

論文審査の結果の要旨

氏名：青山 恵 里

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：信号交差点における飽和交通流率の変化とその要因に関する研究

審査委員：（主査） 教授 下川 澄 雄

（副査） 教授 福田 敦 教授 小早川 悟

東北大学大学院情報科学研究科教授 桑原 雅 夫

交差点は、様々な方向から自動車や自転車・歩行者が流入してくるため、円滑な道路交通を実現するための交通の要所である。特に信号交差点では、赤信号表示による停止および減速、発進加速による遅れが生じるため、遅れ時間が極力少ない効率的な信号制御設計が求められる。また、近年では交差点のサービスの質について、交通性能指標（Measure of Effectiveness, MOE）に基づき、発揮されるサービス水準（Level of Service, LOS）の評価が行われつつあるが、このなかでも遅れ時間は重要な要素となっている。

一方で、信号による遅れ時間は、信号サイクル長と関係性が極めて深いため、最適な信号サイクル長を計算し信号制御設計に反映する必要がある。この計算には各交差点の飽和交通流率の値を入力する必要があるが、飽和交通流率の値はこの計算結果に大きく影響するため精緻な値が求められる。このため、飽和交通流率は各信号交差点での実観測によって設定すべきであるとされている。しかしながら、新設の道路や交差点の改良などのような場合には物理的に観測結果が得られず、類似地点における観測値の蓄積も期待できないことから、実務的には過去において理想的な道路・交通条件のもと観測された飽和交通流率を基本値とし、これに車線幅員や縦断勾配等の道路条件や大型車混入率等の交通条件などを補正率として乗じて求めた（可能）飽和交通流率を用いるのが一般的である。

これに対して、申請者は過去と比べて車両性能が向上している反面、ゆっくり発進をはじめとするエコドライブ走行が定着しつつあるなど走り方が変化しつつあること、高速道路においては自由流速度や実現最大交通量が経年的に低下していることに着目し、飽和交通流率の基本値が現在用いられている値よりも低い可能性があるのではないかの仮説を立てている。そして、申請者はこの仮説を証明するために、複数の地点において飽和交通流率の基本値に相当する値を観測し、その結果、飽和交通流率の基本値が仮説通り低下していることを証明している。その上で、その低下要因を飽和交通流率の構成要素である占有時間・車間時間、運転者や車両の属性・走り方の変化などに分けて分析を行い、どのような要因が飽和交通流率の低下をもたらしているかを明らかにしている。加えて、飽和交通流率の低下によって多くの実務者が気づいてはいないが、現実には多くの交通問題が生じていることを交通シミュレーションなどを通じて明らかにし、そのうえで今後の道路計画・設計において留意すべき点についても述べている。

本論文は、全6章から構成されている。審査の結果、次のように考えられる。

第1章「序論」では、信号交差点の計画・設計にあたり飽和交通流率の重要性をその定義とともに述べるとともに、本研究に至った背景と目的について示している。また、本研究の構成および概要を示している。

第2章「信号交差点の計画・設計と飽和交通流率に関わる文献整理と本研究の位置づけ」では、1970年の日本道路協会「道路構造令の解説と運用」以降、日本で発行されている信号交差点の計画・設計のガイドラインのなかから飽和交通流率の算出方法を取りまとめている。さらに米国、ドイツの飽和交通流率の算出方法と比較し相違点を示している。このなかでは、特に米国の飽和交通流率と比べると高い値が設定されることを明らかにしている。また、現在の飽和交通流率の基本値が規定値として設定された1984年の交通工学研究会「平面交差の計画と設計」の根拠となる観測結果を整理するとともに、その後2000年前後において観測された値から飽和交通流率の基本値が低下している可能性があることを示し、本研究の位置付けを明確にしている。飽和交通流率の基本値が低下している可能性が

高いことを実証的に示したことは大きな成果である。

第3章「信号交差点における飽和交通流率の観測結果とその特徴の分析」では、道路条件や沿道条件の影響がない飽和交通流率の基本値相当の値が得られると考えられる信号交差点を選定し、直進車線および右左折専用車線の飽和交通流率の観測を行い、規定値との比較を行っている。具体的には、規定値の根拠として観測された信号交差点のなかで、現在も幾何構造や下流側の信号交差点位置に変化がない信号交差点を抽出し観測した結果、当時の観測値よりも15%程度低下していることを明らかにしている。また、申請者は飽和交通流率の基本値相当の値が得られるこれら以外の地点での観測、休日・平日との比較、業務交通や軽自動車といった運転者属性、車両属性の違いに着目した分析を加えているが、同様に飽和交通流率の低下がみられることを示している。さらに、飽和交通流率の低下は大型車の乗用車換算係数（PCE）にも影響することが考えられる。このため、申請者は道路階層の異なる複数の信号交差点でPCEを観測したところ、これも現在の規定値よりも大幅に下回っていることを明らかにした。そしてその原因を分析し、乗用車の車尾時間の増加、つまり飽和交通流率の低下が大きく介在していることを明らかにしている。

飽和交通流率の基本値は、1970年代から1980年代に観測されたデータに基づいて1984年に規定値として設定された値である。これに対して、過去の観測地点を含めて飽和交通流率の基本値に相当する値を多面的な視点から観測し規定値と比べて低下しているとの申請者の主張は十分信頼できるとともに、今後のガイドライン等の改定にあたり貴重な知見を与えるものと高く評価できる。また、PCEに関しては、2018年3月の道路法の改正により物流上重要な道路網が「重要物流道路」として位置づけられた。申請者はセミトレーラ車の多いこのような階層の道路ではPCEが高くなることから、道路階層に応じたPCEの設定方法を提案しており、今後の道路計画設計において時宜を得た成果を示している。

第4章「信号交差点の飽和交通流率を低下させているメカニズムに関する検討」では、飽和交通流率が占有時間と車間時間の和（車尾時間）の逆数によって算出されることから、飽和交通流率の低下がどちらに寄与しているのか分析を行っている。占有時間は車長の長さに依存する。近年車長は短くなる傾向にあり飽和交通流率を増加させる方向に向かうはずであるが、飽和交通流率に対する感度はなく車間時間の増加が影響していることを明らかにしている。さらに、車間時間は車間距離と速度によって説明されるが、感度分析を行った結果、車間距離が車間時間を増加させている原因であることを明らかにしている。この結果を踏まえ、申請者は1988年と2019年に都内目白通り谷原交差点で撮影されたビデオデータの比較を通じて、車間時間（車間距離）が増加したメカニズムを分析している。その結果、青開始時の発進加速度が低下し、発進するまでの時間が長くなり、信号待ちをしている際の停止位置が後退している現象をとらえ、このような安全志向の運転が車間時間（車間距離）の増加につながっているのではないかと結論付けている。また、これらはマニュアル車からオートマ車への変化、近年のハイブリット車や電気自動車の存在、さらにはエコドライブ志向など車両やドライバーの走り方が大きく変化していることが要因であろうことを考察している。

第3章で申請者が取得したデータのみではなく、車両販売動向など社会的な趨勢を踏まえながら統計データの集計に工夫を凝らし、また過去のビデオデータとの比較を通じて得られた結論は、非常に創意工夫に満ちた内容であり、交通現象の解明において有用な成果を与えるなど工学的も有用性、発展性を有しているものとして高く評価できる。

第5章「飽和交通流率の低下がもたらす交通社会への影響の検討」では、飽和交通流率の基本値（規定値）を用いて設計した信号交差点では、飽和交通流率が低下しているため想定よりも大きな遅れ時間が生じているはずである。一方、飽和交通流率が低下すると需要率が大きくなるためサイクル長を長くしなければならないが、これによって赤時間が延長されることから遅れ時間が増加し、さらには先詰まりを起こすことも懸念されるなど、飽和交通流率の低下は信号制御を含む交差点設計に大きな影響をもたらす。そのため、申請者はWebsterの実験式を用いてそれらの影響の程度を計算している。さらに、申請者は仮想の単体交差点と1996年に交通工学研究会が作成した吉祥寺・三鷹ベンチマークデータセットにおいて、第4章の1988年と2019年の谷原交差点の車両挙動から作成したパラメータを用いて交通シミュレーションを実行し、過去と比べて信号交差点が過飽和になりやすく、これによ

る遅れ時間や時間損失は相当程度に及ぶことを示している。

信号交差点では過去と比べて飽和交通流率が低下し、非飽和から過飽和の状態に遷移し、遅れ時間が増加していることを交通技術者といえども気づく機会は極めて少ない。これに対して、これらを仮想フィールドと実フィールドを通じて実証的に示したことは実務的にも極めて重要な点を示唆するものであり高く評価できる。

第6章「総括」では、本研究で得られた成果を総括し、さらに今後検討すべき課題と展望について述べているが、このなかでは飽和交通流率を向上させる方法ばかりではなく、低下した飽和交通流率に対して既存道路空間の活用による信号交差点の交通容量の改善を図ること、さらには交通の機能分類を考え階層型の道路ネットワークへの再編により対応を図っていく必要性を論じている。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和2年2月20日