

人と情報のエコシステム研究開発領域  
研究開発プロジェクト事後評価報告書

令和3年4月

研究開発プロジェクト名：暮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：田中（石井）久美子（東京大学先端科学技術研究センター 教授）

実施期間：2017年10月～2021年3月

## A. 総合評価

十分な成果が得られたと評価する。

本プロジェクトは、人になじむAIの社会実装を実現するうえで、人の系にはどのような暮則があり、AIがその暮則をどこまで満たすかを理論的に解明することで、AIの有効性と限界を明らかにし、人とAIが互いにわきまえた共創的未来を実現するための知見を提供することを目的として研究が進められた。その結果、暮則は要素の分布と系の長期記憶に分けられるが、深層学習以前の数理モデルでは、要素の分布は部分的に満たすものの長期記憶については全く満たさないのに対して、深層学習の中の先端的AIに限り、要素の分布と系の長期記憶の両方を条件付きで満たし始めていることを見つけ、第3次AIブームを巻き起こした深層学習の進化の本質を明確化した。この結論は一方で、AIは暮則を部分的にしか満たさないという現状のAIの限界をも指し示している。つまり、深層学習は統計に基づく以上稀少性を切り捨てて処理せざるを得なく、また有限のコーパスからの学習であるため長期記憶に難があり、それゆえ完全に新しい状態への対応ができず、また過去の経験を活かすことができないという性質を宿命的に持ち合わせてしまっているということである。稀少性と記憶の長さというこうしたAIの限界は、技術の本質に関わる部分であることから改良策の提示は容易ではなく、この結論は深層学習の本質的限界を指し示しているといえよう。また、本プロジェクトは基礎研究を実施するだけに留まることなく、どのようなAIの制度設計が望ましいかについて金融市場を例に、導き出された上記の成果を社会実装につなげる活動を活発に実施した。その結果、アルゴリズム取引に対する一定の規制の必要性和マーケットの流動性の提供が金融市場において必要であるとの含意を得て、最終的に「AI時代の金融市場運営に対する提言」として政策提言が行われる見込みとなった。この提言をふまえアルゴリズム取引が増大した市場を調査したところ、暮則が壊れてくることが示され、シナリオの知見通り多様な投資家から市場が形成されることこそ暮則の根源であることが改めて明らかにされている。AIの限界と可能性やAIと人間の違いをエビデンスをもって示したこれら本プロジェクトの知見は、デジタル庁の発足により日本中でデジタルトランスフォーメーションが強力に進められようとしている状況下で、適切なAI活用を進めるにあたっての道しるべになりえるものとも考えられるため、この知見を様々な分野に広げていく活動の社会的ニーズは非常に高いと評価する。

一方で、今回の研究期間の目標としては本プロジェクトの研究計画の内容で十分に妥当であったと考えられるものの、人の系がいくつかの暮則を満たすとしてそれが望ましいことなのかどうか、またAIが暮則を満たさないとしてもむしろそのほうがよいという可能性はないのかなどを吟味して、暮則の価値的意義を検討しAIのELSI（倫理的・法的・社会的検討）の考察までつなげることができるならば、本領域における取り組みとしての完成度がより高かった可能性があるとも考えられる。また、具体的な社会展開の手法としてのフォーサイトの部分については、数理モデルとフォーサイトの接続が少し見えにくい点があると考えられる。それゆえ、フォーサイトについては、数理モデ

ルの検証を踏まえてどのような議論が行われたのか、その手順や論点を整理し提示することを検討していただきたい。さらに、冪則に関連する他の領域の研究者をより幅広く巻き込むことができたならばよりインパクトの高い活動になりえたとも考えられるため、今後は社会実装という部分だけでなく基礎研究の部分においても関与者を広げていくことを検討していただきたい。

## **B. 項目評価**

### **I. 研究開発プロジェクトの研究開発内容とその成果について**

#### **1. 目標の妥当性**

十分妥当であったと評価する。

人になじむAIの社会実装を実現するうえで、人の系にはどのような冪則があり、AIがその冪則をどこまで満たすかを理論的に解明しAIの有効性と限界を明らかにすることは、深層学習が時に過大評価また時に過少評価された第3次AIブームが進行していた研究期間中において、社会全体から期待されている命題であり、本プロジェクトの目標設定は十分妥当であったと評価する。また、実際にそれを検証した後、フォーサイトによる制度設計の場での議論に持ち込んだことは、数理モデルに人間・社会の視点を持ち込むアプローチとしても適切であったと考えられる。

一方で、今回の研究期間の目標としては本プロジェクトの研究計画の内容で十分で妥当であったと考えられるものの、人の系がいくつかの冪則を満たすとしてそれが望ましいことなのかどうか、またAIが冪則を満たさないとしてもむしろそのほうがよいという可能性はないのかなどを吟味して、冪則の価値的意義を検討しAIのELSI（倫理的・法的・社会的検討）の考察までつなげることができるならば、本領域における取り組みとしての完成度がより高かった可能性があるとも考えられる。また、具体的な社会展開の手法としてのフォーサイトの部分については、規制者にとってのAI活用取引の課題を示すだけでなく、規制もAIを活用することでどう変わるのか、変わらないのかといった視点を含めることも可能であったように思われる。これらの可能性について、今後の研究アジェンダの候補として検討されることを期待する。

#### **2. 研究開発プロジェクトの運営・活動状況**

十分適切になされたと評価する。

目標達成のために明確な実施項目を立て、その実施項目について各グループ間で適切に役割分担且つ相互に連携し実施し、結果として着実な成果を創出することができたと評価する。また社会実装に向けた実践的な試行としても、海外の数理研究者、東京証券取引所、金融系の研究者、金融機関、投資ファンド、金融系監督機関など株取引に関連するステークホルダーや科学技術政策関係者を十分に巻き込んだ議論が適切になされた。さらに、欧州でのデータガバナンスの変化に応じて、そのような変化も変数に加えたシナリオを作製するなど時勢の変化にも対応した柔軟な活動がなされたと高く評価する。

一方で、冪則の理論的検討とフォーサイトの活用については、そもそもの内在的連携要素が薄く連携の必然性にやや欠ける部分があったとも思われるため、具体的な社会展開として別の手法の可能性を検討してもよかった可能性も否めないと考えられる。また、冪則に関連する他の領域の研究者をより幅広く巻き込むことができたならばよりインパクトの高い活動になりえたとも考えられるため、今後は社会実装という部分だけでなく基礎研究の部分においても関与者を広げていくことを検討していただきたい。

### 3. 研究開発プロジェクトの目標の達成状況および研究開発成果（アウトプット・アウトカム）

十分な成果が得られた。

本プロジェクトは、人になじむ AI の社会実装を実現するうえで、人の系にはどのような冪則があり、AI がその冪則をどこまで満たすかを理論的に解明することで、AI の有効性と限界を明らかにし、人と AI が互いにわきまえた共創的未來を実現するための知見を提供することを目的として研究が進められた。その結果、冪則は要素の分布と系の長期記憶に分けられるが、深層学習以前の数理モデルでは、要素の分布は部分的に満たすものの長期記憶については全く満たさないのに対して、深層学習の中の先端的 AI に限り、要素の分布と系の長期記憶の両方を条件付きで満たし始めていることを見つけ、第 3 次 AI ブームを巻き起こした深層学習の進化の本質を明確化した。この結論は一方で、AI は冪則を部分的にしか満たさないという現状の AI の限界をも指し示している。つまり、深層学習は統計に基づく以上稀少性を切り捨てて処理せざるを得なく、また有限のコーパスからの学習であるため長期記憶に難があり、それゆえ完全に新しい状態への対応ができず、また過去の経験を活かすことができないという性質を宿命的に持ち合わせてしまっているということである。希少性と記憶の長さというこうした AI の限界は、技術の本質に関わる部分であることから改良策の提示は容易ではなく、この結論は深層学習の本質的限界を指し示しているといえよう。本プロジェクトから導き出されたこれらの知見は、深層学習技術の可能性と限界をエビデンスを持って示したものであり、人と AI の違いについて曖昧にしか語られてこなかった言説の中で特筆に値する成果を創出したと高く評価する。

また、本プロジェクトは基礎研究の実施だけに留まることなく、金融市場を例にどのような AI の制度設計が望ましいかについて、導き出された上記の成果を社会実装につなげる活動を活発に実施した。具体的には、金融市場における AI 活用のあり方を 4 つのシナリオを通じて可視化し、株取引に関連するステークホルダーとの意見交換が行われた。その結果、アルゴリズム取引に対する一定の規制の必要性和マーケットの流動性の提供が金融市場において必要であるとの含意を得て、最終的に「AI 時代の金融市場運営に対する提言」として政策提言が行われる見込みとなった。この提言をふまえアルゴリズム取引が増大した市場を調査したところ、冪則が壊れてくることが示され、シナリオの知見通り多様な投資家から市場が形成されることこそ冪則の根源であることが改めて明らかにされている。さらに、これらの活動を通じて作成されたシナリオ群はアルゴリズム取引以外の多くの社会の側面にも展開可能であることが判明したことから、SDGs や WEF のレポートで対象にしている領域に対応したシナリオ分析も実施し、科学技術行政関係者などへの成果のインプットを試みる展開やフォーサイトキットの作成へと発展した。シナリオ作りは他所でも多くの類似の取り組みがなされているものの、本プロジェクトのように AI について数理的考察から得られた前提情報に基づくシナリオは稀であり、数理モデルに人間・社会の視点を持ち込むアプローチとして適切であったと評価できる。

一方で、今回の研究期間の目標としては本プロジェクトの研究計画の内容で十分で妥当であったと考えられるものの、人の系がいくつかの冪則を満たすとしてそれが望ましいことなのかどうか、また AI が冪則を満たさないとしてもむしろそのほうがよいという可能性はないのかなどを吟味して、冪則の価値的意義を検討し AI の ELSI（倫理的・法的・社会的検討）の考察までつなげることができるならば、本領域における取り組みとしての完成度がより高かった可能性があるとも考えられる。また、具体的な社会展開の手法としてのフォーサイトの部分については、数理モデルとフォーサイトの接続が少し見えにくい点があると考えられる。それゆえ、フォーサイトについては、数理モデルの検証を踏まえてどのような議論が行われたのか、その手順や論点を整理し提示することを検討

していただきたい。

#### 4. 研究開発成果の活用・展開の可能性

大いに期待できると評価する。

幕則の観点から AI の評価・社会実装を構想するという手法は、言語、株取引、労働など幅広い領域に適用できるだろうし、またこの手法自体がさらに洗練され発展する可能性を秘めていると考えられるため、本プロジェクトの研究開発成果の活用・展開の可能性は大きく期待できると評価する。実際に、本研究の成果は科研費のプロジェクトや東京証券取引所との共同研究に引き継がれており、既に次の取り組みに向けて布石は打たれている。デジタル庁の発足により日本中でデジタルトランスフォーメーションが強力に進められようとしている中で、AI と人間の違いをエビデンスをもって示した本プロジェクトの知見は、適切な AI 活用を進めるにあたって道しるべになりえるものとも思われるため、この知見を様々な分野に広げていく活動の社会的ニーズは高いと考えられる。

他方で、研究開発実施終了報告書にはプロジェクト推進期間の米国政権やパンデミックの危機が述べられているが、仮に本プロジェクトの新たな知見を活用しつつそれらの変動危機における AI 活用の見える化を提示することができていれば、本成果のインパクトをより明確に主張できたかもしれないとも考えられる。それゆえ、今後起こりうるこうした大きな変動危機においては、幕則の観点から適切な分析を随時社会に向けて提案する必要があるとも思われるため、情報発信の工夫も含めてさらなる体制の強化も検討していただきたい。さらに、アルゴリズム取引に関しては、日本国内にとどまるものではないため、今後は海外の取引データなども取り込んで検証していくことを期待したい。

## II. 研究開発プロジェクトの領域への貢献

研究開発プロジェクトの運営と活動、および得られた研究開発成果は領域の目標達成にある程度貢献できたと評価する。

本プロジェクトは、技術開発の検証と社会実装を議論する場の双方を備えており、一つの共進化プラットフォーム姿を提示できていると評価する。技術開発の検証として AI と人間の違いをエビデンスをもって示したことは本領域として誇れる成果であり、この成果を様々な他分野に積極的に発信していくことで、適切な AI 活用を進めることが可能になるとも考えられる。

しかしながら、本プロジェクト実施中には、これら成果を領域の他のプロジェクトや領域全体、あるいは他の分野に積極的に展開していくような動きは限定的にしか実施されなかった。これについては、領域のマネジメント側もより積極的に介入し、成果の発信を推し進めるなどの活動をする必要性があったとも反省される。それゆえ、アドバイザーや本領域の他の研究開発プロジェクトメンバーに同じ問題意識をもった研究者が揃っていると考えられることから、本プロジェクト終了後も本領域と継続的に関係しながら、成果を様々な展開していく取り組みがなされることが期待される。

以上