

IV-22

道路区間の旅行速度推定モデルに関する研究

室蘭工業大学大学院 学生員 山 廣 孝 之
室蘭工業大学工学部 正 員 齊 藤 和 夫

1. はじめに

今後の道路整備は高速性、快適性など本格的な質の向上を目指し、また、利用者の観点に立脚した施策を充実する方向で進められ、さらに、地方においては生活圏の広域化のための円滑なモビリティの確保等に緊急に対処する必要がある。このような観点から旅行速度は道路区間及び道路網の整備水準、サービス水準をみる上で重要な指標であり、旅行速度を規定する背景要因を把握することは有効な整備の推進を可能にするものと考えられる。また、配分交通の推定に用いられている容量制限式（Q-V曲線）に旅行速度の推定モデルが適用されれば、交通状況や沿道状況などの影響要因を作業に反映させることができると考えられる。

本研究では旅行速度の推定式を定義し、配分交通の推定への適用の可能性を検討したものである。なお、分析の基礎となるデータは建設省道路局の昭和60年度一般交通量調査箇所別基本表の中から北海道の一般国道 585区間を対象として行った。

2. 指標（説明変数）の概要

旅行速度や走行速度などは交通環境、交通規制など多くの要因によって左右されるものと考え、影響を与えらると思われる31の指標を加工、抽出した。これらの指標における特徴を整理すると共に、代表する指標を選定するため相関行列や各指標の旅行速度に対する散布図を打ち出し、さらに主成分分析等を試みた。その結果から取り上げられた16指標の平均値と標準偏差を表-1に示す。

表-1 選定された16変数

	変 数	平均	標準偏差
道路 条件	区間延長(km)	9.97	8.32
	車道幅員(m)	7.62	2.92
	車線数	—	—
	交通容量(台)	10439	9006
	歩道設置率(%)	58.2	37.4
沿道 条件	市街部延長率(%)	34.9	39.4
	平地部延長率(%)	50.3	39.6
	住宅系延長率(%)	9.12	19.5
	商業系延長率(%)	9.46	23.1
交通 状況	交通量(台)	7396	7977
	乗用車率(%)	50.0	7.6
	大型車混入率(%)	23.7	8.5
	混雑度	0.64	0.42
規制 等	信号設置率(%)	25.9	25.0
	信号交差点密度(個/km)	1.13	1.66
	指定最高速度(km/h)	—	—

3. 旅行速度推定モデルの開発

3.1 モデル式の構成について

旅行速度を考える際、旅行速度は走行速度と停止時間によって構成され、それぞれに関わる要因も異なるものと考えられる。そこで従来から比較的多く用いられてきた旅行速度を直接推定するモデルと走行速度、停止時間を個別に推定し、それらを合計して旅行速度を間接的に求めるモデルの2つのタイプを対象に検討することにした。間接推定モデルの式の構成を(1)式に示した。

$$V_t = \frac{1}{V_r^{-1} + T_w} \quad \text{ここで、} V_t: \text{旅行速度(km/h)} \\ V_r: \text{走行速度(km/h)} \\ \dots\dots\dots(1) \quad T_w: \text{単位停止時間(h/km)}$$

両者の比較を行うためにステップワイズ回帰分析を行った

結果を表-2に示した。直接推定モデルについては旅行速度を目的変数とし、間接推定モデルについては走行時間と単位停止時間を目的変数としてそれぞれにステップワイズ回帰分析を行った。間接推定モデルでは上位で選択された説明変数のなかで信号交差点密度が重複するため、走行速度に4変数と単位停止時間に2変数を取り、変数が合計で5種類となるかたちでモデルを作成し、旅行速度に対する重相関係数を求めた。取り入れられた変数や重相関係数の値などから両タイプには殆ど差異はないので、モデル化を容易に行える点などを考慮して、ここでは直接推定モデルについて検討することにした。

3.2 直接推定モデル式の検討

次に、直接推定モデルのかたちについての検討を行った。種々の形式が考えられるが、各指標の旅行速度に対する散布図において対数曲線的な分布を示したものがあることなどから、ここでは以下に示すように通常の線形式に加えて2つの非線形式を設定した。

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \dots + a_n \cdot X_n$$

< 線形 >(2)

$$Y = \exp(a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \dots + a_n \cdot X_n)$$

< 非線形1 >(3)

$$Y = a_0 \cdot X_1^{a1} \cdot X_2^{a2} \cdot \dots \cdot X_n^{an}$$

< 非線形2 >(4)

ここで、Y:目的変数 X:説明変数 a:偏回帰係数

それぞれのモデルについて前述の16変数を説明変数にとり、ステップワイズ回帰分析を行った結果を表-3に示した。ここでは取り入れられた上位5変数と重相関係数を記し、また、全区間を2車線区間と多車線区間に分割して行った結果についても同様に示した。3つのタイプとも重相関係数が0.8前後となっており、説明変数の偏回帰係数の符号も実際と矛盾のないかたちであられ、比較的良好な推定が可能であると考えられる。しかし非線形モデル2は他と比べて説明

表-2 ステップワイズ回帰分析の結果(1)

	直接推定モデル	間接推定モデル	
目的変数	旅行速度	走行速度	停止時間
説明変数	市街部延長率 信号交差点密度 歩道設置率 区間延長 住宅系延長率	市街部延長率 信号交差点密度 区間延長 混雑度 R = 0.776	信号交差点密度 車線数 R = 0.750
重相関係数	R = 0.842	R = 0.840	

表-3 ステップワイズ回帰分析の結果(2)

説明変数	線形モデル	非線形モデル1	非線形モデル2
全 体 (585 区間)	市街部延長率 信号交差点密度 歩道設置率 区間延長 住宅系延長率 R = 0.842	信号交差点密度 市街部延長率 区間延長 交通量 住宅系延長率 R = 0.850	区間延長 商業系延長率 大型車混入率 信号交差点密度 平地部延長率 R = 0.823
2車線 (491 区間)	市街部延長率 信号交差点密度 区間延長 混雑度 車道幅員 R = 0.800	信号交差点密度 市街部延長率 区間延長 大型車混入率 混雑度 R = 0.817	区間延長 商業系延長率 大型車混入率 信号交差点密度 平地部延長率 R = 0.792
多車線 (94 区間)	信号交差点密度 歩道設置率 大型車混入率 交通量 区間延長 R = 0.801	信号交差点密度 歩道設置率 区間延長 交通量 大型車混入率 R = 0.767	指定最高速度 交通量 信号交差点密度 大型車混入率 市街部延長率 R = 0.766

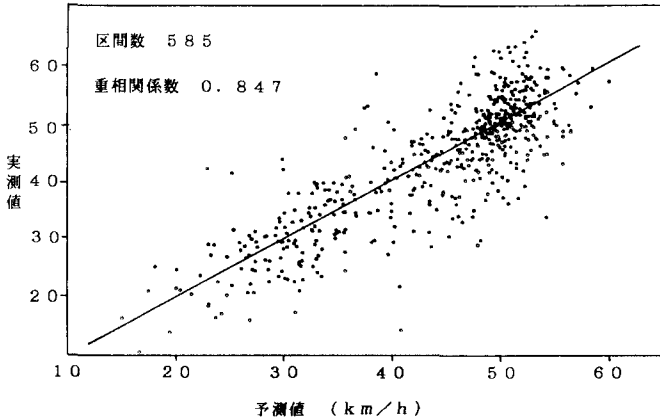


図-1 式(5)による旅行速度の推定値と実測データの散布図

変数も異なり、若干ではあるが説明力が低いように思われる。取り入れられた変数については交通規制、沿道状況関係の指標が旅行速度に対して大きく関与し、交通量や混雑度など交通状況を表す指標が下位に含まれ、それらの偏回帰係数の値も小さく、旅行速度を大きく変化させるものではない。これは表-1の混雑度の平均値が0.64を示しているように北海道の一般国道においては大半の道路区間の交通が比較的スムーズに流れ、速度に対して交通量があまり関わっていない状況、言い替えば自由走行に近い状態であると考えることができる。また、車線数別にみたステップワイズ回帰分析の結果は重相関係数などから判断して説明力を向上させるものではなかった。

以上の結果から、本研究では有効と思われる旅行速度を非線形で直接推定する方法でモデル式を次のように示した。説明変数は4変数を用い、重相関係数は0.847であった。

$$Vt = \exp(3.897 + 0.00427 \cdot D - 0.0860 \cdot S - 0.00157 \cdot E - 0.00000436 \cdot Q) \cdots \cdots (5)$$

ここで、Vt：旅行速度、D：区間延長、S：信号交差点密度、E：市街部延長率、Q：交通量

図-1はこのモデル式により推定された旅行速度と実測データの散布図を示している。

4. 交通量配分への適用可能性の検討

4.1 モデル式の開発

配分交通の推定の際に用いられている容量制限式（Q-V曲線）は旅行速度を交通量の関数として与えたものであり、一般的に交通量が容量に達するまで速度が直線的に低下し、その後速度は一定値（渋滞速度）を保つかちで表現される。図-2に代表的な容量制限式を示した。これに対応させるために推定モデル式においても沿道関係や交差点関係などの変数と定数項によって初期速度を与え、交通需要に応じて速度が低下する形で定義されなければならない。そこで大半の区間において交通要因が強い影響力をもたないという前節の考察を踏まえて、混雑度が0.8以上1.2以下となる117区間に限定したデータを解析の対象として前節で検討された式(3)の非線形のタイプのモデル式を新たに開発した。すなわち、モデル式が線形式の構成では区間の特性に関わらず、つまり、どのような初期速度をもつ区間においても一定の交通量や混雑度等の増加に対する速度の低下は同じになるので、一定の交通量や混雑度等の増加に対して旅行速度を割合で低下させる式構成である非線形モデル1を用いることにしたものである。

重回帰分析の対象となる117件のデータの説明変数において、信号交差点密度、市街部延長率、

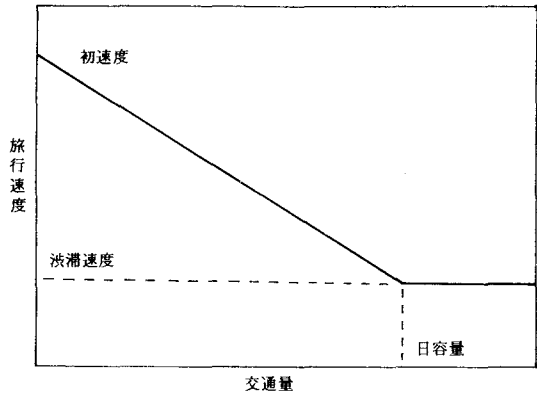


図-2 容量制限式（Q-V条件式）

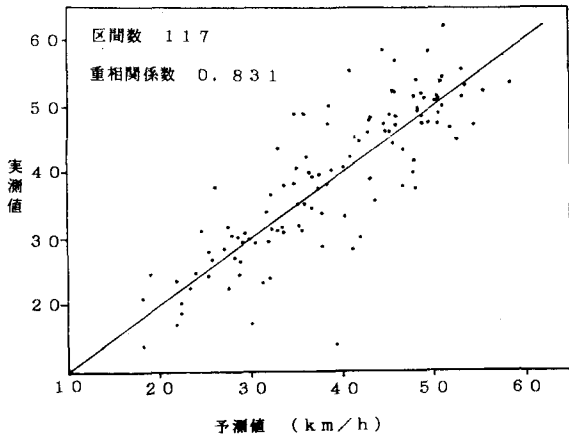


図-3 式(6)による推定値と実測データの散布図

住宅系延長率、歩道設置率は互いに強い相関があることが確認されたので、そのことを考慮に入れて再度、ステップワイズ回帰分析を行った結果から式(6)に示すようなモデル式を得た。重相関係数は 0.831であり、このモデル式における旅行速度の予測値と実測データの分布を示すと図-3のようになる。

$$Vt = \exp(3.682 + 0.0112 \cdot L - 0.105 \cdot S + 0.00311 \cdot A - 0.338 \cdot C) \dots\dots(6)$$

ここで、L：区間延長、S：信号交差点密度、A：指定最高速度、C：混雑度

この式の特徴は交通状況を表す変数として混雑度が選ばれたことである。このことから旅行速度は交通量そのものではなく、容量に対してどれだけの交通需要があるかに左右されると考えることができ、モデル式における説明変数に混雑度を用いて式を定義することは様々な容量をもつ区間を都合良く扱うことができると思われる。また、この式は混雑度を除く3変数と定数項により初速度を与え、混雑度が1となったとき、つまり交通量が容量に達したときの旅行速度は初速度の約7割に低下することを意味しており、松井ら⁴⁾の2車線と多車線に分けた研究結果のほぼ中間的な速度低下を与えている。

4.2 モデル式に対する考察

図-4は昭和58年に室蘭圏の配分交通量の予測において用いられたQ-V式と本研究のモデル式の比較を行った。対象区間は室蘭市の市街部を走る国道36号線で、Q-V式は道路規格及び車線数から設定されたものであり、本研究のモデル式においては区間延長1.02km、信号交差点密度2.5個/km、指定最高速度50km/hという実際の情報を使って推定したものである。また、従来のQ-V式は交通量の関数であり、本研究のモデル式は混雑度の関数であるため図の横軸については日交通量が日容量に達したところを混雑度1とした。このような結果は従来Q-V式は比較的交通量が少ない段階では旅行速度を過大に評価し、高いところでは過小に評価しているという過去の研究事例の指摘⁴⁾をクリアしていると考えられる。さらに、本研究のモデル式をBPR関数と比較を行った。BPR関数は米国道路局で開発されたモデルであり、旅行速度ではなく所要時間が混雑度の関数となり、以下のように表すことができる。

$$Tt = T_0 (1 + p \cdot C^q) \dots\dots(7)$$

ここで、Tt：所要時間

T₀：初期所要時間(1.5分/km)

C：混雑度

p, q：定数でそれぞれ0.15, 4

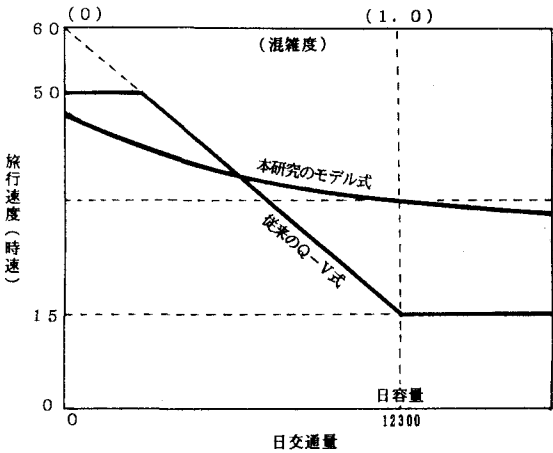


図-4 本研究モデル式と従来Q-V式の比較

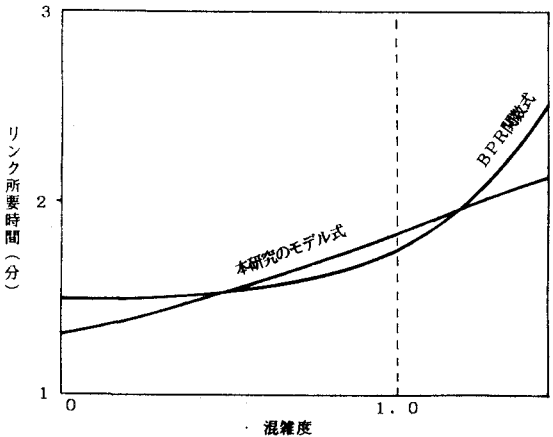


図-5 本研究モデル式とBPR関数の比較

本研究のモデル式(6)において定数項と混雑度以外の変数で与えられる速度を初期速度と考え、上式のごとく所要時間であらわすと次のようになる。

$$T_t = T_0 \cdot \exp(r \cdot C) \dots\dots(8)$$

ここで、 T_t : 所要時間

T_0 : 初期所要時間

(延長/旅行速度)

C : 混雑度

r : 定数で0.338

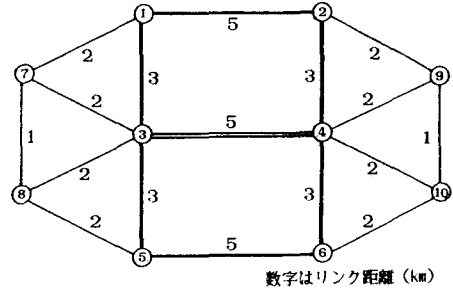


図-6 用いられたネットワークモデル

表-4 用いられた道路種類別の設定条件

	道路規格 車線数	日容量	信号交差 点密度	指定最 高速度
—	3-1-2,	12300	1.84	50
==	4-2-4	24000	1.84	40
—	4-2-2	8000	1.84	40

この2つのモデルにおける混雑度とリンク所要時間の関係を図-5に描いた。両者の間には北海道と米国の道路規格や交通状況などの違いはあるが本研究のモデル式はほぼ直線的に所要時間が増加するのに対して、BPR関数は交通量が容量を越えてからの所要時間が急に増加するかたちになる。さらに前述のQ-V式も合わせて考えると従来のQ-V式は混雑度が1に達するまでの所要時間は急に立ち上がるが混雑度が1を越えてからの所要時間は一定値をとる。このような観点から本研究のモデル式は従来のQ-V式と米国のBPR関数モデルの中間的な特性をもつものであると言える。

4.3 配分交通量の推定結果

つぎに本研究のモデル式と従来のQ-V式、BPR関数の比較を配分交通量の推定結果において試みた。図-6に示すような10ノード17リンクで構成される簡単なネットワークを仮定し、必要となる条件を表-4

表-5 配分交通量の推定結果 (10万台)

リンク	本研究モデル式	従来のQ-V式	BPR関数
1-2	16000(1.30)	15800(1.28)	12600(1.02)
1-3	9000(0.73)	11000(0.89)	9000(0.73)
1-7	10000(1.25)	8200(1.03)	9400(1.18)
2-4	9000(0.73)	11000(0.89)	9000(0.73)
2-9	10000(1.25)	8200(1.03)	9400(1.18)
3-4	18000(0.75)	18200(0.76)	24400(1.02)
3-5	9000(0.73)	11000(0.89)	9000(0.73)
3-7	3000(0.38)	3100(0.39)	3600(0.45)
3-8	3000(0.38)	2700(0.38)	4000(0.50)
4-6	9000(0.73)	11000(0.89)	9000(0.73)
4-9	3000(0.38)	2800(0.35)	3600(0.45)
4-10	3000(0.38)	3000(0.38)	4000(0.50)
5-6	16000(1.30)	16000(1.30)	13000(1.06)
5-8	10000(1.25)	8000(1.00)	9000(1.13)
6-10	10000(1.25)	8000(1.00)	9000(1.13)
7-8	11000(1.38)	9300(1.16)	11000(1.38)
9-10	11000(1.38)	9000(1.13)	11000(1.38)
合 計	160000(0.90)	156300(0.88)	160000(0.90)

カッコ内の数値は混雑度

表-6 配分交通量の推定結果 (12万台)

リンク	本研究モデル式	従来のQ-V式	BPR関数
1-2	19200(1.56)	19200(1.56)	15480(1.26)
1-3	10800(0.88)	13200(1.07)	12000(0.98)
1-7	12000(1.50)	9600(1.20)	9960(1.25)
2-4	10800(0.88)	13200(1.07)	12000(0.98)
2-9	12000(1.50)	10080(1.26)	9960(1.25)
3-4	21600(0.90)	21600(0.90)	29400(1.23)
3-5	10800(0.88)	13200(1.07)	12000(0.98)
3-7	3600(0.45)	3600(0.45)	4440(0.56)
3-8	3600(0.45)	3120(0.39)	4800(0.60)
4-6	10800(0.88)	13200(1.07)	12000(0.98)
4-9	3600(0.45)	3240(0.41)	4440(0.56)
4-10	3600(0.45)	3480(0.44)	4800(0.60)
5-6	19200(1.56)	19200(1.56)	15120(1.23)
5-8	12000(1.50)	9600(1.20)	9600(1.20)
6-10	12000(1.50)	10080(1.26)	9600(1.20)
7-8	13200(1.65)	11040(1.38)	12000(1.50)
9-10	13200(1.65)	11160(1.40)	12000(1.50)
合 計	192000(1.08)	187800(1.06)	201600(1.13)

カッコ内の数値は混雑度

のように与えた。道路種類は3種類とし、本研究のモデル式においてはそれぞれに与えられた信号交差点密度、指定最高速度、区間延長からリンク所要時間を推定した。また、従来のQ-V式として先の室蘭圏の配分交通量の推定において使用したQ-V式のなかから表-4の3種類の道路規格及び車線数によって設定されたQ-V式を用いて所要時間を推定した。OD交通量の構成比をある値に設定して、10分割配分法を用いて配分交通量の推定を行った。全OD交通量が10万台と12万台における配分交通量の推定結果をそれぞれ表-5と表-6に示した。個々のリンク交通量をみると本研究のモデル式と従来のQ-V式、BPR関数のそれぞれを用いて推定された結果は3者間で違いが多少現れている。これは前節で述べたように従来Q-V式においては混雑度が0から1までの間でリンク所要時間が急に増加するために各OD交通は10回配分の各段階で異なったルートを選択し易く、BPR関数においては混雑度1を越えてからのリンク抵抗が強いために交通は需要の少ないリンクを選択する傾向があり、その結果がこのようなかたちであらわれたと考えられる。また、所要時間が直線的に増加する本研究のモデル式は表-6において各リンク交通量を集計した道路網全体の交通量を通してみると従来のQ-V式とBPR関数の中間の値となった。

5. まとめ

本研究は建設省の実施している道路交通情勢調査を用いて調査区間の交通指標データから、旅行速度に影響を与えられる指標を説明変数とした旅行速度の推定モデル式の開発を試みたものである。研究対象道路は北海道の一般国道 585区間で、分析は重回帰分析、主成分分析などを用いて行った。本研究で得られた結果を簡単にまとめると次のようになる。

- (1) 全区間を対象にしたステップワイズ回帰分析の結果から旅行速度に直接回帰させる非線形モデルによる推定式が高い説明力をもつことがわかった。
- (2) 旅行速度の推定モデル式(5)において比較的良好なモデル化が可能となったが、交通量や混雑度などの交通需要を表す変数の影響が小さいことがわかった。
- (3) データを限定した旅行速度の推定モデル式(6)において説明変数に混雑度が含まれたモデル式が開発され、混雑度が1のとき初期旅行速度を約7割に低下させるかたちで表された。
- (4) 開発された旅行速度推定モデルを交通量配分プロセスに適用し、従来のQ-V式およびBPR関数を用いた場合と比較を試みた。結果からその適用性について明確な結論は得られなかったが、ネットワーク全体としては従来Q-V式とBPR関数との中間の値を与えている。

参考文献

- 1) 建設省道路局編：昭和60年度道路交通センサス一般交通量調査箇所別基本表 1987年
- 2) 建設省近畿地方建設局編：旅行速度低下の要因分析、道路計画に関する研究資料集 1984年3月
- 3) 阿部幸康、萩野治雄：北海道における信号交差点のある2車線道路の旅行速度、交通工学 No.5 1986年
- 4) 松井寛、藤田素弘：交通量配分における日交通容量とQ-V式の合理的設定方法に関する研究、土木計画学研究論文集 1988年11月
- 5) 土木学会土木計画学研究委員会編：交通ネットワークの分析と計画 最新の理論と応用、第18回土木計画講習会テキスト 1987年11月
- 6) 堂柿栄輔、佐藤馨一、五十嵐日出夫：ネットワークの選択範囲を考慮した交通量配分法について、土木学会北海道支部 論文報告集 1988年2月