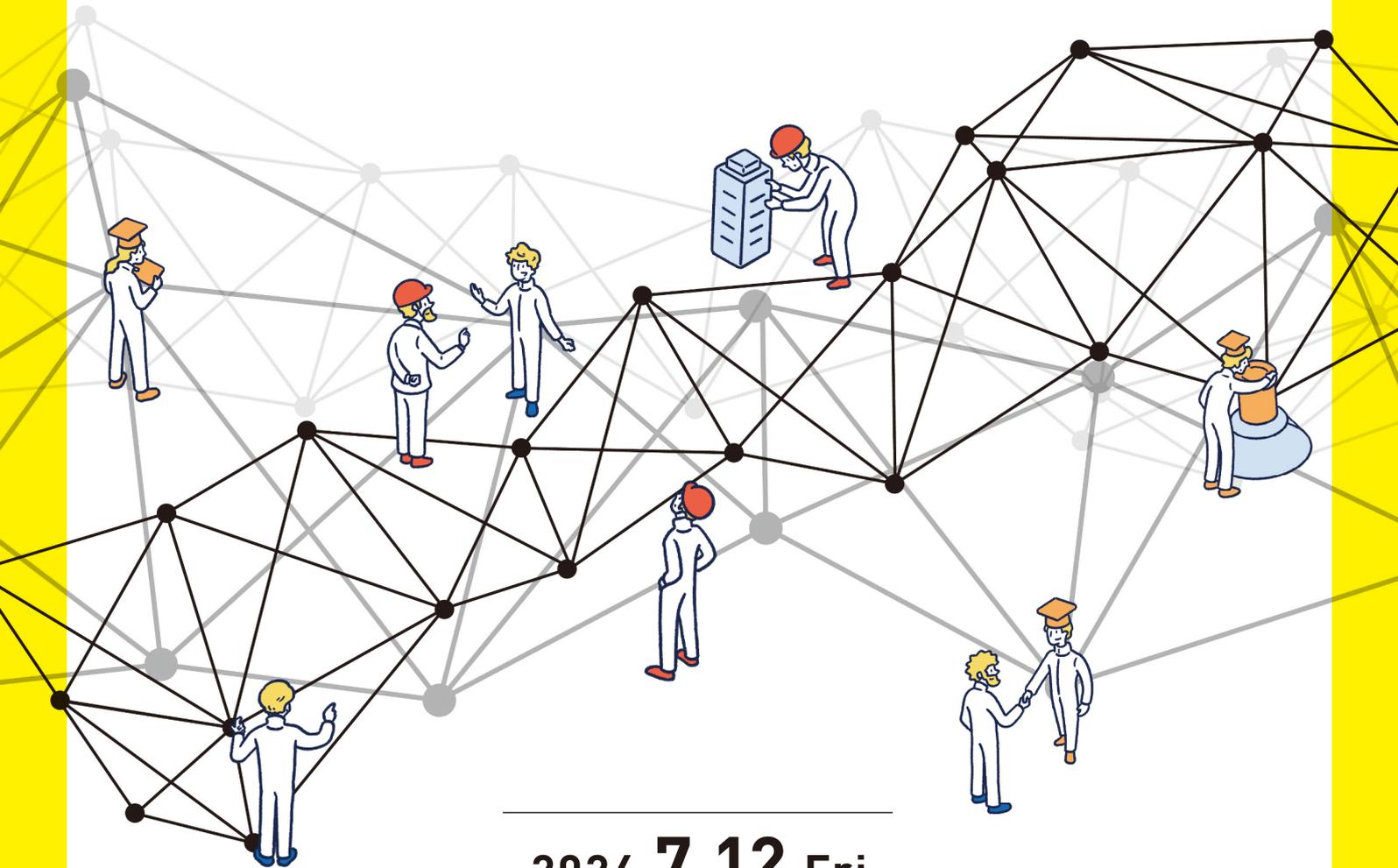


第1回目テーマ

数理物理学・計算社会科学から考える共創シンポジウム

社会課題の構造を 多元的な視点で解きほぐす



2024.7.12 Fri

開催のごあいさつ

木村香代子

株式会社構造計画研究所ホールディングス
取締役 執行役



本日は私どものシンポジウムにご参加いただきましてありがとうございます。

当社は学术界と実業界とをブリッジする総合エンジニアリング企業として、様々なステークホルダーの皆さまとともに賢慮ある未来社会を目指していきたい、という思いを込め日々活動をしています。

本シンポジウムは「知のENGINE」シリーズの第1弾として「社会課題の構造を多元的な視点で解きほぐす」というテーマで企画しました。このENGINEという言葉ですが、もともとはラテン語の「インゲニウム (ingenium)」を語源として人の先天的な能力や賢さを意味していました。それが古フランス語に伝わり技

術や機知を示す言葉となり、現在では動力や社会の核心能力を示す英語の「engine」となっています。

構造計画研究所には多くのエンジニアが集い企業活動をしております。その一人一人が「知のENGINE」として、このような元来の語源の意味に立ちかえり皆さまと共に、より良い社会を目指していきたいと思っております。

今後もこのような学際的なシンポジウムを定期的開催し、ご来場の皆さまや講演者の方々、若手研究者の方々および当社のエンジニアとの交流の場を創っていきたくて考えております。

今後ともどうぞよろしくお願いいたします。



CONTENTS

講演 1

知識集約型企業の原動力

—工学知と情報技術を活用したより良き社会の実現— 4

株式会社構造計画研究所ホールディングス 代表執行役 服部 正太

講演 2

渋滞現象のシミュレーションと社会実践 6

東京大学 工学系研究科航空宇宙工学専攻
先端科学技術研究センター 教授 西成 活裕

講演 3

計算社会科学の発展と可能性：
国内外の展開と少子化対策への応用 9

神戸大学 計算社会科学研究センター教授（センター長） 上東 貴志

講演 4

実務から見る社会シミュレーションの力：
複雑な社会課題への取り組み 12

株式会社構造計画研究所 マーケティング戦略室 担当部長 北上靖大

パネルディスカッション

社会課題の構造を多元的な視点で解きほぐす 14

モデレーター：明治大学 商学部 教授 水野 誠

知識集約型企業の原動力

—工学知と情報技術を活用したより良き社会の実現—



株式会社構造計画研究所ホールディングス
代表執行役

服部 正太

私たちは「Thought」「Mission」「Vision」の3つの理念を掲げており、それが多様な組織体をひとつにつなぎ合わせています。当社はいまや68年の社歴を持つ老舗の企業となりましたが本日はこの理念に基づき、過去に行ってきた社会科学の分野の様々な取組みと、未来の様々な社会事象に対して今後、工学知がどのように関わりを持っていくか、ということについてお話しします。

私たちの Thought

ThoughtとしてInnovating for a Wise Futureという言葉掲げています。「工学知をベースにした有益な技術を社会に普及させていく」という夢を抱き、賢慮に満ちた未来社会の構築を目指してリーダーシップを発揮することにチャレンジを続けています。事業形態としては、Professional Design & Engineering Firmという形をとっています。

構造計画研究所には、東京工業大学の建築学科で研究に携わっていた服部正が1956年6月6日に創業したスタートアップ企業としてのルーツがあります。コンピュータを利用した構造設計業から事業を始め、1970年代までは、自然環境とりわけ自然災害に強い建物の構造設計をしていました。当時はまだ構造設計に計算尺やタイガー計算機を用いていましたが、計算だけではなく「より考えることに時間に使いたい」という切実な希望がありました。そうした中、一民間人である創業者がIBM-1620という大型コンピュータを導入しまし

た。1ドル360円の時代、単身イリノイ大学のニューマーク教授に弟子入りし、コンピュータによる構造設計を学びました。会社の売上げが年間2000万、初任給はわずか1万7000円という時代に、このコンピュータには年間700万円以上の経費がかかりました。地震国日本における構造設計をきちんとやっていきたいという思いが、当社の社名の由来になっています。(脚注1)

当社はこのようなスタートを切りましたが、1980年代から現在にかけては社会や企業、コミュニティにおける意思決定の支援や、災害避難など人流の予測、あるいは物流の最適化といった分野にも事業を広げてきました。そのためには、社会的事象に対して関心をより高めなければならないという問題意識から、オペレーションズ・リサーチ分野への関心を持ちました。私がこの会社に所属を移した1990年代初めには、創造工学研究室（現在の創造工学部）を作り、人間集団の行動モデルや社会の意思決定といったテーマを手掛けるようになりました。

私たちの Mission

工学知のエッセンスは、「科学」「設計」「社会性」の3つにあると捉えており、この繋がりや組み合わせを深く追求しなければならぬと考えています。Designはその背後、形而上的な領域にArtがあり、同様にEngineeringの背景にはScienceがあると捉えています。私たちは、この「Design & Engineering」に強くこだわって業務を続けています。加えて、東京工業大学のスピノフとして始まった出目から、大学や研究機関のパートナーの方々と実業界の方々を結ぶ「場」として当社を位置づけ、工学知を生み出してきました。まさに野中郁次郎先生の唱

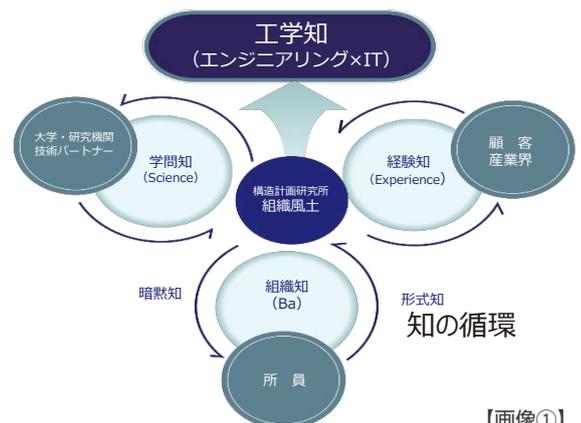
える「場」における知の循環を進めていくことを志としています。(画像①)(脚注2)

社会やコミュニティなどの分野に関しての事業は、今から44年前の1980年に『多目標問題解決の理論と実例』(脚注3)という本を出版し、セミナーを開催したところからスタートしました。対話型での意思決定支援の手法に関しては、非常に良い方向が打ち出せたと思います。

取り組みとしては、まず一つ目に「マーケティング・エンジニアリング」から事業を手がけました。コンピュータ・インタビューでコンジョイント分析を行い、消費者の動向を調べました。現代では、ネットで自由にインタビューができますが、これらの取り組みはその原型だったのだらうと思います。

取組みの二つ目は「リスク評価」についてです。1980年代の後半から90年代にかけてアメリカのスタートアップベンチャーからCrystal Ballソフトウェア(脚注4)を導入しました。その要素技術であるモンテカルロ・シミュレーションは、第二次世界大戦中から使われてきた確率論です。これをExcel上で簡単に操作して、確率分布によって意思決定ができるようにしました。

三つ目は「エージェント・ベース・シミュレーション」です。1996年ごろに新潮社から出版された『複雑系』(脚注5)が大ブームになりました。私たちはサンタフェ研究所に赴き、マルチエージェント



【画像①】

ト・シミュレータを使って社会事象を記述する、あるいは観察することに挑戦を始めました。小淵内閣で行われた教育の情報化投資プロジェクトにおいて、1億円の研究費公募に採択され色々な先生方の参画を得てこのシミュレータを開発しました。

この後、マルチエージェント・シミュレーション「artisoc」に関する解説書『人工社会』（脚注6）を出版。また、2001年から2020年まで20回、マルチエージェントシステムに関する学生のコンペを主催いたしました。こうした試みの延長線に現在のマルチエージェント・シミュレータがあり、また本日のシンポジウムにも繋がっています。（脚注7）

私は2002年から現業を外れて経営に携わることになりましたが、その後もこれらの手法を使いこなすように心がけてきました。学習院大学の武石彰教授の企業経営のフレームワークには「人々の協働、資本の活用、価値創造、社会への責任」の四つの側面があります（脚注8）。企業経営では、成長重視か利益重視か、社員の価値観としてストック重視かフロー重視か、など多面的な判断が必要なトレードオフが必ず働いてきます。そのため多目標の指標を作り、合意形成を行う必要があります。またその目標やプロセスも静的とは限らず、創発の出現や組織の成長など質的な差異の出現を想定しながら、動的に整えていく必要があります。さらには企業を取り巻く経営環境や受注高ひとつをとっても本質的な不確実性があり、これらを確率的な事象として管理を行う必要があります。こうした管理の手法としても、コンジョイント分析、Crystal Ball（モンテカルロ・シミュレーション）、マルチエージェント・シミュレータなどを活用してきました。企業成長においても、個々の組織の成長や、個人の成長など、組織や人というエージェントが大きく関わります。所員の人生シミュレーションなど、こうした手法を活用して、サステナブルな企業成長とはどうあるべきなのかを模索しています。創業時から自立や機動性、あるいは独立性や多様性を非常に大事にしてきた組織として、経営という一つの社会事象に関しても工学知を活用する経験が生きています。

私たちの Vision

当社は、あと32年経つと創業100年を迎えます。30年後には21世紀を代表する



知識集約型企業でありたいと考えています。16-17世紀の科学革命から始まり、続いて18-19世紀には資本主義や産業革命が起きました。20世紀の後半からコンピュータが出現し、情報科学革命が進んでいきました。21世紀の半ばになると、知識集約型の法人組織によるEngineering、あるいはDesign & Engineeringという分野が広がると考えています。「21世紀を代表する」というのは非常に難しい定義であります。私の大学時代の恩師である公文俊平先生が「これからは物を作り過ぎない、あるいは消費をし過ぎない、地球にやさしいというように資本主義が変わっていく」と語っています。そうした時代の、一つの典型的な企業となれば良いと考えています。

私たちの組織は「社会、企業、市民が必要とする価値をDesignし、Scienceの裏付けのあるEngineeringを活用していく」ことを目指しています。最近、当社の社業が元気なのは、相対型のエンジニアリング・コンサルのビジネスに加え、クラウド型のサブスクリプション・モデルのビジネスの急展開をお客様が高く評価しているからだと感じます。経験知を蓄積し、その知の循環をしていくという知識集約モデルが、大学とも一般の企業様とも違う当社のユニークな組織概念となっており、生き残っていければと思います。

公文俊平先生には、学生時代に社会システム論（脚注9）という分野を学びました。先生は「世の中には数学システム、物理システム、生態システム、社会システムがあり、中でも社会システムというのは、めちゃくちゃ難しいんだ」とよく語っていました。その中で、「主体、客体、環境」という分類の枠組みで物事を考えることの重要性を教えてくださいました。当社の原点は構造設計で、数学や物理システムをやってきた

した。しかし今後は生態システムや社会システム分野の重要性が増えるでしょう。

表題で申し上げたとおり本シンポジウムの企画は、「社会システムのあり方をどう捉えていかに世の中を良くしていくか」を考えることです。もともとコンピュータは計算するためのひとつの道具だったわけですが、現在ではChatGPTなど多様な技術が登場してきました。そのためアルゴリズムやデータ、インタフェースなどの工夫を通じて、いかに人間が情報技術を使いこなす側になるのか、が重要になりました。さらにそこには政策担当者、経営者、市民と、多様な意思決定者が登場します。あるいは、人間は時間軸を忘れて短期志向の行動をしがちであるという問題があります。また資本主義が過剰になりすぎて利得行動ばかりが強調されがち、という問題もあります。

それを踏まえて、今後もっと新しいシミュレーションや考え方が出てくるのではないかと願う次第です。大学の先生方の研究を、民間企業や政府が活用して成果を上げる。このプロセスの橋渡しとして、当社が貢献できればと願っています。

脚注

- 1) 構想計画研究所HP ヒストリー
<https://www.kke.co.jp/aboutus/history/>
- 2) 『知識創造企業』、野中郁次郎(著)、東洋経済新報社、1996.03.01
- 3) 『多目標問題解決の理論と実例』、ラルフ・L・キニー、ハワード・ライファー(共著) / 高原康彦、高橋亮一、中野一夫(訳)、企画センター、1980.07.01
- 4) リスク分析ツール『Crystal Ball』
サイトURL : <https://crystalball.kke.co.jp/>
- 5) 『複雑系』、M.ミッチェル ワールドロップ(著)、田中三彦・遠山峻征(翻訳)、新潮社、1996.06.01
- 6) 『人工社会 - 複雑系とマルチエージェント・シミュレーション』、Joshua M.Epstein、Robert Axtell(著) / 服部正太、木村香代子(訳)、共立出版、1999.12.25
- 7) MASプラットフォーム『artisoc Cloud』
サイトURL : <https://mas.kke.co.jp/artisoccloud/>
- 8) 『経営学入門』、武石彰(著)、岩波書店、2021.04.16
- 9) 『社会システム論』、公文俊平(著)、日本経済新聞社、1978.03.01

渋滞現象のシミュレーションと社会実践



東京大学 工学系研究科航空宇宙工学専攻
先端科学技術研究センター 教授

西成 活裕 氏

■ 略歴

東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、博士（工学）の学位を取得。その後、山形大、龍谷大、ドイツのケルン大学理論物理学研究所、東京大学先端科学技術研究センター教授を経て、現在は東京大学大学院工学系研究科教授。様々な渋滞を分野横断的に研究する「渋滞学」を提唱し、著書「渋滞学」（新潮選書）は講談社科学出版賞などを受賞。文部科学省「科学技術への顕著な貢献 2013」に選出、2021年イグ・ノーベル賞を受賞。また東京オリンピック・パラリンピックでは大会組織委員会アドバイザーに就任、国交省、経産省、文科省などの有識者委員も多数務めている。日経新聞「明日への話題」連載、日本テレビ「世界一受けたい授業」に多数回出演するなど、多くのテレビ、ラジオ、新聞などのメディアでも活躍している。

私が「渋滞学」を提唱して35年ほどになりますが、この学問は数理解物理学がベースとなっています。中でも水や空気などの流体の研究を行ってきましたが、人や車、物流など、流れの研究へ応用できないかとひらめき、渋滞という現象に着目いたしました。今でも「人流」と「車」と「物流」は研究の3本柱となっています。

今日は渋滞学のご紹介をしつつ、いかにして社会実装につなげようとしているか、お話ししたいと思います。

渋滞学のご紹介

渋滞学のベースは非常に単純な発想です。今この講演会場のある一列の席のう

ち、座っている席を「1」という数字で表し、座っていない席を「0」で表すと「10110011」というような表現ができます。私の講演が終わって皆様が休憩で外に出ると「1」が「0」に変わります。つまり流れを「0」と「1」だけで表せるのです。これがセルオートマトンという考え方の原型です。人でも車でも同じですが、前が埋まっている状態つまり「1」の場合は動けません。さらに前が空いたとしてもすぐには動かない人もいます。そのため移動を確率的にすることで動く状態というものを表現できます。

数理モデルやシミュレーションを抽象化することで色々な分野にその原理を応用できるというメリットがあります。例えば「1」が「0」のところ動く、これを「0」

と「1」の交換あるいは取引と捉えれば、経済学のモデルにもなります。最初の研究は車の渋滞から始まったのですが、この研究をベースに色々な分野に応用しています。

「定義されていないものに対して研究を積み上げることはできない」、私は数学の分野でこのような教育を受けてきました。研究を始めた当初、渋滞という現象については統一された定義というものが無いと気づいたのです。

そのため渋滞を表すデータを探すことになりました。調べていると高速道路に5分間に何台の車が通過したかという「交通量」のデータがあることを知りました。高速道路の下にそれを調べるセンサーが埋まっているのです。

もう一つ、1キロあたりの区間に車が何台いるかという「交通密度」も重要なデータです。（画像①）

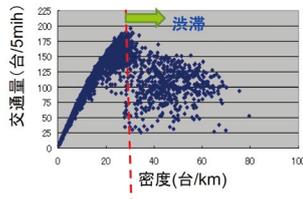
これは35年前、私がExcelで書いた図ですが、日本中どこでデータを取っても、車も運転手も違うのに、ほぼ同じ図になることに気づき、「渋滞は科学になる」とひらめきました。この「交通密度」軸の真ん中の線の左側は、点が右上がり線形に並んでいます。この線の右側に来るとデータがばらけています。左側は渋滞していないので、速度と交通量が比例している、つまり渋滞していない状態です。難しい話はありません（笑）。線の右側は速度を上げようにも上げられない、交通量が増えない状態ですから渋滞を意味します。これが初めて渋滞を定義できた瞬間です。日本中を平均すると交通密度が1キロあたり25



渋滞とは？

首都高速道路 時速20km以下
その他の高速道路 時速40km以下

交通量と密度の関係



渋滞＝流量が減少すること（高速道路では25台/km）

【画像①】

台、車間距離でいうと40メートルがその境界です。これによって数学的に渋滞を観察することができるようになりました。

さらにもっと深いことがわかってきました。首都高速道路の走行車線と追越車線のデータをみると、追越車線の山頂部が出張っていることに気がつきました。ここは「メタ安定」といって、交通量が増えているのにドライバーが車間距離を詰めて無理に走っている状態です。誰かがブレーキを踏んだり割り込みが生じたり、ちょっとしたことで、これが崩壊し一気に減速して渋滞が起こることがわかりました。つまり渋滞は、追越車線でメタ安定が崩壊することで発生するのです。（画像②）

この現象を再現できないと渋滞をシミュレーションで表現できませんが、先ほどの「0」「1」の単純なセルオートマンではこの状態は出現しません。渋滞のモデルとしては単純すぎるということです。

その時に「車は急に止まれない」という言葉がひらめきました。つまり動いている車には慣性力が働き、動くにしても止まるにしてもワンステップ遅れるということです。そこで一回動いた車はワンステップ休む、というルールを入れました。このルールを入れるだけで、先ほどの「交通量の増加による渋滞の発生」という事象を表現し、より精密に予測することができるようになったのです。

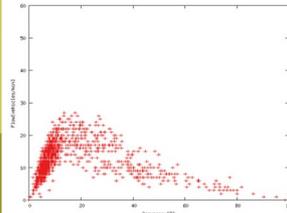
社会実装に向かう渋滞学

この辺から社会実装に向かっていくことになります。渋滞が起きそうな状況になったらむしろ事前に速度を落として車間距離を空ける。これを「渋滞吸収走行」と呼び、ゆっくり渋滞に近づいていけばかえっ

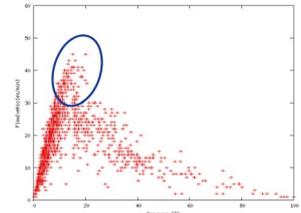
渋滞形成過程を詳細に調べると、メタ安定状態が存在する

この状態を再現できないモデルが多い

走行車線（左車線）



追越車線（右車線）



首都高速道路 三郷線上りの1日データ

【画像②】

と渋滞を防ぐことができるということに気がつきました。

実際に運転場で車列を作った走行実験をしました。先頭車両が停止するとその情報が一台の後方車両に伝わって速度を落とします。そのバッファのおかげで停車をすることなく若干の速度低下でブレを吸収し、トータルでは渋滞を防げることが実証できました。

これを社会実装するため、日本で最も渋滞の多い場所の一つである小仏トンネルで実験を行いました。よくこの付近の渋滞はトンネルが原因で起こると思われがちですが、実際にはその手前の坂道が始まる地点で減速してしまうことが渋滞の原因です。そこで、さらに手前の相模湖インターチェンジ付近から、他の車よりゆっくり走るペースメーカー車を入れました。このペースメーカー実験は大成功し、仮説通り渋滞の解消に効果があることが確認できました。渋滞吸収車はあまり速度を下げすぎる

と今度は二次渋滞の原因となってしまいます。渋滞地点からどのくらい手前の位置で、どのくらいの速度をどれくらい持続して下げたらよいのか。このことを数理モデルとシミュレーションで徹底して計算し、渋滞吸収が成功する領域を科学的に解明できたのです。

車間を空けるという発想は、もともとはアリから教わりました。我々は3ヶ月間アリを数え続け、行列を観察しました。なんとアリの密度とアリの交通量の関係は右上がりしかなく、渋滞が起こらないのです。「アリは渋滞しない」という論文を執筆し、世界最高ランクの「Physical Review Letters」という雑誌に載りました。アリはちゃんと相互距離を空けているので、移動速度が上がっても渋滞が起きないのです。（脚注1）



群集マネジメントという 社会課題への挑戦

2010年に「Transport and Crowd Management Forum」という国際会議がサウジアラビアで開かれました。サウジアラビアにはメッカがあり、メッカ巡礼には一週間で300万人もの人が世界中から集まります。過去には、残念ながら多くの巡礼者が群集事故で亡くなってしまい、2015年の群集事故では2000人以上が亡くなりました。

この時「群集マネジメント」を本気でやらないといけないと感じ、帰国後に群集を科学的にマネジメントするプロジェクトを立ち上げました。このプロジェクトでは、まず群集がどういう状態でどこに流れているかを測る方法を検討します。その測ったデータを基に、社会シミュレーションで将来リスクを予測します。予測した情報を警備会社に提供したり、群集にもサイネージ等で表示したりして、混雑地点を避けてもらうシステムを作っています。実際にこれが稼働しているのが東京ドームです。東京ドームシティにAIカメラが13台付いていてその情報がコントロールルームに集約されシミュレーションの結果を警備員や警備会社に伝えるシステムです。

思い出すのは2年前、韓国の梨泰院の非常に痛ましい雑踏事故です。事故が起きた直後に韓国からデータが届いて分析を依頼されました。「フロアフィールドモデル」というシミュレータを使いました。梨泰院の地下鉄から人が出てきてグルメ通りに向かい、グルメ通りで食べ終わった人が再び梨泰院の地下鉄に帰ります。地下鉄からグルメ通りを通じるこの狭い通路が対面通行になっていたため、事故は起きました。残念ながらこの事故では158名の方が亡くなりました。また、そのほとんどが若者でした。この事故の最大の問題点は、3メートル幅しかない通路で膨大な人数の対面通行が発生したのにも関わらず、群集コントロールをしなかった点です。

「フロアフィールドモデル」というのは、セルオートマトンを二次元にしたものです。2015年から東京メトロと共同研究をし膨大なデータを分析しました。1メートル幅を1秒間で何人が通るかを流量と言いますが、これが1以下であればレッドロックが起きません。これは、今の対面通行の基準になっています。(脚注2)

この対面通行のテーマにスマホを入れて実験を行いました。片側の通行者がスマホを見ながら歩行しています。対面する通行

者はスマホを持っておらず対面する通行者を見えています。我々は相互予期 (Mutual Anticipation) と名付けたのですが、スマホを持っていない場合には、通行者は相手の目つきや仕草をお互いが観察することにより、相互に行動を予期しています。ところが片方がスマホを見ていると、相互予期が途切れて衝突が起こることになります。私の助手の一人が認知心理学の専門家であったこともあり、その知見をシミュレーションに反映できたことで見つかった現象です。これが「Science」という学術誌に載り、イグノーベル賞の受賞につながりました。(脚注3)

群集のリスクについては、世界中で人口密度のみを用いてこれまで判定していました。しかし、人口密度がそれほど高くなくても方向がお互いに交差していると歩きにくい。逆に人口密度が高くて、みんなが同じ方向を向いて動いていればリスクは少ないと言えます。そこで人口密度だけでなく交差度合いこそが人が歩きにくい、あるいは危ないと感じる正体ではないか、とひらめきました。そこで交差度合いを表す方法を考えました。流体力学では渦は流れのローテーション (回転) 運動として扱います。そこで群集のローテーションを取ることを考えました。人間がいろんな方向から来ると、それぞれが避けようとすることで回転が生じます。その回転を取れば、その場所の歩きにくさの指標になるはずでした。これを「混雑度」と名付けました。さらにゆっくり歩かざるを得ないところは危険度が高いので、「混雑度」すなわちローテーションを平均速度で割れば、群集リスクとして非常に有効な指標になるだろうと考えました。(脚注4)

新宿駅で南口のコンコースの全部の流量を測りました。埼京線から南口に出るところは非常に人が多く人口密度が高いのですが、みんなが同じ方向を歩いていますから危なくありません。一方、小田急線と山手線、総武線の交差する地点は、人口密度はそれほど高くありませんが、先ほどの「混雑度」という指標から見ると一番危険な地点となります。これは現実と非常によく合っているということで新宿駅から高い評価をいただきました。この「混雑度」は危ない空間の評価指標として使われています。

「群集マネジャー」の必要性

いま渋滞学は社会実装にまで動いていません。私は理学と工学の両方をやってきましたが、この両方がわかる第三の人材がいないうとなかなか社会実装ができません。現在、この両方を目指すことを学生指導の中心に据えています。

今後、最も大事となるのは、群集をマネジメントができる人材です。日本でも「群集マネジャー」という職業をつくりたいと考えています。これはアメリカにはすでにある職業なのですが、日本にはまだない職業です。

現在、群集マネジメントの分野に注力しており、一般社団法人を設立して講座を設置しました。この組織には元警視總監や元国交省事務次官にもご参画をいただいています。「群集マネジメント講座」は、8回オンデマンドで受講し最終テストに合格すると「群集マネジャー」の資格が取得できます。

事故が起きず空間が快適でもう一回この空間に来たいと思わせる。それを支える技術とサービスで空間を差別化する。科学的な知見を使って人を安全安心に、さらに高いサービスレベルで人を誘導する。このようなマネジメントができる人材を今後も育てていきたいと考えています。(画像③)



【画像③】

脚注

- 1) Traffic-like collective movement of ants on trails: absence of jammed phase, Alexander John, Andreas Schadschneider, Debashish Chowdhury, and Katsuhiro Nishinari, Phys.Rev.Lett., 2009. 03.13
- 2) Phenomenological description of deadlock formation in pedestrian bidirectional flow based on empirical observation, C. Feliciani, K. Nishinari, J. Stat. Mech., 2015.10.09
- 3) Mutual anticipation can contribute to self-organization in human crowds, Hisashi Murakami, Claudio Feliciani, Yuta Nishihama, Katsuhiro Nishinari, SCIENCE ADVANCES, 2021.03.17
- 4) Measurement of congestion and intrinsic risk in pedestrian crowds, C. Feliciani and K. Nishinari, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2018.06

計算社会科学の発展と可能性： 国内外の展開と少子化対策への応用



神戸大学 計算社会科学センター
教授（センター長）

上東 貴志 氏

■ 略歴

神戸大学計算社会科学センター長、未来世紀都市学研究アライアンス長、経済経営研究所・教授。計算社会科学会・副会長、IEFS-Japan会長、International Economic Association・理事、日本経済学会・理事、一般社団法人SSTI・代表理事、日本学術会議・会員を務めており、2010年には日本経済学会・中原賞を受賞。また、Journal of Computational Social Science編集長やInternational Journal of Economic Theory編集長等を担当。

計算社会科学とは何か

計算社会科学は「社会科学」「データ・サイエンス」「計算科学」の3つの文理融合領域です。これは比較的新しい学問で、2009年に社会データを使った研究を「Computational Social Science」と呼称した論文がきっかけとなり、この名称が一般化したと言われています。中でもアメリカにおける政治的ブログの「保守ーリベラル」傾向とリンク構造を可視化した図が計算社会科学の代表的なものとなっています。

当初はビッグデータを可視化するような研究が多く、例えば大都市圏における自動車移動のGPSデータのクラスタリングや、Wikipediaの様々な言語の更新タイミングの言語を超えたクラスタリングなどの事例がありました。

最近では「保守ーリベラル」と読書の趣味、あるいは食べ物の好みが関係しているという論文も登場しています。保守ーリベラルと食べ物との関係に関する研究は、日本における計算社会科学を代表する研究者のお1人である笹原先生によるもので、もう1人の日本を代表する研究者である鳥海先生は「保守ーリベラル」がワクチン、反ワクチンとつながりがあるという論文を書かれています。

計算社会科学の詳しい説明は、鳥海先生を中心に執筆した『計算社会科学入門』

（脚注1）という本にまとめられています。また計算社会科学センターのYouTubeチャンネル（脚注2）に執筆者による各章30分ほどの動画が配信されています。

『計算社会科学入門』（各章の動画の主なシーン）について

第一章は「計算社会科学とは」と題し、笹原先生によってフェイクニュースが早く遠くまで拡散される現象を紹介されています。第二章は「Web調査」について。旧来の対面で紙による調査方法から今ではオンラインにより大量かつ簡便にデータが取れるようになったことから、計算社会科学ではWeb調査が盛んに使われています。特に聞き方によって回答の内容に影響を受けることから、アンケート設計の段階で注意すべき点についても述べられています。第三章は「デジタル実験」です。あるWebページを改変すると、ユーザーの行動がどう変容するのかという興味深い実験が行われました。第四章「データ収集・公開データセット」。Webスクレーピングなどの手段を活用し公開データをデータベース化することが計算社会科学でも盛んに行われていますが、吉田先生がその課題について論じています。第五章「ネットワーク」では鳥海先生がSNSにおける新型コロナワクチンへの様々な社会的な反応をクラスタリングしています。第六章は「テキスト分析」です。最近のディープラーニン

グの手法にみられる、あらゆる言葉をベクトルないしテンソルにして表現している研究を瀧川先生が紹介しています。第七章「ソーシャルデータ分析のための教師あり機械学習」では水野先生が手法について新旧の事例を紹介されています。第八章「社会シミュレーション」では、かつて社会シミュレーションが計算社会科学と呼ばれていた時代もあり、その歴史のお話を岡田先生がされています。第九章では「統計モデリング」を論じています。株式会社サイバーエージェントの高野さんが、非常に興味深いデータを用いた統計分析を行っています。第十章は「社会物理」について。これは社会シミュレーションに近いと思いますが、物理的なモデルを社会に応用する研究も盛んに行われています。

経済学者としていかに 計算社会科学に関わってきたか

もともと経済学者であった私が計算社会科学に関わったきっかけは、2012年にスパコン「京」が、神戸のポートアイランドに設置されたことです。神戸大学としてこれを活用する研究をする機運が高まった折、日本学術振興会に「先導的人文学・社会科学推進事業」という研究課題が設定され、私と遠藤先生、鳥海先生の3人が中心となり計算社会科学という分野を普及する方法を真剣に考えました。

まず初めに計算社会科学研究会を設立し、海外の著名な研究者による研究会や

ワークショップを行いました。そこから2021年に遠藤先生が会長となり私と鳥海先生が副会長となって計算社会科学を設立しました。2022年に第一回の計算社会科学大会を開催し、年々規模が拡大していきました。大学研究者だけでなく民間企業の研究者も参加されるようになり、いまや大盛況となっております。例えばテレビ番組の視聴者集団のCMに対する態度の傾向分析及び検証などメディア関係の研究や、スマートウォッチで計測するマインドフルネス研究、成り行き注文など金融取引に関する研究や、倫理制約を伴う意見形成などの研究を取り扱っています。(脚注3)

2018年には、Springer社から世界初の計算社会科学のジャーナルを立ち上げ2023年には3.2というインパクトファクターをいただきました。(脚注4) 同時期、神戸大学に計算社会科学に特化した計算社会科学研究センターという国内初の研究センターを立ち上げるなど、学会の中で中心的な役割を果たしてきたと自負しています。

神戸大学・経済経営研究所の ご紹介

私はもともと神戸大学・経済経営研究所に所属し、2014年～2018年の4年間研

究所長を勤めていました。神戸大学の経済経営研究所は社会科学系の国立大学の研究所としては最も古い歴史と伝統があり歴史的に貴重な資料を数多く所蔵しています。神戸高等商業学校の商業研究所の時代に新聞の切り抜きと分類を行っている部署があったのですが、こうした戦前のデータも現在ではデジタル化され検索すればすぐに閲覧することができるようになりました。

所蔵データの中には、鐘紡の資料データベースもあります。これは鐘紡から資料を神戸大学で引き取ったものでデータベース化をして公開しています。

他にも、江戸時代のデータベースもあります。江戸時代の豪商、三井家の日記録をデータベース化したもので、日付や天気に加え、その日の金相場などが記載されています。当時、江戸は金経済圏、大阪は銀経済圏で金貨と銀貨が日々交換されていました。大阪の商人は相場を固定すると経済が成り立たないことを知っていました。そのため、幕府から金銀の交換比率を固定するよう指示されながらも、変動相場制を続けていたのです。その後、日本が開国し金銀相場を固定して金と銀の含有比率で交換するようにした結果、大阪経済は崩壊してしまいました。実は当時の大阪には現物の銀はほとんどなく帳簿上のお金でし

た。現在の我々が銀行にお金を預けている状況と似ています。当時から非常に先進的な経済を進めていたと言えます。

また「当時の大坂の米市場は世界初の先物市場だった。」とよくいわれますが、正確には当時は「帳合米商い」と呼ばれており、大坂の米市場では、大名が発行した米の引換券を現金を介さずに帳簿上で取引していました。当初は「売買繫商い」とも呼ばれ、帳合米商いや売買繫商いが先物取引であったというのは明治以降の解釈で、実際にそうであったのかは、当時の一次資料でこれらの言葉がどのような意味で使われていたのかを調べる必要があります。そこから、少なくとも当初は現代で言う先物取引ではなかったことがわかってきました。

AIの時代になると一次資料がより大事になってくるのではないかと考えられます。もしかしたら、将来的には毎回毎回AIが一次資料まで遡って確認してくれる時代が来るのかもしれないのですが、そうなるまでは、AIが提示した情報を鵜呑みにするのではなく、やはり自分で一次資料を確認する必要があると思います。



国際学術誌

「Journal of Computational Social Science」について

ジャーナルで出版された過去の論文のアブストラクトを word cloud で表すと「model」「data」「network」「social media」の出現頻度が高く、これらの言葉は計算社会科学を代表する言葉になっています。国別に見ると、インドやアメリカ、日本の論文だけでなく、パキスタンやイランなど世界の多くの国から論文が寄せられています。最近の機械学習のツールは技術格差を急速に縮めており、日々投稿を受けながらいろいろな国の方が AI ツールを使っているのを実感します。一般的に欧米以外の国のデータを使った研究は国際的に評価をされにくい側面がありますが、当ジャーナルではそういったバイアスを捨て、各国の社会データを使った様々な研究を積極的に評価するようにしています。

未来世紀都市学

研究アライアンスのご紹介

神戸大学の未来世紀都市学研究アライアンスという組織は全学の異分野融合的な、部局横断的な組織で毎月第2水曜日に「二水会」というオープンな研究会をしています。ご興味のある方はどなたでもご参加いただけます。(脚注5)

ここでの特に大きな研究が神戸のデジタルツイン（コンピュータの中に現実社会を再現し、その中でシミュレーションを行う技術）です。例えば南海トラフを想定した地震が起きたことを想定して、神戸市全域のどの建物がどの程度の被害を受けるのか、詳細なシミュレーションができます。物理シミュレーションの後、被災した人たちが避難所に向かって動き出したらどうなるのか、という社会シミュレーションも行っています。このシミュレーションでは、個人情報への配慮から、企業と提携してランダムに配置したデータを国勢調査などで補完しています。他に建物の構造、種類や、神戸に多い坂道の影響、実際の避難所のデータなどを使いながら現実的なシミュレーションを試みています。例えば市街地区では、避難所に到達するのに2時間以上かかってしまう人が相当数いることが分かってきました。また避難場所を示すだけでなく、避難ルートもある程度指定しないと避難所付近で混雑によって到達できない人も多く発生してしまうことも分かってきました。今後も皆さまのアドバイスをい



ただいで改善していきたいと思っています。

少子化対策研究について

今、この人流データ解析を、男女の出会いなどの少子化対策研究に使えるのではないかと考えています。日本では人口を維持するために合計特殊出生率を2.1、正確には2.07ぐらいに維持する必要があります。

国内で少子化の理由の一つとされているのが非婚化ですが「最近の人は結婚しないから子供が少ない」というのは、ある意味当然のことでもあります。しかしながら、都道府県別のデータで見ると婚姻率＝1年間における1000人当たりの婚姻件数と合計特殊出生率は正の比例関係にはありません。実際に婚姻率が一番高い都道府県は東京都ですが、合計特殊出生率が最も低いのも同じく東京です。東京の一極集中はよく批判されますが、東京は婚姻率も人口密度も高い場所です。結婚が成立するためにそれなりの人口密度がないとパートナーを見つけることが難しいため、パートナーを一番見つけやすいのはやはり東京になるでしょう。ですから東京一極集中に良くない面はあるにせよ、結婚市場としては機能しているという考え方もできます。その一方で東京は婚姻率が高くても平均初婚年齢が高く、合計特殊出生率が非常に低い。地方では30歳を過ぎて結婚することが難しい一方、東京は未婚者が多く結婚しやすいために、ある程度年を取っても結婚できると考えることもできます。

これからマッチングアプリが普及いたしますと、より結婚時期を遅らしても結婚できると考える人が出てくる可能性があり、

合計特殊出生率への影響は必ずしもプラスとは限らないと思います。

さらに、ここで大事なのは、人は動くということです。若い人が東京に行き誰かと知り合い、結婚・出産を機に再び地方に移動することも多いです。東京の合計特殊出生率が低い理由には、子どもを産む意欲が少ない人が東京に残っているという側面もあります。効果的な少子化対策を考えるためには、このように人が動く、つまり人流の分析が重要であろうと考えています。また、最近の若い方には、結婚しなくてもよい、子どもを持つ必要もないという価値観が広まっており、この価値観の変化については先ほどお話ししたテキスト分析によりある程度測ることができると考えています。この少子化プロジェクトで、地域内・地域間移動の人流データ、マッチングアプリデータ、不妊治療データ、価値観変化のテキスト分析、日本の総人口規模のエージェント・ベース・シミュレーションモデルを駆使して包括的に研究するべく、プロジェクトを進めているところです。

脚注

- 1) 『計算社会科学入門』、鳥海 不二夫 編著、丸善出版、2021.01.27
- 2) 神戸大学計算社会科学センターYouTubeチャンネル、サイトURL：<https://www.youtube.com/channel/UCtkEsJPXUmi0iGX2APv4thA>
- 3) 計算社会科学会、過去のイベントページ、サイトURL：<https://css-japan.com/%e3%82%a4%e3%83%99%e3%83%b3%e3%83%88/>
- 4) Journal of Computational Social Science, Springer link, サイトURL：<https://link.springer.com/journal/42001>
- 5) 神戸大学 未来世紀都市学研究アライアンス、ホームページ、サイトURL：<https://www.edu.kobe-u.ac.jp/oair-mirai/index.html>

実務から見る社会シミュレーションの力： 複雑な社会課題への取り組み



株式会社構造計画研究所
マーケティング戦略室 担当部長

北上 靖大

社会シミュレーションのご紹介

シミュレーションは私たちの生活に密接に関わっています。例えば、毎日チェックする天気予報や、運転免許取得時に使用するドライビングシミュレータなど様々な場面でシミュレーションの技術が使われています。その中でも、社会課題を対象にしている事象をコンピューター上に仮想的に構築して現象の理解や課題解決に役立てていくアプローチを「社会シミュレーション」と呼んでいます。

社会シミュレーションは、モデリング&シミュレーション手法の一つに位置づけられ、対象物やその振舞いを単純化・抽象化してモデル化し、色々な条件で実験を行いながら、事象を分析し、その結果を用いて意思決定を支援するという手法です。

マルチエージェント・シミュレーションとは？

当社で手がけているマルチエージェント・シミュレーションは、社会シミュレーションの手法の一つで、仮想空間上にエージェントと呼ばれる自律的な主体を発生させた人工社会を作り、その相互作用によって生じる創発的現象を観察することで現実社会を理解する手法です。先駆的な例として、米国の経済学者のトーマス・シェリング先生が1969年に発表した住み分け（分住、segregation）に関する研究があります。個々の意図が積み重なった結果とし

て、全体を眺めたときに予想しなかった現象が起きてしまう状況を理解することができます。（脚注1）

社会シミュレーションは世の中にいかに役立つのか

社会シミュレーションは、主に次の目的で活用されています。

- 1) 施策検証：人工社会の上で施策を試しどのような影響や有効性があるのか、あるいは複数の施策を試行して効果を比較検討することが可能です。
- 2) メカニズムの理解：仮説を仮想空間内で検証し、その結果を現実世界と比較することで、仮説に対する理解を深めることができます。さらに、シミュレーションを通じて、現実世界のどの要素を観察すれば仮説をより強化できるかなど、現実を知る手法として使うことができます。
- 3) 説明・コミュニケーション：シミュレーションは抽象化・単純化した世界ですが、それが故に全体を俯瞰し全体構造を理解する助けとなります。社会課題の多くは多様なステークホルダーが関わる現象です。視覚的に確認できるため、ステークホルダー間の共通認識や納得、あるいは合意が生まれる可能性が高まります。

社会シミュレーションは、防災や都市計画、感染症や交通など、様々な複雑な要素が絡む課題や多目標で施策を評価することが必要な課題で使われています。そうした現代社会の課題は多要素が複雑に絡み合い、それぞれが循環しているような構造が多くあります。その構造を分類してみると、3つに整理できると考えています。

- ①単軸と多軸：多目標を設定する場合、「あちらを立てればこちらが立たず」というような状況に直面することが多く、色々な視点で世の中を見ながら解を探る行為が必要になります。

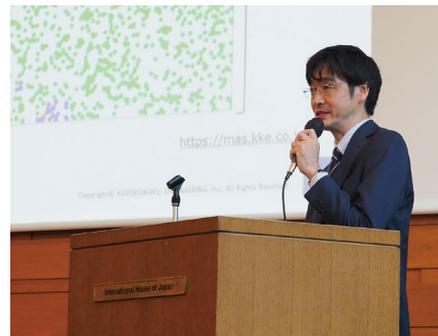
②個と全体：行動主体の意図と全体の結果が異なる結果、個人と社会の利益が不一致となる現象が出現します。

③短期と長期：普及過程など時間的に変化していく事象では、短期的な利益だけではなく長期的な投資を考慮する必要があるなど、時間軸で見た場合に異なる判断基準が生じます。

社会シミュレーションは、このような課題を考えると非常に役立つと考えています。

事例1 「市街地火災の人的被害抑制」

2014年から16年にかけて、東京大学生産技術研究所の加藤孝明先生と共同研究を実施しました。関東大震災では、地震よりも火災によって多くの死者が出たと言われています。一方で現代の都市は、市街地の過密化や密集市街地の外縁化で燃えやすい都市構造になると同時に、建物の難燃化や延焼遮断帯等による燃えにくい都市整備が進んでいます。そこで、現代の都市において、震災火災時の逃げ遅れによる被害が本当に生じるのか。その場合、どのような状況によって生じるかをシミュレーションで分析しました（脚注2）。都市の実際の空間を人が避難するマルチエージェント・シミュレーションの実施は、なかなか難しい問題をはらんでいます。出火場所や時間帯などの初期条件や延焼の状況に加え避難方法など、どれ一つとっても無数の未来が



あり、実際にどのシナリオが生じるのかは分かりません。これに対してコンピューティング・パワーを使って大量のシナリオを分析することによって、ごく稀に生じる甚大な被害の発生シナリオを見つけ出すことができます。さらに、ある事象がどのようなプロセスや原因で起こったのかを理解することが可能になります。先ほどの課題意識と照らし合わせると「②個と全体」「③短期と長期」、無数の未来からあり得る未来を探索する「1) 施策の検証」が可能になります。

事例2「電気自動車充電ステーションの配置・検討」

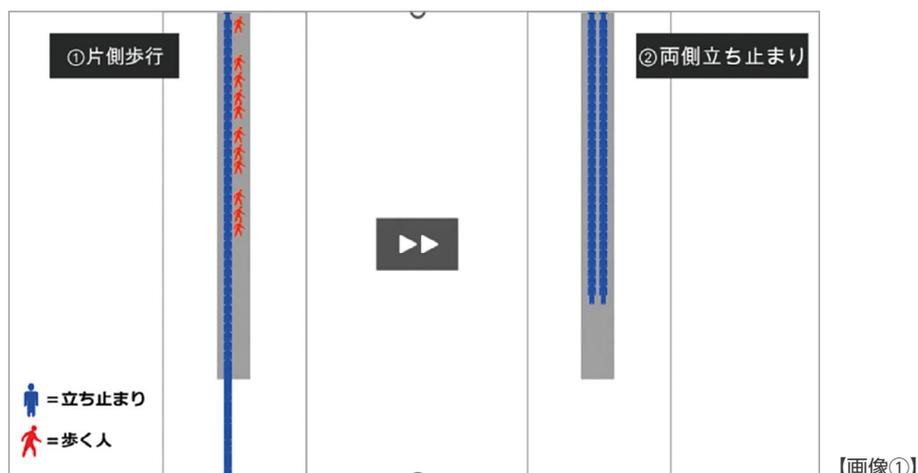
環境対策等のため普及が促進されているEVですが、当初、利用者にとってバッテリー切れや航続距離の不安が障壁となり、普及が進みませんでした。一方、事業者側では、需要の見込みが立たないために充電ステーションの設置を進められないというジレンマが生じていました。EVの普及を促進するためには、充電ステーションの設置場所や充電設備のスペックをどのように決定すれば、EV利用者の利便性を向上させられるかという点が重要な課題となります。この課題を検討するために「EV OLYENTOR」というシミュレータを電力中央研究所の委託により開発しました。(脚注3)

このシミュレータは、充電需要に基づく充電ステーションの設置場所の検討や、充電ステーションの増設や拡充による利便性向上の検証が可能です。このシミュレータには交通利用者の利便性や充電設備の位置、スペック、需要などを多面的に評価できるという特徴があります。実際に、将来の電気自動車のスペック向上による台数の増加など状況の変化が予想される中で、どのタイミングでどのようなステーションを配備すべきか、これを多面的に評価したインフラ整備の立案の際に使っていただいています。(脚注4)

ここでは「①単軸と多軸」「③短期と長期」の課題構造がありましたが、社会シミュレーションにより「1) 施策の検証」が可能になり「3) 説明・コミュニケーション」に活用していただくことができました。

事例3「エスカレーターの利用方法 片側空けか両側立ちか？」

駅で「エスカレーター 立ち止まって利用」というキャンペーンを目にすることが多いと思います。依然としてエスカレー



ターの上を歩いて利用する人が非常に多いのが現状です。朝のラッシュ時には右側の列がすいているのに対し、左側の列だけが渋滞して長い行列ができる状況をしばしば目にします。このような状況が全体として効率的なのか、シミュレーションを用いて検討しました。

そもそも、エスカレーター上を歩くことには安全性の観点から問題があります。歩行中の衝突や、緊急停止時の転倒リスクが高まるためです。人流の観点からも問題があります。鉄道駅等、多くの人が行き交う場所では階段やエスカレーターがボトルネックとなることが多く、エスカレーターを片側空けで利用することにより待ち行列が長くなり、混雑からは新たな危険が生じる可能性があります。私たちはシミュレーションでこのような状況の改善に取り組んでいます。

シミュレーションの構成は、シンプルな2列の上りエスカレーターで「A.片側空け＝左側が立ち止まり右側が歩く」と「B.両側立ち＝左右両方の列が立ち止まる」を比較しました。また実際の駅の利用状況から、全体の40%の人が歩く設定にしました。450人の利用者全員が上り切るまでの時間は、B.両側立ちのほうが早くなります。(画像①) 結果には歩行を選択する割合が大きく影響します。50%～70%が歩く場合は、A.片側空けのほうが早くなります。既往の研究によると、時間帯等にもよりますが渋谷など一部の駅を除き、歩行選択割合が40%以下となる駅が多いようです。このシミュレーション結果から、駅の状況や時間帯によってはB.両側立ちの方が早くなる可能性があると考えています。ここでは「②個と全体」の課題構造に対して、社会シミュレーションの「2) メカニズムの理解を容易にする」メリットが有効に働いています。

シミュレーションとしてはエクセルでもできるぐらいの簡単なものですが、視覚

的・インタラクティブな方法で、エスカレーターの使われ方の問題を一般の方にわかりやすく伝えるということ、様々な状況での結果を示し、問題の理解と議論の土台になればと想い、情報発信しています。

引き続き調査や情報発信等に取り組んでいきたいと考えています。(脚注5)

今後ますます求められる社会シミュレーションの活用

社会シミュレーションは自由度が高いため、適切なモデル構築や、結果の適用が難しい場合もあります。例えば、目的に応じた抽象度・モデル設計や、モデルの妥当性の確認には、注意をしながら対応する必要があります。多くのステークホルダーや要因が絡み合う問題に対して納得解を模索することが重要です。シミュレーションを用いて課題のメカニズムや解決の方向性を探索する技術が今後ますます求められると考えています。私たちは、シミュレーションの技術を活用して社会課題の構造を紐解き、理解を支援することで社会課題の改善に貢献したいと考えています。

脚注

- 1) 分層モデル：Schelling, T.C. : Models of segregation, American Economic Review, Paper and Proceedings Vol. 59, No. 2, pp. 488-493 (1969).
- 2) 総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度2014年度～2016年度 東京大学生産技術研究所 加藤孝明教授 https://www.fdma.go.jp/mission/develop/item/01_kenkyukadai.pdf
- 3) 日渡良爾, 岡野邦彦, 池谷知彦, 所健一, “充電インフラ検討用次世代自動車交通シミュレータの開発—電気自動車用急速充電ステーションの適正配置機能—”, 電力中央研究所研究報告書(電力中央研究所報告), 2011 <https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/report/Detail?reportNoUkCode=L10011>
- 4) 充電ステーション最適配置に関する解析調査 業務委託, 次世代自動車振興センター, 2012 https://www.cev-pc.or.jp/chosa/pdf/H26_chosa_4_syuyyakuhyo.pdf
- 5) エスカレーターモデル, 構造計画研究所 MAS COMMUNITY, <https://mas.kke.co.jp/escalator/>

社会課題の構造を多元的な視点で解きほぐす



モデレーター

明治大学 商学部 教授

水野 誠 氏

■ 略歴

筑波大学第一学群社会学類を卒業後、株式会社博報堂に勤務し、マーケティングや研究開発に従事。筑波大学で経済学修士、東京大学から博士（経済学）を取得。その後筑波大学大学院を経て、現在は明治大学にて教育と研究に従事している。大規模データ解析やエージェントベースモデルなどの計算社会科学的手法を主にマーケティング分野に応用する研究に従事している。最近の代表的な著書に『プロ野球「熱狂」のメカニズム』『マーケティングは進化する（改訂第2版）』などがある。

パネリスト



東京大学 工学系研究科航空宇宙工学専攻
先端科学技術研究センター 教授

西成 活裕 氏



神戸大学 計算社会科学センター 教授
(センター長)

上東 貴志 氏



株式会社構造計画研究所
マーケティング戦略室 担当部長

北上 靖大 氏

(以下、敬称略)

水野

まずはお三方の講演内容からご質問させていただきます、その後に会場の方も含めて議論をしていきたいと思っております。

西成先生の講演から。先生の渋滞の研究ではお互いに距離をとって通行する実験車両を置くことで渋滞緩和の効果を実証されました。しかし、通常の一般人が運転する状況で同様の行動をとるのは難しいと思います。シミュレーション結果を見せて啓蒙していく、という考えはありますが、現実には啓蒙するだけでは解決しないかもしれません。いかがでしょうか。

西成

私は社会問題を研究的に解明できたとしても社会に役立つソリューションや実装にまでいかないと意味がないと思います。そ

のため、30年以上にわたり基礎研究から社会実装までいろいろなことをやってきました。

有名なブラッセのパラドックスというのがあります。近いルートと遠いルート、2つのルートがあり、遠いルートに何十%かの人に回ってもらうと、トータルのガソリン消費量が減ります。しかし実際には全員が近いルートを行きたいために、全体最適と個の最適がずれるというパラドックスです。社会シミュレーションでは、30%の人に少し損するけど他の70%は違う方を、と分けることが全体最適だという結果が出たとしても人は自分にとって最善でない方策は通常行いません。しかし、全体最適を達成するとトータルの利益が出ますから、その利益を不利な人に回すようなメカニズムを設計することができるのではないかと考えています。最近サプライチェーンの研究でも、誰かが損するとトータルでは

得になるという結果が出ています。CO2排出量におけるスコープ3の問題でも、自分の会社の損得だけを考えると解決が難しいのですが、トータルのCO2排出を減らすなかで利益を得た人が損した人に支払う仕組みができると、社会実装まで行くのではないかと考えています。

水野

上東先生は経済学者なので、普段から価値観や利害の対立をいかに調整すべきかを考えていらっしゃるかと思います。社会シミュレーションの研究をお聞きになって、この問題の解決をどうお考えでしょうか。

上東

経済学でも社会実装の考え方はあります。これはメカニズム・デザインと呼ばれており、望ましい再配分や状況をどうやって社会的に実現させるかという分野です。

おそらく一般的な交通シミュレーションでは、1回目は皆さんが最短ルートを取ることで混雑が起きます。ですが、混んでいる道は通らないようにエージェントに繰り返し行動させると均衡に落ち着き、全体としてある程度の最適化ができます。

水野

北上さんが紹介された市街地火災の課題では一人の命でも多く救いたいという共通の価値観が明確である一方、エスカレーターの問題では通行人の価値観や目標が違っています。そのため、「あなたは全体の利益のためにエスカレーターで歩行しないように」という説得が通用するのか、という問題があります。

北上

価値観に関する問題は非常に難しいと感じています。ですが、エスカレーターに関しては安全上の問題があるため、そこからの訴求は可能だと思います。また、仮に安全を無視して自由に利用するとしても、歩く人がいないにも関わらず、習慣から片側空けの状態になり、ムダな長い行列ができている場合などに啓蒙の余地があると感じます。

水野

今日ご紹介があったほとんどのエージェントベースのシミュレーションは、空間をベースとしており、視覚化されているので動きがよく分かること、また行動のルールが単純化されているという特徴がありました。これは複雑な他の社会現象へ応用するときどうなるのか、お聞きできますでしょうか。

西成

社会シミュレーションには無限の可能性があると思っています。例えば、物流、合意形成のモデルもあります。それらに共通しているのは、ルールベースつまりIf-thenのモデルであることです。渋滞の時のように、どんなに複雑な事象でも最終的に3つぐらいのルールに集約できます。そのルールを探すには、ドメイン知識を持っている方と共同研究することも大切です。

上東

シミュレーションは元々物理現象の再現から始まっているため、空間的な目に見えるものの方がわかりやすく、かつ多く使われているのだと思います。

一方、経済学の経済シミュレーションでは、位置情報なしのシミュレーションをよく使っています。例えば、先程ご紹介した総人口レベルのシミュレーションは位置情

報なしで行っています。オピニオンダイナミクスや、SNSの分析も物理的な位置のないシミュレーションです。私が計画しているマッチングの研究では、そこに逆に位置情報データをあとから入れようとしています。

北上

先ほどは交通とか避難など特に実空間でのシミュレーションについてお話をしましたが、最近は空間上のシミュレーションだけではなく、例えば経済的な空間と地理的な空間の相互作用や、口コミなど情報的な空間で得た情報を人間行動に生かしていくなど、多様な空間での相互作用のシミュレーションが試みられています。

その際には抽象化のレベルがかなり重要になってきますので、それぞれの空間での抽象化をどのレベルで行うのかということ、ドメイン知識をお持ちの方と一緒に議論しながら検討しています。

水野

ではここからは、フロアの方々からもご意見、あるいは質問をお聞きしたいと思います。

質問者A

社会シミュレーション自体の存在を知らない方とのギャップを埋めるにはどうした





ら良いでしょうか。

西成

社会シミュレーションの研究に、全体の人たちに何パーセントの知識が行き渡ると一気に社会が変わるのか、スレッシュホールド・ダイナミクスという現象があります。例えば30%を下回ると広まらないのですが、その比率がある閾値を超えると一気に広がる臨界があります。その数値自体はケース・バイ・ケースですが、どこかで一気に広まり変化が起こることを期待しています。また広報活動には長い時間軸も大事です。最近では小学校で講演をしていますが、子供たちはみんな素直に受け止めてくれますから、15年後には変わるかも知れません（笑）。

上東

社会シミュレーションには必ずしも高度な数学が必要なわけではありません。西成先生からお話いただいたようなセル・オートマトンなら、小学生でも遊びながら理解できると思います。これからプログラミング教育は相当行われると思いますが、それと一緒に社会シミュレーションも早い段階から小中学生の教育に取り込んでいくことが可能なのではないのでしょうか。

北上

当社も「artisoc Cloud」という社会シミュレータを学校・教育用途で無償提供しています。それを大学、中学・高校の授業

でも使っていただいています。早い段階でシミュレータという考え方にどんどん触れてもらう機会を作っていきたいと思っています。

質問者B

マルチエージェント・シミュレーションでは、エージェントは自発的に動き、制御が効かないことが条件になっていると思います。しかし社会にはルールが必要です。西成先生の渋滞の話でも、人間の意思に任せっぱなしではなく、自動運転車に対して制御をかけるなど、ある程度コーディネーションをする方向に持っていった方がよいように思うのですがいかがでしょうか。

西成

どこまで自由にしてどこから統制をするのか。トップダウンで完全に統制してしまうと強い窮屈感を感じますが、無限に自由にするとめっちゃめっちゃになってしまう、このバランスはすごく面白くて難しいと思います。実は交通問題はトップダウンで行えば、ほぼ解決します。混んできたら高速道路の料金をあげたり、あるいはカメラで監視したりして車線を越えたら逮捕する、という方法もありますが、問題はどこまでそれをやるのかということです。交差点はCO2を排出し、また渋滞の原因になる地点ですが、最近では、付近の車同士が通信して自動的に速度を調整すれば信号機は必要なくなるという研究もあります。そうすると交通量を約2倍にできるというシミュ

レーション結果も出ていますから、交差点はこれから大きく変わっていくと思います。

上東

交差点の信号システムは、目の前に車が通ってなくても赤なら止まれといった単純化されたルールで、それでは非常に効率が悪いです。

自動車同士で通信できると、便利ですよな。

西成

自分が何秒後に行くのかを全員が予約し合い、オークションして優先度を決めて早いか遅いかの速度を調整する方法もあります。その瞬間ごとにオークションをすることにより、全部がスムーズに通過できます。

上東

マーケティングでも近い話があります。ビiddingを瞬時に行うウェブの広告配信がまさにそうです。

水野

この質疑もビiddingでたくさんの掛け金をあげた人を当てるという方法もいいかもしれないですね。

質問者C

西成先生に質問です。私は普段、モデルを作って最適化する研究をしています。そ

の際、ドメイン知識のある方にお話を聞くと、if-then だけではなく例外的な else も登場してモデルが複雑化し、一般的なことを言いにくくなりがちです。そういったトレードオフに直面した時、どのようにバランスを取っていますか。

西成

これは皆さん共通だと思いますが、このトレードオフは確実にあります。それは、何を目的にシミュレーションをするか次第だと思います。一人一人のミクロな動きを見るならば、if-then を 1000 個くらい用意しないと無理ですが、流量や密度を知りたいのであればそこまでいりません。例えば目の前に車がいるようなミクロの状況では、少しでもルールを端折ったらぶつかります。あるいは車線変更では、本来隣車線の前後車と自車の速度の関係などで、全部細かくルールが決まるはずですが、マクロな車線利用率は、「ほぼこのくらい空いていたら行く」という大まかなルールでも求めることができます。ですから、何を目的にするか次第で粒度を変えていくとしか言いようなく、そこには試行錯誤が必要だと思います。

水野

最近では、生成AIをエージェント・ベースド・シミュレーションに実装する研究もあります。生成AIを組みこむことによりエージェント自体が私たちには理解できないかたちで行動すると、悪い面もあるかもしれません。皆さんはどうお考えでしょうか。

北上

生成AIをエージェント・ベースド・モデルに組み込む方向は有効であると考えています。探索する空間を少し狭めるためにAIを使い、可能性のありそうなところを調べるといった使い方もできると思います。また、現実のデータで学習させたモデルを使ってテストベッドとして使うような用途も出てくると思います。

上東

最終的な意思決定は人間がやるにしても、部分的にAIは使えるのではないかと思います。生成AI自体が、質問されたテキストデータに基づいて「人間だったらどう答えるか」と、できる限り人間的なシミュレーションしようとしているわけです。生成AIはある意味で非常に善良な人間のようなものなのかもしれません。けれども、もうちょっと「人間臭さ」を組みこめるようになると、より現実に近いシミュレーションができると思います。いずれにしても、生成AI自体がシミュレーションですから、シミュレーションをシミュレーションに組み込むということは既に十分に起きていると思います。

西成

生成AI系を使ったエージェント・ベースド・シミュレーションでは非常に高速に大量にいろいろな結論を出してきます。ただしその結論を人間が理解できなくなっていることは問題だと思います。If-then が書いてあれば分かりますが、これがない場合は完全にブラックボックスになってしまいます。「理由は分からないけれどここに

道を作った方がいい」とAIから言われても、説得が難しいと感じます。ですから理由を理解できる状態で出力するようにプログラムをしていかないと危ないと思います。

論理構造がしっかりしていれば私はAIの利用に賛成ですが、「ここは直した方がいいとAIが言ってるから」と言われて、人間が使われてしまう状況ではリスクがあると思います。なにしろAIは責任を持たないのですから。

水野

本シンポジウムのテーマである「社会課題の構造を多元的な視点で解きほぐす」には2つの意味が含まれています。一つ目は、社会科学あるいは科学全般から課題の構造を解明しその中身を「解きほぐす」ということ、もう一つは社会実装という形で社会課題を解決する意味で「解きほぐす」ということ。この両者を含む緩やかな形でテーマが設定されました。

特に後者に関して、社会シミュレーションあるいは計算社会科学が示した結果が社会的に望ましいことが分かったとしても実際にそのように人間が動いてくれるのか、という問題について議論を致しました。本日はどうもありがとうございました。



ポスター展示

大学・研究機関による展示

A Mechanism Design for Farmland Consolidation in Japan

中嶋 晋作 先生（明治大学）

B BIM + α の α を探して

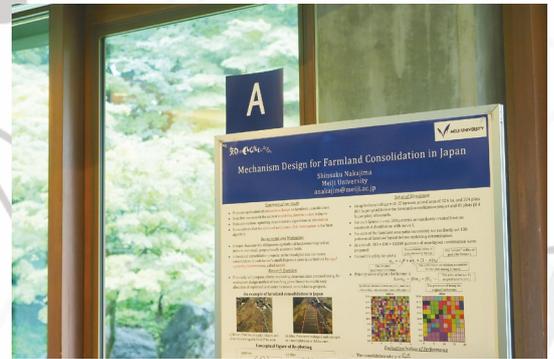
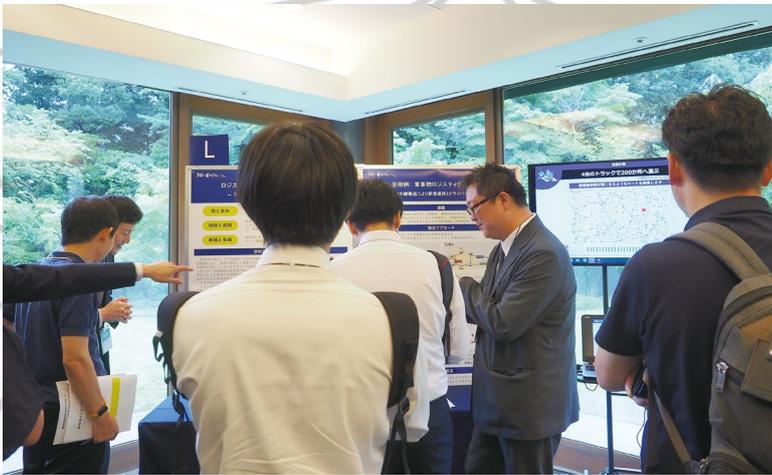
石田研究室（早稲田大学）

C 政府統計を活用した空き家分布推定デジタルマップの開発 建物単位の推計人口を用いた大規模災害時における経済的被害評価手法の開発

秋山研究室（東京都市大学）

D モデリング&シミュレーションによる 過去の再現と歴史研究への適用の事例

粟飯原 萌 先生（日本大学）



構造計画研究所による展示

- E** MASプラットフォーム『artisoc Cloud』
構造計画研究所

- F** 防災分野における社会シミュレーションによる意思決定支援
構造計画研究所

- G** PLATEAUの取り組み・都市計画・温熱などの取り組み
構造計画研究所

- H** 風水害の激甚化・頻発化にシミュレーションで解を得る
構造計画研究所

- I** データ同化による高精度デジタルツインの実現
構造計画研究所

- J** 社会インフラシステムの検討支援
構造計画研究所

- K** コロナ禍でのニーズに対応した混雑案内ソリューションの展開
構造計画研究所

- L** ロジスティクス シミュレーション・最適化
構造計画研究所



「知のENGINE」シリーズ 第1回シンポジウム レポート

2024年8月 発行

発行/株式会社構造計画研究所ホールディングス

〒164-0012
東京都中野区本町4-38-13
日本ホルスタイン会館内
03-5342-1588

協力/株式会社 takibi 吉田 望
印刷/株式会社森の印刷屋

知の
ENGINE
になる。