

## 現在と過去の車載カメラ映像のフレーム間対応付け

久徳 遙矢<sup>†</sup> 出口 大輔<sup>†</sup> 高橋 友和<sup>††</sup>  
目加田慶人<sup>†††</sup> 井手 一郎<sup>†</sup> 村瀬 洋<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 名古屋大学 大学院情報科学研究科 〒 464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

<sup>††</sup> 岐阜聖徳学園大学 経済情報学部 〒 500-8288 岐阜県岐阜市中鶉 1-38

<sup>†††</sup> 中京大学 情報理工学部 〒 470-0393 愛知県豊田市海津町床立 101

E-mail: †{kyutoku,ddeguchi,ttakahashi,mekada,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 本研究では、車載カメラ映像を用いた運転者支援に注目する。その際、同じ道路で撮られた過去の映像中の対応するフレームを求める事が可能になれば、様々な用途に使うことができると考えられる。そこで本稿では、高精度な現在と過去の車載カメラ映像中のフレーム間対応付け手法を提案する。同じ道路で撮られた映像同士の対応付けであっても、走行は全く同じ速度・軌跡ではないため、単純な画像照合による対応付けは困難である。そこで、まず現在と過去のフレーム間で対応点を求め、それらからフレーム間の基礎行列を求める。次に、基礎行列から求めたエピポールの位置に基づくフレーム間の距離を定義し、この尺度を用いた DP マッチングにより、フレーム同士を対応付ける。実際の車載カメラ映像を用いた評価実験の結果、提案手法の有効性を確認した。

キーワード 車載カメラ, ITS

### 1. はじめに

平成 22 年の交通事故死者数は 4,863 人であり [1]、この数値は 1 日あたり約 13 人の交通事故死者が存在することを意味する。この数値からわかるように、依然多くの尊い命が交通事故によって失われている。運転者の能力には限界があるため、センサなどを用いた外部からの運転者支援が必要であると考えられる。

近年、そのような運転者支援システムに関する研究やその実用化が盛んに行われている。そのような中で、本研究では正面向き車載カメラを用いた支援方法に着目する。正面向き車載カメラはドライブレコーダとして既に普及しており、さらにそれを用いた運転者支援システムを搭載したカーナビゲーションシステムが発売されるなど、広く普及している。

また、市街地車載カメラ映像データベースも整備されつつある<sup>(注1)</sup>。更に、無線通信の高速化や記憶媒体の大容量化は著しく、このような技術の発展により、事前に過去の車載カメラ映像を収集・蓄積しておき、走行中の車両でその情報を運転者支援に利用することが現実的になりつつある。

そのような中、同じ道路で撮られた過去の映像の対応するフレームを使う事が可能になれば、自車位置の推定や市街地走行映像データベースの構築、フレーム間の比較による障害物検出などに用いることができると考えられる。筆者らはこれまでに、障害物検出を目的とした現在の正面向き車載カメラ映像と過去に同じ道路で撮られ

た正面向き車載カメラ映像のフレーム間対応付け手法を提案してきた [2]。しかし、フレーム間対応付けの精度評価をおこなっていなかった。そこで本稿では、従来のフレーム間対応付け手法を発展させ、さらにその精度評価を定量的におこなう。

本研究の目的は、現在の車載カメラ映像と過去の車載カメラ映像のフレーム間の対応付けである。同じ道路で撮られた車載カメラ映像でも、全く同じ走行軌跡で走るとは考えにくく、さらに障害物の有無による遮蔽やその回避運動などにより、単純な画像照合での対応付けは困難である。そこで、走行位置のずれや遮蔽に頑健な、特徴点ベースの対応付け手法を提案する。

### 2. 関連研究

本研究の目的は、現在の車載カメラ映像と過去の車載カメラ映像のフレーム間の対応付けである。これは、現在の車載カメラ映像をデータベースと照合し、自車位置を推定することとも解釈できる。自車位置推定手法には高精度 GPS を利用するものも含めて様々なものがあるが、本研究と同じく車載カメラを用いたものについて紹介する。

- 正面向きカメラ + 3 次元道路モデル

農宗らは、正面向き車載カメラに映る道路面と、3 次元道路モデルを対応付けることによって、自車の位置及び姿勢を推定する手法を提案している [3]。この手法では、予め詳細な 3 次元道路モデルを構築しておく必要がある。また、他車両などによる遮蔽により道路面の情報が失われると、道路面との対応付けが難しくなり、大きな誤差を生じる。

(注1): Google ストリートビュー, <http://maps.google.co.jp/>

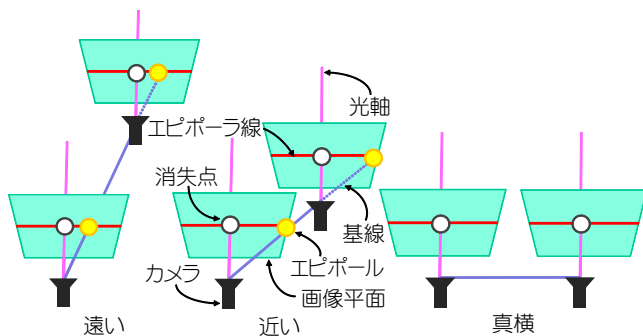


図 1: 2 カメラの位置とエピポールの位置の関係

- 2 台の斜め側方向きカメラ + 全方位カメラ映像  
内山らは、車両進行方向に対し左前方及び左後方にカメラを設置し、自車位置を推定する手法を提案している [4]。この手法は、データベースとして全方位カメラ映像を用い、2 カメラとの三角測量によって自車位置を推定する。斜め側方向きにカメラを 2 台設置する必要があり、正面向きカメラに比べ汎用性が低い。また、データベースとの照合を領域ベースでおこなうため、遮蔽や走行位置の違いなどによる大きな見えの変化に弱い。

- 正面向きカメラ + 空撮画像  
野田らは、正面向き車載カメラに映る道路面と空撮画像中の道路面の対応付けによる自車位置推定手法を提案している [5]。この手法も道路面を利用するため、他車両による遮蔽の影響を受けやすく、参照先の空撮画像に遮蔽が存在した場合には対応付けができない。

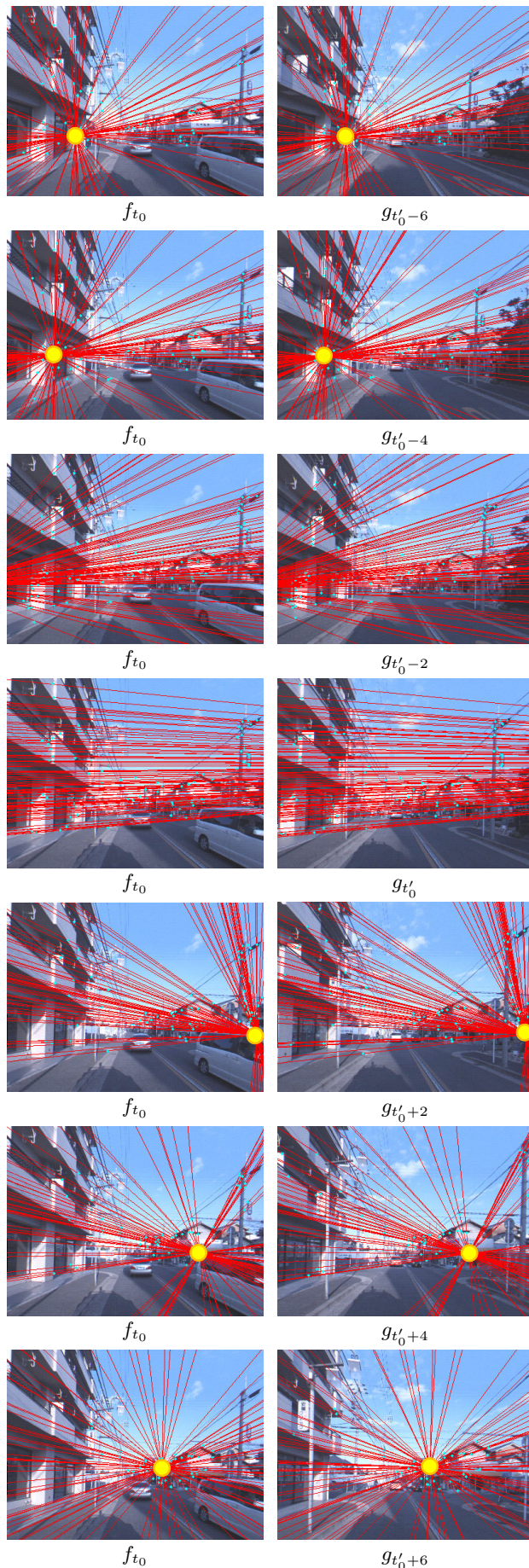
これらの手法に共通しているのは、事前の構築や更新に手間のかかるデータベースを必要とすることである。また、遮蔽や見えの変化に弱いという問題がある。

本研究は、自車の絶対位置の推定を目的とするものではないが、これらに比べ次のような利点があると考えられる。

- データベースに汎用性の高い正面向き車載カメラ映像を用いるため、データベースの構築や更新が容易である。
- 特徴点ベースの対応付けを用いるため、領域ベースの対応付けに比べ遮蔽に頑健である。
- 画像全体を用いて対応付けるため、道路面に限定した対応付けに比べ他車両の影響を受けにくい。

### 3. 現在と過去の車載カメラ映像のフレーム間対応付け

現在の車載カメラ映像を  $F = \{f_t\}$ 、過去の車載カメラ映像を  $G = \{g_t\}$  としたとき、 $f_t$  に対応する  $g_{t'}$  を求める。 $f_t$  及び  $g_{t'}$  は、それぞれ現在と過去の映像の  $t$  フレーム目を表す。そのために、現在と過去の車載カメラ映像の 2 つのカメラ間の位置関係を反映した尺度を提案し、これを用いた DP マッチングにより、フレーム系列間の対応付けを行う。



赤線: エピポーラ線, 黄丸: エピポール.  
図 2: 実画像におけるエピポール位置の変化



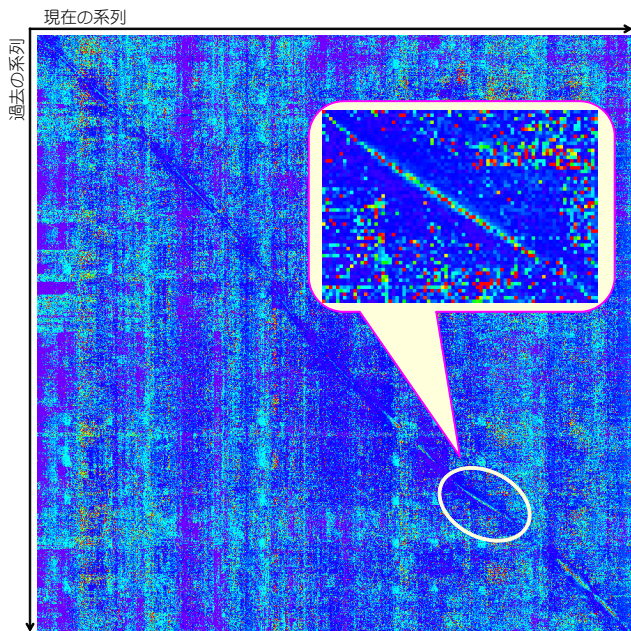


図 3: 単純に基礎行列を推定した場合の距離マップ。縦軸、横軸が現在と過去の系列の  $t$  に対応し、赤いほど距離が小さく、青いほど距離が大きい。

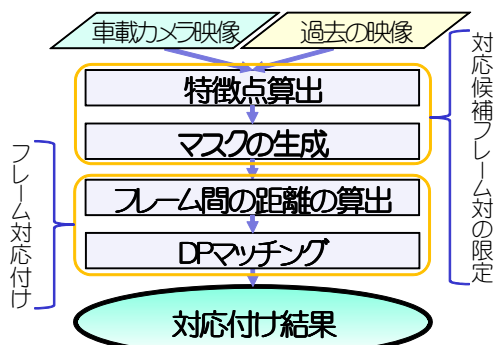


図 4: 処理手順

ここで、2つのカメラの位置とエピポールの位置の関係を図1に示す。図から、光軸が平行に近いときは、2つのカメラの配置が真横に近いほどエピポールの位置は消失点から遠ざかることがわかる。実際の車載カメラ映像のあるフレーム  $f_{t_0}$ 、別の映像中の一番類似度が高いフレーム  $g_{t_0}$ 、及びその前後のフレームに対して、得られたエピポールの位置を描画したものを図2に示す。図から、2つのカメラ間の距離に応じて図1と同様にエピポールの位置が変化することが確認できる。

以上の性質を利用してフレーム間の距離を定義し、DPマッチングにより対応を求める。まず、現在と過去のフレームから特徴点を求める。それらの特徴点の対応を求め、それらを用いて基礎行列を推定する。そして、得られるエピポールの位置を使って、フレーム間の距離を算出する。ここで、単純に多くの対応点から基礎行列を推定する場合、次のような問題が発生する。2系列の映像に対して各フレーム間の距離（詳細は後述）を単純に算出した例を図3に示す。縦軸及び横軸は現在と過去の系列の  $t$  に対応し、赤い画素ほど距離が小さく、青い画素



図 5: 図 3 と同じ系列対に対し 3.1 で生成されたマスク

ほど距離が大きい。左上から右下にかけて伸びる曲線が2系列の各フレームにおいて距離が小さいフレーム対となっており、図2に示した通り近いフレームで距離が小さく、その周辺で距離が大きくなっていることがわかる。しかし、その曲線から離れた位置においても距離が小さくなるフレーム対が多いことがわかる。別の位置で撮影されたにも関わらず、距離が小さいフレーム対が正しい対応フレーム対の近くに多く現れた場合、誤対応を招く可能性がある。対応点を求める際に特徴の類似度が高いものに限定すれば、本来対応するフレームとは別の位置で撮影された場合に対応点が減少することが期待され、この問題を解決できる。しかしながら、正しい対応フレーム対付近での対応点も減少してしまうため、基礎行列を精度良く推定できない可能性が高くなる。

そのため、2段階の処理によってフレーム間の対応付けをおこなう。提案手法の処理手順を図4に示す。以降、各処理手順の詳細について述べる。

### 3.1 対応候補フレーム対の限定

ここでは、対応の候補となるフレームの限定をおこなう。まず、現在と過去のフレームから SIFT 特徴 [6] を用いて特徴点を求める。それらの特徴点から、各フレーム間の対応点を求める。この時、正解位置付近でのみ基礎行列推定に最低限必要となる8組以上の対応点対が得られるようなしきい値を設定する。8点未満の対応点しか得られないフレーム対は離れた場所で撮影されたものとし、以降の計算から除外する。図5は、図3と同じ系列に対して、対応付け候補となった部分を白で示したものである。うまく正解フレーム対付近をカバーしつつ、他のフレーム対を除外できていることがわかる。

### 3.2 フレーム対応付け

3.1で限定されたフレーム候補対に対して、現在と過去のフレーム間の距離を算出し、それを用いたDPマッチングにより対応するフレームを求める。図2に示した性質から、現在と過去のフレームから現在のフレームを基準に求めたエピポールと、画像中の消失点の  $x$  座標の差の逆数をDPマッチングのフレーム間対応付けコストとする。つまり、エピポールの位置を  $(e_x, e_y)$ 、画像中の消失点の位置を  $(v_x, v_y)$  とすると、 $f_i$  と  $g_j$  間の対応付けコスト  $p(i, j)$  は式(1)で表わされる。

$$p(i, j) = \frac{1}{|e_x - v_x| + \alpha} \quad (1)$$

ここで、 $\alpha$  は正の定数である。フレーム番号対  $(i, j)$  に到達するまでの最小のフレーム系列間対応付けコスト  $P(i, j)$  は、式(1)を用い、 $P(0, 0) = p(0, 0)$  とし、漸化式

$$P(i, j) = \min \begin{cases} P(i-1, j) + p(i, j) \\ P(i-1, j-1) + p(i, j) \\ P(i, j-1) + p(i, j) \end{cases} \quad (2)$$

を再帰的に計算することで得られる。このとき、式(2)の右辺でどのフレーム番号対を採用したかを記憶しておき、得られたフレーム番号対の系列を、現在と過去の車載カメラ映像中の各フレームの対応とする。

エピポールの位置は、3.1より緩いしきい値を設定して各フレーム間の対応点を求め、基礎行列をRANSACアルゴリズム[7]を用いて求める。画像中の消失点の座標は、カメラが自車両の進行方向へ向いていると仮定し、フレームの中心位置を用いる。

## 4. 実験

ここでは、提案手法の評価実験について述べる。

### 4.1 実験条件

#### 4.1.1 実験用データ

実験用データは、図6に示す Point Grey Research 社製全方位カメラ Lady-bug3 を、図7に示すように実験車両に搭載し、フレームレート 15fps で撮影した。

Lady-bug3 は側方 5 個、上方 1 個の計 6 個のカメラから成り、そのうちの正面向きのものを正面向き車載カメラとした。ここで得られるフレームは図8のように画角が縦に広いため、図中の枠で示す  $406 \times 300$  画素の領域を切り出し、正面向き車載カメラ映像として用いた。

映像は、一般道において約 300m と約 500m の 2 区間を往復して撮影した。表1に示すように、約 300m の区間について片道 2 本ずつ、約 500m の区間について片道 3 本ずつ取得し、以降の実験に使用した。



図 6: Lady-bug3

図 7: Lady-bug3 を搭載した車両

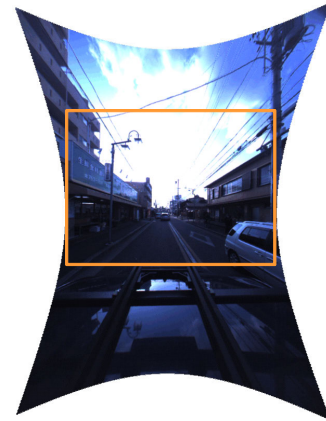


図 8: Lady-bug3 の 1 つのカメラから得られるフレーム

表 1: 実験に用いる各系列のフレーム数

道路区間番号	系列番号		
	1	2	3
1(300m 往路)	511	476	-
2(300m 復路)	474	496	-
3(500m 往路)	951	1054	1114
4(500m 復路)	854	859	804



図 9: Lady-bug3 から得たパノラマ画像

#### 4.1.2 正解の作成

フレーム間対応付けの評価のために、実験用映像の各フレームに正解ラベルを与えた。しかし正面向き車載カメラ映像では、目視で走行位置の差などを考量した正解を与えるのは困難である。そこで、全方位カメラ映像中の自車側方の街並みを用いて正解を与える。図9に例を示す。まず、消失点(黄点)を決め、その方向から  $90^\circ$  の位置の街並み(桃線)を基準とし、フレーム間の対応を作成した。



表 2: 各系列対ごとの誤差 (フレーム) . 各欄の左が提案手法, 右が比較手法である . 誤差の小さかった方を太字で示している .

道路区間	系列番号対										合計			
	1-2		2-1		1-3		3-1		2-3				3-2	
1(300m 往路)	<b>0.23</b>	1.23	<b>0.26</b>	1.42	—						<b>0.25</b>	1.32		
2(300m 復路)	<b>0.26</b>	1.01	<b>0.25</b>	0.60	—						<b>0.26</b>	0.80		
3(500m 往路)	<b>0.63</b>	7.39	<b>0.63</b>	3.39	<b>0.61</b>	1.44	<b>0.52</b>	15.32	<b>0.43</b>	49.15	<b>0.39</b>	45.66	<b>0.53</b>	21.11
4(500m 復路)	<b>0.28</b>	0.71	<b>0.26</b>	0.58	1.48	<b>1.22</b>	1.61	<b>1.44</b>	2.10	<b>1.55</b>	2.29	<b>1.77</b>	1.32	<b>1.20</b>
全系列	—										<b>0.79</b>	10.57		

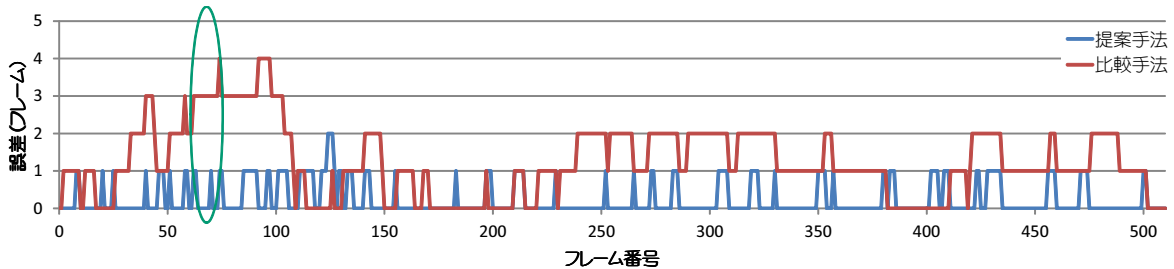


図 14: 道路区間 1 の系列番号対 1-2 の各フレームごとの誤差

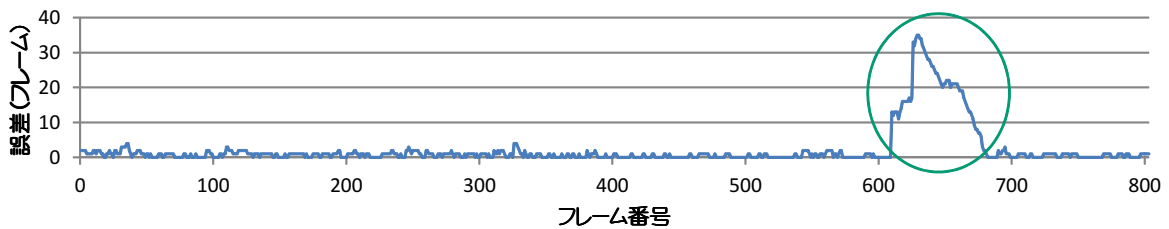


図 15: 道路区間 4, 系列番号対 3-2 の提案手法による各フレームごとの誤差

#### 4.1.3 提案手法

本実験では, DP マッチングを両端点固定でおこなった . 対応候補フレーム対を限定する際のしきい値は, マスクが 10 フレーム以上の幅を持てる程度とした . また, フレーム対応付けの際の対応点に用いるしきい値は, 前段階におけるしきい値の 3 倍とした .

#### 4.1.4 比較手法

提案手法と領域ベースの手法の比較実験をおこなった . 比較手法は, 画像中に窓を設定し, 窓内の正規化相互相関係数の逆数を DP マッチングの距離としたものである . 走行位置のずれに対応するため, 平行移動を許容している .

### 4.2 実験結果

提案手法及び比較手法を各映像に適用し, 正解フレームとの誤差の平均を各系列対ごとに求めた結果を, 表 2 に示す . 左が提案手法, 右が比較手法による結果である . 系列番号対 1-2 は, 系列 1 を系列 2 に対応付けたときの誤差, 系列番号対 2-1 は, 系列 2 を系列 1 に対応付けたときの誤差を表す . 誤差が小さかった手法の値を太字で示している . また, 各道路区間の対応付け結果の例を図 10, 図 11, 図 12, 図 13 に示す . 各フレームの右下の番号はフレーム番号である .

### 4.3 考察

表 2 から, 比較手法に比べ提案手法が 1/10 の誤差で

対応を求められたことがわかる . このことから, 提案手法の有効性を確認した . また, 平均 1 フレーム以下の誤差で対応付けできた . これは, 正解位置が 4.1.2 の手順で目視により作成されているため, 正解位置そのものに 1~2 フレーム程度の誤差が含まれている可能性が高く, 十分な精度で対応付けできたと考えられる .

#### 4.3.1 障害物回避による見えの変化

比較手法では誤差が大きく, 提案手法では良好に対応付けることができた箇所が多くは, 路上駐車車両の回避運動などによる見えの変化が生じる部分であった . 例として, 道路区間 1 の系列番号対 1-2 の各フレームごとの誤差を表したグラフを図 14 に示す . 青線が提案手法による誤差, 赤線が比較手法による誤差である . このグラフの中で, 楕円で囲んだ部分の提案手法による対応付け結果は, 図 10 の 2 段目のフレーム対である . このフレーム対では, 片方の映像に路上駐車車両が存在し, その回避運動のために大きく見えが変化している . そのため, 領域ベースである比較手法では誤差が大きくなったと考えられるが, 提案手法では良好に対応付けできた .

#### 4.3.2 提案手法で対応付けできなかった箇所

道路区間 4 の系列 3 が関わる対応付け結果は, 他に比べ極端に誤差が大きかった . 例として, 提案手法中一番誤差の大きい道路区間 4 の系列番号対 3-2 について, 各フレームごとの誤差を表したグラフを図 15 に示す . グラフから, 600 フレームから 700 フレーム辺りにかけて, 極端に誤差が大きくなっていることがわかる . この部分

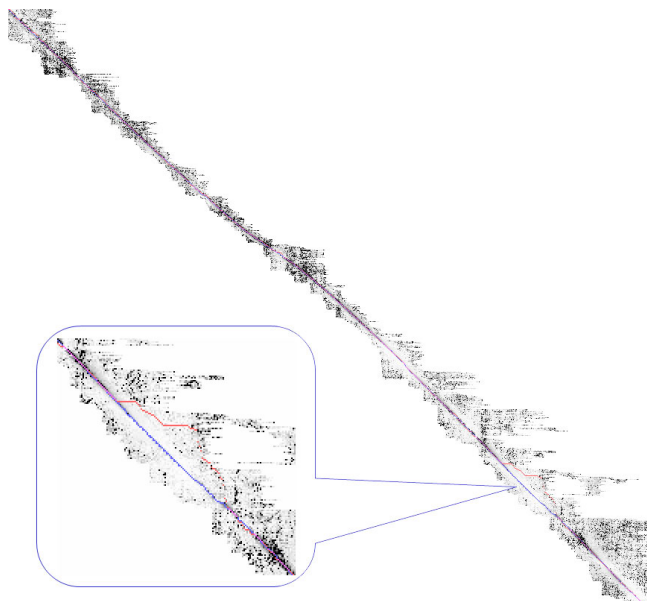


図 16: 道路区間 4, 系列番号対 3-2 の各フレーム間の距離と正解位置対, 及び対応付け結果

の対応付け結果を, 各フレーム間の距離マップに描画したものを図 16 に示す. 該当部分を拡大して左に図示してある. 縦軸が系列番号 3 のフレーム番号, 横軸が系列番号 2 に対応する. 各フレーム間の距離を濃淡で表しており, 色が黒い程距離が近く, 白い程距離が遠い. また, 青点が正解位置, 桃点对対応付け結果である. 図から, 該当部分において大きく正解位置から外れていることがわかる. 該当部分の距離を見やすくするため, 距離のみを擬似カラーで表したものを図 17 に示す. この図では, 赤い程距離が小さく, 青い程距離が大きい. 白い部分は, 3.1 のマスクで除外された領域である. 図から, 該当部分において, 正解対応フレーム対においても 2 フレーム間の距離が大きくなっていることがわかる. 図 13 からわかるように, この系列対では, 系列 3 も系列 2 も逆光によって街並みのディテールが大きく損なわれていた. この影響により, 基礎行列を正しく推定できず, 対応付けができなかったと考えられる. これは実験用データの撮影に使用した Lady-bug3 のダイナミックレンジに起因する問題であり, 提案手法による問題ではない.

## 5. まとめ

本稿では, 現在の車載カメラ映像と過去の車載カメラ映像とのフレーム間対応付け手法の精度評価をおこなった. この対応付け手法では, まず現在と過去の車載カメラ映像のフレーム間の対応点对を, 誤対応が少なくなるような条件で求める. その対応点对の数が少ないフレーム対を対応の候補から除外し, 対応点对の検出条件を緩めた後に, エピポールを求めた. このエピポールの位置を基にした距離を設定し, DP マッチングにより現在と過去の車載カメラ映像のフレーム間の対応を求めた. 実際の車載カメラ映像を対象とした実験により, 現在と過去の車載カメラ映像のフレーム間の対応付けが良好に行

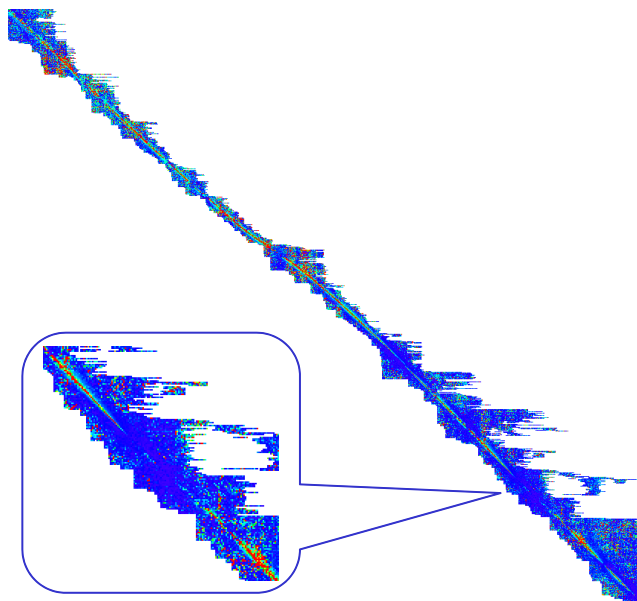


図 17: 道路区間 4, 系列番号対 3-2 の各フレーム間の距離

えることを確認した.

今後の課題として, より高精度に基礎行列を推定する手法の検討が挙げられる. また, カーブや右左折, 広い道路や狭い道路など, 様々な道路の走行映像を用いた評価も必要である.

謝辞 日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室諸氏に深く感謝する. 本研究の一部は, JST 戦略的創造研究推進事業 CREST 及び科学研究費補助金による. また, 本研究では画像処理に MIST ライブラリ (<http://mist.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/>) を使用した.

## 文 献

- [1] 警察庁交通局: “平成 22 年中の交通事故死者数について” (2011). <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Pdfdl.do?sinfid=000008519519>.
- [2] 久徳, 出口, 高橋, 目加田, 井手, 村瀬: “過去の車載カメラ映像との差分による道路上の不特定障害物検出”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2010), pp. 1547-1554 (2010).
- [3] 農宗千典, 小沢慎治: “道路形状情報と連続道路画像からの車両位置とカメラ姿勢の同時推定”, 電子情報通信学会論文誌, **J77-D-2**, 4, pp. 764-733 (1994).
- [4] 内山寛之, 出口大輔, 高橋友和, 井手一郎, 村瀬洋: “拡張 dp マッチングを用いた視野角の異なるカメラ映像間の時空間対応付けによる自車位置推定”, 電子情報通信学会論文誌, **J93-D**, 12, pp. 2659-2665 (2010).
- [5] M. Noda, T. Takahashi, D. Deguchi, I. Ide, H. Murase, Y. Kojima and T. Naito: “Vehicle ego-localization by matching in-vehicle camera images to an aerial image”, Proc. CVVT2010, pp. 185-190 (2010).
- [6] D. G. Lowe: “Distinctive image features from scale-invariant keypoints”, Int. Journal on Computer Vision, **60**, 2, pp. 91-110 (2004).
- [7] M. A. Fischler and R. C. Bolles: “Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography”, Comm. ACM, **24**, 6, pp. 381-395 (1981).



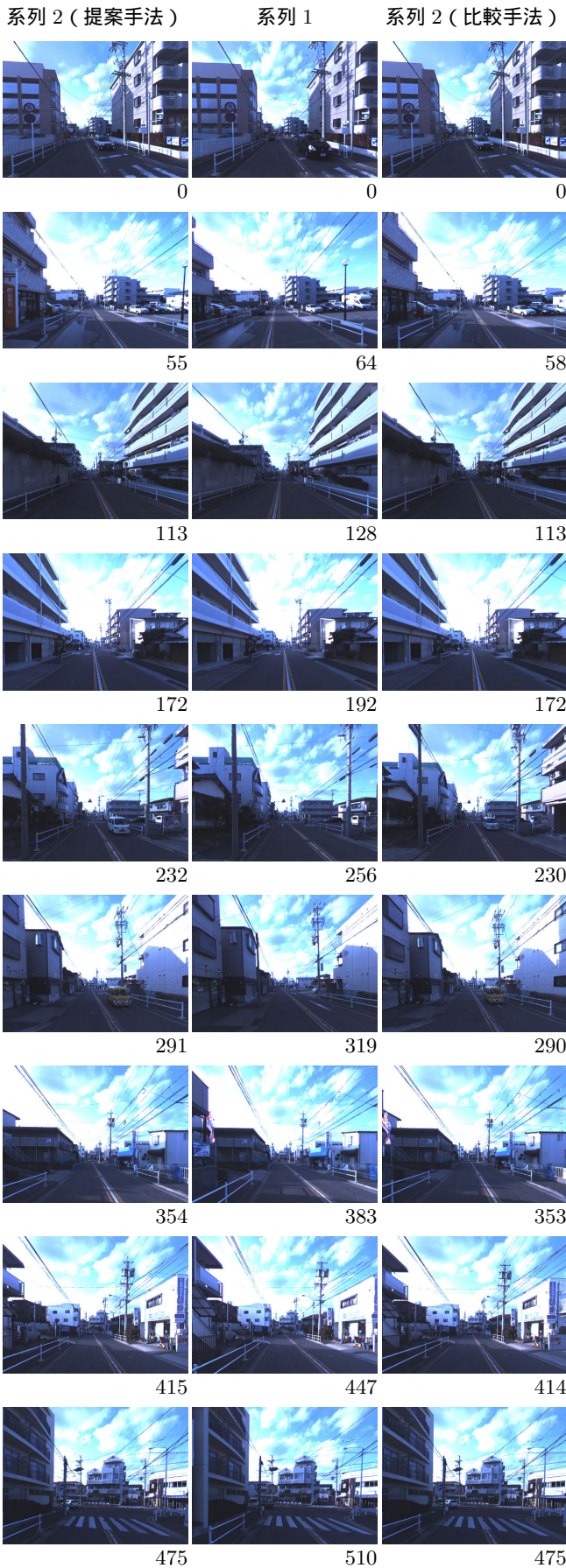


図 10: 道路区間 1 の系列番号対 1-2 の対応付け結果例

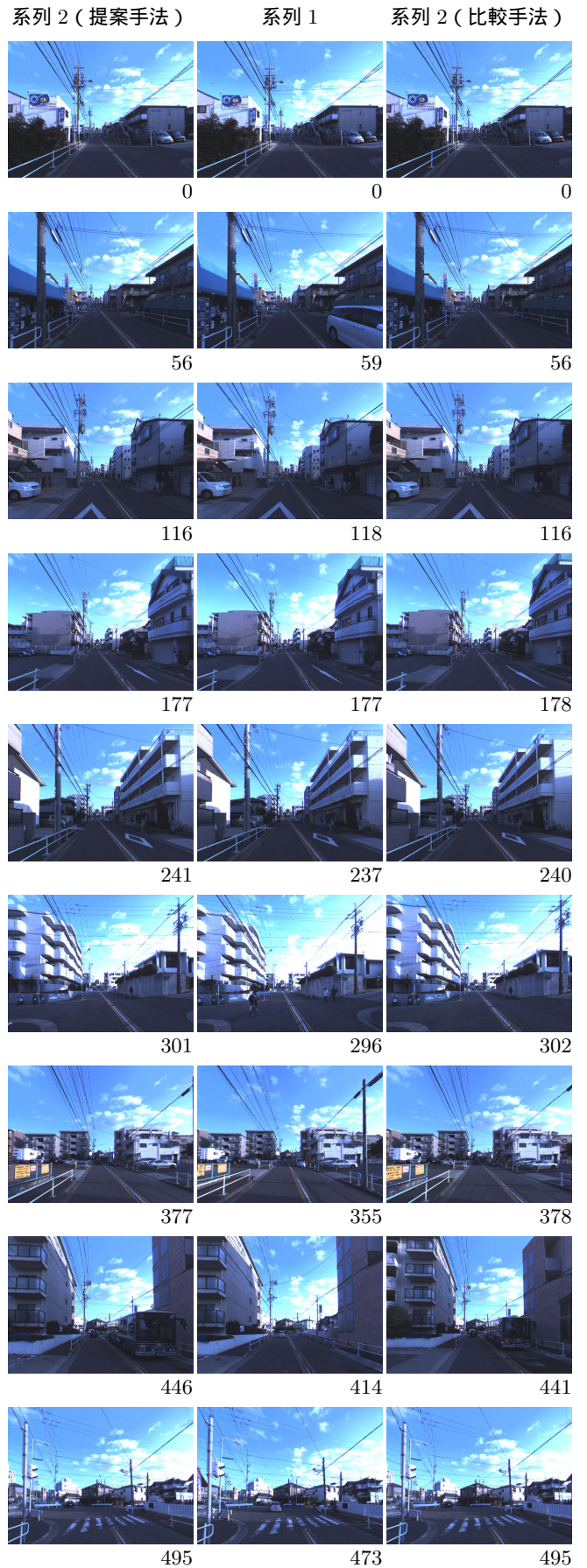


図 11: 道路区間 2 の系列番号対 1-2 の対応付け結果例



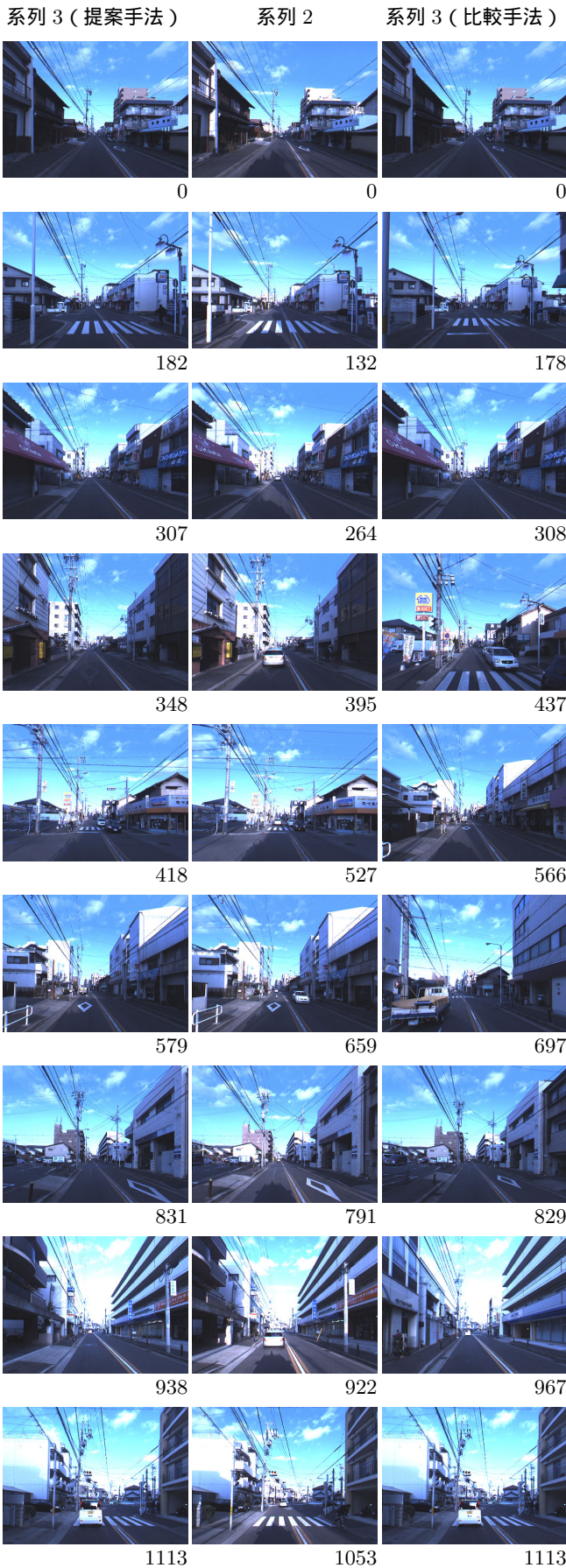


図 12: 道路区間 3 の系列番号対 2-3 の対応付け結果例



図 13: 道路区間 4 の系列番号対 3-2 の対応付け結果例