

# 数独パズルにおける練習期間を挟んだ初学者の熟達化追跡の試み An Attempt to Progress Process of Novice in Sudoku after a Period of Practice

尾関 智恵<sup>†</sup>, 小笠原 秀美<sup>‡</sup>, 毛利 哲也<sup>†</sup>  
Tomoe Ozeki, Hidemi Ogasawara, Tetsuya Mouri

<sup>†</sup> 岐阜大学, <sup>‡</sup> 中京大学  
Gifu University, Chukyo University  
ozeki.tomoe.ml@f.gifu-u.ac.jp

## 概要

数独は代表的な制約充足問題の一つである。各マス目で候補となる値を探索的に確定させて解いていく際、人は網羅的に探索するわけではなく、部分的回答方法を用いた「解き筋」と呼ばれる概念（解き方の癖）が現れることがわかっている。本研究では、解き筋がどのように発生し、繰り返し練習する過程でパフォーマンスを向上させていくような熟達化過程にどのように影響を与えるのかを参加者1名分の学習データから追跡を試みる。

キーワード：数独, 方略, 難易度, パフォーマンス

## 1. はじめに

数独<sup>\*1</sup>は世界中で遊ばれているペンシルパズルの一種で、制約充足問題として知られている。このパズルを解くために各マス目で候補となる値を探索的に確定させていく際、人は網羅的に探索するわけではなく、部分的回答方法を用いた「解き筋」と呼ばれる概念（解き方の癖）が現れることがわかっている。また、解く時にかかる時間や認知的負荷も解き筋などの認知処理方略によって影響を受ける。本研究では、解き筋がどのように発生し、繰り返し練習する過程で解答方略を獲得しパフォーマンスを向上させていくような熟達化過程に影響を与えるのかについて追跡を試みた。

## 2. 先行研究

先行研究では数独における熟達を捉えるために、数独のルールで提示され、初学者が最初に使う解き方だと考えられる Hidden-Single（図1：縦・横で使われていない数値を探し出し確定させる）および Single（図2：縦・横・3×3で使われていない数値を探し出し確定させる）の二種類を取り上げた。この二種類の解き方を初学者がどのように使い分けするか、つまり解き筋の発生を追跡しやすいよう、空セル数が30~40となる Hidden-Single のみで解ける（以下 hsg）、Single

もしくは Hidden-Single だけでも両方使っても解ける（以下 sghsg）問題を生成した。数独は答えを導くには空きマスとその周囲に配置されている縦・横・3×3のマスのような数値が入っているかを確認し、制約を満たす数字を入れねばならないため、ある程度解答者の方略を推測することができる。

図1 Hidden-Single



図2 Single



この推定方法のためには、特定の方略のみを繰り返し適用することで解に到達できる問題が有効となる。今回は二つの方略を対象としているので、Single・Hidden-Single についてその方略のみで解に到達できる/できないの組合せで4つのクラスの問題を生成した（表1）。これより、推定のためには問題クラス sg または hsg の問題が必要となる。

表1 方略 Single/Hidden-Single と問題クラス

		Hidden-Single のみで	
		解決可能	解決不可能
Single のみで	解決可能	sghsg	sg
	解決不可能	hsg	ex

## 3. 追跡対象と概要

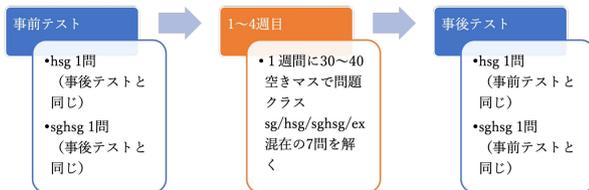
生成した問題を用いて、11名の大学生に一定期間の練習を挟んで解答してもらった（図3）。問題はタブレットで配布し、専用のペンを用いて回答を記入してもらい、解答の様子は画面キャプチャ機能を使って動画で記録された。全ての実験協力者は、事前テストを2問行ったのち、練習期間4週間を設け1週間に作成

\*1 数独は株式会社ニコリの商標登録（登 3225934）です。

された問題を7問ずつ解くよう指示し、最後に事後テストを2問行った。事前テストと事後テストは空セル数が40となる hsg 1問および sghsg 1問で、事前も事後も同じ問題を使用した。その際、問題の難しさの感じ方に順番効果の影響が考えられるため、事前事後では問題順を逆にして取り組んでもらった。

解答方略を獲得しパフォーマンス向上の様子を捉えるために、事前テストと事後テストで得られた解答の様子を記録した動画データからその解答の過程を捉えるためのコーディングを行った。その際、解答方略は用意した問題クラス及びマスに解答を書き込む直前の盤面から推定するスクリプトを作成し、これを用いた。パフォーマンスは問題を解答し終えるまでにかかった時間と、マスに解答を書く・消す操作を1ステップとして数えた合計ステップ数の推移比較を行った。

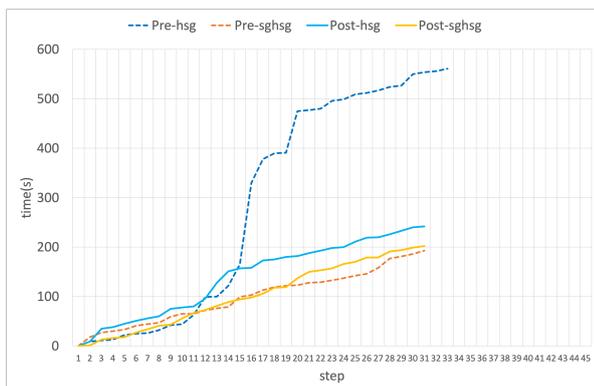
図3 事前事後テストを挟んだ練習期間の流れ



## 4. 結果

11名の結果の中から sghsg と hsg で解答時間の差が顕著に表れた実験協力者の推移対比を図4に示す。sghsg より hsg の問題に時間をかけて解答していることが分かった。これは他の10名の参加者でも同様の傾向が見られている。また、事前テストの hsg は1分以上の考察時間が発生していたが事後テストの hsg および事前・事後テストの sghsg には見られなかった。これにより hsg の問題は初心者には解きにくい方略がある可能性がある。

図4 事前事後の解答時間とステップ数



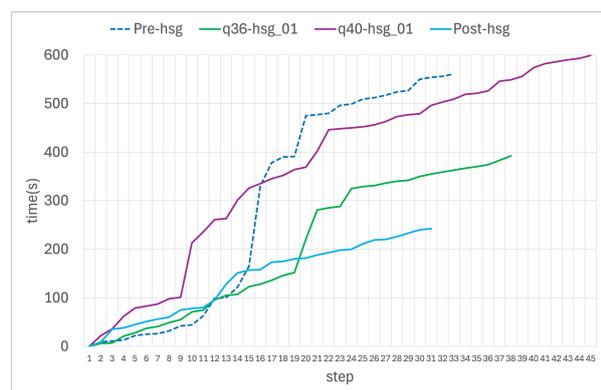
そこで、1ヶ月の練習期間の問題を解くのににかかった時間を確認した。その結果、問題クラス sghsg は平

均3分57秒、特にコントロールをしていない20-30空きマスの問題は平均3分13秒であった。これに対し、問題クラス sg/hsg/ex は平均13分49秒と多くの時間がかかっていることがわかった。

そこで、事前・事後テストで検討している hsg のみコーディングを行ない、推移対比図を作成し、事前・事後テストの hsg も含めて比較した(図5)。図中にある q36-hsg\_01 とは空きマス30で作成した hsg を表し、q40-hsg\_01 は空きマス40で作成した hsg のことである。この結果、いずれの問題も1分以上マスの書き込みが止まるステップがあることが確認できた。そのステップの時に必要となる解答方略をスクリプトで確認した結果、いずれも Hidden Single を用いて解く盤面であった。つまり、解決方略である Hidden Single を用いて空きマスを推定するのに時間がかかっていることがわかった。そして、事前テストと練習期間は1分かかるステップが見られたものの、事後テストでは出現しなかったことから練習期間中に Hidden Single を使った解き方を習得していった可能性が見られる。

また、問題クラス sghsg のように解答方略を切り替えられる場合は1分かかるステップが見られなかったことから、問題クラス sg/hsg/ex のように切り替えが制限される問題の方が時間がかかっていたことから、Single のみもしくは Hidden-Single のみで解くような単独方略の問題は認知的負荷がかかりやすい可能性があり、Single と Hidden-Single の方略を切り替えられると認知的負荷が軽減される可能性が考えられる。

図5 問題クラス hsg：解答時間とステップ数



## 5. 動画解析ツールの導入

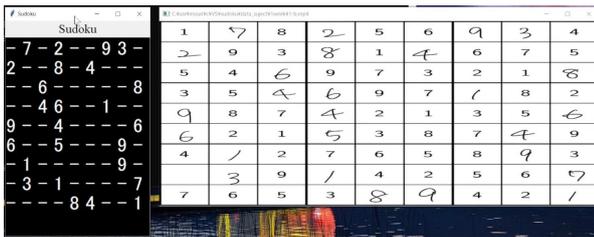
### 5.1 動画解析ツールの概要

問題クラス sghsg のように解答方略を切り替えられる場合が問題クラス sg/hsg/ex のように切り替えが制限される問題とどのように問題解決過程が異なるのかを検討するために各ステップのコーディングが必要である。これまで本研究では盤面を撮影し、手作業で長

時間かけて解析してきた。また時間がかかる以上に盤面の状況の写し間違いが一定数発生していた。

そこで、盤面を撮影した動画ファイルから実験協力者の手筋を自動でテキストファイルへ出力するソフトウェアを試作した(図6)。開発環境には機械学習や画像処理を容易に実行できる Python を採用した。入力ファイルは動画ファイル(mp4)、出力ファイルは数独81マスの時間変化を示すテキストファイル(csv)である。

図6 動画解析ツールでコーディングしている様子



プログラムの実行手順は、まず動画ファイルを選択し、画面上の数独部分を指定する。その後、初期に指定した画面との差分を81分割し、数字を事前に指定したフレーム毎に自動認識し、テキスト情報として出力する。機械学習には、MNIST (Modified National Institute of Standards and Technology database) にて提供されている「1」から「9」の手書き数字の画像データセットを利用し、事前に学習したモデルを使用している。

このソフトを利用して実験協力者1名の1ヶ月分のデータ(28動画)を解析するには、23fpsの動画を10フレーム毎に処理して約4時間を要し、文字の認識率は90%以上である。手作業で1問分をコーディングするのに30~60分程度かかることから、1ヶ月分を行おうとすると約28時間以上かかる見込みであるため、かなりの時間の短縮と正確性を確保することができる。このソフトは共著者の一人(工学者)が要求仕様のみで作成したプロトタイプであるため、このソフトを基にしてユーザビリティも含めた議論を行い、アジャイル型のソフト開発を進める予定である。

## 5.2 動画解析ツールによる sghsg のコーディング結果

前節で述べた動画解析ツールを用いて実験参加者の1ヶ月分の解答動画の中から、問題クラス sghsg をコーディングし、グラフ化したものを示す(図7,8,9,10)。この結果、問題クラス sghsg の解答過程では次の空きマスの推定に時間がかかる回数が問題クラス hsg より少ないことが確認できた。図7では q40-sghsg\_01 が図10では、q40-sghsg\_02 が時間が

かっているステップがあるのを確認できる。これは空きマス40マスの問題であり、他の30程度の空きマスの問題ではそういった推定に時間がかかる様子が見られないことから、空きマス数が難易度に関係している可能性がある。ただし、本動画解析ツールで得られたデータは、文字の書き込み時と書き終わり時に認識誤差があり(例えば「7」を書き込んでいる時に最初は「1」と認識しその後書き終わってから安定的に「7」と記録される)、現在手作業でこのクリーニングを行なっていることから、結果の正しさは十分保証できない。今後対応予定であるが、現段階では1ヶ月の練習期間の熟達過程を推定する参考として提示する。

図7 問題クラス sghsg : 解答時間とステップ数(1週目)

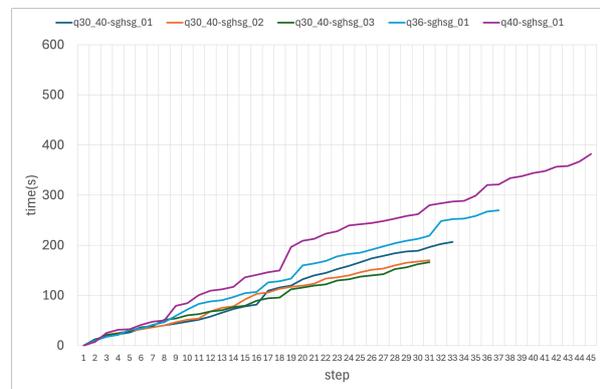
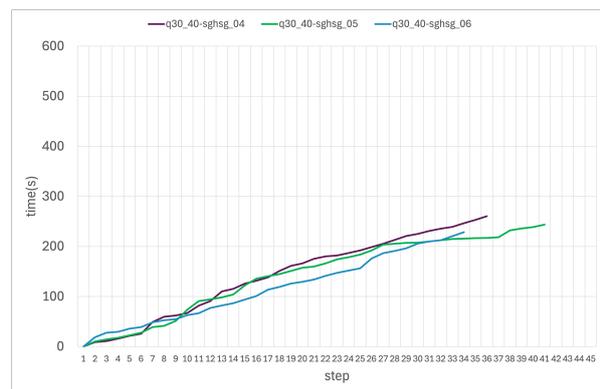


図8 問題クラス sghsg : 解答時間とステップ数(2週目)



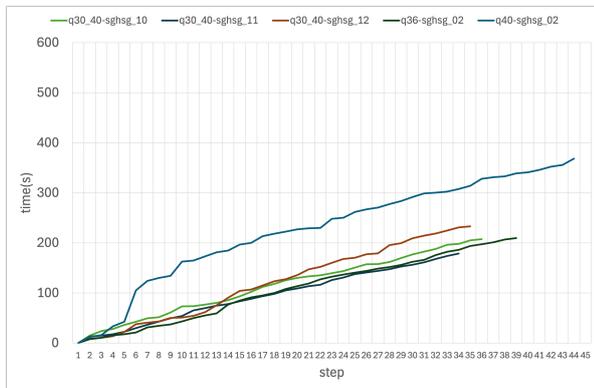
## 6. まとめ

解答方略を獲得しパフォーマンス向上の様子を捉えるために、タブレットの画面キャプチャ機能で解答の様子を記録した動画データを取得し、その解答の過程を捉えるためのコーディングを手作業と動画解析ツールを用いて実施した。今回は事前事後テスト及び1ヶ月の練習期間のデータが揃っていて、手書き文字が

図9 問題クラス sghsg：解答時間とステップ数（3週目）



図10 問題クラス sghsg：解答時間とステップ数（4週目）



比較的識別しやすい実験参加者1名に焦点を当て、パフォーマンスは問題を解答し終えるまでにかかった時間と、マスに解答を書く・消す操作を1ステップとして数えた合計ステップ数の推移比較を行った。また、盤面からそのステップの時に必要となる解答方略をスクリプトを用いて確認した。

その結果、問題クラス sghsg のように解答方略を切り替えられる場合は問題クラス sg/hsg/ex のように切り替えが制限される問題の方が時間がかかっていたことから、単独方略の問題は認知的負荷がかかりやすい可能性があり、Single と Hidden-Single の方略を切り替えられると認知的負荷が軽減される可能性が考えられた。

今後は分析ツールも揃いつつあるため、残り10名の解析も進め、今回得られた傾向に一貫性があるかを確認していく予定である。

## 文献

株式会社ニコリ, <https://www.nikoli.co.jp/ja/> (2023.4.11 閲覧)  
 是川空, & 小谷善行. (2010). 数独の数理モデル「解き筋」. 第51回プログラミング・シンポジウム予稿集, 2010, 79-88.

小場隆行, & 中所武司. (2011). 数独の難易度判定アプリケーションの提案と評価. 研究報告ゲーム情報学 (GI), 2011(8), 1-6.  
 松原康夫. (2006). 数独の推論規則と難易度に関する考察. 情報処理学会研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), 2006(134 (2006-EC-005)), 1-6.

Pelánek, R. (2014). Difficulty rating of sudoku puzzles: An overview and evaluation. arXiv preprint arXiv:1403.7373.

Derbinsky, N., Bento, J., & Yedidia, J. S. (2014). Scalable methods to integrate task knowledge with the three-weight algorithm for hybrid cognitive processing via optimization. *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, 8, 109-119.

木村泉. (1998, June). 練習の巾乗法則の折り紙実験による再検討. In 日本認知科学会大会発表論文集= Annual meeting of the Japanese Cognitive Science Society (Vol. 15, pp. 82-83).

木村泉. (2003). 長期的技能習得データの「見晴し台」とその意義. 日本認知科学会20回大会発表論文集, 2003.

Karmiloff-Smith, A., & Inhelder, B. (1974). If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, 3(3), 195-212.

Laird, J. E. (2019). *The Soar cognitive architecture*. MIT press.

尾関智恵, & 小笠原秀美. (2023). 数独パズルにおける初学者の熟達過程を追跡するための問題生成と難易度評価の試み. 日本認知科学会第40回大会 P1-050