



「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」

(人工知能分野) 中間成果発表会

－人間と相互理解できる人工知能に向けて－

# データ駆動型人工知能と論理知識型 人工知能の融合による解釈可能な 自動運転システムに関する研究

平成29年 3月29日

我妻 広明

九州工業大学／理化学研究所／産業技術総合研究所

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

- ・自動運転技術は、人的労力での回路設計、機械学習(データ駆動型AI)等による分析の自動化で、人が理解・解釈できる判断の推論過程可視化やルール追記・根拠明確化への介入が難しかった。
- ・融合AI技術(データ駆動型AI×論理知識型AI(オントロジー等))で、人間に対して判断・推論過程を可視化できるAIの実現で、人間にとっての「安全・安心」が具体化した。

(従来: 推論はブラックボックス→本方法: 可視化+ルール編集可能)

センサフュージョン、シーン・リスク解析、ROS上ハード親和性実装・実車検証プラットフォームを用い、カメラ・ミリ波・低価格レーザセンサ、階層型SOM、OWL(Web Ontology Language)+SWRL(Semantic Web Rule Language)

## 【従来の手法】

運転の自動化を図ってきたが、**人間**にとっての「安全・安心」や、**熟練運転者技能の再現**は方法論が確立していなかった

自動車専用道路  
には適用可能

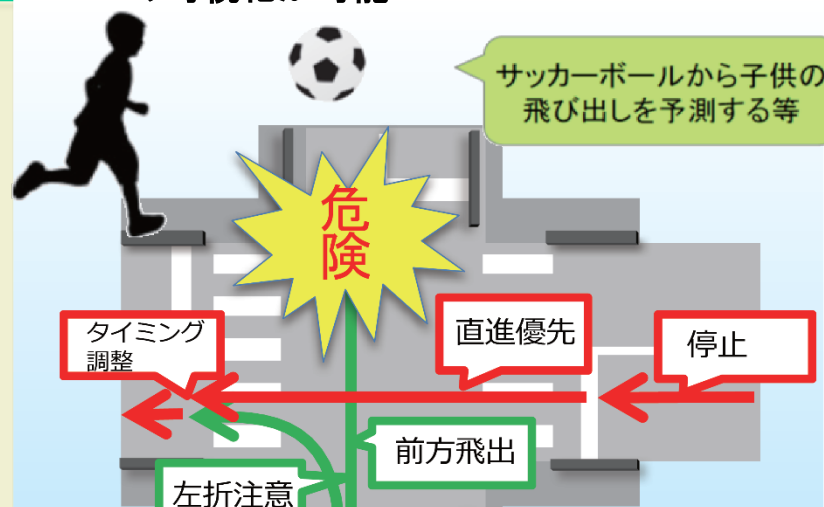
約4.2% ※

(※ 市町村・私道を除く、国内の道路総延長22万kmに対しての比率として算出)

等を、融合AI技術としてシステム構築し、熟練運転者技能・判断能力の再現が可能になった。SWRLの精緻化と人・車モデル化を進め、実用化を着実にする。

## 【本融合手法】

人と親和性のあるAI: 運転中の推論過程の可視化が可能



国都道府県道まで適用化なら **95.8%** ※

現状では推論処理に300ms程度かかるため、低速(30-40km/h)で走行

## 今後の課題

- ①推論速度・精度の向上(50-100ms; 複雑状況に対応)
- ②熟練者判断ルール自動生成可能なAI手法を構築する

# 研究背景

## データ駆動型AI

## 強みと弱み

人と同等の  
処理能力!  
を期待

ヒト由来情報処理, !  
脳型コンピュータ!  
(LSI化)

(甚大)

データ量または複雑度

(中程度)

データ量が多い程!  
信頼性が高い

即時応答性は低い!  
(オフライン学習)

Deep!Learning, !  
機械学習など!  
(ベイズ統計則等)

注意変化・動作など!  
生体計測はある程度可能!

共通課題

即時性・オンライン!

危険な状況の回避  
知識獲得

未知の状況

データ量が多い程!  
信頼性が高い

情報の複雑化!  
→演算負荷大

相補

人工ポテンシャル法!  
(軌道生成・障害物回避)

ITSオントロジー!  
(状況分析・知識DB処理)

状況の想定を!  
フレームワーク化

移動ロボットとの!  
共通基盤化可能

論理知識型AI

(実用研究)

実用の見通し

(基礎研究)

# 自動走行システムに必要な技術

## クルマ:自動走行システム



センサー



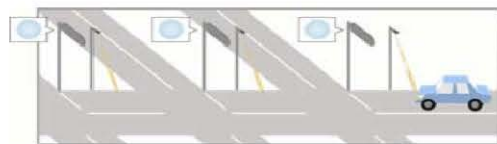
人工知能



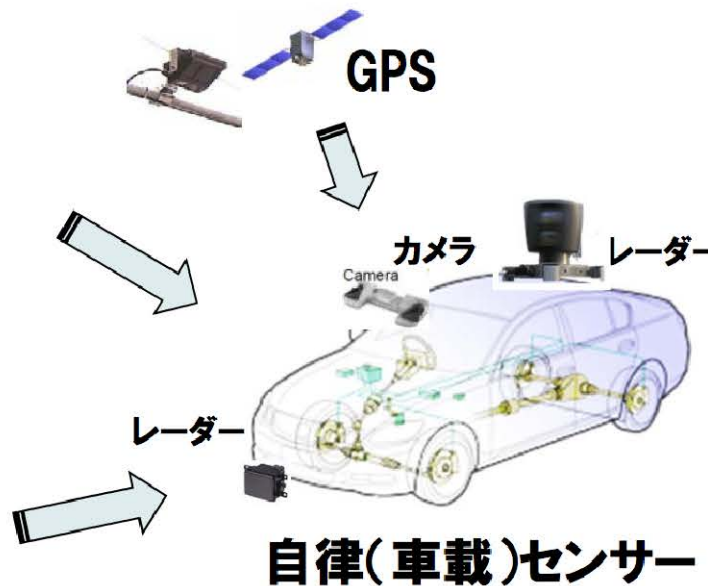
アクチュエーター



高精細なデジタル地図

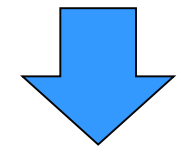


ITS先読み情報



自律(車載)センサー

安全・安心



『人間に寄り添う  
人工知能』が必要

# 自動運転はここまで来た

\*2) TED2015・Filmed March 2015・15:29

クリス・アームソン: 自動運転車は周りの世界をどう見ているのか

Google Car の課題



白いのが私たちの車です

# 私たちが考えるGoogle Carの問題点

## 『Google Car』のコンセプト

完全自動運転  
= 人が**介入しない**運転

おばあさんが、車椅子で鴨を追いかけていた…



自動運転車は、**何が起きているか**  
**人に説明しなくて**  
**も「止まれば良い」**

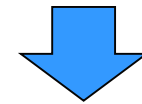
「完全」自動



電動車椅子の女性が  
道の真ん中で  
ぐるぐる鴨を  
追いかけていたんです (笑)

本プロジェクトのポイント

安全・安心



『人間に寄り添う  
人工知能』が必要

「何が起って」  
「どう判断したか」  
を  
人に説明可能な  
自動運転技術

万一事故が起こったら



メーカー責任

## 【本研究における仮説】

熟練者の運転知能は、  
様々な拘束条件を推定  
して分解し、階層構造  
を再現して、可視化す  
ることで検証できる

知識、運転習慣

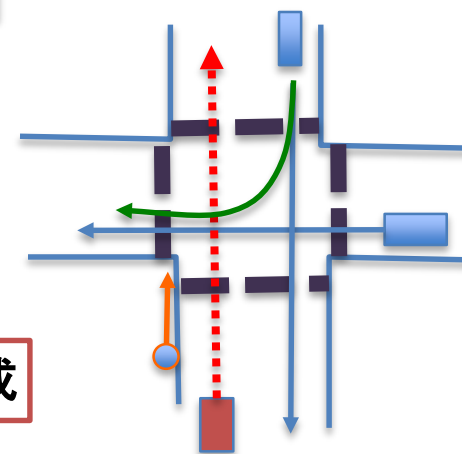
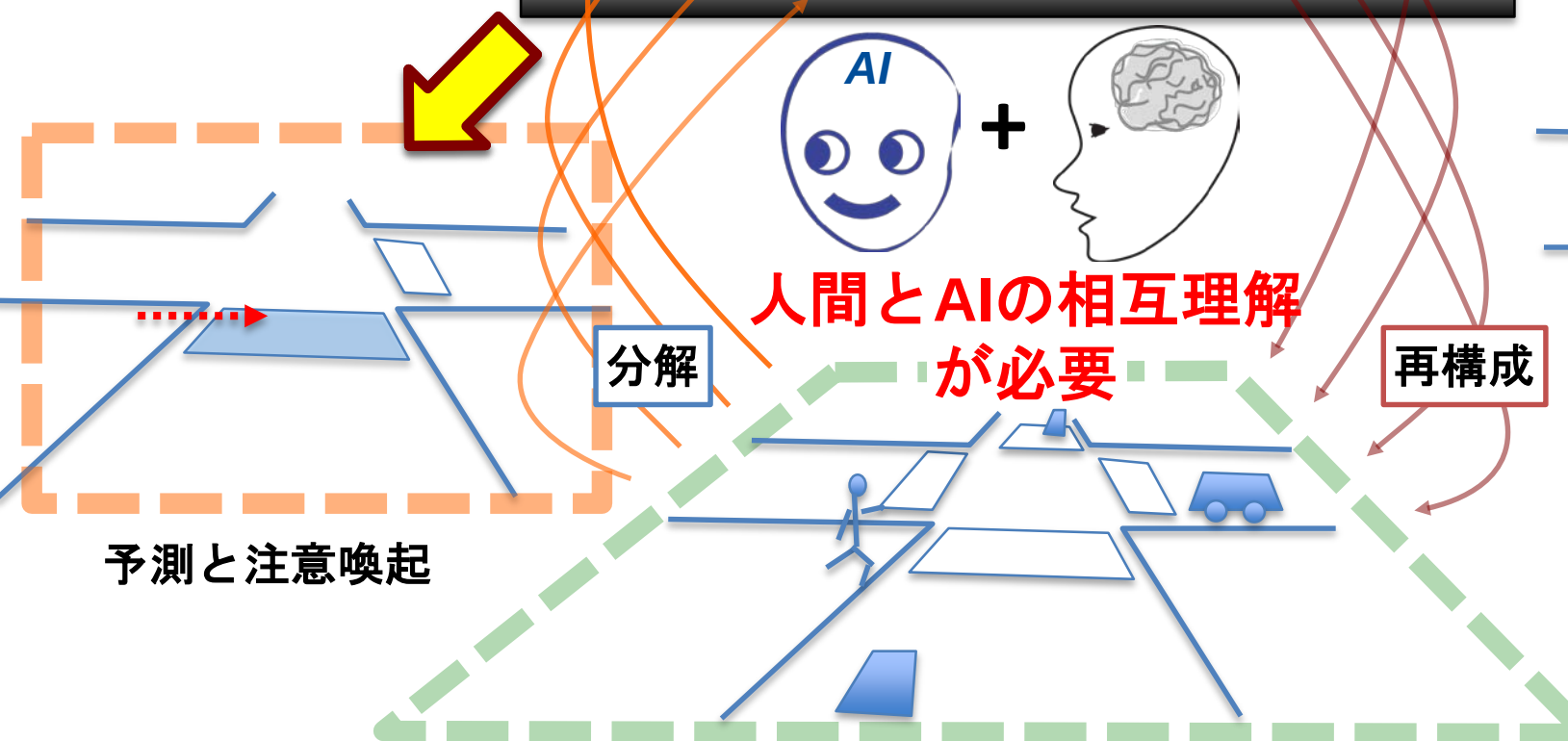
予測、行動計画

危険性、リスク

交通法規における拘束  
道路、走路の拘束条件

物理的拘束条件

必要な  
情報



## 研究項目（データ駆動型）

1. アノテーション・シーン分析（九州工業大学・堀尾研）
2. センサ・フュージョン+多種情報照合（堀尾研・西田研・我妻研）
3. ハードウェア実装・自動運転用ROS整備（田向研・西田研）

本日のお話

## 研究項目（論理知識型）

4. 自動運転用オントロジー記述（九州工業大学・我妻研、産総研・市瀬  
招聘研究員／国立情報学研究所（NII））
5. シミュレータテスト・実車検証（堀尾研・田向研・我妻研）

## 研究項目（公道実証／ドライバ解析）

6. 公道実証（九州工業大学・我妻研・田向研・西田研・大屋研）
7. ドライバ解析（我妻研・夏目研）



自動運転における**人工知能技術の有効性や信頼性を定量的に評価し性能を保証**するための方法、そのために必要となる**標準的問題設定や標準的指標等の満たすべき性質と構築の方法**について研究開発

# 研究背景

## データ駆動型AI

## 強みと弱み

人と同等の!  
処理能力!  
を期待

ヒト由来情報処理, !  
脳型コンピュータ!  
(LSI化)

データ量が多い程!  
信頼性が高い

即時応答性は低い!  
(オフライン学習)

Deep!Learning, !  
機械学習など!  
(ベイズ統計則等)

注意変化・動作など!  
生体計測はある程度可能!

(甚大)

データ量または複雑度

(中程度)

データ量が多い程!  
信頼性が高い

情報の複雑化!  
→演算負荷大

人工ポテンシャル法!  
(軌道生成・障害物回避)

移動ロボットとの!  
共通基盤化可能

共通課題

即時性・オンライン!

危険な状況の回避  
知識獲得

ITSオントロジー!  
(状況分析・知識DB処理)

相補

状況の想定を!  
フレームワーク化

未知の状況

オントロジー  
技術の活用

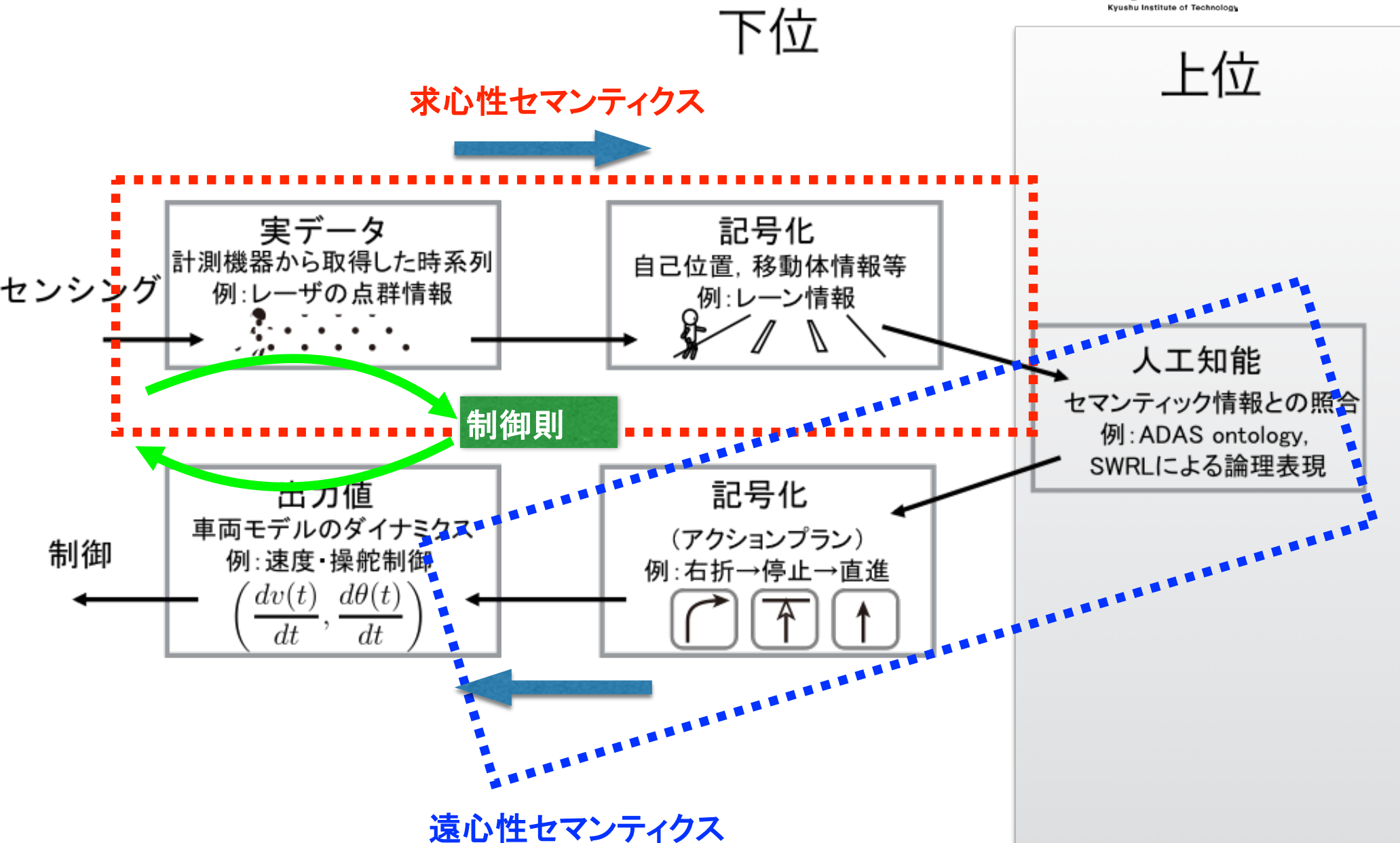
論理知識型AI

(実用研究)

実用の見通し

(基礎研究)

# 自動運転に必要なセマンティック情報 生成の提案



# 「安全・安心」とは何か？

何が起こるかわからないから、可能な限り  
設計に織り込んでおこう

人間工学  
機械工学  
機械的(設計論的)

制御工学

安全

壊れにくい・誤動作

信頼性・頑健性・フェイルセーフ

よく考えられている

壊れても安全側へ

安心

猶予・余地・回避策有

時間

空間

方法

(決断までの)

(他者との距離など)

(万が一に取り得る  
策の選択肢)

認知的  
(状況との関係を含んだ  
心理作用含む)

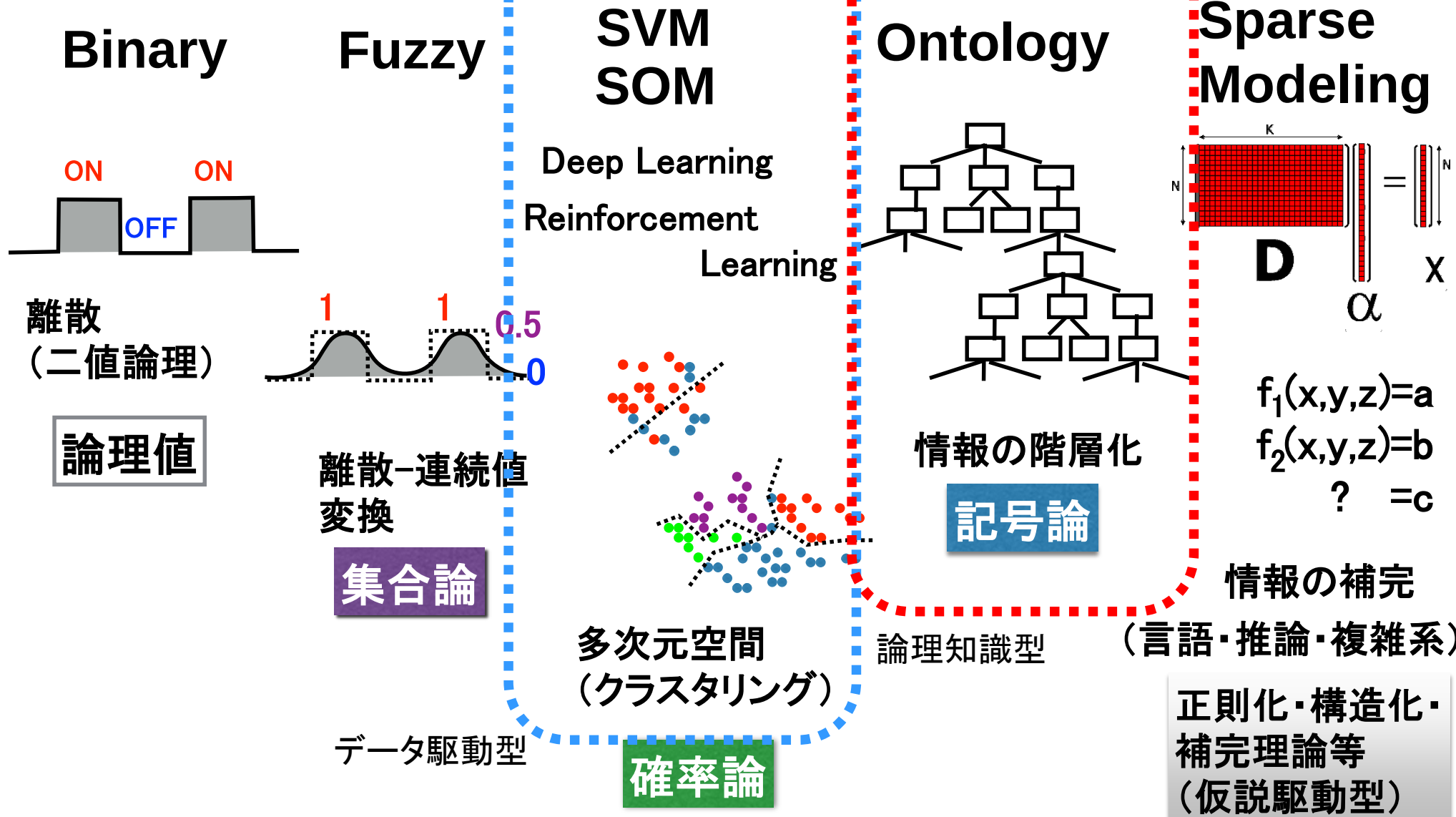
人間がどんなことを感じて、どう振る舞うかを想  
定して、柔軟性を盛り込んでおこう

脳科学  
認知科学  
情報科学

ドライバモデル

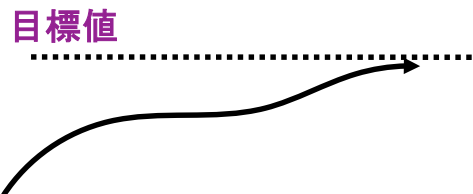
歩行者・自転車の振る舞いモデル

# 実装技術としてどのような理論がつかえそうか？



## 目標値追従型

Feedback制御

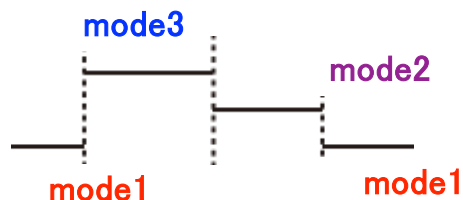


Feed Forward制御



## モード切替

複数機能を包括



非線形制御の  
区間線形化

工学  
+  
情報論

が必要

かもしれない

かもしれない

かもしれない

かもしれない

どんな機能を保証しなくてはならないか？

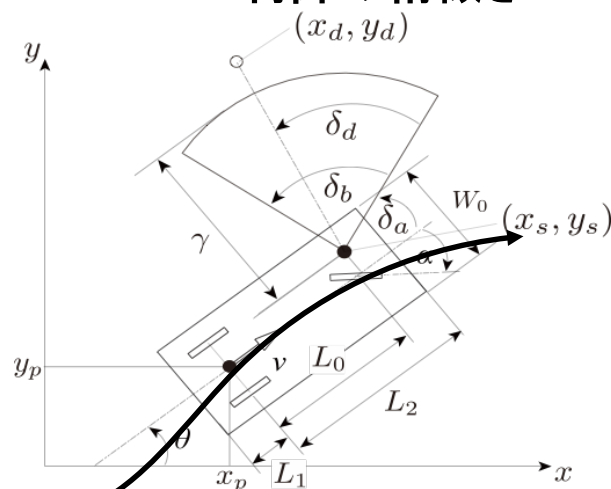
最適化問題  
の定義

確率論

決定論

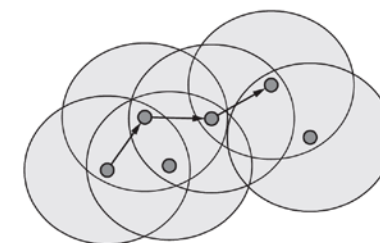
## モデル型

制御の精緻さ

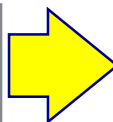


## マルチエージェント型

冗長性による確度向上



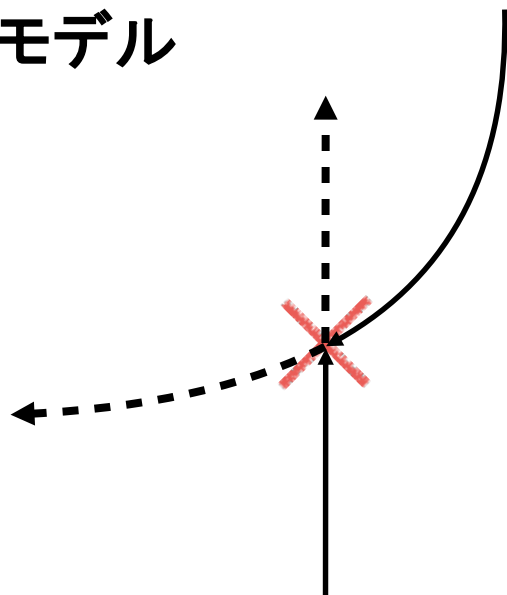
# 現象をどう記述するか



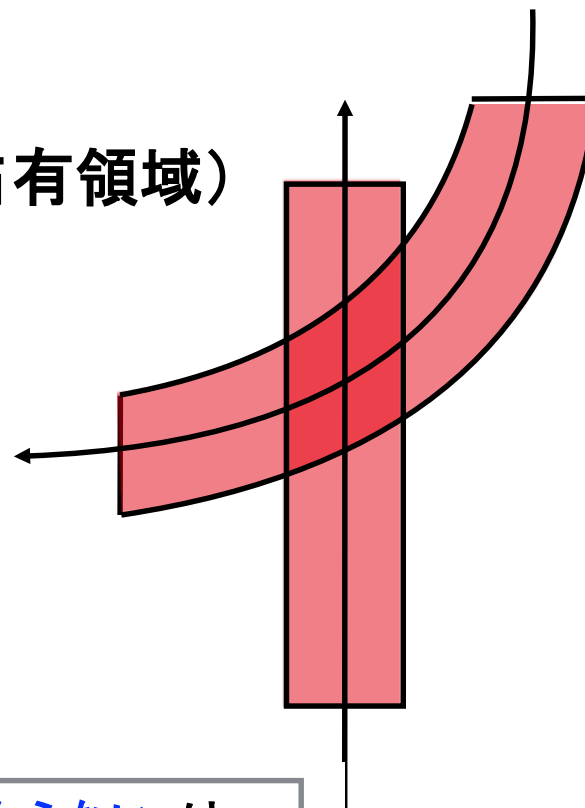
社会インフラと合致しなくては  
産業界に寄与しない

## 衝突のモデルの例：

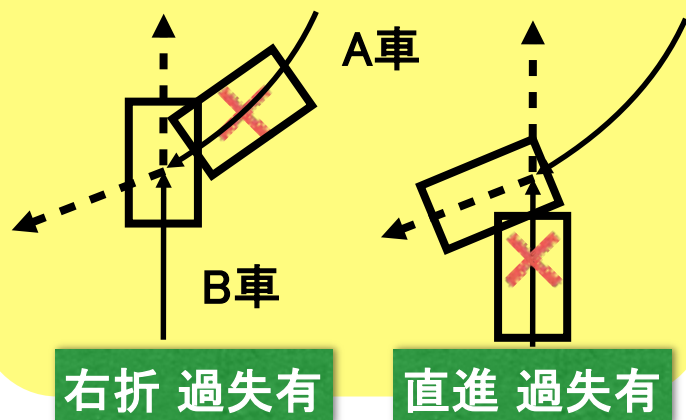
### 質点モデル



### 体積(占有領域)モデル



### 具体的なケース



「当たる」「当たらない」は  
二者択一(0 or 1)ではない

自動運転A車の過失割合 70%  
// B車の過失割合 30%

「道交法を守っていたか」  
「無理な侵入はなかったか」  
「確認を怠ってなかったか」

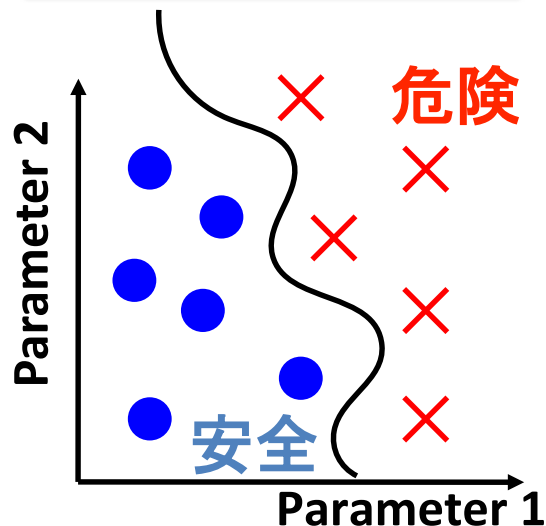
万が一に  
備えるこ  
とが可能

自動車保険  
の保証割合  
の決定



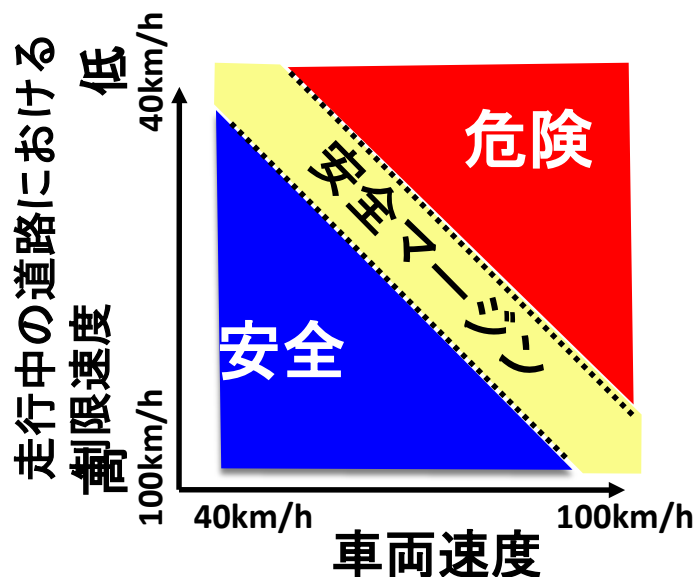
# 「推論可視化」の問題

## 典型的なクラスタリング

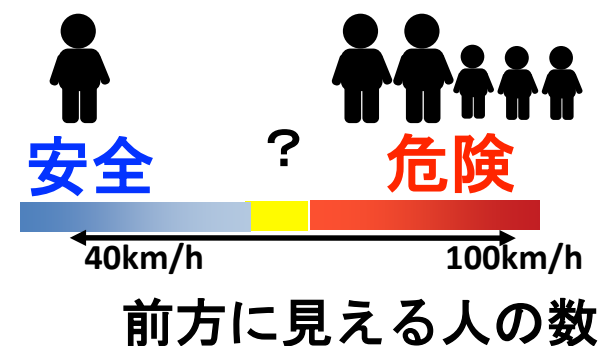


入力情報  $N$  次元ベクトル  
 $S = [S_1, S_2, \dots, S_N]$

## 適用例



## 一般解？



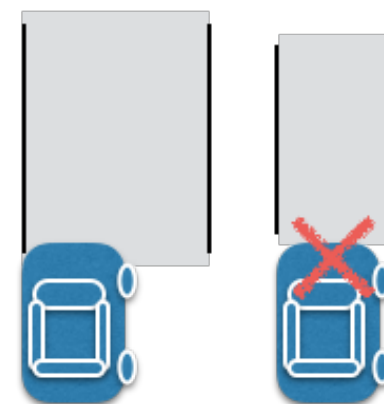
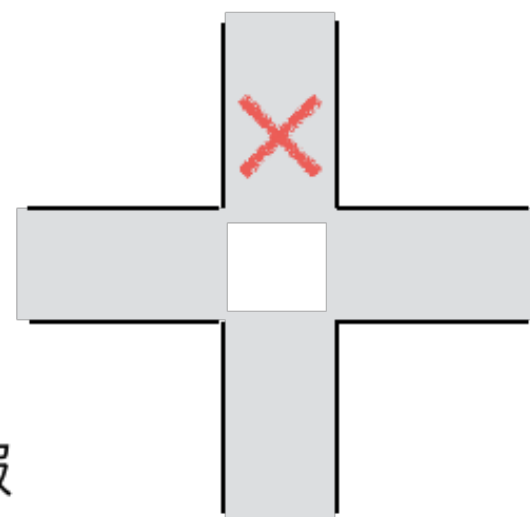
# 状況依存性（vs 汎化）は？

# 先進運転支援システム (ADAS) オントロジー

— 自動運転制御、危険予知装置への組み込みに向けて —

## 車両走行に必要な情報

- ・ 「場所」に関する情報 (Map Ontology)
  - 目的地、走行路、道路状況 (規制、混雑ほか)、など
- ・ 「走行車両、走行中考慮すべき対象」に関する情報 (Car Ontology +  $\alpha$ )
  - 自車、他車、走路上の状況 (歩行者、自転車ほか)、など
- ・ 「制御」に関する情報 (Control Ontology +  $\alpha$ ?)
  - 進路、軌道、進行する走路選択、など



# ADAS オントロジーの現状

—自動運転制御、危険予知装置への組み込みに向けて—

(\*1) L Zhao, R Ichise, S Mita, Y Sasaki: Ontologies for Advanced Driver Assistance Systems, 35th SWO workshop, SIG-SWO-035-03 (2015).

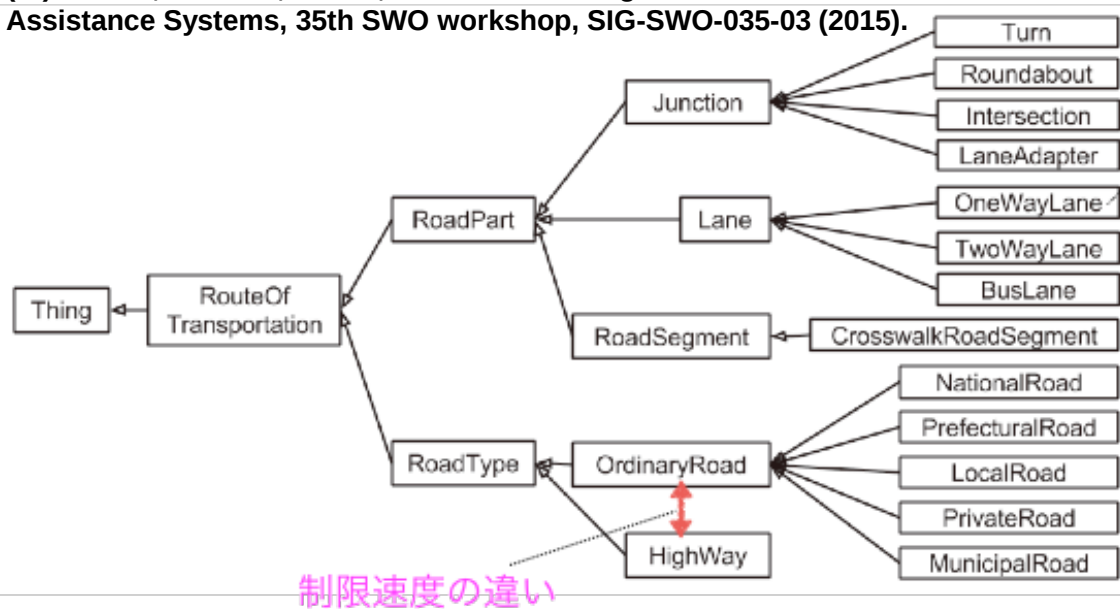
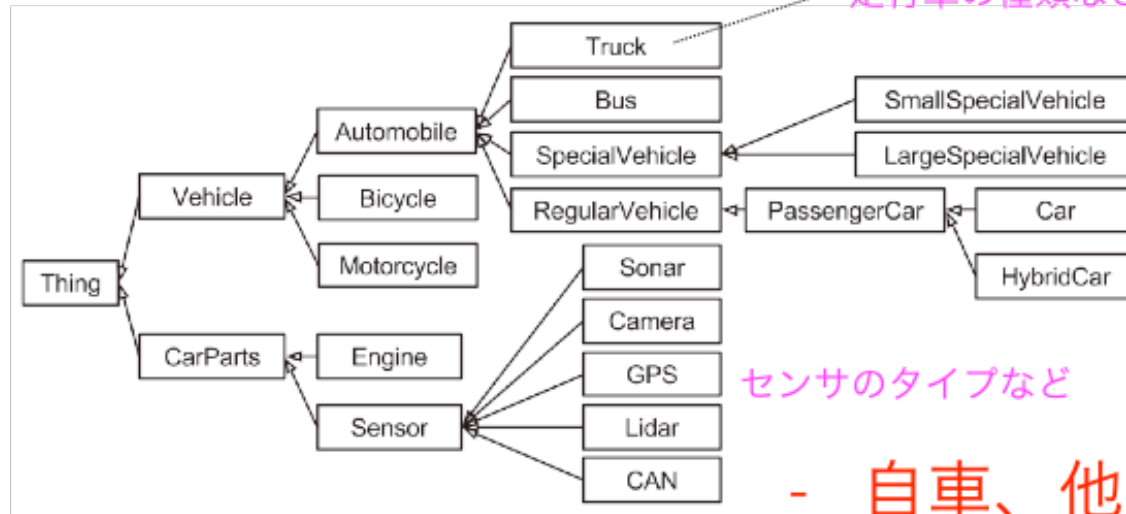


図3 地図オントロジー

- 目的地

走行車の種類など



- 自車、他車など

図5 自動車オントロジー

一方通行

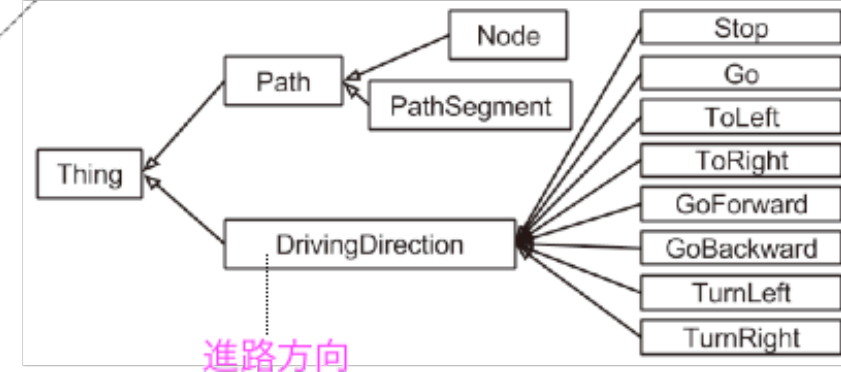


図4 制御オントロジー

- 走路選択

もし○○⇒△△する／しない

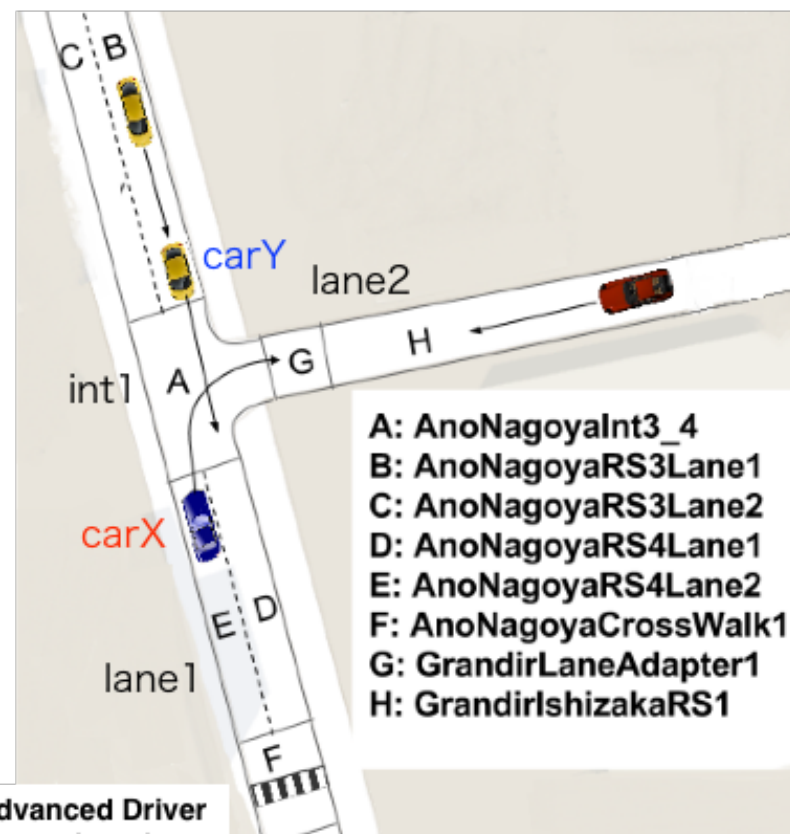
車両X、Y両方で近づいたときに  
(イベント定義；衝突警告判定  
で検出)があり、Yは直進、Xは  
右折なら(状況の記述)

⇒ 車両Xは停止し、XはYに対し  
て道を譲る(行動の規定)

# 知識情報表現ベースの場合 (趙ら(2015)の例)

Table 1: Map ontology based instances.

| Subject           | Property             | Object                |
|-------------------|----------------------|-----------------------|
| AnoNagoyaLine     | rdf:type             | map:PrefecturalRoad   |
| AnoNagoyaLine     | map:hasIntersection  | AnoNagoyaInt3         |
| AnoNagoyaLine     | map:hasRoadSegment   | AnoNagoyaRS3          |
| AnoNagoyaLine     | map:hasRoadSegment   | AnoNagoyaRS4          |
| AnoNagoyaLine     | map:speedMax         | "40"kmh               |
| AnoNagoyaLine     | map:osmway.id        | osmway:122098916      |
| AnoNagoyaInt34    | rdf:type             | map:Intersection      |
| AnoNagoyaInt34    | map:isConnectedTo    | AnoNagoyaRS3          |
| AnoNagoyaInt34    | map:isConnectedTo    | AnoNagoyaRS4          |
| AnoNagoyaInt34    | map:isConnectedTo    | GrandirLaneAdapter1   |
| AnoNagoyaInt34    | map:boundPos         | 35.134697, 136.964103 |
| AnoNagoyaInt34    | map:boundPos         | 35.134762, 136.964181 |
| AnoNagoyaInt34    | map:boundPos         | 35.134788, 136.964072 |
| AnoNagoyaRS4      | rdf:type             | map:RoadSegment       |
| AnoNagoyaRS4      | map:isConnectedTo    | AnoNagoyaInt3         |
| AnoNagoyaRS4      | map:isConnectedTo    | AnoNagoyaCrossWalk1   |
| AnoNagoyaRS4      | map:boundPos         | 35.134697, 136.964103 |
| AnoNagoyaRS4      | map:boundPos         | 35.134574, 136.964147 |
| AnoNagoyaRS4Lane2 | rdf:type             | map:OneWayLane        |
| AnoNagoyaRS4Lane2 | map:isLaneOf         | AnoNagoyaRS4          |
| AnoNagoyaRS4Lane2 | map:enterPos         | 35.134570, 136.964125 |
| AnoNagoyaRS4Lane2 | map:exitPos          | 35.134693, 136.964082 |
| AnoNagoyaRS4Lane2 | control:turnRightTo  | GrandirLaneAdapter1   |
| AnoNagoyaRS4Lane2 | control:goStraightTo | AnoNagoyaRS3Lane2     |



(\*1) L Zhao, R Ichise, S Mita, Y Sasaki: Ontologies for Advanced Driver Assistance Systems, 35th SWO workshop, SIG-SWO-035-03 (2015).

## 【 SWRL: The Semantic Web Rule Language 】 例：(論理的表現)

collisionWarningWith(?carX, ?carY) (車両Xと車両Yにおける衝突警告は)

⇒ CollisionWarning(?carX) ∧ CollisionWarning(?carY) (車両Xと車両Yそれぞれの衝突警告の論理積；つまり両方に警告が生じている場合と等価)

CollisionWarning(?carX) ∧ CollisionWarning(?carY) ∧ GoForward(?carY) ∧ TurnRight(?carX)

(車両X、Y両方で衝突警告があり、Yは直進、Xは右折なら)

⇒ Stop(?carX) ∧ giveWay(?carX, ?carY)

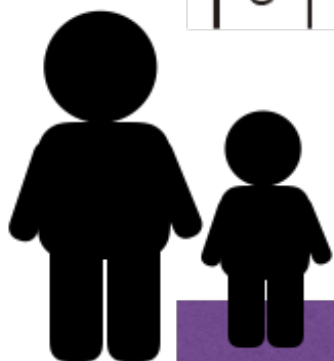
(車両Xは停止し、XはYに対して道を譲る)

## 述語論理式の例（谷口忠大『人工知能概論』より）

|   |               |                                                                                                                       |
|---|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2 | 私は本かノートを持っている | $\exists x(\text{have}(I, x) \wedge \text{book}(x))$<br>$\vee \exists x(\text{have}(I, x) \wedge \text{notebook}(x))$ |
|---|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



|   |             |                                                                                       |
|---|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | ペンギン以外の鳥は飛ぶ | $\forall x((\text{bird}(x) \wedge \neg \text{penguin}(x)) \rightarrow \text{fly}(x))$ |
|---|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|



SWRL

Semantic Web Rule Languageの例

$\text{isRunningOn}(\text{?carX}, \text{?lane1}) \wedge \text{turnRightTo}(\text{?lane1}, \text{?lane2}) \wedge \text{nextPathSegment}(\text{?lane1}, \text{?int}) \wedge$   
 $\text{Intersection}(\text{?int}) \wedge \text{nextPathSegment}(\text{?int}, \text{?lane2})$

（車両Xがlane1上を走行中で、右折してlane1からlane2に入りたいとして、lane1から交差点intが走路上接続しており、交差点intからlane2へ走路上接続していたら）

$\Rightarrow \text{TurnRight}(\text{?carX})$

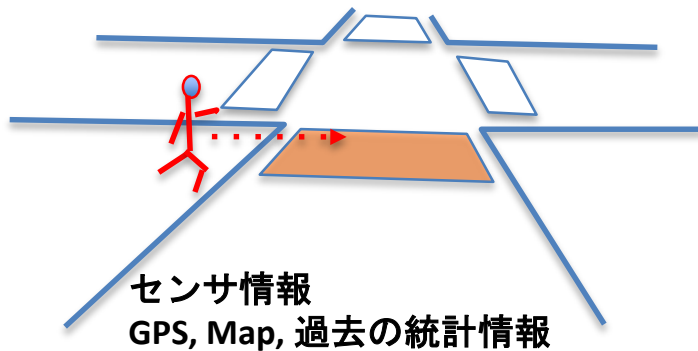
（車両Xは右に曲がって良い）

# 現実との照合：二種のAIの接合

→ 現実世界との照合にデータ駆動型を活用

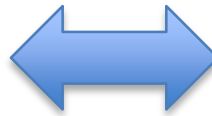
データ駆動型AI

ヒヤリハット  
シーン解析



入力

相補的分析



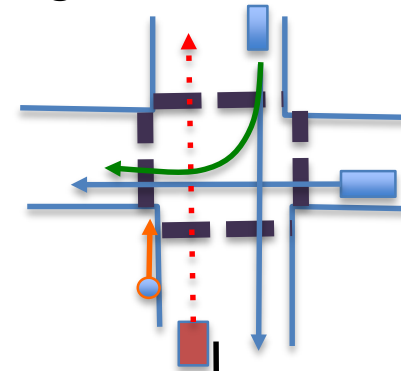
センサ・フュージョン

論理知識型AI（オントロジ活用）

Logical  
reasoning

Knowledge  
based skills

ドライバ生体  
信号計測



整合性  
検証



連続時空間モデル

速度調節、タイミ  
ング制御、異常行  
動検収（規範モデ  
ルからの逸脱）

出力

# 自動車への実装方法（運用）は？

ボトムアップ（センシングデータをすべて逐次処理）

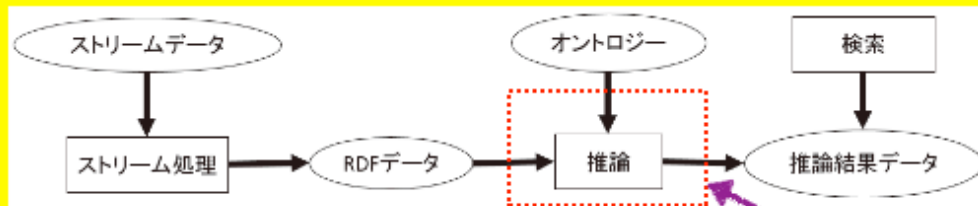


図1 データ駆動型ストリーム推論

トップダウン（イベントごとに検索処理）

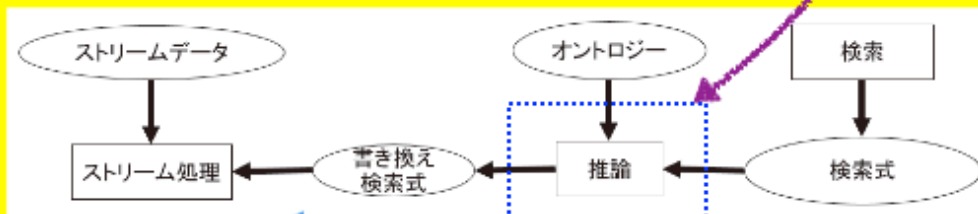


図2 検索駆動型ストリーム推論

記述方法：Ontology（RDF表現）

RDF(Resource Description Framework) を用いる。  
RDF は、主語 (Subject)、述語 (predicate)、目的語 (object) のトリプル

< subject, predicate, object >

例：「太郎は、神保町駅にいる」

→ < 太郎, 滞在, 神保町駅 >

（RDF時間表現）

定義 1: 時間トリプル

C-SPARQL

RDF トリプル < s, p, o > に対して、時間ラベル t (t は自然数) を付与した時、< < s, p, o >, t > を時間トリプルと呼ぶ。

{ < < s, p, o >, t > | t<sub>1</sub> ≤ t ≤ t<sub>2</sub> }

(\*2) 市瀬龍太郎：ストリーム推論，人工知能学会誌 30(5): 574-579 (2015)

例：「自車は、時速60キロで走っている」

→ { < < CarX, 走行速度, 60Km/h >, t > | -500ms < t < 現在時刻 }

直近500 ミリ秒の時間幅における速度の平均値を利用して速度超過を監視する（50ms毎に更新）などの目的に用いられる(\*2)

# 自動運転車実験予定コース

学研都市内想定ルート



# デモ動画

- ・自動運転技術は、人的労力での回路設計、機械学習(データ駆動型AI)等による分析の自動化で、人が理解・解釈できる判断の推論過程可視化やルール追記・根拠明確化への介入が難しかった。
- ・融合AI技術(データ駆動型AI×論理知識型AI(オントロジー等))で、人間に対して判断・推論過程を可視化できるAIの実現で、人間にとっての「安全・安心」が具体化した。

(従来: 推論はブラックボックス→本方法: 可視化+ルール編集可能)

センサフュージョン、シーン・リスク解析、ROS上ハード親和性実装・実車検証プラットフォームを用い、カメラ・ミリ波・低価格レーザセンサ、階層型SOM、OWL(Web Ontology Language)+SWRL(Semantic Web Rule Language)

## 【従来の手法】

運転の自動化を図ってきたが、**人間**にとっての「安全・安心」や、**熟練運転者技能の再現**は方法論が確立していなかった

自動車専用道路  
には適用可能

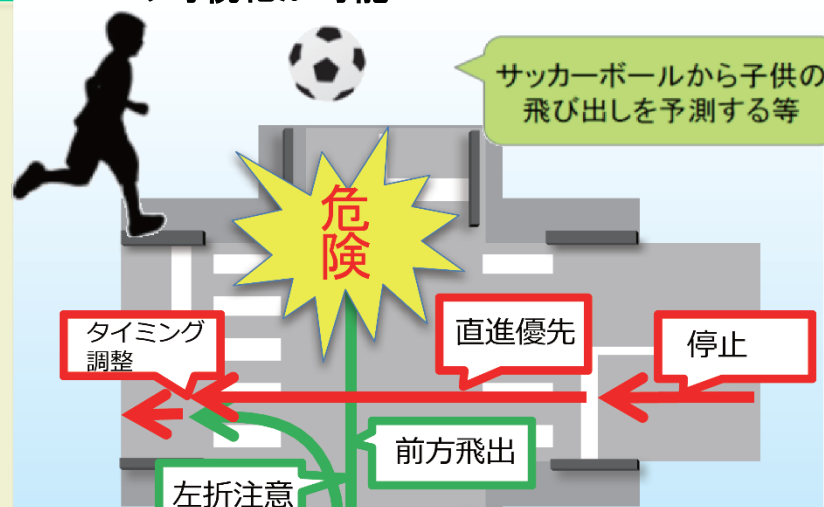
約4.2% ※

(※ 市町村・私道を除く、国内の道路総延長22万kmに対しての比率として算出)

等を、融合AI技術としてシステム構築し、熟練運転者技能・判断能力の再現が可能になった。SWRLの精緻化と人・車モデル化を進め、実用化を着実にする。

## 【本融合手法】

人と親和性のあるAI: 運転中の推論過程の可視化が可能



国都道府県道まで適用化なら **95.8%** ※

現状では推論処理に300ms程度かかるため、低速(30-40km/h)で走行

## 今後の課題

- ①推論速度・精度の向上(50-100ms; 複雑状況に対応)
- ②熟練者判断ルール自動生成可能なAI手法を構築する