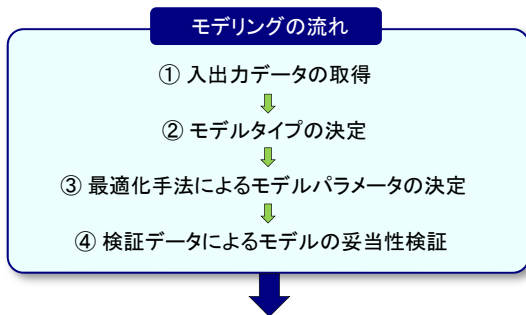


# 設計・解析・予測で役立つモデリング技術

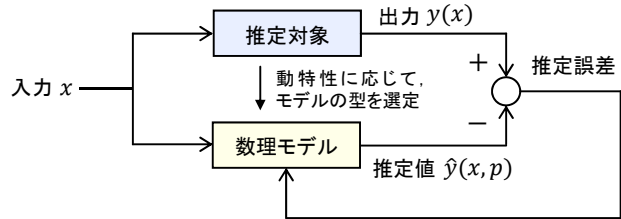
## 概要

物理現象、社会現象、生体反応などのモデリング(数式化)は、そのメカニズムの解明や実態予測、将来の動向を予測する上で役立ちます。外部からの入力に対して動的に反応するシステムを中心に、実験またはフィールド調査で得たデータに基づいて、最適化手法を用いてモデルを構築しています。



活用先

- コンピュータシミュレーションによる実態予測
- リアルタイムシミュレータ(スマホアプリ)
- モデルベース開発



推定誤差を最小化するようにモデルパラメータ  $p$  を決定

### 最適モデルパラメータ ( $p_{optimal}$ ) の求解問題

$$p_{optimal} = \arg \min_{p \in P} \|y(x) - \hat{y}(x, p)\| \quad \text{s.t.} \quad f(x, p) \leq 0$$

## モデリング事例

### 1. 救急搬送患者の循環動態モデリング

救急車による搬送中、傷病者は様々な方向から加速度(慣性、振動、重力による加速度)を受け、その結果、血圧、心拍数、脳血流量が変動します。これらの現象をモデリングすることで、変動メカニズムの解明や救急搬送の安全性評価などに役立ちます。



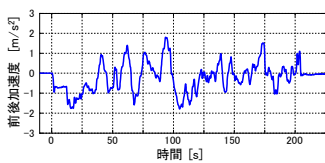
傾斜ベッドによる実験



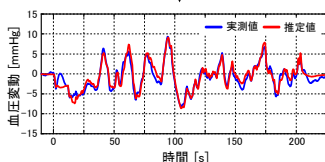
路上での実験

室内と路上での実験を通じて、身体にかかる加速を変化させながら、血圧、脈拍数、脳血流量を測定し、必要なデータを確保します。

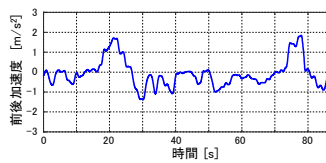
#### 血圧変動のモデリング



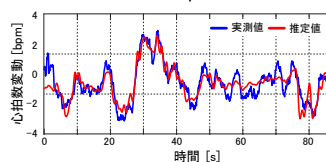
ウィナー型非線形モデル



#### 心拍変動のモデリング



ニューラルネットワークモデル



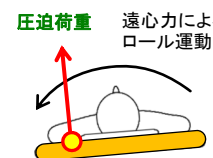
変動成分には、①加速度の力学的作用による変動(血圧のみ)、②動脈圧受容器反射による変動、③前庭系の反射による変動、④呼吸中枢などによる周期変動が含まれます。前後加速度と同期するのが①～③です。前後加速度から、これらを再現するようにモデリングしています。④も含めたモデルは、正規分布型確率モデルとして与えています。

### 2. 救急搬送患者の背面圧迫モデリング

救急車がカーブを通過すると、遠心力の影響で傷病者の体は左右に振られ、その結果、ストレッチャーマットに後背面が押しつけられます。外傷や骨折・脱臼の場合、痛みや要因になります。この背面圧迫をモデリングすることで、安全安心対策に役立ちます。

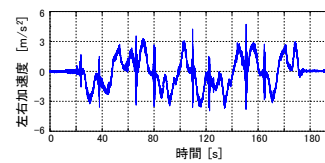


実験車両による実験

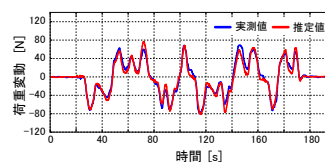


実験車両に被験者を乗せて、左右に旋回しながら、肩甲骨にかかる圧迫荷重をセンサで測定します。

#### 背面圧迫のモデリング



伝達関数モデル



静力学に基づく理論モデルでは、遠心加速度  $a_y$  に対して、圧迫荷重の変動量は、 $a_y$  の3次式で表現できます。

$a_y$  を加速度センサで取得する場合、ローパスフィルタに通過させて、遠心加速度成分を抽出します。

3次式は、1次式で近似可能。その結果、ローパスフィルタを含めて、伝達関数でモデル化しています。

#### モデルの活用例

モデルを利用すると、車両の加速度から血圧変動や背面圧迫が推定できます。この推定方法は、独自技術として特許を取得しています。

- ・ 運転訓練システム(特許第4985098号) ... 血圧変動の推定
- ・ 荷重測定装置(特許第5967758号) ... 背面圧迫の推定

### 3. 仰臥位搬送時の乗り心地モデル

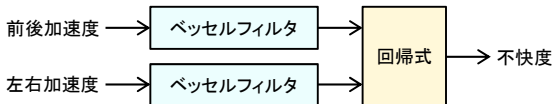
救急車や寝台付福祉車のように、ストレッチャーに仰向けに寝た状態で移動する場合、前後左右の慣性力の影響で不快感を抱きます。この不快感を再現するモデルを構築し、運転技能評価や運転訓練で役立てます。



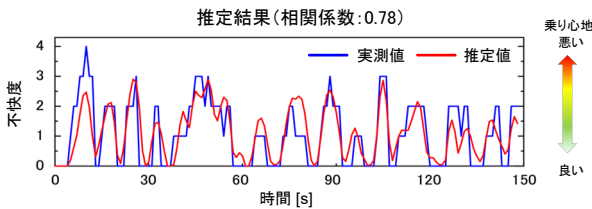
主観評価実験

福祉車に被験者を仰向けに寝かせて、1秒間隔で不快感を5段階評価します。同時に前後左右の加速度も測定します。加速度を入力(独立変数)、不快感を出力(従属変数)とする回帰式を実験データから構築しました。

#### 不快感のモデリング



(※) ベッセルフィルタは、慣性加速度の抽出、遅延操作、計算量低減のために使用。



### 4. 路線バスの振動乗り心地モデル

道路修繕は、IRI(国際ラフネス指標)などに基づいて計画を立てます。従来指標以外に、バス利用者の視点も加えて、より多角的かつ合理的に計画を立案するために、IRIと速度からバスの振動乗り心地を推定するモデルを作成しました。

路線バスの車内にiPhoneを設置して、速度と振動乗り心地を専用アプリで測定。これとは別に、IRIも測定。



測定車1(広島電鉄バス)

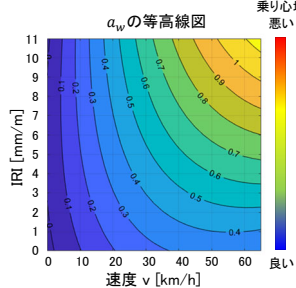
測定車2(芸陽バス)

測定器(iPhone)

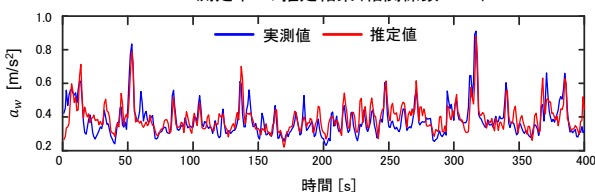
#### 振動乗り心地 $a_w$ のモデル

$$a_w = f(v, IRI) \quad [m/s^2]$$

- 振動乗り心地とは、ISO2631-1で規定されている周波数補正加速度実効値を指します。
- 関数 $f$ の係数は、最小二乗法を利用して決定しています。



測定車2の推定結果(相関係数:0.79)

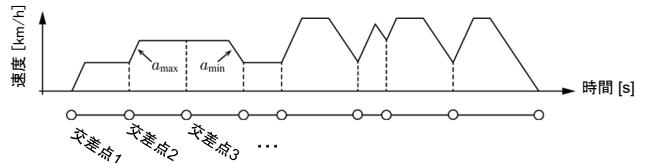


### 5. 救急車の走行モデル

救急車の搬送経路の探索では、病院への早期到着のみならず、加速度による悪影響も考慮する必要があります。そこで、到着時間、血圧変動、背面圧迫を模擬する走行モデルを構築し、経路探索で活用しています。

#### 到着時間、血圧変動、背面圧迫を考慮したモデリング

加速度が扱えるように速度プロファイルとしてモデル化



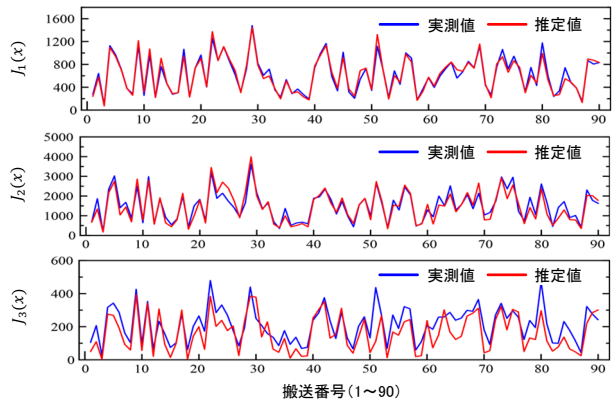
#### 多目的最適化によるモデルパラメータの決定

モデルパラメータ:  $x \in R^8 \dots$  速度プロファイルを決める変数

$$\text{評価関数: } \begin{cases} J_1(x) & \dots \text{到着時間に関する評価量} \\ J_2(x) & \dots \text{血圧変動} \\ J_3(x) & \dots \text{背面圧迫} \end{cases}$$

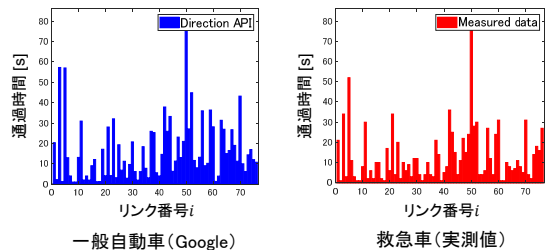
評価関数の間にトレードオフがあるため、遺伝的アルゴリズムを用いて、パレート解として  $x$  の最適値を決定します。

#### 90搬送分の $J_1(x) \sim J_3(x)$ の再現結果



#### 交通状況を反映したモデルへの改良

#### リンク(交差点間の道路)の通過時間の比較



- 一般自動車と救急車のリンク通過時間には、相関(0.78)がある。
- 時間帯 $t$ に応じて、混雑度が変わり、リンク通過時間も変わる。

一般自動車のリンク通過時間を基に、速度 $V(i, t)$ を修正。

速度調整比 $R(i, t)$ による交通状況の反映

$$V(i, t) = V_E(i) \times R(i, t)$$