

音価判定にかかる知識獲得・利用とエラー発生過程の ACT-R シミュレーション

Simulation of knowledge acquisition and utilization, and its application error regarding musical note value based on the cognitive architecture ACT-R

後閑 祐介[†]
Yusuke Gokan

中平 勝子[†]
Katsuko T. Nakahira

北島 宗雄[†]
Muneo Kitajima

1 はじめに

読譜時における読み間違いの原因は、音高判定/音価判定/運動の各段階に存在する。本研究は音価判定の間違いに着目し、音価判定にかかる知識獲得・利用とエラー発生過程の ACT-R シミュレーションを行うことによって、練習スケジュールとエラーの関係の説明をする。本研究では、視覚的に入力された要素を検索手がかりとして、長期記憶内のチャンクの活性値 A とそれに基づくチャンク検索確率 P を ACT-R が定義する活性方程式および検索確率方程式により計算し、音符種別判定を行うことにより、音価判定シミュレーションを行う。チャンクの活性値は、要素（本稿では符号化した音符要素）の入力履歴（時刻と頻度）の影響を受けて決定されるため、音符種別の判定結果に影響を及ぼす。入力要素の時系列は、現実世界では練習スケジュールに対応するので、判定結果の正誤はスケジュールの詳細に依存する。出力結果のうち誤答を出力した原因をアクションスリップ分類の基礎である ATS 理論 [1] を用いて分類する。ピアノレッスンなどの場で音価判定間違いの原因を予測できればそれに対して適切な修正の指摘を行えるため、効果的な演奏技能習得につながると思われる。

関連研究には次のものがある。鍵盤楽器演奏を学習する初心者にとって、学習開始時にはいくつかの困難な点が存在するが、その一つに円滑な読譜がある。その仕組みは個別の音符および音高認識、音符列の文脈認識、運指、等多くの要素が存在する。このうち個別の音高認識については例えば武田ら [3] に示される様なモデルを援用することでシミュレーションが可能であると考えている。そのため、本研究ではリズム認識に関係する音価の判別に必要な個別の音符認識に着目し、記号認識過程と、生じる可能性のあるスリップの関係进行分析する。

2 練習スケジュール

演奏の練習には楽曲を最初から最後まで練習することや楽曲内の一部だけを集中して練習することもある。本研究では、練習は楽曲単位で行う場合を想定する。本稿では練習の順序や頻度・時間によって演奏エラーの発生原因が異なる可能性があるため、図 1 の様に練習楽曲の順序と練習をしない期間の有無をパラメータとして設定する。本稿では練習対象となる楽曲数を 3 曲（楽曲 1～楽曲 3）とする。図中のスケジュール A（繰返し集中型学習）は、同じ楽曲を繰り返して練習しその楽曲を演奏できるようになったと学習者が判断したら次の楽曲の練習を行うスケジュールである。図はそれぞれの楽曲を 3 回練習することで演奏できると判断した状況を示している。スケジュール B（分散型学習）は、全ての楽曲を均等に一回ずつ練習を行い、それを繰り返すスケジュールである。スケジュール C（休憩あり学習）は各楽曲を 1 回練習して練習を中断し、一定期間経過後、再び練習を行うスケジュールである。

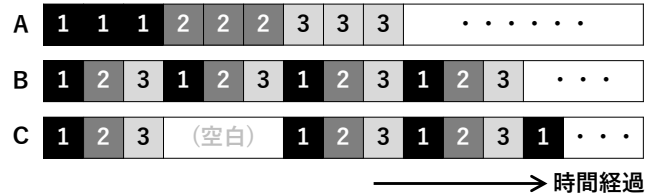


図 1 スケジュール例。図中の番号は楽曲番号を、A・B・C はスケジュールタイプを示す。横方向は時間経過を示す。

3 音価判定プロセスの ACT-R シミュレーション

音価は音符種別と一対一対応しており、音符種別を判定できれば自然に音価を導ける。音符種別判定にかかる認知プロセスは、視覚的に入力された音符の特徴を符号化し、それを検索手がかりとして長期記憶を探索し、音符に関する知識の塊であるチャンクを検索する。このチャンクには音符種別（言語ラベル）が格納されているので、視覚表象により音符種別が引き出され事になる。以下に説明するように、この音符判定プロセスの結果は練習スケジュールの影響を受けるので、同一の視覚表象であっても異なるチャンクを検索することがある。つまり、エラーが生じることがある。

本節では、記譜された音符系列のそれぞれに対して音符種別を判定する状況を想定する。系列各音の音符種別判定ができれば音符系列が示す音価系列を正しく認識できると仮定した。音符の構成要素は、楽典的には符頭 (head)・符幹 (stem)・符尾 (flag)・付点 (dot) の 4 要素であり、これらは、音符に関する知識のスロット j を定義する。これらの要素が持ちうる状態を [2] を参考に符号化したものを、音価判定シミュレーションへの入力とする。音符と対応する音価 (= 音符種別) をその出力とする。音符判定過程では、知覚情報を要素に分けて音符種別の判定を行うため、知覚される情報に間違いはないと仮定する。

入力された音符要素から音符種別を判定するためにチャンク検索を行う。チャンク検索は確率的に行われる。 i 番目のチャンクが検索される確率 P_i は、 i 番目のチャンクの活性値が A_i の時、次の検索確率方程式により与えられる。

$$A_i = B_i + \sum_j W_j S_{ij} \quad (1)$$

$$B_i = \ln \left(\sum_k t_k^{-0.5} \right) \quad (2)$$

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-(A_i - \tau)/s}}, \quad \tau \text{は閾値, } \sigma \text{はノイズ} \quad (3)$$

$$s = \sqrt{3}\sigma/\pi \quad (4)$$

基礎活性 B_i は、チャンクの過去の使用履歴を反映する。 t_k は過去にそのチャンク i が使用された時刻と現在の時刻の差、

[†] Nagaoka University of Technology

表1 練習スケジュールと予測される練習効果

スケジュール	B: 基礎活性	S: 連合強度	練習効果(予測), エラー発生
A	楽曲1の基礎活性 B_1 は練習してから時間が経ってしまうので減少し、 B_3 は B_1 に比べて大きい	楽曲1に現れる音符種別、要素の学習から進む	最後に練習した楽曲は良い、練習の時に楽曲を切り替えるときに前の楽曲につられてエラーを起こす
B	全ての楽曲でほぼ均等になる	全ての音符種別、要素の学習が均等に進む	良い練習方法
C	最初の一回目の練習は時間が経っているので影響を与えない。その後はスケジュール B と同じなので全ての楽曲でほぼ均等になる	連合強度は時間に関係ないのでスケジュール B と同様に均等に学習が進む	一回目の練習が無駄になる

もしくは使用された時点からの経過ステップである。

原始活性 W_j は、ゴールの要素に払われている注意の大きさを反映する。本稿では、各音符要素に払われる注意は等価であるとして W_j は全て同一の値とする。

連合強度 S_{ji} は、スロット j に現在の値が現れることによってチャンク i が必要とされる確率がどれくらい増加するかを表す。 $S_{ji} = \ln(R_{ji})$ で定義し、 R_{ji} は以下の通りである。

$$R_{ji} = \frac{\alpha \times R_{ji}^* + F(C_j) \times \frac{P_e(N_i|C_j)}{P_e(N_i)}}{\alpha + F(C_j)} \quad (5)$$

ここで、 C_j は j がゴールスロットに存在するというイベント、 N_i はチャンク i が必要とされるというイベント、 $R_{ji}^* = m/n$ は R_{ji} の初期値、 n は j に結合しているチャンク数、 m はチャンク数を示す。また、 $F(N_i \& C_j)$ を j が存在するときに i が必要とされた回数、 $F(C_j)$ を j がゴールスロットに現れた回数、 $F(N_i)$ は i が必要とされた回数、 $F(i)$ は i が生成されてからのプロダクションの発火回数とすると、(5) 式の分子第2項は

$$P_e(N_i|C_j) = \frac{F(N_i \& C_j)}{F(C_j)}, \quad P_e(N_i) = \frac{F(N_i)}{F(i)}$$

により計算される。

例として、付点四分音符を見た時に音符の名称を検索する仕組みについて、図2をもとに説明する。ここでは $i=1$ を四分音符、 $i=2$ を付点四分音符とする。まず、四分音符は付点四分音符より多く現れる状況を想定すると、 $B_1 > B_2$ となる。次に、 W_j は、入力があった音符要素状態全てに均等配分されるため、全て同一の値を取る。図中の $W_j (j=1, 2, 3, 4)$ は、それぞれの右側に対応する音符要素状態を記述した。 S_{ji} は W_j が値を持つ4要素から活性を与える。 W_1, W_2, W_3 は、両音符とも同一要素をもつため、差はない。 W_4 は付点四分音符のみが持つ要素のため、四分音符より活性が高い。これらの活性を音符利用履歴 [2] を用いて求める。

B_i は各音符種別毎の利用履歴において、まず全体のステップ数と履歴の開始時から利用した時点のステップ数の差を求めることで、利用した時点から現在までの経過ステップ数を求め、 B_i の式に代入し音符種別毎に基礎活性を求める。 S_{ji} は $F(N_i \& C_j)$ 、 $F(C_j)$ 、 $F(N_i)$ 、 $F(i)$ をそれぞれ利用履歴から集計して求める。 $F(N_i \& C_j)$ は音符種別毎に $F(C_j)$ と同様に音符が含む要素をカウントする。 $F(C_j)$ は利用履歴から音符が利用された時にその音符が含む要素をカウントする。 $F(N_i)$ は音符種別毎に利用された回数をカウントする。 $F(i)$ は次の様に考える。音符種別のチャンクは、学習開始時に全て教えられると同時に生成されるとする。音価判定のプロダクション発火回数は、音符種別毎に判定に必要なプロダクションルールの実行回数が異なるため、ある音符の知識が利用された際にその音符に対応する実行回数だけ増加させる。

これらにより求めた B_i および S_{ji} から A_i および検索確率が求められ、その確率に従ってチャンク検索を行う。一連の過程から予想される練習効果を表2に示す。 B_i は、対応する知識を利用しなければその値は減少し、検索されづらくなるため、

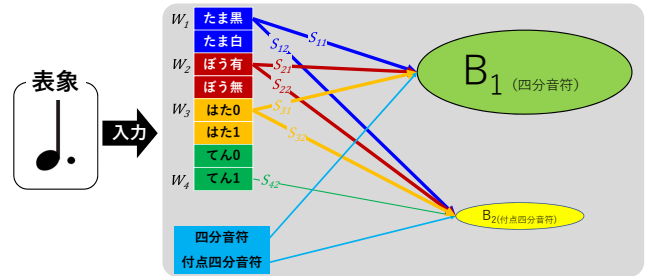


図2 付点四分音符の視覚的な表象が作業記憶に入力された時に長期記憶からその名称を検索する仕組みの模式図

表2 練習スケジュール毎の基礎活性のシミュレーション結果。 T_s はスケジュールのタイプ。

T_s	全音符	二分音符	四分音符	八分音符	付点二分音符	付点四分音符
A	0.93	1.36	1.95	-2.21	1.31	-2.21
B	0.92	1.64	2.07	-2.35	1.19	-2.35
C	0.90	1.62	2.05	-2.46	1.17	-2.46

図における B_2 を検索しようとしても $B_1 \gg B_2$ であれば B_2 が検索されず、 B_1 が検索される可能性が高まる。

B_i は直近に多く検索されると大きくなるため、滅多に現れない音符をよく現れる音符に間違えるエラーであると考えられる。 S_{ji} はスロットの要素と結合しているチャンクが少ないと大きくなるため、音符種別を特徴付ける要素や特定の要素を含む音符種別が少ない要素が現れた時、その情報だけで音価判定を行い、4つの要素全てを判定に用いないというエラーが起きると考えられる。 B_i のシミュレーション結果を表2に示す。3つの楽曲は4分の4拍子で構成され、各楽曲の音符種別は次の通りである。楽曲1は1小節あたり四分音符4つ・4小節および最後に全音符1つ、楽曲2は1小節あたり二分音符2つ・4小節および最後に全音符1つ、楽曲3は1小節あたり付点二分音符1つ+四分音符1つの小節を4小節および全音符1つ。スケジュールAでは最後に付点二分音符が現れる楽曲3を多く練習するので付点二分音符の活性が大きい。スケジュールCはスケジュールBと比較して同じ回数練習したが途中で時間が空いているため全ての音符の活性が低くなっている。

4 まとめと今後の課題

現在の進捗としては基礎活性と連合強度のコーディングが完了している。今後の課題として、検索確率方程式の実装、シミュレーションの検証とスケジュール毎に予測したエラーが発生するかの確認を行う。

謝辞

本研究は科研費 (19K12232, 19K12246, 20H04290) の助成を受けた。

参考文献

- [1] D. A. Norman. Categorization of action slips. *Psychological Review*, 88(1):1-15, 1981.
- [2] 後関祐介, 中平勝子, and 北島宗雄. 鍵盤楽器演奏時のアクションスリップ分類と音楽記号の認識能力の関係分析. *情報処理学会第83回全国大会*, 2021.
- [3] 武田大河, 中平勝子, and 北島宗雄. 楽器演奏教育支援のための楽典学習の深化と読譜方略選択の関係. *FIT2019*, 2019.