

地球惑星科学分野のクイックルックサービス

今井 弘二^{*1}, 海老沢 研^{*1}, 池田 大輔^{*2}, 北尾 大介^{*2}

Quick look service for geoscience

Koji Imai^{*1}, Ken Ebisawa^{*1}, Daisuke Ikeda^{*2}, Daisuke Kitao^{*2}

Abstract

It is important to progress cross-cutting researches in geoscience to understand how the various geophysical phenomena have influence on each other. However, it is not easy to check scientific data for geoscientist in other fields because each area has been developing independently. Therefore, we had built a new web service, C3 (Cross-Cutting Comparisons) for promotion of the data utilization. By the interactive interface, C3 reduces distances between the fields in geoscience and provides a quick look viewer. This article describes the system summary and features of the service.

Keywords: Geoscience, Web service, Quick look, Cross-cutting research

概 要

太陽から人類生存圏までの空間における様々な現象が、どのように影響を及ぼし合っているのかを把握するためには、地球惑星科学における多分野のデータを用いた複合研究を進める必要がある。しかしながら、各分野は独自の進歩を遂げてきたために、それらのデータを確認することさえ容易ではない。そこで我々は、地球惑星科学分野におけるデータ利用を促進するためのウェブサービス C3 (Cross-Cutting Comparisons) の開発を進めている。そのインタラクティブな操作性によって異分野間の隔たりを緩和し、多様なデータを確認できるビューワを提供している。本稿では、そのシステムの概要とサービスの特徴について記述する。

キーワード：地球惑星科学，ウェブサービス，クイックルック，分野横断型研究

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

^{*1} 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
(Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science)

^{*2} 九州大学大学院システム情報科学 研究院・学府
(Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University)

1 はじめに

地球温暖化やそれに伴う異常気象がますます問題視される中、地球の環境変化をもたらす様々な要因を把握することは、人類の最大課題の一つである。その環境変化の内、人類の活動に影響を与える気象や気候の変化は、主に人類の生存圏に要因があると考えられてきた。しかしながら、近年はそれよりも上層における微量分子の変動や、更には太陽活動の変化も様々な過程を経て下層大気に影響を及ぼすとの認識が深まってきている^{1,2)} (図1)。特に現在の太陽活動は、従来の予想と異なる振る舞いをしており、その変動がもたらす地球大気を構成する因子への影響に、より一層の関心が高まっている。

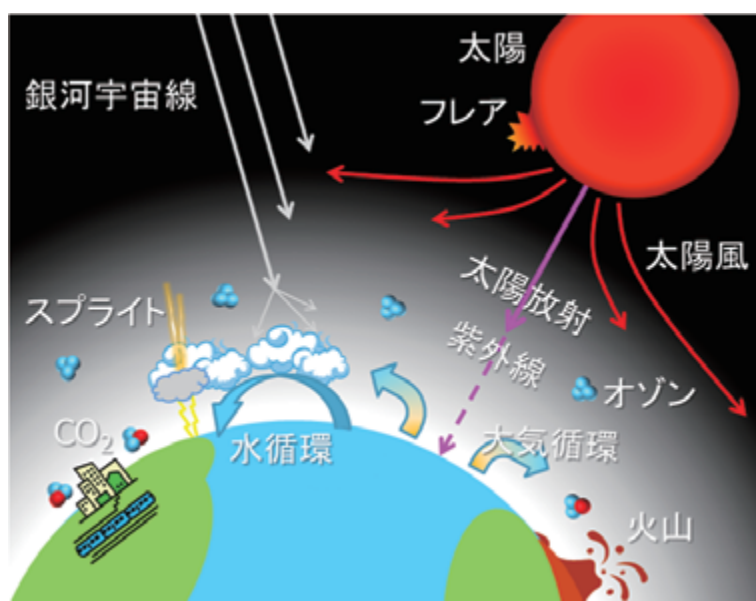


図1 太陽地球環境の模式図

一方、上層大気では太陽活動だけではなく、人類生存圏の諸現象（地震や雷放電、火山活動など）や、人為起因の大気汚染の影響も受けていることが示唆されている^{3,4,5,6)} (図1)。このように、太陽から人類生存圏までの空間（太陽地球環境）は様々な因子が複雑に絡み合っているため、その空間を一つの複合系として理解するためには、地球惑星科学における多分野（太陽物理学や大気科学、地質学など）の知識やデータを総動員した分野横断型の複合研究を進める必要がある（以下、特に断りがなければ地球惑星科学における分野横断型の研究を分野横断研究と略記する）。

太陽地球環境内で起きる突発現象や長期変動がもたらす影響を捉えるためには、その物理・化学素過程を様々な時間・空間スケールに分解して調査する必要がある。また、分野横断研究は膨大なデータから異なる物理量（太陽光量やオゾン濃度、震源の大きさなど）の因果関係を調べるため、それらのデータを柔軟かつ効率よく取り扱えることが望ましい。しかしながら、地球惑星科学は高まる専門性とともに分野が細分化され、各分野が独自に進歩を遂げてきたために、複数の分野のデータを確認することさえ容易ではない。例えば、観測データは測定を行った各機関で管理されていることが多く、異分野の研究者には、それらのデータの所在すら把握できないため、特定分野の研究だけの利用に留

まっている。また、主流なデータ形式は分野ごとに異なり、現象によってデータの可視化方法も異なるため、複数の分野のデータを確認するには、各分野の専用の読み出しツールやビューワなどを用意する必要がある。したがって、地球惑星科学分野におけるデータ利用の促進、ひいては分野横断研究を推進させるためには、次に示す研究インフラの整備を行い、データを素早く確認するためのシステム（本稿ではこれをクイックルックと呼ぶ）を構築し、広く一般に提供する必要がある。

【地球惑星科学分野におけるデータ利用を促進するための課題】

- ① 点在するデータの（所在の）一元管理
- ② 多様なデータ形式への対応
- ③ 様々な現象を柔軟に表現するビューワの提供

この問題を解決するために、各機関が蓄積した観測データのパラメータ（観測位置や時刻、測器の種類、データ形式などのメタ情報）を、インターネットを介して共有するシステム（Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork; IUGONET⁷⁾）が構築されている。しかし、その研究領域は主に超高層大気限定されているため、更なる領域の拡張が必要である。また、IUGONET は多機能な統合解析ソフト⁸⁾も開発されているが、その機能を十分に利用するためには、商用のデータ解析用プログラミング言語（Interactive Data Language; IDL）を利用する必要があり、異分野の研究者や学生にとっては手を出し難いのが実情である。

そこで我々は、地球惑星科学分野の全体を対象にしたライセンスフリーのクイックルックサービス C3（Cross-Cutting Comparisons）の開発に着手した。C3 は段階的な開発を進めており、既にサービスの一部を宇宙科学研究所のデータアーカイブ（Data ARchives and Transmission System; DARTS^{9,10,11)}）から一般に公開している。本稿では、上記の研究インフラの課題①、②に対処するためのシステムの概要を第 2 章に、第 3 章に課題③を解決するために工夫したサービスの特徴と今後の課題について記述する。

2 システムの概要

2.1 システム構成

C3 はデータサーバとウェブサーバで構成している（図 2）。データサーバには各分野の標準であり、かつ公開されているデータから定期的に格納している。一方、ウェブサーバは複数のマシンがあり、ウェブ関連のプログラムや文書をリポジトリ管理している。また、各マシンはデータサーバにある同じデータをマウントしている。

C3 の開発者がコミットした内容は、DARTS 運用者を通じて開発マシンから試験マシンに反映し、試験マシンで動作確認を行った後に公開している。公開マシン以外はインターネットから切り離しており、厳重に管理している。

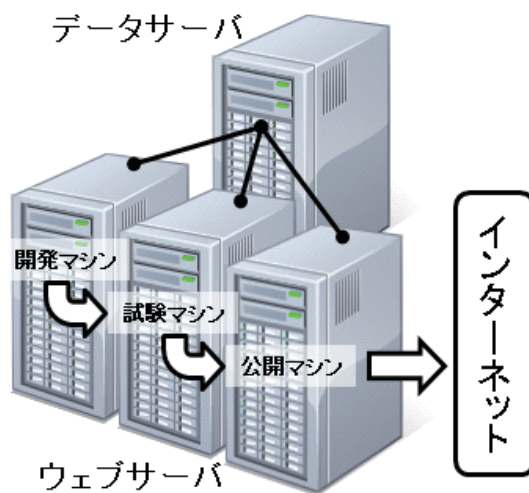


図2 システムの概要図

2.2 独自のデータファイルの管理

地球惑星科学分野のデータは1日単位でまとめられている場合が多いという点に着目し、C3では1日単位のデータファイルを取り扱っている。データ形式はアスキーとし、読み出し処理の短縮を図っている。また、そのファイルは図3に示すツリー構造で管理しており、データのパラメータを選択するインターフェースと一対一対応させている（3.2節を参照）。

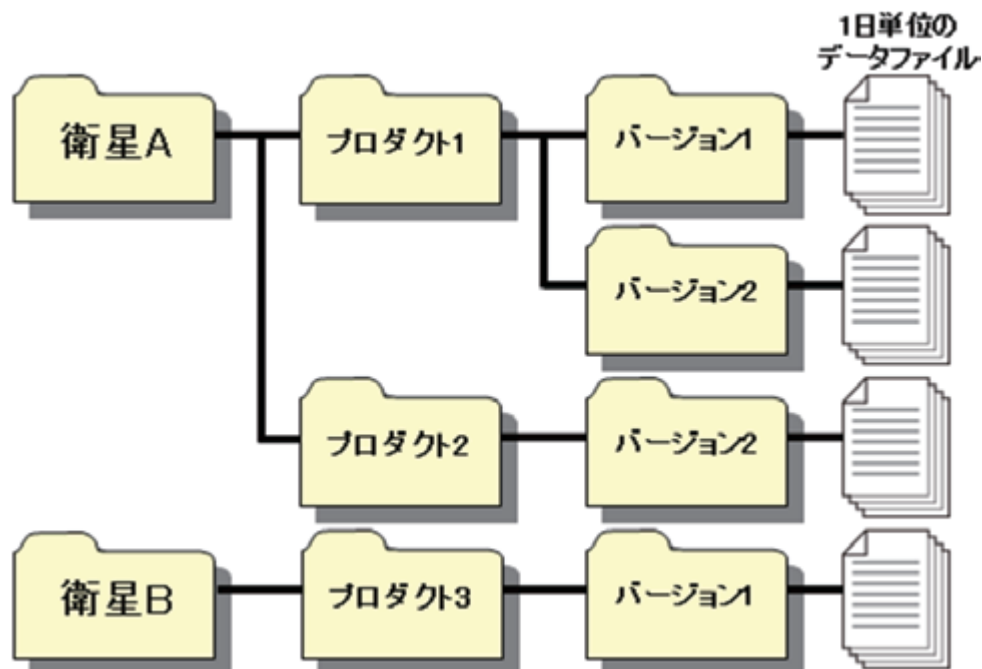


図3 データファイルの管理構成

2.3 通信処理の流れ

C3 はユーザからの多量のリクエストを処理するために、ユーザが入力したリクエストの確認とデータの可視化をクライアント側で行っている（図 4）。一方、リクエストに対するデータ処理・解析はウェブサーバで行い、その結果をクライアントに送信している。これによって、クライアントとサーバ間の通信は、1つのリクエストに対して1回のレスポンスで済み、ネットワークの通信速度による遅延を避け、サーバの負荷も低減させている。

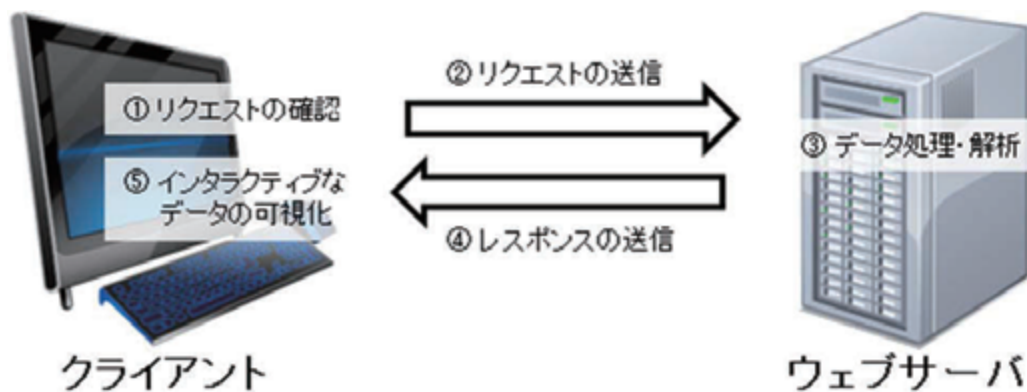


図 4 通信処理の流れ

図中の通し番号は、ユーザがデータを選択し、可視化するまでの一連の順序である。

3 サービスの特徴と課題

C3 は既に地球惑星科学における 4 つの分野のデータを取り扱っており（表 1）、その他の分野（例えば超高層大気科学や大気電気学）のデータも順次追加する予定である。この章では、それらの多分野の膨大な情報量を分かり易く提供するためにした工夫を 3.1, 3.2 節に、多様なデータを如何に柔軟に表現しているかを 3.3 節に、そして C3 を利用することで得られる情報の新たな管理と共有手段を 3.4 節に記述し、サービスを拡張するための今後の課題については 3.5 節にまとめている。

表 1 C3 が取り扱うデータセット（2015 年 7 月時点）

分野	プロダクト	データセット名
太陽物理学	全太陽放射照度, マグネシウム II	SORCE ¹²⁾
月惑星科学	日食（最大食の様子, 影の様子）	Fred Espenak ¹³⁾
大気科学	大気温度, 大気微量成分	ACE-FTS ¹⁴⁾ , SMILES ¹⁵⁾
地震科学	マグニチュード, 震源の深さ	USGS ¹⁶⁾

3.1 ポップアップの説明表示

提供するサービスの機能が十分に利活用されるためには、それ相応の説明が必要である。しかしながら、多分野の情報を扱うサービスの場合は、専門用語が多いため、マニュアルの該当箇所を探しながら使用するには不便であり、良いクイックルックサービスとは言えない。そこで C3 はポップアップ機能を導入している。C3 のユーザインタフェースには、随所にインフォメーションマークのアイコンを設置しており、マウスカーソルを重ねる（オンマウス）によってその個所の説明を画面表示させている（図 5）。これは多くのウェブサービスでも活用されている機能であり、多分野を扱うウェブサービスにとっても、ユーザインタフェースをシンプルに保ちつつ、ユーザの必要な情報だけを瞬時に提供する有効な手法である。

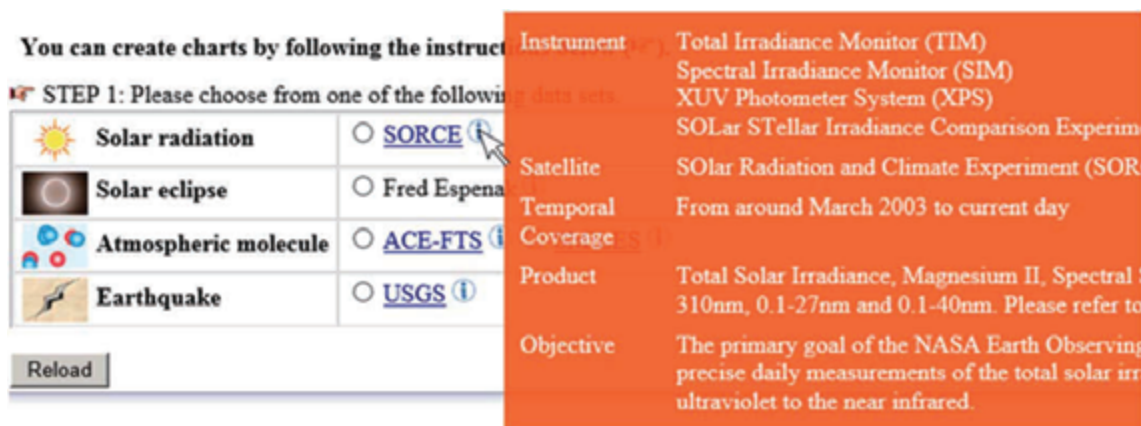


図 5 ポップアップの説明表示

インフォメーションマークにオンマウスして、説明文（図中の橙枠）をポップアップで表示させている様子。

3.2 誘導的な入力フォーム

一般的なクイックルックサービス^{17,18)}は、ブラウザにデータを可視化するために、まずそのデータを選択/入力し、次にそのデータに付随するパラメータを選択/入力する必要がある。したがって、利用可能なデータや図のタイプを豊富にすればするほど、パラメータの指定項目は増えるため、入力フォームは煩雑となってしまう。これは多様なデータを取り扱うウェブサービスにとっては致命的であり、如何にシンプルな入力フォームを設計するかが大きな課題である。

しかしながら、パラメータを減らしてシンプルなインターフェースにした場合、簡易な操作は実現できるが、使用できるデータや機能を制限しなければならない。また、シンプルなインターフェースとして WolframAlpha¹⁹⁾が挙げられるが、シンプル過ぎるインターフェースでは、ユーザにとってどのようなサービスが利用できるのか分かり難い。

このように、ウェブサービスは“豊富な機能”と“簡易な操作性”のジレンマに陥りがちである。そこで我々は、データファイルがツリー構造で管理できることに着目し（2.1 節を参照）、パラメータの選択/入力も同じ階層構造とし、動的 HTML（サーバから HTML を改めてロードすることなく、ユーザの要求に応じて動的に HTML を書き換える）技術を利用した誘導的な操作性を実装している。

図 6 (a) は C3 が提供するインターフェース、図 6 (b) はパラメータの階層遷移を示している。初

期画面はデータセットの選択であり、ユーザの選択に従って、次の入力フォーム（STEP 2）が表示され、そこで入力された内容に従って、その次の入力フォーム（STEP 3）が表示される。このように誘導的な操作性によって、ユーザの入力を支援するだけでなく、画面には必要な情報しか表示されないため、シンプルなインターフェースも提供している。また、データファイルが同じ構造で管理されているため、ユーザはデータファイルを直接選択することになり、データ検索の高速化も実現している。

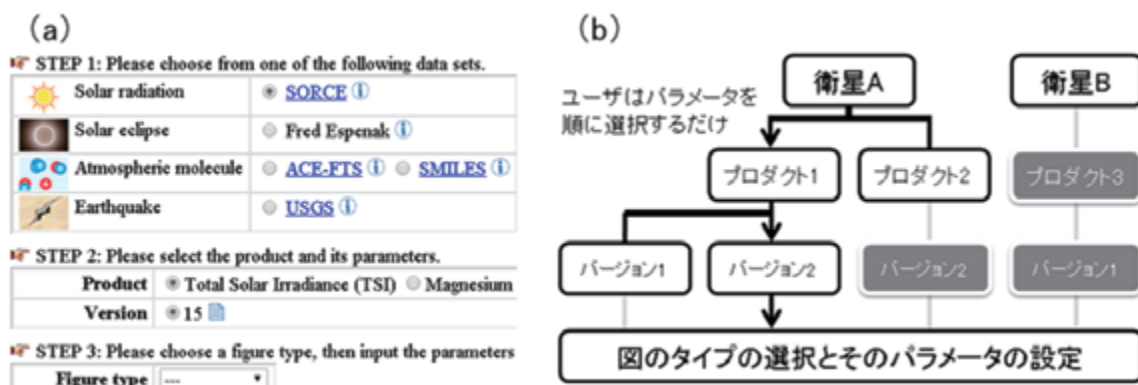


図 6 (a) データとパラメータの選択画面と (b) その階層遷移を示した簡易設計

(b)の矢印はユーザの選択フローを示している。また、黒文字は画面に表示されるパラメータ、白文字はユーザが選択しなければ表示されないパラメータである。

3.3 多様なデータを柔軟に可視化

1 章に記述したように、太陽地球環境内で起きる突発現象や長期変動が他にもたらす影響を捉えるためには、その物理・化学素過程を様々な時間・空間スケールに表現するビューワが必要である。そのため、C3ではHTMLとJavaScriptベースのライブラリの一つ、Highcharts²⁰⁾を利用してデータを可視化している。図7の(a)から(d)はC3が提供する図の例である。図に示すように、点、直線、面、そして立体の表現ができるため、ほとんどの科学データの可視化が可能である。また、ユーザが作成した図は様々なファイル形式（PNGやJPEG、PDF、SVG）で出力することもできる。

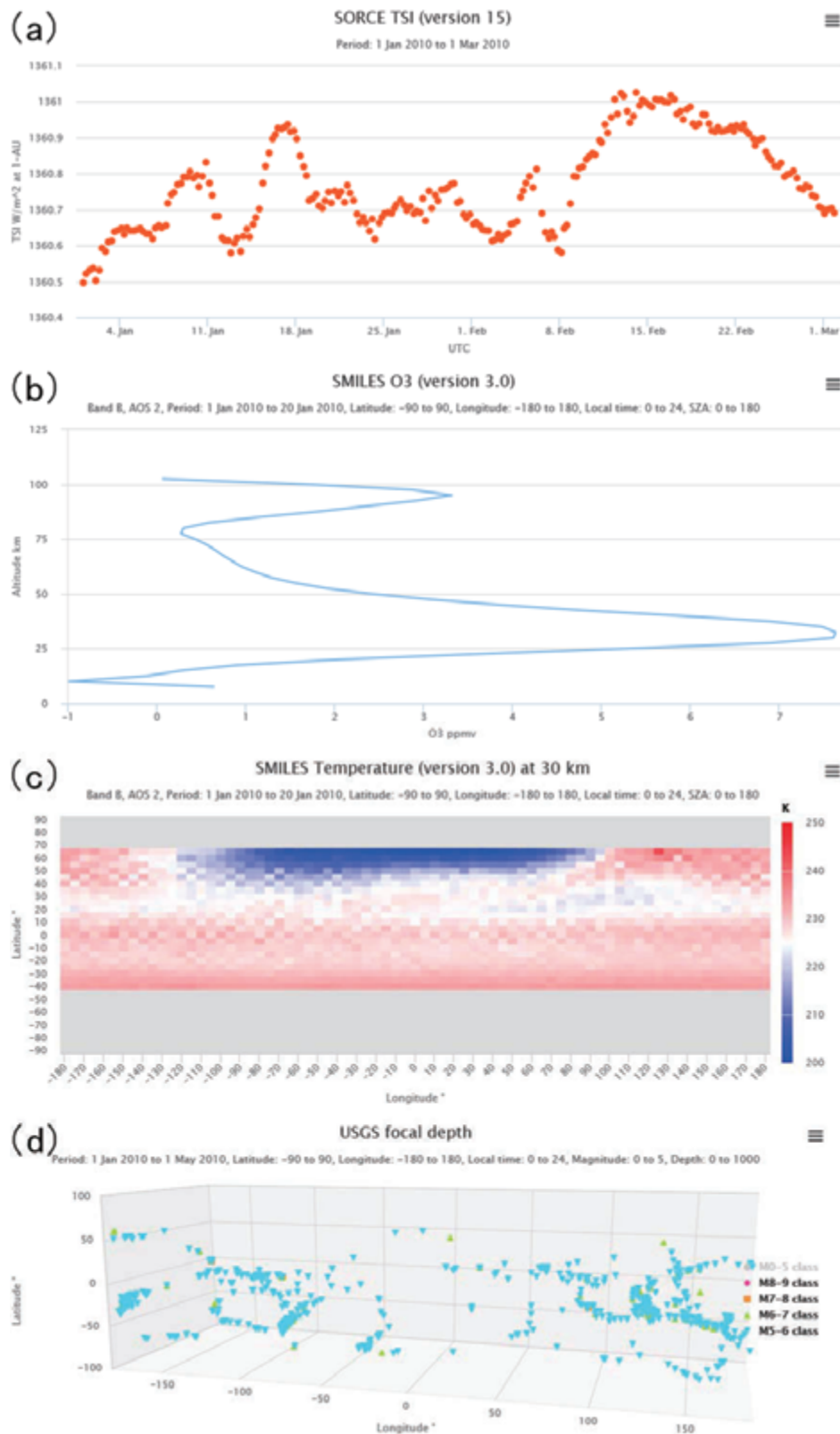


図7 C3が提供する図の例1：(a) 太陽活動の様子，(b) オゾンの高度分布，
(c) 温度の緯度経度断面図，(d) 震源の深さ

次に C3 を活用した分野横断研究の一例として、太陽放射量の変化がもたらす大気オゾンへの影響を、日食を利用して調査した内容²¹⁾を紹介する。図 8 (a) は 2010 年 1 月 15 日の日食の時に地球に投影された月の影の様子を示しており、図 8 (b) は、その時の大気科学センサ SMILES の観測点を示している。そして、図 8 (a) と (b) を比較することで、日食時に月の影となった領域を SMILES が観測していたことが分かる。このように複数の図（ウィンドウ）を並べることによって、異なる（ここでは月惑星科学と大気科学の）データを比較することができる。

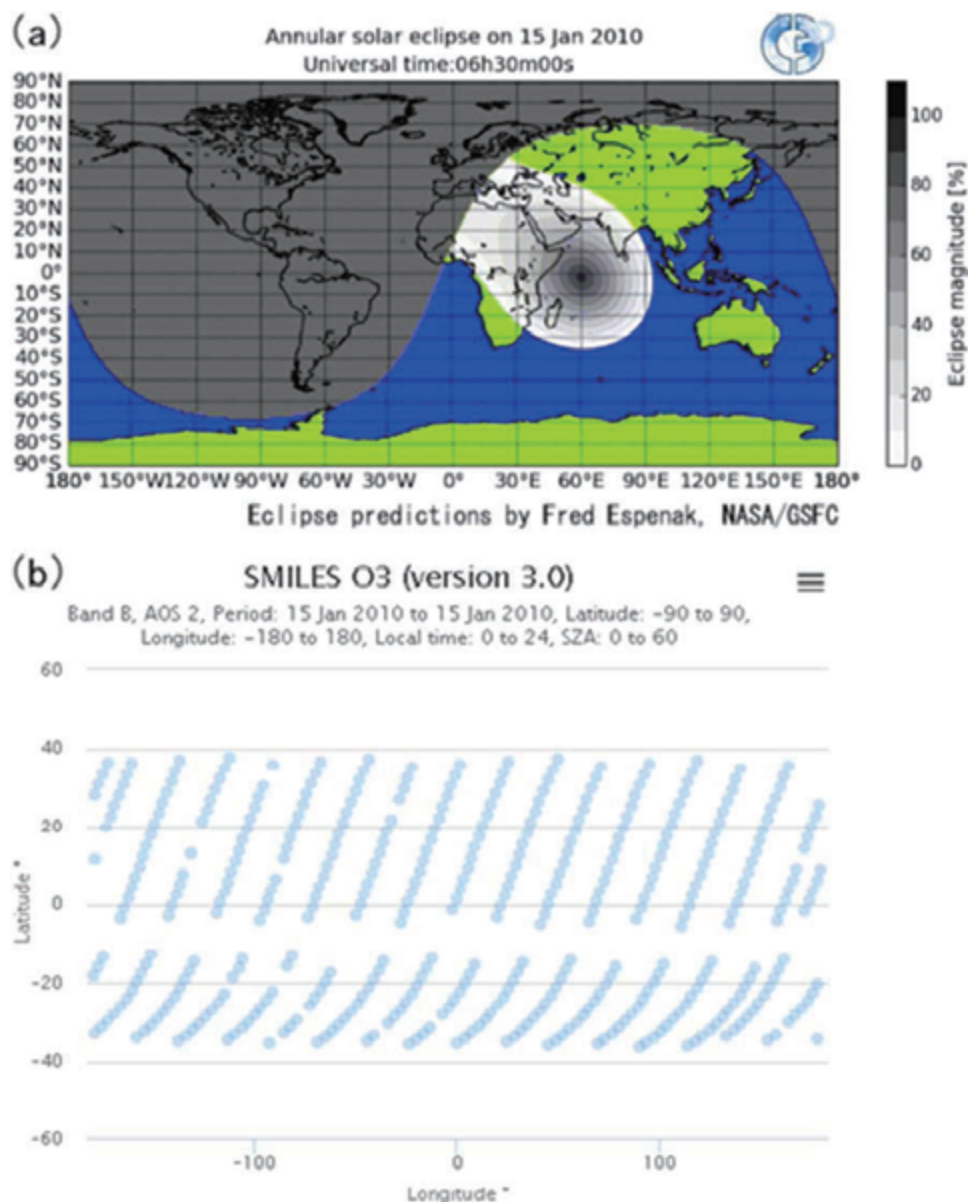


図 8 C3 が提供する図の例 2: (a) 日食時の月の影の様子, (b) SMILES の観測点
(a) のグレースケールは食分率を表している。(b) 青丸印は SMILES の観測点である。

続いて図9は図8に示したSMILESの観測データで、日食時の減光に伴い高度60 kmのオゾン混合比が増加した様子を示している。図に示すように、より詳細に見たい範囲をドラッグすることで、その領域がズームアップされ、さらにデータ点にオンマウスすることで、その他の情報（例えば観測日時や観測値など）も知ることができる。このようなインタラクティブな操作性もC3が提供するビューワの特徴であり、様々な現象を柔軟に表現している。

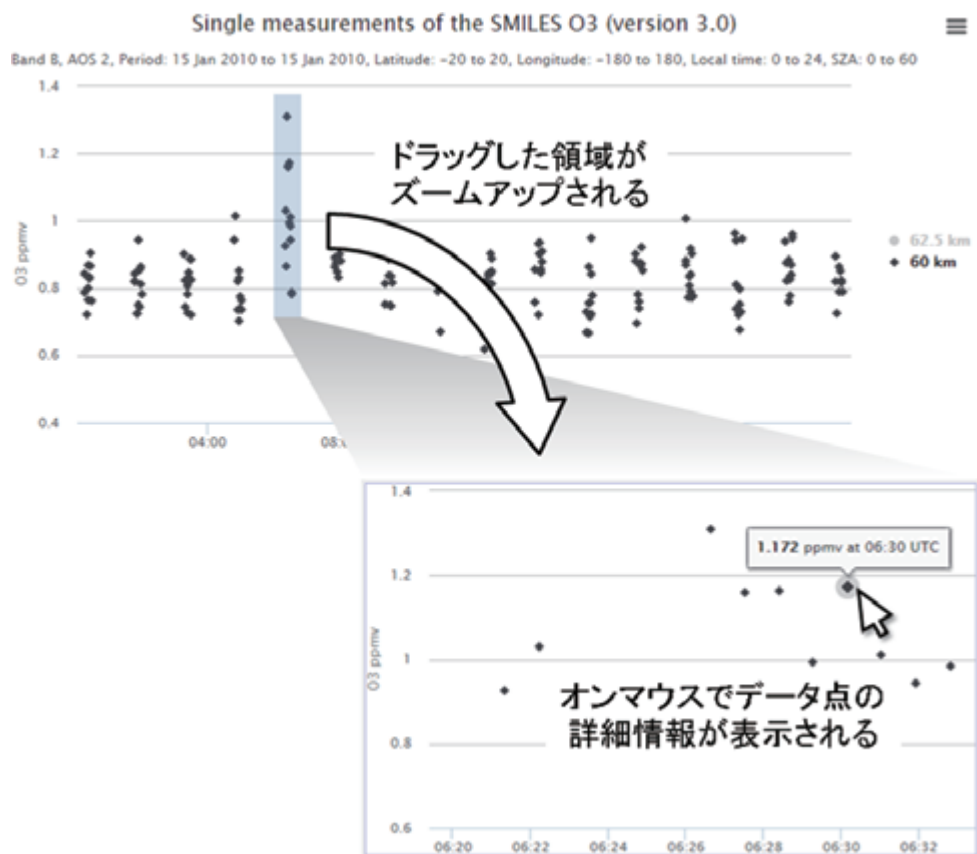


図9 C3が提供する図の例3：日食時のオゾン混合比を調べている様子

3.4 クエリ文字列の活用

広く自然科学の研究では、ある現象の理解を深めるために図を利用するが、分野横断研究では、より多量の図を必要とするため、それらの図の管理が難しくなることがある（図 10a）。また、それらの資料を共同研究者と共有するのはなおのこと困難である。そこで、この問題を解決するために、C3 で作成される全ての図には、ブラウザのアドレスバーに URL のクエリ文字列を付けている。そのクエリは CGI プログラムの命令文であり、同じクエリを用いれば、いつでもブラウザに同じ図を再現することができる。また、クエリは単なる文字列であるため、ハイパーテキストのようにリンクとして文書ファイルにまとめれば（図 10b）、図の内容をファイル名だけで識別する必要がなくなり、図の保存がなくなる分だけデータ容量も抑えられる。さらに、クエリは Twitter などのテキストベースの通信サービスを利用して発信できるため、共同研究者との情報共有の新たな手段としても有効である（図 11）。

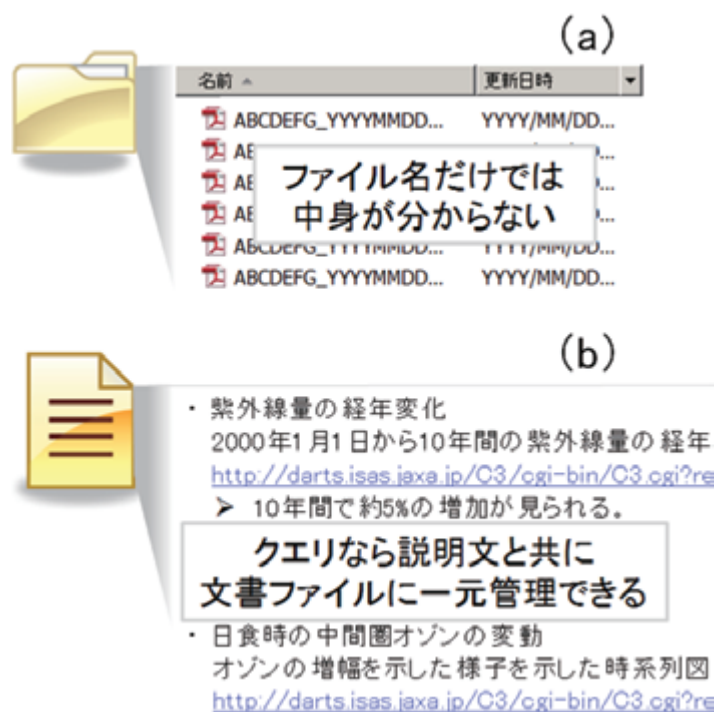


図 10 (a) 画像ファイルの一覧と (b) クエリの管理例

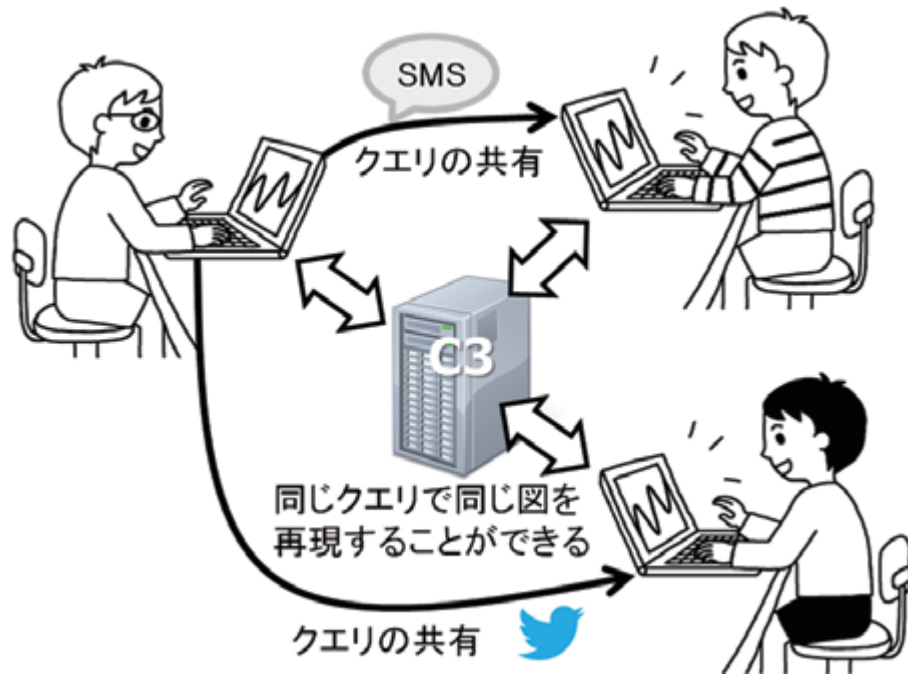


図 11 クエリの共有による同じ図の再現

3.5 サービスの課題と解決策

3.5.1 より直観的なインターフェース

現在、C3は地球惑星科学における4つの分野のデータを取り扱っているが、その数が増えることを想定してインターフェースにも工夫を凝らしている。例えば、各分野にはイラストを付けており、その順番を地球の地表面から高い順（つまり上から太陽、大気、地震）としている。また、インターフェースにはデータセット名を明記しているため、そのデータを頻繁に使うユーザにとっては効率的である（図5、図6（a）を参照）。しかしながら、それらのデータセットに馴染みのないユーザにとっては、数が増えるにつれインターフェースが煩雑に感じると想像される。

そこで、より直観的なインターフェースとして、データセットを画像から選択する機能を追加することを予定している。図12はそのデザイン案を示している。画像に記載されている現象名や物質名にオンマウスすることで、そのデータを取り扱うデータセット名がポップアップで表示されるため、データセットを知らなくてもデータの確認ができる仕組みである。

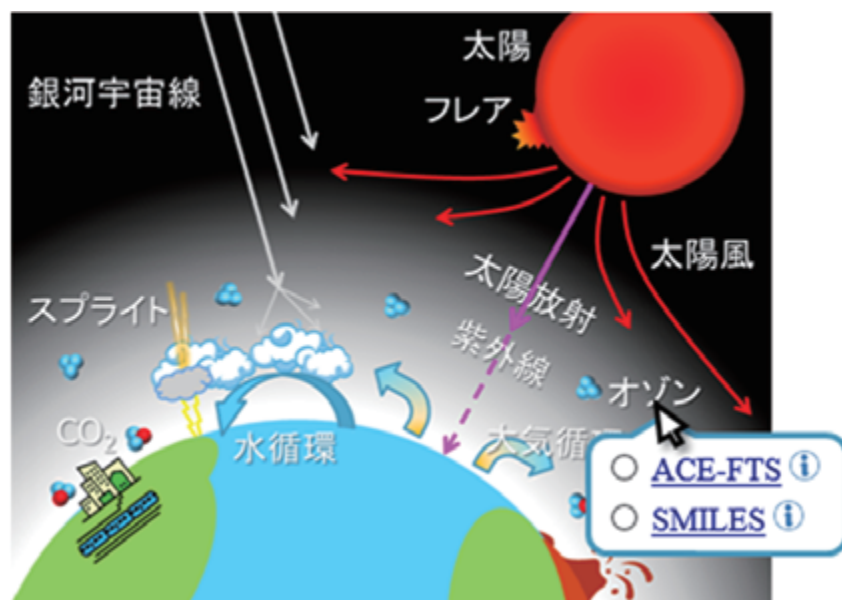


図12 より直観的なインターフェース

画像中の物質名（オゾン）にオンマウスして、データセット（ACE-FTS と SMILES）を表示させている様子。

3.5.2 非公開データの取り扱い

C3には地球惑星科学における各分野で標準的なデータから追加しているが、そのデータはユーザの使用用途を制限しないために、公開されているものに限定している。また、2.1 節に記載したように、セキュリティの問題上、データサーバはインターネットから切り離しているため、ユーザが個人的に持つような公開されていないデータに関しては、C3を用いて可視化することはできない。この問題を解決するために、ローカルファイルを（データサーバにアップロードするのではなく）、C3に（CSVやJSONなどのアスキー）ファイルを読み込む機能を実装し、ユーザのブラウザで取り扱えるようにすることを検討している。これによって、C3が提供するデータとの比較やビューワの利用が実現される。

3.5.3 共同の研究ノート

大気化学にみられる連鎖反応のように、太陽地球環境内における多くの現象は、大気を構成する様々な要素に伝搬し、巡り巡ってそのもの自身にも影響を与えるため、ある特定の分野だけでは研究を完結することはできず、分野間の連携が極めて重要である。そのためC3は、コラボレーションツールとして、分野間の隔たりのない共用のウェブページを開設する予定である。これは3.4節に記述したハイパーテキストの拡張であり、Wikiのように自由に文章の閲覧や編集ができるだけでなく、ページ上のクエリを変更することによって、図の編集も行える。まさに“共同の研究ノート”である。これによって、分野間の知識が共有され、研究がよりスムーズに推進されると考える。ただし、このようなユーザ参加型のサービスにはセキュリティ上の問題があるため、アカウントの認証、もしくはIPアドレスと変更箇所を記録する必要があるため、セキュリティと利便性のトレードオフが課題である。

4 まとめ

我々は地球惑星科学分野におけるデータ利用を促進すべく、ウェブサービス C3 の開発を進めている。そのインタラクティブな操作性によってユーザの入力を支援し、多様なデータを柔軟に可視化するビューワを提供している。C3 はライセンスフリーであるため、一般ユーザの即時利用が可能である。(まだ開発途上ではあるが) その便利さ故に、研究者だけでなく、教育機関や一般にも利用され、公開して約 1 年間でユーザ数は 600 名を突破している(2015 年 7 月時点)。C3 によって太陽地球環境の総合的な理解が大きく前進することを期待している。

謝辞

C3 は宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所、科学衛星運用・データ利用センター(C-SODA)、京都大学生存圏研究所(RISH)・生存圏科学萌芽研究からの助成を受けて実施しています。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Shindell, D., D. Rind, N. Balachandran, J. Lean, and P. Lonergan, Solar cycle variability, ozone, and climate. *Science*, 284, 305-308, 1999, doi:10.1126/science.284.5412.305.
- 2) Meehl, G. A., J. M. Arblaster, K. Matthes, F. Sassi, and H. van Loon, Amplifying the Pacific Climate System Response to a Small 11-Year Solar Cycle Forcing, *Science* 325, 5944, 1114, 2009, doi:10.1126/science.1172872.
- 3) Ouzounov, D., S. Pulinet, A. Romanov, A. Romanov, K. Tsybulya, D. Davidenko, M. Kafatos, P. Taylor, Atmosphere-ionosphere response to the M9 Tohoku earthquake revealed by multi-instrument space-borne and ground observations: Preliminary results, *Earthquake Science*, 24, 6, 557-564, 2011, doi:10.1007/s11589-011-0817-z.
- 4) Arnone, E., A. K. Smith, C.-F. Enell, A. Kero, and B. M. Dinelli, WACCM climate chemistry sensitivity to sprite perturbations, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 6958-6970, 2014, doi:10.1002/2013JD020825.
- 5) Prenni, A. J., P. J. DeMott, A. P. Sullivan, R. C. Sullivan, S. M. Kreidenweis, and D. C. Rogers, Biomass burning as a potential source for atmospheric ice nuclei: Western wildfires and prescribed burns, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L11805, 2012, doi:10.1029/2012GL051915.
- 6) Petersen, G. N., H. Bjornsson, and P. Arason, The impact of the atmosphere on the Eyjafjallajökull 2010 eruption plume, *J. Geophys. Res.*, 2012, 117, D00U07, doi:10.1029/2011JD016762.
- 7) Yatagai, A., Y. Tanaka, S. Abe, A. Shinbori, M. Yagi, S. UeNo, Y. Koyama, N. Umemura, M. Nose, T. Hori, Y. Sato, N. O. Hashiguchi, N. Kaneda and IUGONET project team, Interuniversity upper atmosphere global observation network (IUGONET) metadata database and analysis software, *Data Sci. J.*, 13, PDA37-PDA43, 2014.
- 8) 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*, 1, 91-98, 2012.
- 9) Miura, A., I. Shinohara, K. Matsuzaki, F. Nagase, H. Negoro, S. Uno, et al., In: Manset, N., Veillet, C., Crabtree, D. (eds) *Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) IX*, ASP Conf. Ser.,

- 216, 180, 2000.
- 10) Tamura, T., H. Baba, K. Matsuzaki; A. Miura; I. Shinohara, F. Nagase, M. Fukushi; K. Uchida, Data Archive and Transfer System (DARTS) of ISAS, ASP Conf. Ser. 314, ADASS XIII, ed. F. Ochsenbein, M. Allen & D. Egret (San Francisco: ASP), 22, 2004.
 - 11) <http://www.darts.isas.jaxa.jp/>
 - 12) Rottman, G., The SORCE Mission, *Solar Phys.*, 230, 1, 7-25, 2005.
 - 13) <http://www.mreclipse.com/>
 - 14) Bernath, P., et al., Atmospheric Chemistry Experiment (ACE): Mission overview, *Geophys. Res. Lett.* 32, L15S01, 2005.
 - 15) Kikuchi, K. et al., Overview and Early Results of the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES), *J. Geophys. Res.*, 115, D23306, 2010, doi:10.1029/2010JD014379.
 - 16) <http://www.usgs.gov/>
 - 17) <http://lasp.colorado.edu/home/sorce/data/>
 - 18) <http://mls.jpl.nasa.gov/>
 - 19) <http://www.wolframalpha.com/>
 - 20) <http://www.highcharts.com/>
 - 21) Imai, K., T. Imamura, K. Takahashi, H. Akiyoshi, Y. Yamashita, M. Suzuki, K. Ebisawa and M. Shiotani, SMILES observations of mesospheric ozone during the solar eclipse, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 2015, doi:10.1002/2015GL063323.