

IV-6 国道の旅行速度に関する考察

北海道開発局 土木試験所 正員 阿 部 幸 康

ま え が き

従来、道路の整備水準を示す指標として、主として平均的な一日の交通需要を処理するという点から混雑度によって検討されてきた。この指標は道路の不足程度を直接に表わし、巨視的な道路評価（5箇年計画策定、隘路区間の抽出など）に非常に便利である。一方、この指標の問題点は、交通容量算定の際に一般交通量調査の項目のみを用いて計算されるため、勾配や線形などの影響が考慮されておらず、個々の区間の評価としての厳密性に欠ける。¹⁾

道路の利用者にとって関心の高いのは出発地から目的地に到達する時間、すなわち旅行時間であり、個々の区間では旅行速度が重要な指標となる。

旅行速度による評価は、種類の異なる道路を一元的に表わす利点があり望ましいが、旅行時間を調査することは多大な労力を要する。そこで交通量等で推定する手法（モデル化）が重要となる。モデル化が可能なれば交通状況がより理解し易い方向へ、さらには交通計画における配分にも利用することができ、道路の利用者および管理者の双方にとって有益な情報を提供することになる。

以上の考えから、旅行速度に着目し、現在供されている国道のサービスレベルの把握とモデル化を試みるもので、本文では、開発局が管理している国道の現況と2車線道路の信号交差点での遅れを含んだ旅行速度モデルについて報告するものである。

使用するデータは、昭和58年度道路交通情勢調査のうちの一般交通量調査結果である。^{2), 3)}

1. 旅行速度からみた道路の現況

表-1 車線数別、速度ランクの延長

車線数別に速度のランクの延長をみたのが

表-1で、延長による割合を示したのが図-1である。表-2は主な交通指標である。これらから次のことが言える。

イ. 旅行速度の平均は、2車線道路の単路で49km/h、信号連担（信号機が1個以上設置されている調査区間）で46km/h、4車線では29km/hである。

ロ. 2車線道路のうち、51km/h以上の比較的高速度で走行している区間は、単路で59%、信号連担で41%、4車線では9%である。

次に30km/h以下の低速度で走行している区間をみると2車線道路の単路で0.4%、信号連担で2.8%とそれぞれの延長に占る割合は小さいが、4車線では41%と大きくなっている。

ハ. 2車線道路が全体に占る割合を延長、走行台キロでみるとそれぞれ94%、77%と高くなっている。

車線数 速度 (km/h)	2 車 線		4 車 線	そ の 他 (1車線と 6車線以上)	計
	単 路	信号連担			
1 ~ 20	— (—)	16.4 (9)	26.5 (13)	5.4 (3)	48.3 (25)
21 ~ 25	— (—)	40.4 (11)	24.8 (11)	— (—)	65.2 (22)
26 ~ 30	5.0 (1)	62.8 (23)	62.7 (20)	— (—)	130.5 (44)
31 ~ 35	22.1 (6)	89.9 (23)	41.6 (12)	0.7 (1)	154.3 (42)
36 ~ 40	85.8 (10)	269.1 (44)	62.9 (12)	15.2 (3)	433.0 (69)
41 ~ 45	64.4 (9)	708.5 (66)	23.4 (6)	4.4 (1)	800.7 (82)
46 ~ 50	342.4 (26)	1310.3 (96)	10.6 (4)	54.5 (4)	1717.8 (130)
51 ~ 55	560.4 (39)	1406.6 (88)	22.6 (2)	— (—)	1989.6 (129)
56 ~	186.5 (17)	313.6 (17)	3.2 (2)	— (—)	503.3 (36)
計	1266.6 (108)	4217.6 (377)	278.3 (82)	80.2 (12)	5842.7* (579)

* 未調査2区間2.9kmを除く

延 長(km)

(調査箇所数)

また、全道に占る国道の延長と走行台キロ（12時間）は、それぞれ34.4%、59.1%で、前者に比べて後者は倍近い値である。²⁾

このことから、幹線道路としての国道の役割は、重要な位置を占めていることがわかる。

2. 旅行速度モデルの構築

2車線道路の信号交差点での遅れを含んだ旅行時間は、区間内の単路部の走行時間と、¹⁾ 信号交差点での待ち時間によって構成される。

（図-2）

$$T = \sum_i \frac{l_i}{V_i} + \sum w_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

簡単のため各単路部での走行速度 $V_i = V$ 、
交差点での待ち時間 $w_i = w$ と仮定すると、

$$T = \frac{L}{V} + nw = \frac{L}{V_t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

L : 区間長 (km)

V_t : 区間の旅行速度 (km/h)

n : 信号交差点数 (ヶ所)

式(2)に $1/L$ を掛ければ、

$$\frac{1}{V} + mw = \frac{1}{V_t} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

m : 信号交差点密度 (ヶ所/km)

単位区間延長当たりの平均待ち時間 mw を W と置き換え、旅行速度は次の式が示される。

$$V_t = \frac{1}{\frac{1}{V} + W} \quad \dots\dots\dots (4)$$

2-1 走行速度モデル

区間の走行速度は、地点における交通量と速度の関係、いわゆる $Q-V$ 曲線によって説明できると思われる。^{1),4),5),6)} しかし、区間のデータは道路条件や沿道条件などが変化して一定しないこと、また、走行時間には信号交差点の加減速時における時間も含まれていることを考え、走行速度は、道路条件や沿道条件などと線形結合で表わされると仮定しモデル化を試みた。

モデルを構築する場合、走行速度を説明す

表-2 車線数別、交通指標

指 標	車線数		4 車 線	*** 計
	単 路	信号連担		
走行台キロ (千台K/h)	230	1877	596	2738
* 交 通 量 (台/h)	181	445	214	469
* 混 入 率 (%)	28.1	24.0	15.8	24.3
* 混 雑 度 (1h)	0.17	0.37	0.67	0.35
* ピーク率 (%)	12.0	10.8	10.4	11.1
** 旅行速度 (km/h)	49.2	46.1	29.4	45.4

* 延長の加重平均

** $\frac{\sum \text{区間長}}{\sum \text{旅行時間}}$

*** 1車線および6車線以上も含む

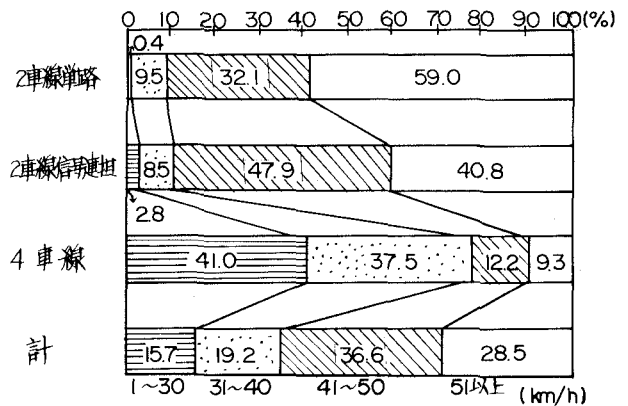


図-1 車線数別、速度の割合（延長）

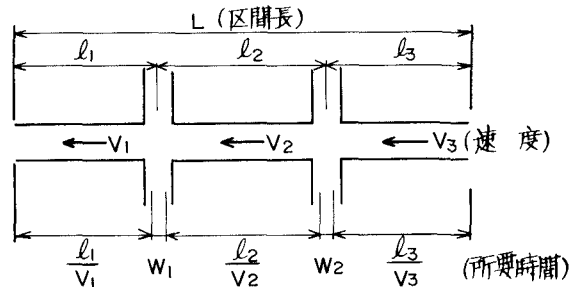


図-2 区間の旅行時間

る要因になにを用いるかが問題になる。本研究は、この種の問
題⁷⁾によく用いられるステップワイズ法により要因の選択を行っ
た。分析の結果、表-3に示す変数郡のなかから、表-4に示
す変数が選ばれた。

この回帰式の重相関係数は0.75で、以後の分析に十分耐えら
れる値と思われる。

パラメータの符号は、プラスが指定速度、マイナスが市街化
率と交通量でモデルの論理性もそこなわれていない。

2-2 待ち時間モデル

交差点での待ち時間wは、単独交差点の場合、車両の到着パ
ターンによって異なるが、信号の青時間比、正規化交通量、サ
イクル長、流入交通量などで表わされる。^{1),4),5)}

しかし、解析に用いたデータは信号が連担しており、さら
には個々のデータにおける信号の情報が未調査のため得られて
ないという制約から区間の平均待ち時間Wを信号交差点密度mと
回帰させ、式(5)を得た。

$$W = 7.63 \cdot m - 0.28 \text{ (秒)} \quad r = 0.61 \dots\dots (5)$$

2-1で示した走行速度モデルと待ち時間モデルを用い旅行
速度を推定し、実測値とのあてはまりを重相関係数でみると、
0.80と比較的高い値を示した。

3. 実験計画法による旅行速度の応答解析^{8),9)}

信号交差点での遅れの影響を受けた旅行速度は、区間の走行
速度と待ち時間をモデル化し推定することが可能となった。

ここでは、走行速度や待ち時間を説明する要因がある範囲内
で変化したときの、旅行速度には直接どの程度影響を与えるの
かを知るため、実験計画法による解析を試みた。

走行速度は、指定速度、市街化率、交通量などで、待ち時間
は信号交差点密度の要因で表わすことができる。これら4個の
要因の組合わせを計算すると、仮に1つの要因の水準を3とし
ても $3^4=81$ の値を求めなければならない。説明する要因がさら
に増え、5個または6個になれば $3^5=243$ 、 $3^6=729$ の組合わせ
の計算を行なわなければならない。

このように膨大な組合わせを行わず、どの要因が旅行速度に大きな影響を与えるかを直交表を用いること
で効率よく分析できる。以下にそれを述べる。

旅行速度を説明する要因の範囲を表-5の水準1から水準3の値に設定する。この値は解析に用いたデー
タの各要因の平均と標準偏差などから見当をつけた。

各要因をL₃₆の直交表へ割り付けて、旅行速度を計算する。(表-6)表中のN₁は、AからDの水準が
全て第1水準、すなわち、信号交差点密度1ヶ所/km、市街化率0%、指定速度40km/h、交通量200台/h
となったときの旅行速度である。同様に36とおりの組合わせを計算する。

次に、各要因の効果を知るために、分散分析を行う。(表-7)この分散分析表から旅行速度の変化に影響
を与える要因の重要度を知ることができる。一般の分散分析ではF-分布検定を行って要因効果を判定す

表-3 ステップワイズ法に用いた変数

変 数 名		変 数 名	
幅員	1車線の幅員 (m)	規	追越し禁止 〇
	側方余裕幅 (m)	制	指定速度 (km/h)
沿道条件	市街化率 * 〇	交	交通量 ** (台/h)
	平地の割合 (〇)		混雑度 (1h)
	山地の割合 (〇)	通	大型車混入率 〇

* D:Dも含む
** 両方向合計

表-4 走行速度モデルのパラメータ

説 明 変 数	パラメーター	偏相関係数
市街化率 〇	-0.104	- 0.47
指定速度 (km/h)	0.246	0.25
交 通 量 (台/h)	-0.00486	- 0.34

定数 39.6 重相関係数 0.75

表-5 要因の範囲の設定

記号	要 因	水準1	水準2	水準3
A	信号交差点 密度 (ヶ所/km)	1	3	5
B	市街化率 〇	0	50	100
C	指定速度 (km/h)	40	50	60
D	交 通 量 (台/h)	200	600	1000

る。しかし、実験計画法でのF一分布検定より寄与率の大きさに注目する。この場合の寄与率は式(6)のように定義された指標である。

$$\rho_A = \frac{A \text{ 因子の純変動}}{\text{全 変 動}} = \frac{SA - \phi_A \cdot Ve}{ST} \dots (6)$$

ここで、

ρ_A : A 因子の寄与率

ρ_A : " の変動

ϕ_A : " の自由度

Ve : 誤差の分散

ST : 全変動

式(6)で定義した寄与率は、誤差変動の影響を各自由度に等しく分配し、各因子の変動が全変動に対してどれだけの割合を占めているのか示している。

さて、表-7の分散分析表を調べると、信号交差点密度の寄与率が62.0%と最も高く、次いで市街化率の26.3%である。これら2つの要因で全変動の9割近くが説明されていることがわかった。

他の要因は、指定速度が5.6%、交通量が3.7%で信号交差点密度や市街化率の要因などと比べ低い値を示した。

図-3は、これら要因の各水準における平均旅行速度である。信号交差点密度が1ヶ所/kmと5ヶ所/kmでは40.2km/hと29.9km/hの違いがあり、市街化率が0

表-6 L36 直交表への割付けと計算値

列 /No	A	B	C	D												旅行速度 (km/h)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	44.1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	34.3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	27.7
4	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	44.1
5	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	34.3
6	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	27.7
7	1	1	2	3	1	2	3	3	1	2	2	3	1			42.9
8	2	2	3	1	2	3	1	1	2	3	3	1	1			37.0
9	3	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	1			26.2
10	1	1	3	2	1	3	2	3	2	1	3	2	1			46.6
11	2	2	1	3	2	1	3	1	3	2	1	3	1			31.6
12	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	2	1	1			28.4
13	1	2	3	1	3	2	1	3	3	2	1	2	2			43.9
14	2	3	1	2	1	3	2	1	1	3	2	3	2			29.4
15	3	1	2	3	2	1	3	2	2	1	3	1	2			31.5
16	1	2	3	2	1	1	3	2	3	3	2	1	2			42.3
17	2	3	1	3	2	2	1	3	1	1	3	2	2			28.1
18	3	1	2	1	3	3	2	1	2	2	1	3	2			33.2
19	1	2	1	3	3	3	1	2	2	1	2	3	2			36.4
20	2	3	2	1	1	1	2	3	3	2	3	1	2			32.3
21	3	1	3	2	2	2	3	1	1	3	1	2	2			33.4
22	1	2	2	3	3	1	2	1	1	3	3	2	2			38.5
23	2	3	3	1	1	2	3	2	2	1	1	3	2			33.8
24	3	1	1	2	2	3	1	3	3	2	2	1	2			31.2
25	1	3	2	1	2	3	1	3	1	3	1	2	2			37.4
26	2	1	3	2	3	1	1	2	1	2	3	3	3			38.9
27	3	2	1	3	1	2	2	3	2	3	1	1	3			27.8
28	1	3	2	2	2	1	1	3	2	3	1	3	3			35.8
29	2	1	3	3	3	2	2	1	3	1	2	1	3			37.8
30	3	2	1	1	1	3	3	2	1	2	3	2	3			29.7
31	1	3	3	3	2	3	2	2	1	2	1	1	3			36.2
32	2	1	1	1	3	1	3	3	2	3	2	2	3			37.2
33	3	2	2	2	1	2	1	1	3	1	3	3	3			30.0
34	1	3	1	2	3	2	3	1	2	2	3	1	3			33.6
35	2	1	2	3	1	3	1	2	3	3	1	2	3			36.3
36	3	2	3	1	2	1	2	3	1	1	2	3	3			32.0

表-7 分散分析表

記号	要因の説明	効果	偏差平方和S	自由度φ	分散V	分散比Fo	プーリング	寄与率ρ %
A	信号交差点密度	1次	630.4	1	630.4	788.0	**	61.6
		2次	4.7	1	4.7	5.6	*	0.4
B	市街化率	1次	269.3	1	269.3	336.6	**	26.3
		2次	0.0	1	0.0	0.0		—
C	指定速度	1次	57.7	1	57.7	72.1	**	5.6
		2次	0.5	1	0.5	0.6	Se=21.6 φe=30 Ve=0.7	—
D	交通 量	1次	39.0	1	39.0	48.8	**	3.7
		2次	0.2	1	0.2	0.3		—
e	誤 差 項		20.9	27	0.8	—		2.5
計	総 変 動		1022.7	35				100.0

注1) F(1, 27; 0.05) = 4.22 ** 1%有意
F(1, 27; 0.01) = 7.72 * 5%有意

注2) F(1, 30; 0.05) = 4.22
F(1, 30; 0.01) = 7.72

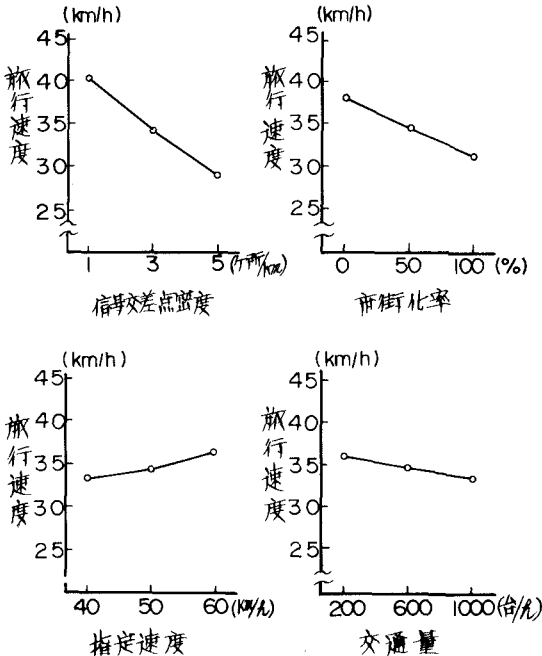


図-3 各要因の平均旅行速度

%と100%では38.1km/hと31.4km/hで6.7km/hの速度差がある。指定速度と交通量の水準1と水準3の速度差は前者が3.1km/h、後者が2.4km/hで他の2つの要因と比べ小さい値を示している。

ここで、実験計画法における平均の意味を考えてみる。

直交表を利用してAという要因の水準1の平均A1と水準2の平均A2の差を比べた場合、他の因子の条件をいろいろに変えた下での平均の効果を求めることになる。

したがって、水準1と水準2による影響が他の因子の条件が異なっても一貫して効果をもつもののみが、大きな効果のあるものとして推定されるから、条件が少しぐらい変わってもその効果、とくに水準の優劣の順序が変わらない要因に重点がおかれ、要因効果の信頼性が評価されるのである。

一方、ある集団のなかから抽出して得られた平均、たとえば解析に用いたデータを幅員別に分類し、旅行速度の平均値を求め比べた場合、平均の差を検定しその差が有意とされても有益な情報とはならない。なぜなら幅員が広ければ交通量も多く、沿道条件なども市街地の割合が高くなる傾向にあるから、旅行速度に影響をおよぼす要因が偏って含まれた平均の差をみたことになり、その差が幅員の違いによるものかどうかは信頼性の乏しいものになる。

次に、直交表を利用した応答解析から旅行速度の近似式が得られるので以下に述べる。

表一7の分散分析の結果、A（信号交差点密度）の1次と2次効果、その他の要因は1次効果が有意である。このことは、旅行速度がAからD（交通量）までの1次式とAの2次式で表現できるということである。これら1次および2次係数は、直交多項式により推計できる。^{8), 9)}

回帰係数の推計方法は他書に譲るとして、得られた結果を示すと式(7)のようになる。

$$Vt = 34.8 - 2.58 (A - 3) - 0.188 [(A - 3)^2 - 2.67] - 0.067 (B - 50) + 0.155 (C - 50) - 0.00313 (D - 600) \dots\dots\dots (7)$$

また、寄与率の高いA（信号交差点密度）とB（市街化率）の要因で推定した場合、式(8)のようになり、全変動に対する説明力は87.9%となる。

$$Vt = 34.8 - 2.58 (A - 3) - 0.067 (B - 50) \dots\dots\dots (8)$$

直交多項式を用いてモデルの作成を行う最大の長所は、目的に応じて式(7)や式(8)を簡単に導びき出せることにある。つまり、n次多項式において式をi次の項で打ち切ったとしても、それがそのまま最小二乗法によるi次の多項式になっていることが理論的に証明されているのである。この裏付けがあつてこそ1次の項、2次の項というような分解が成立したのであり、もし、普通の方項式をつくつたなら、1次式をあてはめるか、2次式をあてはめるかで1次の係数が異なってくる。直交多項式にはこのような問題はなく、任意のところで打ち切つても常に最小二乗法の意味で最良の近似多項式になっているのである。^{8), 10)}

4. 結 論

本論文は、2車線道路の信号交差点での遅れを含んだ旅行速度が区間内の単路部の走行速度と、信号交差点での待ち時間で構成されるときとしてモデル化し評価したもので、主要な結果を列挙すれば次のとおりである。

- イ. 道内における道路の利用状況を走行台キロ（12時間）でみると、国道が全体の6割近くを分担しており、その果す役割は重要な位置を占めている。
- ロ. 区間内の走行速度は、指定速度と市街化率および交通量などの要因で説明できる。また、信号交差点密度が1ヶ所/km当りの待ち時間は、7.35秒であつた。
- ハ. 走行速度を説明する要因や信号交差点密度がある範囲で変化したときの、旅行速度には直接どの程度影響を与えるのかを実験計画法によって検討した。その結果、信号交差点密度と市街化率の寄与率がそれぞれ、62.0%、26.3%と高く、これら2つの要因で全変動の約9割が説明された。
- ニ. 旅行速度は、直交多項式を用いた近似式からも表現できる。この式は、任意のところで打ち切つても常に最小二乗法の意味で最良の近似多項式になっており、式の構造も線形結合なので計算が簡単である。

あ と が き

旅行速度は、道路利用者の要望に添うものであり、種類の異なる道路を一元的に表わす利点がある。最近では、道路交通が安定して円滑に確保されることへの要請が高く、道路網への信頼性が期待されている。これらを考える上にも旅行速度の分析が重要である。

今後は、道路線形や勾配などの要因を加えたモデルの構築、さらには冬季のさまざまな気象条件下の旅行速度について調査研究を進め、道路整備の効果および評価法の確立に向けて努力したい。

最後に、本研究を進める上で、とくに実験計画法的アプローチに関して適切なコメントを賜った北海道大学工学部土木工学科、佐藤馨一助教授に心からお礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会；道路の交通容量、丸善、昭和59年9月
- 2) 昭和58年度道路交通情勢調査 一般交通量調査箇所別基本表（北海道版） 北海道開発局1984年9月
- 3) 阿部幸康、蜷川浩一、荻野治雄、大塚民雄；北海道における国道の旅行速度について、第28回北海道開発局技術研究発表会、昭和60年2月
- 4) 佐々木 網；改訂交通流理論、技術書院、昭和48年改訂
- 5) 交通工学ハンドブック；技報堂、昭和59年1月
- 6) 阿部幸康、荻野治雄；地方部2車線道路における交通流モデルについて、北海道開発局土木試験所月報№381 1985. 2
- 7) 奥野忠一他；多変量解析法、日科技連、1971年
- 8) 田口玄一；第3版実験計画法 上、下 丸善、昭和51年12月
- 9) 田口玄一、横山翼子；ビジネスデータの分析、丸善、昭和55年3月
- 10) 佐藤馨一、五十嵐日出夫；空港アクセスにおける交通機関別分担モデルの推定、土木学会論文報告集第274号 1978年6月
- 11) 佐藤馨一、五十嵐日出夫；実験計画モデルによる交通機関選択行動の事前・事後分析、土木学会論文報告集第343号 1984年3月