

友人関係ネットワークの変化に対応した 関係構築中心性の提案

菅田 貞治^{1,a)} 武藤 敦子^{1,b)} 森山 甲一^{1,c)} 坂田 美和^{2,d)} 犬塚 信博^{1,e)}

概要: 友人関係は生成変化する中で、その変化に貢献する個人が存在すると考えられる。本研究は友人関係ネットワークの変化の中でも関係の発生に着目し、新しく成立した関係に対してその要因を2種類に分類し、それぞれに基づいた評価値を提案する。この評価値は関係を構築する能力と関連する社会的属性と関係しており、関係構築中心性で見なすことができる。実験では提案した値が実際に個人の能力や性格を反映しているのかを確かめるために現実の友人関係ネットワーク(大学生341人、4か月)と人格適応論を参考にした自身の性格についてのアンケートの回答との間の相関を統計に基づいた検定によって調べた。その結果、アンケート内のいくつかの設問に対する回答において有意な関連性が見られた。

SUGATA SADA HARU^{1,a)} MUTOH ATSUKO^{1,b)} MORIYAMA KOICHI^{1,c)} SAKATA MIWA^{2,d)}
INUZUKA NOBUHIRO^{1,e)}

1. はじめに

社会学の分野において1960年以降、活発に社会ネットワーク分析の研究が行われてきた。社会ネットワーク分析とは行為者の属性ではなく、その関係性に着目して現象を捉える方法論である。つまり人や組織の持つ関係性をネットワークとして捉えて何が中心的か、どんな派閥が存在するかなどを解明する分野である。対象とするネットワークは人間、企業、産業、国家同士などの間の関係である。これらをネットワークの構造から法則性や特徴を発見することが、この分野の研究である[1]。

友人関係についてのネットワークを把握することは通常アンケートなどで行うため手間を要するが、出欠データを用いる事で手軽に得られるようになった[2]。また近年、記憶装置の大幅な低価格化やハードウェア性能の向上、ネットワーク環境の整備等に伴って大量のデータを蓄積することが可能になった。このことによってデータベースが急速に大規模化している。さらに関係性に関する様々なデータが形式化された形で入手できるようになっており、例え

ば顧客間のインタラクションやWeb上でのブログやSNSにおけるユーザの振る舞いなどが挙げられる。そのようなデータをネットワークという視点から分析するアプローチが様々な分野で研究されている。

ネットワーク内のある行為者およびその行為者に隣接している近傍の行為者のみから構成される局所的ネットワークは、社会関係資本論においてその行為者が持つ社会的な資本として考えられている。そのため、局所的ネットワークの構造的特徴の分析は個人を取り巻く社会的環境の研究において幅広く用いられている[3]。

また社会ネットワークは常に一定の状態を維持するとは限らず、WWWやSNSから得られるネットワークなどのように時間の経過によってそのつながりを常に変化させていくものも多い。ネットワーク研究者達は社会ネットワークの変化の特徴とネットワークの構造との間に相関性を見出すべく、様々な社会ネットワークを対象に研究を行っている[4]。中でも友人関係の自然な成長過程の理解のために選択基本モデルによる友人関係ネットワーク変化のシミュレーション[5]やネットワーク内のモチーフによる成長過程の分析[6]などが行われてきた。

本研究ではネットワーク分析において頂点の重要度を評価または比較するために用いられる中心性に関して、各頂点が関係を活発に発生させている度合いを定量化した新しい中心性の定義と、その有効性の確認を目的とする。具体

¹ 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻

² 名古屋工業大学

a) s.sugata.753@nitech.jp

b) atsuko@nitech.ac.jp

c) moriyama.koichi@nitech.ac.jp

d) sakata.miwa@nitech.ac.jp

e) inuzuka@nitech.ac.jp

的には本大学で観測される時系列を伴って変化する友人関係ネットワーク（以後、友人ネット）を対象とし、新しく関係が発生した時の要因となった人物を推定し、それを用いた中心性として関係構築中心性を定義し、その特徴を調べる。また個人が持つ各種中心性の値は、それぞれ何かしらの性格の色濃さと深い関連性があるのではないかという仮説を立て、本学の学生に対して行った自身の性格に関するアンケート調査の結果を用いて様々な中心性との間の相関を分析する。

2. 中心性

この節では社会ネットワーク分析の中でも特に本研究で用いる中心性について説明する [7]。これはネットワークを構成する各頂点がどれくらい「中心的」であるかを表し、重要度を評価または比較するために用いられる。例えば交通ネットワークなら、ある地点から他の地点まで移動するための道のりや時間などで中心性を評価できる。ウェブページならば、どれくらい他のサイトからリンクされているか、社会ネットワークだったら友達の数、その頂点の重要性を表す。また中心性は共通してネットワークの構造によって決まり、性格や肩書などといった対象の持つ属性と直接は関係しない。

ここで様々な中心性について説明するためにネットワークのグラフ理論における定義を行う。行為者の集合を $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ とし、その中の各行為者 $v_1, v_2 \in V$ の影響関係を辺 $(v_1, v_2) \in V \times V$ で表したグラフ $G = (V, E)$ ($E \subseteq V \times V$) をネットワークと呼ぶ。

近接中心性とは円や球の中心と同じように他の頂点との距離が小さいほど、その頂点は中心的であるとする指標で、頂点 v_i の近接中心性 $C_c(v_i)$ は以下の式で定義される。

$$C_c(v_i) = \frac{n-1}{\sum_{j=1}^n d_{ij}}$$

ここで $n = |V|$ 、 d_{ij} は v_i から v_j への最短距離である。

次数中心性とはネットワーク内で関係を持っている頂点の数が多いほど中心的であるとする指標で、頂点 v_i の次数中心性 $C_d(v_i)$ は以下の式で定義される。

$$C_d(v_i) = |\{v_j | (v_i, v_j) \in E\}|$$

媒介中心性とは、ある頂点が他の頂点間の最短経路上に存在する程度を表す指標で、頂点 v_i の媒介中心性 $C_b(v_i)$ は以下の式で定義される。

$$C_b(v_i) = \sum_{j \neq k} \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}}$$

ここで g_{jk} は頂点 v_j と頂点 v_k の間の最短経路数であり、 $g_{jk}(v_i)$ は頂点 v_j と頂点 v_k の最短経路のうち v_i を通るものの数である。また無向グラフの場合は前の式に $j < k$ という条件が加わる。この値が高い頂点は例えば交通の要衝

や情報通の個人などといった頂点間の仲介や情報のコントロールが出来るという意味で影響力が大きい。

また、これらの中心性は1つの頂点に対して与えられる指標であるが、伏見らは任意の頂点集合に対して与えられるように拡張した手法を提案した [8]。

3. 関係発生要因および関係構築中心性

本節では社会ネットワーク分析として考えるために関係が発生する要因を個人と仮定し、その人を推定する手法を提案する。そして、その考え方に基づいた新しい中心性を定義する。

3.1 関係発生要因

現実で様々な関係が生まれる時には何かしらの契機がある。例えば図1のような友人ネットがあったとする。もしBとGが新しく友達になったとしたら、どちらかが前から友人であったAまたはHによって、もう片方を紹介された可能性が高い。したがってAとHを彼らを結びつけた要因とし、キューピッドと呼ぶ。またCとDが新しく友達になったとすると共通の友人は居ないため、この2人は同じ趣味を持っていたなどで仲良くなった可能性が高い。そこで自力で関係を築いたCとDをパイオニアと呼ぶ。

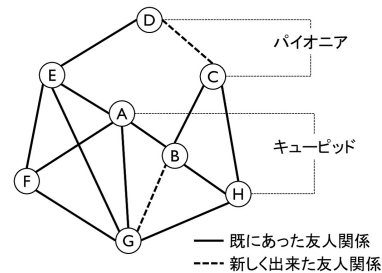


図1 キューピッドとパイオニア

3.2 関係構築中心性

前節の考え方に基づいて各頂点に対して、どれだけ活発に関係を発生させているかを表す新しい中心性を2つ定義する。これらをキューピッド中心性・パイオニア中心性と呼び、2つを合わせて関係構築中心性と呼ぶ。以下で、これらの値の求め方を説明する。

まず、あるネットワーク $G = (V, E)$ での頂点 v の隣接頂点集合を

$$NB^G(v) = \{v' \in V | (v, v') \in E\}$$

とおくと、ある時点でのネットワーク $G_1 = (V, E_1)$ が次に観測した時に $G_2 = (V, E_2)$ へ変化した場合、 v がキューピッドとなって結んだ辺の集合は

$$MG^{G_1 \rightarrow G_2}(v) = (E_2 - E_1) \cap (NB^{G_1} \times NB^{G_1})$$

となる。ここで頂点 v のキュービッド中心性 $C_{cpd}(v)$ は

$$C_{cpd}(v) = \sum_{e \in MG^{G_1 \rightarrow G_2}(v)} \frac{1}{|\{v' \in V | e \in MG^{G_1 \rightarrow G_2}(v')\}|}$$

と表せる。またネットワーク変化 $G_1 \rightarrow G_2$ において v が新しく結んだ辺の集合を

$$NW^{G_1 \rightarrow G_2}(v) = \{(v, v') | (v, v') \in E_2 - E_1\}$$

とおき、辺 e が新しく結ばれたとき v のパイオニアとしての貢献度を

$$pio(e, v) = \begin{cases} \frac{1}{2} & (\{v' \in V | e \in MG^{G_1 \rightarrow G_2}(v')\} = \emptyset) \\ 0 & (otherwise) \end{cases}$$

とすると、頂点 v のパイオニア中心性 $C_{pio}(v)$ は

$$C_{pio}(v) = \sum_{e \in NW^{G_1 \rightarrow G_2}(v)} pio(e, v)$$

と表せる。

キュービッド中心性が高い人は自分の周りの友人同士を友人にする力が強い、すなわち社会ネットワークの性質の1つであるクラスター性を高める働きを持っている。またパイオニア中心性が高い人は共通の友人が居ない人物を友人にする力が強い、すなわち社会ネットワークの性質の中のスモールワールド性を高める働きを持っている。

4. 提案した中心性の評価

本研究で扱うデータは下村らが提案した友人関係推測手法 [2] に基づいて生成されたネットワークである。これは本学の学生の出欠管理で利用されている IC チップ内蔵の学生証による出退席時刻から友人関係を推測するものである。本研究では、この手法によって生成した表 1 に示すような情報工学科 1 年生合計 341 人の友人ネットを用いた。本節では、これらの友人ネットから各種中心性を計算し、提案した関係構築中心性の有効性を調べる。

表 1 本研究で用いる友人ネットの詳細

	頂点数	辺数			
		4 月	5 月	6 月	7 月
2012 年度	172	378	385	436	435
2013 年度	169	361	373	381	411

4.1 各種中心性の特徴

表 1 で示した友人ネットにおける各学生の中心性を値が低い順に並び替えた結果を図 2、3、4、5、6 に示す。なお既存の中心性は 4、5、6、7 月時点のネットワークから計算した値の平均、関係構築中心性は 4~5、5~6、6~7 月でのネットワーク変化から得た値の合計である。

図 2 の次数中心性の結果より値が高い人は全体のごく一部であり、べき乗則に従う分布に近いことが分かった。

図 3 の近接中心性の結果では大部分の学生の値が高く、特に 0.00035 と 0.00030 付近に学生が集中しており、低い値でも学生が固まっている部分が観察できる。これは同じグループの学生は他の人との最短距離も似た値であるためだと考えられる。図 4 の媒介中心性の結果では大部分の人々が 500 以下の値であり、次数中心性の結果よりも、べき乗則に従っている形であった。

図 5 のキュービッド中心性の結果では約半分の人々の値が 0 だった。したがって友人ネットはクラスター性が高いが、それに貢献しているのは残り半分の人々であることが判明した。図 6 のパイオニア中心性の結果では値が高くなるほど隣の学生との差が広がっていった。結果から分かる通り、この値は 0.5 刻みの値を取る。約 1/3 の 0 点だった学生は 4 月の時点で友人関係がほぼ決まってしまっていて変化したとしてもグループ内で起こるだけだったと考えられる。そして残りの学生は共通の友人が居ない学生と少なくとも 1 人とは友達になっていることが分かる。

4.2 ネットワーク図による観察

2013 年度の友人ネットにおける従来の中心性を計算し、各中心性の平均が高かった学生上位 5 人の 7 月の友人ネット上での位置を図 7 に示す。図中の d が次数、c が近接、b が媒介中心性の高い学生である。その結果、次数中心性は人数が多いグループに現れやすく、近接中心性は他のグループとも交流が盛んなグループの中に存在する傾向がある。また媒介中心性はグループとグループを結ぶ唯一の学生が高い。これらの中心性はネットワークの描画から、およその見当が付きやすい。

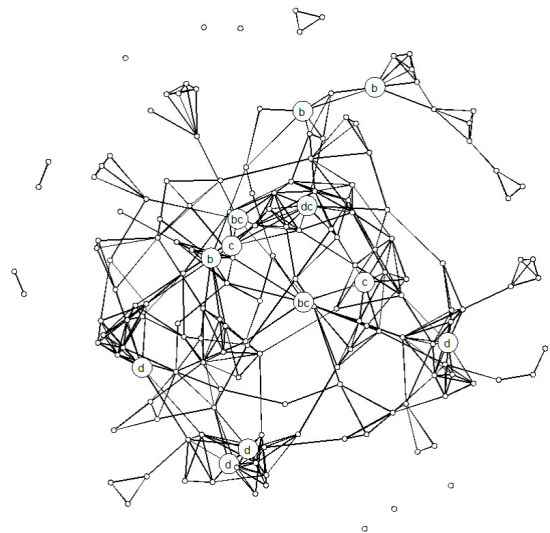


図 7 次数・近接・媒介中心性が高い学生

次に先ほどと同じ友人ネットの変化において関係構築中心性が高い学生の様子を図 8、9、10、11 に示す。図中の C はキュービッド中心性、P はパイオニア中心性が高い学

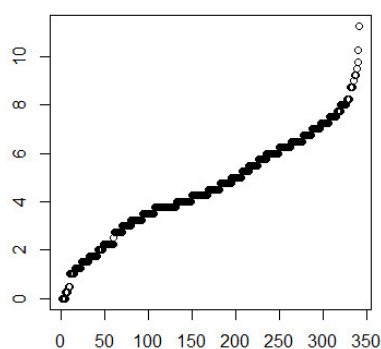


図 2 各学生の次数中心性

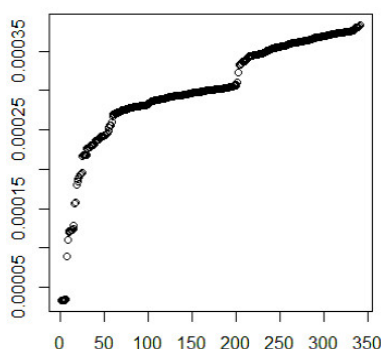


図 3 各学生の近接中心性

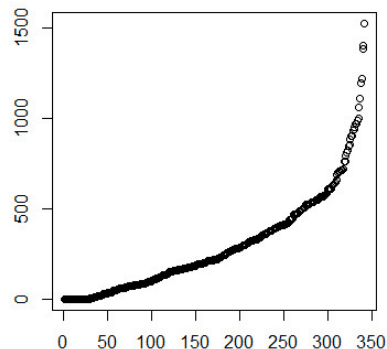


図 4 各学生の媒介中心性

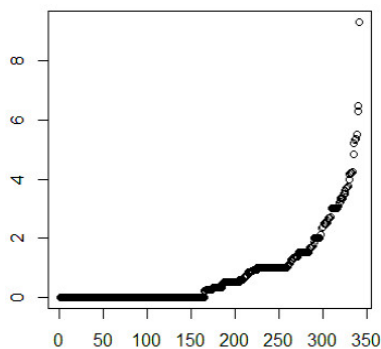


図 5 各学生のキューピッド中心性

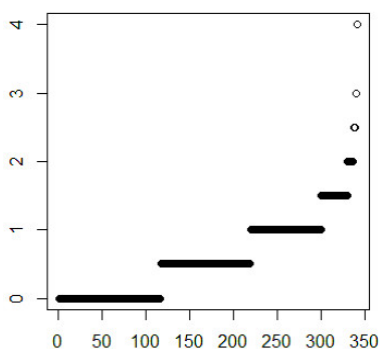


図 6 各学生のパイオニア中心性

生で隣の数字が順位を表し、同じ記号は同一人物を表している。4月時点での友人ネットを見ると関係構築中心性が高い人は友人が多い訳ではなく、5月になると一部の値が高い人の友人関係が密になっている。そして6月、7月になるにつれてグループ化が進み、キューピッド中心性が高い学生は比較的友人が多めで、あるグループに属しつつ他のグループの人とも交流がある。一方、パイオニア中心性が高い学生は逆に友人が少なめだがグループの間を繋ぐ役割を担っている傾向が見られた。

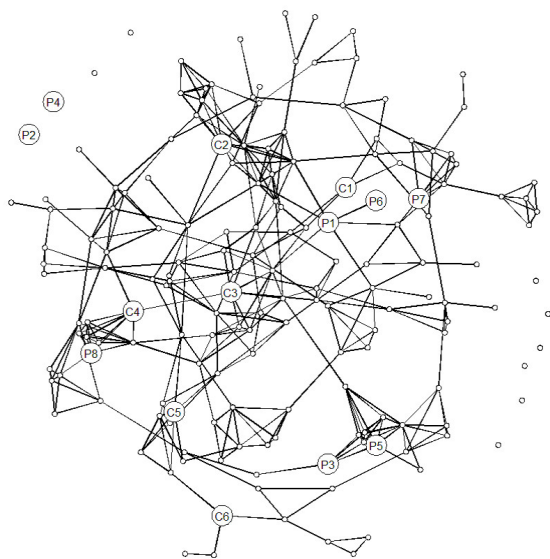


図 8 関係構築中心性が高い学生の 2013 年 4 月における位置

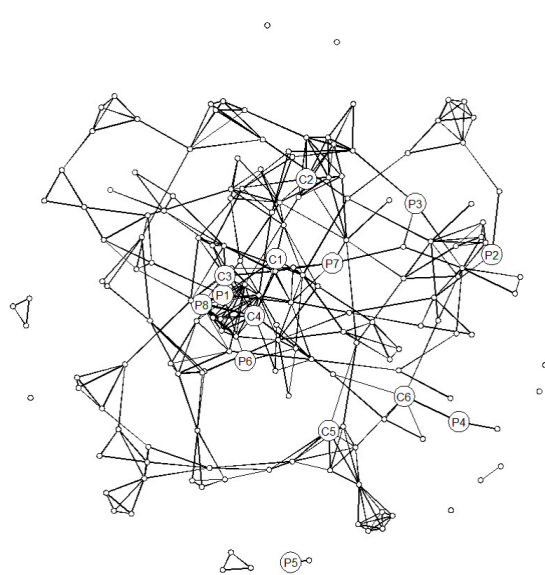


図 9 関係構築中心性が高い学生の 2013 年 5 月における位置

4.3 従来の中心性と関係構築中心性との比較

ここで 2013 年度における各種中心性の間の相関係数を表 2 に示す。まず近接、媒介、キューピッド中心性は次数との相関係数が最も大きくなっており、これらの値は次数の影響を強く受けることが分かる。それに対してパイオニア中心性は次数との相関係数が最も小さく、他とも相関があまり無いため、この値は独立性の高い基準であると考えられる。したがってパイオニア中心性を用いることで他の

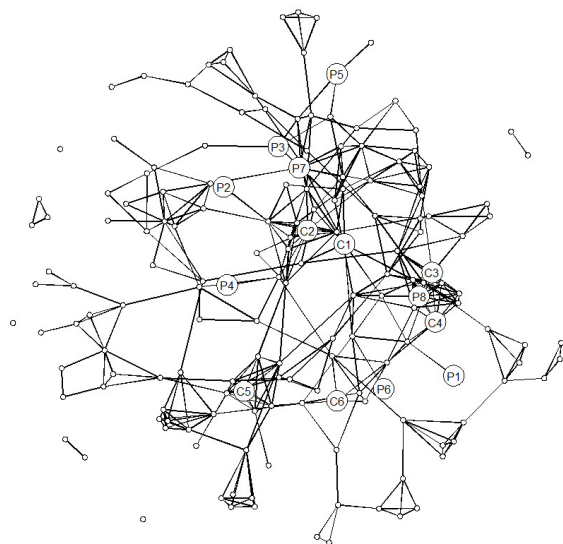


図 10 関係構築中心性が高い学生の 2013 年 6 月における位置

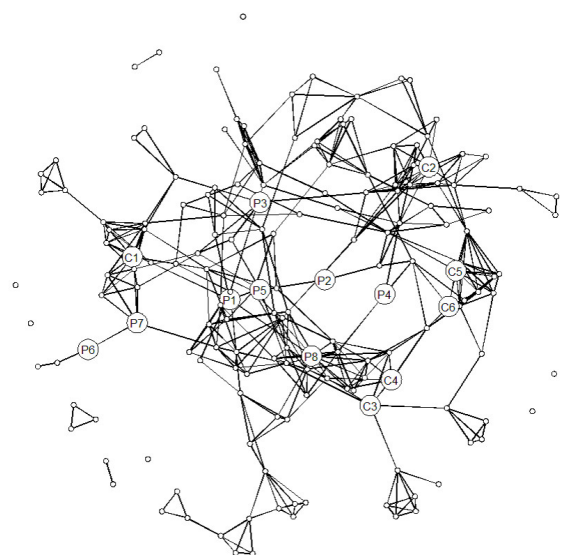


図 11 関係構築中心性が高い学生の 2013 年 7 月における位置

指標では注目されにくい、積極的に友人を作っている人物を発見できる可能性がある。

表 2 各種中心性の間の相関係数

	次数	近接	媒介	キュービッド
近接	0.68			
媒介	0.63	0.43		
キュービッド	0.56	0.29	0.48	
パイオニア	0.01	0.11	0.24	0.06

5. 友人関係と個人の役割との相関分析

5.1 アンケート

2012 年度と 2013 年度の 1 年生に対して表 3 に示す人格適応論 [9] を参考にした社会的性質に関するアンケートを実施した。なお回答形式は 1. 当てはまる、2. やや当てはまる、3. あまり当てはまらない、4. 当てはまらない、とした。

表 3 アンケート

a	明るい性格だ
b	社交的だ
c	まじめだ
d	リーダーシップがある
e	優しい性格だ
f	提案するか従うかで分けるなら提案する
g	場を盛り上げるのが好きで、人に気を使う
h	責任感が強く、中途半端は嫌い
i	用心深く、注意深く考えて行動する
j	控えめで、他人の考えに譲る
k	周りに流されず、自分自身の考えで行動する
l	自分を周りにアピールするのがうまい

5.2 検定方法

アンケートの各設問に対して学生が回答した番号と、その学生の各種中心性に有意な関係があるかどうかについて図 12 に示すアルゴリズムで検定を行った。なお p は有意水準を表し、1 % にしたければ $p = 100$ 、5 % なら $p = 500$ とする。

```
A= 全学生の集合
C= 中心性の範囲が $z$ だった学生
Q= 質問 $x$ に番号 $n$ と回答した学生の集合
f=0
m=0
if  $\frac{|C|}{|A|} > \frac{|Q \cap C|}{|Q|}$  #割合を比較する
  for(10000)
    R= Aから無作為に $|Q|$ 人だけ選んだ集合 #サンプリング
    if  $|R \cap C| \leq |Q \cap C|$  then f+=1
  endfor
  if f≤100 then 「中心性が $z$ の範囲だった学生は質問 $x$ に番号 $n$ と回答することが少ない」
else
  for(10000)
    R= Aから無作為に $|Q|$ 人だけ選んだ集合
    if  $|R \cap C| \geq |Q \cap C|$  then m+=1
  endfor
  if m≤100 then 「中心性が $z$ の範囲だった学生は質問 $x$ に番号 $n$ と回答することが多い」
```

図 12 検定アルゴリズム

5.3 中心性との相関

各中心性については値によって学生を 3 つに分割した。学生数が同程度になるように次数中心性 C_d は 3.5 と 5.75、媒介中心性 C_b は 123 と 345 で区切った。有意水準 5% で、よく相関が出た設問の結果を表 4、表 5 に示す。なお $3.5 < C_d < 5.75$ と $123 < C_b < 345$ の範囲には相関が現れなかった。「中心性が z の範囲だった学生は質問 x に番号 n と回答することが多い、または少ない。」という関係が現れた時、表の行 x 、列 z に「 n 多」や「 n 少」などと記した。有意水準 1% での相関は太字とした。

5.3.1 従来の中心性

次数中心性は高いほど場を盛り上げるのが好きである、提案するタイプである、社交的である、またはリーダーシップがあると思っている学生が多いということが分かった。媒介中心性は高いほど自分を社交的である、または真面目であると思っている人が多い。最後に近接中心性 C_c については図 3 の結果から値が 0.00035 付近の約 140 人と 0.00030 付近の約 140 人、そして残りの約 60 人というよ

表 4 次数中心性と社会的属性との相関

	$C_d \leq 3.5$	$5.75 \geq C_d$
b (社交的)	1 少, 1or2 少	1 多, 1or2 多, 4 少
d (リーダー)	1or2 少, 3or4 多	1 多
f (提案する)	1or2 少, 3or4 多	1 多, 1or2 多, 3or4 少
g (盛り上げる)	1 少, 1or2 少, 3or4 多, 4 多	1or2 多, 3or4 少, 4 少

表 5 媒介中心性と社会的属性との相関

	$C_b \leq 123$	$345 \geq C_b$
b (社交的)	1 少, 1or2 少	1 多, 1or2 多, 4 少
c (まじめ)	3or4 多	3or4 少

うに分割したところ全ての設問において複数の相関が表れた。ここから中心性の値が非常に近い人々は性格も極めて似ている可能性があると考えられる。

5.3.2 関係構築中心性

キューピッド・パイオニア中心性については、どちらも人数が同程度になるように分けた。有意水準 5% で行った時のキューピッド中心性との結果を表 6、パイオニア中心性との結果を表 7 に示す。なお同様に有意水準 1% で相関が出たものは太字で記した。この結果からキューピッド中心性が高い人ほど場を盛り上げるのが好き、または自分を優しい性格だと思っていて、パイオニア中心性が高い人ほど提案するタイプ、または自分をアピールするのが上手いと思っている傾向があることが分かった。

表 6 キューピッド中心性と社会的属性との相関

	$C = 0$	$0 < C \leq 1$	$1 < C$
b (社交的)	1or2 少		
c (まじめ)	1or2 少	1or2 多	
d (リーダー)			3or4 少
e (優しい)	1or2 少	1or2 多	
f (提案する)	1or2 少		
g (盛り上げる)	1or2 少, 3or4 多	1or2 多	1or2 多, 3or4 少

表 7 パイオニア中心性と社会的属性との相関

	$P = 0$	$P = 0.5$	$P \geq 1$
a (明るい)			3or4 少
f (提案する)		3or4 多	3or4 少
i (用心深い)		1or2 少, 3or4 多	3or4 少
j (控え目)	1or2 多		
l (アピール上手)		1or2 少, 3or4 多	3or4 少

6. おわりに

本研究では人々の持つ友人関係の構造と、その変化に関する知見を得るためにキューピッド・パイオニア中心性を提案した。そして、これらを実際の友人ネットに適用したところキューピッド中心性の結果から友人ネットはクラスター性が高いが約半分の学生は貢献していないことが判明した。またパイオニア中心性は他の中心性では注目されにくく、かつ活発に関係が発生している重要な人物を発見できる指標であることを示した。最後にアンケート調査によって得られた人々の性格と各種中心性との間の相関を分析した。その結果、キューピッド中心性が高いほど場を盛り上げることが好きで、パイオニア中心性が高いほど提案するタイプであり、低いほど控え目であるなどといったことが分かった。

今後の方向性としては本研究で使用した友人ネットは 4~7 月だったため、それ以降の月のネットワークも合わせて分析すれば、よりダイナミクスが明らかになると思われる。またアンケート調査を継続的に行って相関分析のためのデータを増やすことや他に有意に関連性が現れそうな指標についても調べるなどが挙げられる。

参考文献

- [1] 松尾豊.「社会ネットワーク分析 輪読会 2005」
<http://ymatsuo.com/surveySNA/>
- [2] N.Inuzuka, T.Nakano, K.Shimomura. Friendship Analysis Using Attendance Records to University Lecture Classes. IASK International Conference Teaching and Learning, pp.478-486, 2008.
- [3] 安田雪.「パーソナルネットワーク——人のつながりがもたらすもの」新曜社. 2011.
- [4] D.Watts. Small Worlds: The Dynamics of Networks between Order and Randomness. Princeton Studies in Complexity. 1999.
- [5] 平松閣, 佐藤嘉倫.「ネットワーク・ダイナミクス——社会ネットワークと合理的選択」勁草書房. 2005.
- [6] 中田豊久, 加藤義彦, 國藤進. 友人ネットワークの状態遷移図による分析. 情報処理学会論文誌. 数理モデル化と応用 2(1), pp.87-97, 2009.
- [7] U.Brandes and T.Erlebach(Eds.): “Network Analysis” LNCS 3418, pp.16-61,2005.
- [8] 伏見 卓恭, 齊藤 和巳, 池田 哲夫, 武藤 伸明. ノード群の協調的振舞いに着目した集合媒介中心性の提案と応用. 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J96-D(5), pp.1158-1165, 2013.
- [9] V. Joines and I. Stewart, Personality Adaptations: A New Guide to Human Understanding in Psychotherapy and Counselling, Lifespace Publishing, 2002 (邦訳: 白井他, 誠信書房, 2007).