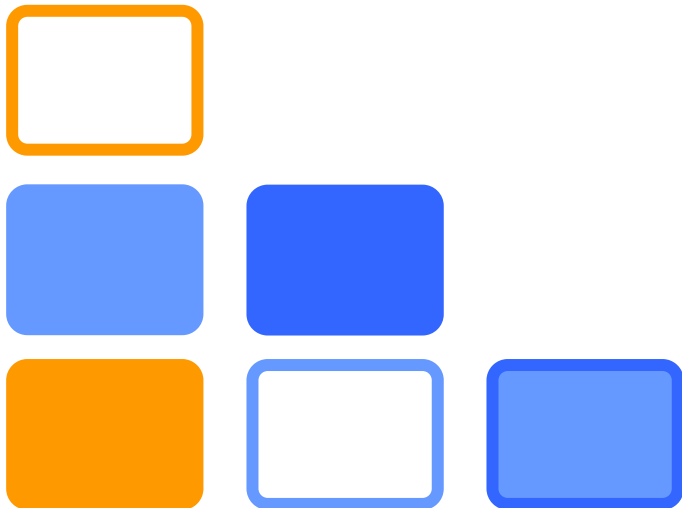


無信号横断歩道における 歩きスマホ行動の解析と判断モデルの構築

名古屋大学 工学部 機械・航空宇宙工学科
モビリティシステムグループ 鈴木研究室
B4 坂優樹

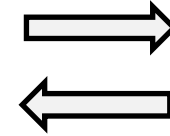


研究背景

自動運転システムの開発と評価の流れ

実車検証：コスト・危険性 ↑

シミュレーション
検証



実車検証

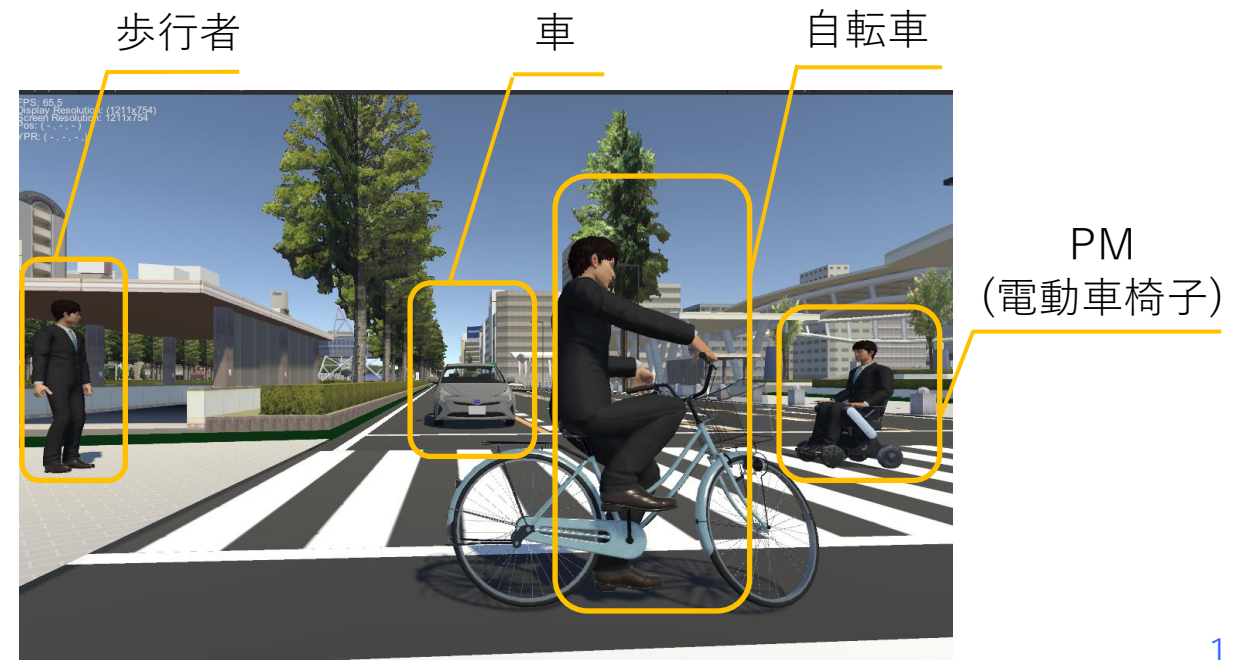
➤ シミュレーション検証で正しく評価することが必要不可欠

シミュレーション検証における交通参加者

実際の交通環境には、様々な交通参加者が存在

現実に近い環境での検証

シミュレーション検証においても
様々な交通参加者のモデルを用意する必要がある



研究背景

既存の歩行者モデルの問題点 [1] [2]

歩行者の挙動が画一的である（ルールベース）

➤ 現実の歩行者の判断を再現できていない

実際に起きうる危険な横断判断を再現することが
適切なリスク評価に繋がる

実環境における歩行者の判断

- ・ 人間の迷い・曖昧さが存在
- ・ 個人特性の影響(心理面・体調・他事)
 - 保守的、積極的な横断判断



歩きスマホによる横断の危険性

近年、歩行者の危険な行動の一つとして『歩きスマホ』をしながらの横断が注目されている

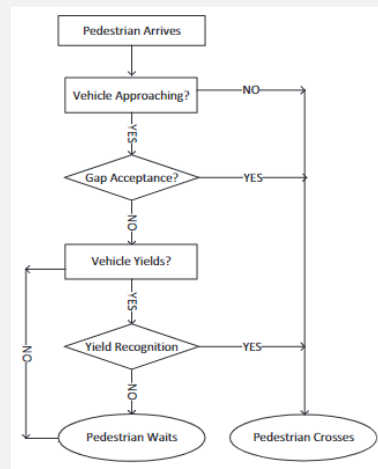
- ・ 歩きスマホに関わる事故件数は年々増加傾向 [3]
- ・ 道路横断時の車との衝突事故によって重症を負う事例が多発

➤ 本研究では、『歩きスマホ』をしながら
横断する歩行者の判断をモデル化

従来研究【横断判断のモデル化】

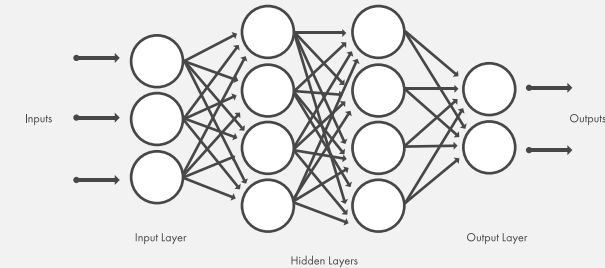
□ ルールベース [4][5]

- モデル構造が明示的
- ✗ 複雑な状況を記述することが難しい



□ ニューラルネットワーク [6]

- 複雑な状況を表現可能
- ✗ モデル構造がブラックボックス化



□ ロジスティック回帰モデル [7][8]

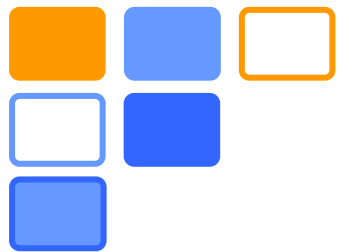
渡る/待つ
判断の確率

$$P = \frac{\exp(\eta^T x)}{1 + \exp(\eta^T x)}$$

車と歩行者の位置・速度など
物理的パラメータ

x : 説明変数
 η : 説明変数の係数

- 特徴:
- ・ 横断判断が確率で算出されるため、**人間の判断の曖昧さ**を表現可能
 - ・ 入力と出力の関係が理解しやすいため、モデルの**説明可能性**が高い



研究目的

無信号横断歩道における 歩きスマホ行動の解析と判断モデルの構築

本研究の想定環境

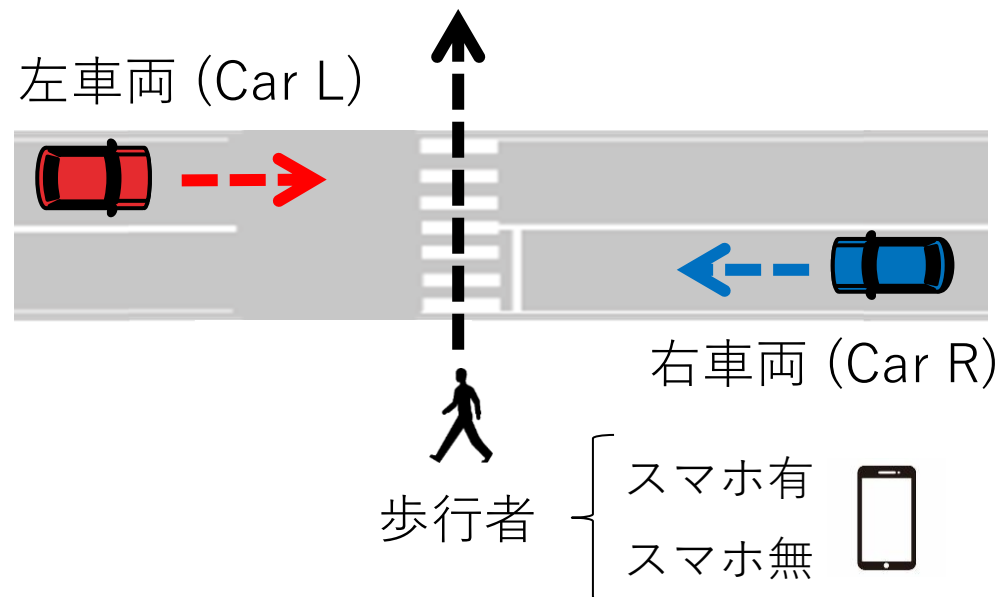
信号機のない横断歩道

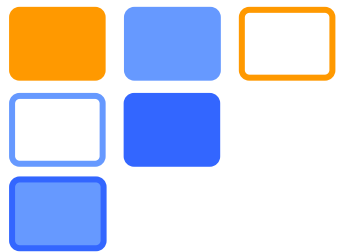
- 歩行者の死亡事故率が高い
危険な環境である
- 歩行者優先ではあるが
守られていないことも多い

歩行者設定

- ・ スマホ操作無
- ・ スマホ操作有

比較





研究目的

無信号横断歩道における 歩きスマホ行動の解析と判断モデルの構築

Step 1

本研究における判断の定義

Step 2

歩きスマホ横断観測実験の設計

Step 3

横断観測実験の結果と考察

Step 4

判断モデルの構築・評価

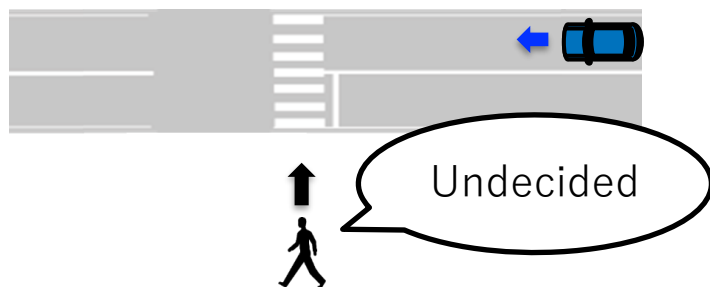
本研究における判断の定義

定義

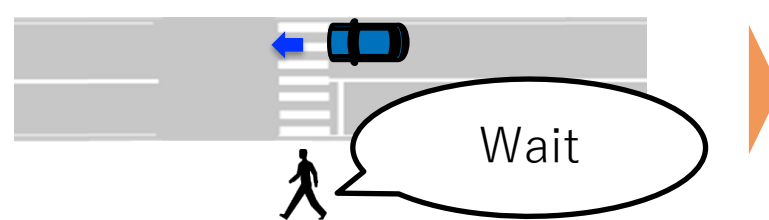
時刻 t において観測された判断を $d(t) \in \{G, W, U\}$ と定義する

渡る/Go := G, 車両を待つ/Wait := W, 未決定/Undecided := U

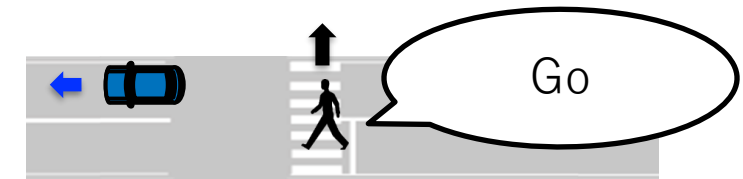
想定環境における歩行者の判断の一例



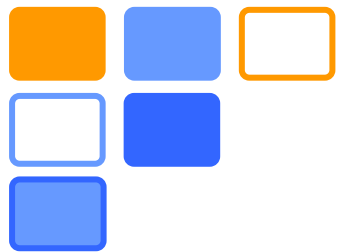
横断歩道に近づいている時



車両が先に通過しそうである



歩行者が横断する



研究目的

無信号横断歩道における 歩きスマホ行動の解析と判断モデルの構築

Step 1

本研究における判断の定義



Step 2

歩きスマホ横断観測実験の設計



Step 3

横断観測実験の結果と考察



Step 4

判断モデルの構築・評価

実験環境

仮想空間における実験

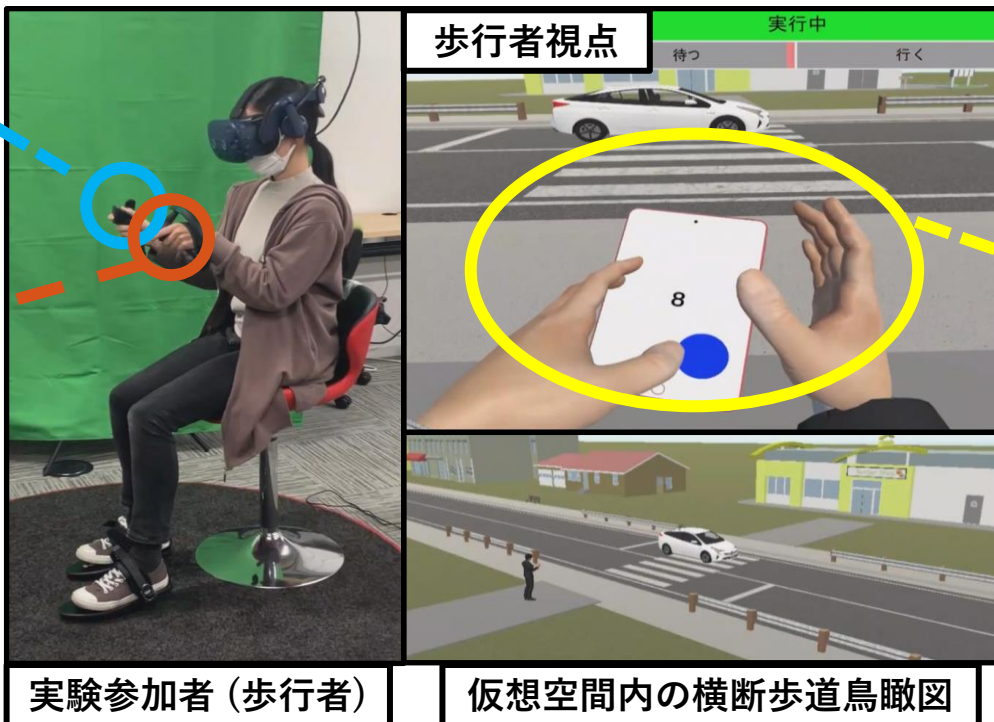
- ・ VR構成：ヘッドセット、ハンドコントローラ、サイバーシューズ
- ・ 観測データ：車両と歩行者の位置・速度、歩行者の視線・判断
- ・ Go/Waitと判断時、右/左手のトリガーを引き入力

VR機器



Go
(右手)

Wait
(左手)



実験参加者 (歩行者)

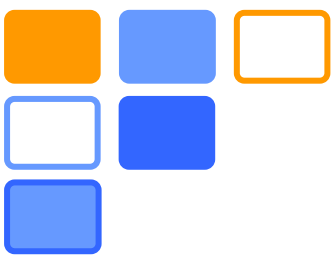
仮想空間内の横断歩道鳥瞰図

・ スマホタスク

画面にランダムに表示される
丸をタップするゲーム



従来研究より、ゲームをしていた歩行者の
危険横断率が一番高い [9]



VR装置を用いた横断観測実験の様子



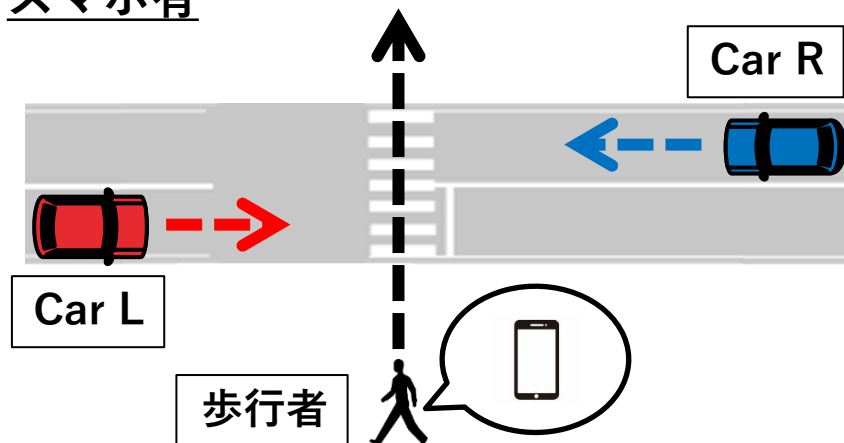
短時間で実験を繰り返して実施でき
効率良くデータを取得可能

実験設計

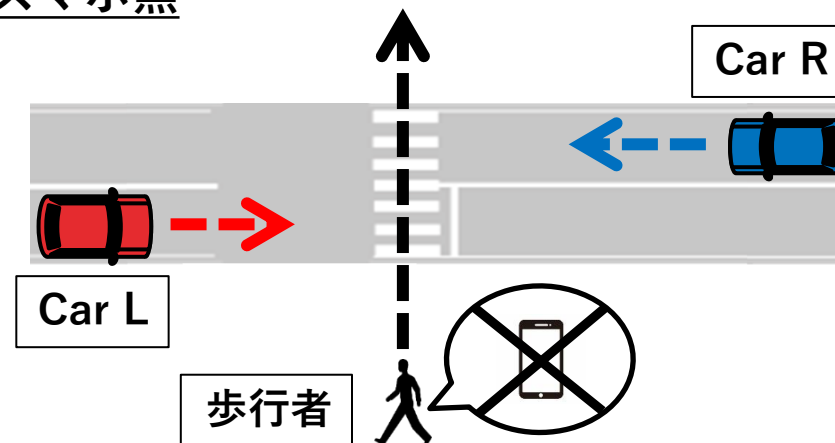
実験参加者

- ・ 人数：31人
- ・ 年齢：20代～50代の男女

スマホ有



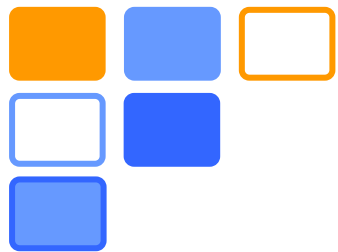
スマホ無



- ・ 車両の初期位置・速度、車両台数(1台、2台)を変えて、横断実験を1被験者あたり108回実施
- ・ スマホタスクの有無のみが異なる実験条件を54回ずつ用意

スマホタスクの有無以外が同じ条件の試行を比較

歩きスマホの影響を解析可能



研究目的

無信号横断歩道における 歩きスマホ行動の解析と判断モデルの構築

Step 1

本研究における判断の定義



Step 2

歩きスマホ横断観測実験の設計



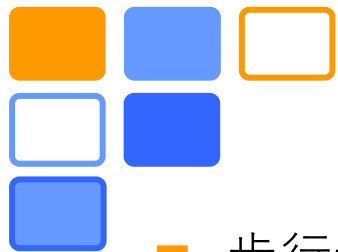
Step 3

横断観測実験の結果と考察



Step 4

判断モデルの構築・評価



視線情報と横断所要時間

歩行者の視線情報

- 取得できる視線対象のデータとして、
$$\begin{cases} O_t^{nsp} \in \{\text{Car, Other}\} & (\text{スマホ無}) \\ O_t^{sp} \in \{\text{Car, Other, SP}\} & (\text{スマホ有}) \end{cases}$$
(Car:車両、SP:スマホ、Other:それ以外)

【横断前】

		1試行当たりの視認秒数[s]		
		Car	Other	SP
スマホ	無	3.17 s	3.73 s	
	有	1.67 s	2.57 s	3.22 s

-1.5 s (P値 < 1.0×10^{-4})

【横断中(渡り始めから渡り終わりまで)】

		1試行当たりの視認秒数[s]		
		Car	Other	SP
スマホ	無	0.53s	4.87s	
	有	0.28s	1.02s	5.09s

-0.25 s (P値 < 1.0×10^{-4})

スマホ操作により

- 横断前：横断判断のための**車両の確認時間が減少**
- 横断中：周囲を見る**安全確認の時間が減少**



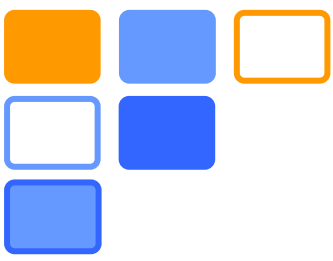
歩行者の横断所要時間(渡り始めから終わりまで)

	スマホ	全体	P値
横断所要時間[s]	無	5.38 s	0.0016
	有	6.38 s	
歩行平均速度[m/s]	無	1.87 m/s	0.0003
	有	1.60 m/s	

-0.27 m/s

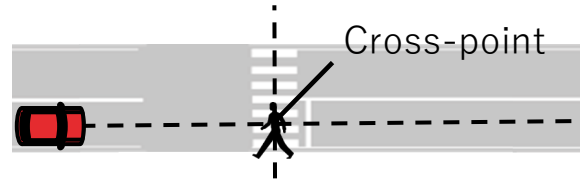
- スマホ操作に集中することで、歩行者の平均速度が減少し**横断にかかる時間が増加**する傾向がある

(有意水準は0.05と定め、P値が0.05未満であればスマホ有無による有意差がある)



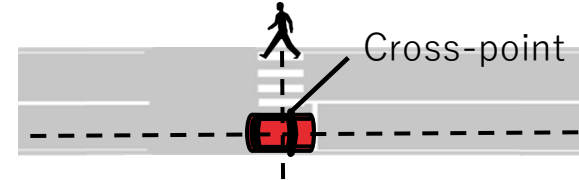
横断余裕時間

1. 歩行者がCross-pointを通過



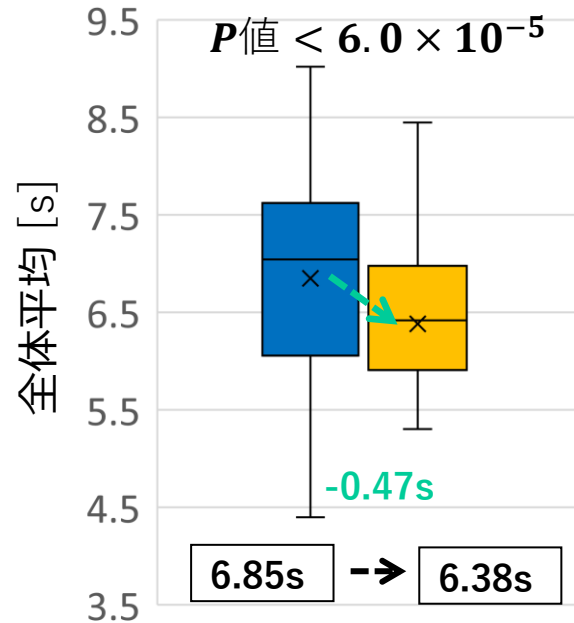
2. 車両がCross-pointを通過

t秒後



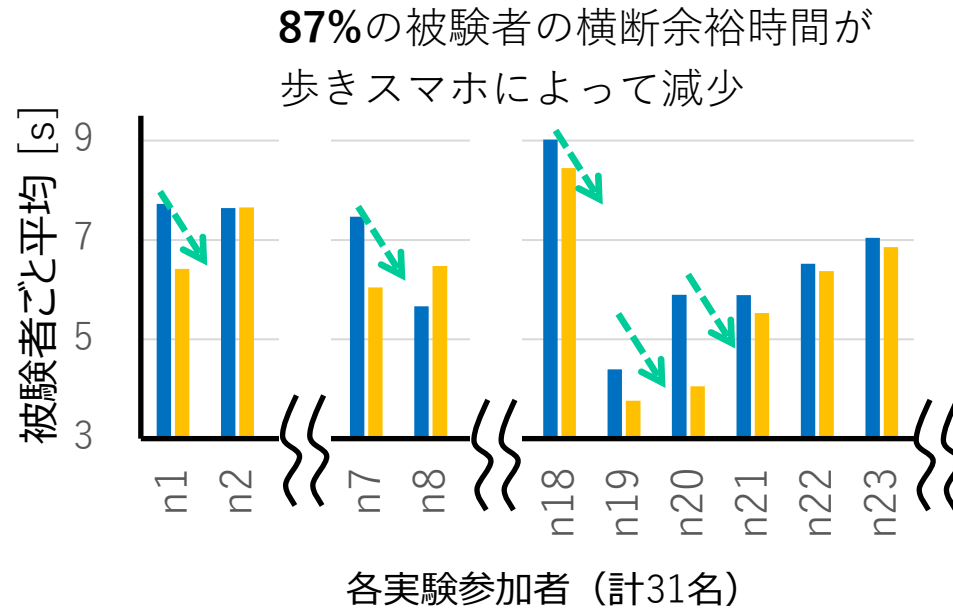
横断余裕時間：歩行者がCross-pointを通過後、何秒後に車両が同地点を通過するか
→ 値が小さいほど危険な横断

【全体平均】



【被験者ごと】

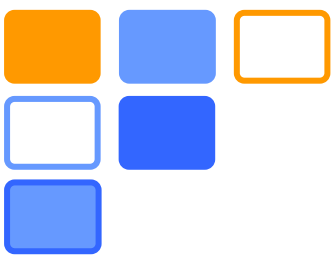
■ スマホ無 ■ スマホ有



従来研究 [10] より、安全でない横断として

- 横断余裕時間<3.0s : 接近事象
 - 横断余裕時間<1.5s : 危険事象
- と定義

	スマホ無		スマホ有
接近事象	66回	→	109回
		1.65倍	
危険事象	7回	→	19回
		2.71倍	



研究目的

無信号横断歩道における 歩きスマホ行動の解析と判断モデルの構築

Step 1

本研究における判断の定義

Step 2

歩きスマホ横断観測実験の設計

Step 3

横断観測実験の結果と考察

Step 4

判断モデルの構築・評価

横断判断の定式化

本研究ではロジスティック回帰モデルを用いて判断のモデル化を行う

→ 歩きスマホの有無で学習データを分け、2パターンのモデルを構築

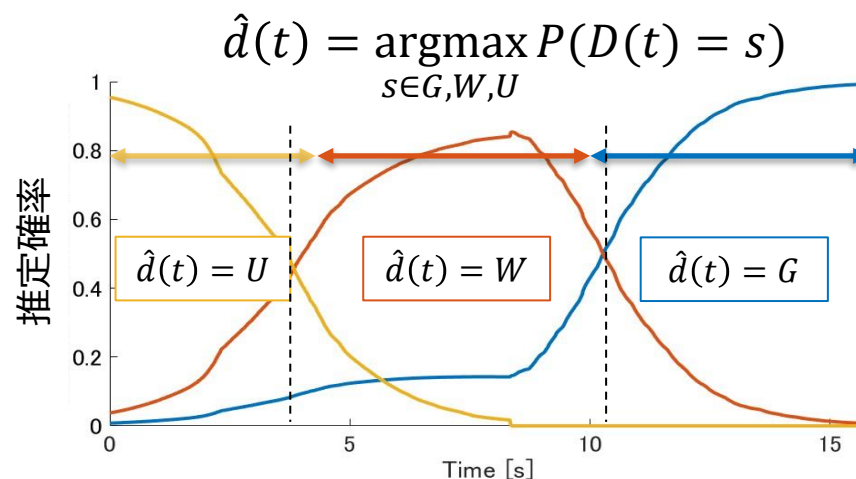
判断の確率

$$P(D(t) = s) = \begin{cases} \frac{\exp(\boldsymbol{\eta}_s \boldsymbol{\phi}(t))}{1 + \sum_{r \in \{G, W\}} \exp(\boldsymbol{\eta}_r \boldsymbol{\phi}(t))} & \text{if } s = G, W \\ 1 - \sum_{r \in \{G, W\}} P(D(t) = r) & \text{if } s = U \end{cases}$$

$\boldsymbol{\phi}(t)$: 説明変数

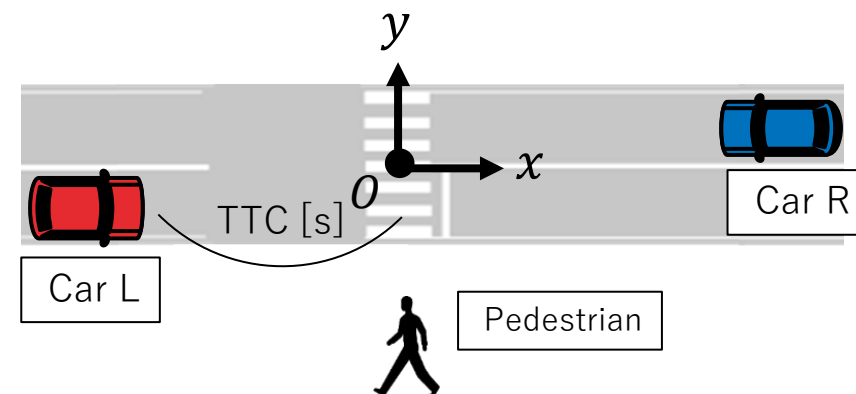
$\boldsymbol{\eta}$: 係数ベクトル

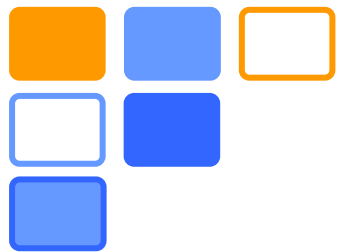
推定した判断



説明変数

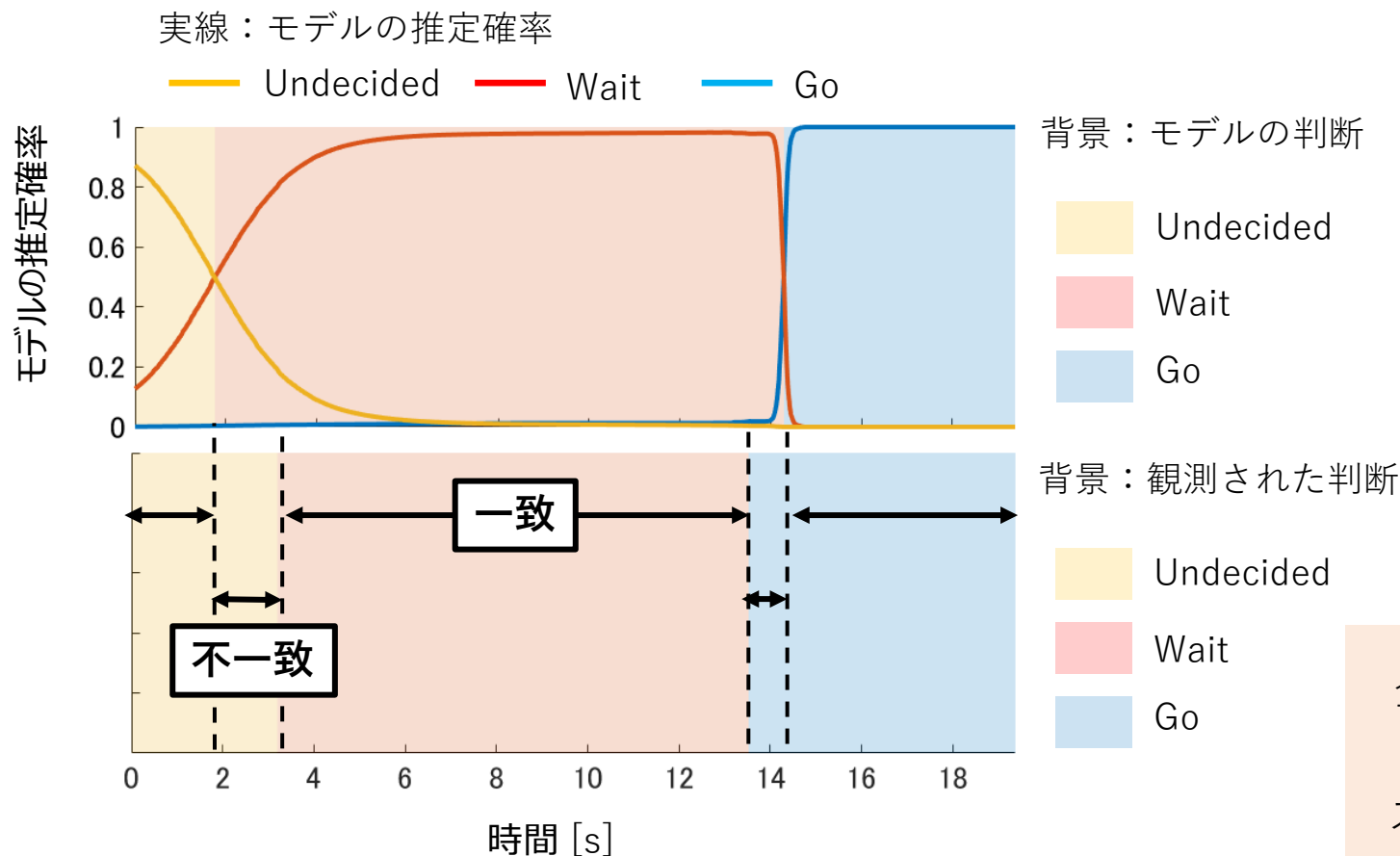
- 歩行者位置
- 車両位置
- 歩行者速度
- 車両のTTC (Time to Cross-point)
→ $\frac{\text{車両の横断歩道までの距離}}{\text{車両の現在速度}} \text{ [s]}$
何秒で横断歩道まで到達するか





一致率によるモデルの評価

モデルの判断と実際に観測された判断とが、一致している時間の割合により評価



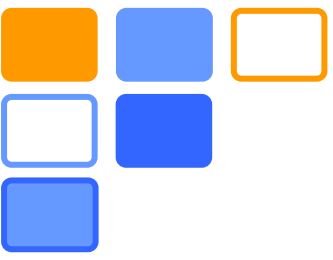
【全被験者平均一致率】

	スマホ無	スマホ有
歩・左車	93.6 %	93.5 %
歩・右車	92.9 %	92.8 %
歩・左右車	93.6 %	93.6 %

(k分割交差検証法によって評価:k=5)

全ての実験条件において平均一致率が約93%程度

スマホの有無に関わらず
一致率の高い判断モデルが構築できたと考えられる



エントロピーによる判断の曖昧さの評価

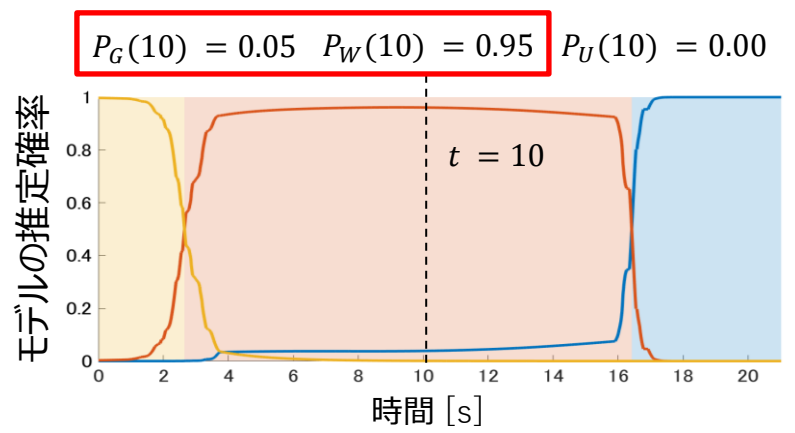
時刻 t におけるエントロピーの算出

$$S(t) = \sum_{i=1}^3 (-P_i(t) \log_2 P_i(t))$$

t : 時刻 i : 判断ラベル ($i \in \{1, 2, 3\}$)

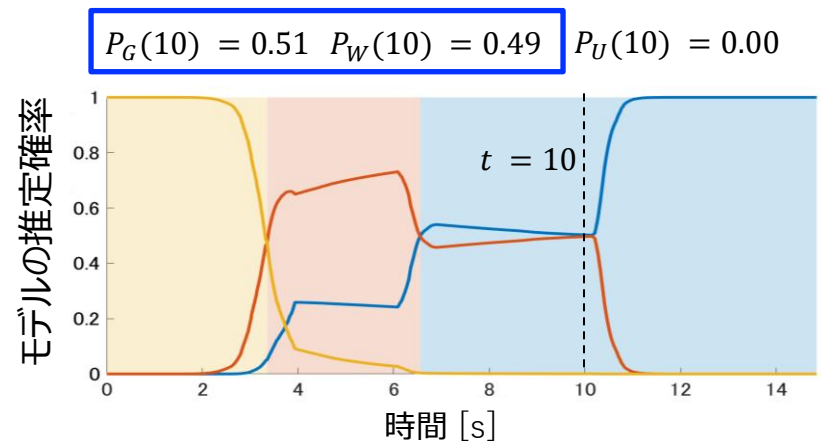
$P_i(t)$: 時刻 t におけるモデルの各判断の推定確率

1. 各判断ラベルの確率の差が**大きい**試行



$S(10) = 0.286$: 小 → 判断が**確定的**である

2. 各判断ラベルの確率の差が**小さい**試行



$S(10) = 0.999$: 大 → 判断の**曖昧さが大きい**

【判断切替付近におけるエントロピーの平均値】

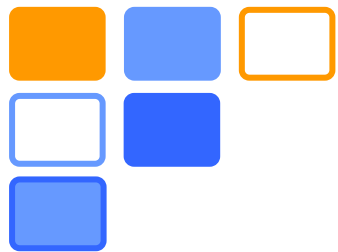
	スマホ無	スマホ有
歩・右車	0.642	< 0.671
歩・左車	0.660	< 0.712
歩・左右車	0.632	< 0.655

全ての実験条件においてスマホ有の平均エントロピーが大きい



歩きスマホにより、同じ状況でも違う判断をすることが多い

判断の曖昧さをモデルで表現



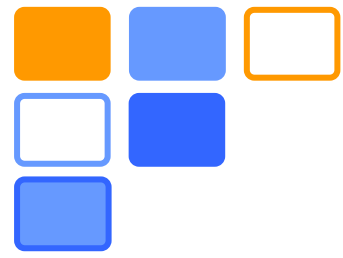
まとめと今後の課題

□ まとめ

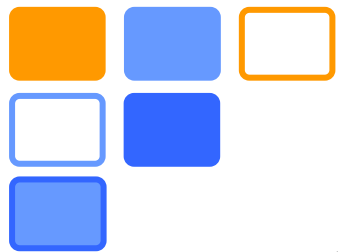
- ✓ 歩きスマホにより車両がより接近した状態で横断する危険な横断が増加
- ✓ 判断モデルの妥当性を一致率による評価により示した
- ✓ 歩きスマホの有無によるモデルの違いを判断エントロピーにより示した

□ 今後の課題

- 歩きスマホによる影響がどのようにロジスティック回帰モデルの係数に反映されるかを解明
- 行動モデルを作成し、シミュレーションを行う

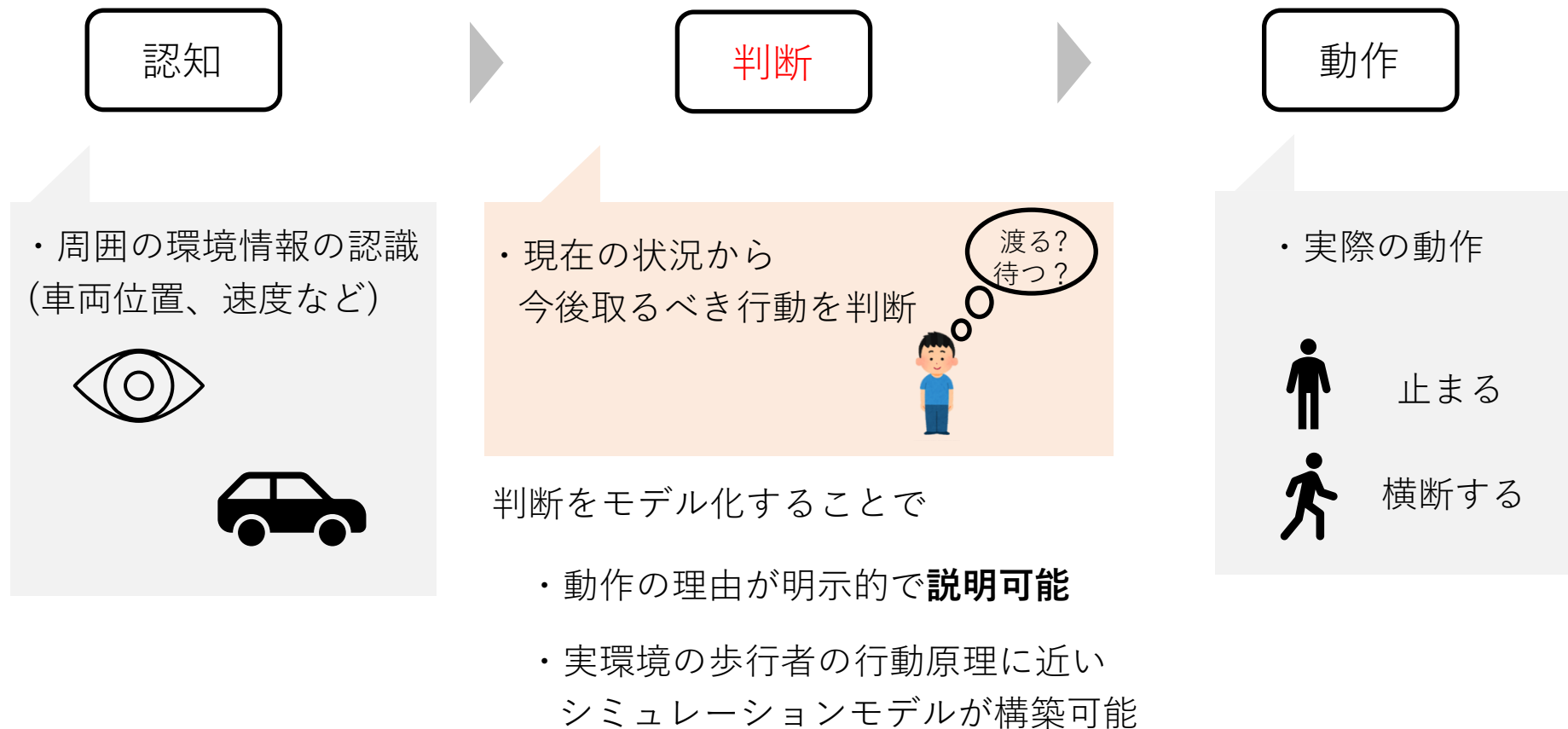


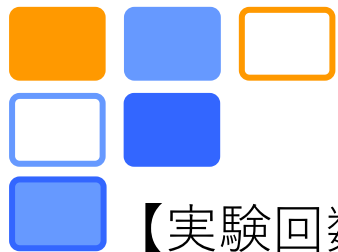
Appendix



[付録]人間の行動原理

- 人間の動作は**認知と判断**の後に決まると考えられる [11]





[付録]実験内容詳細

【実験回数：108回/一人】

スマホ有無以外は同じ条件

車両台数 \ スマホ	なし	あり
	なし	あり
左1台	18回	18回
右1台	18回	18回
左右1台ずつ	18回	18回

【実験条件】 範囲を広くとり、積極的／慎重な人が待機／先行するように設定
※ 事前実験にて確認

左右1台ずつ

変更する条件	範囲
車両初期位置(m)	20m, 50m, 80m, 110m, 140m, 170m
最大車速(km/h)	40km/h, 50km/h, 60km/h
車両減速量(%)	0%, 50%, 90%
減速区間距離(m)	40m, 60m, 80m

左1台 or 右1台

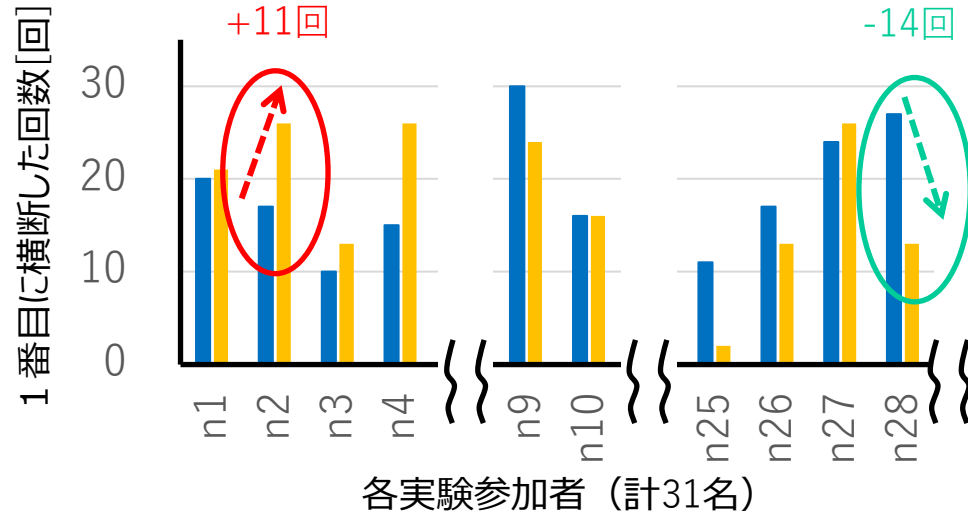
変更する条件	範囲
左車両初期位置(m)	20m, 50m, 80m, 110m, 140m 170m
左車両最大車速(km/h)	40km/h, 50km/h, 60km/h
車両減速量(%)	0%, 50%, 90%
減速区間距離(m)	40m, 60m, 80m
右車両初期位置(m)	50m, 110m, 170m
右車両最大車速(km/h)	40km/h, 50km/h, 60km/h

[付録] 交通参加者の横断順序(車両より先に渡る回数)

歩行者と車1台(右 or 左)

	スマホ無	スマホ有
歩行者 先行回数	21.29回	20.81回

(各36試行)
(P値 = 0.574)
-0.48回



【全体平均】

差が有意でない

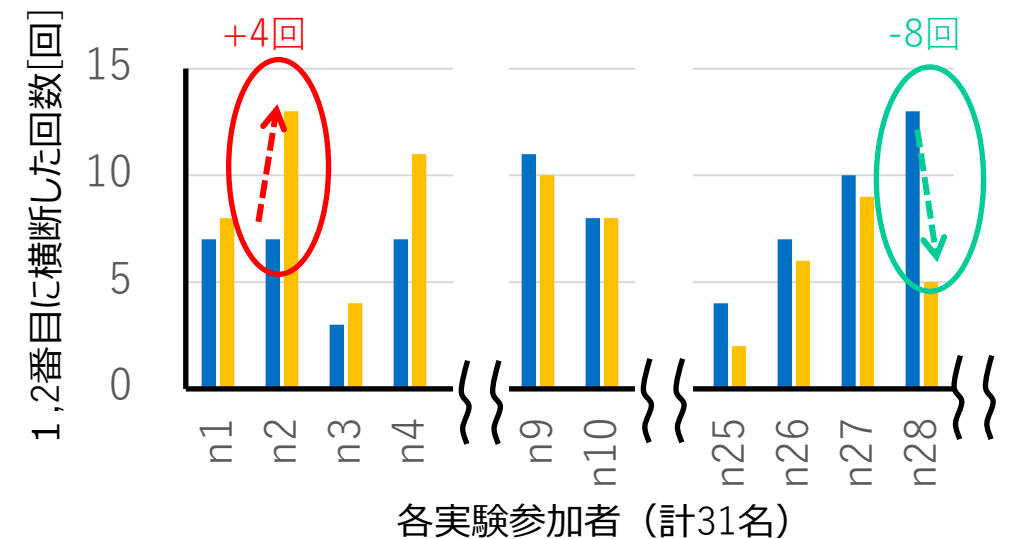
【被験者ごと】

■ スマホ有
■ スマホ無

歩行者と車2台(左右1台ずつ)

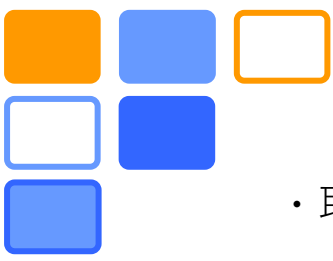
	スマホ無	スマホ有
歩行者 先行回数	9.10回	8.71回

(各18試行)
(P値 = 0.395)
-0.39回



- ・ 歩きスマホによって、大きく先行回数が増加する人と減少する人が存在
- ・ 先行回数の増減の傾向は車両台数に関わらず、同一被験者で83.8%一致

スマホ操作による横断順序への影響は
個人特性が大きく表れる



[付録]視線情報

・取得できる視線データとして、
$$\begin{cases} O_t^{nsp} \in \{\text{Car}, \text{Other}\} & (\text{スマホ無}) \\ O_t^{sp} \in \{\text{Car}, \text{Other}, \text{SP}\} & (\text{スマホ有}) \end{cases}$$
 (Car:車両、SP:スマホ、Other:それ以外)

視線対象ごとの視認回数(1試行あたり) 試行中に対象(車両, スマホ, その他)を何回視認したか

左1台

(単位:回)

視線対象	Car	Other	SP
スマホ無	7	7	
スマホ有	6	13	7

右1台

(単位:回)

視線対象	Car	Other	SP
スマホ無	7	8	
スマホ有	7	15	9

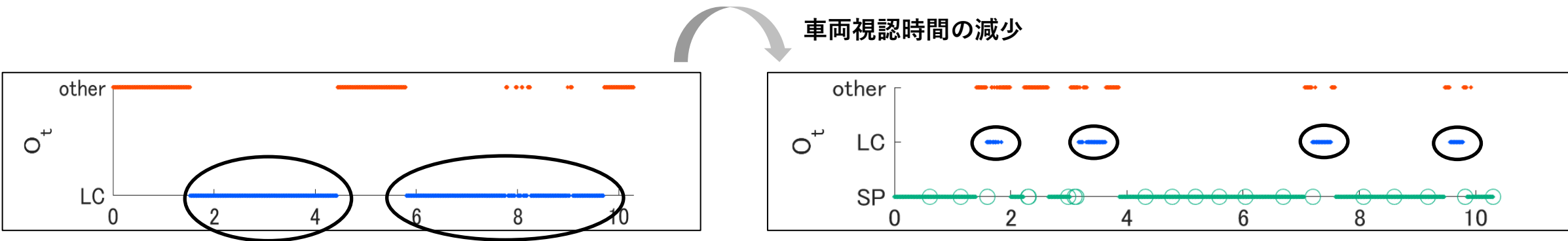
左右1台ずつ

(単位:回)

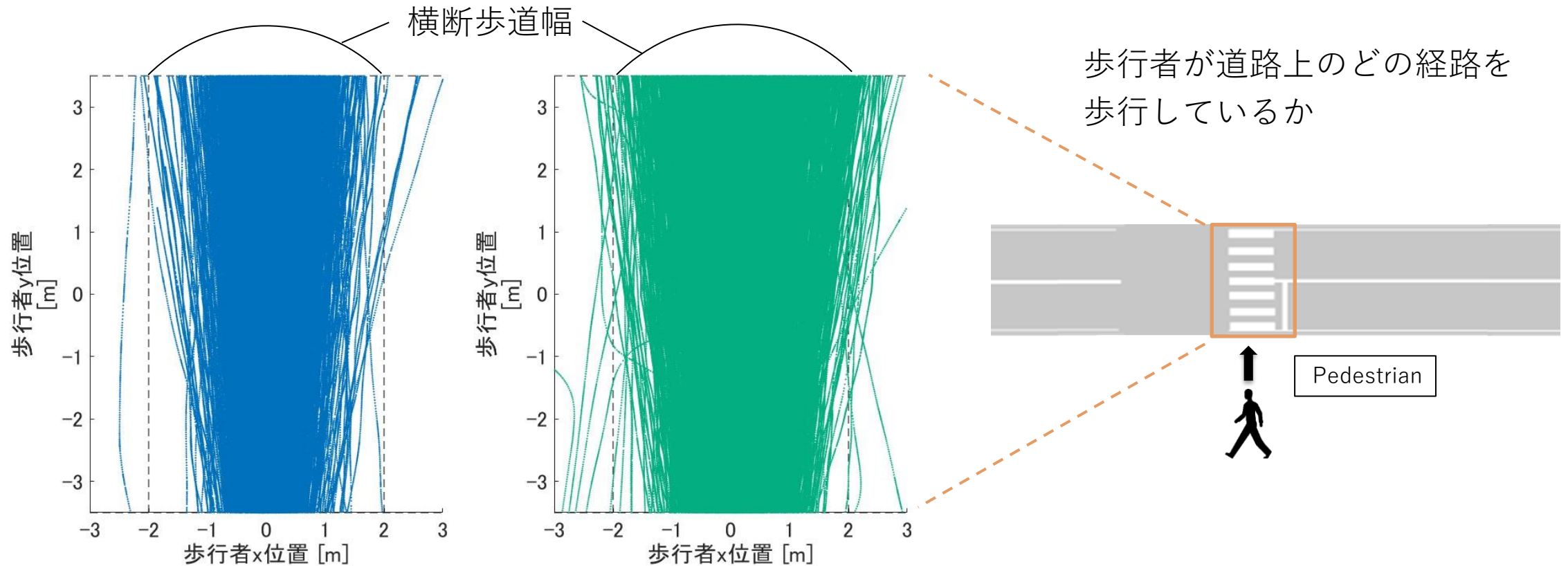
視線対象	L_Car	R_Car	OT	SP
スマホ無	8	8	15	
スマホ有	6	6	19	9

- ・車両 1 台に対しては、車両視認回数は変化しないが、見る時間が減少する(スライド14ページと併せて)
- ・車両 2 台に関しては、車両視認回数が減少する

【ある試行の視線情報比較 (スマホ有無以外は同条件)】 (縦軸：視認対象, 横軸：時間)



[付録] 歩行者の横断経路



スマホ無：経路が道路の中心寄り

スマホ有：経路が横断歩道全体に広がり、横断歩道外を通過する試行が増加

→ スマホ操作に集中することで**横断歩道のどこを歩いているか**という認識ができていないことが考察できる

[付録] 横断判断モデルの一致率

一致率による評価

モデルの判断と実際に観測された判断とが一致している時間の割合により評価した。

$$\text{一致率 [\%]} = \frac{\sum_{l=1}^L \sum_{t^l=0}^{T^l} [\hat{D}_{t^l} = D_{t^l}]}{\sum_{l=1}^L T^l} \times 100$$

モデルの判断

推定された確率が最も大きい判断をモデルの判断とした。

$$\hat{Y}_{t^l} = \operatorname{argmax}_{s \in \{G, W, U\}} P(D_{t^l} = s)$$

L : 実験データの数

$1 \leq l \leq L$: 実験データのラベル

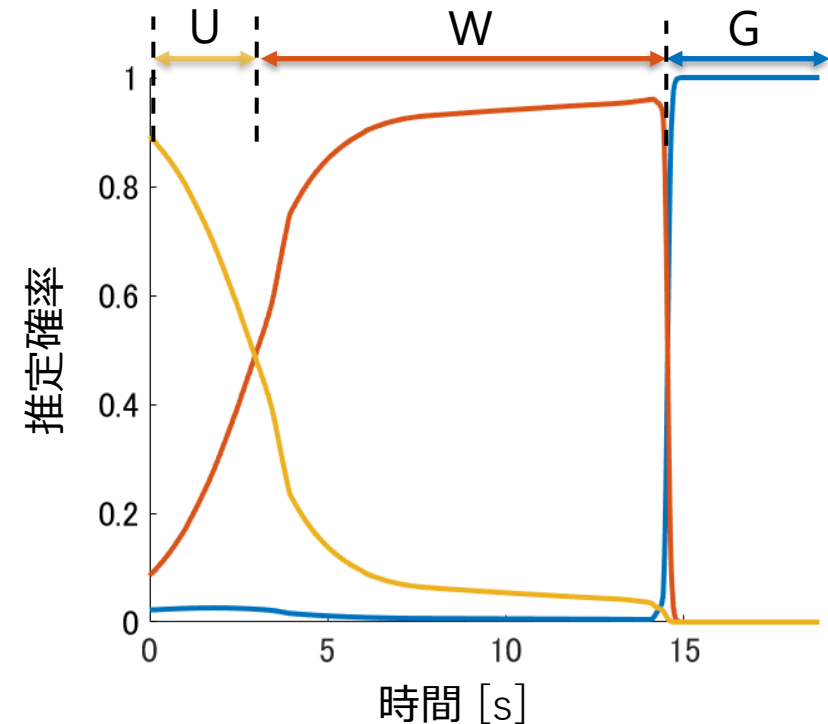
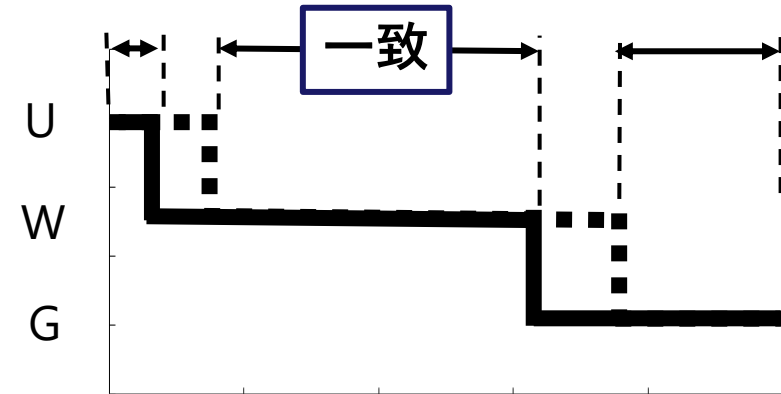
T^l : 実験データ l の所要時間

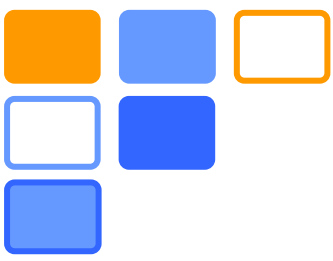
$0 \leq t^l \leq T^l$: 実験データ l の経過時間

$D_{t^l} \in \{G, W, U\}$: t^l における実際の判断

$\hat{D}_{t^l} \in \{G, W, U\}$: t^l におけるモデルの判断

— 実際の判断 - - - モデルの判断

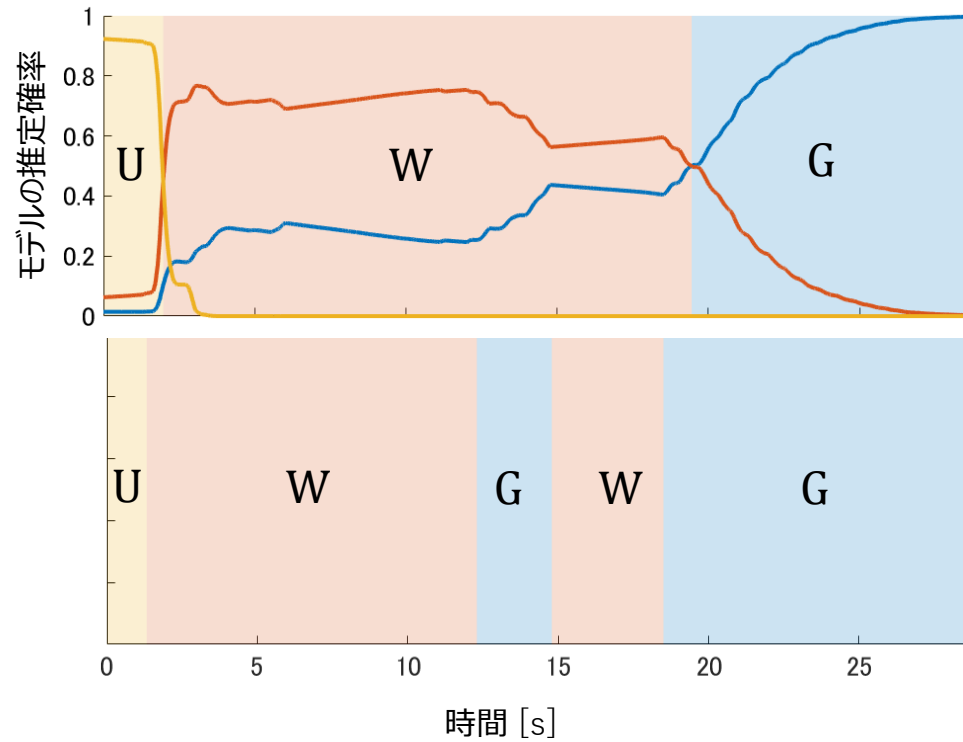




[付録] 判断の推定が難しい試行

実線：モデルの推定確率

— Undecided — Wait — Go



被験者によって

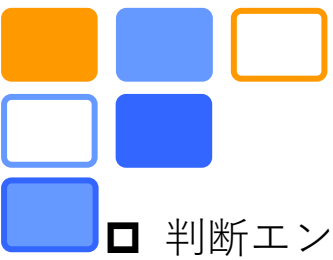
1試行の中で**多数判断を切り替える**人が存在



このような場合にモデルが

正しく判断を推定できず

一致率が低くなっていることが考察できる



[付録]判断エントロピーによる評価

判断エントロピーによる比較 (2つの母平均の差のt推定:対応のあるデータ)

帰無仮説 H_0 / スマホの有無によって判断エントロピーに有意な差は生じない

片側対立仮説 H_1 / スマホが有ると判断エントロピーが**大きく**なる

→ 各ステップにおける判断エントロピーの平均値を計算し、スマホ有無による比較を行う
計算範囲を**判断切替付近に絞り**解析した

時刻 t における判断エントロピーの算出

$$S(t) = \sum_{i=1}^3 (-P_i(t) \log_2 P_i(t))$$

t : 時刻 i : 判断ラベル($1 \leq i \leq 3$)

$P_i(t)$: 時刻 t におけるモデルの各判断の推定確率

エントロピーの計算範囲 :判断切替付近 (判断切り替わり前後0.5sずつ)

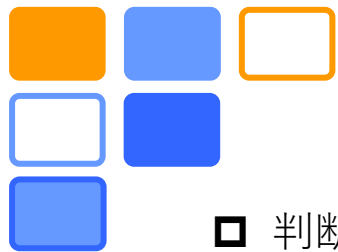
	左車両・歩行者		右車両・歩行者		左右車両・歩行者	
	スマホ無	スマホ有	スマホ無	スマホ有	スマホ無	スマホ有
平均	0.660	< 0.712	0.642	< 0.671	0.632	< 0.655
分散	0.054	0.048	0.059	0.049	0.045	0.040
t	-4.605		-2.716		-2.441	
P(T<=t) 片側	2.6E-06		0.00341		0.00748	
T境界値 片側	1.648		1.648		1.648	

有意水準 $\alpha = 0.05$ の片側t検定において
帰無仮説 H_0 が**全ての車両条件で棄却された**



歩きスマホによって、判断切替付近の予測の
判断エントロピーが**大きく**なる

歩きスマホによる
判断の曖昧さがモデルとして表現されている



[付録]判断時刻における車両TTCによる評価

□ 判断時刻における車両TTCによる比較 (2つの母平均の差のt推定:対応のあるデータ)

帰無仮説 H_0 / スマホの有無によって判断時刻における車両TTCに有意な差は生じない

片側対立仮説 H_1 / スマホがあると判断時刻における車両TTCが**小さくなる**

「対象となる判断」

「証明したいこと」

- U→G
- U→W

観測データでは、歩きスマホによって判断が遅れ、車両が近い状態で横断する危険な試行が増加
→ モデルでもスマホの有無による判断の遅れの傾向差があるか確認する

	最初の判断時の 車両TTC [s]	
	スマホ無	スマホ有
平均	7.519	> 7.215
分散	17.467	18.074
t	8.282	
P(T<=t) 片側	1.2E-16	
T境界値 片側	1.961	

有意水準 $\alpha = 0.05$ の片側t検定において
帰無仮説 H_0 が**全ての車両条件で棄却された**



歩きスマホによって、
最初の判断時刻における車両TTCが**小さくなる**

歩きスマホによって、車両がより接近したところで
判断をする傾向がモデルにも表れた

