東京大学
情報理工学系研究科 電子情報学専攻
修士論文

Software Defined Media Ontology:
分散収録環境のための視聴空間の再現フレームワーク

Software Defined Media Ontology: A framework for reproduction of audio-visual contents by distributed recording environment

菰原　裕
Yu Komohara

指導教員
江崎 浩 教授
落合 秀也 准教授

2018 **年** 2 **月**

概要

近年，全天球カメラ・スマートフォンといった新しい記録デバイスが登場し，データの記録方式が多様化している．また，インターネットの普及と通信技術の発達により，デバイス間の通信や同期が容易になりつつあり，インターネットを前提としたオーディオビジュアルシステムの需要が高まっている．そのような状況において，Software Defined Media(SDM) コンソーシアムでは，オブジェクトベースでメディアを管理し視聴空間を制御することを目的として，研究を進めている．

SDM コンソーシアムでは実際にコンサートなどのイベントのデータを収録している．収録したデータは SDM コンソーシアム内部のみで利用されるのではなく，外部にも広く公開され利用されることが望ましい．しかしこれらのデータは，音声データのみならず演奏者や収録機材の位置情報，イベント会場の情報といったメタデータまでを含む．粒度が異なる情報が混在した状態ではデータの利用が難しいため，構造化する必要がある．

そこで本研究では，多様な語彙を用いてデータを表現することが出来る Resource Description Framework(RDF) を用いて，SDM コンソーシアムが保有するデータを記述した．その際，SDM に特有の情報を表現するための語彙として SDM Ontology を新しく設計し，構築した．また，作成した RDF ファイルを外部ファイルと関連づけることで Linked Open Data(LOD) として公開し，実際に SDM が作成したアプリケーションから利用できることも示した．最後に，公開したデータの利用シナリオを複数想定してそれらの要求を満たすことを示し，データ構造の有用性を評価した．

目次

第 1 章　序論 1
1.1　背景 1
1.2　目的 1
1.3　本論文の構成 2

第 2 章　Software Defined Media とその課題点 5
2.1　SDM の概要 5
2.2　SDM アーキテクチャ 6
2.3　データセットとその活用 7
2.4　SDM の課題と要求事項の整理 9

第 3 章　要素技術と関連研究 11
3.1　RDF と LOD 11
3.2　関連研究 13

第 4 章　SDM Ontology 19
4.1　設計方針 19
4.2　オントロジーの詳細 21

第 5 章　実装と評価 25
5.1　実装 25
5.2　評価 29

第 6 章　結論と今後の展開 35
6.1　まとめ 35
6.2　今後の課題 35

発表文献 37

参考文献 38

付録 A　SDM Ontology のクラス一覧 43

付録 B SDM Ontology のプロパティー覧 51

図目次

1.1 構造化されたデータの必要性 2

2.1 SDM アーキテクチャ 6
2.2 オーケストラ収録のカメラとマイクの配置 7
2.3 SDM360^2 のスクリーンショット 8

3.1 5 Star Open Data: A rating system for open data developed by Timothy Berners-Lee 12
3.2 LOD Cloud 13
3.3 LOD Cloud in Japan 14

4.1 収録空間の 5 要素 20
4.2 SDM Ontology のデザイン 24

5.1 Approach for LOD of SDM 26
5.2 protege によるオントロジー構築 27
5.3 Ontology layer and Instance layer 28
5.4 SDM360^2 の設計 [4] 29

表目次

5.1　サーバマシンスペック 29

第 1 章

序論

本章では，本論文の背景と目的を整理し，最後に本論文の構成を示す．

1.1 背景

近年，スマートフォンやタブレットといったデバイスが普及し，誰でもデータの記録を行えるようになった．また全天球カメラのような新しい記録デバイスも登場し，記録方式も多様化しつつある．それにともない，対象の三次元情報も含めて記録する，立体音響のような手法が普及しつつある．また，インターネットの普及と通信技術の発展により，複数の記録デバイスやシステム間の同期も行えるようになった．

そのような状況において，2014 年 1 月より SDM(Software Defined Media) コンソーシアムが活動している[*1] [1] [2]．Software Defined Media とは，対象となるメディアをオブジェクトベースで管理しソフトウェア制御することで，新しい技術や表現を生み出そうとする試みである．SDM コンソーシアムの目的は，記録対象をソフトウェア制御すること，三次元情報とメタデータを記録しバーチャル空間上で再現すること，バーチャル空間または実空間上で可能な演出を組み合わせて新しい表現を創造することである．

SDM コンソーシアムでは，データを記録・再現するためのシステムを構築するだけでなく，実際にライブやコンサートのデータを記録し，そのデータを用いてアプリケーションを作成するといった活動も行なっている．こうして記録されたデータは SDM コンソーシアム内においてのみ利用されるのではなく，インターネット上で公開して外部からも利用されることが望ましい．外部のユーザが使用することにより，データの利用可能性や表現の幅が広がると考えられる．

1.2 目的

SDM が保有するデータは，収録対象の位置情報や音声，収録環境のメタデータといったものから，収録プロセスの詳細や記録されたメディアまでを含んでおり，整理が困難である．ま

[*1] http://sdm.wide.ad.jp

た，アプリケーションの作成のためにはそれぞれのデータを関連づける必要があり，既存のデータ構造では不十分である．図 1.1 に示すように，適切なデータ構造を考案しアプリケーションの作成に有用な形式で公開することで，SDM のデータを用いた新しい表現の創出が促進される．

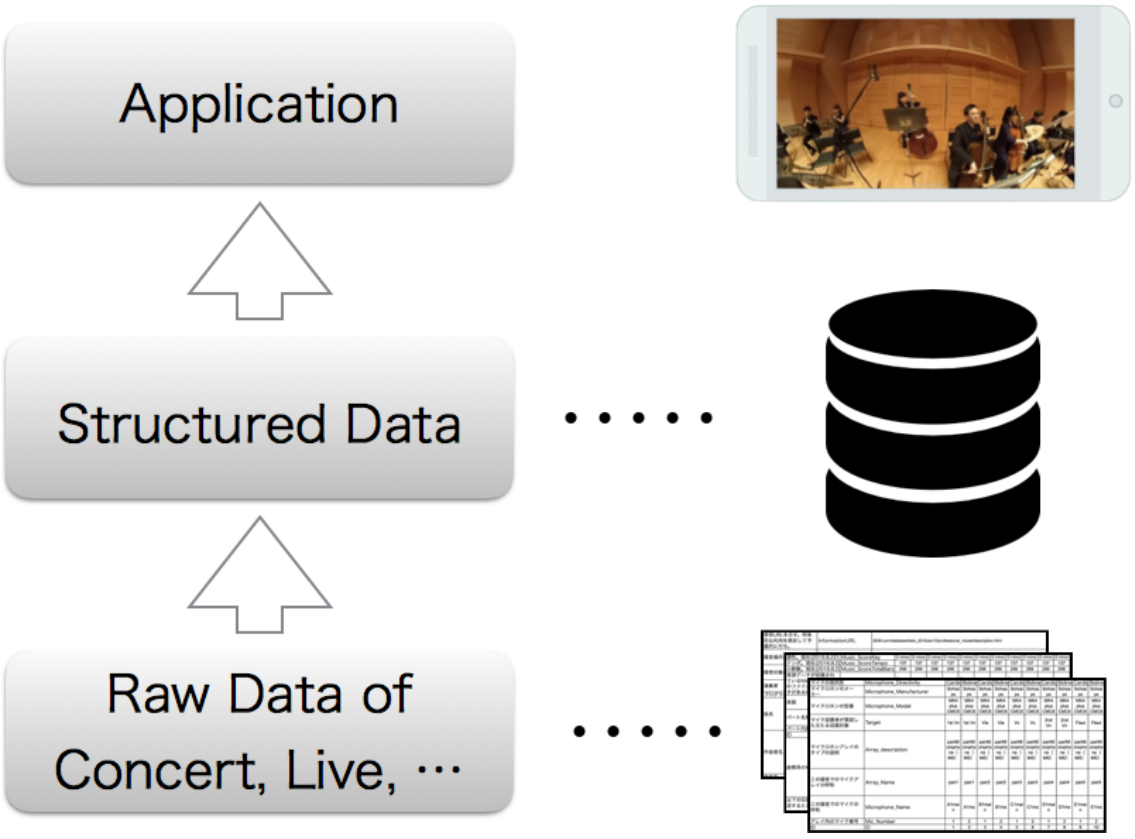


図 1.1: 構造化されたデータの必要性

本研究では，まず SDM のデータを適切に表現するための構造を提案・実装する．続いて，その構造によって記述した SDM 保有のデータを，様々なアプリケーションから利用可能な形式で web 上に公開する．最後に，実際にアプリケーションから利用することで，SDM のデータの利用可能性を示す．

また，本研究で提案する構造は現在 SDM が保有しているデータを表現するのに適したものであるが，拡張が容易な形式にすることで，今後新しい記録デバイスの登場や収録形態の変化が起きた際に対応できると考えられる．

1.3　本論文の構成

本論文では，まず第 2 章で SDM の詳細な説明と保有するデータについての解説を行い，次に第 3 章でデータ管理の要素技術である RDF/LOD と，その関連研究について述べる．第 4 章では，SDM 保有のデータを管理するために今回考案した SDM Ontology について，構築

へのアプローチと構造の詳細について説明する．続く第 5 章で，考案したオントロジーを用いて行った実装と，その評価について述べる．最後の第 6 章で，結論と今後の展望について述べる．

第 2 章

Software Defined Media とその課題点

2.1 SDM の概要

スマートフォンのように収録機器を内蔵したモバイル端末が普及し，またインターネットも一般的に使用されている現代では，記録した映像・音声をインターネット上で共有するのが当然の時代となっている．さらには全天球カメラや HMD(Head Mount Display) のような新しい記録デバイス・再生デバイスも登場している．そのため，単一視点や 2 チャンネルのステレオ録音といった従来の記録方式ではない，対象の三次元情報も含めて記録する手法が登場しつつある．すなわち，対象の位置情報や向き，音楽イベントであればそれぞれの演者が発する音などのデータも記録する，対象メディアをオブジェクトとしてとらえオブジェクトベースでデータを管理する手法が注目を集めている．空間内における音の聴こえ方を再現した立体音響などはその例といえる．

オブジェクトベースの情報記録は，単一の対象であれば容易である．しかし，コンサートやライブ会場のように複数の記録対象が存在する空間そのものを一度に記録することは，機材設置工数やコストの観点から難しい．また，複数のデバイスで別々に記録したとしても，同期ズレや記録遅延等に起因するデータ集約コストが高いため現実的なシステムの構築は困難であった．しかし，IP ネットワークの発達により，サブシステム間をネットワークで繋ぎ，全体を 1 つのシステムとして制御する技術が登場してきている．また，スマートフォンのようにメタデータを自動的に記録出来るデバイスも普及している．このような状況によって，空間を複数のデバイスで一度に記録することが可能になりつつある．

以上のような，オブジェクト指向のディジタルメディア，ネットワーク環境をデザインに組み込んだシステムの構築により，以下のようなことが可能となる．

- 記録空間と記録行為のソフトウェア制御
- 三次元情報とメタデータを記録しバーチャル空間上で再現すること
- 実空間での新しい演出，表現方法を創造すること

これらを目的として，2014 年 1 月より SDM(Software Defined Media) コンソーシアムが活動している．

2.2　SDM アーキテクチャ

SDM では，想定しているシステムを実現するためのアーキテクチャを図 2.1 のように定めている．

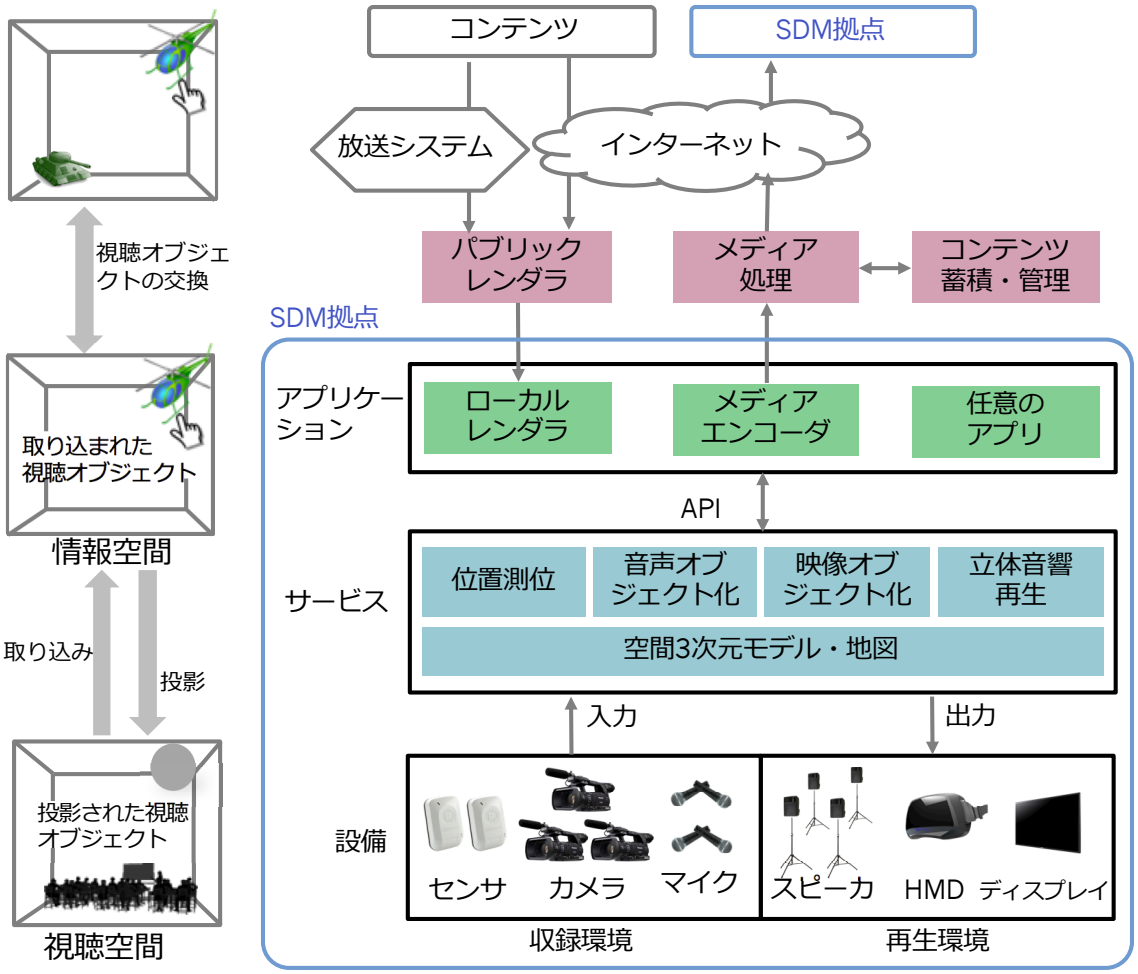


図 2.1: SDM アーキテクチャ

実空間の収録対象を三次元視聴オブジェクトとして情報空間に記録し，様々な処理を加えて視聴空間に投影することで視聴空間の再合成を行う．視聴空間と情報空間をつなぐ処理を行う SDM のシステムの基本単位を SDM 拠点と呼び，これは以下の 3 つの層によって構築されている．

- 設備層：実空間の対象を三次元視聴オブジェクトとして記録するためのセンサ・カメラ・マイクといったデバイスと，記録したデータを視聴空間に投影するためのスピーカ・HMD・ディスプレイといった設備を指す．
- サービス層：設備層で記録される，実空間を抽象化したデータを API を通じて提供するための層である．記録されたデータの質により，音声オブジェクトや映像オブジェク

トといった性質を持つ．

- アプリケーション層：サービス層から提供されるデータを利用するアプリケーションが動作する層である．

本研究では，設備層で記録されたデータをサービス層でいかにして扱いどのような API で提供するかを考える．

2.3 データセットとその活用

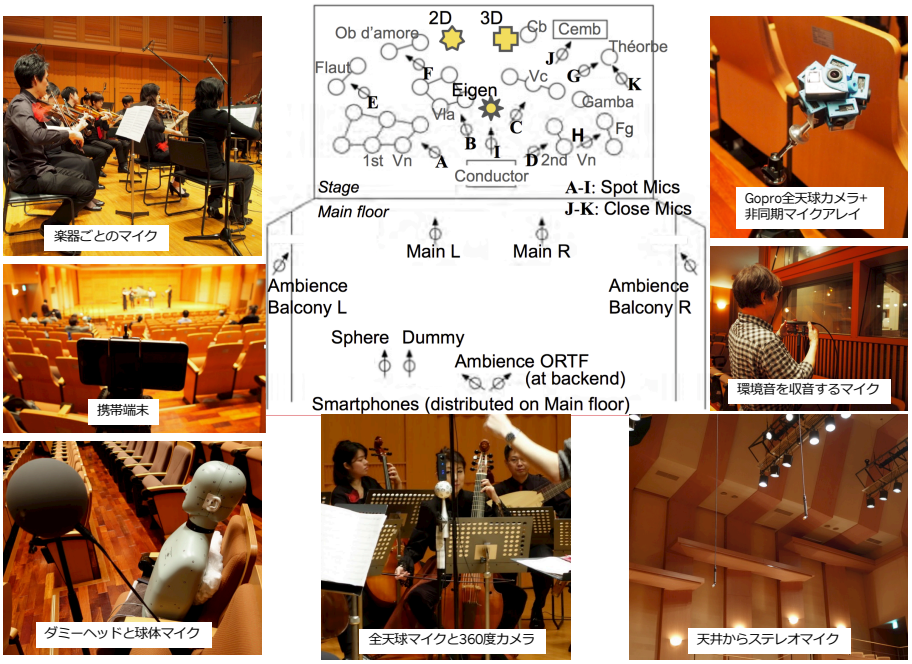


図 2.2: オーケストラ収録のカメラとマイクの配置

SDM では，システムの設計・構築以外に，実際にイベントのデータを記録する作業も行なっている．2016 年 01 月 10 日，慶應義塾大学日吉キャンパス内に建つ，509 席の席数を有する藤原記念ホールにて開催された，慶應義塾大学 コレギウム ムジクム古楽アカデミーのコンサートを収録した．収録対象は，17 世紀のドイツ宮廷音楽であるヨハン・フリードリヒ・ファッシュの「管弦楽組曲ト長調 FaWV K:G2」など，最大 24 名の演奏家による全てアコースティックの演奏である．楽器には，テオルボ，チェンバロ，バロック・ヴァイオリン，バロック・オーボエ，ヴィオラ・ダ・ガンバなどの，現代では珍しい楽器が含まれており，楽器ごとの演奏と各楽器の合わさった音を分離して収録した [3]．カメラとマイクは，図 2.2 のように配置し，記録した．

こうして記録したデータには，楽器そのものの音だけではなく周囲の環境音や残響音が含まれている．SDM では，このデータから楽器単体の音を抽出してバーチャル空間上に配置することで，会場における音の聴こえ方を再現することを試みている．

実際に抽出した楽器の音と映像を使ったアプリケーションとして，SDM では”SDM360^2(SDM360 スクエア)”を開発した．[4] これは，収録会場の 3D モデルを作成し，位置情報に基づいてパートごとの音源や映像を配置することで，自由聴点と複数視点のインタラクティブな切り替えを可能にしたアプリケーションである．実際の動作画面は図 2.3 のようになる．ユーザは，観客席の複数の箇所からの視点を切り替えて観ることができ，また舞台上の音源は自由に有効化・無効化することが可能である．



図 2.3: SDM360^2 のスクリーンショット

SDM では他にも以下のようなユースケースを考えている．

- スポーツ観戦やコンサート鑑賞において，ユーザの要求に応じて特定の選手や演奏者にズームアップしたり，スタンド・客席の自由な視点から鑑賞できるアプリ．
- バーチャル空間上で演出を付加し，現実空間にフィードバックすることによる拡張演出
- 複数コンテンツの自動ミキシング

しかし上記のようなアプリケーションは，現在は容易に作ることが出来ない．実際に SDM360^2 の作成にあたっては，デバイスと楽器の位置情報を元に音声・映像データを手動で配置したため，実装の工数が多くなってしまった．データを構造化し，データベースとやり取りする際の標準フォーマットを決定することで，作業が自動化され効率的なアプリケーションの作成が可能になり，また外部のアプリケーションやデータとの連携も容易になると考えら

れる．

2.4 SDM の課題と要求事項の整理

2.4.1 想定する環境

SDM では，複数の記録デバイスによる分散収録環境を想定している．例えば，イベントの参加者が各々自分のスマートフォンで記録したデータを統合して利用するといったケースである．収録する人とアプリケーションの作成者が異なる環境を想定することで，データ収録とデータ利用の範囲を広げることを意図している．

2.4.2 課題

SDM では，対象の映像や音だけでなく，位置情報や向き，演奏された曲目や会場の情報，収録プロセスといった情報も記録するため，相互に関連するが粒度がバラバラなデータを扱うことになる．そこで，SDM が想定しているユースケースを実現するために，データを構造化し相互にも外部にも連携可能とする必要がある．

2.4.3 要求事項の整理

多数のデバイスを用いて記録した視聴空間のデータを管理する，SDM のデータ形式の要求事項として以下の 4 つが挙げられる．

1. 3 次元映像音声メディアを管理出来ること
2. ユーザが求める表現のレベルに応じてデータが取得できること
3. アプリケーションに非依存な形式で保存されていること
4. 新しいコンテンツの登場時に対応できる拡張性を持つこと

1 つ目は，3 次元映像音声メディアを管理するのに特化した形式で保存するということである．SDM で記録するデータは収録対象の位置情報などにとどまらず，収録機材やそこから生成されるメディアの情報なども含んでいる．このような SDM に特有の情報を記述できる形式で保存する必要がある．

2 つ目は，目的に応じて柔軟にデータの取得が可能ということである．SDM が保有するデータには「イベント名」のような単純な情報から「録音に使用した 5 番目のマイクの位置座標」のような細かい情報まで含まれている．データベースは，ユースケースごとに異なるユーザのニーズに応えられるよう，全ての情報に対して柔軟にアクセス可能である必要がある．

3 つ目は，様々なアプリ開発に利用可能な形式で保存するということである．SDM データを用いたアプリには，ユーザとインタラクティブな挙動を示すアプリや，パッケージメディアのミキシング，半自動ミキシングなどが考えられる．可能な限り多様なアプリでもデータを利用できるよう，特定の用途に特化することなく汎用的な形式で保存することが必要となる．

4 つ目は，特定のコンテンツに縛られない拡張性を持った構造であるということである．現在 SDM コンソーシアムが注力している分野はコンサートやライブといった音楽関係のイベントであるが，イベントの内容によって柔軟に拡張・格納が可能なデータ構造であることが望ましい．

本研究では 3 次元映像音声メディアのデータを構造化するために Resource Description Framework(RDF) による記述を行い，オープンデータとしてアクセス可能にするために Linked Open Data(LOD) の作成を行う．その際，SDM の LOD を作成するために必要な語彙として，SDM Ontology を作成し，データの定義を行う．SDM Ontology の構築において，上記の要求事項を満たすよう設計する．

次章では，要素技術である RDF/LOD の解説と，関連研究を紹介する．

第 3 章

要素技術と関連研究

3.1 RDF と LOD

3.1.1 5 Star Open Data

インターネットが普及した現代において，web 上に存在する無数のデータが検索によって容易に手に入るようになった．また，自分の持つデータを世界中の人々とシェアするために，オープンデータとしてインターネット上に公開することも可能となった．こうした状況においてオープンデータを広く利用してもらうには，誰もが容易に利用できる形式，または機械が自動的に処理可能な形式で公開することが望ましい．

データの公開方式の評価方法として，World Wide Web の考案者である Timothy Berners-Lee は 5 Star Open Data[5] というものを提案している (図 3.1)．これは，公開するデータの形式を 5 段階で評価したものであり，1 段階目から 3 段階目までは次のような形式での公開を表している．

1. pdf や jpg での公開：文章データを jpg で公開するといった，自動処理が困難である形式での公開
2. xls や doc での公開：特定のアプリケーション以外では前処理なしに扱うことのできない形式での公開
3. csv や tsv での公開：データ解析において一般的に用いられている形式での公開

この指標の 4 段階目では RDF(Resource Description Framework)[6] という形式を推奨している．これによって記述されたデータは URI によって参照可能であり，機械による自動処理に適している．この RDF が外部と連携したものは LOD(Linked Open Data) と呼ばれ，5 Star Open Data の最高レベルである 5 段階目となっている．LOD の形式でデータを公開することで web 上のデータ同士がリンクしあい，オープンデータの利用が推進される．

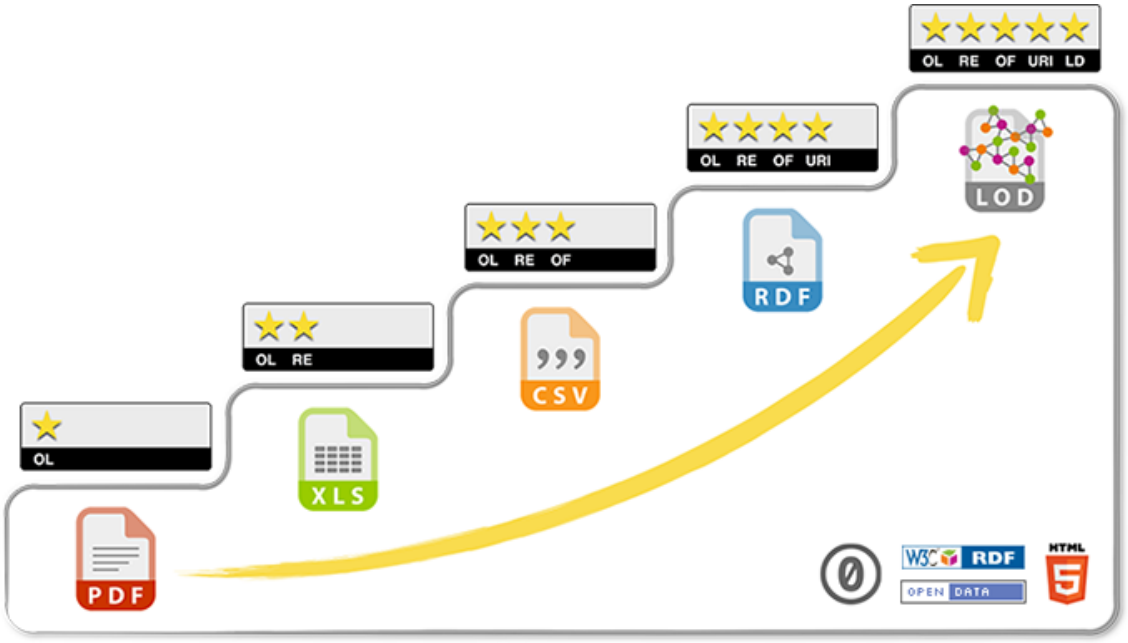


図 3.1: 5 Star Open Data: A rating system for open data developed by Timothy Berners-Lee

3.1.2　RDF

Resource Description Framework(RDF) はメタデータ記述のための枠組みである．Triple と呼ばれる，主語 (Subject)・述語 (Predicate)・目的語 (Object) の 3 つによってリソース間の関係を表現する．リソースの識別子に URI を用いることで，web 上に存在するリソースを参照することができる．

また，リソース間の関係を表す語彙やリソースの種類 (クラス) を表す語彙などは RDF Vocabulary(RDF scheme) と呼ばれる．自分の所有するデータを RDF で記述する場合，データを表現するのに適切な RDF Vocabulary を用いて記述することとなる．RDF によって記述され，情報探索が可能な形式で公開されたデータベースを Triple store という．

3.1.3　LOD

RDF によって記述されたデータが外部と参照し合う場合，Linked Open Data(LOD) と呼ばれる．LOD に関して，以下の 4 つの守るべきルールが定められている．[7]

1. Use URIs as names for things.
2. Use HTTP URIs so that people can look up those names.
3. When someone looks up a URI, provide useful information, using the standards(RDF, SPARQL)

4. Include links to other URIs, so that they can discover more things.

以上のルールを満たす LOD が公開されることで，互いに容易に参照可能なデータが web 上に増えることとなる．web 上に存在する LOD が相互に参照し合うことで，LOD 同士が 1 つの大きなデータベースとして機能するようになる．LOD が連結したこのネットワークを LOD Cloud と呼び，可視化することで世界中の LOD が連結している様子を見ることが出来る (図 3.2)．一見すると，LOD Cloud には多数の LOD が登録されているように見えるが，世界規模で考えると少ないといえる．具体的には，2013 年 10 月時点の日本の LOD は図 3.3 に示されている通り，非常に少ないと言える．[*1]

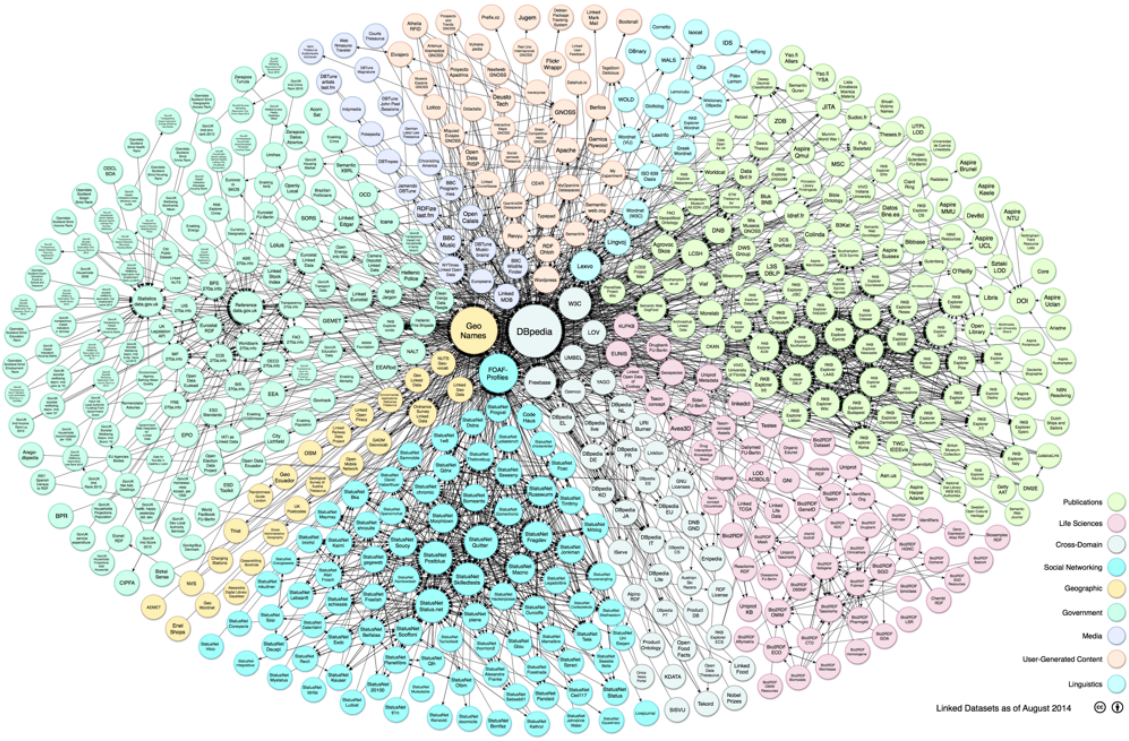


図 3.2: LOD Cloud

3.2 関連研究

RDF・LOD に関連する研究として，以下のものが挙げられる．

- RDF・LOD の実装と利用の研究
- データをより効率的に利用するための研究
- データベースを構築するための語彙の研究

[*1] http://linkedopendata.jp/?p=411

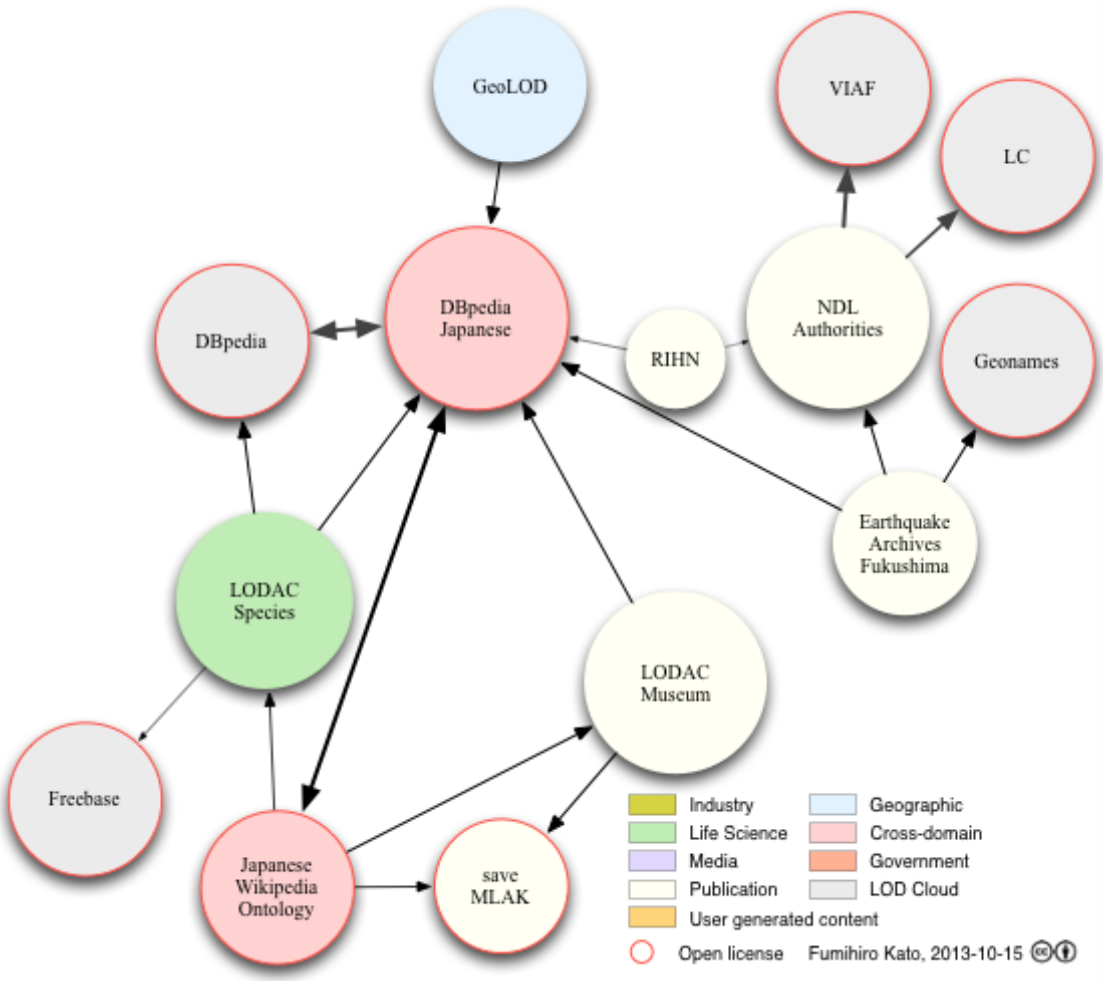


図 3.3: LOD Cloud in Japan

3.2.1　RDF・LOD の実装と利用

ドメインスペシフィックな領域での RDF・LOD の実装例として，後藤 [8] による人文社会系大規模データベースの RDF 化に関する研究報告がある．

人間文化研究機構は，構成する 6 つの機関による人文社会系のデータベースを数多く所有している．2008 年から，そのデータベースを横断的に検索するためのシステムである nihuINT[*2] が提供されているが，データベースの多様性と規模が増大するにつれ，いくつか問題が浮上してきた．具体的には，柔軟な統合検索・データベース間の連携の必要性などである．また，従来のデータベースには検索用の API が整備されておらず，必要な情報を検索するのに手間がかかるといった問題があった．

そこで，人間文化研究機構所有のデータベースを RDF でリンクさせる研究が行われた．後

[*2] http://int.nihu.jp/info.html

藤 [8] はそのプロトタイプとして，日本荘園データベース・古典籍総合目録・デジタル地名歴史辞書の 3 つを RDF でリンクさせ，高度な情報検索が可能かを検証した．構築したプロトタイプには 3 つのデータベースといくつかの外部サービスが試験的に接続された．このデータベースについて，荘園に関するデータを取得する研究シナリオを想定し，有用性を検証した．検証の結果，1 つの荘園に関係する地名として，同じ名前の場所が多数提示されるという問題が生じることが分かった．これは地理的なセマンティクスを考慮せずにリンクを自動生成した結果であり，このような事態を避けるために，ある程度地域の範囲を絞るといった設計が必要であることが示された．

また理化学研究所は 2016 年 9 月に，遺伝子をノックアウトしたマウスの形態的・生理的形態である表現型についての IMPC(International Mouse Phenotyping Consortium) の解析データを，RDF データとして公開したと発表した [9]．IMPC はノックアウトマウスの表現型を世界標準の方法で解析し，情報を共有することを目的とした国際共同プロジェクトである．2011 年の発足以降，マウスの遺伝的背景や解析手法の標準化を行い，解析データを公開している．理化学研究所は，IMPC が公開しているデータが含む概念を整理し，RDF で記述することで，生命科学分野で容易に利用可能な形式へ変換した．変換したデータは理研メタデータベース[*3]を通じて公開されており，今後 IMPC が新たに発表するデータについても逐次 RDF 化して公開するとしている．

RDF・LOD で管理されているデータを用いたアプリケーションの研究例として，T. Di Noia ら [10] による映画のリコメンドシステムの研究を紹介する．この研究では，ユーザの嗜好を表す user profile という値と，映画間の類似度を表す similarities という値を組み合わせて学習させている．

ユーザの嗜好を計算するのに Noia らが用いたデータセットは，MovieLens[*4]というものである．これはリコメンデーションシステム開発やベンチマークのために作成された，映画のレビューについてのデータセットである．Noia らが用いたバージョンには，6,040 のユーザによる，3,952 の映画に対する，1,000,029 のレビューが含まれている．このデータセットから，各ユーザの嗜好を計算する．

また，映画間の類似度を計算するのに用いたデータは，DBpedia[11], LinkedMDB[12], Freebase[13] という LOD から抽出された，MovieLens で扱っている映画に関係する RDF のグラフである．類似度は，ある映画とある映画が「どれだけ同じ情報を共有しているか」によって計算される．例えば「主演が同じである」「ジャンルが同じである」といった内容が RDF で記述されている場合，高い類似度となる．

こうして RDF・LOD から計算された映画間の類似度と，ユーザの嗜好のデータを組み合わせることで，あるユーザがある映画に対してどのような評価を下すかを推定する．高評価を下すと推定された映画がリコメンドされることで，高精度なリコメンドシステムを構築することに成功している．

[*3] http://metadb.riken.jp/
[*4] https://movielens.org/

3.2.2　データをより効率的に利用するための研究

データの実装やアプリケーションの作成に関する研究以外に，データをより利用し易くするための研究も行われている．

RDF で記述したデータを Triple store で検索する際，SPARQL[*5](SPARQL Protocol and RDF Query Language，再帰的頭字語になっている) というクエリ言語で検索を行うことで，データを取得することが出来る．SPARQL での検索を可能にするため，Triple store は SPARQL Endpoint と呼ばれる検索窓を用意することが推奨されている．

しかしこの SPARQL は，熟練したユーザであっても誤ったクエリを書いてしまうことが多々ある．その問題を解決するため，M. Yahya ら [14] は，自然言語を SPARQL クエリへ変換する DEANNA(DEep Answers for maNy Naturally Asked questions) というシステムを開発した．文章を語彙に分割した後のマッピングに整数線形計画法を，知識ベースには Yago2[15] を用い，組み合わせ問題の解決には Gurobi[*6]のソルバーを使用することで，高精度にクエリへの翻訳を行うことが出来たとしている．

また，近年ではビッグデータの流行に伴って RDF データも大規模化・多様化している．そのような状況において，データを効率的に処理できる RDF データベースの構築についての研究 [16, 17, 18] も進められている．他にも，RDF に適したクエリ言語についての研究 [19] や RDF トリプルを 1 つのマシンで高速処理するためのプロセッサを設計する研究 [20] など，様々な研究が行われている．

3.2.3　語彙の定義に関する研究

語彙の定義に関する研究として，Y.Raimond ら [22] による The Music Ontology の研究がある．The Music Ontology は，音楽に関するメタデータを詳細に記述することを目的として構築された RDF Vocabulary である．The Music Ontology は，3 つのオントロジーを元に構築されている．1 つ目のオントロジーは the Timeline Ontology[23] である．これは時刻 (time instant)・時間間隔 (time interval)・時間の流れ (timeline) を表現することを目的として構築されたオントロジーであり“this performance happened the 9th of March, 1984”といったデータを RDF で記述することが出来る．

2 つ目は the Event Ontology[24] である．“this musical event was performed in Suntory Hall in Tokyo”のようなイベントの情報を記述するためのオントロジーであり，場所や公式ホームページといったイベント関係の情報を記述することが出来る．

3 つ目は Friend-of-a-friend ontology[25] である．これは“the artist of this classic song is Johann Sebastian Bach”といった，人物に関係する情報や人間関係を記述するためのオントロジーであり，様々な LOD において広く用いられている．

[*5] https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/

[*6] http://www.gurobi.com/

以上のオントロジーを元に，音楽に関係する情報を記述するための語彙を追加・再定義したものが The Music Ontology である．具体的には“performed_in”, “conductor”, “recorded_in”, “remix_of” などといった，演奏や楽曲の情報を詳しく表すための語彙が定義されている．

その他のオントロジーに関する研究として，輸血についての知識を記述するための Blood Ontology[21] が O.Bursa らによって構築されている．血液学が必要なサービスでの利用を考え，FOAF と Relationship Ontology を元に作成されており「A 型へ輸血可能な血液は，A 型もしくは O 型」といった輸血時に考慮されるべきルールを満たす構造で構築されている．

以上のように，様々な内容のデータを記述するためのオントロジーが研究されており，先に紹介した The Music Ontology などは SDM の音楽コンテンツを記述するのに有用であるように思える．しかし，SDM で扱うデータには収録プロセスや収録デバイスの情報などが含まれており，これは The Music Ontology ではカバーしていない範囲となる．また，SDM が収録対象としているイベントは音楽イベントに限らない．SDM の想定環境を表現できる語彙は現状存在しないため，LOD 作成のためには新しくオントロジーを作成する必要がある．

第 4 章

SDM Ontology

4.1 設計方針

4.1.1 設計のアプローチ

本研究のアプローチとして，まず SDM が保有しているデータを LOD に変換するために，SDM 用の RDF Vocabulary である”SDM Ontology”を定義する．SDM Ontology の構造を議論し，構造を決定したのちに，これを実際に構築・公開する．実装の詳細は第 5 章で述べる．

データの制作の利便性や，加工，利用における機能性や応用の自由度を高めるために，SDM Ontology は記録対象の構成や作業フローの実態に即したデータ構造を持つ必要がある．そこで，SDM が想定する収録空間を構成する要素を次の 5 つに分解し，SDM に特有の情報も記述できるように設計する．

- SDMEvent: イベント全体の情報 (イベントの名前や日時など)
- Context: イベントにおいて行われたプログラムの情報 (プログラムの名前や内容など)
- Target: 収録対象の情報 (対象の位置情報や対象の種類など)
- Recorder: 収録機器の情報 (機器の位置情報や種類など)
- MediaObject: 生成されるメディアの情報 (メディアの種類など)

大まかな構造としては，まず SDMEvent が大元としてあり，その下に Context，Target，Recorder の 3 つが存在する．これらは相互に参照しあう構造となっている．そして，イベント後の処理によって生成される MediaObject がその下に存在する．

4.1.2 要求事項の検証

3 次元映像音声メディアを管理出来ること

前述の通り，SDM の収録対象や収録機器のメタデータから，生成されるメディアの情報までを格納するための枠組みを設けており，SDM 特有の情報を記述することができる．

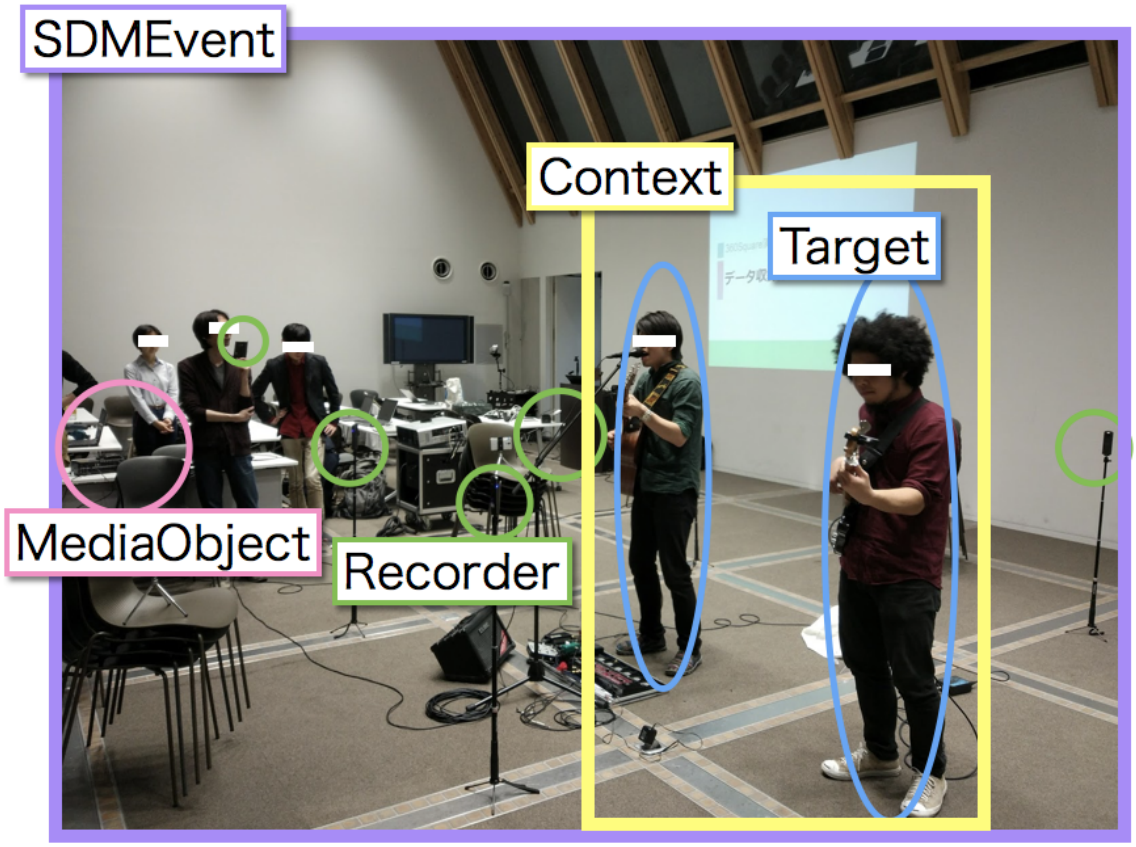


図 4.1: 収録空間の 5 要素

ユーザが求める表現のレベルに応じてデータが取得できること

イベント全体の情報 (SDMEvent)・イベントの内容とイベントに関わった収録対象 (Context, Target, Recorder)・収録した内容から生成されるメディア (MediaObject) という 3 つのレベルにデータを分けることで，ユーザの求めるレベルに則したデータを提供することができる．

アプリケーションに非依存な形式で保存されていること

ここで提案している構造は SDM が想定している収録環境を分解した結果であり，特定の用途を前提に構築したものではないため，アプリケーションに非依存で汎用的な形式となっている．

新しいコンテンツの登場時に対応できる拡張性を持つこと

詳細は次節で述べるが，Context, Target, Recorder, MediaObject はそれぞれサブクラスを持つことを前提としており，表現したいデータによってサブクラスを定義することで拡張性を持たせている．

以上のように，SDM の収録空間を上述の 5 要素に分解することで，要求事項を満たすことができる．これらにより SDM のイベントと収録行為が構成されていると考えた上で，SDM が記録するデータ全体をカバーできるように，SDM Ontology のデザインを行なった．また，RDF の思想として，データを公開する人が各々の語彙を勝手に定義するとデータの共有が難しくなるため，出来る限り既存の語彙を使用することが推奨されている．本論では，schema.org[*1]の語彙を取り入れた．

4.2 オントロジーの詳細

今回考案した SDM Ontology の構造は図 4.2 の通りである．図中の色分けは，データ構造を考案する際に便宜上取り決めたグループを表している．以下では，SDM Ontology に用意されているクラスとプロパティの詳細について，前章で述べた 5 つの要素を軸に述べる．

4.2.1 SDMEvent

まず SDM Ontology の大元となるクラスとして，SDMEvent が用意されている．これはイベントそのものの情報，すなわちイベントが行われた場所や日時を表すために用意されたクラスである．このクラスには，プログラムを表す Context を示すためのプロパティである”has”や，記録機器である Recorder を示すためのプロパティ”recording”などが用意されている．対象の位置情報の座標系を定義するためのクラス”SDM Geometry”も定義している．また，イベントが行われた施設の情報は schema.org で定義されている語彙”contentLocation”によって示される．今回の実装では，他のクラスにおいても schema.org の語彙を用いている．

以下に述べるクラスを用いて，SDMEvent で表されるイベントにおいて収録された内容を記述することとなる．

4.2.2 Context

このクラスは，イベントの中で執り行われた 1 つのプログラム表すクラスであり，複数のプログラムを含むイベントであれば 1 つの SDMEvent に対して複数の Context が対応する．注意すべき点として，Context は SDMEvent の部分集合ではない．これらは別々の情報を格納するために用意されたクラスであり，共通のプロパティを持たない．

Context クラスでは，演じられたプログラムの種類によってサブクラスを設けることを想定している．Context クラスそのものには最低限のプロパティのみを用意し，固有のプロパティはサブクラスが持つようにすることで，拡張性を高めている．具体的には，どのようなプログラムであっても必ず存在する”name”や”program_number”などを持っている．また，プログラムに参加した対象を表す Target クラスや Recorder クラスを参照するためのプロパティも用意されている．

[*1] http://schema.org/

今回は慶應で収録した演奏のデータを記述することを考えているため，Song クラスをサブクラスとして設けている．Song クラスでは演奏された曲目のライターやキー，テンポなどを記述するためのプロパティを用意した．

4.2.3　Target

Context クラスで表されるプログラム内で演奏した人やスタッフ，観客といった，収録対象のデータを記述するためのクラスであり，対象の名前や位置情報を記録するためのプロパティが用意されている．Context クラスと同じく，Target の種類によってサブクラスを用意する．今回は Musician・Audience・Staff という 3 つのクラスを用意しているが，Context と同様に記述するデータの種類によって自由に拡張することが可能である．Target クラスが持つ最低限のプロパティは，対象の名称を表す”name”や，SDM Geometry で定義された座標系における位置情報を表す”local_x”, ”local_y”, ”local_z”などである．

4.2.4　Recorder

Recorder クラスは収録機材の情報を示すクラスであり，収録するデータの内容ごとに 3 つのサブクラスを用意している．音声収録を目的とした機材を表す場合は AudioRecorder クラスを用い，動画収録を目的とした機材の場合は VideoRecorder クラスを，それ以外のセンサーデータ等を記録する場合は DataRecorder クラスを用いる．本論では以上の 3 つのサブクラスのみを用意したが，今後新しいデータ記録方式が登場した場合でも，Recorder クラスのサブクラスとして新しく定義することで，拡張が可能である．

また，マルチトラックレコーダーによって複数の機材を同時に使う場合を想定して，multiTrack クラスを定義している．これは Recorder クラスから multiTrackInfo プロパティで参照することができ，Recorder クラスと同様にデータの内容によって AudioTrack, VideoTrack，DataTrack の 3 種類のサブクラスを持つ．

4.2.5　MediaObject

MediaObject クラスは，Recorder が生成する記録物を示すクラスである．特定の対象の記録だけでなく，複数の Recorder の収録内容を処理して生成されるメディアを格納することもできる．

Recorder クラスが音声, 映像, それ以外のデータの記録用のクラスをサブクラスに持つため, 書き出される MediaObject クラスにも同様にそれぞれに対応したサブクラスが定義されている．音楽に関する MediaObject は AudioMedia クラスに，映像に関するものは VideoMedia に，それ以外は DataMedia へ格納することを想定している．

MediaObject クラスは収録データの格納場所のリンクを情報として持ち，このリンクを辿ることで収録データを取り出すことを想定している．

こうしてデザインを行なったオントロジーをファイルとして記述し web 上に置くことで，SDM Ontology の語彙の定義を外部から参照することができる．参照した語彙を用いることで，SDM のデータを LOD として作成することが可能となる．語彙の定義ファイルの作成は，オントロジー構築支援ツールである protege[*2]を用いて行う．

[*2] https://protege.stanford.edu/

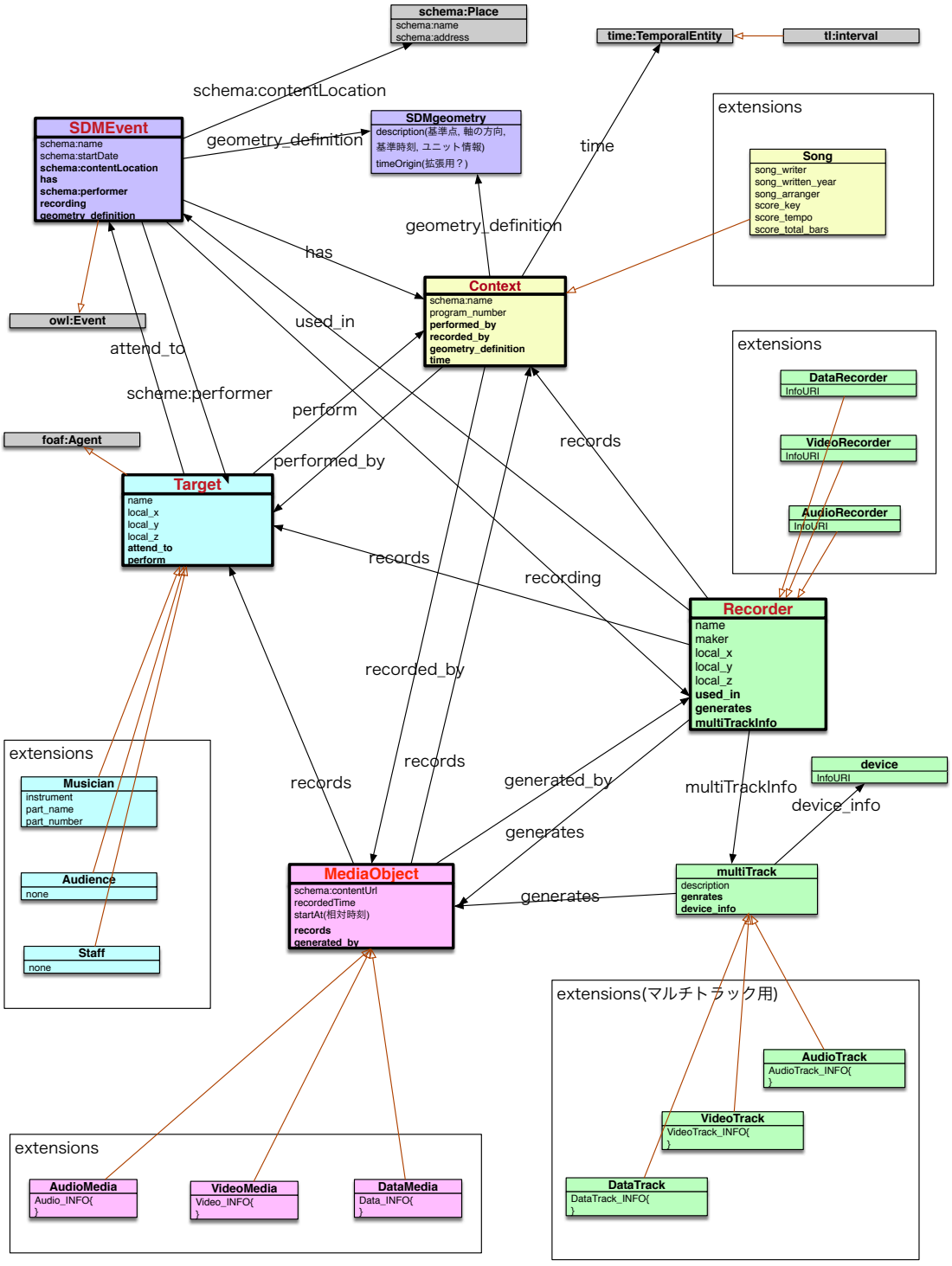


図 4.2: SDM Ontology のデザイン

第 5 章

実装と評価

本章では，SDM コンソーシアムが保有するデータを LOD として公開して利用するにあたって実装した内容と，その評価について述べる．アプローチは図 5.1 のような流れとなる．まず図 5.1 左の SDM Recording において分散収録機器により収録されたデータを，SDM Ontology を用いて LOD として記述する．次に，作成した LOD を図 5.1 中央に示す SPARQL サーバに格納し，外部から参照可能な状態にする．このデータは LOD クラウドとリンクしており，図 5.1 右に示したユーザとアプリケーションから利用されることとなる．

実装の大まかな段階は

- 設計した SDM Ontology を，オントロジー構築支援ツールを用いて実際に構築し，web 上に公開する．
- SDM Ontology で定義された語彙などを用いて，保有しているデータを RDF/LOD の形式で記述する．
- 作成した SDM の LOD を公開し，アプリケーションから利用する．

という順番になる．

5.1 実装

5.1.1 SDM Ontology の構築と公開

第 4 章で設計した SDM Ontology を実際に構築するにあたり，オントロジー構築支援ツールである protege を用いた (図 5.2)．クラス間の関係，DataProperty，ObjectProperty などを定義して，最終的なオントロジーファイルを rdf や ttl といった形式で書き出すことが出来る．

URI の設計として，オントロジーの URI を http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/と定めた．オントロジーで定義されている語彙，例えば AudioMedia などを参照する場合，その URI は http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/AudioMedia となる．

sdm.hongo.wide.ad.jp で動作している web サーバの設定により，オントロジーで定義され

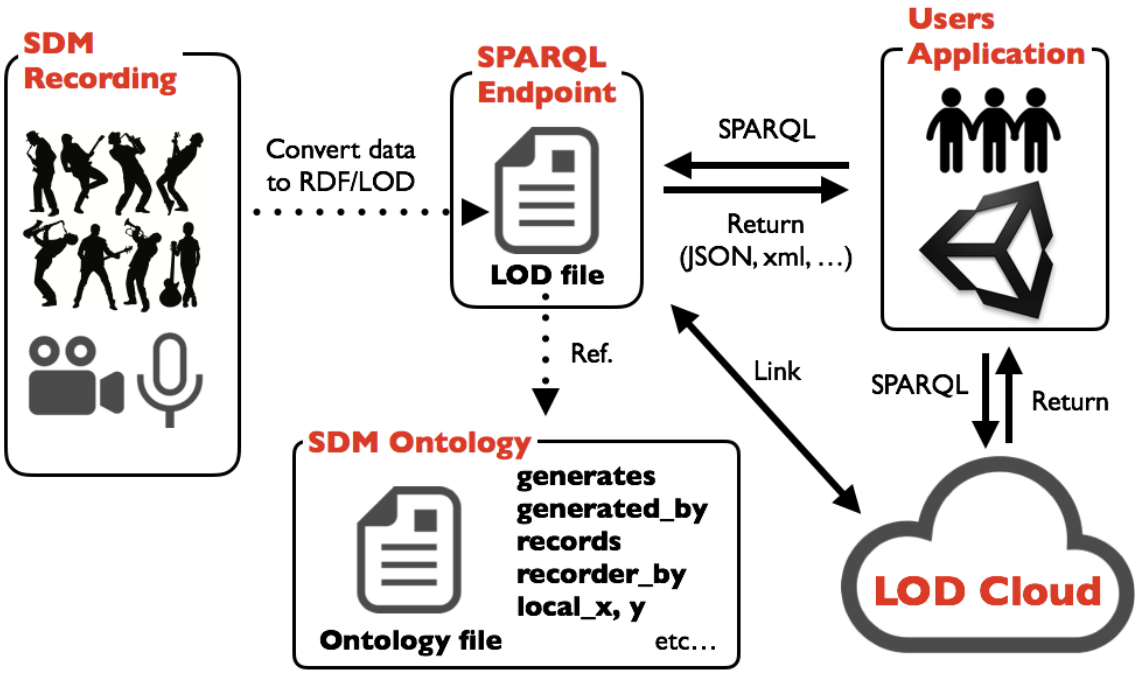


図 5.1: Approach for LOD of SDM

ている語彙を参照すると自動的にオントロジーファイルへリダイレクトされる仕様となっている．

5.1.2　データの LOD 化

SDM コンソーシアムが保有するデータを LOD 化するにあたって，RDF グラフを簡潔かつ自然な形式で記述できる言語である Turtle[*1]を用いた．Turtle ファイルの中で SDM Ontology を参照し，そこで定義された語彙を用いることで，SDM のデータを LOD の形式で記述することが出来る．

実際に SDM Ontology を用いて，慶應で収録したコンサートのデータを記述した．データ構造の一部を図 5.3 に示す．図が複雑になることを避けるために一部プロパティを省略しているが，Ontology レイヤーでは SDMEvent から Target や Recorder を参照するためのプロパティも存在し，MediaObject は Context や Target からも参照可能である．またトラックに関するクラスも省略している．

慶應で行われたコンサートで収録されたプログラムは「慶應義塾大学コレギウム・ムジクム古楽オーケストラ演奏会-ドイツ管弦楽組曲の響き-」の 1 つのみであったため，1 つの SDMEvent に 1 つの Program が繋がっている．その Program に対して，参加した Musician や AudioRecorder が複数対応し，またそこから生成された AudioMedia も同じく複数存在し

[*1] https://www.w3.org/TR/turtle/

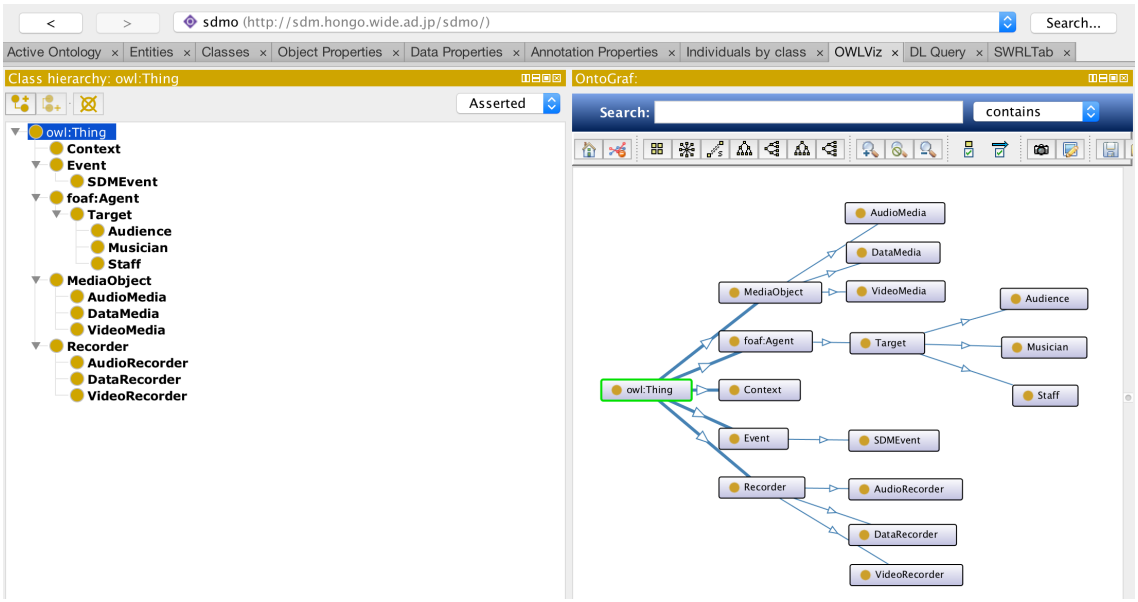


図 5.2: protege によるオントロジー構築

ている．ここで，Program から参照されている Musician や AudioRecorder は，その親クラスである Target クラスや Recorder クラスのインスタンスではなく，そのサブクラスのインスタンスであることに注意する．SDM Ontology で定義された概念である Target と Recorder のクラスは最低限のプロパティしか持っておらず，そのサブクラスが固有のプロパティを持つようにすることで，拡張性を高めている．そのため，Target クラスや Recorder クラスはインスタンスとしての実体を持たず，サブクラスが実体を持つこととなる．本研究で扱うデータがコンサートのデータであるため，今回は Musician クラスや AudioRecorder クラスのインスタンスを生成しているが，他のパフォーマンスを SDM Ontology で記述する場合は，そのパフォーマンスの内容に適したサブクラスを新たに定義してそのインスタンスを生成することとなる．

5.1.3 LOD の公開

SDM Ontology を用いてデータを LOD として記述したのちに，それを外部アプリケーションから参照できるように公開する．公開方法としては，LOD 用の問い合わせ言語である SPARQL を投げられる SPARQL Endpoint というものを構築し，そこに LOD をアップロードすることで，外部から問い合わせが可能となる．SPARQL Endpoint には，fuseki[*2]，Virtuoso[*3]，AllegroGraph[*4]，StarDog[*5]といった様々な種類があるが，RDF 表記形式のサ

[*2] http://jena.apache.org/documentation/serving_data/index.html
[*3] https://virtuoso.openlinksw.com
[*4] http://franz.com/agraph/allegrograph/
[*5] http://stardog.com/

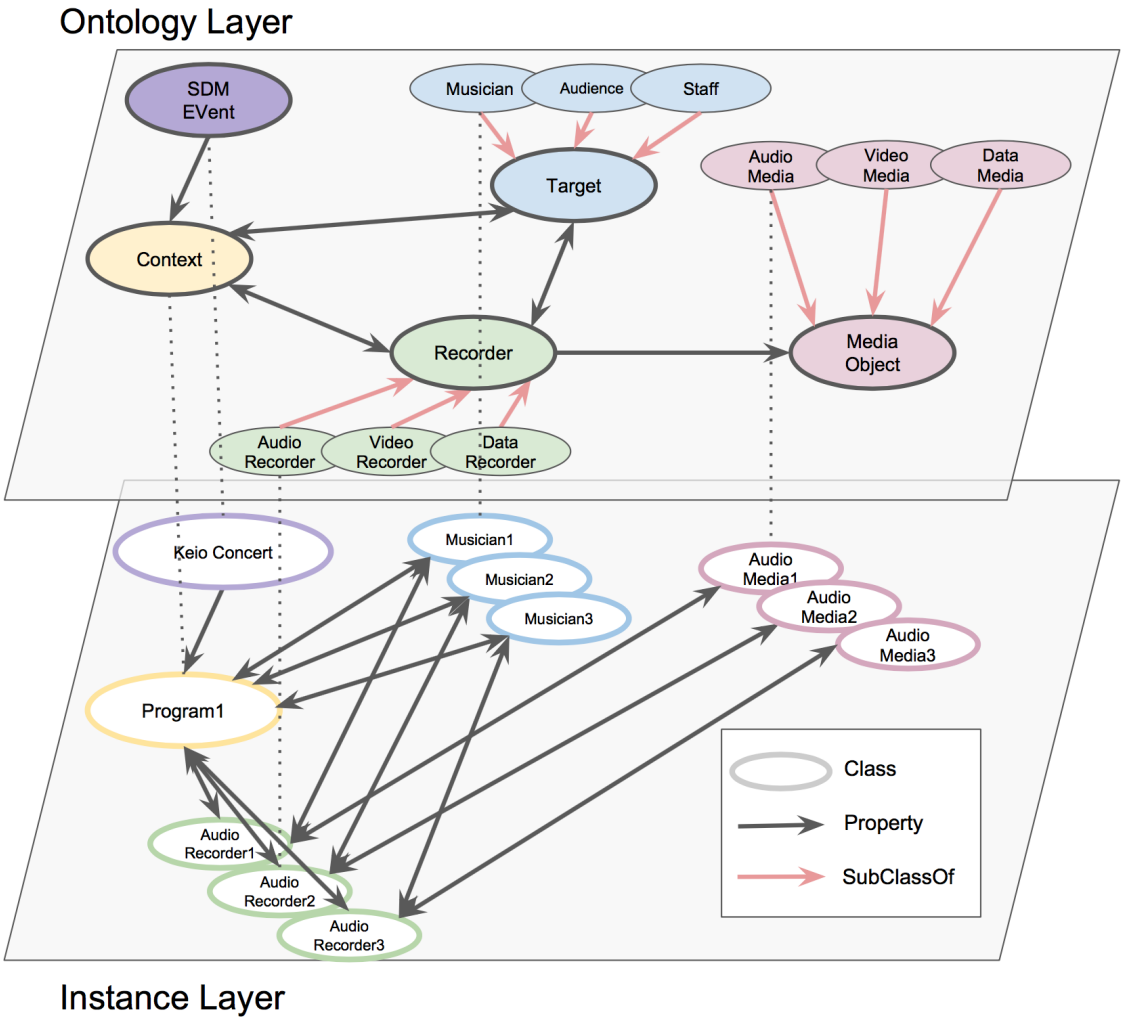


図 5.3: Ontology layer and Instance layer

ポート数やデータ構造の可視化機能などの観点から比較検討した結果，今回は GraphDB[*6]を用いた．

こうして公開された SDM の LOD に SPARQL Endpoint を通じてクエリを投げることで，必要に応じたデータを取得することが出来る．

5.1.4　User application からの利用

本研究では，SDM360^2 の内部処理において GraphDB へ SPARQL クエリを投げて演奏者の位置情報を取得した．SDM360^2 の設計は図 5.4 の通りであり，図の「視聴オブジェクトデータベース」が GraphDB にあたり，「視聴オブジェクトの配置・状態管理」の処理においてクエリを投げている．GraphDB が提供する SPARQL Endpoint の REST API に対し，

[*6] https://ontotext.com/products/graphdb/

表 5.1: サーバマシンスペック

OS	Ubuntu 16.04
CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU X5650 @ 2.67GHz
Memory	4044788 kB
GraphDB Version	graphdb-free-8.3.0

HTTP GET のクエリパラメータとして SPARQL クエリを投げることで，HTTP ヘッダの Content-Type に指定した形式で結果を取得することができる．SDM360^2 は Unity で実装されているため，UnityWebRequest を用いて http 通信を行なった．

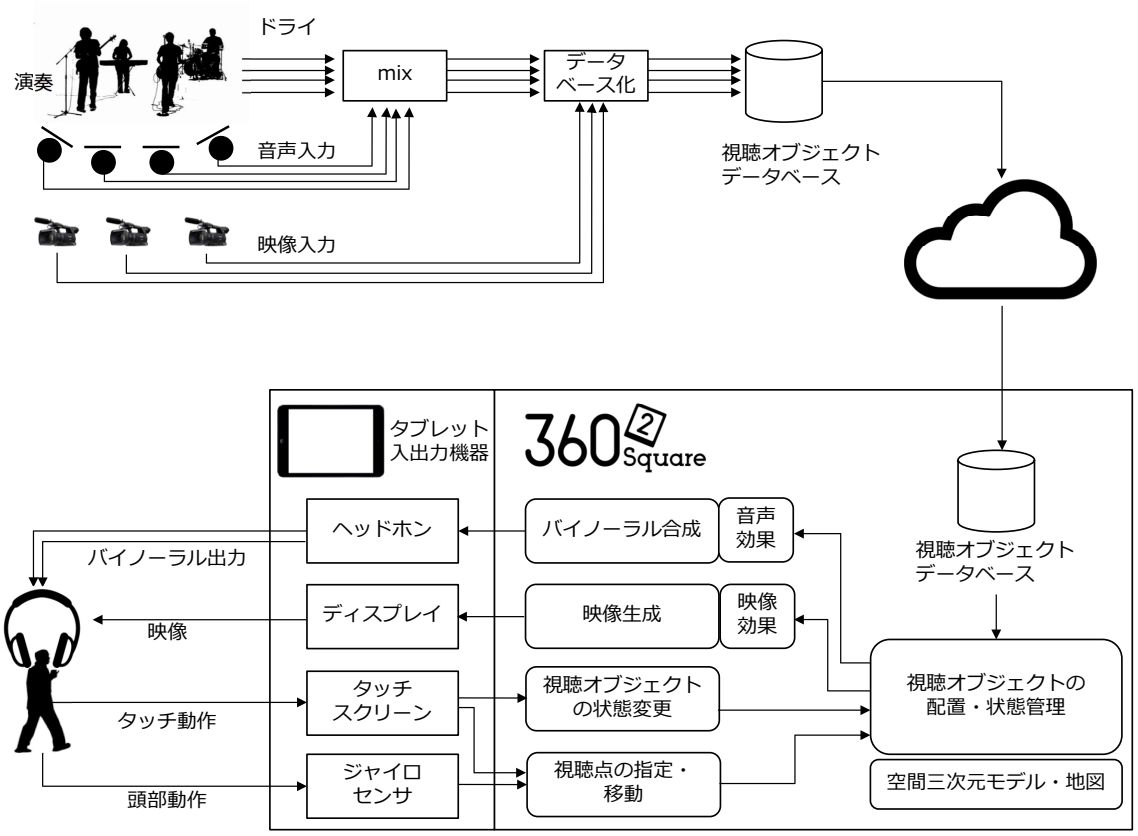


図 5.4: SDM360^2 の設計 [4]

5.2 評価

5.2.1 評価方針

本研究は，SDM コンソーシアムが所有するデータを LOD 化するためのオントロジーの考案と実装であるため，定量的評価が難しい．既存のデータをそれまでとは別のデータ構造で公

開する研究であれば既存の構造との比較が可能であるが，SDM のデータは既に構造化されたものではないため，比較することは出来ない．

そこで評価方針として，まず今回公開した SDM の LOD に関して，想定される利用シナリオを挙げる．その後，それらの目的を満たすデータの取得が可能であることをそれぞれ示すことで，データの利用可能性を示す．

5.2.2　シナリオごとの評価

Musician の楽器や位置の情報を取得する

収録したイベントを仮想空間内において再現する場合，オブジェクトを配置するために位置情報が必要となる．第 2 章で，SDM が作成したアプリケーションである SDM360^2 を紹介したが，SDM360^2 で配置されている演奏者のオブジェクトの位置情報は，記録をもとに手動で入力されていた．しかしこの方法では入力間違いといった人的ミスは勿論，値が更新された場合の同期がされず更新に手間がかかるといった問題がある．

SDM の LOD に対して以下の SPARQL クエリを投げることで，各演者の楽器や位置情報を取得することが出来る．クエリ内では，慶應での SDM の収録に参加した Musician のパート名，パート番号，位置情報を取得している．

```
prefix s: <http://schema.org/>
prefix sdm: <http://sdm.hongo.wide.ad.jp/resource/>
prefix sdmo: <http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/>

select ?part ?part_num ?x ?y ?z
where{
    ?event a sdmo:SDMEvent ;
           s:name "慶應義塾大学コレギウム・ムジクム古楽オーケストラ演奏会-ドイツ管弦楽組曲の響き-"@ja ;
           s:performer ?s .
    ?s a sdmo:Musician ;
        sdmo:part_name ?part ;
        sdmo:part_number ?part_num;
        sdmo:local_x ?x ;
        sdmo:local_y ?y ;
        sdmo:local_z ?z .
}
```

アプリケーション内の処理でこのクエリを投げることによりデータの同期も行われ，手動でオブジェクトを配置する手間も削減される．

マイナスワンコンテンツで利用する

SDM コンソーシアムが想定しているデータ利用方法の一つに，オーケストラのリハーサルや個人・パートごとの練習に役立てるというものがある．具体的には，ユーザが担当するパートの音声をコンテンツの中で強調したり，逆にそのパートの音声を抑えたりするといったものである．後者は一般にマイナスワンと呼ばれるコンテンツであり，音楽の練習に有用とされている．

マイナスワンコンテンツで SDM のデータを利用するパターンとして，特定のパートを除いた音源とその他の情報を引いてくる場合を考える．以下の SPARQL クエリでは，Violin と Viola のパートを除いた音源と，その音源の元になった Musician に関する情報の一覧を取得している．

```
prefix s: <http://schema.org/>
prefix sdm: <http://sdm.hongo.wide.ad.jp/resource/>
prefix sdmo: <http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/>

select ?source ?p ?o
where{
    ?target a sdmo:Musician;
            sdmo:instrument ?inst ;
            ?p ?o.
    ?media a sdmo:AudioMedia ;
        sdmo:records ?target ;
        s:contentUrl ?source .
    filter(?inst not in ("Violin", "Viola")) .
}
```

また，今回 LOD に記述したデータはすでに加工済みのものであり，音源の頭合わせが終了している．そのため取得した音源を適切に配置するだけでアプリケーションを作成することが可能であるが，今後格納される素材データの多くは頭合わせが行われていないものであると想定される．その場合，MediaObject の startAt プロパティを同時に取得し，アプリケーション内でその値に基づいて調整を行うことで同期が可能となる．

イベントに関係するデータを外部から引いてくる

RDF・LOD の最大の特徴として，リソースが全て URI で表されているため，どの LOD も web 上の他の LOD と相互に参照し合うことができる．そのリンクを辿ることで，外部の LOD からデータを取得することも可能である．

今回作成した LOD では，イベントで演奏された曲の作曲者として，Wikidata[*7]のリソースを参照している．Wikidata は Wikipedia で提供されているデータを構造化して公開しているプロジェクトであり，外部の LOD から URI を参照することができる．また SPARQL Endpoint も公開されているため，SDM の SPARQL Endpoint を通じてアクセスすることも可能である．

指定したイベントで演奏された曲の作曲者一覧とその作曲者の情報を取得する SPARQL クエリは以下の通りである．作曲者についての解説のデータは SDM が公開している LOD 自体には含まれておらず，LOD の内部で参照している Wikidata へとリンクを辿ることにより取得可能となっている．

```
prefix s: <http://schema.org/>
prefix sdm: <http://sdm.hongo.wide.ad.jp/resource/>
prefix sdmo: <http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/>
```

[*7] https://www.wikidata.org/

```
select ?song_writer ?p ?o
where{
    ?event s:name "慶應義塾大学コレギウム・ムジクム古楽オーケストラ演奏会-ドイツ管弦楽組曲の響き-"@ja ;
        sdmo:has ?context.
    ?context a sdmo:Song ;
             sdmo:song_writer ?song_writer.
    service <https://query.wikidata.org/bigdata/namespace/wdq/sparql>
    {
        ?song_writer ?p ?o.
    }
}
```

慶應で行われたコンサートでは，バロック音楽という一般的には馴染みの薄い曲目を扱っている．このイベントをアプリケーションとして実装する場合，演奏されている曲目や特徴的な楽器に関する解説を参照することで，より興味深いコンテンツを作成することが出来ると考えられる．

複数地点の収録内容を統合する

SDM が前提としている分散収録環境は，分散させた機器で一つのイベントを収録することだけを意味するものではない．複数地点の収録内容を同期し統合することで，一つの新しいコンテンツを作り出すことも想定している．

異なるイベントで演奏された同じ曲目について，各イベントで収録された全ての MediaObject のファイル一覧と，収録した Target の楽器情報を取得するクエリは以下のようになる．

```
prefix s: <http://schema.org/>
prefix sdm: <http://sdm.hongo.wide.ad.jp/resource/>
prefix sdmo: <http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/>

select ?event_name ?file ?instrument
where{
    ?event a sdmo:SDMEvent ;
           s:name ?event_name ;
           sdmo:has ?song.
    ?song a sdmo:Song ;
          s:name "Le journal du printems No.4" ;
          sdmo:recorded_by ?media.
    ?media s:contentUrl ?file ;
           sdmo:records ?target.
    ?target a sdmo:Musician ;
            sdmo:instrument ?instrument.
}
```

ファイルの演奏速度を合わせるタイムストレッチ処理を行う場合，処理に必要なプロパティを Song クラスから取得することとなる．今後そのようなシステムを構築していく中で，現在オントロジーで定義されていないデータが必要であれば，新しく定義を追加していく．これに

より，分散環境で別々に録音した素材を持ち寄って一つの曲にまとめるといったコンテンツ制作システムが実現できると考えられる．

以上のように，SDM Ontology を用いて LOD 化したデータは，様々な用途に合わせて適切なデータを提供することが可能である．しかし先にも述べたように，SDM Ontology そのものが有用か，適切に設計されているかといった評価は，今後 SDM Ontology を用いて記述されるデータがどれだけ現れるか，記述されたデータがどれだけ利用されるかによると考えられるため，現段階で評価することは難しい．今後 SDM Ontology と SDM の LOD が利用される中で，データを記述する側にとっても利用する側にとっても望ましい形式へ修正を続けていく必要がある．

第 6 章

結論と今後の展開

6.1 まとめ

本論ではまず，SDM コンソーシアムが保有するデータを LOD として公開するためのオントロジーである SDM Ontology をデザインし，構築した．次に SDM の活動の目的と，実際に行なっている活動について述べた．データの記録作業について，慶應で行なった収録の説明を行ったのちに，そこで得たデータの説明を述べた．つづいて，そのデータを用いたアプリケーションとして SDM360^2 を紹介し，データを格納・公開して外部から利用してもらうためのデータベースの要求事項を整理し，実装として RDF/LOD を用いることを説明した．さらに，実際に SDM のデータを表現する枠組みとして，記録対象の空間を SDMEvent, Context, Target, Recorder, MediaObject の 5 要素に分割して考え，それぞれを表現する為のクラスとプロパティについて議論し，SDM Ontology の構築を行なった．SDM Ontology の構築により，SDM が保有するデータを LOD として公開することが可能になるため，これを用いて実際にデータの作成を行なった．作成したデータは SPARQL Endpoint で公開され，アプリケーションから利用できる．また，SDM Ontology を用いて記述した LOD について，データの利用方法のシナリオを複数想定し，それらのニーズを満たすことを確認した．一般的なデータベースと同様にアプリケーションの処理を一部自動化出来るのは勿論，SDM の LOD に含まれていないデータについてもリンクを辿ることで取得が出来るという LOD 特有のデータ利用も可能であった．

6.2 今後の課題

今後の展開として，以下のようなものが考えられる．

- SDM Ontology の検証・修正
- SDM360^2 以外のアプリケーションからの利用
- 他の LOD とのリンク方法の修正
- SDM のデータの利用を促進するサービスの整備

まず SDM Ontology の今後の検証と修正について述べる．SDM は記録対象として，コンサートに限らずライブであったりそれ以外のパフォーマンスであったりと多様なものを想定している．SDM Ontology ではそれらを包括的に管理できるよう，コンサートに特化しない汎用的なクラスで構成されている．しかし汎用的になりすぎた結果，データを正確に記述できない場合，オントロジーの構造を見直す必要がある．本研究では SDM の収録を SDMEvent, Context, Target, Recorder, MediaObject の 5 要素に分解することを前提としてオントロジーの構築を行なったが，今後の議論の中で他の分解方法が考案される可能性もある．また，現在 SDM Ontology では SDM Geomerty で定義された座標系における Target, Recorder の固定の位置情報をプロパティとして持っている．しかし将来的には，収録対象や収録機器が移動しても対応できるように拡張したい．

データの記述における問題以外に，データの利用における問題も考えられる．本論では，SDM コンソーシアムが開発した SDM360[2] 内の処理で SDM の LOD を利用した．しかし今後 SDM のデータを利用したアプリケーションが作られ，そのアプリケーションが求めるデータを取得することが容易でない場合も，SDM Ontology の構造を修正する必要がある．

オントロジーの修正以外に，SDM Ontology を用いて記述するデータのどの要素を外部の LOD と繋げるかという問題も存在する．本論ではコンサートで演奏した曲目の作曲者で外部 LOD を参照したが，データの利用意図次第で他のリンクも必要となる場合がある．例えば録音機材に関する情報をより詳しく取得したいといった場合，機材の詳細が記述されている外部の LOD が参照されていれば，容易にアクセスすることが出来る．このようなリンクは，今後 LOD が利用されていく中で必要に応じて追加されるべきである．

また，現在は LOD を SPARQL Endpoint を通じて公開しているだけだが，Semantic Web が今後普及する中で，第 3 章で紹介したような SPARQL クエリを自動生成するサービスなども登場することが考えられる．SDM Ontology を改善してデータの記述を容易にしていくだけではなく，そのようなサービスを通じてデータの利用も促進することで，SDM のデータの利用可能性を広げていくことが可能となるだろう．

発表文献

(1) 菰原 裕, 塚田 学, 江崎 浩, 曽根 卓朗, 池田 雅弘, 高坂 茂樹, 新 麗, 新 善文, ”SDM Ontology: Software Defined Media のメタデータ管理のための Ontology”, マルチメディア，分散，協調とモバイル (DICOMO2017) シンポジウム, June 2017.

参考文献

[1] 塚田学, 小川景子, 池田雅弘, 曽根卓朗, 丹羽健太, 齊藤翔一郎, 粕谷貴司, 砂原秀樹, and 江崎浩. Software defined media: 視聴空間サービスのソフトウェア制御. In **『コンピュータソフトウェア』「ネットワーク技術」特集**. 日本ソフトウェア科学会学会誌, 2017.

[2] Manabu Tsukada, Keiko Ogawa, Masahiro Ikeda, Takuro Sone, Kenta Niwa, Shoichiro Saito, Takashi Kasuya, Hideki Sunahara, and Hiroshi Esaki. Software defined media: Virtualization of audio-visual services. In *IEEE International Conference on Communications (ICC2017)*, 2017.

[3] Masahiro Ikeda, Takuro Sone, Kenta Niwa, Shoichiro Saito, Manabu Tsukada, and Hiroshi Esaki. New recording application for software defined media. In *Audio Engineering Society Convention Paper, 141st AES Convention*, Los Angeles, USA, September 2016.

[4] 塚田学, 菰原裕, 新居英明, 粕谷貴司, 高坂茂樹, 小川景子, and 江崎浩. SDM360^2:音楽イベントのための自由視聴点映像音声のインタラクティブ再生. In **マルチメディア，分散，協調とモバイル** *(DICOMO2017)* **シンポジウム**, June 2017.

[5] 5-star open data. `http://5stardata.info/en/`.

[6] Rdf - semantic web standards. `https://www.w3.org/RDF/`.

[7] Linked data - design issues. `https://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html`.

[8] 後藤 真. 人文社会系大規模データベースへの linked data の適用-推論による知識処理-. In **情報知識学会誌** *Vol 25 No.4*, 2015.

[9] Dickinson M. E., Flenniken A. M., Ji X., Teboul L., Wong M. D., and et al. White J. K. High-throughput discovery of novel developmental phenotypes. *Nature 537*, pages pp. 508–514, 2016.

[10] T. Di Noia, R.Mirizzi, V. Claudio Otuni, D.Romito, and M.Zanker. Linked open data to support content-based recommender systems. In *I-SEMANTICS*, September 2012.

[11] Christian Bizer, Jens Lehmann, Georgi Kobilarov, Sören Auer, Christian Becker, Richard Cyganiak, and Sebastian Hellmann. Dbpedia - a crystallization point for the web of data. *Web Semant.*, 7(3):154–165, September 2009.

[12] O. Hassanzadeh and M. P. Consens. Linked Movie Data Base. In *Proceedings of the*

WWW2009 workshop on Linked Data on the Web (LDOW2009), April 2009.

[13] Kurt Bollacker, Colin Evans, Praveen Paritosh, Tim Sturge, and Jamie Taylor. Freebase: A collaboratively created graph database for structuring human knowledge. In *Proceedings of the 2008 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, SIGMOD '08, pages 1247–1250, New York, NY, USA, 2008. ACM.

[14] M. Yahya, K. Berberich, S. Elbassuoni, M. Ramanath, V. Tresp, and G. Weikum. Natural language questions for the web of data. In *Proceedings of the 2012 Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning*, pages pp. 379–390, Jeju Island, Korea, July 2012.

[15] Johannes Hoffart, Fabian M. Suchanek, Klaus Berberich, Edwin Lewis-Kelham, Gerard de Melo, and Gerhard Weikum. Yago2: Exploring and querying world knowledge in time, space, context, and many languages. In *Proceedings of the 20th International Conference Companion on World Wide Web*, WWW '11, pages 229–232, New York, NY, USA, 2011. ACM.

[16] Kai Zeng, Jiacheng Yang, Haixun Wang, Bin Shao, and Zhongyuan Wang. A distributed graph engine for web scale rdf data. In *Proceedings of the 39th international conference on Very Large Data Bases*, PVLDB'13, pages 265–276. VLDB Endowment, 2013.

[17] Mihaela A. Bornea, Julian Dolby, Anastasios Kementsietsidis, Kavitha Srinivas, Patrick Dantressangle, Octavian Udrea, and Bishwaranjan Bhattacharjee. Building an efficient rdf store over a relational database. In *Proceedings of the 2013 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, SIGMOD '13, pages 121–132, New York, NY, USA, 2013. ACM.

[18] Pingpeng Yuan, Pu Liu, Buwen Wu, Hai Jin, Wenya Zhang, and Ling Liu. Triplebit: A fast and compact system for large scale rdf data. *Proc. VLDB Endow.*, 6(7):517–528, May 2013.

[19] Marcelo Arenas, Georg Gottlob, and Andreas Pieris. Expressive languages for querying the semantic web. In *Proceedings of the 33rd ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART Symposium on Principles of Database Systems*, PODS '14, pages 14–26, New York, NY, USA, 2014. ACM.

[20] Francesco Corcoglioniti, Marco Rospocher, Michele Mostarda, and Marco Amadori. Processing billions of rdf triples on a single machine using streaming and sorting. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, SAC '15, pages 368–375, New York, NY, USA, 2015. ACM.

[21] O. Bursa, E. Sezer, O. Can, and M. O. Unalir. Blood.health.foaf: Extending foaf with blood ontology. In *2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, volume 2, pages 102–106, July 2017.

[22] Yves Raimond, Samer A Abdallah, Mark B Sandler, and Frederick Giasson. The

music ontology. *Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval*, pages pp. 417–422, 2007.

[23] Raimond Y and Abdallah S, A. The timeline ontology. `http://purl.org/NET/c4dm/timeline.owl`, 2006.

[24] Raimond Y and Abdallah S, A. The event ontology. `http://purl.org/NET/c4dm/event.owl`, 2006.

[25] Brickley D and Miller L. Foaf vocabulary specification. `http://xmlns.com/foaf/0.1/`, 2005.

謝辞

本論文の執筆にあたり，数え切れないほど多くの方のご指導とご協力を賜りました．ここに，心からの感謝を申し上げます．

指導教員である江崎浩教授には，研究について多くのご指導をいただきました．重ねて感謝を申し上げます．

修士での研究内容についてご助言をくださり，方針について幾度となくご相談に乗ってくださった塚田学博士に感謝いたします．データ構造の考案に際して，長年の見識から適切なご助言を与えてくださり，活発な議論を進めてくださった曽根卓朗氏，新麗氏に感謝いたします．

幅広い知識から研究姿勢や内容について的確なご助言を与えてくださった落合秀也准教授，山本成一博士，浅井大史博士に感謝いたします．卒業論文の頃から様々なご相談に乗ってくださり，研究への心構えについて多くのことを教えてくださった小林諭氏に深く感謝いたします．

研究を進める上でのご助言をくださったり，研究室生活をサポートしてくださった先輩，後輩の皆様に感謝いたします．研究室同期として，様々な苦難を共に乗り越えて来た坂本裕紀氏，北畠知行氏，薗部啓氏，岸本丈氏に深く感謝いたします．

諸事務を通じて研究室の生活を支えてくださった岩井愛映子秘書，高橋富美秘書に感謝いたします．

大学院への進学から就職まで，私の全ての選択を尊重し自由を認めてくださった両親に感謝いたします．ストレスが溜まった時のカラオケに付き合ってくださった兄に感謝いたします．

最後に，研究生活や学生生活において様々なご指導・ご支援をしてくださった全ての皆様に，深く感謝いたします．

付録 A

SDM Ontology のクラス一覧

Term name	SDMEvent
Definition-ja	SDM で扱うイベントそのものの情報．イベントが行われた場所や日時を表す．
Definition	
Properties	s:name, s:startDate, s:contentLocation, has, s:performer, recording, geometry_definition, geometry_definition, s:contentLocation, recording, s:performer
Parent Class	
Subclasses	
Label	SDM Event
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/SDMEvent
Type of Term	Class

Term name	SDMgeometry
Definition-ja	SDM で定義し指定する位置情報
Definition	
Properties	description(基準点, 軸の方向, 基準時刻, ユニット情報), timeOrigin(拡張用)
Parent Class	
Subclasses	
Label	SDM Geometry
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/SDMgeometry
Type of Term	Class

Term name	Target
Definition-ja	プログラム内で演奏した人やスタッフ，観客といった，収録対象のデータを記述するためのクラス．対象の種類に応じてサブクラスを設ける．
Definition	
Properties	s:name, local_x, local_y, local_z, attend_to, perform, perform, attend_to
Parent Class	
Subclasses	Audience, Musician, Staff
Label	Target
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/Target
Type of Term	Class

Term name	Audience
Definition-ja	イベントの観客
Definition	
Properties	
Parent Class	Target
Subclasses	
Label	Audience
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/Audience
Type of Term	Class

Term name	Musician
Definition-ja	イベントに出演した音楽家
Definition	
Properties	instrument, part_name, part_number
Parent Class	Target
Subclasses	
Label	Musician
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/Musician
Type of Term	Class

Term name	Staff
Definition-ja	イベントに関わるスタッフ
Definition	
Properties	
Parent Class	Target
Subclasses	
Label	Staff
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/Staff
Type of Term	Class

Term name	MediaObject
Definition-ja	Recorder が生成する記録物を表すクラス．記録物の種類に応じたサブクラスを持つ．
Definition	
Properties	contentURL, recordedTime, startAt(相対時刻), records, generated_by, generated_by, records
Parent Class	
Subclasses	AudioMedia, VideoMedia, DataMedia
Label	Media Object
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/MediaObject
Type of Term	Class

Term name	AudioMedia
Definition-ja	録画の音声メディア
Definition	
Properties	Audio_INFO
Parent Class	MediaObject
Subclasses	
Label	Audio Media
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/AudioMedia
Type of Term	Class

Term name	VideoMedia
Definition-ja	録画のビデオメディア
Definition	
Properties	Video_INFO
Parent Class	MediaObject
Subclasses	
Label	Video Media
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/VideoMedia
Type of Term	Class

Term name	DataMedia
Definition-ja	録画のデータメディア
Definition	
Properties	Data_INFO
Parent Class	MediaObject
Subclasses	
Label	Data Media
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/DataMedia
Type of Term	Class

Term name	Recorder
Definition-ja	収録機材に関する情報のクラスであり，収録するデータの内容ごとにサブクラスを持つ.
Definition	
Properties	s:name, maker, local_x, local_y, local_z, used_in, generates, multiTrackInfo, redord, used_in
Parent Class	
Subclasses	AudioRecorder, VideoRecorder, DataRecorder
Label	Recorder
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/Recorder
Type of Term	Class

Term name	AudioRecorder
Definition-ja	録音機材の情報
Definition	
Properties	InfoURL
Parent Class	Recorder
Subclasses	
Label	Audio Recorder
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/AudioRecorder
Type of Term	Class

Term name	VideoRecorder
Definition-ja	録画機材の情報
Definition	
Properties	InfoURL
Parent Class	Recorder
Subclasses	
Label	Video Recorder
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/VideoRecorder
Type of Term	Class

Term name	DataRecorder
Definition-ja	データ記録機材の情報
Definition	
Properties	InfoURL
Parent Class	Recorder
Subclasses	
Label	Data Recorder
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/DataRecorder
Type of Term	Class

Term name	Context
Definition-ja	イベントの中で執り行われた 1 つのプログラム表すクラス．演じられたプログラムの種類によってサブクラスを設けることを想定している．
Definition	
Properties	s:name, program_number, performed_by, recorded_by, geometry_definition, time
Parent Class	
Subclasses	Song
Label	Context
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/Context
Type of Term	Class

Term name	Song
Definition-ja	音楽の曲に関する情報のクラス
Definition	
Properties	song_writer, son_written_year, song_arranger, score_key, score_tempo, score_total_bars
Parent Class	Context
Subclasses	
Label	Song
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/Song
Type of Term	Class

Term name	MultiTrack
Definition-ja	マルチトラックレコーダーのクラス
Definition	
Properties	description, Generates, device_info
Parent Class	
Subclasses	AudioTrack, VideoTrack, DataTrack
Label	Multi Track
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/MultiTrack
Type of Term	Class

Term name	AudioTrack
Definition-ja	音声を記録するトラック
Definition	
Properties	AudioTrack_INFO
Parent Class	MultiTrack
Subclasses	
Label	Audio Track
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/AudioTrack
Type of Term	Class

Term name	VideoTrack
Definition-ja	画像を記録するトラック
Definition	
Properties	VideoTrack_INFO
Parent Class	MultiTrack
Subclasses	
Label	Video Track
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/VideoTrack
Type of Term	Class

Term name	DataTrack
Definition-ja	データを記録するトラック
Definition	
Properties	DataTrack_INFO
Parent Class	MultiTrack
Subclasses	
Label	Data Track
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/DataTrack
Type of Term	Class

Term name	Device
Definition-ja	記録に使用した機器
Definition	
Properties	InfoURL
Parent Class	
Subclasses	
Label	Device
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/Device
Type of Term	Class

付録 B

SDM Ontology のプロパティー覧

Term Name	has
Definition-ja	SDMEvent の内容を表す
Definition	
Range	Context
Domain	SDMEvent
Label	has
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/has
Type of Term	Property

Term Name	recording
Definition-ja	記録機器 Recorder を示すプロパティ
Definition	
Range	Recorder
Domain	SDMEvent
Label	recording
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/recording
Type of Term	Property

Term Name	geometry_definition
Definition-ja	SDMEvent が開催された場所
Definition	
Range	SDMGeometry
Domain	SDMEvent
Label	geometry definition
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/geometry_definition
Type of Term	Property

Term Name	local_x
Definition-ja	SDM Geometry で定義された座標系における x 座標
Definition	
Range	
Domain	Target, Recorder
Label	local x
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/local_x
Type of Term	Property

Term Name	local_y
Definition-ja	SDM Geometry で定義された座標系における y 座標
Definition	
Range	
Domain	Target, Recorder
Label	local y
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/local_y
Type of Term	Property

Term Name	local_z
Definition-ja	SDM Geometry で定義された座標系における z 座標
Definition	
Range	
Domain	Target, Recorder
Label	local z
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/local_z
Type of Term	Property

Term Name	attend_to
Definition-ja	Target が参加した SDMEvent
Definition	
Range	SDMEvent
Domain	Target
Label	attend to
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/attend_to
Type of Term	Property

Term Name	perform
Definition-ja	Target が演じた Context
Definition	
Range	Context
Domain	Target
Label	perform
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/perform
Type of Term	Property

Term Name	recordedTime
Definition-ja	記録したデータ全体の時間
Definition	
Range	
Domain	MediaObject
Label	recorded Time
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/recordedTime
Type of Term	Property

Term Name	StartAt
Definition-ja	記録開始時刻 (相対時刻)
Definition	
Range	
Domain	MediaObject
Label	Start at
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/StartAt
Type of Term	Property

Term Name	records
Definition-ja	MediaObject が記録した Target
Definition	
Range	Target, Context
Domain	MediaObject
Label	records
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/records
Type of Term	Property

Term Name	generated_by
Definition-ja	MediaObject が記録された Recorder
Definition	
Range	Recorder
Domain	MediaObject
Label	generated by
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/generated_by
Type of Term	Property

Term Name	maker
Definition-ja	機器のメーカー
Definition	
Range	
Domain	Recorder
Label	maker
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/maker
Type of Term	Property

Term Name	used_in
Definition-ja	Recorder が使用された SDMEvent
Definition	
Range	SDMEvent
Domain	Recorder
Label	used in
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/used_in
Type of Term	Property

Term Name	generates
Definition-ja	Recorder で作成した MediaObject
Definition	
Range	MediaObject
Domain	Recorder
Label	generates
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/generates
Type of Term	Property

Term Name	multiTrackInfo
Definition-ja	記録したマルチトラックの情報
Definition	
Range	MultiTrack
Domain	Recorder
Label	muti Track Info
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/multiTrackInfo
Type of Term	Property

Term Name	records
Definition-ja	Recprder が記録した Target や Context
Definition	
Range	Target, Context
Domain	Recorder
Label	records
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/records
Type of Term	Property

Term Name	program_number
Definition-ja	演目の番号
Definition	
Range	
Domain	Context
Label	program number
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/program_number
Type of Term	Property

Term Name	performed_by
Definition-ja	演奏または演じた Target を表す
Definition	
Range	Target
Domain	Context
Label	performed by
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/performed_by
Type of Term	Property

Term Name	recorded_by
Definition-ja	Context が記録された MediaObject
Definition	
Range	MediaObject
Domain	Context
Label	recorded by
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/recorded_by
Type of Term	Property

Term Name	geometry_definition
Definition-ja	Context を記録した時の位置情報の定義
Definition	
Range	SDMgeometry
Domain	Context
Label	geometry definition
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/geometry_definition
Type of Term	Property

Term Name	time
Definition-ja	Content の時間間隔や時刻
Definition	
Range	time:TemporalEntity
Domain	Context
Label	time
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/time
Type of Term	Property

Term Name	description
Definition-ja	基準点，軸の方向，基準時刻，ユニット情報
Definition	
Range	
Domain	SDMgeometry
Label	description
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/description
Type of Term	Property

Term Name	timeOrigin
Definition-ja	基準となる時刻
Definition	
Range	
Domain	SDMgeometry
Label	time origin
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/timeOrigin
Type of Term	Property

Term Name	description
Definition-ja	デバイスの説明
Definition	
Range	
Domain	multiTrack
Label	description
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/description
Type of Term	Property

Term Name	generates
Definition-ja	MultiTrack が生成した MediaObject
Definition	
Range	MediaObject
Domain	MultiTrack
Label	generates
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/generates
Type of Term	Property

Term Name	device_info
Definition-ja	multiTrack での記録に使用した device
Definition	
Range	device
Domain	MultiTrack
Label	device info
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/device_info
Type of Term	Property

Term Name	song_writer
Definition-ja	作者
Definition	
Range	
Domain	Song
Label	song writer
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/song_writer
Type of Term	Property

Term Name	song_written_year
Definition-ja	作成された日付
Definition	
Range	
Domain	Song
Label	song written year
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/song_written_year
Type of Term	Property

Term Name	song_arranger
Definition-ja	編曲者
Definition	
Range	
Domain	Song
Label	song arranger
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/song_arranger
Type of Term	Property

Term Name	song_key
Definition-ja	調
Definition	
Range	
Domain	Song
Label	song key
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/song_key
Type of Term	Property

Term Name	song_tempo
Definition-ja	テンポ
Definition	
Range	
Domain	Song
Label	song tempo
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/song_tempo
Type of Term	Property

Term Name	score_total_bars
Definition-ja	小節数
Definition	
Range	
Domain	Song
Label	score total bars
URI	http://sdm.hongo.wide.ad.jp/sdmo/score_total_bars
Type of Term	Property