

IV—5

幹線道路網におけるネットワークリンクの評価

秋田大学 正員	清水 浩志郎
秋田大学 正員	木村 一裕
東邦技術 正員	綾部 正彦
秋田大学 学生員	○坂本 宗也

1. はじめに

幹線道路網をグラフ理論から評価する際に、そのネットワークがどれだけ発達しているかは、単に都市と都市の連携の多さ（連結性能）からだけではなく、リンクがどのような分布状態の時に効率的なネットワークを構成しているかを評価する必要がある。

本研究は、ネットワークの連結性とリンク分布状態と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、それをもとにネットワークにおける個々のリンクの重要性、冗長性および必要性について評価することを目的とする。

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

道路網へのエントロピー導入にあたり、Shannonの情報理論におけるエントロピーの概念にふれる。

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る。これは、その事柄の生起する確率によって決まる。このときの事柄をシンボルと呼び、シンボルの集団を情報源という。

そしてエントロピーは、一連のシンボルが生起したときのシンボルあたりの平均情報量で定義される。

(2) 道路網のエントロピー連結性指標

以上のようなエントロピーを道路網の連結性に加え、リンクの分布状態を含めた評価のできる指標として導入する。リンクの分布状態を1つのノードから到達可能な他のノードの数の多様さをエントロピーで測ることにより評価しようとするものである。

いま、情報量を「あるノードで交通が発生し、他のノードへ到達したことを知ったときに受け取る量」とするなら、あるノードで発生した交通はシンボルであると考えられ、この交通の発生する確率で情報量は決まる。交通は、ノードペア（ノード間の連結）が構成されていない場合には発生し得ないから、その発生確率はそのノードが構成するノードペア数に依存する。そのことは以下のように定式化される。

ノード数 v の道路網のノード i は、任意のトポロジカルな距離 δ で、 $L_i(\delta)$ 組のノードペアを構成し

ている。ノード i で発生した交通が他のノード j に到達したことを知る確率は、

$$P_{\delta}(S_j | S_i) = 1 / L_i(\delta)$$

であり、これによってもたらされる情報量は、

$$\begin{aligned} A I_{\delta}(i) &= - \sum_j^v P_{\delta}(S_j | S_i) \log P_{\delta}(S_j | S_i) \\ &= \log L_i(\delta) \end{aligned}$$

となる。つまり、各ノードの情報量は、そのノードに接続するリンク数で表される。

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

$$\begin{aligned} H(\delta) &= \sum_i \{ P(S) A I_{\delta}(i) \} \\ &= \sum_i \{ P(S) \log L_i(\delta) \} \end{aligned}$$

となる。すなわち、エントロピーは、各ノードにおけるリンクの分布状態を表現しており、リンクの分布が均等なときにエントロピーは最大となる。さらに本研究では、完全グラフ（すべてのノードが連結している）のエントロピーを基準にした相対エントロピーを考える。これによって、エントロピーは0から1の間に表されるようになり、ネットワークの規模に左右されることなく評価できる。

$$Hr(\delta) = H(\delta) / H_p$$

ここで、 $Hr(\delta)$: 相対エントロピー

H_p : 完全グラフのエントロピー

3. リンク評価

道路網のリンク機能は、そのリンクが通行不可能になったときネットワークに及ぼす影響から評価される重要性和、他のリンクが通行不可能になったとき迂回路としての重要性から評価される冗長性、この重要性和と冗長性の2つを総合的に評価するための必要性和と考えられる。これらは任意の距離 δ で以下の方法により評価する。

リンク重要度とは、通常のネットワークのエントロピー $AI_{ij}(\delta)$ から評価の対象となるリンクを取り除いた第1ネットワークのエントロピー $AI'_{ij}(\delta)$ の変化率であり、次式により求まる。

$$I_{ij}(\delta) = 1 - (AI'_{ij}(\delta) / AI_{ij}(\delta))$$

リンク冗長度とは、第1ネットワークのエントロピーと対象リンクを含む2本のリンクを取り除いたときの第2ネットワークのエントロピーの平均値 $AI'_{ij}(\delta)$ の変化率であり、次式により求まる。

$$R_{ij}(\delta) = 1 - (AI'_{ij}(\delta) / AI_{ij}(\delta))$$

リンク必要度とは、通常ネットワークのエントロピーと第2ネットワークのエントロピーの平均値との変化率であり、次式により求まる。

$$N_{ij}(\delta) = 1 - (AI'_{ij}(\delta) / AI_{ij}(\delta))$$

4. ケーススタディ

(1) ネットワークの評価

図-1 (a)～(d)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した。

その結果を表-1に示す。

ここで、サンプル(a)～(b)の比較から同一ノード数同一リンク数では、既存の示数では等しい評価を下しているが、エントロピーでは(b)の方が優れていると評価している。これは(b)が全てのリンクが巡回できる回路ネットワークを構成しているのに対し、(a)は分岐があり、そのリンクが通行不可能になったときの代替路が無いためである。

また、サンプル(b)～(d)を比較すれば、同一リンク数ではノード数の少ない方が優れているという評価を得た。同じ回路ネットワークでも(d)の方が規模が大きいためにノードペア間で要する距離が増加するためと考えられる。

これより、従来までの連結性の評価に対し、エントロピーはこれと置換し得る傾向を持つ上、分布による評価を含んでいることが確認できた。

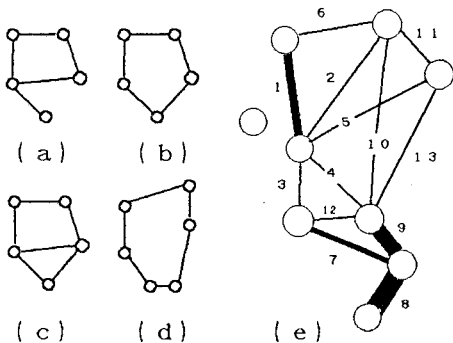


図-1 サンプル ネットワーク

表-1 グラフ理論による指標とエントロピー

モデル	グラフ理論による評価			エントロピー 連結性
	α 示数	β 示数	γ 示数	
(a)	0.167	1.0	0.5	0.4585
(b)	0.167	1.0	0.5	0.5000
(c)	0.333	1.2	0.6	0.6170
(d)	0.100	1.0	0.4	0.4307

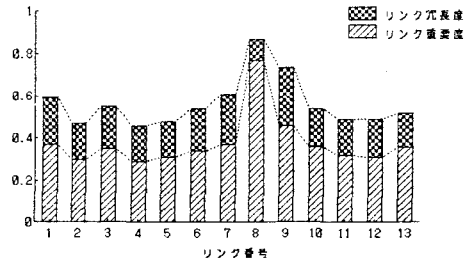


図-2 図-1 (e)を用いた分析結果

(2) リンクの評価

東北6県に適用し、図-1 (e)をサンプルとして評価を行い、その結果を図-2に示した。

まず、リンク8のリンク必要性の突出が目立つ。これは、リンク8が回路ではなく樹枝ネットワークを構成するためである。代替路が無いため、一旦通行不可能となれば孤立ノードが発生するので、回路ネットワークを構成するようにリンクの増設が望まれる。

ついでリンク必要性が高いのは、リンク1, 7, 9の様な1つの回路ネットワーク(1-2-6, 7-9-12)を構成するリンクである。この場合、通行不可能になると回路ネットワークは分岐した樹枝ネットワークとなり、連結性を低下させるからと考えられる。

逆にリンク必要性の低いのは、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、このリンクが通行不可能となった場合にも回路ネットワークが存在し、代替路が確保されるためである。

以上のことより、エントロピーを用いてリンクの総合的な評価をすることができたといえる。

5. むすび

本研究では、エントロピーの概念を道路網に導入し、それよりネットワーク、リンクの評価を行った。

その結果、エントロピーが簡便であり有効な評価手法であることが確かめられた。今後、距離による抵抗や、人口の影響などを考慮したより実的な適用方法へ検討を進める必要があると考えられる。