

旅行計画立案システム (TPSS) について

八戸 英夫, 矢部 眞

1. はじめに

旅行や行楽, そして仕事などで目的地まで鉄道網を利用して移動する場合, どのような経路で行けば良いか, また所要時間はどの程度か, 運賃はいくらかかるのかなどを調べる必要がある。しかしながら, これを時刻表ですべて調べることは鉄道ファンでもないかぎり, かなり面倒であると感じるだろう。特に首都圏内の不慣れた地点への移動においては複雑な鉄道路線網の中で, 利用者にとっての最適経路 (所要時間, 運賃, そして乗り換え回数のいずれかを最小としたり, いずれかに重みをおくような経路) を探し出すことは容易でない。

一方, 旅行や行楽の場合には必ずしも目的地が確定しておらず, なんらかの行動欲求が生じて, その欲求を満たす場所を探す場合がある。このような場合には, 移動時間を考慮して, 目的地での行動時間がどの程度確保できるかが問題となり, 目的地選びはかなり困難な問題となる。

現在, そうした判断の手間のいずれかを省くために, いくつかの観光情報提供システムや都市交通情報提供システム [1] が稼動している。筆者らが調査した主なものを表 1 に示す。人通りの多い

表 1 首都圏内の主な交通・観光情報提供システム

システム名	設置場所	台数	情報提供内容	備考
ホットポイント	新宿駅東口	6	主要駅の電車, 特急, 急行列車の時刻表, 観光地案内など	㈱東京メディアサービス提供
NEWメディア&ターミナル	小田急新宿駅	2	小田急線の時刻表, 沿線観光地案内や小田急グループのPR	小田急電鉄提供
コンピュータトラベルガイド	東京駅八重洲北口	5	東京駅から任意の着駅に至る急行・特急列車の時刻表, 主な観光地の案内など	主なホテル, 観光協会などが共同出資
JOYタッチ	上野駅	4	駅構内案内図, 駅周辺観光案内図, 時刻表の案内など	NKBシステム提供
メディアターミナル渋谷	渋谷駅東口 西口	1 1	首都圏内の任意の発着駅間最短経路と代替経路を案内, 駅周辺の主要地点も指示可能	昭和61年末で撤去

場所に設置されているシステムは待ち行列が生じるほど人気があり, ニーズが高いことを示している。しかしながら, いずれのシステムも利用者の欲しい情報を断片的に提供するだけであり, 限られた時間内で有効なプランを立てるさいには結局他の手段でさらに必要な情報を探さなければならぬ。

以上のような問題点を解決するために筆者らは旅行計画立案支援システムのパイロット・モデルとして, TPSS (Travel Planning Support System) を開発中であるが, そのシステムのアルゴリズム, ならびに出力例などを報告する。

やえ ひでお, やべ まこと
工学院大学 生産機械工学科
〒160 新宿区西新宿1-24-2

2. システムの概要

本システムは稼動範囲をなるべく広げるために大型コンピュータを利用することを避け、図1に示す一般的なパソコン・システムで利用できるようにした。使用言語も一般的なN88日本語 BASIC (MS-DOS版)である。

しかしながら、このような情報提供システムでは即時性の問題が最も重要視される。それゆえ、パソコンでの実用的システムを開発するためには大型コンピュータを用いるシステムと比較して、情報探索の効率化を図る必要がある。さらに、パソコンでは記憶容量の節約も充分考慮する必要がある。そのためのソフトウェアによる対策は各章において説明する。ただし、図1の拡張構成までハードウェアを揃えることが可能であれば、大幅にシステムの負担は軽減され使いやすくなる。本稿で紹介する情報提供までの処理時間は拡張構成のものである。基本構成でも処理速度は遅くなるが、TPSSの処理プログラムならびにデータの全容量は2.5 Mbyte程度なのでフロッピーの交換により、充分利用可能である。

TPSSでは首都圏内・外で交通情報提供の考え方を区別している。つまり、首都圏内の移動においては電車の運行間隔が短いため目的地までの到達時間ならびに運賃の情報提供を行ない、時刻表による情報提供は行なわない。しかしながら、新幹線や特急列車による首都圏外への移動であれば時刻表データを利用した情報提供が不可欠でありこれにより各種の情報提供をする。

以上の前提条件で、TPSSは利用者に対して交通情報、観光情報などのメニューをディスプレイに表示し、利用者が必要とする情報を提供することができる(図2)。

そのために、このシステムでは交通情報提供と観光情報提供のための2つのサブシステムに分け

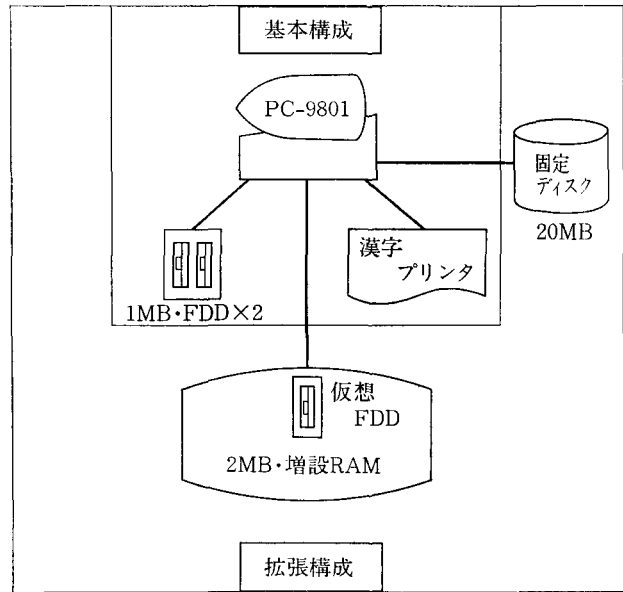


図1 TPSSのハードウェア構成

ているが、それを以下、3、4.で紹介する。

3. 交通情報提供サブシステム

交通情報提供サブシステムの最適経路探索は鉄道駅間の移動を前提としているので、発着地の最寄りの駅がわかっていなければならない。

そこで、まずこのサブシステムにおいては首都圏内の主要地点(主な会社、官庁、大学など)と首都圏外の主要地点(主な観光地など)の最寄りの駅、その駅までの徒歩やバスによる所要時間の情報をシステム内に格納されている交通情報データ・ベースから探し出し、利用者に案内する。

ひきつづいて、利用者は首都圏内と首都圏外の交通情報のいずれを知りたいかを選択する。つまりこのサブシステムでは2.で述べたように、首都圏内と首都圏外の交通情報の内容を区別しているために、さらに以下に述べるように2つのサブシステムに分けられている。

3.1 首都圏内・交通情報提供サブシステム

首都圏内・交通情報提供サブシステムでは、首都圏内における任意の2駅間の最短経路ならびに最小費用経路情報、ならびにそれぞれの代替案情

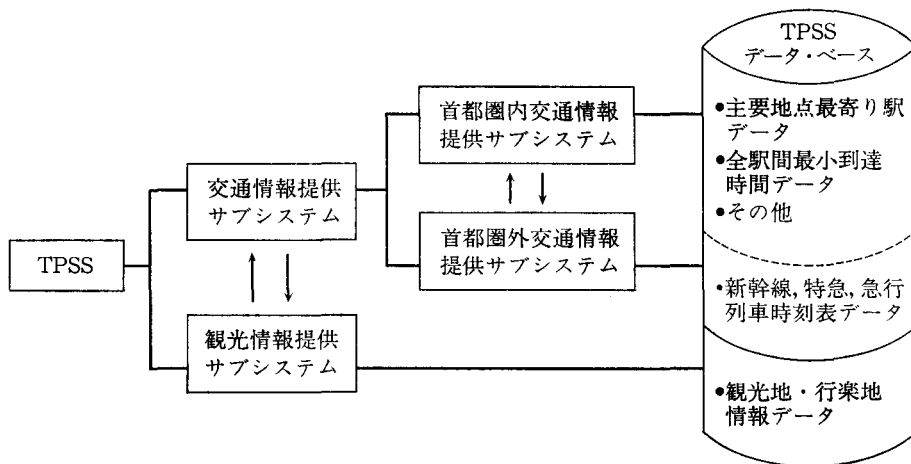


図 2 TPSS のソフトウェア構成

報を提供する。しかしながら、一般にこれらの情報を生データから算出して提供するとなるとパソコンでは莫大な計算時間を要し、実用的でない。

そこで、あらかじめ生データを加工し、TPSS のデータ・ベースに格納しておくことにより、システムの効率化を図っている。次に、この効率化の方法について述べる。

まず、あらかじめ各駅を他の鉄道線や異なった種類の列車（各停と急行など）と乗り継ぎのできる駅（乗り継ぎ駅）とそうでない駅（中間駅）の 2 つに分類しておく。指定された発着駅が中間駅である場合にはその中間駅の上り、もしくは下りの鉄道線上で最も近い乗り継ぎ駅を発駅もしくは着駅と置き換える。当然、発着駅が最短の乗り継ぎ駅の途中にあるかどうかも判定し、そうであればこの時点で探索を終了する。また発着駅双方の駅の乗り継ぎ駅が一致し、しかも同一鉄道線上にあれば乗り換えはないものとする。

基本的には以下に紹介する最短経路探索ならびに、その代替経路探索は乗り継ぎ駅を対象としている。この前処理によって探索対象の大幅な削減となり、システムの高速度化、省容量化を図ることができる。

まず、隣接した駅間の運行所要時間行列 (T_{ij}) を時刻表などで求めておく、ここで全駅数を M と

すると $i, j=1, 2, \dots, M$ である。また、 $T_{ij}=0$ とし、隣接していない駅間の要素はすべて ∞ とする。次に $i=1, j=1, 2, \dots, M$ としてダイクストラ法 [2] により、始発駅を 1 としたときの他のすべての駅に至る最小到達時間を求める。同様に i を 2 から M まで変化させ繰返し計算することで、全駅間最小到達時間行列 (S_{ij}) を求める。そして、この結果を TPSS のデータ・ベースにあらかじめ格納しておくので、任意の発着駅間の最小移動所要時間は瞬時に情報提供することが可能である。

しかしながら、利用者にとっての最適経路は単に乗車時間の問題ばかりでなく、運賃や乗換回数などの問題などさまざまな要因がからみあっているのが普通であるから、TPSS では最短経路ばかりでなく、その代替経路を探索する。このような代替経路を求める手法として、閉路を含まない有向ネットワークにおいて、リンクの遅延時間と複数の経路を体系的に表すための木を導入した遅小樹育法による第 k 最短経路探索手法 [3] がある。しかしながら、文献 [3] にも述べられているようにネットワークによって非常に効率が悪くなることがあるので、本研究では最短経路と比較した場合の遅れを表わす遅延時間行列 D_{ij} より作成した評価行列 V_{ij} を用いることにより、計算効率の

向上を図った。評価行列は理論上の経路であっても、実際には意味のない経路を初めから省いて、遅延時間の小さな経路順に効率よく探索するための行列である。その方法を紹介する。

まず、発駅を s とし、着駅を e とすると、遅延時間距離行列は

$$D_{ij} = S_{si} + T_{ij} - S_{ej} \quad (3.1)$$

で表わされる。ここで、 $D_{ii} = \infty$ とする。

次に、 $V_{ij} = D_{ij}$ とし、 $V_{is} = V_{ej} = \infty$ を代入しておく。この2つの行列を用いて、最適経路ならびにその代替経路を探索するアルゴリズムは次の3つのステップに分れる。

【step 1】

まず、 $D_{ie} = 0$ の行を探し、この行を k 行とする。つづいて $D_{ik} = 0$ の行を探し、これを l 行とし、 $D_{il} = 0$ を探す。この手順を s 行が見つかるまで行と列を置き換える探索を繰返すことにより最短経路 (s, \dots, l, k, e) を求めることができる。

ここで、(3.1) 式は e に依存しないので、発駅が一定であれば遅延時間行列もデータ・ベースに格納しておくことにより、任意の着駅に対する最短経路をただちに求めることができる。

【step 2】

代替経路を求める前に評価行列 V_{ij} に対して、最適経路とその逆路の各要素を ∞ とする。また、遅延時間行列 D_{ij} に対しては最適経路の逆路の各要素を ∞ とする。次に step 1 で探索した最短経路の各列の遅延時間の中で最小の要素 p_{fg} を V_{ij} から探す。代替経路 (第2最短経路) は f 行を f 列、 g 列を g 行といったように、行と列、もしくは行と行を置き換えて、次々と D_{ij} の該当する列もしくは行の各要素の最小値を探索し、 s 行もしくは e 列が見つかるまで繰返すことにより求まる。

【step 3】

ここで、 p_{fg} の値と V_{ij} (V_{ij} の f 列の各要素) の和を計算し、一時 V_{ij} に格納する。つづいて、求めたばかりの代替経路に対応する V_{ij} の列の要素の中で新たな最小の要素 p_{fg} を探す。この要素

に該当する鉄道線が新たな代替経路の通過線となるわけである。後は p_{fg} から step 2 と同時に、行と列の置き換えをすることにより、発着駅までの最短経路を求めれば新たな代替経路が完成する。

ここで、一時格納されていた V_{ij} の中で値が ∞ である要素を除く各要素の値を最初の遅延時間の値にもどしておく。

以上、 V_{ij} の全要素が ∞ となるまで step 3 を繰返すことによって、次々と代替経路を求めていくことができる。また、所要時間は D_{se} と代替経路の累積遅延時間との和となる。以上の方法により最短経路、ならびにその代替案ばかりでなく、乗り継ぎ回数の情報も提供することができる。ただしこの方法ではすべての組合せの経路を求めることはできない。しかしながら、すべての経路を求めることは実用的観点からいって無意味であり、むしろ代替経路は4経路ほどに限定した方が利用者の混乱を防ぐことができる。そこで、本サブシステムでも情報提供する代替経路は最大4経路とした。処理時間は約30秒程度である。運賃情報に関してはそれぞれの経路案に対しての運賃を求め、所要時間、乗り換え回数とともに情報提供する。このことにより、利用者各人に応じた最適案を選択することができる。

3.2 首都圏外・交通情報提供サブシステム

首都圏外・交通情報提供サブシステムでは時刻表を用いた新幹線ならびに特急・急行列車の交通情報提供が可能である。

このサブシステムにおける情報提供の手順は次の通りである。

(1) まず、利用者が希望発着駅と最早出発希望時刻 ET 、もしくは最遲到着希望時刻 LT の入力のいずれかを行なうことにより、サブシステムはその着駅が存在する鉄道線名を探す。このとき、発駅と着駅が同一線上に存在し、かつ新幹線もしくは特急や急行の停車駅 (以後、単に特急停車駅と呼ぶ) であるという条件を満足するかを確認し、満足していれば (2) 以降の処理を行ない、そうで

なければ発駅から首都圏内の各特急停車駅までの所要時間を3.の S_{ij} を用いて求め、所要時間最小の特急停車駅を発駅とする変換処理を行なう。つづいて、該当する最小所要時間をSDとし、乗り換えのための余裕時間を α としたとき、 $ET = (\text{最早出発希望時刻}) + SD + \alpha$ とする。

(2) 次に、該当する鉄道線の時刻表データから、候補となる列車を探索する。ここで、候補となる列車（乗り換えが必要なときは、複数の列車が候補となる）の希望発着駅に対応した発駅時刻をそれぞれST、ATとする。そうすると、最適候補列車は $ET \leq ST$ もしくは $LT \geq AT$ の制約条件の下で探索することになる。それではその探索の仕方について説明する。

まず、ETが指定されたときは $ST - ET$ が最小となる列車を探し出し、その列車のATを調べこれを仮の最適候補とする。次に、そのATより早い時刻に到着する他の列車で、 $ET \leq ST$ の条件を満たす列車がないかを調べる。なければ、仮の最適候補を採用し、あればその列車を最適候補とする。

LTが指定されたときは $LT - AT$ が最小となる列車を探し出し、その列車のSTを調べ、これを仮の最適候補とする。次に、そのSTより遅い時刻に出発する列車で、 $LT \geq AT$ の条件を満たす列車はないかを調べる。なければ、仮の最適候補を採用し、あればその列車を最適候補とする。

(3) 代替案は最適候補列車を除外して、(2)にもどり、探索する。第3候補列車までこれを繰返し次に進む。

(4) 利用者が入力した発駅を変換処理していなければ、ここで処理を終了し、利用者に第1から第3までの最適候補列車の発着時刻、所要時間、そして運賃の各情報を提供する。変換処理をしている場合はこれらの情報ばかりでなく、入力された発駅の出発時刻(= $ST + SD + \alpha$)もあわせて情報提供する。

(5) 探索された各案に対し、営業キロ・データか

ら各種運賃情報を提供する。

以上の手順で首都圏外交通情報を提供する。

4. 観光情報提供サブシステム

観光情報サブシステムでは観光・行楽地の交通の便や見所などの各種情報を提供する。従来の観光情報提供システムとの相違は首都圏内外・観光情報提供サブシステムとのリンクにより、限られた時間内での有効な計画立案の手助けをしてくれることである。

このサブシステムでは利用者が目的地を最初から決定しているのか、そうでないかによって情報提供の内容を以下のように2つに分けている。

4.1 目的地が確定している場合の情報提供

利用者が目的地を決定していて、なおかつその目的地に関する情報を知りたいときにはサブシステム内のデータ・ベースから、利用者の選択した観光地、もしくは行楽地に関する情報を検索し提供する。データ・ベースには一般的な観光・行楽地情報だけでなく、その観光地もしくは行楽地で楽しむのに必要と思われる標準所要時間データが格納されており、同時に情報提供する。このサブシステムは必要があれば交通情報提供サブシステムを呼び出すことができるように設計されており利用者は往復の移動時間と標準所要時間を参考に計画を効率良く立てることができる。

4.2 目的地が不確定の場合の情報提供

旅行目的(スキーや温泉に行きたいなど)は決まっているが、目的地を特定していない場合はメニュー選択により好みの観光地、もしくは行楽地を探し出す。メニューはまず、利用者にとって確信度が高いと考えられる項目(旅行目的、日数、参加人数など)から表示される。利用者がこれらの項目において、該当するメニューを選択することによって、サブシステムはそれに合った観光・行楽地を探しデータを絞りこんでおく。次の段階では重みづけされた評価によって最適解とその代替案を探索するが、その探索効率を向上させるた

TPSS (交通情報提供サブシステム)

発駅 : 八王子 着駅 : 新宿

[最短経路ならびに代替経路情報]

第 1案

八王子 =====>新宿
京王線(特急)

所要時間 約 35 分 : 料金 290 円 : 乗換回数 0 回

第 2案

八王子 =====>新宿
中央線(特快)

所要時間 約 40 分 : 料金 440 円 : 乗換回数 0 回

第 3案

八王子 =====>新宿
中央線(快速)

所要時間 約 50 分 : 料金 440 円 : 乗換回数 0 回

第 4案

八王子 =====>三鷹 =====>荻窪 =====>新宿
中央線(特快) 中央線(快速) 丸ノ内線(普通)

所要時間 約 51 分 : 料金 570 円 : 乗換回数 2 回

図 3 首都圏内・交通情報提供サブシステムによる出力 [例 1]

めに、この前処理を行なう。

次に、一般的に比較的、自由度が高い項目(金額、眺望やサービスの程度など)については重要度(5点満点法)の入力を行なうことにより、最終的に次式で求められる最適案、ならびに代替案の情報を提供する。

ここで、

W_j : j 項目において利用者が入力した重要度 $W_j=5$ (非常に重要)~1 (重要でない)

Z_{ij} : i 番目の観光・行楽地における j 項目の確信度(0~1までの数値で各項目の確からしさを表わしたもの)

T_i : i 番目の観光・行楽地の総合評価とすると

$$T_i = \sum_j Z_{ij} \cdot W_j \quad (3.2)$$

となる。よって、最適な観光・行楽地とそれの代替案は(3.2)式から求められた T_i を大きい順に

ソーティングすることによって求められる。

なお、ここでも 4.1 と同様に必要に応じて交通情報提供サブシステムを呼びだせる。

5. TPSS の実行例

ここでは交通情報提供サブシステムによる実行例を紹介する。観光情報提供サブシステムについては選択項目が多数あり、ここでは紹介しない。

5.1 首都圏内・交通情報提供サブシステムの実行例

[例 1]

筆者らが勤務する大学の2つのキャンパスの最寄り駅である八王子駅~新宿駅間の最短経路、ならびに3通りの代替経路を求めた結果を図3に示す。この例では最短経路と最小費用経路が一致しているために、利用者にとって選択は容易である。

[例 2]

TPSS (交通情報提供サブシステム)

発駅 : 新宿 着駅 : 吉祥寺

[最短経路ならびに代替経路情報]

第 1案				
新宿	=====>	吉祥寺		
		中央線 (快速)		
所要時間 約	17 分	: 料金	200 円	: 乗換回数 0 回
第 2案				
新宿	=====>	吉祥寺		
		総武線 (普通)		
所要時間 約	19 分	: 料金	200 円	: 乗換回数 0 回
第 3案				
新宿	=====>	明大前	=====>	吉祥寺
		京王線 (特急)		京王井の頭線 (急行)
所要時間 約	23 分	: 料金	140 円	: 乗換回数 1 回
第 4案				
新宿	=====>	荻窪	=====>	吉祥寺
		丸ノ内線 (普通)		中央線 (快速)
所要時間 約	24 分	: 料金	290 円	: 乗換回数 1 回

図 4 首都圏内・交通情報提供サブシステムによる出力 [例 2]

新宿駅～吉祥寺駅間の最短経路，ならびに 3 通りの代替経路を求めた結果を図 4 に示す。この例では最短経路と最小費用経路が一致しておらず第 3 案が最小費用経路となる。一般的な考え方としては，利用者は第 1 案と第 3 案の各種情報を比較しながら意思決定することになる。

5.2 首都圏外・交通情報提供サブシステムの実行例

[例 3]

新宿駅を 10 時以降に出発して姫路駅に到着する最適案ならびに 2 通りの代替案を図 5 に示す。

第 1 案と第 2 案では到着時刻が同じであるためよほどのことがないかぎり第 1 案を選択するであろう。しかしながら，第 3 案では出発時刻にかなり余裕があるため，到着時刻に問題がなければ検討する対象となる。

6. おわりに

本研究では行楽・旅行計画立案を支援するための 1 つのシステムの例を紹介した。TPSS によって既存のシステムのように断片的情報を提供するのではなく，鉄道で移動するために必要な統合的情報を提供することが可能となった。

しかしながら，利用者の交通手段を選択する要因は千差万別である。たとえば，乗り換えに必要な時間の問題よりも，乗り換えるさいの階段数やエスカレータの有無を重要視したり，座れる確率の高い電車かどうかなども問題となる。TPSS でこれらの要因をすべて網羅することは不可能であった。このような要因をすべて解決するには即時性の点が問題となる。ただ，最近のパソコンの進歩はいちじるしく数年後にはこのような問題も高速処理が可能となるろう。

一般的にパーソナル・レベルの情報提供システムを作成するさいに留意しなければならない点は，良くまとめられた情報提供のための文献によ

TPSS (交通情報提供サブシステム)

発駅 : 新宿 着駅 : 姫路

[最短経路ならびに代替経路情報]

第 1案

新宿 =====>東京
 (10:12頃) 中央線 (快速)
 所要時間 約 15 分 : 料金 180 円 : 乗換回数 0 回

東京 =====> 姫路
 (10:47) 東海道新幹線 (14:32)
 ひかり 201号
 所要時間 225 分 : 料金 14500 円 : 乗換回数 0 回

第 2案

新宿 =====>東京
 (10:00頃) 中央線 (快速)
 所要時間 約 15 分 : 料金 180 円 : 乗換回数 0 回

東京 =====> 新大阪 =====> 姫路
 (10:30) 東海道新幹線 (13:34) 東海道新幹線 (14:32)
 ひかり 343号 ひかり 201号
 所要時間 242 分 : 料金 14500 円 : 乗換回数 1 回

第 3案

新宿 =====>東京
 (11:12頃) 中央線 (快速)
 所要時間 約 15 分 : 料金 180 円 : 乗換回数 0 回

東京 =====> 姫路
 (11:42) 東海道新幹線 (15:15)
 ひかり 141号
 所要時間 213 分 : 料金 14500 円 : 乗換回数 0 回

図 5 首都圏外・交通情報提供サブシステムによる出力 [例 3]

る検索よりも果たして便利なのかどうかを客観的に判断することである。本研究においても数多くの学生ならびに教員などに利用していただき、この点のチェックに努めシステム改善を行ってきた。

最後に、貴重な時間をさいて有益な助言をして下さいました東京大学工学部教授・伏見正則先生に深く感謝をいたします。また、本システム作成に協力していただいた昭和61年度卒論生の小林勝君(熊谷組)、紫藤俊郎君(アスモ株式会社)、島田旭君(図書印刷株式会社)、沢口利紀君(日本無線株式会社)、杉本尚夫君(矢崎総業株式会社)に

感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] 運輸省運輸政策局, 長銀経営研究所: 運輸関連業のニューサービス戦略, 中央経済社 昭和61年9月
- [2] 今野 浩, 鈴木久敏: 整数計画法と組合せ最適化, 日科技連, 昭和57年6月
- [3] 杉本克行, 加藤誠巳: 有向ネットワークにおいて閉路を含まないk個の最短経路を求めるための手法 情報処理学会論文誌, Vol.26, No.2, 昭和60年3月