
カメラ画像と汎用センサの統合による 自動車位置推定の研究

(2018/2/15 博士課程最終発表)

情報通信工学研究室
武山洪二郎

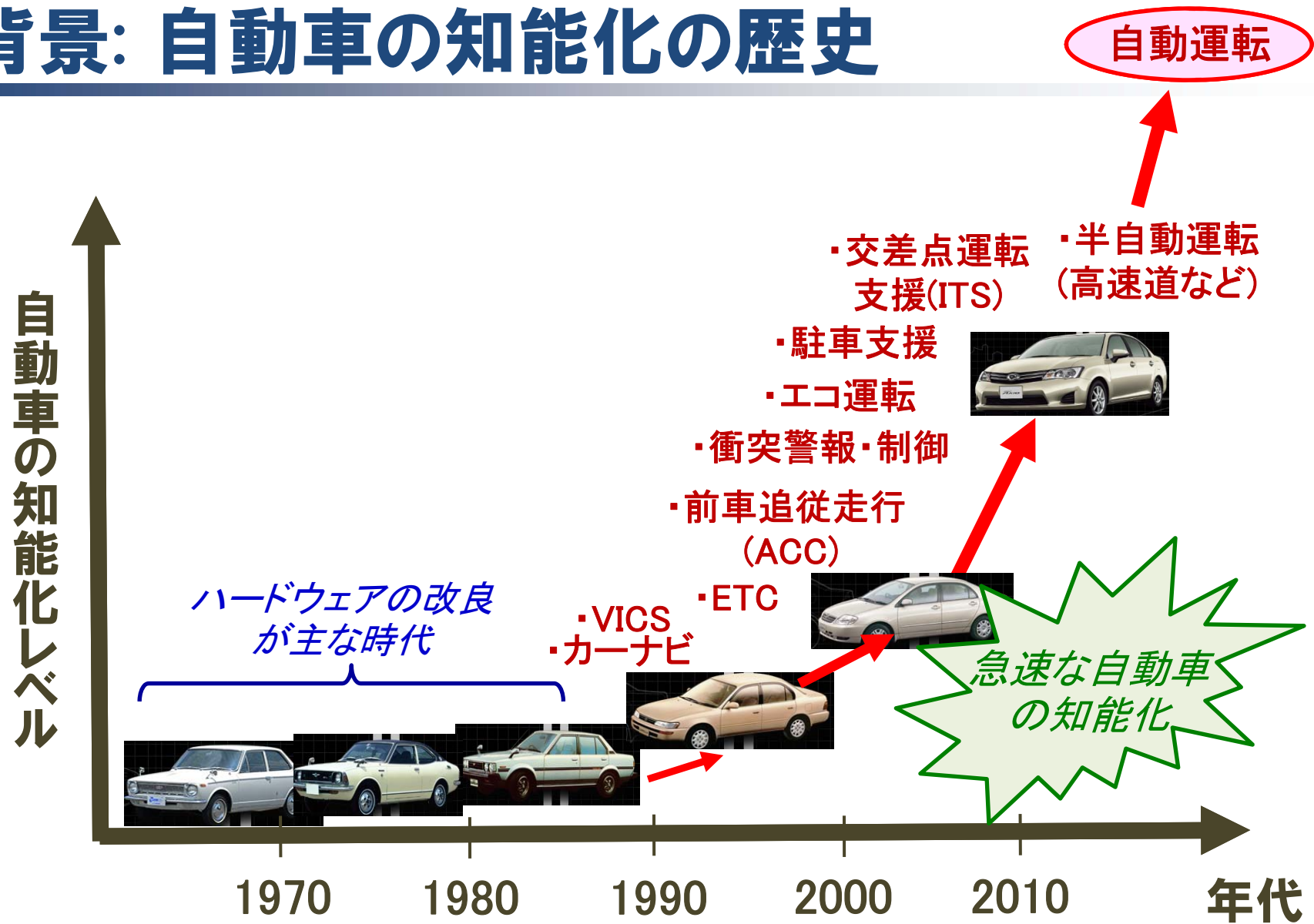
目次

- 1. 背景
- 2. 研究の位置付け
- 3. カメラ画像を用いた位置推定の改善
 - 推測航法の性能向上
 - 絶対測位の性能向上
- 4. まとめ

目次

- **1. 背景**
- **2. 研究の位置付け**
- **3. カメラ画像を用いた位置推定の改善**
 - 推測航法の性能向上
 - 絶対測位の性能向上
- **4. まとめ**

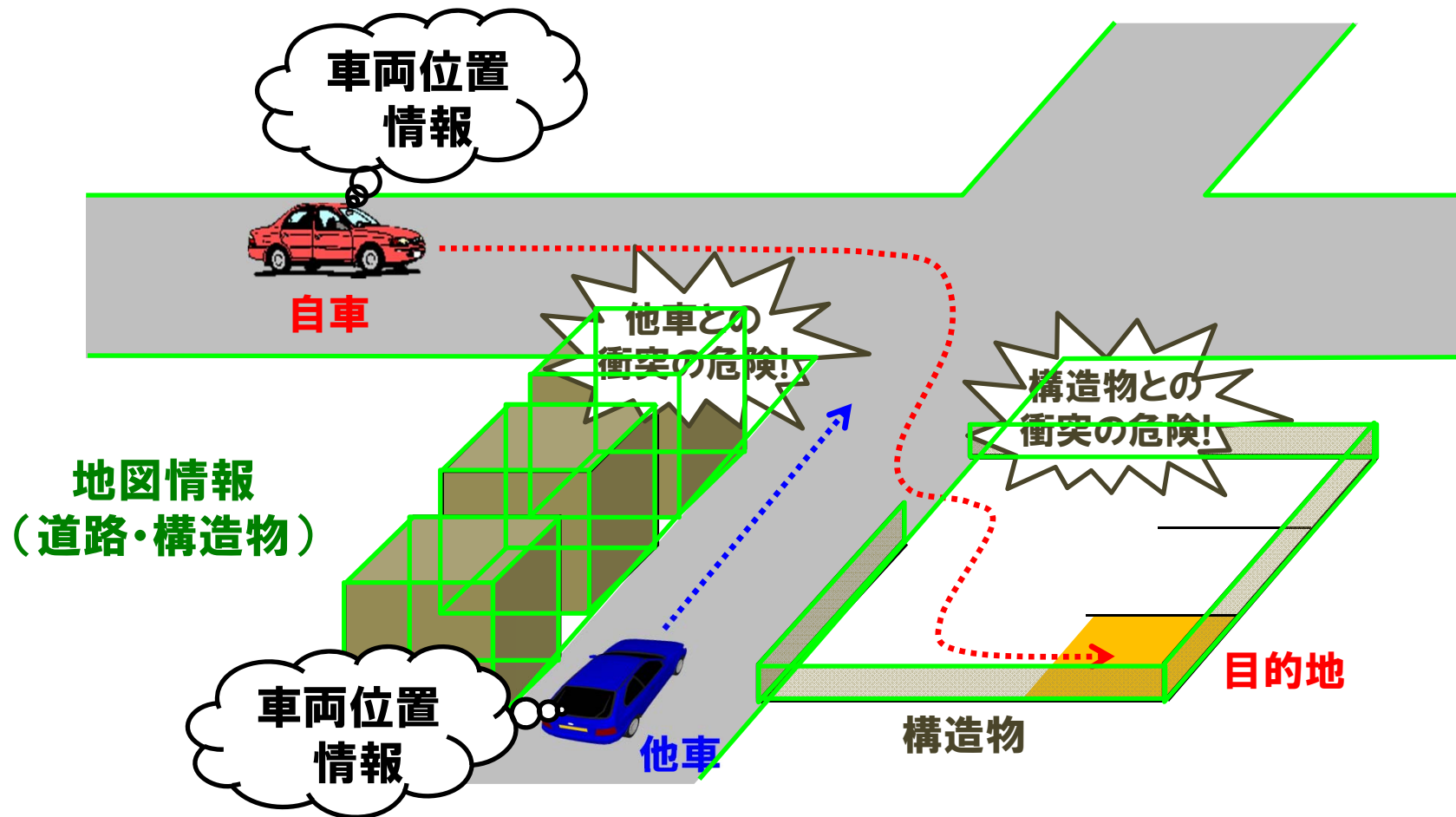
背景: 自動車の智能化の歴史



自動車の智能化 ⇒ 自動車の安全性・利便性・快適性の向上

背景：自動運転システム

■ 安全な自動運転システムの構築



地図上における正確な車両位置情報が重要

背景：自動運転における位置情報の要求仕様

位置精度

0.1m

車線内の位置がわかる

→・自動運転

1m

レーンを間違えない

→・自動運転に必要な
地図照合の初期位置利用
・地図生成に効果大

5m

道路を間違えない

→・道路課金, 注意喚起



ロバスト性

都心部



屋内駐車場



高速道路



・本研究の目的

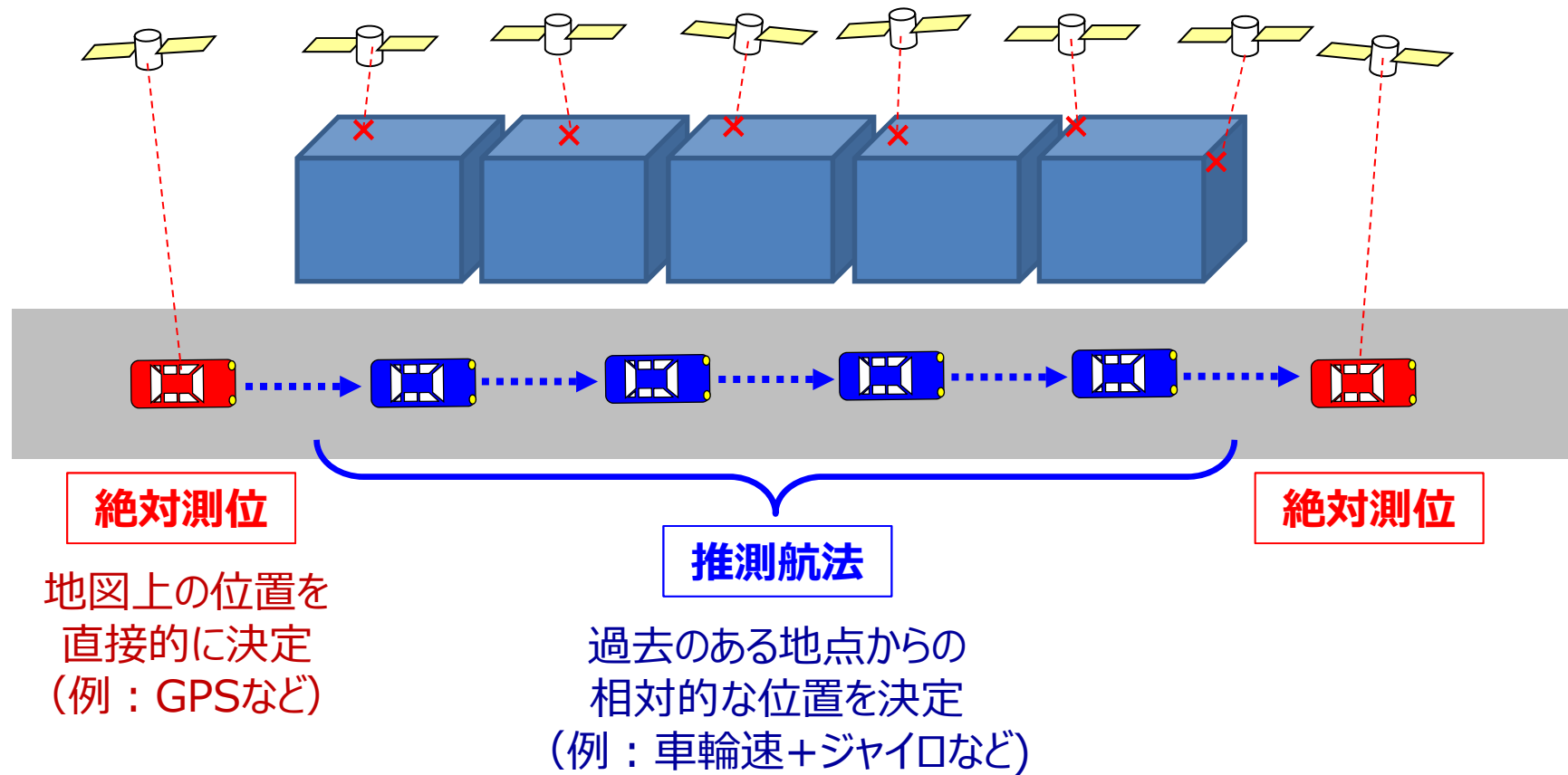
誤差0.1mかつあらゆる環境でシームレスな位置推定の実現

目次

- 1. 背景
- 2. 研究の位置付け
- 3. カメラ画像を用いた位置推定の改善
 - 推測航法の性能向上
 - 絶対測位の性能向上
- 4. まとめ

研究の位置付け：測位の種類

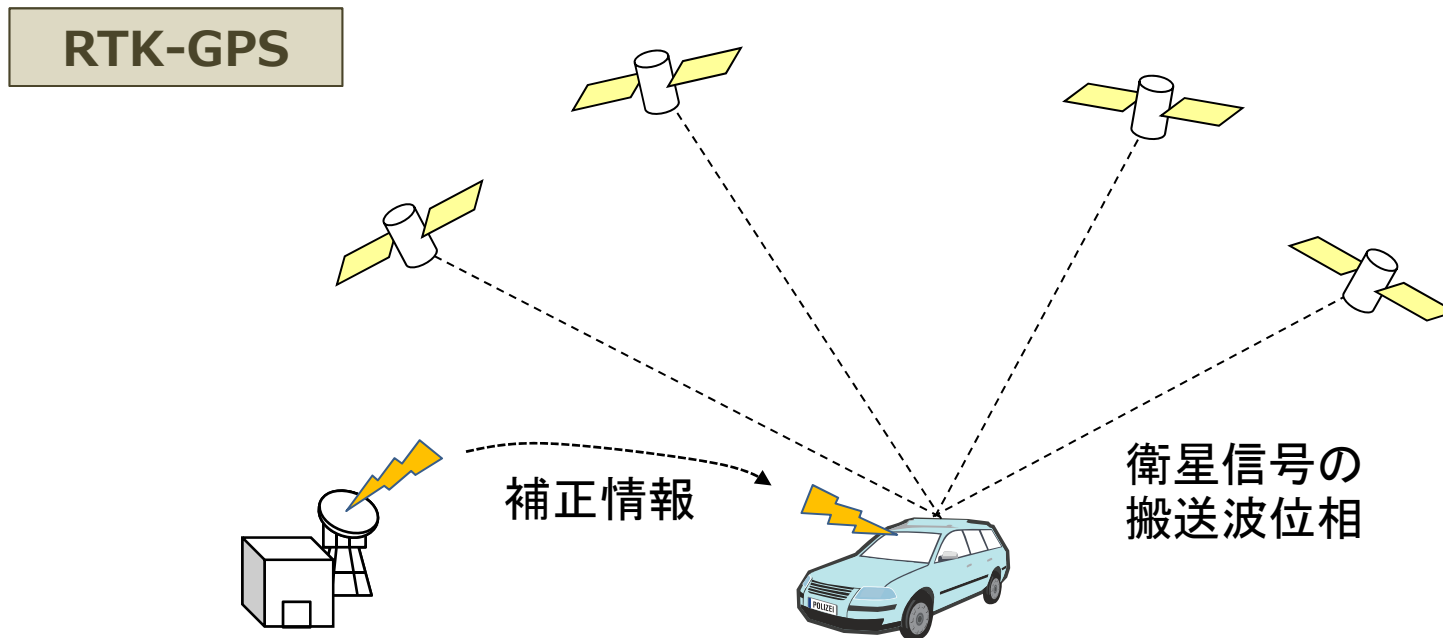
■ 「絶対測位」と「推測航法」



高精度かつシームレスな測位のためには**絶対測位**と**推測航法**の両方が重要

研究の位置付け：世の中の絶対測位技術

■ 衛星利用型



利点

低コスト、オープンスカイでは高精度

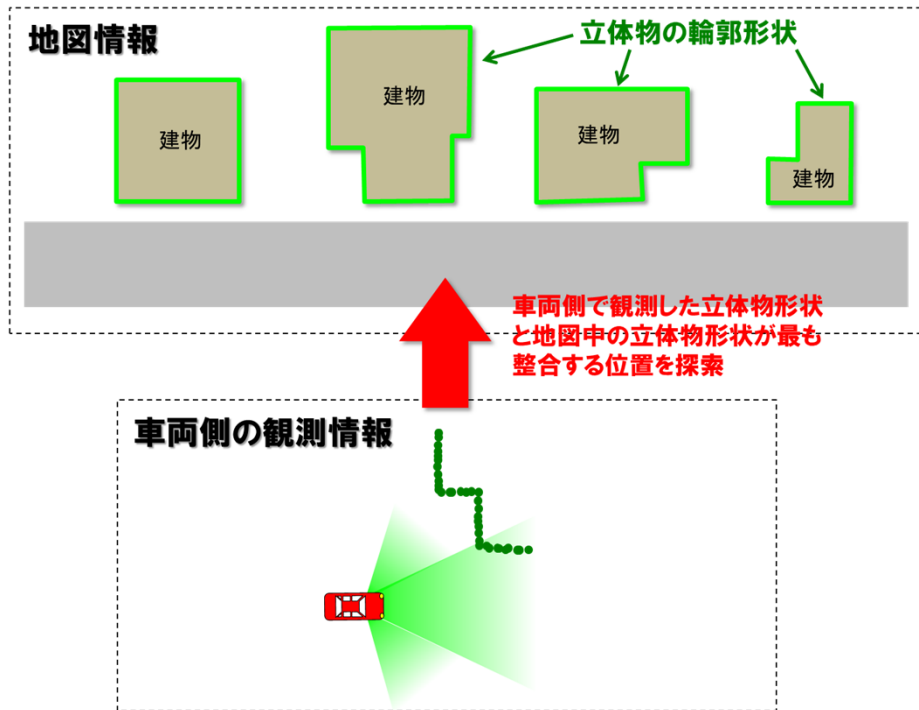
課題

信号遮蔽で可用率低下(屋内では利用不可)

研究の位置付け：世の中の絶対測位技術

■ 地図利用型

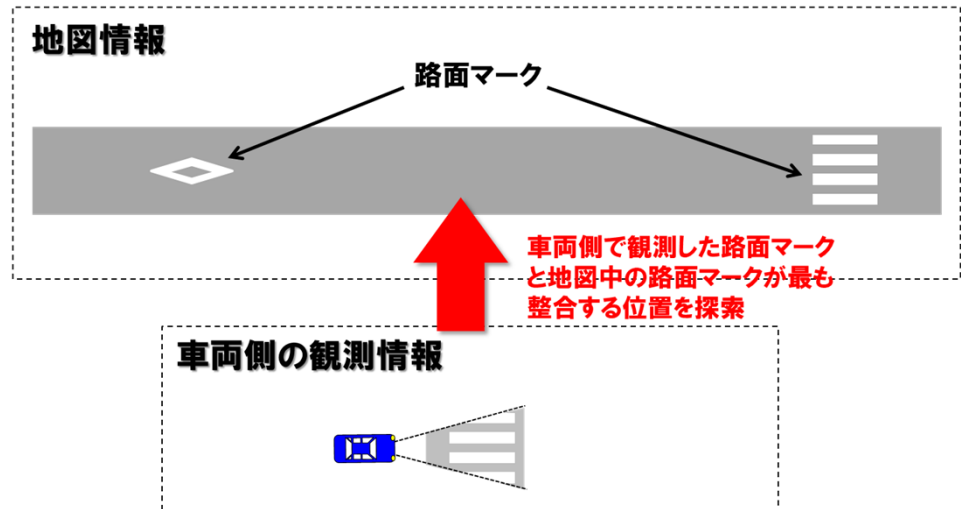
LiDARベース



利点 どこでも安定かつ高精度

課題 高コスト

カメラ画像ベース



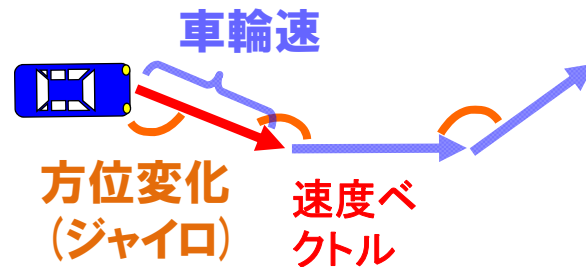
利点 低コスト、高精度

課題 特徴が少ない場所で精度低下

研究の位置付け：世の中の推測航法技術

■ 内界センサ利用型

INS
(ジャイロ+車輪速)



利点

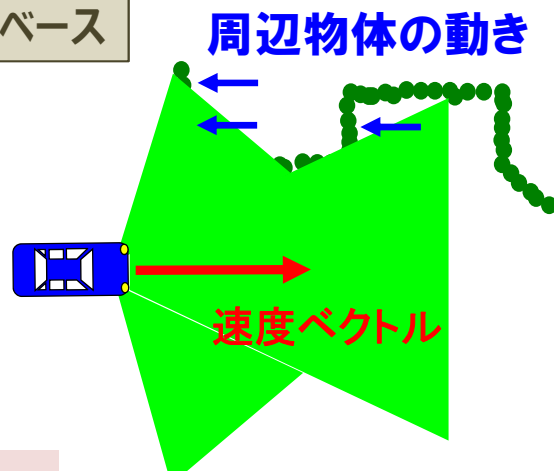
どこでも安定、低コスト

課題

蓄積誤差大

■ 外界センサ利用型

LiDARベース



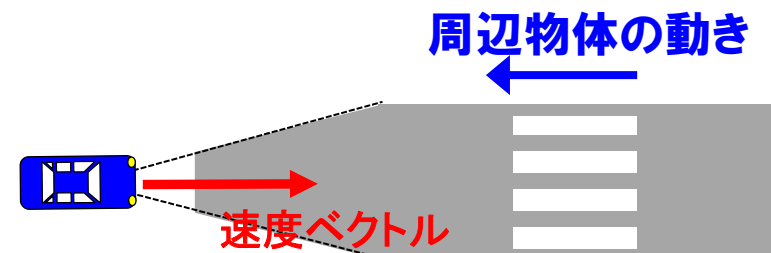
利点

どこでも安定かつ高精度

課題

高コスト

カメラ画像ベース



利点

低コスト、高精度

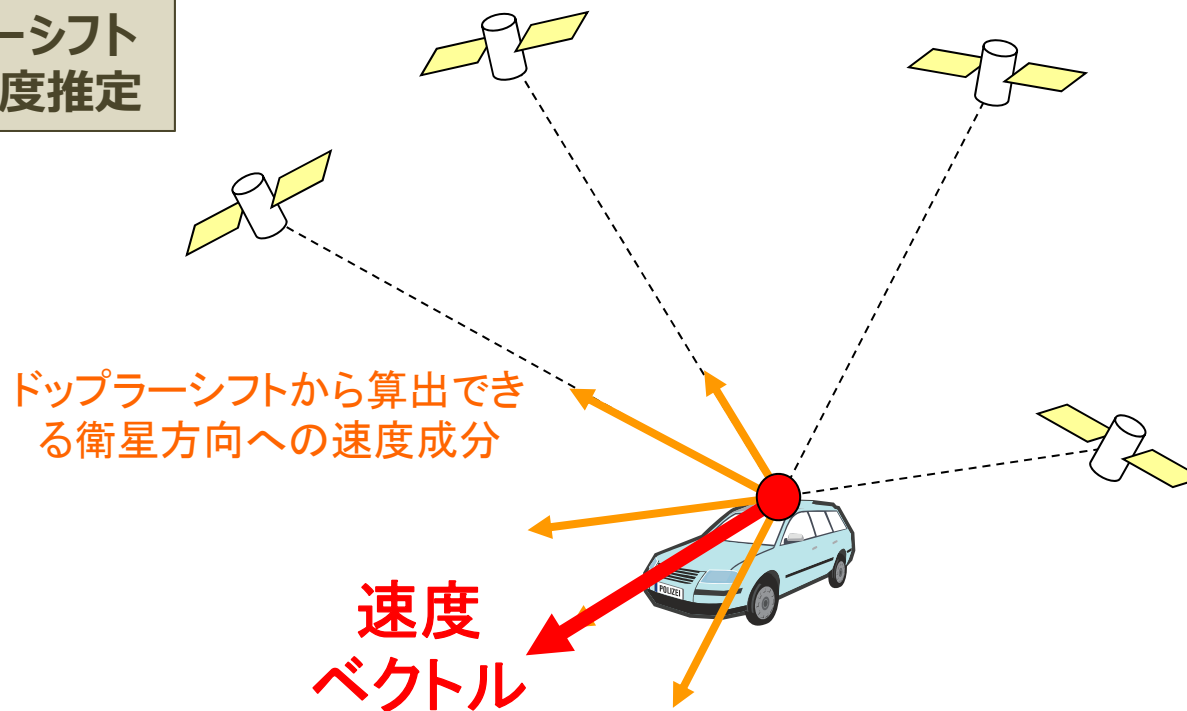
課題

周囲の移動物などで精度劣化

研究の位置付け：世の中の推測航法技術

■ 衛星利用型

ドップラーシフト
による速度推定



利点

低コスト、オープンスカイでは高精度、方位蓄積誤差なし

課題

信号遮蔽で利用率低下(屋内では利用不可)

研究の位置付け：位置推定手段まとめ

推測航法

	軌跡精度 (100m走行あたり)	ロバスト性	車載コスト
INS	× (~3 [m])	◎	◎ (数百~千 [円])
LiDAR	◎ (~0.1 [m])	○	× (数千~数万 [円])
カメラ	○ (~1 [m])	△ (照明変化、移動物などに弱い)	○ (千~数千 [円])
衛星ドップラー シフト	◎ (~0.1 [m])	× (信号の遮蔽/反射などに弱い)	◎ (数百~千 [円])

絶対測位

	位置精度	ロバスト性	車載コスト
RTK-GPS	◎ (~0.1 [m])	× (信号の遮蔽/反射などに弱い)	○ (千~数千 [円])
カメラ	○ (~1 [m])	△ (照明変化、季節変化などに弱い)	○ (千~数千 [円])
LiDAR	◎ (~0.1 [m])	○	× (数千~数万 [円])

単独のセンサでは**精度・ロバスト性・コスト**をすべて満足することは困難

研究の位置付け：本研究のねらい

推測航法

	軌跡精度 (100m走行あたり)	ロバスト性	車載コスト
INS	× (~3 [m])	◎	◎ (数百~千 [円])
LiDAR	◎ (~0.1 [m])	○	× (数千~数万 [円])
カメラ	○ (~1 [m])	△ (照明変化、移動物などに弱い)	○ (千~数千 [円])
衛星ドップラーシフト	◎ (~0.1 [m])	× (信号の遮蔽/反射などに弱い)	◎ (数百~千 [円])
本研究	◎ (~0.1 [m])	○	○ (千~数千 [円])

複数センサ
統合

絶対測位

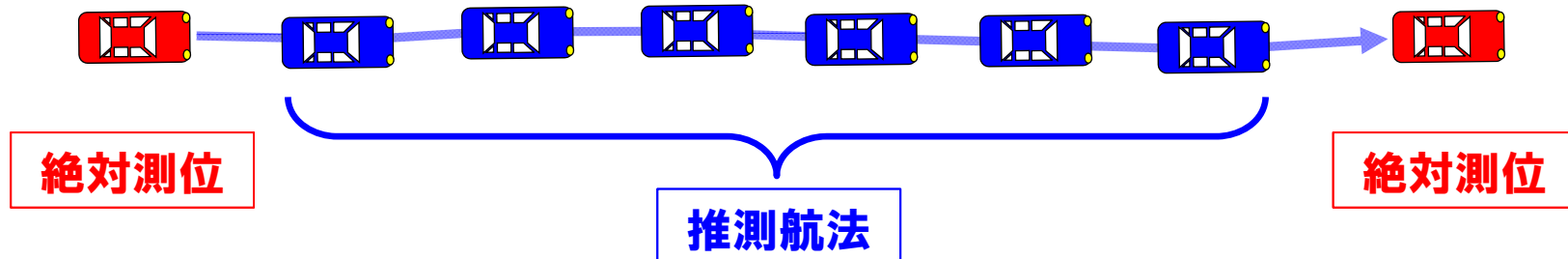
	位置精度	ロバスト性	車載コスト
RTK-GPS	◎ (~0.1 [m])	× (信号の遮蔽/反射などに弱い)	○ (千~数千 [円])
カメラ	○ (~1 [m])	△ (照明変化、季節変化などに弱い)	○ (千~数千 [円])
LiDAR	◎ (~0.1 [m])	○	× (数千~数万 [円])
本研究	◎ (~0.1 [m])	○	○ (千~数千 [円])

複数センサ
統合

複数センサ統合により精度・ロバスト性・コストを満足する測位手法を構築

本研究の取り組み

- ① 推測航法の改善
 - カメラ画像 + INS (ジャイロ・車輪速) + GPSドップラースhiftの統合による性能向上
- ② 絶対測位の改善
 - カメラ画像 + INS (ジャイロ・車輪速) の統合による性能向上



目次

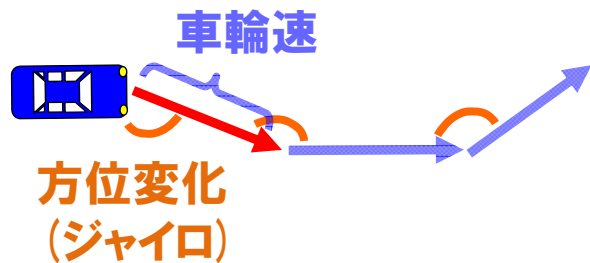
- 1. 背景
- 2. 研究の位置付け
- 3. カメラ画像を用いた位置推定の改善
 - 推測航法の性能向上
 - 絶対測位の性能向上
- 4. まとめ

カメラ画像を用いた推測航法

• 基本原理

INSを用いた推測航法

ジャイロの方位と車輪速から
自車の動きを推定



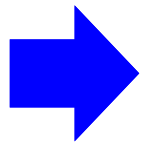
カメラ画像を用いた推測航法

画像中の物体の動きから
自車の動きを推定



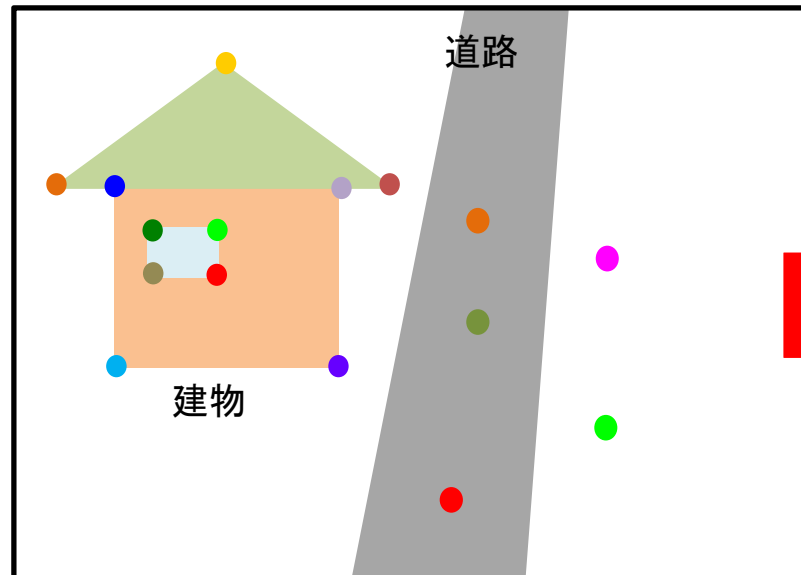
カメラ画像を用いた推測航法

・特徴点

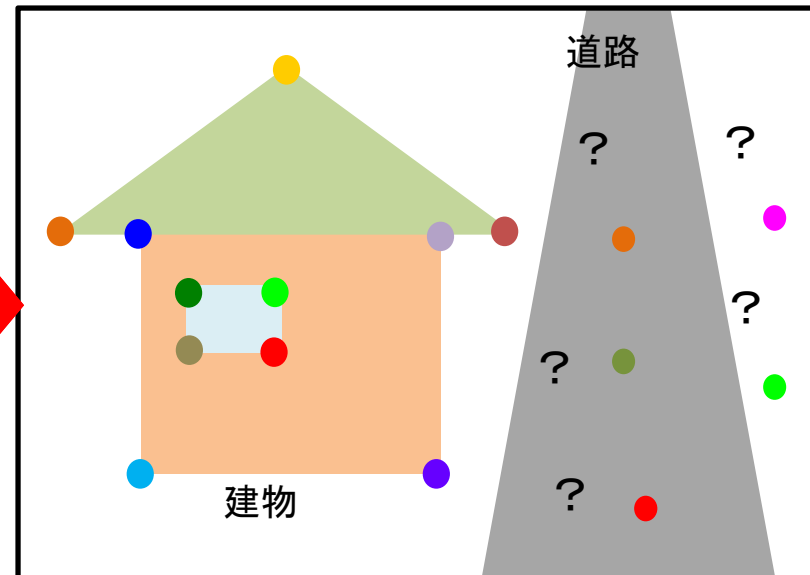


視点が異なる画像間において同一の箇所を
対応付けるための目印(建物の角など)

画像1 ($t=t_0$)

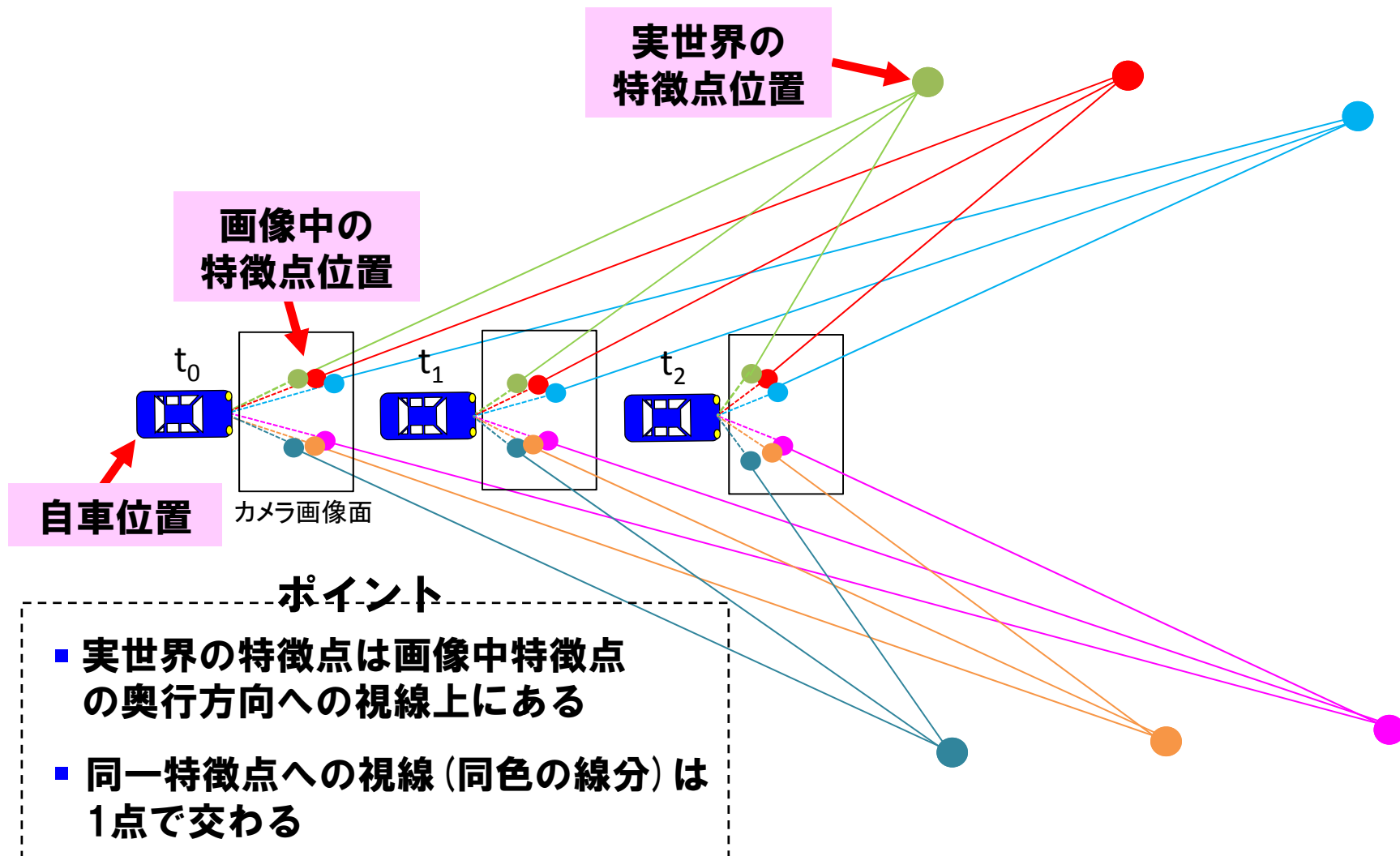


画像2 ($t=t_0 + \Delta t$)



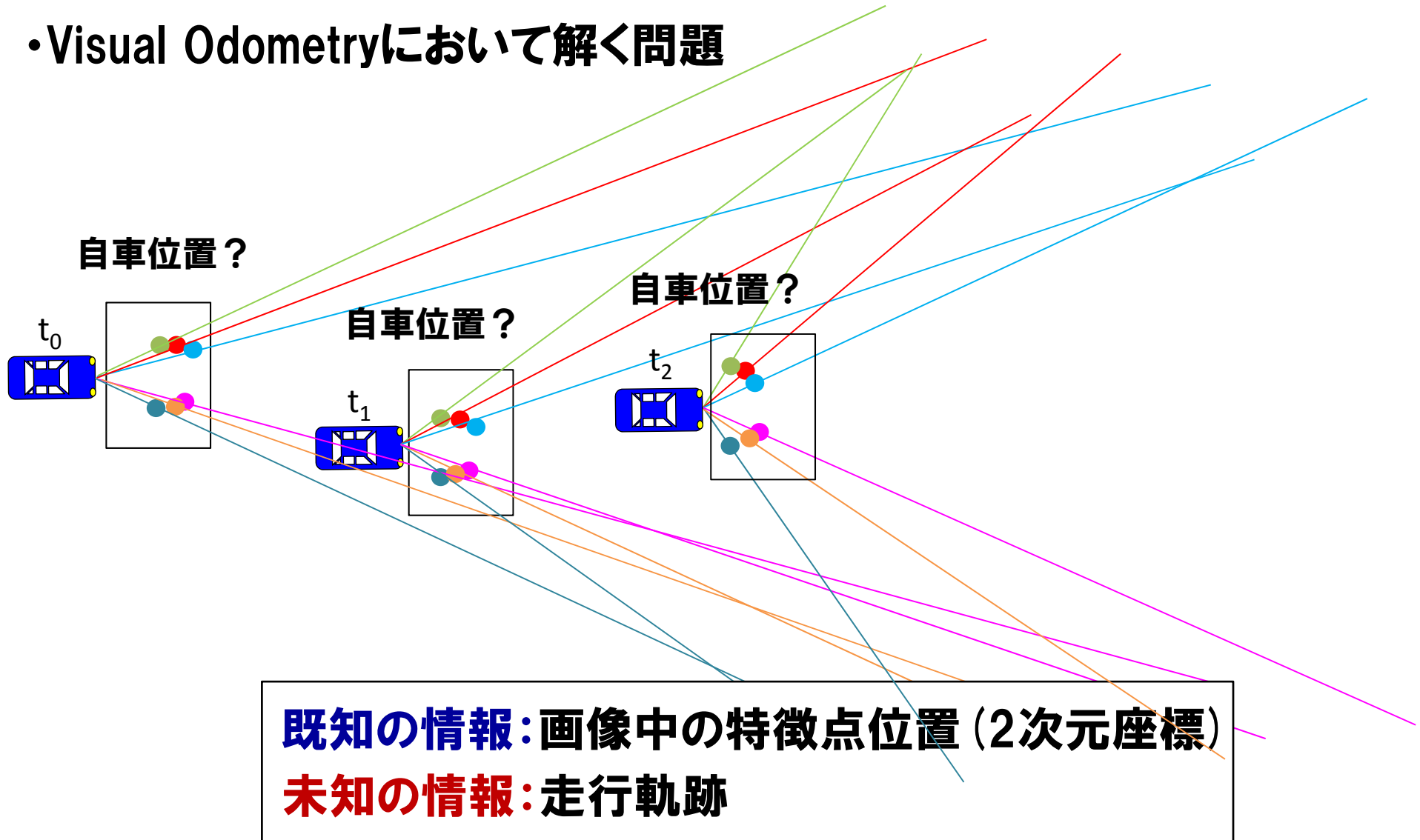
カメラ画像による推測航法(Visual Odometry)

- 「自車位置」「実世界の特徴点位置」「画像中の特徴点位置」の関係

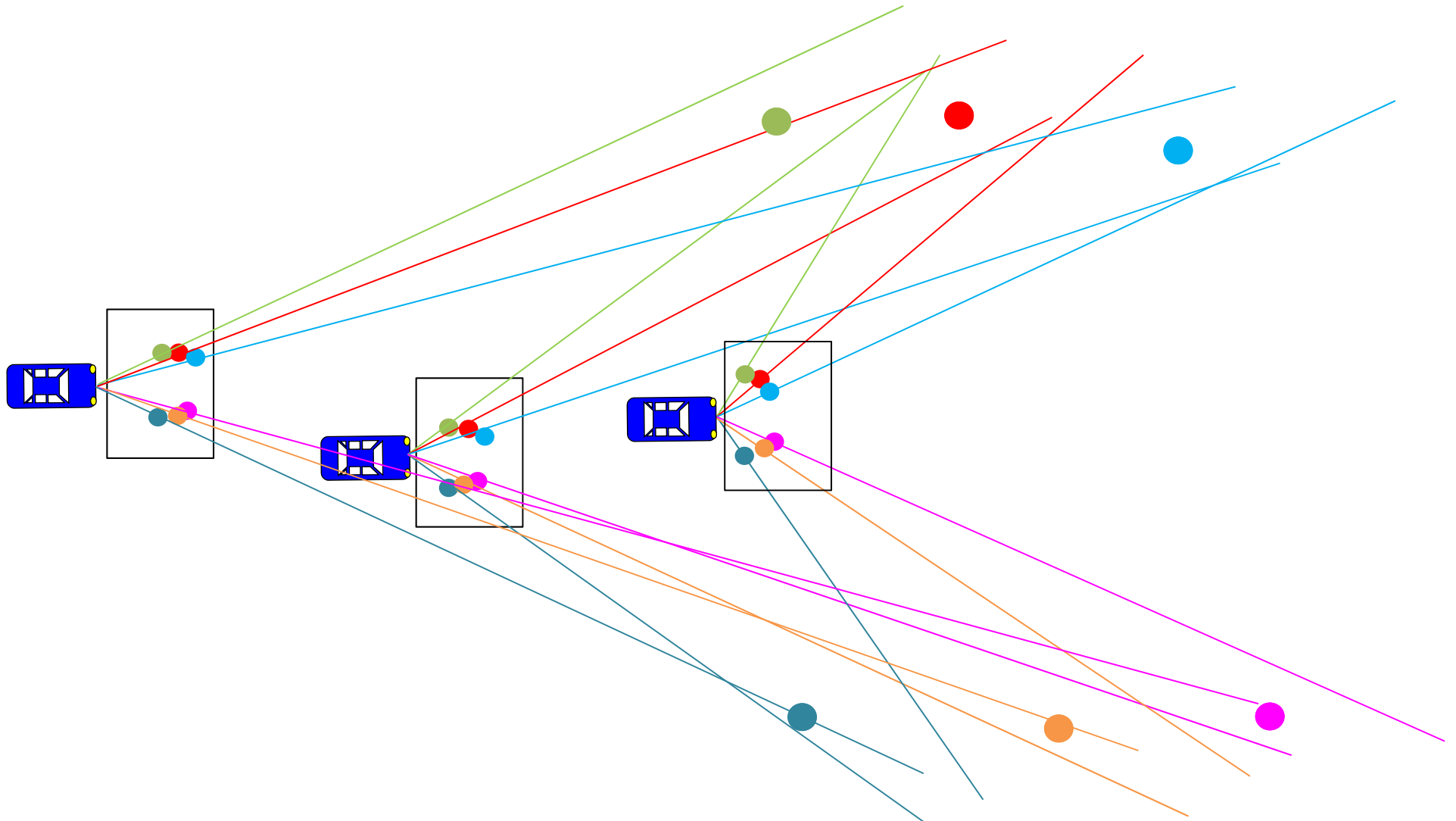


カメラ画像による推測航法(Visual Odometry)

- Visual Odometryにおいて解く問題



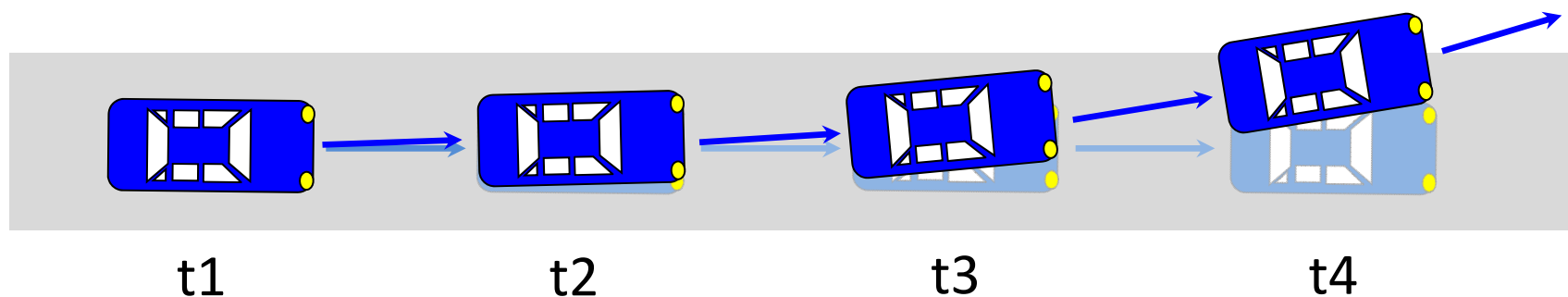
カメラ画像による推測航法(Visual Odometry)



特徴点位置と同時に正しい走行軌跡を推定可能

Visual Odometryの課題1

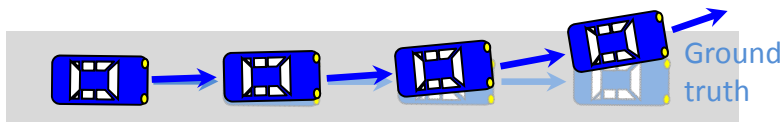
- 方位の蓄積誤差
 - 相対的な方位変化しか分からない
 - ⇒方位誤差が蓄積 (→位置ズレが拡大)



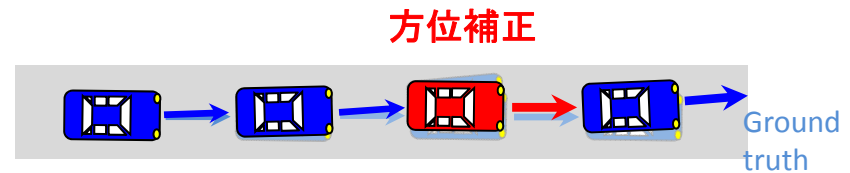
課題1に対する従来手法

- 基本アプローチ:
⇒ 絶対方位推定による方位誤差の補正

方位補正なし



方位補正あり

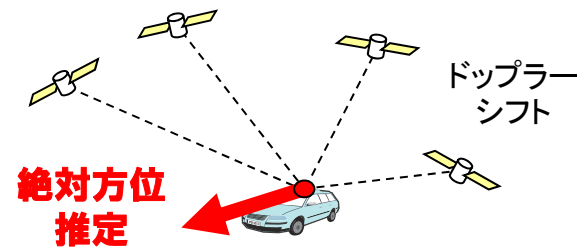


従来手法1:
地磁気計による方位補正



磁場に干渉する金属の構造物
(陸橋・電柱など)が多い場所で誤差大

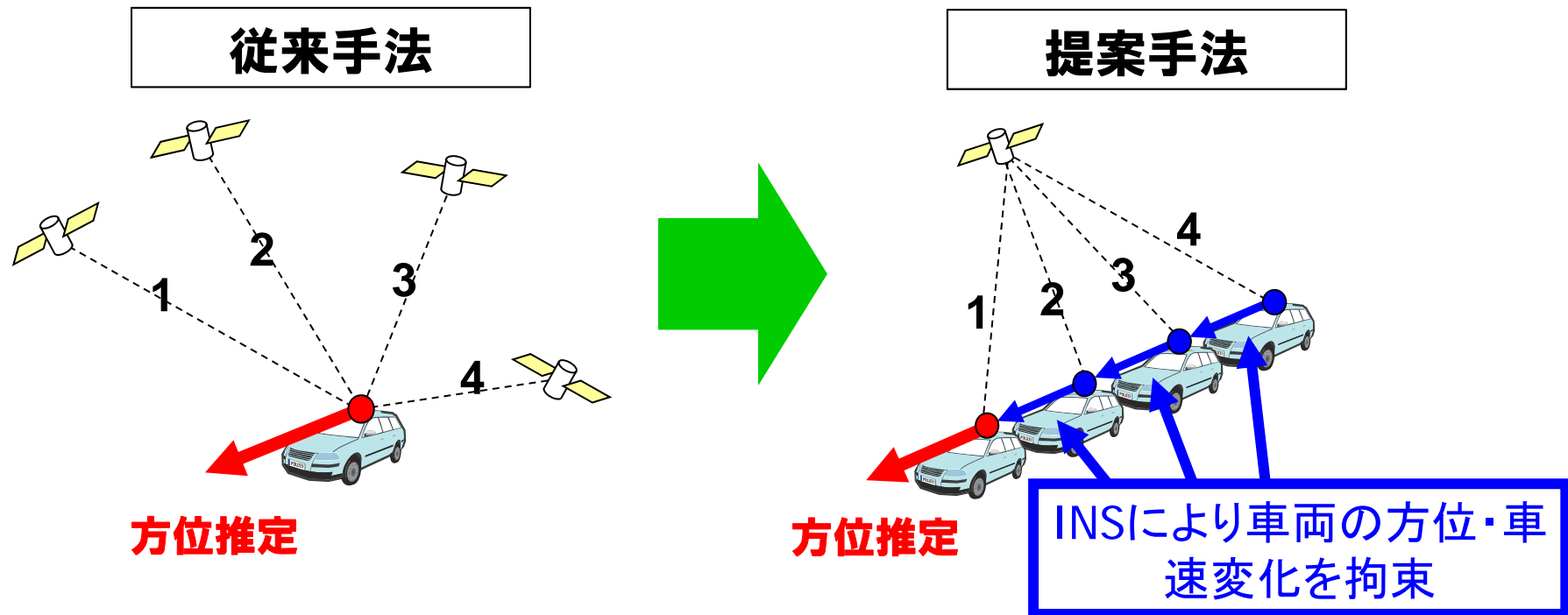
従来手法2:
GPSによる方位補正



衛星数の遮蔽が多い都心部で
方位推定の頻度低下

提案手法1の概要

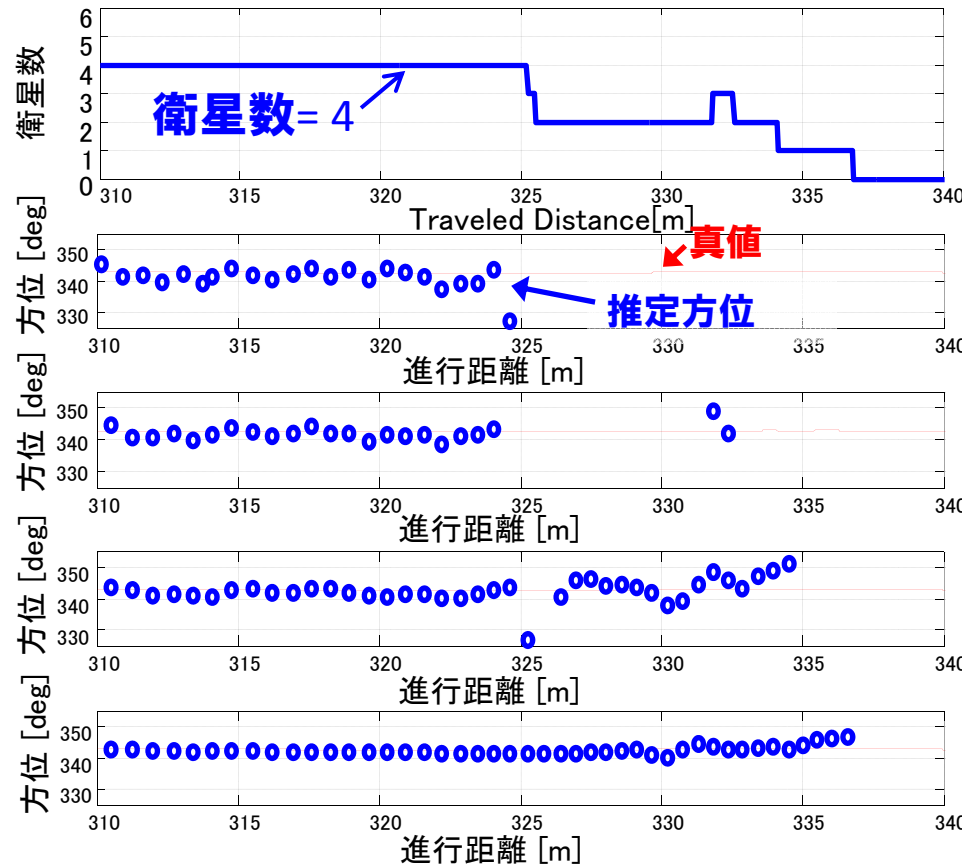
1. 複数時刻の衛星情報を利用
2. INS (車速/ジャイロ) により各時刻間の車両の動きを拘束



時系列データ方向への拡張に伴い見かけ上の衛星数が増加

提案手法1の作用

衛星数と方位推定頻度の関係



従来手法 (GPSのみ)

提案手法 (GPS+IMU)
M=1

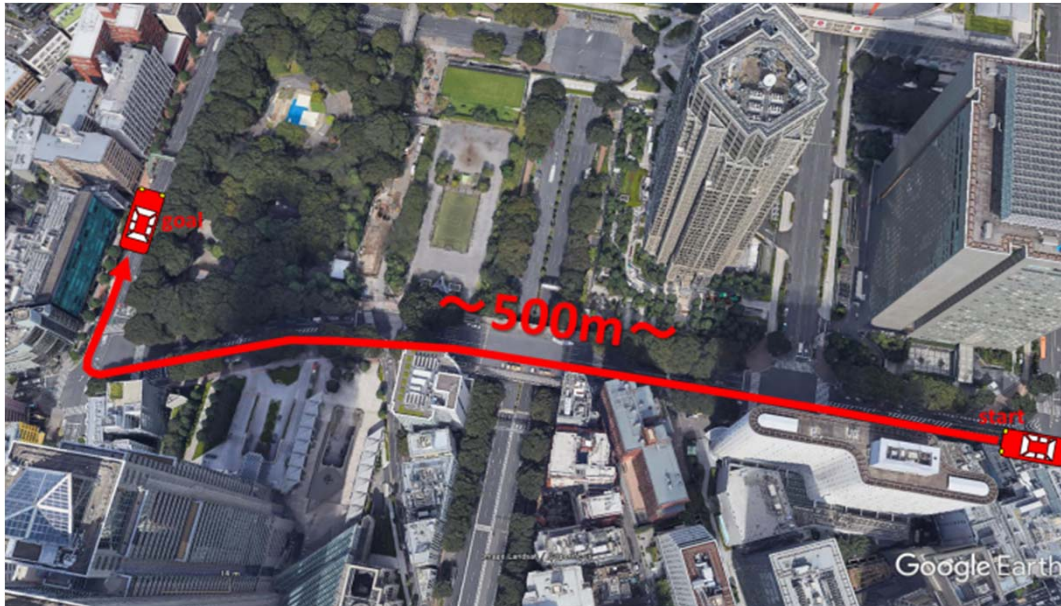
提案手法 (GPS+IMU)
M=2

提案手法 (GPS+IMU)
M=10

時系列データ数の増加に伴い方位推定可能な場所が増加
⇒ 衛星受信環境が悪い都心部における方位補正の頻度が向上

実験1: 実験条件

【評価コース@新宿】

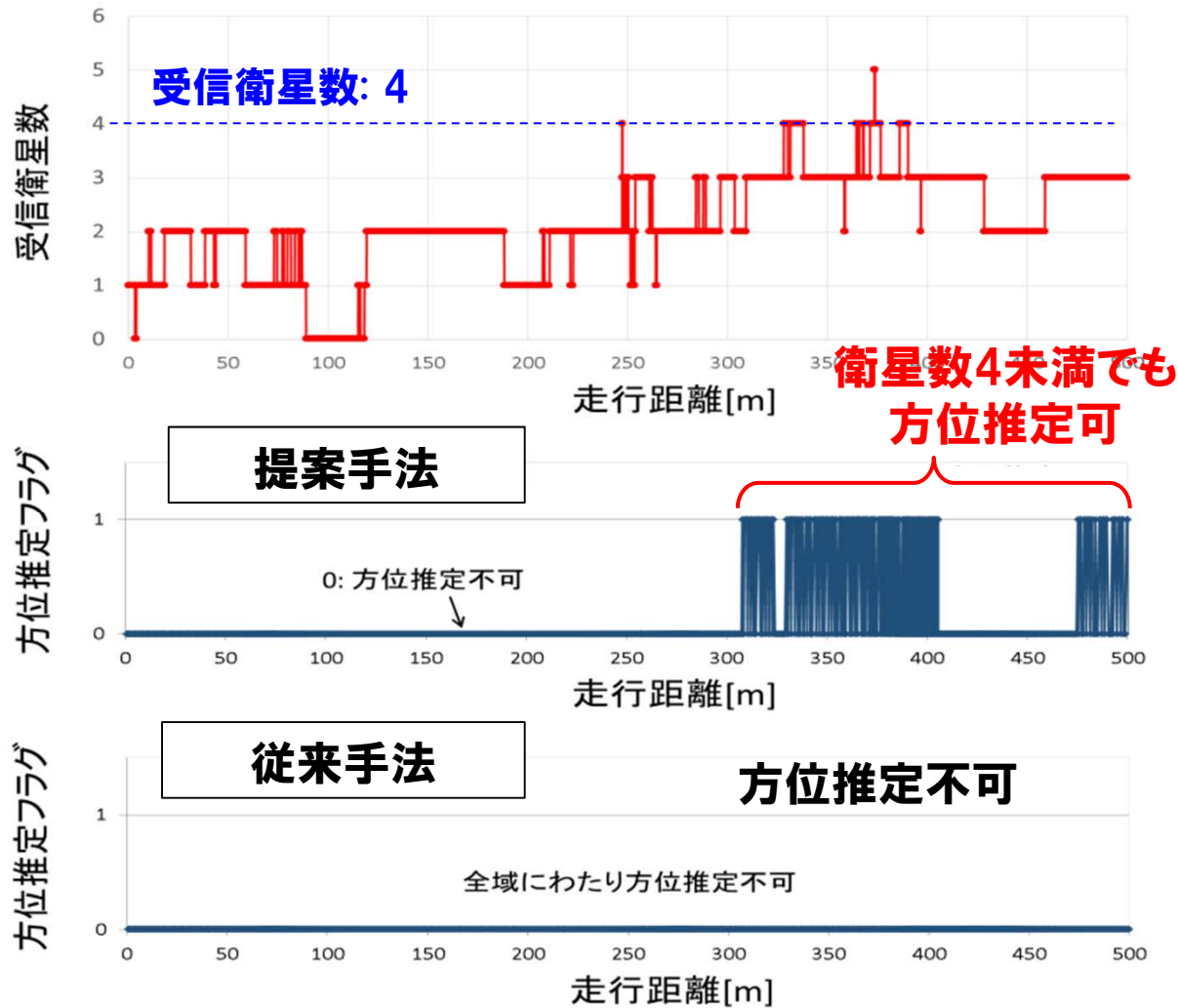


【使用機器】

センサ機器	製品	出力周期
ジャイロ	汎用車載品	12ms
車輪速	汎用車載品	12ms
GPS受信機	NetR9	100ms
カメラ	XCD-SX90 (SXGA)	66.7ms
リファレンス	POSLV610	5ms

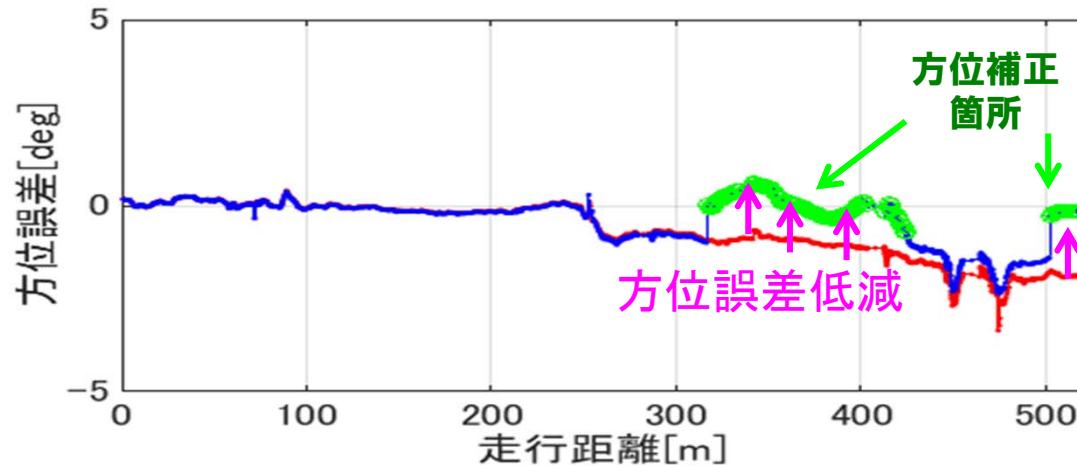
実験1: 実験結果

【方位推定の頻度】



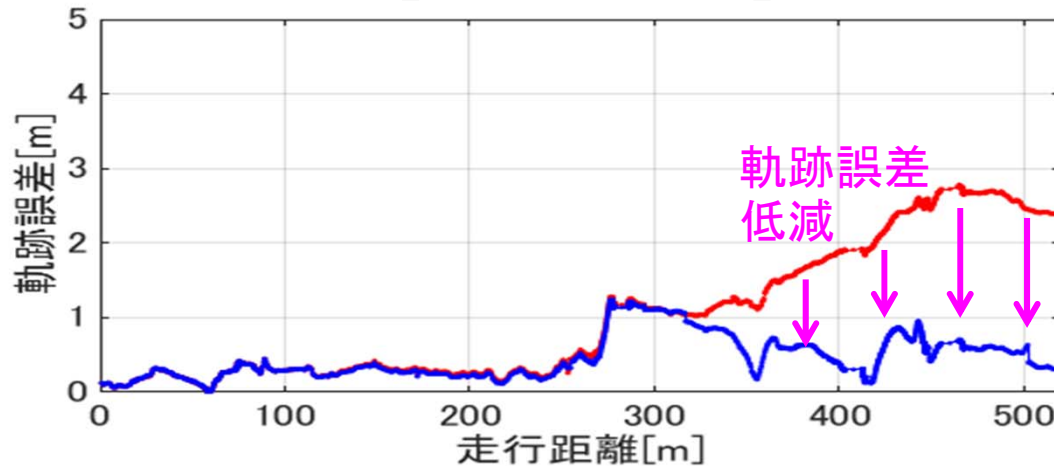
実験1: 実験結果

【方位推定誤差】



- 従来手法 (VO+旧方位補正)
- 提案手法 (VO+新方位補正)

【軌跡推定誤差】



- 従来手法 (VO+旧方位補正)
- 提案手法 (VO+新方位補正)

100m走行あたりに生じる軌跡誤差： **1.21m ⇒ 0.35m** に低減

Visual Odometryの課題2

- 画像中の移動物体
 - VOでは画像中の静止物の動きから自車運動を相対的に推定

⇒移動物がある場合に精度劣化



Visual Odometryの課題2

- 画像中の移動物体
 - VOでは画像中の静止物の動きから自車運動を相対的に推定

⇒移動物がある場合に精度劣化

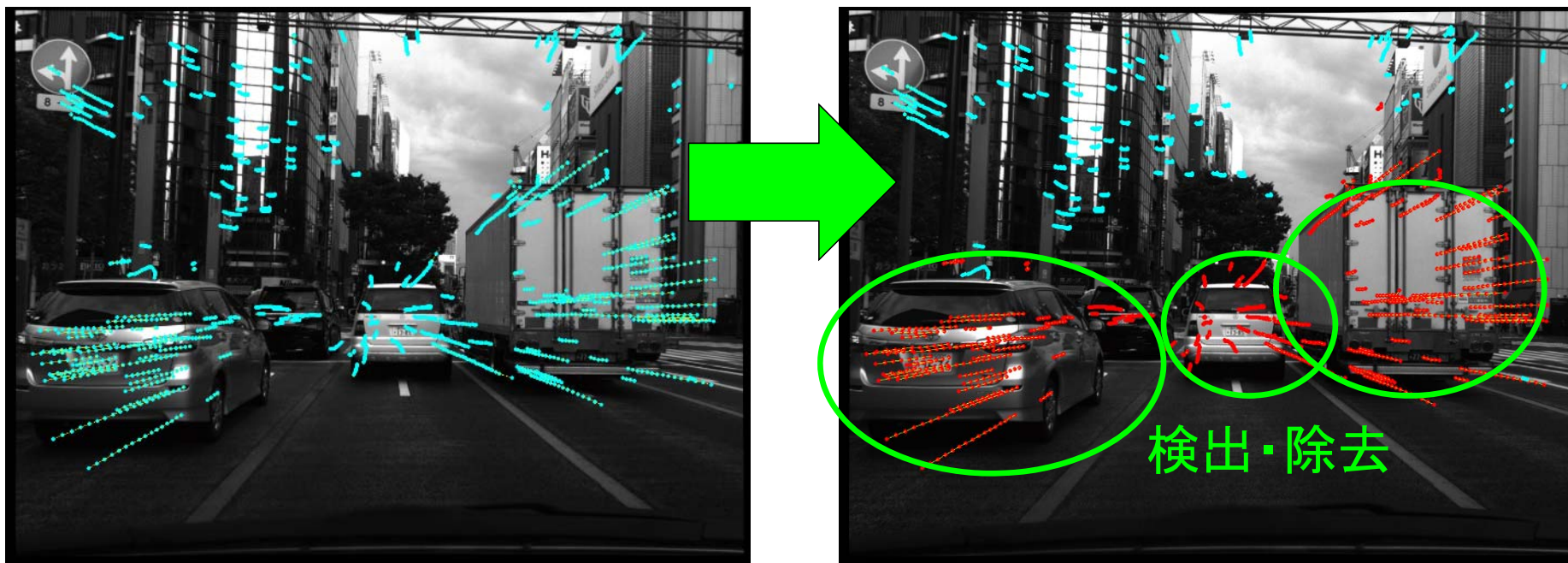


Visual Odometryの課題2

- 基本アプローチ

- 移動物上のオプティカルフローを検出 & 除去

(=時系列の特徴点の位置)



課題2に対する従来手法

INSで計測した自転車運動に基づいた移動物判定手法

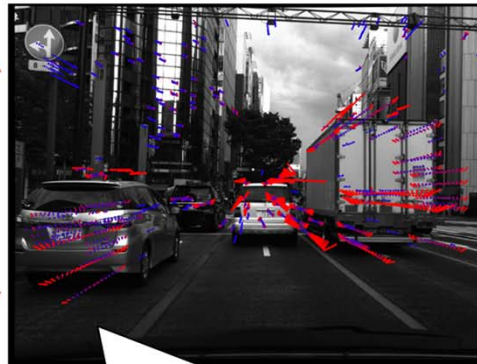
画像中追跡によるオプティカルフロー



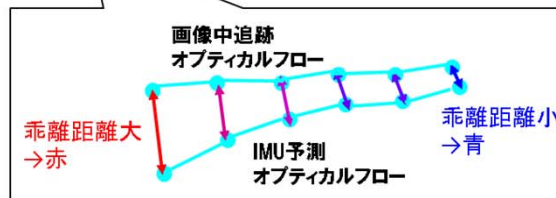
IMUから予測したオプティカルフロー



オプティカルフロー間の距離
(乖離距離)



移動物上のオプティカルフロー候補



- ・動きが少ない移動物は検出が困難
- ・カメラ-INSの同期ずれにより誤りが発生

課題2に対する従来手法

パターン認識ベースの車両検出に基づいた 移動物判定手法



- ・静止中の路上駐車車両などを誤って検知
- ・車両検出が失敗の可能性あり

提案手法2の概要

INSによる移動物判定結果とパターン認識による 車両検出結果を相補的に統合

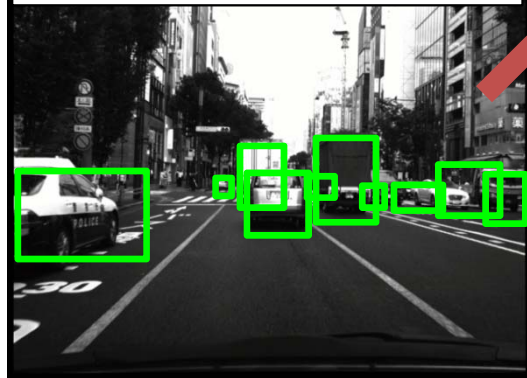


提案手法2の概要

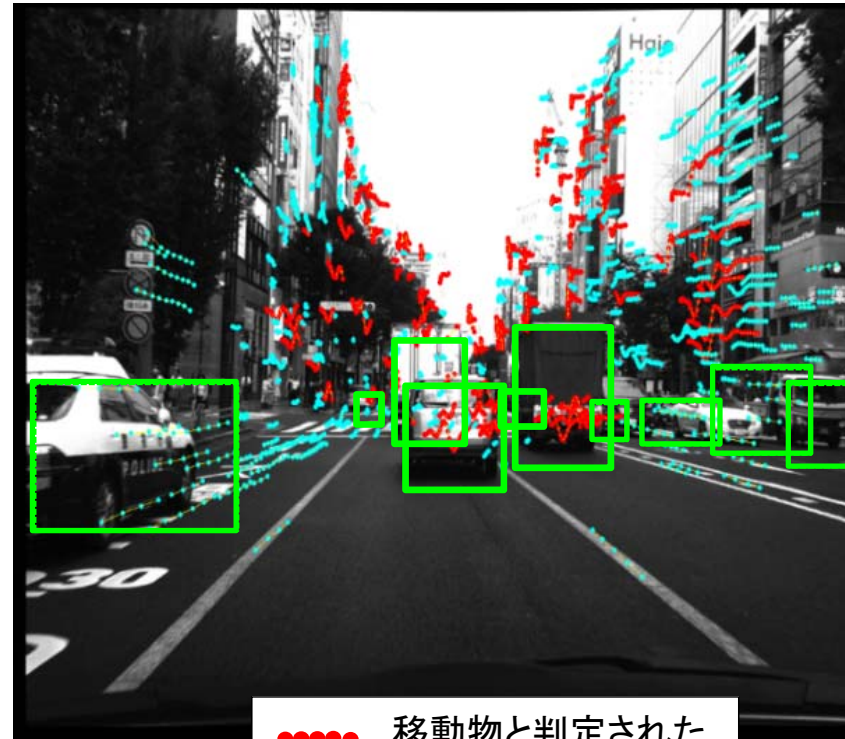
INSによる移動物判定結果



パターン認識による
車両検出結果



INSで検出された移動物判定結果に
パターン認識による車両検出結果を重畳



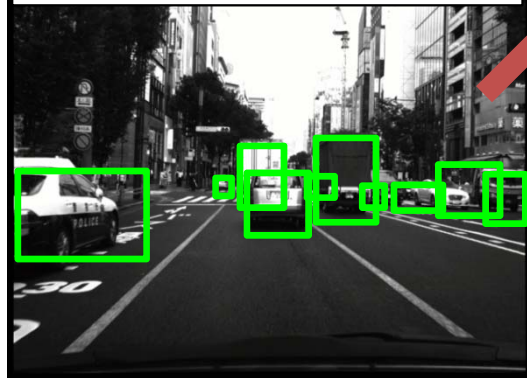
- 移動物と判定された
オプティカルフロー
- 静止物と判定された
オプティカルフロー

提案手法2の概要

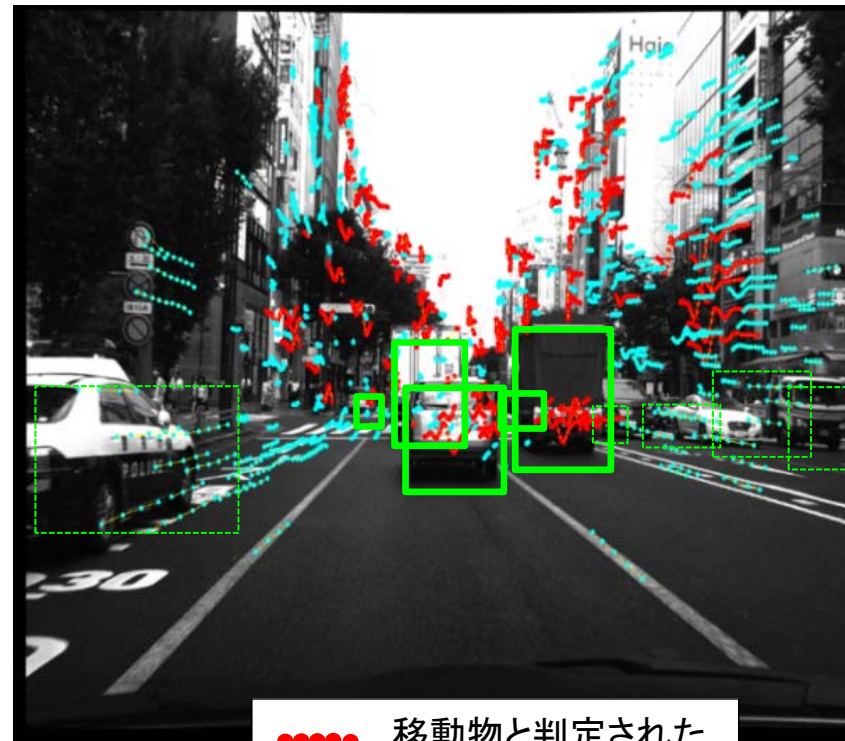
INSによる移動物判定結果



パターン認識による
車両検出結果



車両検出結果から静止車両領域を除去
(静止物OFの含有割合に基づく)



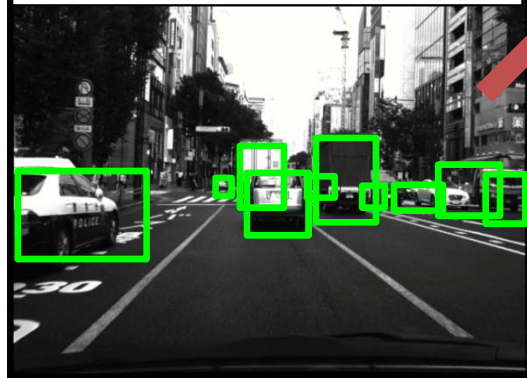
- 移動物と判定された
オプティカルフロー
- 静止物と判定された
オプティカルフロー

提案手法2の概要

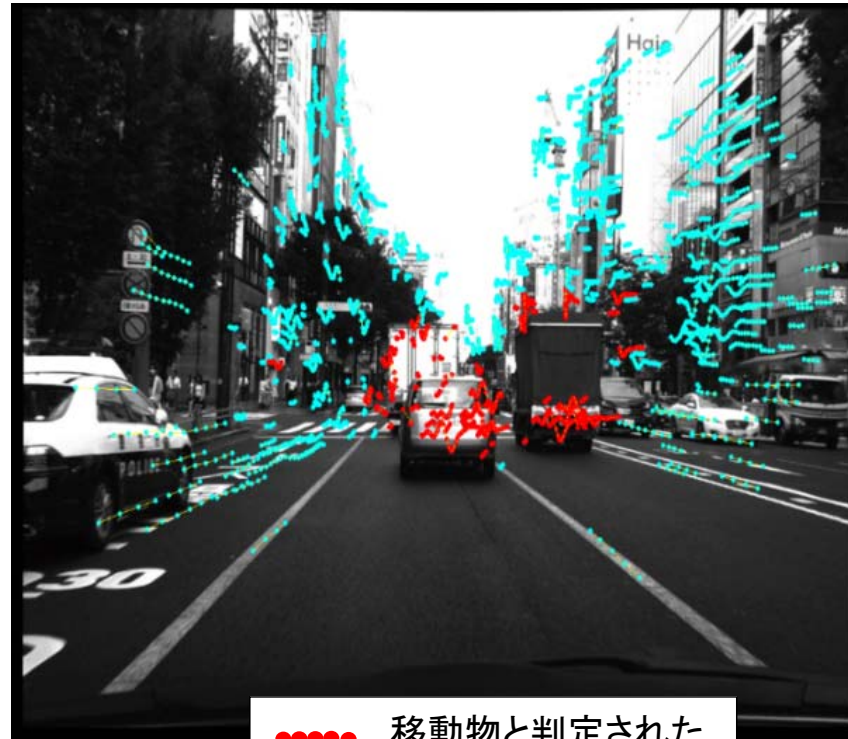
INSによる移動物判定結果



パターン認識による
車両検出結果



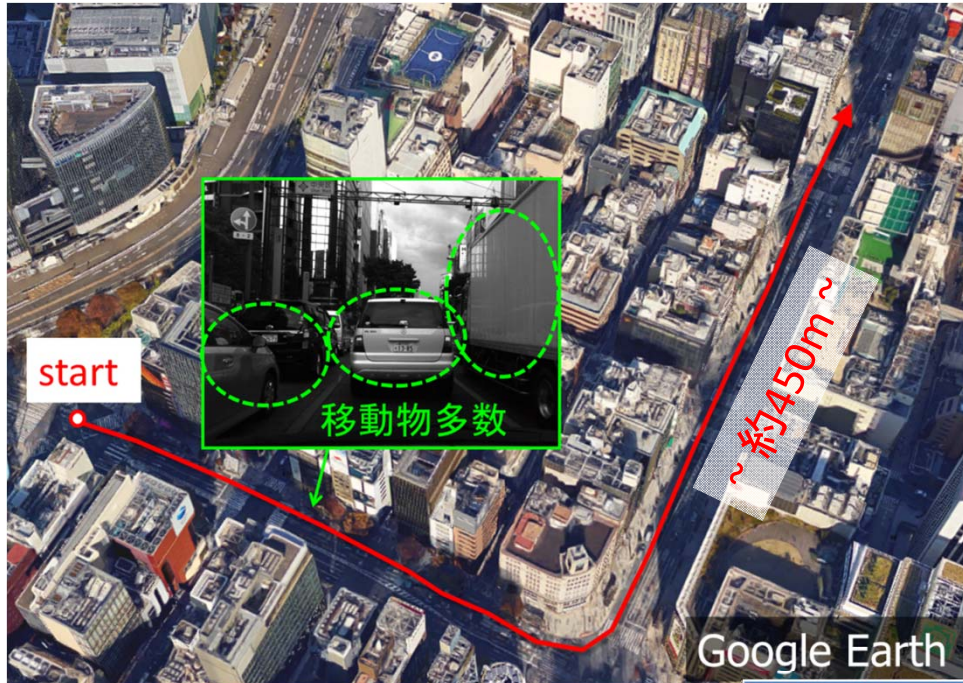
残った車両検出領域内のOFを
移動物と判定、それ以外を静止物と判定



- 移動物と判定された
オプティカルフロー
- 静止物と判定された
オプティカルフロー

実験2: 実験条件

【評価コース@銀座】



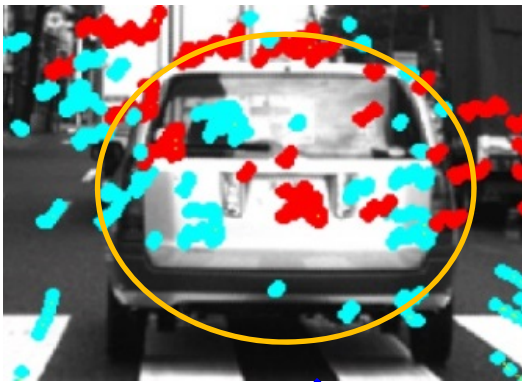
【使用機器】

センサ機器	製品	出力周期
ジャイロ	汎用車載品	12ms
車輪速	汎用車載品	12ms
GPS受信機	NetR9	100ms
カメラ	XCD-SX90 (SXGA)	66.7ms
リファレンス	POSLV610	5ms

実験2: 実験結果

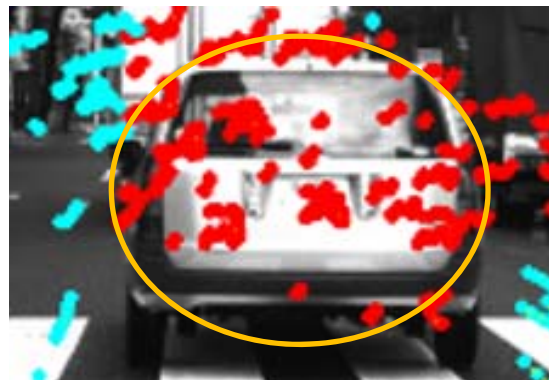
改善例1

INSによる移動物判定結果



移動物の
未検出を改善

**INS+車両検出
(提案手法)**



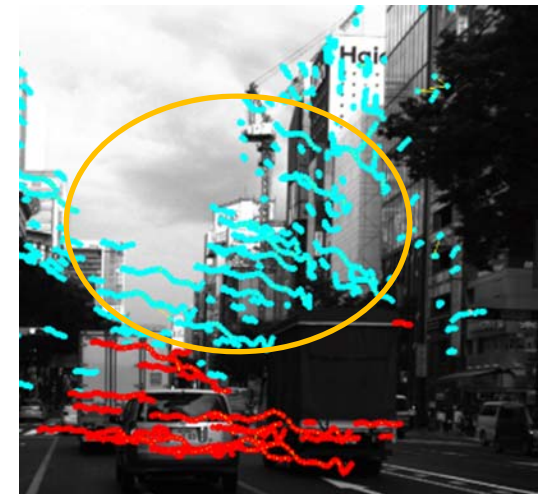
改善例2

INSによる移動物判定結果



移動物の
誤検出を改善

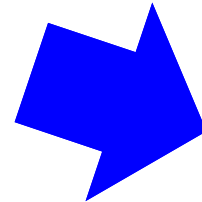
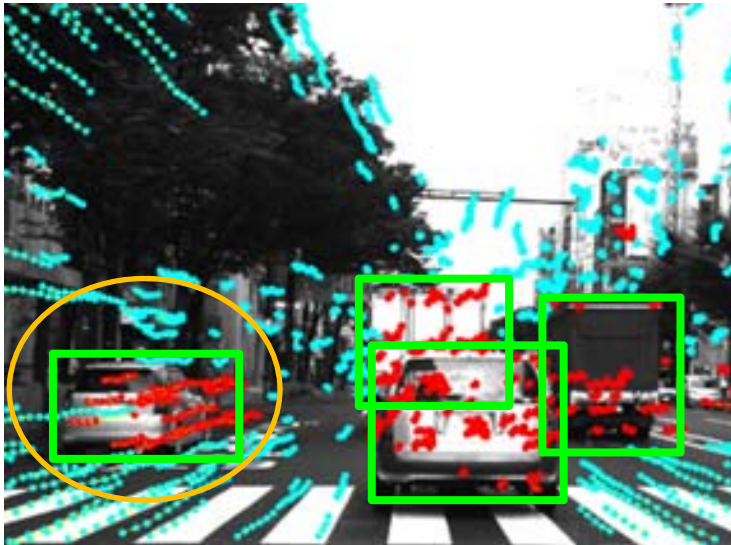
**INS+車両検出
(提案手法)**



実験2: 実験結果

改善例3

車両検出による移動物判定結果



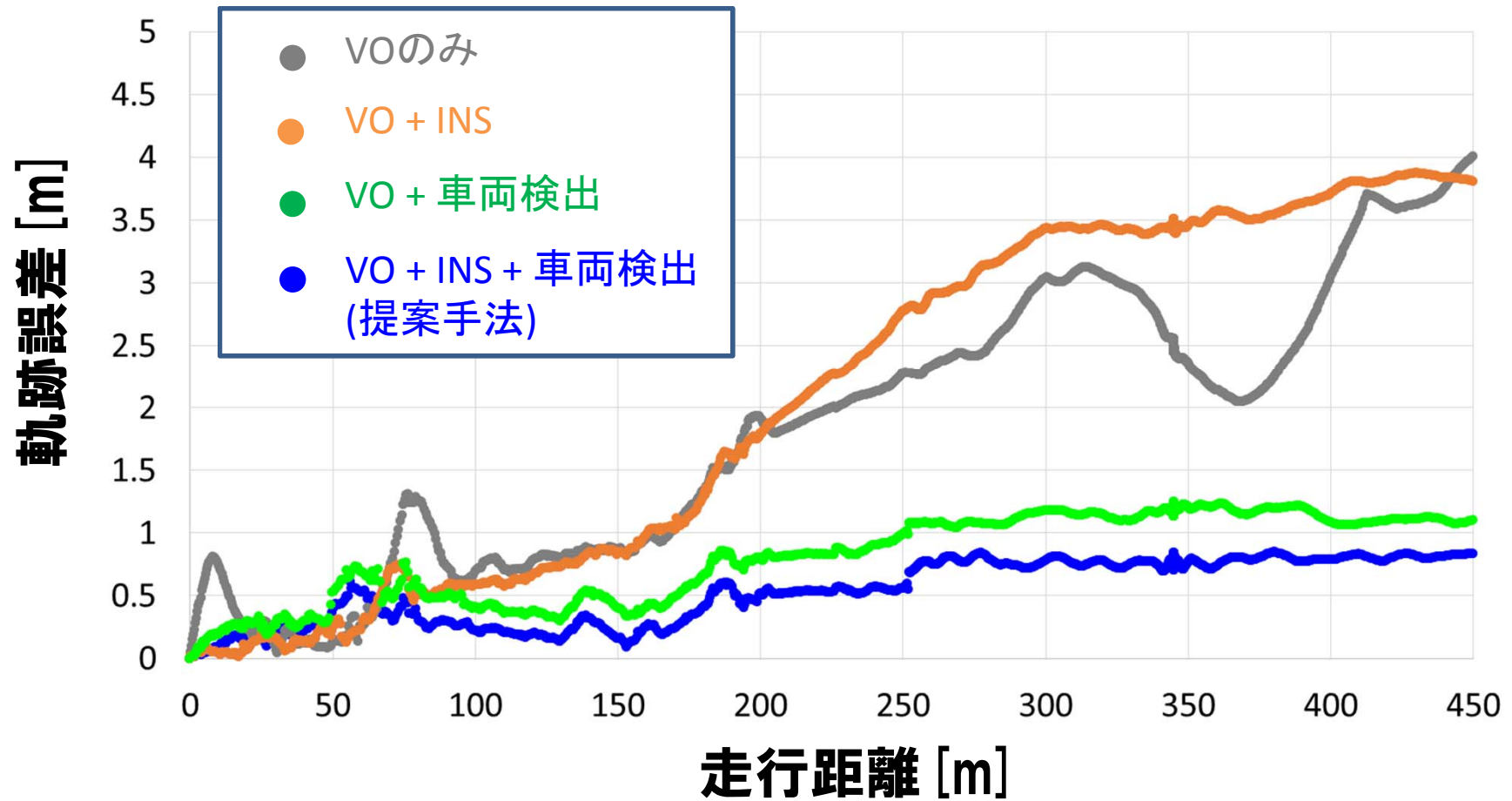
静止車両上の
誤検出を改善

INS+車両検出 (提案手法)



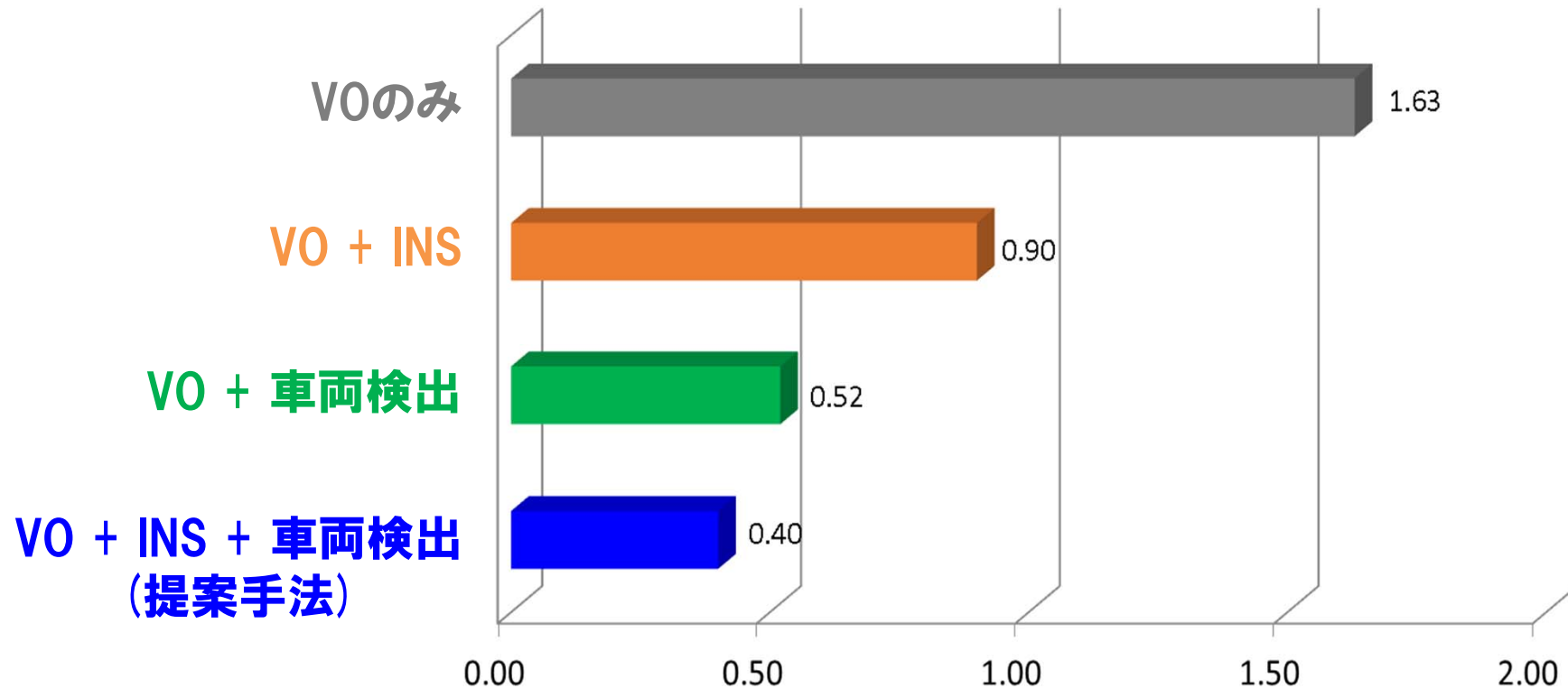
実験2: 実験結果

軌跡推定結果



実験2: 実験結果

100m走行あたりに生じる軌跡誤差



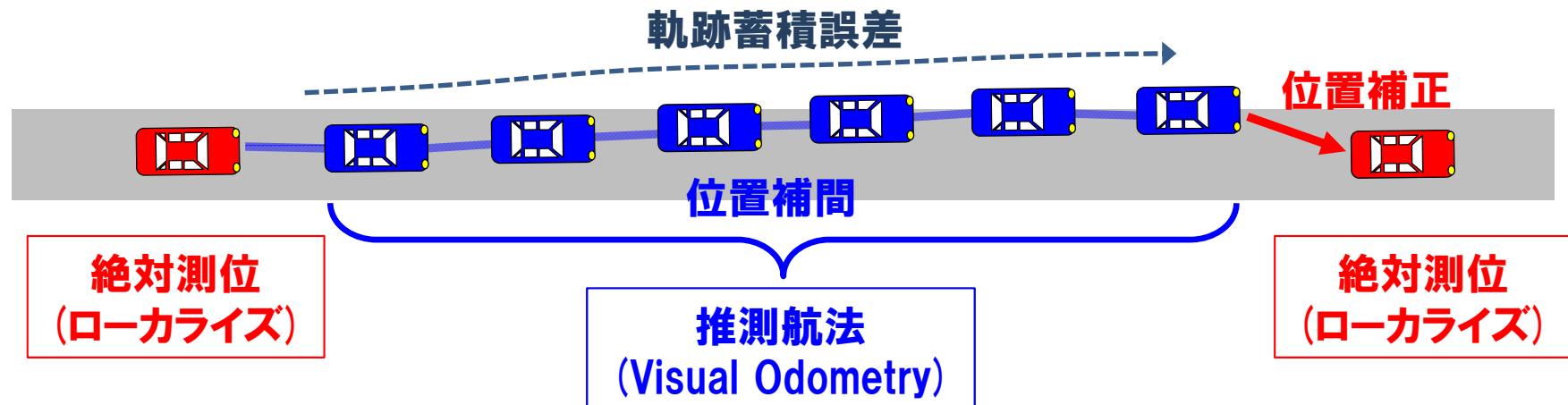
目次

- 1. 背景
- 2. 研究の位置付け
- 3. カメラ画像を用いた位置推定の改善
 - 推測航法の性能向上
 - 絶対測位の性能向上
- 4. まとめ

カメラ画像による絶対測位

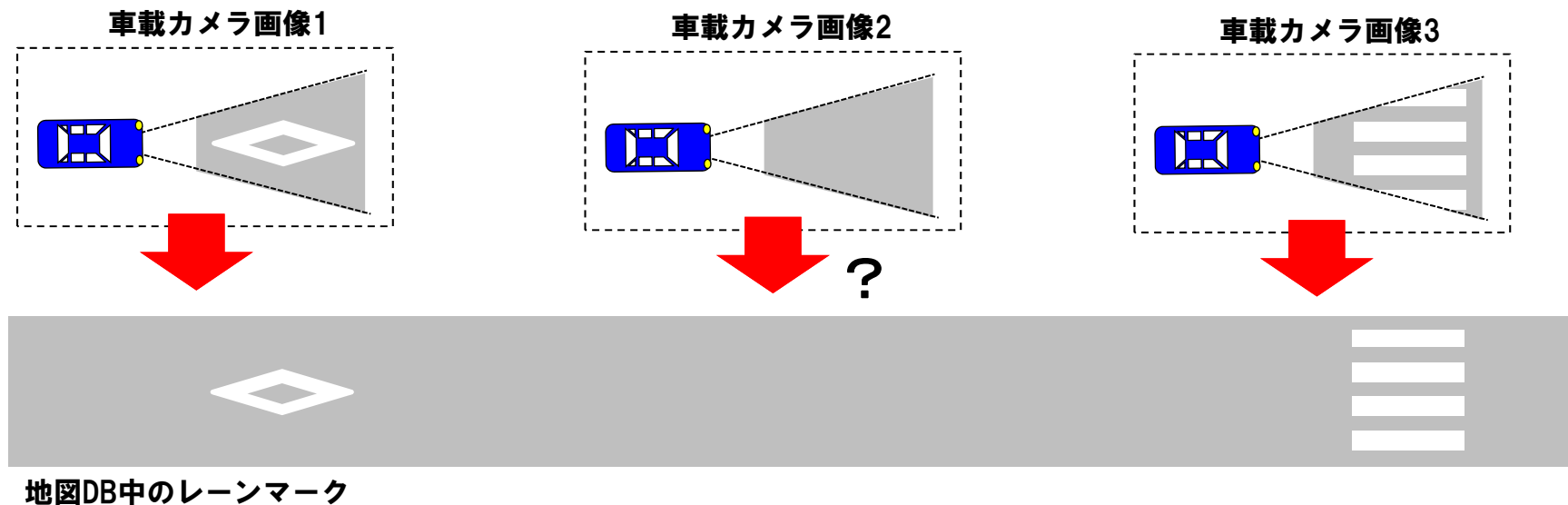
- ・カメラ画像による絶対測位
⇒カメラ画像中の特徴物と地図DB中の特徴との照合による位置推定（ローカライズ）

絶対測位の役割



従来手法1:レーンマークによるローカライズ

- 車載カメラ画像中に見えるレーンマークと地図DB中に格納されたレーンマーク情報との照合により現在位置を推定

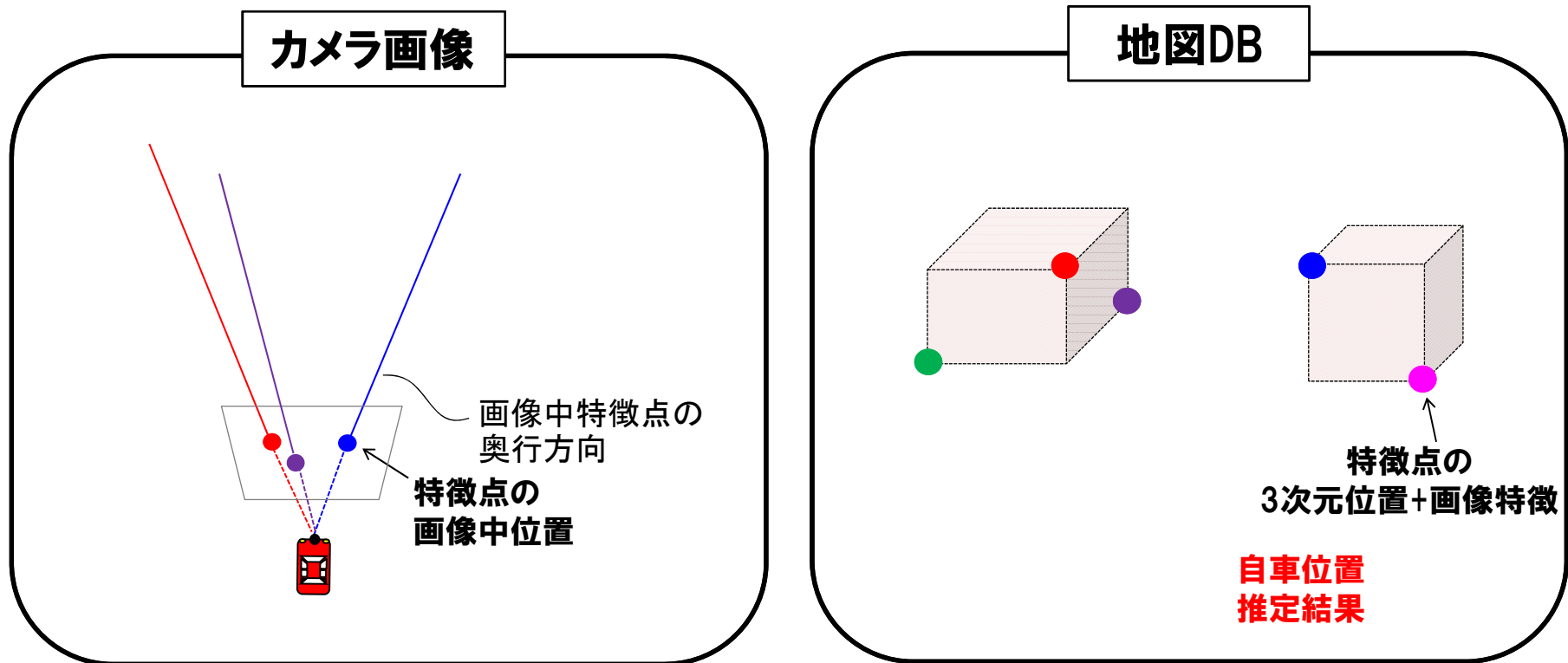


利点：天候の影響等による照明条件の変動があってもロバストに照合可能

課題：実際の道路環境において路面マークの出現頻度は限られる

従来手法2: 特徴点によるローカライズ

- ・ 車載カメラ画像中に見える特徴点と地図DB中に格納された特徴点との照合により現在位置を推定

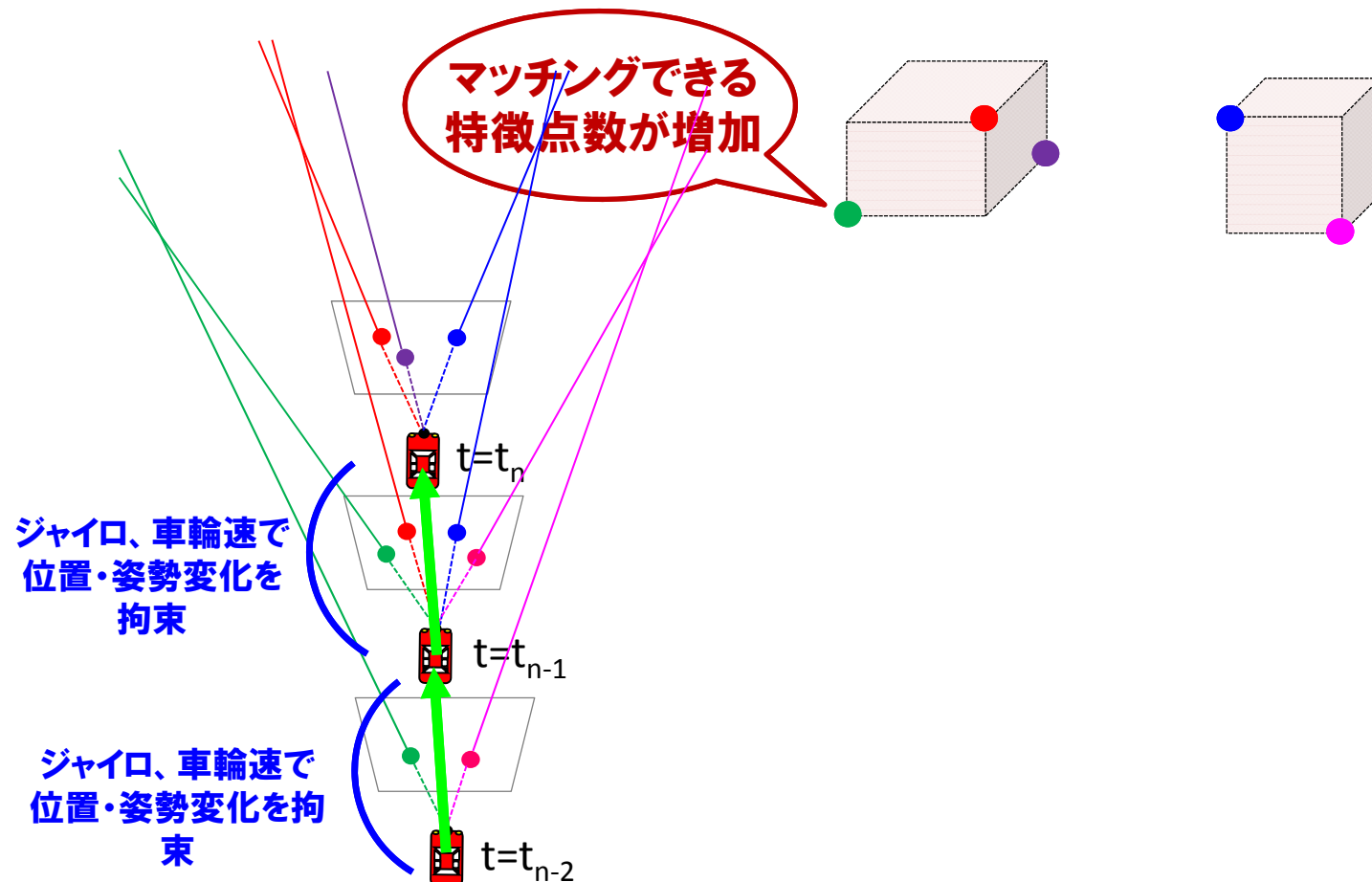


利点: 建物など立体物がある場所ならどこでも特徴点を取得可能

課題: 照明条件変化や周囲の特徴が少ない環境で精度劣化

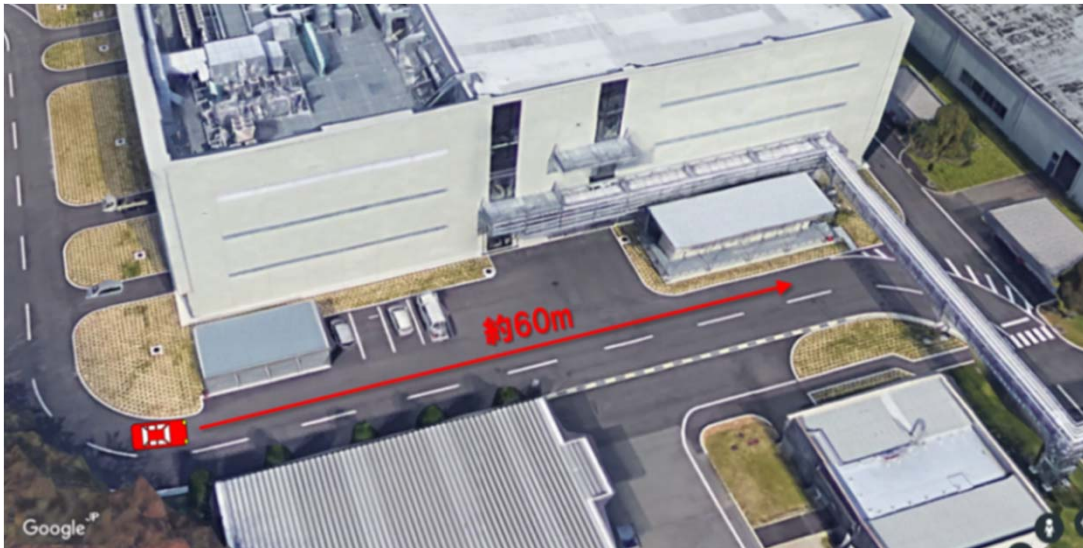
提案手法の概要

- 複数時刻の画像情報を利用
- ジャイロ/車輪速を用いて各時刻の相対位置/姿勢を固定



実験3: 実験条件

評価コース@豊田中研構内

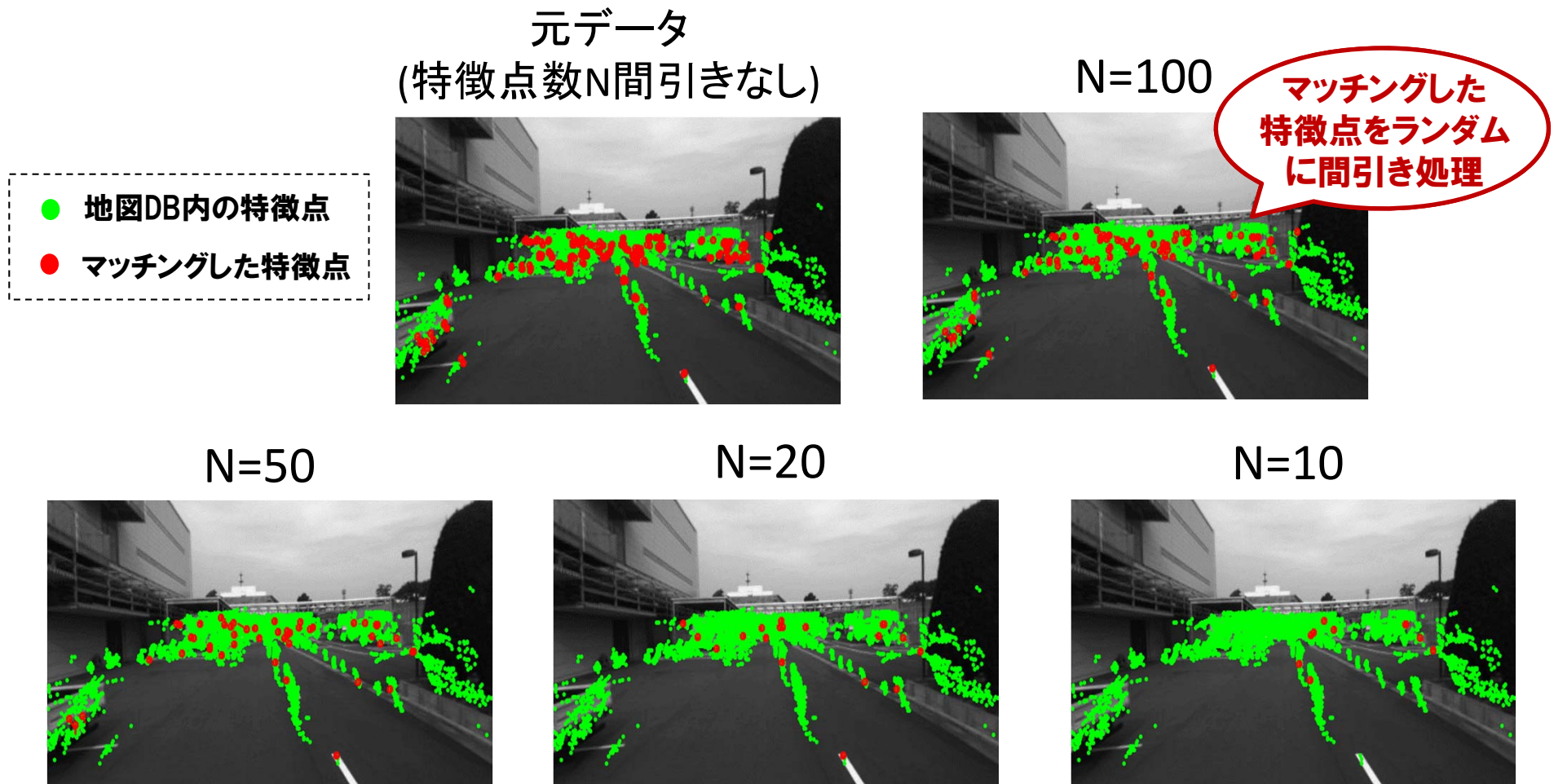


実験機器

センサ機器	製品	出力周期
ジャイロ	汎用車載品	12ms
車輪速	汎用車載品	12ms
カメラ	XCD-SX90 (SXGA)	66.7ms
リファレンス	POSLV610	5ms

実験3: 評価方法

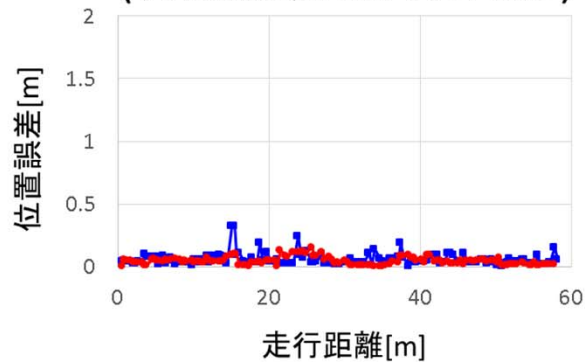
- 特徴点のマッチングが困難な環境を模擬 ⇒ 定量評価を実施



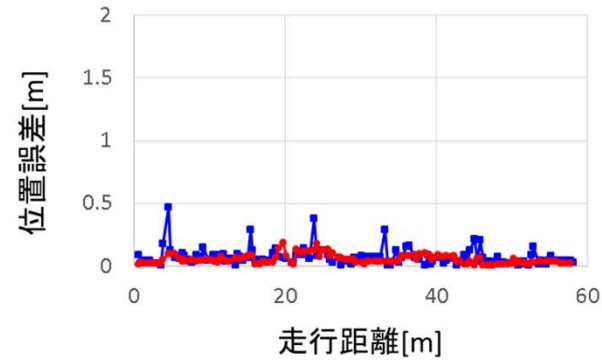
実験3: 実験結果

位置推定誤差

元データ
(特徴点数N間引きなし)

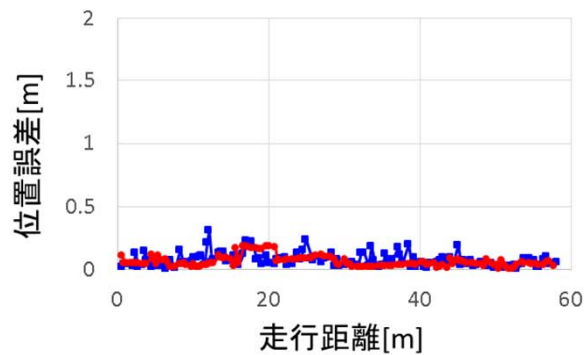


N=100

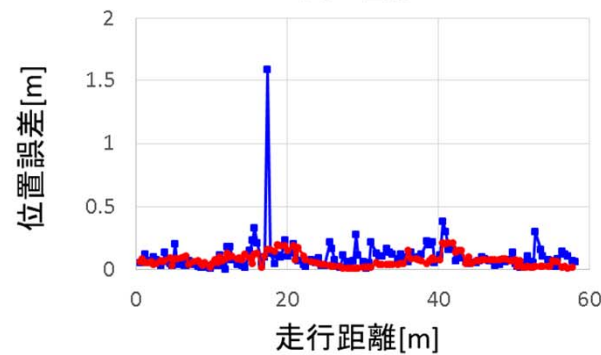


■ 従来手法
● 提案手法

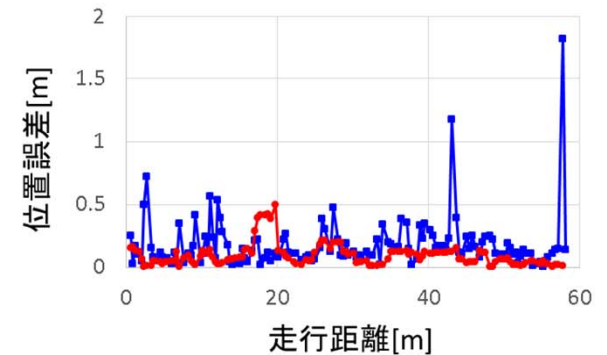
N=50



N=20

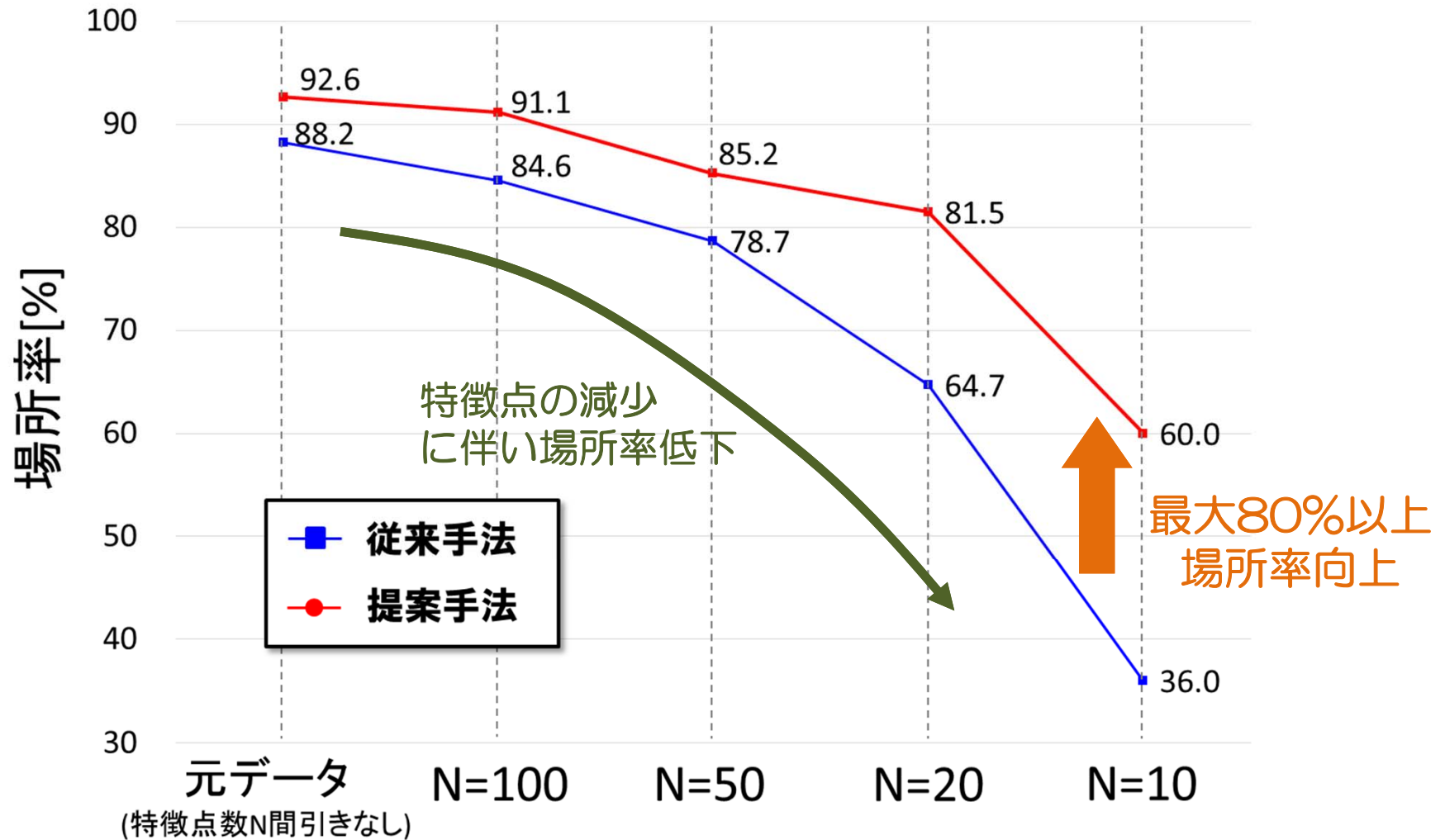


N=10



実験3: 実験結果

位置誤差0.1m以下を満たす場所の割合



目次

- 1. 背景
- 2. 研究の位置付け
- 3. カメラ画像を用いた位置推定の改善
 - 推測航法の性能向上
 - 絶対測位の性能向上
- 4. まとめ

まとめ

- 自動運転のための「高精度・シームレス・低コスト」な測位手法の構築を目的
 - ⇒カメラ画像と複数センサ統合による測位手法を提案
- 推測航法 (Visual Odometry) の改善
 - 課題 1 : 方位誤差蓄積
 - 対策 : GPS方位 (TC型) による方位補正
 - 結果 : 軌跡誤差 1.21m ⇒ 0.35m / 100m @新宿
 - 課題 2 : 移動物による精度劣化
 - 対策 : INS/車両検出による移動物検出・除去
 - 結果 : 軌跡誤差 1.63m ⇒ 0.40m / 100m @銀座
- 絶対測位 (ローカライズ) の改善
 - 課題 : 照合可能な特徴点減少時の位置精度劣化
 - 対策 : INSとの統合 & 時系列データ利用による照合
 - 結果 : 位置誤差0.1mの達成割合 36% ⇒ 60% @豊田中研構内
- 今後 : ローカライズ評価増、推測航法/絶対測位の統合評価

主な研究成果

【査読付き論文】

K.Takeyama, S.Makido, Y.Kojima, “A Novel Method of Vehicle Trajectory Estimation with Portable Navigation Device for Dense Urban Environments”, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol.E99-A, No.1, pp.235-242, 2016 (採録済)

K.Takeyama, T.Machida, Y.Kojima, N.Kubo, “Improvement of Dead-reckoning in Urban Areas through Integration of Low Cost Multi-sensors”, IEEE transactions on Intelligent Vehicles, vol.2, issue.4, pp.278-287, 2017 (採録済)

武山洪二郎, 町田貴史, 小島祥子, 久保信明, “単眼カメラと汎用センサ統合による都心部の高精度推測航法”, 情報処理学会論文誌, 2018 (採録決定)

【査読付き国際会議】

K.Takeyama, T.Machida, Y.Kojima, N.Kubo, “Visual Odometry with Dynamic Object Detection by Complementary Integration of Optical Flows and Pattern Recognition”, In Proc. ION GNSS+, pp.3301-3310, Portland, 2017 (採録済)

ご清聴ありがとうございました