

探索的ネットワーク分析

—超領域的研究のための標準手順の提案—

安田 雪*

1. 変貌するネットワーク分析

1.1 社会ネットワーク分析 — 1998年以前

中心性の研究者として名高いFreemanは、社会ネットワーク分析が重視するのは、(1) 構造的直感 (Structural Intuition)、(2) 可視化 (Visualization)、(3) 実証データ (Empirical Data)、(4) 数学的／計量的分析 (Mathematical/Computational Analysis) の四点だと論じている [1]。確かに、社会学におけるネットワーク分析では、分析対象をとりまく構造を理解したうえで、対象の行為とその結果の解釈を行うという構造主義的なアプローチが思考の基礎にある。調査や実験によってデータを収集し、データに含まれた関係構造を可視化して、ネットワークの創発特性であるネットワーク指標や、ネットワーク内部において主体が保有する位置特性を考察するのだ。主体をとりまく関係構造をネットワークとして抽象化し、その影響力を考察する方法は、人間の社会的相互作用を理解するためには、きわめて有効である。

たとえば2006年現在、経営学、組織論や社会学の領域では、社会的に閉じた埋め込みか、関係の欠損箇所である構造的空隙のどちらが、目的合理的な主体の行動に優位性を与えるかという議論が Burt [2]、若林 [3]、秋山 [4] らによって盛んに行われている。これらの議論で

は、限定合理性と行動可能性を備えもつ人間、あるいは経営組織などのプレイヤーが、所与の目的達成をするにあたり、社会的な埋め込みが与える制約と可能性を検討する。また、研究開発の領域では、Powellらが生命科学分野における産学協同関係の発展をネットワークの変容過程としてとらえ、一つの社会的埋め込みが新たな種の関係を生み出すプロセスを抽出している [5]。ネットワーク分析を方法論とみなすか理論とみなすかについては、研究者により意見が分かれるところである。Burt [6] のプレイヤーに優位性をもたらすのは閉鎖か空隙か、同じく Burt [7] の行動の類似性の説明要因たるのは直接結合か構造同値か、あるいは Granovetter [8] の社会的埋め込みの影響力如何、あるいは情報収集力に優れているのは弱い紐帯か強い紐帯かなどの対立的仮説が存在するがゆえに、私はネットワーク分析は方法論であると同時に、理論的性格を有するものであると考えている。

社会ネットワーク分析は、分析対象の実態把握の探索的研究にとどまらず、現実の社会現象における問題をふまえて構築した理論及び仮説の検証を重視してきた。中心性の指標の洗練や新指標の開発など、純粋な数学的モデルの開発の流れは存在するが、これは、後述する2000年代に入ってから著しく増加した、ネットワーク



* Yuki YASUDA

東京大学大学院経済学研究科
ものづくり経営研究センター 特任助教授
(有)社会ネットワーク研究所
コロンビア大学大学院社会学専攻 博士課程修了(Ph. D.)
〒113-0033 東京都文京区本郷3-34-3本郷第1ビル8F(東大MMRC)
03-5842-5636 (勤務先)
yasuda@mmrc.e.u-tokyo.ac.jp

Specially Appointed Associate Professor,
Manufacturing Management Research Center,
Faculty of Economics, The University of Tokyo
3-34-3, Hongo, Bunkyo-ku,
Tokyo 113-0033 (office)
President,
Center for the Network Analysis Co. Ltd.

そのものの形態把握や¹⁾、ネットワーク特有のふるまいや特性の解明を追及する研究とは本質的に異なっている。

ここで注意すべきは、従来の数理社会学を中心に発展したネットワーク分析者の多くが、固有の指標（自らが開発した指標が多いのだが）の洗練と応用に特化し、現実社会の相互作用現象について、その指標がもつ説明力を競う傾向があったことである。ネットワーク分析の世界的標準ソフトウェアであるUCINET [10] や、近年発達の著しい大規模ネットワークの解析が可能なPajek²⁾ [11] を用いると、多数のネットワーク指標を算出できるが、ネットワーク分析の専門家でも、指標のすべてに精通し、多様な指標を駆使した研究を行う者は多くない。分析ソフトウェアの開発者も、膨大な指標とアルゴリズムには精通しているが、必ずしもそれらの応用研究に生産的であるというわけではない。

ネットワークの構造特性を抽出する指標は多数あるのだが、これまでに現実の社会現象に適用され、行為や現象の説明要因として一定の説明力をもつことが確認された指標は限られている。有用性が確認された代表的な指標には、結合、構造同値、密度、中心性、空隙、ブロックモデル、クラスタリング係数、ネットワーク距離などがあるが、これらは開発された指標のごく一部にすぎず、応用研究に使われぬまま有用性の検証を待つ指標が多数存在する。

開発された指標が有効に用いられないのは、ネットワークの特徴を捉える指標が新たに提案されても、その多くがプログラミング能力を欠く社会科学系の研究者が、UCINETあるいはPajekなどのプログラムに実装されないうえ、応用研究に用いないためである。たとえば、Masudaら [12] によるネットワークにおけるVIPクラブと黒幕のモデルは、中心的人物のみ

と結合関係をもち、自らの次数中心性は一見低いものの強い影響力をもつ「黒幕」を特定する、極めて優れた最新のモデルであるが、この概念の普及と応用研究の発展には、何らかのプログラムへの実装、あるいは算出アルゴリズムのモジュール化が不可欠であろう。もちろん、ネットワーク指標を算出しうるプログラムが開発されていても、指標そのものの有用性やプログラムのインターフェースの利便性などを理由に、ほとんど使われていない指標やプログラムもある³⁾。

分析技術の評価という観点から言えば、優れたネットワーク分析者の要件は、先のフリーマンの四つの重点領域のうち、三つないし四つをこなしうる能力を備えた者であり、数理モデルを理解し、人に先駆けて自らモデルをプログラム化し、収集した実データにそれを応用して、意味ある理論を検証する。この一連の能力をすべて保持する者は、世界的にも希少である。多くの研究者は主戦場を一つ設定し、周辺領域の一つ二つに手を染める程度だが、真に極めようとするならば習得すべき技法と要求される知識の範囲はきわめて広い。

伝統的な社会ネットワーク分析の研究は、(1) 関係構造の特性を抽出する概念や指標を開発する研究、(2) 開発されたそれらを現実社会に存在するネットワーク（その多くが、人や企業を中心とした社会的相互作用が規定する関係構造である）に応用し、指標の説明力を問う研究、そして(3) 分析対象そのものである、友人・知人のネットワーク、権力構造、企業などの組織間関係などの実態調査と調査手法の洗練（ネットワーク抽出の質問設計などが典型である）を専門とする研究に大別できる。この分類についても、先と同様、優れた研究者ほどこなせる領域が広く、そこにいたるには限りない研

- 1) 例外としては、大田区における中小企業の取引構造実態を二部グラフにより解明したNakano [9] が存在するが、これは取引実態の解明を主としており、ネットワーク固有の性質やふるまいを考察することを目的としているわけではない。
- 2) Pajekは、バジェックと表記されるが、本来の発音にしたがえば、パェックがより適切であろう。スロヴェニア語で蜘蛛を意味する。PajekとUCINETとは重複もあるが、算出可能な指標が異なる。UCINETは1980年代から開発されているが、Pajekは2003年以降に開発が開始され、現在も頻繁にアップデートがなされている。
- 3) 国際社会ネットワーク分析学会のINSNAのwebサイトには、50を超えるネットワーク分析や描画ソフトへのリンクがあるが、定番の上記二つのソフト及び、NEGOPY、GRADAPなどのいくつかのソフトをのぞくと、実用化の程度、利用者数については不明なものが多い。

鑽を積む必要がある。

社会科学系のネットワーク分析の研究において共通するキーワードは、行為者、社会的相互作用そして社会構造である。人的には、ジェームズ=コールマン、エド=ローマン、ハリソン=ホワイト、リントン=フリーマン、ピーター=キルワースら、そしてその次世代である、マーク=グラノヴェッター、ロナルド=バート、デヴィッド=クラックハルトら、そして彼らの指導や論文で学術的訓練を受けた者たちが担い手だと言える。1990年代の後期までは、いわゆる社会ネットワークに関する研究は、これらの一連の研究者群によって導かれ、蓄積されていた。だが、この流れが1998年にNatureに掲載された一本の論文で大きく変わる。

1.2 1998年以降 — ネットワークへの複雑系・統計物理・工学系の参入

この流れを変えたのはNatureに掲載されたWattsとStrogatzによる「スモールワールドの再発見」とも言いうる論文である [13]。これが、複雑系、統計物理学などの自然科学・工学の領域から、関係構造の理解を目的とした研究を噴騰せしめる契機となった。周知のようにスモールワールド実験とは、1960年代後半に、トラバースとミルグラムが人々の知人関係の意外な狭さを検証するために、「この世界からランダムに選んだ二人は、互いの知人を何人、介して連結しうるか」という問いをたて、郵送実験を行い、人々はわずか5人の仲介者により連結されているという結果を導いたものだ [14] [15]。統計物理学者であるワッツらは、知人関係の連鎖の構造の本質をとらえるべくシミュレーション実験を行い、所与のグラフの構造を規則的なものからランダムなものへ変化させ、クラスタリング係数とネットワークの最短パス長という二つの指標の平均値の減少速度に差があることを観察し、これをスモールワールド現象が生じるメカニズムとした。ネットワーク内の紐帯の一定程度までの架け替えは、ネットワークの局所的凝縮性を壊さずに、最短パス長の平均値を

短くできることをわずか3ページ足らずの論文で示したのだ。

さらに2002年に統計物理学者であるBarabasi [16] が、自然界や人間社会に存在する多様なネットワークの次数分布がべき則に従うとし、その特性をスケールフリーと名づけた論文が著しい注目を集める。この前後から、複雑系、統計物理学、経済物理、人工知能などの領域から大量の研究者がネットワークの構造解析に参入し、多様なネットワークの次数分布を調べ、べき係数の算出を試みるようになる⁴⁾。中心性の大家であるBonacich [17] が、“Invasion of the Physicists”と、バラバシの著書の書評で苦笑した現象である。

理工系によるネットワーク研究への参入は、世界的な趨勢であるが、我が国も例外ではない。理化学研究所の脳研究と複雑系の分野からネットワークにアプローチする増田・今野 [18] [19]、大規模ネットワークの分析の素視化に優れる湯田他 [20]、人工知能研究からはリンクマイニング技術でWeb上の諸要素の関係を抽出する松尾他 [21]、我が国の3万人あまりの研究者の論文引用関係を抽出した国立情報学研究所のIchise, Takeda 他 [22]、経済系では企業クラスター研究の相馬 [23]、日銀の稲岡他 [24] が国内金融機関の取引ネットワーク構造を抽出するなど、多様な分野においてネットワークの抽出と形態把握の研究が進められるようになる。

国内外を問わず、これらの1998年以降の参入者たちは、それ以前の社会ネットワーク分析が前提としていた社会的相互作用に関する理論や概念には関心がなく、社会的相互作用に関する理論に依拠せず、闊達にネットワークの解析を行う。1998年以前のネットワーク分析が、社会構造、社会統合、あるいは関係構造がプレイヤーに与える相対的優位性などを追及したのに対し、この自然科学系・工学系の新しい研究者たちは、森羅万象のネットワークに共通した普遍的法則の追求、ネットワークの生成原理、単純な局所ルールからの複雑な全体構造の構築、

4) その多くがそれぞれの分野で扱うネットワーク（たんばく質、DNA、代謝、倒産、食物連鎖、単語の共起など）が、べき則に従うか否かを検討するものである。

ネットワーク上の普及や伝播、相転移などを、解くべき課題として精力的に追求する。よってたつ学問分野も研究課題も一見まったく異なるようだが、対象がネットワークである以上、この新しい自然科学・工学系の研究と既存の社会科学系との研究の、知見の共有、成果の整合性の確認、分野融合への欲求が生まれ、文献引用や研究者の学際的交流が生じてきたのは必然だと言える。

1.3 文理融合・超領域的研究への動き

国内でもネットワークの研究グループが競うように誕生し、日本社会情報学会の一部が主導する「ネットワーク生態学」研究グループ、人工知能研究者らが主体である「ネットワークが創発する知研究会」が2005年に結成され、統計物理、複雑系、経済物理、人工知能、Webマイニングなどの研究者が、それぞれ異なる種のネットワークを対象に、抽出・描画・解析の技術を競い、研究会・セミナー・ワークショップ等で研究を促進している。

国内の最古の社会ネットワーク分析の研究会は、数理社会学会の初代会長であり、日本で最も早く社会ネットワーク分析を扱った書籍「社会ネットワーク」の編著者である平松崗 [25] が1997年に結成したKNSNA (関西社会ネットワーク研究会) だが、2001年頃より一時的中断状況にある。2003年からは、GBRC社会ネットワーク研究所⁵⁾で研究会が開催されており、初期は経営学・社会学系が中心であったが、その後、組織論・人工知能・産業集積・政策論の研究者、経営コンサルタントなど、産官までもが加わりつつある。いずれの研究会でもネットワークの概念や指標が用いられ、そのメタフォーは異分野の研究者に刺激となり、相互学習を促進する。だが、現段階では内容的には分野融合に至っておらず、各々の研究の相互参照状態をこえた、真の協同研究・開発の実現には、克服すべき課題が残っている。

社会科学系の伝統的ネットワーク分析と、自然科学・工学系の新しいネットワーク分析が融

合し、新たな学際的な研究分野が確立していくのか、あるいは両者は伝統的な文・理の一線を画したまま、分析対象とリサーチ・クエスチョンを異にしつつ、それぞれのニッチに棲み分けをしていくのかは、今後数年間の研究動向次第である。前者の実現には、異分野間の更なる相互理解、具体的には先行研究に蓄積された知見の共有化と、共通の解くべき課題の発見、あるいは合意が必須である。一方、後者であれば、統計学が社会学や経済学をはじめとする多くの社会科学系の学問に抵抗無く受け入れられ、有用なツールとなったように、手法の洗練、ネットワークの固有特性、関係構造の物理的特性、巨大グラフの特質や法則解明を物理系・工学系の研究者が担い、彼らのアウトプットの一部を、社会科学系、政策系、生物学系、医学系などの応用領域の研究者が活用するという構図ができるだろう。

世界レベルで急速に進む超領域的なネットワーク研究の最前線において、我が国の研究者が成果を上げ続けるために認識すべきは、新旧双方のネットワーク研究の協同関係の必要性である。コラボレーションの鍵は、いかなる課題を「未解決であり、解明すべき重要な問題」とするかについての、両者の共通認識である。つまり、何のネットワークを対象に、いかなる指標（複数）を使い、どのような構造特性と、それらが生起せしめる、あるいはそれらが将来生ぜしめるであろう現象を学問的課題としうるかである。

現段階ではこの特定はできていないが、海外におけるネットワークをとりまく学際研究の状況も大同小異である。そのため、社会科学系のもつ調査・実験・観察による実データ、分析に用いる指標や、集合と構成要素のふるまいについての知見と、自然科学・工学系のもつ規模問題の解決力、グラフ理論的解法及び証明力、数理モデルの洗練、アルゴリズムの実装手法などの知見の真価を共有化させ、問いうる共通課題を他国にさきがけて設定できれば、我が国が

5) 特定非営利活動法人グローバルビジネス研究センターに属する、GBRC社会ネットワーク研究所が開催する研究会である。<http://www.gbrc.jp/GBRC.files/workshop/socialnetwork/index.html>

世界的なネットワークの研究において、今後、一翼を担っていく可能性はある⁶⁾。

自然科学系・工学系の流れと社会学系の流れを汲む研究者では、用いるネットワーク指標も明らかに異なる。前者はワッツとバラバシの影響を強く受け、クラスタリング係数、平均パス長、次数分布とべき係数、次数相関、ネットワークの直径などに注目し、ネットワークの特徴量をとらえる。後者はむしろ伝統的な指標である、紐帯の強弱、バランスモデル、トライアドセンサス、直接結合、構造同値、ブロックモデル、新しい指標としてはK-コアやK-叢、PIモデル、情報中心性 (Information Centrality) などを用いて、構成要素や要素集合の特徴を考察する。両者に共通するのが、次数、クラスタリング係数、パス長、次数・媒介性・固有ベクトルに基づく中心性、最大連結成分、クリークなどである。

大多数の自然科学系・工学系の研究者はプログラミング能力を備えているため、UCINETに依存せず関連に分析を行うのに対し、社会学系の研究者の多くはUCINET、Pajekなどの既存ソフトを活用する。前者には、既存ソフトの制約を受けず、個々のプログラミングとマシンパワーに応じて、巨大ネットワークであれ指標であれ自由に扱えるという利点がある。デメリットは、分析に用いる多数の指標に目配りが利かず、先行研究で用いられた少数の指標を踏襲しがちなことである。一方、社会学系のデメリットは、近年のネットワーク分析ソフトは多機能化しているとはいえ、既存ソフトの分析能力の制約をうけざるをえないことだ⁷⁾。メリットは、先行研究の蓄積と、分析対象 (すなわち

意思決定主体である人や組織) についての理論・仮説があるため、多様な分析指標を対象や理論仮説・問題意識に応じて使い分けられることである⁸⁾。研究者はそれぞれ自らの得意分野を過大評価する傾向もあり、ネットワークの研究の超領域的なコラボレーションは発展の必要条件であり、双方の希望でありながらも現実にはなかなか進展していない。

以上、ネットワーク分析に特徴的な技法と備えるべき能力、最近の研究動向、とりわけ新規参入分野と研究グループ、使用される指標の差異を確認した。この研究の変化と多様性をふまえ、また、本誌が多様な専門領域に所属する読者をもつ学際的な学術誌であることを考慮し、以下では、探索的ネットワーク分析の標準的な手順を考察し提案する。

2. 探索的ネットワーク分析の標準手順の提案

2.1 散在する手法、知見、手順の連結・体系化・共通化

本節では、何らかの構造不明なネットワークが与えられた場合に、探索的にその構造を理解するために行う分析手順を列挙する。この手順は、分析者が事前に何らかの理論から導かれた仮説検証を目的としてネットワークを分析するのではなく、ネットワークそのものがどのような形態、特徴をもつのかの事前知識がないまま構造を理解する探索的分析を想定している。また、分析者は独自にプログラミングを行わず、UCINET、Pajek、市販の表計算及び統計パッケージのみを利用するものとし、スパコンなどの極めて高性能の特殊コンピュータへのアクセ

6) 現状では、工学系からの社会学系への協同研究の提案・アプローチが多く、その逆は稀である。だが真にコラボレーションを必要とし、より多くを得られるのは、これまで国際的に通用する研究成果を豊富に出しえなかった国内の社会学系のネットワーク分析であると私は考えている。

7) もちろん、自然工学系にも両ソフトの利用者は多く、社会学系でも自作のプログラムで分析を行うものも居る。上記の区分は自らのプログラミング能力の有無と考えたほうが適切である。ただしUCINETの指標解説や事例の多数は、98年以前からのSocial Networksを代表とする数理社会学者、社会学者の学術雑誌に依拠している。また、論文の主たる成果を組織論などの理論の検証とし、ネットワークの構造特性を抽出する指標開発を二次的な成果と位置づける論文・著書も多い。かくして、ネットワークに関する研究は多領域に点在し、研究者が異分野を含めた全体に目を配るのは容易ではない。社会学系内部でも組織論、経営学、社会学、マーケティングなど、異分野の先行研究の文献の精読状況については、程度の差こそあれ本質的な問題にかわりはない。

8) なお、その他にも、Pajekに実装されているが、ローカルマキシマムを抽出する「島」(Island)、ネットワークを階層に分けたうえで細分化していく「階層的分解法」(Hierarchical Decomposition) など、相互作用構造の解明に有効でありながらも、自然科学、工学、社会学のいずれでも使われることが少ない指標もある。

スなどが無い状況を想定している⁹⁾。また、個別のノードに関する属性情報は持たず、ネットワークの構成要素が人間なのか、WWWのページなのか、細胞なのかといった前提知識がない状態にあり、いわば顔の見えぬネットワークの分析をおこなっている状況を想定している。

各分析手法の詳細はここでは論じないが(安田 [26] [27], 金光 [28]などを参照), 探索的にネットワークの全体構造の特徴を理解するための手法の, 初歩的な部分については網羅したつもりである。本手順の目的は, いわゆるホールネットワークの特性抽出と構造理解であり, ネットワークの構成要素のもつエゴセントリックな特性についてではないことに留意してほしい。ネットワークの研究者は各自の研究領域で精力的に研究を行っているが, 各分野では少数派であるために, 手法, 手順などの知識を結集させ連結させることが困難であり, これらの知識は体系化されにくい¹⁰⁾。この体系化を可能にするために, 何らかの共通したプラットフォームがあることが望ましいと考え, たたき台として以下を提案する。

2.2 探索的ネットワーク分析の標準手順表

1. ネットワークデータの確認
 - 1.1 構成要素数・紐帯の定義の確認
 - 1.2 ネットワーク境界の確認
2. 描画・可視化
 - 2.1 ノードが300程度まではNetdrawを利用, それ以上はPajekで描画
 - 2.2 大まかな分布と形状, 孤立点の確認
 - 2.3 重み付きグラフであれば紐帯の強さを増減し, 紐帯の連結強弱を視認
3. ネットワーク全体の大まかな構造を確認
 - 3.1 次数分布とSF構造の確認の確認
ベキ係数 γ の算出
 - 3.2 異常値の確認, 必要なら除去
 - 3.3 密度, クラスタリング係数算出
 - 3.4 次数相関の算出
 - 3.5 ネットワークの直径及び半径の算出
4. 中心性の測定
 - 4.1 次数・距離・媒介性・固有ベクトルによる中心性の算出
 - 4.2 各中心性指標における中心, 周辺, 準周辺の特定
 - 4.3 各中心性の集中度(分散)の算出
 - 4.4 中心性指標による中心性の差異の確認
5. クリークの特定
 - 5.1 クリークの抽出
 - 5.2 構造によりn-クリークの抽出
 - 5.3 複数クリークの重複性及び重複要素の確認
6. ブロックモデルの作成
 - 6.1 CONCORで構造同値の要素群を確認
 - 6.2 ブロックモデルを作成し, ブロック内のクラスタリング係数を算出
 - 6.2 デンシティ・テーブルによる縮約
7. 拘束関係の測定
 - 7.1 各構成要素の拘束度(ないし空隙)の算出
 - 7.2 構成要素相互の拘束関係の確認
 - 7.3 拘束関係の可視化
8. 島出し
 - 8.1 Pajekの「島」のアルゴリズムでローカルマクシマムを特定
 - 8.2 島と山脈の描画
9. P1モデルで構成要素の互酬性を検討
 - 9.1 P1モデルの α と β を算出
活力と魅力, 相互依存性を確認
 - 9.2 P1モデルの θ と ρ を算出
密度と互酬性を確認
10. トライアドのバランス測定
 - 10.1 トライアドセンサスの作成
 - 10.2 中心的プレイヤーのトライアド構造による内部均衡の確認

社会調査では, データの収集後には, 必ず度数分布の確認, 異常値の除去, 平均・分散の算出, 単純集計・クロス集計の作成という流れが,

9) 本稿の「手順の提案」は, 2006年9月25日に開催された消費者行動研究会のワークショップの企画者, 芳賀康浩氏・久保田進彦氏との会話から発想を得た。

10) 世界的にはSocial Networksがネットワーク分析専門の学術雑誌として存在するが, 邦文の専門論文として投稿可能なネットワーク分析, ネットワーク科学に特化した専門の学術雑誌は2007年現在, 存在していない。

変数間の関係についての統計的検定を行う以前にあるように、ネットワーク分析においても一定の作業手順は必要であろう。当然ながら、仮説検証のための変数としてネットワーク指標を生成する場合には、直接関連のない一連の指標を算出する必要はない。だが、本質的にどのような関係構造が全体として構成されているのかを視認・概括したうえで、個々の指標を算出することは、ネットワーク全体のふるまいや、その構成要素と紐帯のパフォーマンスやふるまいの適切な理解にはきわめて有用である。もちろん、上記リストに包括されていない指標は多々あり、この手順は一つの見本であり手本ではない。関係構造とは複雑なもので、この程度の分析では、ネットワークはその本質を曝け出してくれない。

前述したように、この手順ではネットワーク全体の構造特性、いわゆるホールネットワークの特性を抽出し理解することを目的としている。したがって個々の構成要素であるノードのもつエゴセントリックな特徴の抽出・理解のための手法にはほとんど触れていない。ネットワークの構成要素の相対的優位性、仲介的役割や、保持する空隙の程度などについて、まったく異なる一連の作業を行う必要がある。だが、本誌の性質と頁数の制約により、エゴセントリックネットワーク理解のための、標準作業の提案は機会をあらためて行いたい。

謝辞

本稿の「手順の提案」は、2006年9月25日の消費者行動研究学会のワークショップにおける芳賀康浩氏・久保田進彦氏の貴重なコメントに触発されたものである。文理融合の可能性については、松尾豊氏から有益なコメントをいただいた。ここにお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Linton Freeman, **The Development of Social Network Analysis**, Empirical Press (2004)
- [2] Ronald S. Burt, **Brokerage and Closure**, Oxford University Press (2005)
- [3] 若林直樹, **日本企業のネットワークと信頼**, 有斐閣 (2006)
- [4] 秋山高志, 企業グループの変革とネットワークのマネジメント, **日本経営学会誌**, (印刷中)
- [5] Walter W. Powell, Douglas R. White, Kenneth W. Koput and Jason Owen-Smith, Network Dynamics and Field Evolution, **American Journal of Sociology**, **110**(4), 1132-1205 (2005)
- [6] Ronald S. Burt, **Structural Holes**, Harvard University Press (1994)
- [7] Ronald S. Burt, Cohesion versus Structural Equivalence as a Basis for Network Subgroups, **Sociological Methods and Research**, **7**, 189-212 (1978)
- [8] Mark Granovetter, Strength of the Weak Ties, **American Journal of Sociology**, **78**, 1360-1380 (1973)
- [9] Tsutomu Nakano, Acyclic Depth Partition of a Complex Subcontracting Network, **理論と方法**, **33**, 71-88 (2003)
- [10] Borgatti Steven P., Martin G. Everette and Linton C. Freeman, **UCINET6 for Windows Analytic Technologies** (2002)
- [11] Andrej Mrvar and Vlademir Batagelj **Pajek** <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/> (2006)
- [12] Naoki Masuda and Hiroshi Konno, VIP-Club Phenomenon: Emergence of Elites and Masterminds in Social Networks, **Social Networks**, **28**, 297-319 (2006)
- [13] Duncan Watts and Steven Strogatz, Collective Dynamics of 'Small-world' Networks, **Nature**, **393**(4), 440-442 (1998)
- [14] Jeffrey Travers and Stanley Milgram, An Experimental Study of the Small World Problem, **Sociometry**, **32**, 425-443 (1969)
- [15] Stanley Milgram, The Small-World Problem, **Psychology Today**, **1**, 61-67 (1967)
- [16] Reka Albert and Albert-Laszlo Barabasi, Statistical Mechanism of Complex Networks, **Reviews of Modern Physics**, **74**, 47-97 (2002)
- [17] Philip Bonacich, The Invasion of the Physicists, **Social Networks**, **26**, 285-288 (2004)
- [18] 増田直樹, 今野紀雄, **複雑ネットワークの科学**, 産業図書 (2005)
- [19] 増田直樹, 今野紀雄, **複雑ネットワークとは何か**, 講談社 (2006)

- [20] 湯田聰夫, 小野直亮, 藤原義久, ソーシャル・ネットワークワーキング・サービスにおける人的ネットワークの構造, **情報処理学会誌**, **47**(3), 865-874 (2006)
- [21] 松尾豊, 友部博教, 橋田浩一, 中島秀之, 石塚満, Web上の情報からの人間関係ネットワークの抽出, **人工知能学会論文誌**, **1E**, 46-56 (2005)
- [22] Ryutaro Ichise, Hiideaki Takeda and Taichi Muraki, Research Community Mining with Topic Identification, **Proceedings of the Information Visualization Computer Society** (2006)
- [23] 相馬亘, 経済における複雑系ネットワーク, **人工知能学会誌**, **20**(3), 289-295 (2005)
- [24] 稲岡創, 二宮拓人, 谷口健, 清水季子, 高安秀樹, 金融機関の資金取引ネットワーク, 日銀金融市場局ワーキングペーパーシリーズ, 2003-J-2 (2003)
- [25] 平松闊, **社会ネットワーク**, 福村出版 (1990)
- [26] 安田雪, **実践ネットワーク分析**, 新曜社 (2004)
- [27] 安田雪, ネットワーク分析用ソフトウェア UCINET®の使い方, **赤門マネジメントレビュー**, **4**(5), 227-260 (2005)
- [28] 金光淳, **社会ネットワーク分析の基礎**, 勁草書房 (2003)