

技術動向レポート

# 都市の動きを丸ごと予測できるか？ データとシミュレーションの活用

サイエンスソリューション部  
課長 小坂部 和也

## 1. はじめに

本稿の執筆は COVID-19の緊急事態宣言解除後の2020年6月に行ったが、毎日の感染者数だけでなく、主要駅周辺の人出が、感染拡大前や緊急事態宣言前と比較して、どの程度増えた、あるいは減ったという報道を見ることが増えた。このような報道で示された元のデータは主に通信会社が保有するものであり、利用者の通信と位置情報を紐づけて、個人の特特定がされないよう、統計分析されている。現在はカーナビだけでなく、徒歩や自転車の移動にも、スマートフォンの地図アプリを使う人が増えている。多くの人が、地図アプリ、あるいは位置情報を使って、便利さを享受する機会が増えたと言えよう。これは、多くのデータが通信会社に蓄積されるとともに、異なるデータが相互に関連づけられていることの裏返しでもある。では、2020年12月の主要駅周辺の人出を予想できるか。これは非常に難しい問いである。そもそも国内、海外ともに感染者の今後の増減が予想しにくい上に、その時、あるいは直前の気候の状態、景況、政治判断、渡航者の制限の有無、そして程度や、例えばリモートワークの浸透度合い等、様々な要因が複雑に関連する。この関連が定性的、定量的に説明できるようなモデルができれば、将来的に予測ができるかもしれない。

多くのデータを用いて予測を行う代表的なも

のは、天気予報であろう。各地で観測された過去のものも含めた大量のデータに加えて、物理モデルも併せて予測が行われる。様々な理論式を基に、天気に関する現象を把握するための物理モデルが考案され、その物理モデルとデータを組み合わせることで、予測の精度の向上が図られている。当然だが、日本各地の天気を予測する際に、同じ土地や天気の状態をそのまま作ることはできない。そのため、コンピュータの中で仮想的に土地や天気の状態を設定するとともに、様々な物理モデルを組込むことで、未来の状態、天気を予測している。気象分野ではこれまで長きに渡って研究開発や検証が行われ、予測に関わる主要な物理現象の要素が定性的、定量的に関連づけられ、結果として物理モデルとして構築、更新されるとともに、大量のデータと組み合わせることで予測に用いられているのである。本稿では、物理モデルを使ってコンピュータの中で行う科学の実験を、物理シミュレーションと呼ぶ。ここでは物理シミュレーションの適用例として気象を挙げたが、自動車、航空、船舶、電機、産業機械、建設、エネルギー、製薬等、非常に多くの分野で、製品、設計、生産等の用途に物理シミュレーションが活用されている。

本稿では、国土交通省による「データ」に関連する最近の取り組みと、そのデータと「物理シミュレーション」を組み合わせることでインフラや都市の設計や維持管理の高度化を目指す一例に

ついて紹介したい。

## 2. データを活用した国土交通分野の デジタルツインの実現に向けて —国土交通データプラットフォーム—

冒頭で、位置情報について簡単に触れたが、多くの位置情報を保有している国土交通省による「データ」に関連する最近の取り組みについてまず紹介する。いわゆる公共工事と聞くと、大きな実際の建造物、例えばダムや道路、橋などを思い浮かべて、デジタルとは離れた印象を持つ人も多いだろうが、近年デジタル化に大きく舵を切っている。その代表的な取り組みの一つが、国土交通データプラットフォームである。国土交通省においては、位置情報を含めた多種多様なデータを連携して、施策の高度化や産学官連携によるイノベーションの創出を目指す試みとして、国土交通データプラットフォームの整備計画を2019年5月に策定し、プラットフォームの構築を進めてきた<sup>(1)</sup>。

この計画では、国土交通省が多く保有するデータと民間等のデータを連携し、フィジカル(現実)空間の事象をサイバー空間に再現するデジタルツインにより、業務の効率化やスマートシティ等の国土交通省の施策の高度化、産学官連携によるイノベーションの創出を目指すことを目的としている。国土交通データプラットフォームの将来の機能として、以下の3つが挙げられている。

### ・3次元データ視覚化機能

国土地理院の3次元地形データをベースに、3次元地図上に点群データ等の建造物の3次元データや地盤の情報を表示する。

### ・データハブ機能

国土交通分野の多種多様な産学官のデータをAPI (Application Programming Interface)<sup>(2)</sup>

で連携し、同一インターフェースで横断的に検索、ダウンロード可能にする。

### ・情報発信機能

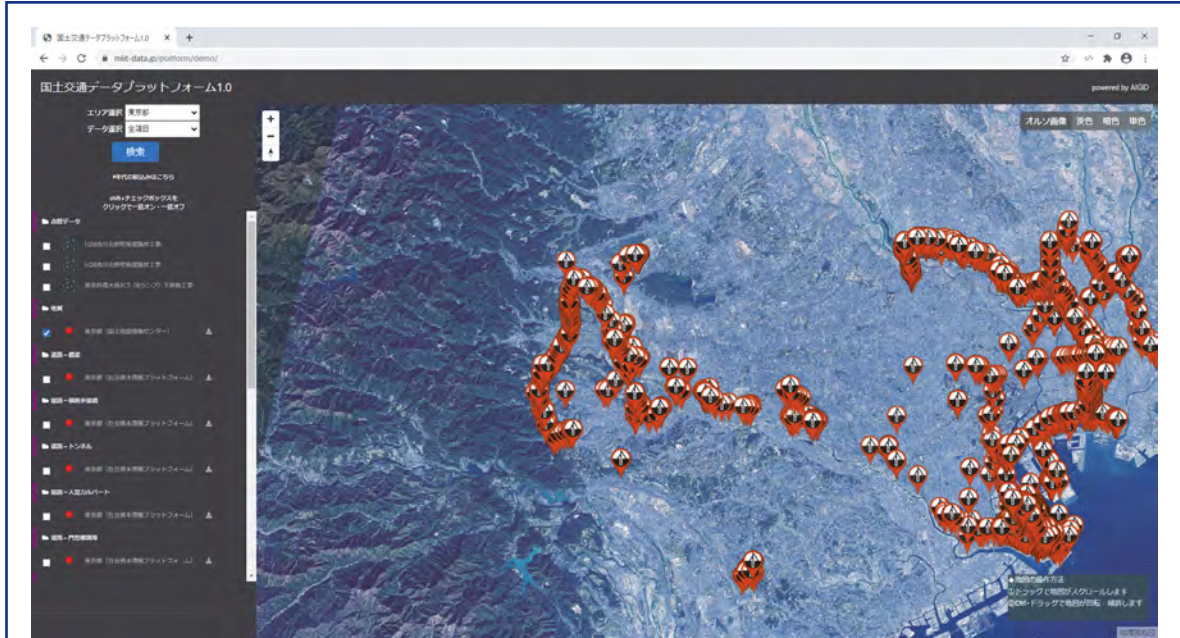
国土交通データプラットフォームのデータを活用してシミュレーション等を行った事例をケーススタディとして登録・閲覧可能にする。

国土交通省資料<sup>(1)</sup>より引用

国土交通データプラットフォームで扱うデータは、地図・地形、気象、交通(人流)、施設・構造物、エネルギー、防災等多岐に渡り、活用が想定される分野としては、MR技術、自動運転、防災シミュレーション、観光・レジャー、バリアフリー、維持管理、スマートシティ等が挙げられる。国土交通データプラットフォームは、その中で全てのデータを保有するのではなく、各種のデータベースをAPIで連携、ダウンロードできるような仕組みが検討されている。

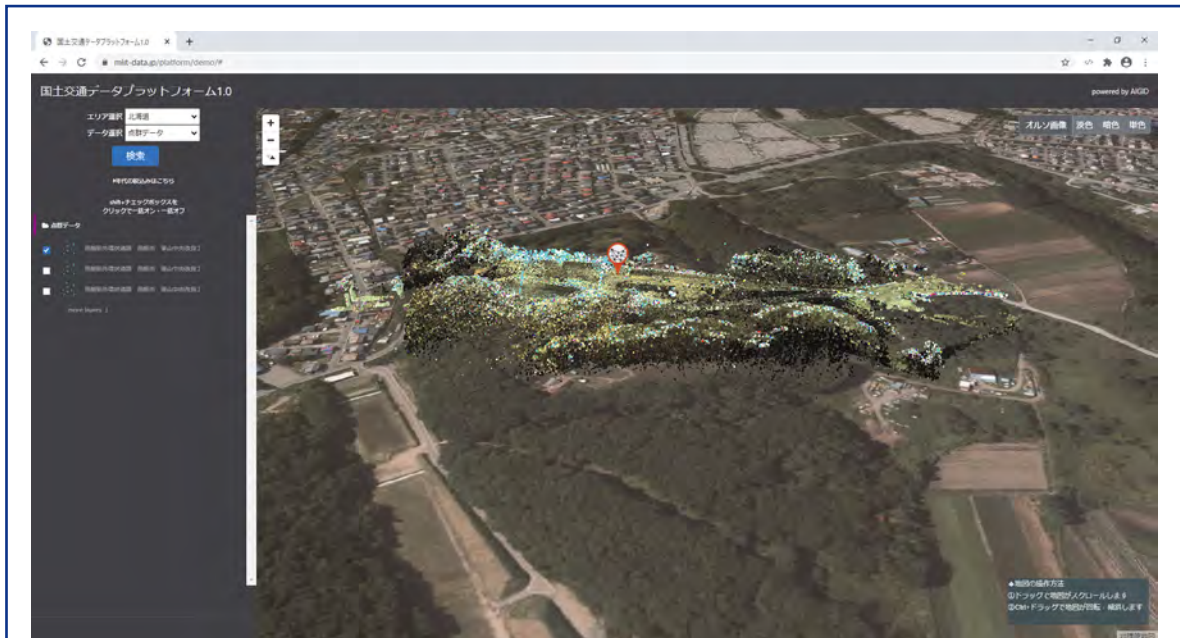
2020年4月には「国土交通データプラットフォーム1.0」が一般公開された<sup>(3)(4)</sup>。Webブラウザにより誰でも無料でアクセスすることができる。画面の例を図表1に示す。画面右側に地図が表示され、画面左側でどのデータを地図と併せて表示させるかをユーザーが選択できる。図表2の例は点群データを3次元的に可視化したものである。このように、データをWebブラウザ上で地図情報と併せて可視化するだけでなく、ダウンロード等の操作を行うことができる。現在利用できるデータは、国や地方自治体が保有する橋梁やトンネル等の社会インフラ施設の諸元データや、全国のボーリングデータ等計22万件である。このように、国土交通省が保有するデータ、具体的には位置情報とデータの内容を組み合わせることで、地図上に可視化することで、利用者にわかりやすく見せるだけでなく、その後にダウンロードなど、利用できるよう整備が進められている。

図表1 国土交通データプラットフォーム v1.0の画面の例 東京都の地質データ



(資料) 国土交通データプラットフォーム v1.0 をもとにみずほ情報総研作成

図表2 国土交通データプラットフォーム v1.0の画面の例 点群データの三次元表示



(資料) 国土交通データプラットフォーム v1.0 をもとにみずほ情報総研作成

国土交通省は、まず今年度末には国土に関するデータを連携したプラットフォームの構築を目指し、2022年度末には国土、経済、自然現象等に関するデータを連携した統合的なプラットフォームの構築を目指している。さらに、次のような出口戦略を掲げている。

- ・ i-Construction<sup>(5)</sup>によるスマートインフラ管理を加速するため、地形・地盤情報、インフラ台帳(2次元・紙)等を使って、インフラ全体の3次元モデルを作成するためのデータ連携の技術を開発
- ・ 共通中間データ(Common-Modeling-Data)を介して様々なデータを統合的に活用し、ニーズに合致したモデルを構築
- ・ 次世代スパコンによる解析やAIの活用により、自動施工、地震倒壊解析、老朽化予測アセットマネジメント等に活用(オープンイノベーション)

国土交通省資料<sup>(4)</sup>より引用

単に地図上でデータを可視化して、ダウンロードだけではなく、そのデータを活用することが今後のターゲットとされていることがわかる。また、「様々なデータの連携」、「インフラ全体の3次元モデルの作成」、「ニーズに合致したモデルの構築」の技術を確立して、物理シミュレーション等に繋げることが重要であると言える。

この国土交通データプラットフォームの取り組みについて着目したい点が2点ある。まず、現状では国土交通データプラットフォームを通じて、「データ」の提供を行う準備の段階であるが、将来的にはデータの利用に留まらずに地震シミュレーションのような「物理シミュレーション」との組み合わせを視野に入れて、インフラや都市の設計、施工、維持管理の高度化を目指している点である。もう1点は、日本全国、あ

るいはある都市丸ごとに対して一括でデータ整備を行おうとしている点である。冒頭で述べたように、大量のデータが整備され、物理モデルの構築や検証が進められれば、天気予報のように、将来の予測への活用が可能な分野も出てくるだろう。

### 3. シミュレーションにおけるデジタルデータの活用

#### (1)シミュレーションの発展の歴史

① シミュレーションの萌芽期—原子力・航空—  
前節では国土交通データプラットフォームの概要を紹介するとともに、国土交通データプラットフォームを活用した効率的、効果的な物理シミュレーションが今後のスコープに含まれていることを述べたが、本節では物理シミュレーションについてその歴史や用途、データとの関係について簡単に紹介したい。

物理シミュレーションはすでに建設業において主に設計業務にはなくてはならないものになっている。その歴史を振り返ると、原子力や航空分野を中心に技術開発が行われてきた。安全上重要な構造物を設計しようとする際に、本来は本番と同等のものを事前に準備して、安全上留意すべき点を洗い出した上でその知見を本番の設計に反映させたい。しかし、当然だが原子力発電所を実際に運転させるものと別に同等のもの建設したり、実物大の航空機を落下させたりすることは現実的ではない。そのため、物理シミュレーションを行い、相応の余裕を見込んで設計を行う必要がある。このような経緯から、原子力、航空分野での物理シミュレーションの活用が進んだ。

② シミュレーションの発展と活用—自動車—  
以降、特に自動車に代表される製造業において物理シミュレーションの利用が拡大した。そ

の理由は2つ挙げられる。まず、原子力発電所や航空機ほど大きくなく、複雑なものでなければ、量産前に試作品を作って試験を行い、物理シミュレーションとの比較ができる点である。加えて、元々物理シミュレーションはコンピュータを使って行われてきたが、設計が紙の図面からコンピュータのソフトに置き換わり、形状や寸法のデータをコンピュータ上でそのまま物理シミュレーションへ取り込みやすくなった。

製品の大きさに着目すると、実物大のものを作って例えば破壊させるような試験ができるぎりぎりの大きさの製品が車だと言われている。しかし、量産の前に多くの数の車を試作して、それらの衝突試験を繰り返しても、コストが高くなるばかりである。そのため、物理シミュレーションの結果と数少ない実験で得られた計測結果の比較を通じて、物理シミュレーションの適用性、妥当性を確認し、その後はシミュレーションのみで様々な評価を行うプロセスが取られている。車のテレビコマーシャルでは、少し前は衝突安全、燃費性能をアピールするものが多かった。最近のものではCASE<sup>(6)</sup>をアピールするものが多いが、衝突安全、燃費性能は完成車メーカーの設計において永遠の課題と言えるだろう。硬くて重い車にすれば、一般的に衝突時に壊れにくいですが、一方で燃費が悪くなる。逆に、軽い車にすれば燃費性能はよくなるが、衝突時の安全は保ちにくい。実は、車のある一部を相対的に変形しやすくすると、衝突時の運転席の衝撃が比較的小さくできる。ではどのような材料、形状の組み合わせにすれば、軽くて安全な車になるか、実験と膨大な数の物理シミュレーションを活用した取り組みが、日々行われている。

## (2)製造業におけるデジタルデータの活用と建設業との比較

### ① デジタルデータと物理シミュレーション

冒頭のデータの話から物理シミュレーションの話に移ったが、ここで両者の関係を述べたいと思う。物理シミュレーションを行うには、様々なデータが必要である。例えば製造業における物理シミュレーションの場合、対象がどのような形をしているか、どの程度の大きさか(形状、寸法のデータ)、硬いのか柔らかいのか、熱を通しやすいのか通しにくいのか(材料特性のデータ)、1つのものなのか、複数のものが組み合わさっているか(アセンブリのデータ)、複数のものが組み合わさっている場合は接しているのか、離れているのか(相互作用のデータ)、対象のものが止まっているのか、動いているのか(境界条件のデータ)、どのような状態を想定するか(時刻歴のデータ)等が挙げられる。また、同じような物理シミュレーションを行う場合でも、使用するソフトウェアが異なれば、同じデータを入力しようとしても、その設定方法が異なる。

自動車、航空、船舶、電機、産業機械、建設、エネルギー、製薬等の分野において、流体、構造、伝熱、電磁気、化学、分子等の様々な物理シミュレーションが行われているが、どのような物理シミュレーションでも必要となるデータはほぼ似たようなもので、物理シミュレーションの技術開発が始まった当初から変わらない。しかし、近年はコンピュータの性能が向上したことや、複雑な物理現象を解くことができるソフトウェアが増えたことにより、大規模なシミュレーション、すなわち広い領域を対象としたものや、細かい領域を高い解像度で評価する要求が高まっている。さらに、たくさんのシミュレーションを短時間で行って、様々な因子の影響を分析することも増えており、物理シミュレーションの入力データを多数作成する→実行する→結

果データの分析をする、という一連の流れを、速やかに繰り返し行う必要がある。

## ② データのシームレスな利用

### —プラットフォームの発展—

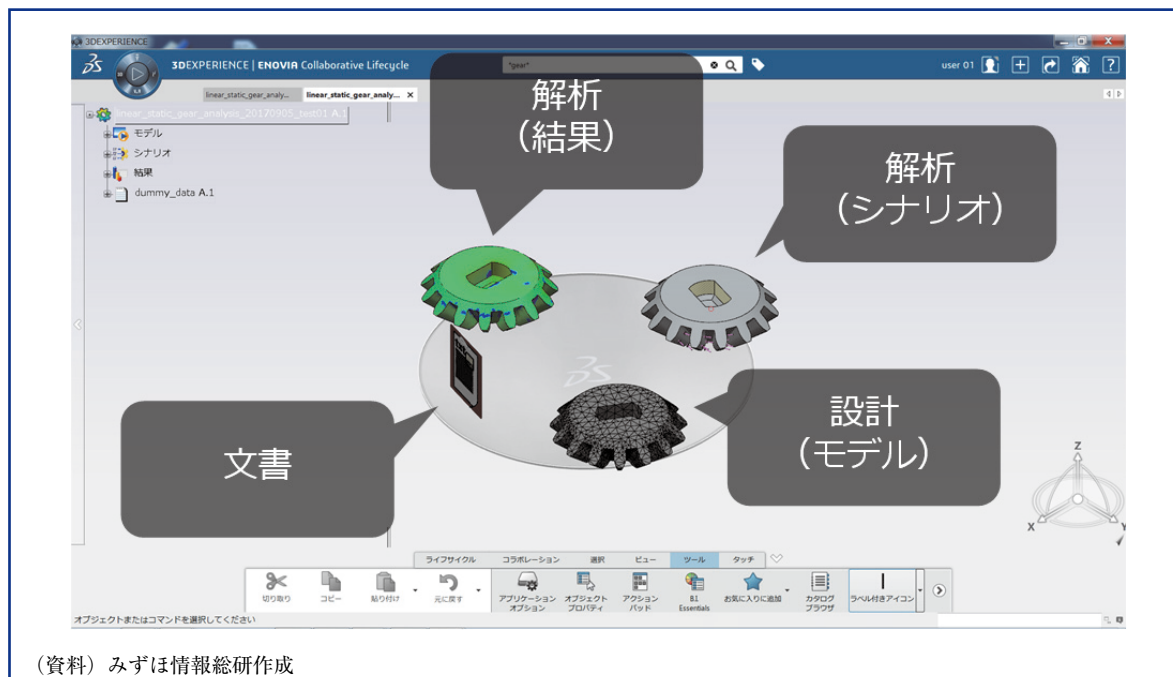
これまで、設計にはその専用のソフト、同様に物理シミュレーションにはその専用のソフトが個別に使われてきた。また、多くの会社では設計と物理シミュレーションを行う部署は別々、またそれぞれ専門性が必要なため担当者も別々であることが多かった。しかし、全体の作業効率が向上しない等の課題が発生したため、例えば設計のソフトに、設計者も使える簡単な物理シミュレーション機能が実装されたり、物理シミュレーションのソフトに、様々な形式の形状ファイルを読み込める機能が実装されたりしてきた。しかし、このような方法でも効果は限定的であり、近年は設計、物理シミュレーションだけでなく、部品表等のデータを一括管理して、同一のプラットフォーム上で扱うとい

う流れが出てきている。例えば、画面の例を図表3に示す、ダッソー・システムズによる製品ライフサイクル管理のためのプラットフォーム 3DEXPERIENCE<sup>(7)</sup>が代表的なものである。設計者が扱う CAD データ、物理シミュレーションに関するデータ、またその他の文書のデータ等を紐づけて管理できるため、様々な役割の人が、それぞれの用途に応じて、作業過程に間違いが出ないように、容易にデータを利用することができる。世界的に、特に製造業においてこのようなプラットフォームの導入が進んでいる。

## ③ 製造業と建設業の比較

これらの動きは製造業だけではなく、建設業も同様であるが、データの扱いはやや異なると言える。簡単に対比したものを図表4に示す。製造業では特に、自社での設計に関するデータは競合他社との差別化を図る上でも重要であり、厳重に管理されている。また、新しい製品の製造では、生産技術の観点からも、これまでの主

図表3 3DEXPERIENCE の画面の例



図表4 製造業・建設業における設計時のデータ活用の違い

	製造業	建設業
データの所在	自社内で管理されているデータを主に使う。	自社だけではなく、国・自治体が保有している多数のデータも適宜使う。
設計対象	過去の製品と類似したものか、発展させたものが多い。	過去と類似したものがあるが、異なることが多い。
ソフト・プラットフォームへの要求	自社内でデータを保存して、繰り返し使えるようにする。	用途に応じて、国・自治体へのデータを検索、取得して、統合して利用する。

(資料) みずほ情報総研作成

力製品から全く異なる製品は製造しにくい。そのため、主力製品を効率よく新しい製品へ適用することが求められる。このような背景から、既存のデータを効率よく変換して、それを試行することが必要となり、それに応じたデータ管理とプラットフォームの活用が必須である。一方、建設業では、国や自治体が多くデータを保有しており、民間会社はそれらを参照する。また、製造業よりも都度現場に応じたものを設計することになる。そのため、設計対象に応じて、適切なデータを外部から入手して、自ら使うソフトで使えるようにプラットフォーム上でデータを変換、統合する必要がある。加えて、その後の物理シミュレーションを考えると、製造業と建設業では対象、現象、スケール等が異なる。データ、プラットフォームをさらに活用していくという全体の流れは製造業と建設業で同じであるが、使われるソフトやユーザーの作業レベルで言えば発展の方向性は異なると言えるだろう。

#### 4. 都市の動きを丸ごと予測するために

##### (1) 都市丸ごとを対象とした既往の研究開発の例

###### ① 国内の事例

製造業における物理シミュレーションの歴史を簡単に紹介するとともに、国土交通省による最近の取り組み、製造業と建設業のデータ活用の特徴等を述べた。また、国土交通データプラットフォームを通じたデータの活用と地震シミュレーションに代表される物理シミュレーションの組み合わせ活用が期待されていることは先に述べた通りであるが、まず国内での都市丸ごとを対象とした既往の研究開発事例について紹介したい。

建設業の構造物の設計において、考慮すべき外的要因の代表的なものが地震であり、地震を対象とするシミュレーションは古くから研究が行われてきている。地震の発生を起点とした構造物の揺れに着目すると、まず地震の発生から地殻への揺れの伝搬、地表面付近での揺れの増幅、構造物そのものの揺れに大きく分けられる。この一連の過程により構造物の地震災害の評価が可能であるが、各過程を対象としたシミュレーション技術は様々開発されており、一部は構造

物の設計にも活用されている。一方で、これらの各過程を繋ぐツールとして、堀ら<sup>(8)</sup>は各過程をシミュレーションするモジュールの機能、モジュール間を繋げるカーネルの機能、シミュレーション用に形状データやボーリングデータを変換する機能等を整備して、統合地震シミュレータ IES (Integrated Earthquake Simulator) として各機能を統合した。解析対象領域を8.0km×7.5km、253,405棟の構造物、つまり都市丸ごとを対象に、KiK-net<sup>(9)</sup>にて工学的基盤層で観測された波形100波を使って、富岳の前身のスーパーコンピュータである京で構造物の揺れに関するシミュレーションを行った。シミュレーションに要した時間は4,088秒であり、設計や評価に利用するという観点では十分に短い時間と言える。この重要な成果は、地盤のデータ、構造物のデータ、地震波形のデータ等、異種、多数のデータを扱うとともに、都市丸ごとを対象とした大規模な物理シミュレーションを短時間で行った点である。一方で、課題を挙げるとすると、当時は誰でもこのようなデータを作って、シミュレーションを行えるわけではなかった。また、これは地震の発生から構造物の揺れに着目した大規模な物理シミュレーションの事例であるが、地形や建物に関する様々なデータを同様に扱うという観点では、地震以外のシミュレーションへの展開の余地があると言え、風水害、津波、避難のシミュレーションへの活用が進められている。

## ② 海外の事例

次に海外の動向として、代表的な事例を2つ紹介したい。1つは前述のダッソー・システムズによるバーチャル・シンガポールである。2015年のプレスリリースで、シンガポール国立研究財団とバーチャル・シンガポールを共同開発すると発表した<sup>(10)</sup>。仮想空間上でシンガポール全

体の形状のデータを登録して、現実と似た空間をコンピュータの中で構築した。単にそのまま作るのではなく、これから行う予定のビルの建設や、バスのダイヤを変更のシミュレーションを行い、どのような計画が適切かをわかりやすく検討することができる。また、携帯電話の基地局と協力して様々なデータを連携させることで、市民へのサービス向上に繋げることも今後の狙いの1つだと言われている。米国の事例では、カリフォルニア大学バークレー校の Soga ら<sup>(11)</sup>は、コンピュータの中で構築した都市を対象に、主に災害時の人の避難のシミュレーションに関する研究を行っている。これらは一部であるが、従来の建設業に関わる業種だけではなく、主に製造業で実績のあるソフトウェアベンダーや、GPUを主要製品としている NVIDIA のようなハードウェアベンダーも参画していることが興味深い。

このように、都市全体のデータを管理したり、そのデータを使って物理シミュレーションをしたりする狙いは、全世界的な流れであり、今後も加速すると考えられる。しかしながら、データ管理に重点が置かれたり、成果が一部の物理シミュレーションのみであったり、まだ研究レベルであり、産業利用がまだ進んでいない等、今後まだまだ発展が期待される技術である。

## (2) データとシミュレーションを繋ぐ新たな取り組み 都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合

「都市の動きを丸ごと予測できるか」という問いに対しては、先に紹介した都市レベルの地震シミュレーションやデータ管理に代表されるように、様々な研究開発がなされているが、正直「一部はできる部分があるが、まだできないことが多い」と言わざるを得ないだろう。しかし、データと物理シミュレーションを併せて活用す



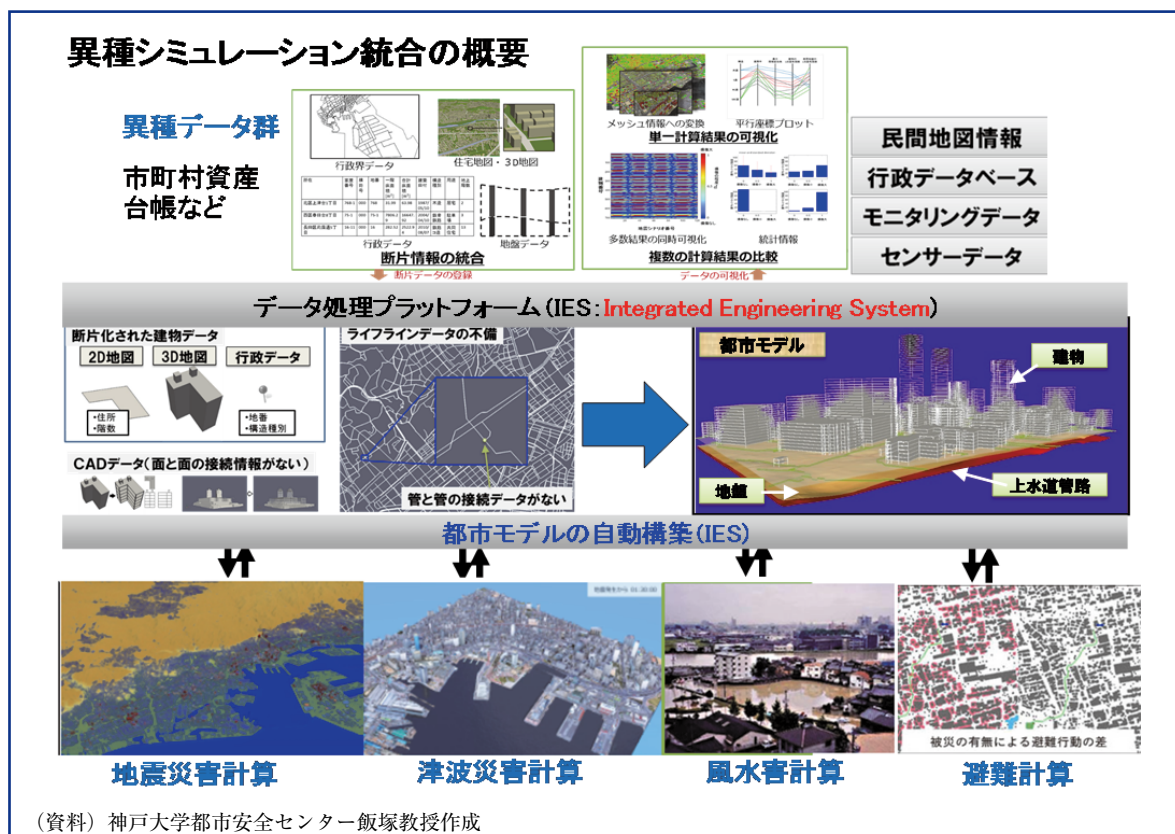
ること、様々な業種のメンバーの協力がその実現に向けた重要な一歩であると言えよう。

先の統合地震シミュレータである IES 等の社会実装、産業利用を通じ、我が国の技術レベルや競争力の向上の可能性、必要性を踏まえ、神戸大学飯塚教授らは数年の構想を経て2019年に「都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合」（以下、技術研究組合）を立ち上げた。2020年6月時点で、大学、国研、ゼネコン、建設コンサル、ソフトウェア等様々な業種から3個人、14社、3団体が参画している。

技術研究組合の構想を図表5に示す。堀らが提案、整備した IES を略称はそのままとし、さらに大きな枠組みとして新しい IES（統合エンジニアリングシステム、Integrated Engineering System）の構築と社会実装を目指し、地震のシ

ミュレーションに留まらず、津波、風水害、避難シミュレーションを統合するだけでなく、国土交通データプラットフォームとの接続により、維持管理や積算に資するデータ連携、利活用も見据えている。前節で述べたように、一つ一つの物理現象をシミュレーションするソフトは民、学を中心に開発が進められており、また自社のためのデータ管理用にも汎用のソフトが展開されている。しかしながら、ユーザーが自分の用途に応じて多種多様なデータを検索して、取得できること、また取得したデータをユーザーの用途に応じて変換、統合して活用するための仕組み作り、さらにはそれらを実行できる人材育成についてはまだ発展の余地があり、技術研究組合としてはこれらの課題解決が特に重要と考えている。これまでは限られた専門家だけが長

図表5 都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合の構想



い時間をかけてデータを統合してようやく1ケースの地震のシミュレーションを行うことができたのだが、データ変換、統合の技術開発や人材育成を進めることができれば、相応の経験を積んだ担当者ならば短時間でデータを作成し、多数の地震シミュレーションに留まらず、その他の物理シミュレーション、データ分析が可能となる。

国土交通データプラットフォームについては今後さらなる開発が進められ、APIを通じて様々なデータやソフトを繋ぐことにより、ユーザーが多くのメリットを享受できるようになるだろう。技術研究組合は東京大学 i-Construction システム学寄付講座、理化学研究所他と協力をしながら研究を進めるとともに<sup>(12)</sup>、データとシミュレーションを融合させた技術開発、社会実装を目指している。

## 5. おわりに

国土交通データプラットフォームはその構想の発表から1年でv1.0が公開され、誰もがアクセスでき、多くのデータを入手できるようになった。また、2020年6月に、理化学研究所が開発主体として開発・整備を進めているスーパーコンピュータ「富岳」が、世界のスーパーコンピュータに関するランキングで、その性能の高さで第1位を獲得した。このように、プラットフォームやハードウェアの整備が急速に進んでいる中で、今後は民間各社や研究機関において各種のデータ・物理シミュレーションのソフト等と、国土交通データプラットフォームとの接続が行われると考えられる。全体の整備されるまでにまだ数年要すると考えられるものの、データ統合に関する技術開発や人材育成を進めることにより、都市丸ごとの予測を行える未来が近くやってくるはずである。

## 注

- (1) [https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08\\_hh\\_000592.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000592.html)
- (2) あるサービスの機能や管理するデータ等を他のサービスやアプリケーションから呼び出して利用するための接続仕様等(国土交通省資料による)。
- (3) [https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08\\_hh\\_000687.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000687.html)
- (4) <https://www.mlit-data.jp/platform/>
- (5) ICTの全面的な活用(ICT 土工)等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、もっと魅力ある建設現場を目指す取組(国土交通省 HP による)。
- (6) Connected (コネクティッド)、Autonomous/Automated (自動化)、Shared (シェアリング)、Electric (電動化)の略。自動車の代表的な次世代技術、サービス。
- (7) 3DEXPERIENCE は、ダッソー・システムズ(Dassault Systemes)もしくはダッソー・システムズの子会社の米国およびその他の国における登録商標です。
- (8) 藤田, 市村, 堀, M. L. L. Wijerathne, 田中, “多数の地震シナリオに対する高分解能な都市震災想定のための HPC による基礎検討”, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.69, No.2 (応用力学論文集 Vol.16), I\_415-I\_424, 2013.
- (9) 防災科学技術研究所強震観測網(K-NET, KiK-net) <https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- (10) <https://www.3ds.com/ja/press-releases/single/dassault-systemes-and-national-research-foundation-collaborate-to-develop-the-virtual-singapore-pla/>
- (11) Soga K, Casey G, Kumar K and Zhao B (2018) Briefing: High-performance computing for city-scale modelling and simulations. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Smart Infrastructure and Construction 170 (4): 80.85, <https://doi.org/10.1680/jsmic.17.00026>
- (12) 全, 小坂部, 田嶋, 亀田, 大谷, 堀, “インフラデータプラットフォームでのデータ連携効率化のための基礎的研究”, 第2回「i-Construction の推進に関するシンポジウム」, 2020.