

デジタル放送端末上での 数学教材の動的生成システムの 実現方式

How to Dynamically Generate Learning Materials for Mathematical Problems on a Digital Broadcasting Receiver

白田 由香利[†]

Yukari SHIROTA

本稿では、地上デジタル放送方式 ISDB-T の伝送イメージ上で、我々が開発した数学教材動的生成システムをどのように教育放送サービス化すべきか、そのモデルを提案する。放送局は、番組で講義すべき数学問題の最小限の定義情報である「メタレベル記述ファイル」及び、その問題生成に必要な知識ベースの情報のみを、番組コンテンツとしてリアルタイムに放送配信する。この「メタレベル記述ファイル」を入力データとして、教材自動生成システムがクライアントである受信機上で稼働し、教材を動的に生成する。動的教材生成を視聴者受信機において行うことで、従来の教育番組で実現し得なかった各視聴者の進捗に合わせた個人化が可能となる。

In the paper, we propose a new interactive educational broadcasting service with dynamical generation functions of learning materials for math problems, and how to implement these functions in terrestrial digital broadcasting environments. In the model, the broadcaster station broadcasts, in real time, a meta-level description file to define the math problem and knowledge base information to be needed for dynamical generation of the math problem. Input the meta-level description file to our generation system programs on a digital broadcasting receiver, learning materials for the math problem can be automatically generated. Such dynamical materials generation enables us to learn mathematics on a television personally.

1. はじめに

放送のデジタル化により、従来のような番組のみの放送に加え、コンピュータデータなどのデジタル情報を多重化して送ることが可能となり、高機能なデータ放送が実現可能となった。日本では既にBS/CSデジタル放送及び地上波デジタル放送が開始されているが、さらに日本の地上デジタル放送方式ISDB-T(Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting)においては、移動受信に適した変調方式OFDMを採用しているため携帯型受信機での安定受信が可能である[1]。今後、地上デジタル放送を受信できる携帯電話端末が普及するなどデジタル放送の技術革新が進むに伴い、教育分野においても、放送と通信が融合した新しい教育放送サービスが各種生まれてくることが期待される。そのような技術革新をベースとして、我々は放送と通信を融合させた新しい

教育放送サービスの実現にむけて、セマンティックWebと知識ベースを利用したデジタルTV受信機上での教材の動的生成システムについて研究している。教材の動的生成機能が必要な理由は、視聴者(学習者)の反応に応じた個人化を実現するためには、エージェントの台詞を含めた教材の動的生成機能が必須であるからである。関連研究としては、番組情報からのニュース番組などの自動生成を研究しているNHK技研のTVMLに関する一連の研究がある[2]。また放送・通信融合型の視聴形態に関する研究としては、京大の田中研で各種行われている[3,4,5,6]。通信ネットワークを利用した放送・通信統合型の新しい教育放送サービスに関しては、視聴者との対話に基づき視聴者がテレビから映像情報などを検索する作業を支援するエージェントの研究が行われている[7]。

我々の想定する教育放送サービスモデルを説明する(図1参照)。このサービスでは、予め、教材生成に必要なプログラムを放送配信し、視聴者の受信機DBに蓄積し、受信機にインストールする。教育番組を視聴者がリアルタイム視聴する際に、講義映像コンテンツ及び、その番組で用いるドリル問題作成のための最小限の問題定義情報が放送配信される。その問題定義情報を、先に配信された教材作成プログラムに入力すると、出力結果として、ドリル問題及びそれに関する教材が自動生成され、TV画面上に提示される。

我々はこの教材自動生成システムとしてe-Math Interactive AgentをWeb上で試作した。本論文では、第2節において、まずWebシステムとしてのe-Math Interactive Agentの概要を説明した後、第3節において、本数学教材の動的生成システムを教育放送サービスとしてどのようにモデル化するかを述べる。

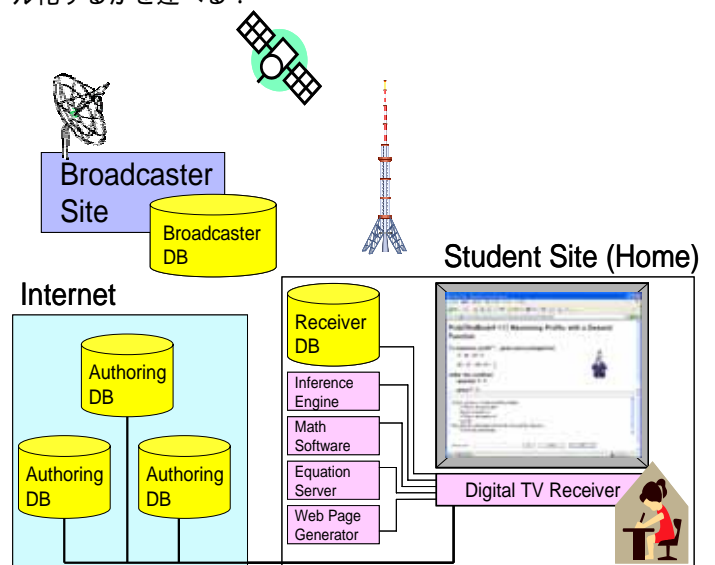


図1 教育放送サービスモデル

Fig.1 Educational Broadcasting Service Model

2. e-Math Interaction Agent 概説

本節では、我々が Web システム上で開発した e-Math Interaction Agent のシステム構成について概説する[7,8]。Interaction Agent システムは、学生が問題を選択すると教材が逐次動的に生成され Web ブラウザ上に表示される。本システムの最終ゴールは、学生の個々の反応に対する仮想教師の、きめ細やかな自然なガイダンスの実現であるが、そのためには本システムのような動的な教材生成機能が必要

[†] 正会員 学習院大学経済学部
yukari.shirota@gakushuin.ac.jp

となる。

本システムの利用方法を、教材を作成しようとする教師の視点から説明する。現在のバージョンでは、解くべき問題を経済数学及び数学一般を対象とする最適化問題と設定している。教師が最適化問題の文章題に関する Web 教材を作成する際に、行うべき作業は、メタレベル記述ファイルを記載することだけである。図 2 にメタレベル記述ファイルの記述例を示す。このメタレベル記述ファイルをシステムに入力すると、Interaction Agent は XML ファイル群を生成する。そし

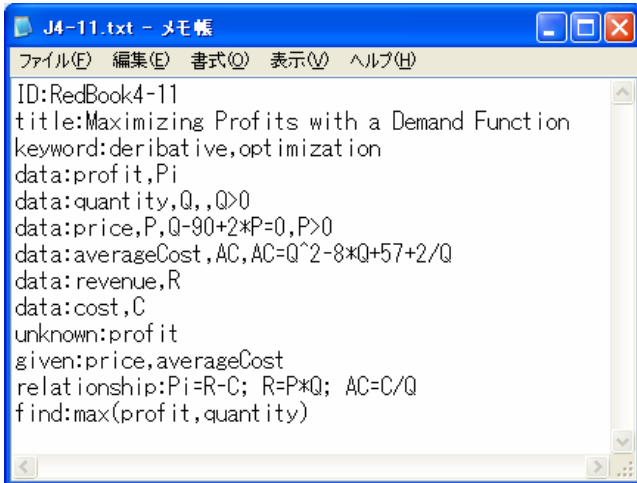


図 2 メタレベル記述ファイルの例
Fig.2 A Sample of Meta-level Description Files

て予め用意された XSLT スタイルシートを用いてこれらの XML ファイルが Web ブラウザに表示される。その様子を図 3 に示す。

図 2 に示すメタレベル記述ファイルで定義した最適化問題は、経済数学における典型的な問題である利潤最大化問題である。以下ではこの文章題を用いて、システムのフローを説明する。この問題では、利潤(profit)を最大化する生産量(quantity)Qの値を求めようとしている。そのため、の関数式(Q)をまず求める。図 2 で定義したように、本問題では以下の 2 式が与えられている(図 2 の "data" の項参照)。

- (1) 価格 P と取引量 (生産量) Q の関係を表わす需要関数 $f(P, Q)=0, \quad Q-90+2*P=0$
- (2) 1 個当たりの平均費用関数 $AC=AC(Q)$
 $AC=Q^2-8*Q+57+2/Q$

また、一般的経済知識として以下の 3 つの関係式が指定してある(図 2 の "relationship" の項参照)。

- (3) 利潤 = 収入 - 費用, $=R - C.$
- (4) 収入 = 価格 × 取引量 $R=P \times Q.$
- (5) 平均費用=費用 ÷ 取引量 $AC=C \div Q.$

これらの関係式は知識ベースに蓄積されているものを利用する。メタレベル記述ファイルに記載する内容は、以下の通りである。これらは数学の問題一般に適用可能であり、問題定義、及び、教師が正しい解法を作成するために必要とされる知識である。

- (1) given: 与えられたデータと条件は何か。
- (2) unknown: 求めたいデータは何か。
- (3) relationship: 与えられたデータと求めたいデータの間の関係は何か。
- (4) find: 解法プランはどのようなものか。

我々の開発した Interaction Agent は、入力されたメタレベル記述ファイルのみから、対応する XML ファイルを自動生成する。その際に、以下のサブモジュールを必要に応じて呼び出す。

- (1) 推論エンジン(Prolog インタプリタ)。
- (2) 数式処理システム(Maple[10])。
- (3) 数式表現サーバ(Equation Server[11])。
- (4) Web ページ生成機。

上記サブモジュールを説明する。まず数式処理システムは人間に代わって与えられた連立方程式や微積分などの数式を記号的に解くためなどに用いている。また動的にグラフを描画表示するため、数式処理システムのグラフ描画機能を用いている。次に数式表現サーバについて説明する。数式を Web ブラウザ上に表現することは従来、容易ではなかった。しかし近年の MathML などの技術の発達により数式を Web 表示す

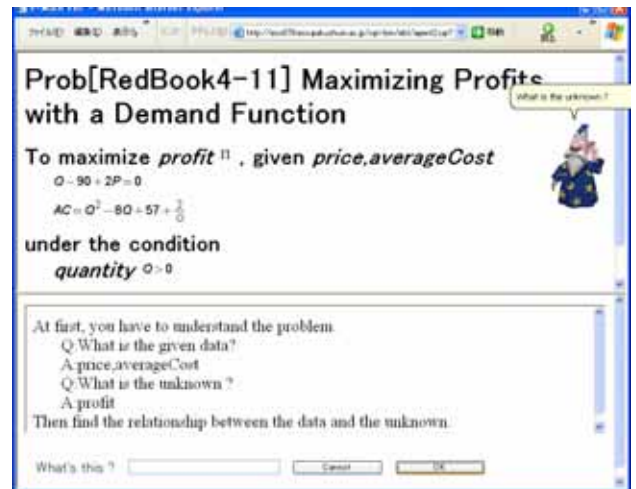


図 3 生成された XML ファイルの表示画面
Fig.3 A Screen Image of Generated XML files

る技術が成熟してきた[12]。我々のシステムでは、MathML を含む各種数式表現形式ファイルを生成するため、Equation Server と呼ばれる市販のツールを用いている。Equation Server が生成した数式イメージファイルは、XML に埋め込む形で Web 上に数式を表示している。

残る最後のサブモジュールが、Web ページ生成機である。この Web ページ生成機は Perl で開発した Web ページ生成機プロセスが、他の 3 つのサブモジュール、推論エンジン、数式処理システム、数式表現サーバを起動する。ページ生成は解法プランに基づいて行われる。解法プラン関数には、解法のための(A)数学的手法アルゴリズム、及び、(B)その解法過程に対応する XML タグの生成手法(具体的にはそれを print 文で書き表す)の 2 種類が記載されている。

数学問題には、決定問題と証明問題の 2 種類があるが、Interaction Agent が対象とする問題は、数学問題のうち、連立方程式を解くという形式の、数学決定問題全般である。まず、数学決定問題の中で、解法プロセスが同一スキーマをもつ問題の集合を作る。例えば、1 独立変数の最適化問題、ラグランジェの未定乗数法などの問題の集合を作る。これをカテゴリーと呼ぶ。同一解法プロセスで解ける問題は、問題のカテゴリーが等しい、と呼ぶ。そして、予めそれぞれカテゴリーごとに対応する解法プロセスモデルを作成しておく。

3. 通信融合型教育放送サービスモデル

本節では、我々が提案する教材の動的生成機能をもつ通信融合型教育放送サービスモデルを説明する。デジタル放送方式は、携帯型受信も考慮し、日本での地上デジタル放送方式 ISDB-T を仮定した[13]。

3.1 制作者、放送局、視聴者

次に、登場する組織及び視聴者の役割を説明する。

放送局
外部教材制作会社
視聴者（学習者、学生）

外部教材制作会社は、汎用的な教材制作を行う会社である。外部教材制作会社は、共有性の高い教材及びコンテンツを制作し制作者側 DB に蓄積し、放送局及び視聴者に提供する。外部教材制作会社から見ると、放送局も広い意味では顧客とみなされる。共有性の高い教材及びコンテンツとは、一般的概念や用語説明のための教材である。例えば、経済における「均衡国民所得」の用語説明、「利潤 = 収入 - 生産コスト」の式の概念説明などが該当する。外部教材制作会社は、知識ベースの作成も行う。数学公式や経済学の知識などをルール化して、知識ベースに蓄積する。

我々が提案する数学問題教材の動的生成システムに関する仕様及び枠組みを規定することも、外部教材制作会社の役目である。その枠組みに添って Interactive Agent の 4 つのモジュールである、Web ページ生成機プログラム、数式処理プログラム、数式表現生成プログラムを外部教材制作会社が作成する。これらのプログラムは予め放送配信され、視聴者宅の受信機にインストールされる。外部教材制作会社は、数学問題をカテゴリーに分類し、各カテゴリーに対してメタレベルの解法プラン関数プログラムを開発する。また、その問題カテゴリーに対応する、仮想キャラクタなどの演出を含んだ XSLT スタイルシートも開発する。外部教材制作会社の役割をまとめると以下ようになる。

- 一般的な用語、概念に対する教材作成
- 問題解決に必要な知識の DB 化 知識ベース作成
- 本提案の数学教材動的生成に関するプログラム作成
 - Interactive Agent 等のモジュールプログラム
 - 数学問題解法プラン関数プログラム
 - XSLT スタイルシート

次に放送局の説明に移る。放送局が、ある数学教育番組 30 分を制作すると仮定する。番組は以下の 2 つのパートから構成されるとする。

- (1) 講義の映像コンテンツ（固定長）
- (2) ドリル問題演習（非固定長）

上記 1 は、従来の教育番組で行われている人間教師の講義形式の映像コンテンツである。上記 2 が、提案する新しい部分であり、視聴者の受信機上で動的に教材が生成され、提示される。視聴者（学習者、学生）は、仮想教師の問いかけに答えながら、仮想教師が示す正しい解き方を視聴して、学習を進める。しかし、この際、理解不能な用語や概念の説明教材を提示することも可能であるため、視聴者によって、ドリル問題の演習時間は異なってくる。放送局側が設定した 30 分という番組の長さは、あくまでも目安であり、ドリル問題演習で提示されるコンテンツ内容は視聴者によって異なってくる。番組内で問題 A をドリル演習として講義すると仮定する。その際、放送局側の制作者が行うべきことは、外部教

材制作会社の問題分類を調べ、該当する問題カテゴリーが何であるかを見つけることである。問題カテゴリーと番組は密接に関連しているため、放送局の教材制作担当部門が、上記モデルにおける外部教材制作会社の役目を担当する、というサービスモデルも考えられる。放送局はリアルタイム放送用に何を配信するのか予め規定しコンテンツを作成する必要があるが、その内容は以下の通り。

- ・ 講義用映像コンテンツ
- ・ ドリル問題 A に対するメタレベル記述ファイル
- ・ ドリル問題 A に対応する知識ベースの情報

この「問題 A に対するメタレベル記述ファイル」を入力すると、あとは、教材自動生成システムがクライアントである受信機上で稼動し、教材を動的に生成する。その際に、外部教材制作会社が制作した知識ベースの情報が必要である。知識ベースの情報は、カテゴリーごとに予め分割されていて、必要なカテゴリー情報のみを配信するとする。

最後に視聴者に関して説明する。放送教育番組では従来、視聴者の進捗度に応じた個別化は不可能であった。しかし上記の方法により、以下のような個別学習が可能となる。

- ・ リアルタイム配信中のドリル問題 A の演習
- ・ 番組終了後の、他のドリル問題の演習

3.2 サービスで用いられるデータ種別

表 1 に、配信される情報をその配信形態とタイミングによって分類した様子を示した。表 1 の縦軸は、配信元の DB 名であり、その値としては、受信機 DB、放送局 DB、外部教材制作会社 DB の 3 つがある。デジタル放送では、伝送方式に MPEG-2 TS (Transport Stream) が用いられている。Web ページ生成機プログラムなどは、受信機内部のファームウェアのバージョンアップデータに類似しているため、ファームウェアのバージョンアップデータ同様、TS ペイロードに置かれるセクションによって伝送されることを想定した。リアルタイム配信されるデータコンテンツとしては、講義で使うドリル問題 A のメタレベル記述ファイル、及びドリル問題 A に対応する知識ベースの情報がある。データコンテンツを伝送する方式として MPEG-2 TS では、以下の 2 方式を用意している。

- (1) 独立 PES (Packetized Elementary Stream) による伝送方式
- (2) データカプセル方式

番組連動コンテンツであれば、上記の(1)独立 PES による伝送が適当であるが、メタレベル記述ファイルは番組コンテンツを生成するソースとなるものであるため、メインの番組コンテンツに相当する。よって受信側が、電源オンした時、またはチャンネルを変更した時にも、必ずこれらのデータは取得できるようにする必要がある。その理由から(2)のデータカプセル方式による伝送が適当と考えられる。

リアルタイム視聴中、視聴者である学生は、一般的用語などについて詳しい教材を必要とする場合がある。その際は通信を通じて、外部教材制作会社が提供する教材を収集し、活用する。また、利用が高いと推測される説明教材があれば、リアルタイムのデータ番組配信として、先回りして配信しておく方法も考えられる。通信にするか、放送配信にするかの選択は、その説明教材の必要度に応じて決定すべきである。視聴者の学生は、リアルタイムの放送を離れてフリータイムに自習することも可能である。その場合は、外部教材制作会社の DB に通信経由でアクセスすることにより、自分で問題

表1 教育放送サービスに必要な情報と配信形態
Table 1 Data Types and Distribution Methods Required for the Educational Broadcasting Methods

	放送前		リアルタイム		放送終了後
	予め放送配信し、受信機DBに蓄積される情報		リアルタイム放送配信する情報		リアルタイムに視聴者が独自学習するために通信で収集する情報
配信元DB名前	映像コンテンツ	データコンテンツ	映像コンテンツ	データコンテンツ	
受信機DB					講義映像コンテンツ&
放送局DB			講義映像コンテンツ	講義で使うドリル問題Aのメタレベル記述ファイル	
外部教材制作会社DB		Webページ生成機プログラム, 数式処理プログラム, 数式表現生成プログラム		ドリル問題Aに対応する, 知識ベースの情報*)	一般的な用語・概念に対するマルチメディア教材 講義で使うドリル問題Bのメタレベル記述ファイル ドリル問題Bに対応する, 知識ベースの情報 一般的な用語・概念に対するマルチメディア

*)ドリル問題Aが属する問題カテゴリーに対する知識ベースのルール情報, 及び, ドリル問題Aが属する問題カテゴリーに対する解法プラン関数プログラム及びXLSTファイル

&)リアルタイム放送配信された講義映像コンテンツを受信機DBに蓄積しておき, 視聴する.

を選択可能である. 例えば, 番組で講義した問題 A に類似した問題を B とした場合, 問題 B の情報を収集することで問題 B の自習が可能になる. また, この際, 放送で配信された講義映像コンテンツを受信機 DB に蓄積しておくことにより, 自習に活用できる.

4. まとめ

本稿では, 地上デジタル放送方式 ISDB-T の伝送方式上で, 我々が開発した数学教材動的生成システムをどのように教育放送サービス化するべきか, そのモデルを提案した. 動的教材生成を視聴者受信機において行うことで, 従来の教育番組で実現し得なかった各視聴者の進捗に合わせた個人化が可能となる.

[謝辞]

本研究の一部は, 平成 16 年度科研費基盤研究 (C) (2) 「マルチメディア教育支援システム eMath における教育用データベースの構築」 (課題番号: 15606014, 代表: 白田由香利) による. ここに記して謝意を表します.

[文献]

[1] NHK 技研: デジタル放送特集号, NHK 技研 R&D, No. 82, 2003 年 11 月.
 [2] NHK 技研: TVML 特集号, NHK 技研 R&D, No. 75, 2002 年 9 月.
 [3] 服部多栄子, 沢中郁夫, 灘本明代, 田中克己: 「Web の受動的視聴のための同期化可能領域の発見と番組化用マークアップ言語 S-XML」, 第 44 回情報処理学会データベースシステム研究会, Vol.2000, No.044, 2000 年 5 月.
 [4] 灘本明代, 服部多栄子, 近藤宏行, 沢中郁夫, 田中克己: 「Web コンテンツの受動的視聴のための自動変換とスクリプト作成マークアップ言語」, 情報処理学会論文誌: データベース 42/SIG1(TOD8), 2001 年 1 月.
 [5] 大島裕明, 灘本明代, 田中克己: 「パソチャンネル: S-XML を

用いたコンテンツ複合化による番組のパーソナライゼーション」, 夏のデータベースワークショップ予稿集 (第 71 回情報処理学会 データベースシステム研究会), Vol.2003, No.071, 2003 年 7 月.
 [6] 湯本高行, 吹野直紀, 馬強, 角谷和俊, 田中克己: 「Video-Augmented Web:ビデオストリームの Web ページへの動的統合」, 夏のデータベースワークショップ予稿集 (第 71 回情報処理学会 データベースシステム研究会), Vol.2003, No.071, 2003 年 7 月.
 [7] 住吉英樹, 山田一郎, 村崎康博, 金淵培, 八木伸行, 柴田正啓: 「ネットワークと連携した新しい教育放送サービスのためのエージェント検索システム」, NHK 技研 R&D, No. 84, 2004 年 3 月, pp.22-33.
 [8] 白田由香利: 「数学教材における対話的指導機能実現に関する考察」, 人工知能学会, 第 40 回知的教育システム研究会, 2004 年 3 月 26, 27 日, 調布, pp. 59-65.
 [9] 白田由香利: 「XSLT 技術を用いた教材自動作成システムとその仕様拡張に関する考察」, 電子情報通信学会データ工学研究会主催第 15 回データ工学ワークショップ(DEWS 2004) 予稿集 CD-ROM, 2003 年 3 月 4 日 ~ 6 日, 伊勢志摩.
 [10] Maplesoft: Maple, <http://www.maplesoft.com/>.
 [11] Design Science: WebEQ, <http://www.dessci.com/en/products/webeq/>.
 [12] Pavi Sandhu: The MathML Handbook, Charles River Media, Inc., Hingham, Massachusetts, 2003.
 [13] 三宅誠: 「殻を破った放送技術」, NHK 技研 R&D, No.81, 2003 年 9 月, pp.2-13.

白田 由香利 Yukari SHIROTA

学習院大学経済学部教授. 東京大学大学院理学系研究科情報科学専門課程博士課程修了. 理学博士. 経営におけるデータベースシステムの応用研究に従事. 情報処理学会, 電子情報通信学会, 日本経営数学会, 日本生産管理学会(理事), ACM 等に所属. 日本データベース学会理事.