

令和元年度 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）

令和元年度

「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

令和2年5月29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令和元年度「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. 令和元年度（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）	50
4－4. 実施体制	52

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 (56 歳) ※2020 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。

- **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、企業間連関・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。

4. 令和元年度（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）

今年度は、前年度の本格実施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、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う。また、本サブ課題で開発を行ったアプリケーションや可視化システムを本サブ課題の成果として公開する。

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・荒田 禎之）

前年度までに大規模ネットワークデータをスパコン京で分析するためのプログラムの開発を進め、実際に100万社を超える企業間取引ネットワークに開発したプログラムを適用し、統計分析を行った。今年度には、これらの開発したプログラムをもとに研究成果を出すため、新しくFactSet社のデータの購入を予定している。これまで本プロジェクトでは国内企業のデータを中心に分析してきたが、この新しいデータは海外企業を含めた企業間取引のデータであり、このデータの統計分析を進めること

で、これまでの研究から得られた知見を大きく発展させる。

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・池田裕一、国立大学法人新潟大学・家富洋）

景気変動のダイナミクスに迫るべく、日本と米国のマクロ経済変数の解析を並行して行い、両者の比較検討を進める。それには複素ヒルベルト主成分分析、ランダム回転シミュレーションに加え、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、応用する。これにより、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探索する。

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・池田裕一、国立大学法人新潟大学・家富洋）

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。

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

調査研究・準備研究フェーズに開発した金融危機の早期警戒指標の先行・遅行解析ツールと、前年度の本格実施フェーズに開発したニュースや有価証券報告書などから構築することが可能な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）を今年度に融合した上で、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。一方で、国内企業の企業間取引ネットワークと成長に関する確率モデルを定式化して、予測ツールとの連結したシステムを開発する。

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）

今年度は、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、またシミュレーションの本格実施により得られた知見をもとに、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、本格実施を継続して行う。そして、プロジェクトのまとめとして、調査研究・準備研究フェーズにおいて実装された全国約100万社の企業ネットワークシミュレーションモデルを改良しつつ用い、世界貿易・金融市場との相互作用モデル構築をそれぞれ行い、企業ネットワークシステムの外的な相互作用を取り扱う枠組みを開発する。

具体的には、企業ネットワークの売上予測モデルの外部項として貿易の影響を取り入れたモデルの構築を行う。さらにサブ課題Cとの連携により、金融市場の影響の企業間取引ネットワークモデルへの統合を進める。最終的には、それらの影響を取り入れた企業ネットワークモデルの効率的な大規模並列実行を行う。

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）

今年度は、本格実施フェーズとして、システムミ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の高機能化を分担機関の神戸大学と共同で行う。また、他サブ課題との連携により、統合経済シミュレーションによるシステムミックリスク予防のための施策決定支援手法の開発を行う。

③-1 システムミックリスク予防のための施策決定支援手法の開発（再委託先：国立大学法人東京大学・和泉潔）

本サブ課題で構築した金融取引・銀行間ネットワークモデルとサブ課題Bで構築した企業ネットワークモデルを連携した統合経済シミュレーションを行う。TOPIX100構成銘柄等の大型銘柄の株式市場と、100行の大規模銀行から1000社の企業へ貸し出しを行い各企業が銀行からの借入れと他企業との取引で成長するモデルを統合したシミュレーションを構築する。本シミュレーションにより、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を行い、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 分散集合ライブラリの高性能・高機能化（再委託先：国立大学法人神戸大学・鎌田十三郎）

金融シミュレーション上のエージェント群の管理をおこなう分散コレクションライブラリの効率化および並列世界シミュレーションのための高機能化を実装する。これにより、人工市場Plhamのシミュレーションに対するスナップショット取得および分枝実行を可能とする。また、当初開発してきたプログラミング言語X10上の分散ライブラリに加え、Java8版Plhamの大規模分散環境上での動作実現に向けて、Java8 + APGASライブラリ上の分散集合ライブラリの開発と、動的負荷分散ライブラリGLBの実現をおこなう。またメニコア向けハイブリッド負荷分散アルゴリズムの研究を行う。

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。最終年度である平成31年度は、前年度に引き続き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開発をすすめる。特に現象境界でのデータ同化などを通じて実現する方法を開発する。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すすめる。

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すすめる。

今年度は、プロジェクトの総まとめとして、交通・人流に加え関連する事象との異種現象のシミュレーションの連携実現に向け、HPCを活用して、これまで開発してきた遺伝的アルゴリズム等による多目的最適化手法によるデータ同化とそれによるシミュレーション連成手法の有効性の確認および評価・改良に取り組む。さらに、それらの成果については研究発表およびプログラム公開により、普及を進める。

④-2 人流制御技術の開発（再委託先：学校法人湘南工科大学・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評価を行う。今年度は特に、ポスト京のアーキテクチャを意識した高速化方針（性能計測、分析）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）

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年度には動的負荷分散手法を実装したが、本年度はさらに並列化効率を高めるためのチューニングを実施するとともに、問題規模と並列数、達成される並列化効率との関係について調査する。また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て、平成30年度には交通シミュレーションと人流シミュレーションとの連成機能を簡易的に実装したが、本年度は2つのシミュレーションモデルがより密に連携するための手法に取り組む。

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）

本年度は昨年度に引き続き、シミュレーションの連成を見据えた研究を行う。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ピングを行う。

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に基づく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）

最終年度である今年度は、これまでに開発した以下のアプリケーションの研究開発を続けるとともに、それらの性能評価・改良および普及にむけた対外活動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。また、社会的な重要課題への応用について幅広い研究を進める。

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）

最終年度である今年度は、ポスト「京」における近似ベイズ計算の実装に向けて開発してきた拡張版MCMC（マルコフ連鎖モンテカルロ）のアルゴリズムを用いたアプリケーションを完成させる。具体的には、一般的な状態空間モデルに対して、アプリ内でモデルと観測データを特定するだけで、「京」による大規模並列化によるパラメータ推定（事後分の計算）を行うアプリとする。

さらに、同アルゴリズムを経済モデルに応用し、経済学もしくは統計学の論文として完成させる。

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）

今年度は、平成30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・解析するとともに、研究の総括を行う。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、現実的で多様な複雑さを考慮したシミュレーションモデルの構築・実験・分析を継続し、論文化する。具体例として、ウェブサービスの巨大データの解析をもとに、進化の理論を取り込み、自律発展するネットワークモデルを発展させる。さらに、平成30年度まで行ってきたGPU群れのモデルシミュレーションを高速化し、数千万エージェントへと拡張した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）

最終年度の今年度は、これまでに開発し公開した実行管理フレームワークOACIS・CARAVANを活用し、分担機関で開発した社会アプリケーション群を連携してマルチスケール社会・経済アプリケーションの整備をすすめる。

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の個々の目標にむ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の活用をすすめる。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31年度・令和元年度は、前年度の本格実施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した。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

でも進めた。

マクロ経済シミュレーションでは、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った。また、本サブ課題で開発を行ったアプリケーションや可視化システムを本サブ課題の成果としてすべて公開した。公開した成果の一部については、各種メディアでも広く取り上げられることとなった。

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・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は、主に日本国内の企業が対象であったが、対象を海外企業にまで広げるために今年度は FactSet 社のデータを購入し、分析を行った。

図 1 は海外企業の仕入先（out-degree）と販売先（in-degree）数の相補累積分布関数（CCDF）を対数プロットしたものである。この図から明らかなように、日本国内の企業間取引ネットワークと同じく、海外企業の企業間取引ネットワークも異質性が高い。特に取引ネットワーク上で多くのリンクを持ち、ハブの役割をする企業が存在することが分かる。

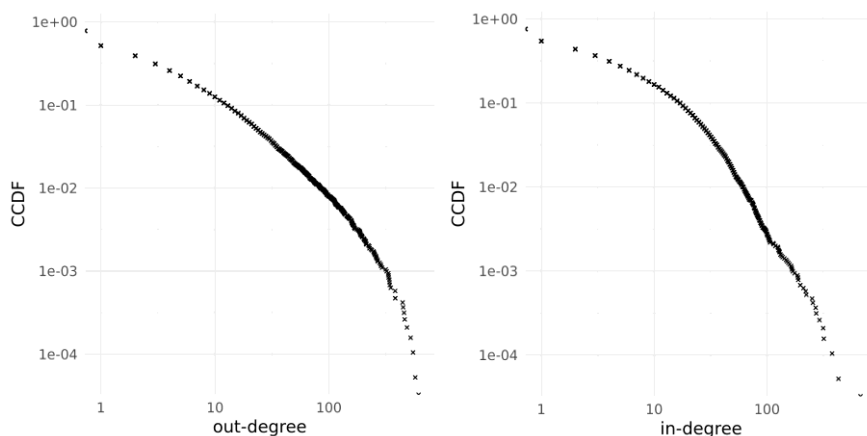


図 1：仕入先・販売先数の相補累積分布関数

これらハブの役割を果たす企業へのショックが、ネットワーク上の波及を通じてマクロ経済にどれ程の影響を及ぼすかを、近年特に研究が進んでいる理論モデル(micro origin of aggregate fluctuations)と実際のネットワークデータを使って定量的に評価した。図 2 は個々の企業のマクロ全体に与えるインパクト (Domar weight) を相補累積分布関数 (CCDF) である。この図から分かるように、企業のマクロ全体に与えるインパクトは異質性が高い。つまり、ネットワーク上、重要な位置にある企業へのミクロショックは、ネットワークを通じてマクロ全体に影響を及ぼしうることが分かった。しかしその一方で、実際のデータを用いた定量的な評価から、リーマンショック級というようなマクロ経済の大きな変動は、企業へのミクロショックとネットワーク上の波及というメカニズムでは説明できないことが分かった。

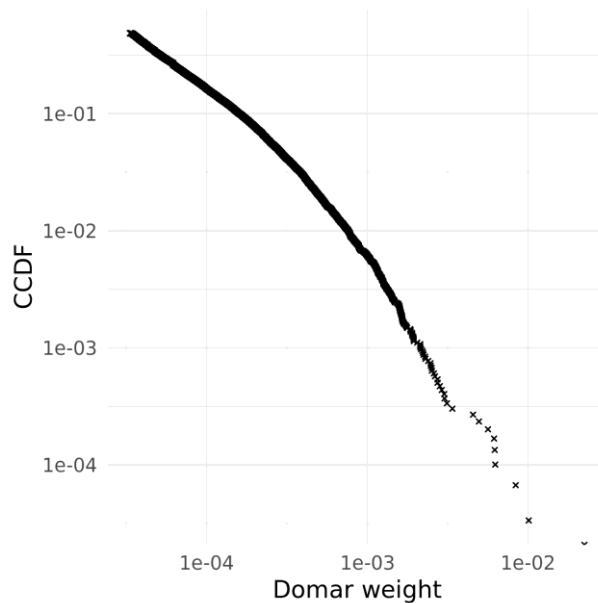


図 2 : Domar weight の相補累積分布関数 (CCDF)

これらの研究成果を論文としてまとめ、経済産業研究所の Discussion Paper (“The Role of Granularity in the Variance and Tail Probability of Aggregate Output” RIETI DP, 20-E-027, 2020) として公開した。

なお、これまでの研究に関するシミュレータについては以下のように公開を行った。

- 「Large-Scale Stochastic Actor-Oriented Model (LS-SAOM)」

<https://github.com/arata-yoshiyuki/LS-SAOM>

- 「Bankruptcy Propagation on a Network (BPNET)」

<https://github.com/arata-yoshiyuki/BPNET>

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・池田裕一、国立大学法人新潟大学・家富洋）

景気変動のダイナミクスを理解するための重要な解析ツールとして、複素ヒルベルト主成分分析 (CHPCA)、ランダム回転シミュレーションに加え、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た。ホッジ・ヘルムホルツ分解は有向ネットワークの流れ構造を階層的成分（各ノードにポテンシャルが与えられ、ポテンシャルの高いノードから低いノードへ向かう一方向的な流れ）と循環的成分（各ノードで入出流量がバランスする流れ）へユニークに分解する。景気循環を記述するためには、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。しかしながら、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。本研究で開発した手法を使って得られる同期ネットワークに対してコミュニティ（同期する指標のグループ）の抽出を行うことによって、各基礎指標のリード・ラグ特性（先行・一致・遅行）を客観的に判断することが可能となる。

本研究で開発した解析手法を、日米両国の景気動向基礎指標群に対して具体的に適用し、その有効性を示した。図 3(a)は、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対して得られた同期ネットワークの可視化結果である。ノードは各指標を、リンクは各指標対のつながりを表す。リンクの重みは、対応する指標間の複素相関係数の大きさであり、それらの同期度を計測する。この同期ネットワークに対してコミュニティ抽出を行うと、3つのコミュニティに分かれる。ホッジ・ヘルムホルツ分解から決定される各ノードのホッジポテンシャルは、ノードのリード・ラグ特性を特徴づける（高いポテンシャルをもつノードが先行し、低いポテンシャルをもつノードが遅行）。各コミュニティにおけるホッジポテンシャルの分布を調べると、図 3(b)が示すように、3コミュニティは先行指標群（赤）、一致指標群（青）、遅行指標群（緑）へ自動的に分類されることがわかる。このように、本研究で開発された解析手法は、指標のリード・ラグ特性をデータ自体から客観的に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・一致・遅行指標の作成を可能にする。なお、本研究は研究協力者であるボストン大学の Irena VODENSKA との共同研究として、学術雑誌 Nature Scientific Reports に論文「Relationship between Macroeconomic Indicators and Economic Cycles in U.S」 として受理された(2020 年, in press)。

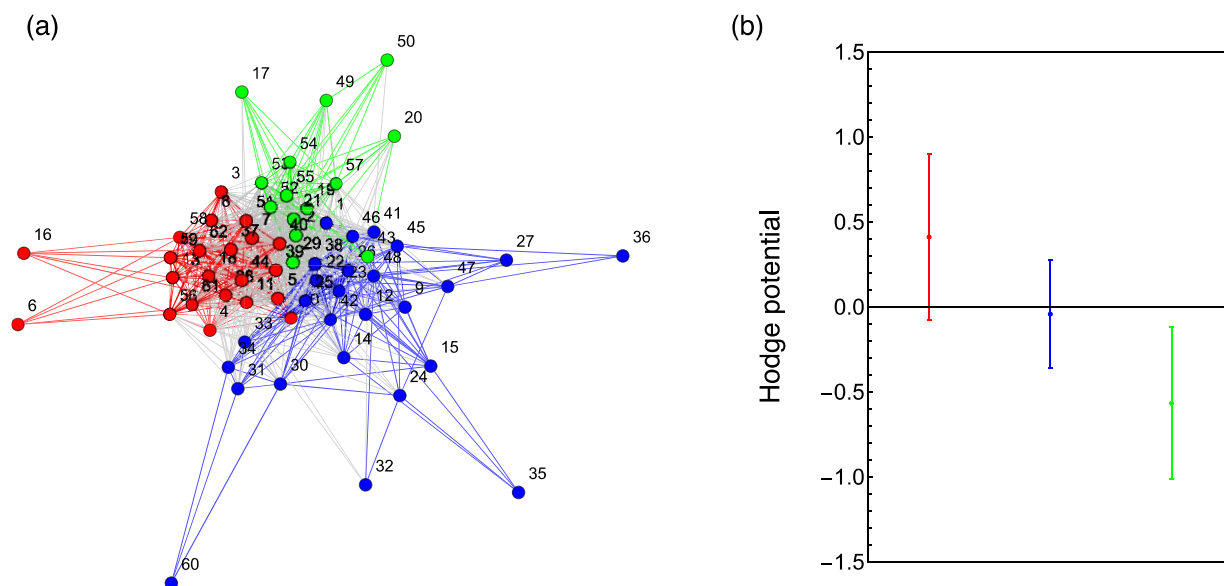


図 3：米国のマクロ経済指標 57 種類（先行指標 18・一致指標 30・遅行指標 9）についての(a)同期ネットワークとそのコミュニティ構造と(b)抽出された 3 個のコミュニティにおけるホッジポテンシャル分布（平均値と標準偏差で表示）

合わせて、リード・ラグ関係を含めた集団運動の検出精度を詳細に検討して、CHPCA 法が従来の主成分分析(PCA)法に比べて優位であることを確立した。すなわち、CHPCA 法で得られた集団運動モードのリード・ラグ関係は、対応する固有値が統計的に有意であれば、信頼できることを人工的なデータとランダム回転シミュレーション法による帰無仮説を用いて確認した。図 4 は、テストデータに対する CHPCA のリード・ラグ推定性能を調べた結果である。テストデータのパラメータは、先に行った物価データ解析（我が国における中分類の消費者物価指数、生産物価指数、輸入物価指数）との対比を考え、選択されている。黒丸は、SN 比の関数としての最大固有値 λ_1 （目盛りは左縦軸；エラーバーは標準偏差）のふるまいを表す。クロスは、各データに与えた位相と第 1 固有ベクトルから検出される位相との相関係数 ρ （目盛りは右縦軸；エラーバーは四分位範囲）である。灰色の領域

は、テストデータに対応するランダムデータについての複素相関行列の最大固有値が取りうる範囲（ 2σ で評価）を示す。2つの位相間の相関係数が1に近ければ、テストデータに対するCHPCAの位相推定能力が高いことを意味する。図4から、第1固有モードの統計的有意性の判定に対してその固有値を検定統計量に用いると、第1固有モードの統計的有意性とCHPCAの位相推定能力がよく符合することを見て取れる（CHPCA法で得られた集団運動モードのリード・ラグ関係は、対応する固有値が統計的に有意であれば信頼できる）。

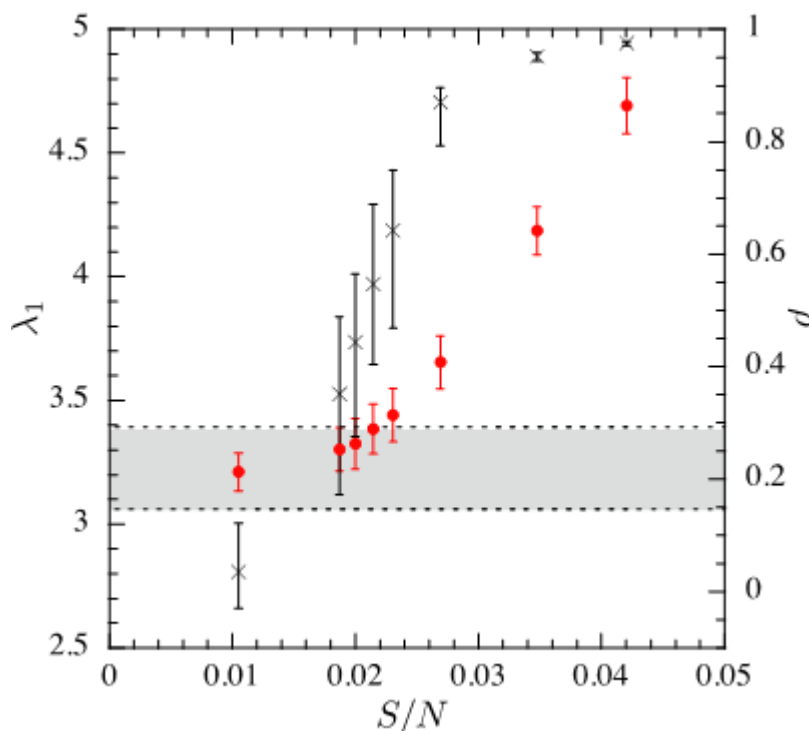


図4：テストデータに対するCHPCAのリード・ラグ推定性能

なお、本研究に関するシミュレータについては以下のように公開を行った。

- 「Flow Analysis Tools for Large-Scale Complex Networks (FALCON)」

<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・池田裕一、国立大学法人新潟大学・家富洋）

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った。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し、以上の成果を発表、公開した。

具体的には、昨年度に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を構築したが、今後生起すると想定される南海トラフ地震に応用して、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 への影響と地域への波及を定量化した。このモデルは、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国内企業百万社からなる実データに基づくネットワークを反映したエージェントモデルである(図5)。

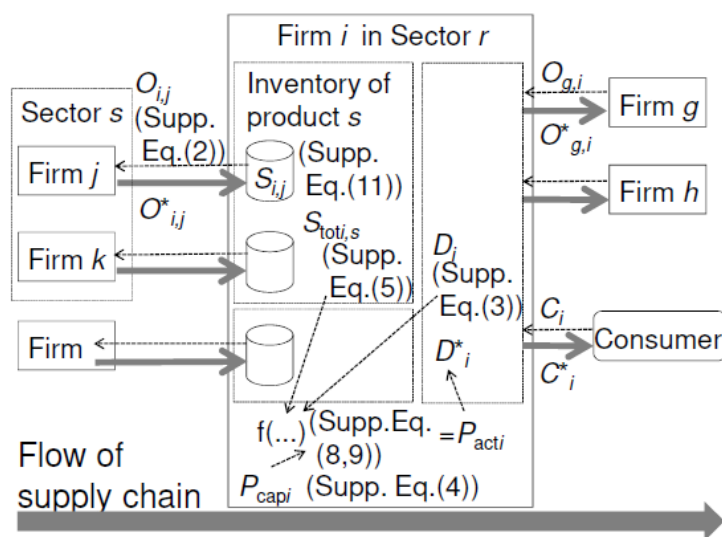


図 5：経済的なストレスがネットワーク上で伝播するダイナミクスを記述するモデル

そのモデルのシミュレーションの結果、南海トラフ地震の災害による直接的なダメージが GDP の 0.5%であるのに対して、間接的なダメージが 10.6%にも及ぶことを示した。また、モデルに含まれるパラメータや確率的な要素までも取り入れて、それらのダメージがどの程度の不確定性をもつのかについても評価した。図 6 は、南海トラフ地震と 2011 年の東日本大震災における GDP の一時的な減少とその回復を示した結果である。縦軸は一日あたりの付加価値の総和を兆円単位で示しており、横軸は経過日数を表す。青色の実線が南海トラフ地震の場合で、30 回のシミュレーションの平均であり、青色の点線はそれらのシミュレーション結果の標準誤差を表す。赤色の線は同様に 2011 年の東日本大震災の場合を示している。図中の小さい図は、30 回のシミュレーションそれぞれを異なる色で示したものである。

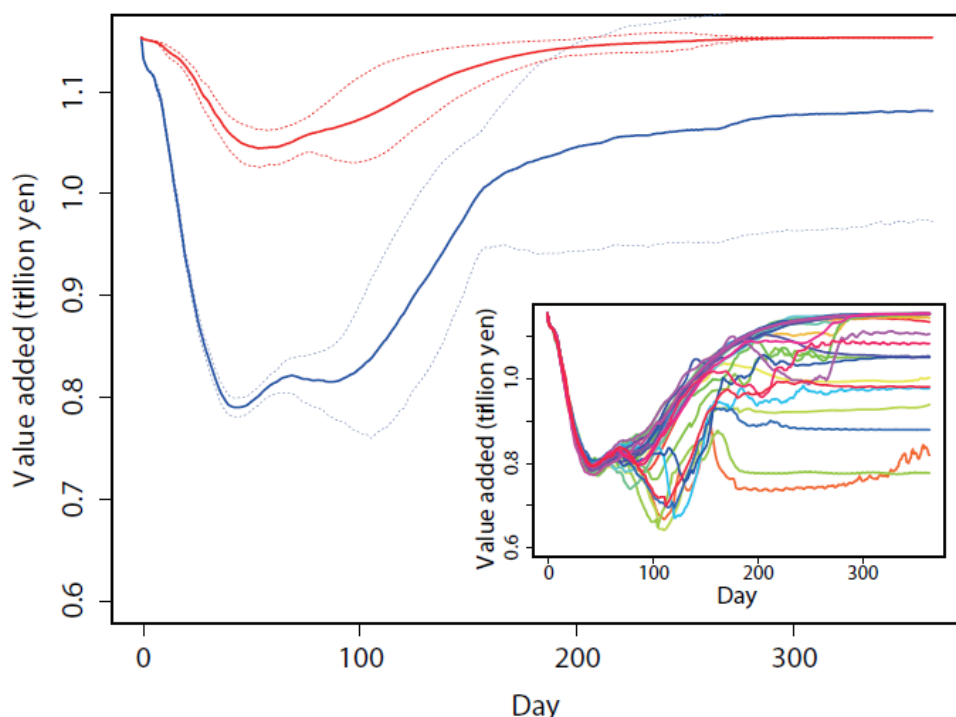


図 6：南海トラフ地震（本図青色）と 2011 年の東日本大震災（本図赤色）の場合について GDP への影響をシミュレーションした結果（インセットの図は南海トラフ地震の場合の全シミュレーション）

さらに、南海トラフ地震の場合に地域や産業への波及を定量的に評価した。地域への波及に関する可視化を図 7 に示す。図 6 に対応して、南海トラフ地震の災害による直接的なダメージが初日に東南海地方に分布しているのに対して、間接的なダメージが時間とともに日本全国の各地域を通じて広がり、やがては回復していく様子がとらえられている。

なお、この研究成果は、学術雑誌 *Nature Sustainability* に論文「Firm-level simulation of the propagation of economic shocks through supply-chain networks」として発表された(Vol.2, pp.841-847, (2019))。発表後、各種メディアに広く紹介されることとなった。

なお、本研究に関するシミュレータについては以下のように公開を行った。また、複数のシナリオに基づいたシミュレーションによって得られた時系列データを可視化するためのシステム開発環境をクラウドサービス(Amazon Web Service: AWS)上に用意することで、関係者間の評価を効率的に行った。

- 「マクロ経済シミュレーター Disaster Simulator on Production Network (DSPN)」

<https://github.com/HiroyasuInoue/ProductionNetworkSimulator>

- 「Simulator of Negative Shocks on Economy (SNSE)」

<https://github.com/hazem2410/SNSE>

- 「Simulation and Estimation of Production Network (SEPNET)」

<https://github.com/hazem2410/SEPNET>

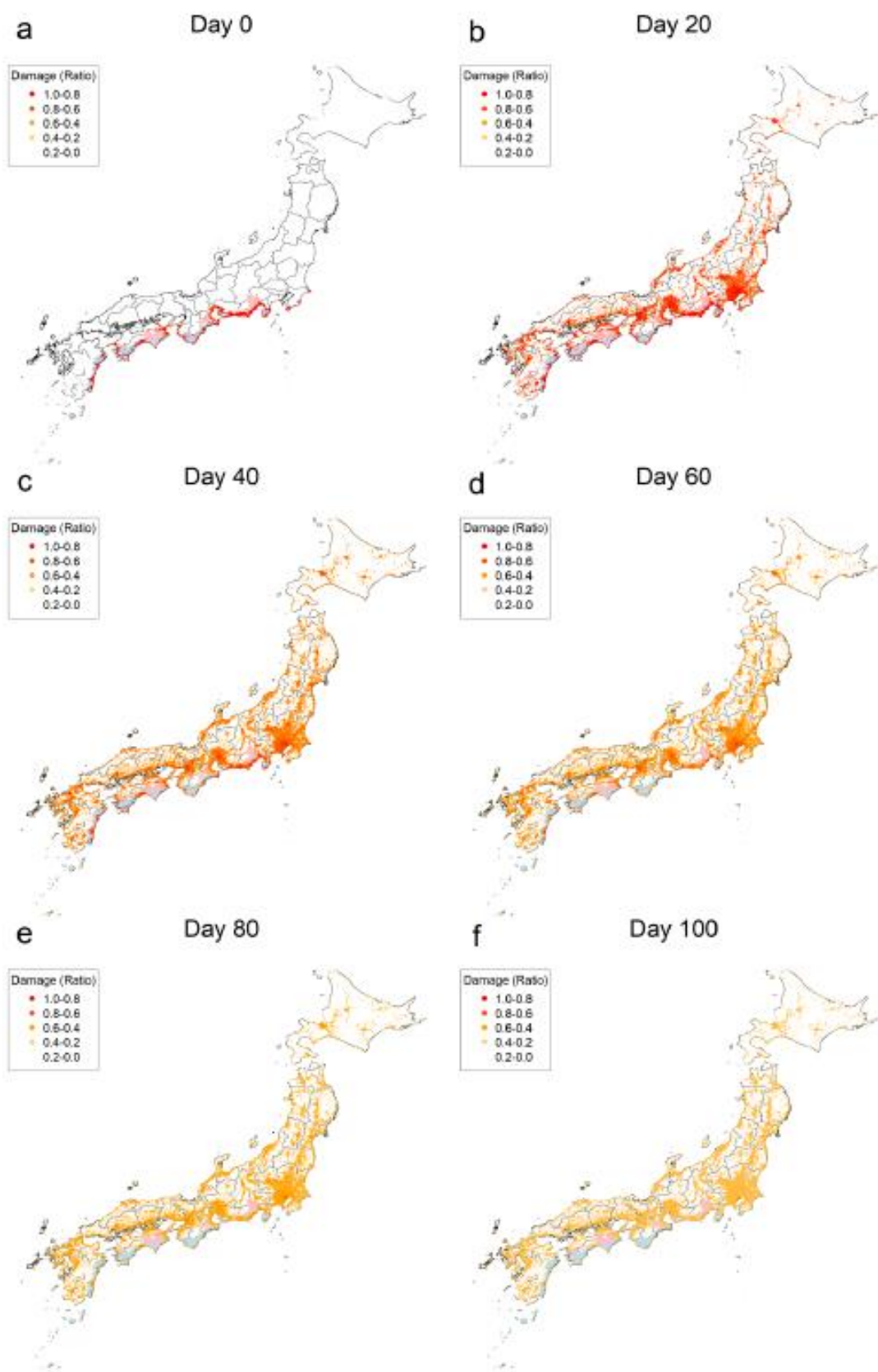


図 7：南海トラフ地震のショックが国内の各地域に波及する時間経過の可視化

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

図 8 は本研究の鳥瞰図である。図中の青色の部分、国際金融機関や世界各国の中央銀行が実施している危機管理に対応している。つまり、数値で与えられる経済データを入力変数として、独自のマクロ・ストレステスト・モデルを用いて、世界や各国の金融システムの耐性をテストしている。これに対して本プロジェクトは、図 1 の赤色の部分に対応している。特徴は、国際金融機関や世界各国の中央銀行が実施している危機管理体制の拡張を目指す点にある。具体的には、入力変数として、経済に関するレポートやニュースといった文字データに対して深層学習を適用し、金融危機の新しい早期警戒指標を構築することと、ストレス・テストのシミュレーションの範囲を、非金融分野、つまりサプライチェーン・ネットワークまで拡張することである。

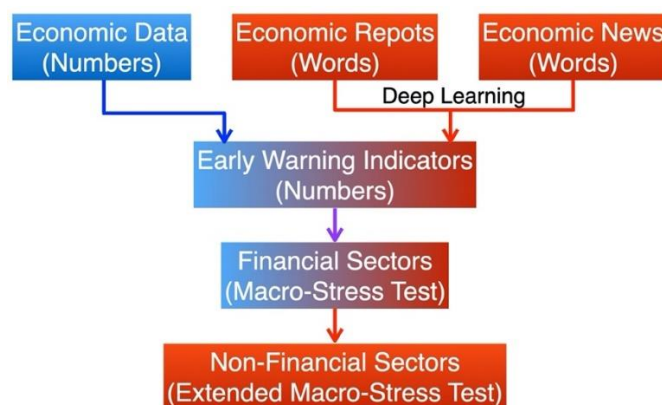


図 8：本研究項目の鳥瞰図

本年度の研究成果の一つは、ニュースから金融市場の動向を予測することが、ある程度優位な割合で可能であることを明らかにした点である。つまり、ニュースを金融危機の早期警戒指標の一つとして用いることが可能であることを示したことになる。金融市場で価格が動く要因は様々だが、そ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。本研究の特徴と成果は、以下の 3 点にまとめられる。

- 自然言語処理を用いた多くの研究では、ニュースで使われている単語を分析して、ニュースの極性（ポジティブ、ネガティブ）を決めている。それに対して本研究では、ダウ平均構成銘柄を研究の対象として、それらの取引をミリ秒単位で記録している高頻度取引データを用いて、ニュースが市場に流れる前後の平均株価を比較してニュースの極性を適宜した。つまり、平均株価が上昇した場合のニュースはポジティブ、株価が下降した場合のニュースはネガティブと定義した。
- ニュースの極性を決めるために、ニュースの前後 1 分、5 分、10 分、30 分、1 時間の株価平均値を用いた場合を比較し、並列計算をしながら最適なハイパーパラメータを探し出し、ニュースの前後 1 分間の株価平均を用いた場合が最も予測能力に優れていることを明らかにした。図 9 は、2003 年から 2015 年までのロイターニュースに対して、ニュースの前後 1 分間の株価

平均値でニュースの極性を決め、それらを教師データとして学習してモデルを作り、そのモデルを使って 2016 年 4 月のニュースから株価の上昇・下降を予測した結果である。左図は、ポジティブなニュースをポジティブと予測した割合が、ネガティブと予測した割合より約 11% 高いことを示している。また右図は、ネガティブなニュースをネガティブと予測した割合が、ポジティブと予測した割合より約 5% 高いことを示している。

- ロイターニュースから我々が独自に構築した単語ベクトルを構築し、既に一般に認知され公開されている単語ベクトルである GloVe (スタンフォード大学), word2vec (グーグル), FastText (フェースブック) を用いた場合と比較し、我々の単語ベクトルの優位性を明らかにした。

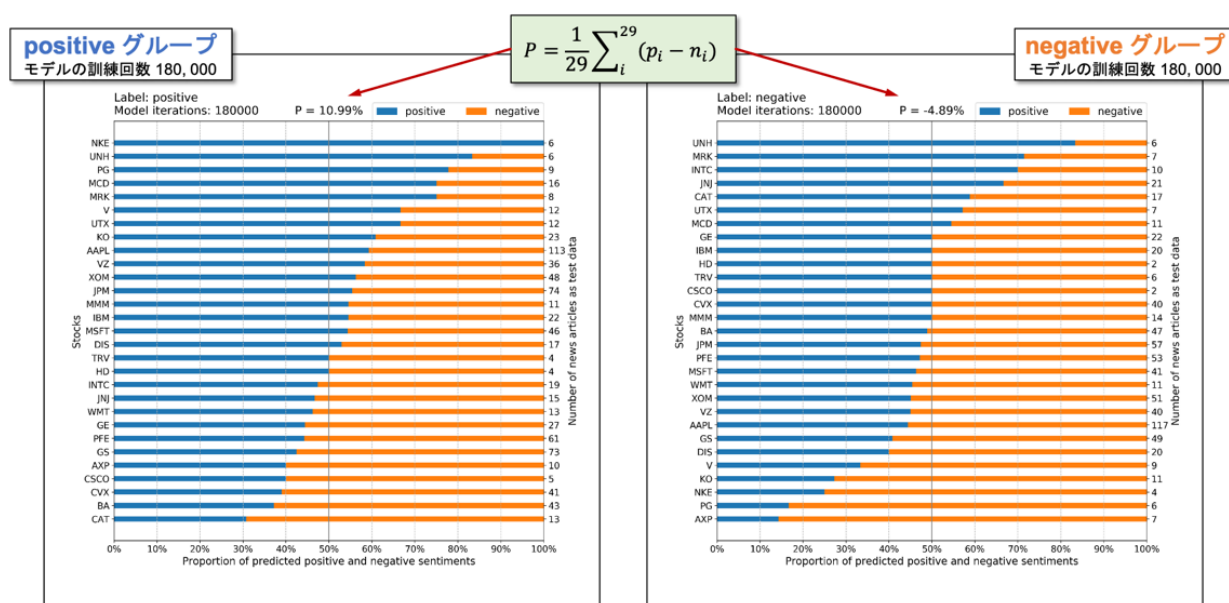


図 9：学習したモデルの予測可能性

また、昨年度に完成させた日本企業約 100 万社のサプライチェーンデータと財務データを用いて、売上高のシミュレーションモデルの精度をさらに高めるために、サプライチェーンの時間変化と企業の売上高成長率の関係について解析を行った。近年、日本の生産ネットワークはクルミ構造と呼ばれる、生産活動のコアである巨大な循環成分 (GSCC) を物流の上流・下流成分 (IN・OUT) が半球殻状に取り囲む特徴的なマクロ構造を持つことが明らかになった。本研究は、東京商工リサーチ社による日本企業の約 100 万社の財務データとそれら企業間の約 500 万取引関係データ (2011~2016 年) を用いて、我が国の企業レベルの生産構造のトポロジー的側面を、企業規模や成長率と関連付けるものである。

経済複雑性指標によって議論されるように、日本の生産システムは、製造業及び建設業を中心として高度に複雑化しており、その特徴はクルミ構造における巨大な循環成分 (GSCC) として現れている。図 10 は 2011 年から 2016 年にかけてのクルミ構造の成分間の遷移を可視化したものである。5 年間で約半数の取引関係が変化している一方、クルミ構造の各成分の割合に大きな変化はないが、IN から GSCC への変化や GSCC から IN への変化、OUT から GSCC への変化や GSCC か

ら OUT への変化もある程度の割合で存在する。特に 2011 年に GSCC であった企業の約 8 割は、生産活動の中核を担う GSCC として存在し続けていたことがわかる。このようなクルミ構造の安定性は、先進国の中でも最も成熟した生産システムの特徴であり、情報通信業におけるイノベーションによる生産性の向上が期待される一方、2010 年代の日本の経済成長が、依然、製造業や建設業によってもたらされた事実と一致している。

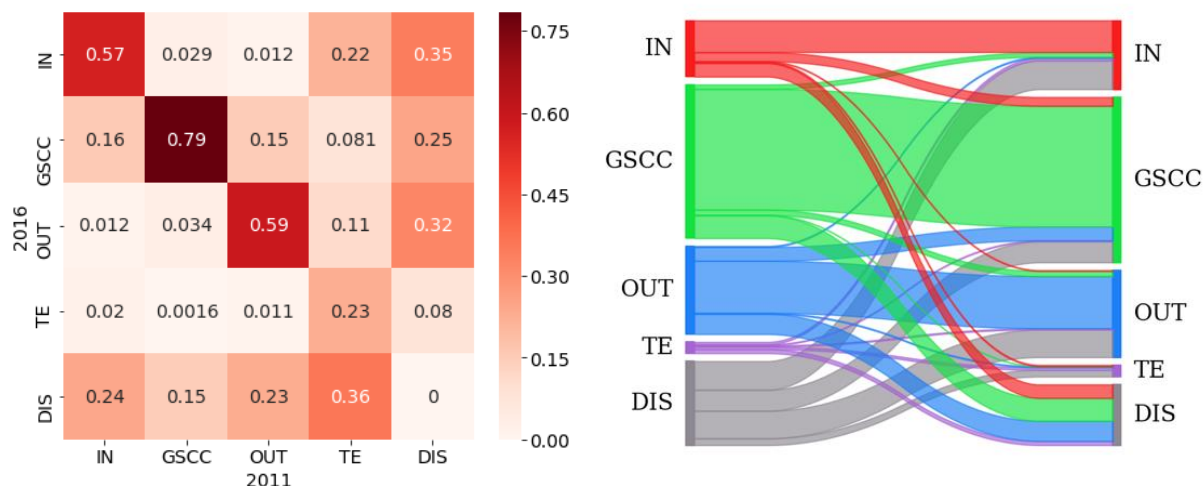


図 2 2011 年から 2016 年にかけてのクルミ構造の成分間遷移

日本の生産システムにおいて、企業がクルミ構造の GSCC に属することは、安定的な企業成長の観点からも重要な意味を持つ。企業の売上分布の高売上領域におけるべき則（パレート則）に従う企業群は、売上成長率の分散が企業規模に依存しないこと（ジブラ則）が知られており、これらの性質が破れる規模は、中小企業の自然な定義を与えると期待できる。図 4（横軸は企業売上高（企業規模）、縦軸は企業の売上成長率）に示すように、物流の上・下流成分（IN・OUT）から GSCC へと遷移した企業の売上は成長傾向にあり、逆に GSCC から他の成分へ遷移した企業の売上は、縮小傾向にあることがわかる。

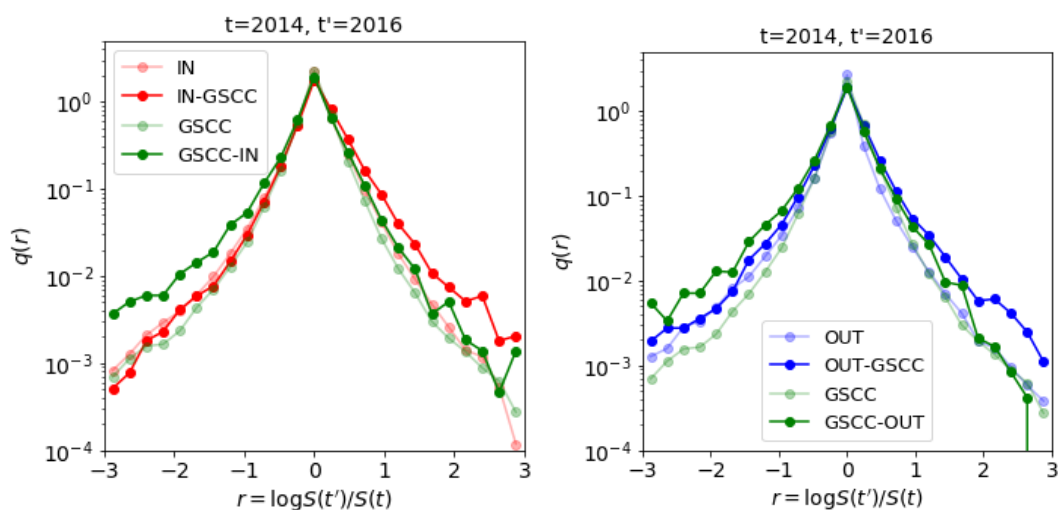


図 10 : クルミ構造の成分間遷移における売上成長率分布の変化（左：IN と GSCC、右：OUT と GSCC）

なお、本研究に関するシミュレータについては以下のように公開を行った。

- 「Economic Text Sentiment Analyzer (ETSA)」
<https://github.com/hamumushi/NewsSentimentAnalysis>
- 「Stochastic Model Simulator on Networks (SMSN)」
<https://github.com/hgphys/SMSN>

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31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、またシミュレーションの本格実施により得られた知見をもとに、以下に示す本萌芽の課題に関するアプリケーション開発・研究開発について、本格実施を継続して行った。そして、プロジェクトのまとめとして、調査研究・準備研究フェーズにおいて実装された全国約100万社の企業ネットワークシミュレーションモデルを改良しつつ使い、世界貿易・金融市場との相互作用モデル構築をそれぞれ行い、企業ネットワークシステムの外的な相互作用を取り扱う枠組みを開発した。

まず、世界貿易との相互作用モデルについては、株式会社帝国データバンクより提供されたデータにおいて企業ごとの輸出入データの解析を行い、売上スケールごとに輸出入を行う企業の割合とそれらの売上に占める輸出入割合を算出した。これを、本課題において用いた拡張 Miura-Takayasu-Takayasu モデルによって生成された仮想的な企業ネットワークにおいて当てはめた。そして、重力相互作用モデルをベースとした、一部の企業の売上変動に対する他企業の応答計算モデルを開発し、輸出入企業に対する売上変動という形で輸出入の影響を取り入れ、そのネットワーク上への波及効果を見積もった。

また、サブ課題Cのグループと共同で、金融市場と企業ネットワーク系を連立させた。具体的には、OACISを通して両課題のシミュレータを動的に結合させ、金融市場と企業ネットワークがお互い相互作用しながら時間発展するモデルについて大規模なモンテカルロシミュレーションを行った。金融市場側のモデルは銀行間ネットワークを考慮されて実装され、銀行が各企業に対してどのような戦略をもって融資するかがパラメータとして設定された。銀行の行動方針は、売上、売上成長率、継続性（以前投資したかどうか）の重みをランダムで割り振られることによって決定される。また、企業ネットワーク側のモデルは拡張 Miura-Takayasu-Takayasu モデルとし、企業成長率は投資金額によって変動するとし、企業売上はスケーリング関係式である出次数の1.3乗として算出された。その結果、銀行の行動方針に依存して国内の企業の成長がどのように変化するかが見積もられた。例えば銀行がより集中度の高い投資を行うパラメータ領域においては、銀行ネットワークは大きなリスクを背負うことになる。つまり、特定の企業に投資が集中し、その企業が倒産した場合に銀行の連鎖倒産が起こってしまう現象がモデル上において観察された。

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31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の高機能化を分担機関の神戸大学と共同で行った。また、他サブ課題との連携により、統合経済シミュレーションによるシステムリスク予防のための施策決定支援手法の開発を行った。

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）

サブ課題で構築した金融取引・銀行間ネットワークモデルとサブ課題 B で構築した企業ネットワークモデルを連携した統合経済シミュレーションを行った。TOPIX100 構成銘柄等の大型銘柄の株式市場と、100 行の大規模銀行から 1000 社の企業へ貸し出しを行い各企業が銀行からの借入れと他企業との取引で成長するモデルを統合したシミュレーションを構築した。本シミュレーションにより、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を行い、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。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 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）

今年度は、Plham については、X10 版の高機能化（メニコア対応・動的負荷分散機能の強化）および Java 環境への並列・分散版移植および高機能化（スナップショット・分枝実行機能）を進めた。また、効率的な大規模エージェントシミュレーションを可能にするための分散ミドルウェア群（分散集合ライブラリ・動的負荷分散ライブラリ）についても、大規模メニコアクラスタ環境に対応するための研究をすすめた。

分散集合ライブラリについては、領域単位の再配置が可能な配列型分散集合ライブラリを提案・実装し、Plham への適用をおこなった。この分散集合(改訂版 DistCol)は、long 型の任意のインデックス範囲をもつ配列 (chunk) 群から構成され、要素はいずれかの chunk に格納される。要素の再配置の際は、chunk 単位の分割・再配置がおこなわれる。ライブラリは、各領域の配置ノードを管理可能であり、データ再配置およびデータ分散情報の共有は、集団通信を用いて効率的に処理される。まだ、上記分散情報を取得することで、複数の分散集合のデータ分散を統一的に扱うこともできる。領域管理は差分情報を基におこなわれ、要素再配置がない限り無駄な通信をおこなう必要もない。

Plham では、エージェント群の管理に DistCol が利用されている。今回、Oakforest-PACS (各ノード: Xeon Phi KNL, 68 コア) 上で Plham の性能評価実験をおこなったところ、512 ノード(34816 コア)まで順調な性能向上を図ることができた (図 1 左)。また、シミュレーション中に一部エージェントを削除したうえで、負荷均等化実験をおこない、その動作を確認した (図 1 右)。要素の再配置がある環境では、しばしば関連データの配信・再配置が課題となるが、本ライブラリでは最新のエージェント分散情報を取得し、それに応じて取引情報を配信するといった見通しのよいプログラミングを可能としている。

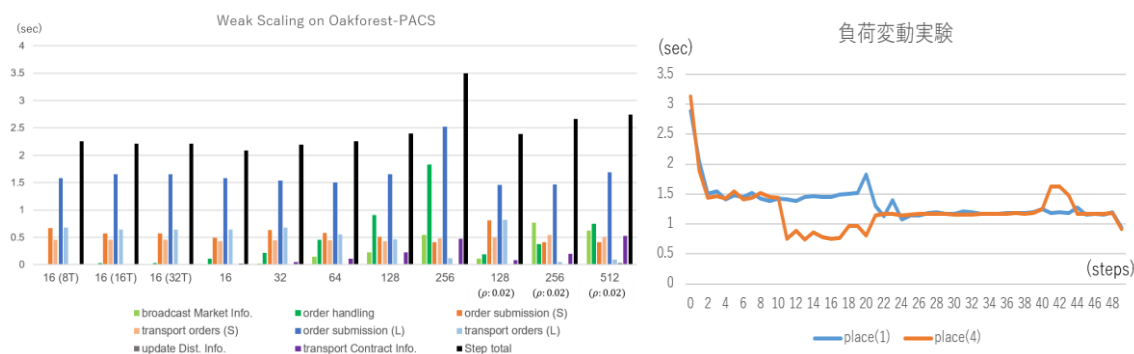


図 1 Oakforest-PACS 上の Plham 性能評価
(左: scalability (weak scaling), 右: 負荷変動実験)

また、Plham のスナップショット・クローン機能の実装は、Java 版分散集合ライブラリおよび Plham 分散版の一部として進められている。Plham の分枝実行機能は、分散集合のクローン機能を用いて実現され、計算グループの分割時にペアとなるノード間でデータ交換をする形で実現される。これらの実装は、Java 版分散集合ライブラリおよび Plham の一部として、近日公開予定である。

また、動的負荷分散ライブラリについても、Oakforest-PACS 上で性能評価をおこなうとともに (図 2)、メニコア環境において危惧される共有キューに対するボトルネックを回避するための自動粒度管理機構の研究をおこなった。共有メモリ版 GLB [yamashita2016] の基本デザインが良かったためか、UTS (unbalanced tree search) などの基本ベンチマークでは、適切な粒度設定さえすればメニコア環境でも高い台数効果を達成することができた。また、動的負荷分散が特に必要とされる探索系ベンチマークを整備し(N-Queen, Pentomino, TSP)、その性能評価をおこなうことができた。

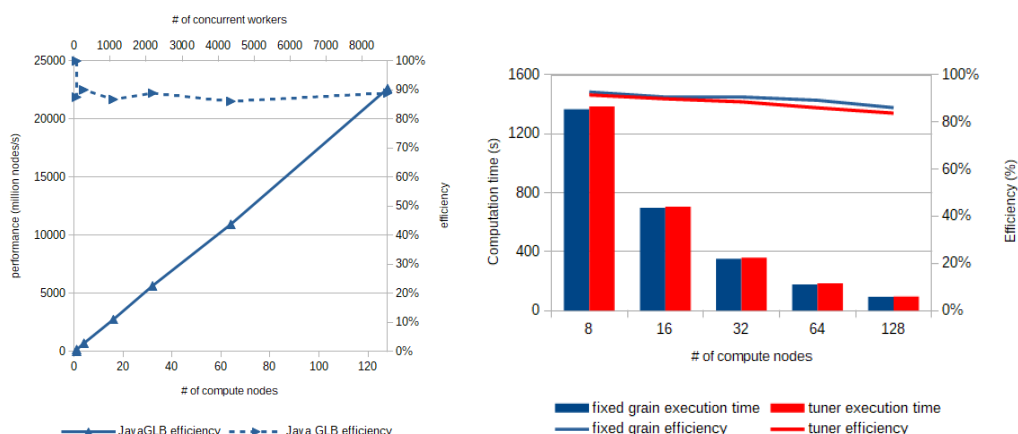


図2 Oakforest-PACS 上の動的負荷分散ライブラリ性能評価 (左:UTS, 右: Pentomino)

本研究で開発されたソフトウェアは下記 URL で順次公開をしている。また、Java 版分散集合ライブラリおよび Java 分散版 Plham についても、近く公開予定である。

- 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)

プロジェクトの総まとめとして、交通・人流に加え関連する事象との異種現象のシミュレーションの連携実現に向け、HPC を活用して、これまで開発してきた遺伝的アルゴリズム等による多目的最適化手法によるデータ同化とそれによるシミュレーション連成手法の有効性の確認および評価・改良を行った。さらに、それらの成果については研究発表およびプログラム公開により、普及を進めた。

具体的には、④-3 の東京大学チームとともに、福井国体の開会式での観覧者誘導を題材として、シャトルバス交通流と人流が交差する信号の最適化を連成誤差最適化と同時に行う多目的最適化を、⑤-3 の理研チームの開発した OACIS で行う手法を開発した。また、交通システムの持続的経済合理化などを連成的に進化型計算で探索する手法も同じく OACIS を用いて開発した。これらの開発で構築したシミュレーションシステムはオープンソースとして引き続き公開しており、また、国際会議での研究発表等で成果の普及を行った。

④-1-(1) 信号制御最適化と連成誤差最適化の多目的最適化方式の実現

個別の事象に対応するシミュレータを連成させる手法の完成度を高めるため、福井国体の開会式での観覧者誘導を題材として、シャトルバス交通流と人流が交差する信号の最適化を連成誤差最適化と同時に行う多目的最適化を、本プロジェクトで開発・改良を進めてきた人流シミュレータ CrowdWalk、交通シミュレータ ADVENTURE-MATES（以下、Mates）（東大チーム④-3）、シミュレーション管理フレームワーク OACIS（理研チーム⑤-3）を用いた手法を構築した。

連成の方法としては、信号切替のルールを定め、そのルールをもとに、CrowdWalk で実際の信号切替タイミングと人流の完了時間（全歩行者が目的地に到達する時間）を記録する。その切替タイミングを Mates に渡し、交通状況を再現しつつ、シャトルバスの到達時刻と信号における渋滞量を記録する。シャトルバスの到達時刻をもとに、歩行者の出現時刻を調整して、再度 CrowdWalk でのシミュレーションを行う。その流れをエラー！参照元が見つかりません。に示す。なお、この信号切替ルールの実現では、昨年度実装した Ruby Gate の機能を用いている。

このフローのループにおいて、信号切替ルールの調整を遺伝的アルゴリズムによる多目的で行う。まず、信号切替ルールでは、信号手前で滞留している歩行者の数に応じて、歩行者信号を青・赤に切り替える閾値と、信号の切替の最短・最長時間の、4つのパラメータを可変とした。また、調整を行う評価基準（目的関数）としては、歩行者の到達完了時間と、交通の渋滞量の2つを用いた。

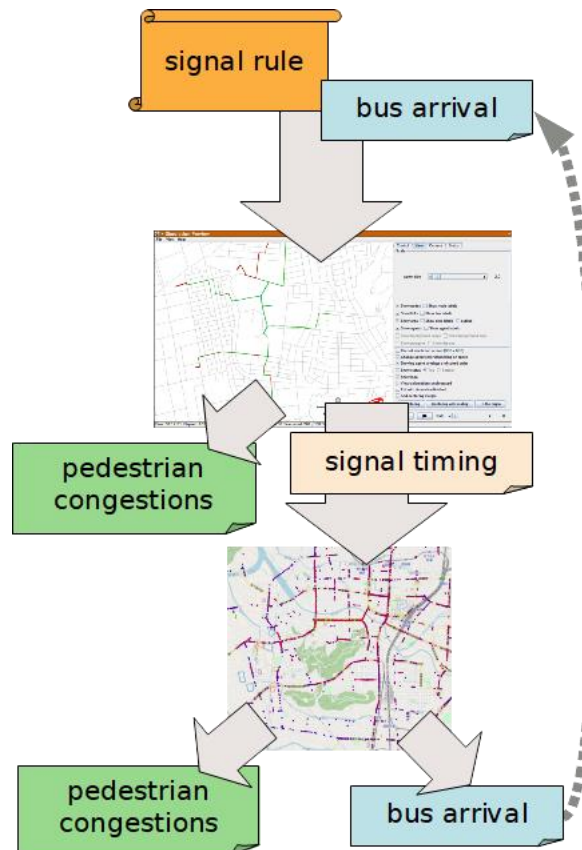


図 3 人流・車両流連成の制御フロー

この遺伝的アルゴリズムによる多目的最適化を大規模に行うため、OACIS の Watcher 機能を用いて連成シミュレーションを HPC 上に構築した。HPC としては、富岳の構成に近いと考えられる ABCI を

用い、エラー！参照元が見つかりません。のような構成で実行を行った。遺伝的アルゴリズムのパラメータとしては、個体数（信号ルール数）が200、淘汰は4個体によるトーナメント選抜とし、4個体のうち、トップ2は生存、トップ2の交差1体とトップ1の突然変異が次世代として残るとした。また、シミュレーションの並列度を上げるため、1世代のうち半分の実行が終わった段階で世代交代が始まるとした。

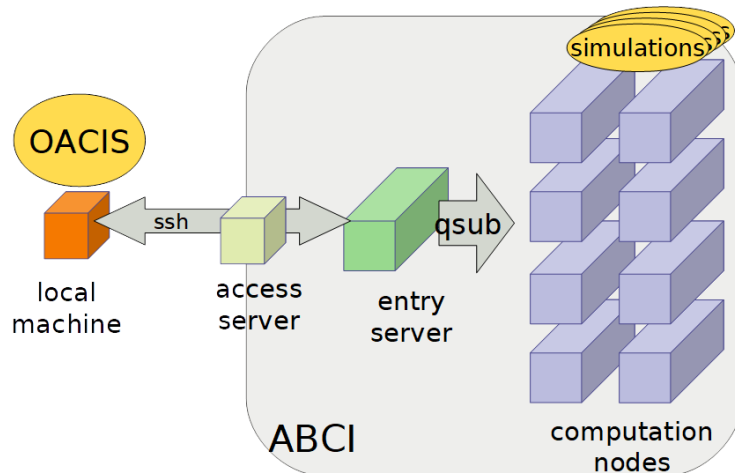
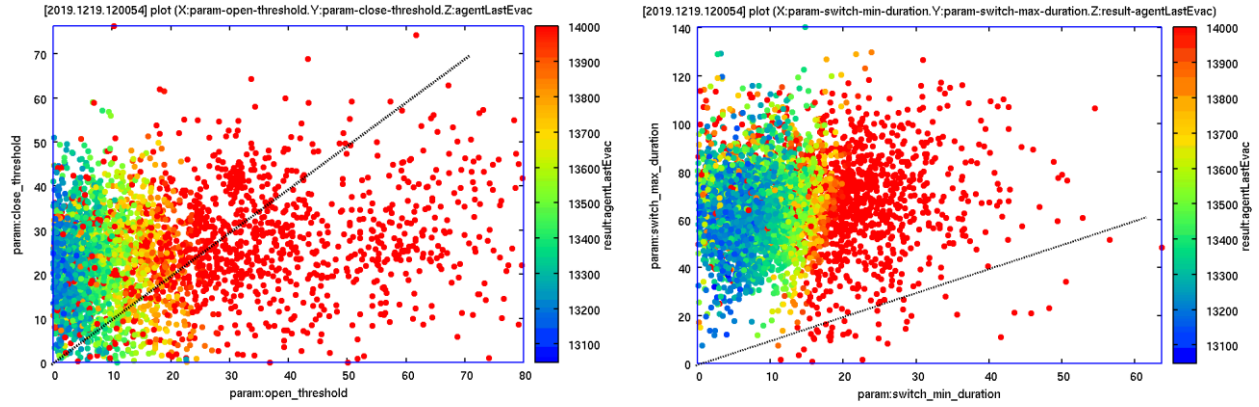


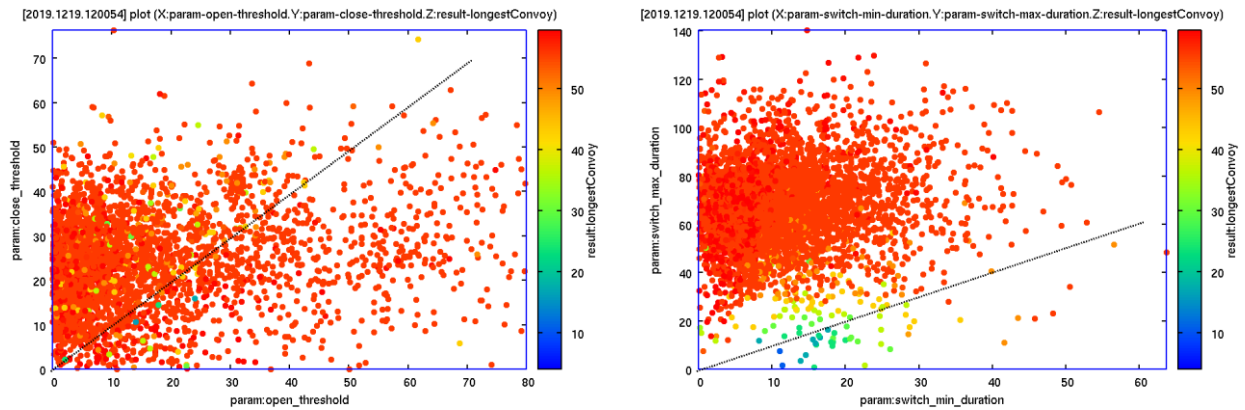
図 4 OACIS watcher を使った連成シミュレーション制御

この連成シミュレーションによる世代交代の様子を図 5 に示す。これらのグラフは、4つのパラメータ空間の中で、どのように世代交代が行われ、どのように目的関数が最適化されているかを示している。6つの図のうち、左側が信号切替の閾値2つのパラメータ空間であり、右側が信号切替の最短・最長時間のパラメータ空間である。また、(c)が世代交代を示しており、初期の青から世代交代が進んだ赤までの移り変わりを示している。そして、その世代交代によりどのように目的関数が最適化されたかを、(a) (b)に示している。これらの結果より、信号切替閾値では青信号閾値をできるだけ低く（歩行者をできるだけ優先）し、信号の切替時間の最短・最長としては、各々比較的小さい値(10以下と50付近)あたりに最適なパラメータがあることが確認できる。一方、赤信号閾値はあまり影響がないことも知見として得られている。

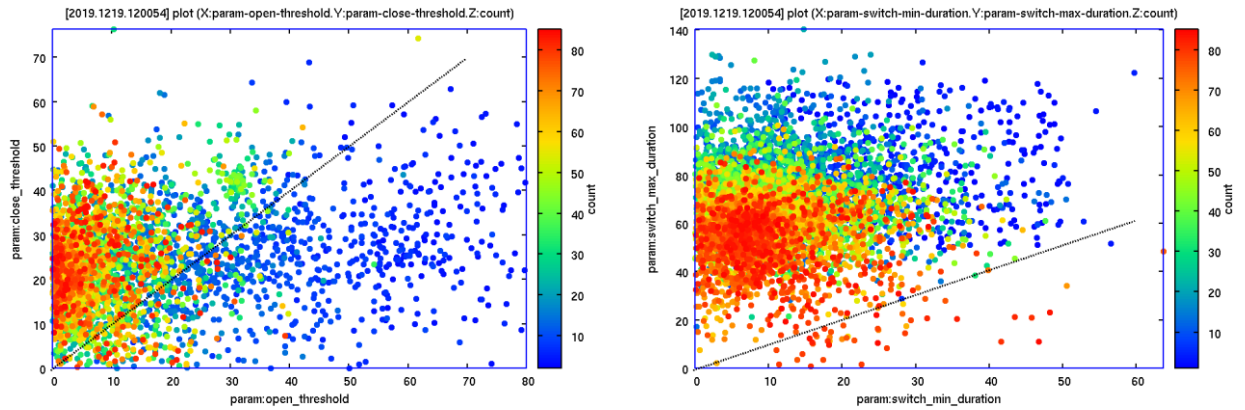
OACIS を使った並列度としては、OACIS 自体の最大並列度として100を設定し、最終的に8,261試行のシミュレーションを行った。1試行あたりの平均実行時間は317秒であり、延べのCPU(core)時間は2,621,043秒であった。一方、実際の実行時間は41,865秒であった。これにより、並列度は62.6となった。今回の実験では、計算ノードは占有ではなく、空きノードを順次活用する形式とした。OACISの構造上、並列度の理論的最大100であり、並列度62.6はそれほど高くないとはいえる。しかし、空きノードを順次活用するこの方式はHPC利用の自由度を上げるものであり、そのような環境で並列度62.6出せるというのは、大きな利点と言え、OACISの有用性を示しているといえる。



(a) 人流完了時間



(b) 交通流渋滞量



(c) 世代の遷移

図 5 多目的最適化の結果

(左：横軸＝人流青信号閾値、縦軸＝赤信号閾値

右：横軸＝信号最短切替時間、縦軸＝信号最長切り替え時間)

④-1-(2) 汎用 OACIS Watcher ツール Itk0acis とそれによる進化型計算機能実現

前節で述べた OACIS Watcher を活用する手法を汎用化し、様々な用途に使えるツールとして、Itk0acis を開発し、オープンソースのソフトウェアとして公開した。公開は以下の URL で行ってい

る。

- <https://github.com/crest-cassia/ItkOacis>

この ItkOacis は柔軟なシミュレーション管理機構を提供する Conductor と、OACIS とのインターフェースを提供する HostStub, ParamSetStub, SimulatorStub から構成される。また、Conductor の実装事例および基本機能提供のため、パラメータの網羅実行を行う ConductorCombine、進化計算により探索を行う ConductorGaSimple、漸進的進化計算により探索を行う ConductorGaProgressive も提供する。

エラー! 参照元が見つかりません。に、ConductorGaSimple を用いた簡単な例を示す。この例のように、単純な進化計算による最適化では、クラスに対しパラメータ設定を行うだけで、OACIS の制御を実現できる。

```
class FooConductor < ItkOacis::ConductorGaSimple
  ## default configuration for initialization.
  DefaultConf = {
    :simulatorName => "foo00",
    :hostName => "localhost",
    :scatterPolicy => { "x" => { :type => :uniform,
                                :min => -1.0, :max => 1.0 },
                       "y" => { :type => :gaussian,
                                :ave => 10.0, :std => 1.0 },
                       "z" => { :type => :list,
                                :list => [0, 1, 2, 3] } },
    :population => 10,
    :nofAlternation => 10,
    :ratioSurvive => 0.3,
    :ratioCrossOver => 0.3,
    :ratioMutate => 0.3,
    :mutateRange => { "x" => { :type => :uniform,
                                :min => -0.1, :max => 0.1 },
                     "y" => { :type => :gaussian,
                                :ave => 0.0, :std => 0.1 } },
    :logLevel => :debug,
  } ;

  ## to compare two ParamSetStub.
  def scoreOf(_psStub)
    _r = _psStub.getResultTable(:average) ;
    _v = _r["u"] + _r["v"] + _r["w"] ;

    return _v ;
  end

end

# create a FooConductor and run.
conductor = FooConductor.new({:nofAlternation => 100}) ;
conductor.run() ;
```

図 6 ItkOacis::ConductorGaSimple を使った単純な実装例

この ItkOacis を本格利用したシミュレーション例として、乗り合い交通サービスの料金設定の適正化を行ったものを紹介する。この事例では、乗り合いタクシーの料金について、距離に応じた加算料金と遅延時間に応じた割引料金を決定する係数について、その事業者の収入と、利用者における料金当たりの利便性をバランスさせる、その適正係数を求めることが、シミュレーションの目的となっている。これを実現するため、図 7 に示すようなフレームワークを構成した。このうち、

SavSimulator が、乗り合い交通サービスのシミュレーションを行う部分であり、このシミュレーションにより、利用者にとっての利便性と、各事業者の収入を計算することができる。シミュレーションでは、複数の異なる料金体系を持つ事業者が競合する形で乗り合いサービスを展開し、利用者はコストと利便性に従って業者を選ぶという強化学習を行う形式をとっている。このうち、事業者同士の競争を、ItkOacis により実現している。

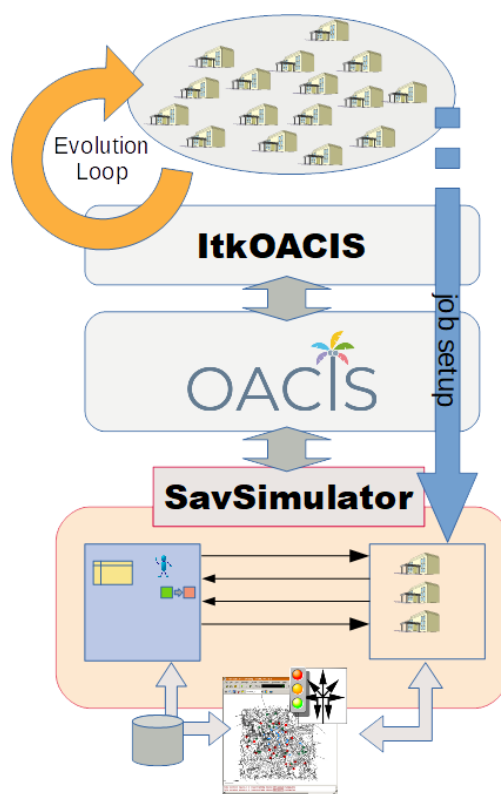
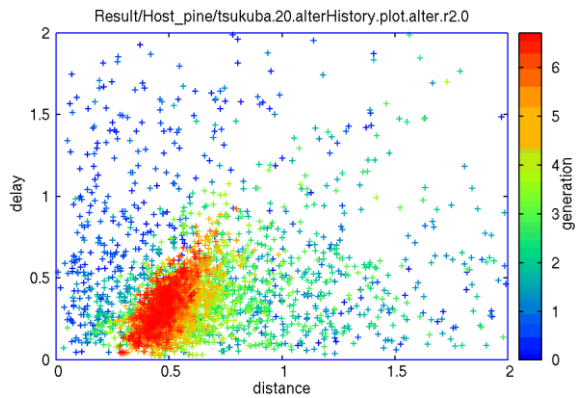


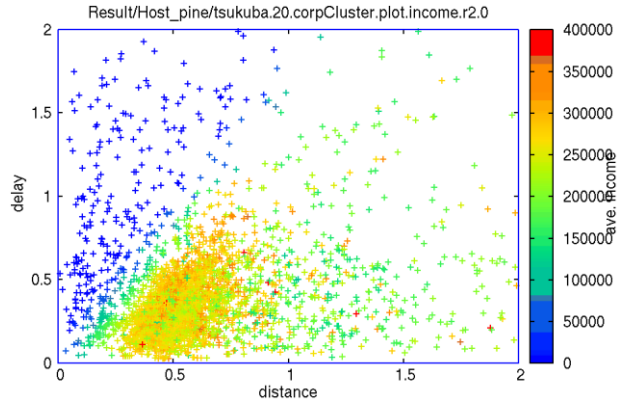
図 7 ItkOacis を利用した交通シミュレーション実行のフレームワーク

シミュレーションにより料金体系の係数を探索した結果を図 8 に示す。この図の(a)のように、ItkOacis の探索により、距離係数 0.5 付近、時間係数の 0.1-0.4 付近に適正值が存在することがわかる。実際の事業者ごとの収入(b)においても、その付近で高い値を示している。ただし、このグラフの中では、利用者による選好は示されておらず、(b)の収入だけでパラメータが決定できない点が、最終的な意思決定では重要となっている。

ItkOacis の活用事例としては、エラー! 参照元が見つかりません。に示した例と同じく、複雑な選択メカニズムを簡潔な形で実装できており、OACIS の活用を広げるものとしての有用性を示している。



(a)世代の変遷



(b)事業者の収入分布

図 8 交通シミュレーションによる世代交代の様子と収入分布

(横軸＝単位距離料金係数、縦軸＝単位遅延時間割引料金係数)

④-1-(4) まとめ

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を実現し、大規模な最適化機能を検証した。また、OACIS のための汎用のツールを整備し、連成シミュレーションや多目的最適化などの様々な機能を容易に実現する環境を整備し、ソフトウェアを公開した。

これにより、プロジェクトで目標とした、多様な社会シミュレーションを HPC で大規模に実現するためのソフトウェアの整備と手法の開発を行えたと考える。今後は、これらを活用し、幅広い社会シミュレーションの活用事例を実装していく予定である。

④-2 人流制御技術の開発（再委託先：学校法人湘南工科大学・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評価を行った。今年度は特に、ポスト京のアーキテクチャを意識した高速化方針（性能計測、分析）をひきつづき検討した。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んだ。

具体的には、④-1 の産総研のチームとともに、横浜みなとみらいにあるパシフィコ横浜やその周辺の来場者が、災害による避難を想定して山手にある避難所への避難行動をシミュレーションした。これは、湘南工科大学の MASH モデルと産総研の CrowdWalk モデルとの連成シミュレーションであり、性能分析や評価を行った。また、2021 年に開催予定の三重国体の開会式での観覧者誘導を評価する取り組みとして、持ち物検査などのセキュリティを何台にすると予定通り観覧者が誘導できるかなど、三重県担当者と協力して評価を行った。これら研究成果は学会等での発表の他、他分野の研究者と普及に関してディスカッションを行った。

④-2-(1) 広域な大規模群衆避難連成シミュレーション

人流と人流の異なる物理表現のシミュレーション連成を実現するために、産業技術総合研究所が開発する人流シミュレータ CrowdWalk と湘南工科大学の浅野等が開発する MASH (Multi-Agent based Simulator for Human behavior) モデルについて、連成のための境界条件交換の方法を策定した。CrowdWalk は、メゾスコピックあるいはマクロレベルで人流をシミュレーションするもので、通路や道路ネットワークなどネットワーク上の経路における人流シミュレーションを得意とし、計算不可が少ない。一方、MASH モデルは、ヒトの動きをミクロレベルでシミュレーションするもので、広場や大型設備内など自由空間における人流シミュレーションを得意とするが、計算量が増えるのが特徴である。広域で対規模なシミュレーションを行うには、この 2 つのシミュレーションモデルの特徴をうまく使い、ミクロ (MASH) マクロ (CrowdWalk) 連成シミュレーションを行う必要がある。

今年度は総まとめとして、具体的な課題をテーマとした連成シミュレーションに取り組んだ。シミュレーション会場として、横浜みなとみらい地区にある大規模展示施設パシフィコ横浜と隣にある公園“臨港パーク”に滞在する人々に対して、高潮避難という想定で高台にある掃部山 (かもんやま) 公園まで避難させるものである。その数 13,000 人程度でシミュレーションを行った (図 9)。

図 10 は建物から街区に避難者が出ていく連成部、図 11 は街区から公園に入っていく連成部の概念図である。

- ・ 連成の流れ：MASH→CrowdWalk→MASH



図 9 連成の流れ

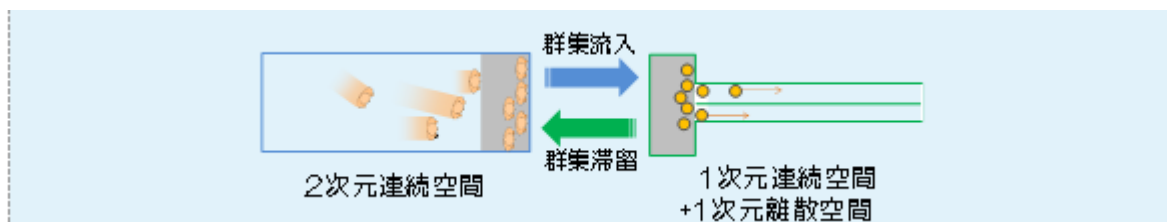


図 10 ミクロからマクロへの連成

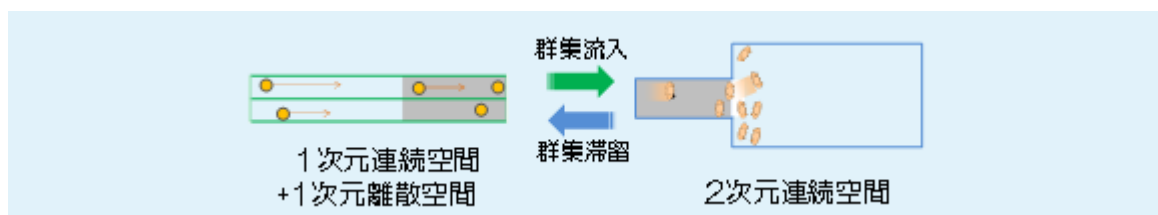


図 11 ミクロからマクロへの連成

次に、図 12⇒図 13⇒図 14 の順に連成シミュレーションを行った結果を示す。

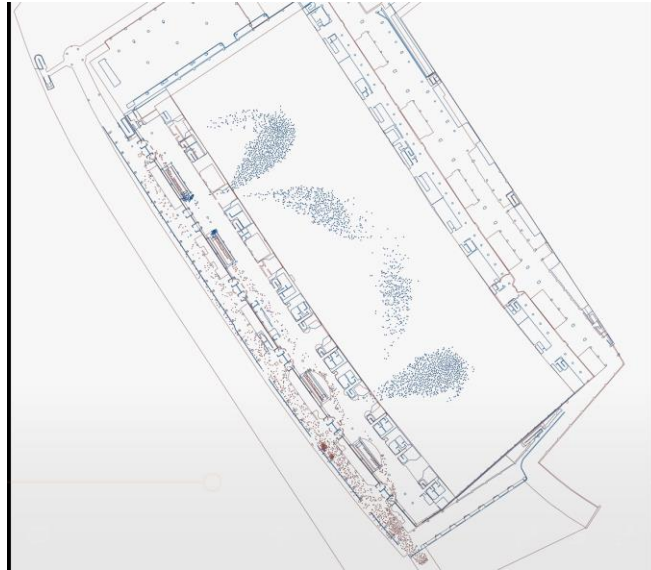


図 12 パシフィコ横浜での 12,000 人の避難シミュレーション (MASH)



図 13 臨港パーク (CrowdWalk) とパシフィコ横浜からの街区避難 (CrowdWalk)



図 14 街区避難 (CrowdWalk) から掃部山公園内の避難者集合 (MASH)

本年度は、広域で大規模な連成シミュレーションを実施することができた。パシフィコ横浜の避難者は図 12 の下部に 1 か所だけある街区に繋がる連成部に多く集中することになる。この連成

部の群衆滞留がうまく捌けていることが本結果から確認することができた。街区避難は、みなとみらいの街区の設計上、広い歩道が特徴であり、図 13 のように混雑する部分（赤色）は比較的小さいことが確認できる。しかし、みなとみらい地区から野毛山に至る道路は限られており、避難行動が進むにつれて高架下の道路で大渋滞になることが確認された。掃部山公園での連成は、問題なく引き継がれ、避難者は公園の内部の目的地に進んでいる。MASH モデルでは、指定空間を自由行動するような仕組みは取り入れていないため、1 か所に固まるような結果となっている。

④-2-(2) 「京」コンピュータとヘテロジニアスなマルチプロセッシングユニットの Boids モデルの大規模並列化

マルチエージェントシステムの並列化では、各 CPU の計算負荷にロードインバランスが生じることがあり、計算速度が低下する。基礎的な検討として擬似四倍精度計算を使用した Boids モデルを対象とし、多階層並列処理によるロードインバランスの緩和策を提案している。今年度は、京コンピュータとヘテロジニアスなマルチプロセッシング（HMP）ユニット（図 15）に向けて並列化手法を改良し、両システムでのパフォーマンスを評価した。改良した多階層並列化により、両システムでロードインバランスを効果的に軽減できることを確認した。HMP ユニットでは計算負荷に応じて高性能コアと低消費電力コアを動的に切替えることにより、消費電力を効果的に制御できることを確認した（図 16）。さらに、高性能コアと低消費電力コアを両方同時に使用した場合、理論演算性能が高くなるにも関わらず、低消費電力コアの処理待ちにより、却って計算が遅くなる可能性が明らかとなった。また、京コンピュータでは、リアルシミュレーションの実行が可能であり、世界最大となる 3 兆規模の Boids モデルの計算が可能であることを確認した（図 17）。

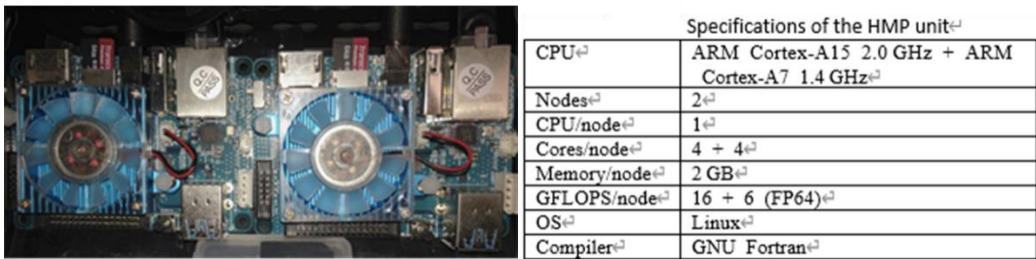


図 15 ヘテロジニアスなマルチプロセッシング（HMP）ユニット

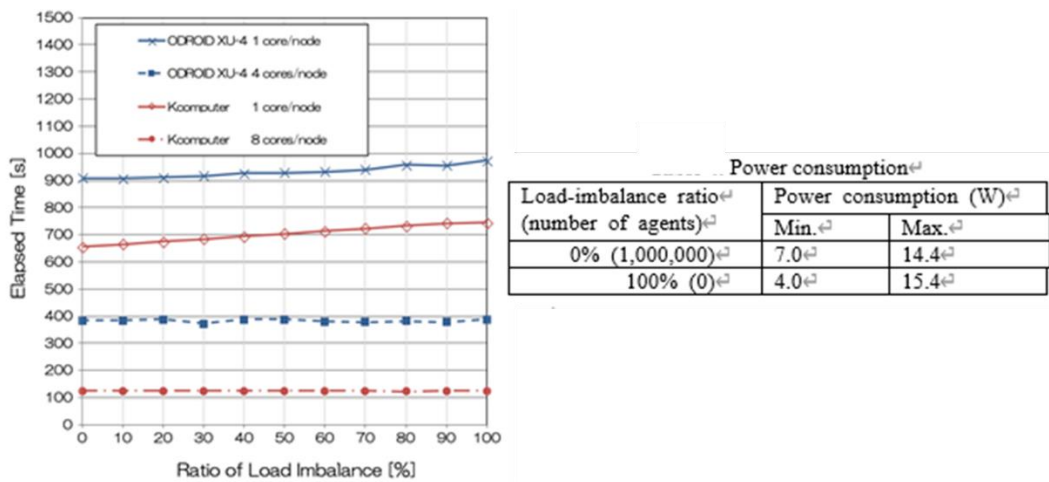


図 16 計算負荷の不均衡の軽減と消費電力効果

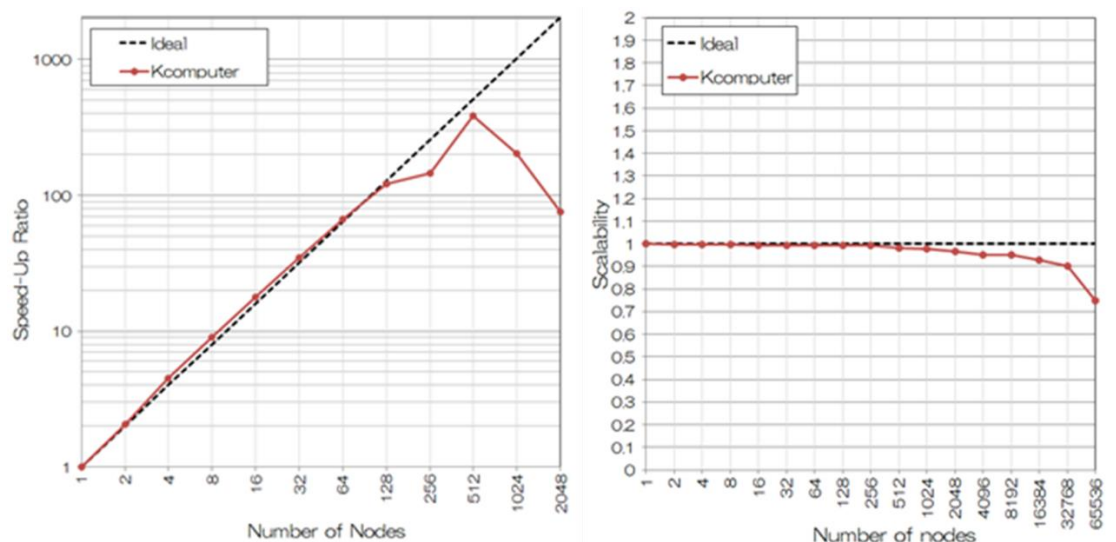


図 17 Strong scaling と Weak scaling

④ -2-(3) 浸水シミュレーション予測による浸水徒歩避難の検討

近年、集中豪雨など極端気象現象の発生頻度が増加しており、河川氾濫などの水害発生に繋がる可能性がある。水害発生時における防災・減災では、予め避難計画などの事前防災を検討しておくことが重要である。今年度は、避難者の行動特性やリアルタイム浸水情報配信を考慮した徒歩経路探索モデルを提案し、浸水シミュレーションと連成可能な徒歩避難シミュレータの改良を行った。浸水避難シミュレーション例では、土地鑑のある避難者が浸水状況を目視で確認する場合、未確認の道路は健全であると予測して行動すると避難完了率が低くなり、未確認道路が被災していると予測すると避難完了率が高くなる可能性が明らかとなった。また、IoT センサ群などによりリアルタイムの浸水状況を避難者に提示した場合、避難完了率の向上だけでなく、避難者が浸水している時間や対向流を減少できる可能性が示唆された（図 18、図 19）。



図 18 避難者は状況を把握していない道路については被災していないと想定する避難

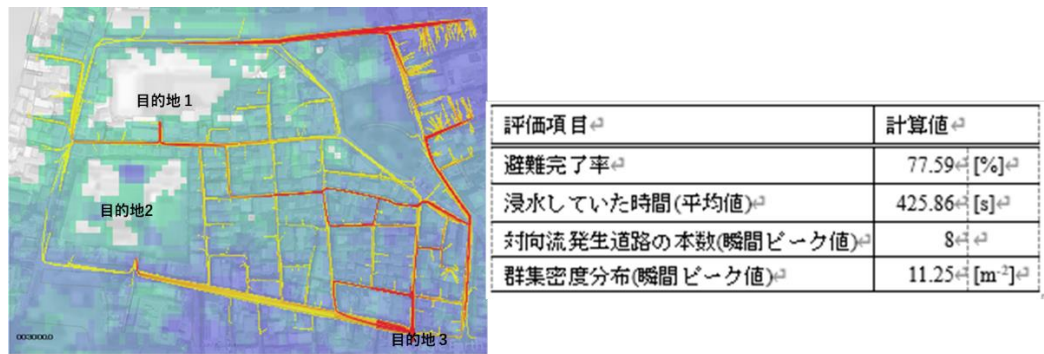


図 19 全避難者が IoT センサ群で観測した浸水状況をリアルタイムに把握した場合の避難

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）

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年度には動的負荷分散手法を実装したが、本年度はさらに並列化効率を高めるためのチューニングを実施するとともに、問題規模と並列数、達成される並列化効率との関係について調査した。また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て、平成30年度には交通シミュレーションと人流シミュレーションとの連成機能を簡易的に実装したが、本年度は2つのシミュレーションモデルがより密に連携するための手法に取り組んだ。

具体的には、まず ADVENTURE_Mates の並列化の取り組みとして、MPI による分散メモリ型並列方式と OpenMP による共有メモリ型並列方式のハイブリッド化を実施し、大規模な地図を用いて両者の並列性能について比較した。上記を国際会議において発表し成果の普及をはかった。また④-1 の産総研チームと連携して福井国体開会式における観客の集合時のシミュレーションを実行するにあたり、交通流シミュレータである ADVENTURE_Mates から人流シミュレータに与えるデータを取得し加工するシステムを開発した。

④-3-⑴ ADVENTURE_Mates のハイブリッド並列化

昨年度までの成果として、本サブ課題実施者の開発するマルチエージェント交通流シミュレータ ADVENTURE_Mates の分散メモリ型並列化（フラット MPI）を実施した。並列化されたシミュレータの処理フローを図 20 に示す。

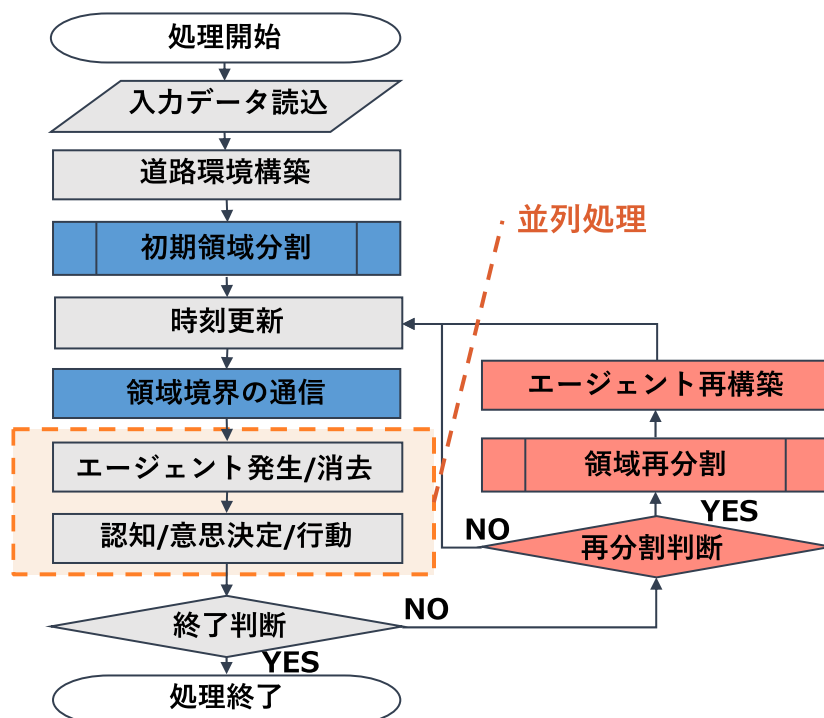


図 20 並列版 ADVENTURE_Mates の処理フロー

ADVENTURE_Mates 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、および、走行中の車両エージェントの意思決定に必要な情報は自身の地理的な周囲に限定されるため、領域分割法を採用している。道路空間は巨視的にはネットワーク構造をとることから、オープンソースのグラフ分割ライブラリである METIS を用いてグラフパーティショニングを行っている。ただし、単にリンクを切断して分割するのではなく、図 21 に示すような、着目交差点とそれに流入する車線群を単位として分割するものとした。これを交差点要素と呼ぶ。交差点に進入しようとする車両は、交差点から退出しようとする車両よりも多くの周辺情報を必要とするが、侵入しようとする車両が領域境界を越えて情報取得することを抑制するために交差点要素の考え方を導入した。

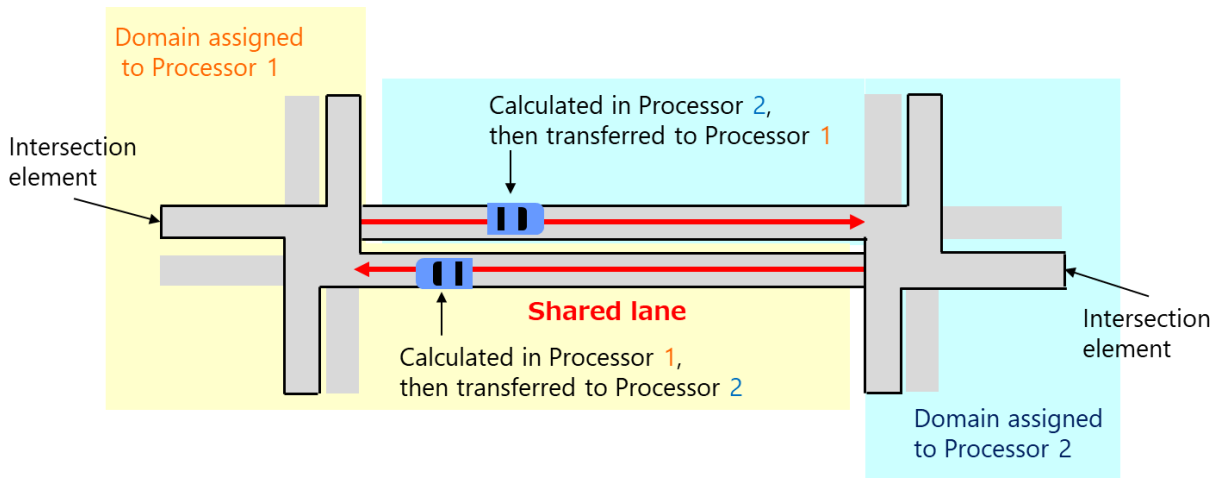


図 21 交差点要素の定義

ハイブリッド並列化では、図 20 のフローにおけるエージェントの認知／意思決定／行動の処理について、OpenMP を用いてスレッド並列計算を行うように改良した。このとき、エージェントの処理順に計算結果が左右されないよう、エージェントの認知処理、意思決定処理、行動処理をそれぞれ独立して計算するものと定めた。つまり、1 つのノードが担当する計算領域内の全車両の認知処理が終了してから意思決定処理がおこなわれ、全車両の意思決定処理が終了してから行動処理がおこなわれる。

負荷分散については前年度と同じ手法を用いている。すなわち、Worker が Master に計算負荷を送信し、Master が再分割判断を行う Master-Worker 型のアルゴリズムである。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 $L_p(t)$ を用い、以下の式で定義する。具体的な $L_p(t)$ の値として、各交差点要素のエージェント計算時間の総和を用いた。

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

以上の実装のもと、東京都の中心部を再現したネットワーク（図 22）を用いて並列性能の評価を実施した。およそ 10km 四方の領域で、ノード（交差点）数が 16,710、リンク（単路部）数が 25,342 である。計算対象時間はシミュレーション内の 60 分～120 分の 60 分間（36000 ステップ）であり、100 秒（1000 ステップ）ごとに計算負荷の不均衡度 $I(t)$ を求め、閾値 1.10 を超えたら領域を再分割するものとした。使用した計算環境は CPU: Intel Core i5-6600 (クロック周波数 3.3GHz, 4 コア)、メモリ: 16GB の計算ノードを最大 8 ノード（32 コア）である。



図 22 評価に用いた道路ネットワーク

昨年度までの成果（MPI による分散メモリ型並列計算のみ）と、本年度の成果（MPI と OpenMP を組み合わせたハイブリッド型並列計算）の加速率および並列化効率を比較した結果がそれぞれ図 23、図 24 である。図中の flat-MPI で示されているのが分散メモリ型並列計算のみの結果、hybrid で示されているのがハイブリッド型並列計算の結果である。

なお、1 コア使用時（非並列時）を除き、flat-MPI の場合には必ずノード間で通信が発生するようにした。すなわち使用コア数が 4 の場合はシミュレーション領域を 4 つに分割し、4 つの計算ノードでそれぞれ 1 コアずつを使用し、1 コアが 1 つの部分領域を担当している。それに対し、ハイブリッド型並列計算では各計算ノードに搭載されたコアすべてを使用しようとする。使用コア数が 4 の場合は領域分割せず、1 つの計算ノードに搭載された 4 つのコアが領域全体の計算を担当する（そのため、ハイブリッド型並列計算になっておらず、共有メモリ型並列計算である）。

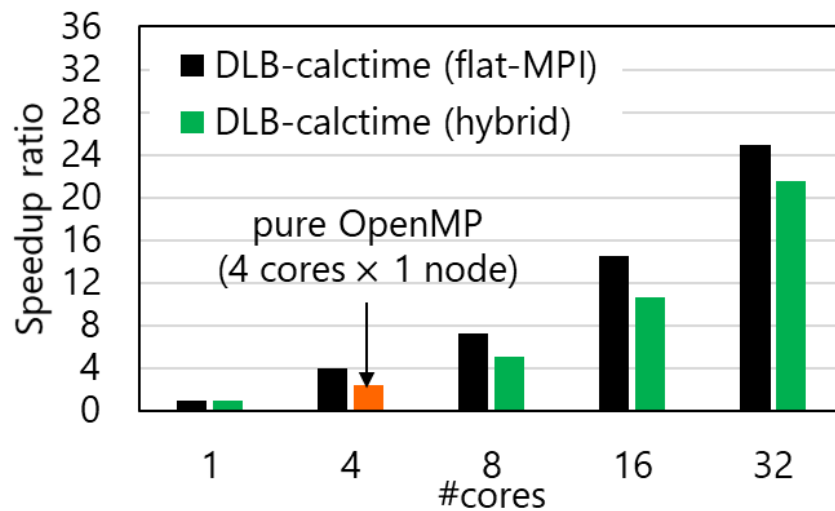


図 23 加速率の比較

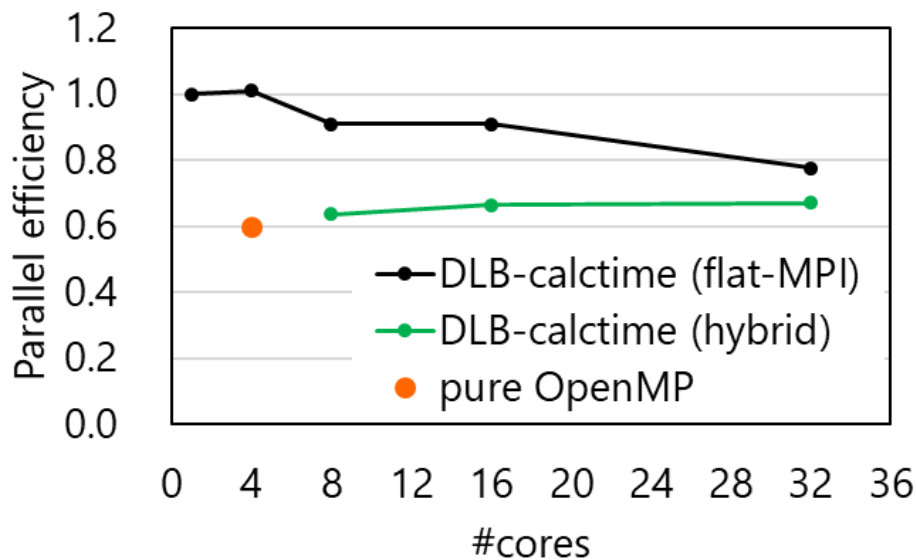


図 24 並列化効率の比較

結果、フラット MPI に対してハイブリッド並列の場合は性能がやや低下することが分かった。32 コアを使用した場合のハイブリッド並列の加速率はおよそ 21.5 である。ハイブリッド化による性能低下は並列計算の分野で一般的にみられる傾向であるが、性能低下の幅を抑えるための手法は今後も継続して検討する必要がある。また、今回の問題の規模においては、ハイブリッド並列の方が並列化効率を維持できていることが分かる。32 コア使用時、フラット MPI では部分領域数が 32 であるのに対し、ハイブリッド並列では部分領域数は 8 である。図 25 にフラット MPI における負荷の不均衡度の履歴を示す。32 コア使用では頻繁に領域の再分割が発生しており、これが並列化効率を低下させる一因になっていたと考えられる。

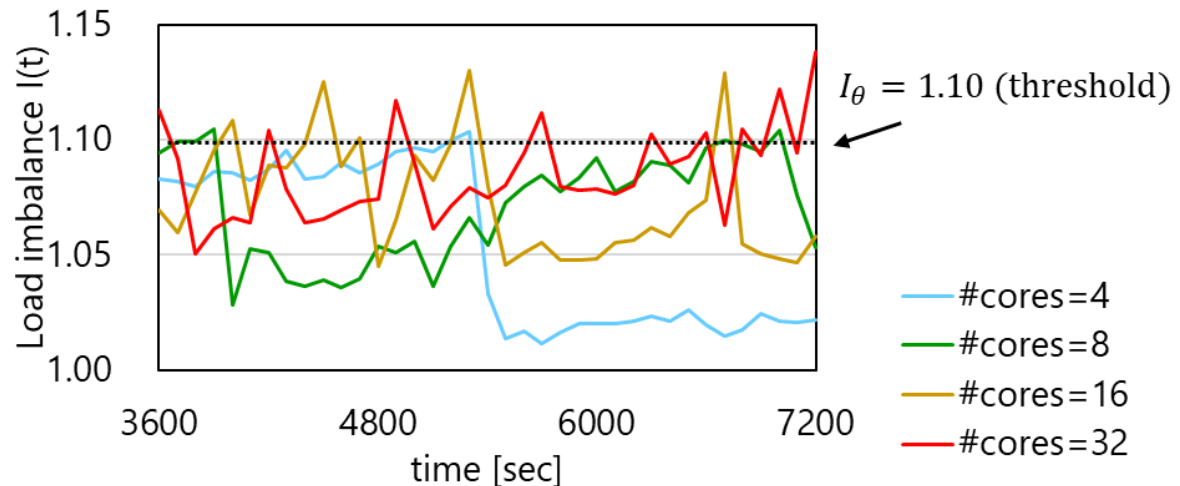


図 25 負荷の不均衡度の時間変化（フラット MPI）

④-3-(1) ADVENTURE_Mates と CrowdWalk の連成シミュレーションのための機能整備

ADVENTURE_Mates と、サブ課題④-1 で開発されている人流シミュレータ CrowdWalk との連成シミュレーションのためのシステムを開発した。シミュレーションの詳細と解析事例については④-1-(1)を参照されたい。本項では ADVENTURE_Mates 側の処理について記述する。

福井国体の開会式に参加した観客の誘導をシミュレーション対象とした。ADVENTURE_Mates のシミュレーション範囲は図 26 に示すとおりである。一般車両の交通需要はこれまでの研究で推定した値を用いた。観客を輸送するシャトルバスは、図中の青い端点からネットワークに流入し、赤い点で示された降車場で観客を降車させ、再度青い端点に向かって走行する。このとき、降車した観客（歩行者）と車両との間で相互作用が生じる。具体的には、会場周辺の無信号の横断歩道に配置された誘導員が、接近・滞留する歩行者の数に応じて車両の通行の可否を制御する。この挙動を適応的な仮想信号として実装した。これまで開発してきた ADVENTURE_Mates では定周期の信号しか表現することができなかったが、接近・滞留する歩行者数を反映した信号現示のタイミングを CrowdWalk から受け取り、その情報に従って信号の状態を更新するよう改良した。一方で ADVENTURE_Mates から CrowdWalk には、制御対象となる交差点付近で停車する車両数およびシャトルバスの到着時刻を渡すこととした。

上記機能を開発することにより、ADVENTURE_Mates と CrowdWalk の連成シミュレーションを実現した。

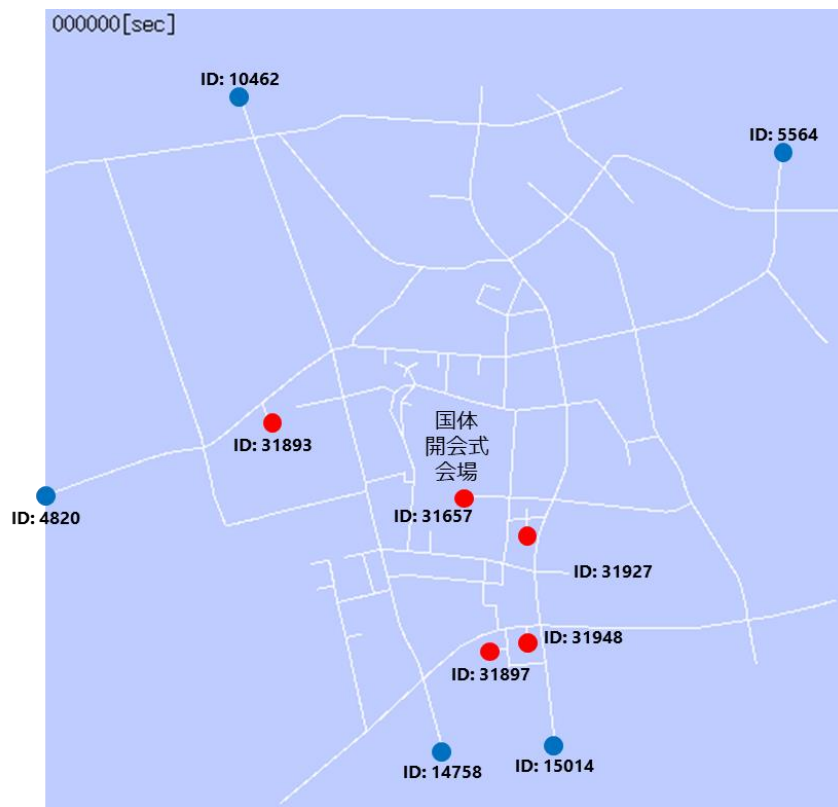


図 26 連成シミュレーションのシミュレーション範囲（自動車交通流）

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）

本プロジェクトにおいて開発・整備を進めてきたシミュレーション環境の検証を行い、GAMA に基づく、オリジナルの都市交通シミュレーションパッケージ MACiMA としてまとめ上げると共に、シミュレーション連成のための機能の充実を図った。

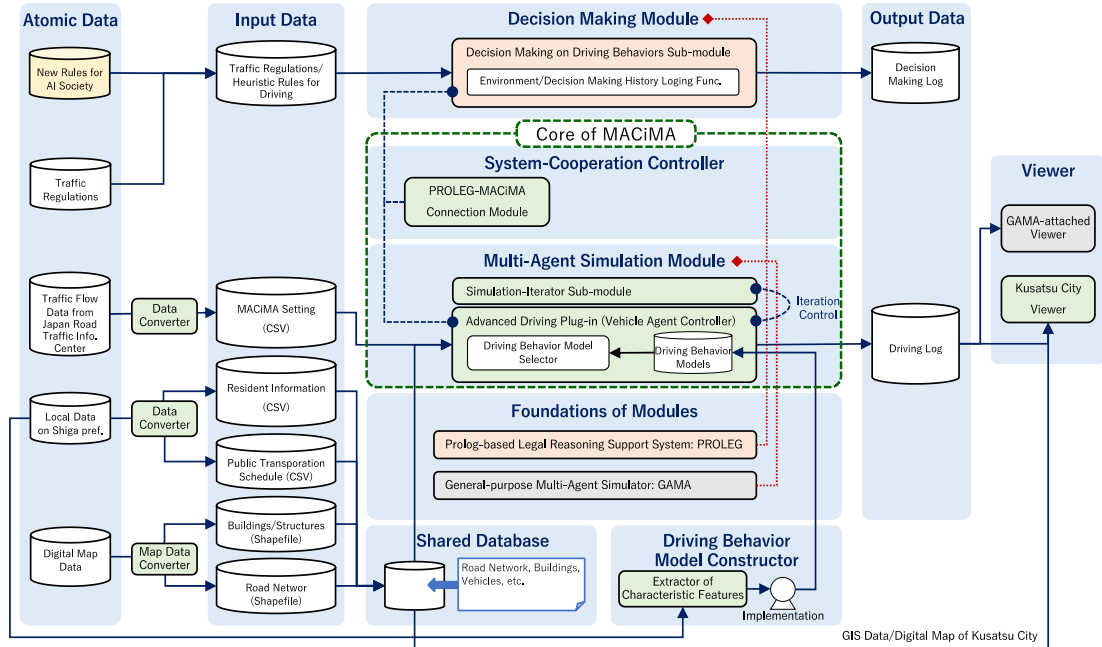


図 27 MACiMA のシステム構成概要

図 27 に MACiMA のシステム構成の概要を示す。MACiMA は本研究プロジェクトにて、従来より構築してきたシミュレーション環境を、研究プロジェクトのまとめ時期と合わせてパッケージ化したものである。MACiMA では、GAMA の特性を活かして、GIS データを基に実環境を精緻に再現した環境で都市活動のシミュレーションを実行することが可能であり、そこで図 28 に示すシミュレーションフローに従うことで、エージェント群を緩やかに最適な結果へと導くことができる。

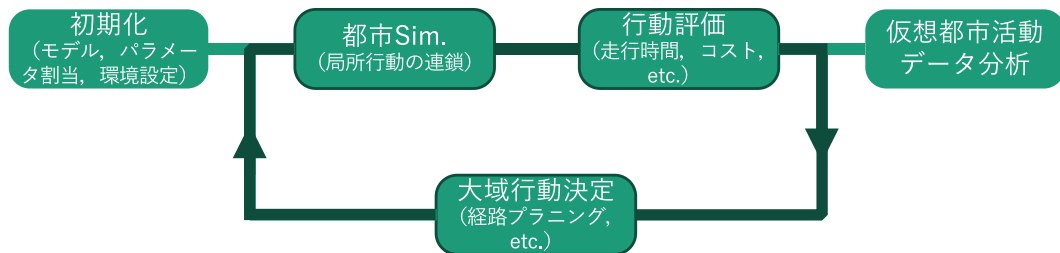


図 28 MACiMA の交通シミュレーションフロー

本年度は、前年度に行った旅客の模擬において行った簡易な実装をあらため、関係するエージェント間の相互作用によって旅客の移動を計算可能とした。すなわち、前年度の実装では、旅客を表す移動者エージェントは、バス乗車時点でエージェント DB から削除され、シミュレーションにおいて永続的に存在できないため、シミュレーションの過程での移動方法の変更などが扱いにくかった。本年度は、旅客の移動に関して、具体的には、旅客を運ぶバスエージェント、旅客となる個々の移動者エージェント、およびバスと旅客のインタフェースとなるバス停エージェントがエージェントネットワークを形成し、適宜インタラクションする事で停車の要不要、旅客の乗降を判断し、旅客の移動を模擬する形式で再実装を行った。図 29 に示すシミュレーションビューワの画像例では、左上にバスエージェントから下車した移動者エージェント（円形）が存在している。本実装により、他のシミュレーションソフトウェアとの間で、人と車の移動情報を精緻に扱うことが可能となる。



図 29 旅客の移動を含むシミュレーションの実行例

また、広域（地方都市全体程度）の交通流の品質を比較的シンプルなデータ同化によって確保する事を可能とした。これらの開発によって、局所交通をより詳細に表現するシミュレータとの接続性を向上させ、また交通シミュレーションの連成後の広域での再現交通の質を確保することが可能となった。ここでは、日本道路交通情報センター（JARTIC）が公開する主要交差点の断面交通量と、交通シミュレーションにおける同一地点の交通量を比較し、差が小さくなる方向に各エージェントの OD（Origin-Destination）を変化させる貪欲なパラメータ探索を行った。具体的には、滋賀県草津市の 30 地点で計測され、JARTIC が公開している断面交通量データから 5 分毎の通過車両台数を算出し、これらデータの計測時間帯（08:00-09:00）を想定したシミュレーションでの同地点での通過台数の比較・パラメータ調整を反復実行した。図 30 は現実の交通量（青）と模擬した交通量の比較結果だが、グラフの左から右へ、試行が重ねられるに従い、徐々に近似が進んでいる。

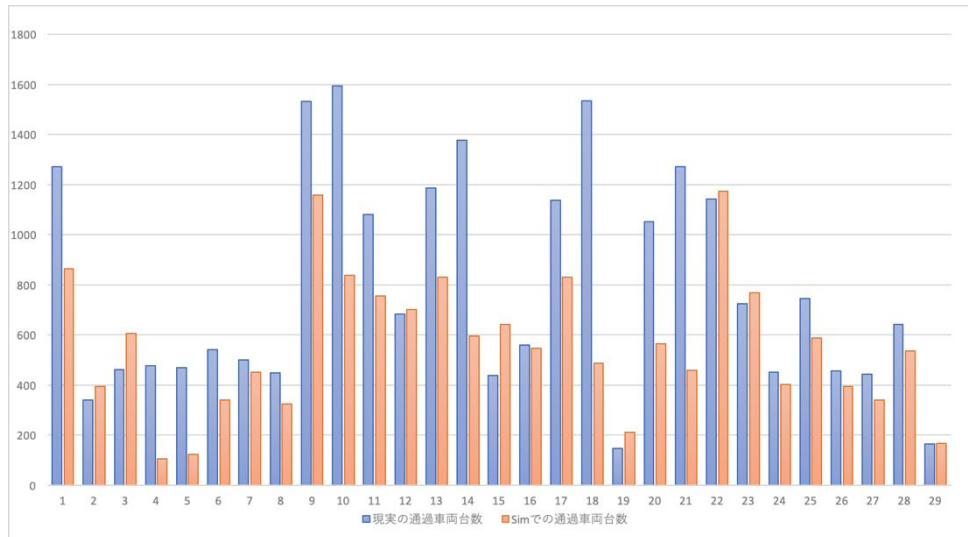


図 30 車両の通過台数の比較

実際の交通流の比較を図 29 に示す．図 31(a)は OD の調整前の交通流で，図 31(b)が調整後の交通流である．(b)中の楕円が示す箇所は，実際には通過交通量が多い区間なのだが，調整前後で交通量に変化し，実際の多数の車両の通過が模擬されている．このように，本年度は，各車両の OD という限られたパラメータながら，近似する方向に素朴にパラメータ値の調整を行うことによってシミュレーション上の交通流を，現実の交通流に漸近可能である方法を示した．

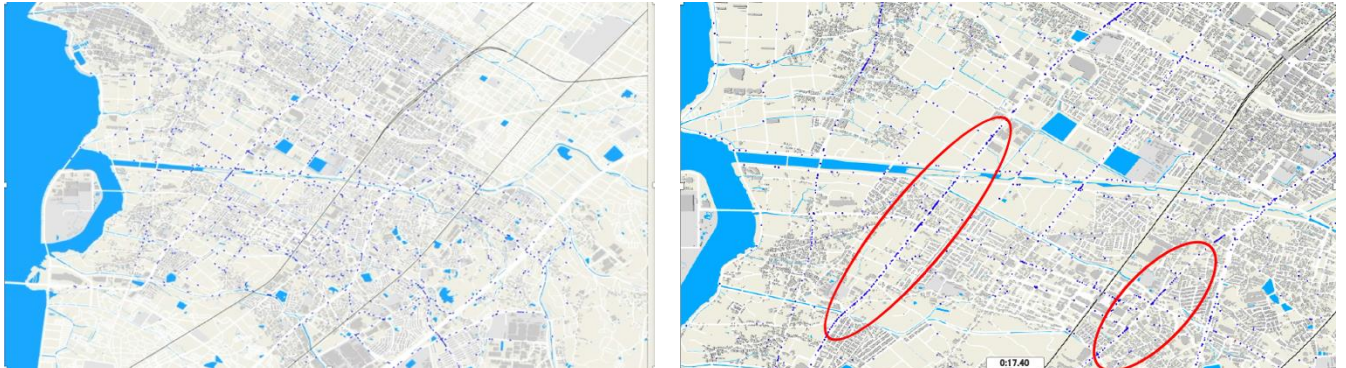


図 31 OD の調整による交通流の変化

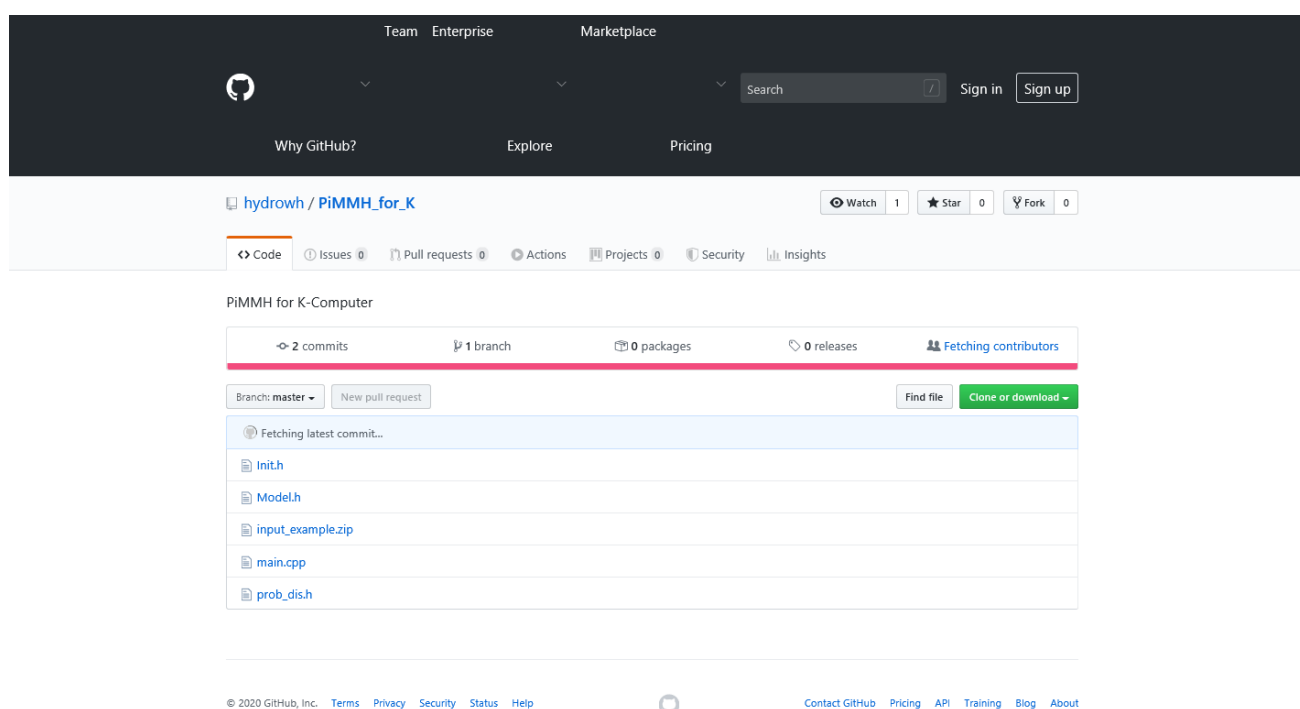
⑤ サブ課題E 社会・経済シミュレーションモデルの評価手法の開発（再委託先：国立大学法人神戸大学・上東貴志）

最終年度である今年度は、これまでに開発した以下のアプリケーションの研究開発を続けるとともに、それらの性能評価・改良および普及にむけた対外活動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。また、社会的な重要課題への応用について幅広い研究を進めた。

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）

最終年度である令和元年度は、ポスト「京」における近似ベイズ計算の実装に向けて開発してきた拡張版 MCMC（マルコフ連鎖モンテカルロ）のアルゴリズムを用いたアプリケーションを計算実験により改善し、完成させた。具体的には、一般的な状態空間モデルに対して、アプリ内でモデルと観測データを特定するだけで、「京」による大規模並列化によるパラメータ推定（事後分の計算）を行うアプリを完成させた。

完成させたアプリは github に公開した（https://github.com/hydrowh/PiMMH_for_K）。



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（丸山典宏）、および博士課程の学生 1 名（佐藤寛紀）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。一つはソーシャルネットワーキングサービスのユーザーアクティ

ビティを数年に渡って解析し、その進化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)の大規模なスケールでの計算を行い、そのサイズ効果や空間構造を解析することにより、ダイナミックに変化する群れの動的な性質を明らかにすることである。

1) 大規模ウェブデータの解析

ソーシャルネットワーキングサービス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、投稿された写真に付与されたタグ集団の進化という観点から、写真を個体、そして写真に付与されたタグセットを遺伝子と捉え、成長し続ける参加者数とタグのボキャブラリー、さらにサービスに固有に備わるカテゴリー構造が生み出す、投稿の遺伝的系統の発展を捉えるための手法を開発し、その特性を明らかにした。

具体的には、まず一週間単位でタグの組み合わせがタグの組み合わせを生み出す「世代」を定義し、連続する世代間に属する組み合わせの変異の近さに基づき親子関係を構築することで、タグの組み合わせが示す系統的な時間発展を構築し、その一部を視覚化した (図1)。さらに、巨大な系統樹全体から重要な系統的特性を抽出するために、特に、タグそのものの新規性ではなく、タグの組み合わせの新規性に基づいた解析を行い、断続平衡進化がここにも見られることを示した。

また、変異の大きさ (=世代間類似度の低さ) が示す分布に対して、Yule-Simon 過程に基づくタ

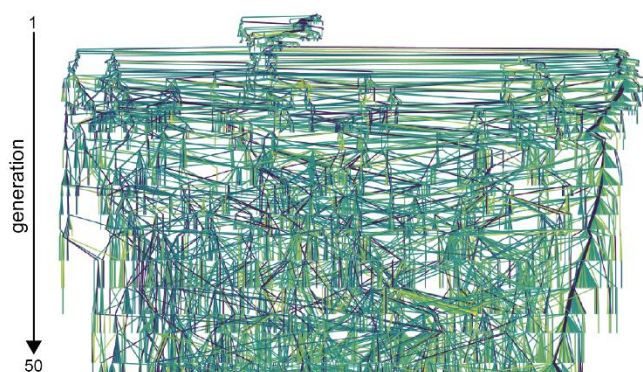


図1 タグの組み合わせの類似度を元に計算された写真の系統樹の一部。各ノードはタグの組み合わせを表し、エッジの色と幅は、親子間の類似度指数と組み合わせを共有する写真の数を表している。類似度の低い系統的ジャンプがいたるところに存在する。

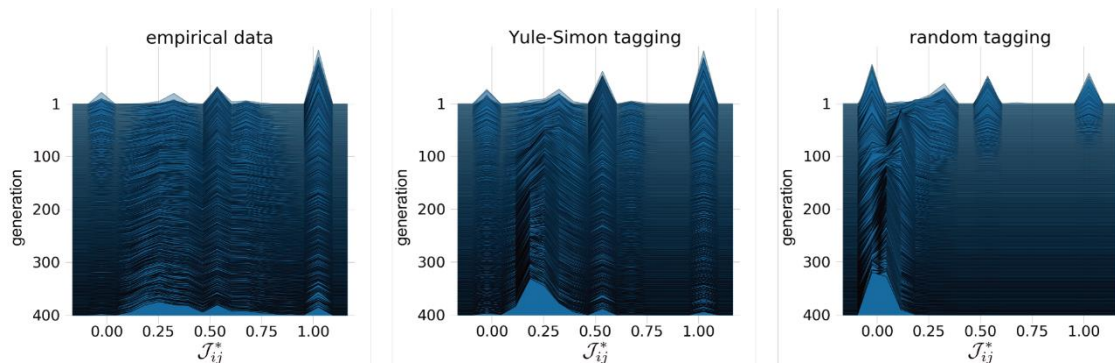


図2 データ（左）、優先的選択モデル（中）、ランダムモデル（右）における類似度指数の頻度分布の時間変化。横軸が類似度の値、縦軸が世代を表し、各世代における類似度の頻度分布を表している。

グ選択モデル、およびランダムなタグ選択モデルの2つの数理モデルとの比較、分析を行い、タグの揺らぎにモデルと現実データの違いを見ることができた（図2）。基本的な振る舞いとしては、ボキャブラリー、つまり状態空間の拡大に伴い、実データにおいても数理モデルにおいても、系統の発展に伴い世代間類似度は低下する。しかし、選好的な傾向を持つYule-Simon過程では、ランダムなケースと比較して類似度の相対的に高い系統が存在し、同様の傾向が実データにおいても観察された。しかし、実データは世代間類似度がより広い範囲に分布しており、優先的選択仮説とは異なる選好が同時に働いていることを示唆している。

2) 大規模スケールの群れモデル

これまで、Boidsモデルによる大規模な群れのシミュレーションソフトウェアの開発及びその最適化を行い、その結果の解析を行ってきた。これまでの研究で、個体数を一定以上に増やした場合に複数の大きな群れ同士を細長い個体の流れが繋ぎ、大規模なネットワーク構造を作り出すことがわかっており、今年度はこの振る舞いに関してより詳細な調査を進めた。具体的には、シミュレーションパラメータのサーチを行い、この様な大規模な構造の発生条件について調べた。特に、個々のエージェントが取りうる速度の上限と下限を変化させ、速度範囲の大きさを操作パラメータとすることで、群れの秩序パラメータ（局所的なVicsek秩序量）に関する相転移が見られることを発見した（図3）。また、この相転移点では群れの個数やその個体数といった量にも大きな変化が見られることも発見した。

さらに、この様なシステム全体の個体数を増やした場合に生ずる、異質な群れ同士が織り成す巨大な上位構造に関して調べ、これを社会性昆虫などが作るSuperorganismと呼ばれる大規模構造の抽象的モデルと考え議論を行なった。生物におけるSuperorganismは多数の個体群から形成され、まるで1つの個体の様に振る舞う上位の構造であり、ここでは同種の個体による役割分化が重要であると考えられる。Boidsモデルにおける質的に異なった群れの創発及びその相互作用による上位構造の生成がこれのモデルとして考えられる。

さらに、シミュレーションソフトウェアに関しても、更なる最適化を行うことで、1000万以上の個体からなる群れのシミュレーション実験を実施することに成功し、その空間構造の可視化までを

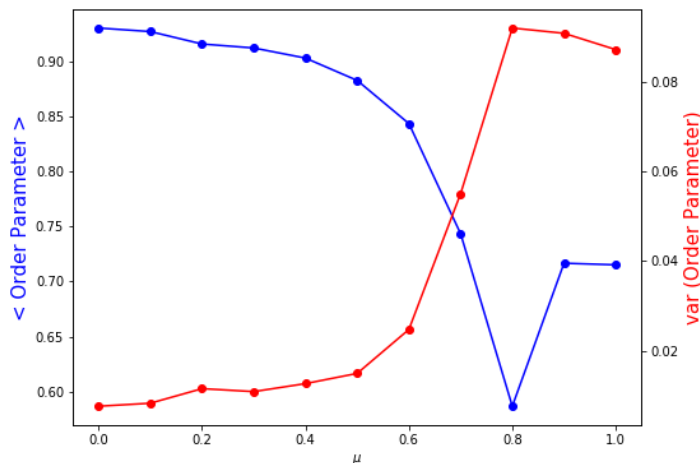


図3 個体の取りうる速度幅を表すパラメータ μ と局所的な秩序パラメータとの関係。秩序パラメータは位置によって異なる値を持ちうるため、その平均(青)と分散(赤)を示している。

行なった。

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）

最終年度の今年度には、(1)これまでに開発し公開した実行管理フレームワーク OACIS・CARAVAN の種々の社会シミュレーションでの活用を推進するとともに、(2)深層神経回路網をつかってシミュレーション結果を学習し分析する技術の開発をおこない、また昨年度に引き続き(3)社会的なエージェントモデルにおいてエージェント間の相互関係に基づいた協力行動の発生をゲーム理論に基礎づける研究を継続した。

(1) 実行管理フレームワーク OACIS・CARAVAN

実行管理フレームワークOACISは昨年度にユーザーインターフェースの改訂を行い、操作性が大幅に改良された。これを受けて本年度はこれまでのユーザーに対するこの新版OACISへのヴァージョンアップおよび操作講習を行い、これまで進められてきた活用の流れを引き続き円滑に進められたものと考えている。OACISの活用例としては、例えば本節4-2上の④-(1)に詳しく説明されているものが挙げられる。

CARAVANの活用を「京」からポスト「京」スーパーコンピュータ「富岳」に引き継ぐため、これまでのX10言語だけでなくC++言語を使ったバージョンの用意を進めた。これはX10言語が開発元の活動が終わり、サポートも終了してしまったことによる対応である。新たにC++版を作成することにより、これまでのバージョンの機能を引き継ぎつつ改善することも狙った。本研究終了後、令和2年4月に入り「富岳」の実機を使うことができる現在、C++版のリリースに向けた調整を進めている。「富岳」はCPUアーキテクチャ、OSから運用方法まで「京」とは異なるため、多岐にわたるすり合わせが必要となっている。CARAVANから外部プロセスを実行する際の障害などがあるが、「富岳」の本運用が始まるまでにはリリースできるよう、開発を継続している。

(2) 人工知能技術の活用・応用

本研究では、エージェントベースモデルによる社会シミュレーションモデルおよびアプリケーションの開発、リグレーションによるシミュレーション結果のモデル化、遺伝的アルゴリズムによる最適パラメータの探索など、いわゆる「人工知能技術」の活用を進めてきた。

人工知能技術は2010年代に深層神経回路網モデルが実用化して以来、種々の応用開発が爆発的に進んでいる。今年度はこうした深層神経回路網モデルの、社会現象に対するシミュレーション結果の分析への活用を試みた。神経回路網モデルによる人工知能は、学習データに基づいて高次元空間を超平面で切り分け、特徴的な空間領域へと細分化し、各領域でのふるまいを近似することを基本とする。昨年度までに本研究ですすめてきた、CARAVANを活用した神戸市の自動車交通シミュレーションの結果は、神戸市の道路セグメント数に相当する約33,000次元空間の点として表現される。種々のパラメータの下での個々のモンテカルロサンプリングの結果は、この高次元空間の形状として表現される。こうしたシミュレーション結果を深層神経回路網モデルに学習させることを試みた。

これまでのシミュレーション結果の多変量統計分析から、神戸市の交通シミュレーションには300余りの因子により説明できることが分かっている。すなわち33,000余りの次元の空間の中にあるシミュレーション結果は300次元程度の領域となっているわけである。とはいえ300次元でも相当に高い次元であり、シミュレーションの様子を人間が直感的に把握する、すなわち幾何学的な理解を持つことは困難であった。深層神経回路網モデルを活用してこの困難を乗り越えようというわけである。

道路網上の交通状態は、まったく渋滞のない完全にスムーズなレジーム（相）から全体が渋滞しているグリッドロック渋滞レジーム（相）まで、さまざまなレジームを示す。例えば、ある幹線道路が渋滞しているレジーム、ある地域が渋滞しているレジーム、といった具合である。

ひとつの交通レジームのなかでは、基本的には自動車の数と流量とは線形応答している（実際には自由走行している状態と渋滞状態との2状態が1つの流量に対応している）。このため交通レジームの特定と応答とを分類すれば、その道路網の交通が解明できることになるので、交通シミュレーションの示すレジームの解明が、交通問題を解決に導く鍵となろう。

自動車交通シミュレーションからはさまざまな量が得られるが、上述の道路セグメントの通過台数が神経回路網による学習に特に向いていると考えられる。というのも、各道路セグメントを通過できる自動車の数（流量）には上限があり、最大流量以上の自動車を通過させることはできない。道路上の自動車が増えて行くと、最大流量に達した後、渋滞し、最悪、全く動かなくなってしまう。このため交通レジームは、各道路セグメントの流量を軸にとったユークリッド空間の中で超平面で切られた凸領域をなしているのである（図1参照）。こうした領域の判定・学習こそが神経回路網の機能だからである。

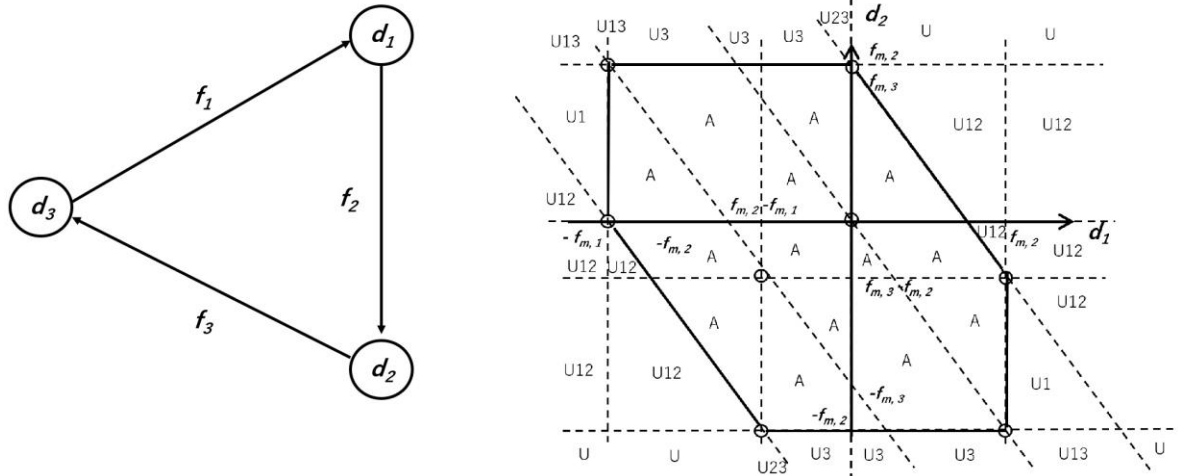


図1 左図のような簡単な道路網上の交通レジームを右図に示す。右図の黒線で囲われた六角形の領域の中はどの道路も通過できるレジームで、破線で囲まれた種々の領域は一部あるいは全部が通行できないレジームに相当する。

そこで図2に示すような基本的な自己符号化深層神経回路網モデルを使って、神戸市の交通シミュレーションの結果を学習させた。種々の交通量の下でのモンテカルロシミュレーションの結果約2,000のそれぞれを左端に入力したときの右端の出力がそれぞれの入力になるように結合の重みを調整した。その結果、図2の回路網は、図3に示すように、出力が入力と一致する直線を中心に分布しており、この回路網がシミュレーターのふるまいを学習したことがわかる。

この回路網の出力は、つまるところ中心の10ないし40のニューロンの活性により決まっている。すなわち、中心の数十のニューロンが約30,000次元でのふるまいを決めているのである。この数は先に紹介した多変量統計解析からの因子数約300に比べると小さいが、今回の学習データ約2,000セットと自己符号化深層神経回路網の構造とに由来すると考えられる制約から、これらの中心のニューロン数は300よりも小さい数十程度でしか抽出できなかったのであろう。いずれにせよ、これら数十のニューロンのふるまいを分析すれば、神戸市の交通シミュレーションのふるまいはある程度把握できるはずである。

数十次元でもまだ直感的な理解は難しいため、クラスター分析による分類を試みた。種々の入力を与えたときの中心の数十のニューロンの活性により決まる数十次元の点集合を、K平均法により分類した。その結果を3次元にプロットし、図4に示す。得られたクラスターは、交通量が極めて少ない場合、通常の場合、混雑し始めた場合、混雑が激しい場合に対応していることがシミュレーションパラメータから分かった。すなわち、交通状況という経験的に重要な要素をこの回路網は学習し、客観化しているわけである。

以上の結果から、今回試した深層神経回路網モデルは交通シミュレーションに対して知能的な理解を生み出すことに成功していると判断する。今後、自動車交通に限らず、歩行者・企業間取引・金融・証券のシミュレーションにも同様のモデルの応用が期待される。

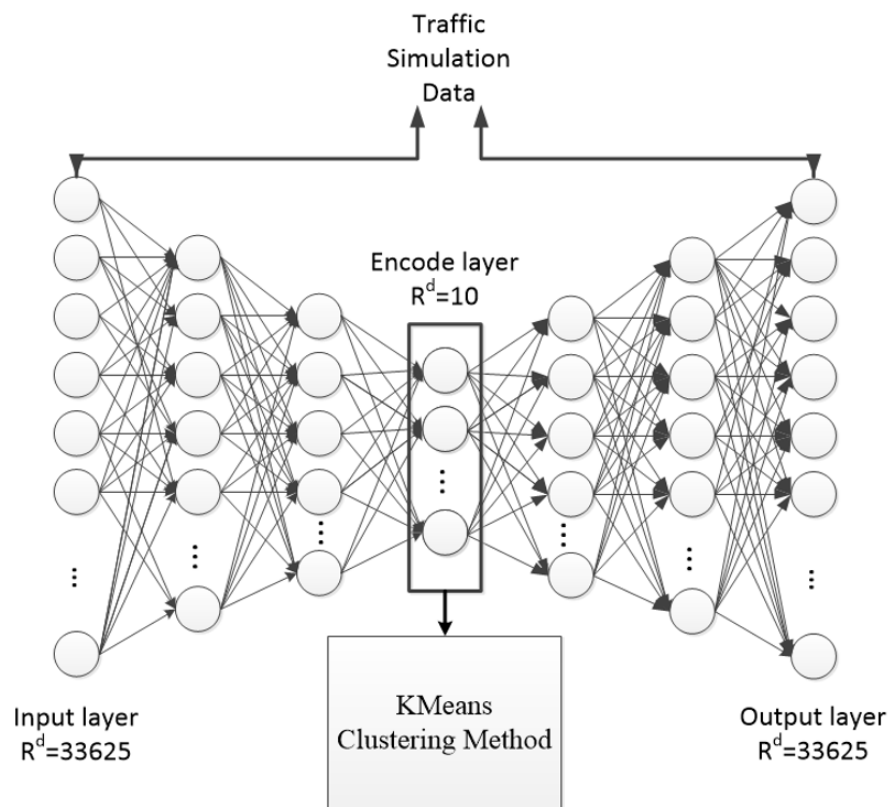


図2 交通シミュレーションのふるまいを学習する自己符号化深層神経回路網。左端に33,625個のニューロンがあり、右隣の段へと密結合している。段を進むごとにニューロン数は約1/4になり、これを5, 6回繰り返し、中心に四角で囲った40個あるいは10個のニューロンへと投射する。その後、各段ごとに約4倍のニューロンに密結合で投射し、右端の33,625個を出力する。

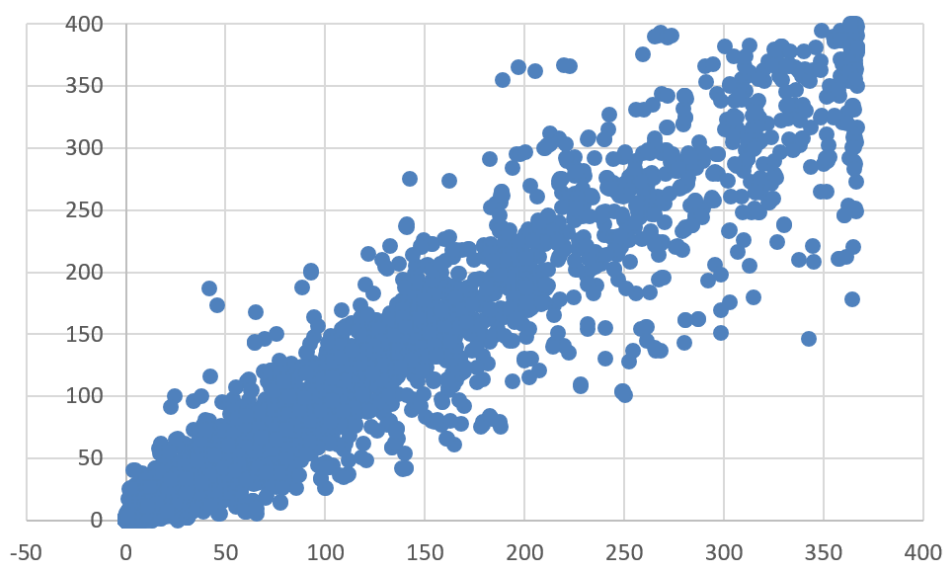


図3 入力データに対する図1の回路網の出力の1例。33,625の道路セグメントを通行した自動車の数を描いた。ある1つのシミュレーション結果に対し、横軸に各道路セグメントのシミュレーション結果を、縦軸に学習した回路網にそのシミュレーション結果を入力した時の出力を取った。

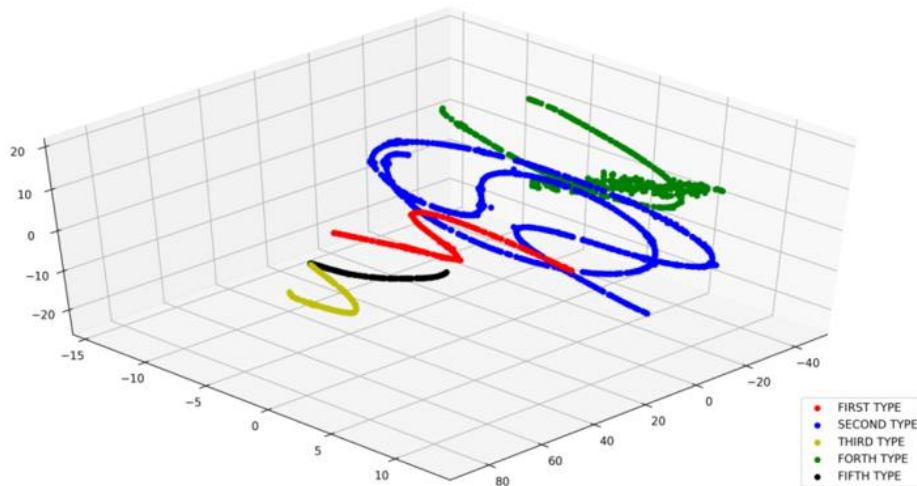


図4 中心ニューロンの活性をK平均法により分類した結果を3次元にプロットした。色の異なる集合(曲線)が異なるクラスターに属する。

(3) 協力行動のゲーム理論

昨年度までに、3人のプレーヤーによるくりかえし公共財ゲームで、3期前までの記憶があれば、全員が協力しあうことがナッシュ均衡であることを示し、実際の戦術を明らかにした。これは、約 5×10^{86} ある戦術のうち、見込のある約 10^{12} の戦術について「京」コンピュータを活用して探索し、発見したものである。人々の協力関係がどのような合理性に基づいて発生するのか、人々を協力関係に導くにはどのようにすればよいのかは社会科学に限らず、人類の最も基本的な課題といっても過言ではなかろう。この課題に対し、ゲーム理論からのアプローチでは、本研究以前には2人の場合について解明されていたにとどまっており、3人以上を協力に導く方法があるのかどうかに疑念が残っていたとも思われる。しかし、本研究の結果、3人が協力することがナッシュ均衡であり、のみならずどうすれば裏切りも生じうるなかで協力関係に至ることができるのかも明らかになった。これは個々人の関係から、企業間、ひいては国家間の関係まで、協力・共存・平和を構築する方法論への大きな一歩であると考えられる。

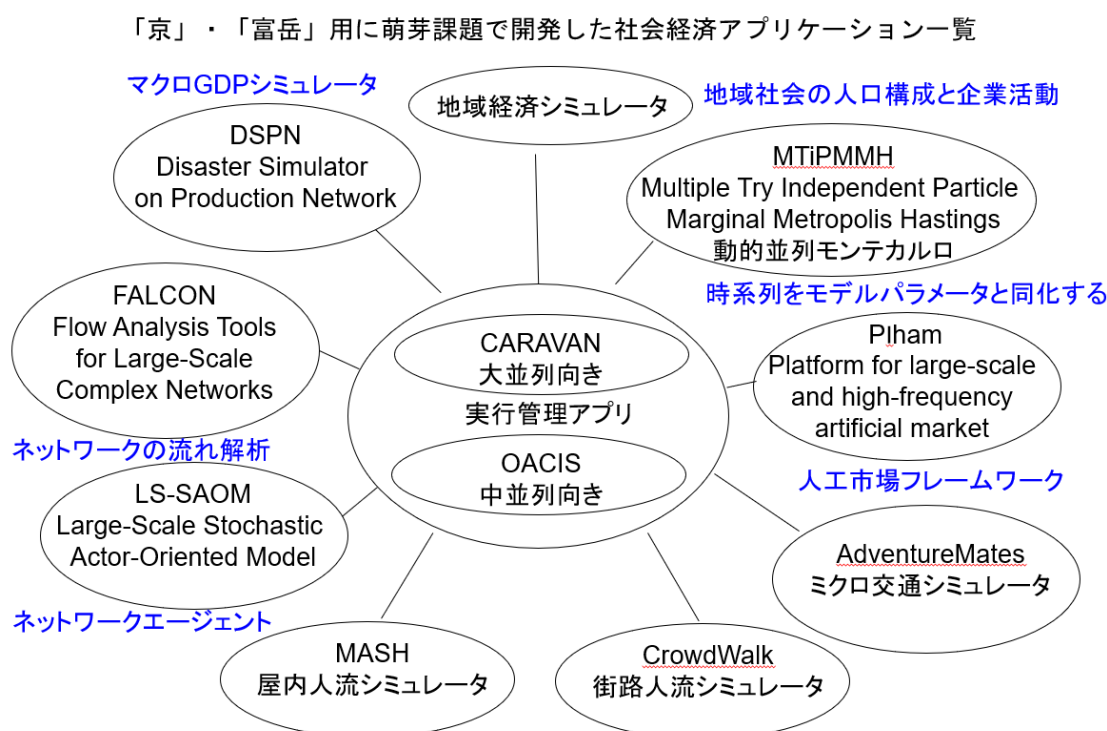
今年度はこの研究を続けるとともに、その成果の社会への展開も進めた。そして本成果を発見した村瀬洋介博士はNTTドコモ・モバイルサイエンス賞社会科学部門優秀賞ほかの受賞に輝いた。

本研究は、スーパーコンピュータが人類の発展・福祉に対し、シミュレーション以外でも中心的な役割を担い始めたことの好例と考えられる。すなわち科学技術分野を超えて、行政・政治・司法分野へもスーパーコンピュータが進出していることを象徴する成果と思われる。

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への応用を探った。

本プロジェクトで開発したポスト「京」スーパーコンピュータ「富岳」向きの社会経済アプリケーションは下図の通りである：



これらを「富岳」の下で活用することにより期待される喫緊の課題は、災害他の緊急事態の際の対策・復興策の探索およびリスクを社会シミュレーションにより評価することであろうと考えられた。災害・事故・疫病・戦争などの際の人的および経済活動上の対策およびその後の復興をシミュレートし、最適な方法を探るとともに、潜在的なリスク要因の評価を行い、社会制度・インフラ整備のすきまを埋めようとするものである。こうした研究でえられるであろう最適と考えられる対応法の社会実装を通して、現在進行中の少子高齢化・産業硬直化への社会的対応とも整合させる方法を探ることにより、「富岳」の処理能力をよりよい未来の招来につなげたい。

例えば、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震・今後発生が危惧されている南海トラフ地震を想定し、発生したあるいは発生すると予想される物理的事象に基づき、避難復興策を探索することが挙げられる。各事象で想定されるシナリオに基づいて、短期的な避難計画および緊急支援物資の輸送計画と中長期の経済復興計画と地域社会復興計画とを探索することである。より具体的には、以下のさぶ課題が挙げられる：

1. 避難計画については、人流シミュレータ Crowdwalk とマイクロ交通シミュレータ AdventureMates とを使い、徒歩および自動車・交通機関での避難計画を地域ごとに探索する。
2. 緊急支援物資の輸送計画では、マイクロ交通シミュレータ AdventureMates および交通シミュレータ SUMO に基づく広域交通シミュレータを使って日本全国スケールの広域輸送計画を探索する。
3. 経済復興計画では、マクロ GDP シミュレータ DSPN および広域交通シミュレータを使ってどの

企業および企業間取引を優先して復興するかを探索する。

4. 地域社会復興計画では、地域経済シミュレータを使って最適な復興支援策を探索する。

いずれの課題でも多目的最適化の探索には、遺伝的アルゴリズムによる NGSA-II 他 の活用を想定し、実行管理アプリケーションを介して複数のシミュレータを連携させて各計画の評価を行う。計算量は数百万ノード時間と見積もられ、実行管理も中規模向きの OACIS の下に大規模向きの CARAVAN を連携させ、対応することを想定している。

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、月例の運営委員会や技術検討会に加えて、令和2年1月24日には国際会議 25th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB25th 2020) and 5th International Symposium on BioComplexity (ISBC5) にて、セッションを1つ組織し、本プロジェクトの成果の一部を発表した。

4-3. 活動（研究会等）

サブ 課題 A	2019年7 月5日～7 日	Buenos Aires, Argentina (Liberatador Hotel)	国際会議『The Big Data in Economy, Science, and Technology (B.E.S.T.)』共催、 メンバー参加発表（国際会議 『StatPhys 27』のサテライト会 議）	国際会議の共催（主催：B EST Socieity）を行った。
	2019年10 月8日～9 日	経済産業研究所国 際セミナー室（経 済産業省別館）	国際ワークショップ『Dynamics in Finance and Economy on economic networks』共催、メン バー参加発表	国際会議の共催（主催： 経済産業研究所、共催： 理化学研究所数理創造プ ログラム）を行った。
	2020年1 月17日	京都大学百周年時 計台記念館	国際ワークショップ『Complex Systems in Finance and Economics』共催、メンバー参加 発表（国際会議『NetSCi-X』 のサテライト会議）	国際会議の共催（主催：B EST Socieity）を行った。
サブ 課題 B	（サブ課 題C欄に 該当する 記載があ る）			
サブ 課題	2019年4 月12日	東京大学本郷キャ ンパス	打ち合わせ	伊藤先生と議論
	2019年4 月22日	東京大学本郷キャ ンパス	打ち合わせ	伊藤先生と議論

C	2019年8月22日	東京大学本郷キャンパス	打ち合わせ	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
	2019年9月3日	東京大学本郷キャンパス	打ち合わせ	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
	2020年9月17日	東京大学本郷キャンパス	打ち合わせ	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
	2020年11月7日	東京大学本郷キャンパス	打ち合わせ	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
	2020年2月3日	東京大学本郷キャンパス	打ち合わせ	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
	2020年3月19日	東京大学本郷キャンパス	打ち合わせ	伊藤先生と議論
サブ課題D	2019年4月23日	産業技術総合研究所臨海副都心センター	グループ内打ち合わせ	人流・交通に関する連成シミュレーションに関する打ち合わせ
	2019年6月18日	湘南工科大学	グループ内打ち合わせ	人流・交通に関する連成シミュレーションに関する打ち合わせ
	2019年8月23日	立命館大学東京キャンパス	グループ内打ち合わせ	人流・交通に関する連成シミュレーションに関する打ち合わせ
	2019年10月10日	産業技術総合研究所臨海副都心センター	グループ内打ち合わせ	人流・交通に関する連成シミュレーションに関する打ち合わせ
	2019年12月5日	立命館大学草津キャンパス	グループ内打ち合わせ	人流・交通に関する連成シミュレーションに関する打ち合わせ
サブ課題E	2019年8月2日	東京大学駒場キャンパス	グループ内打ち合わせ	サブ課題Eの研究進展に関する打ち合わせ
	2020年	東京大学駒場キャンパス	グループ内打ち合わせ	サブ課題Eの研究進展に

	1月31日	ンパス		関する打ち合わせ
全体運営	2019年4月5日	理化学研究所東京連絡事務所	平成31年度第1回運営会議	
	2019年5月20日	神戸大学・経済経営研究所	令和元年度第2回運営会議	
	2019年7月24日	産業技術総合研究所・つくば中央本部	令和元年度第3回運営会議	
	2019年8月29日	理化学研究所計算科学研究センター	令和元年度第4回運営会議	
	2019年9月27日	理化学研究所東京連絡事務所	令和元年度第5回運営会議	
	2019年10月11日	理化学研究所計算科学研究センター	令和元年度第6回運営会議	
	2020年2月7日	理化学研究所計算科学研究センター	令和元年度第7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 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	研究グループ研究員 荒田 禎之
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	大学院総合生存学館教授 池田 裕一

	国立大学法人新潟大学	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 国立大学法人京都大学 国立大学法人新潟大学	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 大学院総合生存学館教授 池田 裕一 自然科学系教授 家富 洋
①-4 マクロ経済現象の検証と応用	学校法人日本大学 立正大学 独立行政法人経済産業研究所	理工学部准教授 相馬 亘 経済学部教授 吉川 洋 研究グループ研究員 荒田 禎之
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	学校法人湘南工科大学	工学部教授 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 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）」（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
Regime diagram of a traffic simulation model (口頭)	Nobu yasu Ito	25th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB25th 2020) and 5th International Symposium on BioComplexity (ISBC5)	2020	国内
Application of deep neural network to traffic simulation (口頭)	Luning Zhang, Naoki	25th International Symposium on Artificial	2020	国内

	Yosh ioka , Daig o Umem oto and Nobu yasu Ito,	Life and Robotics (AR OB25th 2020) and 5th Internation al Symposium on BioComplexi ty (ISBC5)		
Phase diagram of a traffic simulation model (口頭)	Nobu yasu Ito	33rd Workshop "Recent Developme nts in Computer Simulatio n Studies in Condensed Matter Physics" (The Universit y of Georgia, Athens, U. ~S. ~A., February 17-21, 2019)	202 0	国外
Social simulation with the Fugaku (口 頭)	Nobu yasu Ito	The 5th workshop on self- organizatio n and	201 9	国内

		robustness of evolving many-body systems (2019年12月13・14日、神戸)		
Social simulations and supercomputer (口頭)	Nobuyasu Ito	The big data on economy, science and technology Society Conference 2019 (July 5 - 7, 2019, Buenos Aires, Argentina)	2019	国外
社会シミュレーションとスーパーコンピュータ (口頭)	伊藤伸泰	神戸大学経済経営研究所創立100周年記念講演 (2019年10月13日、神戸)	2019	国内
全体と個の調和を目指す予測科学 (口頭)	伊藤伸泰	第6回未来戦略室フォーラム「ビヨンド・ヒューマン～機械が人間を超える」自律的に知識を発見するロボットでノーベル賞級の発見	2019	国内

		を目指す (2019年5月24日、東京日本橋)		
Sampling Networks by Nodal Attributes (口頭)	Yohsuke Mura-se	NetSci 2019	2019	国内
Computational Ethics for the Tragedy of the Commons (口頭)	Yohsuke Mura-se	FSP2019: Frontiers of Statistical Physics (Tokyo, Japan, Jun. 7-8, 2019)	2019	国内
ノード属性によるネットワーク抽出 (口頭)	村瀬 洋介	ネットワーク科学セミナー2019	2019	国内
Successful strategies in the Tragedy of the Commons (口頭)	Yohsuke Mura-se	Conference on Complex Systems 2019	2019	国内
Conservation of population size is required for self-organized criticality in evolution models (口頭)	Yohsuke Mura-se	Roles of Heterogeneity in Non-equilibrium collective dynamics (RHINO 2019)	2019	国外
Computational Ethics for the Tragedy of the Commons (口頭)	Yohsuke Mura-se	Self-Organization and Complexity in Social	2019	国内

		System (Satellite Session of CCS2019)		
A large-scale search for successful strategies for social dilemma using the K- computer”	Yohs uke Mura se	The 5th Workshop on Self- Organizatio n and Robustness of Evolving Many-Body Systems	201 9	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
Structural transition in social networks: The role of homophily	Yohsuke Murase, Hang-Hyun Jo, János Török, János Kertész, Kimmo Kaski	Scientific Reports, 9, 4310 (2019)	2019	国外
Multiplex Modeling of the Society	János Kertész, János Török, Yohsuke Murase, Hang-Hyun Jo, Kimmo Kaski	A book chapter in “Multiplex and Multilevel Networks” edited by S. Battiston, G. Caldarelli, and A. Garas	2019	国外
Sampling networks by nodal attributes	Yohsuke Murase, Hang-Hyun Jo, János Török, János Kertész, Kimmo Kaski	Physical Review E, 99, 052304 (2019)	2019	国外

CARAVAN: a framework for comprehensive simulations on massive parallel machines	Yohsuke Murase, Hiroyasu Matsushima, Itsuki Noda, Tomio Kamada	In: Lin D., Ishida T., Zambonelli F., Noda I. (eds) Massively Multi-Agent Systems II. MMAS 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol 11422. Springer, Cham (2019)	2019	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
The emergence of properties of the Japanese production network: How do listed firms choose their partners?	Hazem Krichene, Yoshi Fujiwara, Abhijit Chakraborty, Yoshiyuki Arata, Hiroyasu Inoue, Masaaki Terai	Social Networks Volume 59, October 2019, Pages 1-9	2019 年 10 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 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
Production and financial networks at nationwide scale in Japan: Models, simulations and applications (口頭)	Yoshi Fujiwara	4th Workshop on Statistical Physics for Financial Economic Networks (SPFEN) NetSci2019 Satellite, Vermont	2019年5月	国外
How firms choose their partners in the communities of the production network (口頭)	Hazem Krichene	International Symposium on Statistics and Econometrics CISEM 2019, Mahdia Tunisia	2019年5月	国外
Self-Exciting Point Process Modeling of Bankruptcies (口頭)	Yoshi Fujiwara	The Big Data in Economy, Science, and Technology (B. E. S. T.) Conference 2019 (A StatPhys 27 satellite), Buenos Aires	2019年7月	国外
Disaster and Countermeasure: Simulation on Nation-Wide Supply Chain Data (口頭)	Hiroyasu Inoue	RIETI Workshop, "Dynamics in Finance and Economy on Economic Networks, Tokyo	2019年10月	国内
Disaster and Countermeasure:	Hiroyasu Inoue	RIETI Workshop, "Dynamics in	2019年10月	国内

Simulation on Nation-Wide Supply Chain Data(口頭)		Finance and Economy on Economic Networks, Tokyo		
Hodge decomposition of Bitcoin money flow among big players(口頭)	Yoshi Fujiwara	The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications, Lisbon	2019年12月	国外
Economic complexity of prefectures in Japan(ポスター)	Abhijit Chakraborty, Hiroyasu Inoue, Yoshi Fujiwara	The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications, Lisbon	2019年12月	国外
Bow-tie Structure and Community Identification of Global Supply Chain Network(ポスター)	Abhijit Chakraborty, Yuichi Ikeda	The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications, Lisbon	2019年12月	国外
Disaster and Countermeasure: Simulation on Nation-Wide Supply Chain Data(口頭)	Hiroyasu Inoue	The B. E. S. T. Workshop and a Satellite Meeting to the NetSci-X 2020, Complex Systems in Finance and Economy, Kyoto	2020年1月	国内
Production and financial networks at nationwide scale in Japan: Models,	Yoshi Fujiwara	4th Workshop on Statistical Physics for Financial Economic	2019年5月	国外

simulations and applications(口頭)		Networks (SPFEN) NetSci2019 Satellite, Vermont		
How firms choose their partners in the communities of the production network (口頭)	Hazem Krichene	International Symposium on Statistics and Econometrics CISEM 2019, Mahdia Tunisia	2019年5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
A model of the indirect losses from negative shocks in production and finance	Hazem Krichene, Hiroyasu Inoue, Takashi Isogai, Abhijit Chakraborty	SSRN	2019年4月	国外
Firm-level propagation of shocks through supply-chain networks	Hiroyasu Inoue, Yasuyuki Todo	Nature Sustainability, Vol. 2, pp.841-847	2019年8月	国外
Identification of key companies for international profit shifting in the Global Ownership Network	Tembo Nakamoto, Abhijit Chakraborty, Yuichi Ikeda	Applied Network Science, 4, 58, 1-26, 2019	2019年8月	国外
The emergence of properties of the Japanese production network: How do	Hazem Krichene, Yoshi Fujiwara,	Social Networks, Volume 59, pp. 1-9.	2019年10月	国外

listed firms choose their partners?	Abhijit Chakraborty, Yoshiyuki Arata, Hiroyasu Inoue, Masaaki Terai			
Community structure based on circular flow in a large-scale transaction network	Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Takashi Iino, Hiroyasu Inoue	Applied Network Science, 4(92)	2019年10月	国外
A model of the indirect losses from negative shocks in production and finance	Hazem Krichene, Hiroyasu Inoue, Takashi Isogai, Abhijit Chakraborty	SSRN	2019年4月	国外
Firm-level propagation of shocks through supply-chain networks	Hiroyasu Inoue, Yasuyuki Todo	Nature Sustainability, Vol. 2, pp. 841-847	2019年8月	国外
Identification of key companies for international profit shifting in the Global Ownership Network	Tembo Nakamoto, Abhijit Chakraborty, Yuichi Ikeda	Applied Network Science, 4, 58, 1-26, 2019	2019年8月	国外

The emergence of properties of the Japanese production network: How do listed firms choose their partners?	Hazem Krichene, Yoshi Fujiwara, Abhijit Chakraborty, Yoshiyuki Arata, Hiroyasu Inoue, Masaaki Terai	Social Networks, Volume 59, pp. 1-9.	2019年10月	国外
Community structure based on circular flow in a large-scale transaction network	Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Takashi Iino, Hiroyasu Inoue	Applied Network Science, 4(92)	2019年10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、①-1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
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
The emergence of properties of the Japanese production network: How do listed firms choose their partners?	Hazem Krichene, Yoshi Fujiwara, Abhijit Chakraborty, Yoshiyuki Arata, Hiroyasu Inoue, Masaaki Terai	Social Networks, Volume 59, pp. 1-9.	2019年10月	国外
The role of the granular hypothesis in the variance and tail probability of aggregate output	荒田禎之	RIETI Discussion Paper	2020年3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
Synchronizing economic networks (口頭)	青山秀明	4th Workshop on Statistical Physics for Financial Economic Networks (SPFEN) NetSci-X 2019 Satellite, Vermont	2019年5月	国外
Interbank Network Reconstruction based on Entropy Maximization Considering Sparse Linkage (口頭)	Yuichi Ikeda	4th Workshop on Statistical Physics for Financial Economic Networks (SPFEN) NetSci-X 2019 Satellite, Vermont	2019年5月	国外
Synchronization of Global Business Cycle with Reconstructed Quarterly Value-Added Time Series (口頭)	Yuichi Ikeda	24th Annual Workshop on Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents (WEHIA2019), London	2019年6月	国外

Synchronizing economic networks (口頭)	青山秀明	The Big Data in Economy, Science, and Technology (B. E. S. T.) Conference 2019 (A StatPhys 27 satellite), Buenos Aires	2019年7月	国外
リンクのスパース性を考慮した銀行間ネットワークの再構成 (口頭)	池田裕一	日本物理学会2019年秋季大会, 岐阜大学, 岐阜	2019年9月	国内
Network structure of traditional craft industry in Kyoto (ポスター)	Daisuke Sato, Yuichi Ikeda, Shuichi Kawai, Maximilian Schich	The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications, Lisbon	2019年12月	国外
Bow-tie structure and community identification of global supply chain network (ポスター)	Abhijit Chakraborty, Yuichi Ikeda	The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications, Lisbon	2019年12月	国外
Who Possesses Whom from a Point of View of the Global Ownership Network (ポスター)	Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Yuichi Ikeda, Takayuki Mizuno	The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications, Lisbon	2019年12月	国外

How the value flows through international trade (ポスター)	Sotaro Sada, Yuichi Ikeda	NetSci-X 2020, Tokyo	2020年1月	国内
Dual Labor Market and the Wage (口頭)	青山秀明	The B. E. S. T. Workshop and a Satellite Meeting to the NetSci-X 2020, Complex Systems in Finance and Economy, Kyoto	2020年1月	国内
Synchronizing economic networks (口頭)	青山秀明	4th Workshop on Statistical Physics for Financial Economic Networks (SPFEN) NetSci-X 2019 Satellite, Vermont	2019年5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
Identification of Key Companies for International Profit Shifting in the Global Ownership Network	Tembo Nakamoto, Abhijit Chakraborty, Yuichi Ikeda	Applied Network Science, 4, 58, 1-26, 2019	2019年8月	国外
Power grid with 100% renewable energy for small island developing states	Yuichi Ikeda	Evolutionary and Institutional Economics Review, 17, 1, 183-195, 2020	2020年1月	国外

Location-sector analysis of international profit shifting on a multilayer ownership-tax network	Tembo Nakamoto, Odile Rouhban, Yuichi Ikeda	Evolutionary and Institutional Economics Review, 17, 1, 219-241, 2020	2020年1月	国外
Interindustry linkages of prices -- Analysis of Japan's deflation	Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Hideaki Aoyama, Yoshi Fujiwara, and Hiroshi Yoshikawa	PloS ONE 15(2): 2020, DOI: 10.137/journal.pone.0228026	2020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
経済・社会現象を読み解くネットワーク科学（口頭）	家富 洋	KOBE HPC サマースクール（初級）， 理化学研究所 計算科学研究センター，神戸	2019年8月	国内
究極的株式所有構造に基づく企業価値の測定（口頭）	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2019年秋季大会，岐阜大学，岐阜	2019年9月	国内
多層ネットワークとしての企業間取引関係の時間発展（口頭）	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2019年秋季大会，岐阜大学，岐阜	2019年9月	国内
グローバル株所有ネットワークの構造と富の分布（口頭）	吉川悠一， 家富洋，池田裕一，水野貴之	日本物理学会2019年秋季大会，岐阜大学，岐阜	2019年9月	国内
ランダム有向ネットワークのHelmholtz-Hodge Decomposition（ポスター）	星智晴，吉川悠一，家富洋	日本物理学会2019年秋季大会，岐阜大学，岐阜	2019年9月	国内
大規模複雑有向ネットワークにおける流れ構造分析ツール(FALCON)の開発（ポスター）	吉川悠一， 飯野隆史， 家富洋，藤田裕二，相	日本物理学会2019年秋季大会，岐阜大学，岐阜	2019年9月	国内

	馬亘，藤原 義久			
究極的株式所有構造に 基づく企業価値の測定 (口頭)	加藤未来， 佐藤仁美， 吉川悠一， 家富洋，相 馬亘，渡辺 努	明治大学MIMS共同 研究集会「Data- driven Mathematical Sciences:経済物理 学とその周辺」，明 治大学中野キャン パス，東京	2019年9月	国内
多層ネットワークと しての企業間取引関係 の時間発展 (口頭)	佐藤仁美， 加藤未来， 吉川悠一， 家富洋，久 野遼平，渡 辺努	明治大学MIMS共同 研究集会「Data- driven Mathematical Sciences:経済物理 学とその周辺」，明 治大学中野キャン パス，東京	2019年9月	国内
ランダム有向ネットワ ークのHelmholtz-Hodge (口頭) 分解	星智晴，吉 川悠一，家 富洋	明治大学MIMS共同 研究集会「Data- driven Mathematical Sciences:経済物理 学とその周辺」，明 治大学中野キャン パス，東京	2019年9月	国内
経済・社会ネットワー クのHelmholtz-Hodge分 解：階層性と循環性 (口頭)	家富 洋	京都大学数理解析 研究所共同研究 「マクロ経済動学 の非線形数理」研 究会，京都大学， 京都	2019年10月	国内
Who Possesses Whom from a Point of View of the Global Ownership Network (ポ スター)	Yuichi Kichikawa， Hiroshi Iyetomi， Yuichi	The 8th International Conference on Complex Networks and their	2019年12月	国外

	Ikeda and Takayuki Mizuno Mizuno	Applications, Lisbon		
Measurement of Value of Firms Based on Their Stock Ownership Relations (ポスター)	Haruka Kato, Hitomi Sato, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Wataru Souma, and Tsutomu Watanabe	The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications, Lisbon	2019年12月	国外
Analysis of Temporal Change of Japanese Interfirm Transaction Relations as a Multilayer Network (ポスター)	Hitomi Sato, Haruka Kato, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Ryohei Hisano, and Tsutomu Watanabe	The 8th International The 8th International Conference on Complex Networks and their Applications, Lisbon	2019年12月	国外
世界規模での株所有構 造のネットワーク解析 (口頭)	家富 洋	明治大学MIMS共同 研究集会「Data- driven Mathematical sciences:経済物理 学とその周辺」 2019年度第2回研究 会, 明治大学中野 キャンパス, 東京	2020年1月	国内

Hierarchy and Circularity in Complex Socioeconomic Networks (口頭)	Hiroshi Iyetomi	The B.E.S.T. Workshop and a Satellite Meeting to the NetSci-X 2020, Complex Systems in Finance and Economy, Kyoto	2020年1月	国内
Complex Interdependencies between Geopolitical Risk, Economic Policy Uncertainty, and Financial Market (口頭)	Carolina M. Roma, Hiromitsu Goto, Hiroshi Iyetomi, and Wataru Souma	The B.E.S.T. Workshop and a Satellite Meeting to the NetSci-X 2020, Complex Systems in Finance and Economy, Kyoto	2020年1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
Local bow-tie structure of the web	Yuji Fujita, Yuichi Kichikawa, Yoshi Fujiwara, Wataru Souma, Hiroshi Iyetomi	Appl Netw Sci 4, 15 (2019). https://doi.org/10.1007/s41109-019-0127-2	2019年4月	国外
Community structure based on circular flow in a large-scale transaction network	Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Takashi Iino,	Appl Netw Sci 4, 92 (2019). https://doi.org/10.1007/s41109-019-0202-8	2019年10月	国外

	Hiroyasu Inoue			
Analysis of Temporal Change of Japanese Interfirm Transaction Relations as a MultilayerNetwork	Hitomi Sato, Haruka Kato, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Ryohei Hisano and Tsutomu Watanabe	Abstracts of the 8th Int'l Workshop on Complex Networks and their Applications (Lisbon, Portugal, 2019), pp. 247-249	2019年12月	国外
Measurement of Value of Firms Based on Their Stock Ownership Relations	Haruka Kato, Hitomi Sato, Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Wataru Soma and Tsutomu Watanabe	Abstracts of the 8th Int'l Workshop on Complex Networks and their Applications (Lisbon, Portugal, 2019), pp. 450-452	2019年12月	国外
Who Possesses Whom from a Point of View of the Global Ownership Network	Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Yuichi Ikeda and Takayuki Mizuno Mizuno	Abstracts of the 8th Int'l Workshop on Complex Networks and their Applications (Lisbon, Portugal, 2019), pp. 459-461	2019年12月	国外

Interindustry linkages of prices-- -Analysis of Japan's deflation	Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Hideaki Aoyama, Yoshi Fujiwara, Hiroshi Yoshikawa	PLOS ONE 15(2): e0228026. https://doi.org/ 10.1371/journal. pone.0228026	2020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、①-3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
Fruitful Location in the Walnut Structure of Japanese Production Networks (ポスター)	Hiromitsu Goto, Wataru Souma, Yuji Fujita	4th Workshop on Statistical Physics for Financial Economic Networks (SPFEN) NetSci-X 2019 Satellite, Vermont	2019年5月	国外
Study on Evolutions of the Walnut Structure in Japanese Production Network (口頭)	Hiromitsu Goto, Yuji Fujita, Wataru Souma	4th Workshop on Statistical Physics for Financial Economic Networks (SPFEN) NetSci-X 2019 Satellite, Vermont	2019年5月	国外
Longitudinal Study on the Walnut Structure in Japanese Production Network (口頭)	Hiromitsu Goto, Yuji Fujita, Wataru Souma	24th Annual Workshop on Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents (WEHIA2019), London	2019年6月	国外
Study of Early Warning Indicators of Financial Crisis (口頭)	Wataru Souma, Irena Vodenska,	24th Annual Workshop on Economic Science with	2019年6月	国外

	Hideaki Aoyama	Heterogeneous Interacting Agents (WEHIA2019), London		
Study on the structure and evolution in Japanese production network (口頭)	Hiromitsu Goto, Yuji Fujita, Wataru Souma	The Big Data in Economy, Science, and Technology (B. E. S. T.) Conference 2019 (A StatPhys 27 satellite), Buenos Aires	2019年7月	国外
News sentiment based on stock price and deep learning (口頭)	Wataru Souma, Irena Vodenska, Hideaki Aoyama	The Big Data in Economy, Science, and Technology (B. E. S. T.) Conference 2019 (A StatPhys 27 satellite), Buenos Aires	2019年7月	国外
Study on Evolutions of Walnut structure in Japanese production network (口頭)	Hiromitsu Goto, Yuji Fujita, Wataru Souma	The Big Data in Economy, Science, and Technology (B. E. S. T.) Conference 2019 (A StatPhys 27 satellite), Buenos Aires	2019年7月	国外
News sentiment analysis in the US and Japan using deep learning methods (口 頭)	Wataru Souma, Irena Vodenska, Hideaki Aoyama	The Big Data in Economy, Science, and Technology (B. E. S. T.) Conference 2019 (A StatPhys 27 satellite), Buenos Aires	2019年7月	国外

The structure and evolution of the Japanese production network (ポスター)	Hiromitsu Goto, Yuji Fujita, Wataru Souma	Conference on Complex Systems 2019, Singapore	2019年10月	国外
News sentiment analysis in the US and Japan using deep learning methods (ポスター)	Wataru Souma, Irena Vodenska, Hideaki Aoyama	Conference on Complex Systems 2019, Singapore	2019年10月	国外
The structure and evolution of Japanese production network (口頭)	Hiromitsu Goto, Yuji Fujita, Wataru Souma	RIETI Workshop: Dynamics in Finance and Economy on economic networks, Research Institute of Economy, Trade and Industry (RIETI)	2019年10月	国内
The structure and evolution of Japanese production network (口頭)	Wataru Souma, Irena Vodenska, Hideaki Aoyama	RIETI Workshop: Dynamics in Finance and Economy on economic networks, Research Institute of Economy, Trade and Industry (RIETI)	2019年10月	国内
Complex Interdependencies between Geopolitical Risk, Economic Policy Uncertainty, and	Carolina Magda Roma, Hiromitsu Goto, Hiroshi Iyetomi,	The B. E. S. T. Workshop and a Satellite Meeting to the NetSci-X 2020, Complex Systems in	2020年1月	国内

Financial Market (口頭)	Wataru Souma	Finance and Economy, Kyoto		
Hierarchal Flow and Stable Structure in Japanese Production Network (口頭)	Hiromitsu Goto, Yuji Fujita, Wataru Souma	NetSci-X Special Workshop, Economic & Financial Networks, Tokyo	2020年1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）」（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
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
Interindustry linkages of prices--Analysis of Japan's deflation	Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Hideaki Aoyama, Yoshi Fujiwara, Hiroshi Yoshikawa	PLOS ONE 15(2): e0228026. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228026	2020年2月	国外
Interindustry linkages of prices - Analysis of Japan's deflation	Yuichi Kichikawa, Hiroshi Iyetomi, Hideaki Aoyama, Yoshi Fujiwara, and Hiroshi Yoshikawa	PLOS ONE 15(2): 2020, DOI: 10.1371/journal.pone.0228026	2020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）」（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
Evolution of Business Firms towards a Stable Scaling Function in a 3-D Phase Space（ポスター発表）	Yuichiro Kobayashi	Statistical Physics of Complex Systems, Stockholm, Sweden	2019. 5. 7	国外
日本企業の規模変数間スケーリング則の時系列業績データに基づく再現モデル構築（口頭発表）	小林祐一朗, 高安秀樹, 高安美佐子	日本物理学会 2019年秋季大会, 岐阜大学	2019. 9. 10	国内
企業間取引ネットワークにおけるショックとレジリエンスのシミュレーション（口頭発表）	尾崎順一, 高安秀樹, 高安美佐子	日本物理学会 2019年秋季大会, 岐阜大学	2019. 9. 10	国内
社会のビッグデータから見えること（口頭発表）	高安美佐子	東京工業大学総務部広報・社会連携課基金室主催 懇談会, 蔵前会館2階 大会議室（東京）	2019. 10. 10	国内
ビッグデータから見える社会の現象（口頭発表）	高安美佐子	第11回 一橋大学・東京工業大学合同移動講座 in 名古屋, 名古屋	2019. 12. 8	国内

		屋マリオットア ソシアホテル (名古屋)		
Big-Data Analysis and Modeling from Econophysics view (口頭発表)	高安美佐子	Huawei交流会, Huawei 横浜研究 所(横浜)	2019. 12. 10	国外
Modeling of the business transaction network in Japan and its practical applications (口頭 発表)	高安美佐子	NetSci-X 2020, 早稲田大学国際 会議場 井深大記 念ホール(東京)	2020. 1. 20	国外
Advanced Data Analysis and Modeling Unit (口 頭発表)	高安美佐子	第1回 東京工業 大学 国際オープ ンイノベーション シンポジウム 2020, 東京国際 フォーラム(東京)	2020. 2. 10	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
Time evolution of companies towards a stable scaling curve obtained from flow diagrams in three- dimensional phase space	Yuh Kobayashi, Hideki Takayasu, Shlomo Havlin, Misako Takayasu	New Journal of Physics , 21, 043038 (17 pages) (2019)	2019.4	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
Short-term Stock Price Prediction by Analysis of Order Pattern Images	Atsuki Nakayama, Kiyoshi Izumi, Hiroki Sakaji, Hiroyasu Matsushima, Takashi Shimada and Kenta Yamada	IEEE CIFEr 2019: 2019 IEEE Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering and Economics	May 4-5, 2019	国外
東京証券取引所における高頻度マーケットメイク戦略の注文行動分析（口頭）	平野 正徳、和泉 潔、松島 裕康、坂地 泰紀、島田 尚	2019年度人工知能学会全国大会	2019年6月5日	国内
銀行間と企業間の多層ネットワーク・シミュレーションによる連鎖破綻の解析（口頭）	濱脇 諒、尾崎 順一、和泉 潔、島田 尚、松島 裕康、坂地 泰紀	2019年度人工知能学会全国大会	2019年6月5日	国内
インデックス投資が証券市場の価格形成に与える影響の分析（口頭）	松浦 出、和泉 潔、坂地 泰紀、松島 裕康、島田 尚	2019年度人工知能学会全国大会	2019年6月5日	国内
Comparison of Behaviors of Actual and Simulated HFT Traders for	Masanori Hirano, Kiyoshi Izumi, Hiroyasu Matshushima and Hiroki Sakaji	the 22nd International Conference on Principles and Practice of Multi-	October 28th-31st, 2019	国外

Agent Design (口頭)		Agent Systems (PRIMA 2019)		
Chain Bankruptcy Simulation Considering Investment Banks to Companies (口頭)	Ryo Hamawaki, Jun'ichi Ozaki, Izumi Kiyoshi, Takashi Shimada, Hiroki Sakaji, Hiroyasu Matsushima	2019 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2019),	06-09 October 2019	国外
Analysis of Investment Effect using MultiplexNetwork Simulation of Banks and Firms (口頭)	Ryo Hamawaki, Junichi Ozaki, Kiyoshi Izumi, Takashi Shimada, Hiroyasu Matsushima and Hiroki Sakaji,	5th International Conference on Computational Social Science (IC2S2)	July 18 2019	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
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）」（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
Self-adjusting task granularity for Global load balancer library on clusters of many-core processors（口 頭）	Patrick Finnerty, Tomio Kamada, Chikara Ohta	the Eleventh International Workshop on Programming Models and Applications for Multicores and Manycores (PMAM' 20) (doi: 10.1145/3380536.3380539)	2020年2 月22日	国外
任意範囲のインデッ クスを持つ部分配列 から構成される再配 置可能分散集合とそ の実装	鎌田 十三 郎, 高橋 俊行	情報処理学会第125回プロ グラミング研究会 (PRO- 2019-2, SWoPP2019)	2019年7 月26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
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）」（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
“Coupling of Heterogenous Multi-agent Social Simulations on ABCI”（口頭）	Itsuki Noda, Hideki Fujii	International Symposium on Artificial Life and Robotics	2020/1/24	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
Multi-agent Social Simulation for Social Service Design	Itsuki Noda	Massively Multi-Agent Systems II	2019. 6. 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
障害物の設置が退出性状に及ぼす影響評価、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2019 (JAWS2019)	2019/09/09	国内
IoTデバイス群の完全性が浸水時避難行動に与える影響についての一考察	廣川雄一、 西川憲明、 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2019 (JAWS2019)	2019/09/10	国内
群衆流動マルチエージェントシミュレーションのための並列処理実装手法の検討、口頭発表	浅野俊幸、 廣川雄一、 西川憲明	第18回情報科学 技術フォーラム FIT2019	2019/09/04	国内
火災避難シミュレーションを用いた通信式火災報知器の有効性の検討、口頭発表	浅野俊幸、 廣川雄一、 西川憲明	マルチメディア、分散、協調 とモバイル DICO2019シン ポジウム	2019/07/05	国内
障害物の設置が退出性状に及ぼす影響についての考察、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2019 (SSI2019)	2019/11/1	国内

室内空間の幾何構造の違いが退出性に与える影響について、口頭発表	西川憲明、 廣川雄一、 浅野俊幸	計測自動制御学会 第22回社会システム部会研究会	2020/03/17	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
The large-scale parallelization of model on the K computer for the heterogeneous multi-processor unit	Yuichi Hirokawa、 Masaaki Terai、Te Matsuzawa、Noriaki Nishikawa、 Toshiyuki Asano	Artificial Life and 25、 2020	2020/02	国外
群集動力学の連結階層シミュレーション	西川憲明、廣川雄一、 俊幸	情報処理学会論文誌、 No. 10	2019/10	国内
浸水シミュレーションによる浸水徒歩避難の検討	廣川雄一、西川憲明、 俊幸、その他2名	情報処理学会論文誌、 No. 10	2019/10	国内

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
Large-scale Traffic Simulation with Parallelized Multi-agent Simulator（口頭発表）	H. Fujii, S. Yoshimura	Asian Pacific Congress on Computational Mechanics 2019	2019/12	国外
Origin-Destination Estimation for Microscopic Traffic Simulation Considering Traffic Capacity at Intersections（口頭発表）	K. Abe, H. Fujii, S. Yoshimura	Asian Pacific Congress on Computational Mechanics 2019	2019/12	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
人流のシミュレーション	藤井 秀樹	シミュレーション	2019/9	国内

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
Exploring Parameters for Generating Semi-Realistic Traffic Flow with Data Assimilation Approach	T.Nishiura, H.Hattori	25th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB-2020)	2020/01/24	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
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 巻 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
高頻度データに対する再帰型ニューラルネットワークモデルとその比較, 口頭	陳鈺涵, 谷口隆晴	日本応用数理学会 環瀬戸内応用数理研究部会第23回シンポジウム	2019年12月	国内
指数型分布族の定める多様体上の離散力学に基づく時系列モデルとネットワーク解析への応用	谷口隆晴, 小松瑞果, 大川剛直	日本応用数理学会 環瀬戸内応用数理研究部会第23回シンポジウム	2019年12月	国内
時系列データからの階層型ネットワーク構築	谷口隆晴	2019年度 RIMS共同研究「マクロ経済動学の非線形数理」	2019年10月	国内
ホッジランクを用いた選好意識データからのネットワーク構築	谷口 隆晴, 小松瑞果,	日本応用数理学会 2019年度年会	2019年9月	国内
Direct Numerical Calucation of the Target Function from the ODEs Using the Input-Output Equation	Mizuka Komatsu and Takaharu Yaguchi	SIAM Conference on Control and Its Application (CT19)	2019年6月	海外

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
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
アフォーダンスと計算社会科学（招待講演）	橋本康弘	人工知能学会合同研究会	2019年11月	国内
Emergence of Superorganisms in a Large Scale Boids Model (口頭発表)	Norihiro Maruyama, Daichi Saito, Takashi Ikegami	IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), pp. 299-305	2019年12月	国外
Visualization of Dynamic Structure in Flocking Behavior (口頭発表)	Daichi Saito, et al.	The 3rd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM 2019),	2019年11月	国内
Life as Collective Emergent Phenomena (基調講演)	Takashi Ikegami	SWARM2019（同上）	2019年11月	国内
Life as an Emergent Phenomenon(口頭発表)	Takashi Ikegami	SantaFe Institute	2019年12月	国外
From AI to ALIFE（招待講演）	Takashi Ikegami	Tokyo (SIGEF2019)	2019年9月	国内
From AI to ALIFE: Considering the Robot	Takashi Ikegami	東京 (AI/SUM)	2019年4月	国内

of Life Principle (招待講演)				
--------------------------	--	--	--	--

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, Mizuki Oka	Artificial Life, 25, 2, pp.168-177	2019年5月	国外
How to Make Swarms Open-Ended? Evolving Collective Intelligence Through a Constricted Exploration of Adjacent Possibles	O Witkowski, T Ikegami	Artificial Life 25 (2), 178-197	2019年5月	国外
Yule-Simon過程に基づくソーシャルタギングの分析とモデリング手法	西川仁将, 岡瑞起, 橋本康弘, 池上高志	人工知能学会論文誌, 34(4), pp. C-IC3_1-8	2019年7月	国内
Emergence of Superorganisms in a Large Scale Boids Model	Norihiro Maruyama, Daichi Saito, Takashi Ikegami	IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, pp. 299-305 (2019)	2020年2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」でなければならないこと	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」でなければならないこと	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」でなければならないこと	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」でなければならないこと	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も進める。

- **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にする。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・ブルーデシナル・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に関与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

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)	(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 大規模並列実行	(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	(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	(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
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)	(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	(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	(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	(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 ータの実装 ・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

			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

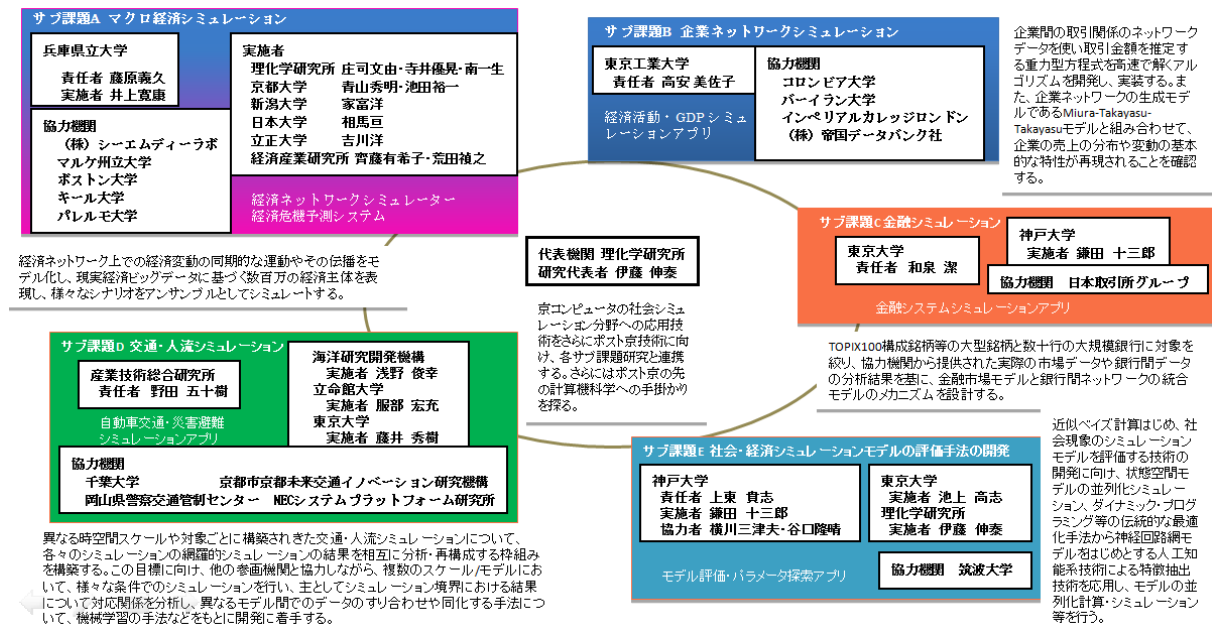
			ル評価技術の開 発	
--	--	--	--------------	--

(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。[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認する。
 - ・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」でなければならないこと

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

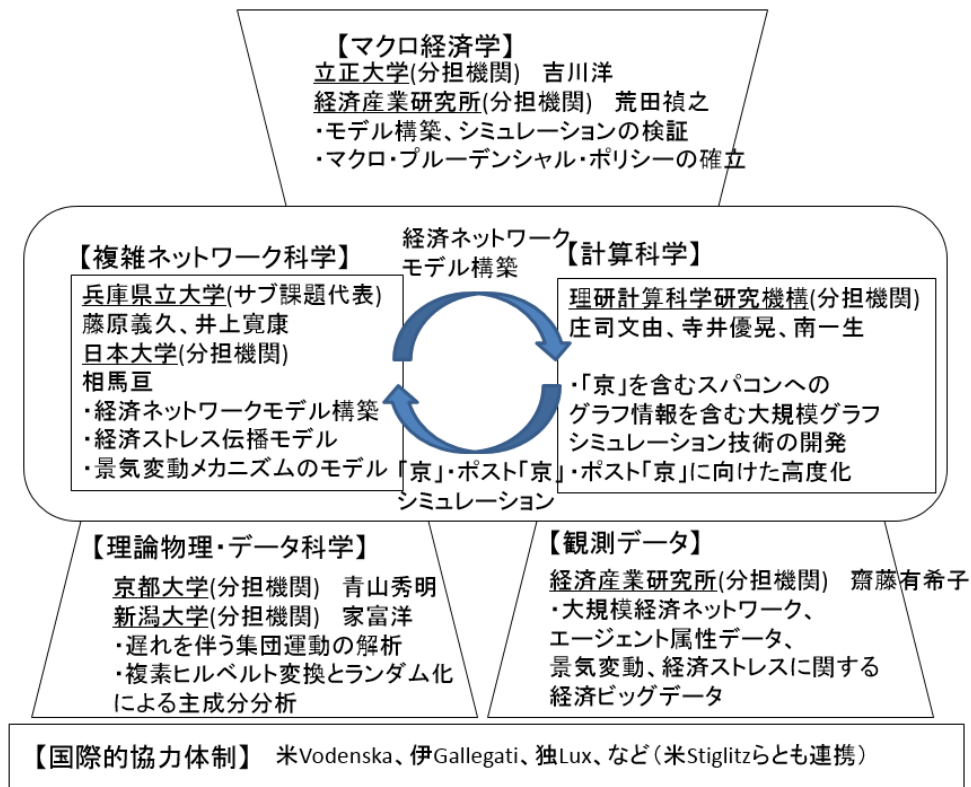
ブルによる計算を用いて、ポスト「京」の計算速度と計算ノード数がなければ、対応できない。

(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。



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、可能な限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。

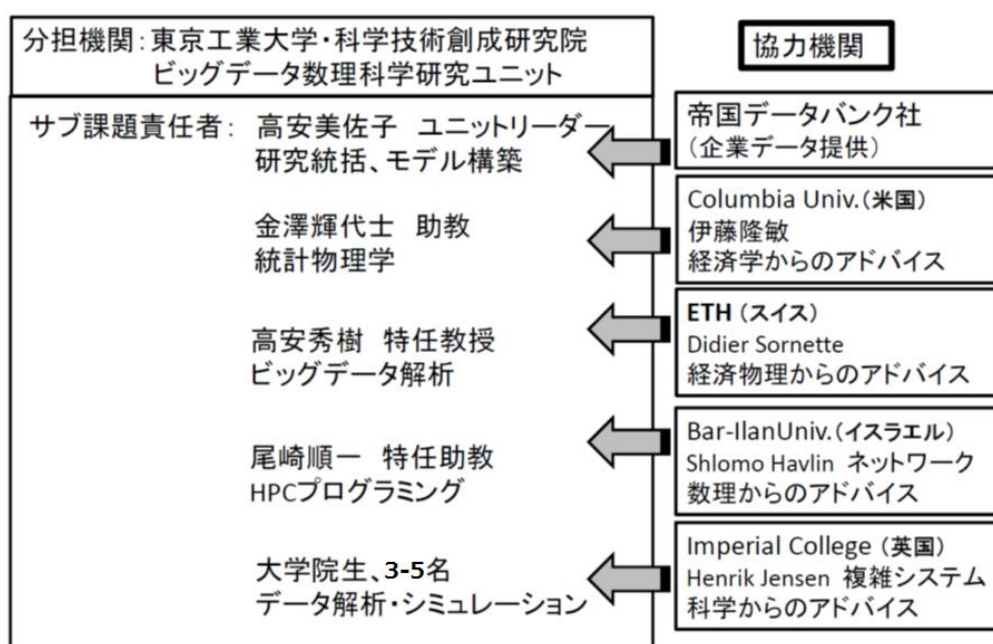


図 1 サブ課題 B「企業ネットワークシミュレーション」の実施体制

2-3. サブ課題C. 金融シミュレーション

(1) 目的・意義

システミ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ミック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ミック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。
- システミック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、システミック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、システミック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」でなければならないこと

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。

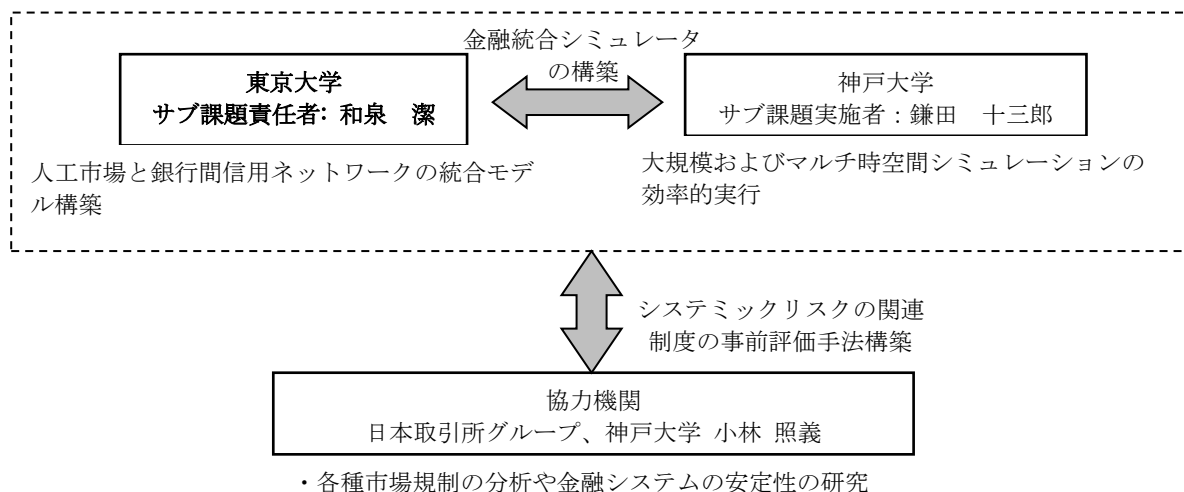


図1 サブ課題C「金融シミュレーション」の実施体制図

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」でなければならないこと

「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。

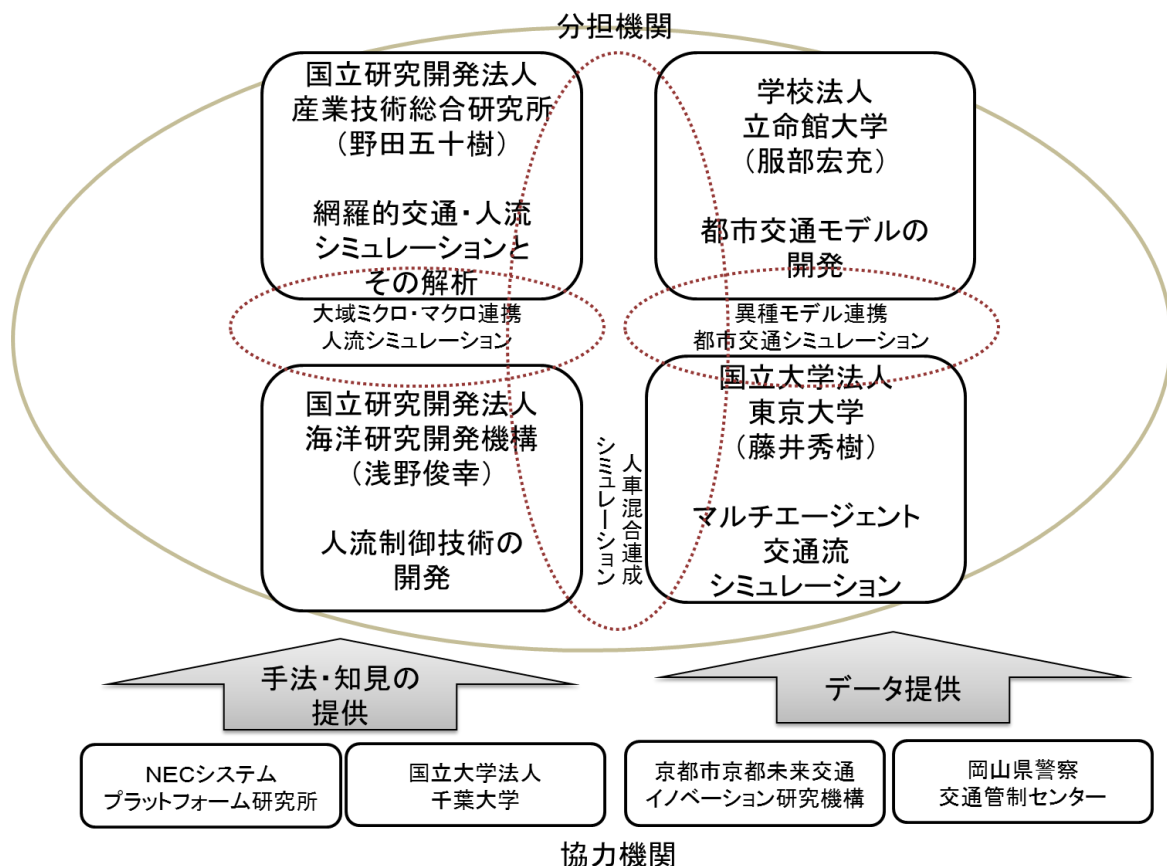
- ✧ 大域ミクロ・マクロ連携人流シミュレーション。人車混合連成シミュレーション。

- ✧ 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可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関連して諸成果に貢献する。

（４）「京」でできていること、ポスト「京」でなければならないこと

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、これまでに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	分担機関(高安美佐子)
	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