

超高層物理学分野のメタデータ・データベースへの連想検索の適用

小山 幸伸^{*1} 阿部 修司^{*2} 八木 学^{*3} 梅村 宜生^{*4} 堀 智昭^{*4}
新堀 淳樹^{*5} 佐藤 由佳^{*6} 家森 俊彦^{*1} 田中 良昌^{*6} 橋口 典子^{*5}
上野 悟^{*7} 谷田 貝 亜紀代^{*5}

Application of associative search to the metadata database of the upper atmosphere

Yukinobu KOYAMA^{*1}, Shuji ABE^{*2}, Manabu YAGI^{*3}, Norio UMEMURA^{*4}, Tomoaki HORI^{*4}
Atsuki SHINBORI^{*5}, Yuka SATO^{*6}, Toshihiko IYEMORI^{*1}, Yoshimasa TANAKA^{*6}, Noriko HASHIGUCHI^{*5},
Satoru UeNo^{*7}, and Akiyo YATAGAI^{*5}

Abstract

In order to understand the mechanism of global-scale phenomena in the upper atmosphere, multidisciplinary researches using many kinds of data are important. An infrastructure to access to many kinds of data on the Internet is one of the keys to the multidisciplinary researches. The Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork (IUGONET) project solved this problem by developing a metadata database to provide information such as URL of database or each data file, which are managed dispersively by several institutes. Because the metadata database covers a wide scientific field, it is likely that non-specialized users can not easily select a right search phrase. We connected an associative search engine which is called GETAssoc with the metadata database, in order to get the related words and to generate re-query phrases by using them automatically. We collected metadata from SAO/NASA Astrophysics Data System to create the dictionary for associative search. We show that the prepared dictionary gives the related terms as expected for generating re-query phrases.

keywords Database, Metadata, Associative Search, Information Retrieval, Interdisciplinary Study, Upper Atmosphere

概要

超高層大気に於ける地球規模の物理現象の機構を解明する為には、様々なデータを用いた分野横断的な研究推進が重要である。インターネット上の様々なデータを直ちに取得する為の基盤が、分野横断的な研究の1つの鍵となる。IUGONETプロジェクトは、複数の研究機関によって分散管理されている、様々なデータのURL等の所在情報等を提供可能なメタデータ・データベースを構築することによって、この課題に対処した。しかしながら、このメタデータ・データベースは広範な研究領域を対象としている為、専門分野外のユーザーにとって単語検索時における適切な検索語句の選択が容易でないことが指摘された。これを補助するべく、検索語句の関連語の取得とそれらを用いた再検索クエリ文字列の自動生成を行う為に、そのメタデータ・データベースと連想検索エンジンGETAssocを連携させた。そして、この連想検索用の辞書を作成する為に、SAO/NASA Astrophysics Data Systemからメタデータを抽出した。再クエリ文字列を生成する為に用意した辞書を用いることで、期待通りの連想検索結果を得ることが出来た。

キーワード データベース, メタデータ, 連想検索, 情報検索, 学際的研究, 超高層大気

*1 京都大学大学院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)

*2 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター (International Center for Space Weather Science and Education, Kyushu University)

*3 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センター

(The Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University)

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

*5 京大生圏研究所 (Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University)

*6 国立極地研究所 (National Institute of Polar Research)

*7 京都大学大学院理学研究科附属天文台 (Kwasan and Hida Observatories, Graduate School of Science, Kyoto University)

1. はじめに

高度数十 km より上空の大気は「超高層大気」と呼ばれており、中性大気と電離大気が混じり合う「熱圏・電離圏」領域から、太陽風と地球磁場の相互作用によって生じ、無衝突プラズマが物理を支配する「磁気圏」領域を含む。図1に示す様に、超高層大気は、下層大気からの波動や対流による運動量・エネルギーの流入に加え、太陽放射や太陽風の影響、そして化学反応・光化学反応といった物理過程が複雑に絡み合う領域であることが知られている。

従って、超高層物理学の研究においては、全球規模の観測データを用いた多角的なデータ解析が必要であり、磁力計、レーダー、そして太陽望遠鏡など、様々な観測器を用いた地上観測が継続的に行われてきた。こうした観測データは、観測を行った各研究機関ごとにデータベース化ならびに公開されてきたが、分散管理されたこれらの観測データを横断的に検索するシステムは過去に存在しなかった為、多くの種類のデータを必要とする地球規模の学際的研究推進に多大な労力を要した。この様な背景から、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: Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETWORK)」においては、観測データの流通を促進する為に、IUGONET 参加各機関において分散管理されている観測データに関するメタデータ・データベースを構築した¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

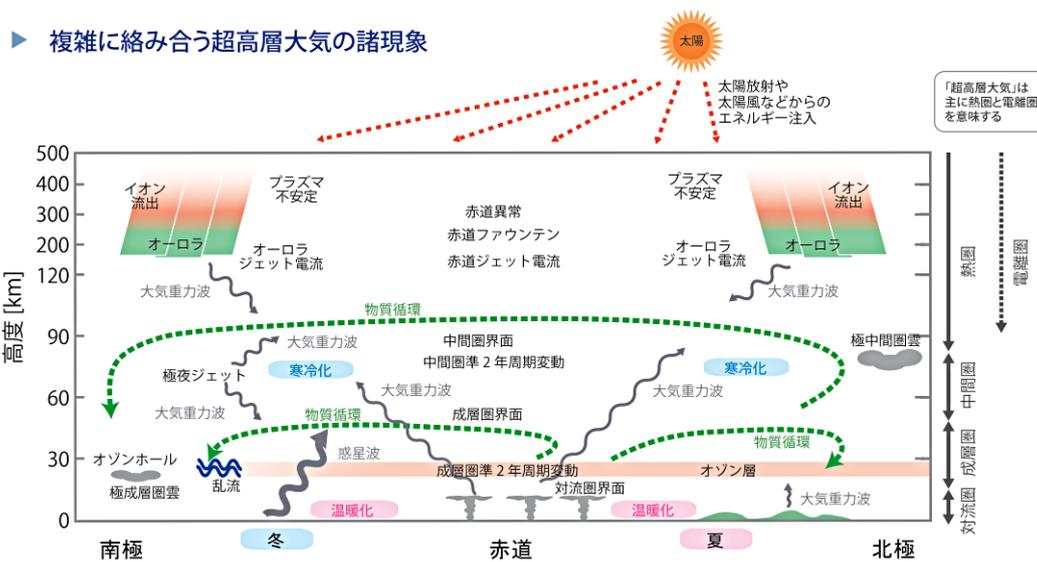


図1 複雑に絡み合う超高層大気の特現象

図2に示した Web ベースの IUGONET メタデータ・データベース⁸⁾は、時刻検索、領域検索、そして単語検索が可能である。IUGONET メタデータ・データベースによって、各機関が管理する観測データに関するメタデータを横断的に検索出来る仕組みを構築したものの、超高層物理学を中心としつつ、隣接する天文学や気象学に渡る、広範な研究領域を登録メタデータの対象にしているが故に、専門分野外のユーザーにとって単語検索時における適切な検索語句の選択が容易でないことが指摘された。そこで、連想検索エンジン GETAssoc⁹⁾を導入することによって、ユーザーが入力した検索語句の関連語を複数個提示し、そのリンクをクリックすることにより、再検索を行う機能を実装し、メタデータ・データベースに組み込むことを検討した。

2. IUGONET メタデータ・データベース

超高層物理学分野の上位概念である太陽地球系物理学分野で使用されており、主に衛星データ向けに開発された Space Physics Archive Search and Extract (SPASE) メタデータ・フォーマット¹⁰⁾¹¹⁾をベースとして、地上観測データに関する要素を拡張したメタデータ・フォーマットが、IUGONET 共通メタデータ・フォーマット¹²⁾である。

このメタデータ・フォーマットに則って作成された XML 形式のメタデータは、機関リポジトリ¹³⁾等で利用される DSpace¹⁴⁾を改変した IUGONET メタデータ・データベースにインポートされる。標準で Dublin Core メタデータ・フォーマット¹⁵⁾を取り扱う DSpace からの主要なカスタマイズ箇所は、1. 観測日時や緯度経度の範囲を取り扱う点、2. 機関リ

ポジトリにおいては PDF ファイル等のデジタルコンテンツが保持される Bitstream¹⁶⁾ に、XML 形式のメタデータを保持する点、である。観測データの所在情報がメタデータ内に含まれているため、分散管理されている観測データに到達可能である。2013 年 4 月時点において、データセットのメタデータを 900 件程度を含む、合計 800 万件を超えるメタデータが IUGONET メタデータ・データベースに登録されている。

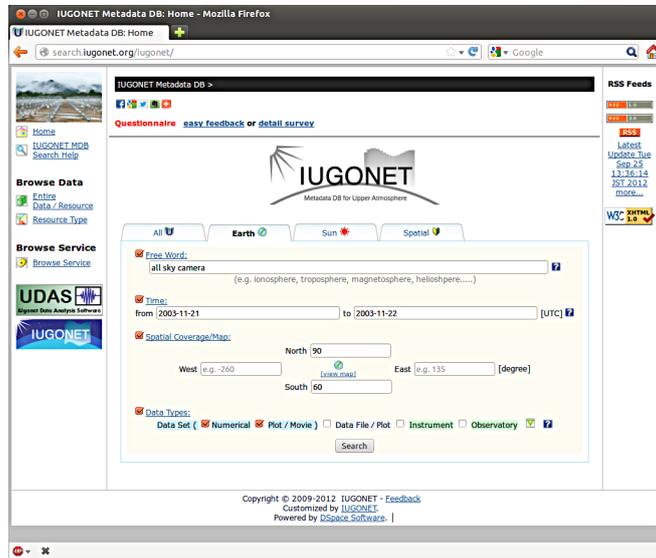


図 2 IUGONET メタデータ・データベース。機関リポジトリ等で利用される DSpace を改変した。時刻検索，領域検索，そして単語検索が可能である。

3. IUGONET メタデータ・データベースと連想検索エンジン GETAssoc の連携

図 3 に IUGONET メタデータ・データベースと連想検索エンジン GETAssoc の連携システム図を示す。

GETAssoc は、国立情報学研究所連想情報学研究開発センターで開発された連想検索エンジンである。IUGONET メタデータ・データベースと GETAssoc は、HTTP プロトコルを用いて接続される。GETAssoc のシステムの構築には、GETAssoc 以外に外部ツールがいくつか必要であるが、それらの外部ツールは、相互にバージョン依存している為、インストール手順が複雑であった。そこで、外部ツールを含めた GETAssoc インストール手順を自動化する為、Ant のビルドファイルである build.xml を作成した。このビルドファイルは、Scientific Linux 6.4 (32bit) 上で動作確認済みであり、GitHub 上の IUGONETAssociativeSearch リポジトリ¹⁷⁾ において公開している。なお、GETAssoc は標準で 32bit OS 用に最適化された設定であるので、32bit OS 上で動作させることとした。2013 年 5 月 31 日現在、IUGONET メタデータ・デー

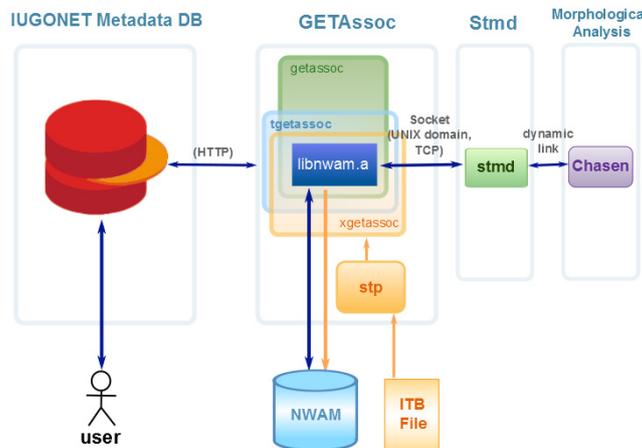


図 3 IUGONET メタデータ・データベースと連想検索エンジン GETAssoc の連携システム図。形態素解析システムには CHASEN を用いた。

データベースは名古屋大学において⁸⁾、また、GETAssoc システムは東北大学において運用している¹⁸⁾。IUGONET プロジェクトは大学間連携事業であるが、特定の研究機関にサーバー管理の負荷が集中しない様に、両システムを別々の機関で管理している。IUGONET メタデータ・データベースから、GETAssoc システムの利用時にはタイムアウトを設けている為、GETAssoc サーバーの不調やネットワーク負荷が高い場合には、連想検索を行わずに直ちに通常の検索を行う。

図4にIUGONET メタデータ・データベースとGETAssoc の連携システムにおける検索シーケンス図を示す。検索シーケンスは、1. ユーザーが入力した検索語句を読み込み、2. 通常のメタデータ検索を行い、3. ユーザーが入力した検索語句を元に、メタデータの該当有無に関わらずGETAssoc を用いて連想検索を行い、4. メタデータならびにユーザーが入力した検索語の関連語を表示する、5. ユーザーは、必要に応じて関連語を用いて再検索を行う、という流れを想定している。ブラウザ上で表示された関連語は、HTML で記述されたクエリ文字列へのリンクになっている為、関連語をブラウザ上でクリックすると、直ちに再検索される。

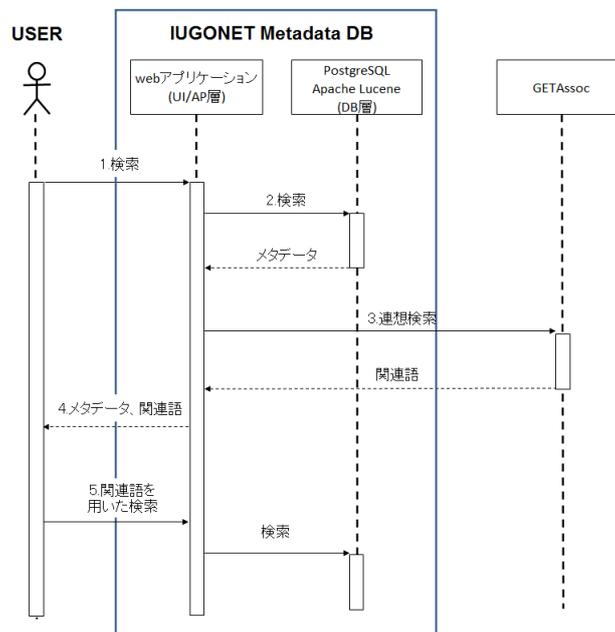


図4 IUGONET メタデータ・データベースとGETAssoc の連携システムにおける検索シーケンス図。

4. ADS を用いた辞書の作成

GETAssoc では、図5に例示したITBファイル形式によって関連語を結びつける為の辞書を記述し、図3に示した通り、インデックス作成コマンドstpを用いて、連想検索に必要なNWAMインデックス・ファイルに変換する必要がある。つまり、超高層物理学分野のメタデータ・データベースにとって有益な連想検索を行う為には、如何にして効果的なITBファイルを作成するかという問題に帰着したことになる。我々は、1. Wikipediaのノートページと利用者ページを除くデータ¹⁹⁾を用いた辞書作成、2. Wikipediaの要約を用いた辞書作成、3. Wikipediaを基にした人力による辞書作成、の3つの辞書作成の試みを過去に行った²⁰⁾。1.はその元データが40GBにも及び取り扱いが困難だったことから、2.は連想検索対象のドメインを超高層物理学分野に絞込む為の要素が無かったから、それぞれ断念し3.に当時は帰着したが、依然として辞書の自動生成の要求がある。1.と関連した他研究者による取り組みとして、NASAのSemantic Web for Earth and Environmental Terminology (SWEET)オントロジーを用いて、超高層物理学や太陽地球系物理学の範疇に留まらない、多様な事象を包含するWikipedia¹⁹⁾から、地球環境に関連した用語を抽出して利用する取り組み²¹⁾²²⁾もある。情報検索に加えて新たにオントロジーを導入することは、我々にとって高コストであったので、この手法を踏襲せずに、情報検索の技術内で収めることとした。以上の議論を踏まえ、過去に行った多様な事象を包含するWikipediaの利用から方針転換し、対象範囲が天文から物理の範囲に限定された文献メタデータ・データベースであるSAO/NASA Astrophysics Data System (ADS)²³⁾を用いて辞書を作成することにした。

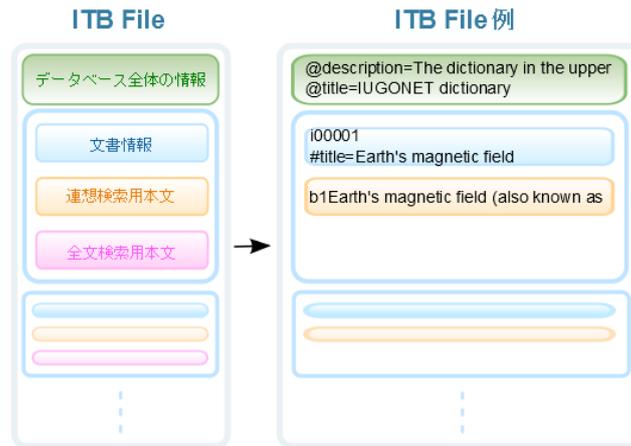


図 5 ITB ファイルの概要と例. 連想検索のみに着目している為、本件では全文検索用本文は作成しない。

4.1 ADS 文献メタデータの収集

ADS 文献メタデータ・アーカイブは一括ダウンロード出来ず、外部からメタデータ要素を抽出する為の Web API も整備されていない。この為、ユーザーが通常のブラウザを用いてアクセスするのと同様の手順でメタデータを収集しなければならない。全ての ADS 文献メタデータを取得するのは膨大な工数がかかる上、その中に不要なメタデータもあるので非効率である。そこで、IUGONET プロジェクトへ参加している、約 50 名の研究者らが書いた論文や学会予稿の ADS 文献メタデータのみを採取し、それらを元に連想検索用の辞書を作成することを試みた。

4.2 ADS 文献メタデータの収集事例

まず初めに、本論文の共著者である家森 俊彦 (Iyemori, T.) に関連した ADS 文献メタデータ検索を例示する。名字の “Iyemori” で検索した結果、119 件が該当し、“Iyemori, T.” で検索した結果、115 件が該当した。これら全てのメタデータが、本人に関連した著作のメタデータであることを確認した。次に、本論文の共著者である佐藤 由佳 (Sato, Y.) に関連した ADS 文献メタデータ検索を例示する。名字の “Sato” で検索した結果、26861 件が該当し、“Sato, Y.” で検索した結果、2094 件が該当した。http://adsabs.harvard.edu/abs/2008EP%26S..60..207S を含む計 6 件が本人の論文のメタデータであることが確認された。ADS は、ユニークな著者 ID によって管理されていないため、名前による文字列検索を行うことになり、名寄せ問題に直面する²⁴⁾。次に、本論文の著者である小山 幸伸 (KOYAMA, Y.) に関連した ADS 文献メタデータ検索を例示する。名字の “Koyama” で検索した結果、4507 件が該当し、“Koyama, Y.” で検索した結果、514 件が該当した。前出と同様に名寄せ問題に直面した。本著者による ADS 文献メタデータの例として、http://adsabs.harvard.edu/abs/2005SSCom.133..785K が挙げられるが、これは、本著者による光物性理論に関する論文のメタデータであり、超高層物理学とは無関係である。ADS では、検索対象のデータベースを、“Astronomy”、“Physics”、“arXiv e-prints” の 3 つのデータベースから絞り込むことが可能であるので、これ以降は “Astronomy” に限定した。

名前による文字列検索を用いた文献メタデータの絞り込みでは、上記の 3 例からうまくいかないことが分かった。そこで、どの文献メタデータを収集するかは手動で行うこととした。具体的には、下記の手順で文献メタデータを収集した。

1. IUGONET プロジェクトへ参加している、約 50 名の研究者の人名 (例, “Iyemori, T.”) を検索キーとして ADS 上で検索を行い、
2. 該当した文献メタデータの URL を、内容を吟味した上で人力で抽出し、
3. 2 を Google スプレッドシート²⁵⁾ 上でデータベース化し、
4. 3 に公開属性を付与した上で、google-spreadsheet-ruby ライブラリを用いた Ruby プログラムを用いて、インターネット越しにその Google スプレッドシート内のシートにアクセスして、文献メタデータの URL リストを抽出し、
5. 当該 URL にアクセスして、メタデータを抽出した。

4.3 ADS 文献メタデータから ITB ファイルの生成

得られた ADS 文献メタデータの一例を図 6 に示す。XSLT を用いて HTML から要素を取り出して ITB へ変換しよう

と試みたが、この HTML は妥当でなかった為、xsltproc で処理することが出来なかった。その為、Ruby を用いて、この HTML を通常のテキストデータとして扱い、パターンマッチングによって“citation_title”と“Abstract”を切り出して、ITB ファイルを生成した。その後、インデックス作成コマンド stp によって、連想検索可能な状態にした。

```
<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.0 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/REC-html40/loose.dtd">
<HTML>
<!--RAW FILE-->
<head>
<base href="http://ads.nao.ac.jp/abs/1996AnGeo..14..608I" />
<link rel="canonical" content="http://ads.nao.ac.jp/abs/1996AnGeo..14..608I" />
<meta name="robots" content="noarchive" />
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8" />
<TITLE>Decay of the Dst field of geomagnetic disturbance after substorm onset and its i</TITLE>
<meta name="citation_language" content="en" />
<meta name="citation_doi" content="10.1007/s00585-996-0608-3" />
<meta name="citation_abstract_html_url" content="http://ads.nao.ac.jp/abs/1996AnGeo..14..608I" />
<meta name="citation_title" content="Decay of the Dst field of geomagnetic disturbance after substorm onset and its
implication to storm-substorm relation" />
<meta name="citation_authors" content="Iyemori, T.; Rao, D. R. K." />
<meta name="citation_issn" content="0992-7689" />
<meta name="citation_date" content="06/1996" />
<meta name="citation_journal_title" content="Annales Geophysicae" />
<meta name="citation_volume" content="14" />
<meta name="citation_firstpage" content="608" />
<meta name="citation_lastpage" content="618" />
<link title="schema(PRISM)" rel="schema.prism" href="http://prismstandard.org/namespaces/1.2/basic/" />
<meta name="prism.publicationName" content="Annales Geophysicae" />
<meta name="prism.issn" content="0992-7689" />
<meta name="prism.volume" content="14" />
<meta name="prism.startingPage" content="608" />
<meta name="prism.endingPage" content="618" />
<link title="schema(DC)" rel="schema.dc" href="http://purl.org/dc/elements/1.1/" />
<meta name="dc.language" content="en" />
<meta name="dc.identifier" content="doi:10.1007/s00585-996-0608-3" />
<meta name="dc.date" content="1996-06" />
<meta name="dc.source" content="Annales Geophysicae, vol. 14, Issue 6, pp.608-618" />
<meta name="dc.title" content="Decay of the Dst field of geomagnetic disturbance after substorm onset and its
implication to storm-substorm relation" />
<meta name="dc.creator" content="Iyemori, T." />
```

図 6 文献メタデータの例。

5. ADS 文献メタデータを元にした辞書を用いた連想検索事例

連想検索の動作確認を Web 上で行う為のプログラムである gss3 protocol analyzer⁹⁾が、GETAssoc 同様に国立情報学研究所で開発・配布されている。図 3 に示した連携システムの全体構築に先立ち、gss3 protocol analyzer の Web サイトを立ち上げ公開した²⁶⁾。この gss3 protocol analyzer 上で、ADS 文献メタデータを元にした辞書を用いた連想検索例を図 7 に示す。“Freertext”欄に入力した“magnetism”に関連した単語、例えば地磁気指数のひとつである“K-index”等が、その関連度と共に出力された。文献メタデータ収録対象を天文から物理の範囲に限定された文献メタデータ・データベースである ADS を利用した上に、超高層物理学分野の研究者による ADS 文献メタデータにまで絞り込んだ上で辞書を作成している為、的確な関連語が上位に選択されている。以前行った多様な事象を包含する Wikipedia を元にした辞書の利用で得られた連想検索結果は、専門用語と一般用語が入り乱れていた為、以前より格段の進歩があった。

次に、IUGONET メタデータ・データベースと GETAssoc サーバーの連携事例を図 8 に示す。なお、IUGONET メタデータ・データベースの本公開サーバー上では未連携であり、九州大学における非公開のテスト環境上で本テストを行った。

The screenshot shows the GSS3 Protocol Analyzer interface. At the top, it says "GSS3 PROTOCOL ANALYZER" and "This demonstration is powered by GETAssoc." Below this, there are several input fields: "Freertext:" with the value "magnetism", "Keyword vector:", "Article name:", "Filter by phrase:" with "Include" and "Exclude" options, and "Filter by keyword:" with "Include" and "Exclude" options. The "Target:" dropdown is set to "enwiki". There are "Search" and "Clear" buttons. Below the search fields, there is a table of results. The table has columns for "Score", "Name", and "Title". The results are as follows:

Score	Name	Title	Score	Name
0.611 11	K-index		2.722	e
0.610 14	International Association of Geomagnetism and Aeronomy		2.476	t
0.608 18	Intermagnet		2.436	a
0.598 1	Earth's magnetic field		2.220	n
0.577 21	International Geomagnetic Reference Field		2.185	i
0.571 15	Committee on Data for Science and Technology		2.133	o
0.554 24	COSPAR international reference atmosphere		2.088	r

図 7 ADS 文献メタデータを元にした辞書を用いた連想検索例.

The screenshot shows the IUGONET Metadata DB search results page. The search term is "substorm". The results show "Search produced no results." Below this, there are options for "Data Set" with checkboxes for "Numerical", "Plot / Movie", "Data File / Plot", "Instrument", and "Observatory". There are also "Results/Page" and "Sort items by" options. The page includes a sidebar with navigation links like "Home", "IUGONET MDB", "Browse Data", and "Browse Service". At the bottom, there is a copyright notice: "Copyright © 2009-2012 IUGONET - Feedback Customized by IUGONET. Powered by DSpace Software."

図 8 IUGONET メタデータ・データベースと GETAssoc サーバーの連携事例.

IUGONET メタデータ・データベースにおいて、“substorm”という検索語句で検索したところ、該当メタデータは0件であった。超高層物理学分野において“substorm”は重要な専門用語である為、この単語で何もヒットしないことを不思議に思われるかも知れない。現在の IUGONET のメタデータは、観測条件等の1次データに紐づく客観的事実を淡々と記載している段階であり、いつ substorm が起こったのかといった、1次データから得られる知見情報は殆ど記述されていないことが、0件の検索結果の理由である。“substorm”を含むメタデータは0件であったものの、“substorm”と関連した専門用語が5つ推薦されており、さらにはこのリンクを選択することで再検索が行われた為、連想検索はメタデータ・データベースの検索の補助として有効なことを確認した。連想検索を検索の補助として利用する一方で、今後、検索ログを元にしたメタデータの見直し、修正も行う。

6. まとめ

超高層物理学を対象とした IUGONET メタデータ・データベースでは、専門分野外のユーザーにとって単語検索時における適切な検索語句の選択が容易でないことが指摘されていた。そこで、再検索文字列を自動生成する為の関連語を得る為に、IUGONET メタデータ・データベースと連想検索エンジン GETAssoc を連携させた。対象範囲が天文から物理の範囲に限定された論文メタデータ・データベースである SAO/NASA Astrophysics Data System から、IUGONET 参加研究者らによる ADS 文献メタデータを抽出した辞書を作成・使用した。GETAssoc サーバーを立ち上げ、適切な連想検索が出来ていることを確認した。テスト環境下において、GETAssoc サーバーと IUGONET メタデータ・データベースを連携させ、GETAssoc サーバーが返す連想検索結果が、メタデータ・データベースの検索の補助になることを確認した。今

後は、IUGONET メタデータ・データベースの本運用機での連想検索の導入が課題である。

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 ケ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ならびにメタデータ作成に携わった全ての方々に感謝する。

参考文献

- 1) 林 寛生, 小山 幸伸, 堀 智昭, 田中 良昌, 新堀 淳樹, 鍵谷 将人, 阿部 修司, 河野 貴久, 吉田 大紀, 上野 悟, 金田 直樹, 米田 瑞生, 田所 裕康, 元場 哲郎, 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」, 宇宙科学情報解析論文誌, 第 1 号, JAXA-RR-11-007 (ISSN 1349-1113), pp. 113-120, 2012.
- 2) Hayashi, H., Y. Koyama, T. Hori, Y. Tanaka, S. Abe, A. Shinbori, M. Kagitani, T. Kouno, D. Yoshida, S. UeNo, N. Kaneda, M. Yoneda, N. Umemura, H. Tadokoro, T. Motoba, and IUGONET project team, Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork (IUGONET), Data Sci. J., 12, p.WDS179-WDS184, 2013.
- 3) 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, JAXA-RR-11-007 (ISSN 1349-1113), pp. 91-98, 2012.
- 4) 堀 智昭, 鍵谷 将人, 田中 良昌, 林 寛生, 上野 悟, 吉田 大紀, 阿部 修司, 小山 幸伸, 河野 貴久, 金田 直樹, 新堀 淳樹, 田所 裕康, 米田 瑞生, 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, 宇宙科学情報解析論文誌, 第 1 号, JAXA-RR-11-007 (ISSN 1349-1113), pp. 105-111, 2012.
- 5) 小山 幸伸, 河野 貴久, 林 寛生, 堀 智昭, 田中 良昌, 鍵谷 将人, 吉田 大紀, 上野 悟, 阿部 修司, 三好 由純, 金田 直樹, 能勢 正仁, 岡田 雅樹, 超高層物理学分野におけるメタデータ・データベースの構築, Proc. of the 2nd Forum on Data Engineering and Information Management, 2010, F4-3, <http://db-event.jpn.org/deim2010/proceedings/files/F4-3.pdf>.
- 6) 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>.
- 7) 梅村 宜生, 小山 幸伸, 堀 智昭, 阿部 修司, 林 寛生, 新堀 淳樹, 田中 良昌, 上野 悟, 米田 瑞生, 金田 直樹, 元場 哲郎, 超高層物理学のための分野横断型メタデータ・データベースの構築, Proc. of the 4th Forum on Data Engineering and Information Management, 2012, A7-1, <http://db-event.jpn.org/deim2012/proceedings/final-pdf/a7-1.pdf>.
- 8) <http://search.iugonet.org/iugonet/>
- 9) <http://getassoc.cs.nii.ac.jp>
- 10) Todd King, James Thieman, and D. Aaron Roberts, SPASE 2.0: a standard data model for space physics, Earth Sci Inform, 3:67-73, 2010.
- 11) Thieman, J. R., D. A. Roberts, T. A. King, C. C. Harvey, C. H. Perry, and P. J. Richards, SPASE AND THE HELIOPHYSICS VIRTUAL OBSERVATORIES, Data Sci. J., 9, p.IGY85-IGY93, 25 February, 2010.
- 12) <http://www.iugonet.org/data/schema/iugonet.xsd>
- 13) <http://www.nii.ac.jp/irp/list/>
- 14) <http://www.dspace.org/>
- 15) <http://dublincore.org/>
- 16) <https://wiki.duraspace.org/display/DSDOC17/Architecture>
- 17) <https://github.com/iugonet/IugonetAssociativeSearch>
- 18) <http://getassoc.iugonet.org/>
- 19) <http://dumps.wikimedia.org/enwiki/>

- 20) 八木 学, 小山 幸伸, 阿部 修司, 梅村 宜生, 堀 智昭, 田中 良昌, 新堀 淳樹, 上野 悟, 佐藤 由佳, 谷田貝 亜紀代, Bernd RITSCHHEL, 連想検索エンジン GETAssoc の超高層物理学におけるメタデータ・データベースへの適用, Proc. of the 5nd Forum on Data Engineering and Information Management, 2013, A10-1, <http://db-event.jpn.org/deim2013/proceedings/pdf/a10-1.pdf>.
- 21) 梅原 佳宏, 清水 敏之, 吉川 正俊, 地球科学データと学術論文の関連付け, Proc. of the 4th Forum on Data Engineering and Information Management, 2012, A7-3, <http://db-event.jpn.org/deim2012/proceedings/final-pdf/a7-3.pdf>.
- 22) 梅原 佳宏, 清水 敏之, 吉川 正俊, 地球科学データと学術論文の対応付け獲得に向けた事例調査, Proc. of the 5th Forum on Data Engineering and Information Management, 2013, D4-4, <http://db-event.jpn.org/deim2013/proceedings/pdf/d4-4.pdf>.
- 23) <http://adsabs.harvard.edu/index.html>
- 24) 蔵川 圭, 武田 英明, 研究者識別子 ORCID の取り組み, 情報管理, Vol. 54 (2011) No. 10 P622-631.
- 25) <https://docs.google.com/spreadsheet/pubkey=0AgbaOOcOsZncdE5sOFJySXFOdnNRMXBoMnQ5MFJLRmc&output=html>
- 26) http://getassoc.iugonet.org/geta_client/gss3.html