

# プローブパーソンデータを基本にした更新型情報プラットフォーム\*

Update type traffic information platform based on probe person data\*

山川佳洋\*\*・羽藤英二\*\*\*

By Yoshihiro YAMAKAWA\*\*・Eiji HATO\*\*\*

## 1. はじめに

近年、GPSなどの観測技術の発達により個人の複数日の交通行動の履歴を観測することが可能となった。これにより経路選択行動をはじめとする都市空間における交通行動の分析が可能となり、ネットワーク上の多様な選択肢集合や、day-to-dayの行動理解についてよりよい知見が得られつつあり、今後は、こうした詳細なデータの交通管制への援用への期待が高まっているといえよう。

具体的には、詳細なリアルタイムデータを即時集計分析し情報配信する高度な交通情報管制システムやマッチング型のモビリティサービスを自動生成するサービスインテグレーターの開発などがあげられよう。実際にストックホルムなどではロードプライシングのday-to-dayの課金システムが常時稼動しており、リアルタイムデータフュージョンによって都市交通を高度に管理している例と言える。日々蓄積される交通行動データを基にしたシステムの実現のためには膨大で様々な精度の位置データや検知器データの蓄積法が重要である。リアルタイムで解析するためにデータベースを構造化し、随時更新される複数日の交通行動データから経路選択パラメータを更新し、旅行時間などの経路の交通情報に対する個人の反応の感度分析やマイクロシミュレーションによる評価が求められている。そこで本研究ではまずGPSデータを用いた経路選択モデルに関して従来のようにネットワークデータを基にしたマップマッチング型の手法ではなくデータキューブを用いることでGPSデータから仮想のネットワークデータを自動生成する方法の提案を行う。このデータの縮約によって大幅に計算コストの削減が期待できる。また更新型データベースを用いた経路選択モデルの頑健性について、パラメータの安定性解析を行う。そして更新型交通情報プラットフォームの包括的なシステム設計について議論する。

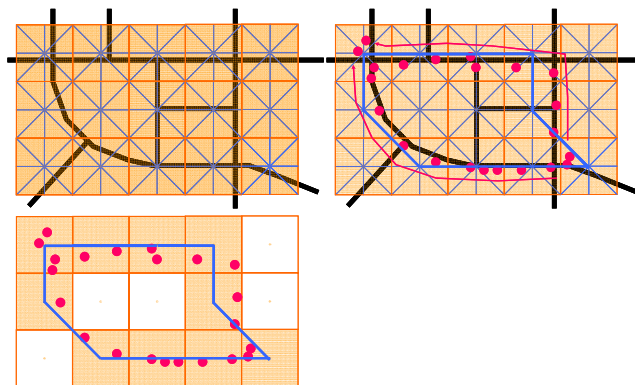


図 1 Virtual Network (VN) 概念図

## 2. 移動空間データのハッシュ構造化

GPS データを用いた経路選択モデリングを行うためにはデータの処理が重要である。従来のモデリングではマップマッチングの計算コストが大きい点、マップマッチングの基になるネットワークデータの整備にコストが大きい点に問題がある。本研究ではこの問題を解決するために実空間上にデータキューブを想定し、時間軸に沿ってこのキューブにデータを格納し処理することでマップマッチングを行わずにデータキューブの情報を用いることで経路データや選択肢集合を得ることが可能となる。データ操作の手順を以下に示す。

- 1) 実空間に対して仮想キューブ、また各キューブに対して周囲の8方向とのつながりを表現する仮想リンクを想定する。(図1左上)
- 2) 観測される各トリップに対応した位置データをそれぞれのキューブに格納する。あるトリップにおける連続した観測点が属するキューブ間の仮想リンクを実際に利用可能(利用履歴がある)リンクとして抽出する。(図1右下)
- 3) 以上の操作を観測トリップ、観測データに適用することで実ネットワークを考慮することなくGPSの観測データから仮想ネットワークを自動生成することができる。このネットワークを以下ではVirtual Network (VN) と呼ぶ。(図1左下)

\*キーワード：経路選択，交通行動分析，交通管理

\*\*学生員、東京大学大学院工学系研究科

(東京都文京区本郷七丁目三番地一号、

Email [yamakawa@bin.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:yamakawa@bin.t.u-tokyo.ac.jp))

\*\*\*正員、工博、東京大学大学院工学系研究科

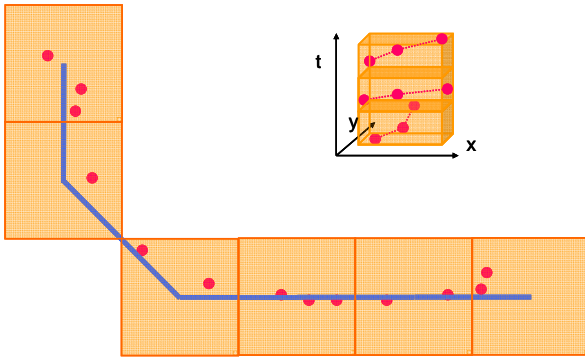


図 2 リンクコスト算出の概念図

次にモデリングの説明変数となる各キューブの走行環境変数として仮想リンクのリンクコストの算出を以下の定義に従って行う(図2).

- 以上観測の時間間隔は一定なのでキューブ内の観測点数が通過コストに相当する.
- キューブ内に複数方向のリンクが存在する場合はキューブ内の各リンクに対して通過コストを算出する.
- 道路の混雑状況は1日の中でも変動があるため1時間ごとにリンクコストを算出する.
- 同一キューブの同一リンク, 同一時間で複数観測がある場合は平均値を用いる.
- 全ての時間帯で走行履歴があるリンクは限られ, リンクコストテーブルに欠損ができるため, 欠損値はキューブの中心座標 $(x, y)$ , 時刻 $t$ を用いた3次元クリギング<sup>2)</sup>を行って補完をする.

### 3. Virtual Network を用いたモデリング

#### (1) 説明変数

経路選択モデルの説明変数として旅行コスト, 旅行コスト分散, (擬似)経路長, 右左折総角度を用いる. 旅行コストは各トリップに対応する各仮想リンクのリンクコストの和である. また図3で示されるように仮想リンク長の和を擬似の経路長として用いる. 右左折総角度は進行方向に対して右左折した角度の総和を取ったものと定義する. これらの説明変数は従来のマップマッチング型の経路選択モデルの説明変数に用いられることのある旅行時間, 旅行時間分散, 経路長, 右左折数に対応させている.

#### (2) 選択肢集合

選択肢集合はダイクストラ法を応用して空間的に広がりのある経路を列挙することのできるkite法というアルゴリズムを用いる<sup>3)</sup>. アルゴリズムの概要はOriginキューブとDestinationキューブを結ぶひし形を想定し,

そのひし形の対角線を通るキューブを通過キューブとして列挙する. そしてOriginキューブから通過キューブ, 通過キューブからDestinationキューブへの最短経路をダイクストラ法によって列挙する. そしてこの2つの最短経路を結んだものを1つの代替経路として選択肢集合に加える(図4). 今回のダイクストラ法では2章で定義した経路におけるリンクコストの和で表される時間コストを最小化するようにしている. Kite法では複数経路列挙アルゴリズムの従来手法である  $k$  番目経路探索アルゴリズムに比べて計算負荷を減らすことができる.

#### (3) モデル構造

一般的に経路選択モデルは選択肢間に物理的な重複があるためMNLモデルのような誤差項が互いに独立であると仮定したモデルではうまく確率を算出することができない(IIA特性). VNを用いたモデリングは実際のネットワークを縮約しているため従来モデルよりIIA特性の影響を受けやすいと考えられる. そこで本研究では物理的重複を考慮し, IIA特性を緩和することのできるCross-Nested Logit (CNL) モデルを使用する<sup>4)</sup>. 従来CNLモデルではアロケーションパラメータはリンク長で定義されるが本研究ではリンクコストで定義している.

$$P_n(p|C_n(s); \beta) = \sum_m P(m) * P(p|m) \quad (1)$$

$$P(m) = \frac{\left( \sum_n (\alpha_{mp} e^{V_p})^{1/\mu} \right)^\mu}{\sum_b \left( \sum_n (\alpha_{bp} e^{V_n})^{1/\mu} \right)^\mu}$$

$$P(p|m) = \frac{(\alpha_{mp} e^{V_p})^{1/\mu}}{\sum_l (\alpha_{ml} e^{V_l})^{1/\mu}}$$

$$\alpha_{mp} = \left( \frac{LC_m}{LC_p} \right) : 0 \leq \alpha_{mp} \leq 1$$

- $P(m)$  : 仮想リンク  $m$  を選択する確率
- $P(p|m)$  : 仮想リンク  $m$  を選択したとき, 経路  $p$  を選択する確率
- $\alpha_{mp}$  : アロケーションパラメータ
- $\mu$  : スケールパラメータ
- $LC_m$  : 仮想リンク  $m$  のリンクコスト
- $LC_p$  : 経路  $p$  の時間コスト
- $V_p$  : 経路  $p$  の効用の確定項
- $C_n(s)$  : 選択肢集合

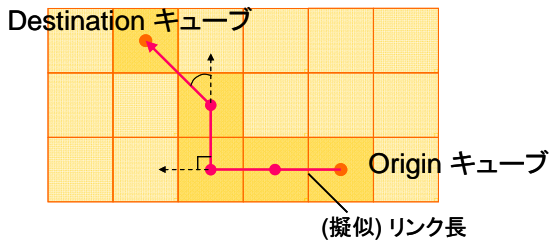


図 3 経路選択モデルの説明変数

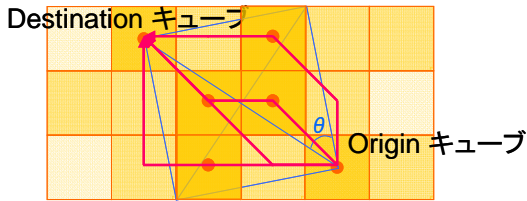


図 4 選択肢集合の経路列挙方法

#### 4. ケーススタディ

以上で基本的なVNの定義とVNを用いたモデリングの構造を示した。本章ではそれを実データに適用し、更新型交通情報プラットフォームを想定した経路選択モデルのパラメータの挙動、安定性の解析を行う。

##### (1) 使用データとVNの適用

本研究では、松山プローブパーソン調査2004(以下、MPP2004)によって得られたday-to-dayの経路選択行動データを使用する。MPP2004の調査対象地域は松山都市圏(松山市(北条を含む)、伊予市、東温市(重信町、川内町)、砥部町、松前町の3市2町)、調査期間は2004年1月26日から2004年2月29日の連続する35日間、調査対象時間は24時間、被験者は317名である。データのトラッキング間隔は自動車トリップで旅行時間が1時間を越えるものは40秒、それ以外は10分間隔である。不完全な形式のデータをクリーニングした後のデータ数はトリップ数が24188、ロケーション数が596739である。1000mキューブを本データに適用したものが図5である。郊外部に比べて中心部はネットワークが密になっている。各キューブの観測データ数(対数)ーランクをとったものが図6である。この結果よりキューブの大きさを変えてもデータ数ーランクの関係が指数分布で保たれるという興味深い結果が表れた。また図7は各キューブの観測データ数を示したものである。この図から幹線道路や交差点付近で観測データ数が多くなっており、実際のネットワークを再現、反映したものとなっていることが分かる。また表1は500mから500m刻みにキューブを大きくしGPSデータからモデル化に必要なデータ操作が完了するまでの計算時間を計測したものである。表1より500mキューブでは約67分の1、1000m、1500mキューブでは約85分

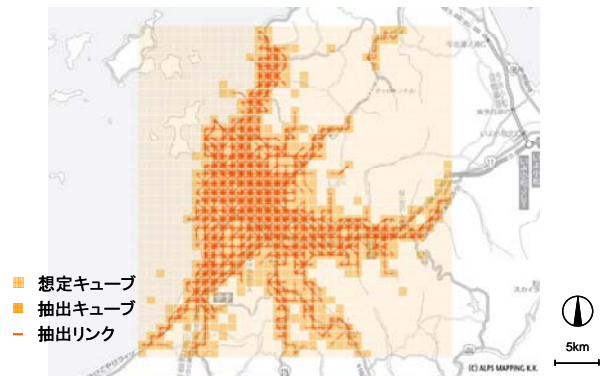


図 5 VN適用例(1000m キューブ)

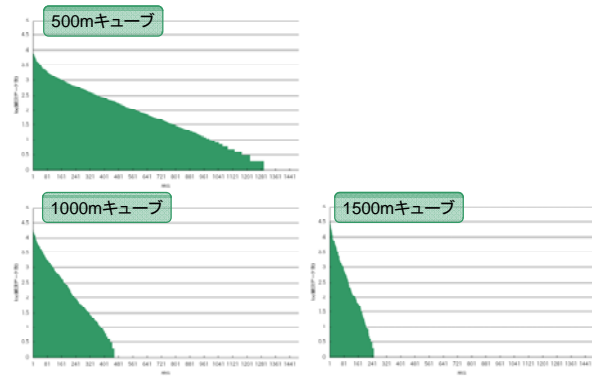


図 6 各キューブの観測データ数(縦軸: 対数データ数, 横軸: ランク)

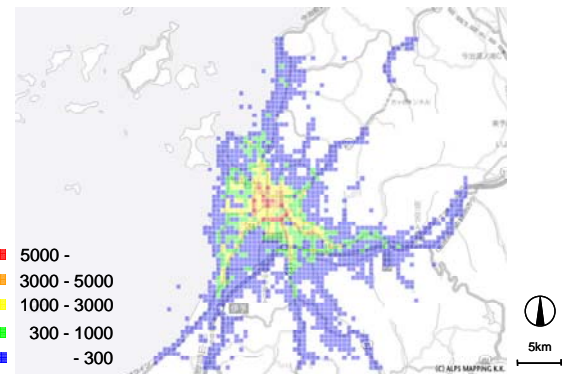


図 7 各キューブの観測データ数(500m キューブ)

表 1 マップマッチングとの計算時間の比較

	マップマッチング	500m	1000m	1500m
		キューブ	キューブ	キューブ
計算時間 (s)	38:54	0:35	0:26	0:28
マッチング後 diary データ数	19,269	22,658	23,213	23,392
抽出リンク数	22,738	5,500	1,833	968
セル数 (X * Y)	-	70 * 74	35 * 37	24 * 25

の1に短縮されている。なお計測に使用したパソコンの性能はDell Optiplex Gx745 Intel(R) Core(TM)2 CPU 6300 @ 1.86GHz, 1.58GHz, 2.99GB RAM である。

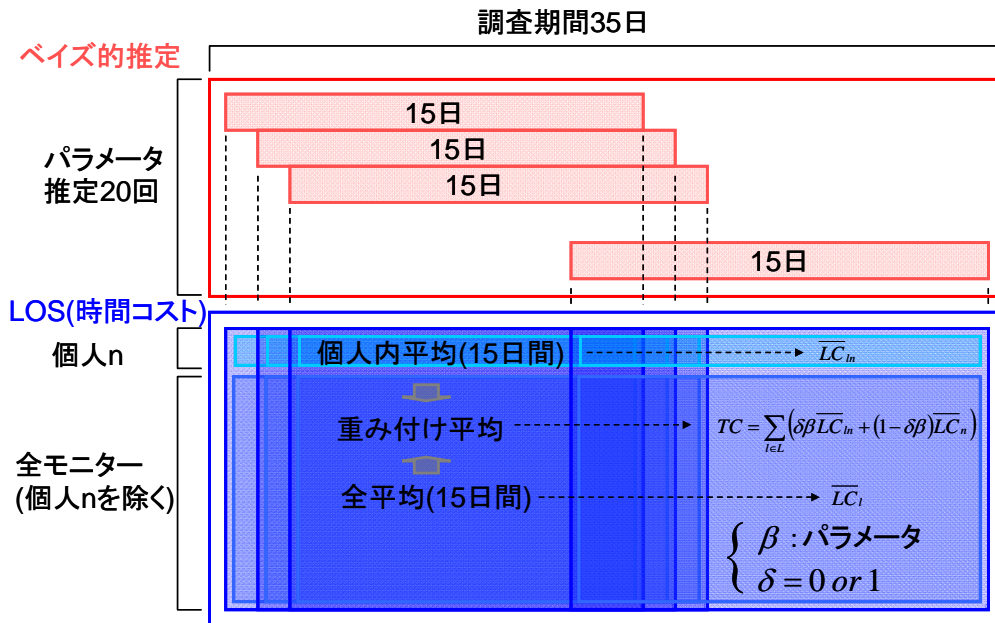


図 8 パラメータの安定性解析の方法

## (2) パラメータ推定

VNによってGPSデータをデータキューブに格納した。更新型交通情報プラットフォームでは随時蓄積されるデータによって経路の走行環境変数である旅行時間(VNでは時間コストに相当する)が変動する。ドライバーはある程度の期間の蓄積データを基に経路を選択すると考えられる。本研究では図8で示されるように最初の15日間の蓄積データによって時間コストのLOSを作成し、1人のモニターの15日間の経路選択モデルを構築する。これを1日ずつずらしそれぞれ経路選択モデルのパラメータ推定を行う。このようにしてパラメータ値の変動を分析することで更新型交通情報プラットフォームの有用性を検証する。

またドライバーは自分の経験や他人の経験を基に経路の選択を行うと考えられる。そこで時間コスト $TC$ を以下のように定義する。

$$TC = \sum_{l \in L} (\delta \beta \overline{LC}_n + (1 - \delta \beta) \overline{LC}_l) \quad (2)$$

$$\delta = \begin{cases} 0 & (\text{個人 } n \text{ の仮想リンク } l \text{ 走行履歴あり}) \\ 1 & (\text{個人 } n \text{ の仮想リンク } l \text{ 走行履歴なし}) \end{cases}$$

$\beta$  : パラメータ

ここで $\overline{LC}_n$ は調査期間内に個人 $n$ が仮想リンク $l$ を通過するのに要したリンクコストの平均値、 $\overline{LC}_l$ は調査期間内において個人 $n$ 以外のモニターが仮想リンク $l$ を通過するのに要したリンクコストの平均値である。

結果及び考察に関しては第40回土木計画学研究発表会にて発表する。

## 5. まとめ

本研究ではGPSデータからデータキューブを用いて仮想ネットワークデータを生成し、データ化に必要な計算コストを大幅に減らすことができた。しかし各キューブの観測データ数が異なるとリンクコスト算出における信頼性が低下するのでキューブを連結させるなどの処理が必要である。

また更新型交通情報プラットフォームによる経路選択モデルの安定性解析の枠組みを示すことができた。

**謝辞**：なお本研究を実施するにあたって文部科学省科研費基盤A「プローブ技術を援用したデータフュージョン理論による総合的交通行動調査の高度化（代表：羽藤英二）」の協力を受けた。ここに感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 飯田恭敬, 朝倉康夫, 楊海 : ネットワークの分割と連続体近似による交通量配分, 土木学会論文集, IV-14, No. 425, pp. 165-173, 1991
- 2) 三浦英俊 : クリギングによる都市内旅行時間の予測, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, pp. 150-151, 2009
- 3) 山川佳洋, 羽藤英二 : ラベリング法を用いた経路選択枝集合の有用性の検証, 第28回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 297-300, 2008
- 4) Vovsha, P. and Bekhor, S. : Link-nested Logit model of route choice : overcoming route overlapping problem, Transportation research Record, 1645, pp. 133-142, 1998