

京都大学博士（工学）学位論文

ITS の活用によるトラック輸送の高度情報化
に関する研究

2004 年 3 月

岸野 清孝

序

近年、日本の物流を支える貨物輸送手段は宅配便を始めとするトラック輸送にシフトしており、1985年以降トラックの分担率はトン数では90%、トンキロでは50%となっている。特に陸上輸送は圧倒的にトラック輸送に依存しており、その車両台数は800万台(営業用：100万台、自家用：700万台)におよんでいる。1999年度では物流業の事業規模全体(約21兆円)の中でトラック輸送が約12兆円と過半数を、事業者数全体(65,500社)の中で52,000社と8割を、従業員数全体(148万人)の中で120万人と8割以上を占めている。またトラックの増大と配送の小口化による渋滞は、排ガス規制による環境対策などの社会問題の主な原因になっている。しかし、バブル崩壊後の不況により物量が低下し、荷主からのコスト低減要求が厳しくなる中、1999年度では5万社全体の46%の企業が赤字経営に苦しんでいる。トラック運送業における輸送効率と見ると空車率は43%、積載率は31%となっており、人と車に無駄が多く、その効率化は最優先の課題となっている。

トラック輸送の効率化のニーズ調査を実施したところ、①トラック運行管理(運送する途中の車両位置動態管理、配送実績に基づく運行実績管理、配送進捗管理など)の車載システム、無線通信ネットワーク技術などを用いたIT(Information Technology)化によるコスト削減、②運送依頼をトラックへ割り付ける配車配送計画、安全運転指導などのIT化によるコスト低減、省燃費・排気ガス低減、交通事故低減など、高度情報化による効率化のニーズが高いことが判明した。

トラック輸送のIT化による高度情報化を実現しようとした場合、トラックから車両の現在地(緯度、経度)、速度などの様々な情報を収集したり、その情報から各道路の渋滞、旅行時間を把握して目的地への所要時間を予測するといった道路交通の技術が必要である。2000年を前後してITS(Intelligent Transportation System)が実用化され、また走行車両から得られる各種情報を活用したプローブカーの研究も加速され、道路交通の技術が進展してきた。

そこで本研究では、ITSの活用によりトラック輸送の高度情報化をテーマに研究を行い、これによりコスト低減、省燃費・排気ガス低減、交通事故低減などが図れることを検証する。具体的には、トラック輸送の計画・管理業務であるトラック運行管理、交通状況予測・所要時間予測による交通情報提供、安全運転診断・管理、配車配送計画などの高度情報化に関して研究と実証実験を行う。

本研究で示す方法が、今後のトラック輸送の効率化・コスト低減の一助になれば幸いである。

2004年3月 岸野清孝

目 次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景と目的	1
1.2 本論文の構成	4
第2章 日本におけるトラック輸送の現状と課題に対する解決策	7
2.1 概説	7
2.2 国内貨物輸送量とトラック輸送の現状	7
2.2.1 国内貨物輸送量の推移	7
2.2.2 輸送機関別の動向	9
2.2.3 トラック運送事業者数の推移	12
2.2.4 トラック保有台数の動向	14
2.2.5 トラック運送事業者の経営規模	15
2.2.6 物流業の現況	16
2.2.7 国内貨物輸送量とトラック輸送の現状のまとめ	17
2.3 トラック輸送の課題と解決策	18
2.3.1 トラック輸送の輸送効率	18
2.3.2 トラック輸送がおかれている環境	18
2.3.3 トラック輸送の業務内容と課題	20
2.3.4 トラック輸送のIT化による高度情報化のニーズと研究背景	21
2.3.5 トラック輸送の高度情報化へのITSの活用	23
2.3.6 ITSの進展動向	24
2.4 トラック輸送のIT化による高度情報化に関する既往の研究	41
2.4.1 運行管理(車両位置動態管理・運行実績管理・配送進捗管理)に 関する既往の研究	41
2.4.2 交通状況予測・所要時間予測による交通情報提供に関する既往の研究	43
2.4.3 安全運転診断・管理に関する既往の研究	48
2.4.4 配車配送計画に関する既往の研究	50
2.5 結語	53
第3章 トラック運行管理ASPによる業務向け交通情報サービスの開発	58
3.1 概説	58
3.2 トラック運行管理システムの開発	59
3.3 車両運行実績管理の開発	63

3.4	配送進捗管理における目的地への到着自動認識機能の開発	66
3.4.1	目的地への到着自動認識	66
3.4.2	目的地への到着自動認識の機能評価	75
3.5	トラック運行管理システムの導入効果	77
3.6	結語	78
第4章	プローブカーを利用した交通状況予測による交通情報提供の研究	81
4.1	概説	81
4.2	プローブカー普及率の試算とエリアカバー率との関係	82
4.3	プローブカー未走行区間における交通状況予測方式の開発	84
4.4	プローブカーによる実車走行実験	87
4.5	結語	92
第5章	トラック運行管理のプローブ情報を利用した目的地への所要時間予測 による交通情報提供の研究	94
5.1	概説	94
5.2	トラック位置を交通情報として利用する手順	95
5.3	マップマッチングと経路推定によるリンク速度の算出	96
5.3.1	マップマッチング方式	96
5.3.2	経路推定によるリンク速度の算出	100
5.3.3	リンク速度データの考察	102
5.4	目的地への所要時間予測方式の開発	104
5.4.1	AVIと超音波感知情報を利用した所要時間推定方式の開発	104
5.4.2	プローブカーの速度データを用いた目的地への所要時間予測方式の開発	111
5.5	結語	117
第6章	トラック運行管理のプローブ情報を利用した安全運転診断・管理の研究	120
6.1	概説	120
6.2	タコグラフ目視主観安全運転診断の自動化	121
6.2.1	現状のタコグラフ目視主観安全運転診断	121
6.2.2	診断を自動化するための安全運転診断指標	122
6.3	トラック運行管理のプローブ情報を利用した安全運転診断実証実験	132
6.3.1	安全運転診断実証実験の概要	132
6.3.2	運行管理システムから得られる車両走行情報	133
6.3.3	車両走行情報からの集計情報	133
6.3.4	安全運転診断指標の診断情報	134

6.3.5	安全運転診断帳票	135
6.3.6	安全運転診断の実証実験結果	138
6.4	結語	144
第7章	並列計算機とITS技術によるトラック配車配送計画の研究	148
7.1	概説	148
7.2	GAによる配車配送計画システムの開発	149
7.2.1	GAによる配車配送計画の考え方	149
7.2.2	目的関数の定式化	152
7.2.3	配車配送計画に対するGAの染色体と表現型	159
7.2.4	GAによる配車配送計画の実証実験と課題	160
7.3	並列GA処理による配車配送計画の高速化	162
7.3.1	クラスタ並列コンピュータの開発	162
7.3.2	並列GA処理による配車配送計画の高速化と課題	164
7.3.3	並列GAの処理効率向上手法の提案による高速化	165
7.3.4	並列GA処理による配車配送計画の実証実験	170
7.3.5	配車配送計画システムの実用化	175
7.4	拠点統廃合・共同配送への展開	179
7.4.1	拠点統廃合・共同配送へ展開するための輸配送計画システムの開発	179
7.4.2	輸配送計画の目的関数の定式化	182
7.4.3	輸配送計画の実施形態の具体例	184
7.4.4	輸配送計画シミュレーションによる拠点統廃合・共同配送の効果検証	197
7.5	結語	204
第8章	本研究の将来展望	207
8.1	概説	207
8.2	本研究での研究成果	207
8.3	本研究の将来展開	208
8.4	結語	211
第9章	結論	212

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

我が国における自動車の普及は、その数において圧倒的にコンシューマ利用の形態が多いが、その大半は土日を中心とした走行である。これに対して、トラックやタクシーなどの業務用車両は、平日を中心にフル稼働している。これが渋滞の主な原因になっており、排ガス規制による環境対策などの社会問題の主な原因になっている。

近年、日本の物流を支える貨物輸送手段は、宅配便を始めとするトラック輸送にシフトしており、その車両台数は800万台におよんでいる。このような状況の中で、トラック運送事業者においては、その事業者数は1999年度では5万社、車両台数は100万台を超えている。

一方業界構造としては、一部の大手企業と5万社の中小企業から成り立っており、トラック運送業者の99%は年商10億円以下の中小企業である。大手運送業者は管理や手配が中心で、実際の運送業務は中小運送業者へ依頼している事が多い。

しかし、バブル崩壊後の不況により物量が低下し、荷主からのコスト低減要求が厳しくなる中、1999年度では5万社全体の46%の企業が赤字経営に苦しんでいる。トラック輸送の輸送効率と見ると空車率は43%、積載率は31%となっており、人と車に無駄が多く、その効率化は最優先の課題となっている。そこで、日本における貨物輸送においてはトラック輸送が大きな位置を占めており、その課題解決による効果の影響も大きいと考え、トラック輸送の効率化をテーマの対象として取り上げた。

このような環境の中でトラック輸送においては、車載システム、無線通信ネットワーク技術などを用いたITシステムの導入により省力化・省人化といったコスト削減を図り、車両・ドライバの配車計画や安全運転指導などの計画・管理レベルの向上によりコスト低減、省燃費・排気ガス低減による環境問題の改善、交通事故低減などを図るため、下記に示す高度情報化のニーズが拡大している。

- ①車両の位置動態管理、運行実績管理、配送進捗管理（到着自動把握）などのように車両から情報を収集し運行管理者や利用者に提供する。

- ②渋滞などの交通状況予測、目的地への所要時間予測などの交通情報をドライバーに対して業務の効率化を図るために提供する。
- ③ドライバーの運転状況を把握し、安全省燃費運転診断・指導のための情報を提供する。
- ④多数の工場・物流拠点から多数の配送先への配車配送計画の立案において、オーダの発生状況、物流における交通状況の変化などは時々刻々変化して行くため、配車計画を高速立案して迅速な配車情報を提供する。
- ⑤配送拠点の統廃合、共同配送へと展開した輸配送計画を立案し、コスト低減、トラック稼働時間・運行距離の低減、CO₂削減などの環境負荷低減を図る。

これらのことから、トラック輸送の IT 化による高度情報化を研究テーマとして取り上げた。

トラック輸送の IT 化による高度情報化を実現しようとした場合、トラックから車両の現在地(緯度、経度)、速度などの様々な情報を収集したり、その情報から各道路の渋滞、旅行時間を把握して目的地への所要時間を予測するといった道路交通の技術が必要である。2000 年を前後して ITS が実用化され、また走行車両から得られる各種情報を活用したプローブカーの研究も加速され道路交通の技術が進展してきた。そこで、トラック輸送の IT 化による高度情報化に対して、ITS を活用する研究に取り組んだ。

本研究では、ITS の活用によりトラック輸送の高度情報化をテーマに研究を行い、これよりコスト低減、省燃費・排ガス低減、交通事故低減などが図れることを検証する。具体的には、トラック輸送の計画・管理業務であるトラック運行管理、目的地への所要時間予測などの交通情報提供、安全省燃費運転指導、配車配送計画などの高度情報化に関して研究と実証実験を行う。

期待される効果は、①トラック運行管理による運転日報作成時間、通信費、荷主からの問い合わせ対応工数・進捗確認工数などの削減、②交通情報の提供による目的地への接近状況と所要時間予測による貨物の荷揃えなどの事前作業のジャストインタイム化と作業の効率化、③安全省燃費運転・指導による事故削減、燃費の向上と CO₂などの環境負荷の低減、④配車配送計画と配送拠点の統廃合、共同配送などによるトラック台数、稼働時間、燃料費の削減などのコスト低減と CO₂などの環境負荷の低減が考えられる。

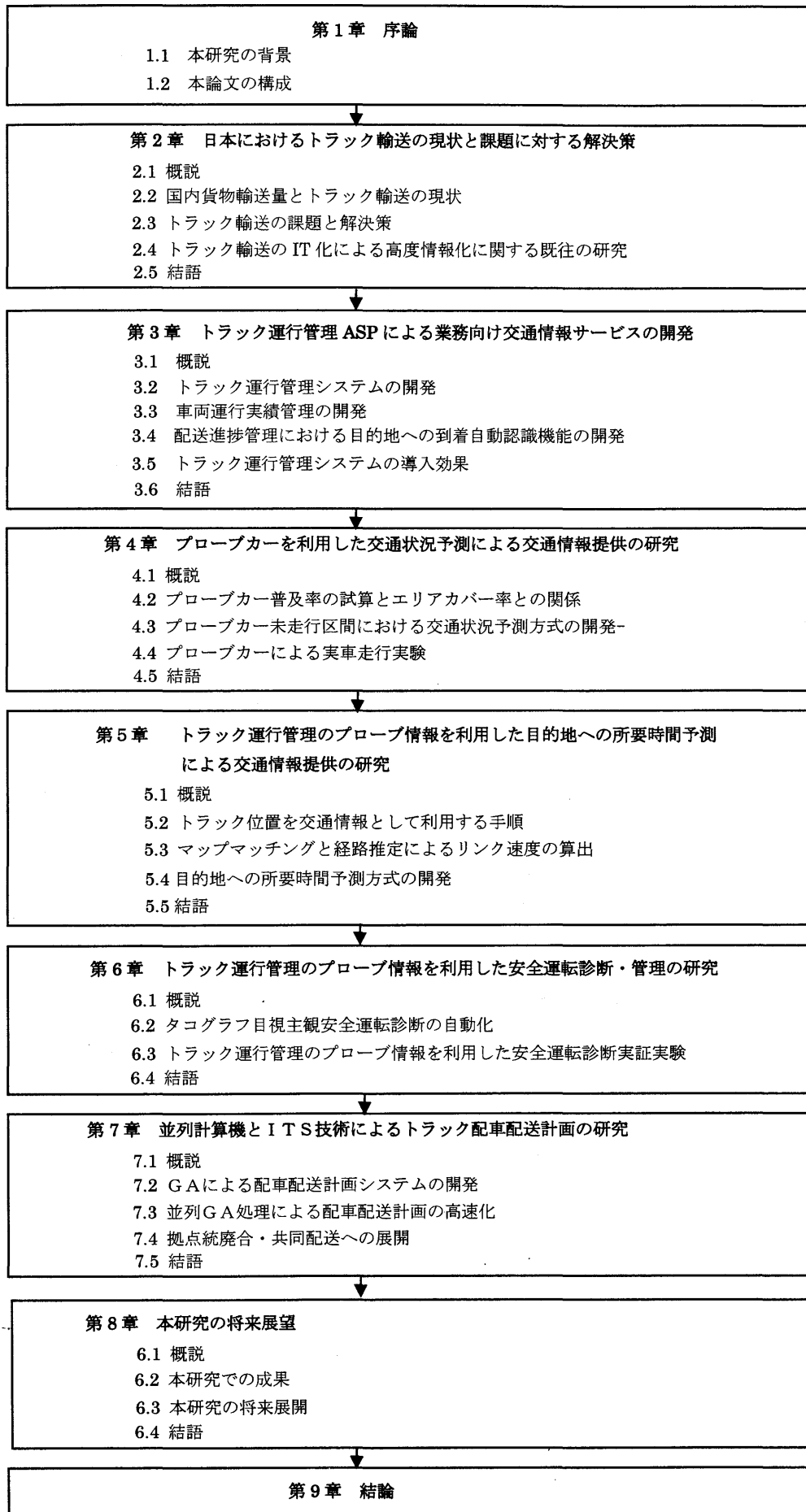


図 1.1 本論文の構成

1.2 本論文の構成

本論文は図 1.1 に示すように全 8 章から構成されている。

第 2 章では、日本におけるトラック輸送の現状と課題に対する解決策について述べる。

国内貨物輸送量とトラック輸送の現状、トラック輸送の課題と解決策、トラック輸送の高度情報化への ITS 技術の活用、ITS の進展動向、トラック輸送の高度情報化に関する既往の研究について述べる。

第 3 章では、トラック運行管理 ASP による業務向け交通情報サービスの開発について述べる。

業務向け交通情報サービスのニーズとしては、車両の位置や運行実績などのように車両から情報を収集し運行管理者に対して提供する情報サービス、行き先や交通情報などのようにドライバに対して業務の効率化を図るために提供する情報サービスなどがあげられる。

そこで本章では、トラック運行管理 ASP(Application Service Provider)の開発による運行管理の高度情報化をテーマに、トラック運行管理システムの開発、専用車載端末、車両位置動態管理、車両運行実績管理、配送進捗管理における目的地への到着自動認識の開発について述べる。車両運行実績管理では、日報作成に必要なデータの取得を簡易化・自動化し、更に日報作成の計算を自動化する。従来の運行実績データの取得周期(1 秒)では通信費用が高くなり実用性で問題となったため、実証実験により最適な取得周期を検討する。目的地への到着自動認識では、目的地に対して認識半径を事前に設定し、車両の現在位置データから目的地までの相対距離を算出し、これを認識半径と比較することで到着/未着を判断する方式を検討する。

第 4 章では、プローブカーを利用した交通状況予測による交通情報提供の研究について述べる。

従来の VICS(Vehicle Information and Communication System)が提供する交通情報では、旅行時間や渋滞度の提供率が低いため、全国を広範囲で走行する車両には提供できない経路が多く、利用するには不十分である。そこで、本章では ITS(プローブカー)技術の活用を考え、走行中の車両の情報をプローブ情報として携帯パケット通信で収集し、その蓄積統計情報とリアルタイム交通情報を用いて広範囲、長区間の所要時間情報、交通渋滞情報を生成する技術の研究について述べる。

プローブカーシステムの課題は、プローブカーの普及率が低い状況下ではプローブカー

非存在区間が発生し、十分なリアルタイム交通情報を収集できないことにある。

そこで本章では、プローブカーを用いてリアルタイム交通情報を取得するために必要なプローブカーの普及率とエリアカバー率との関係を明らかにし、リアルタイム交通情報が取得できないプローブカー非存在区間での交通状況予測方式を検討する。さらに、実車走行実験を行い交通状況予測方式の精度評価を行う。

第5章では、トラック運行管理のプローブ情報を利用した目的地への所要時間予測による交通情報提供の研究について述べる。

従来のVICSが提供する交通情報では、現時点の情報であり先々の予測情報ではないことや、車両感知器の設置が主要道路であるため旅行時間や渋滞度の提供率が低いため、個別目的地への所要時間予測には不十分である。そこで、走行中の車両の情報をプローブ情報として携帯パケット通信で収集し、その蓄積統計情報を用いて目的地への所要時間予測する技術の研究について述べる。プローブカーの課題は、携帯のパケット網などを使用するためデータ通信コストの負担が大きいこと、自家用車からデータを収集する場合にプライバシーが侵害されること、車載機の普及が進むまでは十分な情報が収集できないことなどである。その解決策としてトラック運行管理のプローブ情報の活用を考える。既にトラック運行管理のためにデータを収集しているので通信コストは増加しないこと、商用であるためプライバシーを侵害しないこと、システムの普及に伴い車載機も普及することなどの理由からである。

本研究の対象とする運行管理の用途に収集されるトラックの位置データは、パケット通信のコストの関係上、運行管理の目的において必要最低限のアップリンク時間間隔(本システムでは15分)を設定している。このため交通状況把握の目的からみると、長いアップリンク時間間隔となっており、走行経路を追跡することが困難になるという課題がある。

そこで本章では、トラックが収集した位置データを地図上にマッチングし、走行経路を推定することにより、トラックの位置データから時間帯・道路毎の速度情報を算出する方式を検討する。実データを用いてプローブ情報の利用可能性を検討し、位置データが交通情報として活用できることを確認する。

さらに、プローブ情報から求めた所要時間情報を利用した目的地への所要時間予測システムの方式と運行管理システムへのサービス適用を検討する。

第6章ではトラック運行管理のプローブ情報を利用した安全運転診断・管理の研究について述べる。

従来は、安全管理者がアナログタコグラフの速度時系列を見て、主観で危険な走行をした時間帯を特定しドライバに通知を行う目視主観安全診断が主である。目視主観安全診断を自動化するために運転診断指標の検討を行い、加速度標準偏差と加速度歪度を用いれば、アナログタコグラフによる目視主観安全診断を自動化できるのではないかという仮説を立てる。ここで、加速度標準偏差は加速むら(アクセル、ブレーキの大きさ)、加速度歪度は加速度傾向(ブレーキがきついか、アクセルがきついか)を表している。このことにより、危険ドライバの識別の可能性を検証し、従来の主観安全運転診断が自動化できる可能性について述べる。

そこで本章では、安全運転診断実証実験を行い有効性を評価する。安全運転診断実証実験により検証するため、まず指導前にデータ収集を行い安全運転診断帳票を作成し、これを用いて安全運転管理者にドライバに対する指導を行ってもらおう。その後、指導後のデータ収集を行い、指導前と指導後で改善効果があるかを比較検討し、有効であるかどうかの結果を得る。

第7章では並列計算機とITS技術によるトラック配車配送計画の研究について述べる。

運行管理の高度化のためには配車配送業務の効率化が望まれていることから、広域輸配送候補の中から最良の輸配送ルート・順序の組み合わせを選択する問題を時間指定納入、オーダー量、積載量などの制約条件のもとで解決するアルゴリズムと並列コンピュータによる高速化処理方法の研究について述べる。

そこで本章ではGAによる配車配送計画システムの開発と大規模化に伴う課題、並列GA処理による配車配送計画の高速化と課題に対して、クラスタ並列コンピュータによる並列GA処理効率向上機能を検討する。さらに実データに計算により高速化の評価を行う。

また、配送拠点の統廃合、共同配送へ展開した輸配送計画システムを開発し、シミュレーションにより、コスト低減、トラック稼働時間・運行距離の低減、CO₂などの環境負荷低減を検証する。

第8章では、本研究の将来展開について述べる。

当初の研究計画では所要時間予測によって得られた拠点から配送先への所要時間を使用して、配車配送計画の精度向上と配送コスト低減の検証を行う予定であった。しかし、道路の時間帯別・リンク別の統計リンク速度データを準備するのに時間を要し、研究を完成させることが出来なかった。そこで、本研究の将来展開について述べる。

最後に第9章では、本研究で得られた成果と今後研究の課題を列挙し結論とする。

第2章 日本におけるトラック輸送の現状と課題に対する解決策

2.1 概説

ITS の活用によるトラック輸送の高度情報化を本研究のテーマとして取り上げた背景として、日本におけるトラック輸送の現状と課題に対する解決策について述べる。

2.2 節では、国内貨物輸送量とトラック輸送の現状と題して、国内貨物輸送量の推移、輸送機関別の動向、トラック運送事業者数の推移、トラック保有台数の動向、トラック運送事業者の経営規模、物流業の現況について述べる。

2.3 節では、トラック輸送の課題と解決策と題して、トラック輸送の輸送効率、トラック輸送がおかれている環境、トラック輸送の IT 化による高度情報化のニーズと研究背景、トラック輸送の高度情報化への ITS 技術の活用、ITS の進展動向について述べる。

2.4 節では、トラック輸送の高度情報化に関する既往の研究について述べる。

2.2 国内貨物輸送量とトラック輸送の現状

2.2.1 国内貨物輸送量の推移

日本の貨物輸送量の推移を見るために、昭和 25 年(1950 年)から平成 11 年(1999 年)までの国内の輸送トン数、トンキロ数の推移を図 2.1 に示す¹⁾。

これを見ると、輸送トン数、輸送トンキロとも戦後の経済復興とともに急増し、特に高度経済成長期にあたる昭和 40 年(1965 年) (輸送トン:2616 百万トン、輸送トンキロ:1857 億トンキロ) から昭和 45 年(1970 年) (輸送トン:5300 百万トン、輸送トンキロ:3500 億トンキロ) の 5 年間には 2 倍以上に激増している。

しかし、昭和 45 年(1970 年)から昭和 50 年(1975 年)の間にはオイルショック、ニクソンショックの影響から貨物輸送量に初めて減少がみられ、その後は平成 3 年(1991 年) (輸送トン:6919 百万トン、輸送トンキロ:5599 億トンキロ) まで増加傾向であるが、平成 4 年(1992 年)以降は横ばいの状態にある。平成 11 年度(1999 年度)の輸送トンは 6446 百万トン、輸送トンキロは 5602 億トンキロである。

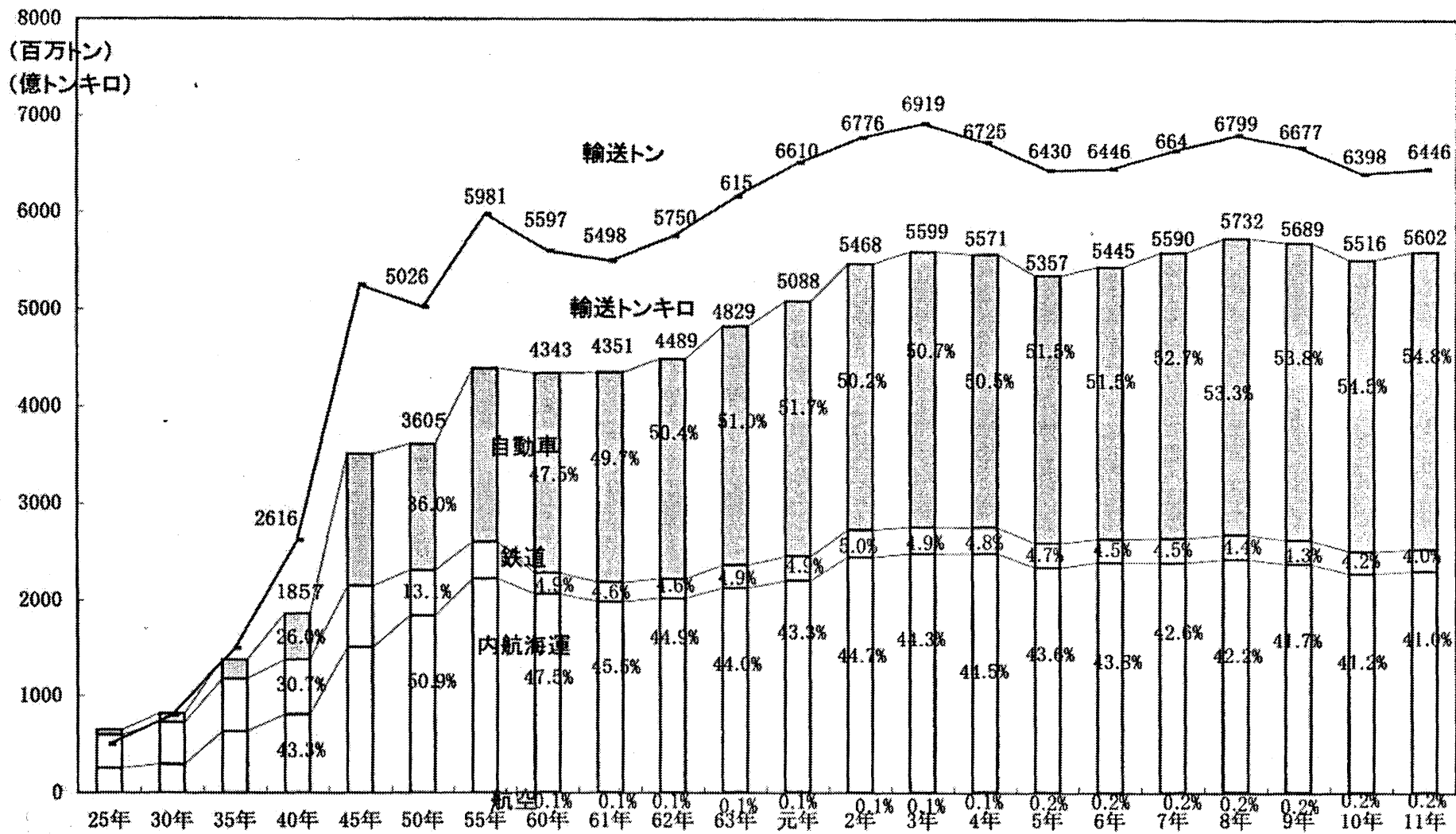


図 2.1 国内貨物輸送の遷移

2.2.2 輸送機関別の動向

輸送機関別の特徴を表 2.1 に示す。国内輸送機関としては、自動車、航空、鉄道、船舶があり、

- ①自動車は少量・中量商品の短距離輸送では運賃が格安で経済的であるが、長距離では運賃が割高である、
- ②航空は長距離輸送のスピードが早い、運賃が割高である、
- ③鉄道は大量商品の長距離輸送では運賃が格安であるが、貨物ターミナルで中継の停滞時間が長く時間ロスが発生する、
- ④船舶は大量商品の長距離輸送では運賃が格安であるが、輸送時間が遅く港湾における荷役に時間とコストを要するという一長一短の特徴を有している。

表 2.1 輸送機関別の特徴

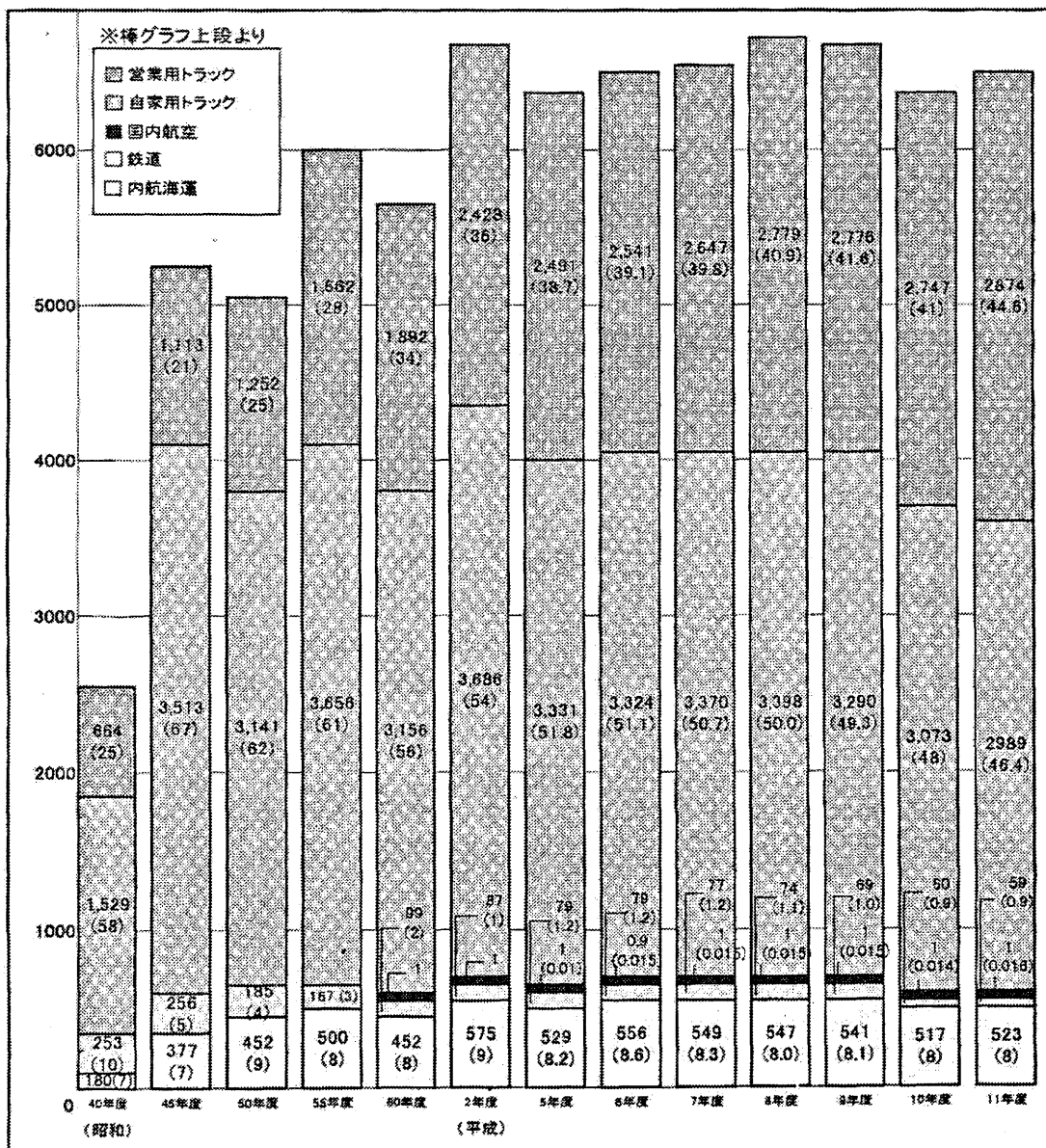
	メリット	デメリット
自動車	<ul style="list-style-type: none"> ◆少量・中量商品の短距離輸送では運賃が格安で経済的 ◆ドアツードアの一貫した輸送サービスが提供でき他の輸送機関に比較してサービスレベルが高い ◆自由な配車設定、弾力的な輸送が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ◆長距離では運賃が割高
航空	<ul style="list-style-type: none"> ◆輸送スピードが早い ◆運賃負担力の大きな少量商品の中・長距離輸送に適している 	<ul style="list-style-type: none"> ◆運賃が割高 ◆空港の遠隔地は利用が困難
鉄道	<ul style="list-style-type: none"> ◆運賃負担力の小さい大量商品の長距離輸送では運賃が割安 	<ul style="list-style-type: none"> ◆貨物ターミナルで中継の停滞時間が長く、時間のロスが発生 ◆緊急時の機動的な輸送対応が不可
船	<ul style="list-style-type: none"> ◆運賃負担力の小さい大量商品の長距離輸送では運賃が割安 	<ul style="list-style-type: none"> ◆輸送速度が遅い ◆港湾における荷役に時間とコストを要す ◆天候に影響されやすく計画的な配送が妨げられる

輸送機関別の動向の推移を図 2.2 と図 2.3 に示す²⁾。昭和 40 年(1965 年)においてトラックはトン数では全体の 83%を占めていたが、トンキロでは 26%にしかすぎず、鉄道、内航海運が 74%を占めており、中・長距離輸送の中心は鉄道であり、長距離輸送では、一度に大量の貨物を輸送できる船舶が利用されていた。

しかし、名神高速道路の開通に伴い、短距離輸送だけでなく長距離輸送においても

(単位:百万トン)

	営業用トラック	自家用トラック	国内航空	鉄 道	内航海運	合 計
昭和40年度	664	1,529	0	253	180	2,626
45年度	1,113	3,513	0	256	377	5,259
50年度	1,252	3,141	0	185	452	5,030
55年度	1,662	3,656	0	167	500	5,985
60年度	1,892	3,156	1	99	452	5,600
平成2年度	2,428	3,686	1	87	575	6,776
5年度	2,491	3,331	1	79	529	6,430
6年度	2,541	3,324	0.9	79	556	6,501
7年度	2,647	3,370	1	77	549	6,644
8年度	2,779	3,398	1	74	547	6,799
9年度	2,776	3,290	1	69	541	6,677
10年度	2,747	3,073	1	60	517	6,398
11年度	2,874	2,989	1	59	523	6,446

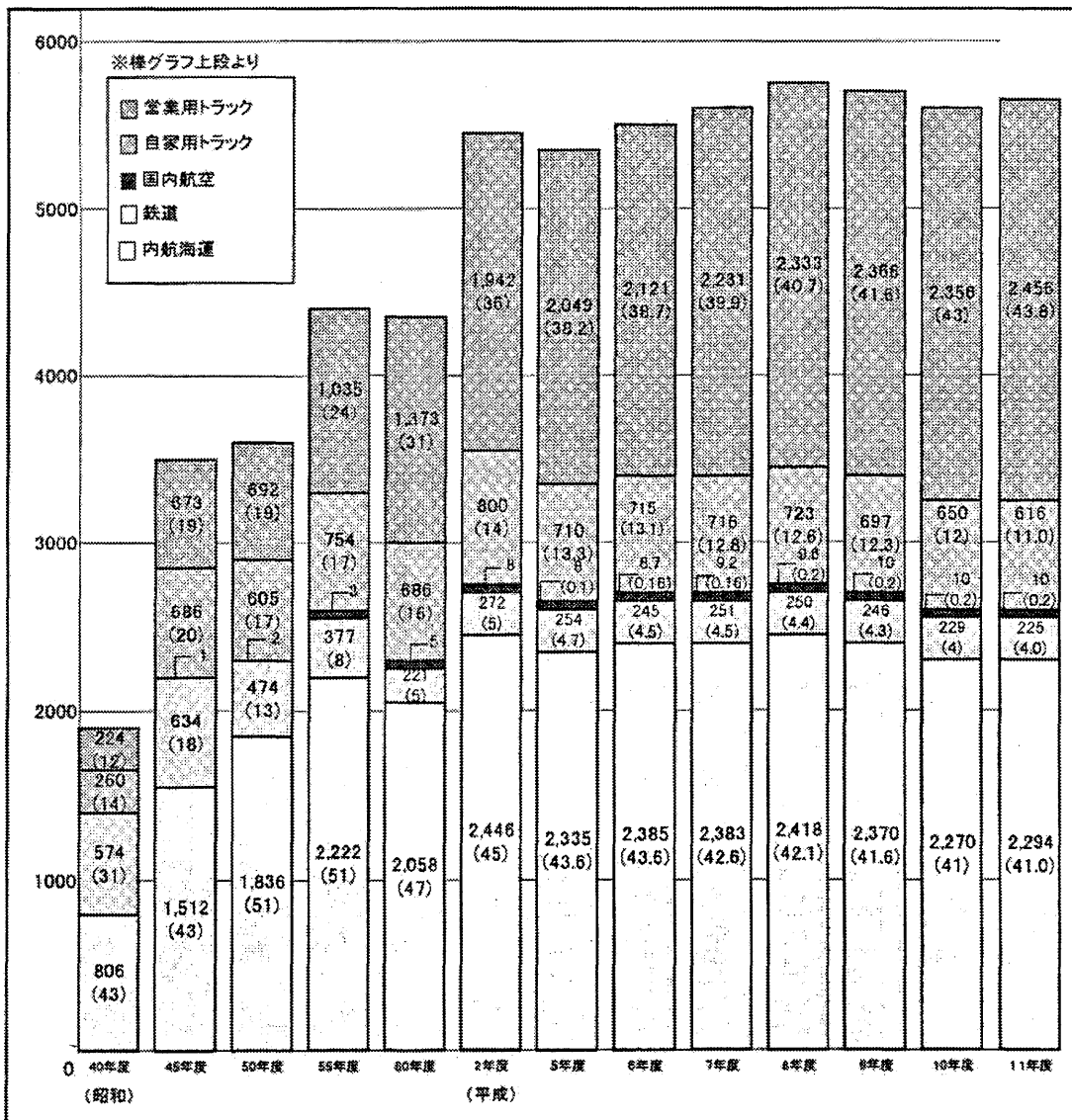


※1. ()は構成比 2. 百万トン未満は4捨5入 3. 平成以降は軽自動車を含む(運輸省)

図 2.2 輸送機関別貨物輸送トン数と分担率の推移

(単位:億トンキロ)

	営業用トラック	自家用トラック	国内航空	鉄 道	内航海運	合 計
昭和40年度	224	260	0	574	806	1,864
45年度	673	686	1	634	1,512	3,506
50年度	692	605	2	474	1,836	3,609
55年度	1,035	754	3	377	2,222	4,391
60年度	1,373	686	5	221	2,058	4,344
平成2年度	1,942	800	8	272	2,446	5,468
5年度	2,049	710	8	254	2,335	5,356
6年度	2,121	715	8.7	245	2,385	5,475
7年度	2,231	716	9.2	251	2,383	5,590
8年度	2,333	723	9.6	250	2,418	5,734
9年度	2,366	697	10	246	2,370	5,689
10年度	2,356	650	10	229	2,270	5,516
11年度	2,456	616	10	225	2,294	5,602



※1. ()は構成比 2. 億トンキロ未滿は4捨5入 3. 平成以降は軽自動車を含む(運輸省)

図 2.3 輸送機関別貨物輸送トンキロと分担率の推移

トラックの優位性が高まり鉄道輸送のシェアを自動車輸送が奪う形となった。また輸送ニーズの高度化・多様化に対するきめ細かなサービスの可能なトラック輸送が他の輸送手段との競争力格差を大きくしており、食料品、日用品などの生活必需品でトラックの分担率が特に高くなっている。

昭和60年(1985年)以降は、トラックの輸送分担率はトン数では90%、トンキロでは50%程度でほぼ平行状態となっている。その中でも、国内貨物輸送量に占める営業用トラックの分担率は、トン数、トンキロ両方とも4割強である。

2.2.3 トラック運送事業者数の推移

表2.2にトラック運送事業者数の推移を示す¹⁾。

トラック運送事業者数は平成2年度(1990年度)に4万社を越え、それ以降毎年1000社以上が増加してきた。平成9年度(1997年度)には5万社を上回り、その後も増加している。

事業種別で見ると、一般貨物自動車運送事業は昭和60年(1985年)の33,201社から平成11年度(1999年度)の49,148社と一貫して増加傾向にある。一般貨物自動車運送事業とは、不特定多数の荷主の貨物を有償でトラックを使用して輸送を行う事業である。営業区域の荷主を対象として貨物を受託し、営業区域内あるいは営業区域外へ輸送し、特に長距離輸送では着地において営業区域向けの貨物を受けて戻ってくるという輸送を行っている。貨物輸送が中心となっているが、同時に複数の荷主企業の貨物を積み合わせて輸送する事業者も少なからず見られる。ただし、荷捌き施設、ターミナルを経由しない直集・直配が一般的である。

特別積合せ貨物運送事業者は、昭和60年(1985年)の337社から平成11年度(1999年度)の275社へと徐々に減少している。特別積合せ貨物運送事業とは、不特定多数の顧客から集荷した貨物を、起点および終点の営業所または荷扱い所において必要な仕分けを行い、集荷された貨物を定期的に運送するもので、これらを自ら行う事業者をいう。あくまで一般貨物自動車運送事業の範囲で行う。

特定貨物自動車運送事業者は、昭和60年(1985年)の1,342社から平成11年度(1999年度)の1,106社と減少の傾向にある。特定貨物自動車運送事業とは、特定の者の需要に応じ、有償で自動車を使用して貨物を運送する事業である。1業者に対して1荷主であり、いわば荷主の自家輸送を代行する事業である。例えば、鉄鋼メーカーの鉄鋼輸送あるいは、家

電メーカーの家電品輸送など特定の荷主に従属して工場間輸送などを行っており、その多くは車両のボディに荷主の名前および製品広告をペイントしている。

霊柩運送事業者は、昭和60年(1985年)の1,714社から平成11年度(1999年度)の3,490社へと増加傾向にある。

貨物運送取扱事業者数の推移は、平成元年度(1989年度)の18,403社に対して平成2年度(1990年度)は39,597社へと急増している。貨物運送取扱事業者とは、自らは鉄道、船舶、航空機などの運送手段を保有せず他の者のおこなう運送を利用、又は他の者に運送を取り次ぐことにより、利用者のニーズにかなった運送を確保するサービスを提供する事業者である。これは、物流2法の施行後、急速に増加したもので、物流2法のねらいである、経済的規制緩和と社会的規制緩和の効果が現れたものと見なせる。平成11年度(1999年度)には、45,869社に達している。

表 2.2 トラック事業者数の推移

年度	特積	一般	霊柩	特定	計	(単位:社)	
						貨物運送 取扱事業	
昭和60	337	33,201	1,714	1,342	36,594	13,073	
61	336	33,841	1,751	1,334	37,262	13,977	
62	332	34,471	1,816	1,314	37,933	14,977	
63	329	35,168	1,860	1,364	38,721	16,593	
平成元年	325	35,888	1,937	1,405	39,555	18,403	
2	297	36,485	1,856	1,434	40,072	39,597	
3	292	37,387	1,909	1,465	41,053	39,784	
4	290	38,569	2,035	1,414	42,308	40,551	
5	287	39,627	2,167	1,369	43,450	41,486	
6	286	41,047	2,370	1,312	45,015	42,308	
7	285	42,501	2,606	1,246	46,638	43,257	
8	279	44,299	2,860	1,191	48,629	43,352	
9	279	45,959	3,081	1,162	50,481	44,135	
10	276	47,437	3,292	1,114	52,119	44,940	
11	275	49,148	3,490	1,106	54,019	45,869	

2.2.4 トラック保有台数の動向

表 2.3 にトラックの保有台数の推移を示す。トラックの総保有台数は、昭和 25 年度(1950 年度)では 279,677 台であったが、昭和 35 年度(1960 年度)は 1,321,601 台と 10 年で百万台を越え、その後昭和 55 年度(1980 年度)には 8,682,978 台と昭和 25 年(1950 年)から 30 倍となった。その後は横ばい状態であり、平成 11 年度(1999 年度)は 8,266,134 台で、その中で営業用トラックは 1,091,259 台、自家用トラックは 7,174,875 台と自家用の方が多数を占めている。

表 2.3 トラック保有台数の推移

(単位:台)

年度	営業用	自家用	合計
昭和25	63,722	215,955	279,677
30	93,502	599,510	693,012
35	169,785	1,151,816	1,321,601
40	255,000	2,615,249	2,870,249
45	365,536	5,094,857	5,460,393
50	469,447	6,911,577	7,381,024
55	586,126	8,096,852	8,682,978
60	703,594	7,602,424	8,306,018
63	822,087	7,727,359	8,549,446
平成元年	886,081	7,829,029	8,715,110
2	907,931	7,926,610	8,834,541
3	945,563	7,975,175	8,920,738
4	965,746	7,954,721	8,920,467
5	974,513	7,904,406	8,878,919
6	1,011,410	7,867,542	8,878,952
7	1,047,272	7,810,558	8,857,830
8	1,078,098	7,740,808	8,818,906
9	1,094,365	7,598,844	8,693,209
10	1,087,740	7,388,555	8,476,295
11	1,091,259	7,174,875	8,266,134

2.2.5 トラック運送事業者の経営規模

表 2.4 に平成 11 年度(1999 年度)の資本金別トラック運送事業者数を示す³⁾。全体で 52,119 社の中で、資本金 1000 万円以下が 30,209 社、66%であり、ほとんどが中小零細事業者である。

表 2.5 に車両数別トラック運送事業者数を示す³⁾。一般貨物自動車運送事業者では、全体で 47,437 社の中で、保有車両数 10 台以下が 19,544 社、41%と最も多い状況である。特別積合せ貨物運送事業者では、全体で 276 社の中で、保有車両数 51 台～100 台が 54 社と最も多く、500 台以上は 15 社、5%しかない状況である。

表 2.4 資本金別トラック運送事業者数 (1999 年 3 月末)

(単位:社)

	特積	一般	霊柩	特定	計	構成比
300万円以下	4	6,420	734	224	7,382	14.2%
301～500	3	4,611	472	133	5,219	10.0%
501～1000	38	16,383	814	373	17,608	33.8%
1001～3000	64	13,827	283	148	14,322	27.5%
3001～5000	48	1,858	75	23	2,004	3.8%
5001～1億	53	648	24	10	735	1.4%
1億円超	66	413	52	6	537	1.0%
その他	0	3,277	838	197	4,312	8.3%
計	276	47,437	3,292	1,114	52,119	100.0%

表 2.5 車両数別トラック運送事業者数 (1999 年 3 月末)

(単位:社)

	特積	一般	霊柩	特定	計	構成比
10両以下	36	19,544	3,224	962	23,766	45.6%
11～20両	19	13,594	55	95	13,763	26.4%
21～30両	19	6,241	6	30	6,296	12.1%
31～50両	25	4,708	4	19	4,756	9.1%
51～100両	54	2,606	2	7	2,669	5.1%
101～200両	60	615	1	1	677	1.3%
201～500両	48	108	0	0	156	0.3%
501両以上	15	21	0	0	36	0.1%
計	276	47,437	3,292	1,114	52,119	100.0%

2.2.6 物流業の現況

表 2.6 に平成 10 年度(1998 年度)の物流業の概要を示す⁴⁾。事業収入は、物流業全体では約 21 兆円であり、その内トラック運送業が約 12 兆円と過半数を占めている。

事業者数は、全体では 6 65,500 社であり、その内トラック運送業が 52,000 社と 8 割を占めている。

雇用状況を見ると、従業員数は、全体では 148 万人であり、その内トラック運送業が 120 万人と 8 割以上を占めている。

表 2.6 物流業の概要 (1998 年度)

区 分	営業収入 (単位:億円)	事業者数 (単位:社)	従業員数 (単位:千人)	中小企業の 割合 (単位:%)
トラック運送業	117,728	52,119	1,195	99.7%
J R 貨物	1,737	1	8	0.0%
内航海運業	17,467	5,624	31	99.4%
外航海運業	29,418	285	11	66.5%
港湾運送業	11,174	1,026	57	88.1%
航空貨物運送事業	3,025	9	46	0.0%
利用運送業(鉄道)	3,053	893 *1	10	84.4%
利用運送業(外航)	1,815	377	2	64.5%
利用運送業(航空)	6,870	124	15	50.0%
倉庫業	17,306	5,071	106	83.7%
トラックターミナル業	359 *2	19	0.6 *3	94.7% *3
合 計	209,952	65,548	1,482	—

(注) *1 第一種及び第二種の合計

*2 附帯事業収入を含む

*3 兼業事業を含む

2.2.7 国内貨物輸送量とトラック輸送の現状のまとめ

- ①国内貨物輸送量は、平成3年(1991年)(輸送トン:6916百万トン、輸送トンキロ:5599億トンキロ)まで増加傾向であるが、平成4年(1992年)以降は横ばいの状態にある。平成11年度(1999年度)の輸送トンは6446百万トン、輸送トンキロは5602億トンキロとなっている。
- ②輸送機関別の分担については、トラックの分担率が増加の一途を辿り、昭和60年(1985年)以降はトン数では90%、トンキロでは50%程度でほぼ平行状態となっている。特に陸上輸送は圧倒的にトラック輸送に依存している。
- ③トラック運送事業者数の推移は、平成2年度(1990年度)に4万社を越え、それ以降毎年1000社以上が増加してきた。平成9年度(1997年度)には5万社を上回り、その後も増加している。
- ④トラックの総保有台数は、昭和55年度(1980年度)に8,682,978台となり、昭和25年(1950年)と比較すると30倍となった。その後は横ばい状態であり、平成11年度(1999年度)は8,266,134台となっている。
- ⑤平成11年度(1999年度)の資本金別トラック運送事業者数を見ると、全体で52,119社がある中で資本金1000万円以下が30,209社、66%であり、ほとんどが中小零細事業者である。
- ⑥平成11年度(1999年度)の車両数別トラック運送事業者数を見ると、一般貨物自動車運送事業者では全体の47,437社の中で、保有車両数10台以下が19,554社、41%と最も多い状況である。特別積合せ貨物運送事業者では全体の276社の中で、保有車両数500台以上は15社、5%しかない状況である。
- ⑦平成11年度(1999年度)の事業規模は物流業全体では約21兆円であり、その内トラック運送業が約12兆円と過半数を占めている。事業者数は、全体では65,500社であり、その内トラック運送業が52,000社と8割を占めている。雇用状況を見ると、従業員数は全体では148万人であり、その内トラック運送業が120万人と8割以上を占めている。
このように、日本における貨物輸送においてはトラック輸送が大きな位置を占めており、運送コスト低減、サービス向上、省燃費化などの課題を抱えている。この課題を解決することによる効果の影響も大きいと考え、トラック運送業における効率化をテーマの対象として取り上げた。

2.3 トラック輸送の課題と解決策

2.3.1 トラック輸送の輸送効率

近年、日本の物流を支える貨物輸送手段は、宅配便を始めとするトラック輸送にシフトしており、その車両台数は800万台におよんでいる。このような状況の中で、トラック運送事業者においては新規に参入する事業者が急増し、1990年から1998年にかけて27.8%増加しており、その数は1999年には5万社を超えている。しかしながらバブル崩壊後の不況により物量が低下し、荷主からのコスト低減要求が厳しくなる中、5万社全体の46%の企業が赤字経営に苦しんでいる。

トラック輸送における輸送効率に着目すると、図2.4に示すように空車率は43%、積載率は31%となっている。人と車に無駄が多く、日本国内の経済活動はほとんどトラック輸送に頼っている現状から、トラック輸送の効率化は日本経済にとって最優先の課題である。

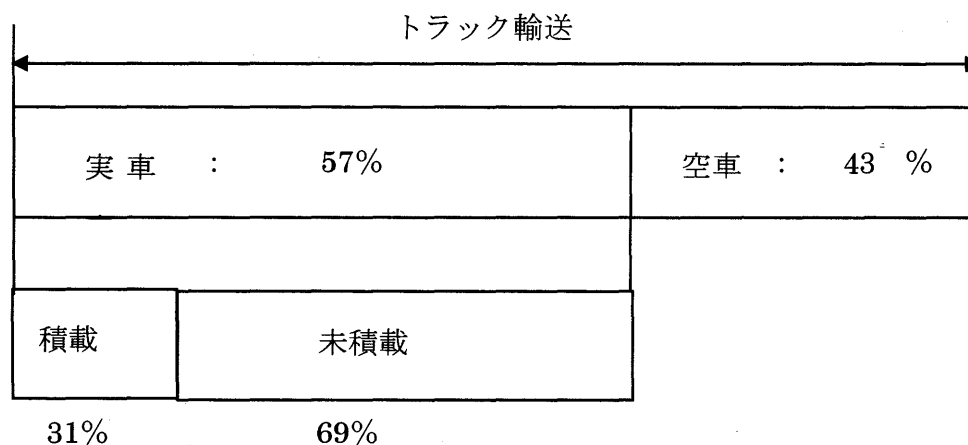


図 2.4 トラック輸送の輸送効率

2.3.2 トラック輸送がおかれている環境

トラック輸送のおかれている環境は、バブル崩壊後の不況により物量が低下し、更に荷主からのコスト低減要求が強まるなど厳しい状況におかれており、収益を圧迫している。

表 2.7 にトラック運送事業者の営業収益と経常利益率の推移を示す。トラック運送事業の単位あたり営業収入は、全体では一社平均で、97年：276M円、98年：268M円、99年：270M円とバブル崩壊後低下傾向にある。特に、事業者数の40%(2万社)以上を占め

る 10 台以下の企業では、一社平均で、97 年：72M 円、98 年：76M 円、99 年：65M 円と低下傾向が大きい。実質的な運賃の低下が続いており、事業者の増加による競争激化が、不況による輸送量の低迷と共に、背景にあるものと考えられる。次に経常利益率を見ると、全体では一社平均で、97 年：0.8%、98 年：0.8%、99 年：1.4%と僅かではあるが黒字となっている。しかし、事業者数の 40%(2 万社)以上を占める 10 台以下の企業では、一社平均で、97 年：-0.5%、98 年：-1.5%、99 年：-0.4%と赤字となっており、4 割以上の企業が赤字で苦しんでいる。これは、ここ数年来、中小トラック事業をめぐる経営環境に激しい変化が起きているためである。

表 2.7 トラック運送事業者の営業収益と経常利益率の推移

区分	営業収益(1社平均:千円)			経常利益率(%)			
	97年度	98年度	99年度	97年度	98年度	99年度	
全体	276,692	268,069	270,134	0.8	0.8	1.4	
車両規模別	1~10台	72,424	67,558	65,547	▲0.5	▲1.5	▲0.4
	11~20	156,754	150,798	150,988	0.3	▲0.4	0.7
	21~50	346,881	333,925	341,556	0.9	1.0	1.7
	51~100	742,779	725,063	766,572	1.1	1.5	1.5
	101台以上	1,610,747	1,623,345	1,679,508	1.1	1.6	2.2

以下に示すような競争激化、売上低迷、配送効率の低下、環境対策費の増加、事故対策安全運転強化などが主な原因である。

①競争激化

- ・1990年の規制緩和以降、新規参入事業者が急増している。

(1990年~1998年で27.8%増加)

②売上低迷

- ・景気低迷により物量の低下が著しい。
- ・経済のグローバル化、産業空洞化に伴う国内貨物需要が減少している。

(トラック運送事業者の半数を占める車両10台以下の企業の中で46%が赤字経営)

③配送効率の低下

- ・荷主要求の多様化、小口多頻度輸送により配送効率の低下が著しい。
- ・コンビニ業界などで到着時間指定、輸送品質(温度管理)向上の要求が拡大している。
- ・eコマース(ネット通販/調達)、SCM進展による貨物の小口化が進展している。

④環境問題対策費の増加

- ・国：排ガス規制「自動車NO_x法、PM法」が2001年12月より施行された。
- ・東京：「環境確保条例」が2003年10月から施行によりDPF装着、低公害車導入が必要となる。アイドリングストップ装置の装着が促進されている。

⑤事故対策安全運転強化

- ・営業用トラックによる重大事故が多発しており、安全運転対策が急務である。
(1997年度：2万8千件、2001年度：3万3千件と17%増加)
- ・事故原因はドライバの基本的な運転ミスが多く、事故防止啓蒙活動が急務である。
- ・速度抑制装置装着の義務化が2003年9月から施行される。

2.3.3 トラック輸送の業務内容と課題

トラック輸送における業務内容は、図 2.5 に示すように荷主からの運送依頼を受ける受注管理、運送依頼をトラックへ割り付ける配車計画、計画に基づき実際に運送する途中

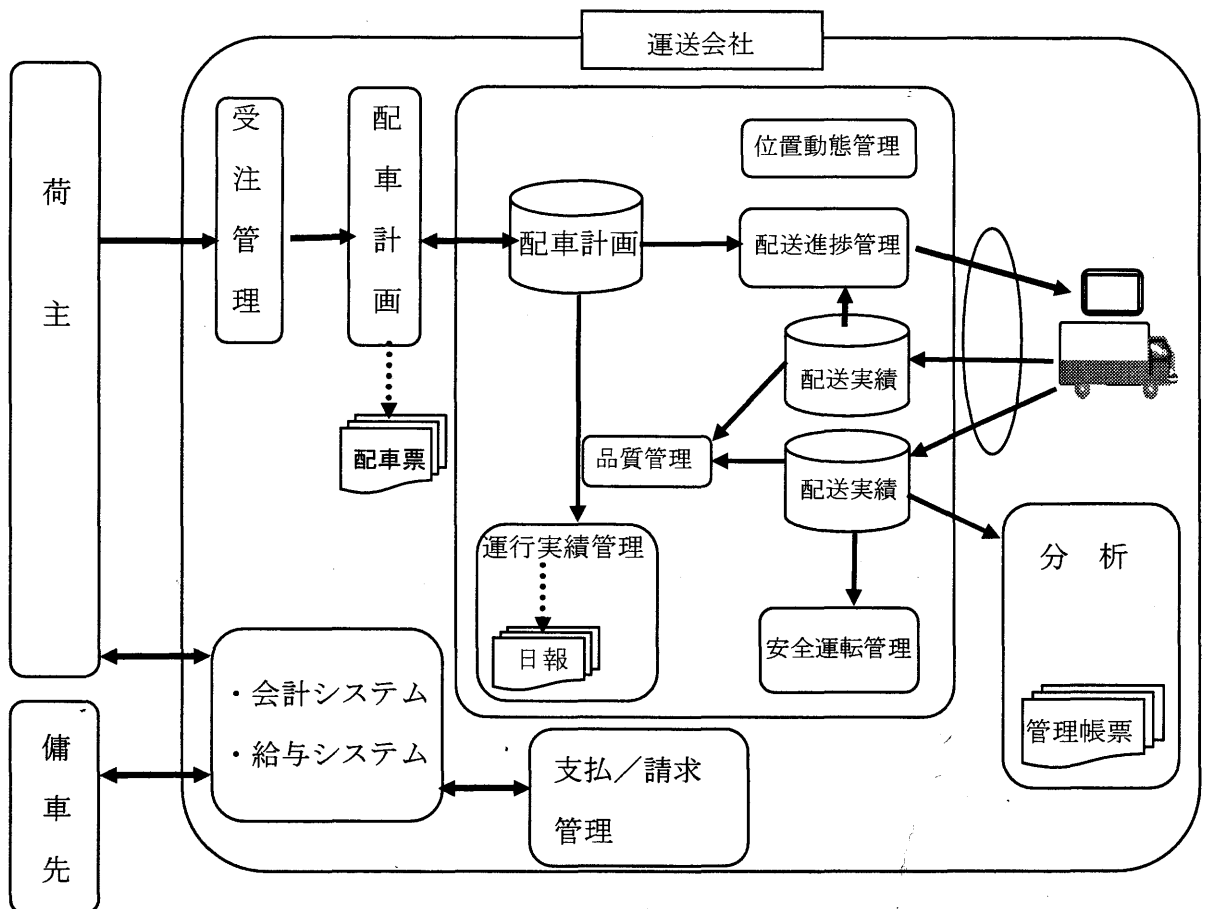


図 2.5 トラック輸送における業務内容

における車両位置動態管理、配送実績に基づく運行実績管理、配送進捗管理、安全運転管理、輸送品質管理からなる。

現場運用レベルに着目すると、各種業務において下記の課題を抱えている。

- ①車両位置動態管理での課題：車両の現在地、一日の走行ルートを把握するには、ドライバーからの電話等による定期報告しかなく、リアルタイムには把握できていない。従って急な作業指示や空き状況を見た効率的な配車も出来ない。
- ②車両運行実績管理での課題：ドライバーが手作業ベースで、到着時間、走行メータ値、走行距離などを日報に記入しているが、負荷がかかり、かつ記載、計算ミスを起こしやすい。
- ③配車計画での課題：道路交通情報、気象情報を活用した効率的な配車配送計画ができていない。また、リアルタイムな運行状況情報を活用した効率的な運行指示、配車指示ができていない。

2.3.4 トラック輸送の IT 化による高度情報化のニーズと研究背景

トラック運送会社 121 社に対して、IT 化をテーマにヒアリング調査を 2000 年に実施し、以下の結果を得た。

<現在の状況>

- ①パソコンの導入状況：1 台／一人 ----- 31%
- ②パソコンの利用目的：経理、労務管理 ----- 96%
- ③インターネット環境：ある ----- 90%
- ④携帯電話利用状況：端末、通信費とも会社負担 ----- 49%
- ⑤車載端末導入状況：導入済み ----- 18%

<今後について>

- ①情報化投資：今後増やしたい ----- 74%
- ②情報化対象分野：配車関係 ----- 53%
- ：受発注関係 ----- 55%
- ③車両動態管理：検討中、興味有り ----- 51%

④車載端末 : 検討中 ----- 36%

- ⑤車両の位置動態管理、運行実績管理、配送進捗管理(到着自動把握)などのように車両から情報を収集し運行管理者や利用者に提供したい。
- ⑥渋滞情報、交通状況予測情報、目的地への所要時間予測情報などをドライバーに対して業務の効率化を図るために提供したい。
- ⑦ドライバーの運転状況を把握し、安全運転診断・指導の管理ための情報を提供したい。
- ⑧多数の工場・物流拠点から多数の配送先への配車配送計画の立案において、オーダの発生、物流における交通状況の変化などは時々刻々変化して行くため、配車計画を高速立案し、迅速な配車情報を提供したい。
- ⑨配送拠点の統廃合、共同配送などによりトラック台数、稼働時間、燃料費の削減などのコスト低減とCO₂などの環境負荷の低減を図りたい。

また、トラック輸送における車両一台当たりのコスト構成を調査すると、2000年度統計データ(出典:全ト協)では、人件費(約41%)、管理費(約14%)、燃料費(約11%)、修繕費(約5%)、保険料(約3%)、償却費(約5%)、その他(約21%)となる。このデータから、管理面での改善によりコスト低減を図るには、次のIT化による高度情報化が必要である。

- ①人件費低減および管理費低減のためには、車両位置動態管理、車両実績運行管理(運転日報作成)、配車配送計画などにより作業の効率化を図る必要がある。その作業の効率化のためにはIT化による高度情報化が必要である。
- ②保険料低減、修繕費低減、燃料費低減のためには、安全運転、省燃費運転による事故の撲滅が必要である。そのためには安全省燃費運転診断・管理により運転指導を効率化・高度化する必要があり、IT化による高度情報化が必要である。

このようなニーズ調査から、車載システム、無線通信ネットワーク技術などを用いたトラック運行管理などのIT(Information Technology)システムの導入による省力化・省人化といったコスト削減のニーズや、ドライバー・車両の配車や安全運転指導などの計画・管理レベルの向上による省燃費・排気ガス低減のニーズが高いことが判明した。これらのことが、本研究において、トラック輸送のIT化による高度情報化を研究テーマとして取り上げた背景である。

2.3.5 トラック輸送の高度情報化への ITS の活用

トラック輸送の IT 化による高度情報化を実現しようとした場合、トラックから車両の現在地(緯度、経度)、速度、加速度、走行時間、走行ルート、作業の開始時刻、終了時刻などの様々な情報を収集する必要があり、また、その情報を加工して各道路の渋滞、旅行時間を把握して目的地への所要時間を予測したり、目的地への到着を自動認識するといった技術が必要である。従来は、これらの技術が確立されておらず、また非常に高価なため IT 化による高度情報化は進んでいなかったが、2000 年を前後して ITS(Intelligent Transportation System)が実用化され、またトラックなどの業務車両から得られる走行位置情報などを活用したいわゆるプローブカーの研究も加速されてきた。

そこで、ITS の活用によるトラック輸送の高度情報化をテーマに研究を行い、これよりコスト低減、省燃費・排気ガス低減、交通事故低減などが図れることを検証することにした。具体的には以下のテーマの高度情報化に関して研究と実証実験に取り組んだ。

- ①運行管理(車両位置動態管理、車両運行実績管理、配送進捗管理)
- ②交通状況予測・所要時間予測による交通情報提供
- ③安全省燃費運転診断・管理
- ④配車配送計画

この研究成果を、ITS の活用によるトラック輸送の高度情報化に関する研究として報告するが、その前に ITS の進展動向、既往の研究と本研究の位置付けについて次に述べる。

2.3.6 ITSの進展動向⁵⁾⁶⁾

ITS(Intelligent Transportation System)とは、最先端の情報通信技術を活用して、「人」と「道路」と「車両」とを一体として構築する社会システムである。同システムにより交通事故や交通渋滞、排気ガスによる環境汚染といった現在の交通に関するさまざまな問題の軽減、緩和、解決が促進される。同時に自動車産業、電機・電子産業、情報通信産業における市場拡大と新産業の創出の効果にも期待が寄せられている。また交通という視点からだけでなく、高度情報通信社会の基盤としても重要な役割を果たすことになる。

ITSの機能は大きく二つに分けられる。一つは前述の交通問題の解消に見られるように、現在のマイナス要因をゼロに近づけ、最終的にはゼロとすることを目的とするものである。具体的には、交通事故の削減、渋滞による経済損失の削減、環境汚染の低減、移動の快適性の向上などが目的である。

自動車は現代社会の交通手段として不可欠なものであり、その存在の上に我々のライフスタイルが構築されているといっても過言ではない。また経済の面から見ても自動車産業は日本の基幹産業に位置している。しかし、自動車の増加は一方で交通事故の多発につながるというマイナスの側面も露わになっている。交通事故による死亡者数は、1988年以來8年連続で年間1万人以上を記録している。1996年以降は1万人を下回り9211人まで低下したが依然として高い数字である。また、交通事故件数は年々増加し、2001年には95万件を超えている。

交通事故死亡者数の低減については各種の要因が考えられるが、警察庁などの交通政策が果たしている役割は大きい。警察庁ではITS技術を利用した新しい交通管理システム(UTMS21:Universal Traffic Management Systems)を利用することで、1996年から2002年までの7年間で人身事故を約43万件減少させることができるとしている。また、交通事故死亡者数の減少は1996年から始まっているが、同年4月からナビゲーションシステムの高度化の一貫としてVICSサービスが運用を開始している。明確な因果関係は証明できないが、関係がないということもできない。

交通渋滞による逸失時間は年間で国民一人あたり約42時間、国民全体では約56時間、金額にすると全体で約12兆円にも及ぶというデータもある。経済的な面だけでなく、渋滞による排気ガスの増大が、周辺環境、地球環境に及ぼす影響も無視できない。この問題解決の点でもITSによせる期待は大きい。

さらに積雪、降雨や霧、風水害等に対する交通の信頼性の向上や地方部における公共交通機関のサービス水準の向上なども求められている。また、利用者がさまざまな交通手段を快適かつ効率的に利用することができるよう、交通機関相互の連携が要請されている。

さらに今後、高齢化が進むにつれ高齢ドライバーが確実に増加していき、2022年には、65歳以上のドライバーが2002年の3.5倍(約1,800万人)にも達すると予想される。このため、運転におけるドライバーの負担を軽減すると同時に、安全な運転を支援するシステムの導入が期待されている。ドライバーの負担をできるだけ軽くするようなシステムの実現が要望されており、交通事故の約8割に有効であり、交通事故、交通事故による死傷者を大幅に減らすことができる。

ITSの普及・促進を積極的に進めるために1994年1月に設立されたVERTIS(Vehicle, Road and Traffic Intelligence Society: 道路・交通・車両インテリジェント化推進協議会)では、30年後のITS社会の目標イメージを以下のように設定している。ITSの利用者サービスにより

①現状の交通死亡事故件数の半減

②交通渋滞の解消

ITSによる渋滞解消硬化は、2015年には年間1.2兆円に達すると試算されている。VICSの利用率が全国で30%になれば全渋滞損失の6%を削減できる。ETCや走行支援システムなどにより高速道路における渋滞の約7割を解消できる。

③環境改善のために自動車の燃料消費量と二酸化炭素をそれぞれ約15%削減し、都市部の窒素酸化物を約30%削減する。

日本におけるCO₂の排出量の約18%は自動車交通のよるものであり、世界規模での課題となっている地球温暖化防止に向けては、自動車交通によるCO₂の排出削減が重要である。日本の自動車燃料消費量のうち約11%は渋滞により無駄に消費されている。ITSによって渋滞が緩和されれば、無駄な燃料消費に伴うCO₂の排出を削減できる。

というものである。このように交通・環境の諸問題に対してITSは非常に有効な解といえる。

ITSが持つもう一つの機能は、現在ゼロであるものをプラスに転化させる機能である。ITSという巨大な社会システムの構築は自動車、電機・電子、情報通信といった関連産業

界に大きな刺激を与えることになる。さらに新たな産業の姿を明確にすることにより、新規市場創出につながるものである。また自動車のマルチメディア化を含めて、ITS はマルチメディア事業のプラットフォームとなるシステムであり、情報産業の面からの期待も大きい。

VERTIS は、1996 年に ITS の進展にともない、電子、通信、自動車産業の関する分野において、以降 20 年間で約 50～60 兆円規模の市場が創出される試算結果を発表した。また、1992 年 2 月には電気通信技術審議会 ITS 情報通信システム委員会が ITS に関する答申のなかで、ITS 関連の情報通信関連分野の市場規模として、2000 年～2015 年までの 16 年間の累積額がサービス分野も含めて 60 兆円を上回るという数字を発表している。

しかし、ITS の目的はあくまで交通に関する諸問題の解決にある。この点をなおざりにして産業の育成ばかりが先行することは厳に慎まねばならない。

ITS はこれまで述べてきたように交通と情報通信を中核にするものの非常に広範な分野に及ぶものである。このため、その具体的な像がつかみにくい。現在 ITS を語る際の枠組みとなっているのが、関係 5 省庁(警察庁、旧通商産業省、旧運輸省、旧郵政省、旧建設省)が 1996 年 7 月に策定した「ITS 推進に関する全体構想」(以下 ITS 全体構想)内の「道路・交通・車両分野における情報化実施指針」で示された 9 つの開発分野と 20 の利用者



図 2.6 ITS の開発分野

サービスである(図 2.6)。ITS 全体構想は、内閣総理大臣を本部長とする高度情報通信社会推進本部が 1995 年 2 月に決定した「高度情報通信社会推進に向けた基本方針」を受け、関係 5 省庁が同年 8 月にまとめたものである。2001 年 1 月には、高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部(IT 戦略本部)が設置され、そのもとで国土交通省、警察庁、総務省、経済産業省の四省庁が連携して ITS を推進している。また四省庁は、産学による ITS 推進団体である ITS Japan、ITS 国際標準化を進める ITS 標準化委員会と連携して ITS を推進している。

ここでいう利用者とは、道路の利用者であるドライバ、歩行者、公共交通利用者、輸送業者、及び道路交通を管理する立場から ITS を利用する管理者の 5 者を指す。

この 9 つの開発分野に関して、現在開発、実用化が進んでいるシステム、利用者サービス、進行している研究プロジェクトの代表例としては以下のようなものがあげられる。「ナビゲーションの高度化」における VICS(Vehicle Information and Communication System)サービス、「自動料金収受システム」における ETC(Electronic Toll Collection)、「安全運転の支援」における ASV(Advanced Safety Vehicle : 先進安全自動車)と AHS(Advanced Cruise-assist Highway System : 走行支援道路システム)の両プロジェクトである。VICS は光ビーコンや電波ビーコン、FM 多重放送などで自動車に渋滞情報を提供するシステム、ETC は高速道路の料金収受を自動車と道路側(アンテナ)の通信により自動的に行うシステムであり、1998 年度から実用化が始まっている。ASV はエレクトロニクス技術、情報通信技術で自動車をインテリジェント化することで安全性を高めた自動車の開発を目指すプロジェクト、AHS は自動車とインフラ側とが協調して安全な走行を行おうという研究プロジェクトで、AHS 研究組合(AHSRA)で研究開発を進めている。これらが目に見える ITS 技術といえる。

ITS の概念は流動的な側面があり、利用者が受けられるサービスも社会情勢の変化とともに流動する。また高度情報社会の中にあってはいくつかの利用者サービス同士が結合し、高付加価値なサービスへと進化することも考えられる。また ITS という範疇を越えて、別分野のサービスと結びつき、新しいサービスを創出する可能性もある。これを広義の ITS と捉え、ラージ(Large)ITS と表現する場合もある。例えば、ETC で使用する IC カードを他の分野に応用するようなサービスがラージ ITS にあたる。ITS が社会システムということから、今後ラージ ITS 分野の増大が期待できる。

(1) ITS 社会の実現へのフェーズ

ITS 全体構想では、ITS のすべてのシステムが交通社会に完備される時期として 2010 年を目標としており、それまでの時期を 4 つのフェーズに分けて、ITS と国民生活との関わりを段階的に想定している。

ただし、これは 96 年当時に想定されたものであり、現状ではかなり変わっている点もある。あくまでも一つの目安として捉える必要がある。以下に ITS 全体構想の中に示された 4 つのフェーズをまとめる。

第一フェーズ(2000 年頃)

ITS の揺籃期にあたる時期。すでにサービスが開始されている VICS などによる「ナビゲーションの高度化」により渋滞情報や最適経路等の交通情報が自動車に提供される。ドライバはカーナビゲーションシステムによりこれらの情報を利用、移動時間の短縮など、快適な移動が享受できる。また、自動料金収受システムもスタートする。

第二フェーズ(2005 年頃)

ITS のさまざまな利用者サービスが順次導入され、本格的に交通システムの革新がスタートする。ITS により利用者に提供される情報は、目的地に関するサービス情報、公共交通情報など一層充実していく。また、安全運転の支援と歩行者支援システムにより、交通事故の減少が図られる。交通事故等が発生した場合においても、迅速な通報と交通規制により被害拡大が防止され、緊急・救援活動の迅速化により被害の低減が図れる。

公共交通機関の定時性向上と情報サービスの充実により利便性が向上する。また輸送事業の業務等に関する効率化が図られ、物流コストの低減などにより国民は利益を受けはじめる。

第三フェーズ(2010 年頃)

社会環境の整備も含めて、ITS の高度化が進む。インフラの整備と車載機器等の普及に加え、ITS を社会システムとして定着させるための法的、社会的制度の整備が進む。ITS の効果が、国民全般に行き渡る。また、自動運転が本格的にサービスを開始し、車内は安全で快適な空間となる。(この自動運転に関しては現在では象徴的な目標に後退している)。

第四フェーズ(2010年以降)

ITS のすべてのシステムが概成するとともに、光ファイバ網の全国整備などによる高度情報通信社会の本格的到来により、社会システムの革新が行われる。これにより、ITS が広く行き渡る。

(2) VICS プロジェクトの研究・開発と実用化状況

VICS は旧建設省、警察庁、旧郵政省の3省庁が連携して進める道路交通情報システムで、1996年4月23日からサービスが開始されている。情報の管理・運営は(財)道路交通情報通信システムセンター(VICS センター)で行われている。

VICS では、渋滞情報や交通障害情報、駐車場情報などが提供される。情報は都道府県警察や道路管理者から収集された情報を(財)日本道路交通情報センター経由で VICS センターに集積する。また駐車場情報などは別途 VICS センターに集められる。集積された情報は VICS センターで編集処理され、主要幹線道路では光(赤外線)ビーコン、高速道路では電波(準マイクロ波)ビーコンを使い、利用者に24時間発信される(図 2.7)。ビーコンア



図 2.7 VICS の電波ビーコンと光ビーコン

ンテナの設置台数は、1999年5月末で、電波式が2100基、光式が約8900ヶ所(これは設置ヶ所。光ビーコンは車線ごとに設けられるため、全体では約2万基)である。よりきめ細やかな情報提供を行うためには、さらなるビーコンの設置台数の増強が必要であり、2003年には、約3万基になる予定である。広域エリアに関してはFM放送波を利用したFM多重放送(深夜1時から6時までは情報提供しない)により行われる。光ビーコンは警察庁、電波ビーコンは旧建設省の管轄となる。FM多重についてはVICSセンターがNHKの設備を借用する形で運営している。VICSのサービスを受けるには対応車載器が必要である。

VICS が提供する情報のレベルは3つに分かれている。文字表示による情報提供がレベ

ル 1、簡易図形表示による情報提供がレベル 2、地図表示による情報提供がレベル 3 である。レベル 3 では車載カーナビゲーションシステムの地図表示画面に VICS センターの送った道路交通情報を重ねて表示できる(図 2.8)。

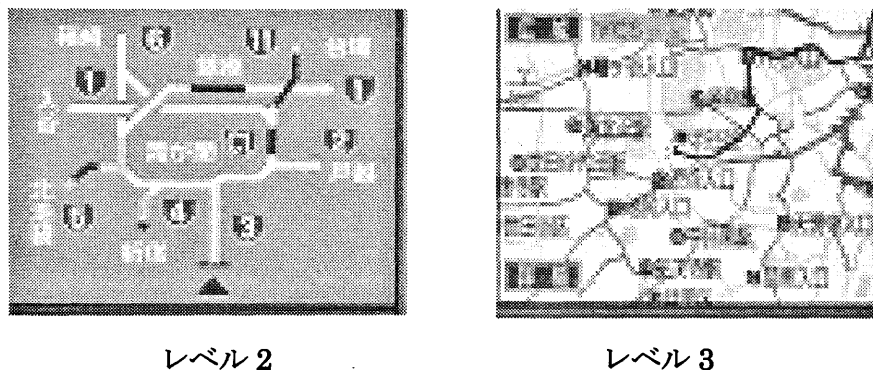


図 2.8 VICS の画面表示例

VICS センターの運営は VICS 対応車載器製造メーカーからの技術開示料と、93 の賛助会員(1999 年 7 月現在)からの賛助金によってまかなわれる。技術開示料は受信できるレベルに応じて異なり、受信機 1 台につき、レベル 1 専用が 500 円、レベル 2 までが 1,000 円、レベル 3 までが 2,000 円となっている。VICS 対応カーナビの出荷台数からすれば、1998 年には累計 10 億円を上回る規模に達している。

情報提供地域は、第 1 期計画の終了した 1998 年度末で、東京圏(東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県)、愛知県、長野県、京都府、大阪府、兵庫県の 9 都道府県、及び全国の高速度道路となっており、国土面積では約 12%、自動車保有台数では約 40%を占める地域をカバーすることになった。1999 年度からは第 2 期に入り、広島県、福岡県、宮城県、北海道・札幌市がエリアに加わった。第 2 期計画が終了した 2001 年度には、全部で 27 以上の都道府県でサービスを受けられるようになった(図 2.9)。

車載 VICS システムの普及台数はサービス開始年度の 1996 年度が 12 万 8000 台、1997 年度が 31 万 4000 台、1998 年度が 57 万 7000 台と 3 年間で累計 100 万台を突破し、2002 年末で累計 600 万台を突破している。

交通流の情報などに基づく渋滞情報、旅行時間情報などの提供が進んでおり、東京、神奈川では 50%に達しているが、他は 20%と低く今後の充実が望まれる(図 2.10)。

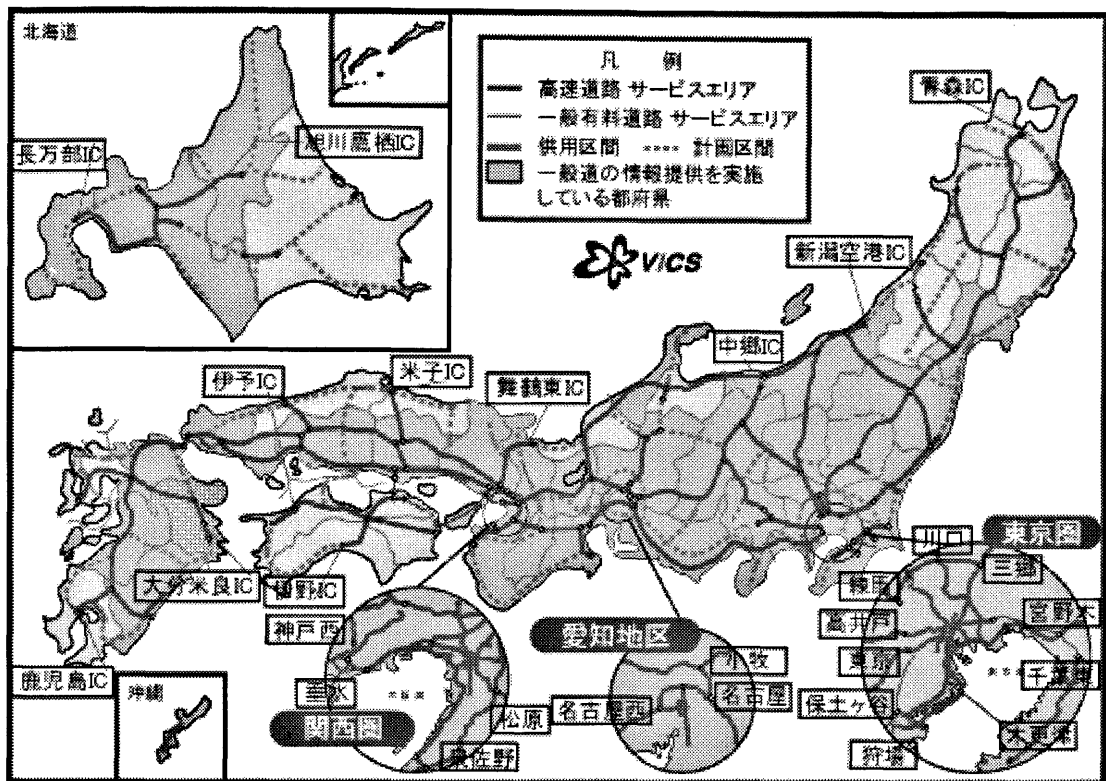


図 2.9 VICS のサービスエリア(2001 年度)

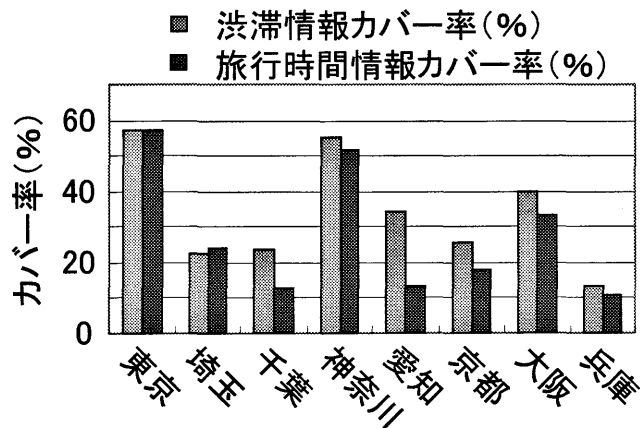


図 2.10 VICS カバー率(2000 年度)

(3) ETC プロジェクトの研究・開発と実用化状況

我が国で高速道路が始めて共用されてから 40 年が経ち、今や高速自動車国道の約 6,100km をはじめ有料道路が合計約 8,560km にわたって共用され、自動車交通の一翼を担っている。しかしながら、高度経済成長による急激なモータリゼーションも相まって、特に都市内高速道路および大都市間の高速道路では計画当時の予想を大幅に上回る交通需

要(道路を通ろうとする車両数)が出現し、交通渋滞が恒常化している。この状況への対応が、我が国の道路交通における主要課題のひとつとなっている。

高速道路の渋滞をその発生箇所で見ると、全体の3分の1が料金所において発生している。したがって、料金所における時間当たりの最大通過車両数(処理容量)を増大させることができれば、高速道路や有料道路において現状で発生している交通渋滞のかなりの部分を、軽減あるいは解消することが期待できる。

ETCは、自動料金収受システムであり、料金所ゲートに設置した路側機のアンテナと、通行する自動車側に装着した車載器との間で無線通信(DSRC: Dedicated short Range Communication, 5.8GHz 双方向通信)を用いて自動的に料金の支払いを行い、有料道路の料金所で止まることなく通行を可能にしようというシステム(図 2.11)で、海外の都市圏の道路等でも一般的に導入例が見られる。これにより、通行車両は料金所で停止することなく通行可能になり、料金所における処理容量をかなり増大させることができる。

1998年4月からの道路整備5ヶ年計画において2,100億円を投入し、日本全国に1,300ヶ所ある料金所のうち、730ヶ所の料金所での導入が計画され、さらに補正予算で上積みされ、2001年度中には全国約800ヶ所の料金所にETCが設置された。2001年3月にサービスを開始し、2003年度中に全国1,300箇所(箇所)にゲート設置予定である。



図 2.11 ETC の料金ゲート

図 2.12 に ETC の運用を示す。利用者は車載器販売店にて車載器を購入し、識別処理情報を発行してもらい、セットアップを行う。同時に利用料金の支払いのために使用する ETC カードを発行してもらい、ETC の利用時は、利用料金が自動的に集計され、クレジット会社などからの請求により支払いを行う。車載器の設置台数は 2003 年 8 月で累計 150 万台に達している。

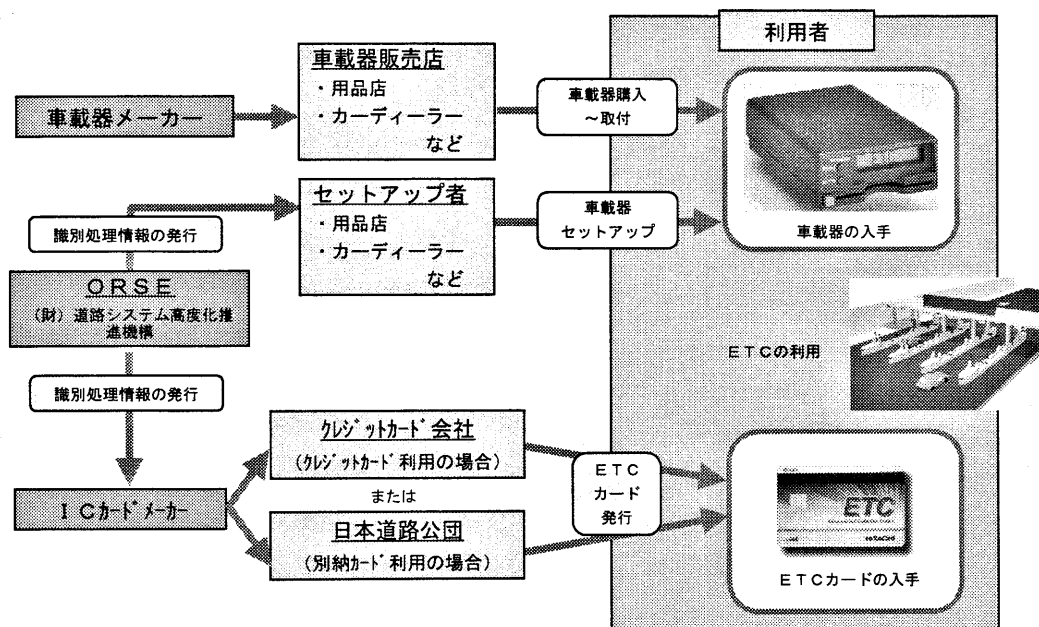


図 2.12 ETC の運用

ETC の導入効果としては、以下があげられる。

①有料道路の料金所渋滞の解消

ETC システム稼動開始時の効果としては、高速道路の渋滞を解消、緩和するシステムとして強く期待されている。都市間高速道路の出口料金所における 1 車線(ゲート)当たりの処理量は、現状では 1 時間で 200 台程度である。全車両が ETC を利用するようになると、処理容量は単純計算で 600~800 台と、現状と比較して 3~4 倍に向上すると期待されている。高速道路の渋滞の 30%は料金所の周辺で発生していると言われており、これを解消することでドライバのイライラと時間ロスを解消、ひいてはエネルギー効率の向上による地球環境の悪化を抑える効果が期待されている。

既存の首都高速道路網において、VICS の普及率が約 20%レベルに達することにより、首都高速上での渋滞量が 10%削減、また、VICS が全国で普及率が 30%に達すれば、全渋滞損失の 60%を削減できると試算されている。

②無線による統合的決裁機能、情報提供機能への展開

ETCの主目的は、高速道路において無線決済することで交通の流れをスムーズに行うことであるが、同様のシステムをサービスエリアやパーキングエリア、ガソリンスタンド等に展開し、決済や情報提供を行うことが考えられる。

③ETCの活用による料金所運営等のコスト削減

料金所のETC化によるコスト削減の効果としては、鉄道において自動改札機が設置されたことと同様のコスト削減が期待できる。具体的には、料金收受経費等の管理費の削減や、料金所1車線当たりの処理容量が増加するため、料金所全体としては車線(ゲート)数を減らすことができ、設置面積の削減による建設コストの低減が期待できるため、世界的にも高いと批評のある高速道路料金を下げる効果があると言える。

④料金設定の弾力化

日本のETCの特徴としては、海外でのシステムが車種ごとに単一の料金を課金する均一料金制(日本でいえば現状の首都高速型)が多いのに対して、車種と走行距離に応じた対距離料金制の課金が可能となっていることである。このような高機能なシステムを導入することにより、これまで均一料金としてきたものを、走行距離に応じて課金したり走行する時間帯によって価格を変化させたりと、弾力的な価格設定が可能となる。特に都市部においてはこうした料金施策を弾力的に設定することで、交通マネージメントを行い易くなることから、その設置効果は非常に大きなものが期待できる。

⑤料金所周辺環境の改善効果

一旦停止が不要となり通過車両の加減速の度合いが軽減されるため、料金所付近で車両から発せられる排気ガス、騒音および車両の燃料消費量が低減され、環境保全への改善効果が期待される。

(4) AHS・ASVプロジェクトの研究・開発と実用化状況

我が国における交通事故死者数が、依然として年間1万人程度で推移していること、及び今後の高齢化社会の到来を考えると、道路および車両を高度情報化することにより安全運転の支援を利用者サービスとして提供することが望まれている。アメリカにおいても2001年に自動運転のプロトタイプを完成し、2002年から試験運用に着手する計画を進めている等、諸外国でも積極的な取り組みがなされている。

我が国では、ITS開発分野の一つである安全運転支援については、旧建設省がバックアップする「AHS」と旧運輸省が管轄する「ASV」が中心となって進められてきた。

「AHS」(走行支援道路システム)は 1994 年度から 3 年間、旧建設省、民間企業 25 社との共同研究を実施している。その成果として 1995 年 11 月、我が国で初めて路車間協調による自動運転の車が土木研究所の試験走路を走行した。さらに 1996 年 9 月には、車線逸脱防止、前車衝突防止、前方危険警告などの安全走行および 11 台の車による約 11km の自動走行を行うために、共用前の上信越道において実験走行を実施した(図 2.13)。この実験走行においては、試験走路では実験できない実際の道路構造や送電線・橋梁等の各種外乱条件下での車両挙動等に関する実験データの収集、解析をおこなっている。

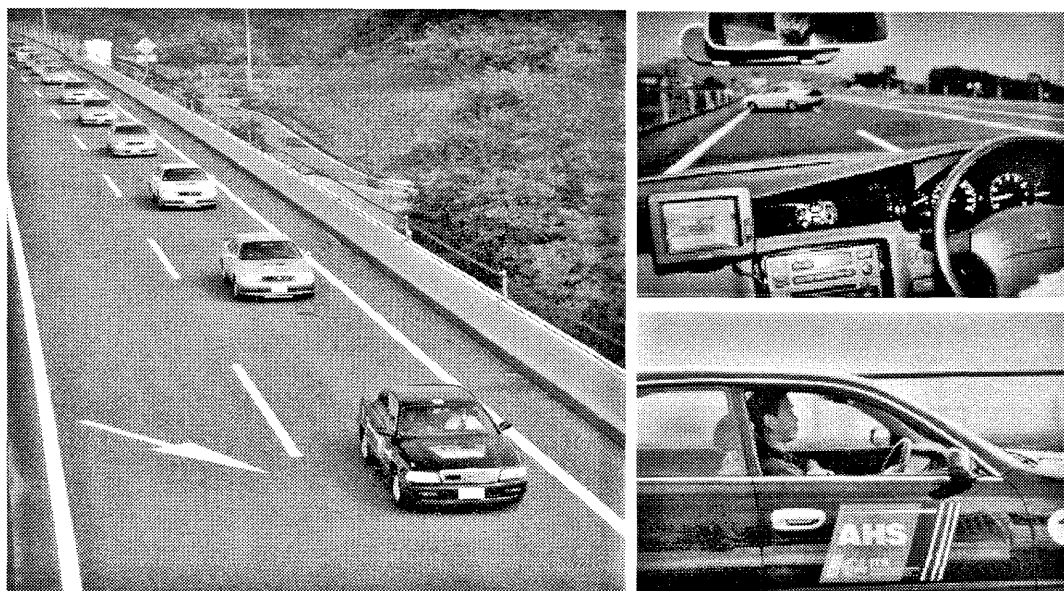


図 2.13 上信越自動車道における自動走行実験(車群構成による自動運転)

アメリカやオランダにおいても、それぞれ、1997 年と 1998 年に自動運転のデモンストレーションが行われた。いずれも実験としては成功し、これらは画期的なことであるが、既存の技術水準と多くの条件を付しての実現の可能性を検証したものであり、これをすぐに公道で実用化することは難しく、実用化を目指しさらに研究開発を推進する必要がある。

そのため、AHS-i(information)、AHS-c(control)、AHS-a(automated cruise)の順に進化してゆくと仮定し、AHS-i と AHS-c の段階の研究が進められている⁷⁾。1996 年 9 月に、自動車・電気通信メーカー 21 社が参加して技術研究組合「走行支援道路システム開発機構」を設立し、旧建設省と連携しながら研究・開発を推進している。図 2.14 に示すように AHS について、事故削減の有効性を勘案し、①前方障害物衝突防止位支援、②カーブ進入危険防止支援、③車線逸脱防止支援、④出会い頭衝突防止支援、⑤右折衝突防止支援、⑥横断歩道歩行者衝突防止支援、⑦路面情報活用車間保持等支援という 7 つのサービス域が抽出

され、自動車とインフラ側との協調による運転・走行の補助・支援をするために技術開発が進められており、インフラ側の開発比重が高い。

一方「ASV」(先進安全自動車)は、1991年から開発がスタートし、インフラ側との協調というよりも、自動車単独の高知能化に比重が置かれ、エレクトロニクス技術等を駆使して車の自立的制御による安全性の向上を目指して開発が進められてきた。ASVでは安全対策を4段階に分類し、それらについて20の技術の例を取り上げている。その各々につい

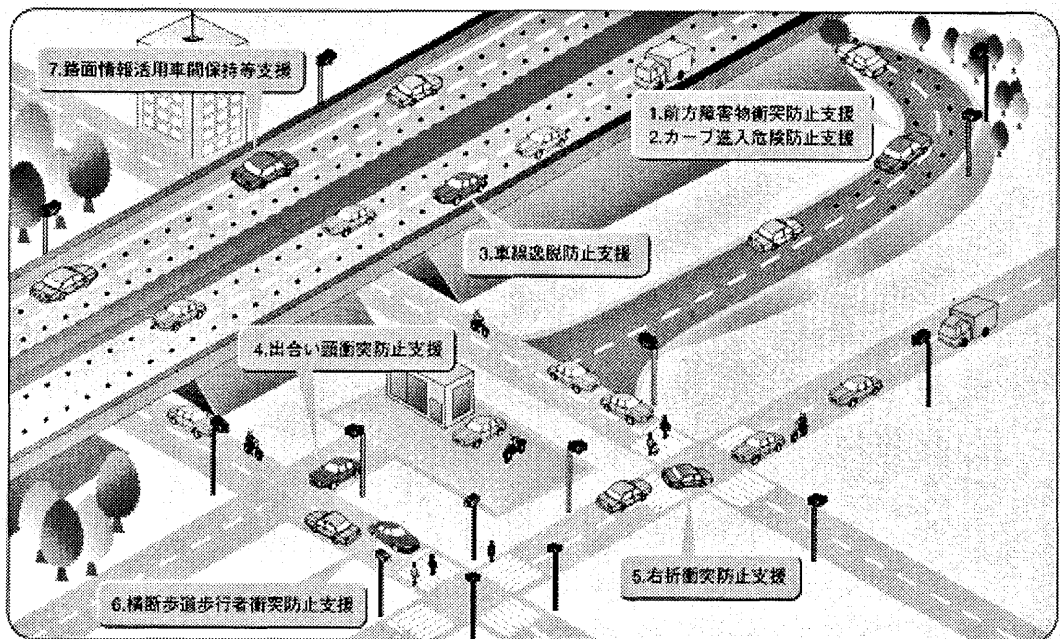


図 2.14 AHS のサービス域

てメーカーが技術開発を進め、その成果を試験するために、機器を装着した試作車の製作を行った。実装されたものの例を以下に挙げる。その総数は80余に及ぶ。

- ① 予防安全対策：居眠り運転警報システム、火災警報システム
- ② 事故回避対策：車間距離警報制御維持システム、前方障害物・後側方警報システム
- ③ 衝突時被害軽減対策：歩行者警報・被害軽減システム、エアバッグシステム
- ④ 衝突後災害拡大防止対策：事故自動通報システム、衝突感知ドアロック解除システム

現在、両プロジェクトは2001年の省庁統合を受けて協調関係が強まっている。従来から両プロジェクトは研究対象・テーマで重複する部分が多く、情報交流も進んでいた背景もあり、将来的には「スマートウェイ構想」として発展していく⁸⁾。

スマートウェイとは、路車間の通信システム、センサ、光ファイバネットワーク等の施設が組み込まれた道路であり、かつこれらの施設をITSの多様なサービス提供に活用でき

るようにする仕組み(情報の共通利用や自由なやりとりを支えるための各種の決まり等:オープンプラットフォーム)を統合的に備えている道路である。スマートウェイは、スマートカー、スマートゲートウェイ(スマートウェイとスマートカーの間の情報通信を円滑に行うための技術)と三位一体となって ITS を推進することが謳われている(図 2.15)。

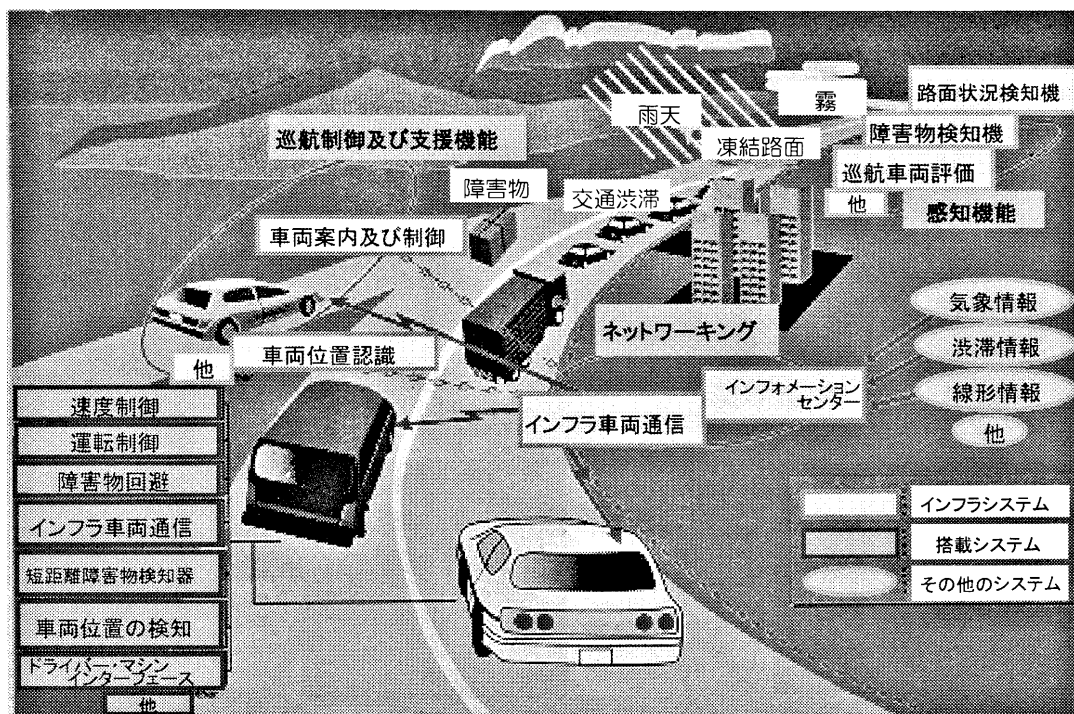


図 2.15 AHS のスマートウェイのイメージ

(5) UTMS プロジェクトの研究・開発と実用化状況

今日の厳しい交通状況に対処するため既にある交通流をどのように処理するかといった受動的な考え方だけでなく、交通管理者である警察の意思を交通流そのものの発生まで反映させ、交通全体のマネージメント(管理)を行いうる新たな考え方の導入が求められている。これを具体化したものが、現在、警察庁が中心となって研究開発、実用化を推進している新交通管理システム(UTMS)である。

UTMS は、車両と光ビーコンの赤外線方式双方向通信による「情報収集提供機能の飛躍的な高度化」を基本として、「(きめ細かく収集された情報の処理による)信号制御の高度化」、「高度化された(情報収集提供機能を活かした)サブシステムの実現」を目指した交通管理システムであり、以下の 9 つのサブシステムから構成されている。(図 2.16)

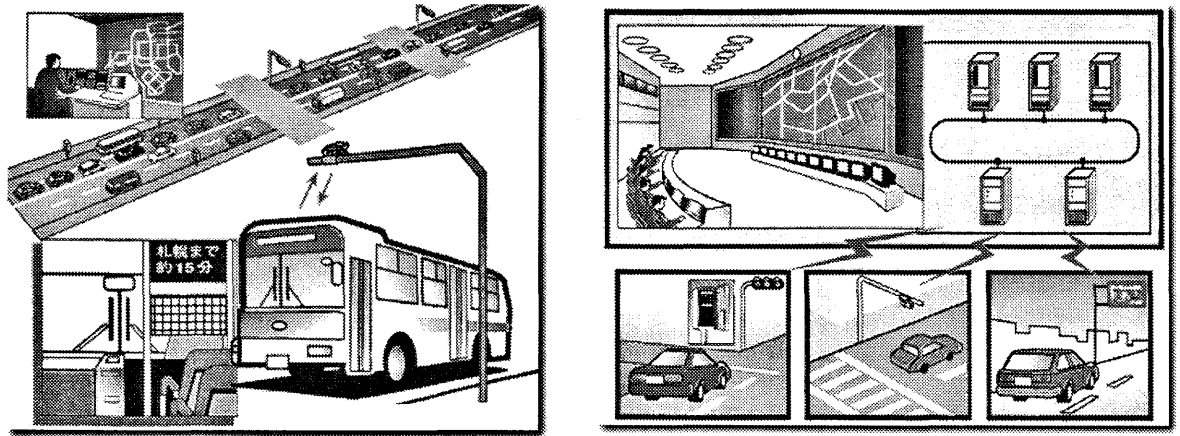


図 2.16 公共車両優先システムと高度交通管制システム

①ITCS : Integrated Traffic Control System(高度交通管制システム)

光ビーコン(光センサ)ビーコンによる双方向通信の実現、画像式感知器等のような情報収集を行うためのセンサの高度化と、収集された情報のより効率的な活用によって、既存の交通管制システムをより一層高度化するもので、信号制御の自動最適化や交通情報提供の自動化等を目指し、UTMS の核となるシステムである。

②AMIS : Advanced Mobile Information System(交通情報提供システム)

ドライバに対し、渋滞、事故、工事、目的地までの所要時間等の交通情報を、光ビーコン、情報板等、様々なメディアを通して提供することにより、ドライバの走行ルートを選択に対する幅を広げ、交通流の自律的な分散、交通渋滞の解消、運転者の心理状態の改善等を図ることを目標としている。

③DGRS : Dynmical Route Guidance System(動的経路誘導システム)

ドライバに対して、個別の最適な経路誘導を行い、より積極的に交通流の分散を図り、交通渋滞の解消に役立てようとするものである。

本システムは、渋滞情報や光ビーコンによって測定が可能になるよりきめ細かな所要時間情報を基礎として、さらに、車両から伝達される目的地情報の解析による交通状況の推移予測等を加えて、交通流全体の配分を考慮した経路誘導を行うことを最終目標としている。

④PTPS : Public Transportation Priority System(公共車両優先システム)

バスレーンの実効性の確保、バス優先信号制御等を通じてバスの提示運行を確保し、バスの利用率、利便性の向上を図るシステムであり、マイカーから公共輸送機関への乗り換えを促し、交通需要の抑制を目指すものである。また、その他の公共車両の優先通行を確

保することも行う。

⑤MOCS : Mobile Operation Control System(車両運行管理システム)

車両、インフラとの情報交換により、車両動態の把握等、業務用車両の効率的な運用を支援するシステムである。

⑥EPMS : Environment Protection Management System(交通公害低減システム)

大気汚染状況、交通量の現況等を正確に把握し、今後の交通環境の変動等を予測することによって、車種、目的地等に応じた経路誘導等を行い、交通に起因する公害の低減を図るシステムである。

⑦DSSS : Driving safety Support System(安全運転支援システム)

交通安全システムのインフラおよび IC カードを利用して、自動車の安全走行支援、並びに高齢者等の歩行者の安全を確保して、交通事故の低減を図るシステムである。

⑧HELP : Help system for Emergency Life saving and Public Safety(緊急通報システム)

交通事故や急病など車内での緊急事態発生時に自動または手動により、自動車電話等を通じて、専用の受け付けセンターに状況が伝送され、パトカー等の手配を行うシステムである。

⑨IIS : Intelligent Integrated ITV System(高度画像情報システム)

交通情報収集カメラの画像を利用して、違法駐車抑止や信号制御などを行うとともに、ドライバに対して、交通状況等を画像として、光ビーコン、インターネットなどから提供するシステムである。

(6) ITS の情報通信プラットフォームの状況

ITS は、最先端の情報通信技術を用いて道路と車を一体のシステムとして構築し、安全性の向上や輸送効率の向上、快適性の向上などを達成し、環境保全に資する高度道路交通システムの推進を図ろうとするものである。このように ITS の重要な役割を担っている情報通信技術について述べる。

図 2.17 は ITS の構成における情報通信の位置付けを示すものであり、基本的に次の 3 つの視点から考えることができる。

①道路交通インフラストラクチャと車の間を結び付ける路車間通信

汎用 DSRC、携帯電話網、衛星通信網、MCA 無線など

②隣接して走行する車両同士が直接情報を伝達しあう車々間通信

③インフラ側で情報を収集・提供するための情報通信ネットワーク

FM 多重放送、地上波デジタル放送、衛星デジタル放送、モバイル放送など

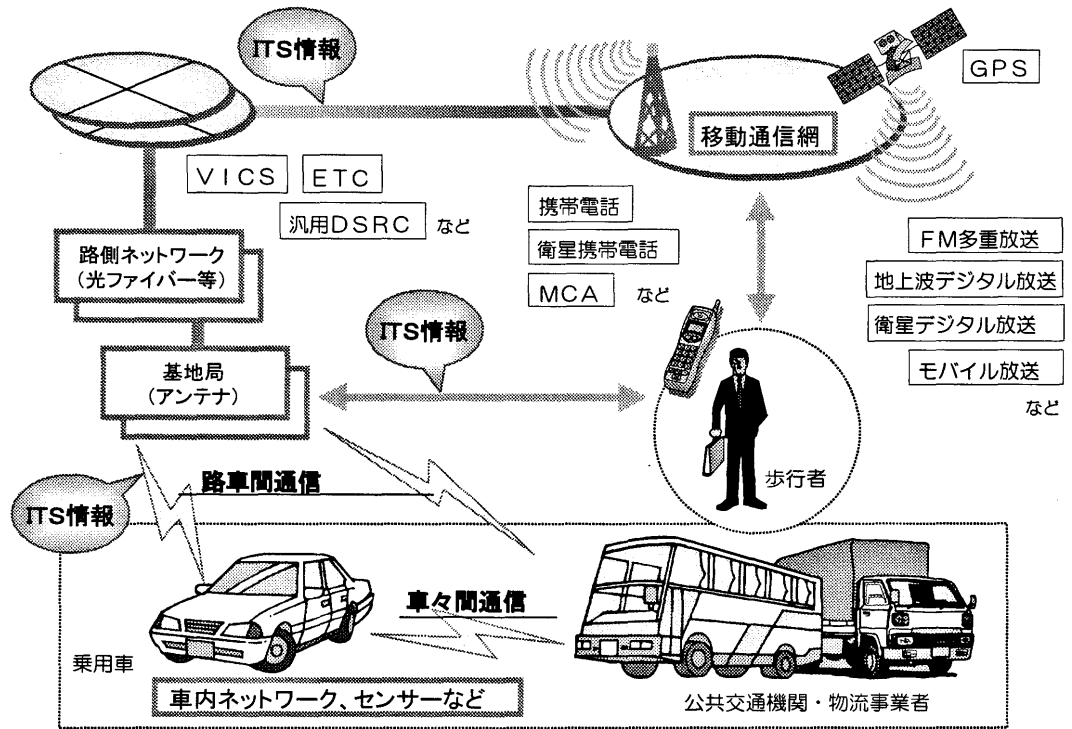


図 2.17 ITS の情報通信プラットフォーム

ITS の利用者サービスが今後さらに高度化・多様化していく中で、各々の利用者サービスに要求される情報の特性(情報量、伝送速度、信頼性、リアルタイム性、双方向性、情報エリア等)に応じ、最適な情報通信ネットワークを活用して行くことが必要である⁹⁾。

これらのことは、ITS 情報通信システムの側からみれば、多種の ITS 情報が種々のネットワークやシステムを通じ、利用者間で円滑な流通を実現することであり、利用者の視点から見れば、共通の情報通信プラットフォーム(情報通信基盤)として種々のサービスが自在に利用可能となることを意味している。ITS 情報通信システムは、各種 ITS 情報通信システム間や他の情報通信ネットワークでのシステムの互換性を確保するとともに、ITS 専用システムと種々のシステムがネットワークにより相互に連携し、情報の大容量化、マルチメディア化等の進展を踏まえた「ITS 情報通信プラットフォーム」が形成されて行く。

2.4 トラック輸送の IT 化による高度情報化に関する既往の研究

2.4.1 運行管理(車両位置動態管理・運行実績管理・配送進捗管理)に関する既往の研究

トラック運送業界では、運行計画から輸送中の運行管理、労務管理などの業務において、効率化による運送コスト低減、サービス向上、省燃費化による環境対策の課題を抱えている。中村ら¹⁰⁾と吉井ら¹¹⁾は、このような課題に対応するため、業務用車両向け交通情報サービスの立ち上げが要望されており、GPS(Global Positioning System)、携帯電話パケット通信網を利用したトラック運行管理システムが、日本国内で近年広がりを見せていることを紹介している。

業界構造としては、一部の大手企業と 5 万社の中小企業から成り立っており、トラック運送業者の 99%は年商 10 億円以下の中小企業である。大手運送業者は管理や手配中心で、実際の運送業務は中小運送業者へ依頼している事が多い。これら中小企業にとっては、生き残りを掛けた IT 化ニーズは大きい。しかし、従来からは通信衛星を使用した車両位置動態管理システムであるオムニトラックス¹²⁾が販売されているが、車載端末が 50 万円、車両一台の月当りの使用費用が 10 万円と高価なシステムであった。このため、投資面でのハードルが高く、システム導入が進んでいない状況にあり、安価で気軽に利用できる情報サービスが求められていた。このような状況の中、顧客の代わりにサーバの導入・維持運営管理、アプリケーションの開発、通信キャリアとの回線契約を行い、これを顧客に共同で利用してもらい、その対価を月々のサービス費の形で回収する ASP(Application Service Provider)サービスに着目した。GPS、携帯電話パケット通信網が全国的に普及するようになったことから、その活用により車載端末が 10 万円、車両一台当りの費用が 5 千円で提供できるビジネスモデルを考えた。ASP はユーザ自身が初期投資をすることなく、低コストで直ぐに機能を利用できるという利点から、中小を中心とする運送業界の現状に合致していると考え、運送業向け ASP サービス e-trasus(e-transport support system)¹³⁾の事業化を行った。

トラック運行管理 ASP では、トラックに車載機、GPS、パケット携帯電話端末を搭載し、パケット携帯電話通信網を介して、運行管理センタに位置、速度、及びトラックの作業情報等をセンタにアップリンクする。運送業者、荷主、及び配送先では、インターネットを介してセンタに接続することで、トラックの位置、荷物の状況等の車両位置動態管理、

車両運行実績管理、配送進捗管理を行うことができる。

車両運行実績管理では、従来から荷主への料金請求やドライバの給与計算などのため、一日の走行明細や作業実績を日報として手作業で記載し、これを管理している。日報の記載内容は配送先名称、住所、到着時刻、出発時刻、到着時の走行距離メータ値などがある。ドライバは、配送先毎に上記内容を日報に記載し、更に全運行終了後事務所へ戻り、手計算にて各配送先までの走行距離や走行時間、作業時間の集計処理を実施する。この日報作業は日々行われ、ドライバの負担であり、かつ手作業中心なため記載ミスや計算ミスが発生し易かった。本問題を解決するために、日報作成に必要なデータ取得の簡易化・自動化、更に日報作成計算の自動化に取り組んだ。従来からも日報作成の自動化システム¹⁴⁾は存在していたが、車載端末のメモリーカードをドライバが一日の業務終了後事務所へ持ちこむ方式であった。そこで本研究では、通信によるデータ伝送方式の採用を考えたが、従来の運行実績データの取得周期(1秒)では通信費用が高くなり実用性で問題となるため、実証実験により最適な取得周期を検討する。

配送進捗管理における目的地への到着自動認識機能については、従来はトラックが目的地に到着した後の荷積/荷卸作業のデータ登録はドライバが意識的に行うものであり、これまでのシステムでは自動的にそのタイミング、作業内容を認識することは不可能であった。そこで本研究では、目的地への到着自動認識機能を実現するため、目的地に対して認識半径を事前に設定することにより、車両の現在位置データから目的地までの相対距離を算出し、これを認識半径と比較することで到着/未着を判断する方式を検討する。

運行管理に関する既往の研究と今回の研究の関係を表 2.8 に纏める。

表 2.8 運行管理に関する既往の研究と今回の研究の関係

	既往の研究と課題	今回の研究
車両位置 動態管理	通信衛星を使用した車両位置動態管理が開発されたが、車載端末が 50 万円、車両一台当たり使用費用が 10 万円と高価なシステムであり、普及していない。	GPS、携帯電話パケット通信網を使用した車両位置動態管理を開発し、車載端末 10 万円、車両一台当たり使用費用が 5 千円で可能なシステムを開発した。
日報作成 の自動化	ドライバが一日の業務終了後、車載端末のメモリーカードを事務所へ持ち込む必要があり、省力化が必要であった。	通信によるデータ伝送方式の採用を考えたが、運行実績データの取得周期(1秒)では通信費用が高くなり実用的でないため、最適な取得周期を実験により決定する。
目的地への 到着認識	ドライバが端末より入力、または、紙の日報へ記入しており、ミスが発生していた。	車両の現在位置データから目的地までの相対距離を算出し、到着・未着を判断する到着自動認識を検討する。

2.4.2 交通状況予測・所要時間予測による交通情報提供に関する既往の研究

ITS(Intelligent Transportation System)のメディアの多様化、適用領域の多様化に伴い、交通情報提供システムのニーズも多様化して来ている。2002年6月の道路交通法改正に伴い、従来、光ビーコン、電波ビーコン、FM多重放送によりカーナビゲーションシステムに提供されているVICS情報も、民間事業者によるビジネス向けに利用可能となった。このため、VICS情報を元に、業務利用や、コンシューマ向けに付加価値を持たせた交通情報提供事業が急速に立ち上がる期待がある。

従来の交通情報サービスとしては、VICS(Vehicle Information and Communication System)¹⁶⁾があるが、提供される交通情報が現時点の情報であり先々の予測情報ではないことや車両感知器の設置が主要道路であるため旅行時間や渋滞度の提供率が2000年度現在30%と低いため(表2.9)、最適な経路誘導や個別目的地への到着時間予測には不十分である。

一方、トラック等の業務車両や自家用自動車から得られる走行位置情報などを活用した、いわゆるプローブカーの研究開発、事業化検討も加速してきている。プローブカーシステムはプローブカーとセンタシステムから構成される。プローブカーはGPS、携帯電話を接続した車載機を搭載し、GPSで計測した時刻、位置、速度(表2.10)等のプローブ情報をセンタシステムに送信する。センタシステムは、プローブカーから取得したプローブ情報を収集・蓄積する。センタシステムは、複数のプローブカーから収集されたプローブ情報を集約し、地図に割り付けるなどの編集を施して交通情報の形に変換して、ネットワークに配信する。

福本¹⁶⁾、青木ら¹⁷⁾、青木¹⁸⁾の研究では、大規模な実験的プロジェクトも行われており、横浜地区で約300台のトラック、バス、タクシーなどのプローブカーによる走行実験が行われ、走行速度情報、降雨情報、路面凍結情報がインターネットで提供された。Internet ITS PROJECT¹⁹⁾では、2001年度に名古屋地区で1570台のタクシーによる大規模実証実験が行われ、道路の混雑状況、降雨状況がインターネットで提供され、タクシー向けに車両位置動態による配車管理、乗車位置分布や走行軌跡の実績管理が行われ、タクシー向けに周辺店舗情報が提供された。これら以外にも、Larima²⁰⁾、Choi²¹⁾らにより、トラックやタクシーなどの商用車を交通情報収集のプローブカーとして捉えることが、交通状況把握において非常に有効であると報告されている。これらのことから、プローブカーを用いて独自

表 2.9 全国一般道における VICS 情報提供状況

情報源番号	都道府県	全リンク数	渋滞度提供リンク数	旅行時間提供リンク数	渋滞度提供率	旅行時間提供率
3001	札幌地区	12407	2313	927	34%	12%
3002	函館地区		299	280		
3003	旭川地区		672	174		
3004	釧路地区		888	102		
3005	北見地区		-	-		
3006	青森県警	4423	738	129	17%	3%
3007	岩手県警	2742	865	125	32%	5%
3008	宮城県警	5023	1215	524	24%	10%
3009	秋田県警	2567	373	0	15%	0%
300a	山形県警	3178	642	53	20%	2%
300b	福島県警	5192	674	122	13%	2%
300c	警視庁	6530	4050	4050	62%	62%
300d	茨城県警	7576	1943	262	26%	3%
300e	栃木県警	3989	1092	866	27%	22%
300f	群馬県警	3992	777	169	19%	4%
3010	埼玉県警	6105	1520	1520	25%	25%
3011	千葉県警	6346	2029	1391	32%	22%
3012	神奈川県警	12719	6167	5885	48%	46%
3013	新潟県警	8552	1130	90	13%	1%
3014	山梨県警	1566	224	197	14%	13%
3015	長野県警	5271	1451	1451	28%	28%
3016	静岡県警	5747	2365	51	41%	1%
3017	富山県警	2485	307	307	12%	12%
3018	石川県警	3125	536	5	17%	0%
3019	福井県警	1683	715	158	42%	9%
301a	岐阜県警	4228	562	562	13%	13%
301b	愛知県警	8944	3154	1270	35%	14%
301c	三重県警	4113	882	0	21%	0%
301d	滋賀県警	2961	1120	448	38%	15%
301e	京都府警	3637	1381	713	38%	20%
301f	大阪府警	5541	3684	2082	66%	38%
3020	兵庫県警	6180	1422	1347	23%	22%
3021	奈良県警	3672	1303	568	35%	15%
3022	和歌山県警	3540	878	252	25%	7%
3023	鳥取県警	2275	377	69	17%	3%
3024	島根県警	3168	469	366	15%	12%
3025	岡山県警	3951	518	35	13%	1%
3026	広島県警	5877	1139	1137	19%	19%
3027	山口県警	4677	998	0	21%	0%
3028	徳島県警	2384	281	281	12%	12%
3029	香川県警	2092	314	314	15%	15%
302a	愛媛県警	2440	435	18	18%	1%
302b	高知県警	3296	422	422	13%	13%
302c	福岡県警	5497	2054	1297	37%	24%
302d	佐賀県警	2432	563	269	23%	11%
302e	長崎県警	1884	666	0	35%	0%
302f	熊本県警	6509	2100	365	32%	6%
3030	大分県警	3353	549	540	16%	16%
3031	宮崎県警	2375	582	582	25%	25%
3032	鹿児島県警	7222	953	58	13%	1%
3033	沖縄県警	1976	723	293	37%	15%
計		215442	60514	32126	-	-
平均		-	-	-	28%	15%

表 2.10 プローブカー情報の一例

物理車番: 【野田100あ****】

SEQ	受信時間	受信情報	異常情報	データ長	伝送区分	緯度	経度	速度
54908	2001/5/21 5:13	002d001091	0	16	GPSデータ(起動時)	1287081	5039162	0
54909	2001/5/21 5:13	002d000501	0	5	ACK			
54928	2001/5/21 5:28	002d001081	0	16	GPSデータ(定周期)	1287087	5039151	0
54947	2001/5/21 5:43	002d001081	0	16	GPSデータ(定周期)	1285912	5037919	0
54966	2001/5/21 5:58	002d001081	0	16	GPSデータ(定周期)	1284862	5034058	67
54983	2001/5/21 6:13	002d001081	0	16	GPSデータ(定周期)	1282276	5031810	66
55083	2001/5/21 7:03	002d001091	0	16	GPSデータ(起動時)	1280993	5031675	0
55084	2001/5/21 7:03	002d000501	0	5	ACK			
55113	2001/5/21 7:18	002d001081	0	16	GPSデータ(定周期)	1282267	5031191	0
55153	2001/5/21 7:33	002d001081	0	16	GPSデータ(定周期)	1283776	5031733	0
55173	2001/5/21 7:43	002d001091	0	16	GPSデータ(起動時)	1284063	5032037	0
55174	2001/5/21 7:43	002d000501	0	5	ACK			
55201	2001/5/21 7:58	002d001081	0	16	GPSデータ(定周期)	1284069	5032035	0
55246	2001/5/21 8:13	002d000583	0	5	GPSデータ(車両停止状態)			
55280	2001/5/21 8:28	002d000583	0	5	GPSデータ(車両停止状態)			
55302	2001/5/21 8:38	002d001091	0	16	GPSデータ(起動時)	1284067	5032040	0

に収集した情報により VICS がカバーしていない道路の交通情報を補完することで、さらにきめ細かな交通情報利用が可能となると考え、これらの情報を活用した新しい交通情報サービスの検討に取り組んだ。

プローブカーは、GPS によって計測した車両の位置、速度を交通情報源として利用するので、情報収集エリアが限定されないという特徴がある。しかし、プローブカーの普及率が低い状況下ではプローブカー非存在区間が発生し、十分なリアルタイム交通情報を収集できない。また情報収集の通信媒体として一般的に携帯電話が用いられるので、より多くのプローブ情報を収集するためには通信コストが大きくなるという問題点があった。

そこで本研究では、上記した問題点のうち、プローブカー普及率が低い状況下での交通情報収集方法に関する課題解決を考えた。まずプローブカーの普及率とエリアカバー率との関係を明らかにし、プローブカーを用いてリアルタイム交通情報を取得するための普及率を試算することを考えた。プローブカーを交通情報源として利用し、必要な普及率を試算した研究事例としては、石田ら²²⁾による道路交通センサスデータを用いて走行速度調査に必要なプローブカー普及率を検討したもの、Park ら²³⁾によるプローブカー台数と普及率から交通情報提供のサービスエリアを試算したもの、Bolla ら²⁴⁾による普及率と情報精度との関係をシミュレートしたものなどが報告されている。これらの研究事例によれば、統計的な交通情報収集に 1%程度、リアルタイムの交通情報収集には 5%程度のプローブカ

一普及率が必要であるとしているが、プローブカー普及率とエリアカバー率の関係を扱っている報告は見られない。そこで本研究では、プローブ情報をリアルタイム交通情報として活用する際のプローブカー普及率とエリアカバー率の関係を定式化し、具体的数値を用いて必要なプローブカー普及率を試算する。次にプローブカーの普及率が不十分なためにリアルタイム交通状況が取得できないプローブカー非存在区間での交通状況を予測する方式の検討が課題となった。そこで本研究では、過去に蓄積したプローブカーの走行軌跡と現在のプローブカーの走行軌跡を対比することにより、現在プローブカーが走行する区間の前方区間の交通状況を予測する方式を考える。さらにプローブカーの実験システムを構築して実車走行実験を行い、交通状況予測方式の精度評価を行う。

プローブカーの課題は、携帯のポケット網などを使用するためデータ通信コストの負担が大きいこと、自家用車からデータを収集する場合にプライバシーが侵害されること、車載機の普及が進むまでは十分な情報が収集できないことなどである。その解決策としてトラック運行管理システムのプローブ情報の活用を考えた。既にトラック運行管理のためにデータを収集しているので通信コストは増加しないこと、商用であるためプライバシーを侵害しないこと、システムの普及に伴い車載機も普及することなどの理由からである。つまり、運行管理システムで収集されるGPS等を用いたトラックの位置データは、業務車両の運行管理に利用されるだけでなく、交通情報収集のプローブカーとして交通状況把握にも非常に有効であるといえる。そこで、トラック運行管理システムが収集した位置データをプローブ情報として利用し、目的地への所要時間予測システムを構築し、実データを用いてプローブ情報の利用可能性を検証するテーマに取り組んだ。

今回プローブカーとして利用するトラック運行管理システムでは、収集されるトラックの位置データは、パケット通信のコストの関係上、運行管理の目的において必要最低限のアップリンク時間間隔(本システムでは15分)を設定している。このため交通状況把握の目的からみると、長すぎるアップリンク時間間隔となっており、走行経路の追跡が困難である。従来の福本¹⁶⁾、上田ら¹⁷⁾、青木¹⁸⁾、Internet ITS PROJECT¹⁹⁾などのプローブカーに関する報告は、実証実験のため通信コストを問題にせず、1秒間隔のデータを収集・分析した報告が多い。後藤ら²⁵⁾は、通信料金の低減のため、位置、速度データを直線で近似することにより、データ量を削減する方法を報告しているが、長いアップリンク時間間隔を扱った報告は見られない。そこで本研究では、トラックが収集した位置データ(15分間隔)を地図上にマッチングし、走行経路を推定することにより、トラックの位置データから

表 2.11 交通状況把握・所要時間予測に関する既往の研究と今回の研究

	既往の研究と課題	今回の研究
交通状況把握	<p>VICS では交通状況を把握して情報を提供しているが、提供率は 30%であり全国道路をカバー出来ていない。</p> <p>補完するための方法としてプローブカーの実験が行われ、走行速度、渋滞状況、位置情報、降雨情報を把握して提供するには有効であることが確認された。</p> <p>プローブカーの普及率が低い状況下では、プローブカー非存在区間が発生し、リアルタイム交通状況が把握出来ないという課題がある。</p> <p>必要なプローブカー普及率は、統計的な交通状況収集に 1%、リアルタイムの交通状況収集に 5%が必要との研究事例が報告されているがプローブカー普及率とエリアカバー率の関係を扱っている報告は見られない。</p>	<p>プローブ情報をリアルタイム交通情報として活用する際のプローブカー普及率とエリアカバー率の関係を定式化し、具体的数値を用いて必要なプローブカー普及率を試算する。</p>
プローブカー非存在区間での交通状況予測	<p>プローブカー非存在区間での交通状況予測を扱っている報告は見られない。</p>	<p>過去に蓄積したプローブカーの走行軌跡と現在のプローブカーの走行軌跡を対比することにより、現在のプローブカーが走行する区間の前方区間の交通状況を予測する方式を検討する。</p>
トラック運行管理のプローブ情報による交通状況把握	<p>今回対象としたトラック運行管理では、パケット通信のコストの関係上、必要最低限のアップリンク時間間隔(15分)を設定しており、交通状況把握に使用しようとする、走行経路の追跡が困難である。</p> <p>長いアップリンク時間間隔のプローブ情報による交通状況把握を扱っている報告は見られない。</p>	<p>トラックが収集した位置データ(15分間隔)を地図上にマッチングし、走行経路を推定することにより、道路の渋滞状況、所要時間情報を算出する方式を検討する。</p>
目的地への所要時間予測	<p>VICS で提供される所要時間は現在時点の情報であり、先々の予測情報でない。</p> <p>料金データを用いた所要時間予測方式や首都高速道路における所要時間変動特性を分析した研究事例が報告されている。</p> <p>任意の出発点から任意の目的地への所要時間予測を扱った報告は見られない。</p>	<p>プローブカーから収集した時間帯別の統計リンク速度データを利用して、目的地までの所要時間を予測するシステムを検討する。</p>

道路の渋滞状況、所要時間情報を算出する交通情報取得方式を検討する。次に、交通情報サービスにおいて望まれている目的地への所要時間把握のニーズに対して、従来の所要時間予測に関する報告では、上野ら²⁶⁾による料金所データを用いた所要時間予測方法や割田²⁷⁾による首都高速道路における所要時間変動特性を分析した研究があるが、任意の出発地から任意の目的地への所要時間予測を扱った研究は見られない。そこで本研究では、プローブ情報から求めた所要時間情報を利用することにより任意の出発地から任意の目的地への所要時間予測の方式を検討する。

交通状況把握・所要時間予測に関する既往の研究と今回の研究の関係を表 2.11 に纏める。

2.4.3 安全運転診断・管理に関する既往の研究

トラック輸送業においては、重大事故が多発しており、その事故原因はドライバの基本的なミスが多く、事故防止の啓蒙活動に取り組んでいる。従来は、定性的な安全教育、精神論が主体であった。また、安全運転のためのインフラストラクチュアとしては AHS(Automated Highway System or Advanced cruise-assist Highway System)^{28) 29)}、車両の高安全性追求のためには ASV(Advanced Safety Vehicle)が研究、開発されている。しかし、事故を起こすのはドライバの不注意が主原因であり、データに基づく合理的な安全教育も重要となっている。

近年、プローブカー技術、デジタルタコグラフ³⁰⁾の発達により、様々な車両の物理データを取得できるようになってきた。この状況を受け、取得した車両の物理データを利用した交通安全診断、指導のニーズが高まってきている。この実現により、従来心理アンケートや事故記録により行ってきた交通安全診断が、オンラインの物理データを用いて、より客観的になる可能性がある。しかしながら、現状では物理データと事故データとの対応の蓄積データが十分でなく、有効な指導データを模索している段階と言える。ここで事故と相関の高いと思われる物理データとしては、前後加速度、横加速度、角速度、位置などが挙げられ、中山³¹⁾は運転者の疲労度の定量化に使用し運転者負荷定量化手法の開発を行っており、千葉ら³²⁾はヒヤリハット位置の取得に使用し Web 上でのヒヤリ地図作成システムを開発している。しかしながら、前後加速度、横加速度、角速度などのセンサーや装置は高価であり、通信費、通信速度を考慮するならば、簡易に収集可能な物理データは速度時系列、及び速度微分による加速度時系列となる。従来から、自動車事故対策センター³³⁾

が運行管理者講習などで、アナログタコグラフの速度時系列を用いて目視主観安全診断の指導を行っていた。これは、目視と主観ではあるが、速度時系列の形状により走行状況を推定し、アクセルブレーキワークの異常判定により事故の起こりやすさを推定する方式であり、これをより定量的に行うことが現実的であると考えた。

一方、交通安全関連の学会では、野田³⁴⁾ 35)、今井³⁶⁾により加速度標準偏差を用いた安全判断が検討されており、この加速度標準偏差と新たな指標として加速度歪度を用いれば、アナログタコグラフによる目視主観安全診断の自動化ができるのではないかという仮説を立てた。ここで、加速度標準偏差は加速むら(アクセル、ブレーキの大きさ)、加速度歪度は加速度傾向(ブレーキがきついか、アクセルがきついか)を表している。

本研究では、仮説を検証するために、加速度標準偏差と加速度歪度の指標と目視主観安全診断の結果との間に相関があるかどうかを検討し、危険ドライバの識別の可能性を検証する。また、トラック運行管理により収集したプローブ情報を使用して安全運転診断帳票を作成し、この帳票を用いた安全運転指導の実証実験を行い、効果を確認する。

安全・省燃費運転管理に関する既往の研究と今回の研究の関係を表 2.12 に纏める。

表 2.12 安全・省燃費運転管理に関する既往の研究と今回の研究

	既往の研究と課題	今回の研究
安全・省燃費運転診断	<p>従来は、安全指導員が目視主観でアナログタコグラフの速度時系列の形状により走行状況を推定し、アクセルブレーキワークの異常判断により事故の起こりやすさを判断していた。</p> <p>車両の物理データを利用した交通安全診断・指導については、事故との相関が高いと思われる物理データを運転者の疲労度の定量化に使用し、運転者負荷定量化手法を開発した研究事例が報告されている。</p> <p>また、加速度標準偏差を用いて安全判断を検討した研究事例は報告されているが、加速度歪度を用いて安全判断を扱っている報告は見られない。</p>	<p>加速度標準偏差と加速度歪度を指標として用いれば、安全診断が出来るのではという仮説を立て、実験により危険ドライバの識別の可能性を検証する。</p> <p>トラック運行管理により収集したプローブ情報を使用して安全運転診断帳票を作成し、この帳票を用いた安全運転指導の実証実験を行い、効果を確認する。</p>

2.4.4 配車配送計画に関する既往の研究

配車配送計画とは、広域に分散配置された工場や物流拠点で生産、保管されている商品を、ユーザの要望に応じて道路ネットワークを通じて供給する場合の全体コストを最小化する問題であり、Bowersox ら³⁷⁾、井上ら³⁸⁾によるサプライチェーンプロセスからの研究、谷口ら³⁹⁾によるシティロジスティクスからの研究、宇谷ら⁴⁰⁾によるセルラオートマトンからの研究など種々の研究が行われている。図 2.18 は、実在の食品製造・流通企業の配車配送の全体を示している。ここでは地図上の小さな点がユーザの位置、円が工場や物流拠点

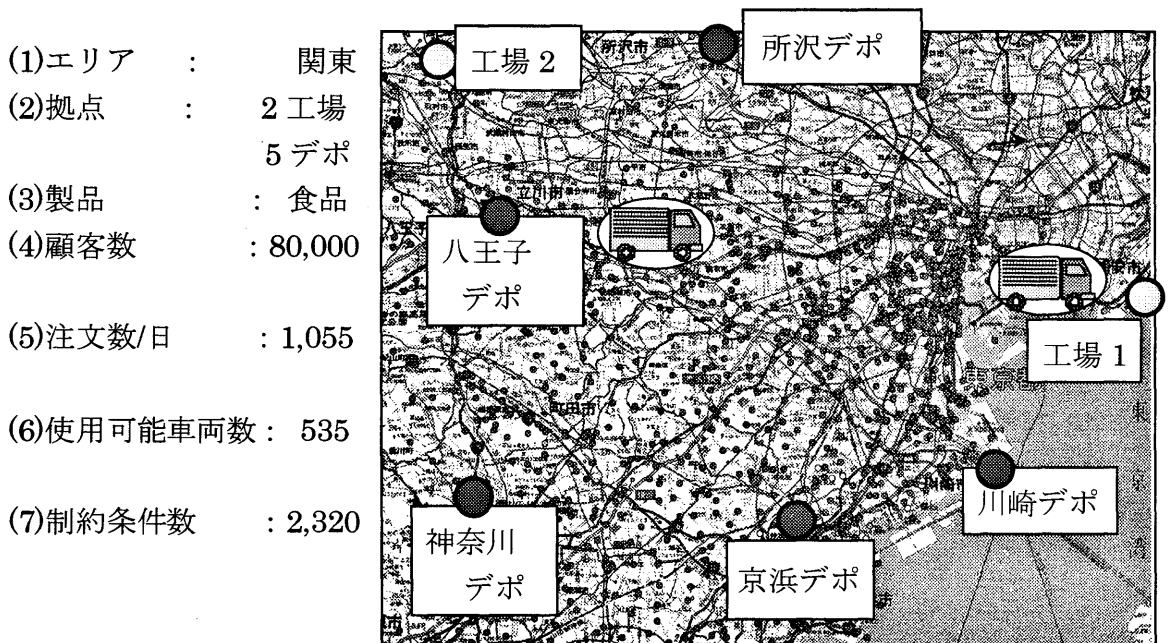


図 2.18 配車配送の事例

などの供給拠点を示している。供給拠点数は 7、ユーザの数は 80,000 以上存在する。また、実運用での 1 日の平均的なオーダーの数は 1,000 件以上となり、納期指定、工場の稼働時間などの制約は約 2,000 件である。この配車配送計画の問題は、1,000 都市以上の巡回セールスマン問題 (TSP : Travering Salesman Problem) と、複数地点間の最適経路決定問題の組み合わせに 2,000 の制約を加えた、複雑な NP 完全問題として捉えられる。

従来の配車配送計画業務は、配送業務を熟知したベテラン計画者が手作業で複数の計画を作成し、比較検討後に決定していた。しかし、時間指定納入、積載量など制約条件が複雑になり、広域輸配送候補の中から最良の輸配送ルート・順序の組み合わせを選択するには、人手と時間(某社では全国で 40 名が半日)を要するため、計画変更への迅速な対応、ト

トラック台数の最適化による効率化が問題となっていた。そこでトラック稼働率、台数、走行距離などを考慮した配送費用を目的関数とし、配送オーダーに対し配送順序をトラックへ割り付けていき、目的関数が最適となる解を求める配車配送計画システムを開発した。

配車配送計画に対しては、経験的なルールに基づく方法と、組合せ最適化に対する方法の2種類のアプローチがなされてきた。前者には、Sweep アルゴリズム⁴¹⁾[2次元平面上にデポを通る基準線を設定し、この基準線と平面上に配置された顧客とデポを結ぶ直線との角度を求め、この角度の小さい顧客から順にサービスをする手法]、2-opt アーク交換法⁴²⁾[解を構成する順回路群の、異なる2つの順回路から一本ずつのアーク $(i, i+1)$ およびアーク $(j, j+1)$ を選択し、順回路の進行方向を変化させないように新しいアーク $(i, j+1)$ およびアーク $(j, i+1)$ でつなぎ直すことで、顧客集合の割り当てと巡回路を更新する方法]などがある。後者には、タブー法⁴³⁾[Tabu Search : TS 法 : 近傍解を新たに生成する際に、すでに探索済みの解(タブーリスト)へ戻ること(サイクル)を避け、よりムダの少ない探索を行う手法]、アニーリング法⁴⁴⁾[simulated Annealing : SA 法 : 金属をエネルギーの高い高温状態から冷却して、エネルギーの低い状態へと焼きなます課程であり、これと、組み合わせ最適化において目的関数値が最小値へ収束していく課程とを類似対応させた解法]、遺伝アルゴリズム(Genetic Algorithm : GA)⁴⁵⁾などがある。対象規模拡大への対応力と、実運用に対する柔軟性の優位さから、近年では後者の方法が主流になりつつある。後者の代表的な手法である単純 GA(Simple Genetic Algorithm : 以降 sGA と表記)は、組み合わせ最適問題に対して Syswerda⁴⁶⁾により最適スケジューリング、手塚ら⁴⁷⁾によりジョブショップスケジューリング、田中⁴⁸⁾により複数飛行経路の生成など多くの適用研究がされてきたので、これを利用した配車配送計画システムを開発した。しかし、sGA の難点は原理的に単 CPU 上での動作であるので計算効率は低く、そのまま現実の多目的でかつ複雑な最適化問題に適用することは困難であった。

このため、多目的でかつ複雑な最適化問題に対して並列コンピュータ上で動作する並列 GA の研究を井上⁴⁹⁾と共同で進めた。並列 GA は、マイクログレイイン GA(micro-graind GA : 以降 mgGA と表記)⁵⁰⁾が代表的であり、近年に実用化が進んできた並列計算機の能力を活用して高速性を得ることを目的としている。しかし、実運用での大規模な配車配送計画システムの最適化エンジンとして適用した場合、並列効率の急激な低下の問題が発生する。そこで本研究では、この問題点を改善する手法を提案し、次にそれを適用した配車配送計画のシミュレーションにより新しい手法の有効性を考察する。

また、配送拠点の統廃合、共同配送へ展開するため、製造コスト、拠点コスト、配送コストを総合的に評価する輸配送計画システムを開発し、シミュレーションにより、コスト低減、トラック稼働時間・運行距離の低減、CO₂などの環境負荷低減を検証する。

配車配送計画に関する既往の研究と今回の研究の関係を表 2.13 に纏める。

表 2.13 配車配送計画に関する既往の研究と今回の研究の関係

	既往の研究と課題	今回の研究
配車配送計画	<p>配車配送計画のアルゴリズムとしては Sweep アルゴリズム 2-opt アーク交換法 アニーリング法 遺伝アルゴリズム(GA) などの研究事例が報告されている。</p> <p>GA の計算効率をあげるため、並列コンピュータ上で動作する並列 GA であるマイクログレイン GA の研究事例が報告されている。</p>	<p>単純 GA を利用した配車配送計画システムを開発した。</p> <p>一日のオーダー数が 1,000 件の配車配送計画になると計算時間が数時間となり実用性で問題となった。</p> <p>高速化を図るため並列コンピュータ上で動作する並列 GA であるマイクログレイン GA を利用した配車配送計画システムを開発した。</p> <p>一日のオーダー数が 10,000 件の配車配送計画になると並列効率の低下が問題となった。</p> <p>並列効率低下を改善する手法を提案し、配車配送計画のシミュレーションを実施し有効性を考察する。</p>
配送拠点の統廃合、共同配送の検討	<p>従来は配送コストのみを考えた配車配送計画が主であった。</p> <p>工場の製造コスト、物流センタの拠点コストを総合的に考えて輸配送計画を行い、配送拠点の統廃合、共同配送の検討を行った報告は見られない。</p>	<p>配送拠点の統廃合、共同配送へ展開するため、製造コスト、拠点コストを総合的に評価する輸配送計画を開発した。</p> <p>シミュレーションを行いコスト低減、トラック稼働時間・運行距離の低減、CO₂などの環境負荷低減を評価する。</p>

2.5 結語

ITS の活用によるトラック輸送の高度情報化を本研究のテーマとして取り上げた背景として、日本におけるトラック輸送の現状と課題に対する解決策について述べた。

日本の物流を支える貨物輸送手段はトラック輸送にシフトしており、1985 年以降トラックの分担率はトン数では 90%、トンキロでは 50%となっている。特に陸上輸送は圧倒的にトラック輸送に依存しており、その車両台数は 800 万台(営業用：100 万台、自家用：700 万台)におよんでいる。1999 年度では物流業の事業規模全体(約 21 兆円)の中でトラック輸送が約 12 兆円と過半数を、事業者数全体(65,500 社)の中で 52,000 社と 8 割を、従業員数全体(148 万人)の中で 120 万人と 8 割以上を占めている。またトラックの増大と配送の小口化による渋滞は、排ガス規制による環境対策などの社会問題の主な原因になっている。トラック運送業における輸送効率と見ると空車率は 43%、未積載率は 69%となっており、人と車に無駄が多く、その効率化は最優先の課題となっている。この課題を解決することによる効果の影響も大きいと考えトラック輸送の効率化をテーマの対象として取り上げた。

トラック輸送の効率化のニーズ調査を実施したところ、①トラック運行管理(車両位置動態管理、運行実績管理、配送進捗管理など)の車載システム、無線通信ネットワーク技術などを用いた IT 化によるコスト削減、②運送依頼をトラックへ割り付ける配車配送計画、安全運転指導などの IT 化によるコスト低減、省燃費・排気ガス低減、交通事故低減など、高度情報化による効率化のニーズが高いことが判明した。このことが、トラック輸送の IT 化による高度情報化を研究テーマとして取り上げた背景である。

トラック輸送の高度情報化を実現しようとした場合、トラックから車両の現在地(緯度、経度)、速度などの様々な情報を収集したり、その情報から各道路の渋滞を把握して目的地への所要時間を予測するといった道路交通の技術が必要である。2000 年を前後して ITS が実用化され、またプローブカーの研究も加速され、道路交通の技術が進展してきた。

そこで本研究では、ITS の活用によりトラック輸送の高度情報化をテーマに研究を行い、具体的には、トラック輸送の計画・管理業務であるトラック運行管理、交通状況予測・所要時間予測による交通情報提供、安全運転診断・管理、配車配送計画などの高度情報化に関して研究と実証実験を行うこととした。

文 献

- 1) 国土交通省：陸運統計要覧, 2000
- 2) 全日本トラック協会：企業物流とトラック輸送, 2000
- 3) 全日本トラック協会：トラック輸送産業の現状と課題, 2000
- 4) 日本物流団体連合会：数字でみる物流, 2000
- 5) 左近俊彦, 千場千寿：ITS 白書, 山海堂, 1999
- 6) 交通工学研究会編：ITS—インテリジェント交通システム, 丸善, 1999
- 7) 徳山日出男, 岩崎泰彦, 加藤恒太郎：知能道路 2001, 日本経済新聞社, 1998
- 8) 中条 潮：ITS 産業・経済 2001, 経済産業調査会, 2001
- 9) ITS 情報通信システム研究会：ITS テレコミュニケーションビジネス, クリエイト・クルーズ, 1999
- 10) 中村浩三, 畑岡信夫, 本堂一郎, 堀井志朗：快適なドライブを提供する ITS 車載情報システム, 日立評論, Vol.82, No.9, pp.39-42, 2000
- 11) Yoshii, M., Hirai, T : Trial for Commercial Vehicle Operations Management Using Information Technology, 8th ITS World Congress, Sydney, 2001
- 12) デンソー：オムニトラックス, <http://www.denso.co.jp/MOBILE/omnitrac/index.html>
- 13) 日立製作所：トラック運行管理 ASP[e-trasus], <http://www.e-trasus.com/>
- 14) 堀場製作所：トラック運行管理
- 15) (財)道路交通情報通信システムセンター (VICS センター)： <http://www.vics.or.jp/>
- 16) 福本克明：プローブ情報システムの研究, 車と情報, vol.25, pp.12-13, July 2001
- 17) Aoki, K., Ueda, T., Fujii, H. : Research and Development and the Proof Test the Probe Car, Proc. 7th ITS World Congress, Turin, 2000
- 18) 青木邦友：「IPCar システム」によるデータ収集実験, 交通工学, Vol.36, No.3, (社)交通工学研究会, pp.48-50, 2001
- 19) <http://www.internetits.org>. Internet ITS PROJECT
- 20) Larima, P. : VERDI-from Field Trial to Deployment, Proc. 4th ITS World Congress, Berlin, 1997

- 21) Choi, K., Shin, C., Park, I. : An Algorithm for Calculating Dynamic Link Travel Times Using GPS and a Digital Road Map, Proc. 5th ITS World Congress, Seoul, 1998
- 22) 石田東生, 三浦裕志, 岡本直久, 古屋秀樹 : 高度交通情報機器を用いた走行速度調査における抽出率の検討, 土木計画学研究・講演集, No.23-1, pp.671-673, 2000
- 23) Park, C. G., Oh, J., Kim, S. : Determination of Optimal Number of Probe Vehicles for Real-time Traffic Flow Information, Proc. 5th ITS World Congress, Seoul, 1998
- 24) Bolla, R., Davoli, F., Giordano, A. : Estimating Road Traffic Parameters from Mobile Communications, Proc. 7th ITS World Congress, Turin, 2000.
- 25) 後藤若菜, 三宮肇 : 旅行時間収集における車両位置データ量削減方法, 電子情報通信学会, 信学技報, Vol.101, No.21, pp.15-20, 2002
- 26) 上野秀樹, 大場義和, 桑原雅夫 : 料金所データを用いた所要時間予測方法の比較, 第1回 ITS シンポジウム, pp.515-520, 2002
- 27) 割田 博 : 首都高速道路における所要時間変動特性の分析, 第22回交通工学研究発表会論文報告集, pp.61-64, 2002
- 28) 三菱総合研究所 ITS 事業推進部 : IT 社会のビジネスプラットフォーム ITS の過去・現在・未来を読む, 電波新聞社, 2001
- 29) 技術研究組合走行支援道路システム開発機構 : AHS 技術を活用した次期サービスの提案, 2002
- 30) 矢崎デジタルタコグラフ : <http://www.wbs.ne.jp/bt/yazaki-keiso/>
- 31) 中山沖彦, 二見 徹, 中村友一, アーウィン・ポアー : 運転者負荷定量化手法「ステアリングエントロピー法」の開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.45-99, pp.5-8, 1995.
- 32) 千葉崇宏, 赤羽弘和 : Web 上でのヒヤリ地図作成システムの開発, 土木計画学研究・講演集, Vol 22-2, pp. 951-954, 1999.
- 33) 自動車事故対策センター : 運行管理者基礎講習テキスト, 政府出資法人 交通事故対策センター, 2000
- 34) 野田宏治, 荻野 弘, 栗本 譲 : 自動車のアクセレーションノイズと交通事故に関

- する研究, 土木学会 50 回年次学術講演会, pp.338-339, 1995
- 35) 野田宏治, 荻野 弘, 高橋政稔, 栗本 譲 : アクセレーションノイズによる高速道路の交通事故分析に関する研究, 第 15 回交通工学研究会発表論文報告集, pp.153-156, 1995
 - 36) 今井 稔 : アクセレーションノイズと交通事故との相関に関する研究, 土木学会 48 回全国大会, pp.576-577, 1993
 - 37) Bowersox, D.J.Closs, : *Logistical Management-The Integrated Supply Chain Process*, McGrawHill Co, Inc., 1996
 - 38) 井上春樹 : サプライチェーン実行システム, リックテレコム, pp-53-68,2000
 - 39) 谷口栄一, 根本敏則 : シティロジスティクスー効率的で環境にやさしい都市物流計画論一, 森北出版
 - 40) 宇谷明秀, 鈴木勝 : セルラオートマトンによる場のモデル化に基づく物流計画に関する研究, JSCES, PaperNo20000009, Sep. 2000
 - 41) Gillet, B.E., Miller, L.R. : A Heuristics Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem, *Operation Research*, Vol.22, pp340-349, 1974
 - 42) Solomon, M.M., Golden B.L., Assad, A.A. : *Vehicle Routing : Method and Studies*, pp.85-105,North-Hollad, 1988
 - 43) Glover, F.E. : A User's Guide to Tabu Search, *Annals of O. R.* Vol.41, pp3-28, 1993
 - 44) Kirkpatrick, S. : *Optimization by Simulated Annealing*, *Science* 220, pp.671-680, 1983
 - 45) Goldberg, D.E. : *Genetic Algorithm in Search, Optimization & Machine Learning*, 1989
 - 46) Syswerda, G. : *Schedule Optimization Using Genetic Algorithms*, *Handbook of Genetic Algorithms*, Davis, L, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991
 - 47) 手塚 大, 樋地正浩 : 実用的なジョブショップスケジューリング問題のための新しい遺伝表現とコモンクラスタ交叉, *情処学論*, Vol42, No9, pp2284-2292, Sep. 2001
 - 48) 田中雅晴 : 遺伝的アルゴリズムを用いた複数飛行経路の生成法, *情学論 D-I*, Vol. J85-D-I, No8, pp767-775, Aug. 2002

49) 井上春樹, 岸野清孝 : 人工生命, 同文書院, pp-218-242, 2002

50) Manderick,B., Spiessens, P. : Fine-grained parallel genetic algorithms, Proc. 3rd ICGA'89, pp.428-433, 1989

第3章 トラック運行管理 ASP による業務向け交通情報サービスの 開発

3.1 概説

トラック輸送では、運行計画から輸送中の運行管理、労務管理などの業務において、効率化による運送コスト低減、サービス向上、省燃費による環境対策などの課題を抱えている。このような課題に対応するため、業務用車両向け交通情報サービスの立ち上げが要望されており¹⁾、GPS、携帯電話パケット通信網を利用したトラック運行管理システムが、日本国内で近年広がりを見せている²⁾。しかし、業界構造としては、トラック運送業者の99%[5万社]が中小企業であり、その規模からIT(情報技術)化投資のハードルが高く、安価で気軽に利用できる交通情報サービスが求められている。そこで、「安価かつ簡単に利用できるサービス」としてトラック運行管理 ASP サービス“e-trasus”³⁾を構築し、サービスを開始した。

3.2 節では、業務向け交通情報サービスによるトラック運行管理 ASP “e-trasus”の開発、専用端末の開発、トラックの位置、荷物の状況などの車両位置動態管理の機能について述べる。

3.3 節では、車両運行実績管理を実現するために、日報作成に必要なデータの取得を簡易化・自動化し、更に日報作成の計算を自動化した内容について述べる。従来の運行実績データの取得周期では通信費用が高くなり実用性で問題となったため、実証実験により最適な取得周期を検討する。

3.4 節では、目的地への到着自動認識機能を実現するため、目的地に対して認識半径を事前に設定することにより、車両の現在位置データから目的地までの相対距離を算出し、これを認識半径と比較することで到着/未着を判断する方式を開発したので、その内容について述べる。

3.2 トラック運行管理システムの開発

2章で述べた課題に対して、2001年4月よりトラック運行管理ASP“e-trasus”を立ち上げた。“e-trasus”は、トラック運行管理に関する各種機能をユーザの負担を最小限に抑えたASPの形で提供している。ASP形式を取っていることから、運送業者は独自のサーバ、回線設備を導入することなく、最小限のコストでトラックの運行状況を管理することができる。

図3.1にトラック運行管理システム構成図を示す。トラックは、車載端末、GPSアンテナ、管理センタと通信するためのパケット通信ユニットを搭載し、パケット携帯電話通信網を介して、運行管理センタに(本システムでは15分間隔で)位置、速度、及びトラックの作業情報等をアップリンクする。運送業者、荷主、及び配送先では、インターネットを介してセンタに接続することで、トラックの位置、荷物の状況等の車両位置動態管理や車両運行実績管理を行うことができる⁴⁾。さらに、交通情報提供サービスとして荷物の到着時間を正確に把握するために、道路の交通状況を加味した目的地への所要時間予測と到着自動認識の機能を開発した⁵⁾。

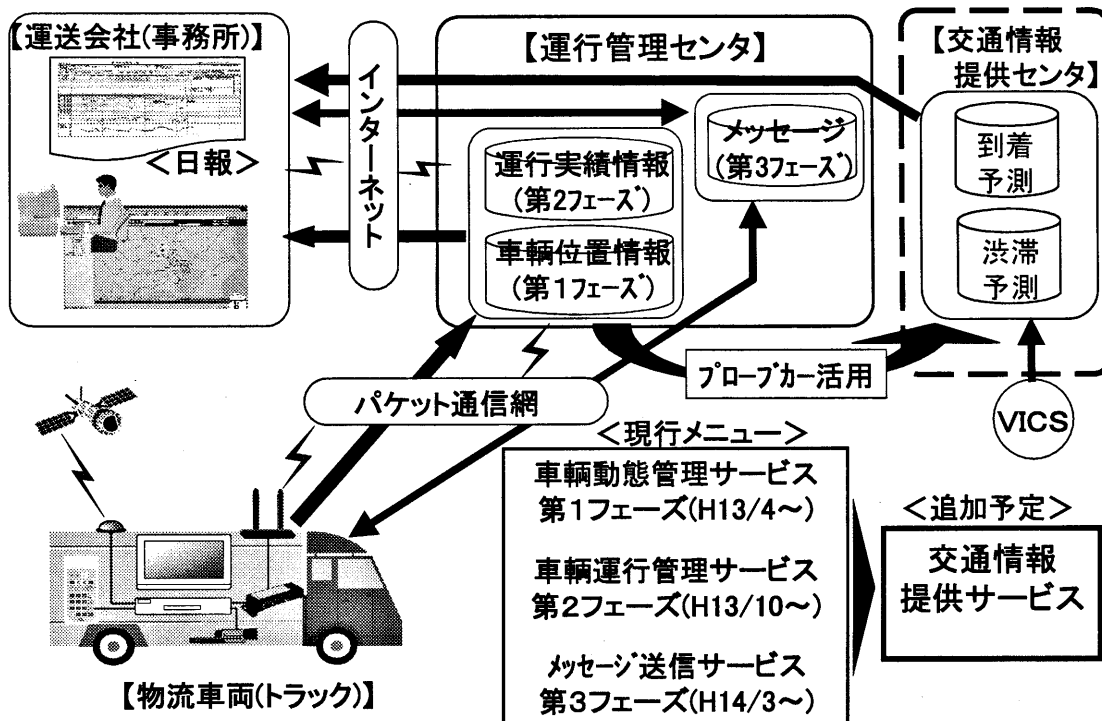


図 3.1 トラック運行管理のシステム構成

車輦位置動態管理は、GPS から取得した位置情報を”e-trasus”センタへ送信する車輦位置送信機能、車輦の位置情報をインターネット経由で受信し、予め地図ソフトをインストールしたパソコン上へ表示する車輦位置地図表示機能、車輦の1日の走行軌跡を地図上に表示する車輦走行軌跡表示機能で構成され、車両一台当たり 5,000 円(通信料を含む)でサービスを提供することにした。これにより、運送会社、荷主、配送先など、契約 ID でログインすることで、自由に車輦の位置を把握することが可能となる。管理センタには、図 3.2 に示すように、各車両について車両 NO.(表示車番および物理車番)やドライバ名称等、各種属性データが表示される。この車両情報一覧の画面内容は、管理センタと通信可能な運送業者の端末にも表示される。この画面上において、マウス等のポインティングデバイスを用いての任意の表示車番の表示部分を選択指定すると、図 3.3 に示すような地図画面が表示され、該当車両の位置、進行方向、位置履歴としてのルートが表示される。地図表示には、ベクトルカラー地図を使用し、図 3.4 に示すように、スムーズで連続的な拡大縮小表示を可能にした。

また、貨物追跡システムと連携することで、荷主からの配送問い合わせに対し、「お客様のお荷物は、現在 xx インターを降り yy 丁目付近です。間もなくお届け予定です」と回答可能となり、真のお客様サービス向上を実現することができる。

表示車番	物理車番	車種/種別	ドライバーID ドライバー名	現在地	トン	台数	最新更新日時
211700-02	品川11000-02	HEC通運	d002/テスト2 d001/山根 隆宏	埼玉県熊谷市	10ト	箱	01/08 10:10
211700-03	品川11000-03	HEC通運	d001/山根 隆宏 d002/テスト2	埼玉県川口市	8ト	箱	01/08 10:10
211700-04	品川11000-04	HEC通運	d004/テスト4 d001/山根 隆宏	埼玉県浦和市	10ト	箱	01/08 10:10
211700-05	品川11000-05	HEC通運	d004/テスト4 d001/山根 隆宏	埼玉県桶川市	20ト	ウイング	02/27 14:10
211700-06	品川11000-06	HEC通運	d005/テスト5	埼玉県蕨松山市	2ト	平	01/08 10:10
211700-07	品川11000-07	HEC通運		埼玉県蕨市	2ト	ウイング	01/08 10:10
211700-08	品川11000-08	HEC通運		埼玉県入間郡毛呂山町	2ト	ローリー	01/08 10:10
211700-09	品川11000-09	HEC通運		埼玉県比企郡嵐山町	2ト	冷凍	01/08 10:10
311499-01	水戸11L199-01	水戸通運					
311499-02	水戸11L199-02	水戸通運					
311499-03	水戸11L199-03	水戸通運					
311499-04	水戸11L199-04	水戸通運					
311499-05	水戸11L199-05	水戸通運					
311499-06	水戸11L199-06	水戸通運					
311499-07	水戸11L199-07	水戸通運					
311499-08	水戸11L199-08	水戸通運					
311499-09	水戸11L199-09	水戸通運					
311499-10	水戸11L199-10	水戸通運					
33370039	水戸33ま90-39	HEC通運	d001/山根 隆宏	神奈川県横浜市鶴見区			01/08 10:10
品川11000-01	品川11000-01	品川通運	d001/山根 隆宏 d002/テスト2	埼玉県川越市	20ト	箱	01/08 10:10

図 3.2 車両情報一覧画面



図 3.3 車両動態位置管理画面

ベクトルカラー地図

縮尺(1/約900万)

縮尺(1/20万)

縮尺(1/5万)

縮尺(1/1万)

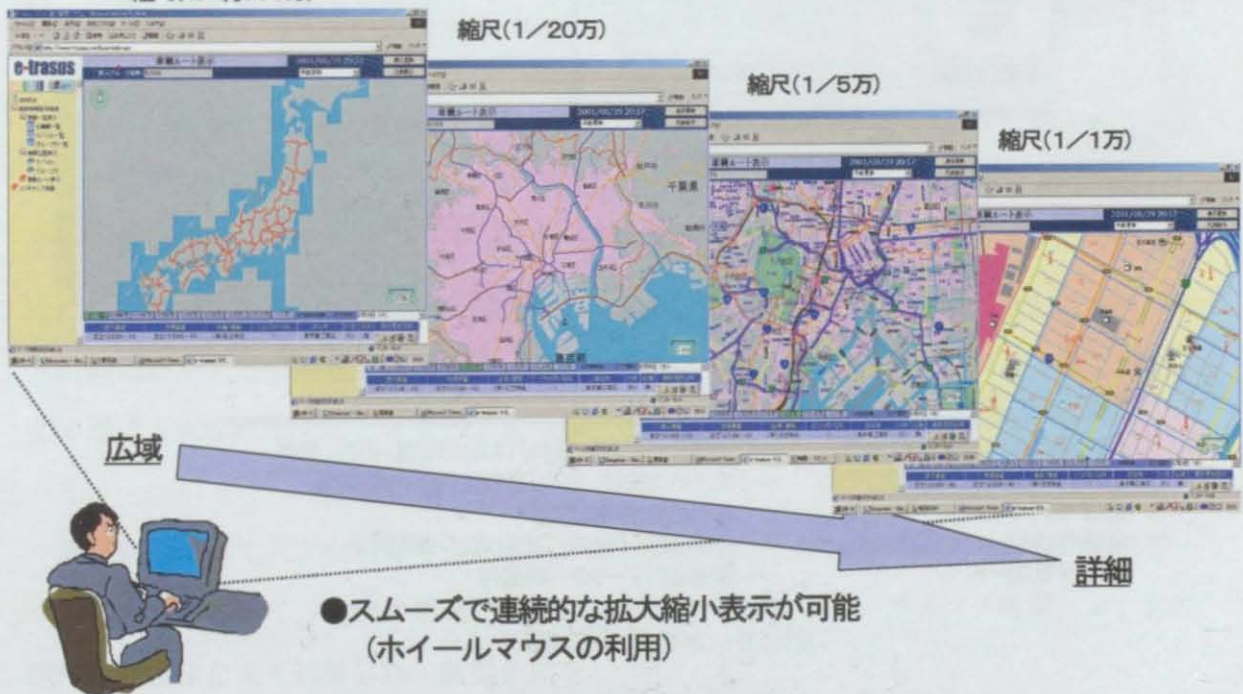
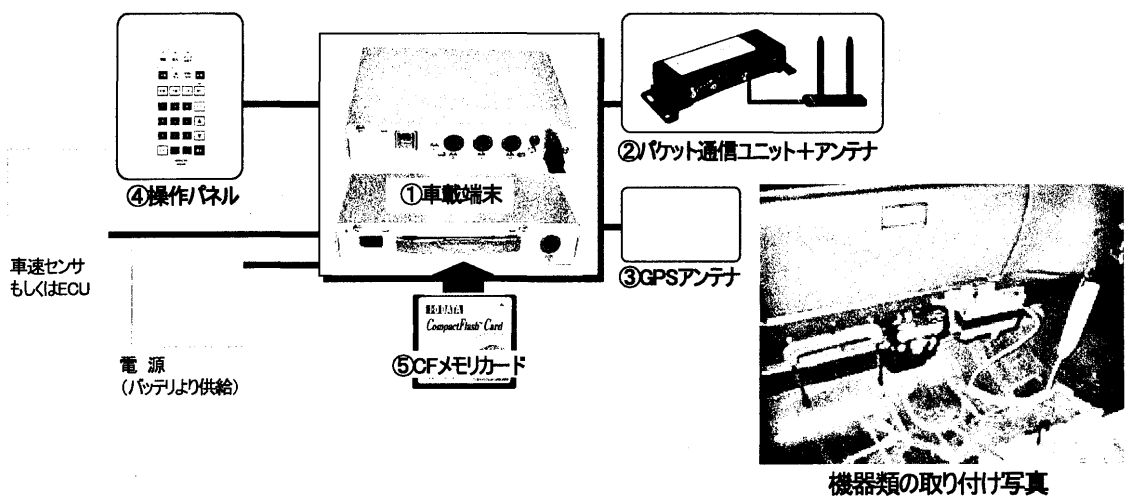


図 3.4 車両位置の拡大縮小地図表示

車輛運行実績管理は、車輛位置動態管理の車載端末構成に加え、ドライバの作業内容や走行内容などを入力する操作パネル、車速センサ、及びこれら管理データを保存するメモリカードを追加し運用することにした。本サービスの機能は、日報自動作成、安全管理、労務管理で構成され、主にドライバの作業や、車輛の走行実績を管理する為の機能である。

メッセージ送信サービスは、運送会社の事務所より当該の車輛へ集荷指示、配送指示、緊急連絡などのメッセージを送信し、これを車載端末へ接続された液晶モニタに表示する機能である。本機能は、双方向通信であり、事務所からのメッセージに対する回答を、ドライバ側から送信することも可能にした。これにより、事務所から各車輛に対する情報提供が可能となり、ドライバも事務所からの情報をメモ書きする手間が不要となる。

図 3.5 に、今回”e-trasus”用に開発した車載端末”ACCESSCUBE”を示す。この端末は、標準仕様で一台当たり 10 万円(工事費を含む)で提供するために新しく開発した端末であり、標準以外の主な接続可能機器は、①メッセージ機能用「液晶モニタ」、②作業・走行状況データ収集用「操作パネル」、③貨物追跡連携用「ハンディターミナル」、③温度センサ、④デジタルタコグラフなどがある。業務の拡張に合わせて構成機器を選ぶことで、最初は初期投資を抑えた単機能から開始し、徐々に機能拡張して行くことを可能とした。



機器名称と役割

- | | |
|--------------------|---------------------------|
| ①車載端末 (ACCESSCUBE) | … 情報(車輛情報・操作パネル)の収集・保存・発信 |
| ②パケット通信ユニット+アンテナ | … センタへの接続、および車輛走行データの送信 |
| ③GPSアンテナ | … 車輛位置情報の取得 |
| ④操作パネル | … 作業状態(「始業」「荷卸」など)の登録 |
| ⑤CFメモリカード | … 車輛走行データの一時保存 |

図 3.5 車載端末の構成

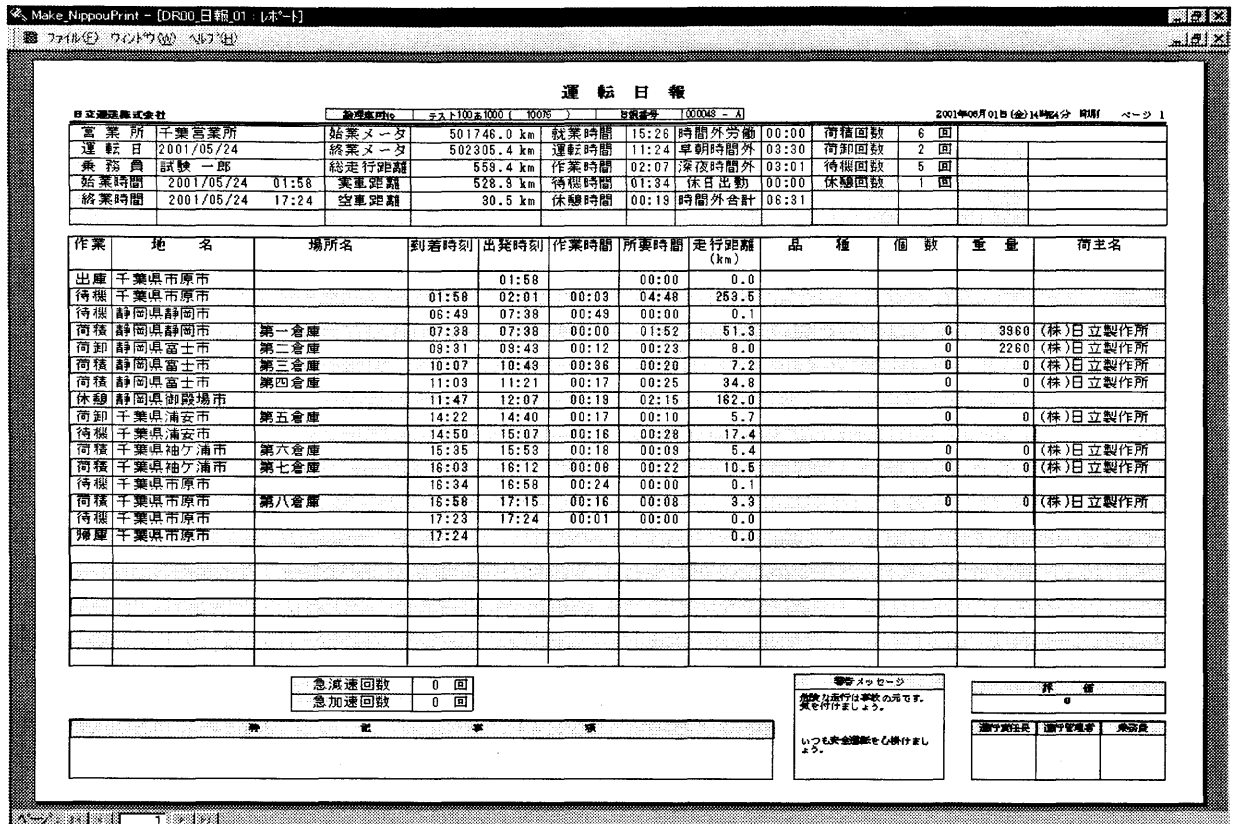
3.3 車両運行実績管理の開発

運送業界では荷主への料金請求やドライバの給与計算などのため、一日の走行明細や作業実績を日報として記載し、これを管理している。図 3.6 に、運行日報の例を示す。日報の記載内容は配送先名称、住所、到着時刻、出発時刻、到着時の走行距離メータ値などである。ドライバは、配送先毎に上記内容を日報に記載し、更に全運行終了後事務所へ戻り、手計算にて各配送先までの走行距離や走行時間、作業時間の集計処理を実施する。この日報作業は日々行われ、ドライバの負担であり、かつ手作業中心なため記載ミスや計算ミスが発生し易かった。

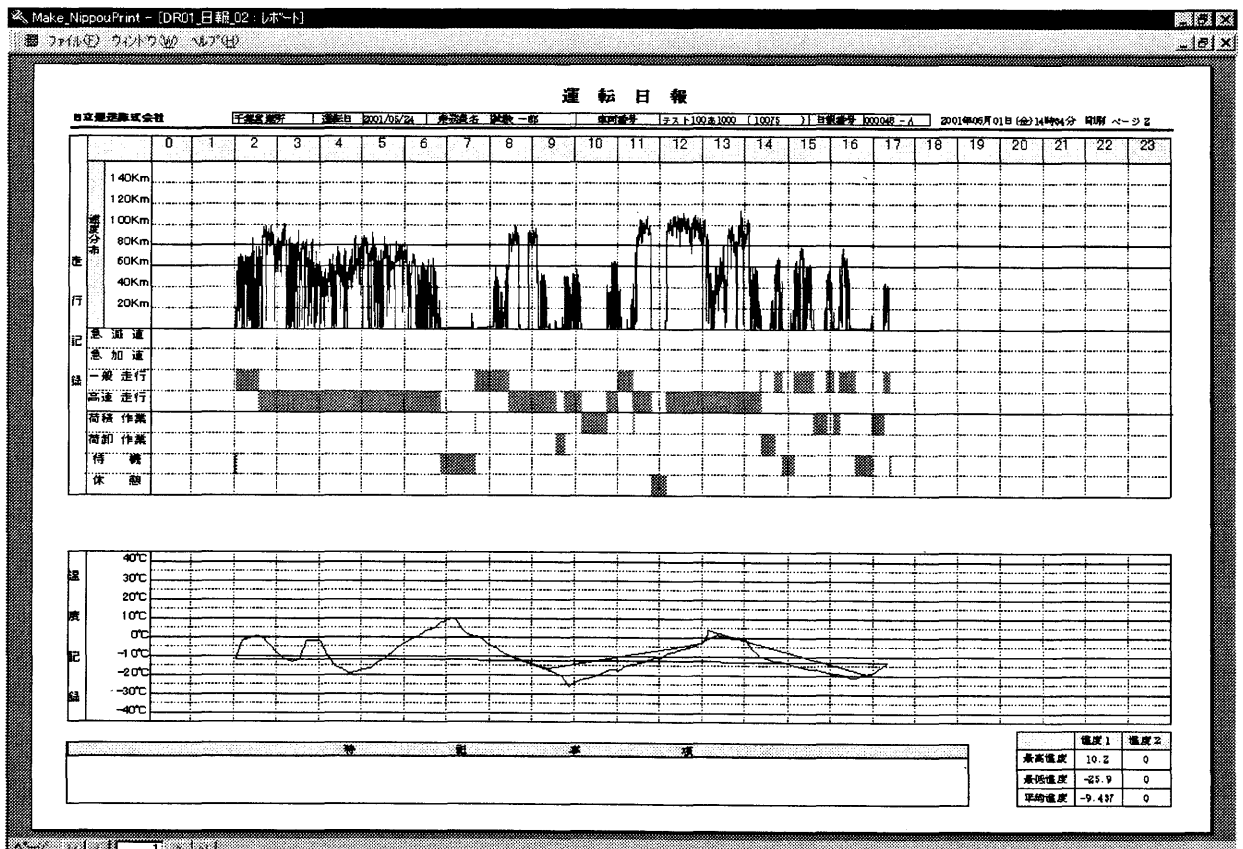
本問題を解決するためには、これらの日報作成に必要なデータの取得を簡易化・自動化し、更にそのデータを用いた演算を自動化することが必要である。本システムでは、ドライバが操作パネル上で該当する作業ボタンを押下することで、その作業内容、作業開始時刻、作業場所、その地点までの走行距離がイベントデータとしてイベントファイルへ保存する仕様とした。一方、車速センサから規定の間隔で車速データを取り込み、データ取得時刻と共に車速ファイルへ保存する仕様とした。これらイベントファイルと車速ファイルを元に自動集計・自動演算を行い、日報の運行明細票と速度グラフ表を自動で作成する方式とした。この2つのデータファイルを日報作成用ファイルとする。日報作成用ファイルは、一日の運行終了後事務所側パソコンへ転送する必要がある。ここでデータ転送する方式で2つの方式が考えられ、その比較検討が必要となった。

日報作成用ファイルの転送方式としては、①日報作成用ファイルを保存したメモリーカードを直接事務所へ持ちこむ方式、②車載端末から直接通信でデータ転送する方式である。①の方式は通信料金が発生しないメリットはあるが、ドライバがメモリーカードの抜き差しを行い、必ず事務所に立ち寄る必要があることや、他のカードを持ち出すなどのカードの入れ間違いが発生するなどのデメリットがあった。ドライバの省力化を第一優先に考え、②の通信方式を採用することとし、通信料金の低減策として送信データの低容量化を検討した。

通信料金の中で大きな割合を占めるものは、車速センサからのデータである。このデータの保存周期として、現状の車速センサの取得精度である「サンプリング周期」=1秒を採用した場合をまず試算した。前提条件を



(a) 運転日報(帳票)



(b) 運転日報(グラフ)

図 3.6 運転日報

- ・ 車速データの保存周期：1 秒
- ・ 走行時間 : 8 時間
- ・ 稼働日数 : 30 日/月
- ・ レコードサイズ : 16 バイト
- ・ 通信インフラとして、NTTドコモの packets 通信網「DoPa」の利用を想定し
 - パケット容量：128byte/パケット
 - パケット単価：0.15円/パケット
 - 通信速度 : 9,600 b p s

とすると、車速ファイルの通信容量は、15Mbyte/月（500Kbyte/日）となり、通信費用へ換算すると車両一台当り月額 18,000 円の費用となることが判明した。また、送信時間も 7 時間近く掛かる計算結果となった。この金額及び送信時間は、ユーザヒアリング結果と比較しても、実用性がないため、車速データの保存周期を長く設定する必要があると判断した。しかし、保存周期を長く設定することにより、日報によるドライバへの運転指導において重要なデータとなる速度超過回数(法定速度を超えて車両を走行させた件数、いわゆるスピード違反)の取得頻度が低下するといったデメリットの発生が判明した。そのため、車速センサの重要データである速度超過回数(スピード違反)の取得目的を維持しながらも、保存周期を 1 秒より長くできないかを検討することにした。取得回数が保存周期の拡大でどの程度低下するかを見極めるため、実証実験にてサンプルデータを取得し、速度超過回数を評価基準として評価した。

実証実験は、実際に車載端末を取り付けた車両を 10 回走行させ、「サンプリング周期」である 1 秒周期にて車速データを保存・取得し、このデータを用いてシミュレーションを実施した。検討手順を下記に示す。

- ① 1 秒周期での速度超過回数をカウント
- ② 車速データを α 秒(保存周期変更想定値)にて分割
- ③ α 秒周期内での代表速度として最高速度を取得
- ④ 速度超過回数をカウント(保存周期変更想定値 α での速度超過回数)

10 回の走行データに対し、保存周期 α 秒を 30 秒、60 秒(1 分)、180 秒(3 分)、300 秒(5 分)

と変化させてシミュレーションを行い、保存周期 1 秒に対する保存周期 α 秒の速度超過取得率を算出し評価した。表 3.1 に実験結果を示す。

この結果保存周期 60 秒を境にして、速度超過回数の取得率が大きく分かれ、60 秒以下であれば実用上問題のないことが判明した。この 60 秒保存周期にして通信料金を算出すると、そのデータ容量は 260Kbyte/月、車両 1 台当たり月額 300 円となり、ドライバ負荷軽減のために十分採算が取れる見込みを得た。

表 3.1 実験結果

α (秒)	1	30	60	180
速度超過回数の取得率 (%)	100	99	98	50

導入効果を算定するため、日報の各記入項目に対して従来と本機能での作成時間を測定した。トータルで平均 15 分かかっていた時間が平均 3 分となり、一人 1 日で 12 分間作業時間が削減された (80%減)。月の平均出勤日数は 20 日であることから、一月で 4 時間作業時間が短縮される。ドライバの平均時給は 1200 円であり一人一月 4,800 円の工数削減効果を検証できた。

3.4 配送進捗管理における目的地への到着自動認識機能の開発

3.4.1 目的地への到着自動認識機能

まず、配送進捗管理における目的地への到着自動認識機能の必要性について述べる。トラックが目的地に到着した後の荷積/荷卸作業のデータ登録はドライバが意識的に行うものであり、これまでのシステムでは自動的にそのタイミング、作業内容を認識することは不可能であった。データ登録はドライバの車載端末からの作業内容入力に委ねられるが、地域ルート配送(狭い区域内に点在する多数の地点への配送、コンビニ、新聞集配所など)では、入力回数が多くなり、押し忘れ、押し間違いが発生し、欠損データあるいは誤入力データによる日報の精度低下や配送進捗を正確に把握出来ない状況となっていた。そこでドライバに依存しないで、荷積/荷卸作業を自動で認識する方法を検討した。

一般的に、荷積/荷卸のデータ登録は、ドライバが意識的に実施するものであり、そのタイミング、作業内容を自動で認識することが不可能である。ここでは地域ルート配送を

前提にして考えることとし、到着から出発までの時間が短い(例えば新聞配送など)ことから「目的地到着時刻=荷積/荷卸作業完了時刻」と判断し、到着自動認識機能を開発した。荷積/荷卸のいずれの作業かは事前の配送ルートマスタから判断が可能である。

(1) 目的地への到着自動認識の基本的な考え方

次に目的地への到着認識の基本的な考え方を述べる。目的地(緯度X、経度Y)に対して認識半径R(目的地へ到着したことを認識する半径)を事前に設定し、車両の現在位置データ(緯度Xn, 経度Yn)から目的地までの相対距離

$$L = \sqrt{(X - X_n)^2 + (Y - Y_n)^2} \quad (3.1)$$

を算出し、これを認識半径Rと比較することで到着/未着を判断する方式である。その判定式を下記に示す。

$$1) L > R : \text{目的地未着} \quad (3.2)$$

$$2) L = R : \text{目的地到着} \quad (3.3)$$

$$3) L < R : \text{目的地圏内} \quad (3.4)$$

相対距離Lと認識半径Rを比較するに当たり、まず定周期(15分)で車載端末からセンタ側へ送信している現在位置データを使った場合を検討した(センタ認識方式)。しかし、地域ルート配送の場合、目的地到着から荷卸作業完了、出発まで数分の作業もありうることから、車両の現在位置データ送信時には既に認識半径を超えてしまい、自動で認識が不可能となる場合が発生する。この問題を解決するためには、車両の現在位置データの送信周期を1分以下の間隔とする必要があり、この場合の通信費用を試算した。前提条件を

- ・ 定周期送信間隔 : 1分
- ・ 走行時間 : 8時間
- ・ 稼働日数 : 30日/月
- ・ レコードサイズ : 64バイト

とすると、通信費用は車両一台当たり月額 1,080 円となり、顧客ヒアリング結果とを比較すると、本方式では実用的でなく採用することができないと判断した。

そこで、代替案として車載端末認識方式を検討した。この方式は、もともと車載端末では 1 秒周期で車両の現在位置データを GPS から取得していることに着目したものである。しかし、この方式は車載端末側に事前に目的地の緯度・経度、認識半径などのルートマスタ情報が必要であり、このマスタ情報のセンタ側からの送信費用を考慮する必要がある。これらを勘案して通信費用を試算すると、車両一台当たり月額 84 円となり、大幅に費用対効果が向上することから本方式を採用することとした。

(2) 目的地への到着自動認識の処理フロー

目的地到着自動認識機能の流れを図 3.7 に示す。まず管理センタの車載設定情報登録画面(図 3.8 参照)に車両 No.をキーにして、車両の各配送先(目的地)の位置として緯度経度、及び各緯度経度(配送先)からの規定半径(距離範囲)を任意に設定し、“設定情報”としてデータベースに登録しておく。そして図 3.9 のフローチャートに示すように、車載端末における設定情報の更新動作を行う。処理手順を以下に説明する。

【ステップ(1.1)】 車両の車載端末において、電源が投入されたり、操作ボタンを押す等の所定の操作が行れたかを判断する。

【ステップ(1.2)】 操作が行れると管理センタと通信を開始する。

【ステップ(1.3)】 管理センタのデータベースに登録されていた自己の設定情報のダウンロードを受ける。

【ステップ(1.4)】 ダウンロードした設定情報と既に内部のメモリに格納されている設定情報とで、どちらが最新版かの比較を行う。

【ステップ(1.5)】 ダウンロードした設定情報のほうが最新版であれば、メモリ中の設定情報をダウンロード分に置き換える。

【ステップ(1.6)】 両者とも最新版であれば、この置き換えを行わない。

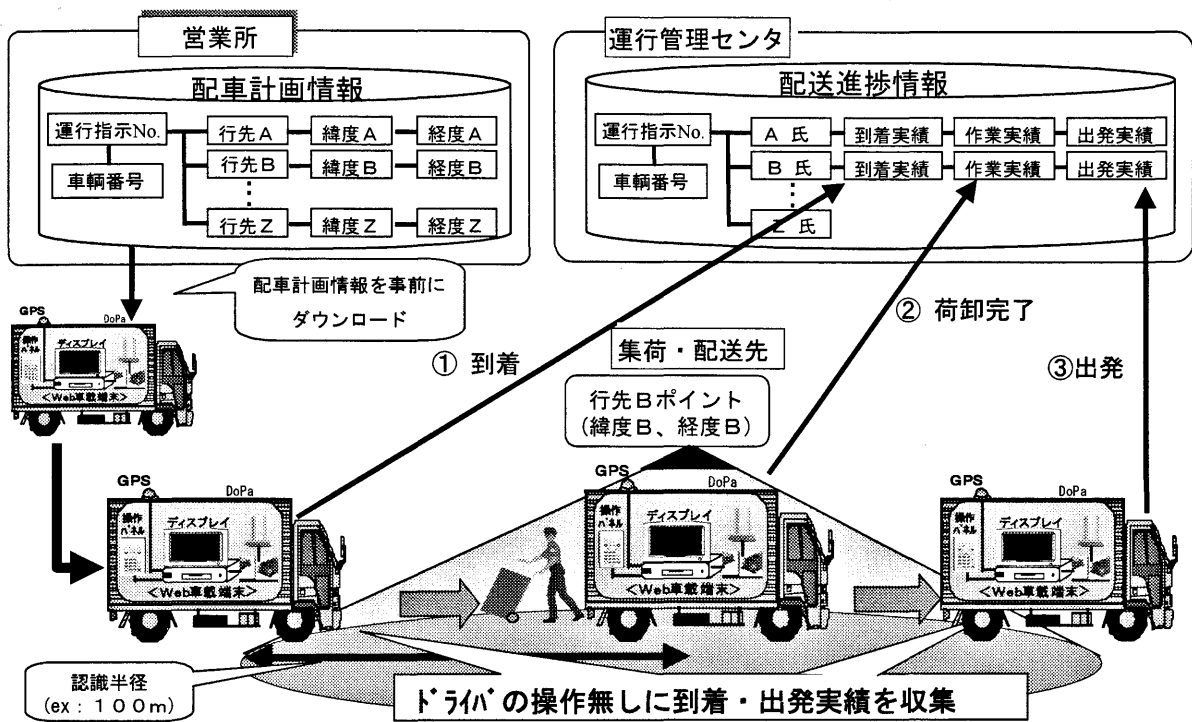


図 3.7 到着自動認識

車載設定情報登録画面

車両No:

車両No	配送先1	配送先2	配送先3	配送先4	配送先5	配送先6
配送先	緯度					
	経度					
規定半径1						
規定半径2						
規定半径3						
規定半径4						
規定半径5						

図 3.8 車載設定情報登録画面

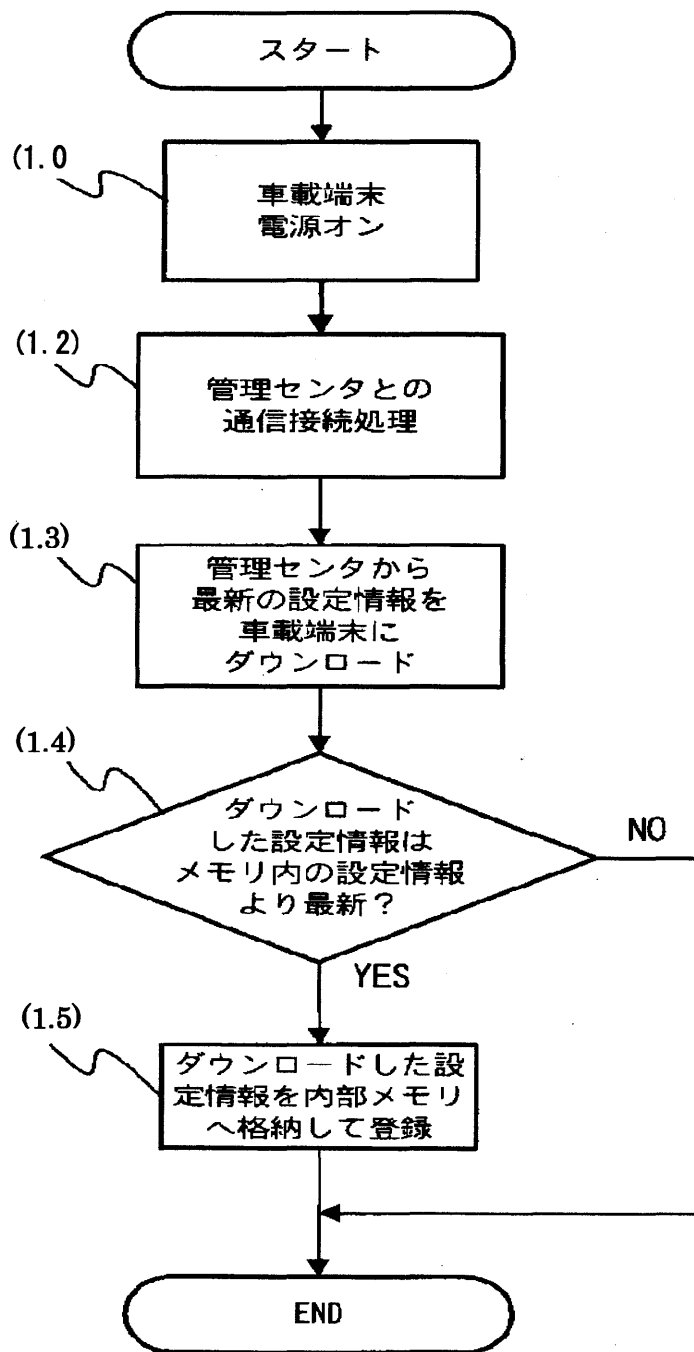


図 3.9 車載端末における設定情報の更新動作

次に、運行中の車載端末における車両位置の報知動作を図 3.10 のフローチャートを参照にして以下に説明する。

[ステップ(2.1)] GPS から得られる車両の現在位置(緯度、経度)と、メモリに格納された設定情報中の配送先(緯度、経度)との間の距離を算出する。

[ステップ(2.2)] 得られた算出距離が最大の規定半径(例えば 500m)以下か否かを判断する。

[ステップ(2.3)] 判断の結果、得られた算出距離が最大の規定半径より大きい場合には、最後に車両位置の報知をしてから、所定の時間(時間周期)が経過したか否かを算出する。

[ステップ(2.4)] もし、所定の時間が経過した場合には、現在の位置情報を報知し、[ステップ(2.1)]の処理に戻る。この位置情報としては、緯度・経度に加えて、車両 No.及び位置の計測日時や車速等の付帯情報をも含む。また、このとき、車両の到着が待たれる配送先からは遠距離であることから、管理センタとしては、緻密なリアルタイムの位置を頻繁に知る必要がない。このため、比較的長めの時間周期で位置を報知すれば良く、通信コストを不要に掛けないで済む。一方、[ステップ(2.3)]での所定の時間が経過していない場合には、何もせずに[ステップ(2.1)]の処理に戻る。このように、配送先から最大の規定半径外における所定の時間毎の位置報知方式を一定時間間隔位置検知モードと称する。

[ステップ(2.5)] [ステップ(2.2)]において得られた算出距離が最大の規定範囲以下の場合には、複数段階距離毎位置検知モードに移行する。すなわち、[ステップ(2.1)]で得られた算出距離が各規定半径距離以下か否かを比較する。この時、既に比較済みの規定半径距離については、この比較の処理から除外してムダな重複処理を避け、未比較の規定半径距離のうちで最大のものを比較基準とする。

[ステップ(2.6)] もし、算出距離が未比較の規定半径距離より小さい場合には、現在の位置情報等を報知する。距離が最小の規定範囲距離より小さい場合に、速度情報と組み合わせることによりチェックポイント(納入先等)に到着したことを自動的に判断し、登録することができる。この時、さらに拠点マスタ(位置情報、拠点属性情報、作業状態情報、拠点名等)を車載端末側で持つことにより、その場所での作業状態(配送センタであれば「荷積」、納入先であれば「荷卸」等)もあわせて自動で登録することができる。次に、その場所での作業が終了し、車両が移動したことを速度もしくは位置情報から認識した場合に、位置情報と合わせて荷積や荷卸等の作業状態及び作業時間を自動で検知することもできる。この作業状態及び作業時間は外部記憶媒体に記録しておき、必要に応じて報知を行う。

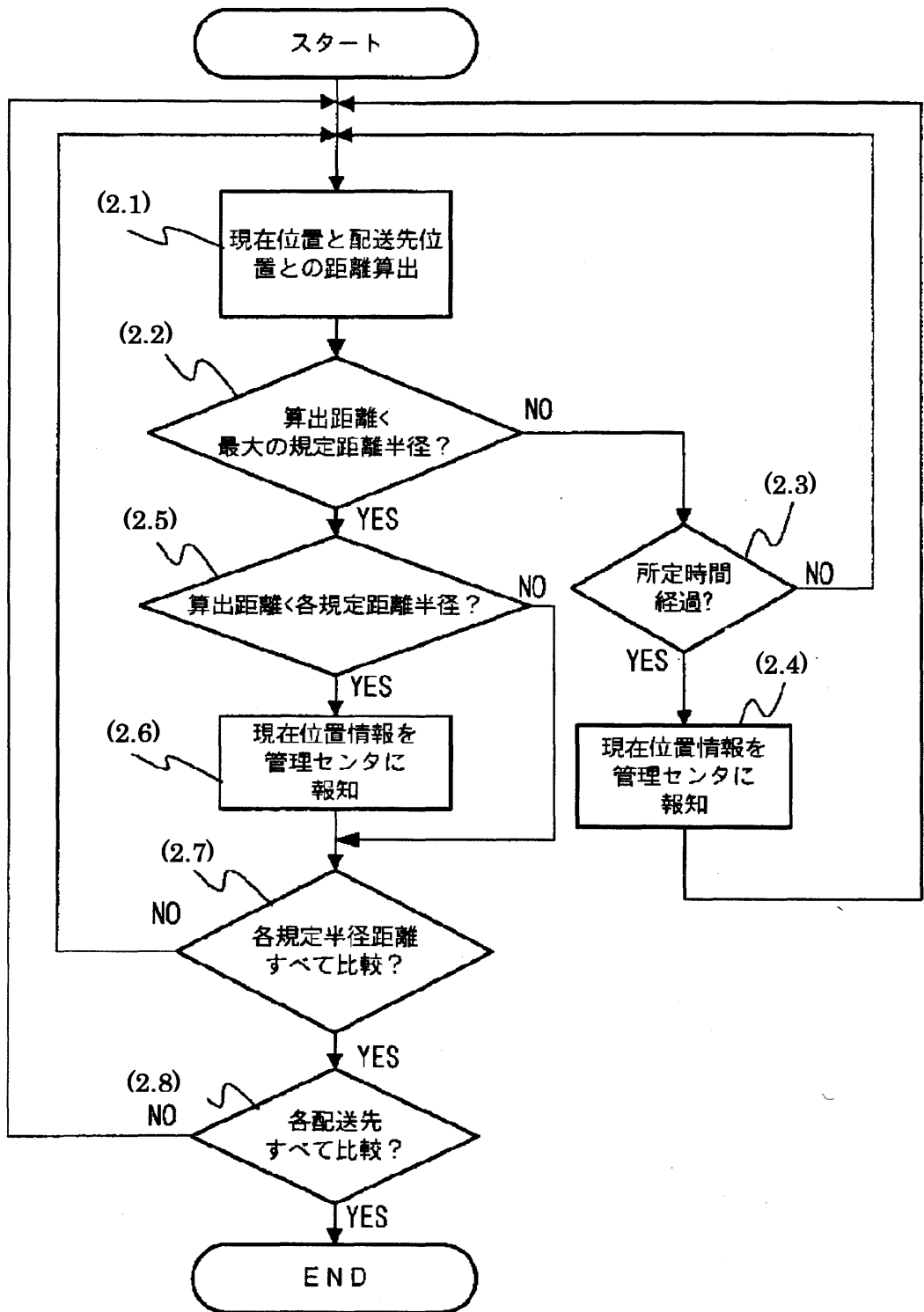


図 3.10 運行中の車載端末における車両位置の報知動作

また、到着や作業状態の登録時にドライバが車載端末の操作ボタンを押す場合に、その場所で登録しようとした内容と拠点マスタの情報を比較することで押し間違いのチェックが可能となる。このことにより、従来、車両のドライバが作成していた日報等の作業記録データを、登録するためのドライバの作業負担を増やすことなく、管理センタ側で自動的に集約し、これら運輸トラックの運送業者に配信することも可能となる。

[ステップ(2.7)] 設定されている各規定半径距離の全てについて、前述した[ステップ(2.5)]の比較処理が完了したか否かを判断する。[ステップ(2.5)]の各規定半径毎の比較処理において、算出距離が未比較の規定半径距離より大きい場合にも、この[ステップ(2.7)]での判断処理を実行する。

[ステップ(2.8)] [ステップ(2.7)]での判断処理の結果、未比較の規定半径距離が残っている場合には、[ステップ(2.1)]の処理に戻り、全ての規定半径距離について比較処理が完了した場合には、納入先(配送先)の全てについて、[ステップ(2.1)]から[ステップ(2.7)]までの処理が完了したか否かを判断し、納入先全ての処理が完了すれば、一定時間間隔位置報知モードへ移行、あるいは、車両位置の報知動作を終し(END)、未完了であれば、[ステップ(2.1)]の処理に戻る。

以上の動作は、移動端末内の ROM から読み出されたプログラムを実行することで実現される。但し、このプログラムを、例えば CD-ROM 等の可搬型記録媒体、あるいは、インターネット(無線有線を問わず)などのネットワークや衛星回線を通じた配信によって、このプログラムを外部からインストールしてもよい。

以上の方式により、車両の位置がチェックポイントから複数段階に分かれた所定の距離範囲内にあるか否かを判別し、車載端末は、いずれかの前記段階の距離範囲内に入ると自己の位置を管理センタに無線で報知する。したがって、一定時間毎に移動端末の位置を管理センタに報知する従来方式に較べ、通信コストを不要に掛けることなく、車両位置を適切なタイミングで管理センタに報知することができる。このことにより、例えば、輸送トラックが荷積現場の近くまで来ていることが事前に分かれば、荷積現場では、輸送トラックが到着するまでの間、荷物を積み込む準備ができる。そして、この準備が終わる丁度よいタイミングで、輸送トラックが到着し、荷積みを開始するといった無駄な停留時間のない効率的な荷積みや荷下ろしのスケジューリングが可能となる。

また、車両が、目的地点から所定の距離範囲外にある場合には、車載端末は、所定の時間周期毎に自己の位置を管理センタに無線で報知し、そして、その距離範囲内に入った場

合には、車両位置を管理センタに無線で報知する。このことにより、車両の到着が待たれる目的地点から遠距離の場合には、リアルタイムの緻密な位置を頻繁に知る必要がないため、比較的長めの時間周期で位置を報知すれば良く、通信コストを不要に掛けずに済む。そして、その距離範囲内に入った場合には、移動体の位置を管理センタに報知するので、到着が待たれる目的地点では、前述した輸送トラックの場合のように、無駄な停留時間のない効率的なスケジューリングが可能となる。

(3) 目的地への到着自動認識の具体的事例

本機能の適用例として新聞配達、コンビニ配送などの地域ルート配送への適用と路線便や貸切便などの長距離輸送への適用が考えられる。

ルート配送のように、あらかじめ配送場所、配送順番が決められている場合は、図 3.7 のようにドライバーが意識することなく目的地到着時間の管理ができ、更に配送進捗の結果から次の配送場所への到着時間の予測が可能となる。これにより、次の配送場所への到着予定、遅れ時間を事前連絡することが出来るようになる。

長距離輸送の場合は、図 3.11 のように貨物の受け入れ側に対して、どの程度まで車両が近づいているかの情報提供が可能となる。各車両について、各配送先毎に規定半径 1~5

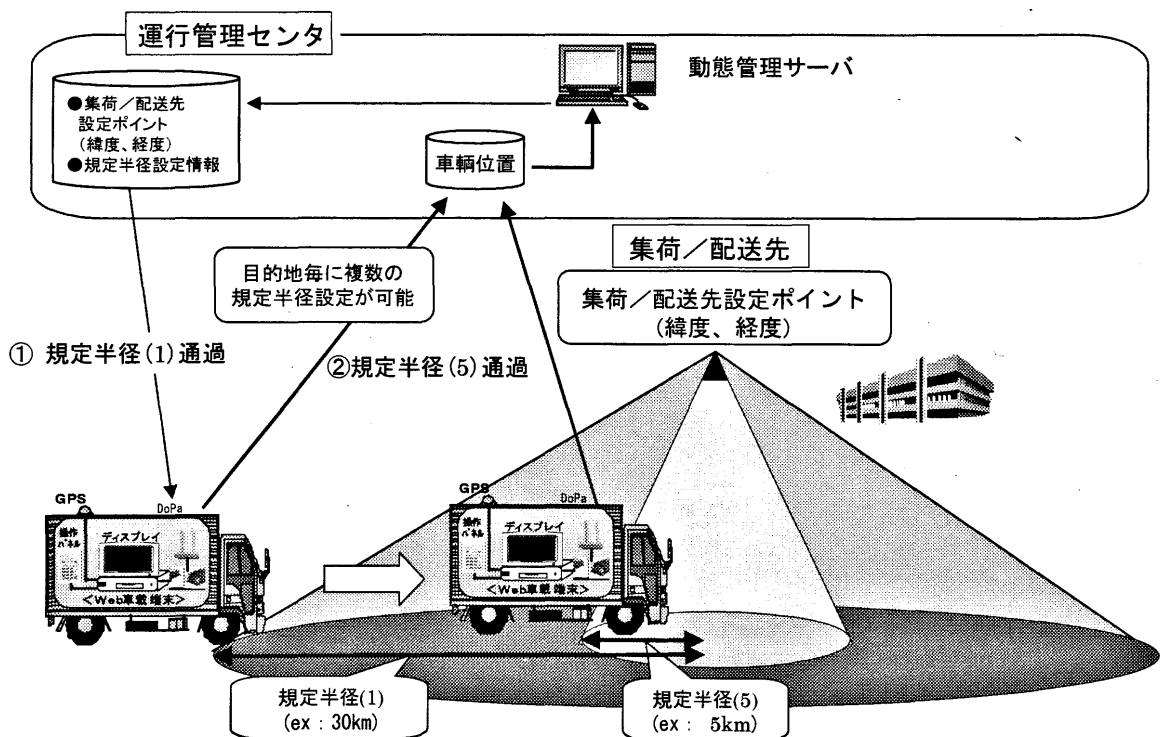


図 3.11 目的地への接近状況把握

を例えば 1km 刻みで最大 7000km 弱まで設定登録できる。例えば、規定半径 1 を 30km、規定半径 2 を 20km、規定半径 3 を 15km、規定半径 4 を 10km、及び規定半径 5 を 5km と設定する。このようにして、配送先に車両が近づいていく様子を 10km 刻みで監視できる。これにより、目的地への接近状況と到着時間予測が可能となり、貨物の荷揃えなどの事前作業をジャストインタイムに行うことができ、作業の効率化が図れる。

3.4.2 目的地への到着自動認識の機能評価

目的地への到着自動認識の機能評価を行うため、某新聞社の販売店に配送を実施している車両に車載端末を搭載し、販売店への到着を自動認識する実験を行った。前提条件を下記に示す。

- ・対象車両 : 3 車両
- ・配送地点 : 栃木地区、江東地区、船橋地区
- ・配送拠点数 : 1 車両につき 5~7 ヶ所

目的地への到着自動認識半径 R の設定値を 300m、100m、30m の 3 種類とし、自動認識率および到着自動認識時刻とドライバの報告時刻の差(T)を集計すると表 3.2 のようになった。表 3.2 より認識半径を 100m 以上にした場合、100%の確率で目的地の自動認識が可能であった。認識半径を 30m にした場合、95%と認識率が低下した。これは一般的に GPS の精度は 10~30m 程度と言われており、GPS の誤差が認識率の低下を招いたと考えられる。GPS の精度を考慮すると、自動認識半径は 50m 程度が適当であると考えられる。到着自動認識とドライバの作業報告時間を比較すると、認識半径の設定値に関係なく

表 3.2 到着自動認識率

到着自動認識半径	300m	100m	30m
目的地の自動認識率 (%)	100% (30/30)	100% (15/15)	95% (58/61)
到着自動認識と作業報告時間との差	4min 44sec	4min 12sec	4min 40sec

4分程度のズレが発生している。これは、ドライバの報告時刻は、荷卸し修了後に

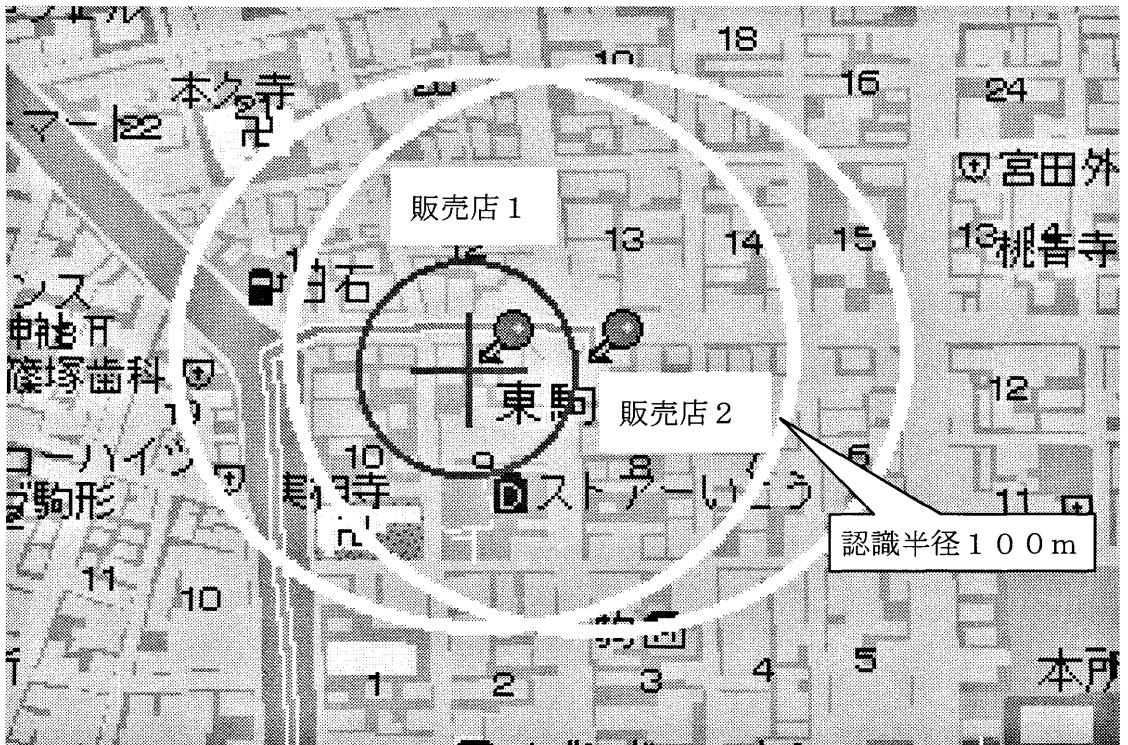


図 3.12 販売店の認識半径重複



図 3.13 配送ルートと通過順位の入れ替わり

報告書に記入しているためであり、これが到着自動認識とのズレの要因であると考えられる。

次に配送ルートと販売店位置のデータ分析を行った。前提条件を下記に示す。

- ・対象ルート：関東地区 70 ルート
- ・配送箇所：1 ルートにつき 2~18 ヶ所

図 3.12 に示すように、認識半径 R の重なり状況を調査した。その結果認識半径の重複率は 2.8% (12/423 販売店) となった。この比率は小さいので、販売店が近接しているために同時に到着自動認識した場合には、同時に店舗に到着と見なした店着管理を行うことで対応することが可能であると考えられる。

図 3.13 に示すように、販売店 1-2-3 と順番に配送する計画において、経路が販売店 3 の近くを通過するために認識半径内となり、販売店 3 に自動到着と認識してしまう場合が発生する。配送ルートの調査の結果、目的地通過順の入れ替わりの比率は 2.9% (2/70 ルート) となった。この場合には、販売店への到着自動認識を配送順番通りに行う方式とすることで、誤認識を防止できると考えられる。

自動認識半径、目的地の位置、ルートについて機能評価を実施したが、今後はデータ数を増やし、目的地が複雑に混み合っている例で実験を実施することにより、評価の信頼性を向上させていきたい。

3.5 トラック運行管理システムの導入効果

トラック運行管理システムの導入効果としては、以下の効果が考えられる。

①新規顧客の獲得につながる顧客サービスの向上

車両現在位置表示サービスを利用し、顧客からの急な注文に的確な車両を迅速に割り当てる事ができるようになる。顧客の到着時間の問い合わせに対し迅速な到着時間を解答可能になる。その結果、顧客の回答待ち時間が低減する。従来では管理者がドライバに携帯電話で位置確認するのに 5 分、紙の地図上で車両位置と目的地から到着時刻を予想するのに 5 分、合計 10 分を必要としていた。今回のシステムでは、パソコンの電子地図上で車両位

置を確認し、車両位置と目的地から到着時刻を予想するのに合計 1 分で可能であった。システムの導入により 9 分の問い合わせ対応時間の削減が見込める。

②通信料金の低減

車両現在位置表示サービスを利用し、事務所で車両の位置、状態を把握出来るので車両への問い合わせ回数が低減する。一日 10 回の問い合わせが 3 回となり、通信費が一回 30 円、勤務が一月 20 日の前提で、一人一月 4,200 円の削減効果が見込める。1 万台の車両がシステムを導入した場合には年間 5 億円の効果が見込める。

③労働時間の低減

日報自動作成サービスを利用しドライバが手書き、手計算で記入していた日報を自動で作成することが可能となる。一日平均 15 分かかっていた時間が平均 3 分となり、一人一月 4,800 円の工数削減効果を見込める。1 万台の車両がシステムを導入し場合には年間 5.7 億円の効果が見込める。日報作成データ自動送信機能により、日報提出のために事務所へ戻る必要がなくなる。

3.6 結語

トラック運行管理 ASP システムの開発による高度情報化をテーマに、開発コンセプト、トラック運行管理 ASP の専用車載端末、車両位置動態管理、車両運行実績管理、配送進捗管理における目的地への到着自動認識システムの開発について述べた。

車両運行実績管理システムでは、日報作成に必要なデータの取得を簡易化・自動化し、更に日報作成の計算を自動化した。日報作成用ファイルの事務所側パソコンへの転送は通信方式を採用した。この場合、速度超過回数を取得するために 1 秒周期で車速データを保存すると日報作成用ファイルの容量が大きくなり、通信費用が車両一台当たり月額 18,000 円と実用性で問題となった。このため実証実験を行い、60 秒周期でも速度超過回数の取得が可能であることを検証し、車両一台あたり月額 300 円となり実用化の見込みを得た。導入効果として、トータルで平均 15 分かかっていた時間が平均 3 分となり、一人当たり月額 4,800 円の工数削減効果を得るとともに、従来の紙ベースの管理に対して正確なデータ入力による管理精度の向上を可能にした。

目的地への到着自動認識システムでは、目的地に対して認識半径を事前に設定し、車両の現在位置データから目的地までの相対距離を算出し、これを認識半径と比較することで

到着/未着を判断する方式を開発した。センタで相対距離と認識半径を比較するには、車両の現在位置データを1分周期で送信する必要があり、この場合の通信費用は車両一台当たり月額1,080円と実用性で問題となった。このため、車載端末では1秒周期で車両の現在位置データをGPSから取得していることから、車載端末認識方式を検討した。この場合、車載端末側に事前に目的地の緯度・経度、認識半径などのルートマスタ情報を送信しておく必要があるが、通信費用は車両一台当たり月額84円となり実用化の見込みを得た。実証実験を行い、自動認識半径は50mでほとんどの場合認識可能であり、近接している目的地へ同時到着と認識する確率は2.8%であることを確認した。今後は実用化するために、データ数を増やし、目的地が複雑に混み合っている例で実験を実施し、評価の信頼性を向上させていきたい。

文 献

- 1) 中村浩三, 畑岡信夫, 本堂一郎, 堀井志朗 : 快適なドライブを提供する ITS 車載情報システム, 日立評論, Vol.82, No.9, pp.39-42, 2000
- 2) Yoshii, M., Hirai, T. : Trial for Commercial Vehicle Operations Management Using Information Technology, 8th ITS World Congress, Sydney, 2001
- 3) 日立製作所 : トラック運行管理 ASP[e-trasus], <http://www.e-trasus.com/>
- 4) 岸野清孝, 石田康, 権守直彦, 伏木匠 : トラック運行管理 ASP による業務向け交通情報サービスの開発, 第 23 回交通工学研究会発表論文報告集, pp.185-188, 2003
- 5) 岸野清孝, 石田康, 伏木匠, 権守直彦, 仲川弘之 : トラック運行管理 ASP による業務向け交通情報サービスの開発, 計測自動制御学会産業論文集, Vol.2, No.7, pp.49-58, 2003

第4章 プロブカーを利用した交通状況予測による交通情報提供の研究

4.1 概説

本研究で想定するプロブカーシステムのシステム構成図を図 4.1 に示す。プロブカーシステムはプロブカーとセンタシステムから構成される。プロブカーは GPS、携帯電話を接続した車載機を搭載し、GPS で計測した時刻、位置、速度等のプローブ情報をセンタシステムに送信する。センタシステムは、プロブカーから取得したプローブ情報を収集・蓄積する。センタシステムは、複数のプロブカーから収集されたプローブ情報を集約し、地図に割り付けるなどの編集を施して交通情報の形に変換して、ネットワークに配信する。上記のようにプロブカーは、GPS によって計測した車両の位置、速度を交通

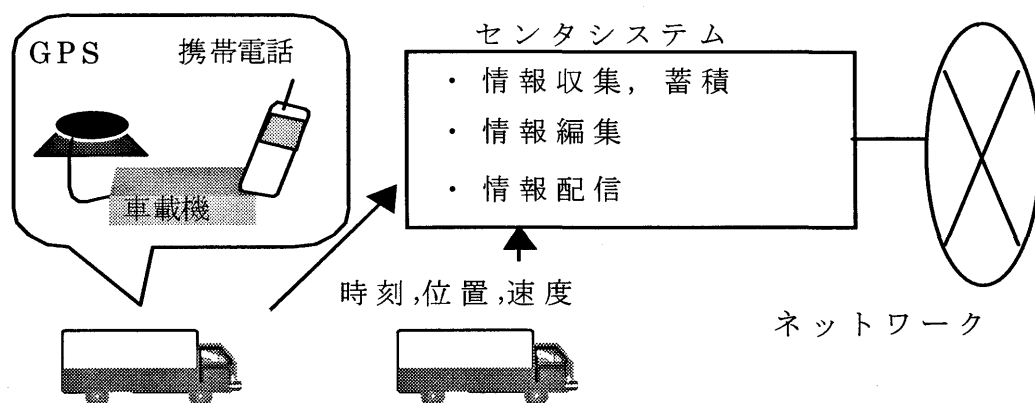


図 4.1 プロブカーシステム構成

情報源として利用するので、情報収集エリアが限定されないという特徴がある。しかし、プロブカーの普及率が低い状況下ではプロブカー非存在区間が発生し、十分なリアルタイム交通情報を収集できない。また情報収集の通信媒体として一般的に携帯電話が用いられるので、より多くのプローブ情報を収集するためには通信コストが大きくなるという問題点がある。本研究は、上記した問題点のうち、プロブカー普及率が低い状況下での交通情報収集方法に関する課題解決を目的とした。

4.2 節では、プロブカーの普及率とエリアカバー率との関係を明らかにし、プロブカーを用いてリアルタイム交通情報を取得するための普及率を試算する。

4.3 節では、プローブカーの普及率が不十分なためにリアルタイム交通情報が取得できないプローブカー非存在区間での交通状況を、過去と現在のプローブカーデータを用いた予測により補完する方式を検討する。

4.3 節では、プローブカーの実験システムを構築して実車走行実験を行い、交通状況予測方式の精度評価を行う。

4.2 プローブカー普及率の試算とエリアカバー率との関係

プローブカーを交通情報源として利用し、必要な普及率を試算した研究事例としては、道路交通センサデータを用いて走行速度調査に必要なプローブカー普及率を検討したもの¹⁾、プローブカー台数と普及率から交通情報提供のサービスエリアを試算したもの²⁾、普及率と情報精度との関係をシミュレートしたもの³⁾などが挙げられる。これらの研究事例によれば、統計的な交通情報収集に1%程度、リアルタイムの交通情報収集には5%程度のプローブカー普及率が必要である、としている。本研究では、プローブ情報をリアルタイム交通情報として活用する際のプローブカー普及率とエリアカバー率の関係を定式化し、具体的数値を用いて必要なプローブカー普及率を試算した⁴⁾⁵⁾。

リアルタイム交通情報取得にプローブ情報を利用する際のプローブカー存在区間の定義を、図4.2を用いて説明する。リアルタイム交通情報の有効期限を $T[h]$ 、車両の平均移動

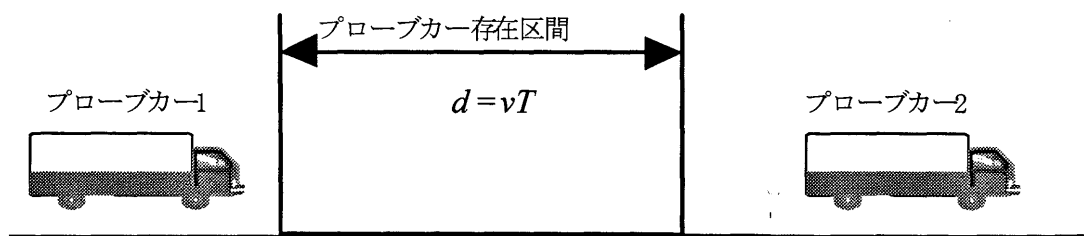


図 4.2 プローブカー存在区間の定義

速度(空間平均速度)を v [km/h]とすると、有効期限 $T[h]$ 内に1台のプローブカーが移動する平均移動距離 $d[km]$ は $d = vT$ で表される。この距離 $d[km]$ で表される区間をプローブカー存在区間と定義する。全道路区間に対して、このプローブカー存在区間の占める割合がエリアカバー率となる。本研究では簡単のために一車線道路を仮定して、全走行車両中に一様間隔でプローブカーが配置される理想的な状態において、全道路区間がプローブカー存在区間となるためのプローブカー普及率を求める。さらにプローブカーが一様間隔で

はなく、ある分布をもって配置される、より現実的な状態におけるエリアカバー率とプローブカー普及率の関係を明らかにする。

まず一様間隔でプローブカーが配置される理想的な状態において、全道路区間がプローブカー存在区間となるためのプローブカー普及率を求める。平均移動距離 $d[\text{km}]$ 中に存在する車両台数は、密度を $k[\text{台/km}]$ とすると $kd[\text{台}]$ となる。この $kd[\text{台}]$ のうち一台がプローブカーであれば、全道路区間にプローブカーが存在することになり、全車両に対するプローブカー普及率 $\gamma [1/\text{台}]$ は以下の式(4.1)で表される。

$$\gamma = \frac{1}{kd} = \frac{1}{kvT} = \frac{1}{QT} \quad (4.1)$$

ただし、式(1)において $Q[\text{台/h}]$ は交通量で、一様交通流の場合、 $Q = kv$ の関係が成立する。

次にプローブカーが一様間隔で配置されない、より現実的な状態を仮定する。プローブカー普及率 $\gamma [1/\text{台}]$ におけるプローブカーの車頭間隔 $x[\text{km}]$ の確率密度分布 $f(x) [1/\text{km}]$ は、一般に期待値 $1/k\gamma [\text{km}]$ の指数分布と仮定でき、式(4.2)で表せる。

$$f(x) = P(X = x) = k\gamma \exp(-k\gamma x) \quad (4.2)$$

このとき距離 $x[\text{km}]$ 以下の区間にプローブカーが存在する確率 $F(x)$ は、式(4.2)の確率分布をもつ累積分布関数となり式(4.3)で表される。

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_0^x f(X) dX = 1 - \exp(-k\gamma x) \quad (4.3)$$

ここである道路区間がプローブカー存在区間である確率は、平均移動距離 $d[\text{km}]$ 中にプローブカーが存在する確率となる。この存在確率を β で表すと、 β は式(4.3)により $\beta = F(d)$ で表される。これを γ について解くと以下の式(4.4)となる。

$$\gamma = \frac{1}{kd} [-\ln(1 - \beta)] = \frac{1}{QT} [-\ln(1 - \beta)] \quad (4.4)$$

式(4.1)と式(4.4)を比べると、プローブカーの配置が非一様な分布をとる分だけ、係数 $[-\ln(1 - \beta)]$ の分プローブカーが余計に必要であることを表している。また、 β はある道路区間がプローブカー存在区間である確率を表すが、空間的に考えるとプローブカーが走行をカバーしているエリアの割合、すなわちエリアカバー率と考えることができる。式(4.4)に関して、具体的数値を代入したものを表 4.1 に示す。表 4.1 は交通量 $Q=1200[\text{台/h}]$ (一般道における飽和に近い交通量)、リアルタイム交通情報の有効期限 $T=5[\text{min}]$ として算出した。表 4.1 より、エリアカバー率 63.2%~99.0%を実現するためには、プローブカー普及率が

1.00%~4.61%必要なことがわかる。エリアカバー率は、プローブカーの普及率と密接に関係しており、普及率が低い段階では、カバー率が低下してしまう。よって本研究では、

表 4.1 エリアカバー率とプローブカー普及率の関係

エリアカバー率 β	係数 $[-\ln(1-\beta)]$	プローブカー普及率 γ
63.2%	1.000	1.00%
80.0%	1.609	1.61%
90.0%	2.303	2.30%
95.0%	2.996	3.00%
99.0%	4.605	4.61%

プローブカー前方の交通状況を予測することで、プローブカー非存在区間の交通状況を補完し、プローブカー普及率を変えずにエリアカバー率を増加させることを目的とした。具体的な交通状況予測によるエリアカバー率増加の目標値は、表 4.1 の数値を参考にして、プローブカー普及率 1%で 5%相当のエリアカバー率(63.2%→99.0%)を実現する、カバー率約 2 倍増とした。

4.3 プローブカー未走行区間における交通状況予測方式の開発

本研究における交通状況予測方式では、過去に蓄積したプローブカーの走行軌跡と現在のプローブカーの走行軌跡を対比することにより、現在プローブカーが走行する区間の前

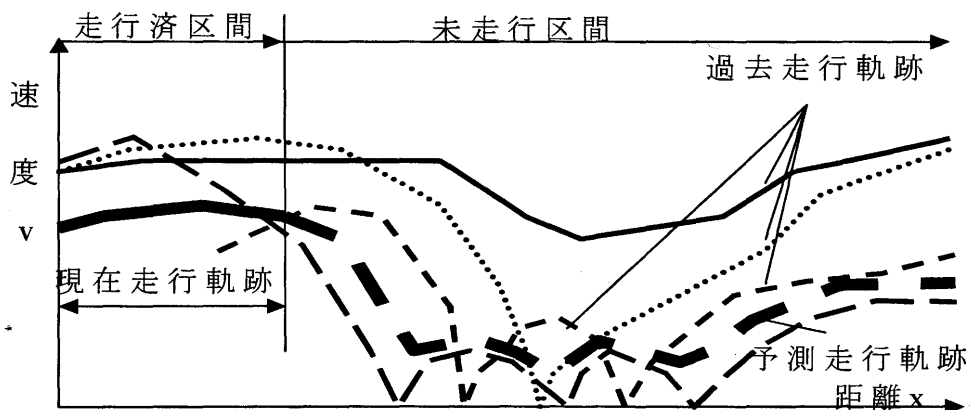


図 4.3 交通状況予測方式

方区間の交通状況を予測する⁶⁾。図 4.3 に交通状況予測方式のイメージ図を示す。図 4.3 は、横軸に地点の距離、縦軸に各地点における車両の速度をとったときの過去、現在、予測のプローブカーの走行軌跡を表している。現在走行軌跡は現在時刻までに取得されたプローブカーの走行軌跡で、前方の区間(図 4.3 の未走行区間)は未走行であるとする。一方、過去の走行軌跡群は、前方区間も含めて走行済みで、その走行速度は既知であるとする。このとき、現在走行軌跡と過去走行軌跡群とを対比することで、前方未走行区間の予測走行軌跡を求めて交通状況の予測値とする。

具体的な予測走行軌跡の算出方法を図 4.4 のフローチャートを用いて説明する。

(1) プローブ情報のマップマッチング

ベクトル地図データを用いて、収集したプローブ情報を道路リンクにマップマッチングし、プローブ情報を地図上に割り付ける。

(2) 現在・過去走行軌跡の抽出

指定した区間を構成するリンク上のプローブ情報を取り出して現在及び過去走行軌跡を抽出し、区間の各位置 x における現在走行軌跡の速度 $V(x)$ 及び過去走行軌跡の速度 $V_i(x)$ を求める。ここで i は過去走行軌跡の序数を表す。

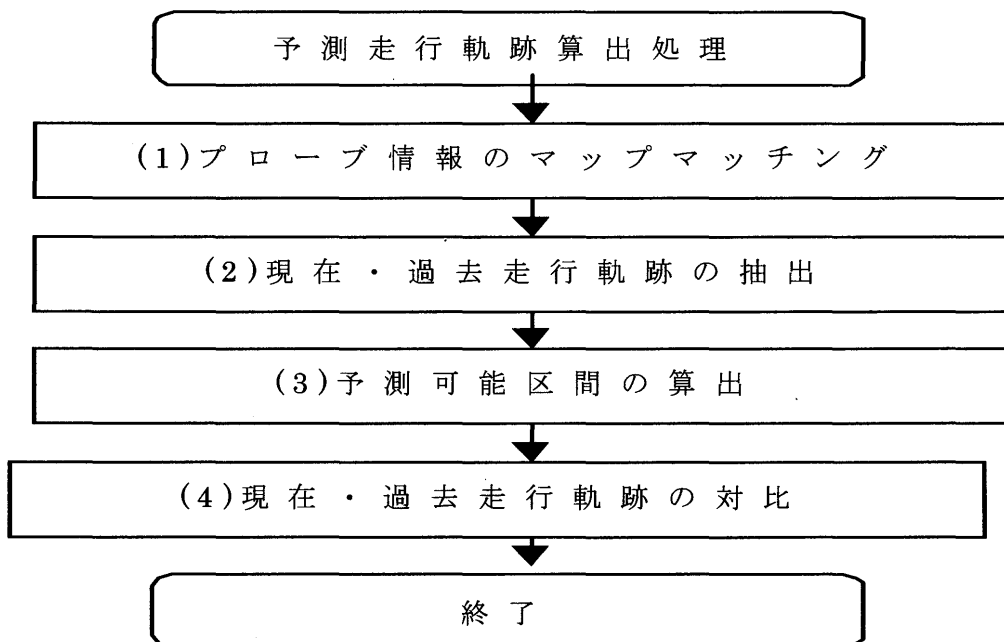


図 4.4 予測走行軌跡算出フローチャート

(3) 予測可能区間の算出

本研究の予測方式は、「今日はいつもに比べて『かなり』混んでいるので、この先の区間

も同様に『かなり』混んでいるに違いない」という仮定に基づいた方式である。この仮定が成立するために、ある区間が予測可能となるには、過去の統計でも区間内での速度変化の相関性が高い必要がある。よって過去走行軌跡群内での速度の相対的な順位を求めて、この順位変化の相関性を分析し、相関性が大きい区間を予測可能区間とした。具体的には、相関性の評価値として隣接順位差変動値 $J(x)$ を定義し、以下の式(4.5)で表した。

$$J(x) = \frac{1}{n(x)} \sum_{i=1}^{n(x)} \{(R_i(x) - R_i(x - \Delta x)) / n(x)\}^2 \quad (4.5)$$

$R_i(x)$ は位置 x における過去走行軌跡 i の速度の順位、 $n(x)$ は位置 x における過去走行軌跡の合計数、 Δx は隣接位置間の距離である。隣接順位差変動値 $J(x)$ が大きければ位置 x 前後での速度順位変化が大きくなり、位置 x 前後での速度相関性が低いことを表す。図 4.5 は、上段が実走行データにおける過去走行軌跡の位置に対する速度変化を表し、下段が各位置における隣接順位差変動値を表したものである。隣接位置間の距離は $\Delta x = 10$ [m] とした。図 4.5 下段の○で囲んだ部分で隣接順位差変動値が大きくなっているが、これらの位置における速度変動を図 4.5 上段で観察すると、各走行軌跡間で速度変化の線の交差が大きくな

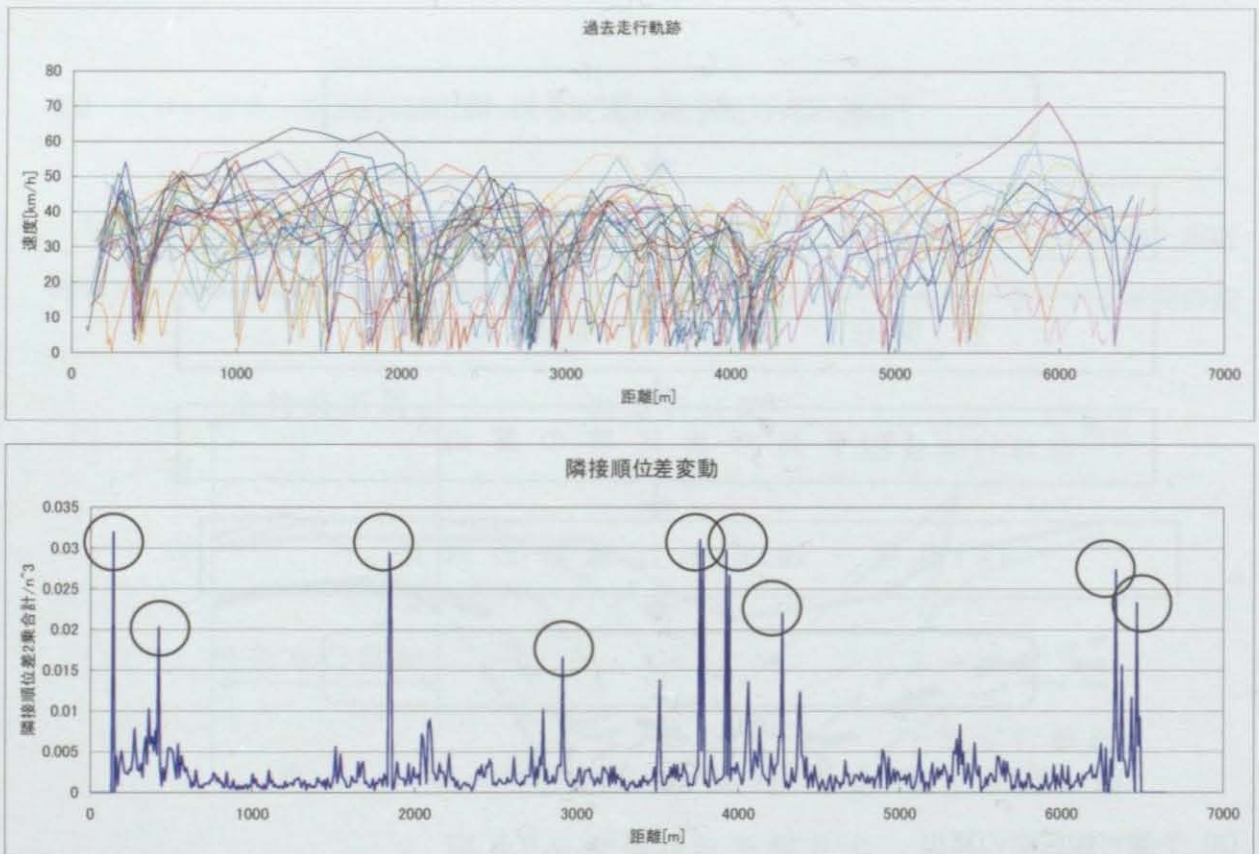


図 4.5 過去走行軌跡と隣接順位差変動

っている。一方、隣接順位差変動値が小さくなっている位置について観察すると、各走行軌跡間で速度変化の線の交差が少なく、層状になっていることがわかる。よって速度変化が層状になっている区間内部では速度の順位変化は少なく、区間内部上流側の速度の順位から区間内部下流側の速度が予測可能となる。すなわち順位差変動値の小さい区間が予測可能区間となる。

(4) 現在・過去走行軌跡の対比

(3)で算出した予測可能区間内部において、現在走行軌跡と、過去走行軌跡とを対比して予測走行軌跡を算出する。具体的には、現在走行軌跡が存在する区間中での各位置 x における過去走行軌跡群の速度 $V_i(x)$ に対する現在走行軌跡の速度 $V(x)$ の相対的な順位 $R(x)$ を求め、この順位を走行済み区間内で平均して現在走行軌跡の平均順位 $\overline{R(x)}$ を求める。平均順位 $\overline{R(x)}$ に相当する速度を、前方未走行区間各位置における過去走行軌跡群から取り出し、予測走行軌跡の速度 $V_p(x)$ とする。平均順位 $\overline{R(x)}$ が非整数となった場合には、平均順位上下の過去走行軌跡の速度を線形補間して速度 $V_p(x)$ を算出する。よって本方式では、過去走行軌跡群の最大値、最小値の範囲内で予測走行軌跡が算出される内挿的な予測方式となっている。

4.4 プローブカーによる実車走行実験

実車走行実験によって得られたプローブ情報を用いて、前節に示した交通状況予測方式を評価した結果を以下に示す。



図 4.6 実験用車載端末

実験には図 4.6 に示す実験用車載端末を用いた。図 4.6 の GPS は 1 秒周期で時刻、位置、速度を計測し、計測したデータは実験用車載端末でファイルにロギングした。ロギングしたデータはプローブ情報として PC に取り込み、前節に示した交通情報予測方式によって予測走行軌跡を算出した。図 4.7 はプローブ情報をもとにマップマッチングにより経路の



図 4.7 プローブ情報による地図上の速度表示例

表 4.2 実車走行実験区間の諸元

場所	国道 6 号線 上り方向 (日立市内)
区間	諏訪五差路 → 大沼 (約 4.5 km)
走行期間	1999.12.15 ~ 2000.11.30
走行回数	34 回 (7:30 ~ 10:00 の時間帯)

表 4.3 予測区間定義

	参照区間	予測区間
区間 1 (420m ~ 1840m)	580m	840m
区間 2 (1450m ~ 2910m)	550m	510m

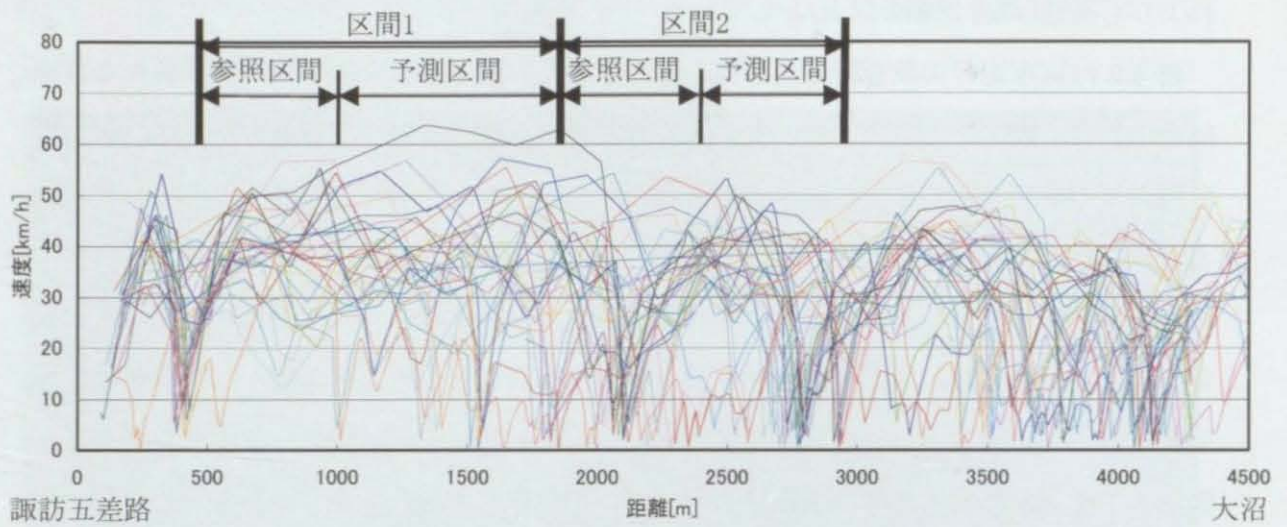
速度を求め、地図上に速度表示した例である。

図 4.7 における道路上の色は速度を表し、赤や黄色が低速(時速 30km 未満)、緑や青がそれよりも高速(時速 30km 以上)としている。

表 4.2 は実車走行実験を行った区間の諸元である。図 4.8 は実験で取得した実車走行軌跡を示したものである。図 4.8 の横軸は国道 6 号線諏訪五差路を起点とした距離、縦軸は各地点での車両の速度を表し、一つの系列が一走行に対応している。図 4.8 からわかるように、走行実験を行った区間は、朝の通勤時間帯であっても順調に流れるときもあれば、渋滞が発生することもある区間で、実験では様々な交通状況における走行軌跡データを収集することができた。また予測走行軌跡を算出する区間として、前節で示した隣接順位差変動値が小さい区間を一つの区間として、図 4.8、表 4.3 に示した区間 1、区間 2 を定めた。

図 4.8、表 4.3 の参照区間は現在プローブカーが存在する区間であり、実車走行軌跡から現在走行軌跡を取り出して過去走行軌跡群と対比する区間を表し、予測区間はプローブカー未走行区間として予測走行軌跡を求める区間を表す。本研究ではエリアカバー率 2 倍増を目標値に設定しているため、参照区間と予測区間をほぼ等しくとった。なお、予測に際しては、予測を算出する軌跡の予測区間での走行軌跡を除いた他の走行軌跡を、過去、未来含めて全て過去走行軌跡(34 走行のうち自分自身を除いた 33 走行分)として扱い、走行軌跡毎に予測走行軌跡を算出した。

図 4.9 に予測走行軌跡の算出結果を、表 4.4 に評価結果を示す。図 4.8 および図 4.9 で示した区間 2 の走行軌跡毎の速度を濃淡表示し、実測値と予測値とを比較したものである。各列がそれぞれ走行軌跡、縦方向が距離を表し、左側が実測値の走行軌跡、右側が予測値の走行軌跡である。実測値、予測値の同一走行 No.は同一の走行を表し、左右で対応している。各マス(10m×1 走行)の色は速度を表し、色なしの個所が時速 30km 以上、黄色が時速 15km から 30km、赤色が時速 0km から 15km を表しており、それぞれ順調、混雑、渋滞と定義する。図 4.9 の予測区間における実測値、予測値を比較すると、予測値は実測値に対して若干混雑が多めに出るものの、傾向は一致し良好な結果を示している。表 4.4 は、図 4.9 の例に示した順調、混雑、渋滞の区分を定量的に評価した結果である。表 4.4 上、中段二つの表は、区間 1、区間 2 それぞれの予測区間における渋滞区分の内訳を表したものであり、図 4.9 の一マスを一つの単位として、予測区間の全マス目に対する渋滞区分を百分率で表したものである。区間 2 を例に説明すると、区間 2 では、実測値の順調個所が全体の 60%であるのに対して、予測値でも順調とした個所が全体の 31%、混雑とし



区間

図 4.8 実車走行軌跡と予測走行軌跡算出

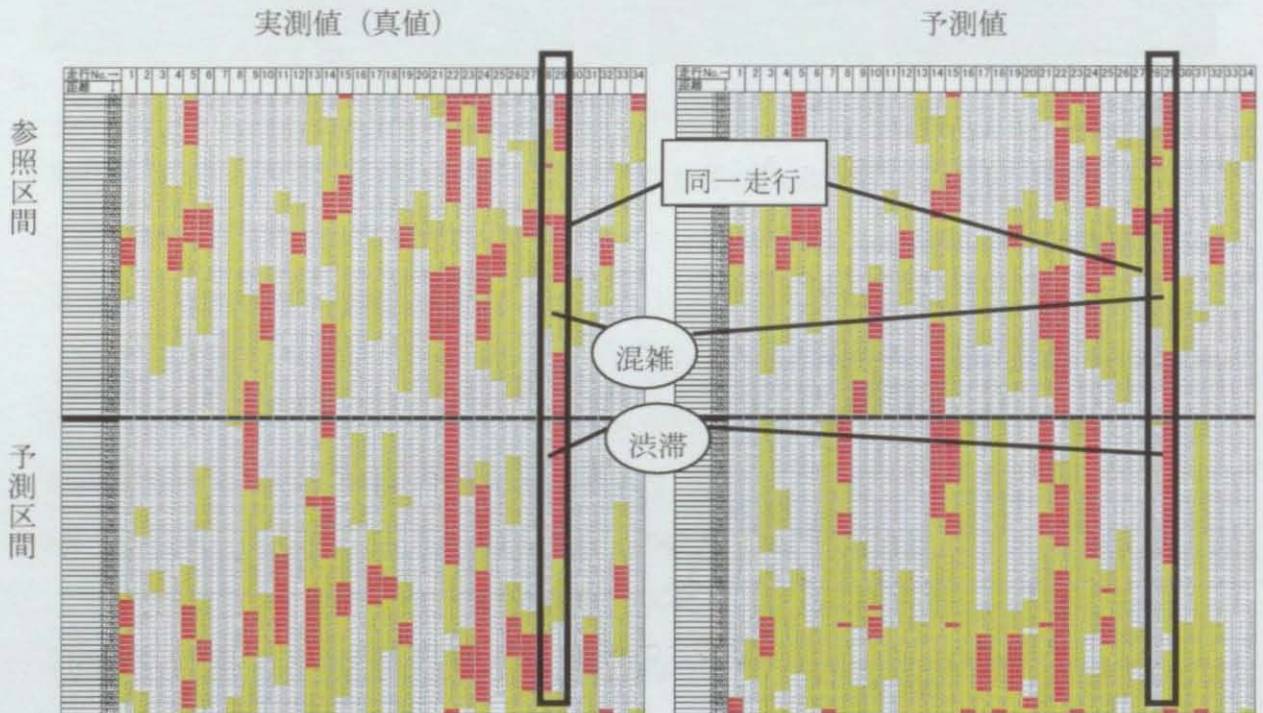


図 4.9 予測走行軌跡の算出結果(区間 2 の例)

個所が全体の 25%、渋滞とした個所が全体の 4%であることを示している。表 4.4 下段の表は、区間 1、区間 2、及び合計での正答率を示している。ここで正答率とは、実測・予測ともに順調とした個所と、実測・予測ともにどちらかで混雑・渋滞とした個所の全体に対する比率を求めた結果(表 4.4 上、中段の太線囲み部分の合計)であり、予測が概ね正し

表 4.4 評価結果

		実測		
		順調	混雑	渋滞
予測	順調	53%	14%	4%
	混雑	18%	3%	2%
	渋滞	4%	2%	0.2%
合計		76%	19%	6%

		実測		
		順調	混雑	渋滞
予測	順調	31%	8%	5%
	混雑	25%	14%	6%
	渋滞	4%	4%	3%
合計		60%	25%	14%

	区間 1	区間 2	合計
正答率 (= (順調一致 + 混雑 or 渋滞一致) / 全体)	60%	57%	59%

混雑 : 15 ~ 30 km/h 渋滞 : 0 ~ 15 km/h

かったことを示す比率である。混雑・渋滞を一まとめにして正答率を出した理由は、実測値で渋滞となった個所が全体からみて小さく(区間 2 でも全体の 14%に過ぎない)、評価に十分な量のデータが得られていないと判断したためである。表 4.4 の結果を考察すると、正答率に関しては、両区間で大きな違いはなく、約 60%の正答率を示していることがわかる。次に区間ごとの正答率を考察する。区間 1 では、順調個所 76%のうち予測順調個所約 53%となり、順調個所に限定すると約 70% (=53/76)の正答率となっている。一方区間 2 では、混雑・渋滞個所 39% (= 25% +14%)のうち予測混雑・渋滞個所 27% (= 14% +6% +4% +3%)となり、混雑・渋滞個所に限定すると約 70%(=27/39)の正答率となっている。これは本交通状況予測方式が、区間の交通状況に応じて予測精度が変化し、順調個所が多い区間では順調時の予測が一致しやすく、混雑・渋滞の発生が多い個所では混雑・渋滞時の予測が一致しやすい傾向にあるといえる。ただし区間 2 を例にとると、混雑に限定した正答率

は 56%(=14/25)、渋滞に限定した正答率は 21%(=3/14)となり必ずしも良い一致とはいえない。これは全体に対する渋滞の比率が小さくなっていることが原因であり、正答率を向上させるためには、予測対象を時間帯ごとに分類し、朝のピーク時間帯に限定するなどして渋滞の比率を高める必要があると考える。

以上の評価結果より、本研究における交通状況予測方式では、エリアカバー率を 2 倍としたときに約 70%の正答率を達成できることがわかった。本方式では信号停止の場合の速度も渋滞として扱われているので、この停止を排除することによって、さらなる精度向上が可能かと思われる。具体的には、SS・ST(ショートストップ、ショートトリップ)の概念⁷⁾⁸⁾⁹⁾を導入することにより、停止間あるいは一定時間間隔の平均速度を収集し、この平均速度の履歴を本予測方式に適応することで、停止による速度変動が排除されて安定した予測結果を得ることができるとと思われる。また、過去の速度履歴を土日や祝日といった日種による分類、あるいは工事発生などの事象による分類などして予測に活用することで精度向上が可能と思われるが、こうした分類は完全自動化が困難であり、システム構築するためには今後の大きな課題である。

4.5 結語

本研究の研究結果を以下に列挙する。

- ①プローブカーの普及率とエリアカバー率との関係を定式化した。また、関係式を使ってプローブカーを用いてリアルタイム交通情報を取得するための普及率を試算し、エリアカバー率 99.0%のリアルタイム交通情報を取得するためには、約 5%のプローブカー普及率が必要なことがわかった。
- ②過去に蓄積した走行軌跡と現在の走行軌跡とを対比して、リアルタイム交通情報が取得できないプローブカー非存在区間での交通状況を、予測により補完する交通状況予測方式を検討した。さらにプローブカーの実験システムを構築して実車走行実験を行い、交通状況予測方式の精度評価を行った結果、約 70%の正答率を実現した。

今後はさらなるデータ収集、アルゴリズム改良を進めて、予測精度の向上を図る予定である。

文 献

- 1) 石田東生, 三浦裕志, 岡本直久, 古屋秀樹 : 高度交通情報機器を用いた走行速度調査における抽出率の検討, 土木計画学研究, 講演集, No.23(1), pp.671-673, 2000
- 2) Park, C. G., Oh, J., Kim, S. : Determination of Optimal Number of Probe Vehicles for Real-time Traffic Flow Information, Proc. 5th World Congress on Intelligent Transport Systems, pp.3-13, Seoul, Korea, 1998
- 3) Bolla, R., Davoli, F., Giordano, A. : Estimating Road Traffic Parameters from Mobile Communications, Proc. 7th World Congress on Intelligent Transport Systems, Turin, Italy, 2000.
- 4) 伏木 匠, 岸野清孝 : プロブカーを利用した交通情報予測方式の検討, 電子情報通信学会, 信学技法, Vol.101, No.675, pp.9-14, 2002
- 5) 伏木 匠, 岸野清孝 : プロブカーを利用した交通情報予測方式の検討, 情報処理学会研究報告, Vol.2002, No.21, pp.9~14, 2002
- 6) 伏木 匠, 岸野清孝, 山根憲一郎, 横田孝義, 権守直彦, 石田 康, 伊藤彰朗 : プロブカーを利用した交通情報予測方式の検討, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, PP.3804-3808, 2002
- 7) 和田光示 : プロブ情報システム、平成 13 年度実証実験, 車と情報, Vol.26, pp.7-8, 2002
- 8) 堀口良太 : 走行イベント単位でのプロブデータ記録方式の効用, 第 26 回土木計画学研究発表会講演集, 2002
- 9) 小根山裕之, 大口敬, 赤羽弘和, 桑原雅夫 : 直線近似された車両軌跡からの排出量推計手法, 第 26 回土木計画学研究発表会講演集, 2002

第5章 トラック運行管理のプローブ情報を利用した目的地への 所要時間予測による交通情報提供の研究

5.1 概説

従来の交通情報システムとしては、VICS があるが、提供される交通情報が現時点の情報であり先々の予測情報ではないことや、車両感知器の設置が主要道路であるため旅行時間や渋滞度の提供率が平成 12 年度現在 30%と低いため、最適な経路誘導や個別目的地への所要時間予測には不十分である。一方、プローブカーシステムは車両自身を移動するセンサとして利用するシステムで、特に交通情報を収集する手段として注目を集めている。このためトラックやタクシーなどの商用車を交通情報収集のプローブカーとして捉えることは¹⁾²⁾、交通状況把握において非常に有効である³⁾⁴⁾。

そこで、トラック運行管理システムの位置データをプローブ情報として利用した個別の目的地への所要予測方式を検討した⁵⁾。 図 5.1 にトラック運行管理システムのシステム

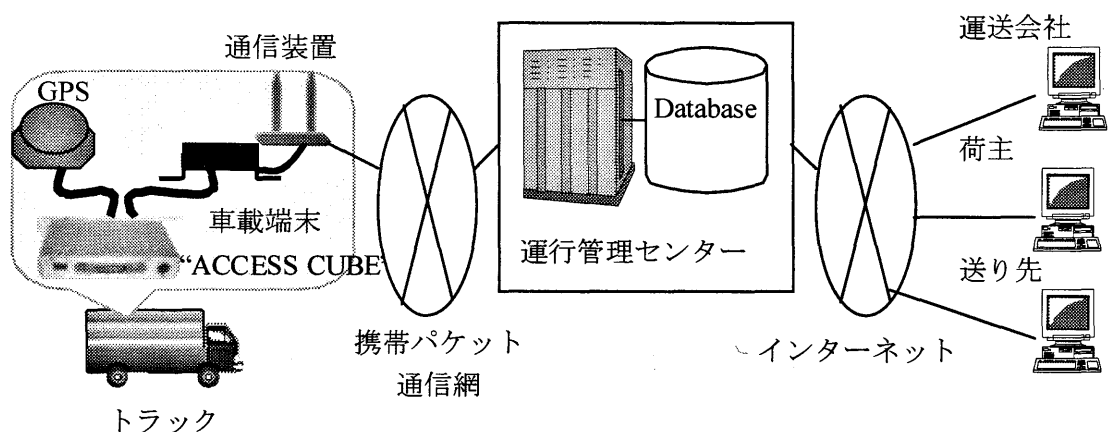


図 5.1 トラック運行管理システム

構成図を示す。トラックは、車載機、GPS、パケット携帯電話端末を搭載し、パケット携帯電話通信網を介して、運行管理センタに(本システムでは 15 分間隔で)位置、速度(ある地点の瞬間速度)、及びトラックの作業情報等をアップリンクする。運送業者、荷主、及び配送先では、インターネットを介してセンタに接続することで、トラックの位置、荷物の状況等を知ることができる。しかし、本システムで収集されるトラックの位置データは、

パケット通信のコストの関係上、運行管理の目的において必要最低限のアップリンク時間間隔(本システムでは 15 分)を設定している。このため交通状況把握の目的からみると、長すぎるアップリンク時間間隔となっており、走行経路を追跡することが困難になり交通情報として利用できないという課題がある。これを解決することにより目的地への所要時間予測の方式を検討する。

5.2 節では、トラック位置を交通情報として利用する手順について検討する。

5.3 節では、トラックが収集した位置データを地図上にマッチングし、走行経路を推定することにより、トラックの位置データから時間帯・道路毎の速度情報を算出する方式を検討する。

5.4 節では、プローブ情報から求めた速度情報を利用することにより、目的地への所要時間を予測する方式と、運行管理システムへのサービス適用を検討する。

5.2 トラック位置を交通情報として利用する手順

トラック運行管理では複数のトラックの位置データの過去の履歴をデータベースによって一元管理しており、この位置データをプローブ情報として利用することによって、トラックが走行した道路の交通状況を把握することを考えた。しかし、トラックの位置データを交通情報として利用するためには、トラックの位置データをリンク速度データに変換する必要がある。ここでは、主要道路間の交差点をノード、2 点のノード間の道路をリンクと言い、単一の道路リンクでの平均速度をリンク速度と言う。図 5.2 に、トラックの位置データを交通情報として利用するための手順を示す。まず、トラックの位置データをデー

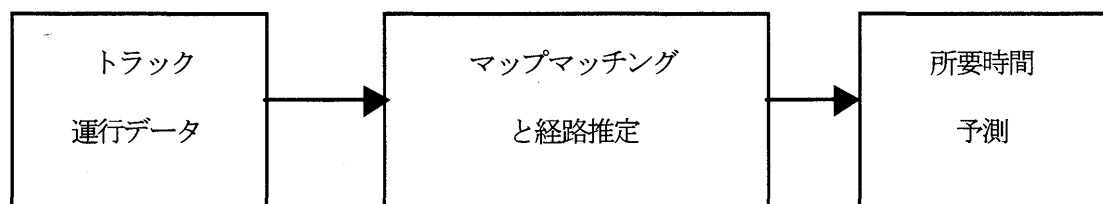


図5.2 トラック位置情報の交通情報への変換手順

タベースから読み出す。次に位置データを地図上にマッチングし、その走行経路を推定し、走行経路速度を算出する。ここでは、任意の 2 点間での走行経路の距離を経路の始終点間の通過時間で除した平均速度を走行経路速度と言う。最後に走行経路速度からリンク速度

を求め統計処理し、所要時間を予測する。以下に経路推定及び、所要時間予測の詳細及び結果を示す。

5.3 マップマッチングと経路推定によるリンク速度の算出

トラックの位置データは、パケット通信のコストの関係上、アップリンクする時間間隔(本システムでは 15 分)が長くなり、走行経路を追跡することが困難となる。図 5.3 の(a)は、センタにアップリンクされたトラックの位置データをプロットし、直線で結んだものである。直線の色は、直線距離を時間間隔で除した速度を表し、赤や黄色が低速(時速 30km 未満)、緑や青がそれよりも高速(時速 30km 以上)としている。図 5.3 の(a)からはどの道路が混雑しているかを判定することは困難である。よって本研究では、トラックの位置データを道路リンクにマップマッチングし、その走行経路を推定することにより、トラックの位置データをリンク速度データに変換する方法を開発した⁵⁾。図 5.3(b)は、この方法を適用した結果であり詳細説明は後述する。

5.3.1 マップマッチング方式

GPS によって取得したトラックの位置データ(緯度、経度)の精度は 10~30m といわれており、このままでは車両がどの道路を走行したのかわからず交通情報を生成することができない。そこで、誤差を含む位置データを地図データと照らし合わせて道路上の位置として推定するマップマッチング技術が必要になる。マップマッチングはカーナビゲーションでよく用いられる技術⁶⁾であり、1 秒単位で常に計測することができる場合は、車両の軌跡ベクトルを用い、これと道路ベクトルを用いてマップマッチングを行うことができる。

しかしながら、今回のように 15 分周期でしか位置情報が取得できない場合には軌跡ベクトルを利用できないため、1 点の位置データからマップマッチングを行う必要がある。この際、1 点の位置データから最も近い道路にマッチングする方法が考えられるが、元々の誤差があるため道路がある程度密集している場合には誤ってマッチングしてしまう可能性がある。そこで所定の許容誤差を設定し、その範囲に入るリンクのうち試行的上位 4 リンクを一旦マッチング候補位置として抽出しておき、後述する経路推定方式によって走行路を特定する方式を開発した。図 5.4 に示すように、A-B-C と連続移動した 3 つのプロ



(a) トラック位置データによる速度表示例



(b) 経路推定後の速度表示例

図 5.3 地図上の速度表示例

プローブカー情報位置に着目して、GPS による位置情報と地図データを比較して候補位置を抽出するまでのマップマッチング処理フロー(図 5.5 参照)について以下に説明する。

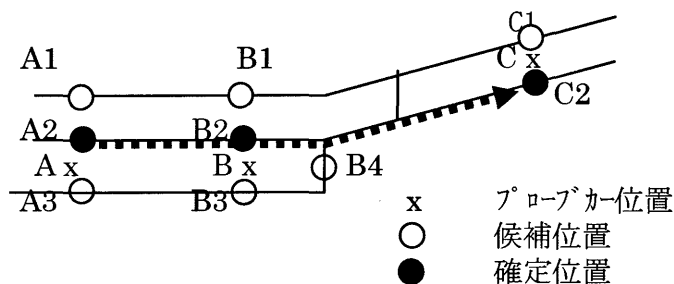


図 5.4 マップマッチングと経路推定の例

[ステップ(3.1)] まず、プローブカー情報に関するデータ(緯度、経度、時刻など)と地図データをメモリに格納する。

[ステップ(3.2)] そして、各位置データの緯度、経度データから対象となる 2 次メッシュコードを算出する。ここに、2 次メッシュコードとは、カーナビゲーションなどで共通に使われる地図データの区切り単位(約 10km 四方)であり、6 桁の数字で表される。

[ステップ(3.3)] 次に、該当 2 次メッシュコードに関する地図データ[DRM(Digital Road Map)及び VICS リンク]における補間点(A1)が位置データ(A)から所定範囲距離(本研究では 50m に設定)内に入っているか否かを判定する。

[ステップ(3.4)] 所定範囲内に入っていれば、すでに登録されている補間点の上位 4 位以内か否かを判定する。

[ステップ(3.5)] 上位 4 位以内であれば、該当補間点(A1)を候補位置として登録する。

[ステップ(3.6)] 該当 2 次メッシュ内における全ての補間点に関して[ステップ(3.3)]～[ステップ(3.5)]を繰り返し(A1)(A2)(A3)を抽出する。

以上のようにして、一つのプローブカー情報位置データの候補位置を最大 4 点まで抽出することができる。

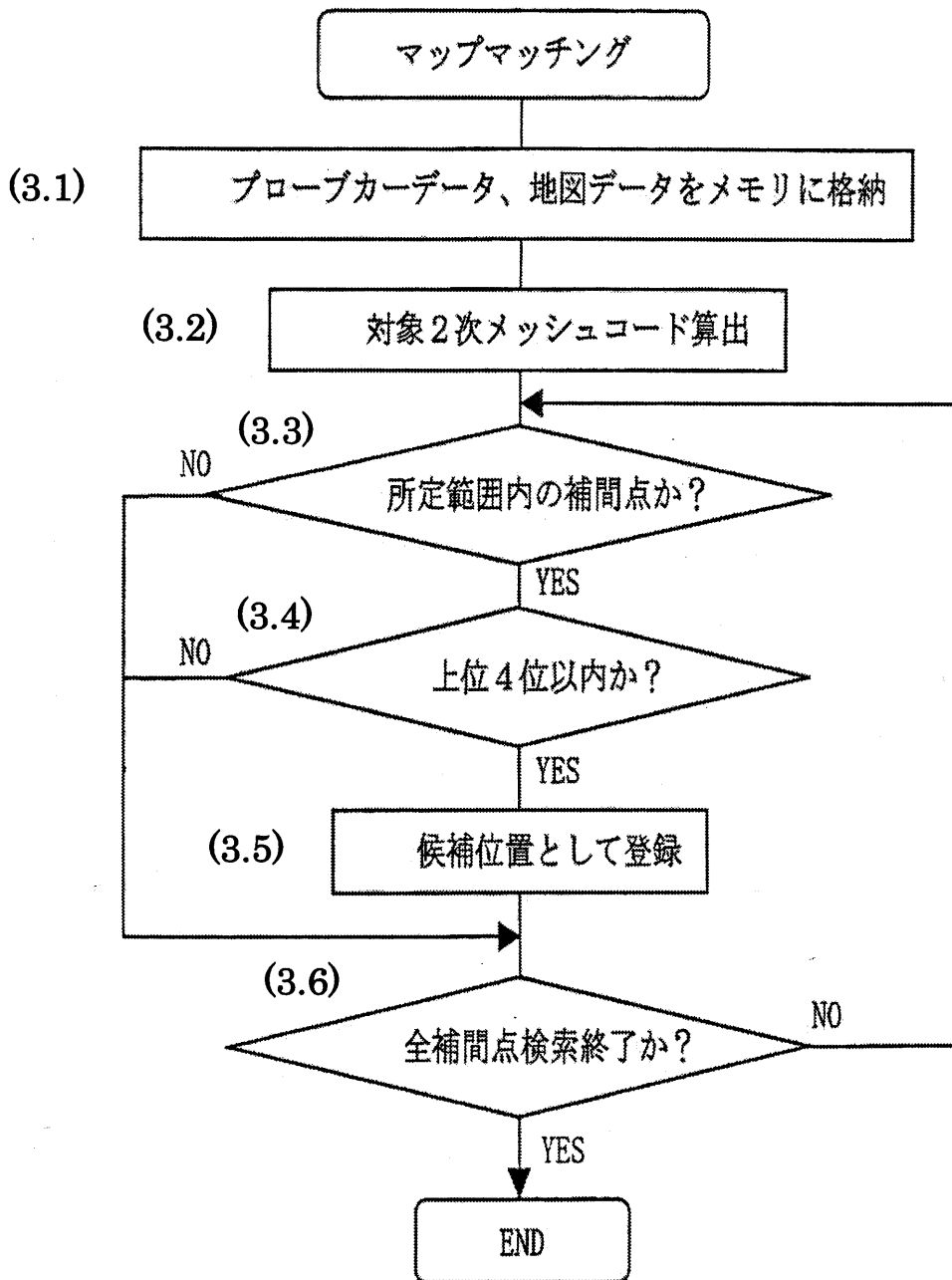


図 5.5 マップマッチング処理のフローチャート

5.3.2 経路推定によるリンク速度の算出

マップマッチングの有無に関わらず、15分という比較的長い時間間隔で収集される位置情報が得られたとしても、それだけでは途中にどの経路を走行したかを知ることは困難である。連続して収集された位置情報から途中の走行経路を推定することによって初めて地図上に渋滞情報をマッピングすることができ利用価値がでてくる。そこで今回は、この経路推定アルゴリズムを開発したので図 5.6 に示す処理フローについて以下に説明する。

ここでは図 5.4 に示すように A-B-C と連続移動した 3 つのプロブカー情報位置データに着目して、一つのプロブカー情報位置データに対して前記のマップマッチング処理によって抽出された候補位置について、その間の経路を推定することを例に説明する。

[ステップ(4.1)] まず、5.3.1 のマップマッチングで出力されたプロブカーの候補位置、地図データ、及び経路探索用の参照テーブルをメモリに格納する。

[ステップ(4.2)] 次に、当該プロブカー情報位置(A)が最初のデータである(すなわち移動開始時のデータである)か否かを判定する。

[ステップ(4.3)] 移動開始時のデータ(初期値)の場合には、推定位置としてプロブカー情報位置と候補位置の距離が最短であるものを採用する。(例では A2 が該当)。

[ステップ(4.4)] 次に、その次のプロブカー情報位置である(B)に関する 4 つの候補位置(B1~B4)、及びさらに次のプロブカー情報位置である(C)に関する 2 つの候補位置(C1, C2)の全ての組み合わせである 8 つの通過パターン(表 5.1)を、A-B-C という移動に関する候補経路として挙げ、それぞれに対して途中に走行した経路を推定する。ここでは、経路推定には Dijkstra 法⁷⁾を利用した。

表 5.1 通過パターン

パターン番号	第一通過点	第二通過点	第三通過点
1	A2	B1	C1
2	A2	B1	C2
3	A2	B2	C1
4	A2	B2	C2
5	A2	B3	C1
6	A2	B3	C2
7	A2	B4	C1
8	A2	B4	C2

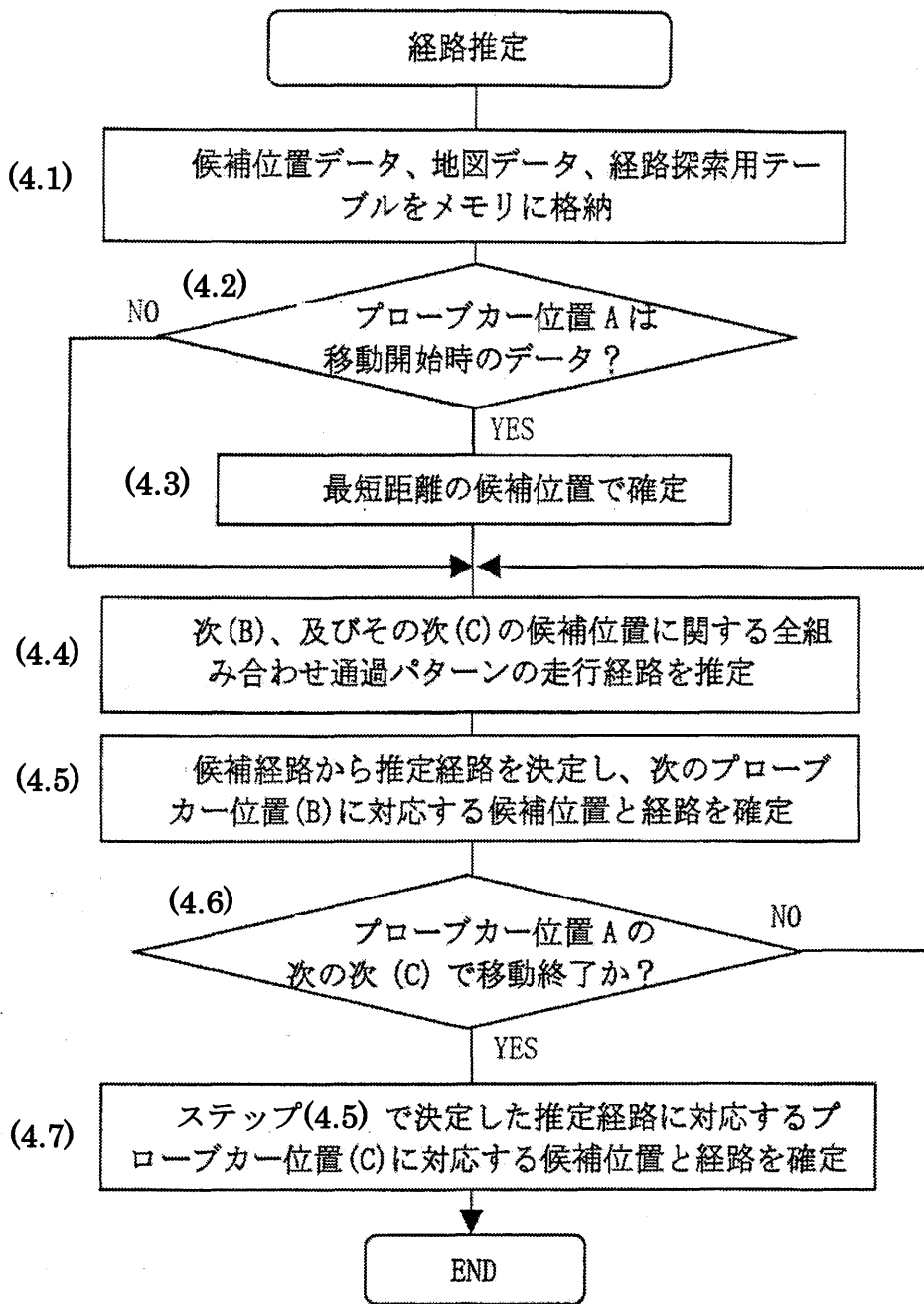


図 5.6 経路推定処理のフローチャート

[ステップ(4.5)] 8つの通過パターンに対応するそれぞれの候補経路のうち、最短距離のもの(A2-B2-C2)を推定経路と決定し、次のプローブカー位置(B)に対応する候補位置(B2)及び経路(A2-B2)を確定する。

[ステップ(4.6)] 当該プローブカー情報位置(A)の次の次のプローブカー位置(C)でデータが終了(すなわち移動終了)しているかを判定し、終了するまで[ステップ(4.4)]及び[ステップ(4.5)]繰り返す。

[ステップ(4.7)] [ステップ(4.6)]で決定した推定経路に対応するプローブカー位置(C)に対応する候補位置(C2)及び経路(B2-C2)を確定する。

ここでは、最短距離の経路をトラックの走行経路として選択する方式を採用したが、さらに、主要幹線道路を優先して走行する仮定も設けた。これは、主要幹線道路を走行することにより右左折回数が減少し、道路の幅員が確保されることから経験的にドライバーが選択すると想定されるためである。

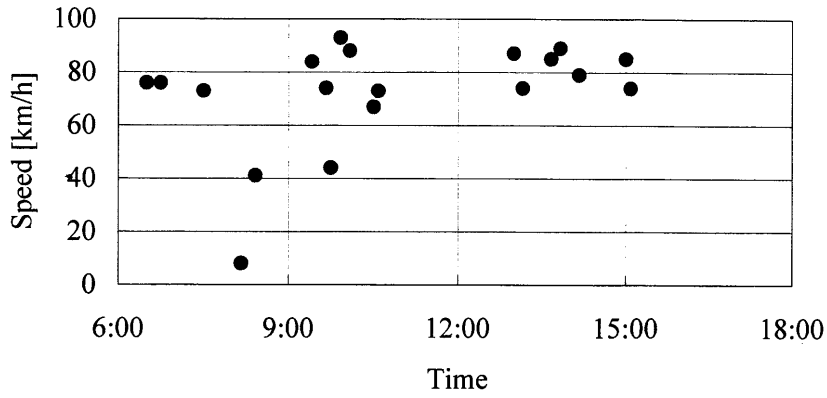
以上のようにして、連続するプローブカー情報位置データから走行経路を推定することができる。

次に、走行経路からリンク速度を求める。リンク速度は走行経路の距離を経路の始終点間の通過時間で除した平均速度を計算することにより求めることができる。

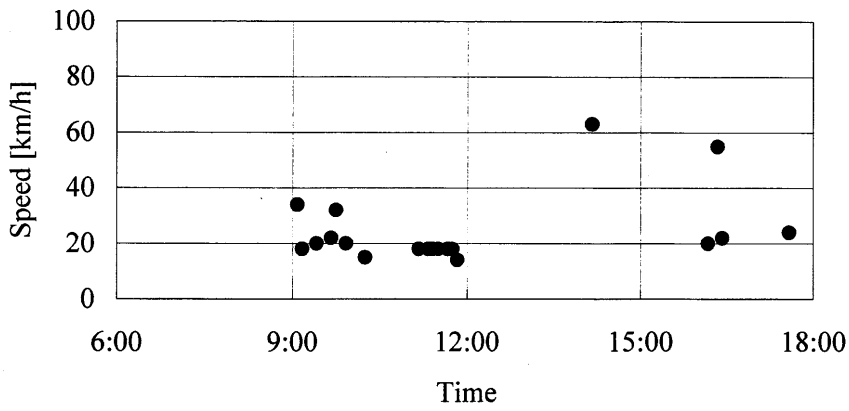
図 5.3(b)は、走行経路を推定し、走行経路速度データを図 5.3(a)と同様の色分けで表示したものである。図 5.3 は、東京周辺 50km 圏のエリアを対象とし、走行期間約 1 ヶ月、14 台のトラックの位置データから走行経路速度を算出した実データによる検証結果である。マップマッチング、経路推定を行った結果、位置データ 807 件に対して 674 件のデータ (84%) を経路推定に利用可能であった。経路推定に利用されなかった 133 件のデータ (16%) の位置データは、道路を外れた荷積、荷卸場所での走行に無関係の位置データであるので、本実験結果から本経路推定方法はトラックの位置データを十分に有効活用したといえる。

5.3.3 リンク速度データの考察

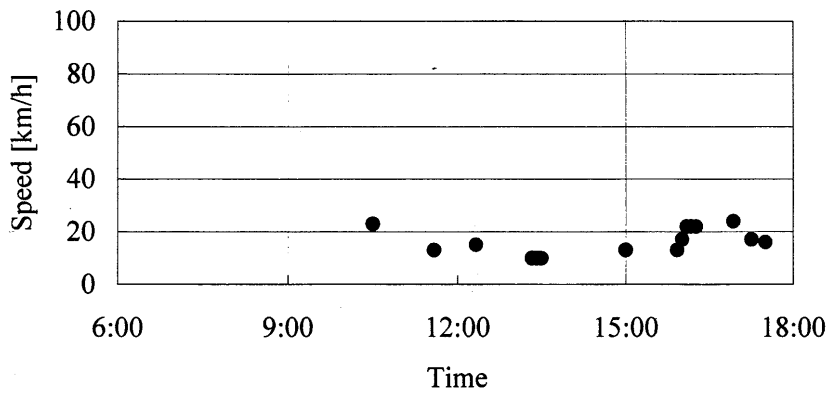
次に、実際のトラックの走行実績に基づき算出したリンク速度データについて考察する。図 5.7 は、実データから得られた道路リンク速度を時刻ごとにプロットしたグラフであり、



(a) 東関東 高速道 船橋周辺 (19 データ)



(b) 首都高速道 浜崎橋周辺 (19 データ)



(c) 晴海通り 日比谷周辺 (15 データ)

図 5.7 リンク速度の例

横軸は時刻、縦軸は速度を表す。(a)は都市間高速道路のデータ、(b)は都市内高速道路のデータ、(c)は東京都内中心部一般道路のデータである。

図 5.7(a)は東関東自動車道船橋付近のリンク速度データであり、通常時は時速 70km から時速 90km で走行している様子がグラフから見て取れる。また、AM8:00 から AM10:00 の時間帯に時速 10km から時速 40km の混雑状況を表すデータが収集され、朝のピーク時間帯の速度傾向を捉えていると思われる。

図 5.7(b)は首都高速浜崎橋付近のリンク速度データであり、午前中は時速 20km 程度の渋滞状況を表すデータが収集されている。

図 5.7(c)は晴海通り日比谷付近のデータのリンク速度データであり、一日を通して混雑している様子が読み取れる。

これらの結果から、ある程度少ない台数のプローブカーからでも、朝ピークなどの大まかな交通状況を再現できることがわかった。今後はデータのサンプル数を増やし、土日、祝日などの日種による分類等を進めてさらなる精度向上を目指したい。

5.4 目的地への所要時間予測方式の開発

5.4.1 AVI と超音波感知情報を利用した所要時間推定方式の開発

目的地への所要時間予測方式の開発に先立って、VICSにおいて AVI (Automatic Vehicle Identification) 及び超音波感知器の情報を利用して所要時間を推定し、ドライバーに対してリアルタイムに提供するシステムを開発した。AVI システムは、所要時間を直接計測する機能を持ち非常に有効なシステムであるが、区間距離が長くなると計測までの時間遅れが生じるため、情報提供を受けるドライバーにとって実際との誤差が大きくなる場合がある。この時間遅れへの対策として AVI システムと超音波感知器情報を利用した 3 方法の所要時間推定方法を開発し、それぞれに関して精度評価を行った。その結果、開発した 3 方法とも概ね良好な推定精度を示したが、このうち近未来所要時間予測方法が特に良好な推定精度を示した⁸⁾。

(1) システムの概要

対象路線を図 5.8 に示す。図の太線部が対象路線を表し 395 基の超音波感知器が設置

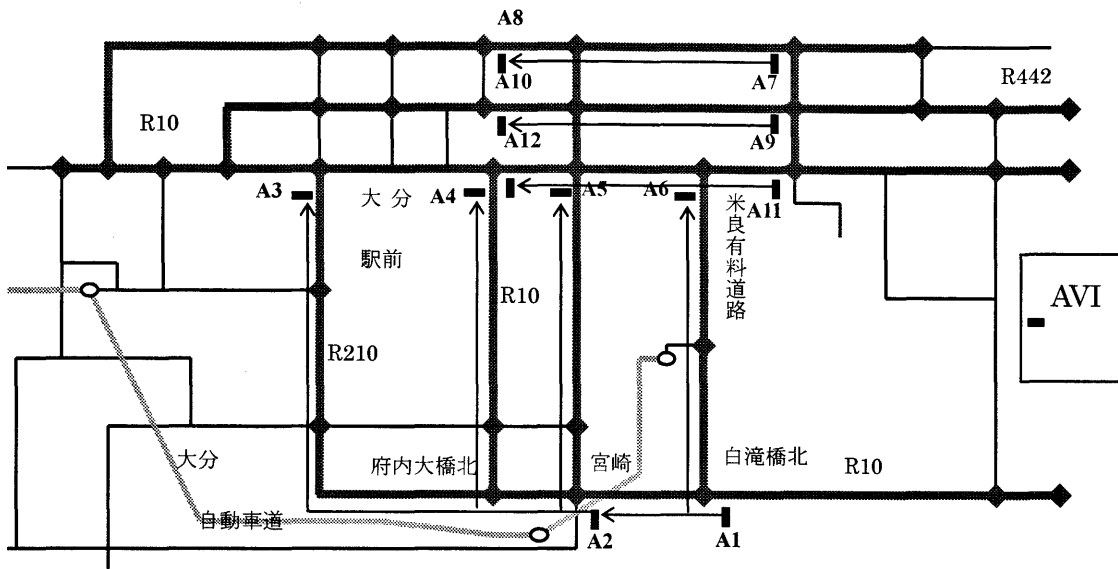


図 5.8 対象路線図

されている。矢印は 12 台の AVI 端末によって所要時間の計測される区間(AVI 区間：合計 8 区間)である。それぞれの区間距離は 4~8km であり、各区間はそれぞれ複数の内部区間に区切られている。交通特性としては、朝の通勤時間帯においては大分駅方面に向かう道路が渋滞し、夕方の退勤時間帯においては逆方面が渋滞する傾向がある。

次に、本システムの概要を図 5.9 に示す。

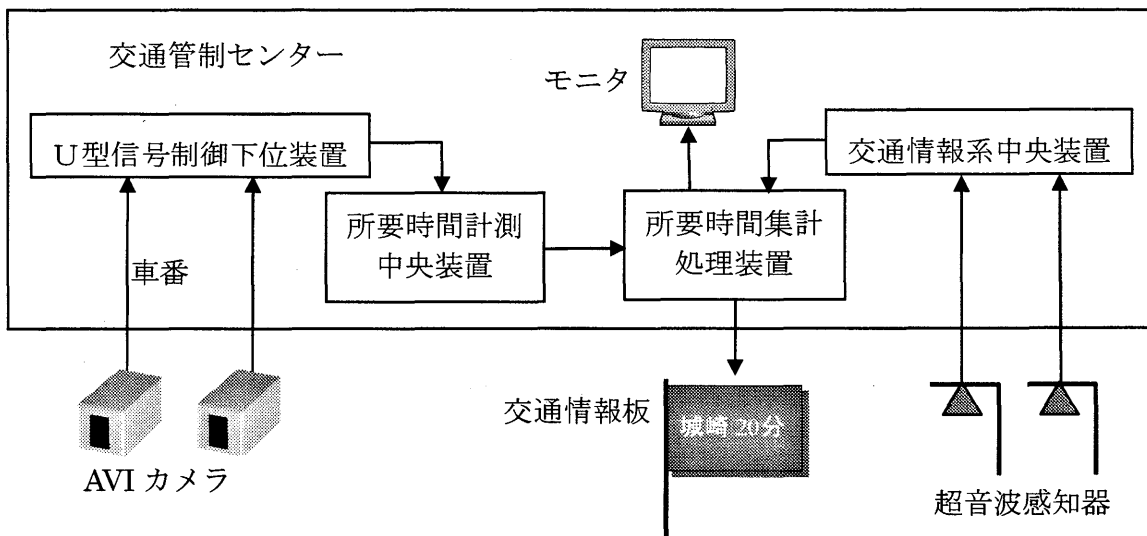


図 5.9 システム構成の概要

AVI システムは画像処理技術によって路上を走行する車両の車番とその通過時刻を自動認識するものである。この AVI システムによって得られる情報は、リアルタイムに U 型信号制御下位装置を経由して所要時間計測中央装置に集計される。所要時間計測中央装置で

は、2 端末間での車番が照合されその通過時刻の差を求めることによって所要時間を算出し、さらに各車両の算出所要時間を 5 分毎に平均化する処理も行う。

一方、超音波感知器の情報は、交通情報系中央装置を経由して 5 分毎に所要時間集計処理装置に集計される。所要時間集計処理装置では、所要時間計測中央装置による 5 分間平均所要時間と超音波感知器情報を利用してリアルタイムに対象区間の所要時間を推定し、推定結果をモニタ及び交通情報板に表示する。

また、所要時間集計処理装置で得られる所要時間は路上の交通情報板に表示される。このようにしてドライバーはリアルタイムに交通情報を得ることができ、経路変更などの判断材料として利用することができる。

(2) AVI と超音波感知情報を利用した所要時間推定方式

所要時間集計処理装置において、図 5.10 に示すような AVI 区間の内部区間は超音波感知器情報を補助的に用いて所要時間を推定する。

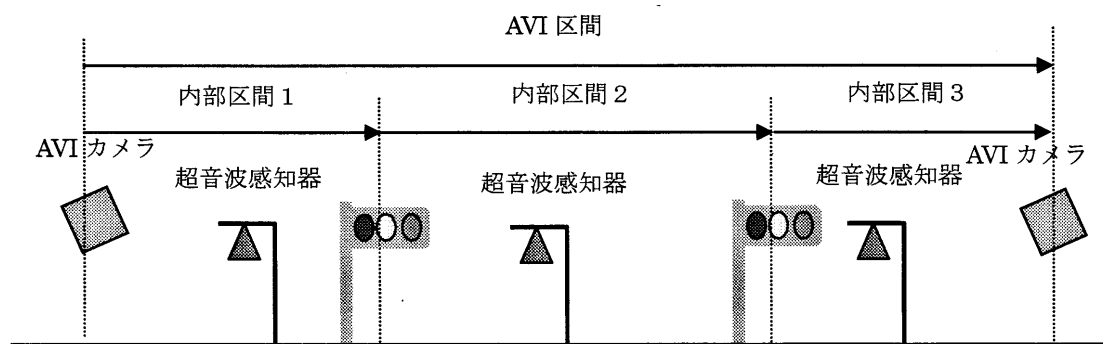


図 5.10 AVI 区間とその内部区間

AVI 区間で計測された 5 分間平均所要時間 T_{AVI} に合うように各内部区間の超音波感知器から得られる速度 v_i を利用して所要時間を次の式によって内部区間に配分する。

$$V_i = \sum a_i(n) \cdot v_i(n) \quad (5.1)$$

$$T_i = c \cdot (L_i / V_i + b_i) \quad (5.2)$$

$$T_{AVI} = \sum_i T_i \quad (5.3)$$

ここで、(5.1)式において V_i は区間 i の平均速度、 $a_i(n)$ は n 基ある超音波感知器の補正係数、 $v_i(n)$ は n 番目の感知器から得られる速度である。(5.2)式において T_i は区間 i の所要時間、

L_i は区間長、 b_i は速度の補正係数だけでは表現できない交差点遅れ等を表現するためのバイアス値である。 c は(5.3)式の所要時間 T_{AVI} に合うように動的に補正されるパラメータである。なお、補正係数 $a_i(n)$ 及びバイアス b_i は区間の実測所要時間より予め求められるパラメータである。また、AVI 計測路線以外の区間では、AVI による計測情報を利用できず超音波感知器情報のみを利用することになるので(5.1)式及び(5.2)式のみを利用し、(5.2)式において $c=1$ として区間所要時間 T_i を求めることができる。

(3) AVI 計測の時間遅れへの対策

AVI システムは、所要時間を直接計測するシステムなのでその精度の高さに特徴がある。しかし、AVI 区間の距離が長くなると所要時間計測までの時間遅れが生じ、朝ピーク時など交通状況が大きく変動する場合に推定所要時間の誤差が大きくなる場合がある。このような状況への対策として次の2方法によるアプローチを行った。

(a) AVI 計測値と超音波感知情報を用いた所要時間推定方法(方法 1)

この方法は、超音波感知器情報のみで算出した内部区間所要時間の和と AVI 計測所要時間との差が大きければ AVI 計測値の信頼性が低いと判定し、AVI 計測所要時間と超音波感知器情報からの推定所要時間の重みをその差に応じて動的に変え所要時間を推定する方法である。すなわち、一般に精度の高い AVI 計測所要時間を優先しつつ、時間遅れという弱点を補うためにリアルタイム性の高い超音波感知器情報からの推定所要時間で補完するものである。

(b) 近未来所要時間予測方法(方法 2)

この方法は、近過去の所要時間と過去の時刻別統計所要時間とを利用することによって近未来の所要時間を予測する方法である。図 5.11 を用いて具体的に説明する。

まず、下流側 AVI の通過時刻基準で計測された近過去における下流側統計所要時間(到着所要時間)に対する本日の同じ時刻における到着所要時間の相対順位を算出する。次に、その相対順位に対応する現在時刻(あるいは近未来時刻)における上流側統計所要時間(出発所要時間)を算出し、その時刻における上流側の予測所要時間として採用する。これは、本日の交通状態をそれ以前の統計と比べて所要時間相対順位として定量化し、その相対順位に基づいて過去の実績から所要時間を予測するものである。

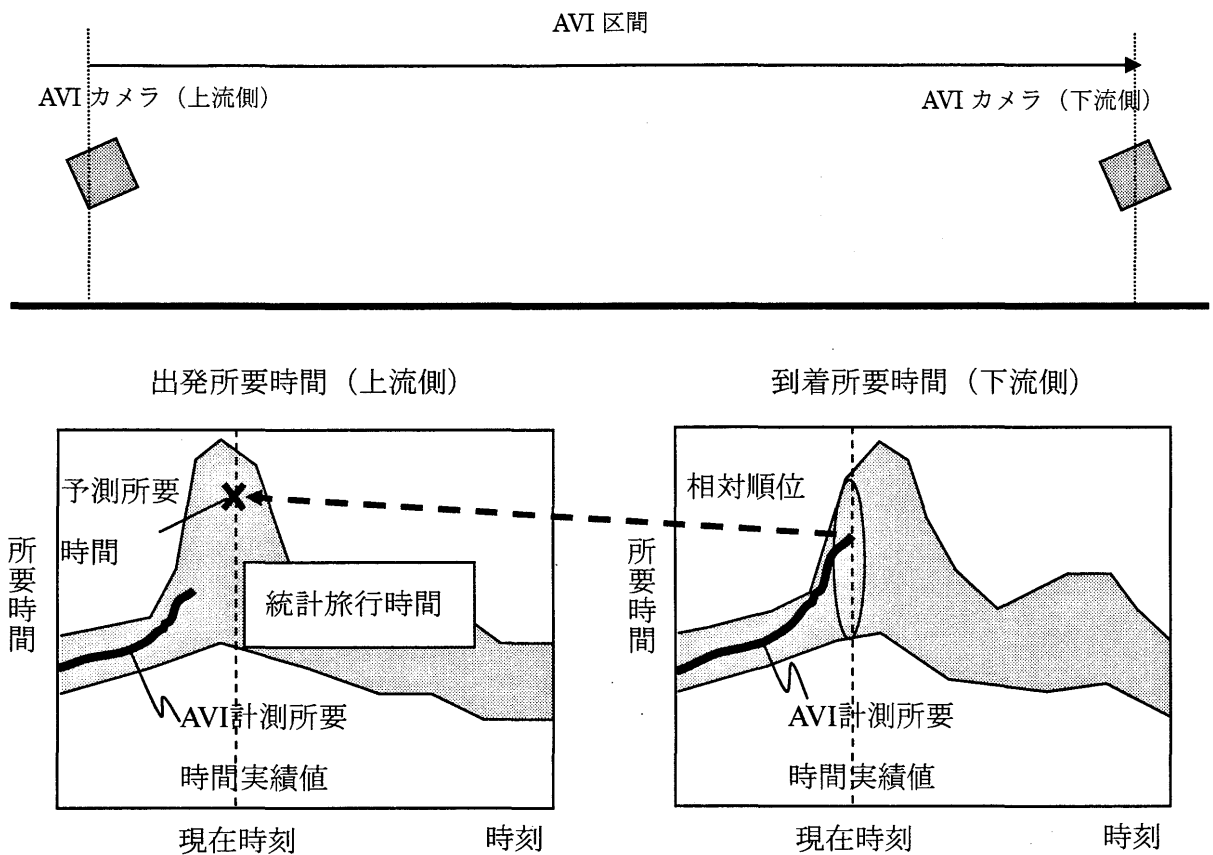


図 5.11 所要時間予測方式の概要

(4) AVI と超音波感知情報を利用した所要時間推定方法の評価

所要時間計算方法として超音波感知器のみを利用した推定方法と、上述の AVI 計測の時間遅れへの対策としての 2 方法の計 3 方法に関する精度評価を行った。

まず、1999 年 3 月 3 日 (水) の早朝から深夜にかけて、国道 10 号白滝橋北(A1)から宮崎(A2)までの 5710m の区間 (図 5.8 参照) について評価を行った。

この日計測した実測所要時間をまとめた結果は表 5.2 に示す通りである。

表 5.2 実測所要時間概況(白滝橋北～宮崎、1999 年 3 月 3 日)

データ数	171
平均所要時間	865 秒
最小所要時間	391 秒
最大所要時間	1787 秒
標準偏差	369 秒

所要時間計算方法の評価結果を図 5.12 及び表 5.3 に示す。図 5.12 のグラフにおいて、「実測値 (赤)」は AVI によって計測された出発所要時間、「AVI (黒破線)」は到着所要時間、「感知器 (マゼンダ)」は超音波感知器のみを利用した推定方法による推定値、「方法 1 (青)」及び「方法 2 (緑)」はそれぞれ時間遅れへの対策方法による推定値である。

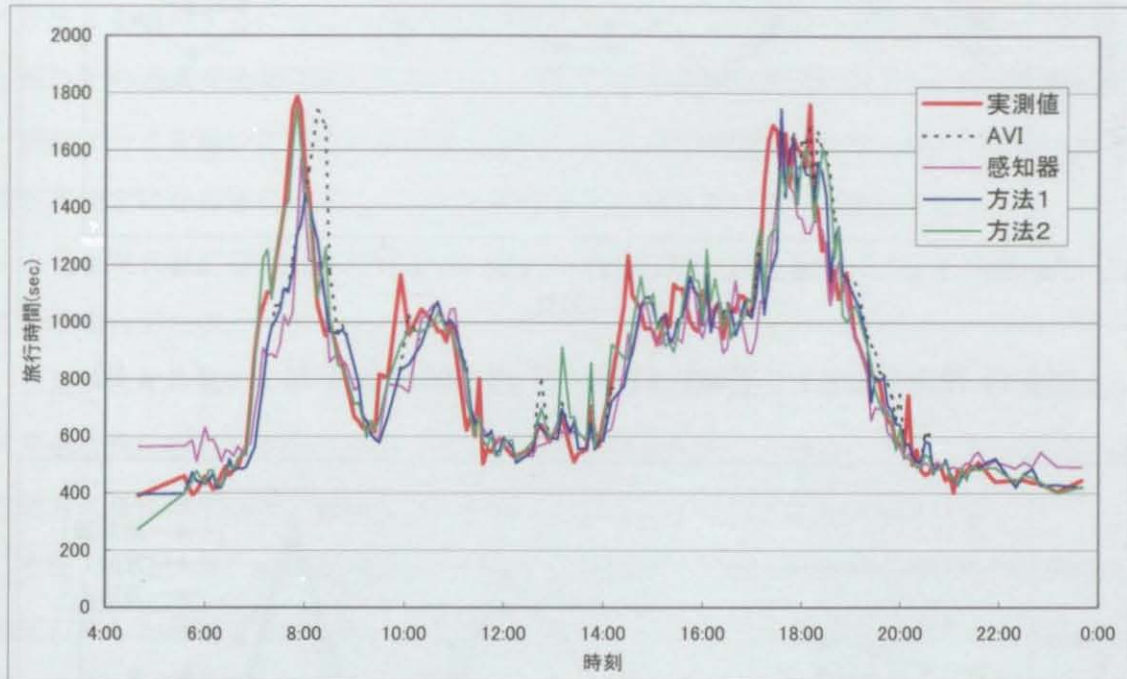


図 5.12 推定方法別 5 分毎評価グラフ(1999 年 3 月 3 日)

表 5.3 所要時間推定方法別精度評価結果 (1999 年 3 月 3 日)

	AVI	感知器	方法 1	方法 2
平均誤差	177sec	160sec	152sec	118sec
平均誤差率	12.5%	12.1%	10.6%	8.9%
平均誤差率(RMS)	16.8%	15.6%	13.7%	11.9%
最大誤差	732sec	712sec	564sec	384sec
最大誤差率	76%	48%	37%	35%
相関係数	0.879	0.922	0.913	0.947

次に、1999 年 2 月 16 日(火)から 3 月 4 日(木)の間の同じ区間における評価を行った。一日平均の誤差評価グラフを図 5.13 に、朝ピーク時(AM6:30~AM9:00)平均の誤差評価グラフを図 5.14 に示す。[2 月 28 日(日)はデータが取れなかったので評価せず。]

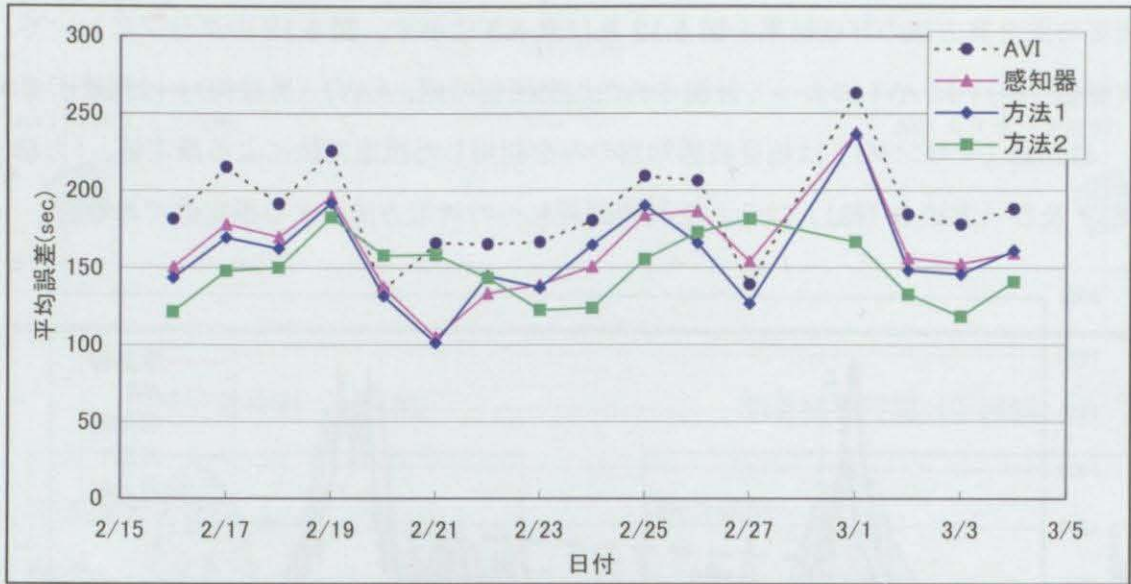


図 5.13 推定方法別 1 日平均誤差評価グラフ(1999年 2 月 16 日～3 月 4 日)

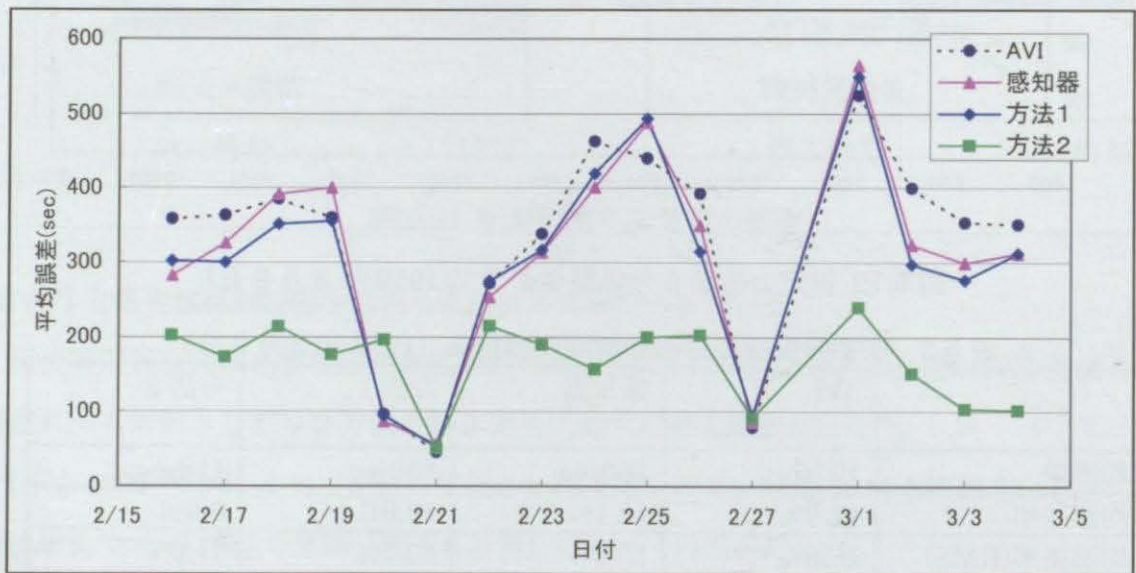


図 5.14 推定方法別朝ピーク平均誤差評価グラフ(1999年 2 月 16 日～3 月 4 日)

これらの結果を考察すると次のことが言える。

- ・3月3日の一日全体で評価すると、方法2(近未来所要時間予測方法)、方法1(AVI計測装置と超音波感知器情報を用いた所要時間推定方法)、超音波感知器のみを利用した推定方法、AVI到着所要時間の順に精度がよく、その他の日でも概ね同様である。このうち近未来所要時間予測方法は平均誤差率8.9%と特に良好であった。

- ・3方法とも概ね精度は良好だが、方法2以外は近未来予測を行わないため、朝ピーク時など交通変動が激しい場合に時間遅れを伴い誤差が大きくなる傾向がある。

- ・方法 2 は朝ピーク時など交通パターンが決まっている場合には精度がよいが、それ以外では他の方法と同程度である。

以上から精度の点で方法 2 が最も優れていると言えるが、詳細に分析すると次の問題があることがわかった。

- ・方法 2 を適用するためには、対象道路が AVI システムで計測する区間であることと、一定量以上の通過交通量によって質のよい統計所要時間が蓄積されることが条件である。

- ・統計データを用いているため交通パターンが不安定な時間帯では、他の方法に比べて精度が不安定になる場合がある。ただし推定誤差は遜色ないので問題は少ない。

- ・土日、祝日など定まりがたい交通パターンの日には、交通状況によっては精度が不安定になる場合がある。

したがって今後のシステムにおいては、方法 2 だけを採用するのではなく、時間帯または交通状況に応じて動的に方法 1 あるいは超音波感知器による推定方法に切り替えるような新方式を採用すると、精度をさらに向上させることができると期待できる。


また、AVI システムの整備されていない区間に関しては、超音波感知器のみを利用した推定方法しか選択できないが、さらなる高精度化を目指すには別途近未来予測方法を検討する必要があると思われる。

5.4.2 プローブカーの速度データを用いた目的地への所要時間予測方式の開発

(1) 目的地への所要時間予測の考え方

現行の VICS(道路交通情報サービス)で提供されている所要時間は、予測処理をしない所要時間、すなわち、「ある時刻」における区間所要時間の総和である⁹⁾。「ある時刻」以降に交通状況が変化すると、実際に要する時間とはズレが生じる。例えば表 5.4 のように、10:00 に区間 1 を出発した場合、区間 4 の終点までの提供所要時間は現状では 25 分(実線の矢印の合計)となる。しかし、交通状況が変化するため実際の所要時間は 30 分(点線の矢印の合計)となる。交通状況の変化が大きいほど、目的地が遠いほど、「使えない」情報となる。したがって、道路交通情報の高度化のためには時間帯別に変化する所要時間を把握した予測システムが必要となる。

表5.4 時間帯別の区間所要時間

進行方向 

	区間1	区間2	区間3	区間4
10:00	5分	5分	5分	10分
10:05	5分	5分	10分	10分
10:10	5分	10分	10分	10分
10:20	10分	10分	10分	10分

本研究では、この課題を解決する一つの方法として、プローブカーから収集した速度データを利用して目的地までの所要時間を予測するシステムを開発した¹⁰⁾。

まず、前節でプローブカーから収集した走行経路速度データを、各道路リンクの速度データに分割し、時間帯ごとに蓄積し統計処理をすることで、表 5.5 のように各道路リンクごとの統計リンク速度テーブルを作成することができる。なお、本テーブル作成にあたっては平日、土日、祝日等の日種や天候などの単位で別々に作成すると再現性（精度）に有効であると考えられる。精度検証については蓄積データが少ないため出来ていないが、今後精度検証を行う予定である。

表 5.5 時間帯別の統計リンク速度テーブル例

時間帯 リンク No.	7:00- 7:04	7:05- 7:09	7:10- 7:14	7:15- 7:19
リンク 1	45	38	37	35
リンク 2	(29)	14	20	25
リンク 3	39	35	(48)	44
:	:	:	:	:

() : 走行実績のない時間帯

平均速度 : km/h

表 5.5 においてはトラックの走行実績がある時間帯では、走行実績に基づいた統計リンク速度を用いるが、走行実績のない時間帯()に関しては、本システムでは走行実績のある時間帯の統計リンク速度データを線形補完することで統計リンク速度を推定する。

次に、ある指定した区間を構成する道路リンクに分割し、各リンクの距離を表 5.5 の統

計リンク速度データで除した所要時間を積算することにより、目的地までの所要時間を予測する。

図 5.15 は、今回開発した所要時間予測の一例であり、発地点、目的地を指定して区間を与え、出発時間を指定することにより、目的地への所要時間を予測している。

一例として出発地から目的地までの経路が VICS リンク番号 1~3 から構成され、また各リンクに関する各時間帯の統計リンク速度が表 5.5 の場合を考える。図 5.16 に示すように出発地の出発時刻が 7:01(秒単位は切捨て)であったとするとその時間帯に対応する統計リンク速度は 45km/h であるのでリンク 1 の距離からリンク 2 の始点までの所要時間及び到着時刻が求まる。次にリンク 2 における該当時刻に対応する統計リンク速度は 29km/h であるので同様にリンク 3 の始点までの所要時間及び到着時刻をもとめる。ただしリンク 2 のようにリンクの途中で時間帯が切り替わる場合には、切り替わる時点(7:05)における到着地点を前の時間帯に対応する統計リンク速度(29km/h)で求め、その先は次の時間帯に対

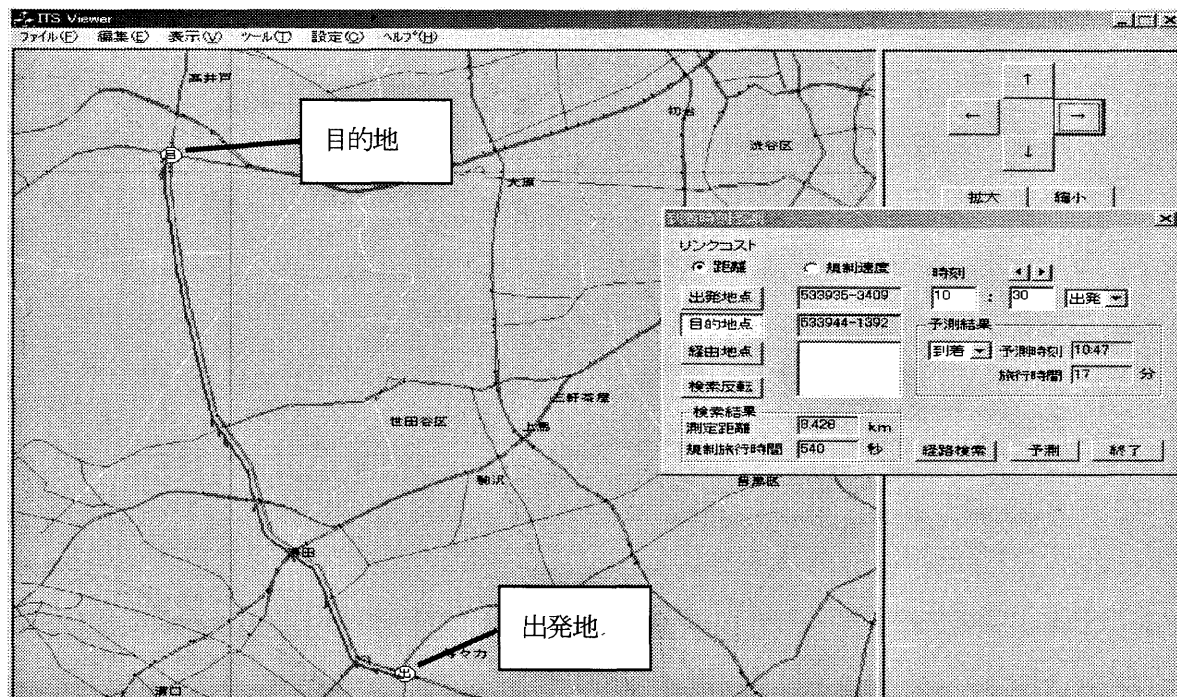


図 5.15 目的地への所要時間予測

応する統計リンク速度(14km/h)で求める。以上の処理計算を目的地に到着するまで繰り返すことにより目的地への予測所要時間と予測到着時刻(秒単位は切り上げ)を求めることができる。

また本システムでは、逆に到着時刻を指定して、出発推奨時刻を求めることも可能であ

る。これを運行管理業務に応用した場合、配送先への配送時刻が決められているときに、出発時刻を決定することに利用するなどの方法が考えられる。

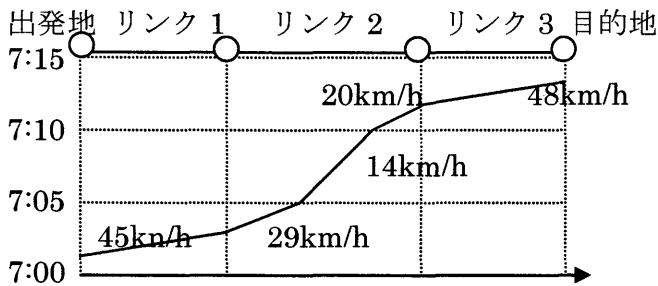


図 5.16 所要時間予測の計算方式例

(2) 目的地への所要時間予測方式の検証

サンプル車両 2 台を抽出し、それらで配送可能な実オーダーを登録し、配送計画を立案したものと、実際に車両を走行させたときの実績との比較を行い、実車走行実験を行った。

図 5.17 に立案した配車計画と、実際の配送結果の比較を示す。これは、全時間帯で一定のリンク速度ではなく、時間帯に応じた統計リンク速度を使用して立案した計画と実績の結果であるが、計画時間と実績時間の差異はまだ残っている。これは、曜日、5月連休や

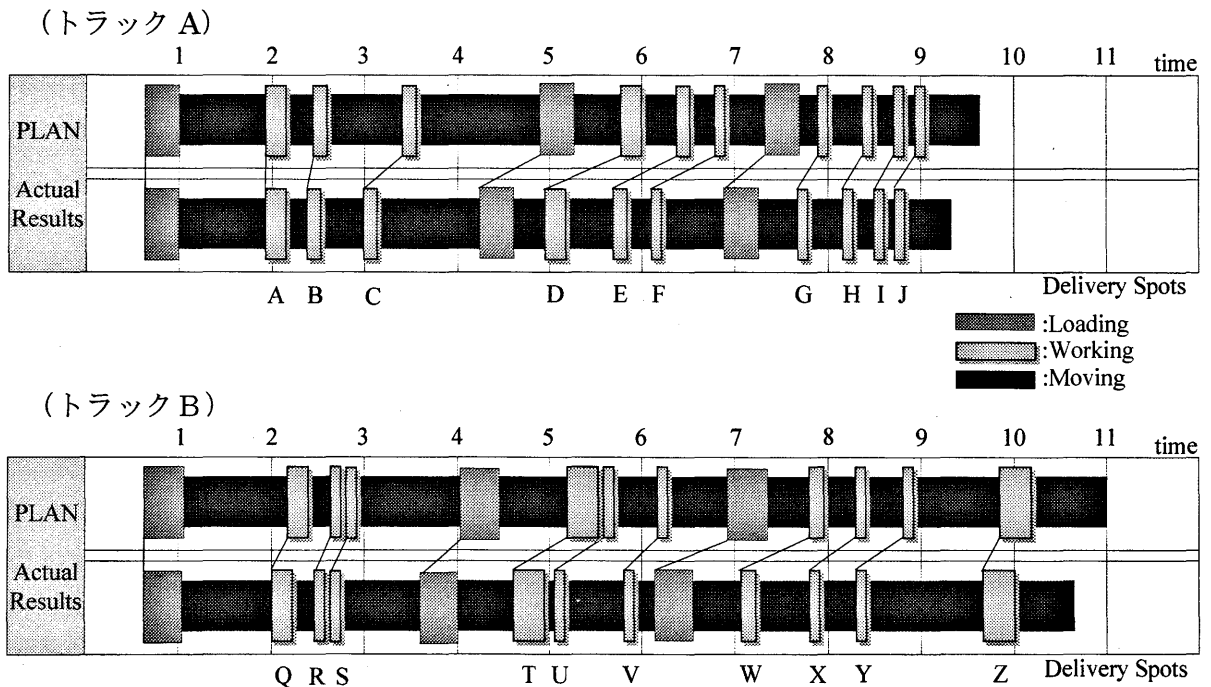


図 5.17 計画した配送計画と実際の配送結果

お盆休みなどの特異日などのデータが蓄積出来ていないためであり、今後はデータ蓄積により、曜日、得意日に応じた統計リンク速度を用いて所要時間を計算し、精度向上の評価を行いたい。

図 5.18 に計画走行距離と実績走行距離の相関を示すが、計画と実績がほぼ一致しており、総走行距離では 1.9%の誤差となり、高い計画精度を得ることが出来た。

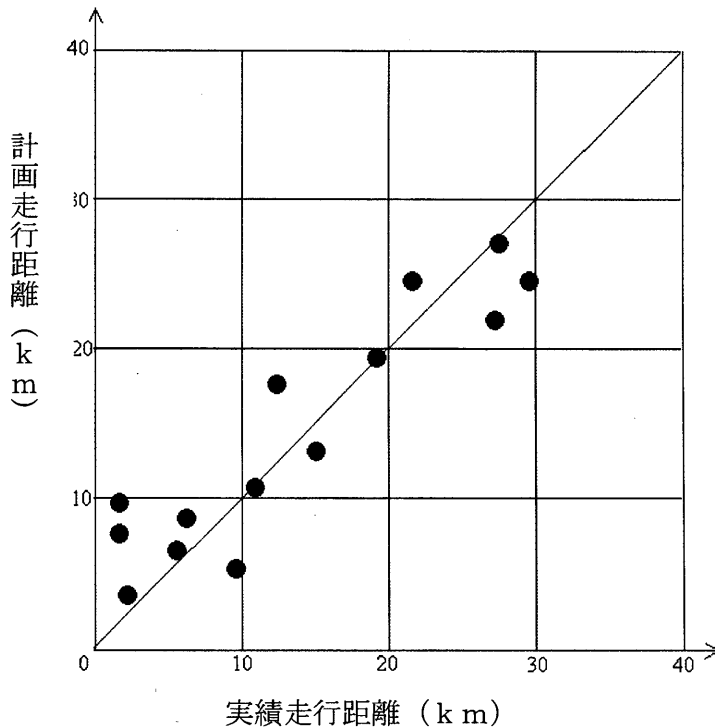


図 5.18 計画走行距離と実績走行距離の相関

図 5.19 に計画所要時間と実績所要時間の相関を示す。灰色は全時間帯でリンク速度を一定値として計画所要時間を計算した場合、黒色は時間帯別に統計リンク速度により計画所要時間を予測した場合である。図 5.19 より、距離が長くなると計画所要時間と実績所要時間の誤差が大きくなっているのが判る。これは、実際に配送する時点では渋滞、規制、工事などにより交通状況が計画時点とは異なるためであり、距離が長くなると、その差異が蓄積されていくために誤差は大きくなると考えられる。計画所要時間(予測無し)と実績所要時間との誤差は+30%~+8%であり、計画所要時間(予測有り)と実績所要時間との誤差は-10%~+3%となった。このことから予測により精度向上の効果が出ることが検証できた。

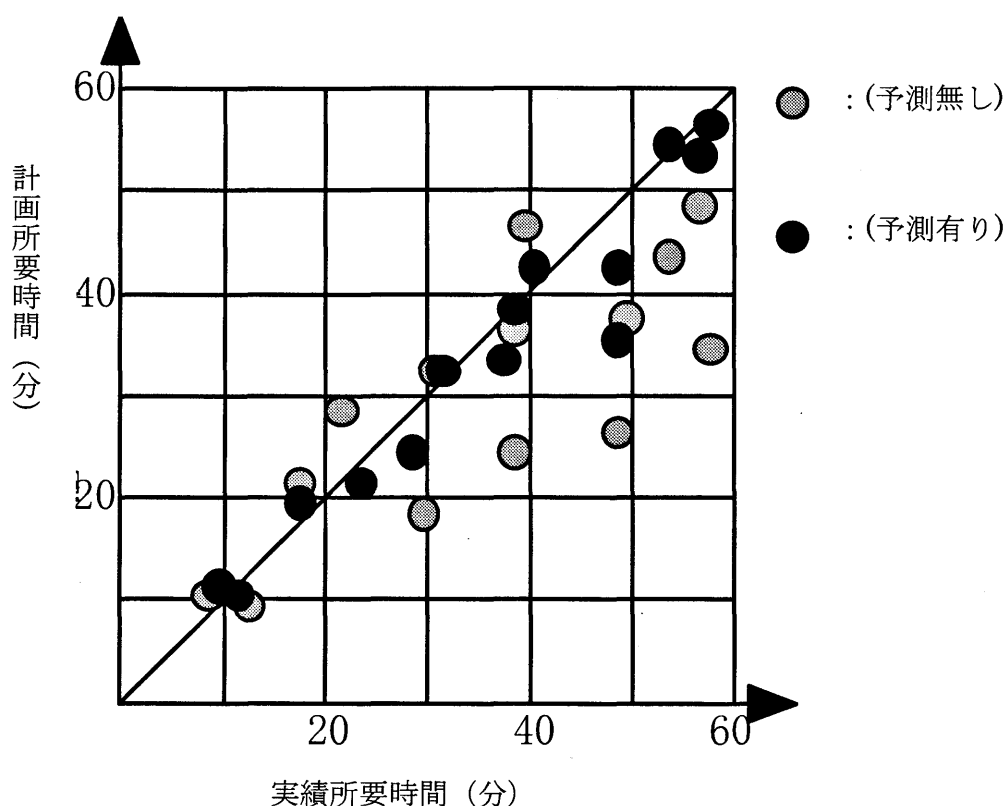


図 5.19 計画所要時間と実績所要時間の相関

(3) VICS 情報とプローブカー情報の融合

プローブカーから収集した速度データを利用して目的地までの所要時間を予測するシステムを開発したが、現状では速度データを収集できるプローブカーの台数も少なく、全国の道路をカバーすることは難しい。

一方、平成 14 年 6 月の道路交通法改正に伴い、従来から光ビーコン、電波ビーコン、FM 多重放送によりカーナビゲーションシステムに提供されている VICS 情報が、民間事業者によるビジネス向けに利用可能となった。しかし、VICS は車両感知器の設置が主要道路であるため、旅行時間や渋滞度の提供率が平成 12 年度現在 30%と低く、全国を広範囲にカバーするには不十分である。

そこで、トラック等の業務車両から得られる走行位置情報などを活用した、いわゆるプローブ情報を用いて独自に収集した情報により VICS 情報を補完することで、さらにきめ細かな道路のリンク速度の登録を行う方式が可能と考えられる。図 5.20 に拠点から配送先までの所要時間算出の考え方を示す。拠点と配送先間で、VICS 情報を得ることが出来

る道路を通過するルートについては、VICS 蓄積情報にて所要時間を算出する。この場合 VICS データの補正が必要であるが、VICS 情報が提供されることになったので、今後の研究として解析を行い、補正方式の検討と検証を行っていきたい。VICS 蓄積情報が少ないリンクについては、トラック運行管理の運行実績情報にて補完し、また VICS 情報対象交差点から VICS 情報が提供されていない拠点または配送先間は、プローブカー情報で所要時間を計算する。このように、VICS とプローブを融合させることにより任意の地点から任意の地点までの所要時間予測を行うことができる。

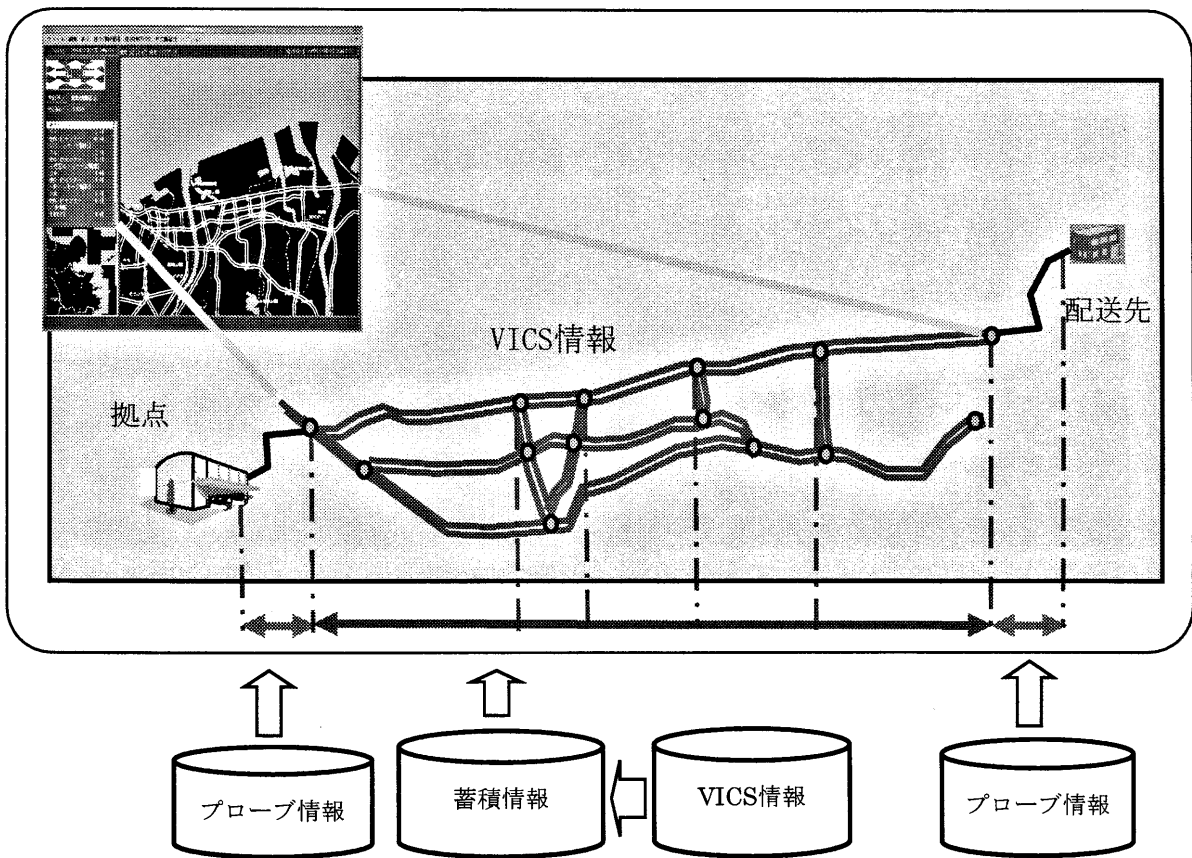


図 5.20 拠点から配送先までの所要時間算出の考え方

5.5 結語

本研究では、トラックが収集した位置データをプローブ情報として利用し、道路の渋滞状況、所要時間情報を提供する交通情報システムを開発した。交通情報取得では、トラックの位置データを道路リンクにマップマッチングし、その走行経路を推定することにより、アップリンク時間間隔の大きいトラックの位置データでも走行経路速度データに変換する

方法を開発した。東京周辺 50km 圏のエリアを対象として、走行期間約 1 ヶ月、14 台のトラックの実走行データを収集し、約 9 割の位置データが交通情報として活用できることを確認した。さらにプローブ情報から求めた走行経路速度データを利用した目的地への所要時間予測システムを開発し、運行管理システムへのサービス適用を検討した。予測しない計画所要時間と実績所要時間との誤差は-30%~+8%であり、予測した計画所要時間と実績所要時間との誤差は-10%~+3%となった。このことから予測により精度向上の効果が出るのが検証できた。

今後は、さらにデータ収集を図り、所要時間予測の精度検証を行い、実サービスに向けた検討を行う予定である。実サービスでの課題は、プローブカーや VICS から得られる情報を加工して得られる渋滞情報、目的地までの所要時間情報などの交通情報を有料で提供するサービスのビジネスモデルの構築である。海外の事例として、韓国ソウル市のベンチャー企業 ROTIS 社は、プローブカーとビーコンから得られる交通情報を販売することでビジネスを行っている。同社は、プローブカー18,000 台(うちタクシーが 80%)とビーコン 18,000 基を、自前でソウル市内に設置し、そこから得られる交通情報を、バス会社、タクシー会社、一般ユーザーに有料で提供し、投資資本を 3 年程度で回収する計画である¹¹⁾。民間で情報収集設備まで投資してビジネスを成り立たせている交通情報提供会社としては、トラフィックマスター社が有名であるが、プローブカーという新たな仕組みを用いて、隣国で成功しつつあることを参考に、実サービスを行う予定である。

文 献

- 1) Aoki, K., Ueda, T., Fujii, H. : Research and Development and the Proof Test the Probe Car, Proc. 7th ITS World Congress, Turin, 2000
- 2) 青木邦友 : 「IPCar システム」によるデータ収集実験, 交通工学, Vol.36, No.3, (社) 交通工学研究会, pp.48-50, 2001
- 3) Larima, P.: VERDI-from Field Trial to Deployment, Proc. 4th ITS World Congress, Berlin, 1997
- 4) Choi, K., Shin, C., Park, I. : An Algorithm for Calculating Dynamic Link Travel Times Using GPS and a Digital Road Map, Proc. 5th ITS World Congress, Seoul, 1998
- 5) Fushiki, T., Kishino, K.: Arrival Time Prediction Based on Floating Car Data in the Fleet Management ASP, Proc. 9th ITS World Congress, Chicago, 2002
- 6) (株)ニューウエーブ : <http://www.saitama-j.or.jp/>
- 7) 土木学会編 : 交通ネットワーク均衡分析—最新の理論と解法—, pp.113-136, 1998
- 8) Yamane, K., Fushiki, T., Furuta, M., Sano, Y. : Development of Travel Time Estimation System Combining License Plate Recognition AVI and Ultrasonic Vehicle Detectors, Proc. 6th ITS World Congress, Toronto, 1999
- 9) トラフィック・インフォメーション・コンソーシアム : 道路交通情報ビジネスの現状と今後の展望, 2001
- 10) 岸野清孝, 石田 康, 伏木 匠, 横田孝義 : トラック運行管理のプローブカー情報を利用した所要時間予測, 第 23 回交通工学研究会発表論文報告集, pp.141-144, 2003
- 11) (財)自動車走行電子技術協会 : 韓国・中国における ITS ビジネス調査団報告書, 2003

第6章 トラック運行管理のプローブ情報を利用した安全運転診断・ 管理の研究

6.1 概説

トラック輸送においては重大事故が多発しており、その事故原因はドライバの基本的なミスが多く、事故防止の啓蒙活動に取り組んでいる。このような中で、自動車保険の支払いも増加しており、対策が必要になってきている。また保険業務の自由化が始まり、各保険会社はリスク細分化保険商品を提案し始めており、ITを活用した新規サービスを計画していた。同時に、安全運転啓蒙運動を実施し、交通事故の低減を図るため、安全運転診断システムを企画していた。この状況を受け、某損保会社との共同研究を2001年6月より着手し、主にトラック輸送業者向けの安全運転診断高度化の検討を行った。¹⁾

安全運転診断に関しては、トラック輸送では、アナログタコグラフを用いた目視主観安全診断が行われていた²⁾。一方、IT応用安全運転診断として、デジタルタコグラフによる安全診断管理³⁾が行われ、交通事故の低減を図っていた。しかしながら、デジタルタコグラフを用いた目視主観安全診断の自動化は行われていなかった。

一方、交通安全関連の学会では加速度標準偏差を用いた安全判断⁴⁾⁵⁾⁶⁾が検討されており、この加速度標準偏差と新規に加速度歪度を用いれば、アナログタコグラフによる目視主観安全診断を自動化できるのではないかという仮説を立てた。ここで、加速度標準偏差は加速むら(アクセル、ブレーキの大きさ)、加速度歪度は加速度傾向(ブレーキがきついか、アクセルがきついか)を表している。

6.2 節では、仮説を検証するために、安全運転診断指標として加速度標準偏差と加速度歪度が目視主観安全度との間に相関があるかどうかを検討する。このことにより、危険ドライバの識別の可能性を検証し、従来の主観安全運転診断が自動化できる可能性を示す。

6.3 節では、安全運転診断実証実験を行い安全運転による燃費向上・CO₂低減、交通事故低減への有効性を評価する。安全運転診断実証実験による検証では、まず指導前にデータ収集を行い安全運転診断帳票を作成し、これを用いて安全運転管理者にドライバに対する指導を行ってもらった。その後、指導後のデータ収集を行い、指導前と指導後で改善効果があるかを比較検討したので、その結果について述べる。

6.2 タコグラフ目視主観安全運転診断の自動化

6.2.1 現状のタコグラフ目視主観安全運転診断

現在、トラックにはタコグラフを装着する法的義務がある。このタコグラフは、車の速度時系列を記録しており、安全管理者はこのタコグラフの速度時系列を見て、主観で危険な走行をした時間帯を特定し、ドライバーに通知を行うようになっている²⁾。

この目視主観による安全運転診断の例について述べる。図 6.1 はアナログタコグラフの記録例であり、横軸が時間、縦軸が上から順に、速度、エンジン回転数、走行距離の時系列である。走行距離は、10km で折り返して表示させている。安全管理者は、速度時系列を読み、速度の変化が大きい時間区間（目視で速度の曲線のぎざぎざが密な部分）を危険とみなす。図 6.1 では、○で囲った「危険」の部分と「安全」の部分が危険な走行をした時間とみなす。

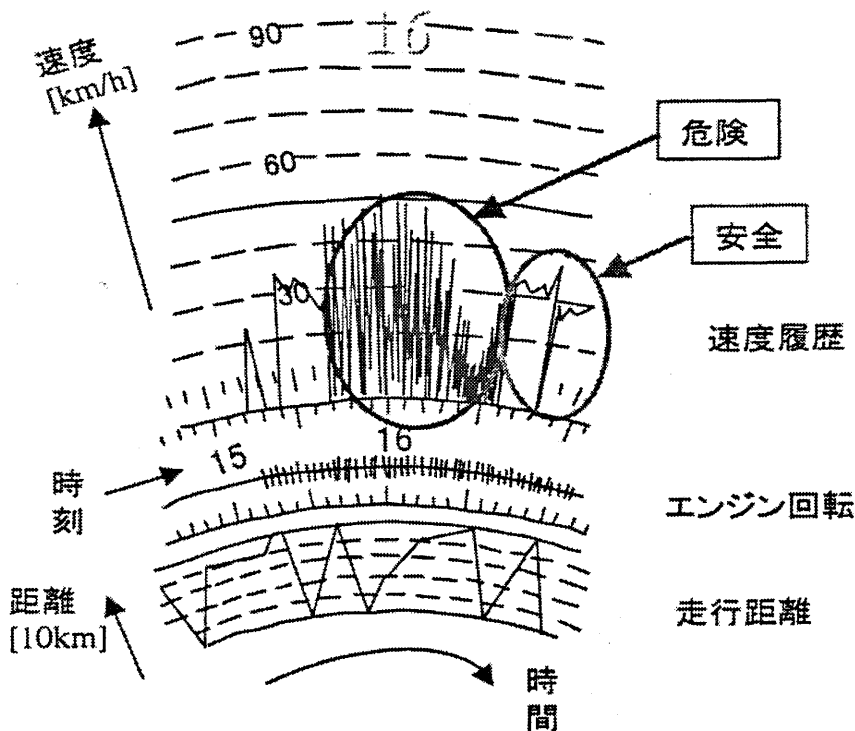


図 6.1 アナログタコグラフによる目視主観安全運転診断

この危険判定方法は単純であり、安全運転診断方法として実績がある。しかし、計算機で判断させる場合には以下に述べる問題が起きる。これは、ぎざぎざの密度をルールベースで判定する際には、様々な不明パラメータが出てくるため、これらの値を決定すること

が困難であること、かつ複雑なルールを設定しても、実際の運用ではドライバの数が大量にいるため、サーバ側で処理不可能になり、かつ端末側での処理では間に合わなくなる可能性があるためである。

ここでのぎざぎざの密度を間接的に調べる方法として、道路の安全性を検討する際の一手法として提案・検証されている加速度標準偏差⁴⁾⁵⁾⁶⁾と加速度歪度の適用を試みた。

6.2.2 診断を自動化するための安全運転診断指標

(1) 加速度の分布と走行状態の仮説

ある加速度 a の起こる頻度を示す加速度分布 $p(a)$ は、急加減速のみならず、運転状況の様々な情報を含んでいるといえる。本章では、一つの安全運転指標として、この分布の状態と走行状態について考察を行なう。走行状態には、自由流（前方に車が無く、ドライバーが好みの速度で走行できる状態）、追従走行（走行中の車の前方に別の車が走行しており、前方の車の速度の影響により自車の速度が決定される状態）の2つがある。更に走行環境として高速道（走行状態が他の車のみの環境）、一般道（走行状態が他の車のみならず、信号機等の影響を受ける環境）の2通りがある。このことより、走行状態として、高速道自由流、一般道自由流、高速道追従走行、一般道追従走行の4つのモードを考察する必要がある。本稿では、現時点において高速道追従走行、一般道自由流の状態が計測できていないため、データサンプルとして高速道自由流と一般道追従走行の1人のデータのみを提示する。

まず、高速自由走行時についての加速度分布について述べる。この分布は頻度に対して対数を取ると、正規分布に近づく事例が得られており、この事例を図 6.2 に示す。図 6.2 の縦軸は頻度の対数を示している。計測日時は 2001 年 12 月 29 日であり、データは GPS により 1 秒周期で計測した。データの総数は 2540 個である。

この例では、スペクトルが f^{-2} 特性⁷⁾を示し、自己相関は δ 関数に近いものが得られた。これは、自由走行時にはドライバーがほぼ一定のアクセルを踏んではいるが、道路から受ける減速度合いや人間特有のアクセルぶれにより、加速に正規分布のランダム性が加わったためと思われる。また、最高速度以上、最低速度以下となったときには、人間が異常速度を認知して速度を適正な値に戻すような機構が働いている、即ち速度時系列は反射壁のあるブラウン運動⁷⁾になるとの仮説を立てることができる。

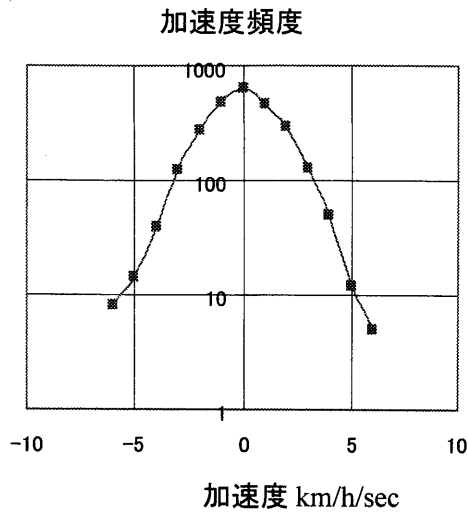


図 6.2 高速道路自由走行時の加速度分布

次に一般道追従走行時についての加速度分布について述べる。この分布は頻度に対して対数取ると、左右が非対称の直線状になる事例が報告されており⁹⁾、この事例を図 6.3 に示す。図 6.3 の縦軸は頻度の対数を示している。計測日時は 2002 年 2 月 23 日であり、GPS により一秒周期でデータを採取した。データの個数は 16230 個である。

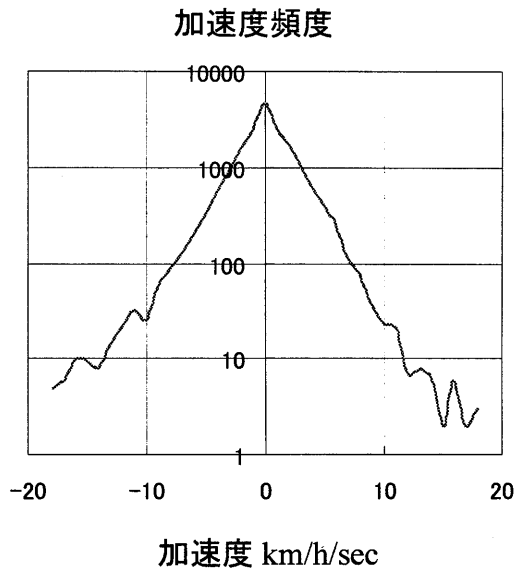


図 6.3 一般道追従走行時の加速度分布例

グラフより追従走行時には左右非対称の両側指数分布(以下非対称ラプラス分布と呼ぶ)になるといえる。これは、速度が 1 次元上にランダムに配置されたときの、2 点間の速度の距離(即ち加速度に比例)の分布と解釈できる。このため、目標速度が時事刻々ランダムに変化するときの、速度差の分布とみなせる。また、非対称ラプラス分布であるため、加速度は殆ど 0 の部分に集中することになる。これは、信号機をスタートし次の信号機ま

で車がある目標速度になると殆ど一定速度になるという現象を説明できる。ラプラス分布が非対称となるのはドライバと車の動力性能の組み合わせによる加速と減速の強さ度合いの癖によるものと解釈できる。即ち、減速が急になる傾向にあるドライバは減速側の分布の裾野が広くなり、加速が急になる傾向にあるドライバは加速側の分布の裾野が広がる。

データとしては採取できていないが、高速道追従走行時は渋滞時と非渋滞時により更にモードが分けられると推察される。高速道での渋滞時は信号機がないものの、アコーディオン現象が報告されているため、一般道追従走行と同じ特性が得られるものと推察される。高速道追従走行時でかつ非渋滞時には、加速度の分布が正規分布とラプラス分布の中間の特性が得られるものと推察される。一方、一般道自由流は現実的には信号機や路側の状態や駐車場の関係により完全にドライバが自由な速度で運転することは困難となる。このため、高速道追従走行でかつ非渋滞時と同様な特性が得られるものと推察される。

次に速度時系列について考察するために、反射壁ブラウン運動と実際の高速道路自由走行時の速度時系列を図 6.4 に、加速度をラプラス分布により発生させた速度時系列と実際の一般道追従走行の速度時系列を図 6.5 に示す。但し人工的に発生させた時系列には反射壁を設けている。この図 6.4、図 6.5 より、時系列自体は一致していないものの、時系列曲線の傾向が似ていることが判る。

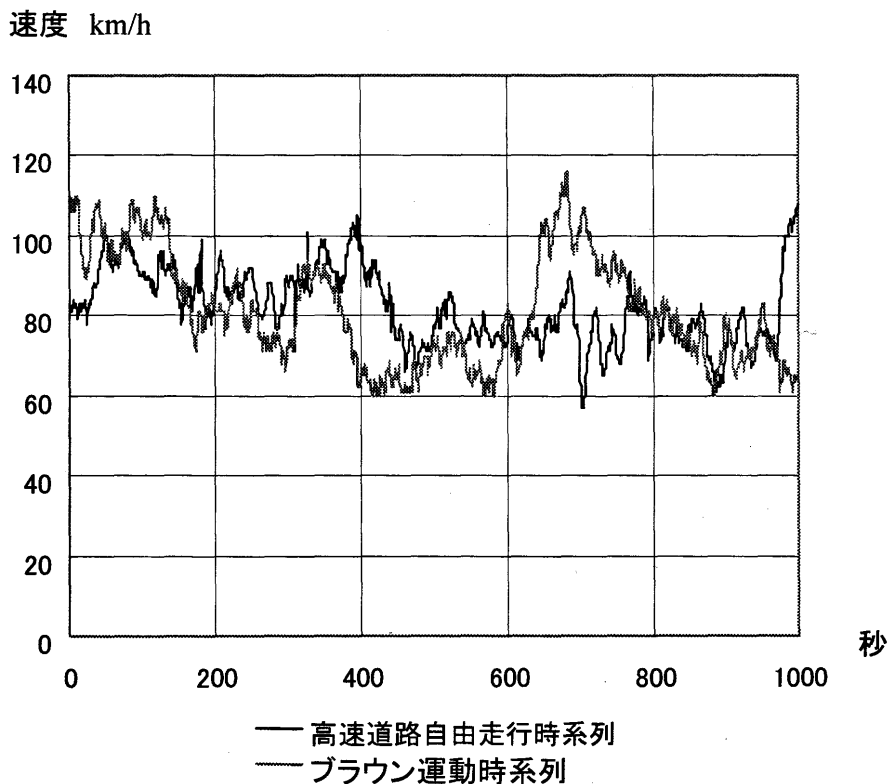


図 6.4 反射壁ブラウン運動と高速道路自由走行速度時系列

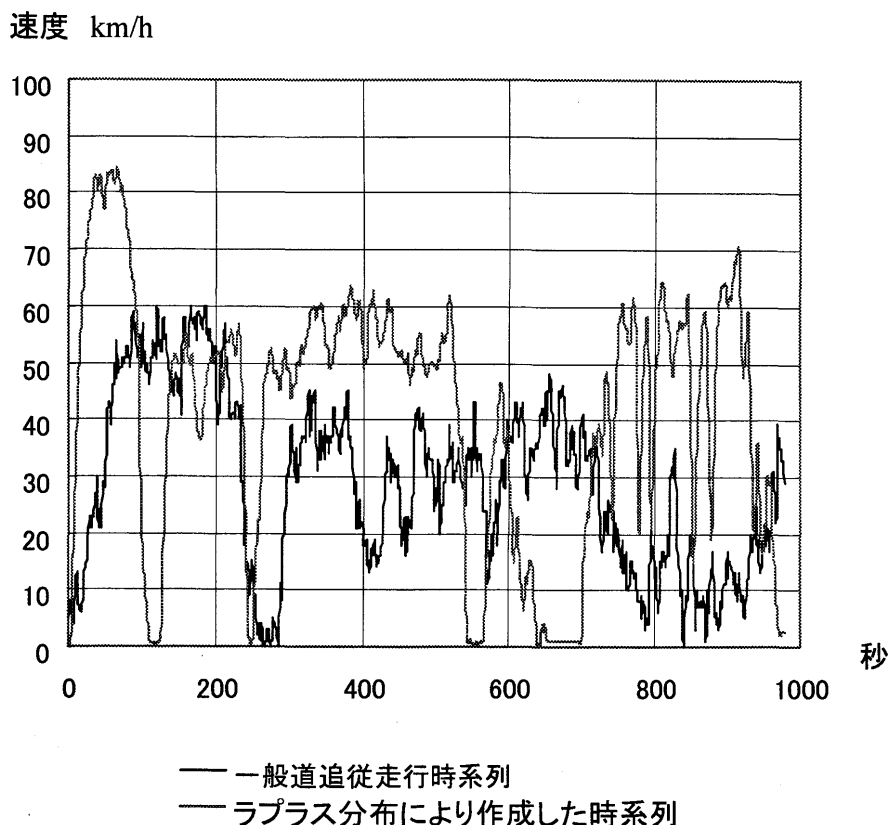


図 6.5 ラプラス分布により発生した時系列と一般道追従走行速度時系列

この曲線の一致度合いを評価した場合には、加速度分布の対数が放物線になっているか、区分直線になっているかを指標にすることはできるものの、人間の主観的な一致とはならない。また人工的な時系列は、元々加速度分布の対数の曲線が一致するように発生させた曲線であり、比較自体が無意味といえる。そのため、フラクタル次元[縮尺により曲線計量(長さに相当)がどの程度縮小されるかの指標⁷⁾]による自己相似の曲線の複雑さを、主観値として導入することにする。このフラクタル次元はラプラス運動の場合には自己相似でないため定義が不能であるが⁹⁾、数値的には計算ができるため、曲線の種類の形状を捉える指標とする。この図 6.4 と図 6.5 の人工的に発生させた時系列と、実際の速度時系列とのフラクタル次元の比較を表 6.1 に示す。表 6.1 により、フラクタル次元がほぼ一致していることがわかる。

表 6.1 人工時系列とサンプル時系列のフラクタル次元

	高速自由流	一般道追従走行
実データ	1.52	1.72
人工データ	1.5	1.75

(2) フラクタル次元による走行状態推定

運行管理システムにより収集した大量の加速度分布の形状を、そのまま数値的に捉えることは、メモリの面で一般に困難であると言える。このため、簡易的に何らかの特徴量により、時系列の形状、加速度分布の特徴を捕らえなければならない。この特徴量としてフラクタル次元による状態推定について考察する。

状態推定としては、前章の仮説が正しいならば、速度時系列の曲線の複雑度合いにより走行状態を分類できるといえる。このため、速度時系列の曲線の複雑さであるフラクタル次元 η の導入を検討する。

ここで、車が自由走行を行なっているならば、速度時系列のフラクタル次元は 1.5 となる η 。追従走行時には、ブラウン運動より曲線が複雑になるため 1.5 を超えることになる。ただし、ラプラス分布により発生させられた時系列は自己相似ではないが、ここでは単純にフラクタル次元を曲線の複雑度合いとして解釈する。次にタコグラフ安全診断においての一つの指標である、速度時系列が一定となるような速度時系列について述べる。この状態は異常な状態であると言われている。このような場合には、ドライバが意図してまわりの状況を考慮せずに無理に一定速度で動いた、危険な場合であると考えられる。この場合にはブラウン運動より単純な曲線となるためフラクタル次元が 1.5 より小さな値になる。即ち、速度時系列のフラクタル次元を計算することにより、自由走行、追従走行、ドライバが意図して速度一定で走った状態を推定することが可能であると言える。しかし、フラクタル次元による状態推定の精度については、データ数が不足しており検証ができていないので、今後検討を進めていきたい。

(3) 加速度標準偏差の指標としての検討

主観安全診断の自動化となる安全運転指標として、加速度標準偏差の検討を考える。

加速度標準偏差とは、式(6.1)にて示すように、時間に関する加速度の標準偏差として定義されている。この式(6.1)より、加速度標準偏差は速度の変動が多い、すなわち速度に

$$\text{加速度標準偏差} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T |a_i - \bar{a}|^2} \quad (6.1)$$

T : 計測時間 (1分~)

a_i : 加速度時系列 (一秒毎 $i=1, \dots, T$)

\bar{a} : 加速度平均値

ぎざぎざの線が多い場合、または急加減速が頻発すると値が大きくなる。これは、直感的に安全度を示していることが理解できる。ここで、標準偏差という統計量を計算する時間範囲としては、1~5分程度とする。

この加速度標準偏差の計算は、速度微分と二乗平均のみで済むため、計算機の負荷があまり増えないという利点がある。また、現状のタコグラフには存在しないものであり、新たなリスクとして追加し、従来行っていたタコグラフの目視主観安全診断を自動化するために新しく考案した指標である。

(4) 加速度歪度の指標としての検討

運転手の個性を示す診断指標として、確率分布の非対称性を表す「歪度」の検討を考える。歪度とは、次式で示される3次元モーメントの平均値である。

$$\text{歪度} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3}{\sigma^2} \quad (6.2)$$

σ : 標準偏差

\bar{x} : 平均値

x_i : サンプル値 ($i=1, \dots, n$)

この値が負の場合には、分布は図 6.6(a)に示すように負の方に裾野が広がる。0 の場合には、図 6.6(b)に示す左右対称の分布となる。正の場合には、図 6.6(c)に示すように正の方に分布の裾野が広がる分布になる。

加速度歪度が負の場合には、図 6.6(a)に示すように小さな加速が多く、急なブレーキが起こることを意味する。即ち、加速がゆっくりで、ブレーキが急と言える。別の仮説を立てるならば、発進がゆっくりで車間距離を詰めだし、停止の時にはブレーキがきつめになるとも言える。加速度歪度の値がほぼ0の場合には、加速も減速も緩やかな場合か(加速度標準偏差が小さい場合)、加速も減速も急な場合(加速度標準偏差が大きい場合)のどちらかとなる。

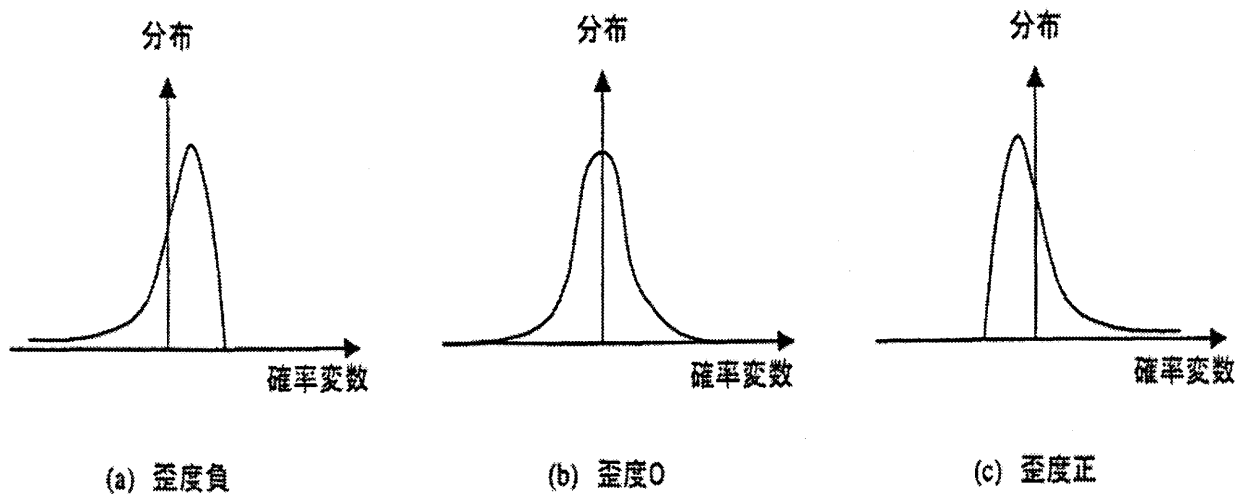


図 6.6 歪度別の確率密度関数の形状

加速度歪が正の場合には、こまめなブレーキが多く、急な加速が起こることを意味する。即ち、ブレーキは早めにゆっくりかけ、加速をすばやく行うと言える。別の仮説を立てるならば、発進をすばやく行い、停止の時には状況予測をして早めに緩やかにブレーキ操作を行うとも言える。

この加速度歪度により、こういったドライバが危ないとは一概に言えないが、ドライバの個性が現れる値であることを検証できれば、安全診断としての使用が期待できる。

この加速度歪度の統計を取る時間範囲は一本の走行毎とする。これは、加速と減速がセットになっていなければ歪度の意味が無くなり、短い時間範囲で加速と減速がセットにならないためである。

主観判断によるドライバの特性が加速度歪度で説明できることを確認するため、5人のドライバに対して基礎実験を行った。表 6.2 に実験結果(診断対象者の性別、年齢、主観判断によるドライバの特性、加速度歪度平均、加速度歪度標準偏差、走行データ回数)を示す。

表 6.2 主観運転特性と加速度歪度の実験結果

被験者	性別	年齢	被験者の主観運転特性	加速度歪度		走行回数
				平均	標準偏差	
A	男	40代	加速、減速ともにきびきびしている	-0.124	0.255	138
B	男	20代	やや急減速が多い	-0.307	0.312	65
C	男	20代	普通	-0.115	0.279	19
D	女	30代	加速が遅く、減速が急で危ない	-0.563	0.283	39
E	女	40代	加速、減速荒く、減速の方がやや荒い	-0.427	0.305	14

表 6.2 より主観運転特性が、普通または加減速がきびきびしているは加速度歪度が 0.1～0.2、やや急減速が多いは 0.3～0.4、減速が多いは 0.4～0.6 と分けられる。

(5) 運転傾向分布による安全度合い指標の検討

縦軸に加減速傾向(加速度歪度：ブレーキがきついか、アクセルがきついかの指標)を、横軸に加速むら(加速度標準偏差：アクセル、ブレーキの大きさ)の分布を考える。この分布図は、ドライバの運転傾向による安全度合いを示すと考えられ、原点に近いほど安定した速度(定速度)でムダな加速をしない(アクセルワークが安定した)ドライバであることを表すと考えられる。

一般道を追従走行時には、前章より非対称ラプラス分布となることより、式(6.3)で加速度分布が表される。ここでは加速度の平均値が 0 になるように不連続な関数とした。左右の分布の対称度として歪度 s 、加速度のばらつきとして標準偏差 σ は、定数 τ_1, τ_2 により式(6.4),(6.5)で表現される。

$$p(a) = \begin{cases} \frac{\tau_2}{(\tau_1 + \tau_2)\tau_1} \exp[-a/\tau_1] & a \geq 0, \\ \frac{\tau_1}{(\tau_1 + \tau_2)\tau_2} \exp[a/\tau_2] & otherwise \end{cases} \quad (6.3)$$

τ_1, τ_2 : 定数

a : 加速度

$$\sigma = \sqrt{2\tau_1\tau_2} \quad (6.4)$$

$$s = 3(\tau_1 - \tau_2) / \sqrt{2\tau_1\tau_2} \quad (6.5)$$

上記の加速度歪度、加速度標準偏差の導出方法について述べる。分布を以下の式と仮定する。

$$\text{加速度発生確率密度分布} = \begin{cases} c_1 \exp[-a/\tau_1] & a \geq 0, \\ c_2 \exp[a/\tau_2] & otherwise \end{cases} \quad (6.6)$$

a : 加速度[km/h/sec]

c_1, c_2, τ_1, τ_2 : 定数

ここで、車は速度 0 の停止状態から、発進し、停止を行うため、加速度の平均値は 0 となる。これは、加速度は速度の微分となるため加速度の平均は以下の式で表されるためである。

$$\text{加速度の平均} = (v[1] - v[0] + v[2] - v[1] + \dots + v[n] - v[n-1]) / \text{時定数} = (v[n] - v[0]) / \text{時定数} = 0$$

$$v[j] : \text{時刻 } j \text{ における速度 } (j=0, \dots, n) \quad (6.7)$$

更に、式(6.6)は確率密度関数であるため、式(6.6)を積分すると 1 になる。この条件より、定数は以下の式になる。

$$c_1 \tau_1 + c_2 \tau_2 = 1 \quad (6.8)$$

$$c_1 \tau_1^2 - c_2 \tau_2^2 = 0$$

式(6.8)より、 c_1, c_2 は以下となる。

$$c_1 = \frac{\tau_2}{(\tau_1 + \tau_2)\tau_1}, \quad c_2 = \frac{\tau_1}{(\tau_1 + \tau_2)\tau_2} \quad (6.9)$$

また式(6.6)の 2 次モーメント積分、3 次モーメント積分実行、および式(6.9)より、標準偏差は $\sigma = \sqrt{2\tau_1\tau_2}$ 、歪度は $s = 3(\tau_1 - \tau_2) / \sqrt{2\tau_1\tau_2}$ となる。 τ_1, τ_2 は、真値との最小二乗により求める。

ここで、事故の発生は非常に低くデータの蓄積が不十分なため、ここでは錯綜法¹⁰⁾として急減速の発生する確率をもって、危険な度合いとする。減速度 $-B$ 以下の起こり得る確率は、式(6.3)-(6.5)より $\tau_1 / (\tau_1 + \tau_2) \exp[-B/\tau_2]$ となる。このことより、危険な度合いに遭遇する人は、 τ_2 の大きなドライバ、即ち加速度標準偏差（アクセルブレーキワーク）の大きなドライバといえる。これは直感的に加速度分散の大きい場合には事故が起こりやすいという報告⁴⁾と合致する。また同じ加速度標準偏差のドライバならば、加速度歪度が負で大きなドライバが危険であると言える。

そこで、基礎実験を行った。事例の数としては少ないが、実験に協力した 7 名（うち 2 名事故歴有り）のドライバの加速度歪度、標準偏差の相関と、事故の有無を図 6.7 に示す。錯綜法¹⁰⁾として、急減速 0.3G の発生を加速度標準偏差と加速度歪度で線形近似した直線とした。この例では、歪度と標準偏差により事故のドライバが分離できていることがわか

る 11)。

加速度歪度

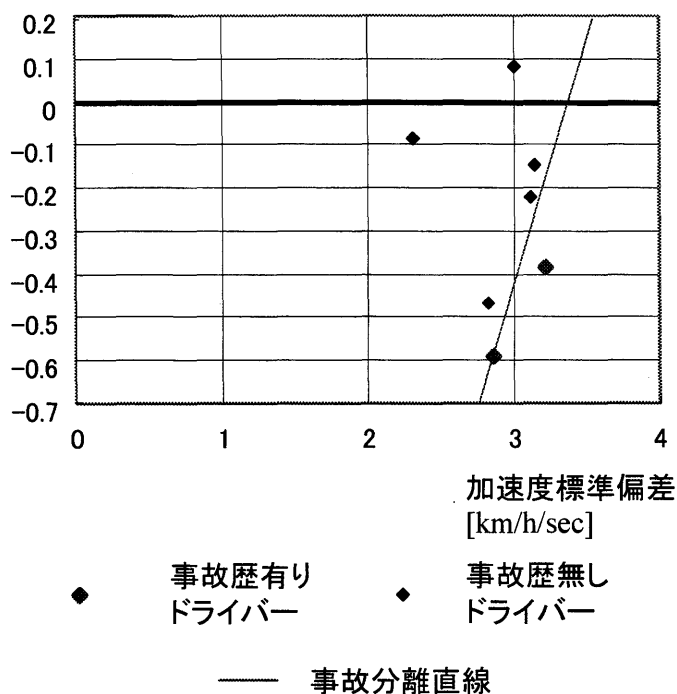


図 6.7 加速度歪度と標準偏差による事故の分類例

(6) その他の指標の検討

その他の指標として次の指標を取り上げることとした。

- ・瞬間最高速度(一般道)[km/h] : MAX(速度)[km/h]
- ・平均速度(一般道)[km/h] : 走行距離[km]/走行時間[h]
- ・速度違反時間割合[%] : 走行時間のうち、法定速度を超過して走行した時間の割合
- ・急加速/急減速回数[回/h] : 走行時間 1h あたりに発生した 0.3G 相当以上の加速/減速回数の平均値
- ・ヒヤリハット回数[回/h] : 初速が 30[km/h] 以上で 0.3G 相当以上の減速回数の平均値
- ・最大連続ハンドル時間[h] : 各ハンドル時間のなかの最大値
- ・合計アイドリング時間[h] : エンジンがかかっている状態で、同じ場所に一定時間(6分)分以上停車(車両速度=0km/h)した時刻から、エンジンが切られるか、もしくは、車両が動き出す(車両速度>0km/h)時刻までの時間。

6.3 トラック運行管理のプロープ情報を利用した安全運転診断実証実験

6.3.1 安全運転診断実証実験の概要

図 6.8 に安全運転診断実証実験システムの概要を示す。この実証実験システムは、①運行管理システムから転送された車両情報、運転者氏名、車交代の情報を②安全運転診断アプリケーションに取り込み、③安全運転診断情報を出力するものである。この安全運転診

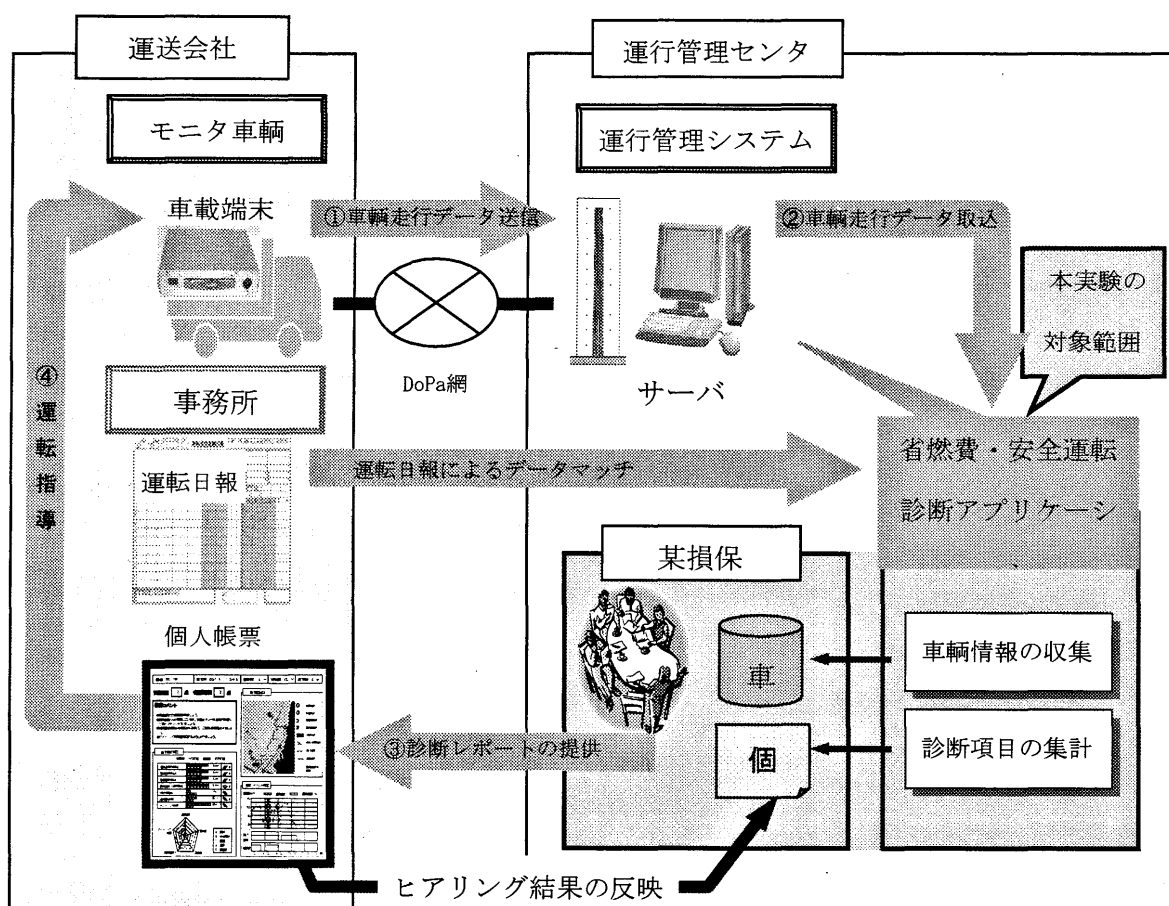


図 6.8 安全運転診断実証実験の概要

断帳票を某損保会社に提示し、安全評価の記入を受け、④モニター企業に提出する。また安全評価記入項目をルールとして安全運転診断アプリケーションにフィードバックをかけて、安全診断のルールを作成していく方法をとった。診断ルールが完成した後に、某損保会社の安全運転指導員に安全運転診断の帳票を元にモニター企業のドライバーに対して安全運転指導を行ってもらう。安全運転指導後に収集した車両走行データより安全運転診断帳票を作成し、安全運転指導の前と後で各項目が改善しているかを比較し、安全運転指導の効果を検証した。

6.3.2 運行管理システムから得られる車両走行情報

この安全運転診断アプリケーション内でのデータ加工方法を次に示す。運行管理システムから得られる車両走行情報は、次に示す走行データ、状態データ、作業データの3種類からなる。

(1) 走行データ：車両の挙動に関するデータで1分毎に記録し、10分毎にセンタへ発信する。

- ①車両速度[km/h]
- ②車両位置(緯度、経度)[deg]
- ③走行距離[km]

(2) 状態データ：車両がある設定された状態になった場合に発生するデータで、発生時に時刻、車両位置とあわせて記録、発信する。

- ④車載端末電源(ON/OFF)
- ⑤急加速/急減速(初速・終速)
- ⑥アイドリング(開始)

(3) 作業データ：操作パネル押下により発生するデータで、発生時に時刻、車両位置とあわせて記録、発信する。

- ⑦始業/終業
- ⑧荷積/荷卸
- ⑨休憩
- ⑩走行
- ⑪高速道路/一般道路

6.3.3 車両走行情報からの集計情報

次に、収集された車両走行情報より、以下の項目を集計する。

(1) 運行時間[h]：操作パネルの「始業」ボタンが押下された時刻から「終業」が押下された時刻までの時間

(2) ハンドル時間[h]：運行時間のなかで、「始業」が押下された時刻もしくは作業終了(=「走行」モード移行)時刻から作業ボタンが押下された時刻までの時間、もしくは、そ

の合計。実際に車両を運転していた時間を表す。

- (3) 走行時間[h]：運行時間のうち車両速度が 0km/h でない時間。(実際に車両が動いている時間)
- (4) 休憩時間[h]：操作パネルの「休憩」ボタンが押下された時刻から、車両が動き出す(車両速度>0km/h)時刻までの時間。
- (5) 作業時間[h]：操作パネルの各種作業ボタン(「荷積」、「荷卸」)が押された時刻から車両が動き出す(車両速度>0km/h)時刻までの時間。
- (6) 走行距離[km]：操作パネルの「始業」ボタンが押下された時点の走行距離と「終業」ボタンが押下された時点の走行距離値との距離差。
- (7) 速度[km/h]
- (8) 加速度：「急加速/急減速」状態データの終速と初速より推定
- (9) 最大加速/減速度[G]：MAX(加速)[G]、MIN(加速)[G]
- (10) 加速/減速分布[回/h]：走行時間 1h 時間あたり発生した加速/減速回数の 0.2G,0.3G,0.4G 以上のそれぞれの平均

6.3.4 安全運転診断指標の診断情報

車両走行情報情報、集計情報より、物理データである安全運転診断の指標として以下の診断項目を計算する。

- (1) 瞬間最高速度(一般道)[km/h]：MAX(速度)[km/h]
- (2) 平均速度(一般道)[km/h]：走行距離[km]/走行時間[h]
- (3) 速度違反時間割合[%]：走行時間のうち、法定速度を超過して走行した時間の割合
- (4) 急加速/急減速回数[回/h]：走行時間 1h あたりに発生した 0.3G 相当以上の加速/減速回数の平均値
- (5) ヒヤリハット回数[回/h]：初速が 30[km/h]以上で 0.3G 相当以上の減速回数の平均値
- (6) 最大連続ハンドル時間[h]：各ハンドル時間のなかの最大値
- (7) 合計アイドリング時間[h]：エンジンがかかっている状態で、同じ場所に一定時間(6分)分上停車(車両速度=0km/h)した時刻から、エンジンが切られるか、もしくは、車両が動き出す(車両速度>0km/h)時刻までの時間。
- (8) 運転傾向分布：加速むら(加速度標準偏差)と加減速傾向(加速度歪度)の分布

- ・ 加速むら(加速度標準偏差)[G]：異常速度むら(速度にむらのある走行)を数値化
- ・ 加減速傾向(加速度歪度)[-]：ドライバの運転傾向を算出

(9) 燃費[km/リッター]：走行距離のデータと、満タン法により採取した実際の燃料のデータとを線形回帰を行う。ここで燃費は本来交通安全意識との関係は薄い。しかしながら、物流業界では省燃費運転に力を入れており追加したものである。

6.3.5 安全運転診断帳票

出力する安全運転診断帳票について説明する。この帳票は日々と月毎の帳票の2種類を作成することとした。

安全運転診断日々帳票(図 6.9)は、運転者、走行日時、非走行時間(車を運転していない時間)、運行時間、走行距離、安全運転点数、省燃費運転点数、指導コメント(某損保によるノウハウの指導データ)、走行情報の履歴の棒グラフ、レーダーチャート、走行履歴地図、および速度・イベント履歴からなる。

また、各走行履歴安全項目のA~Eの評価は、

- A：良好
- B：やや良好
- C：普通
- D：注意
- E：要注意

とし、某損保の指導員に記入してもらい、実証実験中に、このデータをもとに走行情報群をA~Eの評価を対応させるルール化を行う方法をとった。

また、総合評価として、

- 安全運転点数、
- 省燃費運転点数、
- 指導コメント

を記入してもらった。これらのデータを元に安全運転点数・指導コメントパターンを作成しルール化を行った。速度イベント履歴にある危険度とは、速度違反をしているときを1、急加減速を行っているときを1、異常速度むらのときを1とした和の時系列を示す(0~3の値を取る)

運転者: 榎本 修 走行日時: 2002/8/8 非走行時間: 113分 運行時間: 1099分 走行距離: 540km

安全運転 点 省燃費運転 点

指導コメント
 ○4時間の運転時間内に10分以上の休憩をとらしましょう。
 ○法定速度を超える状態が47分続きました。今後は法定速度を守り、安全運転を心掛けましょう。

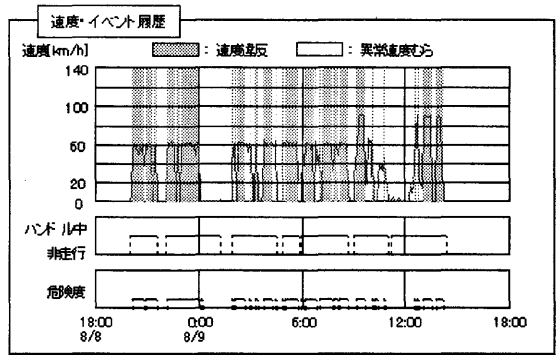
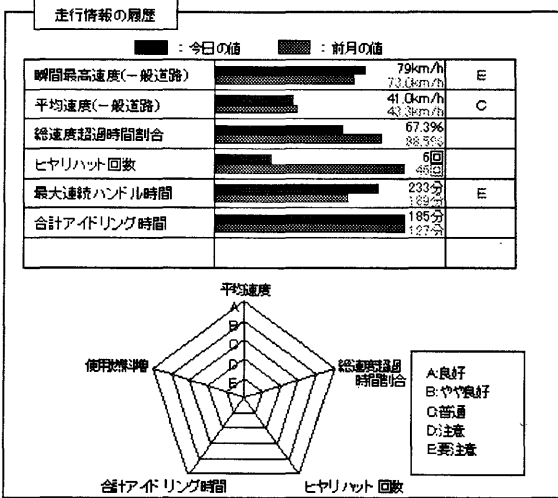
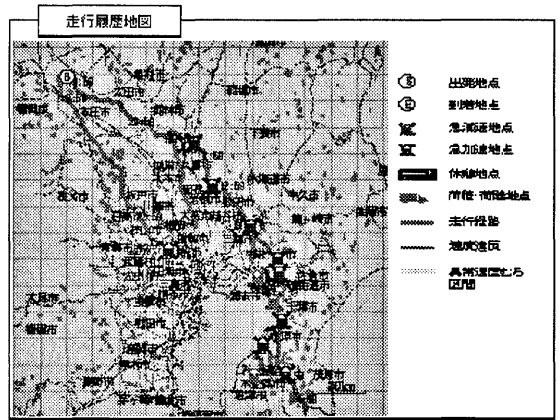
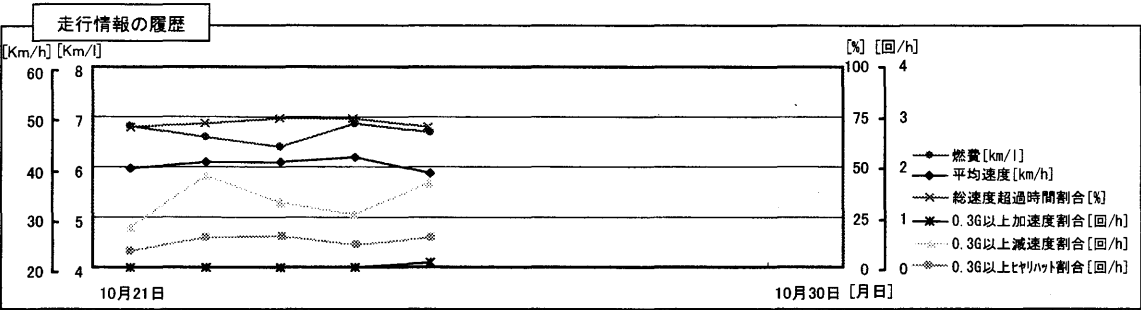


図 6.9 安全運転診断日々帳票の例

運転者: B氏 走行期間: 2002/10/21-10/25 安全運転 点 省燃費運転 点

走行評価

運転傾向



月平均評価

瞬間最高速度(一般道路)	67 km/h
平均速度(一般道路)	38 km/h
総速度超過時間割合	71 %
ヒヤリハット回数	6 回
最大連続ハンドル時間	518 分
合計アイドリング時間	172 分
使用燃料増	

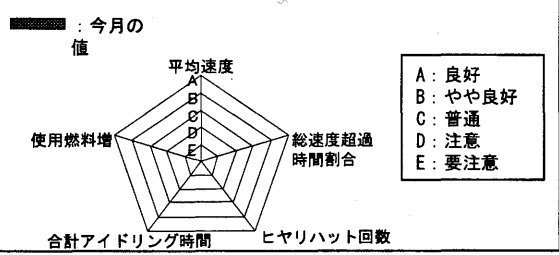


図 6.10 安全運転診断月次帳票の例

また燃料の計算は、走行情報のデータと、満タン法により採取した実際の燃料のデータとを線形回帰を行うことにより点数を付けることにした。ここで燃費は本来交通安全意識との関係は薄い。しかしながら、物流業界では省燃費運転に力を入れており、某損保からの要望もあり追加したものである。

次に安全運転診断月次帳票（図 6.10）について説明する。安全運転診断月次帳票は、運転者名、走行期間と、走行評価、運転傾向、安全運転点数、省燃費運転点数の某損保のルールを用いて記入する指導部分と、日々の走行情報群の履歴グラフ、月平均の走行情報群のグラフ、レーダーチャートからなる。そして走行情報群での異常値のデータがあるときには、「特異な日」として警告をだす。この特異日の判定方法としては、ミルノフ＝ゲラブス検定法¹²⁾を使用した。この方法は平均値からの偏差により t 検定¹²⁾を行うことにより、異常値を検出する方法である。

ここで、日々帳票、月帳票共に、全月の平均との比較を走行情報群に関して行い、ドライバーに自分の運転が良くなっているか、悪くなっているかが判るようにした。

6.3.6 安全運転診断実証実験結果

安全運転診断日々帳票により、某損保の安全運転指導員よりAからDまでの4名のドライバーに対して安全運転指導を行ってもらった。この指導後に、物理データである走行情報群の値が指導前後で有意に良くなったのかの検証を行った。

(1) 運行時間と走行距離

実証実験を行ったケースの運行時間と走行距離を図 6.11 に示す。1 運行当たりの平均運行時間および走行距離は、安全運転診断の前後ではほぼ同様であり、今回の安全運転診断実証実験は、ほぼ同条件であるといえる。

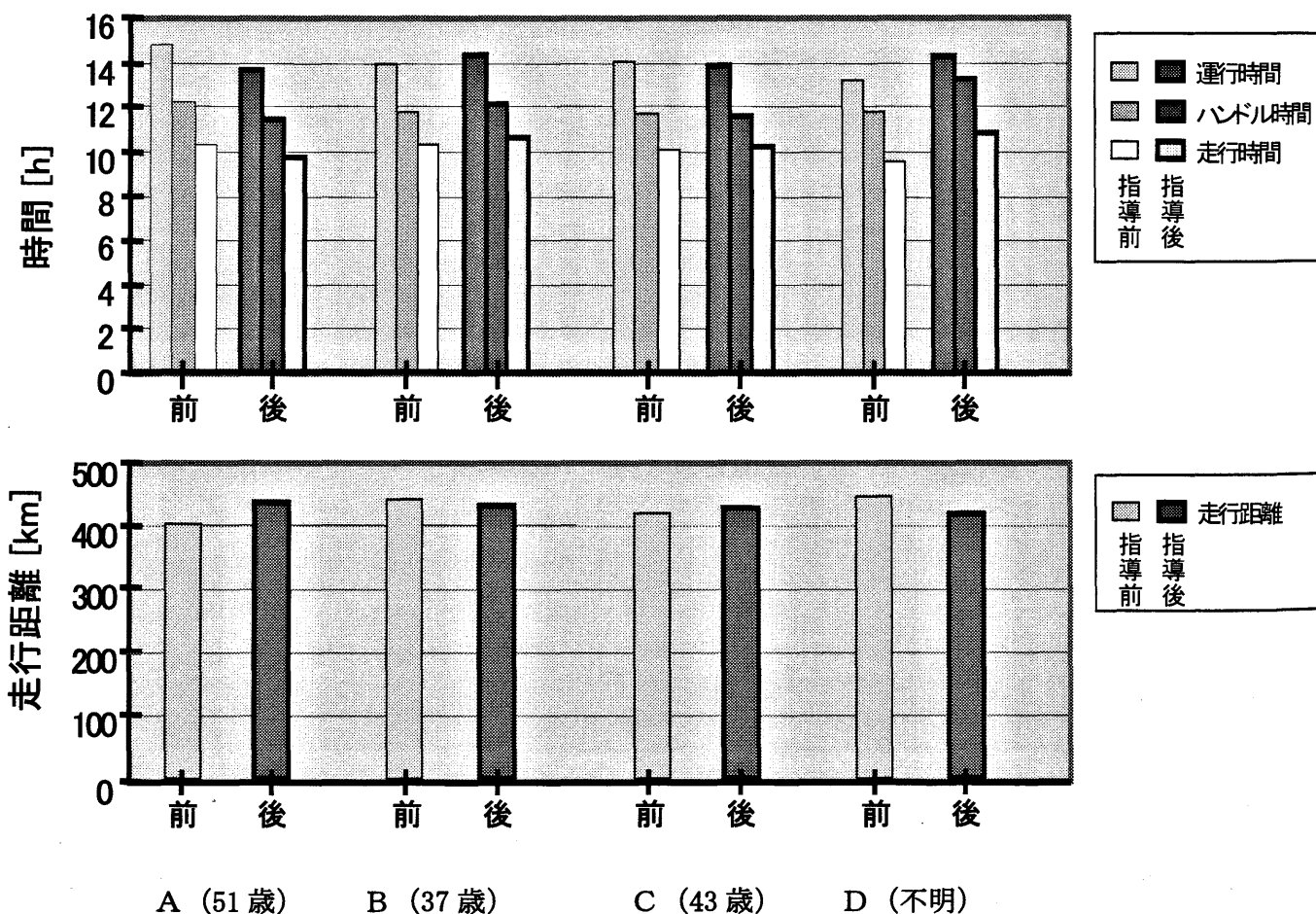


図 6.11 運行時間 (Hr) と走行距離 (km)

(2) 速度に関する評価

図 6.12 に、平均・最高速度(km/h)と速度違反時間割合(%)の実証実験結果を示す。

ここで、速度違反時間割合とは、走行時間のうち法定速度を超過して走行した時間の割合を表す。しかし、1分間の間に1回でも速度違反を行うと1分の速度違反とみなし集計しているため、誤差が大きいことを考慮する必要がある。

平均・最高速度では、A、C、Dは指導の前後で一般道の最高速度が低下しており、Bは高速道の最高速度が低下していることが確認できた。

速度違反時間割合では、BとDは、指導の前後で速度違反の割合が減少していることが確認できた。

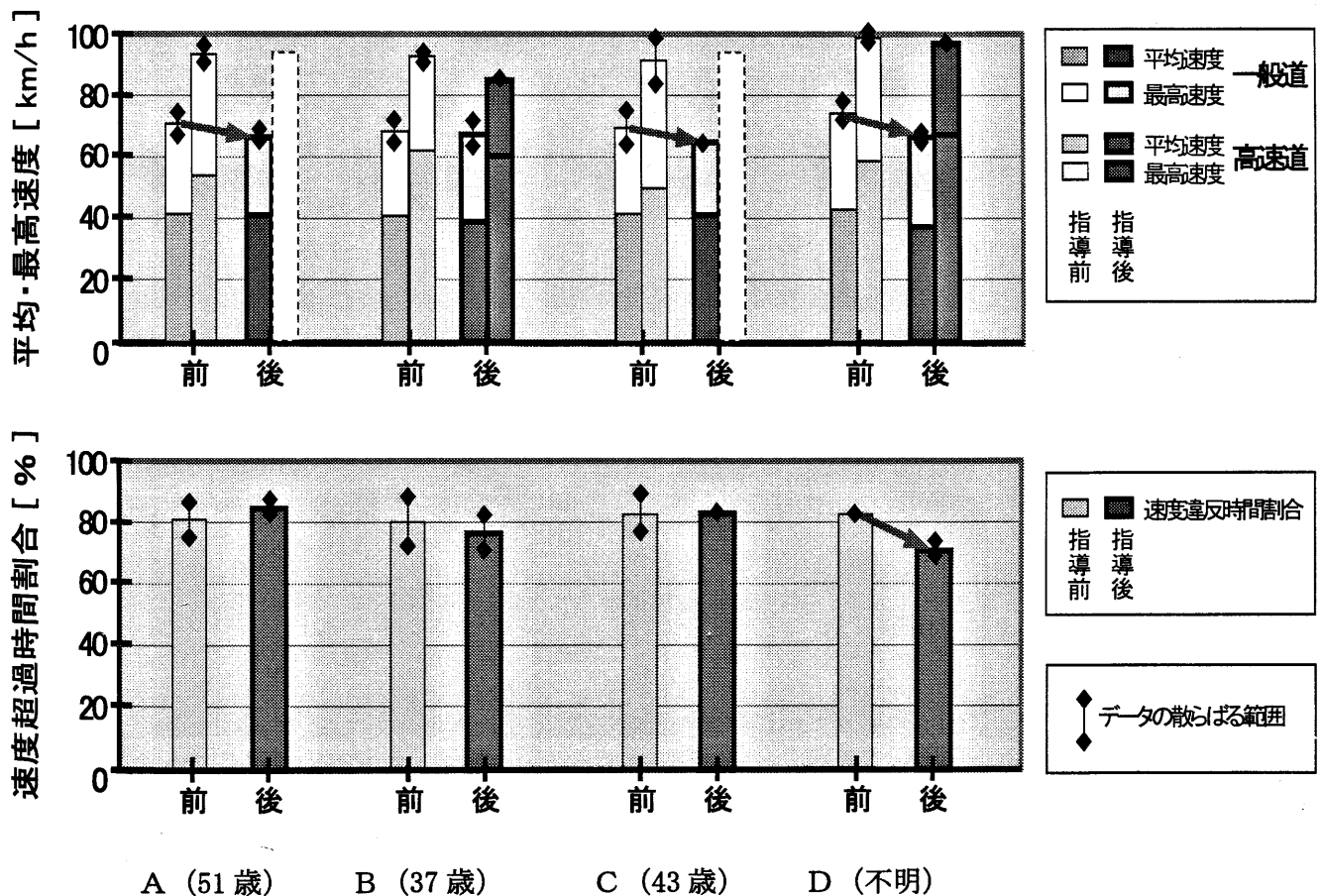


図 6.12 平均・最高速度(km/h)と速度違反時間割合 (%)

(3) 急加速・急減速に関する評価

図 6.13 に急加減速回数(回/h)の実証実験結果を示す。ここで、急加速・急減速回数とは、走行時間 1h 当たりに発生した 0.3G 相当以上の加速・減速回数の平均値を表す。ヒヤリハット回数とは、急減速のうち初速が 30(km/h)以上の減速回数の平均値を表す。

急加速回数では、A と B は若干ではあるが急加速の傾向が見受けられた。

急減速回数では、C と D は指導の結果、急減速の傾向が減少していることが確認できた。

ヒヤリハット回数では、C と D は指導の結果、回数が減少していることが確認できた。

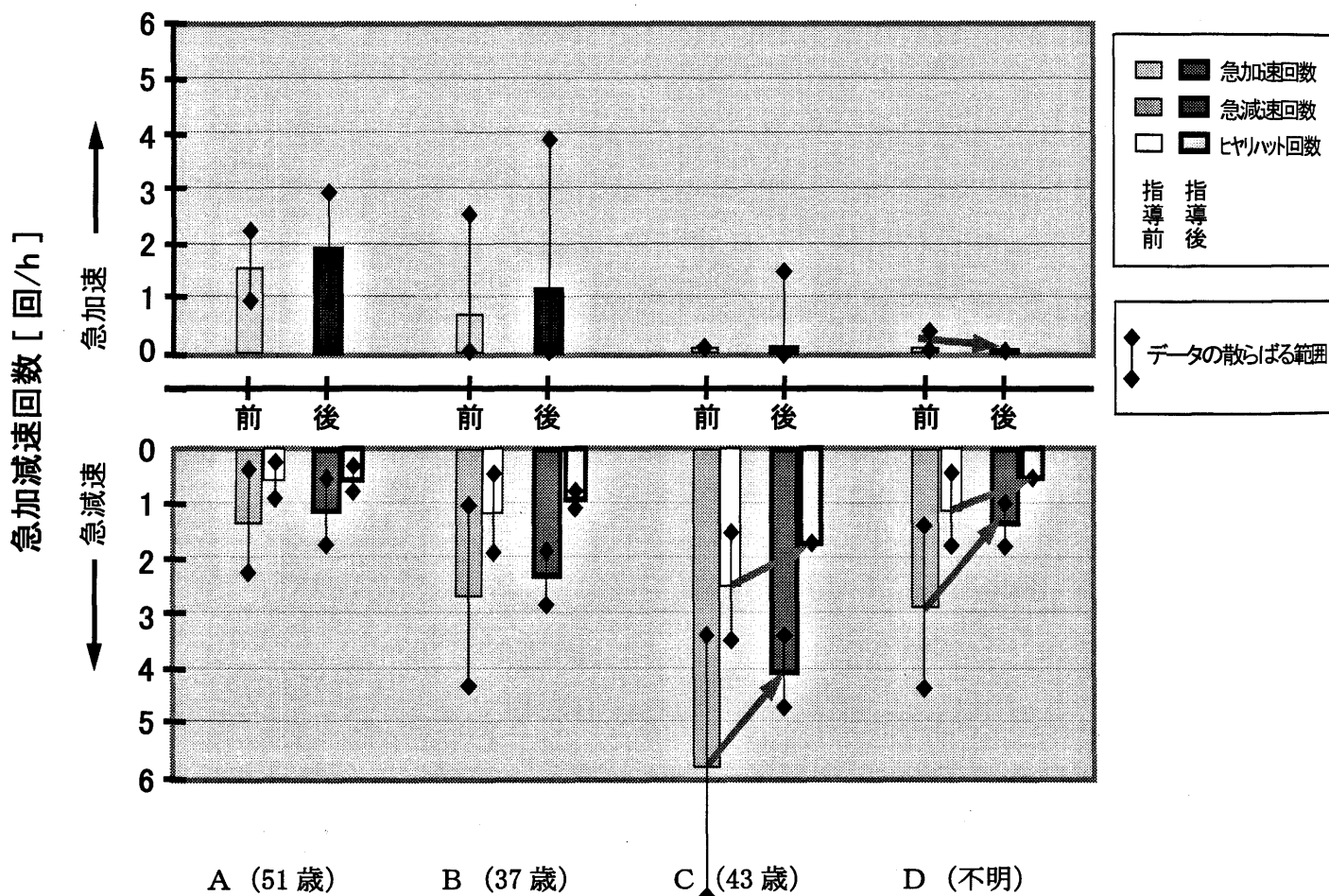


図 6.13 急加減速回数 (回/h)

(4) 運転傾向に関する評価

図 6.14 に加減速傾向度と加速むらの実証実験結果を示す。加速度傾向度は加速度歪度(ブレーキがきついか、アクセルがきついかの指標で無次元)で表し、加速むらは加速度標準偏差(アクセル、ブレーキワークの大きさで、この値が高くなると危険な走行状態となる)で表している。

本図ではドライバの運転傾向を示しており、原点に近いほど安定した速度(定速度)でムダな加速をしない(アクセルワークが安定した)ドライバであることを表している。

D は安全指導により、加速傾向度、加速むら(アクセルワーク)とも改善がみられた。

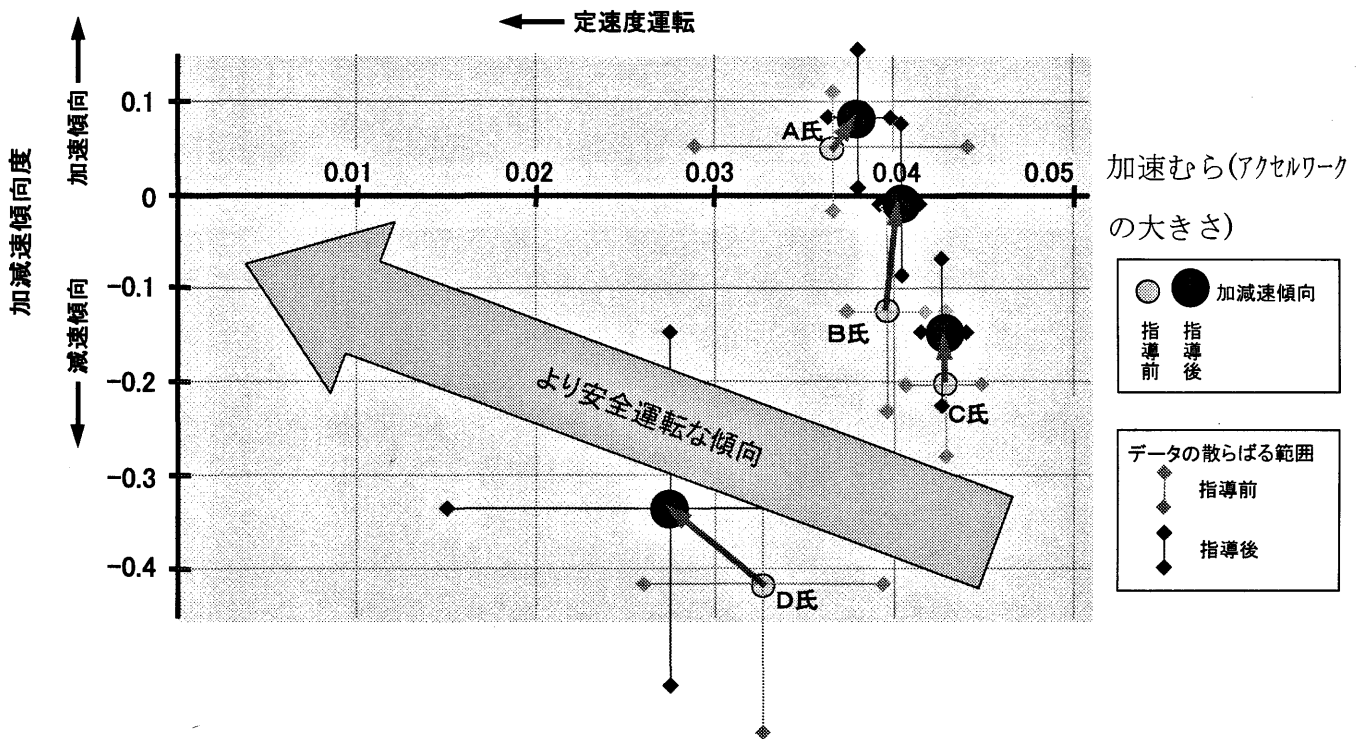


図 6.14 加減速傾向度

(5) 燃費に関する評価

図 6.15 に燃費(km/リッター)の実証実験結果を示す

燃費では 4 名全員の燃費の改善が行われていることが確認できた。ここで、ドライバーへの燃費指導では、アクセルワークを示す量である加速むら(加速度標準偏差)を下げるように指導した。これにより、安全運転診断による燃費向上と CO₂ 低減の有効性が確認できた。燃費が 6.5km/リッターから 6km/リッターへと 0.5km/リッター向上した場合、走行距離が一月 5,000km、燃料が 1 リッター 70 円的前提下、1 台一月 4,500 円の削減効果が見込める。1 万台の車両がシステムを導入した場合には年間 5.4 億円の効果が見込める。

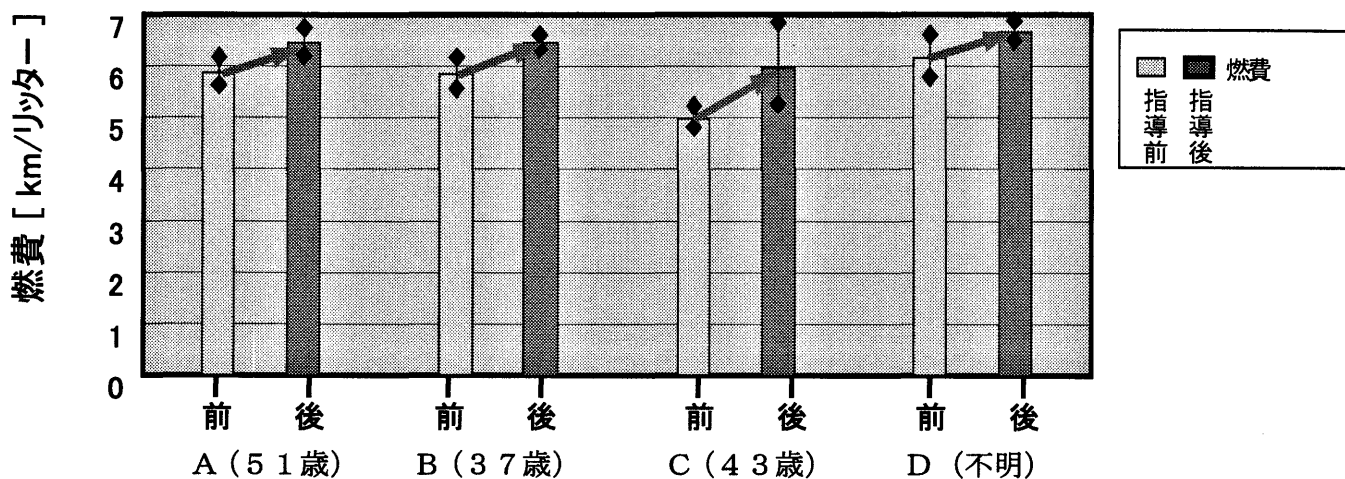


図 6.15 燃費 (km/リッター)

燃費に対する旅行速度、加速度、加速度歪度、正の加速度平均値(加速度標準偏差に比例)などの影響を検討するため、真値(満タン法による)との間で最小二乗近似により推定式を求めると(6.10)のようになった。推定(要因分析)燃費と真値(満タン法による)の燃費の相関を図 6.16 に示す。ここでの燃料消費率[l/km]は、通常に使う燃費の単位[km/l]の逆数となっているが、解析上ではこの単位を使う慣例となっているため^{13) 14) 15)}、ここでは、[l/km]の単位とする。式(6.10)の燃料消費量の説明変数については、従来から旅行速度、正の加速度平均値で近似されることが指摘されている^{13) 14) 15)}。しかしながら、本研究では最小二乗により相関(P 値¹⁶⁾ 0.05 以下)の高い項を用いて表現した。そのため、0.2G 台の加速度と加速度歪度が寄与しているが、これは、正の加速度平均値の推定が完全でないため混入したものである。近似値と真値の相関係数は、0.774 であり、約 60%の説明能力(相関係数の二

乗)がある。即ち、旅行速度を上げ、加速を緩やかにすれば燃費が向上することを意味する。

しかしながら、旅行速度はドライバが操作できる量ではなく、周囲の渋滞か閑散かの道路状況に依存するものである。そこで、ドライバへの燃費指導ではアクセルワークの示す量である「加速むら(加速度標準偏差)」を下げるように指導することとした。荷物の質量変化、エアコンの稼働状況により、燃費は変化するため、式(6.10)はあくまでも指導としての傾向をみる式としてとらえる。

$$\text{燃料消費率 [l/km]} \approx 0.159 + 1.08/V - 0.094Na + 0.183Nb - 1.256\sigma + 0.058S \quad (6.10)$$

V: 旅行速度(=走行距離/正の速度の時間) [km/h]

σ : 正の加速度平均値[G]

Na: 0.2G台(8-10km/h/sec)の加速回数距離比(回/km)

Nb: 0.2G台(8-10km/h/sec)の減速回数距離比(回/km)

S: 加速度歪度(無次元)

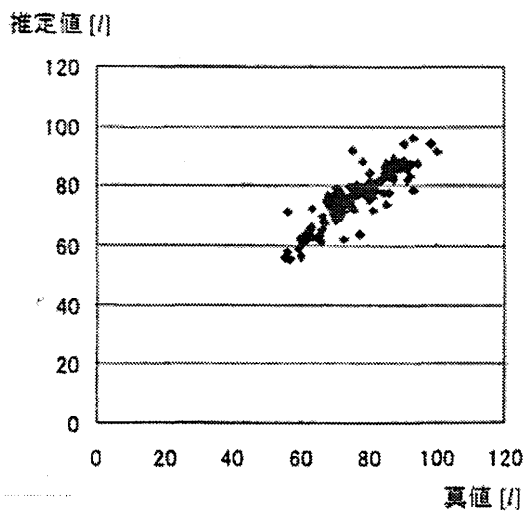


図 6.16 推定(要因分析)燃費と真値の相関図

(6) 指導効果のまとめ

今回の実証実験での安全運転指導による効果をまとめると表 6.3 のようになった。

- ・平均・最高速度では、安全運転指導により改善傾向がみられ、A、C、D には大きな改善傾向がみられた。
- ・速度違反時間割合では、安全運転指導により D には改善傾向がみられた。
- ・急加速・急減速では、安全運転指導により C、D には改善傾向がみられた。

- ・運転傾向では、安定した速度(定速度)でムダな加速をしない(アクセルワークが安定した)ドライバであることを評価するが、全員が現状維持であった。
- ・燃費では、全員について安全運転指導により燃費の改善がみられた。

個人的に見ると、Bについては安全運転指導の効果はあまり得られなかったが、他のA, C, Dについては、かなりの効果を得ることができた。

これにより、本研究の安全運転診断の方式により、安全運転、省燃費が期待できることが検証できた。しかしながら、4名という統計的には信頼できないサンプル数であり、今後サンプル数を増やして検証をしていく必要がある。

表 6.3 安全指導による効果

ドライバー名	A (51歳)	B (37歳)	C (43歳)	D (不明)
平均・最高速度	○	△	○	○
速度違反時間割合	×	△	×	○
急加速・急減速回数	△	△	○	○
運転傾向	△	△	△	△
燃費	○	○	○	○

注) ○：改善あり、△：現状維持 ×：改善なし

6.4 結語

従来は、安全管理者がタコグラフの速度時系列を見て、主観で危険な走行をした時間帯を特定し、ドライバに通知を行う目視主観安全診断が主であった。目視主観安全診断を自動化するための安全運転診断指標として加速度標準偏差と加速度歪度が目視主観安全度との間に相関があるかどうかを検討した。これにより、危険ドライバーの識別の可能性を検証し、従来の目視主観安全運転診断が自動化できる可能性を示した。

安全診断用物理データを模索するため、加速度の分布に注目し、高速道路自由走行時に

は加速度分布が正規分布、一般道追従走行時には加速度分布が非対象ラプラス分布であるとの仮説を立てた。次に、その仮説が正しいものとして、状態と危険度を推定するために、簡易に収集できるものとして、速度時系列のフラクタル次元と、加速度分布の標準偏差と歪度を提案した。これらの指標により、ドライバの走行状況と、事故の起こしやすさを表現できることが期待できる。

安全運転診断システムを構築し、実証実験を行った。採取データを統計処理した加速度標準偏差と加速度歪度により危険走行時間帯を特定する目視主観安全診断の自動化方式を検討した。安全運転診断実証実験では、安全評価記入項目をルールとして安全運転診断アプリケーションにフィードバックをかけて、安全診断のルールを作成していく方法をとった。診断ルールが完成した後に、指導前にデータ収集を行い安全運転診断帳票を作成し、これを用いて安全運転管理者にドライバに対する指導を行ってもらった。その後、指導後のデータ収集を行い、指導前と指導後で改善効果があるかを比較検討した。4人のドライバ(A~D)に対して実証実験を行い、Bについては安全運転指導の効果はあまり得られなかったが、他のA, C, Dについては、かなりの効果を得ることができた。ドライバへの燃費指導では、アクセルワークを示す量である加速むら(加速度標準偏差)を下げるように指導した。これにより、安全運転診断による燃費向上とCO₂低減の有効性が確認できた。燃費が6.5km/リッターから6km/リッターへと0.5km/リッター向上した場合、走行距離が一月5,000km、燃料が1リッター70円的前提下、1台一月4,500円の削減効果が見込める。1万台の車両がシステムを導入した場合には年間5.4億円の効果が見込める。

これにより、本研究の安全運転診断の方式により、安全運転による交通事故の低減、省燃費およびCO₂削減が期待できることが検証できた。

今後の課題としては、データ数が不足しており、仮説の域を出ていないため、加速度標準偏差と加速度歪度のみで安全度を十分に説明できない部分があると考えられる。このため今後データを採取し、これらの仮説を検証していきたい。また曲線の複雑さを示す値であるフラクタル次元による状態推定の精度を検証する方法や、ある一定時間でのFFT(高速フーリエ変換)を使用して状態が遷移した状態を検出する方法などを検討していきたい。

文 献

- 1) 損保ジャパンニュースリリース：<http://www.sompo-japan.co.jp/news/>
- 2) 自動車事故対策センター：運行管理者基礎講習テキスト，政府出資法人 交通事故対策センター，2000
- 3) 矢崎デジタルタコグラフ：<http://www.wbs.ne.jp/bt/yazaki-keiso/>
- 4) 野田宏治，荻野 弘，栗本 譲：自動車のアクセレーションノイズと交通事故に関する研究，土木学会 50 回年次学術講演会，pp.338-339，1995
- 5) 今井 稔：アクセレーションノイズと交通事故との相関に関する研究，土木学会 48 回年次学術講演会，pp.576-577，1993
- 6) 野田宏治，荻野 弘，高橋政稔，栗本 譲：アクセレーションノイズによる高速道路の交通事故分析に関する研究，第 15 回交通工学研究会発表論文報告集，pp.153-156，1995
- 7) 松下貢：フラクタルの物理 (I)，裳華房，2002
- 8) 古屋秀樹，牧村和彦，川崎茂信，赤羽弘和：車載型センサーを用いた車両挙動の調査・分析方法に関する基礎的研究，第 26 回土木計画学研究発表会講演集，2002.
- 9) S. Kotz, T. J. Kozubowski and K. Podgorski : The Laplace Distribution and Generalizations, Birkhauser, Berlin, 2001.
- 10) S. R. Perkins : Traffic Conflict Characteristics-Accident Potential at Intersections, Highway Research Record, Vol.255, 1968.
- 11) 井上健士，岸野清孝，竹松公一，青木 洋，伊藤彰朗，権守直彦：加速度の分布を用いた交通安全診断の考察，第 2 回 ITS シンポジウム，2003
- 12) 竹内 啓：統計学辞典、東洋経済、1989
- 13) 大口敬，片倉正彦，谷口正明：都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出推定モデル，土木学会論文集，No. 695/IV-54, pp.125-136, 2002
- 14) 大口敬：道路交通における燃料消費量推定方法に関する考察，土木計画学研究講演集，No. 22(2)，pp. 575-578，1999
- 15) M. G. Langdon : Factors in road design which affect car fuel consumption, Traffic Engineering Control, pp. 536-541, 1984

16) 服部 環, 海保博之 : 心理データ解析, 福村出版, 1997

第7章 並列計算機と ITS 技術によるトラック配車配送計画の研究

7.1 概説

トラック配車配送計画¹⁾²⁾³⁾とは、広域に分散配置された工場や物流拠点で生産、保管されている商品を、顧客の要望に応じて、道路ネットワークを通じて供給する場合の全体コストを最小化する問題である。図 7.1 は、実在の食品製造・流通企業の配車配送の全体を示している。ここでは地図上の小さな点が顧客の位置、円が工場や物流拠点などの供給拠

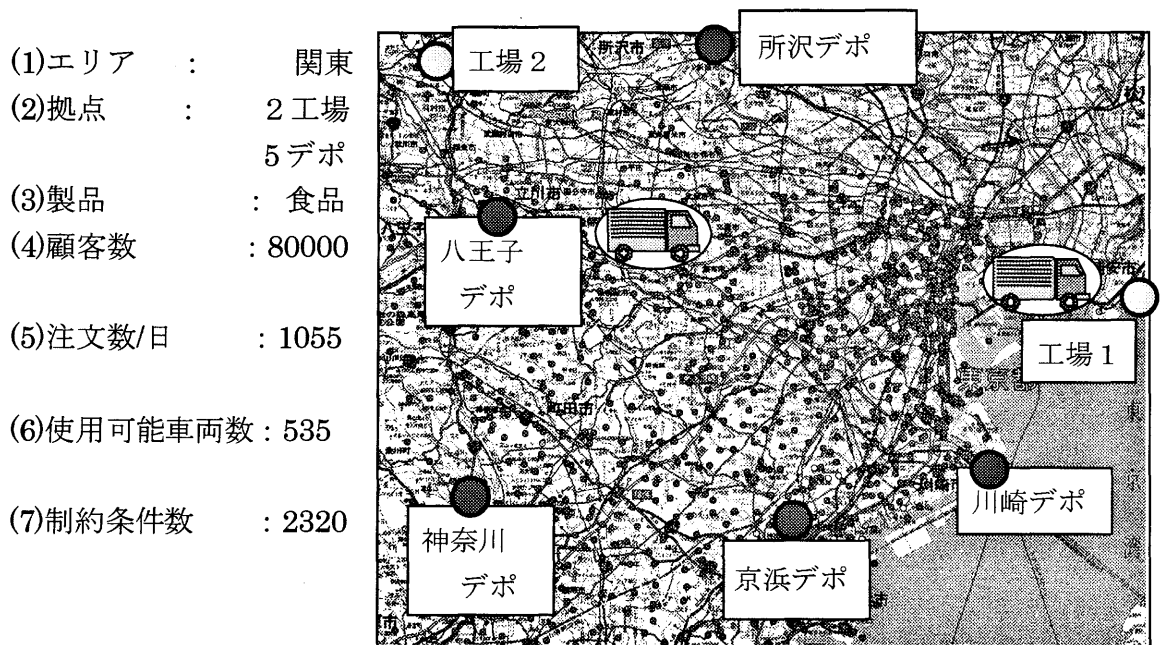


図 7.1 配車配送の事例

点を示している。供給拠点数は 7、顧客の数は 80,000 以上存在する。また、実運用での 1 日の平均的なオーダーの数は 1,000 件以上となり、納期指定、工場の稼働時間などの制約は約 2,000 件である。この配車配送計画の問題は、1,000 都市以上の巡回セールスマン問題 (TSP) と、複数地点間の最適経路決定問題の組み合わせに 2,000 の制約を加えた、複雑な NP 完全問題として捉えられる。

7.2 節では、単純 GA (Simple GA : 以降 sGA と表記) による配車配送計画システムの開発について述べる。しかし、sGA の難点は原理的に単 CPU 上での動作であるので計算効率は低く、そのまま現実の多目的でかつ複雑な最適化問題に応用することは困難であった。

7.3 節では、多目的でかつ複雑な最適化問題に対して並列コンピュータ上で動作する並列 GA の研究を述べる。並列 GA は、マイクログレイン GA (micro-graind GA: 以降 mgGA と表記) が代表的であり、近年に実用化が進んできた並列計算機の能力を活用して高速性を得ることを目的としている。しかし、実運用での大規模配車配送計画システムの最適化エンジンとして適用した場合、並列効率の急激な低下の問題が発生した。そこで、この問題を改善する手法を提案し、次にそれを適用した配車配送計画の実験を行い、新しい手法の有効性を考察する。

7.4 節では、配送拠点の統廃合、共同配送へ展開した輸配送計画システムを開発し、シミュレーションにより、コスト低減、トラック稼働時間・運行距離の低減効果、CO₂ などの環境負荷低減を検証する。

7.2 GAによる配車配送計画システムの開発

7.2.1 GAによる配車配送計画の考え方

GAによる配車配送計画システムの考え方を図7.2に示す。配送計画オーダーを入力として、配車計画立案実行前に目的を選択することにより、配車条件、制約条件を考慮して、選択された目的に沿った配車計画を実行する。

図7.3は提案した本手法を適用した配車配送計画システムの機能構成図である。本システムは運用管理部と最適化部に大別される。運用管理部はオーダー受信部、デジタル道路地図管理部、マンマシンインターフェース管理部で構成される。オーダー受信部は、ユーザからオーダーを実時間で受信し、その都度最適化部に送信する。デジタル道路地図管理部は輸送経路に関する道路情報を管理し、道路毎の平均走行速度などの交通状況に関し定期的にITSと情報交換する⁴⁾。マンマシンインターフェース管理部は画面入出力、帳票出力を行う。次に配送計画の出力結果、配車に関する入力条件である受注オーダー、顧客(配送先)マスタ、商品マスタ、車両マスタについて説明する。

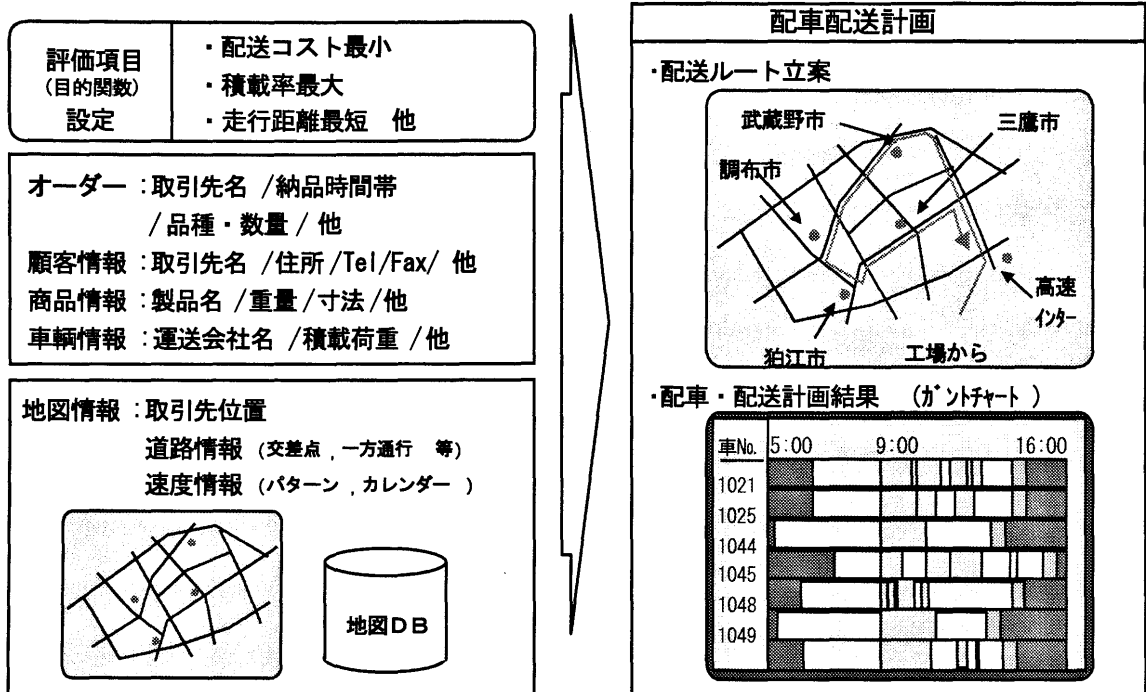


図 7.2 配車配送計画の考え方

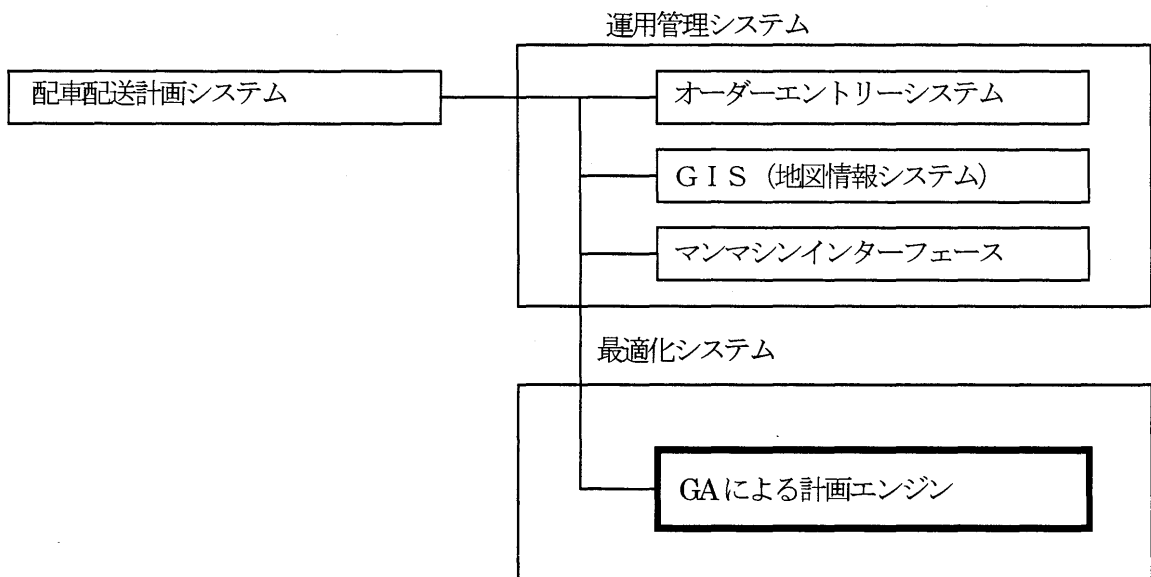


図 7.3 システム機能構成

図 7.4 に配送計画ガントチャート、図 7.5 に配送計画ルート地図を示す。

配送計画ガントチャートはトラック別に拠点での作業時間、拠点を出発して配送先までの走行時間、配送先での作業時間をチャートに示したもので、これによりトラックドライバに作業指示を行う。また、トラックを選択すると、その走行経路を地図上で確認できる。

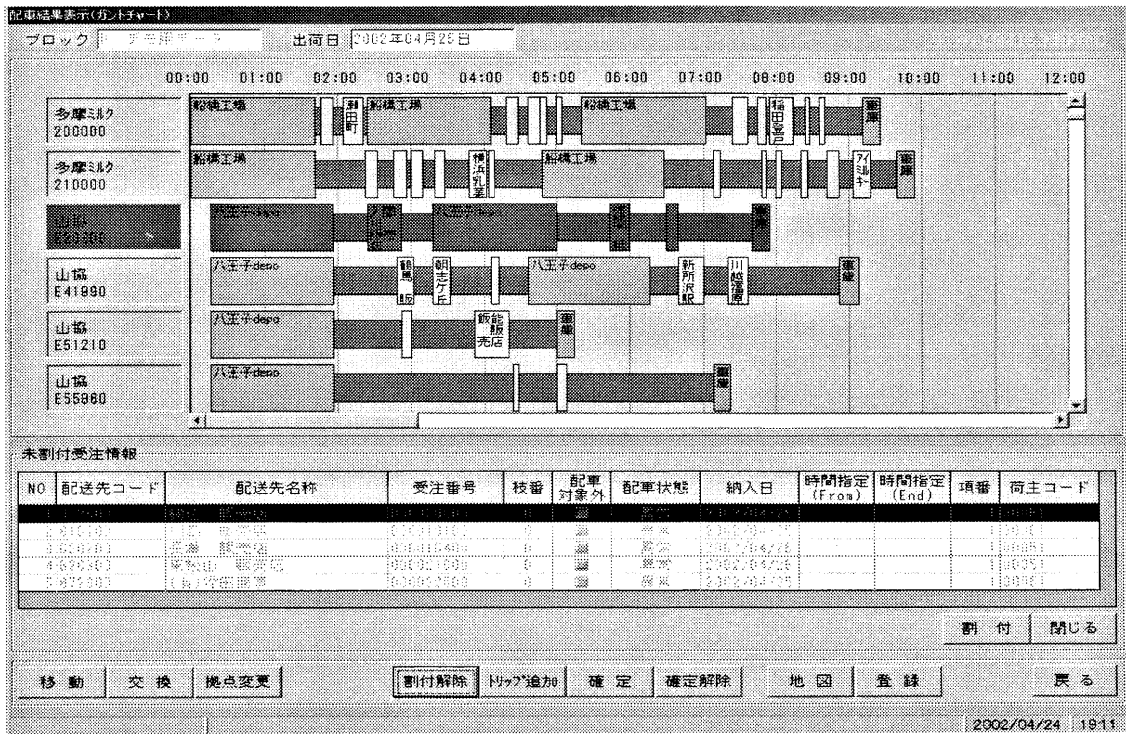


図 7.4 配送計画ガントチャート

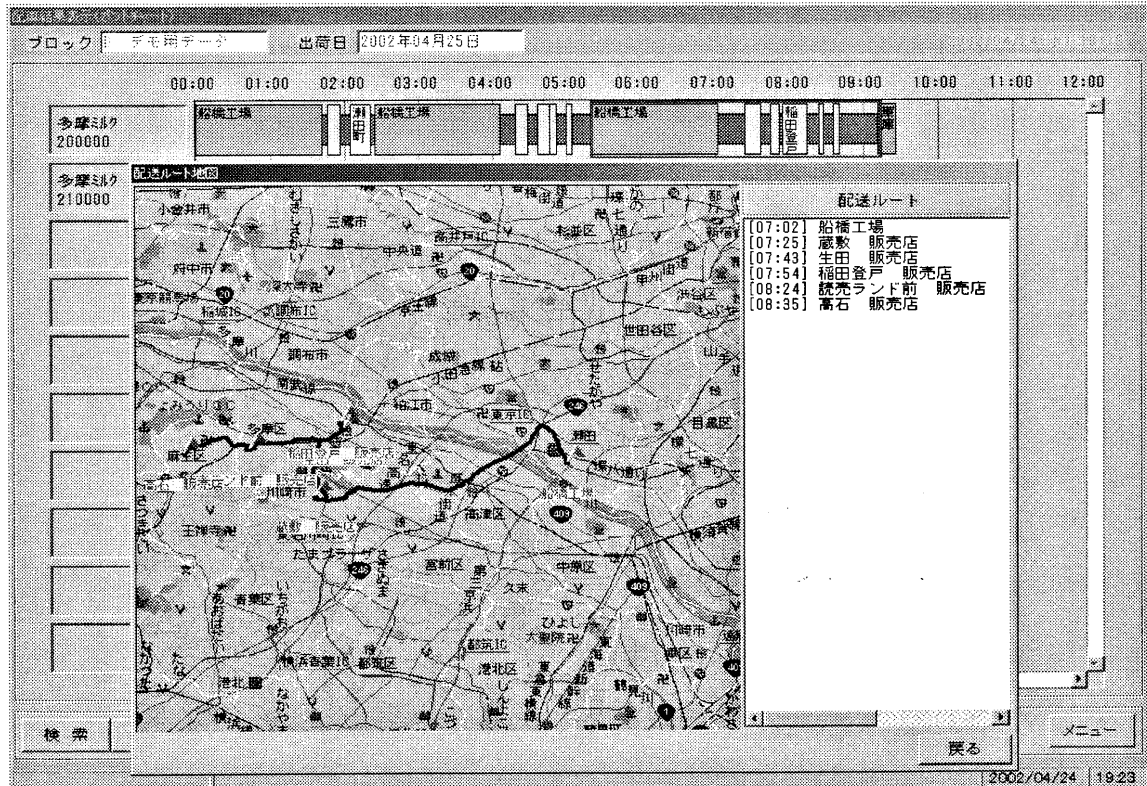


図 7.5 配送計画ルート地図

7.2.2 配車配送計画の目的関数の定式化

(1) 配車配送計画の目的関数

配車配送計画における目的関数は配送コスト最小であり、このことを定式化すると次式のようになる。

Minimize

$$H(\mathbf{X}) = \sum_{l=1}^m H_{f,l} \cdot \delta_l(\mathbf{x}_l) + \sum_{l=1}^m H_{v,l}(\mathbf{x}_l) \quad (7.1)$$

ここに

$$H_{v,l}(\mathbf{x}_l) = \sum_{i=1}^{N_l} F(D(n(i))) \cdot G(n(i)) \quad (7.2)$$

Subject to

$$\sum_{l=1}^m N_l = N \quad (7.3)$$

$$W_l(\mathbf{x}_l) = \sum_{n(i) \in \mathbf{x}_l} G(n(i)) \quad (7.4)$$

$$W_l(\mathbf{x}_l) \leq W_{c,l} \quad (7.5)$$

ただし

$H(\mathbf{X})$: 配送コスト(円)

\mathbf{X} : 全トラックの配送ルートへの顧客の割り当てと訪問順序を示す数列(\mathbf{X} の中には、全ての $n(i)$ が必ず含まれる)

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_l \mid l=1, m\} = (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_m)$$

m : 使用可能なトラック台数の上限

\mathbf{x}_l : トラック l の配送ルートへの顧客の割り当てと訪問順序を示す数列

$$\mathbf{x}_l = \{n(i) \mid i=1, N_l\} = (n(1), n(2), \dots, n(N_l))$$

$n(i)$: あるトラックが i 番目に訪問する顧客のノード番号

N_l : トラック l が訪問する顧客の総数

N : 顧客の総数

$H_{f,l}$: トラック l の固定費用(円)

$\delta_l(\mathbf{x}_l) := 1$; トラック l を使用する時
 $= 0$; その他の場合

$H_{v,l}(\mathbf{x}_l)$: トラック l の変動(運行)費用(円)

$F(*)$: タリフ関数であり、距離を引数、金額(円/ton)を戻り値とする

$D(n(i))$: 拠点から $n(i)$ までの距離(km)

$G(n(i))$: 顧客 $n(i)$ へ配送する荷物の重量(ton)

$W_{c,l}$: トラック l の最大積載量(ton)

(2) 配車配送計画の配車条件・制約条件

式(7.1)で示された配車配送計画を解くことにより、トラックの割り当てと訪問順序が決定される。その際、次の配車条件、制約条件を設定した。

(2.1) 拠点作業開始時刻

- ・ 拠点における積込み開始可能時刻を設定する。
- ・ 車両稼動時刻との比較により最も遅い時刻を採用する。

(2.2) 拠点作業時間

- ・ 準備時間・荷積時間・帰着時荷卸時間・出発準備時間・荷積時間補正を用いて設定する。
- ・ 時間算出の際は、質量・容量・数量の何れかを1単位として算出する。

(2.3) 配送先作業開始時刻

- ・ オーダー時間指定・配送先納入可能時間帯・厳格度・直接時間指定の許容時間を用いて決定する。
- ・ 配送先納期が逆転した場合、翌日の開始時刻とする。
- ・ 出荷年月日が指定されている場合、これを考慮する。

(2.4) 配送先作業時間

- ・ 荷卸単位時間・荷卸準備時間・荷卸時間補正・商品重量を用いて設定する。
- ・ 時間算出の際は、質量・容量・数量のいずれかを1単位として算出する。

(2.5) 休憩

- ・ 第1トリップ開始から休憩までのサイクル時間経過毎に休憩を取得する。
- ・ 休憩開始時刻の設定が有る場合は、指定時刻経過後からとする。

(2.6) 車両コストタリフ

- ・ 運賃単価／距離を設定した運賃表とする。
- ・ 拠点～配送先間または配送先～配送先間のタリフ運賃を算出する。

(2.7) 車両コスト固定費

- ・車両マスタに車両毎の月極の固定費を設定する。

(2.8) バース

- ・任意の車型を基準として2種に分類された各々のバース数を設定する。
- ・バース数相当以上の同時積込みを不可とする。

(2.9) オーダー納期

- ・指定納期がある場合、納入時刻を設定する。
- ・オーダー時間指定・配送先納入可能時間帯・厳格度・直接時間指定の許容時間を用いて決定する。

(2.10) 積み置き

- ・積置可能終了時刻以前に帰着した場合、最終積み込み拠点で積置オーダーを割付ける。

(2.11) 積載量

- ・パラメータ設定に従い、容量・質量・数量のいずれかによって積載量評価する。

(2.12) 運送会社指定

- ・輸送・配送する運送会社を指定する。
- ・指定する運送会社は、運送会社マスタに設定されている運送会社とする。

(2.13) 車番指定

- ・輸送・配送する運送会社を指定する。
- ・指定する運送会社は、運送会社マスタに設定されている運送会社とする。

(2.14) トリップ指定

- ・運行回次数を指定する。

(2.15) 拠点指定

- ・出荷拠点を指定する。
- ・指定する拠点は、拠点マスタに設定されている拠点とする。

(2.16) 積合せ指定

- ・オーダーまたは配送先マスタにおいて、「積合せオーダーNo.」、または「積合せ配送先コード」を指定することにより、強制的に積合せを行う。

(2.17) 積合せ不可指定

- ・配送先マスタにおいて、「積合せ不可配送先コード」を指定することにより、

積合されることを抑止する。

(2.18) 自動配車対象外

- ・出荷拠点を指定する。
- ・指定する拠点は、拠点マスタに設定されている拠点とする。

(2.19) 横持ちオーバー

- ・積合せ相手探索のための近い配送先探索時、設定横持ち距離をオーバーしない範囲とする。

(2.20) 配送可否

- ・車両～配送先のマトリクスに設定された配送可否に従う。

(2.21) 荷卸最大許容回数

- ・車両のトリップ毎の最大荷卸回数を「絶対制約」として設定し指定荷卸回数以上の荷卸を抑止する。

(2.22) 配送最大許容回数

- ・最大運行回数を設定する。
- ・設定された運行回数を遵守するが、これを超える荷量が与えられた場合は、これを超えて割付ける場合がある。

(2.23) 拠点最大・最小車型

- ・拠点に入構可能な最大および最小車型を設定する。
- ・最大～最小車型の範囲内の車両の入構を許可する。

(2.24) 配送先最大車型

- ・配送先に入構可能な最大車型を設定する。
- ・設定最大車型までの車両の入構を許可する。

(2.25) 同一配送先

- ・配送先コードが同一のオーダーを積合せる。

(2.26) 拠点グループ

- ・単独拠点配送圏、複数拠点配送圏をコントロールするグループ設定を行う。
- ・他拠点からの代替出荷、複数拠点間での車両の融通による負荷平準化、所属基地以外の基地への入構による輸配送効率向上が図れる。

(2.27) 一般制約条件

- ・温度帯区分（常温/冷蔵/冷凍）/製品区分（危険物等）/荷主混載可否/

- ・前荷制約/洗浄制約/拠点出荷量/車種指定

(2.28) 優先制約条件

- ・納期遅れ/稼働時間オーバー/専属車優先/積載率優先/コスト

(3) 受注オーダー

図 7.6 に受注オーダーを示す。これは、配送先、品名、数量、納入日、納入時間などからなる顧客からの注文に関する情報である。

NO	まとの	まとの	配送先コード	配送先名称	受注番号	枚番	配車	配車	納入日	時間指定	時間指定	項
	区	分					対	状		((目
	分	分					象	態		Free	End	
1			0:000100	御成門小学校	000008200	0		割	2002/04/25			
2			0:000700	芝小学校	000007800	0		割	2002/04/25			
3			0:000800	赤羽小学校	000007700	0		割	2002/04/25			
4			0:000900	南海小学校	000006700	0		割	2002/04/25			
5			0:001000	芝浦小学校	000006800	0		割	2002/04/25			
6			0:001100	御田小学校	000006500	0		割	2002/04/25			
7			0:001200	高輪台小学校	000005800	0		割	2002/04/25			
8			0:001300	白金小学校	000005900	0		割	2002/04/25			
9			0:001400	三光小学校	000006400	0		割	2002/04/25			
10			0:001500	神応小学校	000006100	0		割	2002/04/25			
11			0:001600	港南小学校	000007000	0		割	2002/04/25			
12			0:001700	麻布小学校	000008300	0		割	2002/04/25			
13			0:001800	南山小学校	000008600	0		割	2002/04/25			
14			0:001900	本村小学校	000006200	0		割	2002/04/25			
15			0:002000	弁小学校	000008700	0		割	2002/04/25			
16			0:002100	飯倉小学校	000008400	0		割	2002/04/25			
17			0:002200	東町小学校	000006500	0		割	2002/04/25			
18			0:002300	赤坂小学校	000009400	0		割	2002/04/25			
19			0:002400	青山小学校	000009600	0		割	2002/04/25			
20			0:002600	青南小学校	000009700	0		割	2002/04/25			
21			0:002800	御成門中学校	000008100	0		割	2002/04/25			
22			0:002900	芝浜中学校	000006600	0		割	2002/04/25			
23			0:003100	高松中学校	000007400	0		割	2002/04/25			
24			0:003200	港南中学校	000007100	0		割	2002/04/25			
25			0:003300	朝日中学校	000006000	0		割	2002/04/25			
26			0:003500	高陵中学校	000009800	0		割	2002/04/25			
27			0:003700	赤坂中学校	000009300	0		割	2002/04/25			
28			0:003800	青山中学校	000009500	0		割	2002/04/25			
29			0:003900	港養護学校	000006900	0		割	2002/04/25			
30			0:022400	三田高等学校	000006300	0		割	2002/04/25			
31			0:022500	港工業高等学校	000008000	0		割	2002/04/25			

図 7.6 受注オーダー

(4) 配送条件のための各種マスタ

図 7.7 に顧客(配送先)マスタを示す。これは、顧客配送先名称、住所、営業時間、荷卸条件(車上渡し、軒下渡し、棚入れなど)、最大車型(最大重量)、最大在庫(品種毎)、計画配送(対象、非対象)他 200 項目からなる顧客配送先の情報である。

図 7.8 に顧客(配送先)地図表示を示す。これは、顧客配送先をデジタル地図に登録したもので、これにより拠点から顧客配送先までの経路探索、走行時間、走行距離を計算する。

図 7.9 に商品マスタを示す。これは、商品コード、商品名称、換算重量、換算容量などからなる商品に関する情報である。

図 7.10 に車両マスタを示す。これは、運送会社コード、運送会社名称、車番コード、車
両名称、所属拠点コード、車型、積載重量などからなる車両に関する情報である。

配送先マスタ

NO	配送先コード	配送先名称	ブロックコード	荷主コード	荷主名称
1	000000	香永販売店	D	00000	荷主000
2	000001	鶴見	D	00000	荷主000
3	000002	エー横浜センター	D	00000	荷主000
4	000003	ニチ	D	00000	荷主000
5	000004	カミ茨城センター	D	00000	荷主000
6	000005	DCVS市川CDC	D	00000	荷主000
7	000006	全日食川口	D	00000	荷主000
8	000007	伊勢甚ジャスコ和尚塚センター	D	00000	荷主000
9	000008	am/pa市川	D	00000	荷主000
10	000009	コマトがイ野川センター	D	00000	荷主000
11	000010	足利センター	D	00000	荷主000
12	000011	トックス	D	00000	荷主000
13	000012	リッパル京成	D	00000	荷主000
14	000013	ライセセンター	D	00000	荷主000
15	000014	船橋ジャスコ(チース)	D	00000	荷主000
16	000015	野田アトセンター	D	00000	荷主000
17	000016	相鉄ローゼン	D	00000	荷主000
18	000017	SSV千葉スリーフ	D	00000	荷主000
19	000018	岩槻センター	D	00000	荷主000
20	000019	カミDCVS栃木センター	D	00000	荷主000
21	000020	関スセンター	D	00000	荷主000
22	000021	興和冷蔵	D	00000	荷主000
23	000022	マルイ人見センター	D	00000	荷主000
24	000023	コカ江東	D	00000	荷主000
25	000024	原田乳業	D	00000	荷主000
26	000026	711房総	D	00000	荷主000
27	000027	タイイ	D	00000	荷主000
28	000029	道玄坂	D	00000	荷主000
29	000030	711取手センター	D	00000	荷主000
30	000031	千葉スセンター	D	00000	荷主000
31	000032	マーク第2センター	D	00000	荷主000

検索 追加 修正 削除 地図 印刷 キャンセル メニュー

2002/04/24 19:30

図 7.7 顧客(配送先)マスター

顧客(配送先)地図表示

NO 配送先コード 配送先名称 荷主名称

1:0000 2:0000 3:0000 4:0000 5:0000 6:0000 7:0000 8:0000 9:0000 10:0000 11:0000 12:0000 13:0000 14:0000 15:0000 16:0000 17:0000 18:0000 19:0000 20:0000 21:0000 22:0000 23:0000 24:0000 25:0000 26:0000 27:0000 28:0000 29:0000 30:0000 31:0000

配送先名称
カミ茨城センター

〒郵便番号
検索

住所
検索

電話番号
0298821290

緯度経度
北緯 036.1274 東経 140.1690

ランドマーク

登録 取消

検索 追加 修正 削除 地図 印刷 キャンセル メニュー

2002/04/24 19:31

図 7.8 顧客(配送先)地図表示

NO	商品コード	商品名称	換算質量	換算容量	登録年月日	更新年月*
1	000000	計	100	100		
2	AH1186	リフトワゴン	100	100		
3	C78001	F82011C=	100	100		
4	C78019	W531=	100	100		
5	C78021	Z144=	100	100		
6	C78022	Z144A=	100	100		
7	C78025	FM401G=	100	100		
8	C78048	Z101S=	100	100		
9	C78058	WF345M1G=	100	100		
10	CA1072	SX-7GK	100	100		
11	CA1086	SX-8G	100	100		
12	CA1111	SX-11F	100	100		
13	CB9330	DE-1300	100	100		
14	CD1101	F101-1	100	100		
15	CD1104	F108-1	100	100		
16	CD1109	F102-0/	100	100		
17	CD1118	F108-R/	100	100		
18	CD1132	F208-M	100	100		
19	CD1143	F208-T/	100	100		
20	CD1172	F1103-1	100	100		
21	CD1179	F213-P	100	100		
22	CD1196	F116-3/	100	100		
23	CD1218	F200-MBS	100	100		
24	CD1222	F200/	100	100		
25	CD1240	F231-1	100	100		
26	CD1245	F235-P	100	100		
27	CD1246	F236-0	100	100		2002/04
28	CD1255	F218-0/	100	100		
29	CD1257	F218-1/	100	100		
30	CD1442	F412-1	100	100		
31	CD1810	A-20	100	100		

図 7.9 商品マスター

NO	運送会社コード	運送会社名称	車番コード	車番名称	所属拠点コード	車型	車種	種別質量*
1	001	茨城(東京)	120300	車番 2	7360	4	0	4,000.0
2	001	茨城(東京)	147900	車番 3 1	7360	3	0	3,000.0
3	001	茨城(東京)	189000	車番 3 3	7360	4	0	4,000.0
4	001	茨城(東京)	185500	車番 3 4	7360	4	0	4,000.0
5	002	茨城(水戸)	059800	車番 1 4 2	7362	2	0	2,000.0
6	002	茨城(水戸)	060000	車番 1 4 1	7362	2	0	2,000.0
7	002	茨城(水戸)	060100	車番 1 4 0	7362	4	0	4,000.0
8	002	茨城(水戸)	067800	車番 1 3 6	7362	2	0	2,000.0
9	002	茨城(水戸)	073100	車番 1 3 9	7362	2	0	2,000.0
10	002	茨城(水戸)	073700	車番 1 3 5	7362	3	0	3,000.0
11	002	茨城(水戸)	118100	車番 1 3 3	7362	2	0	2,000.0
12	002	茨城(水戸)	155000	車番 1 4 3	7362	2	0	2,000.0
13	002	茨城(水戸)	188100	車番 1 3 2	7362	2	0	2,000.0
14	002	茨城(水戸)	521200	車番 1 3 7	7362	4	0	4,000.0
15	002	茨城(水戸)	840500	車番 1 3 8	7362	4	0	4,000.0
16	002	茨城(水戸)	886800	車番 1 3 4	7362	4	0	4,000.0
17	003	茨城(千葉)	101790	車番 4 1	7360	4	0	4,000.0
18	003	茨城(千葉)	106860	車番 4 7	7360	4	0	4,000.0
19	003	茨城(千葉)	108950	車番 3 7	7360	4	0	4,000.0
20	003	茨城(千葉)	109980	車番 3 6	7360	4	0	4,000.0
21	003	茨城(千葉)	110010	車番 4 5	7360	4	0	4,000.0
22	003	茨城(千葉)	110430	車番 5 3	7360	2	0	2,000.0
23	003	茨城(千葉)	111200	車番 5 5	7360	2	0	2,000.0
24	003	茨城(千葉)	111880	車番 4 6	7360	4	0	4,000.0
25	003	茨城(千葉)	113470	車番 4 9	7360	4	0	4,000.0
26	003	茨城(千葉)	113860	車番 5 2	7360	4	0	4,000.0
27	003	茨城(千葉)	114270	車番 5 0	7360	4	0	4,000.0
28	003	茨城(千葉)	117580	車番 3 8	7360	4	0	4,000.0
29	003	茨城(千葉)	118690	車番 3 9	7360	3	0	3,000.0
30	003	茨城(千葉)	121360	車番 3 5	7360	4	0	4,000.0
31	003	茨城(千葉)	122920	車番 4 8	7360	4	0	4,000.0

図 7.10 車両マスター

7.2.3 配車配送計画に対する GA の染色体と表現型

図 7.11 に示すように、配車配送計画問題の遺伝表現としての染色体(chromosome)にはユーザからのオーダーの並びを対応させる。初期個体の生成は、この情報を出荷、輸送などの運用作業にマッピングすることに対応する。オーダー数が 1,000 の場合は、染色体を構成する遺伝子 Gene の数はオーダー数と同じく 1,000 となる。例えば 1 番目の遺伝子 Gene 1 は図 7.11 の様に、複数の項目に対するデータを有する。

従来、組合せ最適問題に対して、多くの単純 GA(SimpleGA : sGA)の適用が研究^{5) 6) 7)}されてきた。sGA の処理は以下の手順に従う。

- (A)初期化(initialization) : ランダムな個体を複数個生成し初期集団を形成する。
- (B)世代更新(evolution) : 世代を更新する。
- (C)淘汰・選択(selection) : 各個体を適応度に応じた確率で複製し、次世代用の個体を選択する。その他の個体は淘汰する。
- (D)遺伝的操作(genetic operation) : 選択された染色体あるいは個体に対し交配、突然変異、逆位などの遺伝的操作を加える。
- (E)個体の再作成(reproduction) : 染色体から新しい個体を生成し評価する。手順(B)に戻る。

Gene 1	Gene 2	Gene 3	Gene 4	Gene i	Gene max
-----------	-----------	-----------	-----------	-------	-----------	-------	-------------

Example

Gene 1 = Base = Kawasaki Depot, Vehicle Number = 18,
Route Number = 15, Trip = 2,
wada 2 tyoume, tokyo-to , Japan),
axis = (east139.124, north34.4567),
item1 = milk, qty = 280Kg,
item2 = ice cream,
delivery time = 26, June 5:30 - 5:40,
condition1 = confirmation check,
condition2 = maximum vehicle size 2 ton)

図 7.11 染色体と遺伝子の定義

図 7.12 に染色体上の遺伝子情報から実運用手順への変換、すなわち初期個体生成マッピングの様子を示す。ここでは Gene 1 から Gene 18 までの 18 オータ分だけを示している。初期段階では各オータに対する出荷拠点、輸送手段、輸送経路は未定である。初期計画作成は、染色体内の遺伝子の順番で目的関数が最も良い値になるように出荷拠点、輸送手段、走行経路を定めて行く。また「同一輸送作業内で複数の供給が可能な場合は近接したユーザを組み合わせる」などの経験的ルールが適用される。この様にして図 7.12 の様な初期配車配送計画が生成される。

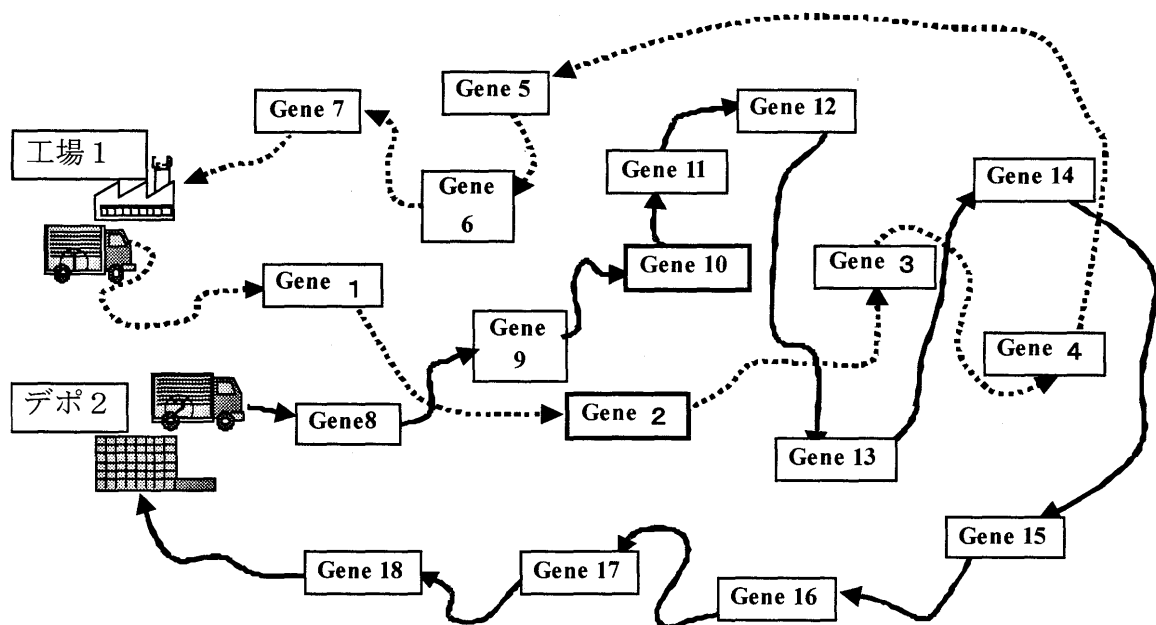


図 7.12 ロジスティクス計画例

7.2.4 GA による配車配送計画の実データによる実証実験と課題

GA による配車配送計画の実証実験環境を次に示す。

(1) コンピュータ構成

- (a) サーバ : H9000/L2000(HP9000/L2000)サーバ
- (b) CPU : PA8500-RISC(440MHz)
- (c) 処理能力 : Spec_Int_rate95=1186/CPU
- (d) OS : HP-UX11.0(UNIX)

(2) 使用データ

実際の食品製造会社の、日々の実データを採用した。

- (a) オーダ数/日：370~960 顧客（納入先）から約 1000 オーダ/日
- (b) 物流拠点：15 拠点
- (c) 使用可能車両数：300 台/日

図 7.13 に目的関数と動作時間の推移結果を示す。縦軸が C:総コスト (US\$/日)、横軸が最適化処理経過時間で単位は秒(sec)である。4.1 時間 (15,000sec) でコストが 50,000 (\$/日) まで達し、初期値に対し 27%改善することが出来た。最適化システムの能力として 27%の改善率は一般的に非常に大きな数値である。しかし、ユーザが日々のオペレーションにおいてスケジュールを作成するときに費やす時間すなわち実用上の処理時間要求値は 10 分 (600 秒) である。10 分経過時点でのコストは 64,000 (\$/day) で、6%の改善であり十分な結果とは言えない。

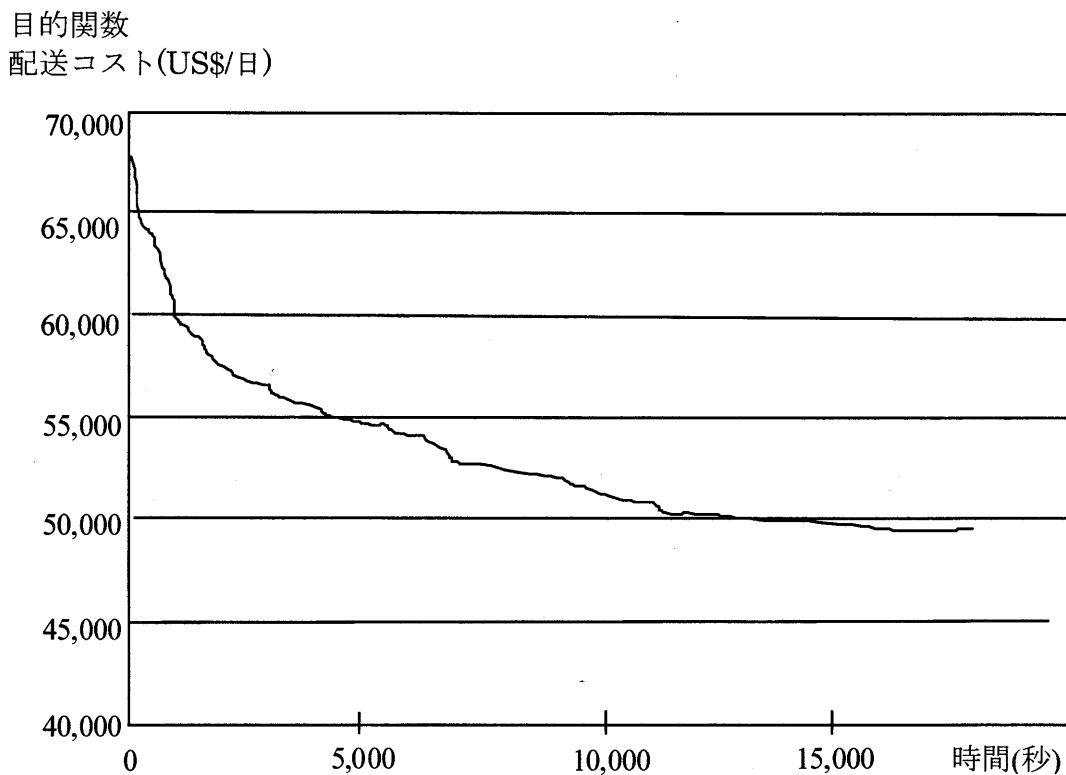


図 7.13 配送コストの時間推移

sGA の難点は計算効率の低さにある。sGA は理解しやすく、プログラミングが平易であるが、原理的に単 CPU 上での動作であるので、計算効率は低くなってしまふ。従ってそのまま現実の多目的でかつ複雑な最適化問題に应用することは困難である。この為、近年では、多目的でかつ複雑な最適化問題に対して並列コンピュータ上で動作する方法を適用

する研究として、代表的なものとしては micro-graind GA(mgGA)があげられる。以下、その概要と課題を述べる。

7.3 並列 GA 処理による配車配送計画の高速化

7.3.1 クラスタ並列コンピュータの開発

図 7.14 に今回開発したクラスタ並列コンピュータの外観（一部合成）を示す⁸⁾。本システムは EIA(Electronic Industries Alliance)規格に準拠する外形を有する小型の SMP(Symmetric Multiple Processor)サーバを基本コンポーネントとしている。日立の

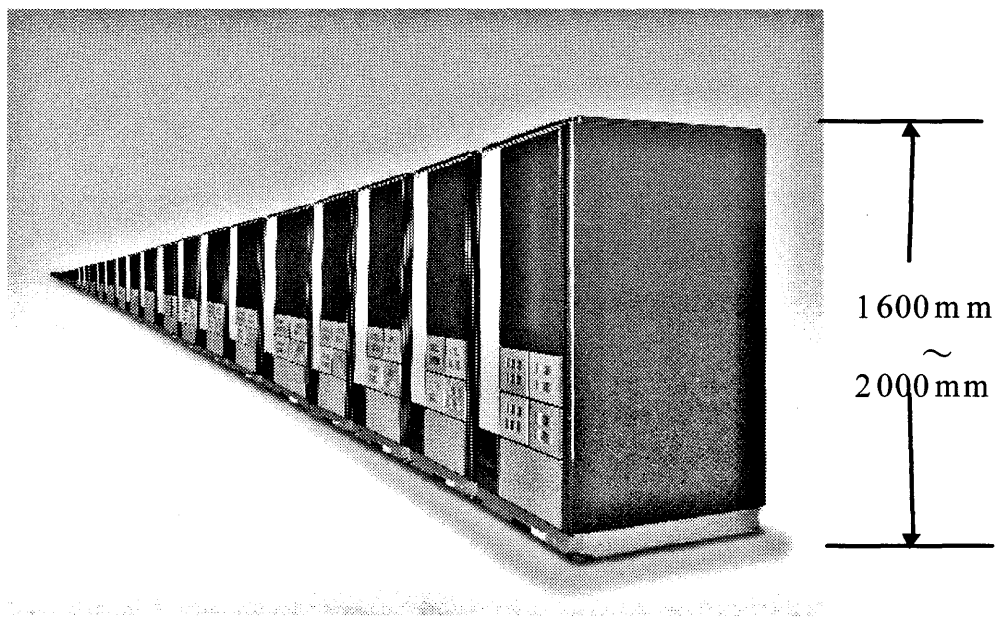


図 7.14 クラスタ並列コンピュータシステムの外観

H9000/L2000 を実装しているが、IBM 社の EP8000、HP 社の HP9000 シリーズ他標準規格を満足する SMP サーバを基本コンポーネントとすることができる。一つの共有メモリに複数の処理装置が同時にアクセスできる機構を有するものを、SMP コンピュータと言う。これに対し、個々の CPU が各々独自のメモリを持つものを、マッシュブリー並列コンピュータと言う。経済性、拡張性に優れているため、ビジネス分野の並列コンピュータの

ほとんどは、SMP タイプである。SMP タイプの欠点として、一つのメモリ上に実装できる CPU の数が、現状では 16 本程度に限られることがあげられる。これ以上の CPU を接続すると、データの転送に競合が発生し、処理効率が急激に劣化してしまう。

図 7.15 に内部構成(SMP サーバと高速バスの実装状況)を、図 7.16 に内部構造のブロックダイアグラムを示す。図 7.15 の SMP サーバは各々4個の CPU、8G バイトの共有メモ

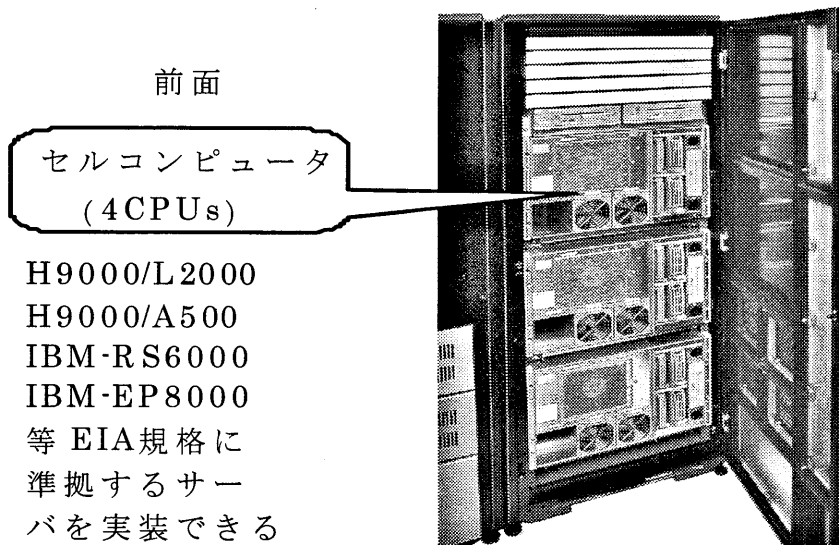


図 7.15 内部構造 : SMP サーバと高速バスの実装状況

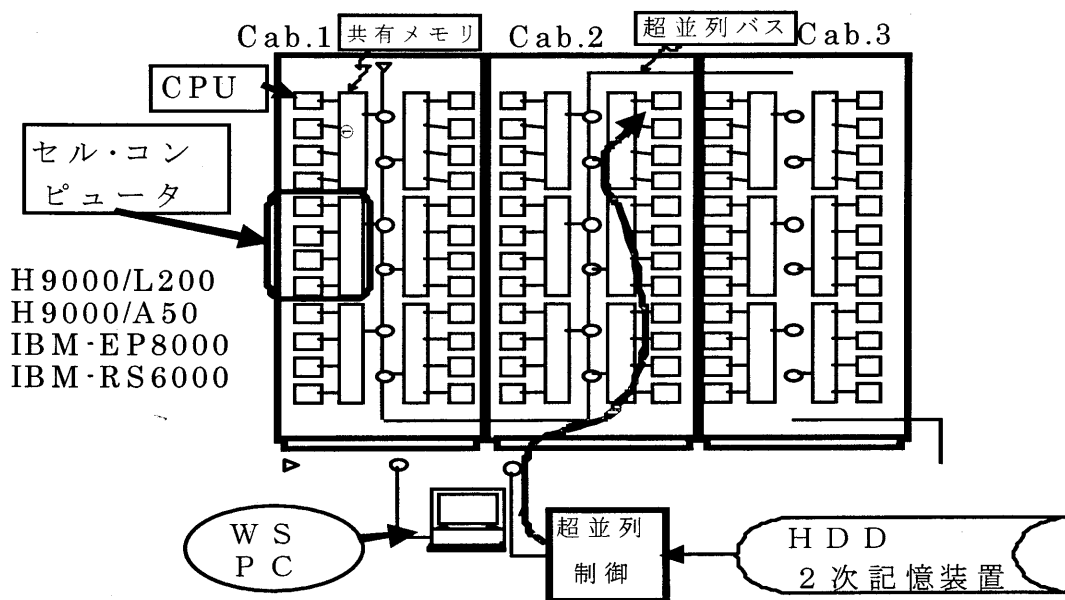


図 7.16 ブロックダイアグラム

りを一つのセルコンピュータとして実装可能である。セルコンピュータは、複数のコンピュータが協力して動作する場合の最も基礎となる「細胞 (セル)」単位のコンピュータである。各サーバは 1Gbps の高速データバスで接続され、全てのサーバがあたかも一つの装置のように協調して動作する。

7.3.2 並列 GA 処理による配車配送計画の高速化と課題

並列 GA 処理である mgGA は前記 sGA の問題点を解消するために、動作環境を並列計算機としたものである。上記 sGA の処理の(D)(E)処理は、1 世代内の個体数の繰り返し処理であり、各個体毎の処理間に相関は無い。従ってこの部分を複数の CPU に振り分けることで、個体数分の処理時間は CPU の並列度に応じて隠蔽され、高速化が達成される。

しかし、この方法では並列度が高くなると処理(C)における個体情報収集の為の CPU 間通信による同期処理が多くなり並列効率が低下する、という問題が発生する。すなわち従来の並列 GA で処理させると図 7.17 のタイミングチャートに示すとおり淘汰、選択等全体

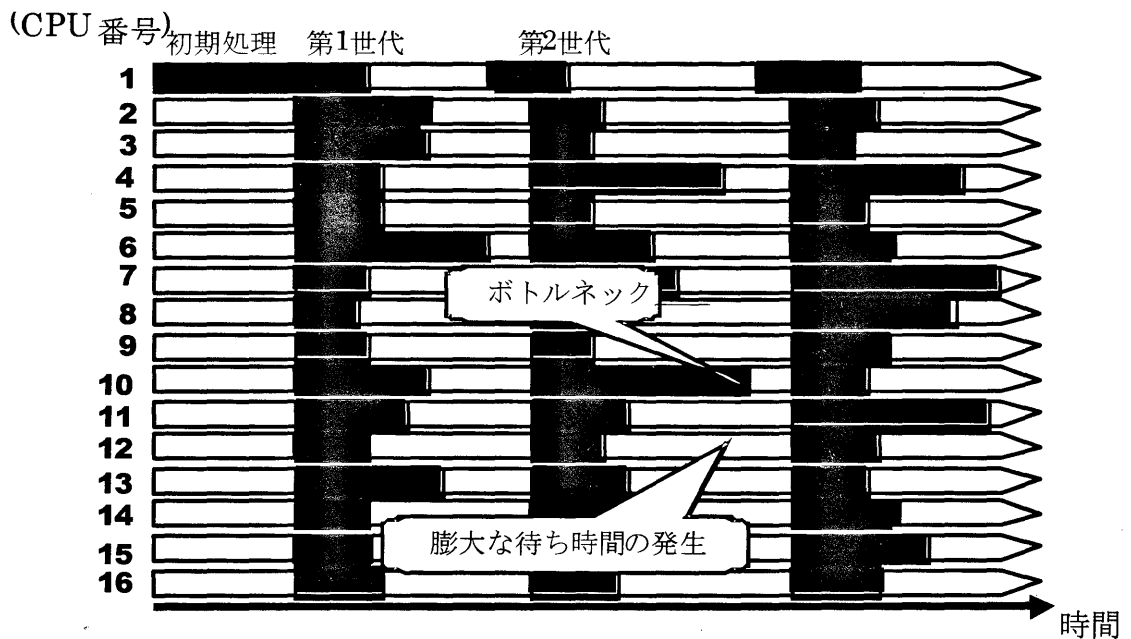


図 7.17 並列 GA の動作タイミングチャート

を観察して世代を更新する処理において大きな同期待ち時間が発生する。この様に対象問題が巨大化した場合、GA における淘汰、選択の様に全体を観察しなければならない処理

を含む方法を用いると、同期による大幅な効率低下を避ける事が出来ないという課題が発生する。

以上により、大規模配車配送計画システムの最適化エンジンとしては上記の課題をクリアする新しい手法が必須であると考えられ、次にその手法を提案する。

7.3.3 並列 GA の処理効率向上手法の提案による高速化

(1) 並列 GA の処理効率向上手法の処理手順

本手法は、並列計算機を一つの空間とみなし、空間上のある位置に存在する CPU に独立したセルプロセスを割り付ける。各セルプロセスは予め固定された距離内にある CPU 上の近傍セルプロセスとのみ交信し、局所的に淘汰・選択を行う。この為、大域での淘汰・選択の必要性がなくなり、個体の多様性が維持できると考えられている。

図 7.18 は、提案する手法の処理フローである。同一の処理構造を有するセルプロセスを、並列計算機が構成する空間上の格子点上に位置する CPU にそれぞれ 1 つずつ分散配置する。全体を統括するプロセスは不要である。各セルプロセスは相互に動作的な関連を持たず、非同期に下記の処理を実行する。下線は、考察した処理を示している。

(A) 初期化(initialization) : 染色体からランダムな個体を生成する。

(B) 終了判定(exit judgement) : 外部から与えられる最適化終了シグナルを受信した場合(I)に進む。そうでない場合は(C)に進む。

(C) 世代更新(evolution) : 世代 gn を更新する。

(D) 近傍距離自律制御(neighbor distance autonomous control) : 世代 gn に対する近傍距離 $nd(gn)$ (自然数) を以下の式で定める。

$$nd(gn)=c \times (\sqrt{N_{cpu} / \log(gn+1)}) + 1 \quad (7.6)$$

ここで、c : 制御定数 (≥ 0)、

N_{cpu} : 使用可能 CPU 数

(E) 淘汰・選択(selection) : 非同期で受信済みの近傍距離内セルプロセスの個体情報と自身の個体情報を適応度に応じた確率で複製し、次世代用の個体を選択する。選択はランク選択法を採用する。その他の個体は淘汰する。

(F) 遺伝的操作(genetic operation) : 選択された染色体あるいは個体に対し交配、突然変異操作を加える。

(G) 個体の再作成(reproduction) : 変異が発生した部分に対して局所的 2-OPT¹²⁾ 13) 手法で最適化を行い、変異前個体との差分計算により個体評価する。

(H) 個体情報の放散送信(propagation) : 個体情報を近傍距離 $nd(gn)$ 内に存在する全てのセルプロセスに非同期で送信する。(B)に戻る。

(I) 終了処理(output result) : 他プロセスの最良結果データをシステム共通記憶装置から読み出し、自身の結果と比較して自身がベストである場合はその結果を最適解として出力する。

次に、下線で示す提案手法の動作を処理フローの順に沿って説明する。

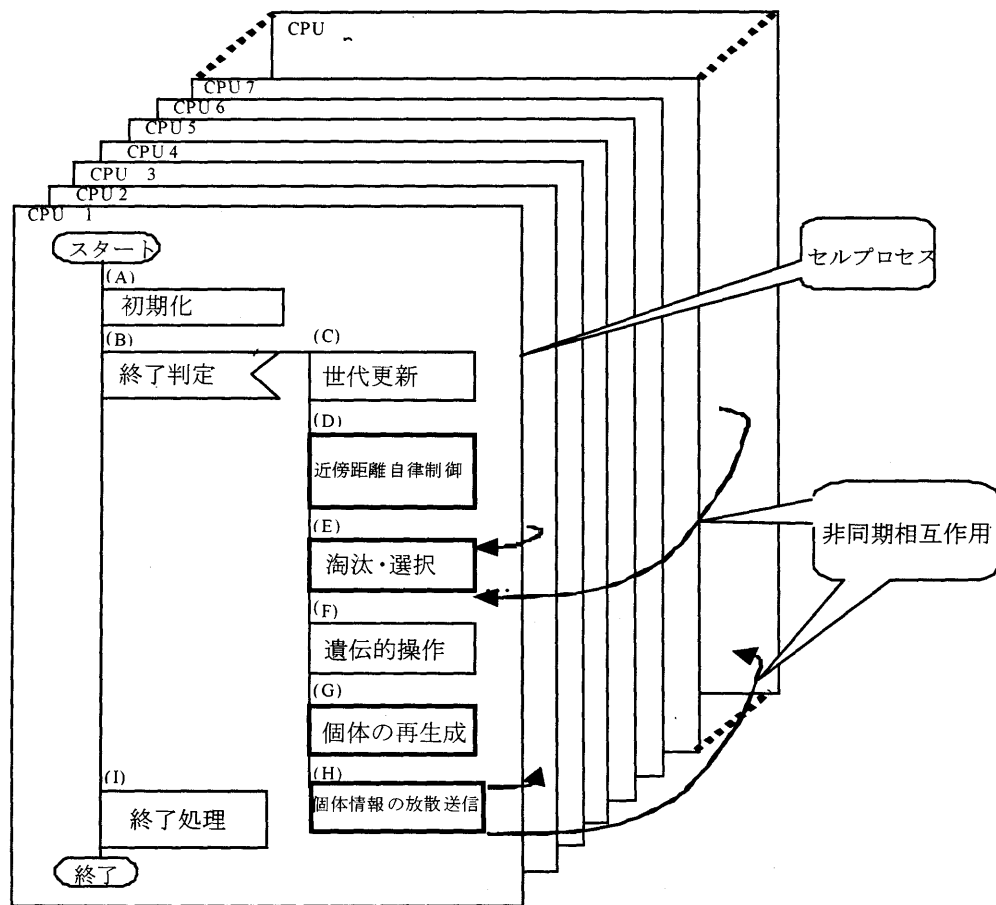


図 7.18 新手法 GA の処理フロー

(2) 近傍距離自律制御手法(手順(D))

処理(D)の近傍距離自律制御手順を考察する。本手法におけるグリッド空間は、境界効果を避けるためにトーラス状の配列とし、相互作用領域としての近傍の大きさは固定値が採

用されてきた。Manderick らの研究⁹⁾によると、近傍距離を大きくすると最適解への改善収束速度は向上するが、解の多様性は低下し結果的に sGA に近づき、反対に近傍距離を小さくすると最適解への改善速度は低下するが、解の多様性は保持されると報告されている。この性質は実用システムでは極めて重要である。何故ならば、現実の運用で最も必要とされるのは、計画開始初期段階では、短時間で、できるだけ実用的に良い解を得る事であり、時間的余裕がある場合は、より優れた解が確実に得られることである。そこで、追実験により以上の性質を確認したため、これを自律的に実行できる制御手段を組み込む事とした。

図 7.19 は 81 個の CPU を有する並列計算機を 81 点の格子点を有する 2 次元グリッドトラス空間に写像したものである。ここでは、中心に存在するセルプロセス 1 の初期世代

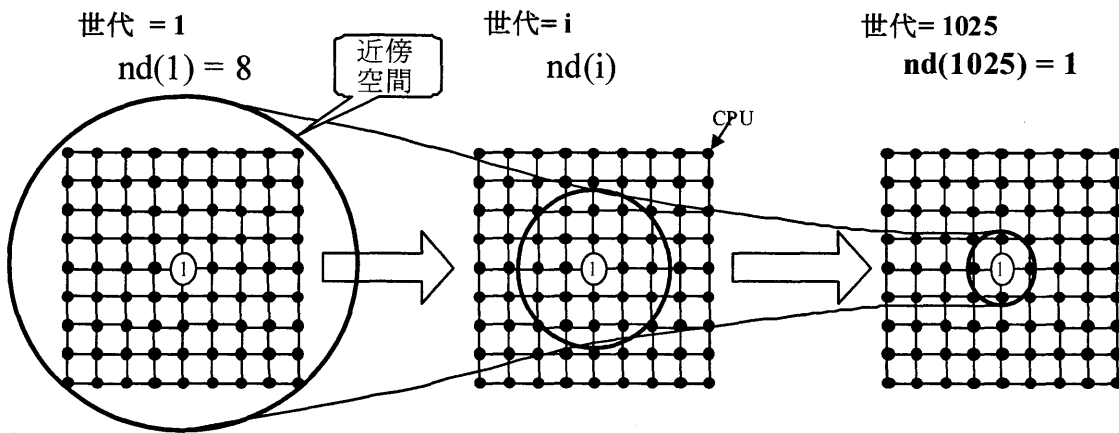


図 7.19 近傍距離自律制御

から 1025 世代経過までの近傍距離が生成するゾーンの大きさの推移を示している。手順 (D)にて、世代 gn の近傍距離 nd は式 (7.6) で定義される。ここで制御定数 $c=1$ 、 \log の底を 2 とすると、初期世代 $gn=1$ では $nd(gn)=8$ となるのでセルプロセス 1 の近傍ゾーンは他の全セルプロセスを含む。世代が進むと、近傍距離は徐々に小さくなり、複数の、地続きの島の集団になる。更に、世代の更新が進み、世代が 1024 を過ぎると、以後の世代での近傍距離は 1 が保持される。 c の実制御での値は 0.3~0.5 で良い結果が得られているが、今後の更なる研究が必要である。

以上の制御により各セルプロセスは、初期段階では自身を中心とする広い範囲に自身の個体情報を非同期で放散送信する。これにより、大域的な最適化が行なわれ短時間で良い解に収束して行く。そして、世代の進捗と共に徐々に放散送信範囲を狭めて行くので、解の多様化が確実に進む。

本手法は GA の母集団のサイズをパラメータ c で自律的に変化させることを提案するもので、GA の汎用性と柔軟性の獲得を容易にする。

(3) 非同期相互作用手法(手順(E), (H))

手順(E)と(H)では CPU 間の通信が必要である。この部分に対し、セルプロセス間の非同期通信による局所的相互作用手法を提案し考察する。

図 7.20 は本手法での非同期通信の動作を説明する為のタイミングチャートである。ここでは図 7.19 のセルプロセス①に注目しており、この時点の近傍距離 $dn(gn)$ は 1 としてい

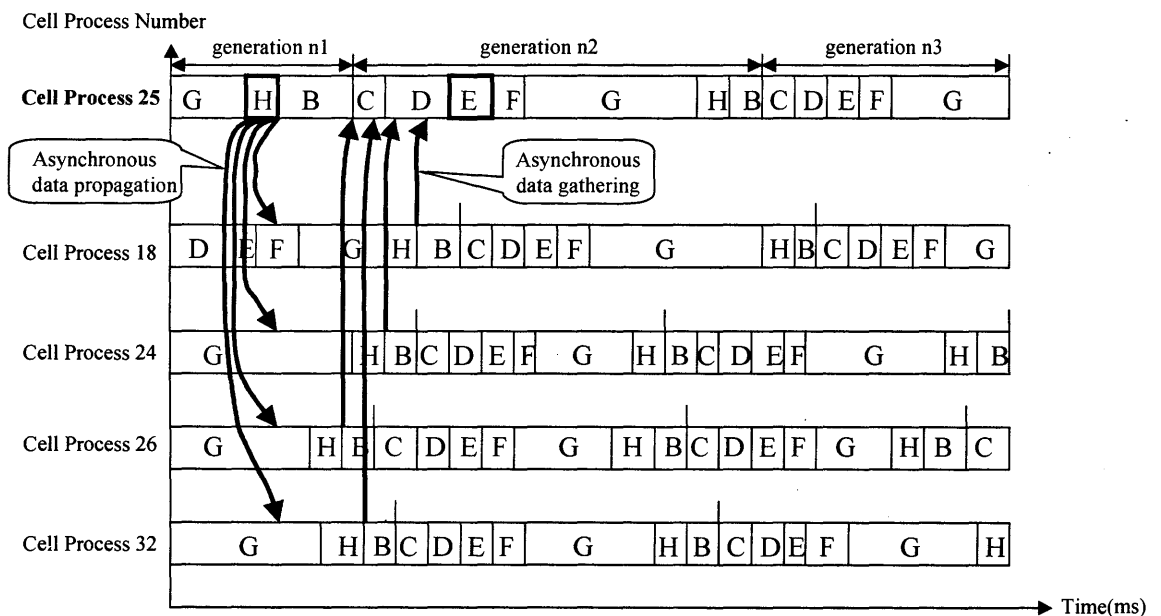


図 7.20 非同期局所的相互作用

る。セルプロセス①は、手順 (G) リプロダクション処理結果情報を、手順(H)で近傍距離 $dn(gn)$ 内に存在する全てのセルプロセスに非同期に送信する。一方、次の世代の手順(E)での淘汰・選択処理時点では、既に近傍距離 $dn(gn)$ 内のセルプロセスの最新個体情報は非同期に自身のメモリーに格納されているので、実時間通信の必要が無く、セルプロセス 25 は自身のメモリーを参照するだけ良い。この結果、相互作用の為の通信時間は隠蔽される。非同期通信は MPI¹⁰⁾または PVM¹¹⁾を用いて実現できる。MPI(Message Passing Interface)は、米国アルゴンヌ国立研究所(ANL: Argonne National Laboratory)が中心となって MP フォーラムという任意参加の会議で策定されたメッセージ通信インターフェースの使用で

あり、特定のソフトウェアを指すものではない。現在、MPIに準拠したソフトウェアやライブラリはフリーまたは商用の実装として数多く開発されており、それぞれの実装は標準の機能に独自の拡張を施しているものが多い。MPIは、並列処理向けの通信ライブラリの標準としての仕様として策定され、PVMと比較しても多くの機能が盛り込まれたこともあり、現在のビジネスユースなどにおいてはMPVに代わり、メッセージ通信の主流となっている。PVM(Parallel Virtual Machine)は、米国オークリッジ国立研究所(ORNL: Oak Ridge National Laboratory)のプロジェクト「異機種混合分散メモリ型計算(Heterogeneous Distributed Computing)」のひとつであり、ネットワーク上のマシンを一つの並列マシンとして利用するためのライブラリである。つまりクラスタシステムでの並列処理をサポートするミドルウェアである。PVMは、ライセンスがフリーでありインターネット上からダウンロードして利用することができる。そして多くのプラットフォームで使用可能であり、また、同機種間・異機種間を問わずにクラスタシステムとして並列処理が可能である。

この結果、全てのCPUの処理効率は近傍距離やCPU数に関わらず、常に100%に近い値が得られることになる。また、CPUの数が増加してもシステム全体の並列効率が低下する事はなくなる。以上により、課題(2)で述べた並列効率の急激な低下という課題を解決できる。

(4) 局所的リプロダクション手法(手順(G))

手順(G)における個体の再作成に対し、配車配送特有の性質を利用した以下の様な局所的リプロダクション手法を提案し考察する。

配車配送計画の結果は各車両の拠点での荷積作業、走行作業、荷降作業の繰り返しとなる。この為、異なる車両間の相関は出荷拠点での荷積競合だけなので、車両単位の作業の自立性は高い。この性質から、リプロダクションは局所的な再計画と差分評価を行うことで、全体の再計画を実施した場合と同等の結果を得ることができる。

図7.21は、今回考案したリプロダクションの説明図である。ここでは、図7.12の遺伝子Gene2とGene10に突然変異が発生した場合を示している。Gene2には車両1が、Gene10には車両2が割付けられている。本方法では、この場合車両1と車両2の作業全体を2-OPT法¹²⁾¹³⁾に基づいて、目的関数が最良となるように再計画する。図7.21はその改善結果であり、納期時刻など2000件以上の制約条件を守りながら輸送ルートやユーザ

訪問順序を改善する。従来の手法では個体を再生成する処理時間は染色体の長さの関数になるのに対し、本方法を適用すると相関の無い他の車両についての検討は不要であるので、リプロダクションに要する処理時間は、染色体の長さ依存しない。すなわち、対象問題の規模に関わらず、リプロダクションに要する時間は所定時間内に収束する。この効果は実用システムとしては極めて有効に作用する。

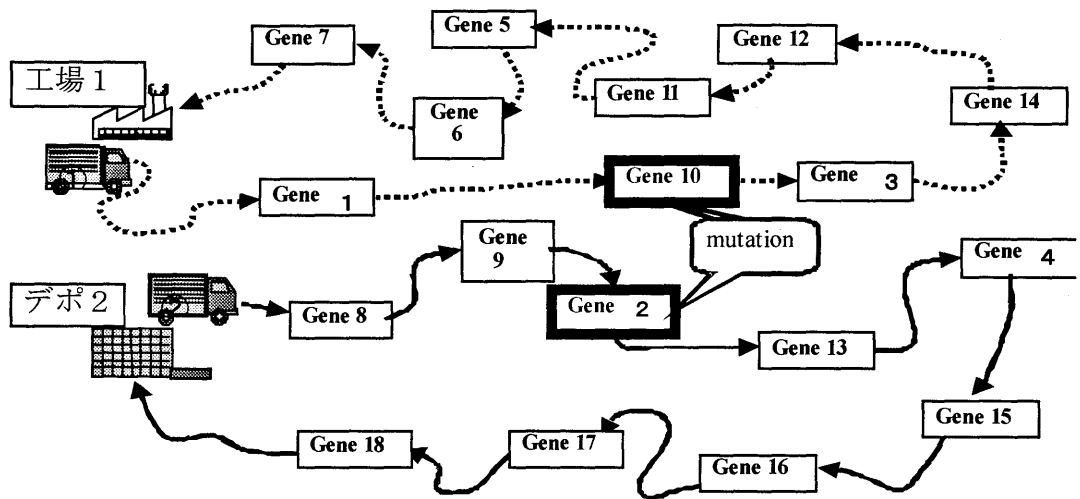


図 7.21 局所的リプロダクション処理例

7.3.4 並列 GA 処理による配車配送計画の実証実験

ハードウェア構成は実システム、シミュレーションシステムともに以下の通りである。

- (a) サーバ : HP9000/L2000SMP サーバ×8sets
- (b) CPU : PA8500-RISC(440MHz)×4 ways×8sets=32CPUs
- (c) 処理能力 : Spec_Int_rate95=1186/CPU
- (d) 主メモリ : 8Gbyte×8=64Gbyte
- (e) OS : HP-UX11.0(UNIX)×8sets
- (f) BUS : 100Mbps
- (g) LAN : 100Mbps
- (h) WS(Master Site) : HP9000/C180(CPU=180MHz)

実際の食品製造会社の、日々の実データを採用した。

(a) オーダ数/日 : 370~960 顧客 (納入先) から約 1000 オーダ/日

(b) 物流拠点 : 15 拠点

(c) 使用可能車両数 : 300 台/日

(1) 実行時間 10 分(600 秒)での効果検証

図 7.22 に、目的関数と動作時間の推移結果を単純 GA : 1CPU(sGA)と新手法 GA :

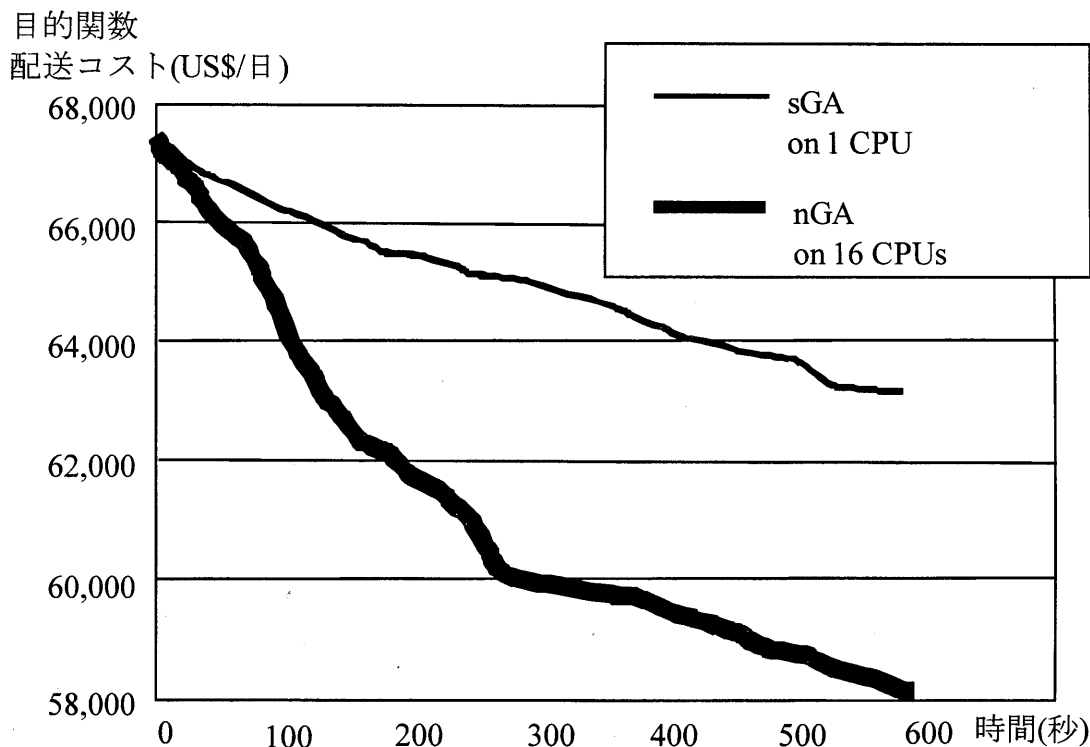


図 7.22 実行時間 10 分(600 秒)での効果検証

16CPU(nGA)のケースについて示す¹⁴⁾。16CPU(nGA)は、今回開発した新手法 GA モデルを 16CPU で並列動作させたケースである。縦軸が C:総コスト (US\$/day)、横軸が最適化処理経過時間で単位は秒(sec)である。このテストでは実行時間を 10 分(600 秒)で打ち切った。この 10 分(600 秒)はユーザが日々のオペレーションにおいてスケジュールを作成するときに費やす時間すなわち実用上の処理時間要求値である。16CPU(nGA)のケースではコストが 58,000 (\$/day)まで達し、初期値に対し 14%改善することが出来た。最適化システムの能力として 14%の改善率は一般的に非常に大きな数値である。改善率の評価を行う場合、比較対象となる初期解の水準が問題になるが、ここでは実際に運用している既設シス

テムの値を用いているので、あいまいさは無い。1CPU(sGA) のケースではコストが初期値に対し6%改善しているが、これよりも16CPU(nGA)は8%効率を向上している。

(2) 実行時間4時間(15,000秒)での効果検証

図7.23は、同じ条件で15,000秒まで実行した結果である。より進んだ比較を行うため、単純GA:1CPU(sGA)に並列GA:8CPU(mgGA)、並列GA:16CPU(mgGA)のケースを追加した。新手法GA:16CPU(nGA)のケースでは、4.1時間(15,000秒)でコストが46,000(\$/day)まで達し、初期値に対し33%改善することが出来た。しかし、1CPU(sGA)のケースでは、75時間(240,000秒)動作してもコストが46,000(\$/day)まで達しなかった。また8CPU(mgGA)、16CPU(mgGA)のケースでも、淘汰・選択処理における同期により大きな待ち時間が発生しているため並列化の効果は小さく、同様に達しなかった。

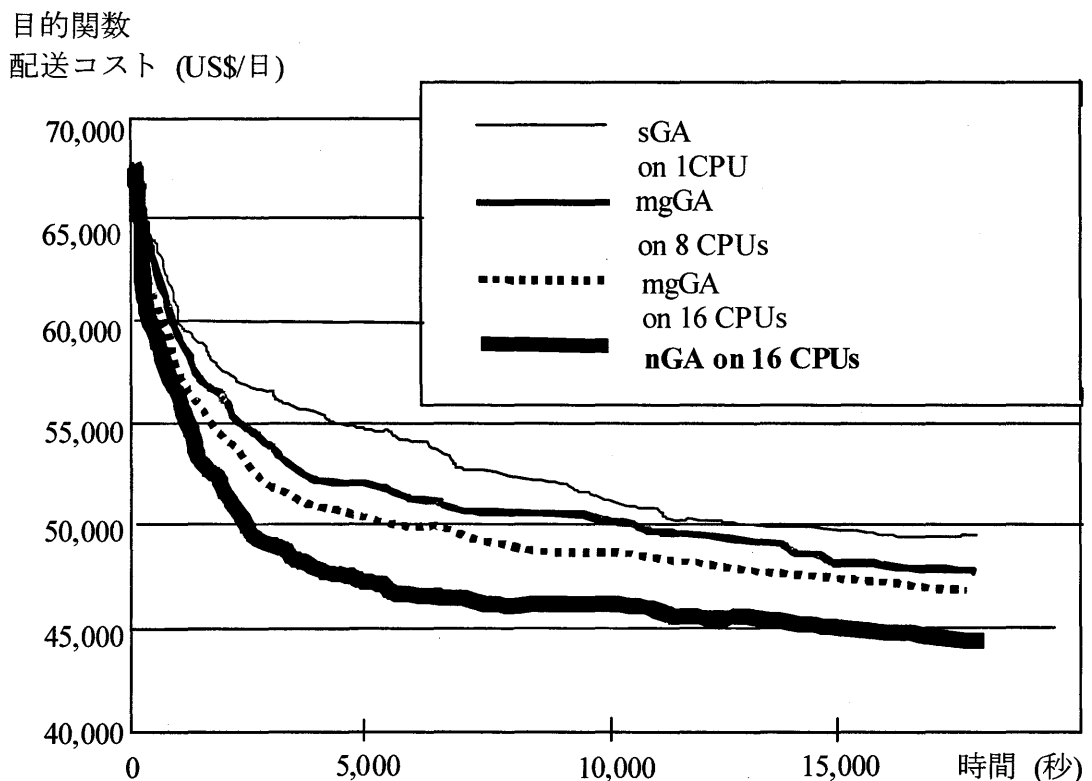


図 7.23 実行時間4時間(15,000秒)での効果検証

(3) 局所リプロダクション処理の実装効果検証

モデルは同じであるが、ここでは、オーダー件数が平均的な 1,055 件であった 2002 年 2 月 5 日(火曜日)のデータにより、シミュレーションを行った。sGA、mgGA 及び提案モデルである nGA を適用したシステムを準備した。sGA、mgGA のリプロダクションには従来の手法を組み込んだ sGA-1、mgGA-1 と、今回提案した局所リプロダクション処理を実装した sGA-2、mgGA-2 を用意してシミュレーションを行った。mgGA-1、mgGA-2、nGA はクラスタ並列構成で CPU 数を 16 とした。これら全てのモデルに前記データを入力し、4 時間の最適化実験を行った。

図 7.24 に実験結果を示す。縦軸が目的関数である総合コスト、横軸は最適化経過時間であり、各モデルの最良値をプロットしている。初期解に対する 4 時間後の sGA-1 の解は 2.6%の改善であったのに対し、nGA は 20.7%の改善がみられた。また mgGA-1 が 4.3%の改善に対し mgGA-2 は 18.4%の改善を示した。これより、局所リプロダクションは有効に作用していると言える。また 4 時間での mgGA-2 の並列効率は 73.3%なのに対し、nGA の並列効率は 98.7%であり、改善率はそれぞれ 18.4%と 20.7%であった。並列効率の優位さがそのまま最適化能力の差に現れていると考えられる。

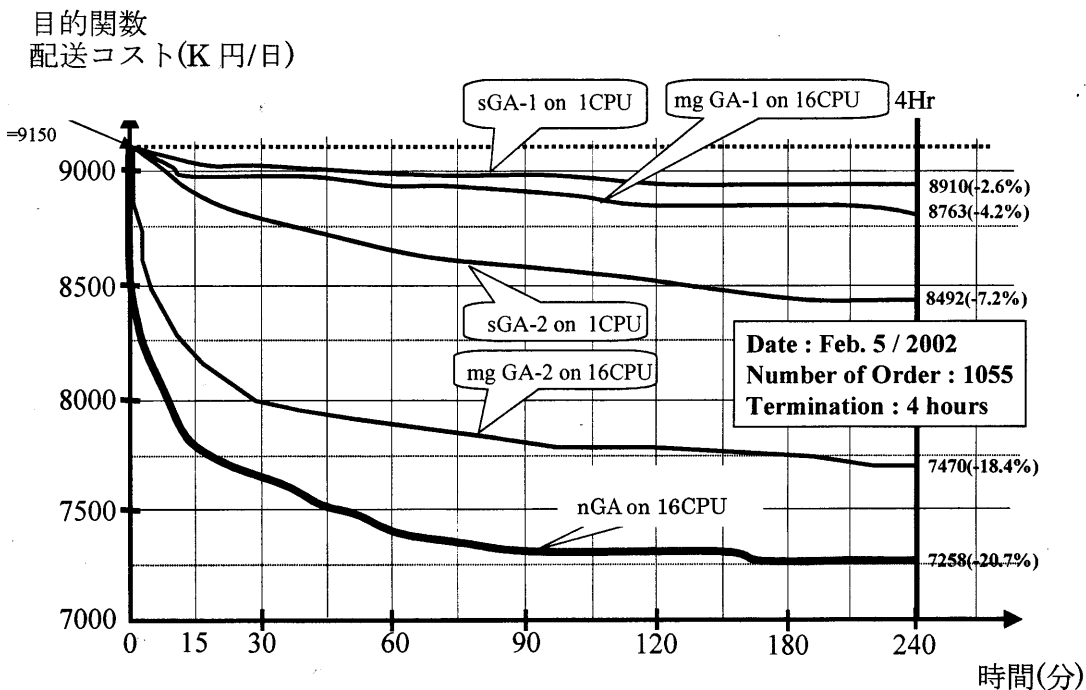


図 7.24 局所リプロダクション処理の実装効果検証

(4) 自律的近傍距離制御処理の実装効果検証

近傍距離制御機構を実装した nGA-1($c=0.5$)と、常に一定の近傍距離 = 1 を有する nGA-2($c=0$)を準備して、13 分の最適化実験を行った。図 7.25 は横軸を 13 分間とした場合の最良値をプロットした結果である。最初の 8 分程度までは nGA-1 の方が良い解に達している。例えば 5 分の時点では nGA-1 の結果は 10.1%の改善、nGA-2 は 7.0%の改善であるので、nGA-1 の方が nGA-2 より 30%優れていることがわかる。

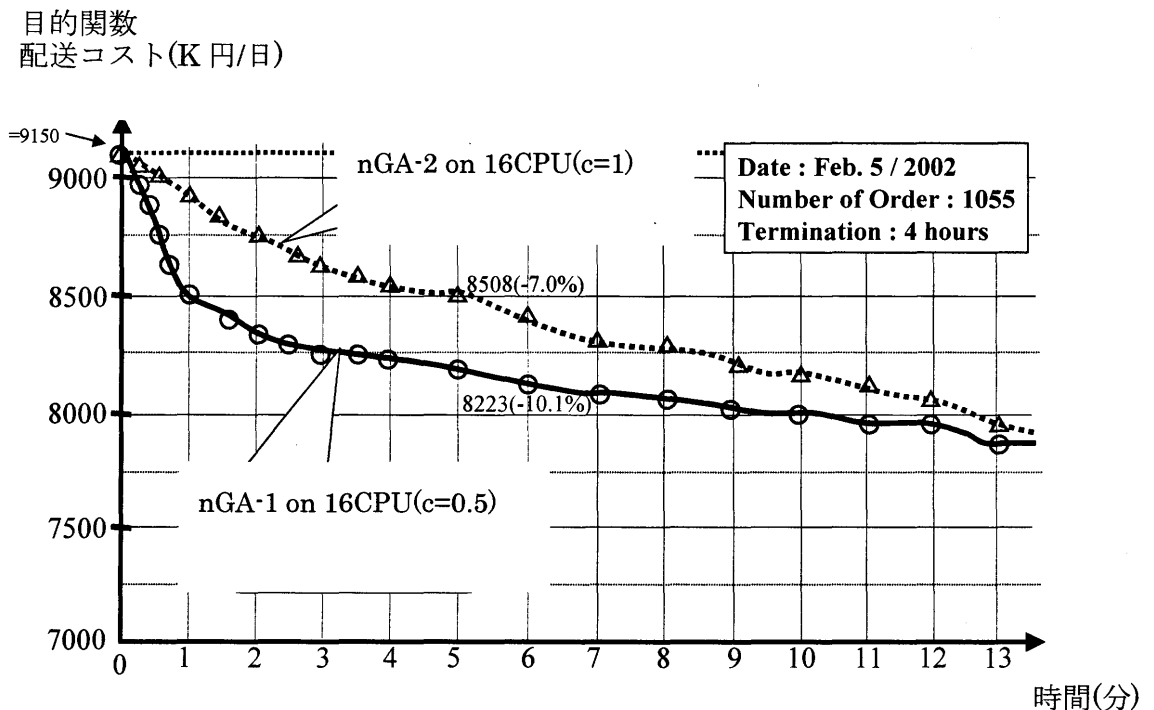


図 7.25 自律的近傍距離制御処理の実装効果検証

(5) 並列度スケーラビリティの検証

nGA を CPU 数を 1、4、8、16、32 の環境で動作させ、並列度に対するスケーラビリティの検証を行う。図 7.26 に結果を示す。CPU 数の増加に対し最適化能力が向上している。ここで、16 個以下の CPU 構成は通常のクラスタ並列構造であり、32CPU は LAN を介したハイパークラスタ構造である。この場合も、能力はほぼ同じ割合で向上している。すなわち、グリッド計算環境においてもスケーラビリティが確保されていると推察できる。

目的関数
配送コスト(K 円/日)

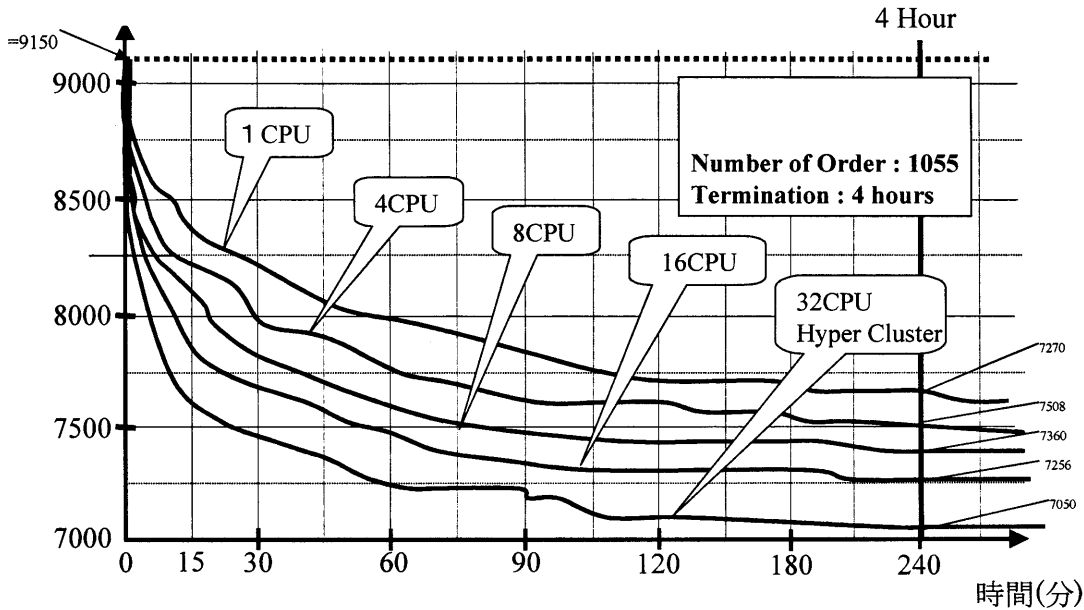


図 7.26 並列度スケーラビリティの検証

7.3.5 配車配送計画システムの実用化

本研究で得た技術は、昭和シェル石油のタンクローリー自動配車システムに適用し、ローリーの配車経路とガソリンの配送先の最適な組み合わせを、コストが最小になるように自動計算するシステムに実用化した。その経緯と実際の導入事例を以下に紹介する。

この当時、石油業界は、1996年4月に控えた「特定石油製品輸入暫定措置法(特石法)」の廃止による大手流通業、商社の参入、外資の攻勢で戦々恐々であった。石油流通分野は、ガソリン・灯油・重油などを主製品とする分野である。原油調達のほとんどを海外からの輸入に依存しているため、製造・物流のトータルコストが円のレートや原油の国際相場に大きく左右される。このため「特石法」が1996年3月まで我が国だけに存在し、国内の石油産業を守ってきた。それは、複数の同業者が競い合うことで市場の多様性・サービス性を高めようとするものであった。この結果、9社の大きな石油の元売り会社、6万以上のサービスステーション、400以上の拠点が存在し、1万台以上の大型タンクローリーが狭い日本の国土上を走り回ることになった。サービスステーションには最盛期で70万人以上の人働き、日本のガソリンスタンドのサービスは、第2位を大きく引き離して世界一であった。

しかし、「特石法」が失効してから一年後の1997年、ガソリンの市場価格は1リットル当たり10円近く暴落した。それまでの各社は、幅広いユーザーニーズに対応するサービス性の向上とシェア拡大に努力していたが、様相は一変した。

石油業界は、企業同士のM&Aの真っ只中にある。そしてM&Aの主役から少し外れた中小の会社や多くのタンクローリーを抱えた運送業者にとっての生き残りの道は、「高度なIT化」と「洗練されたサプライチェーン体制を確立すること」が必要条件となった。

昭和シェル石油は、1990年代初頭から特に販売物流業務の改革とこれを実現するシステムの検討、導入作業を進めていたが、「石特法」廃止が改革スピードを上げさせた。業務改革と情報システムにより、経営効率の向上と経営コストの削減を図り、厳しくなると思われる経営環境を乗り越えていこうとしていた。

受注受付、需要予測、配車計画、運行管理、在庫／出荷管理といったところが改革すべき販売物流業務であった。1994年4月に販売物流改革プロジェクトが設置され配車計画システムの導入の検討が開始された。当初は、プロジェクトチームのメンバーで過去のオーダーと配車結果との比較と、現場の配車業務と配車担当者の配車組み状況を把握することから始まった。配車計画がどのような意図で作成されるのかオーダーと配車表を見比べると、配送先の着希望時間に従ってオーダーを車両に割り付けているらしいということは見当がついたが、どのような根拠で割りつけているのか分からなかった。結局、配送先の位置と納入条件、車両という設備の制約条件を事前に調べていなかったため、配送担当者の思考がさっぱり理解できなかった。

そこで、プロジェクトメンバーは配車計画の計画用のソフトウェアパッケージであれば、恐らく配車に関する基本要件が備わっており、これを理解すれば少なくとも基本的な配車業務は把握できるだろうと考え、システム導入の検討が始まった。コンピュータメーカーの配車計画システムの説明を聞くうちに配車計画の基本要件が分かってきた。その基本要件は

- ①原則的に、出荷拠点から配送先のオーダーを車両に割り付け
 - ②車両の移動時間は、地図または拠点—配送先、配送先—配送先の移動時間テーブルにより算出
 - ③オーダーを割り振るにあたってはなんらかの立案エンジンを装備
- といった大きな3項目であった。

石油業界の製品の流れと情報の流れを以下に示す。

- ①製品の流れは、概ね製油所—油槽所という一次搬送／転送または輸送と、製油所あるいは油槽所—ガソリンスタンドという二次搬送／配送に分けられる
- ②転送の場合、搬送手段は船舶、鉄道、車両などである
配送の場合、搬送手段は車両(タンクローリー・トラック)である
- ③配車とは、車両に対する搬送の指示・手配のことである
- ④個々の製油所、油槽所が担当する地域・範囲を配送圏という
- ⑤積載物は、レギュラーガソリン、灯油、軽油などの白油と称されるもの、重油などの黒油と称されるもの、LPG、潤滑油などである
- ⑥オーダとは、納期付き配送先毎の油種別供給依頼容量のことである
- ⑦一般オーダは配送先からの依頼によるもの。計画オーダとは配送先の在庫予測により配送元主体で供給容量を決定したものである。
- ⑧基本は受注センタで受注(在庫予測を含む)と配車を行い、出荷基地より搬送手段にて配送を行う
- ⑨受注、配車の担当者は極力兼務が望ましい。オーダを受け付けながら配車に基づき納期を回答できるためである

プロジェクト発足以前、受注は全国主要都市毎、配車は出荷基地および運送業者の営業所にて行っていた。つまりエリア毎の受注受付と配車担当者の居る場所での配車手配という長年積み重ねられた業務スタイル、言葉を変えれば旧態依然の業務スタイルを当時は踏襲していた。

配車業務改革のねらいと手段は

- ①ねらい——効率化、標準化、省力化
- ②手段——配車計画システムの導入および受注システムとのオンライン化であった。

ただ、当時の状況ではほとんどの企業では、サービス性の向上と、シェアの拡大にビジネスの重点が置かれていたため、過剰な人員体制で対応していた。過剰な人員体制を変革し、上記のような最適運用形態を情報システムの活用により実現しようとするのがプロジェクトのタスクであり、またゴールであった。

そこで、まずは実際のデータを入手し、配車システムを動かしてみて評価することにし

た。データは以下の通りである。

①データの前提

- (a) オーダデータ———4月の月曜(300件)と火曜(230件)の2日分
- (b) エリア———東京中央線以北、埼玉全域、千葉北西部、茨城南部
- (c) 出荷基地———栃木南部の葛西油槽所のテリトリーである
葛西油槽所、上尾デポ、飯能デポ
- (d) 商品———ハイオク、レギュラー、軽油、灯油
- (e) 車両———24から14KL車、110台
- (f) 登録配送先数———2,000ヶ所

②マスタデータの種類

- (a) 出荷基地マスタ (b) 輸送業者マスタ (c) 車両マスタ
- (d) 車庫マスタ (e) 配送先マスタ (f) 商品マスタ

③制約条件

(a) 車両に関する制約

- ・ハッチ ・車型 ・マーク ・ポンプ ・ロングホース
- ・ボトム ・シャーシ

(b) 出荷基地に関する制約

- ・基地の親子関係 ・荷積み可能時間帯 ・油種毎の荷積み車線
- ・取り扱い油種

(c) 配送先に関する制約

- ・最大車型 ・納入可能時間帯と営業時間 ・厳格度
- ・配送先と車両の配送可否設定

④その他

(a) 道路、速度など地図情報については、システム標準を活用する。

(b) 荷積、荷卸時間は、計算式をユーザより提示する。

このような経緯で、タンクローリー自動配車システムが導入され、本研究で得た配車配送のアルゴリズムと並列計算機による高速化技術が実用化された。従来、熟練した60名の担当者が、配送先：10万箇所、ローリー車両数：1800台、基地数：200箇所の配車計画を数時間かけて行っていたのが、初心者でも数分で立案でき、ローリー輸送費を最大

10%削減できるようになった。

同社の1995年度の総物流費は840億円で、そのうちローリー運送費は280億円を占める。本システムにより、配車要員を60名から30名に半減した。配車の効率化でローリーの数も削減でき、運送費を5~10%削減できた。(日経産業新聞：1996年9月19日より)

7.4 拠点統廃合・共同配送への展開

7.4.1 拠点統廃合・共同配送へ展開するための輸配送計画システムの開発

図7.27に示すように、工場の廃止、新設、移転に対して、配送コースの見直しを行い、各工場からの効率の良い配送コースの編成を行うことへの展開が考えられる。

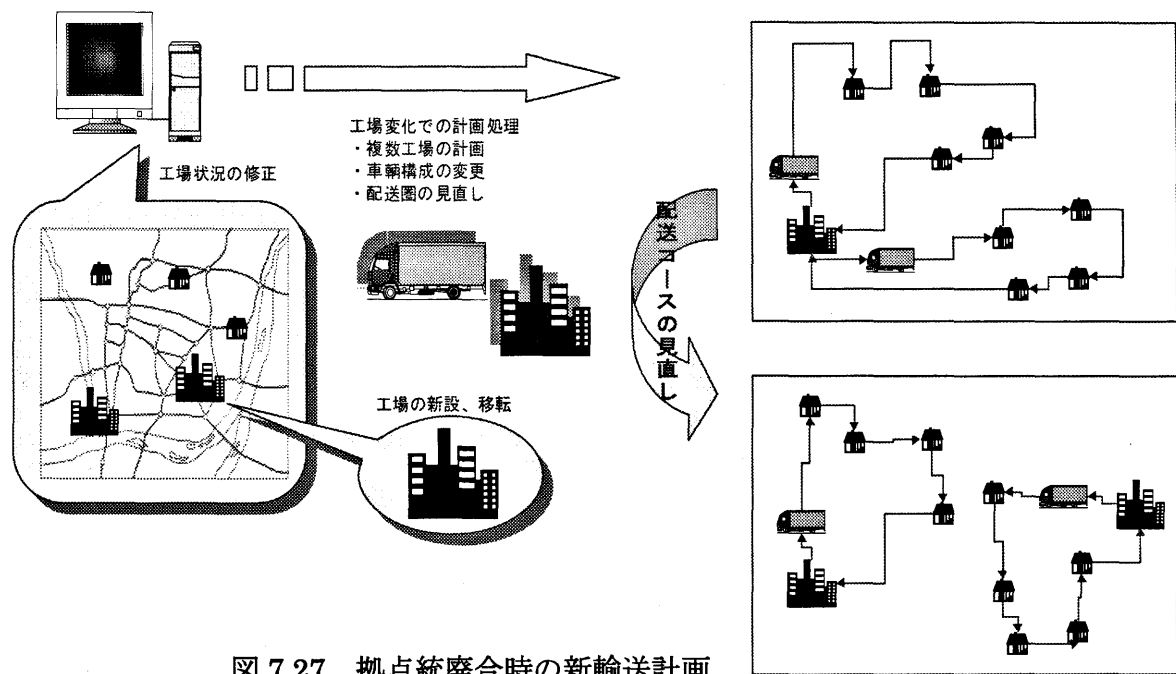


図 7.27 拠点統廃合時の新輸送計画

広域を対象とする輸配送計画を行なう場合、従来は輸配送時間またはトラック等の輸配送手段の運行距離を短くするように、荷の積合せ(異なる配送先の荷を同一トラックに載せる)や運行経路を検討し、その結果から、各々のオーダに対する出荷基地を決定していた。これらの従来技術の詳細は、例えば片方¹⁵⁾による「超物流革命」や中田¹⁶⁾による「物流・配送のことがわかる本」に具体例を含め述べられている。なお本研究では、荷を出荷基地から届ける場合を配送、出荷基地へ届ける場合を輸送と呼ぶ。

この従来方法を用いると、トラック等の輸配送手段に要するコストは輸配送時間や運行

距離が削減され、配送コスト[工場やデポ(中間拠点)等の基地を出発してから配送先に届くまでのコスト]は、それに比例して減少するため、低く抑えることができる。製品・商品の製造コストや輸入・購入コストが該当製品・商品の価格の大きな部分を占めており、輸配送コストの占める割合が小さい場合は、顧客へのサービス性を含めこの従来の方が適すると言える。

図 7.28 に模式的に内訳を示すように、製品を製造し、顧客(配送先)に届けるまでの総コストのかなりの部分は、配送コスト以外のコストによって占められている。なお、図 7.28 において()内の数字は、総コストを 100 とするときの、総コストに占める各コストの割合を示す。

総コスト (100)					
製造コスト (50)			物流コスト (50)		
材料費 (15)	加工費 (20)	経費 (15)	基地コスト (10)	輸送コスト (20)	配送コスト (20)

(a)

総コスト (100)				
製造コスト (30) (購入)		物流コスト (70)		
購入費 (20)	購入輸送費 (10)	基地コスト (30)	輸送コスト (5)	配送コスト (35)

(b)

図 7.28 製造から配送までの総コスト

総コストには、図 7.28 に示すように、製造コストと物流コストとが含まれる。製品を製造する場合、図 7.28(a)に示す例のように、製造コストは材料費、加工費および経費に大別される。また、製品を購入する場合、図 7.28(b)に示す例のように、製造コスト(すなわち購入コスト)は購入費と購入先からの輸送費とに大別される。いずれの場合も、物流コストは、基地コスト(基地の経費、維持運営費等)、基地間の輸送に要する輸送コスト、および、基地から配送先までの配送コストにより構成される。

近年では、生産効率の驚異的な向上と労働賃金の低下により製品・商品の価格が大幅に低下し、その中に占める物流コストの比率は極めて大きくなりつつある。こうした状況下

で、従来の方法を用いて複数の基地から広域の輸配送を行なうと、顧客へのサービス性(納期の厳守等)には良好であるが、無駄な物流コストを支払うことになる。例えば、基地 A (工場) と基地 C (デポ) のちょうど中間に位置する顧客 a に配送を行う場合、工場 A から出荷した場合は配送コストのみしか発生しないが、デポ C から出荷した場合は工場 A からデポ C への輸送コストとデポ C から顧客 a への配送コストが発生する。デポ C から顧客 a への配送は、工場 A に向かって戻ってゆくことになるので、結局ここでの輸送に要するコストは全く無駄になってしまうことになる。

このように、物流コストが製造コストに比べ無視しえなかつたり、むしろ多くなってきている分野においては、物流コストに占められる配送以外のコストも無視できない。配送コストを減少させると、その減少分以上に基地コスト、輸送コストが増加してしまう場合もあり、従来の配送コストのみを削減する方法では、総コストを十分効果的に削減することはできなかった。

そこで、本研究では、効果的にコストを削減することのできる輸配送計画システムの開発を行った。本研究は、複数の基地と複数の配送先とを含む配送エリアにおける配送元を選択する輸配送計画であって、(1)荷の配送量および配送先の情報を含むオーダーの情報の入力を受け付ける入力ステップと、(2)オーダーごとに、その基地を配送元として、配送先へオーダーの配送を行った場合の総コストを算出する総コスト算出ステップと、(3)オーダーごとに、算出された総コストの最も小さい基地をそのオーダーの配送元として選択する基地選択ステップからなる。

輸配送計画は、オーダー情報を保持するオーダー情報データと、基地情報を保持する基地マスタと、距離情報を保持する距離情報マスタと、運賃情報を保持する運賃情報マスタの各種情報を使用する。オーダー情報は、荷の配送量および配送先の情報を含み、基地情報は、製品の基地における製造(または購入)コストおよび基地までの輸送コストと、その基地を運営・維持するための基地コストとを含む情報である。距離情報は、基地と配送先との間の配送距離の情報を含み、運賃情報は、配送における運賃の情報を含む。

総コストとしては、基地情報から求められた荷の製造(または購入)コスト、荷の基地までの輸送コスト、および、基地コストと、配送量および運賃情報から求められた配送コストとの合計を用いる。全ての基地に在庫している製品・商品の製造コストが同一ならば、総コストに製造コストを含めなくてもよい。また、全ての基地が工場であり、輸送が不要ならば総コストに輸送コストを含めなくてもよく、すべての基地の基地コストが同一なら

ば、総コストに基地コストを含めなくてもよい。

しかし、現実には、製造コストおよび輸送コストは常に多少なりとも変動しているため、基地間でこれらが常に同一であるという状況は少ないと考えられる。従って、実際のコストを最小にするためには、これらを総コストに含めることが望ましい。さらに、上述のように製造コストおよび輸送コストは常に変動していることから、輸配送計画立案処理の実行の際には、これらのコストの入力(すなわち基地情報の入力)を受け付けるようにすることが望ましい。

7.4.2 輸配送計画の目的関数の定式化

輸配送計画における目的関数は総合コスト最小であり、このことを定式化すると次式のようなになる。

Minimize

$$C = P + T + B + H(\mathbf{X}) \quad (7.7)$$

ここに

$$P = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{y=1}^Y P_{j,k} \cdot G_{y,k} \cdot \delta_j(S_y) \quad (7.8)$$

$$T = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{y=1}^Y T_{j,k} \cdot G_{y,k} \cdot \delta_j(S_y) \quad (7.9)$$

$$B = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{y=1}^Y B_j \cdot G_{y,k} \cdot \delta_j(S_y) \quad (7.10)$$

$$H(\mathbf{X}) = \sum_{l=1}^m H_{f,l} \cdot \delta_l(\mathbf{x}_l) + \sum_{l=1}^m H_{t,l}(\mathbf{x}_l) \quad (7.11)$$

$$H_{t,l}(\mathbf{x}_l) = \sum_{i=1}^{N_l} F(D(n(i))) \cdot G(n(i)) \quad (7.12)$$

Subject to

$$\sum_{l=1}^m N_l = N \quad (7.13)$$

$$W_l(\mathbf{x}_l) = \sum_{n(i) \in \mathbf{x}_l} G(n(i)) \quad (7.14)$$

$$W_l(\mathbf{x}_l) \leq W_{c,l} \quad (7.15)$$

ただし

C : 総合コスト(円)

P : 製造コスト(円)

T : 輸送コスト(円)

B : 基地コスト(円)

$H(\mathbf{X})$: 配送コスト(円)

y : オーダ番号(1, 2, ..., Y)

k : 製品番号(1, 2, ..., K)

j : 基地番号(1, 2, ..., J)

$G_{y,k}$: オーダ番号 : y 、製品番号 : k の時のオーダされた製品の数量(kg)

$P_{j,k}$: 基地番号 : j 、製品番号 : k の時の製造コスト(円/kg)

$T_{j,k}$: 基地番号 : j 、製品番号 : k の時の輸送コスト(円/kg)

B_j : 基地番号 j の基地コスト(円/kg)

S_y : オーダ番号 : y を出荷する出荷基地番号(1, 2, ..., J)

$\delta_j(S_y) = 1$; オーダ番号 y が出荷基地 j を使用する時
= 0 ; その他の場合

\mathbf{X} : 全トラックの配送ルートへの顧客の割り当てと訪問順序を示す数列(\mathbf{X} の中には、全ての $n(i)$ が必ず含まれる)

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_l \mid l = 1, m\} = (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_m)$$

m : 使用可能なトラック台数の上限

\mathbf{x}_l : トラック l の配送ルートへの顧客の割り当てと訪問順序を示す数列

$$\mathbf{x}_l = \{n(i) \mid i = 1, N_l\} = (n(1), n(2), \dots, n(N_l))$$

$n(i)$: あるトラックが i 番目に訪問する顧客のノード番号

N_l : トラック l が訪問する顧客の総数

N : 顧客の総数

$H_{f,l}$: トラック l の固定費用(円)

$\delta_l(\mathbf{x}_l) = 1$; トラック l を使用する時
= 0 ; その他の場合

$H_{t,l}(\mathbf{x}_l)$: トラック l の変動(運行)費用(円)

$F(*)$: タリフ関数であり、距離を引数、金額(円/ton)を戻り値とする

$D(n(i))$: 拠点から $n(i)$ までの距離(km)

$G(n(i))$: 顧客 $n(i)$ へ配送する荷物の重量(ton)

7.4.3 輸配送計画の実施形態の具体例

(1) 輸配送計画の実施例の概要

実施形態の一例について、複数の製品をある地域内で輸配送する場合への適用を例にとって説明する。

まず、輸配送対象地域について説明しておく。本実施例の対象とする地域には、図 7.29 に示すように、製造工場 A、港湾立地の中間基地(デポ)B、内陸の中間基地(デポ)C の 3 か所の基地と、58 か所の配送先がある。

基地 A は工場であるため、生産した製品をトラックを用いて直接配送先まで配送することができ、さらに基地 B および C にも必要に応じてトラックによる輸送を行なうことができる。基地 B は、港湾に近接しているため、多種の輸送手段を使ういわゆるマルチモード(モーダルシフトによる)輸送を受けることができる。ここで用いている例では、内航海運による工場 A からの輸送や、外国からの海運による輸送、あるいは、大型トラックによる工場 A からの輸送が、基地 B に対して行われる。基地 C への輸送は、内陸にあるため、トラックでの陸送によって行われる。また、基地 B または C から配送先までの配送は、

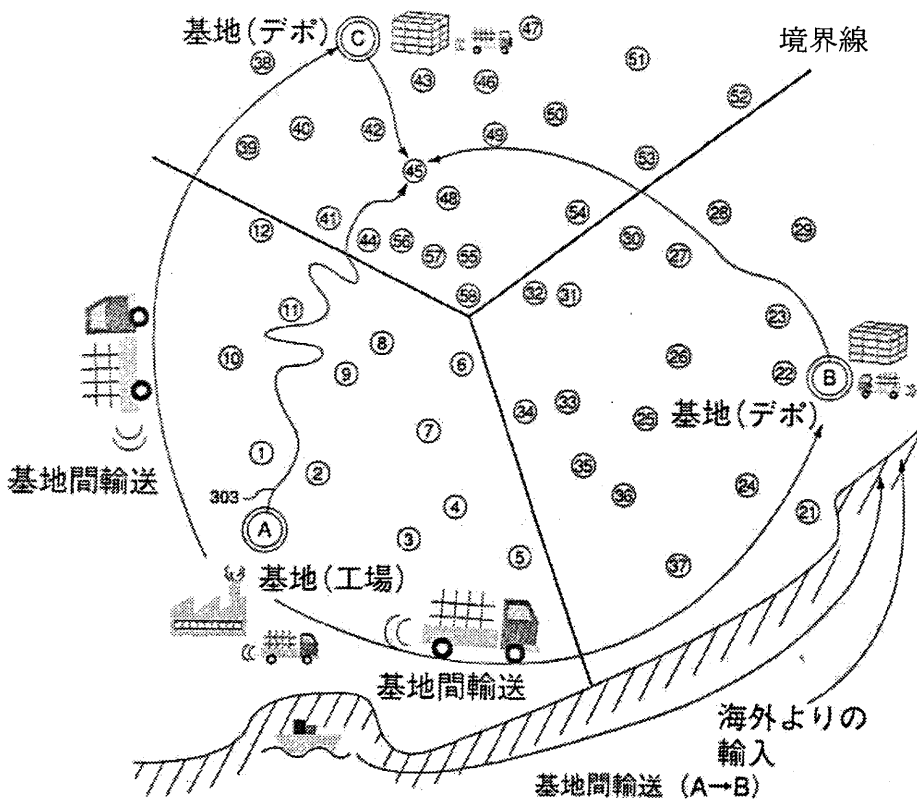


図 7.29 輸配送対象地域

トラックにより行われる。

図 7.29 に示した直線は、従来の方法により定められた各基地の担当エリアの境界を示すものである。従来の方法では、納期を守り、かつ配送時間および走行距離を最小にするために、2次元空間上で配送距離や時間が最も短くなるように、基地の配置に応じて担当エリアを定める。一見最適にみえるこの担当エリアを用いて、物流管理/制御を行なうことは、総コストを増大させる強い条件になっているにもかかわらず、問題としてなかなか抽出できず、逆に配送距離、配送時間を更に短くすることで一層総コストを肥大させている例が極めて多いのが実状である。

輸配送計画は、入力された個々のオーダー毎に、対象となる全ての出荷基地で出荷した場合の製造コスト、基地コストおよび輸配送コストの合計値を計算し、合計値が最も小さい基地を該当オーダーに対する最適な基地として決定する。従って、コストが最小になるように、出荷基地を選択することができる。

輸配送計画は、オーダー情報を保持するオーダー情報ファイルと、基地情報を保持する基地マスタと、距離情報を保持する距離情報マスタと、運賃情報を保持する運賃情報マスタの各種情報を使用する。オーダー情報は、荷の配送量および配送先の情報を含み、基地情報は、製品の基地における製造(または購入)コストおよび基地までの輸送コストと、その基地を運営・維持するための基地コストとを含む情報である。距離情報は、基地と配送先との間の配送距離の情報を含み、運賃情報は、配送における運賃の情報を含む。

(a) オーダー情報ファイル

オーダー情報ファイルは、表 7.1 に示すように、オーダー番号と、配送先番号と、オーダーする製品の数量(オーダー数量)と、既定出荷基地符号などからなる。オーダー数量には、取り扱われる製品ごとに、その製品のオーダー量が設定される。オーダー情報ファイルの各行には、それぞれオーダー情報の1レコードが保持される。表 7.1 に示した例では、オーダー番号[1]のオーダー情報は、配送先(1)からのオーダーであり、製品 a を 100kg、b を 100kg、C を 100kg、f を 100kg それぞれ注文しており、基地は A を使用することが指定されている。

(b) 基地情報マスタ

基地情報マスタは、表 7.2 に示すように、基地ごとの、該基地における製造(または購入)コスト(P.コスト)および該基地までの輸送コスト(T.コスト)と、基地の経費および維持運営費など、基地を使用するためのコストである基地コストと、該基地からの配送に際して用いられる運賃体系を示す運賃番号とからなる情報である。

表 7.1 オーダ情報ファイル

オーダ 番号	配送先	オーダ数量 (kg)							既定 出荷基地
		a	b	c	d	e	f	g	
1	1	100	100	100	0	0	100	0	A
2	2	0	0	0	300	0	0	100	A
~~~~~									
35	35	0	0	0	300	100	100	100	B
38	38	200	0	200	300	0	0	400	B
~~~~~									
45	45	100	200	300	200	50	0	400	C
46	46	100	0	200	0	0	300	300	C
~~~~~									

表 7.2 基地情報マスタ

基地	製造コスト/輸送コスト (円/kg)							基地 コスト (円/トン)	運 賃 番 号
	商品名 a	商品名 b	商品名 c	商品名 d	商品名 e	商品名 f	商品名 g		
	Pコスト	Pコスト	Pコスト	Pコスト	Pコスト	Pコスト	Pコスト		
	Tコスト	Tコスト	Tコスト	Tコスト	Tコスト	Tコスト	Tコスト		
A	1.50	1.42	1.80	1.40	1.50	1.50	1.50	12	1
	0	0	0	0	0	0	0		
B	1.20	0.80	0.92	1.25	0.90	0.90	1.50	500	2
	0.70	0.70	0.70	1.0	0.70	0.70	1.0		
C	1.50	1.42	1.80	1.40	1.50	1.50	1.50	900	3
	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40		

※Pコスト(製造コスト) Tコスト(1次転送コスト)

### (c) 距離情報マスタ

距離情報マスタは、各基地と各配送先との間の配送距離を保持する表であり、表 7.3 に示すように、基地ごと配送先ごとに配送距離を保持する配列となっている。なお、デジタル地図情報を保持している場合には、地図情報から配送距離を算出するようにしてもよい。

表 7.3 距離情報マスタ

配送先 基地	1	2	.....	58
A	10	10		30
B	60	50		30
C	40	40		30

### (d) 運賃情報マスタ

運賃情報マスタは、本実施例では、3種類の運賃体系を用いる。各運賃体系における配送距離と運賃との関係を、図 7.30 に示す。図 7.30 に示したグラフにおいて、縦軸は1トン当りの配送費用(単位：円/トン)を、横軸は配送距離(単位：km)を、それぞれ表す。図 7.30(a)に示した運賃体系1では、90km 離れた配送先に1トンの荷を配送するのに1,480円を要する。図 7.30(b)に示した運賃体系2では、80km 離れた配送先に1トンの荷を配送するのに1,540円を要する。図 7.30(c)に示した運賃体系3では、25km 離れた配送先に1トンの荷を配送するのに600円を要する。これらの運賃体系は、運賃と配送距離との関数(運賃関数)により表すことができる。運賃体系に付された番号(運賃番号)ごとに、番号に対応する運賃体系の運賃関数を持つ。なお、運賃関数は、運賃と配送距離とを線形回帰することにより求められる。しかし、運賃は一般に非線形関数であり、輸送手段の種類や規模により異なり、また、輸送業者毎に異なる場合もある。この様な場合は、使用可能な輸送手段/規模における運賃を最小二乗法により線形回帰したり、あるいは、使用可能な輸送手段/規模における運賃の平均値を線形回帰するなどの手法により運賃関数を求めればよい。また、本実施例のように運賃関数を保持する代わりに、運賃と配送距離との対応表を保持し、これを参照することにより運賃を求めるようにしてもよい。



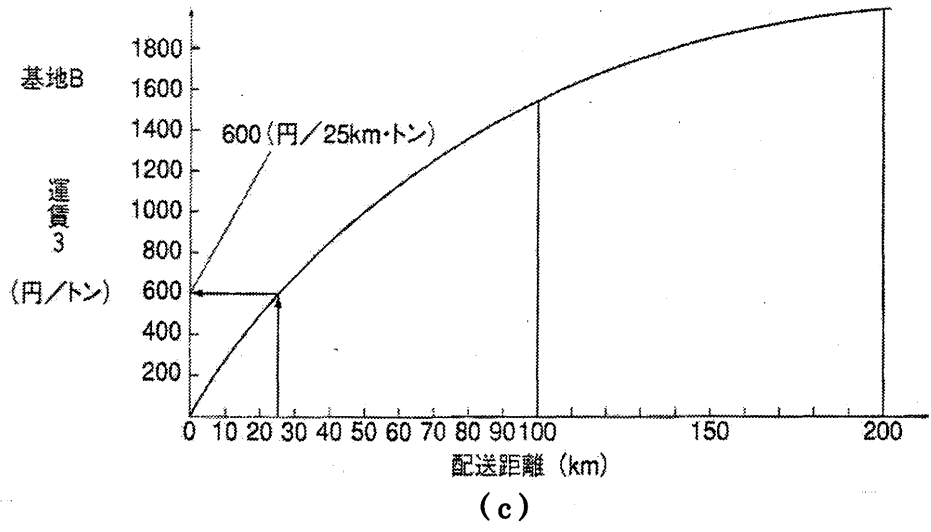
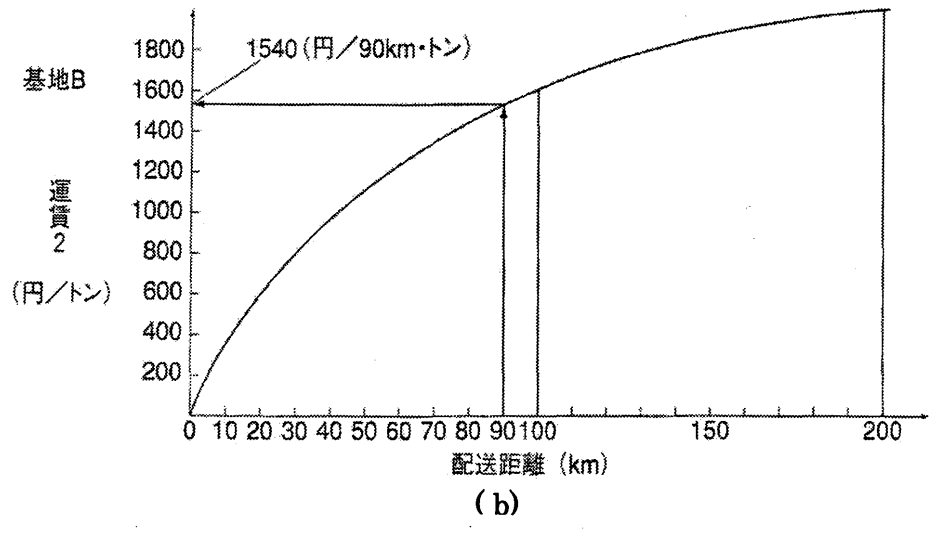
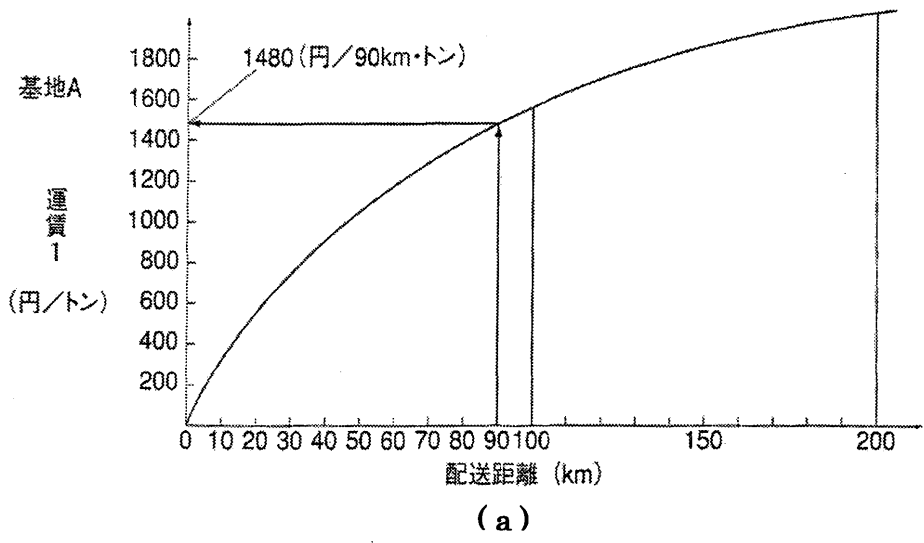


図 7.30 運賃情報マスタ

(e) 配送元(出荷基地)情報マスタ

配送元情報マスタは、表 7.4 に示すように、オーダ番号ごとに配送を行うべき出荷基地の符号を持つ。

表 7.4 配送元情報(出荷基地)マスタ

オーダ番号	出荷基地
1	A
2	B
3	C
・	・
・	・

(2) 輸配送計画の処理フロー

輸配送計画は、図 7.31 に示すように、複数の基地と複数の配送先とを含む配送エリアにおける配送元を選択する計画であって、(1)荷の配送量および配送先の情報を含むオーダの

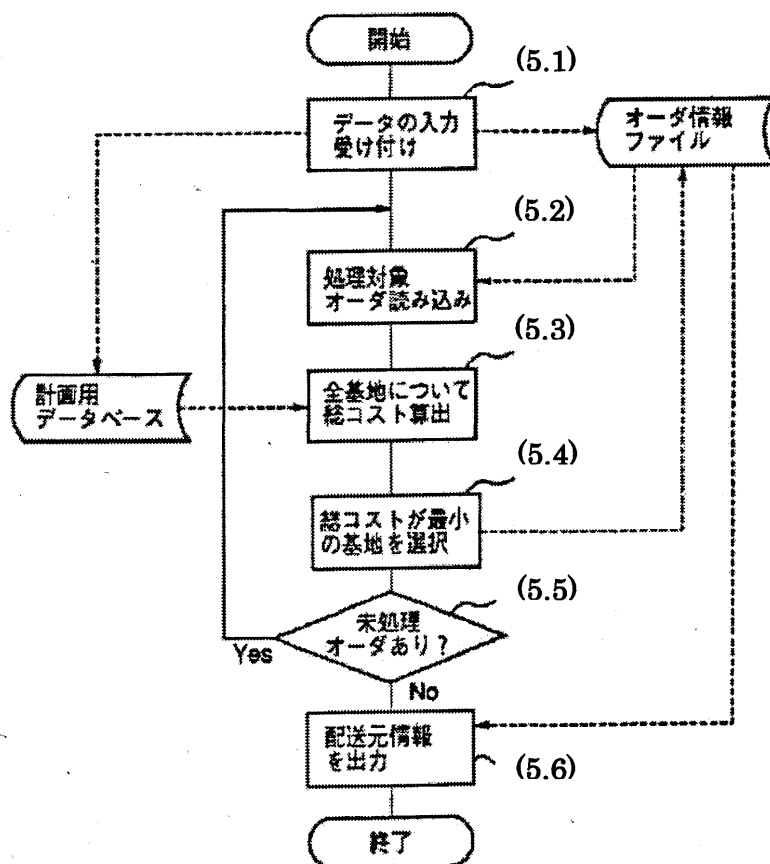


図 7.31 輸配送計画の処理フロー

情報の入力を受け付ける入力ステップ[ステップ(5.1)]と、(2)オーダごとに、その基地を配送元として、配送先へオーダの配送を行った場合の総コストを算出する総コスト算出ステップ[ステップ(5.3)]と、(3)オーダごとに、算出された総コストの最も小さい基地をそのオーダの配送元として選択する基地選択ステップ[ステップ(5.4)]からなる。

### (3) 総コスト算出の処理フロー

総コスト算出処理[ステップ(5.3)]について図 7.32 を用いて説明する。

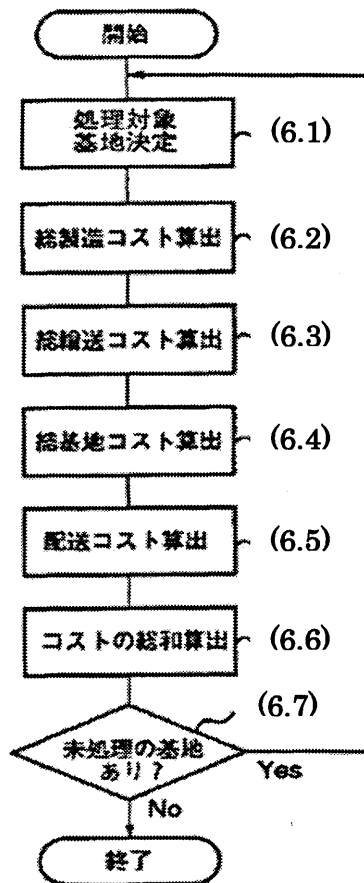


図 7.32 総コスト算出の処理フロー

**[ステップ(6.1)]** まず、基地情報マスタに登録された基地の一つを処理対象とし、処理対象の基地符号を読み込む。

**[ステップ(6.2)]** 続いて、オーダ情報ファイルの、処理対象オーダ番号に対応するオーダ数量情報から読み出した各配送品の量に、基地情報マスタから読み出したその配送品の製造コスト原価を掛けて、各配送品の製造コストを算出し、全配送品の製造コストを合計して総製造コスト値を算出する。

**[ステップ(6.3)]** つぎに、上記各配送品の量に、基地情報マスタから読み出したその配送品の輸送コスト原価を掛けて、各配送品の輸送コストを算出し、全配送品の輸送コストを合計して総輸送コスト値を算出する。

**[ステップ(6.4)]** さらに上記各配送品の量に、基地情報マスタの、処理対象基地に対応する基地コストマスタから読み出した基地コストを掛けて、総基地コストを算出する。

**[ステップ(6.5)]** つぎに、距離情報マスタから、処理対象基地から、処理対象オーダの配送先までの距離を読み出し、この距離に基づく配送コストを、基地情報マスタから読み出した処理対象基地に対応する運賃番号の運賃関数(運賃情報マスタに保持されている)を用いて算出する。

**[ステップ(6.6)]** [ステップ(6.2)]で求めた総製造コストと、[ステップ(6.3)]で求めた総輸送コストと、[ステップ(6.4)]で求めた総基地コストと、[ステップ(6.5)]で求めた配送コストとを合計して、処理対象基地を用いた場合の総コストを求める。

**[ステップ(6.7)]** 最後に、未処理の基地があるか否か判定し、未処理の基地があれば[ステップ(6.1)]に処理を戻して未処理の基地のいずれかを処理対象として上述の処理[ステップ(6.1)]~[ステップ(6.7)]を実行し、未処理の基地がなければ、総コスト算出処理[ステップ(5.3)]を終了する。

#### (4) 総コスト算出処理の具体例

つぎに、この総コスト算出処理[ステップ(5.3)]について、**図 7.29** に示す配送先(45)を処理対象とする場合を例にとって具体的に説明する。なお、オーダ情報、基地情報および距離情報は、それぞれ、**表 7.1**、**表 7.2**、**表 7.3** に示す内容であったものとし、**図 7.30** に示す運賃体系が用いられるものとする。**表 7.1** に示すように、配送先(45)は、オーダ番号「45」のオーダにおける配送先であり、**図 7.29** に示すように、基地 A から配送先(45)への径路の配送距離(実走距離)は 90km であり、基地 B から配送先(45)への径路の配送距離は 80km であり、基地 C から配送先(45)への径路の配送距離は 25km である。

まず、基地 A を処理対象とした場合の処理について説明する。

##### (a) 総製造コスト値の算出

まず、[ステップ(6.2)]の総製造コスト値を算出する。総製造コストは、各配送品の量に製造コストを乗じたものの総和(総製造コスト=Σ各配送の量×製造コスト)であり次式で表される。

$$P = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{y=1}^Y P_{j,k} \cdot G_{y,k} \cdot \delta_j(S_y) \quad (7.8)$$

ただし

$P$  : 製造コスト(円)

$y$  : オーダ番号(1, 2, ...,  $Y$ )

$k$  : 製品番号(1, 2, ...,  $K$ )

$j$  : 基地番号(1, 2, ...,  $J$ )

$G_{y,k}$  : オーダ番号 :  $y$ 、製品番号 :  $k$  の時のオーダされた製品の数量(kg)

$P_{j,k}$  : 基地番号 :  $j$ 、製品番号 :  $k$  の時の製造コスト(円/kg)

$S_y$  : オーダ番号 :  $y$  を出荷する出荷基地番号(1, 2, ...,  $J$ )

$\delta_j(S_y) : = 1$  ; オーダ番号  $y$  が出荷基地  $j$  を使用する時  
 $= 0$  ; その他の場合

ここで用いている例では、 $100(\text{kg}) \times 1.50(\text{円/kg}) + 200(\text{kg}) \times 1.42(\text{円/kg}) + 300(\text{kg}) \times 1.80(\text{円/kg}) + 200(\text{kg}) \times 1.40(\text{円/kg}) + 50(\text{kg}) \times 1.50(\text{円/kg}) + 0(\text{kg}) \times 1.50(\text{円/kg}) + 400(\text{kg}) \times 1.50(\text{円/kg}) = 1,929$  円となる。

#### (b) 総輸送コスト値の算出

つぎに、[ステップ(6.3)]の総輸送コスト値を算出する。総輸送コストは、各配送品の量に輸送コスト原価を乗じたものの総和(総輸送コスト =  $\sum$  各配送品の量  $\times$  製造コスト原価)であり次式で表される。

$$T = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{y=1}^Y T_{j,k} \cdot G_{y,k} \cdot \delta_j(S_y) \quad (7.9)$$

ただし

$T$  : 輸送コスト(円)

$y$  : オーダ番号(1, 2, ...,  $Y$ )

$k$  : 製品番号(1, 2, ...,  $K$ )

$j$  : 基地番号(1, 2, ...,  $J$ )

$G_{y,k}$  : オーダ番号 :  $y$ 、製品番号 :  $k$  の時のオーダされた製品の数量(kg)

$T_{j,k}$  : 基地番号 :  $j$ 、製品番号 :  $k$  の時の輸送コスト(円/kg)

$S_y$ : オーダ番号:  $y$  を出荷する出荷基地番号(1, 2, ...,  $J$ )

$\delta_j(S_y) := 1$ ; オーダ番号  $y$  が出荷基地  $j$  を使用する時

$= 0$ ; その他の場合

ここでは、基地 A が製造工場であることから、輸送コストはまったくかからないため、0円となる。

### (c) 総基地コスト値の算出

続いて、[ステップ(6.4)]の総基地コストを算出する。総基地コストは、配送品の量に基地コストを乗じたものの総和(総基地コスト= $\Sigma$ 配送品の量 $\times$ 基地コスト)であり次式で表される。

$$B = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{y=1}^Y B_j \cdot G_{y,k} \cdot \delta_j(S_y) \quad (7.10)$$

ただし

$B$ : 基地コスト(円)

$y$ : オーダ番号(1, 2, ...,  $Y$ )

$k$ : 製品番号(1, 2, ...,  $K$ )

$j$ : 基地番号(1, 2, ...,  $J$ )

$G_{y,k}$ : オーダ番号:  $y$ 、製品番号:  $k$  の時のオーダーされた製品の数量(kg)

$B_j$ : 基地番号  $j$  の基地コスト(円/kg)

$S_y$ : オーダ番号:  $y$  を出荷する出荷基地番号(1, 2, ...,  $J$ )

$\delta_j(S_y) := 1$ ; オーダ番号  $y$  が出荷基地  $j$  を使用する時

$= 0$ ; その他の場合

ここで用いている例では、 $12(\text{円}/\text{ton}) \times (100(\text{kg}) + 200(\text{kg}) + 300(\text{kg}) + 200(\text{kg}) + 50(\text{kg}) + 0(\text{kg}) + 400(\text{kg})) = 15$ 円となる。

### (d) 配送コスト値の算出

つぎに、[ステップ(6.5)]の配送品の総量と配送先までの距離とを基に、配送コストを算出する。総配送コストは、次式で表される。

$$H(\mathbf{X}) = \sum_{l=1}^m H_{f,l} \cdot \delta_l(\mathbf{x}_l) + \sum_{l=1}^m H_{v,l}(\mathbf{x}_l) \quad (7.11)$$

$$H_{t,l}(\mathbf{x}_l) = \sum_{i=1}^{N_l} F(D(n(i))) \cdot G(n(i)) \quad (7.12)$$

ただし

$H(\mathbf{X})$  : 配送コスト(円)

$\mathbf{X}$  : 全トラックの配送ルートへの顧客の割り当てと訪問順序を示す数列( $\mathbf{X}$ の中には、全ての  $n(i)$  が必ず含まれる)

$\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_l \mid l = 1, m\} = (\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_m)$

$m$  : 使用可能なトラック台数の上限

$\mathbf{x}_l$  : トラック  $l$  の配送ルートへの顧客の割り当てと訪問順序を示す数列

$\mathbf{x}_l = \{n(i) \mid i = 1, N_l\} = (n(1), n(2), \dots, n(N_l))$

$n(i)$  : あるトラックが  $i$  番目に訪問する顧客のノード番号

$N_l$  : トラック  $l$  が訪問する顧客の総数

$N$  : 顧客の総数

$H_{f,l}$  : トラック  $l$  の固定費用(円)

$\delta_l(\mathbf{x}_l) := 1$  ; トラック  $l$  を使用する時  
 $= 0$  ; その他の場合

$H_{v,l}(\mathbf{x}_l)$  : トラック  $l$  の変動(運行)費用(円)

$F(*)$  : タリフ関数であり、距離を引数、金額(円/ton)を戻り値とする

$D(n(i))$  : 拠点から  $n(i)$  までの距離(km)

$G(n(i))$  : 顧客  $n(i)$  へ配送する荷物の重量(ton)

ここで用いている例では、基地 A からの配送には、運賃番号 1、すなわち、図 7.33(a)に示した運賃体系が用いられる。従って、配送コストは、 $1.25(\text{ton}) \times 1,480(\text{円}/90\text{km} \cdot \text{ton}) = 1,850$  円となる。固定費は 0 として計算する。

### (e) 総コスト値の算出

最後に、[ステップ(6.6)]の算出した各コストの総和を求める。総コストは次式で表される。

$$C = P + T + B + H(\mathbf{X}) \quad (7.7)$$

ただし

$C$  : 総合コスト(円)

$P$  : 製造コスト(円)

$T$  : 輸送コスト(円)

$B$  : 基地コスト(円)

$H(\mathbf{X})$  : 配送コスト(円)

ここで用いている例では、総コストは、 $1,929(\text{円})+0(\text{円})+15(\text{円})+1,850(\text{円})=3,794$  円となる。

同様にして、基地 B の総コストは、 $1,451(\text{円})+1,055(\text{円})+625(\text{円})+1935(\text{円})=4,066$  円となり、基地 C の総コストは、 $1,929(\text{円})+1,750(\text{円})+1,125(\text{円})+750(\text{円})=5,554$  円となる。

### (5) 総コストが最小となる基地の選択処理の具体例

本実施例によれば、すべてのオーダーに対して、それぞれ、製造コストおよび物流コストの和である総コストが最も小さくなる基地が選択されるので、結局、配送エリア全体のコストを最小とする計画が得られる。

上述のオーダー「45」の例の場合、[ステップ(5.4)]において、基地 A を最も総コストが小さい基地として選択することになり、[ステップ(5.6)]において、この選択結果が表 7.5 に示すように最適出荷基地として出力されることになる。表 7.5 において、このオーダー

表 7.5 最適出荷基地の選定結果

オーダー 番号	配送先 番号	オーダー数量 (kg)							先入感 による 出荷基地	最適 出荷 基地
		商品名 a	商品名 b	商品名 c	商品名 d	商品名 e	商品名 f	商品名 g		
45	45	100	200	300	200	50	0	400	C	A
46	46	100	0	200	0	0	300	300	C	C
47	47	0	100	0	100	50	0	300	C	C
48	48	100	0	200	0	0	300	300	C	A
49	49	100	200	300	200	50	0	400	C	B
50	50	0	200	300	0	50	0	400	C	B
51	51	100	0	300	0	0	0	400	C	B

「45」では、既定出荷基地として最も近接する基地である C からの出荷が指定されているが、基地 A から出荷した場合、基地 C から出荷するのに比べて 1,760 円少ない費用で済む



ことになり、最適出荷基地は A となる。これは約 32% のコストを低減したことになる。

本実施例により、入力されたすべてのオーダー「1」～「58」を処理して求めた各基地の配送担当エリアの境界を、図 7.33 に示す。この図からわかるように、本実施例の処理結果では、従来の距離のみで求めた境界 301 に比べ、基地 A の担当エリアが大きく広がり、基地 C の担当エリアは縮小した。また基地 B の担当エリアに基地 A に対しては後退し、基地 C に向かっては広がっている。

以上のようにして、全てのオーダーに対して最適出荷基地を決定し、全オーダーに用いるコストを求めたところ、既定基地を使用した場合のコストに対して 30% 以上の総コストが低減されていた。

上述のように、本実施例の輸配送計画を用いて配送元を決定する場合、従来とは異なる基地が配送元となる場合があるが、輸送業者やトラックの運転手などにとっては担当エリアが変更になっただけで作業手順は変わらないため、実際の輸配送業務の運用を変更する必要はほとんどない。

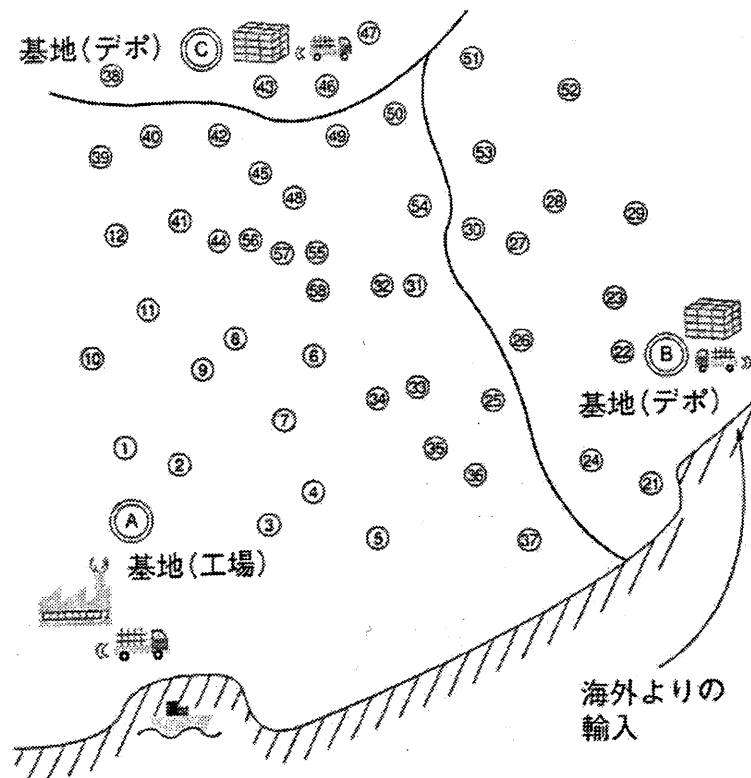


図 7.33 最適な出荷基地の担当エリア

本研究の輸配送計画により、広域かつ多くの基地を備える配送エリアを対象としても、極めて短時間に、輸配送業務全体のコストを最小とする輸配送計画を得ることができる。従って、本研究により製品・商品の総コスト(原価)を最小にすることができるため、これを用いる企業、団体、事業者等はコスト削減による利益の増大が得られ、また、顧客は価格の低減が得られるという効果がある。

#### 7.4.4 輸配送計画シミュレーションによる拠点統廃合・共同配送の効果検証

拠点統廃合・共同配送の効果を検証するため、図 7.34 に示す日用品と食料品を同時に、毎日配送しているケースについてシミュレーションを行った。

- ① 対象エリア…関東1都4県
- ② 拠点……………2工場、3デポ
- ③ 供給品……………食品・生鮮品・日用品・薬品・家具・文房具

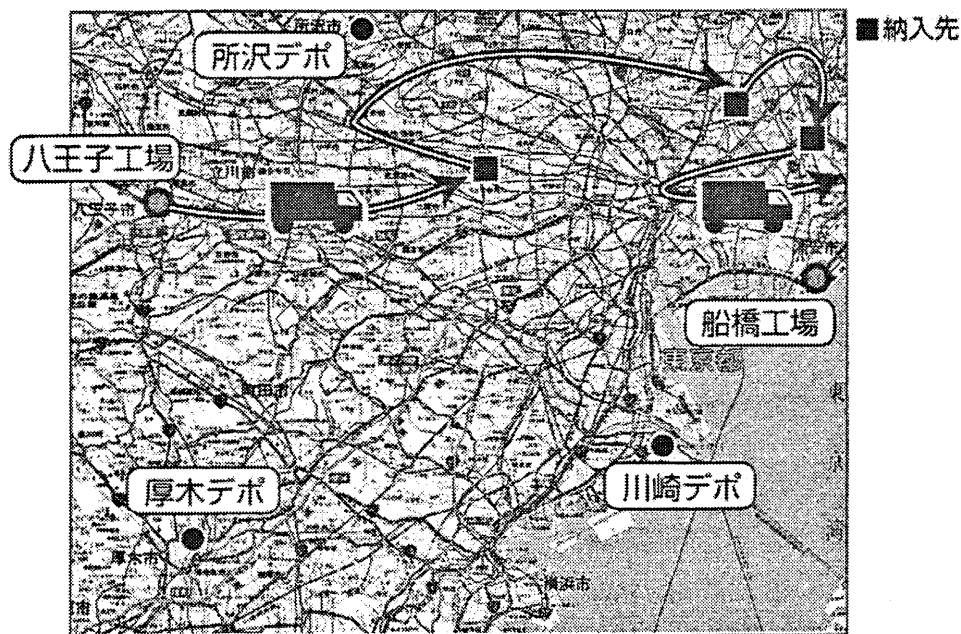


図 7.34 食品・日用品配送の拠点配置例

工場が船橋と八王子にあり、それぞれ共通の製品と独自の製品を 50%ずつ製造している。船橋工場の方が規模が大きく、ほぼ 2 倍の生産能力を持っている。

この二つの工場に加え、鮮度を保持したり、指定の納入時刻等のさまざまな条件を守るために、川崎と厚木と所沢に大型のロジスティクスセンター、すなわち物流用のデポを持

っている。このようなサプライ設備を用いて最短リードタイム、かつ最小コストでのオペレーションを目指す。

### (1) 現状分析による現状の計画

現状分析が最も大変で、最も重要な作業であることは言うまでもない。理想的には少なくとも3年分、つまり1,000日分位の実オーダーデータと、製造・流通の全ての実績データを収集し、実際に運用した通りにシステムを動作させ、コスト、稼働時間など数百の評価項目が現実と一致するまで調整する。この作業を「同定」と言う。ここでは、ある1日分のデータの例だけを示す。この日は、1日で698のユーザーからオーダーがあり、サプライする商品は約3800種、トータルの重量は1250トンとする。前述の2工場の生産能力は合計で1500トンなので、フル生産すると供給過剰となってしまう。次に陸上の輸配送手段のトラックは、500台が登録されており、自由に選択できる。

以上の条件で、図7.35に示すように、目的関数を稼働時間最小として実運用を模擬した結果は次の通りである。その1日で120台のトラックを使い、稼働時間の合計が790時間、総走行距離が17,000kmである。総コストはチューニングの上、実績通り870万円に一致させている。

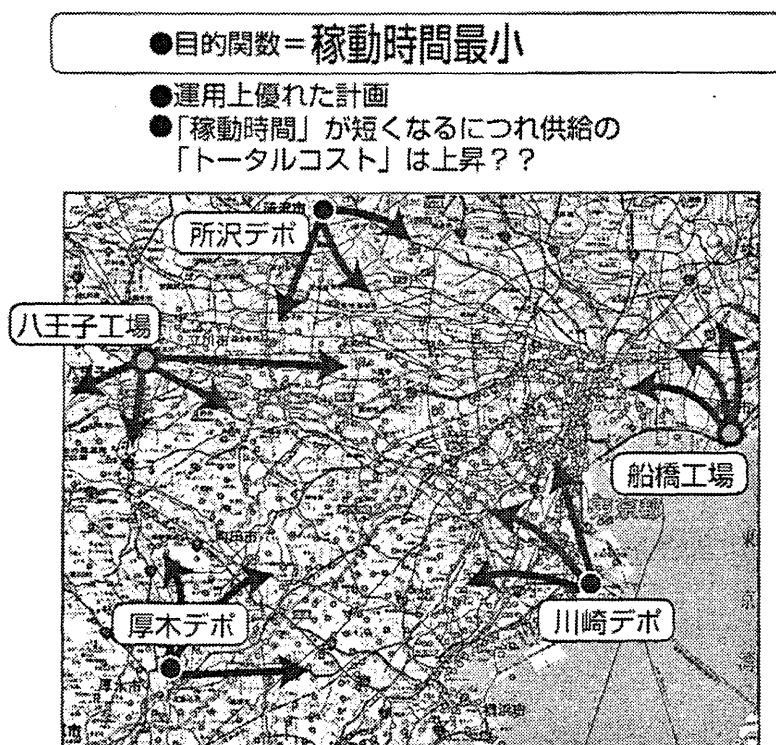


図 7.35 現状の計画

## (2) 総コスト最小とした計画のシミュレーション結果

図 7.36 に示すように、目的関数を総コスト最小にして、シミュレーションを開始して、2~3 分で次のような結果が得られた。総コストは 870 万円から 740 万円に大きく低減された。一方、稼働時間は 840 時間となり、50 時間増えているし、走行距離も 20,100km となり 3,100km も増加している結果となった。

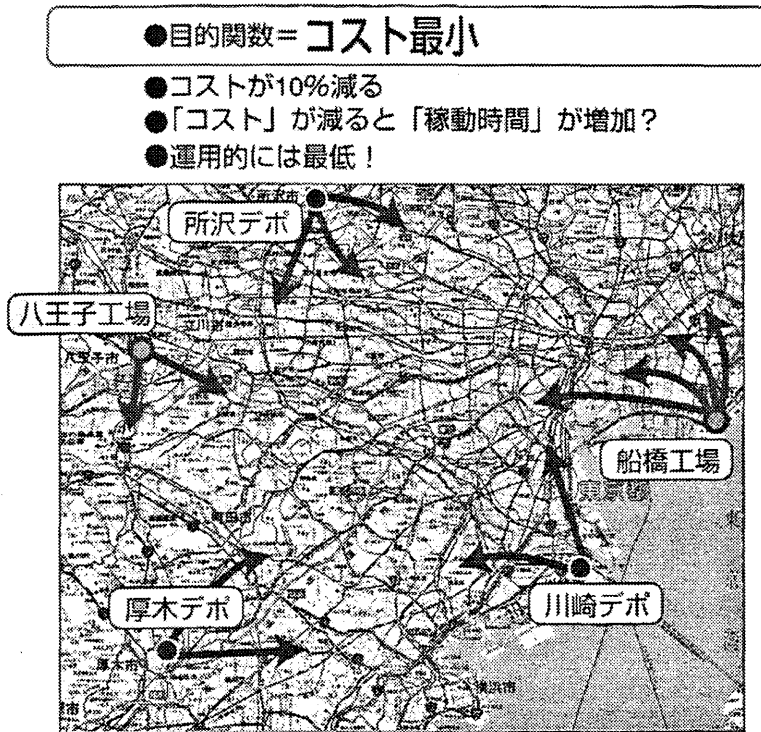


図 7.36 製造から配送の総コスト最小とした計画

コストを下げるには、車両数を減らしたり、なるべく配送先から近い拠点を使って最短の走行ルートを探し出し、走行距離を小さくするという考え方から見ると、それに反する結果となっている。これは、過剰なデポの存在に起因するものである。例えば、工場 A からデポ B を経由して配送先 C へ配送しているのケースを考えてみる。このとき、次の関係が成立する場合、

$$\overline{AC} < \overline{AB} + \overline{BC}$$

ここで、 $\overline{AC}$  は、 $A \rightarrow C$  の距離あるいは運賃を示している。

デポ B を経由せず、直接、配送先 C へ、工場 A から直接供給した方がコストが掛からないのにデポ B を経由しているからである。

### (3) 拠点の統廃合による計画のシミュレーション結果

拠点を変更せずに最適化を図ると、(2)の例のように、明らかに従来の常識から考えると異様な結果が出てしまう。コストが大きく減少しているのに経営的には改善されたように見えるが、その分どこかに無理が生じている。

そのしわ寄せは、顧客と運送会社と自然環境に出ている。つまり、顧客へのサービスが劣化し、作業負荷が増大したにもかかわらず運賃は減少し、走行距離の増加により、CO₂や窒素化合物などが増大して環境にも悪影響を与えてしまう。

これらの問題を解決し、さらにコストを低減させるためには、色々な方法が考えられる。ここでは、図 7.37 に示すように費用のかかる厚木デポと所沢デポを廃止し、さらに船橋工場を移転するケースを考えた。このような大胆な拠点統廃合が現実的に可能かどうかは、国からの補助、土地の取得など、極めて多くの要素を考えねば結論が出ない。しかし、だからこそシミュレーションによる検討が必要である。

この例では、総コストは、(2)の結果より大幅に減少して 680 万円となった。移動時間は 830 時間、走行距離は 16,800km と大きく改善され、この結果、あらゆる面で改善が成功していることが分かった。



図 7.37 拠点統廃合による計画

#### (4) 共同化による計画のシミュレーション結果

これまでは、一つの企業の中だけの努力で効果が出せる戦略である。しかし、「規制撤廃」等の外的要因はすぐに市場構造を変えるので、ライバルとシェア争いなどしている場合ではなくなってしまう。日本を見ても、金融、石油、食品、薬品、化学工業など、その例は枚挙にいとまがない。

こうなると、ライバルと手を組んで大きなサプライチェーンを形成し、究極のコスト低減に向かうしかなくなる。この例では、図 7.38 に示すように A 社は最新鋭の横浜工場だけの稼働を続け、八王子工場、川崎デポは廃止する。その代わりに、それらの地域をカバーするため B 社の八王子工場、C 社の川崎工場とバーター契約を結んで製品の共通化を推進し、共同経営を開始する。当然受注系統は、A、B、C 社で一本化しなければならない。以上により、総コストは 570 万円まで下がり、(1)の現状に比べ、ほぼ半分のコストで同一オペレーションを行うことができ、稼働時間は 820 時間、走行距離は 16,900km まで下がるということが分かった。



図 7.38 共同化による計画

表 7.6 は、以上の結果をまとめたものである。総コストは、最終的に一日で 300 万円以上減少するので、年間の営業日数を 300 日とすると、こんなに狭い地域だけで一年に 9 億円もの供給費用が低減できることになる。したがって、これを全国規模に拡大すれば、極めて大きなコストが低減される。総時間、総距離は、ケース 2 のコスト最小では、走行距離が遠くても製造コストや拠点コストの安い拠点を選択するため、増加する結果となった。しかし、ケース 3 の拠点統廃合、ケース 4 の共同化では、総時間、総距離も減少し、コストの 35%の減少と、0.5%の総距離の減少による CO₂ 排出の減少により環境負荷軽減の両方を実現することが可能となる。

表 7.6 輸配送計画シミュレーション結果のまとめ

ケース番号	1	2	3	4
項目	現状分析	コスト最小	拠点統廃合	共同化
総コスト(万円)	870	740	680	570
総時間(Hr)	790	840	830	820
総距離(km)	17,000	20,100	16,800	16,900

#### (5) 石油業界における共同化の実用化事例

石油業界では物流、特に陸上輸送の配車配送計画による効率化を進めるため、各社がシステムへの開発投資を実施してきており、A 社、B 社もこれまでかなりの配車配送計画システムの開発投資、運用コストを費やしてきた。並列計算機の GA による配車配送計画の高速化技術により共同配送の配車計画も短時間で結果を出すことは出来るようになったことと、財団法人からの研究開発費の補助もあり、両社は外資系、民族系の枠を越え、受注業務から配車配送業務までの共同化を検討するプロジェクトを発足した。

両社とも自社内での配車配送計画システムを既に稼働しており、両社の効率化に関する考えが反映されていた。両社の機能性の差異を列举すると表 7.7 のようになる。

表 7.7 機能性の差異

	A 社	B 社
対象油種	白油、黒油、LPG	白油
目的関数	コスト最小 稼働時間平準 稼働時間最小	稼働時間最小
配送圏の捉え方	コストを主体に計算で設定	マスターで管理

このような配車の考え方の違いを、共同化システムでどのように反映していくかが大きな問題となった。この問題点に対し、事前検証によるリスク低減策として、プロトタイプによるシミュレーションを実施した。プロトタイプの製作にあたっては、短期間で完成させることもあり、A社の既に稼働している配車システムをベースに、B社の入力データを受け付けられるように改造した。シミュレーションは3つのパターン、①A社単独配送、②B社単独配送、③共同配送を実施し、それぞれにつき3種類の出力帳票、(a)配車表、(b)受注一覧表、(c)配車計画集計表を出力することとした。その結果を確認し、共同配送を行うに当たり、両社の現状におけるオーダ状況が配車結果にどのような影響をもたらすかを事前に明らかにするため、①オーダ時間指定状況と配車結果、②物流コストについて評価することとした。

**(a) オーダ時間指定状況と配車結果の評価**

オーダ時間指定の良し悪しが納期遅れ件数となって現れるが、シミュレーションの結果、納期遅れ件数は、A社単独では56件、B社単独では137件、共同配送では119件となり、共同配送(119件)の場合が、両社の単独配送の合計(193件)より減少することが明らかとなった。

**(b) 物流コスト面の評価**

稼働時間については、単独配送の場合の合計に比べ、共同配送の場合は稼働時間が少ない結果となった。これは、近い基地が積みこみ基地として選ばれるなど、稼働時間最小の動作が効率的に働いた結果と考えられる。走行時間、走行距離も稼働時間と同様に減少する結果となった。

ローリーコストについては、共同配送の場合、28万円/日のコストメリットが出る結果となった。これは、効率的な配送圏が形成された結果と考えられる。



配送効率と配送単価については、本シミュレーションでは、メリットを評価できるような数値の変化は見られなかった。

これまで石油各社とも自社内での物流合理化はやり尽くした感があり、これ以上のメリット追求は難しい段階にあった。今回の共同化システムはさらなる合理化を目指す上でのブレイクスルーとも言える。シミュレーションの事前評価を経て、本システムは 2000 年 10 月に稼動することが出来た。将来的には他の石油会社の利用も視野にいて、ASP 事業化への方向も考えられ、今後の課題として検討を進めていきたい。

## 7.5 結語

本研究では、配車配送計画の並列 GA 処理効率向上アルゴリズム及び配送拠点の統廃合、共同配送へ展開した輸配送計画システムを開発した。そして、開発したシステムを実際の配車配送計画に適用し、長期間の実証実験により以下の成果を得た。

- ①従来の並列最適化方法を用いた場合同期処理により並列効率の低下が発生し、それは並列度が大きくなる程、あるいは問題の複雑さが増大するほど並列効率の低下度合いは低下することを発見した。
- ②開発した並列 GA 処理効率向上方式では、近傍距離自律制御手法[手順(D)]、非同期相互作用手法[手順(E)、(H)]、局所的リプロダクション手法を用いることにより、使用可能なコンピュータ資源を従来より高効率で活用することができた。
- ③開発した配車配送計画システムは、巨大で複雑な問題に対して「30%以上の改善」という極めて強力な最適化能力を有することを確認し、共同配送の実現を可能とした。
- ④配送拠点の統廃合、共同配送へ展開した輸配送計画システムを開発し、シミュレーションにより、コストの 35%の低減、運行距離の 0.5%の低減による CO₂などの環境負荷低減を検証した。

また、緊急の集荷指示、途中の道路工事や渋滞情報をもとに、動的に配車配送計画を修正し、運転手に変更指示を行うことにより効率向上を図るシステムの研究¹⁷⁾が進んでおり、プローブカーによる交通情報を適用した検討を進めていきたい。

## 文 献

- 1) Bowersox, D.J.Closs, : *Logistical Management-The Integrated Supply Chain Process*, McGrawHill Co, Inc., 1996
- 2) 谷口栄一, 根本敏則: シティロジスティクスー効率的で環境にやさしい都市物流計画論一, 森北出版
- 3) 宇谷明秀, 鈴木勝: セルラオートマトンによる場のモデル化に基づく物流計画に関する研究, JSCES, PaperNo20000009, Sep. 2000
- 4) 井上春樹: サプライチェーン実行システム, リックテレコム, pp-53-68, 2000
- 5) Syswerda, G. : *Schedule Optimization Using Genetic Algorithms*, *Handbook of Genetic Algorithms*, Davis, L, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991
- 6) 手塚 大, 樋地正浩: 実用的なジョブショップスケジューリング問題のための新しい遺伝表現とコモンクラスタ交叉, 情処学論, Vol42, No9, pp2284-2292, Sep. 2001
- 7) 田中雅晴: 遺伝的アルゴリズムを用いた複数飛行経路の生成法, 情学論 D-I, Vol. J85-D-I, No8, pp767-775, Aug. 2002
- 8) 井上春樹, 岸野清孝: 人工生命, 同文書院, pp-218-242, 2002
- 9) Manderick, B., Spiessens,P. : Fine-grained parallel genetic algorithms, Proc. 3rd ICGA'89, pp.428-433, 1989
- 10) MPI フォーラム: MPI メッセージ通信インターフェース標準 (日本語訳ドラフト), MPI 日本語訳プロジェクト訳, 1996
- 11) Geist, A., Berguelin,A. : *Parallel Virtual Machine*, The MIT Press., 1994
- 12) Okano, H., Misono, S., Iwano, K. : New TSP Construction Heuristics and Their Relationships to the 2-Opt", *Journal of Heuristics*, 1999
- 13) 中嶋健治, 真山紀: 対称 TSP の最速改善法; New  $O(N)$  Improvement Method for Solving Symmetric TSP, 日本物理学会講演概要集, 56-1, Part2, 2001
- 14) Inoue, H., Funyu, Y., Kishino, K., Jinguji. T., Shiozawa, M., Yoshizawa, S., Nakao, T. : Development of Artificial Life Based Optimization System, *Proceedings of the 8th International Conference on Parallel and Distributed Systems*, IEEE Computer Society, Korea, 2001

- 15) 片方義治：超物流革命，同文書院インターナショナル
- 16) 中田信哉：物流・配送のことがわかる本，日本実業出版社
- 17) 谷口栄一，島本寛：ITS を活用したトラックの動的配車配送計画に関する研究，第 1 回 ITS シンポジウム，pp.31-36, 2002

## 第8章 本研究の将来展望

### 8.1 概説

本研究では、ITS の活用によりトラック輸送の高度情報化をテーマに研究を行い、これによりコスト低減、燃費向上・排気ガス低減、交通事故低減などが図れることを検証した。具体的には、トラック輸送の計画・管理業務であるトラック運行管理、交通状況予測・所要時間予測による交通情報提供、安全運転診断・管理、配車配送計画などの高度情報化に関して研究と実証実験を行った。

しかし、上記のトラック運行管理、交通状況予測・所要時間予測による交通情報提供、安全運転診断・管理、配車配送計画の研究は、トラック輸送の高度情報化を図るには有意義な研究であることが検証できたが、個々に独立した研究内容となり相互に関連性を持たせた研究として完成できなかった。

当初の研究計画では、所要時間予測によって得られた拠点から配送先への所要時間を使用して、配車配送計画の精度向上と配送コスト低減の検証を行う予定であった。しかし、道路の時間帯別・リンク別の統計リンク速度データを準備するのに時間を要し、研究を完成させることが出来なかった。

そこで、8.2 節では本研究での研究成果を述べ、8.3 節では本研究の今後の展開について述べる。

### 8.2 本研究での研究成果

本研究での研究成果を以下に示す。

- ①トラックの運行管理の研究では、目的地への到着自動認識の自動化を図るため、目的地に対して認識半径を事前に設定し、車両の現在位置データから目的地までの相対距離を算出し、これを認識半径と比較することで到着/未着を判断する方式を開発した。
- ②交通状況予測・所要時間予測の研究では、走行中の車両の情報をプローブ情報として携帯パケット通信で収集し、その蓄積統計情報とリアルタイム交通情報を用いて広範囲、長区間の交通渋滞情報、所要時間情報を生成する技術を開発した。

- ③安全運転診断・管理の研究では、安全運転診断指標として加速度標準偏差と加速度歪度を用いれば、アナログタコグラフによる目視主観安全診断を自動化できるのではないかとこの仮説を立て、危険ドライバの識別の可能性を実証実験により検証し、従来の主観安全運転診断が自動化できる可能性を示した。また、トラック運行管理のプロープ情報を基に安全運転診断指導を行うことにより、省燃費・排気ガス低減が図れることを実証実験により検証した。
- ④配車配送計画の研究では、広域輸配送候補の中から最良の輸配送ルート・順序の組み合わせを選択する問題を時間指定納入、オーダー量、積載量などの制約条件のもとで解決する配車配送計画アルゴリズムと並列コンピュータによる高速化処理方法を開発した。また、配送拠点の統廃合、共同配送へ展開した輸配送計画システムを開発し、シミュレーションにより、コスト低減、トラック稼働時間・運行距離の低減効果、CO₂などの環境負荷低減を検証した。

本研究で開発した成果より以下の効果が期待でき、効果を纏めると表 8.1 のようになる。

- ①トラック運行管理による運転日報作成時間、通信費、荷主からの問い合わせ対応工数、進捗確認工数などの削減
- ②交通情報の提供による目的地への接近状況と所要時間予測による貨物の荷揃えなどの事前作業のジャストインタイム化と作業の効率化
- ③安全・省燃費運転指導による事故削減、燃費の向上と CO₂などの環境負荷の低減
- ④配車配送計画と配送拠点の統廃合、共同配送などによるトラック台数、稼働時間、燃料費の削減などのコスト低減と CO₂などの環境負荷の低減

### 8.3 本研究の将来展開

当初の研究計画では所要時間予測によって得られた拠点から配送先への所要時間を使用して、配車配送計画の精度向上と配送コスト低減の検証を行う予定であった。しかし、道路の時間帯別・リンク別の統計リンク速度データを準備するのに時間を要し、研究を完成させることが出来なかった。そこで、以下に本研究の将来展開について述べる。

従来の配車配送計画では、拠点から配送先までの輸送時間を算出するのに、走行ルートの各リンクに対してリンク速度を一定として算出していた。この場合、月日、曜日、時間

表 8.1 本研究により得られる効果

研究テーマ	効果
<p>業務向け交通情報サービスの開発 車両位置動態管理による車両現在位置表示</p> <p>車両運行実績管理における日報作成</p> <p>目的地への到着自動認識</p>	<p>顧客からの急な注文に対して、空き状況を見て、的確な車両を、迅速に割り当てることが出来る。顧客の到着時間の問合せに対し迅速な到着時間を解答することが出来る。(10分掛かっていたのが1分へ短縮)</p> <p>車両への問合せ回数が低減し通信費が低減出来る。(一人一月4,200円の削減効果が見込める。1万台の車両がシステムを導入した場合には年間5億円の効果が見込める。)</p> <p>ドライバーが手書き、手計算で記入していた日報を自動で作成することが出来る。(一人一月4,800円の工数削減効果を見込める。1万台の車両がシステムを導入し場合には年間5.7億円の効果が見込める。)</p> <p>目的地への接近状況と到着時間予測が可能となり、貨物の荷揃えなどの事前作業をジャストインタイムに行うことができ、作業の効率化が図れる。</p>
<p>交通状況把握、所要時間予測による交通情報提供</p>	<p>渋滞情報や時間帯・道路別に正確な所要時間情報を提供することにより、効率的な経路選択や、効率的な配車計画が可能となる。</p> <p>配送先への配送時刻が決められているときに、配送所の出発時刻を決めることによりジャストインタイムな運行が可能となり、到着地での待機時間の低減が図れる。</p>
<p>安全・省燃費運転・管理</p>	<p>安全運転診断指標として加速度標準偏差と加速度歪度に注目し、危険ドライバーの識別の可能性があることを示した。</p> <p>安全運転診断帳票による安全運転指導により、速度違反の低減、急加速・急減速の低減、加速度標準偏差と加速度歪度の改善を図ることができ、交通事故低減に効果的であることを示した。</p> <p>アクセルワークを示す量である加速むら(加速度標準偏差)を下げるように指導した結果、安全運転診断による燃費向上とCO₂低減の有効性が確認できた。(1台一月4,500円の費用削減効果が見込める。1万台の車両がシステムを導入した場合には年間5.4億円の効果が見込める。)</p>
<p>トラック配車配送計画</p> <p>輸配送計画による拠点統廃合・共同配送への展開</p>	<p>高速化を図るため並列コンピュータ上で動作する並列GAを利用した配車配送計画システムを開発し、シミュレーションにより配送コストを33%削減できることを確認した。(タンクローリ自動配車で実用化され、280億円のローリ運送費の10%を削減した。)</p> <p>配送拠点の統廃合、共同配送へ展開するため、製造・拠点コストを総合的に評価する輸配送計画を開発し、拠点統廃合・共同配送のシミュレーションを行い、コストの35%低減、トラック運行距離の0.5%低減による環境負荷低減できることを確認した。</p>

帯により実際のリンク速度は変動しているため、計画に使用した輸送時間と実際に運行した時の輸送時間に 20~30%の誤差が発生し、正確な配送計画になっていなかった。このため、運転手に渡す配送指示書が信用してもらえなかった。

従来の問題に対する対応策として、各リンクに対して 30 分毎に速度を登録したリンク速度マスタを作成し、そのリンク速度マスタを使用して輸送時間を算出する方式を開発した。ところが、全国の道路に対して速度マスタを作成するには、道路リンク数が 200 万リンク、30 分毎の速度データのため 1 日で 48 データ、合計 9600 万データを登録することが必要となった。実際に走行した時間帯毎のデータは部分的にしか存在しなく、9600 万データの登録は実用においては不可能であり、小さな効果しか得ることが出来なかった。

2002 年 6 月の道路交通法改正に伴い、従来光ビーコン、電波ビーコン、FM 多重放送によりカーナビゲーションシステムに提供されている VICS 情報が、民間事業者によるビジネス向けに利用可能となった。そこで今後は、VICS 蓄積情報から道路リンクの時間帯毎の速度を統計処理により算出し、リンク速度マスタに登録する方式を検討していきたい。しかし、VICS は、車両感知器の設置が主要道路であるため旅行時間や渋滞度の提供率が 30%と低いため、全国を広範囲にカバーするには不十分である。

このため、第 5 章で述べたトラック等の業務車両から得られるプローブ情報を用いて独自に収集した情報により VICS 情報を補完することで、さらにきめ細かな道路のリンク速度を登録する方式を検討していきたい。

図 8.1 に OD 輸送時間の算出方法を示す。配送オーダと顧客マスタから拠点と配送先の位置を特定し、経路推定計算により輸送ルートを算出する。その輸送ルートの各リンクに対応する速度パターンをリンク速度マスタから抽出して拠点から配送先までの所要時間を計算する。計算方法は、第 5 章の目的地への所要時間予測方式を使用する。

このように、配車配送計画で計画した所要時間と実際の所要時間との誤差が大きい問題に対して、各リンクに対して 30 分毎に速度を登録したリンク速度マスタを作成し、そのリンク速度マスタを使用して所要時間を算出する方式を検討していきたい。今回の研究では、VICS 情報、運行管理のプローブ情報の蓄積が少ないため、実際のデータによる実証実験、検証を行うことが出来なかった。

今後の研究では、VICS 情報と運行管理のプローブ情報を広範囲にリンク別、土日・休日・祭日別に収集し、OD 所要時間の精度向上を図る方法を検討し、研究を進めていきたい。さらに、OD 所要時間を使用して配車配送計画のシミュレーションを行い、配車配送

計画で計画した所要時間と実際の所要時間との誤差の精度向上により輸送コストがどの程度低減できるかの検証を行っていきたい。

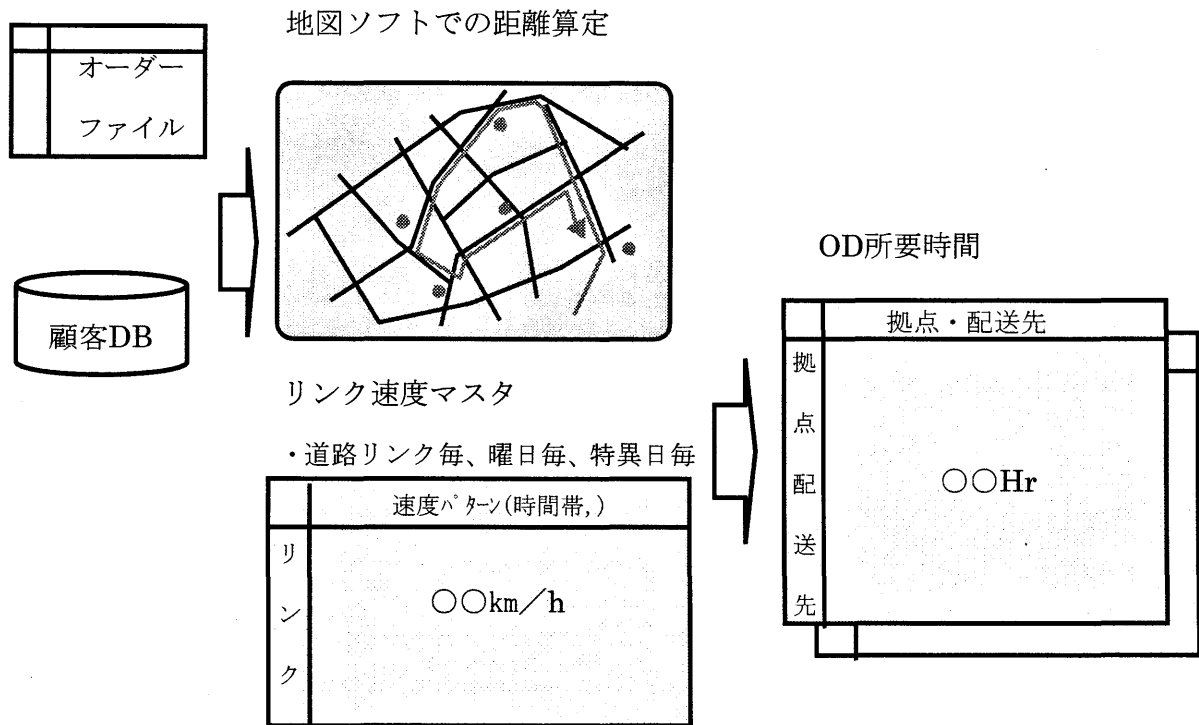


図 8.1 OD 所要時間の算出方法

#### 8.4 結語

本研究においては、トラック輸送において IT の導入による省力化・省人化といったコスト削減や、車両・ドライバの配車や安全運転指導による省燃費・排気ガス低減、交通事故低減などのニーズに対して、ITS 技術を活用した高度情報化の研究を行い、一定の成果を得た。今後、交通状況予測や目的地への所要時間予測に対しては、データ収集、精度検証、アルゴリズム改良により予測精度向上を図り、また安全運転診断については、安全管理者への更なるヒアリングにより新たな変数を追加し、安全指導の効果向上を図り、実サービスに向けた研究を進めていきたい。配車配送計画については、計画した所要時間の精度向上により輸送コストがどの程度低減できるかの検証、緊急の集荷指示、途中の道路工事や渋滞情報をもとに、動的に配車配送計画を修正し、運転手に変更指示を行うことにより効率向上を図るシステムの研究も進めていきたい。



## 第9章 結論

我が国における自動車の普及、トラックやタクシーなどの業務用車両の増大と小口配送化による渋滞は、排ガス規制による環境対策などの社会問題の主な原因になっている。

トラック輸送においては、車載システム、無線通信ネットワーク技術などを用いたIT (Information Technology) システムの導入による省力化・省人化といったコスト削減や、ドライバ・車両の配車や安全運転指導などの計画・管理レベルの向上による省燃費・排気ガス低減に対処するため、下記の高度情報化ニーズが拡大している。

- ①車両の位置動態管理、運行実績管理、配送進捗管理（到着自動把握）などのように車両から情報を収集し運行管理者や利用者に提供する。
- ②渋滞情報・交通情報予測、行き先への到着時間予測などのようにドライバに対して業務の効率化を図るために提供する。
- ③ドライバの運転状況を把握し、安全省エネ運転診断・指導のための情報を提供する。
- ④多数の工場・物流拠点から多数の配送先への配車配送計画の立案において、オーダーの発生、物流における交通状況の変化などは時々刻々変化して行くため、配車計画を高速立案し、迅速な配車情報を提供する。
- ⑤配送拠点の統廃合、共同配送へ展開した輸配送計画を立案し、コスト低減、トラック稼働時間・運行距離の低減、CO₂などの環境負荷低減を図る。

このようなニーズに答えるため、トラック輸送の高度情報化へのITSの活用をテーマに研究をおこなった。

第3章では、トラック運行管理ASPによる業務向け交通情報サービスの開発をテーマとして、GPS、携帯電話パケット通信網が全国的に普及するようになったことから、その活用により車載端末が10万円、車両一台当りの費用が5千円で提供できるビジネスモデルを考え、トラック運行管理ASPの実用化と配送進捗把握のため目的地への到着自動認識方式の研究を行った。

トラック運行管理ASPの車両運行実績管理では、日報作成に必要なデータの取得を簡易化・自動化し、更に日報作成の計算を自動化した。従来の運行実績データの取得周期(1

秒)では通信費用が高くなり(月額1,800円)実用性で問題となったため、実証実験により最適な取得周期(60秒で月額300円)を決定した。導入効果として、15分かかっていた日報作成時間が3分となり、一人当たり月額4,800円の工数削減効果を得た。1万台の車両がシステムを導入し場合には年間5.7億円の効果が見込める。車両現在位置表示サービスを利用し、事務所で車両の位置、状態を把握出来るので車両への問い合わせ回数が低減する。一日10回の問い合わせが3回となり、通信費が一回30円、勤務が一月20日の前提で、一人一月4,200円の削減効果が見込める。1万台の車両がシステムを導入した場合には年間5億円の効果が見込める。目的地への到着自動認識では、目的地に対して認識半径を事前に設定し、車両の現在位置データから目的地までの相対距離を算出し、これを認識半径と比較することで到着/未着を判断する方式を開発した。実証実験を行い、自動認識半径は50mでほとんどの場合認識可能であり、近接している目的地へ同時到着と認識する確率は2.8%であることを確認した。

第4章では、プローブカーを利用した交通状況予測による交通情報提供をテーマとして、走行中の車両の情報をプローブ情報として携帯パケット通信で収集し、その蓄積統計情報とリアルタイム交通情報を用いて広範囲、長区間の旅行時間情報、交通渋滞情報を生成する研究を行った。

プローブカーを用いてリアルタイム交通情報を取得するために必要なプローブカーの普及率とエリアカバー率との関係を定式化した。また、関係式を使ってプローブカーを用いてリアルタイム交通情報を取得するための普及率を試算し、エリアカバー率99.0%のリアルタイム交通情報を取得するためには、約5%のプローブカー普及率が必要なことが判った。

過去に蓄積した走行軌跡と現在の走行軌跡とを対比して、リアルタイム交通情報が取得できないプローブカー非存在区間での交通情報を、予測により補完する交通情報予測方式を検討した。さらにプローブカーの実験システムを構築して実車走行実験を行い、交通情報予測方式の精度評価を行った結果、約70%の正答率を実現した。

今後はさらなるデータ収集、アルゴリズム改良を進めて、予測精度の向上を図る予定である。

第5章では、トラック運行管理のプローブ情報を利用した目的地への所要時間予測によ

る交通情報提供をテーマとして、トラックが収集した位置データをプローブ情報として利用し、道路の渋滞状況、所要時間情報を提供する交通情報システムを構築した。交通情報システムでは、トラックの位置データを道路リンクにマップマッチングし、その走行経路を推定することにより、アップリンク時間間隔の大きいトラックの位置データでも走行経路の速度データに変換する方法を開発した。東京周辺 50km 圏のエリアを対象として、走行期間約 1 ヶ月、14 台のトラックの実走行データを収集し、約 9 割の位置データが交通情報として活用できることを確認した。さらにプローブ情報から求めた所要時間情報を利用した目的地への所要時間予測システムを開発し、運行管理システムへのサービス適用を検討した。予測しない計画所要時間と実績所要時間との誤差は-30%~+8%であり、予測した計画所要時間と実績所要時間との誤差は-10%~+3%となった。このことから予測により精度向上の効果が出ることが検証できた。

今後は、さらにデータ収集を図り、到着時間予測の精度検証を行い、実サービスに向けた検討を行う予定である。

第 6 章ではトラック運行管理のプローブ情報を利用した安全運転診断・管理をテーマとして、目視主観安全診断を自動化するための安全運転診断指標として加速度標準偏差と加速度歪度が目視主観安全度との間に相関があるかどうかを検討した。これにより、危険ドライバの識別の可能性を検証し、従来の目視主観安全診断が自動化できる可能性を示した。

安全運転診断実証実験では、指導前と指導後で改善効果があるかを比較検討した。4 人のドライバ (A~D) に対して実証実験を行い、B については安全運転指導の効果はあまり得られなかったが、他の A、C、D については、かなりの効果があることを確認した。これにより、本研究の安全運転診断の方式により、安全運転、省燃費が期待できることが確認できた。ドライバへの燃費指導では、アクセルワークを示す量である加速むら(加速度標準偏差)を下げるように指導した。これにより、安全運転診断による燃費向上と CO₂ 低減の有効性が確認できた。燃費が 6.5km/リッターから 6km/リッターへと 0.5km/リッター向上した場合、走行距離が一月 5,000km、燃料が 1 リッター 70 円的前提下、1 台一月 4,500 円の削減効果が見込める。1 万台の車両がシステムを導入した場合には年間 5.4 億円の効果が見込める。

今後の課題としては、加速度標準偏差と加速度歪度のみで安全度を十分に説明できない部分があると考えられる。曲線の複雑さを示す値であるフラクタル次元による走行状態推定の精度を検証する方法や、ある一定時間での FFT(高速フーリエ変換)を使用して状態が

遷移した状態を検出する方法などを検討していきたい。

第7章では並列計算機と ITS 技術によるトラック配車配送計画をテーマとして、配車配送計画の並列 GA 処理効率向上アルゴリズムと配送拠点の統廃合、共同配送へと展開した輸配送計画システムを開発し、実際の配車配送計画の適用による実証実験を行った。

トラック稼働率、台数、走行距離などを考慮した配送費用を目的関数とし、配送オーダーに対し配送順序をトラックへ割り付けていき、目的関数が最適となる解を求める配車配送計画システムの開発を行った。膨大な組み合わせ問題を解決する必要があるため、GA(遺伝アルゴリズム)の適用を検討し、数十分で処理結果をだすために並列コンピュータによる高速化処理方法の研究を行った。

従来の並列最適化方法を用いた場合同期処理により並列効率の低下が発生し、それは並列度が大きくなる程、あるいは問題の複雑さが増大するほど並列効率の低下度合いは低下することを発見した。

開発した並列 GA 処理効率向上方式では、近傍距離自律制御手法[手順(D)]、非同期相互作用手法[手順(E)、(H)]、局所的リプロダクション手法を用いることにより、使用可能なコンピュータ資源を従来より高効率で活用することができた。開発した配車配送計画システムは、巨大で複雑な問題に対して「30%以上の改善」という極めて強力な最適化能力を有することを確認した。

また、配送拠点の統廃合、共同配送へ展開した輸配送計画システムを開発し、シミュレーションにより、コストの 35%の低減、運行距離の 0.5%の低減による CO₂などの環境負荷低減を検証した。

以上に述べたように、本論文においては、トラック輸送において IT の導入による省力化・省人化といったコスト削減や、車両・ドライバの配車や安全運転指導による省燃費・排気ガス低減、交通事故低減などのニーズに対して、ITS を活用した高度情報化の研究を行い、一定の成果を得た。今後、交通状況予測や目的地への所要時間予測に対しては、データ収集、精度検証、アルゴリズム改良により予測精度向上を図り、また安全運転診断については、安全管理者への更なるヒアリングにより新たな変数を追加し、安全指導の効果向上を図り、実サービスに向けた研究を進めていきたい。配車配送計画については、計画した所要時間の精度向上により輸送コストがどの程度低減できるかの検証、緊急の集荷指

示、途中の道路工事や渋滞情報をもとに、動的に配車配送計画を修正し、運転手に変更指示を行うことにより効率向上を図るシステムの研究も進めていきたい。

## 謝辞

本論文を作成するにあたり、本研究の遂行に際して、貴重なご指導と多大なご協力を頂いた方々に感謝致します。

京都大学大学院工学研究科谷口栄一教授には、本研究の遂行ならびに本論文をまとめるにあたって、終始有益なるご指導とご鞭撻を賜りました。また、京都大学大学院工学研究科相浦宣徳助手には、本論文に対し貴重なご意見を頂きました。心より謹んで感謝の意を表します。

日立製作所中国支社鈴木登夫支社長ならびに日立製作所都市グループ石田康本部長には、上司として大変有益なご指導を賜りました。心より厚く感謝致します。

日立製作所日立研究所横田孝義主管研究員、同山根憲一郎主任研究員、同井上健士研究員、同伏木匠研究員、日立製作所トータルソリューション事業部権守主任技師、同 ITS センタ尾田至センタ長、同伊藤彰朗技師、日立エンジニアリング井上春樹副技師長には、共同研究者として多大なご協力をして下さいました。

日立システムアンドサービス仲川弘之主任技師、日立エンジニアリング塩沢主任技師、同吉川暁技師、同神宮寺剛技師には、本研究の製品化に尽力して下さいました。

日立製作所トータルソリューション事業部茅根修事業部長、同吉岡本部長には、多くのご援助・ご配慮をいただき、論文取り纏めの促進ができました。

最後に、ここに記述しきれない多くの方々のご支援によって本研究がなされたことを銘記し、深く感謝いたします。

2004年3月 岸野清孝