

生涯学習情報提供ネットワーク最適化の研究

－端末・回線数，接続の仕方の理論的検討－

高橋 利行
(筑波大学大学院)

1. はじめに

わが国のめざすべき生涯学習社会が「生涯のいつでも自由に学習機会を選択して学ぶことができ、その成果を評価するような社会」だとすれば、そのような生涯学習社会の教育・学習システムは、学習機会選択援助システム、学習機会提供システム、学習成果の評価・活用システムをサブ・システムとしてそなえていなければならないことになる。生涯学習情報提供は、そのうちの第一にあげた学習機会選択援助システムの重要な構成要素としての位置を占めるものである⁽¹⁾。また、生涯学習情報提供体制の整備の際には、地域の生涯学習施設相互を情報通信手段で結んで情報のネットワークを構築することが重要である⁽²⁾と指摘されているが、生涯学習情報提供についての研究はまだあまり進んでいないので、まだどのようなネットワークが最適であるのかということは明らかにされていない。したがって、最適な生涯学習情報提供ネットワークがどのようなネットワークであるのかを解明することは、生涯学習情報提供ネットワーク研究にあってまず第一に取り上げなければならない課題の1つであると思われる。

そこで、ここでは、最適ということを生涯学習情報提供ネットワークの構成要素の数とその接続の仕方の2つの観点から考え、最適な生涯学習情報提供ネットワークとはどのようなネットワークであるのかを理論的に明らかにすることにした。本稿では生涯学習情報提供ネットワークの構成要素としてホストコンピュータ、端末、回線の3つを考え、生涯学習情報提供ネットワークをグラフ理論を用いて表示することにした⁽³⁾。なお、ホストコンピュータについては、その数を1の場合に限定し、生涯学習情報提供ネットワークの構成要素の数については整数計画法⁽⁴⁾を、接続の仕方についてはグラフ理論の最短経路⁽⁵⁾、グラフの零度⁽⁶⁾の考え方を用いて検討することにした。

2. 生涯学習情報提供ネットワークの端末・回線数, 接続の仕方 の検討—サブネットワークを考えない場合—

(1) 端末・回線数の検討

① 理論的検討

はじめに端末・回線数についての理論的検討を行なうことにしよう。ここでは、最適な生涯学習情報提供ネットワークを利用者の側からみれば端末の数が多い方がよいが、ネットワーク構築には予算の面からの制約があるという考え方を前提とする。

まず、用いる変数は次の2つである。

変数 x : 生涯学習情報提供ネットワークの端末をグラフ表示したときの節点数からホストコンピュータにあたる節点数を引いた数

変数 y : 生涯学習情報提供ネットワークの回線をグラフ表示したときの辺の数 (ただし, x, y はともに整数。)

目的関数 Z は次のように定める。

目的関数: $Z = tx + y$ (式1)

これは利用者のアクセスのしやすさを表すもので, t は端末 (x) の持つ利用者のアクセスのしやすさへの貢献度が, 回線 (y) に比べてどの程度の重みを持つかを示す係数である。生涯学習情報提供ネットワークの最適化のためには, この目的関数の Z を最大にするような x, y を求めればよいことになるが, その際の子算や, ホストコンピュータと端末の接続に関する制約条件としては, 以下の2つがある。

制約条件1 : $Z_1 = d - (h + x + ky) \geq 0$ (式2)

制約条件2 : $Z_2 = a - c - (x + y) \geq 0$ (式3)

ただし, d は予算総額/端末単価, h はホストコンピュータの価格/端末単価であり, k は回線単価/端末単価である。また, a はホストコンピュータの性能を表すものであり, c はホストコンピュータの持つべきゆとりを表すものである。具体的には, a はホストコンピュータに接続可能な端末の最大数, c はホストコンピュータの持つべき空きの端末数である。

これらの式の意味を述べておくと, 制約条件1の Z_1 式は予算額すべてを端末に使用した場合に設置可能な端末の最大数から実際に設置されているホストコンピュータ, 端末, 回線をすべて端末に換算した場合の数を引いたもので, 予算の活用状況を意味する式である。また, 制約条件2の Z_2 式は, ホストコンピュータの

性能と実際に接続されている端末と回線の差であり、ホストコンピュータへの接続状況を意味する式である。

制約条件をこのように定めた場合に、実際に端末の単価と回線の単価を比べれば、端末の単価の方が高くなっているので、 k については、 $0 < k < 1$ (端末単価 $>$ 回線単価) のときだけを考えればよいことになる。さらに、生涯学習情報提供ネットワークでは、節点は必ず辺に接続しているので、辺の数が節点の数を下回ることはなく、常に y は x 以上である。また、ある2節点間の辺は常に1本で表すことにしているので、ある2節点間に複数の辺があることはなく、辺の数は完全グラフのときの辺の数を越えることはない⁽⁷⁾。よって、 x と y はつねに次の2つの条件を満たしていることになる。

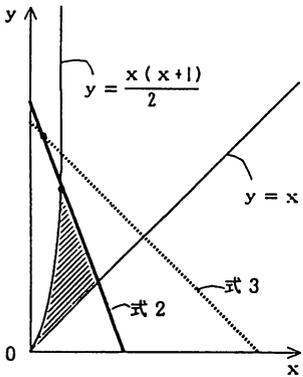
$$\text{制約条件 3 : } y \geq x \quad \dots\dots\dots \text{(式 4)}$$

$$\text{制約条件 4 : } y \leq \{x(x+1)\} / 2 \quad \dots\dots\dots \text{(式 5)}$$

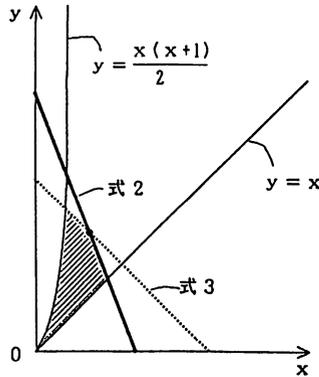
これら式2から式5までを同時に満たす領域については、式4と式5を同時に満たす領域と、式2と式3との交点の位置関係により図1の(a)~(c)のような3通りがある。この3つの場合それぞれについて、目的関数の最大値を与える点の移動の様子を調べると次のようなことがいえる。(ただし、その場合目的関数の t の値は式1のグラフの傾きが式2と式3のグラフの傾きの間にあるように定める⁽⁸⁾。)

図1の(a)のような場合には目的関数の最大値を与える点は、式2と式5の交点であり、(予算総額-ホストコンピュータの価格)/端末単価の値が増加すると、目的関数の最大値を与える点(式2と式5の交点)は、 x の値、 y の値ともに大きくなるように移動する。これは予算面と比較してホストコンピュータの性能面が高すぎる状態である。逆に、図1の(c)のような場合には目的関数の最大値を与える点は、式3と式4の交点であり、ホストコンピュータの性能-ホストコンピュータの持つべきゆとの値が増加すると、目的関数の最大値を与える点(式3と式4の交点)は、 x の値、 y の値ともに大きくなるように移動する。これは予算面の方がホストコンピュータの性能面と比べて高すぎる状態である。

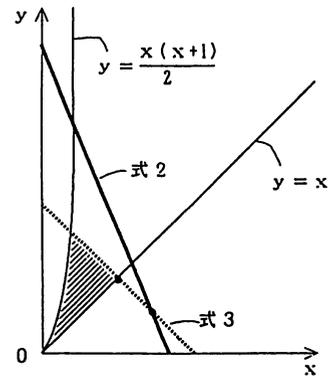
図1の(b)のように、式2と式3との交点が式4と式5の両方を満たしている領域内にある場合には、式2と式3との交点が目的関数の最大値を与え、予算面とホストコンピュータの性能面との釣り合いがとれている状態である。式4と式5の両方を満たしている領域に式2と式3との交点があるような範囲内で、(予算総額-ホストコンピュータの価格)/端末単価の値とホストコンピュータの性能-ホストコンピュータの持つべきゆとの値がともに比例して増加するとき、目的関数の最大値を与える点(式2と式3との交点)は、 x の値、 y の値ともに大きく



(a) 式 2 と式 3 の交点が $y \leq \frac{x(x+1)}{2}$ の領域にある場合



(b) 式 2 と式 3 の交点が $y > x$ かつ $y < \frac{x(x+1)}{2}$ の領域にある場合



(c) 式 2 と式 3 の交点が $y \leq \frac{x(x+1)}{2}$ の領域にある場合

図 1 制約条件 1 から 4 を同時に満たす領域

なるように移動する。

この x と y はともに整数でなければならないので、これらの目的関数の最大値を与える点の x と y の値がともに整数の場合は、その x 、 y の値がそれぞれ最適な場合となる。整数でない場合には、それぞれ、 x と y についてその前後の整数でそれらがともに実行可能領域内にあるような x と y の組合せから最適な場合を求めることができる。

このようにみえてくると、生涯学習情報提供ネットワークの構成要素の最適な数は、さまざまな条件によって異なっているが、それぞれの条件に応じて求めることが可能であることがわかる。

②事例分析—群馬県の場合—

次に、平成5年6月の時点の群馬県の場合（図2）を例にとりて、実際に最適な端末数と回線数の検討を行なってみることにしよう。

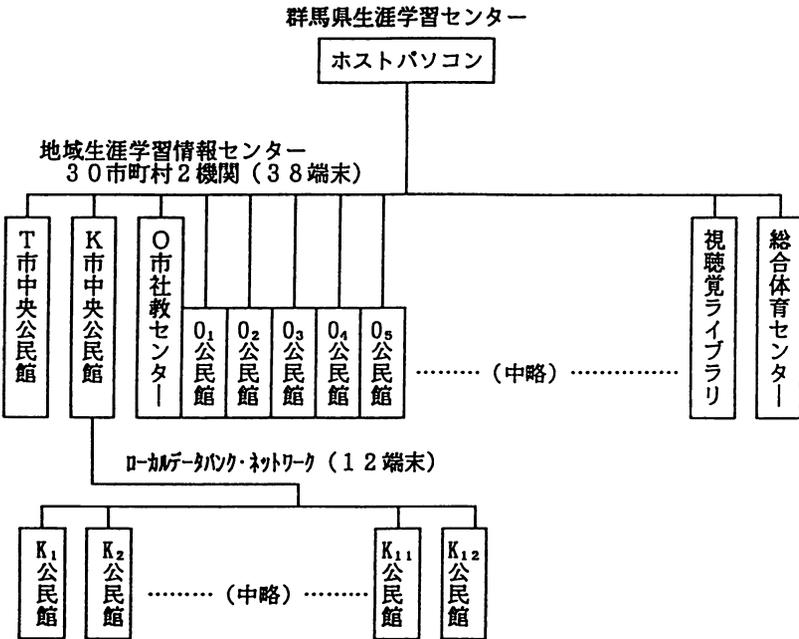


図2 群馬県の生涯学習情報提供ネットワーク（平成5年6月現在）
（群馬県学習情報ネットワーク構想図より一部修正して転載）

250 研究ノート

まず、端末と回線の単価は次のようになる⁽⁹⁾。

端末単価=1,359,600 (円)

回線単価=182,000 (円)

また、ホストコンピュータの単価については、群馬県の場合はパソコンによりネットワークを構成していることから、ホストコンピュータについても他の端末パソコンと同等のものと考えて、ここでは端末単価と同じものとする。このように考えると、制約条件 Z_1 式の h , k は、

$$h=1,359,600/1,359,600=1$$

$$k=182,000/1,359,600\approx 0.13$$

となる。

このような価格構成で平成5年6月の時点のようなホストパソコンが1台、端末50台、回線数50の生涯学習情報提供ネットワークを構築するとすれば、予算総額は78,177,000円以上必要となる計算になる。ここでは予算総額を8千万円と仮定すると、

$$d=80,000,000/1,359,600\approx 58.8$$

となる。以上のことから、群馬県の場合の予算の活用状況を表す制約条件式は次のようになる。

$$Z_1=57.8-(x+0.13y)\geq 0 \dots\dots\dots (式2-1)$$

この式2-1へ、制約条件式4と式5の2つ条件を加えると、3つの式を同時に満たす実行可能領域は図3のようになる。ここで、式3の制約条件 Z_2 式のグラフが式4と式5を満たすような領域で式2-1と交点を持つような範囲にあるときに、ホストパソコンの性能はそのネットワークにとって適正であるとみることができ、この範囲外にあるときは、ホストパソコンの性能がそのネットワークにとって高すぎたり、低すぎたりする場合ということになる。

そこで、ホストパソコンの性能が適正であるような範囲で、式3の制約条件 Z_2 式を次のように定めると、4つの制約条件式を同時に満たす領域は図4のようになる。

$$Z_2=150-(x+y)\geq 0 \dots\dots\dots (式3-1)$$

ここでは、サブネットワークについては考えておらず、後に述べるようなグラフの零度が0である場合についていえば、最適な生涯学習情報提供ネットワークの構成要素の数は図4に示した領域内で式4のグラフの線上の x と y が最大の整数値をとる場合ということになる。このときには、端末数と回線数は同数となるので群馬県の場合、 $(x, y)=(51, 51)$ 、つまり端末数、回線数ともに51の場合が最適となる(群馬県の平成5年6月の時点の端末数は50、回線数は50である)。

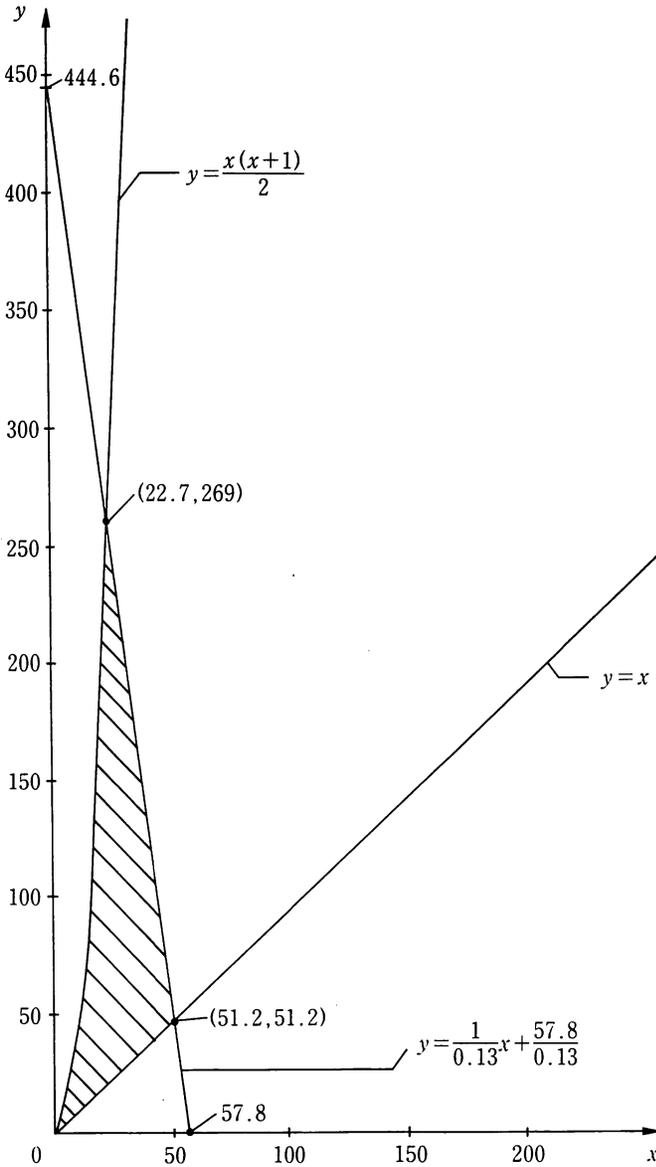


図3 式2-1と式4, 式5を同時に満たす領域

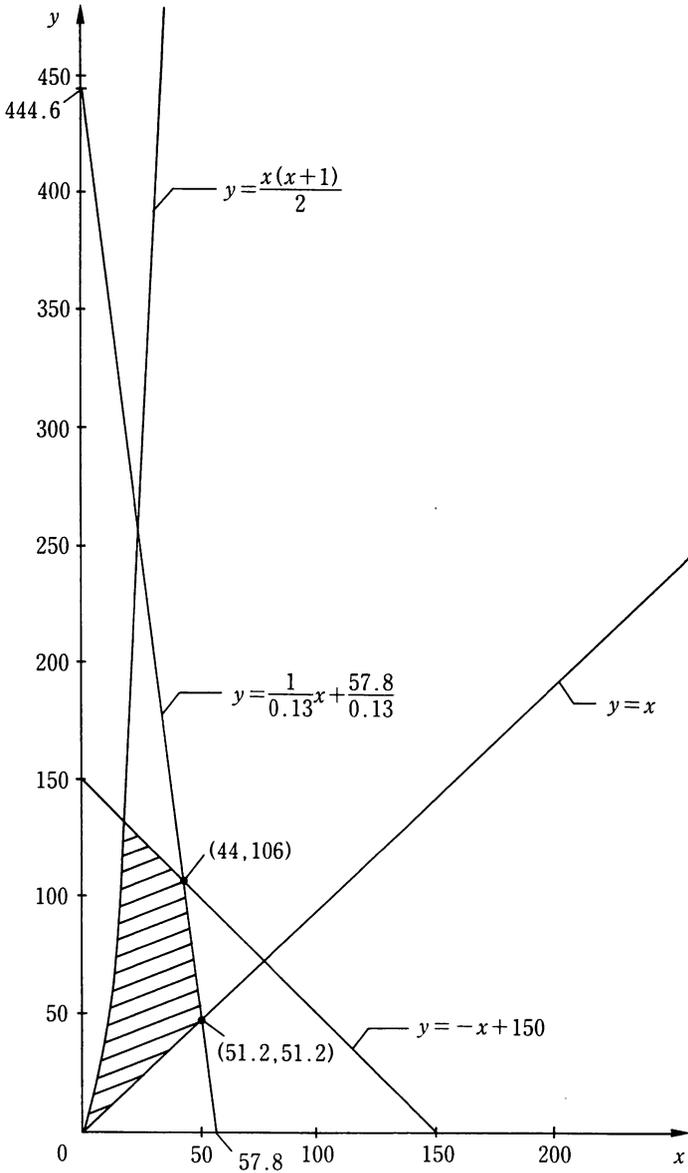


図4 式3-1と式2-1, 式4, 式5を同時に満たす領域

(2)接続の仕方の検討

①理論的検討

前節では、生涯学習情報提供ネットワークの構成要素の数を端末と回線に限って見てきたが、ここではその端末を回線でどのように接続するかについて検討することにしたい。生涯学習情報提供ネットワークをネットワークとしてみた場合に、その接続の仕方は最短の経路で最大の情報を流せるようになっていようものがよいということになる。最短の経路という場合には、経路の長さが問題となるが、ここではそれを生涯学習情報提供ネットワーク全体でそれぞれの端末間あるいはホストコンピュータと端末間で情報のやりとりを行うために中継しなければならない端末やホストコンピュータの数でとらえることにしたい。これをグラフで考えると、それはグラフの中の2節点をとった場合の中継節点数の合計ということになる。この数を最小にしようとするだけであれば、すべての2節点間を辺で接続し、図5のような完全グラフにすればよいことになる。しかし、グラフの辺の数、すなわち生涯学習情報提供ネットワークの回線の数を実無限大に大きくすることはできないので、接続の仕方を考える際にはグラフの辺の数についても考えておく必要がある。そこで、まずグラフの辺の数から検討していくことにしたい。

ここではグラフの零度 (nullity, 記号では $n(G)$ と表記する) を用いて、グラフの辺の数について検討する。これは次のような計算で求めることができるので、これを用いればグラフの連結成分の数を変えず保つためには必要でない辺の数を求めることができる。

$$n(G) = (\text{辺の数}) - \{(\text{節点数}) - (\text{連結成分の数})\} \dots\dots\dots (式6)$$

図5のグラフは節点数が6、辺の数が15、連結成分の数が1のグラフである。したがって、グラフの零度は $15 - (6 - 1)$ で10となる。これは、そのグラフの連結成分の数を変えないまま最大10本の辺を取り除くことができるということである。図5のグラフから10本の辺を取り除いたグラフは例えば図6のようになり、これらのグラフでは、そのグラフの零度は0ということになる。 $(n(G) = 15 - (6 - 1) = 0)$ 。本稿では、この連結成分数が1で、グラフの零度が0となるようなグラフに限って、辺の最適な接続の仕方を探っていくことにしよう⁽¹⁰⁾。

このようなグラフの零度が0であるグラフについて考えると、辺が2本以上結ばれている節点数と中継節点数の最大値の間には、辺が2本以上結ばれている節点数は中継節点数の最大値と等しいという関係がある。したがって、辺が2本以上結ばれている節点数を減らすように辺を取り除く(あるいは移動していく)ことによって、中継節点数の最大値は小さくなり、グラフ全体の2節点間を中継する節点の合計も小さくなる。最短の経路という観点からは、この値が小さ

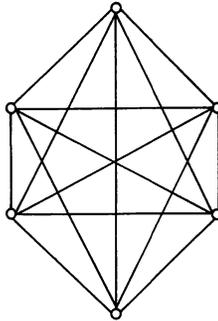
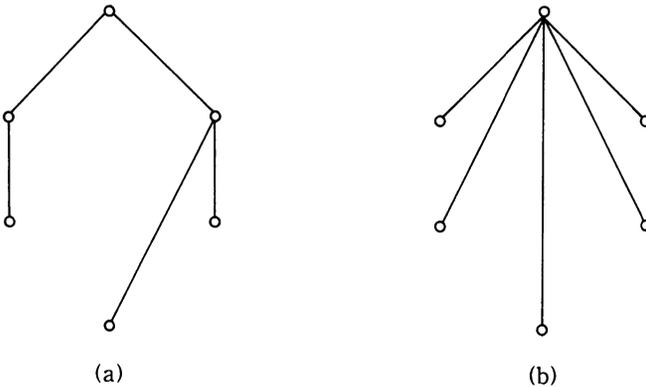


図5 節点数6の場合の完全グラフ

図6 節点数6, 連結成分数1で $n(G) = 0$ のグラフの例

くなるほどよいといえる。そこで、グラフ全体の2節点間を中継する節点の合計を減少させるためのアルゴリズムを作り⁽¹¹⁾、そのアルゴリズムを実行すると⁽¹²⁾、グラフは1つの中心となる節点に他のすべての節点が接続される形のグラフ（例えば図6の(b)）になる。グラフの零度が0のグラフの中では、グラフ全体の2節点間を中継する節点数の合計が最小となるのはこのようなグラフである。なお、最大の情報を流せるようになっているという点に関しては、このような形の場合でもそれぞれの辺に十分な容量を持たせることによって、その情報量は確保される。

②事例分析—群馬県の場合—

それでは、端末・回線数のときと同様に、群馬県の場合（平成5年6月の時点）を例にとって、実際に最適な接続の仕方を求めてみることにしよう。

まず、平成5年6月の群馬県の生涯学習情報提供ネットワークをグラフで表すと図7のようになる。これについて前述のアルゴリズムを実行すると図8のようになる。これは県のホストパソコンにすべての端末を直接接続した場合のグラフである。この2つのグラフで、グラフ全体の2節点間を中継する節点数の合計を求める。この値は小さい方がよいことになる。図7と図8の中の x_1 が県のホストパソコン、 $x_{201} \sim x_{250}$ が端末を表している。このうち、 $x_{239} \sim x_{250}$ はK市のローカルデータバンクの端末を表している。グラフ全体の2節点間を中継する節点数の合計を求めると、平成5年6月の時点の群馬県生涯学習情報提供ネットワークのグラフ(図7)では、

- (1)中継節点数が0である2節点の組合せは、互いの中に辺がある50(通り)である。
- (2)中継節点数が1である2節点の組合せは、 ${}_{13}C_2 + {}_{38}C_2 = 781$ (通り)である。
(x_1 と $x_{239} \sim x_{250}$ の13の節点から2節点を選ぶ場合と、 $x_{201} \sim x_{238}$ の38の節点から2節点を選ぶ場合の合計)
- (3)中継節点数が2である2節点の組合せは、 $12 \times 37 = 444$ (通り)である。
($x_{239} \sim x_{250}$ の12の節点と、 $x_{201} \sim x_{238}$ のうち x_{202} を除いた37の節点からそれぞれ1節点を選ぶ場合)

よって、グラフ全体の2節点間を中継する節点数の合計は、

$$0 \times 50 + 1 \times 781 + 2 \times 444 = 1,669 \text{ となる。}$$

また、県のホストパソコンにすべての端末を直接接続した場合のグラフ(図8)では、51節点から2節点を選ぶ組合せの数1,275 ($= {}_{51}C_2$)のうち、中継節点数が0となるは、互いの中に辺がある2節点の組合せ50(通り)で、それ以外は全て中継節点数が1であるから、グラフ全体の2節点間を中継する節点数の合計は、

$$0 \times 50 + 1 \times (1,275 - 50) = 1,225 \text{ となる。}$$

このグラフ全体の2節点間を中継する節点数の合計が1,225というのは、節点数が51、連結成分数が1で、グラフの零度が0(辺の数が50)のグラフでは最小の場合である。よって、県のホストパソコンにすべての端末を直接接続することが最適な接続の仕方であり、そうすることによって、グラフ全体の2節点間を中継する節点数の合計は、444減少することになる。

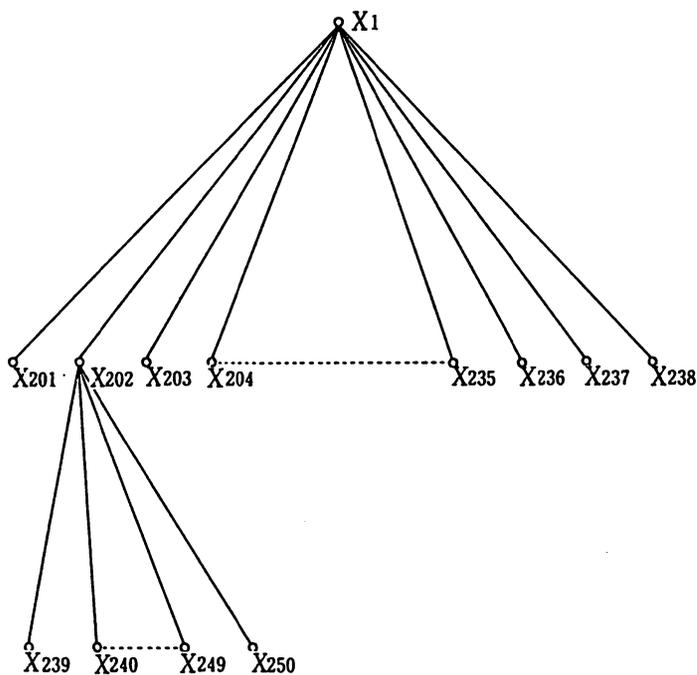


図7 平成5年6月の時点の群馬県生涯学習情報提供ネットワークのグラフ

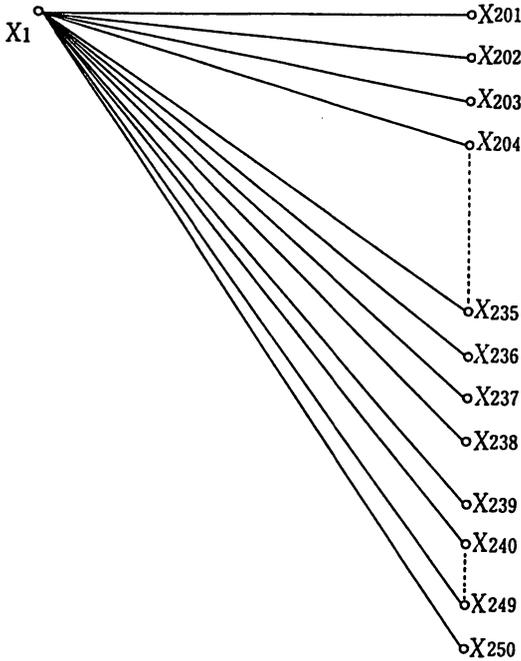


図8 県のホストパソコンにすべての端末を直接接続した場合のグラフ

3. 生涯学習情報提供ネットワークの端末・回線数，接続の仕方の検討—サブネットワークを考えた場合—

これまでサブネットワークを考えない場合について検討してきたが、実際にはいくつかの市町村間でネットワークを作る場合があるので、ここではさらに群馬県の事例を用いて、サブネットワークを作る場合にはどのようなことが考えられるかを検討することにしよう。市町村の端末間を結ぶサブネットワークまでも考慮した場合には、最適な端末数、回線数は図4の式2-1と式3-1の交点(44, 106)から求められることになる。ただし、この平成5年6月の時点の条件から求められる最適な端末数44では、既設の端末数50より少ないものとなる。すでに設置されている端末数よりも端末数を減らすことは考えられないので、ここでは、平成5年6月の端末数に平成5年度導入の2端末を加えた52端末でサブネ

ネットワークを作る場合、どのようなネットワークが最適となるかを検討することにした。

まず、先に行なった分析でホストコンピュータへの接続状況を表す式3-1と式4の交点から、これまでのシステムで導入できる端末の最大数は75である。したがって、端末数52というのは、現在のホストパソコンでも導入可能であることになる。そこで、ホストパソコンへの接続状況を表す制約条件式については式3-1をそのまま用いることができる。また、ホストコンピュータの価格、端末単価、回線単価についても先の分析と同じものを用いるとして、サブネットワークを作ることを考えると、式3-1と予算の活用状況を表す制約条件式 Z_1 式との交点で求められる最適な端末数が52となるのは、予算の活用状況を表す制約条件式が次の式2-2のようになるときであり、そのときのグラフは図9のようになる。

$$Z_1 = 64.7 - (x + 0.13y) \geq 0 \dots\dots\dots (式2-2)$$

これは、予算総額が約8,933万円のときである。先に想定した予算総額よりも約933万円予算を増額した場合には、端末数が52で、市町村間にサブネットワークを作ることができ、そのときの最適な回線数は98ということになる。この場合県のホストパソコンと各端末を結ぶために52回線を要するので、98回線のうち52回線はホスト-端末間の回線となり、その他の46回線が端末-端末間を結ぶサブネットワークのための回線になる。

このサブネットワークのための回線をどのように配するかということは、それぞれ地域毎の事情に合わせて決定すればよいものであろう。具体的には、相互にアクセスの頻度が高い端末間を接続するということになるであろう。例えば、6つの端末間にサブネットワークを作ると考えると、この6つの端末間を相互に結ぶためには、図5のように15の回線が必要である。この端末数とその端末間を完全に結ぶために必要な回線数は表1に示したとおりである。したがって、46の回線を用いて、サブネットワークを作るとなると、例えば表2のような組合せが考えられる。もちろんこれ以外にも合計が46回線となるものであればどのような組合せでもよいことになる。

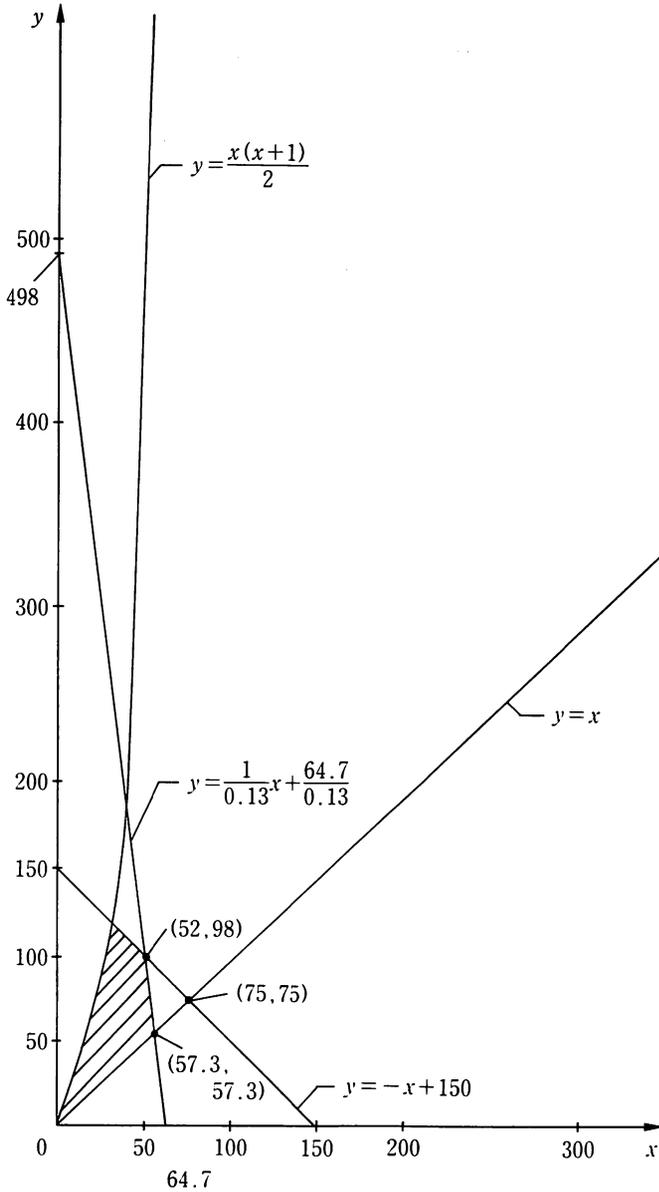


図9 式2-2と式3-1, 式4, 式5を同時に満たす領域

表1 端末数とその端末間を完全に結ぶために必要な回線数

端末数	端末間を完全に結ぶために必要な回線数
2	1
3	3
4	6
5	10
6	15
7	21
8	28
9	36
10	45
⋮	⋮
n	$\frac{n(n-1)}{2}$

表2 合計が46回線となるサブネットワークの組合せの例

(回線数×サブネットワーク数)

2 端末間のサブネットワーク	3 端末間のサブネットワーク	4 端末間のサブネットワーク	5 端末間のサブネットワーク	6 端末間のサブネットワーク	7 端末間のサブネットワーク	⋮	回線合計
			10×1	15×1	21×1		46
	3×7		10×1	15×1			46
1×4		6×2		15×2			46

4. おわりに

人々の学習要求は多様化、高度化してきており、それに応じることができるような生涯学習の援助が必要とされている。生涯学習情報提供はそのような生涯学習の援助において重要な位置を占めるものの1つといえるであろう。各都道府県でも、生涯学習情報提供体制の整備への取り組みが進みつつあり、今後はさらに全国ネットワークの実現を目指し、広域ネットワーク化の方向へ進んでいくものと思われる。しかし、生涯学習情報提供ネットワークについての研究はまだ始まったばかりであるため、本稿では、まず最適な生涯学習情報提供ネットワークとはどのようなネットワークであるのかを明らかにしようとしてきた。

ここでの検討結果をまとめれば、最適な生涯学習情報提供ネットワークとは、①さまざまな条件に応じてその端末と回線の数を決める際にその数を同数とし、②1つのホストコンピュータにすべての端末が直接接続されているようなネットワークであるということができるであろう。ただし、今回行なった検討は、ただ1つのホストコンピュータをもつ単一の生涯学習情報提供ネットワークで、サブネットワークを構成することを考えないものに限定してのものであった。平成2年度には、近畿地区4府県で都道府県域を越えてのブロックネットワーク化への実験が行なわれているように、これからは生涯学習情報提供ネットワークの広域ネットワーク化、さらには全国ネットワーク化が進められていくと思われる。したがって、複数の生涯学習情報提供ネットワークから構成されるより大きな生涯学習情報提供ネットワークについても研究する必要がある。これは今後の課題である。

また、今回は生涯学習情報提供ネットワークの端末の配置の問題や生涯学習情報提供ネットワーク上で情報の流れる方向や情報の量といったことについての検討も今後に残された課題である。

注

(1) 山本恒夫「生涯学習情報提供と学習相談」(山本恒夫、浅井経子、手打明敏編著『生涯学習支援へのアプローチ』第一法規、1993年、pp.15-16)

なお、ここでいわれている生涯学習社会のとらえ方は第14期中央教育審議会答申『新しい時代に対応する教育の諸制度の改革』(平成3年4月)や、生涯学習審議会答申『今後の社会の動向に対応した生涯学習の振興方策について』(平成4年7月)の考え方である。

- (2) 例えば、中央教育審議会答申『生涯学習の基盤整備について』（1990年1月）
- (3) グラフ G とは、 p 個の点集合 $V(G)$ と、 $V(G)$ の二つの点を結ぶ q 個の辺の集合 $E(G)$ とより成る図形のことである。グラフの辺に方向（矢印）がないグラフを無向グラフ（nonoriented graphまたは単にgraph）という。また、グラフのすべての辺に方向（矢印）をもたせたものを有向グラフ（oriented graphまたはdirected graph）という。（竹中淑子『情報処理シリーズ13線形代数的グラフ理論』培風館、1989年、p.3）

本稿では、生涯学習情報提供ネットワークの構成要素の接続関係だけに着目し、その方向性や数量的な部分は問題としていないので、無向グラフを用いて生涯学習情報提供ネットワークのグラフ表示をする。その際には、生涯学習情報提供ネットワークのホストコンピュータと端末を節点に、回線を辺に対応させている。なお、ホストコンピュータと端末、あるいは端末と端末の間に複数の回線が接続されている場合も一本の辺で表すことにする。

- (4) 整数計画法については、今野浩『講座・数理計画法6 整数計画法』産業図書、1981年などを参照。
- (5) グラフ理論の中での最短経路の計算方法については、服部嘉雄、小澤孝夫『グラフ理論解説』昭晃堂、1974年、pp.182-186などを参照。
- (6) あるグラフのどの2節点を選んで一方の節点から出発し、辺を順にたどっていくと他の節点に到達できるような場合にグラフが連結しているといい、グラフの連結した部分グラフを連結成分という。グラフの零度とは、グラフの連結成分の数を変化させることなく、取り除くことのできる辺の最大数に等しいものである。（前田渡、伊藤正安『現代グラフ理論の基礎』オーム社、1978年、pp.13-15を参照。）
- (7) 節点数 n の完全グラフの辺の数は、 $n(n-1)/2$ であり、ここでは端末数を x としているので、端末数 x のときのグラフの節点数はホストコンピュータの1節点を加えて $x+1$ となる。よって、 x と y には式5のような関係があることになる。
- (8) 予算の活用状況を意味する式2とホストコンピュータへの接続状況を意味する式3の交点から、目的関数の最大値を得ることができるのは、式1のグラフの傾きが式2と式3のグラフの傾きの間にあるようになっている場合だけである。
- (9) 大洋データベースシステムの「群馬県の生涯学習情報提供システム標準価格構成表-NEC版-(平成5年6月現在)」より算出した。端末単価、回線単価には、基本ハードウェア、基本ソフトウェア、基本工事が含まれている。

(10) 生涯学習情報提供ネットワークということで、そのグラフは全体が1つの連結成分となっていることが必要であり、その中でもグラフの零度が0のときが最も無駄が省かれている状態であると考えられるであろう。

(11) グラフ全体の2節点間を中継する節点数の合計を減少させるためのアルゴリズム

step1

節点の総数を v 、辺の総数を e とする。このうち、2本以上の辺が接続している節点を v_1 、その辺を取り除いてもその辺の両端の節点が孤立点とならず、また連結成分の数が増えないような辺を e_m とする。

step2 ($n(G) = 0$ とするstep)

$e = v - 1$ であれば、 $n(G) = 0$ なのでstep3へ進む。 $e \neq v - 1$ であれば、 $e = v - 1$ となるまで e_m を取り除く。

step3 (v_1 の数を1にするstep)

v_1 の数が1であれば終了。 v_1 の数が1でなければ、 v_1 の数が1となるまで、次の(i)を繰り返す。

(i)ある v_1 から出ている辺について、その中で別の v_1 がもう一方の節点となっている辺を1つ選び、その辺以外の辺の一方の節点である v_1 を選んだ別の v_1 に移す。

(算法終了)

(12) 単にグラフをこのような形とするためだけならば、このアルゴリズムを実行するまでもなく、中心となる節点を任意に決定し、他の節点をその中心となる節点に接続すればよい。このアルゴリズムは、step2においてグラフの辺の数を連結成分数を1としたままで最小($n(G) = 0$)にし、そのうえでstep3において(i)の実行ごとにグラフ全体の2節点間を中継する節点の合計を減少させていくという段階を表したものである。