

フリーマンモデルとその利用について

伊藤孝夫*

A Consideration on the Freeman's Model and its Application

Takao ITO*

Abstract: There are several problems with the quantitative analysis of organizational network. One of them is the calculation of centrality in a network. Linton C. Freeman suggested a way to measure centrality of a network from the viewpoint of degree, betweenness and closeness. I call it Freeman Model and I found if you want to use it to analyze the relationship among firms, you will need to modify it because Freeman Model didn't take any considerations to the weight of the edge in a network. So I suggest a new idea of centrality measurement with the weight and use it to analyze the relationship among firms in Japanese Automobile Industry. Through the result of my analysis, we can find that the position of a node in a network depend on its degree of centrality, and its degree of importance. At the same time, I clarified the high relationships between degree of centrality and its sales, and its ordinary profit. Degree of centrality can be an important index when you draw up the managerial strategy of your organization.

Key words : Degree of Centrality, Degree of Importance, Weight of edge, Subnetwork

1. はじめに

バブル経済の崩壊とともに、日本的経営の神話が崩れはじめた。とくに、系列企業や年功序列などの日本的慣行が一部の日本企業で改革や見直しの動きが見られる。周知のように、系列企業は日米間で大きな問題の一つとして取り上げられ、その閉鎖性が不公正貿易のもととして批判されてきた。ところが、浅沼らの日本自動車産業の研究では系列企業の閉鎖性などの問題点を除いて、系列企業における継続的な供給関係の経済合理性をもたらすことをも明らかにしている。この系列企業の組織形態は、部品メーカーの自立と系列の流動化により、従来の垂直的な階層組織から水平的なヒエラルキー組織への転換がおこなわれており、ネットワーク的な組織形態に形成されつつある（[1]浅沼）。今井や金子らは、経営組織論の視点から、これからの経営組織の理想像は、情報化技術の発展とともに、従来の垂直の階層組織から水平的ネットワーク組織への変貌をし、ネットワーク的な組織形態が企業経営の主流になるだろうと予測している（[2]今井・金子, [3]金子）。また、アメリカにおいても、国ごとの経済取引様式の相違を認め、その原因が企業経営を取り巻く経済制度、政治文化などに求められ、比較制度理論が展開されている（[4]青木）。さらに、今日のアメリカで提唱されているアジャイル生産（Agile

production）も、俊敏な生産を実現するために企業間の連結関係を重視した経営戦略の一つであると考えられる（[5]S.L.Goldman, R.N.Nagel & K.Preiss）。これらの流れからわかるように、一企業内部の経営資源を重視する従来の経営視点はパラダイムの転換が求められている。企業の中核能力を強化しながら、これからの企業経営を取り巻く外部環境を重視し、合理的な企業間関係の構築が、情報化時代において、大きなテーマの一つであると考えられる。ところが、いわゆる「合理的」という企業間関係の基準は曖昧であり、多くの場合「強い連結」や「弱い連結」（strong tie and weak tie）という表現にとどまっており、科学的な系列企業間関係の分析がまだ少ないのが実状である。そのため、これらの問題を取り上げ、企業間の連結関係を量的に分析する必要がある。

企業間関係の計量分析について、投入産出表など多くの方法が用いられている。筆者はグラビティモデル（Gravity model）やクラスター分析法を利用して、自動車産業における系列企業の企業間関係の分析を試みた（[14]伊藤）。これらの分析は、完成車メーカーが系列企業を中心であるということを前提にしたため、系列企業における各企業を中心度の測定を行っていない。実際には、ネットワークにおけるノードの中心度

（Centrality）の測定やそのノード間の連結関係を分析する必要があると考えられる。現在、ネットワークの中心度を測定するときには、フリーマンモデルがよく用い

1998年9月24日受理

*宇部工業高等専門学校経営情報学科

られている ([6]Linton C. Freeman)。たとえば、D. Krackhardt のシリコンシステムズの事例研究や D.J.Brass と M.E.Burkhardt の新聞出版社の事例研究などがそれである ([7]David Krackhardt, [8] D.J.Brass & M.E.Burkhardt)。本稿ではフリーマンモデルを取り上げ、その計算方法と問題点を考察し、それを日本の企業間連結の関係分析に適用することを目的としている。

2. フリーマンモデルの計算方法

グラフ理論において、ネットワークを構成するものはノード (node) と呼ばれており、二つのノードを直接に連結する線は連結線 (edge) と呼ばれている。また、両ノードを連結する最短の経路 (path) は測地線 (geodesics) と呼ばれている。

フリーマン (Linton C.Freeman) は、幾つかのノードによって形成された集合であるネットワークを連結度 (Degree)、間隔度 (Betweenness)、近接度 (Closeness) の三つの角度から、そのネットワークにおける各ノードのポジション、相互関係およびネットワーク全体の連結状況を計算している。

2-1 連結度の計算

フリーマンは、ネットワークにおけるノード P_k の連結度が P_k と直接に連結するノードの数であると定義している。そのため、彼が Nieminen の測定方法をとってノード P_k の連結度を次のように計算している ([9]Nieminen)。

$$C_D(p_k) = \sum_{i=1}^n a(p_i, p_k); \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

この式に関して、次の関係が成立する。

$$a(p_i, p_k) = 1; \quad p_i \text{ と } p_k \text{ が線で連結される場合}$$

$$= 0; \quad \text{その他の場合}$$

ネットワーク全体の視点からみると、ノード P_k の連結度は次のように計算できる。

$$C'_D(p_k) = \frac{\sum_{i=1}^n a(p_i, p_k)}{n-1} = \frac{C_D(p_k)}{n-1} \quad (2)$$

$C'_D(P_k)$ はノード P_k まで隣接しているその他のノード数がネットワーク全体を占める割合を意味する。 $n-1$ は n 個のノードによって構成されるネットワークにお

いて、ノード P_k を取り除いてから残されたノードの数であり、 P_k が隣接可能な最大ノード数である。

フリーマンは上述の計算式を考察し、ネットワーク全体の連結度を決定するための一般的な計算式を次のように提示している。

$$C_D = \frac{\sum_{i=1}^n [C_D(p^*) - C_D(p_i)]}{n^2 - 3n + 2} \quad (3)$$

この式に関して、次の関係が成立する。

$$C_D(p^*) = \max C_D(p_i)$$

連結度はコミュニケーション活動の指標を表すものであり、ノード間の連結の程度を示す指標である。

2-2 間隔度の計算

ノード P_k の間隔度は P_k を経由して二つのノードを直接に連結する測地線が存在する場合に計算するため、フリーマンはネットワーク全体における間隔度の指標を次のように定義している。

$$C_B(p_k) = \sum_i \sum_j \frac{g_{ij}(p_k)}{g_{ij}} = \sum_i \sum_j b_{ij}(p_k) \quad (4)$$

式の中

$$i < j, \quad i \neq j \neq k;$$

$g_{ij}(P_k) \dots\dots$ ノード P_k を含む、 P_i と P_j を連結する測地線の数

$g_{ij} \dots\dots\dots$ P_i と P_j を連結する測地線の数

フリーマンはノード P_k がネットワーク全体に占める相対的な比率は次のように表現している。

$$C'_B(p_k) = \frac{2C_B(p_k)}{n^2 - 3n + 2} \quad (5)$$

上述の間隔度の概念にもとづいて、フリーマンはネットワーク全体の連結度の一般的な計算式を次のように提案している¹⁾。

$$C_B = \frac{2 \sum_{i=1}^n [C_B(p^*) - C_B(p_i)]}{n^3 - 4n^2 + 5n - 2} \quad (6)$$

この式に関して、次の関係が成立する。

¹⁾ フリーマンの論文では、

$$C_B = \frac{\sum_{i=1}^n [C_B(p^*) - C_B(p_i)]}{n^3 - 4n^2 + 5n - 2}$$

となっており、 $C_B(P_k)$ の係数 2 が漏れていたためであると考えられる。

$$C_B(p^*) = \max C_B(p_i)$$

間隔度はコミュニケーション活動を制御する可能性を示すものであり、ネットワークの構造問題を表す指標である。

2-3 近接度の計算

三つ目の近接度の計算方法はノード P_k をその他のノードとの連結の距離を計算し、ノード P_k がネットワークにおけるその他のノードとの近接度を表している。フリーマンはまず Sabidussi の計算式を取り入れて、次のように計算している ([10] Sabidussi)。

$$C_c(p_k)^{-1} = \sum_{i=1}^n d(p_i, p_k); \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$d(p_i, p_k)$ はノード P_k と P_i を連結する測地線の連結線の数を意味する。 $C_c(p_k)^{-1}$ はノード P_k とその他のノード間距離の増大とともに大きくなるため、その値が大きければ、その中心度が小さいことを示している。

(7) 式にもとづいて、Beauchamp はノード P_k がネットワーク全体における相対的な近接度は次のように計算できると主張している ([11] Beauchamp)。

$$C'_c(p_k) = \frac{n-1}{\sum_{i=1}^n d(p_i, p_k)} = \frac{n-1}{C_c(p_k)^{-1}} \quad (8)$$

$C_c(p_k)^{-1}$ と $C'_c(p_k)$ は近接性をベースとした計算指標である。フリーマンは、ネットワーク全体の近接度の計算を次のように提案している。

$$C_c = \frac{2n-3}{n^2-3n+2} \sum_{i=1}^n (C'_c(p^*) - C'_c(p_i)) \quad (9)$$

この式に関して、次の関係が成立する。

$$C'_c(p^*) = \max C'_c(p_i)$$

この近接度指標はネットワークの集中度を示すものであり、ネットワークにおける情報伝達や作業効率を表す指標であると考えられる。

上述のように、ネットワークの中心度を上述の九つの指標を用いて計算できると考えられる。

3. フリーマンモデルの問題点とその解決方法

ところが、この計算方法をそのまま経営組織の関係分析に適用すると、次の二つの問題に直面する。

3-1 フリーマンモデルの問題点

まず、経営組織の場合、人的ネットワーク、物流ネットワーク、取引ネットワークおよび情報ネットワークなどに分けられる。これらのネットワークはほとんど有向であることを見逃してはならない。すなわち、連結は常に方向を持つものである。双方向な連結か単一方向の連結かという連結方式によって連結の強度も異なるであろう。ところが、フリーマンモデルは連結の有向性を考慮していない。そのため、David Krackhardt はシリコンシステムズにおける人間関係を研究する際に、連結度に方向をつけて、Indegree と Outdegree の二つの指標を導入して計算していた ([7] David Krackhardt)。

第二に、フリーマンモデルでは連結のウェイトが均一化されているため、各ノード間の連結線の容量、強度を無視している。連結のウェイトを考慮していないフリーマンモデルは経営組織に適用しようとする場合、その利用限界を認めざるを得ない。

3-2 ネットワークの有向性とウェイト付け分析

上述の問題を解決するために、まず連結線に方向を導入し、有向ネットワークを考察ことにしよう。

グラフ理論によると、有向ネットワークにおけるノードの連結の強さは一般的に次の4種類のものに分けられる。

ネットワークにおける任意2ノードの間に、どちらからも相互に経路が存在するとき、そのネットワークは強連結であるという。また、強連結では2ノードのどちらからも経路が存在しているが、任意の2ノードの間で、少なくとも一方からの経路が存在するとき、そのネットワークは片連結であるという。さらに、任意の二つのノード間に、連鎖が存在するとき、そのネットワークを弱連結という。ここでいう連鎖とは連結線の矢印の向きを問題とせず、ともかく連結する線があって繋がっているときの状態を指す。孤立したノードが存在するネットワークを非連結という。

有向ネットワークは無向ネットワークと比較するとわかるように、ノード間の連結の強弱は連結線の方向に影響されており、連結線の方向から連結の強弱を判断できるメリットを持っている。有向ネットワークに関する問題は次稿にゆずりたい。本稿では連結線にウェイト付けすることによって、フリーマンモデルの計算を取り上げて検討してみようと思う。

先述したように、ノード間の連結は多くの場合、均一的なものではない。したがって、連結線のウェイトを考慮すると、ノード P_k の連結度の定義を修正せねばならない。ノード P_k の連結度を P_k と直接に連結するノ

ードの数よりも、 P_k との連結線のウェイトであると定義することがもっとも現実的であると考えられる。

この定義より、(1)式の連結度の計算そのものが変わらないが、その成立条件は次のように書き直すことができる。

$$0 \leq a(p_i, p_k) \leq 1$$

また、間隔度の計算はその定義からわかるように変わらない²が、近接度については(7)式の $d(p_i, p_k)$

は、ノード P_k と P_i を連結する測地線における連結線の数の合計よりも P_k と P_i を連結する測地線における連結線の長さの合計であると定義し直すことが必要である。

4. フリーマンモデルの計算方法

n 個のノードによって構成されたネットワークが与えられたと仮定しよう。この場合、マトリックスを用いて、次のように表すことができる。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

(10)式のマトリックスAについて、各元素 a_{ij} に連結線を代入すると、連結マトリックスがえられ、それをLと呼び、またノード間の距離³を代入すると距離マトリックスがえられ、それをSと呼ぶことにしよう。

連結度を計算するとき、まずその定義にしたがって、マトリックスAに各ノードの連結線を代入する。次

² 間隔度の分母 g_{ij} はノードiからノードjまでの測地線の数であると定義されているため、連結線のウェイトを導入することによって、測地線の数が一般的に減少すると考えられる。したがって、間隔度の計算も、連結線ウェイト付けの場合、その計算結果が異なる。

³ グラフ理論によると、距離は経路の長さを意味する。したがって、ふつうの距離と違って、この距離は必ずしも対称ではない。一般に二つのノードの間には、いくつもの経路がある可能性があるが、それらの経路の内では長さが最小なものを取り、その長さをその二つのノード間

に連結マトリックスLに元素 a_{ij} が1である列ベクトルをかけると各ノードの連結度が得られる。その計算は次のようになる。

$$C_D(p_k) = L * \mathbf{1} = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & l_{1n} \\ l_{21} & l_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & l_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ l_{n1} & l_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & l_{nn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_D(p_1) \\ C_D(p_2) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_D(p_n) \end{bmatrix} \quad (11)$$

近接度の場合、各ノードから他のノードへの測地線の長さを表しているため、測地線マトリックスを用いて、それに元素 a_{ij} が1である列ベクトルをかけるとよい。

$$C_C(p_k)^{-1} = S * \mathbf{1} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & s_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ s_{n1} & s_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & s_{nn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_C(p_1)^{-1} \\ C_C(p_2)^{-1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_C(p_n)^{-1} \end{bmatrix} \quad (12)$$

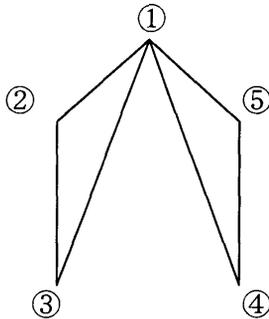
間隔度 $C_B(p_k)$ の計算については、定義にしたがってマトリックスを用いて計算することができる。マトリックスを用いてコンピュータを利用した計算について、

の距離と定義している。

Harary らが『ダイレクティドグラフ理論の序論』のなかにおいて詳しく紹介していたため、ここで省略する ([12] Harary F., R. Z. Norman & D. Cart Wright)。

フリーマンは五つのノードから構成されたネットワークを事例として取り上げて計算した。第1図はフリーマンが取り上げた事例の一つである。

第1図 五ノードのネットワーク (ウェイト付けなし)



第1図において、各ノード間の長さは均一的に1であると仮定している。フリーマンは上述の九つの指標にもとづいて計算し、その結果は次のとおりである。

第1表 方向とウェイト付けなしの計算結果

連結度

	$C_D(p_k)$	$C'_D(p_k)$	C_D
p_1	4.00	1.00	0.67
p_2	2.00	0.50	
p_3	2.00	0.50	
p_4	2.00	0.50	
p_5	2.00	0.50	

間隔度

	$C_B(p_k)$	$C'_B(p_k)$	C_B
p_1	4.00	0.67	0.67
p_2	0.00	0.00	
p_3	0.00	0.00	
p_4	0.00	0.00	
p_5	0.00	0.00	

近接度

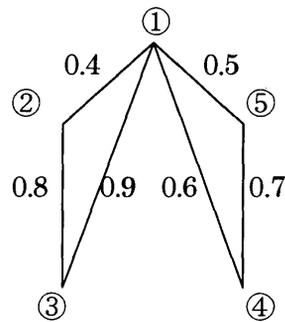
	$C_C(p_k)^{-1}$	$C'_C(p_k)$	C_C
p_1	4.00	1.00	0.78 ^注
p_2	6.00	0.67	
p_3	6.00	0.67	
p_4	6.00	0.67	
p_5	6.00	0.67	

注：原文の C_C は0.77となっている。四捨五入の違いからきたものと考えられる。

(出所) Linton C. Freeman(1978/79)Centrality in Social Networks Conceptual Clarification, *Social Networks* 1, pp.235

上述の結果と比較するため、筆者は第1図の連結線にウェイトを導入し、第2図で示されたように新たなネットワークを設定した。

第2図 五ノードのネットワーク (ウェイト付き)



上述のデータにもとづいて、連結度、間隔度および近接度を計算し、その結果は第2表で示されたとおりである。

第2表 方向とウェイト付けあるの計算結果

連結度

	$C_D(p_k)$	$C'_D(p_k)$	C_D
p_1	2.40	0.60	0.35
p_2	1.20	0.30	
p_3	1.70	0.43	
p_4	1.30	0.33	
p_5	1.20	0.30	

間隔度

	$C_B(p_k)$	$C'_B(p_k)$	C_B
p_1	4.00	0.67	0.67
p_2	0.00	0.00	
p_3	0.00	0.00	
p_4	0.00	0.00	
p_5	0.00	0.00	

近接度

	$C_C(p_k)^{-1}$	$C'_C(p_k)$	C_C
p_1	2.40	1.67	1.35
p_2	3.10	1.29	
p_3	4.60	0.87	
p_4	3.80	1.05	
p_5	3.50	1.14	

上述の計算結果からわかるように、連結線のウェイトがすべて1であるという均一のネットワークにおいて、ノード1の連結度、間隔度および近接度はそれぞれ高い水準を示している。その他のノードは同じ水準を示している。これは第1図からわかるように人間の直感と一致するものであり、容易に理解できる。

ところが、同じ五つのノードによって構成されたネットワークにおいては、その測地線にウェイト付けを導入すると、第2図からわかるように人間の直感で判断できなくなり、連結度と近接度の結果も大きく異なる。連結度からネットワークの中心度を考察すると、ノード1、ノード3、ノード4、ノード2、ノード5となっており、近接度からみると、その中心度の順位はノード1、ノード2、ノード5、ノード4、ノード3となっている。このことは、ノード1が連結度から見ても近接度から見てもともにネットワークの中心であることを意味する。また、ノード3は連結度からみれば高い中心度を示しているが、近接度では逆に一番低い順位となっていることから、ノード3はコミュニケーション活動を制御するには大きな役割を果たしているが、ネットワークにおける情報伝達や作業効率においては、重要性が低いものと思われる。ノード2は、連結度の高いノード1とノード3と直接連結しているため近接度の順位が高いが、連結度からみれば、ノード5同じように順位が低いことがわかる。

連結度と近接度の分析結果から、ネットワーク全体の中心点や個別ノードの重要度を判別することができない。では、ネットワーク全体の観点から、その中心点や個別ノードの重要度を分析してみよう。

5. 個別ノードの重要性分析

個別ノードの重要性については、ネットワーク全体における中心の状況と個別ノードの全体に与える影響に分けられる。

5-1 中心点と周辺点

ネットワークの理論によると、ネットワークの中心点については、その距離マトリックスから推定することができる。距離マトリックスでは、各行の最大値の一番小さいものをネットワークの半径といい、その値を与えるノードはネットワークの中心点という。中心点からの距離が最大となる点は周辺点と呼ばれている。第2図の例では、その距離マトリックスは次のとおりである。

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0.4 & 0.9 & 0.6 & 0.5 \\ 0.4 & 0 & 0.8 & 1.0 & 0.9 \\ 0.9 & 0.8 & 0 & 1.5 & 1.4 \\ 0.6 & 1.0 & 1.5 & 0 & 0.7 \\ 0.5 & 0.9 & 1.4 & 0.7 & 0 \end{bmatrix}$$

したがって、第2図のネットワークの中心点はノード1であり、その半径は0.9である。ノード3とノード4は周辺点となる。

5-2 個別ノードの重要度 (Degree of Importance)

個別ノードの重要度については、動的な計算を導入すればよい。ここでいう動的な計算とは、連結状況や近接状況ではなく、一つのノードが欠落する際に、ネットワーク全体の連結状況、または近接状況への影響から、そのノードの重要性を計算する方法である。つまり、ネットワークにおける個別ノードの重要性を分析するときに、このノードの有無がネットワーク全体に与える影響からみればよい。あるノードおよびそれに関連する連結線を取り除いたネットワークをサブネットワーク (subnetwork) という。ここで、あるノードを取り除いた後のサブネットワークの連結度がもとのネットワークの連結度より弱くなっていれば、そのノードをもとのネットワークの強化点という。逆に、そのノードの連結度が強くなれば、そのノードを弱点という。もしそのノードの連結度が全く変わらなければ、そのノードを中立点という。

間隔度の計算結果がかわらないため、ここで省略する。各ノードのサブネットワークの連結度と近接度を取り上げて計算し、その結果は次のとおりである。

第3表 個別ノードの重要度
連結度

	C_D	基準値	結果 (順位)
p_1	0.03	0.35	強化点 (1)
p_2	0.43		弱点 (5)
p_3	0.27		強化点 (2)
p_4	0.33		強化点 (3)
p_5	0.36		弱点 (4)

近接度

	C_C	基準値	結果 (順位)
p_1	∞	1.35	強化点 (1)
p_2	1.24		弱点 (4)
p_3	1.64		強化点 (2)
p_4	1.28		弱点 (3)
p_5	1.22		弱点 (5)

ノード1の近接度の計算については、ノード1を取り除くと、二つのサブネットワークに分解されているため、その近接度が無限大であると考えられる。

個別ノードの重要性分析からわかるように、このネットワークの中心点がノード1であり、連結度と近接度の両方から見てもノード1が強化点であることがわかる。つまり、ノード1が最も重要なノードであることを示している。また、ノード3とノード4は連結度からみると高い順位を示している。この二つのノードはともにネットワークの周辺点であるが、近接度からみればノード3が強化点であるので、ノード4と比べると相対的に強い立場にあると考えられる。したがって、ネットワークにおけるノードの重要性はノード自身の状況ばかりでなく、他のノードのとの連結状況にも影響されているといえよう。

6. 事例研究

本稿では、トヨタ関連の部品メーカーの9社と完成車メーカーの7社を対象として取り上げ、企業間の連結関係を分析してみよう。

企業間関係は、一般的には役員の派遣や社員の出向という人的交流、部品などの売買という取引活動、協力会社同士の友情関係および情報のやりとりでできた情報交換などによって決定される。計量的なデータのとりやすさやデータの正確性から、本稿では同一系列企業の企業間関係を分析するために、データの収集対象をトヨタ関連会社に限定した。企業間関係における部品取引の割合のデータを、(社)日本自動車部品工業会などが編集した『日本の自動車部品工業』から収集し、企業間の連結状況を分析した ([13] (社)日本自動車部品工業会・(株)オート・トレード・ジャーナル共同編集)。

企業間取引のデータは次のように集計している。

部品取引高 = 売上高に占める取引先との取引比率 × 自社自動車部門の売上高比率

連結度の定義にしたがって、第四表の部品メーカー9社と完成車メーカー6社の計16社のデータを計算した。その結果は次のとおりである。

第4表 個別ノードの連結度 (部品メーカー9社)

会社名	$C_D(p_k)$	$C'_D(p_k)$
アート金属工業	54.78	3.65
アイシン精機	67.99	4.53
愛三工業	89.10	5.94
市光工業	78.80	5.25
尾張精機	45.14	3.01

アイシン高丘	76.54	5.10
小糸製作所	74.45	4.96
フタバ産業	69.69	4.65
マルヤス工業	79.77	5.32
トヨタ自動車	420.03	28.00
三菱自動車	51.73	3.45
スズキ	22.23	1.48
ダイハツ工業	21.72	1.45
日産自動車	58.64	3.91
いすゞ	6.35	0.42
マツダ	21.18	1.41

上述の連結度の結果をもとに、各部品メーカーの売上高や経常利益率との相関関係を分析する。連結度と売上高、および連結度と経常利益率との相関係数はそれぞれ0.140と0.118であり、確率のpはそれぞれ0.720と0.762であるため、両側検定の結果も5%有意水準で帰無仮説が棄却できない。したがって、連結度は売上高と経常利益との間に相関があるとは言えない。

そのため、筆者は部品メーカーなどの範囲をさらに拡大し、トヨタ自動車と関連ある30社を選び、完成車メーカーも本田技研工業を取り入れ、合計38社となった。その連結度の結果は、第5表で示したとおりである。

第5表 個別ノードの連結度 (部品メーカー30社)

会社名	$C_D(p_k)$	$C'_D(p_k)$
アート金属工業	54.78	1.48
アイシン精機	133.44	3.61
愛三工業	93.36	2.52
市光工業	74.55	2.01
尾張精機	45.14	1.22
小糸製作所	76.70	2.07
フタバ産業	75.86	2.05
マルヤス工業	79.77	2.16
豊田工機	49.52	1.34
シロキ工業	74.48	2.01
アイシン化工	65.47	1.77
アイシン高丘	78.20	2.11
曙ブレーキ工業	57.11	1.54
アスモ	10.64	0.29
アラコ	101.89	2.75
協豊製作所	45.79	1.24
豊臣機工	55.14	1.49
岐阜車体工業	91.20	2.46
三桜工業	62.79	1.70
大豊工業	64.88	1.75
中庸スプリング	66.13	1.79
帝国ピストンリング	55.11	1.49

東京焼結金属	13.20	0.36
東洋ゴム工業	31.65	0.86
豊田化工	84.20	2.28
豊田合成	63.70	1.72
豊田鉄工	73.83	2.00
中央可鍛工業	42.98	1.16
豊生ブレーキ工業	98.20	2.65
豊和繊維工業	93.00	2.51
トヨタ自動車	1380.21	37.30
三菱自動車	109.81	2.97
スズキ	44.17	1.19
ダイハツ工業	46.92	1.27
日産自動車	119.80	3.24
本田技研工業	35.06	0.95
いすゞ	33.51	0.91
マツダ	35.35	0.96

第5表の各部品メーカーの連結度と各社の経常利益、売上高との相関関係をそれぞれ計算した。その結果は次ぎのとおりである。

第6表 連結度と経常利益、売上高との相関関係

	売上高	経常利益率
$C_D(p_k)$	0.452	0.350
	$p=0.012$	$p=0.058$

第6表からわかるように、連結度と売上高および連結度と経常利益率との相関関係はそれぞれ 0.452 と 0.350 であり、帰無仮説がそれぞれ 1% と 6% の有意水準で棄却されているため、かなりの相関関係があると思われる。したがって、同じ系列企業において、企業同士の連結の強さはその企業の売上高および経常利益にかなりの影響を与えていることがいえよう。

また、第5表の部品メーカーの連結度が、アイシン精機、アラコ、豊生ブレーキ工業、豊和繊維工業、岐阜車体工業、愛三工業および豊田化工などの順になっている。30社の部品メーカーがほとんどトヨタ関連企業であるため、いすゞ、本田技研工業、マツダおよびスズキとの連結度が低いが、トヨタのライバルの日産自動車との間に、119.80 の高い連結度を持っているばかりでなく、三菱自動車とも高い連結度を持っていることは系列の流動化の現れではないかと推測できよう。これらのことから、連結度は各企業がそのネットワークに組み込まれた状況を示すものであると考えられる。したがって、トヨタ自動車を中心とする系列企業では、連結度の高い企業は、トヨタと密接な結びつきを持っていることがいえよう。

各個別ノードの重要度分析を行った結果については、

次のとおりである。

第7表 個別ノードのサブネットワークの連結度

会社名	順位	会社名	順位
アラコ	28.13	アート金属工業	36.81
岐阜車体工業	34.96	尾張精機	36.88
豊生ブレーキ工業	35.15	帝国ピストンリング	37.01
アイシン化工	35.3	市光工業	37.02
豊田化工	35.35	東洋ゴム工業	37.12
マルヤス工業	35.36	東京焼結金属	37.13
愛三工業	35.5	曙ブレーキ工業	37.3
豊田鉄工	35.71	三桜工業	37.38
豊和繊維工業	35.71	アスモ	37.44
豊田合成	35.9		
大豊工業	35.91		
アイシン高丘	35.93		
中庸スプリング	36.01		
豊臣機工	36.04		
アイシン精機	36.16		
豊田工機	36.19		
フタバ産業	36.2		
協豊製作所	36.3		
中央可鍛工業	36.31		
シロキ工業	36.34		
小糸製作所	36.45		

上述の結果からわかるように、強化点はアラコ、岐阜車体工業、豊生ブレーキ工業、アイシン化工、豊田化工、マルヤス工業、愛三工業の順であり、弱化点はアスモ、三桜工業、曙ブレーキ工業、東京焼結金属、東洋ゴム工業の順になっている。

これらの企業は、次の4種類に分けられる。

高い連結度を持ちながら、強化点である企業は、トヨタ自動車と大きな取引関係を持つアラコ、岐阜車体工業、豊生ブレーキ工業、豊和繊維工業、豊田化工、および愛三工業などである。これらの企業はそれぞれ中規模の部品メーカーであり、トヨタがその企業の大株主となっている。これらの企業のトヨタへの部品納入比率は集中しているのが特徴である。言い換えれば、これらの企業はトヨタと密接な企業間関係を持つものであるといつてよい。

連結度は高くないが、強化点の順位が高い企業はアイシン化工、豊田鉄工および大豊工業などである。これらの企業はそれぞれ塗料、接着材の化成品・樹脂製品、ブレーキ部品およびメタルなどを生産している。これらの企業は上述の企業と同様に、トヨタが大株主となっており、トヨタに納入する部品の比率も割と高い。高い連結度を持つ企業と比べると、それほど高くなく、また部

品の納入先が分散しているのがその大きな特徴である。

連結度が低い、強化点である企業は中央可鍛工業、協豊製作所および豊田工機などのである。中央可鍛工業は自動車FCD部品やAL部品を生産し、協豊製作所はバンパ、パンタジャッキなどを生産している。豊田工機はパワーステアリング、ポンプ、等速ジョイントなどを生産している企業である。これらの企業はトヨタと密接な株式関係や取引関係を持ちながらも、自動車部品関係の比率はそれぞれ全体の76.2%、47.7%および66.2%であり、比較的低い水準を保っているのが特徴である。

連結度が低く、しかも弱点である企業はアスモ、東京焼結金属と東洋ゴム工業などが取り上げられる。これらの企業はトヨタへの納入比率はともに20%未満である。アスモの大きな取引先はデンソーの79.7%であり、トヨタはわずか2.5%にすぎない。東洋ゴム工業と東京焼結金属は、それぞれ18.6%と16.6%の比率でトヨタに納品しているが、アスモと同様に他の自動車メーカーへの取引が増える傾向が見られる。

7. 新たな展開

本稿は、フリーマンモデルを考察し、その連結線の有向性とウェイト付けの問題点を指摘し、ウェイト付けの導入を通じて、フリーマンモデルの改善を図った。また、各ノードの重要性の判断基準については、ネットワークの中心点を測定し、動的な計算法を利用してノードの重要度を確認した。これらの成果をもとに日本企業に適用し、自動車産業における企業間関係や、連結度と企業の経営業績との関連を明らかにした。

ところが、ネットワークに関する問題はまだまだ残っている。たとえば、ネットワークにおけるノード間の連結の強さは、その連結の数のほかに、潜在的に連結できるノードの数にも依存すると考えられる。企業の取引の関係を考える場合、A社と取引をしながらも、常にB社とも取引ができる状態を維持するのは取引上有利であると考えられる。このようなアイデアをいかにフリーマンモデルに取り入れるかが研究課題の一つである。また、ネットワークの中心点とそのパワーのとの関連問題も解明しなければならない。今後の研究課題としては、上述の問題点を踏まえて、個別ノードの重要度や中心点と経営業績との関連状況を、時系列データを通じて分析し、時間の流れとともに連結状況の変化を把握し、企業間の連結と経営業績との関係を明らかにしたい。

付：本研究を進めるにあたり、貴重なアドバイスを頂いた本校経営情報学科の大久保明伸教授と太田勝助教授に感謝の意を表する。

参考文献

- [1]浅沼万里(1997)著・菊谷達弥編集『日本の企業組織革新的適応のメカニズム 長期取引関係の構造と機能』、「第Ⅱ部中核企業が展開する企業ネットワーク」、東洋経済新報社
- [2]今井賢一・金子郁容(1988)『ネットワーク組織論』、岩波書店
- [3]金子郁容(1986)『ネットワーキングへの招待』、中央公論社
- [4]青木昌彦(1995)『経済システムの進化と多元性 比較制度分析序説』、東洋経済新報社
- [5]S.L.Goldman R.N.Nagel & K.Preiss(1995) *Agile Competitors and Virtual Organizations Strategies for Enriching the Customer*, International Thomson Publishing, New York
- [6]Linton C. Freeman(1978/79)Centrality in Social Networks Conceptual Clarification, *Social Networks* 1, pp.215-239
- [7]David Krackhardt(1992)The strength of strong ties : The importance of Philos in Organization, *Networks and Organization*, Nitin Nohria and Robert G. Eccles edit., Harvard Business Press
- [8]Daniel .J. Brass & Marlene E. Burkhardt (1992) Centrality and Power in Organization, *Networks and Organization*, Nitin Nohria and Robert G. Eccles edit., Harvard Business Press
- [9]Nieminen J.(1974)On centrality in a graph, *Scandinavian Journal of Psychology* 15,pp.322-336
- [10]Sabidussi G. (1966) The centrality index of a graph, *Psychometrika* 31, pp.581-603
- [11]Beauchamp M.A. (1963) An improved index of centrality, *Behavioral Science* 10, pp.161-163
- [12]Harary F., R. Z. Norman & D. Cart Wright (1965) *Structural Models: An Introduction to the Theory of Directed Graphs*, New York, Wiley
- [13](社)日本自動車部品工業会・(株)オート・トレード・ジャーナル共同編集(1997)『日本の自動車部品工業 '97年版』、(株)オート・トレード・ジャーナル発行
- [14]伊藤孝夫(1995.1)「企業間関係測定の一視角」西南学院大学大学院『経営学研究論集』第24号；(1995.7)「ネットワーク組織における企業間関係の研究」西南学院大学大学院『経営学研究論集』第25号