

目 次

- 1. 夜空には夢がある
 - ・地球と言う惑星に住む私達
- 2. 宇宙
 - ・宇宙科学の主たる役割
 - ・宇宙誕生解明の歴史
 - ・宇宙の始まりの観測
 - ・太陽系と惑星
 - ・天の川銀河
- 3. 宇宙開発の話、人工衛星の話他
 - 3.1 宇宙開発の歴史
 - ・日本のロケット開発の経緯
 - 固体ロケット
 - 液体ロケット
 - 3.2. 日本の宇宙開発拠点
 - 3.3. 人工衛星
 - ・人工衛星にはどんなものがあるのか
 - ・宇宙ステーションとHTV(こうのとり)
 - ・はやぶさ初号機、2号機



夜空には夢がある



夜空には星が瞬き、月が輝いている、きれいですね。

夜空は私たちの心に安らぎと安心感を与えてくれる。

人々の気持ちは不思議なものでそれだけには終わらない。

宇宙とは何だろう、地球という惑星はどのような存在なのだろう？

宇宙に行ってみたい…。また宇宙の誕生に興味を持ち、

どうなっているのか等々いろいろの疑問が沸きます。

皆様も同じではありませんか、その疑問を少しでも解き明かせればと考えます。皆さんと共にこの疑問に挑戦しましょう。

地球と言う惑星に住む私達

地球とは太陽系の中でどんな星なのかこれからどうなるのか等の疑問を持ちます。

この宇宙はどうして生まれたのかしら等の疑問も…？

宇宙誕生の謎や地球誕生等の疑問の理解は高度な課題、世界の多くの物理学者、天文学者の研究課題となっており、徐々に解明されて来ています。

まだまだ未解明のものがあり今なお研究が進められています。

地球に住み日常生活を送っている私達には直接の問題ではありませんが、しかしいろいろの事に疑問を持ち、好奇心を持つ事は私たちの夢を叶える出発点です。

少しでもその疑問点、謎に关心を持ちたいものです。

宇宙

- ・宇宙科学の進歩で宇宙創成の謎が解明してきました。一般人にはちょっと理解に苦しい話ですね。
 - ・身近な宇宙開発から宇宙の謎を解明して、宇宙、太陽系誕生秘話等の難題に挑みましょう!!
 - ・その宇宙科学の成果を身近に感じる手助けとなればと思います。
 - ・宇宙の夢を求めて挑戦あるのみ!?
- * Ever Onward !! *

宇宙科学の主たる役割

1. 宇宙創成(宇宙誕生、太陽系誕生は?)
 - 宇宙の始まり宇宙誕生
 - インフレーション、ビッグバン⇒宇宙の晴れ上がり、宇宙マイクロ波背景放射
 ⇒銀河系誕生⇒現在
2. 宇宙は謎だらけその解明に加速器が登場します
 - 宇宙の質量(エネルギー)の分布、ダークマターとダークエネルギー
3. 太陽系誕生と惑星
 - はやぶさの行く小惑星の位置(小惑星は約数百万個ある)
 - 太陽と地球の関係=日本の春秋秋冬
4. 宇宙・素粒子物理学
 - 宇宙の謎を解明して、誕生秘話、他に生命の存在を探す(宇宙創成は?)
 - 解明の道具として加速器の活用がある、加速器にはCERN等がある
 日本で設置の予定があるILCに期待する

どうして宇宙誕生は138億年前なのか？

* 宇宙誕生解明の歴史

1. 宇宙はどのように始まったのだろうか？どのような法則が宇宙を創り、進化させたのだろう？この問いは私達に課せられた最大の知的挑戦でした。
 2. NASAが打ち上げた「WMAP観測衛星」により、非常に高精度な観測から137億年という宇宙年齢が長年定着していましたが、その後欧州宇宙機関「ESA」が打ち上げた「プランク衛星」により、精密に観測し見直され宇宙誕生は138億年という年齢に変更された。
 3. 2013年3月22日には全天の宇宙背景放射マップが公開され、NASAのWMAPが観測したデータよりも高精度な宇宙背景放射マップの完成により、宇宙の年齢は137億年前と言われていたものが宇宙が誕生した時のビッグバンの光、マイクロ波として地球に届いてる、その光の波長を解析した結果約138億年である事が確認された。
- * 現在では観測と計算結果の両側面から得られた解析データにより138億年が定説となった***

どうして宇宙誕生は138億年前なのか？

* 宇宙誕生解明の歴史(宇宙年齢の算出)

- 宇宙年齢の算出は非常に難解ですが、概略はまず出来るだけ多くの遠方の銀河を観測します。この時の明るさが分かっている「標準光源」を利用して(比較して)年齢を求めます。
 - ①見掛けの明るさが予想より明るければ、予想距離より近くにある。つまりその距離で膨張が遅くなっていると言えます
 - ②見掛けの明るさが予想より暗ければ、予想距離より遠くにある。つまりその距離で膨張が速くなっていると言えます
- 遠い距離ほど宇宙の過去を見ているので、このようにデータを集めれば宇宙膨張の歴史が分かるという事です。

どうして宇宙誕生は138億年前なのか？

* 宇宙誕生解明の歴史(宇宙は膨張をしていると言うが)

- ・宇宙は膨張をしていると言う、その環境での宇宙誕生解明の疑問は？
- ・宇宙年齢も宇宙膨張の歴史が分かれば算出来ると言う。また宇宙の晴れ上がりが誕生から約138億年後である事も分かります。
- ・宇宙の年齢は前述のように「**宇宙背景放射**」から導き出されました。
- ・宇宙背景放射とは晴れ上がり後に発せられた光です。宇宙背景放射の波長は宇宙が膨張している為、引き延ばされ全体が赤に片寄っています(赤方偏位)
偏り具合は引き延ばされた時間に比例するので、偏り具合から逆算した結果晴れ上がりから現在までの時間が138億年になった。
晴れ上がりそのものは宇宙誕生時ではないのですが、宇宙誕生時から晴れ上がりまでの時間は無視出来る程度のほんの僅かな時間ですので宇宙年齢は138億年になります。
- ・**宇宙の晴れ上がり、宇宙背景放射**については後頁でより詳しく説明します。

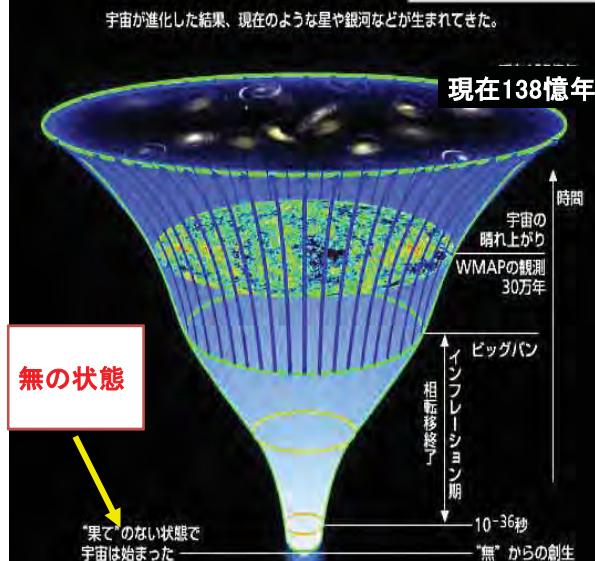
宇宙創成 宇宙誕生、太陽系誕生？

- ・何もない無の状態「ゆらぎ状態」から突然宇宙が生まれたと考えられています。
- ・**ビッグバン**によりエネルギーは、素粒子を生み出し、素粒子が結合して原子となる。
- ・宇宙初期には水素やヘリウム、これらの軽元素からなる雲は重力により原始星を通じて恒星となる。
- ・より重い鉄や珪素、我々の体を構成する炭素や窒素などの元素は恒星内部での核融合反応で生成し、**超新星爆発**により恒星間空間にばらまかれた。また、鉄より重い元素は超新星爆発時に生成したと考えられている。
- ・恒星やその塵が小銀河を作り、大銀河が生まれる、**太陽系惑星(地球等)は48億年前に生まれた**。
- ・宇宙は膨張を続け現在に至っていると言う。
- ・**ピックバーン理論**は1948年ジョージ・ガモフが提唱

・**ビッグバンのシナリオ(宇宙138億年の歴史)**

ビッグバン ⇒ インフレーション(膨張) ⇒ 膨張終わる ⇒ プロトン(陽子)の形成 ⇒ 重水素・ヘリウムの形成 ⇒ 星の誕生 ⇒ 銀河の誕生 ⇒ 星の誕生のピーク ⇒ 現在

サイエンスキッズ通信
宇宙が進化した結果、現在のような星や銀河などが生まれてきた。



宇宙の始まりの観測(今から138億年前)

・観測秘話

光学望遠鏡では宇宙の誕生からおよそ10億年後（今から128億年前）まで、また電波をとらえる望遠鏡では宇宙の誕生から38万年経った頃（『宇宙の晴れ上がり』と言っている）まで観測する事が出来るようになっています。しかし、更にその前の宇宙は望遠鏡では観測出来ませんでした。

生まれたばかりの宇宙は、あまりに小さくて熱く、濃い素粒子のスープのような状態だったからです。

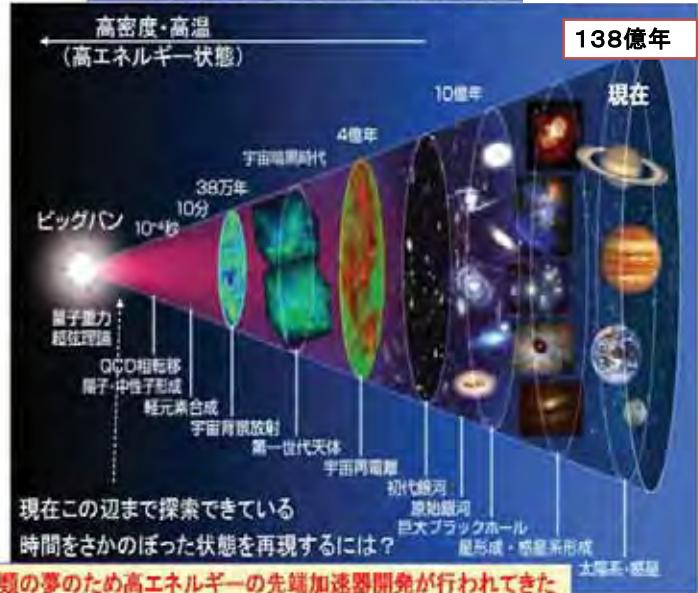
「宇宙の晴上がり」より前の生まれたばかりの宇宙を観測するには、**加速器**が活躍します。加速器はたくさん**の素粒子**が水蒸気のようにバラバラになって激しく飛んでいたころの状態を再現する装置です。

今日では加速器のおかげで宇宙が生まれてから3分しか経っていない時の姿が、かなり良く分かってきました。スイスのCERN（欧洲合同原子核研究機構）にあるLHCという加速器（ヒッグス粒子を発見した加速器）では、なんと宇宙誕生の 10^{-12} 秒（1兆分の1秒）後までさかのぼる事が出来るようです。

CERNとは欧洲素粒子物理学研究所。1954年にヨーロッパの12カ国が出資して設立された研究所。CERNという略称は、「European Organization for Nuclear Research」という名前。

宇宙のはじまりと素粒子発見の関係

サイエンスキッズ通信



人類の夢のため高エネルギーの先端加速器開発が行われてきた

インフレーション、ビックバン⇒宇宙の晴れ上がり、 宇宙マイクロ波背景放射⇒銀河系誕生⇒現在

・『インフレーション』と『ビックバン』

宇宙は急速に**膨張**し、物質のもととなる色々な種類の素粒子が大量に生まれ、超高速で飛び交う**超高温・超高密度の火の玉**のようになった。これを『**ビッグバン**』と呼んでいます。

宇宙誕生から 10^{-27} 秒の時です。この時の宇宙の平均温度は約 10^{25} 度（1兆度の1兆倍）以上でした。その後、温度は徐々に下がり、

10^{-9} 秒（10億分の1秒）後には素粒子ばかりであった宇宙は、 10^{-5} 秒（10万分の1秒）後には素粒子の中のクオーケが集まって陽子と中性子が出来た。そして3分後には陽子や中性子が集まって、元素の中で最も軽い水素やヘリウムの原子核が出来た。この頃にはまだ、高温の陽子や電子がばらばらに飛びかう状態（「高温プラズマ」といいます）の中で、光（光子）は電子に邪魔されて直進する事が出来ませんでした。

・『宇宙の晴れ上がり』と『宇宙マイクロ波背景放射』⇒銀河系誕生

・宇宙の温度が3000度(K)ぐらいに下がると、電子が原子核と結合して原子となり、光は邪魔されずに直進するようになりました。この宇宙の見通しの良くなった時を『宇宙の晴れ上がり』と呼んでいます。宇宙の誕生から38万年後のことです。この時の光が、宇宙のあらゆる方向から飛んでくる電波『宇宙マイクロ波背景放射』として、1965年に初めて観測された。

・2001年にNASAが打上げたWMAPという宇宙探査機によって撮影された宇宙の姿（全天球の宇宙マイクロ波背景放射）です。宇宙全体が晴れあがってきれいに見通す事が出来ます。

インフレーション、ビックバン⇒宇宙の晴れ上がり、 宇宙マイクロ波背景放射⇒銀河系誕生⇒現在（前頁続き）

・宇宙マイクロ波背景放射⇒銀河系誕生

⇒現在

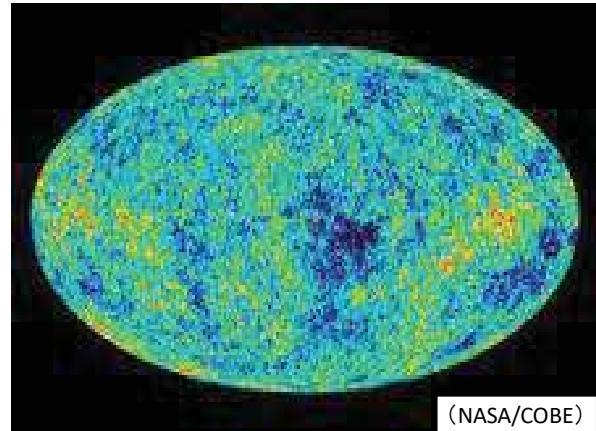
宇宙マイクロ波背景放射では宇宙全体が晴れあがってきれいに見通す事が出来ます。

ここに写っている様々な色の分布は『宇宙の温度ゆらぎ』を表わしています。

それぞれの場所のほんのわずかな温度の違いを示したもので、これは生れて38万年後の宇宙に、すでに場所によって密度の大きいところと、小さいところのムラがあった、ということを示す貴重な証拠です。

このムラが、やがてたくさんの星を産み育て、銀河系をつくるのです。

10億年後頃から銀河系宇宙の誕生、太陽系の誕生、そして132億年後（今から46億年前）には地球の誕生と続き、現在に至っています。



(NASA/COBE)

WMAPによる宇宙マイクロ波背景放射の温度ゆらぎ

宇宙は謎だらけ、その解明に加速器が登場

1. 宇宙の謎解き加速器の登場

宇宙はまだ謎だらけです。惑星や恒星などを含めて、これまでに分かっている宇宙の物質は約5%だけです。その残りの約95%の正体は何だろう？ 今のところ約25%は目に見えない物質である「暗黒物質（ダークマター）、約70%は謎のエネルギーである「暗黒エネルギー」だと考えられています。

宇宙の謎を調べるなら望遠鏡を使えば良いと思いますね、なぜ、わざわざ加速器を作つて、『宇宙を見る』必要があるのでしょうか？

世界最高級の性能をほこる国立天文台ハワイ観測所のすばる望遠鏡（米国ハワイ島）や米国航空宇宙局（NASA）の地上から約600キロメートルの軌道上を周回する人工衛星のハッブル宇宙望遠鏡をはじめ、たくさんの大型望遠鏡があり、暗黒物質の解明などを目指しています。

しかし、どんなに望遠鏡の性能を上げても、宇宙には見えない部分があります。その見えない部分に、宇宙が何で出来ているかのヒントがあると考えられているのです。

「見えないなら、小さい宇宙を自分たちで再現してみよう！」

科学者たちは、加速器というマシンで小さい宇宙をつくる、その見えない部分は何で出来ているのかを調べる実験をする。その代表加速器はスイスにあるCERNの超大型加速器（LHC）です。

しかし残念ながら『暗黒物質（ダークマター）』と『暗黒エネルギー』の正体は今だ解明に至っていません。

加速器とは、粒子に大きなエネルギーを与える装置です。

2. 素粒子と宇宙：素粒子物理学

私たちの体や身近にあるものを細かく分けていくと、すべてが素粒子に行きつく、地球やこの宇宙が成り立っているのもすべて素粒子のお蔭です。

素粒子を研究する学問を“素粒子物理学”と言います。宇宙がどのようにして生まれ育ってきたかを探る基礎研究する学問です。

・加速器とは

加速器は、電磁波などを使って粒子にエネルギーを加え、粒子を加速する装置。宇宙誕生時の環境を人工的に作る装置です。

加速した粒子同士をぶつけることによってエネルギーのかたまりを作り出し、そこから噴出する様々な粒子を観測する事が目的で、加速器で加速された粒子が速ければ速いほど、より大きなエネルギーを作り出す事が出来る装置。

・CERNのLHC：陽子-陽子衝突させる加速設置。全周は約27kmある巨大なも、陽子ビームの衝突点にて高エネルギー物理現象から生じる粒子を観測する。

・日本に設置が計画される国際リニアコライダー（ILC）：

全長約31kmの直線状の地下トンネルの中で、超高速に加速した電子（e-）とその反物質の陽電子（e+）を正面衝突させ、宇宙の誕生した瞬間の姿を再現させ、超高エネルギーの世界に到達させる。

注：電子と陽電子は、陽子よりはるかに小さくて軽い（電子と陽電子の質量は、陽子の質量の約1836分の1）のですが、これらを直線状の短い距離で光の速さにまで加速する技術と、正確に正面衝突させる技術は、LHCの場合よりもずっと難しいのです。

宇宙の質量(エネルギー)の分布

宇宙の星や生物は、私たちの知っている物質から出来ています。しかし、これらは宇宙の全質量（または全エネルギー）の4%にしかなりません。残りは、暗黒物質(dark matter)が23%で、暗黒エネルギーが73%を占めています。

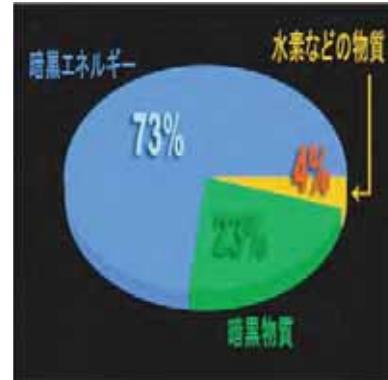
残念ながら、私たちは暗黒物質や暗黒エネルギーの正体が何であるか未だわかりません。

暗黒物質は宇宙の初期に来た未発見の相互作用の小さい素粒子である可能性があります。この暗黒エネルギーは、アインシュタインによって一般相対性理論に導入された宇宙定数と見なす事が出来ます。

$$E = mc^2$$

$$(エネルギー(E) = 質量(m) \times 光速度(c) の 2乗)$$

この式はエネルギーと質量は本質的に同じである事を示しています。



宇宙の質量(エネルギー)の分布。73%は暗黒エネルギー、23%は暗黒物質で残りの4%が水素などの物質から出来ています。96%について正体不明となっています。
(KEKのWebpage「キッズサイエンティスト」から)

ダークマターとダークエネルギー

ダークマターの正体

太陽系の惑星は太陽の回りを重力の影響により公転していて、その公転速度は重力の影響を受けて太陽中心に近い惑星は早く、遠い惑星は遅い。しかし銀河系の恒星の公転速度は観測結果によるところ通りでなく、**公転速度はほぼ同じであるか早い**。回転する物質には遠心力が発生する、この遠心力と内側に引っ張る星の引力が拮抗することで星は銀河の中に留まる。しかしその回転速度は理論上より早く回転している事が分かる。他の銀河系も同様な傾向にある。

何故か、それは目に見えない重力をもった何かが働いていると考えられ、この正体は今だ解明されていない、それを暗黒物質ダークマターと名付けている。

ダークマターの特徴

- ①目に見えない(光を出したり、吸収しない)
- ②非常に重い
- ③宇宙の広範囲に分布している

注: このダークマター、(ダーク)エネルギーの解明に日本はリーダシップを取り東北に2030年ころ完成予定で「国際リニアコライダー(ILC: International Linear Collider)」を計画しています。

ダークエネルギーの正体

ダークエネルギーは宇宙全体に浸透し、宇宙の拡張を加速していると考えられる仮説上のエネルギーを暗黒エネルギーと呼んでいる。

ダークエネルギー(暗黒エネルギー、dark energy)とは、現代宇宙論および天文学において、宇宙全体に浸透し、宇宙の拡張を加速していると考えられる仮説上のエネルギーである。

ダークエネルギーとは、宇宙全体に広がって負の圧力を持ち、実質的に「反発する重力」としての効果を及ぼしている仮想的なエネルギーである。

この語は、宇宙論研究者のマイケル・ターナーが1998年に初めて作った言葉であるとされる。

現在観測されている宇宙の加速膨張や、宇宙の大部分の質量が正体不明である。

太陽系誕生と惑星

* 太陽系誕生(約46億年前) :

・宇宙の誕生は約138億年前に誕生、その後約46億年後に太陽系が誕生した。

微惑星→原始惑星→原始惑星大衝突→1億年で地球規模の惑星誕生



太陽系

一番左が太陽 (8つの太陽系惑星)

水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星

太陽系惑星(密度で分類する)



内惑星

岩石や金属などの難揮発性物質から構成される岩石惑星。
水星、金星、地球、火星



外惑星

地球よりも直径で4倍以上、質量で10倍以上の大きさがあり、密度は低い組成から木星と土星は巨大ガス惑星(Gas Giant)、天王星と海王星は巨大氷の惑星(Ice Giant)と分類される

月誕生秘話

地球は46億年に誕生した。その後地球と他の天体との衝突によって飛散した物質が地球周回軌道上で集積して月となったとする説が有力である。「巨大衝突説(ジャイアントインパクト説)」である。月の石の分析からわかっている。



“月の豊穴は将来月面基地候補”

月探査機かぐや(SELENE)、NASAのルナー・リコネサンス・オービター(LRO)探査機での調査結果、月には豊穴チューブがありこれは溶岩流による溶岩ユーブによるものとしてLROにて証明された。溶岩ユーブは月の内部に多く存在する。

月はレゴルスと呼ばれる砂に覆われている、これは隕石衝突により生まれた砂で粘り気がなくさらさらしたもの、豊穴は淵が盛り上がってない形状である。月には大気がないため有害な放射線が存在する。昼は120°C、夜は-170°Cである。

月の豊穴はこれらを守り、地球との交信する穴として有効である。



ジャイアント・インパクトの想像画。NASA作成

はやぶさの行く小惑星の位置 (小惑星は約数百万個ある)

太陽系の起源・進化
太陽からの距離に依存します

- S型(ケイ素質)
- C型(含水鉱物、有機質)
- ↓ D型、P型(より始原的なタイプ)

探査の目的

太陽系起源と進化の解明、生命の原材料物質調査

- イトカワ : S型
- 1999JU3(りゅうぐう) 小惑星 : C型
- 次期探査 : D型



太陽と地球の関係＝日本の春秋秋冬

* 疑問 *

- ・なぜ夏は暑くて、冬は寒いのだろうか？
- ・夏と冬では日照時間がなぜ違うの？
- ・春夏秋冬は？

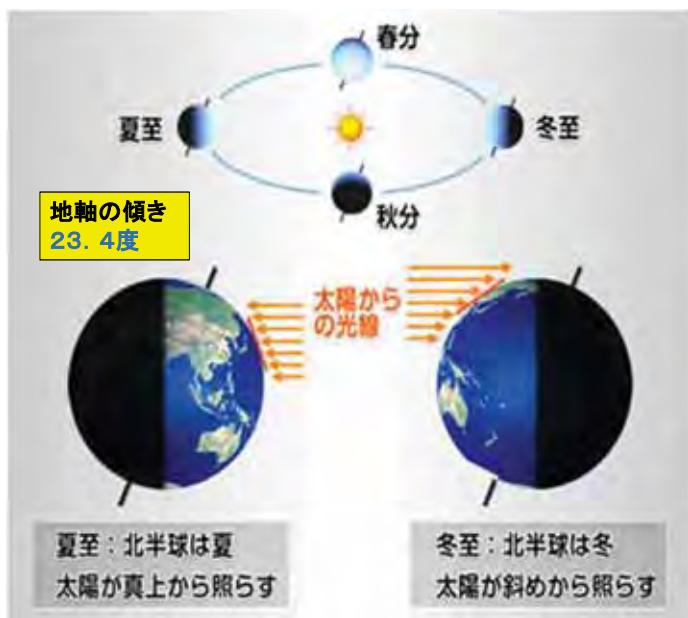
夏と冬で気温が変わるのは、太陽との距離が変わるせいでもなければ、太陽の活動が変化するからでもありません。

それは、「地軸」が傾いているからです。

地球は北極点と南極点を結ぶ直線を軸にして自転していますが、この地軸は公転面（地球が太陽を周回する面）に対して垂直ではありません。

そこには、約23.4度の傾きがあります。

そのため、太陽の動きは一年を通じて変化します。このことは、日本だと夏は太陽が空の高いところを通過するから昼が長くなり、冬は空の低いところを通過するから夜が長くなることからもわかる。

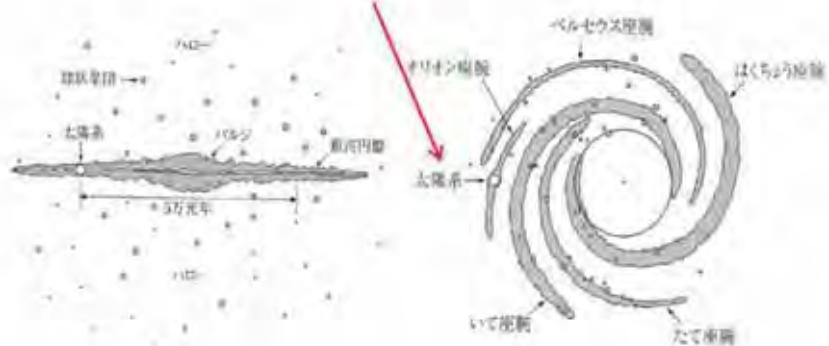


天の川銀河 (Milky Way Galaxy) 太陽系(地球等の惑星)のある銀河

- ・大宇宙の中、約8兆個と言われる銀河のうち、私たちの地球はどの銀河に属し、どのような位置にあるのでしょうか
- ・私達が住む、地球は天の川銀河(Milky Way Galaxy)の太陽系に属している。この天の川銀河には一千億以上の星やガスやチリが集まつた天体が集う星の街にある。
- ・それではこの天の川銀座の本当の姿はどんなものであるかを調べる。
- ・20世紀に入り、天体観測用望遠鏡の技術の進化、ハッブル望遠鏡、観測衛星により宇宙の謎解きが始まった。
- ・しかしながら謎解きは続いている、その観察結果を以下に綴る。

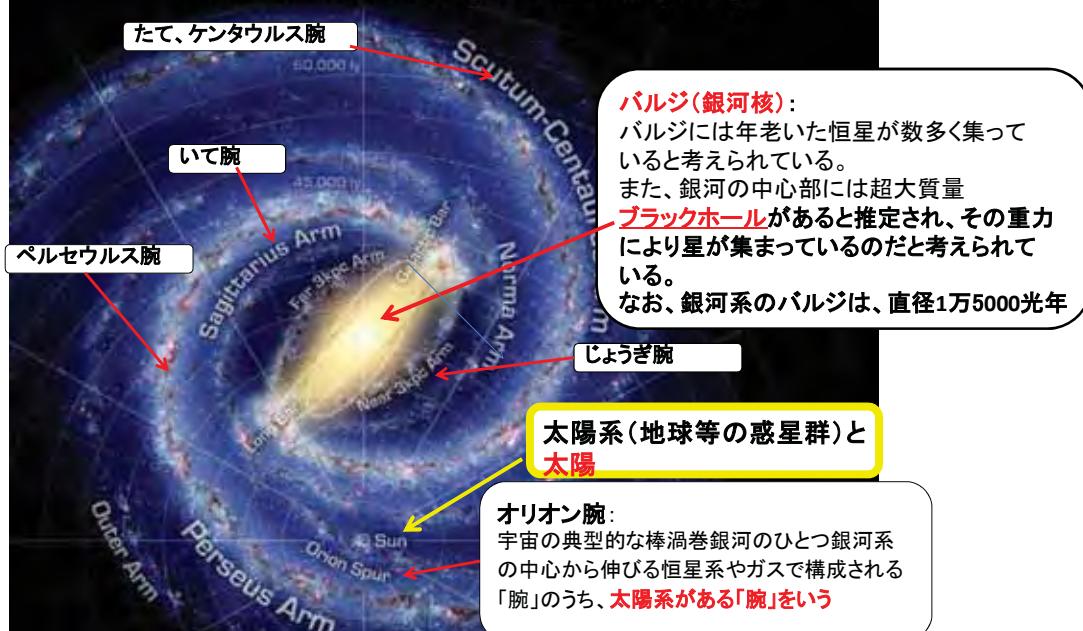
天の川銀河系の構造

オリオン腕 太陽系 地球



宇宙の数ある銀河における地球の住所
天の川銀河⇒オリオン腕⇒太陽系の第3惑星
銀河系では田舎にあると言える

Annotated Roadmap to the Milky Way



宇宙開発 ロケット開発の歴史



日本の宇宙開発の現状



日本の宇宙開発技術は素晴らしい、しかし国家予算は厳しい。その現実の中で日本人のもつ決して諦めない精神と世界一のモノづくり技術が生きている。少ない資源の中で知恵を絞り世界に誇れる宇宙開発の成果(H2A, Bロケット、各種固体ロケット、イプシロンロケット開発、「はやぶさ開発」、ISSへの物資輸送機「こうのとり」、各種衛星開発、宇宙探査衛星等々)がある。
その現状を少しでも皆様と分かち合いたいと考えます。

なぜ日本に宇宙開発が必要なのか

・宇宙開発の必要性

宇宙は、もはや私たちの生活から切り離せないものになっています。天気予報の気象衛星「ひまわり」をはじめ、通信、放送、災害監視、地球環境監視を担う人工衛星が、私たちのライフラインとして活躍していることはご存知でしょう。また、利用という面だけではなく、人類や地球の起源を解明し、豊かな未来を切り開くための宇宙科学の分野も重要です。人工衛星などを宇宙まで運ぶ手段は、さまざまなアイディアが検討・研究されているものの、現状で一番確実なものはロケットで、この研究も宇宙開発の主要な一部となっています。

・ロケットを持っていなかったら

必要な時に打ち上げは出来ません。衛星のような精密なシステムを海外に出すための煩雑な手続きや輸送のリスクを負わなければなりません。そして何よりも、私たちの日常生活にかかわるライフラインを他国に依存することになり、一国としての自立性や国際社会での役割が弱くなってしまいます。

・国際協力

国際協力の場での貢献度は、自らが保持する能力によって大きく変わってくるので、独自の取り組みや技術力が重要なことに変わりはありません。国際宇宙ステーション(ISS)の維持への投資はその一例です。

JAXA理事 樋口清司

日本のロケット開発の経緯1／5

1. 日本の宇宙開発の夜明け

・日本の宇宙開発の父、糸川博士は日本独自の技術でまず固体ロケット「ペンシルロケット」の開発に着手した。

・1955年4月、東京・国分寺の工場跡地に設けられた実験場で、ジュラルミンの機体に火薬を詰めた「ペンシルロケット」が水平発射された。

・日本初のロケット実験は水平発射であった。

長さ23cm、直径1.8cm、約200グラム。飛距離は数メートル足らずで、秒速110mのロケットはデータを取るために吊された薄紙を次々に貫通して行きました。

・ペンシルロケットは、その後も国分寺と千葉の生産技術研究所で水平発射実験を繰り返したが、ロケットは空に向かって打上げなければ意味がないと判断、開発実験場と射場を秋田県に求めた。



日本のロケット開発の経緯2／5

2. 本格的な固体ロケット実験場と打上げ射場

- ・ロケット実験場は秋田県能代市に1962年に開設され、国産固体ロケットのほぼすべてがここで燃焼実験を行って来た。

- ・打上射場は同じく秋田県の道川海岸にて固体ロケット開発に着手した。

- ・第1回目の実験は長さ30センチの「ペンシル300」ロケットを発射台にセットし、点火したのが最初となった。

3. 日本最初の固体ロケット打上げ(1955年8月6日)

- ・最初のロケットは発射台を離れ、砂浜を這いずり回り失敗に終わったが、急遽、発射台を改良して、2度目の発射実験を行い、無事に成功した。

到達高度600m、飛翔時間16.8秒を記録する事が出来た。

- ・ペンシルロケットの実験は8月8日まで続けられた。

- ・その後の実験は、より大型のベビーロケットやカッパ(K)ロケットというタイプに引き継がれて行き、大型に伴い射場は鹿児島県の内之浦実験場に移り、現在の固体ロケット開発となっている。



日本のロケット開発の経緯3／5

4. 固体ロケットイプシロンロケット開発

現在はコスト、能力に於いて世界に誇れる固体ロケットイプシロンロケットが開発され改善改修中。

5. 液体ロケットの開発

- ・まずはアメリカの技術導入にて実施した。

- ・液体ロケットは1969年宇宙開発事業団(NASDA)が設立されると同時に、その開発に着手した。

- ・液体ロケットは固体に比して構造が複雑になり、難易度が高くなる。日本にはその開発技術が無いため、最初はアメリカの技術導入で開発をはじめた。

- ・しかし実用・商業的ロケットの必要性から、アメリカと日米宇宙協定を結び、米国からの技術導入にての開発を決断した。

日本のロケット開発の経緯4／5

6. 機密性(ブラックボックス)

・1970年技術導入によりN-I → N-II → H-I (2段LE5エンジンは国産)とロケット開発を進めて来たが、機密性が高くアメリカは重要部分はブラックボックスとしていた、そのため不具合発生時日本だけでは問題解決出来ず国産化の必要性を強く認識した。

7. 本格的国産化着手

・そこで1986年からH-IIロケットとして本格的国産化に着手した(開発の経緯参照)。

しかし1992年LE-7エンジン爆発、1998年5号機、1999年8号機(本来7号機)とたて続けに打上げに失敗、そこで開発を一時中断してH-IIロケット改良型の開発に着手した。

日本のロケット開発の経緯5／5

8. 独自開発の苦悩

・国産化は簡単ではなく苦難の道を歩んだが、弛まない努力で現在では世界に誇れるものとなっている。

その結果2001年H-II A1号機打上成功、2009年に第一段エンジン2基に増強したH-II Bも完成し現在に至っている。

9. 信頼性確保

H-II Aは2003年6号機で失敗はあったが、2018/06現在39号機まで連続打上成功、成功率97.4%の素晴らしい成果となっている。

10. 世界に通用するロケット開発に着手

・基幹ロケット:①H3ロケット(開発中)、②イプシロンロケット(改良中)開発。

・世界の市場競争力に勝つにはコストダウンと、より安全で信頼性のあるロケット開発を目指す。

ロケット打上げ射場

ロケット打上げには万が一に備えての広大な射場が必要

現在日本の主力ロケット、HⅡA,Bの打上射場種子島宇宙センターは広大で安全な世界一美しい射場である。素晴らしい!!



注:日本の各種射場は後述する

過去をさかのぼれば、日本のロケット開発の父、糸川博士は広大で安全、交通便利な所として秋田県道川海岸を選び、日本初のロケット開発を始めた。しかし今は残念ながらそこには石碑があるだけ!!



宇宙開発の現実と苦悩 * ロケット開発の特異性 *

ロケットとは

1. ロケットは極限までの軽量化を必要とする構造体である。
2. ロケットの設計は、初めに寿命ありき、寿命を前提にして、ギリギリのところで設計している。
・機体全体を軽量化するため余裕を徹底的に削る、H-2Aは荷重に対して安全係数が1.2で設計であった。
3. ロケットは巨大なエンジン
・LE7エンジンは毎秒760リットル(ドラム缶4本分)の液体水素と液体酸素を約3,000°C、約130気圧で燃焼させる。高圧燃焼させるために液体酸素と液体水素を燃焼器に送り込むターボポンプ出力は約3万馬力である。
- ・エネルギーは戦闘機の100倍、F-1なら1万倍となる。

4. ロケット失敗の主たる要因

- ・ロケットは、初めに寿命ありき、寿命を前提にして極限までの軽量化を行う。
- ・世界のロケット開発機関は、この前提を基に、成功率を設定する(90%とか、95%とか)、この数値は40機から50機打っての平均値、初期の失敗の確率は非常に高くなるのが技術の証明である。

最初の10機から20機は脹をだす期間である。

5. 日本のロケット成功率実績(2017, 8.18現在)
・現在H-IIAロケットの打上げ成功はこれで29機連続。

これまでの全35機中、成功は34機で(失敗は2003年11月の6号機のみ)、**成功率97.14%となつた。**

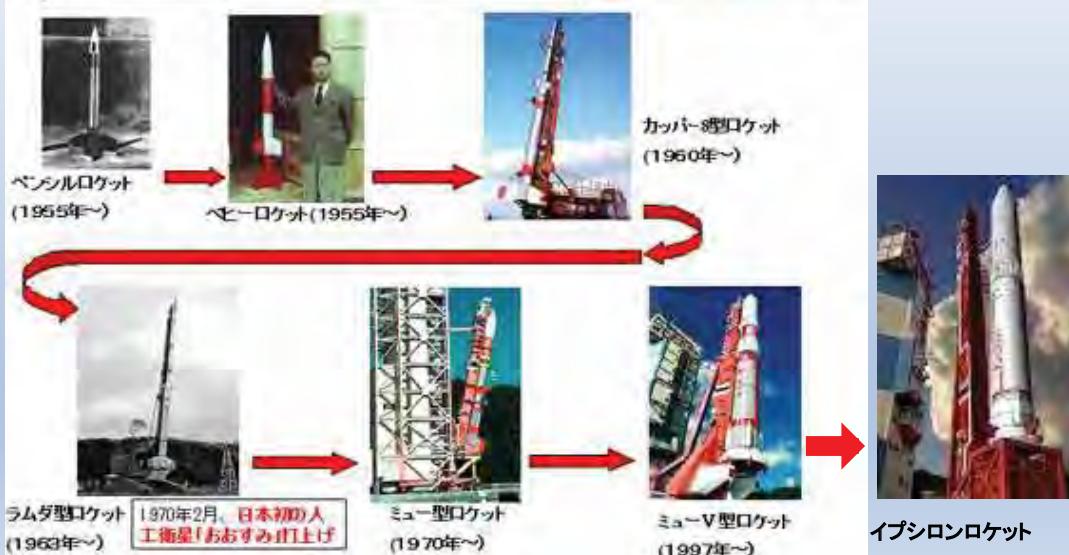
増強型であるH-IIBロケットも合わせると、連続成功は35機、成功率は97.56%。

* 過去の失敗経験が今に生きている。

固体ロケット カッパ8号機までは道川海岸射場であったが、それ以降は内之浦に移った

日本のロケット開発の歴史

科学観測用固体ロケット



世界の主要中小型ロケットの比較



ロケット名	ペガサスXL	シタウルスI	シタウルスIV	トーラスXL	バガ	ロコット	ドニエブル	ソユーズU	PSLV	イプシロン	
国名	米国	米国	米国	米国	欧洲	欧ノ露	露	露	インド	日本	
製造企業	Orbital Sciences Corporation					European Launch Vehicle	Eurockot Launch Services	ISC Kosmotras	Progress工場	ISRO	アイエイテアイエアロスペース
成功/打上	37/42	10/10	3/3	6/9	2/2	16/18	16/17	745/768	23/25	開発中	
打上げ成功率	88%	100%	100%	66%	100%	89%	94%	97%	92%	—	
打上能力t (LEO500km)	0.4	0.6	1.8	1.4	2.3	2.0	2.7	4.6 (クーラー打上)	1.6 (SSO 620km)	1.2トン	

2013年8月1日 現在

イプシロン固体ロケットの主要諸元

© JAXA



主 要					
名称	イプシロン固体ロケット				
重量 (kg)	24,4				
全燃質量 (t)	8.1 (イプシロン) の質量は含まれません				
燃焼方式	慣性燃焼方式				
各 段					
	1段モード	2段モード	3段モード	4段モード	5段モード
直径 (m)	1.3 - 7	4 - 3 ^①	2 - 3 ^②	1 - 2	1.1 - 1
高さ (m)	2 - 6	2 - 2	1 - 4	1 - 5	2 - 8
質量 (t)	7.5, 8	12 - 8	8 - 7	9 - 1	1 - 0
推進素質質量 (t)	4.6, 5	10 - 8	2 - 3	0 - 1	-
推力 ^③ (kN)	227.1	87.1 - 5	8.0 - 8	0.4 - 4	-
燃焼時間 (s)	11.6	10.5	9.0	11.6 ^④	-
燃焼素質	コンポジット 燃素質	コンポジット 燃素質	コンポジット 燃素質	エボラジン	-
燃焼素質方式	液体燃素質	液体燃素質	液体燃素質	液体方式	-
火薬力 ^⑤ (t)	2.8.4	3.0.0	9.0.1	2.1.5	-
燃焼素質方式	3種燃素質 (HCl/NO ₂)	3種燃素質 (HCl/NO ₂)	スルッカム/ アムライク燃素質	5種燃素質 (アリスリ)	-
主 燃 素 燃 素 子 燃 素	ヒドロゲン オキサイド ハイドロゲン オキサイド ヒドロゲン	液体二酸化 アミン 液体二酸化 アミン ヒドロゲン	液体二酸化 アミン 液体二酸化 アミン ヒドロゲン	液体二酸化 アミン 液体二酸化 アミン ヒドロゲン	-

液体ロケット

日本のロケット開発の歴史

実用衛星用液体ロケット



LS-1ロケット (1968年～)

JCRロケット (1969年～)

N-1ロケット (1975年～)

日本初の静止衛星打上げ

H-II A, H-II B ロケット

N-1ロケット (1981年～)

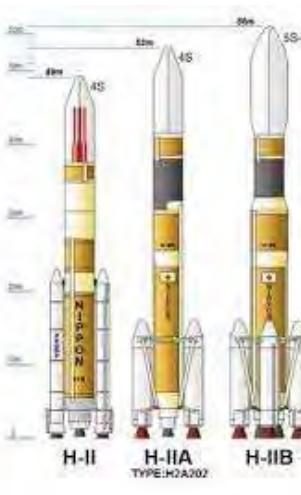
H-1ロケット (1986年～)

H-IIロケット (1994年～)

日本初の慣性誘導ロケット

日本初の液体水素ロケット

国産化率100%のロケット

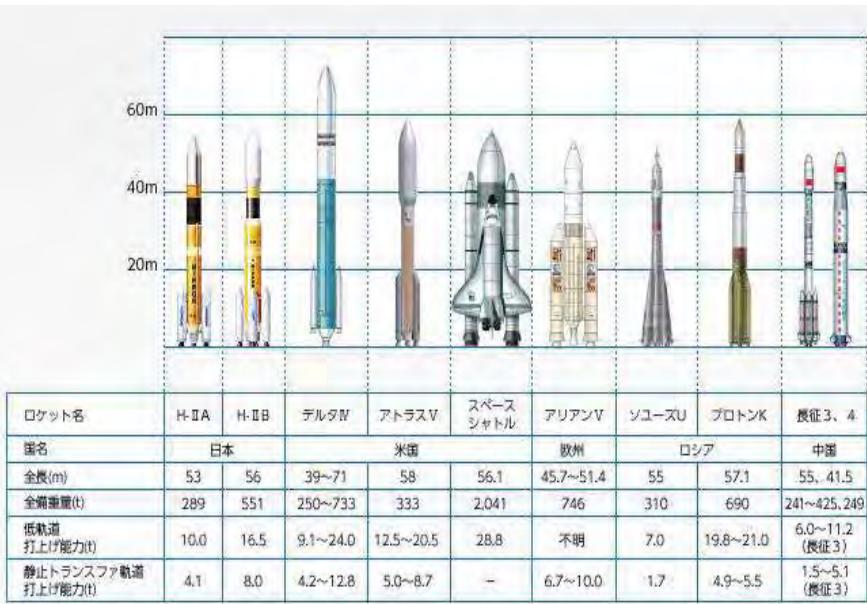


© JAXA

国産化を目指した液体水素／液体酸素エンジン



世界の大型ロケット



JAXA H3ロケット (次期国産基幹ロケット)

国際競争力に向けて開発中



日本の次期基幹ロケット

イプシロンロケット

革新的技術

- ①人工知能によるセルフチェック(ROSE)
- ②モバイル管制

市場競争力構想

- ①コスト 38億→30億以下
- ②能力 1.2t→2t以上
- ③射場作業 7日間
- ④パッケージ化商品
- ロケット打上げ作業、衛星製作
- 支援、運用施設建設支援

H3ロケット(開発中)

開発目標、市場競争力構想

- ①第一段LE-9エンジンをエキスパンダブリードサイクルとする、現有LE-5Bエンジンの改良、増強型とし、開発費、製造費、ともに安価とする。
 - ・コスト: 50億円H2Aロケットの半額
 - ②打上能力 H2Aに比して1.3~1.5倍
 - ③安全性
 - ④信頼性向上
 - ⑤射場整備作業 26日間(H2Aロケットの半分)
 - ⑥開発費 約1900億円

日本の宇宙開発拠点

1. 種子島宇宙センター
2. 鹿児島県内之浦
3. JAXA角田
4. 秋田県 能代、田代、道川
5. 相生ロケット試験センター
6. 北海道大樹町

打上射場 種子島宇宙センター内の主要施設設備



© JAXA



種子島射場



LE7Aエンジン燃焼試験



© JAXA

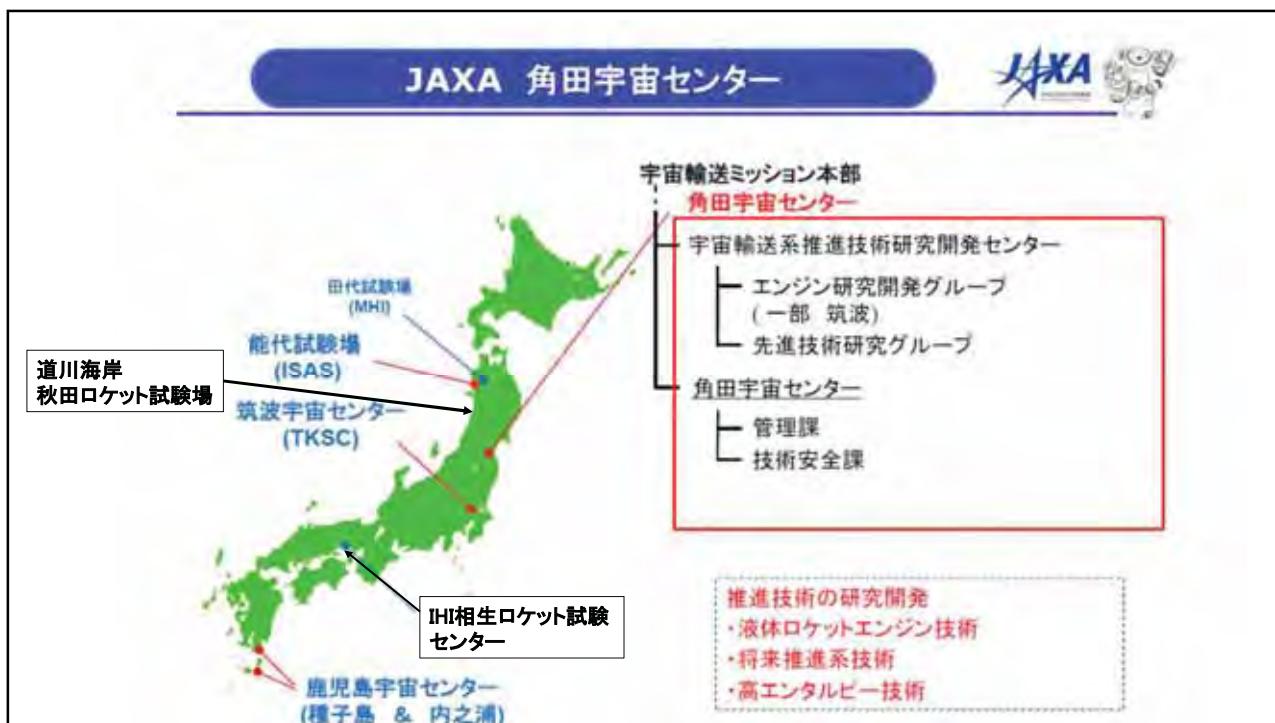
- ・エンジン燃焼試験スタンド(左図)
- ・実エンジン燃焼試験風景(中央)
- ・エンジンスタンドの於けるエンジン試験状況(右図)
- ・次期基幹ロケット:H3ロケット用のLE9エンジン開発にも使用中

イプシロン打上げ設備(内之浦)の整備計画



内之浦固体ロケット打上げ場





秋田ロケット試験場

日本初のロケット発射実験

道川海岸

最初の候補地は新潟の佐渡島、男鹿半島に絞り込まれていたが、佐渡島は離島のため、機器を運ぶコストや時間がかかるなどの問題があった。次に男鹿半島が候補にあがったが狭すぎて実験場としては不向きとなり、男鹿半島に近い道川海岸が選ばれた、十分な広さがあり、町にも近く宿舎を確保しやすいという利点もあり最適な場所。

- ・第1回目の実験: 1955年8月6日。

糸川博士は長さ30センチの「ペンシル300」ロケットを発射台にセットし、点火しました。ロケットは発射台を離れ、砂浜の上をいきおいよく這いずり回り失敗。もっと大きなロケットで実験したなら大事故になってしまいうところでした。

- ・急いで発射台を改良して、2度目の発射実験を行った。

これは無事に成功し、到達高度600m、飛翔時間16.8秒を記録することが出来た。ペンシルロケットの実験は8月8日まで続けられ、その後の実験は、より大型のベビーロケットやカッパ(K)ロケットというタイプに引き継がれていきます。

2. 道川海岸での実験

日本ロケット発祥記念之碑
(秋田県道川海岸)

固体ロケットと道川海岸での歴史

1. 1955年4月

東京国分寺ペンシルロケット**水平試験実施**(29機)

2. 道川海岸(日本で最初のロケット射場誕生)

上空への打上実施

- ・1955年8月6日ペンシル300初打上げ失敗、急遽改善後
6日15時32分日本史上初打上げ成功(高度600m、16.8秒)

- ・8月23日以降2段式ペビーロケット打上げ基礎データ取得。

- ・1958年9月カッパ6型8号機成功

- ・1960年カッパ8型高度200km成功

- ・カッパ8型10号で高度300kmを目指したが事故となり、
安全面から道川を断念。内之浦へと移った。

- 2. 1955年～1962年ロケット打上げは88機に昇った。

- 3. 東大が撤退後航空宇宙技術研究所(NAL)は1965年
(昭和40年)5月と6月にNAL-7ロケット14機道川海岸
試験場から打上げた。

- その後はNALも種子島に移行した。

- これが道川海岸での最後の打上となった。



道川海岸でのカッパ6型ロケットの打ち上げ。

1958年9月

これが、日本の宇宙開発最初期の光景である。

提供：宇宙航空研究開発機構(JAXA)

Copyright (c) JAXA

宇宙科学研究所 能代ロケット実験場

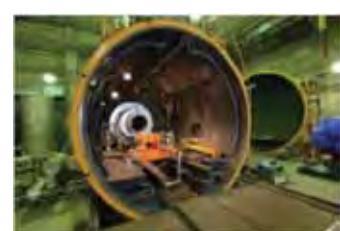


MHI田代試験場

LE7エンジン、LE7A、LE7Bエンジン燃焼試験設備
今後は次期基幹ロケットH3用LE9エンジンの試験を行う



JAXA角田試験場



角田航空燃焼試験設備

角田ロケット高空性能試験設備



角田液酸／液水エンジン供給系試験設備

© JAXA

相生ロケット試験センターの試験設備概要

ロケット試験センターは昭和50年にIHI低温工学研究所として発足、その後宇宙開発事業部に配属され宇宙開発試験場として稼働している。現在はIHIエアロスペースに所属となった。ここではIHI担当のターボポンプ、スラスター等の開発を行い、その後

JAXA、MHIに於いてエンジンとして開発され、ロケットに搭載。

主たる開発項目

- ・H2Aロケットの2段LE5エンジン用ターボポンプ、1段LE7エンジン

用ターボポンプの開発

- ・衛星用アポジエンジン、衛星用スラスターの開発

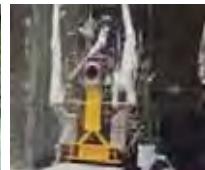
- ・LNG／LOXエンジン開発

高圧ガス事業所としての設備

- ・LOX、LH2、LN2設備

- ・ヒドラジン、NTO(四酸化二窒素)設備

- ・水素ガス、酸素ガス、窒素ガス、ヘリウムガス、プロパン設備



IHI相生ロケット試験センター



注:上記写真は平成9年代筆者在籍時代のものである、現在はLNG/LOX設備が増設されてしている

北海道大樹町 (小型ロケット打上げ設備)



大樹町多目的航空公園(現状)



北海道大樹町

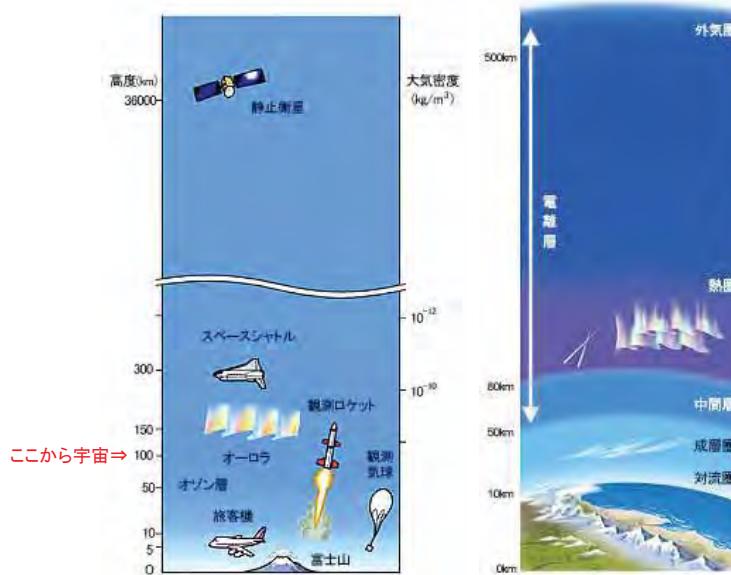


将来型航空宇宙機用多目的試験設 全体計画図



人工衛星

宇宙とは？(私たちの地球の大気)



宇宙とは？（宇宙で体験することは？）

(a) 空気(くうき)がない真空状態

(b) 無重力(日本実験棟で一人野球は可能か？)



JAXA

人工衛星

人工衛星(じんこうえいせい)

地球の軌道上に存在し、具体的な目的、機能を持つ人工の天体。地球では、ある物体をロケットに載せて第一宇宙速度（理論上、海拔0 mでは約 $7.9 \text{ km/s} = 28,400 \text{ km/h}$ ）に加速させることで、地球の重力と重力から脱出しようとする遠心力とが釣り合い、その物体は地球周回軌道を回り続ける人工衛星となる。

惑星以外の軌道（月周回軌道、太陽周回軌道）を周回する人工天体は**宇宙探査機**と呼ばれ、一般に区別される。

有人宇宙船や宇宙ステーション、スペースシャトルも人工衛星に含まれる。

人工衛星の利用

宇宙開発戦略本部事務局

人工衛星は、それ自体が最終目的ではなく、衛星からのデータ等を高度に活用することが目的です。

これまで我が国では、各種の人工衛星を利用したシステムを構築して来ており、例えば以下のように利用が図られています。

【地球観測分野】

- ・地球観測分野の陸域・海面観測においては、「だいち」等により地図作成や資源探査、流水観測等への利用が開始されている。また海外の大規模災害時には、国際貢献の一環として関係諸国へのデータ供与も行われている。
- ・気象観測においては、「ひまわり」により、日々の天気予報など生活に密接に関係する利用が行われている(アジア太平洋地域の30数カ国22億人以上に活用されている)。

【安全保障・危機管理分野】

- ・安全保障・危機管理分野では、「情報収集衛星」により、外交・防衛等の安全保障及び大規模災害等への対応等の危機管理のために必要な情報を収集し、関係省庁が利用している。

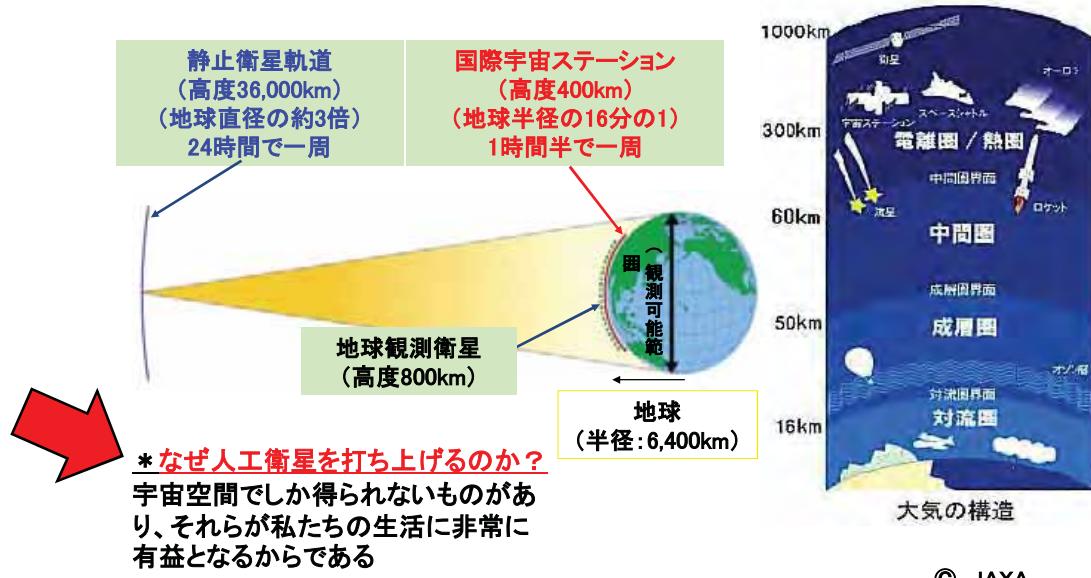
【通信・放送・測位分野】

- ・通信・放送分野では、通信・放送事業者による商業ベースでの通信・放送事業としての利用が行われている(平成19年度契約数NHK-BS 1,342.3万件、CSデジタル350.1万件など。また、災害時通信のバックアップ等に企業等が使用)。
- ・測位分野では、米国のGPS衛星の利用により、カーナビ、GPS機能付き携帯電話等の利用が進んでいる。

【宇宙科学分野】

- ・宇宙科学分野では、太陽観測やX線観測等により天文分野において世界をリードする科学的成果を上げているとともに、小惑星や月探査ミッションにより、太陽系の起源等を探る科学的発見への挑戦が行われている。

ロケットは目的の軌道に人工衛星を運ぶ手段その概説

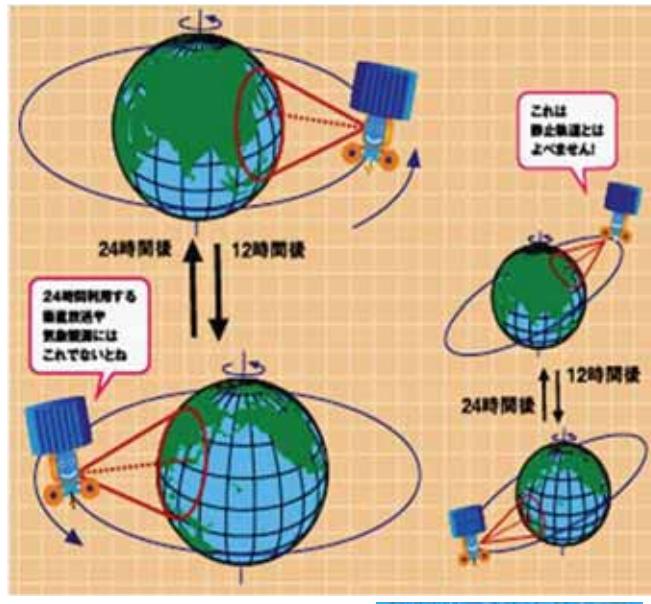


人工衛星の代表的軌道

静止軌道

地球の自転の周期と同じ周期で公転していることから、地上から空のある一点に静止しているかのように見える。

気象衛星・放送衛星・通信衛星はそこにあげる。



宇宙航空研究開発機構 広報部

人工衛星の代表的軌道

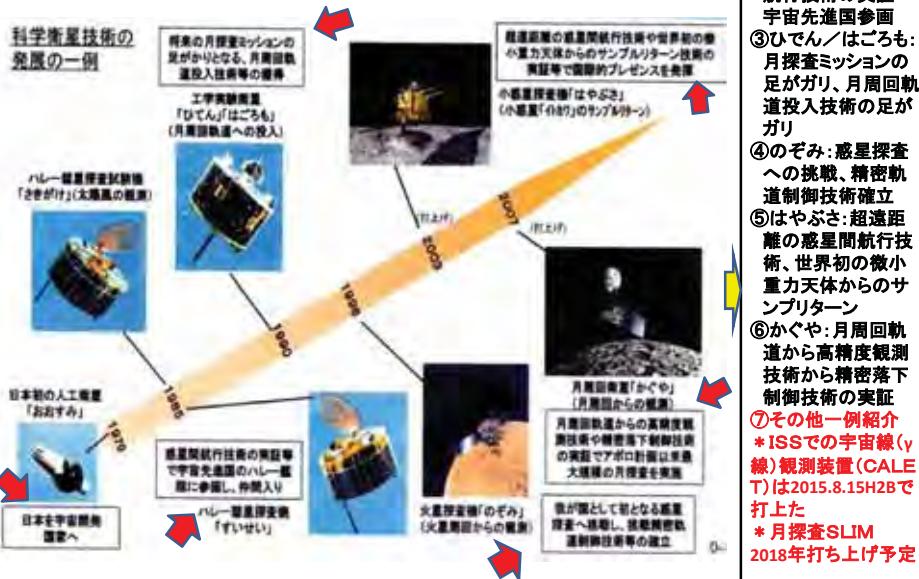
太陽同期準回帰軌道

資源の探査、環境・災害などの監視、海洋現象の観測などを行う**地球観測衛星**は、地球上の同一地点をほぼ同時刻に(同一の日射条件)観測できる**太陽同期準回帰軌道**に打ち上げられる



宇宙航空研究開発機構 広報部

日本の宇宙探査技術への歴史



科学衛星の例 太陽・星・ブラックホール等の観測

深宇宙の観測や月・惑星の探査に



- ①太陽観測衛星 **ひので** 2006.9.23 MV7号機打上げ
- ②赤外線天文衛星 **あかり** 2006.2.21 MV8号機打上げ
- ③X線天文衛星 **すざく** 2005.7.10 MV6号機打上げ
- ④X線天文衛星 **ひとみ** (ASTRO-H) 2016.2.17 (H2A30号) 打上げ
- ダークマター観測等 (通信異常により打上げ失敗と判明)
- ⑤月周回衛星 **かぐや** (SELENE) 2007.9.14 (H2A13号) 打上げ

宇宙ステーションとHTV（こうのとり）



国際宇宙ステーション(ISS)計画(日本人宇宙飛行士宇宙滞在計画)



向井 毛利 野口 土井 若田
星出 山崎 古川



大西 油井 金井

宇宙飛行士の募集条件(主要)H20.4.1

- ①大学(自然科学系)卒業以上
- ②3年以上の実務経験(自然科学系分野)
- ③科学知識と技術(宇宙飛行士活動の為)
- ④訓練時に必要な泳力、10分立ち泳ぎ
- ⑤英語能力(意思の疎通が図れる)
- ⑥身長:158~190cm、体重:50~95kg

注記:秋山氏(元TBS記者)が、1990年12月、旧ソ連

国家審査委員会から宇宙飛行士の承認を受ける。

1990年12月2~10日、宇宙飛行を実施。

第一声は、「これ、本番ですか?」



日本政府として2024年まで運用延長を決定(平成27年12月)



宇宙ステーション(ISS)での生活

宇宙で食事(朝食等の風景)



【宇宙食の調理方法】

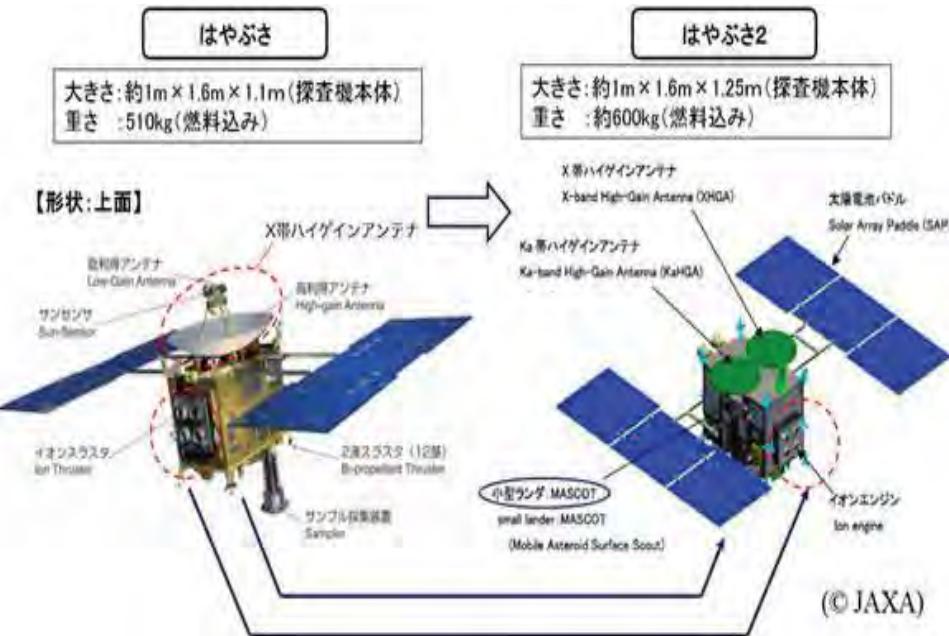
- ・そのまま食べる
- ・水、お湯を加えて食べる
- ・オープンで温めて食べる
- ・砂糖、塩、コショウ等はしづり出し容器に入れる



宇宙ステーションのトイレ



地球外探査衛星はやぶさ初号機とはやぶさ2



初号機“はやぶさ”的め／ミッション

1. テーマ

「小惑星のサンプルリターン」

太陽系誕生時(約46億年前)の状態を留めるタイムカプセルと言われる小惑星「イトカワ」の地表から物質持ち帰る。



イトカワ

©JAXA

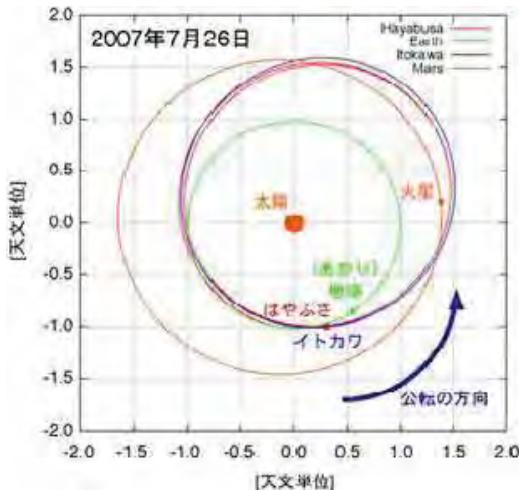
ハイリスク・ハイリターンのテーマ

2. ミッション

- 1) 小惑星のカケラをサンプル採集する
- 2) イオンエンジンによる惑星間航行
- 3) 遠い宇宙空間での自律航法誘導
- 4) イオンエンジンによる地球スイングバイ
- 5) カプセルによる大気圏再突入

イオンエンジン4基装備
(1基は予備)

地球と小惑星イトカワとの距離約3億km



・地球:

公転周期 365 日、平均軌道速度 29.78 km/s
自転周期 24 時間（平均太陽日）、
体積 $1.083207 \times 10^{12} \text{ km}^3$ 、
重量 $5.9736 \times 10^{24} \text{ kg}$ 、平均密度 5.49 g/cm^3

・イトカワ:

公転周期 1.52 年、平均軌道速度 25.37 km/s
自転周期 12 時間（平均太陽日）、
体積 0.0184 km^3 、
重量 $3.51 \times 10^{10} \text{ kg}$ 、平均密度 1.9 g/cm^3

・地球とイトカワとの距離 約3 億km

・通信時間：約40分（往復）

・引力は地球の10万分の1

・イトカワの公転周期は地球と共振関係にあり、
1.5年。
つまり、地球が太陽を3周する間にイトカワは
2周する。

地球から見ると3年に一度接近してくる事になる。

世界が注目する画期的技術(世界初)

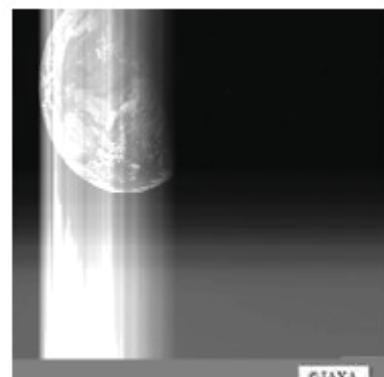
1. イオンエンジンによるスインバイ
2. 自律誘導航法(光学航法)
 - ・イトカワは3億km彼方、電波では往復約40分
レーザ高度計、カメラ映像、制御プロによる自律航法
3. はやぶさは“自動診断機能”と各種機器制御プログラム(変更可)
4. サンプラホーン(カケラ回収)
5. 回収カプセル
大気圏突入時約 $10,000^\circ\text{C}$ に耐えられる開発試験実施していた



サンプラホーン

初号機“はやぶさ回収カプセルの帰還”

大気突入からランディングまで



さよなら“はやぶさ”ご苦労様でした
大気圏突入直前のはやぶさからの
画像

2010年6月13日
はやぶさ地球とお別れとなった最後
の写真

はやぶさ2計画

- ・2014年12月、H-2Aロケットで打上^{注1}、2018年～2019年に目標天体の探査実施、2020年12月地球帰還予定。
- ・開発費148億円(初号機127億円)
- ・はやぶさ2はりゅうぐう(1999JU3)小惑星(生命の起源が予測出来るC型、直径920m)に行く、丸いおむすび状の形をしている。ミッションは約46億年前宇宙空間での有機物や水の存在を探す事で生命の起源を探りに行く。
- ・インパクターで小惑星内のカケラ採集



^{注1:12月3日13時22分4秒打上げ成功}

小惑星りゅうぐう(1999JU3)の軌道



- ・公転: 1.3年
 - ・自転: 約7時間38分
 - ・密度: 0.5~4.0/cm³ (TBD)
 - ・質量: 1.7×10^{11} Kg~
 1.4×10^{12} kg (TBD)
- 注: 密度、質量は予測値
探査にて明らかになる

直線距離で地球から約3億km離れたC型小惑星りゅうぐう「1999JU3」を目指し、4年余りの旅、
採集後6年後の2020年12月 約52億kmの航行距離を経てウメラ砂漠に帰還予定

はやぶさ2

・6年間、約52億kmの旅

1. 打上
2012年12月3日
2. スイングバイ
2015年12月3日
3. 到着
2018年夏
4. 出発
2019年末
5. 帰還
2020年末



ご清聴ありがとうございました

宇宙には夢がある、皆様に宇宙開発に興味を持つて頂ければ幸いに思います。

いろいろの事に興味、好奇心を持ち、その中から、将来の目標を決めその実現に励みましょう！

“限りなき前進～Ever Onward～”