

線対称の関係を導入した 骨格サンプルクラスタリングのための Line-symmetrical Sample k -means

宮部 大翔¹ 米田駿介¹ 井上 路子¹ 西山 正志¹

1. 鳥取大学大学院 持続性社会創生科学研究科
パターン認識工学研究室

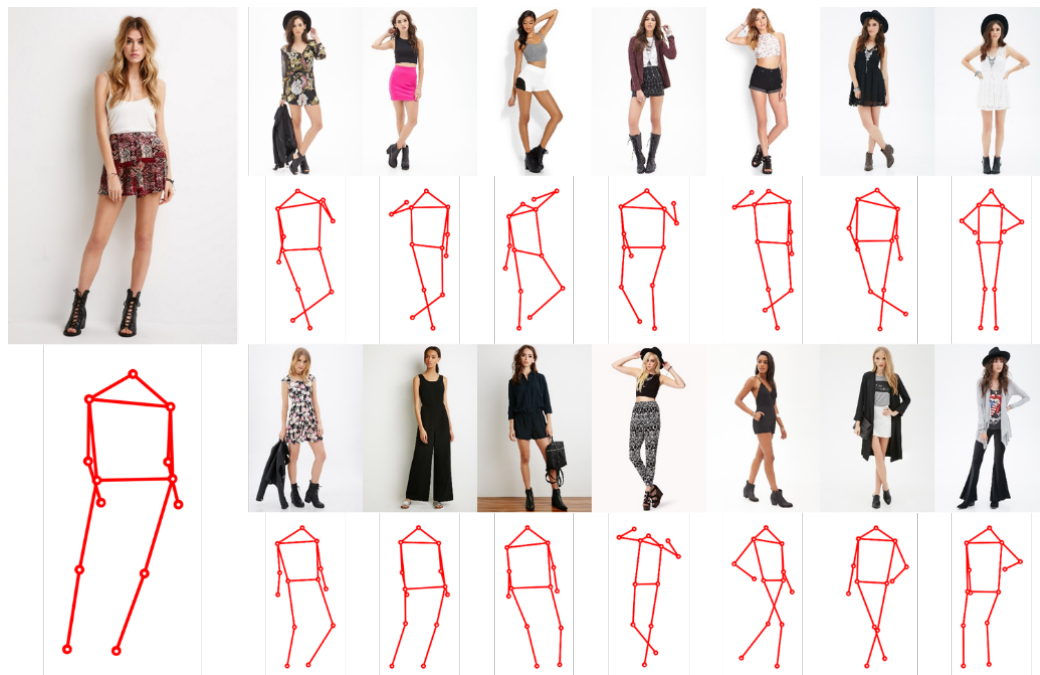
研究の背景 (1/2)

- 人物画像において推定された骨格サンプルから姿勢を調査したい

ファッションモデルの姿勢

マーケティングへの応用のための調査

人物画像



骨格サンプル

スポーツ選手の姿勢

重要局面でのパフォーマンス向上のための調査



人物がとる姿勢は多様であるため、全ての骨格サンプルを1つ1つ調査できない

研究の背景 (2/2)

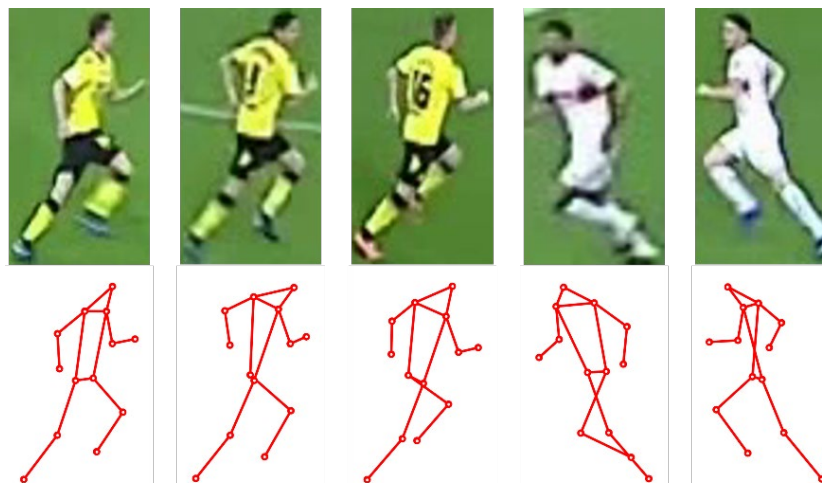
- 姿勢は多様なため1つ1つ調査するのは困難であるが、それらの姿勢にも共通点が存在
姿勢の共通点

ある概念に着目すると、一見異なる姿勢も類似しており単一のクラスタにまとめられる



概念

ファッションモデルが静止するとき
片手を頭に当てる姿勢



概念

スポーツ選手が走るとき
片足を挙げる姿勢

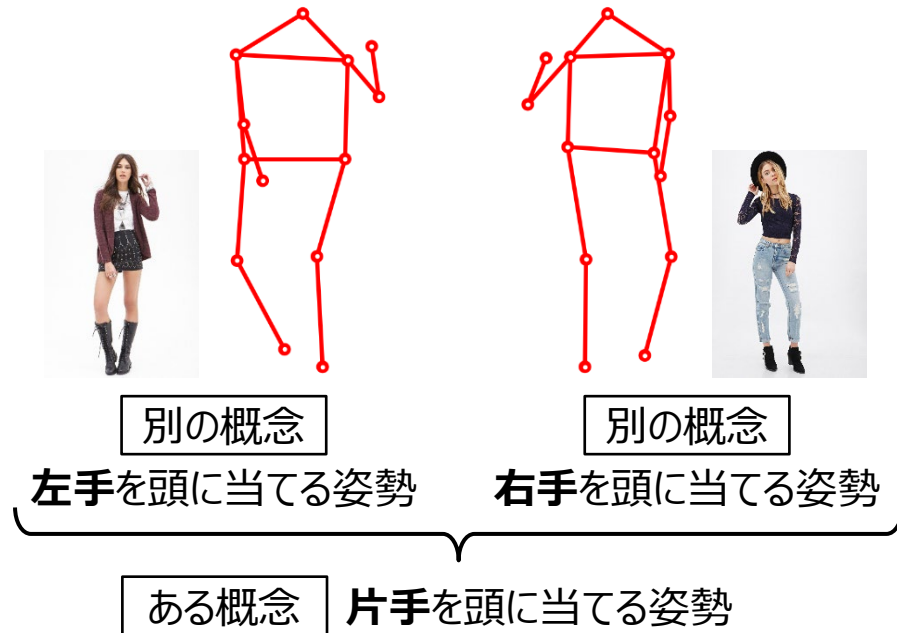
✓ 複数の姿勢は
単一のクラスタに
まとめることが可能

姿勢の共通点に基づくクラスタリング技術が姿勢の調査に有効

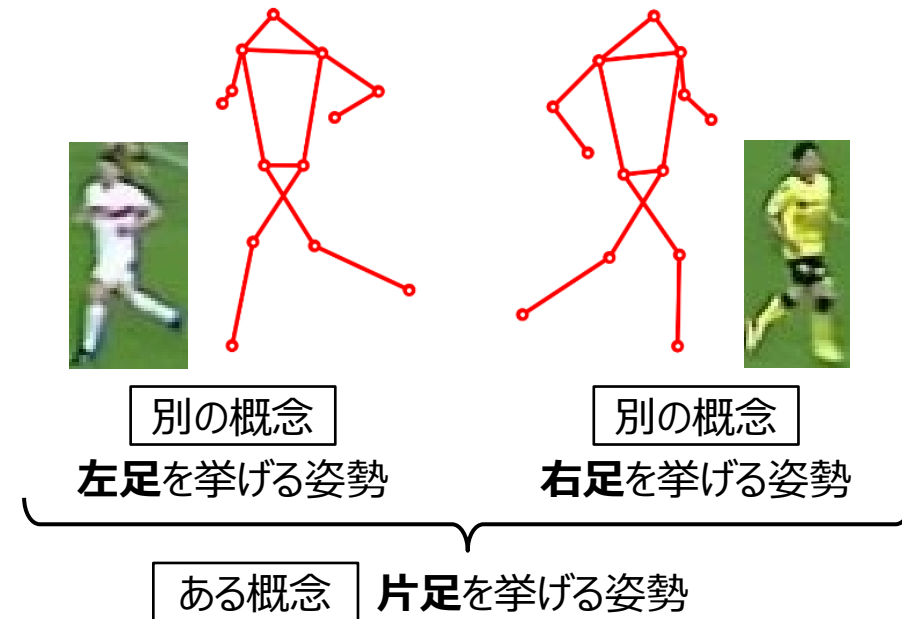
姿勢を扱う際の注意点

- 姿勢の共通点を用いてクラスタリングする際に、**線対称の関係**に注意が必要
- **線対称の関係**にある姿勢：ある概念で見ると同一の姿勢、別の概念で見ると異なる姿勢

ファッションモデルが静止するとき



スポーツ選手が走るとき

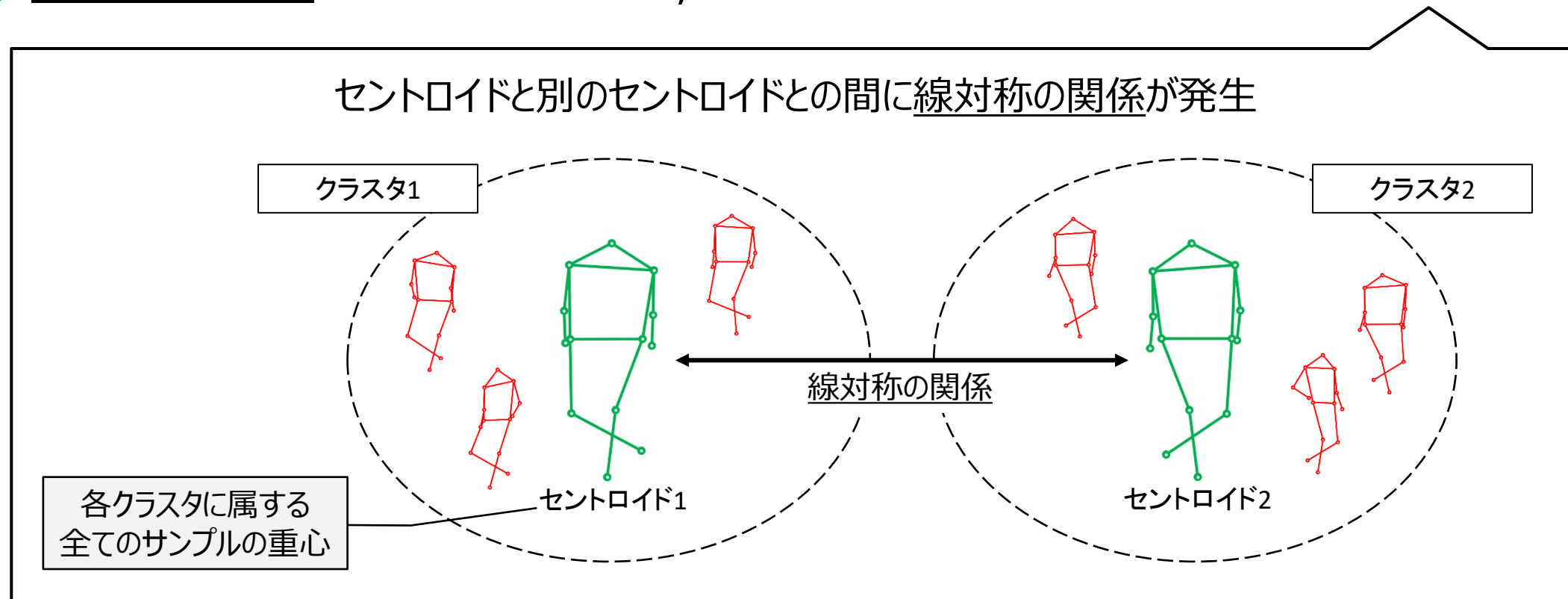


姿勢をクラスタリングする際に、**線対称の関係**を考慮する必要がある

姿勢をクラスタリングするときの課題

□ 代表的なクラスタリング手法^[1,2,3]における，距離尺度に注目

☹ 線対称の関係が考慮されておらず，好ましくないクラスタリング結果となる**課題**が発生



姿勢の共通点でまとめた調査を行うとき，2つのクラスは同一のクラスにまとまることが好ましい

関連研究の課題

- 姿勢をクラスタリングする際に、距離尺度に線対称の関係を考慮した手法が必要
- しかし、姿勢の線対称の関係に着目したクラスタリングの研究は取扱われてこなかった

点対称性に基づく距離尺度を提案した関連研究

k-meansを改良

◆ 点対称に着目した手法 1 (SBKM) [Su+, TPAMI2001]

◆ 点対称に着目した手法 2 (MPSK) [Chung+, PR2007]

遺伝的クラスタリングアルゴリズムを改良

◆ 点対称に着目した手法 3 [Bandyopadhyay+, TKDE2008]

点対称点はクラスタ中心

✗ 点対称に基づく距離尺度は線対称の関係をもつ人物姿勢のクラスタリングには適用できない

線対称に着目した手法 [Chu+, TPAMI2007]

画像中の物体を対象とし、物体輪郭座標から画像内の線対称な物体を検出する手法

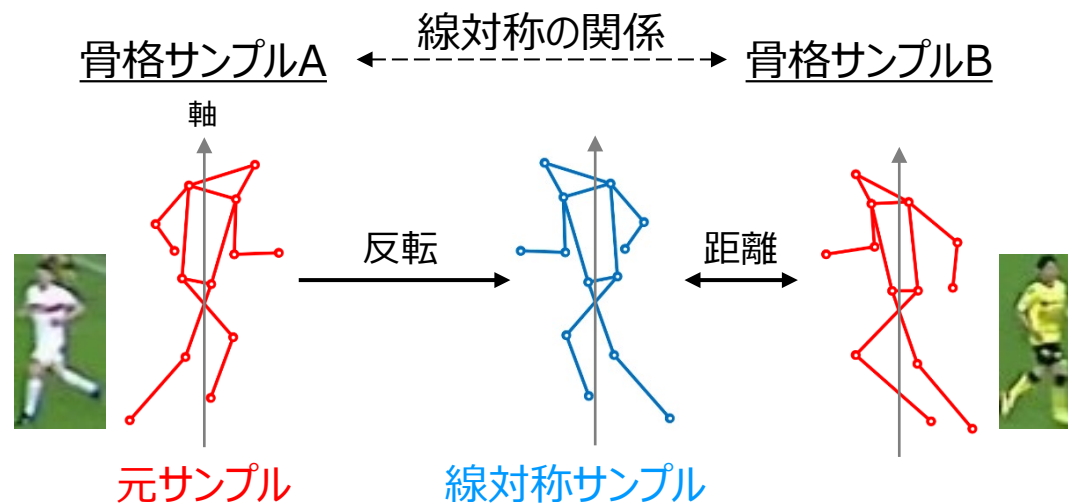
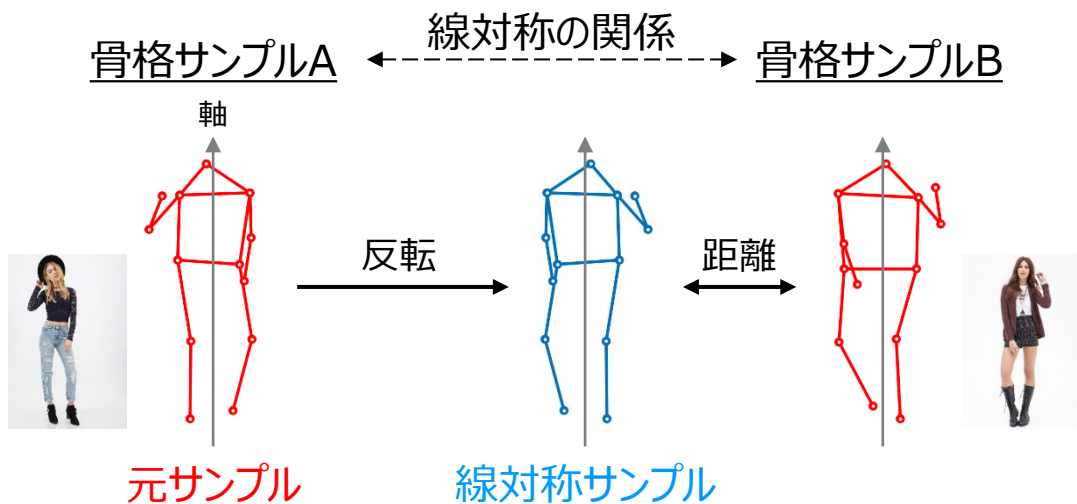
✗ 物体の輪郭の線対称を対象としており、骨格サンプルを入力とするクラスタリングにそのまま適用できない

研究の目的

大量の姿勢から姿勢の共通点でまとめられた代表姿勢を調査するために
線対称の関係にある骨格サンプルを同一のクラスタにまとめるクラスタリング手法を設計

本研究における線対称の関係の表現

1. ある骨格サンプルが与えられたとき、それを元サンプルとする
2. その元サンプルに属するキーポイントをある軸を基準に反転させ、線対称サンプルに変換する
3. 別の骨格サンプルと線対称サンプルとの間の距離が近くなる状態を、線対称の関係とする



提案手法のアイデア(1/3)

アイデア

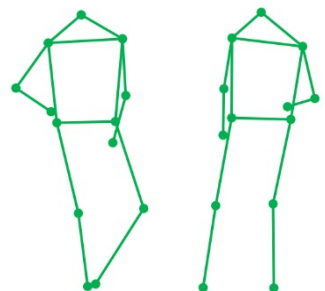
与えられた骨格サンプルを元サンプルと線対称サンプルへ変換することで線対称の関係にあるかどうかを考慮しながら距離の計算を行いクラスタリング

提案手法 : Line-symmetrical Sample k -means (LS k -means)

k -means [MacQueen, 1967] がベース

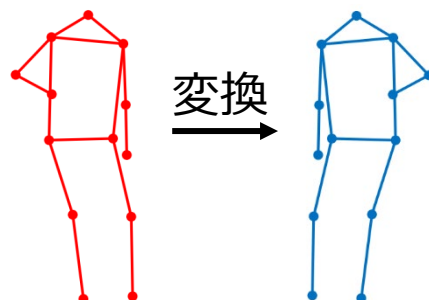
セントロイド初期化

K 個のセントロイドの初期値をランダムに決定

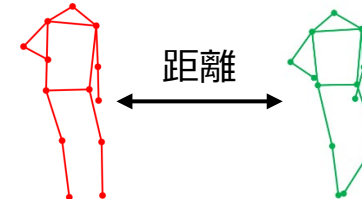


セントロイド更新

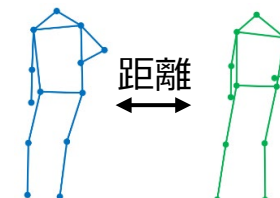
骨格サンプルを元サンプルと線対称サンプルへ変換



⇒ 元サンプルと各セントロイドとの距離を計算



線対称サンプル各セントロイドとの距離を計算



距離を比較し
小さい距離となる
サンプルを用いて
セントロイド更新

提案手法のアイデア(1/3)

アイデア

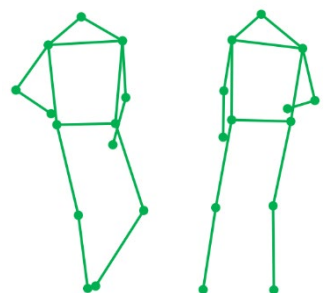
与えられた骨格サンプルを元サンプルと線対称サンプルへ変換することで線対称の関係にあるかどうかを考慮しながら距離の計算を行いクラスタリング

提案手法 : Line-symmetrical Sample k -means (LS k -means)

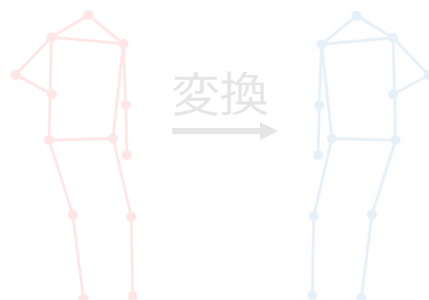
k -means [MacQueen, 1967] がベース

セントロイド初期化

K 個のセントロイドの初期値をランダムに決定

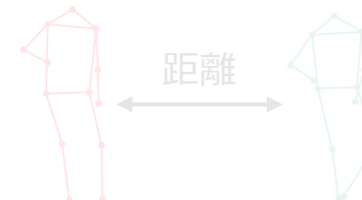


与えられた骨格サンプルに対して位置・スケール補正のため正規化を事前に実施(平均0,分散1)



セントロイド更新

元サンプルと各セントロイドとの距離を計算



線対称サンプル各セントロイドとの距離を計算



距離を比較し
小さい距離となる
サンプルを用いて
セントロイド更新

提案手法のアイデア(1/3)

アイデア

与えられた骨格サンプルを元サンプルと線対称サンプルへ変換することで線対称の関係にあるかどうかを考慮しながら距離の計算を行いクラスタリング

提案手法 : Line-symmetrical Sample k -means (LS k -means)

k -means [MacQueen, 1967] がベース

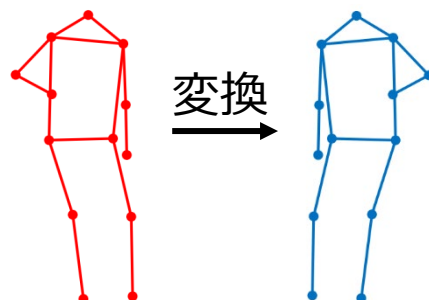
セントロイド初期化

K 個のセントロイドの初期値をランダムに決定

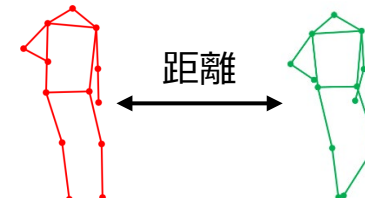


セントロイド更新

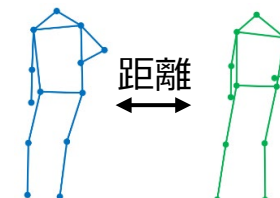
骨格サンプルを元サンプルと線対称サンプルへ変換



元サンプルと各セントロイドとの距離を計算



線対称サンプルと各セントロイドとの距離を計算

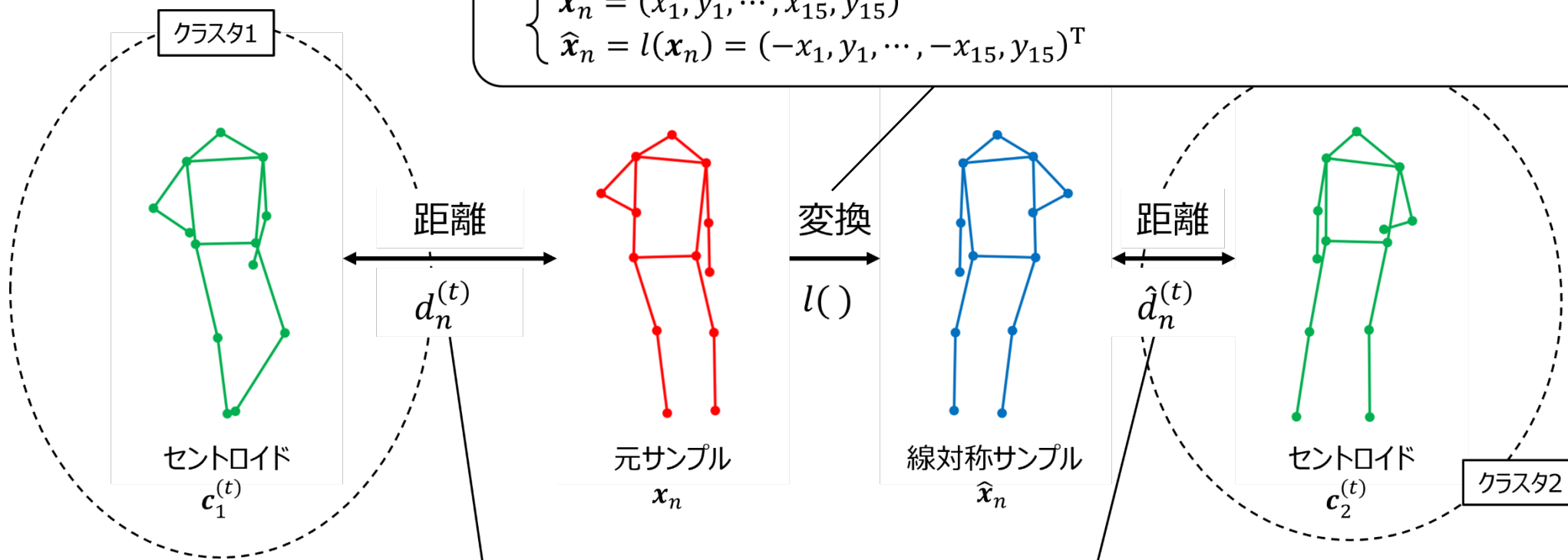


距離を比較し
小さい距離となる
サンプルを用いて
セントロイド更新

提案手法のアイデア(2/3)

人体骨格キーポイントにおいて重心を原点とし元サンプル $\mathbf{x}_n$ の x 成分の正負を反転

$$\begin{cases} \mathbf{x}_n = (x_1, y_1, \dots, x_{15}, y_{15})^T \\ \hat{\mathbf{x}}_n = l(\mathbf{x}_n) = (-x_1, y_1, \dots, -x_{15}, y_{15})^T \end{cases}$$



$$d_n^{(t)} = \min_{k \in \{1, \dots, K\}} \left\| \mathbf{w} \circ (\mathbf{x}_n - \mathbf{c}_k^{(t)}) \right\|_2$$

$$\hat{d}_n^{(t)} = \min_{k \in \{1, \dots, K\}} \left\| \mathbf{w} \circ (\hat{\mathbf{x}}_n - \mathbf{c}_k^{(t)}) \right\|_2$$

K : クラスタ数
 $\circ$: アダマール積

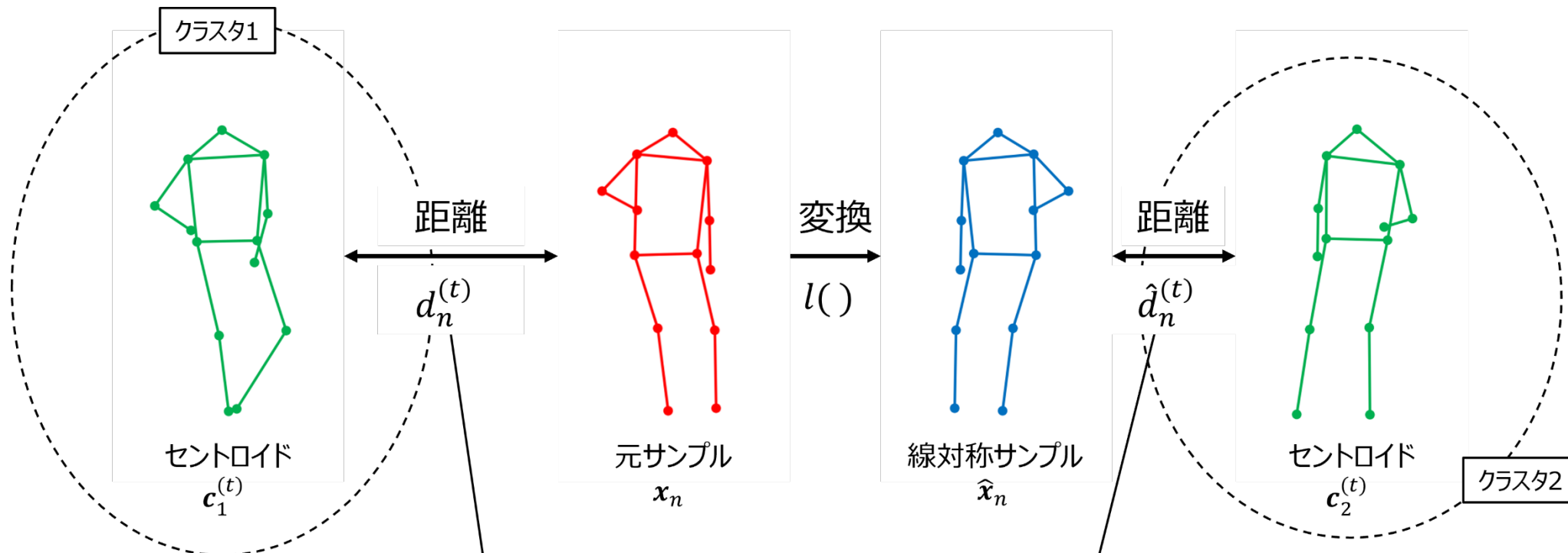
$\mathbf{w}$: 人体骨格のキーポイントの重み
 手先・足先が強調されるよう設定

$\mathbf{C}^{(t)}$: t 回目の更新のセントロイド集合
 $\mathbf{c}_k^{(t)}$: t 回目の更新の k 番目のセントロイド

$\mathbf{x}_n$: n 番目の与えられた元サンプル
 $\hat{\mathbf{x}}_n$: n 番目の線対称に変換されたサンプル

x_m, y_m : m 番目の人物骨格の
 キーポイント座標

提案手法のアイデア(3/3)



距離を比較し
小さい距離となる
サンプルを用いて
セントロイド更新

$$d_n^{(t)} = \min_{k \in \{1, \dots, K\}} \|w \circ (x_n - c_k^{(t)})\|_2$$

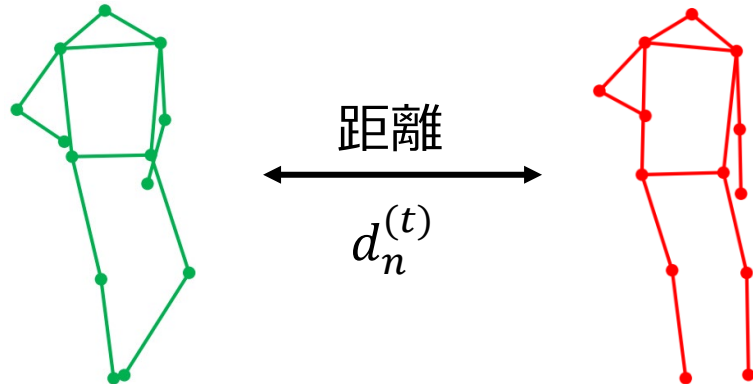
$$\hat{d}_n^{(t)} = \min_{k \in \{1, \dots, K\}} \|w \circ (\hat{x}_n - c_k^{(t)})\|_2$$

元サンプルと線対称サンプルのどちらを
セントロイド更新に用いるか判定

- $d_n^{(t)} \leq \hat{d}_n^{(t)}$ のとき → 元サンプル x_n を更新に用いる
- $d_n^{(t)} > \hat{d}_n^{(t)}$ のとき → 線対称サンプル $\hat{x}_n$ を更新に用いる

重み

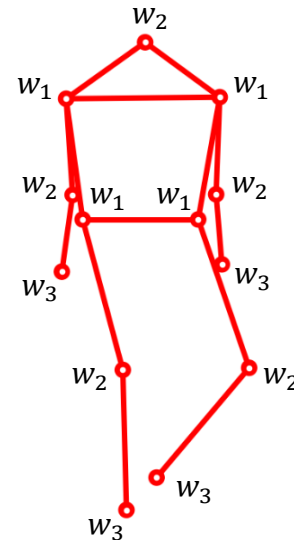
- 姿勢において重視すべきキーポイントを距離の計算へ反映するために重みづけ
 - ✓ 姿勢の違いが表れやすい手先・足先を強調



一見すると類似した姿勢だが上腕の配置が異なる

$$d_n^{(t)} = \min_{k \in \{1, \dots, K\}} \left\| \mathbf{w} \circ (\mathbf{x}_n - \mathbf{c}_k^{(t)}) \right\|_2$$

重み $\mathbf{w}$ を用いて
アダマール積をとる



w_1, w_2, w_3 : 重み $\mathbf{w}$ の要素

- 両肩・両腰を基準に四肢の末端キーポイントへ向かって重みを段階的に増やす

評価実験

□ 2種類の人物データセットに対して実験

DeepFashion-MultiModel [Y.Jiang+, TOG2022]

- ファッションデータセット
- 骨格サンプル
 - キーポイントのアノテーションデータを使用
- サンプル数：1,216
- 女性ラベルのサンプルを使用

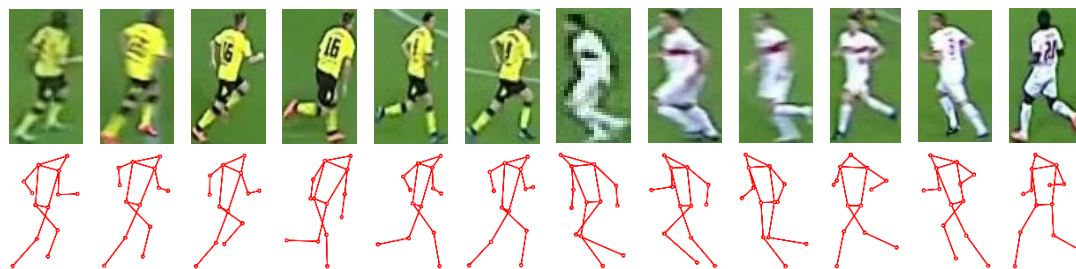


目的に適さないサンプルは除外

- キーポイントが欠損
- 人物が存在せず衣服のみ

MultiSports [Li+, ECCV2022]

- スポーツデータセット
- 骨格サンプル
 - 1動画(37秒)をフレームに分割
 - ViTPose [Xu+, NIPS2022] によりキーポイント推定
- サンプル数：13,560
- Footballラベルのサンプルを使用

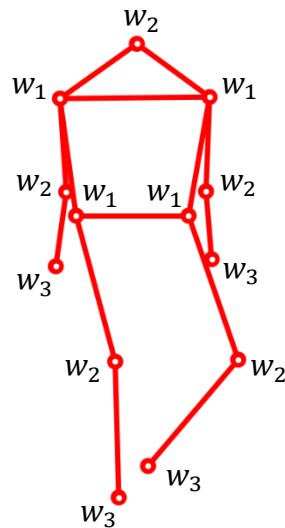


キーポイント推定時
信頼度の低いサンプルは除外

実験条件と評価手法

実験条件

- クラス数 : 8, 16
- 比較手法
 - k -means [MacQueen, 1967]
 - SBKM [Su+, 2001]
 - LS k -means (提案手法)
- キーポイント数 : 15点
- 正規化 : 平均0, 分散1
 - 位置・スケール補正のため
- キーポイントの重み
 - $(w_1, w_2, w_3) = (1.0, 2.0, 3.0)$
- 実験環境
 - CPU : Intel Core i7-7800X



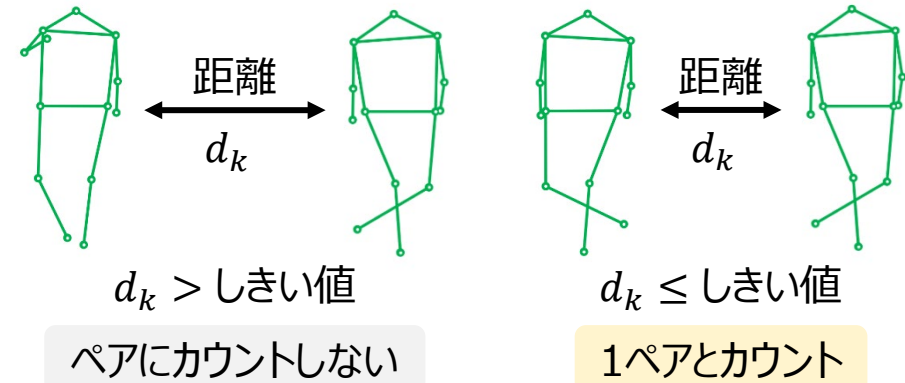
評価指標

線対称セントロイドペア数

セントロイド集合 $\mathbf{c}^{(L)}$ に含まれる線対称の関係を
持ったセントロイド $\mathbf{c}_k^{(L)}$ のペア数を評価

$$d_k = \min_{i \in \{1, \dots, K\}, i \neq k} \left\| \mathbf{w} \circ \left(l(\mathbf{c}_k^{(L)}) - \mathbf{c}_i^{(L)} \right) \right\|_2$$

d_k がしきい値以下のペアを1ペアとカウント



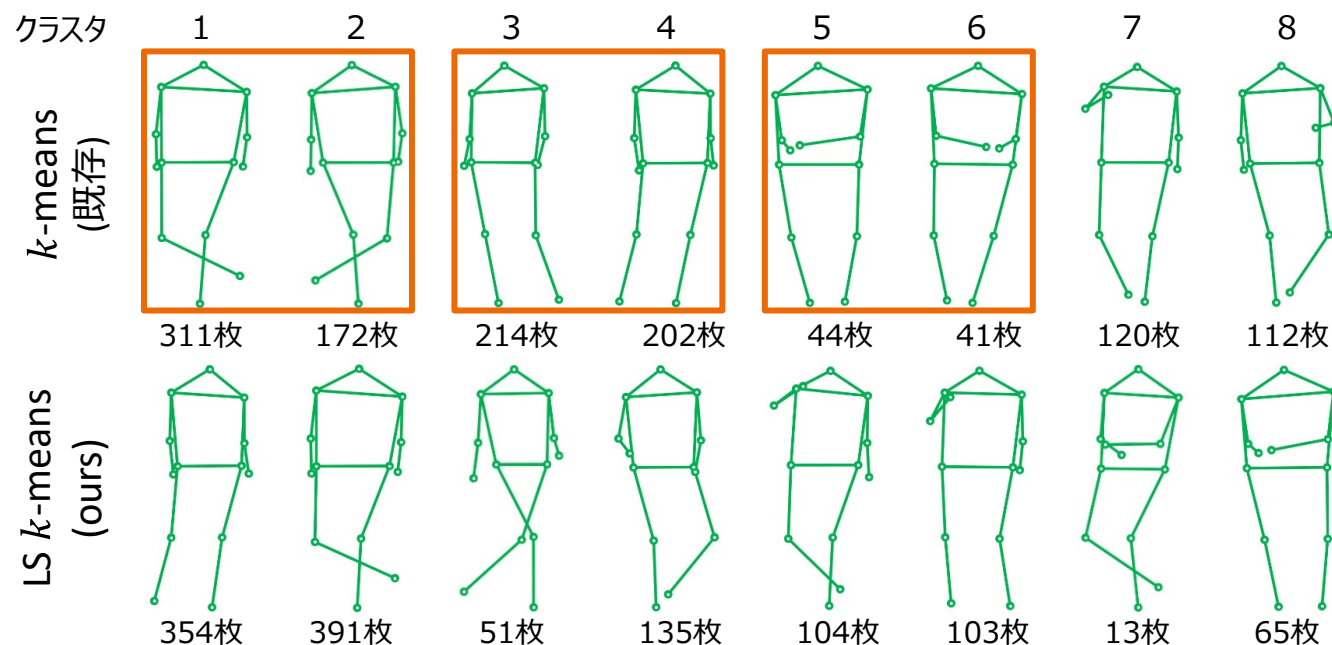
人間の主観と評価指標との間の差が小さくなるようなしきい値を決定

【実験結果】DeepFashion-MultiModel



手法	$K = 8$			$K = 16$		
	ペア数 (↓) (組)	更新数 (↓) (回)	実行時間 (↓) (ms)	ペア数 (↓) (組)	更新数 (↓) (回)	実行時間 (↓) (ms)
k -means [MacQueen, 1967]	2.99	19.04	62.7 (c) 37.6 (p)	4.92	22.43	124.1 (c) 61.5 (p)
SBKM [Su+, 2001]	2.65	4.83	73400.1 (p)	4.55	4.44	57884.4 (p)
LS k-means (ours)	0.18	23.95	103.9 (c) 158.7 (p)	0.8	21.83	192.0 (c) 263.1 (p)

クラスタリング結果におけるセントロイドの例 ($K = 8$)



提案手法でセントロイドのペア数が大幅削減

サンプル数 : 1,216 試行回数 : 100 c : c言語実装
・ 平均値を算出 p : python実装

既存手法

✗ 線対称の関係にある
クラスタが3ペア発生

提案手法

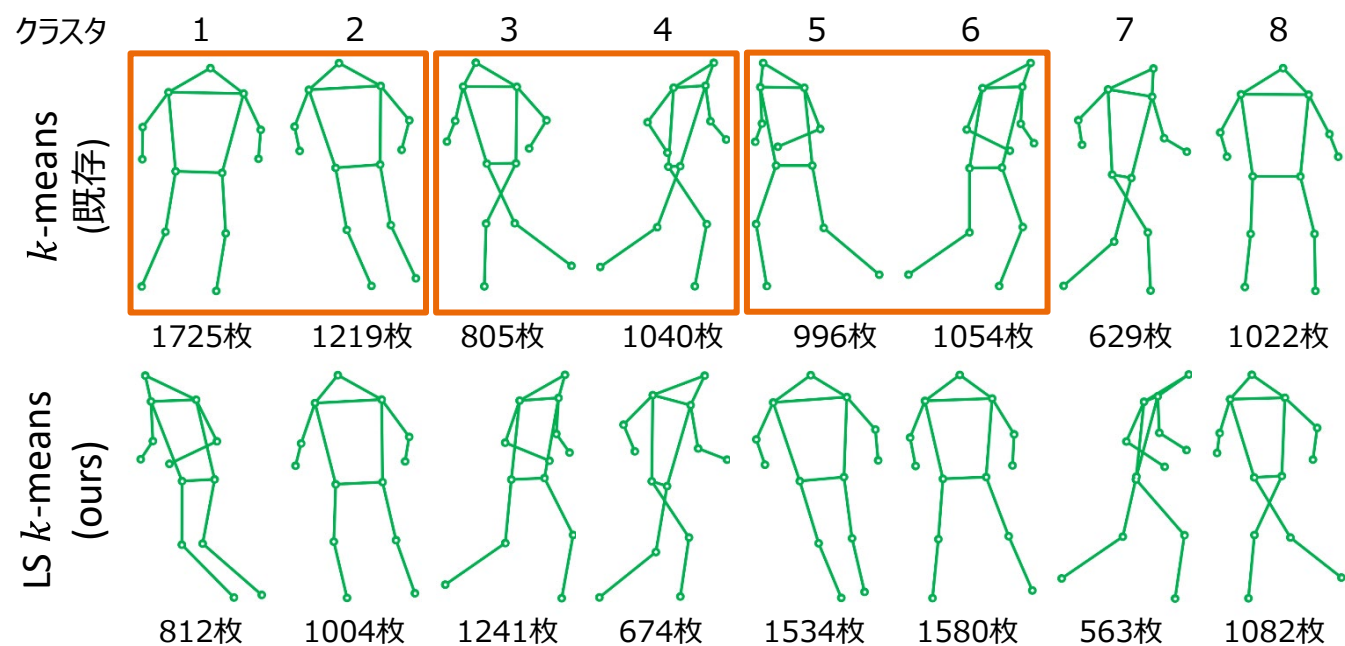
✓ 冗長なクラスタが抑制

【実験結果】 MultiSports



手法	K = 8			K = 16		
	ペア数 (↓) (組)	更新数 (↓) (回)	実行時間 (↓) (s)	ペア数 (↓) (組)	更新数 (↓) (回)	実行時間 (↓) (s)
k-means [MacQueen, 1967]	1.13	43.56	0.89 (c) 1.25 (p)	3.95	50.31	1.74 (c) 2.00 (p)
SBKM [Su+, 2001]	1.45	69.35	137.5 (p)	4.92	115.43	229.0 (p)
LS k-means (ours)	0.0	59.61	1.69 (c) 4.22 (p)	0.0	61.96	3.34 (c) 8.98 (p)

クラスタリング結果におけるセントロイドの例 (K = 8)



提案手法でセントロイドのペア数が大幅削減

サンプル数 : 13,560 試行回数 : 100 c : c言語実装
・ 平均値を算出 p : python実装

既存手法

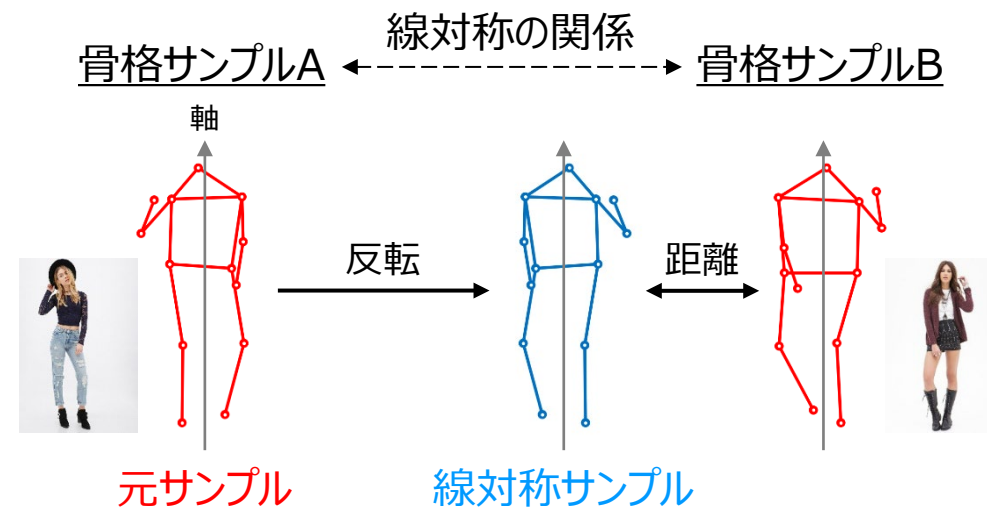
✗ 線対称の関係にある
クラスタが3ペア発生

提案手法

✓ 冗長なクラスタが抑制

まとめ

大量の姿勢から姿勢の共通点でまとめられた
代表姿勢を調査するために
線対称の関係にある骨格サンプルを同一の
クラスにまとめるクラスタリング手法を設計した



□ 実験結果

- 提案手法は、線対称の関係にある骨格サンプルを同一のクラスにまとめることができ、期待されるクラスタリング結果となることを確認した

□ 今後の課題

- ファッション分野とスポーツ分野以外の実験の拡充
- 人間の身体における線対称の関係以外の関係の考察