

車載センサログの時系列データマイニングに基づく運転挙動の分析 Analysis of driving behavior based on time-series data mining of vehicle sensor data

岡田 将吾† 人見 謙太郎‡ ナイワラ P. チャンドラシリ‡ 呂 有為† 新田 克己†
Shogo Okada Kentaro Hitomi Naiwala P. Chandrasiri Yui Rho Katsumi Nitta

1 まえがき

車両の情報化による安全性と利便性の実現には、運転者個人の特性を考慮した運転支援が重要である[土居2008]。本研究は運転者個人がどのような状況でどのような操作パターンを実施するかという特性を運転特性と呼ぶこととし、車載センサから得られるアクセル・ブレーキなどの時系列データから個人の運転特性(ブレーキ・アクセルの踏み方)に関わるパターンを抽出し分析する。

運転者は個人ごとに運転状況(道路の種類)に応じて適切にブレーキやアクセルを操作していると考えられる。この分析では操作に用いたブレーキ・アクセルパターンの割合を個人間で比較することによりブレーキ・アクセルの使い方の違いを明らかにすることを目的とする。

この目的のために、運転行動の時系列データから動作として意味のある区間をセグメンテーションして抽出し、抽出した時系列パターンをクラスタリングする手法を用いる。

実験では 3 人のドライバーが複数の道路を運転した結果獲得されたセンサ時系列データから、運転特性を抽出し、運転者個人ごとの運転特性の差、運転する道路による運転特性の変化を分析の結果明らかにする。

2 関連研究

2.1 センサデータからの運転挙動モデリング

近年、ドライバー個人の特性、状態、意図に応じた支援をするための個別適合型運転支援技術に関する研究が盛んに行われている。個別適合型運転支援システムを実現するためには、実路において自然な状態での通常の運転行動データを計測・分析する必要がある。従来のドライブレコーダの機能を拡張しリアルワールドでのドライバの運転行動や走行環境の常時センシングを行うシステムが開発されている[前田 2010]。また一般の走行場面において、蓄積された大量のデータから個人のドライバの認知・判断・操作の特徴を抽出し、通常の運転状態から逸脱した危険状態(急ぎ運転など)を予知するアルゴリズムの開発が行われている[Pongsathorn2010]。本研究では各運転手の定常運転状態がどのように異なるかを分析し、各個人ごとの運転特性モデルを構築するための知見を得ることを目的としているため、特定の状態を認識するための教師付き学習アルゴリズムでなく、個人特有の運転特性に関するパターンを抽出するために教師無し学習アルゴリズムを利用する

2.2 時系列データの教師無し学習に関する研究

本研究で対象とする、アクセル・ブレーキなどの運転挙動履歴データは連続時系列データとして観測出来る。

この時系列データの中に含まれる、運転特性パターンを抽出するためには、(1)時系列データからパターンを発見する技術 [Chiu2003]と、(2)時系列パターンのクラスタリング技術 [Warren2005]とが利用出来る。ここで運転者は運転中にアクセル・ブレーキペダルのいずれかを踏み込み、放すという操作を繰り返し行う。これらのペダルを放した後に、アクセルまたはブレーキの値は 0 になるため、この性質を用いれば、時系列データの分節化を行うことが可能である。本研究では分節化されたパターンのクラスタリング技術を利用する。時系列データのクラスタリング手法は (1) 類似度(距離)に基づく手法 (Similarity base approach)と (2) モデルに基づく手法 (Model base approach)に分類される[Cadez2000]。類似度に基づく手法(例えば[Yin2005])では、時系列データから特徴を抽出する手法、特徴量間の距離、クラスタリング手法をどのように組み合わせるかで性能が決定される。

モデルに基づく手法(例えば[Alon 2003])では各クラスタに HMM や ARMA などの各時系列モデルを対応させ、クラスタリングを行う。この手法では、各クラスタに属するデータ量が均一な場合に、良好な性能を示すが、このデータ量が不均一な場合、パラメータの推定において局所解に陥る場合がある。上記の特性を踏まえると、本研究で扱う運転挙動の時系列パターンのクラスタ数は未知であるため、パラメータの推定において局所解に陥る可能性のあるモデルに基づく手法よりも類似度(距離)に基づく手法の適用が妥当であると判断した。

3 時系列データマイニング手法

3.1 データマイニングの方針

本研究では運転行動履歴から取得される多次元時系列データの分節化・クラスタリングを適用して、信号的に類似するパターン群をボトムアップに抽出する。本研究では運転者の操作挙動として、アクセル開度率[%]とブレーキ圧[Mpa]のセンサ時系列を扱い、アクセル・ブレーキ操作パターンを抽出する(3.1 節)。この処理により、個人・運転した道路ごとの、アクセル・ブレーキ操作の違いを明らかにする。

3.2 零点交差法による時系列データの分節化とクラスタリングによる操作パターン抽出

本手法では、センサ値が 0 を超えて大きくなる(ペダルを踏んだ点)、アクセル・ブレーキのセンサ値が 0 に推移する点(ペダルが元に戻った点)をアクセル・ブレーキ操作の始点・終点と仮定し、この零点で交差する点の間を挙動パターンとして抽出する。(図 2)伸縮を含んでいる各パターンの類似度を計算するために Dynamic Time Warping (DTW) [Sakoe1978]を用いる。

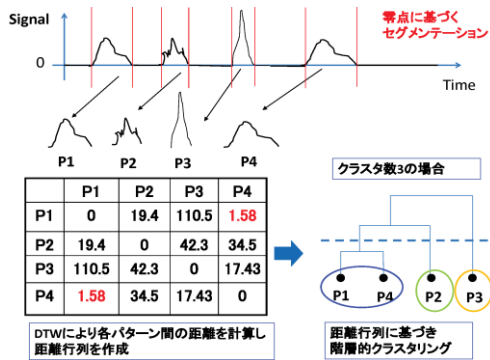


図3：零点交差法に基づく分節化とクラスタリングによる運転挙動パターンの分類

最適なフレームの対応付けは動的計画化にしたがって、各フレーム間距離の累積が最小になるような対応付けとして計算される。

全てのフレーム間の組み合わせから最適経路を計算する手法の計算量の削減と、過剰な伸縮適合を防ぐために sakoe-chiba band [Sakoe1978] と呼ばれる制約を用いる。この制約は、極端な伸縮に該当するパスを探索範囲から除外するための制約である。ここでは R ($R < 1$) という伸縮の割合を決定するパラメータを導入し、ある時刻 t から時刻 $t+RX$ 以上の時刻へのワープと、時刻 $t-RX$ 以下へのワープを許可しない制約を加えた。ここで X は距離計算対象の 2 つ時系列パターンの内、時系列の短いパターンの時系列長を示す。実験データを 1 セット使ってパラメータ調整を行い R を 1.2 と決定した。クラスタリング手法には ward 法によりクラスタ併合を行う階層的クラスタリングを用いた。

4. 運転特性パターン分析に用いたデータセット

抽出・分類されたパターン群を用いて運転特性の分析を行う。分析対象には運転者 3 人の運転から得られた走行データを使用する。本分析ではまず各運転者の各運転状況における運転挙動の違いを分析する(5.1 節)。次に複数の道路を運転した 1 人の運転者について、運転道路別の運転特性を分析する(5.2 節)。

分析に用いたデータセットの詳細を表 1 に記載する。(1)は運転者別分析用データセット、(2)は 運転道路別分析用データセットをそれぞれ示している。(1)の 5 列目のデータに関して、急ぎ運転とは、安全を維持できる範囲で車間距離を故意に普段より短く保ちながら運転したデータで、本研究では通常運転から逸脱した運転挙動データとして用いた。

5 運転特性パターンの分析結果

5.1 3 人の運転者の運転特性の比較分析結果

運転者間の個人差分析用データセットの、アクセル開度率・ブレーキ圧は 10 [Hz] で記録されており、時系列データの総フレーム数は 868470 であった。分節化の結果アクセルパターンは 4015 個、ブレーキパターンは 1901 個、それぞれ抽出された。

表 1 分析対象のデータセット

(1) 運転者間の個人差分析用データセット

運転者番号	1	2	3
道路の種類	市街地	市街地	市街地
運転回数	20	10	6

(2) 運転道路別の運転特性分析用データセット

(運転者番号 1 による運転データを使用)

道路の種類	市街地	国道	自動車専用道路	山道	※市街地(急ぎ運転)
運転回数	11	4	4	1	1

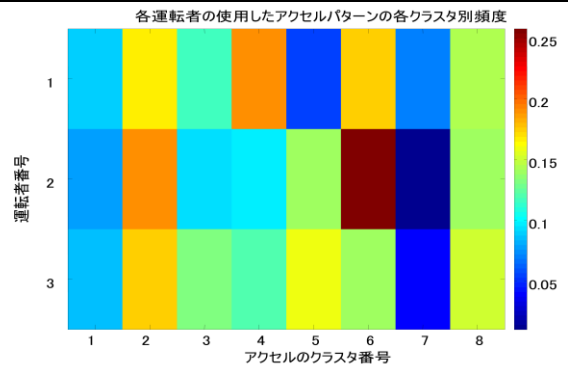


図 4：各アクセルパターン頻度割合(運転者別)

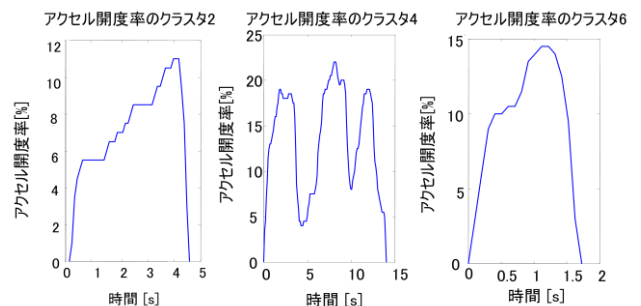


図 5：アクセル開度率パターン例(運転者別)

クラスタリングを行い、運転者の運転挙動の分析を行った。最初に運転者間の個人差分析用データセットのアクセル開度率・ブレーキデータに時系列クラスタリングを適用した結果について述べる。運転者が使った各クラスタのパターン頻度を比較する事で、各運転者の運転特性を分析する。

・アクセルパターンの運転者別分析結果

各運転者の全セッションで抽出された総パターン数を割って正規化し、パターンのクラスタ別頻度割合として比較する。各クラスタのアクセルパターン頻度割合を図4に示す。図4よりクラスタ1,2,7,8は運転者間の頻度割合に差が見られない事が分かる。クラスタ2, 8のパターンは割合が0.15付近であり、全運転者が比較的頻繁に用いている。クラスタ1, 7のパターンは全ての運転者が稀に使うパターンである事がわかる。クラスタ2のパターンはいずれも階段状にアクセルを操作

† 東京工業大学大学院 総合理工学研究科,

‡ (社) トヨタ IT 開発センター

しており、各運転手が急発進せず、徐々にアクセルを踏み込んでいることがわかる。この運転挙動は基本的な安全運転挙動であり、このパターンの頻度割合が大きいことは自然であると考えられる。

クラスタ3,4,5,6は運転者間の頻度割合に差が見られ、個人特有のパターンを含んでいる可能性がある。クラスタ3の頻度は各運転者間で0.10~0.15の値をとり他のクラスタと比べ分散は少ない。クラスタ4のパターンについて、運転者1の頻度割合のみ0.2を超えている。同様にクラスタ5は運転者3、クラスタ6は運転者2の頻度割合が最も多い。クラスタ4,6の代表パターンを図5に記載する。クラスタ4のパターンからは3つのピークが観測出来る。運転者1はアクセルの踏み込みを多数回行っていることが分かる。

アクセル開度率の絶対値を見ると、クラスタ4の平均値は比較的大きく、アクセル操作を大きな振幅で数回行っていることがわかる。パターンの波形や振幅から、他のクラスタには存在しない特異なパターンであることがわかる。次に、クラスタ6のパターンは急激にピークに達しているものの、極大値の値はクラスタ4より小さい。

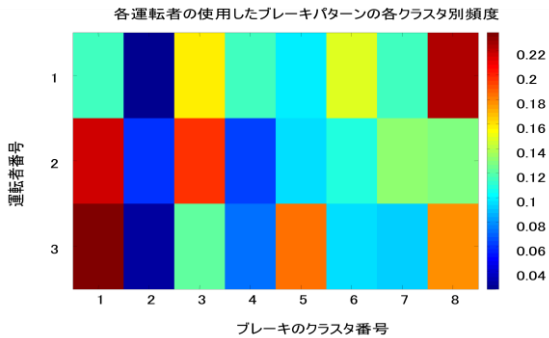


図6：ブレーキパターン頻度割合（運転者別）

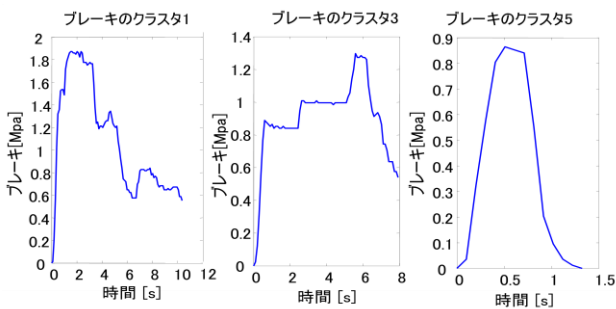


図7：ブレーキパターン例（運転者別）

・ブレーキパターンの運転者別分析結果

アクセルパターンの分析と同様に各クラスタのブレーキパターン頻度割合を図6に示す。図6よりクラスタ2,4,7では運転者間の頻度割合に差が見られない事が分かる。それ以外のクラス1,3,5,6,8は運転者間の頻度割合に差が見られる。クラスタ1,3,5の代表パターンを図7に記載する。図7のクラスタ1のパターンは最初にブレーキを強く踏み込み、その後踏み込みを弱くしていくパターンである。このパターンは運転者2, 3に多く

見られる。

次にクラスタ3のパターンは段階的にブレーキを踏みこみながら、ピークに達する。このパターンは運転者1,2に多くみられる。クラスタ5のパターンは1つのピークを持ち、絶対値は他のクラスタのパターンのそれに比べて小さい。このパターンは運転者3に多くみられる。

5.2 運転経路における運転特性の比較分析結果

本節では運転コースごとの運転特性の特徴を分析する事を目的とする。運転道路別の運転特性分析用データセットの、アクセル開度率・ブレーキ圧の時系列データの総フレーム数は 492848 であり、分節化の結果アクセルパターンは 2588 個、ブレーキパターンは 1324 個、それぞれ抽出された。このパターン群に対し、本分析ではクラスタ数を 8 と設定してクラスタリングを行い、運転者の運転挙動の分析を行った。

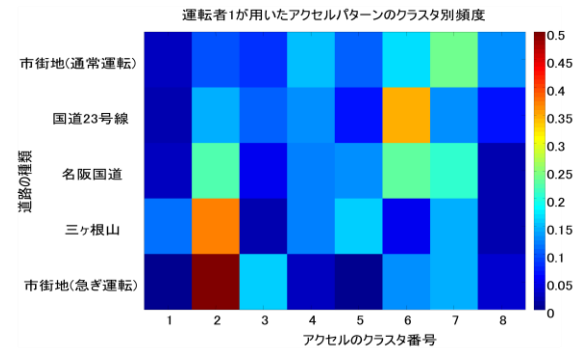


図8：アクセルパターン頻度割合（道路別）

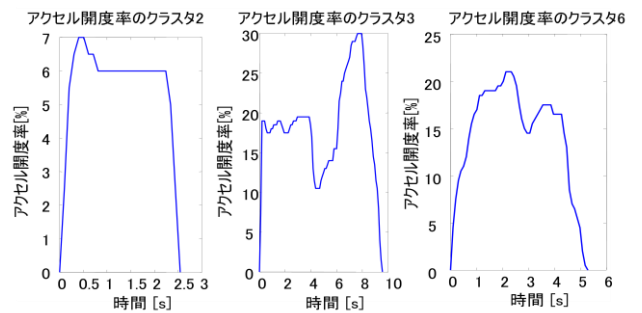


図9：アクセル開度率パターン例（道路別）

・アクセルパターンの道路別分析結果

まず運転者1の全走行データから抽出されたアクセル・ブレーキパターンのクラスタ別頻度を数え、運転・道路の種類の間で比較する。各クラスタのアクセルパターン頻度割合を図8に示す。道路間の頻度割合に差が顕著に表れたのはクラスタ2,3,6,7であった。次にクラスタ2,3,6の代表パターンを図9に記載する。図9のクラスタ2のパターンは1つの短い時間幅の急なピークを持っている。このクラスタのパターンは山道で一番多く用いられている。三ヶ根山の山道はカーブが非常に多く、スピードが出過ぎないように、カーブを曲がる必要がある。ここでスピードが落ちたあとに、クラスタ2のパターンのような短いピークのアクセル

を踏むことにより、カーブを曲がるが多かったと解釈できる。次にクラスタ3のパターンは二つのピークを有している。このパターンでは名阪国道、三ヶ根山、急ぎ運転で高頻度に使われる傾向があった。

次にクラスタ6は非常に極大値の大きいピークを持ったパターンを含んでいる。このパターンは国道23号線で高頻度で用いられた、クラスタ7は二段階でピークを迎えるパターンを含んでいた。このパターンは市街地で用いられていた。

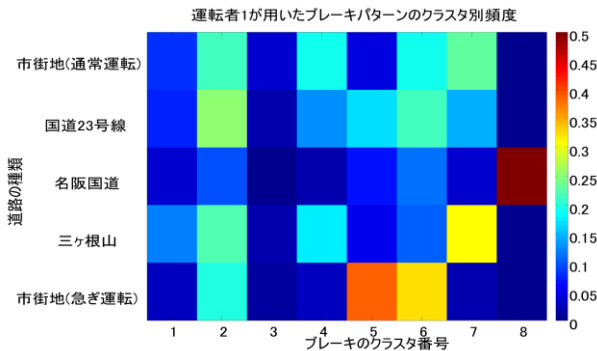


図 10: ブレーキパターン頻度割合 (道路別)

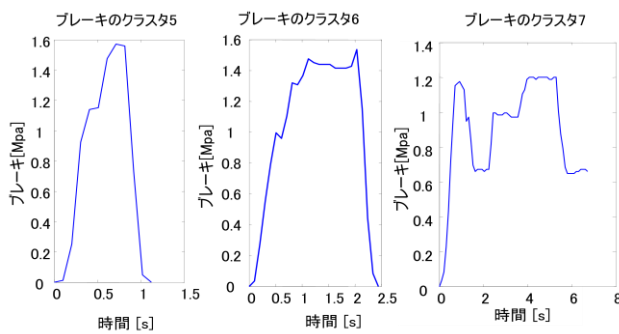


図 11: ブレーキパターン例 (運転者別)

・ブレーキパターンの道路別分析結果

アクセルパターンの分析と同様に各クラスタのブレーキパターン頻度割合を図 10 に示す。クラスタ 4,5,6,7,8 は運転者間の頻度割合に差が見られる。クラスタ 5,6,7 の代表パターンを図 11 に記載する。

クラスタ 5,6 は小刻みなブレーキであり、急ぎ運転で用いられている。急ぎ運転では故意に車間距離を詰めて、ブレーキを踏むため、このような小刻みなブレーキが使用されたと考えられる。最後にクラスタ 7 のパターンは一度、ブレーキを急で踏み込んだ後、またブレーキを放して、もう一度ブレーキを踏むという事を行っている。このパターンは三ヶ根山で多く用いられた。運転者が何時カーブに差し掛かるかわからないことから、カーブを予測する事が難しい。よってカーブに差し掛かった時、またカーブに入った時にいつでもスピードを落とせるよう、反射的にブレーキを踏んでいると考えられる。この反射的なブレーキ操作が、クラスタ 7 の最初の短いピークに対応していると考えられる。以上をまとめると、道路や運転の状況がアクセル・ブレーキに影

響を及ぼしている場面を幾つか発見する事が出来た。

6 まとめ

本研究では時系列センサデータから教師無し学習によりアクセル・ブレーキのパターンを分節化・抽出・分類することで、個人ごとの操作挙動パターンの分析を行った。個人ごと、各種道路ごとのパターンのカテゴリ頻度を分析した結果、個人や運転条件によって頻度分布が異なる傾向を示すことを確認できた。またカーブの多い山道や、注意すべき外的要因が複数存在する市街地運転では、ブレーキのかけ方が段階的になったり、反射的なピークがパターンの最初に現れたりするなどの特徴を観測できた。さらに市街地を走っていても、故意に急ぎ運転をしたセッションでは明らかに、アクセル・ブレーキともに異常なパターンを観測出来た。これらの知見を危険予測などの特徴量として利用する事を今後検討する。

謝辞

本研究で用いたデータセットは株式会社デンソーより提供頂いた。記して感謝したい。

参考文献

[Alon 2003] Jonathan Alon and Stan Sclaroff and George Kollios and Vladimir Pavlovic, Discovering Clusters in Motion Time-Series Data, In Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.375--381,2003

[Cadez 2000] Igor Cadez and Scott Gaffney and Padhraic Smyth, A General Probabilistic Framework for Clustering Individuals, Proc. of the sixth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp140--149,2000

[Chiu2003]

Chiu, B. and Keogh, E. and Lonardi, S. Probabilistic discovery of time series motifs, Proc. ACM KDD 2003

[Pongsathorn2010] Pongsathorn Raksincharoensak, et al., Integrated Driver Modelling Considering State Transition Features for Individual Adaptation of Driver Assistance Systems, Vehicle System Dynamics, Vol. 48, Supplement, pp.55-71, 2010.

[Sakoe1978] H.Sakoe and S. Chiba, Dynamic programming optimization for spoken word recognition, IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Processing, Vol ASSP-26, pp. 43-49, 1978

[Warren2005] T.Warren, Clustering of time series data--a survey, Pattern Recognition, Vol.38, No 11, pp1857--1874,2005

[Yin2005] Jie Yin and Qiang Yang, Integrating Hidden Markov Models and Spectral Analysis for Sensory Time Series Clustering, Proc. of IEEE ICDM, 2005

[土居2008] 土居俊一, ドライバ特性を踏まえた運転支援, DENSO Tech. Rev, 巻: 1 2 号:, pp 1 3-11, (2008)

[前田2010] 前田公三, 他, 常時記録型ドライブレコーダを用いた車線変更時の運転行動解析(第 2 報), 自動車技術会論文集, Vol. 41, No. 4, pp901-908 (2010).