

JavaFX-based iUgonet Data Analysis Software (JudasFX)の プロトタイプ開発

小山 幸伸^{*1}, 佐藤 由佳^{*2} 中野 慎也^{*3} 八木 学^{*4} 田中 良昌^{*2} 阿部 修司^{*5}
能勢 正仁^{*6} 蔵川 圭^{*7} 池田 大輔^{*8} 梅村 宜生^{*9} 新堀 淳樹^{*10} 上野 悟^{*11}

Prototype Development of the JavaFX-based iUgonet Data Analysis Software (JudasFX)

Yukinobu KOYAMA^{*1}, Yuka SATO^{*2}, Shinya NAKANO^{*3}, Manabu YAGI^{*4},
Yoshimasa TANAKA^{*2}, Shuji ABE^{*5}, Masahito NOSE^{*6}, Kei KURAKAWA^{*7},
Daisuke IKEDA^{*8}, Norio UMEMURA^{*9}, Atsuki SHINBORI^{*10}, and Satoru UeNo^{*11}

Abstract

By the Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork (IUGONET) project which has started in 2009, (a)various long-term upper atmospheric data from 1800 's to present were released to the public, (b)improvement of distributed management data search by domain metadata of upper atmospheric research field, (c)improvement of environment for the data usage by the developing and releasing the data visualization and analysis software that deal with various data formats, were done for domain researchers of upper atmospheric research field. However, use of expensive commercial software is presupposed in the data visualization and analysis software in upper atmospheric research field. The available function is restricted to the user who doesn't have the license. Then we developed the prototype of free data visualization and analysis software which is called JudasFX in order to expand the potential data user such as researcher in developing countries and neighbor fields, data scientists, and citizens in general to promote interdisciplinary study, data-intensive science, and citizen science, respectively.

In this paper, we explain details of the software, and show visualization and analysis of geomagnetic Dst-index as a case example.

Keywords: Upper Atmosphere, Visualization, Analysis, Open Source Software, Data-intensive Science, Open Science

* 平成 27 年 12 月 17 日受付 (Received December 17, 2015)

^{*1} 情報・システム研究機構, 新領域融合研究センター

(Transdisciplinary Research Integration Center, Research Organization of Information and Systems)

^{*2} 情報・システム研究機構, 国立極地研究所

(National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems)

^{*3} 情報・システム研究機構, 統計数理研究所

(The Institute of Statistical Mathematics, Research Organization of Information and Systems)

^{*4} 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)

^{*5} 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)

^{*6} 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)

^{*7} 情報・システム研究機構, 国立情報学研究所

(National Institute of Informatics, Research Organization of Information and Systems)

^{*8} 九州大学大学院システム情報科学研究院

(Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University)

^{*9} 名古屋大学宇宙地球環境研究所 (Institute for Space-Earth Environment Research, Nagoya University)

^{*10} 京都大学生存圏研究所 (Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University)

^{*11} 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)

概要

「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測研究」プロジェクト(IUGONET, 平成21年度～)によって, (a)1800年代から現在に至る長期で様々な超高層大気の地上観測データ公開, (b)分散管理されている超高層物理学のデータのドメイン・メタデータ共有による検索性の向上, そして(c)様々なデータ形式を取り扱う統合データ可視化・解析ソフトウェアの開発と公開によるデータ利用環境の向上が, 超高層物理学のドメイン研究者向けに行われてきた. しかしながら, 超高層物理学のドメイン研究者向けの多くの統合データ解析ソフトウェアは, 高価な商用ソフトウェアの利用を前提としており, ライセンスが無ければ, 利用可能な機能が制限される. そこで我々は, データ中心科学, 学際的研究, シチズンサイエンスの推進に先立って, データ・サイエンティスト, 開発途上国の研究者, 天文や気象等の隣接分野の研究者, さらには一般市民にデータ利用可能性を広げるために, フリーのデータ可視化・解析ソフトウェア JudasFX のプロトタイプを開発した. 本論文では, そのソフトウェアの詳細を説明し, 地磁気 Dst 指数を可視化・解析した事例を示す.

キーワード: 超高層大気, 可視化, 解析, オープンソース・ソフトウェア, データ中心科学, オープン・サイエンス

1. はじめに

従来の1. 実験 (帰納型), 2. 理論 (演繹型), そして3. 数値計算 (演繹型) に基づいた科学データの増大, いわゆるビッグ・データ問題の顕在化と, 第4の科学的パラダイムであるデータ中心科学 (帰納型) の到来が T. Hey らによって示唆された¹⁾. 図 1に示す通り, 学術情報は Literature (文献), Intermediate Data (中間データ), Published Data (出版データ) で大別されるが, 2004年頃から, 世界の論文数の増加率が上がり²⁾, 他方でセンサーやコンピューターから生成されるデータは, それ以上に日々爆発的に増加しているのが現状である³⁾. 1665年以降, 自然言語を中心として記述・継承されてきた学術情報であるが, データ中心科学時代における学術情報基盤の課題として, 科学論文の論拠をデータによって明すための, 文献, 中間データ, 出版データの各層間のインターネット上での結合と, 科学的知見を速やかに得るための, 大量データ処理が挙げられる.

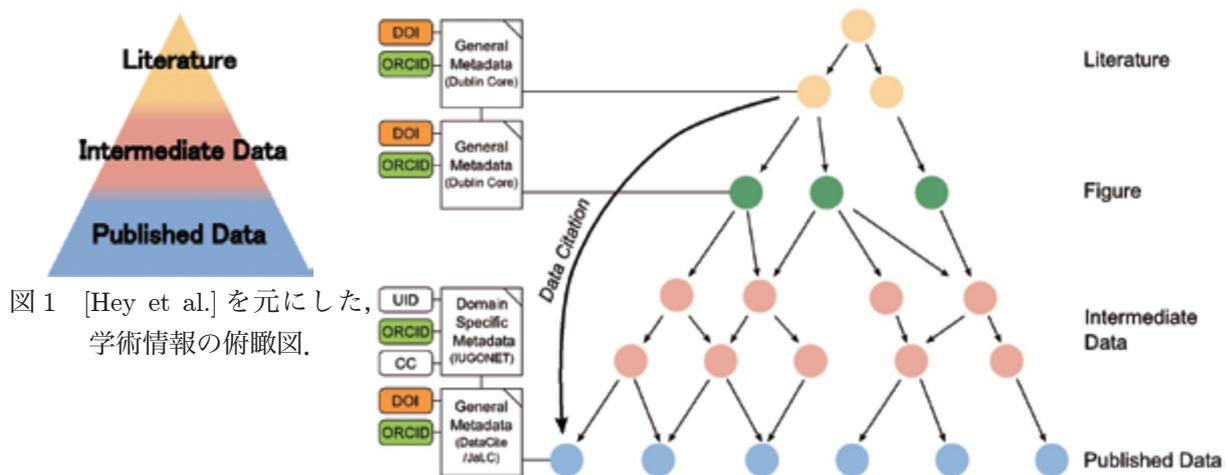


図1 [Hey et al.]を元にした, 学術情報の俯瞰図.

図2 超高層物理学分野における, 科学論文の論拠となる各種の学術情報とそれらの関係性.

2. 超高層物理学における学術情報基盤

超高層物理学においては、下層大気の温暖化に伴う超高層大気の寒冷化に代表される、地球規模の諸現象解明がますます重要となっており、ビッグデータ解析がその鍵となる。そして、ビッグデータを取り扱った分野横断型研究を、円滑に進めるための基盤整備こそが喫緊の課題である。超高層物理学分野における、科学論文の論拠となる各種の学術情報とそれらの関係性を図 2 に示す。Digital Object Identifier (DOI) は永続的な識別子、Unique Identifier (UID) は後述する超高層物理学の IUGONET プロジェクト内で通用するデータ識別子、Open Researcher and Contributor Identifier (ORCID)⁴⁾ は研究者識別子、Creative Commons (CC) はコンテンツ、ここではデータの利用規約を定めるライセンスである。データ公開や、データに DOI を付与して一般的なメタデータを付けるデータ出版⁵⁾、DOI を介して文献とデータを結びつけるデータ引用等の種々の取り組みによって⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾、文献からデータへの到達可能性が高まりつつある。さらには、「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測研究」プロジェクト (IUGONET: Inter-university Upper Atmosphere Global Observation NETWORK) によって、データの科学的な解釈に必要なドメイン・メタデータが、機械可読形式で取得可能になった¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾。データから如何に迅速かつ効率的に文献にするかという課題に先立って、次に取り組むべきは、データの可視化と、近年課題となっているビッグデータから中間データへの導出である。ビッグデータは、「量」、「速度」、「種類」の3種の組み合わせで特徴づけられるが、超高層物理学のデータでとりわけ特徴的なのは「種類」であり、取り扱う物理量の多様性と、様々なデータ形式の乱立が問題である。

Linked Data¹³⁾ に例示される様に、誰でも入手可能で汎用的な可視化・解析ソフトウェアとして取り扱うために、データ形式を極力統一する方向性で議論されるのが通常であるが、超高層物理学においては、各研究コミュニティ内で、長期に渡って利用されてきたデータ形式の変更はもとより、現状のデータ公開に加えて、Resource Description Framework (RDF) 形式等のコミュニティにとってなじみの無い新たなデータ形式でデータ提供することにも抵抗があるため、当面の間、データ形式の集約は困難である。この理由から、データ形式の差異を吸収するデータ解析ソフトウェアがドメイン研究者向けにいくつか開発されてきた。この実装のひとつを図 3 に示す。IUGONET が作成した地上観測データ用の iUgonet Data Analysis Software (UDAS)¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾、THEMIS 衛星のグループが作成した衛星観測データ用の Themis Data Analysis Software suite (TDAS)¹⁷⁾、そしてそれらを統合した、様々な観測データを統一的に取り扱う統合データ解析ソフトウェアである、Space Physics Environment Data Analysis Software (SPEDAS)¹⁸⁾ が、商用ソフトウェアの Interactive Data Language (IDL) 上で開発されてきた。ドメイン研究者向け可視化・解析ソフトウェアとして一定の成功を収めた SPEDAS であるが、ドメイン研究者以外がそれを利用する場合、次の2つの問題に直面する。

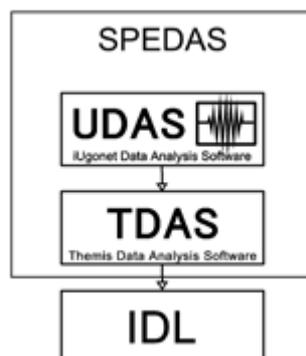


図 3 SPEDAS の構成図。

ライセンス問題： 商用ソフトウェアの IDL を基盤ソフトウェアとしたことによるライセンス問題を抱える。IDL は、医学、天文学、地球科学の一部の普及に留まっており、ドメイン外の人々が誰でも利用できる環境は整備されていない。ライセンスが不要な SPEDAS Virtual Machine も用意されているが、Command-line Interface (CLI) が使えない限定機能版であるため、解析手順のスク립ト化や、ユーザーの自由な発想に基づいた解析プログラムの作成が出来ず、ライセンスを所有している一部の限られたソフトウェア開発者によって、あらかじめ提供されている定型処理を、Graphical User Interface (GUI) を用いて逐次的に実行するほかない。また、ライセンス数と同数のプロセスしか起動出来ないため、多数のプロセッサを同時に用いることも困難である。これらの理由から、ビッグデータを用いた解析用途には不十分である。さらには、ソフトウェア開発にもライセンスが必要であるため、開発コミュニティ規模がライセンス数の制約を受け、結果としてソフトウェア資産が充実しない。ドメイン内であっても商用ライセンスの購入が困難な開発途上国の研究者、天文や気象などの隣接分野の研究者、データ・サイエンティスト、さらには一般市民らといったドメイン外の人々が、データ利用およびソフトウェア開発できる環境が整っていない。

相互運用性の欠如： 欧州非干渉散乱レーダー(EISCAT)¹⁹⁾においては、IDL 用と MATLAB 用のライブラリが、別グループにより開発されており、それらは相互運用出来ない。MAGDAS²⁰⁾地磁気データにおいても、同様の状況である。また、超高層物理学の SPEDAS と、太陽分野の SolarSoft²¹⁾は、互いに相互運用の要望があるにも関わらず、また双方とも IDL を基盤ソフトウェアとして使っているにも関わらず、IDL に名前空間の概念が無いために、衝突して共存出来ない。2015年11月現在、最新の SPEDAS と SolarSoft には、195個の同名プロシージャが存在する。この内、中身が完全に一致するプロシージャは57個で、残りの148個は中身が異なる。この中には、版違いなどの比較的軽微な差異の場合もあるが、例えば、SPEDAS における array_concat 「プロシージャ」と SolarSoft における array_concat 「関数」に代表される様に名前の衝突が生じている場合があるため、それらを同時に使用することが出来ない。この様な理由から、一方のライブラリ上で、既に実装されている機能を他方で再実装する事例が見られる。以上で例示された様に、相互運用出来ないデータ解析ソフトウェアの乱立が顕在化してきた。現状と、次節で詳細説明する本取り組みの模式図を図 4 に表す。

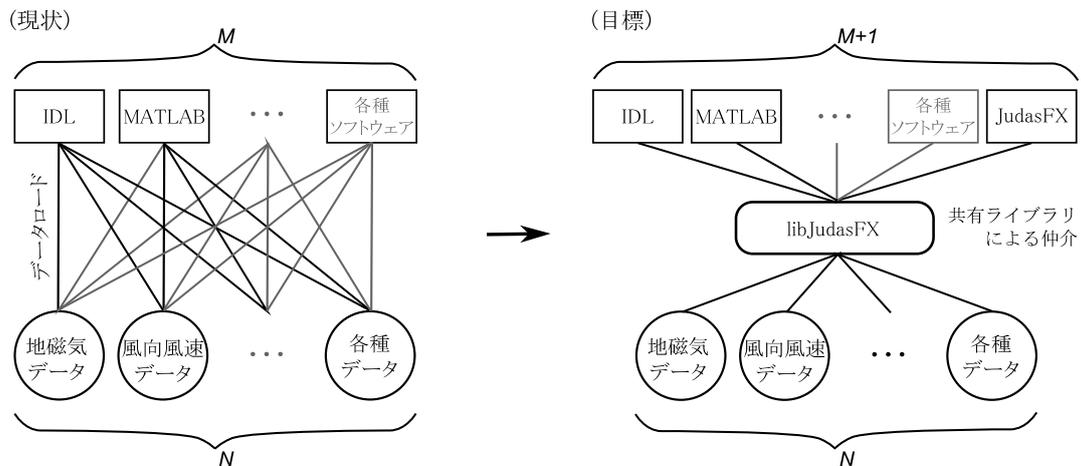


図 4 ソフトウェア開発の方針。

3. JavaFX-based iUgonet Data Analysis Software (JudasFX)の特徴

ドメイン外の人々がデータを利用する際に直面する様々な問題を解消するために、ライセンスフリーで相互運用性を考慮した、データ可視化・解析ソフトウェア JavaFX-based iUgonet Data Analysis Software (JudasFX)のプロトタイプを開発した。以下にその特徴について記述する。

ライセンスフリー： JudasFX のプロトタイプの全ソースコードは GPL v2.0ライセンスに従って、Github 上で公開している²²⁾。開発途上である現在はソースコードの公開のみであるが、将来的には Java 中間コードも公開・配布することを計画している。これにより、もし最新プログラムがリリースされていけば、Java Web Start の機能によって、ウェブサーバーから JudasFX を自動ダウンロードし、もし更新されていなければ、以前にダウンロードしたローカルに存在する実行ファイルを即座に利用することが可能となる。JudasFX はライセンス数の制約が無いため、多数のプロセッサを同時に用いたビッグデータ解析が可能である。JudasFX は、無料で手に入る Java Runtime Environment (JRE)環境上で動作する。仮に JRE が用意されていない環境下において JudasFX の起動を試みた場合、JRE のインストールが促され、クリックすることによって JRE がインストールされ、JudasFX の動作環境が直ちに整備される。ソフトウェア実行環境のみならず、開発環境である Java Development Kit、さらには開発を支援するための 統合開発環境 (IDE: Integrated Development Environment)である NetBeans や Eclipse も無料で入手可能である。JRE, JDK, NetBeans, Eclipse は、いずれも Windows, Mac OS X, Linux 用が用意されている。

相互運用性への配慮： 図 5に、JudasFX の構成図を示す。JudasFX は、Java Virtual Machine (Java VM)を介し、Windows, Mac OS X, Linux, Solaris のいずれの環境でも動作する。相互運用性への配慮から、スタンドアロンでの利用に留まらず、他の基盤ソフトウェアやプログラム言語からの利用も想定している。例えば、IDL や MATLAB は、Java ブリッジを備えているため、外部 Java ライブラリを利用可能である。そのため、既存の IDL や MATLAB ユーザーは、Java VM を介して JudasFX のプラグイン部分である libJudasFX を利用し、データのダウンロード機能等を使うことが出来る。オブジェクト指向言語である Java 言語を用いて記述されている本ライブラリは、名前空間で切り分けられているので相互運用性が高く、他の言語からの利用も容易である。

この様に、ドメイン研究者を中心として一定数存在する商用ソフトウェアのユーザーに対して相互運用性の面で配慮しつつ、新たに開発途上国の研究者、隣接分野の研究者、データ・サイエンティスト、さらには一般市民を中心として JudasFX のユーザーを増やし、全体的な開発リソースの集約とデータ利用環境の向上を狙う。

オフラインでの利用が可能： ネットワーク事情が良くない地域にも配慮し、ひとたび JudasFX とデータをダウンロードしておけば、インターネットに常時接続していなくてもオフラインで利用可能にする点においては、Web ベースの可視化・解析ソフトウェアに対して優位性がある。他方で、Web ベースの可視化・解析ソフトウェアは、サーバー上のソフトウェアを更新するだけで全利用者が最新のソフトウェアを使える点で優れている。そこで、サーバー上に置かれた Java アプリケーションを自動ダウンロード、自動インストール、自動アップデートして、実行可能な仕組みである Java Web Start を利用することにより、JudasFX は最新ソフトウェアの再配布性を高める。

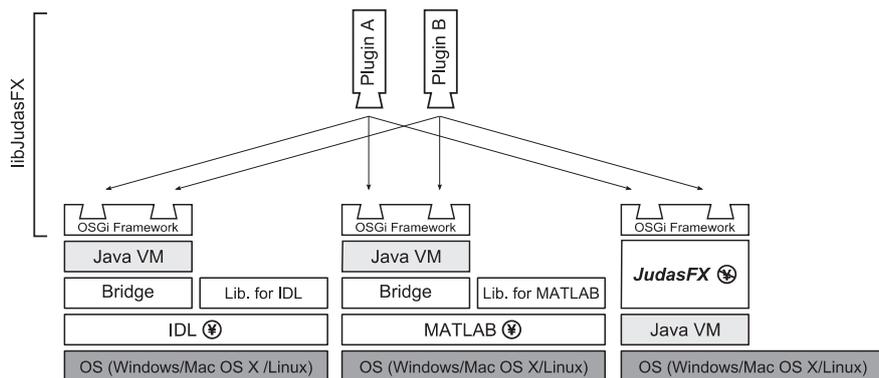


図 5 JudasFX の構成図。

図 6に、JudasFX の主要クラスを示す。データファイルのダウンロードを行い、メタデータを取扱う APlot 抽象クラスを定義した。さらには、超高層物理学の多様な物理量がある程度統一的に取り扱うために、時系列データを扱う TPlot、地図上のデータを扱う MPlot、画像データを扱う IPlot、スキャッタープロットのデータを扱う XYPlot の4種の抽象クラスを定義した。実際にデータを取り扱うには、抽象クラスを継承した具象クラスが必要となる。例えば、地磁気擾乱を表す指数のひとつである地磁気 Dst 指数を取り扱う DstIndex 具象クラスは、時系列データを扱う TPlot 抽象クラスを継承して実装されている。なお、親クラスである TPlot 抽象クラスのメンバー変数に時系列データが代入されるように、DstIndex 具象クラスは実装されている。この様に、親クラスのメンバー変数に代入するまでを受け持つ個別の具象クラスが対象データセット数だけ実装される。子クラスは継承によって親クラスのメソッドも継承するため、例えばどの具象クラスにおいても file_http_copy()メソッドがデータファイルをダウンロードするコマンドである。多様なデータ種を用いた統合データ解析が必要な超高層物理学においては、このような統一的なデータアクセス手法が重要となる。なお、TPlot クラスと XYPlot クラスは Java の基本クラス、MPlot クラスでは OSGeo による GeoTools²³⁾、IPlot クラスでは OpenCV²⁶⁾を各々再利用しており、極力既存のライブラリを再利用するよう留意している。

現在は、JudasFX の開発の以前に進めていた、Java, Swing, そして JFreeChart を用いて記述した約20個の古い実装、例えば京大地磁気センターが公開している地磁気データ、京都大学生存圏研究所が公開している MU レーダーによる風速データ、国立極地研究所や名古屋大学が公開している SuperDARN レーダーデータを取り扱うクラス等を、順次 JavaFX 用書き直している段階である。拡張性を考慮するため、各種データセットを取り扱うクラスは、OSGi フレームワークの実装である、Apache Felix を用いてプラグイン形式で追加される。将来構想として、TPlot, MPlot, IPlot, XYPlot の各親クラスにおいて、Linked Open Data の形式で、メンバー変数を出力する付加機能を実装することを検討しており、本プログラムを介さずに、静的にかつ統一化されたデータファイルにアクセスしたいという潜在的ユーザーにも対応したいと考える。

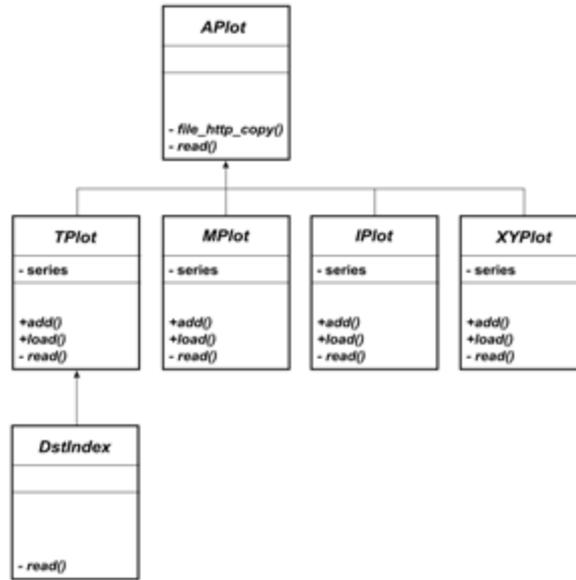


図6 JudasFXの主要クラス図.

3.2 堅牢性の向上

図7にModel-View-Controllerの関連図を示す。従来のJava言語を用いたGUIプログラミングでは、デザインパターンのひとつであるModel-View-Controller²⁵⁾のかかなりの部分がひとつのJavaソースコード内に記述され、保守性が著しく悪かった。しかしながら、JavaFXをベースにすることによって、ボタン等の各部品配置情報を保持するViewの部分にJava言語と切り離して、XMLベースのマークアップ言語であるFXML形式で記述することが可能になり、保守性が著しく上がった。また、Modelに関しては、前出のとおり、超高層物理学分野においては、データ形式が集約されていないため、個々の取り扱いデータセット数分の個別の実装が必要となり、ソースコードが冗長化しがちである。そこで、共通部分は極力親クラスで実装することで、ソースコードの共通化を心がけた。また、「Model」と「Controller」を別のJavaソースコードに切り分けて記述することが容易になったので、過去に作成したJava, Swing, そしてJFreeChartを用いたプログラムよりも保守性が高まった。

以上のように、切り分けてコーディングしやすくなったソースコードの堅牢性をさらに向上させるために、Modelに関してはJUnitを用いた自動の単体テストをソースコードの変更ごとに行い、ViewならびにControllerのボタン操作などのGUI周辺を含んだテストは、JUnitとTestFXを用いた自動の統合テストをソースコードの変更ごとに行っている。

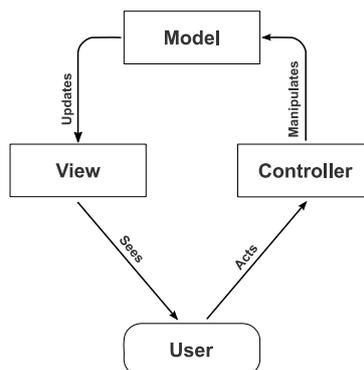


図7 Model-View-Controllerの関連図.

3.3 インターフェースおよび数値計算ライブラリ

図 8 の左図に、JudasFX のスクリーンショットを示す。SPEDAS を利用している超高層大気の研究者にとって馴染みがあるという理由から、JudasFX の初版は SPEDAS ライクな GUI を作成した。フリーの JavaFX 用の GUI 開発アプリケーションである SceneBuilder を用いて、グラフィカルに可視化・解析ソフトウェアの Graphical User Interface (GUI) を作成した。

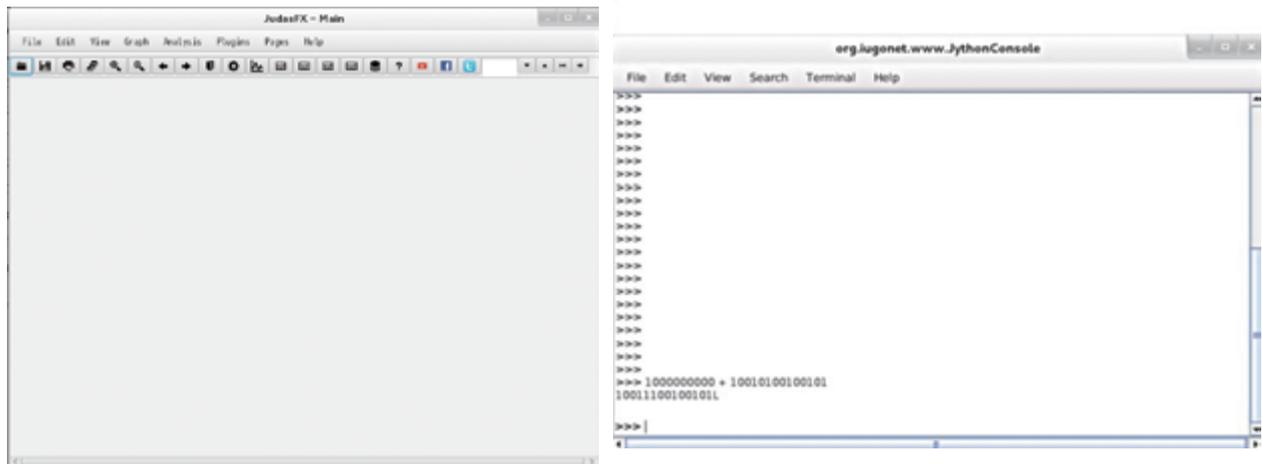


図 8 JudasFX のスクリーンショット (左) と CLI 窓 (右)。

図 8 の右図に、CLI 窓を示す。CLI には、Jython 環境を用意した。データサイエンティストが利用するデファクトスタンダードのツールのひとつである Python を利用したかったが、他方で Java 実行環境以外の如何なる依存ソフトウェアの事前インストールも、JudasFX 利用の前提にしたくなかった。この折衷案として、Python の Java で書かれた実装である Jython を CLI として選んだ。JudasFX 本体と同様に、Jython.jar と JyConsole.jar で構成される Jython 環境もまた Java Web Start によってクライアントサイドへ送信されるため、ローカルコンピュータに Jython を事前インストールする必要が無い。

数値計算環境については、数値計算ライブラリである Apache Commons Math²⁴⁾を利用可能である。将来的には、Python と合わせて利用される NumPy や SciPy を利用したいので、ネイティブ Python の拡張を Jython で使うための拡張である Jython Native Interface (JyNI)を利用し、Jython 上で Numpy や SciPy などを利用するテストを行っており、データ・サイエンス環境を構築する予定である。

3.4 実行例

ここでは、JudasFX の実行例を示す。図 9の左図は、LoadData 窓であり、プロットするデータセット種、日時、観測所名等を選択する。これらの選択後、バックエンドでは下記の動作が行われる。

1. IUGONET メタデータ・データベースが、外部アプリケーションとの通信用に用意している OpenSearch インターフェースに対して、JudasFX が HTTP 経由でメタデータ検索クエリーを実行する。
2. データセットのメタデータである NumericalData リソースタイプと、各データファイルのメタデータである Granule リソースタイプを、JudasFX が機械的に解釈する。これによって、データファイルの所在情報である AccessURL と、座標軸の物理量などが記載された RenderingHint を得る。
3. AccessURL に記載されたデータファイルを自動的にダウンロードする。その後、個別データを扱うためのクラスが持つメンバー変数にロードする。

この後、さらにプロットの指令を行うことにより、図 9の右図のプロットが作成される。ここでは、1984年10月の地磁気 Dst 指数の1時間(確定値)のプロットを図 9の右図に示した。比較のために、データ提供元である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で公開されている、1984年10月の地磁気 Dst 指数の1時間値(確定値)のプロット画像を図 10に示す。

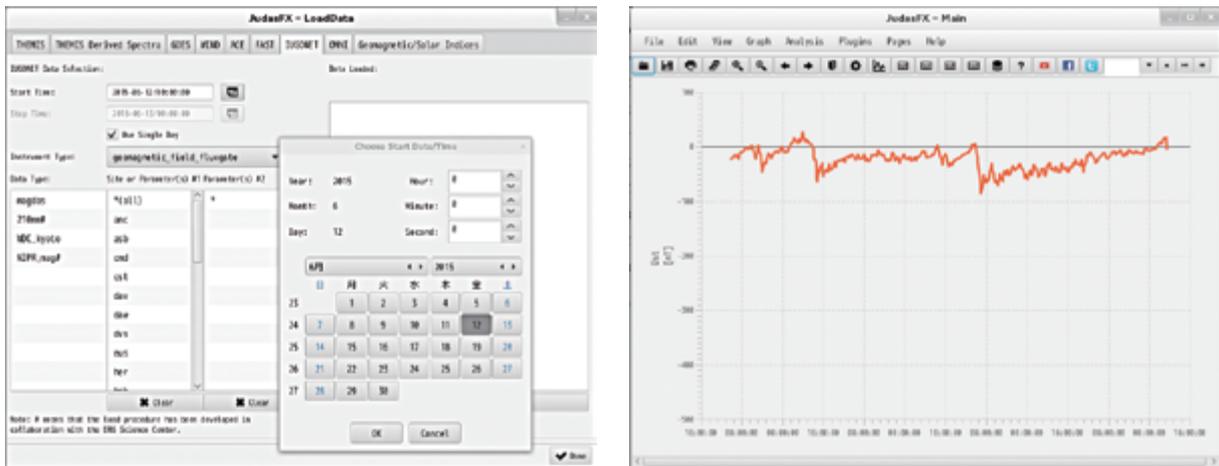


図 9 LoadData 窓(左)と 1984 年 10 月の地磁気 Dst 指数の 1 時間値(右)。

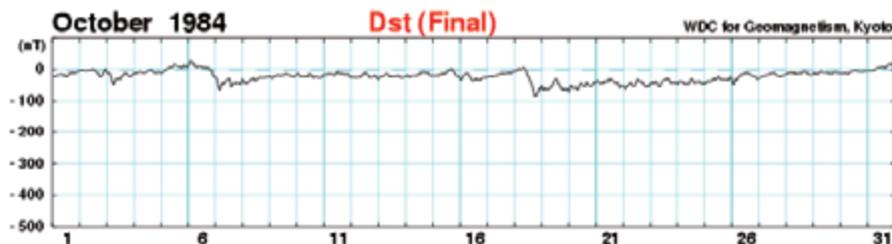


図 10 京都大学大学院附属地磁気世界資料解析センターにおいて公開されている、1984 年 10 月の地磁気 Dst 指数の 1 時間値 (確定値) のプロット画像。

次に、データ・プロセッシング窓のスクリーンショットを図 11の左図に示す。TPlot クラスを継承した各データセットを取り扱う個別クラスが保持するデータ変数に対して、GUI のボタンにあらかじめ仕込んである各種データ処理を行うことが出来る。ここでは、図 9の右図で得られた地磁気 Dst 指数に対して、24時間移動平均値を行ったものを図 11の右図に示す。移動平均のメソッド内部において、Apache Commons Math を呼び出している。GUI による簡素なデータ処理のみならず、Jython と Apache Commons Math を用いた CLI によるデータ処理も利用可能である。以上のとおり、商用ライセンス不要でデータの可視化・解析が可能となった。

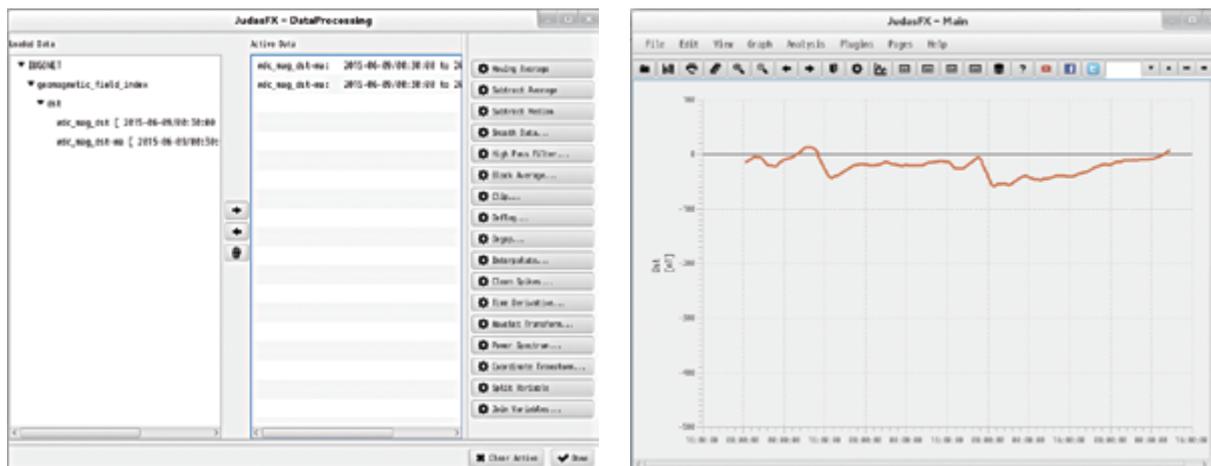


図 11 DataProcessing 窓(左)と1984年10月の地磁気 Dst 指数の1時間値の24時間移動平均値(右)。

4. まとめと今後について

本取り組みでは、超高層物理学におけるデータ利用環境向上のため、JavaFX ベースのデータ可視化・解析ソフトウェアである JudasFX のプロトタイプを作成した。途上国の研究者、隣接分野の研究者、データサイエンティスト、さらには地球環境に興味を抱く一般市民でも利用出来るように、単独で動く可視化・解析ソフトウェアを実装した。ライセンス数に縛られないため、多数のプロセッサを用いたビッグデータ解析が可能であり、過去にこの分野で無かったデータ中心科学を切り開くツールとして期待される。

今後、JudasFX を IUGONET メタデータ・データベースへ組み込むことにより、オンラインでの可視化機能を提供することを予定している。さらに、Japan Link Center によって進められている「研究データへの DOI 登録実験プロジェクト」²⁷⁾において生成される、データセットのランディングページから、IUGONET メタデータ・データベースへ誘導することにより、文献を起点としたデータの可視化までが円滑になると期待される。

謝辞

情報・システム研究機構新領域融合研究センターによる、融合研究シーズ探索の支援を受け、本研究を推進した。また、京都大学による、融合チーム研究プログラム(SPIRITS)の支援を受け、本研究を推進した。本論文では、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の Web のスナップショットならびに、地磁気 Dst 指数を利用した。著者一同は、上記の全てに対して感謝する。

参考文献

- 1) TONY HEY, STEWART TANSLEY, AND KRISTIN TOLLE, The FOURTH PARADIGM: DATA-INTENSIVE SCIENCE DISCOVERY, MICROSOFT RESEARCH, 2009.
- 2) 阪 彩香, 桑原 輝隆, 科学研究のベンチマーキング2012 -論文分析でみる世界の研究活動の変化と日本の状況-, 文部科学省 科学技術政策研究所, 2013年3月.
- 3) 平成26年版 情報通信白書, 総務省, 平成26年.
- 4) 蔵川 圭, 武田 英明, 研究者識別子 ORCID の取り組み, 情報管理, doi:10.1241/johokanri.54.622, 2011, Vol. 54, No. 10.
- 5) 武田英明, 機関リポジトリと DOI ~研究データ流通を支える情報基盤とは~
http://www.nii.ac.jp/sparc/event/2014/pdf/20150309_4.pdf.
- 6) [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/\(ISSN\)2049-6060](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/(ISSN)2049-6060)
- 7) <http://www.nature.com/sdata/>.
- 8) <http://www.earth-system-science-data.net/>.
- 9) <http://www.journals.elsevier.com/data-in-brief/>.
- 10) 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, 2012, 113-120.
- 11) 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, doi:10.2481/dsj.WDS-030, 2013, WDS179-WDS184.
- 12) 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ためのメタデータ・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, 2012, 99-104.
- 13) トム・ヒース, クリスチャン・バイツァー著, 武田 英明(監訳), 大向 一輝(訳), 加藤 文彦(訳), 嘉村 哲郎(訳), 亀田 堯宙(訳), 小出 誠二(訳), 深見 嘉明(訳), 松村 冬子(訳), 南 佳孝(訳), Linked Data: Web をグローバルなデータ空間にする仕組み, 近代科学社, ISBN-

- 13:978-4764904279, 2013.
- 14) 田中 良昌, 新堀 淳樹, 鍵谷 将人, 堀 智昭, 阿部 修司, 小山 幸伸, 林 寛生, 吉田 大紀, 河野 貴久, 上野 悟, 金田 直樹, 米田 瑞生, 田所 裕康, 元場 哲郎, 三好 由純, 関 華奈子, 宮下 幸長, 瀬川 朋紀, 小川 泰信, IUGONET 解析ソフトウェアの開発, 宇宙科学情報解析論文誌 第1号, JAXA-RR-11-007, 2012, 91-98.
 - 15) 田中 良昌, 新堀 淳樹, 梅村 宜生, 堀 智昭, 阿部 修司, 小山 幸伸, 林 寛生, 上野 悟, 佐藤 由佳, 谷田 貝 亜紀代, 小川 泰信, 三好 由純, 関 華奈子, 宮下 幸長, 瀬川 朋紀, IUGONET 解析ソフトウェアの現状と今後の発展, 宇宙科学情報解析論文誌 第2号, JAXA-RR-12-006, 2013, 63-70.
 - 16) Tanaka, Y., A. Shinbori, T. Hori, Y. Koyama, S. Abe, N. Umemura, Y. Sato, M. Yagi, S. Ueno, A. Yatagai, Y. Ogawa, and Y. Miyoshi, Analysis software for upper atmospheric data developed by the IUGONET project and its application to polar science, *Adv. Polar Sci.*, 24, doi:10.3724/SP.J.1085.2013.00231, 2013, 231-240.
 - 17) <http://themis.ssl.berkeley.edu/software.shtml>.
 - 18) Hori, T., M. Miyashita, M. Miyoshi, K. Seki, T. Segawa, Y. M. Tanaka, K. Keika, M. Shoji, I. Shinohara, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Abe, A. Yoshikawa, K. Yumoto, Y. Obana, N. Nishitani, A. S. Yukimatsu, T. Nagatsuma, M. Kunitake, K. Hosokawa, Y. Ogawa, K. T. Murata, M. Nose, H. Kawano, and T. Sakanoi, CDF data archive and integrated data analysis platform for ERG-related ground data developed by ERG Science Center (ERG-SC), 宇宙科学解析論文誌 第4号, 2015, 75-89.
 - 19) <https://www.eiscat.se/>.
 - 20) <http://magdas.serc.kyushu-u.ac.jp/>.
 - 21) <http://sohowww.nascom.nasa.gov/solarsoft/>.
 - 22) <https://github.com/koyamalmsteen/JudasFX/>.
 - 23) <http://geotools.org/>.
 - 24) <https://commons.apache.org/proper/commons-math/>.
 - 25) <http://heim.ifi.uio.no/~trygver/themes/mvc/mvc-index.html>.
 - 26) <http://opencv.org/>.
 - 27) 小林 賢, ジャパンリンクセンター「研究データへの登録実験プロジェクト」中間報告会, Vol. 58, No. 6, doi:10.1241/johokanri.58.485, 情報管理, 2015, 485-488.