

数独の難易度判定アプリケーションの提案と 評価

小場隆行^a 中所武司^a

数独とは、ナンバープレースとも呼ばれるペンシルパズルの一種である。長年、この数独に対して数学・情報科学等の様々な分野から研究がなされ、近年では高性能な自動解法プログラムや問題の自動生成プログラムなどが作られるようになってきている。本研究では、その中でも数独の研究分野の一つである問題の難易度判定の手法に関して述べるものである。

既存の数独の難易度判定アプリケーションは、問題の難易度判定の基準を予め定義している難易度埋め込み型であるのに対し、本研究ではユーザに問題の難易度判定の基準の定義を委ねる難易度定義型のアプリケーションを提案し、前述した難易度埋め込み型アプリケーションとの比較検証を行う。

比較検討は、一般の書店で販売されているパズル誌二誌を使用し、難易度埋め込み型と難易度定義型における難易度判定の精度を比較した結果、難易度定義型を採用したことによって、判定結果のばらつきを減らすことができた。

Proposal and evaluation of difficulty judgment application for Sudoku.

Recently, Sudoku solvers and Sudoku generators have been studied in the fields of mathematics and information science. In this paper, a method of difficulty level ranking by using application programs is described. Most of conventional applications for difficulty level ranking have given the fixed definition of the difficulty level criteria. This paper proposes a new method in which the difficulty level criteria are defined by users. An application supporting this method is developed and used for feasibility studies with two articles on difficulty level ranking in the popular journals. As a result, it is confirmed that the new method reduces dispersion of difficulty level ranking by using application programs.

^a 明治大学大学院 ソフトウェア工学研究室

1. はじめに

数独とは、ナンバープレースとも呼ばれるペンシルパズルの一種であり、 9×9 のマス内に予め用意されている値（ヒント）をもとに1から9の値を空欄のマスに書き込んでいくというものである。

長年、この数独に対して数学・情報科学等の様々な分野から研究がなされ、近年では高性能な自動解法プログラムや問題の自動生成プログラムなどが作られるようになってきている[1]。本研究では、数独の研究分野の一つである問題の難易度判定の手法に関して述べるものである。

2. 難易度定義型難易度判定アプリケーションの提案

数独の難易度判定アプリケーションは、 y 読み込まれた問題を解答し、解答完了までに使用した解答テクニックの難易度（使用回数）によって、難易度判定を行っている。現在主流の難易度判定アプリケーションは、解答テクニックの難易度やそれらを基にした難易度判定の基準を予め定義している難易度埋め込み型である。[2]

しかしながら、数独の難易度判定の基準は一意ではないため、難易度埋め込み型アプリケーションに実装されている難易度判定の基準がユーザの想定している難易度判定の基準と異なり、数独の難易度判定アプリケーションの有用性を損なうという問題が発生している。

そこで難易度埋め込み型難易度判定アプリケーションの問題点に対し、本研究ではユーザに難易度判定の基準の定義を委ねる数独の難易度定義型難易度判定アプリケーションを提案し、前述した難易度埋め込み型アプリケーションとの比較を行う。

3章にて難易度埋め込み型難易度判定アプリケーションの一つである比較対象アプリケーションについて述べ、4章にて本研究の成果物である難易度定義型難易度判定アプリケーションについて述べる。続く5章にて、一般の書店で販売されているパズル誌[4]、[5]を用いた適用実験を行う。

3. 比較対象アプリケーション

前述したように、難易度埋め込み型アプリケーションの例として文献[2]にて紹介されているアプリケーションを比較対象アプリケーションとした。このアプリケーションは文献[3]にも出展されている。残念ながら比較対象アプリケーションは配布されていなかったため、文献[2]にある仕様を基にアプリケーションを自作した。

この比較対象アプリケーションは、計19種類の解答テクニックを実装していたが、一般的なパズル誌では必要のない高度な解答テクニックが含まれていたため、それらを除いた15種類を実装した。文献[2]では各解答テクニックに呼び名としてアルファベット一字を割り当てており、その呼び名と実装した解答テクニックの関係は表1のようになっている。

また、この比較対象アプリケーションでは、8段階（Beginner、Very Easy、Easy、Pleasant、Comfort、Hard、Very Hard、Ultra Hard）の難易度判定の基準を設けていたが、解答テクニックと同様の理由により5段階（Beginner、Very Easy、Easy、Pleasant、Comfort）を実装した。各難易度とその基準で使用可能な解答テクニックは表2の通りである。BeginnerからEasyまでは、それぞれ解答までに使用している解答テクニックが表中のものだけであればその難易度と見なしており、以降の難易度はEasyの4種類の解答テクニックに加え、表中の難易度の解答テクニックの使用で解答出来た場合は、そのテクニックと見なしている（ComfortがPleasantの解答テクニックを使用可能）。

表1 実装した解答テクニック[2]

比較対象ツールでの解答テクニック名 (アルファベット)	一般的な解答テクニック名
B	ブロックの常識[6]
L	行の常識[6]
C	列の常識[6]
M	残り物の常識[6]
V	ブロックから行または列[7] (2マス版)
G	2国同盟/定員確定法 (naked) [8]
Q	2国同盟/定員確定法 (hidden) [8]
P	四角の対角線[6]
U	Sword Fish[7]
T	3国同盟/定員確定法 (naked)
R	3国同盟/定員確定法 (hidden)
H	浜田ロジック[6]
W	行からブロック[7]
Y	列からブロック[7]
X	ブロックから行または列[7] (3マス版)

*:解答テクニックの名称は参考文献のもの。

表2 難易度とその基準で使用可能な解答テクニック[2]

難易度 (5段階評価)	解答の際に使用するテクニック (判定基準)

Beginner	B
Very Easy	B, L, C
Easy	B, L, C, M
Pleasant	+ V, G, Q, P, U
Comfort	+ T, R, H, W, Y, X

4. 難易度定義型難易度判定アプリケーション

3章で述べた比較対象アプリケーションの仕様を基に難易度定義型難易度判定アプリケーションを作成した。使用できる解答テクニックは比較対象アプリケーションと同様である。

難易度定義型難易度判定アプリケーションでは、難易度判定の前に予め難易度判定の基準を定義しておく必要がある。難易度判定の基準の定義は、アプリケーション中の「難易度判定の基準定義機能」を利用し、定義する。定義画面には、各解答テクニックに対応したチェックボックスが配置してあり、チェックした解答テクニックはその難易度で使用するものと見なして（リスト内ではboolean型で表現）、各難易度の判定基準をリストに登録していく。リストの上にある難易度の定義ほど簡単な難易度としている。実際の動作画面が下記の図1である。

また、難易度判定の基準を定義すると同時に問題の解答の際の解答テクニックの使用の順番（解答テクニックの優先度）も定義される。この定義された優先度を用いて読み込まれた問題を解答し、その解答ログから難易度判定を行う。

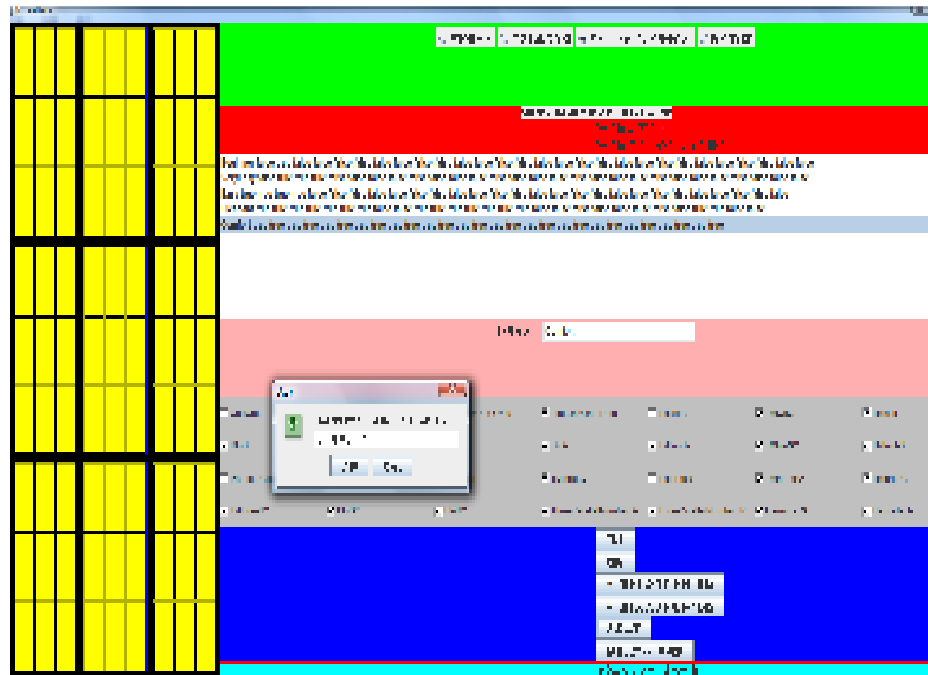


図 1 難易度判定の基準の定義画面

5. 実験と評価

3章で述べた比較対象アプリケーションと4章で述べた難易度定義型難易度判定アプリケーションとの比較実験を一般の書店で販売されているパズル誌二誌[4],[5]を使用して行った。

参考文献[4]は難易度が6段階に分かれており、参考文献中に掲載されている全133問に対して実験を行った。文献[5]は難易度が5段階に分かれており、文献中に掲載されている全109問に対して同様の実験を行った。

また、実験を行う際に使用した難易度判定の基準は下記の3パターンである。

- パターン1
 比較対象アプリケーションを用いて難易度判定を行う。

- パターン2
 比較対象アプリケーションの難易度判定の基準を難易度定義型難易度判定アプリケーションで定義して難易度判定を行う。
- パターン3
 比較対象アプリケーションとは異なる難易度判定の基準を用いて難易度判定を行う。定義した判定基準は7段階の難易度に分かれており、それぞれで利用できる解答テクニックを表3に記す。この基準は、できる限り狭い範囲の探索で使用できる解答テクニックを優先してしようするようにしたものである。

表3 新しく定義した難易度判定基準

難易度	使用することが可能な解答テクニック
★1	M
★2	M, B, L, C
★3	+Y, W, V, X
★4	+Q, G
★5	+R, T
★6	+P, H
★7	+U

パターン1を用いて文献[4],[5]の問題の難易度判定をした結果が表4,5である。同様にパターン2を用いて判定した結果が表6,7,パターン3を用いて判定した結果が表8,9である。また、表中の下線部は参考文献の各難易度において最も判定結果の多かった難易度である。

ここで、表4と表6及び表5と表7について着目すると、各難易度における判定結果が同様になっていることがわかる。これは難易度定義型難易度判定アプリケーションにおける難易度判定の基準の定義機構が正常に動作していることを表している。

また、表6と表8においては、表6では参考文献の難易度が高くなるにつれて判定結果も難易度の高いものが増えており（もしくは、難易度の低いものが減っており）、相関関係があると言える。一方で、一つの難易度に複数の難易度にまたがる判定結果が出ている。表8では、同様の相関関係が見られるが、表6程の結果のばらつきが見られない。

表7と表9においては、表7では表6と同様に相関関係が出ているものの、一つの難易度に複数の難易度にまたがる判定結果が出ている。表9では表8の時と異なり、結果にばらつきが出ているのは、パターン3で難易度判定の基準を7段階に分けたが、その基準が文献[5]に適しているものではなかっただけと考える事ができる。

表 4 文献[4]をパターン1で判定した結果

参考文献の難易度	判定結果の難易度	判定結果の数 (割合)
難易度 1 (全 14 問)	Beginner	14 (100%)
難易度 2 (全 19 問)	Beginner	16 (84%)
	Very Easy	2 (11%)
	Easy	1 (5%)
難易度 3 (全 35 問)	Beginner	14 (40%)
	Very Easy	20 (57%)
	Easy	0 (0%)
	Pleasant	1 (3%)
難易度 4 (全 25 問)	Beginner	0 (0%)
	Very Easy	19 (76%)
	Easy	4 (16%)
	Pleasant	2 (8%)
難易度 5 (全 26 問)	Very Easy	3 (11%)
	Easy	3 (11%)
	Pleasant	20 (78%)
難易度 6 (全 14 問)	Pleasant	14 (100%)

表 5 文献[5]をパターン1で判定した結果

参考文献の難易度	判定結果の難易度	判定結果の数 (割合)
難易度 1 (全 20 問)	Beginner	20 (100%)
難易度 2 (全 33 問)	Beginner	21 (64%)
	Very Easy	10 (31%)
	Easy	2 (5%)
難易度 3 (全 32)	Beginner	10 (31%)
	Very Easy	20 (63%)
	Easy	1 (3%)
	Pleasant	1 (3%)
難易度 4 (全 14 問)	Beginner	4 (29%)
	Very Easy	5 (36%)

	Easy	1 (6%)
	Pleasant	4 (29%)
難易度 5 (全 10 問)	Very Easy	3 (30%)
	Easy	1 (10%)
	Pleasant	6 (60%)

表 6 文献[4]をパターン2で判定した結果

参考文献の難易度	判定結果の難易度	判定結果の数 (割合)
難易度 1 (全 14 問)	Beginner	14 (100%)
難易度 2 (全 19 問)	Beginner	16 (84%)
	Very Easy	2 (11%)
	Easy	1 (5%)
難易度 3 (全 35 問)	Beginner	14 (40%)
	Very Easy	20 (57%)
	Easy	0 (0%)
	Pleasant	1 (3%)
難易度 4 (全 25 問)	Beginner	0 (0%)
	Very Easy	19 (76%)
	Easy	4 (16%)
	Pleasant	2 (8%)
難易度 5 (全 26 問)	Very Easy	3 (11%)
	Easy	3 (11%)
	Pleasant	20 (78%)
難易度 6 (全 14 問)	Pleasant	14 (100%)

表 7 文献[5]をパターン2で判定した結果

参考文献の難易度	判定結果の難易度	判定結果の数 (割合)
難易度 1 (全 20 問)	Beginner	20 (100%)
難易度 2 (全 33 問)	Beginner	21 (64%)
	Very Easy	10 (31%)
	Easy	2 (5%)
難易度 3 (全 32)	Beginner	10 (31%)

	Very Easy	20 (63%)
	Easy	1 (3%)
	Pleasant	1 (3%)
難易度 4 (全 14 問)	Beginner	4 (29%)
	Very Easy	5 (36%)
	Easy	1 (6%)
	Pleasant	4 (29%)
難易度 5 (全 10 問)	Very Easy	3 (30%)
	Easy	1 (10%)
	Pleasant	6 (60%)

表 8 文献[4]をパターン 3 で判定した結果

参考文献の難易度	判定結果の難易度	判定結果の数 (割合)
難易度 1 (全 14 問)	★1	13 (93%)
	★2	1 (7%)
難易度 2 (全 19 問)	★1	100 (100%)
	★2	34 (97%)
難易度 3 (全 35 問)	★2	34 (97%)
	★3	1 (3%)
難易度 4 (全 25 問)	★2	24 (96%)
	★3	1 (4%)
難易度 5 (全 26 問)	★2	6 (23%)
	★3	20 (77%)
難易度 6 (全 14 問)	★4	12 (86%)
	★5	1 (7%)
	★6	1 (7%)

表 9 文献[5]をパターン 3 で判定した結果

参考文献の難易度	判定した難易度	数
難易度 1 (全 20 問)	★1	20 (100%)
難易度 2 (全 33 問)	★1	27 (82%)
	★2	6 (18%)
難易度 3 (全 32)	★1	19 (59%)

	★2	12 (38%)
	★3	1 (3%)
難易度 4 (全 14 問)	★1	5 (36%)
	★2	5 (36%)
	★3	4 (28%)
難易度 5 (全 10 問)	★1	1 (10%)
	★2	3 (30%)
	★3	6 (60%)

6. おわりに

本稿では、数独の難易度判定者が各々の難易度判定の基準を定義する難易度判定アプリケーション（難易度定義型）についての提案及び仕様と評価を行った。

数独の難易度判定は、各難易度判定者によってその基準は様々であると同時に、その基準を複数人で共有することが難しい。本研究で作成した数独の難易度定義型難易度判定アプリケーションを使用し、各難易度判定者の意向を表現すれば、既存の難易度埋め込み型の難易度判定アプリケーションより実用的であると言える。また、本アプリケーションで定義した情報を共有することで、難易度判定の基準を複数人で共有することが出来れば、難易度判定者間で生じる誤差を減らすことができるであろう。

難易度定義型の難易度判定アプリケーションの新たなる展望として、難易度判定者の意思を多く汲み取るための機能拡張とそれらの機能拡張による難易度判定基準の定義の複雑化を防ぐ必要があるだろう。

謝辞

本研究を行うに当たり、助言を下さいました明治大学ソフトウェア工学研究室の皆様へ感謝致します。

参考文献

- 1) 前田一貴, 奥乃博 (2008) 「数独の問題作成支援システムの設計と開発」『情報処理学会第 70 回全国大会』
- 2) 「ナンプレ・メモランダム」
<<http://numberplace.blogspot.com/search?updated-min=2009-01-01T00%3A00%3A00%2B09%3A00&updated-max=2010-01-01T00%3A00%3A00%2B09%3A00&max-results=50>> (2011/1/23)
- 3) 「第 15 回わかやまソフトウェアコンテスト'06」

- < http://www.wakasa.or.jp/sofcon/2006_sofcon/sofcon.htm > (2011/1/27)
- 4) 山田友博 (2009) 『ナンプレランド』 (2009年10月号) コスミック出版
 - 5) 藤原望 (2010) 『ナンプレマガジン』 (2010年8月号) アイア株式会社メディア事業部
 - 6) 西尾徹也 (2010) 『西尾徹也の世界で一番美しくて難しいナンプレ2』 世界文化社
 - 7) 稲葉直貴 (2006) 『稲葉直貴の難問ナンプレに挑戦2』 世界文化社
 - 8) 「ナンバープレース 数独解法まとめ」
< http://www.geocities.jp/master_mishichan/index.html > (2011/1/23)