

プローブカーデータを用いたOVモデルに基づく 最適速度とエネルギー削減

M2010MM040 竹内秀樹

指導教員：河野浩之

1 はじめに

プローブカーデータ (PCD) は、車両に設置された GPS 等のデータから、位置情報や速度といったデータをリアルタイムに得ることができるため、インフラ整備に頼らずに交通情報を提供することが可能となる。現在 PCD を用いた研究は積極的に行われているが [1]、道路全体の交通流から最適速度を提案するといった研究はされていない。

本研究では PCD を用いて道路全体の交通流から最適速度を導出し、最適速度を基にあるルートを走行した場合と実測値の燃費との比較を行う。燃費の算出には燃費法を用いて計算し [2]、天気や曜日といった様々な条件で比較し、コスト面でもどの程度改善できるか検証を行う。

2 道路交通情報に関する研究の実例

2.1 節では PCD を用いた研究について、2.2 節では最適速度モデルを用いた研究について紹介する。

2.1 プローブカーデータを用いた様々な研究

PCD を用いた研究として旅行時間予測、最短経路探索といった交通状況予測 [1]、商用車を用いた PCD 収集等が行われており、東日本大震災の被災地域における移動を支援する「通れた道マップ」というサービスも提供されている。また、P-DRGS コンソーシアムで PCD を活用した PROROUTE という動的経路案内システムが製品化されている [3]。

2.2 最適速度モデルを用いた研究

安土らは [4] で、最適速度モデルを用いて運転の評価と運転アドバイスを行うシステムを開発した。通常の運転とエコドライブの運転 (OV モデルによる車間距離を意識した走行) で走行した結果、等速で走行している際には 5% 程度しか燃費の向上は見られなかったが、加速、減速の際には 29%、27% の燃費を向上をすることができる。また、燃費はノーマル運転で 8.12km/L であり、エコ運転で 9.35km/L となり約 1.23km/L の燃費改良となった。

3 プローブカーデータを用いた車両最適速度手法の提案と評価方法

3.1 節では実験の流れについて、3.2 節では最適速度モデルについて、3.3 節では燃費の算出に使用する燃費法について、3.4 節ではエネルギー消費量について述べる。

3.1 実験の流れ

予備実験として、(1) 最適速度モデルを用いることによりエコドライブの可能性について示す。本実験として、(2) 阪神高速道路を走行するパトロールカーによって収集された PCD を使用し最適速度モデルを用いて最適速度を

算出する。次に、(3) 最適速度を使用し省エネ運転評価として燃費法を用いて燃費を算出する。加えて、車種ごとの燃費や高速道路のコストについても算出し、最適速度で走行した際に阪神高速道路でどの程度の燃料代削減になるかを算出する。

(1) 予備実験

1. GPS ロガー 747Pro により PCD を取得。
2. OV モデルにより最適速度の算出。
3. 実測値と最適速度走行時の比較。

(2) 本実験

1. 阪神高速道路 PCD から gawk を用いて実験に必要なデータのみを抽出。
2. 走行ルートの決定。
3. OV モデルにより最適速度の算出。

(3) 省エネ運転評価

1. 燃費法により燃費の算出。
2. 曜日や天気により比較、検証。
3. 最適速度により削減可能なコストの算出。

3.2 最適速度モデル

坂東らによって提案された OV モデル [5] は、交通流の自然渋滞形成を再現する強力なモデルとして知られている。車には前方の車との車頭距離によって決まる安定な速度 (最適速度) があり、車頭距離が一定ならば、車の速度は最適速度に漸近すると考えられる。運動方程式を

$$\frac{d^2}{dt^2}x_n(t) = \alpha \left[V(\Delta x_n) - \frac{d}{dt}x_n(t) \right] \quad (1)$$

と定義したものを最適速度 (OV) モデルという。

ここで、 x_n は n 台目の車の位置を表し、 Δx_n は車頭距離 ($x_{n-1} - x_n$) である。 $V(\Delta x_n)$ は Δx_n によって決まる最適速度を表し、車はそのときの最適速度との速度の差によって加速や減速を行うとすることを表している。只木ら [6] は最適速度関数として

$$V_{ov}(x) = \frac{V}{2} \left[\tanh\left(2\frac{\Delta x - d}{\omega}\right) + c \right] \quad (2)$$

を採用した。

只木ら [6] は中央高速道路での研究の際に最適速度モデルを拡張し、最適速度のパラメータとして下記の定数を用いた。

速度 V = 前車両の速度 (km/h)

定数 c = 0.913

定数 ω = 23.3 (m)

定数 d = 25 (m)

3.3 燃費法

燃費の算出には燃費法を用いる [2] . 燃費法はエネルギー消費量 K (MJ), 燃料使用量 V (L), 単位発熱量 Q (MJ/L) の関係を表すもので,

$$K = QV \quad (3)$$

となる . また, 距離 s (km), 燃費 F (km/L), 総合エネルギー効率 H (-) から燃料使用量 V (L) は

$$V = \frac{Hs}{F} \quad (4)$$

で求められる . よって燃費 F (km/L) は

$$F = \frac{HQs}{K} \quad (5)$$

となる . 単位発熱量 Q (MJ /L) は 34.6MJ/L とする .

3.4 エネルギー消費量

本研究におけるエネルギー消費量 K (MJ) は主に加減速による消費 K_A (MJ), 空気抵抗による消費 K_B (MJ), 転がり抵抗による消費 K_C (MJ) で与える .

加減速によるエネルギー消費量 K_A (MJ) は, 自動車の質量 m (kg), 前のログポイントとの速度差 v (m/s) から算出する .

空気抵抗によるエネルギー消費量 K_B (MJ) は, Cd 値 C (-), 投影面積 A (m^2), 空気密度 ρ (kg/m^3), 全幅 b (m), 全高 h (m), 前のログポイントとの速度差 v (m/s), 測定時間 t (s) から算出する .

転がり抵抗によるエネルギー消費量 K_C (MJ) は, 転がり抵抗係数 C_{rr} (-), 自動車の質量 m (kg), 前のログポイントとの速度差 v (m/s), 測定時間 t (s) を用いて算出する . よって本研究におけるエネルギー消費量 K (MJ) は

$$\begin{aligned} K &= K_A + K_B + K_C \\ &= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}AC\rho bhtv^3 + 9.8C_{rr}mvt \end{aligned} \quad (6)$$

で算出する .

4 車両最適速度の実装

4.1 節では GPS ロガーを用いた予備実験について, 4.2 節では阪神高速道路 PCD を用いた本実験について述べる .

4.1 GPS ロガーを用いた予備実験

電池時間, 位置情報等から総合的な評論により, GPS ロガー 747Pro を使用する . GPS ロガーにより収集した PCD は 7 月 22 日から 8 月 26 日の約 1ヶ月間の記録データ (合計ログ数:5185, 合計時間:32 時間 31 分, 合計距離 1120km) である . ここから常滑市から南山大学瀬戸キャンパスまで走行した際に収集したデータ (8 月 4 日 (木), 15:25 ~ 16:53, 242 ログ, 約 13KB) を使用して, 式 (2) の最適速度関数を用いて最適速度を算出した .

実測値と最適速度により走行した場合の平均速度と平均加減速をまとめたものを表 1 に示す .

表 1 実測値と最適速度の比較

	平均速度 (km/h)	平均加速度 (m/s^2)
実測値	39.68	0.15
最適速度	36.08	0.082

表 1 から, 実測値の平均速度と最適速度は平均速度がほぼ同じだが, 平均加速度は最適速度により半減するという結果となった . 最適速度を参考に走行することにより加減速の少ない運転を行うことが可能となり, 燃費の消費を抑えることができると考えられる .

4.2 阪神高速道路プローブカーデータを用いた本実験

4.2.1 使用データ

使用するデータは, 6 月 13 日から 7 月 14 日の約 1ヶ月間で阪神高速道路を走行したパトロールカーによって取得した PCD (合計ログ数:795,575, 取得成功ログ数:609007, 取得失敗ログ数:186568, データサイズ:2.14GB) で, 日本測地系で記録されている . 取得されたデータは PCD の他に通信記録などの本研究では不要なデータも含まれているため gawk を使用して実験に使用する PCD のみ抽出し, 同時に世界測地系への変換も行った . PCD の要素の詳細を表 2 に示す .

表 2 阪神高速道路で収集されたプローブカーデータ

カラム (説明)	内容
ID (無線 ID)	無線機の個別番号 ID
DATE (月日分秒)	9 桁の整数 (例: 613035320)
TIME (年月日)	スラッシュ区切 (例: 2011/6/13)
hour (時)	時間帯 (例: 3)
holiday (休日判定)	休日=0, 平日=1
direction (方角)	16 方位 (例: 0(北))
speed (速度)	単位はデフォルトで時速 (変更可)
latitude (緯度)	世界測地系で単位は度 (dd.dddddd)
longitude (経度)	世界測地系で単位は度 (ddd.dddddd)
weather (天気)	晴れ=0, 曇り=1, 雨=2

4.2.2 走行ルートを選択

最適速度モデルに適用するために, 使用する走行ルートの選択を行う . 阪神高速道路の各道路の詳細は表 3, 取得された PCD を ArcGIS にプロットしたものを図 1 に示す .

表 3 阪神高速道路プローブカーデータ

高速道路名	記録データ数	距離 (km)
3 号神戸線	158341	39.6
4 号湾岸線	109623	32.7
1 号環状線	109619	10.3
8 号京都線	91353	9.9
7 号北神戸線	91351	35.6
11 号池田線	30450	21.6
12 号守口線	18270	12.1
合計	609007	

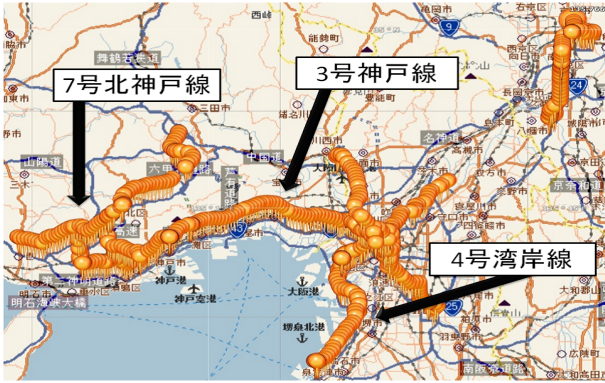


図1 ArcGIS にプロット

表3から、記録データ数、距離などから総合的に考慮して、阪神高速道路3号神戸線を走行ルートとして使用する。また、プローブカーの中には1日に数回しか記録していない車両もあるため、各日1番データ数の多い1台の車両に注目してデータを抽出した。更にその中でデータ数が多く速度変化の激しい7月1日の速度変化の激しい時間帯(10-12時)のデータを使用して渋滞による影響を調査する。PCDはパトロールカーで取得されたものであり作業する間は停車するため、連続して速度0km/hで記録されているデータを排除した。修正前と修正後の速度の推移を図2に示す。

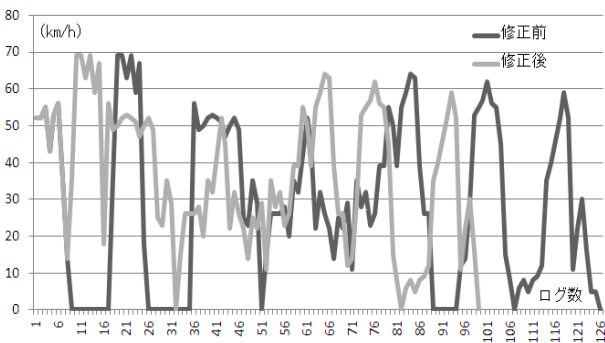


図2 速度変化の激しい時間帯

4.2.3 最適速度の適用

最適速度関数として

$$V_{ov}(x) = \frac{V}{2} \left[\tanh\left(2\frac{\Delta x - d}{w}\right) + c \right] \quad (7)$$

を使用する。

速度 V = 次ログの速度 (km/h)

距離 Δx = 次ログとの距離 (m)

定数 $c = 0.913$

定数 $w = 23.3$ (m)

定数 $d = 25$ (m)

本研究において、PCDを使用して最適速度を求める際にこれらのパラメータを用いる。

4.2.4 実験結果

式(7)の最適速度関数を用いて阪神高速道路PCDを使用し最適速度を算出した。渋滞時と非渋滞時の比較を表4に示す。渋滞時は10-12時台の96のデータ(図2)、非渋滞時は3-4時台の118のデータを使用した。

表4 実測値と最適速度(OV)の比較

渋滞 or 非渋滞		平均速度 (km/h)	平均加速度 (m/s^2)
渋滞	実測値	37.05	0.089
	OV	36.89	0.055
非渋滞	実測値	48.16	0.059
	OV	48.90	0.040

表4から、平均速度は渋滞時と非渋滞時どちらも実測値と最適速度がほぼ同じ数値になった。平均加速度は渋滞時は最適速度により約 $0.34m/s^2$ 、非渋滞時は約 $0.19m/s^2$ 減少することができるという結果となった。速度変化の多い渋滞時は最適速度により加減速の減少に大きく影響するという結果となった。

5 省エネ運転評価

5.1 各種データ

燃料代を算出するために道路運送車両法第三条を基に軽自動車 k 、小型自動車 c 、普通自動車 m 、ハイブリッド自動車 h 、大型自動車 B の各車両のデータ(車両重量 $m(kg)$ 、車幅 $b(m)$ 、車高 $h(m)$ 、燃料、総合効率)を決定し表5に示す。

表5 車両データ

車種	m (kg)	b (m)	h (m)	総合効率 (%)
軽自動車 k	850	1.50	1.65	15
小型車 c	900	1.66	1.54	15
普通車 m	1200	1.70	1.47	15
HV車 h	1400	1.75	1.5	30
大型車 B	16000	2.20	3.50	18

表5の車両データを使用し、3号神戸線を走行する車両の実測値燃費 F_x (km/L) と最適速度燃費 $F_{x_{ov}}$ (km/L) を算出した結果を表6に示す。

表6 車両毎の最適速度との燃費比較

車種	F_x (km/L)	$F_{x_{ov}}$ (km/L)
軽自動車 k	20.94	22.09
小型自動車 c	20.05	21.16
普通自動車 m	17.16	18.20
ハイブリッド自動車 h	30.69	32.60
大型自動車 b	2.24	2.42

5.2 燃料代金計算式

走行距離 $d(km)$ 、1Lあたりのガソリン値段 c (円)、実測値による平均燃費 $F_x(km/h)$ 、最適速度による平均燃費 $F_{x_{ov}}(km/h)$ から1台あたりに削減可能な燃料代金 C (円)は

$$C = \frac{cd}{F_x} - \frac{cd}{F_{x_{ov}}} \quad (8)$$

表 8 1日にかかる各高速道路の燃料代金

高速道路名	距離 d (km)	車両台数 x (台)	$\frac{cd}{F} \times x$ (円)	$\frac{cd}{F_{ov}} \times x$ (円)	$\frac{cd}{F} \times x - \frac{cd}{F_{ov}} \times x$ (円)
1号環状線	10.3	112,182	18,603,524	17,359,268	1,244,256
2号淀川線	1.3	16,062	336,185	313,700	22,485
3号神戸線	39.6	65,277	48,050,457	38,825,361	2,782,737
4号湾岸線	32.7	57,119	48,638,427	44,662,589	3,387,868
5号湾岸線	23.1	79,746	50,125,046	46,574,327	3,550,718
7号北神戸線	35.6	4,860	3,040,824	2,834,975	205,849
11号池田線	21.6	100,971	35,715,765	33,321,193	2,394,572
12号守口線	12.1	83,429	16,378,097	15,281,484	1,096,613
13号東大阪線	12.5	132,837	31,961,095	29,772,835	2,188,260
14号松原線	12.1	78,043	14,950,407	13,952,947	997,460
15号堺線	13.4	69,124	12,874,683	12,033,342	841,341
16号大阪港線	7.2	90,105	10,445,186	9,746,583	698,603
17号西大阪線	3.8	26,954	1,684,377	1,571,380	112,997
合計		916,709	285,773,743	266,249,984	19,523,759

で算出する。

阪神高速道路 3号神戸線を走行した車両 n 台が走行した際に全体で削減可能な燃料代金 C_n (円) は

$$C_n = C_k x_k + C_c x_c + C_m x_m + C_h x_h + C_b x_b$$

$$= \sum_{i=0}^n C_i x_i \quad (9)$$

で算出する。

5.3 阪神高速道路 3号神戸線でのコスト削減

阪神高速道路 3号神戸線の距離 d は 39.6km であり, 1L あたりガソリン代 c は 140 円, 軽油は 1L あたり 120 円とする。表 6 のデータ, 式 (8), 式 (9) を用いて最適速度により阪神高速道路 3号神戸線でいくら燃料代の節約ができるか算出した結果を表 7 に示す。

表 7 車両毎の最適速度との燃費比較

車種	x (台/日)	C (円/台)	$C \times n$ (円/日)
軽自動車 k	15,989	13.76	220,648
小型車 c	18,767	14.46	272,122
普通車 m	12,057	18.47	223,055
HV 車 h	5,610	10.60	59,466
大型車 b	12,854	156.30	2,009,080
合計 n	65,277	—	2,784,371

5.4 阪神高速道路全体でのコスト削減

阪神高速道路全体でコスト削減が可能か算出するため平成 17 年度に実施された道路交通情報センサス(道路交通情勢調査)の交通量データを用いる。各高速道路を走行した際に 1日にかかる燃料代金の実測値 $\frac{cd}{F} \times x$ (円) と最適速度 $\frac{cd}{F_{ov}} \times x$ (円) の比較表を表 8 に示す。

6 まとめ

本研究では, まず予備実験として実際に運転して GPS 口ガーで PCD を収集し最適速度適用条件により最適速

度を求め, その有効性を示した。次に本実験として阪神高速道路で収集された PCD から gawk を用いて必要なデータのみを抽出し, 阪神高速道路 3号神戸線における最適速度を算出した。そして燃費法を用いて燃費を求め, 年間でのコスト削減などの省エネ運転評価を行った。

実験の結果, 阪神高速道路 3号神戸線では 1日で約 278 万円, 1ヶ月で約 8631 万円, 1年約 10 億円, 阪神高速道路全体では 1日で約 1952 万円, 1ヶ月で約 6 億円, 1年で約 71 億円のコスト削減に繋がるといった結果が出た。車車間通信や自動運転自動車などの開発により最適速度による走行が可能となった場合に大きなコスト削減が可能という結果を得られた。

参考文献

- [1] T. Hunter, R. Herring, P. Abbeel, A. Bayen, "Path and travel time inference from GPS probe vehicle data," Proc. of the NIPS, Vancouver, Canada, 2009.
- [2] 財団法人省エネルギーセンター, "定期報告書に記入する使用量算定の方法について," http://www.eccj.or.jp/law06/pamph_shipper/manual.04.html(accessed 2011.12).
- [3] 佐藤彰典, 姚恩建, "プローブ情報活用システム「PROROUTE」の開発," NEC 技報, Vol.61, No.1, pp.35-39, 2008.
- [4] 安土 光男, 柳平 雅俊, "省エネ運転評価技術の開発," PIONEER, R&D, Vol.19, No.1, pp.11-16, 2009.
- [5] M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata and Y. Sugiyama, "Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation," Phys. Rev. E, 51, pp.1035-1042, 1995.
- [6] 只木進一, "交通流の科学," 日本物理学会誌, Vol.55, No.3, pp.166-171, 2000.