

ノード間距離指標を用いた道路網の構成法

Network Constitutional Method Using the Inter-Nodes Distance Index

外井哲志*・吉武哲信**

Satoshi Toi and Tetsunobu Yoshitake

1. はじめに

道路網の形態評価では、交通量の大小や混雑状況のみにとらわれず、道路網の連結による移動の可能な地域の拡大、およびそれに伴った道路網内の各地域のポテンシャルの増大と均等化など、道路網の整備が地域の均衡ある発展にどのように貢献できるかという観点が重要である。このため、道路網全体の評価値の開発が中心課題となり、この場合、地域間の距離（または時間距離）が重要な評価の要素となる場合が多い。

形態評価に関する従来の研究は、目的により大きくは次のように分類できる。まず、第1には、道路網の幾何学的な構成論として、ホートンの法則¹⁾やフラクタル次元の適用²⁾がみられる。第2に、都市間の連係と交流の立場からの整備水準評価として、広域性指標の提案³⁾やグラフの連結性による道路網の階層性⁴⁾などがあり、第3に、都市道路網の整備水準評価として、ノード間距離指標⁵⁾や移動の効率性を用いた道路網形態の都市間比較⁶⁾などがある。第4に、道路網全体に対するリンクの重要度の評価として、距離地位指数の提案⁷⁾、地域の階層構造の評価⁸⁾がある。

このように、これまでの研究では、道路網特性の分析による評価が中心であり、形態論の立場から道路網整備の方針（整備順位など）を明確にするための方法論は未だ確立されていない。本研究では、形態評価の1指標であるノード間距離指標を用いて、次の段階に整備すべきリンクを抽出する方法の開発を試みるものである。以下では、リンク抽出法の考察、そのアルゴリズムの作成と、これを用いた簡単な道路網での計算例を示している。

2. ノード間距離指標について

著者らは、道路網上のあるノードから他のすべてのノードまでの最短距離の平均値と標準偏差を対にして“ノード間距離指標”と称している。さらに、これを道路網全体に関して集計すれば、道路網全体の“ノード間距離指標”となる。

このように“ノード間距離指標”は、ノードレベルでは、直接的にはそのノードの他ノードへの平均的なアクセスの容易さとその偏りの程度を表し、間接的にはその道路網が存在する地域での相対的な移動の利便性（開発ポテンシャルの一種）を表わすものと考えられる。一方、道路網のレベルでは、平均的な移動の効率性とその地域内格差に関する評価指標であると解釈できる。

ノード間距離指標は、こうした道路網の機能面以外にも、①面積、リンク数、ノード数が等しく、形状のみ異なった道路網の間でも異なった値をとること、②道路網の規模の大きさに敏感であるが、③道路網の半径などの規模を表す指標で標準化することによって、規模の異なる道路網間での形態比較にも利用できる⁹⁾など、道路網形態を表現する能力に特徴がある。

3. 道路網に新設すべきリンクの抽出法

(1) リンク新設によるノード間距離指標の変化

リンクの新設によって、道路網全体のノード間距離指標がどのように変化するかを調べよう。この際、既存の道路網のリンク、ノードと新設リンクの位置関係によって、図-1のように、新設リンクが(a)他のリンクと交わらない場合、(b)他のリンクと交わる場合、(c)ノードを通過する場合、に分けて考察する。

(a) 新設リンクが他のリンクと交わらない場合

キーワード：交通計画、道路計画、交通計画評価
* 正会員、工博、九州大学工学部（福岡市東区箱崎6-10-1、TEL 092-641-1101、FAX 092-651-0190）、** 正会員、工博、九州産業大学工学部（福岡市東区松ヶ台2-3-1、TEL 092-673-5692、FAX 092-673-5699）

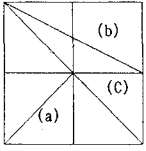


図-1 新設リンク

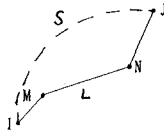


図-2 他のリンクと交差しない場合

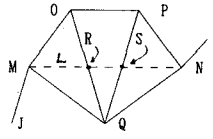


図-3 他のリンクと交差する場合

いま、道路網の中でノードM, NをリンクLで結合した場合の最短経路の変化を調べる。図-2のように、MとNを除くノードの中から任意の2ノード(I, J)を選び、IJ間の最短経路がS(距離 d_{IJ})である場合を考える。リンクL(長さ l_{MN})を接続したときに最短経路が変化するための条件は、経路Sよりも経路I-M-N-Jが短くなることである。すなわち、

$$d_{IM} < d_{IN}, d_{JN} < d_{JM} \quad (1)$$

とすれば、上記の条件は次式(2)で表される。

$$d_{IJ} > d_{IM} + l_{MN} + d_{NJ} \quad (2)$$

式(1)が成立しない場合も考慮すれば、IJ間の経路がMNを通過するときの最短距離は、一般に次式(3)で表される。

$$d_{IJ}' = \min(d_{IM} + l_{MN} + d_{NJ}, d_{IN} + l_{MN} + d_{MJ}) \quad (3)$$

したがって、リンクMNの新設によるIJ間の最短距離の減少量 Δd_{IJ} は、次式(3)で表される。

$$\Delta d_{IJ} = d_{IJ} - d_{IJ}' \quad (4)$$

これをMとNを除くすべての(I, J)について総和すれば、MN間をリンクで直結した場合の道路網のノード間距離の総減少量が次式のように得られる。

$$\Delta D_{MN} = \sum_{(I, J)} \Delta d_{IJ} \quad (5)$$

(b) 新設リンクが他のリンクと交わる場合

新設リンクが他のリンクと交わる場合には、新たなノードが発生するので、最短経路の構造が部分的に変化する。図-3でリンクMNを新設すると、ノードR, Sが新たに生じ、このときIJ間の最短経路がI-N-P-O-M-JからI-N-S-R-M-Jに変化するとする。この場合にも、ノードR, Sを経由する経路は経路R-Sを除けば、すべてRとSの1リンク外側のノードを経由することになるから、これらのノードで構成された部分道路網のノード間で最短経路を求めておけば、道路網全体の最短経路構造の変化に対応できる。例えば、MNOPQRSを部分道路網とすると、

その外側のノードIとJの間の最短経路がRまたはSを経由するならば、M, N, O, P, Qのうちいずれか2つのノードを必ず経由しなければならない。PとQを経由するとすれば、IP間、JQ間の最短距離 d_{IP} 、 d_{JQ} に加え、RまたはSを経由することを許したPQ間の最短距離 d_{PQ}' を用いて、すべての(P, Q) $\in \{M, N, O, P, Q\}$ の組合せについて、

$$d_{IJ}' = d_{IP} + d_{PQ}' + d_{QJ} \quad (6)$$

計算し、その最小値を求めれば、RまたはSを経由することを許した場合のIJ間の最短距離を求めることができる。したがって、既存のノードに関するノード間距離の総減少量は、式(6)で求めた d_{IJ}' の最小値を式(4)に代入して式(5)によって求めればよい。

ただし、①既存ノードと新設ノード(R, S)との間の距離、および②新設ノード相互間の距離が加わるので、これらを考慮する必要がある。

①に関しては次式の値を計算し、その最小値を求めればよい。

$$d_{IR} = d_{IP} + d_{PR} \quad (7)$$

ここに、 $P \in \{M, N, O, P, Q\}$

②は、 d_{RS} である。

よって、新設ノードも含めた場合のノード間距離の総減少量は、

$$\begin{aligned} \Delta D_{MN}' &= \sum_{(I, J)} (d_{IJ} - d_{IJ}') \\ &= \sum_I \sum_{R \in (R, S)} \sum_{P \in (M, N, O, P, Q)} (d_{IP} + d_{PR}) \\ &\quad - d_{RS} \end{aligned} \quad (8)$$

となる。ノード間距離平均値は、新設ノードも含めたノードペア数で除することによって求められる。

(c) 新設リンクがノードを通過する場合

新設リンクがノードを通過する場合には、新たなノードの発生はないが、新設したリンクが通過ノードの位置で複数に分割され、複数本のリンクを新設したのと同じ効果を生む。このため、(b)の場合と同様に部分道路網の最短経路の探索を行う必要がある。それ以降の考察は、新設ノードに関する部分を除けば、(b)の場合と同様である。

(2) 新設リンクの抽出アルゴリズム

新設リンクの抽出アルゴリズムを図-4に示す。

MN間の直結リンクを仮定し、これが他のリンク

と交差するか否かで処理方法が異なる。交差しない場合には左の流れとなり、I J間の経路がリンクMNを通過する場合の最短距離 d_{IJ}' を求め、それがリンク新設前のI J間の最短距離 d_{IJ} よりも小さい場合のみ、その差を距離短縮量として ΔD_{MN} に累加する。交差する場合には、部分道路網を作成してそれを構成するノード間の最短経路探索を行い、I J間の経路が新設リンクまたは新設ノードを通過する場合のI J間の最短距離 d_{IJ}' を求め、 d_{IJ} よりも小さい場合のみ、その差を距離短縮量として ΔD_{MN} に累加する。新設ノードが発生する場合には、それに由来するノード間距離の増加分を ΔD_{MN} から差し引く。最後に、ノード間距離の減少量 ΔD_{MN} が最大のリンクMNを求め、これを新設リンクとする。図-4中には記載していないが、単位延長当りの効果を求めるために、 ΔD_{MN} に代えて $\Delta D_{MN}/l_{MN}$ を用いる方法もあり、次の計算例ではこの方法を用いた。

4. 計算例

ここでは、簡単な格子型道路網と放射型道路網に前述の方法を適用した。

格子型については、図-5(a)の9ノード、12リンク(長さ1)の道路網を用いた。前述のアルゴリ

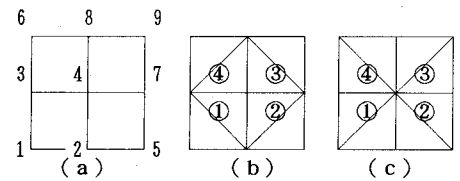


図-5 格子型の道路網とリンク新設順位

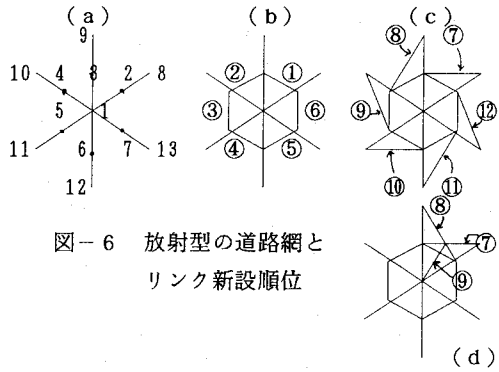


図-6 放射型の道路網とリンク新設順位

ズムで計算すると、2-3や1-4などの対角リンクが全く同じ評価値で抽出された。そこで、図-5(b)、(c)の2通りのケースでリンク設置順(図中の番号の順)に道路網全体のノード間距離指標を計算した。その結果を図-7(a)に示す。図-5(b)、(c)いずれのケースでも、リンクの新設に伴って平均値と標準偏差が直線的に減少しているが、(b)のケースよりも(c)のケースの方が、わずかではあるがノード間距離の平均値、標準偏差ともに減少の効果が高

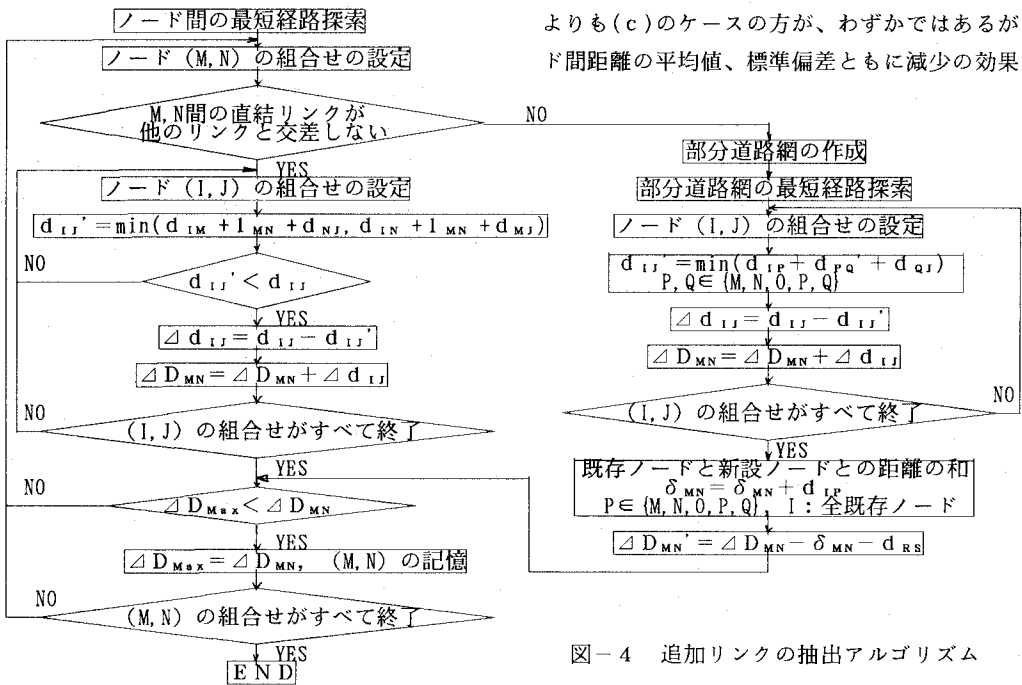


図-4 追加リンクの抽出アルゴリズム

