

ピラミッド組織構造のリエゾン配置モデル

澤田 清[†]

概要 本研究では、高さ H の完全 K 分木型のピラミッド組織構造に、1 人のリエゾンを配置し、組織内の同じ階層の 2 人のメンバーと関係形成を行うモデルを提案する。ここでは、リエゾンと関係形成により組織内の全メンバー間の情報伝達経路長が最も短縮される（総頂点間短縮経路長が最大となる）2 人のメンバーを求める。その結果、各階層でトップ以外の共通の上司を持たない 2 人のメンバーが総頂点間短縮経路長を最大にし、さらに総頂点間短縮経路長を最大にする階層はトップから 2 層下であることが示される。

A Model of Placing a Liaison in a Pyramid Organization Structure

Kiyoshi Sawada[†]

Abstract This paper proposes a model of placing a liaison which forms relations to two members with the same level in a pyramid organization structure which is a complete K -ary tree of height H . The optimal pair of two members is obtained by maximizing the total shortening path length which is the sum of shortening lengths of shortest paths between every pair of all members. It is shown that two members whose deepest common superior is the top maximizes the total shortening path length for each level and the optimal level is the second level below the top, irrespective of the number of subordinates and the number of levels in the organization structure.

1. はじめに

企業などの組織の構造には様々な種類があるが [1, 2]、それらの基本となるものは上下間の一元的な命令系統に基づく階層構造（ピラミッド組織と呼ばれている [3, 4]）である。ピラミッド組織構造には、上司と直属の部下との間にのみ、情報のやりとりを行える関係が存在する。しかし、直接の上下関係を飛び越えた指示命令や他部門との協力が必要な場合には、事前に直接の上下間以外の関係形成を行うことが有効であると考えられる。

ピラミッド組織構造は、構成メンバーを頂点に、上下のメンバー間関係を辺に対応させると、根付き木であると考えることができる。このとき、各頂点間の経路は組織内のメンバー間の関係をたどる情報伝達経路に対応している。また、根付き木に辺を追加することは、直接の上下関係以外の追加的關係の形成に相当する。澤田ら [5, 6, 7] は、ピラミッド組織構造を対象として、組織全体の情報伝達が最も効率的になるような、メンバー間の関係追加位置を求めるモデルをいくつか提案した。そこでは、完全 K 分木型のピラミッド組織構造に対して、全頂点对の最短経路長の総

[†]流通科学大学 情報学部 経営情報学科

Department of Information and Management Science, Faculty of Information Science,
University of Marketing and Distribution Sciences

和（以後，総頂点間経路長と呼ぶ）が最小となるような追加辺の位置を解析的に求めた．

組織内の上下関係以外の関係形成として，組織内の既存のメンバー間に関係を追加するのではなく，組織内の情報交換や調整を専門的に行う役職（リエゾンと呼ばれる [8, 9]）を配置する方法がある．リエゾンを配置することの有効性は認識されているが，リエゾンをどこに配置すればよいか，すなわちリエゾンを組織内のどのメンバーと情報交換させればよいかについては，あまり議論されていない．

本論文では，完全 K 分木型のピラミッド組織構造にリエゾンを 1 人配置し，同じ階層内の 2 人のメンバーと情報交換を行うことを考える．このとき，すべての組織メンバー間の情報伝達が最も効率的となるような，リエゾンと情報交換を行う 2 人のメンバーを求める．これは，完全 K 分木に頂点（リエゾン）を 1 つ追加し，その頂点を同じ深さの 2 つの頂点と隣接化させる場合に，総頂点間経路長が最小となるような 2 つの頂点を求めることを意味する．ただし，リエゾンは組織内の情報交換や調整を専門的に行う役職であるため，リエゾンと他のメンバーとの間の情報伝達の効率は考えない，すなわちリエゾンと完全 K 分木の頂点との間の経路長は総頂点間経路長には含めない．

2. 2 人の同階層メンバーへのリエゾン配置モデル

本研究では，一般化した高さをもつ完全 K 分木型 ($K = 2, 3, \dots$) のピラミッド組織構造に対して，リエゾンを 1 人配置し，同じ階層内の 2 人のメンバーと情報交換を行う．すなわち，高さ H ($H = 2, 3, \dots$) の完全 K 分木に対して，頂点（リエゾン）を 1 つ追加し，その頂点と同じ深さ N ($N = 2, 3, \dots, H$) の 2 つの頂点との間に辺を 1 本ずつ，合計 2 本の辺を追加する．ここで，完全 K 分木は，すべての葉の深さが同じで，かつすべての内部頂点の子の数が K である K 分木を指す [10]．また，深さは根からその頂点までの経路の長さを表す．図 1 に， $K = 2, H = 5$ とした場合の完全 K 分木の例を示す．図中の N の値は，各頂点の深さを表す．

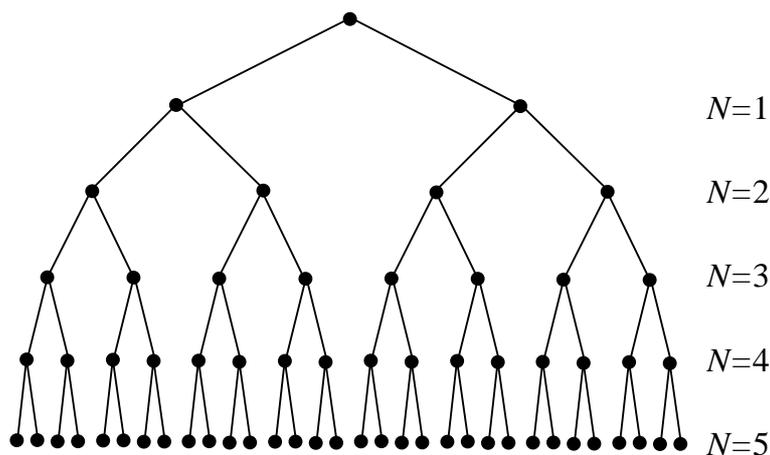


図 1: 完全 K 分木の例 ($K = 2, H = 5$)

完全 K 分木の 2 頂点 v_i と v_j ($i, j = 1, 2, \dots, (K^{H+1} - 1)/(K - 1)$) の間の最短経路の長さを $l_{i,j}$

とすると (ただし $l_{i,j} = l_{j,i}$, $l_{i,i} = 0$) , $\sum_{i<j} l_{i,j}$ は総頂点間経路長を表す . また , 上述したようなリエゾン頂点と辺を追加した後の 2 頂点 v_i , v_j 間の最短経路の長さを $l'_{i,j}$ とすると , $l_{i,j} - l'_{i,j}$ はリエゾン頂点と辺追加により 2 頂点間の最短経路の長さがどれだけ短縮されたかを表す . ここで , これを 2 頂点間の短縮経路長と呼ぶ . さらに , 全頂点間の短縮経路長の総和 $\sum_{i<j} (l_{i,j} - l'_{i,j})$ を , 総頂点間短縮経路長と定義する .

3. で本モデルの総頂点間短縮経路長の定式化を行い , 4. で総頂点間短縮経路長を最大にする , リエゾンと隣接化する頂点の組を解析的に求める .

3. 総頂点間短縮経路長の定式化

深さ N の 2 つの頂点とリエゾン頂点との間に追加可能な辺の組は , 同形のグラフを除去すると , $N - 1$ 通り存在する . すなわち , 深さ L ($L = 0, 1, 2, \dots, N - 2$) の頂点の K 個の子のうち , 2 つの相異なる子の子孫にリエゾン頂点を隣接化する $N - 1$ 通りである . ここではまず , $L = 0$ の場合 , すなわち完全 K 分木の根の相異なる子の子孫に隣接化したときの総頂点間短縮経路長を定式化する .

ここで , リエゾン頂点と隣接化を行う 2 頂点を v_0^X, v_0^Y とし , v_0^X の祖先の中で深さ $N - k$ の頂点を v_k^X ($k = 1, 2, \dots, N - 2$) , v_0^Y の祖先の深さ $N - k$ の頂点を v_k^Y ($k = 1, 2, \dots, N - 2$) とする . また , v_0^X と v_0^Y の子孫の集合をそれぞれ V_0^X と V_0^Y と書く . ただし , 子孫はその頂点自身も含むものとする . さらに , 頂点 v_k^X の子孫の集合から v_{k-1}^X の子孫の集合を除いたものを V_k^X ($k = 1, 2, \dots, N - 2$) , 頂点 v_k^Y の子孫の集合から v_{k-1}^Y の子孫の集合を除いたものを V_k^Y ($k = 1, 2, \dots, N - 2$) とする . 以上に定義した頂点集合を , 図 2 に示す . ただし , 図 2 は , $K = 2, H = 5$ の完全 K 分木に対して , リエゾン頂点 (白丸で表している) を深さ $N = 4$ の 2 つの頂点に隣接化 (太線で表している) した場合である .

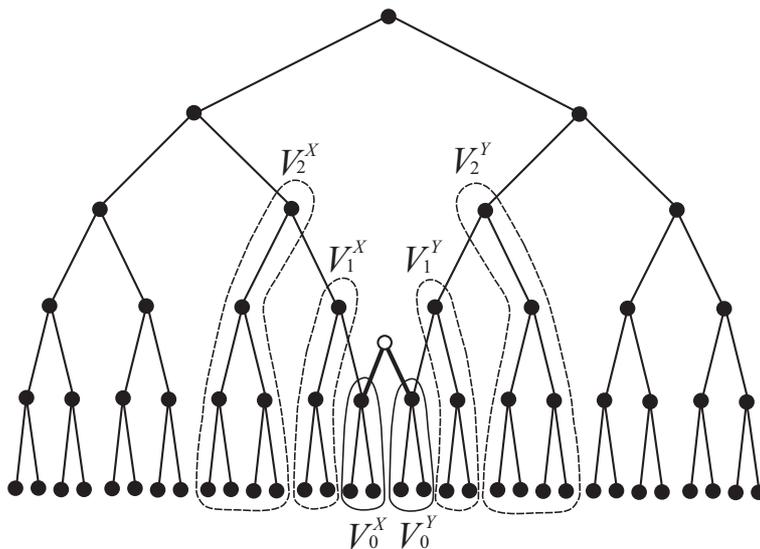


図 2: 総頂点間短縮経路長の定式化

このとき、 V_0^X と V_0^Y の頂点間の短縮経路長の総和は、

$$A_H(N) = \{M(H - N)\}^2 2(N - 1) \quad (1)$$

と表される。ただし、 $M(h)$ ($h = 0, 1, 2, \dots$) は高さ h の完全 K 分木の頂点数を表す。次に、 V_0^X と V_k^Y ($k = 1, 2, \dots, N - 2$) の頂点間と、 V_0^Y と V_k^X ($k = 1, 2, \dots, N - 2$) の頂点間の短縮経路長の総和は、

$$B_H(N) = 2M(H - N) \sum_{i=1}^{N-2} \{(K - 1)M(H - i - 2) + 1\} 2i \quad (2)$$

与えられる。さらに、 V_k^X ($k = 1, 2, \dots, N - 2$) と V_k^Y ($k = 1, 2, \dots, N - 2$) の頂点間の短縮経路長の総和は、

$$C_H(N) = \sum_{i=1}^{N-3} \{(K - 1)M(H - i - 3) + 1\} \sum_{j=1}^i \{(K - 1)M(H - N + j - 1) + 1\} 2(i - j + 1) \quad (3)$$

となる。ただし、

$$\sum_{i=1}^0 \cdot = 0, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{-1} \cdot = 0 \quad (5)$$

と定義する。

以上より、 $L = 0$ の場合の総頂点間短縮経路長 $S_H(N)$ は、

$$\begin{aligned} S_H(N) &= A_H(N) + B_H(N) + C_H(N) \\ &= \{M(H - N)\}^2 2(N - 1) + 2M(H - N) \sum_{i=1}^{N-2} \{(K - 1)M(H - i - 2) + 1\} 2i \\ &\quad + \sum_{i=1}^{N-3} \{(K - 1)M(H - i - 3) + 1\} \sum_{j=1}^i \{(K - 1)M(H - N + j - 1) + 1\} 2(i - j + 1) \end{aligned} \quad (6)$$

となる。

深さ L ($L = 0, 1, 2, \dots, N - 2$) の頂点の相異なる子の子孫にリエゾン頂点を隣接化した場合、深さ L の頂点の子孫同士以外は最短経路の長さが短縮されない。このことから、この場合の総頂点間短縮経路長は、高さ $H - L$ の完全 K 分木の、深さ $N - L$ の 2 頂点のうち、根の相異なる子の子孫にリエゾン頂点を隣接化した場合と同じとなる。すなわち、深さ L の頂点の相異なる子の子孫にリエゾン頂点を隣接化した場合の総頂点間短縮経路長を $R_H(N, L)$ とすると、

$$R_H(N, L) = S_{H-L}(N - L) \quad (7)$$

という関係が成り立つ。

図 3 に、 $K = 2$ 、 $H = 5$ の完全 K 分木に対して、 $N = 4$ 、 $L = 2$ の 2 頂点にリエゾン頂点（白丸で表す）を隣接化（太線で表す）した例を示す。この例では、高さ $3 (= 5 - 2)$ の完全 K 分木（図中の破線で囲まれた部分）の根の相異なる子の子孫のうち深さ $2 (= 4 - 2)$ の頂点にリエゾン頂点を隣接化した場合の総頂点間短縮経路長と同じとなる。すなわち、 $R_5(4, 2) = S_3(2)$ となる。

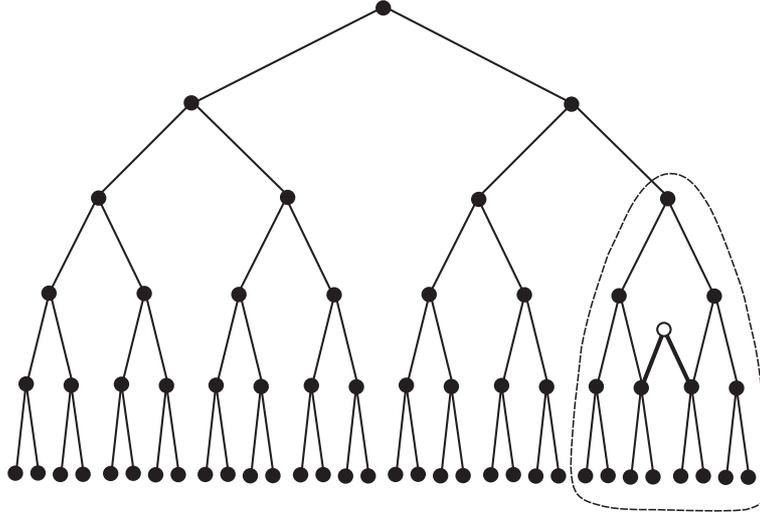


図 3: $R_H(N, L) = S_{H-L}(N - L)$ の例

4. リエゾンと隣接化する最適な頂点の組

$R_H(N, L)$ を最大にする L^* に関して、次の定理 1 が得られる。

定理 1 各 $N (N = 2, 3, \dots, H)$ に対して、 $L^* = 0$ のとき $R_H(N, L)$ が最大になる。

証明 $N = 2$ のとき、 $L = 0$ のみであるので、 $L^* = 0$ である。 $N \geq 3$ のとき、 $\Delta R_H(N, L) \equiv R_H(N, L + 1) - R_H(N, L)$ とおくと、

$$\begin{aligned}
& \Delta R_H(N, L) \\
&= S_{H-(L+1)}(N - (L + 1)) - S_{H-L}(N - L) \\
&= -2\{M(H - N)\}^2 - 2M(H - N)\{(K - 1)M(H - N) + 1\}2(N - L - 2) \\
&\quad - 2M(H - N) \sum_{i=1}^{N-L-3} (K - 1)\{M(H - L - i - 2) - M(H - L - i - 3)\}2i \\
&\quad - \{(K - 1)M(H - N) + 1\} \sum_{j=1}^{N-L-3} \{(K - 1)M(H - N + j - 1) + 1\}2(N - L - j - 2) \\
&\quad - \sum_{i=1}^{N-L-4} (K - 1)\{M(H - L - i - 3) - M(H - L - i - 4)\} \\
&\quad \times \sum_{j=1}^i \{(K - 1)M(H - N + j - 1) + 1\}2(i - j + 1) \tag{8}
\end{aligned}$$

を得る。ただし、 $L = 0, 1, 2, \dots, N - 3$ である。 $M(h)$ は、 h に関する増加関数であることから、

$$\Delta R_H(N, L) < 0 \tag{9}$$

となるので、 $L^* = 0$ である。□

定理 1 より，総頂点間短縮経路長を最大にする，リエゾン頂点と隣接化する 2 つの頂点を求めるとき，根の相異なる子の子孫の組だけを考えればよい．

式 (6) に

$$M(h) = \frac{K^{h+1} - 1}{K - 1} \quad (10)$$

を代入して整理すると，

$$S_H(N) = \frac{1}{(K-1)^3} \left\{ 2(N-1)(K-1)K^{2H-N} + 4K^{H-N+1} - 4K^H + 2(N-1)(K-1) \right\}. \quad (11)$$

を得る．

さらに，式 (11) の $S_H(N)$ を最大にする N^* に関して，次の定理 2 が得られる．

定理 2 $N^* = 2$ のとき $S_H(N)$ が最大になる．

証明 $H = 2$ のとき， $N = 2$ のみであるので， $N^* = 2$ である． $H \geq 3$ のとき， $\Delta S_H(N) \equiv S_H(N+1) - S_H(N)$ とおくと，

$$\begin{aligned} \Delta S_H(N) &\equiv S_H(N+1) - S_H(N) \\ &= \frac{1}{(K-1)^2} \left\{ (-2NK + 2K + 2N)K^{2H-N-1} - 4K^{H-N} + 2 \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

を得る．ただし， $N = 2, 3, \dots, H-1$ である．ここで，

$$\Delta S_H(N) < 0 \quad (13)$$

となるので， $N^* = 2$ である． □

5. おわりに

本研究では，高さ H の完全 K 分木型のピラミッド組織構造を対象として，組織全体の情報伝達が最も効率的になるようにリエゾンを配置する目的で，同じ階層の 2 人の組織メンバー（同じ深さの 2 つの頂点）とリエゾン（リエゾン頂点）との関係追加モデルを提案した．ここでは，総頂点間短縮経路長を定式化し，それを最大にする，リエゾン頂点と隣接化する頂点の組を解析的に求めた．その結果，根の相異なる子の子孫のうち深さ $N^* = 2$ の 2 つの頂点にリエゾン頂点を隣接化したときに，総頂点間短縮経路長が最大となることがわかった．これは，組織構造の階層数や各メンバーの直屬部下数に関係なく，最上位層から 2 層下で異なる直接の上司を持つ 2 人のメンバーとリエゾンの間で情報交換を行うことで，組織全体の情報伝達効率を最も改善できることを示している．今回は，リエゾンと情報交換を行うメンバーを 2 人に限定したが，3 人以上のメンバーと情報交換を行う場合については，今後の課題としたい．

参考文献

- [1] S. P. Robbins, Essentials of Organizational Behavior, 7th ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 2003.

- [2] Y. Takahara, M. Mesarovic, Organization Structure: Cybernetic Systems Foundation, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2003.
- [3] N. Takahashi, “Sequential analysis of organization design: a model and a case of Japanese firms”, European Journal of Operational Research, vol.36, pp.297–310, 1988.
- [4] 高橋伸夫, 組織の中の決定理論, 朝倉書店, 東京, 1993.
- [5] 澤田 清, 宇野 斉, “完全 2 分木型組織構造への関係追加モデル,” 日本応用数理学会論文誌, vol.10, no.4, pp.335–346, 2000.
- [6] 澤田 清, “総頂点間経路長を最小にする完全 2 分木の階層間隣接化,” 日本応用数理学会論文誌, vol.13, no.3, pp.353–360, 2003.
- [7] K. Sawada, R. Wilson, Models of adding relations to an organization structure of a complete K -ary tree, European Journal of Operational Research, to appear.
- [8] J. H. Gittell, “Organizing work to support relational co-ordination”, International Journal of Human Resource Management, vol.11, pp.517–539, 2000.
- [9] 沼上 幹, 組織デザイン, 日本経済新聞社, 東京, 2004.
- [10] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stein, Introduction to Algorithms, 2nd ed., MIT Press, Cambridge, Mass., 2001.