

論文の内容の要旨

論文題目 **A Study on the Transportation System Design Based on Mathematical Models**
(和訳 数理モデルを用いた輸送システム設計に関する研究)

氏名 スプラヨギ

輸送は、社会、経済活動における重要な役割を担っている。米国政府のデータによると、輸送は 1999 年に国内総生産(GDP)の 11%を占めて、また全雇用の約 12%を占めている。

更に、輸送そのもののコストは物流全体のコストのもっとも大きな成分であり、製品原価にも重要な影響を与える。輸送コストは、物流全体のコストの約 48%を占め、製品販売の 3.5-4%を占めている。

輸送には、経済と社会利益が存在するが、環境上のインパクトも存在する。1999 年に米国では、輸送が全エネルギー消費量の 26.2%を占めた。また、輸送は汚染の主要な源でもある。例えば、輸送は、一酸化炭素排出の 61%を占めている。安全問題では、輸送事故が第 7 の主要な死因であった。

輸送は複雑なシステム(それは個々の目的で動く多くの要素を含んでいる)である。輸送は様々な決断、運営方針によって、複雑な相互関係、およびトレードオフを含むことになる。輸送は、さらに、政治的、社会的、および景気の変動により影響される。したがって、交通計画において、きわめて複雑なシステムを考察したり、システムを状況の迅速な変化に対応して変更するような時には、有効かつ効率的なモデル化などの研究手法が必要となる。

数理モデルは輸送システム設計において広く適用されている。数理モデルは古典的な輸送モデルのアプローチと異なっている意志決定手法を用いることになる。数理モデルによる分析はシステム分析アプローチと呼ばれる。数理モデル化においては、定量化がその本質である。決定問題は選択肢及びシナリオの集合から最適なオプションを選ぶ問題である。それぞれの選択肢及びシナリオのユティリティは定量化されなければならない。また制約条件を定式化する。数理モデルはこれらをうまく取り扱うことができる。一般的に数理モデルによる手法はシミュレーションと最適化計算の二つである。

本研究の目的は、輸送システム設計に数理モデル化アプローチを使用する。本研究の中で、5つの話題を示す。話題は、以下の通りになる。

1. フェリー輸送シミュレーションモデル (simulation model of ferry transportation system)
2. コンテナ船の船隊シミュレーションモデル (simulation model of container ship fleet)
3. 海上輸送ネットワーク設計(marine transportation network design)
4. 船舶配送計画問題(ship routing design problem)
5. 車両配送計画問題(vehicle routing problem)

数理モデルによる手法は効率的に輸送設計問題に解を与えることができる。この決定は最適船隊決定問題、ハブ・スポーク設計問題、ネットワーク設計問題、ルーティングとスケジューリング問題（配送計画問題）、最適運航時刻表問題である。

最初の話題は、フェリー輸送シミュレーションに関するものである。事例研究は、インドネシアのムラク・バカフニ(Merak-Bakauheni)のフェリールートである。この話題は最適運行と最適船隊の二つの問題からなっている。これをシミュレーションモデルにより計算機上に再現し、最も適切な時刻表、船隊を求めている。ここでは実際のフェリー運行システムに対応したシミュレーションモデルを構築する。構築したシミュレーションモデルは例えば乗客の様々な到着パターンに対応することができるなど、多様性を提供する。

第2の話題はコンテナ船の船隊シミュレーションに関するものである。シミュレーションモデルでは最も適切な船の数と大きさを決定している。2つの港間において閉ループのルートを仮定してものとする。荷物は毎日港に現れるもの仮定し、コンテナ船は、ウィークリサービス（毎週一回は定期的に寄航し、荷物の積み上げを行う）形式をとっているものとする。このシミュレーションモデルは地球上の六箇所のネットワークを含むものとする。港は、大阪・神戸、高雄、シンガポール、ロスアンゼルス、ニューヨーク、ロッテルダムである。コンテナ輸送ではコンテナの管理や配置に問題があり、これをビジュアルに表現でき、様々な考察を加えることができる。

第3の話題は海上輸送ネットワーク計画である。この話題はハブ・スポーク計画問題、最適船隊問題、ネットワークフロー問題の融合である。計画アプローチは、クラスタリングと数理計画問題を含む2段階である。クラスタリングによって、まずハブ・スポーク構造を作る。最適船隊問題、ネットワークフロー問題を解くためには、数理計画問題を使う。ここではハブ・スポーク構造の海上輸送ネットワーク問題に対する新たな数理計画モデルの定式化を行う。この事例研究はインドネシアの海上輸送ネットワーク計画を基にしている。

第4の話題は船舶ルーティング計画問題である。この話題には、最適船隊問題と配送計画問題があり、事例研究はインドネシアの油の液体廃棄物を輸送するための問題である。この話題には、多頻度配送計画問題として船舶ルーティング計画問題をモデル化し、問題を解くためには、3ステップの手法を含む解法を提案する。ステップ1については、シングルルートのみを考慮し、ステップ2では、マルチプルルート考慮したものである。ステップ3については集合分割問題を解く。これにより解がほぼ正しく求められる。ここでは船の容量と稼働時間の制約に加え、水深による制限も考慮している。さらに、異なる船速も扱うことができ、この解法を現実の事例に適用している。

最後の話題は、ルーティングとスケジューリング問題である。この話題には、時間枠付きの多頻度配送計画問題(MTVRPTW)である。MTVRPTWは、拡張した標準的な配送計画問題(VRP)である。VRPの中には単一デポ、顧客の集合がある。多頻度配送計画は、決められた時間内において輸送を行うことを仮定する。時間枠付きの場合は、各顧客に受け入れられる時間枠がある。顧客をサービスする車両は、その時間枠の間にサービスを行わなければならない。VRPは組み合わせの最適化問題である。本研究において、MTVRPTW解法にヒューリスティック法を提案する。ベンチマーク問題では良好な成果を得ている。

本研究では、輸送システム設計について5つの話題によって数理モデル化アプローチの手法とその例を示した。数理モデル化アプローチの核心は意志決定のツールとして定量化されたモデルを使うことにある。数理モデル化においては決定変数、目的関数、制約条件を定式化する。これらの成果によれば、技術、経済、社会的な指標を求めることができ、物流システムの計画や設計が行えることが示された。具体的な問題への適用の仕方、すなわち数理モデル化の実際について検討し、実用に供しうる事を示している。

本研究では、海上輸送システム計画における数理モデル構築から解法の提案までを対象としている。例えばモデル構築側の貢献としては、本研究で導入するコンテナ移動の基本モデルが、固定ルート配送サービスにおけるキャッシュフロー解析の基盤として利用可能なことが挙げられる。解法側の貢献の一例としては、時間枠付きの多頻度配送計画問題(MTVRPTW)に対する解法の提案が挙げられる。これまでの研究では、MTVRPTWにおいて多頻度配送問題と時間枠付き問題は別々に論じられてきたが、本研究ではこれらの組み合わせ問題を扱う点で新規性が高い。