【論　文】
UDC：711.1：711.4.01

日本建築学会計画系論文報告集
第 392 号・昭和 63 年10月

# 地域結合パターンとその評価指標に関する考察

正会員　古　山　正　雄*

## 1. 序　言

本稿の目的は，地域と地域を結ぶ結合関係を計量的に評価するための方法を提案することである。この研究課題は，広い意味において都市空間のパターン研究の一端に連らなるものである。都市空間の結合関係やパターンに関しては，従来からも多くのパターンが収集され，分類されてきた[1]。例えば，格子状パターンや放射状パターン，線形パターンなどがその典型的なものであろう。だがこうしたパターンの収集は，主に設計の参考資料に供されるためのものであり，直観的に説明され，感覚的に処理されてきたために（それも非常に大切なことだが），論理的な比較考察や，計量的な評価指標の設定といった面は看過されがちであった。

本稿では，都市空間の結合関係を，都市内各地区を結ぶネットワークとして記述し，さらにその特徴や性能をとらえるための指標を設定する。そして計算機実験や事例分析を通じて，地域結合パターンの計量的評価を試みる。

実際にこれを行うためには，第一に都市計画的に意味のある評価指標を定めること，第二に都市内各地区を結ぶ結合パターンを選出すること，第三に各パターンに指標を適用し，指標値を算出すること，以上 3 つの作業が必要になる。これら作業の概略を説明しよう。

まず評価指標の設定であるが，本稿では，すべてのパターンに適用できること，計測可能であること，結合パターンのもっている形態的な特徴を表現できること，さらには都市を使用する立場からみた評価指標であること，逆に都市をつくる側からみた評価指標であること，などを考慮して 5 種類の指標を策定した。その具体的内容と意味については第 3 章で詳述する。

次に地域結合パターンについて説明しよう。本稿でいう地域結合パターンとは，都市を構成する各地区の代表点を結ぶネットワークのことである。例えば，都市内各地区の代表点として小学校をとりあげてみる。小学校の校数が $n$ 校ならば，2 点対の総数は $\binom{n}{2}=n(n-1)/2$ であり，これらが結ばれているか否かによって結合パターンが決まる。したがってパターンの総数は，$2^{n(n-1)/2}$ だけあることになる。本稿の事例研究としてとりあげた京都市の場合，約 200 の校区が存在するので，京都市のとり得るあらゆるパターンの総数は，$2^{19900}$ となり，1 億の 700 乗に及ぶ。これら膨大な数のパターンのうち，我々が興味をもっているのは都市計画的に意味のあるパターンだけである。

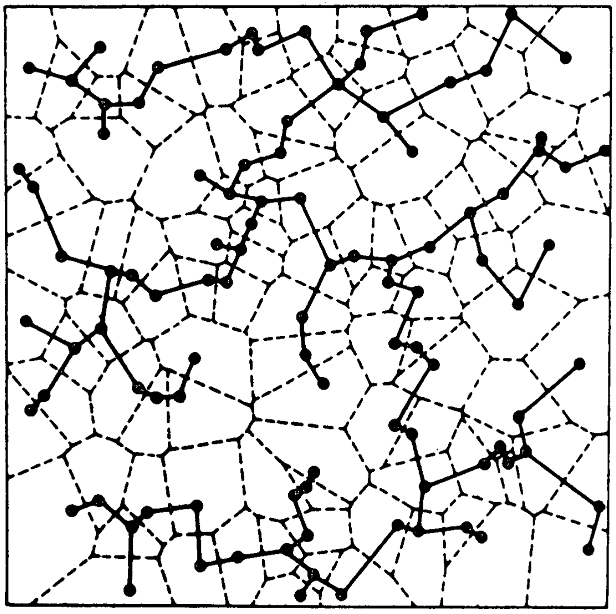
そこで本稿では，都市計画的意味，構成方法の明解さ，種々のパターンを評価する際の比較基準としての有用性といった観点から，6 種類のパターンを選出した。これらパターンの構成法や特徴は，第 2 章で解説する。

次に計算機実験と事例分析について概説する。計算機実験では，仮想の都市空間を想定した一般的図形内で各種パターンを生成する。そしてこれらの評価値を計算し，各パターン別の一般的傾向を把握する。続いて京都市を例にとり，事例的分析を行う。京都はよく碁盤目状のパターンであるといわれるが，このパターンは，ほかのパターンと比較して，どの程度の利便性をもっているのか，またこれを使用する際の便益や経済的な効果といったものはどの程度であるのかを考察する。

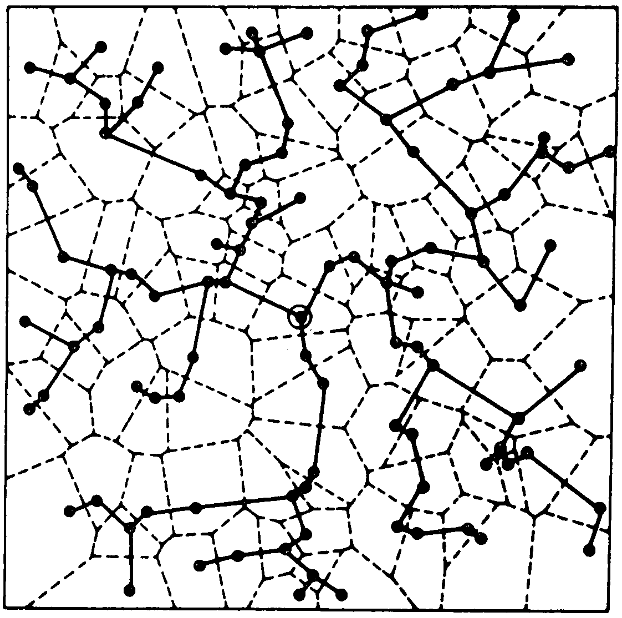
以上の作業を要約すると，まずあらゆる可能性の中から，最短木，外延木，道，閉路，ドローネ，完全グラフの 6 種類のパターンを選出する。次に経済性，簡潔性，利便性，便益，投資効果の 5 種類の評価指標を設定する。そして計算機実験によって，各パターンの評価得点の一般的傾向を確認する。続いて現状の京都市の都市パターンの評価指標を算出し，もしほかのパターンを用いたならば，評価値はどの程度上下するのかを考察する。以上の作業を通じて，本稿の分析方法が，点と点を結んで生じる各種の網の目，具体的には交通網や通信網などの評価手法に発展させられる可能性を探りたい。

一般に都市の評価に関しては，住み良さや環境評価といった面からの研究がなされてきているが[2]，これらにおいて使用される指標は必ずしも空間の結合関係を表すためのものではない。一方都市解析における研究では，結合関係を表記する指標が提言され，分析されてきているが，評価という観点から定められたものは未だ少ない。本稿の意図するところは，都市空間の結合パターンの記

* 京都工芸繊維大学　助教授・工博
（昭和 63 年 6 月 10 日原稿受理）



1-1　最短木



1-2　外延木（二重丸は基点）

図—1　パターン種別の図示（点の数，100。位置は同じ。破線はボロノイダイヤグラム）

述指標と評価指標とを結びつけることにあり[3]，そのための基礎的考察を行うことである。

## 2. 地域結合パターンの類型化

本稿の考察対象となる6種類の結合パターンを定義することから始める。これらは，構成法が明確であること，比較基準として意味があること，計画的な意味をもっていること，といった観点から選び出した。必ずしも網羅的に選んだ訳ではないが，都市解析にはよく使用されるなじみ深いパターンは選んである。説明の都合上，地点の数は $n$ 個として，$n$ 地点上の結合パターンを想定しておく。

① 最短木（図—1-1）

定義：各点を直線分で結ぶ時，総延長が最小となる連結なパターンのことである。

構成法：最短木は，次のような手順で容易に構成することができる。すべての2点間の距離を測定し，それらを短い順に並べる。次に最短の辺から順に選び出して2点を結んでいく。ただし，ある辺を選んだ時点で閉路が生じる場合には，その辺を捨て次の大きさの辺を試す。このように短い辺から順々に，閉路を生じさせない辺だけを選び出し，すべての点が連結された時，最短木が完成する。この時の辺の本数は，（頂点数－1）本である。

計画的意味：最短木の最大の特徴は，総延長が最小ということである。この計画的意味は，交通網や情報網などの線的施設で各地点を結合した場合に，建設費という点では最も経済的な結合パターンになることを意味している。

② 外延木（図—1-2）

定義：ある基準点を定め，その点から外側に向かって張り出していくパターンの中で，総延長が最小となるパターン。

構成法：$n$ 個の中の一点を基準点に選び，番号0を付与する。（基準点は重心や中心，または遠辺部など，計画目標に応じて適当に選べばよい）次に残り（$n-1$）点を基準点からの距離によって，基準点からみて近いものから順に番号を付与する。次に結合の方法であるが，まず番号が1の点を基準点と結ぶ。次に番号2の点を，番号1の点または基準点のいずれか近い方と結ぶ。こうして順次番号の若い点から結んでいき，一般に番号 $k$ の点を自分よりも若い番号をもつ点，つまり｛基準点，番号1の点，……，番号（$k-1$）の点｝のなかの最も近い点と結ぶ。こうしてすべての点を結合させれば外延木が得られる。辺の本数は当然（頂点数－1）本である。

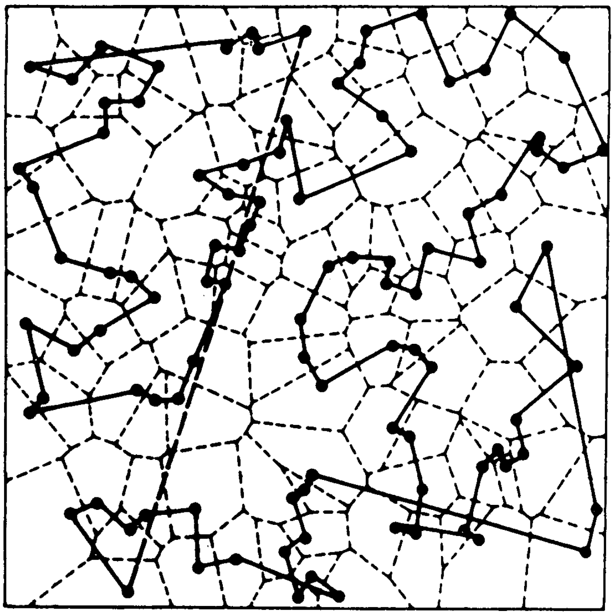
計画上の意味：外延木は，ある基準点から外側に向かって辺を張り出していく木である。しかもその中では最も経済性の高いパターンである。例えば東京を基点として鉄道網を張り出していく場合など，一般に基点から外に向かって辺の建設順位が決められた網目を構成する場合に総延長が最小となる構造を表している。基点に向かって，各点からの出次数（out-degree）[4]は1であり，自分よりも基点に近い唯一の点と結合されていくため，求心性の高いパターンとなっている。

③ 道（図—1-3）

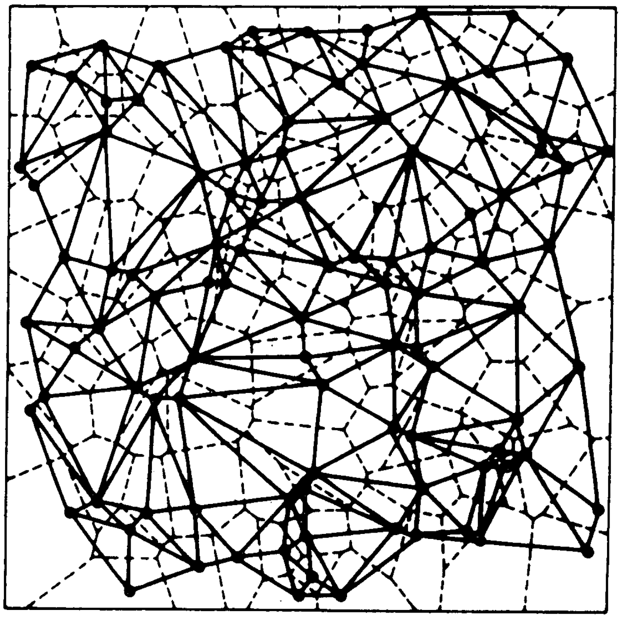
定義：$n$ 個の代表点を1本の道（パス）で結ぶパターン（これをハミルトンパスと呼ぶ）[5]。

構成法：$n$ 個の点の間のすべての相互距離を測る。これらを短いものから順に並べる。次に短い辺から取り出して，各点の次数が2以下であることおよび閉路が生じないことを条件に，順次結合していく。

計画的意味：$n$ 個の点を結ぶハミルトンパスの総数



1-3　ハミルトンパスと閉路（破線を含む）



1-4　ドローネ

は，$\frac{1}{2}n!$本存在する（1本ではない）。これらのうちで我々にとって最も関心があるのは，最短なハミルトンパスである。しかし残念ながら最短なハミルトンパスの構成法はまったく解明されていない状態であるため，ここでは代替案として上記の構成法によって得られたハミルトンパスを考察する。

④　閉路（図—1-3）

定義：$n$個の点を一巡する閉路のことである（これをハミルトン閉路と呼ぶ）。

構成法：③で得られた道の両端点を結んで得られる閉路。

計画的意味：$n$地点を巡るハミルトン閉路の個数は，$\frac{1}{2}(n-1)!$であるが，③と同じく特に興味深いのは最短ハミルトン閉路である。だが残念ながら最短ハミルトン閉路の構成法は解明されていないため，代替案として上記構成法による閉路を考察する。ハミルトン閉路はすべての点を巡回するという意味で，その長さは集荷，配送のルートの基準値としての意味を担っている。

⑤　ドローネダイヤグラム（図—1-4）

定義：ドローネダイヤグラムは[6]，ボロノイダイヤグラム[6]の幾何的相対グラフとして定義される。一方ボロノイダイヤグラムの方は，閉領域内に散布された$k$個の点を基点とし，閉領域内のすべての点を$k$個の基点の中の最も近い基点に所属させるようにした時に生じる$k$個の領域の境界線のことである（図—1-5参照）。このボロノイダイヤグラムも，点的施設の支配領域を推定する問題などによく用いられる[7]。

構成法：まず$n$個の点を基点とするボロノイダイヤグラムを構成し，隣接する2点（ボロノイダイヤグラムの境界線分を共有する2領域内の基点のこと）を結ぶことによって得られる幾何的グラフ。

計画的意味：対象領域の境界線に接する基点を除き，その他の（中心部にある）2点を結べば，ドローネダイヤグラムとの間で必ず交点が生じてしまう。この意味において，ドローネダイヤグラムは疑似的極大平面グラフである。したがって都市の平面的広がりをとらえるための構造は大体においてドローネダイヤグラムの部分グラフとなる。逆にいえば，さまざまな結合パターンの和集合としての意味をもっている。

⑥　完全グラフ（辺が多いため図化していない）

定義：$n$個の代表点をお互いにすべて結合したパターン。

構成法：$n$個の点の互いの2点対の総数は，$N=\binom{n}{2}=n(n-1)/2$なので，それらをもれなく結合すればよい。

計画的意味：すべてのパターンは完全グラフの部分グラフとなることから，評価値の基準として有用である。ただしすべての評価指標を通じて完全グラフの得点が最良になるという意味ではない。またクラトフスキーの定理より，$n \geq 5$の場合には完全グラフは非平面グラフとなる[8]。将来，都市内部の結合関係が進み，非平面的構造に光を当てなければならない時期がくることは十分に考えられるが，現状では必ずしも現実的な結合パターンとは言い難い。

以上6種類のパターンを設定したが，もちろんこれらが都市パターンのすべてであるという意味ではない。しかし第1章でも触れたように，あらゆる結合パターンの集合を想定し，その中から6種類をとり出したのである。例えて言えばすべての三角形の集合を考え，その中から正三角形，二等辺三角形，直角三角形を選出したような

ものである。したがってこれらの背後にはあらゆるパターンの集合が潜んでいるので，第4章に示すパターン別の評価得点は，すべてのパターンの代表値としての意味をも担っている。

### 3. 評価指標の設定

本章では地域間結合関係を評価するための5種類の指標を設定する。指標の設定に当たっては，結合パターンの特徴を数値的に表示できるという計測可能性と，すべてのパターンに適用できるという汎用性とを基準に置いた。さらに付け加えると，結合パターンの評価指標は，形に関する指標であると同時に，結合パターンの社会的効用を表す指標でなければならない。言い換えれば，ネットワークの形態的特徴を記述できること，同時に不特定多数の人々が，日常的にネットワークを使用するという社会的意味を表現できること，またこれを建設する際の経済性をも評価できること，といった条件を兼備していなければならない。以下に提示する指標を組み合わせて用いれば，これらの条件を満たすことができよう。

① 建設費と総延長 $(L)$

結合パターンの経済性を評価するには，ネットワークの建設費用を評価しなければならない。ネットワークの建設費にかかわる形態的特質は，その総延長であろう。本稿では，結合パターンを各地区を結ぶネットワークとして設定したのだが，見方を変えれば，これは各地区を結ぶ交通網，通信網などの都市施設に置換することができる。こうした都市施設網の建設費用は，断面容量を一定と仮定すれば，長さに比例すると考えてよい。このことから，結合パターンの経済性を評価する基礎的指標として総延長をとりあげる。以降，総延長を $L$ で表す。

② 簡潔性と直径 $(D)$ または半径 $(R)$

結合関係の形態的簡潔さ，まとまりの良さを表す指標として，直径と半径をとりあげる。結合パターンの直径 $D$ は，2地点 $i$ と $j$ $(1\leq i,\ j\leq n)$ のネットワーク上の距離，つまり最短経路長 $d_{ij}$ を用いて，

$$D=\mathrm{Max}_i\,\mathrm{Max}_j\,d_{ij}$$

で定義される距離のことである。つまり直径 $D$ はすべての2点間の距離の中の最大値であり，任意の2点間の距離 $d_{ij}$ に対し，常に $D\geq d_{ij}$ である。

同じく半径 $R$ は，

$$R=\mathrm{Min}_i\,\mathrm{Max}_j\,d_{ij}$$

で定義される距離のことである。この $R$ を達成する点 $i$ のことを中心と呼ぶ。

$D$ と $R$ はネートワーク上の特定の2点対を選び出し，その2点間のネットワーク上の距離(最短経路長)によってネットワーク全体の形態的簡潔性を表現する尺度である。というのは，$D$ が小さいということは，一般に2点間の距離が小さいことを意味している。逆に $D$ が大きい時には，ネットワークは拡散傾向にあり，遠く離れた2地点が存在してしまう。また $R$ の意味するところは，最遠点までの距離の最小値であることから，公的サービスに対するシビルミニマムの距離による達成度合いを表現する尺度とみなすこともできよう。

③ 利便性と迂回率 $(C)$

与えられたネットワークの使い勝手の良さを示す尺度として，迂回率という考え方を導入する。迂回率 $C$ の定義は，2点 $i$ と $j$ のユークリッド距離を $r_{ij}$，与えられたネットワーク上の距離を $d_{ij}$，点の個数を $n$ とすると

$$C=\sum_{i<j}(d_{ij}/r_{ij})\Big/\binom{n}{2}$$

で与える。つまり $C$ の値は，直線距離（ユークリッド距離）とネットワーク上の距離との比率を意味し，ネットワークを使用したために生じる迂回の程度を表している。したがって常に $C\geq 1$ であり，$C=1$ となるのは，完全グラフの場合だけである。$C$ の値が小さくなる程，利便性は高く，$C$ の値が大きい程ネットワークの利便性は低いと判定される。

④ 便益とグラビティ量の総和 $(G)$

与えられたネットワークの便益を，ネットワーク上の移動のしやすさという観点から，想定交通量の総和 $G$ で定義する。すなわち2点 $i,\ j$ 間の想定交通量は，ネットワーク上の2点間の距離の減少関数であり，$i$ と $j$ の重み，例えば領域面積や人口など，の積の増加関数であるとする。本稿では重力モデルを用いて，2点 $i,\ j$ 間の想定交通量 $g_{ij}$ を

$$g_{ij}=s_i s_j/d_{ij}$$

と定めて計算を行う。ここに $s_i$，$s_j$ はそれぞれ点 $i$ と点 $j$ の重みであり，$d_{ij}$ は $i-j$ 間のネットワーク上の距離である。重みとしては，第4章の一般図形の場合には領域面積を，第5章の実例では人口を用いる。

さてパターン種別が与えられれば，$n$ 個の点の結合の仕方が決まり，すべての $d_{ij}$ が求められる。そこで，

$$G=\sum_{i\neq j}g_{ij}$$

によって与えられたパターンの便益を定義する。

点の位置を変えずにパターンの種別だけを変えてみれば $s_i$ $(i=1,\cdots,n)$ は不変であり，$d_{ij}$ だけが変化する。したがって $d_{ij}$ を小さくするパターンほど $g_{ij}$ の値は大きくなる。

⑤ 投資効果と（便益/費用）

与えられたパターンの建設費と便益を考慮して投資効果 $U$ を評価する。$U$ の定義は，

$$U=G/L$$

で与える。分母の $L$ は①で定めた総延長であり，分子の $G$ は④で定めた便益である。つまり $U$ の意味すると

ころは，費用に対してどれほどの便益が得られるかという評価基準である。$U$ の値を高めるためには，$G$ の値を大きくするか，または $L$ の値を小さくしなければならない。しかし $G$ の値を大きくするためには，$G$ の定義からもわかるように，$d_{ij}$ を小さくしなければならないのだが，そうするためには，$L$ の値が大きくなってしまう。$L$ の値を小さくするということは，一般に $d_{ij}$ の値は大きくなり，分子の $G$ が小さくなることを意味している。

結合パターンの評価指標として5種類の指標を設定したが，このうち②，③，④はいずれも完全グラフが最良値をとることが予見される。しかし①と⑤の指標については，どのようなパターンが最良値となるかは試してみるしかないだろう。すなわち，利便性，使用，便益という視点からすれば，より多くの辺が結合しているパターンの方が評価が高くなる。逆に経済性という観点からすれば，辺の本数は少ない方が良い値を示す。こうした両極にある指標を総合化したものが⑤で定めた $U$ の値である。

ところで上記5種類の評価指標に加えて，参考資料として，与えられたネットワーク上の2点間の平均距離を算出しておいた。この値は，直径や半径，迂回率や総延長などと比較してみれば興味深いであろう。

また，本稿では2点間のユークリッド距離を $r$，ネットワーク上の距離，すなわちネットワーク上の最短径路長を $d$ で表記する点に注意して頂きたい。

## 4. 評価指標値の分析——一般図形の場合—

本章の目的は，2章，3章で提示した手法を，一般図形内のネットワークに適用し，各パターンの評価得点を確認することである。すなわち，計算機実験によって，各種ネットワークを生成し，パターン別の評価値を算出する。計算機実験の内容は，一辺1の正方形内に100個の点を一様にランダムに散布させることから始め，次にそれらを代表点にして，第2章で定めた6種類のパターンを形成する。そしてパターンごとに第3章で定めた5種類の評価指標を計算する。この試行を50回繰り返し，評価得点の平均値を算出する。この実験結果は表—1の形に整理した。図—1のパターンを参考にしながら，表—1の値を考察する。

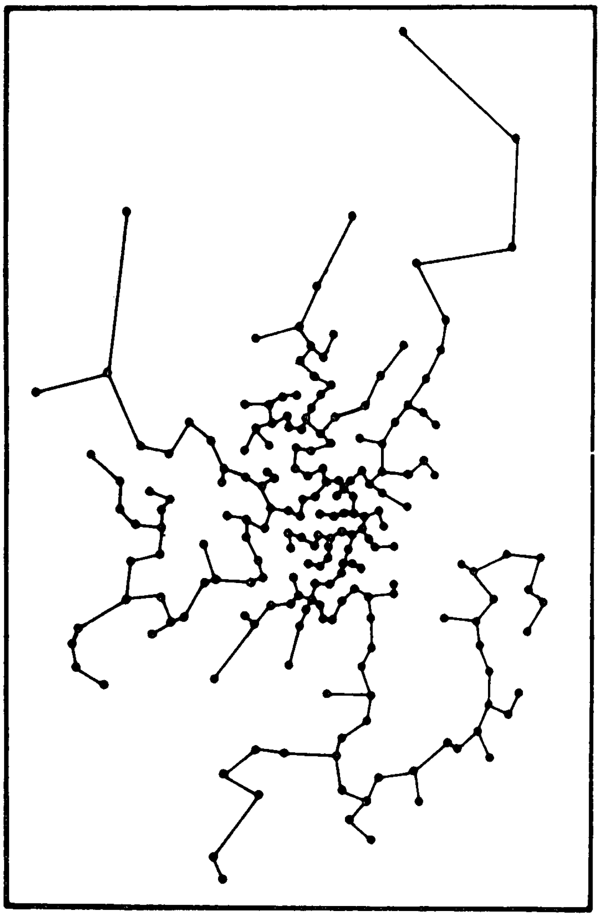
① 総延長 $L$ の値についてみてみると，短さの順位は最短木，外延木，ハミルトンパス，ハミルトン閉路，ドローネ，完全グラフとなっている。この順位は当初から予想されたとおりであり，定義や構成法からも明らかである。興味深いのは，短さの順位よりもむしろ総延長の実数値である。というのは，この値から総延長の推定式が予見されるからである。木構造の総延長を $L$，頂点数を $n$，領域面積を $S$，推定式を $L=C\sqrt{nS}$ と想定した時の定数 $C$ の値は[9]，それぞれの木構造の種別に対応して，最短木=0.66，外延木=0.72，最短パス≦0.82となることが分かる（ただし式の形については参考文献5),6）参照)。同じくこの式をドローネにも適用してみれば定数 $C$ の値は2.93となる。ただし完全グラフの総延長については，2点間の平均距離0.52[10]を用いて，

$$L=0.52(n(n-1)/2)$$

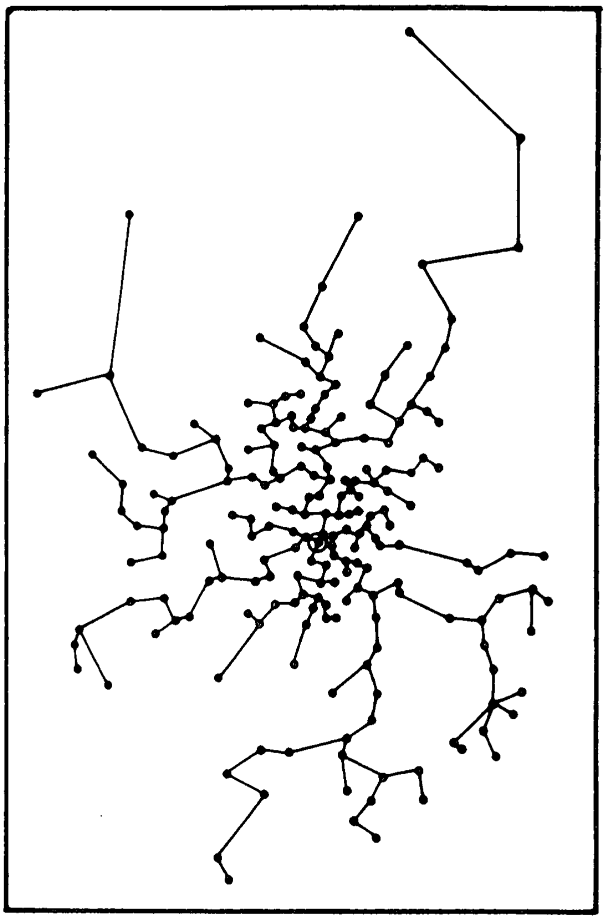
と考える方が自然であろう。総延長の推定式については本題からはずれるので深く立入らないが，少なくとも，本実験の結果が，より一般的な定式化への可能性を秘めている点に留意して頂きたい。

表—1　一辺1の正方形内のパターン別評価値（点の数100，一様分布）

| | | 最短木 | 外延木 | パス | 閉路 | ドローネ | 完全グラフ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 総延長 | 6.60 | 7.20 | 8.18 | 9.02 | 29.29 | 2571.3 |
| 2 | 直径と半径 | 2.89<br>1.52 | 2.01<br>1.03 | 8.18<br>4.09 | 4.51<br>4.51 | 1.35<br>0.72 | 1.26<br>0.67 |
| 3 | 平均距離 | 1.10 | 0.90 | 2.74 | 2.23 | 0.55 | 0.52 |
| 4 | 迂回率 | 2.07 | 1.64 | 5.41 | 4.62 | 1.07 | 1.00 |
| 5 | 便益 | 0.80 | 0.86 | 0.56 | 0.57 | 1.29 | 1.35 |
| 6 | 投資効果 | 0.119 | 0.120 | 0.067 | 0.064 | 0.044 | 0.0005 |



2-1 最短木



2-2 外延木（二重丸は基点）

図—2 京都市における結合パターンの図示（点は小学校，198個）

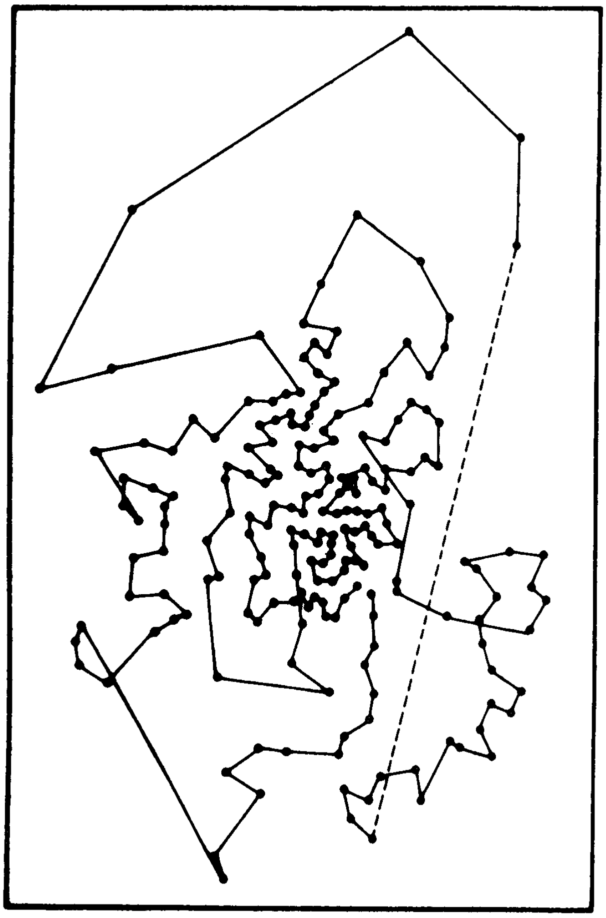
② 次にパターンの簡潔性を表す直径と半径および2点間の平均距離についての説明に移る。まず直径を $D$，半径を $R$，平均距離を $\bar{d}$ とすると，すべてのパターンに対し，一般的に，$\bar{d} \leq R \leq D \leq 2R$ なる関係式が成立つことは明らかである。本実験においてもこのことは容易に確認される（特にハミルトンパスと閉路の直径と半径に注意）。

実験結果において注目すべき第一の点は，直径に関しても半径に関しても，最短木よりも外延木の方が短くなるという事実である。総延長に関しては逆に最短木の方が短いわけだから，この結果は興味深い。第二の点は，ドローネと完全グラフの2点間平均距離の値が意外にも近い値を示すという点である。一方理論的考察から，一辺1の正方形内の任意の2点間の距離の平均値は，0.521であることが既に導かれているが，このことから判断してもドローネは非常にコンパクトな結合パターンといえよう。直径と半径に関しては，完全グラフとドローネとでは差が認められるが，それにしても総延長において100倍程の差があることを考えれば，ドローネは簡潔なパターンであるといえよう。

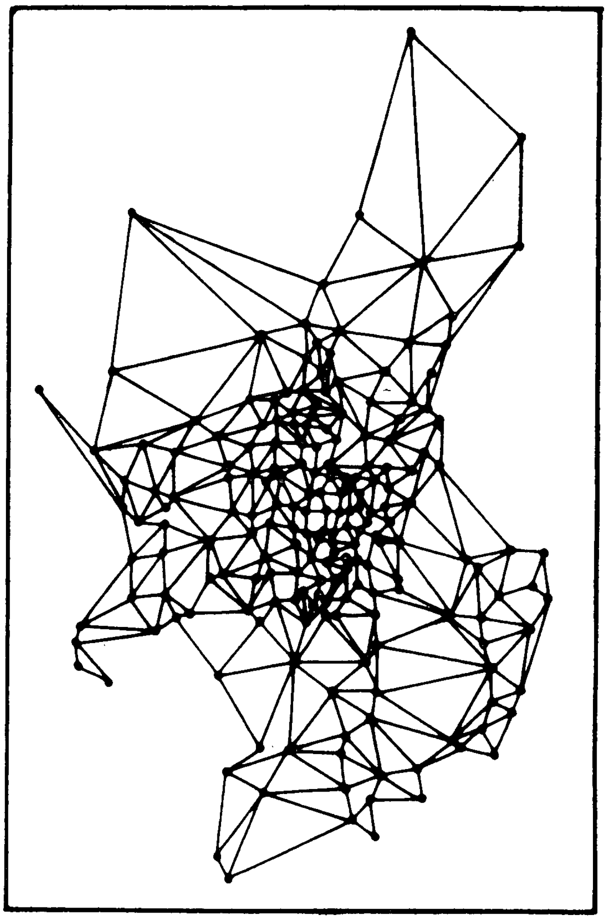
③ 利便性と迂回率についてみてみよう。迂回率の定義は，ネットワーク上の2点間の距離とユークリッド距離の比率の平均値のことであるから，完全グラフにおいては正しく1となる。注目すべきはドローネの値である。ドローネは最短木や外延木よりも辺の本数が多いため，迂回率が小さくなるのは当然であるが，それにしても1.07というのは，完全グラフに比してほとんど距離損失がないことを意味している。このことは，前述したように，平均距離の比較によっても確認できることである。

④ グラビティ量の総和 $G$ が，ネットワークの辺の多さに依存することは明らかである。パターン別の数値の差は小さいが，点の散布パターンを変えて行った50回の試行中，この順位に変化はない。その意味では数値は接近しているが，指標の感度は鋭いといえよう。絶対値ではなく，比率で考えてみると，ドローネの値は完全グラフの約95％，同じく最短木の値は約60％に相当する。完全グラフはすべてのネットワークの中でも，もっとも移動がしやすく，都市のアクティビティを最大に引き出せるパターンであるが，ドローネを用いた場合でも，そのうちの約95％が実現されるのである。一方，最短木を用いた場合には，ネットワーク上のアクティビティの量は，最大活動量の約60％に抑圧されてしまうのである。

⑤ 最後に，投資効果 $U$ の値は，外延木，最短木，



2-3 ハミルトンパスと閉路



2-4 現状パターン

ハミルトンパス，ハミルトン閉路，ドローネ，完全グラフの順に小さくなっている。$U$ の定義は，$U=$(グラビティ量の総和)/(総延長) で与えたのだが，結果的にはグラビティ量の総和が，パターンによってあまり差がなかったため，$U$ の値は総延長に影響されていることが示された。

以上の考察をまとめると，建設費という点では最短木がもっとも優位なパターンである。だが簡潔性という点では意外にも外延木が良い値を示した。またドローネは辺の本数が少ない割には，完全グラフと較べても決して損色のないパターンであり，迂回率という点ではほとんど無駄がない。投資効果という指標でみれば，最短木，外延木などの極小な構造が良い値を示す。

ところで本章の結果は，次のような前提条件に基づくものである。つまり代表点が一様に分布していること，したがって各領域面積もそれ程の大小差がないことである。また本章ではグラビティ量の総和を算出する際に，一様分布の点に基づくボロノイ区画の面積を重みとして用いたが，このことは，人口分布が一様であることを想定した措置である。したがって，本章の結果は，人口密度が一様であり，代表点がまんべんなく位置している地域には一般的に当てはまるものである。

## 5. 京都市における事例分析

本章では，京都市を例にとり，前章の方法を現実の都市パターンに適用し，その評価値を考察する。京都市の現実を反映した都市パターンを抽出するに当たっては次のような手続きを用いた。

まず代表点として小学校を選ぶ。京都は伝統的に元学区と呼ばれる領域ごとに社会・経済的データが整備され，コミュニティとしてのまとまりを築いてきたことなどから，代表点として小学校を選ぶのは極めて自然な選択である。次に，昭和 60 年度国勢調査による元学区の人口を各点に重みとして付与する。

地域間の結合関係を表すネットワークの構成の仕方は，隣接する元学区が，実際に直接道路（幅員 5.5 m 以上の車の通れる道）で結ばれている場合に限り，その 2 点を直線分で結ぶ。この結果得られたのが，図—2-4 に示すパターンである。したがってこのパターンは，極めて模式化された形ではあるが，一応現実の道路網に基づく京都市の地域結合パターンとみなすことができよう。また，断面容量や線型を捨象した道路網としての連なり具合だけを示す模式図とみなすこともできよう。いずれにしろ，京都ではこのパターンを使ってさまざまな都市活動が行われているのであり，市民生活がその上に展開していくネットワークなのである。

一方このネットワークを相対的に評価するために，比較対象として第3章で定めたほかのパターンを作成する（ただし，ドローネは除いた。なぜなら，ここでは現実の小学校区の隣接関係に基づくパターンを対象としているので，仮想領域の隣接関係に基づくドローネは除外する）。図—2参照。これらすべてのパターンの評価値を計算し，一覧表にしたものが表—2である。今，図—2を参照しながら，表—2における京都市のパターンの評価値を考察する。

現状の結合パターンの利便性を表す迂回率をみてみよう。この値は，1.10とかなり低く，完全グラフの1割増程度である。京都は碁盤目状のパターンといわれるが，もし碁盤目ならば最大迂回率は45°対角線方向の，$\sqrt{2}=1.414$となる。現状のパターンは，中心部において碁盤目であるが，周辺部においては適度に放射状パターンが混在していることから，迂回による不便さはかなり小さいといえる。

ネットワーク上の総移動量を表すグラビティ量の総和をみてみよう。現状のパターンの値は，完全グラフの92％に相当している。つまり，現状のパターンでも，最大活動量の9割は実現可能であると判定される。最近は京都においてもドーナツ化現象により，中心部から周縁部へ人口が移動している。グラビティ量の総和を大きくするには，人口分布と網の目の密度（辺の本数）とを比例対応させた方が良いと思われる。その意味では，ほかの大都市程には，現時点での中心部の人口空洞化は深刻ではないのかも知れない。もし将来，人口分布と結合パターンとの乖離が生じた場合，その乖離の度合いを判定するには，$G$の値が完全グラフの値の何％に相当するかを確認すればよい。

投資効果$U$の値をみてみよう。現状のパターンの総延長は，最短木の4倍の長さであるが，総グラビティ量は1.8倍の大きさしかもたない。その結果，$U$の値は最短木の42％程度となっている。

さて図—2を相互に比較してみると，現状のパターンは，最短木や外延木をその中に包含していることが分かる。ただし，パスと閉路は完全には包含されないため，現状のパターンを用いて全地点を一周するためには，200 km以上の旅程が必要となるだろう。直径や半径については完全グラフにかなり近い値である点に注目すべきであろう。

以上の考察から，現状のパターンは利便性や便益といった指標からみれば，無駄のないパターンと結論づけられよう。ただ投資効果$U$の値は，最短木や外延木に較べかなり低い値にとどまっている。

最後に，もしドーナツ化現象などにより，将来人口分布とこのパターンとがそぐわなくなってきた場合の対策を考えてみよう。一つには外周路の形成や，部分的な放射パターンの導入をはかり，現状の平面的パターンをさらに密に連結することが考えられる。しかし，京都の伝統的な格子状パターンを継承しながら，さらに都市内活動量を向上させるためには，現状のパターンの立体化という方策が必要になる。例えば，現状のパターンに重ねて外延木のパターンを導入することを考えてみる。外延木の総延長は現状の約1/4であるから，全体の1/4程度は立体化することになるが，外延木のグラビティ量の総

表—2　京都市の小学校区を結ぶパターン別評価値

| | | 最短木 | 外延木 | パス | 閉路 | 現状パターン | 完全グラフ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 総延長 (km) | 153.4 | 162.0 | 192.7 | 212.1 | 626.7 | 123472 |
| 2 | 直径と半径 (km) | 49.9<br>25.2 | 39.6<br>20.1 | 192.7<br>96.6 | 105.7<br>105.7 | 27.6<br>13.9 | 25.0<br>12.7 |
| 3 | 平均距離 (km) | 14.3 | 10.8 | 50.4 | 48.7 | 6.9 | 6.3 |
| 4 | 迂回率 | 2.33 | 1.84 | 10.2 | 9.67 | 1.10 | 1.00 |
| 5 | 便益 (人)²/m | 112.8 | 130.8 | 65.0 | 65.5 | 198.7 | 216.0 |
| 6 | 投資効果 (人²/m²) | 743 | 802 | 335 | 308 | 317 | 1.74 |

和は，完全グラフの 60 % に相当する。つまり，現行の 1.7 倍の速さのシステムを外延木のパターンで導入すれば，ほぼ完全グラフに見合うだけの便益，つまり都市活動量を導くことができるであろう。

## 6. 考　察

本稿の主題は，地域結合関係を表すネットワークを設定し，その特性を評価することであった。第 2 章および第 3 章で提案した指標や結合パターンは，分析のための道具である。第 4 章では，これらを用いた一般的分析法を例示したが，計算機実験を通じて次のような事実が導かれた。ドローネは，完全グラフと比較して総延長が圧倒的に短いにもかかわらず，各指標値はまったく損色がないこと，最短木や外延木は，総移動量は完全グラフの約 50 % であるが，投資効果は非常に高いこと，特に外延木と最短木は互いによきライバルであること，などであり，これらの結果は条件を変えて同様の分析を行う際の目安となるであろう。第 5 章では，京都市を例にとり，道路網に基づく地域結合パターンを抽出し，ほかのパターンで結ばれた場合との比較分析を行った。こうした作業や事例的分析から，今後に残された課題を整理してみよう。

まず評価指標についてであるが，本稿では個別に 5 種類の指標を設定した。今後はこれらを組み合わせ，より総合化した指標を策定しなければならない。そのためには，各指標相互の関係の分析が必要になるであろう。

次に結合パターンについてであるが，本稿では 6 種類のパターンを選んだが，これ以外にも多くのパターンが存在する。特に各指標の値を最大（最小）化するパターンを見いだすことが今後に残された最大の課題である。

地域空間の幾何的特質を記述し，論理的分析の俎上にのせることは困難な課題であるが，本稿が対象地域にとって適切な結合関係を見いだすための一助となれば幸いである。


**参考文献**

1) 都市デザイン研究体著：現代の都市デザイン，彰国社編刊，昭和 44 年 9 月
2) 森田恒幸・野田清敏・堀内葉子：都市住民の意識に基づく環境指標の算定，都市計画学術研究論文集，第 20 号，pp. 133-138，昭和 60 年 11 月
3) 古山正雄：地域結合関係における木構造，日本建築学会計画系論文報告集，No. 384，pp. 63-70，昭和 63 年 2 月
4) C. ベルジュ著，伊理正夫ほか訳：グラフの理論 I，p. 193，術語対照表，サイエンス社，昭和 51 年
5) 同上書，p. 101
6) 伊理正夫監，腰塚武志編：計算機何学と地理情報処理，pp. 205-233，bit 別冊，1986. 9
7) 及川清昭：面的施設配置の圏域構成に関する幾何学的研究，都市計画学術研究論文集，第 20 号，pp. 91-96，昭和 60 年 11 月
8) B. ボロバッシュ著，斉藤・西関共訳：グラフ理論入門，第 1 章 4 節，培風館，昭和 58 年 4 月
9) 古山正雄：模式的道路網とそれを用いた最短巡回路の長さに関する考察，日本建築学会計画系論文報告集，No. 364 号，pp. 143-149，昭和 61 年 6 月
10) 腰塚武志：地域内距離，J. of the Operations Research Society of Japan, Vol. 21, pp. 302-319, 1978


## SYNOPSIS

UDC : 711. 1 : 711. 4. 01

## STUDY ON THE REGIONAL NETWORK PATTERNS AND THEIR EVALUATE-INDICES

by Dr. **MASAO FURUYAMA**, Associate Professor, Dep. of Housing and Environmental Design, Kyoto Institute of Technology, Member of A. I. J.

This paper is studying the regional network patterns and their evaluate-indices. In order to analyze the regional networks, we define 5 kinds of indices concerning to the cost, the compactness, the conveniences, the utility, and cost-benefit of the network patterns. We apply these indices to the typical 6 network patterns, minimum tree, exodic tree, Hamilton path, Hamilton circuit, Delaunay diagram and complete graph and then compare the values of indices through computer simulation and empirical data of Kyoto city.