



<日本科学未来館を10倍楽しむ!>

特集1

# 複雑さを解き明かす「数理モデル」とは

日本科学未来館（東京・お台場）3階に常設の「メディアラボ」がある。最新の情報技術を使って表現の可能性に挑戦している。いま取り上げているのが「1たす1が2じゃない世界—数理モデルのすすめ」。数学を使って世の中の複雑な現象を解き明かす<sup>あいはら</sup>合原一幸教授（東京大学）のプロジェクトだ。さまざまな分野の課題に対応できる新しい学問とあって社会的な期待は高いが、数式が登場するため敬遠されがちでもある。この展示では、中高生から研究者レベルまでの幅広い人たちに向けてわかりやすく解説し、楽しみながら理解できるように随所に担当者の工夫が凝らされている。社会現象と数学をどのように展示に結びつけたのか、展示内容とあわせて紹介しよう。

## 「1+1」が2にならないことが、世の中にはたくさんある

展示のタイトル「1たす1が2じゃない世界」とは何だろう。

簡単な例を挙げよう。2人で取り組む作業を考えてみる。互いに協力しながら得意な能力を発揮し合えば、ときには2人以上の仕事ができる。逆に2人が喧嘩して協力関係がうまくいかないと、2人がそれぞれ単独でこなせる量に満たない仕事しかできないこともあるだろう。

「1+1」が2より大きくなったり小さくなったりすることは、世の中では当たり前のように起きている。「1+1」が2になるような関係を数学では「線形」と呼び、これに対して単純な足し合わせが成り立たない関係を「非線形」と呼んでいる。今回の展示は、日常生活にみられる非線形の現象に触れてもらうのが狙いだ。

「メディアラボ」は常設展だが、来館者に常に新しさを感じてもらおうと半年ごとに展示内容を入れ替えている。今回のテーマは、東京大学の合原一幸教授を中心に進められた「合原最先端数理モデルプロジェクト」の紹介だ。世界トップを目指して内閣府が2009年から5年間実施した最先端研究開発支援プログラム（FIRST）の研究成果を基にしている。

人間の脳や、日本人の死因の約3割を占めるがん、新型インフルエンザなどの感染症、また東日本大震災のような大地震、エネルギーや電力、交通、通信、経済など、21世紀の重要分野は、実は「1たす1が2じゃない世界」として考えないとうまくいかない。合原プロジェクトでは、それらの課題について数理モデルをつくって解析してきた。

「プロジェクトには、数学や工学、物理学をはじめ、医学、生物学、地震学、情報科学など、非常に幅広い分野の数多くの研究者がかかわってきました。どの課題

に誰が当たるかは、合原先生の声かけで決まることもよくあります。国際救助隊活動を描いた英国の特撮テレビ番組『サンダーバード』の隊員みたいな気分です」とプロジェクトメンバーで、今回の展示に協力した岩山幸治さん（現在は京大大学生態学研究センター特定研究員）は語る。

親近感を持ってほしいと、展示にはそれぞれの分野の研究者を戦隊もののヒーローに見立てた。彼らの司令塔として登場するのがフクロウの「モデロウ」で、フクロウ愛好家の合原さんの化身でもある。



**岩山 幸治** いわやま・こうじ  
京大大学生態学研究センター 特定研究員

2006年、慶應義塾大学環境情報学部卒業。11年に東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻博士課程修了。博士（情報理工学）。同年よりFIRST合原最先端数理モデルプロジェクト研究員。14年より現職。

**小沢 淳** おざわ・あつし  
日本科学未来館事業部展示企画開発課  
科学コミュニケーション専門主任

## 7つの「ミッション」で 数理工学の世界に触れる

展示コーナーには、病気の診断や治療、脳のメカニズム、地震予測など7つの研究がそれぞれ「ミッション」（特命）として並ぶ。パズルやゲームなどを体験しながら、数理モデルを活用してさまざまな問題の解決に迫る。

新型インフルエンザなどの爆発的流行（パンデミック）への対策を取り上げたのが、ミッション1「感染症の広がりを防げ」。感染症がどのように広がるかを数理モデルで表すことができれば、事前の対策も立てやすくなる。だが、病原体の種類や感染経路、気候条件や個人差など、考えなければいけない条件は数多い。これをどのように抽象化簡素化して解決の方策を見つけるか。思いつく要素をすべて取り入れてしまうと、本質が見えにくくなってしまふ。まずは重要な要素に絞り込んだ単純なモデルから、いかに現実の振る舞いを再現できるかがポイントになる。

2つ目のミッションでは「脳」を取り上げた。私たちの脳は「ニューロン」という神経細胞が約1,000億個も集まってネットワークをつくっている。脳の複雑な活動のモデル化で使われるのが、予測できない複雑な現象を説明する「カオス理論」だ。

プロジェクトでは、カオス的特性を持つニューロン素子を研究し、100個繋げた回路網で人間の脳をまねた。この「カオス脳」システムを生かした「平和な動物園をつくろう」（上中央）が人気を呼んでいる。10種類の動物が喧嘩しないように、仲の良い動物を隣り合わせて、最適な配置を考えるパズルになっている。すべての組み合わせを検討すると膨大な計算になって手に負えなくなる。人づきあいでもよくみられるが、人は正解を追求するのではなく「妥当な解」を探す。人間の脳は、しらみつぶしに調べなくても、直感的にそういう満足のいく答えを見つけ出すことができる。こうした脳の特性的も、カオスによって説明できるとされることから、展示では「カオス脳」とパズルの答えの妥当さを競い合う内容となった。あなたの「解



「情報コーナー」には数理モデル学に関する詳しい資料や書籍も用意されている。



ミッション7「ホテルとシンク口せよ」。明滅する光が同期するホテルの集団発光が、電子回路でも起きることを「LEDホテル」（写真）で実験。



医学・薬学、生物学、地震学など幅広い分野で、課題解決に数理モデルが活用されている。



身近な話題に潜む数学の数々がお出迎え。好きな絵を選んでみよう。



ミッション2では動物たちが仲良く暮らせるように並べるゲームで「カオス脳」と対戦し、人間の脳の特性に迫る。右隣はカオス脳の脳作機。

決力”を試すよいチャンスになるはずだ。

### 難解な数理モデルの世界を わかりやすい展示に

展示企画にあたり、岩山さんら合原プロジェクトの研究者と未来館の担当者らとの間で、数十回に及ぶ打ち合わせもった。メディアラボはこれまでに12回の展示をしてきたが、紹介の仕方を工夫することで、研究者の成果をほぼそのまま展示できたものが多かった。それでも準備に半年ほどかける。今回のような新しい企画では、最初は展示するものがないので1年近くかけて練り上げる。

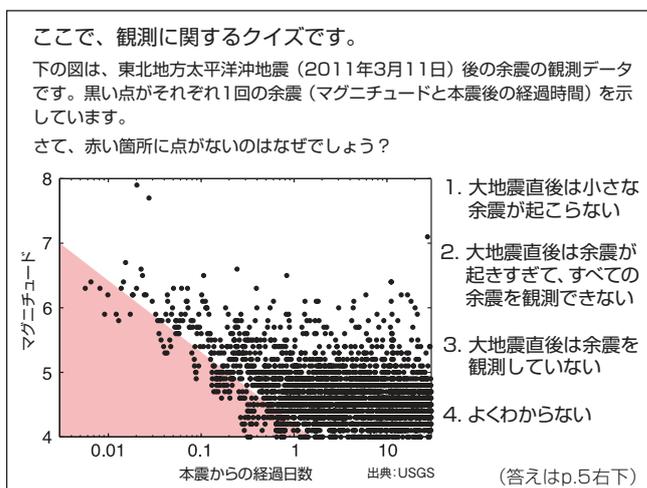
「数学がテーマなので内容が難しく、先生から提案された数理モデルの候補もあまりに多様で、その打ち合わせの後は途方に暮れました」と語るのは、今回の展示を担当した未来館科学コミュニケーション専門主任の小沢淳さんだ。

「いろいろな事例があると紹介するだけでは、来館者に強い印象を残すことが

できません」と、7つの課題の共通点を探した。最終的に、各テーマの研究の工程を「見つける」「表す」「解き明かす」「使う」という4つのステップに分解した。数理工学の研究者が課題にあたる方法を聞いていくうちにたどり着いた表現だ。

まず、何が問題かを「見つける」。その現象を抽象化して概念的な数式に「表す」。次に、その数式が現状に沿うように、係数などを決めて「解き明かす」。最後に、実際に問題解決のためにこの数理モデルを「使う」という段階を踏む。それぞれ象徴的なアイコンにまとめ、解説パネルに大きく配置していった。

式を表す、解き明かすといつてもわかり



ミッション6「余震を予測せよ」では、クイズを交えた映像で興味をかきたてる。



ミッション5「病気の予兆を見極めよ」。発症前の微妙な変化をとらえて、適切に処置することができれば悪化を防げるといふ。予兆をとらえるゲームに挑戦しよう。

にくいので、具体例を挙げよう。

ミッション4「投薬のスケジュールを組み立てよ」では、薬でがん細胞の増殖を抑えることが可能な前立腺がんを取り上げた。実際には投薬を続けると薬が効きにくくなり、がん細胞が増殖するため、投薬の中断と再開を繰り返す治療法が提案されている。治療時と中断時のがん細胞の量の変化を数理モデル化し、投薬のタイミングを決める際に役立てる。

数式化する上での課題は、がん細胞の増減に個人差があることだ。そのため、患者1人1人に特有な変数を調整しなければならない。この数式の最適化の作業が「解き明かす」に相当する。展示では、完成した数式を計算して求めた最適な投薬スケジュールにそった治療と、数理モデルによらない投薬の違いをゲームとシミュレーションで実感することができる。

## わかりやすさと正確さのバランスが大変

「難しい学問分野ですが、説明をはしょりすぎてブラックボックス化させたくありません」と小沢さんは言う。「できるだけ内容をわかりやすくかみ砕いて、数理モデルの真髄を伝えたいと思いました」。

誰に向けて説明するかのターゲットを設定するのも大切だ。そこで、各テーマで

見つける 表す 解き明かす 使う

病気の進行を、坂道の形状変化と転がり落ちるビー玉に見立てると、

健康状態を数理モデル化しよう

人間の健康/病気の状態を、下記の数式で表現する。

$$\dot{Z}(t) = f(Z(t); P)$$

ここは、抽象的なモデルのまま話を進めよう

要因が多すぎると具体的なモデルがつかれないよ

要するに、坂道も位置も見えないから、ビー玉のユラユラを察知するってことね

ふるまいが変わる分岐点を見逃さないことだ

安定 安定 不安定 安定

分岐理論

力学系理論

レベル2の解説パネルの1コマ(ミッション5「病気の予兆を見極めよ」)。図を多用して考え方のエッセンスを伝える。

小学校高学年にもわかってもらえる「レベル1」の説明、理系に興味がある高校生以上に向けた「レベル2」の説明(上図)と、展示パネルを2段階に分けた。さらに研究に関心がある人に向けて、ライブラリーコーナーを設け、各ミッションの基になった論文や参考文献を展示することにした(p.4左上)。

「レベル1の展示は、詳しくは理解できないにしても、少しでも興味や関心を持ち帰ってほしいという気持ちから設定しました」と話す。

大変だったのは「わかりやすさと正確さのバランスをとることでした」と岩山さん。主にミッション4、5、6に関わったが、「わかりやすく興味を持ってもらえるような内容でありつつ、間違った印象を与えないようにするのが大事」と落としどころに苦労したという。

例えばミッション4では、投薬シミュレーションに使う数理モデルのパラメータ決めに気を使った。「でたらめに投薬しても『成功』してしまったら、数理モデルが役に立っていない印象を与えてしまいます。逆にがんばってもうまくいかないのでは面白くありません。ちょうどよい難易度を保ちつつ、実際のデータに近づけるのが大変でした」。

## 世の中を数理の目で見る科学を知ってほしい

「数理工学の研究者はどのように世界を観察しているのか、私自身も関心がありましたし、その視点を来館者と共有したいな、感じてほしいななどの思いで

す」。小沢さんは、展示の入り口に数理学者のものの見方を具体的に描いた短いイメージ映像を配置することにした。

展示開始から4カ月が過ぎ、来館者の反応も上々だ。双方向のゲームやシミュレーションは、子どもから大人まで楽しんでもらっている。

「今回の展示は、あくまでも7つの事例にすぎません。世の中には多種多様なできごとがあります。それを自分の目で見て考えてもらいたいです。また高校生や大学生には、今後の進路としてこんな面白い数理研究の道もあることを知ってもらえれば嬉しいです」と小沢さんは言う。

「数学や数理工学という学問が、このように実社会で役立っていることを理解してもらいたい。さらに数理自体の面白さを実感し、興味をもってもらい、展示を見た後、身近な現象を自分なりに数理モデルで考えてもらえれば最高です」と岩山さんも続けた。

展示会場内のモニターには、実際に研究者も登場し、各自のミッションの内容を語る映像が映し出されている。ミッションを体験するだけでなく、どんな研究者が、どのようにして数理モデルの研究を進めているのか、その一端に触れることで、興味はさらに深まることだろう。

研究者の生の声を聞きに行こう！  
サイエンティスト・トーク

7月19日(土) 合原一幸教授  
「1たす1が2じゃない世界」

7月20日(日) 占部千由特任助教  
「数理モデリングで感染症の広がりを防げ! -数理モデル大実験-」

詳細: <http://www.miraikan.jst.go.jp/event/>

申込 不要

<日本科学未来館を10倍楽しむ!>

# 科学コミュニケーター“イチ押し”の展示はコレ!

科学の不思議やびかびかの技術が体験できる未来館は、常に進化し続けている。新企画のエリアを含め、未来館の頼れる解説員「科学コミュニケーター」が自信をもって薦めるこの夏の見どころを案内してもらった。

## 3階 “おや?”っこひろば

### ちびっ子たちの科学する心を育てる

6月から新しく公開されたのが「おや?」っこひろば。これまで、展示が理解できないために楽しめなかった子ども向けに、科学的なモノの見方を体験できるように工夫した無料のひろばだ。

人工芝の坂で、大きさや形・素材が異なるボールなどを転がしながら、たくさんの「ハテナ?」を発見する「ごろごろのしば」。ホワイトボードでできた壁や床に自由に絵が描ける「かきかきのへや」などが、広々とした空間に配置されている。カウンターで実験キットや工作キットを借りて、一緒に挑戦するのも楽しい。

「おや? 親サロン」は、少し離れて子どもを見守るエリア。ひろば内のカメラを遠隔操作して、工作などに熱中する子どもの表情に触れられる貴重な場になっている。



週末などには、子どもの新しい発想を引き出すワークショップが開かれる。開催スケジュールはHP (<http://www.miraikan.jst.go.jp/event/>) で要チェックだ。

## 3階 新型ASIMO (アシモ) & アンドロイド

### 世界最先端のアンドロイドが登場 ASIMOもニューモデルに

6月25日から、3体のアンドロイド(人間酷似型ロボット)がロボットワールドに加わった。子ども型の「コードモロイド®」は、アナウンサーとしてスタジオからニュースを配信する。成人女性型の「オトナロイド®」、そして身近な人の面影を重ねられるよう人間の特徴を極限までそぎ落としてデザインされた「テレノイド®」の2体は、対話や操作が可能なのでぜひ試してみよう。

ASIMOはホンダが開発した2足歩行ロボット。4月には、来日したアメリカのオバマ大統領と英語で雑談したり、サッカーボールを蹴ったりして楽しんでもらった。ASIMOの実演は毎日11時と14時から。キミもASIMOのボールを受け止められるかな。



新しい仲間が加わって、ますます面白くなったよ!



コードモロイド®



テレノイド®

## 1階 夏の企画展

トイレット? 行っトイレ!  
ボクらのうんちと地球の未来



企画展の会期: 7月2日~ 10月5日

### 排泄物から暮らしや健康、地球環境などを見つめ直す

毎日見ていながらあまり関心のもたれていない「トイレ」や「うんち」をテーマに、「今日どんなうんち出た?」「宇宙のトイレは未来のトイレ?」など、8つのエリアで構成。

うんちの形を粘土でついたり、巨大トイレの滑り台を降りながら下水処理の旅をしたり、体験を通して楽しめる。うんちのにおいや形からわかることなどの身近な話題から、地球環境の問題

まで、トイレにまつわるさまざまな問題を、面白おかしく学ぶことができる。

日本では温水シャワー付き便座が人気だが、世界では25億人もの人がトイレのない不衛生な環境で生活している。「みんなが幸せになれるトイレって?」と考える場でもある。この機会に、普段は避けてしまうトイレやうんちの話を、大人から子どもまでオープンかつ愉快地語り合ってみてはどうだろう。

企画展入場料: 大人1200円 18歳以下600円 (未就学児は無料。常設展入館料を含む)

## 1~6階 Geo-Cosmos (ジオ・コスモス)

### 吹き抜けに浮かぶ200万分の1の地球

未来館に入ってすぐ、1階から6階までの巨大な吹き抜けで来館者を迎えるのがシンボルゾーンの「Geo-Cosmos」。表面に1万枚以上の有機ELパネルを貼り付けた直径約6メートルの球面に、宇宙空間に輝く地球の姿がリアルに映し出される。

刻々と移り変わる雲は、当日の朝までの3カ月間の気象衛星画像を使っている。他にも5~15分の球状ディスプレイならではのプログラムを1日に数本上映している\*。

1階の長イスでごろりと見上げたり、上の展示フロアやスロープから間近に眺めたり、ゆったりとしたひとときを楽しんでみるのもいい。

\*時間帯は下参照。一部は3階のテーブル型ディスプレイ「Geo-Scope (ジオ・スコープ)」(写真左側)でも鑑賞可



## 3階 2050年くらしのかたち

### 未来の街はどんなところ?

その小さな仮想の街は「いとおか市」という。聞き覚えのあるこの名前、実は古語「いとをかし」(趣深い)に掛けている。キミはこの街を疑似探索することから始める。

案内するのは、おしゃれな未来都市のジオラマ周囲の端末だ。マウスもコントローラーも触らず、手をかざすだけで操作できるので、これだけでもワクワク感がある。

いとおか市への転入者になりきって住民登録し、未来の仕事や生活を見聞かしてみよう。土を使わずに育てる野菜工場や送電ロスのない超伝導ケーブルなど30以上の先端科学技術が、暮らしをどう変えるのか見ることができる。体験者だけがログインできるHPも必見。



## 3階 インターネット物理モデル

### ウェブ情報のやりとりが感覚的にわかる

開館当初から小さな子どもにも人気の展示。コンピューターはあらゆる文字を0と1の組み合わせに置き換える。ここでは、0と1を白と黒の球で表し、インターネットサーバーをらせんの塔に置き換え、情報を送る仕組みを見てわかる形で再現する。

最近ではより理解を深めるため、30分ほどのワークショップも開いている。チームに分かれて、自作のメッセージをやり取りできる。休日には暗号化に焦点を当てた上級者向けの回もある\*。\*それぞれの時間帯は下参照。



## 5階 こちら、国際宇宙ステーション

### 宇宙での暮らしを垣間みる

今年5月、宇宙飛行士の若田光一さんが「国際宇宙ステーション (ISS)」から地上へ半年ぶりに帰還した。この展示では若田さんが過ごしたISSでの生活に触れられる。

外観はISSの日本の実験棟「きぼう」を再現しているが、内部は居住棟のトイレ(写

真左側)や就寝スペースなど宇宙生活に必要な設備が満載だ。中に入ると平衡感覚にとまどいを感じる。実は内部の床に傾斜があり、地球の重力と違う気分を味わえる。

実際の宇宙食の数々も見られる。宇宙では味覚が落ちるため、味が濃い目で食感を工夫したものが好まれるとか。その一部は1階ミュージアムショップでも販売していて、「たこ焼き」や「プリン」が人気だそう。



### ● 科学コミュニケーターからのメッセージ

### 知りたいこと、わからないことは気軽に声をかけて!

藤井 満美子 ふじい・まみこ

日本科学未来館科学コミュニケーター

と出会い、楽しんでいただくための大事なポイントです。どうぞ遠慮せず気軽に話しかけてください。夏休みの自由研究や課題についても、何かヒントが得られるかもしれません。私たちのブログを読んで感じたことを書いた本人に尋ねたいなど、展示に関係ない質問でもかまいません。

未来館で楽しんでいただくのはもちろんですが、家庭や学校、職場などでも、ここでの体験を仲間にも話したくなるような気持ちになってもらえたらうれしいです。

私たちは、展示フロアでの解説や実演を通して科学や研究の面白さを伝えたり、みなさんの質問にお答えしたり、疑問を一緒に考えて理解を深めるお手伝いをしています。未来館では解説パネルが控えめなので、展示だけ見て帰ってしまうのはもったいないですね。私たちとの対話も、科学や技術

日本科学未来館  
開館時間: 10:00 ~ 17:00 (入館は閉館30分前まで)  
休館日: 火曜日、12月28日~1月1日  
\*祝日、春・夏・冬休み期間は開館  
入館料: 大人620円、18歳以下210円、  
未就学児は無料  
住所: 東京都江東区青海2-3-6  
実演・ワークショップ・上映などのスケジュール  
<http://www.miraikan.jst.go.jp/event/demo/>  
科学コミュニケーターブログ  
<http://blog.miraikan.jst.go.jp/>