

ネットワーク特性を考慮した道路機能水準の 計量指標化に関する研究

MODELLING PERFORMANCE CRITERIA FOR HIGHWAY DEVELOPMENT WITH REFERENCE TO NETWORK CHARACTERISTICS

岡田憲夫*・田中成尚**

By Norio OKADA and Naruhisa TANAKA

By use of sociometric indices from graph theory, the paper presents three mathematical models for measuring performance levels of highway networks.

The first model, called "status index with respect to section" or SIS, is intended to indicate explicitly the performance level of a particular section (link) between two major crossings (nodes), relative to the aggregate performance levels of the entire network, of which the section is part.

The second model, called "status index with respect to route" or SIR, aims to indicate explicitly the performance level of a particular route, relative to the aggregate performance levels of the entire network, in which the route is a chain of particular sections. The third one, called "status index with respect to its role in route formation or "SIRF", explicitly indicates the importance of a particular section, relative to the entire network, measured in terms of the increment in the shortest distance for a given OD pair when the section is removed.

With a case study performed for the highway network in the eastern part of Tottori prefecture, it is shown that the proposed models will appropriately serve the intended purposes when applied in practice.

Keywords: highway network, performance criteria, sociometric indices

1. はじめに

道路網の整備水準や整備効果に関する研究はこれまでに種々の角度から数多くの研究が展開され、注目すべき研究成果が発表されている。たとえば、実際の道路行政に携わる建設省道路局や同土木研究所の一連の研究^{1)~8)}が多元的かつ網羅的な研究成果を提示している。また、清田ら⁹⁾の優先度と整備度とを結びつける考え方、古庄ら¹⁰⁾の交通至便率と関連づけるアプローチ、佐藤ら¹¹⁾の道路交通力指標として整備度を定義する考え方などが興味深い。黒川¹²⁾はモデル・スタディを通じて、都市の市街地形成と道路整備水準との関連性について実証的に研究している。一般に道路の機能は、①交通機能（トライック機能とアクセス機能）ならびに②空間機能に分けるか⁵⁾あるいは空間機能をさらに土地利用誘導機能と空間利用機能に分類できる⁶⁾。上述の各種の研究は道路ネットワークに関するこれらの諸機能のうち特定の1つに着目して、その具体的特性を的確に計量指標化すること

とをねらったもの（個別指標開発型）や、逆にそれらの諸機能を包括的に計量化しようとするもの（総合指標開発型）に分けられよう。あるいは個々の道路の整備水準ではなく、対象とする道路ネットワーク全体の整備水準を導き出そうとする試みも一種の総合指標開発型アプローチといえよう。

本研究ではこれらの各種の研究成果をふまえるが、次のような視点から新しい展開を試みる。すなわち道路ネットワークがますます複雑になっている昨今、個々の道路の整備水準の評価自体が単独ではもはや行えず、むしろそれが対象道路ネットワーク全体の中でどのような役割を果たしているかを知ったうえで、その相対的な位置づけを明らかにする必要があると考える。ついで各道路が形成する位相的接続構造と各道路の「線的機能特性」に着目する。なおここでいう「線的機能特性」とは各道路（路線や道路区間）を線分としてみた場合の機能特性、すなわち当該道路（リンク）に対応づけられる特性値で、交通機能や空間機能を間接的に代表すると考えられるものを指している。具体的には当該道路の延長距離、幅員、車線数などのいわゆる物理的特性値を表わす場合のほかに、その沿線の地域経済活性度、当該道路の利用レベル依存度、アクセシビリティ等で代表させることも可能で

* 正会員 工博 鳥取大学教授 工学部社会開発システム工学科

(〒680 鳥取市湖山町南4-101)

** 正会員 工修 (株) 日水コン
(〒530 大阪市北区万才町3-20 北大阪ビル)

ある。ネットワーク全体における各リンクの位置づけを直接規定する代わりにその両端の各ノードの位置づけを計量化することを考えるならば、問題はまさに計量社会学における構成員の集団（社会）における位置と関係の社会測定（ソシオメトリー）問題に対応づけられる。そこで本研究では社会測定における「地位指数」が道路ネットワークの整備水準の指標のモデル化にも援用できることを示す^{13)~16)}。なお、以下では「路線地位指数」や「区間地位指数」等の用語を用いるが、これは個々の路線や道路区間が対象道路ネットワーク全体の整備水準とのかかわりで相対的にどのような位置（地位）にあるかを明示することを意図している。

2. モデル化

(1) 区間地位指数

a) 基本モデル

対象圏域内における区間道路の相対的評価を行う指数として「区間地位指数」を定義する。以下 Fig.1 の道路網を対象にしてその算定方法を具体的に説明する。

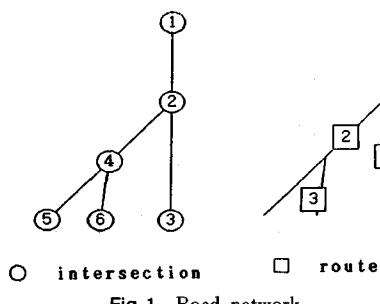


Fig. 1 Road network.

① 交差点をノードに、また交差点間の各道路をリンクとみなすことによって対象道路ネットワークを Fig. 2 のように有向グラフで表わす。

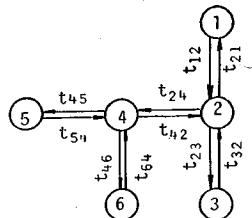


Fig. 2 Intersection-node digraph.

② 起点としてのノードを行に、着点としてのノードを列にとった行列を考える。いまノード i と j が直接に隣接していればこの行列の (i, j) 要素に t_{ij} の値を入れる。もしそうでなければ同じ要素に 0 を入れる。ここに t_{ij} は各道路区間 (i, j) の基準化線的機能特性値

である。これは道路ネットワークを構成するすべての道路区間について線的機能特性値（たとえば幅員）の最大値を求めて、この値で当該道路区間 (i, j) の線的機能特性値を除して基準化したものである。よって t_{ij} は 0 と 1 の間の値をとる。これは一種の隣接構造を表わす行列 (incident matrix) であり、接続の有無のみならずその強度を t_{ij} なる重みで代表させていると解釈できる。Fig. 2 の有向グラフの場合これは次式で表わされる。

$$X_c = \begin{pmatrix} 0 & t_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_{21} & 0 & t_{23} & t_{24} & 0 & 0 \\ 0 & t_{32} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & t_{42} & 0 & 0 & t_{45} & t_{46} \\ 0 & 0 & 0 & t_{54} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & t_{64} & 0 & 0 \end{pmatrix} \dots \quad (1)$$

③ この行列 X_c を用いて、各道路区間がそれぞれ 2 次的に（1つのノードを介して）接続、3 次的に（2つのノードを介して）接続、……、 k 次的に（ $k-1$ 個のノードを介して）接続している程度（接続の有無とその結びつきの度合）を計量化することを考える。すなわち、行列 X_c の 1 乗、2 乗、……、 k 乗にその相対的重要性度を表わす係数 $a_{c1}, a_{c2}^2, \dots, a_{ck}^k$ を乗じてその和を考えることにより、行列 V が式（2）のように定義される。

上式において \hat{X}_c^k の (i, j) 要素の値はノード i から $j \rightarrow k$ 段階で到達する冗長でない（同じ交差点を 2 度以上通らない）経路の特性値を表わすもので、 k 個の区間の特性値の積で表わされる。以下では $k=4$ とし、行列のベキ乗の計算で同じノードが 2 つ以上現われる要素の積の演算はすべて除外するようなアルゴリズムを用いて、 \hat{X}_c^k に冗長な経路が含まれないようにした。したがって i から $j \rightarrow k$ 段階で到達する冗長でない経路が複数あるときは、 V は各経路の特性値の合計となるような性質を有する。また係数 a_c, a_c^2, \dots, a_c^k は対応する行列 $\hat{X}_c, \hat{X}_c^2, \dots, \hat{X}_c^k$ のベキ数に応じて影響が a_c （一定）の割合で減じていくと考えている。 a_c の値の設定の仕方はいろいろ考えられるが、ここでは各ノードに接するリンク数の最大値の逆数とする。これは、接続するリンク数が最大のノードを基準にして、そのノードから接続するリンクが等分の機能分担をし、そのような接続リンク数が多いほどその相対的な重要度が小さくなるという想定に基づいている。

④ t_{ij} が幅員である場合を例にとって式(2)の意味づけについて考える。各道路区間は隣接するノードを経てさらにそれに隣接するノードにというふうに順々に他のノードにその影響が伝播する。たとえば、ある道路区間の幅員が増してその疎通性が向上したとすれば、その効果は隣接する道路区間の連鎖上を減衰しながら次々

と伝播していくであろう。その場合、各ノードから分岐するリンクはそのノードから同時に分岐する他のリンクの数が少ないほど機能分担の重要度は高く、また道路区間（リンク）の線的機能特性値（幅員）が大きいほど伝播力は大きいと考える。さらに、これらの伝播力や機能分担の影響力は相乗効果をもつが、経由するノードの数が増大するにつれて指数的にその効果が減少すると仮定するのである。このように考えると式（2）の定式化が妥当化できるであろう。

⑤ 次式によってノード（交差点）の相対的重要度を算定する。すなわち

$$w_i = \sum_{j=1}^N v_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, N) \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

ここで w_i はノード i の相対的重要度、 v_{ij} は行列 V の (i, j) 要素、 N はノード数である。

⑥ ノード i と j の間のリンク (i, j) の区間地位指数 (status index with respect to section, SIS) はノード i と j の相対的重要度の平均値とする。すなわち

$$SIS_{ij} = (w_i + w_j)/2 \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

$$(i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, N)$$

式（4）で定義した SIS_{ij} は道路区間 (i, j) の対象道路ネットワークにおける相対的重要度を表わすもので接続性のよいリンクほど、すなわち当該ノードに接続するリンク数が多いほど高く評価される。また道路区間の線的機能特性値の値が大きいほど機能水準が高いよう設定すると、この特性値が大きい値をとるほどこの指數も高い値をとることになる。

b) モデルの補正

上で示したモデルの1つの欠点は対象ネットワークの境界に位置するノードの区間地位指数が過小評価される傾向があるということである。そこで囲域外の交差点に直接接続している囲域外の交差点をダミーとして設けてこのダミーの交差点と囲域内の交差点との間の区間道路の基準化線的機能特性値に Δ_c なる補正量を与えることによって補正を行うことにする。この補正量を Fig. 3 を参考にして具体的に説明しよう。

Fig. 3においてリンク4-5に Δ_c なる補正量を与えるとこれによって増加する交差点1, 2, 3, 4の相対的重要度の増加量はそれぞれ $t_{12}t_{24}\Delta_c a_c^3$, $t_{24}\Delta_c a_c^3$, $t_{32}t_{24}\Delta_c a_c^3$, $\Delta_c a_c$ となる。またリンク1-2, 2-3, 2-4の区間地位指数の増加量は、それぞれ $t_{24}a_c^2(1+t_{12}a_c)\Delta_c$,

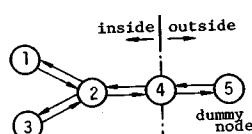


Fig. 3 Dummy intersection-node added digraph.

$t_{24}a_c^2(1+t_{32}a_c)\Delta_c$, $a_c(1+t_{24}a_c)\Delta_c$ となる。 t_{ij} と a_c の値はともに1より小さい値であるから、ダミーノードに到達する最短経路の段階が少ないと Δ_c による影響は大きくなることがわかる。補正量 Δ_c の考え方についてはいろいろ考えられるがその一例については4. ケース・スタディで述べる。

(2) 路線地位指数

a) 基本モデル

（1）の区間地位指数はネットワーク状に分岐結合した道路網を構成する個々の道路区間の評価には適しているが、道路区間から構成される各路線（ルート）の相対的な重要度を対象道路ネットワークとのかかわりから評価するには必ずしも適切ではない。そこでこのような評価法により有用な指標を提案する。以下、Fig. 1 の道路網を参考にして説明する。

① 路線をノードとみなし、路線間のつながりをリンクに対応させることにより道路網ネットワークを有向グラフで表わす。Fig. 1 より Fig. 4 が得られる。なお実際には路線自体の設定の仕方には何通りもあり得る。以下では道路管理行政上の路線区分に準じることを想定している。

② この有向グラフより隣接行列 B と、路線 i の基準化線的機能特性値 k_i （各路線の線的機能特性値をネットワーク全体の中で最大の値をとる路線の線的機能特性値で除し、1以下の値としたもの）を対角要素にもつ重み行列 C を作り、次式によって行列 X_r を算定する。Fig. 4 の場合 X_r は次のようになる。

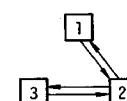


Fig. 4 Route-node digraph.

$$X_r = B \times C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_1 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & k_2 & 0 \\ k_1 & 0 & k_3 \\ 0 & k_2 & 0 \end{pmatrix} \dots \dots \dots \quad (5)$$

たとえばノード（ルート）1と2は相互に隣接し、一方から他方にアクセスできるのでこのことを評価するために、上式の右端の行列の(1, 2)要素および(2, 1)要素にそれぞれ k_1 , k_2 の値が入ることになる。

③ 区間地位指数の算定方法の③の場合と同様な考え方により行列 U を次式によって算定する。

$$U = C + a_r X_r + a_r^2 \hat{X}_r^2 + \dots + a_r^k \hat{X}_r^k \dots \dots \dots \quad (6)$$

④ 上記の行列 U より路線 i の地位指数、すなわち

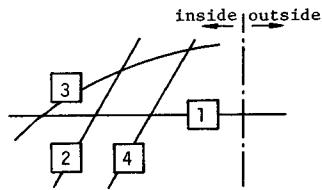


Fig. 5 Road network.

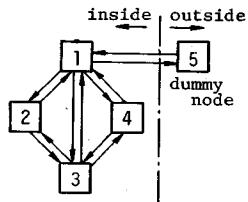


Fig. 6 Dummy route-node added digraph.

路線地位指数 (status index with respect to route, SIR) を次式によって求める。

ここで N はノード数(路線数), u_{ij} は行列 U の(i, j)要素である.

上述の方法によって求められる路線地位指数は当該路線の特性値とそれに接続する路線の特性値の大きさおよび接続性に依存し、この値が高い路線ほど対象圏域においてそれだけ重要であるといえる。

b) モデルの補正

この指標は圏域内の接続のみを考慮して評価するものであるが、この拡張として圏域外との接続をも考慮して評価するようにできることは、先の区間地位指標のモデル化の補正法のところで言及した考え方にならえば簡単に示される。以下このことを Fig. 5 の道路網図を参考にして説明する。

Fig.5 の道路網を有向グラフとして表わしたもののが**Fig.6**であり、ノード5は圏域外の都市あるいは路線を代表させたダミーノードである。このノードの線的機能特性値として Δ_r を与えると、路線1, 2, 3, 4 の増加は、それぞれ $a_r \Delta_r$, $(k_1 a_r^2 + k_3 k_1 a_r^2 + k_3 k_2 k_1 a_r^2) \Delta_r$, $(k_1 a_r^2 + k_2 k_1 a_r^2 + k_4 k_1 a_r^2) \Delta_r$, $(k_1 a_r^2 + k_3 k_1 a_r^2 + k_3 k_2 k_1 a_r^2) \Delta_r$ となる。これより、ダミーノードに直接接続しているノードのみでなく間接的に接続しているノードにも影響があることがわかる。さらに a_r , k_1 , k_2 , k_3 , k_4 の値は1以下の値であるから、影響の大きさはダミーのノードから到達できる最短経路の距離（最短経路を構成するリンク数）が大きいほど小さくなる傾向がある。

(3) 経路構成重要度(区間地位)指数

a) 基本モデル

各道路区間が道路ネットワーク全体に占める相対的重要性を、各ODに対する最短ルート構成上の重要度と関連づけて計量化する方法について説明する。このような観点から、以下では、任意のリンク（道路区間）が通行不能となった場合におけるすべてのノード（交差点）から他のすべてのノードへ到達する最短距離と、それが正常であった場合の同様な最短距離を比較し、後者を前者で除した比を1から引いた値（当該リンクが通行不能になったために生じるOD(i, j)の最短経路の増分）のすべてのODペア(i, j)に関する総和を考える。これはODの最短経路構成上の相対的重要性に関する区間地位指数といえる。そこでこれを経路構成重要度(区間地位)指數(status index with respect to role of section in OD route formation, SIRF)とよぶ。これを定式化すれば次のようになる。

$$SIRF_{ijr} = \sum_{i=1}^N \sum_{i=1}^N (1 - MD_{ij}/\overline{MD}_{ij}^{(j,r)}) \dots \dots \dots (8)$$

ここで $SIRF_{ij}$ はリンク (i', j') の距離地位指数, MD_{ij} は全リンクが通行可能な場合のネットワークにおけるノード i から j への最短距離, $\overline{MD}_{ij}^{(i',j')}$ はリンク (i', j') が通行不可能になった場合の同一 OD に対する最短距離 (ただし到達不可能な場合は $\overline{MD}_{ij}^{(i',j')} = \infty$ とする), N は対象ネットワークのノード数, M は対象ネットワークのリンク数である. したがって OD ペア (i', j') は M 個あることになる.

式(8)によって定義される $SIRF_{ij}$ の値が高い場合リンク ($i'j'$) はネットワークにおける相対的な重要度が高いことを示し、低い場合は相対的な重要度が低いことを示している。特にこの値が0のときは、そのリンクが通れなくなってしまっても（いかなるODに対しても）距離的増分がまったくないことを表わしている。また式(8)の中が1をとるときはそのODに対する（最短）経路が存在しないことを意味している。なお定義よりネットワークの各リンクが等しくある倍数だけ拡大（あるいは縮小）されても、 $SIRF_{ij}$ の評価値は不变であることが示されるが、これを相似なネットワークに関する同値性とよぶ。

なお清水・木村らは都市間の交通網の評価に際して各都市間の最短経路に着目した評価法を提案している¹⁸⁾。この手法は各都市間の最短経路を算定した後、個々のリンクを1つだけ取り除いたときの各ノード当たりの迂回数を求め、これを最短経路としての重要性を有する評価値とする方法である。この手法は本研究の経路構成重要度指数（SIRF）と基本的に同じ考え方（1つのリンクを取り除くことによって、そのリンクが道路ネットワーク全体に与える影響を評価する）に基づいた手法である。

前者は 1 ノード当たりの迂回数を評価値とするのに対し、後者 (*SIRF*) は距離的増分の比に着目するとともに、これを 1 から引いて 0 から 1 の間に基準化した評価値とする点で異なっているといえよう。また *SIRF* は次で示すような拡張を施すことにより適用性の範囲を広げることができる。

b) 修正モデル

上述した経路構成重要度指数 (*SIRF*) を求めるにあたっては各ノード間の OD 交通量を勘案して重みづけすることも可能である。実際、各ノードの利用頻度や効率性などを重視する立場からみれば、このような重みづけによる補正が合目的なこともあり得よう。そこで上述した経路構成重要度指数に OD 交通量を合わせ考慮した指標として修正経路構成重要度指数 (Modified *SIRF*, *MSIRF*) を次のように定義する。

$$MSIRF_{ij} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (1 - MD_{ij} / \overline{MD}_{ij}) T_{z_iz_j} / C_{ij} \quad \dots (9)$$

$(i \neq j)$

Z_i はノード i が含まれるゾーン、 N_{zi} はゾーン Z_i の中に含まれるノード数、 C_{ij} はゾーン Z_i 内のノードとゾーン Z_j 内のノードの OD ペアの数である。 $Z_i \neq Z_j$ の場合、 $C_{ij} = N_{zi} \times N_{zj}$ であり、このとき $T_{z_iz_j}$ はゾーン Z_i と Z_j 間の OD 交通量を表わす。 $Z_i = Z_j$ の場合、 $C_{ij} = N_{zi} \times (N_{zj} - 1)$ であり、このとき $T_{z_iz_j}$ はゾーン内交通量を表わす (ゾーン Z_i と Z_j 間のすべての OD ペア (i, j) が OD 交通量 $T_{z_iz_j}$ を均等に分担すると考えると $T_{z_iz_j} / C_{ij}$ はこのような 1 つの OD ペア当たりの OD 交通量とみなすことができる)。

3. 経路構成重要度指数の基本特性に関するモデル分析

上で定義した経路構成重要度指数がどのような特性をもっているかを解明する目的で以下に示すネットワーク・パターンを対象にしてモデル分析を行う。その際、Fig. 7～Fig. 11 に示すネットワーク・パターンを比較する。Fig. 7～Fig. 11において()の数字はそのリンクの距離を示している。また図中各リンクごとに表示されたもう 1 つの数値は経路構成重要度指数の値を示したものである。また各ネットワーク・パターンの全体的な整備水準の比較を行うために次式によって求められる代表値を計算し図中に示してある。

$$TSIRF = \sum_{ij} SIRF_{ij}, \quad ASIRF = TSIRF / M$$

なお各 OD に対する最短経路の算定にはミニマム・スパンニング・ツリー法を用いた¹⁹⁾。各ケースの計算結果を比較することにより、おおむね次のような結論を得た。

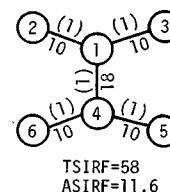
(a) Fig. 7 と Fig. 8 はリンク数がいずれも 5 個の道

路ネットワークであるが、端末のデッドエンドのノードに対して、これに直接隣接するノードがその他のノードから 1 個のみのリンクによって接続されているか (Fig. 7), 2 個の端末ノードにより接続されているか (Fig. 8) の違いがある。この場合、端末のデッドエンドのノードに接続するリンクの *SIRF* は Fig. 7 のネットワークの方が Fig. 8 よりも大きい値をとっている。つまり同じデッドエンドのノードに接続するリンクでもその直前のノードに他の隣接ノードから接続するリンクに代替するものがいるときは、その逆の場合に比して *SIRF* は高い値をとることがわかる。

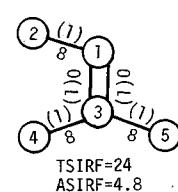
(b) 隣接するノード間にリンクが 2 つ以上ある場合そのリンクの値は低く評価される。これは相互のリンクが代替ルートとなり得るためである。つまり経路構成重要度指数は「代替不能度」からみた「経路構成上の重要度」を表す特性があるといえる (Fig. 8 参照)。

(c) Fig. 9 のような田の字型 (格子状) のネットワークにおいては、各リンクの距離が等しければ経路構成重要度指数はすべて同値であることがわかる。これは正方形の格子を構成する任意のリンクが通行不能となったときの代替ルートは常に残りの 3 辺より構成されるためである。

(d) 距離の短いリンクは高く評価される傾向がある。これは短いリンクほど距離的にみてそれに匹敵し得る代替リンクが少なくなるためである (Fig. 10)。一方 Fig. 11 は Fig. 10 において一番外側の 4 つの道路区間をすべてバイパスとみなし、そこでは Fig. 10 に比して倍の走行性で走れる (時間距離が半分になる) と考えたものである。この結果、外側の区間道路の *SIRF* が 0.8 から 2.0 に増加していることがわかる (Fig. 10, Fig. 11)



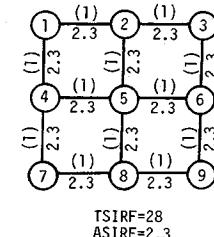
TSIRF=58
ASIRF=11.6



TSIRF=24
ASIRF=4.8

Fig. 7 Pattern 1.

Fig. 8 Pattern 2.

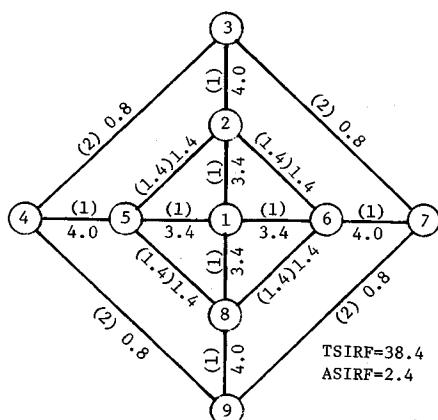


TSIRF=28
ASIRF=2.3

Fig. 9 Pattern 3.

参照).

(e) Fig. 10 に示すような十字型の放射道路に 2 つの環状道路ループが菱形に結合しているような道路網の場合、十字型放射道路を構成する各道路リンクは内側から外側に向かうほど経路構成重要度指数が高くなっている。これは内側の放射道路リンクが使えなくなったときに、これと比して距離の長い外側の環状道路のリンクを代わりに利用しなければならなくなるためである。また菱形環状道路を構成する各辺の道路リンクは、それと斜めに結合する十字型放射道路の内側のリンクと比して本指標は低くなっている。これは (d) で述べたように距離が短いリンクの方が本指標が高くなるという性質に起因している。Fig. 11 は外側の環状道路の各リンクの制限速度を 2 倍にし、通過時間（時間距離）を半分にしたものである。これより外側の環状道路リンクの本指標の値が Fig. 10 の結果と比して高くなっていることがわかる。また各リンクの SIRF の平均値 ASIRF の値も先の図と比して下がっており、各リンクの「ルート構成上の重要度」が全体的に低下していることがわかる。



—— ランク 2
- - - - ランク 1 (最小)

本図よりこの圏域の幅員を特性値に設定した位相構造は鳥取市街部を中心にしてランクが下がっていく構造となしていることがわかる。この傾向は国道 9 号、29 号、53 号についても例外ではないが、市街部の外では他の道路と比して境界部に近づくと値が減少していくことがわかる。そこで上述した区間地位指数の補正にならって補正を行った区間地位指数 H (幅員) を Fig. 14 に示す。ただし、ここでは補正量 Δ_c の値をダミーリンクに接続するリンクの幅員で代表させている。これは当該リンクを経てネットワークの外部に接続している各道路区間のうち、ほぼこのリンクに相当する規格 (主要国道) ののみを暗に勘案していることを意味する。この図より境界付近のリンクが約 1 ランク上がる形で補正が行われていることが確認できる。

次に、Fig. 15 は各道路リンクの幅員を線的機能特性値とし、その最大値と最小値の間を 4 等分して、この値のみでランク化したものである (したがって位相構造は

まったく評価されていない)。これより国道などの幹線は市街部かその郊外かを問わず高い値を示していることがわかる。これと先の Fig. 14 との結果を比較すると、幅員を線的機能特性値とした区間地位指数 (位相構造を考慮)の方が、位相構造を考慮しない場合に比して、ネットワークの接続性の高い地区 (特に市街部) とそうでない地区との機能水準の差をも明示的に評価できるという点で優れていることがわかる。ただし微視的には市街部がネットワークの中心にあるかどうかなどの地理空間的位置関係の相違も機能水準の差に影響するであろう。このほかに交通量 (K)、沿線人口 (P) および沿線生産施設の製造品出荷額 (S) を取り上げたが、ほぼ同様の結果を得た。ミクロにみるとその差は各道路リンクの線的機能特性を代表させる特性値の地域分布に関係しており、市街部とその外部との地域アクティビティの違いをより明示的に表わす P や K の方がそれだけ市街部とその外部との水準の差を強く浮きだたせる傾向があるといえる。

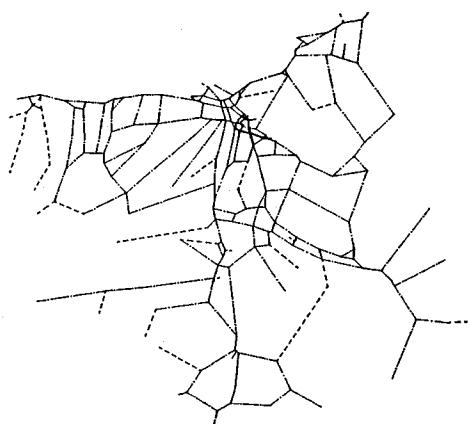


Fig. 14 Modified status index with respect to section (road width).

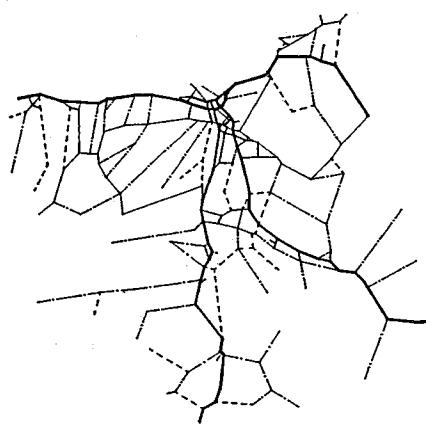


Fig. 16 Status index with respect to route (road width).

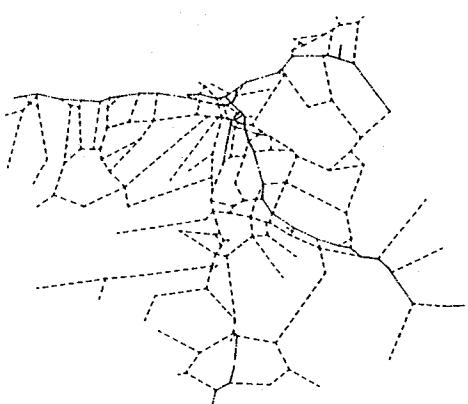


Fig. 15 Ranked network by road width.

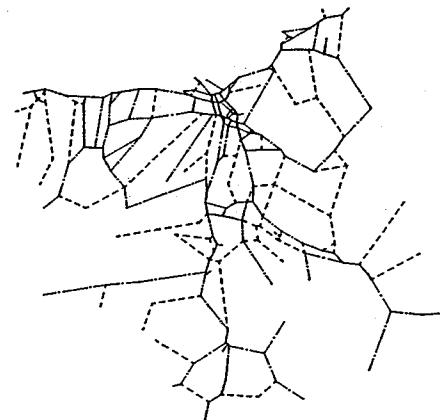


Fig. 17 Ranked network by route width.

(3) 路線地位指数の適用

Fig. 16 は式(7)で計算された路線地位指数 H (幅員)を指標化したものである。この図より国道9号線、23号線、53号線が最も高く評価され、次いでこれらの路線に接続する延長距離の長い路線、さらに、それらに接続する路線の順に評価されていることがわかる。次に**Fig. 17** は各路線の幅員を線的機能特性値としてランク化したものである。これと幅員を線的機能特性値とした路線地位指数の結果(**Fig. 16**)とを比較してみよう。**Fig. 17** の結果では**Fig. 16**で高く評価された国道9号線、29号線、53号線の評価値が相対的に低下し、他の路線の評価値とそれほど変わらなくなっていることがわかる。これより区間地位指数 H (幅員)を用いると単なる各路線個別の幅員のみの評価ではなく、接続性の高い路線とそうでない路線の機能水準の差を明示的に評価できるということがわかる。次に、線的機能特性値として交通量を用いて計算した路線地位指数 K (交通量)の結果について考える。この場合も、路線地位指数 H (幅員)とほぼ同様の結果が得られた。つまり国道9号線、29号線、ならびに53号線やこれに接続する延長距離の長い路線はそれ自体幅員も広くまた交通量が多いことに加えて、これらに接続する（特に交差する）他の路線が多いことが相まって上のような結果が得られたものと考えられる。

次に、**Fig. 18** は路線地位指数 P (沿線人口)の計算結果を示したものである（ここで線的機能特性値として表わした沿線人口は路線の通過する市町村の人口の合計とした）。これより、国道9号線、29号線、ならびに53号線の3つの路線と、市中心部から東西に延びる路線が最も高く評価されていることがわかる。また路線地位指数 S (沿線生産施設の製造品出荷額)もこれと同様な結果が得られた。これはおむね、上述の H (幅員)

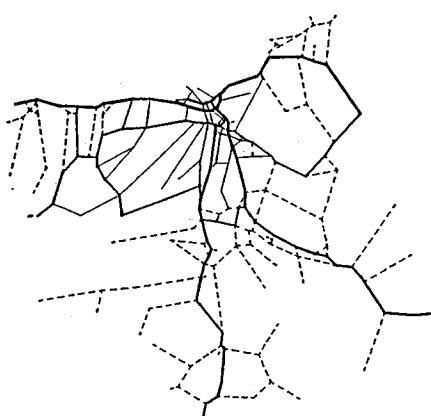


Fig. 18 Status index with respect to route (population along the route).

や K (交通量)に基づいて計算した路線地位指数の結果と傾向は類似している。すなわち、沿線の地域活性度という視点からみた場合、これらの路線はそれ自体でも高いが、これに加えて、それが地域活性度のかなり高い他の路線と直接・間接に接続している度合が高いことが明示的に評価されたものと考えられる。

(4) 経路構成重要度指数の適用

ケース・スタディとして鳥取市内の県道および国道をリスト・アップした道路ネットワークを取り上げる。

Fig. 19 はその概況を表わしたものである。図中の黒い丸印が計算に使用したノードであり、①～⑥の番号がOD交通量の対象となるゾーンを示している。また各ゾーン間のOD交通のデータは、昭和60年全国道路交通情勢調査（建設省中国地方建設局）のものを使用している²⁰⁾。各ゾーン間のOD交通量をTable 1に示す。

Fig. 20 はケース・スタディ域を対象にして、経路構成重要度指数を求めた結果を示している。図中、本指數の値を4ランクに分けてプロットしている。まず目につ

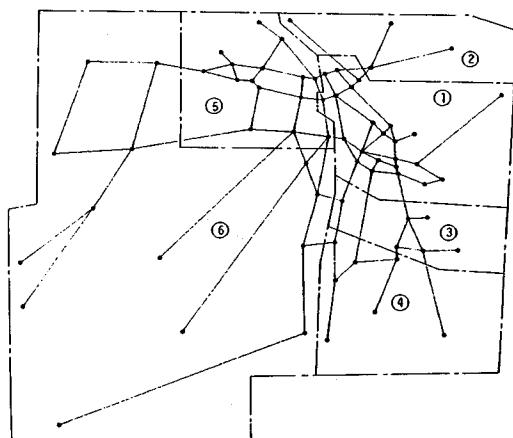


Fig. 19 Outline of road network of Tottori city.

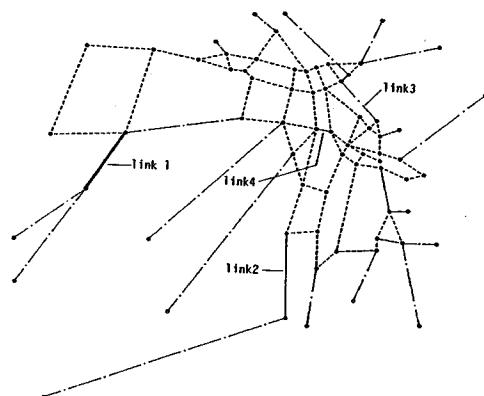


Fig. 20 Status index with respect to its role in route formation (Tottori City).

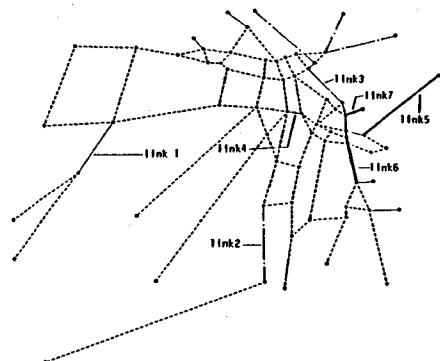


Fig. 21 Modified status index with respect to its role in route formation (Tottori City).

Table 1 OD tableau.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
87868	4714	13139	2336	26240	7490	(1)
	3016	344	210	2754	291	(2)
		3854	1087	3041	1594	(3)
			2510	1013	708	(4)
				25212	4834	(5)
					6812	(6)

くことは図中“link 1”と示されるリンクが他と比して格段に高い評価値（ランク 4）を示していることである。これは、このリンク通行不能となることによって、そのリンクにつながる 3 つのノードへの通行が不可能になることに起因している。また図中“link 2”で示されるリンクも同様な理由で高く評価（ランク 3）されていることがわかる。また“link 3”と“link 4”的評価値も高い。しかし、これらのリンクにはそれが通行不能となることによって到達不可能となるようなノードが存在しているわけではない。したがって、その主たる理由はむしろこの 2 つの経路が最短経路構成上きわめて重要な要素となっていることを求められよう。また、端末ノードを有するリンクはいずれもランク 2 と比較的高い値を示していることも特徴的である。

Fig. 21 は OD 交通量を勘案した修正経路構成重要度指数（MSIRF）を示したものである。これより SIRF が高く評価された“link 1”が MSIRF の場合には 1 ランク低く評価されていることがわかる。これはこのリンクを構成するノードを出発地（O）または到着地（D）とする OD 交通量が少ないとによる。“link 2”に関しても同様なことがいえよう。また逆に高く評価されるようになったリンクとして“link 3”, “link 5”, “link 6”および“link 7”が挙げられる。これらのリンクはいずれも、それらのリンクを構成するノードを出発地（O）または到着地（D）とする OD 交通量が多いゾーンに属しており、このことが加重係数として評価されたために

このような結果になったといえる。また SIRF ではすべてランク 2 と同じ評価であった端末ノードを有するリンクが MSIRF ではかなり変化していることがわかる。すなわち南西部（山間部）の当該リンクはさらに 1 ランク低く評価されている。これもやはり、これらのリンクを構成するノードを出発地（O）または到着地（D）とする OD 交通量が少ないとによる。

以上の結果より、SIRF は山間部などの比較的利用効率の高くなないノードに關係するリンクも、市内部の利用効率の高いノードも、区別なく取り扱うという立場（公平性重視の立場）を反映した評価指標であるといえる。これに対して、MSIRF は利用効率によって重みづけ補正をして各リンクを評価するという立場（効率性重視の立場）に立った指標であると結論づけられよう。

5. む す び

特定の道路区間の果たしている役割とその性能は単にその道路区間や路線自体の整備度では評価できない。むしろそれが構成している道路ネットワークの有機的な結びつきの中でどのような機能水準（地位）にあるかを明らかにしておかなければ道路ネットワークを構成する個々の道路の整備度の適正な評価につながらないであろう。このことは道路網整備がますます複雑化・大規模化の度合を増しつつある昨今、きわめて重要な計画的視点であろう。このような視点から本研究では道路（網）の整備水準を評価するための新しい指標として、区間地位指数、路線地位指数ならびに経路構成重要度指数の 3 つを提案するとともに、その基本的特性を明らかにした。すなわち、これらの指標はいずれも道路の路線や区間の機能水準を、それ自体が有している線的機能特性と、その有機的な接合構造（位相構造）の機能特性の双方を複合的にとらえた視点から評価するという目的で開発したものであるが、これらのモデルはいずれもこの目的に合致した基本的特性を有していることが示された。またこれらのモデルをケース・スタディ域（鳥取県）の道路網に適用し、その有効性を実証した。

具体的には次のような計画画面でこれらの評価指標が有効に利用できるであろう。

① 局所的にみて特定の道路区間や路線が機能上、比較的低い水準にあると判断されるものが、広域的にみると地域の道路ネットワーク構成上きわめて重要な役割を演じていることがよくある。本研究で提案した各指標はこのような場合に該当する道路区間や路線を特定したり、比較したりするうえで有用である。

② 局所的に特定の道路区間や路線を整備することが地域の道路ネットワーク全体の機能水準を高め、ひいては他の道路区間や路線の機能水準を高めることも事実で

ある。本研究で開発した各指標はこのような観点から局所的な道路整備が地域内の他の道路に及ぼす効果を計量評価するうえでも利用できよう。

なお提案したこれらの指標モデルはいずれもその計算がきわめて簡単であるので、現実の道路行政や計画に導入することは容易であると判断される。もちろん、実用化にあたっては、必要に応じてさらに簡便化を図ることも必要であろうし、また入力値としての線的機能特性値の設定の仕方も検討の余地がある。さらに上記の3つの指標のうち区間地位指数と路線地位指数は評価の対象を道路区間にとるのかそれとも連続する道路区間からなる路線にとるのかによって使い分けるべきであろう。経路構成重要度指数は一種の地位指数であるが、特定の道路区間のOD最短経路構成上の代替不能度を測定したいときに有効であろう。このように上記三指標は相互補完的な役割が期待できる。道路網整備計画においてはこれらの指標から得られた情報をさらに総合的に評価していくことも必要となろう。また、対象地域の境界の外にある道路網の影響を加味するための補正の方法等、技術的な検討課題も多い。付して今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 建設省道路局道路経済調査室：道路網の整備水準及び整備効果に関する調査研究, 第31回建設省技術研究会報告, 建設省, 昭和52年。
- 2) 建設省道路局道路経済調査室：道路網の整備水準及び整備効果に関する調査研究, 第32回建設省技術研究会報告, 建設省, 昭和53年。
- 3) 建設省道路局企画課・同土木研究所他：道路整備水準の評価に関する調査研究, 第33回建設省技術研究会報告, 建設省, 昭和54年。
- 4) 建設省道路局企画課・同土木研究所他：道路整備水準の評価に関する調査研究, 第34回建設省技術研究会報告, 建設省, 昭和55年。
- 5) 建設省道路局企画課・同土木研究所他：道路整備水準の評価に関する調査研究, 第35回建設省技術研究会報告, 建設省, 昭和56年。
- 6) 建設省道路局道路経済調査室・建設省土木研究所他：道路整備の効果とその評価に関する調査研究, 第36回建設省技術研究会報告, 建設省, 昭和57年。
- 7) 建設省道路局道路経済調査室・建設省土木研究所他：道路整備の効果とその評価に関する調査研究, 第37回建設省技術研究会報告, 建設省, 昭和58年。
- 8) 建設省道路局道路経済調査室・建設省土木研究所他：道路整備の効果とその評価に関する調査研究, 第38回建設省技術研究会報告, 建設省, 昭和59年。
- 9) 清田 勝・高田 弘・田上 博：都市道路網整備度の優先度に関する一考察, 第15回日本道路会議論文集, pp.25~26, 昭和58年。
- 10) 古庄 隆・村上茂治・沖野一志：幹線道路網整備の水準に関する一考察（交通至便率について）, 第15回日本道路会議論文集, pp.47~48, 昭和58年。
- 11) 黒川 洸：都市における道路の役割と道路計画の進め方-都市内道路の整備水準設定の実際的な定義-, 第15回日本道路会議論文集, pp.28~30, 昭和58年。
- 12) 佐藤馨一・千葉博正・伊藤昌勝・新山 淳：道路交通力指標による道路整備水準の設定について, 第15回日本道路会議論文集, pp.40~42, 昭和58年。
- 13) 岡田憲夫・田中成尚：ネットワーク機能からみた道路施設整備度の計量指標化に関する研究, 第37回土木学会中国四国支部研究発表会講演集, 昭和60年。
- 14) 岡田憲夫・田中成尚：道路ネットワークの整備水準の計量指標化に関する研究, 第40回土木学会年次講演会講演集, 昭和60年。
- 15) 岡田憲夫・田中成尚：道路ネットワーク整備水準の計量指標化に関する研究, 第41回土木学会年次講演会講演集, 昭和60年。
- 16) 岡田憲夫・田中成尚：道路ネットワークの機能水準の計量指標化に関する研究, 烟取大学工学部研究報告, 第17巻第1号, pp.153~162, 昭和61年。
- 17) 池田 央：調査と測定, pp.231~237, 新曜社, 昭和56年。
- 18) 清水浩志郎・木村一裕：道路網評価に関する一考察, 第41回土木学会年次講演会概要集, 昭和61年。
- 19) 吉川和広ほか：土木計画学演習, pp.146~148, 森北出版, 昭和60年。
- 20) 中国地方建設局：全国道路交通情勢調査, 昭和60年。
(1987.1.29・受付)