

平成 30 年度 文部科学省

ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関する
アプリケーション開発・研究開発（萌芽的課題）

平成 30 年度

「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究
（多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」

成果報告書

平成 31 年 5 月 31 日

国立研究開発法人理化学研究所

伊藤 伸泰

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立研究開発法人理化学研究所が実施した平成30年度「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究(多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発)」の成果を取りまとめたものです。

目次

1. 委託業務の題目	1
2. 実施機関（代表機関）	1
3. 委託業務の目的	1
4. 平成 30 年度（報告年度）の実施内容	2
4-1. 実施計画	2
4-2. 実施内容（成果）	5
4-3. 活動（研究会等）	40
4-4. 実施体制	42

別添 1 学会等発表実績

別添 2 実施計画（別紙 1～4 を含む）

1. 委託業務の題目

「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」

2. 実施機関（代表機関）

代表 機 関	機関名	国立研究開発法人理化学研究所				
	所在地	〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号				
	課題 責任者	ふりがな 氏 名	いとう のぶやす 伊藤 伸泰	生年 月日	西暦 1964 年 3 月 19 日（55 歳） ※2019 年 4 月 1 日現在	
		所属部署名	計算科学研究センター離散事象 シミュレーション研究チーム		役職	チームリーダー
		連絡先	Tel. 078-940-5805 Fax. 078-304-4962 E-mail nobuyasu.ito@riken.jp			
	事務 連絡 担当者	ふりがな 氏 名	きら みずほ 吉良 みずほ			
		所属部署名	外部資金室			
		連絡先	Tel. 048-467-9642 Fax. 048-467-2634 E-mail mizuho.kira@riken.jp			

3. 委託業務の目的

社会経済現象では、多様なサブシステムが多層的に相互作用し合いつつ、時間的にも空間的にも異なったスケールの事象が不可分となっている。例えば、1秒間以下の瞬間瞬間に進む株式・為替取引が何年にもわたる経済恐慌・好景気の引き金となり、国際金融システム自体を変化させ、企業活動に影響を与えて行く。一か所の災害が広域的な移動を生じさせ、思わぬ場所での二次災害を引き起こす。こうした現象を事象の因果を明確にしつつ予測し制御できるようになるためには、いわゆる「ビッグデータ」を分析して相関関係を探すだけでは不可能である。現象の発展を記述する動学的モデルが必要となり、モデルをシミュレートするコンピュータが必要となる。

これまでに「京」により経済現象や交通現象に関わるサブシステムのシミュレーション技術が開発されてきた。本研究は、ポスト「京」に向けて複数のサブシステムの相互作用モデルを構築し、社会経済現象上の課題を予測し制御する技術を開発することを目的とする。

このため代表機関の国立研究開発法人理化学研究所は、分担機関の国立研究開発法人海洋研究開発機構、国立大学法人京都大学、独立行政法人経済産業研究所、国立大学法人神戸大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京工業大学、国立大学法人東京大学、国立大学法人新潟大学、学校法人日本大学、公立大学法人兵庫県立大学、立正大学、学校法人立命館立命館大学と共同で業務を実施する。

上記の目的を達成するため、代表機関は分担機関と共に以下の5つのサブ課題（A, B, C, D, E）に関する研究開発とそのとりまとめを行うとともに、プロジェクトの総合的推進を担当する。

- A マクロ経済シミュレーション
- B 企業ネットワークシミュレーション
- C 金融シミュレーション
- D 交通・人流シミュレーション
- E 社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発

4. 平成30年度（報告年度）の実施内容

4-1. 実施計画

① サブ課題A マクロ経済シミュレーション（再委託先：公立大学法人兵庫県立大学・藤原義久）

平成30年度は、前年度までの調査研究・準備研究フェーズに開発したマクロ経済シミュレーションと京コンピュータ計算資源を活用して、以下に示す本萌芽的課題に関するアプリケーション開発・研究開発について、開発計画（研究開発内容、目標・期待される成果、実施体制、必要計算資源、工程表、所要経費等）の詳細の策定を分担機関の国立大学法人京都大学・独立行政法人経済産業研究所・国立大学法人新潟大学・学校法人日本大学・国立研究開発法人理化学研究所・立正大学と共同で実施する。また、本格実施フェーズにおけるマクロ経済シミュレーションの公開や研究成果の公表についても進める。

マクロ経済シミュレーションでは、連鎖倒産や大規模災害発生の経済活動へのストレス評価手法を確立する。また、現実のマクロ経済現象との比較のため、前年度までの準備研究フェーズに開発したマクロ経済の生産活動や物価変動に見られる集団的な運動とそのダイナミクス究明の手法を発展させる。

①-1 企業データの高度化（再委託先：独立行政法人経済産業研究所・齊藤有希子、荒田禎之）

前年度までに構築した企業間および企業と金融機関間のネットワークデータをさらに拡張する。本プロジェクトで購入、整備したデータセットは2016年の単年データであるが、経済産業研究所、経済産業省の関連部署（経済産業政策局や中小企業庁など）のプロジェクトと連携し、政策立案のための長期パネルデータを構築する。長期パネルデータを用いてネットワークのダイナミクスを実証的に明らかにし、理論モデル構築の基礎とするとともに政策シミュレーションのための枠組みを提示し、プロジェクトの研究成果を政策当局に普及する仕組みを構築する。

①-2 景気変動の数理モデルの開発（再委託先：国立大学法人京都大学・青山秀明、国立大学法人新潟大学・家富洋）

ヒルベルト変換を利用して生産変動や物価変動間の複素相関ネットワークを構築し、集団的同期現象として景気変動のダイナミクスを明らかにする。特に、景気変動は多数の経済変数間の膨大な組合せの中に隠れており、そのような複素相関ネットワークの解析にあたっては、適切な経済変数の分類・選択が必要不可欠である。スパコン上でのランダム化高速計算、機械学習などを組み合わせ、効率的に経済変数の分類・選択を行う手法を開発する。

①-3 経済危機伝播の数理モデルの開発（再委託先：公立大学法人兵庫県立大学・藤原義久、国立研究開発法人理化学研究所・庄司文由、国立大学法人京都大学・青山秀明、国立大学法人新潟大学・家富洋）

経済的なストレスがネットワーク上で伝播するダイナミクスを記述するDebtRank計算とその拡張モデルに基づくシミュレーションをより高度化して、グラフのノードとエッジに観測データの情報をも取り入れたシミュレーションを行う。さらに、経済ストレス伝播モデルの応用として、大規模災害発生の経済活動への定量的なストレス評価手法を確立する。

①-4 マクロ経済現象の検証と応用（再委託先：立正大学・吉川洋、学校法人日本大学・相馬亘、独立行政法人経済産業研究所・齊藤有希子、荒田禎之）

マクロ経済学の専門家としてシミュレーションとモデルの妥当性を検証する。また、リーマンショック以降、システムの不安定性を未然に防ぐため提唱されてきた「マクロ・プルーデンシャル・ポリシー」に科学的な定義を与えるための土台として、経済システムの安定性に関する指標の確立及び経済危機の早期警戒指標を構築する。これらをまとめて、マクロ・ストレステストの新しい方

法を確立する。

② サブ課題B 企業ネットワークシミュレーション（再委託先：国立大学法人東京工業大学・高安美佐子）

平成30年度は、前年度までに実施した大規模な企業ネットワークの時間発展シミュレーションモデルの準備をもとに、以下に示す本萌芽的課題に関するアプリケーション開発・研究開発について、本格実施を開始する。

調査研究・準備研究フェーズにおいて実装した全国約100万社の企業ネットワークシミュレーションモデルを用い、ネットワーク上におけるストレステストとレジリエンスシナリオを取り入れたシミュレーションを行う。具体的には、災害の揺らぎを考慮した経済活動の脆弱性テストを行うとともに、その際における最適な復旧シナリオを詳細に調べる。それによって災害による経済危機を予測し、効率よく復旧するための指針を与えるシステムを構築する。

③ サブ課題C 金融シミュレーション（再委託先：国立大学法人東京大学・和泉潔）

平成30年度は、本格実施フェーズとして、システムックリスクと呼ばれる金融システム全体への不安定性の大規模な波及現象（銀行の連鎖倒産、金融危機等）を防止するために、関連する各種金融規制の効果を事前に評価するためのシミュレーション基盤技術を分担機関の神戸大学と共同で行う。また、サブ課題AやBとの連携により、金融システムのリスクが企業活動や景気動向に与える影響の分析も行う。

③-1 金融取引と銀行間ネットワークの統合モデルの開発（再委託先：国立大学法人東京大学・和泉潔）

TOPIX100構成銘柄等の大型銘柄と数百行の大規模および中規模銀行を対象を絞り、協力機関から提供された実際の市場データや銀行間データの分析結果を基に、金融市場モデルと銀行間ネットワークを統合したシミュレーションモデルを、関連金融機関と協力しながら構築する。市場モデルと銀行ネットワークモデルの統合による市場規制の効果評価の手法を開発する。さらに、サブ課題AやBとの連携により、金融システムのリスクが企業活動や景気動向に与える影響の分析も行い、マクロ・プルーデンス政策（金融システムと経済全体の安定性のための政策）の策定支援手法を開発する。

③-2 人工市場エージェントシミュレータへの動的負荷分散の実装（再委託先：国立大学法人神戸大学・鎌田十三郎）

準備研究フェーズでおこなったエージェントの動的追加／削除・グループ化機能の強化とともに、新たに導入した Java 版 Plham の並列化、並列シミュレーションの分枝実行およびグループ化によって複雑化するスケジューリングに対応した動的負荷分散機能に関する研究・開発を行う。

④ サブ課題D 交通・人流シミュレーション（再委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所・野田五十樹）

異なる時空間スケールや対象ごとに構築されてきた交通・人流シミュレーションについて、各々のシミュレーションの網羅的シミュレーションの結果を相互に分析・再構成する枠組みの構築を目指す。平成30年度は、人流および交通について、人流・交通の相互の連成シミュレーションの方法を、現象境界でのデータ同化などを通じて行う方法の開発に着手する。同時に、他サブ課題との連携、特に経済現象との連成について、その方法論の検討を開始する。

④-1 網羅的交通・人流シミュレーションとその解析（再委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所・野田五十樹）

本サブ課題の目標に向け、他の参画機関と協力しながら、複数のスケール/モデルにおいて、様々な条件でのシミュレーションを行い、主として現象境界における結果について対応関係を分析し、異なるモデル間でのデータのすり合わせや同化する手法について、遺伝的アルゴリズムや機械学習による手法の高度化・多用途化の手法の開発を進める。

今年度は特に、交通と人流という異なる現象のシミュレーション連携の実現に向け、HPCを活用して、遺伝的アルゴリズム等による多目的最適化手法を組み合わせ、交通・人流シミュレーションの間のデータ同化・モデル同化を行う枠組みの開発に取り組む。

④-2 人流制御技術の開発（再委託先：国立研究開発法人海洋研究開発機構・浅野俊幸）

建物内部等の実形状データと精緻な計算を用い、建物から都市空間にわたる空間スケールでの高精度な具体的な人流の再現・予測のシミュレーションの開発に着手する。今年度は特に、「京」

コンピュータへのコード移植・動作確認・性能計測・分析、およびポスト京のアーキテクチャを意識した高速化方針をひきつづき検討する。また、人の流れを制御する技術や、異なるシミュレータによる連成シミュレーションを目指す開発に取り組む。

④-3 マルチエージェント交通流シミュレーションのソフトウェア開発（再委託先：国立大学法人東京大学・藤井秀樹）

前々年度、前年度に整備し京コンピュータへ移植した並列マルチエージェント交通流シミュレータADVENTURE_Matesについて、平成30年度はその並列化効率をさらに向上させるための負荷分散手法の検討及び実装を行う。また応用事例として大規模イベントを想定した交通誘導およびバス輸送に関し、シミュレーションおよび評価を実施する。加えて、異なるシミュレータと連携して解析を行うための改良を行う。

④-4 都市交通モデルの開発（再委託先：学校法人立命館 立命館大学・服部宏充）

本年度は、シミュレーションの連成を見据えた活動を本格化させる。まず、既構築のエージェントモデルを、他のシミュレーション環境にスムーズに移植するための、エージェントソフトウェアの整理・構造化とパッケージングを行う。前年度、シミュレーション基盤を従来のMATSimからより汎用性の高いGAMAへと移行し、都市交通シミュレーション環境を確立している。本年度は、物流や人流など、整備済みの自動車交通以外の現象・システムのシミュレーションを仮実装し、自動車交通のシミュレーションとの接合を試みる。すなわち、異種のシミュレーションの連成のプロトタイプングを行う。

前年度、上記のGAMAを基盤としたシミュレーション環境とOACISの接続自体には成功している。本年度は、OACISに基づいた並列シミュレーションの利用実績を蓄積する活動を計画する。

⑤ サブ課題E 社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発（再委託先：国立大学法人神戸大学・上東貴志）

平成30年度は、以下に示す本萌芽的課題に関するアプリケーション開発・研究開発について、開発計画（研究開発内容、目標・期待される成果、実施体制、必要計算資源、工程表、所要経費等）の詳細の策定を分担機関の国立大学法人東京大学・国立研究開発法人理化学研究所と共同で取り組む。

⑤-1 近似ベイズ計算によるモデル評価技術の開発（再委託先：国立大学法人神戸大学・上東貴志）

平成29年度に引き続き、近似ベイズ計算によるモデル評価技術の開発に向け、状態空間モデルの並列化シミュレーション等を行い、パラメータの事後分布を計算する手法を開発する。さらに、近似ベイズ計算のアプリケーション開発を開始し、実験的な計算を行う。

⑤-2 群知能・深層学習によるモデル評価技術の開発（再委託先：国立大学法人東京大学・池上高志）

平成30年度は、平成29年度に引き続き、多数の要素からなるシステムが、システムサイズを変えることで示す質的な変化を調査・解析する。特に大規模な社会・経済システムに予想される自己組織化モデルを念頭に、現実的な多様な複雑さを考慮することでシミュレーションモデルを構築・実験・分析する。具体例として、ウェブサービスのデータの巨大データの解析をもとに自律発展するネットワークモデルを提案する。さらに、平成29年度まで行ってきた百万エージェントのGPU群れのモデルシミュレーションと、ミツバチのエージェントモデルシミュレーションを、より普遍的なモデルへと改変し、大規模なスケールでの計算を行なう。

⑤-3 実行管理システムへのモデル評価手法の実装（再委託先：国立研究開発法人理化学研究所・伊藤伸泰）

平成30年度は平成29年度までに開発した実行管理システムOACISを使い、APIを介して社会シミュレーション他のモデルを自動評価する技術の開発を進める。特に人工知能技術の応用に着手する。さらにOACISよりも大規模な実行管理を行うCARAVANを公開し、OACISを使って開発したパラメータ空間の探索技術などの応用を試みる。

⑥ プロジェクトの総合的推進

上記に記述する5つのサブ課題A～Eの個々の目標に向けて研究を推進するとともに、各サブ課題で扱う現象間および関係諸現象とをさらに多層・複合化することによる社会課題の解決の余地を探る。また、本課題でのHPC利用の共通基盤として、実行管理アプリケーションOACISおよびCARAVANの活用を進める。プロジェクト全体の連携を密としつつ円滑に運営していくため、運営委員会や技術検討会の開催等、参画各機関の連携・調整にあたる。特に、プロジェクト全体の進捗状況を確認しつつ計画の合理化

を検討し、必要に応じて調査或いは外部有識者を招聘して意見を聞くなど、プロジェクトの推進に資する。プロジェクトで得られた成果については、積極的に公表し、今後の展開に資する。

4-2. 実施内容（成果）

① サブ課題A マクロ経済シミュレーション（再委託先：公立大学法人兵庫県立大学・藤原義久）

平成30年度は、前年度までの調査研究・準備研究フェーズに開発したマクロ経済シミュレーションと京コンピュータ計算資源を活用して、以下に示す本萌芽的課題に関するアプリケーション開発・研究開発について、開発計画の詳細の策定と並行して、分担機関の国立大学法人京都大学・独立行政法人経済産業研究所・国立大学法人新潟大学・学校法人日本大学・国立研究開発法人理化学研究所・立正大学と共同でマクロ経済シミュレーションならびに関連するプログラム開発を行った。本格実施フェーズである今年度には、連鎖倒産や大規模災害発生の経済活動へのストレス評価手法を確立し、関連するアプリケーションの一部公開や研究成果の公表を進めた。また、現実のマクロ経済現象との比較のため、前年度までの準備研究フェーズに開発したマクロ経済の生産活動や物価変動に見られる集団的な運動とそのダイナミクス究明の手法を発展させて、その研究成果についても発表した。

①-1 企業データの高度化（再委託先：独立行政法人経済産業研究所・齊藤有希子、荒田禎之）

前年度までに構築した企業間および企業と金融機関間のネットワークデータをさらに拡張した。具体的には、これまでの分析で用いてきたデータは日本企業が対象であったのに対して、研究を進める上で海外企業との取引関係も考慮しなければならない。そこで、日本を含む海外企業の取引関係のデータである Factset 社のデータを利用するため、今年度から Factset 社とデータ購入について打ち合わせを行い、データ購入のための準備を行った。また、これまで整備してきた東京商工リサーチの企業間取引関係のデータと倒産情報を組み合わせることによって、倒産が取引関係を通じてどのように伝播していくか、実際のデータから観察できるようにデータ整備を行った。例えば、図1分析期間中（2013-2017）に観察される最大の連鎖倒産を示したものである（矢印が顧客・サプライヤー企業の間を、数字は倒産日時（2013年4月1日からの平日日数）を表す）。

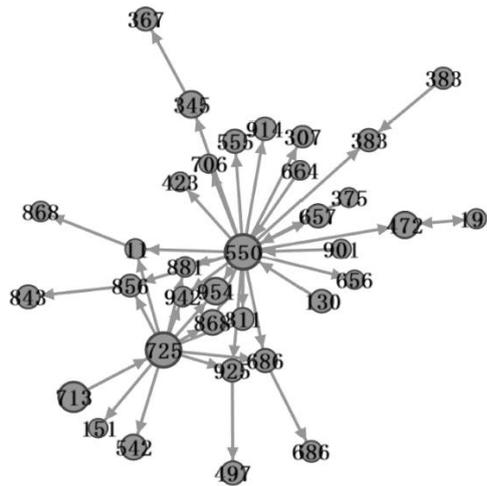


図 1：分析期間中（2013-2017）に観察される最大の連鎖倒産

この組み合わせたデータを分析し、まず実際に発生している連鎖倒産の規模など基本的な統計量を計算した。さらに、取引先の倒産が企業の倒産確率にどの程度寄与するのかを統計的に検証するために、以下の方法でプログラムを実装した。(1) この分野で広く使われている Survival analysis を C++ で実装する。特に、取引先の倒産情報も説明要因に含める。(2) 尤度関数を最大化させるパラメータ値を Nelder-Mead 法で計算する。(3)(2)の計算を、MPI と OpenMP によって並列化する。以上のプログラムをスパコン京上で計算し、取引先の倒産による企業の倒産確率の上昇を定量的に評価した。また、この推定値を用いてシミュレーションを実行し、経済全体に影響を及ぼすような大規模な連鎖倒産のリスクについて分析を行った。その結果、マイクロレベルでは連鎖倒産は確かにあるが、それがマクロレベルでは連鎖倒産はほとんど影響がないということが分かった。つまり、連鎖倒産はあくまで局所的なものにとどまり、大規模な連鎖倒産は発生しない。その理由はネットワークの構造に由来するもので、観察されるネットワーク構造は倒産の伝播させる効果よりも、ショックをすぐさま多くの企業に分散し、マクロ全体でショックを吸収するという効果の方が支配的であるからである。これらの結果を論文 Y. Arata, "Bankruptcy propagation on a customer-supplier network: An empirical analysis in Japan" RIETI DP, 18-E-040, 2018 としてまとめた。

この成果の政策当局への普及活動の一環として、経済産業所の広報誌にこの連鎖倒産に関する研究のインタビューが取り上げられる予定である。

①-2 景気変動の数理モデルの開発（再委託先：国立大学法人京都大学・青山秀明、国立大学法人新潟大学・家富洋）

景気循環を記述するために、先行性・一致性および遅行性の特徴をもつ景気動向基礎指標群が選定されて、代表的な景気動向指標が構築されている。それらの経済指標の選定にあたっては、様々な角度からの検討がなされているものの、選定者の主観が完全に排除されているとは言い難い。複素ヒルベルト主成分分析と機械学習などの数理的アルゴリズムを組み合わせることにより、基礎指標群のリード・ラグ特性（先行・一致・遅行）を客観的に判断する手法を開発した。実際に米国の景気動

向基礎指標群に対して得られた手法を適用し、その有効性を検証した。すなわち、米国のマクロ経済指標 57 種類（先行指標 18・一致指標 30・遅行指標 9）の月次時系列データに複素ヒルベルト主成分分析とホッジポテンシャル解析を応用して、先行・遅行をデータ自体から読み解くという点において、従来よりも適切な新しい先行・遅行指標を確立した。また、主成分から読み取れる有意なモードとして、2001 年のドットコムバブルや 2008 年 10 月の金融危機に加えて、2005 年 8 月のカトリナハリケーンや 2008 年 7 月のオイル危機が経済に深刻な打撃を与えていることが分かった。

企業間取引関係データ（日本における約 100 万の企業間の約 500 万におよぶ取引関係を掲載したデータであるが、企業間の取引量の情報は含んでいない）と産業連関表（業種間の取引額に関する情報のみ）を組み合わせることにより、各企業間の取引額を推定し、企業レベルの産業連関ネットワークを構築した。その結果、需要変化に伴う経済ショックの伝播を企業レベルで追跡可能となった。

また、有向ネットワーク上の流れ構造を解析するための統合ツール FALCON(Flow Analysis tools for Large-scale COMplex Networks) を開発し、そのプロトタイプを公開した。この統合ツールには、ヘルムホルツ・ホッジ分解 コミュニティ抽出 蝶ネクタイ構造分解 バネ電気モデルによる可視化など、経済危機の伝播過程を調べる上でも有用な機能が組み込まれている。

ヘルムホルツ・ホッジ分解は有向ネットワークのフロー構造を、階層的な成分と循環的な成分とに分解し、各ノードのネットワーク内での階層的な立ち位置を表すヘルムホルツ・ホッジポテンシャルを計算することができる。FALCON では、その情報を組み込むことで、階層構造の情報を取り入れたバネ電気モデルによる分子動力学 (MD) シミュレーションによる可視化ができる。また、蝶ネクタイ構造やコミュニティ構造を色分けして表示することができる。FALCON の機能を図 2 に示す。垂直方向はノードの階層性、水平方向はノード間の結びつきの度合いを表す。

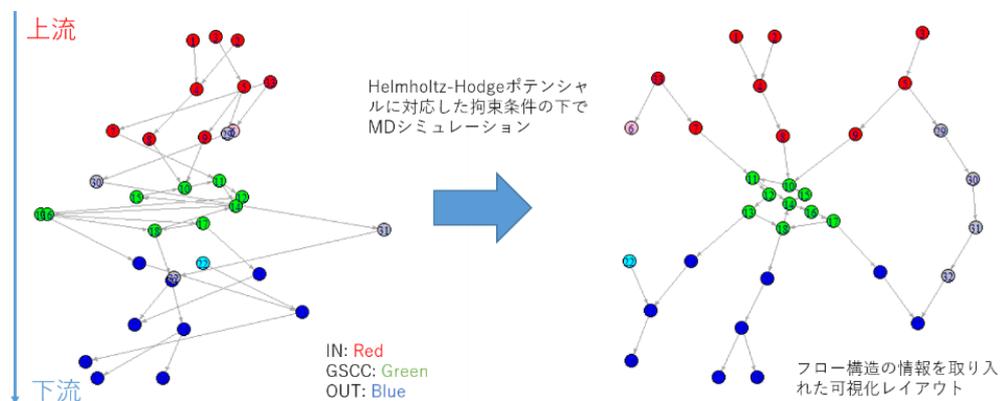


図 2 : 開発した FALCON の機能

以下の図 3 と図 4 はそれぞれ、FALCON による可視化を実際のツイッターデータ (<http://truthy.indiana.edu/resources/> (ICWSM 2011 Polarization Dataset: Political Memes on Twitter)) と東京商工リサーチ社 (TSR) 企業間取引関係データから構築したネットワークに適用した例である。

2010年アメリカ中間選挙前のツイッターにおけるリツイート関係データ

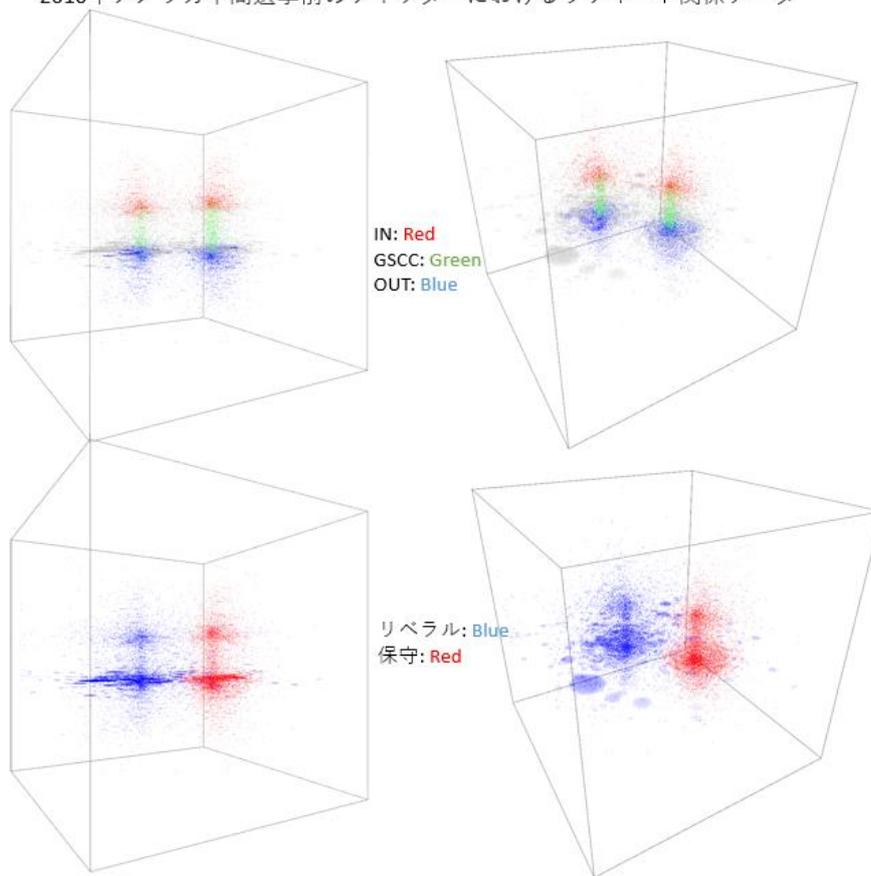


図 3 : FALCON による可視化 (ツイッターデータから構築したネットワーク)

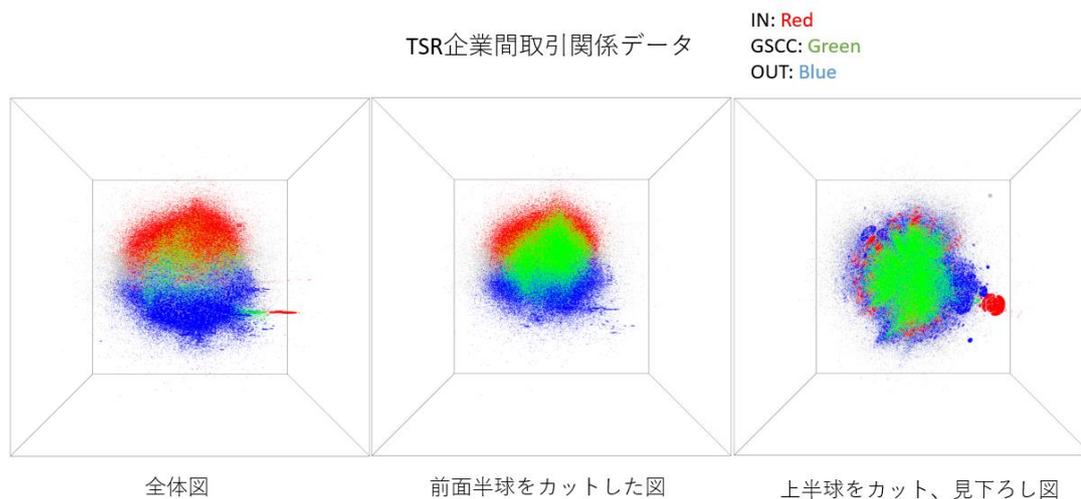


図 4 : FALCON による可視化 (企業間取引関係データから構築したネットワーク)

得られた可視化図からツイッターにおける政治的な分断構造 (リベラルと保守層の間はリンクが疎であり、それぞれ平行に蝶ネクタイ構造を所持) を概観できる。また、図 4 に示すように、TSR 企業間取引関係データからは、日本のサプライチェーンにおけるくるみ構造を見ることができ

る。ここで、GSCCは最大の強連結成分（任意のノード対が有向リンクで互いに到達可能である部分のこと）、INはGSCCへ到達可能なノード群、OUTはGSCCから到達可能なノード群を意味する。IN/OUTは、GSCCからの最短距離が非常に短く、ちょうどくるみのように、核となるGSCCを囲む薄い皮のようにになっていることを見出した。

FALCONは大規模なデータに適用することを目的としており（上の適用例では約100万ノード、500万リンク）、データが大きくなるにつれて急速に増大する計算コストに対応するために、OpenMPにおける並列化、MDシミュレーションではノード間に働く力の計算に対してツリー法による実装を行っている。さらなる並列計算の高速化・効率化を図るとともに、利用者にとって使い易い環境を整えつつある。(URL: <https://github.com/ykichikawa/FALCON>)

①-3 経済危機伝播の数理モデルの開発（再委託先：公立大学法人兵庫県立大学・藤原義久、国立研究開発法人理化学研究所・庄司文由、国立大学法人京都大学・青山秀明、国立大学法人新潟大学・家富洋）

経済的なストレスがネットワーク上で伝播するダイナミクスを記述するモデルに関しては、生産における仕入・販売、生産したものの在庫や生産停止からの回復を具体的に含む各企業の財務状態とそのネットワークを反映するモデルを構築して、特にマクロ経済全体における付加価値の総和すなわちGDPへの影響、地域や産業への波及を定量的に比較することができるようなシミュレータ（図5）とその可視化システム（図6）を構築した。具体的には東日本大震災とそれに関するデータを基にして、間接的な被害は2週間程度の極めて短い間に全国に広がること、サプライチェーンネットワークには密につながった巨大連結成分があるため、企業のダメージは連動し振動すること、予測されている南海トラフ地震における直接被害の規模と累積の間接的被害を東日本大震災と比較して定量的に予測した。この成果を学術論文 H. Inoue and Y. Todo, "Propagation of negative shocks across nation-wide firm networks", PloS ONE, vol.14 (2019) e0213648 として発表した。

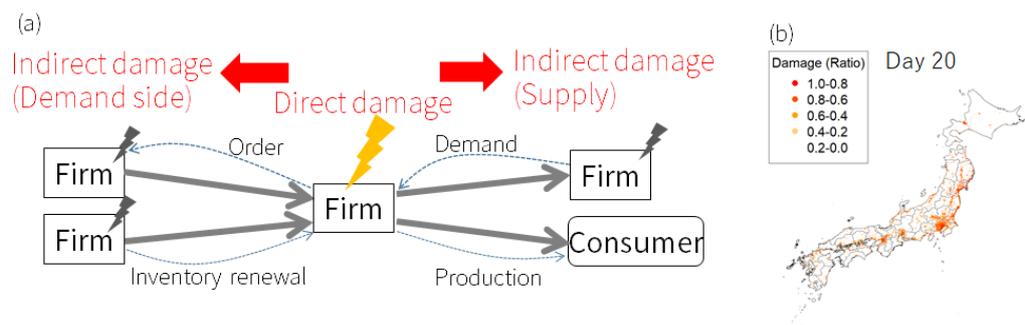


図 3：経済的なストレスがネットワーク上で伝播するダイナミクスを記述するモデル

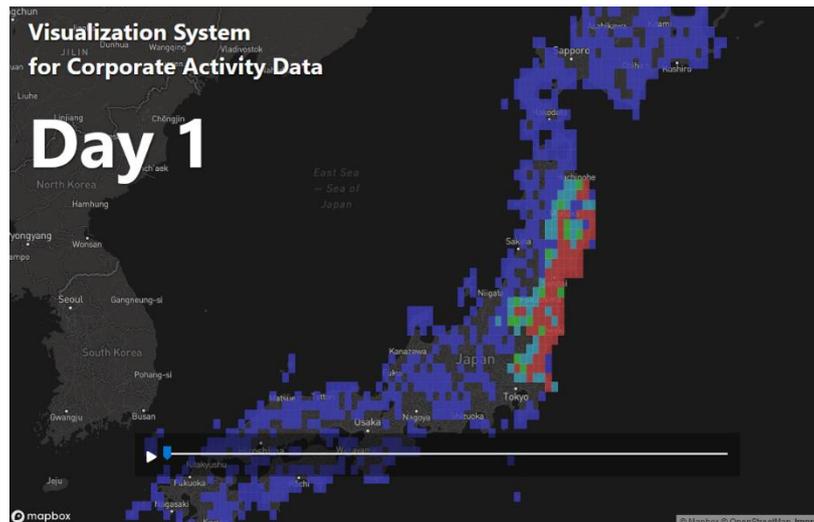


図 4：東日本大震災による経済ストレスの地域への波及の可視化

また、新潟大学・京都大学と協力して、生産ネットワーク上の生産の上流下流に関わる強連結成分とその周辺構造に関する新しい知見を得た。具体的には、従来よく知られている蝶ネクタイ構造に関して、生産ネットワークはクルミ構造とよぶべき、生産に関わるグラフの強連結成分とそこから距離が非常に近い生産の上流下流に関わるシェルの構造があることを発見して、その階層構造や産業・地域との関連性などを分析し、学術論文 A. Chakraborty et al., "Hierarchical Communities in the Walnut Structure of the Japanese Production Network", PLoS ONE, vol.13 (2018) e0202739 として発表した。

本研究に関するシミュレータについては「マクロ経済シミュレーター Disaster Simulator on Production Network」「Simulator of Negative Shocks on Economy」「Simulation and Estimation of Production Network」として GitHub 上で公開の準備を進めている。

(URL: <https://github.com/HiroyasuInoue/ProductionNetworkSimulator> ;

<https://github.com/hazem2410/SNSE> ; <https://github.com/hazem2410/SEPNET>)

①-4 マクロ経済現象の検証と応用 (再委託先：立正大学・吉川洋、学校法人日本大学・相馬亘、独立行政法人経済産業研究所・齊藤有希子、荒田禎之)

世界各国の中央銀行は独自にマクロ・ストレステストのモデルを構築していて、金融危機の早期警戒指標をインプット・パラメータとして用いている。そこで、世界各国の中央銀行が独自に定めている金融危機の早期警戒指標を調査比較した結果、株価とそれに関係した指標が共通して用いられていることがわかった。株価が動く要因は様々だが、その中の一つがセンチメントである。そして、センチメントを形成する媒体の一つがニュースである。そこで、我々は、ニュースを深層学習することによって、株価の変動を予測できるかどうか検証を行った。その結果、ニュースから株価の変動が予測できる可能性を明らかにすることができた。来年度は、この深層学習の精度を高め、モデルの予測を早期警戒指標の一つとしてインプット・パラメータとし、既存のマクロ・ストレステストを拡張して、システミック・リスクが企業に及ぼす影響についてシミュレーションを行う。

特に、インターネット上のニュース記事、新聞記事から作った単語ベクトルを用いて、RNN with LSTM Units, CNN, Attention などの深層学習を用いて、経済に関するテキストのセンチメント分析を可能とするツール群の開発を進めた。

また、企業の売上高を、確率的な要因と取引による要因の2つからなる確率モデルとして定式化した。そして、東京商工リサーチ社 (TSR) 企業間取引関係データを用いて、実際の生産ネットワークを用いてシミュレーションを行った。その結果、確率的な要因の分散の大きさと、企業間相互作用の強さをパラメータとして微調整した結果、図7に示すように、実際の売上高の分布 (灰色点) とほぼ一致する結果 (緑色点) を再現することができた。また、図8に示すように、実際の売上高とシミュレーションによる売上高の比 (Ratio r_i) と入次数 (k_i^{in}) の関係を調べることによって、入次数 (お金の流入経路数) の多い企業に対して、売上高の再現性が高いことがわかった。今後、この企業モデルを用いて日銀のマクロ・ストレステストを拡張する形で、新しいマクロ・ストレステストの方法を構築する研究を進めていく。

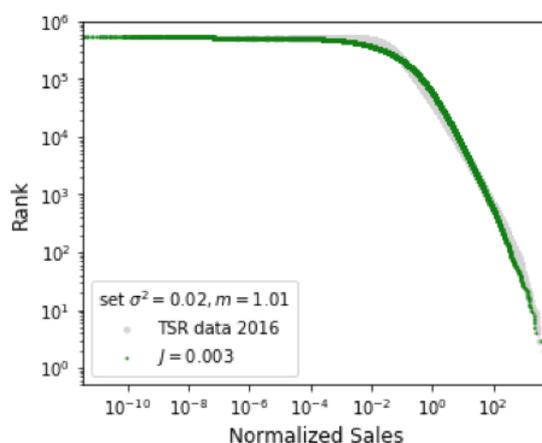


図 5：確率的な企業間取引モデルによる売上高のシミュレーションと実データの比較

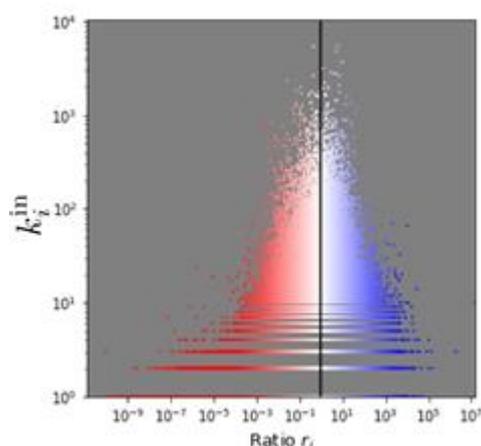


図 6：入次数 (お金の流入経路数) の多い企業に対する売上高の再現性

② サブ課題B 企業ネットワークシミュレーション（再委託先：国立大学法人東京工業大学・高安美佐子）

平成30年度は、前年度までに実施した大規模な企業ネットワークの時間発展シミュレーションモデルの準備をもとに、以下に示す本萌芽的課題に関するアプリケーション開発・研究開発について、本格実施を開始した。調査研究・準備研究フェーズにおいて実装した全国約100万社の企業ネットワークシミュレーションモデルを用い、ネットワーク上におけるストレステストとレジリエンスシナリオを取り入れたシミュレーションを行った。

本課題では、Miura-Takayasu-Takayasu モデルを発展させたネットワーク時間発展モデルに地域性の影響を取り入れたものを用いた。つまり、企業が新規取引を始める際、その接続先は通常の優先的接続の効果に加えて地域間結合のバイアスがかかると仮定する。そのバイアスは株式会社帝国データバンクより提供されたデータから推定された。それから計算された定常状態の1つを平時のネットワークと仮定し、その上で災害のゆらぎを考慮する。

まず、災害のゆらぎを考慮した経済活動の脆弱性テストを行った。ここでは、災害の経済に与える影響として、対象地域内の企業活動が一律に被害を受けた場合を仮定し、災害の強度に応じて被災企業のもつ取引が一定の割合で消滅するとした。この場合人口に相当する量は変化させず、経済のみが被害を受けるとした。その被災下の状況から出発し、レジリエンスを考慮しない場合の時間発展をシミュレーションによって推定した。これを様々なパターンの災害において行うことで、それに対する経済への影響が網羅的に調べられる。ここでは災害の強度(Intensity)は、その地域内の企業がどのくらいの割合の取引を失ったかで定義し、Intensity=0 の場合は災害の影響はなく、Intensity=1 の場合はその地域が関与する取引がすべて失われるとする。例えば東京都の企業が Intensity=0.0 ~ 0.6 の確率で取引を失った災害を考えると、その経済状況の時間発展は図1（左）のようになる。ここで点はシミュレーションの結果を表し、実線はそれを平衡状態へ指数関数的に緩和していく様子をフィッティングしたものである。この場合、我々のモデルにおいてレジリエンスなしでは、約10年の時定数をもって復旧が行われることが示された。

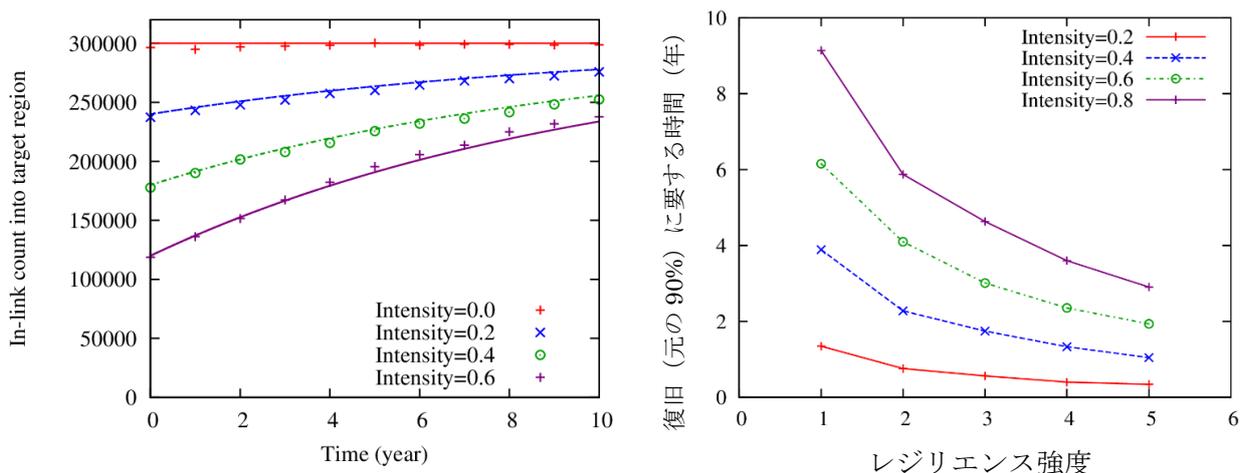


図1（左）東京都へ入る取引の本数の時間発展。時定数10年の指数関数で近似される。

図1（右）それぞれの状況における、レジリエンス強度を変えた場合の復旧時間の変化

それらに加えて、上記のそれぞれの被災状況から、最適な復旧シナリオの調査のため、仮想的に人工的なレジリエンスの強度を変化させてシミュレーションを行った。ここでは、モデルに取り入れられている取引の地域間結合確率のバイアスを災害前後で一定とするのではなく、災害後はその地域への結合確率を一定割合で上昇させる政策を取るとする。その割合をレジリエンス強度と定義する。定性的には、被災地のレジリエンス強度を上げるにしたがって復帰までの時間スケールが短くなることが示されている（図1（右））。

③ サブ課題C 金融シミュレーション（再委託先：国立大学法人東京大学・和泉潔）

平成30年度は、本格実施フェーズとして、システムリスクと呼ばれる金融システム全体への不安定性の大規模な波及現象（銀行の連鎖倒産、金融危機等）を防止するために、関連する各種金融規制の効果を事前に評価するためのシミュレーション基盤技術を分担機関の神戸大学と共同で行った。また、サブ課題AやBとの連携により、金融システムのリスクが企業活動や景気動向に与える影響の分析も行った。

③-1 金融取引と銀行間ネットワークの統合モデルの開発（再委託先：国立大学法人東京大学・和泉潔）

TOPIX100構成銘柄等の大型銘柄と数百行の大規模および中規模銀行を対象を絞り、協力機関から提供された実際の市場データや銀行間データの分析結果を基に、金融市場モデルと銀行間ネットワークを統合したシミュレーションモデルを、関連金融機関と協力しながら構築した。市場モデルと銀行ネットワークモデルの統合による市場規制の効果評価の手法を開発した。本モデルを用いて「銀行の保有する市場性資産の価格変動」と「銀行間の貸借ネットワーク形状」を変化させた時の銀行の連鎖倒産への影響を分析した。その結果（1）市場性資産の価格の変動率が高いほど最終的な倒産数も増加する、（2）リンク密度が高いほど最終的な倒産数は減少することが明らかになった。これらの結果は、銀行の連鎖倒産の原因が、資産市場の価格変動と銀行間の貸借の相互作用で決定されることを示唆している。さらに、サブ課題AやBとの連携により、金融システムのリスクが企業活動や景気動向に与える影響の分析も行い、マクロ・プルーデンス政策（金融システムと経済全体の安定性のための政策）の策定支援手法を開発した。具体的には、全国銀行財務諸表分析データを資産状況に反映させた銀行エージェントを100個体作成し、実際の日本のコール市場のコアペリフェラルネットワーク構造を反映した銀行間ネットワークモデルを作成した。本モデルと企業ネットワークの連成シミュレーションにより、銀行からの企業への投資確率の増大により、企業の成長率は平均的には増加しなかったが、成長できた企業と成長できなかった企業との成長率の分散を大きくさせる結果を得た。

③-2 人工市場エージェントシミュレータへの動的負荷分散の実装（再委託先：国立大学法人神戸大学・鎌田十三郎）

Plhamの高機能化およびエージェントシミュレーション向け分散ミドルウェアの拡充にむけて、X10版分散集合ライブラリおよびPlhamの機能拡充を進めると同時に、Java版Plhamの開発および今後のポスト京計算環境を対象としたメニコア環境向け分散ミドルウェアの研究を行った。

まず、エージェント群の大規模化および動的追加／削除やグループ管理にむけて、分散集合ライブラリのデザイン見直しならびに機能拡充を行った。具体的には、部分配列の動的追加が可能な分散集

合クラス(現 DistCol)に対し、要素群の再配置・負荷均等化・要素位置の効率的な管理機能を実現した。これと並行して、Plham にも機能拡張をおこない、グループ単位のエージェントやマーケットの初期化を可能とした(図1)。上記機能拡張により、Plham 上で容易にエージェントグループやマーケットグループを設定できるようになり、例えば、他の時空間からの影響をグループ単位でモデル化し、その影響を調べるといった応用が可能となる。上記分散集合ライブラリならびに並列版 Plham は 2019 年 4 月に公開した。

```
{ "simulation": { ..... },
  "SpotMarket": { "comment": "SpotMarket の基本形を定義",
                  "class": "Market", .....
                },
  "SpotMarket-N": { "comment": "上記をベースに要素数 99 の MarketGroup 生成",
                   "class": "SimpleMarketGenerator", "comment2": "生成用マクロ指定",
                   "prefix": "SpotMarket-",
                   "from": 1, "to": 99,
                   "base": { "extends": "SpotMarket", ..... }
                 },
  "FCNAgents-N": { "comment": "上記 Market Group の各要素に長期 Agent 生成",
                   "class": "AgentGeneratorForEachMarket", "comment2": "マクロ指定",
                   "markets": [ "SpotMarket-N" ],
                   "base": { "schedule": "longterm", "numAgents": 400, ..... }
                 },
  "FCNAgents-S": { "comment": "上記 Market Group の各要素に短期 Agent 生成",
                   "class": "AgentGeneratorForEachMarket", "comment2": "マクロ指定",
                   "markets": [ "SpotMarket-N" ],
                   "base": { "schedule": "shortterm", "numAgents": 100, ..... }
                 },
  .....
}
```

図1 マクロを利用した各種マーケット・エージェントグループ設定(サンプル)

また、並列シミュレーション中に対象世界を並行世界に分枝し、シミュレーションを継続実行するための機能(分枝実行機能)についても、プロトタイプ実装による動作を確認した。分枝実行機能などを用いて、他の時空間からの影響について実行時分析などを行えないか、今後検討していく。

Java 版 Plham(PlhamJ)については、逐次版を 2019 年 3 月に公開した。Java 版 Plham を用いて 1000 個体のエージェントが 10 銘柄を取引するシミュレーションを実行し、自己資本規制による市場の不安定化が分散投資の拡大により緩和される効果を確認した。

動的負荷分散機能に関する成果として、Plham 並列版の開発に先立ち Java+APGAS 環境向け MPI launcher の作成と細粒度動的負荷分散ライブラリ GLB の Java への再実装をおこない(JavaGLB)、現在メニコアクラスタ向け効率的な実装を進めている。ポスト京環境ではメニコア型計算機を安定かつ効率的に利用することが重要であり、成熟した Java のマルチスレッド環境を対象に分散計算機能の拡充を進めている。JavaGLB についても、2019 年 4 月から公開を開始している。

以下が公開ソフトウェアの一覧である。

- cassiaX10libならびにJavaGLB: <https://github.com/handist/>
- Plhamならびに PlhamJ: <https://github.com/plham/>

- ④ サブ課題D 交通・人流シミュレーション(再委託先: 国立研究開発法人産業技術総合研究所・野田五十樹)

本サブ課題では、本年度、人流および交通について、人流・交通の相互の連成シミュレーションの方法を、現象境界でのデータ同化などを通じて行う方法の開発に着手した。同時に、他サブ課題との連携、特に経済現象との連成について、その方法論の検討を開始した。

成果としては、人流・交通の連成シミュレーションについて、網羅シミュレーションにより境界条件の整合性をとる方法の確立の目途をつけることができた。

④-1 網羅的交通・人流シミュレーションとその解析（再委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所・野田五十樹）

今年度は、交通と人流という異なる現象のシミュレーション連携の実現に向け、HPC を活用し、遺伝的アルゴリズム等による多目的最適化手法（詳細は Hiroyasu Matsushima, Itsuki Noda, "Analysis of Trade-off in Evacuation Plan using Evolutionarily Exhaustive Simulation", Proc. of the 23rd International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 23rd 2018) OS15-4, International Society of Artificial Life and Robotics, Jan. 2018 参照）を組み合わせ、交通・人流シミュレーションの間のデータ同化・モデル同化を行う枠組みの開発に取り組んだ。

具体的には、福井県の国体開催における交通・人流制御と、パシフィコ横浜における屋内・屋外の人流制御について、④-2 の海洋研および④-3 の東京大学のチームと連携し、交通・人流の連成シミュレーションのためのデータ同化を、網羅的探索と最適化を組み合わせた方法で実現する方法論の開発に取り組んだ。

④-1-1) 人流・車両流連成に向けた接続方式

人流と車両流の異なる現象のシミュレーション連成を実現するために、人流シミュレータ CrowdWalk と車両流シミュレータ MATES について、連成のための境界条件交換の方法を策定した。

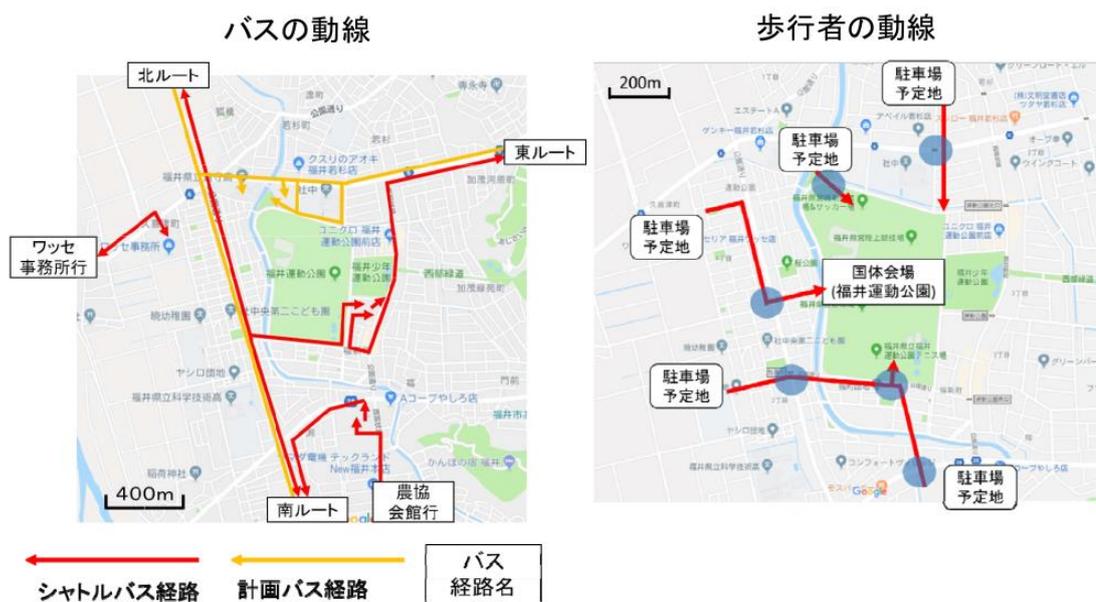


図 7 人流・車両流連成の対象地域（福井国体メイン会場）

連成シミュレーションの題材としては、福井国体のメイン会場付近の人流と来場車両流を取り上げている(図 7)。この会場では競技場の周辺に来場者用駐車場を設けているほか、最寄り駅よりシャトルバスで来場者を送迎しており、そのバスは競技場から南方の駐車場に到着することになっている。このため、競技場公園の南門(図 8)において、交通流と人流が交差し、かつ、お互いの結果が他のシミュレーションの境界条件となる箇所になっている。



図 8 連成交差部分の拡大図

この連成を可能とするため、交差部分における人流・交通流の交通整理を行う信号機能を、汎用性のある形で CrowdWalk 側に実装した。国体の際には、この部分の交通整理は企画式信号ではなく、人による臨機応変な切り替えであったため、シミュレーションに組み込む信号機能も、横断歩道前の滞留人数の増減や赤信号期間の上限・下限などに基づいて柔軟に切り替えができるものとして実現する必要があった。よって、この機能を、信号に限らず、任意の条件判断で人流を制御できるプログラム可能なゲート機能として設計し、RubyGate と名付けて実装した。

RubyGate 機能を利用するには、まず、図 9 に示すような Ruby プログラムを作成し、ゲートにおける条件分岐(ゲートの開け閉めによる人流の制御)を実現する。また、CrowdWalk のシナリオファイルに、図 10 のようなゲートイベント記述を記載し、使用する Ruby のプログラムやパラメータを指定する。この Ruby プログラム及びシナリオファイルは CrowdWalk の設定ファイルの一部であり、通常の設定ファイルと同じく容易に変更可能となっている。これにより、本プロジェクトで必要となる多様なシミュレーション設定での大規模並列実行が簡潔に実現できる構成となっている。

```

class GateCrossing_02 < RubyGateBase
...
  def isClosed(agent, currentTime)
    cycle = currentTime.getTickCount() ;

    if(@checkCycle < cycle) then
      # もしすでにチェックしてたら、飛ばす。
      duration = cycle - @modeBeginCycle ;
      preMode = @mode ;
      switchReason = nil ;

      if(duration < @switchMinDuration) then
        # 短く変更しすぎない。
        # do nothing ;
      elsif( duration > @switchMaxDuration) then
        # 長く同じモードにしすぎない。
        @mode = (@mode == :close ? :open : :close) ;
        switchReason = :timeout ;
      else
        count = countWaitingAgents(@stopSpeed)
        if(count > @openThreshold) then
          # 待機人数が多くなりすぎていたら、開ける。
          @mode = :open ;
          switchReason = :tooManyWait ;
        elsif(count < @closeThreshold) then
          # 待機人数が充分少なければ、閉じる。
          @mode = :close ;
          switchReason = :shortEnoughWait ;
        end
      end
      end
      pushSwitchHistory(cycle, switchReason) if (@mode != preMode) ;

      @checkCycle = cycle ;
    end

    return (@mode == :close) ;
  end
end
...
end # class SampleWrapper

```

図 9 Ruby 制御型ゲート機能定義プログラム

```

[ ...
  { "type": "CloseGate",
    "gateClass": "RubyGate",
    "rubyClass": "GateCrossing_02",
    "atTime": "08:00:00",
    "placeTag": "crosswalk;SouthGate;end",
    "gateTag": "crossing",
    "crossingConf": {
      "watchLinkTag": "crosswalk;SouthGate;waiting",
      "switchMinDuration": 30,
      "switchMaxDuration": 500,
      "openThreshold": 200,
      "closeThreshold": 150,
      "stopSpeed": 0.1,
      "logFile": ",Log/fukuiKokutai.02/gateCrossing.log"
    },
    "": null
  },
  ...
]

```

図 10 Ruby 制御型ゲート機能用シナリオ設定ファイル

図 11 は、RubyGate 機能を用いた人流シミュレーションの様子を示している。この図では、中央部で破線の形で切れ切れになっている緑色の線が、信号機能により分断された人流となっている。また、下部で緑と赤のまだら状態になった線が伸びているが、これが、信号で渋滞しつつ、間欠的に流れている人流の再現となっている。この図では人流シミュレーションの結果のみを示しているが、MATES による交通シミュレーションの結果を重畳すれば、車両流・人流の連成のシミュレーションとすることができる。



図 11 連成のための人流シミュレーションの様子（横断歩道信号の導入）

なお、この RubyGate による信号機能での交通・人流の連成では、決められた信号切り替え規則での結果しか求めることができない。シミュレーションにおいては、より多様な設定のシミュレーションを行うことで、安定した交通・人流を実現する最適切り替え戦略の策定・評価が目的となることから、このようなシミュレーションを多数実行する必要がある。これを実現するため、産総研の大型計算機 ABCI を用いた並列実行の手法の確立も本年度進めた。ここでは、本プロジェクトのサブ課題 E で開発している OACIS を活用し、RubyGate による多様な設定でのシミュレーションを HPC 環境で効率よく実行するものとなっている。ABCI はポスト京の計算機に似たプログラム実行機能を持っているため、この成果はポスト京での実行に速やかに移すことができると想定できる。

④-1-(2) 人流マイクロ・マクロ連成手法の拡充

前年度開発した人流シミュレーションにおけるマイクロ・マクロ連成手法について、その連成をより一般化・拡充するために、マクロからマイクロへの接続方法について再検討を行った。

前年度は主としてマイクロシミュレーションからマクロシミュレーションの方向への接続を中心として、パシフィコ横浜を題材として手法の確立を行った（図 6 参照）。その逆方向でも基本的に同じ手法が使えるものの、方向の非対称性から、より精密な接続が必要であることが分かった。具体的には、マイクロシミュレータのほうが制約条件が多いため、前年度行った 1 点での接続では十分に滑らかな接続ができないことが判明した。そこで、今年度は接続方法をゾーン（長さのあるリンク、Entrance Path と呼ぶ）で行う方法と、複数の接続点(Approach Nodes)を実際の接続点の前に設ける方

法を検討した(図 12)。Entrance Path 方式では、各エージェントが Entrance Path のゾーンに入る時点と通り抜けた時点の時刻を記録し、後段のマイクロシミュレータに受け渡す方式をとる。多点接続方式では、接続点に向けて移動するエージェントが、その手前にある Approach Node を通過した時点を確認する。このようにマージンを設ける方式は、後段のマイクロシミュレーションへの受け渡しをスムーズにする効果がある。

この機能の実現のため、CrowdWalk のログ解析ツールに、指定した複数地点の経過時刻を収集する機能を追加した。

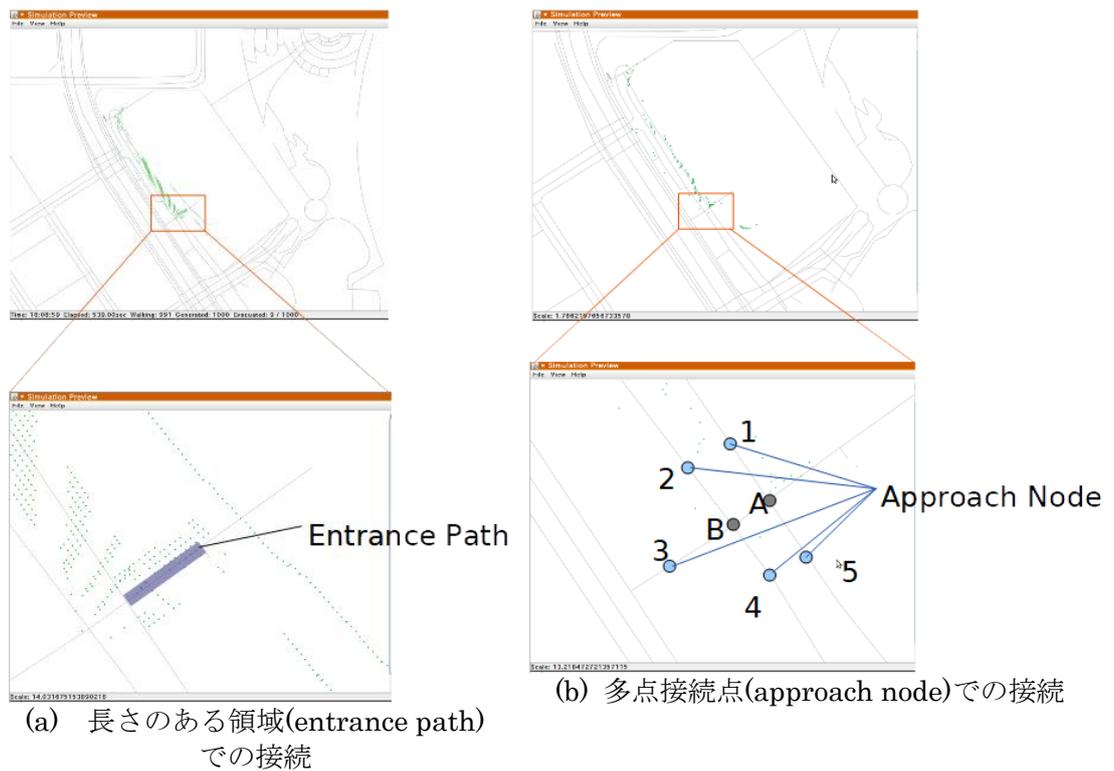


図 12 マクロ-マイクロ連携のための接続箇所の検討

④-1-(3) 人流シミュレーションにおける動的条件切り替え機能の実現

人流シミュレータ CrowdWalk を様々な連成に活用できるようにするため、シミュレーションの設定を動的に変更できる汎用的機能を、RubyWrapper 機能として拡充した。

RubyWrapper 機能は従来より CrowdWalk に備わっていた機能であるが、これまでの連成の知見や様々なシミュレーション応用の経験から、動的変更に多用されるいくつかの機能を整理し、RubyWrapper 機能として追加した。追加した主な機能は以下のとおりである。

- ノードごとの避難完了・通過人数計測機能とその人数の Ruby からのアクセス方法
- シナリオにおけるイベント定義への Ruby からのアクセス方法
- マップデータの Ruby からの直接アクセス方法

これらの機能検証を兼ねて、徳島県阿南市津乃峰地区(図 13)を対象とした避難シミュレーションを進めた。このシミュレーションでは、避難所における定員制限の柔軟化や定員あふれの避難者へのアナウンスをいかに柔軟にシミュレーション中に実現するかが課題であった。上記の RubyWrapper

機能の充実により、定員制限による避難所締め切りやそれに基づく避難エージェントの行動変容、さらには、定員の柔軟化による影響を容易に実験できるようになった(図 14、図 15)。

この実験では直接連成シミュレーションとはなっていないが、これらのシミュレーション設定の柔軟な切り替えは、より多様なシミュレーション連成に、CrowdWalk が利用できる可能性を広げることになっている。



図 13 シミュレーション対象地域 (徳島県阿南市津乃峰地区)

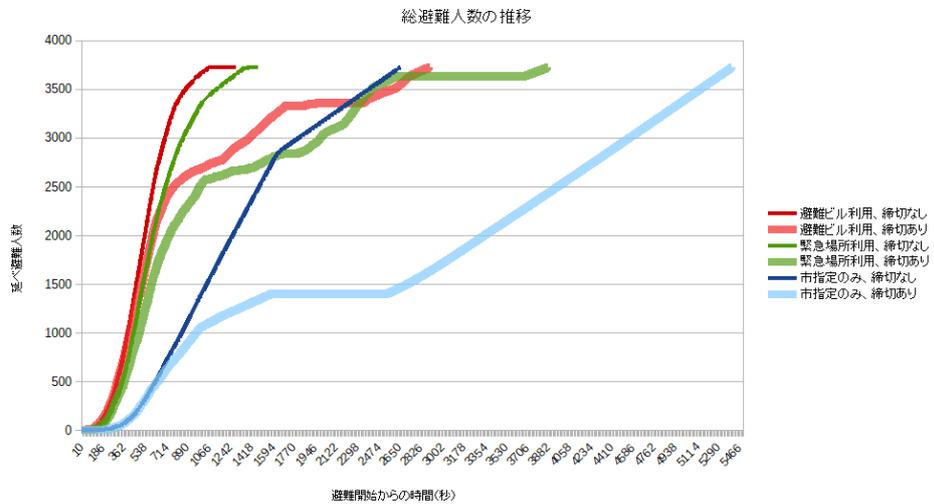


図 14 避難シミュレーション結果 (条件の違いによる避難時間の違い)

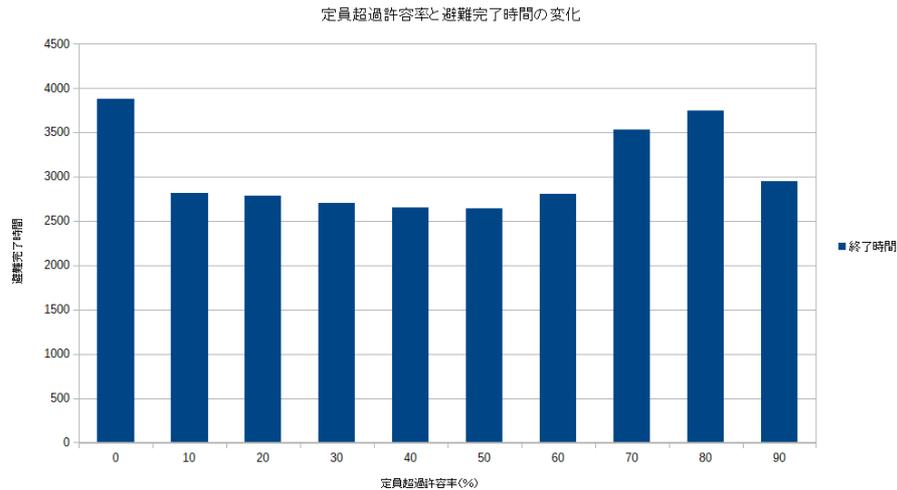


図 15 定員超過に対する許容と避難時間の関係実験結果

④-1-(4) まとめと今後

以上のように本年度は、人流と交通流の異種シミュレーションの連成するための接続方式の検討と、それを HPC 上で実現する機能確認等を進めた。また、人流のマイクロ・マクロ連成についても、連成のタイプの拡充にむけた事例・機能の拡充を行った。

次年度は、このフレームワークを完成させ、人流・交通連成などより広範囲の連成シミュレーションを実現する技術を確立する予定である。

④-2 人流制御技術の開発（再委託先：国立研究開発法人海洋研究開発機構・浅野俊幸）

今年度は、建物内部等の実形状データと精緻な計算を用い、建物から都市空間にわたる空間スケールでの超高精度な具体的な人流の再現・予測のシミュレーションの開発を実施した。特に、「京」コンピュータへのコード移植・動作確認・性能計測・分析、およびポスト京のアーキテクチャを意識した高速化方針をひきつづき検討した。新たに人の流れを制御する技術を構築しプログラムに実装したことにより、再度、プログラムの分析・性能測定・高速化を検討した。また、新たに機能実装した部分はリファクタリングに反映させた。その結果、OpenMP 並列では並列効果が確認され、特にデータ規模が大きくなるほど効果が大きい傾向を確認することができた。一方、MPI 化については、実行時の使用メモリサイズの分割を目的とした MPI 化の検討を実施した。プログラム内で用いる配列データを MPI プロセスに分散させることで、ノード当たりの使用メモリサイズを分散させることができる。検討した結果、MPI 並列化を阻害する要因があることがわかり、その対処方法について調査・検討した。その他、異なるシミュレータによる連成シミュレーションを目指したデータ同化の手法の開発については、産業技術総合研究所・野田五十樹等が開発する CrowdWalk と浅野等が開発する MASH モデルとの間でより大規模で複雑な人流データのやり取りを行うマイクロ-マクロ連成手法について、昨年度開発したマイクロからマクロへの連成に加え、マクロからマイクロへの連成手法を開発し、連成シミュレーションを実施した。

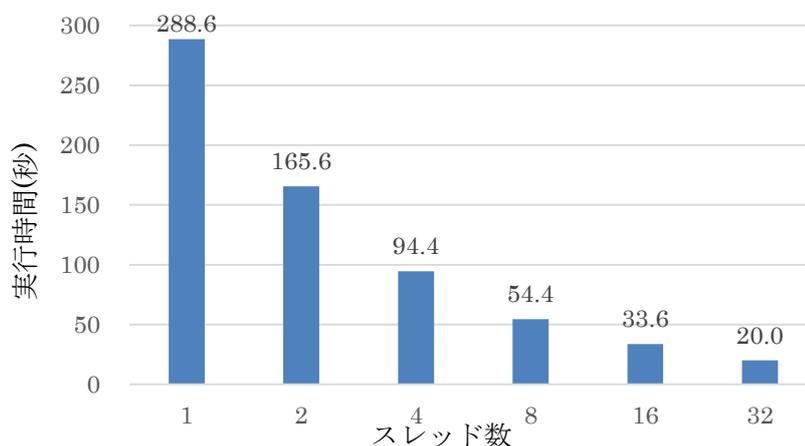
④-2-(1) 京コンピュータへの移植を考慮した高速化

海洋研究開発機構の浅野俊幸等が開発する MASH (Multi-Agent based Simulator for Human behavior) モデルは、ループ内の処理をサブルーチン・関数として参照しているためベクトル化できていない。その結果、ほとんどの処理がスカラで実行されており、サブルーチン・関数の呼び出しコストが発生している。サブルーチン・関数のインライン展開ができれば全体の処理時間も削減すると考える。

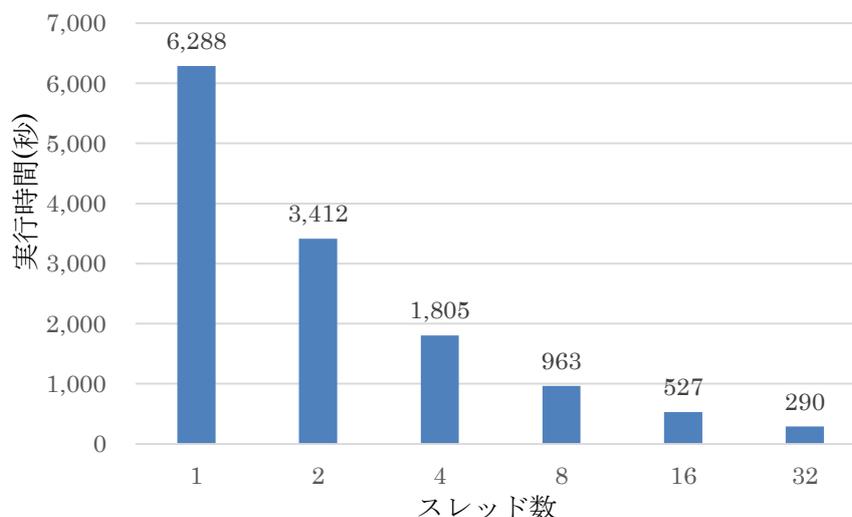
計算時間の割合が高い部分を特定したところ、徒歩避難者ループの処理が最も処理時間を占めており、ある条件の 1512 人のエージェントのケースでは 99.7%がこの部分であることが分かった。今年度は、OpenMP による並列化を実施することで処理時間の短縮を図った。まず並列化を阻害する依存関係がエスカレータにたどり着いた避難者の扱いであることを確認し、この問題を解決するよう処理を修正したところ下記のように並列性を向上することができるようになった。

Intel Xeon サーバ 2 を用いて、評価データ避難者 288 名、避難者 1512 名を用いて並列効果を検証した。環境変数に KMP_AFFINITY=compact を指定している。計測した時間は標準出力に出される Total Time を使用した。(図 16)

① 避難者 288 名(pacifico_288ped)の実行時間



② 避難者 1512 名(pacifico_1512ped)の実行時間



③ 並列効果

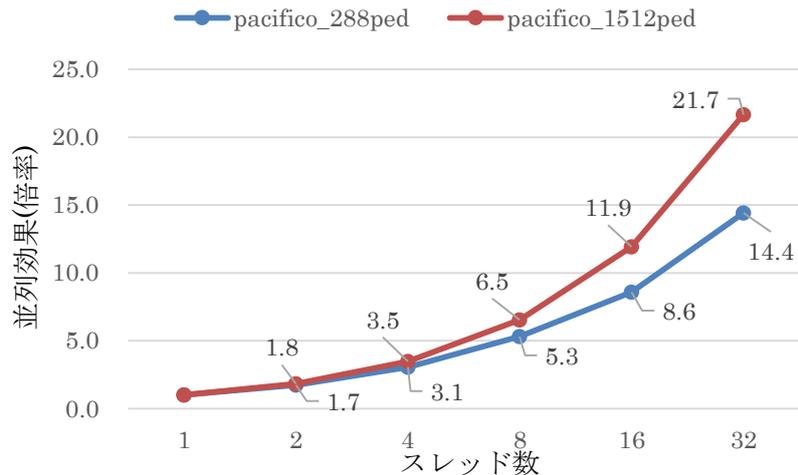


図 16 OpenMP 化の効果

以上より、データの規模が大きい pacifico_1512ped の並列効果がより高いことを確認した。

④-2-(2) 人の流れを制御する技術開発

今年度は、災害時に避難誘導を行った場合の避難性状を MASH モデルで解析するために必要と思われる機能拡張について調査検討を行った。実際には、情報伝達エージェントを用いた避難者誘導機能の追加を行った。

情報伝達エージェントを用いた避難誘導機能として以下の検討を行った。

- 避難者の目的地選択に影響を及ぼす情報伝達エージェント機能を作成する。
- 情報伝達エージェントは VisInfo、SoundInfo の 2 種類とし、それぞれ複数設定できるものとする。
- VisInfo(図 17)は視覚情報 (Pull 型：看板、デジタルサイネージなど)、SoundInfo(図 18)は音声情報 (Push 型、誘導員、館内放送など) である。
- 各情報伝達エージェント位置は「点」で表し、大きさは持たないものとする。また、各情報伝達エージェントの位置は固定とし、移動しないものとする。
- 各情報伝達エージェントはいずれかのエリアに所属するものとし、所属フロア内で情報伝達可能範囲を設定する。
 - VisInfo の情報伝達可能範囲は扇形で表現する。つまり「位置、向き、角度、距離」で情報伝達可能範囲を表す。また、VisInfo の情報伝達可能範囲に壁等の障害物がある場合には、壁の向こうには情報が伝わらないものとする。
 - SoundInfo の情報伝達可能範囲は円で表現する。つまり、「位置、距離」で情報伝達可能範囲を表す。また、SoundInfo の情報伝達可能範囲に壁等の障害物があったとしても、壁の向こうに情報が伝わるものとする。
- 各情報伝達エージェントが伝える情報は所属するエリア内の「目的地」とする。なお、伝える目的地は各情報伝達エージェントについて 1 つのみとし、時間変化しないものとする。ただし、各情報伝達エージェントの情報伝達開始時間は設定できるものと

する。

- 各情報伝達エージェントには避難者への「影響力」を設定する。

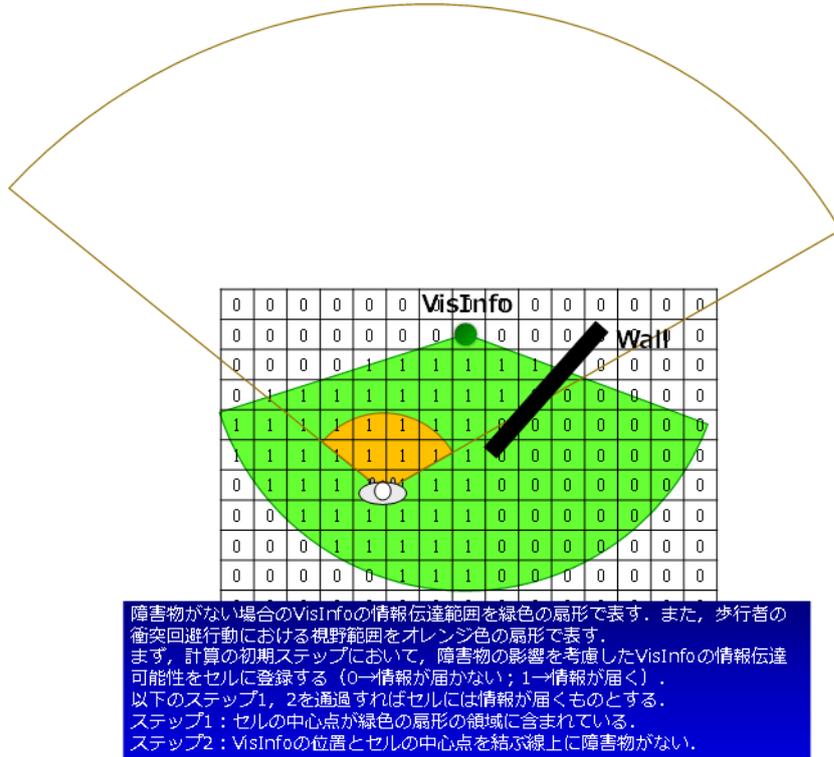


図 17 VisInfo の情報伝達可能範囲の考え方

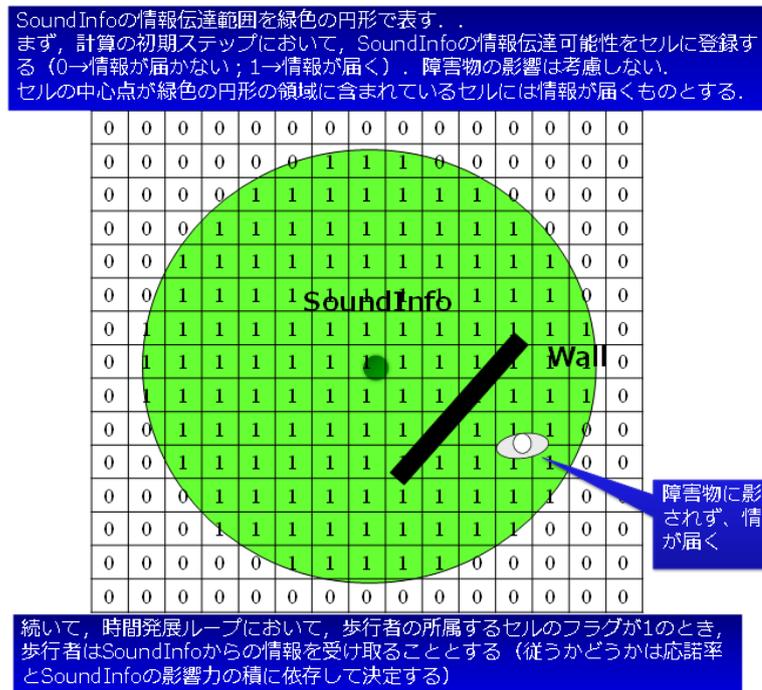


図 18 SoundInfo の情報伝達可能範囲の考え方

④-2-(3) CrowdWalk と MASH モデルとの連成

今年度は、産業技術総合研究所・野田らが開発する CrowdWalk と MASH モデルとの間で人流データのやり取りを行うマイクロ-マクロ連成手法の改良を検討した。また、より汎用的なデータ形式に対応するため、Fortran 90 の JSON(JavaScript Object Notation)パーサを開発し、MASH の一部パラメータを JSON 形式で変更することが可能となった。

図 19 は建物から街区に人が出て行く場合を想定した、マイクロからマクロ方向連成の概念図である。CSV ファイルを介してマイクロとマクロの継ぎ目部分の情報を交換し、マイクロ・マクロ双方で整合性が取れるまでシミュレーションを繰り返す。

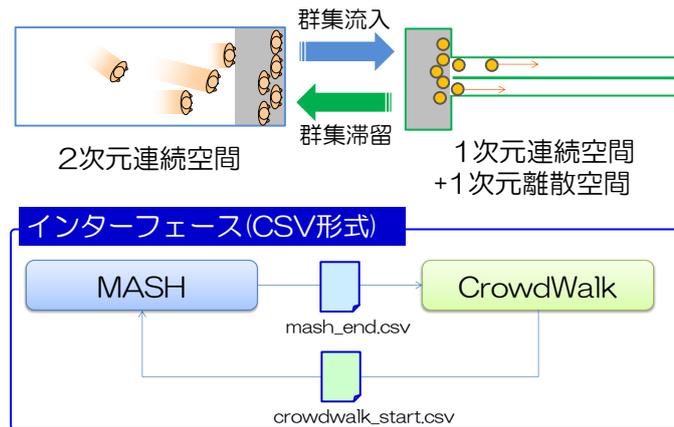


図 19 ミクロからマクロへの連成概要

図 20 は街区から建物に人が入る場合を想定した、マクロからマイクロ方向連成の概念図である。マイクロからマクロの連成と同様に CSV ファイルを介して継ぎ目部分の情報を交換し、整合性が取れるまでシミュレーションを繰り返す。

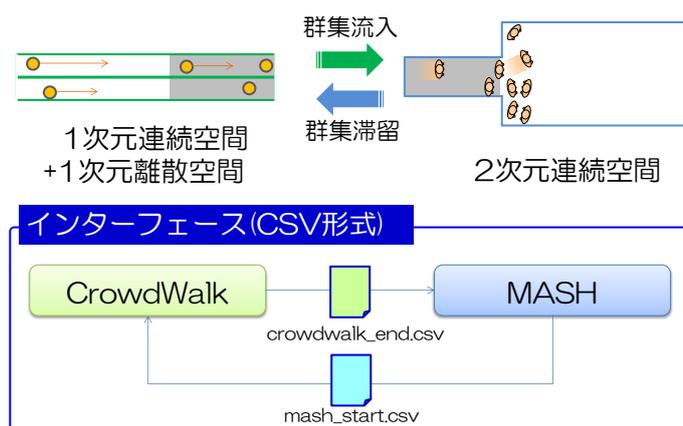


図 20 マクロからマイクロへの連成概要

MASH用の実在の建物の内部構造と外周を対象とした入力データ(形状・道路ネットワークなど)を作成し、CrowdWalkとMASHの連成シミュレーションを検討した。図21は周辺の街区から建物内に流入した群集の様子であり、左図はMASHのみで連成なし、右図はCrowdWalkとMASHを連成した時の結果である。図21の赤枠で囲った部分がCrowdWalkとMASHの継ぎ目領域である。連成ありではCrowdWalkで計算した群集の建物入口への到着タイミングのばらつきを考慮しているため、連成なしとは建物内における群集の滞留状況が異なる可能性が明らかとなった。

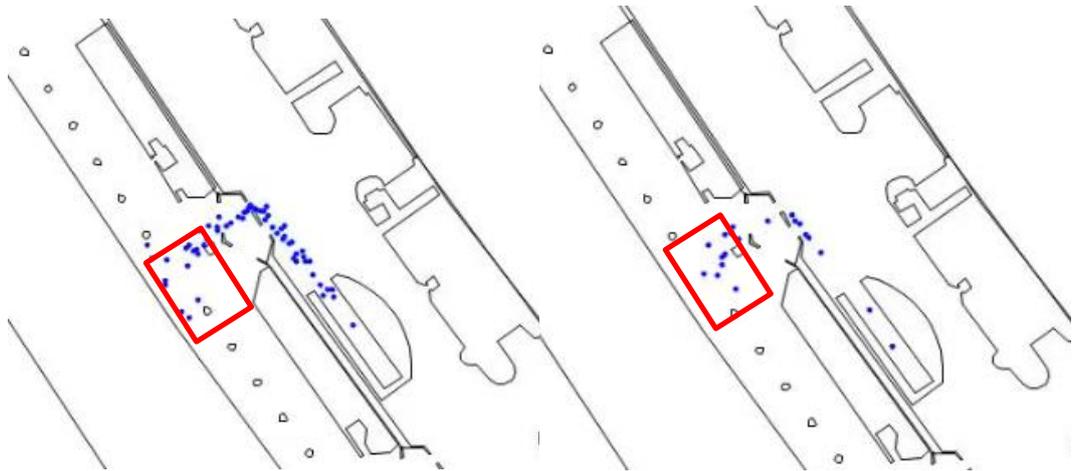


図 21 CrowdWalk と MASH の連成シミュレーション例(左:連成なし、右:連成あり)

④-3 マルチエージェント交通流シミュレーションのソフトウェア開発(再委託先: 国立大学法人東京大学・藤井秀樹)

これまでに整備し京コンピュータへ移植してきた並列マルチエージェント交通流シミュレータ ADVENTURE_Mates について、その並列化効率をさらに向上させるための負荷分散手法の検討及び実装を行った。結果として、計算負荷の値として処理エージェント数でなく各部分領域の計算時間を直接用いること、計算中に負荷の不均衡が生じた場合に動的に領域を再分割することの有効性を確認した。

また応用事例として大規模イベント(福井国体および三重国体)を想定した交通誘導およびバス輸送に関し、シミュレーションによる評価を実施した。加えて、人流シミュレータと連携して解析を行うための改良を実施した。

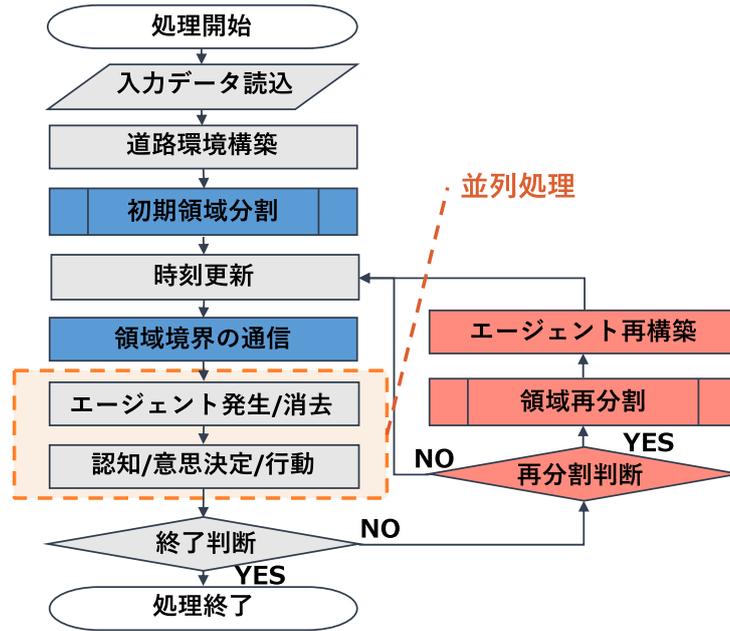


図 22 並列版 ADVENTURE_Mates の処理フロー

領域境界における通信は並列化効率の低下を招くことから、通信コストが最小となるのが望ましい。前年度までと同様、交差点要素数とその接続関係を考慮したグラフパーティショニング手法を採用し、オープンソースのグラフ分割ライブラリである METIS を活用した。

シミュレーション実行中に負荷が変動する場合、変動に伴って負荷をバランスングすることにより負荷の均等性を保たなければならない。ADVENTURE_Mates (図 16) では計算時間の 9 割近くがエージェントの計算に用いられていることから、先行研究においては延べ処理エージェント数を各プロセッサにおける計算負荷と定義していた。しかし各タイムステップ・交差点要素まで分解すると計算時間は不均一である可能性がある。

この対応策として、自領域に存在するエージェントの計算時間そのものの総和を新たな計算負荷とすることを考えた。つまり、重みの総和が均等になるように領域分割することができれば、理論上各プロセッサの計算時間を均等とすることが可能である。以上の検討から、本年度は計算負荷を従来通り「延べ処理エージェント数」と定義した場合と新たに「エージェント計算時間の総和」と定義した場合の比較を行った。

また、バランスングの頻度は性能向上にとって重要である。本研究では Worker が Master に計算負荷を送信し、Master が再分割判断を行う Master-Worker 型のアルゴリズムを用いた。この負荷送信から判断処理までの一連の流れは並列化することができないため、この処理時間は全体のシミュレーション時間に対して十分に小さくしなければならない。したがって、一定間隔おきに判断を行うこととした。時刻 $t - T$ から時刻 t までの計算負荷の不均衡度 $I(t)$ は、プロセッサ p ($p = 1, 2, \dots, n_p$) の計算負荷 $L_p(t)$ を使い、昨年度までと同じく以下の式で定義する。

$$I(t) = \frac{\max_p L_p(t)}{\frac{1}{n_p} \sum_p L_p(t)}$$

本年度は具体的な $L_p(t)$ として延べ処理エージェント数とエージェント計算時間の総和の2つを用いた。再分割を判断する閾値を1.10とし、昨年度までと同じく東京都の中心部を再現したネットワークを用いて並列性能の評価を実施した。ただし昨年度までに実装が完了していたのは静的負荷分散のみであり、エージェントがある程度広範に分布した後のシミュレーション(具体的にはシミュレーション内時間の30分~60分の30分間)が性能評価の対象であったのに対し、本年度は動的負荷分散に対応したため、エージェントの分布の変動の大きな時間を含め、シミュレーション内時間の0分~60分の60分間を性能評価の対象とした。

結果として得られた並列化による加速率を図23に示す。負荷分散の方式として静的(static load balancing: SLB)と動的(dynamic load balancing: DLB)の2種、負荷の定義としてエージェント数(agents)とエージェント計算時間(calctime)の2種を用いて比較した。

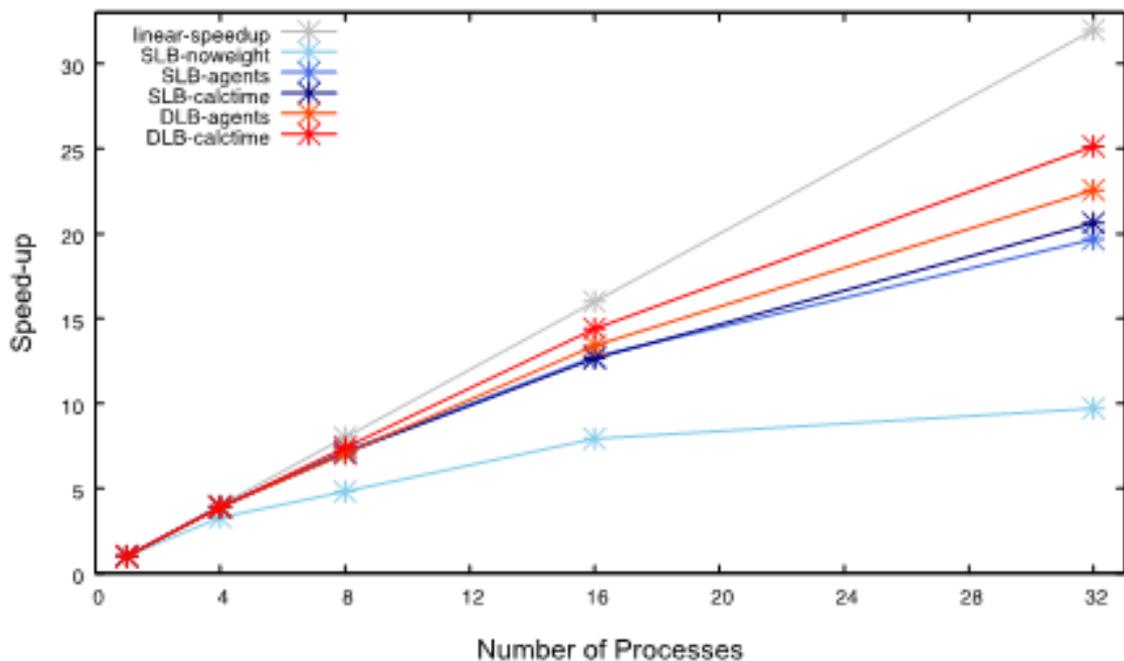


図 23 並列化による加速率の比較。静的負荷分散 (SLB- で始まる3つ) と比べて、動的負荷分散 (DLB-で始まる2つ) の方が性能向上 (Speed-up) が大きい。

最も良い加速率を示したのは、DLB-calctime、すなわちエージェント計算時間によって負荷を定義し動的負荷分散を行った場合であり、32並列で25.2倍であった。昨年度に達成した静的負荷分散で約25倍という結果は、シミュレーション開始から30分が経過し、各領域に含まれるエージェント数の変動が比較的小さくなってからの評価であることに注意されたい。エージェント数の変動が大きなシミュレーション開始直後を含め動的負荷分散により性能が倍増しており、有効であったことが確認された(図17参照)。

一方、応用事例としての国体のバス輸送計画・交通誘導のシミュレーションでは、三重県の協力が得られ、三重国体に向けた検討を開始した。具体的には背景交通の交通需要の推定に着手した。また昨年度まで実施してきた福井国体のシミュレーションについては、結果をまとめて報告し、国体の運営に役立てられた。図 24 は、実際の報告で用いられた資料の一部であり、交通総量抑制の効果を示したものである。



図 24 福井国体における総量抑制効果の事前評価

またこの福井国体を題材に、自動車交通流を ADVENTURE_Mates、会場に向かう観客（歩行者）を CrowdWalk で計算する連成計算にも取り組んだ。具体的には、CrowdWalk 側で歩行者の有無に応じて横断歩道の信号現示を変え、これを ADVENTURE_Mates に csv ファイルで渡して交通流を制御する機能を実装した。

④-4 都市交通モデルの開発（再委託先：学校法人立命館立命館大学・服部宏充）

前年度に行った、GAMA を基盤としたシミュレーション環境上でのエージェント群の定義ならびに機能設計に関する検討結果に基づき、エージェントソフトウェアの整理・構造化を行った。当該環境においては、人や車などの移動主体、および道路や各種建造物などのオブジェクトを全てエージェントとして表現し、エージェントネットワーク上の継続的な相互作用によってシミュレーションを実現する。それらエージェントについて、各々の機能に関する継承関係を整理し、図 25 のように構造化した。シミュレーションプログラムを洗練化しメンテナンス性を高めると共に、今後のシミュレーションにおいてエージェントの追加を容易化した。

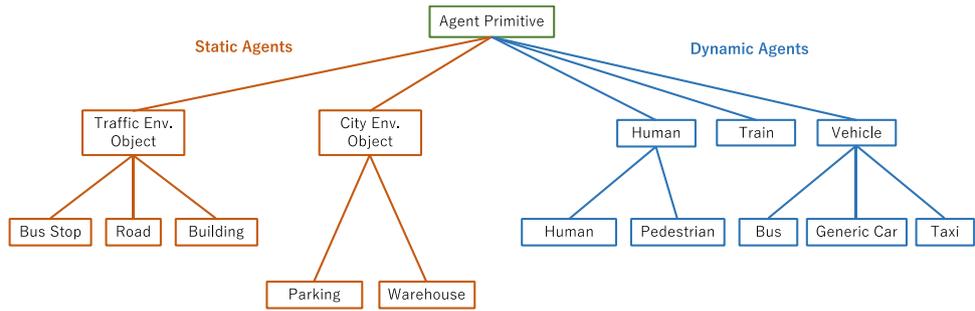


図 25 交通シミュレータにおけるエージェントの継承関係

図 25 に含まれる複数のエージェントを実装し、交通と人流を接合する準備となるシミュレーションを行った。すなわち、一般車両と、路線バス、タクシーの公共交通を成す車両による交通流を生成し、乗客エージェントを実装し組み込み、路線バスを介して人の移動をシミュレーションすることを可能とした。具体的には、路線バスエージェント、乗客エージェント、およびバス停エージェントの 3 種のエージェントの相互作用により、旅客輸送をシミュレーション中で模擬する。

図 26 に旅客輸送に関する 3 種のエージェント間の処理シーケンスを示す。今回は簡易な実装としたため、乗客は、出発地・目的地 (Origin&Destination: OD) を共に、バス停エージェント (の設置地点) からランダムに選択し割り当てのみのシンプルなエージェントとして実装されている。また、乗客エージェントはバスに乗車した時点で自身の ID と割り当てられた OD から成る乗客データに変換され、エージェントとしてのオブジェクトはシミュレータ上から削除される形式の実装を行い、シミュレーションを大規模化した際の処理の効率を得られる事とした。なお、図 27 にシミュレーションの実行例を示す。

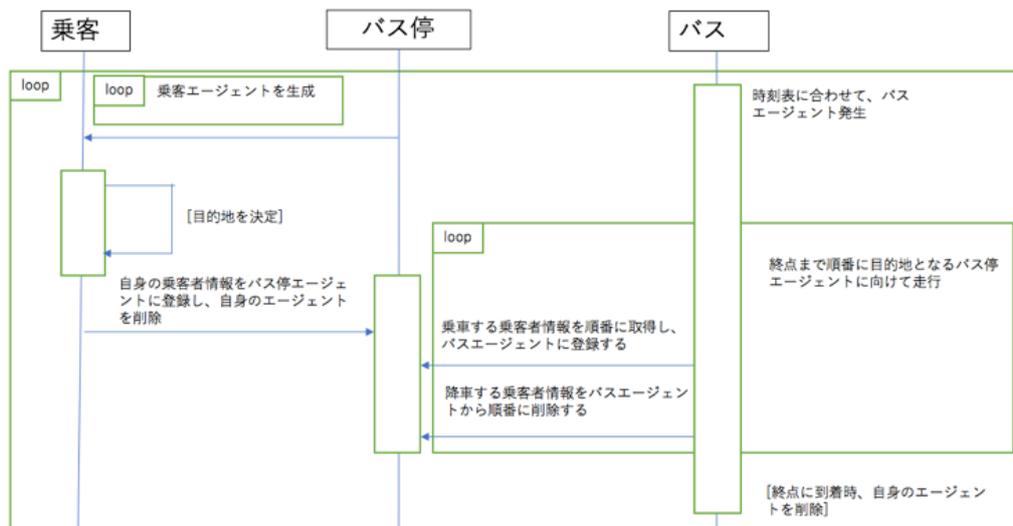


図 26 旅客輸送の処理シーケンス

上記のシミュレーションを OACIS と接続し、シミュレーションの並列実行について、方法の検討を行った。前年度に行ったタクシーに関する並列シミュレーションを参考に、GAMA に基づくシミ

ュレーション環境におけるバスの配車戦略の発見的探索の可能性について、特に OACIS と連携する際のパラメータの設計について検討を行い、効果的に利用することが十分に可能であることを確認した。なお、手動による操作も交えた試行では、合計 50 回程度のシミュレーションを実施した結果、バスを避けた一般車両やタクシー等の車両の走行総時間が想定以上に増加するといった現象もみられ、モデルの見直し・精緻化の必要を確認した。

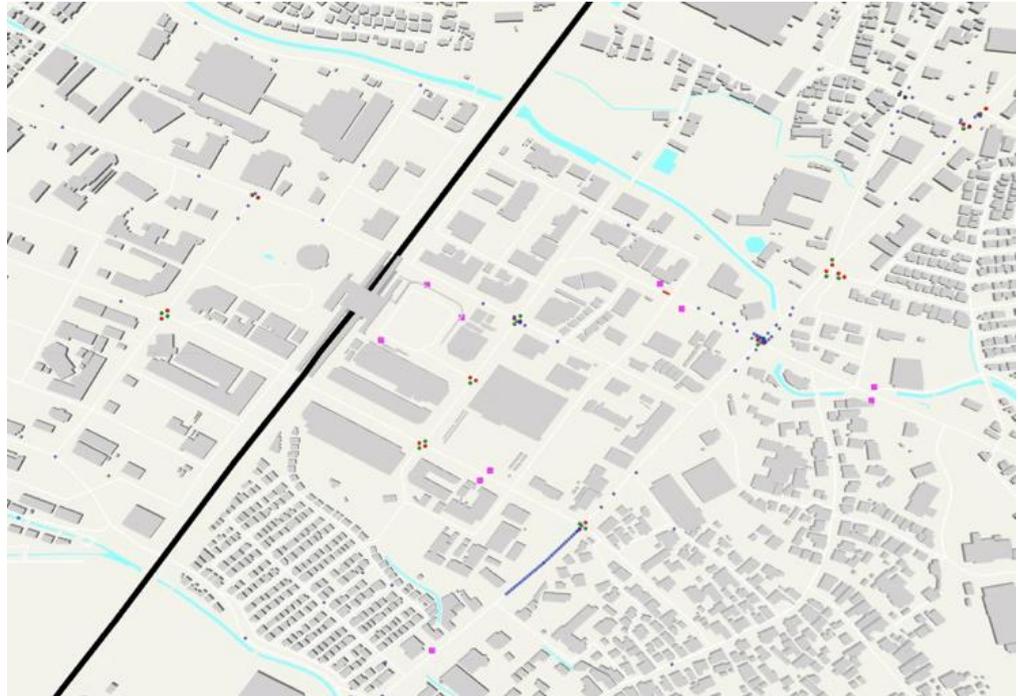


図 27 旅客輸送シミュレーションの実行例

⑤ サブ課題E 社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発（再委託先：国立大学法人神戸大学・上東貴志）

今年度は、以下に示す本萌芽的課題に関するアプリケーション開発・研究開発について、開発計画（研究開発内容、目標・期待される成果、実施体制、必要計算資源、工程表、所要経費等）の詳細の策定を分担機関の国立大学法人東京大学・国立研究開発法人理化学研究所と共同で取り組んだ。

⑤-1 近似ベイズ計算によるモデル評価技術の開発（再委託先：国立大学法人神戸大学・上東貴志）

平成29年度に引き続き、近似ベイズ計算によるモデル評価技術の開発に向け、一般的な状態空間モデルにおけるパラメータの事後分布の並列化計算を可能とする拡張版MCMCの手法の開発を続けた。この手法は、パラメータのサンプリングを並列して独立的に行い、パラメータが更新される確率を通常のMCMCに比べ、大幅に上昇させることにより、計算時間も大幅に短縮するものである。この独自に開発した手法に関して、理論的に、並列化の数を増やせば更新確率が1に近づき、目標とする分布から直接サンプリングするのと同等の結果が得られることが分かっているが、平成30年度は、並列化の規模を拡大して、この理論的結果等を検証した。

具体的には、Stochastic Volatility (SV) モデルと呼ばれる資産価格のモデルにおいて、パラメータを更新する際にエラーフリーのアルゴリズムを用いることで、SV モデルのように標準的な MCMC では計算するのが難しかったようなモデルも、安定して扱えることを確認した。

例えば、図 1 に見られるように、並列化数 (I; 横軸) が増えるにつれ、採択確率が 1 に近づくことを確認した。(J はシミュレーションの反復回数)

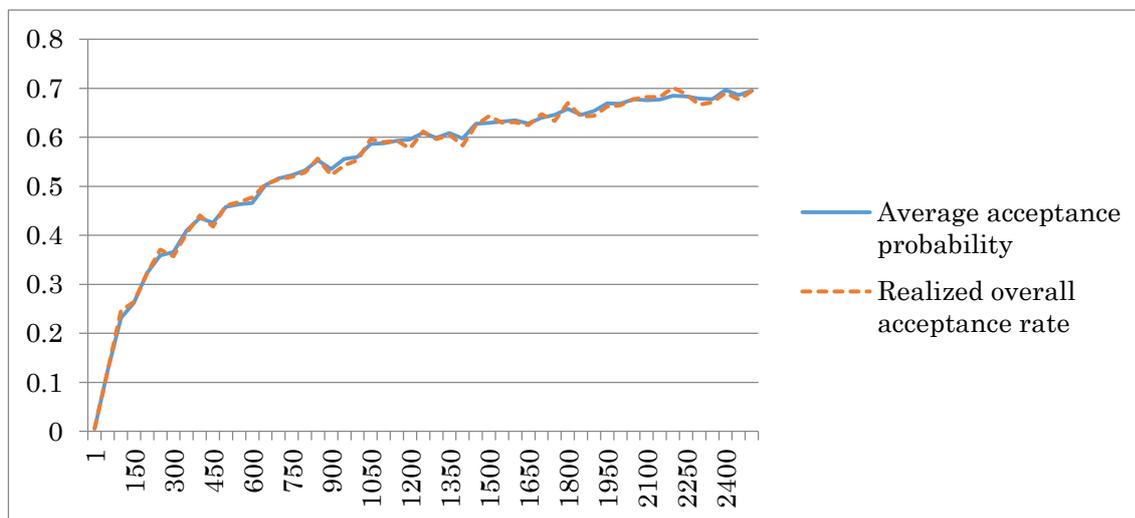


図 1 (I=2500、J=2200)における Average acceptance probability および Realized overall acceptance rate の結果

さらに、図 2 と図 3 に見られるように、並列数が大きい場合には、サンプルの自己相関は極めて低く独立サンプルに近いこと、及び、サンプルから得られるヒストグラムも、パラメータの真の値に近いことを確認した。

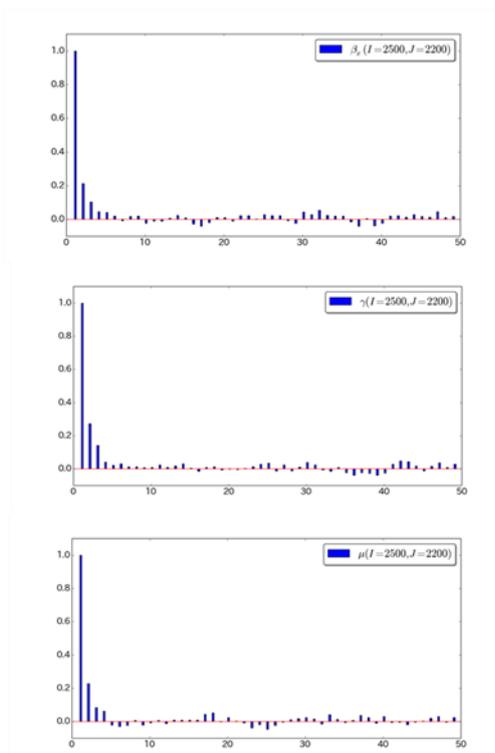


図 2 I=2500、J=2200における3つのパラメータの自己相関関数

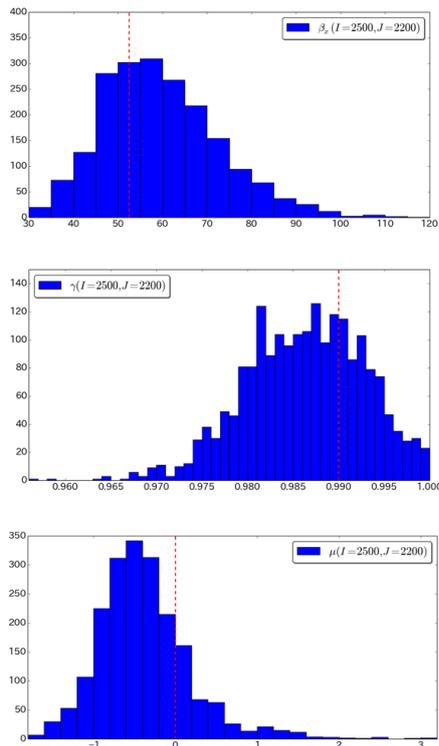


図3 (I=2500、J=2200)における3つのパラメータの分布ヒストグラム

⑤-2 群知能・深層学習によるモデル評価技術の開発 (再委託先: 国立大学法人東京大学・池上高志)

特任研究員1名、および博士課程の学生1名を雇用して、多数の要素からなるシステムが、システムサイズを変えることで示す質的な変化を調査・解析した。特に、大規模な社会・経済システムに予想される自己組織化を想定した、現実的で多様な複雑さを考慮するシミュレーションモデルについて、モデルの構築、数値実験、および分析を行った。具体的には、以下の2つの項目について研究を進めた。一つはサービスのユーザー数や投稿内容のビッグデータを数年に渡って解析することで、その進化的生態学的な様相を明らかにしていくこと。もう一つは、数理的な群れのモデル(Boids モデル)の振る舞いについて、そのサイズ効果を解析することと、ダイナミックに変化する群れのラベルをつくること。さらに、ミツバチのエージェントモデルシミュレーションを、より普遍的なモデルへと改変し、大規模なスケールでの計算を行うことである。

1) 大規模ウェブデータの解析

Social Networking Service (SNS)の振る舞いを捉えた大規模データとして、ソーシャルタギング (ユーザー集団による写真へのタグ付け) に見られるネットワークのダイナミクスに着目して、ウェブサービスの進化を定量的に解析してきた。とくに、使用されるタグの組み合わせが生み出す新規性やその選択のメカニズムについて、統計的な成長則を明らかにし、組み合わせに対する優先的選択モデルについて理論解析、および数値実験を行った。同時に、タグのセマンティクスが持つネットワーク構造の時間発展を可視化し、タグによって異なる発展の振る舞いについて分析を行った。その結果、1) ユーザーのサイズ増加に伴い、コミュニティが自己組織化されるようにみえることを示した。2) サ

ービスの新規性の進化を考える上で、新しいタグがユーザーによって導入されただけでなく、既存の単語の新しい組み合わせが進化する(pairwise novelty)という観点を導入して計算を行った。その結果、新規性の進化としてウェブのダイナミクスを定量化することができた。この性質を表す基本数理モデルを Yule-Simon を拡張して構築してみせた。3) SNS において、あるタグに注目し、それが他のどのようなタグと同時投稿されたかを、そのタグの「意味 (セマンティクス)」と考え、その意味の進化を解析した。その結果、意味の進化に 2 種類存在することが見出された。

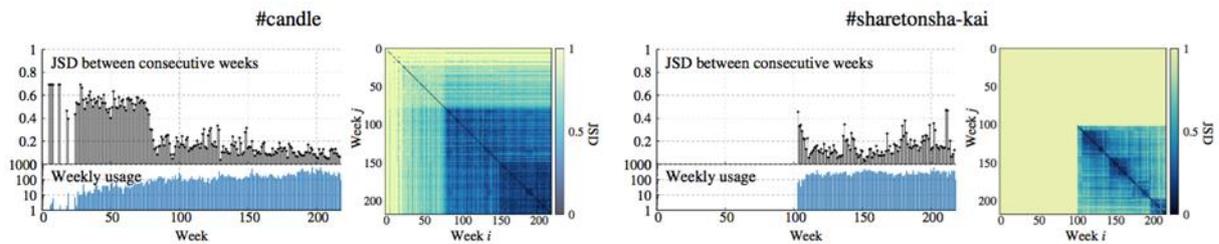


図 4 セマンティクスの収束 / 非収束を示すタグの例

図 4 は、SNS の一つである“RoomClip” において、セマンティクスの収束 (左; #candle) および非収束 (右; #sharetonsha-kai) の例を示している。「#sharetonsha-kai」は「ファッションブル/クール」+「クラブ」を意味する。どちらの場合も、左上のパネルは連続した 2 つの週の間共起グラフの構造の距離の推移を示しており、左のケースでは減少傾向=意味の収束、右のケースではスパイク列=意味のドリフトが見られる。

2) 大規模スケールの群れモデル

2)-a 大規模 Boid シミュレーション

平成 29 年度まで行ってきた Boid エージェントによる大規模な群れのシミュレーションからの知見として、大きなサイズの Boid シミュレーションでは、いくつかの群れが出現して、それが合体や分裂を繰り返して発展する。今回の成果として、群れの運動に対して非負値行列分解(NMF)を行うことで、個体群の時間発展の様子をモードに分解して図示化することができた。その結果、大きな群れから飛び出す細長い群れが、大きな変化の担い手になっていることなどが示された。図 5 は横軸を時間ステップとして、一番上は NMF の貢献している Top16 のモード。次のものが Top3 を改めてプロットしたもので、その下が実空間でのそれらのダイナミクスである。これは大規模な群れの普遍的な性質をあらわすものと考えられる。

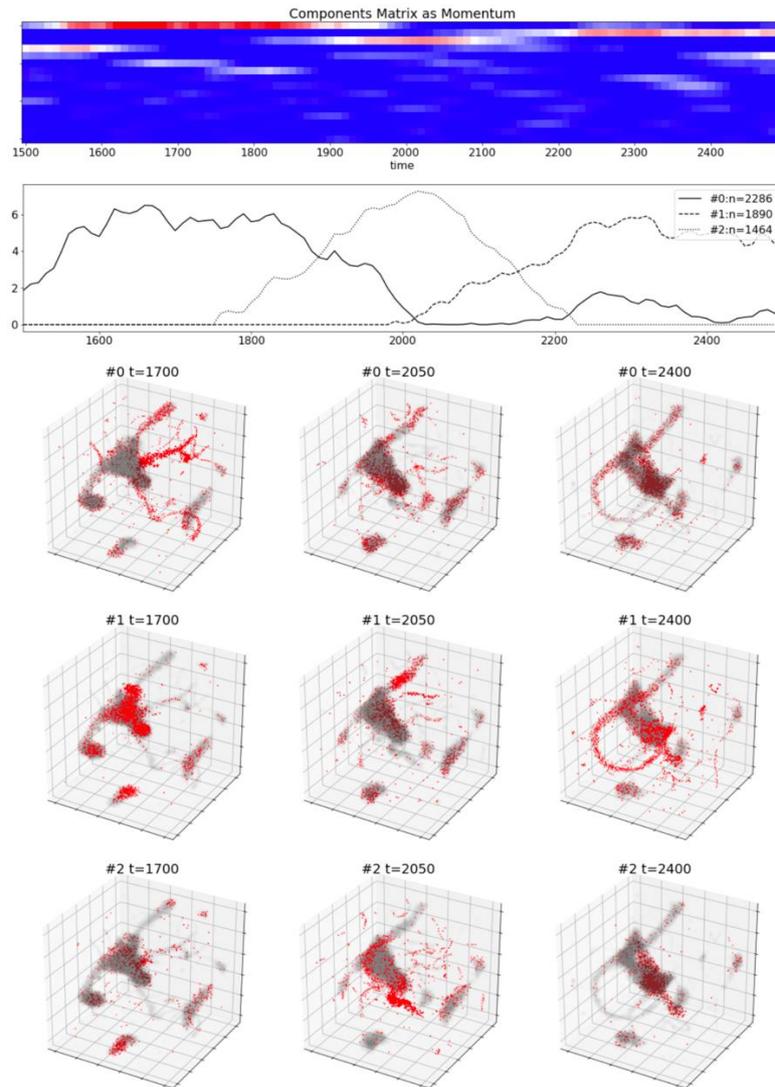


図5 NMFによって抽出された群れの運動量の時系列(上)と、その空間パターン(下)

これらのデータを得る上で、シミュレーション・スキーマを改良し、近接する個体をリストを用いて管理し、それを動的に更新することによって、全個体間の距離行列を計算することを避け、計算時間を大幅に削減する手法を実装した。これにより、群れのシミュレーション時間を特定の条件のもとで個体数に対する線形オーダーまで削減することができる。この最適化によって、従来 100 万個体までであった実用的な計算限界が、1,000 万個体以上のシミュレーションまで可能となった (図6)。また、GPU マシンを使って、超個体形成 (群れと群れのネットワーク形成) の生成の統計則を計算することに成功した。

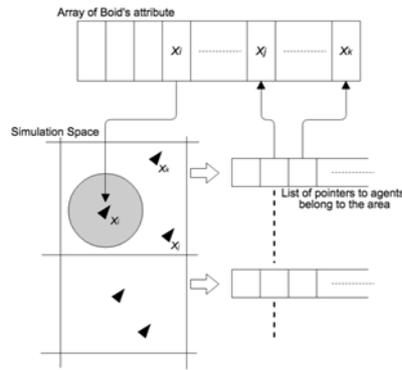


図6 Boid シミュレーションの最適化の模式図

2)-b ミツバチのエージェントモデルシミュレーション

SIR Model を元に inactive/active state を持つ Agent からなる個体群を用意し、これを空間方向に拡張した Agent based model を作成、セイヨウミツバチの巣内で観察される集団のアクティビティの同期現象（バースト行動）の解析を行った。Agent は Inactive（緑）、Active（赤）、Refractory（青）の三状態を持っており、周りの Agent との接触により自らの状態（具体的には移動速度）が変わる（図7-A: シミュレーション動画のスナップショット）。このモデルによってシミュレーションされたバーストに関して実際のミツバチのバーストと比較するとよく似た性質を示したことから、実際のミツバチのバーストもシミュレーションと同様の仕組みで起こっている可能性が示唆された（図7-B: 上がシミュレーションされたバースト。下が実際のハチのバースト現象）。

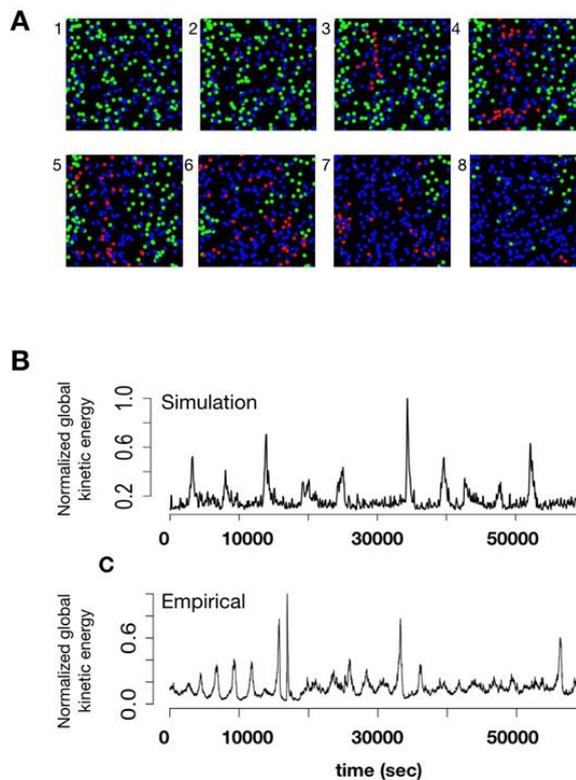
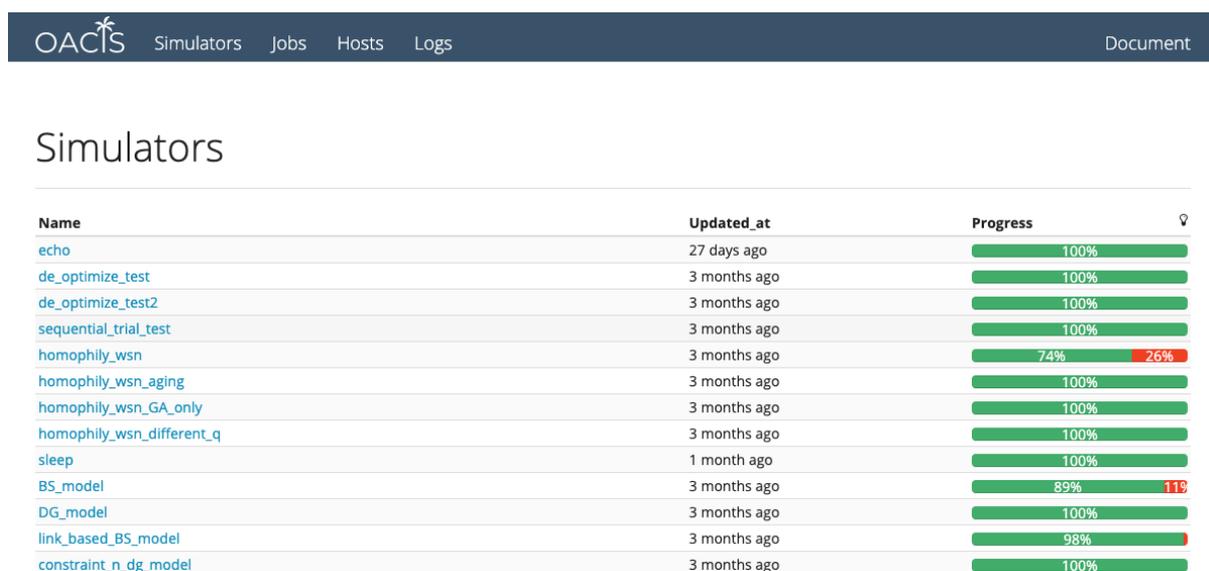


図7 ミツバチのエージェントモデルシミュレーション(A) 及び実際のデータとの比較(B)

⑤-3 実行管理システムへのモデル評価手法の実装（再委託先：国立研究開発法人理化学研究所・伊藤伸泰）

平成30年度は平成29年度までに開発した実行管理システムOACISの改訂・改良を進め、APIを介して社会シミュレーション他のモデルを自動評価する技術の開発を進めた。より使い易いアプリケーションを目指し、特にユーザーインターフェースの改良を行い、平成29年度までの第2版から平成30年度中に第3版へとバージョンアップした。細かくは、v3.0.0, v3.1.0, v3.2.0, v3.2.1, v3.3.0をリリースした（詳細は <https://github.com/crest-cassia/oacis> を参照）。第3版での主な改良点を以下に挙げる：

- ・以下の図8および図9に示すようにユーザーがOACISを操作する際のブラウザのデザインと操作性とを一新した。
- ・検索機能を高度化した。
- ・チェックボックスによる一括削除機能を実装した。
- ・CSV出力に対応した。
- ・画面を開いたままでもリアルタイムで実行状況や実行サーバのログが更新されるようにした。



Name	Updated_at	Progress
echo	27 days ago	100%
de_optimize_test	3 months ago	100%
de_optimize_test2	3 months ago	100%
sequential_trial_test	3 months ago	100%
homophily_wsn	3 months ago	74% 26%
homophily_wsn_aging	3 months ago	100%
homophily_wsn_GA_only	3 months ago	100%
homophily_wsn_different_q	3 months ago	100%
sleep	1 month ago	100%
BS_model	3 months ago	89% 11%
DG_model	3 months ago	100%
link_based_BS_model	3 months ago	98%
constraint_n_dg_model	3 months ago	100%

図8 OACIS(v3.0.0)のユーザーインターフェース (UI) のシミュレータの一覧のページ。ユーザーがこれまでに登録したシミュレータの一覧がなっており、クリックすると当該シミュレータのページに遷移する。更新日やジョブの実行状況も合わせて表示する。

Simulators / BS_model

BS_model

ID : 5aefcd58d12ac6ab30d47509

About Parameter Sets Progress

List of Parameter Sets

Q not filtering Export CSV New Parameter Set

Selected 2 Parameters Sets Delete Create Runs

<input type="checkbox"/>	Progress	ParamSetID	Updated_at	N	t_init	t_measure	mf	f_th	f_scale
<input checked="" type="checkbox"/>	<div style="width: 100%;"><div style="width: 100%;"></div></div> 100%	a0b699	1 year ago	1000	65536	10485760	1	0.333	0.03
<input type="checkbox"/>	<div style="width: 100%;"><div style="width: 100%;"></div></div> 100%	a0b698	1 year ago	1000	65536	10485760	1	0.333	0.02
<input checked="" type="checkbox"/>	<div style="width: 100%;"><div style="width: 100%;"></div></div> 100%	a0b697	1 year ago	1000	65536	10485760	1	0.333	0.01
<input type="checkbox"/>	<div style="width: 100%;"><div style="width: 100%;"></div></div> 100%	15867a	1 year ago	1000	65536	10485760	1	0.333	0.1
<input type="checkbox"/>	<div style="width: 100%;"><div style="width: 100%;"></div></div> 100%	158679	1 year ago	1000	65536	10485760	1	0.333	0.05
<input type="checkbox"/>	<div style="width: 100%;"><div style="width: 100%;"></div></div> 100%	344637	1 year ago	1000	65536	10485760	0	0.654	1.0
<input type="checkbox"/>	<div style="width: 100%;"><div style="width: 100%;"></div></div> 100%	344636	1 year ago	1000	65536	10485760	0	0.654	0.4
<input type="checkbox"/>	<div style="width: 100%;"><div style="width: 100%;"></div></div> 100%	344635	1 year ago	1000	65536	10485760	0	0.654	0.2
<input type="checkbox"/>	<div style="width: 100%;"><div style="width: 100%;"></div></div> 100%	344634	1 year ago	1000	65536	10485760	0	0.654	0.1
<input type="checkbox"/>	<div style="width: 100%;"><div style="width: 100%;"></div></div> 100%	b2f5f4	1 year ago	1000	65536	10485760	1	0.36	0.2

図9 OACIS(v3.0.0)のユーザーインターフェース (UI) の各シミュレータのページ。このシミュレータでのジョブの一覧が並んでおり、各ジョブの識別番号、更新記録、指定パラメータとともに実行状況をカラーバーで示しており、このシミュレータに対して種々の指示ができる。例えば、オレンジ色の“Delete”ボタンで不要ジョブの削除、青色の“Create Runs”で新しいシミュレーションジョブの設定、灰色の“Export CSV” ボタンで結果を CSV形式のファイルで出力するなどである。

また平成29年度までに開発を進めていた大規模実行管理フレームワーク CARAVAN を公開した (<https://github.com/crest-cassia/caravan>)。実行・管理するパラメータ数 (実行ジョブ数・シミュレーション数) を $10^6 \sim 10^7$ 程度以下と想定し、入出力データはきわめて汎用的に設計されている OACIS に対し、CARAVAN は入出力を少数の数値に限定し実行結果の出力数値から次の実行のための入力パラメータを決める方法および実行ジョブで使用できる計算資源 (ノード数・時間) を決め、大規模並列スーパーコンピュータ上で相当数の実行を行うフレームワークの開発である。

OACIS・CARAVAN は API を介してアプリケーションソフトウェアから操作できるように設計されている。今年度は特に人工知能技術の応用に着手し、人工知能技術分野で活用されているスクリプト言語 Python からの API を整備した。これにより遺伝的アルゴリズムやニューラルネットワーク他を使ったシミュレーションの解析や学習が可能となった。

具体例として、都市交通シミュレータのパラメータを OACIS あるいは CARAVAN を介して「京」コンピュータで大規模探索を行い、多変量解析により交通因子を効果的に探索するアプリケーションを作成した。これを応用し、神戸市の自動車交通シミュレータで入力パラメータ (走行自動車数) を系統的に変化させたシミュレーションを行った。その結果から、道路の使用頻度分布にべき分布が観測された (図 10)。同様のべき分布は、ランダムに繋がった街路を持つ仮想的な市街地で各自動車の出発点と目的地とを一様無作為に配置した場合のシミュレーション結果からも確認され (図 11)、都市交通である程度、普遍的な性質と考えられる。一方、碁盤目状に街路をもつ仮想的な市街地に対

する同様のシミュレーションでは、べき分布とは異なる一様な分布が得られ（図 12）、交通集中が起こりにくいことも確認された。

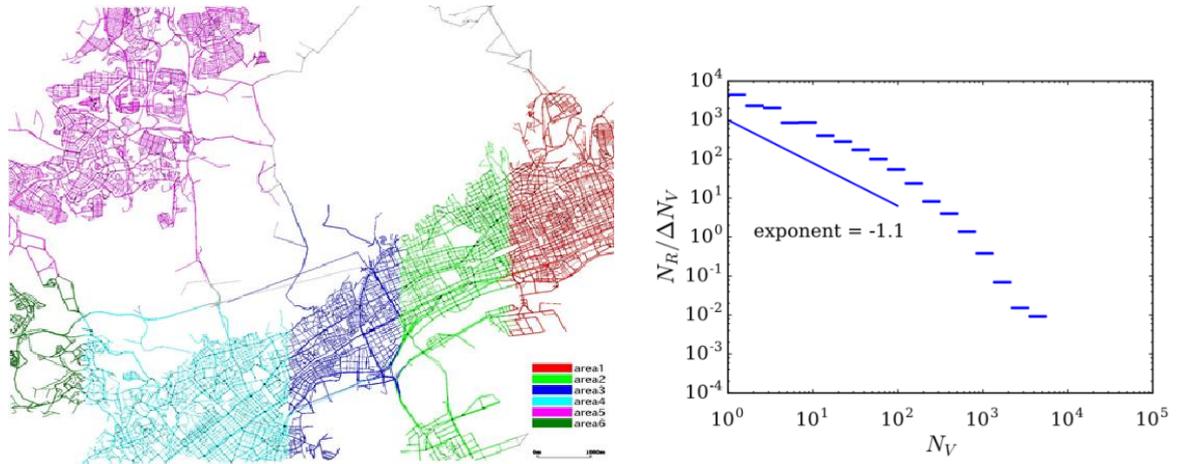


図 10 神戸市の道路網(左)を使った交通シミュレーションの結果得られた道路の使用頻度分布(右)。シミュレーション中に各道路セグメント(交差点から次の交差点までの道路部分)を通過した自動車の台数を横軸にとり、各通過台数をもつ道路セグメントがどれぐらいであったかの頻度分布を縦軸に描いた。両対数スケールであり、その傾きから 1 乗程度のべき分布が得られた。

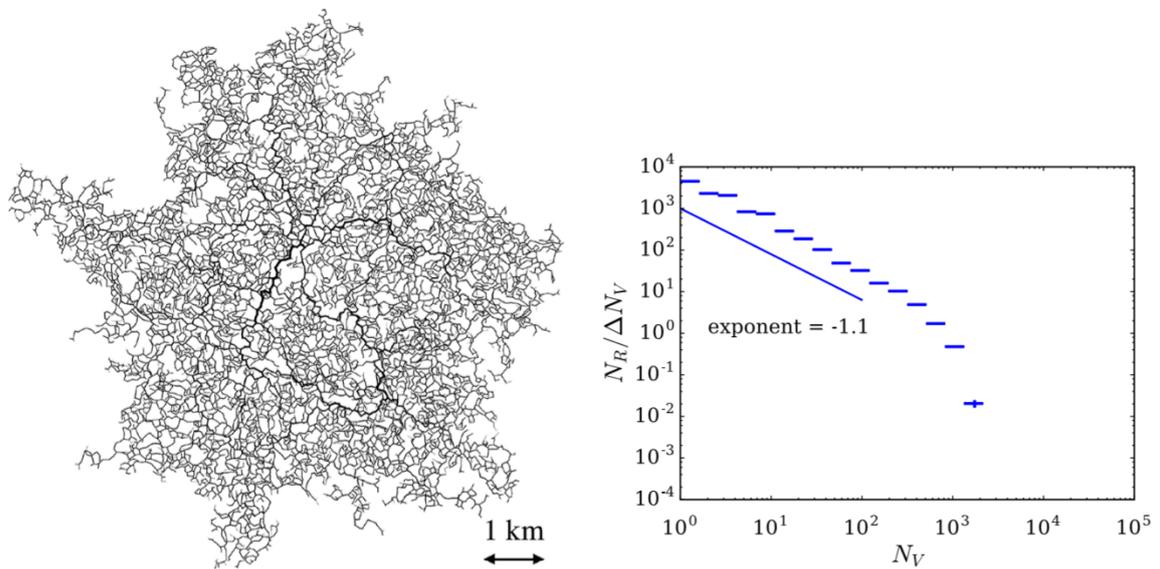


図 11 ランダムな街路を持つ仮想的な市街地(左)での道路の使用頻度分布(右)。図 10 の神戸市の場合と同じ 1 乗のべき分布が得られた。

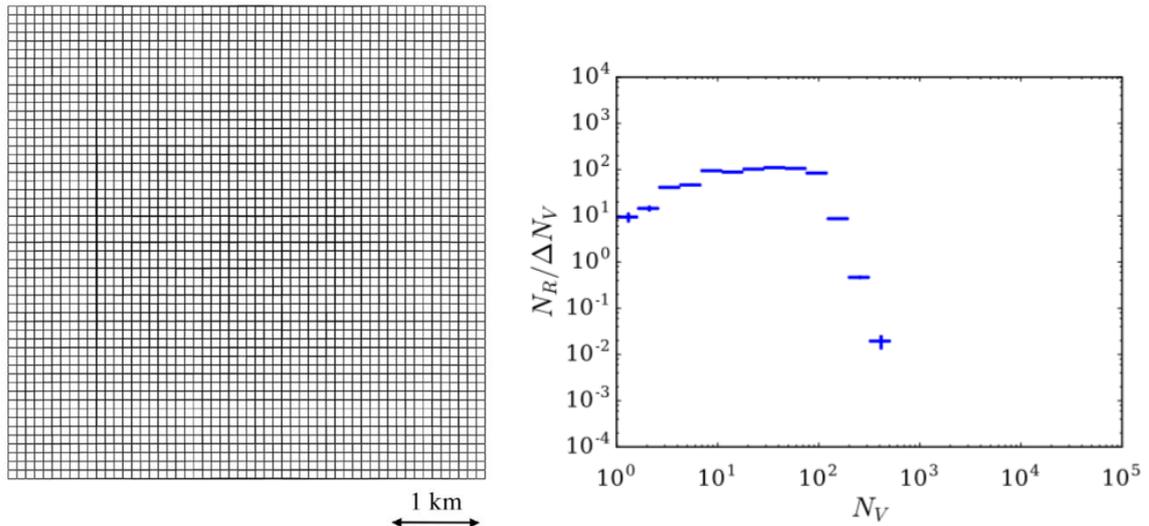


図 12 碁盤目状に街路をもつ仮想的な市街（左）での道路の使用頻度分布（右）。図 10 の神戸市や図 11 のランダムな場合とは異なり、べき分布とはならなかった。

⑥ プロジェクトの総合的推進

上記に記述する 5 つのサブ課題 A～E の個々の目標に向けて研究を推進するとともに、各サブ課題で扱う現象間および関係諸現象とをさらに多層・複合化することによる社会課題の解決の余地を探った。これまでに、サブ課題 A・B・C 間で企業間取引と銀行間取引との連携、サブ課題 C の証券取引と銀行間取引との連携で成果を挙げてきたが、今年度は加えてサブ課題 A・D・E 間で企業間取引と自動車交通との連携モデルの構築を進めた。材料・製品の輸送を念頭に、企業の立地地点近くの高速度道路出入口間の旅行時間を生産活動と結びつけることにより、企業活動シミュレーションと交通シミュレーションとを連携するモデルを構築した。これにより交通状況がマクロ経済にどのような影響を与えるか、逆に景気の変動が交通状況にどのような影響を与えるかを扱うことを目指している。また、本課題での HPC 利用の共通基盤として、サブ課題 E で開発した大並列スーパーコンピュータ向き実行管理アプリケーション OACIS および CARAVAN の活用を進めた。

プロジェクト全体の連携を密としつつ円滑に運営していくため、月例の運営委員会や技術検討会に加えて、平成 30 年 10 月 29 日には東京・台場にてヨーロッパ・アジアからの参加者・招待講演者を交えて国際ワークショップ “Social Simulations and Supercomputers” を催した。

4-3. 活動（研究会等）

サブ課題 A	2018年4月27日	兵庫県立大学神戸情報科学キャンパス	マクロ経済シミュレーション・セミナー Frédéric Abergel (教授・Chair of Quantitative Finance Laboratory of Mathematics in Interaction with Computer Science,	共同研究者の講演を開催し、議論を行った。
--------	------------	-------------------	---	----------------------

			Centrale Supélec, Paris)	
	2018年9月7日-8日	カフー リゾート フチャク コンド・ホテル, 沖縄	JSOL主催「金融・経済ネットワーク研究会」	ポスト「京」萌芽的課題のプロジェクトの応用展開の可能性について研究会で議論を行った。
	2018年11月6日	理化学研究所 計算科学研究センター	マクロ経済シミュレーション・セミナー Bertrand M. Roehner (教授・ Institute for Theoretical and High Energy Physics, Pierre and Marie Curie University, Paris)	共同研究者の講演を開催し、議論を行った。
	2019年1月25日-26日	新潟大学サテライトオフィス	サブ課題運営会議	サブ課題Aについて進捗状況の報告と今後の計画について議論を行った。
サブ課題B				
サブ課題C	2018年5月7日	ネットミーティング	サブ課題B-C間に関する打合せ	高安研尾崎さんとグループB, C間連携に関する打ち合わせ
	2018年10月16日	東京大学本郷キャンパス	グループ内打ち合わせ	金融市場シミュレーションの評価手法に関する打ち合わせ
	2019年3月20日	東京大学本郷キャンパス	グループ内打ち合わせ	金融市場シミュレーションの評価手法に関する打ち合わせ
サブ課題D				
サブ課題				

題 E				
全 体 運 営	2018年10 月29日	AIST Tokyo Waterfront	Social Simulations and Supercomputers as a workshop of PRIMA2018(International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems)	ポスト「京」コンピュー タ他スーパーコンピュー タによる社会シミュレ ーションに関するワークシ ョップを組織し、開催し た。
	2018年4 月23日	神戸大学・経済経 営研究所	平成30年度第1回運営会議	
	2018年5 月28日	理化学研究所・東 京連絡事務所	平成30年度第2回運営会議	
	2018年7 月5日	神戸大学・経済経 営研究所	平成30年度第3回運営会議	
	2018年8 月2日	産業技術総合研究 所・臨海副都心セ ンター	平成30年度第4回運営会議	
	2018年9 月28日	兵庫県立大学・計 算科学センタービ ル	平成30年度第5回運営会議	
	2018年 11月9 日	東京大学・工学部	平成30年度第6回運営会議	
	2018年 12月10 日	理化学研究所・計 算科学研究センタ ー	平成30年度第7回運営会議	
	2019年1 月23日	理化学研究所・東 京連絡事務所	平成30年度第8回運営会議	
	2019年2 月28日	理化学研究所・計 算科学研究センタ ー	平成30年度第9回運営会議	

4-4. 実施体制

業務項目	担当機関	担当責任者
①サブ課題A マクロ経済シ ミュレーション	公立大学法人兵庫県立大学	大学院シミュレーション学研究 科教授 藤原 義久

①-1 企業データの整備	独立行政法人経済産業研究所	研究グループ上席研究員 齊藤 有希子
①-2 景気変動の数理モデルの開発	国立大学法人京都大学 国立大学法人新潟大学	大学院 理学研究科教授 青山 秀明 自然科学系教授 家富 洋
①-3 経済危機伝播の数理モデルの開発	公立大学法人兵庫県立大学 国立開発研究法人理化学研究所 学校法人日本大学	大学院シミュレーション学研究科教授 藤原 義久 計算科学研究機構 運用技術部門 部門長 庄司 文由 理工学部准教授 相馬 亘
①-4 マクロ経済現象の検証と応用	立正大学 独立行政法人経済産業研究所	経済学部教授 吉川 洋 研究グループ上席研究員 齊藤 有希子
②サブ課題 B 企業ネットワークシミュレーション	国立大学法人東京工業大学	科学技術創成研究院 ビッグデータ数理科学研究ユニット ユニットリーダー・教授 高安 美佐子
③サブ課題 C 金融シミュレーション	国立大学法人東京大学	大学院工学系研究科教授 和泉 潔
③-1 金融取引と銀行間ネットワークの統合モデルの開発	国立大学法人東京大学	大学院工学系研究科教授 和泉 潔
③-2 人工市場エージェントシミュレータへの動的負荷分散の実装	国立大学法人神戸大学	システム情報学研究科講師 鎌田 十三郎
④サブ課題 D 交通・人流シミュレーション	国立研究開発法人産業技術総合研究所	人工知能研究センター総括研究主幹 野田 五十樹

④-1 網羅的交通・人流シミュレーションとその解析	国立研究開発法人産業技術総合研究所	人工知能研究センター総括研究主幹 野田 五十樹
④-2 人流制御技術の開発	国立開発研究法人海洋研究開発機構	地球情報基盤センター上席技術研究員 浅野 俊幸
④-3 マルチエージェント交通流シミュレーションのソフトウェア開発	国立大学法人東京大学	大学院工学系研究科講師 藤井 秀樹
④-4 都市交通モデルの開発	学校法人立命館立命館大学	情報理工学部准教授 服部 宏充
⑤サブ課題 E 社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発	国立大学法人神戸大学	経済経営研究所所長・教授 上東 貴志
⑤-1 近似ベイズ計算によるモデル評価技術の開発	国立大学法人神戸大学	経済経営研究所所長・教授 上東 貴志
⑤-2 群知能・深層学習によるモデル評価技術の開発	国立大学法人東京大学	大学院総合文化研究科教授 池上 高志
⑤-3 実行管理システムへのモデル評価手法の実装	国立開発研究法人理化学研究所	計算科学研究機構 離散事象シミュレーション研究チームチームリーダー 伊藤 伸泰
⑥プロジェクトの総合的推進	国立開発研究法人理化学研究所	計算科学研究機構 離散事象シミュレーション研究チームチームリーダー 伊藤 伸泰

様式第21

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（⑤サブ課題E 社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発 ⑤-3 実行管理システムへのモデル評価手法の実装）

機関名 国立研究開発法人理化学研究所 （伊藤 伸泰）

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表 題目、口頭・ポスター 発表の別）	発表者氏名	発表した場所 （学会等名）	発表した 時期	国内・ 外の別
Social simulations with supercomputers（口 頭）	Nobuyasu Ito	Singapore(Supercomputing Asia 2019)	2019年3 月12日	国外
A next generation supercomputer, Post K, and its application to social problems （招待講演）	Nobuyasu Ito	台北(Statphys-Taiwan- 2018)	2018年6 月25日	国外
What does big data tell? Sampling the social network by communication channel（口頭）	Yohsuke Murase	神戸（Network Science workshop in Kobe)	2018年10 月25日	国内
Successful strategies in the tragedy of the commons(口頭)	Yohsuke Murase	Paris(Games on Networks: from Theory to Experiments)	2018年6 月12日	国外
Seven rules to avoid the tragedy of the commons（招 待講演）	Yohsuke Murase	小白山（The 6th International Workshop on Physics of Social Complexity (PoSCo))	2018年6 月1日	国外

繰り返し公共財ゲームにおける負けないことが保証された直接互惠戦略（口頭）	村瀬洋介	京都（日本物理学会秋季大会）	2018年9月9日	国内
Macroscopic fundamental diagram of urban traffic on simple street networks（口頭）	Kenji Terada, Naoki Yoshioka, Takashi Shimada, Nobuyasu Ito	小白山(The 6 th International Workshop on Physics of Social Complexity (PoSCo))	2018年6月2日	国外
Macroscopic fundamental diagram in simple street networks（口頭）	Naoki Yoshioka, Kenji Terada, Takashi Shimada, Nobuyasu Ito	東京 (Social Simulations and Supercomputers)	2018年10月29日	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
On principal eigenpair of temporal-joined adjacency matrix for spreading phenomenon	Shih-Chieh Wang, Nobuyasu Ito	Journal of Computational Social Science vol.2(2019) p.67-76	2019年1月28日	国外
Macroscopic fundamental diagram in simple street networks	Naoki Yoshioka, Kenji Terada, Takashi Shimada, Nobuyasu Ito	Journal of Computational Social Science vol.2(2019) p.85-95	2019年2月8日	国外

Large-scale parallel execution of urban-scale traffic simulation and its performance on K computer	Daigo Umemoto, Nobuyasu Ito	Journal of Computational Social Science vol.2(2019) p.97-101	2019年3月16日	国外
Power-law distribution in an urban traffic flow simulation	Daigo Umemoto, Nobuyasu Ito	Journal of Computational Social Science vol.1(2018) p.493-500	2018年8月20日	国外
Seven rules to avoid the tragedy of the commons	Yohsuke Murase, S.K. Baek	Journal of Theoretical Biology vol.449(2018) p.94-102	2018年7月14日	国外
Conservation of population size is required for self-organized criticality in evolution models	Yohsuke Murase, P.A. Rikvold	New J. Phys. vol.20(2018) 083023	2018年8月17日	国外
Project CASSIA - framework for Exhaustive and Large-Scale Social Simulation -, Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing: The Japanese Post-Peta CREST Research Project	Itsuki Noda, Yohsuke Murase, Nobuyasu Ito, Kiyoshi Izumi, Hiromitsu Hattori, Tomio Kamada, Hideyuki Mizuta, Mikio Takeuchi	Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing (Springer-Verlag 2019) p.271-299 (doi: 10.1007/978-981-13-1924-2_14)	2018年12月	国外

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ
 時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（①サブ課題Aマクロ
 経済シミュレーション、①-3経済危機伝播の数理モデルの開発）

機関名 国立研究開発法人理化学研究所 （庄司 文由）

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
なし				

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Tie-formation process within the communities of the Japanese production network: application of an exponential random graph model	Abhijit Chakraborty, Yoshi Fujiwara, Hiroyasu Inoue, Masaaki Terai	Applied Network Science vol.4 (1) (2019) 5	2019年1月1日	国外

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ
 時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（①サブ課題Aマクロ
 経済シミュレーション、①-3経済危機伝播の数理モデルの開発）

機関名 公立大学法人兵庫県立大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Hierarchical Communities in the Walnut Structure of the Japanese Production Network（口頭）	Abhijit Chakraborty, Yuichi Kichikawa, Takashi Iino, Hiroshi Iyetomi, Hiroyasu Inoue, Yoshi Fujiwara, Hideaki Aoyama	23rd Annual Workshop on Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents (WEHIA2018) at the International Christian University, Tokyo	2018年6月30日	国内
Link formation between suppliers and customers in the TSE production network（口頭）	Hazem Krichene, Yoshiyuki Arata, Yoshi Fujiwara, Abhijit Chakraborty, Hiroyasu Inoue, Masaaki Terai	23rd Annual Workshop on Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents (WEHIA2018) at the International Christian University, Tokyo	2018年6月30日	国内
Metcalfé's Law and Money Flow of Bitcoin（口頭）	Yoshi Fujiwara	The 6th International Conference on	2018年7月14日	国外

		Big data in Economics, Science and Technology, Halkidiki, Greece		
実体経済ネットワークとシミュレーション (口頭)	井上寛康	ネットワーク科学セミナー2018, 統計数理研究所, 立川市	2018年8月29日	国内
How firms choose their partners in the communities of the production network (口頭)	Hazem Krichene, Yoshiyuki Arata, Yoshi Fujiwara, Abhijit Chakraborty, Hiroyasu Inoue, Masaaki Terai	Conference on Complex Systems 2018 (CCS 2018) at Aristotle University of Thessaloniki, Greece	2018年9月24日	国外
Hierarchical Communities in the Walnut Structure of the Japanese Production Network (口頭)	Abhijit Chakraborty, Yuichi Kichikawa, Takashi Iino, Hiroshi Iyetomi, Hiroyasu Inoue, Yoshi Fujiwara, Hideaki Aoyama	Conference on Complex Systems 2018 (CCS 2018) at Aristotle University of Thessaloniki, Greece	2018年9月28日	国外
Nation-wide Supply Chain and Disaster	Hiroyasu Inoue	German Network for New Economic	2018年10月10日	国外

Simulation (ポスター)		Dynamics 2018, Kiel		
Exponential random graph models for the Japanese bipartite network of banks and firms (口頭)	Abhijit Chakraborty, Hazem Krichene, Hiroyasu Inoue, Yoshi Fujiwara	Workshop of PRIMA 2018 (The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems) on Social Simulations and Supercomputers, AIST Tokyo Waterfront, Tokyo	2018年10月29日	国内
Tie-formation process within the communities of the Japanese production network: Application of an exponential random graph model	Hazem Krichene, Yoshi Fujiwara, Abhijit Chakraborty, Hiroyasu Inoue, Masaaki Terai	Workshop of PRIMA 2018 (The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems) on Social Simulations and Supercomputers, AIST Tokyo Waterfront, Tokyo	2018年10月29日	国内
Point-process network of firms Bankruptcies (口頭)	Yoshi Fujiwara	Complex Networks 2018, Cambridge University, UK	2018年12月12日	国外

Nation-wide Supply Chain and Disaster Simulation (口頭)	Hiroyasu Inoue	Perspectives on Complex Systems 2018, Berlin	2018年12月18日	国外
---	----------------	--	-------------	----

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Hierarchical Communities in the Walnut Structure of the Japanese Production Network	Abhijit Chakraborty, Yuichi Kichikawa, T Iino, Hiroshi Iyetomi, Hiroyasu Inoue, Yoshi Fujiwara, Hideaki Aoyama	PLoS ONE 13(8) (2018) e0202739	2018年8月29日	国外
Analyzing outliers activity from the time-series transaction pattern of bitcoin blockchain	Rubaiyat Islam, Yoshi Fujiwara, Shinya Kawata, Hiwon Yoon	Evolutionary and Institutional Economics Review, vol.16 (2019) p. 239-257	2018年11月3日	国外
Localization of Collaborations in Knowledge Creation	Hiroyasu Inoue, Kentaro Nakajima, and Yukiko Umeno Saito	The Annals of Regional Science, vol. 62(1) (2018) p. 119-140	2018年12月	国外
The Community Structure of Business Establishments and its Property:	Hiroyasu Inoue	Evolutionary and Institutional Economics Review, vol. 15(2) (2018) p. 465-475	2018年12月4日	国外

Evidence from Joint Patent Applications				
Tie-formation process within the communities of the Japanese production network: application of an exponential random graph model	Hazem Krichene, Abhijit Chakraborty, Yoshi Fujiwara, Hiroyasu Inoue, Masaki Terai	Applied Network Science vol. 4 (1) (2019)p. 5	2019年1月1日	国外
Characterization of the community structure in a large-scale production network in Japan	Abhijit Chakraborty, Hazem Krichene, Hiroyasu Inoue, Yoshi Fujiwara	Physica A: Statistical Mechanics and its Applications vol. 513 (2019) 210-221	2019年1月9日	国外
Exponential random graph models for the Japanese bipartite network of banks and firms	Abhijit Chakraborty, Hazem Krichene, Hiroyasu Inoue, Yoshi Fujiwara	Journal of Computational Social Science vol. 2 (2019) p. 3-13	2019年2月7日	国外
Macroscopic features of production network and sequential graph drawing	Yuji Fujita, Yoshi Fujiwara, Wataru Souma	Evolutionary and Institutional Economics Review, June 2019, vol. 16, Issue 1, p. 183-199.	2019年2月12日	国外
Modeling event cascades using networks of additive count sequences	Shinsuke Koyama, Yoshi Fujiwara	Journal of Statistical Mechanics, Vol. 2019 (2019) 023402	2019年2月14日	国外

Propagation of negative shocks across nation-wide firm networks	Hiroyasu Inoue and Yasuyuki Todo	PLoS ONE vol. 14(3) (2019) e0213648	2019年3月14日	国外
---	----------------------------------	-------------------------------------	------------	----

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ
 時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（①サブ課題Aマクロ
 経済シミュレーション、①-1企業データの整備、①-4マクロ経済現象の検証と応用）

機関名 独立行政法人経済産業研究所

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Topology and Formation of Production Input Interlinkages: Evidence from Japanese microdata(口頭発表)	荒田禎之	早稲田大学（セミナー），東京	2018年4月	国内
Bankruptcy Propagation on a Customer-supplier Network: An empirical analysis in Japan(口頭発表)	荒田禎之	24th International Conference on Computing in Economics and Finance (Università Cattolica del Sacro Cuore, Milan)	2018年6月	国外
Bankruptcy Propagation on a Customer-supplier Network: An empirical analysis in Japan(口頭発表)	荒田禎之	23rd Annual Workshop on Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents (WEHIA2018) at the International Christian	2018年6月	国内

		University, Tokyo		
Bankruptcy Propagation on a Customer-supplier Network: An empirical analysis in Japan(口 頭発表)	荒田禎之	45th Annual Conference of the European Association for Research in Industrial Economics, Athens	2018年9月	国外
Bankruptcy Propagation on a Customer-supplier Network: An empirical analysis in Japan(口 頭発表)	荒田禎之	京都大学 (セミナ ー)	2018年11月	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所 （学会誌・雑誌等 名）	発表した時期	国内・ 外の別
Topology and Formation of Production Input Interlinkages: Evidence from Japanese microdata	Yoshiyuki Arata, Philipp Mundt	RIETI Discussion Paper, 19-E- 027(2019)	2019年4月	国内
Bankruptcy Propagation on a Customer-supplier Network: An empirical analysis in Japan	Yoshiyuki Arata	RIETI Discussion Paper, 18-E-040 (2018)	2018年6月	国内

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（①サブ課題Aマクロ経済シミュレーション、①-2景気変動の数理モデルの開発）

機関名 国立大学法人京都大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Studying Kyoto's Sustainability（口頭）	池田裕一	NETSCI2018, ACT&Network satellite, Paris, France	2018年6月	国外
Distress propagation from financial sector to real economy in Japan for the period of 1980 and 2015（口頭）	池田裕一	NETSCI2018, 3rd SPFEN Workshop, Paris, France	2018年6月	国外
Network Visualization and Helmholtz-Hodge Decomposition: Some exact results（口頭）	青山秀明	Big data in Economy, Science and Technology) Conference・Kassandra, Greece	2018年7月	国外
Economic Networks: Production Networks and Hodge decomposition（口頭）	青山秀明	Econophysics Colloquium・Palermo, Italy	2018年9月	国外
経済ネットワークの再構成モデル（口頭）	池田裕一, 家富洋	日本物理学会 2018年秋季大会, 同志社大学, 京田辺市	2018年9月	国内
Economic Networks: A physicist's view（口頭）	青山秀明	iTHEMS Colloquium・理研, 和光市	2018年10月	国内

Hierarchical Identification of Key Firms of International Tax Avoidance in Global Ownership Network (ポスター)	中本天望, Abhijit Chakraborty, 池田裕一	Complex network 2018, Cambridge Univ	2018年12月	国外
Micro Grid with 100% Renewable Energy in Small Island Developing States (口頭)	池田裕一	7th International Symposium on Human Survivability, 京都大学, 京都市	2018年12月	国内
Offshore Financial Centers in Global Ownership-Tax Rate Multilayer Network (口頭)	中本天望, 池田裕一	7th International Symposium on Human Survivability, 京都大学, 京都市	2018年12月	国内
消費者の購買意思決定プロセスの 経済物理学的分析 ― 複素ヒルベルト主成分分析、同期ネットワーク、ホッジ分解の応用 ― (口頭)	青山秀明	進化経済学会・名古屋工業大学, 名古屋市	2019年3月	国内
再構成した四半期付加価値時系列を用いたグローバル景気循環の同期解析 (口頭)	池田裕一	日本物理学会 第74回年次大会, 九州大学伊都キャンパス, 福岡市	2019年3月	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Macroprudential Modeling Based on	池田 裕一, 吉川洋	RIETI Discussion Paper Series 18-	2018年7月	国内

Spin Dynamics in a Supply Chain Network		E-045, 1-25 (2018/07)		
Hierarchical Communities in Walnut Structure of Japanese Production Network	Abhijit Chakraborty, Yuichi Kichikawa, Takashi Iino, Hiroshi Iyetomi, Hiroyasu Inoue, Yoshi Fujiwara, Hideaki Aoyama	PLoS ONE vol.13(8) (2018) (DOI: 10.1371/journal.pone.0202739)	2018年8月	国外
Analysis of Inflation/Deflation: Clusters of micro prices matter!	Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Hideaki Aoyama, Yoshi Fujiwara, Hiroshi Yoshikawa	RIETI Discussion Paper 18-E-055 (2018)	2018年8月	国内
Trade network reconstruction and simulation with changes in trade policy	池田 裕一, 冢富洋	Evolutionary and Institutional Economics Review, vol.15, 2(2018) p.495-513	2018年12月	国内
Identification of conduit jurisdictions and community structures in the withholding tax network	中本天望, 池田 裕一	Evolutionary and Institutional Economics Review, vol.15, 2 (2018/12) p.477-493	2018年12月	国内

Enhanced News Sentiment Analysis using Deep Learning Methods	Wataru Souma, Irena Vodenska, Hideaki Aoyama	Journal of Computational Social Science, vol.2 (2019) p. 33-46 (doi:10.1007/s42001-019-00035-x)	2019年2月	国外
--	--	---	---------	----

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（①サブ課題Aマクロ経済シミュレーション、①-2景気変動の数理モデルの開発）

機関名 国立大学法人新潟大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
A Possible Clue to the Mystery of the Excess Trade Balances（口頭）	Hiroshi Iyetomi, Yuichi Ikeda, Takayuki Mizuno, Takaaki Ohnishi, and Tsutomu Watanabe	International Conference on Big data in Economics, Science and Technology (BEST), Halkidiki, Greece	2018年7月12日	国外
貿易収支関係のネットワーク解析：2国間から多国間的視点へ（口頭）	家富洋，池田裕一，大西立顕，水野貴之，渡辺努	日本物理学会2018年秋季大会，同志社大学，京田辺市	2018年9月9日	国内
企業間取引ネットワークにおける循環流コミュニティ構造（口頭）	吉川悠一，家富洋，飯野隆史，井上寛康	日本物理学会2018年秋季大会，同志社大学，京田辺市	2018年9月9日	国内
有向ネットワークとしての株所有関係：階層性と循環性（ポスター）	加藤未来，佐藤仁美，吉川悠一，家富洋，相馬亘	日本物理学会2018年秋季大会，同志社大学，京田辺市	2018年9月12日	国内
企業間取引ネットワークにおけるコミュニティ構造の変遷（ポスター）	佐藤仁美，加藤未来，吉川悠一，家富洋，久	日本物理学会2018年秋季大会，同志社大学，京田辺市	2018年9月12日	国内

	野遼平, 渡辺努			
インフレ/デフレの解析：個別物価クラスター形成（口頭）	吉川悠一, 家富洋, 青山秀明, 藤原義久, 吉川洋	日本物理学会2018年秋季大会, 同志社大学, 京田辺市	2018年9月12日	国内
Visualization of a directed network with focus on its hierarchy and circularity（口頭）	Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Takashi Iino, and Hiroyasu Inoue	Workshop of PRIMA 2018 (The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems) on Social Simulations and Supercomputers, AIST Tokyo Waterfront, Tokyo	2018年10月29日	国外
日本の上場企業の所有権構造：ネットワーク解析（口頭）	加藤未来, 佐藤仁美, 吉川悠一, 家富洋, 相馬亘	キャノングローバル戦略研究所主催「経済・社会への分野横断的研究会」, キャノングローバル戦略研究所, 東京	2018年12月5日	国内
動的ネットワークとしての企業間取引関係（口頭）	佐藤仁美, 加藤未来, 吉川悠一, 家富洋, 久野遼平, 渡辺努	キャノングローバル戦略研究所主催「経済・社会への分野横断的研究会」, キャノングローバル戦略研究所, 東京	2018年12月5日	国内
Community Structure Based on Circular Flow in a Large-Scale	Yuichi Kichikawa, Hiroshi	The 7th International Conference on	2018年12月11日	国外

Transaction Network (ポスター)	Iyetomi, Takashi Iino, and Hiroyasu Inoue	Complex Networks and Their Applications (Complex Networks 2018), Cambridge, U. K.		
複雑有向ネットワーク のフロー構造 (口頭)	家富洋	文科省共同利用・ 共同研究拠点MIMS 現象数理学拠点共 同研究集会「経済 物理学とその周 辺 : Data-driven Mathematical Science」, 明治大 学中野キャンパ ス, 東京	2018年12月 20日	国内
日本の上場企業の所有 権構造 : ネットワーク 解析 (口頭)	加藤未来, 佐藤仁美, 吉川悠一, 家富洋, 相 馬亘	文科省共同利用・ 共同研究拠点MIMS 現象数理学拠点共 同研究集会「経済 物理学とその周 辺 : Data-driven Mathematical Science」, 明治大 学中野キャンパ ス, 東京	2018年12月 20日	国内
動的ネットワークとし ての企業間取引関係 (口頭)	佐藤仁美, 加藤未来, 吉川悠一, 家富洋, 久 野遼平, 渡 辺努	文科省共同利用・ 共同研究拠点MIMS 現象数理学拠点共 同研究集会「経済 物理学とその周 辺 : Data-driven Mathematical Science」, 明治大 学中野キャンパ ス, 東京	2018年12月 20日	国内

企業レベルの産業連関ネットワークの再構築（口頭）	吉川悠一， 家富洋，飯 野隆史，井 上寛康	日本物理学会第74 回年次大会，九州 大学伊都キャンパ ス，福岡市	2019年3月14 日	国内
日本の上場企業に対する究極的コントロール権の分布（ポスター）	加藤未来， 佐藤仁美， 吉川悠一， 家富洋，相 馬亘，渡辺 努	日本物理学会第74 回年次大会，九州 大学伊都キャンパ ス，福岡市	2019年3月14 日	国内
日本における企業間取引ネットワークのバックボーンとゆらぎ（ポスター）	佐藤仁美， 加藤未来， 吉川悠一， 家富洋，久 野遼平，渡 辺努	日本物理学会第74 回年次大会，九州 大学伊都キャンパ ス，福岡市	2019年3月14 日	国内
日本の上場企業に対する究極的株式所有構造の解析（口頭）	加藤未来， 佐藤仁美， 吉川悠一， 家富洋，相 馬亘，渡辺 努	文科省共同利用・ 共同研究拠点MIMS 現象数理学拠点共 同研究集会「経済 物理学とその周 辺：Data-driven Mathematical Science」，明治大 学中野キャンパ ス，東京	2019年3月21 日	国内
動的ネットワークとしての企業間取引関係の不変性と変動性（口頭）	佐藤仁美， 加藤未来， 吉川悠一， 家富洋，久 野遼平，渡 辺努	文科省共同利用・ 共同研究拠点MIMS 現象数理学拠点共 同研究集会「経済 物理学とその周 辺：Data-driven Mathematical Science」，明治大 学中野キャンパ ス，東京	2019年3月21 日	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所 （学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Hierarchical Communities in the Walnut Structure of Japanese Production Networks	Abhijit Chakraborty, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Takashi Iino, Hiroyasu Inoue, Yoshi Fujiwara, Hideaki Aoyama	RIETI Discussion Paper Series, 18-E-026 (2018)	2018年4月1日	国内
Hierarchical and Circular Flow Structure of Interfirm Transaction Networks in Japan	Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Takashi Iino, Hiroyasu Inoue	Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3173955	2018年5月20日	国外
Analysis of Inflation/Deflation: Clusters of micro prices matter!	Yuichi Kichikawa, Hideaki Aoyama, Yoshi Fujiwara, Hiroshi Iyetomi, Hiroshi Yoshikawa	RIETI Discussion Paper Series, 18-E-055 (2018)	2018年8月1日	国内

Hierarchical Communities in the Walnut Structure of Japanese Production Networks	Abhijit Chakraborty, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Takashi Iino, Hiroyasu Inoue, Yoshi Fujiwara, Hideaki Aoyama	PloS one vol.13 (8) (2018) e0202739	2018年8月29日	国外
Community Structure Based on Circular Flow in a Large-Scale Transaction Network	Yuichi Kichikawa, Hiorshi Iyetomi, Takashi Iino, Hiroyasu Inoue	Abstracts of the 7th Int' l Workshop on Complex Networks and their Applications (Cambridge, U.K., 2018), pp. 62-64	2018年12月1日	国外
Visualization of a directed network with focus on its hierarchy and circularity	Yuichi Kichikawa, Takashi Iino, Hiorshi Iyetomi, Hiroyasu Inoue	Journal of Computational Social Science, vol.2(2019) pp. 15-23	2019年2月8日	国外

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ
 時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（①サブ課題Aマクロ
 経済シミュレーション、①-3経済危機伝播の数理モデルの開発）

機関名 学校法人日本大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Application of Machine Learning to the Creation of Macro-sentiment Index (ポスター)	Wataru Souma, Irena Vodenska, Hideaki Aoyama, Hiroshi Iyetomi, Yoshi Fujiwara	23rd Annual Workshop on Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents (WEHIA2018) at the International Christian University, Tokyo	2018年7月	国外
Minimum Model of Japanese Production Networks (口頭)	Hiromitsu Goto, Wataru Souma	The 6th International Conference on Big data in Economics, Science and Technology, Halkidiki, Greece	2018年7月	国外
Macroscopic features of production network and sequential graph drawing (口頭)	Yuji Fujita, Yoshi Fujiwara, Wataru Souma	The 6th International Conference on Big data in Economics, Science and Technology,	2018年7月	国外

		Halkidiki, Greece		
Application of deep learning to the sentiment analysis in economy (口頭)	Wataru Souma, Irena Vodenska, Hideaki Aoyama, H. Iyetomi, Yoshi Fujiwara	The 6th International Conference on Big data in Economics, Science and Technology, Halkidiki, Greece	2018年7月	国外
ネットワーク上の確率モデルはミクロとマクロを同時に再現できるか? (口頭)	後藤弘光、相馬亘	JWEIN & NetEco201, 慶應大阪シティキャンパス, 大阪市	2018年8月	国内
企業生産ネットワーク上の確率モデルによる経済シミュレーションの実用性について (ポスター)	後藤弘光、相馬亘、藤田裕二	ネットワーク科学セミナー, 統計数理研究所, 立川市	2018年8月	国内
企業生産ネットワーク上の確率モデルによる経済シミュレーションの実用性について (口頭)	後藤弘光、相馬亘、藤田裕二	金融・経済ネットワーク研究会	2018年9月	国内
Practicality evaluation of stochastic model on networks for the real economy simulation (口頭)	Hiromitsu Goto, Wataru Souma, Yuji Fujita	Workshop of PRIMA 2018 (The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems) on Social Simulations and Supercomputers,	2018年10月	国外

		AIST Tokyo Waterfront, Tokyo		
Enhanced news sentiment analysis using deep learning methods (口頭)	Wataru Souma, Irena Vodenska, Hideaki Aoyama	Workshop of PRIMA 2018 (The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems) on Social Simulations and Supercomputers, AIST Tokyo Waterfront, Tokyo	2018年10月	国外
Enhanced news sentiment analysis using deep learning methods (口頭)	Wataru Souma, Irena Vodenska, Hideaki Aoyama	International conference on "Network Science in Economics and Finance", Ahmedabad	2018年12月	国外
企業間取引ネットワーク上の確率モデルによる経済のモデル化 (口頭)	後藤弘光、相馬亘、藤田裕二	日本物理学会 第74回年次大会, 九州大学伊都キャンパス, 福岡市	2019年3月	国内
日本の生産ネットワークにおけるクルミ構造の解析 (口頭)	後藤弘光、相馬亘、藤田裕二	社会物理学の新展開 2019, 統計数理研究所, 立川市	2019年3月	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文 (発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別
Practicality evaluation of stochastic model on	Hiromitsu Goto, Wataru	Journal of Computational Social Science,	2019年1月	国外

networks for the real economy simulation	Souma, Yuji Fujita	vol.2 (2019) p.25-32		
Enhanced news sentiment analysis using deep learning methods	Wataru Souma, Irena Vodenska, Hideaki Aoyama	Journal of Computational Social Science, vol.2 (2019) p.33-46	2019年1月	国外
Macroscopic features of production network and sequential graph drawing	Yuji Fujita, Yoshi Fujiwara, Wataru Souma	Evolutionary and Institutional Economics Review, vol.16 No.1 (2019) p.183-199	2019年2月	国外

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（①サブ課題Aマクロ経済シミュレーション、①-4マクロ経済現象の検証と応用）

機関名 立正大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
インフレ/デフレの解析：個別物価クラスター形成（口頭）	吉川悠一， 家富洋，青山秀明，藤原義久，吉川洋	日本物理学会2018年秋季大会，同志社大学，京田辺市	2018年9月12日	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Analysis of Inflation/Deflation: Clusters of micro prices matter!	Yuichi Kichikawa, Hideaki Aoyama, Yoshi Fujiwara, Hiroshi Iyetomi, Hiroshi Yoshikawa	RIETI Discussion Paper Series, 18-E-055 (2018)	2018年8月1日	国内
Macroprudential Modeling Based on Spin Dynamics in a Supply Chain Network	池田 裕一，吉川洋	RIETI Discussion Paper Series 18-E-045, 1-25 (2018/07)	2018年7月	国内

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ
 時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（②サブ課題B企業ネ
 ットワークシミュレーション）

機関名 国立学校法人東京工業大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題 目、口頭・ポスター発表 の別)	発表者氏名	発表した場所 (学会等名)	発表した時 期	国内・ 外の別
社会・経済に役立つ物理 学：金融市場へのアプロ ーチ（招待講演）	高安美佐子	Capital Fund Management社セミ ナー，ザ・ペニン シュラ東京	2018. 6. 5	国内
Forecasting firm growth using structure of inter- firm trading network (口頭発表)	Jun'ichi Ozaki, Hideki Takayasu, Misako Takayasu	Asia-Pacific Econophysics Conference 2018	2018. 8. 29	国外
平均流ダイアグラムから 見る日本企業の時間発展 とスケーリング則（口頭 発表）	小林祐一 朗，高安秀 樹，高安美 佐子	日本物理学会2018 年秋季大会，同志社 大学	2018. 9. 9	国内
重力モデルを用いた企業 倒産によるお金の流れの 変化の推定（ポスター発 表）	奥富航、尾 崎順一，高 安秀樹，高 安美佐子	日本物理学会2018 年秋季大会，同志社 大学	2018. 9. 12	国内
Dynamical model of Japanese inter-firm trading network: for GDP simulation（口頭発 表）	Jun'ichi Ozaki, Hideki Takayasu, Misako Takayasu	Econophysics Colloquium 2018, Palermo, Italy	2018. 9. 13	国外
Evolution of Companies towards Scaling in 3- Dimensional State Space: Visualization	Yuh Kobayashi, Hideki Takayasu,	Conference on Complex Systems 2018	2018. 9. 28	国外

by Evolutionary Flow Diagrams (口頭発表)	Misako Takayasu			
Linear Stability Analysis of Money Flow in Inter-firm Trading networks: Exact Diagonalization (口頭発表)	Jun'ichi Ozaki, Hideki Takayasu, Misako Takayasu	Conference on Complex Systems 2018	2018. 9. 28	国外
Estimation of sales decrease caused by disaster: Hokkaido blackout after earthquake in 2018 (口頭発表)	Jun'ichi Ozaki, Hideki Takayasu, Misako Takayasu	Social Simulations and Supercomputers (workshop in PRIMA 2018)	2018. 10. 29	国外
日本企業の網羅的データを全面利用した企業業績の時間発展シミュレーション (口頭発表)	小林祐一朗, 高安秀樹, 高安美佐子	日本物理学会第74回年次大会, 九州大学	2019. 3. 14	国内
地域性を取り入れた企業間取引ネットワークのモデル化 (口頭発表)	尾崎順一、高安秀樹、高安美佐子	日本物理学会第74回年次大会, 九州大学	2019. 3. 14	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文 (発表題目)	発表者氏 名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表し た時期	国 内・ 外の 別
Smoluchowski Equation for Networks: Merger Induced Intermittent Giant Node Formation and Degree Gap	Hayato Goto, Eduardo Viegas, Henrik Jeldtoft Jensen, Hideki Takayasu, Misako Takayasu	Journal of Statistical Physics, vol.172(4) (2018) p.1086-1100	2018.8	国外
Modeling and simulation of Japanese inter-firm network	Jun'ichi Ozaki, Koutarou Tamura, Hideki Takayasu, Misako Takayasu	Artif Life Robotics, vol.24, No.2 (2018) p.257-261 (https://doi.org/10.1007/s10015-018-0508-0)	2018.12	国外
Estimation of sales decrease caused by a disaster: Hokkaido blackout after earthquake in 2018	Jun'ichi Ozaki, Hideki Takayasu, Misako Takayasu	Journal of Computational Social Science, Vol.2, No.1(2019) p.47- 51	2019.1	国外

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（③サブ課題C金融シミュレーション、③-1金融取引と銀行間ネットワークの統合モデルの開発」

機関名 国立大学法人東京大学（和泉 潔）

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
銀行間ネットワークと企業間ネットワークを用いた連鎖倒産シミュレーション	濱脇諒, 和泉潔, 坂地泰紀, 島田尚, 松島裕康	第22回 人工知能学会 金融情報学研究会	2019年3月	国内
イタリア銀行間ネットワークの推移のクラスタリング解析	仁木裕太, 島田尚, 和泉潔	交通流数理研究会 第24回交通流と自己駆動粒子系のシンポジウム,	2018年12月	国内
人工知能技術と経済学モデルは融合できるのか?金融市場における人工知能技術の現状と課題（招待講演）	和泉 潔	滋賀大学データサイエンス教育研究センター・リスク研究センター共催セミナー	2018年11月	国内
Chain Bankruptcy Size in Inter-bank Network: the Effects of Asset Price Volatility and the Network Structure	Ryo Hamawaki; Kiyoshi Izumi; Hiroki Sakaji; Takashi Shimada; Hiroyasu Matsushima	Social Simulations and Supercomputers,	2018年10月	国外
Impact on Financial Markets of Dark Pools, Large Investor, and HFT	Shin Nishioka, Kiyoshi Izumi, Wataru Matsumoto, Takashi Shimada, Hiroki Sakaji	International Workshop on Artificial Market 2018	2018年10月	国外

	and Hiroyasu Matsushima			
Impact Assessments of the CAR Regulation using Artificial Markets	Masanori Hirano, Kiyoshi Izumi, Hiroki Sakaji, Takashi Shimada, Hiroyasu Matsushima	International Workshop on Artificial Market 2018	2018年10月	国外
資産市場の価格変動と銀行間貸借ネットワークの形状が銀行の連鎖倒産に与える影響	濱脇 諒, 和泉 潔, 坂地 泰 紀, 米納 弘渡	人工知能学会全国大会 2018	2018年6月	国内
Effects Analysis of CAR Regulations on Financial Markets using Artificial Market Simulations	Masanori HIRANO, Hiroto YONENO, Kiyoshi IZUMI	人工知能学会全国大会 2018	2018年6月	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
ビッグデータと人工知能を用いたファイナンス研究の潮流	和泉 潔	金融研究, 30巻1号, 日本銀行 (2019) p. 15-28	2019年1月	国内
Project CASSIA --- Framework for Exhaustive and Large-Scale Social Simulation---, Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing: The Japanese Post-Peta	Itsuki Noda, Yohsuke Murase, Nobuyasu Ito, Kiyoshi Izumi, Hiromitsu Hattori, Tomio Kamada,	Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing (Springer-Verlag 2019) p. 271-299 (doi: 10.1007/978-981-13-1924-2_14)	2018年12月	国外

CREST Research Project	Hideyuki Mizuta, Mikio Takeuchi			
---------------------------	--	--	--	--

委託業務題目 「「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（③サブ課題C金融シミュレーション、③-2 人工市場エージェントシミュレータへの動的負荷分散の実装」
 機関名 国立大学法人神戸大学 鎌田十三郎

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
なし				

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Project CASSIA - Framework for Exhaustive and Large-Scale Social Simulation-	Itsuki Noda, Yohsuke Murase, Nobuyasu Ito, Kiyoshi Izumi, Hiromitsu Hattori, Tomio Kamada, Hideyuki Mizuta, Mikio Takeuchi	Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing, (Springer, 2018) p. 271-299 (https://doi.org/10.1007/978-981-13-1924-2_14)	07 December 2018	国外

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ
 時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（④-1 サブ課題D
 網羅的交通・人流シミュレーションとその解析）

機関名 国立研究開発法人産業技術総合研究所 野田五十樹

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
“Multi-Agent Social Simulation for Social Service Design”（口頭）	Itsuki Noda	International Workshop on Massively Multi-Agent Systems	2018/7/14	国外

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
Project CASSIA	Itsuki Noda. Yohsuke Murase, Nobuyasu Ito, Kiyoshi Izumi, Hiromitsu Hattori, Tomio Kamada, Hideyuki Mizuta, Mikio Takeuchi	Advanced Software Technologies for Post-Peta Scale Computing, (Springer, 2018) p. 271-299 (https://doi.org/10.1007/978-981-13-1924-2_14)	2019. 3. 1	国外

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ
 時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（④-2 サブ課題D
 人流制御技術の開発）

機関名 国立研究開発法人海洋研究開発機構 浅野俊幸

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
大規模展示ホール施設を対象とした段階的避難の有効性に関する検討、ポスター発表	西川憲明、 廣川雄一、 山田武志、 印南潤二、 浅野俊幸	2018年度 人工知能学会全国大会（第32回）	2018/06/08	国内
群集ダイナミクスの連結階層シミュレーション、口頭発表	西川憲明、 廣川雄一、 浅野俊幸	合同エージェントワークショップ&シンポジウム2018（JAWS2018）	2018/09/13	国内
浸水シミュレーション予測が避難行動に与える影響の検討、口頭発表	廣川雄一、 西川憲明、 山田武志、 印南潤二、 浅野俊幸	合同エージェントワークショップ&シンポジウム2018（JAWS2018）	2018/09/14	国内
都市部における群衆避難シミュレーションの検討、口頭発表	浅野俊幸、 廣川雄一、 西川憲明、 丹羽雄輔	第46回可視化情報シンポジウム	2018/09/16	国内
土地鑑を考慮した徒歩経路探索モデルによる浸水避難シミュレーション、口頭発表	廣川雄一、 西川憲明、 山田武志、 印南潤二、 坂井隆志、 浅野俊幸	第120回数理モデル化と問題解決（MPS）研究会	2018/09/25	国内
連結階層モデルによる群集流動シミュレーション、ポスター発表	西川憲明、 廣川雄一、 浅野俊幸	計測自動制御学会システム・情報部門 学術講演会（SSI 2018）	2018/11/26	国内

A Large-Scale Parallelization of the Boids Model on the K Computer and the Heterogeneous Multi-Processing Unit、口頭発表	Yuichi Hirokawa, Masaaki Terai, Teruo Matsuzawa, Noriaki Nishikawa and Toshiyuki Asano	Twenty-Fourth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 24th 2019)	2019/01/23	国内
連結階層モデルによる群集シミュレータの開発、ポスター発表	西川憲明、廣川雄一、浅野俊幸	計測自動制御学会第18回社会システム部会研究会	2019/03/19	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文 (発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別
避難指示への応諾性を考慮した段階的避難の有効性評価	西川憲明、廣川雄一、山田武志、印南潤二、浅野俊幸	日本シミュレーション学会論文誌 vol.10 No.2 (2018) p.47-57 (https://doi.org/10.11308/tjst.10.47)	2018/05/09	国内
土地鑑を考慮した徒歩経路探索モデルによる浸水避難	廣川雄一、西川憲明、山田武志、印南潤二、坂井隆志、浅野俊幸	情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用, 2018-MPS-120(1), 1-6 (http://id.nii.ac.jp/1001/00191296/)	2019/03/15	国内

シミュ レーシ ョン				
------------------	--	--	--	--

様式第 2 1

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（④-3 サブ課題D マルチエージェント交通流シミュレーションのソフトウェア開発）

機関名 国立大学法人東京大学 （藤井 秀樹）

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
マルチエージェント交通流シミュレータの動的負荷分散による並列化（口頭発表）	牛丸雄太, 藤井秀樹, 吉村忍, 山田知典	第23回計算工学講演会	2018年6月	国内
動的負荷分散を考慮したマルチエージェント交通流シミュレータの並列化（口頭発表）	牛丸雄太, 藤井秀樹, 吉村忍, 山田知典	日本機械学会第31回計算力学講演会	2018年11月	国内
Parallelization of Microscopic Traffic Simulator and Its Load Balancing（口頭発表、keynote lecture）	H. Fujii, Y. Ushimaru, T. Yamada, S. Yoshimura	13th World Congress on Computational Mechanics	2018年8月	国外
Parallelized Microscopic Traffic Simulation with Dynamic Load Balancing（口頭発表、semi-plenary lecture）	H. Fujii, Y. Ushimaru, T. Yamada, S. Yoshimura	International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences	2019年3月	国外

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別

様式第 2 1

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究（多層マルチ
 時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）」（④-4 サブ課題D
 都市交通モデルの開発）

機関名 学校法人立命館立命館大学 服部宏充

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
マルチエージェントシミュレーションによるタクシー営業戦略の改善シナリオの提案	金月寛彰, 服部宏充	人工知能学会論文誌 2019 年 34 卷 3 号 p.C-IA2_1-9	2019/05/01	国内

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究」（多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）（⑤サブ課題E社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発、⑤-1近似ベイズ計算によるモデル評価技術の開発）」

機関名 国立大学法人神戸大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
道路ネットワーク上の自動車交通シミュレーションにおいて交通量変化が経路選択と交通量に与える非線形応答考察	内種岳詞	計測自動制御学第61回システム工学部会研究会	2019年3月	国内
緩和型スーパーノードマルチフロントル法の最適な緩和パラメータについて、	中野智輝, 横川三津夫, 深谷猛, 山本有作	第167回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会	2018年12月	国内
統計多様体上の状態空間モデルを用いた発展型ネットワーク解析、口頭発表	小松 瑞果, 谷口 隆晴, 大川 剛直	日本応用数理学会 2018年度年会	2018年9月	国内
アンケートデータを用いた交流ネットワーク推定手法、口頭発表	佐藤 智久, 谷口 隆晴, 増本 康平, 近藤 徳彦, 岡田 修一	日本応用数理学会 2018年度年会	2018年9月	国内
道路ネットワークにおける近道と経路選択と交通渋滞との関係考察、口頭発表	内種岳詞	電気学会C部門大会 2018	2018年9月	国内
Degrees of Vehicle Traffic Congestion with an Existence of	Takeshi Uchitane	SICE Annual Conference 2018	2018年9月	国外

Shorter Pass on Road Networks				
自動車道路ネットワーク構造と最適な経路選択の困難さの関係考察	内種岳詞	第28回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN2018)	2018年9月	国内
情報幾何学を用いた発展型ネットワークモデルに基づく相転移に着目した異常検知の試み, 口頭発表	Takaharu Yaguchi, Mizuka Komatsu	MIMS現象数理学研究拠点共同研究集会「幾何的解析と形状表現の数理」	2018年8月	国内
Autoregressive models on statistical Riemannian manifolds for analysis of evolutionary networks, 口頭発表	Takaharu Yaguchi, Mizuka Komatsu	Data Science, Statistics & Visualisation (DSSV 2018)	2018年7月	国外
潜在変数ネットワークモデルを用いた放牧牛の交流ネットワーク解析, ポスター発表	小松瑞果, 谷口隆晴, 大川剛直	第47回数値解析シンポジウム	2018年6月	国内
道路ネットワークにおける近道が交通渋滞に与える影響, 口頭発表	内種岳詞	SCI18	2018年5月	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文 (発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別
なし				

委託業務題目「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究」（多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発）（⑤サブ課題E社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発、⑤-2 群知能・深層学習によるモデル評価技術の開発」

機関名 国立大学法人東京大学（池上高志）

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Revisiting Classification of Large Scale Flocking（口頭発表）	Norihiro Maruyama	PRIMA 2018 - The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems	2018年11月	国内
Growth Dynamics of Pairwise Novelty in Social Annotation（口頭発表）	Yasuhiro Hashimoto	PRIMA 2018 - The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems	2018年11月	国内
ソーシャルタギングシステムに見られる特異的なタグの成長	Yasuhiro Hashimoto	人工知能学会全国大会2018	2018年6月	国内
Agent based modelを用いたシミュレーションから見る社会性昆虫のバースト現象	Itsuki Doi	人工知能学会全国大会2018	2018年6月	国内
Emergent Collective Dynamics in Large Scale Agent Systems（招待講演）	Takashi Ikegami	Conference on Collective Behavior	2018年5月	国外
Measuring Bursty Growth of Words in	Yasuhiro Hashimoto	ACM WebSci 2018	2018年5月	国外

Social Tagging Ecosystems (ポスター発表)				
--	--	--	--	--

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文 (発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した 時期	国内・ 外の 別
Open-Ended Evolution and a Mechanism of Novelties in Web Services	Takashi Ikegami, Yasuhiro Hashimoto and Mizuki Oka	Artificial Life (https://arxiv.org/abs/1903.12178)	In pres s	国 外
Dynamic organization of flocking behaviors in a large- scale boids model	Norihiro Maruyama, Dai chi Saito, Yasuhiro Hashimoto, Takashi Ikegami	Journal of Computational Social Science, vol.2 No.1 (2019) p.77-84	2019 年2 月	国 外
Brain Equation and Personogenesis is	Otto E Rossler, Lisa-Ruth Vial, Frank Kuske, August Nitschke, Takashi Ikegami, Andrei Ujica	Clinics in Pediatrics (2019) (http://www.clinicsinpediatrics.com/full-text/cip-v2-id1011.php)	2019 年1 月	国 外

「複数の社会経済現象の相互作用のモデル構築とその応用研究
(多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発)」
実施計画

平成 31 年 3 月 26 日
国立研究開発法人理化学研究所
伊藤 伸泰

内容

1. 実施概要	1
(1) 目的・意義	1
(2) 研究開発内容.....	1
(3) 目標・期待される成果	2
(4) 周辺領域への波及効果、課題全体における計算科学やシミュレーションの位置づけ.....	3
(5) 年次計画	4
(6) 実施体制	8
(7) 必要計算資源.....	9
2. 研究開発内容詳細.....	10
2-1. サブ課題A. マクロ経済シミュレーション.....	10
(1) 目的・意義	10
(2) 実施内容	10
(3) 目標・期待される成果	11
(4) 「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと.....	11
(5) 実施体制.....	12
2-2. サブ課題B. 企業ネットワークシミュレーション.....	14
(1) 目的・意義	14
(2) 実施内容	14
(3) 目標・期待される成果	15
(4) 「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと.....	16
(5) 実施体制.....	16
2-3. サブ課題C. 金融シミュレーション.....	17
(1) 目的・意義	17
(2) 実施内容	17
(3) 目標・期待される成果	17
(4) 「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと.....	18
(5) 実施体制.....	18
2-4. サブ課題D. 交通・人流シミュレーション.....	20
(1) 目的・意義	20
(2) 実施内容	20
(3) 目標・期待される成果	21
(4) 「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと.....	21
(5) 実施体制.....	21
2-5. サブ課題E. 社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発	23
(1) 目的・意義	23

(2) 実施内容	23
(3) 目標・期待される成果	23
(4) 「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと	24
(5) 実施体制	24
3. 採択時の留意事項への対応状況	25
4. 中間評価における指摘事項への対応状況	25

1. 実施概要

異なるスケールの事象が密接に連携・相関している多層な社会システム・社会現象を、スーパーコンピュータにより解明する技術の研究・開発を実施する。ポスト京コンピュータを念頭に、特に経済および交通でのリスクの解明と制御とを中心に進める。

(1) 目的・意義

社会経済現象では、多様なサブシステムが多層的に相互作用し合う結果、時間的にも空間的にも異なったスケールの事象が不可分となっていることが多い。例えば、1秒間以下の瞬間瞬間に進む株式・為替取引が何年にもわたる経済恐慌・好景気の引き金となり、国際金融システム自体を変化させ、企業活動に影響を与えて行く。ある特定の場所での災害が広域的な影響を及ぼし、思わぬ場所での二次災害を引き起こす。こうした現象を事象の因果を明確にしつつ予測し制御できるようになるためには、いわゆる「ビッグデータ」を分析して相関関係を探すだけでは不十分で、現象の発展を記述する動学的モデルとそのシミュレーションによる解析とが必要となる。

これまでに「京」コンピュータを使った研究では主に、経済現象や交通現象に関わるサブシステムのシミュレーション技術が開発されてきた。本研究では、ポスト「京」に向けて複数のサブシステムの相互作用モデルを構築し、社会経済現象上の課題を予測し制御する技術の研究・開発を目的とする。

(2) 研究開発内容

この目的をポスト「京」の実現を控えた4年間に実現するために、本研究では以下の5つのサブ課題の研究開発を密接な連携の下で進め、サブ課題間に渡る社会現象のシミュレーション技術の開発を進める。

- **サブ課題A** マクロ経済シミュレーション：大規模な経済ネットワークシミュレーション技術を開発し、景気変動メカニズムの解明と経済危機予測システムの構築とを目指す。
- **サブ課題B** 企業ネットワークシミュレーション：経済活動の中核である企業活動を、企業間連携・地域社会連携・資本関係他種々の側面からとらえてシミュレーションモデルを開発する。経済活動・GDPシミュレーションアプリケーションを目指す。
- **サブ課題C** 金融シミュレーション：証券取引と金融ネットワークとの連携を記述するエージェントモデルを開発する。金融システムシミュレーションアプリケーションを目指す。
- **サブ課題D** 交通・人流シミュレーション：自動車や人の移動・避難を記述する地域振興・防災・減災のための「交通・人流シミュレーション」。自動車交通・災害避難シミュレーションアプリケーションを目指す。
- **サブ課題E** 社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発：現実の多層なマルチスケール現象のモデル構築技術の開発およびモデル評価手法の開発する「社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発」。モデル評価・パラメータ探索アプリケーションを目指す。

これら5つのサブ課題は以下の様に連携する。

サブ課題Eと他の4サブ課題 4つのサブ課題で開発するモデルとアプリケーションとが、「ポスト京」コンピュータスケールの処理能力で効果的となるように数理およびシミュレーションモデルをチューンアップし、また数千万コアを越える並列処理で効率的に実行することで連携する。

サブ課題 C とサブ課題 A・B それぞれ異なるスケールから経済現象を扱うサブ課題 A・B・C は連携して、マルチスケール経済現象のシミュレーション技術の開発を進める。

サブ課題 D とサブ課題 A・B 交通・移動や災害・避難とを経済活動の観点から評価する技術開発を進める。

(3) 目標・期待される成果

● 【目標】

ポスト「京」運用開始5年後を目途に社会経済現象の予測・制御シミュレーションを確立し、10年後を目処に次々世代スーパーコンピュータでの社会経済シミュレーション技術の方向性を明らかとする。特に、国内外の企業活動・証券金融取引・自動車交通・歩行者交通のシミュレーション技術に基づき、複数の社会経済システムが複合して発生する課題を解決する方法を開発する。

● 【アウトプット成果】

・平成 29 年度終了時

経済・企業ネットワークのデータを整備し、その構造と時間発展とをシミュレートする方法を開発する。さらに人口減少・高齢化・証券金融取引が企業活動を通して経済活動に与える影響を記述する連成手法を開発する。特に証券取引と金融ネットワークとを練成した市場規制の効果を評価する。

一方、自動車・歩行者交通の異種モデル連成手法も開発し、また大規模な社会・経済システムのシミュレーションモデルの構築・実験・分析、およびパラメータのサンプル・選択手法を開発する。

・本格実施フェーズ終了時

本格実施フェーズを終了する平成 32 年度には、マクロ経済・企業・金融・交通・人流シミュレーションを行うポスト「京」用アプリケーションを開発し、各シミュレータを連携させて問題解決を支援する技術を開発する。

特に、景気変動や経済的破綻の定量的な説明及びモニタリング手法の確立、マクロ・プルーデンス・ポリシーの確立に向けた経済ストレスシミュレーション手法の確立、マクロ経済の生産活動や物価変動に見られる集団的な運動とそのダイナミクス究明のための手法の開発、大規模災害の経済活動へのストレステスト、レジリエンスシナリオを想定した大規模並列実行、地方経済活性化施策の妥当性検証シミュレーションモデルの構築、世界レベルの統合企業ネットワークモデルの金融市場の影響のモデルへの統合を試み、世界貿易・金融市場との相互作用モデル、高精度な建物・都市空間や交通・人流のデータの確保、計測データを基に予測精度を向上させる技術の確立、防災計画や経済現象の変化を反映した都市計画への応用を想定している。そのための並列・分岐シミュレーションを用いた網羅的シミュレーション技術を確立するとともに、近似ベイズ計算と機械学習手法を用いたモデル評価手法と実行管理システムを開発する。

・ポスト「京」運用開始 5 年後まで

本課題で本格実施フェーズ終了時までまでに開発したモデルとポスト「京」アプリケーションおよび実行解析技術を発展させ社会経済課題の解決方法確立につなげる。特に、経済危機予測・早期

警戒システム、世界貿易・金融市場との相互作用モデルの構築、東京証券取引所にある 3400 銘柄全てと国内の規制の影響を受ける 1500 行の金融機関によるネットワークモデルの構築、自動車交通・歩行者交通を連成し広域災害時の避難・物流の動的制御、多種類のビッグデータを用いた広域かつ高分解能な連成シミュレーションを進める。

● 【アウトカム成果】

・運用開始 5 年後

ポスト「京」アプリケーションの社会経済課題の解決を支援するシステムへの社会的実装を進める。特に、経済危機予測・早期警戒システムの試験運用、全世界の経済・金融活動のシミュレーション、シミュレーションによる都市計画および避難計画など、新しい政策の決定において大規模シミュレーションによる事前評価を有力なツールの一つとして活用するための基盤技術の普及を進める。

・運用開始 10 年後

上記の試験運用を本格運用へと移行し、社会経済システムのイノベーションとブレイクスルーを実現する。

(4) 周辺領域への波及効果、課題全体における計算科学やシミュレーションの位置づけ

経済活動・交通という社会システム上の基幹インフラに対して、確度の高い予測できるようになり、設計・制御が可能となる。政策・施策の客観的かつ定量的なアセスメントも可能となるため、経済・社会・政治・行政といった諸領域が計算科学・シミュレーション科学の 1 分野として発展し始めるようになると考えられる。学問諸分野でのいわゆる文理融合の促進が決定的となるとも考えられる。

(5) 年次計画

課題全体	中間目標 (平成29年度)	経済・交通を中心として複数の社会の要素モデルを連携する手法の枠組みを構築し、有効性を検証する。
	最終目標 (平成31年度)	経済・交通現象のダイナミクスを解明し、主にリスクを予測・制御する手法の枠組みを構築し、有効性を検証する。

サブ課題名 (分担機関・責任者)	調査研究・準備研究フェーズ		本格実施フェーズ	
	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度
サブ課題A マクロ経済シミュレーション (兵庫県立大学・藤原義久)	(目標) 経済ストレス伝播モデルの構築と実装 (実施内容) 経済ネットワークのデータ整備を土台にして、大規模グラフ上での伝播アルゴリズムの構築と実装を行う。	(目標) 経済ストレス伝播モデルの高度化と実装 (実施内容) 大規模グラフのノード・リンク属性を取り込む経済ストレス伝播モデルの拡張とその実装を行う。	(目標) 経済ストレス伝播モデルの応用とマクロ経済変動の究明手法の確立 (実施内容) ・連鎖倒産や大規模災害発生の経済活動への定量的なストレス評価手法を確立する。 ・マクロ経済の生産活動や物価変動に見られる集団的な運動とそのダイナミクス究明の手法を開発する。	(目標) 経済ストレス伝播とマクロ経済変動に関するマクロ経済シミュレーションシステムの構築。 (実施内容) ・大規模な災害発生や連鎖倒産などによる経済ショック伝播のシミュレータの公開 ・大規模経済ネットワーク解析・可視化アプリケーション、経済危機早期警戒システム基盤の公開

<p>サブ課題B 企業ネットワーク シミュレーション (東京工業大学・ 高安美佐子)</p>	<p>(目標) ・約100万社の企業ネットワークの基本モデルの構築 (実施内容) ・企業ネットワークの構造時間発展モデルとお金やものの流れのモデルを統合 ・統合した基本モデルの効率的な大規模並列実行</p>	<p>(目標) ・人口減少の経済活動への影響シミュレーションモデル構築 (実施内容) ・人口と企業活動の経験則の導出 ・人口のパラメータを入れたモデルの効率的な大規模並列実行</p>	<p>(目標) ・ストレステストとレジリエンスシミュレーションモデル構築 (実施内容) ・災害のゆらぎを想定した大規模並列実行 ・レジリエンスシナリオを想定した大規模並列実行</p>	<p>(目標) ・世界貿易・金融市場との相互作用モデル構築 (実施内容) ・貿易データおよび金融市場の影響のモデルへの統合 ・世界レベルの統合企業ネットワークモデルの効率的な大規模並列実行</p>
<p>サブ課題C 金融シミュレーション (東京大学・和泉 潔神戸大学・鎌田 十三郎)</p>	<p>(目標) ・100銘柄の株式市場モデル構築 (実施内容) ・複数銘柄取引エージェントモデル構築 ・単純エージェントモデルを利用した東証市場規模シミュレーション ・動的負荷分散対応技術の開発</p>	<p>(目標) ・数百行の銀行間ネットワークモデル構築 (実施内容) ・市場モデルと銀行ネットワークモデルの統合による市場規制の効果評価 ・負荷分散に対応した株式市場シミュレーション ・市場・銀行統合モデルの並列シミュレーション試行</p>	<p>(目標) ・株式市場モデルと銀行間ネットワークモデルの統合 (実施内容) ・金融市場外のより大きな経済活動(企業活動、景気動向など)のモデルの統合 金融取引と銀行間ネットワークの統合モデルの開発 ・統合モデルの効率的な大規模並列実行 ・並列・分岐シミュレーション</p>	<p>(目標) ・システミックリスク予防のための施策決定支援 (実施内容) ・システミックリスクシミュレーションの実装 ・金融システムのリスクが企業活動に与える影響分析 ・並列・分岐シミュレーションを用いた網羅的シミュレーション技術開発</p>

			の基礎技術開発	
サブ課題D 交通・人流シミュレーション (産業技術総合研究所・野田五十樹)	(目標) 各シミュレータのスパコン上への移植および改良 (実施内容) 人流および交通シミュレーションを京等へ移植。連成に向けた、データ解析手法の拡充	(目標) 人流・交通における異種モデル連成手法の開発 (実施内容) 人流・交通モデル改善による高速化と結果解析手法確立。	(目標) 人流と交通の多層連成シミュレーションのための網羅実行、および経済現象との連成方法の創出 (実施内容) ・データ同化技術の開発。 網羅実行の効率化。 ・経済現象との連成インターフェースの設計。	(目標) 人流と交通の多層連成シミュレーション、ならびに経済現象とヒト・モノ移動現象の連成シミュレーション。 (実施内容) ・実データでのデータ同化技術の検証。 ・経済現象との連成シミュレーション。
サブ課題E 社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発 (神戸大学・上東貴志)	(目標) パラメータのサンプル・選択手法の開発 (実施内容) 大規模な社会・経済システムのシミュレーションモデルの構築・実験・分析、およびパラメータのサンプル・選択手法の試行	(目標) パラメータのサンプル・選択手法の確立 (実施内容) 大規模な社会・経済システムのシミュレーションモデルにおけるパラメータのサンプル・選択手法の実践	(目標) モデル評価手法と実行管理システムの開発 (実施内容) ・近似ベイズ計算と機械学習手法を用いたモデル評価手法と実行管理システムを開発し、大規模な社会・経済システムのシミュレーションモデルにおいて試行 ・群知能・深層学習によるモデ	(目標) モデル評価手法の確立と実行管理システムへの実装 (実施内容) 近似ベイズ計算と機械学習手法を用いたモデル評価手法と実行管理システムを確立し、大規模な社会・経済システムのシミュレーションモデルにおいて実践

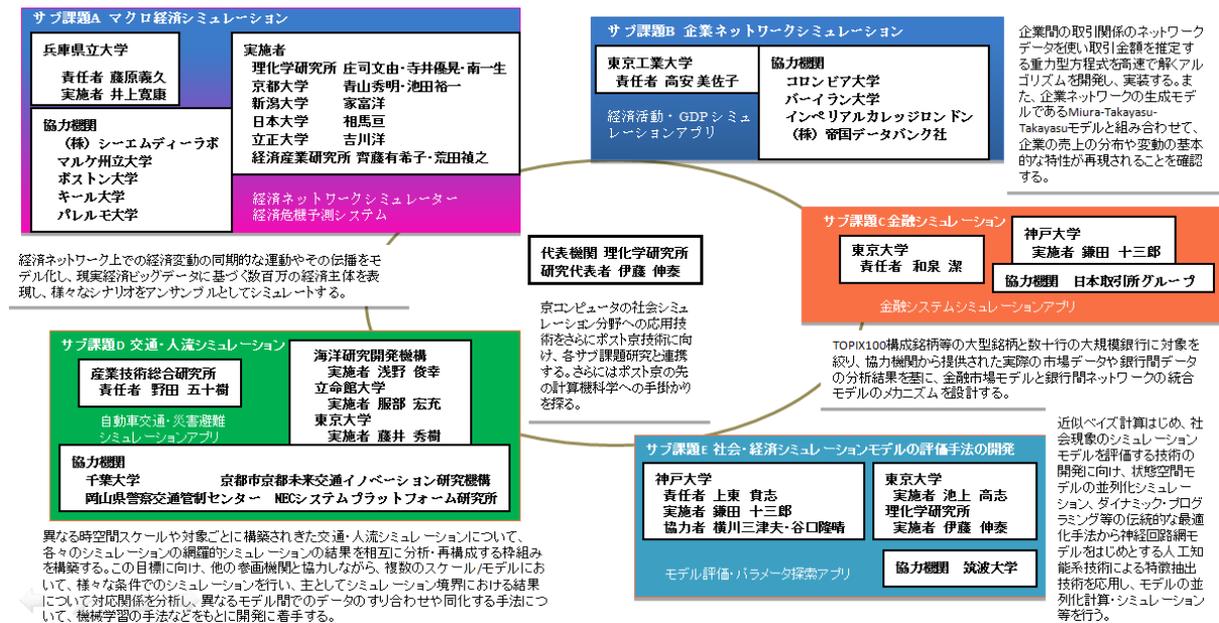
			ル評価技術の開 発	
--	--	--	--------------	--

(6) 実施体制

本プロジェクトには、代表者（議長）とサブ課題責任者とからなる運営会議を置き、全体を統括する。各サブ課題分散者はサブ課題責任者と連携・強調して研究を進める。以下に全体の構成図を示す。

課題詳細および実施体制

[5つのサブ課題研究開発活動の協奏と連携融合によるシナジーとセレンディピティ]



海洋研究開発機構・京都大学、神戸大学（上東）、神戸大学（鎌田）、産業技術総合研究所（野田）、東京大学（和泉）、東京大学（池上）、新潟大学（家富）、日本大学（相馬）で各1名、兵庫県立大学（藤原）では2名の研究員・ポスドクを採用する。また東京工業大学では特任助教を採用する計画である。

(7) 必要計算資源

「京」の計算資源量

(単位：ノード時間/年)

H28 年度	H29 年度	H30 年度	H31 年度
3,050,000	3,050,000	2,611,902	4,530,000

「京」以外の計算資源量

(単位：ノード時間/年)

H28 年度	H29 年度	H30 年度	H31 年度
0	0	0	0

2. 研究開発内容詳細

2-1. サブ課題A. マクロ経済シミュレーション

(1) 目的・意義

経済ネットワーク上での経済変動の同期や伝播の現象を最新の経済ビッグデータに基づいてモデル化・シミュレーションを行い、景気などマクロ経済の変動メカニズムと経済的なストレス波及のダイナミクスを解明する。「京」を利用した理化学研究所とのこれまでの共同研究を土台にシステムを開発する。本研究成果から、大規模災害発生や連鎖倒産などによる経済ショック伝播のシミュレータ、大規模な経済ネットワーク解析・可視化アプリケーション、経済危機の予測・早期警戒システム確立のための基盤技術の開発を目指す。

具体的には、数百万の企業・金融機関とその間の関係性ネットワークを計算機上にグラフとして表現して、世界でも類を見ない精緻かつ網羅的な観測データと、物価・量の変動とそれらの膨大な組合せに隠れた同期的な運動を解析できる数理的手法を用いて、ヘテロな財及びそれらの需給の複雑さをそのまま取り入れたシミュレーションを行う。この点で本研究は、代表的な経済主体という単純化や、整合性のための多くの仮定を含む経済モデルを超える革新性をもつ。

(2) 実施内容

景気などマクロ経済の変動メカニズムと経済的なストレス波及のダイナミクスを解明するため、経済ネットワーク上での経済変動の同期的な運動やその伝播を数理的にモデル化して、現実の経済ビッグデータに基づく数百万の経済主体の属性とそれらの関係性を計算機上にモデルとして表現し、大規模災害発生や金融危機などの様々なシナリオをアンサンブルとしてシミュレーションを行う。景気変動、大震災による付加価値（GDP）の落ち込み、連鎖倒産などに関する現実のデータとシミュレーション結果を比較して検証しながら、経済ショック伝播のシミュレータ、ならびにその基盤となる大規模な経済ネットワーク解析・可視化アプリケーション、経済危機の予測・早期警戒システム確立のための基盤技術を開発する。

- 【観測データ】 国内の企業・金融機関をカバーする数百万の経済主体の属性（健全性を表す財務状態、産業などの情報）とそれらの関係性（生産や金融など）のネットワーク、景気変動、経済的な破綻に関する大規模データを整備する。国内企業に加えて、海外企業を含めた企業間取引のデータの整備とその分析も行う。[経済産業研究所]
- 【数理的モデル：景気変動のメカニズム】 物価と量の多数の経済変動とそれらの間の膨大な組合せに隠れた、一般に遅れを伴う同期的な運動を、独自に開発した複素ヒルベルト変換を用いた主成分分析などを用いて解析してモデル化する。さらに、いわゆるホッジ・ヘルムホルツ分解をネットワークに応用した同期ネットワーク構築の方法を新たに開発して、多数のマクロ経済変数の限られた長さの時系列情報から、景気変動を記述するにあたって有用な変数を絞り込む手法を確立する。[京都大学、新潟大学]
- 【数理的モデル：経済危機伝播のダイナミクス】 経済的なストレスがネットワーク上で伝播するダイナミクスを記述する DebtRank 計算とその拡張モデルをグラフ構造として実装、シミュレーションを行ってきたものを利用するため、生産ネットワークならびに金融機関・企業間の信用ネットワーク上での経済的なストレスの伝播ダイナミクスについて、大規模災害発生や金融危機などを応用の対象としてそのシミュレーションを行い、マクロ経済全体への定量的なストレス評価

を行う。また、開発したアプリケーションを公開することに加えて、大規模災害発生によるマクロ経済全体への波及を可視化するシステムを構築する。[兵庫県立大学、理研計算科学研究機構、京都大学、新潟大学]

- **【マクロ経済現象の検証と応用】** マクロ経済学者と共同して構築している金融危機の早期警戒指標の先行・遅行解析ツール、およびマクロセンチメント指標（マクロ経済の景気に関わる好感感、不況感）を融合して、ディープラーニングを含む機械学習の手法を応用した金融危機発生シナリオ予測ツールを開発する。このツールを用いて、中央銀行のマクロ・ストレステストを拡張する。[日本大学、立正大学、経済産業研究所]

(3) 目標・期待される成果

- **【目標】** 経済ネットワーク上での経済変動の同期や伝播の現象を経済ビッグデータに基づいてモデル化・シミュレーションするためのシステムを構築する。
- **【アウトプット成果】**
 - ・平成 31 年度終了時
経済ショック伝播のシミュレータ、大規模な経済ネットワーク解析・可視化アプリケーション、経済危機の予測・早期警戒システム確立のための基盤技術を公開する。
 - ・本格実施フェーズ終了時
マクロ経済の生産活動や物価変動に見られる集団的な運動とそのダイナミクス究明のための手法の開発、大規模災害発生や連鎖倒産などによる経済ショック伝播シミュレーション手法の確立、ならびにそれらの基盤となる大規模な経済ネットワーク解析・可視化アプリケーション、経済危機の予測・早期警戒システム確立のための基盤技術を確立する。
 - ・ポスト「京」運用開始 5 年後まで
大規模災害発生や経済危機などの外生的な経済ショックに対して、マクロ経済システムがどのように反応するか、生産・金融・雇用を含むそれぞれの側面に関してのシミュレーションを実現するための基盤を形成する。
- **【アウトカム成果】**
 - ・運用開始 5 年後
内閣府、経済産業省等協力して、経済ショック伝播のシミュレータ、ならびに経済危機の予測・早期警戒システム確立のための基盤技術を応用するため、その検証やシミュレーション技術の深化を行う。
 - ・10 年後
本格運用開始しながら、民間企業にも成果展開を図る。

(4) 「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと

理研計算科学研究機構との共同研究「「京」における大規模グラフ探索アプリケーションの最適化に関する研究開発」では、経済的なストレスのネットワーク上での伝播モデルを実装、「京」のキャパシティーを活かした独立な並列計算を行うことで、従来は数日かかる計算を数分程度で完了できた。このモデルでは、グラフ上で経済主体をノード、それらの関係性をエッジとして表現するが、今後は、ノードやエッジに実データに対応する属性を情報として付加してモデルを拡張、また、ランダムグラフを多数発生させて比較実験を行う必要がある。このためには、グラフデータベースの技術とアンサン

ブルによる計算を用いて、ポスト「京」の計算速度と計算ノード数がなければ、対応できない。

(5) 実施体制

【観測科学者】 [経済産業研究所 (分担機関)] (荒田) を実施者として、これまで整備、蓄積してきた企業・金融機関をカバーする数百万の経済主体とその属性 (財務状況、産業、地域などの情報) 及び関係性ネットワーク (生産や金融など)、景気変動、経済的な破綻に関する大規模データを観測データとして整備し解析する。**【理論物理学者・データ科学者】** [京都大学 (分担機関)・新潟大学 (分担機関)] これまで経済学者との共同研究で国際的にも高い評価を得てきた京大 (青山・池田) と新潟大 (家富) を実施者として、物価と量の多数の経済変動とそれらの間の膨大な組合せに隠れた、一般には遅れを伴う動機的な運動を複素ヒルベルト変換による主成分分析等を用いて解析し、そのモデル化を行う。**【計算機科学者・複雑ネットワーク科学者】** [理研 計算科学研究機構 (分担機関)・兵庫県立大学 (サブ課題代表機関)・日本大学 (分担機関)・京都大学 (分担機関)・新潟大学 (分担機関)] 「京」スパコンを利用した従来からの共同研究「京」における大規模グラフ探索アプリケーションの最適化に関する研究開発」の理研グループ (庄司: 実施者、寺井、南) は、同研究を本提案につなげ、開発を推進し、また、複雑ネットワーク科学の経済ネットワークへの応用で大きな成果をあげている兵庫県大 (藤原: 責任者、井上) を代表機関とする。また同分野で先駆的な研究を行ってきた日大 (相馬) も実施者として、モデル構築を担う。**【経済学者】** [立正大学 (分担機関)・日本大学 (分担機関)・兵庫県立大学 (分担機関)] モデル構築にあたっては、従来から本チームの一員として共同研究を進めてきたマクロ経済学の著名な研究者である立正大 (吉川) が、経済産業研究所 (荒田) とともに、日本大学 (相馬)、兵庫県立大学 (藤原、井上) とともに、モデル構築、シミュレーションと構築したモデルの検証を行う。特に、共同して構築している金融危機の早期警戒指標の先行・遅行解析ツール、およびマクロセンチメント指標 (マクロ経済の景気に関わる好況感、不況感) を融合して、ディープラーニングを含む機械学習の手法を応用した金融危機発生シナリオ予測ツールを開発する。このツールを用いて、中央銀行のマクロ・ストレステストを拡張する。

以上の実施体制において開発したアプリケーションを最終年度にすべて公開する。

【国際的な協力体制 (協力機関)】 本研究では、世界的な課題克服に挑むため、国内外の金融システムと経済危機に関して経済ネットワークモデルやそれに基づく実証研究を行ってきた第一線の研究者を研究協力者として加える (米国 Irena Vodenska、イタリア Mauro Gallegati / Rosario Mantegna、ドイツ Thomas Lux など)。ノーベル経済学者 Joseph E. Stiglitz と経済物理学の創始者 H. Eugene Stanley の協力も得る計画である。

【マクロ経済学】
 立正大学(分担機関) 吉川洋
 経済産業研究所(分担機関) 荒田禎之
 ・モデル構築、シミュレーションの検証
 ・マクロ・プルーデンシャル・ポリシーの確立

【複雑ネットワーク科学】

兵庫県立大学(サブ課題代表)
 藤原義久、井上寛康
 日本大学(分担機関)
 相馬亘
 ・経済ネットワークモデル構築
 ・経済ストレス伝播モデル
 ・景気変動メカニズムのモデル

経済ネットワーク
 モデル構築

【計算科学】

理研計算科学研究機構(分担機関)
 庄司文由、寺井優晃、南一生
 ・「京」を含むスパコンへの
 グラフ情報を含む大規模グラフ
 シミュレーション技術の開発
 ・ポスト「京」に向けた高度化

「京」・ポスト「京」
 シミュレーション

【理論物理・データ科学】

京都大学(分担機関) 青山秀明
 新潟大学(分担機関) 家富洋
 ・遅れを伴う集団運動の解析
 ・複素ヒルベルト変換とランダム化
 による主成分分析

【観測データ】

経済産業研究所(分担機関) 齋藤有希子
 ・大規模経済ネットワーク、
 エージェント属性データ、
 景気変動、経済ストレスに関する
 経済ビッグデータ

【国際的協力体制】 米Vodenska、伊Gallegati、独Lux、など(米Stiglitzらとも連携)

2-2. サブ課題B. 企業ネットワークシミュレーション

(1) 目的・意義

国内約100万社の企業の取引関係や出資関係など複数の階層的なネットワーク構造の特性をデータに基づいて抽出し、京コンピュータで効率的にシミュレーションができるような多層ネットワーク構造の時間発展のモデルとネットワーク上のお金やモノの輸送モデルを構築する。モデルの妥当性を検証した上で、将来予想される様々なシナリオに基づいたシミュレーションを行う基盤を構築し、人口の都市部への集中と地方の過疎化の企業活動への影響の推定、ストレステストとしての大規模自然災害の被害規模推定と社会のレジリエンスを高める合理的な復旧施策の探索、地域経済活性化施策の検証など様々な設定に従ってシミュレーションを行う。さらに、世界の貿易量や人口を考慮して企業ネットワークモデルを世界レベルに拡張したモデルを構築して世界版の企業ネットワークシミュレーションを可能とし、金融市場の企業ネットワークへの影響もシミュレートできるモデル構築をめざす。

(2) 実施内容

以下を東工大で実施する。

- **基盤モデルの構築**：帝国データバンク社が提供する約100万社の企業データに基づき、企業間のネットワーク構造の時間発展に関するモデルとお金やものの流れを記述するモデルを連結させた統合モデルを構築する。既に構造のモデル（MTTモデル及びその発展形）と流れのモデル（重力相互作用モデル）の基本アルゴリズムはできているので、統合したモデルを「京」コンピュータで効率的にシミュレートするためのアルゴリズムを開発し、企業ネットワークシミュレーション基盤を確立する。この段階のモデルの動作確認をし、最新の企業データに合わせてモデルの改良を進める。具体的には、MTTモデルと実データのネットワーク構造についてそれぞれお金の流れの不安定性を解析し、その違いを比較する。また複数の階層的なネットワーク構造の効果なども実データとの比較から検証し、有効な効果が見いだされた場合にはアルゴリズムの改良を行う。この基盤モデルの改良は、全期間を通して続ける。
- **人口減少に伴う経済活動のシミュレーション**：今後日本の総人口が減少することはほぼ確実であり、それが企業活動にどのような影響を及ぼすのかをシミュレーションによって明らかにする。人口と企業数にはおよそ比例関係が確認されており、公開されている人口データに基づいて企業を配置することにより、人口分布に基づいた企業ネットワークモデルを構築する。予想されている地方での人口減少と都市部での人口集中を組み込んで、企業ネットワークの構造変化を推定し、条件をいろいろと変えて、国全体の経済活動がどのように変化していくかをシミュレートするモデルを構築する。
- **大規模災害のストレステストとレジリエンスシミュレーションモデル構築**：地震や津波、火山の噴火などの大規模な災害が発生したときに、全国規模の企業活動にどのような影響が及ぶのかを定量的に予測するようなシミュレーションを可能とするモデルを構築する。災害が及ぶ地域が与えられたときに、それによって活動停止する企業群を定義し、それによってどのような影響が及ぶのかを上記の改良を加えた基盤モデルに基づいてシミュレーションを行う。経済的損失を見積もるだけでなく、早期に復旧するためのレジリエンス施策の妥当性についてもシミュレートする基盤を開発する。
- **地方経済活性化施策の妥当性検証シミュレーション**：企業間の取引関係ネットワークの視点に立

てば、経済活性化策としては、既存の企業にお金を注入すること、新たな取引関係を構築すること、新たな企業を参入させること、などが想定される。これらの効果を導入して上記の基盤モデルに基づいてシミュレーションを行うことで、施策の効果をシミュレーションによって推定する基盤を確立する。

- **世界貿易・金融市場との相互作用モデル構築**：世界の国ごとの人口分布とGDP、国と国の間の貿易量などのデータなどを企業間の取引ネットワークの基盤モデルと融合し、世界レベルの企業ネットワークシミュレーションモデルを構築する。また、為替や株価などの金融市場データとの関連性も確認し、有効な効果が見いだされれば基盤となる企業ネットワークモデルにそれらの効果を追加し、金融市場とも連動するような企業取引ネットワークシミュレーションの基盤を確立する。

(3) 目標・期待される成果

- **【目標】**

国内の企業の取引関係や出資関係などの多層ネットワーク構造の時間発展のモデルを開発し、お金やモノの輸送モデルおよびシミュレータを構築する。将来予想される様々なシナリオに基づき、人口の都市部への集中と地方の過疎化の企業活動への影響の推定、大規模自然災害の被害規模推定と社会のレジリエンスを高める合理的な復旧施策の探索、地域経済活性化施策の検証を行う。さらに企業ネットワークモデルを世界レベルに拡張した世界版の企業ネットワークシミュレーションを可能とする。

- **【アウトプット成果】**

- ・平成 29 年度終了時

企業ネットワークの構造時間発展モデルとお金やものの流れのモデルを統合し、約 100 万社の企業ネットワークの基本モデルを構築する。そのモデルを大規模並列実行しデータと比較することで、予測の正当性を定量的に評価する。また、人口と企業活動の経験則を導出することによって人口減少の影響を企業活動へ取り入れ、モデルに統合することにより、大規模並列実行可能な形で今後の日本の経済活動のシミュレータを開発する。

- ・本格実施フェーズ終了時

災害のゆらぎを想定したシミュレーションを行い、大規模災害のストレステストを行う。またレジリエンスシナリオを想定した大規模並列実行を行う。また地方経済活性化施策の妥当性検証シミュレーションモデルを構築する。さらに貿易データのモデルへの統合、世界レベルの統合企業ネットワークモデルの金融市場の影響のモデルへの統合を試み、世界貿易・金融市場との相互作用モデルを構築を準備する。

- ・ポスト「京」運用開始 5 年後まで

世界貿易・金融市場との相互作用モデルを構築する。その際、金融市場との相互作用におけるシステムリスクにおいてはサブ課題 C と連携し、企業ネットワークと金融市場の連動からなる潜在的风险を計算する。

- アウトカム成果（ポスト「京」運用開始 5 年後、10 年後）

- ・運用開始 5 年後

全世界の経済・金融活動をシミュレートする技術の確立。

- ・10 年後

上記の基本モデルを基盤として、可能なかぎり実データを織り込んだ形でのシミュレーションアプリを作成し、ユーザーが平易に条件を設定することで、近未来だけでなく、30年程度未来の企業ネットワーク構造や経済状況を推定するシミュレーションを可能とする。

(4) 「京」でできていること、ポスト「京」でなければならないこと

企業ネットワークシミュレーションでは、約100万社のネットワークの時間発展計算に加え、その上で同変数の非線型連立方程式の解を求める。京でのテスト実行の結果、ひとつの状況設定に対して統計的予測に必要な100サンプルの計算量は約100ノード時間であり、多次元パラメータ空間の探索は部分的には可能であった。しかし、約1000万ノードからなる世界規模の企業ネットワークにおいてはその20倍以上の計算量が必要と推測されており、京の20倍以上すなわちポスト京クラスの計算能力が必要となる。

(5) 実施体制

本サブ課題の責任者は東京工業大学 高安美佐子であり、サブ課題の研究統括および全ての研究テーマを担当する。特任助教として雇用した尾崎順一は、京などの高速並列計算環境で効率的にシミュレーションを実行できるように、上述の企業ネットワークシミュレーションの基盤モデル、及び、その他のモデル構築のHPCプログラミングを中心的に作業を進める。高安美佐子がリーダーを務めるビッグデータ数理科学研究ユニットの構成員である高安秀樹特任教授、Didier Sornette 特任教授、Shlomo Havlin 特任教授、Henrik Jensen 特任教授、および、金澤輝代士助教は、それぞれの専門の視点から、モデルの構築やモデルの検証・改良を担当する。同ユニットの大学院生3-5名は、データ解析やシミュレーションを実施し、モデルの特性分析をする。さらに、モデル構築のための企業ネットワークのデータ提供をする帝国データバンク社とは、成果に関して、一定の頻度でミーティングを行い、実務サイドからのアドバイスを受ける。研究協力者として、伊藤隆敏教授より、経済学の視点からのアドバイスを受ける。

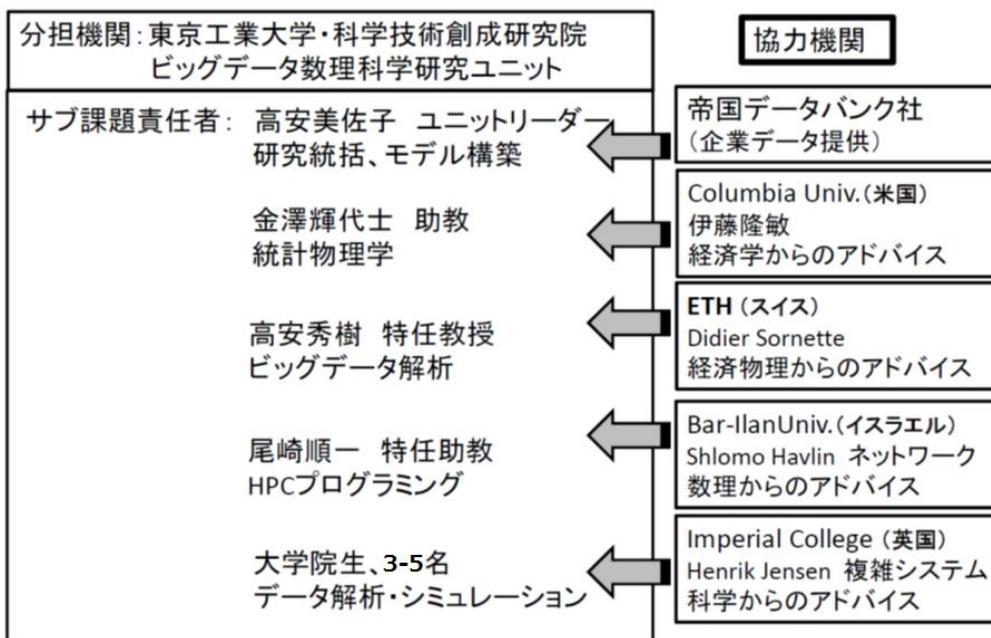


図 1 サブ課題 B 「企業ネットワークシミュレーション」 の実施体制

2-3. サブ課題C. 金融シミュレーション

(1) 目的・意義

システムリスクと呼ばれる金融システム全体への不安定性の大規模な波及現象(銀行の連鎖倒産、金融危機等)を防止するために、関連する各種金融規制の効果を事前に評価するためのシミュレーション基盤技術を開発する。そのために、多様な市場参加者が多種類の金融資産を取引することによって生じる高頻度の市場変化を再現できる金融市場シミュレーションと、複雑な貸借関係を有する大規模銀行間ネットワークモデルを統合する。これまでは市場制度の設計を事前に定量評価を行うことは困難であったが、本シミュレーション技術により新たな市場制度や取引戦略が市場に与える影響を事前に評価しリスク制御することを支援できる。

(2) 実施内容

- 人工市場と銀行間信用ネットワークの統合モデル構築 [東京大学]
我が国の主要な金融資産と銀行をすべて含む規模で、金融市場モデルと銀行間ネットワークを統合したシミュレーションモデルを、関連金融機関と協力しながら構築する。本統合モデルにより、様々な経済環境や金融制度において起こりうるシステムリスクを計算機上に再現する。準備研究フェーズでは、TOPIX100 構成銘柄等の大型銘柄と数十行の大規模銀行を対象を絞り、協力機関から提供された実際の市場データや銀行間データの分析結果を基に、統合モデルのメカニズムを設計する。本格実施フェーズでは、我が国の主要な金融資産と銀行をすべて含む規模での統合モデルまで拡張を行う。
- 大規模およびマルチ時空間シミュレーションの効率的実行 [神戸大学]
上記統合モデルのシミュレーションを行うためには、まず大規模かつマルチ時空間に対応したシミュレーションを効率的に実行する必要がある。加えて、社会シミュレーションを用いたシステム設計には、複雑なエージェント間相互作用や各種リスク発生時を想定し、膨大な可能性を考慮した網羅的なシミュレーションも必要となる。このため準備研究フェーズにおいては、現行ペタクラス計算機を用いた効率的な大規模シミュレーション技術の確立を目指し、本格実施フェーズではシステムリスク分析に向けて、大規模シミュレーションの効率的網羅的実行のための並列・分岐シミュレーション実行および実行時分析技術の開発を行う。
- システムリスクの関連制度の事前評価手法構築 [東京大学、神戸大学]
協力する金融機関と統合モデルを実際の金融制度の設計への実用化に向けた話し合いを行い、システム評価のために必要なデータの種類、評価対象となる具体的な市場制度に関する条件の選別、評価手法の決定を行う。実際に金融システムで用いられている制度を反映した実験条件を設定し、制度のパラメータを変更した場合の感度分析を行う。これにより金融制度の変化が金融システムの安定性へ及ぼす影響の事前評価を行う。さらに、サブ課題 A や B との連携により、金融システムのリスクが企業活動や景気動向に与える影響の分析も行い、マクロ・プルーデンス政策(金融システムと経済全体の安定性のための政策)の策定支援手法を開発する。

(3) 目標・期待される成果

- 【目標】 準備研究フェーズで 100 銘柄の株式市場と数十の銀行間ネットワークの統合、本格実施フェーズで東京証券取引所に上場されるすべての主要銘柄と関連主要金融資産および国内主要銀行のネットワーク、金融市場外のより大きな経済活動(起業活動、景気動向など)のモデルを統合した、シ

ステミックリスク・シミュレータを構築する。

- 【アウトプット成果】

- ・平成 29 年度終了時

100 銘柄の株式市場と数百の銀行間ネットワークの統合モデルを用いて、システムリスク等の大規模な金融状況に関連する政策決定において、多様な政策と経済環境の組み合わせの下での影響を事前に評価する手法を確立する。これを通して、単純エージェントモデルを利用した東証市場規模シミュレーションに必要と考えられる動的負荷分散対応技術を開発する。また、市場モデルと銀行ネットワークモデルの統合による市場規制の効果を評価する。

- ・本格実施フェーズ終了時

株式市場モデルと銀行間ネットワークモデルとを統合したモデルを開発する。さらにこのモデルを金融市場外のより大きな経済活動(起業活動、景気動向など)のモデルと統合し、システムリスク予防のための施策決定を支援する。そのための並列・分岐シミュレーションを用いた網羅的シミュレーション技術を開発する。サブ課題 A や B の企業ネットワークやマクロ経済モデルと連携し、金融機関の貸し出し行動と企業活動との相互作用を考慮した統合的な経済リスクの分析手法を開発する。

- ・ポスト「京」運用開始 5 年後まで

上述の金融統合モデルを発展させて、東京証券取引所にある 3400 銘柄全てと国内の規制の影響を受ける 1500 行の金融機関によるネットワークモデルを構築する。

- 【アウトカム成果】

- ・運用開始 5 年後

これにより今まで、定量的評価が困難であった実社会での新しい政策の決定において、大規模シミュレーションによる事前評価を有力なツールの一つとして活用するための基盤技術を普及させる。

- ・10 年後

本格運用開始し、イノベーションを実現する。

(4) 「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと

すでに、人工市場モデルは試作プログラムを京でテスト実行を行った。準備研究フェーズとほぼ同じ計算量(各エージェントにモンテカルロ計算相当の負荷をかけて、現物 100 銘柄・5 万エージェント)を現実の 10 分間相当のシミュレーションを実行するのに、256 ノードで約 600 秒間を要した(ほぼ実時間と同じ)。実際の政策決定支援に実用化するためには、様々な政策と環境の組み合わせに関して膨大な試行数の実行が必要となるので、並列化の効率の大幅な向上とともに、ポスト京クラスの計算速度が必要となる。

(5) 実施体制

本サブ課題の責任者は東京大学 和泉 潔であり、サブ課題の研究統括および株式市場および銀行間ネットワークの大規模シミュレーションモデルの基本設計および複数の金融シミュレーションコンポーネントの構築を担当する。サブ課題実施者の神戸大学 鎌田 十三郎は、京などの高速並列計算環境で効率的に統合シミュレーションを実行できるように、上述の金融シミュレーションコンポーネントを統合する

枠組みの設計および実装を行う。さらに、各種市場規制の分析や金融システムの安定性の研究で実績を有する日本取引所グループ(東京証券取引所)や神戸大学 小林 照義氏と協力しながら、実際の各種市場規制の有効性分析に金融統合シミュレータを用いる。

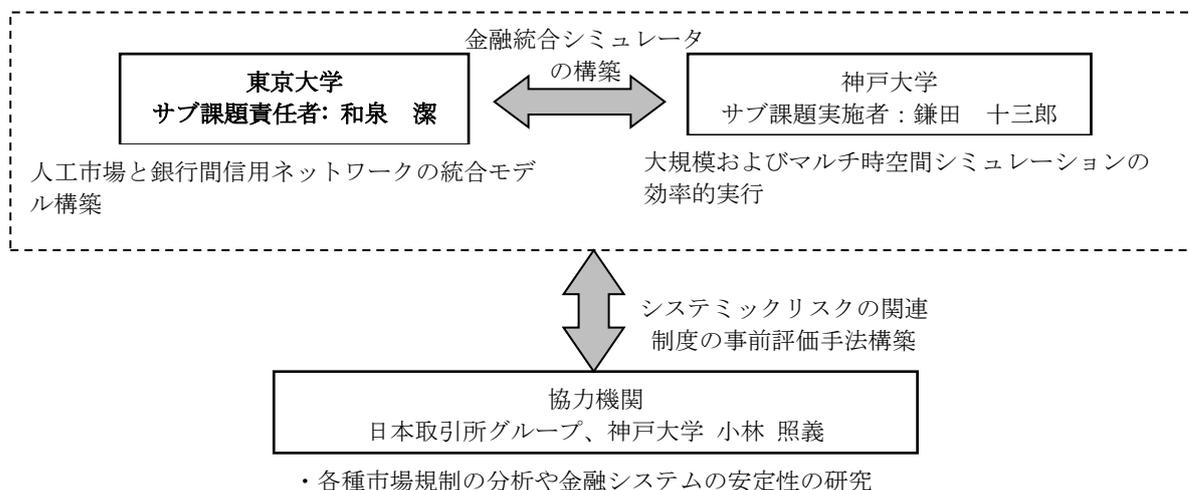


図 1 サブ課題 C「金融シミュレーション」の実施体制図

2-4. サブ課題D. 交通・人流シミュレーション

(1) 目的・意義

交通・人流のシミュレーションにおいて、自動車、鉄道と歩行者など複数のモデルを統合し、時空間スケールの異なる現象を解析する枠組み・手法を開発する。目的や時空間スケールごとに構築されたシミュレーションモデルを使い、実際のデータとの融合研究が積み重ねられてきた。これらのモデルを連携・統合し、また爆発的に増加したセンサー群・IoTにより得られる交通・人流データとの融合手法を開発する。さらに、自動車・人の流れを高精度に予測する技術を確立するとともに、シミュレーションに基づきデジタルサイネージや ITS 等の先進的な情報発信技術により流れリアルタイムに制御することで、交通空間の安全性・快適性を飛躍的に向上させる。さらに、経済シミュレーションとの連成を進め、経済現象と交通・人流現象間の相互作用を反映したシステム設計支援の手法の確立を目指す。

これによりこれまで以上に広範囲の社会現象としての都市域のヒト・モノの移動がシミュレーションにより予測・制御が可能となると期待される。

(2) 実施内容

異なる時空間スケールや対象ごとに構築されてきた交通・人流シミュレーションについて、各々のシミュレーションの網羅的シミュレーションの結果を相互に分析・再構成する枠組みを構築する。多様なモデル相互の関係や連携の方法を確立するため、様々な条件での網羅的シミュレーションを行い、その結果を機械学習の手法によりシミュレーションモデル間の対応関係を半自動的に構築していく手法を開発する。さらには、経済シミュレーションから得られるヒト・モノ移動の活性度変化、あるいは人流・交通シミュレーションから得られるヒト・モノ移動コストが、相互の現象に与える効果を反映した連成シミュレーションを実現する枠組みを構築する。

具体的には各年次ごとに以下研究開発を実施する。

まず平成 28 年度中には、人流および交通シミュレータなどを京等へのスパコン上に移植を開始するとともに、建物内部等の精緻な形状データに基づく複数の空間スケールでの超高精度なエージェントシミュレーションモデルを構築する。平成 29 年度には、各シミュレータの京への移植を完了するとともに、各シミュレータの高速化と人流・交通の各々において、異なるシミュレータによる連成シミュレーションを目指したデータ同化の手法の開発に着手する。平成 30 年度には、人流・交通間での連成シミュレーションを実現するためのデータ同化及び網羅的実行の効率化の仕組みの開発を進め、また、経済シミュレーションとの連成の方法の検討を開始する。平成 31 年度には、都市におけるヒト・モノの流れを安定化・最適化する社会システムの設計基礎の具体的な応用をめざし、実データをもちいた連成シミュレーションや経済現象と人流・交通現象との連成シミュレーションを実現し、その検証・分析を実施する。

分担としては、産総研においてデータ同化を前提とした網羅的実行のための人流シミュレーション、海洋研においては高精度な空間モデルおよび実測データとのデータ同化を可能とする超高精度な人流シミュレーションの開発を担当する。また、東大においては交通シミュレーションの並列化による超高速化と実データに基づく都市交通シミュレーションの実用化を進め、立命館においては、プローブデータ等の実データを反映しつつ都市交通を形成する異種の車両エージェントモデルに基づく交通シミュレーションを構築する。そして、これらのシミュレーション開発の各段階において、複数の空間スケールやエージェントモデルにおけるシミュレーションの連成や、人流および交通の 2 つの社会現象間の連成シミュレーションを実現する枠組みを、各機関で協力して構築していく。並行して、ほかのサブ課題のチームと協力

し、経済現象からのヒト・モノ移動への影響や、ヒト・モノ移動コストが経済に与える影響を反映した連成シミュレーションを実現していく。

(3) 目標・期待される成果

- 【目標】

災害時や平常時における高精度な交通・人流の予測・制御技術の確立により、「交通・人流制御等による人命と財産の保護」、「地方自治体等の作成する防災計画や都市計画への寄与」、「人流の予測・制御等に関する理解の増進」に貢献する。

- 【アウトプット成果】

- ・平成 29 年度終了時

人流・自動車流シミュレータのスパコン上へ移植し改良して高速化する。連成に向けたデータ解析手法の拡充および人流・交通における異種モデル連成手法を開発する。

- ・本格実施フェーズ終了時

利用する高精度な建物・都市空間や交通・人流のデータを確保するとともに、計測データを基に予測精度を向上させる技術を確立する。防災計画や都市計画を検討する上では膨大な数のシナリオ計算が必要となるため、経済現象との連成を含めた百万通り以上の連成シナリオを「京」で高速にシミュレートし解析する技術を確立する。

- ・ポスト「京」運用開始 5 年後まで

人流・交通について、10 種類以上のビッグデータを用いて、経済現象を含めた長期的・広域的かつ高分解能な連成シミュレーションを実現する。

- 【アウトカム成果】

- ・運用開始 5 年後

複数の都市計画および避難計画事例について、ポスト「京」の活用事例を生み出す。

- ・10 年後

10 以上の地方自治体等の防災計画や都市計画への提言といった社会実装に活用する

(4) 「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと

「地球シミュレータ」を用い、東京都足立区北千住地域を対象とした大規模水害発生時の広域群集避難シミュレーションを行い、避難性状の高精度な予測に成功している。「京」スケールの計算機により、このような 1 つの現象・階層・時空間スケールごとの大規模な交通・人流の網羅的シミュレーションが可能となった。ポスト「京」の計算能力によりこの現象・階層間の連成、さらにはより長期にわたる経済現象との相互作用の分析の困難を克服することを目指す。

(5) 実施体制

- 国立研究開発法人産業技術総合研究所

- 網羅的交通・人流シミュレーションとその解析

- ◇ ネットワークモデルによるマクロレベル人流シミュレーション。

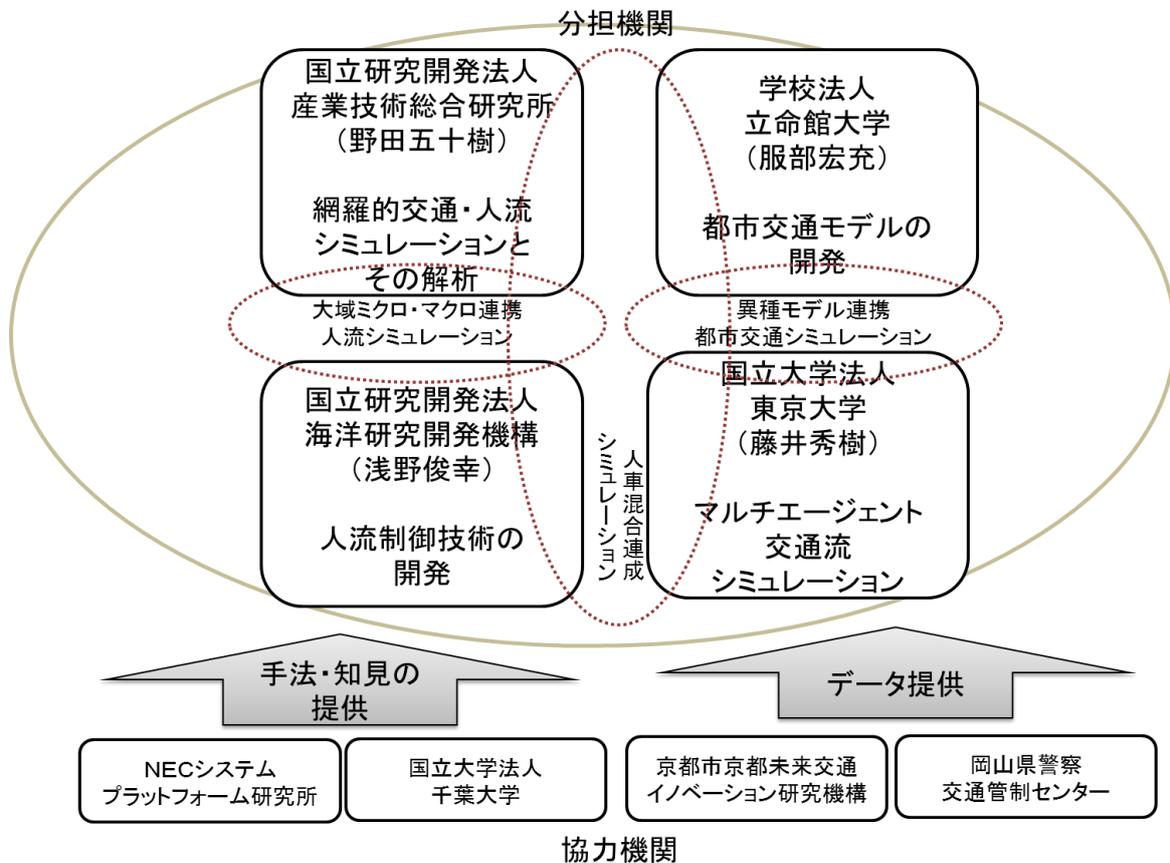
- ◇ 大域ミクロ・マクロ連携人流シミュレーション。人車混合連成シミュレーション。

- ◇ サブ課題とりまとめ。

- 担当者：野田五十樹（人工知能研究センター 総括研究主幹）・山下倫央（同 協力研究員）・（ポスドク 1 名（予定））

- 国立研究開発法人海洋研究開発機構
 - 人流制御技術の開発
 - ◇ 自由空間モデルによるミクロレベル人流シミュレーションによる人流誘導手法評価。
 - ◇ 大域ミクロ・マクロ連携人流シミュレーション。人車混合連成シミュレーション。
- 担当者：浅野俊幸（地球情報基盤センター上席技術研究員）・西川憲明（同 研究員）・廣川雄一（同）・板倉憲一（同）・上原均（同）
- 国立大学法人東京大学（代表：藤井秀樹）
 - マルチエージェント交通流シミュレーションのソフトウェア開発
 - ◇ マルチエージェント交通流シミュレーション
 - ◇ 異種モデル連携都市交通シミュレーション。人車混合連成シミュレーション。
 - 担当者：藤井秀樹（大学院工学系研究科 講師）・（ポスドク 1名（予定））
- 学校法人立命館立命館大学（代表：服部宏充）
 - 都市交通モデルの開発
 - ◇ 異種車両混在の都市交通モデルと実データによる評価。
 - ◇ 異種モデル連携都市交通シミュレーション。人車混合連成シミュレーション。
 - 担当者：服部宏充（情報理工学部 准教授）・小川祐樹（同 助教）・（ポスドク 1名（予定））

体制図



2-5. サブ課題E. 社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発

(1) 目的・意義

社会・経済現象の多くは、多数の個人や組織の相互作用により発生するが、これらの現象の殆どは、現実的規模の社会実験により再現することは事実上不可能である。シミュレーションモデルにおいても個人の行動や市場・組織の機能を明確に規定するには程遠い状況である。モデルやパラメータ値の選択には必然的に幅が出来てしまい、「ビッグデータ」解析をもってしても決定的とはならず、モデルシミュレーションによる予測の際の障壁となっている。さらにこうしたエージェントの数や質が進化するような複雑系適応システムでは、大きさと共にふるまい自体、質的にも高度化するためモデル・パラメータ選択は一層困難である。

こうした困難を孕むモデル構築・パラメータ選択という課題は、シミュレーションが大規模・網羅的になればなるほど先鋭的となる。本サブ課題では、ポスト「京」計算機規模でのこの課題の解決を統計学のおよび複雑系数理科学的方法により目指す。

これにより、社会・経済システムのシミュレーション結果の当否を客観的に比較するとともに、こうしたシミュレーションを通して社会・経済モデルの持つ進化適応系としての新しい現象の発見や理論の構築が期待される。これは現実の複雑多様性を圧倒的に凌駕するシミュレーションモデルの構築手法の開発に途を拓くことも意味する。

(2) 実施内容

● 近似ベイズ計算によるモデル評価技術の開発（神戸大学）

近年発展した近似ベイズ計算の手法に基づき、複雑な社会経済シミュレーションモデルを評価し、実際のデータから推定される事後分布からモデル及びパラメータをサンプルする手法を開発する。また、その手法に基づき、一般的な状態空間モデルのパラメータや潜在変数を推定できるような汎用性の高いアプリケーションを開発する。さらに、その計算結果からサンプリングし、将来予測に役立つ形で、手法及びアプリを拡張する。進化適応性をもつ社会・経済モデルの開発（東京大学）

● 進化適応性をもつ社会・経済モデルの開発（東京大学）

大規模な社会・経済システムに予想される自己組織化モデルを念頭に、現実的な多様な複雑さを考慮することでシミュレーションモデルを構築・実験・分析する。特に、広い意味での進化的な側面から数理モデルを構築し、そのコンピュータ・シミュレーションを行う。そのために、これまで行ってきた GPU を用いた百万エージェントの群れのモデルシミュレーションにおける新規性の進化、ウェブデータにおける新規性の進化という観点を捉えうる普遍的なモデルを提案し、大規模なスケールでの計算を行なう。

● パラメータ選択手法の開発および実行管理システムへの実装（理化学研究所）

社会・経済モデルに限らず、多層・複合モデルの複雑多様なふるまいをシミュレーションにより俯瞰してパラメータを選択する技術を開発し、実行管理システム（OACIS・CARAVAN）に実装する。統計的手法と機械学習手法とを融合した方法を使う。

(3) 目標・期待される成果

- 【目標】社会・経済シミュレーションモデルの構築技術の確立および予測性能の観点からモデルを評価する手法を開発する。さらに、社会・経済シミュレーションモデルの集合、モデル・パラメー

タの事前分布、及び関連する実際のデータがインプットとして与えられた場合、予測性能を最大化するようなモデル・パラメータの事後分布をアウトプットと出すアプリケーションを開発する。

- **【アウトプット成果】**

- 平成 29 年度終了時

- 大規模な社会・経済システムのシミュレーションモデルの構築・実験・分析、およびパラメータのサンプル・選択手法を開発する。

- 本格実施フェーズ終了時

- 近似ベイズ計算と機械学習手法を用いたモデル評価手法と実行管理システムを開発し、大規模な社会・経済システムのシミュレーションモデルに応用する。

- ポスト「京」運用開始 5 年後まで

- 上記の予測性能を重視した評価手法と事後分布を推定する手法を、京と同等以上のスパコンでないとシミュレーションできないような複雑な社会経済モデルに対して実装できるアプリケーションを開発する。

- **【アウトカム成果】**

- 運用開始 5 年後および 10 年後

- サブ課題 A～D と共同し、そのアプリケーションプログラムの活用に連携して諸成果に貢献する。

(4) 「京」でできていること、ポスト「京」でなければできないこと

現在のスパコンを持ってしても、精度の高い近似ベイズ計算の応用は、パラメータ数の限られた比較的単純なモデルに限られている。また、状態空間モデルのようなパラメータ・変数の多い複雑なモデルにおいては、精度を落とすか、近似ベイズ計算をさらに近似するために要約統計等を用いることが一般的である。したがって、「京」でできていることは、比較的点順なモデルか精度の低い手法に限定される。

大規模な社会経済モデルに精度の高い近似ベイズ計算を応用し、そこからさらに、予測精度を高めたモデル・パラメータの事後分布の推定を行うには、ポスト「京」が必要である。

(5) 実施体制

- 神戸大学（上東貴志、横川三津夫、谷口隆晴）

- 近似ベイズ計算によるモデル評価技術の開発

- パラメータのサンプル手法の開発

- 東京大学（池上高志）

- 大規模な社会・経済モデルの構築・実験・分析

- 進化適応性をもつ社会・経済モデルの開発

- 理化学研究所（伊藤伸泰）

- パラメータ選択手法の開発および実行管理システムへの実装

- 統計的手法と機械学習手法とを融合した手法の開発

3. 採択時の留意事項への対応状況

採用時の留意事項に従い、藤原が代表として申請していた課題と、伊藤が代表として申請していた課題とを一体化させた。

本プロジェクトのサブ課題A～Dに特有な現象のシミュレーションモデル・技術の開発を進める。と同時に、シミュレーションモデルのふるまいを解明する手法・技術を研究するサブ課題Eでは、A～Dで開発するシミュレーションモデルを実行管理評価するシステムの開発・チューニングの役割を果たす。

さらに経済活動を大局からシミュレートするサブ課題A・Bを、経済取引を個々の投資家のふるまいからシミュレートするサブ課題Cと合わせることで、金融リスクが企業活動に与える影響の解析を進める。A・Bはまた、交通を扱うサブ課題Dと連携することにより交通事情や自然災害が経済活動に与える影響をダイナミカルにとらえる技術の開発にも挑戦する。

4. 中間評価における指摘事項への対応状況

指摘事項(1) 課題全体として達成すべき成果を明確にするとともに、その成果実現に向けた定量的・定性的な目標（年間目標及び最終目標）を明確にすること。

対応状況 主に「1（5）年次計画」および「2 研究開発内容詳細」の目標部分を改訂し、より具体的なものとした。本課題の目標は、これまでは実現できなかったことやそもそもコンピュータの応用が想定できなかった課題をポスト京コンピュータにより実現する道筋を示すというものである。このため、定量的な目標よりは定性的な目標が主となる。

指摘事項(2) 計算科学技術分野における研究開発の論文数、学会発表数は、事業の成果を議論する上で1つの指標となりうるため、分野の特性、体制を考慮の上、論文、学会発表を通じて十分に成果を発信するような計画とすること。

対応状況 これまでの調査研究・準備研究フェーズでは論文・学会発表による成果発信を主としてきたが、本格実施フェーズでは専門家のみならず一般の方々への発信もこれまで以上に進める予定である。例えば現在、これまでの成果に基づいてスーパーコンピュータによる社会シミュレーションの現状と展望についてのビデオ番組の作成を進めている。

指摘事項(3) 予備計算などを通じて、サイエンス、エンジニアリング的な目標を明確にすること。その目標に対して、ポスト「京」でいつまでに何をどこまで明らかにすることを目指すのかを明確にすること。その時点でポスト「京」で初めてできる画期的な利活用について具体的に説明すること。

対応状況 「2 研究開発内容詳細」中に、より一層明確化するように改訂を行った。

指摘事項(4) 社会科学・経済学の観点から定量的な優位性を示せるよう、適切な評価指標を明確にすること。

対応状況 サブ課題Aのマクロプルデンシャルポリシーの確立、サブ課題Bの企業100万社の相互作用に人口動態を統合するモデルの確立ほか、これまでも目指していた評価指標を一層明確になるよう改

訂した。

指摘事項(5) 提案にある「複数のサブシステムの相互作用モデルを構築」について、各サブ課題の大規模化と同時にサブ課題間の連携についての関係性、具体的なシナリオを明確にすること。

対応状況 「1（5）年次計画」および「2 研究開発内容詳細」の実施内容部分の、サブ課題間連携についての記述が、具体的・明示的となるように改訂した。

(別紙1) 実施機関一覧

	実施機関	備考
	国立研究開発法人理化学研究所	代表機関(伊藤伸泰)
サブ課題A	公立大学法人兵庫県立大学	分担機関(藤原義久)
	国立大学法人京都大学	分担機関
	国立研究開発法人理化学研究所	分担機関
	独立行政法人経済産業研究所	分担機関
	国立大学法人新潟大学	分担機関
	学校法人日本大学	分担機関
	立正大学	分担機関
	株式会社シーエムディーラボ	協力機関
	Dipartimento di Economia, Universita Politecnica delle Marche	協力機関
	Metropolitan College, Boston University	協力機関
	Department of Economics, University of Kiel, Germany	協力機関
	Observatory of Complex Systems, University of Palermo	協力機関
	サブ課題B	国立大学法人東京工業大学
Columbia University, School of International and Public Affairs		協力機関
Bar-Ilan University, Department of Physics		協力機関
Imperial College London, Department of Mathematics		協力機関
(株)帝国データバンク社		協力機関
サブ課題C	国立大学法人東京大学	分担機関(和泉潔)
	国立大学法人神戸大学	分担機関
	株式会社 日本取引所グループ	協力機関
	神戸大学経済学研究科	協力機関
サブ課題D	国立研究開発法人産業技術総合研究所	分担機関(野田五十樹)
	国立大学法人東京大学	分担機関
	学校法人湘南工科大学	分担機関
	学校法人立命館立命館大学	分担機関
	千葉大学	協力機関
	岡山県警察交通管制センター	協力機関
	京都市京都未来交通イノベーション研究機構	協力機関
	NECシステムプラットフォーム研究所	協力機関
サブ課題E	国立大学法人神戸大学	分担機関(上東貴志)
	国立大学法人東京大学	分担機関
	国立研究開発法人理化学研究所	協力機関
	筑波大学	協力機関