

# 数式記述言語 MathML を用いた初等教育における教師支援ツールの開発

Development of teacher support tool in primary education using mathematical expression language MathML

椎名遥\*1・浅本紀子\*2

Email: shiina.haruka@is.ocha.ac.jp

\*1: お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科理学専攻情報科学コース

\*2: お茶の水女子大学大学院基幹研究院自然科学系

◎Key Words MathML, 教育支援, 算数

## 1. はじめに

現在、初等教育の現場にデジタル教科書や電子黒板が導入されつつある。「主体的・対話的で深い学び」の視点からの授業改善や、特別な配慮を必要とする児童生徒等の学習上の困難低減のため、令和2年度から新学習指導要領が実施される。そのため、学習者用デジタル教科書を制度化する「学校教育法等の一部を改正する法律」等関係法令が平成31年4月から施行された。<sup>(1)</sup>これにより、これまでの紙の教科書を主たる教材として使用しながら、必要に応じて学習者用デジタル教科書を併用することができるようになる。尚、ここでの「学習者用デジタル教科書」とは、紙の教科書の内容の全部をそのまま記録した電磁的記録である教材を指す。

しかし、まず導入しやすい電子黒板での授業を試みる際でも、教師は教材を自分で用意する必要がある。そのため、従来の黒板を使った授業の形式を変えることに労力や時間を要すること、新たな機器の導入やそれらの使い方を新たに習得すること、電子教材に適したコンテンツを作成しなければならないことなどが、学校現場において教師の負担となっている。電子教材を取り入れることで学習障害のある生徒への活用やディープラーニングへの活用、通学時の生徒にかかる負担の軽減、わかりやすく自由度の高い授業の実現が見込まれるものの、指導者用のデジタル教科書の普及率が約半数に留まっている。<sup>(2)</sup>本研究では MathML を用いることによって、算数科目において、電子黒板及びデジタル教科書を使う際の教材作成の自動化を目指し、授業の電子化を容易にするための教師支援ツールの開発を図った。

## 2. 背景

### 2.1 教科書

日本の初等教育と中等教育の学校では、文部科学省が示す教科用図書検定基準（に合致した教科用図書を使用しなければならない。これは、「教科用図書検定規則（平成元年4月4日文部省令第20号）」及び「義務教育諸学校教科用図書検定基準（平成29年8月10日文部科学省告示第105号）」に定められている。<sup>(3)(4)</sup>

昭和38年に「義務教育諸学校の教科用図書の無償措置に関する法律」が公布され、義務教育で使用する教科書を無償配布するための具体的方法や、教科書採択の仕組みなどが定められ、今日に至っている。

平成20年に「障害のある児童及び生徒のための教科用特定図書等の普及の促進等に関する法律」が施行され、視覚障害のある児童生徒用の拡大教科書をはじめとする教科用特定図書等において、無償での提供や発行の促進、教科用特定図書を作成するボランティア団体等への教科書デジタルデータの提供が行われている。<sup>(5)</sup>

### 2.2 MathML

MathMLとは、World Wide Web Consortiumによって勧告された、XMLアプリケーションの一つであり、数式を記述するためのマークアップ言語である MathML 単体では数式の記述しかできないため、文書として記述するには HTML 及び XHTML に埋め込む必要がある。<sup>(6)</sup>

MathMLには、表現形式記述と意味形式記述の2つの記述方式がある。前者は、数式の視覚的な表示に用途を絞って、数式を見てわかりやすく表現するための記述（W3C: MathML では notational structure）方式である。図1に、数式  $x^2 + 4x + 4 = 0$  の表現形式記述の例を示す。

```
<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>
```

標記:  $x^2 + 4x + 4 = 0$ .

図1 MathMLの表現形式記述の例

後者の意味形式記述は、数式の要素を定義し、意味を厳密に表現するための記述（W3C：MathML では functional structure）方式である。図2に、意味形式記述の例を示す。<sup>(7)</sup>

```
<mrow>
<apply>
  <eq/>
  <apply>
    <plus/>
    <apply>  標記：  $x^2 + 4x + 4 = 0.$ 
      <power/>
      <ci>x</ci>
      <cn>2</cn>
    </apply>
    <apply>
      <times/>
      <cn>4</cn>
      <ci>x</ci>
    </apply>
    <cn>4</cn>
  </apply>
</mrow>
```

図2 MathML の意味形式記述の例

両者の違いは、数式を綺麗に表示することを目的とするか、数式の意味が厳密に定義することを目的とするかという点である。例えば、図1の表現形式記述では、3~6行目で $x^2$ が表されている。しかしここで使われているタグ<msup>は上付きを組むための要素であるため、2乗という意味が付与されているわけではない。一方図2の意味形式記述では、7行目で<power>タグが用いられている。これは累乗を表すタグであるため、2乗という意味を的確に表現することができる。

平成22年10月にバージョン3.0が勧告され、平成26年4月に勧告されたバージョン3.0第2版が最新版である。MathML2.0第2版からの変更点として、表現形式記述において、初等算術レイアウトのための構成要素が導入されたことが挙げられる。数字と演算子の行を揃える、スタックの行間に線を引く、次の行斜線で消し、注釈を付けるといった機能が付加された。これにより筆算を綺麗に表示することが可能となった。表1に新たに導入された初等算術の組版に用いる要素を示す。<sup>(8)(9)</sup>

表1 初等算術の組版に用いる要素

タグ	説明
<mstack>	mstack 要素の引数一つ一つが、一つの行となる。stackalign という行の水平配置を制御する属性がある。
<msrow>	複数の要素で一つの行を構成するためのもの。
<msline>	水平罫線を表す空要素である。
<mscarries>	mscarries 要素の引数一つ一つが、対応する桁の位置に小さい字で組まれる。

<mscopy>	mscopy の引数となる複数の要素を含むためのもの。
<msgroup>	複数の行をひとまとめにするためのもの。
<mslongdiv>	除算（割り算）を組むための要素である。最初の3つの引数は、①除数（割る数）、②商（割った結果）、③被除数（割られる数）となる。

MathML は TeX と比べて構成要素は多く、可読性は優れていない。TeX だと一行で書ける数式も、MathML だと上に示したように何行も要する。しかし MathML はコンピュータの意味認識に有利になるように設計されている。意味形式記述より表現形式記述の方が広く用いられているため、本研究では MathML の表現形式記述で出力を行う。

### 2.3 学校教育法等の一部を改正する法律

以前は、小学校、中学校、高等学校等の授業では、紙の教科用図書の使用義務が存在していた。しかし、学校教育法等の一部を改正する法律（平成30年法律39号）が平成30年6月1日に公布され、平成31年4月1日から施行されることとなった。この改正により、情報通信技術の進展等に鑑み、教育の充実を図るため、また障害のある児童生徒の学習上の困難を低減させるために、教科用図書の内容を電磁的に記録した教材を使用することができるようになった。<sup>(10)</sup>

教育の充実を図る目的で学習者用デジタル教科書を使用する際、デジタル教科書の導入を段階的に進めるため、紙の教科書を主として用いつつ各教科等の授業時数の2分の1に満たない範囲で使用する必要がある。また学習上の困難を低減させる目的で使用する場合、障害の事由に応じた適切な配慮が求められており、デジタル教科書を使用する授業が2分の1を超える場合には、児童生徒の学習及び健康の状況の把握に特に配慮する必要がある。<sup>(11)</sup>

## 3. 筆算の自動化

### 3.1 現状

現在、教師のデジタル教材の作成を支援するツールはいくつか提供されている。例えば、株式会社グレートインターナショナルが提供するデジタル教材作成ツール dbookPRO2<sup>(12)</sup>は全国の自治体で導入されており、のべ約5000ユーザーに使用されている。教育現場で頻りに利用される書籍やプリントなどの紙の資料を、そのまま従来のプレゼンテーションソフトを用いてプレゼン資料にすることや、授業の流れに応じて多様な展開が存在することを想定して書き込みや画面の切り取りなどが可能である。また、株式会社日立ソリューションズでも、学校向け教育コンテンツ活用システムを提供しており、滋賀県草津市で導入されている。<sup>(13)(14)</sup>これらの活用システムは、電子黒板と連携したものはあるが、各種教材コンテンツを提供するものではなく、教材そのものは現場の教師が自助努力で用意しなければならない。市販デジタル教科書等をコンテンツ

として登録しても不十分で、算数であれば授業時間で提示すべき内容は、数値を1ヶ所変更しただけでもコンテンツの変更が必要となる。板書するように、容易にコンテンツの変更ができれば良いが、そのような仕組みが提供されなければ、現場の教師に使われることがなく、使用されたとしても教材作成上の負担は大きい。

初等教育の筆算が自動出力されるシステムはまだ開発されていないため、本研究では、任意の計算式を入力すると、段階ごとに筆算が自動で出力されるシステムを提案する。また、初等教育の算数科目で取り上げる計算式の途中式を、自動で表示するシステムを作成することも、本研究の目的とする。

### 3.2 実装

図3に、本研究で提案する筆算の自動入力システムを示す。

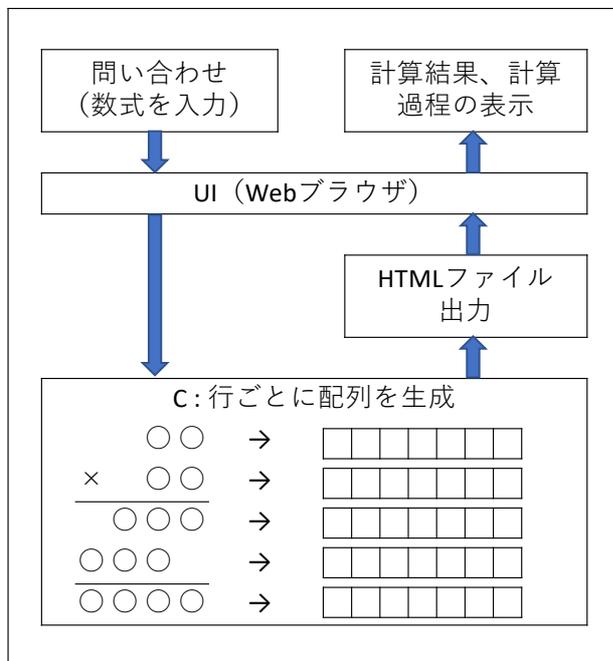


図3 筆算の自動出力システムの構成

2つの項の四則演算式をターミナルに入力すると、小さい桁から配列に入れられる。筆算の行ごとに別の配列が設けられ、全て計算し求められると、筆算の形でHTML形式のファイルが出力される。尚、今回は整数と整数の二項演算を想定している。

図4に繰り上がりのある足し算の例を示す。足し算は繰り上がりが存在する可能性があるため、繰り上がりも一行と考え配列を設ける。10の位から配列に入り、今回10の位は繰り上がりが存在しないため、0が入る。繰り上がりの配列が0だった場合は表示しないものとするため、繰り上がりのない足し算では最上部のメモは表示されない。

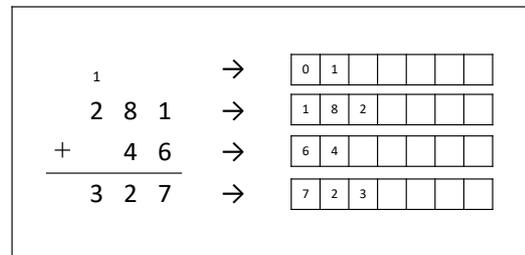


図4 繰り上がりのある足し算の例

図5に繰り下がりのある引き算の例を示す。引き算では、繰り下がりの存在が考えられる。教師や教科書の方針、児童の学力レベルによって繰り下がりの書き方はいくつか考えられる。本体の斜線を右上がりにするか右下がりにするかといった流儀の分岐がある。また繰り下げた数字をそのまま書くか元の数字を足して書くか、図5で言うと1の位の上のメモを16と表記するか10と表記するかという点も意見が分かれる。本研究では教育出版の教科書を参考に作成したため、斜線は右下がりであり、メモは元の数字を足したものとしている。<sup>(15)</sup>

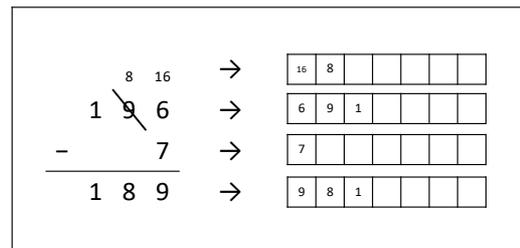


図5 繰り下がりのある引き算の例

図6に商が2桁の割り算の例を示す。除数は加減法と同様に小さい桁から配列に入れるが、商は被除数を大きい桁から計算していくため、除数以外の数字の大きい桁から配列に入れている。計算過程での引き算の繰り下がりについては、今後の課題とする。

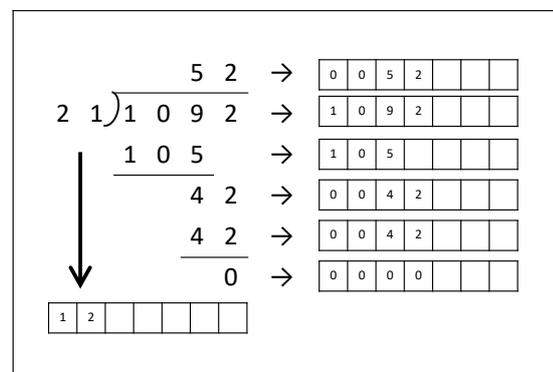


図6 商が2桁の割り算の例

### 3.3 表現形式出力

2.1 で述べた通り、MathML3.0 より初等算術のレイアウト要素が導入された。今回のプログラムもそれらを用いている。図4の足し算の繰り上がりのある例の記述を図7に示す。

$\begin{array}{r} 1 \\ 281 \\ + 46 \\ \hline 327 \end{array}$	<pre> &lt;mstack&gt;   &lt;mscaries&gt;     &lt;mn&gt;1&lt;/mn&gt;     &lt;none /&gt;     &lt;none /&gt;   &lt;/mscaries&gt;   &lt;mn&gt;281&lt;/mn&gt;   &lt;msrow&gt;     &lt;mo&gt;+&lt;/mo&gt;     &lt;none /&gt;     &lt;mn&gt;46&lt;/mn&gt;   &lt;/msrow&gt;   &lt;msline /&gt;   &lt;mn&gt;327&lt;/mn&gt; &lt;/mstack&gt; </pre>
---	---

図7 繰り上がりのある足し算の表現形式出力

図5の足し算の繰り上がりのある例の記述を図8に示す。

$\begin{array}{r} 8 \quad 16 \\ 1 \quad \cancel{9} \quad 6 \\ - \quad \quad 7 \\ \hline 1 \quad 8 \quad 9 \end{array}$	<pre> &lt;mstack&gt;   &lt;mscaries crossout="downdiagonalstrike"&gt;     &lt;mn&gt;8&lt;/mn&gt;     &lt;mscarry crossout="none"&gt;       &lt;mn&gt;10&lt;/mn&gt;     &lt;/mscarry&gt;   &lt;/mscaries&gt;   &lt;mn&gt;196&lt;/mn&gt;   &lt;msrow&gt;     &lt;mo&gt;-&lt;/mo&gt;     &lt;none /&gt;     &lt;none /&gt;     &lt;mn&gt;7&lt;/mn&gt;   &lt;/msrow&gt;   &lt;msline&gt;&lt;/msline&gt;   &lt;mn&gt;189&lt;/mn&gt; &lt;/mstack&gt; </pre>
--	---

図8 繰り下がりのある引き算の表現形式出力

### 3.4 活用

本ツールは、2つの項の四則演算式の入力を想定している。しかし手書き入力をこのツールの入力に合わせることで、同じシステムを用いた応用が可能となる。また、段階ごとに行を非表示にするなどすれば、計算途中の様子も出力可能となる。例えば教師が板書する場面と同じ要領で数式を入力した際、手書きの数式を読み取り、筆算を段階ごとに表示することができる。また電子黒板だけでなく電子書籍にも搭載することで、

筆算を用いる教育現場での活用が考えられる。

## 4. おわりに

本研究では、教師がデジタル教材を用いる際、手軽に筆算を表示できるツールを提案した。今後は整数計算のみならず小数点を含む計算や、分数も含まれる四則演算の途中式自動表示を実装していきたい。また、手書き入力のみならず、本システムの幅広い利活用についても考えを深めていきたい。

### 参考文献

- (1) [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/kyoukasho/seido/1407731.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/kyoukasho/seido/1407731.htm) (2019/06/12 閲覧, 短縮形 <https://bit.ly/2IMp1em>)
- (2) <https://career-ed-lab.mycampus.jp/career-column/973/> (2019/06/14 閲覧)
- (3) [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/kyoukasho/kentei/021201.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/kyoukasho/kentei/021201.htm) (2019/06/13 閲覧, 短縮形 <https://bit.ly/2MKERvm>)
- (4) [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/kyoukasho/kentei/141168.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/kyoukasho/kentei/141168.htm) (2019/06/13 閲覧, 短縮形 <https://bit.ly/2MOUouh>)
- (5) <http://www.textbook.or.jp/question/answer/a20.pdf> (2019/06/12 閲覧, 短縮形 <https://bit.ly/2WifF8J>)
- (6) <https://www.w3.org/TR/MathML3/> (2019/06/12 閲覧, 短縮形 <https://bit.ly/2Igc2CM>)
- (7) 渡辺千晶：“視覚障害者学習支援のための MathML 変換”, pp.9, お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科理学専攻 (2017).
- (8) <http://washitake.com/MathML/ver3/> (2019/06/12 閲覧, 短縮形 <https://bit.ly/2KgcR0B>)
- (9) 道廣勇司：“MathML 数式組版入門 Ver1.1”, pp.54, アンテナハウス株式会社 (2018).
- (10) [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/kyoukasho/seido/1407716.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/kyoukasho/seido/1407716.htm) (2019/06/12 閲覧, 短縮形 <https://bit.ly/2KNrs3a>)
- (11) [http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2019/02/12/1407728\\_001\\_2.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2019/02/12/1407728_001_2.pdf) (2019/06/12 閲覧, 短縮形 <https://bit.ly/2ZjJMEW>)
- (12) [https://www.great-inter.com/download/ict/catalog\\_dbookPRO2\\_2019.pdf](https://www.great-inter.com/download/ict/catalog_dbookPRO2_2019.pdf) (2019/06/12 閲覧, 短縮形 <https://bit.ly/2RfmhKw>)
- (13) <https://www.hitachi-solutions.co.jp/company/press/news/2011/0406.pdf> (2019/06/12 閲覧, 短縮形 <https://bit.ly/2IeNudp>)
- (14) <http://www.hitachi.co.jp/Prod/comp/app/educontents/> (2019/06/12 閲覧, 短縮形 <https://bit.ly/2Xbdsqm>)
- (15) 坪田耕三、金本良通、ほか28名：“小学算数 2上”, pp.83, 教科書出版株式会社 (2015).