

# ITSを活用した確率論的配車配送計画に関する実験的研究\*

## Experimental Study on Probabilistic Vehicle Routing and Scheduling with ITS\*

谷口栄一\*\*・安東直紀\*\*\*

By Eiichi TANIGUCHI\*\*・Naoki ANDO\*\*\*

### 1. はじめに

都市内交通に大きな影響を与える都市内集配トラックについて着目したときに、効率的な配車配送計画を行った場合、物流コスト・環境負荷が削減可能であることが示されている<sup>1)</sup>。谷口ら<sup>2)</sup>は所要時間の不確実性を考慮した確率論的配車配送計画モデルは、旅行時間として一つの予測値を用いる確定論的配車配送計画モデルを用いた場合と比べ、特に渋滞が激しい状況において顕著な効果を発揮することを示した。

近年整備が進んでいる VICS (Vehicle Information Communication Systems)により、都市内の多数の区間において各種の交通情報が収集・提供されている。これにより以前は入手が困難であった各種の交通情報を入手することが可能となってきた。また、ICT 技術の発達によりプローブカーを用いた交通環境情報の取得が近年可能となってきた。プローブカーにより得られる情報は実際に走行した履歴であり、そのデータの精度は非常に高いと考えられる。これにより以前は入手が困難であった精度の高い旅行時間等の交通情報を入手することが可能となってきた。

そこで本研究では都市内貨物車両にプローブ装置を設置し、これにより得られる貨物車両の走行挙動および旅行時間情報と VICS が提供している旅行時間情報を確率論的配車配送計画に適用した。

\*キーワード：物流計画，ITS，交通情報

\*\*フェロー，工博，京都大学大学院都市社会工学専攻  
(京都市左京区吉田本町，TEL:075-753-4789，

E-mail:taniguchi@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

\*\*\*学生員，工修，京都大学大学院都市社会工学専攻  
(京都市左京区吉田本町，TEL:075-753-4788，

E-mail:n-ando@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

その結果を実際の配送活動と比較することで物流効率化と環境負荷の低減可能性について、大阪市南部地区の道路ネットワークを対象に分析した。

### 2. ITSを用いた旅行時間分布の推定

大阪市南部地区において家電製品を配送する貨物トラックに、GPSアンテナを装備したPDAをプローブ装置として設置した。本研究ではこれらの車両をプローブカーとして使用した。

使用した貨物トラックは2t車1台、延べ66台・日であった。実験期間は2004年3月13日～2004年6月2日である。

プローブカーが実際に走行した経路を元に、解析に使用する道路ネットワークを作成した。使用したネットワークを図1に示す。本ネットワークはプローブカーの走行経路・顧客位置を考慮し、各リンクがおおむね VICS リンクと対応するように設定した。本ネットワークは 69 ノード、218 リンクからなり、デポは 1 ノード、顧客は 22 ノードである。図1中の○は顧客ノードを、□はデポノードを示す。また図1のリンクのうち、太線で示されるリンクは VICS により旅行時間情報が得られているリンクを示す。

本研究ではネットワークの各リンクを地域・路線毎に6つのグループに分け、それぞれのリンク毎にプローブカーの走行履歴を蓄積し、旅行時間の分布に関する解析を実施した。リンクグループの一覧を表1に示す。

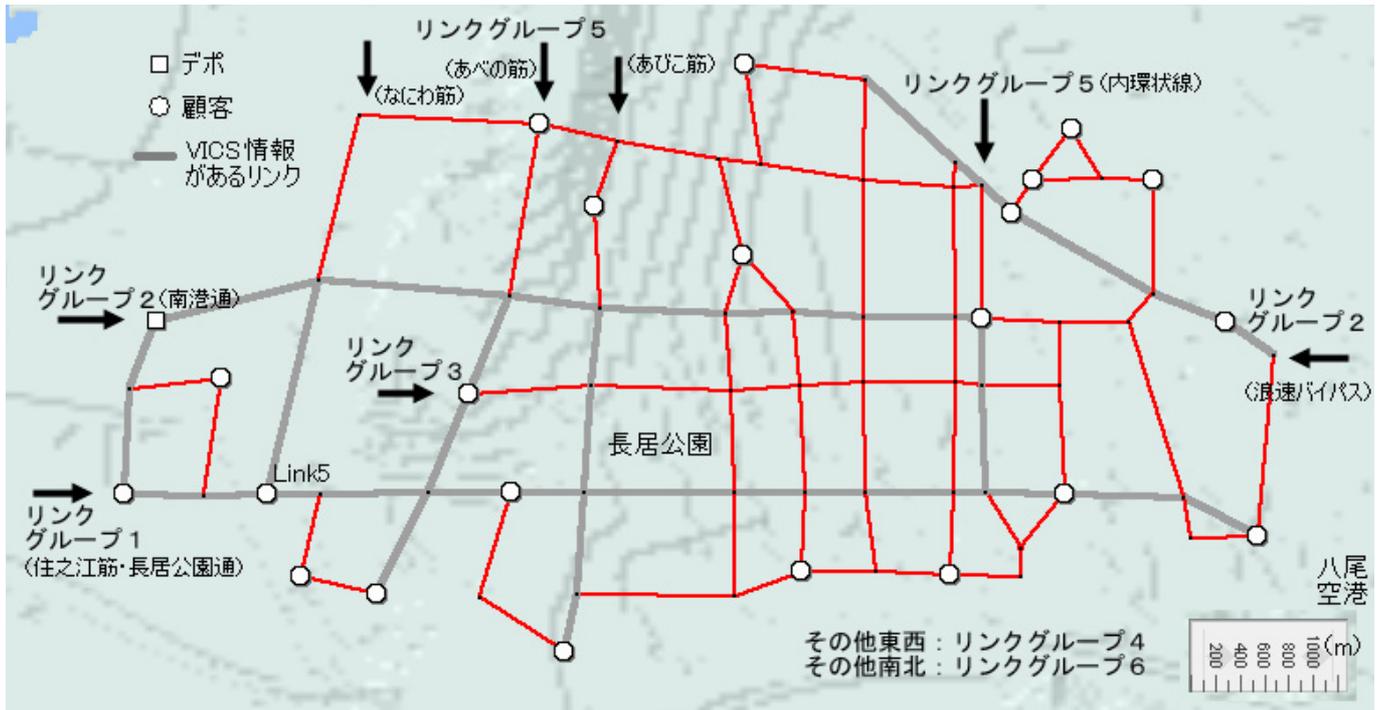


図1：大阪市南部の道路ネットワーク

本研究で用いたネットワーク内において、同一区間で上り下り方向のいずれかのリンクをプローブカーが走行した頻度は最大 71 回、平均 12.5 回であった。一方全く走行しなかった区間も 20 区間あった。このうち VICS 情報も得られているリンクで、プローブカーが最も多く走行したリンク 5 について旅行時間分布の例を図 2 に示す。

このようにして得られた各リンクの旅行時間分布より、旅行時間の最大値、最小値、平均をリンクグループ毎にプロットし、距離の関係でまとめたグラフの例を図 3 に示す。

図 3 はリンクグループ 2 について示したものであるが、最大・最小・平均の各旅行時間について直線で近似し、その傾きによりリンクグループ毎の速度を求めることとした。このようにして得られたリンクグループ毎の走行速度より、各リンクの延長から走行速度最小・平均・最大としたときの旅行時間を直線で結ぶ三角形分布とした旅行時間分布を作成し、確率論的配車配送計画に使用する。

得られたリンクグループ毎の最大・平均・最小走行速度を表 1 に示す。また、推定した旅行時間分布の例を図 2 に示す。

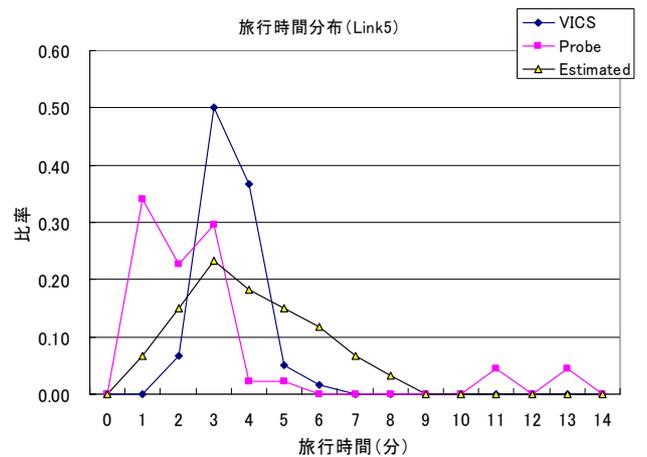


図 2：旅行時間分布 (リンク 5)

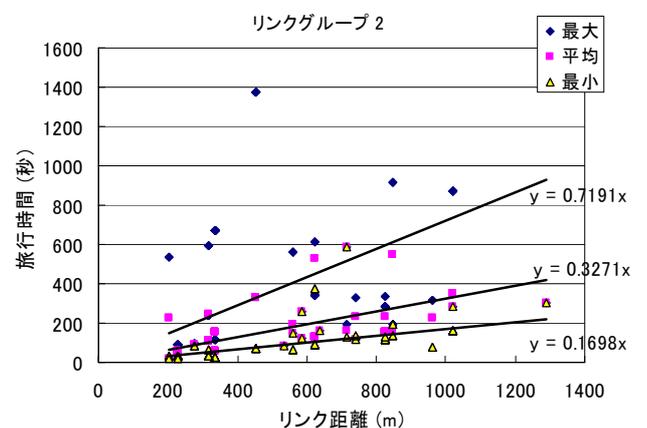


図 3：リンクグループ 2

表1：リンクグループ毎のプローブカー走行速度

リンクグループ	走行速度(km/h)			変動 ((a)-(c))/(b)
	最大 (a)	平均 (b)	最小 (c)	
1(東西 1)	18.0	6.9	3.1	2.17
2(東西 2)	21.2	11.0	5.0	1.47
3(東西 3)	20.1	9.0	3.1	1.89
4(東西 4)	11.3	6.8	4.6	0.99
5(南北 1)	17.4	6.5	2.3	2.32
6(南北 2)	21.3	10.7	4.1	1.62

本研究ではプローブカーデータの量的制約により上り・下り方向および時間帯毎のデータを同一に扱った。従ってこのようにして作成したリンクの旅行時間分布は距離のみの関数となる。今後データの蓄積が進めば上り下り方向、あるいは時間帯別の旅行時間変動も表現することが可能になると考えられる。そこで本研究ではVICSにより旅行時間情報が得られているリンクについては、VICSにより得られる旅行時間分布を使用することとした。

VICS情報は2001年2月1日～2002年3月31日の旅行時間の履歴情報を使用した。プローブカーのデータを取得した期間とは異なり、過去に蓄積された情報を使用した。旅行時間分布はプローブカーが走行している時間帯と同じ9:00~14:00の旅行時間分布を用いることとした。

VICSにより得られた旅行時間分布を用いる際に、プローブカーデータにより推定した旅行時間分布と旅行時間の平均値が等しくなるよう補正を行った。一方分布形状についてはVICSにより得られた旅行時間分布をそのまま用いることとした。VICSにより得られた旅行時間分布の例を図2に示す。なお図2の旅行時間分布はプローブにより推定した分布とVICSにより得られた分布の平均値が等しいため、補正は行っていない。

### 3. ITSを用いた確率論的配車配送計画

本研究では、物流企業における最適な配車配送計画とは総コスト(固定コスト、運行コスト、遅刻・早着ペナルティ)を最小化するものと考え、確率論的配車配送計画モデルの定式化を行った<sup>2)</sup>。

このモデルではトラックの出発時刻、顧客の配送ルートへの割り当て、顧客の訪問順序を決定する。

なお各顧客が集配トラックに配送してほしい指定時間帯(time window)をもち、トラックがその指定時間帯より早着・遅刻した場合にはペナルティを支払った上で配送を続けられるものとした。

確率論的配車配送計画では遅刻・早着ペナルティの算出に旅行時間の確率分布を用いることが特徴である。本研究では確率論的配車配送計画で用いるリンクの旅行時間分布をプローブカーデータより推定した分布とVICS情報を補正して得られた分布を使用する。

### 4. 大阪市南部地区におけるケーススタディ

本研究で対象とする配送活動は、大阪市南部地域を中心とするものである。顧客間のトリップ長は数kmであり、トラックは1回の配送で10カ所前後の顧客を訪問し、1日の総走行距離は30km程度が標準的なものであった。

本章ではケーススタディとして実際の配送を、2章で求めたリンク旅行時間情報を用いる確率論的配車配送計画と比較し、物流コストあるいは環境負荷の観点から都市内配送活動の評価を行うこととする。

#### (1) 確率論的配車配送計画の条件

本ケーススタディでは、プローブカーが設定した道路ネットワークを最も多く走行していた2004年4月7日、10日の2日間の配送について評価を試みる。この期間中にそれぞれ9、11カ所の顧客に対し配送が行われた。確率論的配車配送計画を実施するに当たり、実際の配送活動と比較するため、以下の条件の下で、最適な出発時刻と訪問順序を求めることとした。

1. 使用トラックは2t車1台
2. 実際の配送が行われた時刻の前後90分を配送希望時間帯とする幅3時間のタイムウィンドウを設定
3. 配送活動中の各リンクの旅行時間分布は一定

#### (2) 最適配送パターンと実配送の比較

前節の条件の下で、確率論的配車配送計画により、4月7日、10の配送先に対して最適配送パターンを

求めた。確率論的配車配送計画の総コストと、同一条件下での実配送の総コストを表 2(a)~(b)に示す。表 2 より総コストは 17~42%削減可能であることがわかった。削減部分の多くが遅刻ペナルティである。この時の遅刻・早着ペナルティは遅刻・早着の発生しやすさを表すと考えられる。一方運行コストは実際の運行にかかる経費である。表 2 より運行コストに関して最適解は実配送に比べ 19~24%削減可能であると言える。

配送パターンの最適化において、顧客訪問順序・走行経路を共に決定するものである。4月10日の最適配送パターンに関しては、顧客訪問順序は実配送と同一であったが、走行経路のみが異なるものであった。4月7日においては顧客訪問順序・走行経路共に実配送とは異なるものであった。

確率論的配車配送計画は最適化の過程で旅行時間分布を用いて極力旅行時間の不確実な経路を避け、遅刻・早着ペナルティの最小化を計ることで余裕を持った出発時間・訪問順序の選定を行う。これによりコスト削減が計られていることが表 2 よりわかる。

表 2:コスト比較

4月7日	実配送 (円)	最適解 (円)	変化 (%)
固定コスト	10,417	10,417	0.00
運行コスト	26,310	20,083	-0.24
遅刻ペナルティ	16,662	17	-1.00
早着ペナルティ	89	538	5.04
総コスト	53,478	31,055	-0.42
4月10日	実配送 (円)	最適解 (円)	変化 (%)
固定コスト	10,417	10,417	0.00
運行コスト	26,924	21,925	-0.19
遅刻ペナルティ	5,018	2,661	-0.47
早着ペナルティ	923	923	0.00
総コスト	43,282	35,926	-0.17

配送活動が環境に与える影響を比較したグラフを図 4 に示す。最適解と実際の配送を比較すると、総走行時間が 18.6~23.7%、CO<sub>2</sub> 排出量が 10.1~16.5%、NO<sub>x</sub> 排出量が 6.1~13.2%、SPM が 5.3~12.4%、それぞれ削減可能であることがわかった。このように確率論的配車配送計画を用いることで物流コストのみならず環境負荷も削減可能であることが示された。

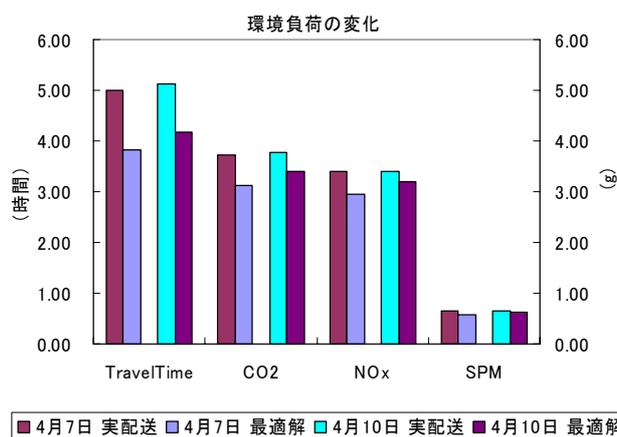


図 4: 環境負荷の変化

#### 4. おわりに

以下に本研究で得られた知見を列挙する。

(a) 都市内を走行する配送トラックをプローブカーとして走行挙動等を取得し、解析することで、高精度な旅行時間情報の取得が可能である。

(b) 確率論的配車配送計画に使用する旅行時間分布を得るために、グループ分けしたリンク毎にプローブカーより得られた旅行時間情報を解析し、旅行時間分布を推定する手法を提案した。

(c) VICS およびプローブカーを活用して得られた旅行時間分布を、確率論的配車配送計画に適用し最適解を求めた。その結果と実際の配送活動を比較すると、総コストおよび環境負荷の両方を削減可能であることが示された。

今後以下の項目についても検討を行う必要がある。

(d) 実配送と最適解の運行コスト等を比較するため、ネットワークにおける交通流シミュレーションの実施が必要となる。

(e) 実際の配送活動における運行コストを実測することも必要となる。

#### 参考文献

- 1) 谷口栄一, 根本敏則: シティロジスティクス, 森北出版, 2001
- 2) 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No674/IV-51,pp49-61,2001.4