

名古屋工業大学 正員 渡辺新三  
大阪工業大学 O正員 金丸次男

### 1. まえがき

一様な道路区間を走行している交通の流れはその交通状態によってつぎの3つに分けられる。(1) 交通量が少なく、個々のドライバーが自己の希望する速度によって走行できる状態。(2) (1)よりも交通量がかなり増え、交通流内に前車に追従しながら走行する車の数が増加し、交通流をほぼ *random flow* とみなせなくなった状態。(3) 交通が非常に混雑し(交通密度が高い)、相互に干渉しあう長い車の列が続いているような状態。(1)の場合には道路上の任意地点における任意時間間隔内の交通量の分布はポアソン分布に従うことがよく知られており、また(3)の場合には交通流の分布は単位分布で近似できる。(2)の中間状態の交通流については過去に $\Gamma$ -分布の適用が提案されているが、パラメーターの決定に難点がある。著者らは中間状態の交通流が単独走行車と車群とによって形成されている点に着目し、交通流の構成単位として車群を考え(この場合、単独走行車は1台の車で構成されている車群と考える)、道路上の任意地点において任意時間間隔の間に通過する車両数の分布を(3)式の形で求めた。この(3)式の誘導過程についてはすでに第22回年次学術講演会において発表したの<sup>※</sup>で、今回はその第2報として実際の道路交通流について行なった車群モデルの観測結果を発表する。

### 2. 車群モデルによる道路交通流の分布

#### 2-1. 数学モデル

付近に交差点などの道路交通流を乱す要因のない道路区間において、交通の流れを *random queue* とみなして(1)~(3)のような交通流の数学モデルを設定した。

[1] 交通流の構成単位として車群を考え、単独走行車は1台の車で構成されている車群と考える。車群の先頭車と追従車はほぼ等しい速度で走行し、かつ車群内の追従車は限界車頭間隔よりも小さい間隔で追従走行しているものとする。

[2] 車群の出現確率はポアソン分布に従うと仮定する。ここに車群間隔は任意の車群の先頭車の車頭からつぎの車群の先頭車の車頭までの *time interval* とするものとする。

$$W_k(t) = (\lambda t)^k e^{-\lambda t} / k! \quad (\text{ただし、} k = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

$W_k(t)$ : 道路のある地点において任意の時間間隔  $t$  内に  $k$  個の車群を観測する確率

$\lambda$ : 単位時間あたりに通過する車群の数の平均

前述したように、本研究は中間状態の交通流の解析を主眼としており、長い車の列が続くような交通の混雑した状態を対象としていない。したがって、ここで取扱われる車群は比較的小規模であり、個々の車群の独立性が近似的に満足されるので、この仮説はさほど無理なく適用できるものである。

[3] 車群台数の分布は  $r=1$  の *Borrel-Tanner* 分布に従うと仮定する。

$$p_m = \frac{m^{m-1}}{m!} \alpha^{m-1} e^{-\alpha m} \quad (\text{ただし、} m = 1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

※参考文献(2)    \*\* 参考文献(1)

$P_m$ : 交通流の中から任意に選びだされた1つの車群がちょうど  $m$  台の車で構成されている確率

$\alpha$ : 分布のパラメーター ( $\alpha > 0$ )

この分布は近似的に適用できることが経験的に知られており、本研究でもこの分布を採用する。

## 2-2. 時間間隔 $t$ 内に $n$ 台の通過車両を観測する確率

[(1)~(3)]の仮定にあって、道路上のある地点において、任意の時間間隔  $t$  内に  $n$  台の通過車両を観測する確率  $P_n(t)$  を求めると、 $P_n(t)$  は次式で与えられる。

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t + n\alpha)^{n-1}}{n!} \lambda t \cdot e^{-(\lambda t + n\alpha)} \quad (\text{ただし } n=0, 1, 2, 3, \dots) \quad (3)$$

$\lambda$ : 車群の出現確率 (1式) のパラメーター

$\alpha$ : 車群台数の分布 (2式) のパラメーター

この分布の平均値は  $\lambda t / (1 - \alpha)$  であり、 $\alpha = 0$  の場合は平均値  $\lambda t$  のポアソン分布を表わす。(2式)における  $\alpha$  の条件は  $0 < \alpha < 1$  であるが、交通流が random flow とみなせる場合には車群のほとんどは単独走行車で構成されるから、(2式)の期待値  $1 / (1 - \alpha)$  は1に近づくことが予想される。すなわち、 $\alpha \rightarrow 0$  の場合、(3式)はポアソン交通流を表わすことになる。一方、 $\alpha \rightarrow 1$  の場合には  $1 / (1 - \alpha) \rightarrow \infty$  となり、交通流が極端に混雑した状態 (最大交通密度に近い状態) を表わし、この場合には仮定(2)が成立しないので(3式)は適用できない。したがって(3式)の適用範囲は random flow から中間状態の交通流までと考えられる。

## 3. 限界車頭間隔の実証的決定

実際の交通流において車群の観測を行なう場合、車群の判定基準が問題となる。車群と車群との切れ目を判断する基準となるのは追従車の車頭間隔であるが、一般に走行中の車両について追従車とそうでない車との区別はかなり難しく、限界車頭時間についてはまだ研究段階にあり、定説化されていない。著者らは追従車と認定しうる車頭間隔の限界値を限界車頭間隔と呼び、走行の自由性からつぎのように考察した。

個々の車両が自由に走行している場合、車頭時隔の分布は指数分布をなすが、交通流内に追従車の数が増加すると指数分布が適合しなくなってくる。この原因は追従車が増えると度数分布の左側 (車頭間隔の小さい部分) に大きな頻度が現われるためである。そこで、ある車頭時隔  $T$  (sec) 以下の部分を truncate し、truncate された分布に対し適合度の検定を行なうことによって、限界車頭間隔をみいだすことができる。著者らが名阪国道で観測したデータについて、指数分布が適合しない20個のデータの truncate した分布への適合度を調べた結果は、 $T = 2$  sec で適合するもの2例、 $T = 4$  sec で適合するもの16例、 $T = 6$  sec で適合するもの2例であった。

表-1 truncate された指数分布への適合性の検定

| 車頭<br>間隔<br>sec       | 観測<br>度数 | 期 待 度 数 |               |       |
|-----------------------|----------|---------|---------------|-------|
|                       |          | 指数分布    | truncateされた分布 |       |
| 0~2                   | 168      | 91.09   |               |       |
| 2~4                   | 69       | 71.23   | 42.26         |       |
| 4~6                   | 41       | 56.01   | 35.23         | 27.20 |
| 6~8                   | 22       | 43.78   | 29.36         | 23.20 |
| 8~10                  | 24       | 34.64   | 24.49         | 19.80 |
| 10~14                 | 28       | 48.95   | 37.44         | 31.26 |
| 14~18                 | 19       | 30.54   | 25.98         | 22.75 |
| 18~22                 | 15       | 16.37   | 18.09         | 16.56 |
| 22~32                 | 21       | 24.62   | 24.59         | 24.25 |
| 32以上                  | 21       | 10.77   | 16.57         | 19.96 |
| $T_{sec}$             |          | 0       | 2             | 4     |
| $\chi^2_{\text{実観値}}$ |          | 102.56  | 26.96         | 8.98  |
| d.f.                  |          | 8       | 7             | 6     |
| $\chi^2_{\text{理論値}}$ |          | 15.51   | 14.07         | 12.59 |

以上の検討の結果、限界車頭間隔を4秒と決定し、車群観測にこの値を用いた。

#### 4. 観測および結果

車群モデルによる道路交通流の確率分布が実際の道路交通流にどの程度適合するかを知るために、名阪国道(国道25号)において、車群の出現確率、車群台数の分布および時間 $t$ の間に $n$ 台の交通量を観測する確率 $\psi_n(t)$ の3項目について観測を行なった。観測場所は友生I.C.～中瀬I.C.および治田I.C.～白檜I.C.の直線区間、観測時期は昭和42年10月、11月、また観測はYS行動記録器およびストップウォッチを用いて時間帯別、方向別に観測した。

観測データの解析にあたっては限界車頭間隔を4秒として車群の判定を行ない、時間間隔としては $t=60$ 秒を採用した。

A. 車群の出現確率——仮定(2)を検討するために、1分間あたりの車群の出現度数がどの程度ポアソン分布に合っているかを有意水準5%の $\chi^2$ -検定によって行なった。結果は表-2、(A)欄の示すように、観測データ44例中31例(約70%)が適合した。

B. 車群台数の分布——仮定(3)の検討は車群台数の分布のBorel-Tanner分布への適合性によって行なった。有意水準5%の $\chi^2$ -検定結果は表-2、(B)欄に示すようである。一般にこの分布がよくあてはまることは参考文献(3)(4)等によっても報告されているが、著者らの調査結果においてもそのことは示されている。

C. 交通量の分布——これの検討は車群モデル(3式)と従来のポアソンモデルとの両方について行なった。車群モデルに対する $\chi^2$ -検定の結果は表-2、(C)欄および表-3に示すようにかなり良好である。とくにポアソンモデルと比較した場合、ポアソンモデルの検定は全体の50%が棄却されているのに対し、車群モデルは全体の14%しか棄却されていない。また交通量300(台/時)以上の場合には、ポアソンモデルはほとんど適合していないのに対し、車群モデルはかなり高い適合性を示している。

#### 5. 結び

著者らはここに1つの交通流モデルを提案した。このモデルの実際の道路交通流における適合性は著者らの数少ない観測結果からでは結論を下すまでにいたらないが、今回の調査44例については良い結果を示している。今後さらに多くの観測を行なって適合性を検

表-2. 車群モデルによる交通流の各種分布の適合性の検定(有意水準5%)とポアソンモデルの検定

| 交通量<br>(台/時) | 車群モデルによる交通流の分布  |                 |                      |    |    |    | (D) ポアソン<br>モデルによる<br>検定結果 |    |
|--------------|-----------------|-----------------|----------------------|----|----|----|----------------------------|----|
|              | (A) 車群の<br>出現確率 | (B) 車群<br>台数の分布 | (C) $t$ 時間<br>交通量の分布 |    |    |    |                            |    |
|              | 適合              | 棄却              | 適合                   | 棄却 | 適合 | 棄却 | 適合                         | 棄却 |
| 200未満        | 7               | 1               | 6                    | 2  | 7  | 1  | 4                          | 4  |
| 200~300      | 15              | 5               | 18                   | 2  | 19 | 1  | 15                         | 5  |
| 300~400      | 5               | 7               | 11                   | 1  | 9  | 3  | 3                          | 9  |
| 400~500      | 2               |                 | 1                    | 1  | 2  |    |                            | 2  |
| 500~600      | 2               |                 | 2                    |    |    | 2  |                            | 2  |
| 計            | 31              | 13              | 38                   | 6  | 37 | 7  | 22                         | 22 |

表-3. 車群モデルによる交通量の分布(3式)に対する適合度の内訳

| 交通量<br>(台/時) | 適合度(%) |       |       |      | 有意水準<br>5%の棄却 |
|--------------|--------|-------|-------|------|---------------|
|              | 70以上   | 70~50 | 50~30 | 30以下 |               |
| 200未満        | 5      | 1     | 1     |      | 1             |
| 200~300      | 6      | 1     | 6     | 6    | 1             |
| 300~400      | 1      | 2     | 3     | 3    | 3             |
| 400~500      |        |       |       | 2    |               |
| 500~600      |        |       |       |      | 2             |
| 計            | 12     | 4     | 10    | 11   | 7             |

討するとともに、交通量とパラメーター $\lambda$ 、 $\alpha$ との関係、車群化率と車群モデルの適合度との関係などについても研究を進めて行きたい。

図-1 車群の出現確率

図-2 車群台数の分布

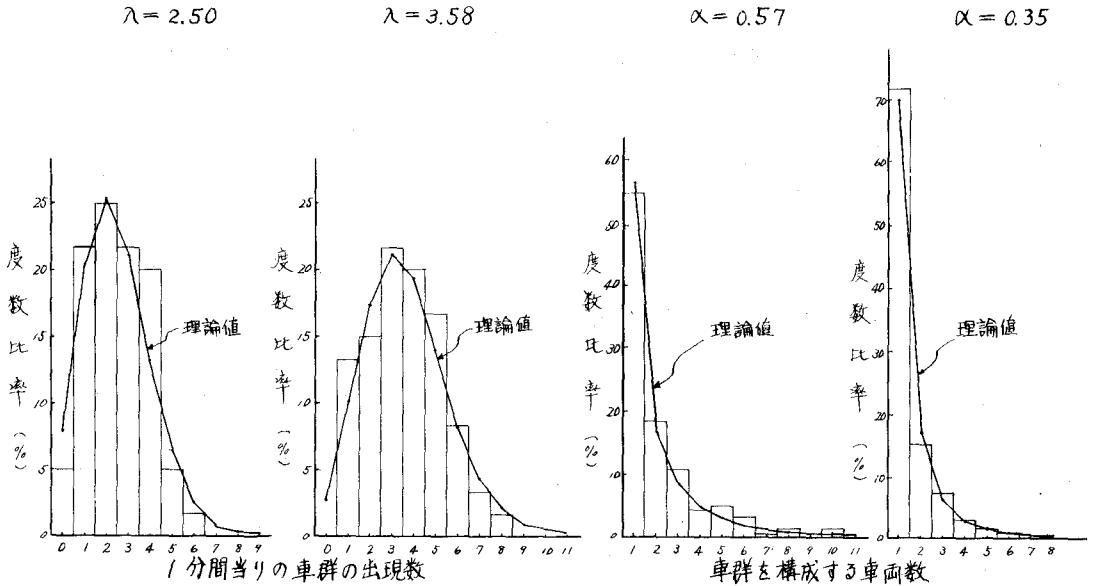
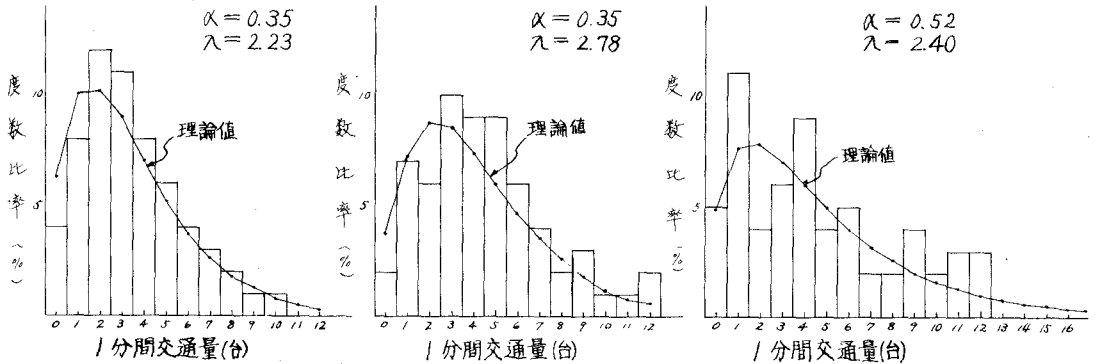


図-3 1分間の通過台数の度数分布と $U_n(t)$ の比較



### 参考文献

- (1) 渡辺新三、金丸次男；車群によって構成される道路交通流の確率論的考察、第22回年次学術講演集
- (2) F.A.Haight；New Statistical Method for Describing Highway Distribution of Cars, Proc.H.R.B.Vol.40
- (3) A.J.Miller；A Queueing Model for Road Traffic Flow., J.R.S.S. 1961
- (4) 高田弘栗本謙；車群の走行特性と交通容量について、第19回年次学術講演集