

# 超高速シミュレーションの 必要性と実現技術

株式会社グローバルセキュリティー

CTO 竹之上典昭

CEO 松山 隆



## はじめに

現代の地球は、温暖化現象による海面水位の上昇、群発地震の発生、津波、台風などの異常気象、人口の増加、少子化高齢化社会への対応などの課題が山積し、これらの問題に対する取り組みとして、2015年に「持続可能な開発目標：SDGs」が国連持続可能な開発サミットにて採択され、各国にはそれに向けた取り組みが求められている。

この17目標はその一つ一つが社会的にも技術的にも大きな課題を抱えており、それらの課題は相互に関係している。わが国においても、外務省から日本政府の取組<sup>1)</sup>が八つの優先課題<sup>2)</sup>とともに示されている。その中でも「健康・長寿の達成」「地域活性化」「科学技術イノベーション」「省・再生可能エネルギー、気候変動対策」などの対策は、社会科学的・科学技術的にも未だ不明確な部分も多く実施前の検証を必要としている。

これらの課題を実行する前に、その有様を検証できれば安心して実行する可能性が高くなる。本稿では、これらの課題を解決する可能性のある自動運転技術などを超高速にシミュレーションできる技術に着目し、その現状と可能性について紹介する。

第1回では、これらの技術の趨勢から小さなコンピュータで超高速処理するシミュレーションエンジンまでを紹介し、第2回～第6回ではこのシミュレーションエンジンの適用事例として、住民の生活環境と交通流を扱う都市計画シミュレーション、ドローンの群制御シミュレーション、津波災害の避難民シミュレーション、火山の噴石シミュレーションについてその細部を紹介する。最後にこれらのシミュレーションを総合的に扱うことができる高度なシミュレーションについてその将来像（夢）を述べることにする。

## 社会が模索する新たな安心。 安全な社会の創造

安心と安全については、一般的に同義語のように扱われているが、言葉の定義はまったく真逆である。安心とは個人の「主観的判断」に大きく依存するものであり、安全は「許容できないリスクがないこと」と定義され、社会との関わりを前提とした客観的な行動様式である。よって安心・安全な社会とは、安全な状態を目指した不断の努力によって、リスクを社会の受容レベルにまで極小化することで安全を担保しつつ、リスクを極小化した状態を維持できる社会であり、かつリスクが顕在化しても、その影響を部分的に止め、機能し続けられる社会を指

す。この理解こそが、安心・安全な社会を実現させるための発露となる。

社会におけるリスク要因を、事前に把握することは非常に難しい。しかしながら事前想定によるシミュレーションで発生したインシデントを解析し、シミュレーションを通じて対応策を見つけ出すことは、リスクの事前把握よりは相当簡単で、かつ短時間で対応が可能である。言葉を選ぶ必要があるが、実空間でさまざまな生のインシデントを発生させることは、社会的にも道義的にも、あってはならないことである。

しかしながらシミュレーション上でさまざまなインシデントを発生させ、対応策を練ることに異論を唱える人が、果たして何人いるのだろうか。翻ってシミュレーションの活用こそが、リスクの事前把握と対処を可能にする、最も有効な手段といえる。

例えば自動車の衝突安全性の向上に関しては、自動車の衝突という単一事象に絞ったものであるが、過去自動車メーカーは新車開発において、30台以上の車両を準備、その衝突実証実験からデータを解析し、設計にフィードバックする手法を用いていた。そのため衝突用の車両、データ解析など、おびただしい時間とコストが、新車開発のネックになっていた。ところが2000年以降、ワークステーションによる衝突解析シミュレーションの手法が確立し、衝突はワークステーション上での事象となった。ただし、実証実験も許認可の上で必須項目であるが、実際に実験に供される車両は数台である。

この事例は、読者の方々に広く知られていることであるが、このシミュレーションにおいて、時間、環境、ドライバーの心理などを網羅することは可能なのだろうか。答えは、自動車を衝突させるという事象に、時間、環境、心理などの事象を加えることが可能なシミュレータ（複雑系シミュレータ）に置き換えなければ、総合的かつ一元的なシミュレーションは不可能である。

## 快適な都市空間の機能と 周辺地域との快適性を支える モビリティの世界

近年、MaaS (Mobility as a Service) という言葉を耳にすることも多くなってきた。特に広域な観光地における交通体系への展開は、さまざまな業態の思惑も絡んで百花繚乱の勢いである。しかしながら MaaS の掛け声は、快適な都市空間の機能にどう絡んでいるのであろうか、また周辺地域との快適性の共有にどれほど貢献しているのか、甚だ疑問であるといわざるを得ない。

なぜ疑問なのか。それは MaaS の概念、到達点は、すでに快適性を担保された都市空間機能への集約がほとんどで、今まさにモビリティが必要とされている地域、例えば山間隘路の地域、過疎地、買い物難民、免許証返納の高齢者などなどへの取り組みは、誠に希薄である。山間隘路の地域に都市空間のような交通体系を持ち込むことは不可能であり、まずもって意味がない。山間地域にはその場に根ざした時間テーブルがあるが、そこに住む住民への移動手段の確保は、彼らの生活、人生を支えるために、国家として、行政として、絶対に避けては通れない重要課題である。よって地域で使うバスがあれば良いとか、行政からバス会社に補助するなどでは、彼らが納得し、希望を見出す移動手段とはなり得ない。

そこに対象となる住民を巻き込み、その地域に根付いたアイデアと機能を実現することが必要であり、総合的にこれらのアイデアを網羅できるシミュレータを活用する以外に、直近での解決手段はないのではないかと思料する。そしてこのシミュレータは、トータルのコストが算出でき、このコストが、住民の生活、人生を支えるコストとして、対象者、参加者全員が納得できる見積りを可能とするものでなければならぬし、またその機能が求められている。

## 超高速シミュレーションを支える技術とは

超高速なシミュレーションを行おうとする場合、一般的にはスーパーコンピュータ（以降、スパコン）が第一の候補として上がってくる。それは超高速なCPUを多数使用する超並列処理の技術である。スパコンを構成する技術は高速なメモリと大量のCPU群を結合するための高速通信LSIが必要である。

スパコンの中で2020年の世界のトップ性能を保持しているのは、理化学研究所、九州大学、株式会社フィクスターズ、富士通株式会社による共同研究グループが所有している「富嶽」<sup>3)</sup>である。

富嶽は理化学研究所の研究成果<sup>4)</sup>によれば、

- 新型コロナウイルス関連タンパク質に対するフラグメント分子軌道計算
- スーパーコンピュータとデータ同化による天気予報の高精度化・高速化への挑戦
- 新型コロナウイルスの治療薬候補の探索と同定に貢献
- 飛沫やエアロゾルの飛散の様子を可視化し有効な感染対策を提案

などがあり素晴らしい成果をあげている。しかしながら、これらのシミュレーションは微小（マイクロ）な分子レベルの計算や微小区間の膨大な計算を実施するものに限られている。現代社会が抱えている人々の生活空間で発生する事象を複合してシミュレーションするには、マイクロ計算の積み上げだけではなく、もっと多様な論理の複合化が望まれている。

例えば、**図1**のようなわれわれが生活する社会を考えてみよう。人々は都市の中であるいは郊外で居住しているが、決して一人で生活できるわけではない。食事をしたり、学校や職場へ通ったり、人と人の関わりの中で生きている。

前章でも述べたように、安心・安全な社会を構築するためには**図1**のような人々、車両、鉄道など多種多様なものが行動するプロセスをモ



図1 われわれが生きている複雑な社会

デル化し、シミュレーションすることが必要である。

より現実的な問題のための処理としてはSIGMA-1のようなデータフローコンピュータ<sup>5)</sup>が知られており、データフローモデルを実装することで、マイクロ計算から時間スケールのより長い事象やもっと長いマクロ計算のモデルまでも、多重化させることが可能になる。このデータフローモデルをより進化した形をもっていったものをストリームコンピューティング<sup>6)</sup>と呼んでいる。

シミュレーションの世界でも、同様の計算モデルが期待されている。このような技術を有するシミュレータにより初めて現代社会が必要とする安心・安全な都市設計やその中核をなすモビリティ社会のシミュレーションが可能になる。

**図2**のノード ( $t_0$ )、ノード ( $t_1$ )、ノード ( $t_2$ ) は、それぞれの処理時間が  $t_0$ 、 $t_1$ 、 $t_2$  で周期的に処理されるノードを示しており、ノード ( $t_0$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ ) は三つの異なる周期の処理が複合した処理が行われることを示している。一般の社会現象ではこのような事象は多く存在するが、データフローコンピュータ以外では、**図2**のような状況をそのまま処理することは困難であ

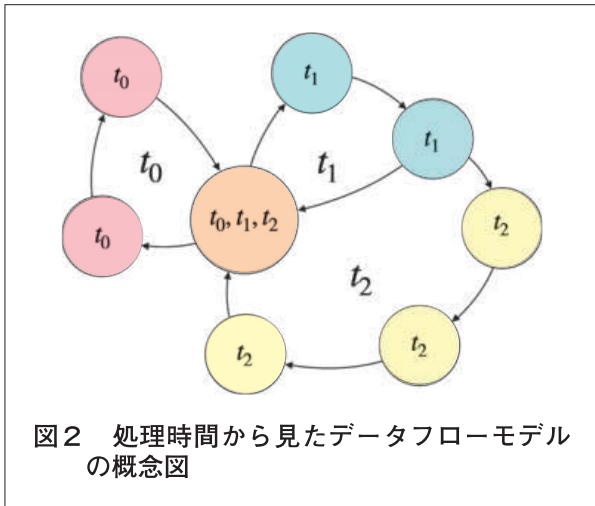


図2 処理時間から見たデータフローモデルの概念図

る。通常は、三つの時間の中で最も短い時間間隔のものに統制されて処理することになる。それでは、無駄な多くの計算をコンピュータは行っていることになる。

では、富嶽はこのような計算はできないのであろうか。富嶽のハードウェア構成上はこのような計算を行うことは可能であると考えられるが、そのソフトウェアの構成上そのままの実行はかなり難しいものとなるであろう。図2のモデルをそのままプログラムし、実行できる方式があれば無駄な計算を省き適切な処理が可能になる。実はこのような処理を実際に実行できる処理方式が提案され<sup>7)</sup>、すでに稼働している。

次章ではその技術を核として複雑系シミュレーションを簡単に構築できる技術について述べていくこととする。

**複雑な複合事象を円滑かつスピーディに処理するシミュレーションエンジン**

複雑系のシミュレーションをスパコン以外で、軽易に行うことができるものが出現している。表1はその一例である。

この表の「刻み時間」の項目で、Single、Double、Multiの3種類があるが、多くのものはSingleつまり単一時間の刻みで計算処理することを意味している。二つ以上の時間刻みをもつものは、ダッソー・システムズとグローバルセキュリティーのものだけである。

複雑系シミュレーションの基本は、図2のようなデータフローモデルを簡単に構築でき、かつ正確に実行できる時間管理機構が必要であるが、そのためには刻み時間を同時に複数もてるのが望ましい。

このように行動基準が多様で評価法も異なるシミュレーションを実施するためには、大きな課題があった。それは、これらの複雑な事象のシミュレーションを行うためには、行動のプロ

表1 代表的な高速シミュレーター一覧表 (各社のHPから筆者が作成)

	会社	基盤	シミュレーター	刻み時間	分野	Hardware
1	Opal-RT Technologies Inc.	RT-LAB	MATLAB/SimulinkR	single	・ Automotive ・ MotorHILLS	PC
2	PTV Group	PTV	PTV Visum PTV Vissim PTV Viswalk	single	・ Mobility ・ Logistics	PC Cloud
3	cognata	ROS : Robotic Operating System	MATLAB/SimulinkR	single	・ Automotive	PC Cloud
4	Epic Games	Unreal Engine 4		single	・ Automotive ・ Transportation ・ 避難民	PC
5	ダッソー・システムズ (Dassault-systemès)	3DEXPERIENCE	Abaqus XFlow, PowerFlow CST, Simpack, Wave6	Single Double	・ 構造 ・ 流体、電磁気 ・ マルチボディ ・ 音響	PC Cloud
6	グローバルセキュリティー (Global Security Inc.)	SCS : Simulation for Complex Systems	・ LSS : LandScape Simulator ・ Bolcanic Simulator ・ GeoAnalyzer	Multi	・ Mobility ・ Traffic Accident ・ 避難民、噴石飛散 ・ Road Construction ・ 電波解析	PC

セスをモデル化する必要があるということだ。

例えば簡単なモデルとして、後に示す図4のようにタクシーと人がある町の中で行動する場合を考えてみよう。タクシーの行動を正確にシミュレートしようとする100ミリ秒単位で計算する必要があるが、人は1秒単位の計算で十分かもしれない。そして、人がタクシーに乗って移動したり、自ら歩いたりするプロセスは、図2のデータフローモデルであれば簡単にモデル化できる。つまり時間周期が異なり、かつある時刻では同期し、というような複雑なデータフローを処理する機構が必要になってくる。

現実世界では、このような事象は淀みなく流れる時間の中で個別の事象として生起している。しかし、一度これをコンピュータにのせ計算させようとするとき大変大きな問題となってくる。そのための条件は、

- 個別に異なる事象を並行的に処理できる
- 処理時間が異なるプロセスの同期が、必要な場所で実施できること

である。スパコンはこのような多様な時間プロセス処理をミニマムな時間処理に正規化し、有り余るハードウェア資源で処理している。もし、多様な時間プロセス処理を多様なまま処理できれば、その計算資源を大きく削減することができる。

この問題を解決する技術が「階層化タイムホイール：HTW (Hierarchical Time Wheel)」<sup>7)</sup>であり、図3はその構造を示している。

HTWは現実の時間の流れをシミュレータ中の仮想空間に実装し、個々の処理イベントを蓄えて、複数のイベントを時間の流れの中で並行にまたは順序正しく起動し処理を継続させる機能を有している。HTWはこの時間管理の歯車を処理するシミュレーションの内容に応じて自由に組み替えることもできる。これにより、シミュレーションの負荷をさらに低減することも可能になっている。

図4は人が徒歩で移動した後にタクシーで移動し、また歩きだす様子をイベント処理の観点で図示している。徒歩のオレンジの点線の間は

人を歩かせるイベントが1秒間隔で発生し、Event Tag (人)としてHTWに登録されていく。タクシーに乗車すると人の処理は止まり、タクシーを走らせるイベントが100ミリ秒単位で発生し、Event Tag (タクシー)としてHTWに登録されていく。

下車すると、人はまた歩くイベント Event Tag (人)を発生しはじめる。タクシーは人を乗せている間だけでなく、その前後も移動しているためEvent Tag (タクシー)は発生し続けている。このようにHTWは複数の異なるイベントを同時に受け付けスムーズに処理することができる。この様子は図2の  $t_0$ 、 $t_1$ の異なる時間ループを実現していることが分かる。

図4のようなモデルでは、人とタクシーが多数発生し歩行や走行するようになると100ミリ秒と1秒のEvent Tagが錯綜して登録されることになる。この時点でこれらのEvent Tagを時刻通りに発生させるためには、イベントの並びが完全に時刻通りになっている必要があるが、錯綜した状況の中ではEvent Tagの発生はランダムとなる。

HTWでは、このランダムに発生した多数イベントをまったく並べ替えることなく登録できる<sup>7)</sup>ことが大きな特徴である。もしこれがHTWではなく、イベントキューであればその

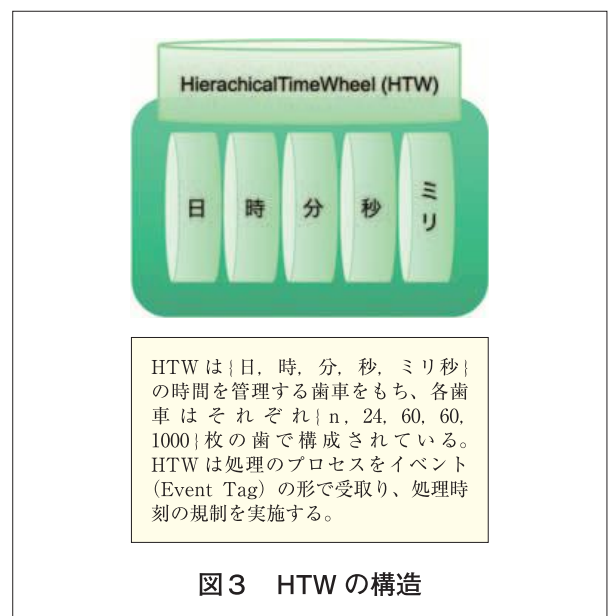


図3 HTWの構造

キューの中は常に Event Tag の並べ替えの処理が走り膨大な処理時間が必要となる。

この優れた機能を実装し提供しているのが、グローバルセキュリティー社の複雑系シミュレーション基盤 (SCS: Simulation for Complex Systems) である。SCS は図 3 に示した HTW の他に、図 5 に示すような 3 次元空間を移動する移動体の機能を保持したクラス、その移動体の座標と方位を与え、2D、3D の大きさを与えるクラスなどが事前に用意されている。特に移動体相互の位置関係を短時間で検索できる空間情報のインフラとして Base Box が存在しており、この種の処理で多大な時間を要する検索処理を短時間で高速に処理できる機能を併せもっている。またシミュレーション結果を見やすく 3D 表示する機能も有している。

このようなクラス群に支えられた SCS を用いたシミュレーションは、基本機能の利用と派生クラスの作成で容易にシミュレータを開発できる。また HTW を有することで同時多数発生するコンカレント (並列処理) 事象を個別のイベントとして組込み処理する<sup>8)</sup> ことができる。つまり、並列事象をスムーズに扱うためのシミュレーション OS のように動作する。それゆえ、並列事象のシミュレーション特有の処理の複雑性 (並行処理と逐次処理の調整) を簡潔に記述し、シミュレータを開発することができる。

\* \*

本稿で紹介する複雑系シミュレーション基盤

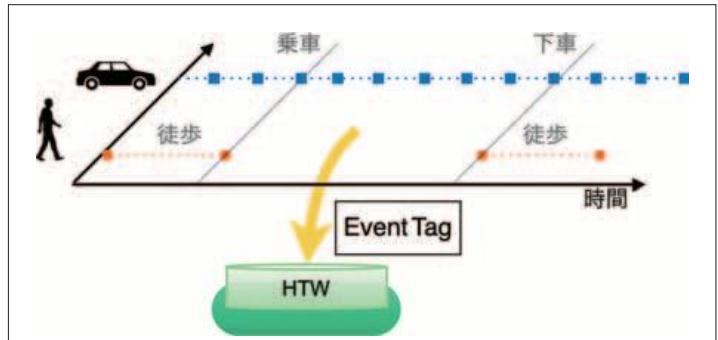


図 4 人がタクシーに乗車し目的地に到着する様子のイベントと HTW の関係



図 5 SCS を構成する基本機能クラス群

SCS とその基盤を活用したシミュレータは、従来、大きなコンピュータでしか扱えなかった問題を小さなコンピュータで扱うことができる画期的な技術である。その詳細な説明は文献「時間テーブルの異なる事象を包含する複雑系シミュレーションの時間管理方式」<sup>7)</sup> および「都市・車両・鉄道・道路網を総合的に扱える多層マルチエージェントシミュレータについて」<sup>8)</sup> に譲るが、次回からの具体的なシミュレーション例でその高速性と実力を紹介させていただきたい。

引用文献

- 1) 外務省, “JAPAN SDGs Action Platform 日本政府の取組,” [オンライン]. Available: <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/effort/index.html>. [アクセス日: 24 5 2021].
- 2) SDGs 推進本部, “日本 持続可能な開発目標 (SDGs) 実施指針,” 22 12 2016. [オンライン]. Available: <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/000252818.pdf>. [アクセス日: 24 5 2021].
- 3) E. Strohmaier, J. Dongarra, H. Simon, H. Meuer, “HIGHLIGHTS - NOVEMBER 2020,” 11 2020. [オンライン]. Available: <https://www.top500.org/lists/top500/2020/11/highs/>. [アクセス日: 8 5 2021].
- 4) 理化学研究所, “研究成果ピックアップ,” [オンライン]. Available: <https://www.r-ccs.riken.jp/research/highlights/>. [アクセス日: 8 5 2021].
- 5) 平木敬, “SIGMA-1 : データフロースーパーコンピュータ,” 情報処理学会, 2002.
- 6) 竹之上典昭, “ストリームコンピューティング,” 防衛技術ジャーナル, 2018.
- 7) 竹之上典昭, “時間テーブルの異なる事象を包含する複雑系シミュレーションの時間管理方式,” 防衛大学校, 2011.
- 8) 竹之上典昭, 蛇島伸吾, “都市・車両・鉄道・道路網を総合的に扱える多層マルチエージェントシミュレータについて,” 情報処理学会第83回全国大会, 2021.