

---

---

# **Forward collision warning based on a driver model to increase drivers' acceptance**

Puente Guillen, P., & Gohl, I. (2019).  
*Traffic Injury Prevention*, 20(sup1), S21–S26.

2024/12/10  
ブン

---

---

---

---

# Introduction

---

---

## 自転車との事故

- 2014年に、ヨーロッパでは2000名以上の自転車利用者が交通事故で死亡し、全交通事故死者数の約8%を占めている (European Commission, 2015)
- 2010年から2013年にかけて全交通死亡者数は18%減少したが、自転車利用者の死亡はわずか3%減少にとどまった (European Commission, 2015)
- 全交通事故死者数は2001年から2012年の間で大幅に減少したにもかかわらず、自転車利用者の死者割合は同期間で増加している (Op den Camp et al., 2016)

## 事故特性に関する検討

- 多くのEUプロジェクトが自転車死亡事故シナリオ特定に取り込んでいる
  - ASPECSSプロジェクト (2014) では、自転車死亡事故の約75%が**交差点で発生**することを確認 (Rodarius et al., 2014)
  - CATSおよびPROSPECTプロジェクトは、42–52%の死亡事故が「車両直進中、歩行者や自転車が側方から横断」する状況で発生することを示した (Op den Camp et al., 2016; Wisch et al., 2016)

## 事故防止のための対策

- 自動車メーカーや消費者団体は、前方衝突アラーム(FCW)などの先進安全技術の開発・評価に注力 (AUDI AG, 2018; Jaguar Land Rover, 2018; Toyota Motor Corporation, 2017)
- 多くの研究がFCWの安全性向上効果を報告 (Bargman et al., 2017; Cicchino, 2017; Fitch et al., 2008)
  - 各研究でFCWの適切なアラームタイミングは異なる

## アラームタイミングに関する検討

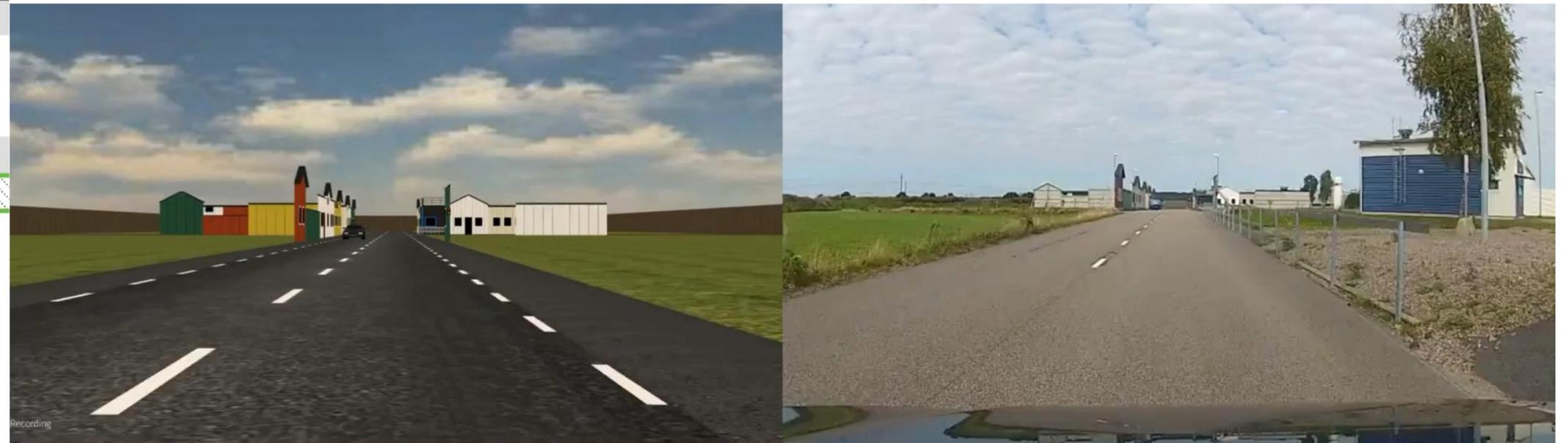
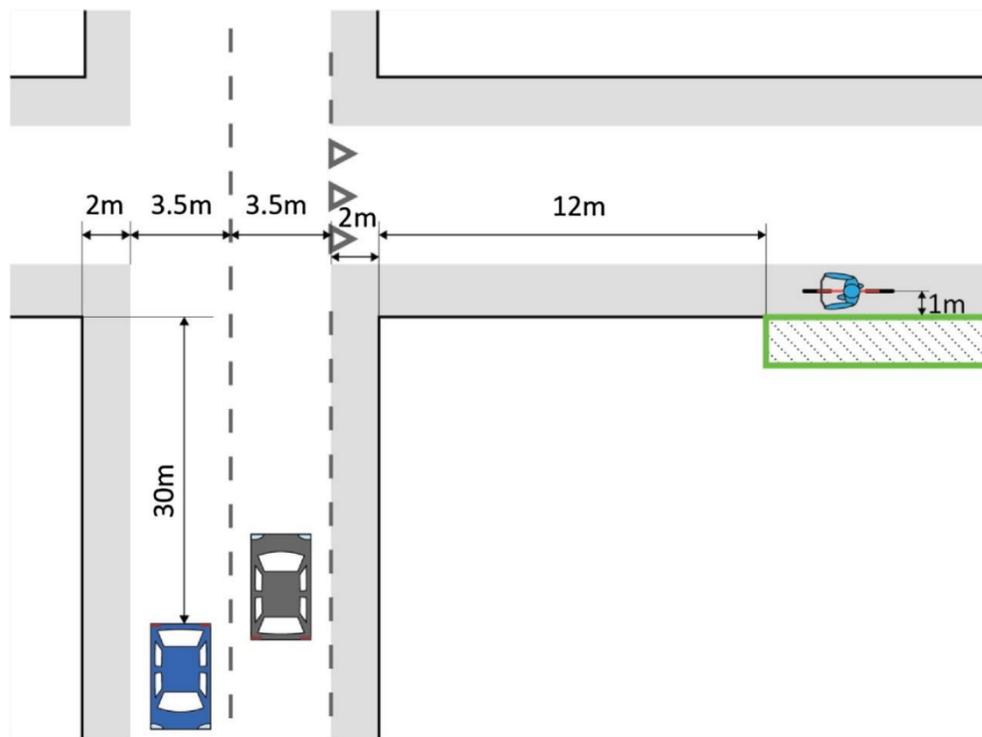
- Large et al. (2018): TTC = 5sでのアラームはTTC = 2sより受容性 (acceptance) と安全性 (safety benefits) が高い
- Abe & Richardson (2006): TTC = 2.2sでのアラームはTTC = 1.7sより信頼性 (trust) が高い評価
  - アラームタイミング決定の客観的基準は明確ではない
- McGehee et al. (2002): 先行車・自車の速度・減速度、ドライバー反応時間を考慮して適切なアラームタイミングを算出
  - 受容性評価はなし

## 本研究の目的

- The Comfort Boundary Model (CBモデル) を用い、FCWのアラームタイミングを設定
  - CB: ドライバーが自転車横断に直面した際、「心理的にブレーキを踏みたくなるタイミング」と定義される
- CB内とCB外の2種類のタイミングでアラームを提示し、ドライバーの受容性(システム体験後の評価)を比較
- 仮説: CB外でのアラーム(より遅いタイミング、より「ギリギリ」な状況)が正しいアラームとして受け入れられやすく、CB内のアラーム(まだ余裕がある段階でのアラーム)はFAとみなされ受け入れられにくい

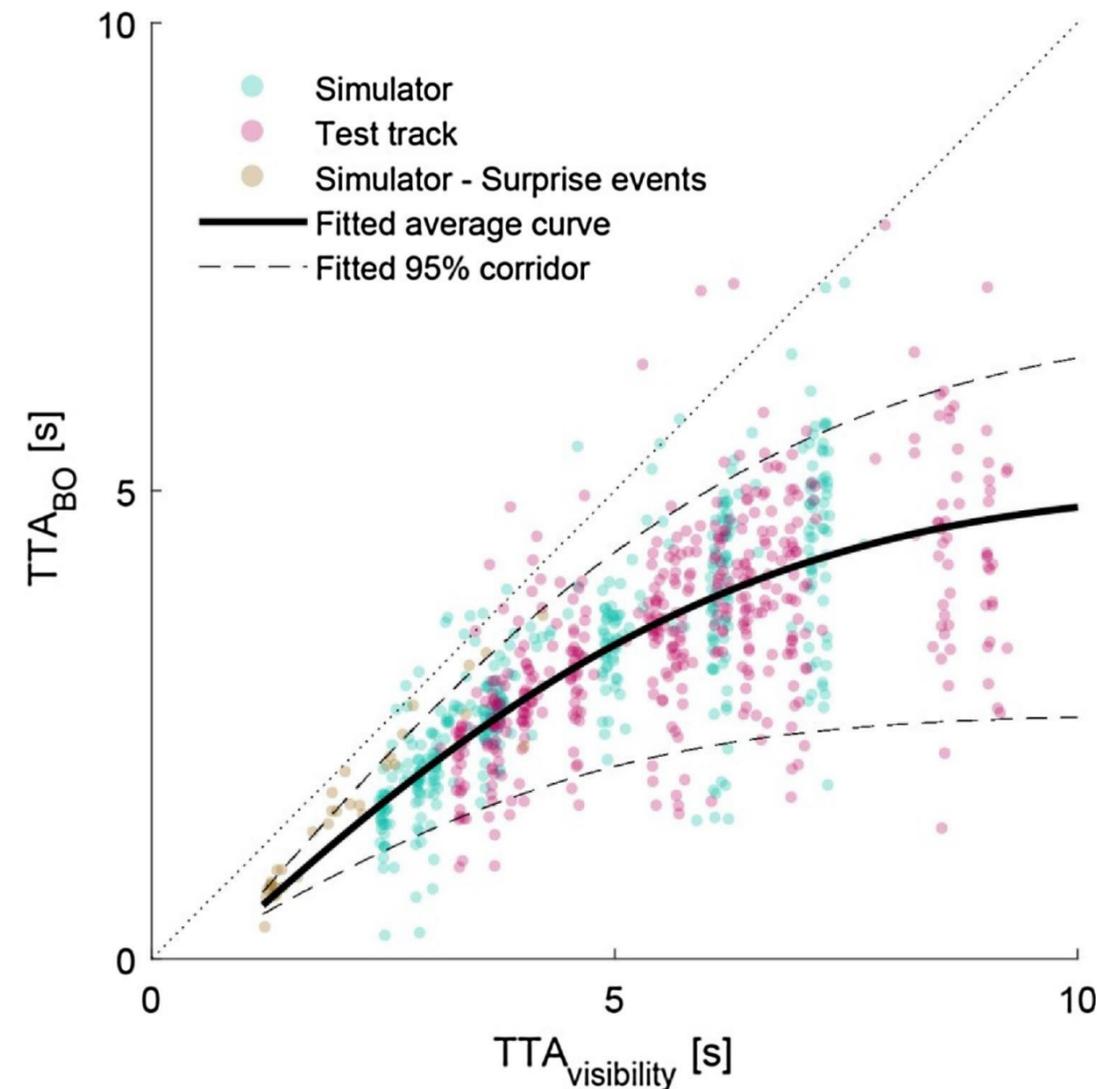
## 先行研究: The Comfort Boundary Model

- Boda et al. (2018) は、交差点で車両進路上を横断する自転車に遭遇した際、ドライバーがブレーキを踏み始める時点（ブレーキオンセット）を分析した
- 実験は運転シミュレータと実車テストトラックの両方で同様のシナリオを用いて実施



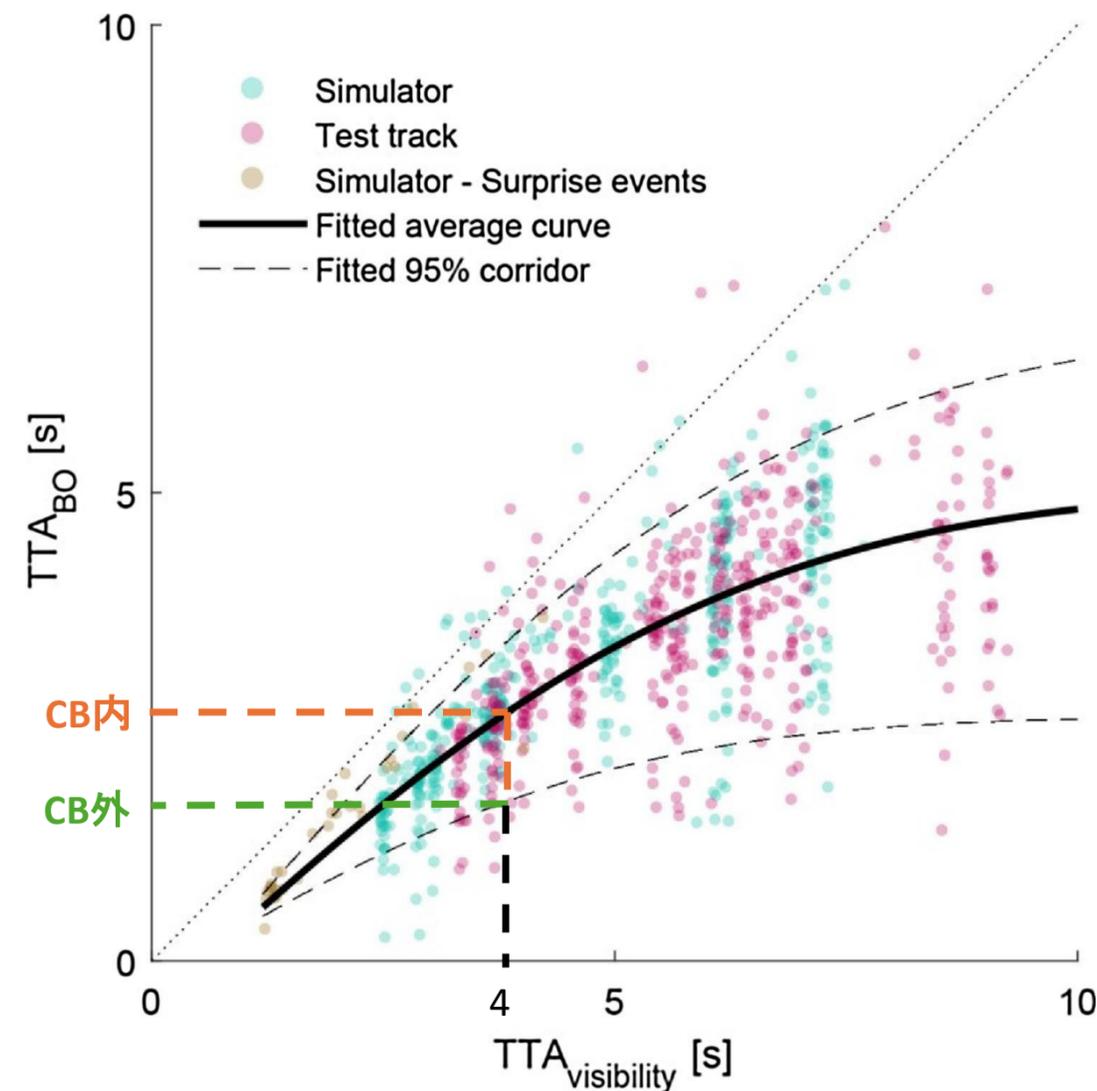
## 先行研究: The Comfort Boundary Model

- 自転車がドライバーに視認可能になってから交点到達までの「可視化時間 (TTA<sub>visibility</sub>)」が、ドライバーがブレーキを踏み始めるタイミングに最も大きな影響を及ぼすことが確認された
- Boda et al. (2018) は、TTA<sub>visibility</sub>に基づくブレーキオンセットを表すモデル(CBモデル)を提示



# 「The Comfort Boundary Model」を本研究への適用

- 本研究では、このCBモデルを用いてFCWのアラームタイミングを決定
- $TTA = 4s$ の時点におけるCBモデルの漸近値(ブレーキオンセット時機)を「CB内」として設定
- $TTA = 4s$ の時点で95%信頼区間の下限值よりさらに遅いタイミングを「CB外」として設定



---

---

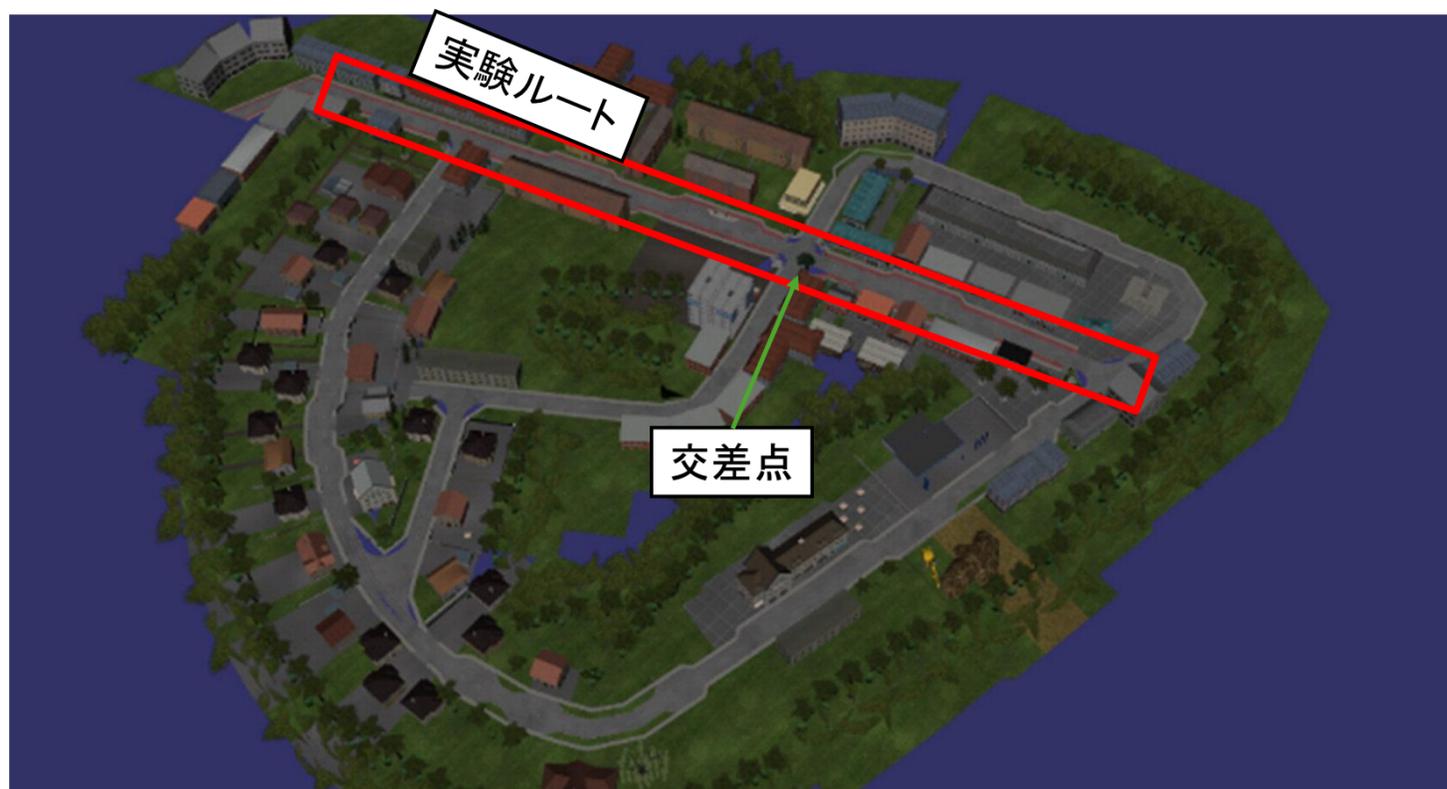
# Method

---

---

## 実験環境

- 本研究はプロジェクトPROSPECTの一環として実施
- 一参加者に対し、Toyota Motor Europe (TME) とAUDI AGの2つの実験を実施、本研究はTMEの結果のみを報告
- 実験はAUDI AGが保有するテストトラック(全長877m、うち285mの直線区間と1つの交差点)で実施
- 実車を用いるが、周囲環境はバーチャルな車両・交通状況を投影する「vehicle-in-the-loopシステム」を使用
  - 参加者は実車による振動、運動感覚、音響を得つつ、視覚的には仮想環境を知覚



## 実験参加者

- ドイツ連邦軍大学の学生・職員、計39名（男性32名、女性7名）
- ランダムに2グループに振り分け
  - CB内アラーム提示グループ: 平均年齢23.65歳 ( $SD = 3.27$ )
  - CB外アラーム提示グループ: 平均年齢24.84歳 ( $SD = 5.93$ )
- 記録データ問題によりCB外グループから8名除外
  - 最終的にCB内グループ20名、CB外グループ11名で分析

## FCWシステム

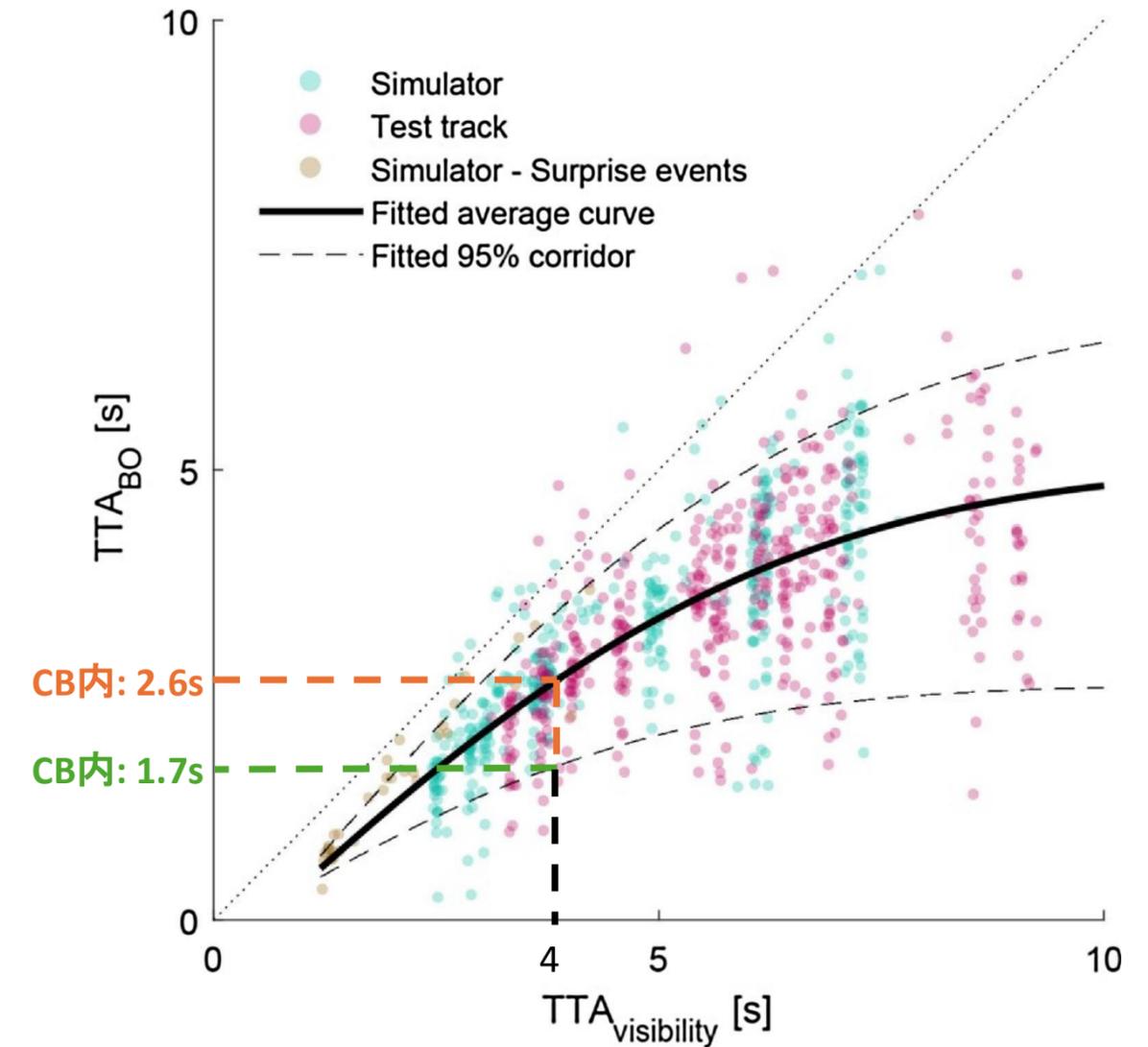
- 実験用車両に視覚 + 聴覚アラームを搭載
  - 視覚アラーム: ダッシュボード中央に自転車と矢印のピクトグラム表示
  - 聴覚アラーム: 1800Hzのアラーム
  - アラームは自転車と車が交差点でまじわる点のTTCに基づき発信
- 参加者の速度変動を避けるため、オートクルーズコントロール (ACC) を使用し、50キロを維持



視覚アラームのイメージ図  
pictogram of a bicycle surrounded by 2 arrows

# 実験デザイン

- 参加者間計画
  - 独立変数: アラームタイミング
    - CB内:  $TTC = 2.6s$  (モデルの漸近値)
    - CB外:  $TTC = 1.7s$  (モデルの95%信頼区間下限値より遅い)
  - 自転車は15キロの速度で横断し、TTAvisibilityは4s



# 実験手続き

- トラックを3周してシミュレータやコースに慣れる
- 9回コースを走り、各条件下で異なる自転車遭遇場面を体験 (AUDI実験)
- 短い休憩後、TMEの実験手順を説明
- 参加者には十字交差点で自転車が現れ、FCWが発せられると説明
- 「アラームが出てからは自由にブレーキを踏んでよい」と指示
- 走行後、受容性と購買意思に関するアンケートを実施
  - 5項目、5段階評価

1. Do you think the warning was in time?				
too early	little bit early	just right	little bit late	too late
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. How helpful was the warning to you?				
not at all helpful	not so helpful	neither nor	somewhat helpful	very helpful
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. How disturbing was the warning to you?				
not at all disturbing	not so disturbing	neither nor	somewhat disturbing	very disturbing
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Do you think the warning was unnecessary?				
not at all unnecessary	not so unnecessary	neither nor	somewhat unnecessary	very unnecessary
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. If it were available on the market, would you be willing to buy?				
strongly disagree	disagree	neither nor	agree	strongly agree
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

---

---

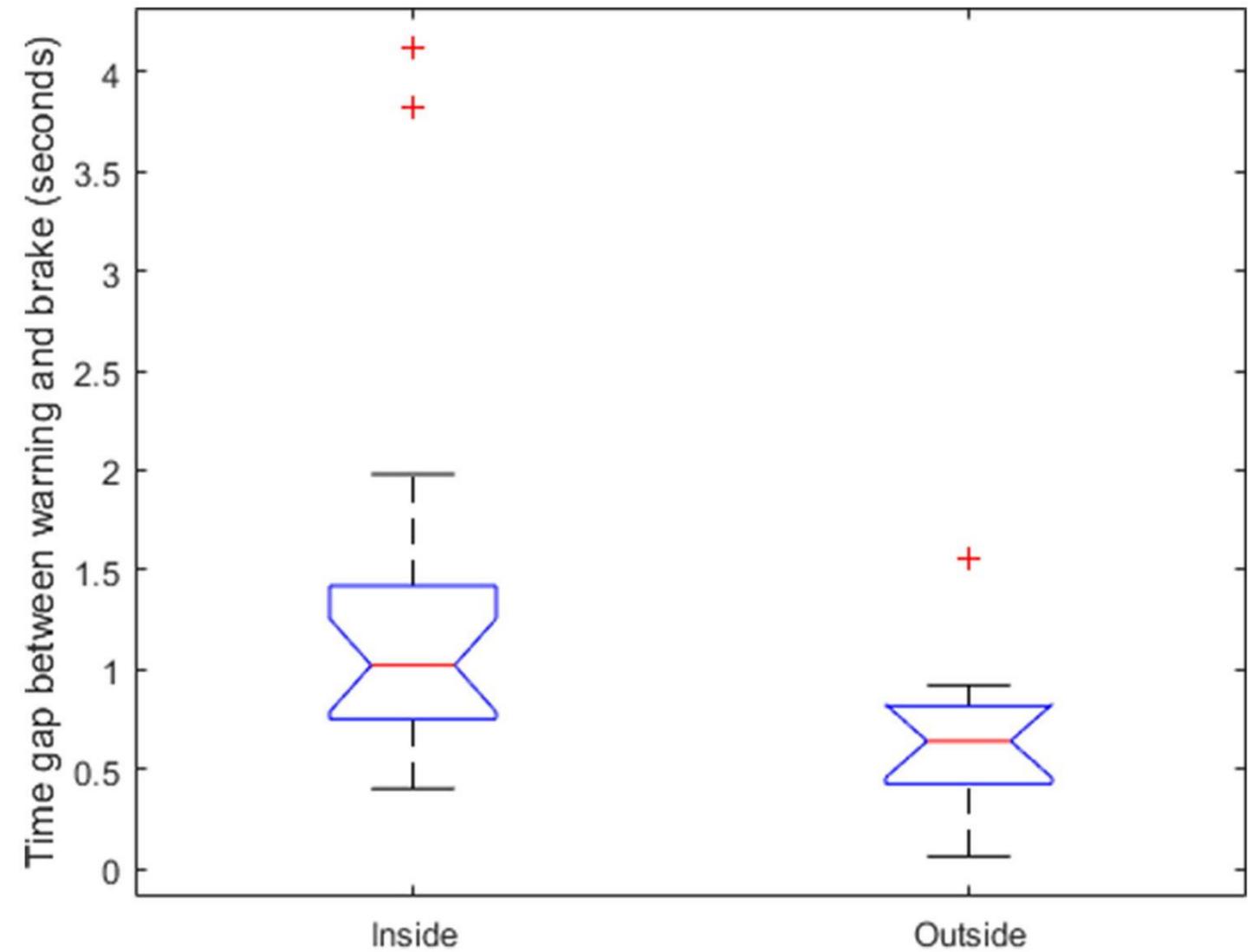
# Results

---

---

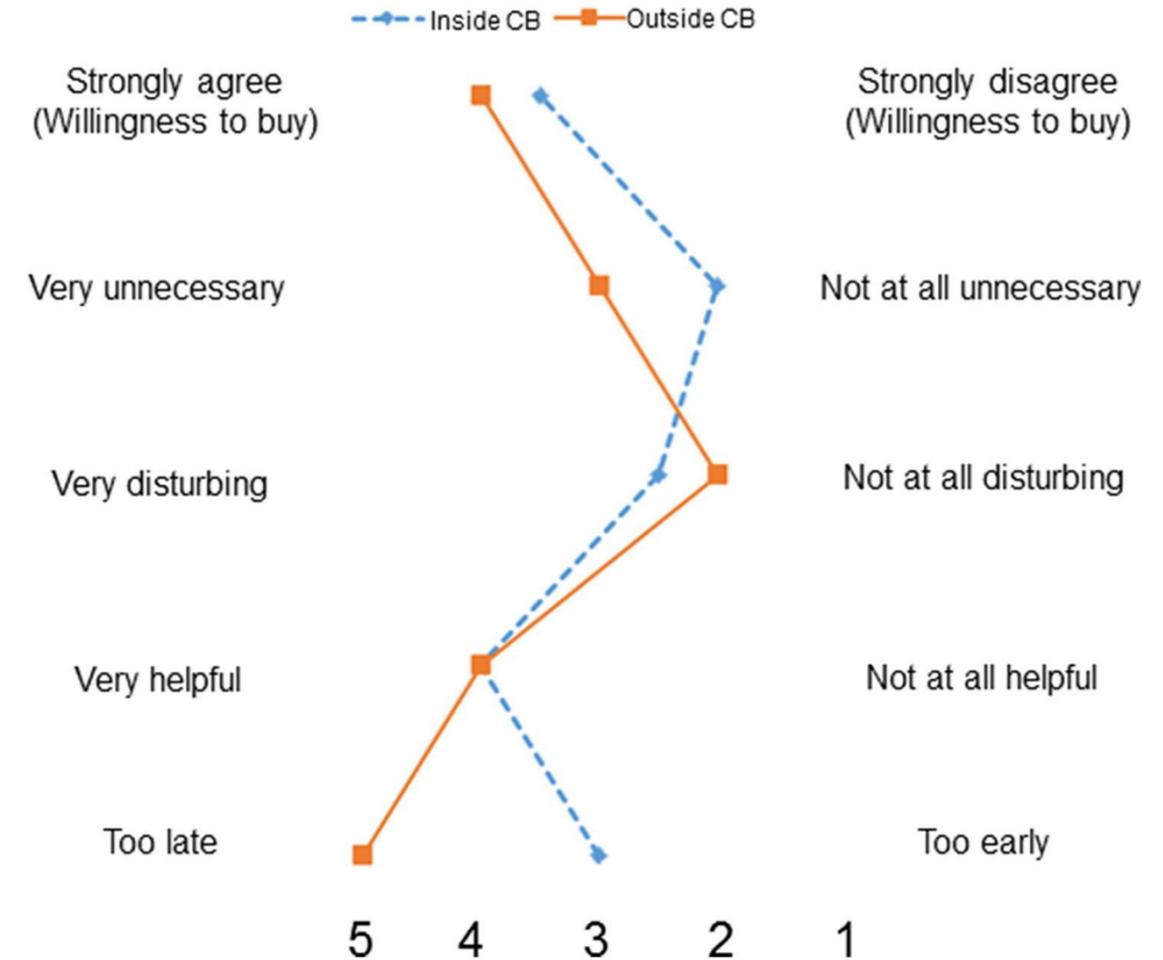
## アラームとブレーキ開始の時間差

- 仮説: CB内でのアラームは「早すぎる(非クリティカル)」と感じられ、アラーム発生からブレーキまでの時間が長くなると予測
- 結果:
  - CB内: 1.32s ( $SD = 0.99$ )
  - CB外: 0.65s ( $SD = 0.38$ )
  - CB内 > CB外 ( $Z = 2.54, p = .055$ )
- CB内でのアラームがドライバーによって早く、対応までに時間的余裕を感じさせたことを示唆



# アンケートの結果

- アンケートは5項目で、5段階で評価
- 項目1:「アラームタイミングは適切だったか」
  - CB内中央値: 3「ちょうどいい」
  - CB外中央値: 5「遅すぎる」
  - CB内 > CB外 ( $Z = -3.13, p < .01$ )
  - CB外グループはアラームが自分のブレーキを踏むタイミングより遅いと感じた



- 他の項目は有意差なし
  - 項目2:「アラームは役だったか」 → 両グループとも有用
  - 項目3:「アラームは煩わしかったか」 → 両グループともそう思わなかった
  - 項目4:「アラームは必要ではなかったか」 → 両グループとも必要
  - 項目5:「このアラームシステムを購入したいか」 → 両グループとも購入に前向き

## 相関分析

- 相関分析により、「アラームとブレーキ開始の時間差」と「購入意欲」の関係を検討
  - 負の相関が確認された ( $r(31) = -0.35, p = 0.55$ )
  - アラームタイミングが実際のブレーキタイミング (ドライバーが危険と認識する時点) に近いほど、購入意欲が高まることを示唆

---

---

# Discussion

---

---

## 行動反応

- CB外アラーム時、参加者はアラーム後約0.65sでブレーキ（ほぼ即時反応）  
CB内アラーム時、約1.32sでブレーキ開始
- Behr et al. (2010) の研究から、注意集中状態のドライバーは期待されるアラームに約0.42s ( $SD = 0.095$ ) で反応することが示唆されており、本研究のCB外アラーム群はこれに近い反応を示す

## 受容性

- 遅いアラーム (CB外) が早いアラーム (CB内) より良い評価を得た
- 先行研究では早期アラームの方が受容度が高いと報告しているが、本研究との不一致 (Abe & Richardson 2006; Aust et al. 2013; Large et al. 2018; McGehee et al. 2002)
  - シナリオの違いが要因かもしれない
- 本研究や Jamson et al. (2008) の結果より、ドライバーの通常挙動 (ブレーキタイミング) に合わせたアラームは受容度向上につながることを示唆された
  - 個々のドライバー行動に適応したアラーム設定が望ましい

## 限界点と今後の課題

- 本研究は実車を用いたが、仮想環境内で安全なテストトラック上で実施。実際の交通状況に比べて緊張感が薄く、VRU出現の脅威度合いが低く感じられた可能性がある
- 実路では、より多くの刺激が存在し、特定対象への注意が分散するため結果は異なるかもしれない
- 本研究は若いドライバーが対象。将来的には、異なる年齢層においても、CB外アラームがCB内アラームより受け入れられるか検証が必要