



Kanazawa University

Kanazawa University
origin 1862

市街地における自律型自動運転に 必要となるセンサと認識技術



金沢大学 高度モビリティ研究所
副所長 菅沼 直樹



目次

- 金沢大学のこれまでの取り組み
 - 高速道路から一般道へ
 - 自律型の自動運転システムの構築
- 自動運転システムの概要
 - 自動運転システムの全体概要と必要技術
 - 自己位置推定の課題
 - 周辺環境認識として必要な情報
 - 自動運転におけるパスプランニング
- 公道走行実証実験の概要
 - テストコースにおける要素技術開発から公道走行試験へ
 - 都市部における実証(石川県金沢市中心部)
 - 積雪環境における実証(北海道網走市近辺)
 - 無線インフラを活用した実証(東京都臨海部)
- まとめ
 - 現状と将来の課題



自動運転の歴史(高速から一般道へ)

■ 高速道路の自動運転(インフラ依存型)

- 走行空間の限定
 - ハードインフラに依存
 - 比較的単純で整備された道路
- 日米欧で古くから盛んに研究



エネルギーITS事業

■ 一般道での自動運転(自律型)

- 走行空間の自由度が高い
 - 多種多様な環境が存在
- 近年になり急速に進展
 - ハードウェア処理能力
 - コンピュータ, センサ
 - 人工知能
 - 機械学習, DNN
 - 高精度デジタル地図の活用
 - ソフトインフラへのシフト



SIP事業(東京都臨海部)

金沢大学の取り組み



- 安全かつ自然に市街地を走行可能な**認識・判断能力**
 - 1998年頃から研究開始
- インフラ非依存の**自律型**



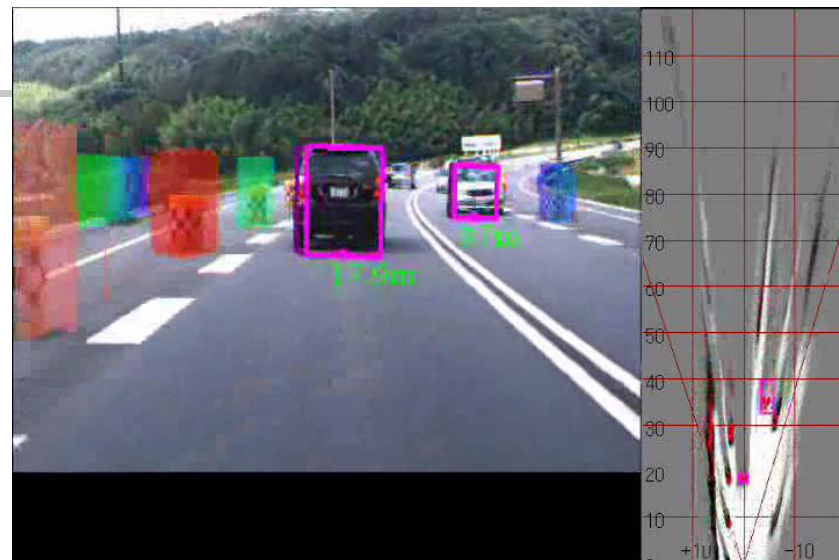
研究初期の自動運転車両 (1998~2008年)



障害物回避走行
(2倍速)

無人走行
(2008年頃@金沢大学祭)

ステレオ
ビジョン



公道走行初期の様子



- 市街地での公道走行実験開始(2015年2月24日)
 - 国内の大学初(現在東京都, 石川県, 北海道などで技術実証)
 - 現在: 約5年半, 15,000km以上の公道走行実績(60km/hで走行可能)

公道走行初期時のセンサレイアウト

LiDARx1, レーダx3, カメラx1

GNSSアンテナ

全方位レーザ

GNSSアンテナ

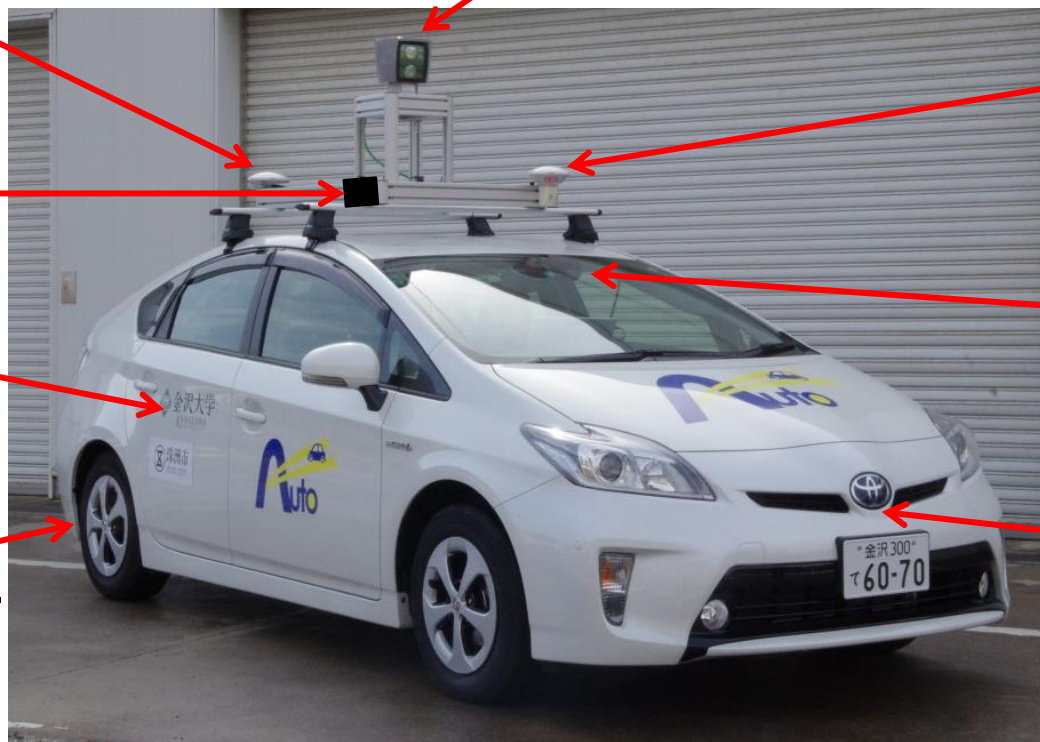
側方
ミリ波レーダ

IMU

カラーカメラ

前方
ミリ波レーダ

車速センサー



現在の試験車両



全方位LiDAR

LiDARx5, レーダx9, カメラx11

GNSSアンテナ

全方位カメラ

LFM-HDR
カラーカメラ

側方LiDAR

IMU

車速センサ



全方位
ミリ波レーダ

LEXUS RX450hL



目次

- 金沢大学のこれまでの取り組み
 - 高速道路から一般道へ
 - 自律型の自動運転システムの構築
- 自動運転システムの概要
 - 自動運転システムの全体概要と必要技術
 - 自己位置推定の課題
 - 周辺環境認識として必要な情報
 - 自動運転におけるパスプランニング
- 公道走行実証実験の概要
 - テストコースにおける要素技術開発から公道走行試験へ
 - 都市部における実証(石川県金沢市中心部)
 - 積雪環境における実証(北海道網走市近辺)
 - 無線インフラを活用した実証(東京都臨海部)
- まとめ
 - 現状と将来の課題



市街地における自律型自動運転に必要な技術

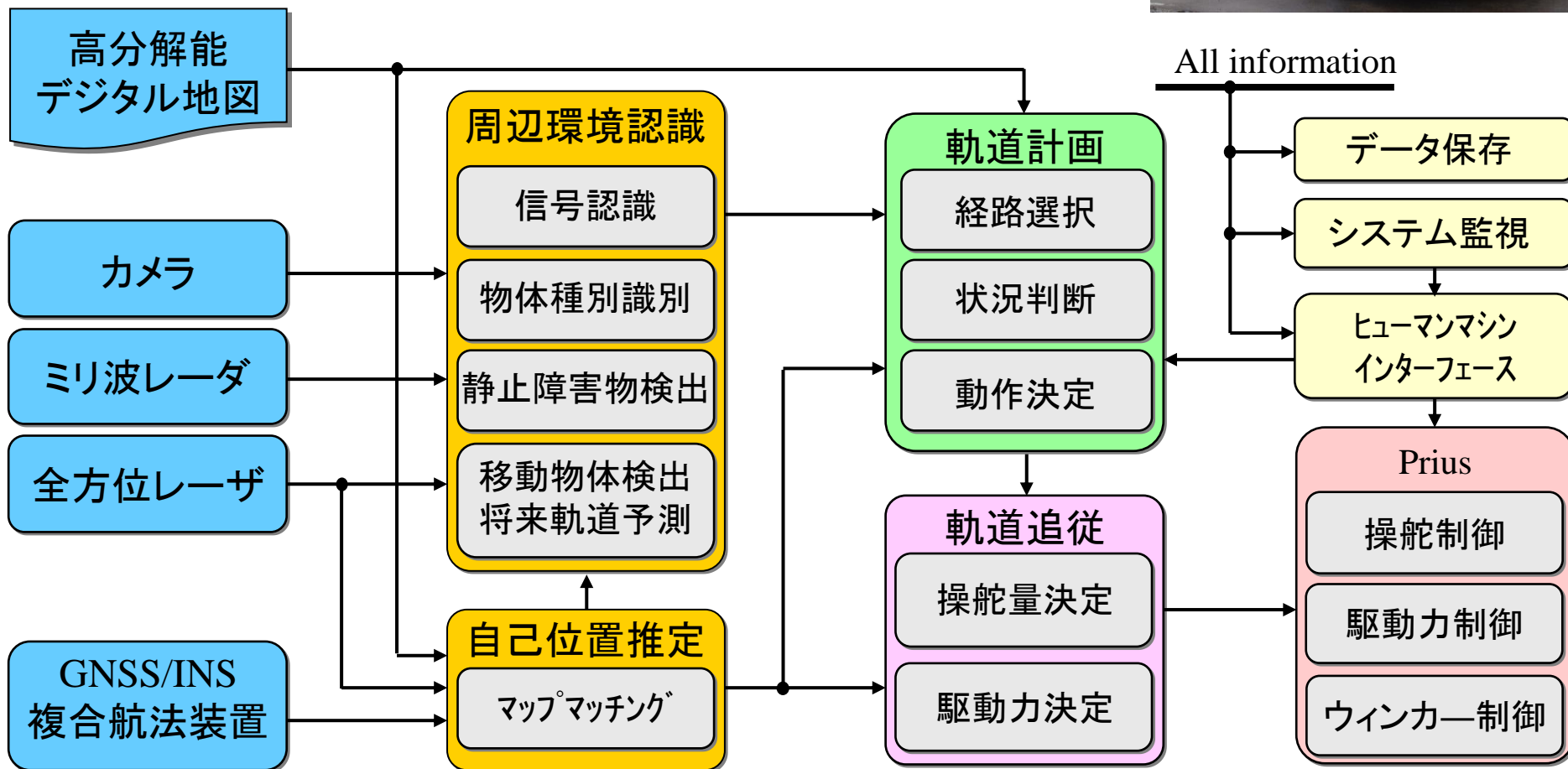
- 地図と自己位置推定技術
 - 自己位置推定用地図と道路ネットワーク地図の生成と更新
 - 「地球上のどこ」ではなく「地図上のどこ」にいるのか？
- 周辺環境認識技術
 - 認識＝検出＋識別＋予測
 - 予測＝潜在（死角検出）＋顕在（軌道予測）リスク把握
- 走行軌道生成と車両制御技術
 - 目的に到達するにはどのような経路で進むべきか？
 - 交通ルール，マナーに従うためにはどうすればよいのか？
 - 障害物に衝突ないためにはどんな行動をとるべきか？
- ヒューマンマシンインターフェース(HMI)
 - 車外の人と自動運転車とのコミュニケーション

自動運転＝情報処理，移動ロボットの技術開発



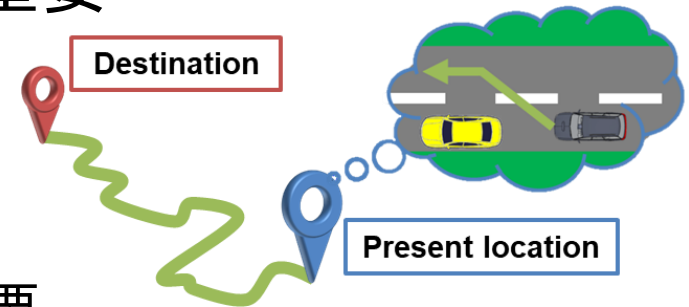
金沢大学の 自動運転システム

分散処理システム (UDP/IP, TCP/IP)



自己位置推定の課題

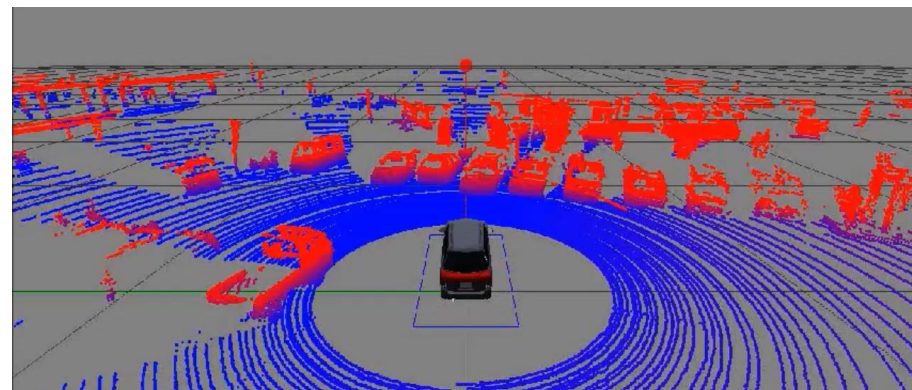
- 地図を用いた自動運転システム
 - 自己位置推定 (Localization) が重要
- GPSを用いた位置計測
 - 簡単に位置計測が可能
 - RTK-GPSならcmオーダ
 - ただし常時インターネット接続が必要
 - トンネル内, 高層ビル群付近
 - 高精度計測が難しい
- 地図を利用した自己位置推定手法
 - 走行空間の情報をあらかじめ取得
 - 走行時のセンサデータと照合
 - 車速, ジャイロ等を併用して安定化



自己位置推定用地図の分類

■ 三次元地図

- ポイントクラウド
- 特徴点座標
 - 建物や窓のコーナなど
- 課題
 - データ容量
 - 季節による木々の変化
 - 建物の建て替わり
 - 立体物が少ない場所



三次元ポイントクラウド

■ 二次元地図

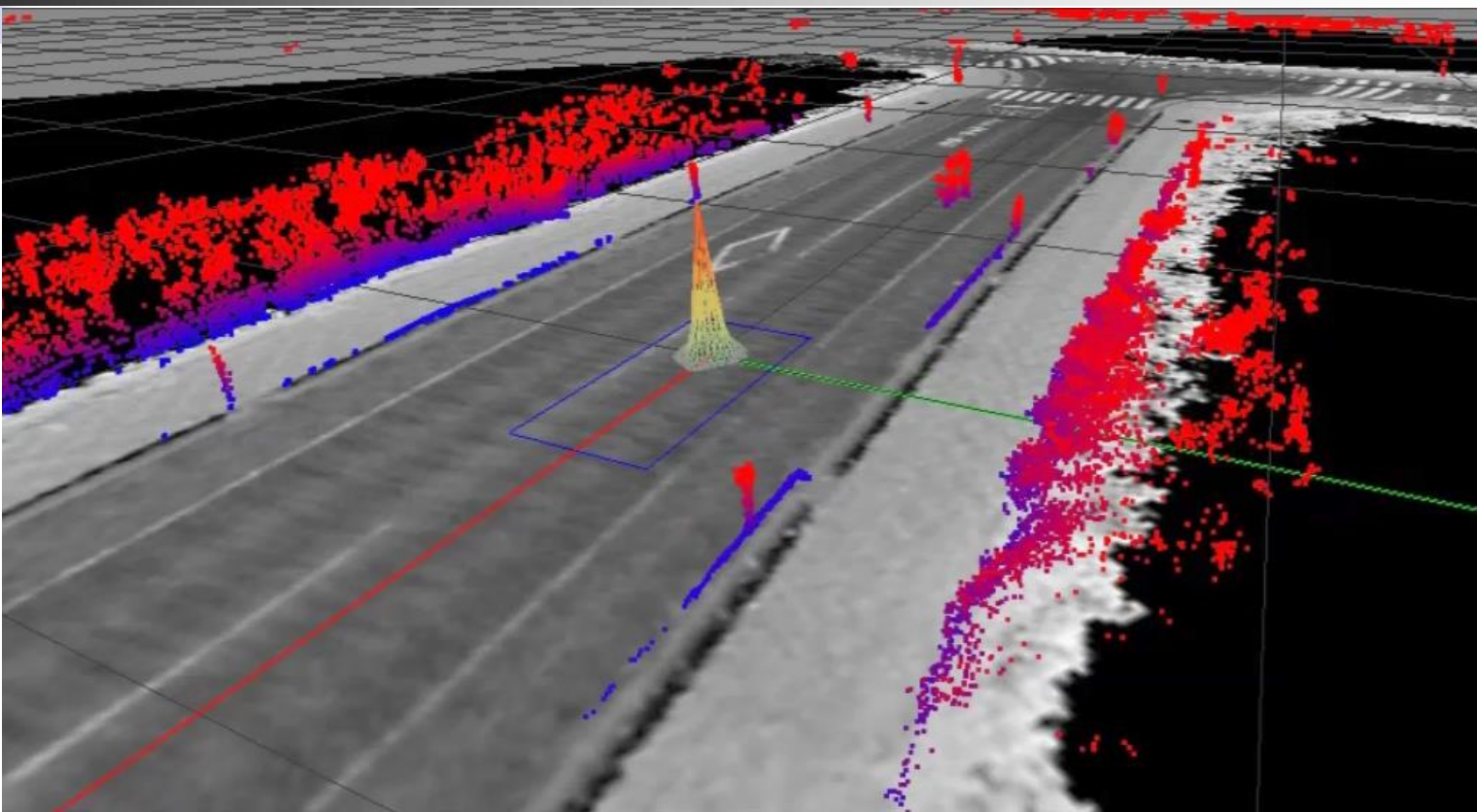
- 路面の画像
- 特徴点座標
 - 白線等の路面標示
- 課題
 - 路面表示の変化
 - 路面の隠蔽(雪など)



路面反射率



自己位置推定の様子



- 2次元地図(オルソ画像との照合)
- 約10cm程度の精度で推定可能
 - GNSS未使用, 昼夜関係なし

SLAMによるオルソ画像生成

- オルソ画像（自己位置推定用地図）
- Simultaneous Localization and Mapping
 - オルソ画像の自動生成，自動更新



SLAM適用前



SLAM適用後



認識する必要がある情報

■ 認識

- 検出＋識別＋予測

■ 認識に必要な情報

■ 静止物体

- 信号機(灯色, 矢印), 標識(制限速度, 一旦停止など)
- 障害物(立体物)
- 路面の凹凸, 白線, 横断歩道

■ 移動物体

- 自動車, 二輪車(自転車, バイク), 歩行者
 - 物体種別, 運動状態推定
- 緊急車両

■ 認識能力の向上

- 地図で解決できるものもある
- センサフュージョン
- 時系列処理



Car

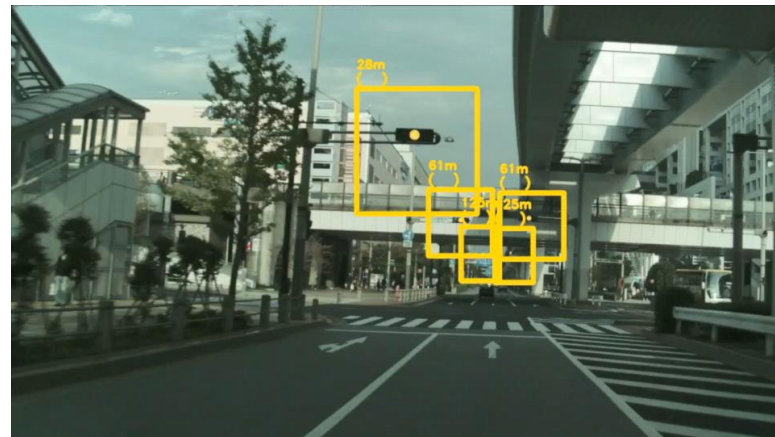


Pedestrian

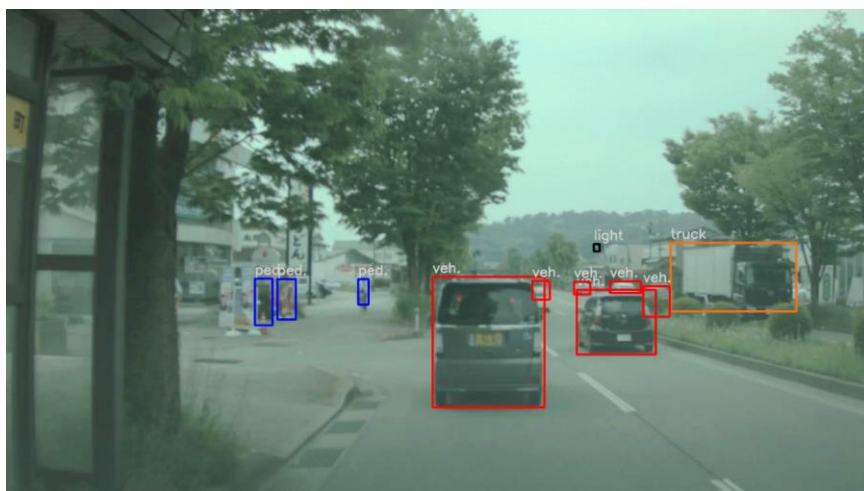
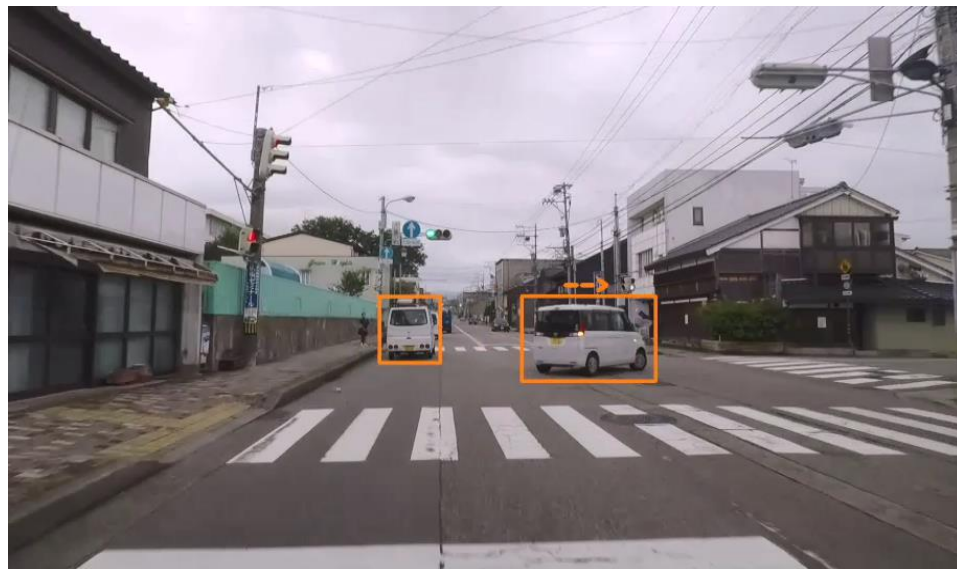
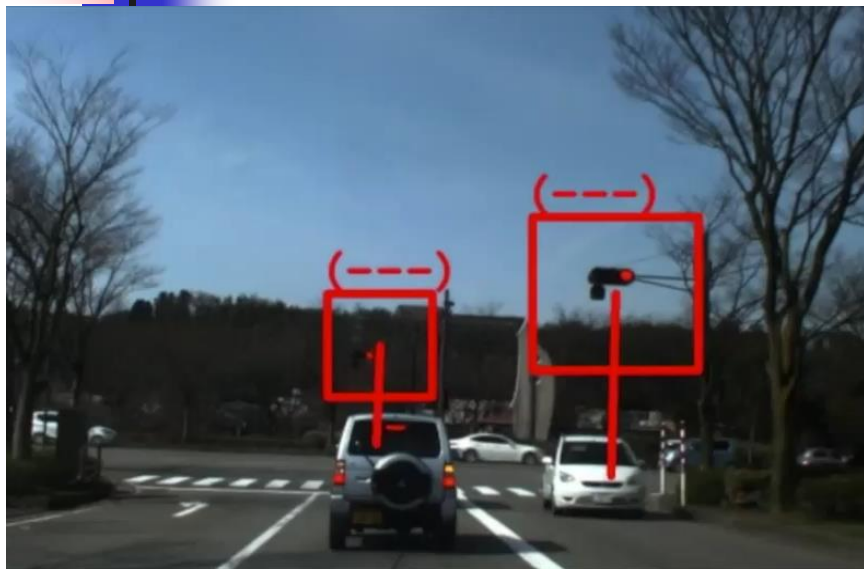


Bicyclist

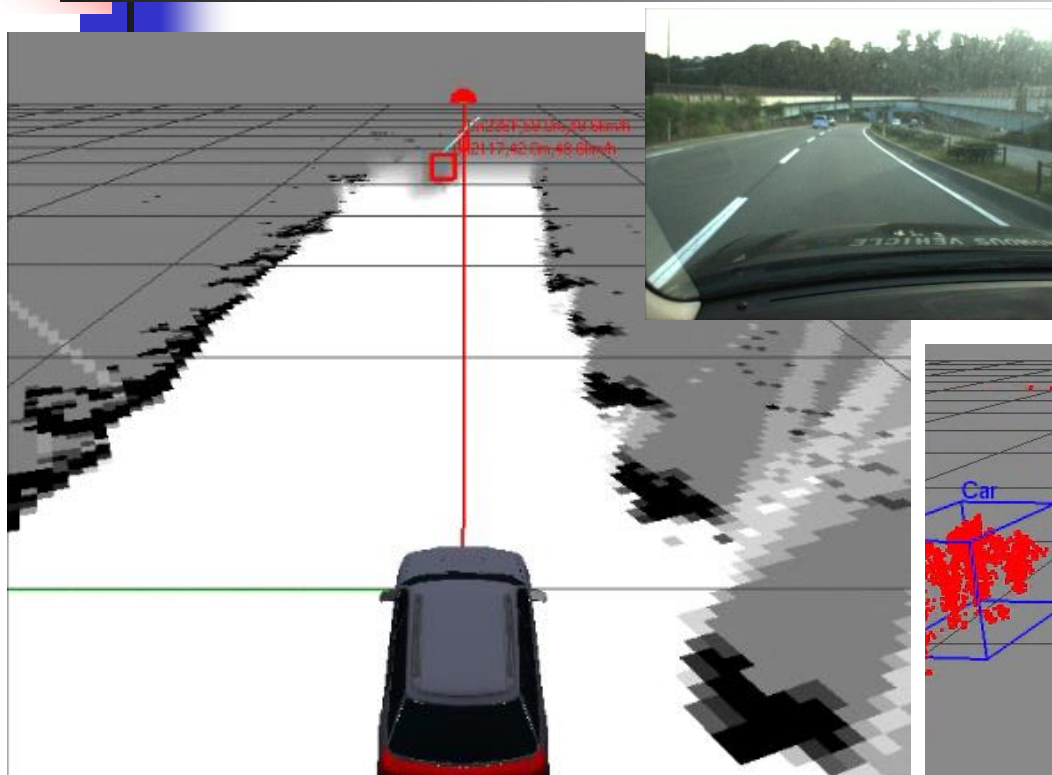
AI, 機械学習技術



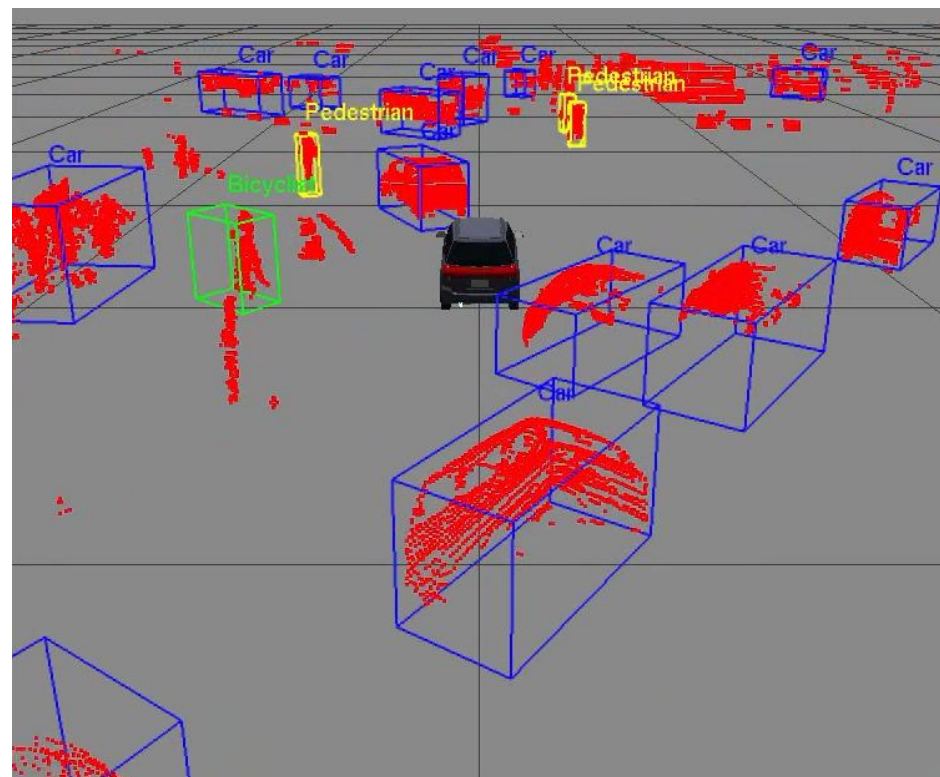
カメラによる走行空間認識



移動物体の追跡例

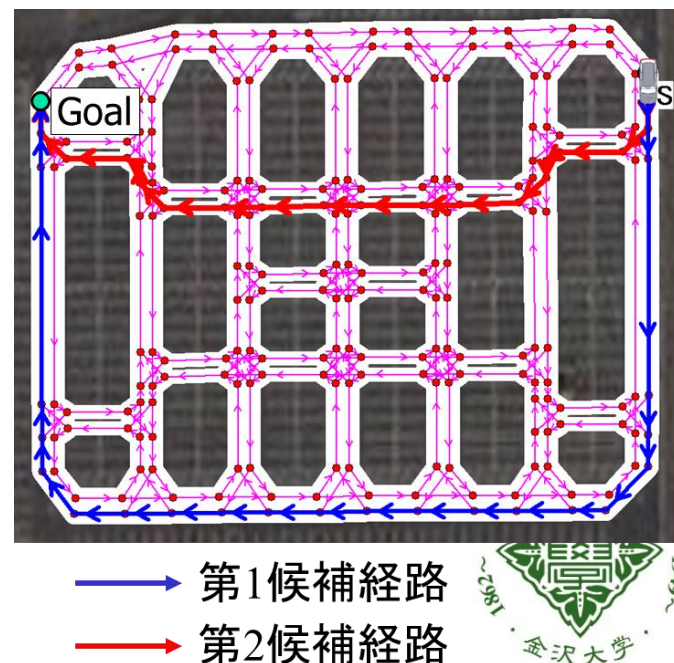
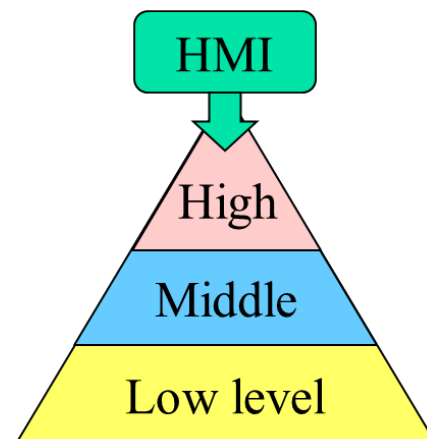


- 走行可能空間の明確化
- 移動物体の抽出
- 運動状態推定と軌道予測
- 物体種別識別



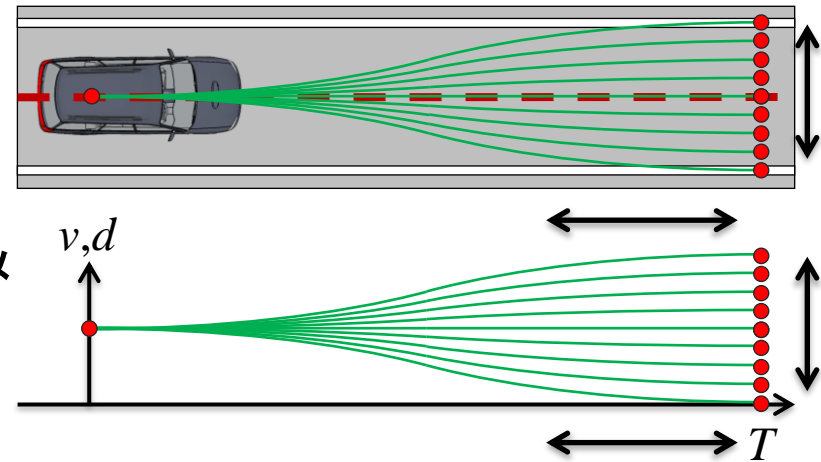
パスプランニングにおける課題

- 大域的な目標
 - 最終的な目的地への到達
 - デジタル地図に基づく経路選択
 - 目的地, 走行速度設定(HMI)
- 中期的な目標
 - 交通ルールへの準拠
 - 一旦停止, 信号待機など
- 短期的な目標
 - 障害物の回避
 - 先行車両への追従



市街地走行における軌道計画

- 自由度の高い走行が必要
 - 高速道路とは異なる
 - 道路の中心の走行のみではダメ
 - 路上駐車, 障害物など
- 移動物との衝突の考慮
 - 軌道(座標・時間)の計画が必要
 - 経路パターン, 速度(距離)パターンの組合せ
 - 安全性の事前シミュレーション
 - 滑らかな軌道パターンを選択
- 安全性の高い走行
 - 衝突リスクの考慮
 - 物体種別・回避幅などの考慮



目次

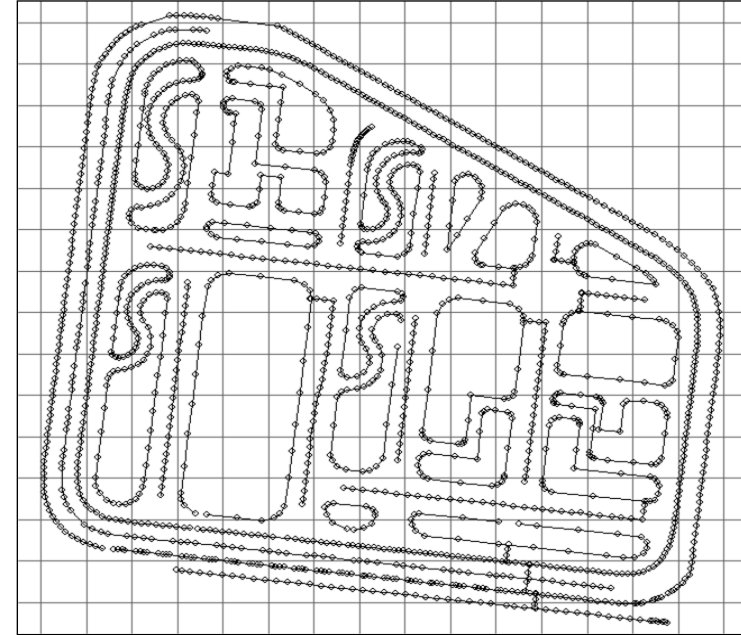
- 金沢大学のこれまでの取り組み
 - 高速道路から一般道へ
 - 自律型の自動運転システムの構築
- 自動運転システムの概要
 - 自動運転システムの全体概要と必要技術
 - 自己位置推定の課題
 - 周辺環境認識として必要な情報
 - 自動運転におけるパスプランニング
- 公道走行実証実験の概要
 - テストコースにおける要素技術開発から公道走行試験へ
 - 都市部における実証(石川県金沢市中心部)
 - 積雪環境における実証(北海道網走市近辺)
 - 無線インフラを活用した実証(東京都臨海部)
- まとめ
 - 現状と将来の課題



金沢大学の取り組み

～公道走行評価前の各種調整～

- 模擬市街路テストコース
 - 東部自動車工業株式会社殿
 - 金沢 東部自動車学校
 - 長期走行試験
 - 2013年1月～2015年2月(2年)
 - その後、公道評価へ移行
 - 実証のための実証ではない
 - 世界と伍する技術開発を目的
- 公道走行前の調整
 - ガイドライン策定前の試み
 - 自動車会社様への協力要請
 - 各省庁への事前調整
 - 国土交通省, 警察庁(県警経由), 経済産業省など
 - ナンバープレート交付
 - 保険会社との協議(車両保険)
 - 地元自治体(石川県珠洲市)との連携など



公道走行実証の開始 (石川県珠洲市全域)

過疎地での走行

- 自動運転の初期テスト(交通量少)
- **公共交通としての実証**(過疎地のニーズ)
- 石川県珠洲市 (H27国勢調査)
 - 人口総数 14,631人(**高齢化率 46.4%**)
 - 鉄道廃止済み, バスタクシーの不足
- 奥能登国際芸術祭
 - 2017年9月～10月(約800人の一般人の試乗)



都市部における実証 (石川県金沢市中心部など)

- 都市部の走行
 - 複数車線, 交通量
 - 交差点(矢印信号, サイズ)
- 走行の難しさ
 - 都市部vs.過疎地

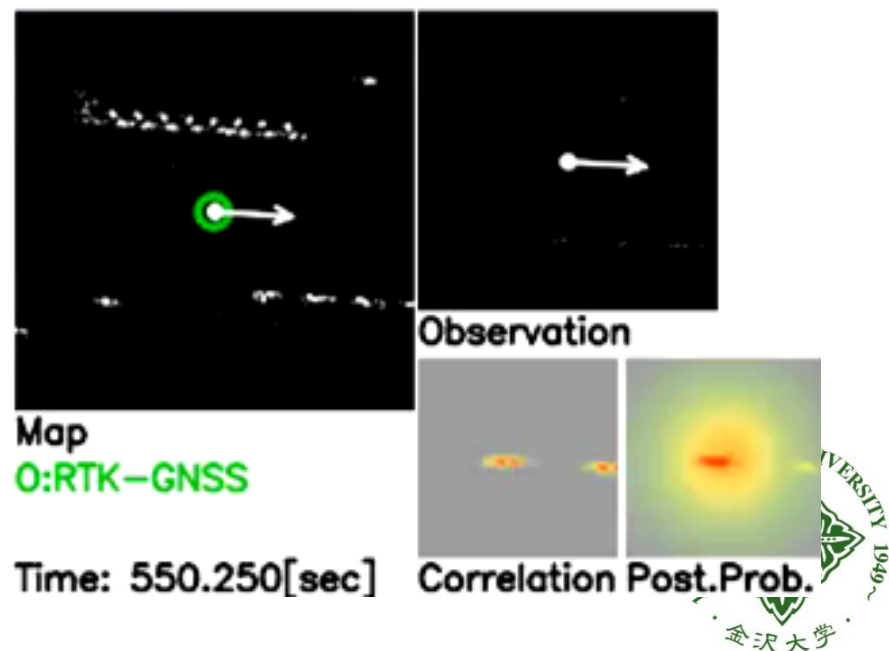


金沢市内の現在の走行ルート例



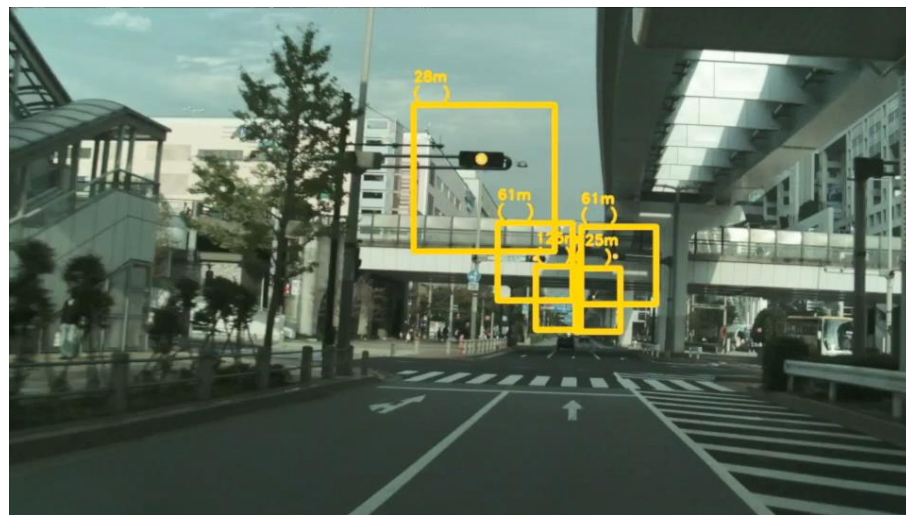
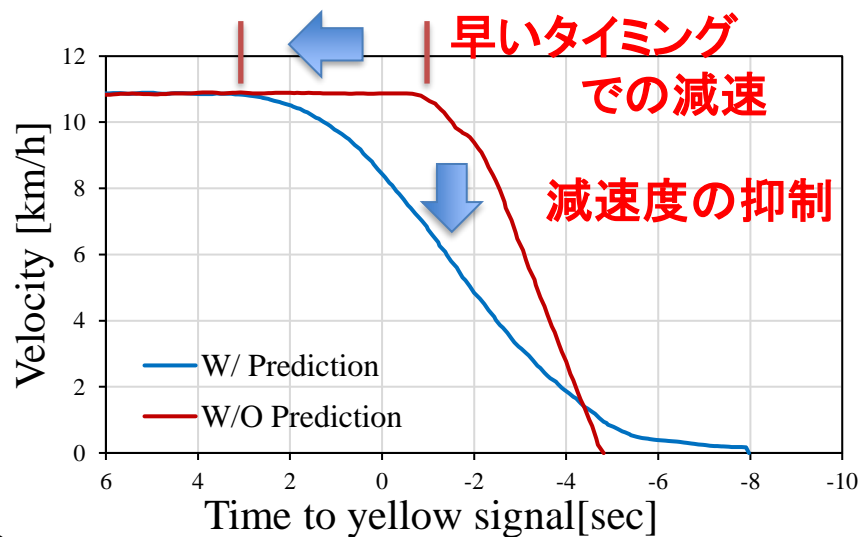
積雪環境における実証 (北海道網走市近辺)

- 冬期の寒冷地での走行
 - 積雪, 降雪時の課題解決
 - 網走市市街地
～女満別空港周辺など
- 自己位置推定
 - RADAR (76GHz)
 - 積雪時でもGNSSレス



無線インフラを活用した実証 (東京都臨海部)

- SIP第2期 自動運転
 - 自動運転技術(レベル3、4)に必要な認識技術等に関する研究
- 信号認識の限界調査
 - 逆光, 順光, 背景同化, 夜間
 - 東京以外の地域も調査
 - インフラ支援が必要な条件
- 無線インフラとの協調
 - ジレンマゾーンでの減速抑制



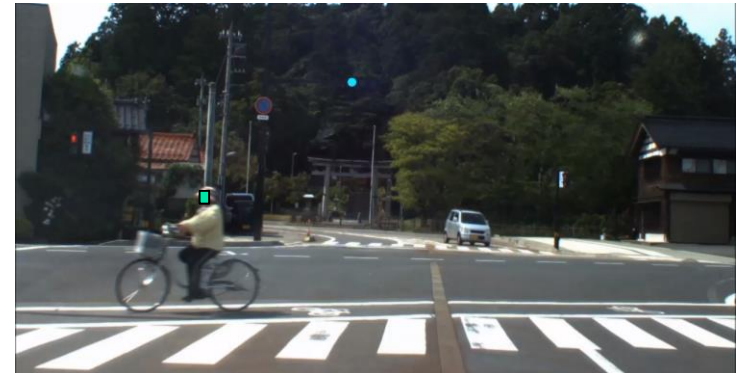
目次

- 金沢大学のこれまでの取り組み
 - 高速道路から一般道へ
 - 自律型の自動運転システムの構築
- 自動運転システムの概要
 - 自動運転システムの全体概要と必要技術
 - 自己位置推定の課題
 - 周辺環境認識として必要な情報
 - 自動運転におけるパスプランニング
- 公道走行実証実験の概要
 - テストコースにおける要素技術開発から公道走行試験へ
 - 都市部における実証(石川県金沢市中心部)
 - 積雪環境における実証(北海道網走市近辺)
 - 無線インフラを活用した実証(東京都臨海部)
- まとめ
 - 現状と将来の課題



完全自律（インフラ非依存）型の自動運転は実現可能か？

- 交通参加者の行動予測がどこまで可能か？
 - 交通ルール無視，地域特性
 - 歩行者・自転車の突発的な動き
- 十分な認識能力は構築可能か？
 - 様々な天候
 - 降雨，降雪，霧など
 - 様々な道路環境
 - 白線のかすれなど
 - 認識距離
 - 人間と比較して十分か？
 - センサの死角
 - 見通しの悪い交差点



自動運転自動車を核とした 未来社会の創造に向けて

- 自律型自動運転の技術向上
 - 認知・判断・操作
- インフラによる自動運転の支援
 - 優先度に基づく物理的なインフラの整備
 - 地図もインフラのうちの1つ(ソフトインフラ)
- ODDの設計
 - 技術の限界, 社会受容性の観点
- モビリティサービス(ビジネスモデル)
 - 自動運転はあくまでモビリティツールの1つ
 - 既存の自動車社会の発展形とは限らない

