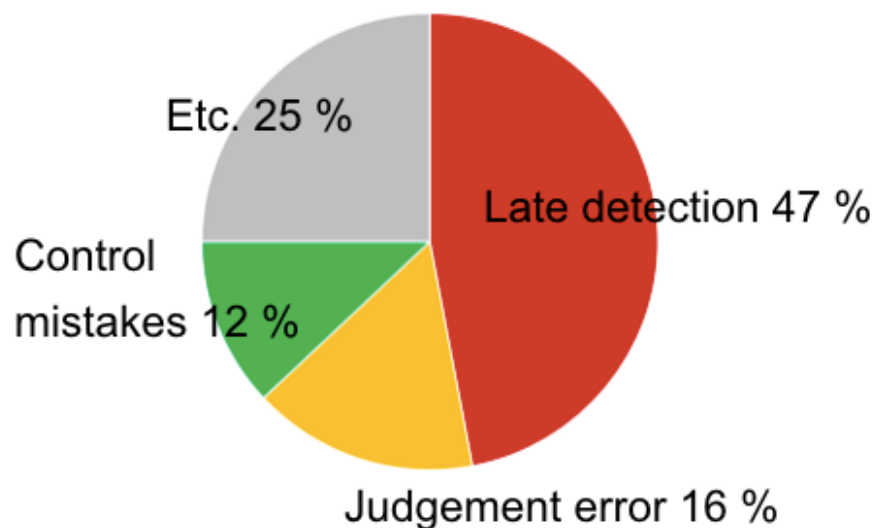


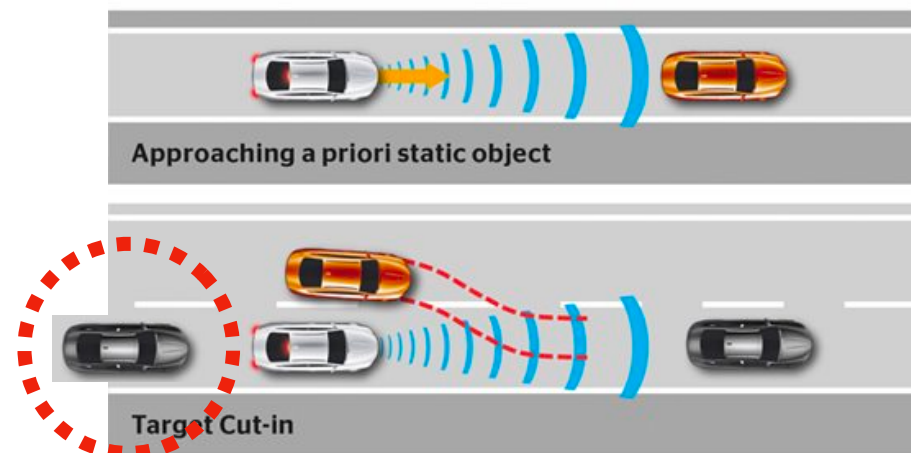
背景

約90%以上の交通事故が人為的要因により発生 [警視庁, 2014]

人為的要因による交通事故の内訳



Adaptive Cruise Control (ACC)



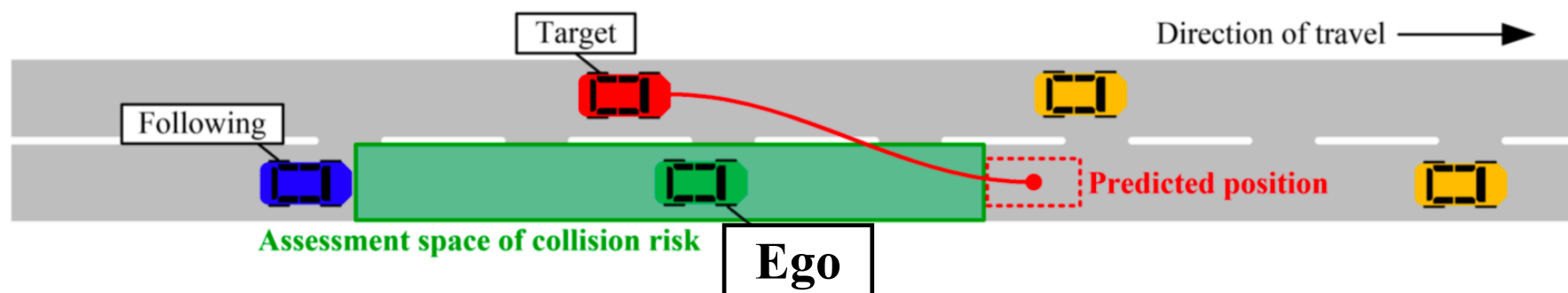
<https://www.continental-automotive.com/getattachment/86e8334f-57c2-4232-9ee4-eef5e593b37b/attachment.aspx?width=500>

従来のACCでは、後続車との衝突リスクが上昇!!

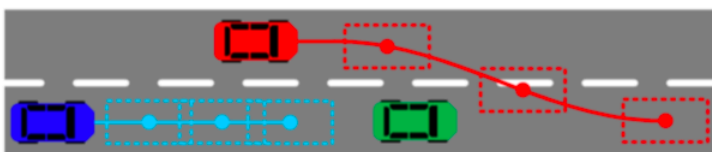
[Touran, 1999]

先行研究 1

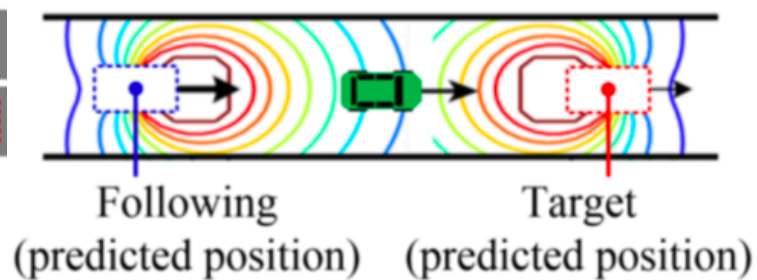
割り込み前車と後続車の両方を考慮した車間距離制御システム [Woo, 2018]



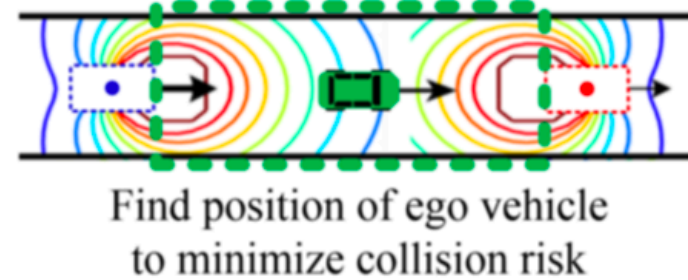
1. 走行経路予測



2. 衝突リスク評価



3. 最適車間距離の探索



操作特性の個人差, 走行環境の変化による予測精度の低下

先行研究 2

先行車追従モデル：[General Motor \(GM\) モデル](#)

$$\hat{a}_f^t = \alpha \left[\frac{(v_f^t)^m}{(x_e^{t-\Delta T} - x_f^{t-\Delta T})^l} \right] (v_e^{t-\Delta T} - v_f^{t-\Delta T})$$

Most reliable estimates of parameter combinations for the GM model

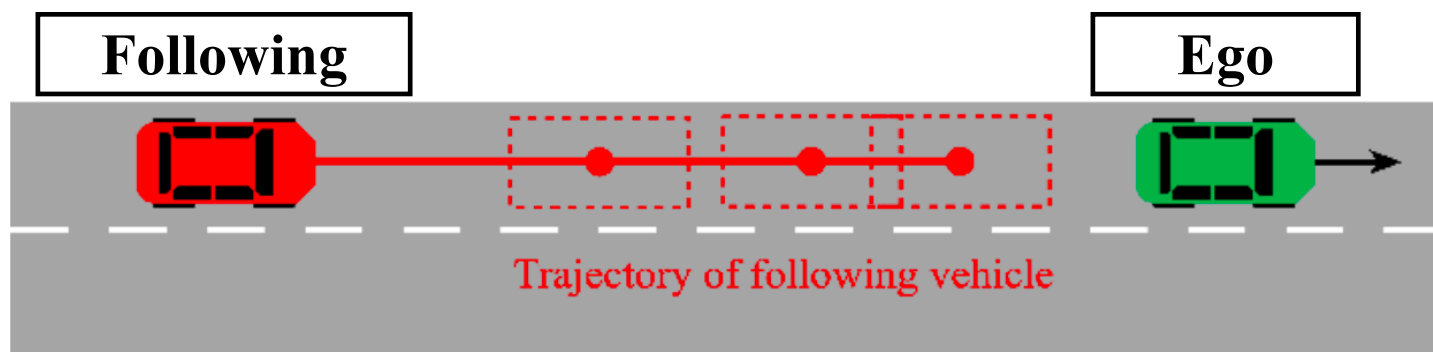
Source	α	m	l
May and Keller (1967)	1.33×10^{-3}	0.8	2.8
Heyes and Ashworth (1972)	0.8	-0.8	1.2
Aron (1988)	2.45 / 2.67 / 2.46	0.655 / 0.26 / 0.14	0.676 / 0.5 / 0.18
Ozaki (1993)	1.1 / 1.1	0.9 / -0.2	1 / 0.2

一定のパラメータ設定による予測精度の低下

研究目的

追従運転者の**操作特性を**実時間で推定し
数秒先までの**走行経路を**予測可能な手法の構築

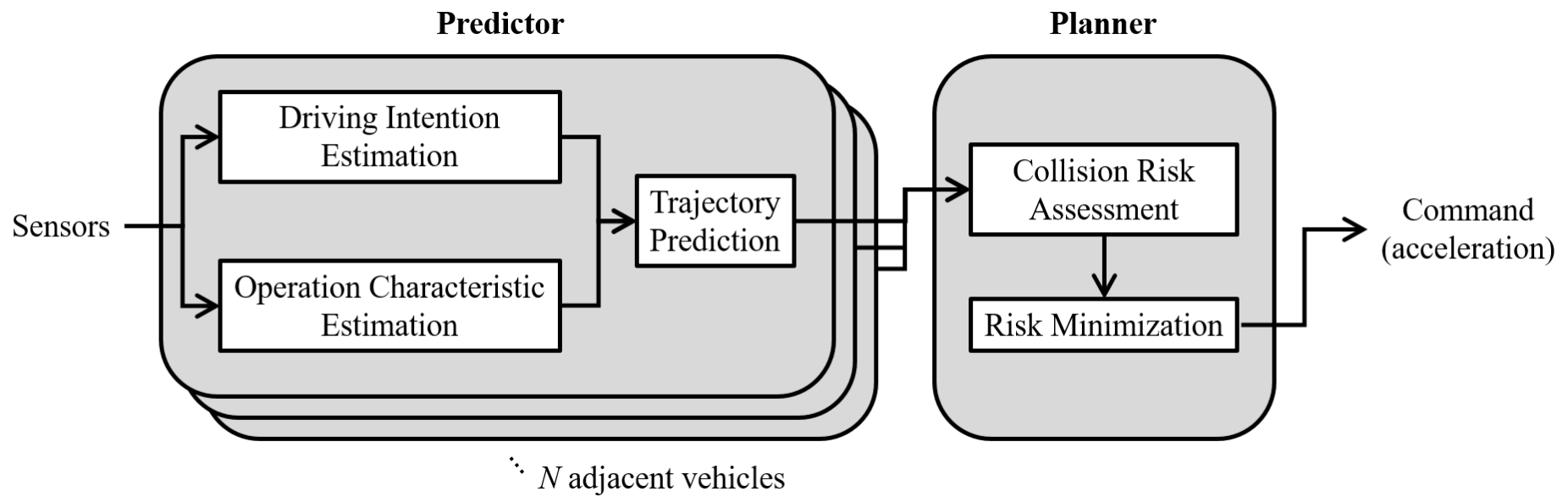
問題設定



- 自車は計測装置を保有
- 計測装置のセンシング範囲：120 m
- 周辺車両の位置と速度を計測可能
- 自動車専用道路を想定

- 計測周期：0.04 s (25 Hz)
- 予測対象：後続車 (Following)
- 2秒先までの走行経路を予測
- 進行方向のみ予測

アプローチ



提案手法 1：モデルパラメータの推定

Step 1. GMモデルに基づく3つのモデルパラメータ推定

$$\hat{a}_f^t = \alpha \frac{(v_f^t)^m}{(x_e^{t-\Delta T} - x_f^{t-\Delta T})^l} (v_e^{t-\Delta T} - v_f^{t-\Delta T})$$

$$\alpha, l, m = \arg \min_{\alpha, l, m} |a_f^{t-1} - \hat{a}_f^{t-1}|$$

- Levenberg-Marquardt法を用いた最適化

提案手法 2：反応時間の推定

Step 2. 反応時間の最適化

$$\Delta T = \arg \min_{\Delta T} |a_f^{t-1} - \hat{a}_f^{t-1}(\Delta T)|$$

- ・探索空間（0.5秒～2.5秒）を0.1秒刻みに探索し，最適値を算出

Step 3. 推定値の平均化

- ・操作特性は短時間で大きく変化しないと仮定
- ・一定の大きさの窓による平均化

提案手法 3：走行経路の予測

推定された操作特性変数の値に基づき，2秒先までの走行経路を予測

$$\hat{v}_f^{t+1} = v_f^t + \hat{a}_f^t \Delta t,$$
$$\hat{x}_f^{t+1} = x_f^t + v_f^t \Delta t,$$



GMモデル

- ・ 自車は，2秒間定速走行すると仮定

提案手法の評価

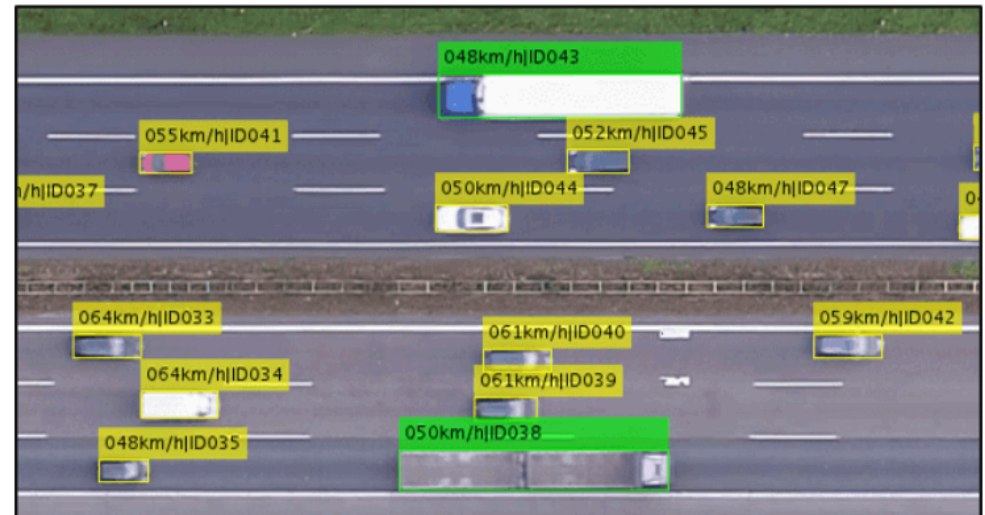
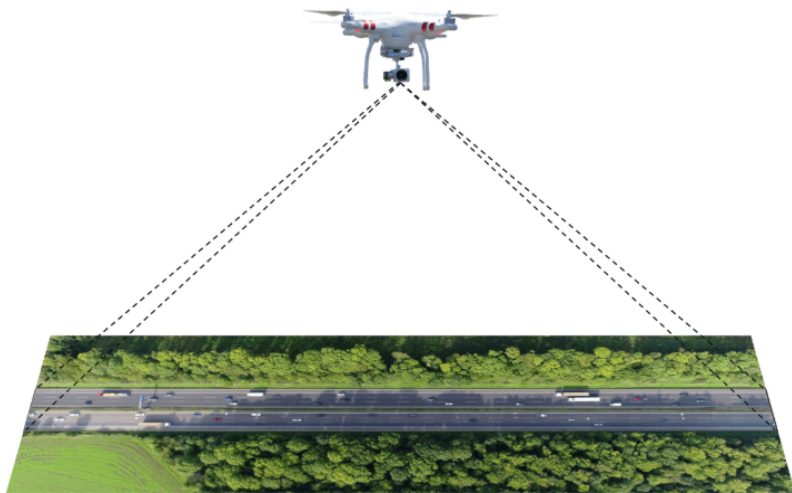
ドローンから撮影された実交通流データを用いて走行経路の予測精度を評価

: HighD dataset (<https://www.highd-dataset.com/>)

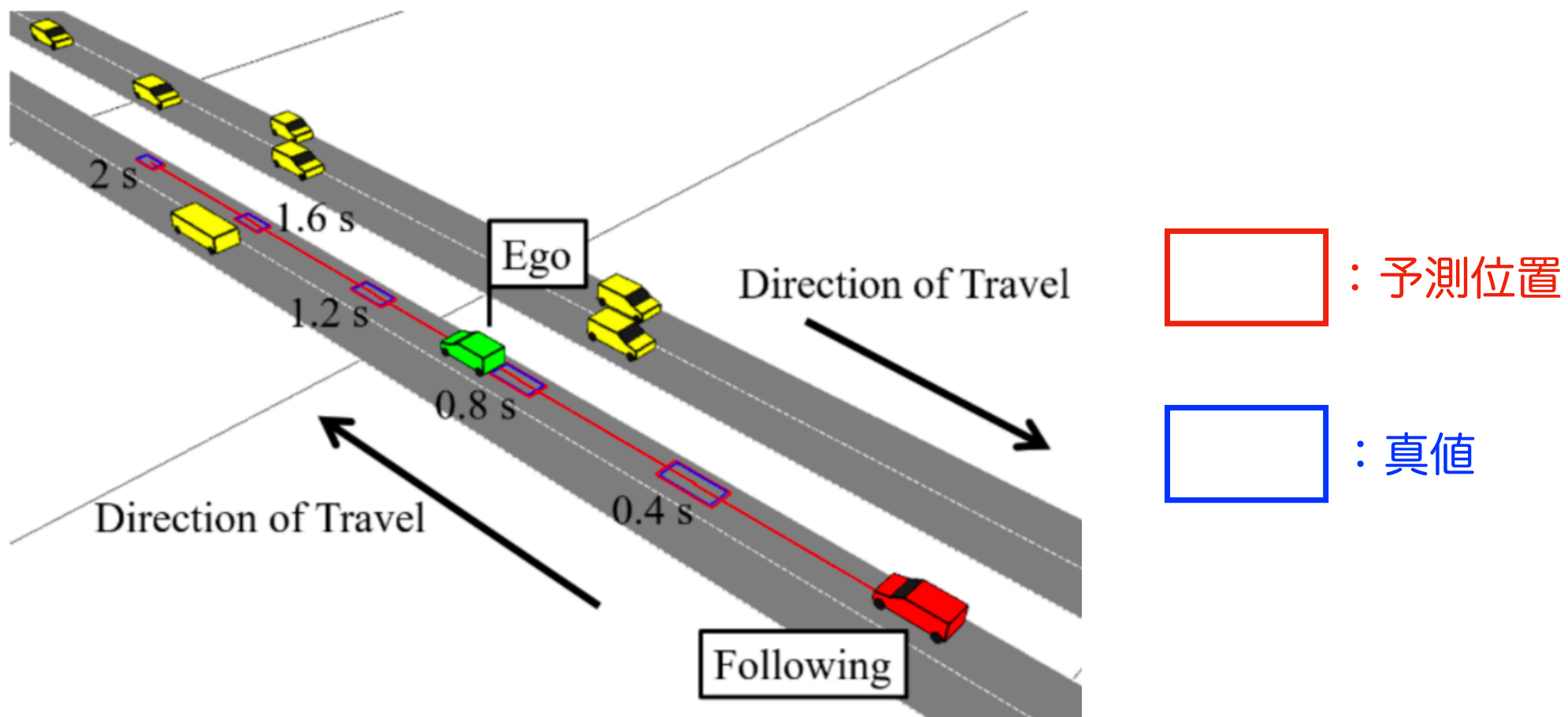
: ドイツの6ヶ所の自動車専用道路上における交通流

: 110,500台, 147時間

[Krajewski, 2018]



予測結果の一例



予測精度の比較

- ・ 913台の走行データ使用

Prediction term	Methods				
	Heyes ⁽¹⁶⁾	Ozaki ⁽¹⁷⁾	Aron ⁽¹⁸⁾	Proposed (Constant reaction time)	Proposed
0.4 s	0.028 m	0.055 m	0.160 m	0.023 m	0.023 m
0.8 s	0.070 m	0.196 m	0.640 m	0.040 m	0.040 m
1.2 s	0.145 m	0.442 m	1.477 m	0.066 m	0.065 m
1.6 s	0.249 m	0.794 m	2.690 m	0.109 m	0.109 m
2.0 s	0.381 m	1.257 m	4.291 m	0.177 m	0.176 m
Average	0.130 m	0.398 m	1.336 m	0.063 m	0.062 m

従来 of 予測誤差 (**0.130 m**) VS 提案手法 of 予測誤差 (**0.062 m**)

反応時間の推定の有効性が確認されなかった

予測精度の比較 (追加の結果)

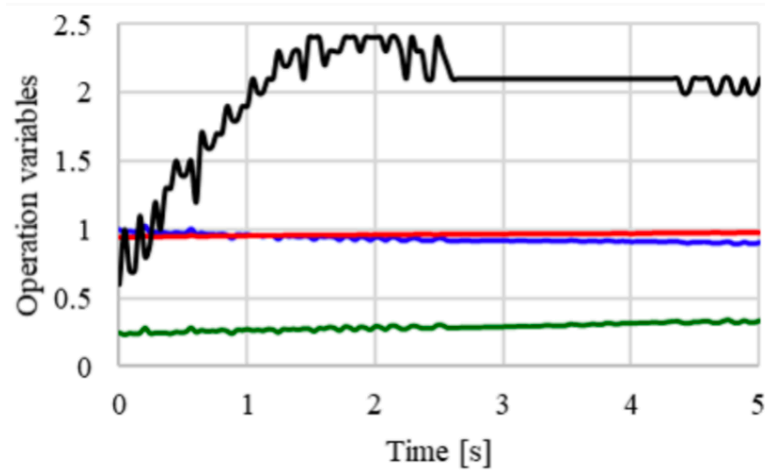
- ・ 6,927台の走行データ使用

Location ID	Heyes [15]	Ozaki [16]	Aron [17]	Proposed
1	0.159 m	0.215 m	0.211 m	0.065 m
2	0.130 m	0.178 m	0.181 m	0.062 m
3	0.093 m	0.150 m	0.133 m	0.055 m
4	0.115 m	0.165 m	0.148 m	0.062 m
5	0.180 m	0.216 m	0.218 m	0.079 m
6	0.155 m	0.202 m	0.195 m	0.070 m
Average	0.139 m	0.189 m	0.183 m	0.065 m
Standard deviation	0.032 m	0.028 m	0.034 m	0.008 m

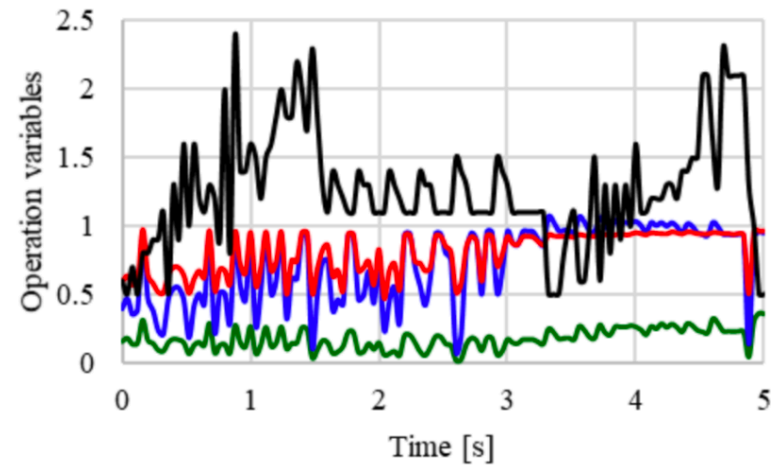
走行環境の変化に対応可能！

考察

- ・ 前方に割り込みが発生した際の走行データのみを用いての評価が必要
- ・ 操作特性の推定結果が不安定なケースが発生



安定した推定結果



不安定な推定結果

- ・ 予測時間2秒間における自車の速度変化も考慮に含めるべき

結論

- ・ 追従運転者の運転特性を実時間で推定可能な手法を構築
- ・ GMモデルにおける3つのパラメータと反応時間を推定
- ・ 実交通流データによる評価で、提案手法の評価を確認
- ・ 運転者の個人差および走行環境の変化に対応可能
- ・ 反応時間の推定の有効性は追加の検討が必要
- ・ 操作特性の推定が不安定なケースが確認され、改善が必要