



第2部 『富岳』で実現するSociety5.0時代のものづくりと新型コロナ対策への貢献

国立研究開発法人理化学研究所 複雑現象統一的解法研究チームリーダー

つぼくら まこと
坪倉 誠



今回ITU協会賞特別賞の対象となった新型コロナウイルスの飛沫感染のシミュレーションについて紹介する前に、私の本職である、機械系、流体のシミュレーションを使って「富岳」への応用例を紹介しよう。

我々の社会は20万年前の狩猟社会から始まり、1万年ほど前の農耕社会、18世紀末の産業革命があり、今はちょうどSociety 4で情報社会となっている。この先目指すべき社会として、国がSociety 5.0を提唱している。現在の生活ではクラウドにデータを置き、物理空間からデータにアクセスしているのを、Society 5.0ではサイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）が高度に融合され、非常にたくさんのデータを自動的に分析して、本当に必要なデータをAIが提供する、そういう社会だと言われている。

産業界で、Society 5.0でどのようなものづくりが実現するか追求しているのが、我々理研のチームだ。自動車の空力設計（図4）を紹介すると、上側がフィジカルスペース、下側がサイバースペースであり、私たちが「富岳」の中に実現しようとしている社会である。

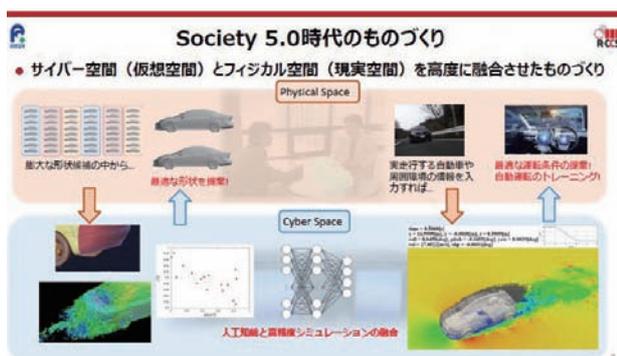
車の設計をするときに、性能だけではなく売れるデザインの車を探すために、膨大な車の形の中から、デザイナーが認める範疇の中で、その設計空間を「富岳」の中に再現する。燃費や騒音性などの性能空間プラス、デザイナーの設計空間を多目的に最適化するために、膨大な数のシミュ

レーションをする必要があるからだ。遺伝的アルゴリズムを使い、AIが性能とデザインがいいものを探して設計の現場に提供し、デザイナーとエンジニアがその中からよりいいものを探していく、その手助けにスパコンを使う。

図4の右側はリアルワールドシミュレーションで、自動車を実際に走っている状況が「富岳」の中に再現されている。ドライバーが実際に乗ってハンドル操作をして、車の周りの空気の流れ、タイヤの回転やハンドル操作、アクセル・ブレーキ操作などを全部「富岳」の中で再現して、リアルワールドを再現する。今までは風洞実験装置の中に車を入れ、空気抵抗を計測していたが、ドライバーを連装させ、しかも設計初期のまだ車がない段階で、設計図からこういう評価ができるような時代が来つつある。これには膨大な計算資源が必要になるため、スーパーコンピューター「富岳」はSociety 5.0を支える重要なインフラであると考えられている。Society 5.0の社会で実現するものづくりを産学連携でいろいろ調べている状況だ。

私たちはずっと、複雑流体を対象として、空気や水の流れの中にさらに化学反応があり、火が燃える、音が伝わる、ものが動くなどを専門にしたシミュレーション技術となるソフトウェアの開発を進めてきた。産学連携で進めているプロジェクトは、スーパーコンピューター「京」の時代から、自動車、ガスタービンなどの燃焼システム、建築防災分野の特に台風設計などで成果を挙げている。新型コロナのパンデミックが起きた2020年初頭は、私たちがCUBEと呼んでいるソフトウェアを「富岳」にチューニングして、新しいものづくりをやるという時期だった。

このシミュレーションの特徴は、飛沫の飛散などの複雑な流体計算ができることと、非常に高速に計算できること、計算モデルをつくれることである。シミュレーションとは単に大きなスパコンで計算が速くできるだけでは駄目で、特に産業界で使われている形状データ、CADデータなど、自動車で言えば数千点のデータからシミュレーションを適切にできるモデルを作成する必要がある。人海戦術を使っても



■ 図4.

数日から1週間かかる。「富岳」を使っても、さらに精度のいいものをつくろうと思うと、モデルの作成だけで数週間から数か月かかってしまう。私たちのソフトウェアを使えば実際の時間で言えば、わずか10分でできるようにしている。これが、飛沫シミュレーションでいろいろなケースを短時間で計算できた秘密である。

これをやろうと決めたのは、研究チームの若いエンジニアが、2020年の春にパンデミックで在宅勤務をしているときに、自分たちもこういう危機的な状況で何か役に立てないかと私にSlackで投げ掛けてくれたのがきっかけだった。何ができるか、が先だったのだ。

自動車エンジンのシミュレーションで得意としていた、自動車エンジンの燃料を噴いて蒸発しながら燃えるという燃料噴霧の過程が、飛沫の飛散と全く同じだった。日本では早くから、ダイヤモンドプリンセス号やライブハウスなどのクラスター事例が起きた経験から、怪しいと言われていた飛沫・エアロゾルの研究を世界に先駆けて始めた。日本は非常に早くからエアロゾル、比較的小さな飛沫による感染がCOVID-19に対しては重要なファクターになっていると気付いていた。

当時は新しい病気ということでデータがなく、感染初期にはWHOやCDCという機関でさえ、マスクは感染防止にあまり効かない、など臆測で物を言っていた。こんなに身近なマスクでさえ、物理的な効果がどれくらいあるのか、実はよく分かっていなかったわけだ。非科学的な恐れや根拠のない過信、侮りがまん延していた。

当時日本でも行動制限が非常に厳しく、実験データをラボに取りに行けない。そういう時こそ絶対にシミュレーションが役に立つというのが活動のスタートだった。スパコンを使ってシミュレーションをやる上では、ロックダウンや行動制限は全く関係ない。情報通信のおかげで、家でこたつに入って寝転びながら「富岳」にアクセスして、シミュレーションして、データ解析できる。これはパンデミックという状況では、非常に強いツールになった。ラボにアクセスできない中で、情報通信の強さを私たちは痛感した。

大きな成果が2つあった。1つは幸運にも、テレビ・ラジオ350件、新聞300件以上、ウェブ記事1,400件以上など、各メディアが取り上げたことにより、社会に対し飛沫感染・エアロゾル感染に対する正しい理解と防御策、マスクやパーティションなどの効果、その重要性を啓発できたこと。

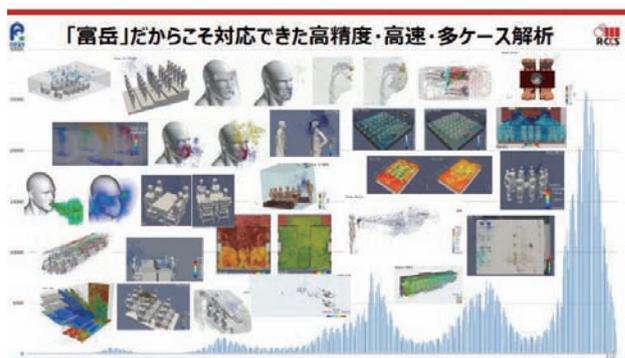
もう1つは、行政機関や各種業界と連携して、様々な科学データが提供されたこと。社会経済活動を戻していくと

きに必要となる制限緩和で、どこまで緩和すればいいのかという科学的データを、内閣官房と連携して提供している。

私たちはシミュレーション、流体力学の専門家ではあったが、感染症や建物の専門家ではないため、活動を始めたときにチームをつくった。豊橋技科大学、京都工芸繊維大学、大阪大学、鍵先生がおられる東京工業大学、九州大学、民間として鹿島とダイキンに声を掛けた。これがステアリングメンバーである。ほかに、今まで課題に応じて個別に契約を結び、連携した企業として、日本航空、ボーイング、トヨタ、ふそうトラック、凸版印刷などがある。行政機関は文科省、国交省、内閣府、神戸市と連携している。

私たちは週に1回、Zoomを使って2~3時間の研究打ち合わせを行う。これがコアメンバーで、毎回2時間程度と結構ハードだが、行ったシミュレーションの妥当性の検討や計算モデルの作成、実験データの提供など、意見を交換している。

図5にあるグラフは新規陽性者数の推移を書いたものだが、それに対し、上部に私たちが行った1,000ケース以上のシミュレーションが書いてある。世の中の感染の状況は日々刻々と変わる。適切なときに適切な情報を出さない限り、メディアは取り上げないし、国民にも届かない。だから、感染状況に合わせて必要な情報を出すことにこだわった。例えば、最初に結果を出した2020年6月は、ちょうど日本で初めての緊急事態宣言が明け、通勤が復活するタイミングだったため、オフィスでのパーティションや通勤電車の中の窓開けの効果を出した。マスクに関する結果は、4月のWHOの感染防止にあまり効かないというような話を懐疑的にとらえ、効果があることを示すために出した。8月末には学校のシミュレーションの結果を出した。学校は換気がよくないため窓開けは必須なので、暑くなったり、寒くなったりせずに最低限の換気を実現するためには、どういう窓開け



■ 図5.

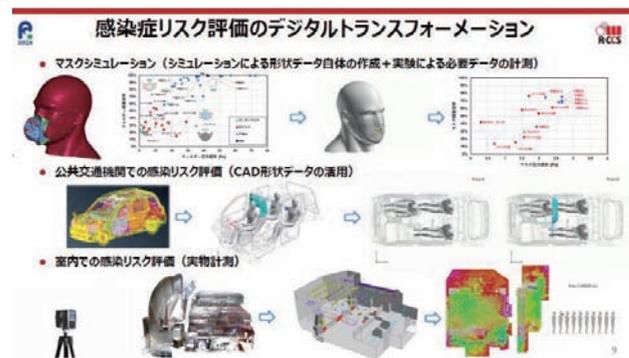


の仕方がいいのか。他に音楽活動、合唱のリスクに関する結果を出した。夏休みが明け、世の中で学校を再開しようという8月に合わせた学校中心のデータである。11月はウレタンマスク、カラオケボックス、居酒屋のシミュレーションを出した。若者への感染が東京都で急激に増えていた時だったためだ。若者に対する啓発、若信号という意味合いがあった。10月にはGo Toトラベルで人々が動き出したときに、どういうところが不安になるかを考え、飛行機やタクシーの中に関する結果を出した。

情報は必要なタイミングで、必要なものを必要なだけ出さないと役に立たない。そうでないと、人は聞いてくれない。これは研究として大変なことである。1つの結果を出すのに半年、1年かけるが、この活動の中では、波が収まった1〜2か月後にどんな研究が世の中に求められるかを、コアメンバーたちが議論して次に出すものを決め、1〜2週間の中で結果をまとめて出している。まさに非常に速いソフトウェアと、膨大な計算資源を提供している「富岳」がないと、到底できなかった話である。1ケースだけを取り上げ、こんな計算は「富岳」を使わなくてもできると言われることもあるが、必要な情報を必要なタイミングで出すためには、これだけの大きな計算資源が必要であったと声を大にして言いたい。

これを可能にしたのは、感染症リスク評価のデジタルトランスフォーメーションにある。私たちが行ったシミュレーション（図6）は大きく3つに分けられるが、一番簡単なのは、図の中段のもので、例えば、タクシーの窓開けやパーティションの効果を調べたシミュレーション。産学連携で、産業界で役に立つソフトウェアをずっとつくっていたから、一番左のCADデータさえあれば計算はすぐにできる。むしろ難しいのは上段のマスクシミュレーションや下段の室内感染リスク評価だった。「富岳」を使っても、マスクの繊維の1個1個まで全部とってシミュレーションしていると、1つのマスクの計算をするのに半年から1年かかってしまう。半年・1年かけてマスクの結果を1枚出しても、世の中の人誰も聞いてくれない。これを速くするために、計算、シミュレーションが得意なところと実験が得意なところをきれいに分けた。今日、壇上に座られている豊橋技科大の飯田先生は実験を得意とし、日本中のマスクの素材、フィルターがどれぐらい空気抵抗を持っているのか、どれぐらいの飛沫をどれぐらい透過するのかを計測した。これを境界条件としてシミュレーションをした。シミュレーションが得意とするのは、顔に着けたときに隙間からどれぐらい漏れるのか。実験でも

可能ではあるが誤差が多くなってしまふ。逆に、素材の性能を押さえるところは実験に任せる。これをシミュレーションでも、コストと時間がかかり無駄である。そのデータを使い、シミュレーションの得意なところだけをシミュレーションして、どれぐらいのサイズの飛沫がどれぐらい漏れるのかを導き出した。これはまさにデジタルトランスフォーメーションである。私たちが最終的に出したのは、マスクを顔に着けたときに飛沫はどれぐらい漏れるのかということだった。フィルターの性能がよすぎると、負の効果として空気が通りにくくなり、隙間から全部空気が漏れていってしまう。私たちはシミュレーションで結果を出し、フィルターの性能だけで議論するのではなく、適度なものを隙間なく着けるのが大事だと発信し続けた。



■ 図6.

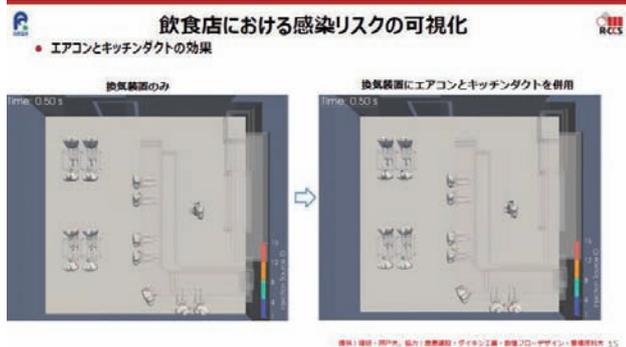
室内での感染リスク評価も難しかった。クラスター事例が起こるような部屋は、シミュレーションしようと思っても往々にして形状デジタルデータがないからだ。そこで、業者と鍵先生とで現場の3Dスキャンデータをとった。計算モデルをつくり、空気のシミュレーションをして、飛沫のシミュレーションをする。この一連の操作を高速にできるようにデジタル化したところが、1,000を超えるケースに対応できた一つのカギになった。

非常に多くのメディア、それも、日本だけではなく、アメリカ、カナダ、イギリス、オーストラリア、ブラジル、台湾などの国で取り上げていただけたことで、私たちのシミュレーションは自己満足で終わらなくて済んだ。私たちの出したものと世の中が必要としたものが、うまくつながった一つの例だと思う。

人が1人立ち、大声で英語の1から10まで数えている例をとってシミュレーションしてみよう。粒子だけを計算しているのなら負荷はかからないと言われるが、空気の流れも、

それに乗った飛沫の流れも、飛びながら飛沫が蒸発していく空気の乾燥・湿潤度合もすべて出す。そうすることで、感染者の距離に対し、大声の場合と通常の会話の場合で、15分でどれぐらいの飛沫が到達するかをシミュレーション上で計測して、距離に応じた感染リスクを出せるわけである。いま新しい株が出てきているが、疫学的なデータや、ある程度の仮説を入れれば、株が変わったときに距離に応じた感染リスクがどれぐらい変わるのか、今まで15分でオーケーだったものが本当に15分でいいのか、感染力が2倍になったら時間はどうすべきなのかが出てくる。

これをさらに大きなスケールにすると、部屋全体の感染リスクを評価できる。図7は政策側として内閣官房などに出しているデータである。天井にある空気換気のみと、さらにエアコンとキッチンダクトを動かしたときの室内の飛沫の飛び方を比較している。換気装置だけの部屋は、空気があまり混ざらずによどんでしまう。エアコンとキッチンダクトをつけた部屋は、空気が混ざって部屋中に飛沫がばらまかれる。感覚的には、ばらまかれた部屋のほうがリスクが高そうだと思うが、どの人からどれだけの飛沫が到達したのかをシミュレーションで定量的に評価すると、どちらの部屋が危険か一目瞭然で分かる。感染者が1人、この部屋にいたと想定するが、その感染者がどこに座っているか分からないのがポイントである。

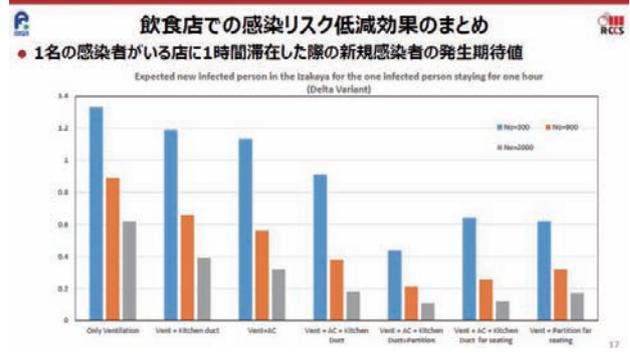


■ 図7.

この感染マップは、縦軸が感染者の座っている番号、横軸が周りの人にどれだけうつすのかを表しているもので、赤ほど危険、青ほど安全となっている。キッチンダクトやエアコンをつけないときは、感染リスクはテーブルの上や周りの人だけに限定される。テーブルの上のリスクは高いが、隣のテーブルにはほとんどうつらない。ところが、右のようにエアコンとキッチンダクトを動かすとリスクが分散する。

一見すると、右のほうが危険な気がする。実際、感染者がエアコンの風上にいたときは、風下のリスクは非常に高まるが、部屋全体で見る必要がある。部屋全体で感染リスクを平均的に評価すると、実は感染リスクが半分になっているのだ。こういう評価ができるのが、まさにシミュレーションの強みである。

図8の感染力の強さは色の違いで示しており、青が低い。左から換気だけ、換気にキッチンダクトをつけたとき、換気にエアコンをつけたとき、エアコンもキッチンダクトもつけたとき、パーティションをつけたとき、など7ケースを想定し、いろいろな対策でリスクがどれぐらい下がるかが一目で分かるようにした。感染リスクがパーティションをつけると3分の1になる、というこのような結果があれば、政策として少々コストを払ってもパーティションをつけたほうがいいのか、それともエアコンをつけたほうがいいのかが見えてくる。まさにシミュレーションの強みである。



■ 図8.

現在は、部屋だけではなく体の中に入った飛沫が、どこでどう増殖していくのか、飛沫が発生するときにどの場所から発生して、そこにウイルスがどれぐらい含まれているのか、を実験・計算の両面から研究を進め、より精度の高い感染症の予測と対策に貢献できるシミュレーションの統合的なフレームワークを開発しているところである。

※本記事は、2021年11月30日開催の第53回世界情報社会・電気通信日のつどい記念式典での講演をリライトしたものです。(責任編集：日本ITU協会)

講演のビデオは<https://www.youtube.com/watch?v=hjOd7QWZKY> (1:08:00近辺～) でご覧いただくことができます。(期限付き)