

音読時間とポーズ時間の特徴に基づく 読みの得意・不得意児童の音読流暢性評価

丸山 裕也^{*1}, 香山 瑞恵^{*2}

^{*1} 信州大学大学院総合理工学研究科, ^{*2} 信州大学工学部

Oral Reading Fluency Assessment for Pupils Good/Not-good at Reading Aloud based on Poses & Aloud Periods related Metrics

Graduate School of Science and Technology, Shinshu University^{*1},
Faculty of Engineering, Shinshu University^{*2}

本研究の目的は、読み困難児童を対象とする音読の流暢性自動評価ツールの開発である。これまでに、ポーズ特徴量に着目した音読の流暢性評価指標を提案してきた。本稿では、これらの指標を用いた読み評価方法を示し、この評価方法による読みの得意・不得意児童の音読データ評価の結果を示す。また、評価指標の自動算出機構の設計と、ヒートマップによる音読評価インタフェース設計の成果を示す。

キーワード: 音読, 流暢性, 音読時間, ポーズ, 評価指標, 可視化, ヒートマップ

1. はじめに

学校教育においては、読み書き困難児童に対する認知度が低く、特別な支援が受けられない現状が見受けられる⁽¹⁾。家庭でも保護者は経験や専門知識が乏しく、児童の音読を適切に評価することは困難である。しかし、児童による反復的な読み書き練習に対して他者が流暢性を評価・アセスメントすることで学習効率が高められることが示唆されている⁽²⁾。

本研究では、“自然な読み”に着目し流暢性評価を試みている。速さや正確さといった単一項目による評価ではなく、聞き手の印象を反映させた複数指標での評価方法の開発を目指す。これまでに、文章音読に挿入されたポーズ情報を利用した多面的評価指標⁽³⁾を提案してきた。そして、これらの評価指標により読みの流暢性を自動的に評価するツール⁽⁴⁾を開発した。この流暢性評価ツールを用いて外国にルーツを持つ児童の音読を評価した結果、滞在年数の長短の違いによる統計的有意差が示された⁽⁵⁾。また、提案指標に基づくヒートマップ式音読結果の可視化グラフを教育現場にフィードバックし、その効果について担当教員に対してヒヤリングを行った。その結果に基づき、ヒートマッ

プの色構成を改良することとした。

本稿では、まず、評価指標の算出からヒートマップ表示までの一連の処理を行える web アプリケーションの設計の成果を示す。そして、提案指標による音読評価方法を整理する。児童の音読に対して音読時間とポーズ時間とポーズの位置種類の特徴を考慮した評価方法を示し、この方法を用いた読みの得意・不得意児童の音読データに対する評価結果を示す。

2. 流暢性評価

2.1 流暢性の評価指標

本研究では、流暢性を「適切な間を取りながら、すらすら読めて言い淀みが無く逐次読みではない様子」と定義する。本研究で読みの流暢性評価指標としている特徴量は以下の5つである⁽³⁾。

- (1) ポーズの平均時間
- (2) 1 モーラあたりの音読時間
- (3) 音読中のポーズ回数
- (4) 全音読時間に対するポーズ割合
- (5) ポーズの位置種類

(1)は、音読中に出現したポーズの総和時間をポーズ回数で割った結果である。以降、ポーズ時間と称す。

(2)は、結果文章を単語ごとに分解し、各モーラ数で割った結果である。以降、モーラ時間と称す。(3)は、音読中のポーズ回数である。以降、ポーズ回数と称す。(4)は、音読中に出現したポーズの総和時間を音読所要時間で割った結果である。以降、ポーズ割合と称す。(5)は、ポーズに対して挿入された文章位置の種類である。ポーズの種類は、「句点」「読点」「改行位置」「文節途中」の4種類である。

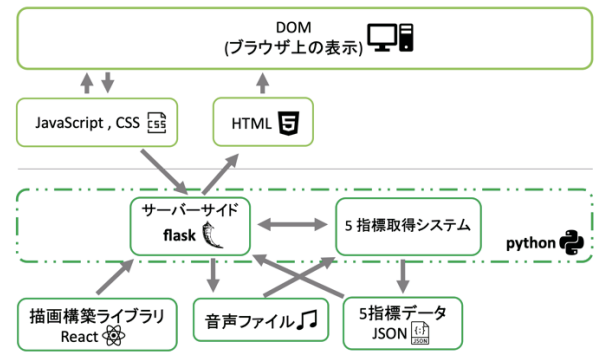


図1 web アプリケーション概要図

2.2 5 指標自動取得ツール

2.1 節で示した音読評価指標を、音読音声より自動取得するツールを作成した⁽⁴⁾。本ツールでは音声認識エンジンとして Google Cloud Speech API(Google 社)⁽⁶⁾ を用いる。Google Cloud Speech API では、ポーズ情報を取得できない。そのため、本ツールではポーズ情報を追加する処理を行っている。評価指標算出のための入力音声は、wav 形式のサンプリングレート 16kHz、ビット数 16bit、チャンネル数 1ch とする。

この自動取得ツールを web アプリケーションとして実装した。開発言語は python である。ここでは、音読音声からヒートマップ表示までを一貫して処理できる。web アプリケーションのフレームワークには、Flask⁽⁷⁾を採用した。web アプリの記述には、JavaScript の描画支援ライブラリ React⁽⁸⁾を利用した。web アプリケーションの概要を図1に示す。ここでの5 指標取得手順を以下に示す。

1. 音読ファイルを選択する
2. 課題文章を選択する
3. 課題文章の書式(横縦書き)を選択する
4. ポーズ区間の音圧閾値の設定をする
5. 5 指標取得し json ファイルとして出力する
6. json ファイルからヒートマップを表示する

2.3 ヒートマップによる音読結果の可視化

2.3.1 これまでに提案した可視化方法

音読の流暢性を評価する指標での解析結果をグラフで示すと、音読に対する読みの傾向は明らかにできるが、児童にとっての困難箇所や困難理由を明らかにすることができない。そのため、困難箇所や困難理由を明らかにするための可視化方法を検討する必要がある。

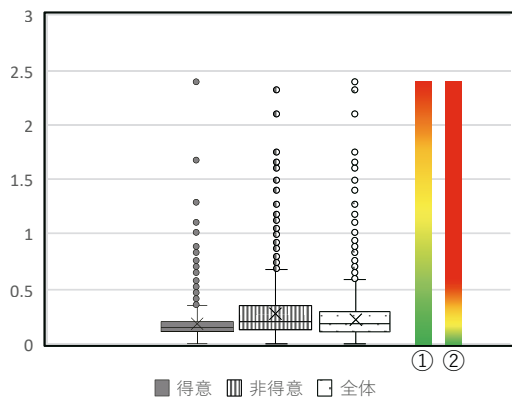
本研究では、利用者を音読指導教員と想定し、5 指標に基づく評価結果を可視化するインタフェースで、改善が望まれる音読箇所の効率的な発見を支援する。

本研究で提案する音読可視化方法は、モーラ時間とポーズ時間を表示色の特徴に対応付けたヒートマップを採用している。モーラ時間では、相対音読時間をカラーマップと対応させた。赤に近い箇所は音読時間が長く、緑に近い箇所は音読時間が短いことを表している。中間色には橙色、黄色、黄緑がある。相対化としているため、1 音読においては赤色と緑色は少なくとも1箇所ずつ出現する。このカラーマップでは赤から緑の間における色ムラが多いと音読の流暢さに問題が生じている可能性があることを示す。また、ポーズ時間でも、相対時間を明度スケールに対応させていた。黒いほど長いポーズで、白いほど短いポーズとなり、中間色は灰色である。相対化としているため、黒色と白色は少なくとも1箇所ずつ出現する。ポーズが句読点以外で生じた場合に、音読の流暢さに問題が生じている可能性を示す。

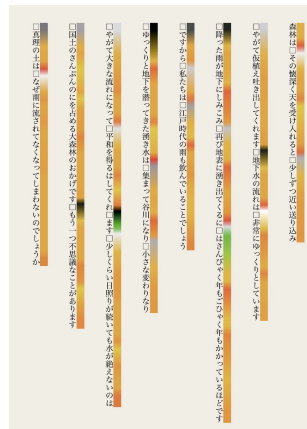
2.3.2 問題点

提案ヒートマップに基づいた主観的な音読評価を教育現場に対してフィードバックした。その際、提案フィードバックに対する肯定的な意見として「具体的に児童に対して評価を示せて良い」があった。一方、改善を求める意見として「全体的な色によって音読評価の良し悪しを勘違いする」があった。

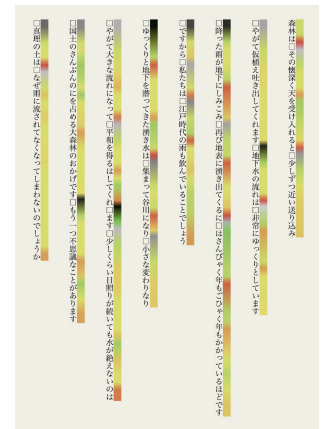
現状システムでは、1 音読における最短と最長のモーラを基準に線形的にカラーマップを割り当てている。しかし、この方法だと配色が外れ値に影響を受ける。外れ値の影響を受けると、ヒートマップの表示に用いるカラーマップの範囲が小さくなり全体的に色相が偏ることが確認された。また、教育現場でのヒートマップ読取の際に、「ヒートマップ全体における主色相がオレンジの場合には良い音読で、緑の場合には良くない



(a) 各群のモーラ長の箱ひげ図



(b) 従来方式ヒートマップ



(c) 改良方式ヒートマップ

図2 ヒートマップの改良案

音読である」という誤解が生じる可能性が示唆された。

2.3.3 改良

ヒートマップに用いるカラーマップの適切性を向上させるために、児童音読におけるモーラ時間とポーズ時間の分布に着目する。ここでは、これら2指標に対して平均時間 $\pm 2\sigma$ の範囲に対してカラーマップに割り振る方法を提案する。この方法では、配色に外れ値の影響が表れない。モーラ時間とポーズ時間が当該音読における平均値であれば、黄色に配色される。赤色と緑色は時間分布における $\pm 2\sigma$ を超える部分に配色されるため、ヒートマップに割り当てるカラーマップの色相の偏りが減ると考えられる。これにより、教育現場でのヒートマップ読取の際の誤解を解消でき、個々の児童の音読を評価しやすくなると考えた。3章で述べる音読得意・不得意グループでのモーラ時間の箱ひげ図を図2(a)に示す。いずれのグループにおいても外れ値が多いことが分かる。従来方法のカラーマップ範囲は①である。提案方法のカラーマップ範囲は②である。これらのカラーマップを用いたヒートマップの例をそれぞれ図2(b)(c)に示す。これらのヒートマップは成人男性による同一音読を対象として作成した。図3(b)に示す従来方式では全体の色相がオレンジ色に偏っている。一方、図2(c)に示す提案方法では色相の偏りが解消され、文節の句切れごとに赤色が示され、句読点では黒色が配色されている。従来方法と比べて、音読の特徴を表現するためにカラーマップを有効利用できていることが分かる。

2.4 ポーズ回数と位置に関する評価指標の改良

2.4.1 問題

2.1に示した5指標の内、(3)「ポーズ回数」と(4)「ポ

ーズ割合」は、音読課題文章の構成に依存するものである。これまでの解析では、句読点数とモーラ数が同じ課題文章の音読を比較してきた。今回解析対象とするデータ群は音読課題文章の構成が異なるものが多いため、現状の指標では評価できない。

2.4.2 改良

(3)と(4)に(5)「ポーズの位置情報」を加味し、かつ音読課題文章中の句読点数やモーラ数に依存しない評価方法を提案する。それが「句読点欠如割合(式1)」と「文節途中過剰割合(式2)」である。いずれの計算結果が0となることが理想的な音読を示す。理想的な音読とは「句読点ではポーズが挿入され、文節途中ではポーズが挿入されていない」ことを示す。

$$1 - \frac{\text{認識した句読点数}}{\text{課題文章句読点数}} \quad \dots \text{(式1)}$$

$$\frac{\text{認識した文節途中ポーズ数}}{\text{ポーズの入る余地数}} \quad \dots \text{(式2)}$$

句読点欠如割合とは、課題文章中の句読点でのポーズが挿入されていない割合を示す。認識した句読点数を課題文章に含まれる句読点数で割った数を1から引くことで求める。文章中の全ての句読点でポーズが挿入されていなければ100となり、全ての句読点でポーズが挿入されていたら0となる。

一方、文節途中過剰割合とは、課題文章の句読点以外の部分でのポーズ挿入割合を示す。認識した文節途中のポーズ数を課題文章内のポーズが入る可能性のある箇所数で割ることで求める。つまり、逐次読みや逐語読みとなった箇所の割合を表すものである。改行位置や文節途中でのポーズがない場合には0となる。

3. 読みの得意・不得意の児童の音読解析

読みが得意な児童と不得意な児童の音読データを 2.2 節に示した本ツールを用いて解析した。そして、その結果を 2.4 節で示した提案方法と 2.3 節に示したカラーマップでのヒートマップで評価した。

評価対象の児童は 44 名である。読みの得意な児童は、公立小学校 1~6 学年の通常の学級に在籍する計 26 名である。読みの不得意な児童は、公立小学校 1~6 学年の計 18 名である。「特異的発達障害診断・治療のための実践ガイドライン」に含まれる「特異的読字障害」の「単文音読検査」⁹⁾を実施し、ガイドラインの判定基準に基づき、音読時間の結果が健常児の+2SD 以上を「読みの不得意な児童」とした。解析対象とした音読データは計 86 データである。

3.1 対象音読データと音読データのグループ分け

今回の解析では、児童を読みの得意・不得意及び音読課題の提示方法(ハイライト有り・ハイライト無し)で 4 グループに分けた。各グループの特徴を表 1 に示す。括弧内は音読データ数である。group1 は音読が得意かつハイライト有りの音読群であり、解析対象は 24 データである。group2 は音読が不得意かつハイライト有りの音読群であり、解析対象は 23 データである。group3 は音読が得意かつハイライト無しの音読群であり、解析対象は 19 データである。group4 は音読が不得意かつハイライト無しの音読群であり、解析対象は 20 データである。

表 1 各グループの特徴

	得意	不得意
ハイライト有り	group1 (24)	group2 (23)
ハイライト無し	group3 (19)	group4 (20)

音読に用いた課題文章は 2~4 文の 14 種類であり、うち 5 種類が分かち書き文章である。これらの文章はすべて縦書きである。音読文章は DAISY 規格の ePUB としてタブレット端末に表示された。音読に用いた課題文章のモーラ数の平均は 100.57 (最大 136, 最小 76) であり、句読点数の平均は 3.57(最大 12, 最小 4) である。本ツールでは、音読文章の最終文の文末の句点は処理対象とはしない。

児童の音読時間は、得意グループで平均 23.61[s] (最大 39.84[s], 最小 11.83[s]), 不得意グループで平均で

36.01[s] (最大 53.29[s], 最小 13.77[s]) であった。

3.2 解析結果

解析結果を図 3 と図 4 に示す。

3.2.1 ポーズ時間とモーラ時間の特徴

図 3 の横軸はポーズ時間、縦軸はモーラ時間である。全被験者のポーズ平均時間の平均値±1σは 0.58±0.18[s], モーラ時間の平均値±1σは 0.18±0.08 [s] である。

得意グループ(濃灰色のマーク)ではモーラ時間に個人差が小さく、ポーズ時間に個人差が現れている。このグループでは、モーラ時間が平均値以下、かつポーズ平均時間が±1σ区間に 85% (47 データ中 40 データ)の音読が対応している。

不得意グループ(淡灰色のマーク)では、モーラ時間とポーズ時間が共に平均値を超える音読が 46% (39 データ中 18 データ) であった。このグループではポーズ時間とモーラ時間が共に、全体の平均よりも長めになる傾向にある。また、不得意グループでは、ポーズ時間が 0 のデータが 8% (39 データ中 3 データ) 存在している。これらの 3 データはモーラ時間が全被験者平均値+1σを超えているため、ポーズは挿入されないが、1つ1つのモーラを長めに音読をしていることが想定される。

各グループのポーズ時間とモーラ時間の特徴を表 2 に示す。得意グループは、ハイライト有りが無しに比べてモーラ時間の平均時間が短い。不得意グループは、ハイライト有りが無しに比べポーズ時間、モーラ時間共に平均値が小さい。

表 2 ポーズ時間とモーラ時間の特徴

	ポーズ時間[s]	モーラ時間[s]
group1	0.59±0.14	0.15±0.05
group2	0.56±0.13	0.13±0.02
group3	0.54±0.25	0.22±0.07
group4	0.61±0.18	0.24±0.09

3.2.1 句読点欠如割合と文節途中過剰割合の特徴

図 5 の横軸は句読点欠如割合、縦軸は文節途中過剰割合である。全被験者の句読点欠如割合の平均値±1σは 36.74±24.33[%]である。文節途中過剰割合の平均値±1σは 9.41±9.03[%]である。

得意グループにおいては、理想的な音読に近い範囲、すなわち、句読点欠如割合が平均値-1σ以下で、文節

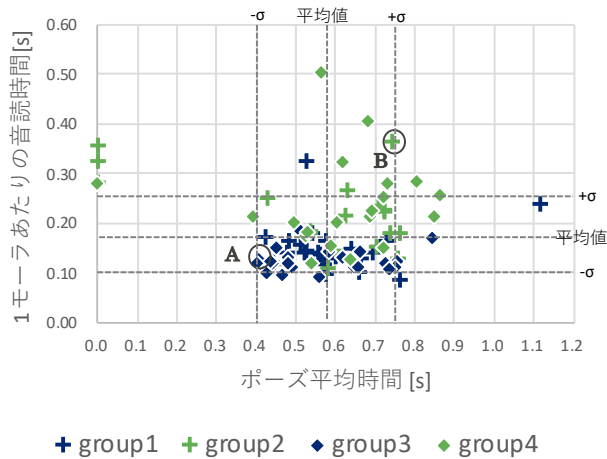


図3 ポーズ時間とモーラ時間

表3 句読点数欠如割合と文節途中過剰割合の特徴

	句読点欠如割合[%]	文節途中過剰割合[%]
group1	31.74±19.72	6.07±4.69
group2	47.6±25.21	13.9±11.97
group3	27.29±23.42	5.11±4.48
group4	43.29±23.58	14.11±9.44

表4 ハイライト条件ごとの検定結果

	ポーズ時間	モーラ時間	句読点欠如割合	文節途中過剰割合
g1	p=0.4306	p < 0.1%	p < 5%	p < 5%
g2				
g3	p=0.1170	p < 0.1%	p < 5%	p < 0.1%
g4				

途中過剰割合が平均値以下の範囲に 17% (47 データ中 8 データ) が存在する。この範囲に不得意グループは存在しない。

句読点欠如割合が平均値以上の範囲では、不得意グループは 62% (39 データ中 24 データ) であり、得意グループは 28% (47 データ中 13 データ) である。得意グループは、不得意グループに比べて適切な位置でポーズが挿入できていることを示している。また、文節途中過剰割合が平均値以上の範囲では、不得意グループは 64% (39 データ中 25 データ) であり、得意グループは 17% (47 データ中 8 データ) である。不得意グループは、得意グループに比べて文節途中で多くポーズが挿入されていることを示している。

これらの結果より、得意グループの読みは、「句読点で適切な間を取りながら、すらすら読めて言い淀みが無い」理想的な読みに近いことが示唆される。

各グループの句読点欠如割合と文節途中過剰割合の特徴を表3に示す。ハイライト有無で比較した場合に得意グループは、不得意グループに比べ2項目とも

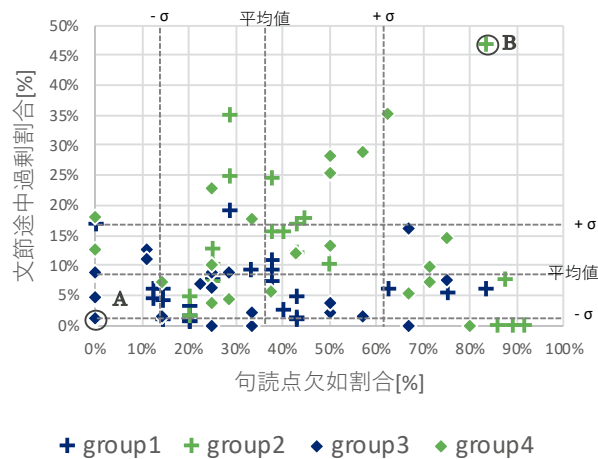


図4 句読点欠如割合と文節途中過剰割合の特徴

に値が小さい。得意グループではハイライト有りの方が2項目ともに値が大きい。不得意グループでは、ハイライト有りの方が文節途中過剰割合の値が小さい。

3.3 考察

全グループでのポーズ時間とモーラ時間、句読点欠如割合と文節途中過剰割合に対する Shapiro-Wilk 検定の結果、全ての指標で正規性が確認できなかった。そこで、対応のないノンパラメトリック検定の手法である Wilcoxon の順位和検定を用いて、4項目の平均値の差を検定した。

ハイライト条件ごとに読みの得意・不得意間 (group1 vs. group2 及び group 3 vs. group4) で検定した結果を表4に示す。ポーズ時間では、有意差が見られなかった。モーラ時間では、ハイライト有り・無しいずれにおいても 0.1%水準での有意差が示された。これらの結果より、モーラ時間に音読の得意・不得意の特徴が顕著に現れることが示唆される。

句読点欠如割合では、ハイライト有り・無しいずれにおいても 5%水準での有意差が示された。文節途中過剰割合では、ハイライト有りにおいて 5%水準で有意差が示され、ハイライト無しにおいては 0.1%水準での有意差が示された。

これらの結果より、今回提案した新しい評価指標である句読点欠如割合と文節途中過剰割合は、読みの得意・不得意を判別可能な指標であることが示唆された。

一方、音読の得意・不得意別のハイライト有り・無しでの比較では、得意グループ (group1 vs. group3) でのモーラ時間のみに 5%水準で有意差が示された。

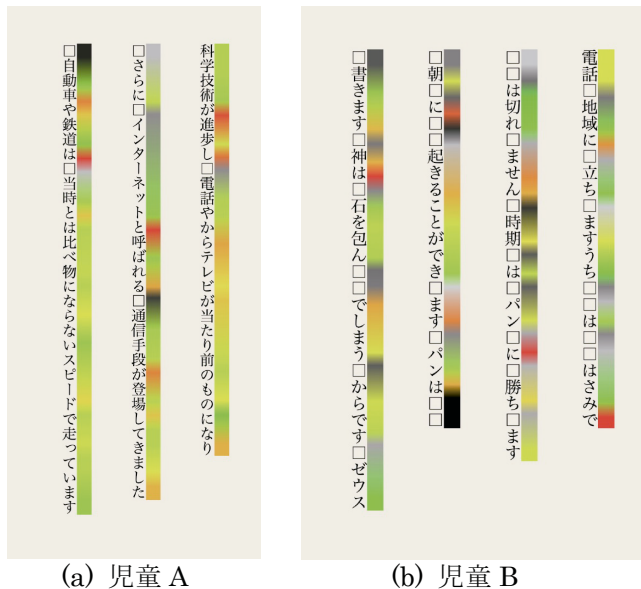


図5 2児童のヒートマップ比較

不得意グループ(group2 vs. group4)では、4項目全てで有意差が示されなかった。しかしながら、ポーズ時間、モーラ時間、文節途中過剰割合の3項目は平均値が小さくなっている。これは読みが不得意な児童において、ハイライトが効果的に作用する児童とそうでない児童がいることがあるためだと考えられる⁽¹⁰⁾。また、読み書きに困難のある児童に対するハイライト機能効果について調査した研究⁽¹¹⁾では、本研究の指標に関わりがある「パフォーマンススコア（課題おける音読時間(s)と正確に読めた文字数(正答数)の結果に基づく指標）において同様の結果が報告されている。

図4において特徴的な児童Aと児童Bのヒートマップを図5に示す。児童Aは図4で句読点欠如割合と、文節途中過剰割合が共に0に近く理想的な読みである。図5(a)の児童Aのヒートマップは色ムラが少なく、句読点の位置で適切なポーズが置かれている。一方、児童Bは文節途中過剰割合が47%で全被験者中最大であり、句読点欠如割合も80%を超えている。図5(b)のヒートマップは色ムラが大きく文節途中にポーズが多く挿入されていることが確認できる。

このように改良されたヒートマップでは児童の読みの傾向やポーズの挿入箇所について可視化できる。

4. おわりに

本稿では、読み得意・不得意の児童の音読に対して音読時間とポーズ時間の特徴に基づく解析結果を示した。読み得意・不得意の違いにより、本研究で提案し

た流暢性評価指標において有意な差が確認された。しかし、ハイライト有無の違いでは、統計的な有意差を確認できなかったが、不得意グループではポーズ時間とモーラ時間、文節途中過剰割合の平均値が、得意グループに比べて低くなった。読みが不得意な児童のすべてにハイライトが効果的に作用するわけではない。今後は児童ごとのハイライトの有無の影響を本指標により精査したい。また、この得意・不得意グループを基準として、他の児童群の読みを評価したい。

謝辞 児童の音読音声の提供及び音読評価結果の評価に協力頂いた大阪大学 楠敬太先生、立命館大学 小澤亘先生、大阪教育大学 金森裕治先生に感謝いたします。

参考文献

- (1) 奥村智人: “発達性読み書き障害 (ディスレクシア) の評価と指導”, 明星大学発達支援研究センター紀要, Vol.1, pp.13-15 (2016).
- (2) Deno, S.L., et al.: Relationships among simple measures of spelling and performance on standardized achievement tests [Research Report No.21], Minneapolis: University of Minnesota, Institute for research on Learning Disabilities (1980).
- (3) 北川耕平他: “音読時間とポーズの特徴に着目した読みの流暢性の評価指標に基づく音読の流暢性評価の提案”, 信学論 D, Vol.J101-D, No.2, pp.338-347 (2018).
- (4) 丸山裕也他: “音読のポーズ特徴に基づく音読流暢性アセスメントツールの設計”, 2017年度教育システム情報学会学生研究発表会北信越地区, pp.29-30 (2017)
- (5) 丸山裕也他: “音読時間とポーズ時間の特徴に基づく音読流暢性評価とそのフィードバックツールの提案”, 教育システム情報学会研究会, Vol.33, No.4, pp.67-72 (2018)
- (6) Google Cloud Speech API : <https://cloud.google.com/speech-to-text/> (2019年2月7日確認)
- (7) Welcome to Flask: <http://flask.pocoo.org/docs/1.0/> (2019年2月7日確認)
- (8) React: <https://github.com/facebook/react/> (2019年2月7日確認)
- (9) 稲垣真澄他: “特異的発達障害診断・治療のための実施ガイドライン”, 株式会社診断と治療社, 東京(2010)
- (10) 河野俊寛: “読み書き障害のある子どもへのサポート”, 読書工房, 東京(2012)
- (11) 金森裕治他: “読み書きに困難のある児童に対するデジタル教材におけるハイライト機能の効果について”, 2016年度 公益財団法人 明治安田こころの健康財団研究助成論文集 Vol.52, pp.108-103 (2016)