

## 学位論文題名

## Authoring, Publishing and Semantics of Mathematical Documents on the Web

(Web 上における数学的ドキュメントの編纂とセマンティクスに関する研究)

## 学位論文内容の要旨

Web 上では多くのドキュメントが公開されており、数学雑誌の論文を始めとして数学的なドキュメントも無数に存在する。しかしながら、定義や定理、その証明といった数学的な文章構造をもつドキュメントに関する研究は多くない。

本研究では、複数のリソースによって構成され複数の表現を持つ Web 上のドキュメント、特に数学的なドキュメントについて、そのリソース間の構造を RDF のグラフとして記述する方法を提案し、さらに、このスキーマを採用して実際に Web 上においてドキュメントを編纂し公開するためのシステムの開発を行った。

本論文 2 章では、リソースの集合体に関する情報を記述するために定義された OAI-ORE に対して語彙を追加することで拡張を行い、集合体としてのドキュメントとそのメンバーとの関連、そしてドキュメントとその表現との関連をセマンティックに記述する方法を提案する。これにより、ドキュメントとそれに関連するリソースとの関連を機械的に取得、解析し、その情報を応用することが容易になる。また、数学的なドキュメントに関するスキーマを定義した OMDoc Document Ontology と組み合わせることで、OMDoc の XML 形式に限らず一般的な形式で公開される数学的な文書について、その構造を記述し、活用することが可能になる。

3 章では、2 章で示したスキーマを使用する実装の 1 つとして開発したコンテンツ・マネジメント・システム “Matherial” について解説する。Matherial は、数学的なドキュメントの執筆支援と管理、公開の機能を提供する。このシステムを利用することで、煩雑な XML を記述するのではなく、簡易な Wiki の記法と広く使われている LaTeX の数式の記法に則ってドキュメントを執筆し、付随するリソースを含めて公開することができる。また、そのように作成された複数のドキュメントを集め、1 つのドキュメントに統合して公開する事もできる。どちらの種類のドキュメントも、RDFa によって集合体の構造やその他のメタデータをセマンティックに記述した XHTML 表現と、論文の電子的な交換と保管に用いられる NLM-DTD 表現として公開され、外部から利用することが可能である。

また 4 章では OAI-ORE の応用の 1 つとして、筆者が参加した Japanese Digital Mathematics Library (DML-JP) の実験的なポータルサイトの構築についても述べる。DML-JP

は、国内の数学論文を収録した機関リポジトリからメタデータを横断的に収集し、集約して提供するシステムである。本実験における筆者の貢献は、各機関リポジトリから収集された論文のメタデータから、MSCに基づいて分野ごとに論文を再編し、その集合体のリソースマップを Atom Entry Document 形式で公開した部分にある。単純な検索結果の Web ページではなく集合体としてセマンティックに記述したものを公開することで、これを機械的に解析し、データを活用することが容易になる。

# 学位論文審査の要旨

主査	准教授	行木孝夫
副査	教授	津田一郎
副査	准教授	佐藤 讓
副査	教授	中村 玄

## 学位論文題名

# Authoring, Publishing and Semantics of Mathematical Documents on the Web

(Web 上における数学的ドキュメントの編纂とセマンティクスに関する研究)

## 博士学位論文審査等の結果について (報告)

本論文の著者である黒田拓は、複数のリソースを構成要素にもち複数の表現形式をとりうる数学文書の構造をセマンティックに記述するスキーマを提案し、そのスキーマに基づき数学文書を作成、公開するシステムを実装した。ここで扱う数学文書とはXML/RDF技術に依拠する電子可読な形式で記述する文書であり、数式および定理等の数学的内容を含む文書である。スキーマとは誤解を恐れずに言えばweb上の言語を定義したことに等しい。黒田拓の得た結果について詳細を下記に述べる。

1. 数学文書を記述するスキーマの定義と実装: セマンティックweb一般に適用できる複数リソースを扱う先行研究であるOAI-OREに依拠することで、リソースを定義するスキーマとアグリゲーションによる複数リソースの扱いを定義し、数学文書を扱うスキーマを定義している先行研究であるOMDocに依拠することで、数学リソース(proposition, lemma, theorem, axiomなどの語彙を中心とする)の型定義を援用した上で新たに名前空間mtを再定義し、この上で数学文書を記述する。定義した名前空間が実際にうまく数学文書を扱うことはmt名前空間を使用するシステムを構築することで実証した。
2. 依存する外部リソースの記述: 数学文書では証明の構成等において文書間の依存関係が厳密に定まる場合が多い。mt名前空間ではこのような依存関係を機械可読な形式で記述し、外部リソースとしての参照先リソースを内部的に埋め込むことを可能とした。
3. Digital Mathematics Library日本パートにおいてコンテンツをOAI-OREによってシリアライズする部分を実装した。これは、複雑な仕様であるOAI-OREを理解し実装を完結したパイオニア的な実装例である。

結論として、著者は数学文書を電子的に定義する言語について実用上も十分な可能性を持つ新たな定義を与えたものであり、社会に対して広く貢献するところ大なるものがある。

よって著者は北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格があるものと認められる。