

交通量調査地点の配置間隔に関する基礎的研究

九州大学 工学部 正員 外井 哲志

1. はじめに

道路上の一断面を通過する交通量を観測する「交通量調査」の体制に関しては、調査データの利用面ほど注意が払われていない。しかし交通量調査から得られる情報は道路計画・道路管理上きわめて重要な要素であり、その誤差の大きさによっては担当者の判断を誤らせる原因にもなりうる。したがって、交通量データ中に含まれる誤差の範囲を明確にした上でデータを利用するという姿勢をとるとともに、誤差を最小限におさえる観測体制について、個々の地点の観測誤差（人手観測、機械観測）、観測地点の配置＝観測システムなどの面から考察することが重要であると考えられる。

著者はすでに道路網上に交通量常時観測地点を配置する方法について提案しており¹⁾、さらに大規模な道路交通センサスにおける交通量の観測地点間隔についても研究が必要と考えている。

本研究は、このような問題を取扱う端緒として、連続する観測地点の中である長さをもつトリップがどのように観測されるか、また、その誤差がどの程度であるかなどについて確率論的な考察を加えたものである。

2. 現象のモデル化とトリップ長の推定

一本の長い道路に $f(l)$ なる確率密度関数を有する分布に従う長さ l のトリップが一様に存在していると考え、このような道路に連続的にある間隔で観測地点を配置する。配置間隔が (a) 一定である（等間隔）、(b) 確率分布に従う（密度関数 $g(t)$: t は間隔）の2ケースを考える。

2.1 等配置間隔の場合

トリップ長を l 、観測地点配置間隔を t とする。 $nt < l < (n+1)t$ (n : 非負整数) なる範囲のトリップが n 回、 $n+1$ 回観測される確率は、

$$\left. \begin{aligned} P_n &= \{(n+1)t - l\} / t = n+1-l/t \\ P_{n+1} &= (l - nt) / t = l/t - n \\ P_n + P_{n+1} &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

長さ l のトリップが観測される回数の期待値 M_n は

$$M_n = P_n n + P_{n+1} (n+1) = l/t \quad (2)$$

次に観測回数と地点間隔とからトリップ長を推定すると、 nt と $(n+1)t$ の2通り考えられるので、トリップ長推定誤差の2乗平均値 ϵ_n^2 は、

$$\begin{aligned} \epsilon_n^2 &= P_n (l - nt)^2 + P_{n+1} \{(n+1)t - l\}^2 \\ &= (n+1-l/t)(l/t - n) t^2 \end{aligned} \quad (3)$$

となり、推定誤差は観測地点間隔 t の2乗に比例して増大することがわかる。なお式 (3) を l に関して平均すると $(t^2/6)$ となる。

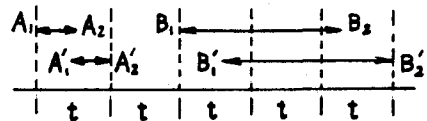


図-1 等配置間隔とトリップ長

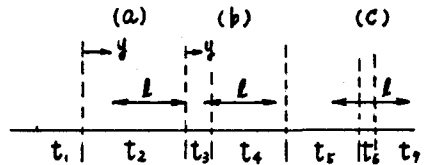


図-2 確率分布する配置間隔とトリップ長

2.2 配置間隔が確率分布に従う場合

配置間隔 t が確率密度関数 $g(t)$ をもつ確率分布に従うとき、トリップ長 l の観測回数が0である確率 P_0 は次式のように表される（図-2(a) 参照）。

$$\begin{aligned} P_0 &= \Pr(t_2 > l, 0 < y < t_2 - l) \\ &= \int_l^\infty (t_2 - l) g(t_2) dt_2 / \bar{t} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{ここに、} \bar{t} = \int_0^\infty t g(t) dt$$

また P_1 も同様の考察により、次式で与えられる（図-2(b) 参照）。

$$\begin{aligned} P_1 &= \Pr(l < t_3 + t_4, l < t_3, l < t_4, t_3 - l < y < t_3) \\ &\quad + \Pr_2(l < t_3 + t_4, l < t_3, l > t_4, t_3 - l < y < t_3 + t_4 - l) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +Pr_3(1 < t_3 + t_4, 1 > t_3, 1 > t_4, 0 < y < t_3 + t_4 - 1) \\
& +Pr_4(1 < t_3 + t_4, 1 > t_3, 1 < t_4, 0 < y < t_3) \\
& = \left\{ \int_1^{\infty} g(t_3) \int_1^{\infty} g(t_4) dt_4 dt_3 \right. \\
& \quad + \int_1^{\infty} g(t_3) \int_0^1 t_4 g(t_4) dt_4 dt_3 \\
& \quad + \int_0^1 g(t_3) \int_{1-t_3}^1 (t_3 + t_4 - 1) g(t_4) dt_4 dt_3 \\
& \quad \left. + \int_0^1 g(t_3) \int_1^{\infty} t_3 g(t_4) dt_4 dt_3 \right\} / \bar{t} \quad (5)
\end{aligned}$$

P_2 以下の一般形の記述は省略するが、確率密度関数として (6) 式のような指数分布を用いれば、 P_n は (7) 式のポアソン分布が導かれる。

$$f(t) = (1/\tau) \exp(-t/\tau) \quad (6)$$

$$P_n = (1/\tau)^n \exp(-t/\tau) / n! \quad (7)$$

観測される回数の期待値 M 、トリップ長の推定誤差 2 乗平均値を求めると、(8)、(9) 式を得る。

$$\begin{aligned}
M &= \sum_{n=0}^{\infty} n P_n = \sum_{n=0}^{\infty} n (1/\tau)^n \exp(-1/\tau) / n! \\
&= 1/\tau \quad (8)
\end{aligned}$$

$$\epsilon^2 = \sum_{n=0}^{\infty} P_n \epsilon_n^2 = 2(1 - \exp(-1/\tau)) \tau^2 \quad (9)$$

指数分布の場合にも推定誤差 ϵ^2 は平均観測地点間隔 τ の 2 乗に比例して増大することがわかる。

3. 各種確率分布適用時のトリップ長推定誤差

配置間隔が確率分布する場合については、一様分布、対数正規分布の 2 分布形を用いたときのトリップ長推定誤差の 2 乗平均値とトリップ長との関係をシミュレーションにより求めた。図-3 はほぼ等しい期待値と分散をもつ一様乱数、対数正規乱数を用いたシミュレーションの結果である。図-3 にはさらに、上記 2 分布の期待値を間隔とする等間隔配置におけるトリップ長推定誤差曲線を示してある。

等間隔配置 ($\sigma=0$) の場合には放物曲線が一定の周期で繰返されるのに対し、配置間隔が確率分布をする場合には一様分布、対数正規分布の二者ともそれぞれ一定の値に収束している点が異なっている。後二者を比較すると対数正規分布のほうが相対的に

誤差が大きく現れている。

図-4 は一様分布において平均値を固定し、分散を変化させた場合の同様のシミュレーション結果を示している。#1、#2 など比較的分散が大きい範囲では上下変動が小さく、横這い状態を示すが、分散が小さくなるにつれて、周期性を帯び上下変動の激しい曲線形に変化する。さらに分散がゼロに近づくとき等間隔配置における誤差曲線に近似する。

4. おわりに

長さ 1 のトリップが平均観測間隔 t のもとで観測される回数の期待値は $1/t$ であり、トリップ長の推定誤差 ϵ^2 は配置間隔の分布形によって異なるが、一般に t^2 に比例して増大することが明らかになった。その他、配置間隔の分布形によって、誤差は変動し、同平均値ならば分散の小さな分布形の方が誤差も小さくなることが確認できた。

今後は、個々の地点の観測誤差等について研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 外井：交通量調査地点の配置に関する理論的考察，土木技術資料 28-11. 1986.

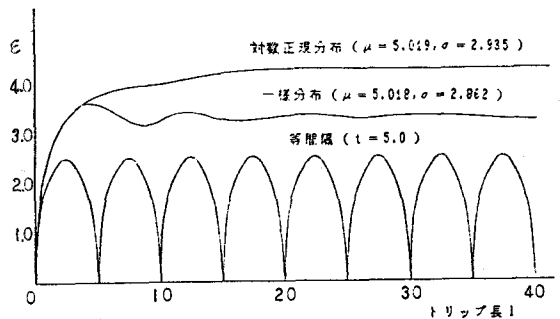


図-3 トリップ長推定誤差 2 乗平均値とトリップ長 (分布形別)

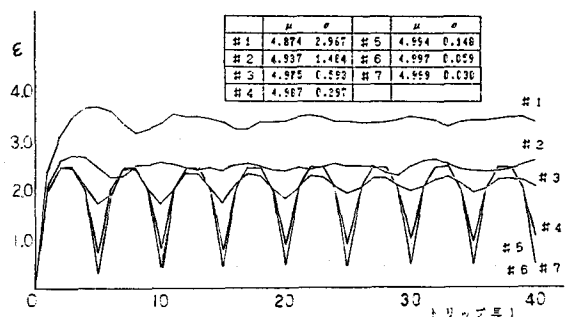


図-4 トリップ長推定誤差 2 乗平均値とトリップ長 (一様分布における分散の増減の影響)