

相互扶助モデルに関する基礎的研究

—グラフ理論の適用と有用性の考察—

準会員○泊 和哉^{*1} 正会員 吉原昌也^{*2} 同 友清貴和^{*3} 同 本間俊雄^{*4}

7. 都市計画—2. 都市と地域

都市・地域計画, 地域生活サービス, ソーシャル・キャピタル, スモールワールド

1. 研究の背景と目的

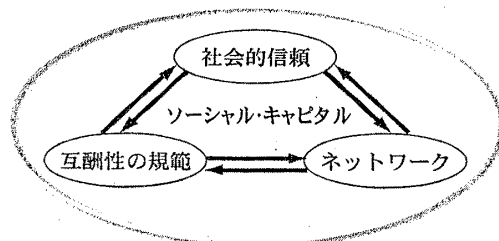
かつての日本には、血縁や地縁による自発的な協同規範が存在し、深い近所づきあいがあった。しかし、近年の急速な核家族化や生活スタイルの多様化といった様々な要因により、こうした規範が薄れ、地域コミュニティの果たす役割は減少している¹⁾。一方で、少子高齢・人口減少時代への突入を目前に控え、既存の行政サービスに代わるNPOやボランティア活動等の住民同士の連携が重要視されてきている。

このような現況下で、欧米で生まれた「ソーシャル・キャピタル(以下、SCと略す)」という概念が近年、我が国でも注目されている。SCは、社会関係資本と訳され、地域のネットワークによりもたらされる規範と信頼の枠組みを意味し、地域共通の目的に対する協同モデル概念を指す²⁾。SCの基本構成は、ボランティア活動や官民連携など幅広い横型のネットワークによって支えられる。

SCは社会学を中心に認知され始めたばかりであり、今後の社会情勢において持続可能な地域計画を進める上で、重要な役割を担うと考える。我が国において好ましいSCを形成させるためには、既存の地縁や血縁をベースとした縦型のネットワークを活用しつつ横型ネットワークに転換し、「家」単位でなく「地域」を柱とする仕組み創りの方法論構築が求められている。

本研究は、地域生活サービスとSCの関係性を明らかにし、ネットワークの形成過程及び効果を知ること、新たなサービスの枠組み構築に目的をおく。具体的には、地域生活サービスを受ける人(依頼者)と支える人(提供者)がどのようなきっかけでネットワークを構成、発展していくかのメカニズムの解明にある。

本論文では、数学におけるグラフ理論の一つで、学際的な注目を浴びている「スモールワールド理論」に着目した基本的なモデル化の考え方を示す。SCとサービ

図1. ソーシャル・キャピタル概念イメージ²⁾

スを組み合わせたこのようなモデル化は、地域計画の分野では著者らの知る限りほとんどない。

2. SCの概要

2-1. 学術的背景

SCに統一された明確な定義は存在していない³⁾。SC研究の第一人者である政治学者R.Putnumは著書「Making Democracy Work」の中で、SCの概念を次のように明記し、今日広く利用されている[1993]。

人々の協調行動を活発にすることによって社会の効率性を高めることができる、「信頼」・「規範」・「ネットワーク」といった社会組織の特徴。

2-2. 構成要素

Putnumの考え方に従うと、SCは人々の社会関係を規定する次の3つの要素から構成される。

- ① 人々間の信頼関係(社会的信頼)
- ② 人々の間に共有されている規範(互酬性の規範)
- ③ 人々間を取り結ぶネットワーク(ネットワーク)

これらは、コミュニティにおける信頼関係が互酬の規範に基づく慣行を普及させ、その結果、ネットワークが強化し、さらに信頼を生む相互補強的な関係にある(図1)。

2-3. 意義

ある地域において地域通貨制度を始めるとき、システムが構築されても、参加者間の信頼関係や助け合いの精神がなければ目的は達成されない。SCは、このような「信頼」や「規範」といった従来見落とされがちで

あった社会的要素を一つの概念として確立したにすぎない。しかし、SCというフィルターを通すことで、制度やシステムの構築・改善だけでは解決できなかった問題を明らかにできる点に意義がある。

3. グラフ理論

3-1. グラフ理論の概要

グラフ理論では、ノード(Node)と呼ばれる点とそれらを結ぶリンク(Link)と呼ばれる線の集合をグラフ(Graph)という⁹⁾。電車の乗換え案内図は、駅をノード、線路をリンクとして表現するひとつのグラフの例である。この場合、リンクにおける線路の距離や形状は抽象化されている。重要なのは、グラフによって点と点の「つながり方」に着目し、それらの関係性を可視化することにある。グラフ理論は、コンピュータのデータ構造やアルゴリズム等に広く応用されている。また、数理計画や建築計画の分野でも巡回サラリーマン問題や図書館ネットワーク、施設配置論といった領域でグラフ理論が利用されている。

3-2. グラフ理論の導入

グラフ理論の中でも1990年代後半から特に議論が活発になった分野にスモールワールド理論がある。スモールワールドとは、1960年代に社会心理学の分野で人間関係のネットワークを捉える際に誕生した概念である。ここに、人と人のつながり方に着目し、本論文のモデル化へ導入する。解析モデルは、信頼やネットワークの概念をグラフ理論と組み合わせて構築し、さらに数値シミュレーションを試みる。

3-3. スモールワールド

普段の人付き合いの中で、初対面のAとBに共通の知人Cがいるということがよくあり、「世間は狭いですね! (It's a small world!)」と驚かされる。このような現象は「スモールワールド現象」と呼ばれる⁹⁾。

図2は β -Graphと呼ばれるスモールワールドの特徴を示したグラフである。図中(a)のグラフは、規則的にリンクが張られ、個々のつながりが強く、安定している。ところが、リンクを通じて遠くのノードに情報を伝達する場合、経由するノードの数が増え、伝達の遅れや情報の喪失が著しいという欠点もある。一方、図中(c)のような極端にランダムな状態では、伝達の特長も振舞いも予測できず利用できない。また、図中(b)は、レギュラー状態からリンクをつなぎかえ、ショート

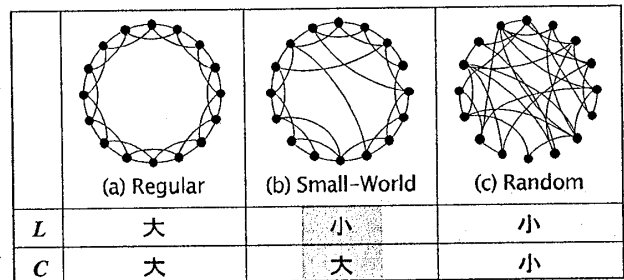


図2. スモールワールドの概念(β -Graph)と L 及び C の大小関係

カットが発生したスモールワールドの状態である。このとき、ネットワーク上に偏在していた情報を遠くのノードへ一気に流すことができる。ショートカットによりネットワーク全体を飛躍的に活性化させることが、スモールワールドの最大の特徴である。

1998年、物理学者D.Wattsがスモールワールドの概念をグラフにおける特徴量として、以下の2つの指標を用いて定義した⁷⁾。これより、対象とするネットワークの状態の判別が可能になる。

(1) 平均頂点間距離 L

「距離」とは、ノードAとBが存在するとき、AからBへ行くために通らなければいけない最少のリンク本数を意味する。グラフ中全てのノード対における平均距離を L と定義する。 L が小さければ、遠く離れた点へも少ないリンク数で渡ることができる。

(2) クラスタ係数 C

ノードAが他の k 個のノードとリンクで結ばれているとき、 k 個の中から2つのノードの選び方は C_k 通りある。このうち実際に組み合わされている割合を頂点Aについてのクラスタ係数 C_A とする。さらに、全てのノードにおける C_A の平均を C と定義する。 C が大きければ、現実の人間関係のネットワークでは、自分の友達同士もまた友人関係である確率が高くなる。

Regular、Small-world、Randomの3つの状態と L 及び C の関係を図2に示す。 L と C の大小関係から、少ないリンク数で効率よく情報等を伝達するため、小さな L と大きな C が存在する状態、すなわちスモールワールドの状態が望ましいと考えられる。

4. モデルの構築

4-1. モデル化の基本的な考え方

地域社会における相互扶助を基本としたサービスの授受のきっかけと、よりよいサービス提供のための望ましいネットワークの傾向を探る。ここでは、その初期段階として簡単なモデル設定をする。

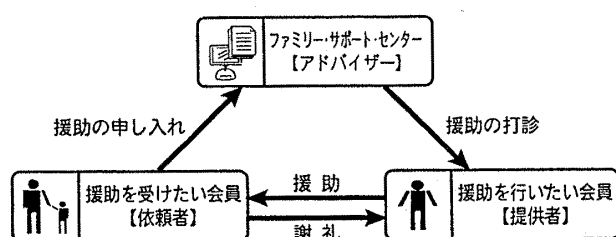


図3. ファミリー・サポート・センターのシステム

設定に当たっては、「相互扶助の実現には、従来の行政圏ではなく町丁字単位や町内会単位等の狭域圏が適切であり、その検証にはスモールワールド理論の適用が有効である」との仮説を立てる。また、相互扶助を基本とする他の生活サービスへの適用を想定し、汎用性を有するモデルにする。

4-2. モデルの概要

4-2-1. 対象事例

実際に行われているサービスの事例として「ファミリー・サポート・センター(図3)」を挙げる。現在、サービスを提供している市町村ごとにセンターが1つ設置されている。ここでは仮説に基づき、センター等の施設は置かず、町内会を圏域とする狭域圏での依頼者と提供者の二者関係とする。ノードには、依頼者・提供者を各々対応させ、リンクで結ぶ(図4)。

4-2-1. 評価手法

地域における結束力や近所付き合いの親密さに相当する指標として、「総信頼量」を設定する。個々のノード間の信頼の度合いは、0～4の5段階に分け、総信頼量から各リンクに分配する。これを「信頼量」と呼び、サービスを依頼するときの安心感を表す。信頼の度合いが大きいほど信頼量の値は大きくなり、最大で「4」とする。逆に信頼関係が小さくなると、信頼量は最小で「0」となり、リンクは結ばれない。サービスの授受が成立する確率は、信頼量が4のときを1.0(100%)とし、この値をリンクの「信頼係数」と呼ぶ。

1つの依頼者のノードにつながる各提供者とのリンクの信頼係数の合計を依頼者のノードに与え、これを「サービス指数」とする。複数のリンクを経由してサービスが成立する場合には、各リンクの信頼係数の積で求める。このとき次の2点に留意する。第一に、現実的には、提供者と依頼者が直接つながる場合に比べ、両者の間に仲介者が存在する場合、依頼のしやすさが損なわれる。つまり、リンク数が増えるほど信頼係数

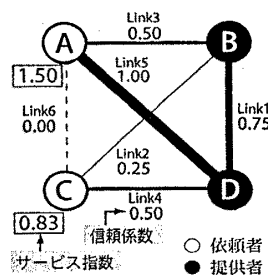


図4. モデル概念図

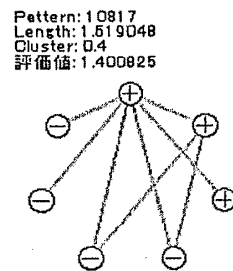


図5. 解析結果

は小さくなる。ここに、依頼者と提供者の間に存在するリンク数に応じ、「距離パラメータ」を信頼係数に乘じ、サービス指数に加える。第二に、同じ依頼者と提供者であっても両者をつなぐ経路は複数存在する。この場合、サービス指数の算出方法は、以下に示す2通りが考えられる。

(a) 信頼係数が最も大きくなる経路の値をとる[モデルC-a]

(b) 全ての経路の信頼係数の合計を求める[モデルC-b]

前者は、「複数ある経路のうち最終的に依頼するのは1つの経路である」という考え方から、信頼係数が最大となる経路を選択する。このとき、ネットワークが一直線上に並ぶような形態のときに最も評価が高くなる。1本のリンクが切れるだけでネットワークが崩壊し、非常に脆弱な状態になると判断する。後者は、依頼経路の選択性を考慮し、全ての経路における信頼係数の総和をとる。ここでは、後者の算出方法を採用する。

最終的には、各リンクのサービス指数の散らばり具合を考慮した上で、次式で定義する「ネットワーク評価値」により、各リンクパターンの評価を行う。

$$(\text{評価値}) = \bar{x} - \alpha \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

x_i : ノード*i*のサービス指数
 \bar{x} : サービス指数の平均値
 α : 分散重みパラメータ ($0 < \alpha \leq 1$)

5. 解析と考察

モデルの有効性を確認するため、7ノードで全数調査解析を実施した。図5は解析から得られた結果とネットワーク形態の一例である。依頼者を3ノード、提供者を4ノード設け、各々「+」と「-」で表現する。総信頼量は8とする。解析結果を図6及び7に示す。

図6は、*L*及び*C*をネットワーク評価値の高い順に並べたものである。評価値が高くなるにつれ、*L*は小さくなり、*C*は大きくなる。傾向としてスモールワールド状態での*L*と*C*の大小関係が認められる。ただし、現状では*L*と*C*によるスモールワールド性を議論できるノード数に達していない。

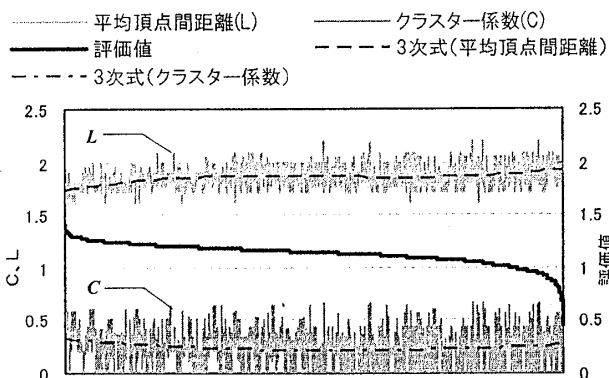


図6. 評価値とL及びCの関係

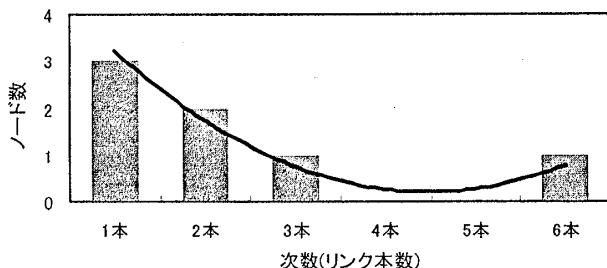


図7. 次数分布

図7は、最も評価値が高いパターン(図5)における次数分布を示す。次数とは、1つのノードにつながるリンクの本数である。次数が小さくなるにつれノード数は多くなる。多くのリンクとつながる少数のノードと、少ないリンクとつながる多数のノードから構成されるネットワークは、一般にベキ分布となり、次数の大きな頂点(ハブ)が出現する。ここでは7ノードで解析したが、ノード数を増やすことでより明確なベキ則の傾向が現れるものと予測される。

全数調査解析はコンピュータの処理能力上、7ノードが限界である。また、リンクパターンを全て求めることもあまり意味がない。ネットワークの大きな傾向をつかみ、解の多様性を保持することが重要である。したがって、何らかの最適化手法を採り入れた解析方法の構築が必要である。

6. まとめ

グラフ理論を用いてSCにおける相互扶助をモデル化する試みについて述べてきた。モデルを作成することで以下の知見が得られた。

- (1) グラフにおけるノードをある属性を持った個人、リンクを友人・知人関係に対応させることで、生活

サービスの授受をモデル化する概念ができた。

- (2) 信頼の概念を導入することで、モデル及び評価が現実性をより反映するものになった。

上記よりモデル化の可能性を見出すことができた一方で、次の課題が残されている。

- (1) 今回のモデルは、非常に小さなネットワークであったため、クラスター係数Cと平均頂点間距離Lによるスモールワールド性についての十分な議論ができていない。今後はノード数を増やし、CとLの十分な結果を得る必要がある。
- (2) 現実の相互扶助のあり方について全体的な傾向をモデルで考察するため、さらにノード数を増やさなければいけない。現在の全数調査に代わる、何らかの最適化手法の導入を検討する。

- (3) 解析結果より、ハブの存在する可能性が認められた。地域のネットワークにおいてハブがどのような役割を果たすか明らかにすることは、地域生活サービスの効率的な運用に大きく関わる。今後、ハブの位置づけを明確にし、モデルの設定を行う。

SCや地域生活サービスのモデル化にグラフ理論を用いることで、人々のつながり、サービス授受に際する心情的な指標、信頼関係における距離、所属関係等、実際の社会概念を導入することが可能であることが分かった。今後、さらにモデルを発展させ、地域生活サービスとSCの関係性を明らかにし、新しいネットワーク創りを模索していきたい。

【参考文献】

- 1) 古川恵子, 友清貴和; 「農村地域の高齢者福祉を視野に入れた交際関係の分析」, 農村計画論文集, 3, 145-150, 2001.12
- 2) PHP総合研究所, PHP政策研究レポート(Vol.7 No.86); 「ソーシャル・キャピタル」, 2004.10 (<http://research.php.co.jp/seisaku/report/04-86.html>)
- 3) NPOホームページ(内閣府国民生活局); 平成14年度内閣府委託調査「ソーシャル・キャピタル: 豊かな人間関係と市民活動の好循環を求めて」, 2003.6 (<http://www.npo-homepage.go.jp/index.html>)
- 4) 国際協力機構・国際協力総合研究所; 「ソーシャル・キャピタルと国際協力—持続する成果を目指して—」総論編, 2002.8
- 5) 増田直紀, 今野紀雄; 「複雑ネットワークの科学」, 産業図書, 2005.2
- 6) Duncan J. Watts; 「スモールワールド・ネットワーク 世界を知るための新科学的思考法」, 朝日新聞出版, 2004.10
- 7) 人工知能学会, 人工知能学会誌(Vol.18 No.3); 「スモールワールドとチャンス発見」, 2003.5 (<http://ymatsuo.com/papers/cdkaisetsu.pdf>)

*1 鹿児島大学・建築学科
*2 鹿児島大学大学院修士課程
*3 鹿児島大学教授・工博
*4 鹿児島大学助教授・工博

Student, Dept. of Architecture, Kagoshima University
Graduate School, Dept. of Architecture, Kagoshima University
Prof., Dept. of Architecture, Kagoshima University, Dr. Eng.
Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Kagoshima University, Dr. Eng.