土木学会第52回年次学術講演会（平成９年９月）

Ⅳ-83

高速道路における交通量変動系列の定常性に関する仮説検定

鳥取大学大学院　学生員　安野貴人
京都大学大学院　正会員　小林潔司

1. はじめに

近年，経路選択行動を再現した室内実験によれば，ドライバーは合理的期待を形成し，交通情報の非中立性命題は棄却されないという結果がえられている[1]．しかし，その結果は，道路ネットワークに生起している交通量変動が定常過程に従うという前提のもとで検討されているにすぎない．現実の道路では，ドライバーが観測できない交通量の変動が必ずしも定常確率過程に従うとは限らず，道路区間・曜日・時間帯などにより非定常な変動をしている可能性がある．本研究では，交通量の定常性仮説を定義し，屋外の高速道路で観測されたデータを用いて交通量の定常性仮説に対する統計的検定を試みる．

2. 交通量の定常性の経験的意義

既存の多くの経路選択行動モデリングでは、実際の道路ネットワーク上で観測される交通量の変動が定常的な確率過程に従うことが暗黙の内に想定されている．例えば、交通環境が定常的であれば、学習行動によりドライバーの主観的期待は合理的期待に収束することが保証される。また、確率論的均衡配分においても、交通環境の定常性が前提とされている。現実のネットワーク上での交通量変動が定常過程に従う場合、これまでに開発されてきた経路選択モデルやネットワーク均衡モデルは現実の定常な交通現象を十分に近似しており、定常環境を仮定した方法論も実用に十分耐えうると判断することができる．一方，交通量の変動系列が定常性を満足しない場合，ドライバーの走行時間に関する学習が合理的期待に収束するという保証はない。この場合、非定常な交通環境を想定した交通行動モデルの開発が不可欠となる[2]。交通量の変動系列が定常であるか否かは、既存の方法論が適用可能な領域を明らかにしうるという意味において重要な課題になると考える。例えば、現実の道路交通において定常な交通環境と非定常な交通環境の双方が存在することが判明した場合，各交通環境に適した異なる経路誘導方策を検討することも将来の課題となりえよう[2]．

3. 統計的仮説の定式化

交通量を観測した時点の集合をTと表す．いま，ある道路区間においてN日間にわたり時間帯tに観測された交通量の系列$\{X_1^t, \cdots, X_N^t\}$ $(t \in T)$を考えよう．X_n^tは，「n 日」における「時間帯 t」の観測交通量を表す．以下，時間の添字tを省略する．

定義 1 *(交通量の定常性)* 走行日次nの交通量が

$$E[X_n] = \mu \quad (1)$$

$$Var[X_n] = \sigma^2 \quad (2)$$

$$Cov(X_n, X_{n-s}) = E(X_n - \mu)(X_{n-s} - \mu) = \gamma_s \quad (3)$$

を満たすとき，交通量の系列は定常性をもつとよぶ．式(1)，式(2)は，交通量の期待値と分散がすべての走行日次nを通じて一定であることを要請している．式(3)は，異なる走行日次$(n, n-s)$の共分散が２つの日次の差sのみに依存し，走行日次nには無関係であることを主張している．上記の定義は弱い意味での定常性であるが，現実の道路で生起する交通量系列の統計的性質を検討するために十分である．

定義 2 *(和分)* 非定常な交通量系列 $\{X_n\}$ が d 回の階差をとることによって定常系列になるとき，$\{X_1, \cdots, X_N\}$ 原系列は次数 d の和分 *(integration)* であるとよぶ．このことを次式で表す．

$$X_n \sim I(d) \quad (4)$$

とくに，$I(0)$は交通量の原系列が定常系列であることを表す．$I(1)$は，原系列は非定常であるが１階の階差$\Delta X_n = X_n - X_{n-1}$をとることによって階差をとった系列$\{\Delta X_n\}$は定常性を有することを表す．

キーワード：交通現象，高速道路，定常過程，仮説検定．
連絡先：〒680　鳥取市湖山町南４丁目101　TEL:0857-31-5333　FAX:31-0882.
〒606-01　京都市左京区吉田本町　TEL/FAX:075-753-5071.

4. 仮説検定の方法

本研究では，同一時間帯における交通量の日次変動に着目する．交通量の変動が，日次変動を通じて周期的に変動することは言うまでもない．たとえば，同一時間帯に関する月曜から日曜までの交通量を連続して並べた系列は，1週間単位で周期変動するであろう．また，現実の交通量系列は，道路の種類と観測日時に応じて異なる時系列過程に同定されうる．このような周期的変動やトレンド成分を除去した残りの成分にいま着目しよう。交通量の変動過程はその時系列特性に応じて種々のモデル化が可能である。ここでは、交通量の時系列変動が基本的な1階の自己回帰過程 $AR(1)$ に従う場合をとりあげ、定常性に関する仮説検定方法を説明する。いま、つぎに示すような $AR(1)$ 過程を考えよう。

$$X_n = \rho X_{n-1} + \varepsilon_n \tag{5}$$

ε_nは独立で同一の正規分布 $N(o, \sigma^2)$ に従うとする．$|\rho| < 1$ のとき $X_n \sim I(0)$ であるが，$|\rho| > 1$ のときトレンドがある．$\rho = -1$ のとき期待値 $E[X_n]$ が振動する．$-1 < \rho < 0$ のとき交通量が振動しながら発散する．いま，周期成分，トレンド成分を除去して考えよう．$|\rho| > 1, \rho = -1, -1 < \rho < 0$ のケースは除外する．したがって，random walk $(\rho = 1)$ であるか，正の自己相関 $(0 < \rho < 1)$ で定常過程 $I(0)$ であるかを検定することとする．式 (5) における定常性の帰無仮説，対立仮説は次式で表現できる．

$$H_0 : \rho = 1$$
$$H_1 : \rho < 1$$

式 (5) は次式に書き直すことができる．

$$\Delta X_n = \gamma X_{n-1} + \varepsilon_n \tag{6}$$

ここで，$\gamma = \rho - 1$ である．次の帰無仮説，対立仮説

$$H_0^{DF} : \gamma = 0$$
$$H_1^{DF} : \gamma < 0$$

はH_0,H_1と等価である．ここで，H_0^{DF}をH_1^{DF}に対して検定するため従来のt統計量を用いようとすれば，t統計量の分布はt分布より左に歪んだ$\hat{\tau}$分布になる．このため，t 統計量による定常性の検定は統計的過誤を犯しやすい．そこで，$\hat{\tau}$分布に基づいた Dickey-Fuller 検定 (DF 検定と略す) を用いよう[3]．有限標本で$\hat{\tau}$分布を解析的に求めることは困難であり，モンテカルロ実験に基づいて臨界点がえられている[3]．以下，DF 検定に基づいて交通量系列に対する和分の次数を検定する方法を要約する．

Step 1) まず，交通量の原系列が定常性を有するか（$X_n \sim I(0)$ であるか）否かを検定するために式 (6) における最尤推定量$\hat{\gamma}$を求める．

$$\hat{\gamma} = \left[\sum_{n=2}^{N} X_{n-1}^2\right]^{-1} \cdot \sum_{n=2}^{N} \Delta X_n \cdot X_{n-1} \tag{7}$$

これに基づいて DF 検定統計量$\hat{\tau}$を求める[3]．

$$\hat{\tau} = \left[s^{-2} \sum_{n=2}^{N} X_{n-1}^2\right]^{1/2} \cdot (\hat{\gamma} - 1) \tag{8}$$

ここで，$s^2 = (N-2)^{-1} \sum_{n=2}^{N} (\Delta X_n - \hat{\gamma} X_{n-1})^2$である．もし，$\hat{\tau} > \tau_\phi$ならば，$H_0^{DF}$が棄却されて X_nは有意水準ϕ·100%で定常性を有する．τ_ϕは臨界点である．逆に棄却されなければ，交通量 X_nは次数1以上の和分であるか，あるいは何度階差をとっても交通量は定常性を有しない（和分できない）可能性があるので次のステップへ進む．

Step 2) 次に，交通量の階差が$\Delta X_n \sim I(0)$ であるか否かを検定するために，

$$\Delta^2 X_n = \gamma \Delta X_{n-1} + \varepsilon_n \tag{9}$$

と定式化し，H_0^{DF},H_1^{DF}を検定する．もし，H_0^{DF}が棄却されれば，$\Delta X_n \sim I(0)$ であり，原系列が random walk である（$X_n \sim I(1)$ である）と判定する．逆に，棄却されなければ2次以上の和分 $I(d); d \geq 2$ である可能性があるので次のステップへ進む．

Step 3) さらに，2階の階差が$\Delta^2 X_n \sim I(0)$ であるか否かを検定するため，

$$\Delta^3 X_n = \gamma \Delta^2 X_{n-1} + \varepsilon_n \tag{10}$$

と定式化し直す．以下，H_0^{DF}が棄却されるまで上記のステップを繰り返す．

5. おわりに

本研究では，屋外で観測される交通量の変動が定常性をもつか否かを仮説検定する方法を提案した．大阪地区の高速道路で観測されたデータを用いて，交通量の定常性に対して仮説検定を試みた．なお，紙面の都合上，結果の詳細は，講演時に発表する．

参考文献

1) 小林潔司，安野貴人: 室内実験によるドライバーの合理的期待に関する仮説検定, 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 493-500, 1995.
2) 榲村吾朗，都明植，小林潔司: 非定常な環境下におけるドライバーの経路学習行動に関する研究, 平成9年度全国大会第 *52* 回年次学術講演概要集, 1997.
3) Fuller, W.A.: *Introduction to statistical time series*, John Wiley & Sons, 1976.