

審査の結果の要旨

氏名 齊 濟

様々な経済現象、自然現象の中には、多様な要素や事象が相互作用することによって全体を形成しているネットワーク状のシステムとして捉えられるものが多い。脳の働き、科学技術領域の発展的統合や衰退、経済における複雑で説明や予測の難しい破綻的な変化、生命における遺伝子の相互作用などを考えるだけでも、巨大かつ複雑でしかも動的なシステムの全体像を把握することの普遍的な重要性が分かる。

本論文は、この様に巨大かつ複雑で動的な社会や人間の営みからなるシステムの全体像をとらえるために、動的なシステムから時々刻々吐き出されるデータを可視化する技術を開発することを目的に据えている。細部詳細ではなく、変化するネットワークのおおまかな構造と動きを正しく捉えることに主眼を置いている。

本論文ではまず、データに基づいて様々な要素（ノード）を分割し、対象世界の構造をモデル化するための計算技術を提案している。この方法は、グラフ（ノードと枝からなる構造体）の形で可視化すると巨大複雑ネットワークとなる上に、動的な変化を含むような対象のデータについて、二部グラフ分割によるクラスタリングを含む構造化、および時間変化を含めた構造のマトリクスによる可視化を行う手法 BIPARTITE を提案している。この手法では、グラフの全体を、複数のクラスタとこれらを結ぶ架橋部に分離する度合いの高い構造を求める。ここでいう度合いの数値化手法は従来のモジュラリティと概念的に共通する部分もあるが、クラスタとクラスタを結ぶ架橋の密度が低い（塊とくびれがある）構造を得る様な評価関数を導入している。この技術を用いることによって、高精度にコミュニティーの自動検知が可能となることを実験的に示した。この実験では、ネットワークにどのようなコミュニティーが含まれるかという正解の分かっている対象のネットワークからコミュニティー検出を行い、他手法との比較評価を行った。この比較では、正解との間の相互情報量を評価指標としており、提案手法 BIPARTITE の秀逸性を数値的に評価検証している。この評価実験は、予備審査から最終段階までに実施したもので、時間と共にネットワーク形状が変化するような動的ネットワークを対象としている点でも本論文の目的に沿ったものとなった。

このような構造計算技術をベースとしながら、構造化した結果を見やすく表示するデータ可視化技術を開発している。この手法は、通常であればネットワーク型の可視化を行うための計算技術として用いられる、要素間関連性のマトリクス型をそのまま用いる可視化技術である。この技術では上記の構造化に加えて、マトリクスの行と列といった

成分の順序を適切に再配置する。このように改良されたマトリクスを可視化に用いることのメリットとしては、計算効率の高さ、そして本要旨書冒頭に述べた全体像の把握が、可視化される情報がスリムであるだけにやりやすいなどの点が挙げられる。本論文の著者である齊は、この可視化手法を手軽に使えるようなグラフィカルインタフェースを持つシステムとして開発し、ユーザ実験を行った。予備審査の段階では、前半のネットワーク構造計算について従来の標準的ツール Gephi の計算手法と同等の結果を得たことから新手法が高精度であることを主張していたが、本審査までに評価実験を改良し、マトリクス再配置の評価に用いることのできる3つの代表的な評価指標も導入し、提案手法である Recut は複数指標においてバランス良く性能を向上させることを確認した。

更に、複雑なネットワークを対象とする場合には、従来のワーク可視化に比べてシンプルで見やすい図を得ることができることを示している。ここでは、見やすさという概念を客観的な数値指標として評価するために、マトリクスにおける密な部分の正方形と長方形の割合やマトリクス中での位置の変化などを数値化する方法を示した。ネットワーク構造およびその変化について、マトリクス状の可視化による認知的効果まで踏まえ、チャンス発見支援などに応用できる可視化ツールとなる可能性を示した。

審査結果

審査票は以下のとおりであった（「優れている」を5点とした平均値）

- | | | |
|----|---------|-----|
| 1) | 新規性： | 3.8 |
| 2) | 有用性： | 4.0 |
| 3) | 完成度： | 3.0 |
| 4) | 外部発表実績： | 3.6 |

剽窃チェックソフト iThenticate の Similarity Index は1%であり剽窃の疑いはない。

予備審査の段階では、審査委員からは以下のような指摘事項があった。

- ① 構造化（コミュニティ検知を含む）と可視化について、評価実験と実用的応用に関連づけた議論の充実化を行うべき
- ② 他手法との適切な実験比較評価を行うべき
- ③ 上記を満たす上からも、投稿中論文の採択を得ることが重要

これらのうち、①②については上記のとおり指摘に応えた成果を盛り込んだ充実した博士論文となった。また③については、予備審査段階では投稿準備段階にあった論文2件が各投稿先のジャーナルに採択されている。以上を総括すると、新規性、有用性に加え、研究の完成度と外部発表実績についても評価できる。学術上は工学的手法をもって新規性と実用性を備えたコミュニティデータの分析および可視化の手法を提案・実装しその効果を検証したものであり、実務上も有益な成果であると認められる。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格とする。

以上