

# ピアノ宿題練習のためのAI採点方式 ご紹介およびデモ

細田 真道<sup>1)</sup> 最知 庸<sup>1)</sup> 小林 丈之<sup>1)</sup>  
笹生 恵理<sup>2)</sup> 山内 竣平<sup>3)</sup> 野口 啓之<sup>3)</sup> 阪内 澄宇<sup>1)</sup>



TO-ON



1) 東日本電信電話株式会社  
デジタル革新本部 デジタルデザイン部

2) 株式会社 東音企画

3) 一般社団法人  
全日本ピアノ指導者協会（ピティナ）

## • 細田 真道

### • 所属

- 東日本電信電話株式会社  **NTT東日本**  
デジタル革新本部 デジタルデザイン部（2021年7月～）
  - 音楽教育分野のDXなどに従事

### • 個人

- 楽譜作成プログラムLilyPondコミッタ
  - 第10回日本OSS奨励賞受賞
  - 本件で使用する楽譜やモデル作成に活用
- NTT Tech Conference #5（2021年2月）登壇
  - 「PDFのコピペが文字化けするのはなぜか？」



## ・音楽教育業界におけるDXを活用した音楽学習指導実現に向けた取り組み

[https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20220608\\_01.html](https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20220608_01.html) より抜粋

### VISION

音楽×DXの力で音楽をもっと身近にし、人と音楽が繋がるような豊かな社会を実現する

DX

誰でも誰とでも  
何処でも

地域・国による  
音楽指導格差  
の解消

ピアノの練習を  
楽しく継続

音楽と多様な  
関わり方

音楽による  
地方創生

世界中から  
楽器をこえた  
音楽仲間を

- ・ピアノ指導者・生徒へのネットワーク  
(会員1.7万人、指導者数1.4万人、生徒35万人)
- ・ピアノ指導、音楽関連の経験とノウハウ



×



NTT東日本

- ・全国にわたる通信網・システム構築力  
(地域への営業力、サービス開発力)
- ・高いセキュリティネットワーク

AI採点

PTNA会員への

AIによる演奏診断で自宅練習をサポートし  
ピアノ教育をより効果的に、より受けやすく

ピアノ業界全体・さらに海外への  
DXの拡大により、ピアノ業界を活性化

他楽器へのサービス展開も含め  
音楽業界全体をDXにより活性化

オンライン  
ピアノ練習教室

練習曲の  
AI演奏採点

コンペティション  
遠隔視聴

データ分析による  
指導者指導支援

生涯学習の  
ピアノサービス

演奏者の  
活動支援

海外講師の  
オンラインレッスン

遠隔オーケストラ

音楽による  
街づくり

遠隔演奏  
コミュニティ

STEP1

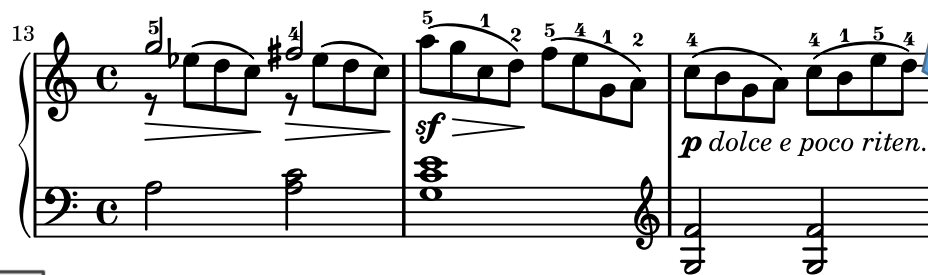
STEP2

STEP3

- ピアノ教室
  - レッスンは週1回、30分程度
    - 教本（ブルグミュラーなど）の練習曲を進める
  - 指導者から宿題を課される
- 宿題
  - 生徒が自宅で**毎日**練習する
    - スイミング等の習い事とは大きく異なる
  - 指導者不在
    - 演奏の**良否**を**生徒自ら判断**
- 初心者は誤った演奏に気づかないことがある
  - 自宅練習の効果が小さくなってしまう

自宅練習を補助するhiketaシステムの実現を目指す

- ブルグミュラー25の練習曲
  - 初級～中級向け教本として高人気
  - 25曲収録、1曲あたり数十小節、演奏時間1～2分程度
- 従来の宿題
  - **1曲まるまる**の演奏
  - うまく弾けない部分を抜粋、集中して繰り返す**部分練習**



13～15小節  
抜粋

すなおな心

J. F. F. ブルグミュラー (1806-1874)

Public Domain

Sheet music from [www.MutopiaProject.org](http://www.MutopiaProject.org) • Free to download, with the freedom to distribute, modify and perform.  
Typeset using [www.LilyPond.org](http://www.LilyPond.org) by Bas Wassink. Reference: Mutopia-2013/01/12-202  
This sheet music has been placed in the public domain by the typesetter, for details see: <http://creativecommons.org/licenses/publicdomain>

- 初等中等教育

- 学習指導要領に定められた**単元**に基づく
- **単元**をより細かい学習**要素**に**分解**し
  - どの要素を理解しているか推定
  - 推定に応じて教材・要素を推薦する

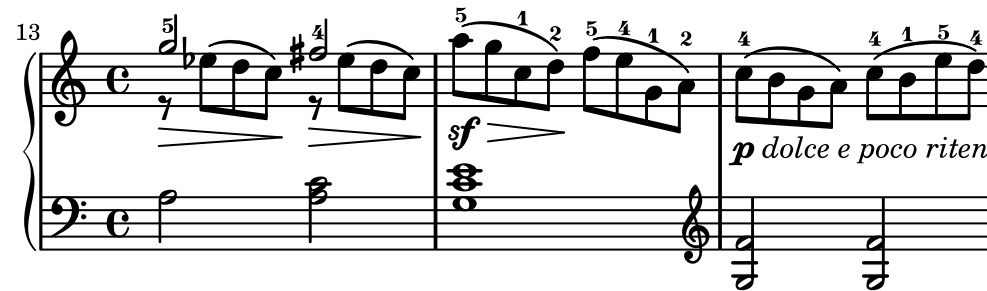
- 音楽教育

- 読譜の課題要素を分解し一つずつ解決を図る方法がある
- 曲そのものを課題要素に分解して指導するものは無い
  - 部分練習は曲の一部分なので**分解しきれていない**

- 練習曲を課題要素に分解する
- 練習フレーズを多数用意する
  - 課題要素毎、細かい段階的難易度毎
    - 容易なものから一つずつ継続的に達成感が得られるように
  - 短い4～8小節程度
- 練習曲ではなく練習フレーズを宿題にする
- 生徒演奏をAI採点で判定する
  - 「弾けた」か、どこをどう間違えたか判定
  - 修正アドバイス提示、次に練習すべき練習フレーズの推薦

宿題の効果を高め効率よく練習曲を弾けるように補助

## • 練習曲



「すなおな心」13～15小節抜粋



# • 練習曲の課題要素を分解する

• 外声を保持    • 指広げ／指縮め



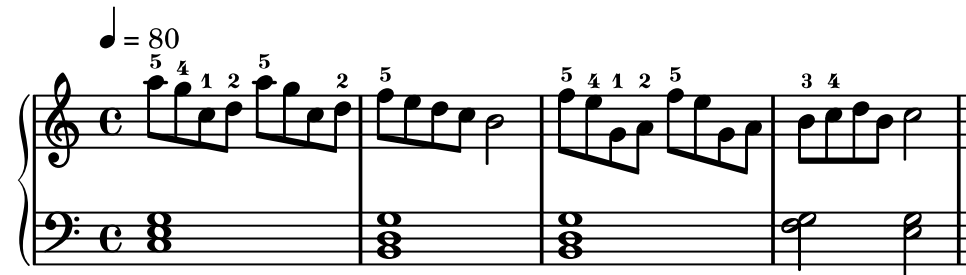
*p dolce e poco riten.*

• 音部記号の変化

- 練習曲の課題要素を分解する

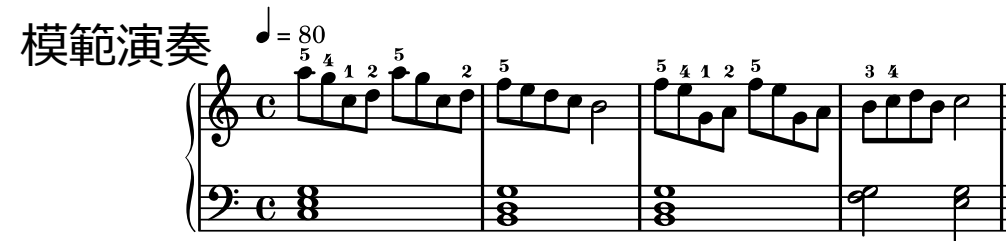


- 課題要素毎・レベル毎に短い練習フレーズを用意する



「指広げ/指縮め Op. 13248」level. 12

## • 練習フレーズ



「指広げ/指縮め Op. 13248」level. 12

## • 練習フレーズに対して典型的な間違い演奏

模範演奏 ♩ = 80



ミスA ♩ = 80



ミスD ♩ = 80



ミスB ♩ = 80



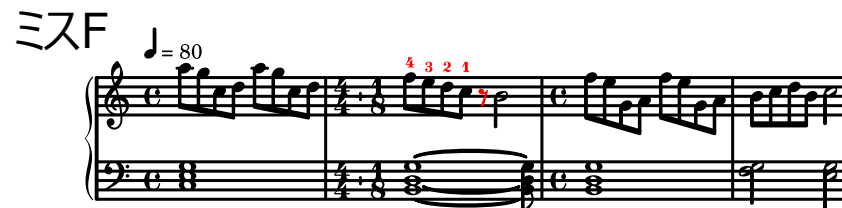
ミスE ♩ = 80



ミスC ♩ = 80



ミスF ♩ = 80



## • 練習フレーズに対して典型的な間違い演奏とアドバイスを用意

模範演奏 ♩ = 80

弾けた(hiketa!)

ミスA ♩ = 80

3音目は「ド」、ゆっくり弾きましょう。

ミスD ♩ = 80

3音目は「ド」、ゆっくり弾きましょう。

ミスB ♩ = 80

3音目は「ド」、ゆっくり弾きましょう。

ミスE ♩ = 80

3音目は「ド」、ゆっくり弾きましょう。

ミスC ♩ = 80

5指の音をよく確認しましょう。指を縮めますよ。

ミスF ♩ = 80

2小節目の第1音は5指で弾いてますか。

生徒演奏がどれに近いか探す

- 楽譜からモデルを機械的に生成
- 必要な楽譜
  - 模範演奏の楽譜
  - ミス演奏の楽譜
- **機械的に**モデルを生成
- 楽典やピアノ指導の知識と経験がある指導者なら容易に作成可能

統計学や情報処理のリテラシー不要

- 楽譜からモデルを機械的に生成

## 楽譜

### 模範演奏



生成

### ミスA

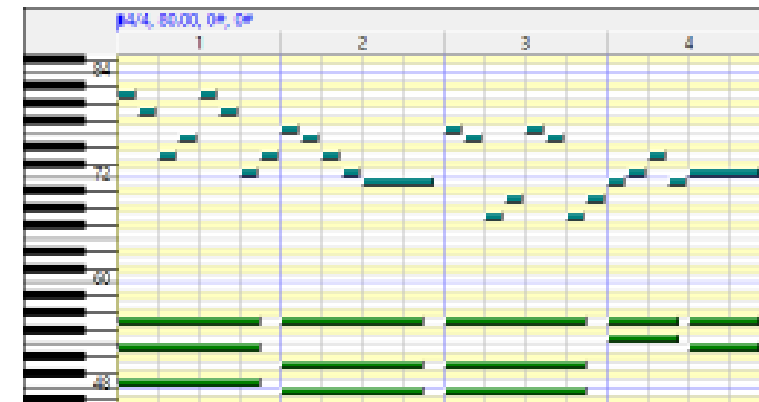
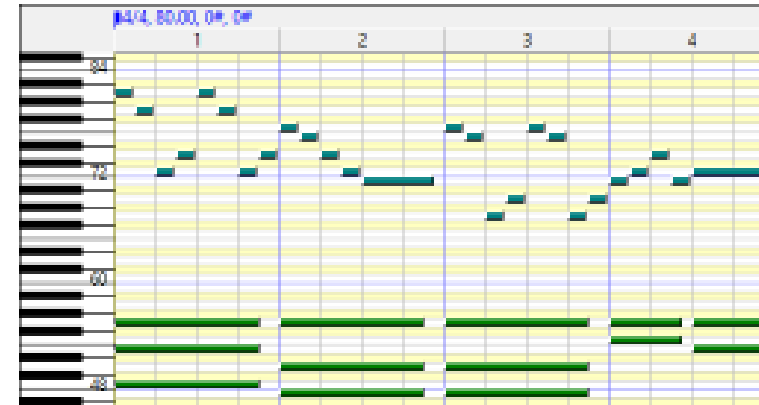


生成

## SMF (Standard MIDI File)

タイミング情報とともにMIDIメッセージ（打鍵：ノートON、離鍵：ノートOFF、音高：ノート番号、強さ：ベロシティなどの情報）を記録したファイル

## モデルSMF ピアノロール表示



- 楽譜からモデルを機械的に生成

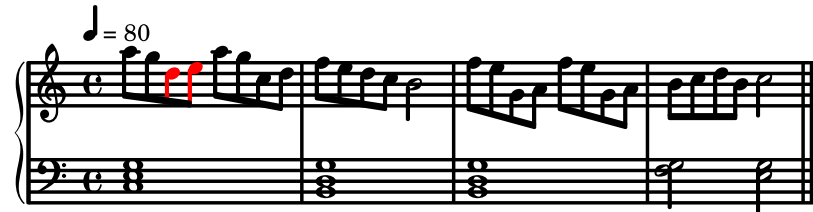
## 楽譜

### 模範演奏



生成

### ミスA

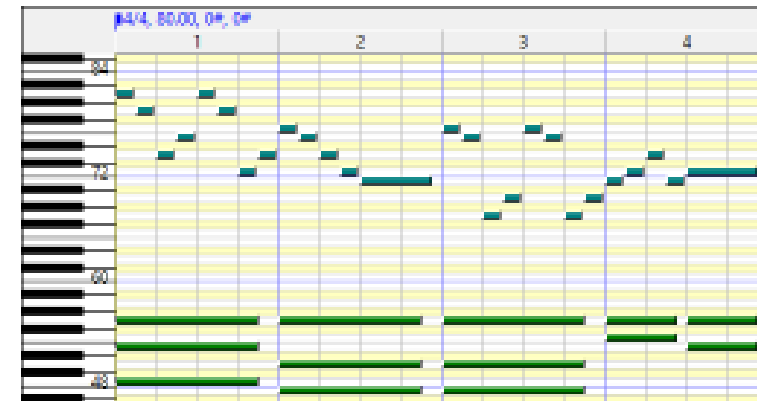
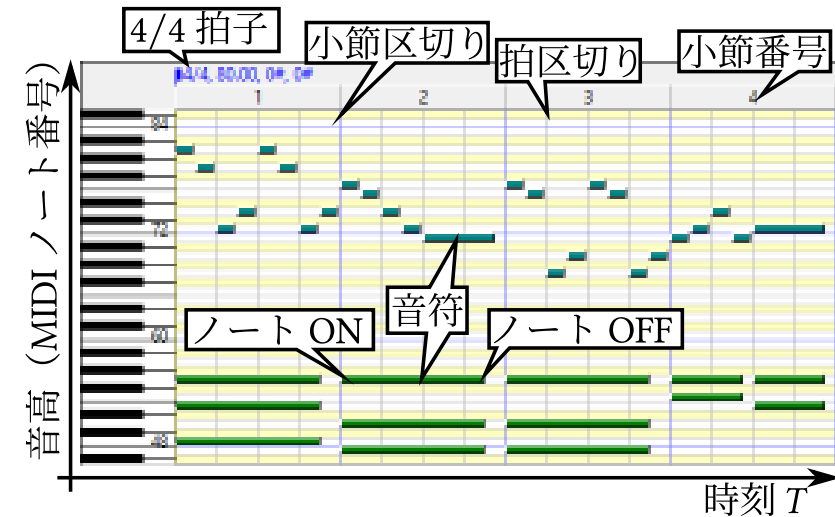


生成

## SMF (Standard MIDI File)

タイミング情報とともにMIDIメッセージ（打鍵：ノートON、離鍵：ノートOFF、音高：ノート番号、強さ：ベロシティなどの情報）を記録したファイル

## モデルSMF ピアノロール表示





- 楽譜からモデルを機械的に生成

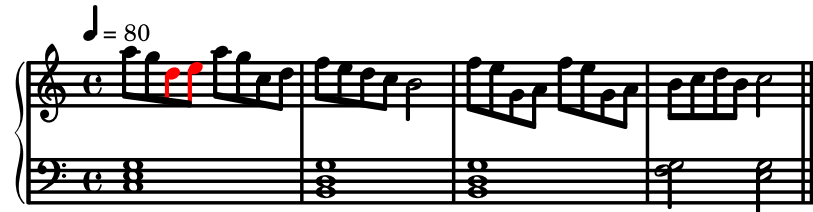
## 楽譜

### 模範演奏



生成

### ミスA



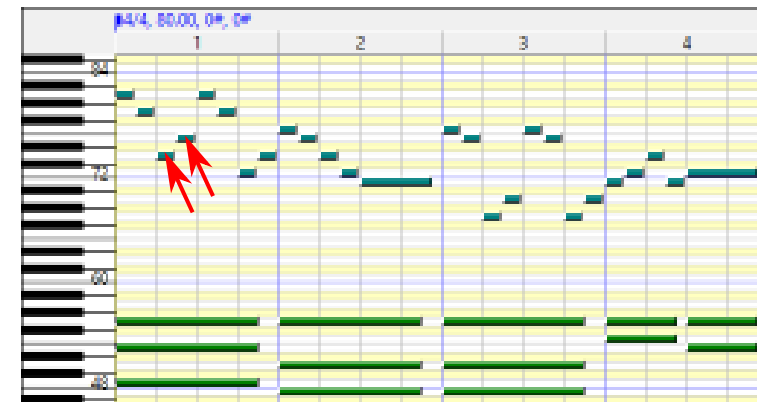
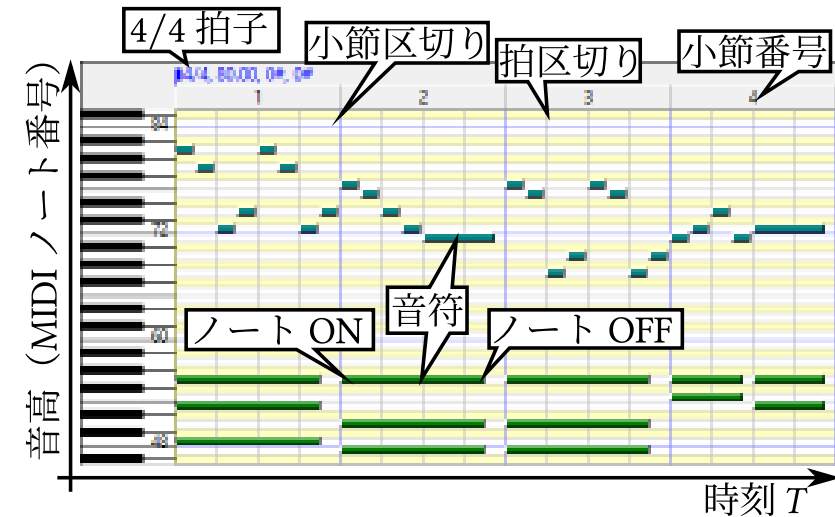
生成

## SMF (Standard MIDI File)

タイミング情報とともにMIDIメッセージ（打鍵：ノートON、離鍵：ノートOFF、音高：ノート番号、強さ：ベロシティなどの情報）を記録したファイル

## モデルSMF

### ピアノロール表示



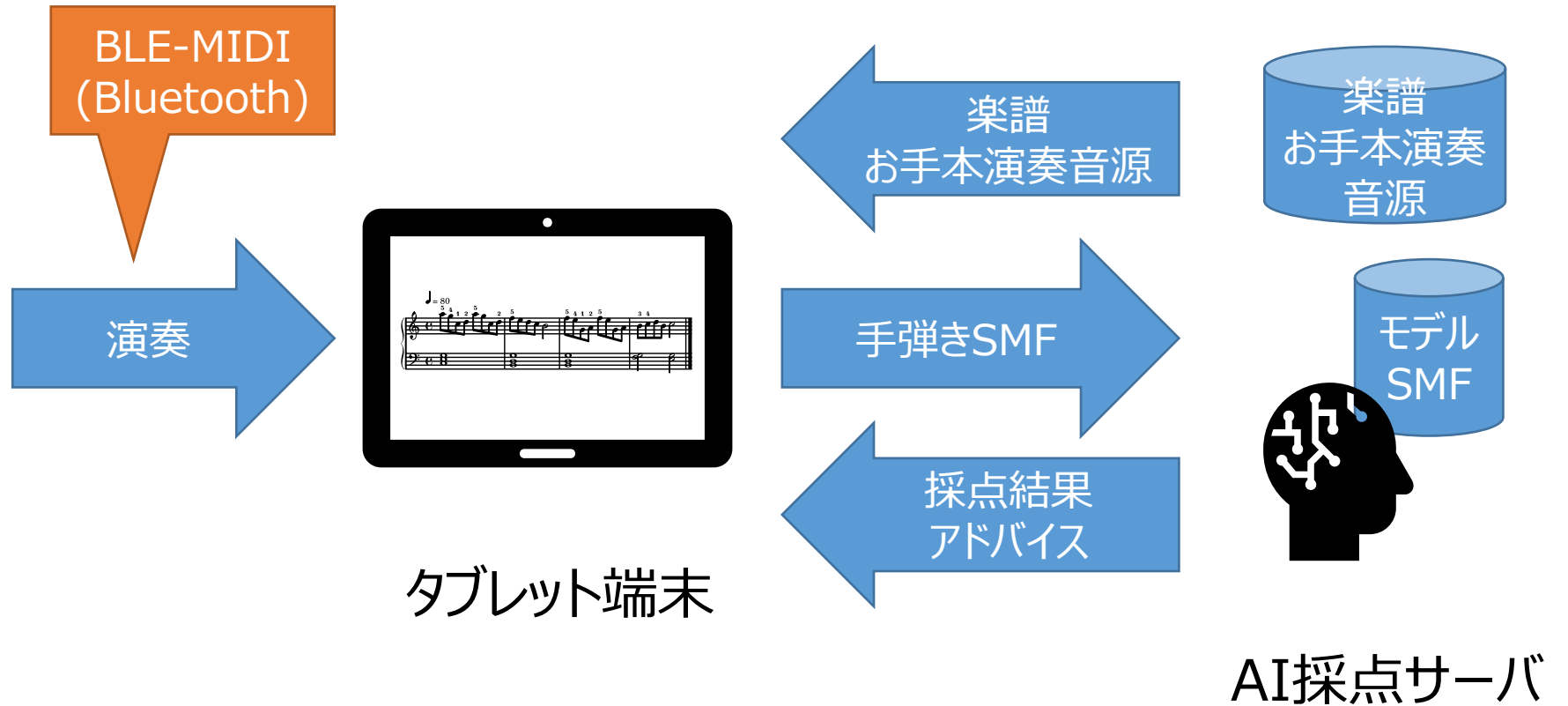
- ピアノとタブレット端末・スマートフォンをMIDI接続
  - Bluetooth (BLE-MIDI)で接続
- MIDI収録
  - 同期演奏用ガイド（メトロノームなど） 提示なし
    - ピアニストはソロ、指揮なしで演奏することが多いため
  - SMF (Standard MIDI File)が得られる！ → 手弾きSMF

手弾きSMFとモデルSMFを比較してどれが近いか判定する

- 手弾きSMFとモデルSMFの距離計算をする
  - いったんタイミング伸び縮みを無視して音符を出現順に並べる
  - 「diff」のような差分比較をして音符のマッチングを取る
    - 削除率、挿入率を計算する
  - タイミング系などの誤差を計算する
    - 打鍵間隔の誤差、音長の誤差、ベロシティの誤差
  - 距離を計算する
    - 削除率、挿入率、各誤差に係数を乗じて和をとる
- 距離が一番近かったモデルSMFと同様の演奏したと判断
- 詳細は
  - 細田, 最知, 小林, 笹生, 山内, 野口, 阪内: 「ピアノ宿題練習のためのAI採点方式」, FIT2022 (第21回情報科学技術フォーラム), No. CE-007, pp. 79-84 (2022年9月)  
をご覧ください



電子ピアノ

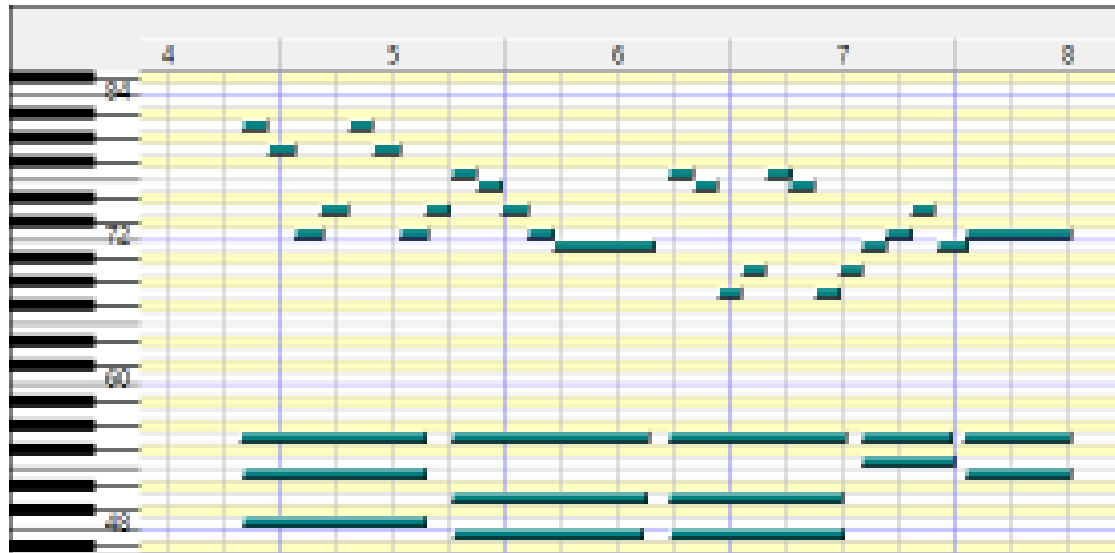


- ピアノ教室の宿題練習を効果を高める
  - 自宅練習を補助するhiketaシステムの実現を目指す
- 練習フレーズ
  - 既存の練習曲から課題要素を分解
  - 課題要素毎、レベル毎の練習フレーズ
  - 典型的間違い演奏と修正アドバイス
- AI採点方式
  - 楽譜からモデルSMFを生成
  - ピアノ指導者であれば容易にモデル作成可能（統計学や情報処理のリテラシー不要）
  - 生徒演奏を収録した手弾きSMFと距離計算して比較
- MIDI非対応ピアノ
  - マイク録音によるAI採点を検討中
    - 細田, 内山, 最知, 小林, 笹生, 山内, 野口, 阪内: 「ピアノフレーズ練習のAI採点のための音特徴量比較方式」, FIT2022（第21回情報科学技術フォーラム）, No. E-015, pp. 243-246（2022年9月）

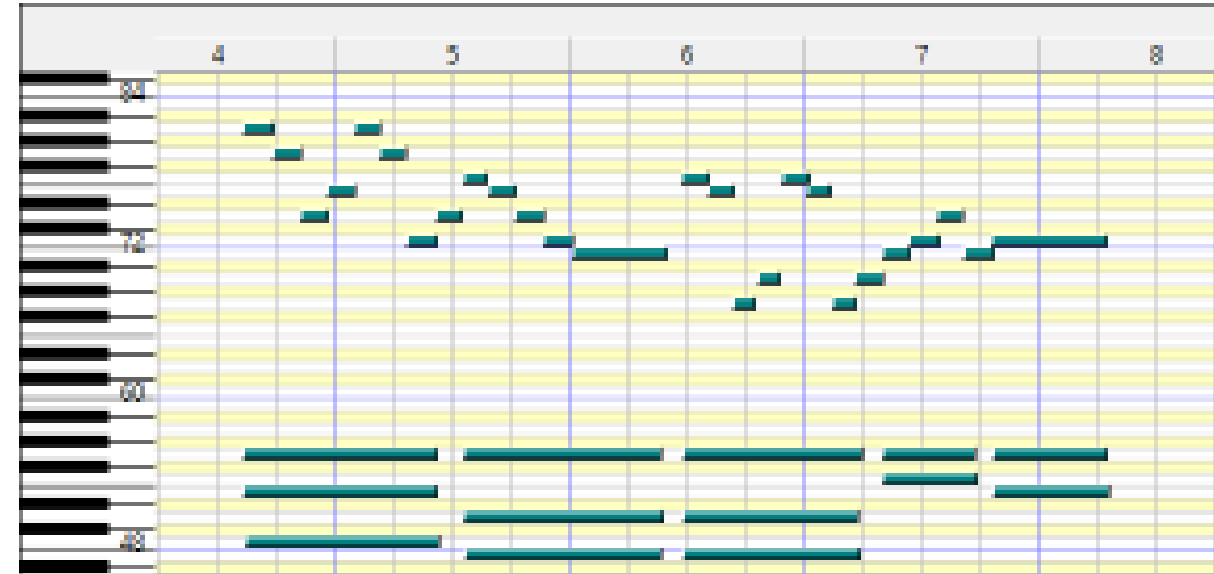
# 参考

- ビートトラッキングなし
  - 音符がSMF上の小節や拍に揃わない→このままモデルSMFと比較

正しい楽譜を演奏

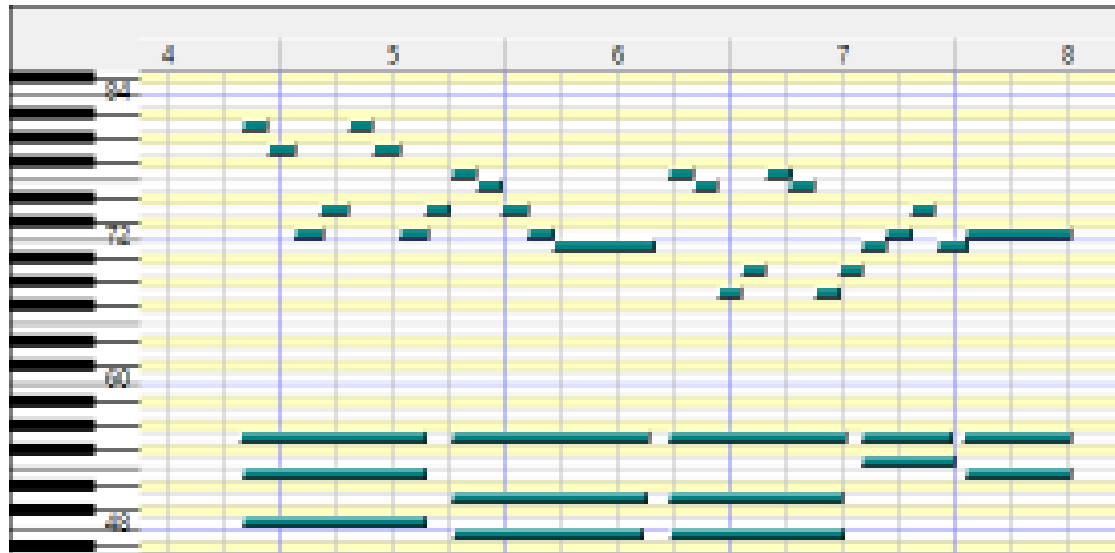


ミスA演奏

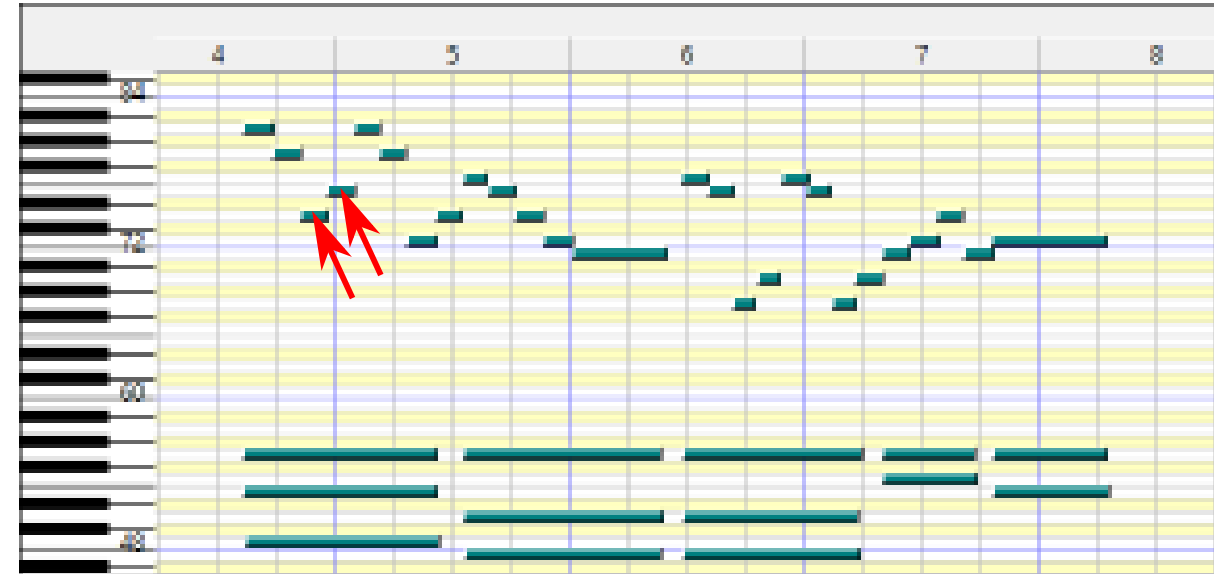


- ビートトラッキングなし
  - 音符がSMF上の小節や拍に揃わない→このままモデルSMFと比較

正しい楽譜を演奏



ミスA演奏





## • 前処理

同時打鍵以外のタイミング伸び縮みは一旦無視

- 音符をノートONの時刻順に並べる
- 同時刻ノートONの音符はノート番号の昇順でソート
  - 手弾きだと多少ズれる→50 ms以内のズレは同時とみなす

## • 差分比較

「diff」のアルゴリズムと同様

- DPマッチングでLevenshtein距離を求めバックトレース
  - 一致：対応がとれた音符
  - 削除：欠落した音符
  - 挿入：余計な音符

} が得られる

## • 模範演奏モデルSMFとミスA手弾きSMFを比較

• 一致 → 対応がとれた音符 → 38個

• **削除** → 欠落した音符 → 1個 → 削除率 1/39

削除数÷モデル音符数

• **挿入** → 余計な音符 → 1個 → 挿入率 1/39

挿入数÷モデル音符数

モデル 模範	音符番号	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	...	39
	音名	C3	E3	G3	A5	G5	<b>C5</b>	<b>D5</b>	-	A5	G5	C5	D5	...	C5
手弾き ミスA	音符番号	1	2	3	4	5	-	6	7	8	9	10	11	...	39
	音名	C3	E3	G3	A5	G5	-	<b>D5</b>	<b>E5</b>	A5	G5	C5	D5	...	C5
種別		一致					<b>削除</b>	一致	<b>挿入</b>	一致					
一致音符番号		1	2	3	4	5	-	6	-	7	8	9	10	...	38

マッチングをとった後で  
タイミング系の計算を実施

- テンポ推定

- 最初と最後の一致した音符の時間差の割合
- テンポ補正に使用
  - モデルSMFと手弾きSMFはテンポが一致しない

- 誤差計算

- 打鍵間隔の誤差

音符間ノートON同士の間隔

- テンポ補正後の誤差(MAPE, RMSPE)を計算

- 音長の誤差

音符内ノートON-OFF時間

- テンポ補正後の誤差(MAPE, RMSPE)を計算

- ベロシティの誤差

音符の強さ

- 双方で平均との差分をとり誤差(MAE, RMSE)を計算

- SMF同士の距離を定義して計算する
  - 削除率、挿入率、各誤差に係数を乗じて和をとる
  - 距離の公理を満たさないので厳密には非類似度だが距離的な性質をもつ
    - 数値が大きい → 類似しておらず遠い
    - 数値が小さい → 類似しており近い
    - 完全に一致する → 0になる

距離として扱い、手弾きSMFとモデルSMFのどれが近いか判定するために使う

- 演奏者、楽器
  - 演奏者1・電子ピアノ（重い鍵盤）
  - 演奏者1・キーボード（軽い鍵盤）
  - 演奏者2・アップライトピアノ（MIDI機能付き）
- 楽譜
  - Op. 13248 正しい楽譜 + ミスA～F楽譜：7種類
- 回数
  - それぞれ3回ずつ
- 合計
  - $3 \times 7 \times 3 = 63$ 個の手弾きSMF

- すべての手弾きSMFについて正解
  - 演奏に使用した楽譜で生成したモデルSMFとの距離が最も近い

誤判定は一切発生しなかった

- 未知ミス（登録されていないミス）
  - 削除、挿入
    - 削除、挿入があればミスがあること、ミス位置はわかる
  - 誤差
    - 個別音符の誤差が閾値より大きければミスとして扱うことも可能、ミス位置もわかる
- 未知ミスは位置（何小節何拍など）に応じたアドバイスなどを用意する対応が可能
- サービス化により手弾きSMF収集ができれば
  - 本研究の距離計算方式を使ってクラスタリング
  - 未知ミスの大きなクラスタを発見
  - 新たに典型的なミスとして登録する