

視覚障害者学習支援のための MathML 変換と利活用

渡辺千晶*

Email: watanabe.chiaki@is.ocha.ac.jp

*: お茶の水女子大学人間文化創成科学研究科理学専攻

◎Key Words 視覚障害者支援, MathML

1. はじめに

現代、日本には 393 万人もの多くの身体障害者がいる⁽¹⁾。また年齢階層ごとの身体障害者の割合に着目してみると、高齢になる程割合が高い。加えて日本では高齢化が進行していることから、身体障害者は今後も増加していくと考えられる。また近年、公共職業安定所を通じた身体障害者の新規求職件数、就職件数が共に上昇していることから、身体障害者の就労意識は高まってきているといえる。そして、2012 年に障害者の雇用率を 1.8%だったところを 2%に引き上げることが閣議決定され、2013 年から実施されている。しかし現在の障害者の民間企業の実雇用率は 2%達成にはほど遠い。このように、求職中の身体障害者と雇用側との間には数の不釣り合いが生じている。身体障害者の就労をもっと増やすためには、彼らの享受する教育をより良いものにすることが必要である。身体障害者の学習には、障害の特性に応じた機能を使用できる教材があれば良いと考える。そこでオンライン学習は身体障害者の中でも視覚障害者が最も有効であると考え、視覚障害者の学習を補償するアプリケーションを作成したいと考えた。

2. 背景

2.1 歴史

視覚障害者への情報提供手段の工夫は古くから試みられており、当初は紙に墨字を浮き出させて印刷した文字や、粘土板や木板に刻んだ文字等が用いられていた⁽²⁾。しかし視覚障害者にとってそれらは読むのに遅く、また書くのには非常に困難であった。そこで 1825 年にルイ・ブライユが、視覚障害者が文字を早く読めるように、そして読むだけでなく書くこともできるように、アルファベットを 6 つの点で表すという点字を考案した。その後点字が社会に浸透して教育と福祉が発展するようになる⁽³⁾、1970 年代以降に対面による書物や文書の朗読と、音響機器を用いた録音テープ等のメディア配布による、朗読サービスの始まりが見られるようになった。

点字を利用するためには点字の学習をする必要がある。また点字を図書にするとかさばるのでそれを運ぶのに移動が必要となり、視覚障害者にとって移動に伴う障害は、それが僅かであっても命の危険に繋がるため危険なものとなる。このように点字を利用するには情報入手や移動のために第三者の手助けが必要となる。実際に、視覚障害者の中で点字を利用している者の割合は 10%程度と非常に少ない⁽⁴⁾。朗読サービスも、ボラ

ンティア等の人に読んでもらうものであるために第三者の手助けが必要となる。よっていずれも人的サービスのものであり、それには限界があるため、視覚障害者の学習も伸び悩むことになる。現状として、全国の大学の全入学者にしめる障害学生の割合は約 0.44%⁽⁵⁾と非常に少ない。視覚障害者が自宅で自力で学習できる環境には、自動で教材を読み上げる読み上げ機能があればいいと考えられた。その読み上げられる文書は電子化されたものであればいいと考えられた。そこで、文書を電子化するものとしてワードプロセッサが、画面読み上げ機能としてスクリーンリーダーが開発された。これらの開発により、視覚障害者は自力で読み書きが可能になり、視覚障害者と点字を学習していない健常者などとの間で容易に情報伝達ができるようになった。またここで、ワードプロセッサの発達を技術の面から見てみると、科学技術文書は以前タイプライターで書かれていたり手書きであったりした。そこで 1978 年に東芝によってワードプロセッサが開発され、科学技術文書は綺麗な図や表を含めるようになり、わざわざ紙に印刷しなくても web 上で見ることが出来るようになった。そしてコンピュータで科学技術文書を記述するのが普及し、数式を記述するために TeX、MathML が開発された。

2.2 TeX

TeX は、Donald E. Knuth が数式を含む印刷物をより美しく見せるために開発した⁽⁶⁾、数式を記述するためのフリーソフトウェアである。数式をきちんと表示することだけが考えてられており、ソースコードは短く書ける。また Windows, OS X, Linux OS, BSD 系 OS, Android OS, iOS などの幅広いブラウザで表示できる。

2.3 MathML

MathML は XML アプリケーションの一つで、W3C⁽⁷⁾によって勧告された数式を記述するためのマークアップ言語である。単体では記述しかできないため、文書として利用するには XHTML ファイルに埋め込む。表示できるブラウザは Firefox, Opera, Safari である。

MathML にはプレゼンテーション形式とコンテンツ形式という二種類の書式がある。前者は文字の大きさや位置関係を指定してレイアウト構造を定めるものであって概念は TeX と同様であり、後者はオペレーターや引数などの数式要素を定義してから数式の意味を厳密に表現するものである。このように MathML は数学上の表記法と意味の両方を符号化できることが特徴であり、数式処理システムやスクリーンリーダーなどへ

の応用を目標とされている。

```
<mrow>
  <mrow>
    <msup>
      <mi>x</mi>
      <mn>2</mn>
    </msup>
    <mo>+</mo>
    <mrow>
      <mn>4</mn>
      <mo>&InvisibleTimes;</mo>
      <mi>x</mi>
    </mrow>
    <mo>+</mo>
    <mn>4</mn>
  </mrow>
</mrow>
<mo>=</mo>
<mn>0</mn>
</mrow>
```

表記: $x^2 + 4x + 4 = 0$.

図1 プレゼンテーション形式の例

```
<mrow>
  <apply>
    <eq/>
    <apply>
      <plus/>
      <apply>
        <power/>
        <ci>x</ci>
        <cn>2</cn>
      </apply>
      <apply>
        <times/>
        <cn>4</cn>
        <ci>x</ci>
      </apply>
      <cn>4</cn>
    </apply>
    <cn>0</cn>
  </apply>
</mrow>
```

表記: $x^2 + 4x + 4 = 0$.

図2 コンテンツ形式の例

2.4 スクリーンリーダー

スクリーンリーダーとは、コンピュータの画面情報を合成音声に出力するソフトウェアである。視覚障害者がコンピュータを操作できるようにするために開発されたもので、コンピュータや携帯電話に搭載されている。これによって視覚的に使うことが必要であるマウスに変わり、情報を音声で読み上げることによってその操作を補助することができる。Mac OS X, iOS, iPodには標準でVoice Overが、Windows標準ではナレーターが、Linux標準ではBRLTTYが搭載されている。他のWindows対応の有名なソフトを挙げると、有料のものはPC-Talker, JAWS, 95Reader, VDMシリーズ, FocusTalk, オープンソースのものはNVDAなどである。また上に挙げたスクリーンリーダーは全て日本語に対応している。また、読み上げ方に関して

$$a + \frac{c}{b} - d$$

上記の式を読み上げると、「a プラス b 分の c マイナス d」となる。

$$\frac{c-d}{a+b}$$

上記の式を読み上げても同様に「a プラス b 分の c マ

イナス d」となる。このように、単調に読み上げるだけでは数式の解釈が異なってしまう場合があるため、読み上げ方に工夫が必要であることが課題である。

2.5 関連研究

紙に印刷された数式や手書きにより認識した数式をOCRによってMathMLのプレゼンテーション形式やLaTeXや点字に変換出力するプログラムとしてInfty⁽⁸⁾、LaTeXファイルをMathMLのプレゼンテーション形式に変換するプログラムとしてTtMなどが開発されている。⁽⁹⁾

3. コンテンツ形式への変換

3.1 プレゼンテーション形式の問題

MathMLのプレゼンテーション形式で記述された数式の中には、ブラウザ上での表示はコンテンツ形式のものと同じであっても、コンピュータ上では本来とは異なった意味で認識されてしまうものがある。例えば、

$$\frac{dy}{dx}$$

の数式については、これがコンテンツ形式で記述されたものと微分記号として認識されるが、プレゼンテーション形式で記述されたものと分数として認識されてしまう。しかしこの例で数式をスクリーンリーダーで読み上げさせた場合、「dx 分の dy」というように分数として読み上げられた音声聞いて、確かに本来の意味とは異なるが考えれば微分記号のことであろうと意味は通じる程度である。ここでソースコードが数式と似てもおらず意味が全く異なる例を次に挙げる。

$${}_n C_r = \binom{n}{r}$$

上記の式の右辺について、ブラウザ上では同じ表示でも、コードの書き方が二通りある。一つは本来の二項係数を表示させる書き方だが、二つは括線の太さを0にした $\frac{n}{r}$ を大括弧でくくった書き方であり、 $\frac{n}{r}$ の分数と認識される可能性がある。

3.2 実装

そこで本研究では、プレゼンテーション形式のMathMLよりは一般的で、更にソースコードが短いTeXの数式ソースコードをコンテンツ形式のMathMLに変換するアプリケーションを提案する。またTeXで簡易的に記述された数式を数式処理システムが正しく読み込めない際に、変換後の数式をシステムの入力に受け渡すことができるようにすることも本研究の目標のひとつとする。

2次方程式の解の公式を変換する例でプログラムの流れを説明する。変換するTeXコードを、LEXERという文字を意味を持つコードの最小単位に分割してくれる字句解析プログラムにかけて、数式を分割する(図5後ろのウィンドウ)。コンテンツ形式の書き方に土がないため、ここでは+として実行する。

そして分割したものを配列要素とした文字列にして変換プログラムに読み込ませ、変換させる(図5前のウィンドウ)。

```

<mrow>
  <mi>x</mi>
  <mo>=</mo>
  <mfrac>
    <mrow>
      <mrow>
        <mo>-</mo>
        <mi>b</mi>
      </mrow>
      <mo>&PlusMinus;</mo>
      <msqrt>
        <mrow>
          <msup>
            <mi>b</mi>
            <mn>2</mn>
          </msup>
          <mo>-</mo>
          <mrow>
            <mn>4</mn>
            <mo>&InvisibleTimes;</mo>
            <mi>a</mi>
          </mrow>
        </mrow>
      </msqrt>
    </mfrac>
  </mrow>

```

表記: $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$.

図3 プレゼンテーション形式の2次方程式の解の公式

```

<mrow>
  <apply>
    <eq>
      <ci>x</ci>
      <apply>
        <divide/>
        <apply>
          <mo>&PlusMinus;</mo>
          <apply>
            <minus/>
            <ci>b</ci>
          </apply>
          <apply>
            <root/>
            <apply>
              <minus/>
              <apply>
                <power/>
                <ci>b</ci>
                <cn>2</cn>
              </apply>
              <apply>
                <times/>
                <cn>4</cn>
                <ci>a</ci>
              </apply>
            </apply>
          </apply>
          <cn>2</cn>
        </apply>
      </apply>
    </eq>
  </apply>
</mrow>

```

表記: $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$.

図4 コンテンツ形式の二次方程式の解の公式

4. 利活用

4.1 スクリーンリーダーでの利用

本研究で変換したコンテンツ形式の MathML コードを XML 形式で保存し、ブラウザに表示させてスクリーンリーダーに読み上げさせれば、数式の本来の意味に従った正しい読み上げが可能になる。また 2.4 節で述べた例のような場合も、読み方が工夫されることでわかりやすくなる。

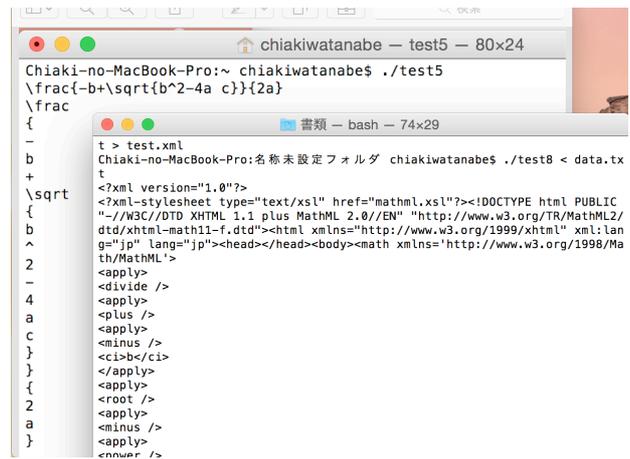


図5 実行結果

4.2 他システムとの連携

本研究で変換したコンテンツ形式の MathML は論理的構造を持っている。そのため、他システムへの利用が容易である。例えば以下のような利活用が期待できる。

数式処理システム

数式処理システムとは、数学をコンピュータで扱うソフトウェアであり、数式を近似値ではなく数式のまままで処理できる特徴がある。よく知られているものに、Mathematica や Maxima などがある。

Mathematica は、Wolfram Research 社が提供する数値計算のアプリケーションである。Mathematica コードで記述した数式を入力情報とし、その計算結果が出力される。Mathematica が従う Wolfram 言語では XML がサポートされているため、MathML コードを Mathematica コードに変換するのは容易であると考えられる。

本研究で変換したコンテンツ形式の MathML コードは Mathematica コードへの変換が容易であるため、変換して Mathematica の入力に渡せば、Mathematica への TeX 形式からの入力が可能になる。そうすれば Mathematica に数式を一つ一つ打ち込む手間が省くことができ、入力が楽になる。

数学オンライン評価システム

e-Learning システムで数式を含む問題を扱う際にはいくつかの問題があり、これらに対応したシステムが数学オンライン評価システムである。

STACK は、ある数式の問題に対してユーザーが返した回答の正誤評価を行う e-Learning システムである⁽¹⁰⁾。2004 年にバーミンガム大学の Sangwin らによって開発が始められ、2008 年から Moodle と連携している。数式処理には、オープンソースソフトウェアである Maxima が採用されている。また、ポテンシャル・レスポンス・ツリーという機構を用いて、ユーザーの回答に対するコメントを与えることも可能で、教育効果が高まることに繋がると期待されている。Maxima の書式に従った数式を入力情報とするので、STACK では数式が複雑な場合の入力が大変になる。

本研究の MathML 変換を利用することで、これまで TeX で蓄積されている多くの問題を自動採点システム

へ取り込むことができる。さらに採点を重ね不正解だった問題をたくさん集めれば、それらに共通する学習範囲を提示することで、復習のフィードバック提供が可能になる。

5. まとめ

視覚障害者のスクリーンリーダーを利用した数式のオンライン学習を支援するため、数式の TeX コードをコンテンツ形式の MathML コードに変換するアプリケーションを考案した。今後は、数式の前後の文脈によってその数式のコードを変えるかの判断を行えるようにしたい。またこのようにして変換の精度を高めつつ、自動採点システムとフィードバック提供を始め、本研究の幅広い利活用について考えていきたい。

参考文献

- (1) <http://www8.cao.go.jp/shougai/whitepaper/h26hakusho/gaiyou/h03.html> (2016/6/15/閲覧)
- (2) [http://www.edu.city.yokohama.jp/sch/ss/yokomou/eyes/ictknow/ictkatuyou/mojinorekisi/\(2016/2/3 閲覧\)](http://www.edu.city.yokohama.jp/sch/ss/yokomou/eyes/ictknow/ictkatuyou/mojinorekisi/(2016/2/3 閲覧))
- (3) <http://current.ndl.go.jp/node/17981> (2016/6/15/閲覧)
- (4) 大武信之, 視聴覚障害者高等教育支援のための文書処理システムの開発, お茶の水女子大学大学院 人間文化研究科博士 (理学) 学位論文 ; 博乙第 174 号(2002)
- (5) http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/113/shiryo/_icsFiles/afiedfile/2015/07/08/1359123_07.pdf (2016/6/15/閲覧)
- (6) <http://ascii.asciimw.jp/books/books/detail/4-7561-4411-X.shtml> (2016/6/15/ 閲覧)
- (7) [http://www.w3.org/TR/MathML3/\(2016/6/15/ 閲覧\)](http://www.w3.org/TR/MathML3/(2016/6/15/ 閲覧))
- (8) [http://www.inftyproject.org\(2016/6/15/ 閲覧\)](http://www.inftyproject.org(2016/6/15/ 閲覧))
- (9) [http://hutchinson.belmont.ma.us/tth/mml/\(2016/6/15/ 閲覧\)](http://hutchinson.belmont.ma.us/tth/mml/(2016/6/15/ 閲覧))
- (10) <http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~kyodo/kokyuroku/contents/pdf/1674-06.pdf> (2016/6/15/ 閲覧)