

日リンク交通量変動の推定にもとづく 道路網信頼性評価

Road Network Reliability by Variance Estimation of Daily Traffic Volume

朝倉康夫*, 柏谷増男**, 熊本仲夫***

By Yasuo ASAKURA, Masuo KASHIWADANI, Nakao KUMAMOTO

When we derive the road network reliability measures at usual traffic condition assuming that it depends on the daily variation of traffic flow, we have to describe the daily variation of road traffic. The authors already proposed the estimation method using traffic assignment simulation model. However, lots of calculation costs must be required for sufficient iterations. This paper concerns to the statistical analysis of counted daily traffic volume and the calibration of the variance estimation function by regression model. The calculation process of network reliability is slightly modified in order to utilize the proposed function. The estimation results of network reliabilities are compared to those by traffic assignment simulation. It is found that both results are consistent and the assignment simulation would be altered by the proposed variance estimation method.

1. はじめに

筆者らは既に、交通量変動に着目して広域道路網の信頼性指標を求める方法を提案している¹⁾。この方法では、交通量配分シミュレーションにより、道路網を構成する各リンクの日交通量の変動を記述することを前提にしている。配分シミュレーションは、OD交通量に確率的変動を仮定して交通量配分を繰り返し計算するものである。したがって、実際規模のネットワークで十分な精度を得るためには、かなりの計算量が必要となる。

そこで、本稿では、日交通量の観測データの統計的分析にもとづいて、配分シミュレーションを用いることなく、道路網の日リンク交通量の変動を推定する方法を提案する。すなわち、交通量変動の観測値が存在するリンクについて、道路属性や、リンク交通量の平均値と混雑率などを説明変数として、変動係数を回帰モデルにより推定しておく。回帰式の

構造とパラメータが不変であるとすれば、交通量の変動が観測されていないリンクや将来予測においては、説明変数を交通量配分によって別途求めておくことにより、日交通量の変動が推定できる。

この方法により、道路網の信頼性指標である連結性および時間信頼性を計算するためには、従来の計算手順に多少の修正を加えなければならない。とくに時間信頼性の場合には、交通量の変動から時間の変動に変換するための操作が必要となる。

以下では、まず2.において、道路区間交通量の日変動の統計分析の結果をまとめる。3.では、交通量変動を記述するための2種類の方法と、信頼性指標の計算方法を説明する。ひとつは変動係数の統計的推定による方法であり、他のひとつは既に提案している配分シミュレーション法である。なお、後者は、OD交通量の確率変動の仮定を一般化する修正を加えたものである。4.では、四国地域の道路網を用いた数値計算の結果を述べる。

2. 道路区間交通量の日変動の統計分析

(1) 用いたデータ

* 正会員 工博 愛媛大学講師 工学部土木工学科

** 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部土木工学科
(〒790 松山市文京町3)

*** 正会員 工修 地域振興整備公団 計画部 計画課
(〒100 千代田区霞が関3-8-1, 虎ノ門三井ビル)

分析に用いたデータは、建設省四国地方建設局管内の交通量常時観測調査による昭和60年度1年間の交通量データ²⁾である。四国内の全ての(28箇所)基本観測地点のうち、観測日数が著しく少ない1地点を除く27地点の両方向合計の日交通量を対象とした。観測地点の道路機能の内訳は、主要幹線(5)、地域幹線(14)、観光道路(2)、都市周辺道路(3)、都市内幹線(3)である。

(2) 地点ごとの日変動特性

表1は各観測地点の属性をまとめたものである。年平均日交通量(AADT)は、5,000~32,000 台の範囲にあり、その平均は約 20,000 台である。日交通量の変動係数(標準偏差/平均値)は、0.05~0.17の範囲にあり、平均 0.082 である。観測地点のほとんどが主要幹線または地域幹線上に設置されているため、変動係数の値は比較的小さい³⁾。AADT および混雑率(AADT/日交通容量)と変動係数を見ると、全体的に、交通量が多く混雑率の高い地点ほど変動係数の値が小さくなる傾向にあることがわかる。

各地点ごとに日交通量を集計したヒストグラムを調べたところ、道路機能により若干分布型が異なるものの、いずれも平均値のまわりで変動する釣鐘型

の分布であることがわかった。そこで、正規分布と対数正規分布を仮定して、その適合度を χ^2 検定により検討した。その結果を表1に併記する。

危険率1%の下で仮定した分布が妥当であった地点は、正規分布の場合 9 地点、対数正規分布の場合 11 地点であり、多いとはいえないが、2、3の地点を除けば χ^2 値は比較的小さい。変動係数が小さい地点ほど適合度がよいが、都市内街路や観光道路など平日と休日の交通量変動パターンが異なる地点では適合度が比較的低くなっている。これは複数の変動要因が関係しているためであると思われる。

そこで、日交通量の変動が、月変動、週変動、曜日変動、および不規則変動により構成されるとし、三元配置の分散分析を用いて各要因の影響度を調べた。ただし、分析の都合上1ヶ月を便宜的に4週間(28日)としている。

各道路機能ごとに代表的な1地点を選んで、分析結果を示したのが表2である。観光道路以外では、最も変動に寄与する要因は曜日変動であることがわかる。その他、月変動、月と週の交互作用なども変動に寄与している。曜日変動は平日と週末の交通量の差、月変動は季節的な行楽や帰省・Uターンによる交通量の変化、月と週の交互作用は月末や月初めの交通量の増減によるものである。観光道路では、週末の交通量の増減が打ち消し合うため、週末と平日の交通量の差が小さく、結果的に曜日変動の影響は小さい。

表 2 交通量変動の分散分析表

【地点 No.4, 主要幹線】

要因	S	ϕ	V	F _a
月	0.067	11	0.0611	20.34
週	0.002	3	0.0073	2.44
曜日	0.191	6	0.3191	106.32
月*週	0.118	33	0.0148	4.93
月*曜日	0.282	66	0.0036	1.19
週*曜日	0.198	18	0.0028	0.92
不規則	0.059	198	0.0030	

S:変動($\times 10^3$), ϕ :自由度, V:分散($\times 10^3$)
F_a:分散比

【地点 No.11, 地域幹線】

要因	S	ϕ	V	F _a
月	0.323	11	0.2937	27.66
週	0.004	3	0.0163	1.53
曜日	0.418	6	0.6977	65.70
月*週	0.501	33	0.0525	4.95
月*曜日	0.847	66	0.0160	1.51
週*曜日	0.442	18	0.0104	0.98
不規則	0.210	198	0.0106	

表 1 各地点の属性と変動の確率分布の検定

地点 No.	道路機能	AADT	変動係数	混雑率	χ^2 値 正規分布	対数正規
1	A	15708	0.068	1.37	19.18	9.72*
2	A	25602	0.058	1.74	10.60*	7.12*
3	A	28437	0.065	0.70	31.31	51.91
4	A	19043	0.058	1.56	40.64	62.24
5	A	23556	0.057	1.50	14.79*	11.25*
6	D	11760	0.080	0.96	35.85	23.85
7	B	11188	0.068	1.27	46.76	60.41
8	B	20107	0.092	1.81	60.01	51.78
9	B	23480	0.115	1.63	350.88	471.88
10	B	14947	0.059	1.64	23.79	26.09
11	B	14514	0.132	1.12	30.99	17.05
12	D	28058	0.050	1.82	11.90*	12.64*
13	C	5309	0.170	0.67	186.34	114.71
14	C	18431	0.065	1.50	15.23*	9.19*
15	B	24450	0.062	1.93	12.11*	5.85*
16	B	9069	0.124	1.03	27.93	19.69
17	B	8759	0.088	1.07	35.11	19.10
18	B	13761	0.099	1.35	18.65	12.68*
19	B	19685	0.105	1.76	11.08*	6.70*
20	B	24960	0.066	0.66	36.18	24.79
21	B	26248	0.062	2.13	10.68*	6.63*
22	D	29329	0.051	1.75	8.72*	8.98*
23	B	13669	0.070	0.94	10.34*	8.55*
24	B	15515	0.060	1.87	24.19	22.32
25	E	25697	0.086	1.11	22.66	29.58
26	E	27175	0.080	0.97	49.39	70.32
27	E	32469	0.113	0.95	239.03	316.26

注1) 道路機能は、A:主要幹線 B:地域幹線 C:観光道路
D:都市周辺 E:都市内街路
注2) *は、 χ^2 値 $\leq 16.81 = \chi^2_{\phi=6, \alpha=0.01}$

【地点 No.13, 観光道路】

要因	S	ϕ	V	F _a
月	0.070	10	0.0700	32.04
週	0.015	3	0.0502	22.99
曜日	0.011	6	0.0187	8.54
月*週	0.188	30	0.0346	15.86
月*曜日	0.098	60	0.0029	1.31
週*曜日	0.031	18	0.0027	1.22
不規則	0.039	180	0.0022	

【地点 No.22, 都市周辺】

要因	S	ϕ	V	F _a
月	0.164	11	0.1495	23.95
週	0.007	3	0.0260	4.16
曜日	0.318	6	0.5311	85.08
月*週	0.283	33	0.0336	5.39
月*曜日	0.536	66	0.0080	1.29
週*曜日	0.333	18	0.0037	0.59
不規則	0.123	198	0.0062	

【地点 No.25, 都市内街路】

要因	S	ϕ	V	F _a
月	0.232	11	0.2116	12.73
週	0.006	3	0.0200	1.20
曜日	0.827	6	1.3792	82.96
月*週	0.352	33	0.0346	2.08
月*曜日	1.221	66	0.0244	1.47
週*曜日	0.854	18	0.0119	0.71
不規則	0.329	198	0.0166	

飯田・高山⁴⁾によれば、高速道路流入交通量の変動では曜日変動が特に卓越しており、本研究でも同様の分析結果を得ている。

(3) 交通量変動の地点間相関

交通量変動の地点間相関の有無を調べるために、日交通量の地点間相関係数行列(27×27)を作成した。変動には正の相関が強く、相関係数の単純平均は0.56であり、負の相関を持つ組も8%存在するが、相関係数が0.7以上の組は、全体の27%を占めることがわかった。

全体の傾向を集約して考察するために、主成分分析の考え方に従って相関係数行列の固有値と固有ベクトルを求めた。図1は、固有値が大きいほうから順に対応する2つの固有ベクトルの要素値(主成分分析の因子負荷量)を求め、平面上にプロットしたものである。なお、2つの固有値は、それぞれ相関係数行列全体の55%, 23%を説明している。

この図において、交通量変動が類似している地点は、より近いところにプロットされている。第1軸の値はすべての地点で負であるが、変動が他の地点と異なるような地点は、絶対値が小さくなる。第2軸は、観光道路的な変動を示す地点では正の値、都市内街路的な変動の地点では負の値となっている。

この図から、道路の機能により日変動パターンが異なることがわかる。なお、同じ機能を持つ道路区間相互では比較的高い相関を示すが、観測地点が比較的離れているために、用いたデータに関する限り、地点間の空間的近接性は、変動の相関にほとんど関係しないという結果を得た。

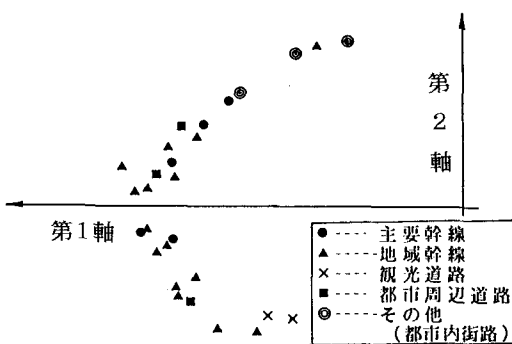


図1 相関係数行列の固有ベクトルの要素値

以上の分析結果は、次のようにまとめることができる。

- ①日リンク交通量の変動は道路機能により異なり、同じ機能を有する道路区間では同様の変動パターンを示す。
- ②変動係数は道路属性、交通属性に関係があり、これらにより変動係数の大きさを説明できる可能性がある。
- ③日リンク交通量の変動の確率分布は必ずしも正規分布に従うとはいえないが、 χ^2 の値は比較的小さい。週末および季節変動の影響を除けば、正規分布により適合するものと思われる。

3. 日リンク交通量変動の記述方法と

信頼性指標の計算法

(1) 交通量変動の記述方法

本研究は対象とする平常時のトリップにおける信頼性の支配的影響要因は、交通量の確率変動であると仮定している。しかし、交通量の日変動データが得られる観測地点は極めて少なく、そのほとんどが主要幹線や地域幹線上に設置されているため、これらのみから道路網全体の交通量変動を知ることは困難である。道路網を構成する全てのリンクの交通量変動を記述するための方法としては、既に交通量

配分シミュレーション法を示しているが、ここではそれに部分的修正を加えた方法と、新たに変動係数の統計的推定による方法を提案する。

a) 配分シミュレーション法⁵⁾

この方法では、OD交通量の確率的変動によってリンク交通量の変動が生じると考えている。ここに、OD交通量は、観測あるいは予測OD交通量を平均値とし、そのまわりで変動するものとする。この分布を正規分布と仮定し、変動係数は平均値の大小にかかわらず一定であるとする。計算手順は以下の通りである。既に提案した手順に比べると、step.2における ε の与え方がより一般的になっている。

step.1 繰り返し回数 $n = 1$ とおく。

step.2 観測OD交通量を平均値として、そのまわりで確率的に変動するOD交通量を作成する。

$$Z_{ij}^{(n)} = X_{ij} (1 + \varepsilon_{ij}^{(n)}) \quad \dots\dots(1)$$

$$\varepsilon_{ij}^{(n)} = \sigma \{ (1 - \lambda) \delta_{ij}^{(n)} + \lambda \xi_{ij}^{(n)} \} \quad \dots\dots(2)$$

ここに、

X_{ij} : ODペアij間の観測OD交通量

$Z_{ij}^{(n)}$: 作成されたOD交通量

σ : 変動の大きさを与えるパラメータ

λ : 変動の相関に関するパラメータ

ただし、 $0 \leq \lambda \leq 1$

$\delta_{ij}^{(n)}, \xi_{ij}^{(n)}$: 平均 0, 標準偏差 1 の正規乱数

step.3 作成したOD交通量を道路網へ等時間配分し、リンク交通量 ($V_a^{(n)}$: a はリンク番号) を求めて記憶する。

step.4 所定の試行回数 (N) になれば終了。そうでなければ、 $n=n+1$ において step.2 へ。

step.2 におけるパラメータ σ がOD交通量の変動係数に相当する。パラメータ λ は、ODペア間の相関に関するものであり、任意のODペア間の変動の相関係数Rは、 λ 関数

$$R = \frac{(1 - \lambda)^2}{(1 - \lambda)^2 + \lambda^2} \quad \dots\dots(3)$$

で表すことができる。明らかに、 $\lambda=0$ のときOD交通量の変動は完全に相関しており、OD交通量は一様に変動する。このとき、各繰り返しごとにネットワークに負荷される総トリップ数は ε の値の大小に応じて増減する。一方、 $\lambda=1$ のときOD交通量

の変動は相互に独立である。その結果、交通量の増減が打ち消し合って、ネットワークに負荷される総トリップ数はほぼ一定となる。現実のOD交通量の変動は、これらの中間にあるものと考えられる。

配分シミュレーションにより交通量変動を作成することの利点は、各リンクの交通量変動の連続性が保証され、リンク信頼度が独立でないという道路網信頼性の特徴を考慮することができる点にある。

一方、問題点として、計算精度を高めるためには交通量配分の繰り返し回数を増やす必要があり、そのための計算費用が膨大になることや、OD交通量の変動が未知である場合が多いためパラメータの設定に恣意性が入ることが挙げられる。また、道路の属性による変動の差異について、考慮することは難しい。

b) 変動係数の統計的推定による方法

リンク交通量の確率分布を正規分布と仮定し、そのパラメータを推定することを考える。リンク交通量の平均値は1回の交通量配分によって求めることができるから、分布の広がりに関するパラメータを推定すればよい。標準偏差は交通量の大小の影響が強すぎるため、変動係数を推定することを考える。

2. の分析より、沿道状況などの道路区間属性や、AADT、混雑率などの交通特性により、変動係数はある程度説明できることが示されている。そこで、リンク交通量の変動が観測されている区間のデータを用いて、回帰分析により変動係数推定式の構造とパラメータを同定しておけば、説明要因の値を与えるだけで変動に関する観測データのないリンクの変動係数を推定することができる。道路区間属性は計算用ネットワークを作成する際に与えておくことができるし、交通特性は交通量配分を1回実行すれば求めることが可能である。

この方法の利点は、配分シミュレーションに比べて計算費用がはるかに経済的である点にある。しかし、問題点としては、各リンクの交通量変動を独立に推定するために、リンクの交通量変動の連続性が保証されないということが挙げられる。たとえば、連続・隣接した区間でも沿道状況が異なれば、変動に差が生じることになる。

(2) 連結性と時間信頼性の考え方と計算方法

交通量の変動が既知であることを前提に、平常時

における道路網の信頼性を考える。信頼性指標には、次の2指標を用いる。

【連結性】ネットワークの任意の2地点間が、円滑に走行できる経路で連結されているか否かを表す指標。具体的には、ある一定水準以上の混雑に遭遇することなくトリップできる確率。

【時間信頼性】ODペア間が連結されていることを前提に、所定の時間で目的地まで到達できるか否かを表す指標。具体的には、所定の時間内でトリップできる確率、および所定の確率でトリップ可能な所要時間の上限値。

a) 連結性指標の計算法

リンク混雑率が一定の水準を超えた状態を、リンクが非連結な状態であると仮定する。ODペア間の連結性指標の計算手順は、

①個々のリンクの交通量変動特性にもとづくリンク通過可能確率の計算

②ODペア間の利用可能経路の抽出

③経路が並列であると仮定した構造関数による連結確率の計算

からなる。

①リンク通過可能確率の算定：リンクの混雑水準（日交通量/日容量）がある判定基準以下である確率をリンク通過可能確率と呼ぶ。これは、1回のトリップでリンクを通過する際にあるレベル以上の混雑に遭遇しない確率である。

リンク交通量の変動が与えられると、リンク通過可能確率 r_a は以下のように計算できる。

【配分シミュレーション法の場合】

$$r_a = \frac{[\text{混雑水準} \leq \text{判定基準}] \text{ なる場合の数}}{\text{シミュレーション試行回数}(N)} \quad \dots (4)$$

【変動係数の統計的推定法の場合】

リンク交通量の変動を正規分布と仮定すれば、リンク混雑水準も正規分布に従うから、通過可能確率は、

$$r_a = \text{Prob}[\text{混雑水準} \leq \text{判定基準}] = \Phi_a(\text{判定基準}) \quad \dots (5)$$

Φ_a : $N(\mu_a, \sigma_a)$ に従う混雑水準の分布関数

μ_a : 混雑水準の平均値 $= V_a / C_a$

σ_a : 混雑水準の標準偏差 $= \mu_a \cdot C V_a$

V_a : リンク交通量, C_a : 容量, $C V_a$: 変動係数

②利用可能経路の抽出：分割等時間配分による交通

量配分を別途行い、分割の繰り返しごとにOD間の時間最短経路を記憶し、利用可能経路の集合とする。

これは、実際のネットワークにおいて利用されやすい経路を合理的に抽出するためである。なお、抽出された経路が既に記憶されている経路と一部区間のみ重複している場合は、その経路は利用可能経路の集合に加えるが、完全に重複している場合は新たな経路として加えないものとする。

③連結性の計算：各リンクの通過可能確率とネットワーク上の任意の2地点間の利用可能経路の集合が与えられると、ODペア ij 間の連結性 R_{ij} を次式により求める。

$$R_{ij} = \prod_{k \in K_{ij}} \prod_{a \in L_{ijk}} r_a = 1 - \prod_{k \in K_{ij}} (1 - r_{ijk}) \quad \dots (6)$$

ここに、

r_{ijk} : ij 間の第 k 番目経路の連結性

L_{ijk} : ij 間の第 k 番目経路に含まれるリンクの集合

K_{ij} : ij 間の利用可能経路の集合

式(6)は、OD間の経路が完全に並列であるとしたときの連結性指標値である。経路の一部が重複している場合に抽出経路数が著しく少なければ、式(6)の値は厳密値を下回る可能性が高い。また、すべての利用可能経路を抽出すると式(6)は厳密値より過大な値を与えることは明らかである。

信頼性の厳密値を求めることが主目的であるなら、このような点は重要な問題である。しかし、道路網整備水準の相対的比較や定性的傾向の把握のために信頼性指標を用いる場合には、式(6)による計算値を使うことができるとされる。なお、より厳密な値が必要であるならば、①によってリンク通過可能確率が計算されているので、それを前提にした2点間信頼度の計算方法⁶⁾を利用することは可能である。

b) 時間信頼性指標

ODペア間所要時間が確率的に変動の大部分が交通量変動により説明できるものと仮定して、時間信頼性を指標化する。そのためには、まず、OD間所要時間の確率分布を求めなければならない。

【配分シミュレーション法の場合】

作成されたリンク交通量と走行時間関数を用いて、各繰り返しごとに、ODペア ij 間の時間最短経路上の所要時間 $\{t_{ij}^{(n)}; n=1, \dots, N\}$ を求める。 $t^{(n)} = \{t_{ij}^{(n)}\}$ を1組の標本とみなし、各ODペア間

の所要時間の平均値と不偏分散を計算する。OD間所要時間の確率分布が正規分布に従うと仮定すれば、これらを用いて所要時間の確率密度関数 $\phi_{ij}(t)$ を求めることができる。

【変動係数の統計的推定法の場合】

交通量と走行時間の関係が線形ではないために、リンク交通量の確率分布を走行時間の確率分布に変換するプロセスが必要となる。一般に、リンク走行時間関数 $t_a(V_a)$ は、次式のようなリンク交通量に対する単調増加関数である。

$$t_a(V_a) = t_{a0} [1 + r (V_a / C_a)^k] \quad \dots(7)$$

ここに、 t_{a0} :自由走行時間 r, k :パラメータである。リンク交通量を正規分布に従う確率変数とすれば、従属変数であるリンク走行時間もまた確率変数となるから、その分布は独立変数の分布と積率の関数として導くことができる。

一般に、 $Y = g(X)$ が単調な関数で、一義的な逆関数 $g^{-1}(y)$ が存在する場合、その分布関数は、以下のように誘導される⁷⁾。

$$F_Y(y) = \int_{-\infty}^y f_X(g^{-1}) \frac{d g^{-1}}{d y} d y \quad \dots(8)$$

式(7)において、 $X = V_a, Y = t_a$ とおき整理すると

$$Y = \alpha + \beta X^\gamma \quad \dots(9)$$

ここに、 $\alpha = t_{a0}, \beta = r t_{a0} C_a, \gamma = k$ である。 $Y = y$ のとき、

$$g^{-1}(y) = \left(\frac{y - \alpha}{\beta} \right)^{1/\gamma} \quad \dots(10)$$

であるから、

$$\frac{d g^{-1}}{d y} = \frac{1}{\beta \gamma} \left(\frac{y - \alpha}{\beta} \right)^{1/\gamma - 1} \quad \dots(11)$$

となる。一方、 $f_X(x) = \phi(x)$ (ϕ :正規分布の確率密度関数)であるから、

$$f_X(g^{-1}) = \phi \left[\left(\frac{y - \alpha}{\beta} \right)^{1/\gamma} \right] \quad \dots(12)$$

である。以上より、求める分布関数は、

$$F_Y(y) = \int_{-\infty}^y \phi \left[\left(\frac{y - \alpha}{\beta} \right)^{1/\gamma} \right] \frac{1}{\beta \gamma} \left(\frac{y - \alpha}{\beta} \right)^{1/\gamma - 1} d y \quad \dots(13)$$

となる。

式(13)の積分を個々のリンクごとに行うことは困難であるため、式(13)を近似することを考える。いくつかの α, β, γ の組み合わせに対してこの関数を

図示したところ、式(13)は正規分布の分布関数によく合致していることがわかった。そこで、この関数を正規分布の分布関数に近似して考えるものとした。

ところで、 Y の平均値と分散は、 $Y = g(X)$ の数学的期待値として求められるが、その積分を解析的に解くことは困難である。この場合は、 $g(X)$ のテーラー展開により、平均値と分散を近似的に以下のように求めることができる。

$$E(Y) \sim g(E(X)) \quad \dots(14)$$

$$\text{Var}(Y) \sim \text{Var}(X) \left(\frac{d g}{d X} \right)^2 \quad \dots(15)$$

この考え方を応用すれば、リンク走行時間 t_a の確率分布の平均 $E(t_a)$ と分散 $\text{Var}(t_a)$ が求められることになる。ODペア ij 間の所要時間はリンク走行時間の線形和であるから、OD間所要時間の確率分布も正規分布により近似できる。このとき、OD間の経路は時間最短経路とすればよい。

OD間所要時間の確率密度関数が与えられると、時間信頼性指標として以下の2つの評価指標を考えることができる。

(i) 設定した所要時間 T (目標時間) 以内でトリップできる確率

$$P_{ij}(T) = \text{Prob}[t_{ij} \leq T] = \int_{-\infty}^T \phi_{ij}(t) dt \quad \dots(16)$$

(ii) 設定した確率 P (目標到着確率) 以上でトリップできる所要時間

$$T_{ij}(P) = \text{Prob}[p_{ij} \geq P] = \int_P^\infty \phi_{ij}^{-1}(p) dp \quad \dots(17)$$

ここに、 $\phi_{ij}(t), \phi_{ij}^{-1}(p)$ は、それぞれOD間所要時間の確率密度関数とその逆関数である。

この方法による時間信頼性計算は、以下のような問題点を持つことに注意しなければならない。まず、ODペア間の時間最短経路しか取り扱っていないことである。利用可能経路が複数存在する場合は、それらの経路の所要時間の確率分布も考慮しなければならない。連結性の計算と同様に経路を並列と仮定し、それらの確率分布を独立として扱うのであれば、複数の経路に対する時間信頼性指標の計算が可能となろう。複数経路の所要時間の確率分布(多変量確率分布)が求められれば、理論的には計算可能であるが、実用的には難しい点も多い。なお、リンク走行時間はリンクの自由走行時間を下限値とする正値

域の分布であるため、走行時間の確率分布に対数正規分布を用いた場合についても検討する必要がある。

4. 四国地域道路網における数値計算結果

(1) 日リンク交通量変動の推定

a) 配分シミュレーション法による推定

計算用ネットワークは、昭和60年度の道路交通センサスの調査対象区間を中心に構成した。リンク数 1692 本（往復計）、ノード数 549 個で、そのうちセントロイドが 258 個（センサズゾーン対応）である。リンク走行時間関数はBPR関数であり、パラメータ値は $r=1$ 、 $k=3$ とした。

配分シミュレーションでは、OD交通量の確率変動の大きさ σ と、OD間の相関の強さ λ の値を与える必要がある。OD交通量の変動に関する実測データは存在しないため、これらのパラメータ値を先験的に与えることは困難であるが、これまでの研究に基づいて、 σ の値については $\sigma=0.10$ に設定した。 λ の値は両極端である $\lambda=0$ 、 1 を与えてシミュレーションを行った。

常観調査地点について、変動係数の実測値とシミュレーションによる推定値（繰返し10回時点）との関係を見ると、 $\lambda=0$ とした場合は、推定値が実測値に比べてやや過大となる傾向があるものの、実測値との対応関係を認めることができた。 $\lambda=1$ の場合は、全般にやや過小推定であった。なお、推定値が異常であると思われる地点を除いた場合の実測値と推定値の相関係数は、 $\lambda=0$ のとき 0.510、 $\lambda=1$ のとき 0.430 であった。

b) 変動係数の統計的推定

変動係数の推定のためには、四国地域の観測地点数(27)では不足であり、道路分類も偏っている。そこで、近畿地方建設局管内の観測データ(53)を補足して分析を加えた。数量化分析Ⅰ類により回帰式を同定した結果を表3に示す。

説明変数のうち、道路属性としては配分計算用ネットワークを作成する際に比較的容易に入力できる沿道状況とした。重相関係数の値は 0.679 であり、推定式全体の精度は極めて良好であるとはいえない。最も説明力の高い変数は AADT であり、沿道状況や混雑率の説明力は AADT の1/2程度である。カテゴリースコア値より、平地や市街地の交通量が 2,3 万台

で容量に近い状態の道路区間では、変動係数が小さく推定されることがわかる。

表3 変動係数推定式の同定

アイテム	カテゴリー	サンプル数	スコア	レンジ	偏相関係数
沿道状況	平地	26	-0.0097	0.0249	0.336
	山地	13	0.0150		
	市街地	23	-0.0094		
	市街中心	18	0.0152		
AADT	1万未満	7	0.0432	0.0665	0.579
	1万～2万	20	-0.0025		
	2万～3万	22	-0.0233		
	3万～4万	16	-0.0150		
	4万～5万	4	0.0316		
	5万以上	11	0.0340		
混雑率	0.8未満	13	0.0184	0.0318	0.302
	0.8～1.2	23	-0.0134		
	1.2以上	44	0.0016		
重相関係数 = 0.679 定数項 = 0.107					

(2) 連結性指標の計算結果

リンク通過可能確率を算定する際の判定基準である (V_a/C_a) の値は、本来 1.0 とすべきであるが、この場合にはほとんどのOD間で連結性が0となったため、1.0 から 0.1刻みに 2.0 まで変化させ、それぞれの判定基準に対する指標値を計算した。また、利用可能経路数は、最大5本とした。

図3は、四国内の県庁所在都市間のODのうち、最も信頼性が低い松山-高知間の連結性を示している。図の横軸はリンク通過可能性の判定を行う際の判定基準であり、縦軸はOD間の連結性指標値である。判定基準を大きくとる（ネットワークのサービス水準を低く設定する）と、リンク通過可能確率の値が大きくなり、連結性の値も高くなるため、その値を連ねたグラフはすべて右上がりとなっている。

$\lambda=0$ と $\lambda=1$ を比較すると、前者の方が判定基準の緩和に対し緩やかに変化している。ODを一樣に変動させた方が、独立に変動させた場合よりリンク交通量の変動幅が大きいため、判定基準を緩和するにつれて通過可能回数が徐々に増加するからである。しかしながら、連結性の指標値そのものに大きな差はなく、OD交通量の変動の与え方が連結性指標値に与える影響は、比較的小さい。

変動係数を統計的に推定した場合について、連結性の定性的傾向を見ると、配分シミュレーション法を用いた場合と同様であることがわかる。リンク交

通量の平均値が配分シミュレーション法を用いた場合と等しく、変動係数も 0.2 程度であるため、結果的にリンク通過可能確率の値が大きく異なることはないからである。

(3) 時間信頼性の計算結果

図4は、統計的方法により変動係数を推定した場合の、高松市を中心とする目標到着確率 80% の時間圏を示したものである。図は、確率 80%以上をもって到達できる所要時間が等しい地点を連ねた等時間線である。配分シミュレーション法に比べて、統計的推定法によるものは、わずかながら時間圏の間隔が広がっているが、大きな差は認められなかった。いずれの方法を用いてもOD間の時間信頼性の定性的傾向は把握できるものと考えられる。

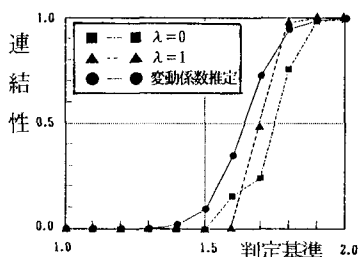


図 3 松山-高知間の連結性指標

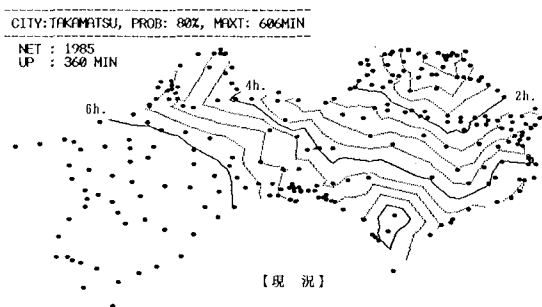


図 4 高松市を起点とする確率的時間圏域
(統計的方法, 確率=80%)

4. おわりに

本研究では、道路網信頼性指標を計算する際の前提となる日リンク交通量の変動を記述するための2種類の方法を示した。配分シミュレーション法は、変動パラメータの設定と計算時間に問題があるもの

の、リンク交通量の確率的な変動を直接的に作成することができるという利点を持つ。今後の課題ではあるが、信頼性の計算の際にリンク間の変動の相関を考慮することも可能である。

交通量変動の分析結果からも明らかのように、リンク交通量の変動にはリンク属性による違いが見られる。道路区間属性や交通属性を説明変数として、変動係数を推定することができれば、分析結果とも整合した交通量変動の記述が可能となる。配分計算は1回で済むから、計算費用も節約できる。しかし、現時点では必ずしも良好な推定式が得られているとはいえない。また、時間信頼性の計算において、リンク交通量の変動をOD間所要時間の変動へ変換する過程の作業量が多くなるという問題点を持つ。今後は、リンク交通量の確率分布に基づくシミュレーションを行うことも考えられる。

いずれにしても、信頼性の指標化のためには、交通量の平均値の推定だけでなく、変動成分の推定が必要であるため、より有効な推定法についてさらに検討を加える必要があろう。

【参考文献】

- 1) 朝倉康夫・柏谷増男・熊本仲夫：交通量変動に起因する広域道路網の信頼性評価，土木計画学研究論文集，No.7，pp.235-242，1989
- 2) 建設省四国地方建設局道路計画課：交通量常時観測調査報告書，1987
- 3) 交通工学研究会：交通工学ハンドブック（第4章）技報堂出版，pp.131-142，1984
- 4) 飯田恭敬・高山純一：高速道路における交通量変動特性の統計分析，高速道路と自動車，Vol.24，No.12，pp.22-32，1981
- 5) 朝倉康夫・熊本仲夫：道路交通量の日変動に関するシミュレーション分析，愛媛大学工学部紀要，Vol.12，No.1，pp.223-232，1990
- 6) 飯田恭敬・若林拓史：ブル代数を用いた道路網ノード間信頼度の上・下限値の効率的算出法，土木学会論文集，No.395/IV-9，pp.75-84，1988
- 7) Alfred H.S. & Wilson H.T.：Probability Concepts in Engineering Planning and Design，（伊藤・亀田共訳，土木建築のための確率・統計の基礎，第4章），丸善，1977