

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26282089

研究課題名(和文) システミック・リスクと社会経済システムのレジリエンスに関する研究

研究課題名(英文) A study on resilience from systemic risks in the socio-economic system

研究代表者

有賀 裕二 (Aruka, Yuji)

中央大学・商学部・教授

研究者番号：40137857

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：カネ、ヒト、モノの三層のネットワークにおける「リスク共有」のチェックポイントを同定するため、投入産出表を採用、ネットワーク分析で用いる「中心性」がマクロ環境変化に伴うリスクの変質を表示するチェックポイントになることを示した。さらに、モノとカネ(金融部門)、モノとヒト(雇用部門)の相互作用も研究して、各種の部門間相関がマクロ経済のシステミックリスク創出に強い影響があることを示した。一方、ケーススタディにより、株式高速取引のビッグデータ解析を通じて期待変動が効率市場仮説と乖離すること、株式会社のファンダメンタルズが地域間で異なること、航空ネットワークのカスケード障害が国内外で異なることも示した。

研究成果の概要(英文)：In our argument we mainly groped for some integrative measure to identify a systemic risk in the three-layered stages of employment, goods, and finance. In practice, we have then shown “-centrality” in the network of the input-output table available from the open data by government as a “checkpoint” to present how a macroscopic change of the macro economy will be amplified in each stage and between them. It is noted that this idea was driven from the recent arguments of “probability in biology.” Furthermore, we also showed that various sectoral correlations on employment or stock prices contributed to a series of emergence of systemic risks of the economy. According to our big data analysis, for instance, the expected fluctuations of the stock prices never support the efficient market hypothesis. Finally, we believe that the informative systems outside the market oriented efficiency are indispensable to identify the systemic risks of the macro economy in the future ICT society.

研究分野：進化経済学、複雑系社会科学

キーワード：ネットワーク分析 中心性 チェックポイント 脆弱性指数 増幅指数 カスケード障害 部門間相関 転移エントロピー

### 1. 研究開始当初の背景

システムのネットワーク化は、個々のシステムの効率性を高める反面、一部の障害がネットワーク結合された他システムに波及して連鎖的な障害を発生させる。社会システム自体がレジリエントであることが危機回避の要件である。現在、このような社会経済システムで、「金とモノの流れ」のほか「人とモノの流れ」に着目したデータ駆動型分析とネットワーク解析を組み合わせて、多層的に社会経済システムのレジリエンスを同時に高める必要性が高まっている。

### 2. 研究の目的

金流、人流、物流の多層的ネットワークの相関に着眼し、全体システムを構成する「三層のネットワーク」をまず個別に実証的に解析し、各局面でシミュレーションモデリングと実データの比較を通じて、新社会システムの個別的特徴を解明すると同時に、システムックリスクをマクロ的に測定できる「指標」(指数)を同定する。

### 3. 研究の方法

研究分担者がすでに確立している先行研究を進展させることにより、まず、サブシステムである金流と人流のネットワークの研究、特にカスケード障害の発生を個々のシステムで研究した。

(1)金流に関しては、「金融ショックの伝搬過程」を解析し、「効率的市場仮説」の妥当性を検証した。そのために、金融ネットワークの異質性を考慮し、銀行の資産や銀行間取引などの「実データ」を分析し、バランスシートの内容によって銀行をいくつかの種類に分類し、異質で相関の高い金融ネットワークの相互関係を研究した。また、株式市場のダークプールや高速取引 HFT の株価変動を研究し、株式市場の期待変動解析を行う。また会社のファンダメンタルズからの株価の乖離について国際的比較を行う。金融システムックリスクの原因を検出した。

(2)人流に関しては、重力モデリングではデータ利用に大きな制約があるため、重力モデリングは予備的研究として、新たにオープンデータ WAN(Worldwide Aviation Network)を利用して確率的伝搬ダイナミクスにより、航空ネットワークの「カスケード障害」の性質を解明した。なお、WAN は人とモノを扱う世界最大の航空オープンデータである。

(3) ネットワークの中心性分布を物流と金流のチェックポイントとして同定、実用的な「投入産出表」のようなオープンデータを利用して、経済システムのネットワーク分析を行い、中心分布のモードの大小からリスクの大小を検出した。一方、ネットワーク分析で直接捕捉できない人流は雇用の部門間移動でテキストマイニングによって測定した。

(4)政策立案者(金融庁・日本銀行)、金融機関、研究所の実務者などで構成される「金融

ネットワーク研究会」(代表幹事:生天目、FinancialNetworkCrisis.org)を科研費共催で開催し、年3回程度で運営した。

(5)システムックリスクは現代の社会経済システムの深い考察なしに定義可能でない。Dirk Helbing 教授(スイス連邦工科大学)の FuturICT プロジェクト(futurict.inn.ac/)周辺の多くの研究者と国際的連携研究を開始当初から目指し、システムックリスクに関する国際会議を開催するばかりでなく、海外協力研究者とともに本研究課題に関する研究成果の国際的な刊行物を制作し、2017年に公開される。

### 4. 研究成果

(1)システムックリスクは環境変化に起因する。近年、生物学における確率論が発展してきており、環境の変化と観察者(人とは限らない)の系列の中でリスクと確率を考え始めているが、リスク評価を真に行うまでには確率論自体が未成熟である。しかし、分子生物学、殊に免疫系のリスク同定の議論では、リスクの「チェックポイント」という概念が確立している。投入産出表は「ケネー経済表」を起源とするが、ケネーの表は人体の血液循環から導かれた。現在の免疫系の議論は分子レベルでの白血球の進化を考察している。本研究では、投入産出表にネットワーク分析を適用して「経済システムのチェックポイント」概念を導出する。

(2) 中心性はネットワーク分析から導出された概念であるので対象システムは生産とは限らない。しかし、生産システムの純生産可能性が成り立っていることが確認できれば、生産システムの最大固有モード(標準商品)を確定できる。この意味では成長要因が埋め込まれている。中心性の固有値モード分布により脆弱性指数(VI: Vulnerability Index)と増幅指数(AI: Amplitude Index)が定義できる。生産システムの VI が大きければ外部からのショックに脆弱であり、AI が大きければ海外へ大きなショックを増幅する。国際的なリスク伝搬を推定するには、現実の投入産出表で国際貿易の競争・非競争性のいずれかを仮定する投入産出表を用いる必要がある。しかし、世界投入産出データベースには国際貿易を明示的に考慮した国際間投入産出表がない。このため、

中心性のモード変化の国際的な推計は予備的な研究とならざるをえなかった。

(3)国際貿易を考慮すると生産システムは閉じたシステムではないため、最大固有値といえども1より小さいとは限らない。また固有値は複素数を含む。つまり、固有値は実数のモードと複素数のモードに分かれ、後者はシステムに非線形的な影響を与える。以上の考察により、国内データでは中心性のモードは、国際貿易の競争的、非競争的仮定の違いで大きな変動はない。図1は2011年108部門投入産出表の競争的国際貿易下での中

心性のモード分布で大きさの順に並べてあるが、右側の裾野部分は複素数を含むモードに対応している。

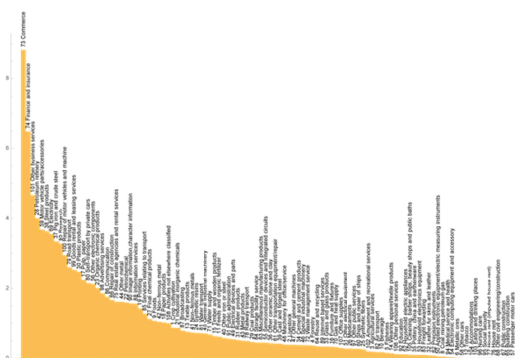


図1 増幅指数 AI (2011年 108部門)

国外からの脆弱性指数 VI はシステム全体としては商業、金融部門の順で大きいですが、製造業では、石油精練、自動車部品の順である。脆弱性指数 VI では非線形要因は非金属鉱物と化学肥料である。外部への増幅指数 AI では、乗用車が最大要因である。以上、中心性のモード分布から、生産システム全体のリスク要因を商業、金融、製造業の相互関連の中で推定できる。なお、各国の貿易データが不足しているが、中心性のモードを世界投入産出データで予備的な解析を行った。時系列で2010年から2012年にかけて中国 CH の VI と AI がともに一気に上昇して首位になったことが確認できた。中心性のモード分析は世界経済の構造変動の指標となる可能性が示唆される。以上、モノと金の流れの中でリスクの指標を求めることができた。図2は2011年に中国の増幅指数 AI 国際的に首位5部門を独占していることを示す。この計算は協力研究者 Kien Tran が主として行ったが、世界10データの制約から暫定的な結果であることを注意したい。

Country	Industry	Amplitude index
CH	Basic metals and fabricated metal	0.23329
CH	Electrical and optical equipment	0.0902
CH	Mining and quarrying	0.0683
CH	Electricity, gas, and water supply	0.05331
CH	Chemicals and chemical products	0.0429

図2 2011年世界10データ増幅指数 AI

投入産出表を採用、ネットワーク分析で用いる「中心性」がマクロ環境変化に伴うリスクの変質を表示するチェックポイントになることを示した。貿易を含む世界的な投入産出データが充実しないと正確さは劣るが、政策立案においても、脆弱性、増幅指数はシステムミックリスク検出の実用的な指標となるものと思われる。

(4)上記の解析では雇用と所得は VI, AI によって影響される。しかし、雇用トレンドが与える部門間相関を扱っていない。投入産出表から離れ、「テキストマイニング」により、雇用トレンドと部門相関を分析することに成功した。リーマンショック以降(2009年以

降)、出版、食料、鉱業、電気ガス水道部門で雇用の顕著な変動が検出された。雇用の変動をヒトとモノの流れと捉えると、経済の実データではなく、テキストデータからリスクの推定が可能になることがわかった。つまり、カネ、ヒト、モノの三層のネットワークにおける「リスク共有」のチェックポイントの周辺の動きを解析した。なお、部門間相関の問題は金流にもある。

(5)サブシステムに関するケーススタディにより、ヒトのネットワークについては、航空ネットワークを導入研究として確率伝搬ダイナミクスを利用し国際的ネットワークと国内のネットワークでは脆弱性が異なることを解明した。また、ウェイトと交通量の「2項状態モデル」で解析した結果、ネットワークの中心性に起因する障害が、連結パターンが低水準であってさえ、ネットワークの効率に巨大な損失を与える、すなわち、中心的空港のトラブルがネットワークのレジリエンスに重要なインパクトを与えることを導いた。これにより、最高レベルの防御をどの空港に設定するかも明らかになる。(6)また、カネのネットワークは「転移エントロピー」を利用した株式高速取引 HFT のデータ分析を通じて期待変動が「効率市場仮説」と乖離すること、国際的には個々の会社のファンダメンタルズが地域間で異なることが判明した。銀行の資産のシミュレーションで、自己資本比率と株価収益率の間に相関がないことも判明した。これらの特徴から、「効率的经济仮説」に基づくならば、各サブシステムのシステムミックリスクを検出できないことがわかる。実は「効率的经济仮説」は経済システム環境に関わる informative system を軽視していることで導かれている。この仮説が成り立たないことが検出される以上、サブシステムの政策も上記の結果を考慮して導かれるべきである。この問題は有賀と研究協力者 Alan Kirman が下記引用文献で詳述した。

(7)初年度より共同開催してきた「金融ネットワーク研究会」は予定どおり年3回のペースで開催した。この研究会は、最終年度は、統計数理研究所共同利用研究集会「人流物流ネットワークとその周辺」(28-共研-5006:代表・佐藤彰洋)に発展的に統合され、最終年度まで連続的に官公庁、実務家との共同研究会を開催した。

(8)第二年度に本研究課題に関する国際会議 International Conference on Socio-economic Systems with ICT and Networks

(2016年v3月26/27日)を東京大学小島ホールで開催し、海外ゲスト10名の講演を含む45報告を実現した。この会議では Bikas K Chakrabarti, Anirban Chakraborti, Enrico Scalas 等の国際協力を得て、井上純一博士の追悼セッションを盛大に開催した。さらに最終年度には、上記国際会議のエクステンション

ンとして、FuturICTメンバーを中心に3名のゲストスピーカーを招いて、ワークショップ「社会経済系のリスク復旧と FuturICT」(2017年3月25・26日開催の進化経済学会京都大会の企画セッション)リスクの復旧の国際セッション(英語)を開催した。

(9)上述の国際会議のゲストスピーカーをゲスト執筆者として、最終研究成果刊行物としてつぎの国際刊行物を作成、現在、入校中である。Aruka Y, Kirman A (eds), Springer-Nature, Economic Foundations for Social Complexity Science -Theory, Sentiments, and Empirical Laws-, forthcoming in 2017

(13 chapters).本書は、研究分担者のほか、巻末の海外協力研究者(Helbingを除く)が寄稿している。

なお、紙幅の都合で詳述しないが、上記の研究成果は一部、これらの海外研究協力者の貢献を含む。

#### <引用文献>

Aruka Y, Chapter 2. Systemic risks in evolution of the social complex system, in Aruka Y, Kirman A(eds.), Economic Foundations for Social Complexity Science, Springer Nature(forthcoming)

Kirman A, Chapter 1. Introduction, in Aruka Y, Kirman A(eds.), Economic Foundations for Social Complexity Science, Springer Nature(forthcoming)

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 39 件)

主たるもの 10 件

Kubo M, Sato H, Yamaguchi A, Aruka Y, Detection of changes in the employment environment in Japan based on the numbers of people leaving and entering employment using NMF, Journal of Robotics, Networking and Artificial Life, 査読有, Vol. 3, No. 4, March 2017, 265-269 DOI: 10.2991/jrnal.2017.3.4.11

Kaizoji T, Toward economics as a new complex system, The European Physical Journal Special Topics, 査読有, Volume 225, Issue 17, 2016, 3225-3230

Kaizoji T, Miyano M, Why does the power law for stock price hold?, Chaos, Solitons and Fractals, 査読有, 88, 2016, 19-23. DOI: 10.1016/j.chaos.2016.03.015

Mizuta T, Kosugi S, Kusumoto T, Matsumoto W, Izumi K, Yagi I, Yoshimura S, Effects of Price Regulations and Dark Pools on Financial Market Stability: An Investigation by Multiagent Simulations, Intelligent Systems in Accounting,

Finance and Management, 査読有, 23, 2016, 97-120 DOI:10.1002/isaf.1374,

Torii T, Izumi K, Yamada, K, Shock transfer by arbitrage trading: analysis using multi-asset artificial market, Evolutionary and Institutional Economics Review, 査読有, 12(2), 2016, 395-412, DOI:7.10.1007/s40844-015-0024-z

Ide K, Sato H, Tran QHanh, Namatame A, Risk Propagation Modeling and Vulnerability Quantification on Japanese Human Mobility Network from Complex Network Analysis Point of View, International Journal of Advanced Computer Science and Application (IJACSA), 査読有, 7(2), 2016, 317-327, DOI: 10.14569/IJACSA.2016.070245

Mizuta T, Kosugi S, Kusumoto T, Matsumoto W, Izumi K, Effects of dark pools on financial markets' efficiency and price discovery function: An investigation by multi-agent simulations 査読有, 12(2) 2015 375-394, DOI: 10.1007/s40844-015-0020-3

Tran HA, Namatame A, Worldwide aviation network vulnerability analysis: a complex network approach, Evolutionary and Institutional Economics Review, 査読有, 12(2)2015, 349-373 DOI: 10.1007/s40844-015-0025-y

Aruka Y, The rise of pure economics under a new form of scholasticism in view of the present socio-economic system, Evolutionary and Institutional Economics Review, 査読有, 12(1), 2015, 3-29 DOI: 10.1007/s40844-015-0003-4

Murota M, Inoue J, Large-scale empirical study on pairs trading for all possible pairs of stocks listed in the first of the Tokyo Stock Exchange, Evolutionary and Institutional Economics Review, 査読有, 12(1), 2015, 61-79

[学会発表](計 43 件)

主たるもの 7 件

Izumi K, Artificial Market Simulation of Flash Crash and Systemic Risk, The Singapore-ETH Centre Resilience Engineering Research Centre Workshop, 2016年12月8日~2016年12月9日, Singapore-ETH Centre

Kubo M, Sato H, Yamaguchi A, Aruka Y, Similarity analysis of Survey on Employment Trends in Japan, IES2016 The 20th Asia-Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems 2016年11月17日, University of New South Wales Canberra

Kaizoji T, Speculative Bubbles and Crashes: A Model of Financial Markets with

Interacting Agents, 28th Annual EAEPE ( Industrialization, Socio-Economic Transformation and Institutions ), 2016 年 10 月 3-5 日, 発表場所: Manchester Metropolitan University

Aruka Y, The input-output network analysis and systemic risks in the world economy, Workshop on the Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents (ESHIA) (国際学会) 2016 年 06 月 23 日, Universitat Jaume I, Castellon, Spain

Aruka Y, Systemic risks in Evolution and I/O Network Analysis based on Shiozawa's International Value Doctrine, International Conference on Socio-economic Systems with ICT and Networks および進化経済学会第 20 回東京大学大会共催(招待講演), 2016 年 03 月 27 日, University of Tokyo, Japan

Aruka Y, A New Approach to Measure Randomness and Heterogeneities of the Production System, 21st Computing in Economics and Finance, 2015 年 06 月 21 日, Taipei, Taiwan

Sato AH, Dynamic Interaction Between Asset Prices and Bank Behavior: A Systemic Risk Perspective, 21st Computing in Economics and Finance, 2015 年 06 月 21 日 Taipei, Taiwan

〔図書〕(計 6 件)

主たるもの 3 件

Aruka Y, Kirman A (eds), Springer-Nature, Economic Foundations for Social Complexity Science -Theory, Sentiments, and Empirical Laws-, forthcoming in 2017 13 chapters.

Namatame A, Chen, SH, Oxford University Press, Agent-Based Modeling and Network Dynamics, 2016, 352pp.

Aruka Y, Springer, Evolutionary foundations of economic science: How can scientists study evolving economic doctrines from the last centuries?, 2015, 219pp.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

プロジェクトホームページ

<http://amech.amp.i.kyoto-u.ac.jp/26282089/doku.php?id=english>

国際会議ホームページ

International Conference on Socio-economic Systems with ICT and Networks

<http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/~jafee20/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

有賀 裕二 (ARUKA, Yuji)  
中央大学・商学部・教授  
研究者番号: 40137857

(2)研究分担者

生天目 章 (NAMATAME Akira)  
防衛大学校・電気情報学群・教授  
研究者番号: 70546051

海蔵寺 大成 (KAIZOUJI, Taisei)  
国際基督教大学・教養学部・教授  
研究者番号: 10265960

井上 純一 (INOUE, Jun-Ichi)  
北海道大学・情報科学研究科・准教授  
研究者番号: 30311658

和泉 潔 (IZUMI, Kiyoshi)  
東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授  
研究者番号: 10356454

久保 正男 (KUBO, Masao)  
防衛大学校・電気情報学群・准教授  
研究者番号: 30292048

佐藤 浩 (SATO, Hiroshi)  
防衛大学校・電気情報学群・准教授  
研究者番号: 30295737

佐藤 彰洋 (SATO, Aki-Hiro)  
京都大学・情報学研究科・助教  
研究者番号: 50335204

(3)連携研究者

( 0 )

(4)研究協力者

トラン キエン (TRAN Kien)  
トラン クアンホアン・アイン (TRAN QHAnh)

海外研究協力者

Dirk Helbing, COSS ETH Zurich, Switzerland  
Alan Kirman, Director of Studies at EHESS, France

Bikas K Chakrabarti, Condensed Matter Physics Division, Saha Institute of Nuclear Physics, India

J. Barkley Rosser, Jr., Department of Economics, James Madison University, USA  
Shu-Heng Chen, AI-ECON Research Center, Department of Economics, National Chengchi University, Taiwan

Jürgen Mimkes, Physics Department, Paderborn University, Germany

Enrico Scalas, Department of Mathematics, University of Sussex, UK

Anindya S. Chakrabarti, Economics area, Indian Institute of Management, India