

都市の公共交通システムを対象とした 実務的な計画支援システムの開発

ザイ ヨウキ

Development of the decision making support system for a public transport system

ZHAI Yaohui

Abstract

For this research, I developed a computer simulation system to estimate and evaluate the effect of the introduction of a new transport system.

Specifically, I investigated the present traffic situation for the case study city, estimated the information related to the traffic situation and the public transport business management when the new public transport system is constructed, and evaluated the effect of the introduction based on this information. This computer system was constructed as a decision making support system that can be used along planners' trial and error process and have much applicability to the real planning process.

Keywords : Public transport system, Traffic volume estimation, Computer simulation, Decision support system

キー・ワード : 公共交通システム, 交通量予測, コンピュータシミュレーション, 意志決定支援システム

1 はじめに

1-1. 研究の背景

先進国の多くの都市では、20世紀後半のモータリゼーションの波を受け、自家用自動車交通を基軸とする交通構造へと大きく転換してから久しい。欧米では、いくつかの都市で

平成22年10月30日 原稿受理

大阪産業大学 人間環境学研究科博士後期課程

公共交通への回帰が見られるものの、一方で発展途上国に目を移すと、今まさに、自動車の爆発的な増加に伴い交通問題が深刻化してきている状況である。交通渋滞、交通事故の増大に加え、環境汚染などの二次的影響も深刻なものとなってきた。

こうした状況において、需要追従型の道路整備を行い、自動車交通の円滑化を図るだけでは、到底、都市居住者の交通流動を賄うことはできないだろう。住民の誰もが自由な交通行動を行う機会を持つことができるようにするためには、公共交通がそれぞれの都市内に行き渡る事が大切である。すなわち、公共交通を軸とする都市交通体系の構築が求められ、なかでも、都市空間を有効利用でき、輸送能力が高く、エネルギー効率も優れている交通機関の導入について優先的な検討がなされるべきであると筆者は考えている。

こうした状況では、いわゆる計画支援システムは計画者にとって重要なツールとなろう。大量の情報を高速に処理し、計算結果を導き出すコンピュータの能力を大いに活用すべき局面である。しかしこれまでは、コンピュータから出力された結果が金科玉条のごとく扱われ、無批判に数値のみが一人歩きする等、むしろ負の側面も大きかったと言える。これからの時代において、こうしたシステムは、人間の優れた判断を基軸として、彼に必要な情報を的確に提供し、彼の思いを反映した処理がなされ、彼の判断や意志決定をしっかりとサポートする、そんな道具でなければならないと考える。そして本研究は、様々な研究成果や考察結果を採り入れ、こうした計画支援システムのあり方を提案することを目指している。

1-2. 研究の目的

本研究の主要な目的は、上述した状況認識や問題意識を背景として、都市の公共交通システムを対象とした実務的な計画支援システムを開発することである。

しかしながら、本研究は単なるプログラム開発にとどまるものではなく、いくつかの重層的な目的を有する。

まず、開発する計画支援システムの適用対象を、公共交通、とりわけLRTの整備とし、これを軸とした都市交通体系の重要性をコンパクトに取り纏めて提示したことである。後述するように、これらには多くの既存研究の蓄積があるが、交通計画者にとって指針として理解しやすい形での解題を試みている。

次に、支援システムのあり方に関する考察を踏まえ、従来のこの種の支援システムとは全く異なった、新たな形態で構築していることである。メーカーが商品として販売し、決められた機能、決められた手順、決められた計算方式を強いる形態ではなく、計画者が必要に応じて柔軟に、システムの機能そのものを変更でき、また人間の試行錯誤過程に馴染む

タイプのシステム形態を提案している。

また開発システムは、オープンソースの形で公開し、使用者の利便を考えて、ソフトの機能説明書の作成も行っている。もとより、研究ベースで開発したものであるから、メーカー製のように高度なプログラム技術を使っているわけではないし、バグチェック等も甘く、品質の面では、プロトタイプであると言わざるを得ない。しかしここでの目的は、こうしたシステム形態の提案であって、本研究を契機に、こうした発想でのシステム開発がなされることを期待するものである。

さらに、様々な国の交通計画の手法を調査し、過不足ない形で機能としてとりこんでいる。また、これらの機能は、計画の手順に沿って用いることができるようになっている。ここで肝要な点は、システムの使用手順が、実際の交通計画の方法論の提示と表裏一体になっていることである。すなわち本研究では、システムの機能として具現化したものが、現実の計画手順を反映した、具体的な計画方法論の提案にもなっている。

このように、公共交通計画における一連の手順と推計方式について、現実の計画局面での適用性を鑑みて、一般性の高い計画手法をシステム上に具現化し、計画実務者が利用可能な形としていること、そうして、公共交通計画者の試行錯誤過程に対応させた実務的な意志決定支援システムの形態としてシステムを構築していることが、本研究の特徴であると言える。

1-3. 研究の構成と内容

さて、システム開発にあたっては、できる限り様々な方法を採用入れ、手法の多重化という意味での汎用性の向上を目指しているが、無条件にあらゆる都市において、あらゆる交通計画に対応できるようにすることは不可能である。そこで本節において、研究の対象という形でシステムの適用条件を整理する。

(1) 対象とする国

あらゆる国での適用が可能と考えられるが、まずは現実的に、運用を想定する国を積み上げていこうと考えた。具体的には、本学の存する日本、筆者の母国である中国、計画者へのヒアリング作業が可能なフィリピンを想定している。同じ理由により、全体としてはアジア諸国における適用を当初から念頭に置いて開発を行っている。

後述するように、この種のシステムの柔軟性とは、手法上のものと、取得可能な情報に関するもののレベル差への対応が基準となるが、ここで想定した三国は、これらの面においてそれぞれ違った性格を持ち、結果的に好都合である。具体的には次のような性格の違

いがある。日本は比較的、地図のデジタル化と公開が進んでおり、計画手法のバリエーションも多彩である。中国ではほとんどの統計データは公開されておらず、また自由な街頭調査を行うことができない。さらに政策決定のスタンスはトップダウンによるものである。フィリピン等は、日本のJICA等の先進国による技術援助の一環として計画支援が行われており、これらの機関の手で、地域ごとにローカルにデジタル地図が整備され、提供された「交通計画パッケージ」を用いた類型的な計画作成が行われていることが多い。

(2) 対象とする都市の規模

研究成果が最大限活かされることを期待して、各国における中規模都市を対象とする。日本であれば東京23区や大阪市、中国であれば北京や上海といった都市については、交通の様相（交通網や絶対的な交通流動量）や交通政策の基準（首都としての扱い）が特殊なものであり、かえって例外的であると判断した。

中規模都市とは、日本においては人口30～100万人、中国においては人口100～300万人レベルである。この規模の都市のほとんどは、地下鉄等の都市内大量輸送機関の整備までには至らず、現状は乗合バスを主軸とした公共交通の導入状況であり、道路混雑が激しく、輸送力が慢性的に不足している。一方、こうした交通状況の悪化の度合いに比して、まだまだ組織的な交通政策がなされていないと考えるからである。

(3) ケーススタディの対象都市

本研究で開発するシステムの特徴は、従来型のコンピュータシステムに見られるように全ての必要データが揃わなければ計算できないものではなく、かなりの情報制約下にあっても、いたずらに精度にこだわることなく、その時点で可能な計算を行えることである。こうした観点から、中国の典型的な中規模都市をケーススタディ都市とすることにした。

具体的には青島市を選択している。青島市の市区部の人口は271万人¹⁾であり、典型的な中規模都市と位置づけられる。海外調査では、不足している情報に調査後気づいた場合、即時の再調査が困難であるが、本市は筆者の出身地であることから、あらかじめ交通状況を詳細に把握していることや、交通政策や統計に関わる部局での知人の存在、さらには必要に応じて知人等による追加調査も可能である等、メリットが数多いと判断したからである。

(4) 対象とする交通機関

都市部の路面交通主要手段には、乗合バス、タクシー、地下鉄、モノレール、路面電車、トロリー電車、LRT (Light Rail Transit)、BRT (Bus Rapid Transit) などがある。都市の規模、人口、財政などの要素により、公共交通機関への要求も変わる。各都市において、最も現実的・効率的な公共交通機関を選択し、それを整備した場合の導入効果が、本研究の算定対象となる。

上記の、対象とする都市像と考え合わせると、道路混雑が激しく、輸送力が慢性的に不足しており、一方、こうした交通状況の悪化の度合いに比して、まだまだ組織的な交通政策がなされていない都市を対象として、適切な公共交通機関を新しく導入した場合の交通状況を分析することとなる。

(5) LRTの導入を想定

中規模都市の路面交通手段としては、輸送人員と運行距離・経費の点で、鉄道とバスの中間に位置するLRTが有力であると考えられる。日本では、富山市（人口42万人）～広島市（人口117万人）の間の都市規模においてLRT（もしくは、これに近い路面電車の形態）が導入されており、(3)で述べたケーススタディ都市である青島市においても最も現実的な導入交通機関の候補となり得ると考えられる。

また、中国でのLRT導入の実現性に関しても、実際に天津市での導入事例があることから、その効果の検証なども進み、交通問題の解決策としての認識と評価が、今後は中国でも高まることが期待される。これらの理由から、本研究では、都市内公共交通機関としてLRTを整備した場合の導入効果についてのケーススタディを行っている。

そもそも、LRTをはじめとする軌道系の都市内交通機関は、限られた交通空間（道路）を有効利用でき、輸送能力が高く、エネルギー効率も優れている。言い換えれば1人当たりの道路占有面積、使用エネルギー、環境負荷の小さい交通機関であり、持続可能な都市づくりにも最大限の寄与が期待されることから、優先的な検討がなされるべきものであると考えている。

(6) 支援システムの利用主体の想定

本研究の成果を社会的に還元する方法については、交通計画の策定者が新しく公共交通機関の導入を検討する際の意志決定を支援することを想定している。行政の交通部局の担当者や、交通系コンサルタントの技術者がその具体的な利用者像である。整備効果の定量化やその評価基準について、さらには、こうした情報を得るために必要な調査項目や数値

計算の方法などを、1つの実務的方法論として構築することを目指す。交通状況が悪化し、何らかの方策が必要であるにもかかわらず、科学的な手順での施策決定がなされていないように見受けられる都市が、特にアジアの国々には多くある。計画検討のノウハウを持つ人材が不足していることもその一因であろう。これらの計画主体への利用を図ることができればと考えている。

1-4. 関連分野の既存研究と本研究の特徴

本節では、公共交通、LRT、そして計画支援システムに関する既存研究を概観し、本研究の特徴を明らかにする。

(1) 公共交通に関する既存研究

公共交通全体を対象とすると、その研究成果は膨大なものがあり、日本の主要な研究状況は、例えば「都市計画」（日本都市計画学会）で毎年の特集号としてレビューが行われている。一方本研究では、ケーススタディ都市に中国の青島市を設定したことからわかるように、中国の公共交通の状況や計画手法にも対応したシステムを構築しようとしていることがポイントである。そこで、ここでは中国における典型的なアプローチをとっている研究をとりあげ、本研究のアプローチと対比する。

まず、都市公共交通の計画評価に関しては、劉麗亜、張超（2007）²⁾のように、経済面から評価を行っている研究が多くある。しかし事業影響の評価として、収支の黒字・赤字を評価の基準としており、都市全体の交通体系の視点からの評価はほとんど行われていない。

また、中国国家建設部（2006）³⁾など、公的セクターからは、都市公共交通事業を支援し、都市公共交通を優先に発展させる提案が行われているが、それらは、「都市公共交通の優先発展に関する提案」は「公共交通への投資を増額」、「低運賃の補助制度」、「燃料補助金などの経済補助制度」、「公共交通の専用補助金」など、経済の面からどういった支援を行おうとしているかの表明であり、都市交通に関する諸問題の認識をふまえたうえでの具体的な解決案の提示ではない。

これに対して本研究では、新たに導入を計画する交通機関の評価にとどまらず、他交通機関への影響を含めた市域全体の将来の交通状況や、市民の利便性、さらには環境への負荷等の変化に関する指標を用いた総合的な評価を行うことができるようにすることを目標としており、より都市側の観点を重視したものとなっている。

(2) LRT に関する既往研究

車依存型社会の問題点を解消するために、LRTが有効な解決手段であるとの認識が広まりつつあり、近年では、LRTに関する研究が多く行われるようになってきた。例えば信金中央金庫総合研究所（2008）⁴⁾ など、LRTの導入を軸に公共交通を充実し、車依存型社会からの脱却を図っている都市の取り組み事例の紹介が行われ、また特に本文献ではLRT導入の条件についても言及がなされている。しかしこうした研究の多くは、既存の導入事例を事後的に分析することで、キーとなった条件を抽出し、効果を把握しているものであり、新たな計画を行う際に役立てることを目指した方法論の一般化や、条件整理が行われるまでには至っていない。

本研究は、計画実務に役立つことを第一の目標に組み立てており、都市側の条件の複雑さゆえ困難な場合については、達観的に指標を設定せざるを得ない部分も一部残しているものの、LRT導入の意思決定に必要な評価作業を念頭に、評価の方法論については一般化されたものを（場合によっては複数をメニューとして）提示することで、またできる限り妥当な評価指標を参考情報として提示することで、一般化することのメリットとリスクをバランスさせ、最も計画実務に役だつ形態を模索しようとしている。

(3) 計画支援システムに関する既往研究

交通に関わる分析には大量の計算が必要な場合が多くあるため、従来からコンピュータが頻繁に用いられ、それを計画支援システムの形態に整えたとの研究報告も数多く行われている。LRTの事業効果の予測・評価に絞っても、谷口 守、松中亮治、伊藤 雅（2007）⁵⁾、松中亮治、谷口 守、児玉雅則（2006）⁶⁾、谷口 守、松中亮治、伊藤 雅（2007）⁷⁾、谷口 守、松中亮治、伊藤 雅（2007）⁸⁾、松中亮治・谷口 守・片岡 洸（2009）⁹⁾、片岡 洸（2007）¹⁰⁾、和歌山工業高等専門学校（2007）¹¹⁾、大阪大学（2006）¹²⁾ の研究がある。

しかしこれらは、著者らの研究ツールであることが開発動機であり、現況調査から評価に至るまでの網羅性や、都市や状況による条件の多様さへの対応性は、もとより重視されていない。本研究は、計画プロセス全体を対象とし、一連の計算過程をすべてパッケージ化しようとしていることに特徴があり、こうした取り組みは、交通分野においては開発途上国向けのパッケージを除けばあまり存在しないものである。

こうしたパッケージについてはその必要性についての議論があろう。一連のプロセスの中には、コンピュータシステムによる支援に馴染む部分と、それほどでもない部分があるのは事実であり、「ツールなのだから必要な部分だけ作ればよい」との批判が常に存在する。しかし筆者は、計画実務者が必ずしも研究者のようにデータの蓄積・加工・利用のスキル

に長けていないという現状に加え、上記の開発途上国向けパッケージに存在する「研究の背景」でも触れた問題点を考えるとき、自由度・柔軟性・拡張性を保ちつつも、一連の計画プロセスの進め方そのものを示して計画の合理性を高めるためのガイドとなる総合的な支援システムも、今まさに多くの国・都市において必要とされていると考えている。

2 公共交通システム導入の必要性に関する考察と分析

開発する計画支援システムの適用対象は公共交通の導入であり、後の章で述べるケーススタディでは、LRT整備を行うことを想定している。そこで本章では、こうした対象をとりあげるに至った発想を明確にするため、公共交通を軸とした都市交通体系の重要性について、筆者なりの整理を試みる。本システムが計画実務者に用いられるとすれば、本章に記した内容の共通理解があることが前提であるし、実際にシステムに実装した評価基準はここに示された考え方にもとづくものとなっている。

2-1. 交通問題の深刻化

世界の諸都市は、都市交通問題において、様々な困難を抱えている。自動車混雑による環境悪化、バスの定時性の欠如、中心市街地の空洞化等が代表的なものとして挙げられる。クルマへの過度の依存が根本的原因であると言え、自動車全体がもたらす災厄は「自動車交通3悪」（自動車事故・自動車公害・道路渋滞）として象徴的に指摘されてきたが、今なお抜本的な解決には至っていない。

交通は市民が生活や仕事をする上で極めて重要で、若者もお年寄りも、身体障害者も健常者とともに暮らせる、住みつけられるまちづくりの上から極めて肝要である。高齢者や障害者のモビリティ（移動の可能性）を確保することは、あらゆる人々がいきいきと社会的あるいは個人的に活動を展開できるための前提条件といえる。

長寿社会の到来の中、バリアフリーを前提に、誰もが安心・安全に自由に移動出来ることの保障が望まれる。現状の鉄道、地下鉄、路面電車、モノレールやバスはまだまだ、「ひとにやさしい交通機関」とはいえない。さらにそうした交通は当然、環境への悪影響をおよぼさないものであるべきで、環境を破壊せず・資源を浪費しない交通、「環境にやさしい交通」が望まれる。

2-2. 公共交通を軸とした都市交通体系の必要性

こうした現状の打開策を考えるときの当然の帰結として、自動車交通を抑制し、公共交通を軸とした交通体系をつくるのが、一般的なコンセンサスとなっている。本節ではまず、過度の自動車交通への依存が進み、また人々の生活に影響を与えている状況を、日本を例に考察する。次に、自動車との比較の見地から公共交通の優位性を示すことで、公共交通を軸とした都市交通体系の必要性を示す。

(1) 公共交通の優位性

自動車交通は、利用の自由度やドアトゥドア性等優れた面を有しているが、一方で公共交通は、輸送効率性、環境対応性、ユニバーサル性、利用者の視点でみた低コスト性等の面で自動車交通に比べて優れた特性を有する交通機関である。こうした公共交通の優位性は、以下の4項目に整理できる。

- ① **輸送効率性**：公共交通は一定の需要を一度に輸送できる輸送効率に優れた交通機関である。また同じ量を運ぶ場合に占有する面積が少ない空間効率性に優れた交通機関である（表2-1を参照）。

表2-1 公共交通の運送単位列

	輸送単位 (1編成当たり輸送定員)	備考
路線バス	約60～80人	中型～大型のノンステップバス
路面電車	約50～150人	単車～30m程度の連結車両 (いずれも低床車両)
新交通システム	約300人	ゆりかもめ
都市モノレール	約400人	多摩都市モノレール
地下鉄	約800～1,400人	東京メトロ丸の内線～東京メトロ有楽町線

- ② **環境対応性**：公共交通は、乗用車に比べて人キロ当りのエネルギー消費、CO₂排出が小さく、環境負荷の少ない交通機関である（図2-1、図2-2を参照）。

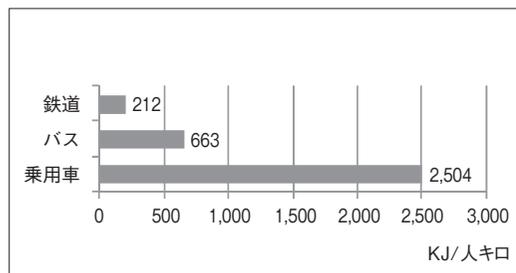


図2-1¹³⁾ エネルギー消費原単位 (2002年度)

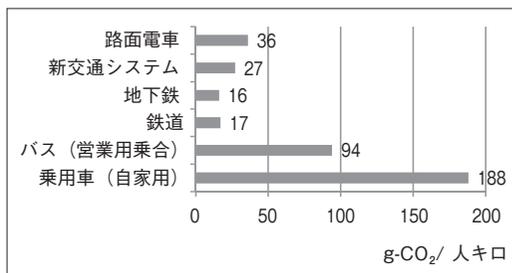


図2-2¹⁴⁾ CO₂排出原単位 (2000年度)

- ③ **ユニバーサル性**：公共交通は、自動車免許を保有しない人や高齢者、来訪者、外国人等の人々が利用しやすいユニバーサル性に優れた交通機関であり、特に高齢化に伴う自動車を利用できない（利用を止める）人の増加に対応し、都市におけるアクセシビリティの確保と外出機会の提供に寄与する。
- ④ **利用者の視点でみた低コスト性**：自動車の利用・保有コストには燃料費、出先での駐車料金、通行料金、車両購入費や自宅での駐車場確保、諸税、保険加入料等があげられる。特に移動距離、外出頻度等が少なくなる傾向にある高齢者にとっては自動車の利用頻度の低下、家族構成の変化に伴う同乗者の減少等に伴い負担感が増加する。これに対し公共交通は、初乗り料金が安く、利用距離や利用機会に応じてその都度料金を支払うこと、高齢者や身障者、通勤通学者等には割安な料金が設定されていること等から、利用者の視点でみて低コスト性に優れる交通機関と考えられる。

(2) 自動車交通への依存と公共交通の機能低下の実態

社会情勢の変化に対応し、コンパクトな都市構造への転換を図るため、都市交通分野では、輸送効率や環境負荷、ユニバーサル性等に優れる公共交通のサービスを充実させ、その利用促進を進めることが、極めて重要である。しかしながら、既存公共交通機関の機能低下が日々顕著となっている。

- ① **バス・地方鉄道等のサービス水準低下の実態**：モータリゼーションの進展や拡散型都市構造等を背景に、路線バスや地方鉄道の路線廃止・サービス縮小が進行している。路線バスについては、日本全体での許可キロは緩やかに増加しているが、総走行キロは1991年度をピークに減少傾向にある。また、輸送人員は全体的に減少傾向にあり、特に三大都市圏以外の地域において顕著である。一方、地方都市において市民の生活の足として機能している地方鉄道は、輸送人員の低迷等に伴い厳しい経営環境に置かれており、地方鉄道113事業者（JR、大手民鉄、地下鉄モノレール等は含まない）のうち、営業損益が赤字（2002年度）の事業者が75事業者と約7割弱を占めている（図2-3）。そのため、1975年以降に24事業者（全部廃止のみ）、約470kmが廃止（全部廃止と一部廃止の計）されている。また地方鉄道の存続問題に直面し、その支援等に向けた取り組みが検討されている地方都市も多く存在する。

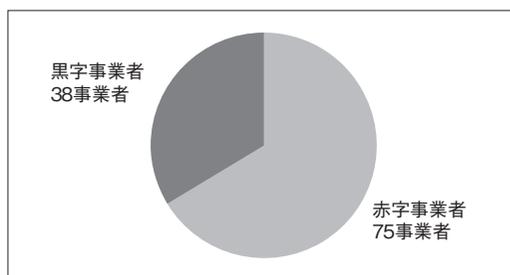


図2-3 営業損益でみる地方鉄道の内訳

② 交通手段分担の実態：都市における自動車交通の分担率は増加傾向にあり、特に公共交通機関の整備水準の低い地方都市圏において顕著で、都市生活を営む上で自動車への依存度が高まっている（図2-4）。

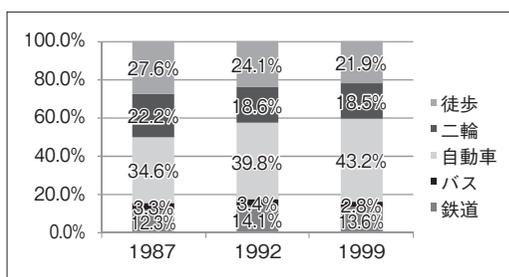


図2-4¹⁵⁾ 日本の都市における代表交通手段分担率の推移（三大都市圏）

2-3. LRTの特徴と優位性

こうした現状の打開策として、公共交通を軸とした都市交通体系の再構築が求められるところであるが、一方、既存の公共交通機関にも様々な問題点があり、そうした短所を克服できる交通機関としてLRTが有望視されている。LRTは、「旧来のトラム・路面電車を近年のハイテク技術を使って発展させた、ひとと環境にやさしい近代的路面電車システム」と定義できる。超低床広扉型車両、スピードの速さ、レールの樹脂被服、交差点での優先信号、および信用乗車制や共通運賃制の採用等、ハードとソフトが一体となって、新しい交通システムとしての効果を発揮している。

(1) 世界におけるLRTの動向

LRTは、ひとと環境にやさしい脱クルマ社会の主演として、欧米の数多くの都市で1960年代にはその構想が始まり、1980年に入って導入が続々と実現した。すでにヨーロッパではLRT路線はネットワークを構築し、基幹交通として位置づけられており、また「クルマ大国」の米国でも急速に路面電車の復活が相次いでいる。さらに、これまで鉄道がほとんどない発展途上国の諸都市で新設が打ち出されてきている。表2-2に示すように、LRTおよび路面電車が新たに開業されている都市数は1980年代から著しい増加を示しており、1978～2002年の24年間に合計で69都市で新設されている。このうち北米と西ヨーロッパが約60%の41を占め、この地域でのLRT導入が著しく増加している。LRT路線建設中の都市はその後も多数にのぼっており、2003年以降も相次いで開業されつつある。

こうしたLRT開業増大の潮流は「トラム革命」といわれるが、ヨーロッパでの超低床車両の登場がこのきっかけをつくったと言える。ドイツでは戦前からの路面電車の多くが近代化しながら生き残ったのに対し、フランスでは大半の都市がモータリゼーションの中で1960年代末までに路面電車を廃止していった。LRT復活の先駆けは1985年に路面電車を復活させたナントであり、ここでの成功を受けて、各都市でLRTの復活が相次いだ。特に1994年11月、ストラスブールに34年ぶりに復活した超低床型車両は、デザインの斬新

表2-2¹⁶⁾ 世界のLRT・路面電車の開業年別内訳（1978年以降の開業都市数）

地域	1978 ～1985	1986 ～1990	1991 ～1995	1996 ～2000	2001 以降	開業 数計	営業 都市数	工事中
アジア	1	2	3	2	1	9	36	1
(うち日本)	0	0	0	0	0	0	20	0
オセアニア	0	0	0	1	0	1	3	0
アフリカ	1	1	0	0	0	2	5	0
北アメリカ	4	4	4	2	0	14	23	4
中・南アメリカ	1	2	1	0	0	4	5	0
西ヨーロッパ	3	3	6	6	9	27	117	8
(うちイギリス)	1	1	2	2	0	6	6	1
(うちフランス)	1	1	3	2	3	10	13	2
(うちドイツ)	0	0	0	2	1	3	57	0
中部ヨーロッパ	1	5	1	0	0	7	47	0
旧ソ連邦	1	4	0	0	0	5	112	0
合計	12	21	15	11	10	69	348	13

*（観光用は含んでいない。ここで言及したLRTは伝統的な路面電車およびその改良版（modern tramways）で、路面併用および専用路面軌道（ただし、都心部での路下・地下乗り入れを含む）のもの全てを含むものとなっており、厳密にLRT（新型路面電車）に限定してはいない）

さとともに中心市街地がトランジット・モール（Transit Mall）化で著しく活性化したことで有名となった。

(2) LRTの特徴

ストラスブールの例からも読み取れるように、LRTは単なる交通機関ではなく、まちづくりのツールとして認識されている。これを可能たらしめたLRTの特徴を以下に整理する。

- ① **交通需要への対応の柔軟性**：LRTは、路線バスと新交通システム等の中間領域をカバーする軌道系公共交通システムである（表2-3）。路線バスに対し、LRTは連接車両を基本とし、かつ車両編成のバリエーションも豊富なため、輸送単位が大きく選択の幅も広い。このため、最大では新交通システムに近い輸送能力を有することができるとともに、交通需要に柔軟に対応できる。
- ② **速度の高速性**：LRTの車両性能自体は時速70kmで走行する能力がある。表定速度についても、走行時間の短縮（加減速性能の向上、最高速度の規制緩和）、軌道形態の改良（専用化、立体化、鉄道乗り入れ等）、優先信号（PTPS）の導入、乗降時間の短縮（運賃收受の工夫）、停留場配置の工夫といったハード、ソフト面での表定速度向上方策に一体的に取り組むことで約15～22km/hを確保しており、路線バスより

表 2-3¹⁷⁾ 交通システムの最大輸送力の比較

交通システム		最大輸送力
地下鉄		40～50千人/1時間
新交通システム等		10～20千人/1時間
LRT 路面電車	海外の連節型低床車両 (ストラスプール 33m/編成)	9千人/1時間 (300人/編成×2分間隔)
	日本の5車体低床車両 (広島電鉄 30m/編成)	7千人/1時間 (230人/編成×2分間隔)
	日本の2車体低床車両 (熊本市交通局 18m/編成)	4千人/1時間 (120人/編成×2分間隔)
路線バス		～3千人/1時間

表 2-4 確保する輸送力と必要運行便数の関係（試算）

		ノンステップバス		LRT	
		中型	大型	日本の2車体低床車両 (熊本市交通局 18m/編成)	日本の5車体低床車両 (広島電鉄 30m/編成)
輸送単位	人/編成	60	80	114	230
確保する 輸送力 人/時・片	1,000	17	13	9	5
	2,000	34	25	18	9
	3,000	50	38	27	14

*LRTの輸送単位は混雑率150%とする。

も高い。

- ③ **定時性の確保**：確保する輸送力と必要運行頻度の関係、および必要運行便数の関係をそれぞれ、表 2-3（再掲）、表 2-4 に示す。路線バスよりも輸送単位の大きいLRTは、同じ輸送力を確保する際に、より少ない運行頻度で輸送可能であるため、いわゆる「団子運転」が顕在化する可能性が低い。すなわち特に高い輸送力が要求される場面において、路線バスよりも安定した定時性を保ちながら輸送することが可能である。
- ④ **環境へのやさしさ**：電気を動力源とするため、走行による排気は生じない。また、車両重量が軽い上に防振軌道の採用のため、騒音・振動が非常に少ない。
- ⑤ **人へのやさしさ**：低床、広扉の車両デザインを標準とし、かつ車内に段差を生じさせない工夫もなされている。また路面を走行するため、沿道からのアクセス性に優れている。
- ⑥ **事業コストの低廉性**：路面を走行するため、建設費が地下鉄に比べて安価となり、約20～40億円/kmで整備されている実績がある。走行路、停留場等のインフラ施設、車両及び車両基地、通信機器等のインフラ外施設等を全て含む整備コストを考えると、

表2-5 整備コストの事例比較

交通システム	都市・路線名		開業年	1 kmあたり建設費 (億円)						
				50	100	150	200	250	300	
地下鉄	東京都 大江戸線 (練馬～光が丘)		1991	292						
	名古屋市 桜通線 (中村区役所～野並)		1994	271						
	福岡市 空港線 (博多～福岡空港)		1993	184						
	神戸市 海岸線 (新長田～三宮・花時計前)		2001	290						
	多摩都市モノレール		1998・2000	149						
	大阪モノレール 彩都線 (国際文化公園都市モノレール線)		1998	111						
都市モノレール 新交通システム	神戸新交通 六甲アイランド線		1990	86						
	ゆりかもめ 東京臨海新交通臨海線		1995	136						
	名古屋ガイドウェイバス 志段味線		2001	55						
LRT	フランス	ナント 2号線	1992	20						
		ストラスブール A線	1994	32						
		ルアン	1994	37						
		リヨン	2001	29						
		モンペリエ	2000	31						
		オルレアン	2000	23						
	ドイツ	オーバーハウゼン	1996	22						

日本の都市モノレール・新交通システムの概ね2～5割相当である。ちなみに、文献18)では、日本における事業費は、1キロあたり、地下鉄は200～300億円、LRTは20～30億円程度と想定されている。

表2-5に、整備コストの事例比較を示す。なお、運営コストも、地下鉄その他新交通システムと比べて相対的に廉価である。

- ⑦ まちづくりとの連携の可能性：車両デザインおよび景観形成やトランジットモータリゼーションにより、都心活性化が可能となる等、まちに賑わいをもたらす。

3 開発した計画支援システムの概要と計画支援の手順

世の中にはすでに計画支援システムと名の付くシステムが少なからず存在する。それでもなお、こうしたシステムを本研究で開発しようとするのは、大きな問題意識が存在することが動機付けとなっている。これは具体的には、現在の「計画支援システム」は、本当に交通計画の実業務にフィットし、役だっているかとの疑念であり、3-1では、こうし

た課題を解消するために、本研究でとろうとしている開発システムのアプローチを紹介するとともに、計画支援システムのあり方に関する考えを整理して示す。続いて3-2において、システムで実現する計画支援の方針について概説したうえで、3-3で具体的な調査・推計・評価の手順を述べる。

3-1. 支援システムの概要

(1) システム開発の基本的なアプローチ

LRT導入の意思決定にはその効果を科学的に評価することが必要である。LRTの導入効果や評価の観点は多様であり、総合的にその効果を評価する手法が求められる。しかしながら、本研究では、研究活動において通常目指される方向性とは異なるアプローチで、計画実務における適用性を高めることを意図している。これらは次の5点にまとめられる。

- ① 調査データと基礎情報から最終的な評価情報の算出までを網羅する。
- ② 最小限の情報と調査規模での導入効果の算定を行う。
- ③ むやみに精度や理論的正確さを追求しない。
- ④ 意志決定支援のためのマンマシンシステムに計画手順と推計方法を内包化する。
- ⑤ 空間情報処理を導入する。

(2) 開発する支援システムの特徴

上記の基本的な開発方針にもとづき、また現状の計画支援システムの課題について検討したうえで、本研究で開発するシステムには以下の特徴を持たせた。

- ① 空間情報処理技術を用いることで、交通ネットワークをビジュアルに表現する。また空間的に分布する交通現象について、適切な解析を行うことができるようにする。地図描画機能はプログラムライブラリの形で提供し、後述する機能追加を行った場合にも、ライブラリのルーチンを呼び出すだけで地図描画を可能とする。
- ② 適切なデジタル地図が存在しない場合にも、紙地図をスキャニングし、画面上でトレースを行うことで、ネットワークデータ等を作成できる機能を提供する。これを含めたベースマップ作成に関する機能と、ガイダンスを充実させる。
- ③ 交通ネットワークデータに適合性の高いデータベース管理システムを実装する。これらは複雑な構成を持つ複数のネットワークデータを、その関係性を保持しながら操作することができ、計画者がデータを順次作成していく作業を支援する。
- ④ アジアの国々を中心として、使われている交通計画の手順や用いる推計法を網羅し、必要に応じて選択や使い分けを可能とする。計画者が選択に迷わないように、ガイド

機能を充実する。

- ⑤ メニューや表示を多言語化する。今回は、日本語・中国語・英語が想定される。これらはシステム設定で切り替えることができるようにする。
- ⑥ あらかじめ実装された分析機能においては、ほぼ全ての計画変数（パラメータ）の変更を可能とし、使用者の試行錯誤過程を蓄積することができるようにする。これもヘルプ機能を充実する。
- ⑦ パラメータを微小変化させ、結果を順次出力するといったシミュレーション方式をサポートする。
- ⑧ 推計モデル等の演算式それ自体を、外部ファイルとしてテキスト形式で記述された「iniファイル」を活用することによって、変更できるようにする。
- ⑨ システムはVisual BASIC等の馴染みの深いメジャーなプログラミング言語によって記述し、プログラムソースを公開する。これにより、少しのプログラミング知識があれば、プログラムの変更や、機能の追加が可能となる。なお、機能追加時には、メニューの内容も外部化されているので、これに加筆することにより、元から存在する機能と同様に扱うことが可能となる。

3-2. 計画支援の方針

(1) 全体的な方針

本研究は、統計等の入手可能情報に関する制約のもとで、さらには必要最小限の調査・計測作業にとどめながら、LRTの導入可能性を検討するための意志決定支援情報を作成しようとするねらいがある。現実をみれば、何らの意志決定支援情報、すなわち客観情報がないままに、きわめて達観的に交通に関する政策決定がなされている状況であり、精度にこだわって計測や調査が不可能であるとの判断を行うよりも、いわゆる「オーダー」だけでも判断基準として算出した方が、少なくとも計画の合理性が増進するだろうと考えている。

(2) 精度向上を担保するための組み立て

こうした方針にしたがい、情報を（精度が悪くても）算出することを最優先とするため、現段階では、数値的解法をとることが不可能な手順に関しては、意志決定のための情報をたとえばパネル形式で提示し、これを元に達観的に必要な数値を入力するという方法も、部分的には採用することとした。そして重要なのは、こうした算定過程を「パーツ化」し、部分化して、これらの組み合わせ、あるいはステップとしてとらえることであり、それぞ

れの「部分」をより高精度な計算が可能となる方法に入れ替えていくことで、段階的に精緻化が可能となるように全体構成を図っている。すなわち、現時点では数値を確定することを優先して「達観方式」とした部分についても、調査の進展・数値解法の発見に応じて、科学的合理性の高い方法とすることができるわけである。

(3) 推計・評価手順の大枠の構成

容易に想像できるように、交通現象に関しては、計画条件と結果として具現化する交通状況は「にわとりとたまご」の関係となる。計画条件に応じて仮に交通状況が一元的に定まったとしても、それを受けた計画条件の設定がさらに必要となる。そうしたことから、「収束」あるいは「均衡」の発想が交通の研究にはとりいれられてきたわけであるが、こうした考え方の導入は、交通工学の専門家でない意志決定者にとっても理解が容易な意志決定支援情報をつくりあげようとする本研究の基本方針に反する。

一方で、上記のように与条件と計算結果、すなわち説明変数と被説明変数が複雑に錯綜する状態では、一定の整理を行ってフローを作成しないと、堂々めぐりに陥る危険性もある。

そこで本研究では、LRT導入可能性を考える際の指標として扱うことの妥当性が高いと思われる「収入」と「支出」に情報を集約していくことにした。収入とは料金収入のことであり、運賃と利用者数の関数となる。また支出は、イニシャルコストとしての事業費とランニングコストであり、路線延長などの計画諸元と、運行方法に依存する。

なお、収入と支出の差または比のみによって、事業可能性を判断しようとしているわけではないことを念のため確認しておきたい。筆者の考え方はむしろ逆であり、独立採算制原則の元ではあるべき交通の姿にはなりえないことを基本認識として持っている。ただし例えば、公営あるいは公的負担を行うにしても、負担額の妥当性等は常に吟味されなければならないし、それよりもまず、状況を示す代表性の高い指標として重視しているということである。

3-3. 調査・推計・評価の手順

上記の方針にしたがって、以下に示すような手順で調査・推計・評価が行えるように支援システムを構成した。次章においても、この手順にしたがってケーススタディを進めている。

(1) 現地調査

- ① **交通現況調査**：設定された交通機関新設の計画路線にもとづき、道路状況および交通量の現況調査を行う。調査の際には車種の区別は最低限必要となる。また、全日調査は現実的でないため、5分間交通量等の計測にとどめ、拡大率をかけて処理を行うことにする。
- ② **その他の調査**：例えば、自家用車の1人あたり乗車人数等は、台数ベースの情報から人数ベースの情報へ変換するための重要なパラメータとなる。これらは、計測地点ごとに詳細に調べることは労力に比して効果が少ないと判断できるので、別途付帯的な調査を行う。また、人口等の地域情報や、燃料費の現況、さらには各種統計情報等も必要に応じて入手する。

(2) 現況の交通状況の算定

- ① **手段別交通量（24時間、区間別）の算定**：調査結果に拡大率を掛け、計測地点ごとの24時間交通量（車種別）を算定する。このためには、一日の時間変動曲線が必要となるため、計測値からの補完曲線の作成等を行うことになる。
- ② **道路交通容量の算定**：車線数に関する情報を元に、現況の交通容量を算定する。現況情報については参考情報としての役割にとどまるが、交通機関新設後の交通容量（2車線減が通常）算定の基礎資料となる。

(3) 将来交通量の予測

- ① **転換交通量**：新しい交通機関の導入によって、どれだけの交通量がこれに転換するかは、様々な影響要因が複雑に絡み合うため、数値解法による方法をとることは困難であると現時点では判断した。そこで、これまで得られた情報をパネル形式で画面上に提示し、それらを参照しながら、転換率の数値を達観的に入力し、もし何らかの制約条件に引っかかる場合には警告をならす、また、瞬時に入力した想定条件での帰結（交通の状況）を算定して表示して試行錯誤過程を支援するというマンマシンの意志決定支援方法のアプローチをとることとした。もちろん、ここは精緻化の最重要項目であり、今後の研究進展のターゲットである。
- ② **誘発需要による交通量**：もともと沿線地域からの発生・集中交通量は、断面交通量の計測値に含まれているわけであるが、本研究で目指した簡便調査では、人口に比しての発生・集中原単位を算出することは不可能である。もとより「需要誘発」の度合いを定量的アプローチで推計することは困難である。そこで、①と同様に、影響圏人

口を意志決定のための情報として提示し、これを元に、誘発需要としての上乗せ分にあたる人口原単位の入力を行う方法をとることにした。

- ③ **将来交通量**：①、②によって、転換率あるいは誘発率を入力することにより、手段別・区間別の日交通量を算定（推計）することができる。その結果、交通機関別の分担率などの交通状況を推測するための重要な情報を得ることができる。また、総計としての交通容量がプラス要因（新設交通機関の輸送力）とマイナス要因（道路交通容量の減少）の作用の中で、どのように変化するのかは非常に興味深い情報となる。

(4) 運行計画の設定

得られた将来交通量のうち、新たな交通機関が分担する交通量にもとづいて、ダイヤ等の運行計画を作成することができる。ここでの考え方は大きく2つある。1つはダイヤのパターン性を重視し、深夜を除き同一便数とする方法、もう1つは需要に応じてきめ細かに便数を増減する方法である。前者の場合は、時間帯ごとの需要のうち最大交通量が重要な指標となり、後者の場合は、時間帯ごとの需要の変化を情報として用いることになる。

なお、ここまでは簡便のため日交通量を単位とした検討を行ってきたため、一日の時間変動グラフを逆に用いることにより、時間ごとの交通量を算定する必要がある。

一方、本来的には、運行ダイヤが決まることで、はじめて、待ち時間などのフリクエンシーを元にした利便性が決まるわけであり、これは転換交通量あるいは将来交通量に影響を与える要因としてフィードバックされることが妥当である。しかし、循環参照による煩雑さを避けるため、転換率の設定ではこうした要因は達観的に考慮したうえで設定することになっている。

(5) 事業収支の算定

新設交通機関の乗客数（＝これに関する将来交通量）から料金収入を推計することができる。

さらに(4)で運行計画が決定すれば、必要な車両数・編成数を算定してイニシャルコストの算定を、また、同時運行が必要な編成数から、乗務員の必要人数や労働時間、あるいは消費電力などを元に、ランニングコストの算定を行うことができ、当該交通事業に関する収入と支出の予測値を算出することができる。先ほども強調したように、これはあくまで判断のための重要な情報の1つに過ぎないが、様々な路線設定の比較、あるいは対象都市を変えての比較等には有効に利用できると期待される。

また同様の手順により、バスやタクシーの事業収入の減少等も推計することができ、地

域全体としての交通コストの検討へと発展させることも可能となる。

(6) 波及効果の算定

交通機関の敷設効果には間接的なものも多く、すべての影響を把握することは困難であるが、自動車交通の減少によるCO₂削減やガソリン代の減少効果といった二次的効果を算定したり、影響人口の算出によって定性的な効果をマクロに把握することが可能であろう。

4 ケーススタディ都市における支援システムの適用

すでに1-3で述べたように、本研究では中国青島市をケーススタディ都市として、システムの適用を行っている。本章では、ここで具体的に推計や評価を行った結果を例示するが、日本に比べ、入手可能なデータの精度が低い地域に適用を行ったことになり、「最小限の情報と調査規模での導入効果の算定を行う」というシステムの特徴を活かせるか否かの検証にもつながると考えている。なお、4-2や4-3については、想定や調査にあたる部分であり、「システムの適用」の範疇には属さないが、一連の手続きの一部でもあり、他と同様に記載を行っている。

4-1. ベースマップの整備

中国では、デジタル地図はもちろんのこと、紙ベースの地図に関しても、例えば日本の国土地理院の地形図のような基本図は、市販されていない。そこで、入手した観光客用の市街地図について、トレース法によりベースマップを作成することにした。本ケーススタディでは、幹線道路のみを対象とすることから、もれなく道路情報を取得できた。

4-2. LRT敷設路線の想定

青島市の都市規模、人口、面積、経済状況、自動車保有量等の統計情報や、この都市の構造に関する基本的な情報は、次に述べる現地調査に先立って取得している。これによると、青島市内は比較的明確に3つの立地特性（オフィス・観光・商業）を持つゾーンに分かれており、これら相互を連絡する交通流動が幹線的な機能を果たす状況となっている。広



図4-1 想定したLRT敷設路線

幅員、すなわち線路敷設が可能である幹線道路は限られることから、これらを中心に図4-1のように路線を設定した。

4-3. 現地調査

設定されたLRT路線にもとづき、道路状況および交通量の現況調査を行った。調査日は、平成19年8月21日～9月13日および平成21年2月1日～2月4日の、いずれも平日である。調査地点は、LRT敷設を想定した道路区間のうち、交通量の多い箇所を基本とし、大きな交差点の前後など交通量の変化が大きいと予想される箇所を加えて、図4-2に示す10ヶ所とした。調査項目を以下に示す。



図4-2 調査地点の設定

- ① **自動車交通量の計測**：各調査地点における双方向の交通量を計測する。1回の計測作業は概ね5分間とし、道路の両方向のビデオ撮影を行う。なお、交通量は調査地点近くの信号の状況に依存するため、該当する信号がある場合にはそのサイクル（赤+青）を調べ、これの整数倍でかつ5分に最も近い時間を計測時間とした。各地点につき6つの時間帯に計測作業を行った。これらの時間帯は、各調査地点を巡回しながらとなったので一定しないが、各調査地点単位では、できる限り様々な時間帯の調査となるよう配慮した。次に、ビデオに写った車両数をカウントする。これは、①乗合バス、②タクシー、③自家用車、④運送・送迎用（トラック・バン等）、⑤観光バス、⑥バイク、⑦自転車の7つに区分してカウントした。これは、車両の種類によって1台あたりの乗車人数が異なること、また、LRTへの転換率が異なると想定されることが理由である。
- ② **写真撮影**：調査地点の性格（オフィスゾーン、観光地または商業ゾーン）を判別するため周辺の状況写真を、車線数を後に計測するため道路の横断形状がわかる写真を、それぞれ必要枚数、撮影した。
- ③ **騒音レベルの計測**：騒音計を用いて調査地点の騒音レベルを測定した。本研究の分析には用いなかったが、研究が進展し、騒音改善効果等を検討する場合に備えてのものである。騒音レベルは常に変化するため、最大値と最小値を把握することとし、それぞれ、朝のラッシュ時と、日中の交通量の少ない時間帯を選んで、dB単位で記録した。

- ④ **車種別の平均乗車人数の計測**：1台あたり乗車人数等は、台数ベースから人数ベースの情報へ変換するための重要なパラメータとなる。そこで、①に示した通常の交通量調査とは別に、自家用車、タクシーについては、調査地点近傍の交差点にて停止している車両について、バスについては調査地点近傍のバス停での乗降扱い時間を利用して、それぞれのサンプル数が数十台になるまで目視により乗車人数をカウントして平均値を算定した。この結果、自家用車、タクシー、バスの平均乗車人数はそれぞれ、2.09, 13.79, 33.78 (人/台) となった。
- ⑤ **歩行者交通量の計測**：10箇所計測地点のほとんどでは、歩道の通行者数は無視できるほど少なかった。一方で、商業地区や設定路線近傍の商店街では多量の歩行者が存在し、これらはLRT整備後の乗車が見込まれる。よって、これらの歩行者交通量も別途調査した。
- ⑥ **指標情報の調査**：運賃や燃料代等、推計や分析に必要な情報を、現地滞在中に適宜調査した。

4-4. 現況交通量の推計

ここでは、調査地点における現況交通量を算定する。本章の算定・推計の手順は、計画者の意志決定を支援するシステムの一部として、「現況交通量算定機能」の形でプログラムを構築している。図4-3にインターフェイス画面を示す。

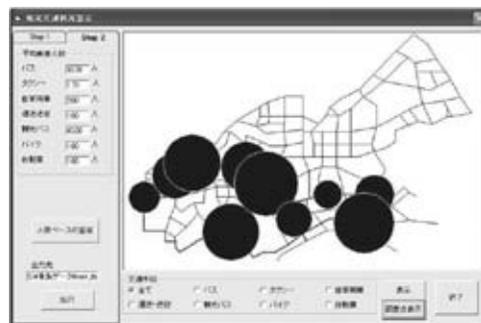


図4-3 現況交通量算定機能

(1) 計測時間帯の手段別1時間交通量(台)の算定

現地調査では、最小限の労力でデータを取得するポリシーのもとで、各調査地点において両方向の交通状況を5分間程度を目安とした交通量(台数)の計測を行った。そこで、計測時間(秒)と1時間(=3,600秒)との比の値を、それぞれの計測値に掛け合わせることで、交通手段別の1時間交通量(台)を求めた。

(2) 各調査地点の手段別24時間交通量(台)の算定

上で求めた1時間交通量は離散的な時間帯でしか算定できていない。そこで、交通量の「一日の時間変動」に関する情報をもとに「拡大」¹⁹⁾を行うことで、24時間交通量に変換することにし、今回は既に調査された資料上の時間変動グラフ(図4-4)を用いた。な

お、本研究の算定方式によれば、より信頼性の高い情報が入手でき次第、このステップのみの算定条件を入れ替えることで、手法の高度化や算定結果の信頼性を順次向上させていくことが可能である。

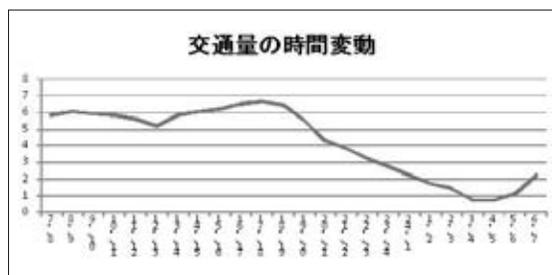


図 4-4 24時間交通量変化図

(3) 各調査地点の手段別24時間交通量（人）の算定

台数ベースの交通量から、人数ベースへの換算を行う。LRTへの転換交通量を利用者数単位で求め、この値を元に必要な車両数やダイヤを検討するといった本研究の推計手順では必要な作業となる。これには、現地調査で求めた車種ごとの平均乗車人数との積和を計算する方法をとった。具体的には以下の計算式となる。

各地点の24時間交通量（人）＝

$$\begin{aligned} & \text{自家用車24時間交通量（台）} \times \text{平均自家用車乗車人数} \\ & + \text{タクシー24時間交通量（台）} \times \text{平均タクシー乗車人数（運転手は除く）} \\ & + \text{乗合バス24時間交通量（台）} \times \text{平均乗合バス乗車人数（運転手は除く）} \\ & + \text{（送迎用車両＋観光バス）24時間交通量（台）} \times 40 \text{（人/台）} \\ & + \text{（運送用トラック・バイク・自転車）24時間交通量（台）} \times 1 \text{（人/台）} \end{aligned}$$

この結果、表 4-1 に示す観測地点別の24時間交通量（人）を推計することができた。

表 4-1 24時間交通量の推計値（人数ベース）

調査地点	人数（24時間交通量）							
	乗合バス	タクシー	自家用車	運送送迎	観光バス	バイク	自転車	計
①	193,222	34,918	86,831	1,731	17,440	0	472	334,613
②	193,526	21,011	59,024	2,339	33,760	475	874	311,008
③	111,001	20,610	37,931	1,455	8,080	373	275	179,726
④	196,870	22,969	27,034	1,253	1,320	542	511	250,499
⑤	249,769	28,491	30,079	820	1,240	1,131	1,862	313,393
⑥	212,814	24,793	35,808	2,199	2,800	1,084	406	279,904
⑦	93,875	24,552	49,964	2,201	4,120	1,254	709	176,675
⑧	114,447	20,370	49,964	2,809	6,800	1,083	1,117	196,589
⑨	99,144	14,844	24,417	1,437	4,480	736	310	145,369
⑩	98,131	23,635	72,887	4,003	16,920	259	31	215,866

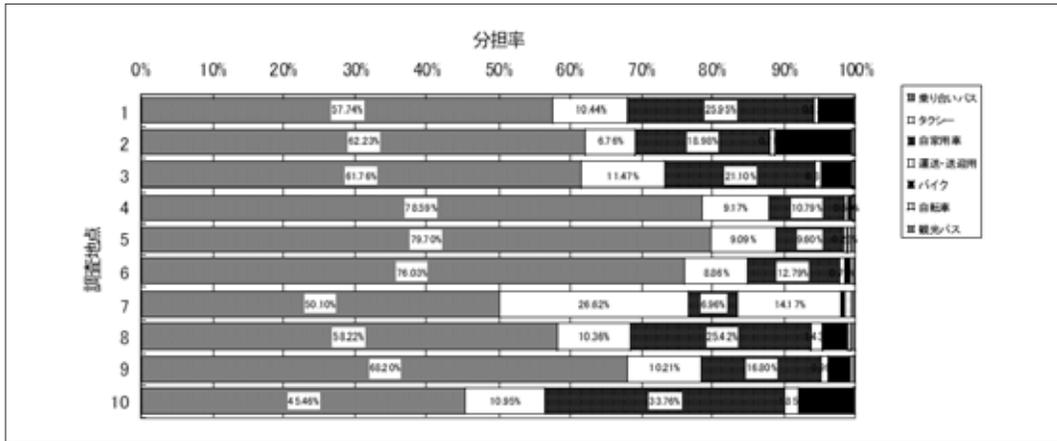


図4-5 交通手段分担率の推計値

(4) 各調査断面の交通手段分担率の算定

ここまでの時点で、各調査地点の断面交通量に関する手段別の分担率を求めることができる。これにより、各地点の交通状況を、より定量的に把握することができる。この結果を図4-5に示す。

(5) 道路交通容量の推計

車線数に関する調査結果を元に、車線あたり交通容量を設定し、現況の交通容量を算定した。これは参考情報としての役割にとどまるが、LRT敷設後の交通容量（2車線減が通常）算定の基礎資料となる。交通容量を推計した結果は、同じく推計した将来交通量が容量をオーバーしていないことのチェックに用いることができる。

4-5. 路線計画と計画諸元の設定

今回のケースでは、LRT敷設区間のバスを完全廃止し、バスをフィーダー系輸送を担う機関として、LRTとの乗り換え地点をターミナルとした路線網に再編（多くは路線短縮となる）する設定で検討を進めることにした。この部分については支援システムが様々なパターンに対応できるように改良の余地がある。また、将来交通量を推計するためには、以下の条件を定めておく必要がある。

- ① **料金設定**：LRT運賃単独でも利用者数に大きく影響し、さらには、バスとの乗り継ぎ料金をどのように設定するのか等を決める必要がある。そのためには、現況の交通流動を利用者の効用の観点から吟味する必要がある等、別途綿密な考察が必要である。今回に関しては、後で述べるように達観的に転換率の数値入力を行う方法を

とったため、定性的に「バスと同様の均一性とし、新たに乗り換えが必要となる場合にも、料金上の不利益が生じない」ということのみ定めておく。

- ② **所要時間**：LRTへの転換率を定める際の重要な参考情報として、停留所間の所要時間を算出する必要がある。今回は、停留所が調査地点にあることが妥当であると考えられ、これをもとに、区間長を表定速度で除すことにより算出を行っている。
- ③ **（将来）道路交通容量**：将来の自動車交通量推計の際の制約条件（上限値）として用いるために、LRT敷設区間の車線数が2車線減少した場合の道路交通容量をここで推計した。

4-6. 将来交通量の推計

LRT敷設後の交通状況の予測を行う。具体的には、LRTの乗客数を、他の交通モードからの転換分と、利便性が高まることによる誘発分の和として推計し、また、転換により減少した他モードの交通量も推計する。後者については、全交通モードの台数の総和の減少分を見積もって、交通状況の改善や環境負荷の減少を評価するための指標として有効に活用できると考えている。

(1) LRTへの転換交通量の推計

転換率については種々の影響要因が複雑に絡み合うため、数値解法による方法をとることは困難であると現時点では判断した。そこで、図4-6に示すように、これまで得られた情報をパネル形式で画面上に提示し、それらを参照しながら転換率の数値を入力し、瞬時に入力所要時間算定結果した想定条件での帰結（交通状況）を算定・表示して、試行錯誤過程を支援するというマンマシンのアプローチをとることとした。具体的な推計手順は次の通りである。

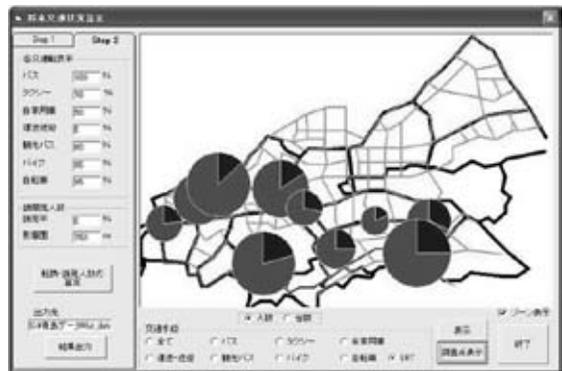


図4-6 転換交通量の算定機能

- ① 入力された各交通モードの転換率を用いて、LRT敷設後の交通機関別24時間交通量（人）を算定する。

交通機関 i からLRTへ転換する交通量（人）＝

$$\text{交通機関 } i \text{ の現況交通量（人）} \times \text{（入力した）交通機関 } i \text{ からの転換率}$$

交通機関 i の将来交通量 (人) =

交通機関 i の現況交通量 (人) × (1 - (入力した) 交通機関 i からの転換率)

- ② 各交通モードからLRTへ転換する交通量を足し合わせて、LRTの将来交通量 (人) を導く。

LRTの将来交通量 (人) (転換分) = Σ (交通機関iからLRTへ転換する交通量)

- ③ 自動車系の交通機関については、車種ごとの平均乗車人数で除して台数ベースへ換算する。

交通機関 i の将来交通量 (台) =

交通機関 i の将来交通量 (人) ÷ 交通機関 i の 1 台あたり乗車人数

各交通機関からの転換率は、対象都市の実状をふまえた上で設定する。今回の推計で入力した、各交通機関からの転換率の設定値は以下の通りである。

- ① 乗合バス：転換率を100%に設定した。LRT導入後にはこの区間内の乗合バスを完全廃止するという計画条件としているので、現状のバス利用者の全量がLRT利用に移行すると考えたからである。
- ② タクシー：転換率を10%に設定した。一般に、タクシーを利用するケースは急用が生じた場合のみであるから、タクシーの転換率は相対的に低いと考えた。
- ③ 自家用車：転換率を50%に設定した。今後ますます自家用車の利用制限が厳しくなる見込みであり、一方、公共交通機関の利便性が高まることが想定されるからである。
- ④ 運送・送迎用車両：転換率を5%に設定した。運送用車両は、もともと公共交通機関への転換可能性が一番低いと考えられる。
- ⑤ 観光バス：転換率を60%に設定した。LRTが都市景観の一部として、観光客の眼を惹きつけ、観光資源としての利用が想定されるからである。
- ⑥ バイク・自転車：転換率を95%に設定した。青島市は丘陵地帯に位置するため坂が多く、バイクや自転車の利用は不便であり、便利な公共交通機関が整備された場合の転換率は高いと予想されるからである。

(2) 誘発される交通量の推計

LRT整備後の交通利便性の高まりにより、交通需要が新たに誘発されることが予想される。これらは厳密には市域全体で生じるが、本研究で目指す簡便な算定方式を鑑みて、主たる誘発需要が想定される沿線地域のみを想定することにした。ここでも(1)と同様のアプローチをとる。

すなわち、影響圏人口を意志決定のための情報として提示し、一日あたりの乗客数とし

都市の公共交通システムを対象とした実務的な計画支援システムの開発（ザイ）

て、影響圏人口の何%の増加が見込まれるかを「誘発率」として入力させることにした(図4-7)。ただし、得られたゾーン人口を用い、LRT路線から両側150mの帯状の地域(=影響圏)への面積比例配分を行って、「影響圏人口」の算出は行っている。これを入力された「誘発率」に掛け合わせることで、誘発される交通量(人数ベース)を算出した。

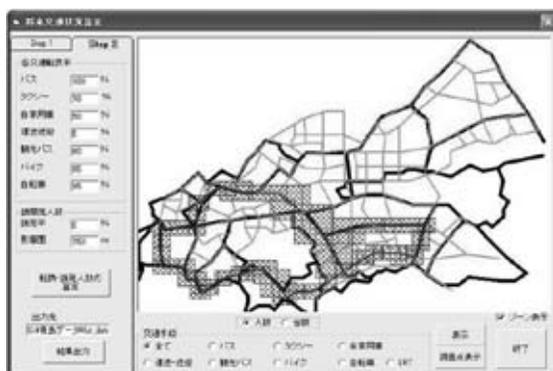


図4-7 誘発交通量の算定機能

ゾーン j の影響圏人口 =

ゾーン j の人口 × (ゾーン j が含まれる影響圏面積 / ゾーン j の面積)

区間 k の影響圏人口 = Σ (区間 k の沿道に存するゾーンの j 影響圏人口)

LRTの将来交通量(人)(誘発分) = Σ (ゾーン j の影響圏人口) × 誘発率

(3) 将来交通量の推計

以上の転換分と誘発分を足し合わせることで、LRTの将来交通量が調査区間ごとに人数ベースで算出でき、交通機関別の分担率などの交通状況を推測するための重要な情報を得ることができた。

LRTの将来交通量(人) =

LRTの将来交通量(人)(転換分) + LRTの将来交通量(人)(誘発分)

表4-2 LRT敷設後の24時間交通量推計値(人数ベース)

調査地点	LRT	人数(24時間交通量)						
		乗合バス	タクシー	自家用車	運送送迎	観光バス	バイク	自転車
	転換率→	100%	10%	50%	5%	60%	95%	95%
①	251,133	0	31,423	43,416	1,644	6,974	0	20
②	246,803	0	18,908	29,513	2,220	13,504	20	43
③	137,566	0	18,533	18,966	1,383	3,232	16	14
④	214,540	0	20,668	13,518	1,190	528	30	26
⑤	271,290	0	25,642	15,039	781	496	55	94
⑥	236,403	0	22,316	17,903	2,091	1,120	53	17
⑦	125,761	0	22,097	24,979	2,092	1,648	63	34
⑧	147,782	0	18,328	24,979	2,669	2,720	52	55
⑨	116,597	0	13,360	12,206	1,365	1,792	34	15
⑩	147,562	0	21,272	36,443	3,806	6,768	14	0

表4-2に、ここまでで求めることのできた、各調査地点（=各停留所）断面における将来交通量（人）を示す。

4-7. 予測結果の検証

4-6までで将来の交通状況に関する推計が一通り終了したことになる。この段階で、いくつかの制約条件を予測値が満たしているか否かのチェックを行い、これをクリアすれば、次のステップに進むことができるようにシステムを構成している。チェック項目は以下の通りである。

- ① **道路交通容量を超える推計交通量のチェック**：通常はLRTの軌道敷として道路空間の一部を使用することになるため、自動車が利用可能な車線は、両方向で2車線減少することをデフォルトとして敷設後の道路容量がすでに計算されている。推計した自動車系の将来交通量（台ベース）と比較して、これが賄いきれない場合にはアラームを鳴らして再計算を促す仕組みとしている。なお、敷道への自動車乗り入れを可能とする場合や、道路構造上、単線区間をつくるケースも想定されることから、この数値は書き換え可能となっている。
- ② **法令への適合性等のチェック**：対象都市や対象国の法令により、道路建設や、公共交通機関に関わる制限があることが想定できる。現時点では、この機能に具体的な制約条件は設定していないが、様々な条件を設定してエラーメッセージが出せるような機能をシステムに持たせている。

4-8. LRT運行条件の設定と事業収支の算定

これまでの作業によって、将来的に見込まれるLRTの乗客数を、24時間交通量の形で得ることができた。ここでは、これらの乗客を輸送するための運行ダイヤ等の条件を定め、これを元に必要な編成数や車両数を算出することで、最終的にはLRT事業の収支を予測する。

(1) LRT運行条件の設定

ここで設定する条件は、以下の3点である。

- ① **運行方法の設定**：今回は極めて単純に、「両方向に環状運転を行う」という設定とした。
- ② **運賃の設定**：現状のバス運賃は1元または2元（空調付きバス）となっているため、LRTの運賃については、「2元の均一料金とする」と設定した。

- ③ 車両等に関する設定：「最大乗車人数50人の車両を，4両連結して1編成とする」と定めた。1編成あたり200人の輸送能力を持つことになる。

(2) 運行ダイヤの設定

- ① ダイヤのパターン：「6時～24時まで運行し，どの時間帯も同一便数とする」と設定した。

- ② 必要な輸送量の算定：ダイヤを設定するには時間帯ごとの交通量を算定する必要がある。そこで，先の交通量の時間変動グラフを用いて，24時間交通量を各時間帯に配分した。値は調査地点によって異なるため，図4-8のように，時間帯ごとに交通量が最小となる地点と最大となる地点の各々の推計値を求め，各時間帯ごとにこのうちの最大交通量を採用した。

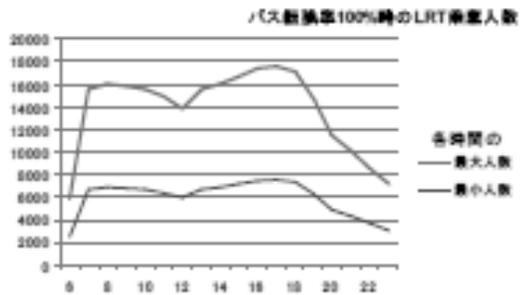


図4-8 LRT乗車人数の最大値と最小値

(3) 運行条件の設定機能と必要な編成数の算定

図4-9は，(1)および(2)で示した運行条件の設定パネルである。上部に車両当たりの最大乗車人数や1編成あたりの車両数，運賃を入力する。下部は運行ダイヤの設定部分である。各時間帯の運行編成数を設定するようになっており，これを入力すれば，輸送可能量を算定するとともに，LRT利用者の推計交通量との差を表示する。この欄は，需要にみあった供給（=編成数）が行えない場合には赤字で表示され注意を促す仕組みとしている。

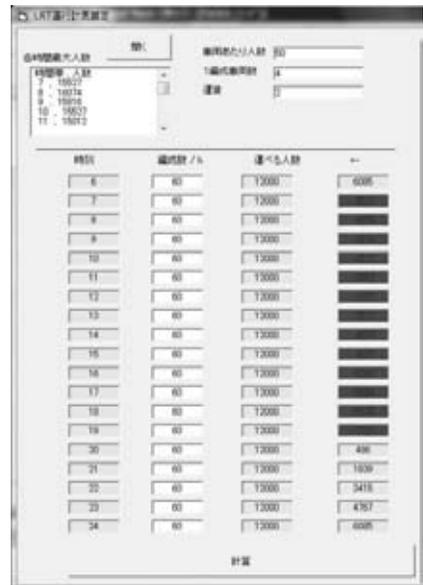


図4-9 運行条件の設定パネル

(4) 事業収支の算定

簡単には，交通事業の収支は，運賃を中心とした事業収入と，イニシャルコストとランニングコストに大別できる事業支出の差として求めることができる。図4-10がこれに用いるパネルである。

まず事業収入は、(1)で定めた運賃に、乗客数を掛け合わせるにより算出できる。ところが、本研究で行った調査方法で得られた交通量はあくまで「断面交通量」であり、これを元に今まで算定してきた「LRT推計交通量」も同様のものである。すなわち例えば、乗車地点と降車地点の間に調査地点が2つ挟まれているとすると、推計した「交通量」は、乗客数をダブルカウントした結果であるということになる。ここでは「平均乗車距離」の概念を導入し、下式にて乗客数の概算を行った。

$$\text{重複率} = \text{平均乗車距離} / \text{路線延長} \times \text{調査地点数}$$

$$\text{乗客数(日)} = \sum \text{断面交通量} / \text{重複率}$$

$$\text{運賃収入(月)} = \text{運賃} \times \text{乗客数(一日)} \times 30(\text{日})$$

例えば、利用者の平均乗車距離が全路線の半分であるとすると、各乗客が10の調査地点のうち5地点でカウントされることになる。これが重複率である。その場合、断面交通量が一日1万人であっても、実際の乗客数は5(=重複率)で除した2,000人であると考えられる。

さて一方、料金収入以外にも事業収入が存在する可能性もある。そこで、これらの月額を入力して、その和を事業収入として算定することにした。想定される例として、「広告収入」の入力欄を設けているが、さらなる収入がある場合には合算値をこの欄に入力してもよいし、今後はより詳細に想定できる収入項目を分ける方法も考えられる。ちなみに今回の設定条件では、運賃収入は月間約5,700万元と算定された。

一方、支出に関しては、イニシャルコストとして建設費と車両費を、ランニングコストとして「人件費」「メンテナンス費」「電力費」を想定している。

$$\text{車両費} = 1 \text{編成の導入費用} \times \text{編成数}$$

$$\text{建設費} = 1 \text{ kmあたり建設単価} \times \text{路線距離} + \text{車両基地建設費} + \text{その他建設費}$$

購入する編成数は余裕を見て100編成とし、参考資料をもとに、1編成の購入費用を38億円²⁰⁾、軌道1km当たりの建設費を14億円²⁰⁾、車両基地建設費を10億円²⁰⁾、さらに信号等の諸施設にかかる費用は合わせて10億円と設定した。このように日本におけるデータしか入手できなかったため、入力には日本円で行い、人民元に換算する方法をとった。

$$\text{人件費} = \text{給料}^{21)} (\text{月} \cdot \text{人}) \times \text{同時運行編成数} \times \text{交代数} \times \text{人数} + \text{設備} \cdot \text{管理人数}$$

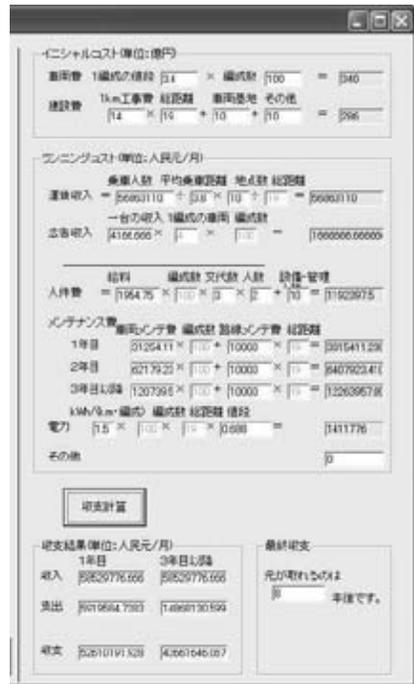


図4-10 事業収支の算定パネル

$$\begin{aligned} \text{メンテナンス費} &= 1 \text{ 両あたりの車両メンテナンス費} \times \text{車両数} \\ &\quad + 1 \text{ kmあたり軌道メンテナンス費} \times \text{路線延長} \\ \text{電力} &= \text{消費電力原単位} \times \text{編成数} \times \text{路線延長} \times \text{電力単価}(0.688\text{元}^{22)}) \end{aligned}$$

これも広島市の事例²³⁾をもとに、消費電力原単位を1.5KWh/km・編成、札幌市におけるLRT導入提案資料²⁴⁾をもとに車両メンテナンス費用を95百万円（1年目）、189百万円（2年目）、367百万円（3年目以降）（提案されている17両分の合計値）に設定している。ただし、ここでの計算方式は暫定的なものである。単純にパネル上に費用を入力する方法が適する可能性もある。

以上の設定・入力の結果、ランニングコストに関しては、1年目は約5,260万元、3年目は約4,370万元の黒字（それぞれ月額）となるため、8年後にはイニシャルコストの償還が可能であるとの結果となった。

4-9. 事業計画の評価指標の算定

本研究の目的は、最終的にはLRT導入の効果を何らかの形で総合的に評価して、事業の成立可能性を「判断」したり、複数の代替案の中から妥当なものを「選択」といった、意志決定を支援することである。こうした観点から本節では、以下の4項目の評価指標を算定する。

- ① **事業の採算性**：黒字・赤字の議論ではなく、あくまで評価指標の1つとして、事業の採算性を扱う。事業収支の経年的シミュレーションの結果、今回の条件では、8年後に黒字化する結果となった。
- ② **他の交通事業への影響**：LRT敷設により、他の交通事業は乗客減の影響を受ける。タクシーと乗合バスについて影響の度合いを料金収入の減少額として推計した。その結果、それぞれの運賃収入減少は、425,900円、1,645,600円であり、例えば何らかの調整や補填を検討する際のベースの数値となる。
- ③ **交通状況の改善効果**：LRT導入の主要な目的は、交通状況の改善であることから、これは最も重要な評価指標となり得る。一方、LRT導入により車線数は減少するので、同一の自動車交通量であれば渋滞が激しくなる。車線数の減少分を相殺するほどLRTへの転換によって自動車交通量が減るのかは重要な検証課題である。実際、本研究のケースでは、地点①においては、6,941台→4,018台に車線あたり交通量は減少しているが、地点②においては増加し、かえって渋滞が激しくなることが予想される。こうした情報は、専用軌道化や交通規制に関わる意志決定に役立つものと考えられる。
- ④ **環境負荷の低減効果**：自動車の排気²⁵⁾を汚染源とするCO₂の削減量等を算定してい

る。なお、これらの評価指標を算定し表示するために、図4-11に示す評価指標算定機能を構築しており、上記の指標の算出結果を一覧できる。



図4-11 指標の算定結果表示パネル

4-10. 事業運営のシミュレーション分析

条件や設定値を変更してシミュレーション的な作業を行えるようにすれば、計画者の試行錯誤過程をさらにサポートできることになる。開発したシステムは、設定値を変えた場合の推計値の変化を感度分析的に見たり、逆に、計算で得られる指標の中から目的関数を定め、これを最適化する設定値を探る等のアプローチによる分析を試みるための枠組みを提供している。

紙幅の関係で結果は省略するが、車両の条件や運行間隔、運賃設定、転換率等を変化させた場合の、LRT利用者数、将来交通量、事業収支への影響に関するシミュレーションを行っている。

5 おわりに

本研究では、都市の交通問題の解決方策について考察したうえで、公共交通機関を新しく導入した場合の効果を評価するシステムの構築を目指した。

本稿ではまず、交通問題が日々深刻化している状況を背景に、公共交通の優位性と機能強化の必要性について、さらには、優先的に考慮すべき交通システムについて考察を行った。

また、公共交通を主軸とする都市交通システムは今後さらなる導入が期待されるが、その効果の評価手法については確立されておらず、これが導入推進のネックになる可能性もあることを指摘して実務的な計画支援システムの必要性を述べるとともに、交通問題が顕著であるにもかかわらずデータ入手困難の発展途上国の都市を想定すると、情報が限られる状況の中で概算的であっても必要最小限の計画情報を算出できるようにすることが必要であることを示し、これをシステムの主要なポリシーに設定した。

そして、こうした考え方にもとづき支援システム開発を行い、様々な種類・形式のデータへの対応や、条件や設定値を変更してのシミュレーション作業、逆に、計算で得られる指標の中から目的関数を定め、これを最適化する設定値を探る等のアプローチによる分析

を可能とする等、計画者の試行錯誤過程をサポートしようという考え方を内包した、特に、本システムは、制約条件を満たさない場合には警告を鳴らす方式を取り入れている等、現時点では合理的な予測機能を持っていないものの、このことがむしろ「プロジェクトが成功するために必要な転換率や誘発率といった計画目標を探るシステム」としての特徴にもなっている。こうして、現実の計画局面への適用性が高い意志決定支援システムの構築を行うことができたと考えている。多くの計画支援システムが存在するなかで、現況調査から評価までの一連の算出過程をサポートするパッケージはあまり見られず、開発したシステムはあくまでプロトタイプであるものの一定の社会的役割を果たせるのではないかと考える。

しかしながら、本システムはまだまだ発展途上であり、さらなる改良の余地は多くある。ふりかえって見れば、3および4で示した計画ステップは、4-9におけるシミュレーションも含め、まず1つの導入案を定め、それに対してLRTを主体に、付随的に他の交通機関の交通量を推計・評価するというものであった。

ところが実際の計画は複数の代替案を設定し、その中から最も適切なものを選択するという手続きが通常であり、本システムのままでも案を変えて回を重ねればよいとはいうものの、より明示的に代替案の比較評価が行えるようにすべきだと思われる。

さらに、行政主体にとって新しい公共交通機関導入の第一義の目的は、都市全体を視野に入れての交通状況の改善であろうが、システムにおける評価機能は現時点では導入した交通機関とその周辺に限られている。現在の評価指標に加え、モビリティ・マネジメントや、パッケージ・アプローチの観点を取り入れ、また都市全体を見越した視点からの評価に対応していく必要がある。

また個別の演算手法については、特に上述の「交通量の転換率・誘発率」を達観的に入力する方法について、何らかの予測機能をつくり、いずれの方法も適用可能となるようにしたい。もっともこれらは、たとえモデル式を設定できたとしても、その妥当性に議論の余地が残るであろう部分なので、複数の方法の選択方式とすることを前提にし、さらには、デルファイ法やAHP等、人間の勘を数値的に扱うことで妥当性を高めるアプローチを内包する形態も模索したいと考えている。

こうした点に加え、インターフェイスの統一性等も課題であり、精力的な改良を加えていきたい。

参考文献

- 1) 「2007青島統計年鑑」, 総第28期, VOL.28
- 2) 劉麗亜・張超, 「都市公共交通発展の交通コストに関する分析」, 総合運輸, 2007(1)
- 3) 中華人民共和国建設部, 「都市公共交通の優先発展に関する提案」, 2006
- 4) 信金中央金庫総合研究所, 「LRTの活用による車依存型社会からの脱却」, 2008
- 5) 谷口 守・松中亮治・伊藤 雅, 「LRT導入が交通行動や社会経済ならびに周辺環境に及ぼす影響に関する文献調査」, 2007
- 6) 松中亮治・谷口 守・児玉雅則, 「LRT整備の有無による交通機関選択意識に関する都市間比較」, 2006
- 7) 谷口 守・松中亮治・伊藤 雅, 「中心市街地における商業活動の経年的推移に関する分析」, 2007
- 8) 谷口 守・松中亮治・伊藤 雅, 「LRT導入が高齢者の外出行動に及ぼした影響に関する分析」, 2007
- 9) 松中亮治・谷口 守・片岡 洸など, 「LRT導入前後における交通機関選択時の意識変化に関する研究」, 2009
- 10) 片岡 洸, 「LRTに対する総支払意思額とその構成に関する研究」, 2007
- 11) 和歌山工業高等専門学校, 「ドイツにおけるLRT導入効果に関する研究」, 2007
- 12) 大阪大学, 「社会経済分析手法を用いた公共交通施設整備に関する研究」, 2006
- 13) (財)省エネルギーセンター <http://www.eccj.or.jp/>
- 14) 平成14年度国土交通白書
- 15) 都市計画ハンドブック2004
- 16) 服部重敬, 「ライトレール (LRT) の現況」『鉄道ファン』, 交友社, 2003
- 17) 国土交通省パンフレット, 「都市モノレール・新交通システム」, 2001
- 18) 路面電車ハンドブック編集委員会, 「日本の路面電車ハンドブック 2001年版」, 2001
- 19) 塚口・塚本・日野, 『交通システム』, 国民科学社, 1996
- 20) 広島電鉄ホームページ (<http://www.geocities.co.jp/MotorCity-Race/2520/nedan.htm>)
- 21) 前掲1)
- 22) 「青島市城郷用電服務収費標準表」, 58号, 2004
- 23) 渡辺ほか, 「波及効果を考慮したLRTシステム導入の環境負荷評価」, p.1
- 24) 「LRTで札幌が変わるーさっぽろLRT 10km構想」, LRTさっぽろ, 2004.11
- 25) 「欧州の自動車排ガス基準」