

IUGONET 共通メタデータフォーマットの策定と メタデータ登録管理システムの開発

堀 智昭^{*1}, 鍵谷 将人^{*2}, 田中 良昌^{*3}, 林 寛生^{*4}, 上野 悟^{*5}, 吉田 大紀^{*6}, 阿部 修司^{*7}
小山 幸伸^{*8}, 河野 貴久^{*9}, 金田 直樹^{*5}, 新堀 淳樹^{*4}, 田所 裕康^{*10}, 米田 瑞生^{*10}

Design of IUGONET metadata format and development of metadata management system

Tomoaki HORI^{*1}, Masato KAGITANI^{*2}, Yoshimasa TANAKA^{*3}, Hiroo HAYASHI^{*4}
Satoru UeNo^{*5}, Daiki YOSHIDA^{*6}, Shuji ABE^{*7}, Yukinobu KOYAMA^{*8}, Takahisa KOUNO^{*9}
Naoki KANEDA^{*5}, Atsuki SHINBORI^{*4}, Hiroyasu TADOKORO^{*10} and Mizuki YONEDA^{*10}

Abstract

This paper reports on the common metadata format and the metadata management system developed by the Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork (IUGONET) project. The IUGONET common metadata format has been designed on the basis of the Space Physics Archive Search and Extract (SPASE) data model/metadata format, which has been developed by the SPASE consortium, with some modifications made by IUGONET to accommodate metadata for the various kinds of ground observational data produced by the IUGONET institutes and universities. We have also developed the registration/management system for metadata XML files using GIT, which is a widely-used version control software. With the designed metadata format and the metadata management system, IUGONET continues to generate and archive metadata for the observational data of Japanese Solar-Terrestrial physics community.

Keyword: IUGONET, metadata format, SPASE, metadata management, GIT

概 要

本論文では、大学間連携プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究」(IUGONET)で策定・公開されたメタデータフォーマットと、そのフォーマットに沿って策定されたメタデータの登録・管理を行うシステムの概要について報告する。IUGONETでは、米国やヨーロッパの研究者で構成されるコンソーシアムが策定したSpace Physics Archive Search and Extract (SPASE) データモデル/メタデータフォーマットをベースにして、超高層大気分野の様々な地上観測データに対応できるように拡張を施すことにより、IUGONET 共通メタデータフォーマットを策定した。また IUGONET 研究機関で作成されるメタデータを登録・管理するために、フリーのバージョン管理ソフトウェア

^{*1} 名古屋大学太陽地球環境研究所 (Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University)

^{*2} 東北大学惑星プラズマ・大気研究センター (Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University)

^{*3} 国立極地研究所 (National Institute of Polar Research)

^{*4} 京都大学生存圏研究所 (Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University)

^{*5} 京都大学理学研究科附属天文台 (Kwasan and Hida Observatories, Graduate School of Science, Kyoto University)

^{*6} 気象情報通信株式会社 (Weather Information & Communications Service LTD.)

^{*7} 九州大学宙空環境研究センター (Space Environment Research Center, Kyushu University)

^{*8} 京都大学理学研究科附属地磁気世界資料解析センター (Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Graduate School of Science, Kyoto University)

^{*9} 東京大学物性研究所 (Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo)

^{*10} 東北大学大学院理学研究科 (Graduate School of Science, Tohoku University)

である GIT を用いた、メタデータ XML ファイルの登録・履歴管理のシステムを構築した。これらを用いることにより、IUGONET では、参加機関が生産し続ける観測データについてのメタデータの、作成・収集・アーカイブを行っている。

1 はじめに

超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究 (IUGONET: Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork) は、2009 年度より 6 ヶ年計画で実施されているプロジェクトであり、国立極地研究所宇宙空間研究グループ、東北大学大学院理学研究科地球物理専攻太陽惑星空間物理学講座並びに東北大学惑星プラズマ・大気研究センター、名古屋大学太陽地球環境研究所、京都大学生存圏研究所、京都大学理学研究科附属地磁気世界資料解析センター、京都大学理学研究科附属天文台、および九州大学宇宙環境研究センターの 5 機関 7 組織が参加している。各研究機関が得意とする観測手段、データを持ち寄ることで、幾つかの領域が互いに様々な相互作用をしている超高層大気という領域での、各種物理量の長期変動について研究を行い、地球温暖化など地球規模での大気循環・変動への理解を深めていくことが、このプロジェクトの目的である。

IUGONET 参加研究機関は、これまでレーダー、磁力計、光学観測器、可視光・赤外・紫外線・電波望遠鏡などを用いた超高層大気環境の観測を数十年に渡って行ってきた。蓄積された大量のデータは各機関が独自に構築したデータベースにアーカイブされているが、データ自体やデータアクセスに関する情報の整備が不足していたり、また内容が非常に専門化されているため、同じ超高層物理分野であっても、別の領域を専門とする研究者にとって、必ずしも利用しやすい状態にはなっていない。その点を改善し、超高層大気の異なる領域に跨るような総合解析に基づく研究を促進するため、IUGONET では各機関が保有するデータに関する様々な情報（メタ情報、またはメタデータ）の抽出・収集を行い、それらをアーカイブして各種検索ができるようなデータベース、すなわちメタデータ・データベースの構築を行っている。

本論文では、まずそのメタデータをアーカイブするために策定したメタデータフォーマットの詳細について報告する。次に、作成されたメタデータの受付と管理を行っているシステムについて、簡単に紹介したい。

2 IUGONET 共通メタデータフォーマット

ここでは IUGONET で策定し、実際のメタデータ作成の際に使用している IUGONET 共通メタデータフォーマットに関して、策定の経緯と内容について紹介する。さらに、ベースとなる SPASE フォーマット（後述）から、特に IUGONET で独自に拡張を行った部分についてまとめる。

2.1 フォーマット策定の経緯

前述のように、IUGONET 参加研究機関では超高層大気のような領域を世界各地で観測することで、非常に多様なデータを生産し続けている。この観測データの各種情報を記述するメタデータのフォーマットは、これら全てに対応している必要がある。IUGONET では、2009 年度にプロジェクトが開始された直後から、最重要課題の 1 つとして、このメタデータフォーマットの策定に取り組んだ。ただしマンパワー的な制約から、データ記述モデルの構築や、使用する単語のリストアップなどを 1 からやるのは現実的ではなかったため、他種データ用に使われている既存のメタデータフォーマットを調査し、その中から IUGONET のメタデータに応用できるものを探すことになった。

詳細については割愛するが、その結果、米国やヨーロッパの太陽地球系物理学の研究者らで作るコンソーシアム (SPASE コンソーシアム^k) で策定・公開している Space Physics Archive Search and Extract (SPASE)¹⁾ というデータモデルに基づくメタデータフォーマットを採用することに決定した。選定の理由としては、1) 超高層物理分野と密接に関係する太陽地球系物理分野の衛星・地上データを対象に策定されているために非常に親和性が良い、2) 超高層物理分野のデータを記述するための単語が既に含まれている、3) データモデルを表現する記述法が XML なので人間・計算機ともに作成・処理がしやすい、4) XML ゆえに新しい要素や単語を追加して拡張することが容易、5) 関連するドキュメント、ライブラリ群が全てオープンソースとしてフリーで提供されている、などが挙げられる。

2.2 SPASE データモデル / メタデータフォーマット

ここでは SPASE データモデル / メタデータフォーマットの概要について簡単に紹介する。SPASE では、観測データに関

^k <http://www.spase-group.org/about.jsp>

する情報を記述する際に必要となる主要な 12 トピックを、リソースタイプとして定義している。図 1 は最新の SPASE ドキュメント²⁾ より引用した SPASE のオントロジーを示しているが、図中で色付けされているもの、つまり、Document, Catalog, DisplayData, NumericalData, Granule, Annotation, Instrument, Observatory, Person, Repository, Service, Registry がリソースタイプである。実際には各リソースタイプの中にはそれぞれのトピックを記述するための複数の要素が付随する。この抽象的なデータモデルを表現する手段として、通常は XML が用いられるので、メタデータを作成する際には、上述の各リソースタイプは 1 つの XML ファイルに対応し、またリソースタイプの付随要素は、その XML 内の要素に対応する。

例えば、数値データで構成される、あるデータセットのメタデータ (e.g., 観測期間, 観測パラメータ) を記述するには、まず NumericalData タイプの XML ファイルを作成し、そのデータセットに含まれる単一のデータファイル 1 つ 1 つに紐付いたメタデータとして Granule タイプの XML ファイルをデータファイルの数だけ作成する。さらにそのデータを生成した観測装置のメタデータを記述するために Instrument タイプの XML ファイル、また観測サイト (観測器が置かれている場所) のメタデータを記述するために Observatory タイプの XML ファイルを作成することになる。また観測データには主任実験者 (Principal Investigator: PI) やデータ配布責任者などの人的リソースも付随し、それは Person タイプの XML ファイルとして記述される。このように、1 つのデータセットのメタデータを記述するのに、情報のカテゴリー毎に独立した XML ファイルを作成することになる。また、全てのメタデータ (XML ファイル) は “リソース ID” と呼ばれる一意な ID を割り振られる。このリソース ID は以下のような構造の URI 形式³⁾ で記述される。

spase://(Naming authority)/ リソースタイプ / 研究機関略名 /...

Naming authority とはリソース ID をメタデータに割り当てる機関・団体であり、IUGONET はその Naming authority の 1 つである。IUGONET で作成されたメタデータのリソース ID には、この部分に “IUGONET” という文字列を挿入することになっている。また、IUGONET メタデータでは、リソース ID の直後に研究機関の略称を挿入することになっている。理由としては、複数の研究機関が、同じ名前前のデータや観測サイトのメタデータを作成した場合、それらを一意に区別できるようにするためである。このようなことは、特に大きな観測施設など、1 つの観測リソースを複数の研究機関で共有しているという事情から、幾つかのデータセットについて起こりうる。

またこのリソース ID は、メタデータ同士が互いを参照するためにも使われる。互いに関連するメタデータ (例えばデータセットとそのデータを生成した観測器のメタデータ同士) では、その中に互いのリソース ID を記述する要素が設けられている。これにより、関連するメタデータとのリンクの情報を、明示的にメタデータ内に保持することができる。

このようにして、SPASE メタデータフォーマットに沿ってメタデータを作成すると、spase://IUGONET/NumericalData/STEL/... (NumericalData タイプの場合、STEL は名古屋大学太陽地球環境研究所の略名) のようなリソース ID が割り振られた XML ファイルが複数生成されることになる。

2.3 IUGONET による SPASE メタデータフォーマットの拡張

SPASE は元々太陽地球物理分野の観測データ、特に人工衛星で観測されたプラズマ・電磁場データを対象に作られたという経緯がある。そのため、IUGONET でのメタデータを試作してみたところ、IUGONET で扱う超高層大気の上観測データのメタデータを記述する際に必要な要素や単語が、幾つか不足していることがわかった。IUGONET では、この不足分を補完し、さらに IUGONET でのメタデータベースで要求される機能を勘案して、そのために必要となる要素を追加したものを、IUGONET 共通メタデータフォーマットとして策定し、メタデータ作成に用いている。このメタデータフォーマットは、SPASE と同様に、XML schema の形で IUGONET のホームページより公開されている^a。本論文執筆時の最新バージョンは 1.0.3 である。

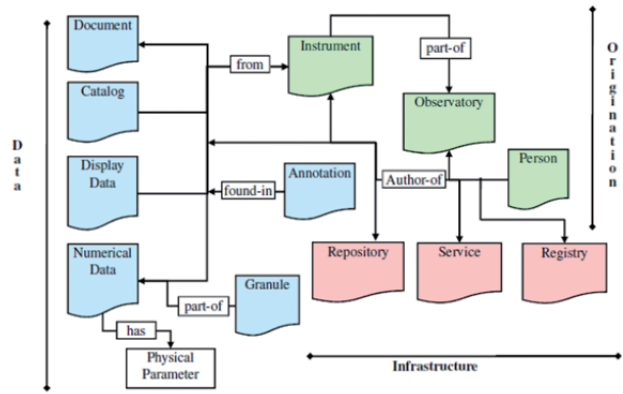


図 1 SPASE オントロジー

^a <http://www.iugonet.org/data/schema/>

以下では、SPASE に対して IUGONET が独自の拡張を施した部分のうち、主要なものを幾つか紹介する。

2.3.1 非デジタル保存データへの対応

IUGONET では長期観測のデータを取り扱うことが多く、その際には、現在では当たり前となったデジタル記録が行われる前に取得され、いわゆる非デジタルな形態（例えば紙媒体やマイクロフィルム）で保存されているデータのメタデータを作成しなければいけない場合がある。このようなデータをオンラインで検索できるようにするためには、メタデータをメタデータ・データベースに登録するしかなく、従って非デジタル保存データにとってメタデータ作成は必要不可欠である。IUGONET において必要な単語出しを行い、さらに SPASE コンソーシアムでの議論にもかけた後、最終的に SPASE の中で観測データのデータファイルのフォーマットを記述する要素 (Format) に、以下の単語を追加することにした。

```
Hardcopy
Hardcopy.Film
Hardcopy.Microfiche
Hardcopy.Microfilm
Hardcopy.Photograph
Hardcopy.Photographic Plate
Hardcopy.Print
```

2 番目からそれぞれ、フィルム、マイクロフィッシュ（シート型）、マイクロフィルム（ロール型）、写真紙、写真プレート、印刷紙での保存形態を表しており、これらに当てはまらない非デジタル保存形態の場合は1つ目の Hardcopy を用いることにした。またこの拡張は、現在では公式に SPASE に取り込まれている。

2.3.2 太陽観測データに特有の座標系の追加

SPASE は太陽と地球を含む惑星との間、すなわち惑星間空間での座標系を記述する要素および単語は元々用意されていたが、太陽の光学撮像データを記述する際に必要となる座標系の定義が不足していた。IUGONET 機関の中には太陽撮像データや太陽電波観測データを取り扱うグループがあり、そのグループのメンバーが中心となって、それらのデータのメタデータを記述する際に必要な座標系について頭出しを行った。その後、SPASE コンソーシアムの中での議論を経て、以下の座標系の定義を追加することになった。

```
HCR (Heliocentric Radial)
HPC (Helioprojective Cartesian)
HPR (Helioprojective Radial)
```

なお、この拡張についても、現在では SPASE に公式に取り入れられている。

2.3.3 観測領域の座標等の情報の追加

IUGONET メタデータ・データベース⁴⁾では、ある特定の緯度経度範囲が観測対象になっているデータセットを、ユーザーが明示的に座標範囲を指定して検索できるように機能が実装されている。このためには、メタデータ内に観測対象の緯度経度範囲の情報を保持しておく必要があるが、SPASE では観測対象の情報は単語（観測対象の名前、例えば“電離圏 F 層”）として記述されるのみであった。そこで IUGONET では、SPASE との互換性を壊さないように、新たに SpatialCoverage 要素群を定義し、数値データおよび可視化済みデータのデータセットのメタデータを記述する NumericalData、DisplayData、さらに個々のデータファイルを参照するメタデータである Granule などのリソースタイプに追加した。データセットのみならず、個々のデータファイル毎に作成される Granule タイプのメタデータにも SpatialCoverage 要素群を追加した理由は、例えば、日時によってポインティングを変えることのあるレーダー観測や太陽撮像観測のデータについても、観測領域の緯度・経度範囲をキーとする検索を機能させるためである。以

```
<SpatialCoverage>
<CoordinateSystem>
  <CoordinateRepresentation>
    Spherical</CoordinateRepresentation>
  <CoordinateSystemName>
    GEO</CoordinateSystemName>
</CoordinateSystem>
<NorthernmostLatitude>
  88.7</NorthernmostLatitude>
<SouthernmostLatitude>
  44.1</SouthernmostLatitude>
<EasternmostLongitude>
  224.0</EasternmostLongitude>
<WesternmostLongitude>
  130.0</WesternmostLongitude>
<CenterLatitude>
  66.3</CenterLatitude>
<CenterLongitude>
  177.0</CenterLongitude>
<MinimumAltitude>
  130</MinimumAltitude>
<MaximumAltitude>
  400</MaximumAltitude>
<Unit>degree</Unit>
<Reference></Reference>
</SpatialCoverage>
```


下に SpaticalCoverage 要素群の記述例を示す。

このように, SpaticalCoverage 内には上限下限緯度・経度, 中心緯度・経度, 高度範囲 (km 単位) の情報が含まれ, また CoordinateSystem 要素で緯度経度の座標系を指定している。また必要に応じて, 特定の領域・位置を参照するような記号・番号がある場合, それを格納できるように Reference 要素を用意した。Reference 要素の具体的な例としては, 例えば太陽表面の活動領域の番号 (e.g., AR8042) とか, 地球上の特定の領域 (e.g., South Atlantic Anomaly) などである。

3 メタデータ登録・管理システムの構築

IUGONET では, 参加機関から日々送られてくるメタデータの登録受付と, メタデータデータベースにアーカイブされるまでの管理のために, メタデータデータベースとは別の独立したシステムを構築し運用している。ここでは, そのメタデータ登録・管理システムの概要について述べる。

3.1 メタデータ登録・管理システムの必要性

メタデータ作成においては, 新規にメタデータを作成してデータベースに登録すれば以後改変不要, ということはまずありえない。メタデータは最終的には担当者である人間が作成するので, 新規に作成したメタデータにはある確率で表記や内容に誤りが混入する。これらは見つけ次第, 正しい表記・内容に修正して登録し直す必要がある。また, ある時点では正しい内容だったとしても, 将来のどこかの時点で, 例えば PI が交代したとか, 観測器のスペックが向上したりして, 結果としてメタデータとして記述されている内容が更新されることもありうる。

このような事情から, メタデータの新規登録・更新に際して, その日時, 更新箇所, および更新者など, メタデータの更新履歴情報を残しておき, 後から参照できるようにしておくことが非常に重要である。通常, メタデータ作成担当者は非常に多くのメタデータを取り扱うので, ある程度のシステムの助け無しでは, 自分が行ったメタデータの変更を追跡しきれなくなり, 結果として, 修正漏れなどにつながる。また将来的に担当者が替わった場合にも, 同様のことが起こりうることは, 想像するに難くない。

3.2 GIT を利用したメタデータ登録および更新履歴管理

上記のような事情を踏まえた上で, これらのシステムの実装について議論を行い, その結果, IUGONET ではフリーのソースコード版管理ソフトウェアである GIT¹ を利用した, 安価で柔軟性の高いメタデータ登録・管理システムを構築し, 運用している。

GIT は, Linux カーネル^m や X.orgⁿ などの大規模なソースコードから個人レベルのソースコード編集まで, 幅広い範囲で利用されている履歴管理ソフトである。本来はソースコードの改変履歴を管理するソフトであるが, IUGONET メタデータの XML もテキストファイルなので, GIT が提供する Unix の diff ベースの履歴管理をそのまま応用することができる。

我々が GIT を選択した最大の理由は, GIT が主に C 言語で記述されており, 非常に高速で動作することと, あといわゆる分散リポジトリ型の履歴管理ソフトであることが挙げられる。2つ目の点は非常に重要で, IUGONET ではメタデータの作成者が全国の研究機関に分散しているために, 各自がローカルな計算機環境に作業用のリポジトリを持つ必要があり, かつそれを全メタデータを集積している中央のリポジトリと同期できることが不可欠である。このような柔軟なリポジトリ設計ができるのは, 分散リポジトリ型の履歴管理ソフトのみである。またデータファイル1つ1つに紐付けされた Granule タイプのメタデータはファイル数が非常に多くなり得る (1 データセットで数千~数万) ので, その大量の XML ファイルを, 履歴を記録しつつストレスなくローカルリポジトリや中央のメタデータリポジトリに登録できることが要求される。ここで, GIT の高速動作性が重要となる。

GIT を用いたメタデータ登録の仕組みを概念的に示したものが図2である。IUGONET 機関はそれぞれ, 中央リポジトリ (現在名大の Linux サーバーで運用) 上にメタデータ登録用のリポジトリを

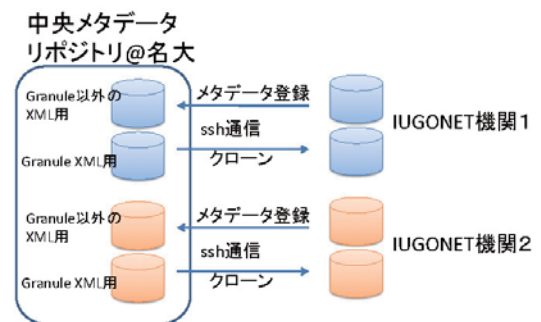


図2 GIT リポジトリを介したメタデータ登録の概念図

¹ <http://git-scm.com/> より取得可能

^m <http://www.kernel.org/>

ⁿ <http://www.x.org/wiki/Home>

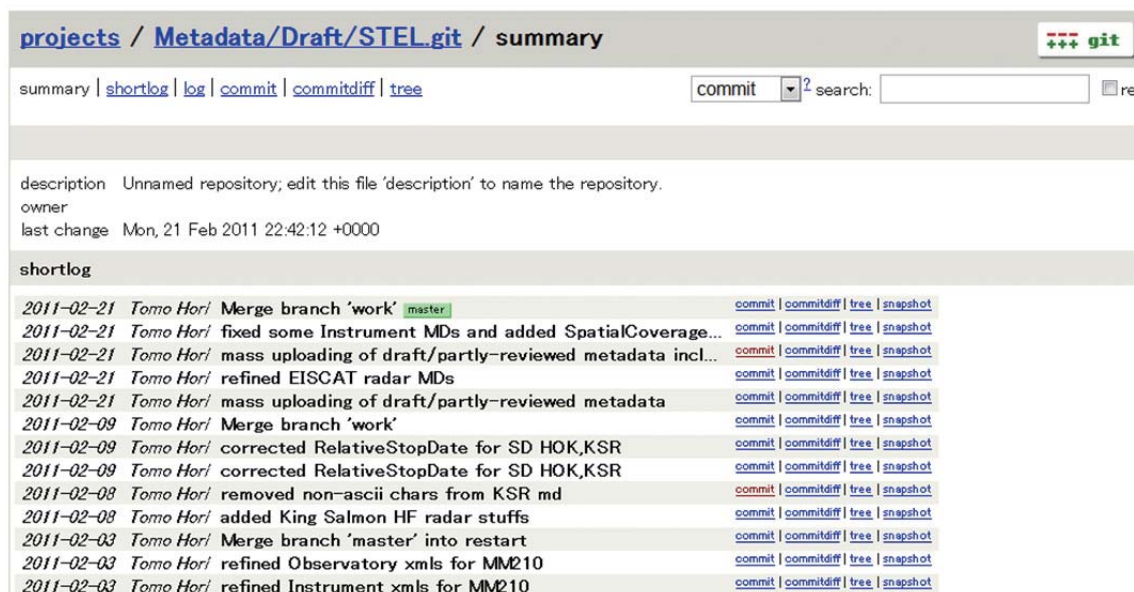


図3 GITによるメタデータリポジトリの更新履歴閲覧画面

2つつつ持つ。Linux ファイルシステム上の、GIT リポジトリ化されたディレクトリがその実体である。1つは Granule タイプのメタデータ用で、もう1つはそれ以外のメタデータ XML 用となっている。Granule のみ区別しているのは、ファイル数が非常に多くなるので、他とわけることで登録処理の効率化をはかるためである。

各 IUGONET 機関の担当者は、中央のメタデータリポジトリの複製（クローン）を、自分のローカルな計算機上に作成し、そこでメタデータを作成・編集し、git commit および git push コマンドを実行することで、ssh 通信を介して両方のリポジトリが同期され、メタデータが中央リポジトリに登録される（XML ファイルがコピーされる）ことになる。図3は、中央リポジトリに Web ブラウザでアクセスすることで閲覧できる、メタデータの改変履歴一覧の1例である。GIT では変更を登録する際にコメントを入力することを求められる。このコメントにメタデータの変更内容のサマリーを書いておくと、図中の3列目のように更新日時、変更をしたユーザーの情報と一緒に閲覧でき、どの時点でどのような変更がメタデータに加えられたかを容易にトレースできる。

3.3 実際の運用とメタデータデータベースとの連携

GIT の機能は Unix 上のコマンドを介して利用できるもので、crontab などを用いた自動処理化のフローに乗せるが容易である。IUGONET では、上述のメタデータ登録・管理システムと、メタデータ・データベースは、それぞれ独立したシステムとして動いている。定期的にメタデータ・データベース側から GIT による登録・管理システムに更新の有無を問い合わせ、もし新規更新分があると自動的にメタデータ・データベースにインポート・登録される仕組みになっている。このメタデータリポジトリからメタデータ・データベースへの登録処理の詳細については、河野他⁵⁾を参照されたい。

本論文執筆現在（2011年7月）で、IUGONET が保有するメタデータ XML ファイル数は約 52 万であり、これらの XML ファイルの改変履歴は全て GIT によるメタデータリポジトリ上に保持されている。この状態でも日常的に行われているメタデータの更新はストレスなく処理されている。例えば、現状の約 52 万件のメタデータが登録されている状態で 1000 件のメタデータ（実際には 10–100 キロバイト程度の XML ファイル 1000 個）を新たに登録すると、ネットワーク速度にも依存するが、GIT によるメタデータリポジトリへの登録処理にかかる時間は実時間で約 1 分、さらにメタデータリポジトリからメタデータ・データベースへの登録処理は約 1–2 分ほどである⁵⁾。現在の試算では、IUGONET に登録されるメタデータは最終的には 100 万–200 万件に達する見込みで、定常的な新規メタデータ登録および既存メタデータの更新は、平均すると数百件 / day 程度となることが予想されている。メタデータリポジトリおよびメタデータ・データベースのシステムとしてのスケーラビリティは現在も試験中であるが、現在の処理速度から大きく低下しない限りは、想定されるメタデータの処理は十分可能だと思われる。

4 結論

IUGONET プロジェクトでは, SPASE データモデル / メタデータフォーマットをベースにして, 超高層大気分野への適用や IUGONET メタデータ・データベースで必要とされる検索機能を考慮し, メタデータの要素や単語, 定義を追加することで拡張したものを, IUGONET 共通メタデータフォーマットとして策定・公開し, メタデータの作成に用いている. 実際のメタデータは, IUGONET から公開されている XML schema に沿った XML ファイルとして作成される. 各研究機関から提出されるメタデータ XML ファイルの登録・管理のために, フリーの版管理ソフトウェアである GIT を利用し, GIT によるメタデータリポジトリを核としたメタデータ登録管理システムを構築して運用している. これにより, 新規メタデータの受付のほか, 既登録メタデータの改変・修正の履歴管理を行っている.

謝辞

大学間連携プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究」は, 文部科学省特別教育研究経費(研究推進) [平成 21 年度] および特別経費 (プロジェクト分) [平成 22 年度~] の交付を受けて, 平成 21 年度より 6 ヶ年計画で実施している事業である. IUGONET プロジェクトで使用される観測データのデータベース構築に携わった全ての方々に感謝する. 特に, 国立極地研究所宙空圏研究グループのデータ整備に尽力下さった余川真純氏, 京都大学生存圏研究所のデータ整備に尽力下さった橋口典子氏に感謝の意を表する.

参考文献

- 1) King, T., J. Thieman and D. A. Roberts, SPASE 2.0: a standard data model for space physics, *Earth Sci. Inform.*, vol. 3, 2010, 67-73.
- 2) A Space and Solar Physics Data Model from the SPASE consortium Version: 2.2.1, http://www.spase-group.org/data/dictionary/spase-2_2_1.pdf, Jul. 15, 2011.
- 3) Berners-Lee T., R. Fielding and L. Masinter, Uniform Resource Identifier (URI): generic syntax, internet engineering task force, RFC 3986, 2005, <http://tools.ietf.org/html/rfc3986>.
- 4) 小山幸伸, 河野貴久, 堀 智昭, 阿部修司, 吉田大紀, 林 寛生, 田中良昌, 新堀淳樹, 上野悟, 金田直樹, 米田瑞生, 元場哲郎, 鍵谷将人, 田所裕康, 超高層物理学分野の為のメタデータ・データベースの開発, 宇宙科学情報解析論文誌, 第 1 号, 99-104, 2012.
- 5) 河野貴久, 小山幸伸, 堀 智昭, 阿部修司, 吉田大紀, 林 寛生, 新堀淳樹, 田中良昌, 鍵谷将人, 上野悟, 金田直樹, 田所裕康, DSpace を用いた超高層物理学のためのメタデータ・データベースの構築, *Proc. of the 3rd Forum on Data Engineering and Information Management*, 2011, C8-5, <http://db-event.jpn.org/deim2011/proceedings/pdf/c8-5.pdf>.