

都市間比較を目的としたトポロジカルインデックスの標準化

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 巨大災害時には、道路網は各所で寸断・閉鎖され、道路網全体が通常通り機能することは非常に困難である。このような緊急時には、道路網が果たすべき役割も平時とは異なったものとなる。筆者らは以前、「トポロジカルインデックス（以下 TI）」を用いて、災害に対する道路網の頑健性を形態論的に評価することを提案している¹⁾。本研究では、シミュレーション手法により TI を標準化し、都市間で道路網を比較するための方法論を提案する。

2. TI による道路網の構造評価 ノード数 n 、リンク数 l のグラフ G において、隣接していない k 本のリンクを選ぶ組み合わせの数を $P(G, k)$ と表す（但し $P(G, 0) = 1$, $P(G, 1) = l$ ）と、TI は次式で定義される。

$$TI = \sum_{k=0}^m P(G, k) \quad m = \frac{n}{2} \text{ (偶数)}, \quad m = \frac{n-1}{2} \text{ (奇数)} \quad (1)$$

リンク数が多いほど、またリンクが分散的に配置されているほど TI の値は大きくなる。従って、TI は道路網の分散性の定量的指標として解釈することができる。

道路網が各所で寸断されるような巨大災害の直後においては、都心から放射状に集中的に整備された道路網よりも、環状方向も含め分散的に整備された道路網の方が、孤立する地区が生じる可能性が小さく、道路網が部分的にせよ機能する可能性が大きい。すなわち分散的な道路網の方が、近隣地区間で必要最小限のサービスが確保される可能性が大きいと考えられる。

図-1 に、山口県の宇部市（阿知須町を含む）と下関市の道路網をノード（地区）とリンク（道路）からなるグラフとして示す。図中に示すように、宇部市においては $TI=1557$ 、下関市においては $TI=3696$ である。

3. 都市間比較を目的とした TI の標準化 道路整備の優先順位を決定する際、各都市の整備水準を比較する必要がある。その場合、巨大災害に対応した道路網の整備状況の指標として、TI が有効であると考えら

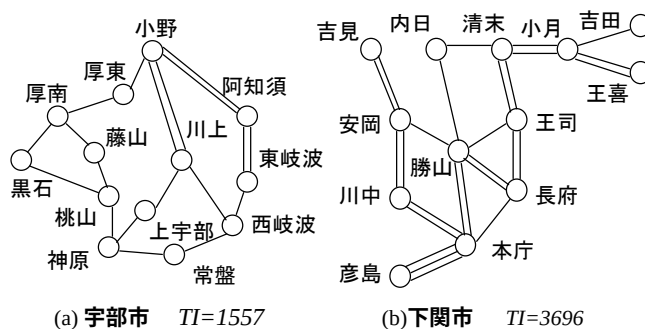


図-1 宇部市・下関市の道路網

れる。しかし、TI の大小関係のみでは、各都市によってノードの定義や地形条件が異なることから、都市間の整備水準を比較することは困難である。そこで、地形条件によるノード（各地区）の空間的配置を所与とし、シミュレーション手法により TI を標準化することで、規模や地理的特性の異なる都市間の道路網の比較を試みる。

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。都市の各地区間の面的な隣接関係を次のような行列で定義する。

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

$a_{ij} = 1$ (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)

またこの隣接関係は、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。本研究では、地区同士が面的に接していない場合、道路の設定が不可能であると仮定する。すなわち、 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

キーワード トポロジカルインデックス, 道路網, 巨大災害, 標準化, 都市構造

連絡先 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1, 0836-85-9355, 0836-85-9301)

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実施する。具体的には以下のような手順で行う。

- 1) 各都市の互いに面的に隣接するノード間（すなわち $a_{ij}=1$ となる地区 i, j 間）において、ランダムな本数のリンクが生じるよう乱数を発生させ、得られたグラフの TI を算出する。
- 2) 1)の試行を多数繰り返すことで、各都市において生じうる道路網の TI の分布を描く。以下ではこの分布をポテンシャル分布と呼ぶことにする。
- 3) 各都市のポテンシャル分布における、実際の道路網の TI の値の超過確率を求め、都市間で比較する。

例として、**図-2**に示すような、地区数が等しく（5地区）、配置が異なる（a）、（b）2つの都市を比較する。（a）は互いに隣接するノードが多く、リンクの発生する可能性が高いのに対して、（b）はノードの隣接面は少なく、リンクの発生する可能性も低くなる。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、1000回試行した結果、**図-3**のようなポテンシャル分布となった。（a）のポテンシャル分布の TI の平均値は 19.03、分散は 69.86 であるのに対し、（b）の平均値は 7.81、分散は 18.14 となった。したがって、（a）の方が（b）よりも地形による制約が小さく、TI のポテンシャルが高いと考えられる。

さらに、それぞれのポテンシャル分布における実際の道路網の TI の超過確率を求めることにより、各都市が潜在的に達成しうる TI に対する、現在の道路網の達成水準を都市間で比較することが可能となる。

4.適用例 宇部市と下関市において、可能リンク数を0本、1本、2本の等確率とし、10000回試行した結果、**図-4**に示す両都市の TI のポテンシャル分布が得られた。宇部市のポテンシャル分布における TI の平均値は 2498、分散は 3566454 であり、ピークは $TI=1001\sim 2000$ の区間に存在する。一方下関市は平均値が 1562、分散は 1488910 であり、ピークは $TI=1\sim 1000$ の区間に存在する。また宇部市のポテンシャル分布に対する実際の道路網の TI（1557）の超過確率が 62.72% であるのに対して、下関市の実際の TI（3696）の超過確率は 6.15%であった。したがって、宇部市は地理的特性からみたポテンシャルが下関市よりも高いにも

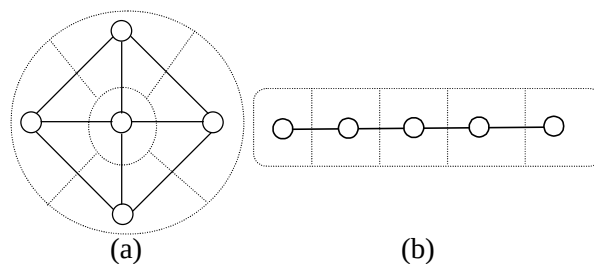


図-2 ノードの隣接関係のグラフ例

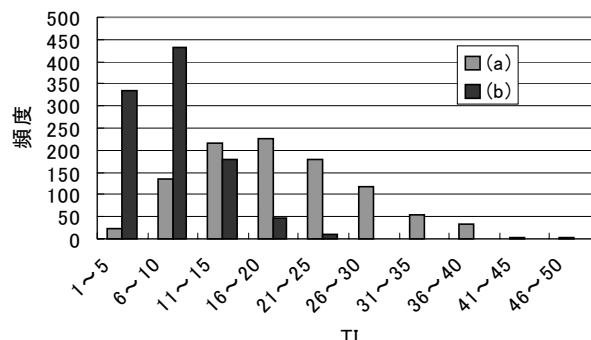


図-3 図-2の例におけるポテンシャル分布

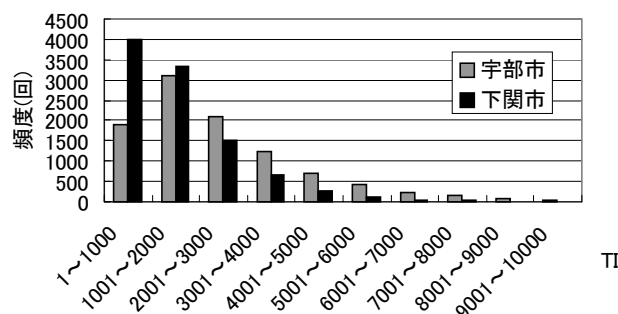


図-4 宇部市・下関市におけるポテンシャル分布

関わらず、TI の達成水準は低く、道路網の改善の余地が大きいと考えられる。一方、下関市はポテンシャルが低い割に、実際の TI は宇部市よりも大きいことから、比較的道路網が充実しており、宇部市と比較して整備水準が高いと評価することができる。

5. おわりに 本研究では既存の TI を拡張することにより、都市間比較を目的とした TI の標準化を提案した。また、宇部市と下関市への適用結果から、下関市の方がポテンシャル分布に対する超過確率が小さく、相対的に整備水準が高いと評価し得ることが明らかとなった。

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-45,93-104,1999.