

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
平成29年度研究開発実施報告書

「人と情報のエコシステム」

研究開発領域

「寡則からみる実社会の共進化研究：
AIは非平衡な複雑系を擬態しうるか」

研究代表者氏名

東京大学 教授 田中（石井）久美子

目次

1. 研究開発プロジェクト名	2
2. 研究開発実施の具体的内容	2
2 - 1. 研究開発目標	2
2 - 2. 実施内容・結果	2
2 - 3. 会議等の活動	7
3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況	8
4. 研究開発実施体制	8
5. 研究開発実施者	9
6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など	11
6 - 1. シンポジウム等	11
6 - 2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など	11
6 - 3. 論文発表	11
6 - 4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）	12
6 - 5. 新聞報道・投稿、受賞等	12
6 - 6. 知財出願	12

1. 研究開発プロジェクト名

「幕則からみる実社会の共進化研究： AIは非平衡な複雑系を擬態しうるか」

2. 研究開発実施の具体的内容

2 - 1. 研究開発目標

大域的な幕則は、非平衡環境下にあるステークホルダーが、次々と意思決定を行った帰結として、複雑系において成立する。昨今のAIが逐次に生成する系でも幕則は成立し、その有効性の一つのカギとなっている。それでは、AIが生成する擬複雑系と実際の複雑系では何が異なるのか。複雑系が非平衡環境を前提とすることを手がかりとして、両者の乖離を見極める。AIの限界を明らかにし、AIを利用する大規模システムを持続可能とするために必要となる概念を、技術の観点から提案する。本プロジェクトは以上を基礎的に研究するテーマ1と、その社会実装を行うテーマ2があり、両者は共進化の関係にある。

テーマ1では、AIが生成する擬似時系列と実データとの乖離を、幕則を指針として解明する。経済データ、言語データを例とし、以下の三つの事柄を定性的に探求する。

1. 複数知られる幕則の中でどれが成り立つのか。
2. 幕則が成り立っていて、なお差異がある部分はどの部分か。
3. 幕則に基づくAIの評価方法の試案を策定する。

また、可能な範囲で「成り立たない幕則は、AIをどのように改良すれば成り立つのか」も考える。

テーマ2ではテーマ1の社会実装を行い、特に日本における投資活動を事例とする。現在、投資界ではITによる意思決定支援が当然視されており、市場に期待される本来的機能を安定的に維持するための方策が模索されている。本プロジェクトでは、

1. アルゴリズム取引に関する調査・議論を深化させる。
2. シナリオ分析: 国際的に知られるシナリオ分析を日本に適応し、具体化する。
3. 2をふまえて金融商品取引法を再検討する。本年5月の改正は、事後的ログの解析による規制が主であるが、取引に関わるAIを事前、事中で評価する可能性を探る。

2 - 2. 実施内容・結果

(1) スケジュール

実施項目	平成29年度 (H29. 10～ H30. 3)	平成30年 度 (H30. 4～ H31. 3)	平成31年度 (H31. 4～ H32. 3)	平成32年度 (H32. 4～ H32. 10)
テーマ1-1 : データ準備	←→			
テーマ1-2 : 数理モデルが生成する系がどの幕則を満たすかの調査		←→		

テーマ1-3 : 数理モデルが生成する系と自然発生的な系の差		←	→	
テーマ1-4 : AIの限界の提言				←
テーマ2-1 : 体制構築, サーベイ	←	→		
テーマ2-2 : アルゴリズム取引の調査		←	→	
テーマ2-3 : フォアサイト, 政策試案			←	→
テーマ2-4 : 政策提言・コミュニティ結成など社会実装				←

(2) 各実施内容

今年度の到達点：テーマ1

初年度は研究体制を立ち上げ、基礎データを準備する。

○実施項目1-1: 研究体制立ち上げ

● テーマ1の体制の立ち上げ

初年度は研究体制の立ち上げを行う。実施にあたっては、データを扱う専門家をリーダーとする必要があるため、グループA, グループBを構成する。グループAは時系列(主として言語ならびに経済時系列)、グループBはエージェントモデル(主として経済市場のモデル)の探求を行うことで分かれる。二つのグループは、研究を実施する上で必要な機器類をグループA内に共有し、その上で研究員(学生)も共有する。研究員は問題となる観点別に、言語、経済のデータ内で、同じ考察を行い、テーマのグループA, B内で研究議論を行う。研究、データの前処理などを推進するために、研究員を一名雇用する。初年度はすでに決定済の1名のみ雇用、次年以降は研究員をもう1名雇用する。また、本探求は数学に深く関わる。このため、日本を代表する数学分野の協力者をお招きし、得られた知見に関する議論を行う。協力者は他に2名の増員の可能性がある: 1名は統計数理研究所の高頻度データの専門家、ならびにシドニー大学の複雑系科学を専門とする教員である。協力の可能性を初年度は調整する。

● テーマ2との連携の立ち上げ

テーマ2との連携の方策(スケジュール、頻度など)を策定する。

テーマ2ではアルゴリズム取引を議論する会合を定期的に行うが、会合にテーマ1関係者が出席する。

この他、テーマ1, 2のグループリーダーが集まって話し合う機会を定期的に設ける以上の会合の頻度など進め方を策定する。

また、初年度は、高速取引に用いられるAIアルゴリズムの概要について、グループCからフィードバックを受ける。そのエッセンスを数理モデルとして考える。

○実施項目1-2: データの準備

自然言語データならびに(Twitterなど複雑系)コミュニケーションネットワークのデータ、経済データを準備する。

● 実データの準備

自然言語のデータについては、H29年度終了のさきがけを通して集めたデータを基礎とすることができる。現在、数多くの言語のデータが、すでに入手済みである。本研究のための前処理を行う。

経済データについては、1から入手を要する。本研究では、入手可能性の観点から、株式データを取り上げる。初年度は東証FLEXのデータ、並びにニューヨーク株式市場データをNYSEから入手する。入手後、研究員が前処理を行う。

● 擬データの準備

以下の二つの擬似データを準備する。

複雑系科学で提案されているSimon, BAモデルなどの擬似データを発生させるプログラムを作成する。(グループA)

深層学習を利用して、実データを学習の上、擬似データを発生させるプログラムを作成する。このモデルでの擬似データの作成には、時間がかかるため、一度擬似データを作成し、実データ同様に前処理を行ってアーカイブする必要がある。深層学習のアーキテクチャとしては、多層LSTM, CNN, SimpleRNNなど考えられる。(グループA)

株式市場のエージェントモデルを利用して、擬似データを作成する。本研究ではGrand Canonical Minority GameならびにSpeculation Gameの二つのモデルを用いる。(グループB)

○実施項目1-3: 実データで成立する幕則に関する事前研究

実施項目1-2のデータ群で、幕則が成立しているかどうかを確認することになるが、それは2年目に行う。その事前研究として、実データで成立する幕則の確認を要する。

● 自然言語

5つ程度の幕則が成立することが知られているが、そのうちのいくつかについては、未だ成立の是非が疑問であるものがある。幕則を実データで精査し、本研究でstylized factsとして扱うものを策定する。

● 株式データ

株式データには、10程度の幕則が成立することが知られているが、これは日次のデータに対するものである。協力者の楠岡成雄先生によると、高頻度データでは、幕則の態様が異なり、日次と高頻度データはスケールしない。となると、高頻度データで成り立つ幕則とは何であるのかを改めて吟味を要する。既存研究を精査し、高頻度データ上で成立する幕則を、日次データでの知見をふまえて吟味する。

今年度の到達点: テーマ2

体制を構築し、国内外状況のサーベイ、データ準備などを行う。結果をグループAにフィードバックする。

○実施項目2-1: 体制構築・サーベイ

- 金融システムにおけるAI活用の状況および展望について調査を行う。H29年度は体制構築する。日本における主要関連機関との間で連携を構築し、情報共有（勉強会、研究会、講演会等）を行う。
- 連携先候補(NISTEP, 金融庁、日銀)と連携方法を調整する。
- 各国の金融規制官庁(米国, 英国, フランス等)、国際機関(OECD, EC)世界経済フォーラム)における類似テーマについての調査状況について文献調査およびヒアリング調査を行う。

○実施項目2-2: 霧則比較・海外比較

- 経営工学・政策科学の分野で知られる株式市場の霧則に関する論文サーベイを行う。

○実施項目2-3: 高速織引き実態調査

H30から本格調査を行う。H29は前段階としてどのように現状を調査するか、その戦略を練る。

(実施項目2-4: フォアサイト(シナリオ分析)は30年度から実施する)

(実施項目2-5: 政策提言など社会実装は31年度から実施する)

(3) 成果

今年度の到達点: テーマ1

初年度は研究体制を立ち上げ、基礎データを準備した。

○実施項目1-1: 研究体制立ち上げ

- テーマ1の体制の立ち上げ
研究体制を立ち上げた。グループAでは研究員を一名雇用した。
グループAでは週1回の研究ミーティング、グループBでは隔週のミーティングを行う体制を構築した。
また、研究に必要な機器類やデータを整備した。特に、機器類についてはバックアップ装置を追加費用で購入し、端末群も購入した。
- テーマ2との連携の立ち上げ
テーマ2は次年度から開催するシンポジウムの計画を考案した。
テーマ1,2のグループリーダーが集まって話し合う機会を定期的に設けた。
高速取引に用いられるAIアルゴリズムの概要についてサーベイを開始した。

○実施項目1-2: データの準備

1-2に記載したデータを準備した。準備は初年度で終了しなかった分は、次年度の持越しとなる。

- 実データの準備
自然言語のデータについては必要な前処理を行いつつある。
経済データについては、莫大量のデータであるため、まずニューヨーク株式市場デ

ータをNYSEから入手した。入手後、研究員が前処理を行った。

- 擬データの準備
複雑系科学で提案されているSimon, BAモデルなどの擬似データを発生させるプログラムを作成した。(グループA)
深層学習を利用して、自然言語の実データを学習の上、擬似データを発生させるプログラムを作成した。経済データについてはデータの前処理が未だ行われていなかったため、次年度の持越しとなった。(グループA)
株式市場のエージェントモデルを利用して、データ整備を行った。(グループB)

○実施項目1-3:実データで成立する幕則に関する事前研究

- 自然言語
自然言語上でのふるまいがよくわかっていない幕則の一つであるTaylor則を入念に吟味し、Taylor則を自然言語時系列で適用する画期的な方法を考案した。これについては自然言語処理の最難関国際会議に論文を年度内に投稿した(新年度2018年4月に採択となった)。
- 株式データ
株式データでの幕則のサーベイを行った。

今年度の到達点：テーマ2

体制を構築し、国内外状況のサーベイ、データ準備などを行った。結果をグループAにフィードバックした。

○実施項目2-1： 体制構築・サーベイ

- 金融に関する現状の調査を開始した。日本における主要関連機関との間で連携を構築し、情報共有(勉強会、研究会、講演会等)を行った。
- 連携先候補(NISTEP, 金融庁、日銀)と連携方法を調整した。
- 各国の金融規制官庁(米国, 英国, フランス等)、国際機関(OECD, EC)世界経済フォーラム)における類似テーマについての調査状況について文献調査およびヒアリング調査を行うための準備を始めた。

○実施項目2-2： 幕則比較・海外比較

- 経営工学・政策科学の分野で知られる株式市場の幕則に関する論文サーベイを始めた。

○実施項目2-3： 高速織引き実態調査

H30から本格調査を行う。H29は前段階としてどのように現状を調査するか、その戦略を考えはじめた

(4) 当該年度の成果の総括・次年度に向けた課題

総じて、予定どおり順調である。グループABについては、自然言語に関しては、ACLの論文成果など予想以上の成果が上がっている。一方、経済データについては、量が半端でなく、計算の量の多さで苦労している側面もある。このため、NYSEのデー

タで処理を行い、理解を得ることを優先させ、国内の株式市場のデータの入手は現在あと回しとなっている。

次年度も、計画書に記載したとおり、予定どおりに行う。

2 - 3. 会議等の活動

年月日	名称	場所	概要
11月21日	グループ長ミーティング	東京大学駒場キャンパス	グループ長3名で今後の方針などを相談した
毎週	研究ミーティング	東京大学駒場キャンパス	グループA内のHITEに関する研究ミーティング
隔週	研究ミーティング	東京大学柏キキャンパス	グループB内のHITEに関する研究ミーティング

3. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

4. 研究開発実施体制

グループA(テーマ1) グループリーダー 田中久美子

東京大学大学院先端科学技術研究センター

実施項目

1-1に記載した体制を立ち上げる。

実施項目

1-2に記載したテーマ1の内容の中で、エージェントモデル以外の部分を担当する。データの整備、霧則に関する事前研究が含まれる。

グループB(テーマ1) グループリーダー 陳 昱

東京大学大学院新領域創成科学研究科

実施項目

グループAと連携する体制を立ち上げる。

実施項目

1-2に記載したテーマ1の内容の中で、エージェントモデルに関する部分を担当する。擬データの生成、霧則に関する事前研究が含まれる。

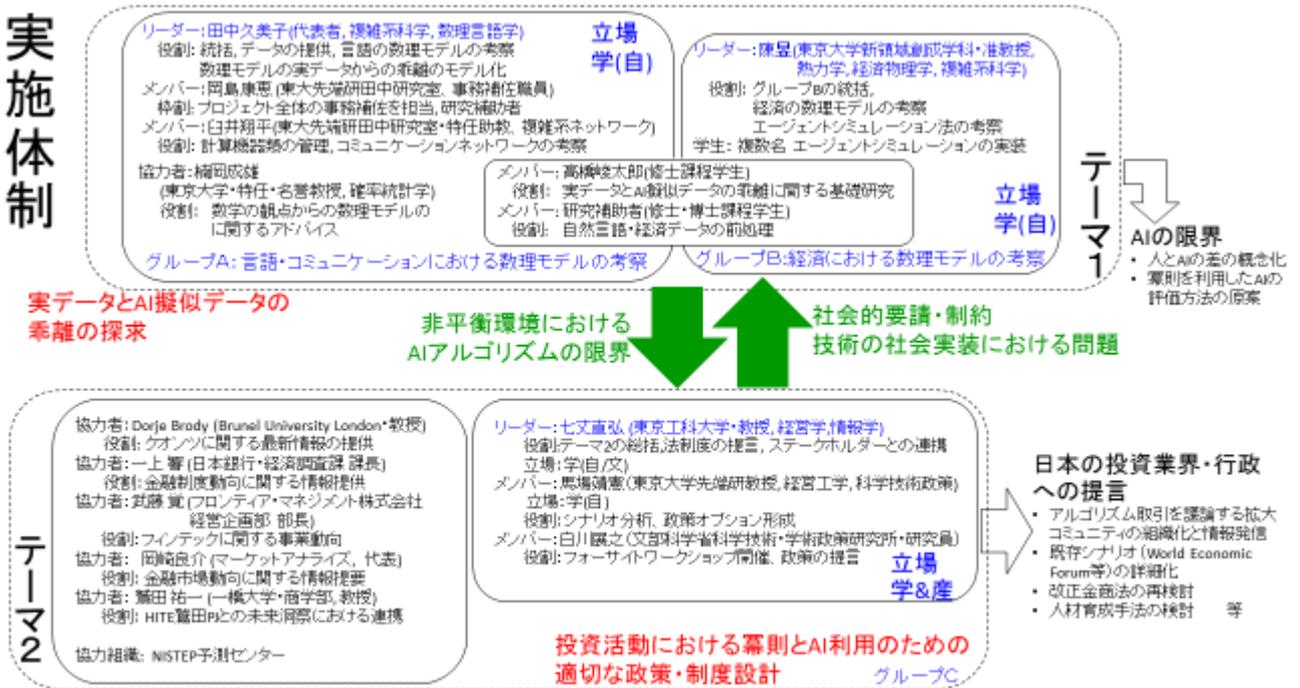
グループC (テーマ2) グループリーダー 七丈直弘

東京工科大学

実施項目

2-1に記載した内容を実施する。

実施体制



5. 研究開発実施者

研究グループ名: A

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
田中 久美子	タナカ クミ コ	東京大学	先端科学技術 研究センター	教授
白井 翔平	ウスイ ショ ウヘイ	東京大学	先端科学技術 研究センター	特任助教
高橋 峻太郎	タカハシ シ ュンタロウ	東京大学	大学院新領域 創成科学研究 科人間環境学 専攻	修士課程学 生
岡島 康恵	オカジマ ヤ スエ	東京大学	先端科学技術 研究センター 田中久美子研 究室	事務補佐員

研究グループ名：B

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
陳 昱	チン ユ	東京大学	大学院新領域 創成科学研究 科	准教授
片平 啓	カタヒラ ケ イ	東京大学	大学院新領域 創成科学研究 科人間環境学 専攻	博士課程学 生

研究グループ名：C

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職 (身分)
七丈 直弘	シチジョウ ナオヒロ	東京工科大学	コンピュータ サイエンス学 部	教授
馬場 靖憲	ババ ヤスノ リ	東京大学	先端科学技術 研究センター	教授
白川 展之	シラカワ ノ ブユキ	文部科学省	科学技術・学 術政策研究所	研究員

6. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

6-1. シンポジウム等

初年度の半年にシンポジウムは開催していない。

6-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

(1) 書籍、フリーペーパー、DVD

本プロジェクトに関連する和文、英文の書籍を予定している。英文はSpringerと契約済みである。

(2) ウェブメディアの開設・運営、

(3) 学会以外のシンポジウム等への招聘講演実施等

- ・七丈直弘「海外における未来洞察の政策・戦略立案における活用状況」第50回横幹技術フォーラム, 横断型基幹科学技術推進協議会主催, 日本大学経済学部 7号館講堂, 2017.11.24
- ・Naohiro Shichijo, “Recent Progress of Japanese Science and Technology Foresight”, STPI Science Policy Seminar, National Applied Research Laboratories, Taiwan, Nov 17, 2017

6-3. 論文発表

(1) 査読付き (5 件)

●国内誌 (1 件)

- ・七丈直弘「ドイツ連邦政府における予測活動 “Social Cange 2030”にみられる社会トレンドと社会課題」STI Horizon, 文部科学省 科学技術・学術政策研究所, 3(4), pp.17-22, <http://doi.org/10.15108/stih.00103> (2017)(査読あり)

●国際誌 (4 件)

- ・Shuntaro Takahashi and Kumiko Tanaka-Ishii. Do neural nets learn statistical laws behind natural language? PLoS One, 2017. <https://arxiv.org/abs/1707.04848>
- ・Tatsuru Kobayashi, Kumiko Tanaka-Ishii. Taylor Law of Human Linguistic Sequences ACL (long paper), 2018, to appear, in press.(2月に投稿, 4月に採択, 自然言語処理の最難関の国際会議)
- ・Ye Sun and Yu Chen. "On the mechanism of phase transitions in a minimal agent-based macroeconomic model," Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2018.
- ・Kei Katahira, Yu Chen, Gaku Hashimoto and Hiroshi Okuda. "Development of an agent-based speculation game for higher reproducibility of financial stylized facts," Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2017.

(2) 査読なし (2 件)

- ・七丈直弘, 鷺田祐一「アジア大洋州における未来洞察の政策・戦略立案における活用状況」研究・イノベーション学会 2017 年<第 32 回>年次大会予稿集, pp.7-9, <http://hdl.handle.net/10119/14913> (2017)
- ・松尾淳, 高野飛鳥, 堀添浩司, 後藤制司, 七丈直弘「三菱重工における戦略策定に向けた社会の未来洞察の取り組み」研究・イノベーション学会 2017 年<第 32 回>年次大会予稿集, pp.10-13, <http://hdl.handle.net/10119/15034> (2017)

6-4. 口頭発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

(1) 招待講演 (国内会議 1 件、国際会議 1 件)

- ・Naohiro Shichijo “The future of Asia” The 9th Annual Conference on Development Studies and International Conference on Foresight: Asia 2050, Tamkang University, Taiwan, Nov 18, 2017
- ・田中久美子. 応用数理学会. ものづくり研究会招待講演. 「「ことば」はどのようにフラクタルか」. 東京. 2018年2月5日

(2) 口頭発表 (国内会議 _____ 件、国際会議 1 件)

- ・Yu Chen. “A new gauge for age: Microscopic simulation and cell experiments on time-delayed wound healing assay,” The Second Workshop on System Design for Human & Environment: Microscopic Simulation and Cell Experiments for Biological Systems. Kashiwa Campus, The University of Tokyo, 2018/02/23.

(3) ポスター発表 (国内会議 _____ 件、国際会議 _____ 件)

6-5. 新聞報道・投稿、受賞等

- (1) 新聞報道・投稿 (_____ 件)
- (2) 受賞 (_____ 件)
- (3) その他 (_____ 件)

6-6. 知財出願

- (1) 国内出願 (_____ 件)
- (2) 海外出願 (_____ 件)