

シミュレーションを用いた都市のトポロジカル構造評価

山口大学工学部	正員	○榊原弘之	山口大学大学院	学生員	片山武
京都大学大学院	学生員	梶谷義雄	山口大学工学部	正員	古川浩平
京都大学防災研究所	正員	岡田憲夫			

1.はじめに 筆者らは以前、道路網の集中・分散特性の評価指標として、トポロジカルインデックス（以下TI）を導入することを提案している¹⁾。TIは、グラフとしての総体的な集中性、分散性を評価するのに適している。本研究においては、規模の異なる道路網の相互比較を可能とするために、TIの標準化のための方法論を提案する。

2. シミュレーション手法によるTIの標準化 TIは、元来分子構造を判別するために考案された。グラフ G においてノード数を n 、リンク数を l とする。グラフ G の中から、あるノードを共有しない（隣接していない） k 本のリンクを選ぶ組み合わせの数を非隣接数と呼び、 $P(G, k)$ と表す。ただし、 $P(G, 0)=1, P(G, l)=1$ とする。 k として取りうる最大の自然数 m は、ノード数 n が偶数の時 $n/2$ 、奇数の時は $(n-1)/2$ である。このときグラフ G の分散性を表す指標 $TI(G)$ は次式で定義される。

$$TI(G) = \sum_{k=0}^m P(G, k) \quad (1)$$

都市の道路網をグラフとして定義した場合、TIは道路網の総体的な集中性、分散性の評価指標となり得る。巨大災害時には、分散的に整備された道路網の方がノードが孤立する可能性が低いと、道路網全体としては機能しなくとも、近隣のノード間のアクセスが確保される可能性が高いと考えられる。

しかし、既存のTIによる単純な大小関係のみでは、異なる都市間の整備水準を比較することは困難である。その理由として、第一にノードの定義によってTIの値も変化してしまう。第二にTIでは各都市の地形の影響を考慮することが出来ない。そこで、地形によって規定されたポテンシャルの下で、TIを相対的に評価することで、各都市の道路の整備水準を決定する必要がある。道路網をグラフによって定義する場合、各ノードは面的な広がりを持った地区を代表している。各地区間の隣接関係を次のような行列で定義する。

$$A_C = \begin{pmatrix} 0 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 0 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$a_{ij}=1$ (地区 i, j が隣接している場合)

$a_{ij}=0$ (地区 i, j が隣接していない場合)

この隣接関係は、地区を代表するノードによって構成されるグラフによって表現することも可能である。以下ではこのグラフを隣接関係グラフ G_A と呼び、実際の道路網を表すグラフ G_R と区別する。 G_A において隣接している（リンクによって連結されている）ノード間のみ、 G_R 上でリンクが設定されうると考え、シミュレーションを行う。具体的には以下の手順に従う。

- ① ノードによって代表される地区の隣接関係をグラフ G_A により表す。
- ② ①のグラフ G_A において連結されている（互いに隣接している）ノードの各ペアについて、リンクの有無（あるいはリンクの本数）を乱数により決定する。
- ③ ②で得られたグラフについてTIを計算する。
- ④ ①～③のプロセスを繰り返し、当該都市のTIの分布を得る。
- ⑤ ④で得られた分布における、当該都市の実際の道路網のTIの値の超過確率によって、当該都市の道路網を評価する。

シミュレーションの結果得られるポテンシャル分布は、都市のトポロジカルな構造を示していると解釈することができる。

3. ポテンシャル分布の比較 2.に示した手法によって実際のポテンシャル分布を求め、その傾向について分析を行う。都市の表1は、政令指定都市のうち、人口が200万人以上の東京、横浜市、名古屋市、大阪市を除いた9都市について、ポテンシャル分布の平均と標準偏差を示したものである。各都市においては区をノードとして定義している。また隣接ノード間の可能リンク数を0本、1本、2本の等確率とし、試行回数は1000回とした。図1～図3は、ノード（区）が同数の

表 1 各都市のポテンシャル分布の比較

都市名	福岡市	北九州市	広島市	神戸市	京都市	川崎市	千葉市	仙台市	札幌市
ノード(区)の数	7	7	8	9	11	7	6	5	10
平均	41.50	42.78	123.91	179.14	1250.26	23.70	28.15	14.87	533.63
標準偏差	21.98	22.93	72.55	117.25	783.90	14.62	14.26	6.78	336.51

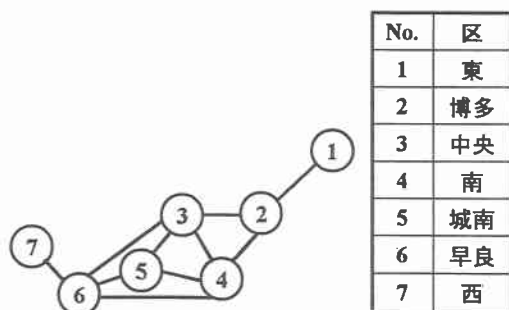


図 1 福岡市の隣接関係グラフ

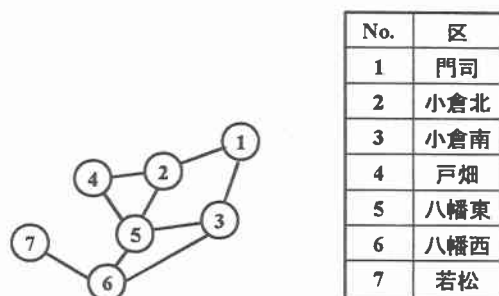


図 2 北九州市の隣接関係グラフ

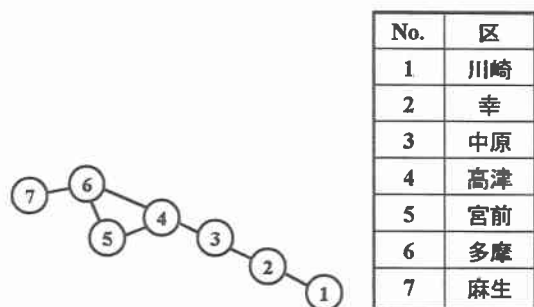


図 3 川崎市の隣接関係グラフ

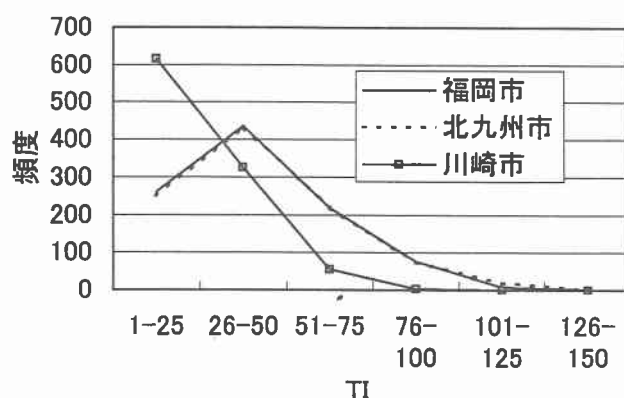


図 4 3都市のポテンシャル分布

っている。これは、川崎市が潜在的に達成し得る TI の水準が他の都市よりも低いことを意味している。

このような差異が生じる理由は、川崎市の地理的形状に起因している。図 3 に示すように、川崎市は各区が带状に分布しており、隣接ノードペア数が少ない。一般に TI の値は、ノードが塊状に分布する都市では大きく、带状に分布する都市においては小さくなる。

- ・ 図 4 に示すように、福岡市と北九州市のポテンシャル分布は類似している。このことから、両都市はほぼ同様のトポロジカル構造を有していると考えることができる。

ポテンシャル分布における各都市の道路網の TI の超過確率を比較することにより、以上のような都市のトポロジカル構造を踏まえた道路網整備の達成水準を評価することが可能となる。

4. おわりに 今後は、地区間の面的な隣接関係のみでなく、距離をも考慮した都市の地理的構造の評価手法が必要となると考えられる。

参考文献

- 1) 岡田憲夫, 梶谷義雄, 榊原弘之, 多々納裕一: 直下型地震の発生を想定した都市圏道路網の分散・集中特性の性能評価モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.632, IV-45, pp.93-104, 1999

福岡市、北九州市及び川崎市の隣接関係グラフ G_A を示している。また図 4 は、これら 3 都市のポテンシャル分布を示したものである。これらの結果より、以下の考察が可能である。

- ・ ノードの数が大きい都市ほど、ポテンシャル分布の平均値が大きくなる傾向が存在する。これは、一般にノード数が多くなるほど G_A 上で隣接するノードのペアが増加することによる。
- ・ ノード数がともに 7 個の 3 都市のうち、川崎市は平均値が非常に小さく、ノード数 6 の千葉市をも下回