

現実世界に存在する大規模で複雑なネットワークは複雑系の典型例であり、生物や社会などのネットワークに起こる様々な現象を説明する新しい概念として注目されている。複雑ネットワークにおける現象を理解するにあたって重要な性質の一つは、スケールフリー性やスモールワールド性といったネットワークトポロジーに関する性質である。また、動的要素が複雑ネットワーク上で相互作用するようなシステムの挙動を理解するための理論を構築することは重要な課題である。本論文は、複雑ネットワークのトポロジーがノード間再連結力学に応じてどのように発展するかを数学的に考察し、また観測データのみから動的要素の集合体としての複雑ネットワークが持つ性質を推定する手法を提案している。

本論文は"Topology Dynamics and Collective Fluctuation Behavior in Complex Networks with Preferential Linking"（「優先的リンキングを有する複雑ネットワークにおけるトポロジーダイナミクスと協動的揺動挙動」）と題し、全6章から成る。

第1章は、「序論」(Introduction)と題し、複雑ネットワーク研究におけるトポロジーの重要性や協動的揺動挙動に関する概要を説明している。また、本研究の動機を紹介し、構成をまとめている。

第2章は、「再連結力学を有する2部ネットワークの次数分布に関して」(On the Degree Distribution of a Bipartite Network with Rewiring Dynamics)と題し、ノード間の再連結力学を有する2部ネットワークにおけるトポロジーの発展について考察している。すでに提案されていた再連結のルールを記述する数理モデルを3種類に分類し、まだ解析解の得られていなかった2種類について解析解を導出した。これによって、3種類のモデルに基づく2部ネットワークの次数分布の発展がどのように異なるかを明らかにした。

第3章は、「再連結力学を有する2部ネットワークから成るマルチコミュニティの次数分布」(The Degree Distribution of a Multi-Community Bipartite Network with Rewiring Dynamics)と題し、再連結力学を有する2部ネットワークから成るコミュニティが複数存在し相互作用する数理モデルを提案し、ネットワークトポロジーの発展について考察している。ネットワーク間よりネットワーク内の方が優先的連結確率が高いという仮定の下で、各コミュニティにおける次数分布の発展を記述する解析解を導出し、複数コミュニティが関わるネットワークの性質を理解するための理論的枠組みを与えた。

第4章は、「成長及び再連結力学を有する2部ネットワークから成るマルチコミュニティの次数分布」(The Degree Distribution of a Multi-Community Bipartite Network with both Growing and Rewiring Dynamics)と題し、第3章で考察したネットワークにコミュニティの成長という概念を取り入れた場合の数理モデルを解析している。解析解を導出することで、コミュニティの成長率と再連結確率は時間と共に変動し、最終的には均衡点に収束することを示した。この結果は、各コミュニティにおける安定な次数分布は均衡成長

率と均衡再連結確率によって決まることを示している。

第5章は、「優先的フローを伴うネットワーク力学のフィードバックメカニズム」(Feedback Mechanism in Network Dynamics with Preferential Flow)と題し、各ノードにおいて動的システムが定義され、それらが相互作用する複雑ネットワークの数理モデルを提案している。この数理モデルはノード間の連結に関連する優先的フローを考慮した重みつき全結合ネットワークとして表現される。この数理モデルが有するフィードバックメカニズムを理論的に明らかにし、その特性をマクロ経済ネットワークと都市人口ネットワークの具体的なモデルを用いて考案した。さらに、フィードバックメカニズムに対するネットワークトポロジーの影響を定量化し、特にスケールフリー性を持つネットワークの場合について検討した。また、ネットワークトポロジーの発展におけるトポロジー雑音の影響と再結合力学の影響を考察した。そして、各ノードの動的システムの詳細が未知であっても、観測データから各ノードが正負のいずれのフィードバックを有するかを判定する手法を提案し、GDP及び貿易に関する実データに適用した。

第6章は、「結論」(Conclusions)と題し、以上の結果に対するまとめと議論を行っている。

以上を要するに、本論文はコミュニティ構造があるネットワークのトポロジーの発展についての理論的研究をまとめ、実世界の様々なネットワークの挙動や性質を考察するために重要な枠組みを提示しており、数理情報学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。