



都市圏域における貨物車輸送の効率化方策に関する研究

田中, 康仁

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2008-03-25

(Date of Publication)

2009-06-26

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲4343

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1004343>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博 士 論 文

都市圏域における
貨物車輸送の効率化方策に関する研究

2008 年 1 月

神戸大学大学院自然科学研究科

田中 康仁

目 次

第1章 序 論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	3
1.3 既往関連研究の整理と本研究の位置付け	5
1.4 本論文の構成	8
【第1章の参考文献】	10
第2章 所要時間の不確実性を考慮した貨物車両の運行計画	13
2.1 はじめに	13
2.2 貨物車プローブデータの特徴と分析対象車両の配送形態	15
2.3 貨物車両の配送実態	19
2.4 時間指定のある配送先への出発時刻の決定行動	28
2.5 複数の配送先への配送順序の選択行動	32
2.6 所要時間の不確実性を考慮した貨物車の運行計画の提案	38
2.7 おわりに	39
【第2章の参考文献】	42
第3章 都心商業・業務地区における荷捌き駐車施設の整備計画	45
3.1 はじめに	45
3.2 対象地域と使用データの概要	47
3.3 路上荷捌き施設の利用実態と設置効果	50
3.4 荷捌き駐車施設の配置計画案	53
3.5 荷捌き駐車施設の運用方法に対する意向分析	66
3.6 荷捌き駐車施設の整備計画の考え方	72
3.7 おわりに	74
【第3章の参考文献】	75

第4章 事業所による物流拠点の立地選択行動と規制誘導方策	77
4.1 はじめに	77
4.2 分析対象地域と使用データの概要	79
4.3 実態データにもとづく物流拠点の立地要因の分析	82
4.4 物流拠点の立地選択に対する事業所意識の分析	89
4.5 物流拠点の立地誘導のための立地適地の抽出	94
4.6 立地ポテンシャルを用いた物流事業所の立地誘導方策の提案	105
4.7 おわりに	108
【第4章の参考文献】	110
 第5章 階層構造をもつ配送拠点の最適配置計画	 113
5.1 はじめに	113
5.2 分析対象事業者の概要と配置モデルの考え方	115
5.3 配送拠点の分布特性	117
5.4 下位拠点の配置密度	120
5.5 MinSum 問題による上位拠点の配置の評価	122
5.6 P-Median 問題による配置計画	125
5.7 階層構造を考慮した最適配置計画の提案	127
5.8 おわりに	131
【第5章の参考文献】	133
 第6章 結 論	 135

第1章 序 論

1.1 研究の背景

物流は、産業・経済活動を支えるとともに我々が日常生活を営む上で必要不可欠なものである。とりわけ端末輸送の多い都市域での物流は、都市間の物流と異なり鉄道や船舶で代替することが困難であることから、専ら貨物車により担われており、貨物車がきわめて重要な役割を果たしている¹⁾。しかし一方で、こうした貨物車による交通は都市域で、交通渋滞・交通事故、大気汚染や騒音等の環境破壊など、様々な問題を引き起こしている。また近年は、地球温暖化などの地球規模での環境問題の深刻化を受けて、貨物車交通も対応が求められている。

こうした貨物車交通に起因する問題点をみてみると以下のようなになる。

まず、交通渋滞については、自動車の総走行台キロの約4割が貨物車交通で占められており、交通渋滞に及ぼす影響は大きい²⁾。また乗用車は、公共交通機関などに代替可能であるが、貨物車は代替が困難でありその削減は容易ではない。近年は、多頻度少量輸送やジャストインタイム輸送に代表されるように物流サービスに対する荷主や一般消費者のニーズはますます多様化、高度化してきており、このことが貨物車交通の増加に一層の拍車をかけている。

次に交通事故についても、貨物車が関与した重大事故の報道は後を絶たない。こうした事故の原因となる、過積載やスピード違反、また過労運転などについては、取り締まりの強化や大型車へのリミッターの装着義務化が行われており、また事業所での安全運行管理体制の見直しなどの対策も進められている。

また、貨物車は大型でありその大半がディーゼル車であるため、NO_x（窒素酸化物）およびPM（粒子状物質）の排出が大きな問題となっている。このため、「自動車 NO_x・PM 法」による車種規制の強化や、首都圏や兵庫県下の一部地域では、条例による大型車の流入規制などの措置もとられている。さらに、大型車による交通騒音、振動問題は、依然として厳しい状況にあり、幹線道路沿道地域を中心に住民の安眠を妨げる原因ともなり、住民の日常生活に多大な影響をもたらしている。

都心部の交通混雑緩和を目的として、平成18年6月に道路交通法が改正され、駐車取り締まりの強化に伴い、幹線道路を中心に違法駐車車両が大幅に削減された。しかし、都心部ではそもそも駐車スペースが少ない上に小規模な事業所では荷捌きスペースがないことから、貨物車両は路上駐車を余儀なくされている。こうしたことから、都心部での荷捌き駐車対策が新たな問題として浮上している。

さらに、郊外部では都市計画区域外、市街化調整区域などでも物流拠点の立地が進んでおり、自然環境の破壊とともに物流施設からの騒音問題をもたらし、住宅周辺で貨物車両

が走行することにより交通安全などにも悪影響を与え、住民とのコンフリクトを生じさせている。また、都市内でも、近年の人口の都心回帰に伴って移転・廃業した工場跡地等にマンション・集合住宅が相次いで立地し、物流施設と住宅との土地利用の混在が郊外部と同様に深刻な問題を生じさせている。

一方、国際的公約である地球環境問題への対応が求められているが、わが国では二酸化炭素排出量の約 20%が運輸部門から排出されており、そのほとんどが自動車からの排出で占められている。そして、交通機関分担別にその割合をみると、乗用車からの排出が 48.9%と最も多い割合を占めているが、次いで貨物車による排出が 35.3%と高くなっている³⁾。特に、貨物車は鉄道や船舶といった他の輸送機関に比べて、物資輸送時のエネルギー効率が悪いことから、その対策が求められている。

このように、都市域における貨物車交通の問題は極めて広範囲にわたっており、その及ぼす影響も大きいことから、もはや物流事業者のみに解決を委ねることは困難であり、都市交通問題として都市計画・交通計画の視点から対策を講じることが重要である。こうしたことから、貨物車交通に起因する多くの問題を緩和するために、様々な対策が考えられる。具体的には、道路ネットワークの整備や大規模な物流センター・流通業務団地の整備などの社会基盤整備をはじめ、排ガス規制の強化、低公害車への転換や DPF（Diesel Particulate Filter：粒子状物質減少装置）の装着などの貨物車単体への対策、排ガス吸収装置や低騒音舗装・遮音壁などによる沿道対策などが挙げられる。

さらに、こうした対策に加えて、「輸送の効率化」や「貨物車交通の抑制」により貨物車交通を削減することが考えられる。こうした貨物車交通対策としては、表 1.1 に示すものが挙げられる。

表 1.1 貨物車交通の削減対策

対 策	内 容
配車・配送計画の最適化	複数の集配先に対して、最適な車両台数、巡回経路を求める。リアルタイムな交通情報により、動的に最適経路の探索を行うことも可能。
荷捌き活動の円滑化	路上および路外における共同の荷捌き駐車施設の整備や、荷受施設での荷捌き用駐車施設の付置を義務づける。
物流の共同化	複数の荷主（あるいは運輸事業者）の貨物を、共同で都市内において配送・集荷、あるいは都市間の幹線輸送を行う。また、大規模なビルや商業エリアで共同荷受け、横持ち・縦持ち配送の共同化を行う。
物流施設の適正配置	住居地域との混在を防ぐため、用途地域制度などにより立地を規制誘導する。郊外部に、大型車から小型車へ積み替えるための物流拠点、また都市内にもデポを適切に配置して、配送効率性を高める。
貨物車交通の流入規制	排出ガス基準を満たさない貨物車などが、特定の道路区間や地域へ進入することを禁止する。
走行ルートの変更・誘導	市街地から郊外部や臨海部などの適切なルートへ貨物車を迂回、誘導する。

これらの対策のうち、輸送の効率化については、これまで荷主企業・物流事業者などの民間事業者が中心となって、共同輸配送や共同荷受けシステムなど、主に物流コストの削減を目指して様々な取り組みが行われてきた。しかし今後は、都市内で交通問題や環境問題が深刻な地域では、荷主企業や物流事業者はもとより、行政が積極的に関与するとともに地域の住民・事業所なども参加して貨物車交通の抑制策も含めて総合的に貨物車交通対策を実施し、貨物車交通の削減・環境の改善を図ることが求められている。

1.2 研究の目的

これまで述べてきたように、都市圏域における物流は、他の交通手段への転換が困難なことから、貨物車がきわめて重要な役割を果たしているものの、貨物車による交通は、交通渋滞・交通事故、大気汚染や騒音等の環境破壊など、様々な問題を引き起こしている。こうした貨物車交通が引き起こす問題を軽減するためには、その一つの方策として、貨物輸送の効率化があげられる。

そこで本研究では、貨物車による配送行動、物流拠点の配置形態のそれぞれに着目し、輸送の効率化方策を立案・評価するための方法論の構築を試みたものである。

以下では、本研究で対象とした貨物輸送の効率化方策の具体的な内容について説明する。

1) 貨物車の配送行動に着目した効率化方策に関する研究

貨物車の配送行動に着目した効率化方策については、貨物車の運行計画と配送先での荷捌き駐車施設の整備計画を考える。

まず、前者については、交通渋滞などによる走行所要時間の変動が貨物車輸送の効率性を低減させる大きな要因であることから、こうした不確実性を考慮し、プローブデータを用いることによって貨物車の運行挙動の特性を解析するとともに、最適な出発時刻および配送巡路を決定するモデルを構築し、このモデルを用いた運行計画の提案を行う。

一方、後者については、都心部における配送先での荷捌き行動を円滑に進めるための荷捌き駐車施設の整備計画について検討する。このため、社会実験やドライバーへの意識調査結果をもとに、荷捌き活動の特性を把握した上で、荷捌き需要に対応した荷捌き駐車施設の配置計画案を作成するとともに、駐車可能時間や料金設定など、駐車施設の管理運用のための指針を提案する。

2) 物流拠点の配置形態に着目した効率化方策に関する研究

物流拠点の配置形態に着目した効率化方策としては、都市圏内における物流拠点の適正な立地場所への誘導、および階層構造をもつ配送拠点の最適配置計画を考える。

前者の立地誘導については、まず実態データをもとに、物流事業所の立地要因を、社会経済指標および道路ネットワークとの近接性などを説明変数とした回帰分析により明らかにする。次いで、事業者の立地に対する意向調査の結果より、立地場所の選定理由、立地

に関する問題点や今後の立地場所に望む要望を明らかにする。こうした立地に対する事業所の実態と意識から得られた立地指標をもとに立地モデルを構築し、立地可能性を定量的に表す立地ポテンシャルを算出する。さらに、この立地モデルを用いて新たな道路計画に伴う立地ポテンシャルの変化を推定し、立地適地の抽出を行う。

次に、配送拠点の配置の最適化については、配送拠点間を階層構造によりネットワーク化している宅配輸送の拠点配置を対象として、総輸送トンキロ（拠点間の物量×輸送距離）の最小化を目的とした配置モデルにより輸送効率性を検証するとともに、輸送効率性の向上効果が期待される事業者を対象とした最適な配置計画を提案し、その効果を検証する。

なお、こうした研究のフレームワークを取りまとめたものが図 1.1 である。

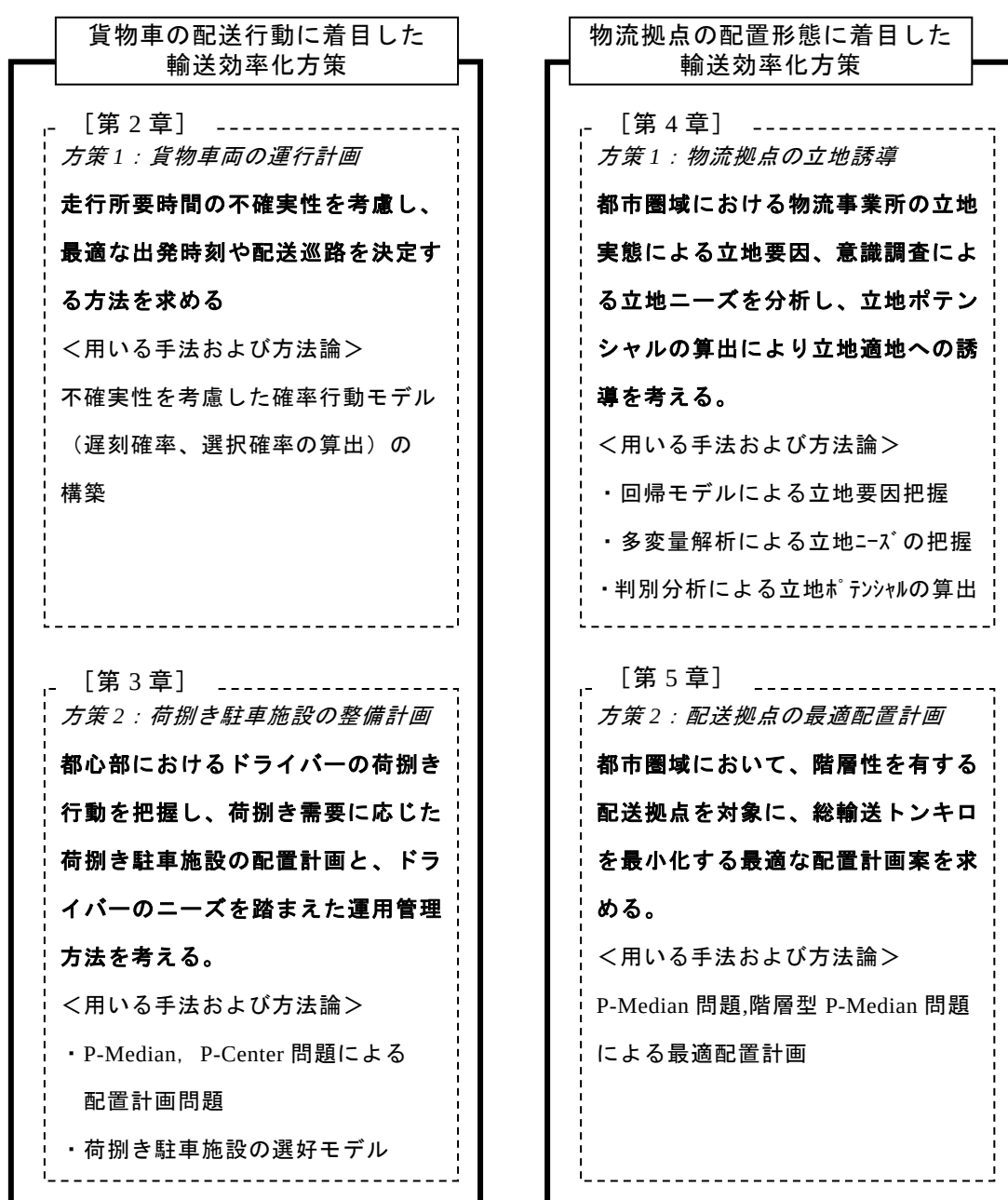


図 1.1 本研究のフレームワーク

1.3 既往関連研究の整理と本研究の位置付け

ここでは、既往の関連研究を概観し、本研究の位置付けを行う。既に述べたように、都市圏および都市内における貨物車交通が引き起こす問題は、広範かつ多岐にわたっていることから、その解決に向けて様々な分野で研究が行われている。この内、ここでは主として本研究と関連の深い貨物輸送の効率化や貨物車交通の抑制方策に関連した文献を中心として、大別して4分野に分けて整理を行う。

1) 配車配送計画の関連研究

谷口ら⁴⁾は、都市内集配トラックの最適配車配送計画および動的交通シミュレーションを統合したモデルを開発し、都市内集配トラックの最適配送ルートおよび出発時刻を決定する運輸企業の行動を記述している。こうした行動が、道路ネットワークの交通状況に与える影響を推定しており、仮想道路ネットワークに適用した結果、高度な配車・配送計画あるいは輸送の共同化を導入することにより、輸送に関わる総費用を減少させるとともに、乗用車も含めた総走行時間を削減できることを明らかにしている。

また、配車・配送計画をより現実的なものとして、貨物車交通の効率化に寄与させるためには、所要時間の変動や交通状況を組み込んだ配車・配送計画が必要であることから、所要時間の不確実性や交通情報を考慮した配車・配送計画に関する研究が行われている。

Wang ら⁵⁾は、比較的狭い地域の貨物集配を対象に、積み込み、荷下し、待ち時間、旅行時間の全てに確率的な変動を考慮し、コスト最小化の配車計画を求めるモデルを構築している。また、Lee ら⁶⁾は、動的な配送スケジュールに対して、最適なルートを更新、選択する研究を行っている。この分析では、各配送先までの距離と時々刻々と変化する道路交通状況に関する情報を組み込み、複数候補の配送ルートの中から最適ルートを選択する問題を取り扱っている。

また、谷口ら⁷⁾は、より現実的な交通情報を用いた配送計画を構築している。この研究では、VICS (Vehicle Information and Communication System : 道路交通情報通信システム) が提供している各種の交通情報のうち旅行時間情報に着目し、現実の都市内道路の旅行時間の分布形状の検討を行うとともに、旅行時間情報を確率論的配車配送計画および確定論的配車配送計画に適用する際の基礎的な検討として、旅行時間の更新間隔の影響について仮想ネットワークを用いた数値シミュレーションにより分析している。さらに、この研究を発展させ、安東ら⁸⁾は、現実の地区を対象に、上述の方法論により最適配車配送計画を作成し都市内配送実験を行っており、その結果、通常の配送経路に比べ確率論的配車配送計画では、総コスト、総走行時間の減少、および、CO₂ 排出量、NO_x 排出量、PM 排出量が削減可能であることを指摘している。

2) 荷捌き駐車施設の整備計画の関連研究

荷捌き駐車施設の整備計画に関しては、荷捌き駐車施設の配置に関する研究と、その管理運用方策に関する以下の研究がみられる。

秋田ら⁹⁾は、都心商業・業務地区において、短時間の駐停車で集荷・配送活動が可能な物流車の利用を対象として、路上荷捌き駐車ベイの配置計画手法の開発を試みている。路上荷捌き実態調査結果をもとに、物流車の駐停車位置や立寄り建物数、駐停車時間といった路上荷捌き行動実態を明かし、建物ごとの路上荷捌き需要量推計モデル、駐停車時間推計モデル、P-Median問題を適用した配置手法を構築し、これらを組み合わせた路上荷捌き駐車ベイの配置計画手法を提案している。

相浦ら¹⁰⁾は、地区物流における路上荷捌きを対象とし、貨物車両および貨物車両以外の車両(以下、他車両)の駐停車行動を考慮した路上荷捌き施設配置計画モデルを構築している。他車両の駐停車行動を対象区域における交通特性に基づき表現することにより、ルール設定基準、啓発活動ならびに情報技術活用の効果が検討できるモデルであり、このモデルの適用により、「他車両に対する荷捌き用区画の使用規制」、「予約システムの導入」の各々について効果および影響を検討している。

藤田ら¹¹⁾は、ポケットローディング(PL)と貨物車優先パーキングメータ(PM)利用に関する実証実験データを用いて、路上荷捌き車両の荷捌き行動・駐車特性ならびにPL/PMシステムに対する利用意識分析を行っている。この結果、路上駐車、PLの駐車場所選択には横持ち距離が影響し、またPMの選択要因としては路上駐車による道路占有率、配送件数が影響しており、横持ち時間や配送回数等、駐車時間が長くなる荷捌き行動は満足度に大きく影響している。PL、PM利用に対する利用者の評価は高く、特にPMに対する利用者評価は高く、また有料化に関しても利用者が概ね理解を示したことから、路上荷捌き車両対策としてのPM利用の有用性を指摘している。

3) 共同輸配送の関連研究

共同輸配送の研究については、共同輸配送の成立要件とその効果を検証した研究として以下の研究がみられる。

今井¹²⁾は、大阪機械卸業において物流共同化の可能性を検討している。共同配送実験を実施し、時間指定の無視、納品の共同便による一括化を前提とした実験後、実験に対するヒアリング調査した結果、時間指定無視は配送効率を高めるが、サービス低下により集荷量を減少させる危険性があるとの指摘を行っている。

山田ら¹³⁾は、京阪神地区に事業所を有する企業に対して実施されたアンケート調査結果を基にして、貨物共同輸送を促進するための効果的な方策について検討している。この中で、共同輸送に対する関心と導入に向けて必要としている施策の関係を中心として、意識構造をモデル化している。この結果、貨物共同輸送を推進するための施策として、物流拠点整備や貨物共同輸送システムの運営基盤整備が有効であることを指摘している。

さらに山田ら¹⁴⁾による別の研究では、公共サイド、共同輸配送事業者、物流関連企業の3主体を対象として、共同輸配送シミュレーションモデルを構築し、都市内共同配送の効果と成立に関する基礎的考察を行っている。この結果、総走行時間削減において、共同配送システムは大いに有用であるが、共同配送事業の採算性の確保は、対象地域や顧客数に依存することが示されている。また、都心部流入規制と併せて、共同配送システムを導入した場合、総走行時間が大幅に抑制される一方で、企業の費用が増大することも指摘している。

4) 物流施設の適正配置の関連研究

最後に、物流施設に限定しない場合、施設の配置計画については、古くから研究されており、主としてオペレーションズ・リサーチの手法が用いられている。例えば、Weber¹⁵⁾、Drenzer¹⁶⁾などの研究が有名である。こうした施設配置計画の問題を物流施設に適用した事例として、山田ら¹⁷⁾による物流ターミナルの最適配置計画や YANG et al.¹⁸⁾による Logistics Terminal の最適な規模および配置を求める研究がみられる。いずれの研究も輸送コスト(輸送距離)と立地コストの最小化による最適化を行っている。同様に、小杉¹⁹⁾は物流施設コストと輸送コストの和を最小化するような施設の最適立地モデルを提案している。また、家田ら²⁰⁾は都市内の集配活動のモデル化において、集配ターミナルの配置行動を組み込んだモデルを構築している。また徳永ら²¹⁾は宅配システムにおけるベースへの集荷コストを最小にするセンターの配置と輸送経路を決定するモデルを提案している。

谷口ら²²⁾は、総合的に都市内物流の問題とその解決策を論じる必要があることを指摘しており、「City Logistics」という概念を提唱している。「City Logistics」とは、「市場経済の枠組みのなかで、交通環境・交通渋滞・エネルギー消費を考慮しながら、都市部における民間企業のロジスティクスおよび輸送活動を、全体として最適化する過程である」と定義している。前述でも述べたように、都市内の物流問題を解決するためには、都市交通問題として都市計画・交通計画のアプローチが重要である。本研究でも、こうした視点から研究を進めている。

また、本研究では、貨物車輸送の効率化のための方策を論じるが、それぞれの既存の研究を踏まえて、以下の特徴をもっている。

(1)「貨物車の配送行動」については、まず貨物車プローブデータを用いることにより、所要時間の不確実性を考慮するために、確率行動モデルを導入し、最適な出発時刻や配送順序を求める方法を提案している。また、都市内配送時における荷捌き駐車施設の整備計画については、P-Median 問題および P-Center 問題といった配置問題を適用することにより貨物需要およびドライバーの移動距離に着目した荷捌き施設の配置計画案を作成している。さらには、荷捌き施設の運用管理のあり方を問うドライバーへの意識調査により利用料金、利用時間などの運転者のニーズに応じた管理運用方策を提案している。

(2)「物流拠点の配置形態」については、物流事業所の適切な立地場所の条件を求めるため、立地に関する実態データと意識データの両方を用いている。まず、従業員人口などの社会経済指標および道路ネットワークとの近接性による実態データをもとに、物流事業者の立地要因を探るとともに、立地に関する意識データより、立地場所の選定理由、立地に関する問題点や今後の立地場所に望む要望を明らかにしている。さらに、宅配事業者を対象として、配送拠点の階層構造による配置形態を明示化し、P-Median 問題および階層型 P-Median 問題により階層性を考慮した最適な配置計画案を求めている。

(3) また、本研究の遂行にあたっては、貨物車両の詳細な追跡調査や道路区間の所要時間の変動を明らかにするためプローブデータを用いるとともに、貨物車両の走行軌跡の視覚化に GIS (Geographic Information System : 地理情報システム) の援用が大きく貢献している。また GIS の活用により、物流拠点の空間分布特性の明示、および配送拠点間の距離、および道路ネットワークとの近接性などの分析に不可欠なデータを効率よく取得することを可能にしている。

1.4 本論文の構成

本論文は、本章を含めて全 6 章から構成される。ここでは、第 2 章以降の各章で論じる分析内容について説明する。既に述べているように、本研究では、貨物車輸送の効率化を「貨物車両の配送行動」と「物流拠点の配置形態」に着目して対策を考えているため、第 2 章、第 3 章では前者、第 4 章、第 5 章では後者、のそれぞれを対象として研究を進める。

第 2 章では、旅行時間の変動を考慮した運行計画を構築するために、まず貨物車のプローブデータを用いて貨物車の配送実態を解明するとともに、旅行時間の不確実性を定量的に把握した。さらに、旅行時間の不確実性が貨物車による配送行動に与える影響について明らかにした。具体的には、出発時刻に応じて目的地に遅れて到着する確率（遅刻確率）および各配送順序が最短所要時間となる確率（選択確率）を算出するとともに、現実の配送行動を遅刻確率の最小化、また選択確率の最大化によって説明する。

第 3 章では、都心部における貨物車の駐車行動の整序化を図るため、貨物車用の荷捌き駐車施設の整備計画を検討する。ドライバーの荷捌き行動を把握した上で、貨物需要に応じた、荷捌き駐車施設の配置箇所数や配置場所を求める配置計画案を作成し、続いて荷捌き駐車施設の利用料金や利用時間といった運用計画を検討する。このため、都心部の一地域を取り上げて、荷捌き活動の実態調査結果をもとに、P-Median 問題や P-Center 問題などの配置計画問題を適用して、荷捌き需要に応じた荷捌き駐車施設の配置計画案を求める。次に、荷捌き駐車施設の運用計画を検討するため、ドライバーへの意識調査結果をもとに、

駐車および荷捌き活動の実態や駐車取り締まり強化後における対応を明らかにするとともに、短時間用と長時間用のタイプの異なる荷捌き駐車施設を提案し、それぞれの駐車施設に対する利用意向を分析する。

第4章では、効率的な物流活動を支えるとともに、住宅施設などとの混在を防ぐとの視点から、物流拠点の適切な配置候補地の抽出を行う。こうした候補地を考えるにあたって、物流拠点の立地に関する実態データと意識データの結果を用いる。まず実態データをもとに、物流拠点の空間分布特性を把握するとともに、社会経済指標や道路ネットワークへのアクセス指標を説明変数とする回帰モデルにより、立地要因を明らかにする。また、立地に関する意向アンケートの結果より、立地場所の選定理由、立地に関する問題点や今後の立地場所に望む要望を明らかにする。これらの物流拠点の立地に関する実態および意識から得られた立地指標をもとに立地選択モデルを構築することにより、立地可能性を定量的に表す立地ポテンシャルを算出し、立地誘導を図る上での立地適地の抽出を行う。

第5章では、階層構造をもつ配送拠点の最適配置計画を検討する。宅配輸送においては、配送拠点間の輸送効率性を高めるため、戦略的な拠点配置として、配送拠点を上位拠点（センター）と下位拠点（デポ）に機能分類して階層的に配置している。こうした階層的な拠点配置において輸送の効率性をさらに高めるためには、総輸送トンキロ（拠点間の物量×輸送距離）の最小化を目的とした最適な配送拠点の配置計画を構築する必要がある。そこで、配送拠点が階層構造をもつ大手宅配2事業者（民間事業者と郵政公社）を取り上げ、各事業者の配送拠点の立地に関する実態を明らかにするとともに、配置計画問題を適用することにより、階層構造をもった配送拠点の配置の最適性を検証する。

最後に第6章では、本研究で得られた結論をまとめ、今後の検討課題を示す。

【第1章の参考文献】

- 1) 国土交通省, 物流センサス (平成 17 年度)
<http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/census/census-top.html>
- 2) 国土交通省, 道路交通センサス (平成 17 年度)
<http://www.mlit.go.jp/road/census/h17/pdf/gaiyo.pdf>
- 3) 国土交通省, 運輸部門の地球温暖化対策について
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kankyuu/ondanka1.htm#genjou>
- 4) 谷口栄一, 山田忠史, 細川貴志: 都市内集配トラックの配車配送計画の高度化・共同化による道路交通への影響分析, 土木学会論文集, No.625/IV, pp.149-159, 1999
- 5) Wang,X., Regan,A,C. :Assignment Models for Local Truckload Trucking Problems with Stochastic Service Times and Time Window Constraints, Transportation Research Record, No.1771, pp.61-68, 2001
- 6) Lee,Suwon., 鈴木泰博, 森敏彦: 道路交通情報を考慮した配送計画問題, 情報処理学会シンポジウム論文集, Vol.2006, No.10, pp.105-110, 2006
- 7) 谷口栄一, 安東直紀: 交通情報を活用した確率論的配車配送計画に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, No.3, pp.687-696, 2004
- 8) 安東直紀, 谷口栄一, 山田忠史: ITS を活用した高度な配車配送計画について, 土木計画学研究・講演集, Vol.33(CD-ROM), 2006
- 9) 秋田直也, 小谷通泰: 都市商業・業務地区における路上荷捌き駐車ベイの配置計画手法に関する研究, 都市計画論文集, No.41-2/41-3(CD-ROM), 2006
- 10) 相浦宣徳, 谷口栄一: 貨物車両の駐停車行動を考慮した路上荷捌き施設配置計画モデルに関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.22, No.3, pp.633-642, 2005
- 11) 藤田素弘, 鈴木弘司, 亀井欣一郎: ポケットローディング・貨物車優先 PM 利用による路上荷捌き車両対策に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.23, No.4, pp.841-850, 2006
- 12) 今井昭夫: 大阪機械卸業の共同配送実験, 土木計画学研究・論文集, No.12, pp.511-518, 1995
- 13) 山田忠史, 則武通彦, 谷口栄一, 堀江淳嗣: 貨物共同輸送の促進策に関する一考察, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.717-724, 1999
- 14) 山田忠史, 谷口栄一, 伊藤裕: 貨物共同輸配送のモデル化と効果および成立に関する一考察, 土木計画学研究・論文集, Vol.18, No.3, pp.409-416, 2001
- 15) Weber,A. :On the location of industries (translation of Uber den Standort der Industrie, 1909), Univ. of Chicago Press, 1992
- 16) Drenzer,Z. :Facility Location –A survey of application and methods. Springer, 1995
- 17) 山田忠史, 則武通彦, 谷口栄一, 多賀慎: 物流ターミナルの最適配置計画への多目的計画法の適用, 土木学会論文集, No.632/IV-45, pp41-50, 1999

- 18) Zhongzhen YANG, Chong LIU, Xiangqun SONG, Optimizing the scale and spatial location of city logistics terminals. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp.2937-2946, 2005
- 19) 小杉雅敬：物流施設最適立地問題に関する研究，オペレーションズリサーチ，No.8, pp.39-45, 1983
- 20) 家田仁，佐野可寸志，小林信司：積み合わせトラック物流における都市内集配活動のモデル化とその推定，土木計画学研究・論文集，No.11, pp.215-222, 1993
- 21) 徳永幸之，岡田龍二，須田照：宅配輸送におけるセンター配置および輸送経決定モデル，土木計画学研究・論文集，No.12, pp.519-525, 1995
- 22) 谷口栄一，根本敏則：シティロジスティクス，森北出版，2001

第2章 所要時間の不確実性を考慮した貨物車両の運行計画

2.1 はじめに

都市内における貨物輸送では、顧客（荷主）の要求が多様化・高度化し、とりわけ時間指定に対する制約が厳しくなっている。こうした時間指定の制約を守るためには、交通状況に伴い旅行時間が時々刻々と変動することから、運送事業者は、旅行時間の不確実性を考慮した運行計画を構築することが必要不可欠となっている。

これに対して、松本ら¹⁾は、Hall²⁾の提案したモデルを用いて、到着時刻が指定されている物資輸送について、旅行時間の不確実性が及ぼす影響を遅刻リスクを用いて評価している。また、所要時間の変動を考慮した確率論的な配車配送計画モデルに関しては、Laporte et al.³⁾の研究がみられるが、このモデルでは、配送巡路の全所要時間を一括して取り扱っている。谷口ら⁴⁾は、各顧客間の移動に要する所要時間を動的交通シミュレーションにより生成し、確率論的に取り扱った配車配送計画モデルを構築し、より詳細な所要時間の変動を考慮している。

一方近年は、ITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）やプローブ技術の発展により、所要時間の変動を定量的に観測できるようになったため、実際の所要時間の不確実性を考慮した配送計画の研究もみられるようになってきた。例えば、Taniguchi et al.⁵⁾は、構築した配車配送計画モデルを用いて、ITSを援用することにより、実際の道路リンクごとの所要時間の変動を考慮した現実的な配送計画の評価を行っている。さらに、貨物車に限定しないが、辻ら⁶⁾は、経路の誘導効果を検証するため、旅行時間の分散を考慮して、複数経路の内、所要時間が最短となる確率を求めている。

昨今は、車両にプローブ機器を搭載し、位置や速度などを動的に追跡調査することが可能となっており、こうしたプローブデータによる速度情報から旅行時間の変動といった不確実性の情報を取得することが可能となっている。プローブデータによる分析は、当初、地域全体の交通量の把握や道路ネットワークの信頼性を評価するマクロな分析に使われることが多かったものの⁷⁾、プローブ技術の普及とともに、車両などの移動主体の詳細な行動を把握するミクロな分析も行われるようになってきた⁸⁾。

筆者らも、既に運転者の作業状況とリンクした貨物車プローブデータを用いて、運行パターンや走行経路、荷捌き場所といった貨物車による配送活動に関する基礎的な特性を把握するとともに、配車・配送計画を構築する上で重要と考えられる走行速度の変動や配送先である目的施設への到着時刻の分布、および目的施設での荷捌き所要時間の分布を明らかにしている⁹⁾¹⁰⁾。

こうした分析を踏まえて、本章では、貨物車による旅行時間の変動を明らかにするとともに、指定時間のある配送先への出発時刻の決定行動、および複数地点を巡回する場合の

配送順序の選択行動を取り上げて、旅行時間にみられる不確実性が貨物車による配送行動へ与える影響について分析を試みる。特に、こうした出発時刻の決定行動や配送順序の選択行動については、Hall¹¹⁾や辻ら¹²⁾によって既に提案されている確率モデル（行動モデル）を適用するが、本研究では、プローブデータにより得られた精緻な実所要時間を用いて、貨物車の配送行動をこれらのモデルにより記述し得ることを示す。

なお、図 2.1 は本章の研究のフローを示したものである。

- 1) まず、積荷、荷卸しといった作業状況とリンクした貨物車プローブデータにより、貨物車両の配送実態を明らかにすると同時に、道路リンクごとの時間帯別の旅行時間の変動（平均や分散から推計）により、その不確実性を定量的に把握する。
- 2) 次に、貨物車の配送実態の解析および旅行時間の変動データをもとに、荷主の要求を満たした上で、最適な出発時刻の決定行動、および最適な配送順序の決定行動といった、貨物車両の運行計画にとって重要な要因を既存の行動モデルの適用により、説明し得ることを示す。
- 3) プローブデータなどによって蓄積された貨物車の運行履歴や輸送経路の変動情報をストックし、これらのデータを所要時間の不確実性を考慮した貨物車の行動モデルに適用することにより、荷主に対する遅刻リスクを軽減しつつ運行時間を削減可能な出発時刻の決定や配送順序の決定といった運行計画の提案を行う。

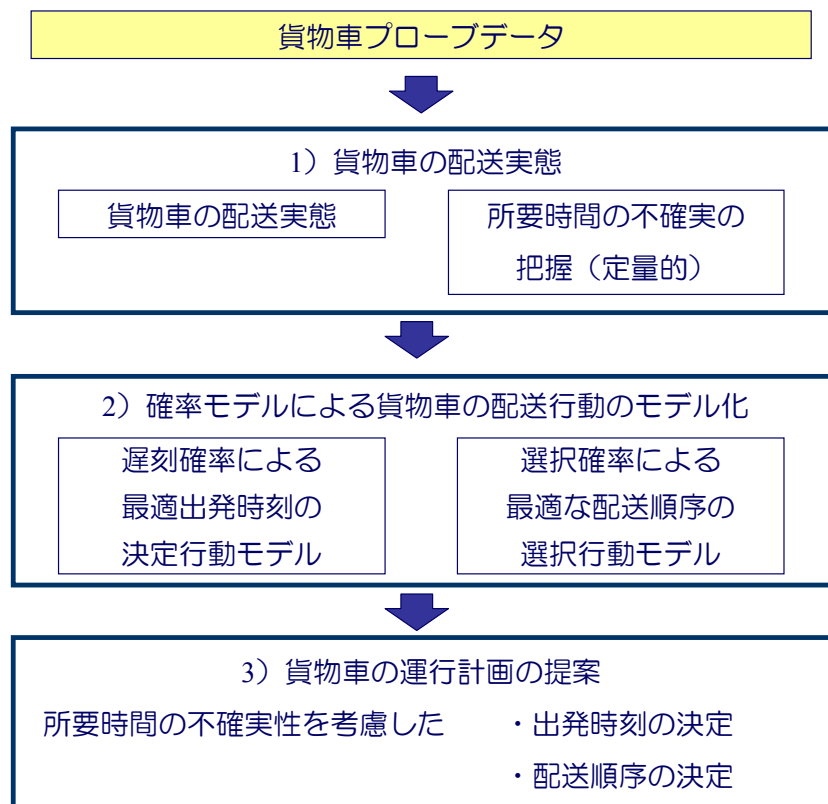


図 2.1 本章の研究フロー

2.2 貨物車プローブデータの特徴と分析対象車両の配送形態

平成 14 年 10 月と 11 月の 2 ヶ月間にわたって、「携帯型情報端末を用いた貨物車の共同利用型運行管理システム」の開発を目的として、国土交通省近畿運輸局、近畿トラック協会、関西 ITS 推進協議会、関西交通経済研究センターが中心となって、運輸事業者の協力により実証実験¹³⁾¹⁴⁾が実施された。本研究では、この実証実験において得られたデータの内、貨物車両のプローブデータとして、運転者の作業状況をリンクした位置情報（時刻を含む）を取り出して活用したものである。

2.2.1 分析対象事業者の概要

分析対象としたのは、中長距離による 2 地点ないしは数カ所の配送を行っている A 社と、都市内における複数地点への巡回型定期配送を行っている B 社の 2 事業者である。いずれの事業者も貨物車の保有台数は 20 台前後である。近畿圏における平成 13 年度のトラック事業者の車両保有台数は、保有台数が 20 台以下の事業者が 7 割を占めており、今回分析対象とした事業者は代表的な事業規模といえる。

2.2.2 プローブデータのデータベース化

得られたプローブデータは、5 分間隔の車両位置データと運転者による作業状況（出発・帰社、積載・荷卸・待機など）が時刻順に羅列して記録されたものである。なお、車両の位置情報に作業状況をリンクしたことにより、配送活動を詳細に把握することが可能となったが、こうした作業状況の取得は、端末の画面へのタッチやボタンによる入力方式を採用し、運転者の入力ミスの軽減に努めたため、比較的精度良くデータを得ることが可能となっている。また、データ量がきわめて膨大なため解析が容易となるように、運行ごとに走行中、停車中に分けてデータベース化するとともに、GIS を利用して運行状況を地図上で表示し視覚的にも把握できるようにしている。

車両の走行距離については、GPS の位置データが 5 分間隔で得られていることから、道路に沿った実距離を求めることが困難なため、隣接する 2 地点間の位置データからユークリッド距離を算出し、これを合計した上で、補正係数を乗じることによって求めている。表 2.1 は、GPS データから求めた一日の総走行距離と地図上で計測した実距離の比を算出したものである。これによると、実距離が GPS データから算出した走行距離よりも 1 ～ 2 割程度上回っていることがわかる。そして、A 社より B 社の車両の方が実距離との差が大きくなっているが、これは B 社の車両が比較的近距离の多地点で配送していることに起因するものと考えられる。したがって、この結果を踏まえて以後の分析では、GPS より求めた走行距離に対して、2 社ごとにこれらの比率を掛け合わせて補正を加えた。

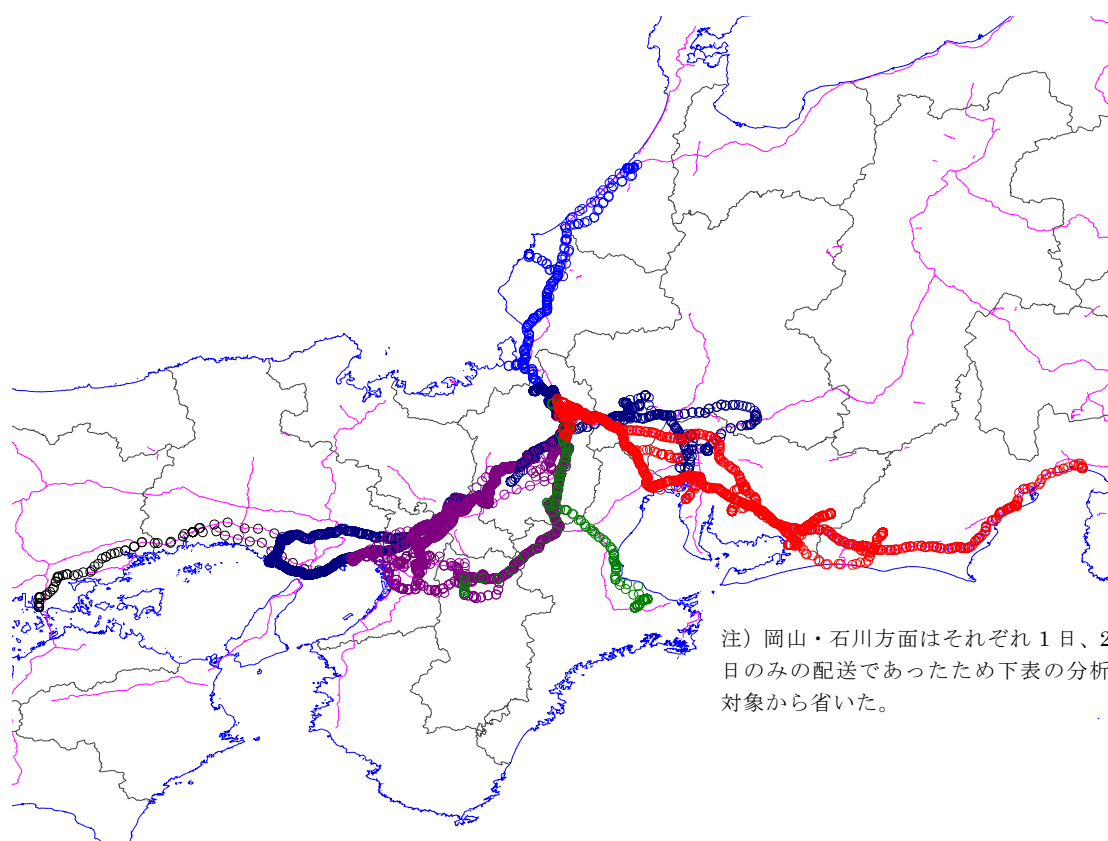
表 2.1 GPS データから算出した走行距離と実距離の比較

	GPS距離	実距離	比 率
A社	363.2km	401.1km	1.1043
B社	103.5km	124.8km	1.2058

2.2.3 トラック事業者別の配送形態

(1) 中長距離輸送事業者

図 2.2 は、調査対象としたA社の車両5台分の走行軌跡を地図上に表示したものである。また、図中の表には、方面別の走行距離、配送先総数、配送日数を記している。事業所のある滋賀県内を起点として、主に近畿、東海地方への配送を行っている。事業所付近に立地する複数の荷主（機械加工品製造工場）の貨物を運んでおり、貨物の大きさや形態も異なるため、4～12tの車両を保有している。各方面への平均走行距離は、300km 台が多いが、一方で 600km 以上走行している車両もみられる。配送先は、明石、大阪（内陸・湾岸）、



配送先	静岡	愛知東部	愛知西部 ・岐阜	大阪内陸	大阪湾岸	明石
走行距離	604km	362km	188km	321km	382km	401km
配送先総数	3	6	9	15	7	3
配送日数	4	8	6	18	9	17

図 2.2 中長距離輸送事業者の配送担当エリア

愛知・静岡方面の大きく3方面に分類され、明石方面へは休日を除いて毎日定期的に配送が行われており、それ以外の各方面は週に2～3回といったサイクルで配送が行われている。明石方面は担当車両が固定されているのに対して、それ以外の配送先では、担当車両は固定されていない。

(2) 都市内配送事業者

特定の荷主（食品製造工場）の貨物を運ぶ貸し切り輸送であり、都市内の多地点への定期的な巡回配送を行っている。図 2.3 は、調査対象としたB社の車両5台分の配送担当箇所を示したものである。また、図中の表には方面別の配送先数と活動時間を記している。なお、いずれの車両も2t車であり、2箇所異なる2種類の貨物を積載している。この図より、大阪市周辺の荷卸し箇所が多い地域では、重複もみられるが、概ね、尼崎周辺、大阪市都心部、大阪府南部方面、京都方面の各担当エリアに分かれている（実際には、これら以外に4方面の担当エリアが存在する）。なお、担当エリアと配送車両は基本的には固定されている。

各車両の配送箇所数は、大阪府南部方面に向かっている車両以外はほぼ同程度であり、活動時間は、遠距離の大阪府南部、京都方面の車両とともに、大阪市都心部を担当している車両においても長くなっている。

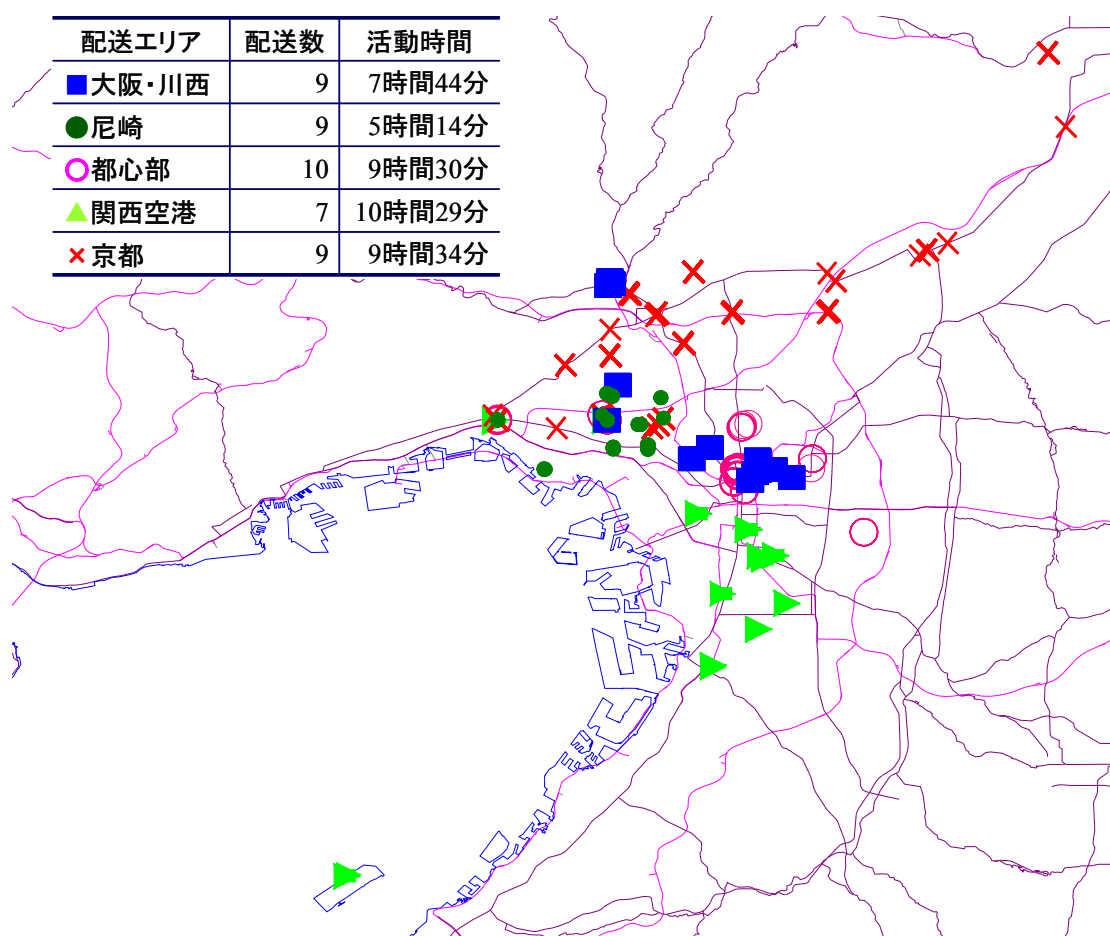


図 2.3 都市内配送事業者の配送担当エリア

図 2.4 は、これら 5 台の時間帯別の運行状況を示したものである。この図では、横軸に時刻をとり、出発、積載、荷卸し、帰社といった貨物車の運行状況の頻度を時間帯ごと（10 分間隔の頻度）に積み上げている。これによると、早い車両は深夜の 0:30 頃から会社を出発し、2:30 に出発のピークを迎えているが、その後 4～5 時台に出発する車両もみられる。積載は、出発直後から頻度が多くなり、出発後すぐに積載していることがわかる。その後、4～5 時台に再度、積載のピークを迎えるが、この時間帯では出発の頻度に対して積載の頻度が多いことから、深夜に出発した車両が再度積載を行っているものと考えられる。荷卸しは、積載直後から確認されるが、6 時台に荷卸しを行う車両が最も多く、荷主である店舗の開店時刻の 10 時までには大半の配送が完了している。配送が概ね完了する 10 時以降より帰社する車両がみられ始め、遅くとも 14 時までには全ての車両が帰社し、業務を完了している。このように、荷主の店舗開店時間までに配送を完了すべく、深夜から早朝にかけての早い時間帯から積載、荷卸しを開始している。

以降の分析では、A 社、B 社とも特定の貨物車を取り上げて 11 月の 1 ヶ月間における詳細な配送活動の実態について分析を試みる。ここでは、1 ヶ月間の道路区間別・時間帯別における走行速度や配送先への到着時刻、荷捌き所要時間などの日変動を明らかにするために、いずれも配送先、経路の固定された定期配送を行っている貨物車を分析対象とした。

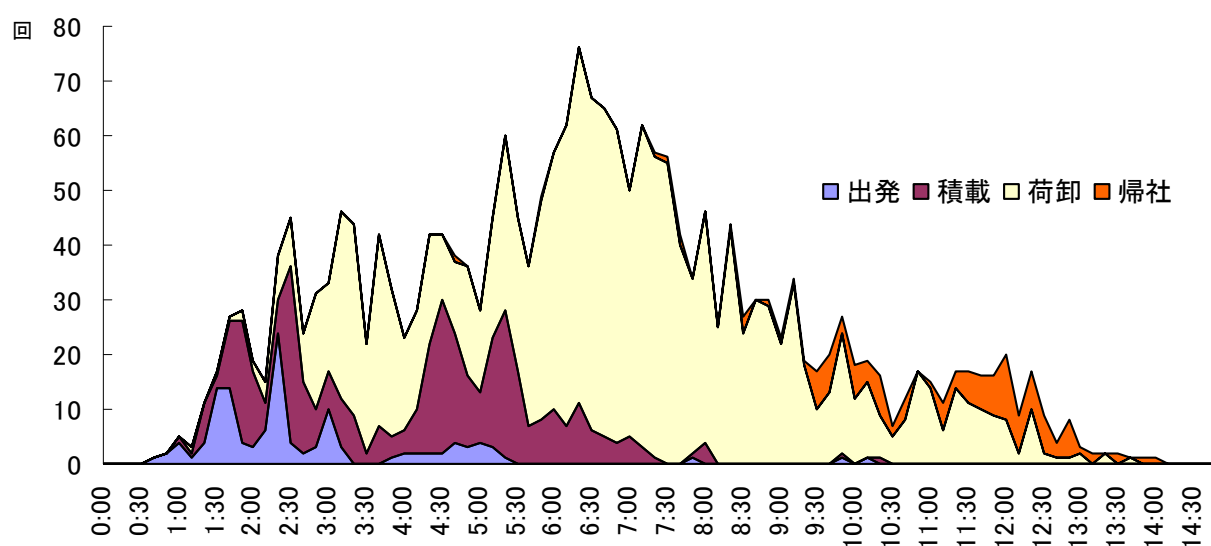


図 2.4 時間帯別の運行状況

2.3 貨物車両の配送実態

ここでは、中長距離による2地点間輸送と都市内における多地点配送を行う輸送形態の異なる2事業者を取り上げて、運行パターンや走行経路、配送箇所数といった基本特性を把握する。さらに、配車・配送計画を構築する上で重要となる、①走行速度の変動、②目的施設への到着時刻の分布、③荷捌き所要時間時間の分布、を示すとともに、④目的施設到着の定時性確保のための行動特性、を明らかにする。

まず、A社の分析対象車両について、中長距離輸送の運行状況の概要を示すとともに、幹線輸送における高速道路を含む道路ネットワーク上での時間帯別・区間別の走行速度の変動特性を示す。そして、こうした交通条件のもとで、目的施設への到着時刻や荷捌き所要時間の分布を示すとともに、目的施設への定時配送を実現するための行動特性を探る。

次に、B社の分析対象車両について、都市内における多地点巡回配送の実態を示す。そして、都心部を含む走行経路の区間別・時間帯別の走行速度の変動を示すとともに、配送先が集中する都心部での目的施設への到着時刻、荷捌き所要時間の分布特性を示す。また、余裕時間の少ない多地点配送における時間指定箇所への定時性確保の対応行動を探る。

2.3.1 中長距離輸送の実態

(1) 運行状況の概要

図 2.5 は、分析対象とした貨物車の1ヵ月間17日分の走行軌跡を示したものである。なお、走行軌跡の下には模式図を付記している。図に示すように、この車両は事業所付近の施設で前日に宵積みした貨物を積載して、午前3時ごろ出発し、約200km離れた目的施設3地点(荷卸しは隣接する2箇所を含む4箇所)への配送を行っており、配送終了後は、帰路の数カ所で一時休憩を取った後、翌日の配送貨物を事業所付近で積載し帰社するといったサイクルをとっている。車両は4t車を使用し、一日の平均走行距離は401.1kmであり、一般道と高速道路を併用して配送活動を行っている。

実験期間中の7日間、往路で使用している高速道路において集中工事による通行止め規制が行われている。このため17日間のうち6日間は工事区間を迂回し一般道を走行している。図中の円で囲んだエリアが経路の変更区間であり、この部分を拡大すると、高速道路を使用している軌跡と、迂回経路として一般道(途中2経路に分かれる)を通行している軌跡の二つに分かれる。

次に、図 2.6 は各配送日の出発時刻をそろえて、横軸に経過時間、縦軸に走行距離をとっており、直線の傾きが走行速度を示し、傾きが小さくなるほど走行速度が小さいことを示している。運行時間の63%が移動中、28%が停車中、残りの9%が休憩であり、停車の大半は目的施設での荷卸しに費やされている。また、迂回ルートを通行した配送日では、折れ線の傾きに変化が表れており、走行速度の低下がみられる。

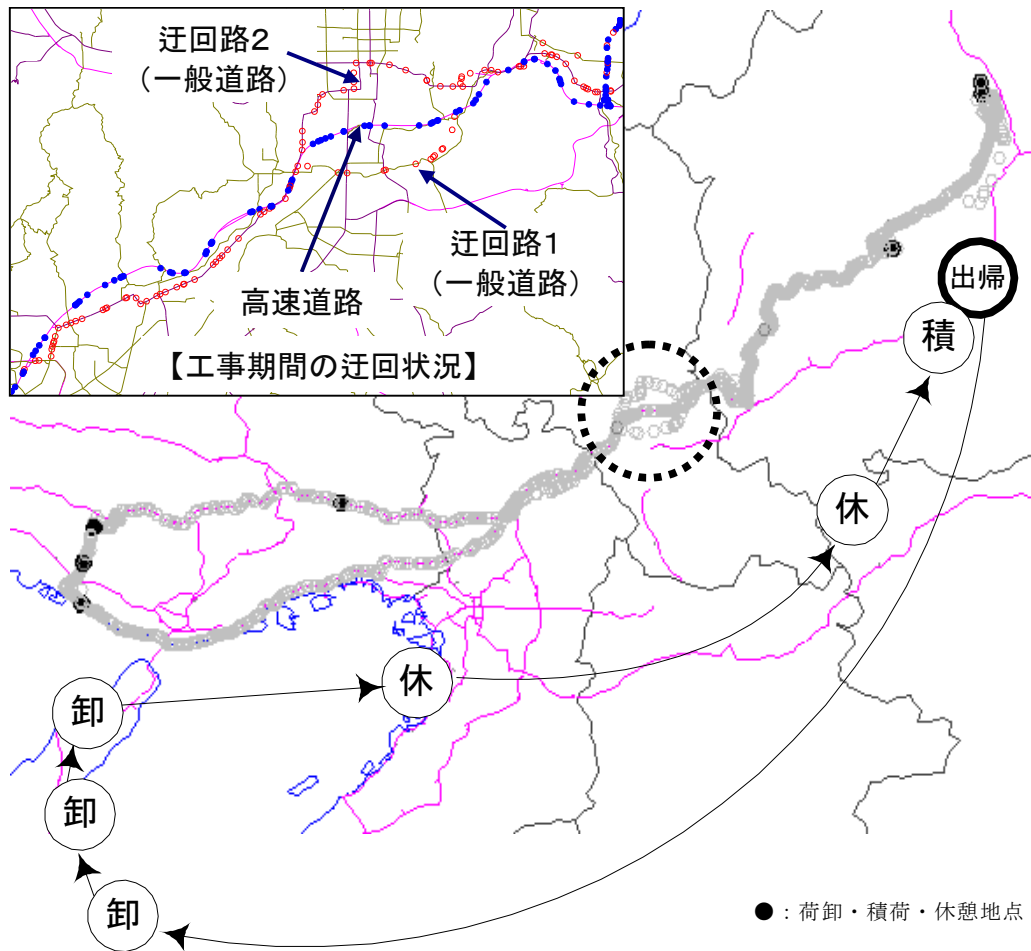


図 2.5 A 社の特定車両の走行軌跡（17 日間）

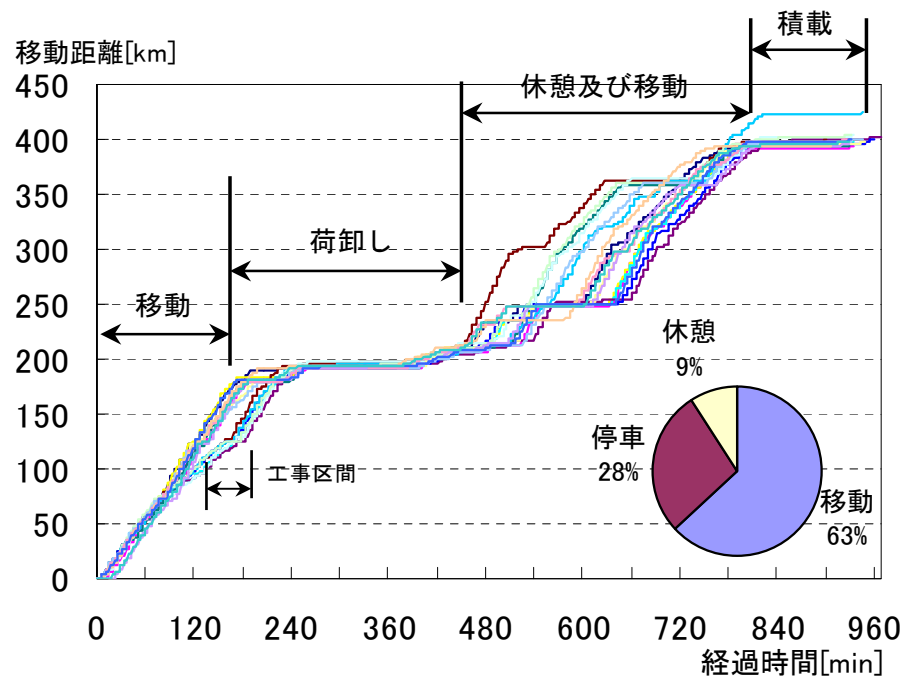


図 2.6 時間帯別の移動距離

（２）走行速度の変動

図 2.7 は地点別に走行速度の変化を示したものである。横軸に出発地からの走行距離、縦軸に走行速度をとっている。図の上下には、それぞれの距離帯における走行時間帯および作業状況・主要走行経路も付記しており、10.0km 区間ごとに平均走行速度を求めてその変化を折れ線であわせて図示している。高速道路の工事により経路の異なる区間が存在するため、通常通りの高速道路を走行しているサンプルと迂回しているサンプルに分けて表示している。これによると、一般道を走行する区間（事業所と高速道路インターチェンジの間の区間）は、同一の経路であるにもかかわらず、早朝に走行する往路と午後に走行する復路では、走行速度に違いがみられる。また、一般道と高速道路で走行速度に違いみられ、配送先付近では目的施設へ連続して荷卸しが行われているため、走行速度が著しく低下していることがわかる。一方、高速道路走行中は時間帯による走行速度の変化はみられないものの、サービスエリアで停車する前後やインターチェンジ付近での速度低下が確認できる。

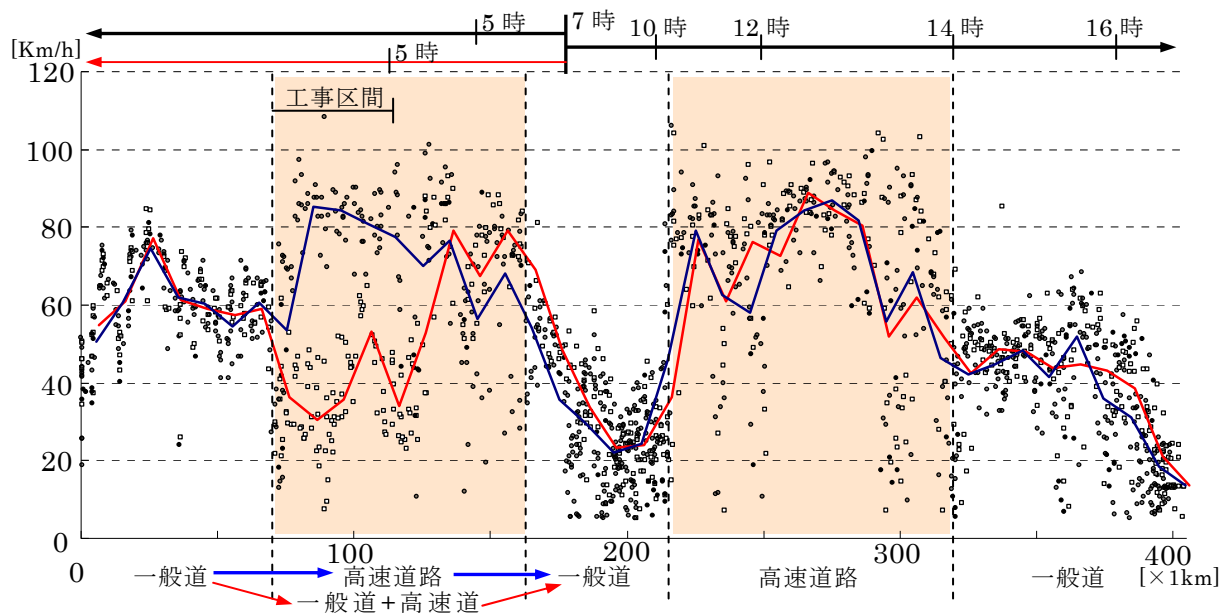


図 2.7 地点別の走行速度の変化

（３）目的施設への到着時刻と定時性確保のための配送行動特性

図 2.8 は、目的施設への到着時刻の分布状況を示したものである。この図では、各目的施設における到着時刻の平均値を中心とした分散を示しており、あわせて到着時刻の平均を中心とする正規分布曲線を表示している。これによると、平均到着時刻より 5 分以内で早着しているケースが全体の 34.3%と最も多く、到着の 90%近くが前後 10 分以内の到着であり、標準偏差は 6 分 58 秒となっている。また、到着時刻の分布形状も概ね正規分布の形状と一致していることがわかる。

このように、目的施設までの走行距離が 200km に及ぶにもかかわらず、目的施設への到

着時刻はほぼ一定である。この理由としては、走行所要時間が比較的安定しているとともに、目的施設付近に予定時刻より早めに到着し、待機を行うことにより時間調整を行っているためである。表 2.2 は、工事期間中と通常時にわけて、出発時刻と、待機場所までの走行時間、待機時間の平均値を比較したものである。これによると、まず通常時の待機時間は約 1 時間であり、標準偏差は 17 分 41 秒となっている。

一方、工事期間中は、通常時に比べて、やや早めに出発しているが、走行時間が通常時に比べて 1 時間余分にかかっており、待機時間はかなり短くなっている。今回のケースでは、出発時刻の調整よりもむしろ、目的施設付近での待機により、一般道への迂回による所要時間の増加分を吸収している。

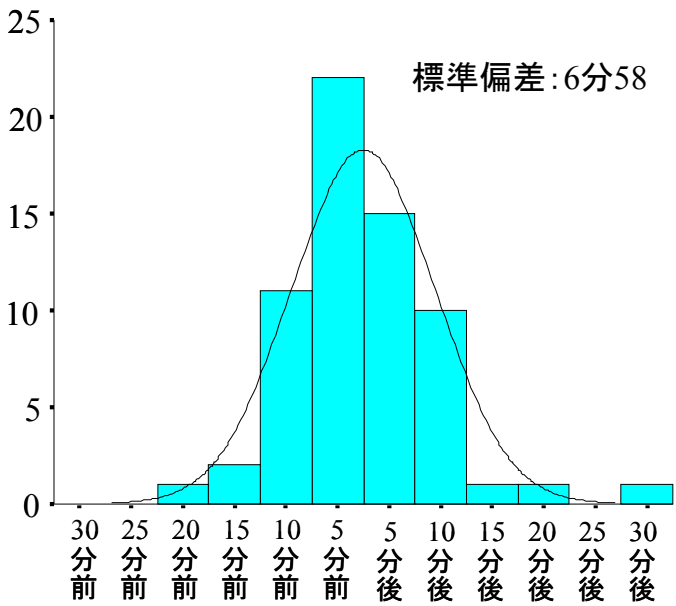


図 2.8 目的施設への到着時間の分布

表 2.2 道路状況による時間調整行動の比較

	出発時	走行時間	時間	的施設時
工事無し (標準偏差)	2:51:49	3時間07分 9分52)	1時間02分 17分41)	7:01:42
工事有り (標準偏差)	2:38:31	4時間04分 8分11)	12分 11分24)	6:54:31

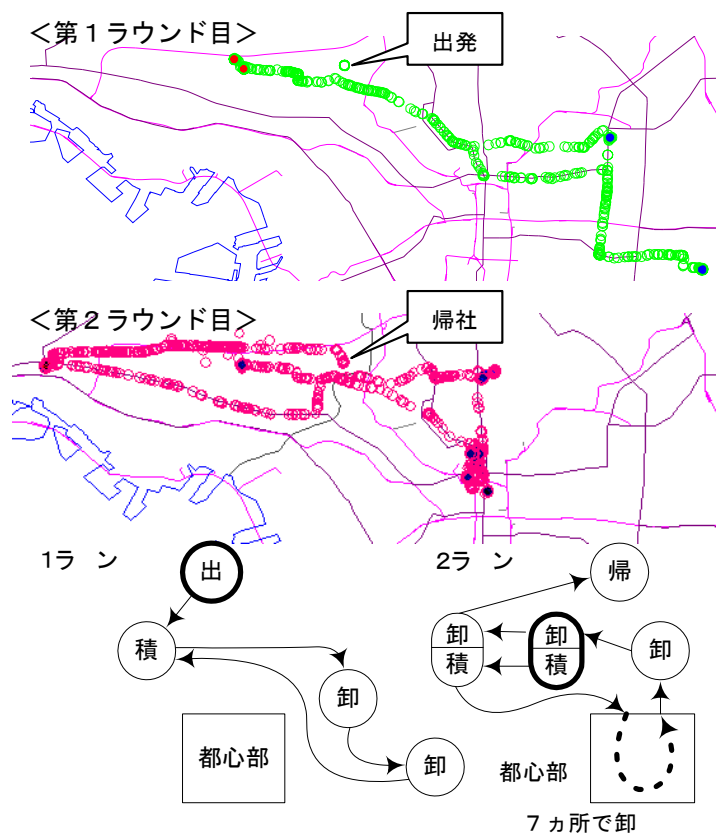
2.3.2 都市内配送の実態

(1) 運行状況の概要

図 2.9 は、分析対象とした貨物車の 1 ヶ月 23 日分の走行軌跡を示したものである。この車両は、午前 2 時過ぎに会社を出発し、第 1 ラウンド目として、1 ヵ所で貨物を積載した後、2 ヵ所への配送を行っており、その後、第 2 ラウンド目として、2 ヵ所で異なる種類の貨物を積載し、都心部 7 ヵ所を含む 8 ヵ所への配送を行っている。その後、返送貨物

(パレット)を当初の積載地点で卸し、帰社するというパターンを取っており、配送経路は一般道のみを使用し、一日の平均走行距離は 124.8Km である。

こうした動きを時間と距離の推移で示したのが、図 2.10 である。出発後 4 から 6 時間の直線の傾きが緩やかな時間帯では都心部で配送を行っており、グラフは小刻みな変化を



注 1) 図中で濃い丸印の地点は停止作業中の地点を示す

注 2) 出：出発、帰：帰社、卸：荷卸し、積：積載、休：休憩

図 2.9 特定車両の走行軌跡（23 日分）

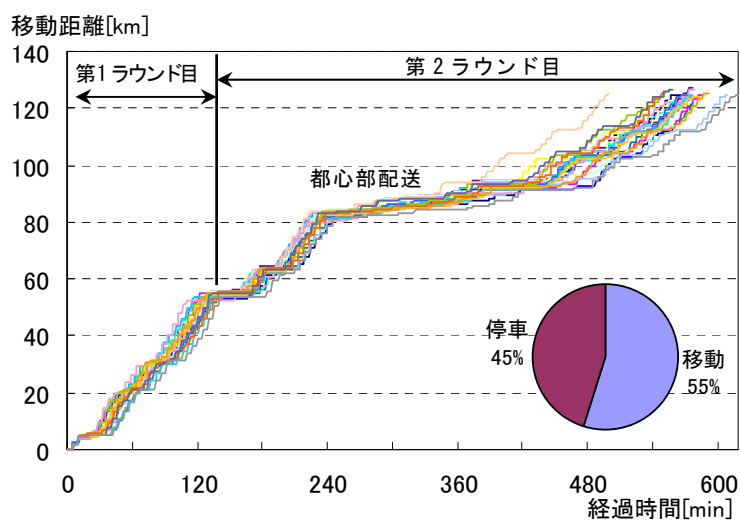


図 2.10 時間帯別の移動距離

示していることから多数の地点へ配送している様子がみてとれる。なお、移動と停車の割合は、運行時間の 55%が移動中で、残る 45%の停車時間は荷卸・積載とともに待機にも費やされている。

（２）走行速度の変動

図 2.11 は地点別に走行速度の変化を示したものである。横軸に出発地からの走行距離、縦軸に走行速度をとっている。図の上下には、それぞれの距離帯における走行時間帯および作業状況・主要走行経路も付記しており、2.5km 区間ごとに平均走行速度を求めてその変化を折れ線であわせて図示している。また、荷卸しや積載といった作業が行われた地点前後で速度の低下がみられる。

この図より、まず 1 日全体としての地点別走行速度の変化をみると、時間の推移あるいは場所の移動に伴って一定の速度変化パターンが読みとれる。午前 2 時から 6 時までの深夜から早朝の時間帯にかけて走行速度は 30km/h 前後で推移しているが、7 時台以降は走行速度が急激に低下している。特に、走行速度が著しく低下した 7～8 時台は都心部で多数の地点への配送を行っていることが大きく影響している。

一日のうち複数回通過している同一の道路区間（起点を尼崎市、終点を神戸市長田区とする総延長約 29.5km の神戸市道「山手幹線」の内、約 6.4km 区間）について、時間帯別の走行速度を日別に示したものが図 2.12 である。これによると、早朝の 5 時台は平均速度が 39.1km/h であるのに対し、10 時台と 11 時台はそれぞれ 24.3km/h、26.0km/h となっており、平均速度は低くなっている。このように、同一区間においても時間帯により走行速度が異なっており、交通混雑などの道路状況の影響を受けている様子が伺える。

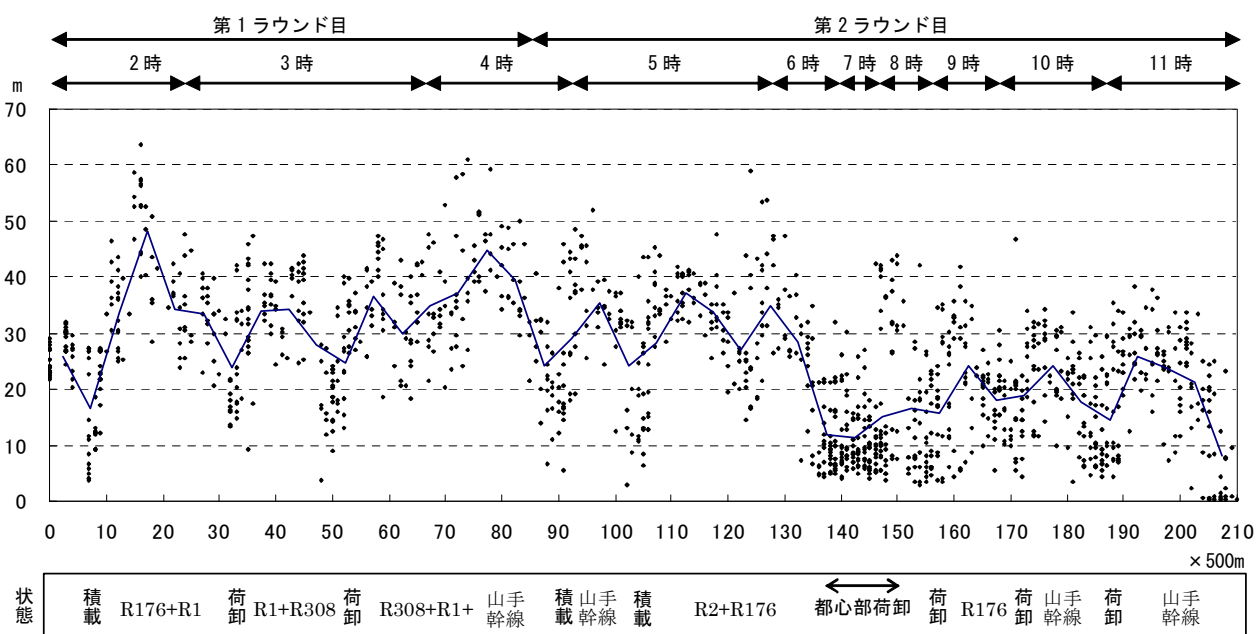


図 2.11 地点別の走行速度の変化

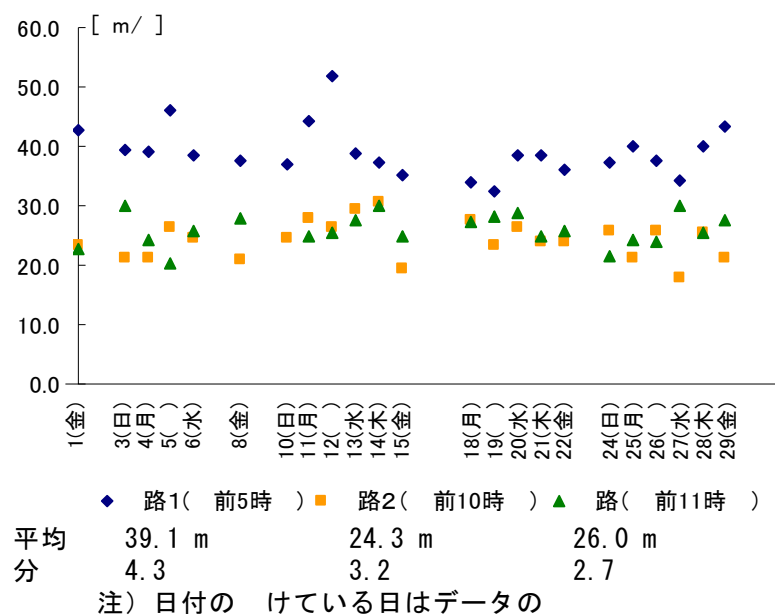


図 2.12 特定区間の時間帯別の走行速度

(3) 目的施設への到着時刻と荷捌き所要時間の分布

図 2.13 は、目的施設への到着時刻の分布を各目的施設における到着時刻の平均値を中心とした分布で示したものである。これによると、都心部 7 ヶ所の配送先へ計 161 回訪問しているが、平均到着時刻より 5 分以内に全体の半数以上、到着の 86.9%が前後 10 分以内での到着であり、標準偏差は 7 分 41 秒となっており、ほぼ定刻に目的施設に到着していることがわかる。

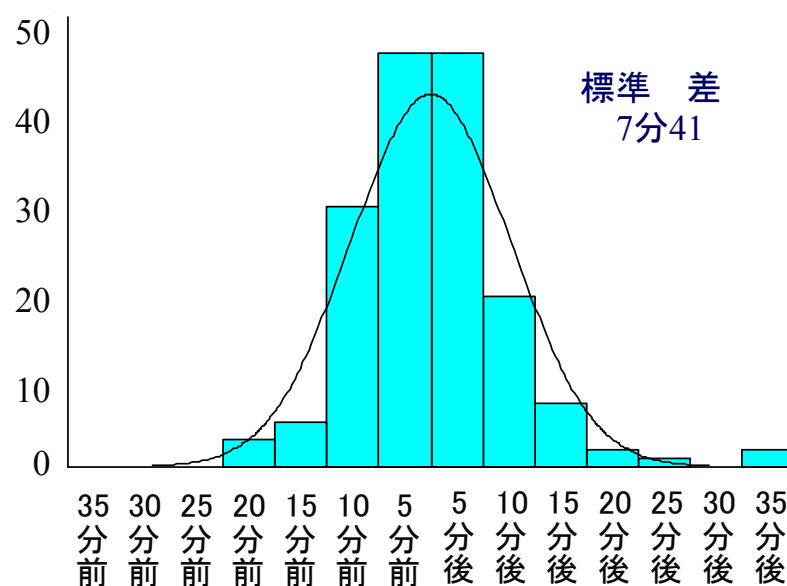


図 2.13 目的施設への到着時間の分布

また、都心部の配送先7ヵ所に関して配送先別に荷捌き時間の分析を行った。図 2.14 はその結果を示したものである。なお、この図では、平均荷捌き時間と標準偏差も示している。この図によると、配送先によって荷捌き時間に平均値で6分から30分と大きな違いがみられるが、それぞれの平均値に対する標準偏差はそれ程大きくない。特に、地下街への配送を行っている地点Fでの荷捌き時間が長くなっているのに対して、同様に地下街への配送を行っている地点Gでは、停車時間が短くなっているが、この地点Gには地下駐車場が完備されており、スムーズに配送が行えるためである。また地点Aでは、一度の停車で2ヵ所へ配送を行うため荷捌き時間が長くなっている。この地点では路上駐車が困難なため、有料の駐車場を借りて荷捌き活動を行っている。

なお、分布形状については、目的施設への到着時刻および配送先地点別における荷捌き所要時間ともに平均を中心とした正規分布である。

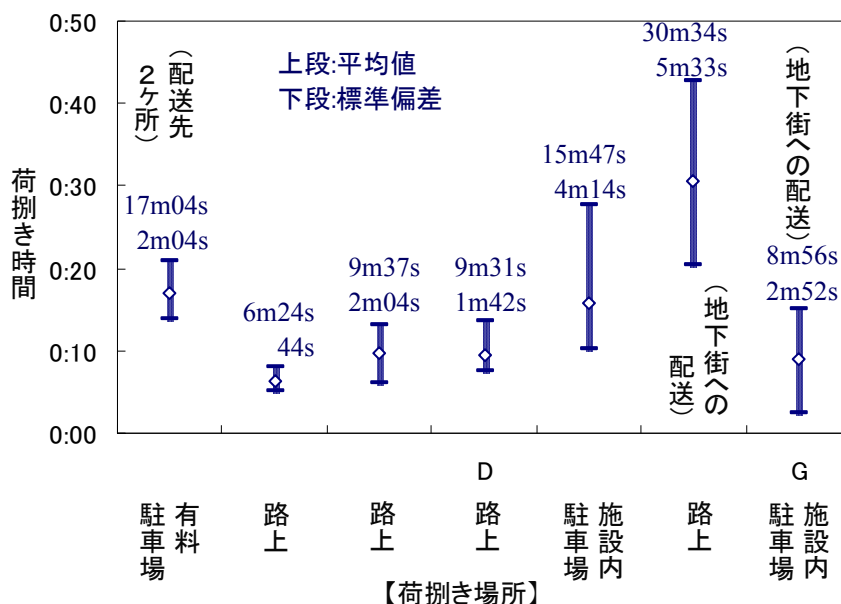


図 2.14 配送時点別の荷捌き時間の分布

(4) 定時性確保のための配送行動特性

都心部における配送では、配送先が複数存在し、余裕時間が少ないため、配送先の指定時間に対応するために配送順序の組み替えがみられた。

図 2.15 は、配送地点A～Gを地図上に示し、図の下には配送順を付記している。この図に示すように、計22日分の配送は2パターンに分けることができ、パターン1と2のサンプル数はそれぞれ13と9となっている。なお図中では、太線で走行経路を示しているが、走行経路は走行地点を示す位置データと一方通行などの交通規制を勘案して最短経路探索を行って推測している。これによると、いずれも最初の3ヵ所の配送先へは同じ順序で巡回しているものの、それ以降については、パターン1ではD→E→Fの順に、パターン2ではE→F→Dの順にそれぞれ巡回している。時間指定の厳しい地点Eへの遅延を防ぐた

め、こうした配送行動をとっている。

そこで、図 2.16 は順序変更の起点となる地点Cの出発時刻と地点Eへの到着時刻の分布をパターン別に示したものである。この図より、パターン1では、パターン2に比べて地点Cでの出発時刻が明らかに早くなっているのに対して、地点Eへの到着時刻にはパターンによる差はあまりみられない。こうしたことから、パターン1のように地点Cを出発した時点で時間的に余裕がある場合には、先に地点Dへの配送を行い、その後地点Eに立ち寄っているが、パターン2のように時間に余裕が無い場合には、先に地点Eに立ち寄っていることがわかる。このように、地点Cでの出発時刻に応じて配送順序を変更している。なお、地点Cを出発してから地点Gに到着するまでの平均所要時間をパターン別で算出すると、パターン1では1時間23分、パターン2では1時間31分と約8分の差がみられる。都心部の道路では、一方通行規制の道路が多く、パターン2の方がパターン1よりも結果として巡回ルートが複雑な分だけ所要時間は余分にかかっている。

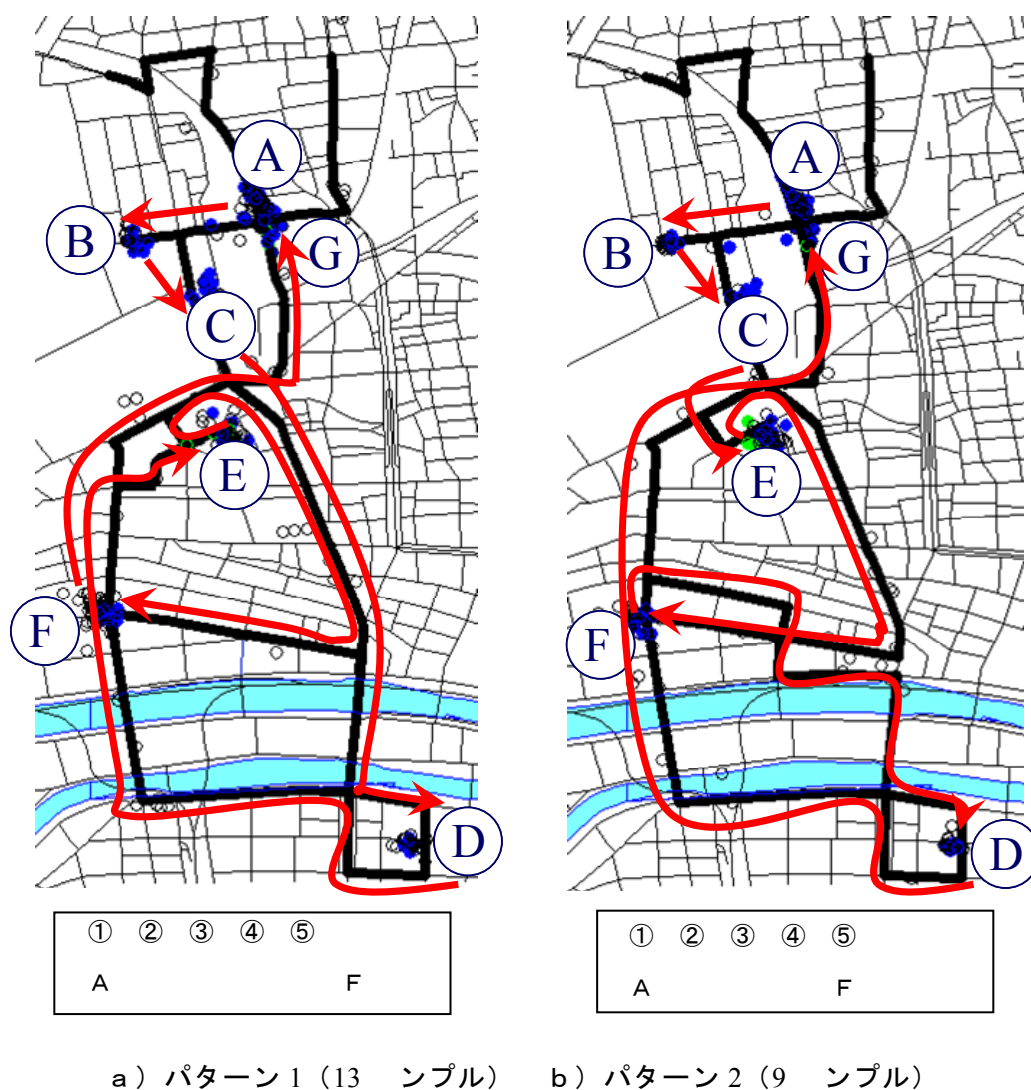


図 2.15 都心部における配送 序と配送経路

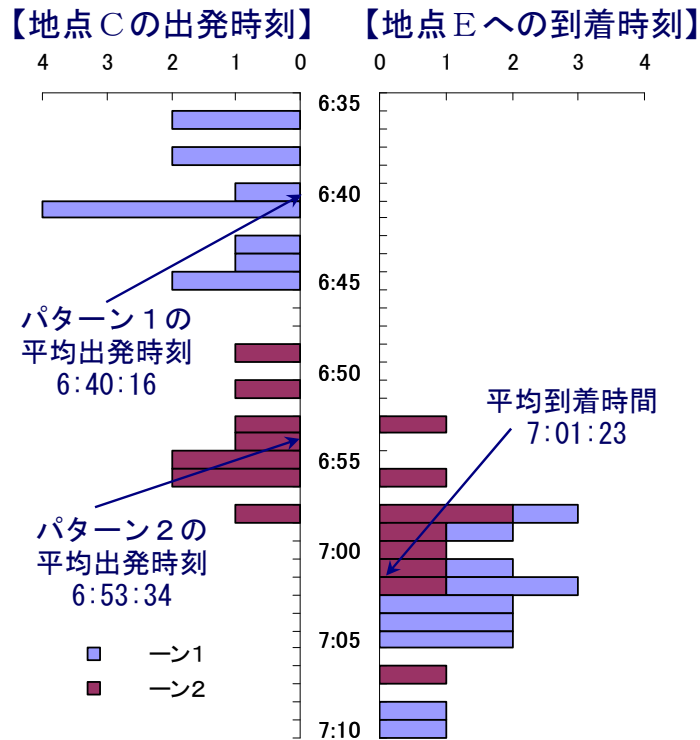


図 2.16 出発時刻(地点)と到着時刻(地点)

2.4 時間指定のある配送先への出発時刻の決定行動

地点間を移動する場合、移動に費やす旅行時間が必要となるが、目的地への到着時刻を考慮して出発時刻を決定することが多い。特に物流活動においては荷主が要求する指定時刻までに物資輸送を行う必要がある。そして、配送者は指定時刻に対して遅れることのないよう最大限の努力を払うものと考えられる。しかし、交通量の変化などから輸送に費やす旅行時間は常に一定ではなく、不確実な要素であるといえる。ここでは、旅行時間の平均値と標準偏差から求められる遅刻確率を用いて、指定時刻の存在する目的施設へ遅れずに到着するための最適な出発時刻の決定行動について分析を試みる。

2.4.1 最適出発時刻の考え方

Hall¹⁵⁾は、到着指定時刻に対する遅刻確率を与えたとき、以下の方法により最適な出発時刻を決定することができることを示している。今、出発時刻 t_0 、到着指定時刻 t_d 、実際の到着時刻 T_a 、旅行時間の期待値 μ_t 、旅行時間の標準偏差 σ_t とする。そして、到着指定時刻に対して遅刻する確率を表す関数が前もって存在すると仮定する。このとき、旅行者は、到着指定時刻 t_d に対する最小の遅刻確率である遅刻リスク α を受け入れ、かつ出発時刻 t_0 をできるだけ遅くする行動を取ると考える。ここで、旅行時間が、期待値 $\mu_t = E(T_a - t_0)$ 、標準偏差 σ_t の正規分布に従うとすると、最適な出発時刻 t_0^* は式(2-1)により求められる。

ただし、 $\Phi^{-1}(\cdot)$ は、標準正規分布の逆分布関数である。

$$t_0^* = t_d - (\mu_t + \sigma_t \Phi^{-1}(1 - \alpha)) \quad (2-1)$$

松本ら 16)は、こうした考え方を適用して、旅行時間の不確実性が指定時刻のある場合の貨物車による物資輸送への影響を分析している。

2.4.2 出発時刻の決定行動

ここでは、上述の考え方をを用いて、旅行時間の不確実性を考慮し、貨物車が指定された時刻に遅刻する確率を出発時刻ごとに求め、遅刻確率の変化から出発時刻の決定行動を分析した。なお、分析対象は、①中長距離輸送と②都市内配送の2事業者に対して、それぞれ行っている。

(1) 中長距離輸送への適用

A社の車両を対象として、高速道路を走行する通常のトリップ（「平常時」と言う）と高速道路を迂回し一般道を走行するトリップ（「工事中」と言う）に分け、走行経路に変更が見られた場合の遅刻リスクの変化と出発時刻との関係について分析を試みた。

遅刻確率の算出に際しては、旅行時間の正規性が前提となる。データ分布の正規性を確認するためには、Kolmogorov-Smirnov 検定などのノンパラメトリックな方法により検定を行う必要があるが、こうした検定を実施する場合には十分なサンプル数（30 以上）が必要となる。今回の分析ケースでは、両ケース共にサンプル数が少数であるため、こうした検定の適用が困難である。こうした場合、一般的には、正規性を検証するため、正規確率紙による視覚的な判断および尖度、歪度の値を用いて正規性の検定が行われる。

表 2.3 はデータの尖度および歪度を示したものである。2つの値は0に近いほど正規分布に近いことを示す指標であり、絶対値で2を超えるとデータの分布に正規性がないといえる。なお、尖度は、本来3に近いほど、正規分布に近い形状を表すが、ここでは0に近いほど正規分布に近くなるように、尖度を補正している。この結果より、両ケース共に、尖度、歪度の値は絶対値2を超えておらず、比較的0に近いことから、正規性を否定することはできない。また、図 2.17 の正規確率紙による正規性の検証結果では、両ケース共にデータが直線上に並んでいることから、概ね正規分布であるとみなすことができる。

表 2.3 行時間データの 度と 度

	サン	数	平均	行時間	標準偏差	度	度
平常時		11		3:36:27	12分43	-0.74	0.19
工事中		7		4:29:54	7分10	-0.63	-0.50

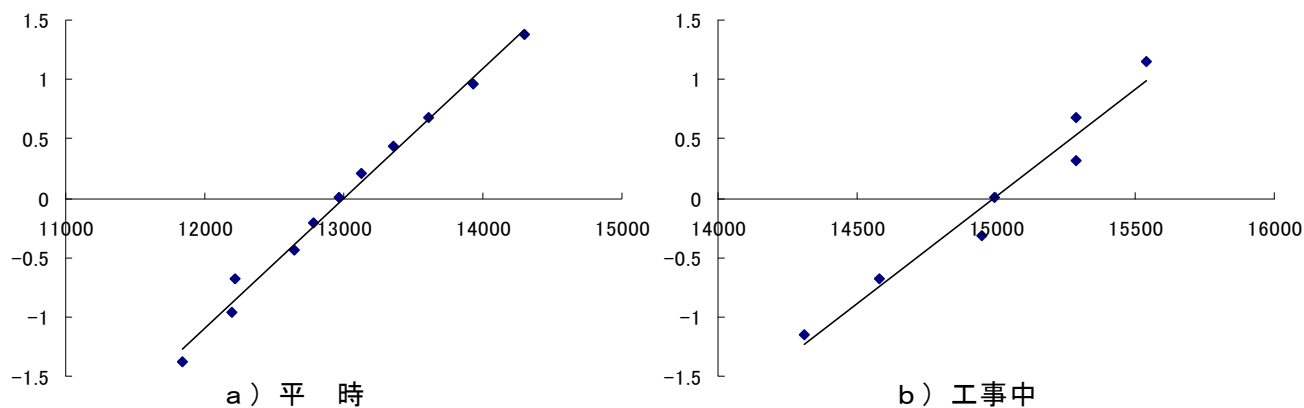
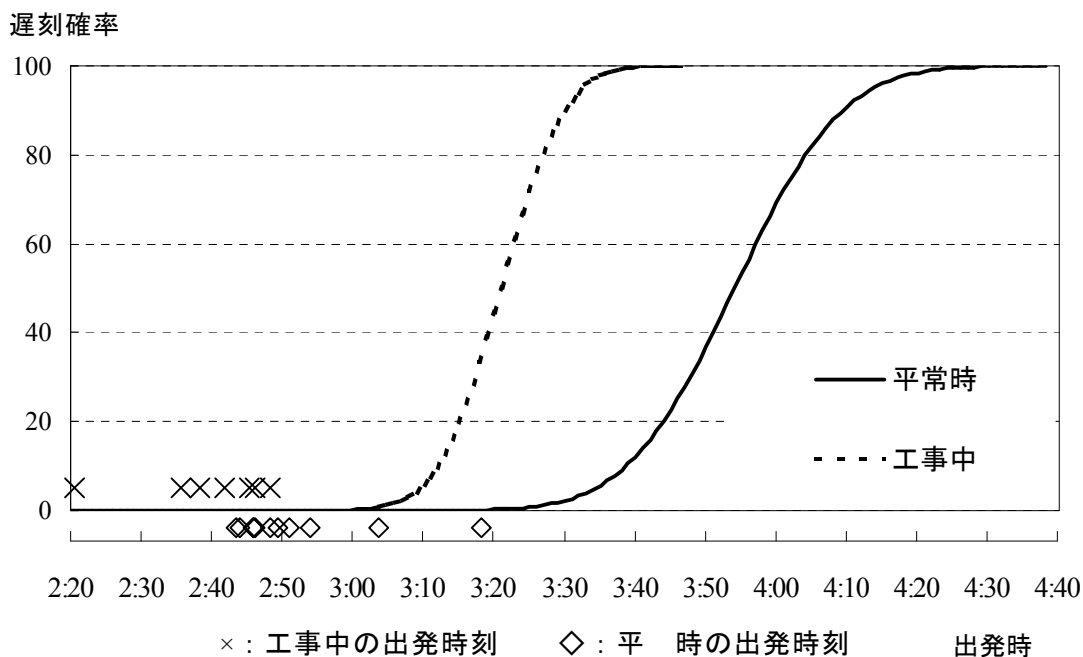


図 2.17 正規確率 による正規性の 証

図 2.18 は、配送実態から旅行時間の期待値と標準偏差、到着指定時刻をもとに遅刻確率を求め、横軸に出発時刻、縦軸に遅刻確率をとって表示したものである。これをみると、輸送経路の変更に伴い旅行時間に変化が表れた為に遅刻確率は一般道へ迂回したトリップの方がより急激に高まるという傾向がみられた。グラフの傾きはデータの標準偏差によって決まり、標準偏差が小さいほどグラフの傾きは大きくなる。今回のデータでは実態のデータから迂回経路を走行しているサンプルの方が旅行時間の標準偏差は小さくなっているが、これは平常時よりも条件的に厳しい状態にあるために旅行時間が一定値に近づけるよう行動したためと考えられる。

また、遅刻確率が 5%となる場合の出発時刻についてみると、平常時のトリップの場合は午前 3 時 35 分、工事により迂回経路を走行する場合では午前 3 時 10 分と 25 分間の違いがみられた。同じ遅刻リスクで輸送を行う為には、工事により迂回経路の走行を余儀なくされる場合には出発時刻を通常よりも早める必要があることが、この分析結果よりわかる。



× : 工事中の出発時刻 ◇ : 平 時 の 出 発 時 刻 出 発 時 刻

図 2.18 道路状況の いによる遅刻確率の変化

ここで、図中の◇は実際の平常時の出発時刻、×は実際の工事中的出発時刻をそれぞれ示したものである。これによると、両ケースともに遅刻確率がほぼ 0%の出発時刻に輸送を開始しており、到着指定時刻の午前 7 時 30 分に対して遅れずに到着しようとしていることがわかる。これらのことから、指定時刻に遅れることの無い輸送を実現しており、毎日の輸送行動に対する定時制の確保を確実なものにしようとしていることが伺える。

(2) 都市内配送への適用

先ほどの図 2.15 で述べたように、到着指定時刻を持つ地点 E に対する定時性を確保するため、配送順序の変更がみられた。そこで、通常の配送順序の場合（パターン 1）と配送順序の変更が行われた場合（パターン 2）のそれぞれの場合について、旅行時間データの正規性を確認した上で、その平均値と標準偏差から遅刻確率を算出し、出発時刻との関係を求めた。なお、旅行時間の正規性は、前述の中長距離輸送のケースと同様の方法により検証した。

表 2.4 はデータの尖度および歪度を示したものである。2つの値は 0 に近いほど正規分布に近いことを示す指標であり、絶対値で 2 を超えるとデータの分布に正規性がないといえる。なお、尖度は、本来 3 に近いほど、正規分布に近い形状を表すが、ここでは 0 に近いほど正規分布に近くなるように、尖度を補正している。この結果より、両ケース共に、尖度、歪度の値は絶対値 2 を超えておらず、比較的 0 に近いことから、正規性を否定することはできない。また、図 2.19 の正規確率紙による正規性の検証結果では、両ケース共にデータが直線上に並んでいることから、概ね正規分布であるとみなすことができる。

表 2.4 行時間データの 度と 度

配送	サン	数	平均	行時間	標準偏差	度	度
ーん1(D)		14	22分31		1分31	-0.54	0.24
ーん2()		8	4分10		40	0.05	-0.86

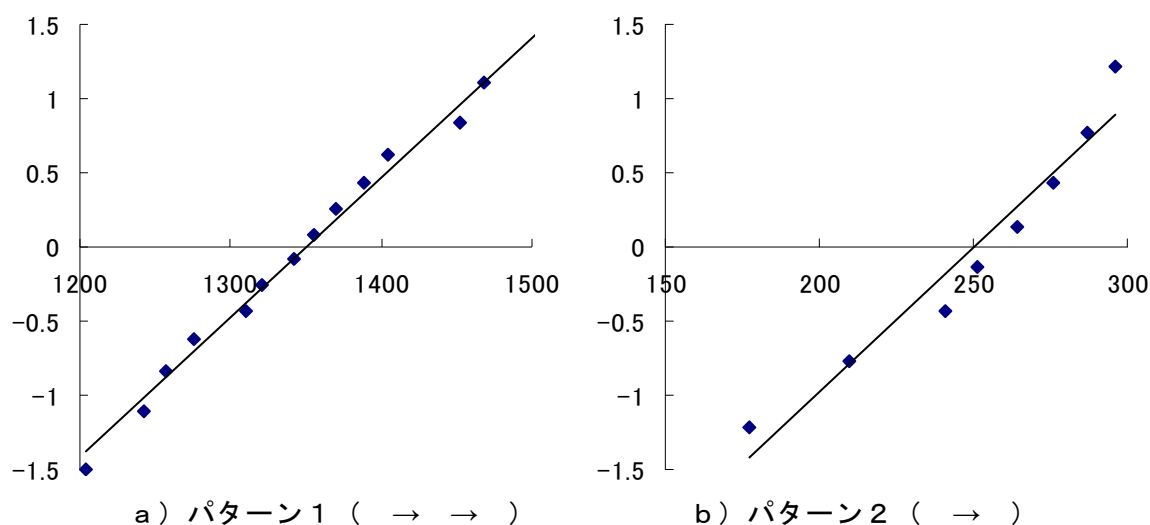


図 2.19 正規確率 による正規性の 証

図 2.20 は出発時刻毎のE 地点到着における遅刻確率の変化を示したものであるが、地点E へ直接向かうパターン 2 の方が、傾きは急になっており、少しの遅れがより大きく遅刻確率に影響を及ぼしていると考えられる。また、図中の◇はパターン 1 の出発時刻、□はパターン 2 の出発時刻を示しているが、6 時 45 分頃を境にして配送順序が異なっており、配送順序を変更することで地点 E への遅刻確率を減少させていることがわかる。

遅刻確率

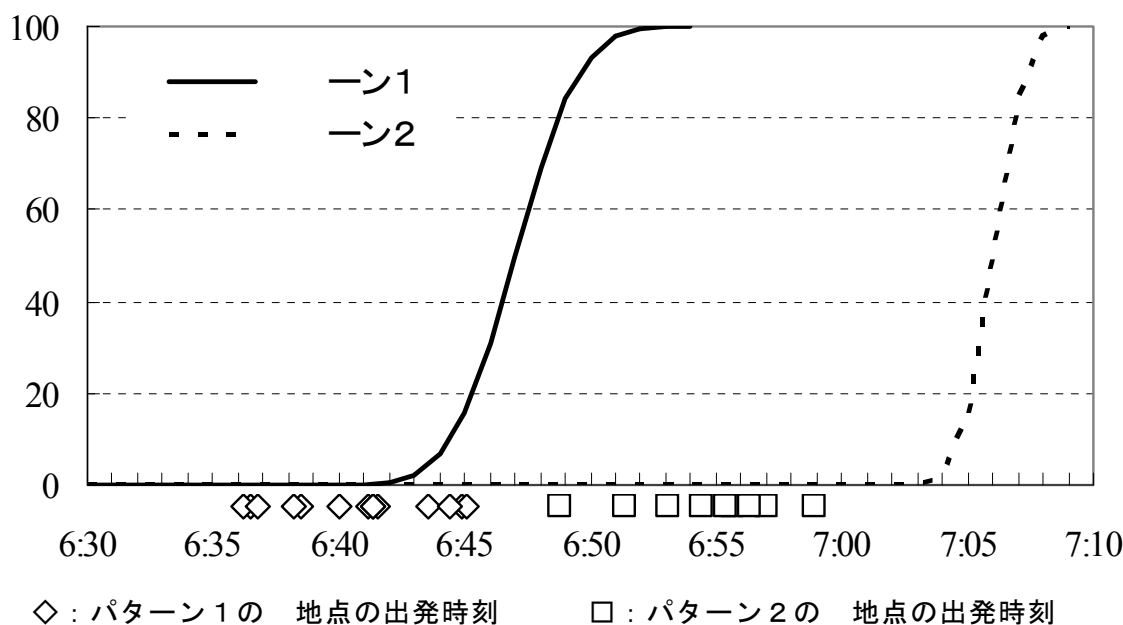


図 2.20 配送 序の いによる遅刻確率の変化

2.5 複数の配送先への配送 序の選択行動

複数の配送先を巡回して配送を行う場合、配送者は積載容量や指定時刻などの制約条件を考慮した上で、所要時間の総計が最小となる配送順序で巡回を行える配送計画を作成するものと考えられる。ここでは、複数ある配送順序の中で、各配送順序が最短となる確率を旅行時間と荷捌き時間の変動（平均値と標準偏差）をふまえて算出し、この確率をその経路を選択する選択確率として表す。この選択確率を用いることによって、最適な配送順序の選択行動について分析する。なお、ここでの分析は、中長距離輸送事業者は対象とせず、都市内にて複数の配送先に定期配送を行っている都市内配送事業者 B 社のみを分析対象とした。

2.5.1 都市内での配送実態

図 2.21 は、特定の 1 台の貨物車を分析対象として、先の図 2.4 と同様に時間帯別の運行状況を図示したものである。当該車両は、深夜 1:00～2:00 の時間帯に会社を出発、直後

に積載をして、その後 6:00 にかけて荷卸しを行っている。また、6:00 台に積載が多いことから、6:00 までに一度配送を完了して、その後、別の場所に 2 ラウンド目の配送を行っている。なお、この図からは、配送が 13:00 頃まで継続的に行われているように読みとれるが、実際に地図上で運行状況をプロットして確認したところ、10 時以降の荷卸しについては、積載箇所と同一場所であることから、返済貨物を積載場所で荷卸ししているためである。

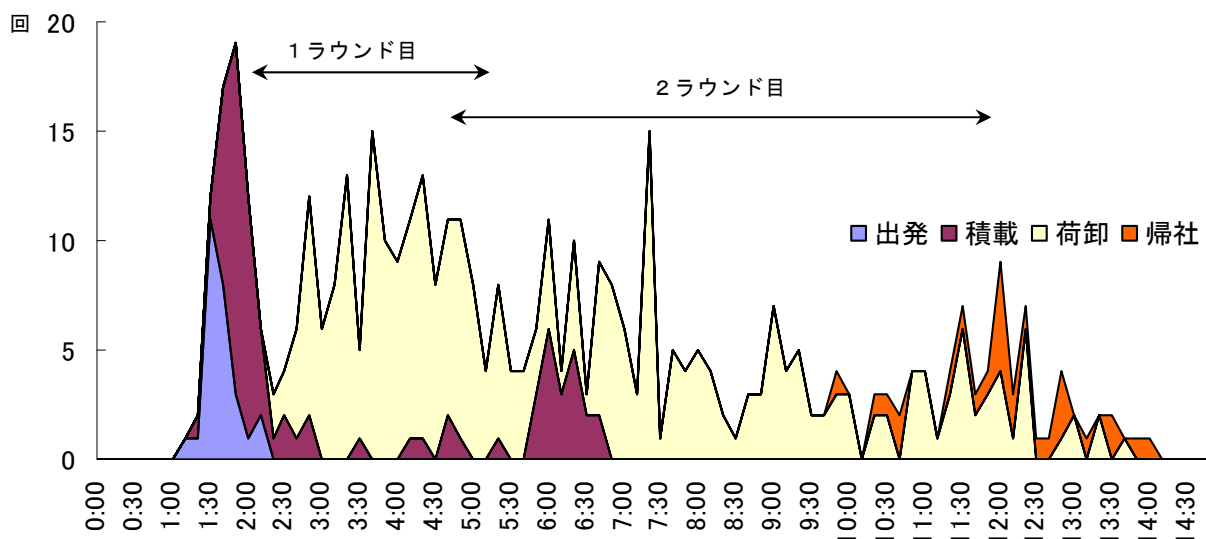


図 2.21 時間帯別の運行状況（特定の車両 1 台分）

2.5.2 行時間の不確実性を考慮した経路選択確率の考え方

辻ら¹⁷⁾は経路 i の所要時間を t_i としたとき、他の複数の経路 j と比較し、 t_i が最も短時間となる確率を求め、それが経路 i を選択する確率とすることを提案している。すなわち、今、2 地点間に 2 本の経路 i, j があるものとし、いずれの経路が選択されるかは確率変数で表される所要時間の予測値を用いて決定されると考える。経路 i の所要時間を t_i 、経路 j の所要時間を t_j とすると経路 i の選択確率は $t_i \leq t_j$ を満たす確率、つまり経路 i の所要時間が経路 j の所要時間を下回る確率と考え、これを ϕ_{ij} とすると式 (2-2) のように表せる。なお、図 2.22 に $t_i \leq t_j$ を満たす確率を図示している。

$$\phi_{ij} = \int_0^{\infty} \left(\int_{t_i}^{\infty} F_j(t_j) dt_j \right) F_i(t_i) dt_i \quad (2-2)$$

ただしここで、 t_i と t_j ($i \neq j$) は互いに独立であるとする。

次に n 本の経路の中で経路 i が最短所要時間となる確率は、経路 i 以外の所要時間の予測値に対して $t_i \leq t_j$ ($i \neq j$) を満たす確率であり、 ϕ_i とすると式 (2-3) のように表せる。

$$\phi_i = \int_0^{\infty} \left\{ \prod_{j=1}^n \int_{t_i}^{\infty} F_j(t_j) dt_j \right\} F_i(t_i) dt_i \quad (i \neq j) \quad (2-3)$$

$F_i(t_i), F_j(t_j)$: 確率密度関数

ここでは、複数の配送先がある場合に、それらの配送順序の所要時間を上述の経路の所要時間と考えた。そこで、まず TSP (Traveling Salesman Problem: 巡回セールスマン問題) を解いて候補とする上位 n 本の配送順序を求める。次に、この候補の中から配送順序 i を選択する確率を算出するため、各配送順序の所要時間の確率密度関数を平均値と標準偏差から求めた。なお、ここで平均値は、後述の旅行時間推計式より得られる平均旅行時間と、実際の平均荷捌き時間の和として求めた。また、標準偏差は、同様に後述の推計式より与えられる旅行時間の標準偏差と、実際の荷捌き時間の標準偏差の平方和として求めた。最後に、配送順序 i の確率密度関数とそれ以外の配送順序の確率密度関数の比較により、配送順序 i を選択する確率を求める。

なお、それぞれの配送順序の所要時間は、図 2.22 に示すような正規分布である必要があるが、旅行時間および荷捌き時間ともに、概ね正規分布であることを確認しており、ここでは、これらの合計値である所要時間も正規分布であると仮定している。

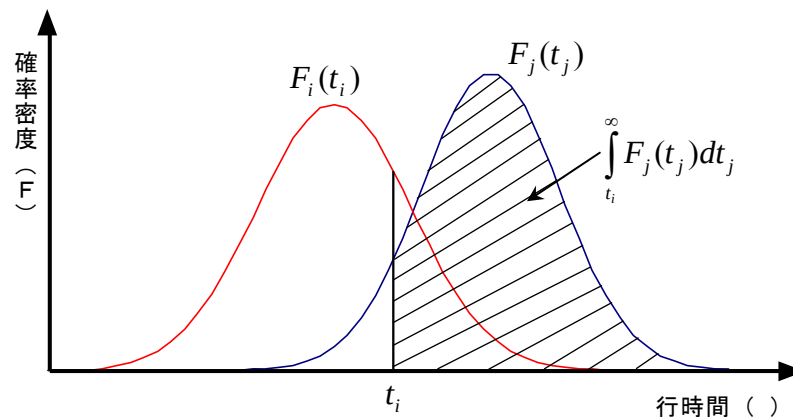


図 2.22 経路 j が経路 i に対して時間的に上回る確率

2.5.3 平均 行時間と変動係数の推計

選択確率の算出に必要な配送順序における経路の平均旅行時間と標準偏差を求めるため、実際のプローブデータから、車両が走行した 22 経路をサンプルとして抽出した。これらのデータを用いて、走行距離と平均旅行時間の関係、および変動係数と平均旅行時間の関係を求めた。

(1) 走行距離と平均 行時間の関係

抽出した 22 経路のデータを用いて走行距離と平均旅行時間の関係を調べた。ここでは、交通量の変化とともに車両の旅行時間も変動すると考えられるため、午前 2 時～6 時を深夜・早朝、午前 7～12 時を午前中として、時間帯を分けて推計を行った。

図 2.23 は深夜・早朝と午前中の時間帯に分けて走行距離と平均旅行時間の関係を示したものである。図中にはそれぞれの回帰直線も示している（深夜・早朝： $y=1.71x+2.85$ $R^2=0.99$ 、午前中： $y=2.71x+5.89$ $R^2=0.97$ ）。これらをみると、走行距離が長くなるに従って平均旅行時間は増加する傾向がみてとれる。そして、深夜・早朝の時間帯に比べ午前中に走行するケースの方が平均的な旅行時間は長くなっており、距離が延びるに従ってその傾向は大きくなっている。したがって、深夜・早朝の時間帯に配送を行う方が、同じ経路を利用した場合でも配送に費やす時間が短くなるといえる。

（２）変動係数の推定

次に、平均旅行時間から変動係数を推定した。図 2.24 は、横軸に平均旅行時間、縦軸に変動係数（標準偏差/平均値）をとって図示したものである。これによると走行距離と変動係数の関係から指数関数による近似曲線（ $y=0.47x^{-0.47}$ $R^2=0.39$ ）を算出するとその決定係数は低いものの、変動係数は道路リンクの距離が長くなるに従って 0.1 前後に収束する傾向にある。

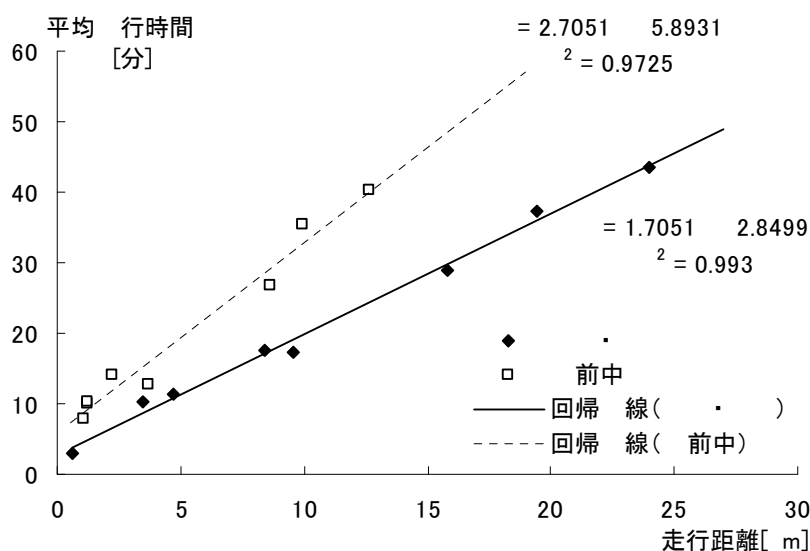


図 2.23 走行距離と平均 行時間の関係

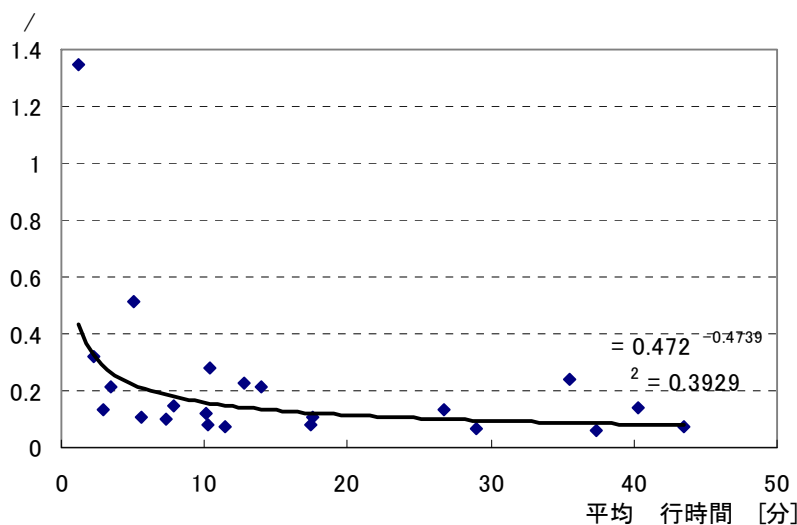


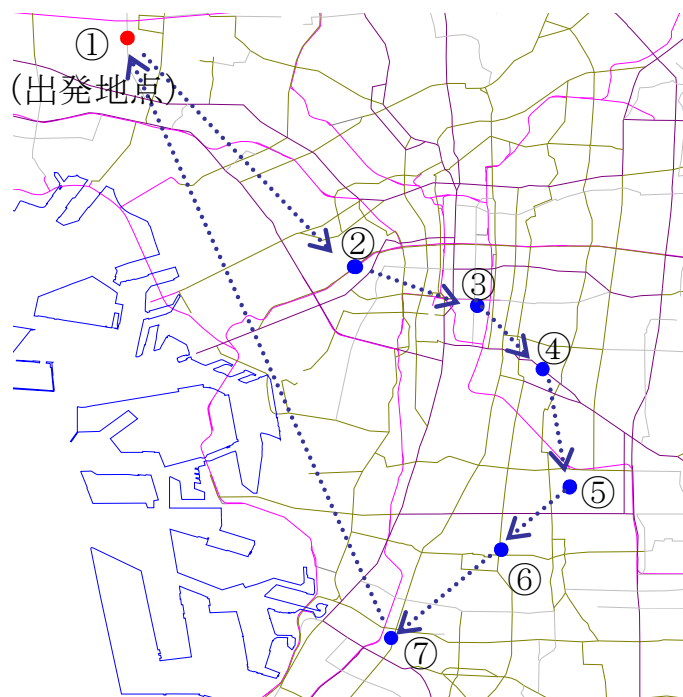
図 2.24 平均 行時間と変動係数(σ/μ)の関係

2.5.4 配送 序の選択行動

分析対象とした貨物車は、図 2.25 に示す 7 地点を巡回しており、表 2.5 は各地点間の走行距離を示している。なお、平均旅行時間および変動係数は、先に得られた推計式を用いて求めている。この際、車両は午前 2 時 30 分頃に地点①を出発し、地点②～⑦を巡回して午前 6 時までに配送を終えていることを考え、深夜・早朝の時間帯の回帰式を用いて所要時間を推計した。そして、TSP（巡回セールスマン問題）^{〔補注〕}による上位 20 番目（延べ 27 経路）までの配送順序を求め、それぞれについて選択確率の算出を行った。図 2.26 は、TSP による上位 n 位の配送順序が最短所要時間となる確率を示したものである。これによると、選択確率の推移は極めてゆるやかであり、上位 10 位までの配送順序の選択確率の差は 3.1%とごく僅かである。

表 2.6 は、実際の配送順序と TSP による上位 3 位までの配送順序を示したものであるが、これによると、実際の配送順序は TSP による第 1 位の配送順序で配送を行っていた。これらの結果から、選択確率が上位の配送順序間で選択確率は大きな差がみられず、上位の複数の配送順序は拮抗している。これは、深夜に会社を出発し、早朝の時間帯に配送を完了する場合、交通混雑の影響が少ないため、旅行時間の変動が小さく、配送順序間での所要時間に差があらわれ難かったためと考えられる。

既に述べたように分析対象車両は、1 日に 2 ラウンドの配送を行っているため、現在 1 ラウンド目に行っている配送を 2 ラウンド目に入れ替えることも考えられる。そこで、仮想的に出発時刻を交通混雑の影響を受ける時間帯、すなわち深夜から早朝に変更した場合



注) 1 ラウンド目の 7 箇所のみを分析対象としている

図 2.25 都市内における配送実態（配送 序）

の配送順序の選択確率を求めた。具体的には、出発時刻を午前 5 時とし、午前 6 時 30 分を境として、旅行時間と変動係数の推定式を変更させて平均所要時間および標準偏差を求めている。こうして求めた選択確率の推移を、図 2.26 中の破線で示している。なお、表 2.6 に示すように、先の 2 時台の出発時と同様、出発時刻を 5 時に遅らせた場合も選択確率が 1 位の配送順序と実際の配送順序は同じであった。深夜に出発した場合は選択確率の最大値が 7.4%であり、それ以降の選択確率の曲線はなだらかに推移しているのに対して、早朝に出発した場合の選択確率の最大値は 16.3%であり、直線が急な傾きで推移しているこ

表 2.5 配送地点間の走行距離

[km]							
		11.1	14.1	16.5	20.0	21.0	23.1
	11.1		4.5	6.8	10.6	11.6	13.6
	14.1	4.5		3.6	7.5	8.7	11.7
	16.5	6.8	3.6		4.7	5.9	9.9
	20.0	10.6	7.5	4.7		3.5	7.9
	21.0	11.6	8.7	5.9	3.5		4.9
	23.1	13.6	11.7	9.9	7.9	4.9	

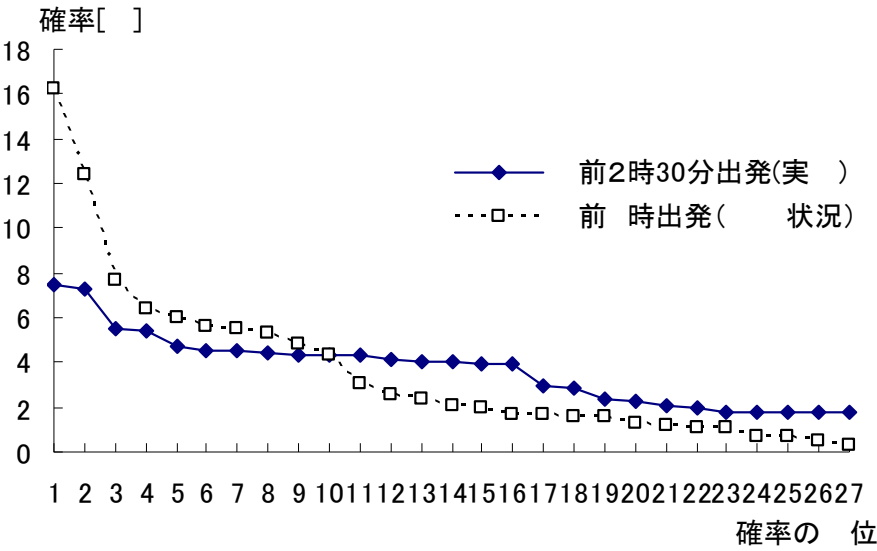


図 2.26 TSP による上位 n 位の配送 序の選択確率

表 2.6 配送 序の比較

実際の配送		
2時 に出発	1位	
	2位	
	3位	
時 に出発	1位	
	2位	
	3位	

とがわかる。このように、交通混雑の影響を受ける早朝の時間帯に出発時刻を遅らせた場合、配送中の旅行時間の変動が大きくなることで配送順序の選択確率に影響が生じており、少数のルートで選択確率が高くなっていることがわかる。

2.6 所要時間の不確実性を考慮した貨物車の運行計画の提案

時間指定などの荷主（顧客）の物流サービスへの要求の高度化に伴って、物流事業者はより信頼度の高い配送計画の構築を求められる。こうした信頼度の高い配送計画ないしは運行計画を構築するためには、時々刻々と変化する旅行時間の変動を組み込むことが必要である。

しかしながら、物流事業者の中には、日々の配送先が変わることのない、特定の荷主へ貨物を定期配送する事業者も数多く存在し、そうした事業者にとってはリアルタイムな旅行時間の変動を組み込んだ運行計画は必ずしも必要とされていない。むしろ、配送先の変更などがあった場合に運行計画を見直すといったケースも多く、本研究で提案する方法は、こうした事業者を対象とした場合の運行計画に適していると考えられる。すなわち、日常の定期配送業務を通じて所要時間の不確実性のデータを取得するとともに、それらのデータを活かして、必要に応じて運行計画を見直したりするケースである。

以下では、こうした定期配送事業者を対象として、所要時間の変動を組み込んだ運行計画の構築方法の考え方を整理する。

1) 所要時間の不確実性データの取得

本研究では、貨物車のプローブデータを用いたが、近年ではデジタルタコグラフなどを搭載している車両も多く、これらの機器により蓄積された情報を用いて、日々の輸送経路（道路リンク）の時間帯別の変動（平均、標準偏差）を取得することが可能であり、こうしたデータを一定期間ストックすることにより、旅行時間の変動を定量的に把握することが可能と考えられる。

2) 所要時間の変動を組み込んだ運行計画

運行計画の中で重要な要素として、出発時刻の決定および配送巡路の決定があげられるが、本研究で構築した確率行動モデルを用いることによって、それらの決定を合理的に行うことが可能である。

①最適な出発時刻の決定

不確実性の情報を構築した最適出発時刻の決定行動モデルに適用することにより、出発時刻に応じた配送先への遅刻リスクを定量的に表現することが可能となる。これによって、ドライバーの配送先への遅延リスクに対する心理的負担を軽減しつつ（安全性の向上）、出発時刻を遅刻しない範囲で可能な限り遅らせることによって、不必要な余裕時間を見込まず合理的な出発時刻の算出・設定が可能となる。

②最適な配送順序の決定

TSP などにより配送順序を求める場合は、一般的に配送経路の確定的な距離や時間の合計を最小化する場合が多い。これに対し、道路リンク単位に輸送経路の所要時間の変動（平均、標準偏差）を一定期間蓄積することによって、この情報をもとに作成したモデルにより配送巡路の決定が可能と考えられる。特に、配送経路は走行時間帯によって変動が異なることから、走行時間帯に応じた最適な配送巡路の候補を導き出すことが可能である。

また、こうした配送巡路の決定と出発時刻の決定を組み合わせることも考えられる。すなわち、②で提案した配送巡路の選択モデルにより、最短の配送巡路を選び、その際の配送所要時間の平均値と分散をもとに、さらに①で提案した出発時刻の決定モデルを用いることにより、時間指定がある場合の最適な出発時刻を決定することも可能と考えられる。

2.7 おわりに

運転者の作業状況とリンクしたプローブデータを用いて、貨物車両の詳細な運行挙動を把握することが可能となった。加えて、プローブデータにより、旅行時間の変動を把握した上で、指定時間のある配送先への出発時刻の決定行動、および複数配送先への配送巡路の選択行動を確率行動モデルにより説明し得ることを示した。さらに、プローブデータにより蓄積された貨物車の運行履歴および輸送経路の変動を、構築した行動モデルに適用することにより、出発時刻および配送順序の決定を求める貨物車の運行計画の構築方法を提案した。

以下では、本章で得られた成果を要約する。

1) 運行挙動の解析

- ・ 走行速度の変動では、中長距離輸送は、一般道路において、昼間時の走行速度は深夜から早朝の時間帯に比べて約 10km/h 低下していた。これに対して、今回の分析ケースでは、高速道路では時間帯に関わらず走行速度はほぼ一定であった。都市内配送でも、一般道の走行速度では、時間帯による同様の傾向がみられた。
- ・ 目的施設へは目標とする平均到着時刻に対して、中距離輸送、都市内配送ともに大半が平均到着時刻の前後 5 分の間に到着しており、前後 10 分間では 9 割に達しており、ほぼ定刻に到着していた。こうした、目的施設への定時配送を可能にする工夫として、中長距離輸送では、目的地施設付近で待機を行うことによって（200km、約 3 時間の走行時間に対して約 1 時間の待機時間）、到着時刻の調整行動をとっており、目的地に定刻に到着していた。また、都市内配送では、配送のための余裕時間が少ないため、配送先への時間指定に対応するために配送順序の入れ替えを行っていた。

2) 確率モデルによる貨物車の配送行動の再現性の検証

- ・ 時間指定のある配送先への出発時刻の決定行動について、配送先までの旅行時間の平

均値と標準偏差から、出発時刻ごとに配送先に遅れて到着する確率（遅刻確率）を求め、旅行時間の不確実性の影響を評価した。この結果、中長距離輸送、短距離都市内配送ともに、目的地への指定時刻に応じてほぼ遅刻確率 0 となるように出発時刻を決定していることがわかった。特に、工事などの交通状況の変化などにより通常時に比べて不確実性が把握し難いケースでは、より遅刻に対して敏感に対応していることも示された。

- 複数の配送先を巡回する場合における複数の配送順序について、それぞれの配送順序を選択した時の所要時間の平均値と標準偏差から、その配送順序が最小の所要時間となる確率（選択確率）を求め、旅行時間の不確実性の影響を評価した。この結果、現実には、選択確率が最大となる配送順序が選択されていることを明らかにした。また、混雑時には所要時間の変動が大きくなり、混雑のない場合と比べて少数の配送順序で選択確率が高くなっていた。

3) 所要時間の不確実性を考慮した貨物車の運行計画の提案

構築した行動モデルに対して、プローブデータにより蓄積された貨物車の運行履歴および定量化された旅行時間の不確実性を適用することにより、所要時間の不確実性を考慮して出発時刻および配送順序の決定することが可能となり、不必要な余裕時間を見込む必要がなくなり、貨物車の運行効率を向上させ得る可能を示唆した。

最後に、本章で示した研究に残された今後の課題として、以下の諸点があげられる。

- 1) 貨物車両の運行挙動を把握するためには、車両の位置情報のみならず作業状況の取得が不可欠である。こうした作業状況を永続的に取得するためには、入力作業による運転者の負担を現在よりも軽減することが必要であり、音声による作業状況入力や運搬ドアの開閉による車両情報からの作業状況の自動的な判別方法を用いることが考えられる。また、プローブデータは、そのデータ量が膨大になる一方、取得間隔を広げると必要な情報が欠落する可能性もあるため、データ取得間隔の設定は慎重に行う必要がある。
- 2) 配送計画において、荷主の信頼を得るとともに車両の運行コストを抑える意味でも所要時間は重要視すべき要素であり、旅行時間に不確実性を伴う場合には、こうした要素を考慮した配送計画が重要であることが示せた。今後は、分析対象とするサンプルを拡大して分析の信頼性を向上させるとともに、プローブデータによって得られた所要時間の不確実性を配車配送計画に組み込み、より信頼度の高い配送システムの構築を検討していく必要がある。

[補注]

巡回セールスマン問題（TSP）は、OR（オペレーションズ・リサーチ）の分野では古くから研究されており、多くの解法（アルゴリズム）が提案されている。大別して、厳密解法と近似解法に分類できるが、TSP は配送先数を n とすると、計算量は $O(n!)$ となり、 n の増加に伴い計算量が爆発的に増加するため、 n の個数に応じて厳密解法と近似解法を使い分ける必要がある。以下では、厳密解法として総列挙法、近似解法として局所探索法の一つである 2OPT（2 最適法もしくは 2 変換法とも呼ぶ）について説明するが、本研究でケーススタディーとした配送先数は最大でも $n=8$ 箇所であり、厳密解法である総列挙法で解くことが可能であることから、本研究では TSP の解法として総列挙法を用いた。

1) 厳密解法：総列挙法

総列挙法では、全ての配送順序の組み合わせを列挙して、その組み合わせに応じた移動距離を計算する。計算した後、距離をソートすることにより、最適な配送順序（距離が最小）を導き出すとともに、第 2 番目、第 3 番目といった第 n 番目の配送順序を求めることも可能である。こうしたことから、今回の分析では総列挙法による結果を利用する。ただし、先にも述べたように、今回のように配送先数が 8 箇所（ $n=8$ ）と少数であれば、本解法が適用可能であるが、配送先数が 20 を超えるようなケースについては、以下に説明する 2OPT などの局所探索法の適用が必要である。

2) 近似解法：局所探索法（2OPT）^{18) 19)}

2OPT（2 最適法もしくは 2 変換法とも呼ぶ）とは、生成された初期巡回路から二つのリンクを選び、リンクの交換により、巡回距離を改善していく方法である。

例えば、図 2.30 のような巡回路があるとする。この場合、リンク (A,G) とリンク (H,F) のリンクペアをそれぞれリンク (A,H) とリンク (G,F) に付け替えることで巡回距離の改善を行うことができる。リンクの交換を行った場合の巡回距離の減少量は以下のように計算することができる。なお、ここでリンク (A,B) の距離を d_{AB} とする。

$$\text{リンク付け替えによる巡回距離の減少量} = (d_{AG} + d_{HF}) - (d_{AH} + d_{GF})$$

全てのリンク対について減少量を計算し、減少量が正になるリンク対が無くなるまでこの操作を続けることにより、最適な巡回路を導き出す。

以下、2OPT の手順についてまとめると以下のようになる。

手順 1) 適当な初期巡回路を求める。

手順 2) 適当な 2 本のリンクを選択し、リンクの付け替えによって巡回路の長さの減少量が正となるリンク対を求める。

手順 3) リンクの付け替えによる減少量が正のリンク対がある場合はリンクを付け替えて巡回路を改善し、その長さを計算して手順 2 へ戻る。減少量が正のリンク対が無ければ終了とする。

このような手順によって巡回距離が最小となる巡回路を求める方法が 2OPT である。

ただし、2OPT の問題点として、初期巡回路により得られる最適解が異なる可能性があり、必ずしも最適解を探索する保証はなく局所解に陥る危険性があることに注意する必要がある。また、2OPT は無向ネットワークを理論の前提としている解法であることにも注意する必要がある。

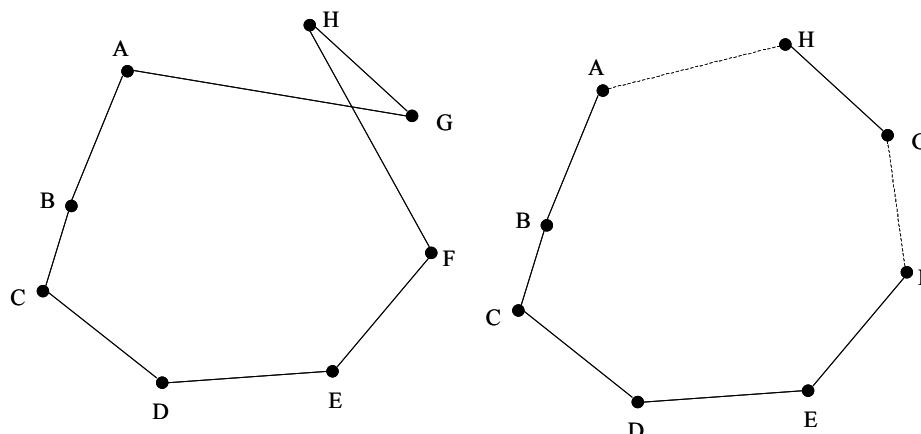


図 2.30 2OPT による巡回 序の

【第 2 章の参考文献】

- 1) 松本昌二, 白水義晴：旅行時間の不確実性が時刻の指定された物資輸送に及ぼす影響, 土木学会論文集, No.353/IV-2, pp.75-82, 1985
- 2) Hall,R.W. :Travel Outcome and Performance :The Effect of Uncertainty on Accessibility. Transportation Research B, Vol.17, No.4, pp.275-290, 1983
- 3) Laporte,G, Louveaux,F.V. and Mercure,H. :The Vehicle Routing Problem with Stochastic Travel Times. Transportation Science, Vol.26, pp.161-170, 1992
- 4) 谷口栄一, 山田忠史, 柿本恭志：所要時間の不確実性を考慮した都市内集配トラックの確率論的配車配送計画, 土木学会論文集, No.674/IV-51, pp.49-61, 2001
- 5) Taniguchi,E. and Ando,N. :An Experimental Analysis on Probabilistic Vehicle Routing and Scheduling with ITS. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, pp. 3052-3061, 2005
- 6) 辻紘良, 鈴木雅博, 高橋理一, 川島弘尚：経路誘導効果の確率的推定手法, 土木学会論文報告集, No.315, pp.103-114, 1981
- 7) 姜美蘭, 王立暁, 三輪富生, 山本俊行, 森川高行：VICS データとプローブデータの旅行時間情報に関する比較分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.29(CD-ROM), 2004
- 8) 堀口良太, 和田光示：インターネット ITS プローブ情報システムによる信号制御の性能指標モニタリング実証実験, 土木計画学研究・講演集, Vol.29(CD-ROM), 2004
- 9) 小谷通泰, 田中康仁, 中村賢一郎：プローブカーデータによる貨物車の運行実態の解析,

第 24 回交通工学研究発表会論文報告集, pp245-248, 2004

- 10) 田中康仁, 小谷通泰, 中村賢一郎 : プローブデータを活用した貨物車による配送活動の実態分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.22, No.3, 2005
- 11) 前掲 2)
- 12) 前掲 6)
- 13) 近畿トラック協会 : 実用化に向けた ITS 運輸管理システムの構築に関する調査研究報告書, 2003
- 14) 小谷通泰, 吉井正明, 今西周宏 : 共同利用型の貨物車運行管理システムの開発と実用化に向けた評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.27(CD-ROM), 2003
- 15) 前掲 2)
- 16) 前掲 1)
- 17) 前掲 6)
- 18) S.Lin and B.W.Kernighan. : An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problem. Operations Research, Vol.21, No.3, pp.498-516, 1973
- 19) 増井忠幸, 百合本茂, 片山直登 : ロジスティクスの OR, 槇書店, 1998

第3章 都心商業・業務地区における荷捌き駐車施設の整備計画

3.1 はじめに

都心商業・業務地区においては、貨物車両に対する荷捌き用駐車施設の絶対量の不足から、貨物車両は路上駐車を余儀なくされている。一方、近年、道路交通法の改正に伴い、駐車取り締まりが強化され、都心部における路上の違法駐車車両は大幅に減少したものの、貨物車両などの業務車両の駐車場所をいかに確保するかという課題がクローズアップされている¹⁾。このように、商業業務施設が集中する都心部では余剰空間が少ないため、限られたスペースでかつ効果的な荷捌き駐車施設の整備が必要である。

なお、かねてより荷捌き用駐車施設整備に関する研究が進められており、荷捌き用駐車施設の整備計画に関しては、大きく荷捌き用駐車施設の必要量の算出に関する研究と、料金などを説明要因とした駐車施設の選択モデルに関する研究がみられる。

路上荷捌き施設の設置基準に言及しているものは、堂柿・佐藤²⁾、塚口ら³⁾、秋田ら⁴⁾の研究がある。ここでは、堂柿・佐藤、塚口らは待ち行列理論を用いて、それぞれ荷捌き専用スペース数の算定、路外と路上の利用特性を考慮した総合的な駐車管理システムを提案している。また、秋田らは、短時間の駐停車で集荷・配送活動が可能な物流車の利用を対象として、建物ごとの路上荷捌き需要量推計モデル、駐停車時間推計モデル、P-Median問題を適用した配置手法を構築し、これらを組み合わせた路上荷捌き駐車ベイの設置場所および必要マス数を算出する配置計画手法を提案している。

また、路上を含めた駐車施設の選択行動に関しては、塚口・小林⁵⁾、辰己ら⁶⁾、堂柿⁷⁾の論文がみられる。塚口らはアンケート調査により駐車場所と駐車料金、歩行距離、取り締まり頻度等の関連データを得て、ネスティッドロジットモデルによって駐車場選択の意識構造を解明している。ここで、路上を含む選択要因に関しては、概ね駐車料金、目的施設までの距離、入庫時待ち時間の3変数によって説明できるが、駐車場と路上の駐車施設選択には個人の駐車に関する態度等の要因が影響しているとされている。辰己らは、アンケート調査を用いて駐車場選択場所要因データを数量化Ⅰ類によって分析し、駐車場所の選択に駐車料金の影響が大きいと、短時間駐車車両の路外への誘導が困難であり、短時間路上駐車施設が必要であると指摘している。堂柿は、数量化Ⅱ類モデルを用いて路上駐車施設の利用判別分析を行い、路上では20～45分の程度の駐車機能が必要であること、「施設利用」、「パーキングスペース」ではそれぞれ10分、20分を超えると支払いの必要を感じていること等をまとめている。

こうした分析を踏まえて、本研究では、都心部における貨物車の駐車行動の整序化を図るため、貨物車用の荷捌き駐車施設の整備計画案を構築する方法の提案を行う。荷捌き施設の整備計画案を構築する手順は、まずはじめに、配置箇所数と配置場所を求める配置計

画案を作成し、続いて荷捌き施設の利用料金や利用時間といった運用計画を検討する。

具体的には、図 3.1 に示すように、以下の手順により分析を進める。

- 1) まず、都心部の一地域を取り上げて、社会実験によるドライバーの荷捌き活動の実態、および荷捌き需要の空間的分布に関する調査結果をもとに、P-Median 問題や P-Center 問題などの配置計画問題を適用して、荷捌き需要に応じた荷捌き駐車施設の配置計画案を求めた。そして、異なる配置計画問題より得られた荷捌き駐車施設の配置計画案を、荷捌き活動の効率性（利用率の最大化）と路上駐車の削減の観点からそれぞれの特徴を明らかにした。
- 2) 次に、貨物車両の荷捌き用駐車施設の管理運用方策の指針を得ることを目的として、ドライバーへの意識調査を実施し、駐車および荷捌き活動の実態や駐車取り締まり強化後における対応を明らかにするとともに、短時間用と長時間用のタイプの異なる荷捌き駐車施設を提案し、それぞれの駐車施設に対する利用意向を分析する。
- 3) 今回のケーススタディエリアの分析を通じて、ある一定の範囲をもった地域を対象に、地域における荷捌き需要の特性に応じて、短時間用と長時間用の異なるタイプの荷捌き駐車施設の組合せからなる荷捌き施設の整備計画の考え方を提案する。

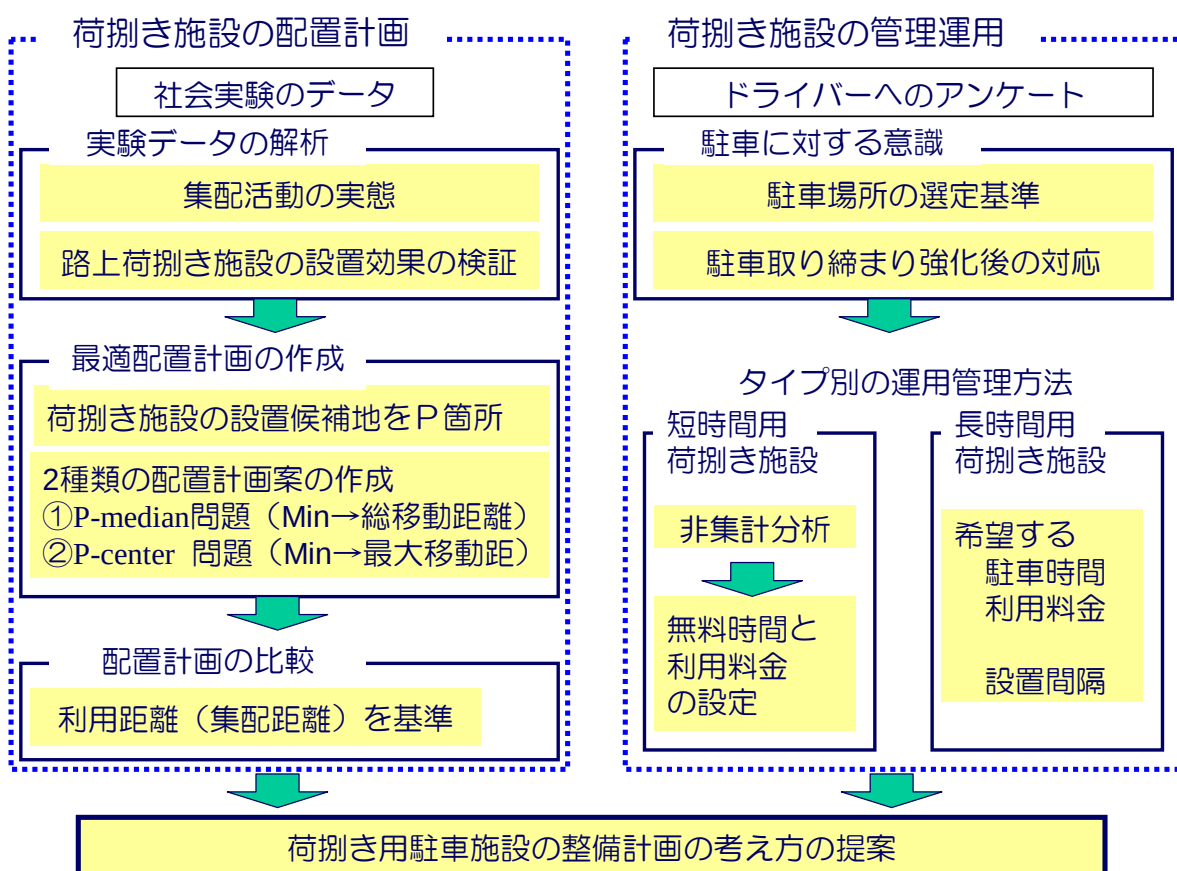


図 3.1 本章の研究フロー

3.2 対象地域と使用データの概要

分析対象地域は、神戸市の中心業務地区である三宮・元町地区を対象とする。

また、分析には次の２種類のデータを用いる。一つは、対象地域内における貨物需要およびドライバーの荷捌き行動を明らかにするための社会実験の調査結果であり、もう一つは、ドライバーの荷捌き駐車施設に対するニーズを把握するために筆者らが行ったアンケート調査の結果である。なお、前者の実験データの結果を用いて、第３節の路上荷捌き施設の利用実態と設置効果、および第４節の荷捌き駐車施設の配置計画案に関する分析を行い、後者のアンケート調査の結果を用いて、第５節の荷捌き駐車施設の運用方法に対する意向分析を行う。

3.2.1 対象地域の概要

調査対象とした地域は、神戸市都心部に位置する商業・業務地区の三宮・元町駅周辺である。図 3.2 は、対象地域の範囲を示しており、面積は約 72.0ha、建物棟数は 804 棟である。なお、同地域では、駐車取り締まりの強化によって貨物車両の業務が制限されることを考慮して、荷捌き需要が高い特定の道路区間を対象（図 3.2 中の斜線部分）に、一定時間、貨物車両の業務活動に限って、駐車禁止を免除する「駐車禁止規制緩和区間」が指定されている⁸⁾。

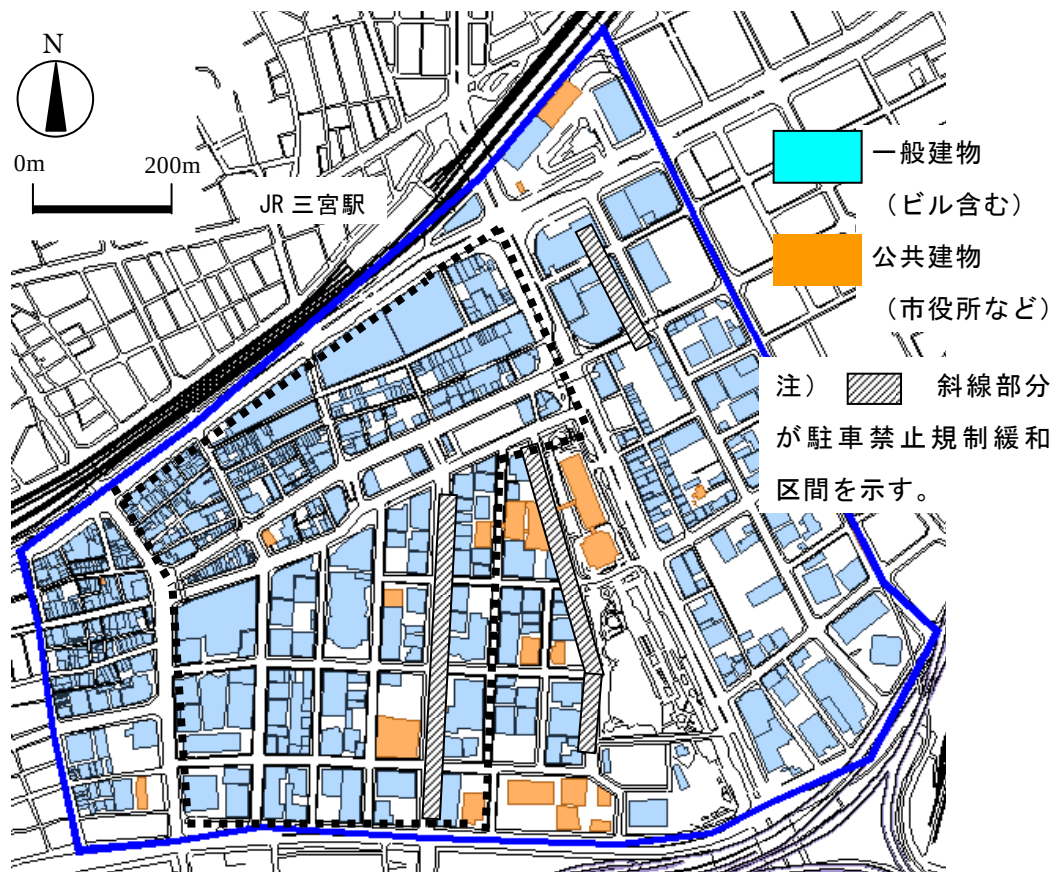


図 3.2 調査対象地域

3.2.2 実証実験による荷捌き活動と荷捌き需要に関するデータの特徴

使用したデータは、近畿運輸局、大阪府・兵庫県・京都府のトラック協会、関西交通経済研究センターが中心となって実施した、都市内物流効率化方策に関する実証実験の結果である⁹⁾。実験対象地域は、先の図 3.2 と同様の地域である。実験は、平成 11 年、12 年の 2 カ年間にわたって実施されており、路上駐車施設（パーキングメータとパーキングチケット）を実験期間中（10 日間）、初年度は無料、次年度は有料で貨物車専用としている。なお、本研究では平成 11 年に実施された実験の結果を使用した。この実験では、路上荷捌き施設の利用状況を反映しながら、最初の 4 日間は 4 箇所、残る 6 日間は 3 箇所に 24 台の路上荷捌き施設が設置された。なお、図 3.3 に、実験時における路上荷捌き施設の設置箇所を示すが、路上荷捌き施設の設置効果および荷捌き施設の配置計画に関しては、研究対象地域内の路上荷捌き施設の影響が大きい地区（図 3.2 の点線で囲んだ地区）に限定して、分析を進める。なお、当該地区は、面積は 29.7ha であり、地区内には延べ 426 棟の建物が立地しており、地区の北側は規模の小さな建物が多くみられるのに対して、南側は比較的規模の大きな建物で占められている。

対象地区内では、13 社 36 名のドライバーが 10 日間の実験期間中に延べ 170 回の集配業務活動を行っており、総集配回数は 1,637 回であった。なお、ここで集配回数とは、車両を駐停車してから、目的の配送先までの行動を示す。実験期間が 10 日間であったことから、一日の平均の集配回数は 160 回前後である。また図 3.3 は、駐停車場所から目的施設までの集配活動を、路上駐車の場合と路上荷捌き施設利用時の場合に分けて、地図上に矢印で示したものであり、矢印の根本が駐車場所、その先が目的施設である。なお、対象地域内における駐車回数の合計は 1,160 回であり、そのうち路上荷捌き施設を利用した回数は 153 回となっており、路上荷捌き施設の使用比率は 13.2%となっている。両者の図を比較すると、路上荷捌き施設利用時の方が矢印の長さが長くなっており、より遠くの場所まで集配活動を行っている様子がわかる。また、路上荷捌き施設ごとに、それらを中心としたボロノイ線図を描画したところ、各路上荷捌き施設からの集配エリアとボロノイ線図で描かれた領域がほぼ一致している。

地区内の全建物 426 棟のうち、実際に集配活動が行われた建物数は 152 棟であり、全体の 3 割程度である。ただし、ここでは実験に参加した貨物車のみの集配活動が示されており、今回集配活動が全くみられなかった建物においても現実には集配活動が行われている可能性はある。また、集配活動が行われている建物でも、実験に参加した貨物車以外による集配活動が行われた場合もあり得る。

集配のあった建物については、実験期間中の 10 日間の合計で、集配回数が 5 回以下の建物の比率は半数以上を占めており、建物 1 棟あたりの集配回数の平均は 10.7 回であった。また図 3.4 は、集配回数が平均の 10 回より多い建物の分布を示したものである。これによると、北側の地区は主に物販系の小規模な建物が多くみられるが、これらの建物では南側地区の比較的規模の大きな業務ビルに比べて集配回数は少なくなっている。

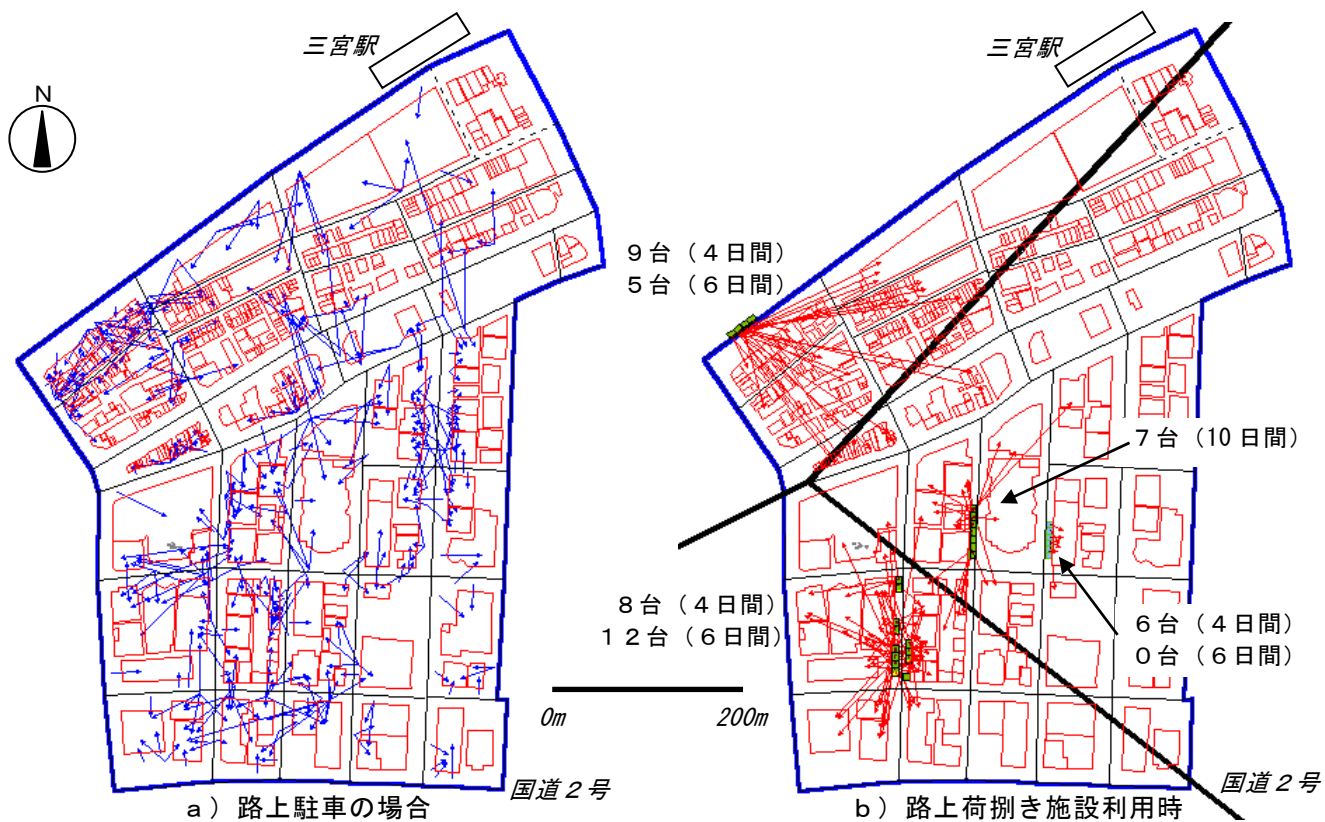


図 3.3 集配活動の分布状況

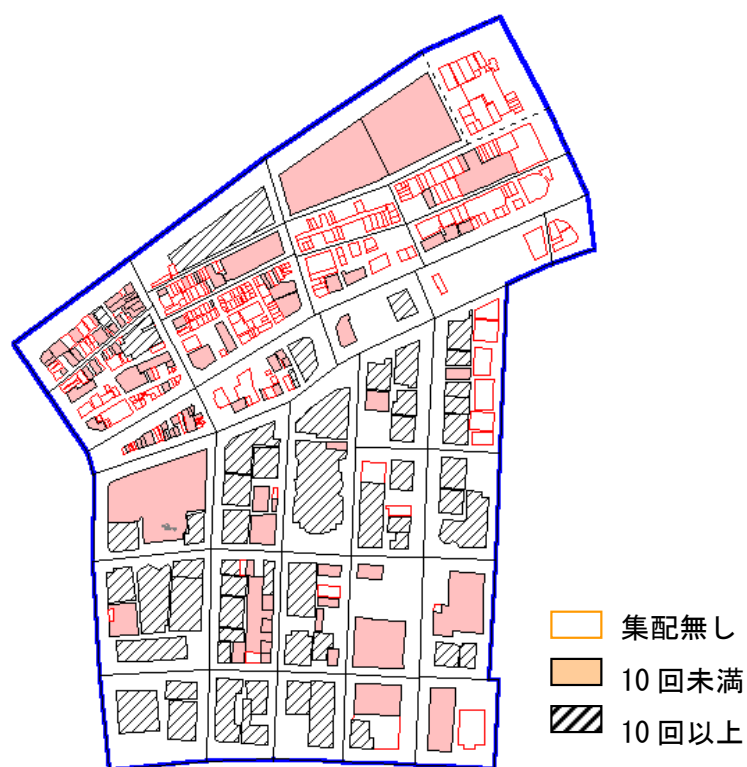


図 3.4 建物ごとの集配回数

3.2.3 ドライバーに対する荷捌き駐車施設の意向調査

対象地域内で集配活動を行っているドライバーを対象に、2007年3月13日（火）、荷捌き駐車施設の利用意向に関する意識調査を実施した。調査は、ドライバーに現地で調査票を直接配布し、後日郵便により回収した。配布票数102票に対して、回収票数31票であり、回収率は30.4%である。主な調査内容は、①普段の荷捌き活動および駐車行動、②駐車取り締まり強化後の対応、③荷捌き用駐車施設に対する利用意向、である。

図 3.5 は、被験者が運転している貨物車両の属性を示したものである。これによると、車両の種別については、バン・ワゴン車、軽トラック、2t未満のトラックが、それぞれ約2割程度であり、2t以上4t未満のトラックが36.7%と最も多く、4t以上のトラックはみられない。実際には、4t以上の車両もみられたが、回答は得られなかった。また、貨物車の用途は、自家用が2割であるのに対し、営業用は8割であり、特別積み合わせによる営業用が最も多くを占めていた。

被験者の全ドライバーが、午前中に対象地域において集配活動を行っており、このうち74%は午後も集配活動を行っている。午前中は、配送のみのドライバーが最も多く、集荷のみのドライバーはみられなかった。これに対し、午後になると、配送と集荷の両方を行っているドライバーが最も多く、集荷のみのドライバーも数名（13%）みられた。

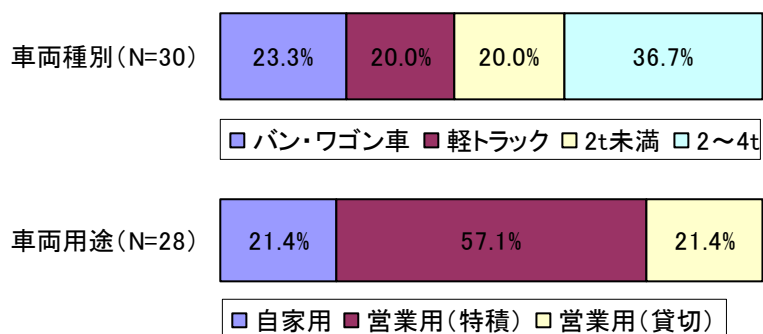


図 3.5 被験者の運転する車両属性

3.3 路上荷捌き施設の利用実態と設置効果

3.3.1 路上荷捌き施設の利用状況

図 3.6 は、路上荷捌き施設の利用開始時刻を示したものである。これによると、実験中の荷捌き施設の利用可能時刻は午前8時から午後5時までであったが、この時間帯では、午前10時から11時半に大きなピークが、また午後4時頃に小さなピークがみられた。また、荷捌き施設での駐車時間の分布は、全体の30.8%が10分以下であり、駐車時間の平均

は 25.9 分であった。そして、荷捌き施設での駐車時間の分布は、図 3.7 に示す通りである。駐車時間は平均 25.9 分であり、全体の 30.8%が 10 分以下である。これは、既に報告¹⁰⁾されている路上駐車の場合の駐車時間に比べて長くなっている。

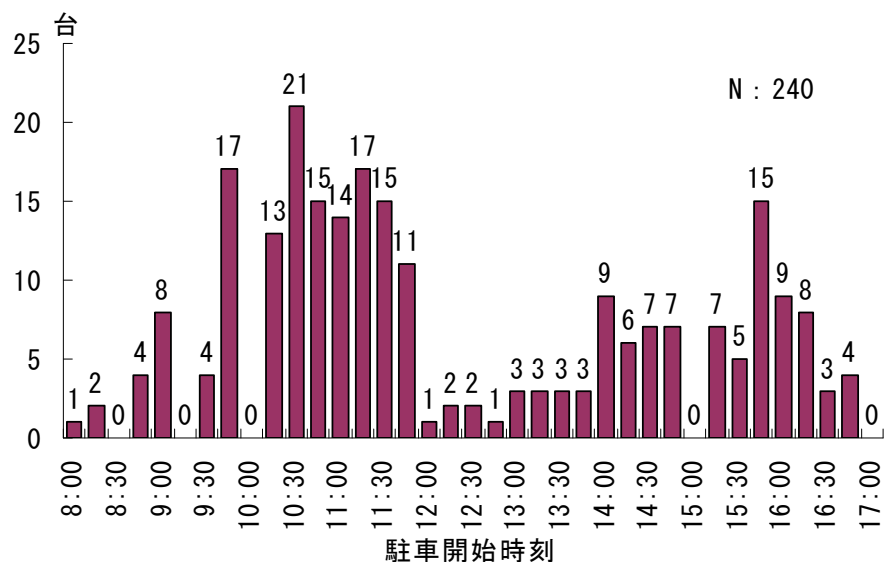


図 3.6 路上荷捌き施設の利用開始時刻

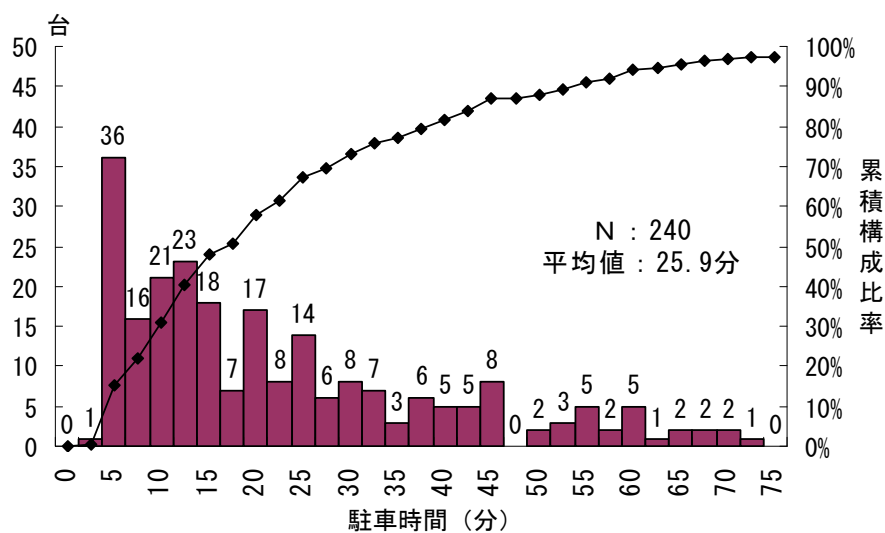


図 3.7 路上荷捌き施設での駐車時間

3.3.2 路上荷捌き施設の設置効果

図 3.3 から明らかなように、路上荷捌き施設を利用することによって、集配活動の行動範囲が広がっていることがわかる。そこで、通常の路上駐車時と路上荷捌き利用時の移動距離と集配箇所数を比較する。

図 3.8 は、路上駐車時と路上荷捌き施設利用時のそれぞれについて距離帯別に集配件数を比較したものである。集配距離の平均値については路上駐車時が 26.42m であるのに対し、路上荷捌き施設利用時は 65.41m となっており、路上駐車に対して荷捌き施設利用時の方は集配距離が 2.5 倍に伸びている。

また図 3.9 は、路上駐車時と路上荷捌き施設利用時のそれぞれについて駐車 1 回あたりの集配回数を示している。駐車 1 回あたりの集配回数の平均値については、路上駐車時が

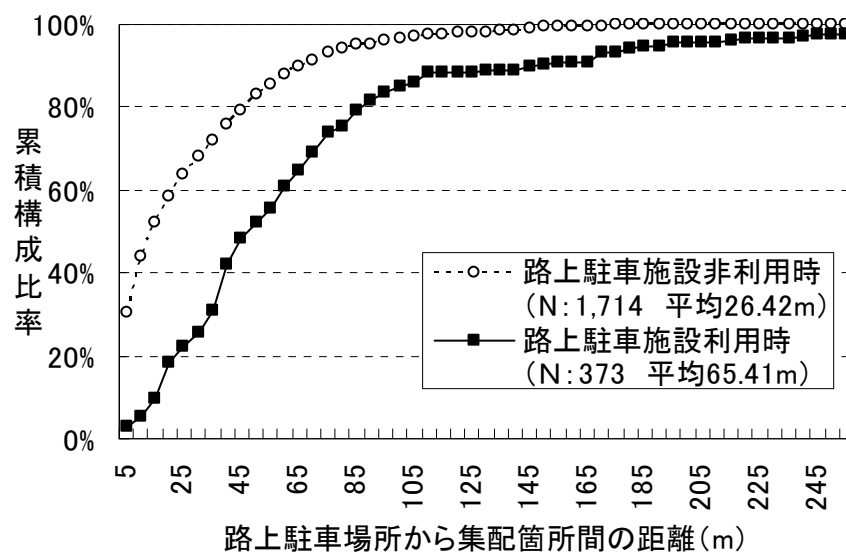


図 3.8 駐車 1 回あたりの移動距離

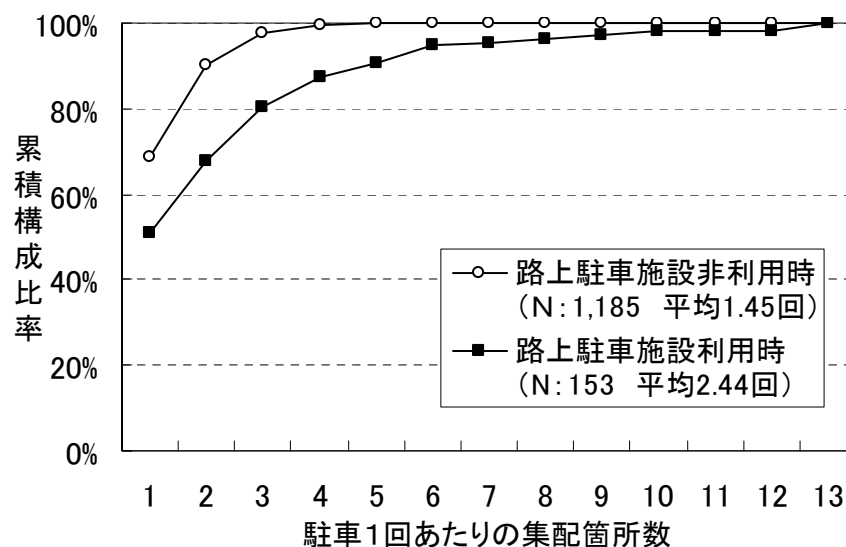


図 3.9 駐車 1 回あたりの集配回数

1.45 回であるのに対して、路上荷捌き施設利用時は 2.44 回であり、路上駐車時の約 1.7 倍となっている。このように、路上荷捌き施設の利用によって、集配距離、集配回数ともに増加することが確認できた。

一方、図 3.10 は路上荷捌き施設を利用した理由を尋ねた結果を示している。理由として最も多いのが「違法駐車することなく安心して集配業務を行うことができた」であり、全ドライバーの 58% を占めている。こうした専用の駐車スペースを確保することによりドライバーの違法駐車に対する心理的負担を軽減することができることがわかる。

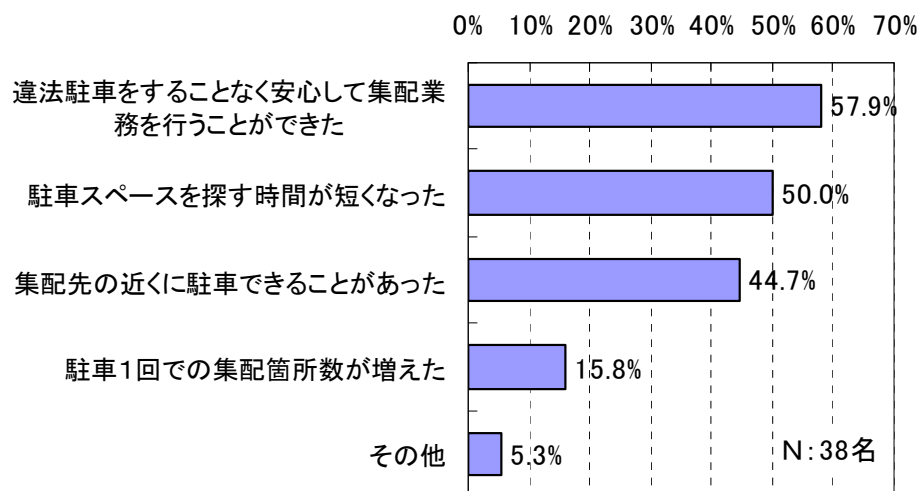


図 3.10 路上荷捌き施設を利用した理由

3.4 荷捌き駐車施設の配置計画案

ここでは、荷捌き駐車施設の整備計画を検討するにあたって、まず、駐車施設の配置計画を検討する。この際、総移動距離の最小化を目的とする P-Median 問題と最大移動距離の最小を目的とする P-Center 問題のタイプの異なる 2 種類の配置計画問題を適用する。

なお、図 3.11 は、実験時に荷捌き需要が発生した位置の分布（10 日間計）を示しており、全部で 1,637 箇所存在する。また、図 3.12 は、路上荷捌き施設の設置候補場所であり、全ての道路リンクの中心とした。候補場所は、全部で 72 箇所ある。

後に P-Median 問題、P-Center 問題を解くが、この時、あらかじめ作成しておくことが必要な集配先 (i) と候補地点 (j) との距離行列 D_{ij} は 72 行×1,637 列の大規模な行列（要素数は三角行列となるので 58,932）となる。求める距離 D_{ij} は、道路上に沿った距離を算出することがより現実的ではあるが、距離行列が多く、その算出に多くの労力がかかること、および取得しているデータは起点と終点のみであり、仮に道路上に沿った最短経路で求めた場合でも、実際の経路がその通りでない可能性も考えて、直線距離で代用している。

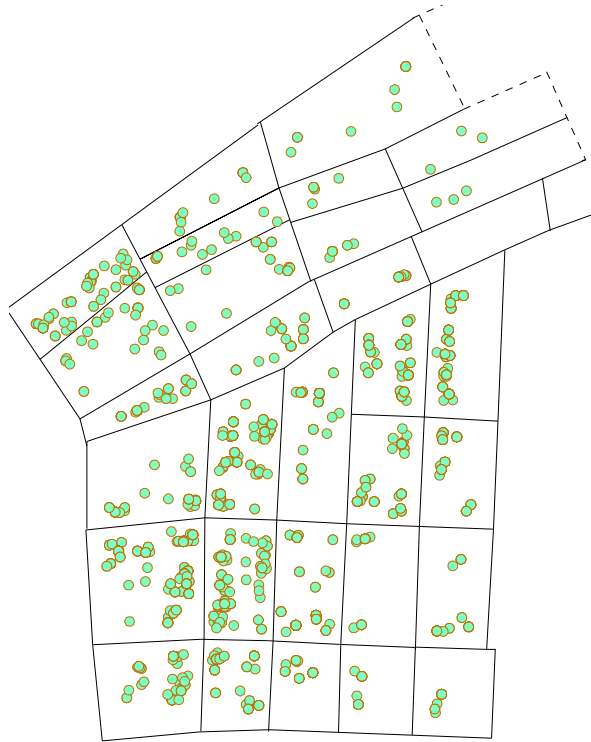


図 3.11 荷捌き需要の分布状況

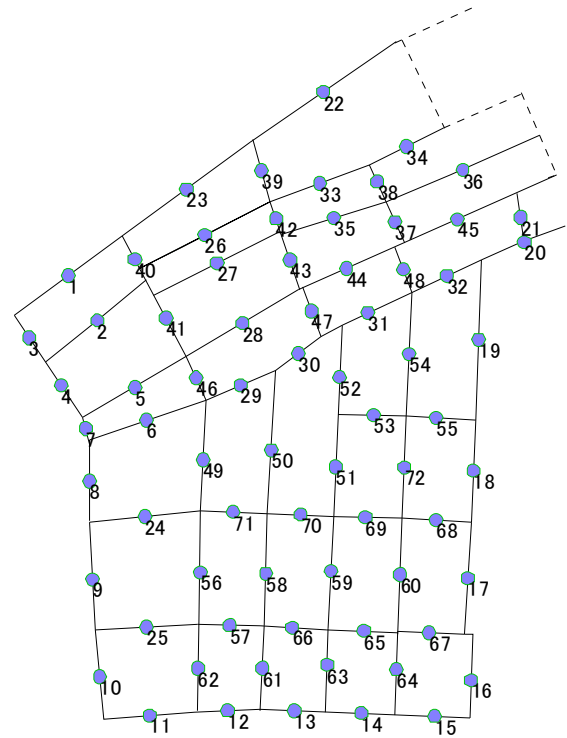


図 3.12 路上荷捌き施設の設置候補場所

3.4.1 P-Median 問題による配置計画案

候補地から、集配先までの総移動距離が最小となる P カ所を選ぶ P-Median 問題により、路上荷捌き施設の最適配置を考える。

P-Median 問題は式 (3-1) のように定式化できる。なお、変数 x_{ij} と y_j は選択するか否かを示す 0 or 1 の離散変数であり、大規模な問題を解く際は、これを 0~1 の連続変数に変換することで計算量（演算時間）を減少させることが可能であるが、今回の分析ケースでは、こうした変換を行わなくても解が算出可能であったため、離散変数のまま計算を行っている。

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} D_{ij} x_{ij} \quad (3-1)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in I$$

$$\sum_{j \in J} y_j = P$$

$$x_{ij} - y_j \leq 0, \quad \forall i \in I, j \in J$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J$$

$$y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J$$

I	: 貨物需要（配送先）の集合
J	: 荷捌き駐車施設の候補地の集合
P	: 配置する荷捌き駐車施設の数
$D_{ij} (i \in I, j \in J)$	: 配送先 i と荷捌き駐車施設 j の直線距離
$y_j (j \in J)$	: 荷捌き駐車施設を候補地 j に立地させる場合1、否の場合0
$x_{ij} (i \in I, j \in J)$	: 配送先 i が荷捌き駐車施設 j に属する場合1、否の場合0

まず図 3.13 は、 P の値を 3 から 10 まで変化させた時の移動距離の平均値（単位m）の変化を示したものである。また、図中には、実験時に路上荷捌き施設を利用した時の平均移動距離 65.41m もあわせて表示している。これによると、 P の数が増加するにつれて移動距離の平均値は指数関数的に減少している。また、 $P=6$ の時、移動距離の平均値は 65.0m であり、ほぼ実験時の平均値と等しくなる。なお、表 3.1 は、 $P=4 \sim 6$ までの路上荷捌き施設の組み合わせを示したものである。この内、リンク番号 56 は実験期間中において実際に荷捌き施設が設置された場所である。

図 3.14 は、 $P=6$ とした時の路上荷捌き施設の配置と、それぞれの施設が担当する集配先建物の割り当てを示したものである。なお、 P -Median 問題の求解にあたっては、路上荷捌き施設の設置箇所数 P をあらかじめ決めておく必要があるが、ここでは、路上荷捌き施設の実験時における移動距離の平均値 65.0m を基準として、その値に最も近くなる P の値を用いている。すなわち、今回のケースでは、 $P=6$ となる。

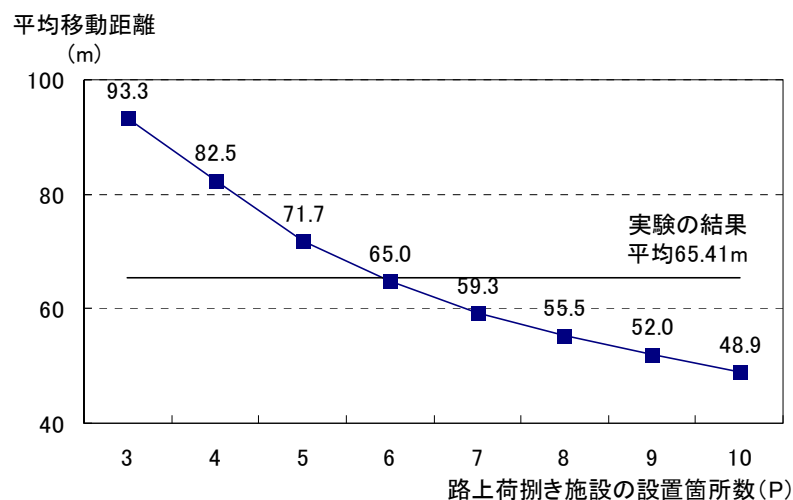


図 3.13 P-Median 問題による路上荷捌き施設の設置箇所数と平均移動距離

表 3.1 P-Median 問題による路上荷捌き施設の配置箇所の組み合わせ

配置箇所数(P)	組み合わせ
4	29, 54, 56, 66
5	2, 50, 54, 56, 66
6	2, 29, 54, 56, 66, 72

注) 表中の数字はリンク番号

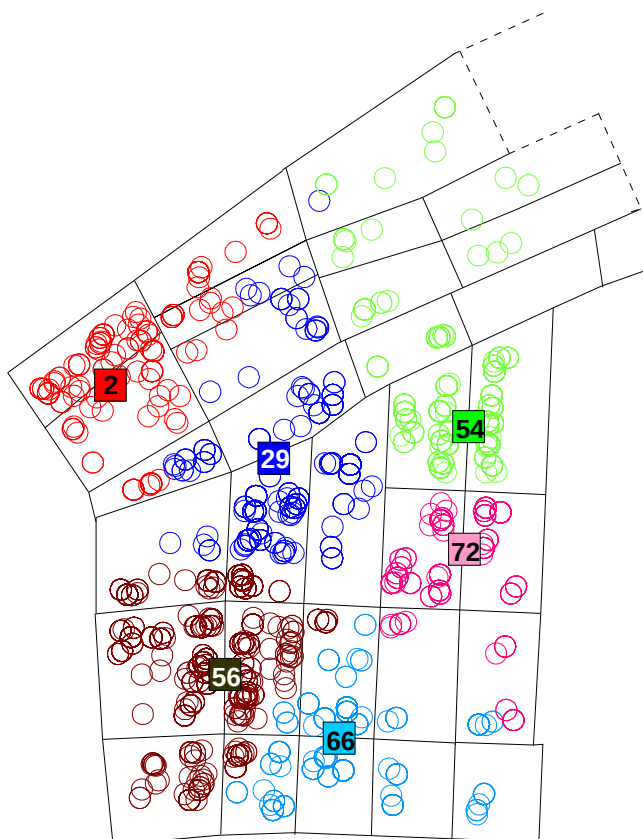


図 3.14 P-Median 問題 (P=6) による配置と割り当て

3.4.2 P-Center 問題による配置計画案

P-Median 問題は、総移動距離を最小化することを目的関数としているため、移動距離が大きくなってしまふケース (約 300m) も確認された。そこで、ここでは総移動距離の最小化も考慮しつつ最大移動距離を最小化する P-Center 問題を考える。

Daskin¹¹⁾によると、P-Center 問題は集合被覆問題、もしくは最大被覆問題の拡張版である。図 3.15 に示すように、集合被覆問題は、最大移動距離 (Dc) を設定し、全ての需要を cover (cover 率 100%) するように施設を配置する。このとき、施設の配置箇所数に上限はない。図 3.16 は、集合被覆問題を解いた結果を示したものである。なお、この時の Dc は、a) 68m と b) 90m の 2 つを設定した。これは各荷捌き候補地から集配先までの最

大距離の最小値が 68m（つまりこれ以下であると、cover 率が 100%になることはない）であったことと、実験結果から得られた路上荷捌き施設利用時の移動距離の 80%タイル値が 90m であったためである。これによると、 $D_c=68\text{m}$ のときは、23 箇所の設置により全ての配送先を cover することが可能であり、 $D_c=90\text{m}$ のときは、15 箇所の設置により全ての配送先を cover することが可能である。ただし、これらの図からもわかるように、集合被覆問題は、全ての需要点を cover することが目的であるため、cover される需要点に重複がみられ、非効率である。また、15 箇所も荷捌き駐車施設を設置することは、限られた道路空間の利用の観点から現実的ではない。そこで、配置箇所数を指定して、その配置の中でも多くの需要を cover する最大被覆問題^[補注]を考える。図 3.17 は、 $D_c=90\text{m}$ と設定して、配置箇所数 (P) を cover 率 100%のときの $P=15$ から 3 まで変化させたときの cover 率の推移を示したものである。これによると、P-Median 問題において、実験の平均結果を下回った $P=6$ のときの cover 率は 83.4%である。また、この $P=6$ のときの配置を図 3.18 に示すが、配置箇所は比較的に P-Median 問題と似通っている。しかしながら、cover 率は 83.4%に留まっており、特に対象地域の北東部分が cover 出来ていない。

そこで、式 (3-2) に示すように、配置箇所 P を与件として、需要点である全ての配送先を cover する最小の D_c を求める P-Center 問題を解くことにする。なお、この問題では P を変化させることも可能であるが、ここでは、P-Median 問題との比較、および現実的に設置可能であると思われる $P=6$ で固定して求解を行う。Daskin は、P-Center 問題を求解する際、 D_c をサブルーチン化、その求め方はバイナリサーチにより求めている。しかし、今回

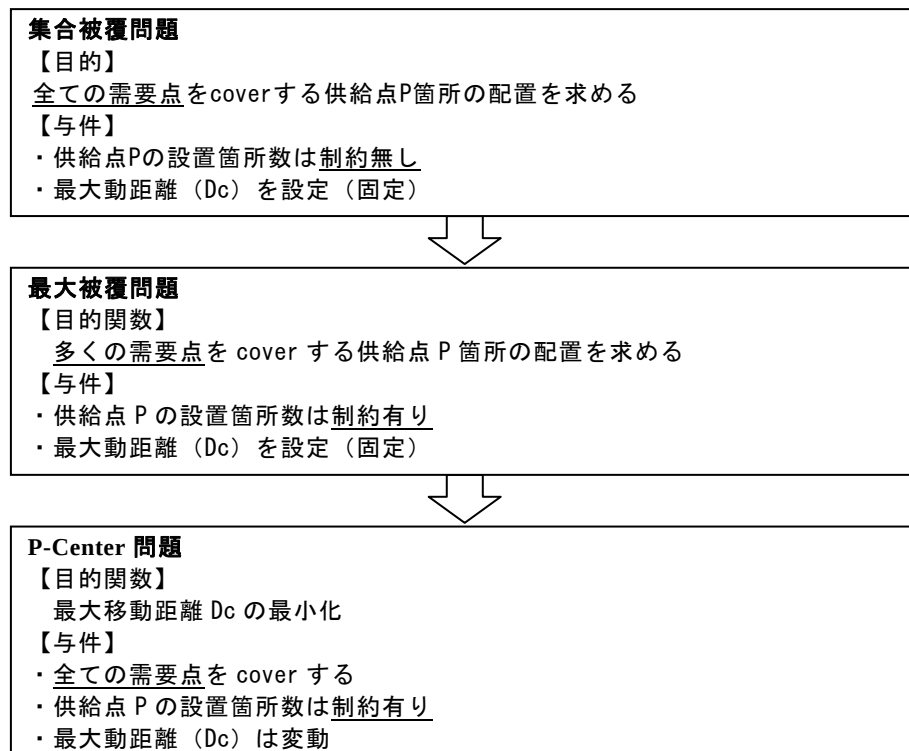


図 3.15 P-Center 問題の考え方

$$\text{Minimize } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} D_{ij} x_{ij} \quad (3-2)$$

$$\text{Subject to } \sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J$$

$$\sum_{j \in J} y_j = p$$

$$\sum_{j \in J} d_{ij} x_{ij} \leq D_c \quad \forall i \in I$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J$$

I	: 貨物需要（配送先）の集合
J	: 荷捌き駐車施設の候補地の集合
P	: 配置する荷捌き駐車施設の数
$D_{ij} (i \in I, j \in J)$	: 配送先 i と荷捌き駐車施設 j の直線距離
D_c	: 最大移動距離
$y_j (j \in J)$	: 荷捌き駐車施設を候補地 j に立地させる場合1、 否の場合0
$x_{ij} (i \in I, j \in J)$	: 配送先 i が荷捌き駐車施設 j に属する場合1、 否の場合0

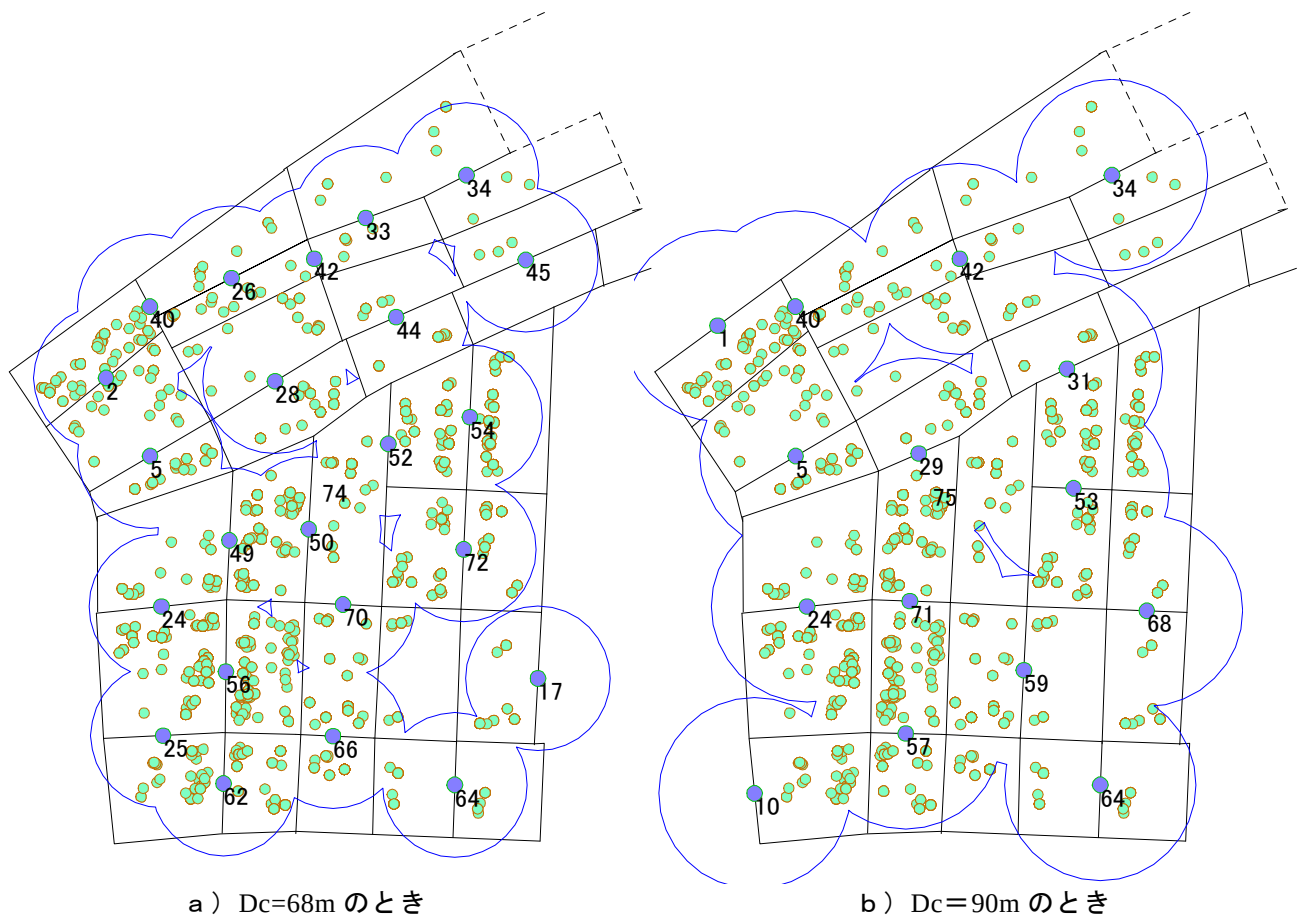


図 3.16 集合被覆問題による配置

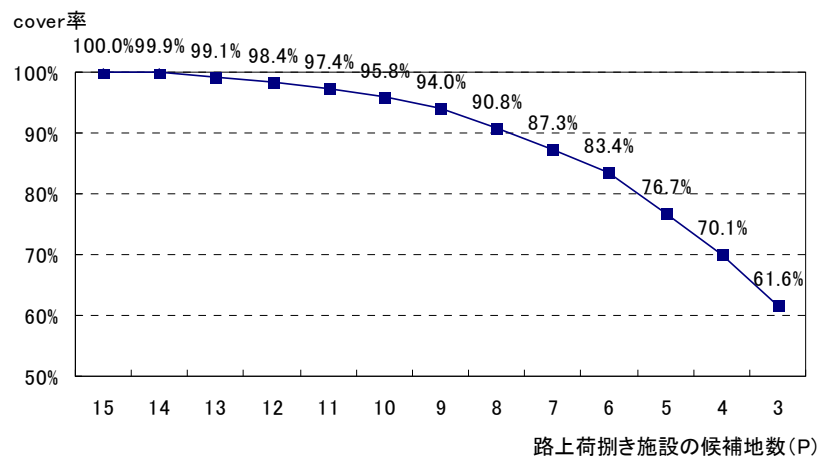


図 3.17 最大被覆問題における P を変化させたときの cover 率の推移

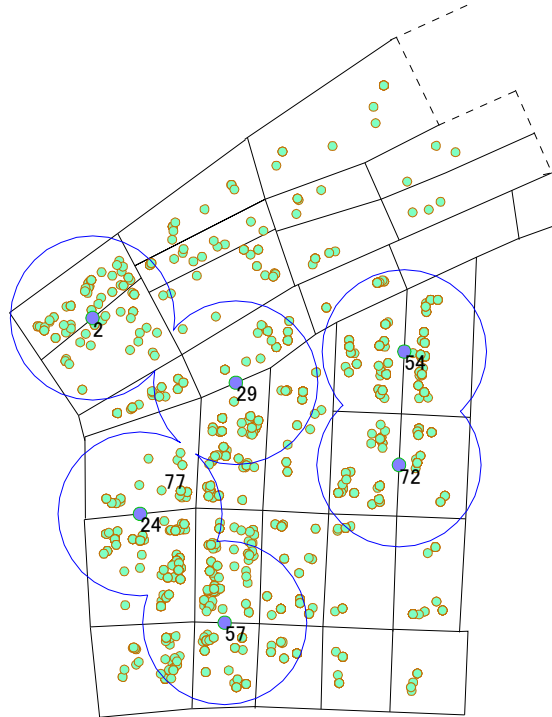


図 3.18 最大被覆問題 (P=6,Dc=90m) による配置

表 3.2 Dc を変化させたときの cover 率

Dc	配送先	cover率
90	1365	83.4%
100	1449	88.5%
110	1500	91.6%
120	1564	95.5%
130	1602	97.9%
140	1633	99.8%
141	1636	99.9%
142	1636	99.9%
143	1637	100.0%

の分析では、Dc90m から 10m ずつ増やしていき、100%に近くなれば、1m ずつ増やしていく方法により Dc を求めた。表 3.2 は、その結果を示したものである。これによると、Dc が 143m のとき、cover 率が 100%となっている。

つまり、P=6 のとき P-Center 問題は Dc=143m となる。なお、このときの路上荷捌き施設の組み合わせは、「5,34,39,52,56,60」であり、唯一 56 のみ P-Median 問題の組み合わせと一致している。また、Dc=90m のときの最大被覆問題の結果による組み合わせとも異なっている。

図 3.19 は、P-Center 問題による路上荷捌き施設の配置と各々路上荷捌き施設の割り当てを示したものである。なお、P-Median 問題と違って、P-Center 問題では、1 箇所の集配先が複数の路上荷捌き施設に包括され、最適化問題を解くだけでは、割り当てが決まらない

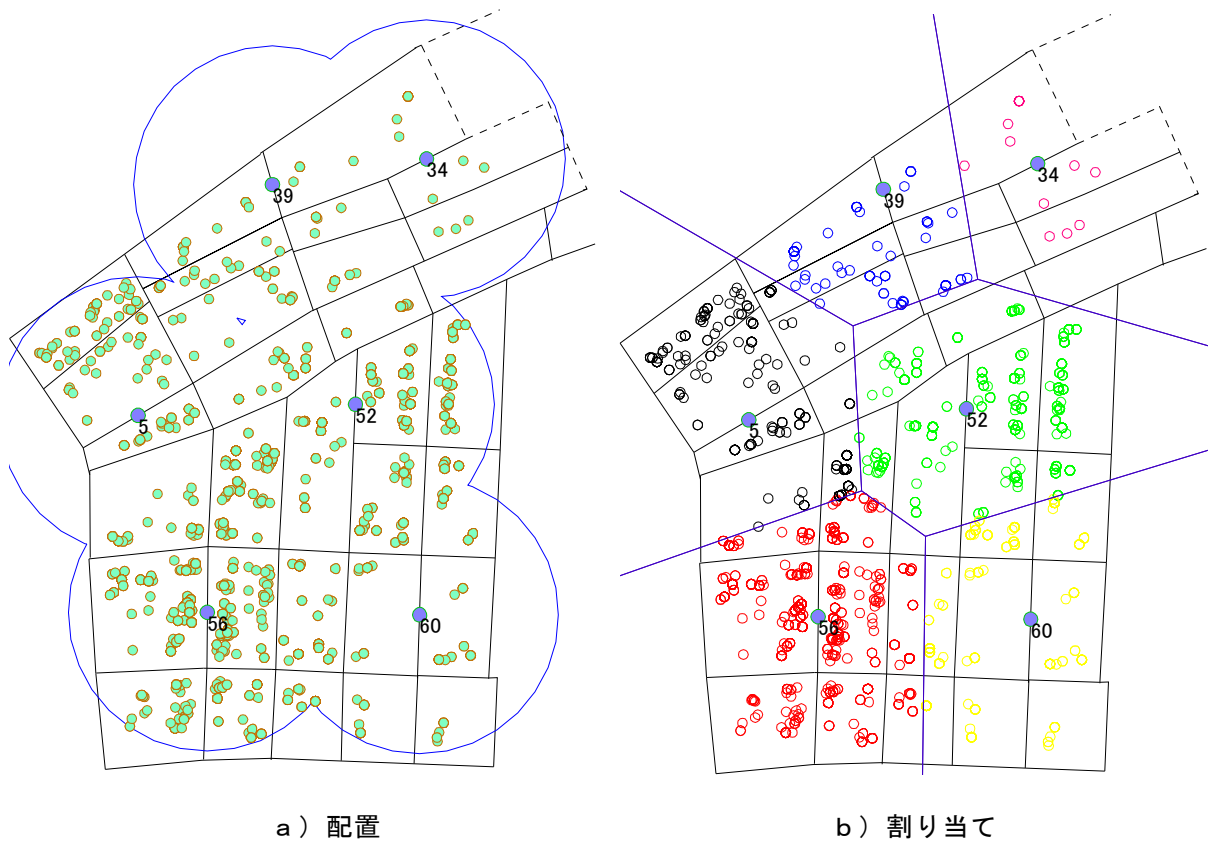


図 3.19 P-Center 問題 (P=6,Dc=143m) による配置と割り当て

表 3.3 P-Center 問題 (P=6) のときの各路上荷捌き施設からの移動距離
(単位 : m)

P	N	Sum	Average	Maximun
5	225	21,474	95.4	137
34	16	1,000	62.5	78
39	70	6,668	95.3	135
52	473	38,340	81.1	140
56	627	44,509	71.0	142
60	226	22,892	101.3	140
Total	1,637	134,883	82.4	142

ため、路上荷捌き施設を母点とする Voronoi 分割を行い、その領域内に含まれる集配先を割り当てた。また、表 3.3 は、この割り当てに基づいて各々の路上荷捌き施設から集配先までの移動距離の合計と平均値、さらに最大値を求めたものである。まず、全体でみると、総移動距離は 134,883m、平均移動距離は 82.4m となっており、両者ともに P-Median に比べて 26.9%増となっている。また、P-Center 問題の特徴から P-Median 問題に比べると、最大移動距離が 143m に抑制されているものの、担当する集配先が 16、70 と極端に少ない箇所もみられ、最大移動距離が抑制されることからドライバーにはやさしいと考えられるが必ずしも効率的でない一面もみられる。

なお、以降の分析においては、P-Median 問題と P-Center 問題による配置計画案を比較するが、上述までの P-Center 問題は、P を P-Median 問題の解と合わせて P=6 にしていたが、実際には、荷捌き駐車施設利用時の平均移動距離を同じにする必要がある。そこで、図 3.20 は、P-Median 問題と同様に、P の値を 3 から 10 まで変化させた時の移動距離の平均値の変化を示したものである。これによると、P の数が増加するにつれて平均移動距離は減少するものの、指数関数的に減少していた P-Median 問題とは異なった傾向で減少している。また、P=9 の時、平均移動距離は 68.0m であり、ほぼ実験の平均値に近くなる。なお、表 3.4 は P=7~9 までの路上荷捌き施設の組み合わせを示したものである。

図 3.21 は、P=9 としたときの路上荷捌き施設の配置と、それぞれの施設が担当する集配先建物の割り当てを示したものである。

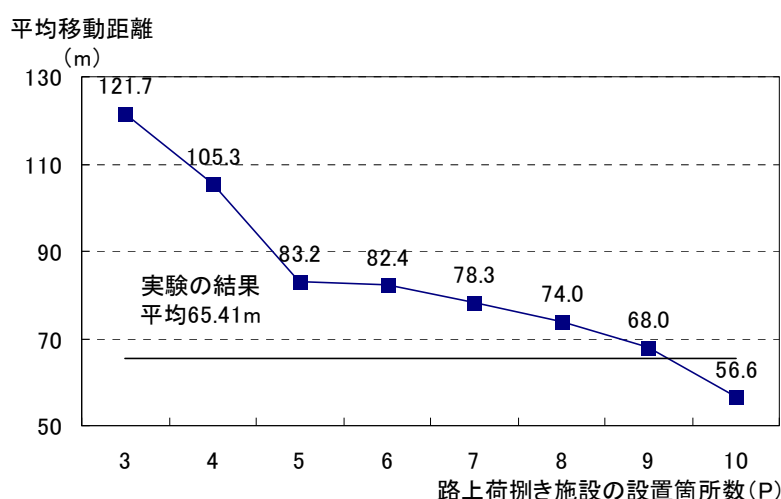


図 3.20 P-Center 問題による路上荷捌き施設の設置箇所数と平均移動距離

表 3.4 P-Center 問題による路上荷捌き施設の配置箇所の組み合わせ

配置箇所数(P)	組み合わせ
7	5, 25, 27, 38, 50, 55, 65
8	2, 8, 34, 43, 50, 55, 62, 65
9	3, 16, 25, 27, 31, 38, 49, 66, 72

注) 表中の数字はリンク番号

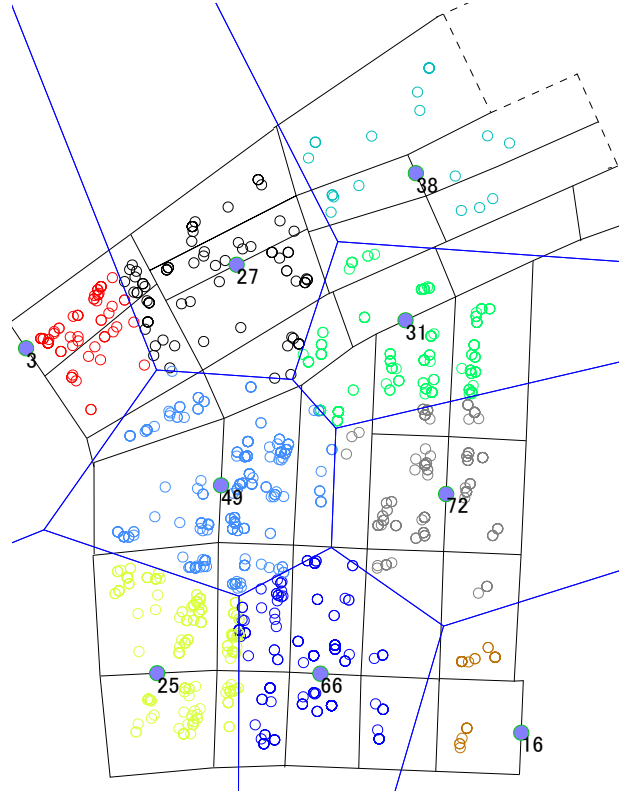


図 3.21 P-Center 問題 (P=9) による配置と割り当て

3.4.3 配置計画案の比較

前項までで述べたように、実験結果の平均移動距離 65.41m を基準としたとき、P-Median 問題では 6 箇所、P-Center 問題では 9 箇所の配置計画案が求められた。ここでは、両者の配置計画案を比較する。

まず、表 3.5、3.6 はそれぞれの配置案における各路上荷捌き施設から集配先までの移動距離の合計値、平均値、最大値、および担当する集配先数を求めたものである。これらによると、平均移動距離がほぼ等しくなるように、P を求めたことから両方で総移動距離もほぼ等しくなっている。最大移動距離については、P-Median 問題が最大 294m であるのに対し、P-Center 問題では、その特徴から最大移動距離が 121m に抑制されている。

次に、配置された施設ごとに担当する集配先数を両方で比較すると、P-Median 問題ではリンク番号 56 が 526 と多くなっているが、それ以外は 150~300 と比較的、均等であるのに対し、P-Center 問題では、リンク番号 3,16,38 において集配先数が極端に少なくなっている。さらに、設置箇所ごとの移動距離の最大値をみると、P-Median 問題では、最大値の大きなグループと小さなグループに 2 分されている。これに対して、P-Center 問題は最大値がほぼ等しく抑えられている。

図 3.22 は、移動距離帯別の頻度について両配置計画案を比較したものである。これら

によると、60m までの距離帯では P-Median 問題の方が頻度が高いのに対し、80～100m では P-Center 問題の方が頻度が高くなっている。そして、130m 以降の距離帯では、その数は少ないものの P-Median 問題の方が頻度が上回っている。

表 3.5 P-Median 問題 (P=6) のときの路上荷捌き施設からの移動距離と集配先数

P	移動距離(m)			集配先数
	合計値	平均値	最大値	
2	10,569	70.5	212	150
29	21,935	72.9	243	301
54	18,717	65.9	294	284
56	33,101	62.9	142	526
66	12,484	62.1	155	201
72	9,524	54.4	167	175
総 計	106,330	65.0	294	1,637

表 3.6 P-Center 問題 (P=9) のときの各路上荷捌き施設からの移動距離と集配先数

P	移動距離(m)			集配先数
	合計値	平均値	最大値	
3	4,367	63.3	117	69
16	3,111	79.8	91	39
25	24,822	74.8	107	332
27	7,415	74.2	120	100
31	21,481	74.6	121	288
38	2,243	86.3	106	26
49	23,078	66.3	121	348
66	12,276	57.1	111	215
72	12,522	56.9	108	220
総 計	111,315	68.0	121	1,637

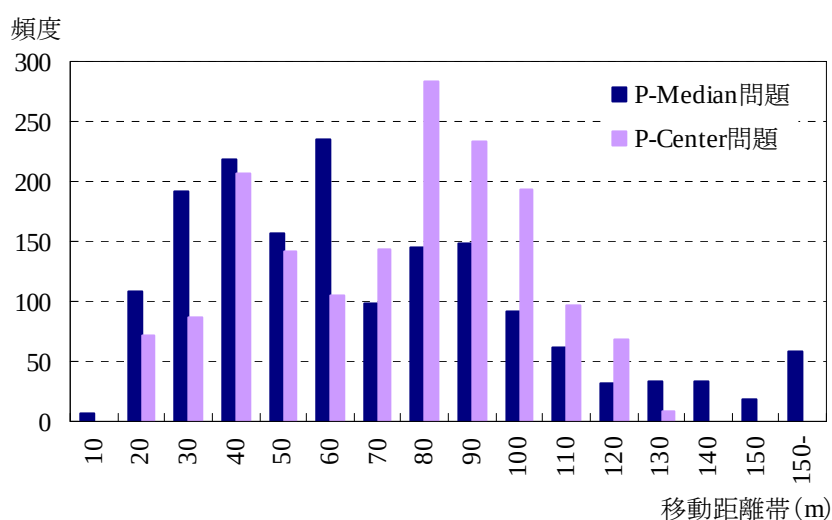


図 3.22 移動距離帯別の頻度分布と累積分布

以上の結果をもとに、両者の配置計画案を、①荷捌き活動の効率性、②路上駐車削減、という観点から比較する。

①荷捌き活動の効率性

いずれの配置計画案も移動距離 90m 以内で、ほぼ 80%の荷捌き需要をカバーしている。実証実験において、路上荷捌き施設利用時の累積分布 8 割の値は 90m であったことから、いずれの配置計画案も利用可能性の高い需要の大半がカバーされていることがわかる。一方、図 3.23 は移動距離が 90m 以下と以上に分けて、それぞれの配置計画案ごとに平均移動距離を求めたものである。これによると、90m 以下の場合では、P-Median 問題は P-Center 問題より平均移動距離が 9.09m 下回っている。これに対して、90m 以上では、P-Median 問題は P-Center 問題より平均移動距離が 25.88m 上回っている。このように、路上荷捌き施設を利用する可能性の高い荷捌き需要にとっては、詳細にみると、P-Center 問題よりも P-Median 問題の方が、より短い移動距離で集配が可能であるといえる。

②路上駐車削減

図 3.24 は、ある一定の距離を設定した場合に、その距離内で路上荷捌き施設を利用できないサンプルの比率を示したものである。言い換えれば、その距離における路上駐車全サンプルに占める比率と言える。厳密には、利用距離別に路上荷捌き施設の利用比率を考慮することが必要であるが、それは今後の課題である。実験における路上荷捌き施設利用時の平均移動距離は既に述べているように 65.41m であり、また 80%タイル値は 90m であった。この距離を基準にして、路上駐車比率をみたとき、60m では、P-Median 問題で 44.1%、P-Center 問題で 62.7%と P-Center 問題の方が高くなっているが、90m では、P-Median 問題で 21.1%、P-Center 問題で 22.4%とほぼ等しくなっている。しかし、90m を超えると P-Median 問題の方が比率が高くなっており、120m 以上では、P-Median 問題で 8.9%、P-Center 問題で 0.5%となっており、路上駐車をする可能性がある車両の比率は高くなる。

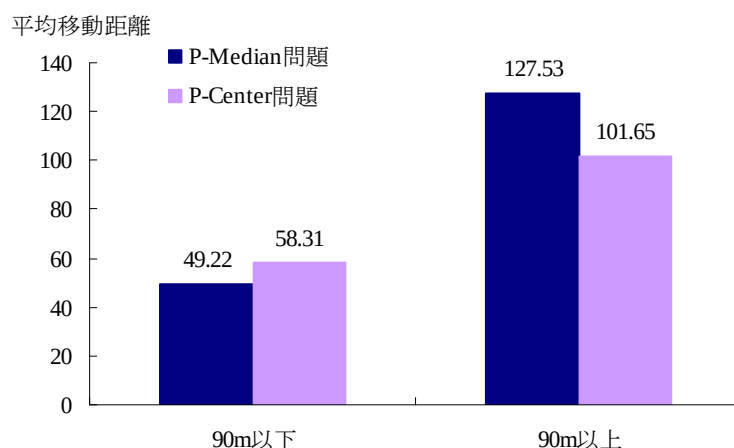


図 3.23 距離帯別にみた平均移動距離の比較

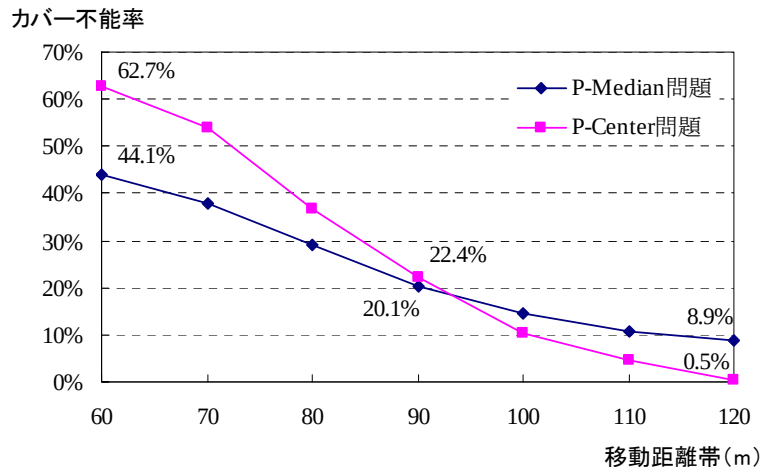


図 3.24 移動距離帯別にみた路上荷捌き施設のカバー不能率

3.5 荷捌き駐車施設の運用方法に対する意向分析

3.5.1 駐車・荷捌き行動の実態

(1) 駐車取り締まり強化後の対応

図 3.25 は、路上駐車を取り締まり強化後の対応策を尋ねたものである。これによると、「特に対応していない」という回答も7名みられたが、残りの23名のドライバーは「集配時間の短縮化」、「駐車禁止規制緩和区間への路上駐車」、「駐車許可証の取得」、「2名体制による配送」などの対応をとっていた。特に、集配時間の短縮については、駐車取り締まり強化前の集配時間の平均は14.7分であったのに対し、取り締まり強化後は平均9.3分となっていた。一方で、「時間貸し駐車場」や「月極駐車場」の利用と答えたドライバーは少なく、必ずしも荷捌き駐車需要のニーズに対応していないと考えられる。

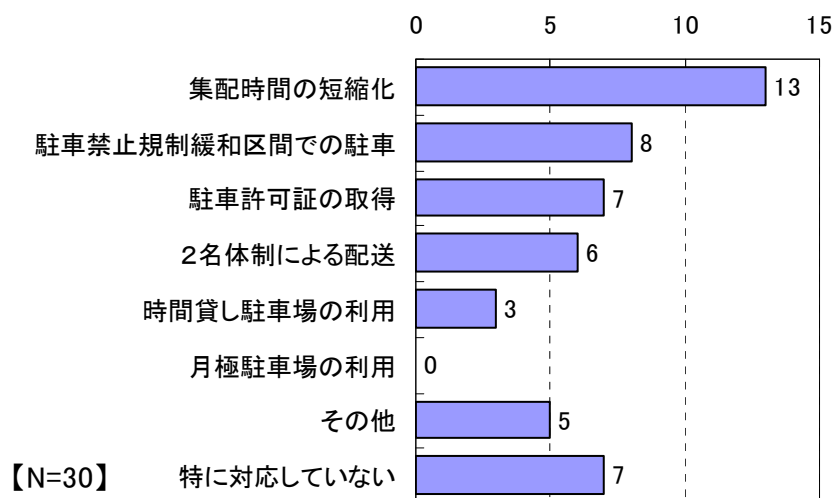


図 3.25 駐車取り締まり強化後の対応（複数回答可）

(2) 駐車場所別にみた荷捌き行動

対象地域内では、平均して1台あたり1日12.8回駐車しており、最大で46回、最小では1回であった。車両属性別に駐車回数をみると、車両種別では、被験者の中で最も車両サイズの大きい2～4tのトラック(N=10)は平均16.1回であるのに対し、それ以下のサイズの車両(バン・ワゴン車、軽トラック、2t未満のトラックの計)は10.9回となっており、車両の大きさにより駐車回数に差がある。また、表3.7に示すように、車両の用途別では、特別積み合わせによる営業用の車両の駐車回数が最も多くなっている。

表3.8は駐車箇所の内訳を示したものである。これによると、路上での駐車が最も多く、次いで集配先の荷受け施設、駐車禁止規制緩和区間の路上の順となっている。また、表中では、各駐車先での駐車1回あたりの集配箇所数、駐車時間および横持ち距離の平均値も記している。これによると、通常の路上に比べて、規制緩和区間の路上では、多くの集配先を回ることが可能であり、駐車時間および横持ち距離ともに長くなっている。なお、有料駐車場では、集配箇所数は少ないものの、駐車時間は路上の両ケースに比べて長くなっている。

表 3.7 車両用途別の駐車回数

	自家用 (N=6)	営業用(特積) (N=14)	営業用(貸切) (N=5)
駐車回数	12.8	16.6	6.4

表 3.8 駐車箇所の内訳

	N=27			
	駐車1回あたりの			
	平均駐車回数	集配箇所数	駐車時間	横持ち距離
路上(通常)	8.81	2.1	13.2	40.6
路上(駐車禁止 規制緩和区間)	1.37	3.4	18.5	46.4
有料駐車場	0.19	1.7	33.3	—
集配先の施設	2.44	—	—	—
合計	12.81			

(3) 路上での荷捌き時における駐車場所の選定基準

図3.26は、駐車場所の分布状況を示したものである。なお、図中の×印が、路上駐車場所を示しており、●印が建物内などの路外駐車場所を示している。これによると、路上の駐車箇所数は276箇所であり、路外の駐車箇所数は22箇所となっている。

また図3.27は、路上で荷捌きを行う際に、駐車場所を決める基準を示したものである。これによると、「集配先の近く」であることが最も重視されており、全てのドライバーが回

答している。次いで、「荷捌きスペース」や「路側帯スペース」が充分であることを求めている。また、回答は少ないものの、上記以外では、「交通量が少ない場所」、「駐車違反の心配が少ない」ことなどが駐車場所を決める基準としてあげられる。



× 路上駐車（276箇所）

● 路外駐車（22箇所）

図 3.26 路上駐車および路外駐車分布

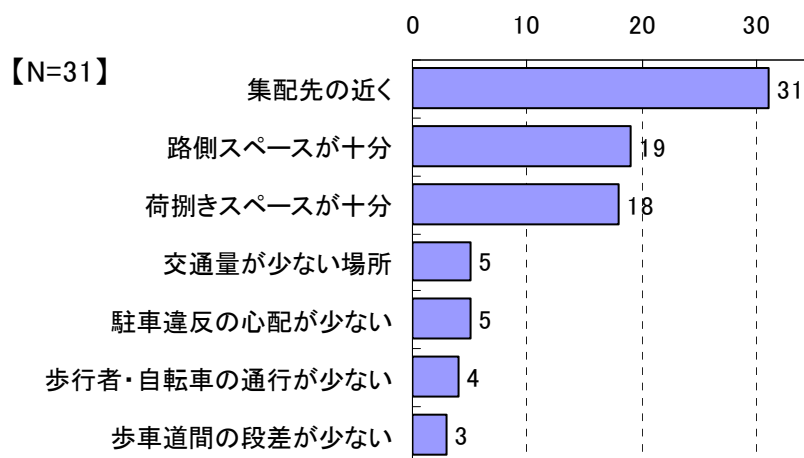


図 3.27 駐車場所の選定基準（複数回答可）

3.5.2 荷捌き用駐車施設の利用意向

荷捌き用駐車施設として、本研究では短時間用と長時間用の2種類を想定し、それぞれについて利用意向を考察した。前者は、利用時間の上限を30分程度とした比較的短時間の荷捌き施設であり、後者は最大利用時間を2時間程度として長時間駐車して多くの配送箇所を回るための荷捌き施設である。

(1) 短時間利用の荷捌き駐車施設

短時間用の荷捌き駐車施設では、最初の一定時間の利用を無料として、その後課金する運用システムを想定している。この際、無料時間は、5分、10分、15分の3水準、利用料金は5分毎に50円、100円、150円の3水準とし、無料時間と利用料金の組み合わせは全部で9ケース存在する。これら9ケースの比較のうち判断が難しいペアについて、一対比較によりどちらのケースを利用するかを被験者に尋ねている。

この一対比較の結果をもとに、無料時間と利用料金を説明変数とする非集計分析を行った結果が表3.9である。これによると、的中率は69.61%、尤度比(ρ^2)は0.1676であり、またt値も無料時間は有意水準1%で有意であるものの、利用料金は有意となっていないなど、推定精度は必ずしも高いとはいえない。しかし、説明変数の符号関係については、無料時間は正、利用料金は負となっており、論理関係には整合性がある。また、説明変数の係数より、無料時間が5分から10分が増えたときの効用値の増加は1.21であるのに対し、利用料金が100円/5分から50円/5分と安くなったときの効用値の増加は0.48であり、利用料金に対して無料時間の方が約2.5倍の効用を高める効果がある。

仮に、30分駐車した場合、無料時間5分・課金50円/5分のケースでは、支払い金額は250円であるのに対し、無料時間15分・課金150円/5分のケースであると450円かかるものの、非集計モデルによる効用値は、前者が0.734、後者は2.202であり、後者の方が高いことから、ドライバーが15分前後の短時間の駐車を意識して無料時間を重視していることが伺える。

また、一対比較の結果とは別に、被験者に希望する無料時間を尋ねている。これによると、希望する無料時間は平均18分(回答者17名)であり、このうち約半数(9名)が「無料時間内に集配送を終える」と答えている。しかし一方で、「無料時間が過ぎても利用する」もしくは「一概に言えない」と答えているドライバーもあわせて8人いる。そこで、こうしたドライバーに対して、無料時間が経過した後に支払っても良いと考えている料金を算出したところ、5分当たり62円であることがわかった。なお、算出方法は、①希望する無料時間、②トータルの駐車時間、③支払っても良い金額、をもとに次式、③÷(②－①)により求めた。ドライバーが希望するこの条件(無料時間18分・課金62円/5分)の効用値は3.94であり、9ケースの中で最も効用が大きかった無料時間15分・課金50円/5分の効用値3.16より高くなっている。

表 3.9 非集計モデルの推計結果

	係数	t値
無料時間	0.2428	3.1845
利用料金	-0.0096	-1.4696
的中率	69.61%	
尤度比(ρ^2)	0.1676	

注) 非集計分析に用いた一対比較のデータ数は 102 (被験者 14 名分の合計) であり、「どちらでもない」とする回答は分析対象外としている。

(2) 長時間利用の荷捌き駐車施設

図 3.28 は、長時間用の荷捌き駐車施設の利用意向を尋ねたものである。これによると、利用すると答えた割合が 73%である一方、利用しないと答えはドライバーも 24%存在している。

また表 3.10 は、長時間用の荷捌き駐車施設の利用に際して希望する条件をまとめたものである。これによると、希望する駐車時間は 30 分が 13 名、60 分が 3 名であり、平均は 35.6 分であった。また、駐車時間に対して支払っても良いと思う金額の平均は 160.0 円であり、1 時間当たりに換算すると 273 円 $((160.0 \text{ 円} \div 35.6 \text{ 分}) \times 60 \text{ 分})$ となる。さらに、施設を拠点として集配送先が 103.9m 以内、または集配箇所数が 4.5 箇所以上あれば、利用したいと考えている。

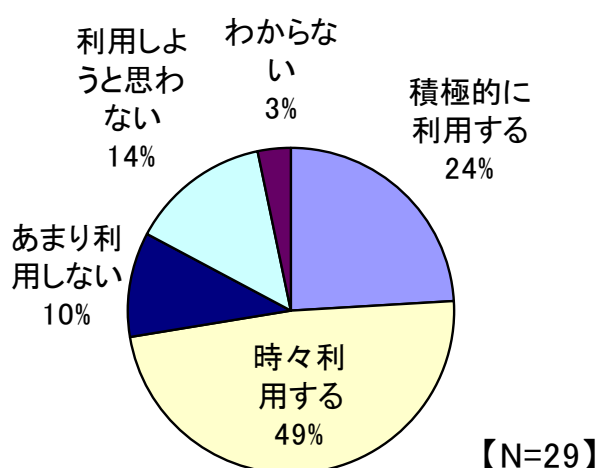


図 3.28 長時間用荷捌き駐車施設の利用意向

表 3.10 長時間用荷捌き駐車施設の希望条件

	利用時間 (分)	利用料金 (円)	集配範囲 (m)	集配箇所
N=15	35.6	160.0	103.9	4.5

(3) タイプ別の荷捌き駐車施設の利用意向

短時間および長時間用の荷捌き駐車施設の必要について尋ねた結果(回答者 29 名)、「両方とも必要」は 49% (14 名)、「短時間用のみ必要」は 21% (6 名)、「長時間用のみ必要」は 17% (5 名) であり、「必要ない」はわずかに 3% (1 名) であった。

また、図 3.29 は、ドライバーの荷捌き行動のタイプ別にみた荷捌き用駐車施設の利用意向を示したものである。これによると、1 回の駐車でなるべく多くの箇所を配送したいと考えているドライバーは、長時間用の荷捌き用駐車施設を、配送先の近くに頻繁に駐車するドライバーは、短時間用の荷捌き用駐車施設を希望する傾向がある。

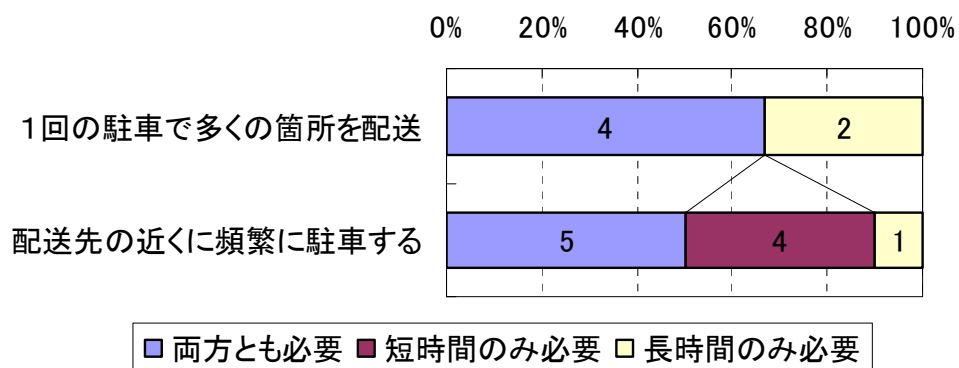


図 3.29 行動パターン別の荷捌き施設の利用意向

図 3.30 は、短時間用と長時間用を問わず荷捌き駐車施設に対する要望を尋ねたものである。これによると、「利用料金が適当」であることや「荷捌き施設の施設数」が十分に整備されていることを重要視している。

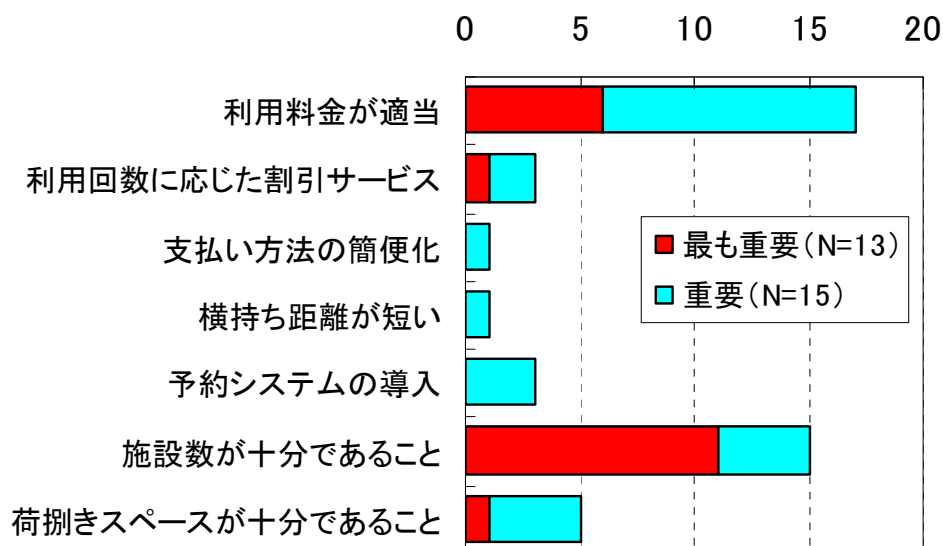


図 3.30 荷捌き駐車施設に対する要望

3.6 荷捌き駐車施設の整備計画の考え方

商業・業務地区においては、本来は荷受施設において設置された駐車スペースにおいて荷捌きが行われるべきであるが、現状では小規模施設が大半であることや、短時間の荷捌き需要が存在するため、路上で処理されることが多い。しかし、こうした路上における荷捌き活動は、既に述べているように、交通渋滞、事故の発生原因となり、近年は路上での違法駐車車両の取締りの強化により困難な状況にある。しかしながら、現実問題として、都心部から荷捌き活動を排除することは困難であることから、路上荷捌き駐車への対応などを考慮した荷捌き駐車対策が必要である。

荷捌き駐車には、本研究で明らかにしたように、大別すると比較的短時間の駐車で1～2箇所程度の少数箇所を集配送するケースと、ある程度の時間、駐車して周辺の複数箇所へ配送を行う2通りのケースがみられる。したがって、荷捌き駐車施設の整備計画を考える際には、こうした異なった荷捌き需要に対応することが必要である。

前者の短時間用の駐車施設については、既にいくつかの都市で具体的な解決策が実施されており¹²⁾、路上の特定区間を一定時間、貨物車の集配業務に限って駐車禁止対象外とする駐車規制緩和区間や、場所・時間帯を限定しての20分ルール（20分間に限り荷捌き駐車を認める）の導入、貨物車専用パーキングメーター（あるいはチケット）、貨物車専用の路側ベイ（一部で路外のコインパーキング）などの設置が行われている。これらの施設は、

その利用形態からみて、配送先への直近で導入あるいは設置することが望ましいと考えられる。また、その運用方法については、利用時間の上限を、たとえば 20 分あるいは 30 程度に限り、この時間の内、最初の一定時間を無料とし、その後課金するなどの柔軟な料金システムの適用が考えられ、これによって利用促進および稼働率の向上が期待される。

したがって、都心部などの一定の範囲を対象として、荷捌き駐車施設計画を考える場合、地域の荷捌き需要の分布を考慮した上で、図 3.31 に示すように、既設の荷捌き駐車施設を補う形で、短時間用および長時間用の荷捌き駐車施設を組合せながら、その配置や運用を考えていくことが必要である。

図 3.31 地区内における荷捌き駐車計画のイメージ

3.7 おわりに

本章では、都心部における荷捌き行動の円滑化を図るため、貨物車用の荷捌き駐車施設の整備計画の検討を行った。まず、対象地域における貨物需要および運転者の荷捌き行動特性を把握した上で、貨物需要に応じた荷捌き駐車施設の配置箇所数や配置場所を求める配置計画案を作成した。次に、運転者への荷捌き駐車施設に対するアンケート調査結果より、荷捌き用駐車施設の利用料金や利用可能時間といった運用計画についても検討した。こうした、特定の地域における貨物需要の発生集中量、荷捌き特性、および荷捌き駐車施設の配置計画、運用計画を整理にすることによって、荷捌き駐車施設の整備計画の指針を示した。

以下では、得られた成果について要約する。

1) 荷捌き駐車施設の設置効果と駐車取り締まり強化後の対応

- ・ 1 集配業務あたりの平均集配回数は 9.6 回であった。また、路上荷捌き施設の利用時間は午前 10～11 時頃と午後 4 時頃のそれぞれにピークがみられ、平均駐車時間は 25.9 分であった。
- ・ 荷捌き施設を利用した時の方が路上駐車の時より、集配距離については約 2.5 倍の伸びを示し、集配回数では約 1.7 倍となっており、より多くの場所へ長い距離の集配活動を行っている。また、路上荷捌き施設の利用によりドライバーの違法駐車への心理的負担が軽減されていた。
- ・ 駐車取り締まり強化後は、「集配時間の短縮化」、「駐車禁止規制緩和区間への路上駐車」、「駐車許可証の取得」、「2 名体制による配送」などのドライバー自身による対応や、駐車禁止規制緩和区間の設置による地域における駐車規制への柔軟な対応がみられ、こうした規制緩和区間を有効に活用していた。

2) 貨物需要に対応した荷捌き駐車施設の配置計画案

実験結果による路上荷捌き施設から集配先への平均集配距離は 65.41m であり、この距離を基準とした配置計画案を求めると、P-Median 問題では 6 箇所、P-Center 問題では 9 箇所に路上荷捌き施設を配置する計画案が求められた。そして、両者の配置計画案を比較すると、両者とも 90m 以下では 78～80%の荷捌き需要をカバーすることが可能であり、路上駐車が発生の可能性も 20～22%に抑えることができる。しかし、90m を上回る場合と下回る場合では、荷捌き活動の効率性と路上駐車削減という観点からみれば、2つの配置計画案はトレードオフの関係にあることがわかった。

3) 意向調査結果による荷捌き駐車施設の管理運用計画

短時間用、長時間用の荷捌き用駐車施設の設置を想定した結果、両タイプの駐車施設とも利用ニーズが高く、特に短時間では、15 分程度の短い荷捌き行動を想定して無料時間を重視していることが伺えた。また、1 箇所に止めて多くの配送先を回る場合は、長時間用の荷捌き駐車施設の選考度が強いことから、配送形態の違いによる使い分けの方向性も示

唆できた。

4) 荷捌き駐車施設の整備計画の考え方の提案

都心部などにおいては、当該地区における荷捌き需要の分布や荷捌き行動の特性を把握し、短時間用と長時間用の2タイプの荷捌き駐車施設を組み合わせることで配置するとともに、特に長時間用の駐車施設については配置計画問題の適用により合理的な配置を求めることが可能なこと、ならびに駐車施設のタイプごとの運用方法の重要性を指摘した。

最後に、本章における研究に残された今後の課題として、以下の諸点があげられる。

1) 提案した荷捌き駐車施設の配置計画案に対する評価が乏しいことから、路上荷捌き施設の選択行動モデルの作成により、配置計画案に対する路上荷捌き施設の選択確率を求め、配置計画案の評価する必要がある。

2) 今回の分析では、荷捌き駐車施設の配置計画案とその管理運用方法の分析が直接的に関連していないことから、両者の結果を反映した荷捌き駐車施設の整備計画の確立に努めたい。

[補注]

最大被覆問題の定式化

$$\begin{aligned} & \text{Maximize} && \sum_{i \in I} z_i \\ & \text{Subject to} && z_i \leq \sum_{j \in J} a_{ij} y_j \quad \forall i \in I \\ & && \sum_{j \in J} y_j = p \\ & && y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \\ & && z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \end{aligned}$$

【第3章の参考文献】

- 1) 国土交通省道路局，平成19年度貨物車駐車施設の整備等による交通円滑化支援制度活用用地，<http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/butsuryu/tyusyasisetsu/index.html>
- 2) 堂柿栄輔，佐藤馨一：都心商業地域における荷捌き施設に関する研究，土木計画学・論文集，No.9，pp.133-140，1991
- 3) 塚口博司，飯田克弘，中谷武彦：商業地区における荷捌き駐車管理システムに関する研究，土木学会研究・論文集，No.494/IV-24，pp.107-115，1994
- 4) 秋田直也，小谷通泰：都市商業・業務地区における路上荷捌き駐車ベイの配置計画手法に関する研究，都市計画論文集，No.41-2/41-3(CD-ROM)，2006

- 5) 塚口博司, 小林雅文: 駐車管理のための駐車場選択行動のモデル化, 土木学会論文集, No.458/IV-18, pp.27-34, 1993
- 6) 辰巳浩, 樗木武, 李相光, 属国権: ドライバーの意識から見た都心部駐車場所の利用特性に関する一考察, 第 15 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.197-200, 1997
- 7) 堂柿栄輔: 都心部における路上駐車施設利用の特性とその判別に関する研究, 土木学会論文集, No.548/IV-33, pp.35-44, 1993
- 8) 兵庫県警, 貨物集配車両の駐車緩和区間
<http://www.police.pref.hyogo.jp/seikatu/pikanwa/index.htm>
- 9) 大阪府・兵庫県・京都府トラック協会, 都市内物流効率化に係る調査研究—平成 11 年度報告書, 2000
- 10) 高橋洋二, 苦瀬博仁, 鈴木延彰, 清水真人: 建物用途構成を考慮した物流車駐停車需要の推定法と施設整備の考え方に関する研究, 第 20 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp289-294, 1994
- 11) Daskin, M. S. :Network and Discrete Location: Models. Algorithms and Applications, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1995
- 12)前掲 8)

第4章 事業所による物流拠点の立地選択行動と規制誘導方策

4.1 はじめに

物流拠点の立地場所としては、荷主および顧客への近接性ととも、高速道路 IC 付近や幹線道路へのアクセス性などの交通利便性の高い場所が好まれる傾向にある。さらには、用地取得の得やすさや立地コストを抑えるため、工業系の用途地域への立地が多い。しかし一方で、物流事業所に対しては比較的、立地に対する規制が緩やかなことから、市街化調整地域や住宅地での立地もみられ、こうした場所への立地は、未整備道路網への大型車の進入や住宅地との用途混在などにより周辺住民および周辺地域とのコンフリクトを生じさせている。このため、事業所の立地ニーズに対応するとともに物流施設の立地に伴う問題を解決するためには、物流関連施設の配置を適切に規制あるいは誘導することが必要である。

こうした物流施設の立地誘導に関する研究として、萩野ら¹⁾は、第4回東京都市圏物資流動調査(2003年)の調査データを用いて、離散選択ロジットモデルの適用による大規模物流施設の立地選択モデルを構築することにより、東京都市圏の大規模物流施設の立地可能性(立地ポテンシャル)を計測し、当モデルを用いることにより、今後の道路整備による大規模物流施設の立地ポテンシャルの高まりを分析し、物流施設の政策的な立地誘導の可能性を分析している。また、山田ら²⁾は、都市圏の物流体系の総合的整備を図る上で、物流ターミナルと道路ネットワークとの一体的整備に着目し、物流ターミナルの最適な配置計画について検討している。物流事業所や物流ターミナルなどの物流関連施設の立地モデル構築や配置計画にあたっては、取扱貨物量の発生集中量の分布状況や道路ネットワークとの関係性といった物流施設の立地要因や立地に対する意識から立地ニーズなどの施設立地に関する指標を抽出することが重要であるが、小池³⁾らは、物流施設の集積と立地の要因を、土地利用の分析と物流業者へのアンケート調査から明らかにし、物流業者の意向を考慮した物流施設の立地・拡張・移転の基本的なメカニズムを提示している。

そこで本章では、物流施設の適正配置を行うための立地誘導を考えることとする。このためには、立地誘導先となる立地適地の抽出を行う必要があるが、物流事業所の立地実態と立地に関する意識から抽出した立地指標を用いて物流事業所の立地選択モデルを構築し、この立地選択モデルから得られた立地可能性(立地ポテンシャル)の高い場所を立地適地の候補地とする。

具体的な分析は、図 4.1 に示すように、以下の手順に従って進める。

- 1) まず、現状の物流事業者の立地実態データとして、近畿圏におけるトラック事業所を取り上げて、GIS を援用することによりそれらの圏域内での空間分布特性を明らかにするとともに、人口などの社会経済指標や交通基盤施設の整備状況を説明変

数とした回帰モデルにより立地要因を明らかにする。

- 2) 次に、物流事業所の立地に関する意向アンケートの結果より、立地場所の選定理由、立地に関する問題点や今後の立地場所に望む要望を明らかにする。
- 3) こうした物流事業者の立地に関する実態および意向に関する分析を通じて、物流事業所の立地に関する指標を整理し、この立地指標を説明変数として、事業所の規模別による立地判別モデルを構築し、ゾーン単位（1km メッシュ）における立地ポテンシャルの算出を行うことにより立地適地の抽出を行う。
- 4) 構築した立地選択モデルにより、物流施設の立地誘導の可能性を探る。具体的には、対象地域内において計画されている高速道路の延伸やそれに伴う土地利用用途の変更によって、立地ポテンシャルが向上する地域の抽出を行い、それら地域への立地誘導の可能性を検証する。

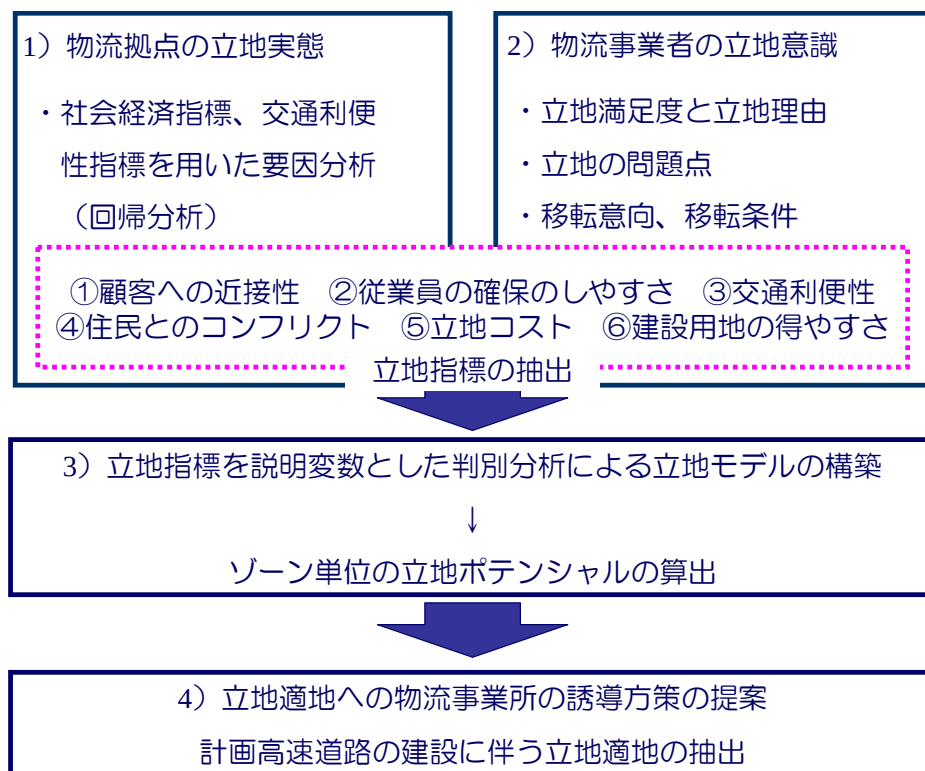


図 4.1 本章の研究フロー

4.2 分析対象地域と使用データの概要

4.2.1 分析対象地域の概要

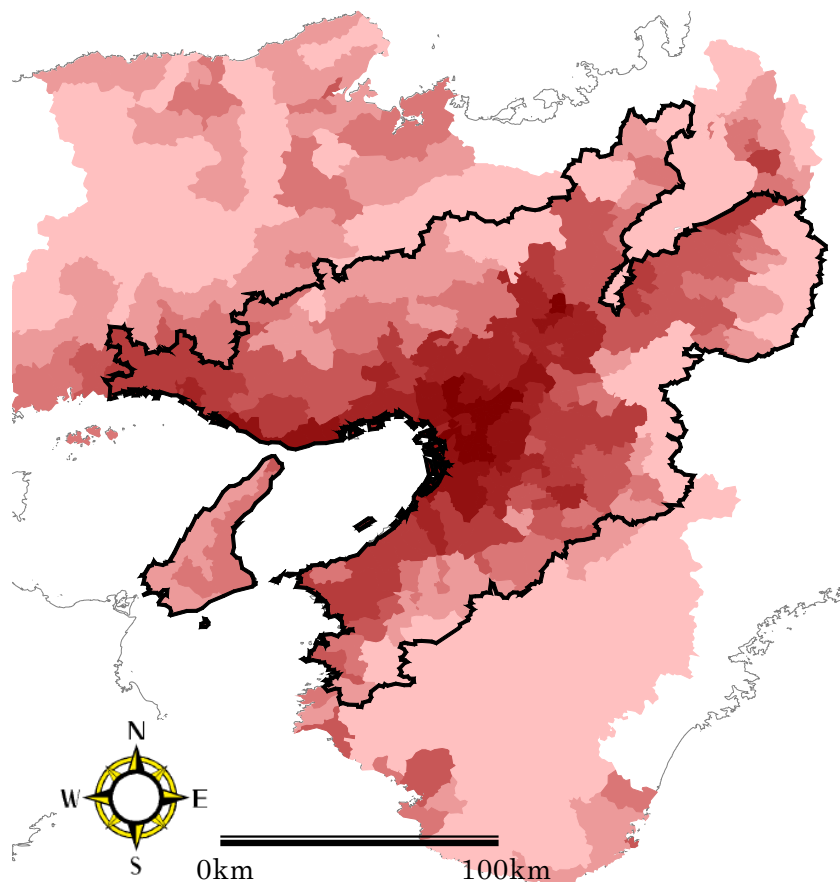
分析対象地域とした地域は図 4.2 に示す近畿圏域であり、大阪府、京都府、兵庫県、奈良県、滋賀県、和歌山県の 2 府 4 県より構成されており、総面積は 26,707km²、夜間人口および従業人口の総数はそれぞれ 2,073 万人、1,262 万人である（2000 年国勢調査結果）。また、圏内では高速道路網は大阪を中心として放射・環状にネットワークが構成されており、日本列島を東西に縦貫する路線と結ばれている。

さらに、本研究では近畿圏域の分析に加えて、圏域内における大阪市・京都市・神戸市の 3 市を中心市とした 1.5%都市圏（絶対都市圏）の京阪神都市圏を分析対象とした分析も行っている。同地域は、図中の太線で囲まれた地域であり、その範囲は大阪府全域、兵庫県南部、京都府中部・南部、奈良県北部、滋賀県南部、三重県伊賀地方、和歌山県北部にわたり、夜間人口は約 1,864 万人である。

以下では、近畿圏域を対象として、社会統計指標および交通利便性指標を市区町村ゾーンごとに集計し、地図上に視覚化した結果について考察する。

（1）社会経済指標

図 4.2 は、圏域内における市区町村ゾーン別の夜間人口の密度分布を図示したものであ



注）人口密度は、夜間人口÷面積（人／km²）、図中の線は高速道路網（2000 年 8 月時点）

図 4.2 夜間人口の密度分布

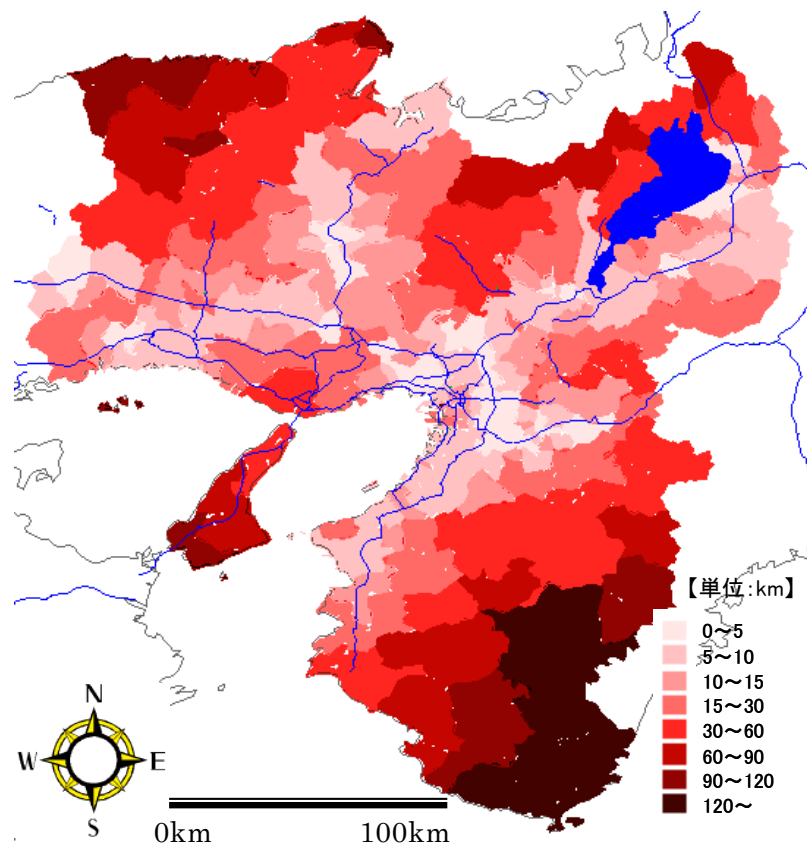


図 4.3 高速道路 IC へのアクセス距離

る。これによると、大阪湾に沿った臨海部とそこから内陸部へと伸びるY字状に広がった地域で人口の集中が見られる。また、事業所統計による従業員数の分布状況については、夜間人口が集中した地域とほぼ同様な地域で、従業員数も集中して分布している。

（２）交通利便性指標

図 4.3 は、圏域内のゾーンごとに高速道路インターチェンジへのアクセス距離の分布状況を図示したものである。これによると、阪神間の臨海部、京都府南部や滋賀県南東部のゾーンでは、高速道路が通過しているため、インターチェンジまでの距離が短く、高速道路へのアクセスが容易であることがわかる。これに対して、兵庫県の北部や、和歌山県の南部のゾーンでは、インターチェンジまでの距離が 60km を超えており、アクセスが不便であることがわかる。

また、圏域内のゾーンごとに、大阪市内の中心部（大阪市本町付近）への所要時間の分布状況を図示したところ、ほとんどのゾーンは都心部から離れるほど、ほぼ同心円状に所要時間は増大している。しかし、高速道路の沿線に位置するゾーンでは他のゾーンに比べて、都心からの距離に比べると所要時間が短くなっており、高速道路利用によるアクセス時間の短縮効果が現れている。また、兵庫県北部や和歌山県南部のゾーンでは所要時間が 150 分を超えており、都心部へのアクセスが不便であることがわかる。

（３）市区町村別の社会統計指標、交通利便性指標のデータベース化

トラック事業所の立地要因を探るため、近畿圏内の 365 の市区町村（平成 12 年調査）をゾーン単位として、それぞれについて以下の指標をデータベース化した。

- ①社会経済指標として、国勢調査（平成 12 年調査）による夜間人口、および事業所統計（平成 11 年調査）による事業所数・従業員数、さらに工業・商業統計（平成 11 年調査）による事業所数・商店数や従業員数、製造品出荷額・年間販売額のデータを用いた。
- ②交通利便性指標として、最寄りの高速道路インターチェンジへのアクセス距離と都心部（大阪市本町付近）への所要時間を計測した。

4.2.2 使用データの概要

分析には次の 2 種類のデータを用いる。一つは、近畿圏域におけるトラック事業所の立地実態に関するデータであり、もう一つは、京阪神都市圏を対象に実施された物流基礎調査の結果である。なお、前者のトラック事業所の立地実態のデータを用いて、第 3 節の実態データにもとづく物流拠点の立地要因の分析を行い、後者の物流基礎調査の結果、主として「意向アンケート」を用いて、第 4 節の物流拠点の立地選択に対する事業所意識の分析を行う。また、物流基礎調査の「実態アンケート」の一部は、第 5 節の物流施設の立地選択モデルを構築する際に使用する。

（１）トラック事業所に関するデータ

近畿 2 府 4 県の（社）トラック協会発行の会員名簿（平成 13 年版）に記載されているトラック事業者（一般・特別積み合せ、および特定輸送事業者）を対象とした。なお、平成 13 年 3 月末時点における近畿圏内のトラック事業者のうち、車両台数については 30 台未満の事業者が 83%を占めており、資本金に関しては、85%が 3,000 万未満であった。このように、トラック事業者の大半が中小事業者であることがわかる。

まず、名簿をもとに、8,939 箇所のトラック事業所のデータベースを作成した。なお、事業者によっては、同一府県内に複数の事業所を有していても主たる事業所のみしか掲載していない場合がみられる。そこで、特定の事業者について詳しく分析する場合は、NTT 提供のインターネットタウンページ⁴⁾の検索機能を利用して、対象事業者に関わるすべての事業所を抽出し、所在地と業務内容を調べた。また、各事業者の業務内容についてはホームページも参照した。収集したデータのうち、所在地については東京大学空間情報科学研究センターにより提供されているアドレスマッチングサービス⁵⁾により経緯度に変換した。

（２）物流基礎調査の概要

使用したデータは、京阪神都市圏の物流の実態を把握するため、京阪神都市圏交通計画協議会が平成 17 年に実施した「物流基礎調査」の結果を用いた⁶⁾。なお、本調査では、物

流の量的側面を把握する「実態アンケート」と質的側面を把握する「意向アンケート」の2つの調査を実施している。調査実施時期は平成17年11月中旬～12月上旬であり、調査対象は以下の通りである。調査対象は、京阪神都市圏に立地する、表4.1に示す9業種のうち、従業者数10人以上の全ての事業所である。なお、対象事業所数は約5万8千であり、これは京阪神都市圏に立地する全事業所の約6%に相当する。調査方法は、郵送配布・郵送回収により、調査対象事業所のうち、約20%に相当する約11,000事業所より調査票を回収している。なお、2種類の調査の主な調査内容は表4.2に示すとおりである。

なお、分析対象とする事業所は、この約11,000事業所のうち、運輸業でありかつ貨物の搬出実績がある事業所668を対象とする。

表 4.1 調査対象事業者の業種

製造業(4業種)	金属製造業、化学製品製造業、 機械器具製造業、軽工業品製造業
卸売業(2業種)	原材料卸売業、製品卸売業
運輸業(2業種)	陸運業、倉庫業
小売業	—

注) 小売業に関しては、物流関連施設を有する事業所のみ

表 4.2 調査内容

【実態アンケート】
①事業所の概要（立地場所、従業員数、業種、等）
②事業所に発着する物流の実態（取扱品目、搬出・搬入先の住所や重量、等）
③事業所に発着する貨物車交通の実態（車種別の発着台数、主な利用ルート、等）
【意向アンケート】
①現在の立地状況の評価
②高速道路の利用状況、利用意向、ETCの利用状況
③事業所の立地移転のニーズ、移転時の条件、大規模複合物流施設の利用ニーズ
④道路整備や物流用地などの行政施策に対するニーズ、等

4.3 実態データにもとづく物流拠点の立地要因の分析^{7)~9)}

ここでは、近畿圏におけるトラック事業所の立地実態に関するデータを用いて、物流拠点の立地実態からみた立地の要因を明らかにすべく、物流拠点として、運輸事業者であるトラック事業所を取り上げ、GISを援用することによりそれらの圏域内での空間分布特性

を明らかにするとともに、人口などの社会経済指標や交通利便性指標などの物理指標を説明変数、集計ゾーン単位のトラック事業所数を被説明変数とした回帰モデルにより立地要因を明らかにする。

4.3.1 トラック事業所の空間分布特性

図 4.4 は、8,939 箇所にあるトラック事業所の位置を地形および高速道路網図の上に重ね合わせて図示したものである。これによると、トラック事業所の立地は平野部を中心に広がっており、特に大阪湾沿岸域とそこから内陸部へと伸びる人口集積地域に沿って、その大半が立地している。また、こうした地域だけでなく、地方部においても散在していることがわかる。

さらに詳細なトラック事業所の立地を探るため、図 4.5 に示すように、トラック事業者の事業所数を 1 km メッシュ単位に集計し、その密度を濃淡で図示した。なお、この図は集積が著しい大阪湾沿岸域を中心として拡大表示したものである。さらに図中には、大阪市、京都市、神戸市を表す場所として市役所の所在地も図示した。これによると、大阪市都心部と、その外縁部に位置する東大阪市から摂津市、茨城・吹田市にかけての地域、お

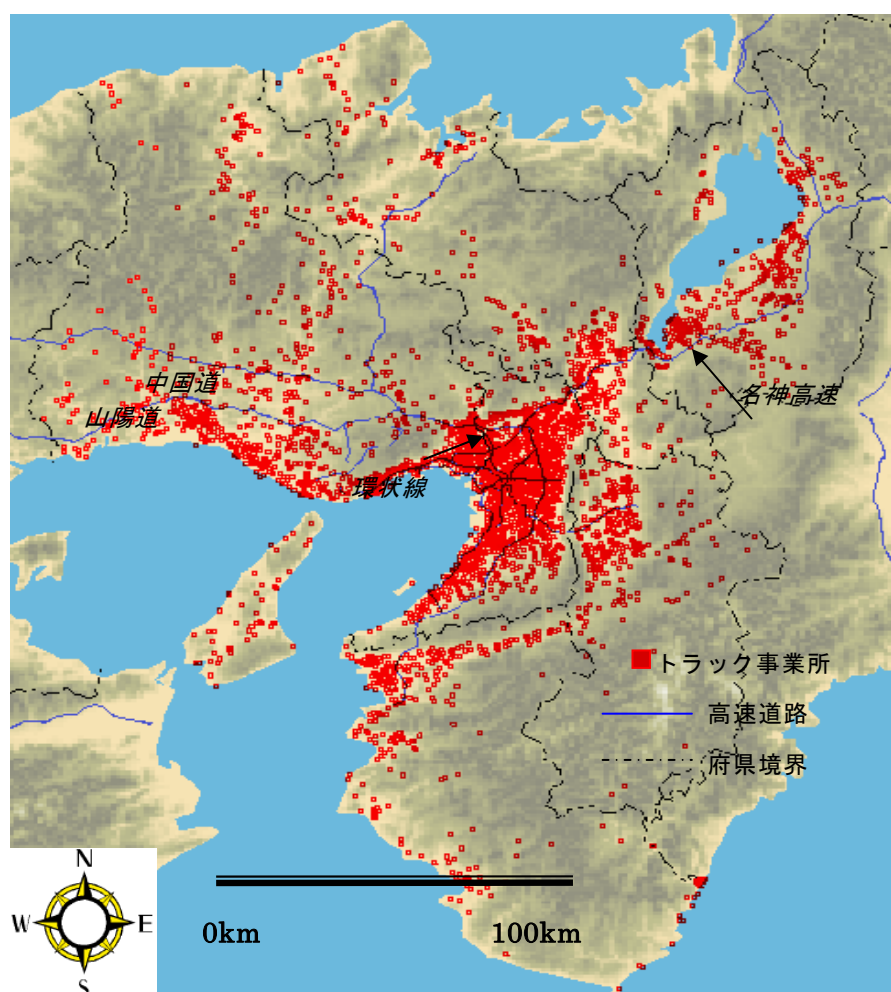
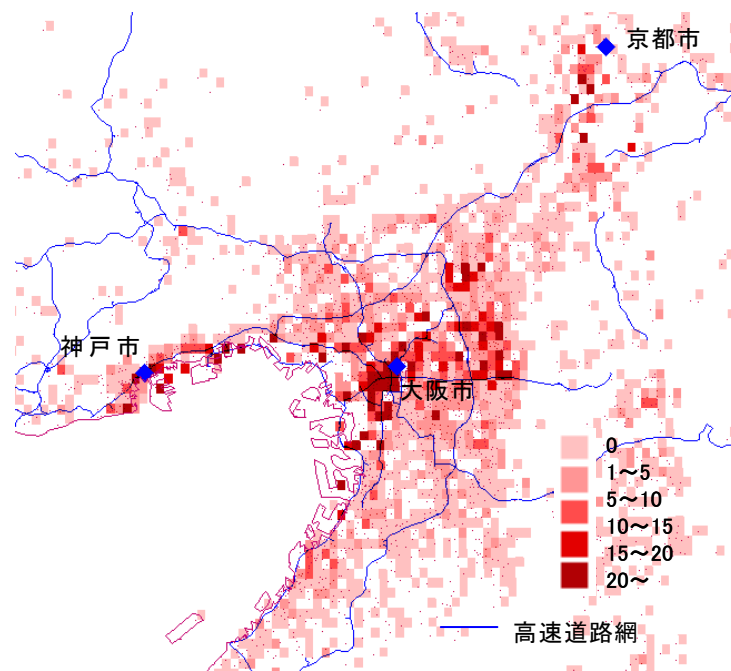


図 4.4 トラック事業所の分布状況



注) ◆は各市の市役所の位置を示す

図 4.5 立地密度（1km メッシュ、単位：件/km²）の分布

よび大阪市から神戸市にかけての阪神間の臨海部、さらに京都市南部地域で密度が高くなっている様子がわかる。

4.3.2 公共トラックターミナルの立地との関係

図 4.6 は、先ほどの図 4.5 と同地域を対象として、等高線図によりトラック事業所の立地が集中しているエリアを詳細に図示したものである。図中には、近畿圏内の 4 箇所に設置されている公共トラックターミナルを示すことにより、トラック事業所の立地との関係を調べている。なお、等高線への変換方法は離散量を連続量に変えるカーネル密度推定（補注）を使用した。また表 4.3 は、平成 7 年における各公共トラックターミナルのバース数・入居事業者数および貨物の取扱実績を示したものである。これらより、図 4.6 と同様の地域で等高線が高くなっている様子がわかる。特に、大阪都心部の外縁部に位置する東大阪から摂津市、茨城市・吹田市といった等高線が高い区域と規模の大きな北大阪・東大阪の両トラックターミナルが設置されている地点とがほぼ一致しており、それらのターミナルを中心に多くのトラック事業所が集中して立地していることが伺える。一方、南港・神戸のトラックターミナル周辺でも比較的等高線が高くなっているものの北・東大阪の両トラックターミナルに比べると等高線は低く、ターミナルの規模により周辺に集中するトラック事業所数に差が生じている。

表 4.3 公共トラックターミナルの概要（平成7年時点）

	バース数	会社数	取扱実績
北大阪トラックターミナル	424	31	2,848
東大阪トラックターミナル	312	39	1,679
南港トラックターミナル	180	14	812
神戸トラックターミナル	76	8	175

注) 取扱実績の単位は千トン

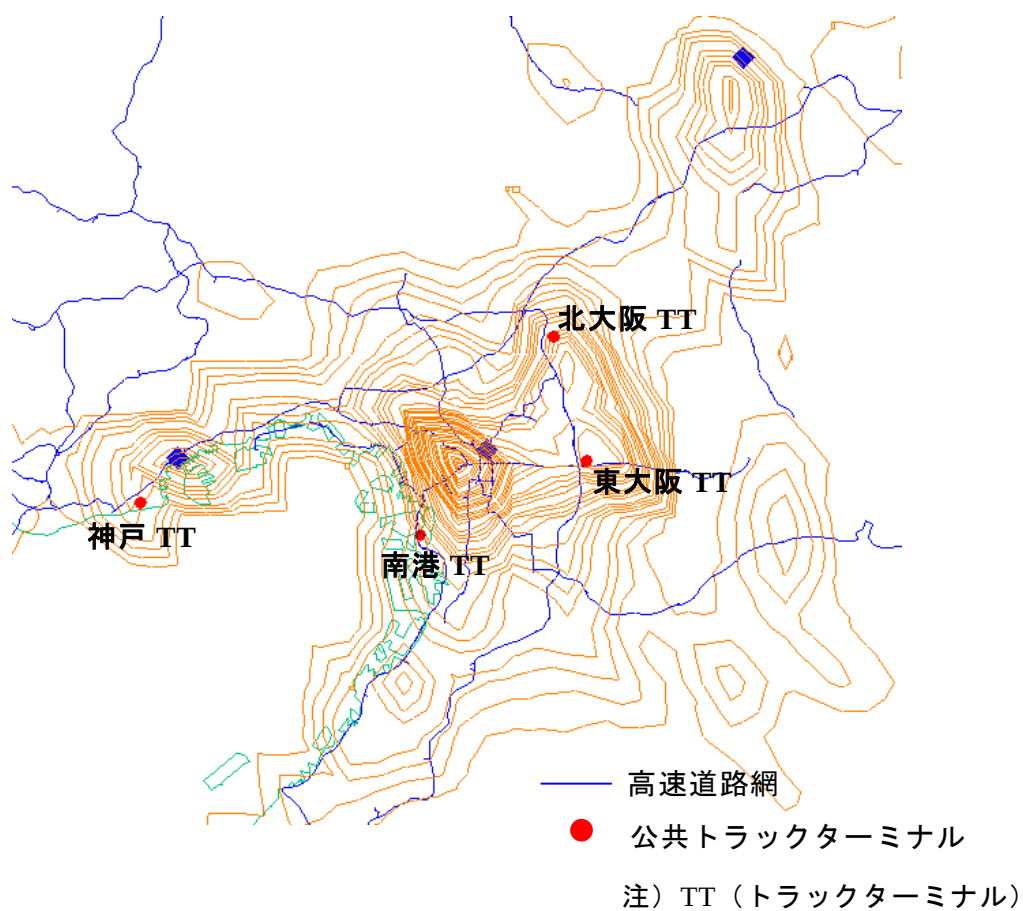


図 4.6 公共トラックターミナルとトラック事業所の立地の関係

4.3.3 高速道路インターチェンジへの近接性

高規格幹線高速道路のインターチェンジ（以下 IC）の半径 4 km 以内に立地しているトラック事業所は、検索の結果 3,396 事業所であり、全事業所の 38.0%を占めている。これを、高規格幹線道路に都市高速道路等も含めた IC まで広げると、66.5%となる。

図 4.7 は、IC への近接性とトラック事業所の立地密度の関連を示したものである。図中では、IC からの距離を横軸で表し、距離帯ごとの立地件数を面積で除した立地密度を縦軸にとっている。これによると、トラック事業所は、高規格幹線高速道路の IC、あるいは都市高速道路等も含めた全 IC から離れるほど、立地密度が減少していることがわかる。特に IC から 2～4 km までの範囲で密度の低下が著しい。

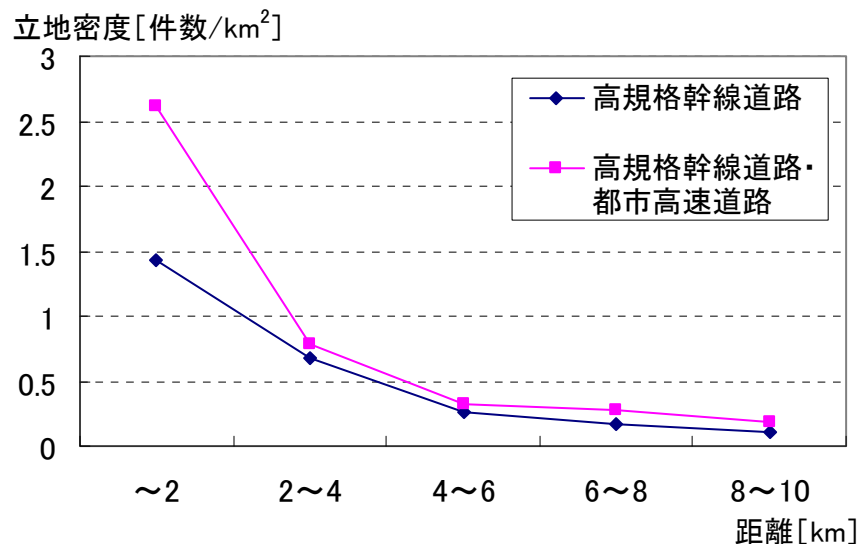


図 4.7 インターチェンジからの距離帯別の立地密度

4.3.4 都心部へのアクセス距離

4 km を境に大きくトラック事業所が減少することを踏まえ、名神高速道路の両側 4 km ずつの範囲に立地する事業所を対象に、西宮 IC を起点として、そこからの距離帯ごとに、トラック事業所の件数を求めて図示したものが図 4.8 である。これによると、トラック事業所は、京都南 IC のある 40～50km の距離帯で大きなピークを、また 70km 付近の栗東および竜王 IC で小さなピークを示しているものの、全体としては、西宮 IC から離れるほど、その件数は減少している。特に、起点である西宮 IC から 30～40km の距離帯までの間で、件数は著しく減少している。

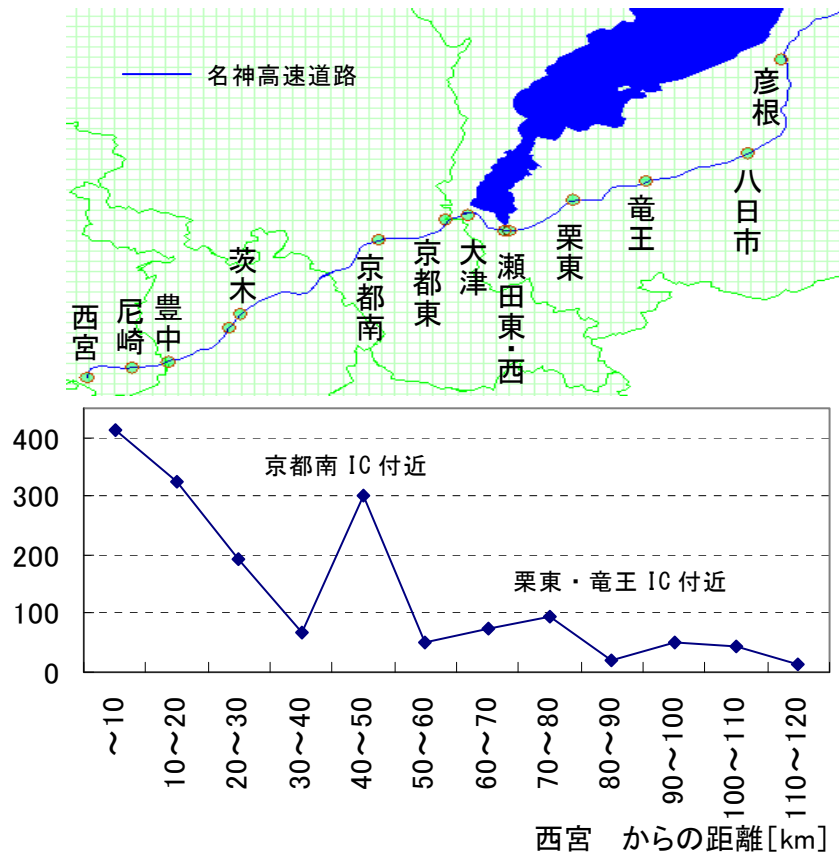


図 4.8 都心からの距離と立地件数の関係

4.3.5 トラック事業所の立地要因

トラック事業所の立地要因を明らかにするため、市区町村別のトラック事業所の立地件数を被説明変数として、重回帰分析を行った。この際、説明変数は、変数相互間での相関関係を考慮して、表 4.4 に示すような、交通利便性指標および社会経済性相互間の相関係数が高い組み合わせ（0.8 以上）については、重回帰分析の多重共線性を避けるため、同一モデル内に同時に投入しないようにした。また、同一統計内（例えば事業所統計の従業員数と事業所数といったような）についても必然的に相関係数が高くなるため、同時には投入しないようにした。この結果、以下に示す変数を用いた。

- ① 交通利便性指標（IC への距離、または都心への時間のいずれか一方）
- ② 社会経済指標（商業統計、工業統計のそれぞれについて、従業員数、販売・出荷額、商店・事業所数のうちいずれかの変数、および夜間人口）

これら 3 ないし 4 つの説明変数を用いて 6 つの回帰モデルを構築した結果を示したものが表 4.5 である。これによると、モデルの精度を示す重相関係数は 0.819 から 0.898 を示しており、良好な結果が得られた。また、商業系、工業系の従業員数、販売・出荷額、商店・事業所数、夜間人口は、いずれも t 値が有意水準 1% で有意である。商業系と工業系の指標を比較すると、工業系の指標の方がより有意性が高くなっている。

また、交通利便性指標は、都心へのアクセス時間が一部のモデルで有意となった以外、

有意性は低かったが、これは本モデルが全トラック事業所を対象としているため、必ずしもその立地が交通の利便性に依存しない中小事業者が有する事業所も多く含まれていることが一因と考えられる。次にモデル中の個々の変数を見てみると、パラメータの符号から、商業系および工業系のいずれの指標も、大きいほどトラック事業所の立地に寄与する傾向を示している。また、最寄り IC への距離、都心への時間のパラメータの符号はマイナスであり、IC あるいは都心部から近い地域ほど、立地件数は増加する傾向にあることも示されている。

表 4.4 相関係数の高い変数の組み合わせ

関係数	数の組み合わせ
0.9以上	事業所統計の事業所数 業統計の数 (0.99)
	事業所統計の業数 業統計の業数 (0.97)
0.8以上	工業統計の業数 の間人口 (0.84)
	工業統計の出荷 の間人口 (0.81)
	都心のアク ス時間 ター の距離 (0.84)
	都心のアク ス時間 ター の時間 (0.82)

表 4.5 トラック事業所件数の重回帰分析の結果

	1	2				
ター の距離	-1.42 -02 (-0.43)	-7.33 -02 (-1.73)	-4.11 -02 (-1.14)			
都心 の時間				-2.44 -02 (-1.57)	-6.71 -02 (-3.43**)	-2.37 -02 (-1.39)
(業統計) 業 数	6.61 -04 (7.05**)			6.38 -04 (6.74**)		
(工業統計) 業 数	4.63 -03 (26.30**)			4.59 -03 (26.22**)		
(業統計) 年間		4.16 -08 (4.80**)			3.82 -08 (4.43**)	
(工業統計) 出荷		1.37 -06 (23.69**)			1.34 -06 (23.36**)	
(業統計) 数			7.89 -03 (6.21**)			7.74 -03 (6.06**)
(工業統計) 事業所数			5.62 -02 (11.01**)			5.63 -02 (11.03**)
間人口			1.22 -04 (5.64**)			1.21 -04 (5.59**)
数	1.397 (0.82)	7.602 (3.52**)	2.027 (1.07)	3.801 (1.71)	12.811 (4.67**)	3.402 (1.37)
重 関係数	0.897	0.819	0.876	0.898	0.824	0.876

注) () 内はt値を し **は有意水準1%で有意 *は有意水準5%で有意

4.4 物流拠点の立地選択に対する事業所意識の分析

ここでは、京阪神都市圏で実施された物流基礎調査のうち、事業者を対象とした立地に関する意向アンケート調査の結果をもとにして、意識面から立地に対するニーズの分析を行う。具体的には、①立地場所の選定理由と立地に対する満足度の関係性や、③立地に関する問題点、さらに、②今後の立地場所に望む要望を明らかにする。

4.4.1 立地選択理由と立地に対する満足度

図 4.9 は、現在の事業所の立地場所に対する満足度を示したものである。これによると、「非常に満足している」、「やや満足している」の回答をあわせると 60%を占めているのに対して、「非常に不満足」「やや不満足」の合計は 16%であり、大半の事業者が現在の立地場所に満足していることがわかる。

図 4.10 は、現在の場所に立地した理由を尋ねた結果である。なお、立地理由は複数回答可能である。この結果、「必要・十分な広さだったから」という回答が最も多く、次いで「顧客や得意先の事業所に近い」、「高速道路、幹線道路へのアクセス性」、「地代・賃料が妥当だから」といった項目の比率が高くなっている。これに対して、「下請けや仕入れ先の近く」、「従業員の確保」といった項目は、立地選択の基準として必ずしも重要視されていないことがわかる。

4.4.2 立地選択理由と物理条件

図 4.11 は、立地選択理由と立地の物理条件との関係を示したものである。

図 a) は、立地理由の「高速道路 IC に近いから」の選択有無と高速 IC への所要時間の関係を示したものである。これによると、立地理由において「高速道路 IC に近いから」

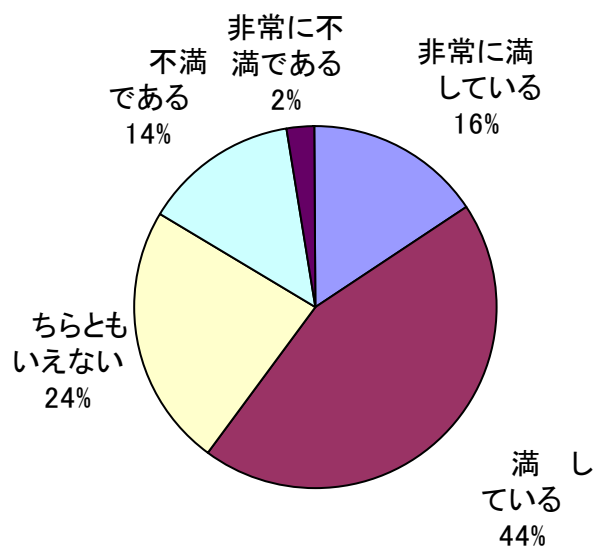


図 4.9 立地場所に対する満足度

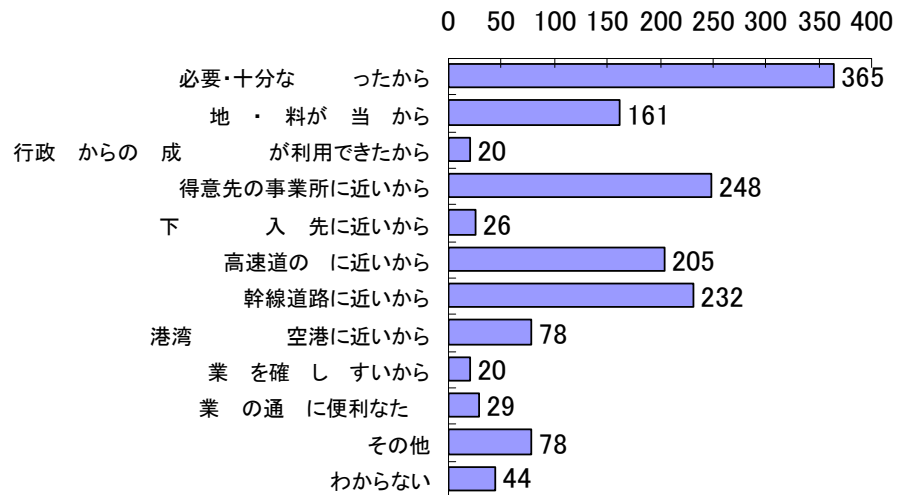
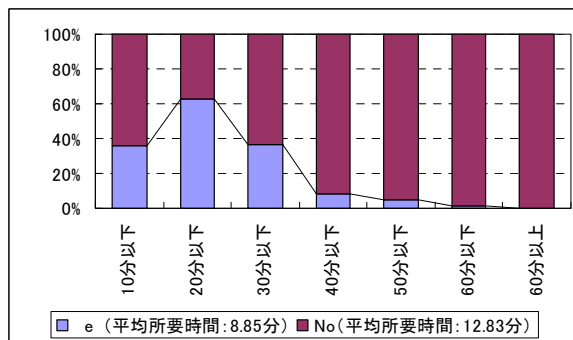
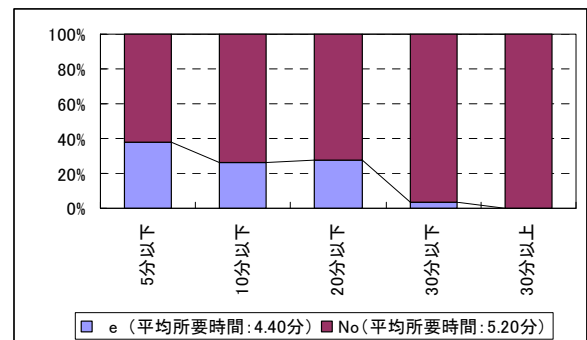


図 4.10 立地理由

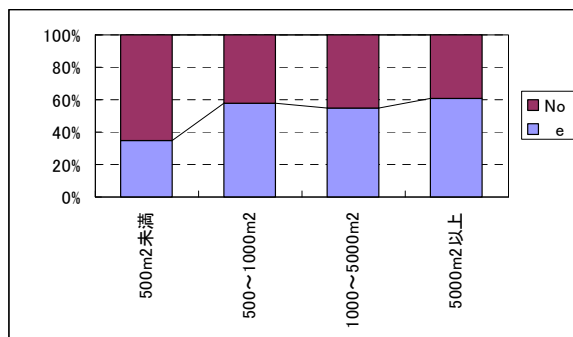
を選んだ事業所ほど、高速 IC への距離が近く、Yes と答えた事業所の高速 IC への距離が平均 8.85 分であるのに対し、No と答えた事業所では 12.83 分となっている。また、図 b) に示す幹線道路についても高速道路 IC とほぼ同様の結果がみられ、幹線道路沿いを希望して立地した事業所ほど、幹線道路までの所要時間が短くなっている。



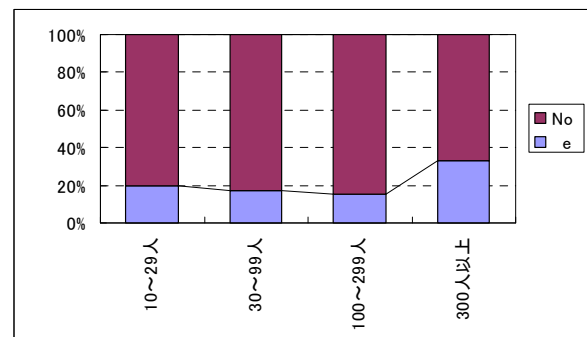
a) 高速 IC への所要時間
と「高速道路 IC の近さ」



b) 幹線道路への所要時間
と「幹線道路の近さ」



c) 敷地面積
と「必要・十分な広さ」



d) 従業員数
と「従業員の確保」

図 4.11 立地選択理由と物理条件

図 c) の敷地面積においても、「必要・十分な広さ」を立地理由に挙げている事業所ほど、敷地面積が広くなる傾向にある。また、図 d) 従業員数では、300 人以上の従業員を有している事業所では、「従業員の確保」を立地理由に挙げている事業所の比率が高くなっている。

4.4.3 立地後に生じた問題点

図 4.12 は、立地後に生じた問題点を示したものである。これによると、「用地・施設が手狭」が最も多いほか、「施設の老朽化」、「地代・賃料の負担」といった用地・施設に関する問題点が多い。次に、「貨物車の発着に関する住民の苦情」、「周辺道路の混雑」といった周辺環境に関する問題点を指摘する割合が高くなっている。

図 4.13 は、問題点の有無による満足度を示したものである。これによると、問題点があると感じている事業所で、立地に関する満足度が低くなっているのがわかる。

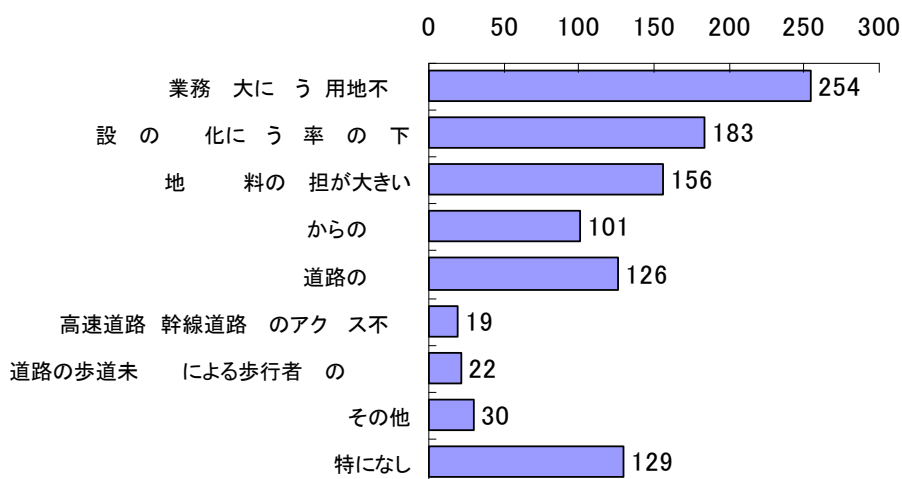


図 4.12 立地後に生じた問題点

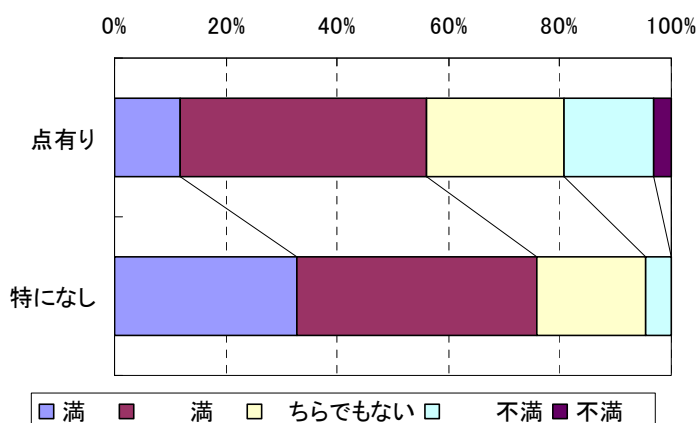


図 4.13 問題点の有無による満足度の差異

図 4.14 は、事業所属性と問題点の有無を比較したものである。これによると、まず図 a) の「用地不足」を問題視している事業所と敷地面積には、あまり関係性がみられない。次に、図 b) の事業所の設置年と「老朽化問題」では、設置年が古い事業所ほど、老朽化問題が深刻であるのがわかる。また、図 c) に示すように、賃貸契約により事業所を設置している事業所ほど、立地コストの問題を抱えており、図 d) の用途地域では、住宅系の用途地域に立地している事業所では、周辺住民からの苦情に対応を苦慮している様子が見える。

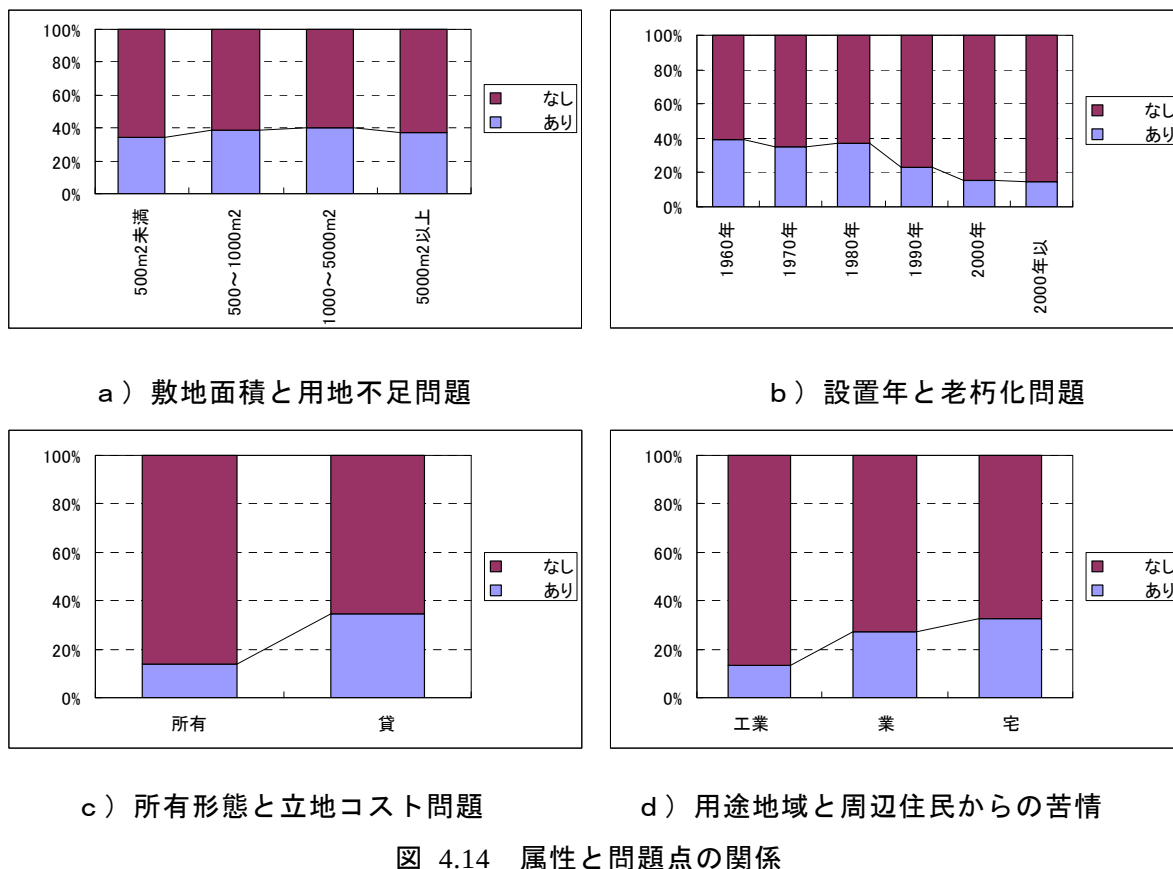


図 4.14 属性と問題点の関係

立地後に生じた問題点が、立地満足度にどのように影響をしているかを調べるため、立地に関する満足度を被説明変数、立地に関する各問題点を説明変数として、数量化理論Ⅱ類を行った。図 4.15 は、その結果を示したものである。なお、満足度は、「非常に満足」「やや満足」を満足とし、「非常に不満」「やや不満」を不満とした。正準相関係数が 0.331、的中率が 72.16%であり、必ずしもモデルの精度は高いものの、概ね信頼できる結果と考えられる。なお、「満足」、「不満」の被説明変数の重心をみると、不満がマイナスとなっている。各問題点のカテゴリウェイトをみると、「周辺住民からの苦情」が最も大きく、次いで「高速道路へのアクセス不備」、「未歩道整備による歩行者への危険性」といった変数の値が高く、これらの問題点が、立地満足度に影響していることがわかる。

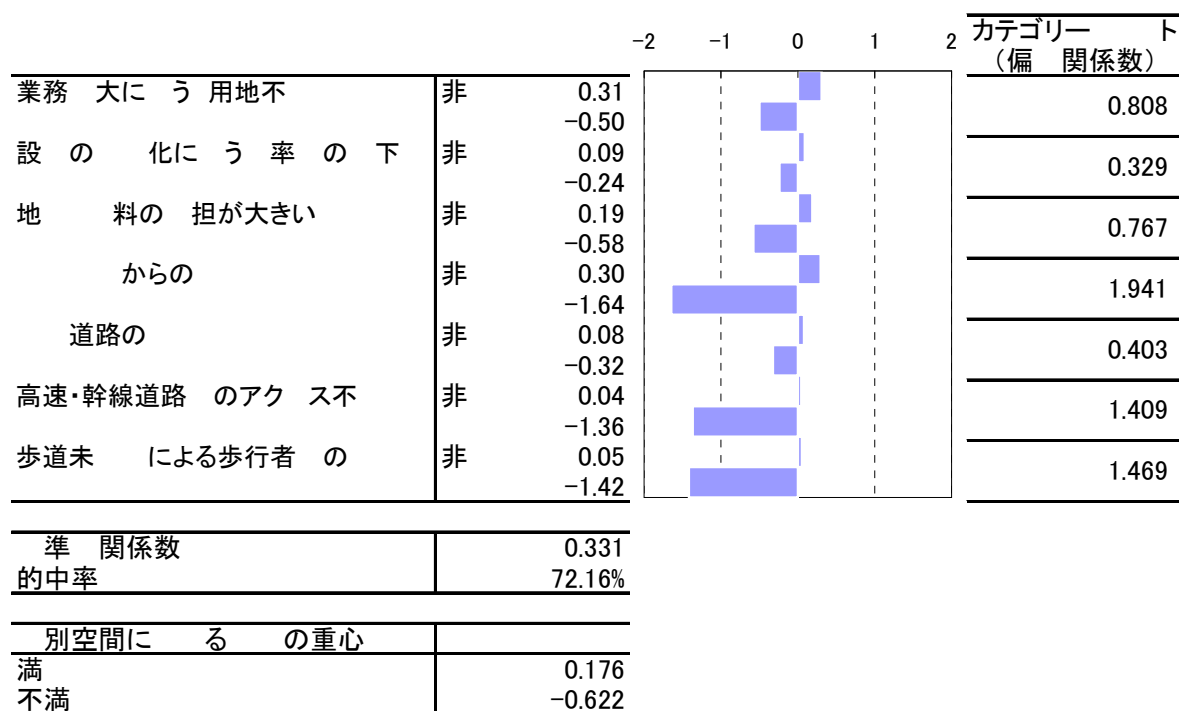


図 4.15 問題点に対する数量化Ⅱ類の結果

4.4.4 今後の移転意向と移転に対する要望

事業所に対する意識調査では、今後の物流拠点の移転に関する意向も尋ねている。

表 4.6 は、今後、物流効率化向上のために必要となる物流施設面の対応を尋ねた結果を示したものである。これによると、「特に対策はとらない」と答えている事業所が半数近くを占めており、最も多いものの、一方で、「現在の事業所に加えて、新施設を新設・賃借」、「現在の事業所を廃止して、新施設の新設・賃借」といった意見もそれぞれ 95 件、57 件みられることから、新たな拠点の増設、また物流拠点の移設に関する要望があることもわかる。

図 4.16 は、こうした新設、移転に関する条件を尋ねた結果を示したものである。これによると、「十分な敷地の広さ」、「高速道路へのアクセス利便性」といった項目が特に重要視されており、続いて「用地・施設の賃借価格が妥当」、「市場、消費地へのアクセス利便性」といった項目が重要視されている。

そこで、これらの移転先に求める条件を具体的な数値（希望条件の平均）で示したものが、表 4.7 である。これによると、最寄り高速道路 IC へのアクセス時間は、14.55 分以内であり、敷地面積の広さは 7,469m² 以上を望んでいる。また、地価では、1m² あたり、分譲価格では、54,535 円以下、賃借料では月々 8,384 円以下を望んでいる。

表 4.6 今後の物流施設面の対応

対	件数
現の事業所にえて施設を設・	95
現の事業所を止して施設の設・	57
現の事業所を止しての大施設に統合	11
現の事業所のままでその能を高度化する	153
特に対はとらない	301

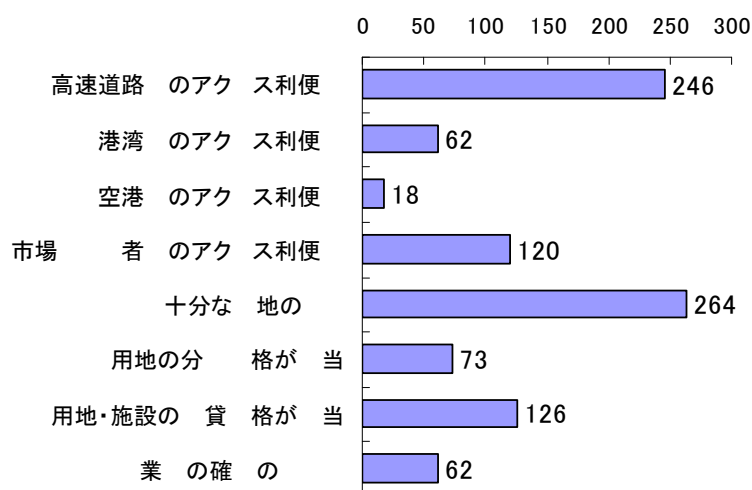


図 4.16 移転先の希望

表 4.7 移転先の希望条件

高速道路のアクセス利便	14.55分以内
港湾のアクセス利便	24.52分以内
空港のアクセス利便	48分以内
市場者のアクセス利便	30.25分以内
十分な地の	7469m ² 以上
用地の分格が当	54,534円以下
用地・施設の賃格が当	8,384円以下

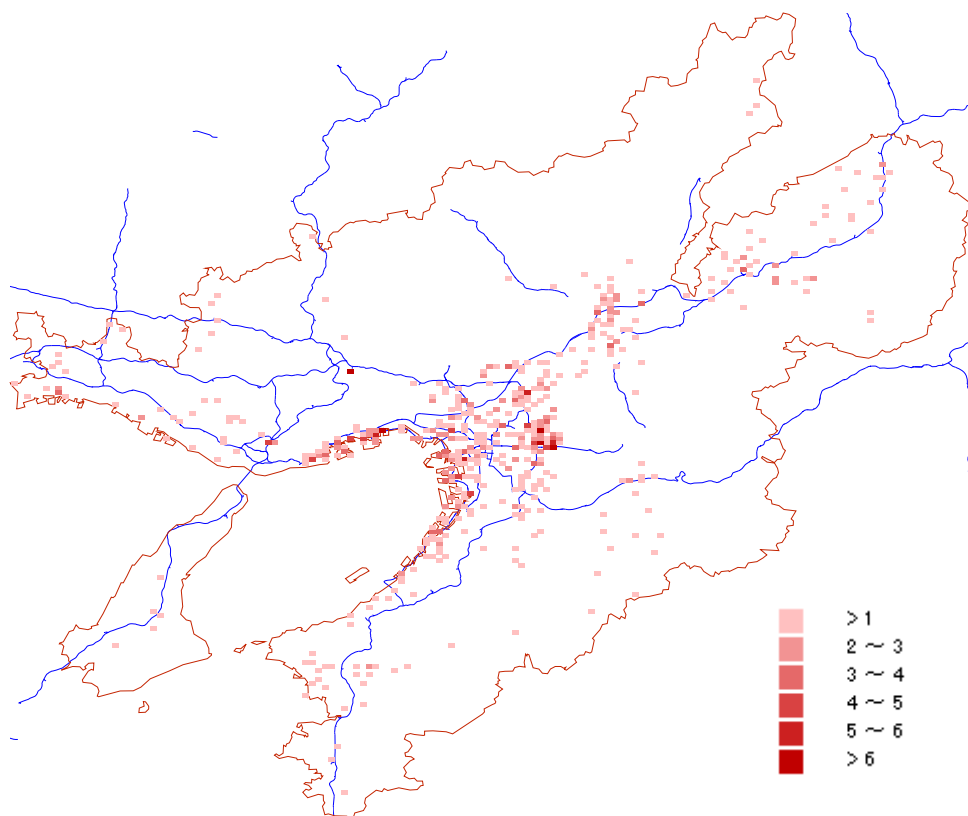
注) 土地価格については、1m²あたり

4.5 物流拠点の立地誘導のための立地適地の抽出

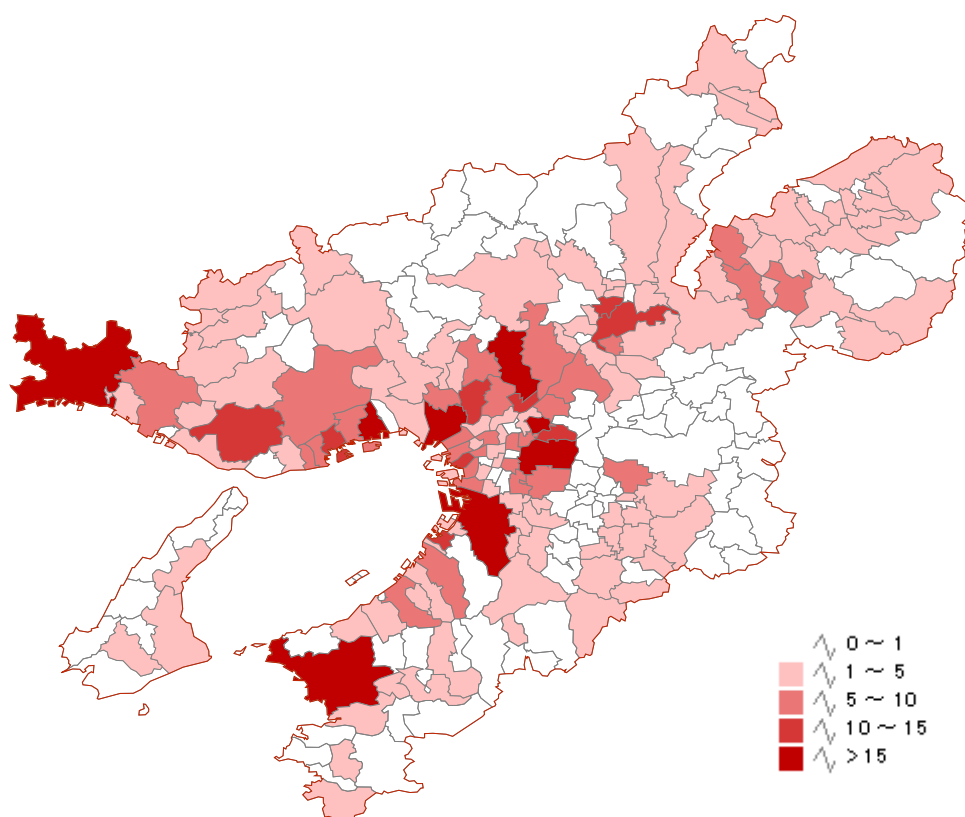
ここでは、上述までの物流拠点の立地実態の分析と意識面からみた立地意向の結果の両者を勘案した物流施設の立地誘導地域の選定のための立地適地の抽出を行う。

4.5.1 物流拠点の立地場所

図 4.17 は、意識調査において分析対象とした運輸・倉庫業の 668 の事業所の近畿圏における立地場所を示したものである。なお、図 a) は 1km メッシュ単位に集計したもので



a) 1km メッシュ単位の立地状況



b) 市区町村別の立地状況

図 4.17 運輸・倉庫事業者の立地状況

あり、図 b) 市区町村単位に集計したものである。これらの図から、まず、図 a) より、これらの事業所は大阪湾の沿岸部および高速道路ネットワークに沿った地域で多く立地しているのわかる。

また、図 b) の市区町村単位でみると、東大阪市が最も多くの 50 の事業所が立地しており、次いで、神戸市東灘区の 24 箇所、尼崎市の 20 箇所、堺市の 18 箇所、和歌山市の 17 箇所、門真市の 16 箇所、茨木市の 16 箇所、姫路市の 16 箇所の順となっている。なお、東大阪市は前述の移転希望条件を尋ねた質問項目において、最も希望する移転先として挙げられた地域である。

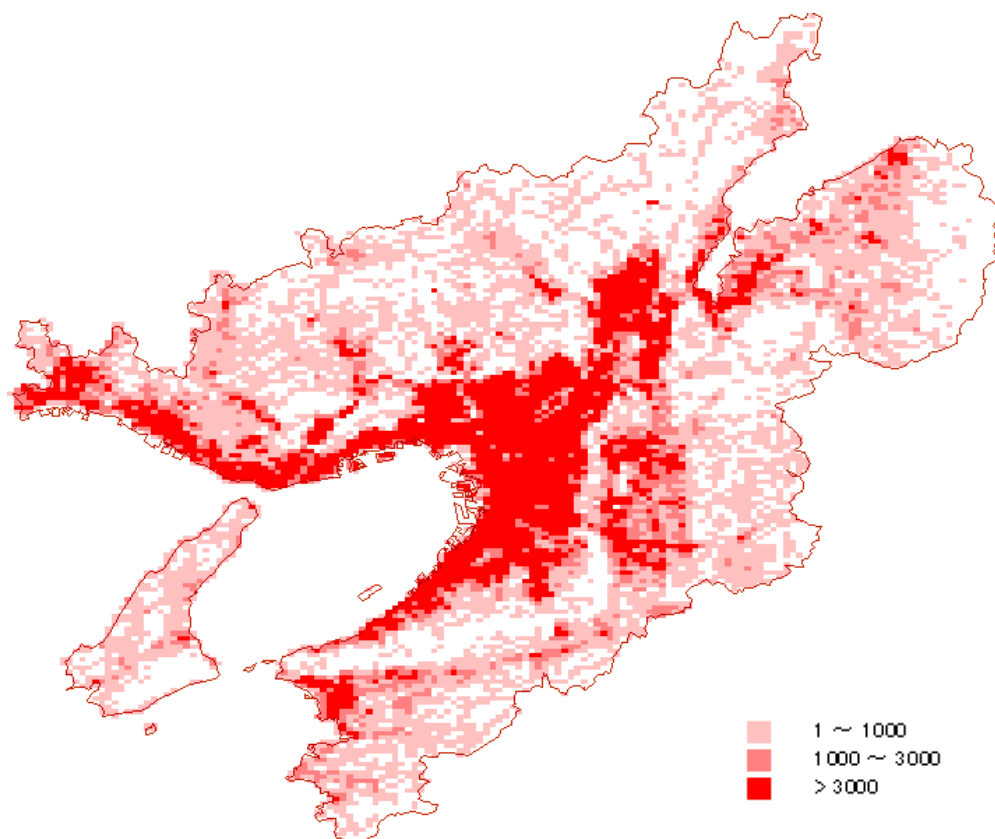
4.5.2 立地適地の抽出

4.3 で述べたように、物流事業所の立地実態に関する分析結果より、①高速道路網との近接性、②配送先もしくは荷主である工業系の事業所（従業員数）と、物流事業所の立地には関係性があることが認められた。また、4.4 の立地に関する意識分析の結果では、実態分析で抽出できた①高速道路の近接性、②従業員数、に加えて、③周辺住民との問題解消、④立地コスト、⑤物流拠点を設置するための敷地面積（用地の確保の容易性）、といった指標が物流事業所の立地に影響することがわかった。そこで、立地適地を抽出するために、これらの指標と立地の関係性を示す立地選択モデルの構築を試みる。

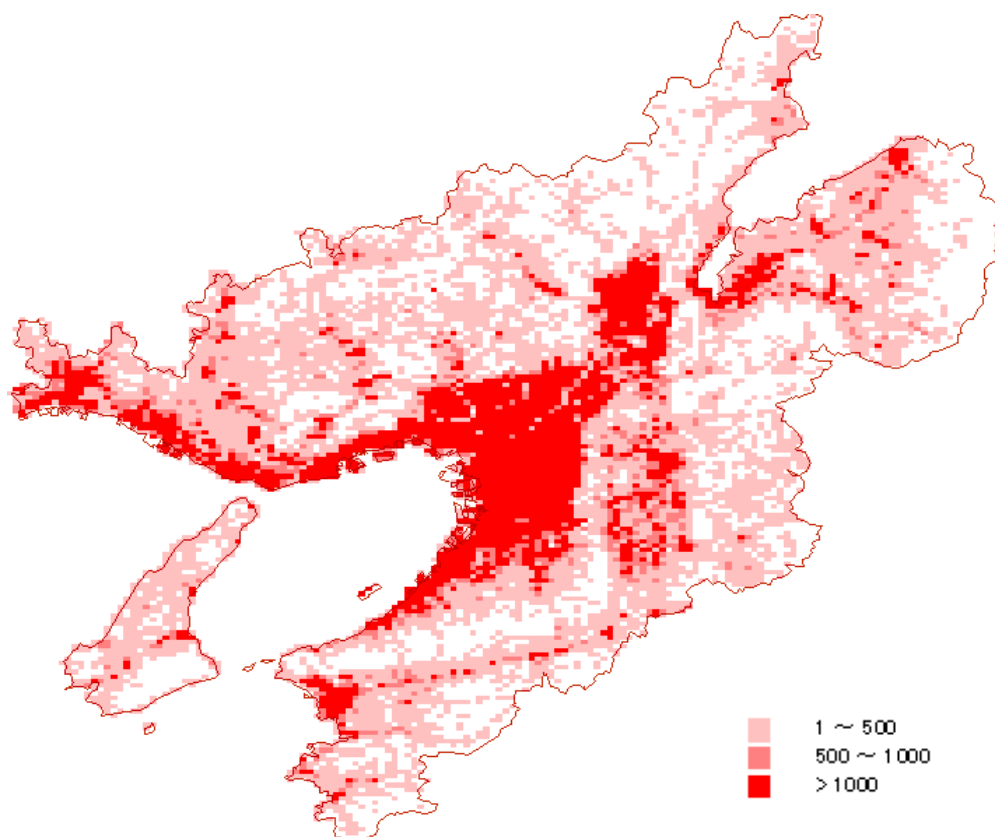
立地選択モデルを構築するにあたっては、国土数値情報の 3 次メッシュ区画 (1km×1km) を基本区分とするゾーンを設定して、各ゾーンに対して上記で挙げた 5 つの立地に関する指標を整備する。次いで、各ゾーンに物流事業者が立地しているかを調べ、先ほどの各ゾーンに対して整備した立地指標を説明変数として、立地しているか否か（立地していれば 1、立地してなければ 0）を判断する判別モデルにより立地選択モデルを構築する。

なお、京阪神都市圏内の 3 次メッシュの総数は 12,262 であるが、このうち、総務省統計局により 3 次メッシュ単位に国勢調査および事業所統計のデータが整備されているメッシュ数は 8,717 である。また、この 8,717 ゾーンのうち、用途地域のポリゴンが含まれるメッシュは 3,820 である。したがって、分析対象地域における立地指標の分布状況などを概観する際は、8,717 ゾーンを対象とし、立地モデルを構築する際は、立地用地の確保の容易性を考える上で、工業系用途地域の面積が整備されている必要があるため、3,820 ゾーンを分析対象とする。

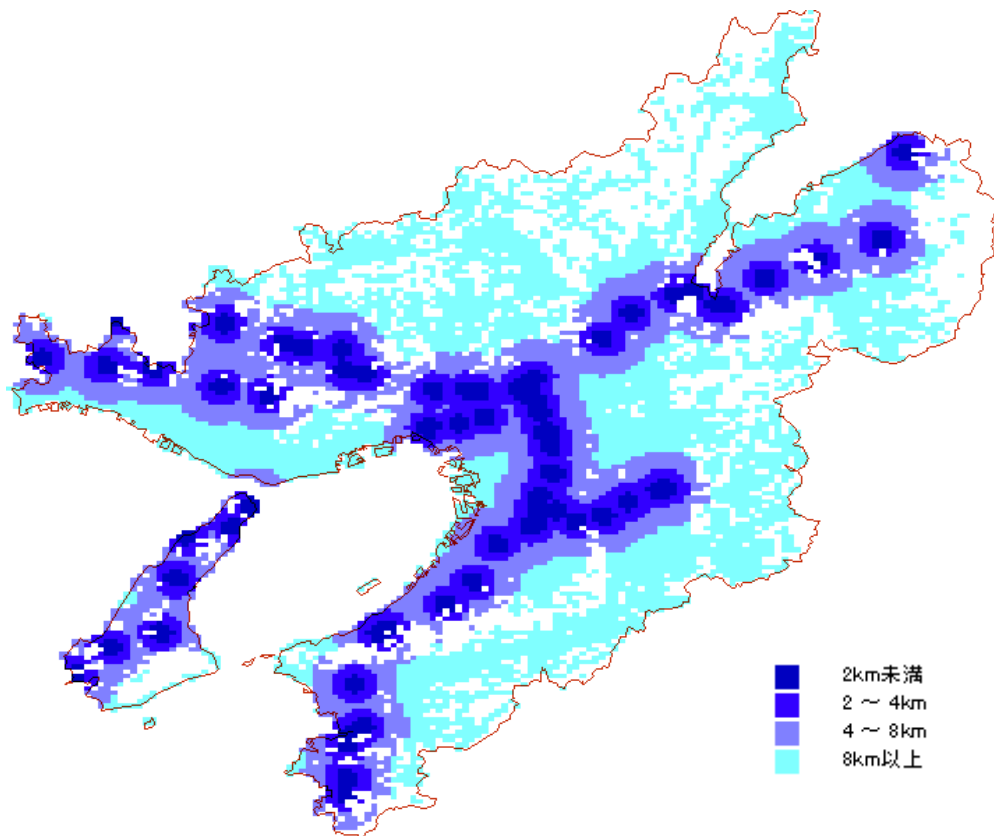
まず、8,717 ゾーンを対象とした分析対象地域における立地指標の分布状況について概観する。図 4.18 は、対象地域における夜間人口（図 a）、従業員人口（図 b）、高速道路 IC への近接性（図 c）、工業系の用途地域の分布状況（図 d）の分布状況を示したものである。まず、夜間人口と従業員人口の分布は、地図上に表示すると両者の分布形状はほぼ同じように見えるものの、両者の相関関係は単相関係数 R が 0.386 であることから、それほど高くない。特に、核都市となる市街地中心部や郊外部の住宅団地が集中する地域では、夜間人口と従業員人口の乖離が大きい。



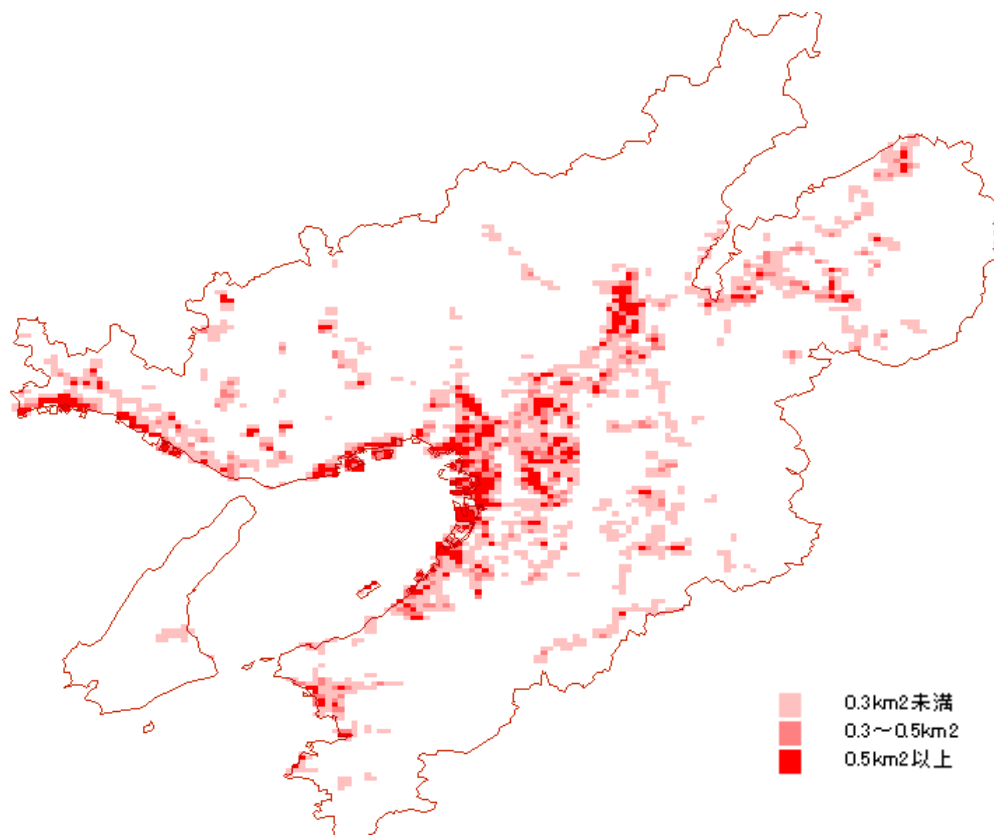
a) 夜間人口の分布状況



b) 従業人口の分布状況



c) 高速道路 IC への近接性



d) 工業系の用途地域の分布状況

図 4.18 立地指標の分布状況

図 c) に示す最寄り高速道路 IC への距離については、近畿自動車道や山陽自動車道といった高規格幹線道路の高速自動車道の IC を対象としている。なお、全てのメッシュと最寄り高速道路 IC までの道路距離を計測することは困難であったため、直線距離としている。これによると、都市高速道路を対象としていないため、大阪湾臨海部で比較的距離が長くなっていることがわかる。また、図 d) は工業系の用途地域の面積を示したものであるが、これによると、大阪市、京都市、神戸市の核都市に加えて、姫路市、和歌山市といった都市部以外に、臨海部および高速道路網の沿道、さらには東大阪付近で工業地面積の比率が高くなっている。

先に述べたように、立地選択モデルの構築は 3,820 ゾーンのメッシュを対象に行う。この際、説明変数として、①高速道路への近接性、②荷主への近接性、に加えて、③周辺住民との問題の生じやすさ、④立地コストの安さ、⑤物流拠点を設置するための用地確保の容易性、の 5 つの立地指標を考えた。なお、表 4.8 は、これら 5 つの立地指標を表す説明変数とその算出方法を示したものである。ただし、1km×1km の 3 次メッシュ単位にあらかじめ整備されているデータおよび算出可能なデータには限りがあるため、立地指標③の周辺住民との問題の生じやすさについては、夜間人口を説明変数として用いたが、実際にはこの変数は、「顧客への近接性」や「従業員の得やすさ」を表す指標として用いることも考えられる。また、分析を行う過程で、④立地コストの安さは、立地選択モデル中で論理関係に整合性が得られる結果（一般的には、地価が安い方が立地し易いという関係が考えられる）とならなかったため、最終的には対象外とした。しかしながら、立地コストは重要な指標であるので、今後の検討課題である。

表 4.8 立地選択モデルの説明変数

物流施設の立地指標	説明変数	算定方法
①高速道路への近接性	高速道路 IC への距離	メッシュ中心から最寄高速道路 IC までの直線距離 (km)
②荷主への近接性	従業員人口	H13 事業所統計による 2・3 次産業に従事する従業員数 (千人)
③周辺住民との問題 の生じやすさ	夜間人口	H12 国勢調査による夜間人口 (千人)
④立地コストの安さ	地価	公示地価の平均値 (万円)
⑤物流拠点を設置するための 用地確保の容易性	用途地域 (工業系数地面積)	準工業地域、工業地域、工業専用地域の合計面積 (km ²)

表 4.9 は、判別分析による立地選択モデルの結果を示したものである。これによると、正準相関係数は、0.365 であり、必ずしも高くないものの各説明変数は有意水準 1%未満で有意となっている。なお、グループの重心をみると、メッシュ内に物流拠点が立地していないグループは重心の値がマイナスであり、立地しているグループはプラスとなっている。標準化された判別係数は、高速道路 IC への距離がマイナスになっている以外は、すべてプラスとなっている。特に、用途地域の工業地面積が大きな値を示しており、F 値も高いことから事業所の立地に与える影響が大きいといえる。このことより、物流拠点は、工業系の土地利用で高速道路 IC へのアクセス利便性が高い場所を好んで立地していることがわかる。

表 4.9 判別分析による立地選択モデルの推計結果

	標準	別関数	値
用途地域(工業地面積)	0.894	490.42	**
間人口	0.210	54.69	**
業 数	0.243	79.43	**
高速道路 の距離	-0.123	31.82	**
**: 1%で有意			
—		重心の値	
立地していない		-0.124	
立地している		1.242	
準 関係数		0.365	

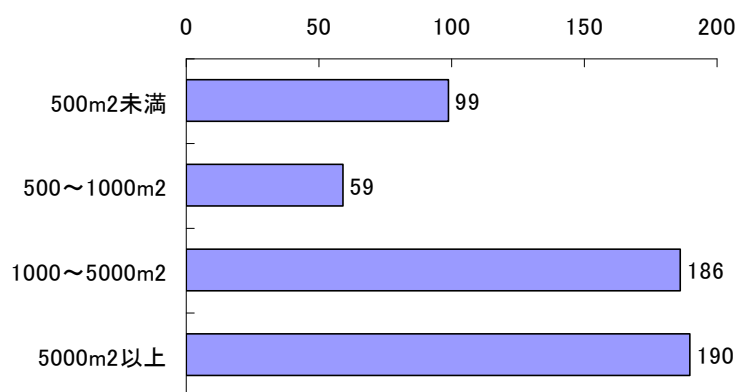


図 4.19 床面積別の事業所数

なお、このモデルは全ての運輸・倉庫事業所に対して行った結果である。しかしながら、同じ物流拠点であっても、広域物流拠点は、より大きな敷地を必要とするのに対し、デポに代表されるような小規模の物流拠点は、敷地面積よりも顧客との近接性を重視するなど、現実には、事業所の規模によってその役割も異なることから、立地場所に求めるニーズも異なるものと考えられる。

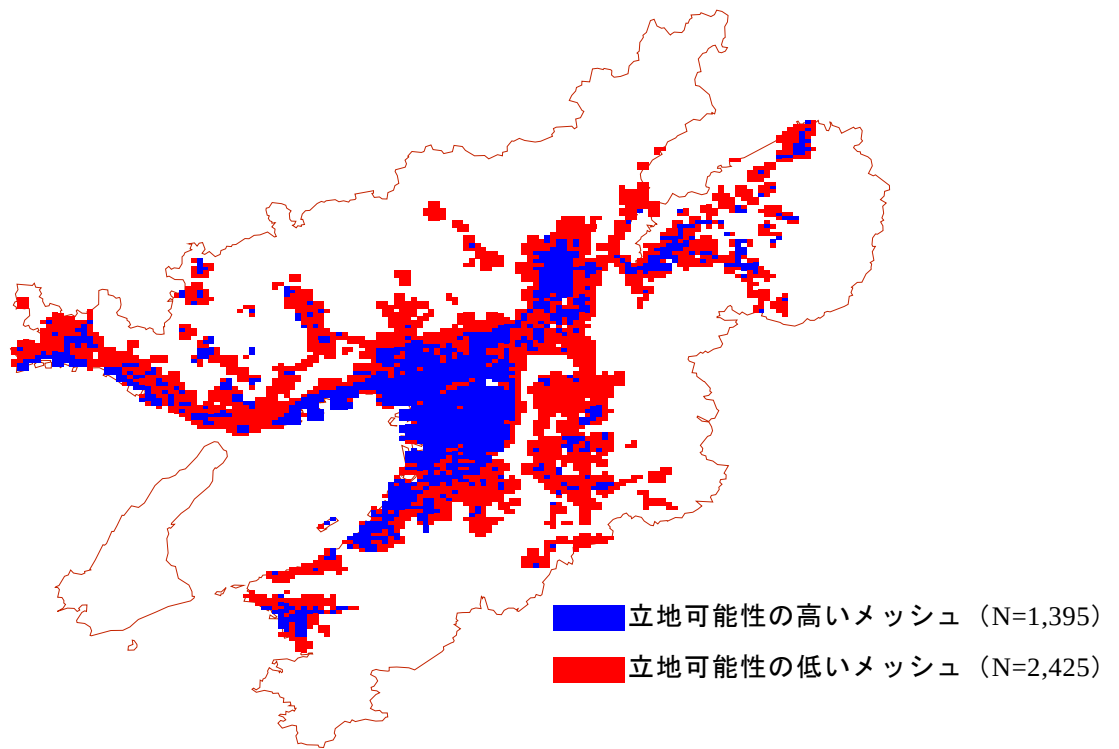
そこで、図 4.19 に示すように、事業所の規模として延べ床面積を基準に、1,000m²以下（500m²未満と 500～1,000m²）の事業所を小規模事業所、1,000～5,000m²の事業所を中規模事業所、5,000m²以上の事業所を大規模事業所に分類し、それぞれの規模別に立地選択モデルの構築を行った。その結果を示したものが表 4.10 である。この結果より、先ほどの全事業所での立地選択モデルと大きく傾向は変わらないものの、規模が大きくなるにつれて、工業系の用途地域を重視していることがわかる。特に、大規模事業所では、夜間人口や従業人口の影響が小さくなっており、他の規模の事業所に比べて、顧客や荷主への近接性よりも用地取得を重視していることがわかる。こうした傾向は、同時に、事業所の規模が大きくなるにつれて、周辺住民とのコンフリクトを避けようとする立地行動を反映しているとも考えられる。

なお、判別分析では、分析サンプルごとに判別得点を算出可能であり、この値を用いて、各メッシュの物流拠点の立地しやすさを表示したものが図 4.20 である。なお、図 a) は全事業所の結果であり、図 b) ～ d) が延べ床面積の規模別の結果を示したものである。また、図中の青で示したメッシュは判別得点がプラスであり、物流施設の立地可能性が高い（立地ポテンシャルが高い）と判別されたメッシュであり、逆に赤のメッシュは判別得点がマイナスにより立地可能性が低い（立地ポテンシャルが低い）と判別されたメッシュである。これによると、全体的な傾向としては、人口集積地である大阪市、神戸市、京都市の核都市を中心として立地ポテンシャルが高くなっており、特に、大阪市中心部から東大阪市にかけての広域と名神高速道路および近畿自動車道の高速道路の沿道に沿って立地可能性が高くなっている。なお、立地可能性が高いと判別されたメッシュ内に 78.9%の事業所が立地していることから、現実的にも立地ポテンシャルの高い地域に事業所が立地していることがわかる。

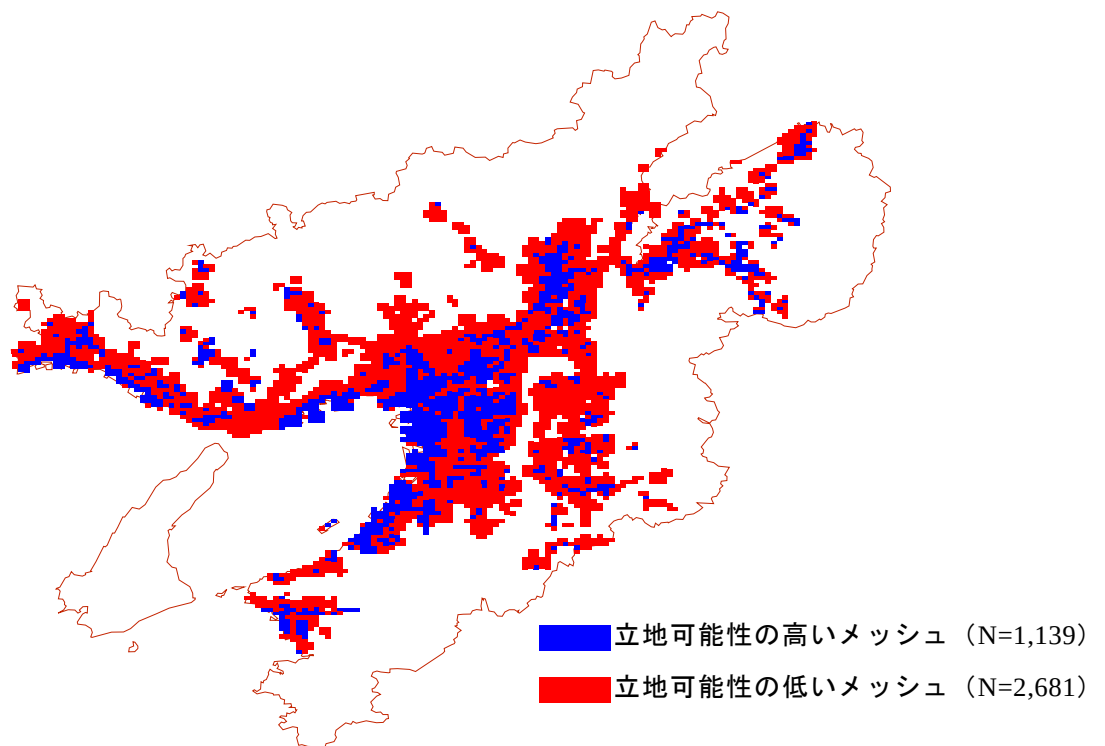
表 4.10 床面積別の立地選択モデルの推計結果

	規			中規			大規		
	標準	別関数	値	標準	別関数	値	標準	別関数	値
用途地域(工業地面積)		0.791	128.75 **		0.807	173.03 **		0.982	305.12 **
間人口		0.358	43.96 **		0.320	34.26 **		0.027	2.49
業 数		0.284	41.44 **		0.235	38.16 **		0.095	12.04 **
高速道路の距離		-0.125	14.84 **		-0.200	23.78 **		-0.028	4.01 *
**:1%で有意 *:5%で有意									
立地していない			-0.041			-0.048			-0.056
立地している			1.202			1.241			1.437
準 関係数			0.216			0.236			0.274

次に、事業所の規模別に立地ポテンシャルの分布状況を見ると、小規模と中規模の事業所は、比較的似た傾向を示しており、前述した全事業所の立地傾向と同様に都心部付近および高速道路沿道で立地ポテンシャルが高くなっている。これに対して、大規模の事業所では、大阪市都市部付近で立地ポテンシャルが低くなっており、臨海部および物流拠点が多く立地する東大阪付近と高速道路の沿道といった限定された場所で立地ポテンシャルが高くなっている。立地ポテンシャルが高いと判別されたメッシュの数も小規模な事業所が最も多く、大規模になるほど少なくなっている。こうしたことから、小規模な事業所は、人口が集中している都市内にも立地し、比較的、立地場所を限定されず立地の自由度が高い。これに対して、大規模な事業所は、臨海部や物流団地付近、および高速道路沿道といった用地取得が容易で物流機能が特化したエリアに集中的に立地する傾向にあることがわかり、立地場所もこれらの場所に限定されるものと考えられる。



c) 中規模事業所



d) 大規模事業所

図 4.20 立地選択モデルによる立地適地の抽出

4.6 立地ポテンシャルを用いた物流事業所の立地誘導方策の提案

4.5 までの分析において、物流施設の立地実態と立地に対する意識分析の結果から、物流施設が立地場所を決定する際に重要視する立地指標の抽出を行い、この立地指標を用いて立地選択モデルの構築を行った。このモデルでは、物流事業所にとって立地可能性の高い「立地ポテンシャル」が算出可能である。以下では、この立地ポテンシャルを用いて、新たな高速道路の建設とそれに伴う用途地域の変更（工業系用途の増加）を行った場合について、物流事業所の立地適地の変化をみることにする。

対象地域内においては、図 4.21 に示す新たな高速道路の建設が予定されている。そこで、この計画道路の延伸に伴い立地ポテンシャルがマイナスからプラスに転じる地域、すなわち物流事業所にとって立地に適した地域の抽出を行った。また参考までに、立地ポテンシャルの低い地域に立地している事業所を、不適切な立地とみなし、これらの事業所の規制誘導の可能性を探る。立地ポテンシャルの算出は、以下のように行った。

新たな高速道路の計画によって、464 のメッシュが最寄り高速道路 IC までの距離が現在よりも短縮される。立地ポテンシャルの算出は、式（4-1）に示す判別関数式および表 4.11 に示す事業所規模別の判別係数から判別得点を算出しているため、最寄り IC までの距離に変化のあった当該メッシュ（464）については、変数 X_4 の値を更新して立地ポテンシャルを算出する。

さらに、表 4.12 に示すように、一般に最寄り高速道路 IC への距離が近いほど、用途地域の工業地面積の平均が大きくなる傾向にあることから、最寄り高速道路 IC への距離が変更になった 464 メッシュについては、その距離帯に応じて、工業地面積を変化させて立地ポテンシャルを算出する。なお、具体的に工業地面積を変化させる際は、例えば、計画道

$$Z_1 = a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + b \quad (4-1)$$



出典）大阪府

図 4.21 第 2 名神高速道路計画路線

路の建設に伴って、最寄り高速道路 IC への距離が 1km 未満に変更され、かつ既存の工業地面積が平均 (0.206km^2) よりも少なく、工業地面積を増やす余裕（他の用途との合計がメッシュ面積 1km^2 を超えない場合）がある場合のみとしている。

計画されている第 2 名神高速道路は、分析対象地域内に 11 箇所の IC を建設予定であり、**図 4.22** は、IC の建設予定場所と立地ポテンシャルの変化を示したものである。**図 a)** が小規模事業所であり、**図 b)** が大規模事業所の結果を示したものである。これによると、高速道路の延伸に伴い立地ポテンシャルの増加が見込めるメッシュは、大規模事業所が 102 であるのに対し、小規模事業所は 67 メッシュと少ない。なお、こうした立地ポテンシャルの増加は、最寄り高速道路 IC への距離よりも、工業系面積を増加させた方が高まる。

一方、先の**図 4.22** の図中には、立地可能性ポテンシャルがマイナスにもかかわらず物流事業所が立地しているメッシュも併せて表示している。これらのメッシュに位置する事業所にとっては、立地環境は必ずしも良好でないと推測される。こうした事業所にとっては、先の**図 4.20** とともに、今回の第 2 名神高速道路の建設による立地ポテンシャルの高まったメッシュ（立地適地）は、移転する場合の候補メッシュとなる可能性がある。特に、大規模事業所では、第 2 名神高速道路の建設により立地ポテンシャルが増加するメッシュとこれら事業所との距離が近く、計画道路の延伸によって立地ポテンシャルが高まった地域への誘導の可能性も考えられる。

表 4.11 事業所規模別の判別関数の係数

	事業者 1	規 2	中規 3	大規 4
1 工業面積	4.3971	3.7240	3.9665	4.7225
2 間人口	0.0442	0.0751	0.0538	0.0056
3 業人口	0.0405	0.0472	0.0412	0.0157
4 高速	-0.0253	-0.0255	-0.0399	-0.0057
数	-0.6840	-0.7512	-0.5713	-0.6313

表 4.12 最寄り高速 IC の距離別の工業地面積の平均

			業地面積の平均 (km^2)
最	り高速	の距離が1km未満	0.206
最	り高速	の距離が3km未満	0.160
最	り高速	の距離が3km以上	0.121

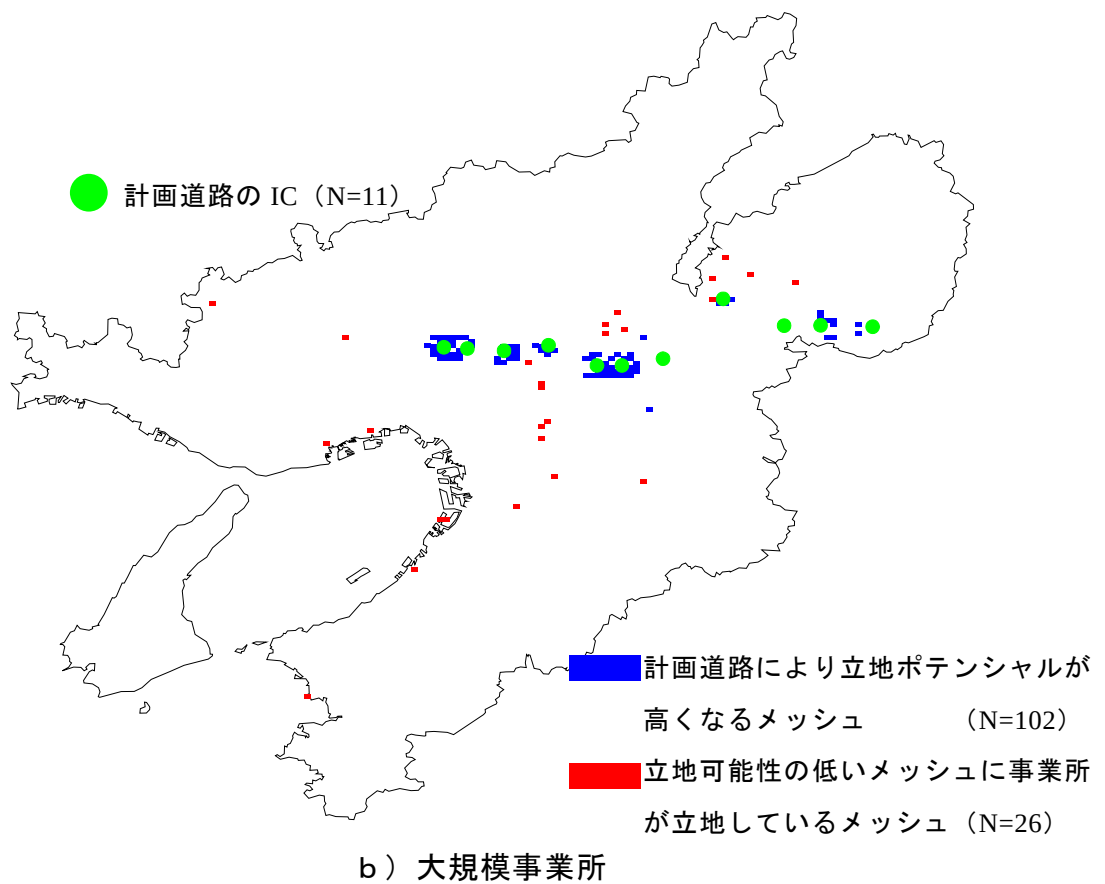
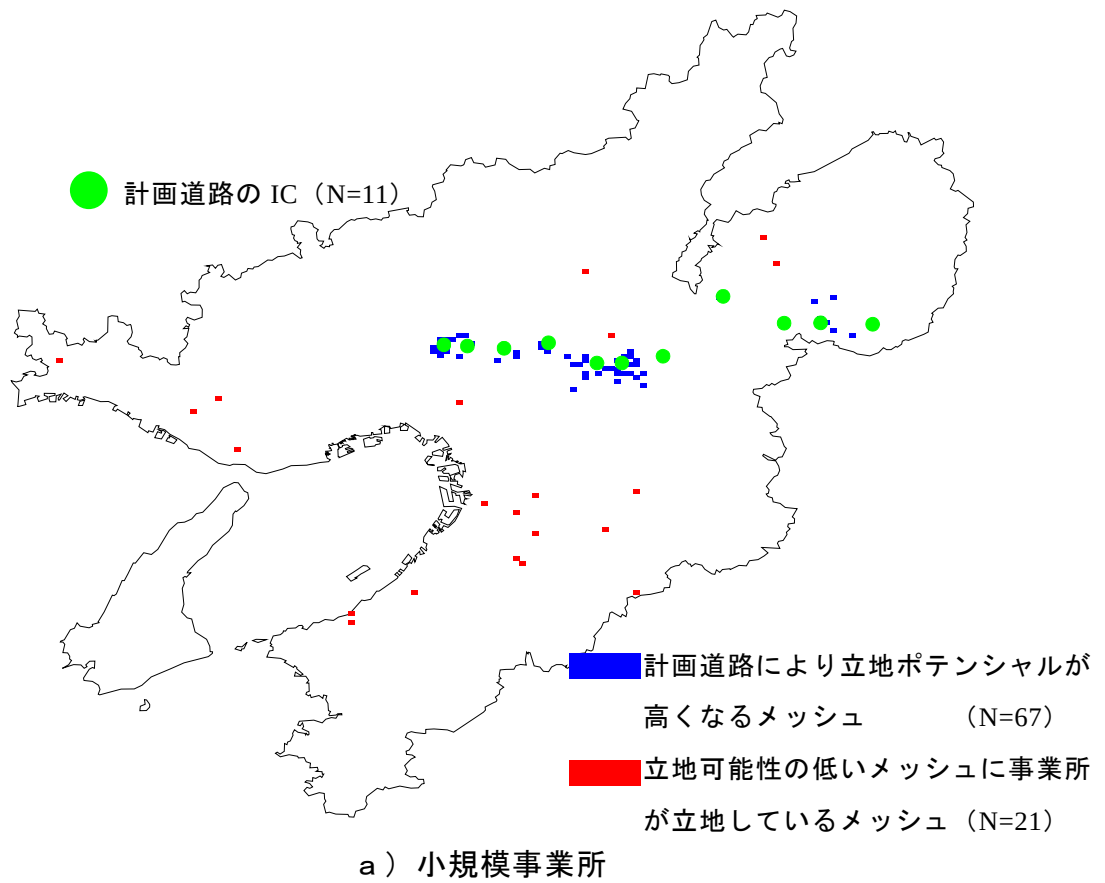


図 4.22 計画道路によって立地ポテンシャルが向上するメッシュ

4.7 おわりに

物流事業所の立地は、物流活動を営む上で効率的な場所に立地している一方、住宅地との用途混在や周辺住民および周辺地域へ影響も懸念されており、その適正配置の必要性が求められている。そこで本章では、物流拠点の適正配置を考えるにあたって立地適地の抽出を行い、こうした立地適地への規制誘導の可能性について探った。

以下では得られた成果について要約する。

1) 立地実態からみた物流事業所の立地要因

- ・トラック事業所は、大阪湾沿岸域と、そこから内陸部へと続く都市域に多くの立地がみられ、特に大阪市内とその外縁部および京都市や神戸市といった都市部で集中が著しいことがわかった。また、こうした都市部だけでなく、地方部においても散在していた。また、トラック事業所が集中している地域を中心として、密度関数を用いて等高線図を描くことにより、公共トラックターミナルの周辺で、特に規模の大きな北・東大阪の両トラックターミナルの周辺においてトラック事業所が集中して立地していることが確認できた。
- ・トラック事業所は、高速道路のインターチェンジから4 km までの範囲内で立地が集中しており、立地密度は距離に対して指数関数的に減少していた。また、名神高速道路沿道に立地する事業所を例として、都心部からの距離と立地件数をみると、途中、数箇所のインターチェンジ付近で局所的にピークもみられるが、全体的としては都心部から離れるほど事業所数は減少していた。
- ・回帰モデルによりトラック事業所の立地要因を分析した結果、有意な要因として工業系・商業系の従業員数などの社会経済指標が得られ、両者を比較すると工業系指標の方が有意性は高かった。また、交通利便性指標については、都心へのアクセス時間が一部のモデルで有意となった以外は有意性は低かった。

2) 立地意識からみた物流事業所の立地要因と立地問題点

- ・物流事業者の立地に関する満足度は、概ね高い。立地に関しては、「敷地の広さ」「地価の安さ」「顧客への近接性」「道路ネットワークとの近接性」を重視しており、こうした立地理由を基準に立地している場合は、これらに関する物理指標も良好であった。
- ・立地に関する問題点としては、「用地・施設が手狭」「施設の老朽化」「地代・賃料の負担」といった用地・施設に関する問題点が多い。さらに、「貨物車の発着に関する住民の苦情」への心配も強く、こうした地域住民に対する問題点が立地満足度を低下させる大きな要因であった。
- ・約半数の事業者が事業所を新設または移転したいとの希望を持っており、こうした移転希望の条件としては、「十分な敷地の広さ」、「高速道路へのアクセス利便性」といった項目が特に重要視されており、続いて「用地・施設の賃借価格が妥当」、「市場、消費地へのアクセス利便性」が挙げられた。

3) 立地選択モデルの構築による立地ポテンシャルの算出

- ・ 現状の物流事業所の立地実態と立地に関する意識から、①高速道路への近接性、②荷主への近接性、③周辺住民との問題の生じやすさ、④立地コストの安さ、⑤物流拠点を設置するための用地確保の容易性、を表す5つの立地指標を導き出し、これらを説明変数としてメッシュ単位における立地選択モデルの構築を行った。
- ・ 立地選択モデルより立地可能性を表す立地ポテンシャルを算出した結果、物流事業所の規模によって、立地ポテンシャルの分布状況に違いがみられた。小規模な事業所は、立地可能な地域が比較的広範にわたっているのに対し、大規模な事業所では、臨海部および高速道路沿道といった地域のみ立地可能性が高い地域として抽出された。なお、こうした立地可能性の高い地域に、実際の物流事業所の約80%が立地していた。

4) 物流拠点の規制誘導方策の提案

- ・ 対象地域内において計画されている高速道路の延伸とそれに伴う用途地域の変更を行った場合に、立地ポテンシャルの変化を求めた。この結果、事業所の規模によって立地ポテンシャルの変化するメッシュ数に違いがみられ、小規模な事業所に比べて、大規模な事業所の方が立地ポテンシャルが向上する地域が多かった。
- ・ なお、立地選択モデルより物流事業所の立地には、最寄り高速道路ICへの距離よりも工業地面積の方が大きく寄与しており、高速道路の延伸効果が現れる地域に対して、工業地面積も併せて変更したが、こうした用途地域の変更値をコントロールすることによって、用途地域の変更に伴う立地誘導可能性を政策的に検証できた。

最後に、本章における研究に残された今後の課題としては、以下の点があげられる。

- 1) 説明変数の追加、改善を行い、立地選択モデルの精度を向上させたい。このためには、まず、地価や土地利用現況、労働力の得やすさなどの要因を考慮するとともに、交通利便性指標として、地域内相互の輸送、他地域（圏域外）との輸送についての利便性についても明示的に表現できる指標を用いる必要がある。
- 2) 立地に関する意識より、住民とのコンフリクトを懸念している事業所が多くみられたため、住民とのコンフリクトを表す説明変数として夜間人口を用いたが、一方では、この変数は顧客への近接性なども示すと考えられる。このため、住民とのコンフリクトを直接的に表せるような変数の準備が必要である。
- 3) 立地コストが重要な立地指標であるにもかかわらず、ゾーン単位（今回の分析ではメッシュ単位）における立地コストを精度良く再現することが出来なかったため、立地選択モデルの説明変数に組み込むことが出来なかった。今後は、こうしたゾーン単位における地価の指標を再現できる方法を考えていきたい。

【補注】

本研究で使用したカーネル密度推定¹⁰⁾¹¹⁾とは、離散量を連続量に変換するノンパラメトリック回帰分析であり、点（位置）データのみで分析することが可能である。カーネル K_i とは位置ベクトル x_i を中心とする正規分布（Gauss）で表現され、 x は平均値、 h は標準偏差となる式（4-2）。全体のカーネル密度は各カーネルの合計値であるから、総数 n とすると、地点 x におけるカーネル密度関数 $f(x)$ は式（4-3）のように表される。

$$K_i(x) = \frac{1}{2\pi h^2} e^{-\frac{(x-x_i)^2}{2h^2}} \quad (4-2)$$

$$f(x) = \frac{1}{n} \sum_i K_i(x) = \frac{1}{2\pi h^2 n} \sum_i e^{-\frac{(x-x_i)^2}{2h^2}} \quad (4-3)$$

【第4章の参考文献】

- 1) 萩野保克, 遠藤弘太郎: 立地選択モデルを用いた東京都市圏における物流施設の立地ポテンシャル分析-第4回東京都市圏物資流動調査から-, 土木計画学研究・論文集, Vol.24, No.1, pp.103-110, 2007
- 2) 山田忠史, 則武通彦, 谷口栄一, 多賀慎: 物流ターミナルの最適配置計画への多目的計画法の適用, 土木学会論文集, No.632/IV-45, pp.41-50, 1999
- 3) 小池慎一郎, 苦瀬博仁, OH D-K, 中川義英: 都市内物流施設の集積要因と立地指向性の分析, 都市計画論文集, No.26-B, pp.493-498, 1991
- 4) NTT, インターネットタウンページ
<http://www.itp.ne.jp/>
- 5) 東京大学, CSV アドレスマッチングサービス
<http://pc035.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/~sagara/geocode/index.php>
- 6) 京阪神都市圏交通計画協議会: 平成17年度京阪神都市圏総合都市交通体系調査報告書, 2006
- 7) 田中康仁, 小谷通泰, 原田亜紀子: 近畿圏におけるトラック事業所の空間分布特性の分析と立地モデルの作成, 土木計画学研究・講演集, No.26(CD-ROM), 2002
- 8) 田中康仁, 小谷通泰, 原田亜紀子: 近畿圏におけるトラック事業所の空間分布特性の分析と立地モデルの作成, 土木計画学研究・論文集, Vol.20, No.3, pp.673-680, 2003
- 9) Yasuhito TANAKA and Michiyasu ODANI :GIS-Based Analysis of Location Factors of Trucking Offices in Metropolitan Area - A Case Study of Kinki Region in Japan. The 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management(CD-ROM), 2003

- 10) 原田豊, 島田貴仁 : カーネル密度推定による犯罪集中地区の検出の試み, 科学警察研究所報告防犯少年編, Vol.40, No.2, pp.30-41, 2000
- 11) 貞広幸雄 : 鉄道駅が商業施設分布に与える影響の統計的分析手法, 都市計画学会学術研究論文集, Vol.29, pp.523-528, 1994

第5章 階層構造をもつ配送拠点の最適配置計画

5.1 はじめに

宅配貨物の取扱量は、年々増加の一途を辿っている。また、宅配市場のシェアは、民間5社、郵政公社による寡占化が進む一方で、郵政公社は民営化による業務開始以降、宅配サービスの拡大を図るなど、事業者間の競争も激化している。宅配貨物輸送においては、迅速性・低廉性ととも、全国均一のサービスを確保するために、配送システムに様々な工夫がみられるが、その一つに配送拠点の階層的構成が挙げられる¹⁾。すなわち、配送拠点を地域間の輸送を担当する上位拠点と地域内の集配送を受け持つ下位拠点に分けた上で、上位拠点は複数の下位拠点を統括している。そして、こうした配送拠点をいかに適切に配置するかは、物流の効率化を図る上で事業者にとっては重要な課題と考えられる。

施設の最適な配置を求める数理的アプローチによる研究では、移動距離もしくは需要の重み付き距離の最小化を目的関数として、連続型の Weber 問題 (MinSum 問題)、離散型の P-Median 問題など様々な問題が定式化されている²⁾³⁾。また、こうした配置問題、特に P-Median 問題を階層型モデルとして拡張した配置問題も定式化されている⁴⁾⁵⁾。

物流関連施設への配置問題の適用研究としては、いくつかの事例がみられる。こうした中で、山田ら⁶⁾による物流ターミナルの最適配置計画や YANG et al.⁷⁾による Logistics Terminal の最適な規模および配置を求める研究では、いずれも輸送コスト(輸送距離)と立地コストの最小化による最適化を行っているが、その対象はトラックターミナルや流通センターなどであり、大規模で公共性の高い施設が対象である。また、宅配輸送という企業性の強い配送システムを検証した研究はあまり多くみられないものの、渡辺・鈴木⁸⁾は、宅配輸送が階層性を有していることに着目して、最適な階層数および階層ごとの施設数の決定を試みている。しかしながら、この研究では、施設の具体的な配置場所を求めるには至っていない。

そこで本研究では、近畿圏を分析対象地域として、GIS を活用することによって、宅配大手2事業者の配送システムの実態を明らかにする。さらに、配置計画問題を適用することにより、現状における階層構造をもつ配送拠点の配置の最適性を評価するとともに、宅配輸送の効率性を向上させることを目的とした新たな配置計画案の提案とその効果の検証を試みる。

具体的には、図 5.1 に示すように、以下の手順により分析を進める。

- 1) 配送拠点の立地の階層性に着目して、上位、下位拠点の分布を示すとともに、上位拠点の交通ネットワークへの近接性、下位拠点の配置密度といったそれぞれの拠点が持つ役割を踏まえてそれらの立地特性を把握する。こうした分析を通じて、異なる事業者間の配送システムを比較することにより、両者にみられる共通点や相違

点を明らかにする。

- 2) 配置計画問題としては、輸送コスト最小化（夜間人口を重みとする重み付き距離の総計の最小化）を目的関数とする MinSum 問題と P-Median 問題を考える。まず、上位・下位拠点間の輸送コスト最小化による MinSum 配置と現状の配置を比較することにより、現状の配置の最適性を評価する。次に、P-Median 問題により新たな上位拠点の配置計画の有効性を検証する。
- 3) 郵政公社を対象に拠点の統廃合計画を取り上げ、計画による輸送の効率性の向上を検証するため、段階的に P-Median 問題を適用することによって新たな配置計画案を求める。この配置計画案では、最初に人口分布をもとに下位階層の拠点配置を決定し、次に下位階層の拠点配置の結果から上位階層の拠点配置を決定する。

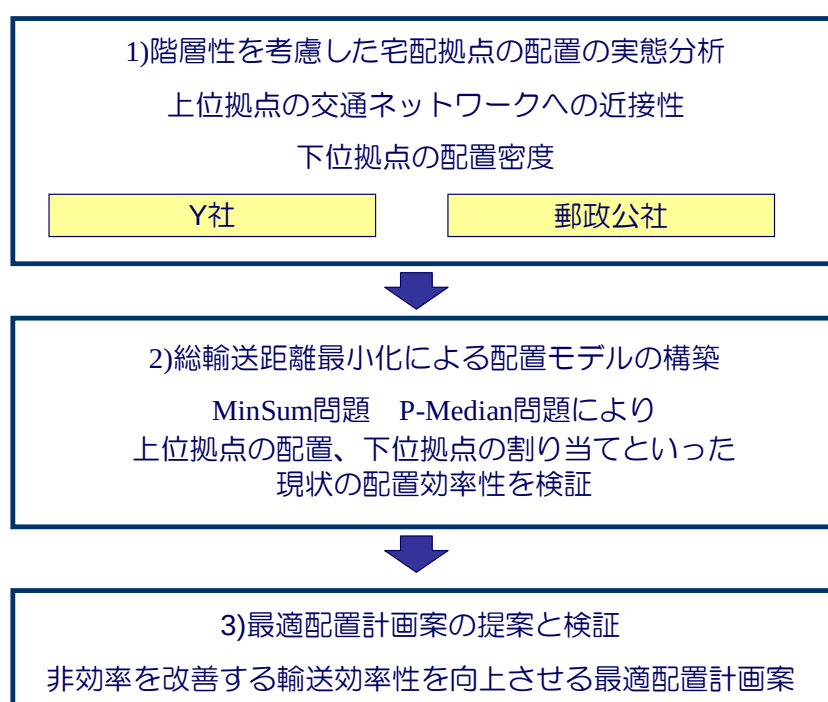


図 5.1 本研究のフロー

5.2 分析対象事業者の概要と配置モデルの考え方

5.2.1 分析対象事業者の概要

図 5.2 は、宅配貨物の取扱量の推移を示したものである。1974 年にスタートした宅配便サービスは、全国何処へでも荷物を送れる手軽さと決められた時間に荷物を受け取ることができる便利さが受け入れられ、30 年あまり経った現在では約 29 億個（2005 年度）の取扱量となり、消費者にとって欠かせないサービスとなっている。2005 年度の物流センサスの調査報告⁹⁾によると、宅配サービスは今後も増加が見込まれており、特に B to C (Business to Consumer) や C to C (Consumer to Consumer) といった一般個人向け配送の増加が見込まれる。こうしたビジネスチャンスに対応するため、各宅配事業者は E-コマース (Electric Commerce : 電子商取引) の導入やコンビニエンスストアとの提携による取扱窓口の増加などの取り組みを行っている。中でも、宅配貨物取扱量の伸びが低迷している郵政公社は、民営化以降、宅配貨物量の増加するため、そうした取り組みが顕著である。

宅配貨物の取扱量の全国シェアは、図 5.3 に示すように、民間 5 社、郵政公社（現在は日本郵政グループ）が 97%を占めており、この内、今回分析対象とする Y 社と郵政公社はそれぞれ 34.0%、5.7%のシェアを占めている（2002 年度）。宅配業務を行っている事業者の内、Y 社と郵政公社を選択した理由は、両事業者共に C to C による宅配輸送が主力業務のため、階層構造における下位拠点を数多く立地させる必要があること、階層構造、拠点数の面で類似しており、比較分析を進めるのに適切と考えたためである。一方、SG 社は、B to C による宅配輸送を主力業務としているため、宅配取扱量は Y 社に近いシェアを有しているが、配送拠点数が Y 社、郵政公社に比べて極端に少ないため、今回は分析対象外とした。

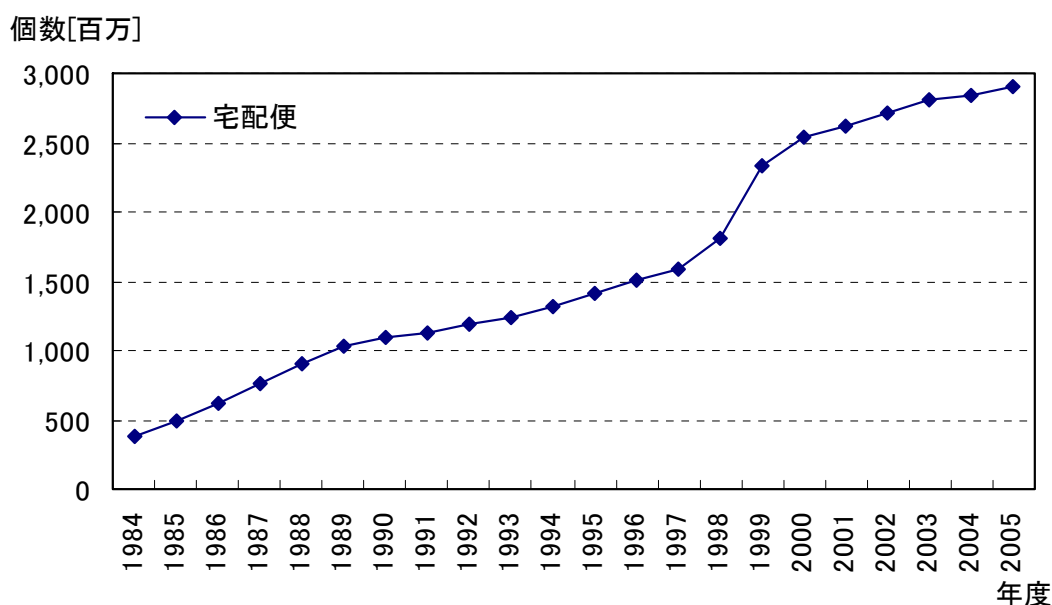
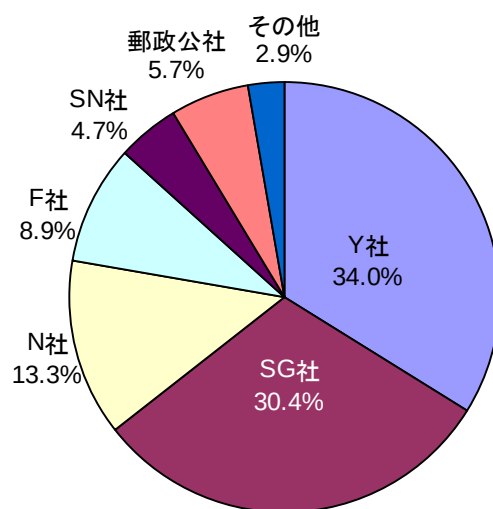


図 5.2 宅配貨物量の推移

Y社、郵政公社の両事業者の配送システムは、図 5.4 に示すように、配送拠点を地域間の輸送を担当する上位拠点と地域内の集配送を受け持つ下位拠点に分け、それらを階層的に構成している。しかしながら、Y社は宅配貨物需要に対応させた拠点配置を行っているのに対して、郵政公社では、これまでの歴史的な経緯や他の窓口業務を行うことの必要性が拠点の配置形態に少なからず影響を及ぼしている。



出典) 国土交通省 (2002 年度)

図 5.3 宅配貨物量のシェア

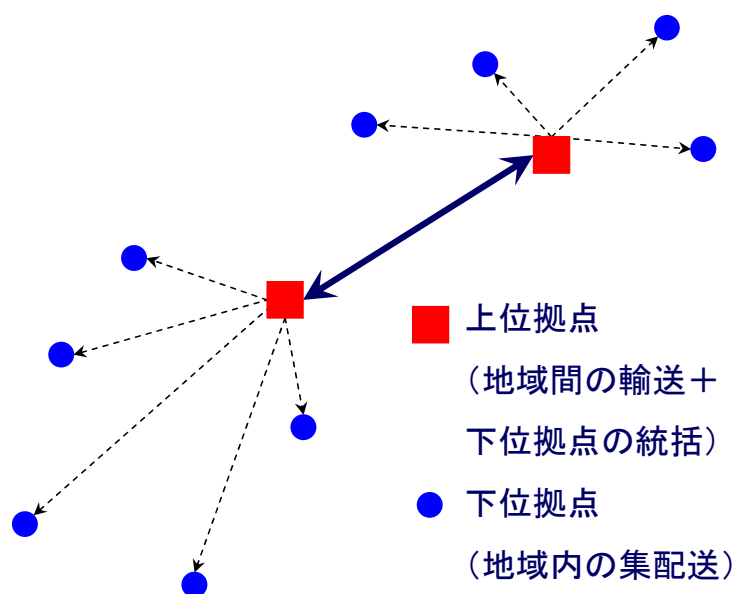


図 5.4 階層構造の特徴

5.2.2 分析対象地域の概要

分析対象地域として、近畿圏を取り上げる。第4章でも述べたように、近畿圏の人口および面積はそれぞれ2,085万人（2000年度国勢調査結果）、26,707km²である。2府4県より構成されており、圏域内には中心都市である大阪市をはじめ、神戸市、京都市の3つの核都市が存在している。人口分布は、大阪湾に沿った臨海部とそこから名神高速道路に沿った内陸部へと伸びるY字状に広がった地域で人口の集中がみられる。また、3つの核都市とその周辺地域で特に人口密度が高くなっている。

本研究では、近畿圏全域を対象とした分析とともに、圏域内から兵庫県域（面積8,390km²、人口555万人）を取り上げて、より詳細な分析を行う。

5.2.3 配置モデルの考え方

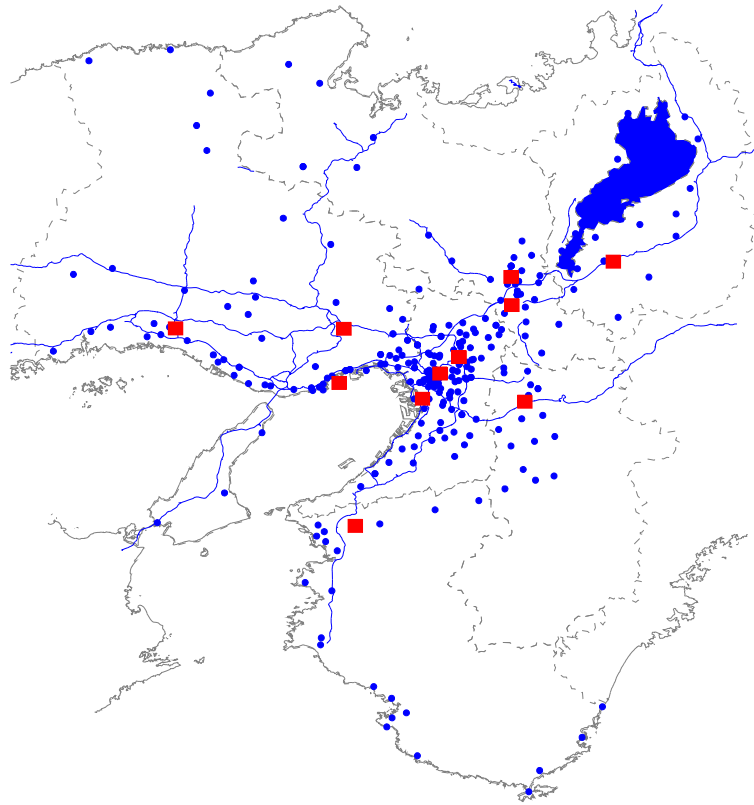
本研究で適用するMinSum問題、P-Median問題の両配置モデルでは、いずれも輸送コストの最小化を目的関数としている。通常、配置問題を考える場合、輸送コストと立地コストを合計した総コストを最小化するのが一般的である。しかし、本研究では、上位・下位の多数の拠点ごとに立地コストを求めることが困難であること、さらに、ここでは主として輸送の効率性に着目して拠点の配置を分析することから、輸送コストのみを目的関数としている。この輸送コストは、一般的には貨物需要と輸送費の積として表現される。しかしながら、宅配貨物需要に関する詳細なデータは公開されていないことから、本研究では需要量を夜間人口で代用している。なお、唯一入手可能な都道府県単位の小包取扱量と夜間人口には強い相関（相関係数：0.84）がみられることが確認できた。また、貨物需要は従業人口とも関連があると考えられるが、市区町村別の夜間人口は従業人口と一定の相関（相関係数：0.68）がみられたため、夜間人口のみで代表することとした。以上のように、本研究では輸送コスト最小化を、夜間人口による重み付き距離の総計の最小化によって表現することとした。

5.3 配送拠点の分布特性

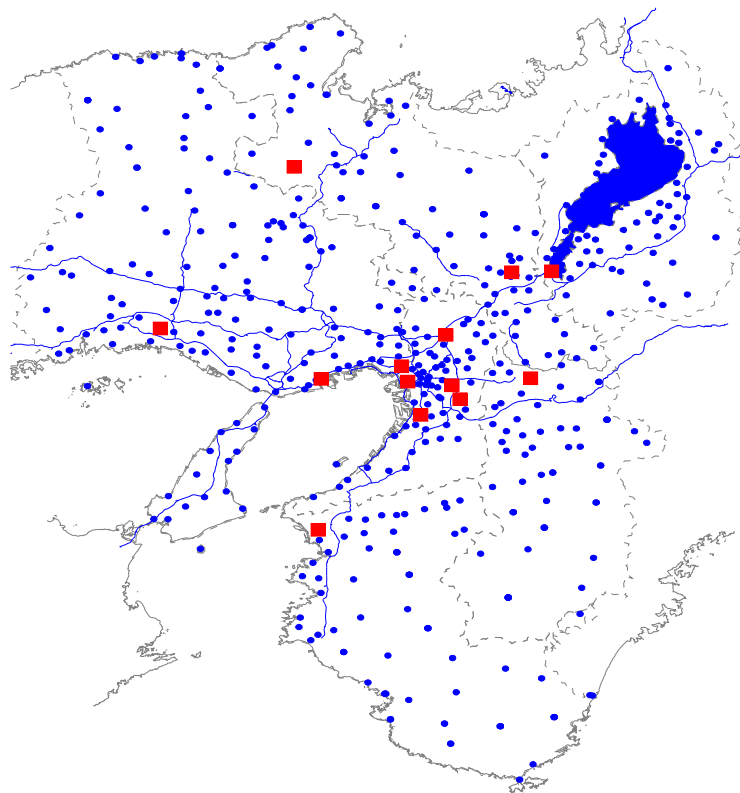
5.3.1 配送拠点の空間分布

Y社と郵政公社は、近畿圏域内に地域間輸送を担当する上位拠点を11箇所と13箇所に、地域内配送を担当する下位拠点を371箇所と468箇所にそれぞれ配置している。

また図5.5は、両事業者の配送拠点の分布状況を示したものである。図中には、高速道路網を実線で、府県境界線を破線で図示している。これによると、いずれの事業者も上位拠点は、地域間輸送を貨物車輸送に依存していることから、高速道路の近くに配置されている。一方、下位拠点は、先で説明した人口分布と比較すると明らかなように、いずれの事業者においても人口密度の高い地域で集中して拠点が立地している。しかし、人口密度



a) Y 社



b) 郵政公社

■ : 上位拠点 ● : 下位拠点

図 5.5 近畿圏内における配送拠点の分布

の低い地域では、両事業者で顕著な差がみられ、Y社では拠点数が極端に少なくなっているのに対して、郵政公社では拠点が均等に配置されている様子がみられる。

5.3.2 上位拠点の高速道路インターチェンジへのアクセス距離

図 5.6 は、上位拠点から高速道路の最寄りインターチェンジまでの距離（道路網に沿った距離）帯別に、頻度分布を示したものである。両事業者ともに拠点数が最も多かった距離帯は2～4 km であり、交通アクセスの利便性が比較的高い地点に上位拠点を立地させている。しかし、詳細にそれらの配置をみてみると、郵政公社では、かつて郵便輸送を鉄道に依存していたことから、都心部の鉄道駅周辺に立地させているケースもみられる。

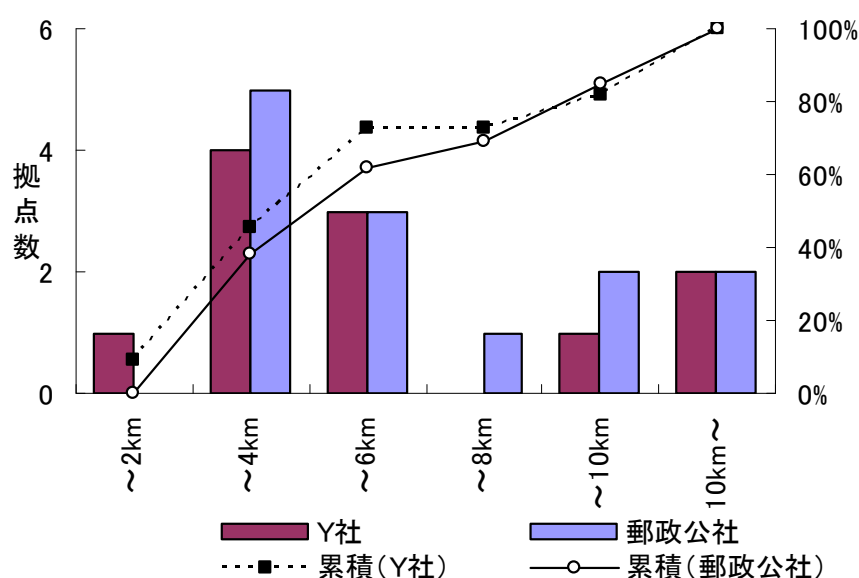


図 5.6 高速道路インターチェンジへの距離帯別にみた上位拠点数

5.3.3 人口と下位拠点数の関係性

宅配貨物の取扱量は、一般に人口と比例すると考えられる。そこで、それぞれの事業者について、市区町村ごとの下位拠点数を被説明変数、夜間人口を説明変数として回帰分析を行った。表 5.1 はその結果を示したものである。これによると、Y社では、 R^2 値が 0.61、説明変数の t 値は 1%で有意となり、下位拠点の立地件数は夜間人口と強い比例関係にある。また、郵政公社の場合は、説明変数の t 値は 1%で有意であるものの、 R^2 値が 0.35 であり、Y社のように顕著な比例関係は認められない。こうしたことから、Y社の方がより夜間人口（すなわち貨物需要）に比例させて拠点の配置を行っていることが推測できる。

表 5.1 下位拠点数の夜間人口による回帰分析の結果

	非標準化係数	t値	有意確率	R ²
Y社	1.27E-05	23.97	**	0.613
郵政公社	8.94E-06	14.09	**	0.354

**:有意水準1%未満

5.4 下位拠点の配置密度

ここでは、近畿圏内のうち兵庫県域（ただし、Y社は京都府域の一部を含む）を対象として、両事業者の下位拠点の配置密度について分析を行う。

5.4.1 担当エリアの面積と人口密度の関係

表 5.2 は、各事業者の下位拠点が担当するエリアの面積と夜間人口を整理したものである。両者を比較すると、平均値は、面積、夜間人口のいずれもY社の方が郵政公社よりやや大きくなっており、標準偏差は、面積は郵政公社の方が小さく、夜間人口はY社の方がやや小さくなっている。

次に、図 5.7 は、各下位拠点の担当するエリアの夜間人口密度と面積の関係を示したものである。図中では、人口密度の高い臨海部（神戸市、芦屋市、西宮、尼崎市）とそれ以外の地域に立地する拠点に区分して図示している。

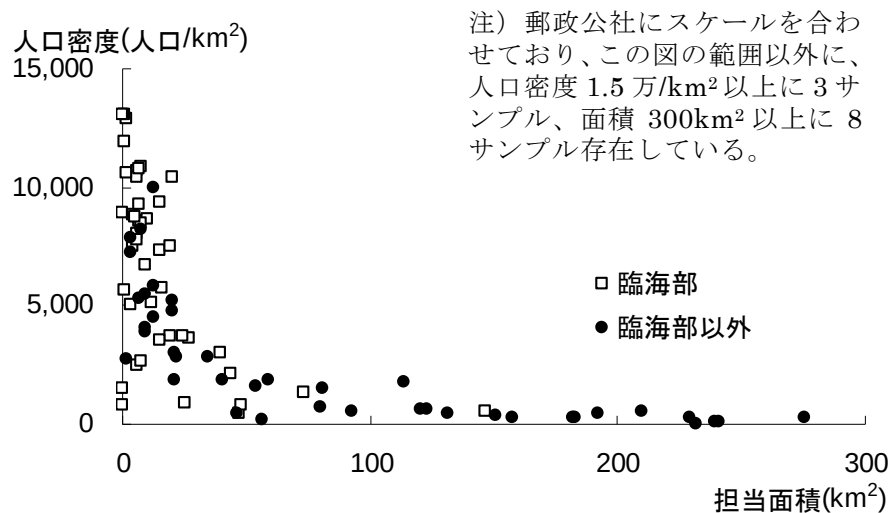
まずいずれの事業者も、人口密度の高い臨海部とそれ以外の地域で比較してみると、臨海部に立地する拠点では、担当エリアの人口密度が高く、面積が小さい拠点多くみられる。

次に事業者ごとにみると、Y社では、面積が小さく人口密度が高い部分に多くの下位拠点が分布しているが、面積が大きくなると人口密度が小さな部分に下位拠点が分布するようになっており、両者の間に反比例の関係がみられる。このことから、各下位拠点の担当人口を一定にする傾向が伺える。

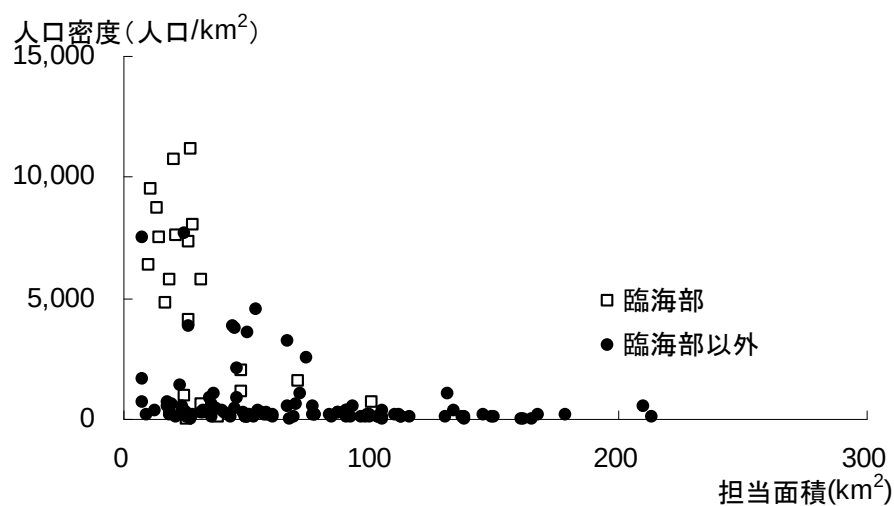
これに対して郵政公社では、面積が小さく人口密度の大きな部分に拠点が集中しているものの、面積の大小には関係なく人口密度が小さい部分にも多くの拠点が分布している。先の担当面積の分散が小さいことや、このように面積と人口密度との関連が小さいことは、拠点が均等配置される傾向の強いことを反映していると考えられる。

表 5.2 下位拠点の担当面積と担当人口

	担当面積(km ²)		担当人口(千人)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
Y社	89.2	156.4	59.0	41.0
郵政公社	65.0	45.7	43.0	62.5



a) Y 社

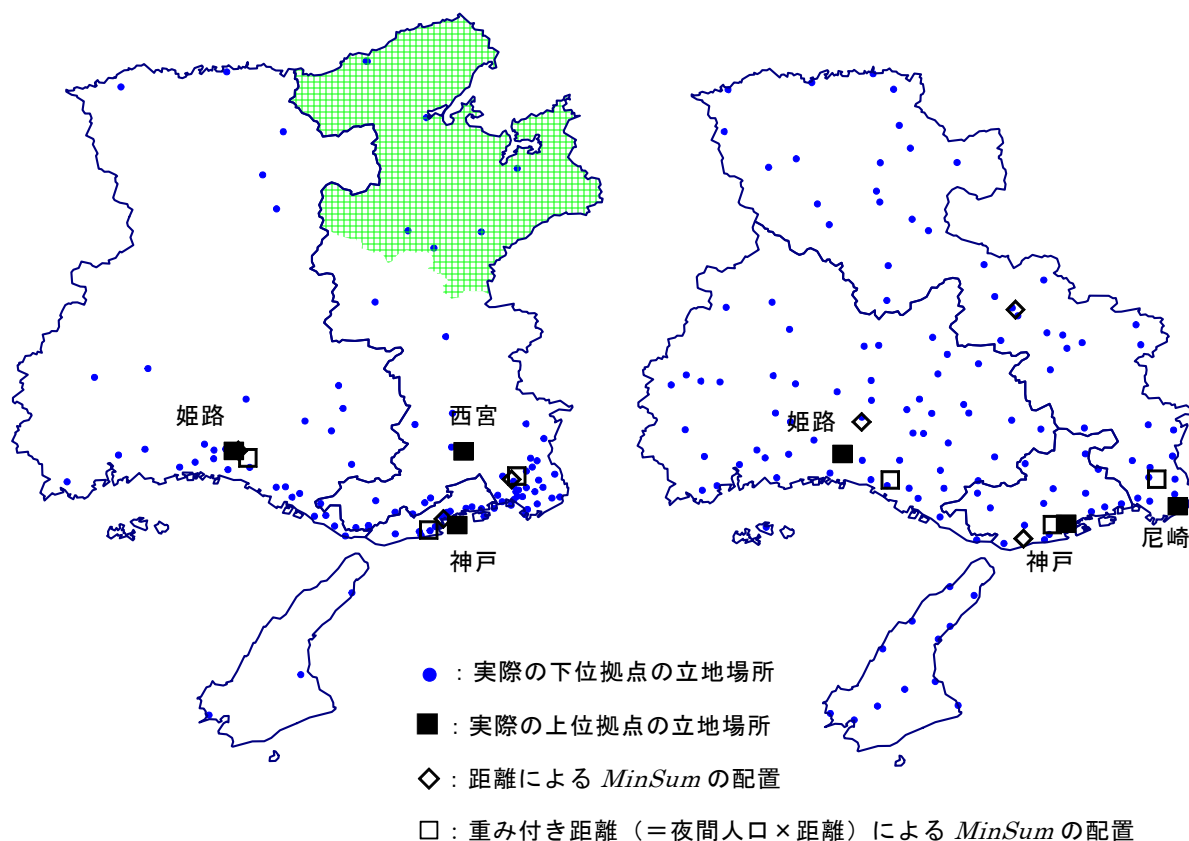


b) 郵政公社

図 5.7 面積と人口密度の関係

5.4.2 担当エリア人口と Voronoi 分割領域人口の比較

図 5.8 は、下位拠点の位置を母点とする Voronoi 分割領域内の人口と、実際の下位拠点の担当人口を比較したものである。これによると、Y 社では、対角線上から外れた拠点が比較的多くみられるのに対し、郵政公社ではほぼ対角線上に分布している。このことは、実際の担当エリアと Voronoi 分割領域がほぼ対応していることによるものであり、下位拠点が担当エリアの中心付近に位置していることが類推できる。



注) Y社では、図中でハッチを施した京都府域の一部を

a) Y社

b) 郵政公社

図 5.9 下位拠点からみた上位拠点の *MinSum* 配置計画

5.5.2 上位拠点の位置が固定の場合

前述では、下位拠点からみた上位拠点の最適な立地場所について検討を行ったが、ここでは、上位拠点を現在の場所に固定し、下位拠点の割り当て変更することにより重み付き距離の総計を最小化する。

図 5.10 は、両事業者について重み付き距離の総計を最小化したときの、下位拠点の割り当て結果を地図上に表示したものである。なお、図中に描いた境界線は、現況の下位拠点の割り当て範囲を示している。また、図 5.11 は、両事業者ごとに、下位拠点を再割り当てした場合の重み付き距離の総計を現況の値と比較したものである。なお図中では、個々の上位拠点が担当する重み付き距離の総計の変化も示している。これらの結果から以下のことがわかる。

まず、Y社については、個々の上位拠点でみると西宮から神戸への下位拠点の大幅な移行がみられた結果、両者で重み付き距離の総計が変化しているものの、姫路では比較的一致しており、全拠点の総計では現況に対して 4.6%減に留まっている。一方、郵政公社では、尼崎が担当する下位拠点が他の2ヵ所（神戸、姫路）に振り分けられた結果、尼崎で重み

付き距離の総計の変化が大きく、全拠点の総計についても、現況に対して 12.2%減と Y 社と比べて大きくなっている。

以上で述べたように、MinSum 問題の配置と現状の配置の乖離は、Y 社では比較的小さく、現状の拠点配置が重み付き距離の総計の最小化を反映した配置となっていることが推察できる。これに対し郵政公社では、こうした乖離が大きくなっており、輸送コスト最小化による配置計画により貨物輸送の効率性を向上させる可能性が大きいことを示唆しているといえる。

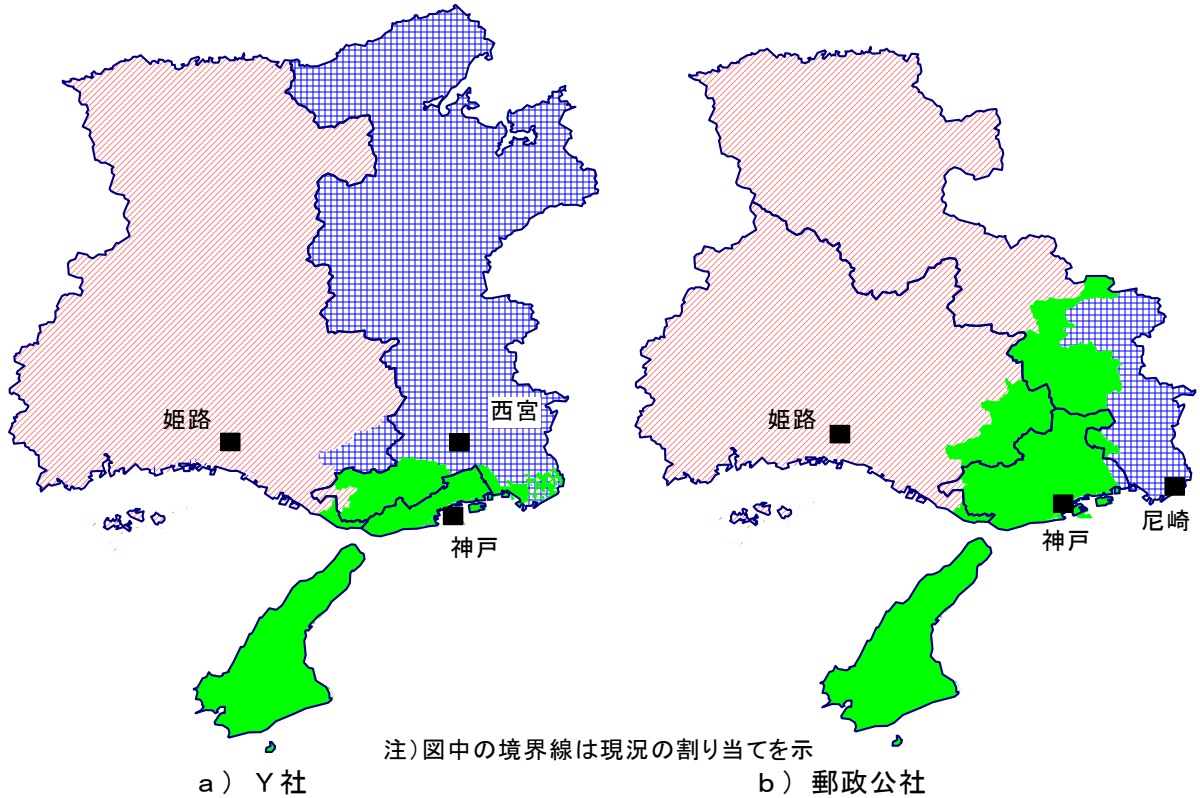


図 5.10 MinSum 問題（上位拠点固定）による下位拠点の割り当て計画

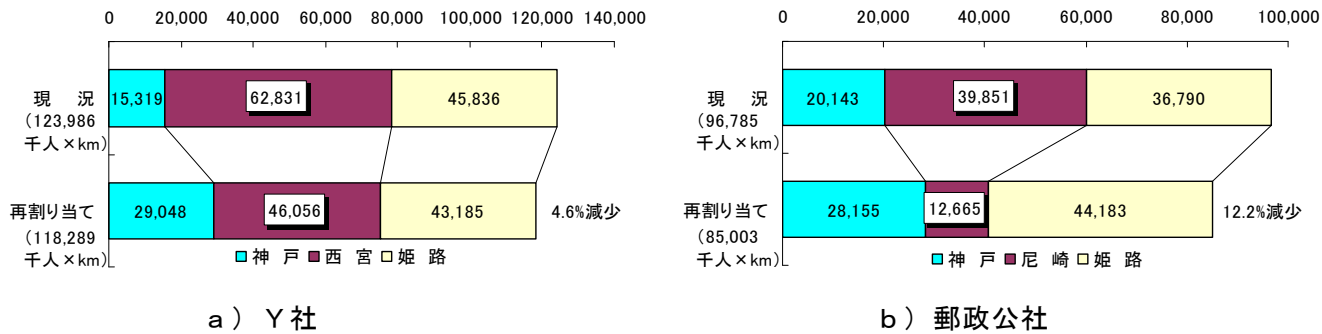


図 5.11 再割り当てによる重み付き距離の総計の変化

5.6 P-Median 問題による配置計画

兵庫県域において、新たな上位拠点の候補地点を1箇所（神戸西）取り上げ、その有効性を検証する。新たな候補地点は、高速道路網の結節点にあるため交通利便性が高く、大規模な流通業務団地の計画が進められていることや、人口集中地域へのアクセス性も高いことなど、好立地条件にある。

候補地点と既存の3箇所の立地地点の計4箇所を考え、これら4箇所の中から重み付き距離の総計が最小となる3箇所（ $P=3$ ）を選択する P-Median 問題を解くことによって、最適な上位拠点の配置を求める。

P-Median 問題は式（4-1）のように定式化できる。なお、変数 x_{ij} と y_j は選択するか否かを示す 0 or 1 の離散変数であるが、大規模な問題を解く際は、これを 0～1 の連続変数に変換することで計算量（演算時間）を減少させることが可能である。今回の分析ケースでは、 x_{ij} と y_j の離散変数の内、 x_{ij} のみを連続変数に変換することにより、解を求めることが可能であった。なお、この場合 x_{ij} に対して、0.5 を閾値として、0.5 未満であれば 0、0.5 以上であれば 1 といった置換作業を行っている。なお、大半の変数が、0 or 1 であった。

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Q_i D_{ij} x_{ij} \quad (4-1)$$

$$\begin{aligned} \text{Subject to} \quad & \sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \\ & \sum_{j \in J} y_j = P \\ & x_{ij} - y_j \leq 0, \quad \forall i \in I, j \in J \\ & x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J \\ & y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \end{aligned}$$

- I : 下位拠点の集合
- J : 上位拠点候補地の集合
- P : 立地させる上位拠点数
- $Q_i (i \in I)$: 下位拠点 i の担当夜間人口
- $D_{ij} (i \in I, j \in J)$: 下位拠点 i と上位拠点 j の直線距離
- $y_j (j \in J)$: 上位拠点を候補地 j に立地させる場合1、否の場合0
- $x_{ij} (i \in I, j \in J)$: 下位拠点 i が上位拠点 j に属する場合1、否の場合0

図 5.12 は、求められた上位拠点の最適配置とそれに対する下位拠点の割り当て結果を地図上に表示したものである。また、図 5.13 は、両事業者ごとに、選択された上位拠点と、その上位拠点に対して下位拠点を再割り当てした場合の重み付き距離の総計を現況の値と比較したものである。なお図中では、個々の上位拠点が担当する重み付き距離の総計の変化も示している。これらの結果より以下のことがわかる。

Y 社、郵政公社ともに新規上位拠点を含む 3 箇所の上位拠点の組み合わせが最適解として求まった。両者ともに、新規上位拠点と最も近くに位置する神戸が上位拠点の組み合わせから外れることとなった。

事業所ごとにみると、まず Y 社では、神戸に代わって神戸西が選択されたが、個々の上位拠点が担当する重み付き距離の総計に大幅な変更はみられず、P-Median 問題による重み付きの距離の総計も現況に対して 6.1%の減少に留まっている。

一方、郵政公社では、姫路では重み付きの距離の総計に大きな変更はないものの、新たな上位拠点である神戸西の重み付き距離の総計が大幅に増加しているのに対し、尼崎のそれが大幅に減少している。これに伴い、P-Median 問題による重み付きの距離の総計は現況に対して 14.0%の減少と大きくなっている。

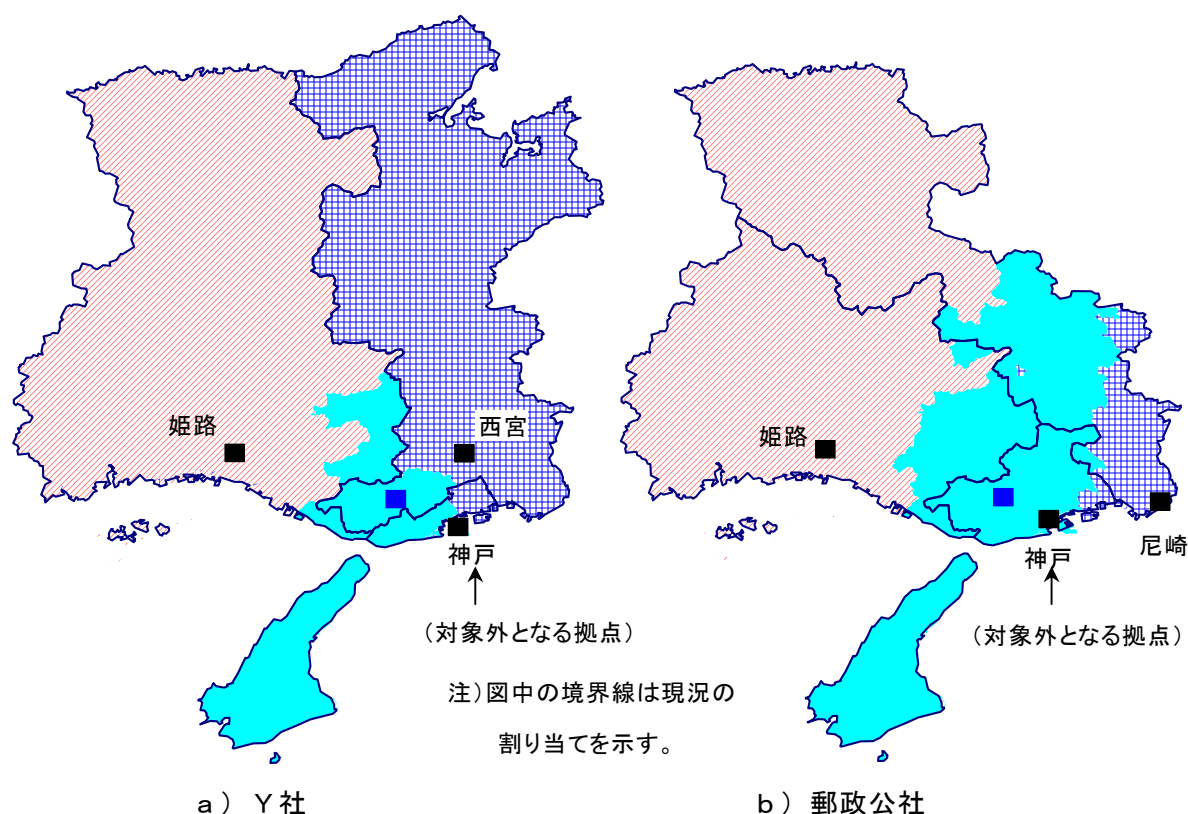


図 5.12 P-Median 問題による上位拠点の配置計画と下位拠点の割り当て

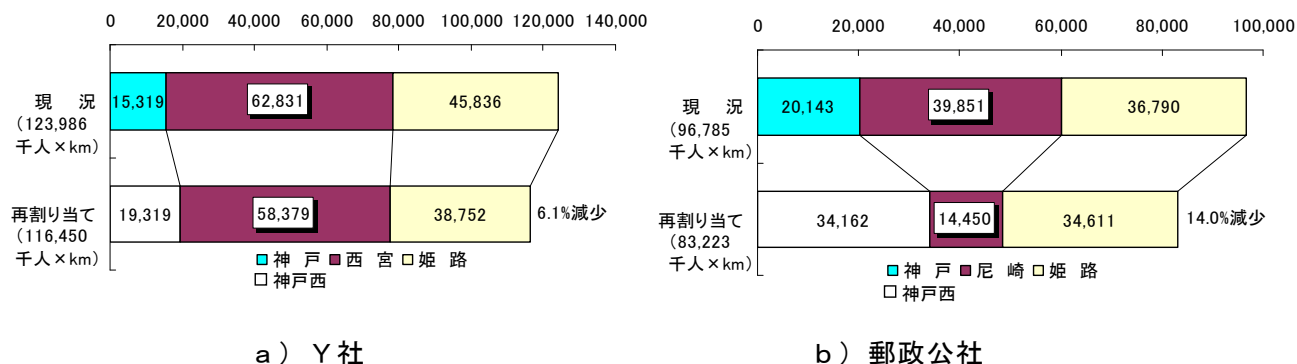


図 5.13 P-Median 問題による重み付き距離の総計の変化

以上のように、P-Median 問題による配置計画の結果から、既存 3 拠点よりも新規拠点を加えた 3 拠点の方が重み付きの距離の総計を小さくすることが可能であることが確認できたが、Y 社では、新たな拠点を加えた配置計画案でも担当する下位拠点の構成の変化および重み付き距離の総計の減少幅が少ないのに対し、郵政公社は新たな拠点の追加に伴い、担当する下位拠点の構成の変化および重み付き距離の総計の減少幅が大きくなっている。このように、P-Median 問題による新たな配置計画を考えた場合も前項の MinSum 問題と同様に、Y 社に比べて郵政公社の方が輸送効率性を向上させる可能性が高いことが確認できる。

5.7 階層構造を考慮した最適配置計画の提案

前項までの配置計画問題では、下位拠点からみた上位拠点の最適配置計画について検証しており、下位拠点の最適配置計画については触れていない。また、上述までの配置計画の結果より、Y 社に比べて郵政公社の方が配置計画による効率性の向上の可能性が大きいことが確認できた。そこでここでは、郵政公社のみを対象として、上位と下位の両階層における配送拠点を最適化することを試みる。このためには、各階層ごとに P-Median 問題を段階的に適用するが、本研究のように多数の下位拠点がある場合、組み合わせの数が膨大になり厳密解を求めることが難しく、上位と下位の両階層における配送拠点の最適配置を同時に決定することは困難である。このため、まず人口分布をもとに P-Median 問題を用いて下位階層の拠点配置を決定し、次いで、この下位階層の配置結果から上位階層の拠点配置を同様に P-Median 問題を用いて求める。

5.7.1 配置計画案の策定

既に述べているように郵政公社は、均一のサービスを保つという役割と下位拠点に相当する集配局が窓口業務を行っていることから下位拠点を均等に立地させている。しかしながら一方で、事業の効率性と宅配貨物取扱量の増大を目的に民営化以降、郵便局の整理・統合による集配拠点の集約化や宅配輸送ネットワークの改善によって、宅配輸送の効率性を向上させる戦略的な配送拠点の配置が模索されてきており¹⁰⁾、下位拠点に相当する集配局の統廃合による削減計画が検討中である。

そこで、上述のことを勘案して、図 5.14 に示すように、郵政公社について新たな配置計画案を考えた。配置計画案の作成にあたっては、上位・下位拠点の数について明確な基準がないため、より効率的な輸送を実現していると考えられる Y 社の拠点数を基準とした。具体的には、①既存の下位拠点の数を現在の 129 箇所から Y 社と同等の 94 箇所に減少し、②新たな上位拠点^[補注 1]（兵庫県内の流通業務団地と Y 社の上位拠点）を加えた上位拠点候補 8 箇所の中から現在と同じ数の上位拠点 3 箇所を選択することとした。

解法の手順は、まず、市区町村よりも更に細かい町丁目・字等の単位の人口分布¹¹⁾をもとに P-Median 問題を解き^[補注 2]、既存の 129 箇所から 94 箇所（ $P=94$ ）の下位拠点を選択する。次に、こうして得られた下位拠点の配置結果に対して再度、8 箇所の上位拠点候補の中から 3 箇所（ $P=3$ ）の拠点を求める P-Median 問題を解く。このように、各階層に対して、段階的に P-Median 問題を適用する。

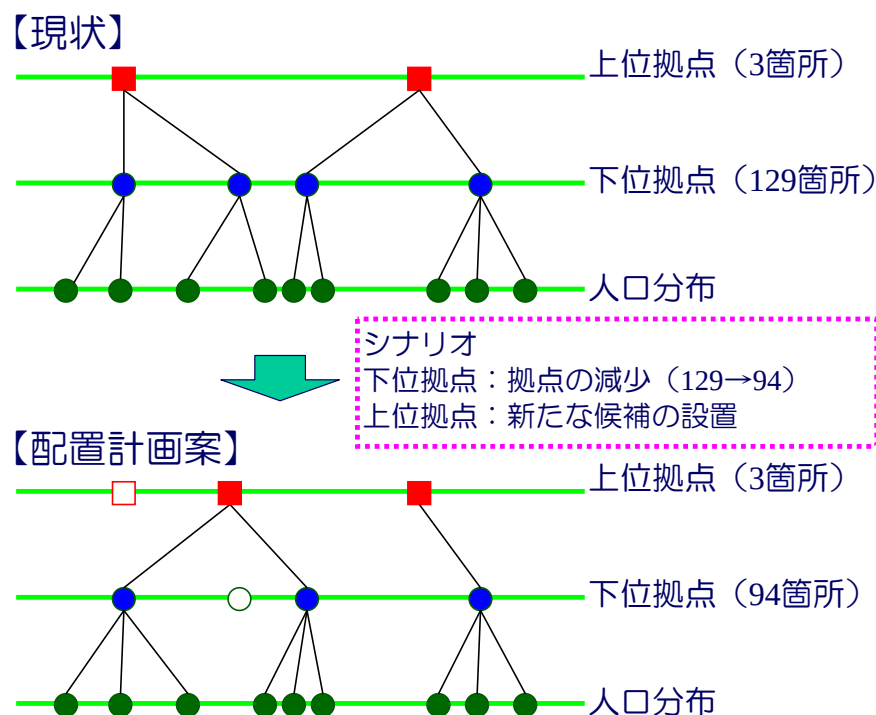
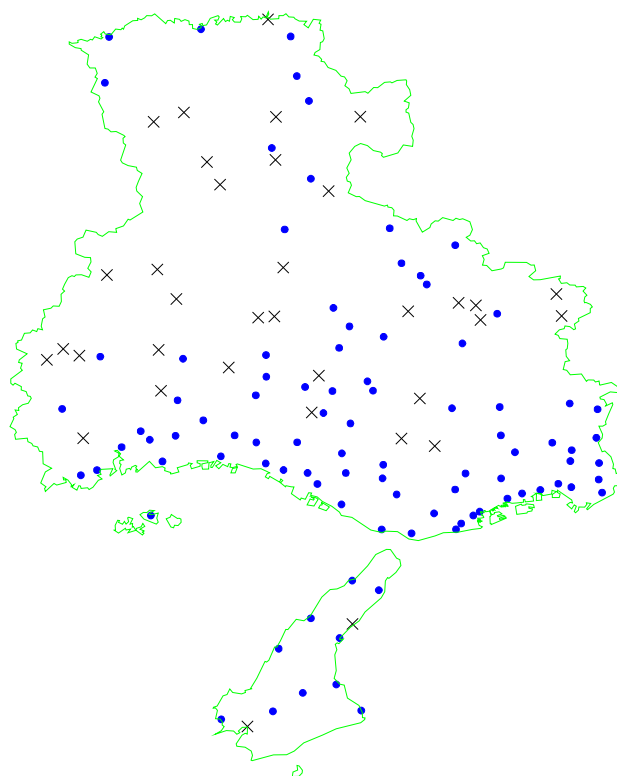


図 5.14 階層別の最適配置を求めるシナリオ

5.7.2 両階層の最適配置

上述のシナリオにより、まず人口の分布から下位拠点の最適配置を求めた結果が図 5.15 である。この図の×印が削減対象となる拠点である。これによると、山間部の人口が少ない地域に立地する下位拠点で×印が多くみられる。実際、これらの削減対象となる下位拠点は表 5.3 に示すように、選択された下位拠点に比べて、実際の担当人口が極端に少ないことがわかる。

また、下位拠点数をY社と同等にしたことにより、平均の担当人口はY社とほぼ同じ 59.0 千人となったが、標準偏差は 57.8 千人でありY社の 41.0 千人に比べると大きいものの、現況の値（62.5 千人）よりは小さくなっている。



●：立地する下位拠点（94 箇所） ×：立地しない下位拠点（35 箇所）

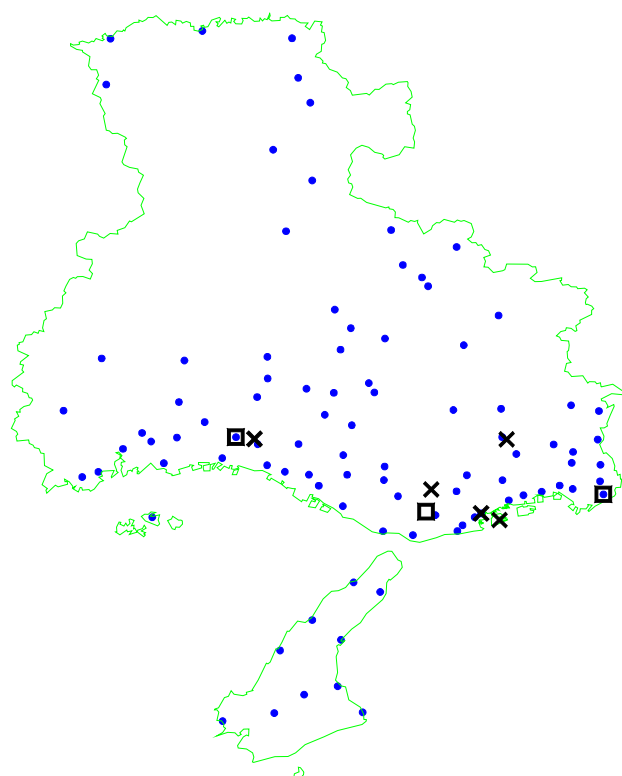
図 5.15 下位階層の拠点配置

表 5.3 担当人口の比較

担当人口の平均(千人)	
削減対象となる拠点 (N=35)	8.4
立地する拠点 (N=94)	55.9

次に図 5.16 は、先の 94 箇所の下位拠点の配置結果をもとに P-Median 問題を解いて 3 箇所の上位拠点の配置を求めたものである。新たな上位拠点候補として、宅配輸送を行う上で好立地条件であると思われる流通業務団地、宅配輸送に特化している Y 社の上位拠点がそれぞれ存在している地点を追加したが、実際に選択された配置は、既存の郵政公社の 2 箇所（尼崎、姫路）と神戸流通団地（布施畑 IC 付近）であった。

以上のように、両階層における配送拠点の最適配置を求めた結果、重み付き距離の総計は 82,919 千人×km となり、現況の値（96,785 千人×km）と比較して 14.3%の減となったが、前項で述べた下位拠点が現行の 129 箇所の P-Median 問題の結果（83,223 千人×km）とはほとんど差はみられなかった。しかしながら、より少ない下位拠点で、しかもより均等化された人口を担当できるようになっていることから、得られた配置計画によって効率性はさらに高まっていると考えられる。



□：立地する上位拠点（3 箇所） ×：立地しない上位拠点（5 箇所）

図 5.16 上位階層の拠点配置

5.8 おわりに

近年、取扱量が増加している宅配貨物輸送においては、迅速かつ均質なサービスを確保するために、配送拠点を地域間（上位）と地域内（下位）拠点に分類した上で、それらを階層的に配置している。こうした配送拠点が階層構造をもつ大手宅配２事業者（民間事業者と郵政公社）を取り上げ、各事業者の配送システムの実態を明らかにするとともに、配置計画問題を適用することにより、現状における階層構造をもった配送拠点の配置の最適性を実証的に検討した。また、こうした分析を通じて得られた知見をもとに、階層性をもつ宅配拠点の最適配置計画案を提案し、その効果の検証を行った。この結果、民間宅配事業者は貨物需要である人口分布を考慮して拠点を配置しているのに対し、郵政公社は拠点を均等に配置しており、こうした状況を反映し、郵政公社の方が配置計画により配送効率を向上できる可能性が大きいことが示唆できた。

具体的な成果の内容は下記の通りである。

1) 階層構造による宅配拠点の立地実態

- ・ 近畿圏域内における配送拠点の分布をみると、上位拠点については両者で総数に大差はなく、ほぼ高速道路の近辺に立地している。しかし、下位拠点については、両者で総数に差がみられ、Y社の方がより人口分布に対応させた拠点配置を行っている。
- ・ 兵庫県域を対象に下位拠点の配置密度を分析した結果、いずれの事業者も人口密度の高い地域に拠点を集中的に配置している。そしてY社では各下位拠点の担当人口を一定にする傾向がみられたのに対して、郵政公社では担当面積の分散がY社より小さく、担当エリアの人口密度と面積の関係も小さいことなど、拠点が均等配置される傾向があることを示した。また、Voronoi 分割領域と実際の担当エリアの人口の比較から、郵政公社の方が担当エリアの中心に拠点が配置されている傾向がみられた。

2) 総輸送距離最小化を目的とした配置モデルによる現状配置の効率性の検証

重み付き距離の総計の最小化を目的関数とする MinSum 問題によって、現状の拠点配置の最適性を評価した結果、Y社と郵政公社では差異がみられ、Y社の方が MinSum 問題の解との適合度が高く、より輸送の効率性が高いことが示された。このように、比較的簡易なモデルであるが、輸送効率性の観点から拠点配置を評価することが可能なことが確認できた。また、新たな上位の拠点の設置の可能性を P-Median 問題により検討した結果、新たな拠点の設置効果が検証できたが、輸送効率性の低い郵政公社の方がY社を上回る改善効果が確認できた。

3) 輸送効率を向上させるための最適配置計画案の提案と検証

Y社に比べて輸送効率性の低い郵政公社のみを対象として、Y社を模倣した階層性を考慮した最適配置案の提案を行うとともに、計画案の検証を行った。両階層の拠点の最適配置を P-Median 問題により段階的に求めた結果、下位拠点は人口過疎地域を中心に削減対象となる拠点がみられ、上位拠点は既存の郵政公社の拠点が選ばれた。この結果、重み付き

距離の総計の減少は、他の配置計画と同程度であったが、より少ない下位拠点で、より均等化された人口を担当できることから他の配置計画以上に効率性が高まっていることが確認できた。

最後に、本章における研究に残された今後の課題として、以下の諸点があげられる。

- 1) 今回の配置モデルは、夜間人口と直線距離という限られた要因のみを取り込んだ簡易なモデルであったため、個々の拠点配置の詳細な位置を特定するためには、より詳細な配置モデルの構築が必要である。このためには、業種別の従業人口などの新たな指標を追加することによって、より精度の高い宅配貨物需要量の推計方法を確立することが求められる。また、距離の指標として直線距離に代わって、道路ネットワーク上での輸送距離（あるいは時間距離）を用いることも必要である。
- 2) 階層構造をもつ拠点配置に対して、下位階層から段階的に **P-Median** 問題を解く方法を適用したが、より正確な最適解を求めるためには、階層間の結果をフィードバックすることが可能な階層型 **P-Median** 問題などの援用を検討していきたい。
- 3) 拠点配置の変遷といった時系列データと社会経済指標などの時系列データを比較することによって、輸送コスト以外の拠点配置の要因についてもより詳細に分析することが必要である。

【補注】

[1] 郵政公社の3箇所に加えて、兵庫県にある3箇所の流通業務団地（西宮、布施畑、神戸西）とY社の上位拠点3箇所の合計8箇所とする。なお、9箇所では無く、8箇所であるのはY社の1箇所が西宮の流通業務団地内に立地しているためである。

[2] 市区町村よりも更に細かい町丁目・字単位のゾーンで人口分布のデータを整備すると、兵庫県だけでゾーン数が9,788にも及ぶ。このゾーン単位の人口分布をもとにした下位拠点の最適配置を求めるには、下位拠点の候補数 $129 \times$ ゾーン数 9,788 の膨大な変数（上記補注1)の に相当）の **P-Median** 問題を解く必要があるが、メモリの制約上、求解は困難である。実際に、市販の数値計画ソフト NUOPT（アルゴリズムは分岐限定法）により **P-Median** 問題の離散変数を連続変数に変換した上で、cpu2.26GHz（Pentium4）、メモリ 1GB の環境では求解することが出来なかった。対策としては、近似解を求めるアルゴリズムを導入する方法もあるが、本研究では、現実的に問題を解くことの出来る範囲まで変数を削減する方法をとった。上述のPC環境では、 $129 \times 2,000$ 以下が求解可能な範囲である（検証済み）。そこで、人口が1,000未満のゾーンについては、近隣するゾーンへの割り当てを行った。なお、人口が1,000以上のゾーンは1,547であり、求解可能な範囲である。割り当てについては、1,547のゾーンを母点とする Voronoi 領域を作成し、その領域内に含まれる人口を

集計した。

【第5章の参考文献】

- 1) 田中康仁, 小谷通泰, 原田亜紀子 : 近畿圏におけるトラック事業所の空間分布特性の分析と立地モデルの作成, 土木計画学研究・論文集, Vol.20, No.3, pp673-680, 2003
- 2) Drezner, Z and Hamacher, H. : Facility Location: Application and Theory. Springer, Berlin, 2002
- 3) Daskin, M. S. : Network and Discrete Location: Models. Algorithms and Applications, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1995
- 4) Weaver J. R., Church R. L. : The nested hierarchical median facility location model. INFOR 29, pp.100-115, 1991
- 5) Galvão, R., Espejo, L. and Boffey, B. : A hierarchical model for the location of perinatal facilities in the municipality of Rio de Janeiro. European Journal of Operational Research 138 (3), pp495-517, 2002
- 6) 山田忠史, 則武通彦, 谷口栄一, 多賀慎 : 物流ターミナルの最適配置計画への多目的計画法の適用, 土木学会論文集, No.632/IV-45, pp41-50, 1999
- 7) Zhongzhen YANG, Chong LIU, Xiangqun SONG, Optimizing the scale and spatial location of city logistics terminals. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp.2937-2946, 2005
- 8) 渡部大輔, 鈴木勉 : 規模の経済性を考慮した階層的収集・配送輸送システムに関する研究, 都市計画論文集, Vol35, pp1027-1032, 2000
- 9) 国土交通省, 全国貨物純流動調査報告書, 2007
- 10) 田村佳章 : 郵便の区分・輸送ネットワークに関する調査研究, 郵政研究所月報, No.146, pp13-26, 2000
- 11) 総務省統計局, GIS 統計プラザ
<http://gisplaza.stat.go.jp/GISPlaza/>

第6章 結 論

都市圏域における物流は、都市間の物流と異なり鉄道や船舶で代替することが困難であることから、専ら貨物車により担われており、貨物車がきわめて重要な役割を果たしている。しかし一方で、こうした貨物車による交通は、交通渋滞・交通事故、大気汚染や騒音等の環境破壊など、様々な問題を引き起こしている。

このように、都市内における貨物車交通の問題は広範囲かつ、その及ぼす影響も大きいことから、もはや物流事業者のみに解決を委ねることは困難であり、都市交通問題として都市計画・交通計画の視点から対策を講じることが重要と考えられる。

こうした貨物車交通に起因する問題を解決するためには、排ガス規制や低公害車への転換などの貨物車単体への対策をはじめ、排ガス吸収装置や低騒音舗装による沿道対策、道路ネットワークや流通業務団地などの社会基盤整備などが挙げられるが、こうした対策に加えて、「輸送の効率化」や「貨物車交通の抑制」により貨物車交通を削減することも有効な対策と考えられる。

そこで本研究では、貨物車交通対策の一つとして輸送の効率化方策を取り上げ、こうした方策を立案・評価するための方法論の構築を試みたものである。この際、具体的な効率化方策として、まず“物流拠点等から目的地までの貨物車両による配送行動”に着目して、「所要時間の不確実性を考慮した貨物車の運行計画」、「配送先での荷捌き行動を円滑化するための荷捌き用駐車施設の整備計画」を考えた。次いで、“貨物車が発着する物流拠点の配置形態”に着目して、「個々の物流拠点の適正な立地場所への誘導方策」、「および階層構造をもつ配送拠点の最適配置計画」を考えた。

本研究では、前者の貨物車の配送行動については第2章、第3章で、後者の物流拠点の配置形態については第4章、第5章で分析を行った。以下では、各章の研究で得られた成果をまとめる。

第2章では、交通渋滞などによる走行所要時間の変動が貨物車輸送の効率性を低減させる大きな要因であることから、こうした不確実性を考慮し、最適な出発時刻および最短所要時間となる配送順序をそれぞれ決定する方法を提案した。得られた成果は、以下の通りである。

1) プローブデータをもとに貨物車両の詳細な運行挙動を解析した結果、貨物車は、交通渋滞の影響を受けにくい早朝に走行する比率が高く、旅行時間の不確実性のリスクを軽減させていることがわかった。さらに、配送先の到着指定時刻に対して出発時刻を早めることにより余裕時間を確保したり、配送順序の変更による対応を行うことにより、配送先に定刻に到着する工夫をしていた。

2) 時間指定のある配送先への出発時刻の決定行動について、配送先までの旅行時間の平

均値と標準偏差から、出発時刻ごとに配送先に遅れて到着する確率（遅刻確率）を求め、旅行時間の不確実性の影響を評価する方法を提案した。この結果、上述の出発時刻を早めたり、また配送順序を変更するといった行動を遅刻確率の最小化によって説明できることを明らかにした。

3) 複数の配送先を巡回する場合における複数の配送順序について、それぞれの配送順序を選択した時の所要時間の平均値と標準偏差から、その配送順序が最小の所要時間となる確率（選択確率）を求める方法を提案した。この結果、現実には、選択確率が最大となる配送順序が選択されていることを明らかにした。また、道路混雑時には所要時間の変動が大きくなり、道路混雑のない場合と比べて少数の配送順序で選択確率が高くなることを示した。

4) 本手法を用いることによって、プローブデータ等により蓄積された貨物車の運行履歴を活用することにより、所要時間の不確実性を考慮して出発時刻および配送順序を決定することが可能となり、運行計画を作成する上で不必要な余裕時間を見込む必要がなくなるなど、その効率化に大きく寄与できることを示唆した。

第3章では、都心部における荷捌き行動の円滑化を図るため、貨物車用の荷捌き駐車施設の整備計画について検討した。まず、社会実験の結果をもとに荷捌き駐車施設を設けた場合の運転者の荷捌き行動を把握した。そして、貨物需要に応じた、荷捌き駐車施設の配置箇所数や配置場所を求める配置計画案の作成方法を提案し、続いて荷捌き施設の利用料金や利用可能時間といった運用方法をドライバーへの意向調査結果から検討した。得られた成果は、以下の通りである。

1) 社会実験の結果より、路上荷捌き施設を設置した場合の平均駐車時間は 25.9 分であり、一般の路上における平均駐車時間に比べて長く、集配距離では約 2.5 倍、集配回数では約 1.7 倍となっており、より多くの場所へ長い距離の集配活動を行っている。また、路上荷捌き施設の利用によりドライバーの違法駐車への心理的負担が軽減されるなど、路上荷捌き施設の効果が配送実態とドライバーの心理面から検証できた。

2) 荷捌き駐車施設利用時の平均集配距離を基準として、配置計画問題を適用することによって配送先の貨物需要の分布をカバーする配置計画案を求めることを考えた。上述の社会実験地区における計算例では、P-Median 問題で 6 箇所、P-Center 問題で 9 箇所に荷捌き施設を配置する計画案が求められた。それぞれの配置問題の特徴から、P-Median 問題は多くの配送先をカバーできる効率性の面で優れているのに対し、P-Center 問題はドライバーの配送距離を一定値で抑えることから、ドライバーに利用されやすい可能性があることも示唆できた。

3) ドライバーへの意向調査の結果、短時間用、長時間用の荷捌き用駐車施設の設置を想定した場合には、両タイプの駐車施設とも利用ニーズが高く、特に短時間用駐車施設では、15 分程度の短い荷捌き行動を想定して無料時間を重視していることが伺えた。また、1 箇所に止めて多くの配送先を回る場合は、長時間用の荷捌き駐車施設の選好度が強いことか

ら、配送形態の違いによる使い分けの方向性も示唆できた。

4) 地域における荷捌き需要の分布を考慮し、短時間用および長時間用の異なるタイプの組合せからなる荷捌き駐車施設の整備計画の考え方を示すとともに、P-Median 問題や P-Center 問題などの配置計画の適用可能性や運用のための利用時間および料金システムのあり方について示した。

第4章では、物流事業所の立地に関する実態データと意識データを用いて、物流活動を効率的に行うとともに、住宅などとの用途混在から生じる問題点を解決するための適切な物流拠点の配置候補地を抽出する方法を提案し、物流拠点の集約や適切な場所への立地の規制誘導方策を検討した。得られた成果は、以下の通りである。

1) 立地実態のデータによれば、物流拠点として取り上げたトラック事業所は、高速道路IC付近のアクセス性の高い場所に立地が集中しており、また、人口集積地付近の立地に加えて、公共トラックターミナルの周辺でも、集積がみられることがわかった。こうした立地の実態を説明するため、トラック事業所を対象に要因分析を行った結果、工業系・商業系の従業員数が拠点の立地に有意な要因であり、特に工業系指標の方が有意性は高かった。また、交通利便性指標についても一定の影響が確認された。

2) 物流事業所への意向調査結果より、現状の立地場所に関する満足度は、概ね高く、立地の理由は、「敷地の広さ」「地価の安さ」「顧客への近接性」「道路ネットワークとの近接性」を重視していた。また、一方で、立地に関する問題点としては、「用地・施設が手狭」「施設の老朽化」「地代・賃料の負担」といった用地・施設に加えて、「貨物車の発着に関する住民の苦情」への心配も強く、こうした地域住民に対する問題点が立地満足度を低下させる大きな要因であった。

3) 約半数の事業者が事業所を新設または移転したいとの希望を持っており、こうした移転希望の条件としては、「十分な敷地の広さ」、「高速道路へのアクセス利便性」といった項目が特に重要視されており、続いて「用地・施設の賃借価格が妥当」、「市場、消費地へのアクセス利便性」が挙げられ、これらの要因に対しては、希望条件の基準値を数値的にとりまとめた。

4) 現状の物流事業所の立地実態データと立地に関する意識調査結果から立地指標を導き出し、これらを説明変数としてメッシュ単位における立地選択モデルの構築を行った。このモデルより立地可能性を表す立地ポテンシャルを算出した結果、物流事業所の規模によって、立地ポテンシャルの分布状況に違いがみられた。小規模な事業所は、立地可能な地域が比較的広範にわたっているのに対し、大規模な事業所では、臨海部および高速道路沿道といった地域のみ立地可能性が高い地域として抽出された。

5) 構築した立地選択モデルを用いることによって、対象地域内において計画されている高速道路の延伸とその沿線地域における用途地域の変更（工業系用途の拡大）を行った場合に、立地ポテンシャルが向上する地域を抽出した。この結果、事業所の規模によって立

地ポテンシャルの増加する地域の数に違いがみられ、小規模な事業所に比べて、大規模な事業所の方が立地ポテンシャルが向上する地域が多くみられた。また、本モデルでは物流事業所の立地に、最寄り高速道路 IC への距離よりも工業地面積の方が大きく寄与していたため、高速道路の延伸効果よりも、工業系の用途面積の変更による効果が大きくあらわれた。このように、用途地域の変更を行うことによって、立地誘導可能性をコントロールすることが可能なことを検証できるなど、本手法が立地誘導方策にとって、有効なツールとなることがわかった。

第 5 章では、階層的に拠点を配置している宅配輸送の効率性を高めるために、総輸送トンキロ（拠点間の物量×輸送距離）の最小化を目的とした最適な配送拠点の配置計画を構築し、その効果を検証した。ここでは、研究対象として 2 事業者、Y 社と郵政公社を対象とした。得られた成果は、以下の通りである。

1) 配送拠点の分布状況は、上位拠点については両者で総数に大差はなく、高速道路付近のアクセス利便性の高い場所に立地している。しかし、下位拠点については、両者で総数に差がみられ、Y 社の方がより人口分布に対応させた拠点配置を行っているのに対し、郵政公社は拠点を均等に配置しており、こうした状況を反映し、郵政公社の方が配置計画により配送効率を向上できる可能性が大きいことが示唆できた。

2) 重み付き距離の総計の最小化を目的関数とする MinSum 問題によって、現状の拠点配置の最適性を評価した結果、Y 社と郵政公社では差異がみられ、Y 社の方が MinSum 問題の解との適合度が高く、より輸送の効率性が高いことが示された。また、新たな上位の拠点の設置の可能性を P-Median 問題により検討した結果、新たな拠点の設置効果が検証できたが、輸送効率性の低い郵政公社の方が Y 社を上回る改善効果が確認できた。

3) 輸送効率を改善できる可能性の高い郵政公社のみを対象として両階層の拠点の最適配置を P-Median 問題により段階的に求めた結果、下位拠点は人口過疎地域を中心に削減対象となる拠点がみられ、上位拠点は既存の郵政公社の拠点が選ばれた。この結果、重み付き距離の総計が減少し、より少ない下位拠点で、より均等化された人口を担当できることより効率性が高まっていることが確認できた。

最後に、本研究に残された今後の課題について述べる。

1) 本研究では、輸送の効率化を目的とした方策を対象としたが、効率化の指標としては、貨物車の配送行動については、走行所要時間や横持ちのための配送時間（距離）を取り上げ、物流拠点の配置形態では、高速 IC 等へのアクセス時間（距離）や総輸送トンキロを用いた。さらに、荷捌き用駐車施設の設置や物流拠点の立地では、周辺環境への負荷を軽減できる適正な場所への設置および立地に配慮した。しかし、一部で利用料金について考慮

しているが、本研究ではコストの視点を充分に取り込むことができなかった。事業者にとって、輸送の効率化は、所要時間や走行距離の短縮を通じてコスト削減が期待されるが、具体的にどの程度のコスト削減が得られるかが重大な関心事であるため、これらについても今後分析を進める必要がある。また、物流拠点および配送拠点の立地においても、立地コストを明示的に分析に組み込めるようにする必要がある。

2) 本研究は、貨物車による輸送効率化方策の立案、検証を行ったが、こうした効率化方策が現実的に社会に受け入れられるためには、事業者にとってのコスト削減効果とともに、CO²削減や、交通渋滞、環境負荷の軽減にどの程度効果的であることを示すことが求められており、これらを定量的に評価できる指標の導入が必要である。また、今後は、個々の方策だけでなく複数の方策を組み合わせた場合の効果についても検討し、より効果の高い方策の組み合わせを見いだすことが求められる。

3) 物流研究では、どのようにして必要なデータを入手するかが大きな問題となる。今日、数多くの物流企業では、貨物車の運行管理システムや貨物追跡システムの導入により経営を効率化している。また、車両にデジタルタコグラフやプローブ機器を搭載し、運転挙動を記録してエコドライビングや交通安全に役立てている事例も多い。こうしたシステムや機器の導入により、企業には、日常的に貨物車 OD データや貨物車の運行挙動に関わる膨大なデータが蓄積されている。これらのデータについては、企業秘密として秘匿の問題も残るが、様々な施策の効果を実証するために不可欠なデータであり、その活用が望まれる。

謝 辞

本論文を結ぶにあたって、本研究を遂行する上でご指導とご援助いただいた方々に対して、ここに感謝の意を表します。

神戸大学大学院海事科学研究科教授 小谷通泰先生には、神戸商船大学の学部生の頃より長年に渡り、終始暖かいご指導とご鞭撻をいただきました。本研究の遂行に際しても、幅広い知見と柔軟で多角的な発想にもとづく数多くの的確なる助言をいただけたことで研究を進めることができました。ここに深甚たる感謝の意を表します。

また、本論文を作成するにあたり、貴重な時間を割いてご校閲の労をいただき、有益なご助言・ご指導を賜りました神戸大学大学院海事科学研究科教授 小林英一先生、同教授 今井昭夫先生、同教授 齋藤勝彦先生に心よりお礼申し上げます。

さらに、広島商船高等専門学校流通情報工学科教授 岡山正人先生には、筆者が広島商船高等専門学校に奉職して以来、この分野での研究に係わる諸端を与えていただき、折にふれ有益なご助言、励ましをいただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

神戸大学大学院海事科学研究科助教 秋田直也先生には、本研究の遂行に際し、終始暖かな励ましとご助言をいただきました。心より感謝致します。また、本研究における資料収集、計算作業に関しては、中村賢一郎氏（現在本田技術研究所勤務）、原田亜紀子氏（現在パナソニックアドバンステクノロジー勤務）、小林護（現在高槻市勤務）の各氏にご協力いただきました。これらの方々にも感謝を申し上げます。

広島商船高等専門学校校長 堀籠教夫先生には、神戸大学大学院自然科学研究科への社会人入学に際して特設のご配慮をいただきました。また、筆者が所属する流通情報工学科の諸先生方には、本研究の遂行にあたって多大なご迷惑をおかけしたにもかかわらず、終始暖かい励ましをいただきました。紙面を借りて感謝の意を表します。