

高速道路における運転行動の未来予測提示による ドライバの行動誘発

Induction of Drivers by Presenting Future Traffic on an Expressway

竹内俊貴*1 中里直人*2 諏訪恭平*1 谷川智洋*2 廣瀬通孝*2
Toshiki Takeuchi Naoto Nakazato Kyohei Suwa Tomohiro Tanikawa Michitaka Hirose

*1 東京大学大学院学際情報学府

Graduate School of Interdisciplinary Information Studies, The University of Tokyo

*2 東京大学大学院情報理工学系研究科

Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

Cars are essentially uncontrollable unlike trains or buses. However, we can induct behaviors of each driver somewhat by presenting appropriate information. We propose a system that predicts future driving status and tells a driver how long the driver will get into a traffic jam when the driver chooses the time to depart from a rest area on an expressway. In this paper, we report results of a questionnaire survey and a field study on an actual expressway, and discuss behavior induction by personal future prediction.

1. 研究の背景と目的

交通機関の中で自動車は、運用するシステム管理者から見て制御性が低いと言える。鉄道やバスは、運用会社が運行間隔や時間、経路を指定しており、乗客や周辺状況に多少左右される場合もあるが、基本的にシステム側が制御可能である。一方、自動車は個々の車両が独立した意思を持って行動するため、個別に制御することはできず、道路管理者は信号や看板、電光掲示板などにより間接的に交通を制御しなければならない。それ故に、特定の地域や時間帯に交通需要が集中し、渋滞の発生や事故発生率の増加を引き起こしうる。

高速道路における交通需要の分散は重要であり、各高速道路管理会社は連休前に渋滞予測を提供したり、ETC 搭載車の平日夜間料金を割引くなどの対策を行っている。また、これとは逆に渋滞の発生する可能性が高い日の高速道路利用料を割増にする混雑課金という制度の研究もなされている。浅田は、交通渋滞の解消における混雑料金の効果について経済的に解析している [浅田 06]。桑原によれば、渋滞時間帯にあるインターチェンジ (IC) を通過した車両のうち約 23% について、その IC を通過する時間を最大 30 分、平均 16 分適切に変更したとき、約 7km の渋滞がなくなるという事例が存在した [桑原 03]。高速道路管理会社が提供する渋滞予測は場所と時間に依ったもので個人ごとではないが、竹内らは個人の未来の状況を提示することにより、個人の行動を効果的に変化・誘発する研究を行っている [Takeuchi 10, Takeuchi 13]。ドライバに対して、未来の運転行動を予測・提示することで、出発時刻や車両速度を変化させ、交通需要を分散できると考えられる。

本研究では特に、高速道路上のサービスエリア (SA) に滞在するドライバに注目した。SA に滞在するドライバに対して、いつ出発すればどの程度渋滞に巻き込まれ、いつ目的 IC に到着するのかといった未来予測を提示することで、SA の出発時刻を変化させることを目指す。これにより交通需要を分散させるだけでなく、SA における休憩時間を延ばすことでドライバの精神的疲労を低減し、また SA での消費が増えることで高速道路管理者の利益にも繋がると考えられる。本研究では、ドラ

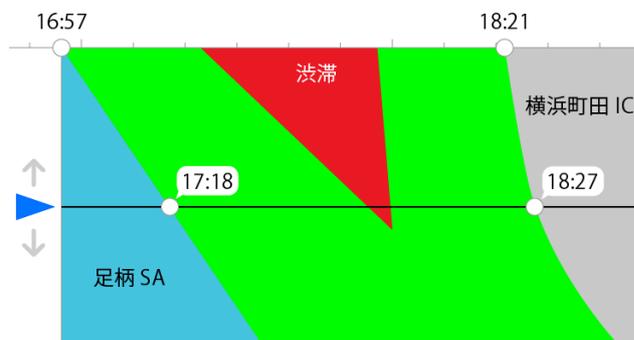


図 1: 未来の運転行動の提示 UI

イバ個人ごとに未来の交通状況を提示し、未来のドライバの行動を変化・誘発するシステムを構築し、アンケートによる紙面調査と、実際の高速道路における使用実験を行った。

2. 運転行動の予測提示による出発時刻の変化

2.1 未来の運転行動の提示

現在、SA における情報板で提示される渋滞情報は現在時刻のものである。そのため、いつ SA を出発したとき、どの程度渋滞に巻き込まれ、いつ目的 IC に到達するのかという情報を知ることができない。しかし、直ちに出发したときに 60 分の渋滞に巻き込まれ、80 分後に目的 IC に着くという場合と、30 分間 SA で休憩してから出発したときに渋滞に巻き込まれず、90 分後に目的 IC に着くという場合の 2 つの選択肢があったとき、ドライバはいつ出発することを選ぶだろうか。そこで、SA に滞在するドライバに対し、未来の運転行動を予測・提示したとき、出発時刻を変化させるかどうかを調査した。

異なる出発時刻に対して未来の運転行動を一覧して提示するため、2 つの時間軸からなる 2 次元の予測提示 UI を考案した (図 1)。図 1 の縦軸が出発時刻を表しており、例えば一番上は直ちに出发した場合を示している。UI 中の色分けされた領域はドライバの状態を表しており、水色が SA に滞在している時間、緑色が通常走行時、赤色が渋滞走行時 (平均時速 40km/h

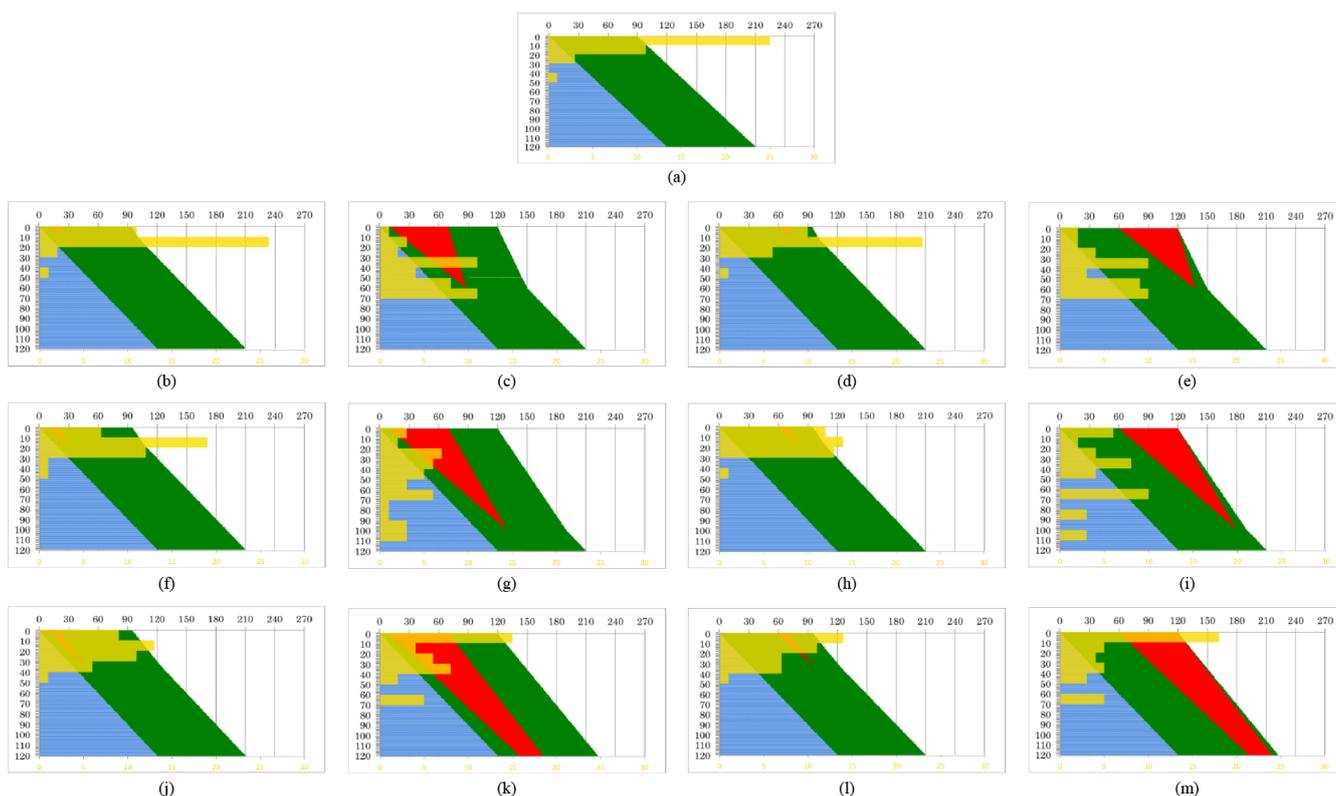


図 2: 提示パターンと選択した出発時刻の分布 ($n = 40$)

表 1: 渋滞を生成するパラメータ

渋滞の位置	近, 遠
渋滞の継続時間	短, 中, 長
渋滞の距離	短, 長

以下), 灰色が目的 IC を示す. 例えば一番上では, 16:57 現在に出発したとき, およそ 25~60 分後に渋滞に巻き込まれ, 18:21 に横浜町田 IC に到達するという予測を表している. 一方, 中央付近の黒線で選択されている箇所では, 20 分程度足柄 SA で休憩してから 17:18 に出発し, 渋滞にはほとんど巻き込まれず順調に走行して, 18:27 に横浜町田 IC に到達する.

2.2 実験

ドライバが提示画面を見たときにどのように行動するかを確かめるため, 紙上のアンケートを行った. アンケートでは図 1 と同様の UI で, 複数パターンの提示画面を見せ, SA から出発時刻の回答を集めた. パターンを生成するパラメータとして, 渋滞の位置, 継続時間, 距離をそれぞれ表 1 のように設定し, 渋滞なしと合わせて全 13 種類を用意した. 状況として, 被験者は SA に軽い休憩のため立ち寄っており, 買い物や食事などの目的はなく, そろそろ出発しようとしたところで予測結果を閲覧したと想定した. また, SA から目的 IC までは 120km であり, 通常走行時でおおよそ 90 分で到着できるものであるとした. 以上の想定状況を被験者に伝えた上で, 各被験者ごとにランダムに並べた 13 種類の予測提示 UI を見せ, 被験者が選択した出発時刻を示す箇所に水平線を引いてもらった. 被験者は 40 人であった.

2.3 結果と考察

図 2 は, アンケートで提示した全 13 種類の提示パターンと, それぞれに対し被験者が出発時刻をいつにしたかの分布を示したものである. 選択された出発時刻を 10 分間ごとにまとめ, 半透明の黄色の棒グラフで重ねて表示している.

図 2 を見るとまず, 渋滞が全くないときには, 直ちに出発しようとしている. 渋滞位置が異なるだけの組み合わせ ((b) と (d), (g) と (i) など) を比べると, 分布にはほとんど差がなく, 渋滞の位置は選択に影響を及ぼさないことが分かる. 渋滞の継続時間が異なる組み合わせ ((b), (f), (j) など) から, 渋滞の継続時間が長くなると, 分布が末広がりになる傾向がある. ただし, (k) や (m) のように渋滞が 120 分以上長く続くような状況では, 渋滞の解消を待たずにすぐに出発する人が多い. 渋滞の距離については, 渋滞の距離が継続時間に影響するため単純に比較できないが, 継続時間が比較的近い (c) と (j) などを比べると, 渋滞距離が長い場合のほうが出発時刻を遅らせる傾向があると思われる. これは, 渋滞に巻き込まれることによる疲労を避けるための行動だと考えられる. 以上より, SA におけるドライバの出発時刻は, 渋滞の継続時間と距離に依っていることが分かる.

図 3 は, 出発時刻と渋滞解消時刻の差を示したものである. なお, 図中のエラーバーは標準偏差を示す. 今回用意したパターンでは渋滞は現在時点で発生しているため, 渋滞解消時刻とは渋滞の継続時間に他ならない.

図 3 より, 渋滞時間が 10 分, 15 分のときには提示を見たドライバは渋滞が解消するまで待つてから SA から出発する. 一方で, 渋滞継続時間が 30 分以上ならば, 渋滞に巻き込まれても良いから早く出発しようとする傾向があることが分かる. これより, 本システムの予測提示では, 15 分程度までの出発時刻の行動誘発に特に効果的であると考えられる.

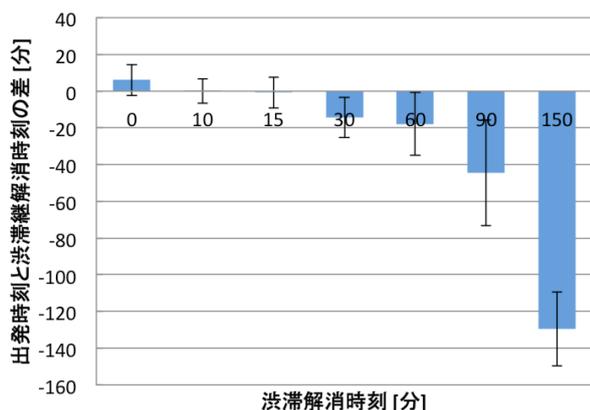


図 3: 出発時刻と渋滞解消時刻の差 (n = 40)

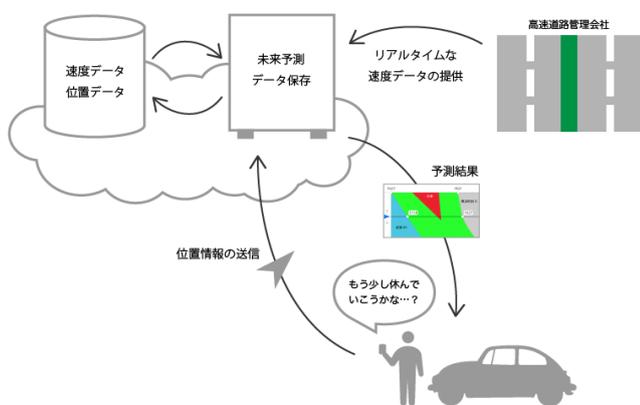


図 4: 提案システムの概要図

3. 提案システムの実装

次に、実際の高速道路上での実地調査を行うため、実験的に未来の運転行動を予測・提示可能なシステムを構築した。

3.1 概要

本システムは標準的なサーバ・クライアントモデルで構築されており、リアルタイムな交通情報の取得、予測処理をサーバ上でを行い、各ドライバーはスマートフォンで位置情報の送信、予測結果の閲覧を行う(図4)。今回、実験的に区間を東名高速道路上り線の御殿場IC~東京IC区間のみとした。中日本高速道路株式会社の協力を得て、リアルタイムな交通情報として、対象区間のトラフィックカウンタから走行車線の平均速度を5分ごとに提供してもらった。サーバ側の実装には、OSにLinux ディストリビューションのひとつであるUbuntu 12.04 LTS, プログラミング言語にPython 3.3, データベースにMySQL 5.5を用いて、Amazon Web Services (AWS) 上に構築した。また、ユーザが使用するスマートフォン側のアプリケーションは、Android OS 向けのアプリケーションとして実装した。

3.2 運転行動の予測手法

ドライバーに対して提示する未来の運転行動の導出を行う手順を以下に記す。なお、データは中日本高速道路株式会社から提供された、東名高速道路に設置されているトラフィックカウンタによるものを使用した。使用したデータは、2013年8月16日~10月29日までの、東名高速道路上り線御殿場IC~東京IC間の、走行車線の5分ごとの平均速度である。データ件

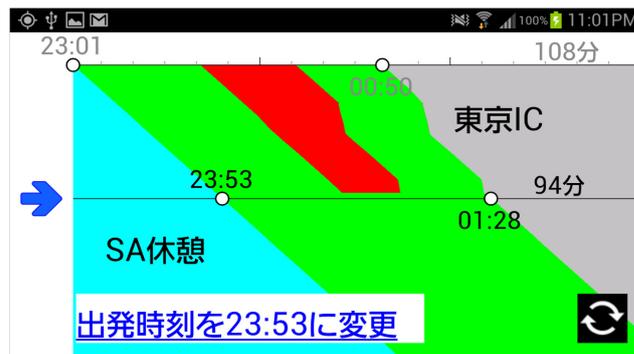


図 5: スマートフォンアプリケーションの予測提示画面

数は3,878,784件であった。

まず、高速道路を各IC間で表わされる複数の区間に分ける。ある区間の未来の車両速度は、同区間の過去の30分間の平均速度を用いて、回帰を行うことで予測する方針を取る。30分間の平均速度を用いるのは、時系列の速度データがある程度ならして、ばらつきを抑えるためである。そこで本システムでは、過去30分間の速度を説明変数、0~30分、30~60分、60~90分、90~120分の未来の速度それぞれを従属変数とした回帰分析を各区間について行い、これらの未来の速度を予測する回帰式を得る。

車両の位置情報として、ドライバーの携帯端末の緯度と経度の情報を高速道路上でのキロポスト(KP)とよばれる高速道路の起点からの距離情報に変換して用いる。上記から得られる各区間の速度情報とドライバーの位置情報を用いて未来の交通状況を考慮した運転時間の導出を行う。未来の車両の速度は時間と区間の関数として表わされる。また、各区間の運転時間は、各区間の距離を速度から求められる。従って、ドライバーの出発地点から目的地までの運転時間は、出発地点が存在する区間から目的地が終端に存在する区間までの運転時間を累計することで求められる。ただし、出発地点の区間の距離は位置情報から計算されるKPから求める。この運転時間をドライバーに提示する情報として用いる。

3.3 使用の流れ

ドライバーはSAで休憩した際、スマートフォンのアプリケーションを起動し、目的ICを入力する。すると、スマートフォンにより取得された現在位置情報と目的ICの情報がサーバに送信される。その位置情報をサーバの処理で高速道路上における位置情報(キロポスト)に変換し、過去30分の速度情報を用いて120分後までの各区間の速度を予測する。そして、その予測結果をドライバーのスマートフォンへ送信し、可視化する。提示画面において、ドライバーは画面をタッチすることで図5上の水平線を上下方向に動かし、SAでの休憩する時間の変化による目的地までの運転行動の変化をインタラクティブに閲覧することができる(図5)。これによりドライバーに適切な運転時間の選択を促し、行動を誘発する。

図5左下の変更ボタンは後述する実験のために用意したものである。変更ボタンを押すことにより、そのときに見ていた出発時刻の情報がサーバに送信され、記録される。これにより、予測提示を見た上でドライバーが出発する予定の時刻を知ることができる。

表 2: ドライバごとの出発時刻の変化

ドライバ	使用 SA	目的 IC	滞在予定時間 [分]	出発予定時刻の差 [分]	出発時刻の差 [分]
A	足柄 SA	東京 IC	8	-5	-1
B	海老名 SA	東京 IC	60	-60	-
C	足柄 SA	東京 IC	12	-4	0

4. 高速道路における実使用実験

4.1 実験

実際の高速道路上で提案システムを使用してもらい、ドライバの行動変化を検証した。Android スマートフォンを所有する被験者にアプリケーションをインストールしてもらい、東名高速道路上り線を走行時に使用してもらおう形を取った。今回、システムを使用する SA として、東名高速道路上り線の足柄 SA または海老名 SA を指定した。SA に滞在するドライバに対し、予測結果閲覧前に元々の SA の出発予定時刻を入力してもらい、その後予測結果を閲覧してもらおう。そして、ドライバには予測結果を見た上で、再度出発予定時刻を決定してもらおう。このようにして、予測提示により出発時刻を変更したかどうかを調べた。また、スマートフォンの位置情報を記録しておく、実際に SA を離れた時刻とも比較を行った。

4.2 結果と考察

表 2 は、システムを利用した 3 人のドライバの出発時刻の変化を表したものである。ここで、

$$\begin{aligned} \text{滞在予定時間} = \\ \text{閲覧前の出発予定時刻} - \text{SA 到着時刻} \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{出発予定時刻の差} = \\ \text{閲覧後の出発予定時刻} - \text{閲覧前の出発予定時刻} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{出発時刻の差} = \\ \text{実際の出発時刻} - \text{閲覧前の出発予定時刻} \quad (3) \end{aligned}$$

である。いずれの場合も渋滞は発生していなかった。また、ドライバ B についてはスマートフォンの位置情報が一部取得できておらず、実際の出発時刻は分からなかった。

ドライバ A, C は、出発予定時刻の差、出発時刻の差ともにほとんど変化がなかった。両ドライバは元々の SA 滞在予定時間が短く、渋滞も発生していなかったため、特に行動を変化させずに当初の予定通り出発したものと考えられる。一方ドライバ B は、出発予定時刻を大きく早めている。SA 滞在予定時間が 60 分と長く、元々長時間休憩するつもりであったが、渋滞に巻き込まれないことが分かったため、すぐに出発するように変更したものと考えられる。先述のアンケート実験では SA で長時間休憩する意思は特になく状況を想定していたが、長時間休憩する意思が元々あった場合に、順調な運転行動の予測提示によって SA 滞在時間を減らすような行動変化を誘発しうることが分かった。

5. 結論と今後の展望

本研究では、SA 上のドライバに対して運転行動の未来予測を提示することにより、ドライバの SA 出発時刻を変化させる行動誘発システムを提案した。アンケート実験においては、提

案システムの予測提示は、15 分程度の出発時刻の行動誘発に効果的であるという知見が得られた。実際の高速道路上における使用実験では、元々長時間休憩する意思のあったドライバに対して、SA 休憩時間を減らすような行動変化を引き起こした。SA 出発時刻を延ばすだけでなく、早める行動誘発を行っており、個々のドライバへの運転行動予測提示は交通需要分散に有用である可能性を示したと言える。

本研究では限定的な小規模な範囲の実験を行ったが、より実社会に則した条件下での実験を行い、ドライバの行動変化を詳細に検証することが今後の課題である。スマートフォンの普及により、スマートフォンを走行中にカーナビとして利用するドライバが増えていることから、提案システムを SA 休憩中のみならず、走行中にも利用できるように拡張できると考えられる。また、本研究における予測提示は走行速度など個々のドライバの運転特性を考慮していないが、ドライバの運転行動ログ [赤穂 13] を収集し、ドライバごとに適切な未来予測を行うことで、より効果的な行動誘発を行うことができると考えている。

謝辞

本研究の実施にあたり、中日本高速道路株式会社の皆様には有用なデータを提供して頂きました。心より感謝致します。

参考文献

- [浅田 06] 浅田義久: 交通渋滞と混雑料金 (特集 混雑料金-混雑制御の新しい方向性), 日本不動産学会誌, Vol.19, No.3, pp.65-74 (2006).
- [桑原 03] 桑原雅夫: 交通渋滞の科学, 日本騒音制御工学会, Vol.27, No.6, pp.431-436 (2003).
- [Takeuchi 10] T. Takeuchi, T. Narumi, K. Nishimura, T. Tanikawa, and M. Hirose: Recieptlog Applied to Forecast of Personal Consumption. 16th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, pp.79-83 (2010).
- [Takeuchi 13] T. Takeuchi, K. Suwa, H. Tamura, T. Narumi, T. Tanikawa, and M. Hirose: A Task-management System using Future Prediction based on Personal Lifelogs and Plans, the 2013 ACM Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct Publication, pp.235-238 (2013).
- [赤穂 13] 赤穂賢吾: ドライバ特定手法の実現に向けたドライビングライフログ解析手法の検討, 情報処理学会第 75 回全国大会講演論文集, Vol.2013, No.1, pp.75-77 (2013).