

WebGLによる「はやぶさ2」「あかつき」のリアルタイム軌道可視化

柏井 勇魚*1, 宮崎 剛*2

Visualization of “Hayabusa2” and “Akatsuki” trajectories with WebGL in real-time

Isana kashiwai, Go Miyazaki

概略

筆者らは、2015年12月3日の「はやぶさ2」の地球スイングバイ、ならびに2015年12月7日の「あかつき」の金星軌道投入に際して、JAXA/ISASなどから一般向けに提供されている軌道データを利用して、Webブラウザ上でのリアルタイム可視化を試みた。

Abstract

We have developed real-time visualization tools on web browsers for “Hayabusa 2” Earth Swing-by at 3, Dec, 2015 and “Akatsuki” Venus orbit insertion at 7, Dec 2015. These simulations used the data which is open to the public released by JAXA / ISAS or other sources.

Keywords

Data Visualization, Education, Outreach, Science Communication

キーワード

データ可視化, 教育, アウトリーチ, サイエンス・コミュニケーション

doi: 10.20637/JAXA-RR-16-007/0011

* 平成28年11月24日受付 (Received November 24, 2016)

*1 isana.k@gmail.com (個人プロジェクトのため連絡先としてE-mailアドレスを示す)

*2 wilhaftarkin@gmail.com (同上)

1. はじめに

本プロジェクトは、2015年12月3日の「はやぶさ2」の地球スイングバイ¹⁾、ならびに2015年12月7日の「あかつき」の金星軌道投入²⁾に際し、探査機の軌道、姿勢、位置などをユーザーが視点などを変更できるインタラクティブな3D表現によって、実際のミッションの進行と同時刻にWebブラウザ上で再現するものである。

Webブラウザ上での再現を行ったのは、ほぼすべてのパソコンにインストールされ、ごく一般的に利用されているソフトウェア上で探査機の位置や姿勢などをリアルタイムで提示することにより、誰でも手軽にこれらの情報にアクセスすることができ、またストリーミングによる動画中継、SNSなどを通じた速報などと合わせ、コミュニケーションのツールとして利用されることで、イベントとしての一体感を産み、こうしたイベントを通じてユーザー同士のつながりが得られるであろうと考えたためである。

探査機の軌道投入などを可視化する一般向けのツールとしては、NASAが提供するNASA's Eyes³⁾、AGI社のSTK Viewer⁴⁾などがあるが、いずれもソフトウェアのインストールを必要とし、Webブラウザ上では動作しない。また、動画中継などでこうした可視化ソフトウェアを利用した位置情報の提供なども行われているが、ユーザーによる視点の変更などのインタラクティブ性はない。本稿執筆時点では、ブラウザ上での探査機のリアルタイムシミュレーションは本プロジェクトがほぼ唯一の例であると思われる。

2. データの入手先

筆者らは当該プロジェクトとは直接の関わりのない外部の人間であるため、探査機の位置や姿勢などについては、Webサイトやアーカイブなどで一般に公開されているデータを利用した。

2.1 位置

一般向けに公開されている探査機などの位置データ入手先は、主に以下のようなものがあげられる。本プロジェクトではこれらのデータを併用する形で使用している。

- a) JPL HORIZONS⁵⁾
- b) JAXA DARTS (SPICE カーネル) ⁶⁾
- c) プロジェクト公式サイト等

a) JPL HORIZONS は NASA/JPL の軌道設計・ナビゲーション部門が運用している軌道データのデータベースであり、各惑星をはじめとする太陽系内天体の精密な軌道データならびに探査機などの人工天体の軌道データが入手できる。主に NASA の探査機のデータが公開されているが、「はやぶさ」, 「はやぶさ 2」, 「あかつき」など一部日本の探査機のデータも含まれている。

b) JAXA のサイエンスデータリポジトリである DARTS にも一部の探査機について軌道データが公開されている。「あかつき」は、DARTS において軌道データがテキストファイルおよび SPICE カーネルの形で公開されている。SPICE カーネルはバイナリデータであり、WebGL/JavaScript での利用には SPICE Toolkit に含まれるライブラリやユーティリティを利用してテキストファイルに変換する必要がある。

c) 「はやぶさ 2」については、広報あるいはスイングバイの観測キャンペーンなどを目的としてリュウグウ到着までの軌道データならびに、スイングバイ時の詳細な軌道データがテキストファイルとして公開された⁷⁾。

本プロジェクトでは、「はやぶさ 2」については、公式サイトで公開されていたデータを中心に、再接近時など更に細かい刻み幅でのデータが必要な部分について JPL HORIZONS のデータを使用している。「あかつき」については、DARTS で公開された SPICE カーネルのデータを利用した。

「はやぶさ 2」「あかつき」のいずれの場合も光源の位置として太陽の位置の推算が必要であるが、これについては比較的精度の高い惑星略算式である VSOP87⁸⁾を利用した。また、背景となる恒星のデータについては Yale Bright Star Catalog⁹⁾を使用している。

2.2 姿勢

探査機の姿勢については、「はやぶさ」などで SPICE のデータとしてミッション終了後に公開されている例があるが、今回は「あかつき」, 「はやぶさ 2」とともに事前の公開はなく、広報資料や探査機の仕様・形状などから推測する必要があった。

3. ブラウザ上での 3D 表現

現在、Web ブラウザ上での 3D 表現は WebGL¹⁰⁾が一般的になっている。現在の Web ページの標準規格である HTML5 に含まれ、最新版のブラウザであれば、スマートフォンやタブレットなどを含む、現行のほぼすべてのプラットフォームにおいて追加のプログラムやプラグインの導入無しで動作する。

本プロジェクトではこの WebGL を使って軌道データの可視化を試みた。実装においては、特殊な表現を多用する WebGL を JavaScript からアクセスしやすい形で表現し、また各プラッ

トフォーム間の差異などを吸収するオープンソースのラッパーライブラリ **Three.js**¹¹⁾を使用している。

4. 探査機の 3D データの作成

探査機のモデルを制作するにあたっては、「はやぶさ 2」「あかつき」ともに、図面などの公開はされていないため、一般に公開されている各種資料や機体公開時の写真などから細部を作成した。一部、それらの資料中に存在しない箇所については、他の探査機や人工衛星などから推定した部分もある。

Web ブラウザ上で利用するという制限から、使用する 3D オブジェクトはかなり軽量なものを制作する必要があった。正確で精細なデータは、美しく臨場感も増すが、一方でデータ量が大きくなり配信サーバに負荷をかけ、またユーザー側での計算量が増えて非力なマシンでは速度低下の恐れがある。

そのため、3D グラフィックソフト上で一旦精細なモデルを作成し、それを表面材質として簡易なモデル上に適用するという手法で一定のクオリティを保ったまま極めて軽量なモデルを実現した。いずれのモデルも探査機全体でファイルサイズは 1MB 以下となっている。

また、「あかつき」のモデルについては、太陽電池パネルの太陽指向を再現するため、本体と太陽電池を別のパーツとして作成して読み込んだ上で、プログラム上で配置し回転角度などを制御している。

図 1 に本システムで使用している「はやぶさ 2」および「あかつき」の 3D モデルを示す。

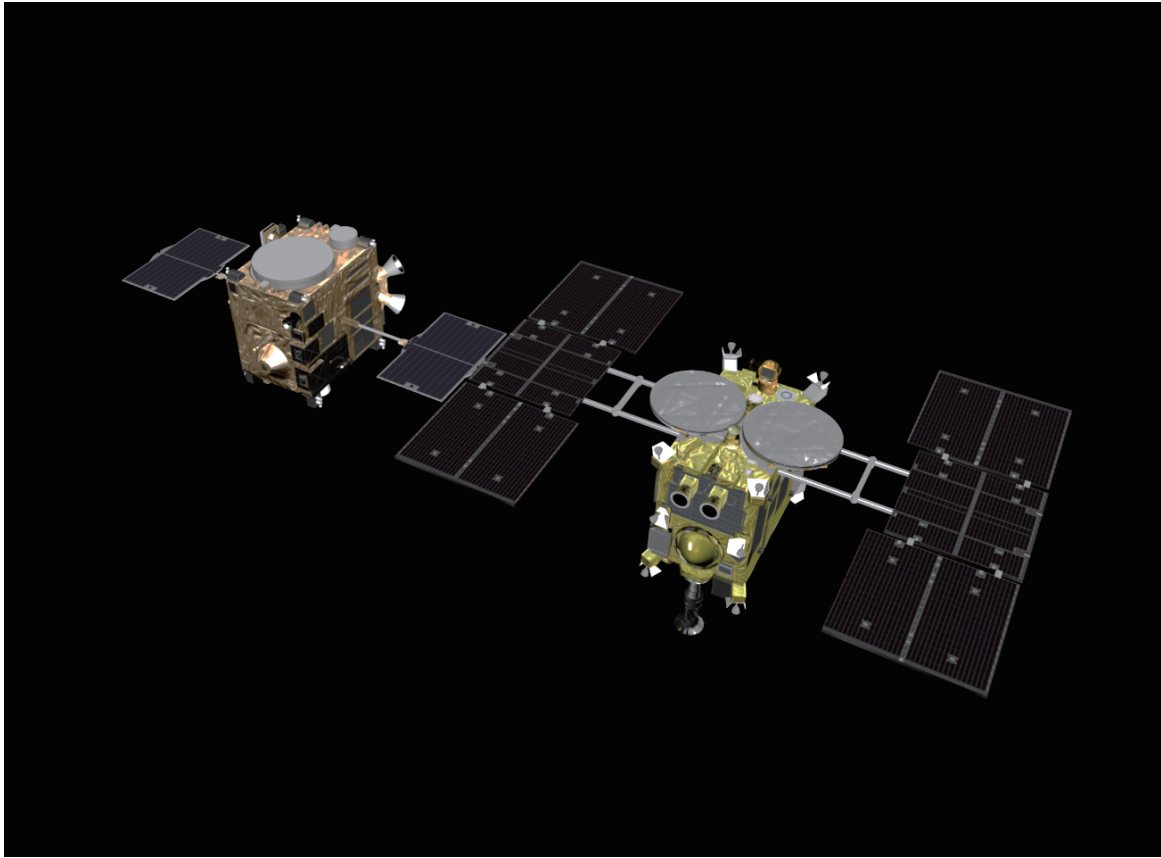


図 1: 同スケールで配置した「はやぶさ 2」および「あかつき」のモデル

5. 外部設計

本システムでは、対象となる天体の中心を 3D 空間の原点とし、座標系を各天体の赤道直交座標とした上で、探査機、惑星、恒星の各位置データを変換し各オブジェクトを配置した。カメラは探査機を中心としてユーザーのマウス操作によって視点を自由に変更できるようにした。

位置の更新頻度はいずれも 1 秒間隔としている。地球および金星への再接近時の動きが大きくなる限られた時間帯を除けば、位置情報の更新頻度を上げて画面では変化が判別できず、視覚上の効果はほとんどないためである。

本システムは、一般的なデスクトップパソコンやノート型パソコン、スマートフォン、タブレットなどで再生されることを意図している。そのため、位置や姿勢の推算においては、データポイント間を単純な線形補間によって位置を出力するなど、極力計算リソースの省力化を行った。また、ダウンロードされるデータのサイズをなるべく小さくしつつ、目標天体への接近時など位置変化が大きい部分についての密度を上げるために、中心天体との距離に応じて、データのポイントを 10 分毎、1 分毎、10 秒毎と変化させている。

さらに、探査機の 3D オブジェクトは実スケールではなく、中心天体との距離に応じてサイズを動的に変更するなどの操作をしている。これは数万キロないし天文単位スケールの位置データと、数メートルスケールの探査機の 3D オブジェクトを、ブラウザ上での精度の低い計算の中で同居させると、計算誤差にともなう画面上で探査機の位置が安定せず、大きくぶれて表示されてしまうためである。これを防止するために、それぞれの探査機は中心天体からの距離に応じて数十 km から数百 m までサイズを変化させて表示している。視覚的には判別することはできないため、ここではシミュレーションとしての正確さよりも画面表示上の安定を優先した。

画面設計においては、SNS などのオンライン上のコミュニケーションサービスなどで共有されることを意図し、インターフェイスは極力シンプルなものとし、また説明や設定項目などを極力排し、ブラウザで当該ページにアクセスするだけで、誰でもそれぞれの探査機の現在位置や状態、地球や目標天体との距離などが分かる、という状態を維持するよう務めた。

本システムの画面構成を図 2 に示す。図は「はやぶさ 2」地球スイングバイ時のものであるが、「あかつき」もほぼ同じ画面構成となっている（具体例は図 4-図 8 を参照）。画面右下に現在時刻、打上からの経過時間、最接近までの時間、相対速度、天体表面までの距離を表示した。

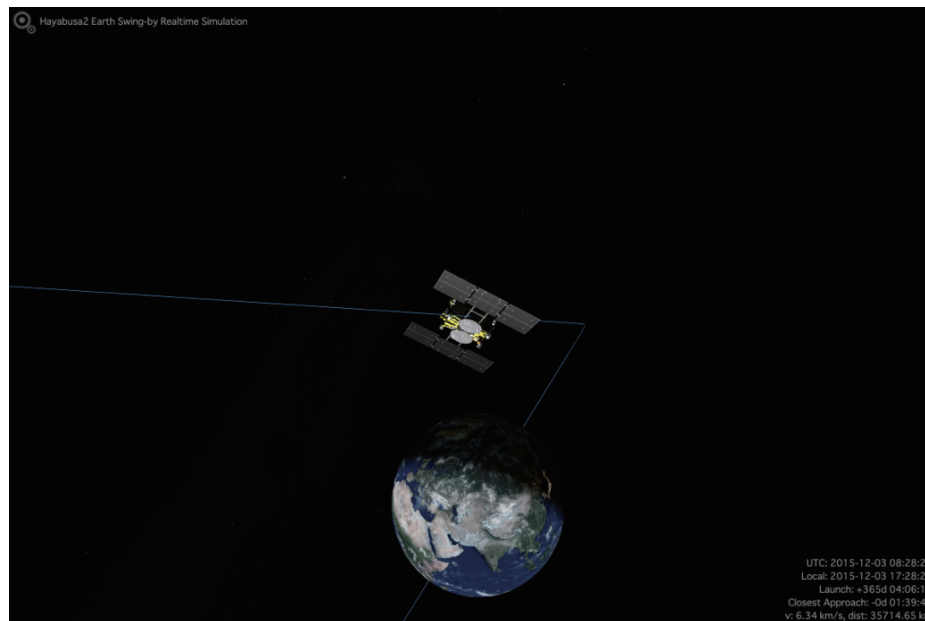


図 2: 本システムの画面構成。「はやぶさ 2」地球スイングバイ (2015-12-03 08:28 UTC)

5.1 「はやぶさ2」の地球スイングバイ

「はやぶさ2」の地球スイングバイ時の姿勢は、当初は、スイングバイ中の姿勢の変更がないと仮定した上で、事前の情報から、Z+面を太陽方向に向け、Y+面を天の北極方向に向けた姿勢とした。その後、はやぶさ2プロジェクトより STK Viewer を利用したシミュレーションが公開されたため¹²⁾、その姿勢を参考に天頂より30度傾けた姿勢とした。

スイングバイ後に「はやぶさ2」プロジェクトから接近時および離脱時に撮影された画像が公開された。地球接近時の画像を本システムの表示と比較したものを図3に示す。

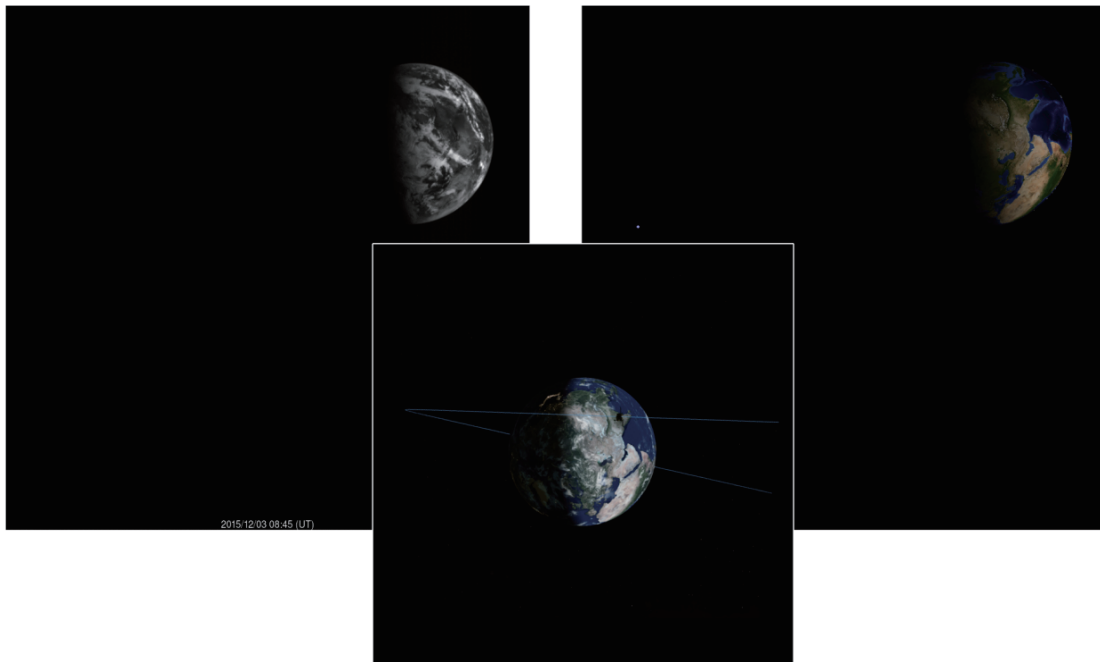


図3: 右:「はやぶさ2」の OCN W2 によって撮影された実画像¹³⁾、左: はやぶさ2プロジェクトチームによる視野再現¹³⁾、中央:同時刻のシステム上の表示。はやぶさ2は画面中央に位置する(2015-12-13 08:45 UTC)

本システムは「はやぶさ2」からの視界そのものを再現するものではないため、この比較から予測した姿勢が正確であったかどうかを判断することは難しいが、同時刻の地球の姿勢や光のあたり方などが適切に表現されているのが確認できる。

5.2 「あかつき」の金星軌道投入

「あかつき」の金星軌道投入においては、スラスターの噴射やそれに伴う姿勢変更が発生する。これを本システムで再現するためには、各イベントのタイミングおよび姿勢を各種の資料から再構築する必要があった。金星軌道投入時に予定されていたマニューバを本システム上の表現と合わせて図4から図8に示す。

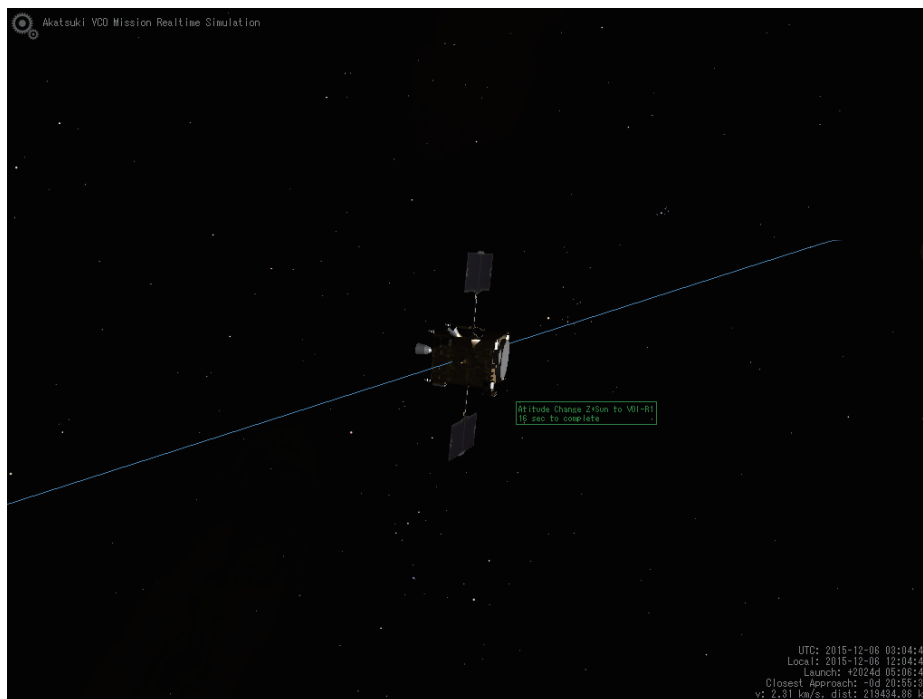


図 4: 太陽指向から軌道投入噴射姿勢(VOI-R1)へ(2015-12-06 03:00 UTC)

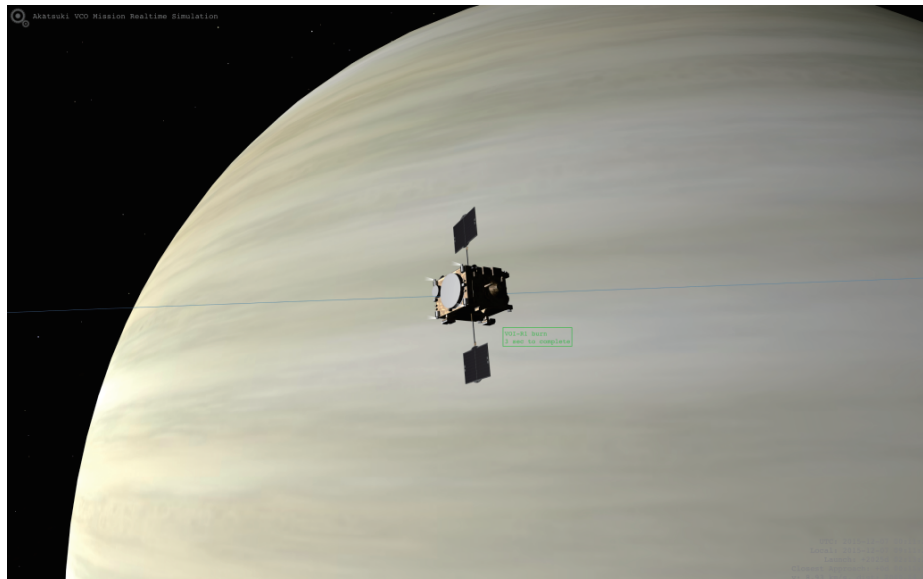


図 5: 軌道投入噴射(2015-12-07 00:05 UTC)

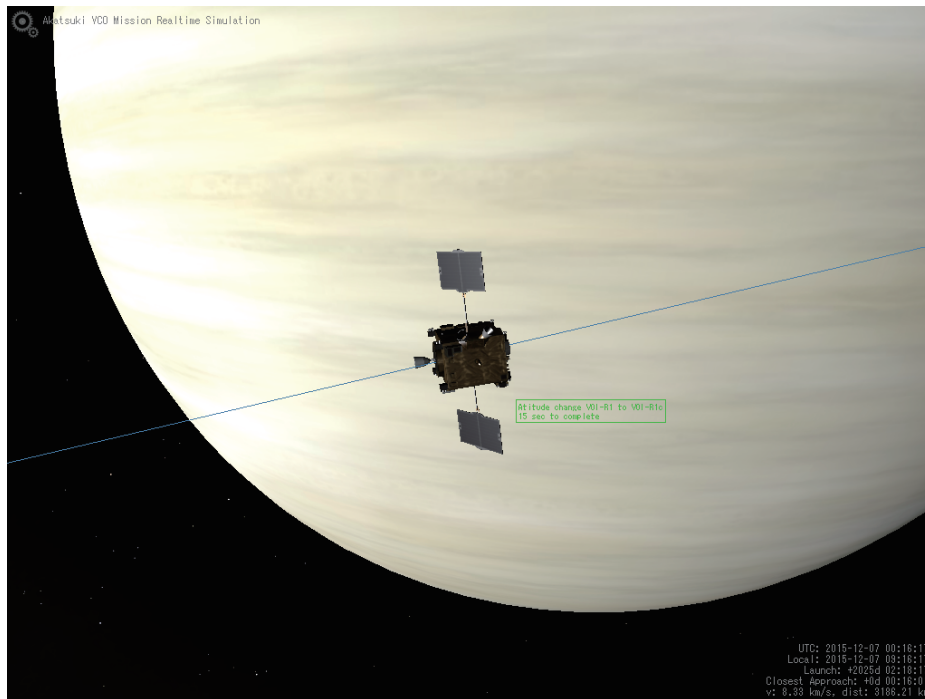


図 6: 軌道投入噴射姿勢(VOI-R1)から予備噴射姿勢(VOI-R1c)へ(2015-12-07 00:16 UTC)

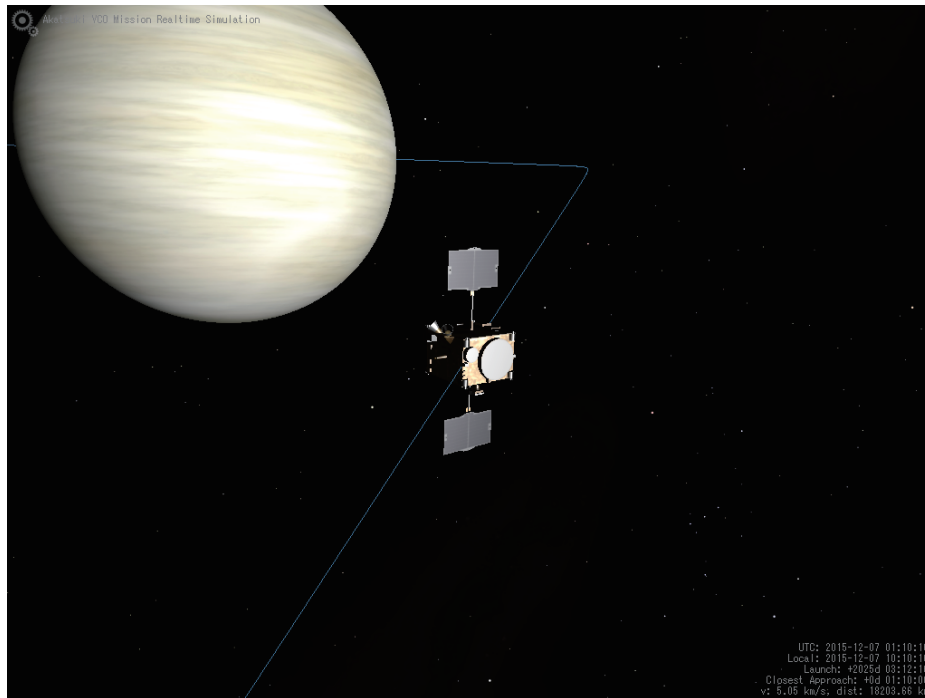


図 7: 予備噴射姿勢(VOI-R1c)から太陽指向姿勢へ(2015-12-07 01:10 UTC)

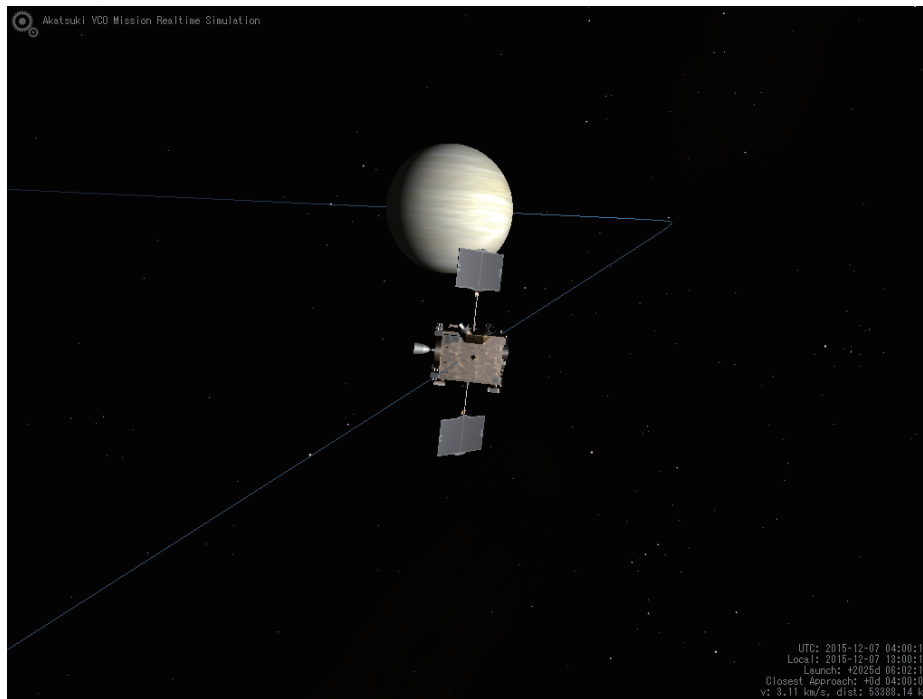


図 8:太陽指向姿勢から観測姿勢へ(2015-12-07 04:00 UTC)

これらの姿勢とタイミングについては、スラスタの方向などから姿勢を推定し、事前の記者会見で口頭並びに資料内での断片的な情報からシーケンスを再構築した。姿勢変更にかかる時間など、一部のタイミングについては言及がなかったが、他のマニューバの持続時間などから推測することとした。

なお、本システムの「あかつき」の金星軌道投入のシミュレーションでは、複数回の姿勢変更など、キーとなるイベントが多いため、イベントまでの時間をカウントダウンする小ウインドウを必要時応じて画面中央に表示するようにした（図 9）。

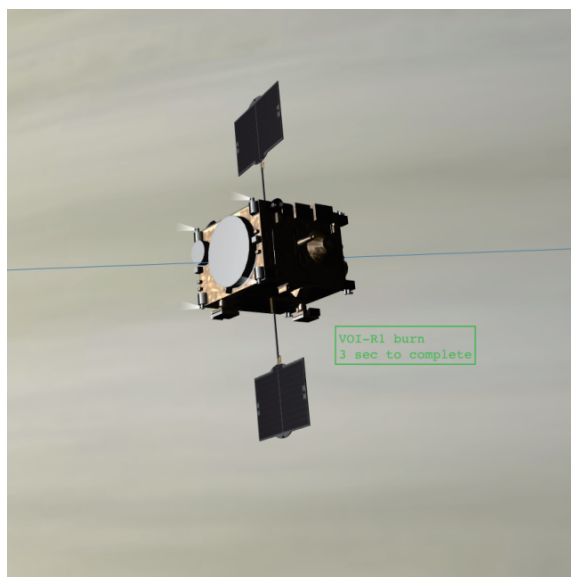


図 9:画面中央の拡大。探査機右下にカウントダウンが表示される

「あかつき」の軌道投入後に、軌道投入直後に撮影された金星の画像が公開された¹⁴⁾。同時刻の本システム上の表示と比較したものを図 10 に示す。

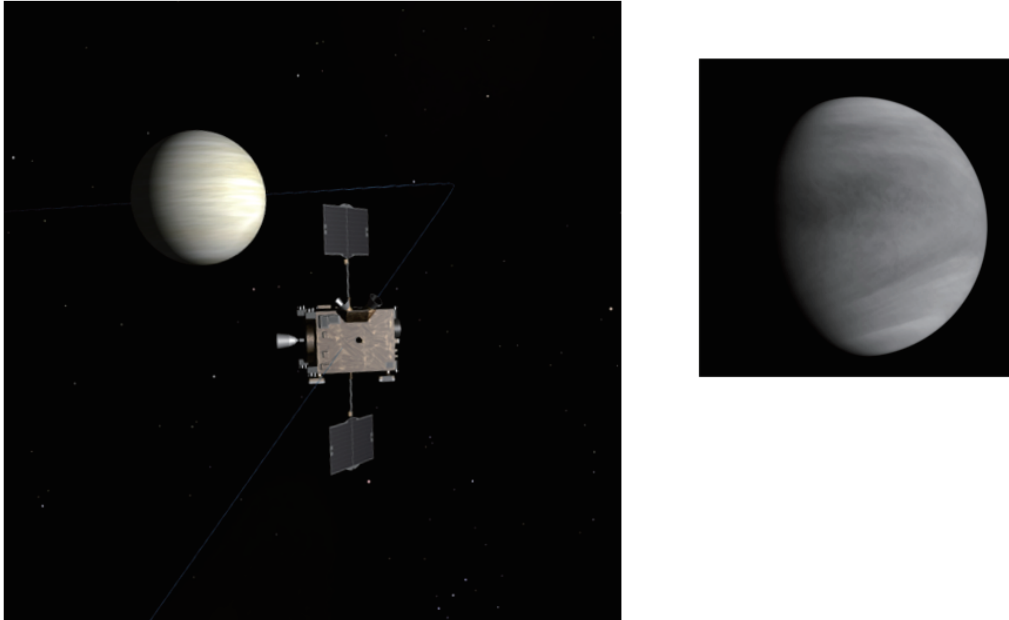


図 10: 右: 「あかつき」の軌道投入直後に撮影された金星, 左: 本システム上での再現(2015-12-07 05:19 UTC)

「はやぶさ 2」と同じく、本システムは「あかつき」に搭載されたカメラの視野を再現するものではないが、同時刻の金星への光の当たり方、観測面を金星に向けた探査機の姿勢などが適切に表現されていることが分かる。

6. まとめ

本システムの告知は、「はやぶさ 2」の地球スイングバイ、「あかつき」の金星軌道投入ともに、約 1 ヶ月前に公開し、SNS 上で定期的に告知をおこなったが、いずれも前後一週間で、100 ヶ国をこえる国と地域から 1 万~2 万 PV のアクセスがあった。また、殆どのアクセスが、イベント当日に集中していた。

個々のユーザーは、画面のスナップショットを SNS で共有しながら、当該探査機やイベントなどについて解説を加える、あるいは印象や感想を述べ合うといった使い方をしており、本システムを「体験を共有するためのツール」ないし「コミュニケーションのツール」として利用される場面が多く見られた。これは当初意図した通りの利用形態といえる。誰もが容易にアクセスできる環境での、リアルタイムでの位置情報の提供はアウトリーチにおいて非常に強力なツールとなる可能性があること示すものといえる。

課題としては、正確さの向上が挙げられる。本プログラムの主目的はあくまで啓蒙ないしエンターテインメントであり、サイエンスで要求されるような精度は必要とされない。とはいえ、事前の情報や資料、あるいは宇宙機についての常識などから逸脱した内容であっては、ユーザーの誤解や混乱に繋がるため、極力事前情報などと矛盾せず、事実を即した内容となるよう努めた。結果的には、後日発表された撮影画像などとも大きな矛盾はなく、ユーザーにとって違和感のない内容になっていたといえよう。一方で、公開されていない姿勢やシーケンスなどについては推測に頼らざるを得ず、正確性という意味で課題を残した。

「はやぶさ 2」については、2018 年には本番ともいえる小惑星への接近、着陸が控えている。筆者らは、これらのイベントについても同様のシステムでの再現を計画している。小惑星への着陸に際しては、探査機の位置や姿勢について今回よりさらに精度の高いシミュレーションが要求される。さらに、計画が状況に応じて短期間に変更される可能性も高く、システムの汎用性や運用上の即応性も必要になることが予想される。こうした点が今後の開発課題となるだろう。

また、実現には探査機の位置や姿勢の計画値の公開、並びに継続的なアップデートが不可欠であり、これについてはぜひ JAXA/ISAS での公開を検討していただきたい。

参考文献

- 1) 柏井勇魚, 宮崎剛, Hayabusa2 Swingby Simulation <http://www.lizard-tail.com/isana/hayabusa2/misc/swingby/?t=201512030940> ※当日の再現, 2016.06.25 閲覧
- 2) 柏井勇魚, 宮崎剛, Akatsuki VOI Simulation, http://www.lizard-tail.com/isana/orbview/misc/akatsuki_orbit_insertion.html?t=20151207001100 ※当日の再現 2016.06.25 閲覧
- 3) NASA, “NASA’s Eyes”, <https://eyes.nasa.gov/>, 2016.06.25 閲覧
- 4) AGI “STK Viewer” <http://www.agi.com/products/stk/modules/default.aspx/id/stk-viewer>, 2016.06.25 閲覧
- 5) NASA/JPL, “HORIZONS System” <http://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>, 2016.06.25 閲覧
- 6) JAXA, “DARTS” <http://www.darts.isas.jaxa.jp/index.html>, 2016.06.25 閲覧
- 7) JAXA, はやぶさ 2 プロジェクト, はやぶさ 2 特設サイト; 小惑星遷移軌道計画情報 <公開用概略計算値>, <http://fanfun.jaxa.jp/countdown/hayabusa2/>, 2016.11.15 閲覧
- 8) Bretagnon, P.; Francou, G. “Planetary theories in rectangular and spherical variables - VSOP 87 solutions”, <http://adsabs.harvard.edu/abs/1988A&A...202..309B>, 2016.06.25 閲覧

- 9) Hoffleit, D. and Warren, Jr., W.H., 1991, "The Bright Star Catalog, 5th Revised Edition (Preliminary Version)". <http://tdc-www.harvard.edu/catalogs/bsc5.html>, 2016.06.25 閲覧
- 10) WebGL Working Group, WebGL - OpenGL ES 2.0 for the Web, <https://www.khronos.org/webgl/>, 2016.06.25 閲覧
- 11) three.js - Javascript 3D library, <http://threejs.org/>, 2016.06.25 閲覧
- 12) はやぶさ2プロジェクトチーム, "はやぶさ2 スイングバイ軌道3次元表示の公開について", <http://www.hayabusa2.jaxa.jp/topics/soft/>, 2016.06.25 閲覧
- 13) JAXA はやぶさ2プロジェクト, 「はやぶさ2」スイングバイ直前に撮影された地球の画像, <http://www.hayabusa2.jaxa.jp/topics/20151203/>, 2016.06.25 閲覧
- 14) JAXA/ISAS, "金星探査機「あかつき」の金星周回軌道投入結果について", <http://www.isas.jaxa.jp/j/topics/topics/2015/1209.shtml>, 2016.11.15 閲覧