

道路ネットワークの旅行時間信頼性の推定及び評価の課題と展望*

A Review on Estimation and Assessment for Travel Time Reliability of Road Network*

中山晶一郎**・長尾一輝***

By Shoichiro NAKAYAMA**・Kazuki NAGAO***

1. はじめに

経済・社会活動の高度化とともに、道路交通サービスの質的な向上が求められている。自然災害、事故などによる通行止めや大幅な遅延だけでなく、需要の変動を原因とする旅行時間の不確実性を適切なデータに基づいて分析・評価し、道路利用者に情報を提供することや交通政策や交通管理、そして交通計画に生かすことは、道路交通サービスを供給する側にとってとりわけ重要な課題である。

半世紀ほど前から交通量観測装置を用いて、交通量の調査が行われてきている。近年の計算機の発達により、膨大なデータの処理が可能となってきている。このようなデータ分析することによって、道路交通量の変動等の傾向を詳細に把握することができると期待される。このような分析を行うにあたり、これまで交通量変動そして旅行時間変動についてどのようなことが明らかにされているのかを知っておくことは研究を進めていく上で非常に重要である。本稿では、紙面の都合上これまでに行われてきた交通量や旅行時間等の変動に関する研究のレビューを行い、道路ネットワークの旅行時間信頼性の推定及び評価の課題と展望をまとめる上での一助とすることを目的とする。

2. 交通量の変動分析

(1) 変動に意味するもの

変動という言葉は非常に幅広く用いられている。北村(2003)は変動を差異、変化、変動の3つの概念に分けている。本章では、狭義の「変動」であり、

*キーワード：旅行時間信頼性、交通量変動

**正員、工博、金沢大学大学院自然科学研究科
(金沢市角間町、

e-mail: snakayama@t.kanazawa-u.ac.jp)

***正員、工修、オリエンタルコンサルタンツ東北支社
(宮城県仙台市若林区土樋 104 OC 仙台ビル、
e-mail: nagao-kz@oriconsul.co.jp)

確率過程的変動である。以下、変動とはこの狭義の変動のことを示すものとする。

通常の時系列分析と同様に、交通量の変動を周期変動と不規則変動に分けることにする。周期変動とは、月や曜日、時間(時刻)による交通量の大小の傾向である。交通は人間の活動により派生的に発生するものであり、その人間の活動が月や曜日、時刻によってある程度傾向性を持って行われるため、当然、交通量もそのような傾向性を持つ。このような周期を適切に取り除くと、残りは不規則変動となる。

(2) 交通量の変動要因

a) 変動の主要因

通常の時系列分析と同様に、交通量の変動を周期変動と不規則変動に分けることにする。周期変動とは、月や曜日、時間(時刻)による交通量の大小の傾向である。交通は人間の活動により派生的に発生するものであり、その人間の活動が月や曜日、時刻によってある程度傾向性を持って行われるため、当然、交通量もそのような傾向性を持つ。このような周期を適切に取り除くと、残りは不規則変動となる。

変動要因としては、時間に関するものとして、年、月、週、曜日、時間があげられる。また、連休や年末・年始、お盆、年度末や決済日(五十日)などのカレンダー情報、天候、工事、事故などがあげられる。

b) 変動パターンの分類

月や曜日、時間(時刻)による交通量の周期変動については、半世紀以上も前より指摘されている。

池之上(1966)は、交通量の変動に関して詳細にまとめている。周期変動としては、特に月変動(季節変動)、曜日変動、時間変動(24時間)の3つに着目している。

曜日変動に関しては、U字型、逆U字型、一様型の3分類に分けている。U字型は休日交通量が多い場合、逆U字型は平日の交通量が多い場合、一様型は曜日変動があまりない場合である。ここで、U字と言っているのは、日曜日から次の日曜日までの折

れ線グラフの形から来ている。本稿では、それぞれを休日集中型、平日集中型、一様型と呼ぶことにする。

月変動に関しては、月変動がある場合とない場合に分け、ある場合に関しては、一般道と観光道に大別し、それぞれを細かく分類している。一般道では、12月ピーク（トラック主体の道路）、6月に多く、夏季に少ない、8～12月に多い（トンネルや橋梁などの交通の要所）、8月と12月の2ピーク（乗用車とトラックが別時点でピーク）、9～11月ピーク（山岳・丘陵地の地方幹線）である。また、観光道では、春秋に多く、梅雨・冬季に少ない（山岳部）、春夏に多く、梅雨・冬季に少ない（一般観光道）、夏にピーク（臨海・海岸部）、夏著しく多く、冬著しく少ない（夏季観光ルート）、多ピーク（伊豆の観光道）、7・12月に多く、9・10月に少ない、の9分類を示している。

24時間変動に関しては、常時観測データを分析した結果、全般的に、午前と午後と2つのピークがあり、12～13時に谷がある。そして、都市部及び幹線道路ではピークの山が平らであり、通過交通が多い場合、昼夜の境の増減が緩やかとしている。

常時観測地点を都市部、ADTが10000台以上の郊外部、ADTが5000台以下の郊外部、通過交通の正確の強い地方部の旧一級国道、通過交通の正確の強くない地方部の旧一級国道、地方部の旧二級国道に分類したところ、同じ分類内では類似したパターンをなしていることを図示している。

交通工学ハンドブックでは、都市内街路、主要幹線、地域幹線、観光道、都市中心部に分け、都市近郊部、都市中間部、観光道に分けている。

改訂道路交通データブックでは、都市内、都市周辺I、都市周辺II、山地部主要幹線、平野部主要幹線、地域幹線、観光道、幹線・観光道の8種類に分けている。

c) 変動の度合い

中村ら（1976）は、東京都心の数箇所の国土交通省（当時建設省）の常時観測データ5年分について、時間交通量の変動分析を行っている。降雨の影響は統計的には見られず、曜日の影響は小さいと報告している。また、8時から19時の変動係数は0.10から0.15、5時から7時の変動係数はこれらよりはるかに大きいとしている。5時から19時まで合わせた交通量の変動は時間交通量より小さかった。中村らは、3週間のみデータであるが、15分交通量についても分析しており、変動係数は0.10から0.25と変動が大きい、ピーク到達時点では0.10以下と安定してい

ると述べている。

交通量は大数の法則が成り立つ傾向が読み取れる。すなわち、15分交通量、1時間交通量、日交通量では、時間の長さが大きくなるほど、変動が小さくなる傾向が見られる。これは交通需要の変動は時間ごとに独立に近いことに起因していると思われる。次章で詳述するが、旅行時間にはこの法則は成り立たない傾向がある。

道路には容量があり、ピーク時などでは容量に近い交通量が流れるため、変動は小さくなる傾向も見られる。

飯田・高山（1981）は、北陸自動車道と中国自動車道の各インターチェンジの流出入合計日交通量（1年分）に対して、月・週・曜日の3元配置の分散分析を行った。その結果、月間変動、曜日変動、月間・週間の交互作用が有意であったと報告している。

d) その他の変動要因

天候の影響に関しては、雪の影響は大きく、飯田ら（1982）は金沢市内の交差点の交通量及び渋滞長を調査し、日交通量は、前日の降雪量よりも当日の降雪量との影響が大きく、日交通量と当日降雪量との相関は0.74と報告している。一方、渋滞度は前日降雪量の方が影響が大きく、その相関は0.58であった。渋滞は除雪できなかつた道路の積雪が大きく影響するためと考えられる。岡田・川野（1999）は、首都高速の渋滞量（渋滞長と渋滞時間の積）について、雪の日の渋滞量は通常の半分程度としている。一般に降雪により交通量が減少するものの、渋滞に関しては、降雪量や積雪量、除雪体制や路面状況などで、その影響が正反対になることがある。大量の降雪・積雪により、容量が著しく低下すると、住態度は大きくなるが、容量の低下が小さいと、逆に渋滞が減ることもある。

降雨の影響は、降雪ほど顕著ではなく、中村ら（1976）は（観測した東京の幹線道路について）降雨の影響は統計的に有意には影響していないと判断している。岡田・川野（1999）は降雨により首都高速道路の渋滞量は1割程度増加したとしている。井上ら（2003a）は本四連絡橋の日交通量を分析し、当日降雨があると交通量は減少し、逆に降雨の翌日は交通量が増加することを示している。そして、それは開通1年目では明石大橋・瀬戸大橋・多々羅大橋の上下共に全て統計的に有意であった。しかし、2、3年目では統計的には有意でない場合もあった。開通直後は観光交通の割合がより多いため、降雨の影響が大きかったと思われる。このように観光道か通常の都市道路かにより、降雨の影響は大きく異な

ると思われ、日常道路では降雨により交通量が増加すると共に、交通容量の減少もあり、渋滞が激しくなる傾向がある。一方、観光道は降雨により交通量が減少する。そして、予定を次の日に延期する交通も多く、降雨の翌日は交通量が増加することもあると言える。

塚井らは、本四架橋の交通量（数年分の日断面交通量）の時系列分析を行っている。連休や休日、降雨、料金が交通量に影響を及ぼしていることを示している。休日・連休を変数に取り込んだ自己回帰分析により、平日より休日の方が交通量が多いこと、通常の休日よりも連休の方が交通量が多いこと、さらに、連休前後の休日の交通量は通常の休日よりも交通量は小さく、連休前後の休日では出控えが行われていることなどを示している（井上ら、2002）。岡田・川野（1999）はカレンダー情報により渋滞量が大きく異なることを図示している。なお、井上らは、本四架橋の交通量に対するクラスター分析を行い、交通量変動のパターンの分類も行っている（井上ら、2003）。

日野ら（1986）は大阪府の主要な189の交差点の交通量（連続していない2か月分の日別・時間帯別交通量）を分析し、決済日には、日交通量は2～3%増加、業務時間帯（10～11、14～17時）では8%ほど交通量が増加していることを明らかにし、実際にはそれほど大きくない交通量の増加ではあるが、ひどい混雑が想起されているとしている。

(3) 交通量の周期変動と不規則変動

飯田・高山（1981）は、北陸自動車道と中国自動車道の各インターチェンジの流出入合計日交通量（1年分）に対して、月・週・曜日の3元配置の分散分析を行った。その結果、月間変動、曜日変動、月間・週間の交互作用が有意であったと報告している。そして、これらの3つと不規則変動の全変動に対する寄与率を計算している。不規則変動の割合はほぼ35～45%であった。また、北陸自動車道及び山間地区での中国自動車道では、月間変動が卓越し、阪神地区付近での中国自動車道では曜日変動が大きくなっている。

曹ら（1998）は東京都内の幹線道路の22地点の平日の日交通量の周期変動について分析を行い、さらに、同じ研究グループの小坂ら（1999）は首都高速道路の17年分の平日の日交通量について同様の分析を行っている。これらの研究では、首都高速と都内幹線道路の月間変動・週変動・曜日変動には大きな違いはなく、曜日変動に関しては金曜日の交通量が他の曜日（月・火・水・木）よりも多いこと、首都

高速での不規則変動の割合は7割程度、都内幹線道路では6割程度と不規則変動の全変動に対する割合は過半数を超えることなどを報告している。

飯田・高山の研究では、不規則変動の割合は4割前後である一方、曹らや小坂らの研究では6～7割と値は大きく異なっている。しかし、飯田・高山の研究では、休日を含めた日交通量であり、平日と休日の交通量は大きく異なると考えられるため、平日のみを考えた場合、不規則変動の割合は大きくなることも考えられる。よって、平日の交通量変動のうち不規則変動の割合は過半数を超えると考えて矛盾はないと推測できる。このことは交通量の変動を考える上で、不規則変動の占める割合は非常に大きく、交通量を何らかの確率分布を仮定して取り扱わざるを得ないことを示唆していると考えられる。交通量や旅行時間の予測は難しいものがあり、交通量・旅行時間は不確実であり、その不確実性や信頼性を考えることは重要であることを意味しているとも考えられる。

(4) 交通量の定常性

安野らは、名神・中国・山陽・舞鶴の高速自動車道の交通量の変動が定常であるのかの統計的検定を行った（安野ら、1997）。定常性の定義として、平均と分散、異時点間の共分散が時間に依らず一定であるという定義を採用している。年間のトレンドや月・曜日の周期要因を除去すると、平均が一定となるため、分散と異時点間の共分散が一定であることを検討すればよく、これは除去後の交通量変動がランダムウォークであるか否かを検証することになる。もしランダムウォークであれば、非定常であり、それが統計的に棄却されれば、定常であると判断できる。年間のトレンドや月・曜日の周期要因を除去した後の交通量変動は、有意水準1%で不規則な非定常要因（ランダムウォーク成分）が含まれるという帰無仮説が棄却され、除去後の交通量は定常であることを示した。

また、堤・樗木は、定常過程に対する時系列モデル（AROPモデル）の適合性が高い場合はデータは定常であり、そうでない場合は非定常であると仮定し、判別関数を作成し、それを用いた判別分析により、様々な交通量・交通需要量の定常性に関して検討を行っている。32例の有料高速道路の日交通量について、観光道路的な色彩の強い7例が非定常となったと報告している。

3. 旅行時間の変動分析

比較的入手が容易な車両感知器データを利用できるため、交通量の変動分析に関する研究は多く行われてきているが、旅行時間に関する研究はそれほど多くない。データの取得が難しいことが要因であると思われる。

大山らは、東京都心において、隣接する重要交差点での旅行時間の調査を行っている。旅行時間のヒストグラムを3つに分類している(大山ら, 1976)。ヒストグラムが1つのピークの場合、2つのピークの場合、分布が広くなだらかな場合の3分類である。本稿では、それぞれを1ピーク型、2ピーク型、平坦型と呼ぶことにする。隣接交差点間という短い距離のため、1ピーク型は全車が交差点で信号しなくても良い場合、全車が信号待ちする場合に現れ、2ピーク型は信号待ちする車群としない社群に分かれる場合に現れるためとしている。また、隣接重要交差点での信号サイクル長が異なるためと考えている。同一区間でも時間帯によってヒストグラムの形状が大きく異なることがあり、渋滞時では平坦型になる傾向があると報告している。また、全ての観測データで道路長が長くなるほど旅行時間の標準偏差が大きくなっており、その関係は必ずしも線形ではなく、急に旅行時間の標準偏差が大きくなることもあるなどが示されている。

近年、プローブデータやナンバープレート読み取り器の技術が進歩してきており、旅行時間の変動に関する研究も進むものと期待されている。

4. まとめ

本稿では、交通量の変動に関するこれまでの研究について概観してきた。道路利用者の視点から、また、政策評価の観点からは、交通量変動よりもむしろ旅行時間の変動の方がむしろ必要な情報である。交通量と旅行時間とは関数関係が成立するとも考えられるが、それは一つのリンクだけなど短距離のみに成立することも予想される。ボトルネックや信号、違法駐車、その他のさまざまな要因により、旅行時間も大きく変動することが考えられる。交通量変動の研究を生かし、旅行時間の変動について研究を行うことが必要であろう。

参考文献

1) 北村隆一：変動についての試行的考察，土木計画学研究・論文集，No. 20，pp. 1-15，2003。

- 2) 池之上慶一郎：交通量の変動，技術書院，東京，1966。
- 3) 中村一雄，中田明雄，岡崎征，高阪悠二，北村武次：交通量変動特性の統計分析，第3回交通工学研究発表会論文集，pp. 63-66，1976。
- 4) 飯田恭敬，高山純一：高速道路における交通量変動特性の統計分析，高速道路と自動車，Vol. 24(12)，pp. 22-32，1981。
- 5) 曹圭錫，谷下雅義，鹿島茂：東京都内幹線道路における日交通量の特性分析，第18回交通工学研究発表会論文報告集，pp. 153-156，1998。
- 6) 小坂浩之，曹圭錫，谷下雅義，鹿島茂：首都高速道路の日交通量の変動分析，第19回交通工学研究発表会論文報告集，pp. 17-20，1999。
- 7) 飯田恭敬，高山純一，本田誠：金沢市における積雪の交通量に及ぼす影響分析，第6回交通工学研究発表会論文集，pp. 49-51，1982。
- 8) 岡田知朗・川野祥弘：首都高速道路の渋滞特性分析，第19回交通工学研究発表会論文報告集，pp. 21-24，1999。
- 9) 井上英彦，塚井誠人，奥村誠：カレンダー情報を利用した本四架橋交通量の時系列分析，土木計画学研究・講演集，No. 26，CD-ROM，2002。
- 10) 井上英彦，塚井誠人，奥村誠：カレンダー情報を利用した本四架橋交通量の時系列分析，土木計画学研究・論文集，No. 20，pp. 843-848，2003a。
- 11) 井上英彦，塚井誠人，奥村誠：本四架橋交通量に基づく休日交通パターン分類，第23回交通工学研究発表会論文報告集，pp. 217-220，2003b。
- 12) 安野貴人，都明植，小林潔司：高速道路における日変動交通量系列の定常性に関する研究，土木計画学研究・講演集，No. 20(2)，pp. 913-916，1997。
- 13) 堤昌文，樗木武：交通輸送需要の時系列予測システムとAROPモデル，土木学会論文集，No. 407/IV-11，pp. 17-26，1989。
- 14) 堤昌文，樗木武：非定常な性質をもつ交通輸送需要のための時系列予測システムと非定常確率過程型AROPモデルの開発，土木学会論文集，No. 449/IV-17，pp. 125-133，1992。
- 15) 大山尚武，重田清子，松本俊哲，池之上慶一郎：確率変数としての旅行時間の特性について，第3回交通工学研究発表会論文集，pp. 79-82，1976。