

道路交通流の実証的研究

北海道大学 正員 ○ 佐藤 馨 一
 北海道開発局 " 高橋 毅
 北海道大学 " 五十嵐 日出夫

1. はじめに 本研究の目的は実際の交通流データをもとにして、いかなるモデル式が現実の交通流を最も良く説明しているかを明らかにすることにある。このため解析に用いたデータをまず紹介し、その後検討するべき種々の交通流モデルを交通動力学的見地から誘導した。

モデルの適合度を検証するにあたってはまず単純最小二乗法によりパラメータの推定を行ない、推定値と実測値との差の2乗和、つまり残差平方和をそれぞれ求めて比較した。また非線形モデルにおいてはそれなりのパラメータ推定法を採用するべきであると考えTaylor微分法による最小二乗法の適用を試みた。

2. 道路交通流の調査資料について モデルの検証を行なう場合に大切なことは、データが検証に耐えられるだけの信頼性、安定性を有しているかどうかということにある。我国においても古くからこの種の研究が行なわれているが、実際のデータ収集にあたっては極めて原始的な方法を用いており、データの信頼性、大量性に関して多くの問題点を残している。本研究においてはまず測定器の開発を行ない、その信頼性、安定性を確認したあと多くの地点において交通現象の測定を行なってきた。(注一)このうち今回は一般国道5号余市、一般国道231号札幌市篠路におけるデータを考察の対象とした。この調査では2車線道路の一方のみに注目して車種、速度、車頭時間の測定を行ない、交通量、密度、空間平均速度、時間平均速度、各速度の標準偏差、大型車混入率をそれぞれ5分間単位でまとめた。調査箇所は側方余裕の十分ある直線区間にあり、制限速度は60km/hで、調査地点の前後2-3km以内には信号機はなかった。その上、同一調査で密度が10台/km付近から130台/km付近まで連続して観測されており、交通流データとしてこれほど理想的なデータは今まで我国では得られたことはないと言って過言ではない。表一は密度Kの大きさに従って、空間平均速度U、交通量(5分間)Q、空間平均速度の標準偏差 σ_s を掲げたものであり、また参考のために時間平均速度Vと大型車混入率T、M、Rも示した。測定値中には同一の密度をもつデータがいくつもあったが、本研究においてはその中から無作為に1個のデータを抽出して、これをその密度の代表値とした。

3. 交通流モデルの誘導 交通現象をモデル化しようとするとき一般にQ-U関係でなく、K-U関係を問題とする。というのは交通量Qが0になったとしても、まったく車輛が存在しなくて0になったのか、交通渋滞がひどくすべての車輛が停止して0になったのか区別できないからである。これに対して密度Kは自由走行状態から強制渋滞状態まで統一的に表わすことができ、その上調査時間による補正を必要としない点ですぐれている(5分間交通量を1時間交通量にするには何らかの係数をかけて補正しなければならない)

交通流モデルは当初交通流を流体とみなし、流体力学的方法で研究が行なわれてきた。しかし各モデル間の相互関係は余り意識されてはいなかった。そこで本論文ではこれらモデルが追従理論を主とする交通動力学的立場から統一されることを示し、その上で各種モデルの交通容量算出式を求めた。

3-1 追従理論 追従理論とは追従車の運転者が前車との相対関係において運動することを示したものであり、その一般式は(1)式ようになる。

$$\ddot{X}_{n+1}(t+T) = C \cdot \dot{X}_{n+1}^m(t+T) \cdot \frac{[\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)]}{[X_n(t) - X_{n+1}(t)]^{\ell}} \quad (1)$$

この方程式はある車の加速度(又は減速度)は前車との車頭間隔の ℓ 乗に逆比例し、前車との速度差およびその時の速度の m 乗に比例することを示すものである。

ここでTは刺激に対する応答の遅れであり、 $\ddot{X}_{n+1}(t+T)$ は時刻(t+T)のn+1車の変速度、 $\dot{X}_n(t)$ 、 $\dot{X}_{n+1}(t)$ はn車、n+1車の時刻tにおける速度である。またCは定数で、 ℓ 、 m はパラメータである。

3-2 交通流モデルの誘導

交通流モデルの研究においては流体力学的立場でも、交通動力学的立場でも交通流が等流であることを前提としている。

つまり、交通量を q 、密度を K 、空間平均速度を U とするならば、 $q = U \cdot K$ なる関係が成立することを前提としているのである。

3-a GREENSHIELDS MODEL

交通流を等流と考えているので $\dot{X} = U$ 、またパラメータ ℓ 、 m を $\ell = 2.0$ 、 $m = 0$ とし、時間遅れ T を省略すると(1)式は次のようになる。

$$\ddot{X}_{n+1} = \frac{du_{n+1}}{dt} = \frac{C \cdot [U_{n+1} - U_n]}{[X_n - X_{n+1}]^2} \quad (2)$$

$$S_{n+1} \text{を車頭間隔、} K_{n+1} \text{を密度とすると} \\ [X_n - X_{n+1}] = S_{n+1} = 1 / K_{n+1} \quad (3)$$

これを微分すると

$$U_n - U_{n+1} = ds_{n+1}/dt = -1/K_{n+1}^2 \cdot dK_{n+1}/dt \quad (4)$$

(3)式と(4)式を(2)式へ代入して添字をとると、 $du/dt = -Cdk/dt$

$$\therefore U = -C K + A \quad (5)$$

境界条件を考えて C 、 A を決めると

$$K = 0 \text{のとき} U = U_f \therefore A = U_f$$

$$K = K_j \text{のとき} U = 0 \therefore C = U_f / K_j$$

ただし、 U は自由速度、 K_j は最大密度を示すものとする。

A 、 C の値を(5)式へ入れると

$$U = U_f (1 - K/K_j) \quad (6)$$

これがGREENSHIELDS MODELである。

交通量が最大になる時の速度を U_c 、密度を K_c とすると、 U_c 、 K_c は次のようにして求めることができる。

$$q = K \cdot U = K \cdot U_f (1 - K/K_j),$$

$$dq/dk = U_f - 2 \cdot U_f \cdot K/K_j = 0$$

表-1 交通流調査結果表

一般国道 231 号 札幌市篠路					
K	U	Q	σ_s	V	T.M.R
13	58.1	65	6.2	58.8	0.02
14	54.3	64	6.3	55.0	0.05
15	52.1	67	7.4	53.1	0
17	55.0	76	5.6	55.6	0.05
18	53.1	80	10.7	55.3	0.01
19	53.7	86	3.3	53.9	0.01
20	51.1	87	7.0	52.1	0.06
21	52.5	90	6.9	53.4	0.01
22	50.6	93	3.9	50.8	0.04
24	49.8	101	5.0	50.3	0.02
25	51.4	108	4.2	51.8	0.03
26	50.1	108	5.2	50.6	0.06
27	44.0	99	7.4	45.3	0.04
34	33.8	96	6.9	35.2	0.05
45	20.8	77	13.3	29.3	0.01
48	27.7	110	10.0	31.4	0.08
55	18.5	85	13.5	28.3	0.04
65	12.7	69	11.0	22.3	0.01
68	12.7	72	10.0	20.6	0.08
74	12.9	79	11.9	23.8	0.06
75	12.5	78	11.0	22.2	0.06
78	13.1	85	11.4	23.1	0.04
81	8.9	60	6.4	13.5	0.07
86	8.6	62	7.3	14.8	0.08
92	7.0	54	5.6	11.5	0.04
93	6.5	50	9.1	19.3	0.02
94	7.4	58	9.6	19.9	0.02
95	7.3	58	8.2	16.6	0.05
96	9.3	75	9.0	17.9	0.11
97	8.5	69	7.4	14.1	0.04
103	4.4	38	6.9	15.2	0.11
104	5.2	45	6.1	12.3	0.07
114	5.6	53	5.3	10.6	0.08
125	2.5	26	3.7	7.9	0.04

一般国道 5 号 余市町大川					
K	U	Q	σ_s	V	T.M.R
11	55.2	50	4.6	55.6	0.08
13	54.4	59	4.7	54.8	0.11
14	52.2	61	4.5	52.6	0.05
15	50.2	63	5.0	50.7	0.05
16	50.6	69	6.4	51.4	0.09
17	51.0	72	5.9	51.7	0
18	50.1	75	4.4	50.5	0.05
19	49.7	79	6.2	50.5	0.03
20	46.0	77	11.7	49.0	0.05
21	47.5	85	8.4	49.0	0.07
22	50.8	92	4.7	51.2	0.05
23	48.5	95	6.8	49.5	0.04
26	45.9	99	12.6	49.4	0.03
27	46.5	106	6.0	47.3	0.06
30	47.9	119	10.0	50.0	0.03
33	37.5	103	10.6	40.5	0.04
42	22.6	80	15.0	32.5	0.01
49	26.7	109	13.3	33.4	0.03
57	15.1	71	14.4	28.8	0.04
58	15.9	76	17.1	34.3	0.07
59	17.7	87	12.3	26.2	0.02
75	14.0	88	12.3	24.8	0.09
80	10.7	71	9.4	19.0	0.03
81	9.0	61	6.0	13.0	0.03
84	10.5	73	8.3	17.1	0.04
92	11.1	85	12.3	24.8	0.05
98	5.1	42	6.0	12.1	0.05
111	6.5	60	8.7	18.1	0.07
124	2.1	22	3.6	8.1	0
131	2.2	24	1.6	3.3	0.12

この q を K で微分し、0とおいた時の K の値が K_c となる。

$$\therefore K = K_c = K_j / 2$$

また $q = K \cdot U = K \cdot U_f (1 - K/K_j)$ の式において
 $K = q/U$ の関係を入れ q に関する変数を U のみに
 変形すると、 $q = U \cdot K_j (1 - U/U_f)$ となる

$$\therefore dq/du = K_j - 2 \cdot K_j \cdot U/U_f = 0 \quad \therefore U = U_c = U_f/2$$

よって交通容量 Q は次のようになる。

$$Q = K_c \cdot U_c = K_j/2 \cdot U_f/2 = K_j \cdot U_f/4 \quad (7)$$

3-b GREENBERG MODEL

$\ell = 1$ 、 $m = 0$ とおき、時間遅れ T を省略すると(1)
 式は次のようになる。 $\ddot{X}_{n+1} = C \cdot \frac{[\dot{X}_n - \dot{X}_{n+1}]}{[X_n - X_{n+1}]}$ (8)

両辺を積分すれば

$$\dot{X}_{n+1} = U = C \cdot \ell_n [X_n - X_{n+1}] + B \quad (9)$$

(9)式へ(3)式の関係代入して添字を省くと

$$U = C \cdot \ell_n (1/K) + B \quad (10)$$

境界条件： $K = K_j$ のとき $U = 0$ $\therefore B = -C \cdot \ell_n (1/K_j)$

$$\therefore U = C \cdot \ell_n (K_j/K)$$

ここで、 $q = K \cdot U$ が成立する交通流を考えているの
 で 境界条件： $K = K_c$ のとき $dq/dk = 0$

$$\therefore C (\ell_n K_j - \ell_n K - 1) = 0$$

$$\therefore \ln (K_j/K) = 1 \quad \therefore K_j/K = e$$

臨界密度 K_c のときの臨界速度を U_c とすると

$$U_c = C \cdot \ell_n (K_j/K) = C \cdot \ell_n (e) = C$$

$$\therefore U = U_c \cdot \ell_n (K_j/K) \quad (11)$$

これがGREENBERG MODEL である。

U が U_c になるには K が K_j/e のときであるから

$K_c = K_j/e$ よって交通容量は次のようになる

$$Q = K_c \cdot U_c = K_j/e \cdot U_c \quad (12)$$

また(11)式をみても分るように $K = 0$ のときの U の値は
 定義されない。そこでGREENBERG MODEL では
 U_f を求めることができない。

3-c UNDERWOOD MODEL

$\ell = 2$ 、 $m = 1$ とすると(1)式は次のようになる。

$$\ddot{X}_{n+1} = du/dt = -C \cdot U dk/dt \quad (13)$$

両辺を積分すれば

$$\ell_n U = -C \cdot K + A \quad (14)$$

境界条件： $K = 0$ のとき $U = U_f$ $\therefore A = \ell_n U_f$

$$\therefore U = U_f \cdot e^{-C \cdot K}$$

また、 $q = U \cdot K = U_f \cdot e^{-C \cdot K} \cdot K$ となるので

$$\begin{aligned} dq/dk &= U_f (e^{-C \cdot K} - C \cdot K \cdot e^{-C \cdot K}) \\ &= U_f \cdot e^{-C \cdot K} (1 - CK) \end{aligned}$$

境界条件： $K = K_c$ のとき $dq/dk = 0$

$$\therefore 1 - CK_c = 0 \quad \therefore C = 1/K_c$$

$$\text{よって、} U = U_f \cdot e^{-K/K_c} \quad (15)$$

これがUNDERWOOD MODEL である。

$K = K_c$ のときの U が U_c であるから

$$U_c = U_f \cdot e^{-K_c/K_c} = U_f \cdot e^{-1}$$

よって、交通容量は次のようになる

$$Q = K_c \cdot U_c = K_c \cdot U_f \cdot e^{-1} \quad (16)$$

また(14)式をみても明らかなように U が 0 になるには
 $K = \infty$ とならなければならない。つまりUNDERWOOD
 MODEL では K_j を求めることはできない。

3-d MAY MODEL

$\ell = 3$ 、 $m = 1$ とすると(1)式は次のようになる。

$$\ddot{X}_{n+1} = du/dt = -C \cdot U \cdot K dk/dt \quad (17)$$

$$du/u = -C \cdot K \cdot dk/dt$$

両辺を積分すると

$$\ell_n U = -C \cdot K^2/2 + A \quad (18)$$

境界条件： $K = 0$ のとき $U = U_f$ $\therefore A = \ell_n U_f$

$$\ell_n U = \ell_n (U_f \cdot e^{-C \cdot K^2/2})$$

$$\therefore U = U_f \cdot e^{-C \cdot K^2/2}$$

また、 $q = K \cdot U = U_f \cdot K \cdot e^{-C \cdot K^2/2}$ となるので、

$$dq/dk = U_f \cdot e^{-C \cdot K^2/2} (1 - CK^2)$$

境界条件： $K = K_c$ のとき $dq/dk = 0$

$$\therefore 1 - CK_c^2 = 0 \quad \therefore C = 1/K_c^2$$

$$\text{よって、} U = U_f \cdot e^{-(K/K_c)^2/2} \quad (19)$$

これがMAY MODEL である。

$K = K_c$ のとき、 U が U_c であるから、 $U_c = U_f \cdot e^{-1/2}$

$$\text{よって、} Q = K_c \cdot U_c = K_c \cdot U_f \cdot e^{-1/2} \quad (20)$$

また(19)式をみても明らかなように U が 0 になるには
 $K = \infty$ とならなければならない、MAY MODEL にお
 いても K_j を求めることはできない。

4-1 Taylor 微分補正法によるパラメータ推定法

3-a から 3-d までのモデルのうち、a と b のモデ
 ルは線形となっており、また c と d はそれぞれ両方の
 対数をとれば線形となるので単純最小二乗法の適用が
 可能である。しかし、ここで注意しなければならない
 ことは、対数世界における残差平方和の最小とは実数
 世界においては測定値と推定値の比を最小にすること
 を意味していることである。(注-2)

それゆえ、条件式が非線形であれば（たとえ対数をとった線形になるとしても）それなりの工夫をして残差平方和が最小になるようにパラメータを決めなければならない。この目的に合う手法としてTaylor微分補正法によるパラメータ推定法がある。以下においてこの方法を紹介しよう。

（できる限り近似して）満足されなければならない方程式を $f_1(x, y) = 0, f_2(x, y) = 0, \dots, f_n(x, y) = 0$ (20) とする。また (x_0, y_0) は視察によったり、あるいは他の方法でこの連立方程式の近似解であることが分っていると仮定する。このとき、各関数 $f_i(x, y)$ を点 (x_0, y_0) のまわりで一般化されたTaylorの級数に展開でき、次のようになる。

$$f_i(x, y) = f_i(x_0, y_0) + \frac{\partial f_i}{\partial x} \Big|_{x_0, y_0} (x - x_0) + \frac{\partial f_i}{\partial y} \Big|_{x_0, y_0} (y - y_0) + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 f_i}{\partial x^2} \Big|_{x_0, y_0} (x - x_0)^2 + 2 \frac{\partial^2 f_i}{\partial x \partial y} \Big|_{x_0, y_0} (x - x_0)(y - y_0) + \frac{\partial^2 f_i}{\partial y^2} \Big|_{x_0, y_0} (y - y_0)^2 \right] + \dots$$

さて、もし (x_0, y_0) が求める解に対する合理的な近似値であれば、量 $(x - x_0)$ および $(y - y_0)$ は小さくなり、したがってそれらを平方したものや、さらに高次のべきはそれらの量そのものと比較して無視することができる。それゆえ方程式(20)は次に示す連立方程式で示すことができる。

$$f_i(x, y) \approx f_i(x_0, y_0) + \frac{\partial f_i}{\partial x} \Big|_{x_0, y_0} (x - x_0) + \frac{\partial f_i}{\partial y} \Big|_{x_0, y_0} (y - y_0) \quad (21)$$

この方程式は未知の修正項 $(x - x_0)$ および $(y - y_0)$ について線形である。そこで最小二乗法が連立方程式(19)について直接適用でき、それを行なうと予備的な推定値 (x, y) を適正に修正することができる。

UNDERWOODのモデルについてこの方法を適用してみよう。

$$\text{UNDERWOODのモデル: } U = U_f \cdot e^{-k/k_c} \quad (22)$$

ここで $U = Y, U_f = A, -1/K_c = B, K = X$ とおく
(20)式は $Y = A \cdot e^{B \cdot X} \quad (23)$

となる。このとき $f_i(A, B)$ は

$$f_i(A, B) = A \cdot e^{B \cdot X} - Y_i = 0 \quad (24)$$

(A, B) の初期値を (A_0, B_0) とし、(24)式を A, B について偏微分すると次のようになる。

$$f_i(A_0, B_0) = A_0 \cdot e^{B_0 \cdot X_i} - Y_i \quad (25)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial A} \Big|_{A_0, B_0} = e^{B_0 \cdot X_i} \quad (26)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial B} \Big|_{A_0, B_0} = A_0 \cdot X_i \cdot e^{B_0 \cdot X_i} \quad (27)$$

(25)、(26)、(27)式を(21)式へ代入すると

$$f_i(x, y) = (A_0 \cdot e^{B_0 \cdot X_i} - Y_i) + e^{B_0 \cdot X_i} (A - A_0) + A_0 \cdot X_i \cdot e^{B_0 \cdot X_i} (B - B_0) = 0 \quad (28)$$

ここで、 $U_i = (Y_i - A_0 \cdot e^{B_0 \cdot X_i})$

$$V_i = e^{B_0 \cdot X_i}$$

$$W_i = A_0 \cdot X_i \cdot e^{B_0 \cdot X_i}$$

$$a = A - A_0$$

$$b = B - B_0$$

とおくと(28)式は次のようになる。

$$V \cdot a + W \cdot b = U_i \quad (29)$$

パラメータ a, b は次の正規方程式を解くことによって得られる。

$$\begin{vmatrix} [V \cdot V] & [V \cdot W] \\ [V \cdot W] & [W \cdot W] \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a \\ b \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} [V \cdot U] \\ [W \cdot U] \end{vmatrix} \quad (30)$$

a, b の値が与えられているから

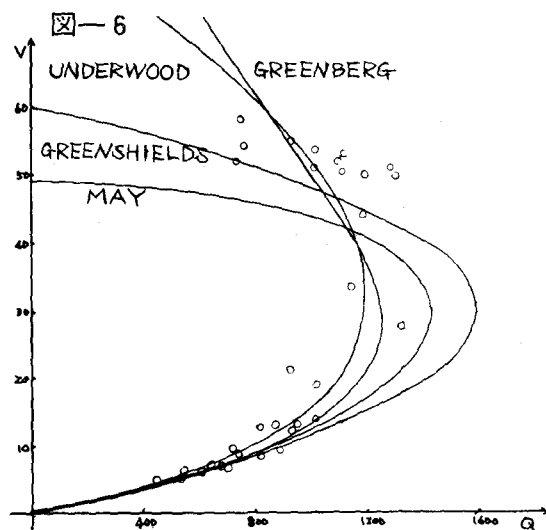
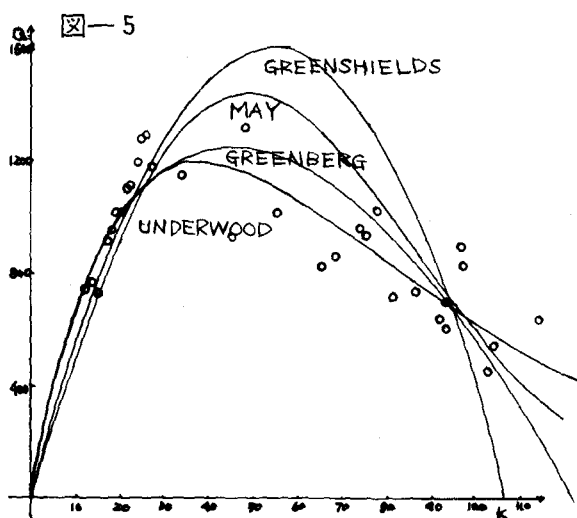
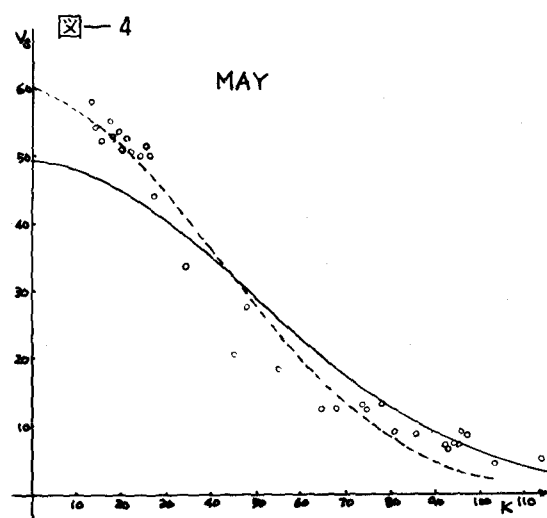
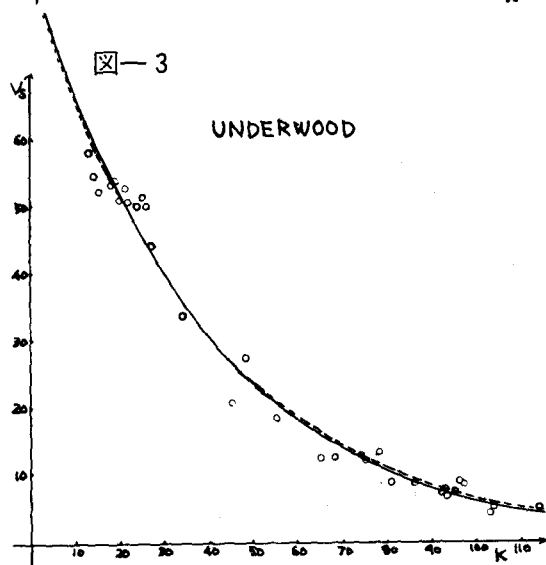
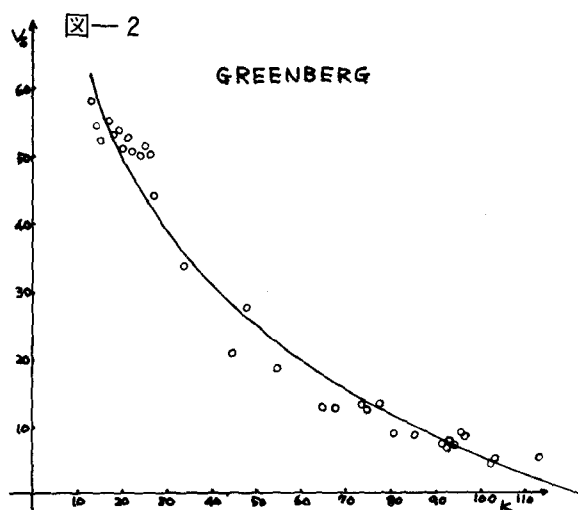
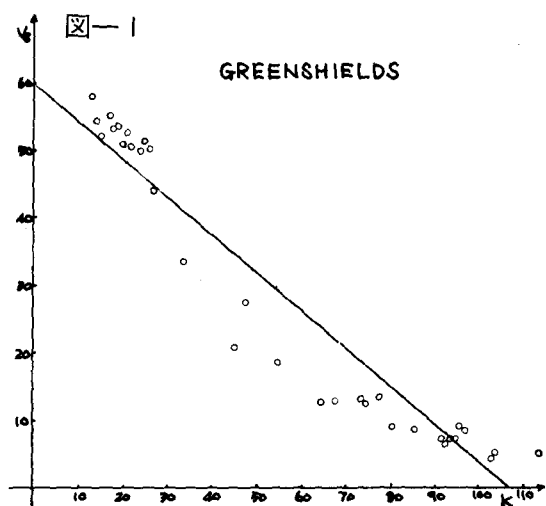
$A = A_0 + a, B = B_0 + b$ となり、この A, B を新たに A_0, B_0 として繰返し計算を行なう。

4-2 回帰分析の結果

表-2は表-1のデータをもとに行なった回帰式推定の結果を一覧表にしたものである。なお表中の(I)は単純最小二乗法の、(II)はTaylor微分補正法の結果を示す。また図-1~4は一般国道231号札幌市篠路付近における観測結果をプロットし、それぞれのモデル式の回帰線を入れてみたものである。

図-5、6は篠路におけるQ-KおよびQ-U図をプロットしたものである。図中の回帰線はK-U関係をそれぞれのMODELで表わした場合のQ-K、Q-U曲線を示している。

さてそれではどのモデルを交通流モデルとして採用すべきであるか。これは関数あてはめの問題となり、その際、あてはめの目的が重要となる。つまり良く合致する関数を求めるのか、「真の関数」を求めようとしているのかということである。単に満足すべき関係が欲しいなら範囲を限定してGREENSHIELDS MODELを用いればよい。しかし本研究の目的は単なる関数のあてはめにあるのではなく、交通流モデルとしての真の関係を探るところにあるのである。その意味で全体の適合度が良く、しかもそれぞれの境界条件を満足し、その上で使いやすい関数形であることが望ましい。交通流モデルの選択にあたっては以上のことを念頭において研究を進めた。



表一 3 回帰式総括表

地点名：一般国道 5 号 余市付近 昭和48年 7 月調査

	モデル	回 帰 式	U_f	U_e	K_j	K_e	$Q=K_e U_e$	Z	摘 要
U—K 回帰式	GREENSHIELDS	$U=56.72(1-\frac{K}{111.11})$	56.72	28.36	111.11	55.55	1575.4	1099.6	Z：残差平方和
	GREENBERG	$U=24.83\ln(132.98/K)$		24.83	132.98	48.92	1214.7	497.9	K=1のとき $U_f=121$
	UNDERWOOD (I)	$U=83.09e^{-(K/37.94)}$	83.09	30.57		37.94	1159.8	436.0	U=1 " $K_j=168$
	" (II)	$U=76.46e^{-(K/42.87)}$	76.46	28.12		42.87	1205.5	358.5	U=1 " $K_j=186$
	MAY (I)	$U=47.52e^{-\frac{1}{2}(K/50.14)^2}$	47.52	28.82		50.14	1445.0	938.5	U=1 " $K_j=139$
	" (II)	$U=55.40e^{-\frac{1}{2}(K/40.5)^2}$	55.40	33.60		40.50	1360.8	345.5	U=1 " $K_j=115$

地点名：一般国道 231 号 札幌市篠路付近 昭和48年 7 月調査

	モデル	回 帰 式	U_f	U_e	K_j	K_e	$Q=K_e U_e$	Z	摘 要
U—K 回帰式	GREENSHIELDS	$U=59.82(1-K/106.69)$	59.82	29.91	106.69	53.35	1595.7	1169.8	Z：残差平方和
	GREENBERG	$U=27.65\ln(122.73/K)$		27.65	122.73	45.15	1248.4	396.8	K=1のとき $U_f=133$
	UNDERWOOD (I)	$U=86.49e^{-(K/37.72)}$	86.49	31.82		37.72	1200.3	279.6	U=1 " $K_j=168$
	" (II)	$U=85.17e^{-(K/38.92)}$	85.17	31.33		38.92	1219.4	274.2	U=1 " $K_j=173$
	MAY (I)	$U=48.42e^{-\frac{1}{2}(K/48.94)^2}$	48.42	29.37		48.94	1437.4	1106.0	U=1 " $K_j=136$
	" (II)	$U=57.75e^{-\frac{1}{2}(K/40.9)^2}$	57.75	35.03		40.9	1432.7	412.0	U=1 " $K_j=116$

5. ま と め

- (1) 残差平方和の小さな順にモデル式をあげると測定箇所にかかわりなく、(1)UNDERWOOD、(2)GREENBERG (3)MAY、(4)GREENSHIELDS となった。
- (2) UNDERWOOD MODEL による交通容量値は 2 車線一方 1150～1200 台/時となっている。この値は道路構造令で言う 2 車線 2 方向の基本交通容量のほぼ $\frac{1}{2}$ となっており、大型車混入率や、沿道条件による多少の障害を考え合せればほぼ納得のできるものである。
- (3) UNDERWOOD MODEL においては Taylor 微分補正法による残差平方和の減少はさほど大きくなかった。これは対数変換して求めたパラメータが実数世界でも十分実用性を持ちうることを意味するものである。
- (4) (1)、(2)、(3)の事由より交通流モデルとしては UNDERWOOD MODEL が一番ふさわしいと考えられる。この場合、 $U=0$ のとき $K_j=\infty$ となる問題が残る。そこで近似的に $U=1 \text{ km/h}$ のとき $K=K_j$ となると境界条件を緩めてみると K_j は 160～190 台/km の範囲におさまり、ほぼ納得できる数値を与えることが分った。
- (6) 参考のために時間平均速度 V と K との関係を各モデル式で調べてみたが、いずれも空間平均速度 U を用いた場合と比較して、交通量で 2～3 割程度大きな数値をもたらした。
- (7) 空間平均速度の分散は交通容量を与える臨界速度付近で大きくちらばり、自由状態や強制状態では小さくなることが判明した。それゆえ最小分散値を与えるパラメータを推定するためには、これら分散の違いを「重み」とした、重みつき最小二乗法を用いなければならない。
- (8) 本研究においては同一密度をもつ測定値は任意抽出して 1 個だけを取りあげたが、本来はこの抽出率によっても重みづけを行わなければならない。
- (9) 本研究によって 2 車線 1 方向の交通流現象が明らかになった。今後は 2 車線 2 方向、多車線道路等における交通流モデルの検討を行なう必要がある。

注一 1：「道路交通流の測定法に関する研究」：高橋他：土木学会北海道支部論文集第 32 号 昭和 51 年 2 月

注一 2：「グラビティモデルに関する一考察」：山形他：第 12 回日本道路会議論文集 昭和 50 年 10 月