

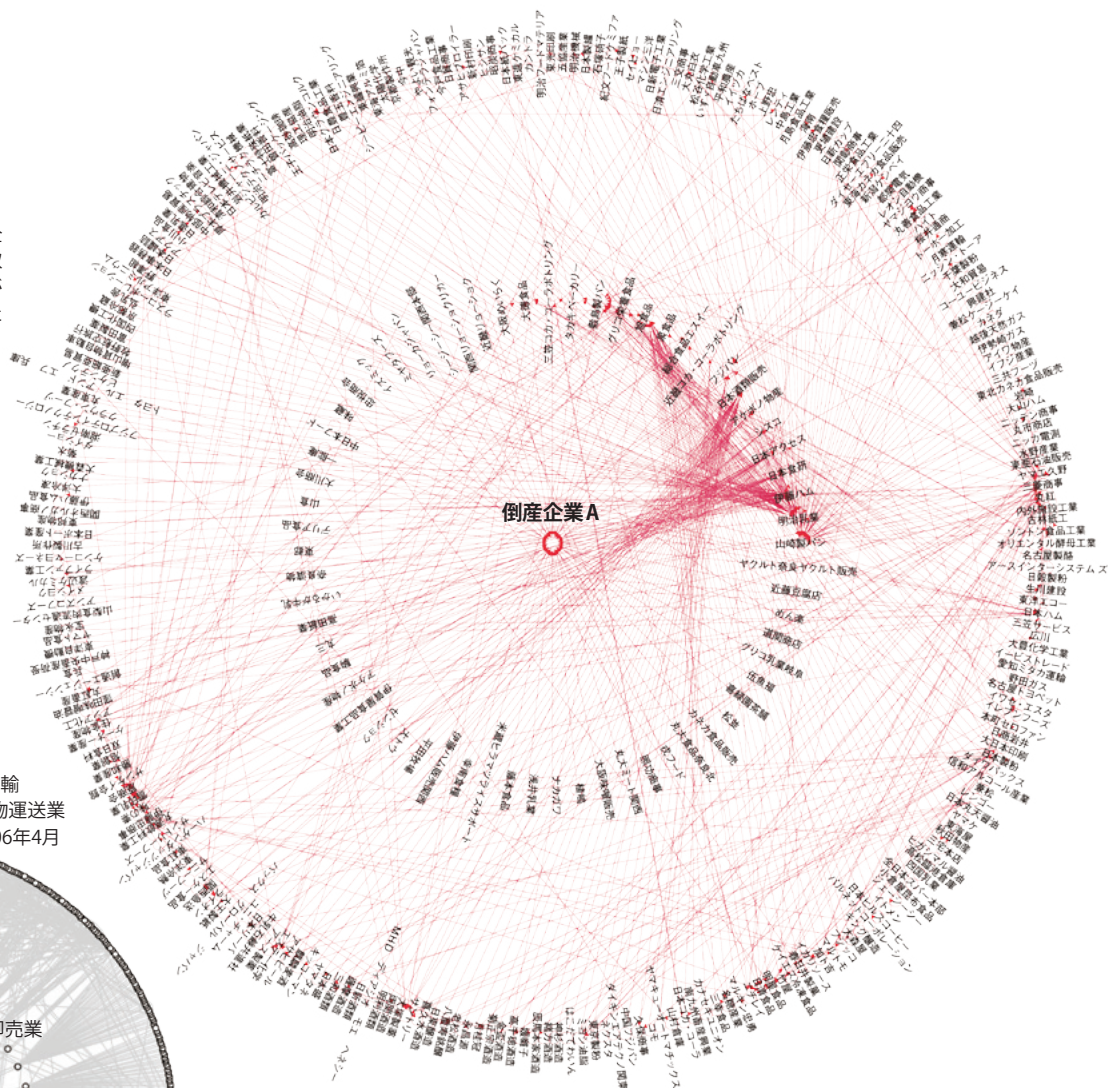
物理学や計算科学の手法で マクロな経済現象を解明する

藤原義久 Yoshi Fujiwara

兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 教授

図1 生産ネットワーク

中心にある食品スーパー（倒産企業A社）から2ステップ先までの取引先が描かれている。赤ラインが取引関係を示し、大企業からはたくさんのラインが伸びている。



B石材
土石製品製造業
2006年4月

B運輸
貨物運送業
2006年4月

Aコンクリート
土石製品製造業
2006年3月

B建設資材
建設材料卸売業
2006年4月

A建設
総合工事業
2006年2月

C運輸
貨物運送業
2006年4月

図2 生産ネットワークと連鎖倒産

中心にあるA建設が倒産することにより、経済ストレスが生産ネットワーク上を伝わり2ステップ先の取引先まで及び、複数の企業が連鎖倒産した。

宇宙論から経済物理学へ

量子論や相対論を駆使して宇宙の始まりなどの解明を進めていた藤原さんは1990年代末、株価のデータを物理学の手法で分析してみました。「それまで私は、株価の変動には規則性はないと思っていました。ところがデータを分析してみると、あるパターンが見えてきました。それは、物理の実験や観測データに見られるパターンと比べても、圧倒的にきれいなものでした。それがとても意外で、経済現象に興味を持ちました」

物理学者が経済学に参入して、経済の

経済現象にはまだ多くの理解すべき課題が残されています。

実際、デフレ脱却、経済危機の予防や緩和など、未解決な問題があります。

藤原義久さんたちは、物理学の手法や計算科学と「京」を駆使して、

マクロな経済現象を大規模な実データに基づいて明らかにし、

それらの問題の解決の糸口を探ろうとしています。

大規模なデータを物理学などの手法で分析して経済現象を再現する数理モデルをつくり、計算機を使ってシミュレーションを行う研究が、1990年代から盛んになり、「経済物理学 (Econophysics)」と名付けられました。藤原さんも宇宙論から経済物理学に転じ、個人所得データなどの分析を進めました。

生産ネットワークで連鎖倒産を分析する

藤原さんは2005年ごろ、(株)東京商工リサーチに企業取引に関する詳細なデータがあることを知りました。「それは各企業の業績とともに、ある企業がどこから材料やサービスを仕入れ、それに付加価値を加えた商品をどこへ販売しているのか、取引関係が分かるデータでした。しかもそれは、日本で実際に活動している企業をほぼ網羅したものです。そのデータを物理学や計算科学の手法で分析すれば、企業間の相互作用や関係性を表す生産ネットワークを国家レベルで計算機の中に描き出すことができます。ぜひ、そのデータを分析させてほしいとお願いしました。しかし、それは東京商工リサーチが独自に調べ上げた最重要データなので外部に提供することは難しいと、なかなか了承が得られませんでした。粘り強く交渉を続けた結果、最終的には約100万社、取引数400万以上にわたる巨大なデータを提供していただきました」

生産ネットワークから、どのようなことが分かるのでしょうか。図1は、ある食品スーパーの直接の取引先と、取引先の取引先を示したものです。「2ステップ先まで調べると、実に多くの企業関わっているこ

とが分かります。企業から平均5ステップ先まで調べると、日本のほぼ全ての企業が網羅されます」

これまで、企業を分析する場合、直接の取引先しか調べないケースがほとんどでした。しかし、ある企業が倒産すると、2ステップ先、3ステップ先へと影響が及び、連鎖倒産が起きるケースがあります (図2)。

「生産ネットワークを分析すると、同じと

ころから部品を仕入れている企業を全て抽出することができます。例えば、ある地域の部品メーカーがごく少数の会社に製品を販売しているとき、その販売先が倒産すると、それらの部品メーカーは大きな影響を受けます。また、それらの部品メーカーを仕入れ先とするほかの企業群にも影響があるかもしれません。そのような影響を共通して受けやすい企業グループが生産ネット

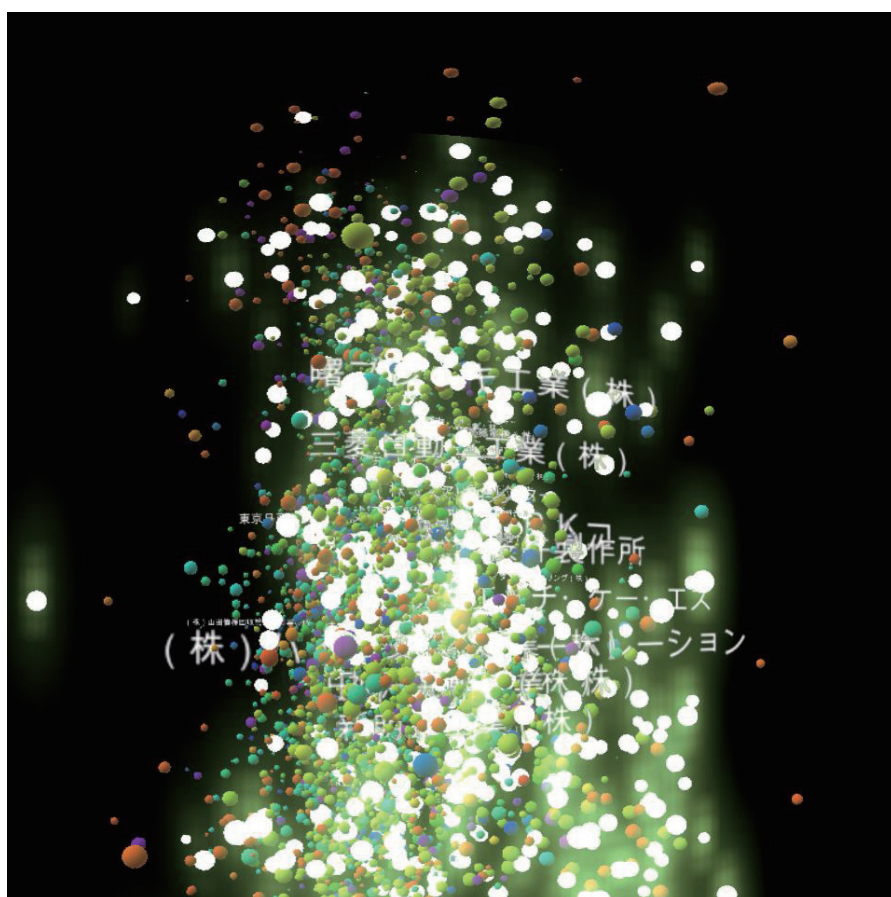


図3 生産ネットワーク上を伝搬する経済ストレス

※動画をweb版でご覧いただけます。

自動車産業の一部に起きた経済ストレスがさまざまな企業に伝搬していく様子を、「京」で計算して動画として可視化した。光っているところが強い経済ストレスを受けた企業を示している。各点の大きさは企業規模、色は業種、影響を共通して受けやすい企業グループが近い場所に配置されている。

「京」による計算：理研AICS運用技術部門 庄司文由 部門長、寺井優晃 研究員による
動画作成：(株)ターンストーンリサーチ 藤田裕二 代表取締役社長
デジタルハリウッド大学院 茂木健一 客員教授、浅田真理 大学院生



藤原義久 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 教授

撮影：奥野竹男

ワークから分かります」

表紙と図3の各点の大きさは企業の規模、色は業種を表しています。そして、影響を共通して受けやすい企業グループは近い場所に配置されています。「ある企業が倒産すると、材料を仕入れられなくなったり、商品の代金を回収できなくなったりして経済ストレスを受けます。私たちはある企業が倒産した場合に、経済ストレスが生産ネットワーク上をどのように^{でんぱん}伝搬していくのか、『京』を使ってシミュレーションを行い可視化した動画を作成しました。図の光っているところが強い経済ストレスを受けた企業です」

マクロ経済を理解し、 政策立案に役立てる

藤原さんたちのシミュレーションは、経済学者たちから大きな注目を集めました。「経済産業省が所管する政策シンクタンクである経済産業研究所が、東京商工リサーチのデータを定期的に購入して分析するようになりました。また、ある経済学者は、私たちが生産ネットワークを分析できる巨大なデータを発見したことで、多くの経済学者が新しい研究を始めることができるようになったと高く評価してくださいました」

景気循環や経済成長、デフレ（物価の持続的な下落）といった国家レベルの経済現象を扱う分野をマクロ経済学といいます。「従来のマクロ経済学は、代表的な企業や家計の振る舞いを単純に足し算すればマクロ経済が分かるという発想でした。私たちは、マクロ経済を理解するには、ネットワークや相互作用それ自体が不可欠

だと考えています」

このような研究の進展により、マクロな経済現象を大規模なデータに基づいて理解できるようになれば、デフレ脱却、経済危機の予防や緩和、災害からの経済復興など、さまざまな経済政策を立案するための科学的な手掛かりを与えることができるようになりますと期待されています。例えば、経済危機が起きたとき、連鎖倒産を防ぐ有効な経済政策を立案する上で、経済ストレスの伝搬シミュレーションが重要な知見を与えてくれるでしょう。

ただし藤原さんは、「経済物理学はまだ、政策決定に示唆を与えるレベルに達していません」と言います。「私たちが『京』の中に描き出した生産ネットワークには、金融機関や労働者・家計、政府が入っていません。今後、それらを組み込んだ経済ネットワークを計算機の中に描き出し、分析・予測できるようにする必要があります」

藤原さんは、「全ての人にチャンスを与える社会を目指すべきです」と訴えます。「賃金が低過ぎると、結婚して家庭を築いたり、子どもが教育を受けたりするチャンスが奪われてしまいます。全ての人にチャンスを与える社会を実現する上で、最低賃金の設定が重要です。最低賃金を上げた場合に、家計の消費がどれくらい拡大するか、企業にどのような影響が出るのかをシミュレーションできる数理モデルをつくり、最低賃金の議論に貢献できるようにしたいですね」

ポスト「京」で 経済学の新技术を開発する

理研の計算科学研究機構（AICS）では、

2020年ごろの稼働を目指して、ポスト「京」の開発が進められています。

「ポスト『京』では、スクリプト言語という、より簡便なプログラム言語を使っても計算ができるようになるそうです。それにより多くの経済学者がポスト『京』を使って経済のシミュレーションを行うことができるようになります。企業や金融機関、家計、政府などから成る経済ネットワークの関係性や相互作用を分析する手法はまだ不十分です。さまざまな研究者がポスト『京』を活用することで、経済を科学的に分析するための新しい手法が開発されていくでしょう」

藤原さんも、ポスト「京」の萌芽的課題のプロジェクトに参画して、大規模なデータに基づくマクロ経済シミュレーションの開発を進めています。

経済を分析する手法を開発するには、新しい数学を導入したり人工知能（AI）を活用したりすることも重要だと藤原さんは指摘します。「企業の財務や取引データをAIで分析して、将来大きく成長する企業に共通するパターンを見つけ出す研究を、私はIT企業と共に進めています」

経済物理学という新しい研究分野は、経済学者からも物理学者からも理解されず、研究費の調達や経済データの入手に苦労することが多かったと振り返る藤原さん。「一方で、科学的に手付かずの経済現象を新しい手法で分析してパターンや法則性を発見することが、経済物理学の面白さです。私の大きな目標は、経済に新しい科学の光を当てることです」

（取材・執筆：立山晃／フotonクリエイト）

ポスト「京」が目指すこと 第6回

「京」の計算速度を大きく超えるポスト「京」の開発が進められています。ポスト「京」で新たに取り組むチャレンジングな課題として4つの課題（萌芽の課題）が選定されています。

01 基礎科学のフロンティア — 極限への挑戦 —



極限を探究する基礎科学のフロンティアで、実験・観測や「京」を用いた個別計算科学の成果にもかかわらず答の出ていない難問に、ポスト「京」のみがなし得る新しい科学の共創と学際連携で挑み、解決を目指します。

02 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



複雑かつ急速に変化する現代社会で生じるさまざまな問題に政策・施策が俊敏に対応するために、交通や経済など社会活動の個々の要素が互いに影響し合う効果を取り入れて把握・分析・予測するシステムを研究開発します。

03 太陽系外惑星(第二の地球)の誕生 と太陽系内惑星環境変動の解明



宇宙、地球・惑星、気象、分子科学分野の計算科学と宇宙観測・実験が連携する学際的な取り組みにより、観測・実験と直接比較可能な大規模計算を実現し、地球型惑星の起源、太陽系環境、星間分子科学を探究します。

04 思考を実現する神経回路機構の 解明と人工知能への応用



革新技術による脳科学の大量のデータを融合した大規模多階層モデルを構築、ポスト「京」での大規模シミュレーションによって思考を実現する脳の大規模神経回路を再現し、人工知能への応用をはかります。

ポスト「京」開発へのメッセージ

夢を紡ぐマシン

なぜ人は速さを競うのだろう。桐生祥秀が100メートルを9秒98で駆け抜けたとき、日本中が歓喜の渦に包まれた。それにしても、なぜ、10秒ではだめで、9秒98なら凄いのか。

いや、10秒も十分に凄いわけだが、日本人にとっては10秒が「超えられない壁」だったのだ。運動選手の能力は、遺伝的な要素による部分も大きい。それをトレーニングとテクニックとハイテクの靴でカバーして、夢の9秒台が出た。桐生の速さには格別の意味がある。

科学の世界だって同じだ。発見や発明は1番でないとダメだ。1番が全てを持ってゆく。2番目に発見しても業績にならず、2番目に発明しても特許は取れない。

われわれは第四次産業革命の真っただ中にある。人工知能、ロボット、ビッグデータ、IoT……今後数十年で「超計算社会」がやってくる。ポスト「京」への期待は、夢の9秒台への期待と同じだ。はたして、日本は、世界のトップと肩を並べて走り続けることができるだろうか。ポスト「京」は、この国の浮沈を占う勝負に挑んでいる。ガンバレ、ポスト「京」。



竹内 薫 (たけうち・かおる)

サイエンス作家。YES International School 校長。科学を伝え、科学について語る第一人者として活躍している。

(撮影: Sam C. David)

よりよい未来へー

横川さんは、さまざまな研究機関で数値シミュレーションの研究やスーパーコンピュータ開発に携わった後、スーパーコンピュータ「京」の開発にプロジェクト管理のグループディレクターとして参画しました。今は神戸大学大学院教授として学生の指導にあたりながら、数値シミュレーションによって物体の流れの状態をスーパーコンピュータで解析する研究や、そのためのよりよい計算手法の開発を行っています。これまでさまざまな経験をつんできた横川さんにお話を伺ってきました。



客員主管研究員
よこかわ みつお
横川 三津夫

茨城県立下妻第一高等学校卒業。筑波大学の修士課程を修了後、日本原子力研究所→産業技術総合研究所→理化学研究所→神戸大学と職場を転々……。老年に差し掛かった身体に鞭打ち、趣味はトレッキングとバドミントン。神戸の街中や六甲山系を歩くのは楽しい。



インタビュー

清風南海学園 科学研究部有志

Q.流体を研究することになったきっかけは?

A.最初の職場で、原子炉内の配管を流れる熱水が配管にどんな影響を与えるか探るために、熱流体のプログラムを作成したのがきっかけです。いろいろな解き方があり、流れというのは意外に複雑だとわかってきて、面白くなりました。プログラムを工夫したり、計算機の仕組みを上手に利用したりすることで、計算速度が向上します。プログラムが100倍速くなると解くのに100日かかっていた計算が1日で解析できます。プログラムを速くすることが大事で、それが楽しかったです。

Q.プログラムがうまくいかないときは?

A.式の展開ミスがないか確認したり、プログラムの怪しいところの途中結果を書きだして一つずつ確認したりして、細かく見直します。なかなか見つからないときや疲れたときには、他人の目で見てもらったり、時間をおいて見直したりします。気分転換にテニスなどスポーツもします。

Q.「京」と海外のスーパーコンピュータの違いは?

A.基本的には並列計算機で仕組みは同じです。並列計算機とは、たくさんの計算機で計算を手分けすることで計算を速く終わらせるものです。「京」では個々の計算機を速くすること、データの交換や割付けがスムーズにできる計算機間の接続が重要で、その技術を磨いてきました。「京」ではCPUを特別に開発してもらいました。海外のスパコンは特定の計算を速くする加速器を繋げていることが多いです。

Q.やはり1位がいいですか?

A.研究開発では「世界で初めて」ということが大事です。スパコン開発でも世界一のシミュレーション成果を生むコンピュータが必要であり、それがあれば、日本の科学技術が世界をリードできると思います。そのために世界一のスパコンが必要です。「京」の開発費・製作費の約800億円という額は、成果を含めて考えなければなりません。世界1位と2位の計算機では計算速度に大差ないかもしれませんが、それを使う研究者のやる気は違うと考えています。

Q.「京」の開発で苦労したことは?

A.プロジェクトを進めるのに大切なのは、計画通りに遅れなく開発目標を達成すること。東日本大震災のときには製造が遅れたこともありましたが、富士通の工場の方々や多くの方々尽力で、何とか予定通りに「京」を完成させることができました。自然災害も考慮しなければならないのは難しいことです。

Q.高校時代熱中したことは?

A.つくば市の高エネルギー物理学研究所(当時)の加速器を見て、物体を細かくしたら何ができるのかに興味を持ちました。その頃はまだクォークも発見されていませんでしたが、物質の究極を追究する素粒子物理学に進みたいと思い、それに向けて勉強しました。

Q.今の高校生へメッセージをください。

A.いろいろなところへ出かけて行って自分が興味を持てることを探してください。大学に入ってから変わってもいい。まずはきっかけとして、好きなことを一つ見つけたらいいと思います。

インタビューも終えて

(取材・執筆:大木愛也奈、外山薫、中村美友)

日常生活で研究者の方にインタビューできる機会はありませんので、とても貴重な体験でした。インタビューは初めてだったので理化学研究所に行くまでの電車の中やお会いする直前まで緊張していましたが、横川さんがとても優しく気さくな方なのですぐに緊張もほぐれ、あっという間に時間が過ぎてしまいました。「京」や研究のことはもちろ

ん、好きなこと、やりたいことを見つけて挑戦する大切さなども教えていただきました。まだまだ人生長いので、たくさんの方に興味を持ち、いろいろなところへ足を運び、経験を増やしていきたいと思いました。最後になりましたが、今回の取材に関わっていただいたすべての皆様から感謝申し上げます。本当にありがとうございました。

