

インテリジェントタイヤ開発における統計的機械学習手法の適用 ～路面の滑りやすさ推定～

花塚 泰史 総合研究大学院大学 統計科学専攻 博士後期課程2年

主任指導教員：樋口 知之教授 指導教員：松井 知子教授

目的と背景

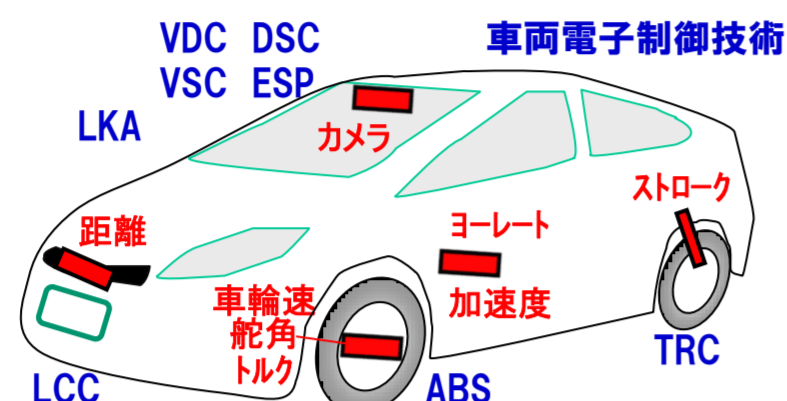
<目的>

タイヤの新たな付加価値創造 ⇒ 安全な交通社会実現に貢献する

<背景>

近年自動車の電子制御技術は高度化し、多数のセンシングデバイスが搭載されている。

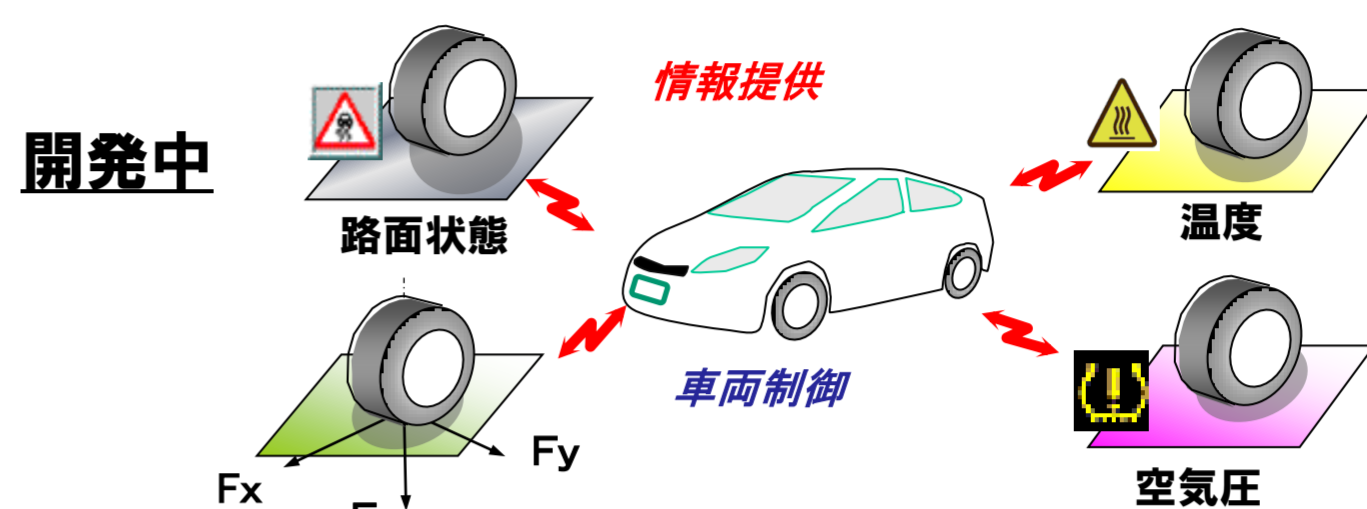
現状



しかし路面からの入力には車輪センサーにより間接的に推定
危険な状態になる直前まで対応できない

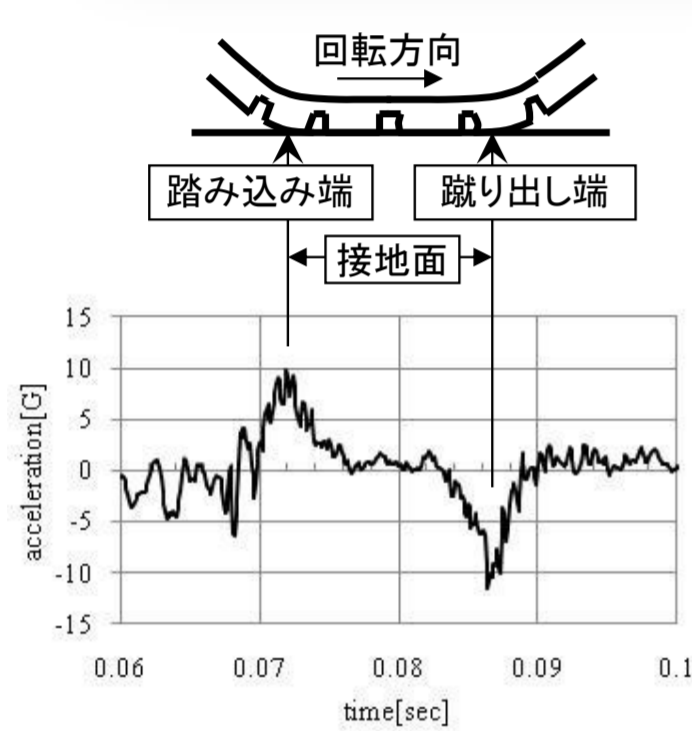
唯一路面に接する**タイヤで有益な情報を直接検知**したい

インテリジェントタイヤ

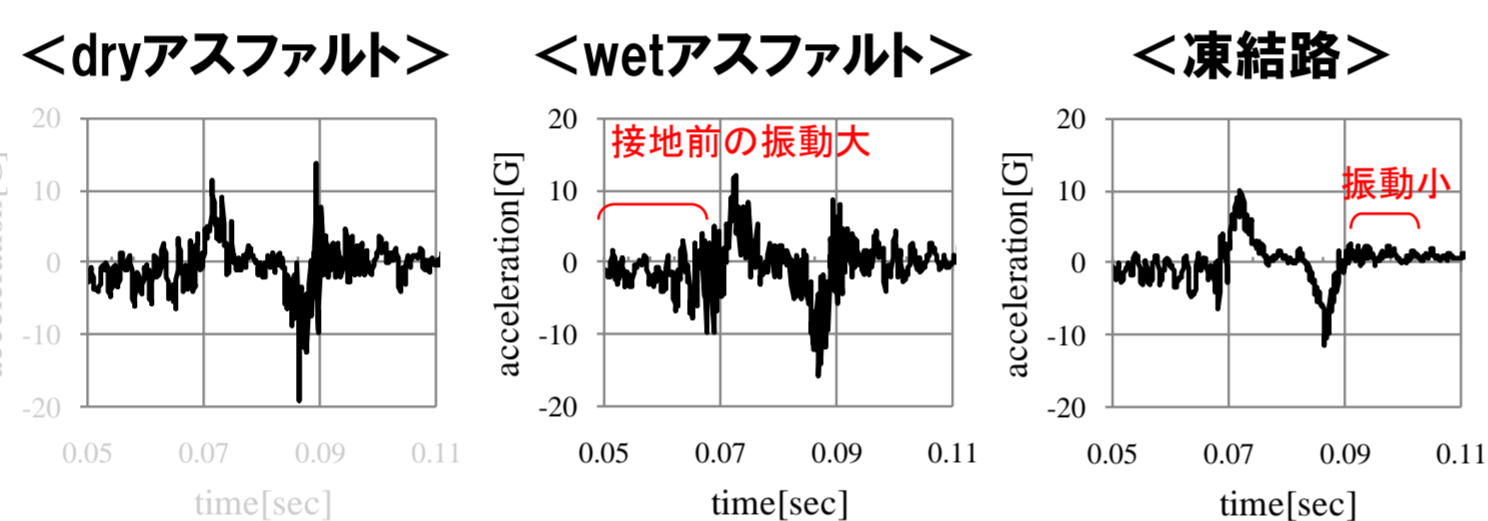


タイヤ振動波形のパターンから路面状態（滑りやすさ）を推定する技術を開発中
車輪制御の高度化や、ドライバーへの情報提供によって車両の安全性向上を目指す

タイヤ振動波形の特徴

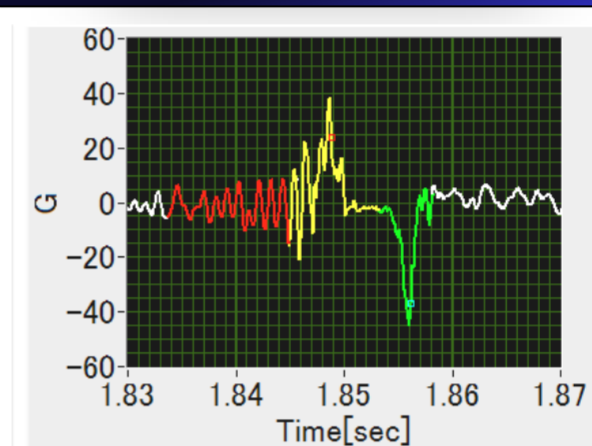


- 路面との接触に応じて **非定常性の強い波形**を示す
- 車輪速、接地長によって **特徴が時間伸縮**する



- 路面の状態ごとに特徴的な波形を示す
 - wet: 接地前波形のスペクトルの傾きが変化
 - 凍結: 蹴り出し後のブロック固有振動レベルが変化
- 波形の特徴が時間領域、周波数領域で異なる

従来技術の概要

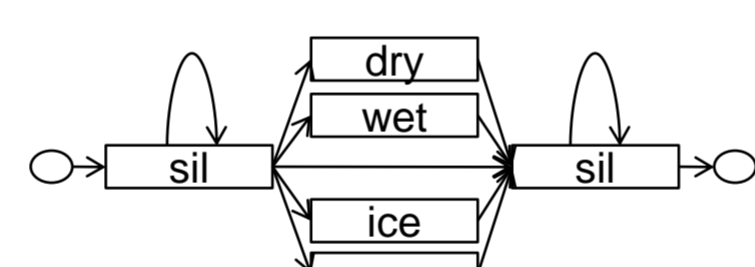
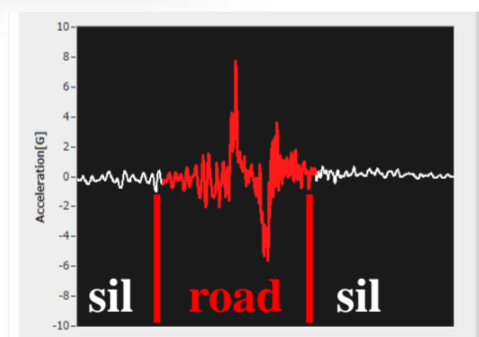
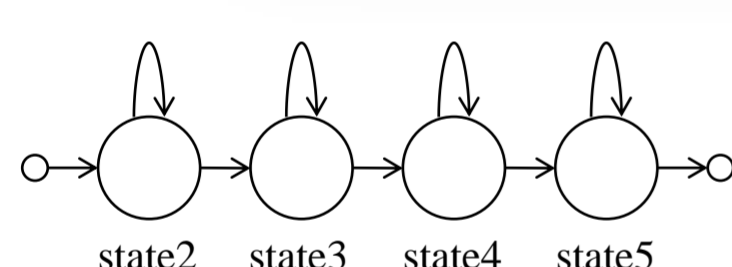


- 接地状態に合わせて波形に窓掛け
→ 車輪速、接地長により窓幅、位置を補正
 - 特徴量: バンドパスフィルタ透過波の平均
 - 最小二乗法により識別関数を設定
 - 公道での検証試験の結果: **正答率74~82%**
- Morinaga, Hanatsuka et al. (2010)

本研究の課題

- ハード簡素化 ⇒ **タイヤ振動情報のみで実現**する
- 車種、タイヤサイズに対するロバスト性**を付与する
- 路面状態を4種に、**精度85%**(従来技術同等)以上で判別する
dry, wet, 圧雪, 凍結

HMMによるタイヤ振動のモデル化



踏み込み→接地→蹴り出しの順序は不変
left-to-rightモデルを採用
→状態数: 5, 6, 7の3種

- 4種の路面状態ごとに接地面付近の波形をHMMでモデル化(road)
- 無情報状態(sil)として、接地面外の波形をHMMでモデル化

roadのHMMがsilのHMMに挟まれるように
HMMのネットワークを構成

タイヤ振動波形の特徴抽出

特徴ベクトルとしてLPCepstrum係数を採用
→スペクトルの包絡成分と微細構造を近似的に分離可能

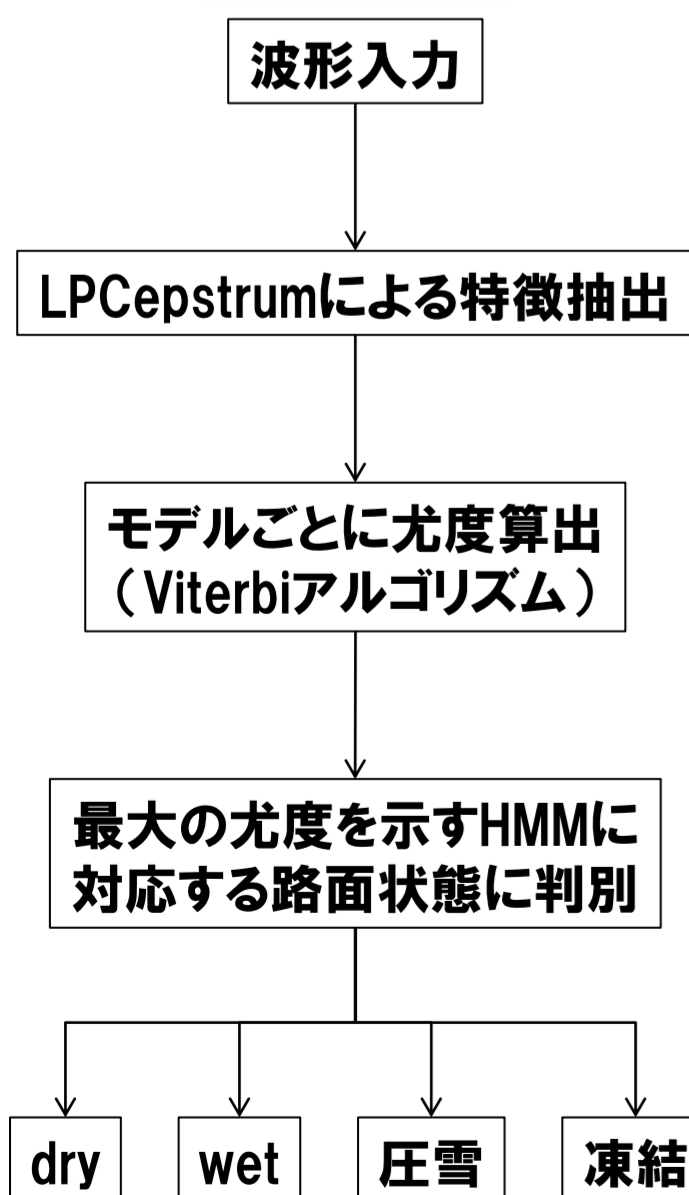
$$x_s = \sum_{m=1}^M a_m x_{s-m}$$

$$c_n = -a_n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i) a_i c_{n-i}$$

- c: LPCepstrum係数
- x_s : 時刻sにおける入力時系列の値
- a: 線形予測係数
- M=15: 線形予測次数
- n=7: ケプストラム次数

窓幅	フレーム周期	特徴量	次元
3msec (30sample)	2msec (20sample)	LPCepstra(7次元)+パワー(1次元), その1次差分, 2次差分	24

判別フロー

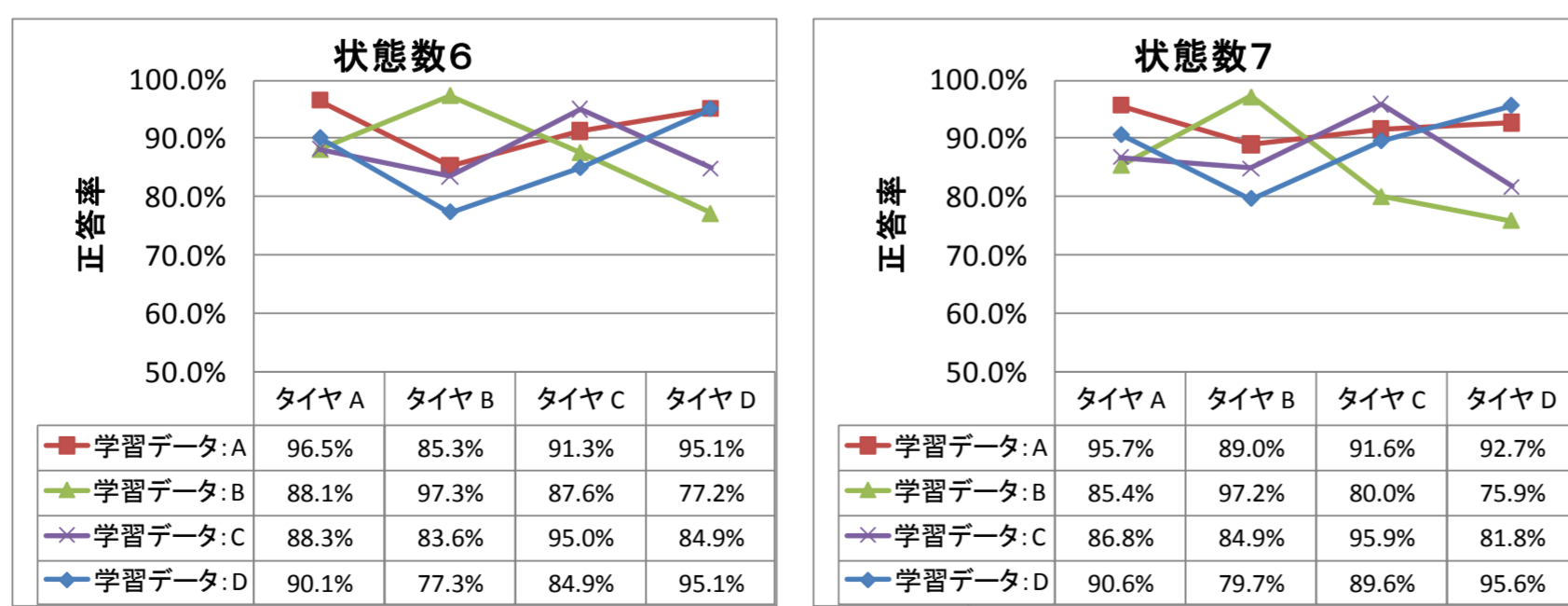


認識実験

<データ取得条件>

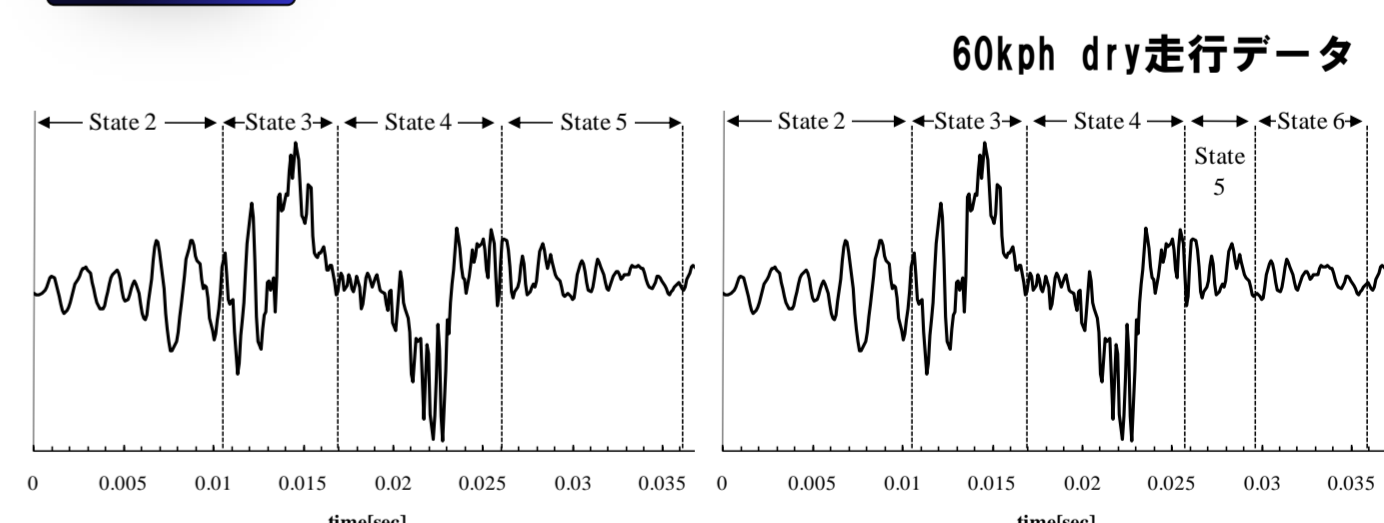
路面	プリチストテストコース内 (DRY, WET, 圧雪, 凍結)	車種	タイヤサイズ (幅(mm)/扁平率(%)R(リム径(inch)))	タイヤデザイン
タイヤ	4種(右表参照)	A	165/70R14	BLIZZAK REVO2
振動センサ位置	周上1点 幅方向中心位置	B	195/65R15	
	加速センサ (置き: 0.5g)	C	195/60R15	
データ精度	16bit, 10kHz (NI社製市販ADC使用)	D	185/70R14	

1種のタイヤのデータの2/3を学習用に使い、残りのデータをテスト用とした



6状態モデルの精度: 77.2%~97.3%
7状態モデルの精度: 75.9%~97.2%
従来法と同等以上
ただし、タイヤBの精度、及びタイヤBで学習した時の精度がやや低い

考察



- 遷移確率から状態遷移位置を推定した
- 路面踏み込みや接地、蹴り出しといった経験的知識に基づく特徴領域が、データ構造からも示された

まとめ

- タイヤ振動波形をHMMでモデル化し、路面状態を判別する手法を提案した
- 本手法により車輪速不要化の可能性を示した
- タイヤサイズ、車種変更に対応できる可能性を示したが完全なロバスト性付与には至っていない