

コーディングフォームを用いた プログラミングにおける打鍵の時系列情報の分析 Analysis of time series information of keystroke in programming with Coding Form

橋本 浩規[†] 納富 一宏[†]
Kohki Hashimoto Kazuhiro Notomi

1. はじめに

筆者らは、初心者の C プログラミング学習を補助することを目的として、プログラミング学習支援システムの研究を行っている。学習者のプログラムの組み立てを支援する仕組みとして、プログラムを複数の構成要素（パート）に分け、各構成要素の記述場所を学習者に提示する定型コーディングフォームを設計した [1]。また、この仕組みを用いたシステムの各機能を検討した上で、プロトタイプ作成と評価を行った。合わせて、各パートにおける関数定義や制御構造などに特化したフォームも検討し、プログラミングを行いやすくなるかの評価を行った [1]。さらに、コーディング時に収集できる情報を元につまづき原因の推定を行う仕組みについて検討し、原因の種類が適切かどうかや、各原因に対して用意したヒントによってつまづきが解消できるかどうかを聞く予備実験を行った [2]。

関連研究として、学習者のスキルを打鍵の時系列情報で分析するアプローチとして、コーディングシーケンスの活用に関する提案を行なった。岡田らは、コーディングシーケンスの記録データから抽出できる値を分析することで、プログラミングスキルの判定が可能であるかを実験により検証した [3]。その結果、コーディングシーケンスをもとに抽出した 30 秒以上の無操作時間の合計と、変数や関数名に利用される文字数の平均が、プログラミングスキルと弱い相関があることが確認された。

コーディングシーケンスをコーディングフォームの仕組みと組み合わせ、従来のプログラム全体ではなく、構成要素ごとのシーケンスを記録できるようにすることで、学習者のスキル分析やつまづき箇所の分析に役立つと考える。

本稿では、コーディングフォームによるつまづき解消支援、コーディングシーケンスの記録方法、およびこれらの統合について述べる。また時系列データの取得と分析実験の結果とその有効性について考察する。

2. 学習者のつまづきと解消支援

プログラミング学習者のつまづき原因としては表 1 のようなものがある。つまづき A~C に対して、つまづき原因に応じた 3 種類のヒントを提示する機能で支援を行う。一方で、つまづき D と E に対しては、コンパイルエラーをわかりやすい日本語や、対処法を含む指示文を提示する機能で支援を行う。多くの学習支援システムでは、学習者の回答を助けるためのヒントが提示される。あるヒントを提示した時、一定時間が経過しても正解できない場合、別なヒントの提示が必要な状況であると考えられることができる。

[†] 神奈川工科大学 Kanagawa Institute of Technology

表 1 つまづきの種類

タイプ	原因	段階
A	何を記述するパートかわからない	作成時
B	構文や制御構造の書き方がわからない	
C	問題を解くアルゴリズムがわからない	
D	エラーの解消法がわからない	実行時
E	間違った実行結果になる	

各ヒントの切り替え方法について、各タイプのヒントの提示内容を表 2 に、回答時の手が止まっている時間を停滞時間として、各ヒントの提示モデルを図 1 に示す。

表 2 各タイプのヒント提示内容

タイプ	ヒント提示内容
A	何を書くパートなのかの説明文
B	構文や制御構造の説明
C	各パートの解説文 または 動画による説明

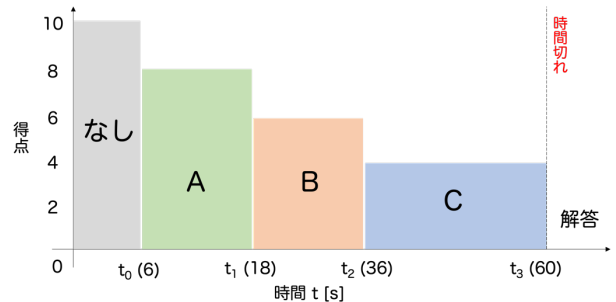


図 1 つまづき推定・ヒント提示モデル

最初はヒントを表示せず、時間経過とともに、タイプ A から C の順で、より詳細なヒントを提示するように提示していく。60 秒が経過した場合は、システム内に搭載されたヒントでは対応が難しいとして、解答を提示する。

3. コーディングシーケンス

コーディングシーケンスとは、プログラムをどのように書き進めていくかを表す概念である。ソースプログラムのコーディング時に、キーボードの打鍵操作やマウス等の編集操作によるエディタの内部バッファの状態変化やプログラムの実行、テストといった検証操作を時系列情報と共に記録したデータ配列およびその表現形式をさす。記録される時系列データの JSON 形式 (value 部) を図 2 に示す。

```

"value": [ {
  "timestamp": 3320, //時刻
  "changeData": {
    "from": { "line": 0, "ch": 0, "sticky": "after", "xRel": 34 },
    "to": { "line": 0, "ch": 0, "sticky": "after", "xRel": 34 },
    "text": ["s"], //入力されたテキスト
    "removed": [""], //削除されたテキスト
    "origin": "+input"
  }, //後略.....
} ]

```

図 2 記録される JSON 形式

4. コーディングフォームとの統合

2 で述べたように、これまでの提案では停滞時間を指標としてヒントの切り替えを行っていた。コーディングシーケンスの仕組みをコーディングフォームに組み合わせることにより、学習者の操作状況からスキルやつまづきを判定し、既存の提案よりもより状況に適したヒントを提示できるようになると考える。岡田らの分析では、1つの問題を解くためのプログラム全体を分析対象としている[3]が、この手法をコーディングフォームによるプログラムの部分的入力と組み合わせることにより、if 文や for 文のみといったように範囲が限定され、スキル分析の精度向上やつまづき箇所の分析、また分析結果に応じたヒントの提示の柔軟性向上に役立つと考える。フォームとコーディングシーケンスの連携について図 3 に示す。

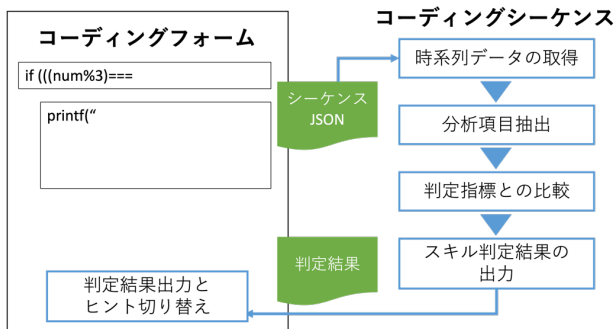


図 3 フォームとコーディングシーケンスの連携

コーディングフォーム内でコーディングシーケンスが記録され、その時系列データからスキルを判定し、スキルレベルとスキルに応じたヒントに切り替えて提示する。

5. 実験

熟練者と初心者の判断指標の決定の参考とするため、コーディングシーケンスを記録し、コーディングの巧みさに着目して分析する実験を行った。対象者は本学情報学部生と院生の 10 名とし、プログラミング経験年数が 5 年以上ある熟練者 3 名と、そうでない初心者 7 名の 2 グループで構成した。実験協力者には、筆者らが用意した 4 種類のプログラムの一部のサンプルコードを確認しながら 3 回ずつ入力してもらった。種類ごとに先行研究で開発した計測システムでコーディングシーケンスの記録を行った。先行研究で開発した計測・表示システムを用いた[4]。

各協力者の 4 種類の各プログラムの時系列データに対して、以下の手順で結果の集計・分析を行なった。

- ① 各時系列データを 1 回目～3 回目のデータに分割する。
- ② 各回の記録データ数（入力・削除操作数）と経過時間を抽出する。

熟練者と初心者の各グループの入力速度と打鍵ミス数の平均 (avg) と標準偏差 (std) を求めた結果を表 3 に示す。打鍵ミス数は、2 回目と 3 回目の記録データ数の差とし、速度はデータ数と入力完了までの経過時間から求めた。

打鍵ミスは、熟練者と初心者との間に大きな差は見られなかった。一方で、速度の差は打鍵ミスよりも顕著になった。また、熟練者は初心者よりも速度の値のばらつき (std) が大きくなった。

速度と打鍵ミス数の関係を図 4 に示す。初心者のグループと熟練者のグループの平均値をプロットしている。

表 3 熟練者と初心者の速度と打鍵ミス数

グループ	打鍵ミス		速度	
	avg	std	avg	std
熟練者	5.333	3.843	2.083	0.501
初心者	5.143	3.960	1.657	0.162
差	0.190	-0.117	0.426	0.340

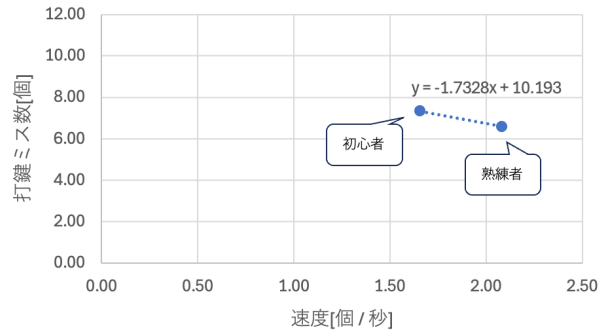


図 4 記録データ数の差 平均値

初心者と熟練者の平均値を比較すると、熟練者は初心者と比較して速度が速く、僅かに打鍵ミス数が少なくなった。

6. 考察・まとめ

コーディングの速度については、熟練者と初心者の各平均値の間に差がみられ、また熟練者の方が初心者よりも速度が速くなったことから、学習者のスキルと速度には関係がある可能性が考えられる。打鍵ミスについて、熟練者と初心者の各平均値の間には顕著な差が見られなかったが、これは熟練者 1 名に、ミス数が特に多い協力者がいたことによるものと考えられる。

またプログラムの種類によって初心者と熟練者の間の差に違いがあったことから、スキルと打鍵ミス、速度の関係はプログラムの記述内容により異なる可能性が考えられる。

今後は、コーディングフォームとの統合に向けて、コーディング操作の特徴の詳細な分析と、実験協力者を増やした場合にどのような傾向が見られるか確認する必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP24K15235 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 橋本浩規, 納富一宏: "定型コーディングフォームを用いたプログラミング学習支援システム -機能強化とユーザによる評価-", 情報処理学会 第 85 回全国大会講演論文集 第 4 分冊, 2ZJ-09, pp.697-698, (2023.03).
- [2] 橋本浩規, 納富一宏: "プログラミング学習支援システムにおける「つまづき」解消支援機能の検討", 2024 年電子情報通信学会総合大会, D-15-07 (1page), (2024.03).
- [3] 岡田竜岳, 爲近瑛太, 納富一宏: "コーディングシーケンス分析によるプログラミングスキル判定に関する考察", バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol.25, No.1, pp.45-53, (2023.06).
- [4] 爲近瑛太, 納富一宏: "実践的プログラミング学習を目的としたコーディングシーケンス共有システムの開発", 情報処理学会 第 20 回情報科学技術フォーラム(FIT2021)講演論文集 第 4 分冊, N-002, pp.247-248, (2021.08).