

## 要旨

ネットワークを構成するノードがその中で担う役割に注目しネットワークがもつ構造との関係を推定する。ネットワーク中に存在するノードにはそのネットワーク中で担っている役割が存在する。それらの役割をノードがもつ特徴値から特徴ベクトルとして定義し、分類する。分類毎の特徴を調べ、ネットワークの構造によってどのような分類が存在しているか、どのように分布しているか調査した結果を報告する。

## 1. はじめに

世界に存在する情報は点(ノード)と線(リンク)によるネットワークとして表現できる。SNSに見られる人と人との繋がり、WWWのネットワーク上でのホームページとそれらを繋ぐリンクの関係、都市と都市を結ぶ交通網、生物が他の生物を栄養源とする様子を表わした食物連鎖など様々な事象がネットワークとして表現される。

2つのネットワークが存在したとき、それらが類似しているかを判別する方法として一般にはネットワークがもつ特徴量を用いて比較することが多い。しかし、単一の特徴量はそのネットワークのもつ一つの側面を表すものであり、1種類の特徴量が等しくても、別の特徴量で比較したとき大きく異なる場合がある。

本研究ではネットワークを構成するノードがその中で担う役割に注目する。ネットワーク中には多くのノードが存在するが、それらにはネットワーク中で担っている役割がある。特徴的な役割の例としては多くのノードと接続している“ハブ”と呼ばれるノードなどが挙げられる。ネットワーク中の個々のノードがもつ複数の特徴値から各ノードの役割を分類し、それらの類似した役割をもつノードがどの程度双方のネットワークに存在・分布するかに基づいて、類似した構造をもつネットワークの関係を調べ報告する。

## 2. ネットワーク特徴量

ネットワーク中に存在する個々のノードの特徴値を算出し、それらをベクトル要素とした特徴ベクトルを与える。この特徴ベクトルが個々のノードの役割を現す。このベクトルをもったノード群を階層的クラスタ分析することで役割ごとにノードを分類する。

用いる特徴値を以下に示す。

(1) 次数  $k_i$ 

ノード  $i$  に接続しているリンクの本数である。

(2) 平均最短経路長  $d_i^{ave}$ 

任意のノードから他の別ノードへ到達するために経由するリンクの本数の最小値を最短経路長と呼ぶ。あるノード  $i$  のその他の全ノードに対する最短経路長の平均値が平均最短経路長である。

(3) クラスタリング係数  $c_i$ 

ノードに接続されたノード同士で三角形を作りその対象ノード周辺において密なクラスタを形成しているかを測る指標である。

あるノード  $i$  と、 $i$  に接続しているノード  $j$ ,  $m$  が存在するとき、あるノード  $i$  のクラスタリング係数は

$$c_i = \frac{1}{k_i(k_i - 1)} \sum_{j \in N(i)} \sum_{m \in N(i)} \sigma(i, j, m) \quad (1)$$

で計算する。 $N(i)$  はノード  $i$  に接続しているすべてのノードの集合である。 $\sigma(i, j, m)$  はノード  $i, j, m$  がすべて繋がっている時 1、それ以外の場合 0 の値となる。クラスタリング係数  $c_i$  は  $0 \leq c_i \leq 1$  の値をとる。

(4) 媒介中心性  $b_i$ 

媒介中心性  $b_i$  は、あるノード  $i$  がネットワーク中でどれだけ重要なかを、すべての最短経路長の中でノード  $i$  がどれだけ通過されたかを表し以下の式で計算される。

$$b_i = \frac{\mu(i)}{2(n-1)(n-2)} \quad (2)$$

ここで、 $n$  はネットワークに存在するノードの総数、 $\mu(i)$  はノード  $i$  を端としないすべての最短経路長のうち、ノード  $i$  が通過された回数を示す。式の分母は  $i$  を端としないすべての最短経路長の数である

## 3. 実験方法

(1) 任意のノードに特徴ベクトルを付与する。特徴ベクトルの要素は先に述べた次数、平均最短経路長、クラスタリング係数、媒介中心性を要素としたベクトルである。

(2) 階層的クラスタ分析を行い、この分析の結果から分類を定義する。

以上の操作でネットワーク内のノードを分類する。

似たネットワークでは分類されたノード群の平均特徴ベクトルも類似し、更に類似した分類となったノードは同程度の割合存在すると仮定される。

今回の実験では以下の WS(Watts-Strogatz model)モデル<sup>[1]</sup>と BA(Barabasi-Albert model)モデル<sup>[2]</sup>の2種類のネットワークモデルを用いた。また、各モデルでノードの数を変え規模の異なるネットワークを作成した。各ネットワークのパラメータと基にしたモデルを図1に示す。

## 4. 数値実験

各ネットワーク中のノードを分類した結果、分けられた分類内での特徴値の平均値、分類に属するノードの個数、その分類に属するノード数が全体に占める存在割合をネットワークごとに表2~5に示す。

## 4.1. WSモデル

ネットワーク1の中ではノード数が少ない分類1と分類2だったが特徴は大きく異なり、分類1は次数が低く媒介中心性も低く、逆に分類2は次数が高く媒介中心性が高い

分類となった。このことから分類 2 はネットワークの中で多くの中継を担うハブの役割をしているノード群だと考えられる。また、分類 1 は対照的にネットワーク中では中心に存在しない末端ノード群が予想される。分類 3 のノードはクラスタリング係数は低いが媒介中心性が高く、リンクの密集していない場所に存在し、各経路の通り道になりやすい。分類 4 はすべての値で全体の中で平均的な値を保っている。分類 5 は媒介中心性は分類 1 とほぼ同じだがクラスタリング係数が最大の分類となっている。このように、ある特徴値が似ていても別の特徴値から見る側面で異なっているノード群も分類できていることがわかる。

同じ WS モデルのネットワーク 2 でも特徴ごとに分類されている。次数が少ない・媒介中心性が小さいという点では分類 1 と 3 は似ているがクラスタリング係数が大きく異なる。この傾向はネットワーク 1 の分類 1, 5 と類似している。また分類 2 はネットワーク 1 の分類 2 と似たハブの役割を示している。同様に分類 4 はクラスタリング係数の低さと比較的高い媒介中心性がネットワーク 1 の分類 3 と類似する。分類 5 も平均的な数値を示しており、ネットワーク 1 の分類 5 と対応している。ただし、ネットワーク 1 と 2 では似た分類となった分類同士でもネットワーク中に占めるノード数の割合は異なっているものがある。

#### 4.2. WS モデル

次に BA モデルのネットワーク 3, 4 は特徴が大きく分かれている。まず、両ネットワークの分類 1 は最も優先的選択の恩恵を受けたノードである。ネットワーク 3 の分類 6 とネットワーク 4 の分類 3 はそれに次いで次数が非常に高く、初期に存在していたノード群だと判断できる。逆に、次数が極端に少ないネットワーク 3 の分類 3 および 5、ネットワーク 4 の分類 4 および 5 も特徴的であり、相互に対応していると見られる。両ネットワークの分類 2 では次数が多少大きいものの、クラスタリング係数が非常に高く、媒介中心性が極端に低いという目立った特徴から対応関係が見られる。BA モデルの特徴的な構成は次数の高い少数と次数の低い大多数のノードであるが、こうした特長的なノード群が BA モデルの両ネットワークから検出された。次数が多少多いネットワーク 3 の分類 4 および 7、ネットワーク 4 の分類 6 および 7 は互いに平均的な数値を示しており大きな特徴のないノード群として対応している。

BA モデルでは今回の実験では初期存在ノード数が全体に占める割合ではなく固定数だったため全体の割合に差が出ている。しかし、対応関係を見てみると初期存在ノード群以外は同程度の存在割合が見込める。

これらの実験結果から同じモデルのネットワーク同士では規模が違っていても似たような分類が現れる。また、その分布も似ている部分がいくつか存在する。

#### 5. 終わりに

ネットワーク中に存在するノードを分類し、分類の特徴とその分布割合とネットワークモデルごとの関係を調べた。

各特徴値をノードの特徴ベクトルとして割り当てて分類することで、全体的に似た特徴をもつノードを分類し、それをノードの役割として調べた。結果、ネットワークごとに特徴的な役割の分類が発見され、同じモデルから作られたネットワークでは類似した分類が検出され、その分布も似ていることから構造との関係性が予見できる。

次への課題としてより深い関係性を発見し、最終的には

	ノード数	リンク数	モデル
ネットワーク 1	50	300	WS
ネットワーク 2	100	600	WS
ネットワーク 3	50	305	BA
ネットワーク 4	100	538	BA

表 1. 使用ネットワークのパラメータ

分類	次数	最短経路長	クラスタ係数	媒介中心性	個数	割合
1	9.333	1.8911	0.1175	0.0103	6	0.12
2	15.285	1.6967	0.1200	0.0316	7	0.14
3	10.636	1.8256	0.0936	0.0154	11	0.22
4	12.833	1.7585	0.1261	0.0199	12	0.24
5	10.571	1.8513	0.1617	0.0105	14	0.28

表 2. ネットワーク 1 の各分類平均値

分類	次数	最短経路長	クラスタ係数	媒介中心性	個数	割合
1	10.0	2.2979	0.1676	0.0056	4	0.04
2	15.0	2.0360	0.0766	0.0185	14	0.14
3	8.75	2.2478	0.0695	0.0060	24	0.24
4	12.923	2.0617	0.0486	0.0153	26	0.26
5	11.541	2.1445	0.0821	0.0106	32	0.32

表 3. ネットワーク 2 の各分類平均値

分類	次数	最短経路長	クラスタ係数	媒介中心性	個数	割合
1	46.0	1.0612	0.0884	0.4049	1	0.02
2	5.0	1.9224	0.4167	0.0	5	0.1
3	2.875	1.9898	0.3594	0.0001	8	0.16
4	8.125	1.8546	0.3494	0.0024	8	0.16
5	1.333	2.3946	0.0	0.0001	8	0.16
6	22.667	1.5421	0.2012	0.0405	9	0.18
7	7.688	1.8751	0.2392	0.0061	11	0.22

表 4. ネットワーク 3 の各分類平均値

分類	次数	最短経路長	クラスタ係数	媒介中心性	個数	割合
1	88.0	1.1111	0.0441	0.5369	1	0.01
2	5.857	1.9942	0.4011	0.0001	7	0.07
3	33.201	1.6717	0.1405	0.0431	10	0.10
4	2.0	2.2088	0.3333	0.0	12	0.12
5	1.0	2.3279	0.0	0.0	13	0.13
6	6.533	1.9935	0.3136	0.0006	22	0.22
7	7.0	2.0147	0.2222	0.0019	35	0.35

表 5. ネットワーク 4 の各分類平均値

ネットワークの類似性を定量化する手法を作成したい。

#### 参考文献

- [1]Duncan J. Watts and Steven H. Strogatz : Collective dynamics of 'small-world' networks
- [2]Albert-László Barabási and Réka Albert : Emergence of scaling in random network.