

——トポロジカルインデックスの援用

京都大学大学院

学生員 ○梶谷 義雄

阪神高速道路公団

正員

前川 和彦

京都大学防災研究所

正員

岡田 憲夫

1 はじめに 災害、交通事故、自然渋滞などにより都市圏の道路ネットワークがある種の「切断現象」を起こすことを完全に避けることは不可能である。平時は交通量が少なくても災害時には目一杯バックアップ機能を果たすことで、それが道路網の信頼性の向上に果たす役割を的確に評価できる形で捉え、被害を軽減させるフェイルセーフな仕掛けが不可欠と考えられる。そのためには道路網のリダンダンシー機能の向上という視点から計画論の分析の枠組みに組み込んでいくことが時代的に急務の課題となっている。本研究はこのような問題意識の下に、都市圏幹線道路網の整備のあり方について、リダンダンシー特性の視点から検討を行うが、その際に分析指標としてトポロジカルインデックス (TI)¹⁾ が有用であることを示す。

2 道路網のリダンダンシー特性の評価手法の提案

ネットワークの信頼性解析の技法については過去に多くの研究がある。(例えば2))が、それらは概ね、起点と終点を限定した上での交通の遮断可能性に関する信頼性解析であると言える。従ってODペアが多数存在する実際の道路網の信頼性を総合的に評価しているとはいえない。確かに始点と終点を全て選択し、それぞれに対する信頼解析評価を行うと、膨大な計算量になるため非常に困難である。また、実際には、そのような個別的・局所的な信頼性評価の積み上げよりも、道路網全体の集合的特性 (aggregate property) としてリダンダンシーをとらえることで信頼性を評価する方が有効であろう。そこで本研究では道路網がどのような形態であればどれぐらいの総合的な信頼性があるのかという問題を位相構造論的に解析するというアプローチを提案する。その際、特にネットワーク中のループ構造に着目し、ループ構造の存在するネットワークを「リダンダンシーのあるネットワーク」と定義した。

リダンダンシーの基本特性として「多重性」と「循

環性」を図1に示すように規定した。本研究では特にこのようなループ構造の配置に注目し、リダンダンシーの最小単位のプロトタイプモデルと考えた。

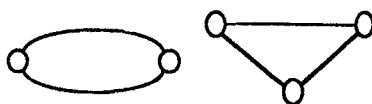


図1 多重性リダンダンシー、循環性リダンダンシーの例

3 道路網の評価指標としてみたTI 本研究で取り上げるTIは分子化学の専門家の細谷¹⁾により定義された指標である。一般に、グラフGの中から、隣り合っていないk本のリンクを選ぶ組合せの数を非隣接数と呼び、 $P(G, k)$ と表す¹⁾。ただし、 $P(G, 0) = 1$ とする。

このときTIの値 Z_G は次式で定義される。

$$Z_G = \sum_{k=0}^m P(G, k) \quad (m \text{ は最大の } k) \quad (1)$$

化学の分野では同位体の構造の違いと物性の関係に主に焦点を当てている。しかし道路ネットワークへの適用としてみたとき、その狙いと意味づけの解釈の仕方は自ずと変わることに着目した。分子化学の分野では小規模なグラフしか取り扱っていないが、道路ネットワークは複雑で大規模なネットワークを取り扱う必要がある。このため本研究では多重隣接行列によるTIのシステムティックな計算手法を開発した。

次に一つのノードに隣接するリンク数のノード間での偏りに着目し、ネットワークの「集中性」、「分散性」という概念を導入した。そしてTIの値が大きいグラフを「分散型グラフ」、小さいグラフを「集中型グラフ」と定義した。

また、道路網の整備という視点からは、リンクを増やすとループが増加するというネットワークの性質が重要である。そこでリダンダンシーに集中型のリ

ダングランシーと分散型のリダングランシーがあることを指摘した。さらにリダングランシーの基本特性として多重性に着目し、TI による多重性の効果を含んだリダングランシー特性の評価を行った。集中型のリダングランシーと分散型のリダングランシーの例を図2に示す。

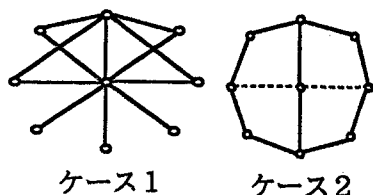


図2 集中型、分散型のリダングランシーの例

実際の道路網は図2に見られるような例だけではない。つまりケース1とケース2のハイブリット型になっていることが多いであろう。その場合でも、既存の道路網に新しい道路を整備する時には対象とする現実の道路網をケース1のような「集中型」かケース2のような「分散型」のいずれかに向かうことになる。そのどちらのタイプに特化させる形で整備するかが道路網全体の整備戦略上の鍵を握ることになる。本研究では前者によるリダングランシーの増加を「集中化リダングランシー」、後者によるリダングランシーの増加を「分散化リダングランシー」と定義した。またこのような場合の判断の基となる指標として次のような指標 α を提案する。

- リンク N 本のグラフの TI を $Z_G(N)$ とするとそれに任意の1本のリンクを加えたグラフのインデックス $Z_G(N+1)$ は以下のような漸化式で与えられることが理論的に示される³⁾。

$$Z_G(N+1) = \alpha Z_G(N) \quad (1 < \alpha \leq 2) \quad (2)$$

ノードの数が一定のまま、より集中型になるように接続すると α は順次1に近づき、比較的分散型になるように接続すると α は順次2に近づく。

α はこのようにどの程度リダングランシーが増加したかを表わす係数で、任意のリンクの接続の仕方と関係づけて増殖度係数 (proliferation factor) と呼ぶ。以下では PL 係数と略する。

このように、TI の値の増減により、リダングランシーの種類が判別できるが、現実の大規模な道路網の解

析にあたっては、TI の絶対値そのものだけにより、リダングランシーの程度を解釈・評価することは難しい。そこで同ノード数同士のリダングランシーの相対較差を比較判断するためにリファレンスネットワーク (比較対象の基準となるネットワーク) を定義し、これを準拠尺度にして、当該ネットワークに新たな道路リンクを増やしたときに増えるリダングランシーの程度を指数化することを考案した。

4 事例分析 実際のケースとして、大阪府域幹線道路網に TI を適用した。PL 係数から1を引いたものに比例してリンク幅を設定し、都市をノードと見立てたネットワークを図3に示す。リンクに幅を設定するということは決して道路幅そのものを表すのではない。PL 係数から1を引いたものはリンクの増加にともなう TI の増加割合を表す。リンク幅が小さい (PL 係数が小さい) ほどその道路整備によって集中化リダングランシーが増し、リンク幅が大きい (PL 係数が大きい) ほど分散化リダングランシーが増すことを意味している。このようなネットワーク表現を PL 係数表現ネットワークと呼ぶ。

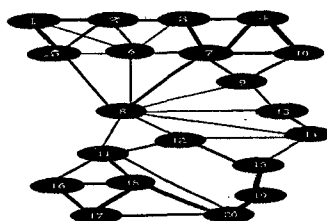


図3 大阪府域幹線道路網の PL 係数表現ネットワーク

図3を見ると、大阪北東部、南部において、相対的にリダングランシーが少ないことがわかる。

5 おわりに 紙幅の都合上、リファレンスネットワークの適用例等詳細については講演時に述べる。

[参考文献] 1) H.Hosoya :Topological Index. A newly Proposed Quantity Characterizing the Topological Nature of Structural Isomers of Saturated Hydrocarbons, Bull.Chem.Soc.Jpn., Vol.44, pp.2332-2339,1971.

2) 岡田 憲夫：災害リスクの分析的見方，「土と防災」講習会テキスト，土と構造物委員会，土木学会，土と構造物委員会，1985。

3) 梶谷 義雄，岡田 憲夫：トポロジカルインデックスを用いた都市圏幹線道路網のリダングランシー特性に関する解析評価，京都大学卒業論文，1997。