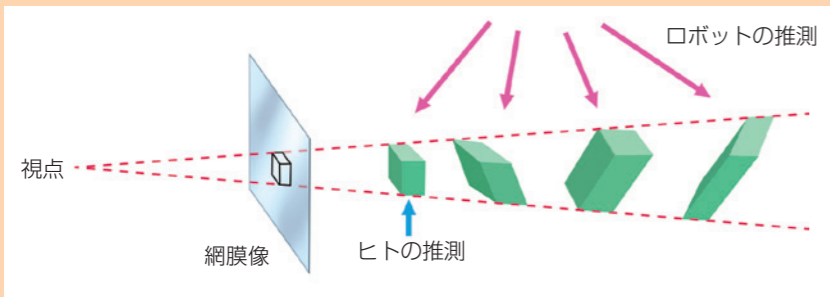


図2 ヒトの目とロボットの目の違い
平面画像には奥行き情報が欠けているので、ある視点から平面画像のように見える立体は、実は無限にある。しかし私たちは、経験をもとにそのなかから特定の立体を推測している。

めに、いろいろな絵をロボットに見せました。そのときに、エッシャー^{※1}の「だまし絵」も見せてみたのです。当然「そんな立体はあり得ない」とコンピュータが答えることを期待していたのですが、ごくまれに「そういうふうに見える立体がある」という答えが返ってきたのです。最初はプログラムのミスかと思いましたが、プログラムの誤りではなくて、実際に、不可能と思える立体でも、角度を固定すればそう見えるものがある、ということがわかったのです。これが、だまし絵や人間の目の錯覚に興味を広げたきっかけでした。

■ 不可能立体『ペンローズの四角形』をつくる

コンピュータにだまし絵を見せたのは、いつごろのことですか。

プログラムは28～30歳のころに完成しました。コンピュータの判定を受けて興味をわき、実際に自分の手で最初の不可能立体をつくってみたのが1980年のことです。このときは、つくるといってもどういう形かわからないので、展開図を書いて紙工作をしたり、研究所の工作部

という部署に協力をお願いしたりしました。当時共同で製作したものに、V字型の隙間にあり得ない向きに棒が貫通する立体があります(図3)。

こうした立体づくりは研究の本流ではないので、あまり時間を割くわけにはいきません。ですから、それ以降は自分の時間を利用して、立体としてくれるだまし絵を集め、ほそほそと不可能立体の作品をつくりためていきました(図4)。

■ 数学が教えてくれる未知の不可能立体

だまし絵は、もともと好きだったのですか。

小学生のころから、だまし絵を見るのは好きでした。最初の出合いは学校の図書館だったと思います。特にエッシャーのだまし絵は不思議で魅了されました。工作も好きで、ゴム動力で飛ぶ模型飛行機をよくつくりました。竹ひごをろうそくの火であぶって曲げて翼の骨組みにして、そこに紙を貼るのです。私は山の中で育ったので、自然を相手にした遊びが至るところにあり、昆虫採集も好きでした。

子どものころからの経験が活かしているのですね。実際の作品はどのように生まれてく

るのですか。

「不可能立体」の場合は、まず元になる絵を手に入れます。絵がない場合は自分で描きます。その絵を、前述のプログラムに見せるわけです。プログラムに用いている数学は「線形代数^{※2}」という、理工系の大学生が教養課程で学ぶレベルのものです。線形代数を使って方程式を立て、平面から立体を推測させるプログラムを構築しました。このプログラムで得られるのは「不可能立体」の解です。

ただし、解は無限にありますから、そのなかからつくりやすそうで、見た目もおもしろそうなものを選んで、コンピュータに展開図を作画させます。以前はその展開図を厚紙に写して自分で組み立てていましたが、現在は3Dプリンタ用のデータにして、一気に立体をつくりあげます。先生の代表作の一つ『変身するガレージ屋根(図5)』は、実際につくってみると納得できる不思議な作品です。これはどのように着想されたのですか。

ある方向から見ると曲面のかまぼこ屋根に見え、別の方向から見るとM字型の波屋根に見える立体があるはずだ、ということは、数学でわかりました。なぜなら、それぞれの形に見える画像から方程式を立て、それを連立して解けば得られるはずだからです。しかし、方程式を立てた段階では、それがどんな形になるの

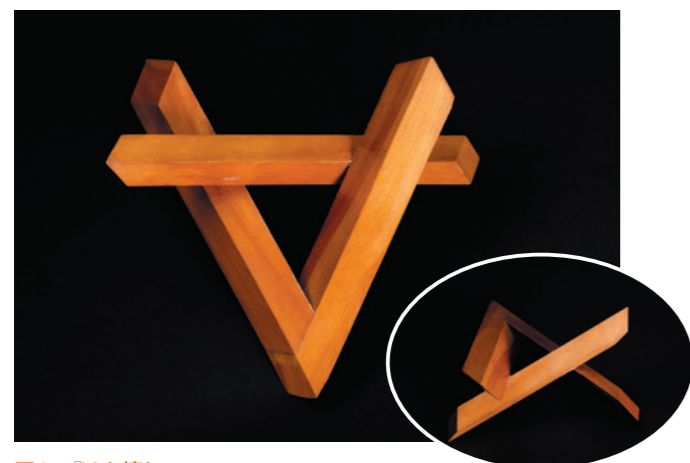


図3 [Vと棒]
木で作られている。不可能立体は、角度を変えて見ると、そのからくりがわかる。
写真2点：杉原厚吉



図4 『ペンローズの四角形』
[ペンローズの四角形] (左)。角度を変えて見る(右)と、実際は、平面に見えたところに曲面を使っていることがわかる。右下はヒントとなった[ペンローズの三角形] (イギリスの科学者であるライオネル・ペンローズとロジャー・ペンローズ父子が考え出した不可能立体)。
写真2点：杉原厚吉



図5 『変身するガレージ屋根』

ある視点から見るとガレージは丸い屋根だが、鏡に映った姿は波屋根になっている。以下のアドレスに展開図(英語)があるので、実際につくってみよう。
<http://www.isc.meiji.ac.jp/~kokichis/ambiguous/handout.pdf>
写真：杉原厚吉

に避けたいとき、素早く物をつかみたいときに、あれこれ可能性を探っている余裕はありません。瞬時に「これだ」と決め打ちして行動に移した方が生きていくうえで有利だったのではないのでしょうか。

では、多くの可能性のなかから、脳はどのように形を決め打ちしているのか、というのが次の問題だと思います。私がしばしば感じるのは「脳は直角が大好き」だということです。同じに見える可能性のある立体のなかから、直角が多いものを好む傾向があるように思えるのです。たとえば図6の上段を見てください。これは『反重力三連すべり台』という作品で、ある視点から見ると球が3つの台を飛び移りながら上に転がっていくように錯覚します。実際は下段のように滑り台の柱が斜めに傾いているのですが、脳は「柱が垂直に立っている」と解釈し、長い柱ほど高いところを支えていると推論してしまうのです。

私たちはだまし絵により自分が錯覚を起こすことを知って楽しんでいますが、錯覚を知ることにはどんな利点がありますか。

錯覚は単なる勘違いではなくて、正解を教えられても直らないものです。いろいろな錯覚を知ること「見たら物の形はわかるはず」という常識が怪しいことを理解してもらえるので、その素材にな

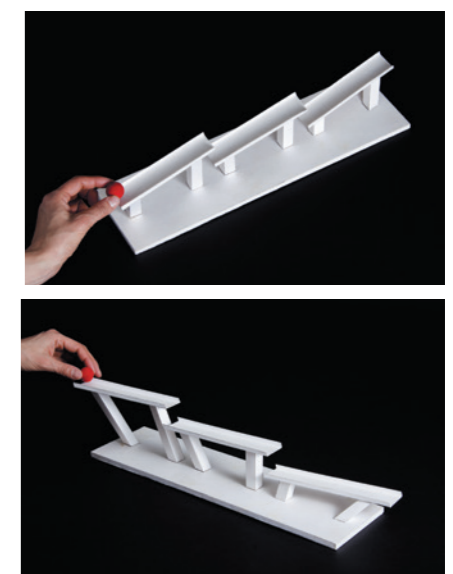


図6 『反重力三連すべり台』
上図のような決まった視点から見ると、球が重力に逆らって下から上へ登っていくように見える。下図は視点を変えた種明かし。
写真2点：杉原厚吉

ればよいと思います。

もう一つ重要なのは、数学を勉強するモチベーションになり得るということです。私は、中学生や高校生にだまし絵を楽しんでもらうときに、「数学がないとこういうものはつくれませんよ」と強調しています。それなら、数学を諦めないでこうやってくれる生徒もいるし、高校の数学の先生は、数学によるだまし絵づくりという話題を歓迎してくれます。数学を使うからこそ得られる楽しさを、たくさんの人に知ってもらいたいですね。 □

※1 マウリッツ・エッシャー…1898-1972年。オランダの版画家。無限ループ状になった階段が描かれた『上昇と下降』をはじめ、建築不可能な構造物を描いた作品が有名。

※2 線形代数…線形空間(ベクトル空間)を研究する数学の一分野で、「行列」という数学の考え方を使う。応用範囲が広く、統計学、画像処理、量子力学などの分野で使われている。

楽しみがあるから、研究も頑張れる

私は研究者になって良かったと思っています。新しいものを見つけたり、作り出したり、つくったものを人に見せて驚いてもらったりするのは、とても楽しいことです。研究でも仕事でも一生涯懸命やろうとすると、エネルギーが必要で、私の場合、それは「楽しい」ということ。自分が楽しいから寝ることも忘れて研究ができます。少なくとも私の場合は、世の中の役に立ちたいという使命感だけでは、十分なエネルギーにはならないように思います。

使命感をもって研究や仕事に励んでいる人も、そこに楽しみがあるから続けられるのでしょう。皆さんも、楽しいと感じることを仕事に選んでください。

