

公立はこだて未来大学 2016 年度 システム情報科学実習  
グループ報告書

Future University Hakodate 2016 System Information Science Practice  
Group Report

プロジェクト名

ジュノ・ウォッチプロジェクト

**Project Name**

JUNO Watch Project

グループ名

調査グループ

**Group Name**

Search Group

プロジェクト番号/Project No.

20-A

プロジェクトリーダー/Project Leader

1014046 岩木蓮 Ren Iwaki

グループリーダー/Group Leader

1013207 増井康平 Kouhei Masui

グループメンバ/Group Member

1014046 岩木蓮 Ren Iwaki

1014119 堤映水 Akimi Tsutsumi

1014187 本間諒 Ryo Honma

指導教員

ヴラジミール・リヤボフ 香取勇一

**Advisor**

Vladimir B. Riabov Yuichi Katori

提出日

2017 年 1 月 18 日

**Date of Submission**

January 18, 2017

## 概要

2011年8月5日に打ち上げられた木星探査機 JUNO が 2016年7月4日に木星に到達し木星の探査を開始する。本プロジェクトではこれまでの木星探査の歴史やこれまでの木星探査から判明している情報、これから開始される JUNO ミッションの探査によって新たに判明した情報を収集し、プロジェクトメンバーの木星への理解を深め、木星、探査機 JUNO と JUNO 計画に関する Web ページを作成する。

キーワード JUNO, 木星

(※文責: 岩木蓮)

## Abstract

JUNO is a Jupiter spacecraft. JUNO was launched in 2011 and arrived to Jupiter on July 5, 2016. JUNO will investigate Jupiter. The goal of this project learning is to collect information on JUNO mission, study what will be found by JUNO spacecraft, try to understand several aspects of Jupiter physics, and to create the Web page about Jupiter , JUNO mission and spacecraft.

**Keyword** JUNO, Jupiter

(※文責: 岩木蓮)

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>背景</b>	<b>1</b>
1.1	現状における問題点	1
1.2	課題の概要	1
<b>第 2 章</b>	<b>到達目標</b>	<b>2</b>
2.1	本プロジェクトにおける目的	2
2.2	課題設定	2
2.2.1	前期	2
2.2.2	後期	2
2.3	課題の割り当て	3
2.3.1	前期	3
2.3.2	後期	3
<b>第 3 章</b>	<b>課題解決のプロセスの概要</b>	<b>5</b>
3.1	前期	5
3.1.1	調査内容の概要	5
3.1.2	担当課題の解決過程	5
3.2	後期	6
3.2.1	調査内容の概要	6
3.2.2	担当課題の解決過程	6
<b>第 4 章</b>	<b>結果</b>	<b>8</b>
4.1	調査の成果	8
4.1.1	前期：課題 1, 課題 2 の成果	8
4.1.2	後期：課題 3, 課題 4 の成果	16
4.2	木星観測の成果	22
4.3	ウェブサイト作成の成果	23
<b>第 5 章</b>	<b>成果発表</b>	<b>25</b>
5.1	中間発表	25
5.1.1	概要	25
5.1.2	評価	25
5.2	オープンキャンパス	25
5.2.1	概要	25
5.2.2	成果	26
5.3	最終発表	26
5.3.1	概要	26
5.3.2	評価	26

第 6 章	今後の課題と展望	28
6.1	プロジェクト全体の課題 . . . . .	28
6.2	メンバーの反省と課題 . . . . .	28
付録 A	新規習得技術, 活用した講義	30
参考文献		31



# 第 1 章 背景

探査機 JUNO は NASA によって開発された木星探査機である。探査機 JUNO による木星探査を JUNO 計画と呼ぶ。2011 年に打ち上げられた探査機 JUNO が、今年 2016 年 7 月 5 日（日本時間）に木星に到着した。木星探査は 1970 年代から開始され、これまで多くの探査機が木星に送られてきた。約 40 年で様々なデータが得られ、JUNO 計画ではさらに詳しい木星の調査が行われる。しかし、日本では木星探査の報道が少なく、情報を得る機会が少ない。その中で宇宙探査に興味のあるメンバーが集まったが、私たちには木星探査の知識も JUNO 計画の知識もなかった。そのため、これから観測が始まる JUNO 計画について調べ、知識を得たいという思いがあった。

（※文責: 岩木蓮）

## 1.1 現状における問題点

現在 NASA が探査機 JUNO が得た情報や探査機 JUNO の動向を逐一 NASA のウェブサイトで公開している。従って探査機 JUNO について最も多くの情報が得られるのは NASA のウェブサイトである。しかし、NASA のウェブサイトは全て英語で記載されているため、我々日本人が閲覧し情報を得るのは困難である。日本で探査機 JUNO について詳細まで説明しているウェブサイトは存在しないため、日本人は木星探査に興味を持ちにくい。従って、探査機 JUNO に関して日本人の関心が低いという問題がある。

（※文責: 増井康平）

## 1.2 課題の概要

本プロジェクトでは英語表記の情報を読解し、JUNO 計画についての意識を得ることが課題である。さらには、私たちが得た JUNO 計画について情報を日本人向けに発信することも課題としている。

（※文責: 本間諒）

## 第 2 章 到達目標

### 2.1 本プロジェクトにおける目的

本プロジェクトは、木星と探査機 JUNO の情報を発信し、それらの魅力を知ってもらうことを目的としている。最終的には木星と探査機 JUNO の情報をまとめたウェブサイトの制作と公開を目指す。

(※文責: 本問諒)

### 2.2 課題設定

本プロジェクトでは前期と後期でそれぞれ課題を設定した。

#### 2.2.1 前期

前期はグループ全員で JUNO 計画について以下の課題 1、課題 2 を調べることにした。

課題 1：これまでの木星探査の歴史

- これまでの木星探査によって、分かっている木星の特徴・現象について
- これまでの木星探査では、分かっていない木星の特徴・現象について

課題 2：JUNO 計画の概要

- 探査機 JUNO に搭載されている観測装置について
- JUNO 計画の目的について

上記の課題は共にメンバー 8 人で分割してそれぞれ調べた。課題 1 は「Jupiter: The Planet, Satellites and Magnetosphere」という本を使用して調べた。課題 2 は「Mission Juno - Great documentary on Jupiter and NASA's Juno probe arriving at Jupiter in JULY 2016」という NASA の作成した動画を使用して調べた。そして調べた結果を毎回プロジェクトの時間にメンバーに発表し、知識の共有を行った。水曜日に課題 1 の発表を二人ずつ行い、金曜日に課題 2 の発表を行った。この二つの他に望遠鏡を用いて木星の観測を行った。

#### 2.2.2 後期

後期ではメンバーを 4 人ずつグループ分けして調査班では以下の課題 3、課題 4 を設定し調査した。

課題 3：探査機 JUNO の搭載装置の詳細な調査

- 探査機 JUNO に搭載されている装置について

課題 4：木星について重要な点の詳細な調査

## JUNO Watch Project

- 木星の大気について
- 木星のオーロラについて
- 木星の衛星について

課題 3 については 4 人で分割してそれぞれ調べた。その際に NASA のホームページと「Juno Instrument Overview」というサイトを使用して調べた。課題 4 については 4 人で同じ分野を深く掘り下げて調べた。その際に NASA と JAXA のウェブサイトを使用して調べた。

(※文責: 堤映水)

## 2.3 課題の割り当て

以下調査グループ 4 人が担当した個所を示す。

### 2.3.1 前期

課題 1 は以下のように割り当てた。

- 岩木 : 木星探査の目的、パイオニア 10 号・11 号
- 本間 : ボイジャー 1 号・2 号、ユリシーズ
- 堤 : 木星大気、木星磁場
- 増井 : 木星の衛星

課題 2 は以下のように割り当てた。

- 堤 : 探査機 JUNO の機能 (JIRAM, JUNOCAM, Magnetometer)
- 増井 : 探査機 JUNO の機能 (UVS, Waves)
- 岩木 : 宇宙探査における民衆の関心、探査機 JUNO の打ち上げ、探査機 JUNO の名前の由来、木星探査の理由
- 本間 (諒) : 探査機 JUNO と地球での交信方法、探査機 JUNO の軌道

### 2.3.2 後期

課題 3 は以下のように割り当てた。

- 岩木 : Gravity Science(重力測定実験),UVS(紫外線撮像スペクトロメータ)
- 増井 : Waves(電波実験),MWR(マイクロ波放射計)
- 堤 : JIRAM(赤外線オーロラマッピング装置),Magnetometer(磁力計)
- 本間 : JADE(オーロラ分布観測実験システム),JEDI(エネルギー粒子検出装置)

課題 4 は以下のように割り当てた。

- 岩木 : オーロラの規模について、木星の雲に関する現象について、木星の重力について
- 増井 : オーロラの発生方法について、木星大気の成分について、木星の衛星について
- 堤 : オーロラの神話について、木星大気に発生する現象について
- 本間 : オーロラの概要について、木星の内部構造について



## 第 3 章 課題解決のプロセスの概要

### 3.1 前期

#### 3.1.1 調査内容の概要

課題 1：毎週水曜日に 2 名ずつプレゼンテーションを行った。

以下各人が行った発表の日程を示す。

5/11 岩木、本間（諒）：パイオニア、ボイジャーについて発表

5/18 岩木：ガリレオ、カッシーニ、パイオニアについて発表

6/1 堤：木星の内部構造、磁場について発表

6/8 増井、堤：木星の衛星、現時点で解決されていない問題点についての発表

課題 2：毎週金曜日に 2 名ずつプレゼンテーションを行った。

以下各人が行った発表の日程を示す。

5/13 堤：探査機 JUNO の機能について

5/20 増井：探査機 JUNO の機能、ALT について

5/27 岩木、本間：探査機 JUNO の打ち上げ、探査機 JUNO の通信機能について

6/17 岩木：木星探査の目的、探査機 JUNO のデザイン、大赤斑について

以上のような割り当てでそれぞれのプレゼンテーションを行った。また、5/27 に望遠鏡を用いて木星の観測を行った。

#### 3.1.2 担当課題の解決過程

課題 1 は「Jupiter: The Planet, Satellites and Magnetosphere」という本を使って調査を行った。この本のイントロダクションの部分をメンバー 8 人で分担し読み進めていくことにした。まずは上記概要の通りに担当箇所を決め、毎週水曜日までにプレゼンテーション資料としてまとめ調査内容の発表を行った。発表については毎週 2 人ずつ行い 15~20 分の発表の後、メンバーと教員による質問の時間を設けた。答えられなかった部分についてはその場で教員に教えて頂くか、次週までに調べておき理解を深めた。課題 2 は「Mission Juno - Great documentary on Jupiter and NASA's Juno probe arriving at Jupiter in JULY 2016」という NASA が制作した動画を用いて調査を行った。この動画は再生時間 1 時間程度の物で 1 人あたり 5 分~7 分程度の部分を見てその内容をメンバーに伝える発表を毎週金曜日に行った。課題 1, 2 は共に木星と探査機 JUNO、JUNO 計画について学ぶだけでなくそれぞれの現象や装置の原理について理解するために基礎的な物理学を学んだ。その中でも探査機の移動に使われるスイングバイ、木星の衛星が水や火山を持つ原因とされる潮汐力、Gravity Science による木星の内部構造調査に用いるドップラー効果など該当箇所を調査したメンバーが詳しく解説を行った。5 月 27 日に最初に行った天体観測はプロジェクト担当教員のリヤボフ先生の望遠鏡をお借りして行った。まず望遠鏡の説明書を読むところから始めたが、英語の説明書であったためその場ですぐ読むことは無理だったので、図を見ながら

組み立てた。その際に天体の位置を調べる携帯電話のアプリケーションを用いて木星の大体の場所を特定し木星の観測に成功した。また説明書を見ていくと写真撮影が可能とのことだったので余っている部品を合わせて組み立ててみたがカメラに取り付けるためのパーツが不足していたためその日に撮影を行うことはできなかった。プロジェクトメンバー 8 人全員で天体観測を行っても観測目標までのピント調整をするメンバーが 1~2 人で十分だと判断し天体観測の際に主に外に出て調整を行うメンバーを増井、本間 (大) として以降の天体観測と部品の確保を任せた。前期に必要な調査を終えた後、調べた情報をどうするかについて話し合いを行い、ウェブサイトを作成することを決定し後期の活動目標とした。話し合いの際に調査を行った時の苦勞、不便さを洗い出し、ウェブサイト作成方針の計画を立てた。その結果、「日本人、特に中高生が宇宙に興味を持ってくれるような内容を主な記事としたウェブサイトの作成」を後期の目標とした。

(※文責: 堤映水)

## 3.2 後期

### 3.2.1 調査内容の概要

課題 3：前期で調べきれなかった内容について調査をし、4 名分プレゼンテーションを行ってからウェブサイトに載せるコンテンツの内容の見直しをした。

岩木：Gravity Science, UVS

増井：Waves, MWR

堤：JIRAM, Magnetometer, JUNOCAM

本間：JADE JEDI

課題 4：前期で調べた内容について詳しく調査をし直し、4 名分プレゼンテーションを行ってからウェブサイトに載せるコンテンツの内容の見直しをした。

岩木：オーロラの規模、木星の雲に関する現象、木星の重力について

増井：オーロラの発生方法、木星大気の成分、木星の衛星について

堤：オーロラの神話、木星大気に発生する現象について

本間：オーロラとは何か、木星の内部構造について

以上のような割り当てでコンテンツ制作を行った。また、11 月 10 日に望遠鏡に取り付けるカメラとアダプターが揃い、以降のプロジェクトの活動時間で写真撮影を試みた。

### 3.2.2 担当課題の解決過程

後期では調査グループとサイト作成グループに分かれて活動した。私たち 4 人は調査グループとして課題 3、課題 4 に取り組むことにした。課題を設定する前にウェブサイトに載せる内容について話し合いを行った。プロジェクトの目的である JUNO 計画、探査機 JUNO についての発信を目的とした。その他の内容は前期調べたことを使いたいという考えから木星について載せることに決定した。その中でも特に私たちが興味を持った木星の特徴や現象についてコンテンツを作成することにした。ここで調べる内容を決定し、課題 3、課題 4 とした。課題 3 について、前期の課題 2 の動画では装置の概要までしかわからなかったため、後期では詳細まで調査することにした。その際

## JUNO Watch Project

に NASA のウェブサイトを参考にして調査を進めた。メンバーそれぞれが前期に担当した装置を引き続き調査した。前期と違いコンテンツの制作も活動に含まれるため調査に使える時間が少なく、毎週水曜日にメンバー 4 人でまとめて発表を行った。毎週 1 つの装置について情報をまとめ 3 週間かけて全ての装置について情報をまとめ、コンテンツ作成を行った。課題 4 は前期に調べた木星の特徴、現象について再度詳しく調査し直すことにした。調べる内容は「木星のオーロラについて」、「木星の大気について」、「木星の内部構造について」、「木星の衛星について」とした。この 4 つの内容をさらに細かく分け、毎週 4 人で情報共有を行い調べた内容を合わせてコンテンツ作成を行った。この時に Web グループのの樫山を交えて、中高生へ向けた記事として内容は適切か、記事の繋がりに違和感が無いか、文章の間違いが無いかを確認して作成したコンテンツの修正を行った。この他に天体観測と写真撮影を行った。11 月に望遠鏡の部品とカメラが全て揃い、前期に天体観測の担当とした増井、本間 (大) で 17 時以降に外に出て写真撮影を行った。

(※文責: 堤映水)

## 第 4 章 結果

### 4.1 調査の成果

課題 1、課題 2、課題 3、課題 4 に取り組み、得た成果を示す。また、木星観測の成果を示す。

#### 4.1.1 前期：課題 1，課題 2 の成果

メンバー全員で JUNO 計画と木星について知ることができた。以下メンバーそれぞれが調べた内容を示す。

- パイオニア 10 号、11 号

図 4.1 はパイオニア 10 号のイメージ図である。パイオニア 10 号は 1972 年 3 月に、パイオニア 11 号は 1973 年 4 月に打ち上げられた。パイオニア 10 号、11 号による木星探査をパイオニア計画と呼ぶ。パイオニア計画では初めて木星の写真撮影に成功した。図 4.2 が撮影された写真である。写真により雲の対流の向きの違いによって、縞模様に見えていることが予測された。しかし、それを断定できるほど鮮明な写真は撮影できなかった。また、木星に非常に強力な磁場の観測、豊富なヘリウムの観測、重力場の測定が大きな功績として挙げられる。磁場の観測により、木星の磁極は自転軸とずれていることが分かった。そのほかに木星は自ら熱を放出していることが観測された。



図 4.1 パイオニア 10 号



図 4.2 撮影された木星の写真

(※文責: 岩木蓮)

- ボイジャー 1 号、2 号

図 4.3 は探査機ボイジャーのイメージ図である。外宇宙への探査機として打ち上げられたボイジャーはスイングバイという加速を行うために木星に接近し、その際に木星の調査や撮影を行った。この結果イオに火山活動があることを発見した。その他 1 号機は土星付近で衛星タイタンに接近し調査した。ボイジャー計画では雲の層に阻まれ観測できなかったが、その後のカッシーニ計画で、液体が流れたことによる流路を発見し太陽系の中で地球以外に大気からの降雨が発生している天体であることが確認された。



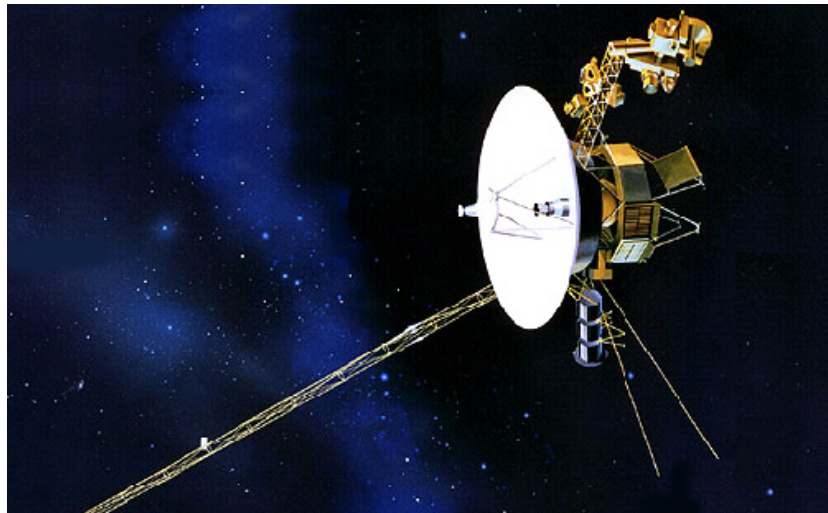


図 4.3 ボイジャー 1 号

(※文責: 本問諒)

- スイングバイ

天体の公転と万有引力を用いて探査機の移動や速度変更を行う技術。通常速度変更や方向転換を行う場合は大量に燃料を消費するため、スイングバイを用いることによって燃料の節約ができ、探査に使うための装置をより多く積み込めるメリットがある。図 4.4 はスイングバイのイメージで、緑色の線は天体が公転して動いている方向である。図 4.4 のように探査機が天体の後ろ側を通過すると加速、反対に天体の前を通過すると減速する。

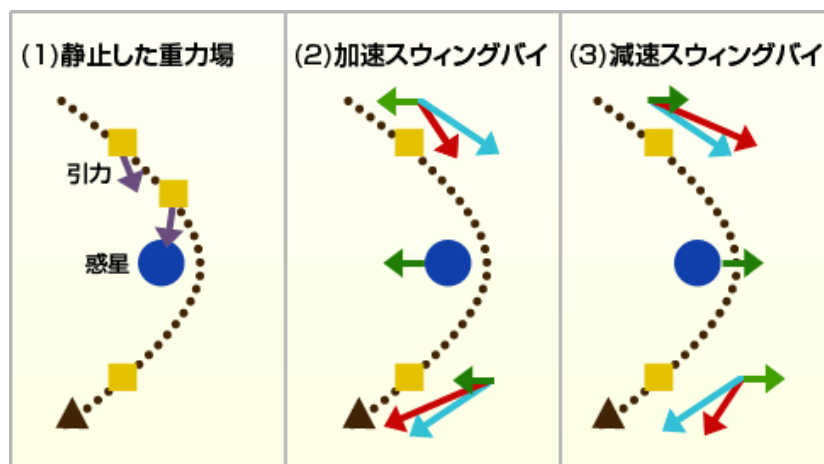


図 4.4 スイングバイのイメージ

(※文責: 本問諒)

- ユリシーズ

図 4.5 は太陽の全緯度領域の調査を目的に作られたユリシーズである。欧州宇宙機関 (ESA) と NASA で共同開発された本機は、太陽の調査へ向かう際に木星を利用したスイングバイによる加速のために訪れており、ボイジャーと同様に木星の磁気圏を調査した。この探査機にカメラは搭載されておらず撮影は行われなかった。

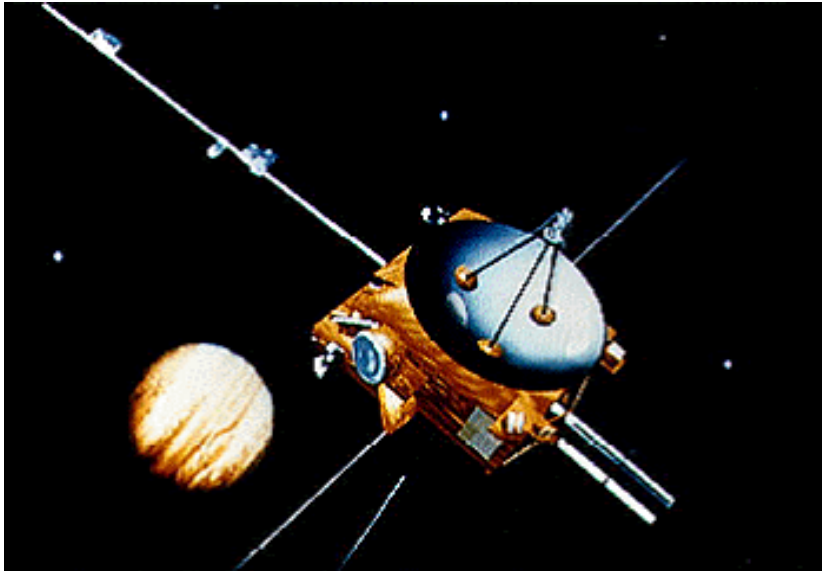


図 4.5 ユリシーズ

(※文責: 本間諒)

- 木星の大気と雲

木星の大気の成分はヘリウムが豊富にあることが分かっており、太陽系の歴史に関係している。図 4.6 にあるように、木星の表面には多くの渦が見られ木星における嵐となっている。白色の渦は白斑と呼び形成と消滅を行い、その中で最も大きな赤色の渦は大赤斑と呼び 1665 年に観測されてから一度も消えていない。また、通常の木星上空の雲の温度は 500 度程度に対して大赤斑上空の雲の温度が 1300 度以上あることが赤外線観測によって判明している。

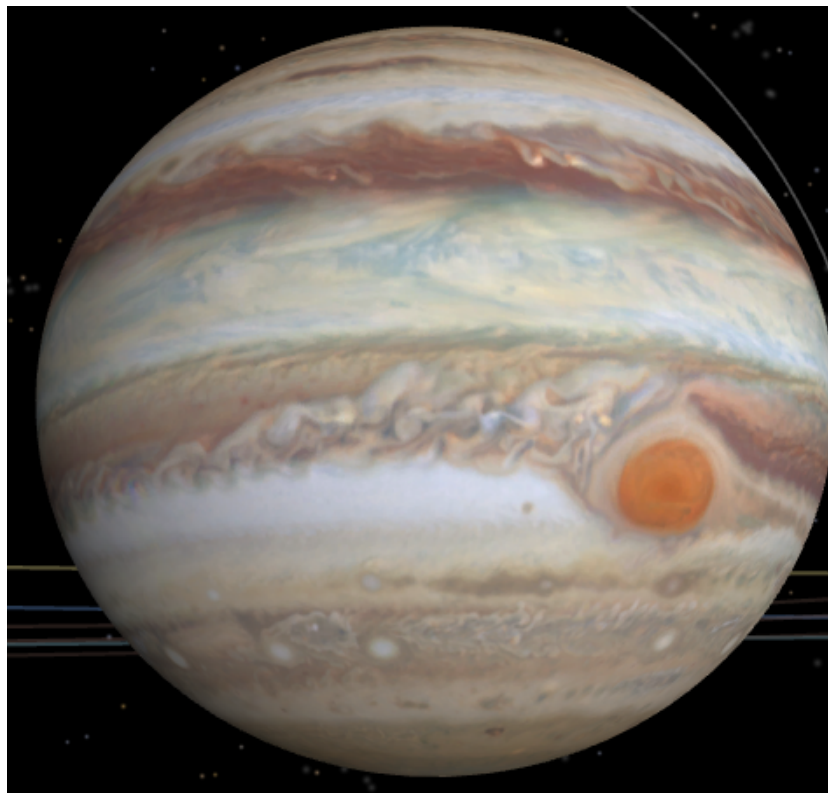


図 4.6 木星表面の大赤斑と白斑

(※文責: 堤映水)

- 木星磁場

図 4.7 は木星に発生する磁場である。木星の磁場は地球磁場の 14 倍の磁力があり太陽系最大の磁気圏を形成している。また、太陽風により磁気圏が土星の公転軌道にまで伸びている。JUNO 計画の目的の一つとして木星の内部構造を知るといふのが、そのために木星の重力と磁場を詳細に調べ、内部構造を知る手がかりを得ようとしている。

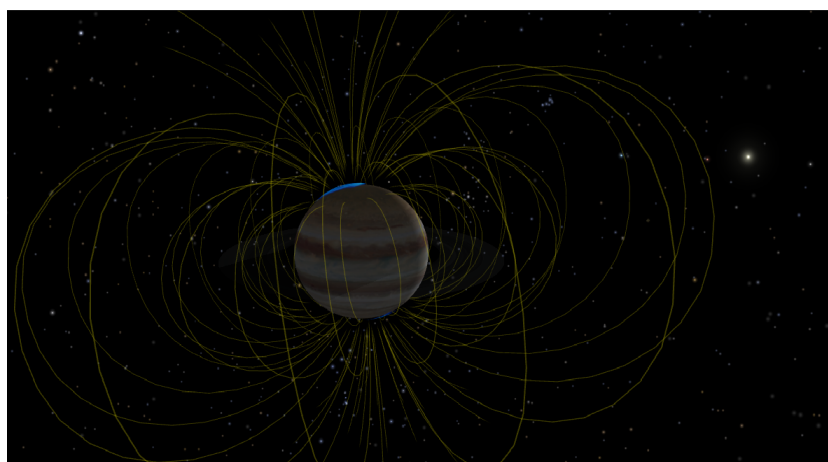


図 4.7 木星磁場

(※文責: 堤映水)

- 木星の衛星

木星には、現在 67 個の惑星が確認されている。中でも代表的な 4 つの衛星であるガリレオ衛星について記述する。

図 4.8 に示すイオは木星の第一衛星で、一番の特徴は火山活動をしているということである。1979 年のボイジャー 1 号の撮影によって初めて観測された。潮汐力によって発生する熱が火山活動を引き起こしていると推測される。またこの火山活動によって吹き上げられる物質が木星オーロラの発生にも関係している可能性があることが分かった。

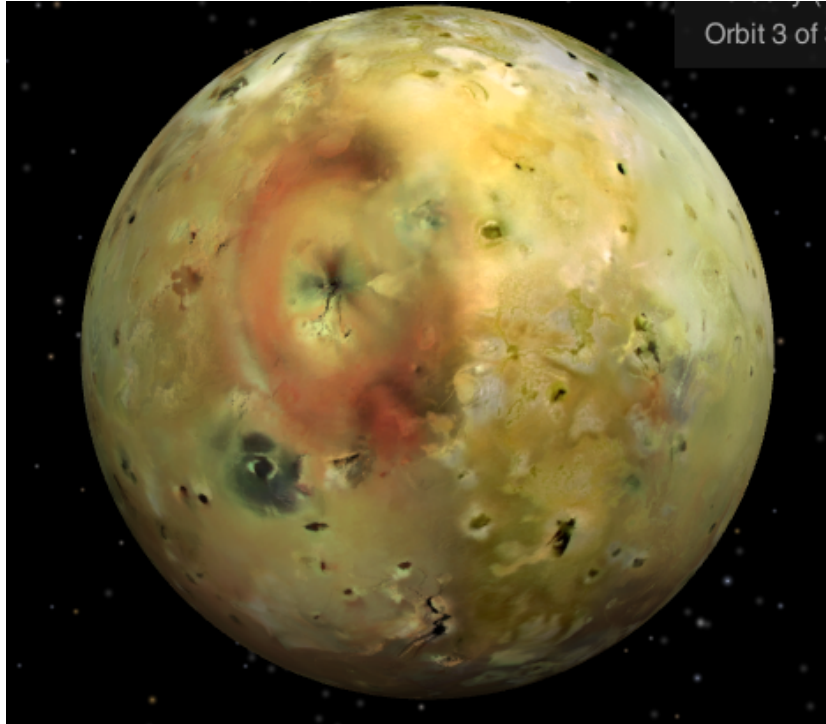


図 4.8 イオ

図 4.9 に示すエウロパは木星の第二衛星で、厚さ 3km 上の氷で表面が覆われている。この衛星にも潮汐力による熱が発生し、衛星の内部では氷が解けてシャーベット状になっていると推測されている。これによって地球の深海にあるような熱水噴出孔も存在していると推測されている。海のような環境が出来上がっている可能性が高いということで生物がいる可能性があるのではないかと注目を集めている衛星である。EJSM という計画が NASA と ESA(欧州宇宙機関) によって計画されている。この計画はエウロパに注目している計画で海や氷などの特性を調べ木星系が生命の居住可能性があるかどうかを調べるのが目的となっている。

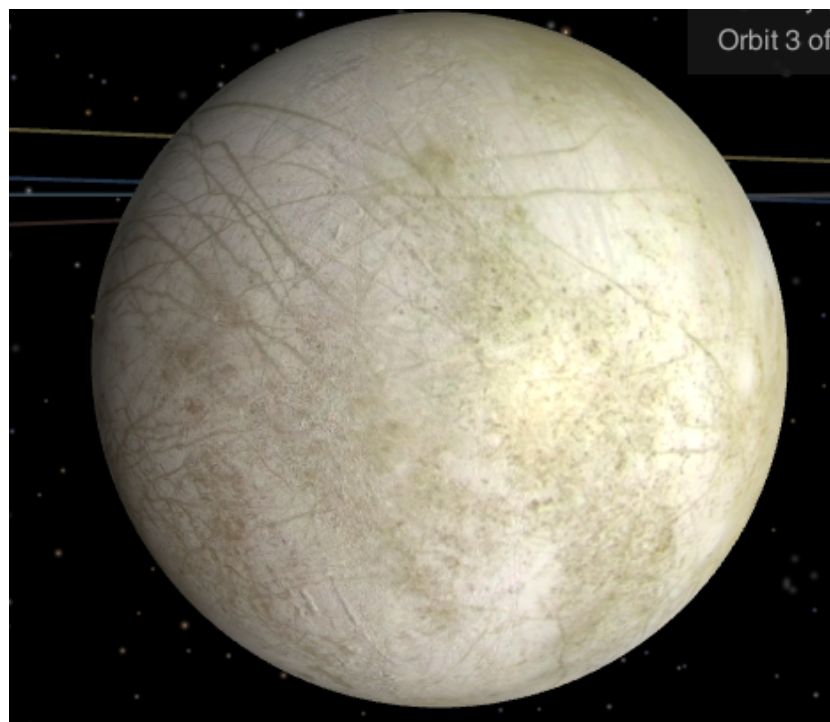


図 4.9 エウロパ

図 4.10 に示すガニメデは木星の第三衛星で、この衛星は太陽系の中でも最も大きく、惑星である水星を超える大きさであることが分かっている。磁場が存在することが分かっておりこれによって中心核にあるとされる金属核が一部溶融していると言われている。2015 年のハッブル宇宙望遠鏡の観測によりオーロラの揺れ幅が予想されていたものよりも小さいことが判明し、これにより内部に水が存在している可能性が指摘された。この水の層が 10km 近くにも及び地球に存在する水の量よりも多いと予想される。



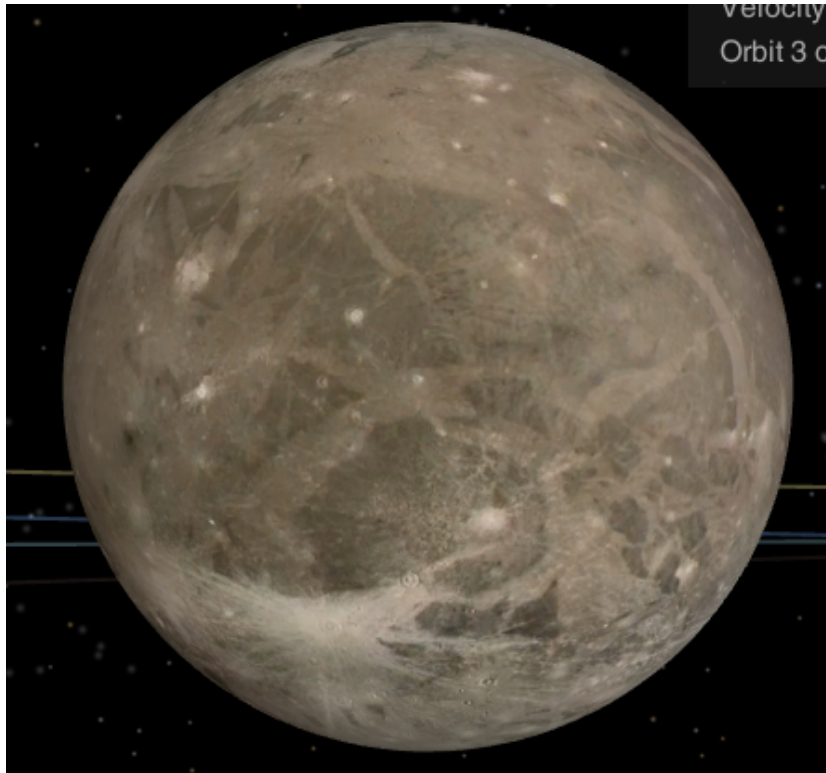


図 4.10 ガニメデ

図 4.11 に示すカリストは木星の第四衛星で、この衛星の特徴は巨大なクレーターである。クレーターは地殻変動などで風化していくもので、巨大なクレーターが風化せず残っている状態は地殻変動が少ないことを示している。これによってクレーターにはそれが発生した頃の状態を保存している可能性が高いと言われていて、木星の初期状態を探る上でとても重要なものとされている。

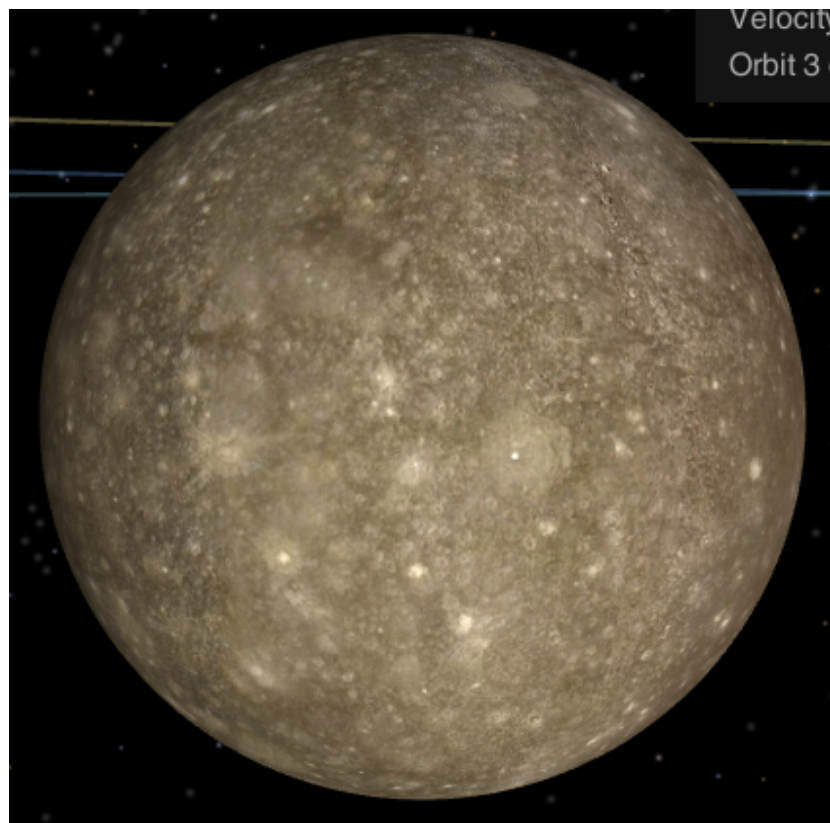


図 4.11 カリスト

(※文責: 増井康平)

- 宇宙探査における民衆の関心

以下はアメリカにおける宇宙探査の関心についての記述となる。現在インターネットの普及により木星の知識を持つ人が多い。彼らの木星への関心は非常に強いものであり、木星についてさらに詳しく知りたいと思っている。当然、JUNO 計画により木星探査にも関心を持っている。そこで NASA は、民衆から JUNO 計画で撮影してほしい部分の希望を受け付けた。NASA は民衆が知りたいこと、疑問に思っていることを探査することが重要であると考えている。このように NASA が民衆と協力することで新しい疑問が生まれ、探査の幅が広がると考えている。

(※文責: 岩木蓮)

- 探査機 JUNO と地球の交信方法

探査機 JUNO には地球との通信機能と保護機能が搭載されている。通信機能は地球に設置された深宇宙ネットワークの通信用のアンテナを介して 24 時間常に交信できる。探査機 JUNO に保護システムが搭載されており、多少の異常は自身で処理できる。オーロラの観測装置も搭載されており、従来の観測機では出来なかった大気圏内からのオーロラの観測などが期待されている。

(※文責: 本間諒)

- 探査機 JUNO の打ち上げ

2011/8/5 に探査機 JUNO は打ち上げられた。ロケットアトラス 5 号によって探査機

JUNO は打ち上げられた。打ち上げが最も失敗の確率が高い工程であるため、研究員たちは皆神経質になっていた。結果、打ち上げは成功し研究員たちは非常に喜んだ。

(※文責: 岩木蓮)

- 探査機 JUNO の名前の由来

探査機 JUNO の語源はギリシア神話から来ている。ジュノーはギリシア語でヘラといい、ジュピターをゼウスと呼ぶ。ヘラとゼウスは夫婦である。ゼウスは浮気性であり、ヘラに隠れて浮気をするが、ヘラの調査によりいつもばれてしまう。探査機 JUNO で木星を探査することは、まさにヘラがゼウスを調査することと同じである。

(※文責: 岩木蓮)

- 木星探査の目的

木星探査を行うことにより、太陽系の起源や生命の起源を調査するヒントが得られる。木星には約 60 の衛星が存在しており、ミニチュアの太陽系のようになっている。また木星の成分は太陽と非常に似ており、ほとんどがヘリウムで構成されている。これらの性質から木星の調査は太陽系の調査につながっている。また木星の衛星ガニメデには海の存在が確認されており、生物の存在が示唆されている。そのため、木星の調査では生命の起源についてのヒントが得られる可能性も考えられる。JUNO 計画では主に木星の組成調査、磁場の調査、磁気圏の調査、重力場の調査を行う予定となっている。

(※文責: 岩木蓮)

### 4.1.2 後期：課題 3, 課題 4 の成果

調査グループ 4 人のメンバーで探査機 JUNO の装置についての詳細と木星における現象について知ることができた。以下メンバーがそれぞれ調べた内容を示す。

- JADE(Jovian Auroral Distributions Experiment)

図 4.12 に示す JADE は、JEDI と UVS と連動して動作する。木星の強力なオーロラの構成粒子やその発生プロセスを測定する装置である。電子用の測定器が 3 機、イオン用の測定器が 1 機 JUNO に搭載されている。0~30keV の低いエネルギーの粒子を検出することができる。



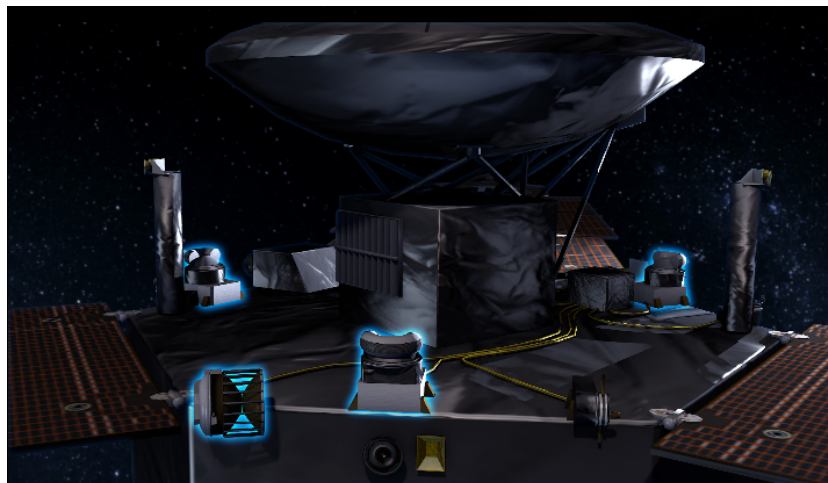


図 4.12 JADE

(※文責: 本問諒)

- JEDI(Jupiter Energetic Particle Detector Instrument)

図 4.13 に示す JEDI は、木星の磁気圏を調査するための装置である。高エネルギー粒子と木星の磁場の相互作用について測定する。JUNO に 3 機搭載されている。30~1000000keV の高いエネルギーの粒子を検出することができる。



図 4.13 JEDI

(※文責: 本問諒)

- Gravity Science

図 4.14 に示す Gravity Science は木星の重力場の測定を行う装置である。探査機 JUNO の飛行軌道の変化を発見する機能も備えている。ドップラー効果を利用して重力場を測定し、それにより木星の内部モデルを推測することができる。High Gain Antenna と呼ばれるアンテナで地球との通信を行い、重力場の調査を行うときと地球の通信を行うときでアンテナの向きを変えて観測をしている。

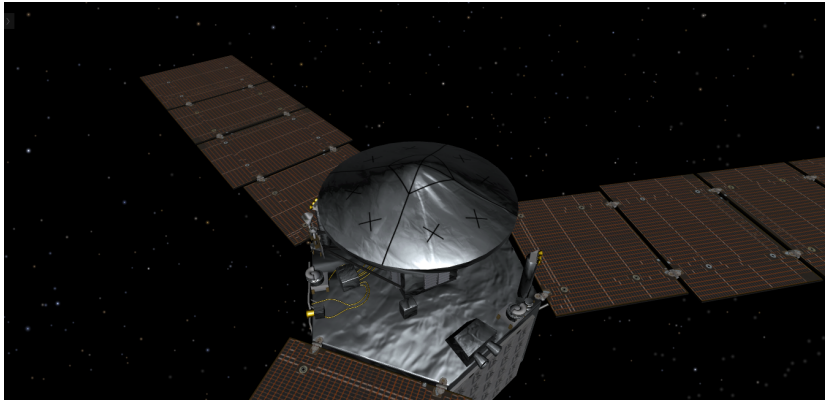


図 4.14 Gravity Science

(※文責: 岩木蓮)

- JIRAM(Jovian Infrared Auroral Mapper)、

図 4.15 に示す JIRAM は赤外線と分光器で高解像度の木星の大気を撮影しオーロラを観測する装置である。赤外線の波長は 2~5 マイクロメートルで主に水、メタン、オーロラを観測する。JIRAM で観測されたデータは他の装置と合わせて大気の観測にも使われる。

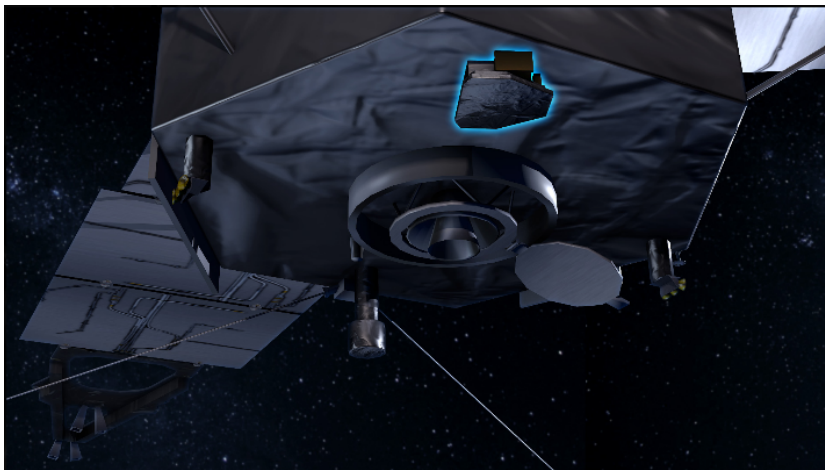


図 4.15 JIRAM

(※文責: 堤映水)

- JUNOCAM

一般的なカメラとして木星の写真を撮るために使われる。図 4.16 が探査機 JUNO に取り付けられるカメラである。今までより鮮明な画像を撮影でき、機体の軌道の関係により特別な角度からの撮影も行える。JUNO 計画では初めて木星の極付近からの撮影を行う。また撮影にあたり、NASA はアマチュアのアstronomerに撮影するポイントの募集を行っている。

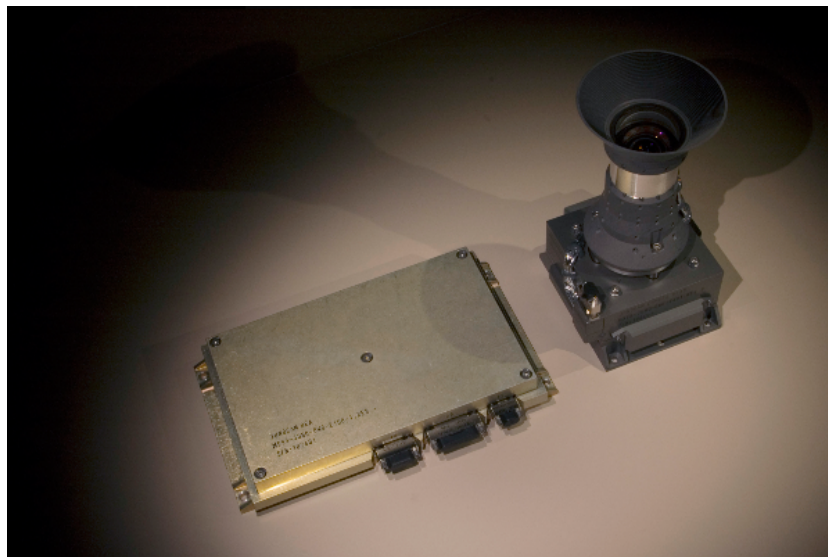


図 4.16 JUNOCAM

(※文責: 堤映水)

- Magnetometer

図 4.17 が Magnetometer である。木星の磁場を観測して 3 次元マップを作る。2 種類の磁力計が搭載されていて、1 つは磁場のベクトルを測定し、もう 1 つは磁場の強さを測定する。探査機 JUNO 自身の発する磁力による測定ミス为了避免、本体から離れた太陽光パネルの先に取り付けられている。また、1 つずつ取り付けることでその誤差をさらに少なくしている。

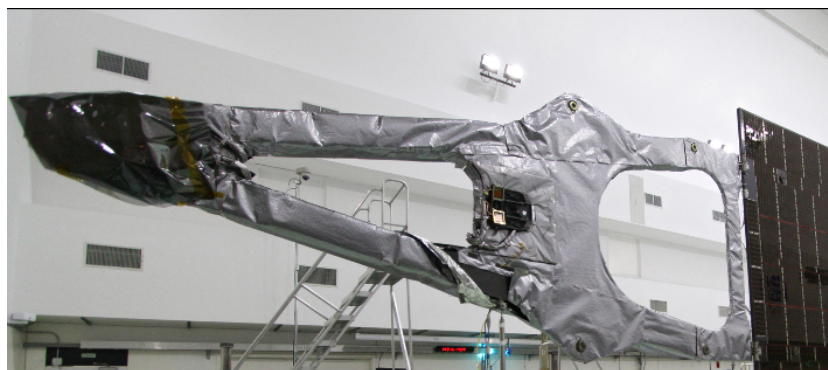


図 4.17 Magnetometer

(※文責: 堤映水)

- UVS(Ultraviolet Imaging Spectrometer)

紫外線を観測することによって木星大気上層部がどのようなになっているのかを調べることができる装置。また、木星に発生するオーロラの発生原因についても調べることができる。取り付けの様子は図 4.18 で、装置の全体図は図 4.19 である。



図 4.18 探査機の外から見た UVS

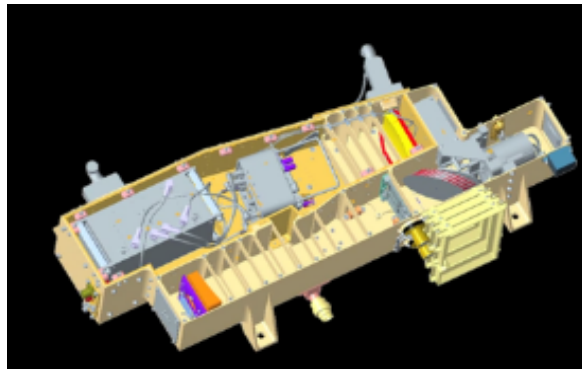


図 4.19 UVS の全体図

(※文責: 岩木蓮)

- Waves

Waves では木星磁気圏の電波とプラズマ波を調べることができる。これにより木星磁気圏と木星大気の相互作用について調べることができる。Waves では 2 つの機器を使って調査する。どちらの探査船の下部に取り付けられている。図 4.20 に示す電波を測定するアンテナはダイポールアンテナと呼ばれる最も基本的なアンテナの形をしていて 50Hz から 40MHz の電波を測定することができる。2 本の銅線がアンテナに取り付けられて、長さは 2.8m になる。図 4.21 に示す磁場を測定するコイルは 50Hz から 20KHz の磁場を測定する。磁力をよく通すミューメタルで作られた 15 の芯を銅線で 1 万回巻いている。木星の自転による強い磁場の影響をできる限り小さくするために近木点では 1 分間で 2 回転する。

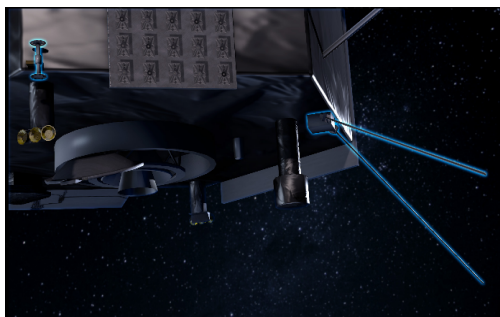


図 4.20 Waves のアンテナ

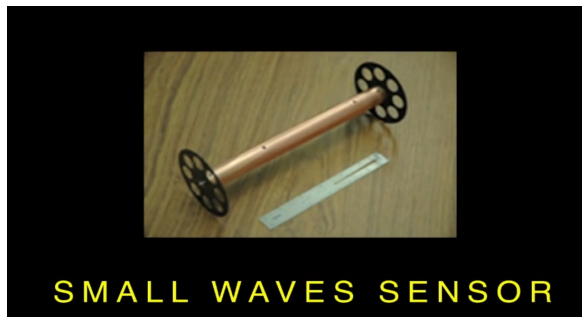


図 4.21 Waves のコイル

(※文責: 増井康平)

- MWR(Microwave Radiometer)

図 4.22 に示す MWR はマイクロ波を放射することによって木星の雲の下にある物質を調べることができる。異なる 6 種類のマイクロ波を放射する機器で構成されている。これによって木星大気にどのくらいの水とアンモニアが存在してるのかを調べることができる。1995 年から行われているガリレオ計画によってアンモニアの存在が明らかになって以降重要な観測対象となっている。



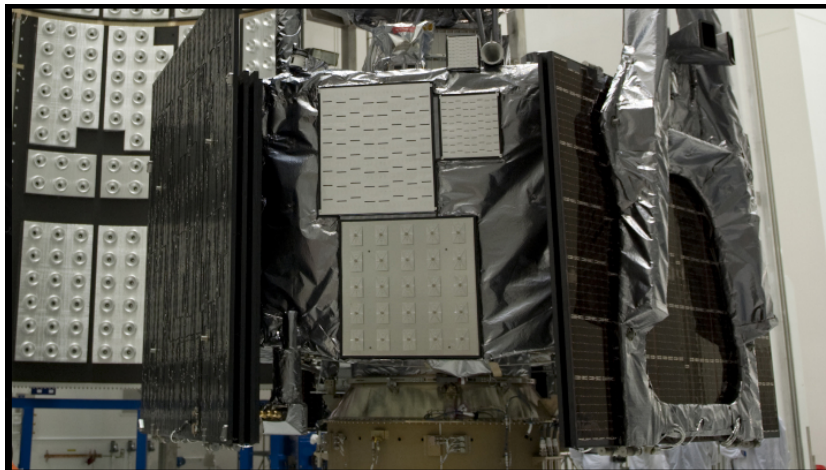


図 4.22 MWR

(※文責: 増井康平)

● 探査機 JUNO の軌道

探査機 JUNO は図 4.23 に示すような軌道をとる。主に二つの理由から特殊な軌道を描きながら木星を周回し調査する。一つ目は、木星には強力な放射線があり、装置を破壊するため探査機 JUNO はなるべく放射線が当たらないようにするためである。二つ目は、燃料を節約するために木星の重力を利用しながら木星を周回するからである。1 周 53.4 日の軌道と 1 周 14 日の軌道がある。2016 年 10 月 19 日に詳細な調査を行うために短い周回軌道に入る予定だったがエンジントラブルにより入れなかった。それによりもう 1 度長い軌道を周回し、2016 年 12 月 11 日に再度軌道変更を行い、これは成功した。

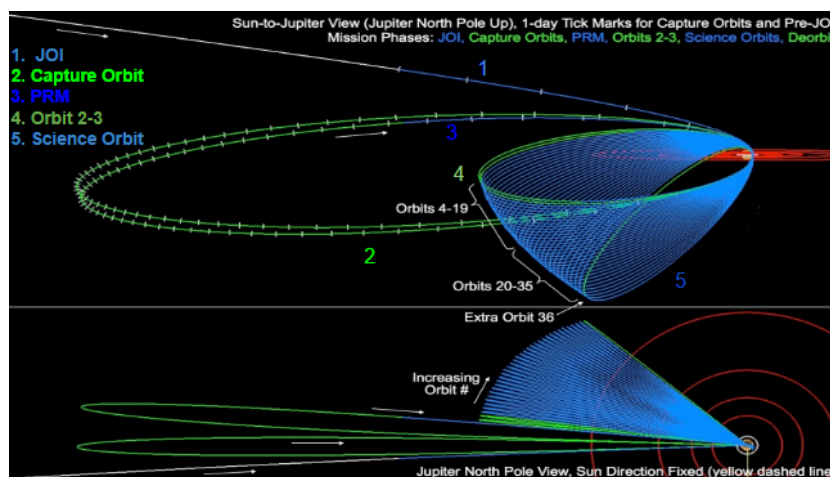


図 4.23 探査機 JUNO の軌道

(※文責: 岩木蓮)

● 木星の内部構造

これまでの調査から推測こそされているが、はっきりとしたところは不明。中心核はケイ素や岩石質ではないかと推測されている。地球の 10 45 倍の大きさを持ち、木星全体の 3~15% 程度の質量を持っていると推測されている。中心核の周囲には、微量のヘリウムや水の氷を含む厚い水素の層が広がっていると推測されている。液体金属状となっている部分と

液体をなっている部分とがある。これは木星半径の 78% に相当するとされている。

(※文責: 本間諒)

- オーロラの由来

オーロラの由来はローマ神話における曙の女神アウロラからきている。曙とは夜明けを意味していて、夜の空を明るく照らす様子を見たガリレオ・ガリレイがオーロラと呼び始めたと言われている。

(※文責: 堤映水)

- オーロラとは何か

オーロラとは、地球や木星などの惑星の極地近辺で発生する大気の発光現象。カーテンのように広がり、青、緑、赤といった色を中心として輝く。オーロラが発生した時、可視光、紫外線や赤外線、熱などが発生する。同じ磁力線で繋がっている地点を共役点という。共役点では地磁気の経緯度が同じであり、基本的に共役点同士で同様の規模のオーロラが発生する。共役点は年単位で移動し、唯一の陸上の共役点であったアイルランドと南極の昭和基地の共役点は 2010 年にアイルランド島から外れている。地球のオーロラは、極地または極地に近いところで見られる。ごく稀に日本でも見られる。木星などの惑星でも発生するが、発生原理や規模は異なる。

(※文責: 本間諒)

- オーロラの発生方法

太陽風によってプラズマが吹き付けられ、光速近くまで加速される後、その酸素や硫黄のイオンが木星大気に衝突する。衝突すると発光する。発生原因となるイオンは木星の衛星イオの火山活動により放出される。それが光速まで加速する原因は解明されていないが、現在 2 つの仮説が立てられている。地球と同じように太陽風によって加速されている仮説と、木星自身の高速自転や大きな磁場、衛星イオの火山活動によって加速しているという仮説である。調査の結果、太陽風の変化とオーロラの発生場所に関係があることがわかり地球と同じように太陽風の影響による可能性が高いとされている。

(※文責: 増井康平)

## 4.2 木星観測の成果

観測では、MEADE ETX 90 を使用した。木星を観測する前に練習として月の観測を行った。その後、天体の位置を調べる携帯アプリケーションで木星の位置を確認した後、木星観測を開始した。木星の公転速度が速く、ピントを合わせるのに苦労した。時間がかかったがピントを合わせることに成功し、望遠鏡での木星の観測に成功した。観測により、木星の縞模様とガリレオ衛星を確認することができた。時間に余裕があったため木星観測の後、火星と土星の観測も行ってみた。写真撮影を試みたが、部品の不足により写真は撮影できなかった。実際に観測を行うことにより、プロジェクトに取り組む意欲が上がった。

後期では撮影用のカメラと部品を購入し撮影を行うための準備を行ってきた。図 4.24 がカメラと望遠鏡を接続した写真である。しかし、悪天候により撮影はできなかった。



図 4.24 望遠鏡 MEADE ETX90

(※文責: 増井康平)

### 4.3 ウェブサイト作成の成果

後期では前期調べた内容と後期に調査グループが詳しく調べた内容をまとめたウェブサイトの作成を行った。ウェブサイト作成は Web グループがデザインし構築したサイトに調査グループが記事にしたものを載せていくことで完成した。サイトの URL は以下の通りである。

JUNO Watch Project ～ジュノウォッチ・プロジェクト～:<http://funjunowatch.azurewebsites.net/index.html>

ウェブサイトには以下の内容を掲載している。

- このサイトについて
- 木星について
- JUNO 計画、探査機 JUNO について
- 他のおすすめサイトのリンク集

この中で調査グループは「木星について」と「JUNO 計画、探査機 JUNO について」の記事作成を担当した。記事を作成するにあたって中高生向けにウェブサイトを作るということを常に意識し以下の点に注意した。

- 専門用語をなるべく使わない。使う場合は注釈を入れる。
- 文字の量を抑え画像でわかる記事作成を行う。

作成した記事を 4 人それぞれ発表をし、ウェブグループデザイン担当の檜山を交えて記事の修正を行った。修正を行ったものをウェブグループに渡し、もう一度ウェブサイト用に内容を修正してもらいウェブサイトの完成とした。

ウェブサイトは最終発表の時に紹介ポスターを作り実際に見てもらい評価していただいた。





## 第 5 章 成果発表

### 5.1 中間発表

#### 5.1.1 概要

2016年7月8日(金)にプロジェクト学習の中間発表を行った。発表は、本プロジェクトの概要や目的、中間発表までに何を行ったかをまとめたメインポスター1枚と、木星と探査機 JUNO の情報についてまとめたサブポスター2枚をスクリーンの脇に置き、スクリーンにプレゼンテーションのスライドを投影しそのスライドを用いながら行った。発表は約15分を6回行い、それぞれの発表後に数分の質疑応答を行った。また、発表を見て頂いた方には評価シートを渡し、発表についての評価をして頂いた。

#### 5.1.2 評価

中間発表でははこだて未来大学の学生と教員から評価して頂いた。

発表技術に関しては、原稿を見ずに発表できていて良かった、声が聞き取りやすかったなどの高評価が多かった。練習の時に何度も修正を行ったスライドについての見やすいとの評価を頂いた。

しかしその一方で発表内容に関しては厳しい意見を頂いた。教員の方からは興味深い内容だった、詳しい内容を聞きたいなどの意見を頂いたものの、学生の方からは、難しくてよく分からなかった、プロジェクトの目的が分からなかった、講義を聴いているようで退屈だったという評価を頂いた。

このような評価になった理由は、発表内容に物理や化学の専門用語が多く学生と教員では理解できたかどうかには差ができたものと思われる。中間発表の内容を基盤としてウェブサイト作成を行おうと考えていたが、大学生を相手にして難しいと言われる内容では中高生に向けて発信することは不可能なので、後期の活動ではより分かりやすく情報をまとめる必要があると感じた。

(※文責: 本間諒)

### 5.2 オープンキャンパス

#### 5.2.1 概要

2016年8月7日(日)にオープンキャンパスが行われた。そこで私たちは本学で行われている研究を発表するとして、本プロジェクトの発表を行った。発表は495教室で行い、中間発表の時に用いたポスターを3枚展示し、スクリーンにスライドを投影し発表するという中間発表とほぼ同じ形式で行った。プレゼンテーション用のスライドは中間発表の時に用いたスライドをオープンキャンパスのメインターゲットである高校生にも分かりやすいように改変したスライドを用いた。発表内容は中間発表と同じものであり、約15分を4回行った。

またオープンキャンパスは中間発表と違い時間が十分にあった。そのためもっと宇宙に興味を持ってもらうため、発表後に教室にあるPCを用いてNASAが制作した探査機 JUNO や他の探

査機のリアルタイムの位置を見ることができるだけでなく、現在の天体の位置、その天体の概要などが分かる天体シミュレーター「NASA's Eyes」を見に来て頂いた方に使ってもらった。また NASA's Eyes を用いて見に来て頂いた方とプロジェクトメンバーが1対1で発表では説明しきれなかった細かい内容や質疑応答を行った。

### 5.2.2 成果

オープンキャンパスでは約30の方が本プロジェクトの発表に足を運んでくれた。発表は高校生と、その高校生の保護者に聞いて頂いた。中間発表の結果を反省し、スライドの内容を分かりやすくしたつもりだったがそれでも高校生には難しかったのか、スライドでの発表は高校生からあまりいい評価を得られなかった。しかし、NASA's Eyes を使ったの説明は、1対1での説明だったので丁寧だったことや、わからないことを質問しやすかったこと、シミュレーターの操作が楽しかったことから概ね好評であった。また、高校生には不評であったスライドの発表も保護者の方には好評であった。話を聞いたところ昔から天体に興味があり、NASAのJUNO計画についても知っているとのことだった。中間発表と同じく少しでも知識がある人には好評であったということで、全く知識がない人を引き込むにはどうすればいいのかという後期の目標を改めて認識する良い機会になった。

(※文責: 岩木蓮)

## 5.3 最終発表

### 5.3.1 概要

2016年12月9日(金)にプロジェクト学習の最終発表を行った。発表は本プロジェクトの目的、活動内容をまとめたメインポスター1枚と、探査機JUNOについてまとめたサブポスター1枚、制作したウェブサイトについてまとめたサブポスター1枚を置き、その他にスクリーンにプレゼンテーションのスライドを投影して行った。発表の流れは初めにスライドを用いてプロジェクトの概要や活動内容、成果物について簡単に説明し、その後ポスターの方で詳細を説明し、質疑応答を行った。1回の発表は15分程度でそれを6回行った。また、発表を見に来て頂いた方には評価シートを渡し、発表技術と発表内容に関する評価をしていただいた。また中間発表の時の調べた成果の発表について、難しくてよくわからないという意見を中間発表の時に頂いたので、あまり難しい話にならないよう簡単な言葉のみを用いて発表した。

### 5.3.2 評価

成果発表でははこだて未来大学の学生と教員、そして高校生の方から評価して頂いた。

発表技術に関しては、中間発表同様スライドが見やすかったなどいい評価が多かったが、中間発表の時よりも評価が低いものが多かった。準備時間の短さから内容を覚えきれてなく、スライドを見て喋っていたことが多かった。

発表内容に関しては、学生の方からは前期より分かりやすくなって良かったなど、中間発表に比べると良い評価が多くなっていった。教員の方からは、もっと深い話まで知りたかった、簡単な言葉で話すということは浅い話しかしないということではないはず、という意見を頂いた。自分たち自身でも調べたことについてより深く理解し、難しい話を簡単な言葉で説明できるように努力す

## JUNO Watch Project

るべきだった。

またウェブサイトの QR コードをポスターに掲載しウェブサイトを見て頂いた。残念ながら QR コードをスキャンしてサイトを見てくれた人は少なかったが、見てくれた方からは見やすく良かった、カッコよかったなどと良い評価が多かった。見てくれた人が少なかったのもっと見て評価してもらうような発表の方法をとるべきだった。ポスターの方に行かずに帰ってしまった人もいたので発表の最初にポスターまで含めた一連の流れを説明するべきだった。

(※文責: 本間諒)

## 第 6 章 今後の課題と展望

### 6.1 プロジェクト全体の課題

プロジェクト活動を 1 年行ってきたことによって目的であったウェブサイトの基本的な形ができた。しかし、解決すべき課題が 4 つ残った。1 つ目に前期を全て調査に使ったことによってウェブサイトの情報量は目標とした量には届かなかったことである。今後は完成したウェブサイトのコンテンツを増やし、より分かりやすい情報に仕上げていく必要がある。2 つ目に、作成したウェブサイトはまだターゲットである中高生への発信を行っていないことである。実際に使ってもらった反応などから改善点を見つけ今後改良していく必要がある。3 つ目にプロジェクトの一番大きな目的である JUNO から送られてくる新情報についてだが、トラブルにより新しい情報を得ることができなかった。現在は調査が行われているので発信されてくる情報を調べ作成したウェブサイトにもまとめて発信することも次回以降の課題である。最後に写真撮影についてだが機材を揃えたが天候に恵まれず撮影できなかったことから、今後は積極的に外に出て撮影を行っていきたい。

(※文責: 堤映水)

### 6.2 メンバーの反省と課題

- 増井

前期の活動では調査を主に行ったが、木星に関する知識に加えてそれらの基礎となる物理についての知識が全くない状態でのスタートだったので理解するのに時間がかかった。調べた内容が英語ということもあり正しく日本語にできているのかもわからない上に内容自体の理解ができていないということが多くあった。これにより他のメンバーよりも理解が遅れていたため発表などで他人に内容を伝えるのが難しかった。

後期の活動では引き続き調査を行い、中高生向けに情報を発信する目的の下ウェブサイトのコンテンツ作成を行った。前期に英語の本や映像を見たことによって以前よりは英語に対する抵抗が無くなったが、やはり内容の理解には時間がかかった。またコンテンツ作成について対象とする層のことを分かってはいても前提知識を持っているメンバーに見せる感覚でコンテンツを作ってしまう内容が難しくなり、結果ウェブサイト作成グループの手を煩わせることになってしまった。実際に作成に使った時間もかなり短く内容も荒い物が多かったため、もう少しプロジェクトに割く時間を増やすべきだった。

- 岩木

私は 1 年間プロジェクトリーダーとして活動を行ってきた。リーダーとしてはメンバーへの課題の指示や教員との連絡のやり取りを行った。プロジェクト学習開始当時はなれない作業のため連絡の行き違いが生じ、活動が滞ってしまうことがあった。活動が進んでいくにつれ、リーダーとしての作業に慣れたことやメンバーの手助けが増えたことにより、プロジェクトの活動はどんどんスムーズになっていった。

## JUNO Watch Project

後期はグループ分けをし行い、私は調査グループに配属になった。調査グループではグループリーダーの指示のもと活動を行ってきた。前期のリーダーとしての活動の経験を活かし、グループリーダーの手助けを積極的に行った。個人の活動としては満足のいく結果が出たものは多くなかった。その原因は文献調査の際に使用した文献の数が少なかったことにあると考える。今後はひとつの文献の調査に時間をかけるだけでなく、より多くの文献調査を行う必要があると考える。

### ● 堤

前期では担当教員から与えられた書籍と動画から木星と JUNO 計画についての理解を深めることを行ったが、どちらも英語によるものだったため正確な理解が難しかった。しかし、教員の助力とメンバーへの発表によりこのプロジェクトで必要な知識を得ることができた。また、発表を行った時に見やすい資料を作ることに對しての意見をもらうことができ、自分の発表技術の向上になった。

後期には探査機 JUNO に搭載されている機器について調査を行い、中高生向けのウェブコンテンツの作成を行った。中高生向けのコンテンツを作る際に今まで調べてきた専門的な内容をどう扱うかに苦勞した。その結果中途半端な状態のコンテンツが多く、満足のいくものが作れなかった。全体的にスケジューリングの要領が悪かったこととメンバー間でのやり取りが少なかったため、かなり改善の余地がある。

### ● 本間

前期では担当教員から提供された資料を理解し、発表することで共有するところから始めた。しかし、提供された資料はすべて英語であったため、その翻訳に時間がかかり正確な理解にも時間がかかった。論文、ビデオ共に翻訳しても内容が掴みきれなかった点が多かったものの、発表後に内容について話し合うことでわからなかったところを含めて理解することができた。

後期ではウェブサイトのコンテンツ作成のために、JUNO の機器や木星について更なる調査を行った。中高生向けのコンテンツとして文章作成を行う必要があったため、深く調べながらもある程度簡略化されたものとなった。本来予定していた中高生へ直接見てもらうことによる意見を得る機会も取れなかったため、真に中高生向けのコンテンツとなったかが怪しいものとなってしまった。時間はあったにもかかわらずあまりにも作業量の少ない内容のものが多くなってしまったこともあり、メンバー間での協力や精力的な活動が必要であった点などは改善しなければならないことである。

## 付録 A 新規習得技術, 活用した講義

### 新規習得技術

Adobe Illustrator の基本的な使い方を習得し、中間発表用のポスターを制作した。また Adobe Photoshop の画像の切り抜き、マスク、各種ツールの使い方などを習得し画像を加工し各自の課題発表のためのスライドとウェブサイトのコンテンツ作成に用いた。

(※文責: 本間諒)

### 活用した講義

本プロジェクトでは物理学で学んだ知識が役に立った。木星の観測ではドップラー効果を利用し、木星の内部モデルを観測する方法がある。物理学でドップラー効果について学習していたため、内部モデルの観測方法について理解しやすかった。他にも電波、放射線など物理に関する現象が多くあった。また、本プロジェクトでは英語の資料を多く使用したため、コミュニケーションや VEP で行ってきた英語の読解が役立った。さらに、コミュニケーションではプレゼンテーションを数多く行ってきたため、スライドの作成や発表に役立った。情報を集める際に情報の発信源を調べたり情報の厳選を行った。科学技術リテラシの講義で学んだことが活用できた。

(※文責: 岩木蓮)

## 参考文献

- [1] F.Bagenal, T.Dowling, W.McKinnon, “Jupiter: The Planet, Satellites and Magnetosphere” , *Cambridge University*, pp1-18 (2004).
- [2] NASA <https://www.nasa.gov/>
- [3] NASA “The pionner mission” ,  
<http://www.nasa.gov/centers/ames/missions/archive/pioneer.html>.
- [4] JAXA <http://www.jaxa.jp/>
- [5] NASA,” Juno’ s instruments” ,  
<https://www.missionjuno.swri.edu/media-gallery/instruments>
- [6] NASA,” Jupiter Orbit Insertion Press Kit” ,  
[http://www.jpl.nasa.gov/news/press\\_kits/juno/](http://www.jpl.nasa.gov/news/press_kits/juno/)
- [7] NASA,” Mission Juno” ,<https://www.missionjuno.swri.edu>
- [8] NASA,” Origin|Mission Juno” ,<https://www.missionjuno.swri.edu/origin>
- [9] JAXA,” Jupiter interior” ,<http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2014/yoshioka/>
- [10] NASA,”NASA’s eyes” ,<https://eyes.nasa.gov/>