

2.2 総合防災

災害予測を科学的知見に基づきシステム化

1. 課題概略

大量のシナリオに基づき、直接被害から間接被害までの備えを作る

社会的課題	計算科学からの貢献
科学的根拠にもとづいた幅のある被害想定	1000を超える多様な地震シナリオに対する大規模シミュレーションにもとづく災害予測
地震発生直後の被害状況の予測の迅速化	1シナリオ数時間以内
社会実装	最先端のスパコン計算から実務レベルへの下方展開
複合災害の予測	様々な物理法則に従うマルチフィジックスシミュレーション
被害リスクの評価	被害評価手法を標準化して社会で共有
間接的な被害の評価	計算科学と数理経済学を結ぶマルチエージェントシミュレーションへ

2. 従来からの質的变化

従来	将来
地震発生、地震波伝播、津波伝播、地盤・都市の振動、津波遡上などで個別の閉じたサイエンス	<ul style="list-style-type: none">地震発生から津波遡上までの連成シミュレーションの実現により、質の異なる様々なビッグデータを統合的知見として集約「固体・流体の連成解析手法」を発展させ、複合災害の予測と減災対策への利用と普及を目指したマルチフィジックスシミュレーション

地震・津波(固体地球)科学分野 白書改定について

- 課題の概略
 - 流れを修正
 - 下方展開を最後に
 - なぜ1000以上のシナリオか？
 - 計算機要求内容との対応
 - 避難シミュレーションや初動対応についての記述の追加
 - マルチエージェントシミュレーション応用の具体例
 - 電力流通復旧作業
- サイエンスの質的变化
 - 分野をまたいだ研究

地震・津波(固体地球)科学分野 白書改定について

- コミュニティからの意見
 - 学会特別セッションの議論を追加
 - 全体の方向性については反対はない
 - 本当のニーズに応えるあり方、オンデマンドの方向性
- 計算機要求
 - 連携シミュレーションの中身の精査
 - 高メモリバンド幅FSでの成果の反映
 - マルチエージェントシミュレーション関係の補足
 - 性能が出ない原因やHPCの必要性等

流れ

以上のような地震発生シナリオから被害想定に至る一連のシミュレーションは、日本にとって重要なものである。その一方で、極端に言えば自然の中の複雑な人間活動を丸ごと計算機で追跡するようなもので大変困難なものであるから、その時代の最先端の **HPC** 上で、継続的に解析手法・モデルを高度化しつつ開発を行なうべきである。それと同時に、**5 年**、**10 年**単位での **HPC** の高速化に応じて、一時代前に最先端 **HPC** 上で開発したシミュレーションツールを、個別の地域を対象とした、研究機関や大学での研究レベルや実務レベルへと、順次下方展開していくことも重要である。これによって、国レベルでの想定業務はもとより、各地方自治体や企業レベルでの想定業務が、継続的に高度化され、信頼性を高めていく流れができる。そのためには、継続的に最先端の **HPC**、それに続く研究レベルや実務レベルの **HPC** を開発・製造することが必要になる。これはすなわち最新の計算科学に基づいた最良の被害評価手法を標準化したものとして社会で共有し、減災に結びつけることであり、この課題の社会的意義でもある。

1000以上のシナリオ

被害想定においては、**2011 年東日本大震災**が突き付けた「想定外」の轍を踏まないためにも、人間の先入観を排除し、観測されるデータと物理モデルから予測される多様なシナリオに対して、その結果、どのような被害が生じうるかを考慮することが不可欠である。地震のシナリオを考えるにあたっては、地震の発生過程を左右する震源域の上限・下限・セグメント境界の位置・破壊開始点・仮定する摩擦則をそれぞれ 4～5 通り考慮するだけでも、その組み合わせは **1,000 を超える**。そのような多数の地震シナリオを想定し、将来起こりうる被害の多様性を見据えて防災・減災対策を進めなければならない。これは現在の高々数例の地震シナリオの

避難シミュレーション

的な法則にもとづく構造物と都市のシミュレーションが不可欠である。具体的には、震源からの弾性波動伝播、地盤と構造物の震動、津波の伝播と遡上などのシミュレーションである。さらに、揺れや遡上を受けて、どのような経路で避難するのがよいか、また避難誘導を効果的に行うには誘導する人がどこにどれだけ必要かといったことのため、避難シミュレーションも必要となる。

また、地震発生から津波遡上に至る一連のシミュレーションは、地震発生前の減災対策資する災害予測としてだけでなく、地震直後の初動対応のための災害予測としても重要である。地震直後は、特に広域災害で、かつ夜間などの場合、被害状況を推定することは困難を極める。そのような状況において、数時間以内に、発生した地震や津波のデータと、一連のシミュレーションをもとに災害予測を行うことができれば、被害状況の推定にとって有益な情報が得られると期待される。

復旧過程への応用

済活動の低下と被害の復旧の進捗による経済活動の回復を解析できる、間接被害のシミュレーション手法の開発も重要な課題といえる。たとえば、電力流通復旧過程において、どれだけの人数の作業員と指示員が、どこからどういう順番に復旧をしていくのがよいかといったことを分析するためには、避難シミュレーションで使われているのと同じマルチエージェントシミュレーションが応用できる（この場合は作業員がエージェント）。これを、都市や地域の経済の回復と関連させることが、間接被害のシミュレーション手法開発の第一歩となるだろう。

コミュニティからの意見

また、平成25年5月20日に行われた地球惑星科学連合同大会の特別セッション（ハイパフォーマンスコンピューティングが拓く固体地球科学の未来）においては、工学分野からの意見として、災害予測や被害想定をシミュレーションベースで行う方向性について全面的に賛成する一方で、本当のニーズをいかにとらえて、それに応えるものにしていくかの重要性が指摘された。ニーズに応えるといっても、受け手からの一方的な要求に応えるのではなく、災害予測や被害想定の実力に見合った範囲で、かつ受け手が満足できるところのコンセンサスを作ること、そのためには「ご意見伺い」ではなく、ユーザーを取り込み、分野を超えた共同研究が必要になる。また、これからの方向性として、オンデマンド、個人や個々の団体のニーズに合わせた減災に資する情報を、個別に発信していく（web やスマートフォンの活用）ことが複数の講演者から提案された。さらに、地球科学は、真理を探究する認識科学から、観測データとシミュレーションを両輪として問題解決のための予測能力を高める設計科学への質的転換が必要であるとの指摘もなされた。

このように、コミュニティ内外からの意見は、基本的に白書における計画の方向性を支持しつつ、よりよいものにするための意見であったと言える。

4. 必要となる計算資源

課題:	問題規模と計算手法	実効性能 (PFL OPS)	実効メモリバンド幅(PB/s)	実効ネットワーク性能(PB/s)	使用メモリ量(PB)	使用ストレージ量(PB)	計算時間/ケース(hour)	ケース数	総演算量(EFLOP)	備考
防災連携シミュレーション(地震直後の被害状況予測)		7 ~ 16	20 ~ 50	1 ~ 2	2	2	2.91	1000	138000	
	地震発生	境界積分法による地震サイクル計算 計算規模: 面素数 10^6	12	30	2	1.5	0.8	0.35	1	15
	波動伝搬	差分法による弾性波動伝搬計算 計算規模: 1200x1000x200Km (100m格子)	16	20	1	1.2	0.1	0.2	1	12
	地震動増幅	有限要素法による地震波動計算 計算規模: 60億節点	15	50	1	0.1	0.3	1.3	1	70
	建物震動	各種構造物の地震応答解析の集積 計算規模: 構造物100万棟	13	50	1	0.1	0.1	0.66	1	31
	津波遡上	Navier-Stokes方程式複数モデル(静水圧近似, 非静水圧, VOF法)計算 計算規模: 4x4x0.1Kmから1400x1100x10Km (50cmから2Kmの格子)	7	30	2	0.2	1	0.4	1	10
避難誘導シミュレーション	マルチエージェントモデルによる行動シミュレーション	0.1	-	-	0.1	-	1	1000	360	

備考:

- 防災連携シミュレーション
 - 各アプリの要求B/Fは2~5で実効100PFLOPSのため, B/F 0.5では1EFLOPS必要。
 - 1,000シナリオの事前評価計算には, 全系で数ヶ月分の資源が必要
- マルチエージェントシミュレーション
 - エージェントのインテリジェンスによって桁で演算量が変わる
 - 実行効率は0.1%と大雑把に見積もられている。

マルチエージェントシミュレーション関係の補足

一方、避難予測のためのマルチエージェントシミュレーションでは、群衆避難の制御を目標とする場合、リアルタイム以上の速度で **100 万** 程度の群衆が避難する過程を解析できる高速マルチエージェントシミュレーションが必須である。そのためには、現在と同程度のエージェントのインテリジェンス（1 ステップの演算回数が 1 エージェント当たり **1GFlop** 程度）の場合には、メモリが **10-100TB**、1 時間の避難の計算に対して演算回数が **360PFlop** 必要である。現状では、プログラム中で多用している **C++** のテンプレート等の京での整備が遅れているため計算効率が低い（理論性能の **0.1%** 程度）。仮に理論性能が **300PFlops** のマシンで同じ効率（**0.1%**）とすると、実効性能が **0.3PFlops** なので、**1200 秒**（実時間の約 **1/3**）で計算が可能である。ただし、周囲のエージェントのわずかな秒先の動きを予測するアルゴリズムを加えるだけで、1 エージェント当たりの演算回数は **2 桁** 程度高くなる。こうした先読みアルゴリズムは現在開発中であり、次世代でどの程度を想定するかという見通しはまだないが、より現実的なエージェントシミュレーションには、実効性能を上げるとともに、より高い演算性能のマシンが将来的に必要なことは確かである。