

# K K E Vision 2015

Technical Report

● TOKYO 10.29 thu ● OSAKA 11.20 fri

*Innovating for a **Wise Future***



## ごあいさつ

KKE Vision は、より良い社会の実現に向けた様々な取り組みを、多くの方々と共有する場として、その形を変えながら 10 年以上続けているイベントです。

今年は、「Innovating for a Wise Future」をイベント・テーマに掲げ、東京・大阪の 2 会場で開催いたしました。

東京の基調講演には東京大学 教授の合原一幸氏をお迎えし、数理工学の視点から見る世の中について、知的好奇心を刺激する講演をしていただきました。大阪の基調講演には、大阪大学 教授の石黒浩氏に人間型ロボットの研究・制作を通した様々な示唆をご披露いただき、近未来の社会へと思いを馳せる時間となりました。この他にも、精力的な研究活動を展開されている 10 名の講師陣に最新の知見をお話いただくことができました。

本冊子は、このように充実した講演内容をぜひ多くの方にお届けしたく制作いたしました。より賢く、明るい未来をどう描くか。そして、そこへ向かうために何が必要か。KKE Vision、そして本冊子が、未来社会について考えるきっかけに寄与できましたら幸いです。

2016 年 1 月吉日  
株式会社構造計画研究所  
KKE Vision 2015 事務局一同

## KKE Vision 2015

*Innovating for a* **Wise Future**

### ● TOKYO

開催日：2015 年 10 月 29 日(火)  
会場：ヒルトン東京  
来場者数：約 1,000 名

### ● OSAKA

開催日：2015 年 11 月 20 日(金)  
会場：ナレッジキャピタル  
コングレコンベンションセンター  
来場者数：約 400 名



## TOKYO

Page

02

基調講演

### 「最先端数理モデル学に基づく数理知の統合とその社会への応用」

東京大学 生産技術研究所 教授 最先端数理モデル連携研究センター センター長 合原 一幸 氏

04

### 「建築の地震防災・減災と社会インフラの維持管理に関する先端技術動向」

筑波技術大学 産業技術学部 産業情報学科 建築工学領域教授 倉田 成人 氏

05

### 「計算社会科学へようこそ ～ビッグデータから社会シミュレーションへ～」

東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻 准教授 鳥海 不二夫 氏

06

### 「未来を拓く、粉体シミュレーション技術 ～食品・製薬・化学 製造技術に革新を運ぶ～」

東京大学大学院 工学系研究科 レジリエンス工学研究センター 准教授 酒井 幹夫 氏

07

### 「新しい電力・エネルギーシステムの展開 ～エネルギー価値から柔軟性価値へ～」

東京大学 生産技術研究所 人間・社会系部門 エネルギー工学連携研究センター 特任教授 荻本 和彦 氏

08

### 「構造最適化への招待 ～設計問題の数理モデリング～」

東京工業大学 応用セラミックス研究所 准教授 寒野 善博 氏

09

### 「クラウド、ビッグデータ、IoT、そして CPS」

電気通信大学 情報理工学研究科 知能機械工学専攻 教授 新 誠一 氏

## OSAKA

Page

10

基調講演

### 「人間型ロボットと未来社会」

大阪大学大学院 基礎工学研究科 システム創成専攻 教授 石黒 浩 氏

12

### 「イノベーションをめぐる 3 つの誤解」

関西学院大学 経営戦略研究科 経営戦略専攻 副研究科長 教授 玉田 俊平太 氏

13

### 「建築・土木の情報基盤 BIM/CIM の重要性和データ活用」

大阪大学大学院 工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授 矢吹 信喜 氏

14

### 「再生医療における産業革命に向けて」

名古屋大学大学院 創薬科学研究科 基盤創薬学専攻 准教授 加藤 竜司 氏

15

### 「大阪を襲う大地震、懸念される被害と対策」

京都大学大学院 工学研究科 建築学専攻 教授 林 康裕 氏

# 最先端数理モデル学に基づく 数理知の統合とその社会への応用

東京大学 生産技術研究所 教授 最先端数理モデル連携研究センター センター長 合原 一幸 氏



## 最先端数理モデル学を社会の問題解決に応用

私たちは2010年3月から4年あまりの間、内閣府と日本学術振興会の最先端研究開発支援プログラム（Funding Program for World-Leading Innovative R&D on Science and Technology：FIRST）に採択された「複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学技術応用」プロジェクト（通称：FIRST 合原最先端数理モデルプロジェクト）に携わってきました。FIRSTに採択された30のプロジェクトのうち、数学をメインテーマに掲げているのは私たちのプロジェクトだけです。

プロジェクトの目的は、数学を実社会に活かし、多様な複雑問題の解決に挑戦することです。具体的には、いわゆる複雑系に関する問題を数理モデル化する方法論を構築するとともに、それをさまざまな実システムに応用することを目指しました。関連する分野は、脳、生命、ガン、新型インフルエンザなどの感染症、さらに、エネルギー、電力、情報通信、経済、地震など多岐にわたります。

私たちが研究する「数理工学」は、このように実世界で起こる現実の諸問題を対象にした数学です。みなさんがイメージする、数理の深い構造やロジックを究めていく数学は、純粋数学と呼ばれます。数理工学は実世界、すなわち外に開かれた数学です。現実を対象とした研究を行うには、それぞれの問題を数学を用いて表さなければなりません。言い換えれば、数学を一種の言語にして、現実を表現するわけです。これを「数理モデリング」と言います。

## 二次関数を例に非線形を考えてみると

現実の問題を考える上で重要なのが非線形という概念です。「オームの法則」は、電流と電圧の関係が直線のグラフで表せます。ところが、現実の世の中を対象にして数理モデルをつくると、直線ではなく、必ず曲がります。このような特性を非線形と言います。もっとも単純な非線形は二次関数です。つまり、二次関数は非線形世界の扉を開く鍵になっているわけで、とても重要です。

たとえば、 $y = ax(1-x)$  という二次関数を用いて、動力学的特性（ダイナミクス）を表現してみましょう。縦軸にy、横軸にxをとると、二次関数のグラフは放物線を描きます。この式は  $y = -a\left(x - \frac{1}{2}\right)^2 + a/4$  と書き換えることができ、xが1/2のときに頂点がa/4になります。ここでxを時刻tの値x(t)、yをその次の時刻t+1の値x(t+1)とします。すると  $x(t+1) = ax(t)(1-x(t))$  という非線形の漸化式（数列を再帰的に定める等式）ができます。

パラメータaの値が変わると解のふるまいが変わります。たとえば、a=2.4のようにaの値が小さいと、xは時間とともに単調に増大し一定の値に収束します。aをもう少し大きくし、たとえばa=3.3とすると、二つの値を交互にとるようにになります。さらにaの値を上げて、a=3.5にすると、異なる4つの値を順にとる周期4の解になります。そして、a=3.7とすると、解は二度と同じ値をとりませ

ん。つまり、周期が無限大になります。この状態をカオスと言います。ところが、これよりもaの値を上げて、たとえばa=3.84とするとまた3つの値を順にとって繰り返す周期3の解に収束します。次にa=4.0とすると再びカオスになります。

全体を俯瞰するために「分岐図」を描くと図1が得られます。

図1 「分岐図」の例

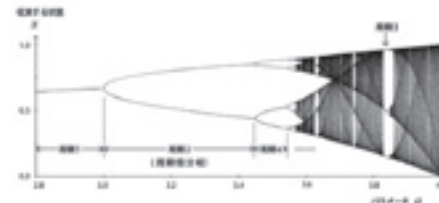


図1の中で黒く見える部分がカオスの状態です。分岐図は美しく、縦にするとドレスのように見えます。そこで、いろいろな数式をつくって美しい分岐図を描き、それを実際にドレスにして発表しました（図2）。「東京コレクション」にも出しましたが、こういう発想はファッションの世界にあまり無かったので、大変好評でした。

図2 分岐図を用いたドレスの一例



## 複雑系のための理論的プラットフォーム

複雑系は全体が多数の要素から生成される一方で、そのように生成された全体が、各要素にフィードバックされるという階層的性

質があります。たとえばその典型例が人間の脳です。脳はおよそ1000億個の神経細胞（ニューロン）からできています。これらのニューロンの活動によって意識が生まれるのですが、その一方で、そのようにして生まれた意識によって、各ニューロンの活動が変化します。この繰り返しで、私たちの複雑な思考が生み出されます。

FIRSTの研究課題の一つが、複雑系の研究に使える理論的な汎用プラットフォームをつくることでした。私たちはこのプラットフォームを主として3つの理論から構築しました。1つ目は複雑系のダイナミクスを制御する「複雑系制御理論」、2つ目はネットワーク構造を考えて最適化するための「複雑ネットワーク理論」、3つ目が、ビッグデータを解析し、データそのものから数理モデルを作るための「非線形データ解析理論」です。

世の中のダイナミクスを解析するために、数学の世界には力学系理論があり、工学の世界には制御理論があります。両方とも世の中のダイナミクスを対象にしていますが、分野が違うため、相互の交流はほとんどありません。私は、これを融合しないのはおかしいと以前から考えていました。そこで、プロジェクトではこの2つを融合させて「複雑系制御理論」を作りました。

## 数理モデルの社会への応用

数理モデルは具体的に社会の諸問題に応用することができます。たとえばインフルエンザのダイナミクスの問題です。このような感染症の数理モデルは、ポピュレーション・ダイナミクスと呼ばれる、「マルサスの人口論」以来のモデルが使えます。2009年に新型インフルエンザの世界的な流行があったとき、私は西浦博さん（現・東京大学医学系研究科准教授）とともに、季節型と新型のインフルエンザが同時に流行する場合のワクチン

量の最適配分問題を考えました。また、感染症伝播のダイナミクスをモデル化して、実際の人の動きまで考慮した数理モデルも作りました。

もう一つ、医学のための数理モデル研究の最近の大きな成果として「動的ネットワークバイオマーカー（DNB）」の発見があります。たとえば前立腺がんには、前立腺特異抗原（PSA）という非常に敏感なバイオマーカー（病気の存在や進行度を、その濃度によって定量的に推定できる物質）があります。ところが他の病気については、このような敏感なバイオマーカーはなかなか発見されません。そこで、私たちは病気の悪化の予兆を検出できるバイオマーカーを数学的に定義し、実際に見つけることに成功しました。具体的には、健康状態から病気の状態へと変化する直前に、特定の遺伝子群において発現ゆらぎの大きさとゆらぎ間の相関係数が増加します。このゆらぎ特性を検出することにより、健康な状態から病気の状態に遷移する手前の臨界状態、「未病」の状態を識別できるのです（図3）。

図3 未病状態



ここからが数学のおもしろいところで、数学の理論には普遍性があります。DNBの理論は医療に大きな進展をもたらすと期待できますが、さまざまな複雑なネットワークが、不安定化する際の予兆の検出にも広く応用できます。たとえば大量の再生可能エネルギー導入による電力ネットワークの不安定化や交通渋滞の問題などの解決です。



## 講師プロフィール

1977 東京大学工学部卒業。1982 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了（工学博士）。東京電機大学助教授、東京大学助教授などを経て、1998 東京大学教授。JST ERATO 合原複雑数理モデルプロジェクト研究総括、内閣府／JSPS FIRST 最先端数理モデルプロジェクト中心研究者などを歴任。現在、東京大学生産技術研究所教授、同最先端数理モデル連携研究センター長、同大学院情報理工学系研究科教授、同大学院工学系研究科教授。

著書紹介▶「暮らしを変える驚きの数理工学」（編著、ウェッジ選書、2015）

# 建築の地震防災・減災と社会インフラの 維持管理に関する先端技術動向

筑波技術大学 産業技術学部 産業情報学科 建築工学領域 教授 **倉田 成人** 氏



## 「崩壊していく都市・軍艦島を測る」プロジェクト

軍艦島は明治から昭和にかけて、海底炭鉱によって栄えましたが、1974年の閉山にともなって無人島になっています。大正時代に建設された鉄筋コンクリートの構造物が残っており、年が経つごとに劣化している状況です。そこで、軍艦島の建築構造物群にカメラやマイクロフォン、振動センサーなどを取り付けて、映像、音、振動を計測し、データを収集・分析しようという取り組みを進めています。これらの崩壊過程をモニタリングしながら、

想定外の事象を検知するシステムを研究しています。

軍艦島は世界遺産ですので、恒久的に保存することが望ましいのですが、実物をそのまま保存することは難しいため、サイバー空間にビッグデータ保存することも進められています。こうした取り組みから、CPS（サイバー・フィジカル・システムズ）と呼ばれるような、サイバー空間で得た分析結果を実空間へフィードバックすること（災害対策への利用や人の居住空間のリスク把握など）ができるようなシステムにつなげていきたいと考えています。

## 国土 BIM 化プロジェクトと原子時計

国土BIM化構想は、3Dで建造物を含む日本全体の立体モデルを作り、それを民間・公共インフラに関する情報支援プラットフォームにしようとするものです。

国土の状況を詳細かつリアルタイムに把握するためには、センシング情報が必要です。多数の住宅やビルなどにセンサーを設置して、まずは地震時情報のデータ基盤構築を目指し、徐々に他の情報もそこに集約していくことを考えています。特に全国展開しているチェーン店舗とのコラボレーションが有効です。

このような大規模センサーネットワークを構築してデータを収集するためには、センシングデータの位置情報に加えて時刻情報が重要です。特に地震時の振動データセンシングは通常100Hz程度で行いますので、その10分の1の0.001秒程度の範囲での時刻同期が重要となります。

GPS、ネットワークを利用した既存の時刻同期手法は制約が多く、広域に展開された大規模センサーネットワークでの時刻同期は容易ではありません。これを実現する切り札がチップスケール原子時計です。センサーネットワークのみならず、将来的にはすべてのコンピュータにチップスケール原子時計が入ることが想定されています。さらに橋梁などのインフラに原子時計が導入されれば、設置場所の制約や時刻同期の懸念がない実用的なセンシングが可能になります。国家プロジェクトである「SIP（「戦略的イノベーション創造プログラム」）の枠組みの中でもこうした研究を進めています。

## 情報プラットフォームとしてのBIM／CIM

BIM（ビルディング・インフォメーション・モデリング）やCIM（コンストラクション・インフォメーション・モデリング）といった用語が注目されています。コストに見合うメリットが実感出来ないなどの理由から普及が進んでいませんが、設計や建設時のみならず、建設後の運用やメンテナンスまでを視野に入れた情報基盤に出来れば、トータルでのコスト感は見直されるはずで。またこうした情報基盤が商法プラットフォームになるポテンシャルもあります。

構造計画研究所は、建築・土木と情報通信技術をつなぐエンジニアリング企業であり、その実現に向けた役割は大きいと思います。

### 講師プロフィール

1986年、東京大学大学院工学系研究科建築学専門課程（地震研究所）修士課程修了。同年、鹿島建設（株）入社。地盤と構造物の相互作用、建築構造物の地震動との非共振化制御、高減衰オイルダンパシステム、可変剛性・減衰システム、セミアクティブ制震システム、コピキタス・センサネットワークによる構造モニタリング、住宅群のエネルギー・環境モニタリング等の研究開発に従事。2014年より現職。博士（工学）。日本建築学会、IEEE、計測自動制御学会、電子情報通信学会各会員。日本建築学会 情報システム技術委員会委員長、同スマート建築モニタリング応用小委員会幹事、計測自動制御学会 ネットワークセンシングシステム部会副部長。電子情報通信学会知的環境とセンサネットワーク研究会 専門委員。

# 計算社会科学へようこそ ～ビッグデータから社会シミュレーションへ～

東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻 准教授 **鳥海 不二夫** 氏



なりつつあるのが「社会シミュレーション」です。シミュレーションとは、現象の理解・予測・検証のためのコンピュータを用いた模擬実験であり、実社会では困難な実験を実施する手段です。

社会シミュレーションの手法の一つにエージェント・ベース・シミュレーションと呼ばれるものがあります。これはコンピュータの中に社会を再現し、人間をモデル化した人工知能（エージェント）が、それぞれの自律的な意志によって行動することで発生するボトムアップ的な社会現象を観測し分析するものです。株価の推移、商品のヒット、炎上マーケティング、感染症の流行、災害避難などもシミュレーションの対象にすることができます。

## なぜあのソーシャルメディアは人気なのか

社会シミュレーションにより、ソーシャルメディアのトレンドを予測することもできます。ソーシャルメディアはユーザが情報を投稿しそれを共有することに価値があります。すなわち「公共財ゲーム」です。情報提供の有無に対して、報酬、懲罰の規範とメタ規範ゲームをシミュレーションしたところ、メタ報酬ゲームの場合にメディアが活性化することがわかりました。具体的には、協調行動を促すシステムとして、「いいね!」、「コメント」、「返信」、「足跡」などが有効だとわかりました。これらの機能を備えたフェイスブックが成功している理由もここにあるのかもしれない。

## 計算社会科学の2つの柱

近年、計算社会科学と呼ばれる分野の研究が世界的に盛んになってきています。計算社会科学の技術は大きく2つに分けることができ、1つは「ビッグデータマイニング」、もう1つは「ソーシャル（社会）シミュレーション」です。

まずビッグデータマイニングについて述べると、最近、社会の行動情報化や情報発信の低コスト化、記憶媒体の大容量化、通信の高度化などにともない、大量のデータが常に生成され、膨大なデータの蓄積や流通が可能になりました。さまざまな分野でビッグデータ分析が行われています。その中で、社会科学と呼ばれる分野もデータを使うようになってきています。特に社会データ分析と呼ばれている分野は、計算社会科学が得意としています。

たとえば最近では、ソーシャルメディアと社会データの関係が注目されています。電車の遅延や地震の発生などの情報を、ソーシャルメディアを観測することによって知ることができます。また、地域イベントを発見することもできます。このように、人間が社会のセンサーのような働きを代行し、ソーシャルメディアに載せられた情報を活用することをソーシャルセンサと呼びます。

## 社会シミュレーションが大きなミッションに

計算社会科学のうち、大きなミッションに

### 講師プロフィール

2004年東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム工学専攻博士課程修了（博士（工学））同年名古屋大学情報科学研究科助手、2007年同助教、2012年より現職。ソーシャルメディア分析、社会シミュレーション、人工知能などの研究に従事。



## 未来を拓く、粉体シミュレーション技術 ～食品・製薬・化学 製造技術に革新を運ぶ～

東京大学大学院 工学系研究科 レジリエンス工学研究センター 准教授 **酒井 幹夫** 氏



### 世界標準の離散要素法も実用化には課題が

粉体工学は様々な産業に貢献しています。食品、薬品は言うまでもないですが、電池、電子写真システム、原子力、資源、鉄鋼などの幅広い工学分野で、粉体工学が応用されています。

これらの工業製品の設計は、これまで経験に頼ってきましたが、最適化や現象把握の観点からシミュレーションの活用が期待されています。特に粉体の数値シミュレーションとして世界の標準的な手法となっているのが離

散要素法（Discrete Element Method: DEM）です。DEMは流体のシミュレーションとは異なり、個々の粒子の挙動を計算するため、解析精度が非常によいという特長があります。また、凝縮力のモデル化や、粉体・流体連成問題のシミュレーションも簡単にできます。

DEMの妥当性はさまざまな体系で立証され、多くの実績がある一方で、産業応用の観点ではいくつか課題もあります。たとえば、大規模な体系への応用です。産業の粉体プロセスでは10億個超の固体粒子を処理する必要があり計算負荷が極めて高くなります。コストとメモリ容量の制約のある1台のPCで計算可能な体系は小さくならざるを得ません。

ほかにもDEMは、自由液面を伴うような固液混相流や、複雑な壁面形状のモデリングが難しいという課題がありました。

### 課題を解決する独自の数値解析モデルを開発

DEMの前述したような課題に対して、私たちはその解決につながる独自の数値解析モデルを開発しています。その一つが、大規模粉体シミュレーションにおけるDEM粗視化モデルです。DEM粗視化モデルでは、オリジナル粒子よりも粗視化率大きくしたモデル粒子（粗視化粒子）を用いることにより、実際の粒子数よりも少ない数でDEMシミュレーションが可能になります。運動エネルギーとポテンシャルエネルギーが、粗視化粒子とオリジナル粒子で一致するようにモデル

化するため、接触力や抗力、凝縮力などもシミュレーションすることができます。

自由液面を伴うような固液混相流体系の数値解析手法として、DEM-MPS法を開発しました。MPS法はメッシュフリー法とも呼ばれる、メッシュ（格子）を用いない自由表面のシミュレーション手法です。DEM-MPS法を用いることで、湿式ボールミル（粉砕機）などの設計や運転シミュレーションに適用できます。

任意の壁面形状モデル化の問題を解決するために、私たちは符号距離関数（SDF）を用いたモデルを開発しました。メッシュを用いずに簡単にモデル化できるのが大きな特長です。

私たちが研究で目指しているのは「どうしても1台のPCで産業体系の粉体シミュレーションを実行できるか」ということです。ここで述べたテクノロジーを連携することがその解決策の一つになると自負しています。

講演者が監修した粉体・混相流シミュレーションソフトウェア「iGRASS」を、構造計画研究所が開発中です。従来のソフトウェアでは実行困難であった体系が、iGRASSを用いることにより、たった1台のPCで模擬できる可能性があります。iGRASSはCAEにおいて革命を起こすのではと期待しています。

#### 講師プロフィール

東京大学大学院工学系研究科 システム量子工学専攻 博士課程修了、博士（工学）  
〈専門〉  
粉体シミュレーション、混相流シミュレーション、離散要素法、並列計算  
〈主な職歴〉  
2007年 東京大学大学院工学系研究科 助教  
2008年 東京大学大学院工学系研究科 准教授  
〈主な受賞〉  
2008年 日本粉体工業技術協会 研究奨励賞  
2010年 粉体工学会論文賞  
〈主な著書〉  
酒井幹夫編著、"粉体の数値シミュレーション," 丸善出版（2012）  
太田光浩、酒井幹夫、島田直樹、本間俊司、松隈洋介、"混相流の数値シミュレーション," 丸善出版（2015）

## 新しい電力・エネルギーシステムの展開 ～エネルギー価値から柔軟性価値へ～

東京大学 生産技術研究所 人間・社会系部門 エネルギー工学連携研究センター 特任教授 **荻本 和彦** 氏



### 価値を創造し、世界をリードするチャンス

需給調整力不足は日本だけの問題ではありません。世界共通の課題になっています。スペインやドイツでは、再生可能エネルギー電源の導入が大幅に進むことにより、火力発電所の利用率が減り、新規運開の設備を含め事業採算性が悪化し、廃止に至る例も発生しています。再生可能エネルギー電源導入のための政策経費を含め、電気料金も上昇しています。

課題解決のために、欧州では域内統一市場の実現を目指しています。しかし、欧州では電力系統がメッシュ状に連系されているため連系線の潮流管理が難しく、たとえばドイツでは近隣国を迂回して送電されるループフロー（迂回潮流）による計画外電力潮流の問題も起きています。一見これは電氣的な課題と思われがちですが、実際には入札（bidding）ゾーンは各国の国境で構成されていて、送電網の電氣的特性を反映できていないという制度の問題であり、新たな需給調整力の広域の市場取引とともに、欧州の卸電力市場の制度の見直しの議論も始まっています。

前述した、需給運用におけるflexibility向上の一つの鍵になるのは、再生可能エネルギー電源の出力抑制です。米国では、市場取引を一日前から徐々にリアルタイムに近づけるとともに、風力発電や大規模な太陽光発電を中心に短時間で再生可能エネルギー電源の抑制運転を行う仕組みを構築しています。しかし、ルーフトップなど小規模の太陽光発電といった新たに導入されつつある小規模の供給、貯蔵、さらには需要システムが制御することは世界共通の足下の課題です。

ここまで課題や取り組みを紹介してきましたが、大切なのはエネルギー全体を最適化することです。そのためには、現在進められている電力自由化の進展において、今後発展が期待される卸電力市場を含めた新しい制度が、これまで述べた大きな変化を受け止め、その中で適正な機能「マネタイズ」を実現することが必要です。さらに、欧州の苦悩であ

り米国の実践に見られるように、卸市場などそれぞれの仕組みの限界を知り、不足を補うような制度体系を構築することが必要です。その上で、価格面だけではなく、安心・安全なども含めたより高い価値を提供できるエネルギーシステムが求められます。

HEMSなどもその一つになるでしょう。日本のエネルギーシステムは多くの課題に直面していますが、それを解決することができるPV（抑制）システムや電力システムを開発できれば、その技術は海外にも輸出できます。日本が自らの課題を解決することで世界の課題を解決することができるのです。世界をリードするチャンスでもあります。



## 構造最適化への招待 ～設計問題の数理モデリング～

東京工業大学 応用セラミックス研究所 准教授 **寒野 善博** 氏



### 構造物の設計に最新の数理技術を用いる

構造最適化（構造物の最適設計）とは、建築・土木・機械・航空などの構造物の設計において、与えられた設計条件の下で「最も」望ましい設計解はどのようなものか、あるいは、従来にない設計条件が課せられたような難しい設計問題に対してどのような解決法が有効なのか、といった疑問に答えようとする方法論です。

今日のお話のテーマは、構造最適化に数理計画（数理最適化）を使ってみようというも

のです。数理計画の分野では、近年、二つの方向に大きく拡張しています。

一つは線形から非線形への拡張です。一次式からなる線形計画は1940年代から知られた方法論ですが、凸性をもった非線形計画へと拡張する研究が1990年代に盛んに行われました。その中でも二次錐計画は非常に綺麗に解けるということがわかり、最近では優れたソルバーが開発されて中規模から大規模な問題も解けるようになっています。

もう一つは連続性から離散性への拡張です。これによりさまざまな「組み合わせ」に関する制約が表現できるようになりました。例えば、構造物の剛性の最大化（外力仕事の最小化）を行う際に、断面積の種類数を制約することにより、細い部材と太い部材のグループ分けと、それぞれの断面積の値を、同時に最適化できるのです。離散性を用いたグループ分けは、製品の最適な規格を求める問題にも応用できます。

特筆すべきは、ここでの最適設計の手法は、従来のように解析と設計変更を繰り返すようなタイプのものではないことです。数理計画問題として解くということは、いわば解析と設計変更を同時に行うようなやり方です。

### 設計者の発想と思考を刺激するのが理想

数理計画を用いることで、試行錯誤的な方法では設計が難しい構造物も設計できるようになります。例えば負のポアソン比（ある方

向に引っ張ると直交方向に膨らむ）を持つ物質があれば、ファスナーや人工椎間板などへの応用が考えられますが、自然界でこうした物性を持つのはたいてい毒物でこれらの用途には適していません。身の周りにある普通（正のポアソン比）の物質で、負のポアソン比と同じ動きをするものを作ってみようと考えたとき、その構造を発想するのは難しいでしょう。そこで力学的な関係式である釣り合い式を満たし、直交方向の応答量を最大化する数理モデリングで、どの部材を使うかを最適化してみます。すると得られた最適化の結果は力学的にきちんと解釈することができ、その原理を用いることで実際の設計ができるようになります。同様に難しい条件が課された設計問題を数理計画で設計した例として、テンセグリティと呼ばれる特殊な張力構造や負の熱膨張率をもつ構造などの設計が挙げられます。

近年の数理計画の進化で、より現実在即した構造物の設計条件を考えられるようになりました。ただし、構造最適化は設計行為の自動化のためにブラックボックスとして使うべき道具ではありません。また、必ずしもコストの最小化ではなく、作りたいものの性能の最大化を目的と考えるのがよいでしょう。経験や勘だけでは設計が難しい構造物を探索して、得られた最適解の原理を解釈することでその原理のようなものを見出し、設計者の発想と思考を刺激するのが、よい使い方ではないかと思います。

#### 講師プロフィール

2002年京都大学大学院工学研究科建築学専攻博士課程修了。2004年より同大助手、東京大学大学院情報理工学系研究科講師、准教授を歴任し、2015年より現職。  
前田工学賞（2005年度）、CJK-OSM4 Award for Young Investigator（2006年）、平成24年度日本応用数理学会論文賞JJIAM部門（2012年）などを受賞。  
専門分野は応用力学、最適化と変分法。最適化をはじめとする数理手法を用いることで、構造物の設計法や解析法を合理化・明確化することを目指している。

## クラウド、ビッグデータ、IoT、そしてCPS

電気通信大学 情報理工学研究科 知能機械工学専攻 教授 **新 誠一** 氏

### オープンイノベーションが加速した理由

クラウド、ビッグデータ、IoT（Internet of Things）、CPS（Cyber Physical System）といった言葉を聞く機会が増えています。しかし、中には「今さら」と感じる人も少なくないのではないのでしょうか。たとえば、ビッグデータは1970年代の統計学の技術です。IoTは2000年ごろに活発に行われたユビキタスコンピューティングです。CPSもその概念は20年ほど前に発表されています。

では、20世紀と21世紀の違いは何でしょうか。キーワードの一つがオープンイノベーションです。ユビキタスは、いつでもどこでもコンピューターやネットワークにアクセスできる環境を指しますが、当時は囲い込みであり、他社製品との連携はなかったのです。

最近、オープンイノベーションへの取り組みが急速に進んでいる背景には、インターネットプロトコルがIPv4からIPv6に変わったことがあります。IPv4は32ビットアドレッシングで、割り当てできるアドレスは2の32乗の約40億個でした。それがIPv6では128ビットとなりアドレスの数が2の128乗になりました。文字通り、あらゆるものにアドレスを割り当てることができます。

### 自動車の自動運転が現実になる

IoTの領域で注目されているのが自動車の自動運転です。日本では実は1996年にはすでに自動運転の実験を行っています。ただしこれまで日本のメーカーはどちらかと言えば

車車間通信を中心に考えてきました。流れを変えたのが米国のGoogleです。同社は3次元マップ、すなわち、走行空間センサーである「3D-LiDAR（3次元ライダー）」のほうから自動運転にアプローチしています。

総務省は2012年、テレビの地上デジタル放送への移行に伴って空いた700MHz帯と呼ばれる周波数帯の一部を高度道路交通システム（ITS）に割り当てました。これにより国内の各自動車メーカーが一斉にゴーサインを出したわけです。

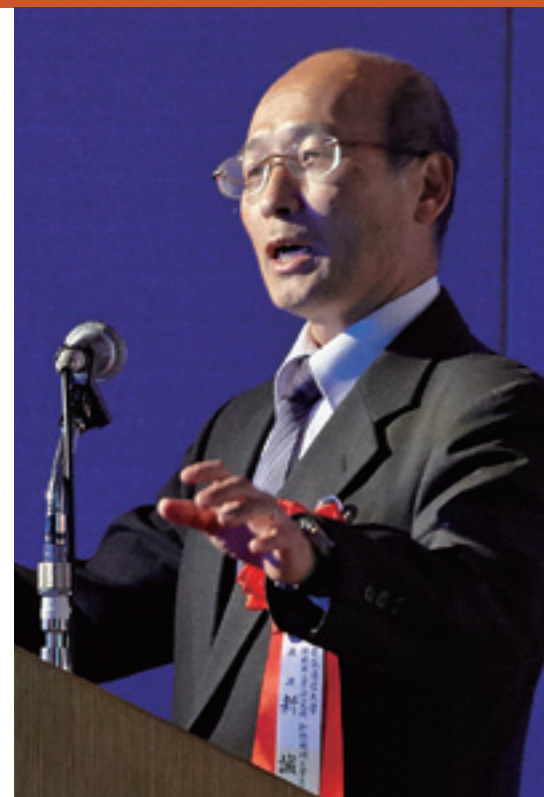
### コンピューターの中がマザー工場に

IoTやCPSにより、ものづくりの流れも変わります。CADと3Dプリンターがあれば、素人でも製品がつくれるようになります。消費者（コンシューマー）と専門家（プロデューサー）の一体化です。アルビン・トフラーはこれを「プロシューマー」と呼びました。

工場の定義も変わるでしょう。試作品をいくつもつくるのではなく、コンピューターの中で部品を設計し、組み立て、さらに操作する人間まで入れてシミュレーションを行うことが現実になっています。コンピューターの中がマザー工場となるのです。

異なる企業同士が図面データをオープンにし、コンピューター上で部品の収まりをチェックするといった動きも生まれています。企業のコラボレーションや産学連携もさらに進むでしょう。

ただし、オープン化により、サイバー攻撃



などのリスクも生まれます。私は制御システムセキュリティセンター（CSSC）の理事長も務め、サイバー脅威に対する対策も推進しています。



# 人間型ロボットと未来社会

大阪大学大学院 基礎工学研究科 システム創成専攻 教授 石黒 浩 氏



ロボットの分野で世界的にリードしていますが、これらの技術を元に、日常生活の中でロボットがサービスを行う新しい応用分野についてさまざまな企業が研究開発を進めています。私は、人と関わり、人との対話を通じて、いろいろなサービスを行うロボットが重要だと考え、研究開発を続けてきました。

## ロボットが普及し、ロボット社会がやってくる

私は早い時期にロボットが普及し、ロボット社会がやってくると考えています。その大きな理由は、人は人を認識する脳を持つということです。人は、人にとってもっとも関わりやすく理想的なインターフェースです。人の脳は、パソコンを使うためでもなく、スマートフォンを使うためでもなく、人と関わるための様々な機能を持っています。人は人の顔に敏感ですし、人の言葉にも敏感です。赤ちゃんはいきなりパソコンを使えませんが、お母さんやお父さんとコミュニケーションをとることはできます。

人間は、人間らしいものであれば奇妙なことであっても受け入れます。たとえば、現在は声で知らせる炊飯器があります。2、30年前には家電製品が喋るのは気持ちが悪いと言われたものですが、人々は喋る家電をいつの間にか受け入れ、現在では当たり前になっています。

また、電車の中では殆どの人がスマートフォンを利用していますが、そのような奇妙な光景は過去のSF映画にも出ていませんでした。喋る家電、スマートフォンを受け入れられる我々がより自然な人間型ロボットを受け入れないわけがありません。近い将来、人型ロボットが日常的に働く社会がやってくると思います。

人型ロボットが働く人間社会の実現には、コストと機能が問題となります。

Hondaの「ASIMO」が登場したときには、ロボットが二足歩行できることで大きなインパクトを与えました。20年が経ち、今再びロ

ボットや人工知能が注目されているのは、音声認識技術や画像認識技術が向上し人とのインターフェースの機能が非常に人間らしくなったためです。その背景には、インターネットが整備され、コンピュータが全部ネットワークに繋がり、クラウド上のコンピュータを使えるようになったという変化があります。それに加えて、価格が安いロボットが出てくれば、本当にロボット社会がやってくるでしょう。そのチャレンジをしたのが、ソフトバンクが開発した「Pepper（ペッパー）」です。私が学生の頃には大学の研究室で数億円のコンピュータを利用していましたが、パソコンの登場により一気に世の中が変わりました。誰もが使える安いロボットが普及すれば、世の中が変わる可能性があります。

私は2000年に「ヴィストン」という産学連携ベンチャーを立ち上げました。ここでは、「CommU（コミュニー）」、「Sota（ソータ）」など、日本の家庭環境に合わせたテーブルトップサイズのコミュニケーションロボットを開発し、普及型のプラットフォーム作りを進めています。これらのロボット相手に英会話の練習をすれば、話す相手がいない、恥ずかしいという問題が解決できます。語学教育、ゲームなど広く使われるのではないかと考えています。ロボットは人よりも関わりやすいと言われており、例えば高齢者がこれらのロボットと暮らせば、会話が増え、認知症の予防などの効果も期待できます。

人間らしいロボットを作るには人のことを知らなければなりません。私の研究も、ちゃんと人間を理解し、より人間らしいものを作ることを目指しています。そこで出てきた知識は、人間理解をともなう新しい技術開発、製品開発に非常に役に立つと考えています。

## 肉体そのものは人間の要件ではない

私は、落語家の桂米朝さん（故人）の生前、米朝さんのアンドロイドを製作しました。米朝さんは人間国宝ですが、彼のアンドロイドの落語を聞くと録画とは違う迫力があ

り、本当の落語を聞いているような気になります。偉人の方が亡くなると銅像を作りますが、アンドロイドを作れば、社会の中で生き続けることができます。人の存在とは何かということを非常に深く考えさせられます。

私はこの「米朝アンドロイド」以外にも、アンドロイドのアイドル、アンドロイドの販売員など、いわゆる自律対話型のアンドロイドを複数開発しました。平田オリザさんと共同で進めているロボット演劇プロジェクトでは、人間俳優とロボットが世界で初めて共演し、フランスなどで非常に高い評価を得ることができました。

重要なのは、これらのアンドロイドを見て、ほとんどの人が「心」を感じることです。では一体、心とは何なのかということになります。さらに突き詰めれば、人間とは何かという問いになります。

「肉体があるのが人間だ」と言う人もいるでしょう。では義手や義足、人工臓器を使っている人は人間ではないのかというと、もちろんそんなことはありません。「脳があるのが人間」でしょうか。将来的には、脳の機能ですら、コンピュータにダウンロードできるようになるかもしれません。私たちが生きている間には絶対に実現しませんが、1000年先なら可能性はゼロではありません。つまり、人間のすべてが機械に置き換えられることになります。これが何を意味するのかと言えば、肉体そのものは人間の要件ではないということです。肉体がすべて消えたとき、人間は存在するのでしょうか、いなくなるのでしょうか。

私がやっている研究は人と関わるロボットの研究で、ヒューマンロボットインタラクションと言われます。これまでいろいろなロボットを作ってきました。そのモチベーションは何かと言えば、元々は人間に興味がありました。心とは何か、人の存在とは何か、アイデンティティとは何かといったことです。人間



についてずっと考えてきたら、こういうロボットも考えられるのではないかと思ったのです。

## 人間が、無機物の知的生命体になることも

人間の進化における方法は2つあります。一つは遺伝子であり、もう一つは技術です。人間と動物の違いはそこにあります。

人間は技術によってどんどん能力を拡張してきました。重要なのは、技術による進化は遺伝子による進化よりもはるかに速度が速いということです。その技術の中にロボットも含まれます。人が歩いたりものを運んだりすることから自動車が生まりました。もっと速くの人と話をする為に携帯電話が作られました。このように、人間の能力を機械に置き換えることが技術開発なのです。このような技術開発は止まりません。なぜなら、技術によって能力を拡張できることは進化の大きな手段だからです。

もう1つ、技術開発が止まらない理由は、技術によって人間を理解することができるからです。技術開発そのものが、人間理解のプロセスとなります。人間には心を感じるという機能がありますが、アンドロイドに対して同じように心を感じます。では、アンドロイドの中身を見ると心を感じるという機能について何かが分かるのではないかと考えています。

多くの人は技術に置き換えられない動物的な部分の中に本当の人間らしさがあると考えます。私は、消去法的に機械に置き換えられない部分に真の人間性があるという考えには疑問があります。何故なら、1000年先には脳の機能ですら機械に置き換えられる可能性があり、消去法的人間理解では、もう人間は理解できないということになります

アンドロイドは徐々に人間らしくなってい

ますが、一方で人間は機械的になってきています。人工臓器など肉体の機械化が進むと共に、人間の活動において機械に頼る部分が非常に増え、生身でできる事は殆どありません。そうすると、さらなる人間の進化とは、もしかしたら機械の体になってしまうこと、アンドロイドになることではないかと思えるわけです。技術による、生命の限界を越えた進化が考えられます。「米朝アンドロイド」は米朝さんのすべてを再現したわけではありませんが、長く生きてほしい人や人類において貢献した人を、単なる銅像ではなくアンドロイドとして、ずっと社会の中に残していくことが私たちの活動の目的になる可能性もあります。

人類は、地球上に有機物がなかった時代に無機物から生まれました。人間という有機物が、コンピュータの進化にともなって、機械に置き換えられ、再び、無機物に戻ることが、あと1000年もすれば本当に起こります。無機物になって、有機物の限界を越えて長生きするようになるのです。

人間という有機物の体は、物質の進化であり知能化です。地球全体の知能化を加速するための単なる手段に過ぎなかったのではないかも思えます。複雑な遺伝子構造を持つ有機物は環境適応能力が非常に高く、遺伝子的には進化しやすかったわけですが、一方でその複雑な構造は壊れやすく永遠には維持できません。有機物が動物を作り、人間を作り、脳を作ってきました。その脳が有機物を無機物に変えていく、それが、人間の本当に生まれてきた意味ではないかと考えています。人間の行く末は、無機物の知的生命体になることだとも考えられるわけです。

### 講師プロフィール

大阪大学基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。京都大学情報学研究科助教授、大阪大学工学研究科教授を経て、2009年より大阪大学基礎工学研究科教授。ATR 石黒浩特別研究所客員所長（ATR フェロー）。社会で活動するロボットの実現を目指し、知的システムの基礎的な研究を行う。ロボット研究においては、従来、ナビゲーションやマニピュレーションという産業用ロボットにおける課題が研究の中心であったが、インタラクションという日常活動型ロボットにおける課題を世界に先駆けて提案し、研究に取り組んできた。そして、これまで人と関わるヒューマノイドやアンドロイド、自身のコピーロボットであるジェミニノイドなど多数のロボットや、それらの活動を支援し人間を見守るためのセンサネットワークを開発してきた。そして、2007年には、Syneetics 社(英)の調査「世界の100人の生きている天才のランキング」で日本人最高位の26位に選出される。また2011年には、大阪文化賞を受賞、2013年大阪大学特別教授。主な著書に「ロボットとは何か」（講談社現代新書）、「どうすれば「人」を創れるか」（新潮社）などがある。

# イノベーションをめぐる3つの誤解

関西学院大学 経営戦略研究科 経営戦略専攻 副研究科長 教授 玉田 俊平太 氏



## 「破壊的イノベーション」を誤解している人が多い

私はハーバード大学ビジネススクールのクレイトン・クリステンセン教授の元で学び「破壊的イノベーション」を日本に紹介しました。しかし、「イノベーション」を目標に掲げる企業は多いですが、その認識は、企業によって、従業員によってまちまちで、誤解している方も多いです。とくに、「破壊的イノベーション」については誤解している人がほとんどです。以下で、イノベーションにまつわる代表的な3つの誤解を紹介します。



第1の誤解は「イノベーションとは技術革新である」というものです。「イノベーション（innovation）」は、「インベンション（invention：発明）」と音は似ていますが、内容は大きく異なります。発明（インベンション）をして特許を取得したからといって、商業的な成功（イノベーション）が約束されるわけではありません。教科書『イノベーションの経営学』によれば、「イノベーションとは、アイデアの「新しさ」に加えて、それが広く社会に普及すること（経済的価値を産み出すこと）」であるとされています。したがってイノベーションを「技術を新しくすること」ととらえると、意味が狭くなりすぎ、普及の側面が抜け落ちてしまいます。ですから、私はイノベーションの日本語訳として「創新普及」がふさわしいと考え、提案しています。

イノベーションをめぐる第2の誤解は「イノベーションとは世界初の独自技術でなければならない」というものです。歴史を見ると、インベンター（発明家）とイノベーターは異なるケースも多く、アップルのMacintoshやダイソンのサイクロン掃除機など、他所のアイデアを持って来たものも多いのです。ただし、イノベーションを起こし、そこから利益を得るためには、「よいアイデア」、「いち早く普及」、「そこから利益を獲得」の3つの条件が必要不可欠です。

## 「持続的イノベーション」と「破壊的イノベーション」

イノベーションについての第3の誤解は

「イノベーションによって性能が向上すれば、自社の競争力が高まる」というものです。しかし、たとえばコンピュータ業界では、かつてはメインフレームが世界を席巻していましたが、その後は、ミニコンピュータ、デスクトップPC、ノートPCへと市場は変わり、さらに最近ではタブレット端末やスマートフォンが台頭しています。

クリステンセン教授は、従来製品よりも優れた性能で、要求の厳しいハイエンドの顧客獲得を狙うことを「持続的イノベーション」とし、一方で、既存の主要顧客には性能が低すぎて魅力的に映らないが、新しい顧客やそれほど要求が厳しくない顧客にアピールする、シンプルで使い勝手が良く、安上がりな製品やサービスを「破壊的イノベーション」と定義しています。ですから、既存の主要顧客から「あんなのはオモチャだ」と言われるものこそが「破壊的イノベーション」なのです。国内でも海外でも、大手優良企業を失敗に導いたのは「破壊的イノベーション」です。また、「破壊的イノベーション」は、ハイテク企業に特有の現象ではなく、製造業でもサービス業でも起きています。

自社が破壊的イノベーターになるには、多様な人材のチームが大切です。同質の人が集まると平均点は高くなりますが、アイデアの幅は狭くなります。多様性は、価値の高いブレークスルーを多く生む可能性があります。

### 講師プロフィール

東京大学工学系研究科先端学際工学専攻博士(学術)。米ハーバード大学大学院にてマイケル・ポーター教授のゼミに所属、競争力と戦略との関係について研究、クレイトン・クリステンセン教授からイノベーションのマネジメントについて指導を受ける。筑波大学専任講師、経済産業研究所フェローを経て現職。研究・技術計画学会評議員。平成23年度TEPIA知的財産学術奨励賞「TEPIA会長大賞」受賞。著書に『日本のイノベーションのジレンマ―破壊的イノベーターになるための7つのステップ』（翔泳社、2015年）、監訳に『イノベーションへの解』（翔泳社、2003年）、監修書に『マンガと図解でわかる クリステンセン教授に学ぶ「イノベーション」の授業』（翔泳社、2014年）などがある。

## BIM/CIMとは何か？ 今後普及するのか？

「BIM（Building Information Modeling）」は3次元のモデルを中核に、さまざまなソフトウェア群でデータを共有しながら仕事を進めていく新しい手法です。

CIM（Construction Information Modeling）は土木におけるBIMです。この言葉を造った国土交通省はCIMの概念の普及に取り組んでいますが、現状では市販の3次元CADを用いた設計情報作成、干渉チェックや数量計算、施工への情報伝達などは行われ始めているものの、メリットを感じて運用している人はまだ多いとは言えません。本格的に普及するのかを疑問視する声もありますが、次の理由からCIMは今後普及しメリットを産むと確信しています。

第一の理由は土木の取り組みが最後尾であることです。機械などの先行分野ではもうすでに30年以上前から3次元化が進んでいます。建築ではBIMが先に始まっています。CIMは決して突飛なことをやっているわけありません。

第二の理由は海外に普及例・成功例があることです。海外ではBIM/CIMという区別は

### 講師プロフィール

1982年、東京大学工学部土木工学科卒業。同年、電源開発株式会社入社。1988年、米国スタンフォード大学にフルブライト奨学生として留学。1989年、スタンフォード大学土木工学専攻にて修士（M.S.）取得。1992年、スタンフォード大学土木工学専攻にて博士（Ph.D.）取得。1999年、電源開発株式会社退職。同年、室蘭工業大学工学部建設システム工学科助教授。2008年より現職。アジア土木情報学グループ（AGCEI）会長、国際土木建築コンピューティング学会（ISCCBE）日本代表理事、土木学会土木情報学委員会委員（2011年～2015年は委員長）、日本建築学会情報システム技術委員会委員、精密工学会大規模環境の3次元計測とモデル化技術専門委員会委員、国土交通省産学官CIM検討会委員、同省CIM制度検討会委員、同省情報化施工推進会議委員、日本建設情報総合センター社会基盤情報標準化委員会委員、buildingSMART Internationalインフラ分科会運営委員、IAI日本土木分科会リダー、関西情報センサースマートインフラセンサ利用研究会委員長、日本建設機械施工協会関西支部情報化施工推進委員会委員長、第16回土木建築コンピューティング国際会議（ISCCBE2016）実行委員会委員長など。

なく、全てBIMです。英国では2016年から建築工事におけるBIMを義務化する予定で、25年には土木工事も含め、完全にBIM化する計画です。このほか、フランス、フィンランド、米国、アジアでは韓国、中国などがBIMに積極的です。シンガポールはBIMの分野ではアジアではナンバーワンであり、英国よりも早くBIMを義務化しました。

第三の理由は歴史的に見て自然な流れだからです。大昔の設計は頭の中で思い描いたり、あるいは模型を作ったり絵を描いたり、いずれにせよ3次元的な作業だったのですが、19世紀以降、紙に2次元の図面を描くようになりました。21世紀は再び3Dに戻りつつあるわけです。

## 3次元プロダクトモデル

最近のもう一つの大きなパラダイムシフトは情報伝達です。従来は人間から人間に情報を伝えることが重要でした。ところが90年代からコンピュータとコンピュータ、あるいは機械と機械との間で情報をやりとりする重要性が高まっています。情報化施工はそうした流れの一つです。

そのやりとりの基本モデルであり、BIM/CIMの中核となる3次元プロダクトモデルもこれまで様々なものが提案されてきました。プロダクトモデルによって、例えば設計段階において3次元解析に直結させることなどが可能になります。建築の分野では国際標準化が進んでいます。土木では道路用やトンネル用などのモデルが散在しているのが現状です。

## 維持管理フェーズにおけるBIM/CIMのメリットと将来展望

BIM/CIMは維持管理フェーズにも適用していくべきです。笹子トンネル天井板落下事故をきっかけに、国交省は2013年を「メンテナンス元年」と表明し維持管理や点検技術の改革に力を入れています。既存橋梁を3次



元モデル化するのは容易ではありませんが、写真測量技術などを応用して3次元躯体形状のみならず、ひび割れや鋼構造の錆など変状のデータまで3次元化するためのプロダクトモデルを開発中です。

将来的には、BIM/CIMはIPD（Integrated Project Delivery）を目指すべきだと考えています。発注者、設計者、請負業者などが1つのチームになり、プロジェクトの企画・設計から維持管理まで一緒になってデータを共有しながら進めていくという手法です。BIM/CIMのIPD化を実現し、無駄を省いて生産性の向上を図っていくべきです。



## 再生医療における産業革命に向けて

名古屋大学大学院 創薬科学研究科 基盤創薬学専攻 准教授 **加藤 竜司** 氏



細胞の大量生産の際に重要になるのが、その品質管理です。現在、多くの装置メーカーが優れたオートメーション技術を導入しながら培養自動化のための製品を開発しています。しかし、ハードウェアの進化と共に、従来は人間が頭脳と経験で行っていたソフトウェアの技術開発が必要とされるようになってきました。

### 細胞培養の画像評価技術開発と「見える化」を実現

細胞培養という作業の中では、歴史的に毎日の顕微鏡観察による細胞品質のモニタリングが極めて重要と言われてきました。そこで私たちは、再生医療の工業化を進めるために「目利き」の技術をソフトウェアとして開発することが必要だと考えました。

そこで私たちは光学機器メーカーと共同で培養細胞の画像評価技術を開発しました。この技術では、ロボットが毎日、大量の写真を撮影するとともに、コンピュータの機械学習により、人間が判断するしかなかった評価を自動化できる可能性が見えてきました。細胞の画像だけから品質の評価ができれば、従来、細胞を破壊して染色しなければ評価できなかった作業を削減できる可能性が高まります。また、機械学習を有効に利用すれば、細胞の分化の成功率などを予測し、最適な治療日を設定することも可能であることが見えてきました。私達はこのような技術をiPS細胞の評価などへの応用に取り組み、培養ディッシュの中のたくさんのiPS細胞コロニーが、

コロニーとして生まれた瞬間からどんな成長過程を経て成長するか、までをリアルタイムにビジュアル化する技術も開発しました。これによってこれまで顕微鏡観察ではわかりにくかった、培養容器内の変化の全貌を人間が捉えることができるようになってきました。

### 再生医療でもシミュレーションが重要

ここまで成功事例を紹介しましたが、ここに至るまで数多くの失敗を繰り返してきました。その経験で得た教訓は、一つの技術だけが突出してもうまくいかないことです。産業の分野では当たり前ですが、シミュレーションや数値化分析も重要です。たとえば「細胞の入った液体を混ぜる」と一口で言っても、その方法は技術者によって異なっていました。私たちは構造計画研究所とプロメテック・ソフトウェアのシミュレーションソフト「Particleworks」を活用し、細胞懸濁のような従来感覚で行われてきていた作業を数値化することで、培養技術の標準化や事業化を視野に入れた取り組みを進めています。

再生医療がさらに広まるためには、医療と産業界からの技術の提供や融合が重要だと感じています。引き続きご注目、ご協力いただきたいと願っています。

#### 講師プロフィール

1999年 東北大学工学部化学バイオ系卒業、2001年 奈良先端科学技術大学院大学バイオサイエンス研究科 修士課程修了、2004年 名古屋大学大学院工学研究科生物機能工学専攻博士後期課程修了：博士（工学）、2004年～2006年 同大学医学部細胞治療学講座 助手、2006年～2012年 同大学大学院工学研究科化学・生物工学専攻 助教、2012年～同大学大学院創薬科学研究科基盤創薬学専攻においてPI（研究室主催者）として現職。医学部勤務時より、再生医療の臨床応用の現場における産業化支援テクノロジー開発の重要性を体感し、自動培養装置、工程管理システムなどの医療支援テクノロジー開発に携わる。現在は細胞画像情報解析を用いた細胞品質管理技術の開発と実用化を産学官連携によって精力的に進めている。

## 大阪を襲う大地震、懸念される被害と対策

京都大学大学院 工学研究科 建築学専攻 教授 **林 康裕** 氏



だいている日本建築学会 近畿支部 耐震構造部会では、年に最低1回のペースで、どう設計すべきかを研究者間で集まり、ディスカッションしています。その第4回を終えたところで、実務の方々が中心となって「大阪府域内陸直下型地震（上町断層帯地震）に対する建築設計用地震動および設計法に関する研究会」（略称、大震研）を立ち上げました。関西の設計技術者が中心となって専門委員会を設置し、研究者も一緒に議論して設計法を作っていくとしています。

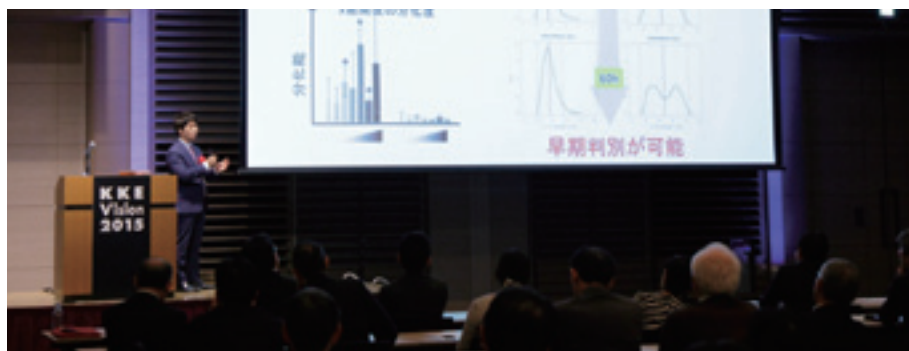
### 専門家任せでなく、住民が自ら安全性を要求すべき

取り組みは、まだまだ始まったばかりです。今後、より安全になるように、研究者も一層努力していく必要があると思っています。今までの設計とは違う枠組みで、設計者も努力されているわけですが、免震や制振などの地震対策では、非常に強い揺れに対しては限界があります。低コストのフェイルセーフ機構を今後は採用していかないとはいえないと思います。

ただし、これらは技術的な課題です。本来は、大阪をどうしたいのか市民も行政も政治家も考えて欲しいと思います。都市計画や地域計画など、大阪の未来に関わる問題であるからです。大事なことは、住民の方々が意識を変えていただくことです。専門家任せではなく、住民が勉強し、想像力を逞しくして、安全性を専門家や社会に要求していく必要があります。

#### 講師プロフィール

京都大学大学院工学研究科建築学専攻修士課程修了（1984）  
清水建設株式会社入社後、兵庫県南部地震の被害原因の解明など、多様な研究を進める。  
2000年京都大学 防災研究所・助教授、2004年12月より同工学研究科 建築学専攻・教授となり現在に至る。  
2007年には、「強震動下における建築物の耐震性能評価に関する研究」と題する論文で、日本建築学会賞。近年は、地震被害に関する研究の中で、大振幅地震動に対する超高層建物や免震建物の安全性評価に関する研究は有名である。



## ● TOKYO



## ● OSAKA

