

総合防災

全体で 4 ページを超えないようにお願いします。

1. 課題の概略

社会的な課題を明確に書いて下さい。また、それに対する、計算科学からの対応も記述して下さい。この二つが明確に伝わるのが大切です。

分野の内容を全て網羅する必要はありません。大規模な数値シミュレーションがそもそも社会的な課題の解決に繋がるかどうかポイントです。

複数の課題がある場合でも、課題間の接続をお願いします。課題 1,,課題 N という書き方にならないように。

(原文に下線を引いたもの)

南海トラフの巨大地震や首都直下地震等、大地震の備えを不断に行うことは我が国の宿命である。国レベルでの被害想定のために経験式を使う現状から、より合理的科学的な地震災害の想定・予測を行うために、大規模数値計算を使った地震・津波とそれに伴う災害のシミュレーションは切り札となっている。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、予測される地震には大小さまざまな幅があり、その結果、被害にも甚大なものから軽微なものがあることを考慮することが不可欠である。そのため、1,000 を超える多様な地震シナリオを想定し、将来起こりうる被害の幅を見据えて防災・減災対策を進めることは、現在の高々数例の地震シナリオの想定に基づく防災・減災対策とは一線を画す。また、信頼度の高い被害予測のためには、合理的な構造物と都市のシミュレーションが不可欠である。

こ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を、その時代の最先端のスパコン上で、継続的に解析手法・モデルを高度化しつつ開発を行なう。それと同時に、5年、10年単位での HPC の高速化に応じて、一時代前のシミュレーションツールを、研究レベルや現業レベルへと順次下方展開していくことで、社会実装をはかることが重要である。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とともに、継続的に最先端のスパコン、それに続く研究レベル・現業レベルの HPC を開発・製造することが必要になる。

また、東日本大震災での津波による被災過程から明らかになったように、巨大津波がエネルギー・物流の高度に集積された地域を襲う際の被害の波及は、単なる海水の侵入による施設破壊に留まらない。例えば、宮城県気仙沼市では津波の来襲に伴う大規模延

焼火災が発生し、甚大な被害を及ぼした。このように、災害の外力が複合的・連鎖的に被害を拡大させる過程を「**複合災害**」と呼ぶが、その発生メカニズムや被害の波及過程を予測できる技術は未だ発展途上である。この課題の解決には、様々な物理法則に支配される現象を予測する高精度なシミュレーションモデルを高度に連成させたマルチフィジックスシミュレーションを開発する必要がある。そのため、複合災害の予測と減災対策への利用・普及を目的としたマルチフィジックスシミュレーションモデルを開発し、特にエネルギー・物流の集積地となる臨海工業地帯や空港エリアにおける複合被害の想定を見直して被害の拡大を最少化するための対策を誘導するためのシミュレーションシステムを構築する必要がある。

こうしたシステムの構築は、特定の産業への応用というよりは、たとえば防潮堤・防波堤等の海岸施設の粘り強い構造（施設が破壊・倒壊するまでの時間を少しでも長くする、施設が完全に流失した状態である全壊に至る可能性を少しでも減らすと言うような減災効果を目指した構造上の工夫）への要件を明らかにすること、津波に対する建造物の安定性を評価する技術基盤を構築する、沿岸部の津波被害（複合被害）拡大リスクを減少させるための**評価技術を確立**することを目指している。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、減災に結びつけるという点が最大の意義である。

さらに、グローバリゼーションが進む経済活動の発展を考えると、将来の地震災害は、建造物や都市の被害という直接的な被害よりも、この**被害をもたらす都市や地域の経済活動の低下**といった間接的な被害をより深刻なものとするのが指摘されている。したがって、直接被害の推定の信頼度を継続的に向上するシミュレーションの高度化とともに、地震発生直後の経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が重要な課題となる。ミクロ的に復旧過程を分析するためにはマルチエージェントシミュレーションが適しており、これを都市・地域のミクロ経済の回復に関連することが第一歩となる。

このようなマルチエージェントシミュレーションは、計算科学と数理経済学を結ぶ新たな境界領域となることが期待される。これは社会科学的課題につながるものである。

2. サイエンスの質的な変化

ここは計算科学としての夢というか未来を書いて下さい。ただし、読者としては「非専門家」を想定して、わかりやすい言葉で記述して下さい。

「質的な変化」ですから、「A という従来のサイエンス」から「B という新

しいサイエンス」に変化したという記述にして下さい。

(原文に下線を引いたもの)

従来は、地震発生・地震波伝播・津波伝播・地盤や都市の振動・津波遡上といった各現象を独立して扱い、それぞれで閉じたサイエンスとして発達してきた。例えば、地震発生であれば、地震発生に関わる仮説を提案し、それに直接関わる観測データ、すなわち断層運動の結果としての地殻変動や地震波形によって検証することが行われてきた。しかし、東日本大震災をもたらした M9 クラスの地震は、その繰り返し間隔が数百年以上に及ぶため、地震発生に直接関わる観測データはごく稀にしか得られない。一方、地震発生から都市の振動や津波遡上までをつなぐシミュレーションが実現すれば、状況は質的に異なることになる。各現象には、それに応じた観測データが、様々な時期に様々な精度で残されている。例えば、ある1つの地震発生シナリオにもとづいて、津波遡上まで計算すれば、それが数百年前に津波堆積物をもたらした現象と整合するかどうかを、誤差を考慮した上で科学的根拠にもとづいて評価することが可能となる。それを非常に多数のシナリオに対して行えば、それらのシナリオが様々な時空間スケール、そして様々な精度で散在している貴重な観測データに対してどの程度整合しているかを評価できることになる。これは広い意味でのデータ同化であり、これを地震発生から建物の振動や津波遡上に至る過程に対して適用していくことで、質の異なる様々なデータ(情報量の多さとしてビッグデータでもある)を、統合的な知見として集約していくことができ、これまで個々に発展してきたサイエンスが、分野の垣根を越えて総体として発展していく道筋ができると期待される。

また、津波科学分野の場合には、沖合の津波観測情報のリアルタイム処理と波源の推定、リアルタイム浸水予測を含む津波ハザード解析手法の高度化、津波氾濫に伴う土砂移動・地形変化の解析手法の高度化、固体・液体の連成解析手法の確立、避難行動解析を含む人的被害予測手法の高度化などが課題として挙げられる。中でも、津波に強いまちづくりに資する重要なテーマとして、「固体・液体の連成解析手法」の取り組みをさらに発展させ、津波による複合災害の予測と減災対策への利用・普及を目的としたマルチフィジックスシミュレーションモデルを開発することが重要な目標と言える。具体的には、(1)巨大地震津波の近地・遠地の波動場の高精度予測(全球シミュレーション)、(2)構造物の破壊・被害拡大過程のシミュレーション(水位・流速・波力・破壊・漂流物・火災等)、(3)流体・構造物・地盤の相互作用の解明、(4)「粘り強い構造」の性能と設計照査のための予測技術体系、(5)津波防災地域づくりへの貢献、といったテーマに取り組むことで目標を達成する。この目標を達成するために、これまでの各分野で独立に

先鋭化された地震学，計算工学，流体力学，構造工学といった学術分野を専門とする研究者が連携して問題に取り組むようになりつつあり，今後さらに連携が進むはずである。

3. コミュニティからの意見

コミュニティからの意見に関しても、全てをここで取り上げるのではなく、代表的な意見を少数に絞って取り上げて下さい。

結果的には社会的課題を解決するために何が必要かという意見になっているはずです。

(原文に下線を引いたもの)

災害対策の実務においては、シミュレーション技術の発展が社会の問題の具体的解決にどのように役立つのかといった意見がある。具体的には、予測結果はどの程度正確なのか、結果のばらつき・不確実性はどのように考えるのか、災害対応の現場において果たしてそこまで高度な予測結果が必要なのか、といったことである。シミュレーション結果を、例えば、津波強いまちづくりに向けて、どの局面で活用していくかといった課題があり、これらの課題に対しては、研究成果に基づく社会実装を考える上で取り組むべき重要な課題である。これらの疑問への回答を得ることを念頭において、シミュレーション結果の検証やばらつき・不確実性へ考え方も含めて課題に取り組む。なお、ばらつきや不確実性は、現象の本質やデータが不可避免的に不十分であることに起因する面が大きいので、HPC を活用した多数シナリオの導入によってそれらを定量化した上で、実務に関わる人達と一緒に、実務への活かし方を検討することが不可欠である。

4. 計算機要求

計算機要求については、ある程度次のスパコンの規模をにらんで現実的な要求をして下さい。

1つの計算でこのくらい、それを何パターン行なうので総量としてはこれくらいという記述をお願いします。

網羅的にならないように、代表的な計算いくつかに絞って書いて下さい。

(原文に下線を引いたもの)

地震発生から建物の振動，津波遡上に至るまでは，個々のアプリケーションで必要となるのは1シナリオ当たりで，総メモリ数TB～数PB，数100TFlops～数PFlops（実効性能は数～10%程度：ほとんどがメモリバンド幅律速）で0.5～数10時間である。

すべてのアプリケーションを順番に計算するのではなく、オーバラップしながら計算することになるので、全体として数 100TB, 数 PFlops で数 10 時間を占めることになる。シナリオは1つの領域で 1,000 を超える桁で必要となるので、数 100PFlops のマシンを1週間程占有することになる。したがって、日本列島を囲む海域を5領域(千島海溝, 日本海溝, 相模トラフ, 南海トラフ, 琉球海溝)に分けたとして、約1ヶ月の占有で日本列島全域のプレート境界地震を対象とした地震発生から津波遡上までを含めたシナリオ計算ができる。

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。そのための要求性能については調査中である。

参考 (演算性能に関する暫定値, 1シナリオ当たり)

- ・地震発生
 - ・総メモリ : 10TB
 - ・演算性能 : 400TFLOPS で 5 時間
- ・波動伝播
 - ・総メモリ : 60TB
 - ・演算性能 : 1.5PFLOPS で 0.5 時間
- ・建物振動
 - ・総メモリ : 2PB
 - ・演算性能 : 7PFLOPS で 20 時間
- ・津波遡上
 - ・総メモリ : 3TB
 - ・演算性能 : 3PFLOPS で 30 時間