

自動運転システムの 行動決定方法

発表者：赤木 康宏
名古屋大学 未来社会創造機構
特任准教授
(ゆっくり自動運転・運転知能構築UL)

ゆっくり自動運転®

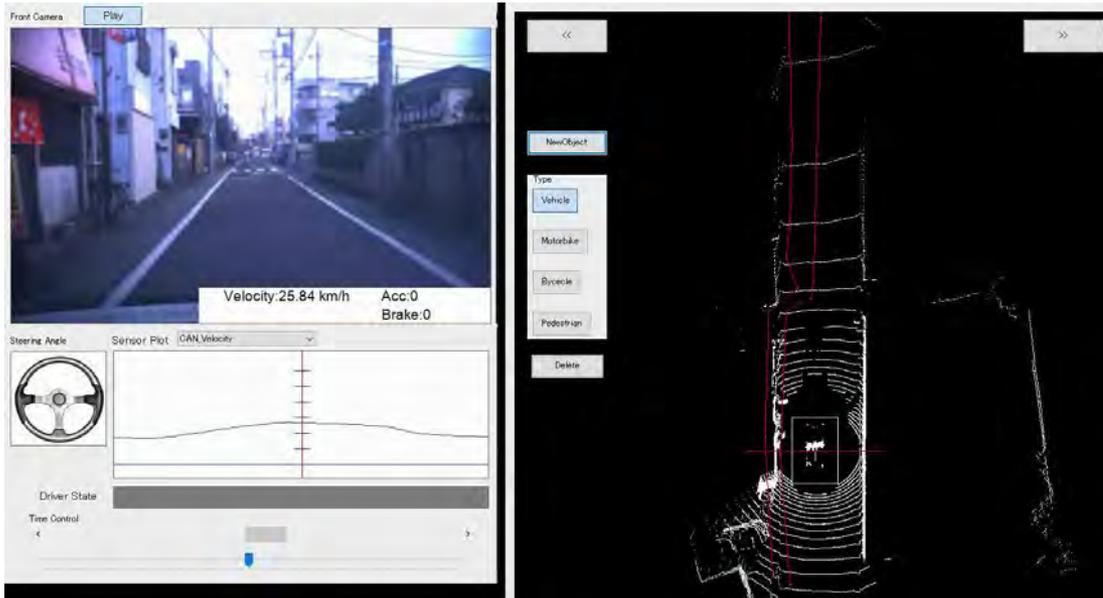


- 地域限定
- 20km/h以下
- レベル4 自動運転

- 名古屋大学COIで開発するレベル4無人自動運転サービス
- 低速度・地域限定という条件を加えることで、安全性の確保を容易にし、2020年代初期のサービス提供開始を目指している

■ 運転知能構築

発進/停止/追越等の運転行動を選択し実行する
プログラムを開発している



- センサ情報処理
- 判断アルゴリズムの開発
- 走行経路の生成
- 車両制御



全てを機械に任せた場合、
自動運転が実施される

運転行動判断に利用される典型的な技術を紹介しながら、主観的に扱いが難しいと感じる（≡事故原因になりやすい）要素について、その利点/欠点を紹介する



自動運転車の事故要因に関する理解の助けとなれば幸いです。

認知
Sense

判断
Plan

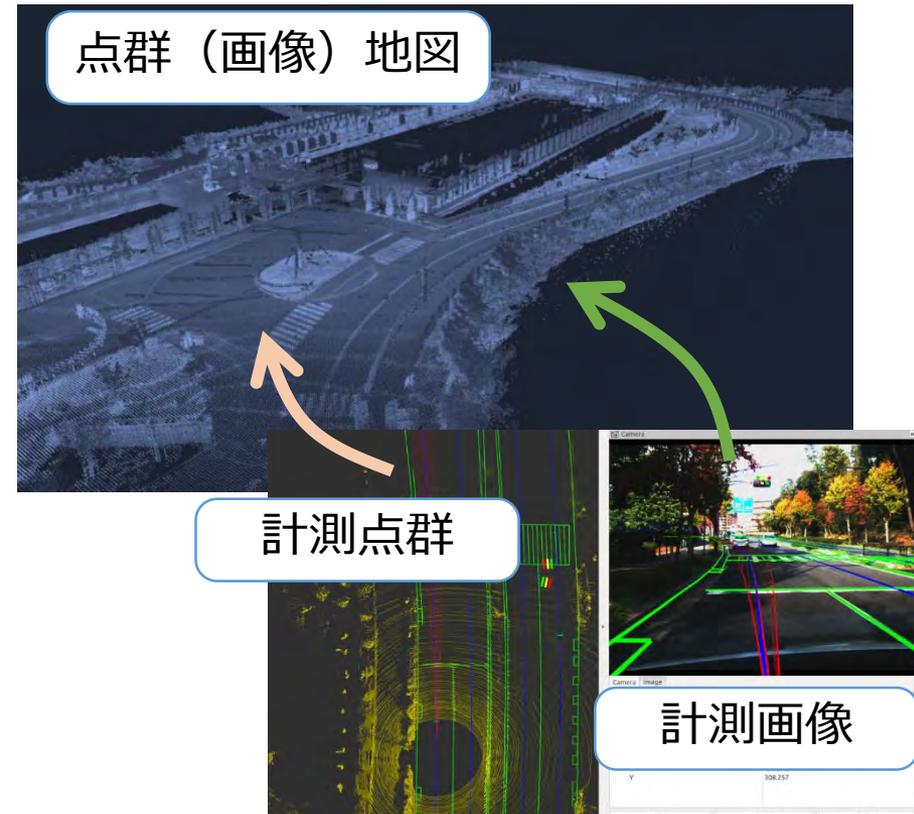
操作
Act

■ 計測誤差/動作不良の条件が明確

- 可視光カメラ
- LiDAR
- ミリ波レーダー
- GNSS (※高価なシステム)

■ 誤差/動作不良の発生要因が複雑

- GNSS (簡易なシステム)
- 画像/点群による位置推定
- 画像/点群による物標識別



認知
Sense

判断
Plan

操作
Act

- 計測誤差/動作不良の条件が明確
 - アクセル/ブレーキペダル
 - ハンドル
 - 衝突被害軽減システム
(※試験法等が確立済)

認知
Sense

判断
Plan

操作
Act

■ 経験的知識

経験的安全指標

車間距離 = 走行時速m

IF-THENルール

IF 障害物 < 10m
THEN 100%ブレーキ

■ 物理則/統計

運動モデル

車間距離 =
遅れ時間 × 速度 + 制動距離

行動予測

飛び出しの速度を実データ
から分析

■ 機械学習

走行車線をカメラ画像
から認識し、
逸脱を警告

走行映像を学習し、
走行計画を生成



衝突被害軽減ブレーキ



クルーズコントロール



レーンキープアシスト



認知
Sense

判断
Plan

操作
Act

自車位置

道路構造

他者行動

交通法規

運転知能

加減速

操舵

完全自動運転

LiDAR

レーザー光の反射で距離を測定



<https://www.argocorp.com/cam/special/Velodyne/VLP-32A.html>

カメラ

可視光の輝度を測定

表-2-1 撮像特性 (IMX273LLR/LQR, IMX287LLR/LQR)

項目	標準値	IMX273	IMX287	備考
感度 (白黒)	標準値 [F8]	915 mV	3660 mV	3200 K, 706 cd/m ² , 1/30s 音積
感度 (カラー)	標準値 [F5.6]	1146 mV	4584 mV	
飽和信号量	最小値	1001 mV	2002 mV	Tj = 60 °C

表-2-2 撮像特性 (IMX296LLR, IMX297LLR)

項目	標準値	IMX296LLR	IMX297LLR	備考
感度 (白黒)	標準値 [F8]	915 mV	3660 mV	3200 K, 706 cd/m ² , 1/30s 音積
飽和信号量	最小値	1001 mV	2002 mV	

表-3-1 基本駆動モード (IMX273, IMX287)

製品名	駆動モード	推奨記録画素数	ADC [bit]	フレームレート (最大) [frame/s]
IMX273LLR/LQR	全面露	1456 (H) × 1088 (V) 約158万画素	12	165.9
			10	226.5
			8	276.0
IMX287LLR/LQR	全面露	728 (H) × 544 (V) 約40万画素	12	319.9
			10	436.9
			8	523.5

https://www.sony-semicon.co.jp/products_ja/new_pro/february_2017/imx273_287_296_297_j.html

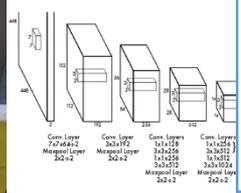
誤差や感度などのセンサ特性は公表されている

画像処理による物標検出

Deep learning等の機械学習による手法が主流
白線検出等では人間の経験的知識に基づく方法もある

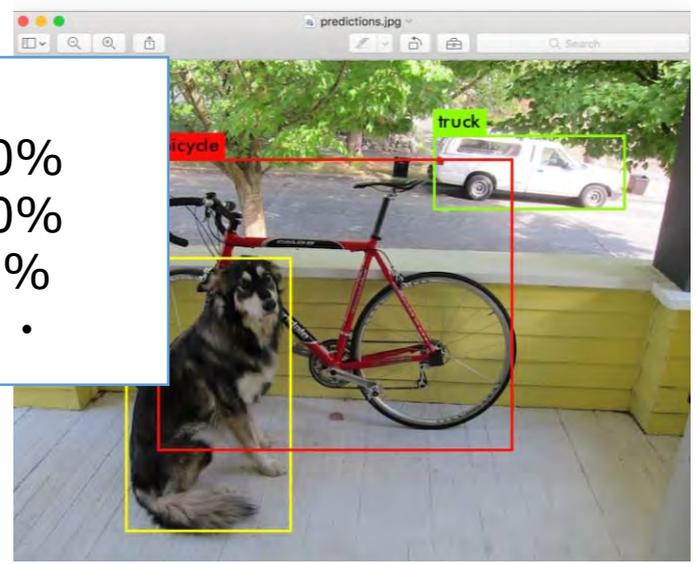
YOLO3

<https://pjreddie.com/darknet/yolo/>



結果

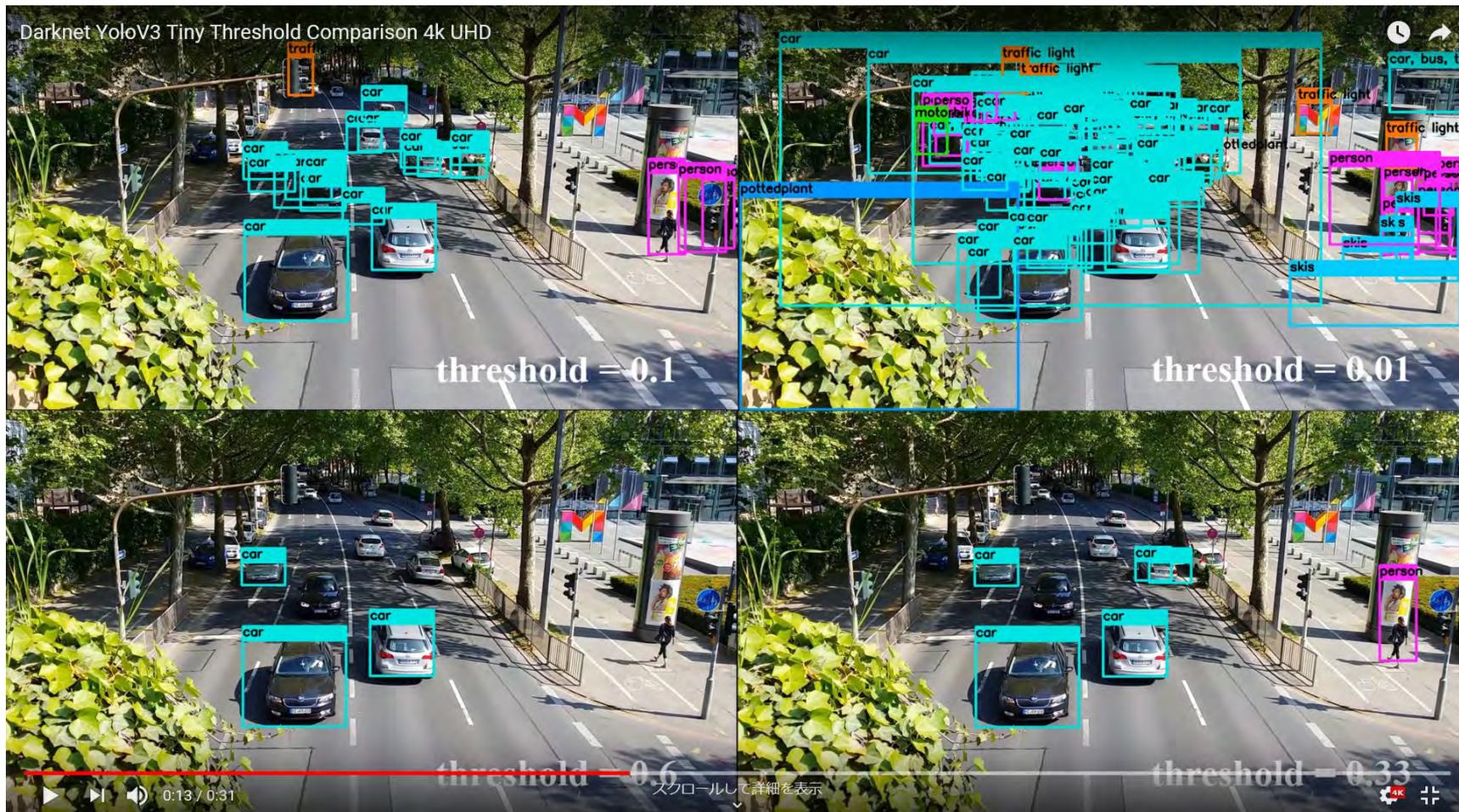
犬 : 70%
馬 : 20%
猫 : 8%
• • •



閾値決定のジレンマ

未検出を防ごうとすれば、誤検出が増える

<https://www.youtube.com/watch?v=kDjEwyrTOeg>



認知
Sense

判断
Plan

操作
Act

■ 物理則/統計

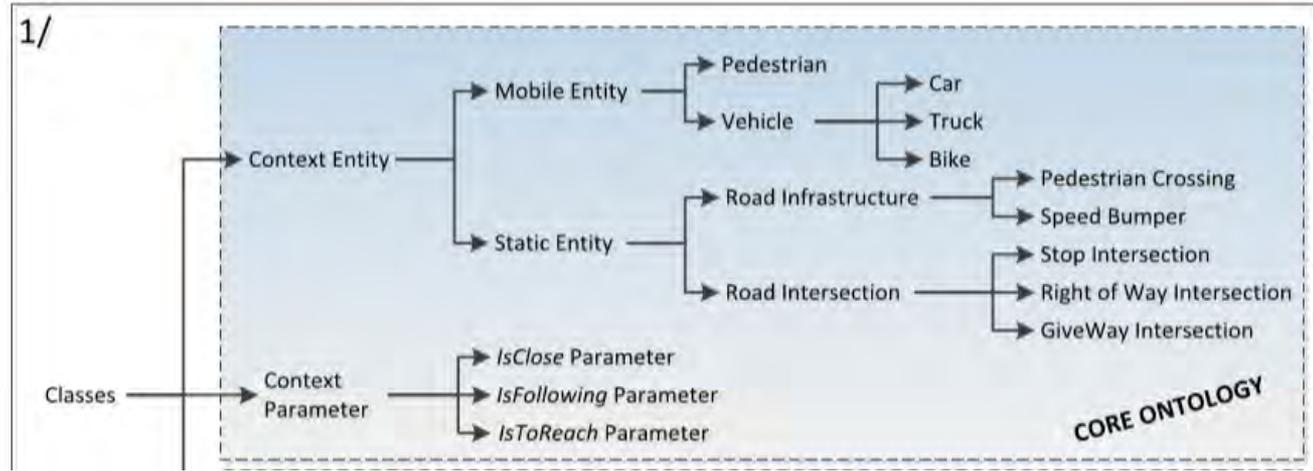
■ 経験的知識

■ 機械学習

■ 経験的知識

知識（用語）の定義

記述しようとする事柄に使用する言葉や文法を定義する
Keyword/Annotation/Ontology/

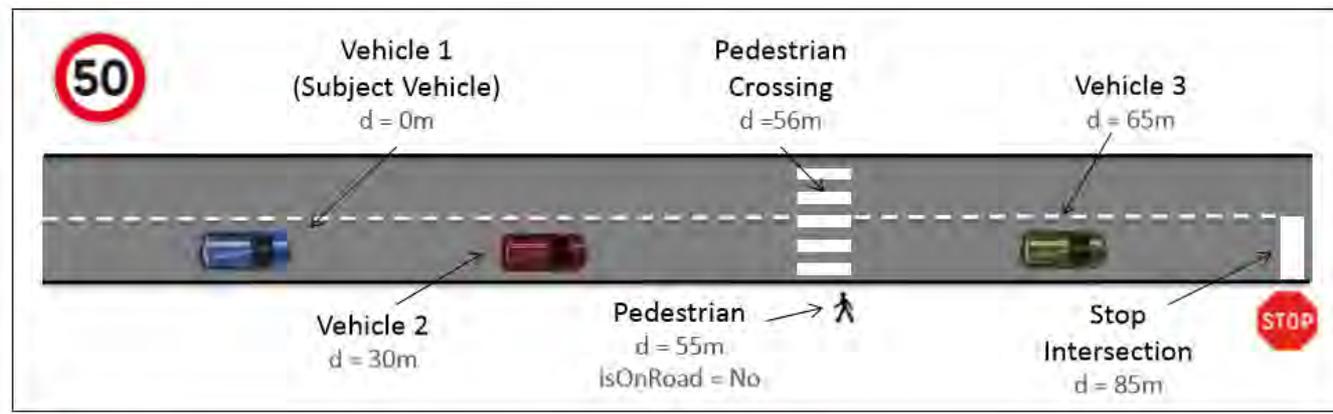


A. Armand, D. Filliat and J. Ibañez-Guzman,
"Ontology-based context awareness for driving assistance systems,"
2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, Dearborn, MI, 2014, pp. 227-233.

■ 経験的知識

知識（ルール）ベースによる機能定義

条件文や関係式を複数与えることで処理を記述（自動化）する



- Vehicle 1:**
- goesToward PedestrianCrossing
 - isToReach Pedestrian Crossing
 - hasToDecelerate for Pedestrian Crossing
 - isFollowing Vehicle 2
 - hasToDecelerate behind Vehicle 2
 - hasToStop behind Vehicle 2

- Vehicle 2:**
- goesToward PedestrianCrossing
 - isToReach Pedestrian Crossing
 - hasToDecelerate for Pedestrian Crossing
 - isToReach Pedestrian
 - hasToDecelerate for Pedestrian

知識（ルール）ベース処理の特徴

利点：

- 道路交通法等の規則を明示的に記述しやすい
- 問題が発生した際に規則を追加するという方法は分かりやすい
- 多くの人が機能を理解可能

欠点：

- 複雑な動作を記述しようとするすると矛盾や例外が増大し管理が困難（不可能）になる
- 例外的な事象に対応できない
→ 制限速度を超えて走行させてよいのか？

知識（ルール）ベース処理の特徴

記述にない事象への拡張

仮説推論を行動予測に用いる ※スコア関数: [Hobbs 93]

背景知識

「大人は歩行者である」
 $大人(x) \rightarrow 歩行者(x)$

「タクシーは客を乗せるために止まる」
 $タクシー(t) \wedge 歩行者(p) \wedge 左前方(t, p) \wedge 手を挙げている(p) \rightarrow 止まる(t)$

仮説

手を挙げている(P) \rightarrow 止まる(T)

歩行者(P) \rightarrow 止まる(T)

観測 $自車(M) \wedge 大人(P) \wedge タクシー(T) \wedge 左前方(T, P) \wedge 何らかの行動(T)$

確率的な推論による
危険度評価値が得られる



- 危険予測などには有効
- 機械学習と同様に、評価値と機能をどのように結びつけるのかという課題がある

認知
Sense

判断
Plan

操作
Act

■ 物理則/統計

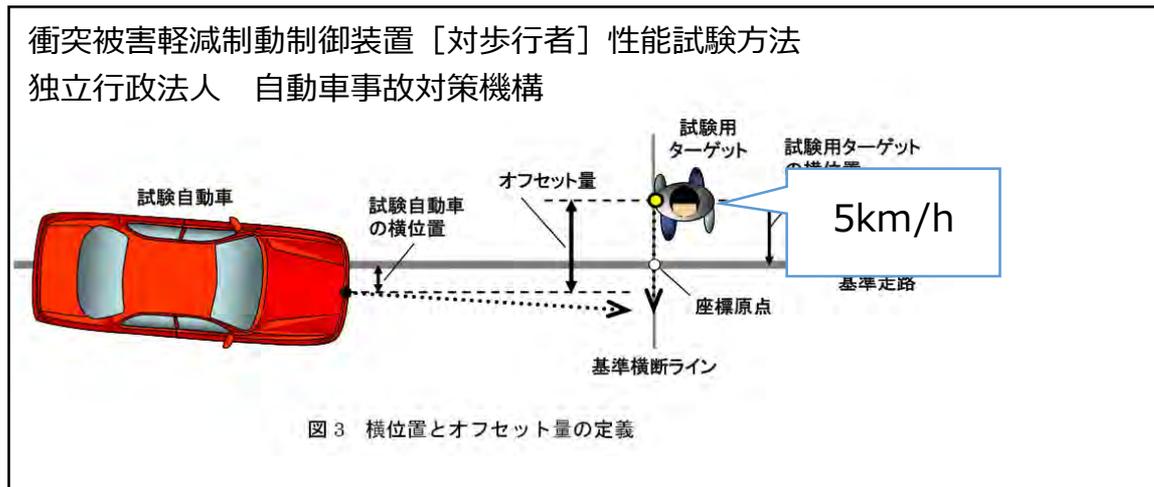
■ 経験的知識

■ 機械学習

■ 物理則/統計

物理則に基づき事象をモデル化し、物理則中に必要な定数値を統計により求めるアプローチ

例：位置 = 速度 × 時間
衝突被害軽減ブレーキの試験



■ 物理則/統計

衝突被害軽減制動制御装置 [対歩行者] 性能試験方法

独立行政法人 自動車事故対策機構

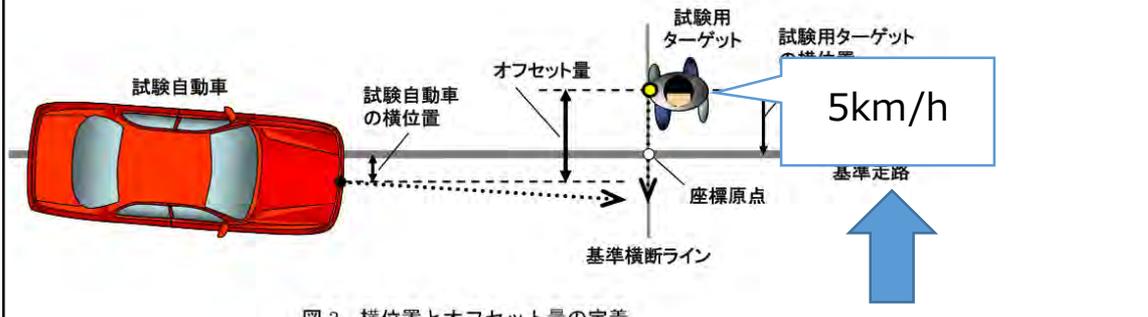


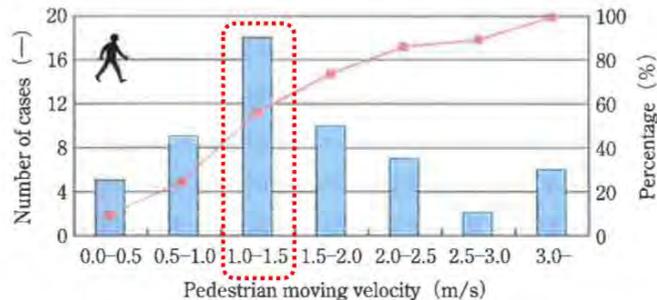
図3 横位置とオフセット量の定義

AEBS性能試験[対歩行者]の実施に伴う基礎調査結果に係る基礎資料

国土交通省 平成27年度第1回自動車アセスメント評価検討会

○歩行速度について

- ・事故時のデータは無いため、ドラレコのヒヤリハットデータを活用。
- ・高齢歩行者が多い点も考慮すると、**5km/h**程度に設定するのが妥当。



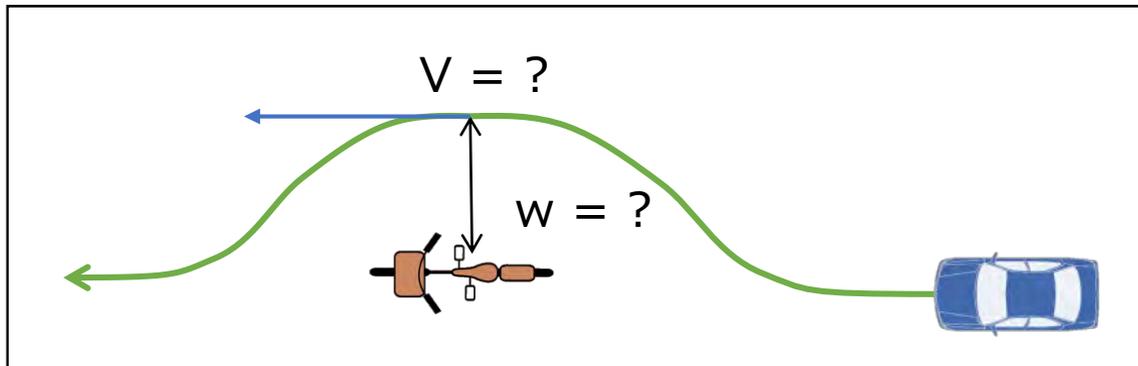
歩行者の飛び出しにおける初期速度の分布 (N=61) (永井, 2013)

http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/02assessment/data/h27_sankou_6.pdf

■ 物理則/統計

道路交通法に従う行動を定義できるのか？

第二十八条 車両は、他の車両を追い越そうとするときは、その追い越されようとする車両
 4 前三項の場合においては、追越しをしようとする車両（次条において「後車」という。）は、反対の方向又は後方からの交通及び前車又は路面電車の前方の交通にも十分に注意し、かつ、前車又は路面電車の速度及び進路並びに道路の状況に応じて、できる限り安全な速度と方法で進行しなければならない。



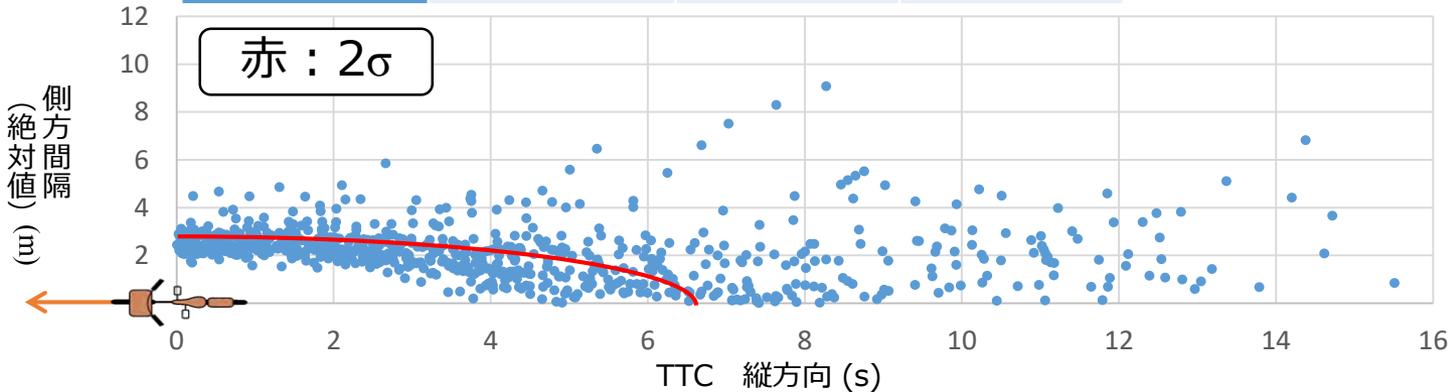
■ 物理則/統計

道路交通法に従う行動を定義できるのか？

第二十八条 車両は、他の車両を追い越そうとするときは、その追い越されようとする車両
 4 前三項の場合においては、追越しをしようとする車両（次条において「後車」という。）は、反対の方向又は後方からの交通及び前車又は路面電車の前方の交通にも十分に注意し、かつ、前車又は路面電車の速度及び進路並びに道路の状況に応じて、できる限り安全な速度と方法で進行しなければならない。

95.4%の場合は、この距離よりも近くで追い越している

種別	進行方向	$2\sigma_{TTC}(s)$	$2\sigma_y(m)$
自転車	先行	6.7	3.3
	対向	2.0	2.6

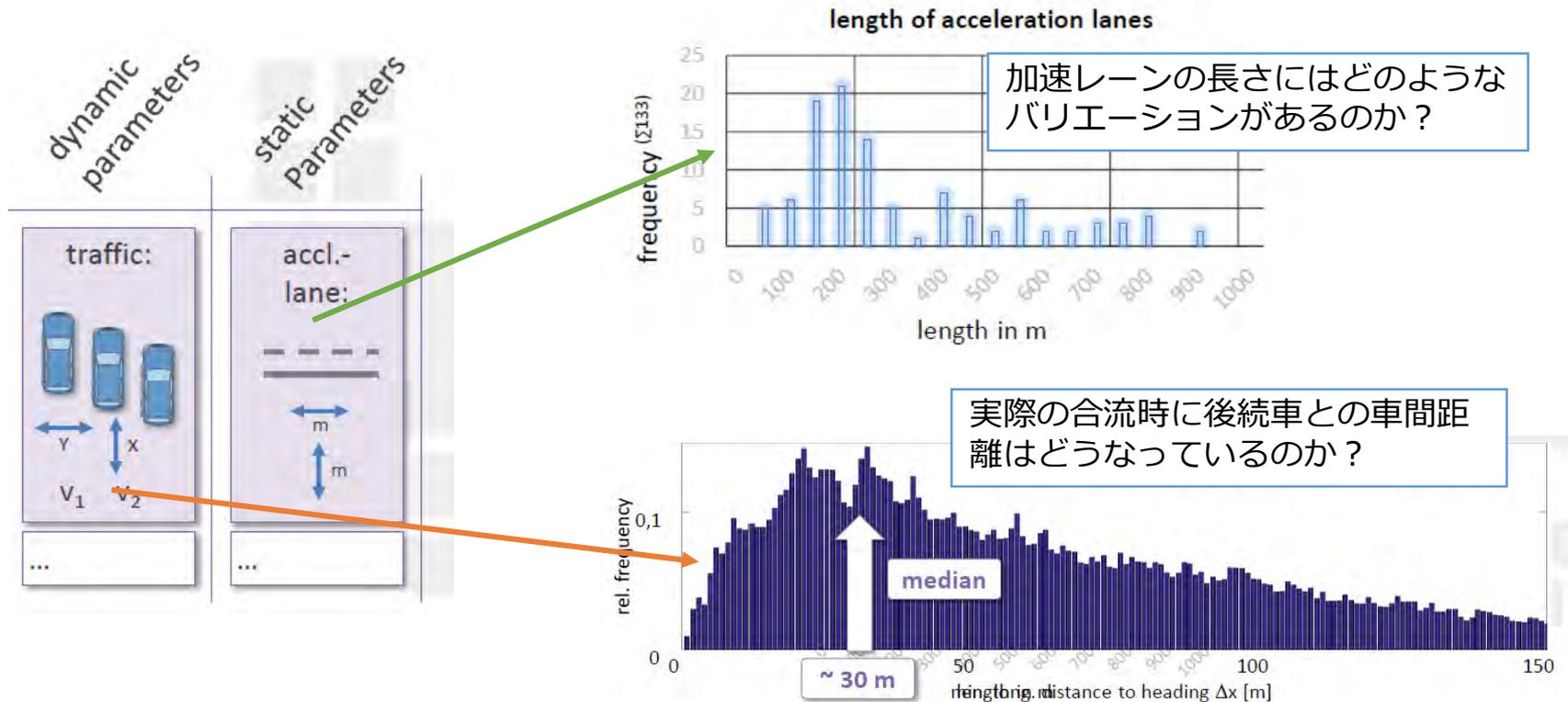


赤木 康宏, ポンサートン ラクシンチャーンサク, 先読み運転支援を可能にするための逆衝突確率モデルを用いた経路計画手法に関する研究, 自動車技術会論文集, No.48, Vlo.4, pp.859-865, 2017.

物理則/統計

第二十六条の二 車両は、みだりにその進路を変更してはならない。

2 車両は、進路を変更した場合にその変更した後の進路と同一の進路を後方から進行してくる車両等の速度又は方向を急に変更させることとなるおそれがあるときは、進路を変更してはならない。



■ 物理則/統計

物理則に基づき事象をモデル化し、物理則中に必要な定数値を統計により求めるアプローチ

利点：

- 多くの方が根拠を理解可能
- 道路交通法等の規則との関連性を示しやすい
- 機能の効果と限界が明確

欠点：

- どのモデルを適用する場面なのかを判別する、上位の判断決定機構が必要
- データの分布を読み解く人の“知識”が混入する
- 国や地域、時間帯により分布は多様に変化する

認知
Sense

判断
Plan

操作
Act

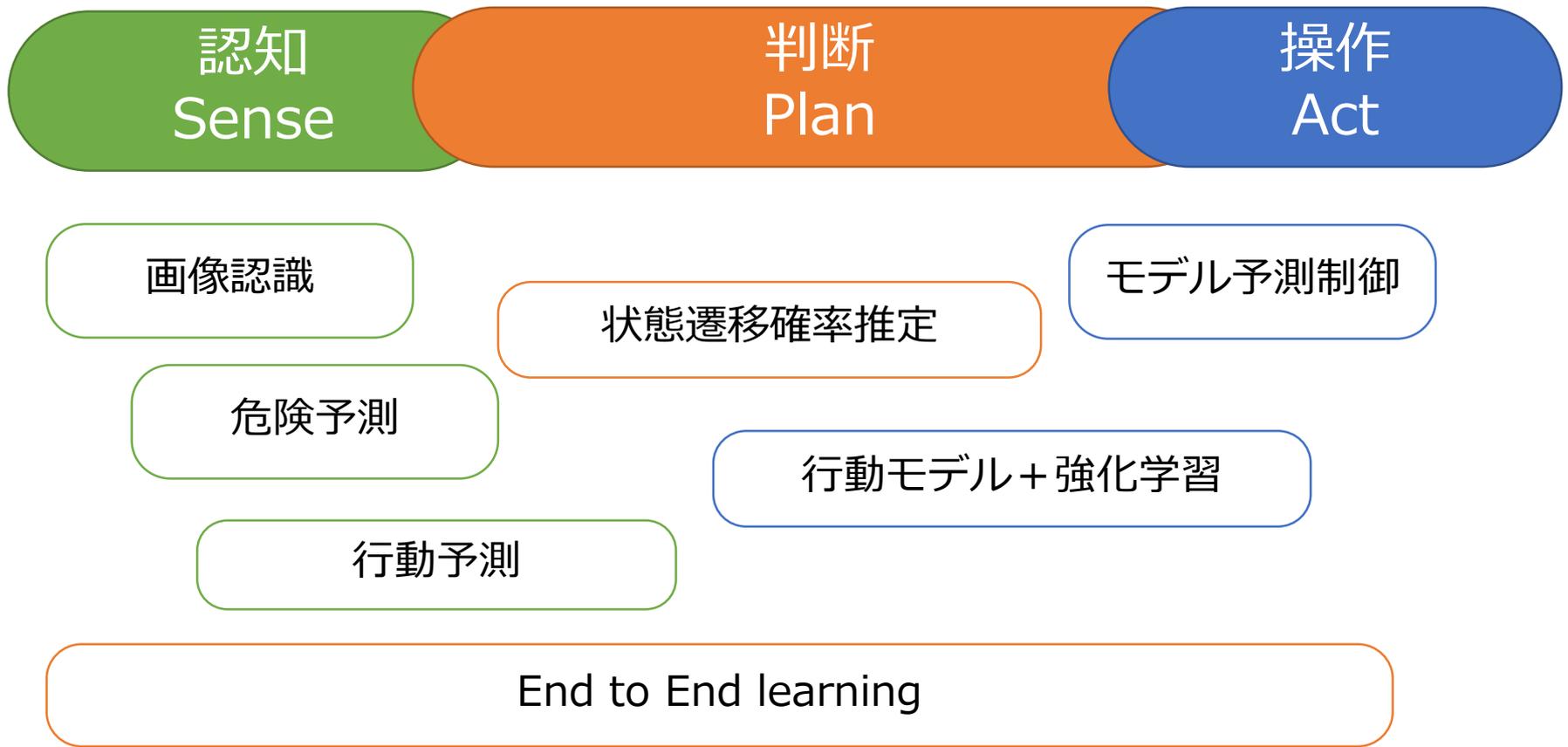
■ 物理則/統計

■ 経験的知識

■ 機械学習

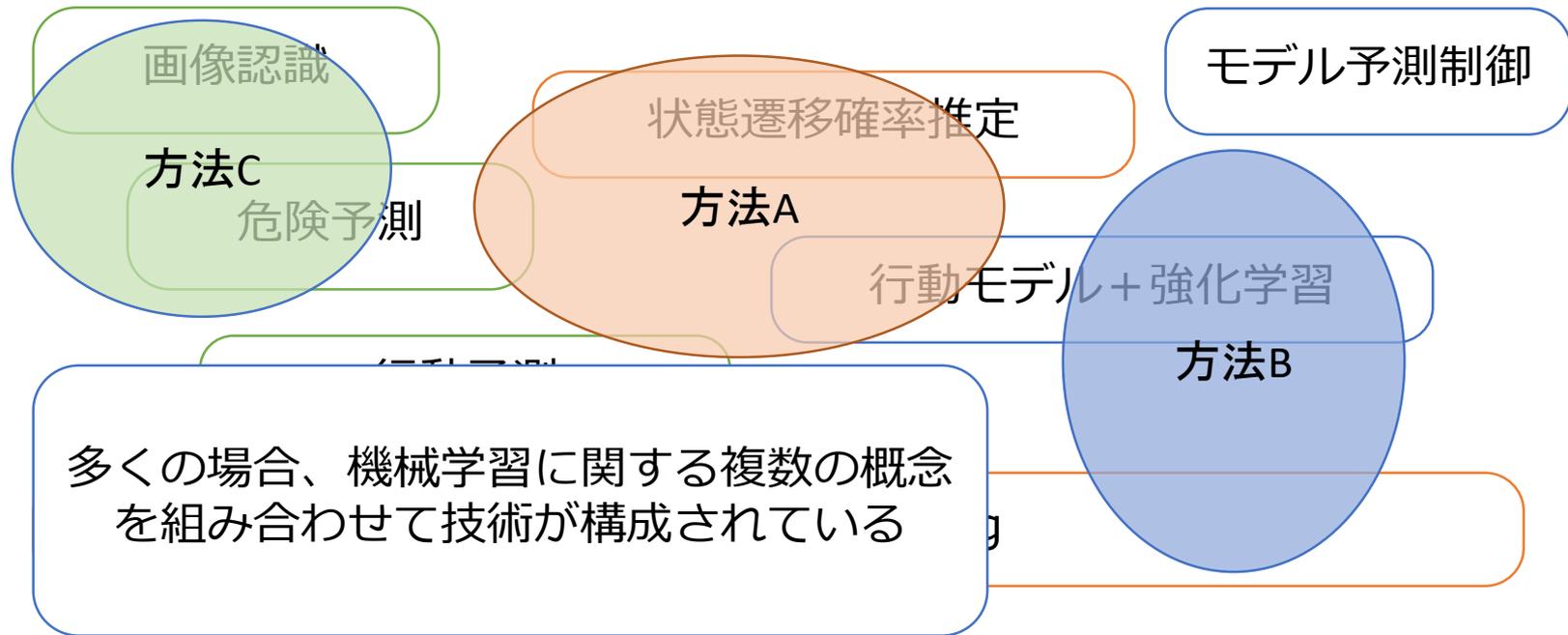
■ 機械学習

“自動運転に「AI」を使っています。”
といっても、使われ方は様々



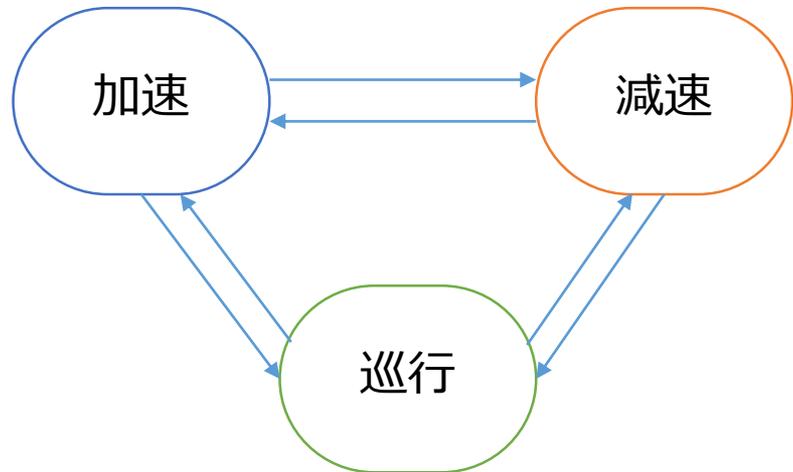
■ 機械学習

“自動運転に「AI」を使っています。”
 といっても、使われ方は様々

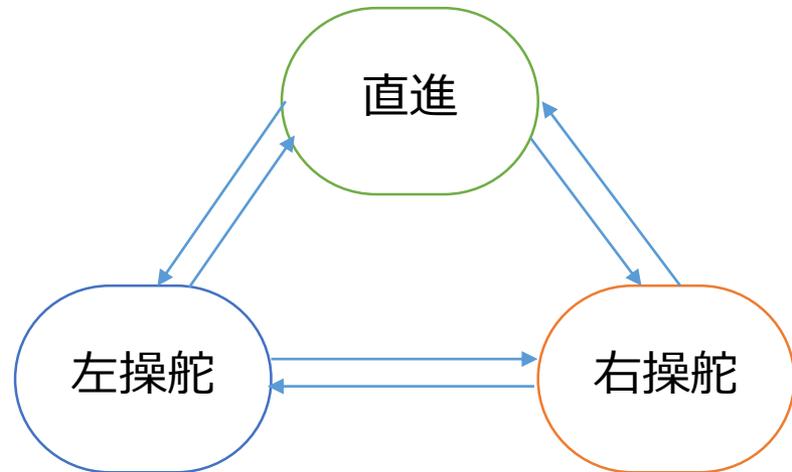


■ 機械学習

車の動作モードと状態遷移を観測から決定する

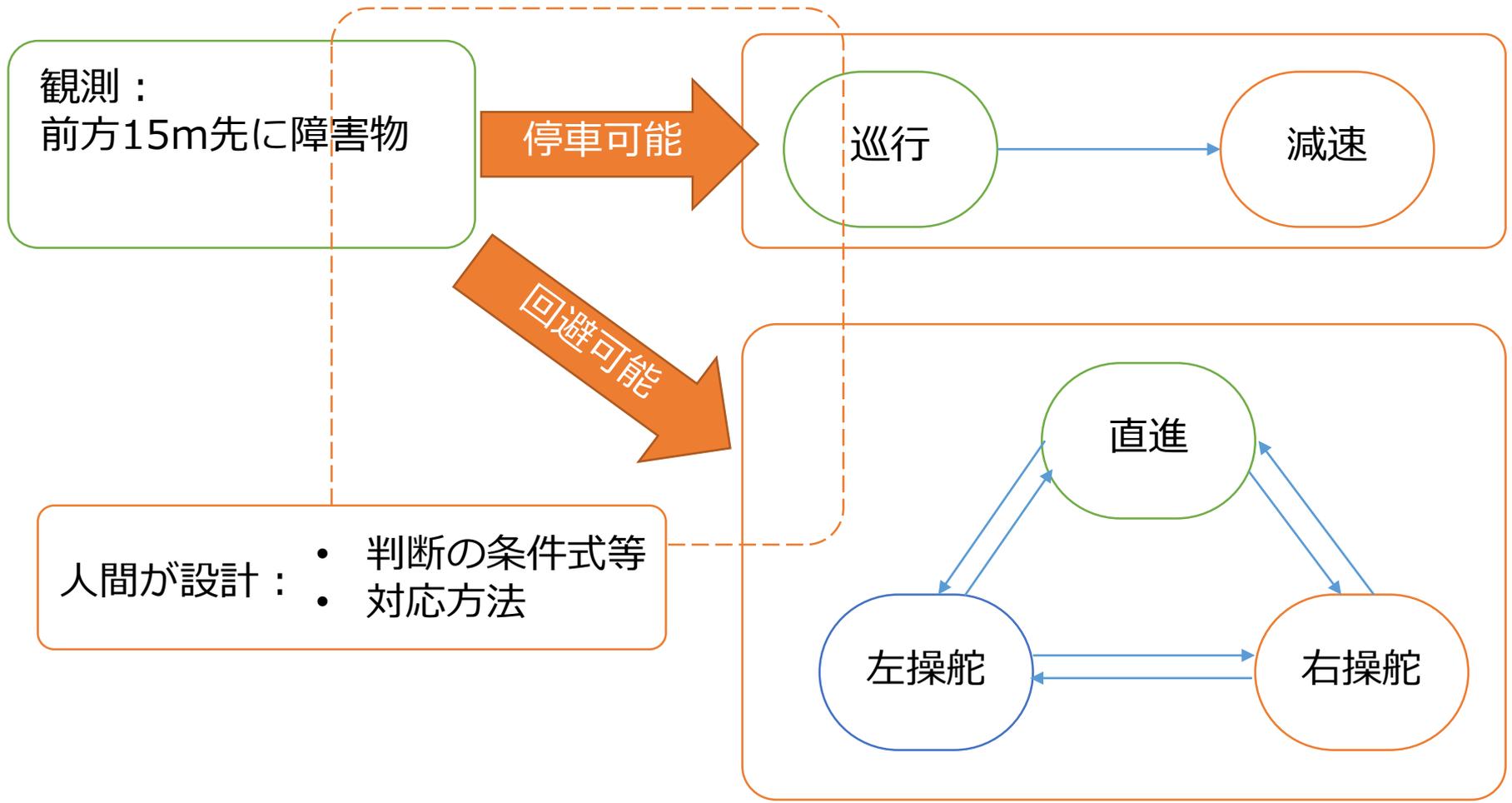


加減速制御

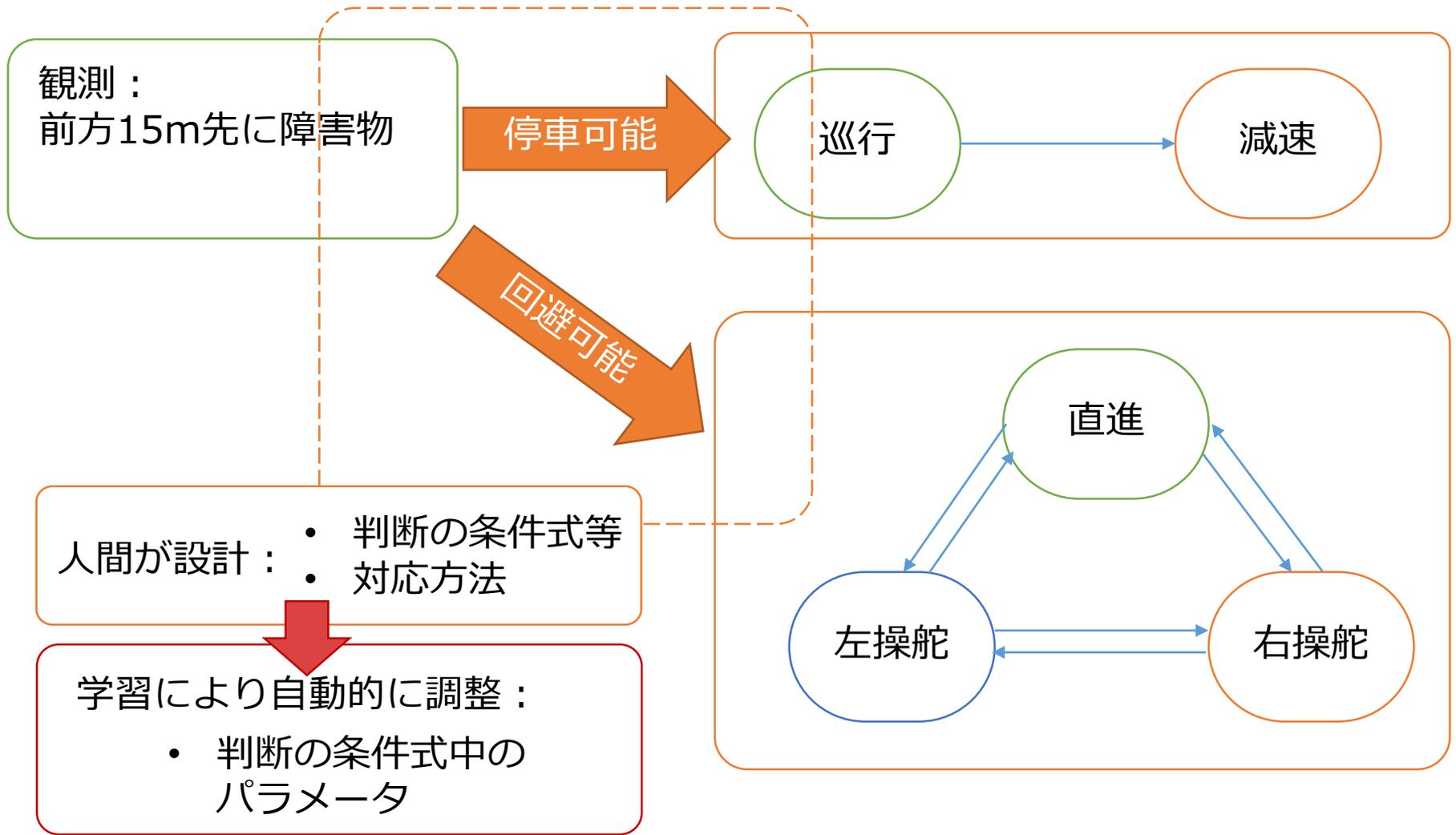


操舵制御

■ 経験的知識/物理則

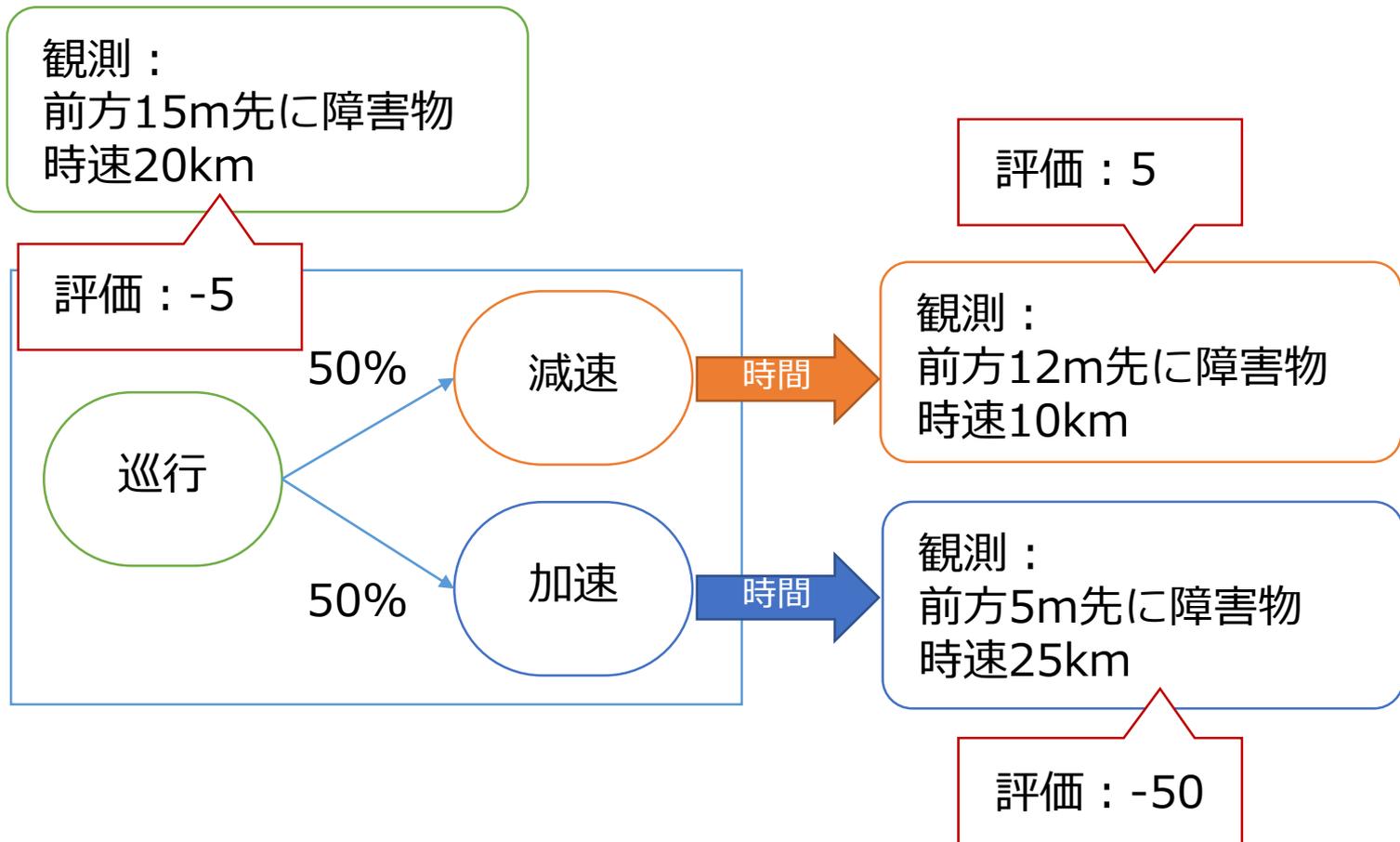


■ 機械学習



■ 機械学習

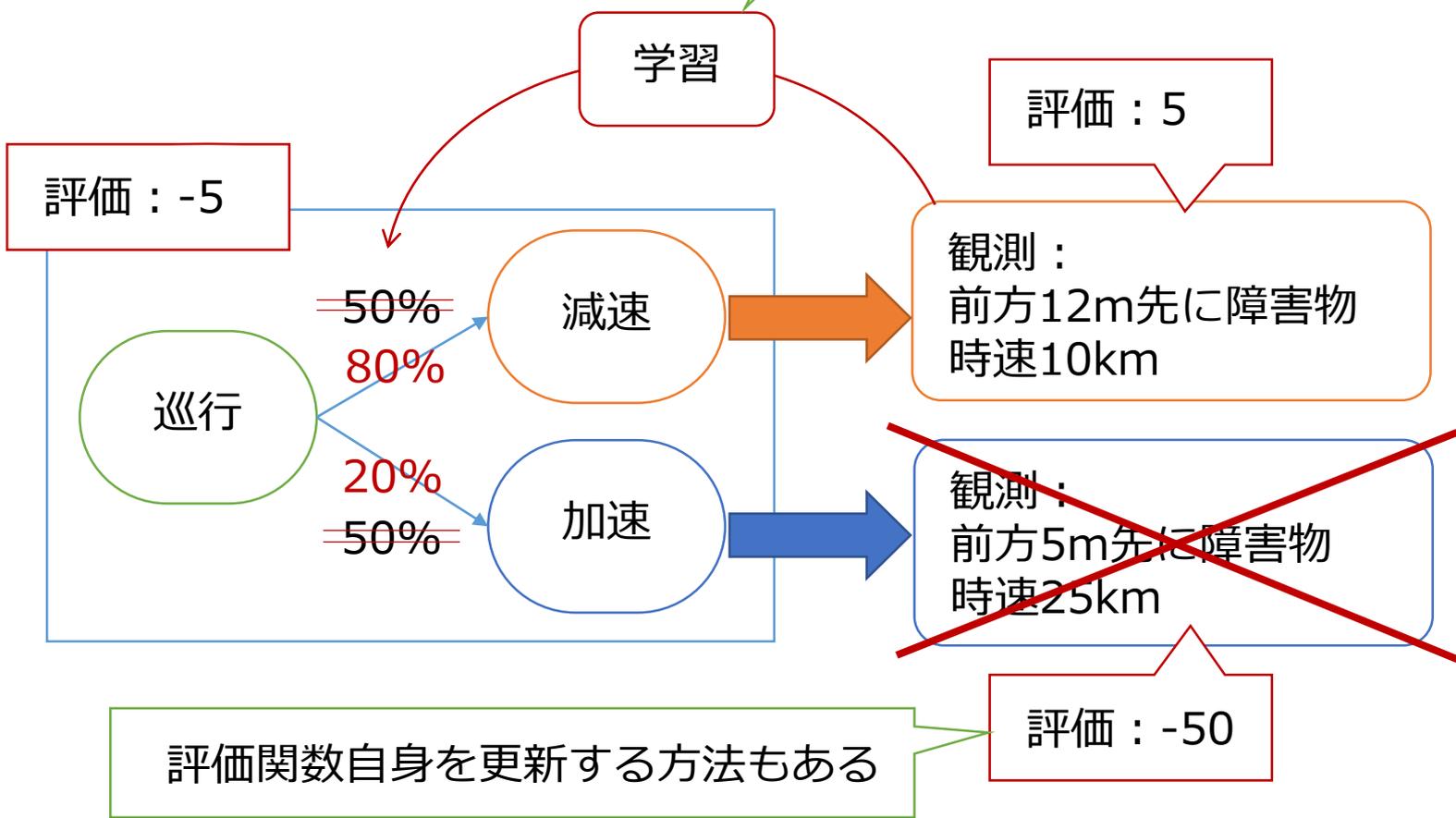
例：状態遷移確率と評価関数



■ 機械学習

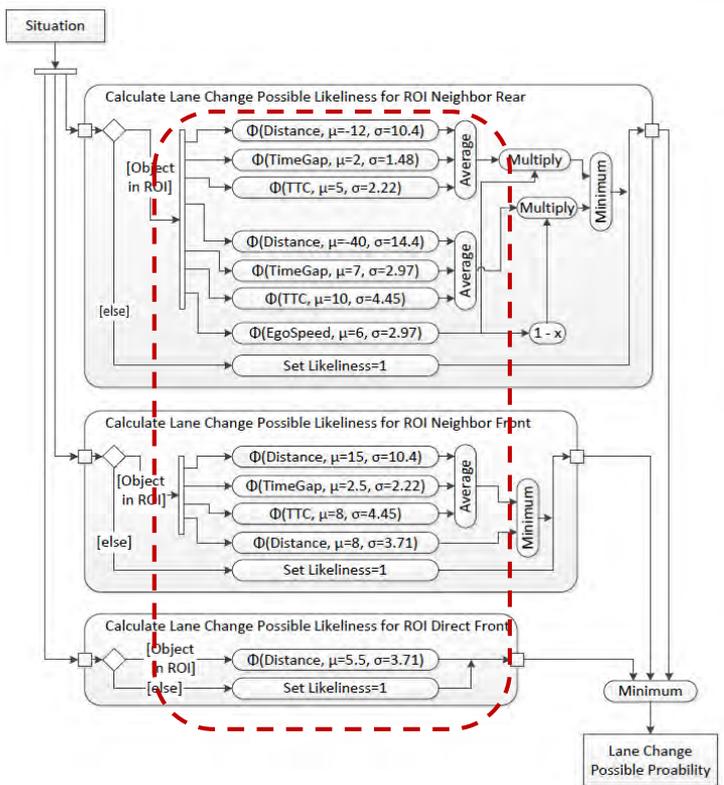
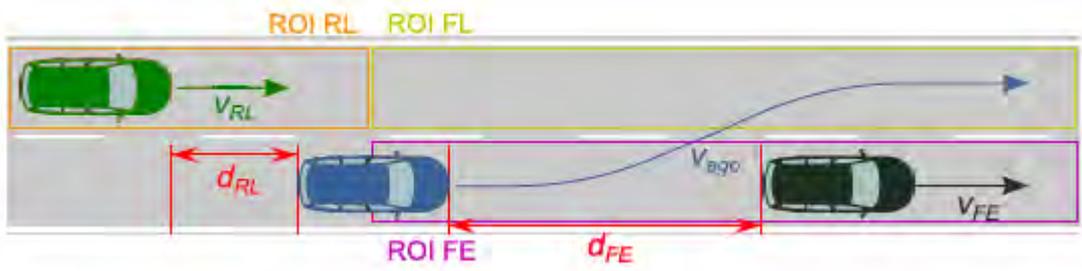
例：状態遷移確率と評価関数

製造段階で学習を繰り返し、利用中は更新しない、オフライン学習と、使用中も更新を続けるオンライン学習がある



機械学習

例：車線変更の可否判断



安全性や効用に関する複数の評価モデルとパラメータ

↑
実際の運転データから学習
人間と同様の車線変更判断を行う

S. Ulbrich and M. Maurer, "Probabilistic online POMDP decision making for lane changes in fully automated driving," *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)*, The Hague, 2013, pp. 2063-2067.

■ 機械学習

例：画像等を入力とし、加減速操舵を出力とする方法

- end-to-end learning
- 評価関数の設計などの人間の関与を求めない

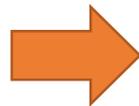
■ 画像から経路として妥当なコースを決定

C. Hubschneider *et al.*, "Integrating end-to-end learned steering into probabilistic autonomous driving," 2017 *IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Yokohama, 2017, pp. 1-7.



入力：

- 画像
- ハンドル角度



出力：

- 前方〇〇mまでの
ハンドル角度列

■ 機械学習

利点：

- 複雑な評価関数の設計が可能
(ルールベースでは不可能だったボードゲームでは成功)
- データの収集と学習だけでよい

欠点：

- 事故発生時の明示的な対応が不可能
“追加学習”をすればよい ⇨ これまでできていたことが
できなくなる、“忘却”が発生
- 学習データの品質をどう保つか (危険運転を学習してしまう)

■ まとめ

- 完全自動運転に関連する研究開発は始まったばかり

Early Flying Failures Stock Footage – The Film Gate

<https://www.youtube.com/watch?v=Sp7MHZY2ADI>

- 知識ベース/物理モデル/統計/機械学習等のアプローチは単純に対立する概念ではなく、ほとんどの場合、内包や依存関係にある
- センシングや制御は機械的な故障や性能不足が問題となりやすいが、判断機能は状況の評価方法の誤りが原因であることが多い

ありがとうございました。