

プローブカーデータを用いたマルチモード経路案内システム『PRONAVI』の開発と今後の展開*

Development of the Multi-Mode Route Guidance System "PRONAVI" Based on Probe-Vehicle Data*

三輪富生**・森川高行***・山本俊行****・藤田貴司*****・中田貴之*****・竹内純一*****

By Tomio MIWA**・Takayuki MORIKAWA***・Toshiyuki YAMAMOTO****・

Takashi FUJITA*****・Takayuki NAKATA*****・Junichi TAKEUCHI*****

1. はじめに

今日のインターネットの普及により、鉄道を利用する際には、おおよその経路、旅行時間などをインターネットなどから事前に調べることはごく当たり前になっている。また、カーナビゲーションシステムが1600万台以上普及するなど、交通行動と交通情報は切っても切り離せないほど密接に関わり合っている。しかし、現在運用されている交通情報提供システムからは、異なる交通機関の情報を同時に入手することは困難である。すなわち、カーナビゲーションシステムは自動車利用時のみの経路・旅行時間を提供し、インターネット等による路線案内では鉄道利用時のみの情報を提供している。従って、情報利用者がモードの異なる利用経路・旅行時間情報を同時に比較することは困難である。

名古屋大学森川・山本研究室では、総務省の戦略的情報通信研究開発推進制度の支援に基づき、産学官連携プロジェクト“P-DRGS (Probe-vehicle-based Dynamic Route Guidance System) コンソーシアム”を形成し¹⁾、名古屋地区におけるプローブカー実証実験基盤を活用した動的経路誘導システムに関する研究開発を行っている。このプロジェクトは名古屋大学、NEC、デンソー、トヨタマップマスター、日本気象協会、エイ・ワークスの6機関により構成されている。本論文は、P-DRGSコンソーシアムにより開発されたマルチモード経路案内システム“PRONAVI”について、その開発の経緯や探索システムに関わる諸技術を紹介し、最後に今後の展望について述べるものである。

*キーワード：交通情報，ITS

**正員，博士（工学），名古屋大学大学院環境学研究科
（名古屋市千種区不老町，TEL:052-789-3729，
E-mail:miwa@trans.civil.nagoya-u.ac.jp）

***正員，Ph.D，名古屋大学大学院環境学研究科

****正員，博士（工学），名古屋大学大学院工学研究科

*****非会員，日本電気株式会社 ITS事業推進センター

*****非会員，日本電気株式会社 インターネットシステム
研究所

*****非会員，博士（工学），日本電気株式会社 インター
ネットシステム研究所

2. PRONAVIのシステム構成

図-1，図-2，図-3は、それぞれPRONAVIの情報提供エリア，システムの情報提供画面，システム構成を示している。名古屋市周辺で収集された，マップマッチング処理後のプローブカーデータから作成される蓄積データベース（DB）の他に，リアルタイムプローブカーデータやJARTIC（（財）日本道路交通情報センター）データにより情報提供時刻の交通状況を考慮している。また，公共交通データとして名古屋都市圏の鉄道時刻表をデータベース化し，これにより鉄道利用時の最適乗車時刻や旅行時間，利用料金等を算出する。さらには，愛知

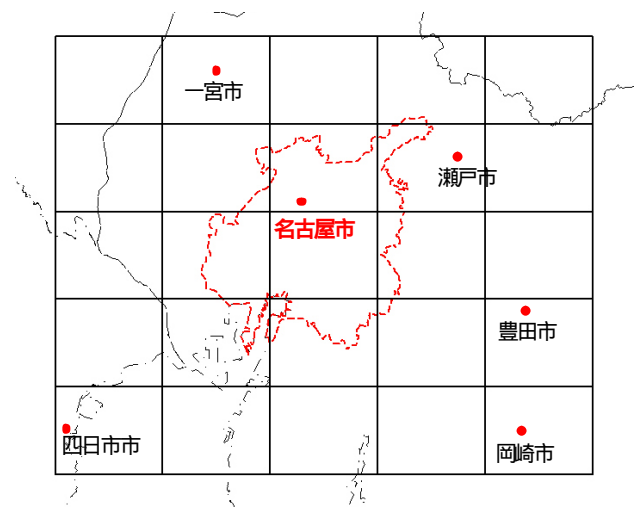


図-1 情報提供エリア（2次メッシュ）

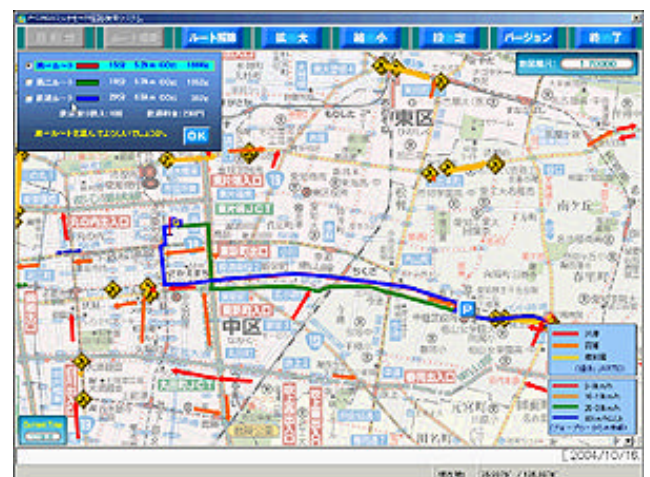


図-2 PRONAVI デモ画面

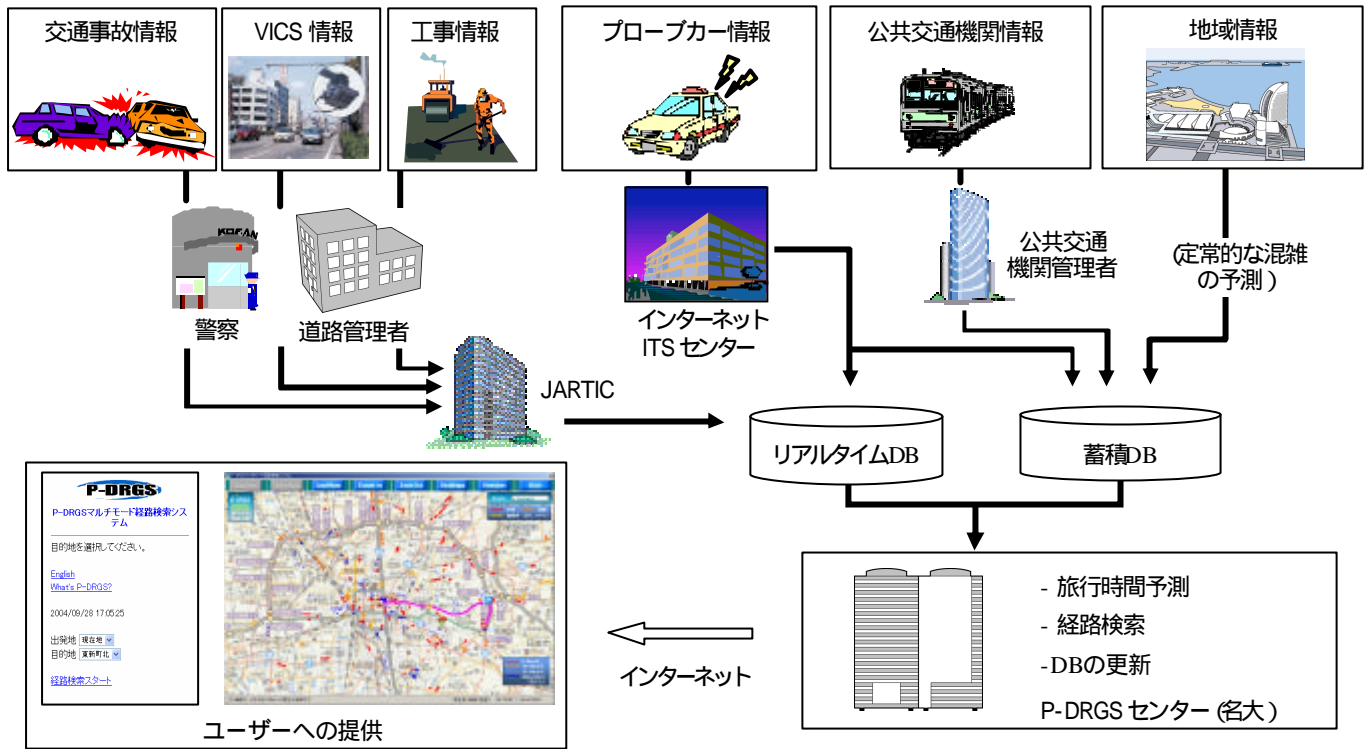


図 - 2 PRONAVI のシステム構成

万博のような大規模なイベントにおける交通状況の影響を考慮するため、会場周辺の交通混雑を交通量配分により事前予測し、蓄積DBのリンク旅行時間を修正している。次章から、本システム構築するに当たって当コンソーシアムにより開発された諸技術について概説する。

3. 道路ネットワーク上の旅行時間予測技術

(1) プロブカーデータ

本システムで使用されたプロブカーデータは、名古屋市周辺に営業所を持つタクシー1,570台により収集されたデータである。データ送信は、車両発進・停車時、300m走行時が全データの約96%を占める。このようにして収集されたデータを、名古屋市を中心とした2次メッシュ25枚のDRM基本道路網（往復合計リンク数：149,042，ノード数：57,827）に、オフラインでマップマッチング処理を行うことで、蓄積データベースを作成した。プロブカーデータのより詳細な情報については著者らの既存研究²⁾を参照されたい。

(2) 蓄積DBの作成

蓄積DBは、2002年1月～3月、2002年10月～2003年3月の9ヶ月間に収集されたプロブカーデータにより作成され、天候別（降水量1mm以上or未満）、曜日別（月、...、日・祝）に14種類作成されている。

a) 異常データのスクリーニング

マップマッチング処理後のプロブカーデータは、走

行経路上リンクの通過旅行時間情報を提供する。しかし、プロブカーデータにはGPSエラーや送信エラーが存在し、マップマッチング処理にもマッチングエラーが存在する。さらには、DRMデータにも方向規制等のエラーが存在するため、収集したリンク旅行時間は必ずしも全てが利用可能ではない。このため、収集された旅行時間データからエラーデータを除去する必要がある。

本システムに用いる蓄積DBには、NECの“SmartSifter”³⁾によりエラーデータ除去後のデータを蓄積している。ここで、SmartSifterは収集されたリンク旅行時間データから統計的パターンを自動学習し、各データの異常値スコアを計算、エラーデータを検出する。

b) 最適時間間隔DBの作成

蓄積DBの作成に際して、リンク旅行時間をどのような時間間隔に蓄積するかを決定する必要がある。例えば1日を5分間隔に288区分したのでは、情報が得られない時間間隔が多く発生する。また、必ずしも5分間隔に交通状況は変化せず、例えば深夜では1時間以上も交通状況に大きな変化が見られないこともある。さらに、あまりに短い時間間隔では1つの時間間隔に観測されるデータ数が少なく、蓄積されるリンク旅行時間にばらつきが大きくなってしまふ。そこで、本システムで使用する蓄積DBは、記述長最小原理 (MDL)⁴⁾を用いて、時間間隔を適切な細かさに調整している。すなわち、各曜日に対して式(1)で表される記述長 (= 近似誤差 + モデルの

複雑さ)を最小にするように旅行時間を蓄積する時間間隔を決定している。

$$\sum_{i,j} \frac{N_{ij}}{2} \log V_{ij} + \frac{1}{2I} \sum_i J_i \log N_i \quad (1)$$

ここに、 V_{ij} はリンク*i*の時間間隔*j*における旅行時間の分散、 N_{ij} はそのサンプル数、 J_i はリンク*i*における時間間隔数、 I はパラメータ(本システムでは25に設定)、 N_i はリンク*i*に関する全サンプル数である。

c) データ欠損値の補完

プローブカーが実験期間中のある時間間隔に走行しなかった場合、リンク旅行時間情報は得られない。このため、VICSの旅行時間データを用い、VICS旅行時間 - プローブカー旅行時間の関係を分析し、この関係式(式(2))を用いて蓄積DBを補完している⁵⁾。

$$v_i^{probe} = f(v_i^{vics}) \quad (2)$$

ここに、 v_i^{probe} はプローブカーデータによるリンク*i*の旅行時間、 v_i^{vics} はVICSによるリンク*i*の旅行時間、 $f(\cdot)$ はこれらの関係を表す式である。

(3) リアルタイムデータによる蓄積DBの更新

以上の蓄積DBから、日常的な交通渋滞等を考慮して旅行時間を予測できる。しかし、道路工事は毎日異なった場所で行われ、交通事故などの突発的な事象も少なくない。このため、予測旅行時間や経路はリアルタイムに収集可能な交通情報が用いられるべきである。

a) JARTICデータによる蓄積DBの更新

JARTICにより提供される、道路ネットワーク上の経路探索に有用な情報には、大きく分類すれば交通規制情報、混雑・渋滞情報がある。前者は工事や事故による通行止めや右左折禁止情報であり、経路探索計算に直接反映される。後者はリアルタイムに収集されたリンク旅行時間に影響を与える情報として蓄積DBに反映される。ただし、後者の情報は旅行時間情報に変換して利用する必要がある。このため、混雑や渋滞と判断するための速度閾値をVICS旅行時間データとして扱い、プローブカー旅行時間情報へ変換して利用する。

b) リアルタイムプローブカーデータの融合

リアルタイムに収集されるJARTICデータは、一部の幹線道路についてのみの情報である。したがって、道路種別の上では幹線道路ではないが、十分に交通状況に与える影響の大きな路線で発生する渋滞等の突発事象については、プローブカーデータの方が優れているといえる。

そこで本システムでは、リアルタイムに収集されるプローブカーデータを、オンラインでDRMにマップマッチングし、各リンクの通過旅行時間を算出する。その後、SmartSifterによりエラーデータを除去し、蓄積DBに記憶された過去30分までの平均旅行時間とリアルタイム旅行時間の差分を用いて、ARモデルにより30分先までの当該リンクの旅行時間を予測する⁶⁾。

(4) 道路ネットワーク上の最適経路探索

過去のリンク旅行時間情報から作成された蓄積DBを用いて旅行時間を予測する方法は、既に著者らにより提案されている²⁾。しかし、DRM基本道路網のように多くの細街路を扱う場合は、単に旅行時間が最短となる経路を算出することが必ずしも適切であるとはいえない。つまり、生活道路や細街路を通過する経路を情報利用者に提供することは好ましいことではない。したがって、本システムではあらかじめプローブカーデータにより時刻別右左折コストを、幹線 幹線、幹線 細街路、細街路

幹線、細街路 細街路別に集計し、大西らの探索手法⁷⁾を拡張した右左折コストを考慮したリンクコスト更新型ダイクストラ法により最適経路を探索している。これは、すべてのリンクに対してその流入リンク別にリンクを分離して探索する方法であり、計算はすべて流入リンク-対象リンクペアにより行われる。

また、出力される経路は通常の最短経路以外にも、高速道路を極力利用する経路や利用しない経路をあわせて最大で3経路である。さらに、自動車利用時の環境負荷程度を示すため、下式によりCO²排出量が出力される。

$$CO_2^{(kg/km)} = 2.31 * (0.619 + 0.00358 * v - 0.184 * \ln(v)) \quad (3)$$
 ここに、 v はトリップの平均旅行速度(km/h)である。

4. 鉄道利用経路探索システム

情報利用者が設定する任意の出発時刻に応じて算出される詳細な自動車利用経路との整合性を図るため、鉄道利用経路情報についても乗車列車や乗り換え回数等の詳細な情報が必要である。本システムでは、以下のような鉄道DBと前述のリンクコスト更新型ダイクストラ法により、鉄道利用時の最適経路を探索している⁸⁾。

(1) 鉄道ネットワークと時刻表DB

鉄道ネットワークは、列車等級別にネットワークを分離すると乗り換えリンクや仮想リンクの数が膨大な数になるため、図-4に示すように停車駅間リンク(停車駅と停車駅を結ぶリンク)のみで構成することで、リンク数を減少させている。作成した鉄道ネットワークは名古屋

屋都市圏全域をカバーし、往復リンク数は1424、ノード数は1142である。また鉄道時刻表を用いて、表-1に示すようなDBを構築した。これは、各停車駅間リンクに対して、出発時刻に相当するセルに駅間を通過するに要する旅行時間を入力したものである。また、テーブルには列車等級や列車番号に関する情報も含まれ、これにより乗り換え回数や運賃の計算を行う。

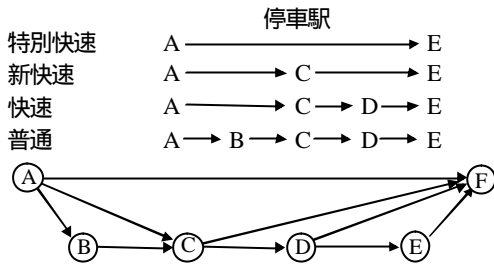


図-4 鉄道ネットワーク構造

表-1 鉄道時刻表 DB

時刻	リンク																	
	A	F	A	B	B	C	C	D	D	E	E	F	A	C	C	F	D	F
...	...																	
9:10	列車番号			10														
	列車等級			1														
	リンクコスト			1														
9:11	列車番号	11			10								12					
	列車等級	4			1								2					
	リンクコスト	2			1								2					
9:12	列車番号					10							13					
	列車等級					1							3					
	リンクコスト					1							2					
9:13	列車番号		13	12			10											
	列車等級		1	2			1											
	リンクコスト		1	1			1											
9:14	列車番号			13	12		10					13						
	列車等級			1	2		1				1	3						
	リンクコスト			1	2		1				1	2						
...	...																	

(2) 鉄道利用時の経路探索

上記のような鉄道時刻表DBを用いて、道路と同様の方法により経路探索を行う。ただし、道路ネットワーク上の探索においてリンクペア間に右左折コストを設定したように、鉄道ネットワーク上の探索においては、リンクペア間には待ち時間が設定される。これにより、探索された経路の総待ち時間や乗り換え回数が把握可能であるが、本システムで出力される経路は、基本的には旅行時間が最も短い経路とした。また、鉄道利用時の環境負荷程度を情報利用者に提示するため、以下の式によりCO²排出量が出力される。

<鉄道> $CO^2_{(kg/km)} = 15.0g/人 \cdot km$ (4.a)

<地下鉄> $CO^2_{(kg/km)} = 10.8g/人 \cdot km$ (4.b)

5. 今後の展開

(1) プローブカーデータ収集技術の開発

本システムで使用したプローブカーデータは携帯電話の packets 通信を利用しており、データ送信費用が大き

い。今後はトラックや商用車等の業務用の位置測位システムから得られる情報をデジタルMCAにより収集し、リアルタイムにマップマッチング処理を行うことで、金銭的、時間的コスト低下が必要となる。

(2) 突発事象時における交通状況の変化予測

本システムでは突発事象発生時の交通状況の変化に対応するため、リアルタイムに収集される交通情報を用いている。しかし、これらの情報からは事象そのものや、それにより変化を受けた交通状況についての情報は得られるものの、近い将来に周辺ネットワークで変化する交通状況についての情報を得ることはできない。したがって、交通シミュレータを現状の交通状況に合わせて時刻的に平行して実行し、突発事象が発生すると同時にその影響を即座に予測するシステムが必要であろう。

(3) 蓄積DBの精緻化

道路ネットワークが整備されるに従い、交通状況も変化する。このため、過去に収集したリンク旅行時間情報が、次第に現状の交通状況から異なったものになってしまう。このような、道路ネットワークの整備状況に対応した蓄積DBの更新手法についても検討が必要である。

なお、6月以降に予測対象地域内の1000人のモニターに対してデモを行い、情報提供効果等の情報を収集・分析を行う予定である。

参考文献

- 1) P-DRGSホームページ <http://www.p-drgs.com/>
- 2) 三輪富生, 境隆晃, 森川高行: プローブカーデータを用いた経路特定手法と旅行時間推定に関する研究, 第2回ITSシンポジウムproceedings, pp.277-282, 2003.
- 3) K. Yamanishi et al.: On-line Unsupervised Outlier Detection Using Finite Mixtures with Discounting Learning Algorithms, Data Mining and Knowledge Discovery Journal, 8 (3): 275-300, May 2004
- 4) J. Rissanen: Modeling by shortest data description, Automatica, vol. 14, pp. 465-471, 1978.
- 5) 姜ら: 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.
- 6) T. Nakata & J. Takeuchi: Mining Traffic Data from Probe-Car System for Travel Time Prediction, Proc. of the tenth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, ACM Press (KDD2004), 2004.
- 7) 大西啓介, 加藤誠巳: 交差点内コストを考慮した道路網における経路探索の手法とそのマルチメディア型経路案内システムへの応用, 情報処理学会論文誌, Vol.33, No.7, pp.970-979, 1992.
- 8) 高味亮太: 愛知万博開催時におけるマルチモーダル動的経路案内システムの開発, 名古屋大学大学院環境学研究所修士論文, 2005.