

氏名	中 堀 一 郎 なか ほり いち ろう
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 966 号
学位授与の日付	昭 和 52 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	交 通 流 の 配 分 と 制 御 に 関 す る 基 礎 的 研 究

(主 査)
論文調査委員 教授 西川 禎一 教授 佐佐木 綱 教授 木 嶋 昭

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、交通システムの計画、設計、及び制御のための重要な基礎的課題として、交通流の静的配分と、交通流の動態を表わすマクロモデル及び状態の推定、予測を取り上げている。そして、それらについて種々の数理論的考察を展開し、またいくつかの新しい計算アルゴリズムを開発すると共に、実際の道路における実測を試みて、理論的モデルから得られた結果との比較検討を行ったものである。

第1章は序論で、本研究の背景及び動機について述べると共に、論文内容の概要を説明している。

第2章では、交通流の等時間配分問題について、主としてグラフ理論的観点から考察を行っている。交通流網は多種流網の一種であるが、これをパス接続行列及びパスループ行列を導入して簡潔に表現し、パスと枝をそれぞれ木と補木に従って分割して、行列を変形し整理した。それらの行列を用いて交通量保存則、等時間則等の基本則を記述し、枝及びパス交通量に関する基礎方程式を導いた。その結果、電気回路に代表される1種流網との対応関係や、多種流網のグラフ論的特徴が明確にされている。また、これらの基礎方程式の解を従来の I.A. (逐増配分) 法や Wayne 法の手法と組み合わせて、新しいアルゴリズムを提案し、その収束性等についても論じている。さらに、交通流が多階層である場合への拡張についても言及している。

第3章では、第2章のアルゴリズムを大規模な道路網及び非線形な枝特性を有する道路網に適用する場合の、計算上の問題点について考察し、基礎方程式の求解におけるコレスキ分解法の適用、道路網の分割、ニュートン・ラフソン法におけるヤコビ行列の効率的計算法、等について検討を加えた。その結果に基づいて、実用的な汎用計算プログラムを開発し、例題によりその有効性を確かめている。

第4章では、配分問題に交通需要特性を導入して、需要と供給の均衡解を得る問題に、上記の手法及びアルゴリズムを拡張している。また通行料金法または流入制限法により、需給の均衡点を操作する問題をも論じている。

第5章では、道路交通流の動態モデルと、その状態推定への応用について考察している。従来のモデル

で常套的に用いられる交通密度と空間平均速度の組合せに代えて、交通密度の他に、区間速度に基づいて新たに定義した交通運動量及び交通エネルギーを、空間状態量として採用した。これらの変量は、それぞれ、一定地点で測定可能な速度調和、交通量及び速度和に期待値が等しいことを示し、それに基づいて新しい差分方程式モデルを導出した。またこのモデルを用いて、高速道路及び平面街路における交通密度などの空間状態量を、カルマン・フィルタの手法で推定することを試みている。それらの結果を実測データと比較検討し、推定の精度及び速度の点で、実際上有効であることを示した。

第6章は、高速道路における交通流の統計モデルと、その予測への応用について考察を加えたものである。すなわち、交通流の上・下流地点で得られる計測量を入・出力変数とする、定常確率過程を想定し、この入出力時系列データに ARMA（自己帰帰移動平均）モデルをあてはめて、システム・パラメータを同定することを試みている。高速道路における事故検出及び長大トンネル換気制御への応用例を挙げて、この方法により、交通流変動の短期的な予測が、実用上可能であることを例証している。

第7章は本論文全体の結論であり、得られた成果を要約すると共に、今後の検討課題を示唆している。

論文審査の結果の要旨

交通需要の増大と道路網の拡大・複雑化に伴って、交通システムの計画及び運用・制御の基礎となる交通流理論の整備が、重要な課題となってきている。この論文は交通流の静的配分問題と、交通流の動態を表わすマクロモデル及び状態の推定・予測の問題を取り上げ、それらについて種々の数理論的考察を展開し、いくつかの新しい計算アルゴリズムを開発したものである。また、実際の道路において交通流の測定を行い、理論的モデルから得られた結果と比較検討して、手法の有効性を実証したものである。

著者の得た主な成果を要約すれば、次の通りである。

- (1) 交通流網はいわゆる多種流網の一種であるが、著者は多種流網に対するグラフ理論的接近法を、体系的に展開した。考察したのは、主として一定交通需要の等時間配分の問題である。まず、バス接続行列及びバスループ行列を導入して多種流網を簡潔に表現し、次にバスと枝をそれぞれ木と補木に従って分割し、さらに補木バスを独立なものと従属なものに分割して、行列を変形し整理した。それらの行列を用いて交通量保存則、等時間則等を記述し、枝及びバス交通量に関する基礎方程式を導いた。その結果、電気回路に代表される1種流網との対応関係や、多種流網のグラフ論的特徴が、明快な形で示されることになった。
- (2) (1)で導いた基礎方程式の解を従来の I.A. (逐増配分) 法や Wayne 法の手法と組み合わせて、新しいアルゴリズムを構成し、その収束性等についても論じた。Wayne 法と組み合わせた計算法は、収束性の完全な証明は与えられていないが、いくつかの実際的例題に適用して、常に良好な結果が得られることを確かめている。
- (3) (2)のアルゴリズムを大規模な道路網及び非線形枝特性（枝の交通量-旅行時間特性）を有する道路網に適用する際の、計算法上の問題点について検討した。そして、基礎方程式の求解におけるコレスキ分解法、道路網の分割、ニュートン・ラフソン法におけるヤコビ行列の効率的計算法の導入により、実用的な汎用計算プログラムを完成した。

(4) 上記の理論的解析及びアルゴリズムを、交通流が多階層である場合及び交通需要量が必要旅行時間の単調減少関数となる場合にも、拡張し得ることを示した。需要関数を考えて交通需要の抑制制御を行う手段として、流入制限法と通行料金法を凸計画の形に定式化し、二次計画法を繰り返し用いる一つの求解法を提案した。

(5) 次に、道路における自動車交通流の動態を表現するモデルについて考察し、交通密度の他に、道路上の区間速度に基づいて新しく定義した交通運動量及び交通エネルギーを状態変数として導入した。それらの状態変数は一定地点で観測可能な時間変数と期待値が等しいことを示し、それに立脚して差分形の状態及び観測方程式を誘導し、カルマン・フィルタの手法により、状態推定を行っている。その結果は、従来手法、例えば N.E. Nahi などの手法によるよりも、推定の精度、安定性及び計算量の点において優れていることを、高速道路における実用例により明らかにした。この方法は、適当な観測を採用すれば、平面街路における状態推定にも適用可能である。

(6) さらに、高速道路における交通流の統計モデルと、その予測への応用について考察を加えた。すなわち、適当に距たった2地点で得られる観測量を定常確率過程の変数とみなし、いわゆる ARMA (自己回帰移動平均) モデルで表現して、パラメーター同定を行う手法を提案した。高速道路における事故検出及び長大トンネル換気制御への応用例を示して、この方法が交通流変動の短期的予測に極めて効果的であることを実証している。換気制御においては、トンネル内の横流換気方式を簡潔にモデル化し、交通流の予測と汚染物質濃度の計測に基づいて、換気風量を連続的に最適制御する方式を完成し、中央高速道路恵那山トンネルに試用した。

以上を要するに本論文は、交通流の配分及び予測と制御に関するいくつかの基本的問題に、グラフ理論及びシステムの同定と制御の理論を駆使して接近し、数理的展開の明確化、新しいアルゴリズムの開発、モデルの改良等において、多くの貢献をもたらした。さらに、豊富な数値例、実用例も、貴重な資料として評価され、学術上ならびに実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。