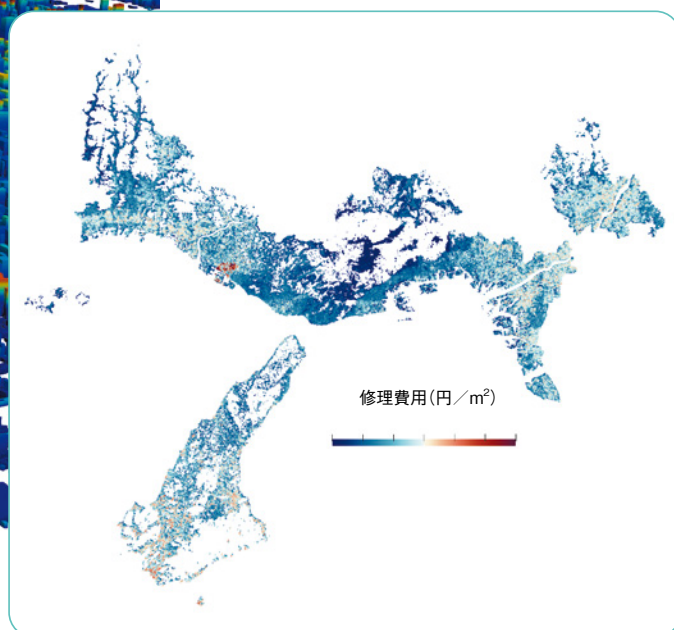
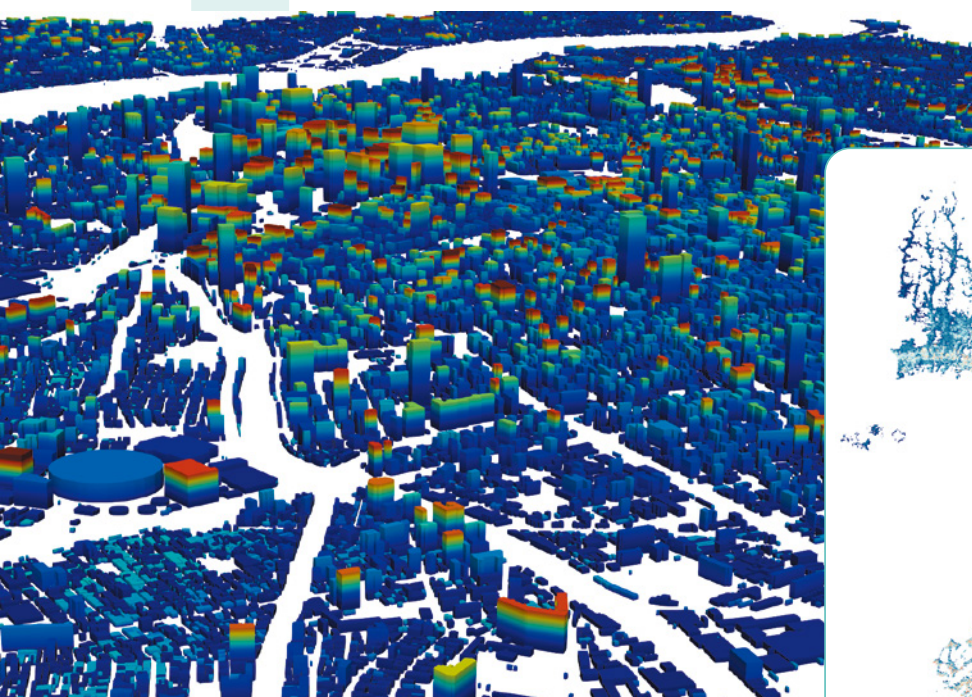
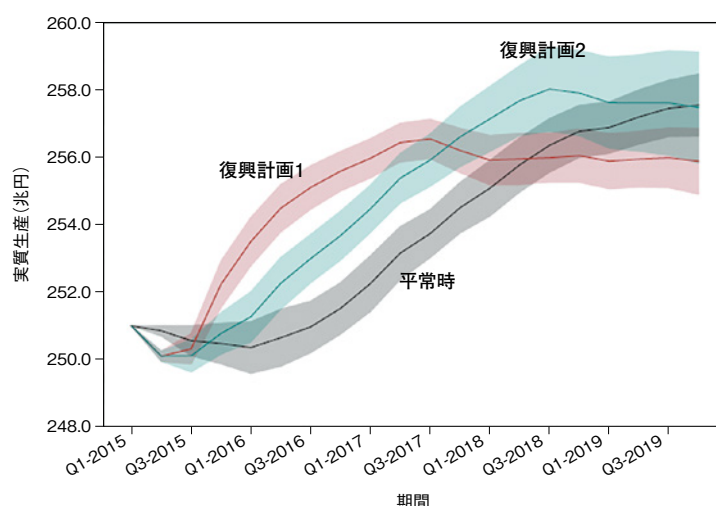




巨 大地震などの災害は経済に深刻な影響を及ぼし、復興には効果的な計画の立案と実行が不可欠である。しかし、復興計画の経済効果を事前に評価するのは非常に難しい。

こうした背景から、計算地球科学研究センターのマッデゲダラ・ラリス准教授は、復興計画の長期的な経済効果を総合的に評価できる災害後経済シミュレーションを開発した。長期の経済的効果の高い復興計画の立案・選択に役立つと期待されている。



特集

災害後経済の 高性能シミュレーション を開発



東京大学地震研究所

災害後経済の 高性能シミュレーションを開発

地震災害シミュレーションの 対象を経済にも拡張

「地震など大規模災害後の経済をシミュレーションするモデルの開発研究に取り組んでいます」。こう語るのはマッデゲダラ・ラリス准教授である。地震研で経済を扱っていることを意外に感じる人がいるかもしれない。「私の専門は地震工学、計算力学、防災工学です。地震による地盤や建物の応答に関する物理シミュレーションの開発研究を行ってきました。地震は地盤や建物などへの物理的な影響だけでなく、経済にも深刻な影響を及ぼします。そのため地震災害シミュレーションの対象を経済にも広げることが重要だと考えているのです」

近い将来に発生が危惧される巨大地震の一つが、南海トラフ地震である。日本の産業の約80%が、南海トラフ地震による強いゆれや津波が予想される地域に集中している。そのため南海トラフ地震による経済損失は非常に大きいと予測され、地震後には長期的な経済発展に有効な復興計画を立案し実行することが不可欠だ。しかしラリス准教授は、「経済現象は複雑なためどの復興計画が最も有効かを評価するのは非常に難しい」と指摘する。「そこで私たちは、復興計画の長期経済効果を総合的に評価できる経済シミュレーションの実現を目指しているのです」

非均質性や複雑な相互依存関係が シミュレーションの障壁

災害後の経済シミュレーションは、すでにいくつか存在する。しかしラリス准教授による

と、標準的な経済モデルを使用している従来のシミュレーションでは、結果が過大または過小になってしまうという。「その原因は、扱わなければならない経済主体の数が多く上に非均質で、また相互依存関係が強く複雑なことにあります。従来のシミュレーションではこれらを考慮していません」とラリス准教授。経済主体とは、家計や企業、政府など経済活動を行う単位を指す。

場所ごとの非均質性と複雑な相互作用により、大地震後の条件はとても複雑になる。例えば製造業において、隣接する工場でも災害による被害の程度は異なり得る。また、十分な資金を持つ企業は設備の修復にすぐ取りかかれるが、資金に余裕のない企業はすぐには着手できない。たとえ設備が修復できても、水道・電気・ガスなどのライフラインが復旧し、さらに労働者が勤務可能な状態にならなければ、生産再開は難しい。生産を再開できるかどうかは、資材の仕入れ先や交通インフラの復旧状況、市場の需要も影響する。さまざまな復興計画のもとでの経済状況を総合的に見積もるためには、こうした異質な条件や相互依存関係を考慮する必要がある。

ラリス准教授によると、経済主体の非均質性や複雑な相互依存関係を正確に表現するには、国の全ての経済主体を含む1:1スケール（実大スケール）でシミュレーションする必要があるという。その場合、経済主体の数は数億になる。一方で、標準的な経済モデルで扱える経済主体は、数千が限界だ。

ラリス准教授らは、その問題をどのように克服

服したのだろうか。「私たちは、数億の経済主体を柔軟に扱うことができるエージェントベース経済モデル（ABEM）を選択しました。ただし、数億の経済主体の複雑で密接な関連を表現するための計算は膨大になります。そこで、エージェントベース経済モデルをハイパフォーマンス・コンピューティング（HPC）で高速に実行するための拡張コードを開発しました。これにより日本経済を1:1スケールでシミュレーションできるようになりました」。そのモデルをHPC強化型エージェントベース経済モデルと呼ぶ。

過去の日本経済を精度良く再現

ラリス准教授は、開発したモデルの妥当性を検証するため、過去の日本経済のシミュレーションを行った。企業は、資材を購入し、労働力を使って商品を生産し、その商品を販売して利益を得て、労働者に賃金を支払い、税金を納める。家庭は、労働者が得た賃金で商品を購入する。銀行は、企業に融資を行う。モデルにはそうした全ての経済活動が含まれており、104の産業分野、184万の国内企業、94万の外国企業、184万の投資家、6000万の労働者、50万の政府機関など、合計1億2700万の経済主体で構成されている。そして2015年のデータを初期値として、2020年まで日本経済の四半期ごとの推移をシミュレーションしたのである。シミュレーションの初期条件の設定には、日本政府が公開している国民経済の統計データと帝国データバンクから提供を受けた140万社の企業データを使用した。

図1 日本経済のシミュレーション結果と観測値の比較

実質生産について、2015年から2020年までの四半期ごとの推移を示す。全国レベル、産業分野レベル、企業レベルの生産データを使用したシミュレーションの結果は、いずれも観測値に近い。企業レベルのデータを使った結果が観測値と最もよく一致しており、使用するデータが詳細であるほど精度が高くなることが分かる。

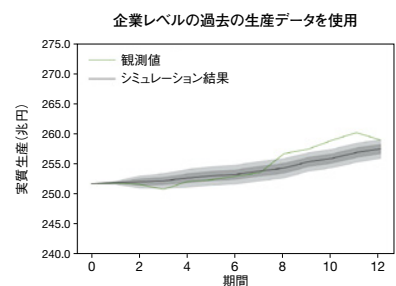
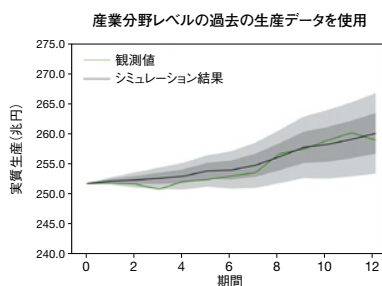
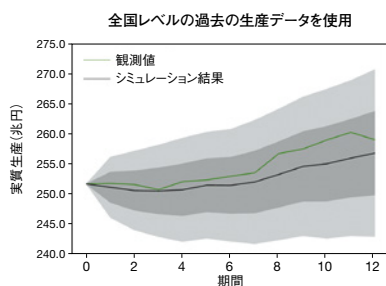


図1は実質生産の推移で、黒がシミュレーション結果、緑が実際の観測値である。初期条件の設定に使用するデータを全国レベル、産業分野レベル、個別企業レベルと変えた3種類のシミュレーションを行った。いずれのシミュレーション結果も、観測値に近い推移を示している。中でも個別企業レベルのデータを使った結果が観測値と最もよく一致しており、使用するデータが詳細であるほど精度が高くなることが分かる。

「多数のシミュレーションを実施し、さまざまな指標に基づいて検証した結果、過去の日本経済を十分な精度で再現できることが確かめられました。この検証を通して、災害後の経済シミュレーションを行う自信を得ることができました」とラリス准教授は語る。

復興計画の長期経済効果を総合的に評価する

ラリス准教授が満を持して取り組んだのは、南海トラフ地震が発生した後の経済シミュレーションである。まず、地震研が開発した物理ベースの災害シミュレーションを用いて、大阪湾周辺の180万棟の建物について被害状況を解析した。その結果をもとに、アメリカの緊急事態管理庁（FEMA）が開発したPACTというツールを用いて、各建物の損失額、修理に必要な費用や時間を算出。そのデータをラリス准教授らが開発したHPC強化型エージェントベース経済モデルに入力し、2つの復興計画のもとでの経済状況の推移をシミュレーションした（図2）。「物理シミュレーションと経済シミュレーションをシームレスに統合できるのは、両方の開発を行っている地震研ならではの強みです」

復興計画1では、全体を見渡した制御は行わずに、各企業・家庭が独自に建物や設備の修復を進めていく。復興計画2では、全体の制御が行われる。復興計画1の場合、地震直後から経済が上昇し始める（図3赤）。これは、建設分野の需要が急増するためである。それに後押しされるように、ほかの産業分野も生産量が増える。しかし、需要の増加は頭打ちとなり、しばらくすると経済状態は災害のない平常時（図3黒）を下回るようになる。復興計画2では、経済状況が低い状態がしばらく続くが、長期的に見ると平常時を上回る（図3緑）。

「注目していただきたいのは、どの復興計画を選択するかによって、経済回復の状況が大きく変わるということです。経済回復の状況は経済主体によっても違います」とラリス准教授は解説する。「私たちのモデルを使えば、復興計画の長期的な経済への影響を

図2 物理ベースの災害シミュレーションと経済シミュレーションの統合

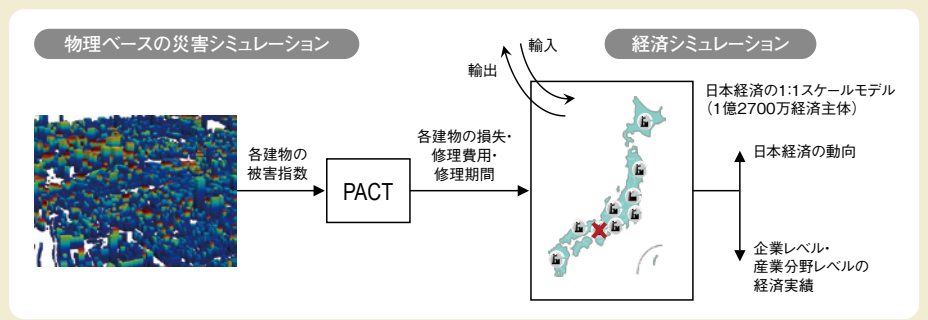
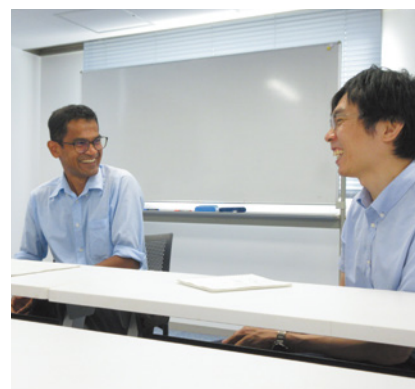
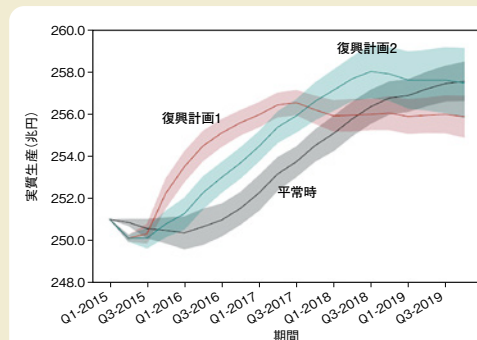


図3 災害後の経済シミュレーション

復興計画1は、全体制御はなく、各企業・家庭が独自に建物や設備の修復を進めていく。復興計画2は、特定の産業分野に補助金の支給や低利融資を行うなどの全体計画に沿って制御する。どの復興計画を選択するかによって、経済回復の状況が大きく変わる。



ラリス准教授（左）と通訳をいただいた計算地球科学研究センター 藤田航平准教授（右）

総合的に評価でき、効果的な復興計画の立案や選択に役立ちます。災害後の経済を大規模かつ高解像度でシミュレーションできるのが、私たちのモデルの強みです」

社会実装を目指し、経済や社会科学の研究者とも連携へ

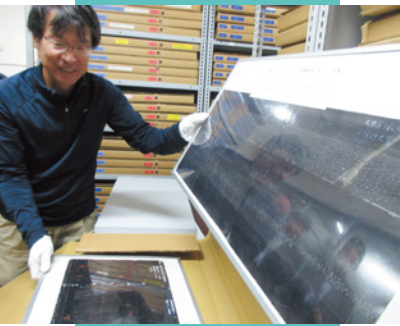
この成果を発表すると、国内外から予想を超える大きな反響があった。しかしラリス准教授は表情を引き締め、「このモデルが実際に社会で活用されるためには、まだやるべきことがたくさんあります」と語る。経済活動はライフラインやインフラに強く依存しているため、それらの被害の程度や復旧にかかる費用・時間も考慮する必要がある。また、現在は日本全体の経済をシミュレーションしているが、都道府県ごとの経済をシミュレーションし、その集合体として日本全体の経済を捉えられるようにすることも欠かせない。

このようにモデルの高度化に取り組む一方で、経済の研究者とも協力して進めたいと、ラリス准教授は考えている。エージェントベース経済モデルは、まだ新しく、標準的なモデルとは見なされていない。それでも最近では、新型コロナウイルスの感染拡大のシミュレーションや、感染拡大が経済に与える影響の解析に使われたりもしている。「エージェントベース経済モデルは災害後の経済シミ

ュレーションに有効であることを宣伝し、経済の研究者にも興味を持ってもらい共に進めることで、高度化できると期待しています」

災害時には、消費や生産、価格設定などについて各経済主体の心理や行動が平常時と変わることがある。そうしたデータも入れることでシミュレーション精度の向上が期待できることから、社会科学や観察経済学の研究者とも協力して進めたいと考えている。

ラリス准教授はスリランカ出身である。スリランカのペラデニヤ大学土木工学科を卒業後、2000年来日した。東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻博士課程を修了後、同研究科の特任助教などを経て、2012年より地震研の准教授に。2017年から災害後の経済シミュレーションの開発に組み始めた。ラリス准教授は、「地震工学や防災工学を専門としていた私にとって、経済はなじみのない分野でした。経済シミュレーションは非常に複雑で、パラメータのわずかな変化で応答が大きく変わるなど、物理シミュレーションとは異なる難しさがあり、最初のうちは戸惑いました」と振り返る。そして力強く語った。「でも、災害後の経済シミュレーションは必要なものであり、難しいからこそチャレンジしたい。そして、南海トラフ地震など差し迫った大規模災害からの復興に役立てたい。そういう思いで取り組んでいます」



「サイエンスカフェ」第27回
目の後は、古地震記録
の保管庫や地震計の展示
室の見学をしていただきま
した。

本所永遠の使命とする所は
地震に関する諸現象の科学的
研究と
直接又は間接に地震に起因
する災害の予防並に
軽減方策の探究とである
(寺田寅彦)

東京大学地震研究所
ニュースレターPlus
第44号

発行日 2025年1月31日

発行者
東京大学 地震研究所
編集者
地震研究所 広報アウトリーチ室
制作協力
フォトンクリエイト
(デザイン: 酒井デザイン室)

問い合わせ先
〒113-0032
東京都文京区弥生1-1-1
東京大学 地震研究所
広報アウトリーチ室
Eメール
orhp@eri.u-tokyo.ac.jp
ホームページ
<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>

TOPICS

広報アウトリーチ室活動報告

●「サイエンスカフェ」開催報告

●第25回「高リスク小規模火山噴火(2)」
2024年9月18日にハイブリッドで開催。金子隆之 准教授(東京大学地震研究所)・寺田暁彦 准教授(東京工業大学)を迎え、2014年9月の御嶽山噴火についてヘリコプターからの観察で分かったことや、多項目観測から解明された2018年1月の本白根山の噴火過程を紹介していただきました。

●第26回「昭和東南海地震」

2024年11月15日にハイブリッドで開催。鶴岡弘 准教授(東京大学地震研究所)・木村玲欧 教授(兵庫県立大学)を迎え、当時の観測の状況や古い地震計記録の収集・管理、それらを活用した研究について。また、地元に残された記録などから明らかになった被害状況を、被災体験談などをもとに紹介していただきました。

●第27回「内陸地震」

2024年12月3日にハイブリッドで開催。岡田知己 教授(東北大学)・平松良浩 教授(金沢大学)を迎え、近年の地震の調査結果などに基づき、兵庫県南部地震以降の内陸地震発生メカニズム研究の進展、それに基づく災害軽減のための取り組みなどについて紹介していただきました。

●懇談の場

2024年10月3日にハイブリッドで開催されました。「噴煙シミュレーションを用いて噴火強度を迅速・高精度に推定する」について、数理系研究部門の鈴木雄治郎 准教授によるお話でした。



最近の研究

最近の研究を紹介するコンテンツ「最近の研究」に、新たな論文が追加されています。ぜひご覧ください。

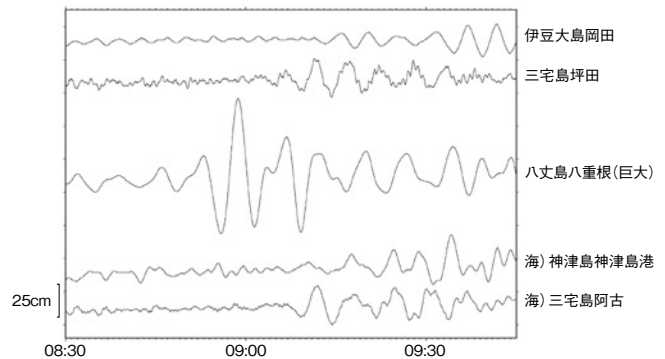
- 混合ウィザートモデルに基づくマルチプル・クラスタリングによる低周波地震検出のための観測点選択
- 北硫黄島カルデラにおけるトラップドア断層破壊(2): 振幅1mmの極小津波シグナルで明らかになった海底カルデラで繰り返す断層破壊
- 海中音波T波を用いて2023年10月鳥島近海(孀婦海山)の津波に迫る



地震・火山情報

- 【研究速報】2024年9月24日
鳥島近海地震と津波
(2024年9月27日更新)

2024年9月24日の地震後に
観測された津波
(気象庁報道資料P.6より)



INFORMATION

お知らせ

●「地震研究所基金」設立

—地震研究所基金へのご支援のお願い—

まもなく創立100年を迎える地震研究所では、これまでの研究所の歩みと成果を振り返り、使命達成に向けた次の100年の研究発展と人材育成のための「地震研究所基金」を設立しました。
ご寄付いただきました方々への感謝の意を込め、ここにご芳名を掲載させていただきます。
引き続き、温かいご支援・ご協力を何卒よろしくお願い申し上げます。

地震研究所基金ホームページ
<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/kikin/>



地震研究所基金(2024年度) 寄付者芳名録

2024年11月30日現在

個人からのご寄付

伊藤 裕 様	大久保 修平 様	落合 弘樹 様
兼岡 一郎 様	木村 肇 様	齊藤 浩一 様
島崎 邦彦 様	田中 陽子 様	春山 秀雄 様
堀 宗朗 様	前田 拓人 様	村田 一郎 様
山下 輝夫 様	行武 毅 様	吉原 成典 様

法人・団体からのご寄付

株式会社SPフォーラム 様

・個人または法人・団体に区分して、五十音順にて掲載しております。
・旧字体については、表示が困難な場合、新字体で記載させていただく場合がございます。何卒ご了承くださいようお願い申し上げます。
・芳名録への「氏名の掲載を希望しない」を選択された方については、掲載していません。

- 「懇談の場」を2025年2月12日(水)17時から地震研セミナー室とオンラインのハイブリッド形式で開催予定です。今号の特集「災害後経済の高性能シミュレーションを開発」について、マッデゲダラ・ラリス 准教授によるお話です。会場と接続の情報をお送りしますので、orhp@eri.u-tokyo.ac.jp宛てに件名を「懇談の場参加希望」としてEメールをお送りください。お気軽にご参加ください。