

都市構造を考慮した災害時の道路網評価手法の提案

山口大学大学院 学生員 ○ 片山武
山口大学工学部 正員 古川浩平

山口大学工学部 正員 榊原弘之
京都大学防災研究所 正員 岡田憲夫

1. はじめに 阪神淡路大震災のような巨大災害時には、構造物の破壊や建物の倒壊が同時多発的に発生する可能性が高い。そのため道路網は各所で寸断・閉鎖され、道路網全体が通常通りに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、各地区が完全に孤立してしまうことなく、近隣地区間で住民の生命維持のための必要最小限のサービスが確保されることが重要となる。本研究では、トポロジカルインデックス (TI) を指標として用い、都市構造を考慮した災害時の道路網評価手法の提案を行う。

2. TIによる都市道路網の構造評価 本研究では道路網を形態論的に評価する指標として、分子化学において異性体を分類する指標である「トポロジカルインデックス (以下 TI)」を用いる。ノード数 n 、リンク数 l のグラフ G において、隣り合っていない k 本のリンクを選ぶ組み合わせの数を $P(G, k)$ (但し $P(G, 0) = 1$, $P(G, 1) = l$) と表すと、TI は次式で表される。

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

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。

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、中心都市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。そこで以下では、道路網の分散性を定量的に評価する指標として TI を用いることにより、道路網の災害に対する頑健性の評価を試みる。

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モデル化し、TI を算出した (図-1)。下関市の方が宇部市よりも倍以上大きな TI となっている

が、ノードの定義や地形条件が異なるため、単純に大小関係のみで比較することは困難である。また TI は道路網の分散性を評価するのみで、都市内における各種機能の空間分布を考慮していない。

3. 人口・施設分布の乖離を考慮した TI の拡張 巨大災害で道路が寸断された状況において、隣接地区へのアクセスが有効であるためには、個々の地区が自足できない機能を他地区が補完できることが必要である。従って、近隣地区間で機能的に自立するためには、道路網だけでなく災害時に必要な施設もまた分散していなければならない。例えば災害医療に関しては、巨大災害時には消防などによる統制のとれた搬送活動が困難であるため、負傷者の多くは自分の居住地区及び隣接した地区の医療施設へ向かうという指摘がなされている。従って、都市内の機能の集積量を所与とした場合、施設が不足している地区と、ある程度余裕のある地区を直接結ぶ道路が重要であり、そのような道路が都市において分散的に配置されていれば、災害に強い都市構造であるといえる。そこで、人口分布と施設分布の乖離を考慮した道路網の評価を試みる。具体的には以下の手順で行う。

- 1) 都市全体の施設数に対する各ノード (地区) の施設数の割合 (F_i)、都市全体の人口に対する各ノードの人口の割合 (P_i) を算出する。
- 2) その差 ($P_i - F_i$) が正となるノード (不足ノード) と、負となるノード (充足ノード) を結ぶリンクを有効リンクと設定する。
- 3) 有効リンクのみで構成されたグラフ (有効グラフ) の TI によって道路網を評価する。

有効グラフは、特定の機能の集積量を所与として、それを都市内でできる限り平等に利用するために有効なリンクのみで構成されたグラフであり、元のグラフの部分グラフである。また有効グラフの TI は、都市内における人口分布と施設分布の乖離が、道路網によってどの程度補正されているかを示す指標として解釈できる。これによって都市の災害に対する

頑健性を、道路網の分散性と人口分布・施設分布の乖離の両面から総合的に評価することが可能となると考えられる。

図-2 の例は、都心部のノードを4つの郊外地区が取り囲んでいる形態の都市において、充足ノードと不足ノードの分布を変化させた場合の有効グラフ及びTIを示している。定義からも明らかなように、有効グラフのTIは元のグラフのTIよりも必ず小さくなる。充足ノードと不足ノードが地理的に近接しているほど有効リンクが増加し、TIは大きくなる。一方、どちらかのノードの数が他方よりも大幅に多い場合、有効グラフのTIは小さくなる。また、不足ノードと充足ノードが入れ替わっても、定義上有効グラフのTIの値は等しくなる。

4. 宇部市・下関市への本手法の適用 宇部市と下関市に本手法を適用する。道路網は図-2と同じとする。また対象施設としては、災害時に最も重要な機能の1つである医療機関に着目し、病院数の分布に基づいて両都市の有効グラフを作成した(図-3)。結果を比較すると、宇部市は充足ノードが南東部にやや偏って分布しており、充足ノードである東岐波、常盤が孤立している。そのためリンクが大幅に欠損し、TIは1557から84へと著しく減少している。それに対して、下関市は充足ノードと不足ノードが互いに比較的隣接して配置されているため、不足ノードである内日は孤立しているものの、全体としてリンクの欠損が少なく、TIの減少量も3696から1472と小さい。したがって、巨大災害時には、下関市の方が最低限の医療活動へのアクセスを確保される可能性が高いと考えられる。また宇部市においては、医療施設の分布に空間的な偏りが存在し、道路網がその偏りを十分に補正し得てないと考えられる。

5. おわりに 本研究では既存のTIを拡張することにより、人口分布と施設分布の乖離を考慮した道路網の評価手法を提案した。また、宇部市と下関市への適用結果から、下関市の方が各地区からの医療機関へのアクセスが多数確保される可能性が高いことが明らかとなった。一方宇部市においては病院の空間的分布の偏りや、中央部と南東部を結ぶ道路の不足が潜在的なリスク要因であることが明らかとなった。

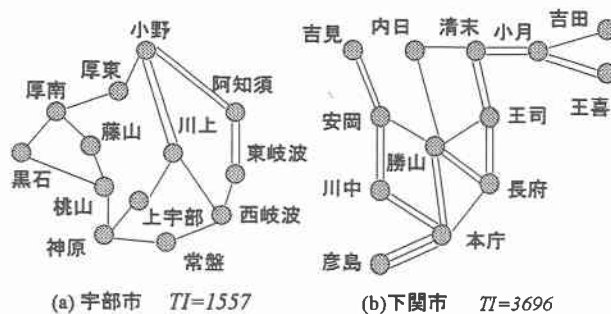


図-1 宇部市・下関市の道路網及びTI

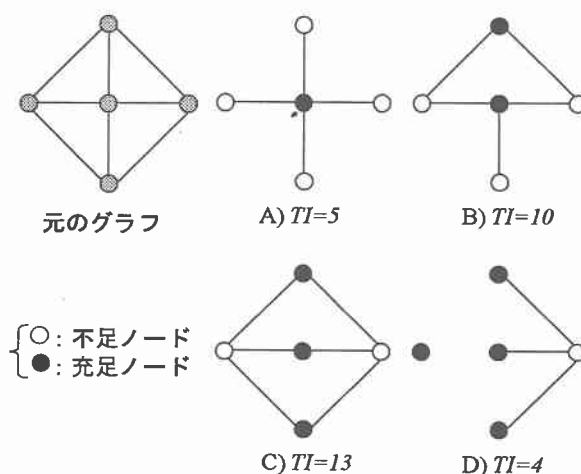


図-2 $n=5$ の有効グラフ例

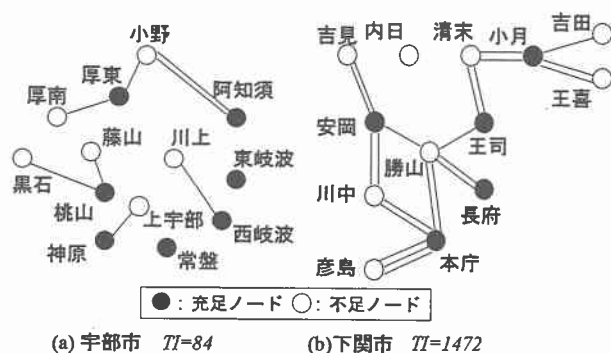


図-3 病院数でみた両都市の有効グラフ

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 -45,93-104,1999.10