

モデリングとインテリジェンスの協働

関 宏 理*・村 田 純 一**

* 大阪大学大学院基礎工学研究科 大阪府豊中市待兼山町 1-3
** 九州大学大学院システム情報科学研究所 福岡県福岡市西区元岡 744
* Graduate School of Engineering Science, Osaka University, 1-3
Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka, Japan
** Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu Uni-
versity, 744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka, Fukuoka, Japan
* E-mail: h_seki@ieee.org
** E-mail: murata.junichi.684@m.kyushu-u.ac.jp

キーワード：計算知能 (computational intelligence), モデリング (modeling), 知能 (intelligence), 説明可能なAI (Explainable AI).
JL 001024/6310-0603 ©2024 SICE

1. まえがき

本特集では、インテリジェンスから見たモデリング、モデリングから見たインテリジェンスの二つの視点から、今後のインテリジェンスとモデリングの協働の方向性を紹介する。

システム・情報部門コンピューテーショナル・インテリジェンス (CI) 部会では、CI 分野の将来の体系化を目指して学術的・技術的発展のまとめとこれからの展望の議論を知識として蓄積し、これらを広く提示する試みとして Computational Intelligence Fons Scientiae (CIFS) プロジェクト¹⁾を立ち上げた。また、その取り組みの一つとして、これまで研究会や学会発表では十分な説明や質疑応答時間を取れなかったことから、発表者と聴講者が十分な説明と議論時間を設けられる場として Collaborative Intensive and Focused (CIF) Session を開催してきた。本特集はこの CIF Session をはじめとする CI 部会の諸活動での議論の成果をまとめたものである。

現在、深層学習や ChatGPT をはじめとした大規模言語モデルが大きな注目を集めている。しかし、これらは説明可能性や原理の欠如があり、信用して使う、あるいは、さまざまな用途に使うという面で不十分である。したがって、今後、これらの手法に代表される「インテリジェンス」と説明や原理の表現手段である「モデリング」が統合され、より信頼性、汎用性が高いものとなることが期待される。本特集は、このために重要となると想定される、インテリジェンスから見たモデリング、モデリングから見たインテリジェンスの二つの視点から、今後のインテリジェンスとモデリングの協働の方向性を紹介する。

2. コンピューテーショナル・インテリジェンス・フォンスキエンティア (CIFS)

2014 年にニューラルネットワーク部会からコンピューテーショナル・インテリジェンス部会 (CI 部会) に名称を変更した²⁾。これを契機にこの分野に関する情報発信を行うことを計画し、CI 研究会においてパ

ネルディスカッションを開催したほか、計測と制御に特集記事を掲載した。しかし、まだ整理が不十分な点もあり、これを整理した上でさらなる情報発信を行いたいことから、コンピューテーショナル・インテリジェンス・フォンスキエンティア CIFS¹⁾ (注1)なるプロジェクトを始めることにした。CIFS では、コンピューテーショナル・インテリジェンスの将来の体系化を目指してさまざまな議論と討論を行ってきた。まず第 11 回 CI 研究会から複数回にわたって Invitation to CIFS プロジェクトを開催した。Invitation to CIFS では CIFS というプロジェクトの紹介、および、この分野の学術的・技術的発展のまとめと、これからの展望に関する議論の蓄積の一環であり、研究会参加者全員と公開討論を行った。討論の内容はさまざまで、CI とは何かということから議論を始め、

- CI の C (computational) とは何か？
- CI の I (intelligence) とは何か？
- C から見た I とは何か？
- I から見た C とは何か？
- そもそも CI と AI の違いとは？

などについてさまざまな意見交換を行った。

つぎに上記の討論から生まれた CI と AI の違いとは何かについての議論をさらに深めるため、CI とモデリングに焦点を当てて CI 研究会やインテリジェント・システム・シンポジウム 2021(FAN2021)、SICE システム・情報部門学術講演会 2020(SSI2020) および 2022(SSI2022) にて、多くのパネルディスカッションや企画セッションを開催した³⁾。

SSI2020 で開催した CI とモデリングをテーマとしたパネルセッションは非常に盛況であったが、それ故に十分な討論時間が取れない状況となった。このことから、的を絞った (Focused) 内容を、複数の研究者・技術者が一緒に (Collaborative)、長時間集中的に (Intensive)、議論する場 (Session) として Collaborative Intensive and Focused (CIF) Session を企画した。CIF Session

(注1) 「フォンスキエンティア」は、「知識の泉」のラテン語「fons scientiae (フォンス スキエンティア)」のスをリエゾンさせて「フォンスキエンティア」とした造語である。

は話題提供者に対して十分な発表時間を設け、話題提供者と聴講者が納得のいくまで質疑応答を行うことにより、議論と理解を深める場となった。

CIF Session で得られた知見を基に、SSI2022 では「“AI”時代のシステム学—現実とインテリジェンスとシステム学」をテーマにパネルディスカッションを行った。深層学習のめざましい成果から機械学習に基づくAIが注目されて久しいが、“AI”とシステム学は対立するものなのか、協力するものなのか、補完し合うものなのか、あるいは共創するものなのか？このような疑問の中、本企画では、話題提供者によるシステム学の新しい概念の紹介と複雑な現実問題をインテリジェンスを活用して解決する研究の紹介を踏まえて、これらについてパネル討論を行った。

本特集はCIFSの活動であるCIF SessionとSSI2022のパネルディスカッションで行われた議論を基に、モデリングとインテリジェンスに関する解説で構成されている。

CIFSのWebページ¹⁾ではCIに関するさまざまな情報や議論がまとまっている。興味のある読者は参考にされたい。

3. モデリング×インテリジェンス

これまでモデリングやインテリジェンスに関する多くの研究が行われてきており、代表されるAI技術である深層学習やChatGPTではさまざまな分野で高い精度を得ることができるようになってきている。しかしながら、深層学習やChatGPTは説明可能性については不十分であることが指摘されている。このことからさまざまなAI技術はモデリングやインテリジェンスからの観点のみではなく、モデリングとインテリジェンスの協働により、高い精度を保ちつつ説明可能性を明らかにすることが期待される。

本特集では上述したコンピューターショナル・インテリジェンスのCとIとは何かの議論の延長で、

- モデリングから見たインテリジェンスとは？
- インテリジェンスから見たモデリングとは？
- モデリングとインテリジェンスの協働（あるいは相互作用・相乗効果）

について考える。本特集のタイトルではモデリングとインテリジェンスの協働を×（クロスオーバー）で表現しているが、これには、モデリングとは何か、インテリジェンスとは何か、モデリングから見たインテリジェンスの役割とは何か、インテリジェンスから見たモデリングの役割とは何か、モデリングとインテリジェンスの協働により実現できるものは何かが含まれている。ここでのモデリングには、ものごとの振る舞いの帰納的な記述だけでなく、人の行動や社会の動きの原動力となる価値、その価値を高める過程の最適化問題としての把握等

も含む。また、モデリングとインテリジェンスの協働についても、理論的な一般論から、実社会の問題解決に資する議論までが含まれている。このように、本特集ではモデリングとインテリジェンスの協働およびその方向性について、さまざまな視点から解説論文を通して議論いただいている。次章では簡単に本特集の各解説記事を紹介する。

4. 本特集について

本特集は2章で述べたように、これまでのCIFSでの活動の一つとして行われたCIF SessionやSSI2022のパネルセッションで議論された内容について深掘りし、モデリングとインテリジェンスの協働の方向性に関して解説する記事から構成される。

最初の記事では黒江康明氏にモデル内包学習について解説いただく。モデル内包学習は、未知なる対象の入出力データだけを用いるのではなく、対象に対する何らかの知識をモデル化しそれを内包させて学習する方法であり、システムとモデリングとデータに関わるさまざまな問題を解決できる。モデル内包学習に関する研究を紹介し、データ同化との関係を議論することを通して、CIにおけるインテリジェンスの実現に関わる二つの側面「モデリングによりインテリジェンスを実現すること」と「モデリングをインテリジェンスに実現すること」のうちの後者についての現状と可能性について述べていただく。

つぎの記事は本間経康氏に医療応用における計算知能と modeling について解説していただく。近年の人工知能 (artificial intelligence, AI) の技術的な性能向上に伴い、多様な分野での社会実装が進められ、医療応用も重点分野の一つとされている。特に画像解析能力は飛躍的な進歩が報告され、さまざまな医用画像診断 AI の実装が試みられている。これらの技術が普及することで、読影負担軽減や効率化に加え、専門医偏在問題に対する質向上や均てん化などの効果が期待されている。本解説では代表的な研究をいくつか概観するとともに、使用に際しての注意点や問題点などを、解決に向けた展望とともに考察する。特に、現在のAIは診断結果は良いが、なぜそう診断したかの説明は苦手とされ、いわゆる説明可能性の問題が残されている。このため最近では、その機序を解析することで、深層学習がどのような model を構築・同定しているか、model 内部を可視化などで解析する研究も盛んであり、臨床応用に向けた取組みとあわせて紹介していただく。

続いては本稿の筆者の一人である関宏理がファジィ推論モデルの説明可能性とDX推進について解説する。近年、深層学習がさまざまな分野で良好な結果を得られており、活発に研究されている。しかしながら、深層学習は入出力関係が不明であり、構造がブラックボックス

であることが問題として挙げられる。一方、ファジィ推論モデルは If-Then ルールで記述されているため、人間が直観的に理解しやすい構造となっていることから、説明可能な AI の一つとして期待されている。本稿ではいくつかの代表的なファジィ推論モデルと、近年注目されている深層ファジィ推論モデルを紹介する。また、If-Then ルールで記述されるファジィ推論の説明可能性とその DX 推進への適用可能性についても言及している。

つぎの記事では佐藤寛之氏に実問題と進化計算の親和性について論じてもらい、進化計算による実問題の最適化について、筆者の事例を中心に紹介していただく。最適化問題を解くには決定変数、目的関数、制約条件の把握が必要であり、これもモデリングの一種である。進化計算による実問題の最適化の事例が多数報告され、進化計算が学術的な意義だけでなく社会貢献の観点からも重要な研究題材であることを広く認知されることが期待されることについても述べている。

藤井信忠氏と玉置久氏の 2 氏にはレジリエンスにおけるモデリングとインテリジェンスについて解説いただく。ますます大規模・複雑化するシステムにおいて、最適性や効率を主眼とした伝統的なアプローチに加え、サステナビリティやレジリエンス、価値創造などの観点から、システムを扱う上で重要視されるようになってきている。そこで本解説では、レジリエンスという概念・考え方について概説した上で、客観的価値と主観的価値の融合による価値創出モデル、システムを取り巻く環境とステークホルダの関係性にもとづくレジリエンスのシステムモデルなどについて述べていただく。

リアルスケール社会シミュレーション (RSSS) とは、現実の特定のコミュニティを想定した社会シミュレーションである。これまで社会シミュレーションの多くは単純化された仮想的な空間において本質的な関係を模擬しようとしてきた。しかし、現実社会において自分ごととしてシミュレーション結果を受容するためには、仮想空間におけるシミュレーション結果と現実には乖離がみられてきた。RSSS ではサイバー空間に人間要素を含めたデジタルツインを構築することにより、これまでよりコミュニケーティブなモデリングを可能にすることを目指している。村田忠彦氏と原田拓弥氏の 2 氏には、リアルスケール社会シミュレーションのためのモデリングとインテリジェンスについて、現時点での取り組みを紹介していただく。

最後の記事では半田久志氏に進化計算におけるサロゲートモデルとゲノムインフォマティクスでの応用について解説いただく。化合物の探索においては、評価に時間と計算資源を大きく割く必要があり、システムティックな探索の実現が困難であった。本解説ではサロゲートモデルとして Quantum Deep Field (QDF) を用いた

方法について述べている。化合物の電子のポテンシャルという物理的特性を加味しつつ探索することにより、非常に精度が良く、また、計算時間の短縮に繋がることが紹介されている。また、従来の有機薄膜太陽電池として用いられている化合物との比較を通して、探索により得られた化合物が期待される性質を有していることをも示している。

5. あとがき

本稿では CI 部会の取り組みの一つである CIFS プロジェクトについて簡単に説明し、本プロジェクト内で企画された CIF Session と SSI2022 のパネルセッションを軸に、モデリングとインテリジェンスの協働について解説した。深層学習やその 1 種である大規模言語モデルをはじめ、精度の高い AI 技術が現れる一方、解釈性や説明可能性については不明な点が多い。精度を高めるためにはモデリングやインテリジェンスの観点から議論する必要があるが、解釈性や説明可能性を明らかにするにはモデリングとインテリジェンスの協働がなお一層重要である。

最初の疑問であるコンピューターショナル・インテリジェンスとは何かから議論を始め、本稿ではモデリングとインテリジェンスの協働に焦点を当てたが、モデリングやインテリジェンスと別の何かの協働についても議論を行うことが考えられる。モデリングやさまざまな価値の概念と協働し、社会課題の解決や社会の発展に安心して活用できるインテリジェンスを開発することが重要であると思われる。このことについて本特集よりさまざまな視点から改めて考えるきっかけになれば幸いである。

2024 年 6 月にはコンピューターショナル・インテリジェンス分野最大の国際会議である IEEE World Congress on Computational Intelligence 2024 (IEEE WCCI2024) が日本の横浜で開催され、盛況のうちに終了した。コンピューターショナル・インテリジェンス分野は盛り上がりを見せているものの、発表の多くは中国からであることも確認されている。日本の CI 分野の研究者も非常に多くの方が参加・発表されていたが、WCCI2024 の国内開催を機に、深層学習に続く新たな CI 技術のブレイクスルーが日本から生まれることを期待する。

末尾ながら、本特集に記事を執筆いただいた著者の皆様、会誌出版委員、および、編集事務局の皆様には大変ご尽力いただいた。ここに感謝申し上げます。

(2024 年 8 月 23 日受付)

参考文献

- 1) <https://scrapbox.io/CIFS/>
- 2) 村田 純一: SICE におけるコンピューターショナル・インテリジェンス, 計測と制御, **54**-8, 543/546 (2015)
- 3) 磯川 倅次郎: Computational Intelligence Fons Scientiae プロジェクトの紹介, 計測と制御, **62**-10, 635/636 (2023)

[著者紹介]

せき ひろ さと
関 宏 理 君 (正会員)



2008年大阪大学大学院博士後期課程修了。博士(情報科学)。2010年大阪工業大学工学部特任講師。2012年関西学院大学理工学部契約助手。2015年大阪大学大学院基礎工学研究科助教を経て、現在同大学招へい教員。2008~2010年日本学術振興会特別研究員。ファジィシステムの基礎的性質解明とその応用に関する研究に従事。IEEE Kansai Section GOLD Award, Finalist for the Franklin V. Taylor Memorial Award in

IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, IEEE Computational Intelligence Society Young Researcher Awardなどを受賞。IEEE Computational Intelligence Society Japan Chapter Chairなどを歴任。IEEE, 電子情報通信学会, 日本知能情報ファジィ学会, 人工知能学会など各会員。

むら た じゅん いち
村 田 純 一 君



1986年九州大学大学院博士後期課程電気工学専攻修了。工学博士。同大学助手, 助教授, 准教授を経て, 2010年同大学システム情報科学研究院教授。2024年定年退職の後, 同学術研究員。学習・進化システム, 最適化, これらのエネルギーマネジメントシステムへの応用の研究に従事。