

自動車のバネ上観測加速度からの 路面縦断プロファイルの推定と その精度検証



バンプレコーダー製作委員会
八木 浩一

<http://www.bumprecorder.com/>
yagi@bumprecorder.com

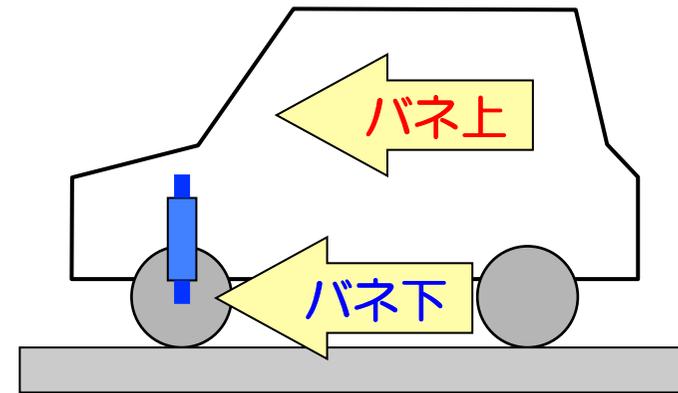
本研究の特徴



本研究の特徴

既往研究

- **バネ下**（車軸）の加速度を
観測周期**2[KHz]**で取得し評価
（富沢ら**2011**）
- スマホでは加速度観測周期が
100[Hz]で遅いことを懸念
（長山ら**2012**）



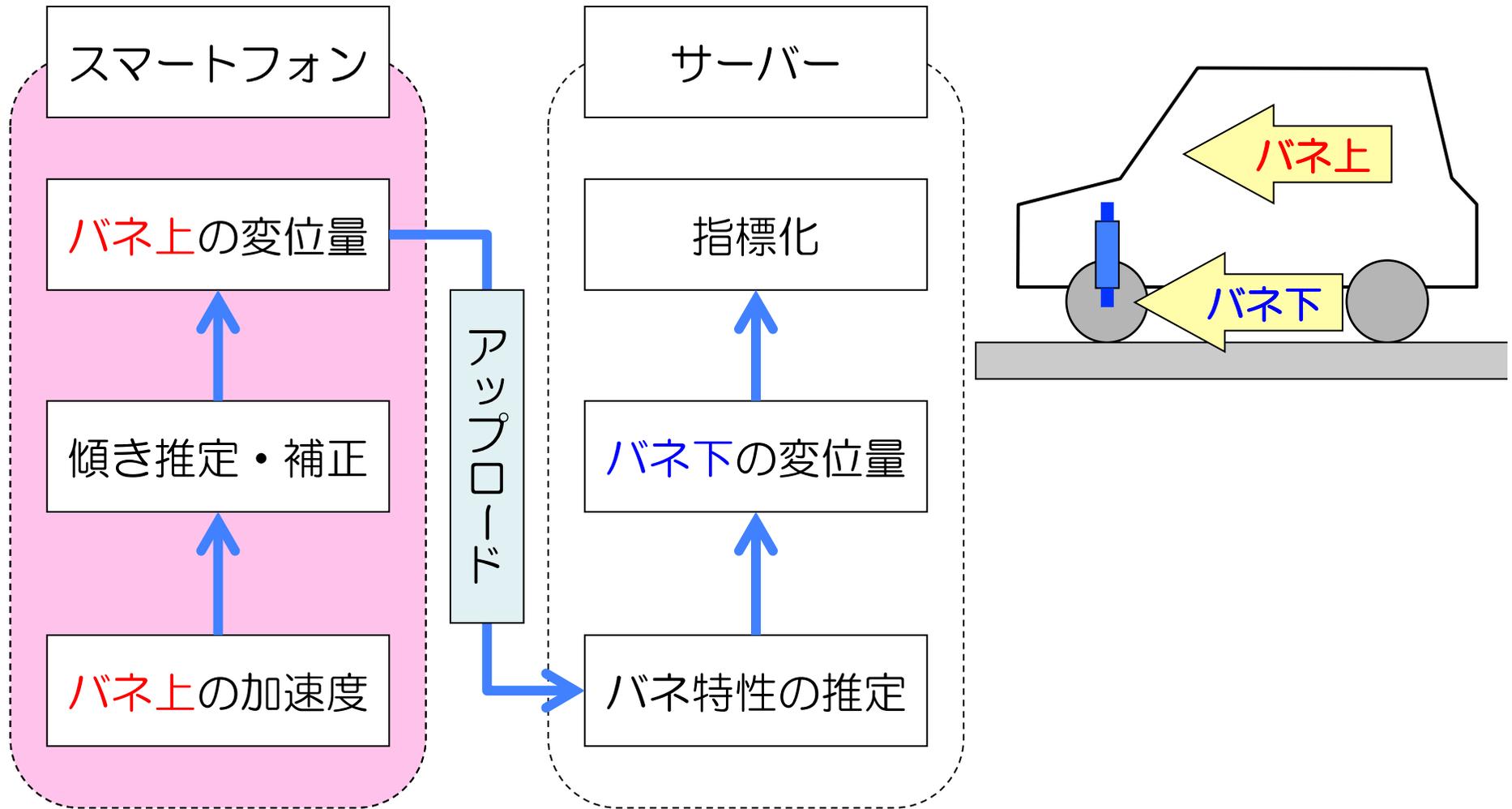
本研究

目的：地震直後の被災状況を迅速に把握したい
手近にある車、スマホで観測する

普及のため日常点検でも利用しうるものをめざす

手法：スマホを**バネ上**に設置して加速度を取得し
バネ下の上下動を推定し評価

開発手法の構成



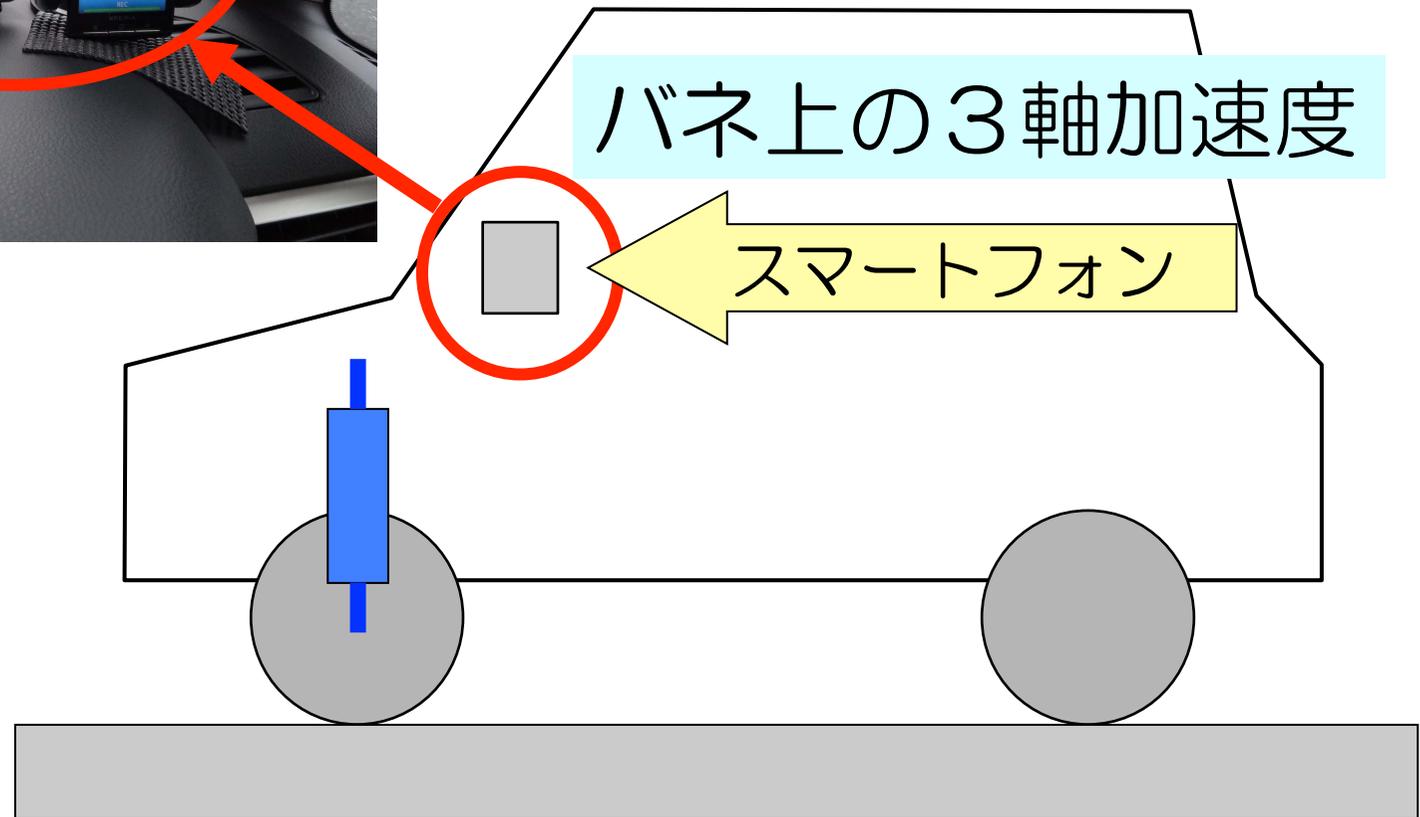
Google Playで無償配布中
BumpRecorder

近日サービスイン

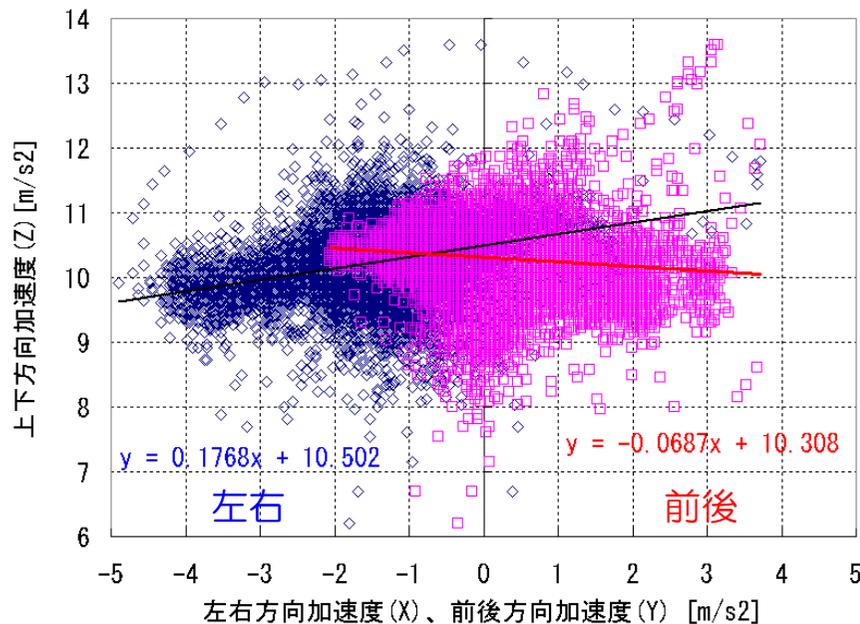
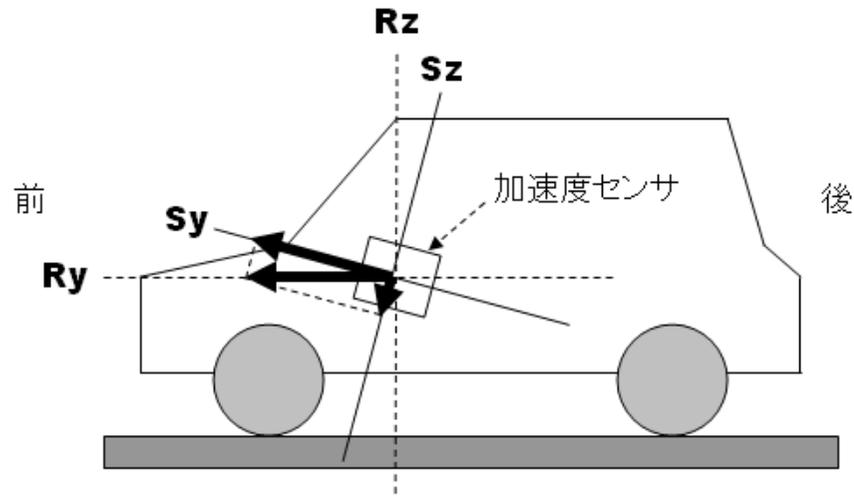
バネ上の上下変位量の計測



バネ上の加速度の計測



スマートフォンの傾き推定・補正



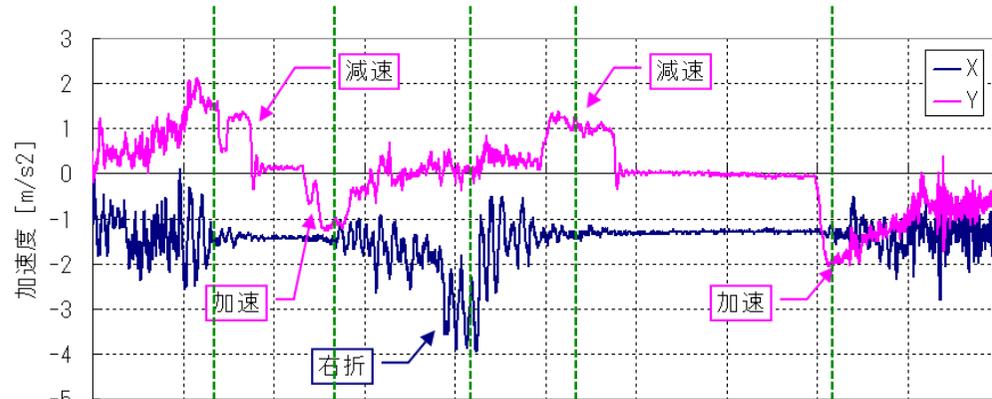
スマートフォン内蔵の加速度センサが路面と平行でないと加減速・右左折時に上下方向に見かけ上の加速度が観測される

計測前に水平に設置しても登坂勾配、カントなどの路面の傾きがあるため影響を排除しきれない

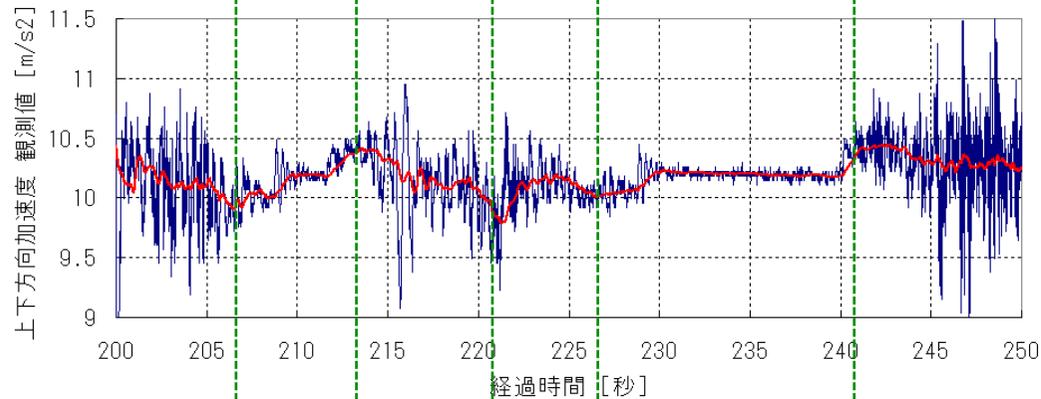
前後・左右の加速度と上下の加速度の相関関係から傾きを推定・補正

傾き補正の効果 ～交差点での観測例～

加減速と
右左折の
状況

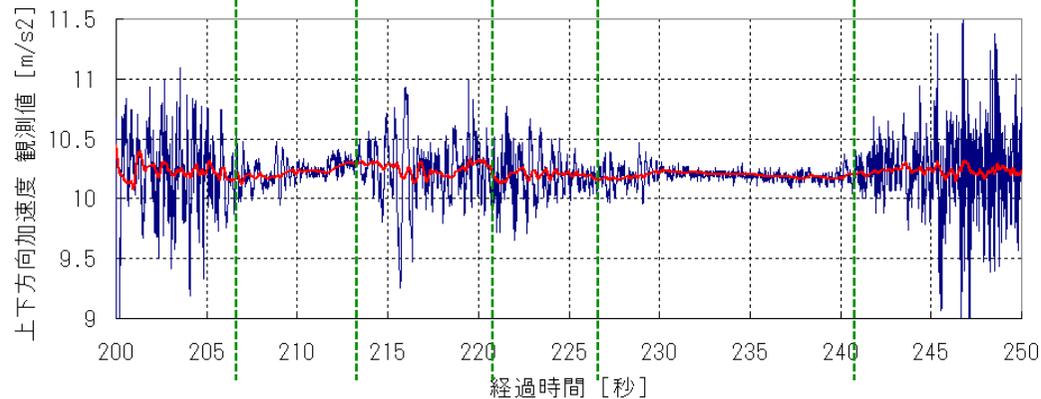


補正前の
上下加速度



補正前は加減速・
右左折の影響が上
下加速度に現れて
いる

補正後の
上下加速度



補正により影響が
抑制されている

加速度からの上下変位量の算出方法



原理

上下方向加速度を二階積分して
上下変位量を算出

問題

単純な二階積分は累積誤差が大きく
値が発散し、実用に耐えない

解決方法

それぞれの積分前に補正しながら計算する

積分ごとの補正と、バネ上の上下変位量の算出

積分1回目：上下加速度→上下速度

$$\text{加速度の補正} \quad dZ(i) = Z(i) - \frac{\sum_{j=i-5N+1}^{i+5N} Z(j)}{10N}$$

静的成分の除去
重力加速度成分
温度ドリフトなど

$$\text{加速度の積分} \quad Vz(i) = Vz(i-1) + \frac{dZ(i)}{N}$$

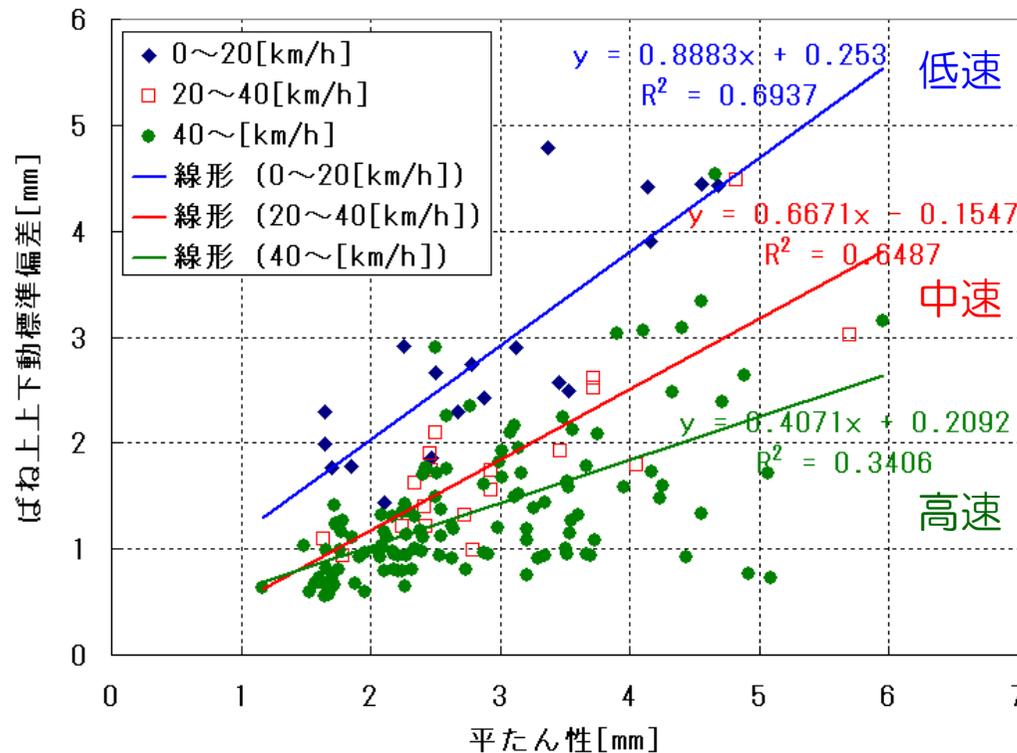
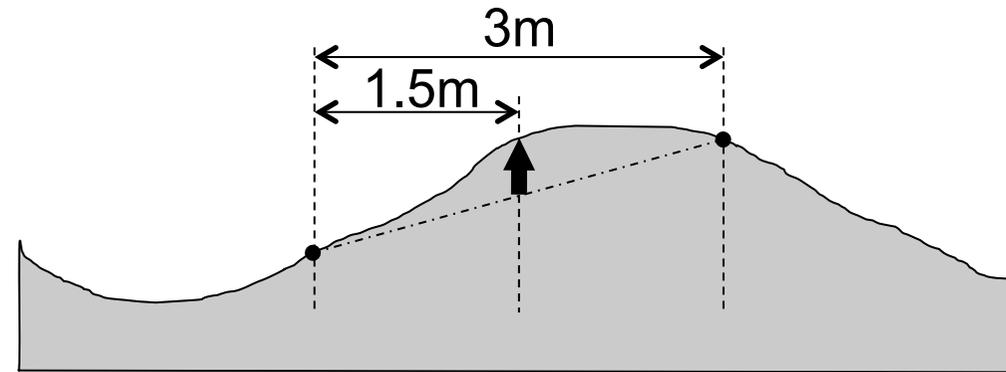
積分2回目：上下速度→上下変位量

$$\text{速度の補正} \quad dVz(i) = Vz(i) - \frac{\sum_{j=i-5N+1}^{i+5N} Vz(j)}{10N}$$

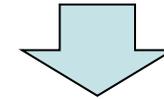
静的成分の除去
登坂上昇速度など

$$\text{速度の積分} \quad Lz(i) = Lz(i-1) + \frac{dVz(i)}{N}$$

平坦性での比較（既往研究：2012.11雑誌「道路」）

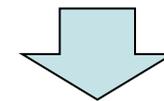


3mプロフィールメータの
読み値に相当する値に変換
100m区間の標準偏差を算出



路面性状測定車で計測した
平坦性と比較

- 低速域では相関あり
- **中高速域の相関が劣る**



実用性に課題

- 交通の流れに乗れない
- ”ながら”計測ができない
- 計測に時間がかかる

精度改善への取り組み バネ下の上下変位量の推定



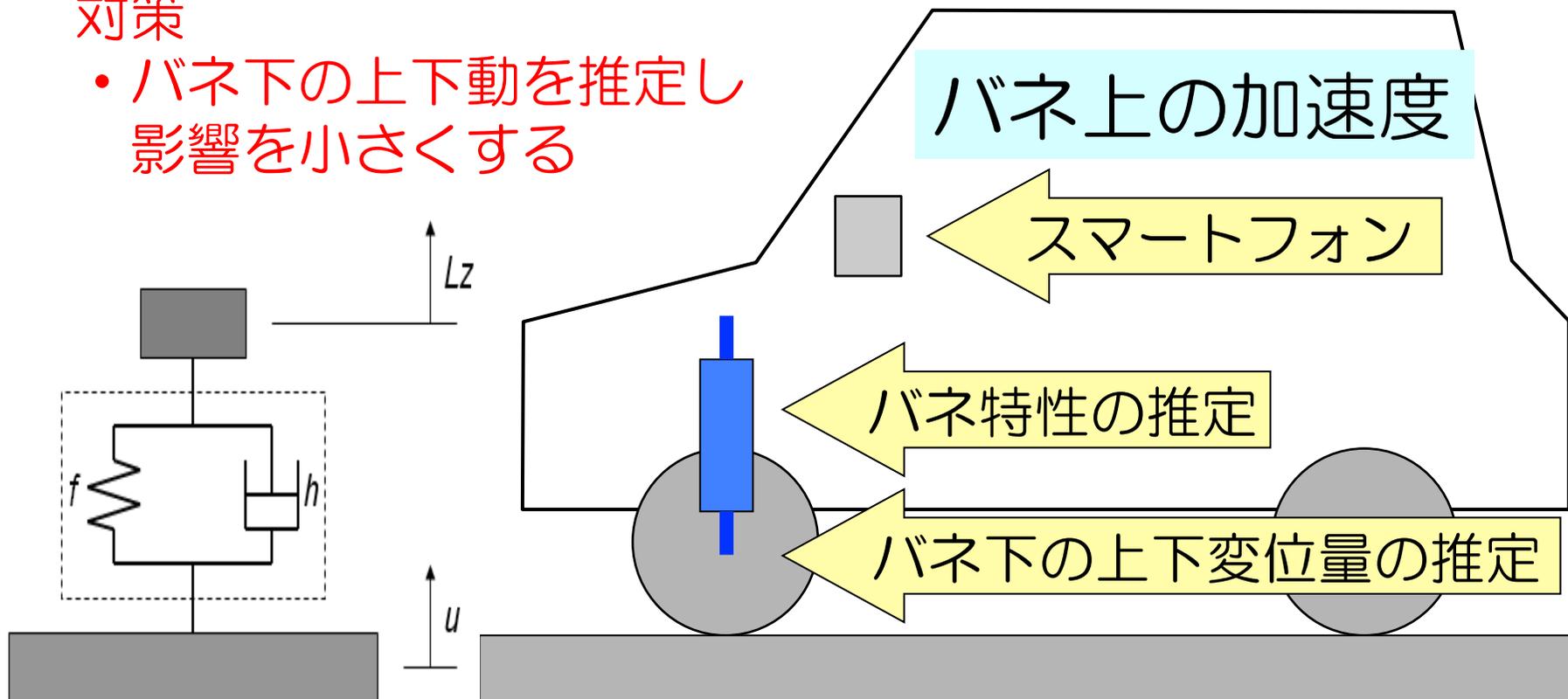
改善方法 ～バネ下の上下変位量の推定～

中高速域で相関が劣る原因

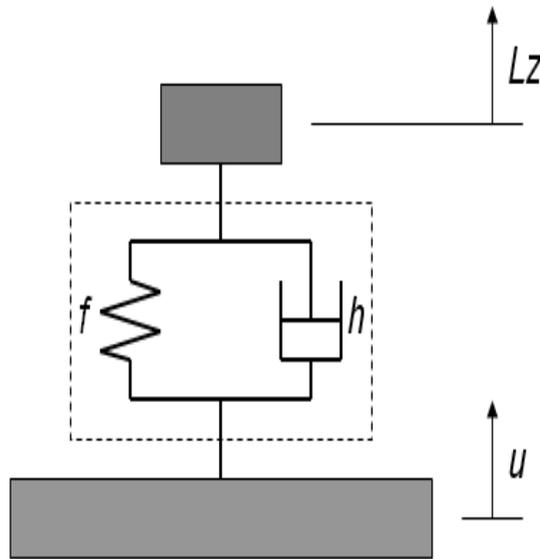
- ショックアブソーバが車軸の上下動を吸収するためバネ上の上下動が小さくなる。
- 速度が速いほどその影響が顕著に現れる。

対策

- バネ下の上下動を推定し影響を小さくする



バネ特性の推定方法と、バネ下の上下変位量の算出



ばね定数： f

走行中の上下方向の加速度データを
FFT解析し1.5[Hz] 近傍の固有振動数を
ショックアブソーバのものとして抽出

減衰比： h

FFT解析の結果を用い、半値幅法により
 f に対応した h を判定

1自由度のバネモデルの運動方程式を解き、
バネ上の上下変位量 L_z から、
バネ下の上下変位量 u を推定

$$\ddot{L}_z + 2h\omega(\dot{L}_z - \dot{u}) + \omega^2(L_z - u) = 0$$

運動方程式

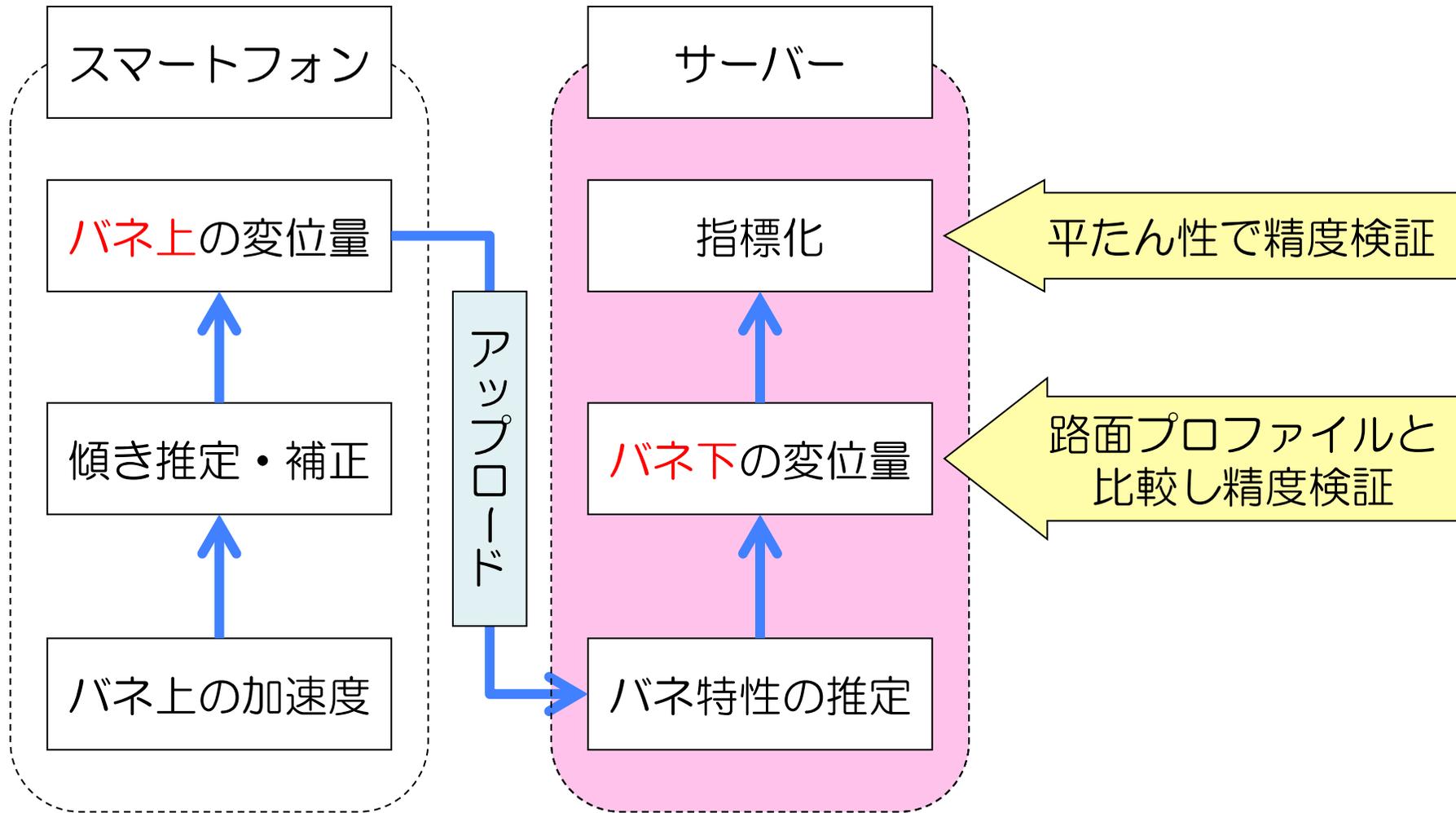
$$\omega = 2\pi f$$

角振動数

$$u(i) = u(i-1) + \frac{\dot{u}(i) + \dot{u}(i-1)}{2N}$$

和分（積分）

開発手法の構成



Google Playで無償配布中
BumpRecorder

近日サービスイン

精度検証結果

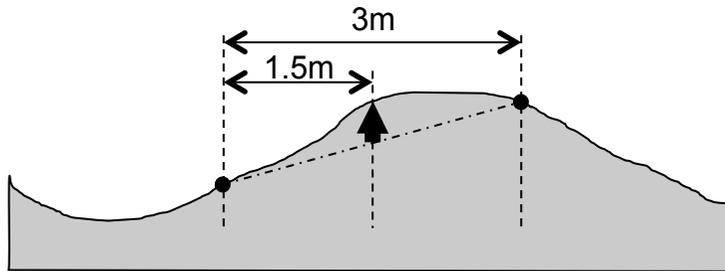
3mプロフィールメータでの読み値相当
および平坦性での比較



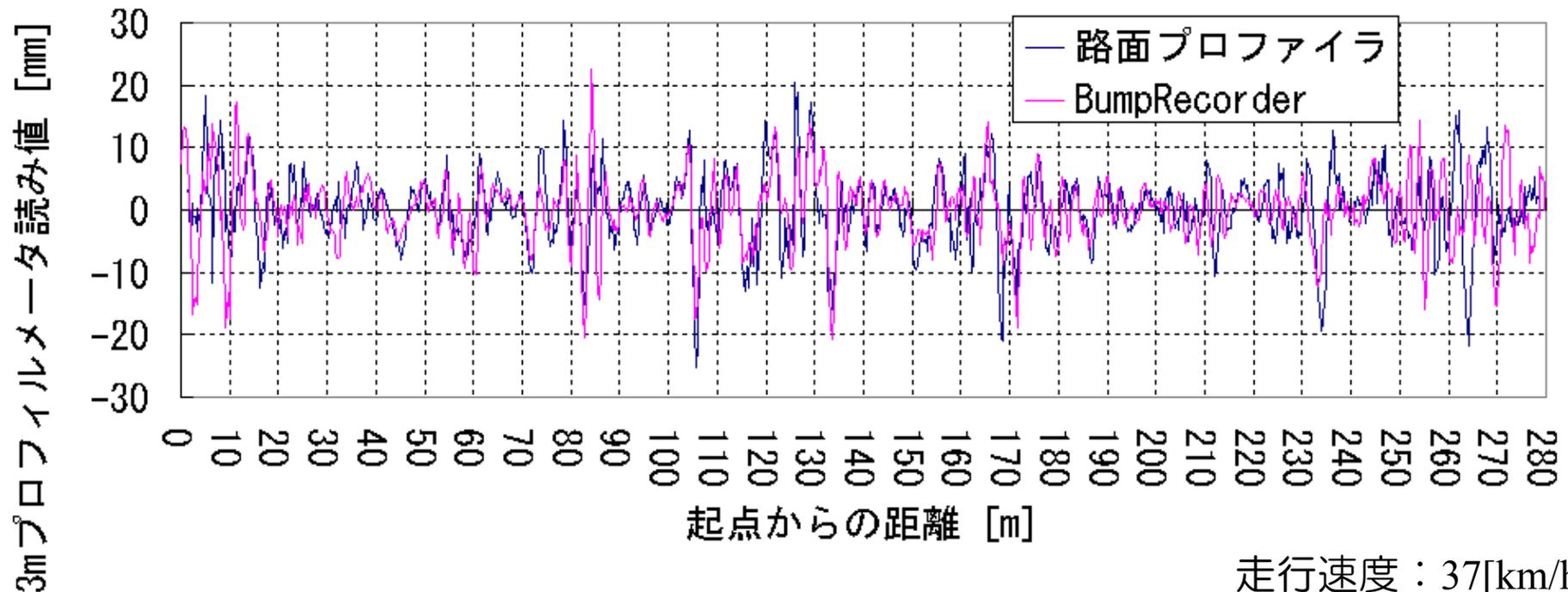
比較結果：3mプロフィールメータの読み値

クマタカエンジニアリングの路面プロファイラMRP-3000と
開発アプリBumpRecorderでの計測値を比較

※路面プロファイラのデータは東亜道路工業様にご提供を頂きました。

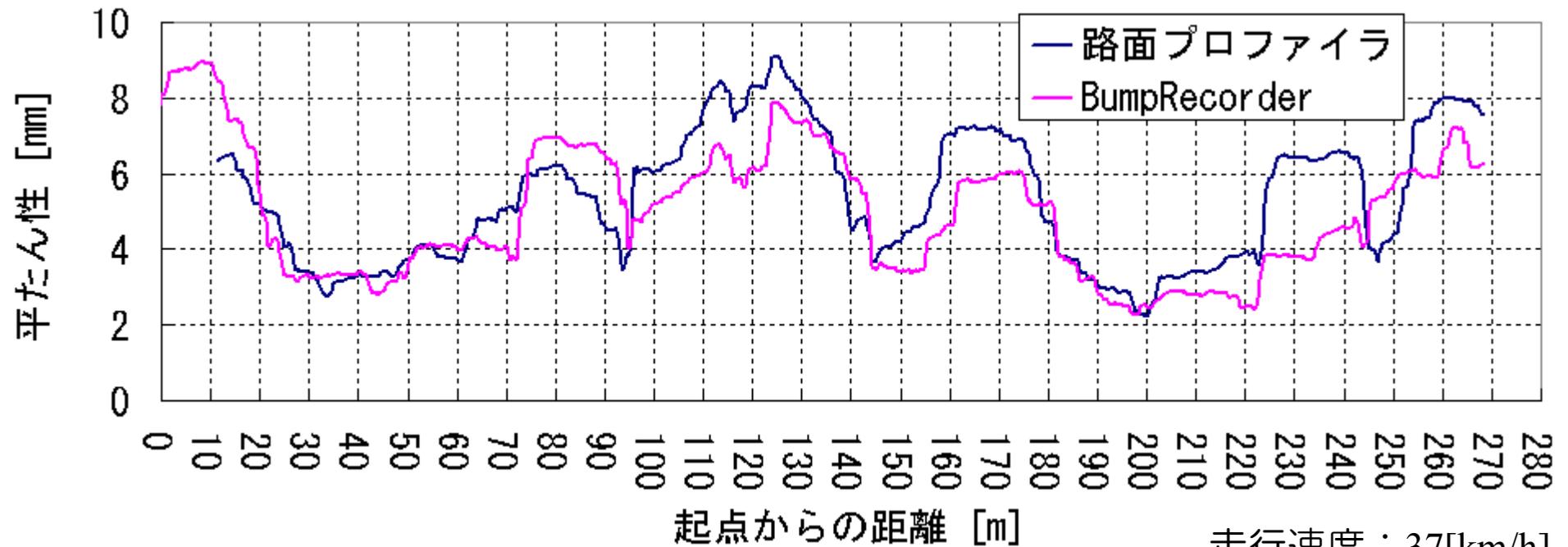


BumpRecorderの計測値には標高変化は現れないため直接比較ができない
3mプロフィールメータの読み値に変換し比較
⇒傾向は一致、位置ずれ散見

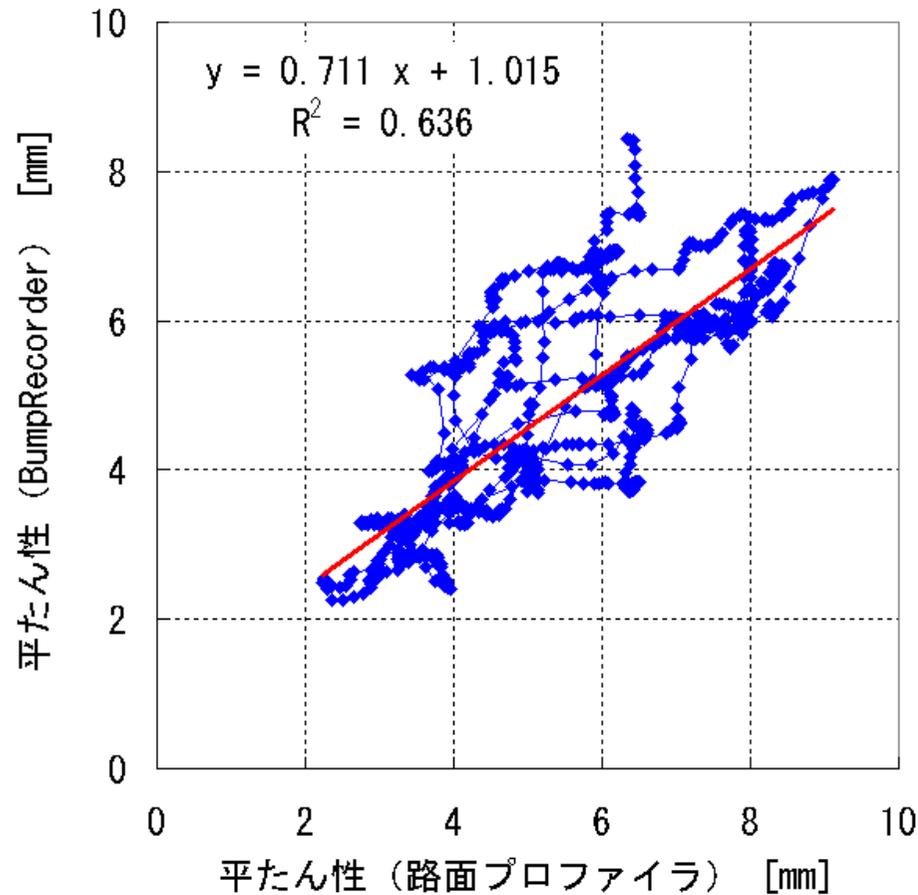


比較結果：平坦性（20m区間）

3mプロフィールメータ読み値の前後10m(20m区間)の標準偏差
(すなわち平坦性)を求め比較



比較結果：平坦性（20m区間）

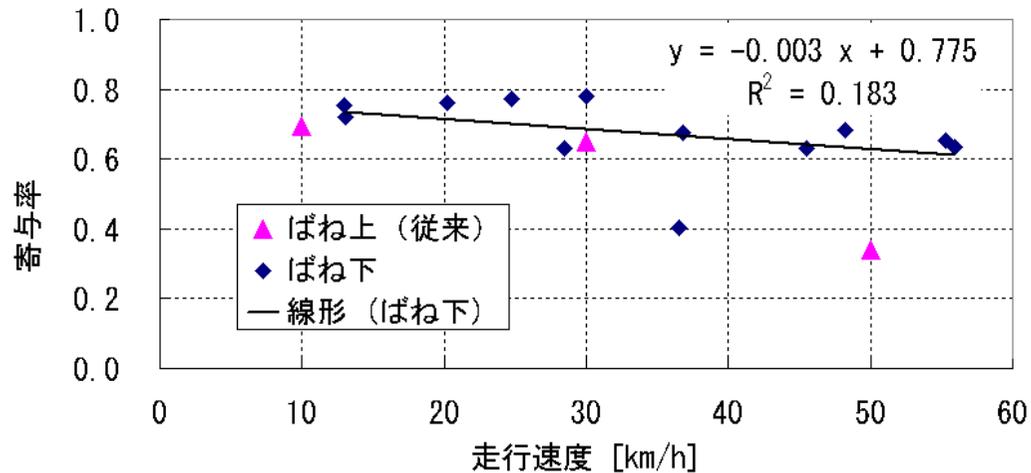


走行速度：37[km/h]

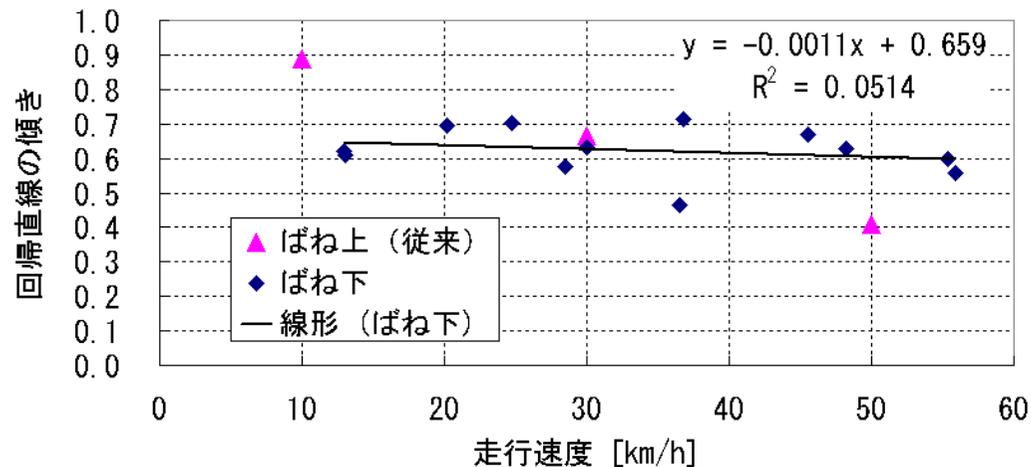
MRP-3000とBumpRecorderの値で
最小二乗法で回帰直線を導出

- 寄与率：0.63（相関係数：0.79）
 - 傾き：0.71
- ⇒相関は良いが、
値が小さめに出ている

比較結果：平坦性（20m区間）



- バネ下推定により
従来のバネ上評価より
走行速度の影響が
抑制できたことを確認



- 平坦性が6~7割の値
となっていることを確認
⇒今後の課題

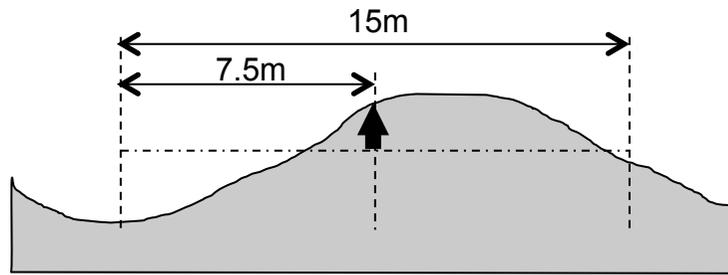
精度検証結果

より長い周期成分についての比較
15m区間の平均高さに対する
相対高さでの比較

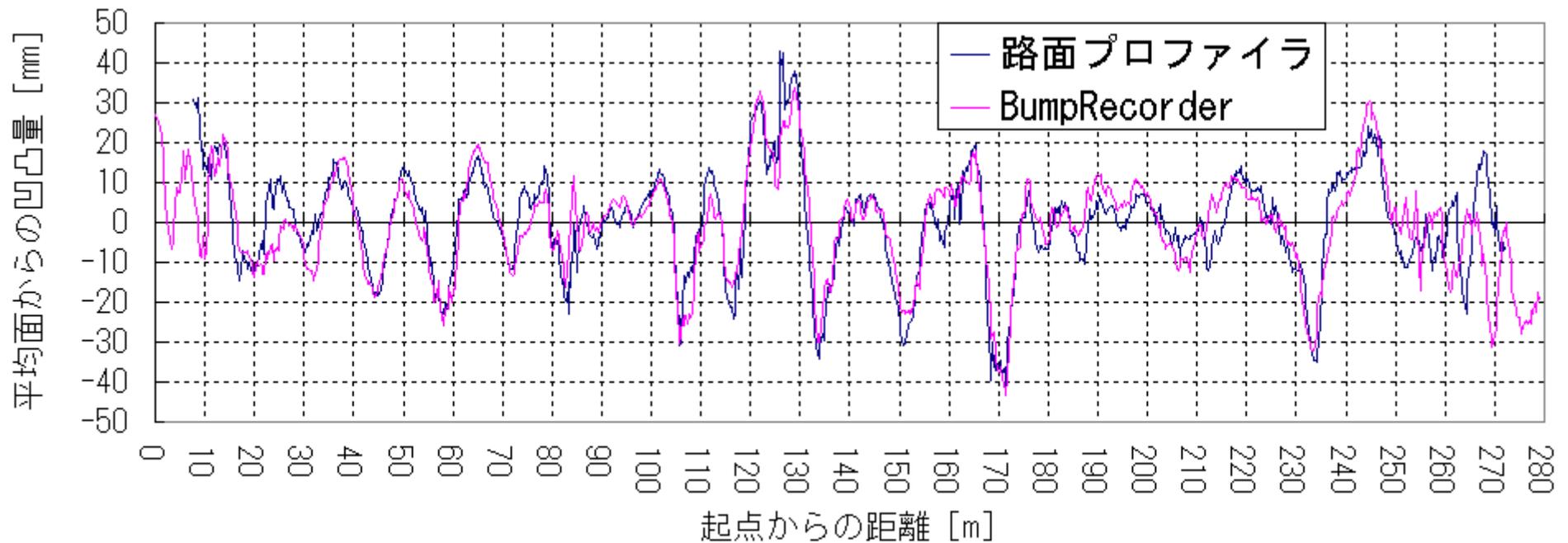


比較結果：15m区間平均高さに対する相対高さ

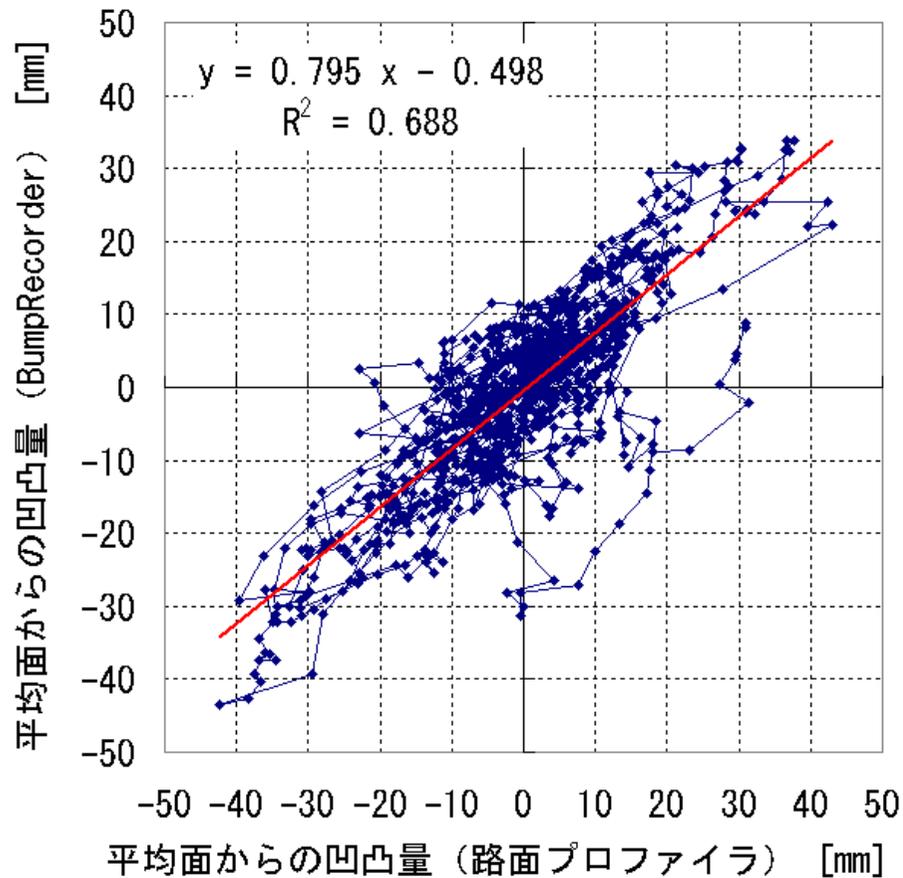
MRP-3000とBumpRecorderの双方で
15m区間の平均高さに対する相対高さを求め比較



傾向は一致
位置ずれも大きくない



比較結果：15m区間平均高さに対する相対高さ



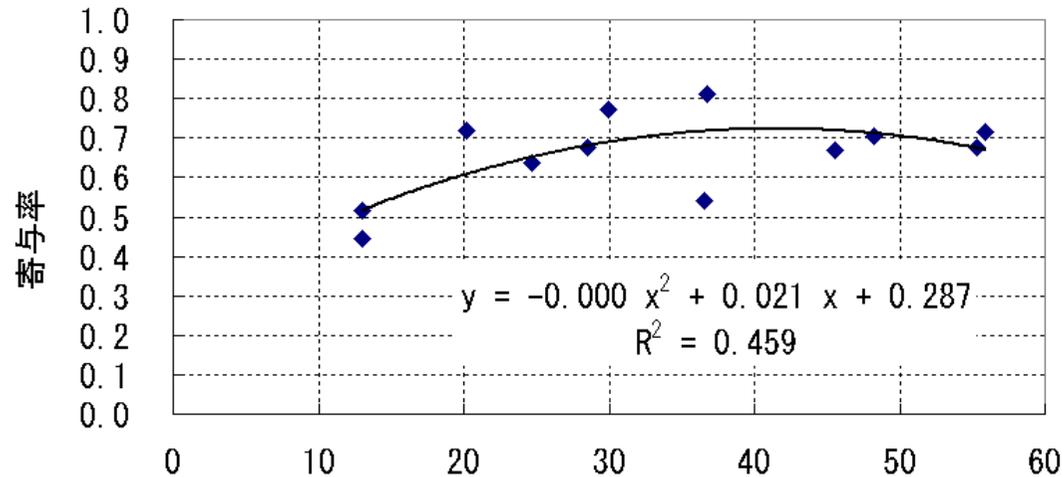
MRP-3000とBumpRecorderの値で
最小二乗法で回帰直線を導出

- 寄与率：0.68（相関係数：0.82）
 - 傾き：0.79
- ⇒相関は良いが、
値が小さめに出ている

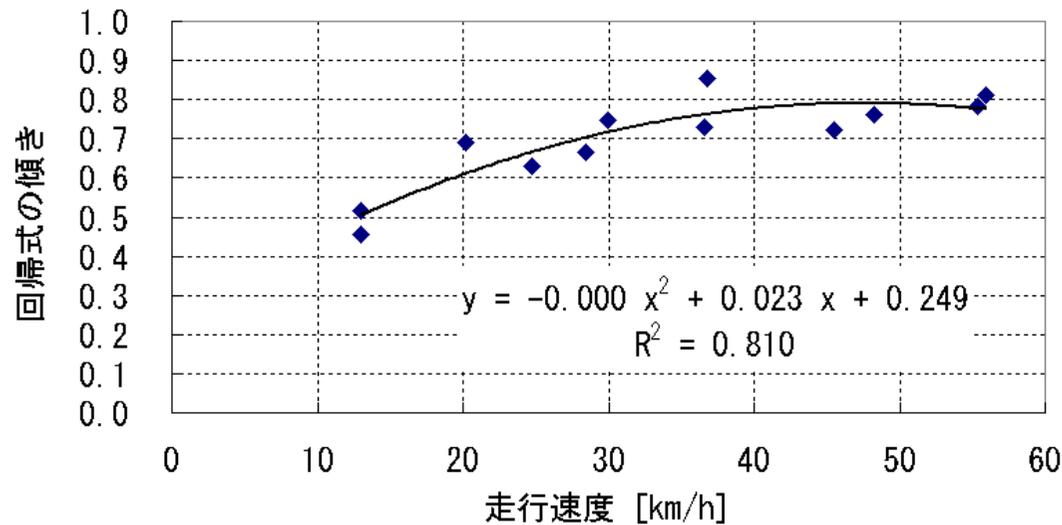
平坦性での比較

- 寄与率：0.63（相関係数：0.79）
 - 傾き：0.71
- ⇒長い周期のほうに特性が
あっている模様

比較結果：15m区間平均面に対する相対高さ



- 20[km/h] 未満の低速域で相関が悪くなっていることを確認
⇒今後の課題



- 値が7~8割の値と なっていることを確認
- 低速域ではより小さくなることを確認
⇒今後の課題

まとめ



まとめ



- ダッシュボード上に設置したスマートフォンのみで計測を行い路面縦断プロファイルを推定
- 従来のバネ上で評価より速度依存性を抑制し中高速域での精度が向上し、実用性も向上
- パトロール時などの「ながら計測」により日常的な観測が可能になるのではと期待

今後の課題

- 値が小さめになる現象の解明と改善
- **IRI**による精度検証の実施