











図 8 実験経路の一部

(上：9 時撮影映像，中：13 時撮影映像，下：17 時撮影映像，a-c はそれぞれ類似地点で撮影された画像)

メインデータベースを  $DB_{Main}$ ，構成する  $I$  枚の画像群を  $\{Img_{Main}\}$ ，各画像を  $Img_{Main.i} (i = 1 \dots I)$  と定義する． $SubDB$  も同様に， $DB_{Sub}$ ， $\{Img_{Sub}\}$ ， $Img_{Sub.j} (j = 1 \dots J)$  とする． $DB_d$  に対する  $Img_d$  の検索結果画像を  $Img_{dq}$ ，検索の信頼度を示すキーペア数を  $Key_{dq}$  と表す． $Img_{Main.i}$  の  $DB_{Sub}$  に対する検索結果が  $Img_{Sub.jMain.i}$ ， $Key_{Sub.jMain.i}$  であるとき， $Img_{Main.i}$  と  $Img_{Sub.j}$  の組を画像ペアの候補とする．同様にして， $\{Img_{Sub}\}$  を  $DB_{Main}$  に問い合わせる．このとき， $Img_{Sub.j}$  の  $DB_{Main}$  に対する検索結果画像が  $Img_{Main.iSub.j}$  かつ  $Key_{Sub.jMain.i}$  と  $Key_{Main.iSub.j}$  が閾値以上のとき， $Img_{Main.i}$  と  $Img_{Sub.j}$  の組を画像ペア  $(i, j)$  とする．

次に，算出された画像ペアを用いてすべてのサブデータベース画像をメインデータベースの画像に対応付ける．ここで，各事前撮影映像の出発地点と到着地点が一致していると仮定し， $Img_{Main.1}$  と  $Img_{Sub.1}$  及び  $Img_{Main.I}$  と  $Img_{Sub.J}$  の組を画像ペアとする．画像ペア  $(i_1, j_1)$  と画像ペア  $(i_2, j_2)$  が得られたとき， $Img_{Sub.j} (j = j_1 \dots j_2)$  に対応する  $Img_{Main.i} (i = i_1 \dots i_2)$  を求める．この対応付けは線形補間で行う．これらの処理により， $\{Img_{Sub}\}$  に含まれるすべての画像は  $\{Img_{Main}\}$  のある画像と対応付けられる．メインデータベースに複数のサブデータベースを統合する際には，すべてのサブデータベース画像について同様の処理を行う．

#### 4.3. サブデータベースの統合と重複画像の除去

統合データベースは， $\{Img_{Main}\}$  と  $\{Img_{Sub}\}$  及び，画像の対応情報から構成される．しかし，単に  $\{Img_{Main}\}$  と  $\{Img_{Sub}\}$  を結合するだけでは，図 7 に示すような見た目の変化が小さい画像が含まれる．類似画像がデータベースに含まれる際の問題点については [10] で述べた．この問題を解決するため， $\{Img_{Sub}\}$  に含まれる画像のうち，画像ペアを構成する画像を統合データベースから除去する．すなわち， $DB_{Main}$  と  $DB_{Sub}$  の間に  $P$  組の画像

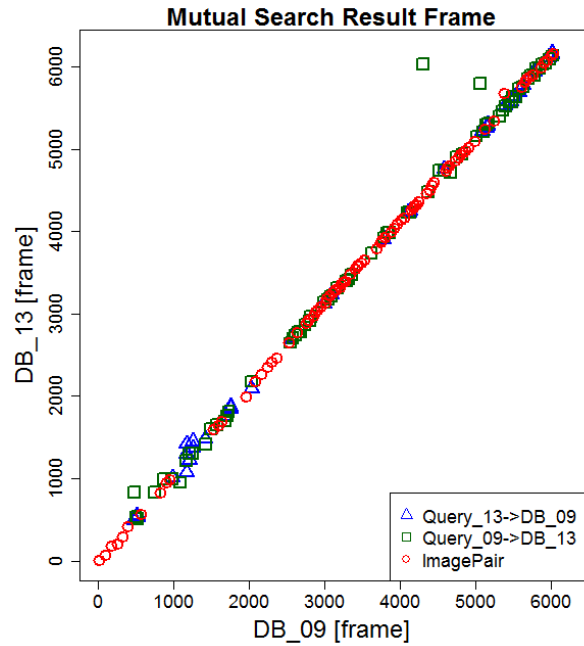


図 9 相互検索結果及び算出された画像ペア

ペアが存在する場合，統合データベースを構成する画像数は  $I + J - P$  枚となる．

## 5. 評価実験

想定する経路に沿って複数の時間帯で映像を取得し，提案手法により統合したデータベースの有効性を検証する．

### 5.1. 実験概要

筑波大学敷地内の屋内外を含む徒歩 3 分半程度の実験経路を設定した．2016 年 10 月 4 日の 8~17 時の 1 時間ごとに経路映像を FHD(1920x1080) で 2 本撮影した．このうち，8~14 時は晴れの映像，15~17 時は曇りの映像である．各映像を 320x180 に縮小し，3fps でサンプリングする．1 本目を事前撮影映像，2 本目をフレーム分割した画像群を問い合わせ画像群とする．9 時，13 時，17 時における経路の一部を図 8 に示す．

### 5.2. 実験結果

撮影時間の違いによる日照条件の影響を検証するため 9 時と 13 時の撮影映像を統合したデータベース  $DB_{9+13}$  を生成する．このときのデータベース間の画像の対応付け結果について述べる．また，統合データベースと単一データベースに対する位置推定精度の比較を示す．画像検索の際のキーペアの閾値は実験的に求め，5 に設定した．

#### 5.2.1. データベース間の画像対応付け

前処理として 9 時と 13 時の事前撮影映像から [10] の手法により個別のデータベース， $DB_9$  及び  $DB_{13}$  を生成した． $DB_9$  は 191 枚， $DB_{13}$  は 209 枚の画像より構成され

る．この二つのデータベースを統合するため、 $DB_9$ と $DB_{13}$ の間で画像の対応付けを行う． $DB_9$ と $DB_{13}$ を構成する画像群をそれぞれ $Q_9$ 、 $Q_{13}$ として相互検索を行った結果を図9に示す．縦軸横軸はそれぞれ $DB_9$ と $DB_{13}$ を構成する画像群のフレーム番号である．緑の四角は $DB_{13}$ に対する $Q_9$ の検索結果、青い三角は $DB_9$ に対する $Q_{13}$ の検索結果を表し、互いに検索結果が一致する画像ペアを赤い丸で示す．両映像は可能な限り同速度で撮影したため、正しい検索結果は直線 $y=x$ 上に並ぶ．図9から、一方向の検索では直線上から逸脱する誤検索が見られるが、双方向の検索結果を用いることで撮影時間の異なる画像間でも対応付けが可能である． $DB_9$ と $DB_{13}$ の間に算出された画像ペアは83組であった．

### 5.3. 統合データベースを用いた歩行者位置推定

まず、統合データベースによる有効性を検証するため、11時に撮影された経路映像から3fpsの時間間隔で抽出した613フレームの画像を問い合わせ画像群 $Q_{11}$ とし、 $DB_{9+13}$ 及び $DB_9$ に対する位置推定を行う．統合データベース $DB_{9+13}$ は、 $DB_9$ をメインデータベース、 $DB_{13}$ をサブデータベースとして生成した．統合データベースに対する位置推定結果を図10、単一データベースに対する位置推定結果を図11に示す．どちらも一部の誤推定を除いて歩行者の位置が推定できている．また、平均のキーペア数は共に約28と大きな差は見られなかった．一方で613フレームの問い合わせ画像に対し、検索結果が棄却されず位置推定結果を得られたフレーム数は、 $DB_9$ の489フレームに対し $DB_{9+13}$ では558フレームと、システムの返答率が向上した．

次に、サブデータベースを統合したことによる影響を検証するため、9時に撮影された620フレームの画像を問い合わせ画像群とし、同様にして $DB_{9+13}$ 及び $DB_9$ に対する位置推定を行う．統合データベースに対する位置推定結果を図12、単一データベースに対する位置推定結果を図13に示す．問い合わせ画像と同一時間帯に撮影された画像のみを含むデータベースに対し、サブデータベースを加えた統合データベースでは、検索結果画像に対するキーペア数がわずかに減少するものの、推定精度には大きく影響しないことが分かった．これらの実験結果から、メインデータベースに撮影環境の異なるサブデータベースを統合することで、同一時間帯における推定精度を低下させることなく、撮影時間の変化に対してロバストな推定が可能であることが示唆された．

## 6. おわりに

本稿では、局所特徴量のマッチングに依存した位置推定手法は、映像が撮影された環境が大きく異なる場合に推定精度が低下するという問題に対し、様々な環

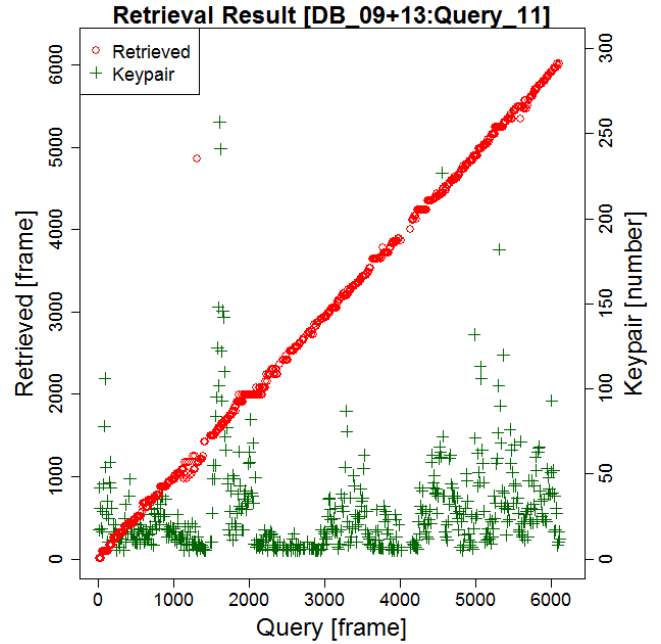


図10 統合データベースに対する位置推定結果 (事前撮影映像と問い合わせ画像は異なる撮影時間)

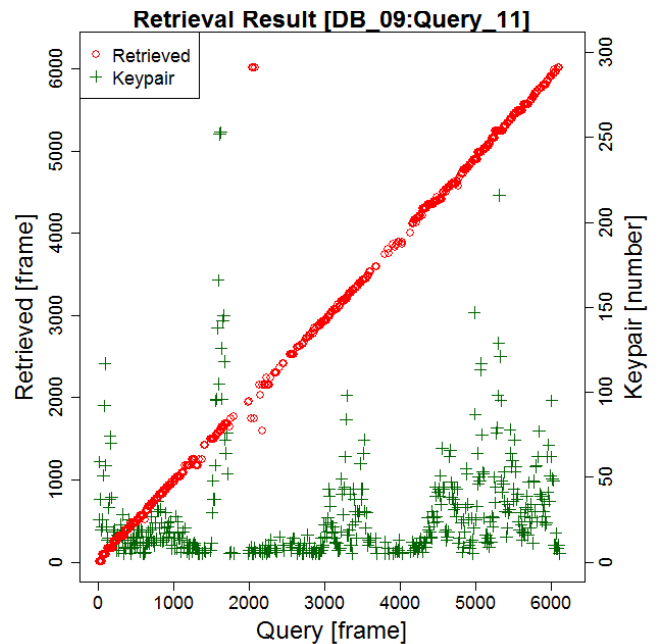


図11 単一データベースに対する位置推定結果 (事前撮影映像と問い合わせ画像は異なる撮影時間)

境下で撮影された映像を統合したデータベースを生成する手法を提案した．実験では特に晴天下の撮影時間の違いによる日照条件の変化を対象とし、統合したデータベースと単一データベースの位置推定精度について検証を行った．

撮影環境の異なる事前撮影映像から生成されたデータベースを統合することで、データベースを画像の撮影された環境と異なる条件下で撮影された問

せ画像に対して、位置推定の精度を低下させることなくシステムの返答率を向上させた。また、最も検索精度の良い同一時間帯の単一データベースと比較して、キーペア数はわずかに減少するものの、同等の位置推定精度を有する。実験の結果から、複数の異なる環境下で撮影された映像から個別のデータベースを生成し、それらを統合することで、環境の変化に対しロバストな位置推定が可能であることが示唆された。

今後は時間だけではなく、天候の変化についても本手法を適用することを考える。また、[1, 2]のような時系列情報を考慮した検索手法についても検討する。

本研究は JST-RISTEX の研究助成を受けた。

### 文 献

- [1] M.J.Milford, G.F.Wyeth, "SeqSLAM: Visual Route-Based Navigation for Sunny Summer Days and Stormy Winter Nights," Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1643-1649, 2012.
- [2] T.Naseer, L.Spinello, W.Burgard, C.Stachniss, "Robust Visual Robot Localization Across Seasons using Network Flows," Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, pp.2564-2570, 2014.
- [3] 北川博巳, 横山哲, 船場ひさお, 「視覚障害者を対象とした歩行誘導システムのニーズに関する研究」, 土木計画学研究発表会・講演集, no.30, 2004.
- [4] 「トレッカーブリーズ」, エクストラ, 2012.  
<http://www.extra.co.jp/breeze/>
- [5] H.Fernandes, V.Filipe, P.Costa, J.Barroso, "Location based services for the blind supported by RFID Technology," Procedia Computer Science, vol.27, pp.2-8, 2014.
- [6] S.Chumkamon, P.Tuvaphanthaphiphat, P.Keeratiwintakorn, "A Blind Navigation System Using RFID for Indoor Environments," ECTI-CON, vol.2, pp.765-768, 2008.
- [7] 山下晃弘, 佐藤佳, 佐藤俊太, 松林勝志, 「視覚障がい者ナビゲーションを目的とした RFID タグと準天頂衛星による位置測位システム」, 情報処理学会研究報告, Vol.2016-AAC-1, no.2, pp.1-7, 2016.
- [8] K.Yoshinari, O.Yuichi, "Image Retrieval of First Person Vision for Pedestrian Navigation in Urban Area," ICPR, pp.364-367, 2010.
- [9] D.G.Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," International Journal of Computer Vision, vol.60, pp.91-110, 2004.
- [10] 釜坂一步, 北原格, 亀田能成, 大田友一, 「経路上の歩行者位置推定に適した事前撮影映像からのデータベース生成」, 信学技報, vol.115, no.495, pp.19-24, 2016.

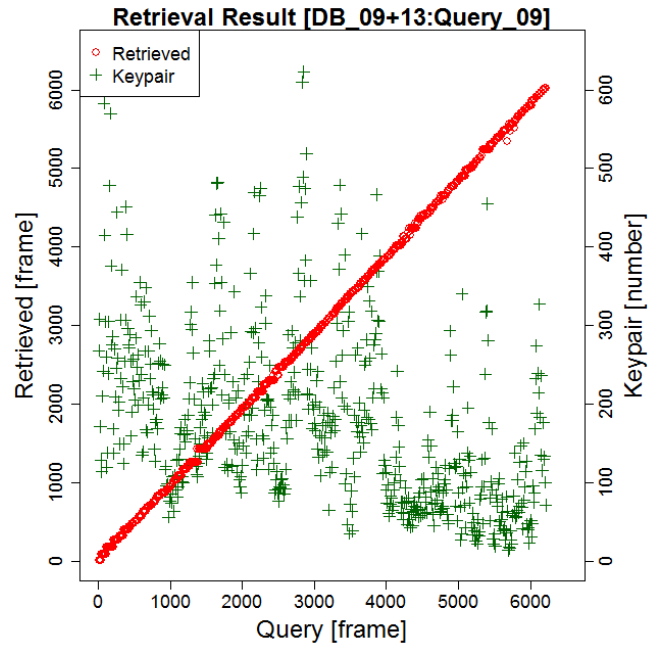


図 12 統合データベースに対する位置推定結果 (事前撮影映像と問い合わせ画像は同じ撮影時間)

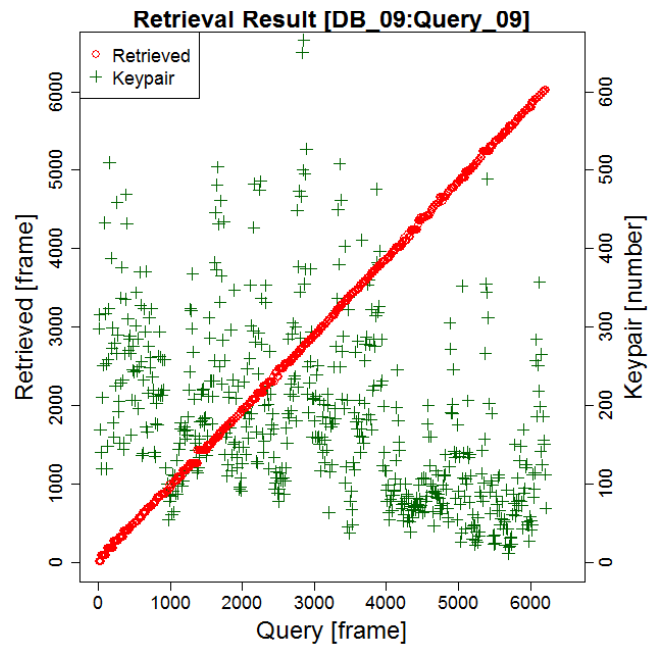


図 13 単一データベースに対する位置推定結果 (事前撮影映像と問い合わせ画像は同じ撮影時間)