

# 時間発展するソーシャルコミュニティの可視化

## Visualization of the evolving social community

橋本 康弘† 陳 昱† 大橋 弘忠†  
Yasuhiro Hashimoto Yu Chen Hirotada Ohashi

### 1. 概要

本研究では、ソーシャルコミュニティをネットワークとして抽象化した上で、ノードレベルのミクロな視点とコミュニティレベルのマクロな視点から構造の時間変化を詳細に追跡するための可視化手法を提案する。そのために、時系列データから時系列ネットワークを構成する技術、時系列ネットワークに対するコミュニティ検出技術、時刻間のコミュニティ同定技術、コミュニティ構造を反映したレイアウト技術を統合し、インタラクティブ性の高いユーザインタフェースと共存させるためのデータ構造を検討する。結果として、時間的・構造的スケールに対する自由な視点変更を可能にし、構造変化の背後にある合理性の高いシナリオを発見する枠組みを実現する。

### 2. 背景と目的

ソーシャルコミュニティとは社会的人格の選択的な集団であり、特定のコミュニケーションや社会的手続きの存在によって定義される。一口にソーシャルコミュニティと言っても、電話や電子メール、SNS、共同研究、地域的つながり等、そのコミュニケーションの具体性によって成立する構造は様々である。しかし、コミュニケーションを人格・行為を接続する抽象的なリンクとして、その具体性を削ぎ落とすことで、ソーシャルコミュニティはヒューマンネットワークが持つ一種のモジュール構造として記述することができる。電子メールのログや電子ジャーナル・研究者のデータベース等を利用したヒューマンネットワークの構築とそのコミュニティ分析は、人間の社会的活動を説明する新しい手段として、近年精力的に研究が進められている分野である。

データからネットワーク構造を理解する際には、簡略化の程度としていくつかの段階がある。まず最も単純な視点は平均量について考える視点である。次に詳細な視点は分布について考える視点、さらに詳細な視点は階層構造や分散構造、コミュニティ構造といった具体的構造について考える視点、最も現実に接近するのがモデルを考える視点である。後者から前者は計算によって直接生成できるが、前者から後者を推定する問題は逆問題となる。例えば、ネットワークサイエンスの分野において平均次数と呼ばれる特徴量は、全体の関係性が疎であるか密であるかを説明する平均量である。しかし、ある平均次数を満足する確率分布は様々であり、分布の形状は系についてのより詳細な情報を含む。さらに、次数分布が例えばべき乗則に従う場合でも、具体的構造は階層性を持つ場合もあれば持たない場合もあり、またいずれの場合についてもそれらを生成する多様なモデルを提案することが可能である[1]。生成モデルは

時間の概念も含むため、所与の構造はダイナミックな過程から切り出された静的構造であるという視点も必要になってくる。多くのネットワーク生成モデルは、現実のネットワークの平均量や分布といった統計量、あるいは静的な意味でのモジュール構造と睨めっこしながら、この困難な逆問題に挑戦するものである。我々が目指すアプローチは、統計量のレベルよりも一段詳細な「構造」とその変化のレベルから法則性を発見することである。言い換えれば、構造の変化からモデル化の前段階としてのシナリオを語る枠組みを提案することである。その手段として、構造や時間のスケールに対するインタラクティブ性の高い可視化手法の開発を進めている。本論ではこのネットワークの時系列可視化手法に関する現状を報告する。

### 3. ネットワークの時系列可視化システム

#### 3.1. 概念図

図1に可視化システムの模式図を示す。システムは紙芝居的なレイヤー構造を持ち、各レイヤーが時刻に対応する。ユーザは時間軸を自由に移動しながら、各レイヤー上に存在するネットワークに対してレイアウトやトポロジーに関する操作を加えることができ、与えられた操作はリアルタイムですべてのレイヤーに反映される。

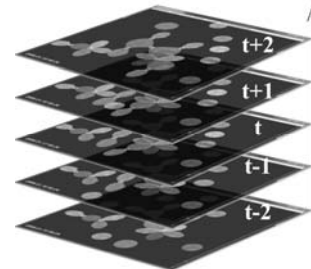


図1: ネットワークの時系列可視化システムの模式図

本システムは大きく以下の4つの技術から構成される。

- ① 時系列データからネットワークの連続的なスナップショットを生成する技術
- ② コミュニティ検出によって時系列ネットワークを粗視化し、俯瞰する技術
- ③ 連続するレイヤーにおいてコミュニティ同士を同定し、変化を捉える技術
- ④ 同定されたコミュニティ群が構成するコミュニティネットワークをレイアウトする技術

①～③の基本的な手順は[2]に従い、次節では新たに④を提案する。

#### 3.2. レイアウトアルゴリズム

ノードは原則的に力学モデル[3]に基づき反復的にレイアウトされる。力学モデルの難点として **unpredictability** (試

†東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻

行ごとに異なる出力を得る性質)が指摘されているが[4], 時間軸方向に積み重なる膨大なネットワークに対してレイアウトのリアルタイム性を確保するためには, 力学モデル以上に優れたものは今のところ存在しない. また, 以下で述べるコミュニティレベルのレイアウトアルゴリズムを組み合わせることによって **unpredictability** は緩和される.

②のコミュニティ検出にはクリークパーコレーション法 (CPM) [2][5]が用いられる. ここでは CPM の一つの特徴であるオーバーラップノード (複数のコミュニティに所属するノード:  $\bigcirc$  と表記) を用いてレイアウトアルゴリズムを簡略化する手法を提案する. 手順は単純で, まず  $\bigcirc$  をコミュニティの境界として, コミュニティの重心から放射状に配置する. それを柱に近接する座標の  $\bigcirc$  間にテントを張るようにスプライン曲線を描く.  $\bigcirc$  以外のコミュニティメンバーは, 曲線内に配置する. 以上の操作をパラメータを調整しながら, すべて力学モデルベースで実現する. 図 2 にコミュニティの時間変化の可視化例を示す. 左がノードレベル, 右がコミュニティレベルの時間発展の描画であり, ノードレベルでは把握困難な構造変化をコミュニティレベルで俯瞰できることが示されている. 俯瞰的観察によって注視すべきポイントを明らかにし, ノードレベルで詳細な観察をするというスケールの往復が容易に可能である.

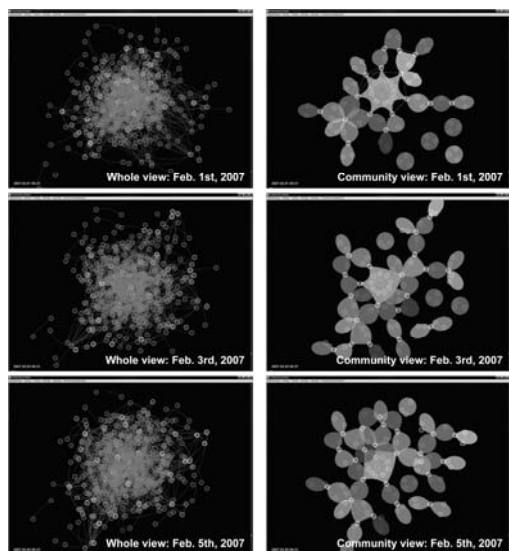


図 2: 電子掲示板[6]におけるコメント関係の時間変化. 時間の流れは上から下へ. (左) ノードレベルでの可視化. ノードは投稿者, エッジはコメントの応酬関係に対応. (右) コミュニティレベルでの可視化. コミュニティレベルではトリビアルなノードが不可視となり, オーバーラップノードを介してコミュニティが連結する構造を示す.

### 2.3. データ構造

ネットワークの時系列をハンドリングする際のデータ構造の方針について述べる. 例えば, ある人格をネットワークのノードとみなすとき, 同一の人格が時刻  $t$  と  $t+1$  に存在する場合に両者をどう関連付けて管理するかという問題である. ここでは, ネットワークのライフタイム中に出現する全ての異なる人格にアイデンティティ属性  $i$  (時間的に不変の情報: 名前など) を持たせ, ネットワークの時系列とは独立に管理する. また, ネットワーク時系列の各時刻に出現する人格 (= ノード) には時刻属性  $i_t$  (時間的に

変化する情報: 所属するコミュニティなど) を持たせ, これは時刻ごとに管理する. そして, 同一の人格である  $i_t, i_{t+1}, i_{t+2}, \dots$  と  $i$  を相互に関連付ける. 同一であるか否かは例えば名前によって判断される. 時刻  $t_0$  のネットワークに注目しながらノード  $i_{t_0}$  に何らかの操作を加えた場合, その操作がアイデンティティに影響を与える操作 (ネットワーク時系列からの削除といった操作も含む) であれば, 関連付けられたアイデンティティ  $i$  に変更を加えると同時に, 全ての時刻の  $i_{t^*}$  にも修正を加える. アイデンティティには影響を与えない, 時刻に固有の変更は  $i_{t_0}$  のみ加える. 一つの人格を複数の時刻レイヤーにおいて管理するという冗長性が存在するが, インタラクティブな操作に対する応答性を重視した設計である. なお, ネットワークの可視化において本質的に重要なノードのレイアウトに関する情報 (座標や力学変数) はアイデンティティ属性であるとした. アイデンティティ属性とみなすことで, ユーザの視点がレイヤー間を移動する際に同一ノードの位置のジャンプが発生しないため, 認知の連続性の面で優れている. もちろんレイアウトはその時々を反映した時刻属性であるとする考え方も可能であり, そのような変更は容易である.

### 3. 結論

ソーシャルコミュニティの変化を時間発展するネットワークという視点から可視化し, 時間的・構造的に様々なスケールから観測する枠組みを提案した. 開発段階のものは [7] で配布されており, 自由に利用可能である.

### 謝辞

本研究は科研費19700085の助成. および東京大学人工物工学研究センター価値創成イニシアティブ (住友商事) 寄付研究部門の支援を受けたものである.

### 参考文献

- [1] 例えば A.-L. Barabási, R. Albert, Emergence of Scaling in Random Networks, *Science*, 286, 509-512 (1999), E. Ravasz, et al., Hierarchical organization in complex networks, *Phys. Rev. E*, 67, 26112 (2003), あるいは A. Fabrikant, et al., Heuristically Optimized Trade-offs: A New Paradigm for Power Laws in the Internet, *ICALP2002*, pp110 (2002).
- [2] G. Palla, et al., Quantifying social group evolution, *Nature*, 446, 664-667 (2007).
- [3] 例えば T. Kamada, S. Kawai, An Algorithm for Drawing General Undirected Graphs, *Inf. Process. Lett.*, 31, 7-15 (1989).
- [4] I. Herman, et al., Graph Visualization and Navigation in Information Visualization: A Survey, *IEEE Trans. Vis. Comp. Graph.*, 6, 1, 24-43 (2000).
- [5] G. Palla, et al., Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society, *Nature*, 435, 814-818 (2005).
- [6] Slashdot Japan: <http://slashdot.jp/>
- [7] Visualization of the social community evolution: <http://syrinx.q.t.u-tokyo.ac.jp/hashimoto/graph/VSC/>