

論文の内容の要旨

氏名：SUWANNO PIYAPONG

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：Study on Evaluation of Traffic Management Measures Using Macroscopic Fundamental Diagram under Flooding Situation（Macroscopic Fundamental Diagram を用いた洪水発生時の交通管理の在り方の評価に関する研究）

近年の地球温暖化に伴う気候変動の影響によって、世界各地で豪雨や洪水が発生し、大きな被害をもたらしている。特に、都市化が進んでいるアジアの都市は、低平地に位置しているにもかかわらず、排水施設が十分に整備されてこなかったため、豪雨があると短時間で洪水が発生する。タイの首都バンコクも、このような都市の一つであり、一度、洪水が発生すると道路が各所で途絶し、深刻な交通混雑が発生し、都市生活に多大な影響を与えている。この問題へ対応するためには、洪水の発生が交通状態に与える影響を的確に把握し、洪水の発生を前提とした交通管理の在り方を検討する必要があるが、これまで洪水の被害やその治水対策に関する研究は多くなされているものの洪水発生時の交通管理の在り方を検討した研究は少ない。

以上のような課題に対して答えを得るためには、洪水の発生が、市街地の一定の範囲の交通状態にどの程度影響を与えるかを事前に把握しておく必要がある。そこで、本論文では、Macroscopic Fundamental Diagram を用いて一定の範囲の交通状態を表現することで、洪水の状況に応じた交通状態を把握する方法を提案した。Macroscopic Fundamental Diagram は一定範囲の交通状態によって形状が変化することが分かっており、様々な洪水の発生状態に応じて変化すると考えられる。そこで、Macroscopic Fundamental Diagram を利用することで、道路管理者は、現在の交通状況を的確に把握し、適切な交通管理対策を講じられると考えた。そのため、本論文では、推定した Macroscopic Fundamental Diagram の形状から得られる密度-交通流量および密度-速度の関係性を特定し、その値を動的交通配分モデルに交通流パラメータとして適用することで、道路ネットワークのパフォーマンスを評価する方法を提案した。さらに、構築したモデルを用いて異なる洪水発生条件下における交通管理対策により道路ネットワークのパフォーマンスが向上し、交通流が改善することを明らかにした。そして、最終的に洪水発生時の交通管理の在り方を評価する方法を示した。

本論文は8章から構成されており、各章の内容は以下の通りである。

「第1章 序論」では、本論文の背景と目的を述べた。

「第2章 既存文献の整理と本論文の位置づけ」では、国内外の文献を用いて、洪水の発生が交通状態に与える影響について整理した。多くの研究では、洪水の発生が都市の交通状態に深刻な影響を与えることを示しているが、具体的に洪水に対応した交通管理の在り方について言及したものは少ないことを確認した。一方、動的に変化する交通状況に対応した交通管理の対策については、多くの研究があり、特に近年では、Mesoscopic あるいは Microscopic な交通シミュレーションを用いて動的に分析する方法が多いことを示した。その上で、これらの方法で交通状況を把握するためには自由速度や最大容量などのパラメータを求める必要があり、そのパラメータは Macroscopic Fundamental Diagram を用いて推定することが有効であることを確認した。これらを受けて本論文の位置づけを示した。

「第3章 バンコクにおける洪水問題の分析」では、洪水の発生によって生ずる問題を既存研究や各種の統計データを整理し、把握した。バンコクは低平地に位置しているにもかかわらず、排水システムの整備が不十分であることから豪雨時に浸水深が急激に増加するため、本論文では、そのメカニズムを示すと共に、市内における洪水発生時の実態を観測地点情報に基づく分布図などによって明らかにした。特に、雨量観測地点における長期間の降雨データと洪水発生地点状況との関連を分析した。その結果、本論文で対象地域とするスクンビット地区における洪水の発生が顕著であり、少ない雨量でも浸水深が急速に増加し、各所で道路閉塞が発生するため、交通状態に深刻な影響を与えていることを確認した。

「第4章 Macroscopic Fundamental Diagram に基づく交通状態の推定」では、Macroscopic Fundamental Diagram に関する既存研究を整理し、本論文における Macroscopic Fundamental Diagram のパラメータ推定の考え方を示した。具体的には、まず、バンコクで運用されていた1年間（2019年）のプローブデ

ータを収集し、時間距離線図を作成した。次に、その時間距離線図の傾きを解析して対象地域における交通状態を示す **Macroscopic Fundamental Diagram** を描き、そのパラメータを推定した。推定にあたっては、標準的な条件下と洪水発生下の浸水深を 5 cm 毎に分割した上で、それぞれの洪水状態別に **Macroscopic Fundamental Diagram** を描き、密度-交通流量および密度-速度の回帰式を求めた。最終的に、これらを整理し、標準的な条件下と 4 つの異なる洪水状態に応じた交通流パラメータとして、自由流速度、最大交通流率、ジャム密度を求めた。

「第 5 章 **Mesosopic** 交通モデルの構築」では、洪水発生時の動的な交通管理を評価するためには、詳細な交通状況のある程度の範囲で分析する必要があり、そのためには **Mesosopic** 交通モデルを適用することが望ましいことを述べ、モデルの構築方法を示した。モデルの構築にあたっては、はじめに、全体の交通需要を把握するために **Macroscopic** 交通モデルによる需要予測で得られている OD 表を観測交通量と整合するように調整した上で、対象地域の交通需要を切り出し、出発時刻別に分割した時間帯別 OD 表を作成した。次に、対象地域全体の交通状態をシミュレーションするために **Mesosopic** 交通モデルを構築した。この **Mesosopic** 交通モデルに作成した時間帯別 OD 表を適用し、シミュレーションを行った上で、この対象地域内における観測交通量および速度と整合するように時間帯別 OD 表を調整し、その上でモデルの適用性の検証を行った。

「第 6 章 洪水発生が交通状態に与える影響分析」では、洪水の発生状態と交通需要の変動を表現したシナリオを作成し、構築した **Mesosopic** 交通モデルを用いてシミュレーションを行った。そのシミュレーション結果から標準的な条件下と洪水発生時の交通状態を比較し、対象地域の道路ネットワークのパフォーマンスが洪水発生時にどの程度低下するかを評価した。具体的には、まず、洪水発生時の交通状態を **Macroscopic Fundamental Diagram** から特定したパラメータを用いて表現し、シミュレーションを行った。次に、道路ネットワークのパフォーマンスを評価する指標として総走行距離および総走行時間を採用し、ピーク時間における標準的な条件下と洪水発生時の交通状態における 2 つの指標の弾力性を計算した。ここでは、総走行距離はネットワークの使用率、総走行時間はネットワークの効率性をそれぞれ示しているものとして考え、評価を行った。なお、最終的なモデルによる推計結果の安定性は、収束条件によって判定した。

「第 7 章 洪水発生時の交通管理の在り方」では、対象地域における交通管理対策を検討するために、信号システムの最適化および一般道路の交通需要の高速道路上への誘導を想定し、対象地域における道路リンクパフォーマンスを評価した。評価にあたっては、交通管理対策の未実施時と実施時のシナリオにおける交通状態について、構築した **Mesosopic** 交通モデルを用いてシミュレーションを行い、それらの結果を比較することで交通管理対策の実施が道路ネットワークのパフォーマンスへ与える効果を把握した。信号システムの最適化にあたっては、**Microscopic** 交通シミュレーションの遺伝的アルゴリズムを用いた信号制御を検討し、交通量に基づいて対象地域の信号システムを最適化した。その結果を **Mesosopic** 交通モデルに適用することで、対策実施効果を示した。一方で、一般道路の交通需要の高速道路上への誘導の実施にあたっては、洪水発生時に道路閉塞が発生する一般道路から高速道路に交通需要を誘導し、道路ネットワークのパフォーマンスの向上を目指した。その結果、最も浸水深が大きい 20~30cm の場合には、信号システムの最適化および一般道路の交通需要の高速道路上への誘導を行うことで、それぞれ総走行距離が 16.7%と 14.0%増加するが、総走行時間は 15.4%と 6.7%減少することを示した。この結果から、信号システムの最適化が一般道路の交通需要の高速道路への誘導を実施するよりも道路ネットワークのパフォーマンスを改善することが明らかとなり、洪水の発生を前提とした交通管理を評価することができた。

「第 8 章 結論」では、本論文の成果と今後の展望について整理し、本論文の結論とした。本論文では、アジアの都市を中心に頻発する洪水発生による交通状態への影響に着目し、プローブデータを解析して標準的な条件下および洪水発生下における対象地域の交通状態を示す **Macroscopic Fundamental Diagram** のパラメータを推定し、洪水発生時の交通状態に与える影響について示した。また、得られたパラメータを用いて **Mesosopic** 交通モデルに適用した上で、洪水の発生状況と交通需要の変動を組み合わせたシナリオおよび洪水発生時の交通管理対策の実施効果を明らかにし、その対策の有効性を評価した。本論文で用いたプローブデータは多くの都市で提供が始められており、このようなデータに対して本論文で提案した方法を用いることは実現性が高く、洪水の発生を前提とした交通管理の在り方を評価することができ、有効であることを示した。