

新聞記事データを用いた クロスワードパズルによる自発的学びの促進

日置 竜輔^{1,a)} 角 康之^{2,b)}

概要: 本稿では、自発的学びの促進のためにクロスワードパズルの利用を提案する。北海道新聞の新聞記事データを用いたクロスワードパズルを提供し、それによって社会で起きていることへの興味や知識取得の動機が高まることを期待する。本稿ではまず、「新聞記事データを用いたクロスワードパズルが自発的学びを促進するか」という問いに応えるために、小規模な予備実験を行った。その結果、クロスワードパズルで遊んだことと後日実施した時事問題に対する正答率の相関が有意に高いことや、プレイヤーがクロスワードパズルに登場した単語やトピックについて Web や本で調べていたことがわかった。このことから、新聞記事データを用いたクロスワードパズルで遊ぶことが、自発的な学びに繋がる可能性が示唆された。そのため我々は、ゲームプレイ中にプレイヤーが選んだ年や地域、トピックなどの興味対象に応じてその場で動的にクロスワードパズルを提供できれば、プレイヤーの探究や学習意欲が高まるのではと考えた。そこで本稿の最後には、与えられた制約に応じたクロスワードパズルの盤面を自動生成することに関しても紹介する。

1. はじめに

本稿では、北海道新聞の新聞記事データを用いてクロスワードパズルを自動生成し、自発的な学びの促進を提案する。日本新聞協会^{*1}によると、新聞の発行部数は2004年以降減少の一途を辿っており新聞離れが起きている。そのような中、総務省によると、数あるメディアの中でも新聞への信頼度は最も高いものとなっている。この信頼度の高い新聞記事データから、年やトピックなどといった属性に基づいた希少性のある単語（特徴語）を抽出する。その後、抽出した特徴語を用いたクロスワードパズルが自発的な学びを促進するののかについて本研究では調査する。さらに調査結果を踏まえ、クロスワードパズルの盤面を制約に応じて自動生成出来れば、より学びの活性化に繋がるのではないかという仮説をもとに、クロスワードパズルの盤面を自動生成することに関しても紹介する。

2. 関連研究

クロスワードパズルは学習教材として有効であり、授業の一環として取り入れられてる事例が数多く存在する。Ramadhania らの研究 [1] では小学 2 年生 32 名を対象に、

授業の終わりに 8 つの絵を表す説明文を書き、解答を記入する形式のテストを実施し、クロスワードパズルの学習媒体に対して良好な反応を示した。また、Patrick らの研究 [2] では、薬理学を勉強する学生にクロスワードパズルを用いて学習させることで成績が向上する結果になった。MBBS コースの学生計 139 名の学生を対象に内分泌薬理学に関する 32 問からなるクロスワードパズルを作成し取り組ませた。その結果、大多数の学生が薬の知識を高め、病名や薬の名前を覚え、学習に役立つと回答した。さらに、Pearson の研究 [3] では、COVID-19 の直前と渦中に、薬学部の学生計 252 名に復習補助として、オンライン講義後の化学クロスワードパズルを実施した。学生のオンライン学習行動パターンに基づいて評価を行い、2 年生の約 80% がクロスワードパズルが役に立つと回答し、化学をテーマにしたクロスワードパズルは、COVID-19 の最中に実施すると好評であるとの結論が出た。その結果、多くの教育機関でリモート授業が続く中、準備が簡単なクロスワードパズルの学習教材は、講義の一部に検討されるべきであると結論付けた。Bawazeer らの研究 [4] では、クロスワードパズルが薬学生にどのような影響を与えるかについて、抗凝固薬についての薬物療法に焦点を当てて分析を行った。学生たちはクロスワードパズルが学習をより良くし、講義の復習に役立つと回答した。このようにクロスワードパズルは学習教材として有効であることがわかる。

本研究では新聞記事の特徴語を用いて学習効果がどのよ

¹ 公立はこだて未来大学 大学院システム情報科学研究科

² 公立はこだて未来大学

a) r-hioki@sumilab.org

b) sumi@fun.ac.jp

*1 <https://www.pressnet.or.jp/>

うに得られるのかについて分析する。

3. クロスワードパズルの生成に利用したデータ

本研究で使用したデータベースは全て北海道新聞社からの提供であり、1988年7月から2022年12月までの計35年分の新聞記事であった。提供データは全てcsvファイルとなっており、掲載年月日、曜日、刊種別名、版セットコード、組面名、面グループ、本文文字数、見出し、本文などの情報が格納されている。

4. 新聞記事データからの特徴語抽出

ここではプレイヤーの興味に基づいたクロスワードパズルを作成するための前段階として、新聞記事からトピックごとの特徴語を抽出する手法について述べる。

4.1 特徴語抽出のための前準備

今回のクロスワードパズルで使用する品詞は全て名詞に限るものと設定したため、まずは形態素解析を用いて新聞記事から名詞を抽出した。形態素解析エンジンにはMeCabを使用した。しかし、MeCabの辞書には流行語や名詞を連続させたような固有名詞を分類することが困難であり、年ごとの特徴語を抽出する際に問題が生じる。ここで、インターネット上から得た新語を追加しているMeCab用のシステム辞書であるmecab-unidic-NEologd^{*2}を使用した。この辞書を用いることにより、「新型コロナウイルス」や「公立はこだて未来大学」などのような固有名詞を抽出することが可能となる。

4.2 TF-IDFによる特徴語の抽出

抽出した名詞からトピックごとの特徴語を抽出するために、TF-IDF(Term Frequency - Inverse Document Frequency)を適用する。TF値は単語の出現頻度を表し、IDF値は単語の逆書頻度を表す。これらの積を取ったものがTF-IDF値となる。TF-IDFは、頻繁に出現する単語には重みを少なく、あまり出現しない希少性の高い単語には重みを大きく与えるため、文章の重要な単語を抽出する際に用いられる手法である。このTF-IDF値を元に新聞記事から特徴語の抽出を行った。

4.3 年ごとの特徴語抽出

被験者の興味に基づく単語の分類方法の1つとして新聞記事のデータベースを年ごとに分け、年ごとの特徴語を抽出した。2000年から2022年までの特徴語の抽出結果の例を表1に示す。

2008年の特徴語に着目すると、冷凍餃子を食べた10名

が中毒症状を起こし有機リン系殺虫剤「メタミドホス」が検出された事件が起こったため「ギョーザ」が抽出され、2008年4月1日からガソリンに課されていた暫定税率が無くなったような背景から「暫定税率」が抽出されるなど、2008年を特徴付ける単語が抽出されていることが読み取れる。

また、2020年に着目すると、新型コロナウイルスが蔓延し始めた背景があり、特徴語としてはオンラインやテレワーク、感染症に関する単語が多く抽出されていることが読み取れる。

5. 特徴語を用いたクロスワードパズルの予備実験

5.1 実験概要

新聞記事の特徴語を用いたクロスワードパズルが自発的な学びに繋がるのかを評価するために予備実験を行った。予備実験は2023年1月16日から2023年1月25日までの期間に公立はこだて未来大学・大学院の学生計17名を対象に実施した。学部1年から修士2年までの幅広い学年に対して実験の協力を依頼した。被験者には計2回の実験を依頼し、第1回には試作したクロスワードパズルを体験してもらい、第2回は1週間後にオフラインにてアンケートへの回答を依頼した。

5.2 ゲームの開発

ゲームの作成にはOpenSiv3D^{*3}を用いて開発を行った。OpenSiv3Dは、情報可視化やインタラクションのためのC++のフレームワーク[5]であり、作成したゲームの様子を図1に示す。

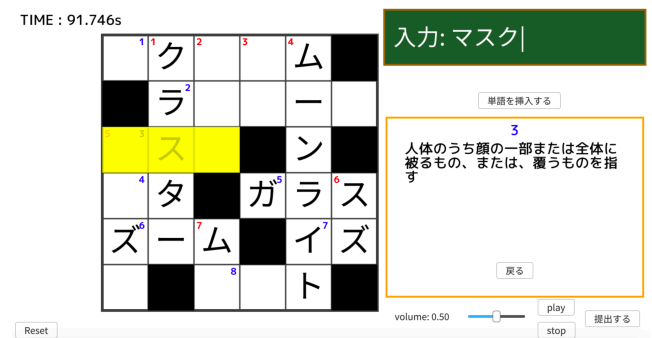


図1 試作したクロスワードパズルのゲーム画面

このクロスワードパズルは通常のクロスワードパズルと異なる点として、ゲーム中にヒントとは別で、使用されている特徴語に関連した新聞記事を読む機能がある。被験者は各単語のヒントのみではわからなかった場合に、自由に新聞記事を読むことができ、当てはまる単語を考えている過程で新聞記事を能動的に読むことが可能となり、過去の

^{*2} <https://github.com/neologd/mecab-unidic-neologd>

^{*3} <https://github.com/Siv3D/OpenSiv3D>

表 1 年ごとの特徴語抽出結果 (10 件)

年	特徴語の例 (左から TF-IDF 値の高いもの)
2000	虻田町, 洞爺湖温泉, 虻田, 雪印乳業, シドニー, 稚内市, 二十世紀, ベットボトル, 豊浦, 江差町
2001	タリバン, 狂牛病, 報復, 米中枢同時テロ, 肉骨粉, ビンラディン, 北部同盟, 新世紀, カブール, イチロー
2002	鈴木氏, 鈴木宗男, ソルトレークシティ, 牛海綿状脳症, 雪印食品, アルゼンチン, 土曜日, ジャイアンツ, ペイオフ, 有事
2003	新型肺炎, 大量破壊兵器, 再選挙, 十勝沖地震, タワー, 南東, 北区, 医局, 党派, タンク
2004	アテネ, UFJ, 陸自, 武装勢力, 報償費, 拉致被害者, 宿営, 新潟県中越地震, 中標津町, 三位一体改革
2005	アスベスト, 石綿, ニッポン放送, 天井, ホワイトソックス, 郵政民営化, 特定非営利活動法人, 不審者, パトロール, 新町
2006	トリノ, 駒苫, トリノ五輪, 教育基本法, 科目, 旭山動物園, 行財政改革, 市立病院, 安倍氏, 中沢
2007	領収書, AED, 朝青龍, 札幌, 年金記録, 浦和, ヒルマン, 守屋, 北海道洞爺湖サミット, ばんえい競馬
2008	暫定税率, ギョーザ, レジ袋, 上院議員, 温室効果ガス, 原材料, 後期高齢者医療制度, 中毒, 温室効果ガス, 道路特定財源
2009	新型インフルエンザ, 定額給付金, 政権公約, オバマ大統領, 振り込み詐欺, 麻生首相, 学級閉鎖, バラク・オバマ, 集団感染, WBC
2010	バンクーバー, 子ども手当, 工程, 事業仕分け, 米軍普天間飛行場, 白鷺, バンクーバー五輪, 口蹄疫, 無料化, 移設問題
2011	震災後, 放射線量, 宮城県, 基準値, ミリシーベルト, 被爆, 石巻, 仮設住宅, 自然エネルギー, 放射線セシウム
2012	計画停電, 野田首相, 女満別, 再生可能エネルギー, 大飯原発, ロムニー, 活断層, 社会保障と税の一体改革, 関西電力, 3 分
2013	成長戦略, 特定秘密, 体罰, 関税撤廃, 金融緩和, 全長, みんなの党, 苫小牧港, 新函館, 右翼
2014	行使容認, 論文, 五稜郭, ST, 特定秘密保護法, 反動, 駆け込み需要, 土砂災害, 小保方, 上富良野
2015	安全保障関連法案, 談話, 大筋合意, 維新の党, 空襲, 違憲, 後方支援, 集客, 辺野古, 集団的自衛権
2016	リオデジャネイロ五輪, 熊本地震, リオデジャネイロ, 選挙権, 切符, 新函館北斗駅, 編集委員, 札幌市厚別区, アメリカ大統領選挙, 被爆
2017	退位, 共謀罪, 希望の党, 文科省, ミサイル発射, 学校法人, トランプ政権, 弾道ミサイル, ドナルド・トランプ, 稀勢の里
2018	非核化, 平昌冬季五輪, 金正恩, 米朝首脳会談, セクハラ, 平昌五輪, 土砂, 改ざん, 朝鮮労働党委員長, 銅メダル
2019	競歩, 喫煙所, 支持層, 令和, 輸出規制, ポイント還元, 国民民主党, 世界ランキング, キャッシュレス決済, 統合型リゾート
2020	新型コロナウイルス, 感染拡大, 新型コロナ, CORONA, オンライン, コロナ禍, 休校, 緊急事態宣言, 感染症, 感染対策
2021	ミャンマー, 感染力, ファイザー, コールセンター, 副反応, 伊勢, 気候変動, 感染力, 従事, 東京パラリンピック
2022	ロシア軍, 国葬, 統一教会, 斜里町, 北京冬季五輪, 詐欺, ゼレンスキー, キッチンカー, 知床半島, 岸田文雄

出来事について学習し知識を得ることができる。また、ゲーム終了後にも特徴語に関連した新聞記事を読むことができ(図 2)、ここでも自発的に読むかどうかをゲーム内のログから評価し、学びの促進に繋がったかどうかを分析する。

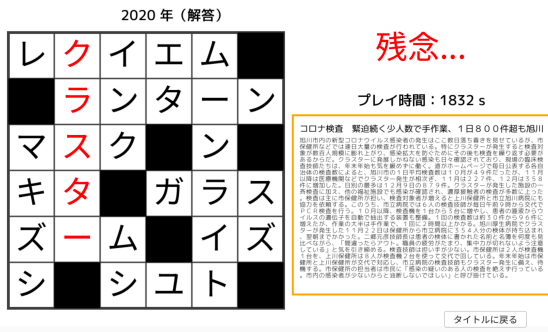


図 2 ゲーム終了後に読むことができる特徴語に関連した新聞記事

5.3 実験内容

第 1 回は、試作したクロスワードパズルを体験してもらった。被験者の興味のある年に基づいて選択できるように 1988 年から 2020 年までの特徴語が埋め込まれた計 33 個のクロスワードパズルを用意した。正方形の盤面にてクロスワードパズルを自動生成しようとした場合、必要な特徴語の単語数が足りなかったため、一般的な単語(ダミー単語)も多く使用して、あらかじめ埋め込んだ盤面にて予備実験を行った。被験者には最低 30 分間はゲームを遊ん

でもらうように指示を出し、それ以降は好きなタイミングで中止して構わないと指示を出した。これにより、自発的にどれくらい時間をかけてゲームをプレイしたのか分析することができる。ゲームを終了した後はアンケートに回答してもらい第 1 回は終了した。

第 2 回は 1 週間後にオンラインにて年ごとの時事問題に関する 4 択問題に取り組んでもらった。この問題は、1988 年から 2020 年までの各年についてランダムに出題し、被験者がクロスワードパズルを通じて得た知識がどれだけ深まったかを調査する。また、自由記述として第 1 回の実験終了後から気になった単語や知識に関して自分で調べたかどうかのアンケートを行い、自発的な学びの促進に繋がったかどうかを調査した。

5.4 自発的な学びの促進

ここでは実際に行った予備実験の結果から自発的な学びの促進に繋がったかどうかを分析する。

5.4.1 ゲームのプレイ時間による分析

自発的な学びを促進したかどうかの評価基準の 1 つにゲームのプレイ時間が考えられる。被験者 17 名のうち、最低限のノルマである 30 分でゲームを終了したのはわずか 2 名であった。他の 15 名の被験者は 30 分を超えてもなお、別の年のクロスワードパズルに意欲的に取り組んでいた。さらにその 15 名のうち 9 名の被験者は時間の許す限り最後までクロスワードパズルに取り組んでいた。この

結果から、ゲームというジャンルを通して遊びながら自発的な学びの促進に繋がったのではないかと考えた。

5.4.2 アンケートによる分析

次に「特徴語、またはそれに関連する記事を通して、その年代の社会的背景、出来事などについて知る事が出来ましたか」という問いに対しては 17 名のうち 16 名が「とても知ることができた」または「知ることが出来た」と回答した。被験者がこのように回答した理由について以下に引用する。

- 特徴語を見た後に、下に記事が載っているためどうしても読んでしまい、それに伴って社会的背景などを知ることができたから。
- あまりニュースを見ないと、古い出来事も調べないので、ほとんどの記事が知らないものだったため
- 問題を見てこの年代にこの出来事があったなと思いつくことがあったから
- ワードだけでは背景と結びつきにくいから、新聞記事があることで結びついたから

このように、新聞記事の閲覧による自発的な学びが促進されていることがアンケートの自由記述結果により得られたため、クロスワードパズルのゲームに新聞記事を搭載するシステムは本研究の意義を意味付ける結果となった。

5.4.3 ゲーム内のログによる分析

続いてアンケート結果ではなく、作成したゲームの裏で取っていたログから得られた発見について分析する。図 3 に示すのは、ある被験者の 2018 年に関するクロスワードパズルのゲーム中のログを再現したものである。

```

2023-01-18 15:24:22,入力した単語: ヨカ
2023-01-18 15:24:32,入力した単語: ダンスイ
...
2023-01-18 15:26:18,ゲーム内で閲覧している記事: 非核化
2023-01-18 15:26:43,入力した単語: ヒマ
2023-01-18 15:26:51,入力した単語: ヒカクカ
    
```

図 3 ゲームプレイ中のログ

図 4 の上図のように、被験者は左上の単語に対して最初は「ヨカ」と埋めていたが、「非核化」に関連した記事を読んでいる中で、下図に示す横の「ヒカクカ」に当てはまるように「ヨカ」を「ヒマ」に埋め直していることが読み取れた。

このことから、新聞記事によるヒントがクロスワードパズルのゲームクリアに繋がり、さらに自発的に新聞記事を読んでいるため、学びの促進に繋がっていることが読み取れた。



図 4 新聞記事の閲覧により単語を修正する様子

5.5 時事問題の正答率

第 2 回の予備実験では、クロスワードパズルの実験協力から 1 週間後に、オンラインにて 4 択の時事問題に取り組んでもらった。1999 年から 2020 年までの計 22 年分の問題（各年 1 問ずつ）をランダムで出題し、被験者がクロスワードパズルで選んだ年と選んでない年とで正答率がどのように変化するか分析した。

実際に出題した時事問題をいくつか紹介する。

- 2005 年にマグニチュード 7.6 を観測し、死者が 7 万人に達する大地震が起きた国を選択してください。
(1. パキスタン 2. メキシコ 3. イタリア 4. エジプト)
- 2012 年に、東日本大震災をきっかけに日本国内の全原発が停止して以降、再稼働した最初の原発となった福井県にある原発の名前を選択してください。
(1. 高浜原発 2. 女川原発 3. 大飯原発 4. 玄海原発)
- 2001 年、脳細胞が変性を起こして海綿状となる疾病が国内で最初に観測されました。この疾病の名称を選択してください。
(1. くも膜下出血 2. 狂牛病 3. デング熱 4. パーキンソン病)

図 5 に示すのは、時事問題の正答率について示したものである。

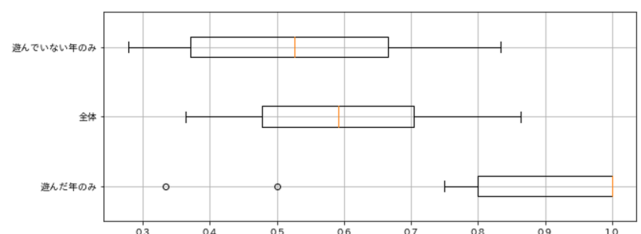


図 5 予備実験においてクロスワードパズルを遊んでない年、全体、遊んだ年ごとに分類した時事問題の正答率

クロスワードパズルを遊んでいない年のみの正答率を示した結果が上部の箱ひげ図であり、被験者全員の正答率を示した結果が中段の箱ひげ図であり、クロスワードパズル

を遊んだ年のみの正答率を示した結果が下部の箱ひげ図である。まず、全体の正答率をみると、被験者ごとの正答率の中央値は 59 % であった。それに対し、クロスワードパズルを遊んでない年のみの時事問題に対する被験者ごとの正答率の中央値は 52 %、クロスワードパズルを遊んだ年のみの時事問題に対する被験者ごとの正答率の中央値は 100 % という結果になった。これは被験者のうち半数以上が遊んだ年に関する単語や背景について学び、正解したことを示している。全ての学生に効果的というわけではなく遊んだ年のみの正答率が 33 % や 50 % である学生も一部みられた。

また、自由記述として、クロスワードパズルの実験後から 1 週間の間に気になった単語や過去の出来事に関して自分で調べたかどうかのアンケートを実施し、自発的な学びに繋がったかどうかを分析した。この回答に対しては 17 名中 5 名が調べたと回答し、具体的に何を調べたのか以下に示す。

- ガラスについて調べました。パズルでは古称が瑠璃や玻璃だということを知り、綺麗な名前だと思ったのでもう少し調べようと思ってウィキペディアのガラスのページを見ました
- 問題に出てきた野球選手がどんな野球選手だったのか気になったから
- 自分の知識が正確か確かめなくなったから

このように自発的な学びに繋がった被験者もいる一方で過半数を超える被験者が自発的な学びには繋がらなかったと回答した。予備実験ではダミー単語を多く使用してしまったため、既に知っている単語の印象が大きくなってしまったのではないかと考察した。したがって、さらなる自発的な学びの促進に繋げるためには、クロスワードパズル自体をより良くすることが重要となる。そのためにはダミー単語を使用せず特徴語のみを使用すれば、さらなる自発的な学びの促進に繋がると考えた。さらに、プレイヤーの興味に基づき即時に盤面を生成することで、毎回異なるクロスワードパズルを体験することが可能となり、より自発的な学びの促進に繋がることを期待する。そこでクロスワードパズルの盤面自動生成について、次章で紹介する。

6. クロスワードパズルの自動生成

予備実験ではダミー単語を多く含み、あらかじめ盤面を決めた上でクロスワードパズルを体験してもらったが、ここでは被験者ごとの興味に基づいたクロスワードパズルを即時に自動生成する試みについて提案する。クロスワードパズルの盤面自動生成には、盤面の大きさや単語の交差判定、既に使用した単語を用いてないかなど、多くの制約が存在する。数ある制約の中でも、正方形のような枠組みに単語を埋め込む場合、上下左右の全てにおいて単語の交差判定が必要となるため、生成には膨大な単語数が求められ

る。これは特徴語のみでは到底足りないため現実的でない。そこで、正方形という制約を取り払って盤面の自動生成を試みる。盤面を生成するために本研究では、ビームサーチアルゴリズムを用いて自動生成を行う。

6.1 ビームサーチ

ビームサーチは探索アルゴリズムの一種であり、解空間の候補を逐次的に探索し、各ステップで最も良い候補をいくつか保持することで探索するアルゴリズムである [6] [7]。本研究ではビームサーチの幅、深さ、近傍解の候補数を全て $P(= 10)$ としてアルゴリズムを構築した。1 回あたりの探索は $O(NHW)$ を要するため、全体の時間計算量は $O(P^3NHW)$ となる。

ビームサーチに基づいて 2022 年の特徴語を用いて自動生成した盤面の例を図 6 に示す。

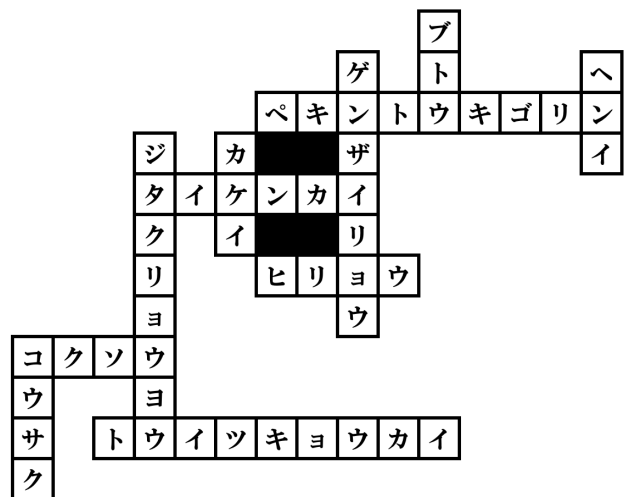


図 6 2022 年の特徴語を用いてビームサーチにより生成した盤面の例

盤面の自動生成は実現したものの、まだ空白マスの割合が高く、ビームサーチの評価関数を改善することで、さらに質の高い盤面が作成できるのではないかと考えている。

また、被験者の興味に基づいたクロスワードパズルを作成する際に、単語の内容だけでなくクロスワードパズル自体の難易度も重要であると考えた。そこで、完成する盤面のサイズを大きくすることで、簡単に遊べるものから時間をかけて遊べるものまで調整できる工夫を行った。盤面のサイズを大きくし、ビームサーチを用いて実際に生成した実行結果を図 7 に示し、さらに黒く囲われた部分を拡大したものを図 8 に示す。

この盤面を生成するのに要した時間は約 3 秒であり、十分な速度の生成を確認できた。図 8 の拡大した部分は、空白マスの割合が低く上手く単語が埋め込まれた例である。横に配置されている「トウキョウカブシキジョウ」からは縦に 4 単語が交差しており、さらにそこから枝分かれ

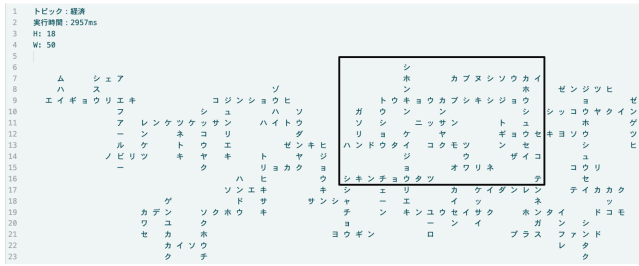


図 7 サイズの制約を大きくした経済に関する盤面の例

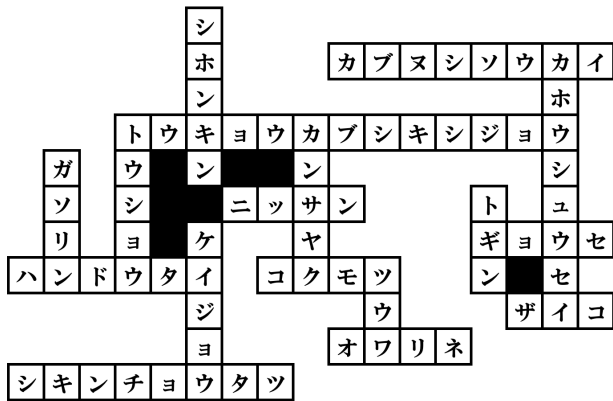


図 8 図 7 の矩形部分の拡大図

していき盤面を生成している。しかし、全体を見渡すと盤面の左側にはまだ空白マスが多いため、評価関数を今後も改善していく必要がある。現在はビームサーチの幅、深さ、近傍解の候補数を固定しているため、パラメータを変更していき最適解を探索していく予定である。

また、この盤面は経済の記事に基づいた特徴語から生成し、盤面のサイズを大きくしているため、新聞記事のトピックとサイズの指定による難易度選択、など複数の属性を組み合わせることでよりプレイヤーの興味に応じて細かく制約を設定することが可能となる。

7. おわりに

本稿では、自発的学びの促進のためにクロスワードパズルの利用を提案した。予備実験を通して自発的な学びに関しては観測することが出来たため、更なる学びの促進を目指して、プレイヤーの興味に応じて動的に対応したクロスワードパズルの盤面自動生成に取り組んだ。現状は評価関数に改善の余地があるため、今後はより質の高いクロスワードパズルの盤面を目指してアルゴリズムを構築する。さらに特徴語の属性に関しても、現在は年とトピックのみであるが、新聞記事には面や版など属性として活用できる情報が多く存在する。これらの属性に基づいた特徴語を抽出することで、より細かく制約を設定することが可能となる。また、複数の属性にも同時に対応することで、よりプレイヤーの興味に基づいたクロスワードパズルの盤面生成を目指す。以上より、更なる自発的な学びの促進に繋がるこ

とを期待する。

謝辞

本研究では北海道新聞社より新聞記事データの利用を許可頂きました。記事データの提供やシステム試作において北海道新聞社営業局長の三浦辰治氏に多大なるご協力を頂戴したので感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Sabrina Ramadhania, Hashim Adnan. Crossword Puzzle Learning Media to Improve Indonesian Vocabulary Mastery for Grade 2 Elementary School Students. *Journal of Innovation and Research in Primary Education*. 2022, vol.1, no.2, p.50-55.
- [2] Shilpa Patrick, Kirti Vishwakarma, Vishal P Giri, Debranjana Datta, Priyanka Kumawat, Preeti Singh, Prithpal S Mawat. The usefulness of crossword puzzle as a self-learning tool in pharmacology. *Journal of Advances in Medical Education & Professionalism*, 2018, vol.6, no.4, p.181-185.
- [3] Russell J. Pearson. Online Chemistry Crossword Puzzles prior to and during COVID-19: Light-Hearted Revision Aids That Work. *Journal of Chemical Education*. 2020, vol.97, no.9, p.3194-3200.
- [4] Ghada Bawazeer, Ibrahim Sales, Huda Albogami, Ahmed Aldemerdash, Mansour Mahmoud, Majidah A. Aljohani, Abdullah Alhammad. Crossword Puzzle as a Learning Tool to Enhance Learning about Anticoagulant Therapeutics. *BMC Medical Education*. 2022, vol.22, no.267.
- [5] 鈴木 遼, 上田 和紀, 坂井 滋和. 情報可視化やインタラクションのためのフレームワーク Siv3D の機能強化と普及活動, *コンピュータ ソフトウェア*, 2023, vol.40, no.3, p.3.50-3.72.
- [6] Clara Meister, Tim Vieira, Ryan Cotterell. Best-First Beam Search. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*. 2020, vol.8, p.795-809.
- [7] Jingwei Zhuo, Ziru Xu, Wei Dai, Han Zhu, Han Li, Jian Xu, Kun Gai. Learning Optimal Tree Models under Beam Search. *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning*. 2020, vol.119, p.11650-11659.