

IV-11 連結性能からみた幹線道路網の評価

秋田大学 正 員 清水 浩志郎
秋田大学 正 員 木村 一裕
秋田大学 学生員 ○石山 直人

1. はじめに

近年、道路網は全国的に整備され、道路の複雑化、高機能化が進んでいる。その中で、個々の道路が道路網全体でどのような機能をはたしているのか、あるいは、道路網としてどのような道路を建設するのがより効率的であるかを把握し、その位置付けを明確にしておくことが必要になると考えられる。

そこで本研究では、ネットワークの連結性とリンクの分布状態を評価する指標として、情報理論におけるエントロピーの概念を導入する。そしてその有効性を明確にし、さらにそのネットワークの評価を基に、リンクの機能評価を行う。

2. ネットワークの評価

(1) 情報理論におけるエントロピー

道路網にエントロピーの概念を導入するのに先立って、シャノンの情報理論について触れる。

情報量は、ある事柄が生起したことを知ったときに受け取る量であり、その事柄の生起する確率によって決まる。事柄をシンボル、その集団を情報源という。エントロピーは、一連のシンボルが生起したときのシンボル当りの平均情報量で定義される。

(2) ネットワーク評価へのエントロピーの導入

以上に述べたようなエントロピーの概念を道路ネットワークの評価指標として導入する。

いま、ネットワークを情報源、各ノードに発生する交通をシンボル $(s_1, \dots, s_n)$ とする。そして各ノードで得られる情報量を、「あるノードで受け取る情報量は、そこで発生した交通が、他のノードに到達したことを知ったことにより受け取る量」と定義する。交通が他のノードに到達できるかどうかは、そこにリンクがあるかないかで決まるため、情報量はそのノードが持つリンクの本数に関する確率で表わされる。

ノード数を V 、各ノードからでるリンク数を L_i とすると、ノード i で発生した交通がノード j に到達したことを知る確率は、

$$P(s_j | s_i) = 1/L_i \quad (1)$$

であり、これによってもたらされる情報量 $AI(i)$ は、

$$AI(i) = - \sum_{j=1}^V P(s_j | s_i) \log_2 P(s_j | s_i) \\ = 1 \log_2 L_i \quad (2)$$

となる。そして、各ノードで交通の発生する確率は等しく $P(s_i)$ であるとすれば、このネットワークにおけるエントロピーは、

$$H(S) = \sum_{i=1}^V \{P(s_i) AI(i)\} \\ = \sum_{i=1}^V \left(\frac{1}{V} 1 \log_2 L_i \right) \quad (3)$$

となる。また、ネットワークが2つ以上の部分グラフに分離している場合を含めて、ネットワーク内でノードが生起する確率を全体のノード数 V に対する、各部分グラフに含まれるノード数 V_i の割合として表す。

$$H(S) = \sum_{i=1}^v \frac{V_i}{V} \cdot \frac{1}{V} \cdot 1 \log_2 L_i \quad (4)$$

ネットワークのエントロピーは、一般的にリンク数やノード数が多いほど大きな値をとる。ここで、交通網としての道路ネットワークの完成度を評価するために、平面グラフ型完全連結ネットワークのエントロピーを基準にしたエントロピー連結性指標を以下に定義する。

$$Hr(S) = \frac{H(S)}{Hp} \quad (0 \leq Hr(S) \leq 1) \quad (5)$$

ここに、 $Hr(S)$ ：エントロピー連結性指標

Hp ：完全グラフのエントロピー

3. リンクの機能評価

ネットワーク全体の評価の次に、ここではネットワークを構成するリンクの機能評価を行う。通常のネットワークを元ネットワーク、リンクが1本通行不能になったネットワークを第1ネットワーク、2本のときを第2ネットワークと呼ぶことにし、それぞれの状態におけるネットワークのエントロピーからリンクの重要性、冗長性および必要性という概念を導入する。

リンクの重要度とは、仮にそのリンクが通行不能となったときにネットワークに及ぼす影響を評価したもので、次式により求める。

$$I_{ij}(S) = 1 - (Hr'_{ij}(S) / Hr(S)) \quad (6)$$

リンクの冗長度とは、他のリンクが通行不能なときの迂回路としての機能を評価したもので、次式により求める。

$$R_{ij}(S) = 1 - (Hr''_{ij}(S) / Hr'(S)) \quad (7)$$

リンクの必要度とは、重要度、冗長度を総合的に評価したもので、次式より求まる。

$$N_{ij}(S) = 1 - (Hr'_{ij}(S) / Hr(S)) \quad (8)$$

ここで、 $Hr(S)$: 元ネットワークのエントロピー
 $Hr'(S)$: 第1ネットワークのエントロピー
 $Hr''(S)$: 第2ネットワークのエントロピー

4. ケーススタディ

(1) ネットワークの評価

図-1 (A)～(E)のネットワークを用い、エントロピーによるネットワーク評価の有効性を考察する。また計算結果を表-1に示す。

サンプル(A)と(B)の比較をすると、回路ネットワークである(B)の方が優れていると言える。(A)には分岐があり、そのリンクが通行不能になったときの代替路がないためである。しかしノード数、リンク数が同一なため、グラフ理論による指標ではこの2つの違いを区別できていない。

またサンプル(B)と(D)の比較では、同じ回路ネットワークでも(D)の方が規模が大きくノードペア間の距離が増加してしまうため、(B)の方が優れていると言えるだろう。これはグラフ理論、エントロピーのどちらの指標でも同じ評価になっている。

サンプル(D)と(E)では明かに(D)の方が優れているのに、正しく評価しているのはエントロピー連結性だけである。

結果として、従来までのグラフ理論の評価に対し、エントロピー連結性はリンクの分布の違いも評価できることが確認できた。

(2) リンクの評価

図-2 (A)をサンプルとして評価を行い、リンク機能の評価結果を図-2 (B)に示した。

リンク必要度の最も高いのはノード③-⑦の間のリンク8である。リンク8は樹枝ネットワークとな

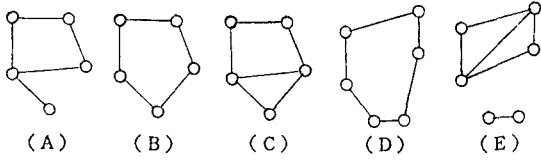


図-1 サンプルネットワーク

表-1 グラフ理論とエントロピーによる評価

モデル	グラフ理論による指標			エントロピー連結性
	α 示数	β 示数	γ 示数	
(A)	0.20	1.0	0.56	0.50
(B)	0.20	1.0	0.56	0.55
(C)	0.40	1.2	0.67	0.67
(D)	0.14	1.0	0.50	0.50
(E)	0.29	1.0	0.50	0.29

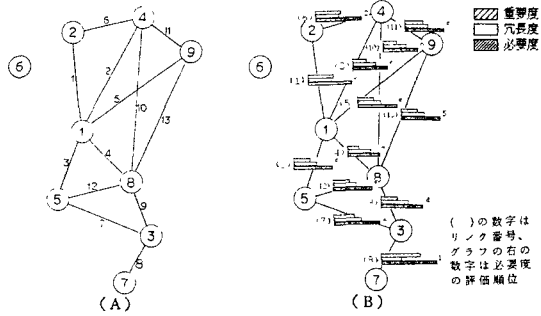


図-2 サンプルネットワークとリンクの評価結果

っているもので、一旦通行不能となれば孤立ノードを発生させるリンクであり、回路ネットワークを構成するようなリンクの増設が望まれる。

次にリンク必要度が高いのは、リンク1と6、7と9のように2本のリンクが通行不能になるとネットワークを分断するリンクである。逆にリンク必要度の低いのは、リンク4のように複数の回路ネットワーク(2-4-10, 3-4-12, 4-5-13)を構成するリンクである。これは、当該リンクが通行不能になっても他の回路ネットワークが代替路となるためである。

以上の結果より、エントロピーを用いてリンクの機能評価ができたと言える。

5. むすび

本研究ではエントロピーの概念を用いて道路ネットワーク、リンクの評価を行った。その結果、従来の評価法より有効であることが確かめられた。

今後は距離による抵抗や、人口の影響を考慮したより実的な適用方法の検討を行う予定である。