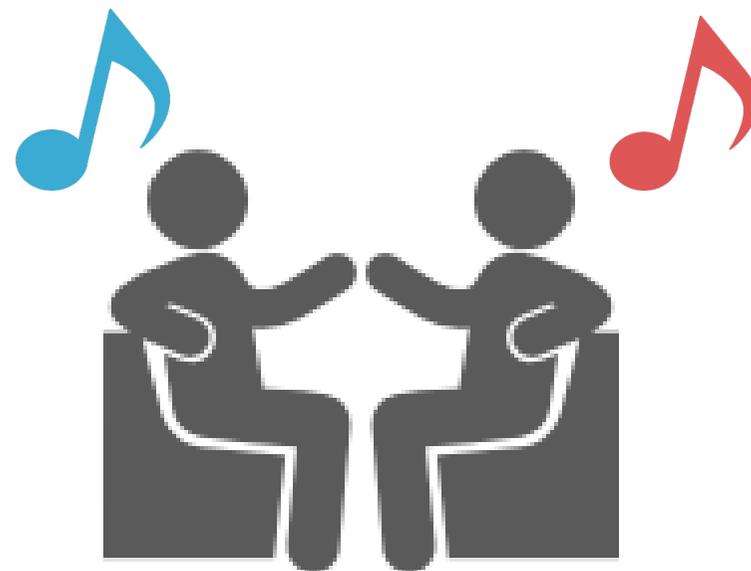


# カラオケのための ハモリパート練習システム

B4 白石 美南 小笠原 梢

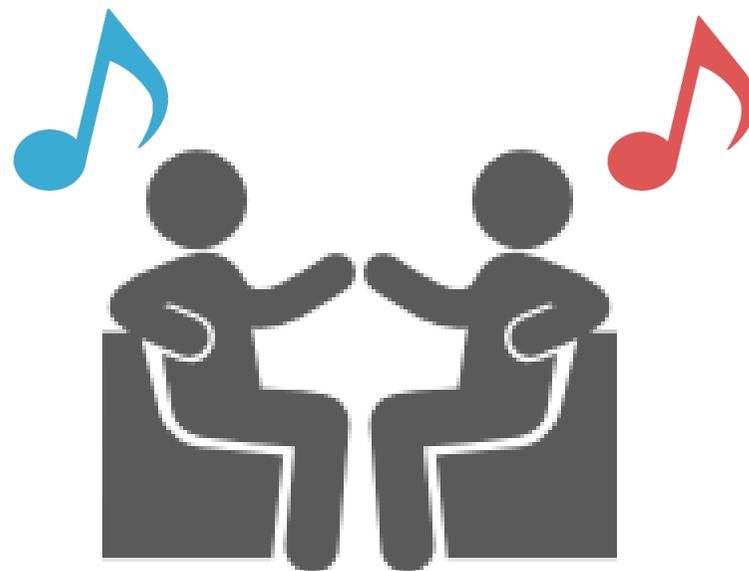
# 背景

- カラオケはいろいろな方法で楽しまれている
  - 採点
  - 合いの手, 楽器
  - 2人でハーモニーを奏でる



# 背景

- カラオケはいろいろな方法で楽しまれている
  - 採点
  - 合いの手, 楽器
  - 2人でハーモニーを奏でる



# 背景

ハモリパート習得時の問題

2人でハーモニーを奏でるのは難しい

```
graph TD; A[2人でハーモニーを奏でるのは難しい] --> B[ハモリが分からない]; A --> C[ハモリの練習が難しい];
```

ハモリが分からない

ハモリの練習が難しい

# 背景

ハモリパート習得時の問題

2人でハーモニーを奏でるのは難しい

ハモリが分からない

ハモリの練習が難しい

# 背景

ハモリが分からない

原曲にハモリがある曲



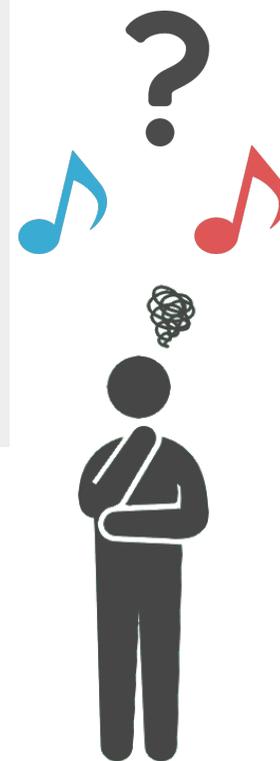
ハモリが聞き取れない

原曲にハモリがない曲



ハモリがつかれない

 ハモリを生成したい!!



# 背景

ハモリパート習得時の問題

2人でハーモニーを奏でるのは難しい

ハモリが分からない

ハモリの練習が難しい

# 背景

ハモリの練習が難しい

ハモリ相手の特性(キー)に  
合わせた練習が難しい

ハモリ相手の声に  
つられない練習が難しい

➡ ハモリ相手のキーにあわせた練習がしたい  
ハモリ相手につられない練習がしたい

# 目的

- ハモリパート練習システムをつくる

ハモリパートを生成する

ハモリ相手のキーにあわせた練習ができる  
ハモリ相手につられない練習ができる

# デモ動画(^O^)



# システム概要

# 目的

- ハモリパート練習システムをつくる

ハモリパートを生成する

ハモリ相手のキーにあわせた練習ができる  
ハモリ相手につられない練習ができる

# 目的

- ハモリパート練習システムをつくる

ハモリパートを生成する

ハモリ相手のキーにあわせた練習ができる  
ハモリ相手につられない練習ができる

# 目的~ハモリパート生成~

- ハモリパートを生成する際に必要なのは
  - ハモリを自動生成  
(入手に手間がかからない方が良い)
  - 主旋律1パートに対してハモリも1パート  
(2人でのハーモニーは4和声は向いてない)
  - 伴奏を考慮したハモリ  
(伴奏にあったハモリが良い)

# 目的~ハモリパート生成~

- 伴奏を考慮していないハモリって??
  - 伴奏を考慮したハモリ
  - 伴奏を考慮していないハモリ

# 目的~ハモリパート生成~

- 伴奏を考慮していないハモリって??
  - 伴奏を考慮したハモリ
  - 伴奏を考慮していないハモリ



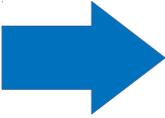
# 目的~ハモリパート生成~

- 伴奏を考慮してないハモリって??
  - 伴奏を考慮したハモリ
  - 伴奏を考慮してないハモリ



# 目的~ハモリパート生成~

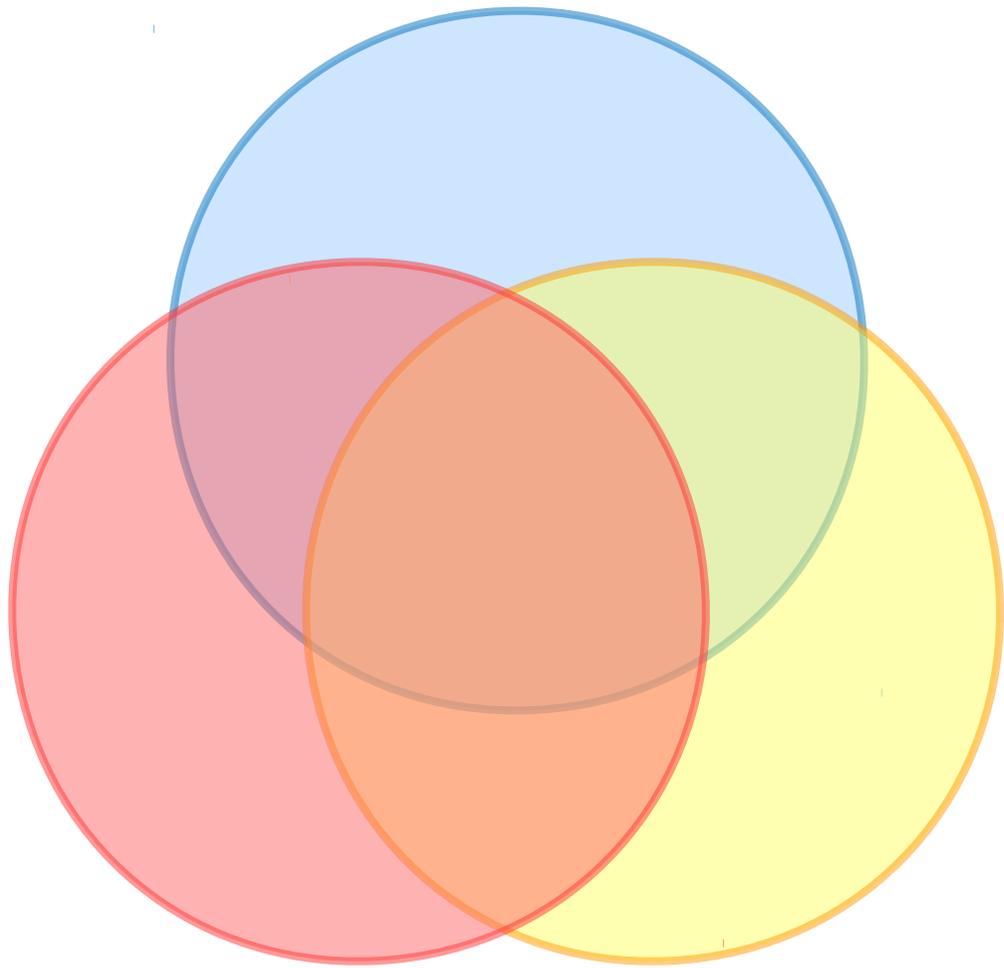
- 伴奏を考慮していないハモリって??
  - 伴奏を考慮したハモリ
  - 伴奏を考慮していないハモリ

 伴奏を考慮しないと  
ハモリと伴奏が不協和音になってしまうことがある

# 目的~ハモリパート生成~

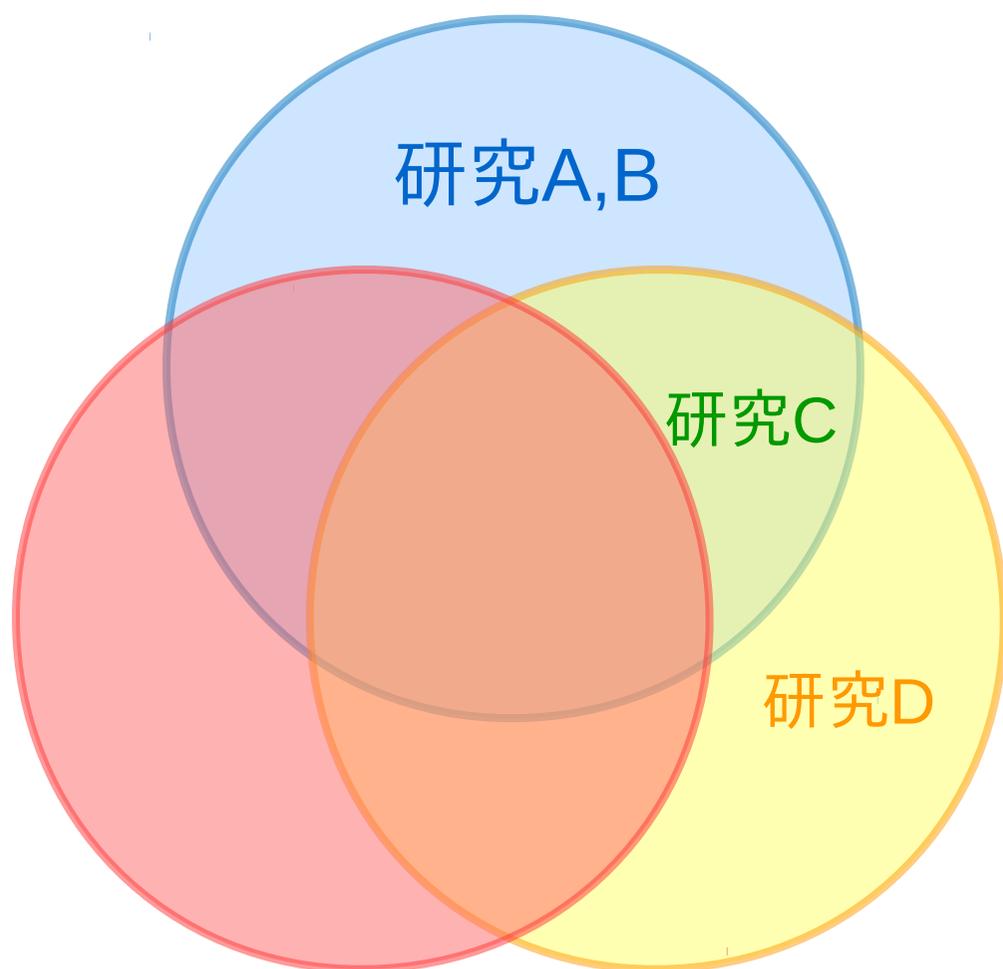
- ハモリパートを生成する際に必要なのは
  - ハモリを自動生成  
(入手に手間がかからない方が良い)
  - 主旋律1パートに対してハモリも1パート  
(2人でのハーモニーは4和声は向いてない)
  - 伴奏を考慮したハモリ  
(伴奏にあったハモリがいい)

# 関連研究～ハモリパート生成～



1. ハモリを自動生成する
2. 主旋律1パートに対して和声も1パートの和声付け
3. 伴奏を考慮した和声付け

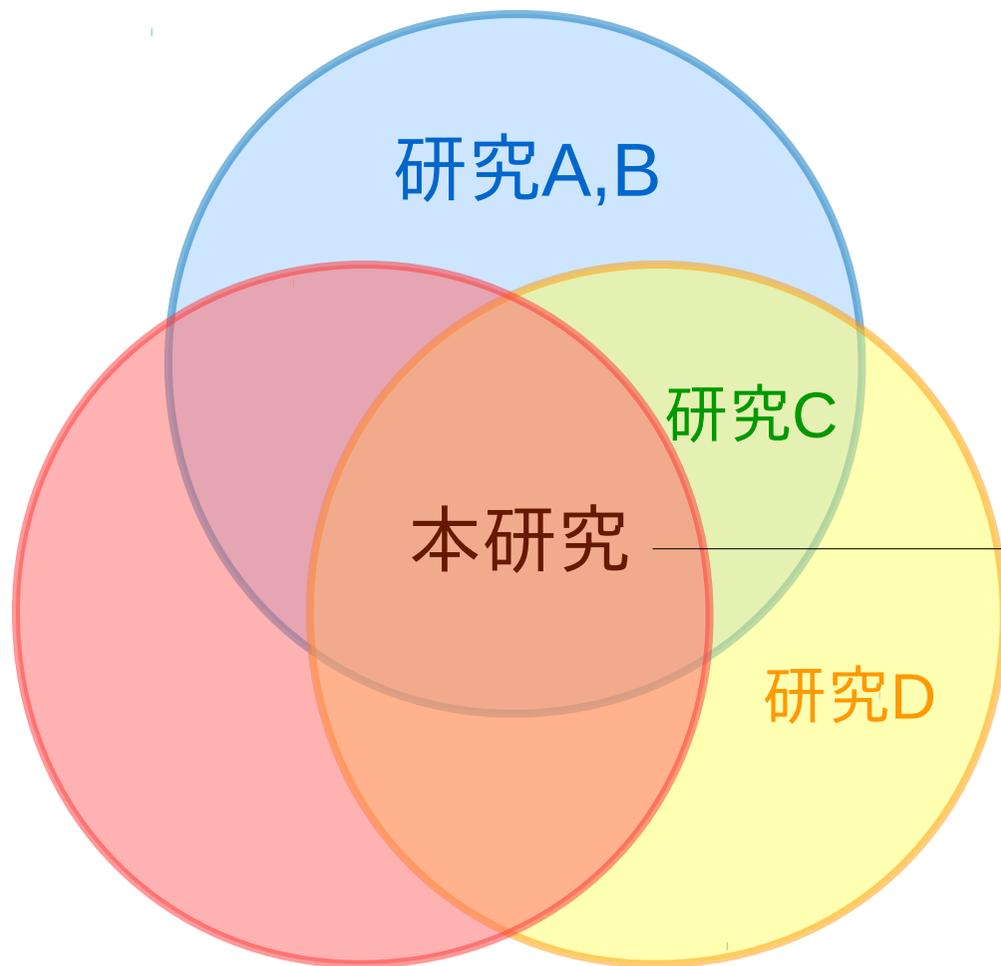
# 関連研究～ハモリパート生成～



1. ハモリを自動生成する
2. 主旋律1パートに対して和声も1パートの和声付け
3. 伴奏を考慮した和声付け

研究A：エバンズベンジャミンルカ(2013)  
研究B：鈴木峻平(2014)  
研究C：川上 隆(2000)  
研究D：菅原 啓太(2003)

# 関連研究～ハモリパート生成～



1. ハモリを自動生成する
2. 主旋律1パートに対して和声も1パートの和声付け
3. 伴奏を考慮した和声付け

↓  
1,2,3を満たしたハモリを作る

# 実装～ハモリパート生成～

1. ハモリを自動生成する
2. 主旋律1パートに対してハモリも1パート
3. 伴奏を考慮した和声付け



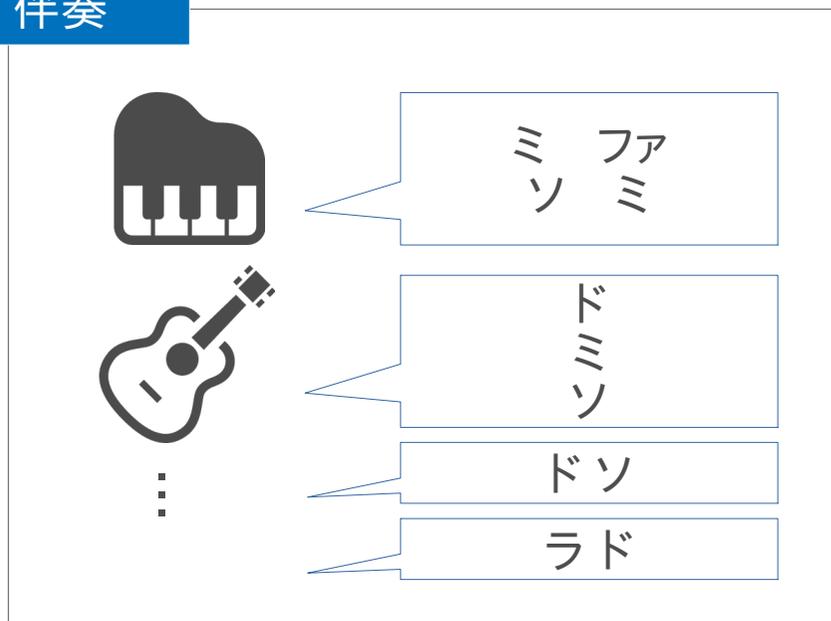
3つの条件を満たす生成手法を提案

- ルールベースの手法
- HMM(隠れマルコフモデル)を利用した手法

# 実装～ハモリパート生成～

- ルールベースでのハモリ生成  
半小節ごとに伴奏を分析

## 伴奏

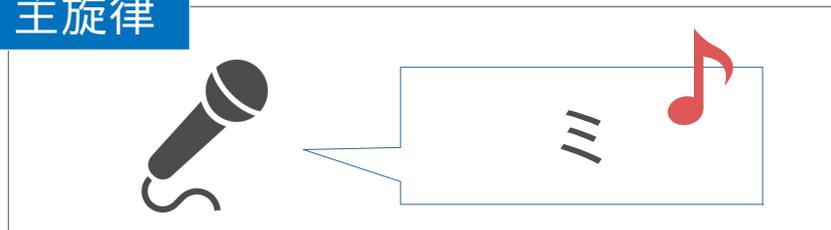


半小節ごとに伴奏の中で  
多く使われている音を調べる



ド, ミ, ソが多い!

## 主旋律



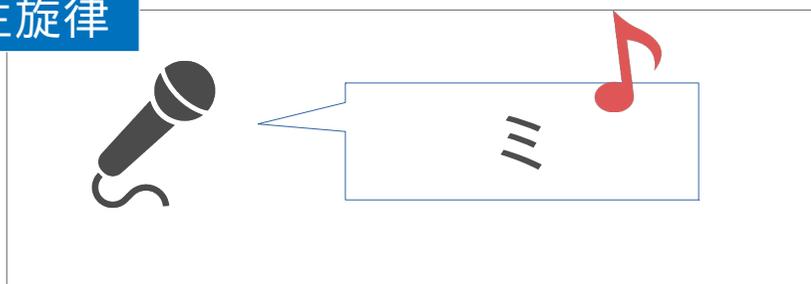
# 実装～ハモリパート生成～

## • ルールベースでのハモリ生成

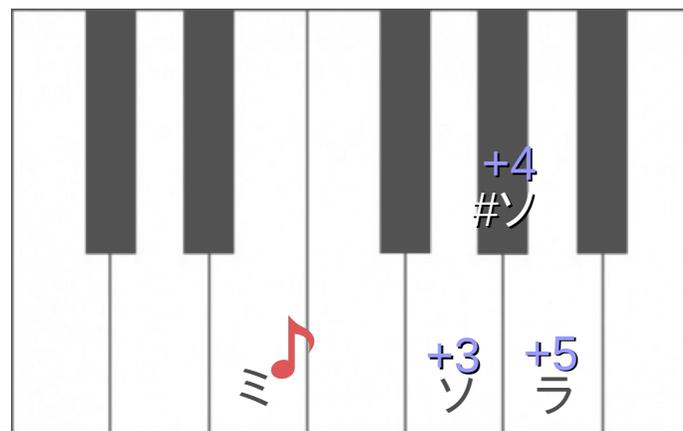
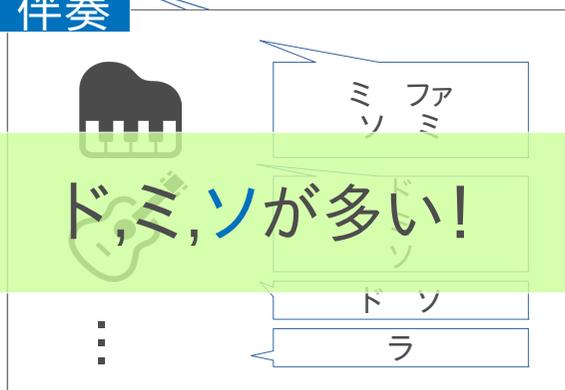
ハモリを決定

- 伴奏で多く使われている音の中で  
主旋律の半音+3,+4,+5のいずれかの音があれば  
その音をハモリとして設定する

主旋律



伴奏

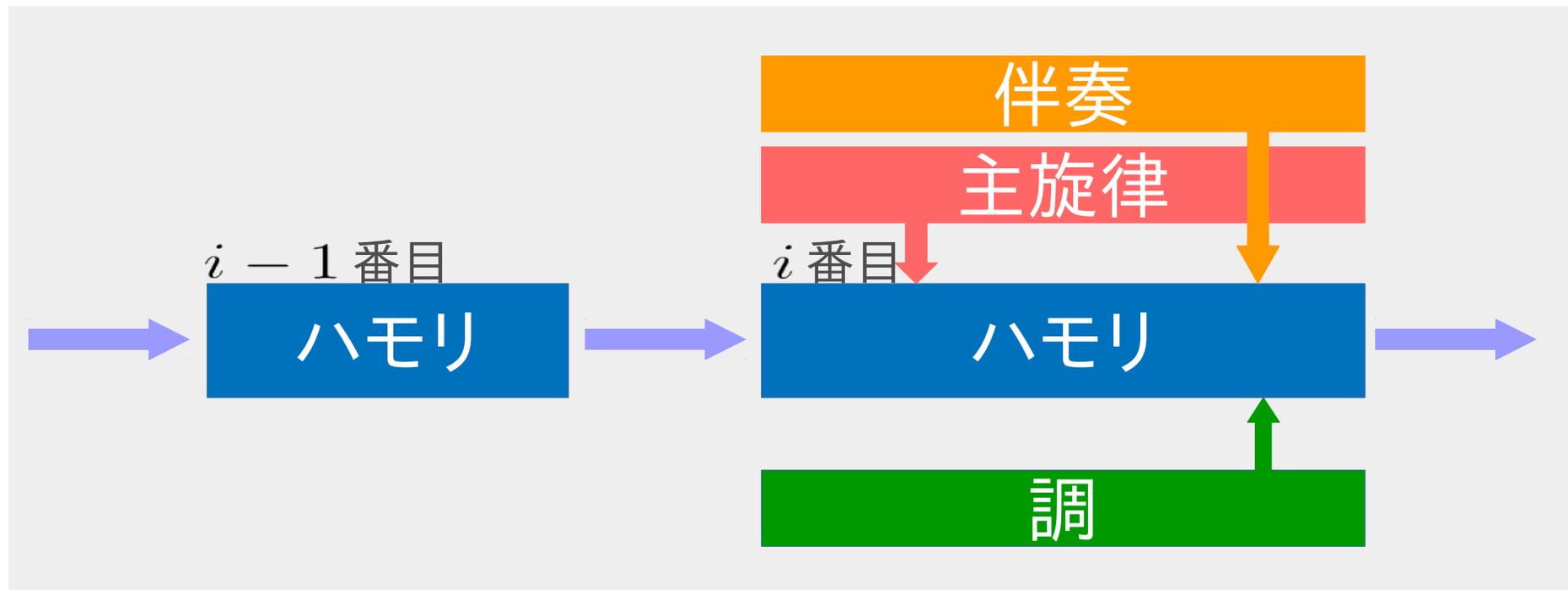


ミの  
ハモリはソにしよう

# 実装～ハモリパート生成～

- HMMでのハモリ生成

- 4つの条件付き確率をもとにViterbiアルゴリズムを適用

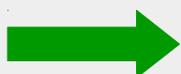


# 実装～ハモリパート生成～

- HMMでのハモリ生成

- 4つの条件付き確率をもとにViterbiアルゴリズムを適用

 ハモリから次音ハモリへの遷移確率  
主旋律の遷移確率を適用

 調情報をもとにした出現確率

 主旋律をもとにした出力確率

 伴奏をもとにした出力確率

音楽理論に基づいて設定

# 実験～ハモリパート生成～

- 生成したハモリがどれだけ適切であったかを検証

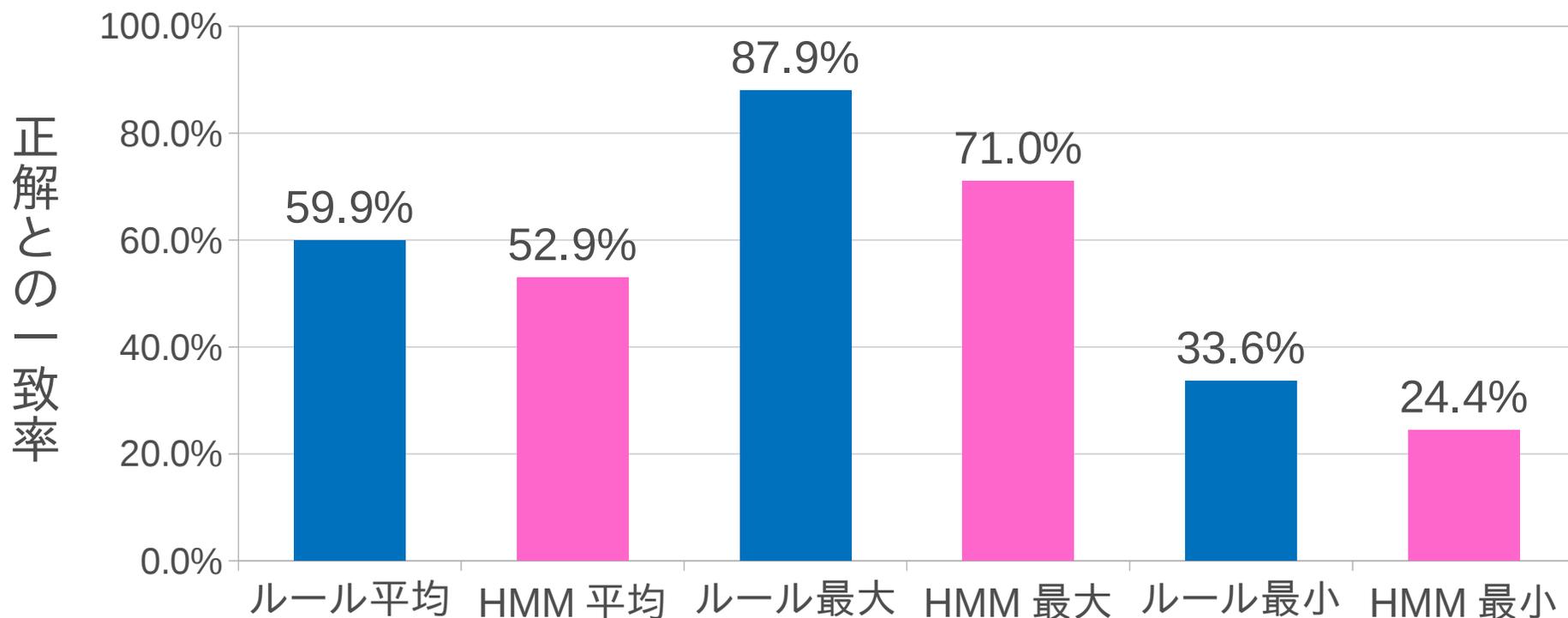
音大生が作成した適切なハモリの1例(正解ハモリデータ)を使用して2手法生成したハモリと比較

- ルールベースで生成したハモリと正解ハモリデータの一致率
- HMMで生成したハモリと正解ハモリデータの一致率

# 実験～ハモリパート生成～

## 評価結果(85曲分)

ルール平均, 最大, 最小 > HMM平均, 最大, 最小

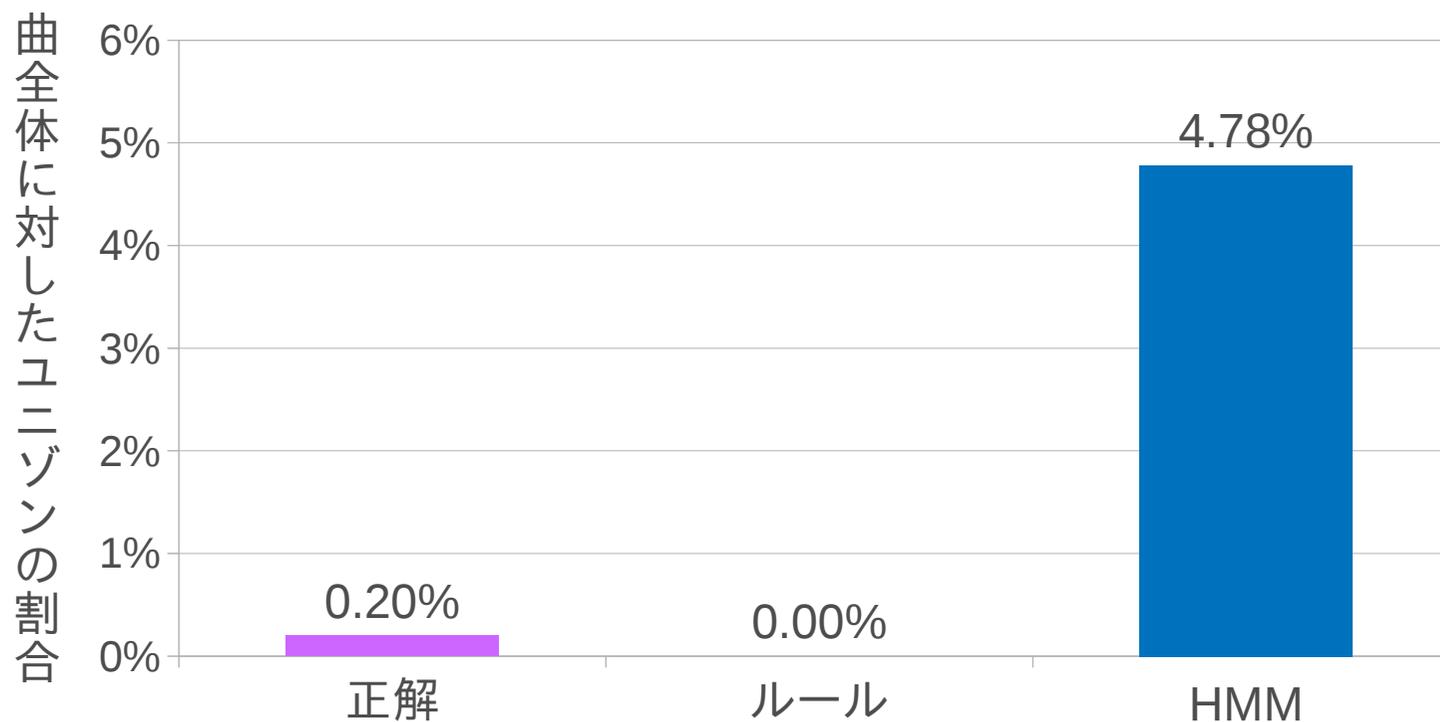


# 実験: 考察～ハモリパート生成～

- ルールベース > HMM の理由
  - HMMではハモリにユニゾンを生成する確率が高い
  - HMMではハモリの同じ音への遷移が多い

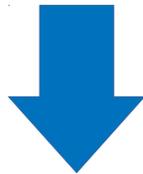
# 実験: 考察～ハモリパート生成～

- HMMではハモリにユニゾンを生成する割合が高い



## 実験: 考察～ハモリパート生成～

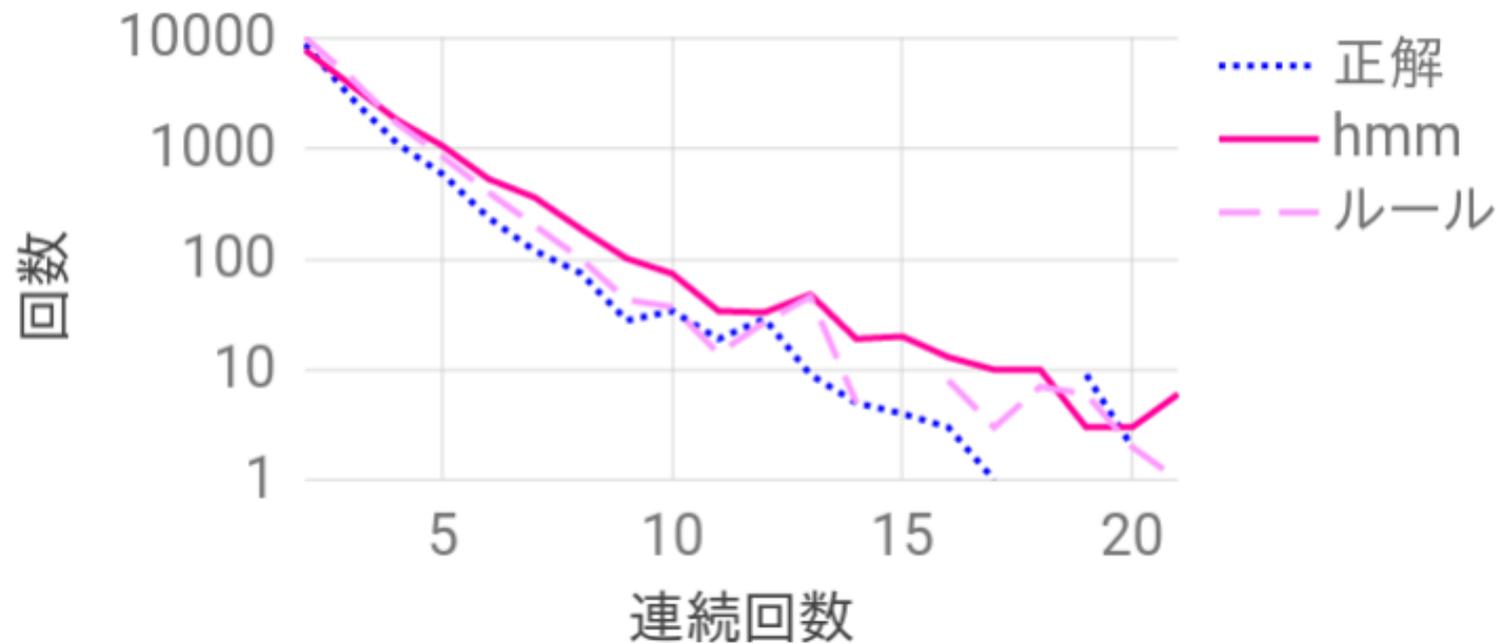
- HMMではハモリにユニゾンを生成する割合が高い
  - HMMハモリがユニゾンを生成した時  
HMMハモリと正解データとの一致率は1.22%



HMMで生成したハモリにユニゾンが多いことが  
ルールベースよりHMMのほうが一致率が低い原因

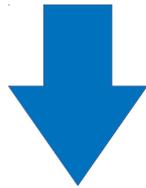
# 実験: 考察～ハモリパート生成～

- HMMでは同じ音への遷移が多い
  - HMM で生成したハモリは特に連続で同じ音が続く回数が多い



## 実験: 考察～ハモリパート生成～

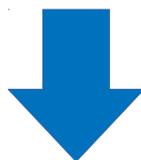
- HMMでは同じ音への遷移が多い
  - 設定した遷移確率が原因



ハモリの遷移確率を主旋律から出すことが  
HMMの一致率を下げた

# 実験:ハモリ再評価～ハモリパート生成～

- ハモリ再評価
  - 正解データは数多くあるハモリの1例
  - 生成したハモリが正解データと完全一致していなくても音楽的に不適切であるとは限らない



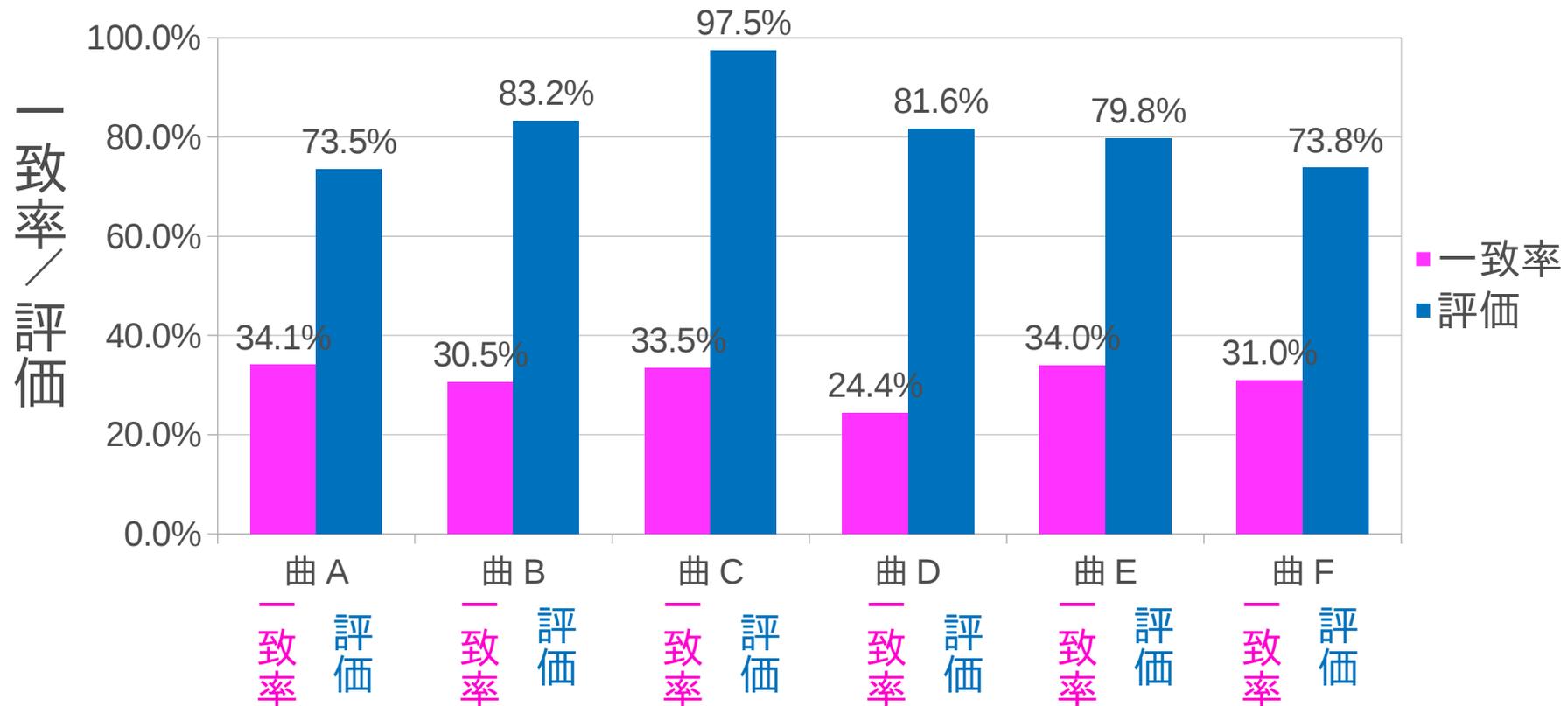
生成したハモリが**音楽的に妥当か**を評価してもらう

# 実験:ハモリ再評価～ハモリパート生成～

- ハモリ再評価

- HMM (一致率の低い6曲)

- 正解データとの一致率
- 専門家の評価



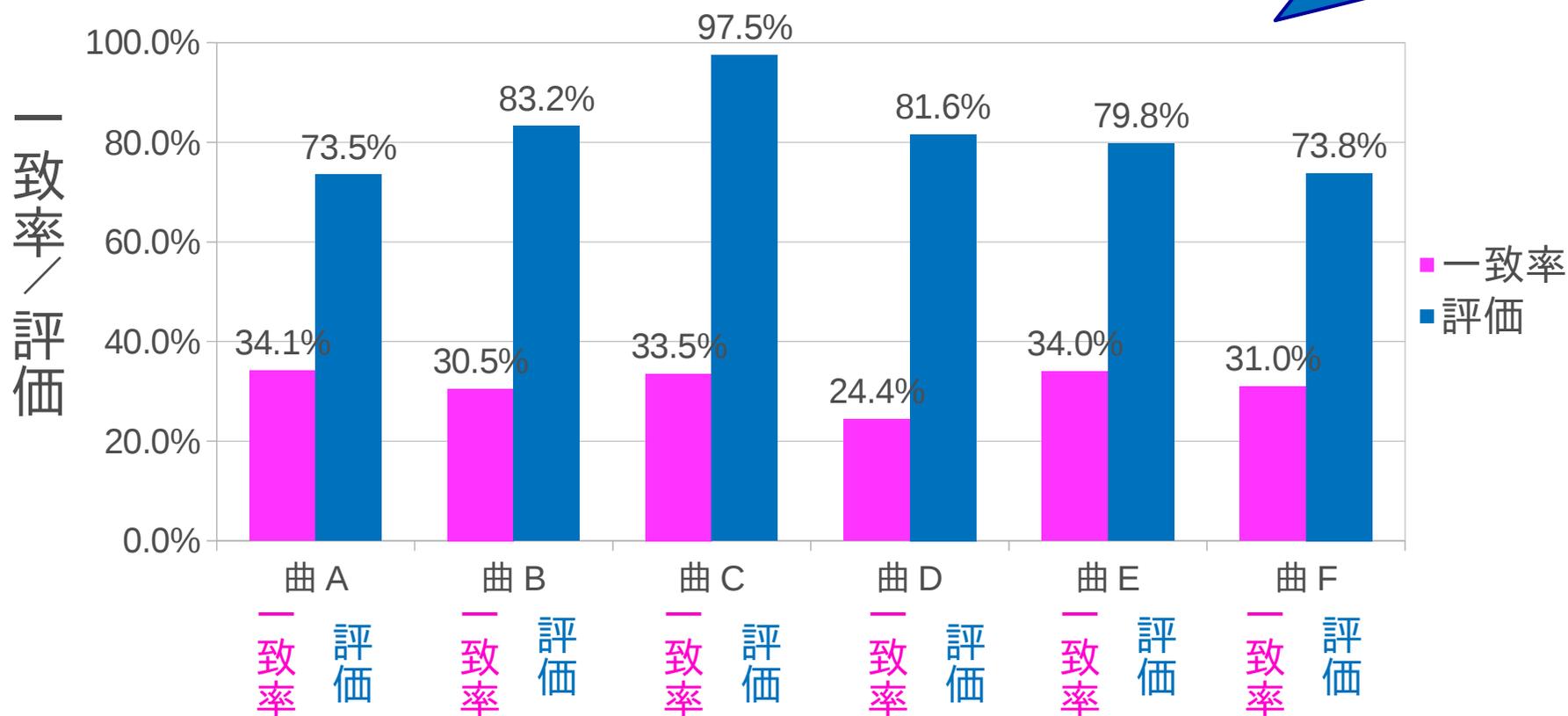
# 実験:ハモリ再評価～ハモリパート生成～

## ・ハモリ再評価

– HMM (一致率の低い6曲)

- 正解データとの一致率
- 専門家の評価

一定の音楽的妥当性あり

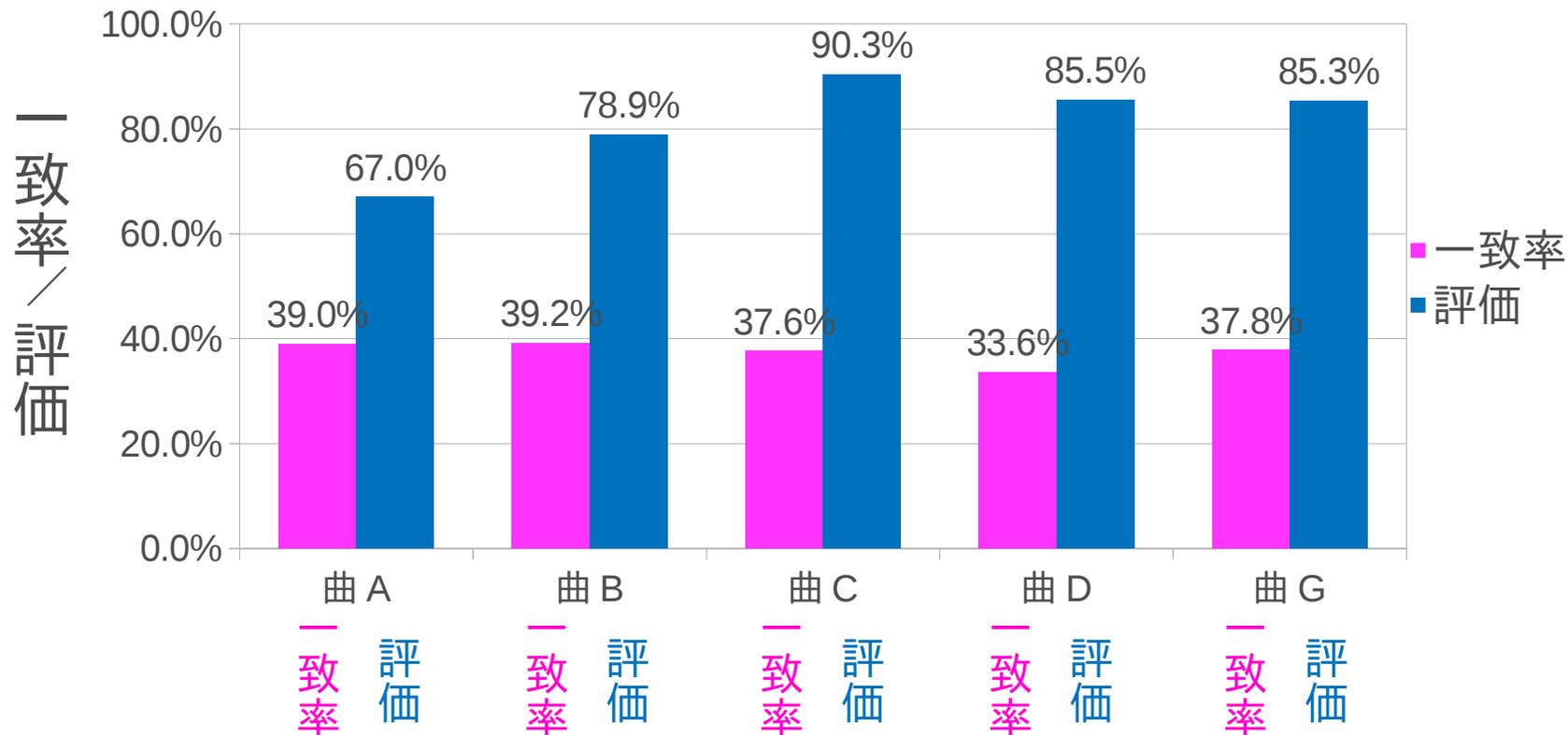


# 実験:ハモリ再評価～ハモリパート生成～

- ハモリ再評価

- ルールベース(一致率の低い5曲)

- 正解データとの一致率
- 専門家の評価



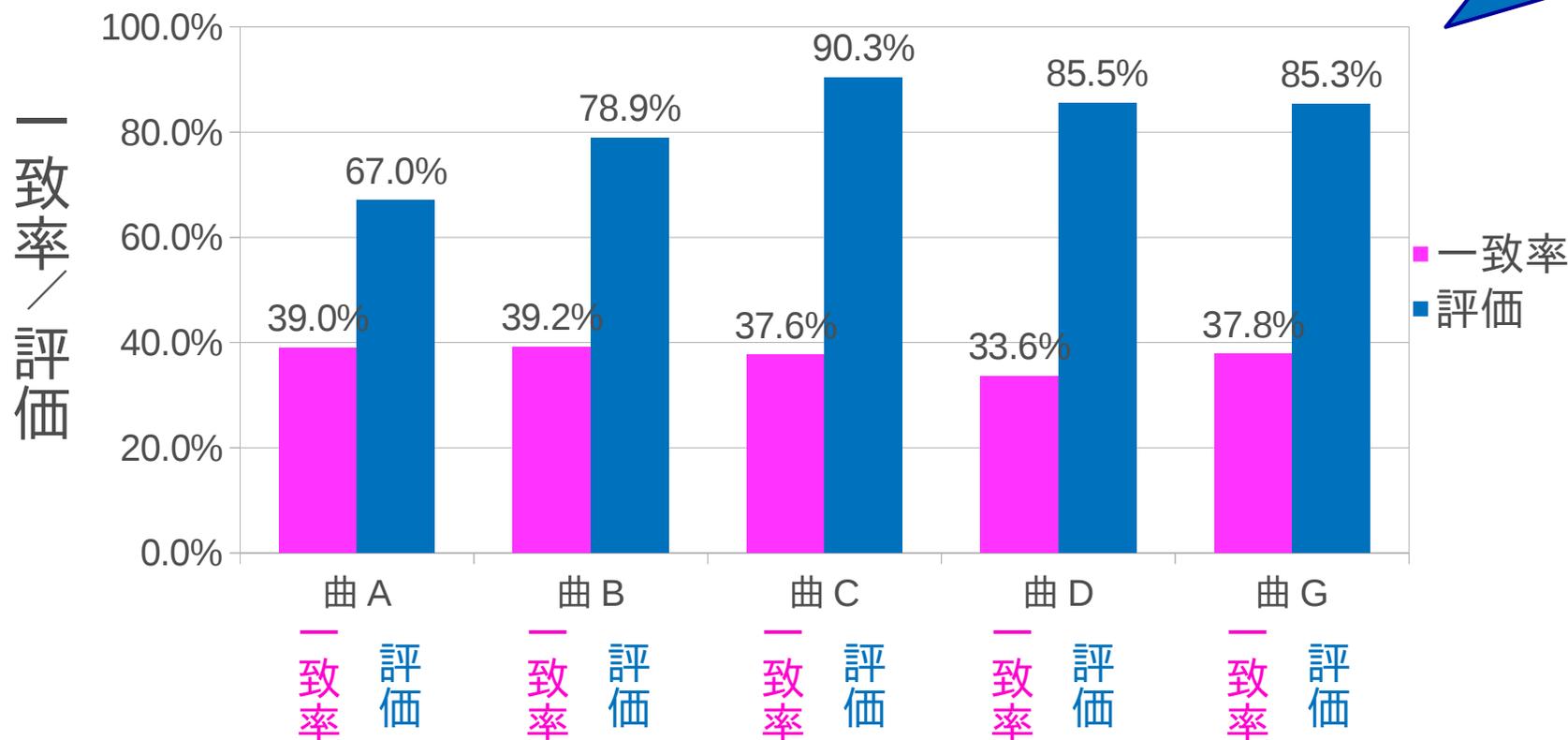
# 実験:ハモリ再評価~ハモリパート生成~

## • ハモリ再評価

- ルールベース(一致率の低い5曲)

- 正解データとの一致率
- 専門家の評価

一定の音楽的妥当性あり



# 目的

- ハモリパート練習システムをつくる

ハモリパートを生成する

ハモリ相手のキーにあわせた練習ができる  
ハモリ相手につられない練習ができる

# 目的

- ハモリパート練習システムをつくる

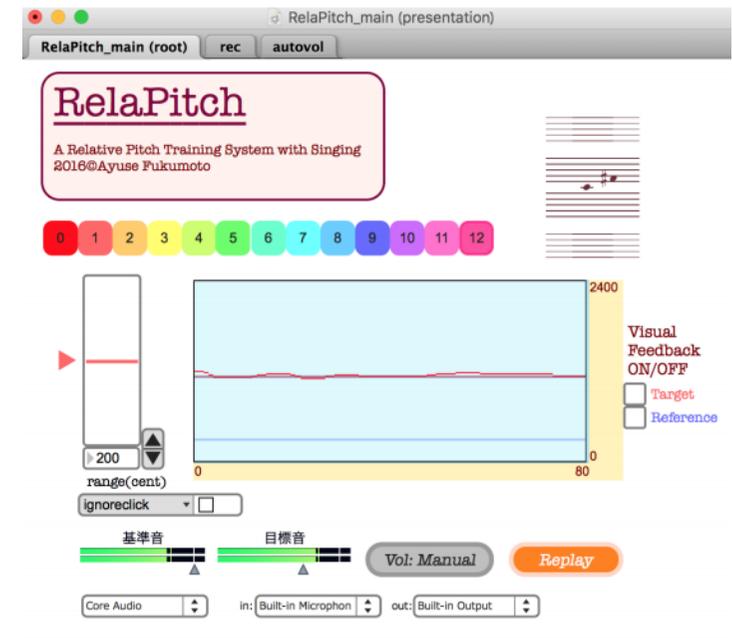
ハモリパートを生成する

ハモリ相手のキーにあわせた練習ができる  
ハモリ相手につられない練習ができる

# 関連研究～ハモリ練習～

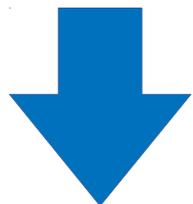
- ハモリの練習
  - 単音のハモリしか練習できない
    - RelaPitch:歌って鍛える相対音感支援システム

➡ 連続した(楽曲の)ハモリの練習ができるシステムつくろう



# 実装～ハモリ練習～

- ハモリの練習をするには
  - つられない練習ができる
  - キー変更ができる



これを満たしたハモリ練習システムを提案

# 実装～ループバック機能・音高表示機能～

The screenshot shows the LoopPitch application window. At the top, the title bar reads "LoopPitch". The main area displays a pitch contour graph with a black line for the user's voice and a red line for the target melody. A purple oval highlights the black line, with a callout box containing the text "音高表示機能 (ユーザーの歌った音高を表示)". Below the graph is a green banner with the text "意識してしまう スキャンダラスにSayLove". To the right of the banner is a legend with three items: "主旋律" (Main Melody) represented by a grey line, "ハモリ" (Harmony) represented by a red line, and "自分" (Self) represented by a black line. At the bottom, there are several control buttons: "サビから" (From Chorus), "巻き戻し" (Rewind), "早送り" (Fast Forward), "もっと自分の声を聞こう" (Let's hear more of our own voice) with a blue arrow pointing to the "ループバック機能" (Loop Back Function) callout, and "オクターブ +0" (Octave +0).

音高表示機能  
(ユーザーの歌った音高を表示)

意識してしまう  
スキャンダラスにSayLove

主旋律  
ハモリ  
自分

サビから 巻き戻し 早送り

もっと自分の声を聞こう

オクターブ +0

ループバック機能  
(正解率50%切ると表示)

# 実装～キー変更機能～

- キー変更機能

スタート画面上で曲のキーを任意に変える機能



# 実験1～比較手法と目的～

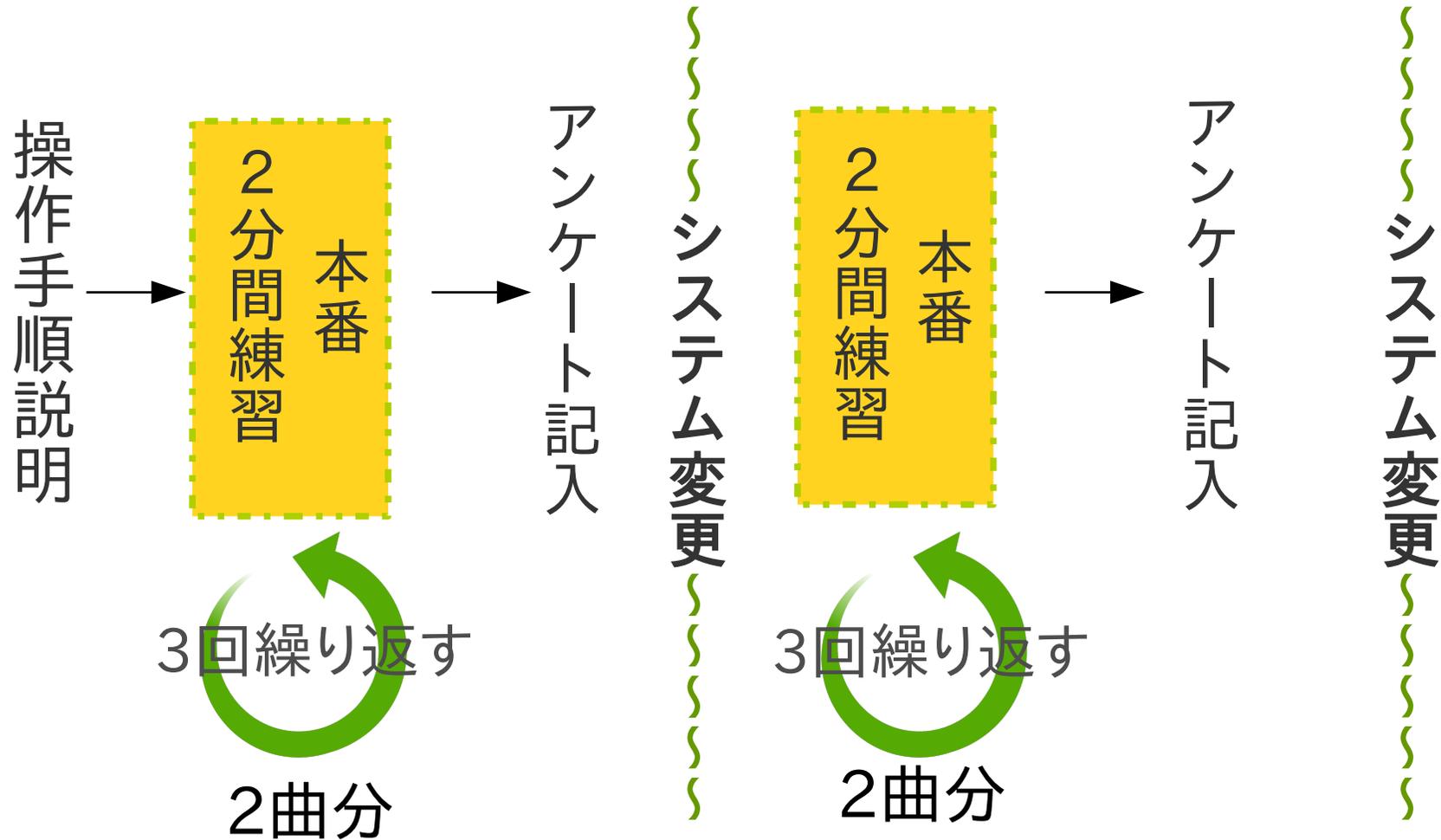
	ループバック機能	音高表示機能
提案手法	有り	有り
比較手法 1	有り	無し
比較手法 2	無し	有り

一般の大学生 12 名(男性 5 名、女性 7 名)

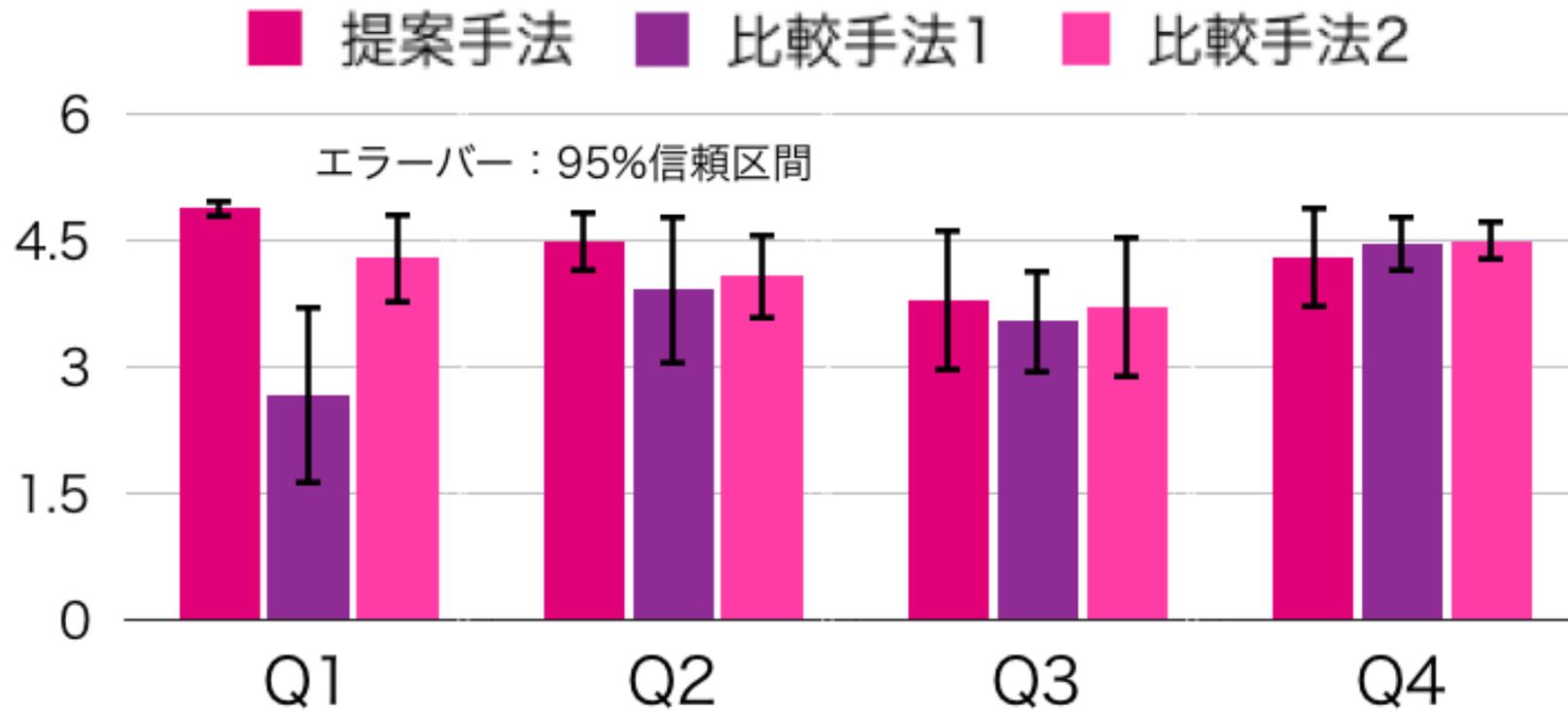
目的:

ループバック, ユーザ音高表示機能は  
主旋律につられない練習を行う上で有効か

# 実験1～実験の流れ(6曲)～



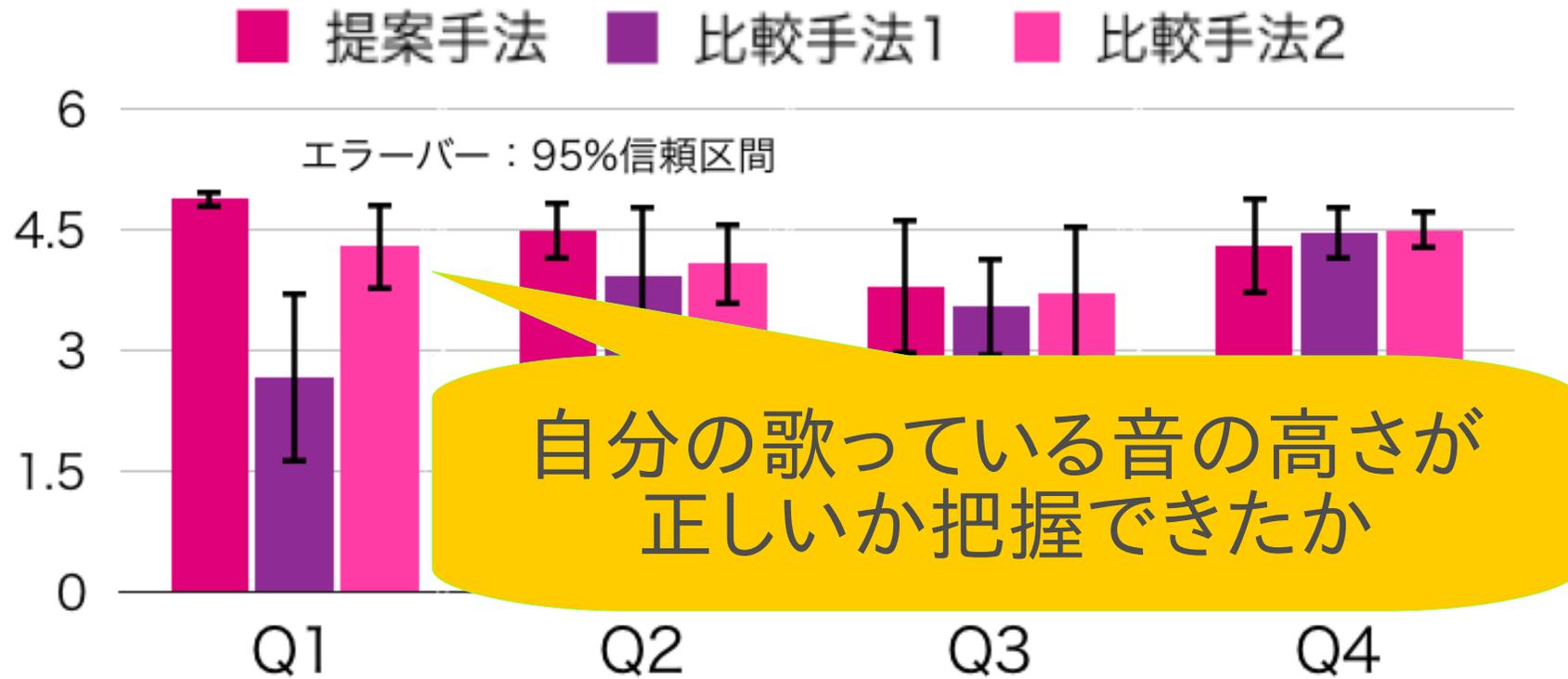
# 実験1～アンケート結果～



Q1～Q3 (0～6の7段階評価)：6に行くほど高評価

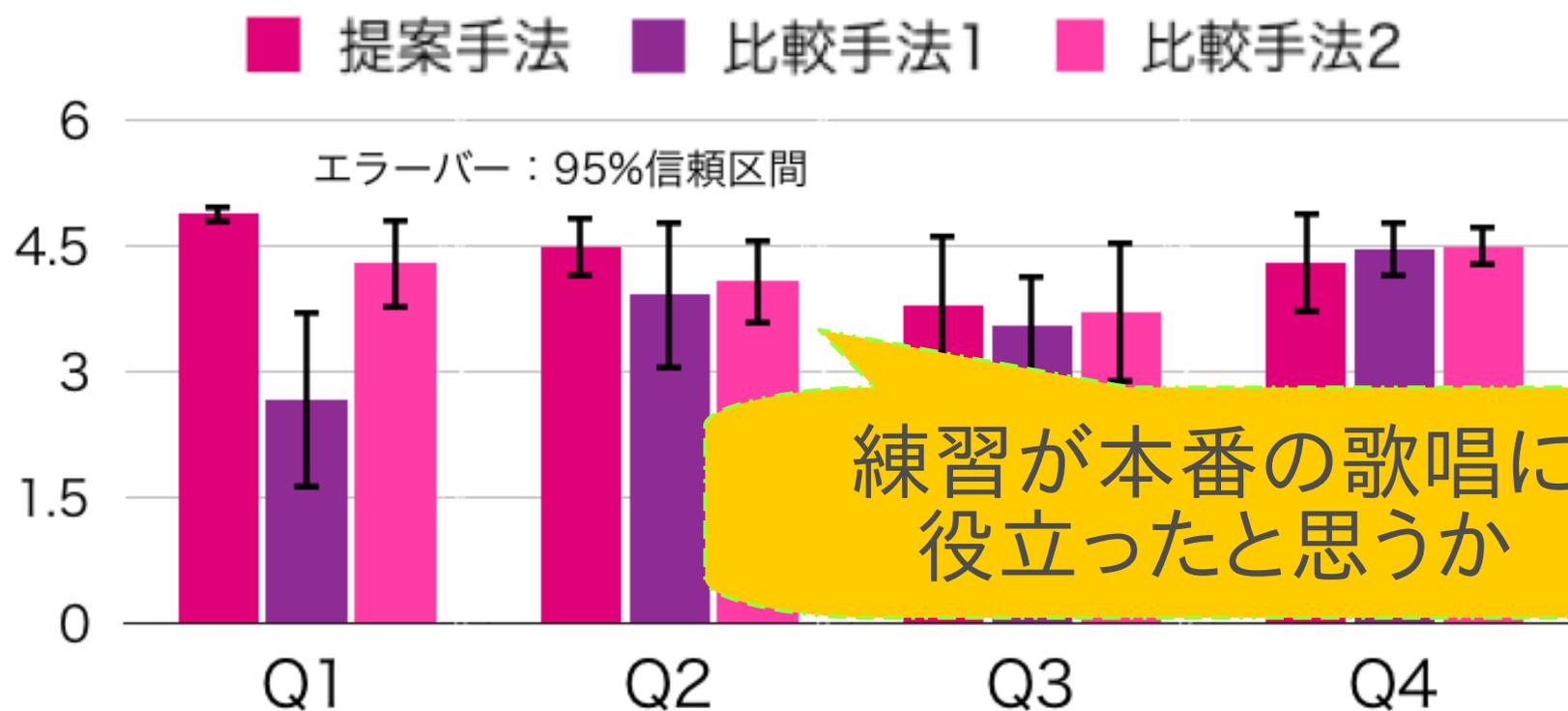
Q4 (0～6の7段階評価)：0に行くほど高評価

# 実験1～Q1～



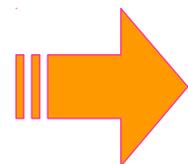
音高表示機能は、正しい音の把握に有効

# 実験1～Q2～



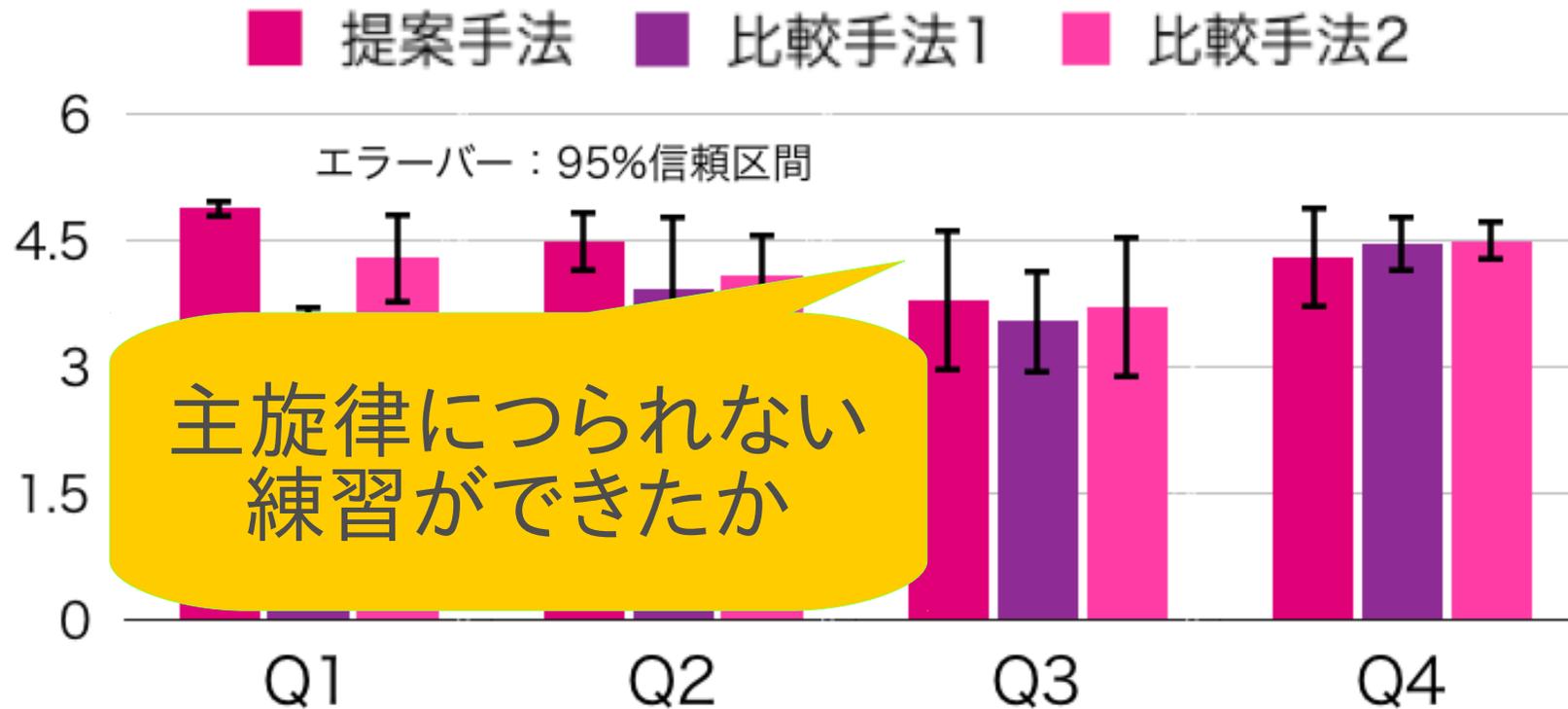
練習が本番の歌唱に  
役立ったと思うか

比較手法1, 比較手法2もハモリ練習をしている



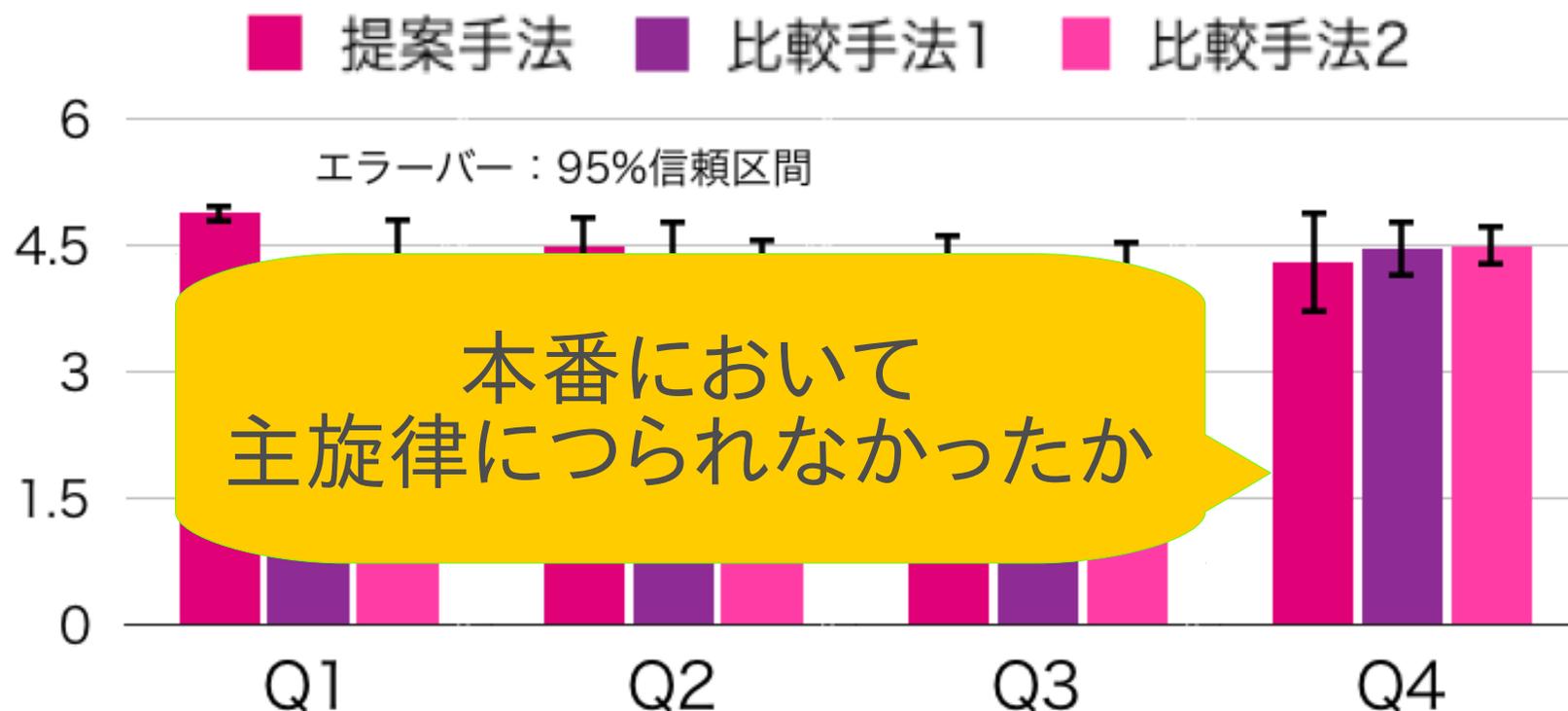
評価において大きな差が生まれなかった

# 実験1～Q3～



理由：  
練習時間が短い，  
主旋律が人の声ではないのでつられやすくない

# 実験1～Q4～



本番において  
主旋律につられなかったか

提案手法の方が主旋律につられなかったと回答  
(12人中4人)

➡ 音高表示機能は、  
つられないための効果を持っている？

# 実験1～アンケートまとめ～

ループバック機能, 音高表示機能が  
つられないためのハモリ練習に  
一定の効果をもたらしている可能性がある。

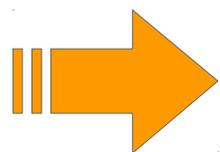
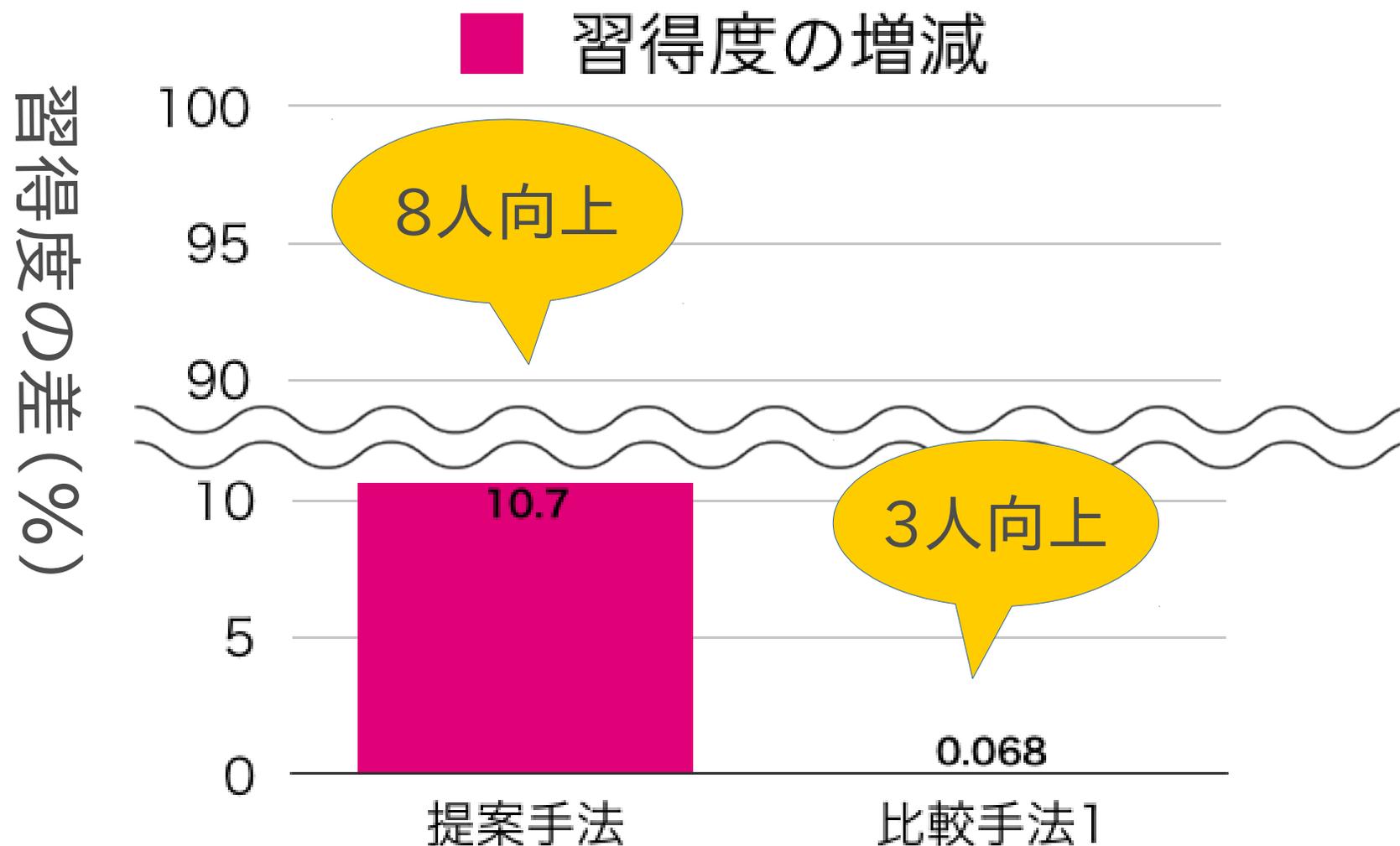
# 実験1～習得度(求め方)～

習得度:ハモリパートとユーザーの歌った音高の一致率

求め方:ハモリパートとユーザーの音高の差が 200 cent  
(半音2個)以内なら正解とする

※差が 800 cent(半音8個) 以上の時は無音区間とし,  
評価から除外

# 実験1～習得度グラフ～



音高表示機能は  
ハモリパートの習得に有効

## 実験2～比較条件, アンケート結果～

キー変更可能条件, キー変更不可能条件

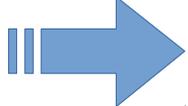
目的: キー変更機能の必要性の確認,

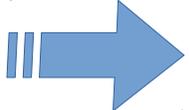
原曲キー以外のハモリは習得可能か確かめる

アンケート結果から…

→キー変更機能は必要であることがわかった.

## 実験2～習得度～

キー変更可能  8名に習得度の向上(12人中)

キー変更不可能  4名に習得度の向上(12人中)

キー変更機能を用いてハモリの習得が可能

# まとめ

- カラオケでハモるための練習システム
    - ハモリを作る
      - 2つの手法でハモリパート生成を行った
        - HMMで用いた条件付き確率を再設定する必要がある
        - 両手法とも一定の音楽的妥当性はある
    - 練習のためのシステムを実装
      - つられない 練習は可能か
      - キー変更機能の必要性,有効性
- 改善点:  
練習時間が短く,機能を使いこなせていない被験者もいた  
→長期的な実験の実施が必要