

## 自己組織化による複雑ネットワークモデル生成手法の提案

日大生産工(学部) 寺山 敬佑  
日大生産工 山内 ゆかり

### 1 まえがき

近年注目されている複雑ネットワークには、現実のネットワークの特徴を表現した代表的なモデルとして、スモールワールドネットワークモデルとスケールフリーネットワークモデルがある。

スモールワールドネットワークの生成は、WattsとStrogatzらによってレギュラーネットワークからの再結合により構成する手法（WSモデル）が提案されている<sup>2)</sup>。また、スケールフリーネットワークの生成は、BarabasiとAlbertらにより、新規ノードの結合に制約を持たせながらネットワークを成長させる手法（BAモデル）が提案されている<sup>4)</sup>。

本研究では、新規ノードの結合に自己組織化を取り入れた制約を与えることで、バラバシとアルバートらの提案した、成長させながらネットワークを構成することでスモールワールドネットワークを生成する手法を提案する。

本報告では、従来の構成法によるネットワークと提案手法により構成されたネットワークを、複雑ネットワークの指標を用いて比較検討する。

### 2 提案手法及び実験方法

提案手法を以下に示す。

BarabasiとAlbertらは、平均次数の大きいノードに優先的に新規ノードの結合を行う制約を持たせながらネットワークを成長させる手法を提案したが、本研究では、新規ノードの結合を行う制約に自己組織化の概念を取り入れ、自分と似ているノードと優先的に結合を行うネットワーク構成手法を提案する。

この作成したネットワークを、従来のネットワーク（レギュラーグラフ、ランダムネットワーク、スモールワールドネットワーク（WSモデル）、スケールフリーネットワーク（BAモデル））と比較を行う。

この比較は、複雑ネットワークの特徴を測る指標である、クラスター係数 $C$ 及び平均頂点間距離 $L$ を用いて行う。

クラスター係数は

$$C = 1/n \sum_i C_i \quad (1)$$

で求められる。 $C_i$ は $i$ 番目の頂点と繋がっている頂点同士がペアである枝の本数を、 $k_i(k_i-1)/2$ で割ったものと定義する。 $k_i$ は $i$ 番目の頂点を持つ枝の本数（次数）である。平均頂点間距離は2点間最短距離の $n(n-1)/2$ ペア全体にわたる平均である。

スモールワールドネットワークモデルは、大きい $C$ と小さい $L$ 、スケールフリーネットワークモデルは、小さい $C$ と小さい $L$ を持っていることが知られている<sup>1)</sup>。

ここで、提案手法のネットワークモデルのアルゴリズムについて説明する。ネットワークモデルの頂点数を $N$ 、平均次数を $K$ とする。

- (1)  $K$ 個の頂点で、完全グラフを作成する。
- (2)  $N$ 個の頂点に、1つの頂点につき $M$ 個の属性値を与える。
- (3)  $K+1$ 個目の頂点と、ネットワーク内の $0 \sim K$ 個目までの頂点との比較を行う。比較対象は(2)で与えた属性値である。比較対象の頂点とネットワーク内の頂点の属性値の差の $M$ 個分の総和が最も小さい頂点を勝者とし、比較した頂点とリンクを行う。リンクした頂点以外の頂点から再び比較を行い、リンクを行う。この作業をリンクする数行う。
- (4) (3)の作業を頂点 $N$ まで繰り返して行う。

以上が、提案手法のネットワークモデルのアルゴリズムである。

---

A method for generation of complex network based on self-organization

Keisuke TERAYAMA and Yukari YAMAUCHI

### 3 実験結果および検討

実験結果を以下に示す。

表1 頂点数が50、平均次数が10の時のCとLの値

N=100 K=10		
モデル名	C	L
レギュラーモデル	0.666667	5.454545
ランダムモデル	0.101114	2.226329
WSモデル	0.501187	2.708236
BAモデル	0.256003	2.194628
提案モデル	0.409	2.456426

表2 頂点数が500、平均次数が10の時のCとLの値

N=500 K=10		
モデル名	C	L
レギュラーモデル	0.666667	25.4509
ランダムモデル	0.019939	2.942149
WSモデル	0.492101	3.924499
BAモデル	0.082606	2.734111
提案モデル	0.341001	3.458831

表1、2に実験結果を示した。ランダムネットワーク、スモールワールドネットワーク(WSモデル)、スケールフリーネットワーク(BAモデル)、提案手法ネットワークは生成モデルに乱数を使用しているため、CとLの値には100試行の平均値を採用した。

クラスター係数Cは、レギュラーグラフ以外はNが増加するにつれ減少し、ランダムネットワークが最も小さい値を示した。平均頂点間距離Lはレギュラーグラフでは、Nに比例して増加するが、その他のネットワークでは小さい値を保っている。

2で述べたように、スモールワールドネットワークモデルは、比較的大きいCと小さいL、スケールフリーネットワークモデルは、小さいCと非常に小さいLを持っている特徴が見られる。

提案手法のネットワークの指標について検討を行う。

提案モデルで生成したネットワークのCはWSモデルの値より小さいが、BAモデル及びランダムモデルよりはるかに大きい値である。提案モデルで生成したネットワークのLはBAモデル、ランダムモデルの値より大きいが、WSモデルより小さい値を示している。

以上により、提案手法で生成したネットワークは大きいCと小さいLを持ち、スモールワールドネットワークの特徴が表れている。

この結果、新規ノードの結合に自己組織化の概念を取り入れた制約を持たせることで、成長させながらスモールワールドネットワークを生成することができた。

### 4 まとめ

3で述べたように、成長させながらも、スモールワールドネットワークが実現できた。しかし、提案手法で得られたネットワークの評価は、CとLの値だけで優劣をつけることは難しい。

今後の課題としては、提案したネットワーク生成モデルの評価を、連想記憶などの手法を用いて、他のネットワークモデルとの比較及び評価を行うことが挙げられる。

また、スケールフリーネットワークモデルのような、次数分布に特徴を持っているネットワークモデルなど、新しいネットワーク生成手法の提案も行っていきたい。

### 「参考文献」

- 1) 増田直紀，今野紀雄，「複雑ネットワークの科学」，産業図書株式会社，(2005)，pp1～109
- 2) D.J.Watts and S.H.Strogatz，Collective dynamics of small-world networks，Nature，393，pp440-442(1998)
- 3) A.-L.Barabasi and R.Albert，Emergence of scaling in random networks，Science，286，pp509-512(1999)
- 4) 大久保潤，堀口剛，リンクの優先的再結合のみにより生じる複雑ネットワーク，信学技報，pp25～30