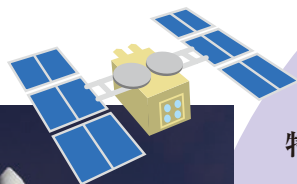


- 1969年 7月 アポロ11号が月面に着陸し、人類が初めて月を歩く
- 1972年 12月 アポロ17号による6回目の月着陸をもって、アポロ計画終了
- 1973年 5月 アメリカ初の宇宙ステーション、スカイラブ1号打ち上げ
12月 NASAの探査機パイオニア10号が木星に接近
- 1976年 7月 NASAの探査機バイキング1号が火星に着陸
- 1979年 8月 NASAの探査機ボイジャー1号が木星の衛星「イオ」の火山活動を発見
- 1980年 11月 NASAの探査機ボイジャー1号が土星に接近
- 1981年 4月 世界初の有人再使用型ロケット、スペースシャトル・コロンビア号(STS-1)初飛行に成功
- 1983年 7月 NASAの探査機パイオニア10号が人工物として初めて太陽系を脱出
- 1984年 1月 アメリカのレーガン大統領が宇宙ステーション計画を発表
- 1986年 1月 スペースシャトル・チャレンジャー号(STS-51-L)、発射直後に爆発し、乗組員全員死亡
1月 NASAの探査機ボイジャー2号が天王星に接近
3月 ハレー彗星76年ぶりに地球に接近。ヨーロッパ、旧ソ連、日本などが各々の探査機を用いて国際共同観測
- 1989年 8月 NASAの探査機ボイジャー2号が海王星に接近
- 1990年 4月 ハッブル宇宙望遠鏡が、スペースシャトル・ディスカバリー号(STS-31)によって世界で初めて宇宙に打ち上げられる
12月 ソユーズTM11号が宇宙ステーション「ミール」とドッキング。秋山豊寛宇宙飛行士搭乗
- 1992年 9月 スペースシャトル・エンデバー号(STS-47)に毛利衛宇宙飛行士が搭乗
- 1994年 2月 初の純国産大型ロケット、H-2ロケット打ち上げ成功
7月 スペースシャトル・コロンビア号(STS-65)に向井千秋宇宙飛行士が搭乗



特集

宇宙をめぐり 研究

神話・宗教から、科学・技術へ……。有史以来、人類は宇宙の謎を解明することに魅せられ続けてきた。アポロ11号が人類初の月面着陸を成功させてから50年がたった。次なる50年に向けて、今、慶應義塾で展開されている宇宙をめぐるさまざまな研究活動やトピックについて紹介する。

写真提供: JAXA



1996年 1月 スペースシャトル・エンデバー号 (STS-72) において、

若田光一宇宙飛行士がロボットアームによる人工衛星SFUの回収に成功

1997年 11月 スペースシャトル・コロンビア号 (STS-87) に土井隆雄宇宙飛行士が搭乗

1998年 3月 木星の衛星「エウロパ」に氷が存在することを確認

11月 国際宇宙ステーション (ISS) の構成部品第1号打ち上げ成功

2003年 2月 スペースシャトル・コロンビア号が帰還直前に空中分解、乗組員7人全員死亡

2004年 1月 NASAが打ち上げた無人火星探査機「スピリット」が、火星着陸に成功し、探査を行う

10月 民間の宇宙船スペースシップワンが初めて宇宙飛行

2005年 1月 NASAの探査機カッシーニに搭載していた着陸機ホイヘンスが

土星の衛星「タイタン」の大気圏に突入し、世界で初めて着陸に成功

2008年 6月 スペースシャトル・ディスカバリー号 (STS-124、

「きぼう」) 日本実験棟モジュールをISSに追加。星出彰彦宇宙飛行士が作業全般を担当

2009年 3月 スペースシャトル・ディスカバリー号 (STS-129) に

ミッションスペシャリストとして若田光一宇宙飛行士が搭乗

2010年 4月 スペースシャトル・ディスカバリー号 (STS-131) に山崎直子宇宙飛行士が搭乗。

ISSに長期滞在中の野口聡一宇宙飛行士とともに作業を行う

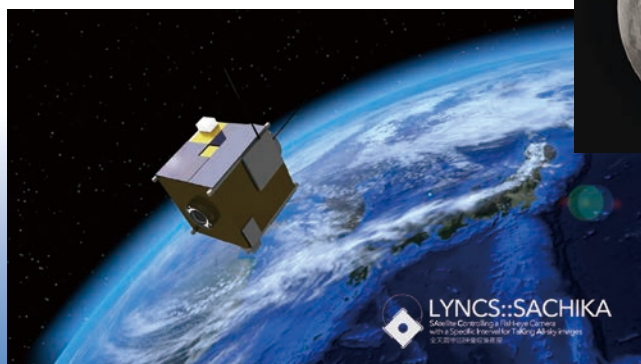
6月 2003年5月に打ち上げられたJAXAの探査機「はやぶさ」が2005年に小惑星「イトカワ」に到達し、地球へ帰還。「イトカワ」の表面物質を持ち帰る

2011年 7月 スペースシャトル・アトランティス号 (STS-135)、最後のスペースシャトル飛行

2015年 7月 NASAの探査機「ニュー・ホライズンズ」が冥王星に接近

2019年 1月 中国の無人探査機「嫦娥4号」が世界で初めて月の裏側に着陸

11月 JAXAの探査機「はやぶさ2」が地球に向けて小惑星「リュウグウ」を出発。
2020年末の帰還を目指す



実フライトを目指した宇宙システムの研究

システムデザイン・マネジメント研究科 教授

しらさぎせいこう
白坂成功

大学院システムデザイン・マネジメント（SDM）研究科には、宇宙開発に関わってきた教員が複数名いることもあり、設立当初より宇宙システムに関する教育・研究が行われてきた。こ

こでは、その中から2つのプロジェクトを取り上げて紹介する。

一つ目は、ベトナム宇宙機関と共同で開発を進めてきた50 kg級の超小型衛星マイクロドラゴン（MicroDragon）プロジェクトである。



イプシロンロケット4号機

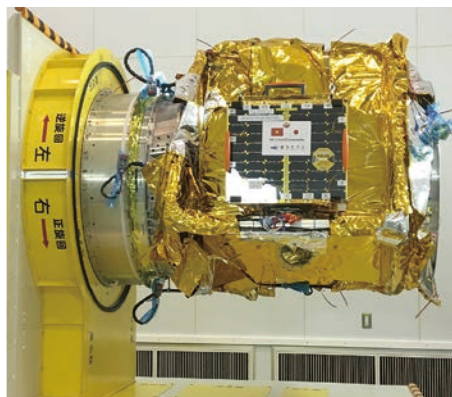
このプロジェクトは、単なる超小型衛星の開発だけでなく、人材育成も含めたプロジェクトとなっている。ベトナム宇宙機関若手技術者への教育と同国の初めての50 kg級衛星の開発が主要な目的で、慶應義塾大学ほか、北海道大学、東北大学、東京大学、九州工業大学の5大学が教育と開発に参加した。本衛星のメインミッションは、カメラでベトナム海岸を観測する



ことである。SDMでは、ベトナム宇宙機関若手技術者を2013年秋から4年

間にわたり合計18人受け入れ、システムデザインやプロジェクトマネジメントに関する教育と研究指導を行った。そしてその成果を活用しながら、マイクロドラゴンの開発を行った。マイクロドラゴンは2019年1月18日午前9時50分にJAXA内の浦宇宙空間観測所（鹿児島県）からイプシロンロケット4号機で打ち上げられた。1月18日夜に電波受信とバス系基本機能の正常動作が確認されており、1月21日には、搭載したカメラである三重偏光カメラ（北海道大学開発）の一つを使って地球撮像に成功し、First Lightを撮ることができた。

二つ目は、内閣府ImpACTプログラムの下で、私がプログラムマネジャー（PM）を担った「オンデマ



超小型衛星マイクロドラゴン

ンド即時観測が可能な小型合成開口レーダ衛星システム」プログラムで、2015年9月から2019年3月までの期間で行われた。

自然災害や人為災害などの緊急事態が発生した際には、社会インフラとして観測が可能な衛星システムにより、いつでもどこでも迅速な対応を行い、被害を最小限に食い止めることが必要だ。そのためには衛星システムに「悪天候・夜間対応」「即時性」、および「広域災害対応」「周辺領域同時観測性」が求められる。本プログラムでは、災害時など必要ときにリクエストをすると、即時に観測が可能な「小型合成開口レーダ」(SAR: Synthetic Aperture Radar) 衛星システムに必

要な技術を開発した。SARには従来方式とは異なる「スロットアレイアンテナ方式」を採用し、災害時に道路が通れるのか、橋が渡れるのかなどの判断が可能な1m級の分解能で、100kg級の軽量化と高密度収納性の実現を目標とした。これらにより必要ときに必要な地点で観測できる衛星システムのための実現を目指した。本プログラムでは、JAXAと東京工業大学が合成開口レーダを、東京大学が衛星システムを、慶應義塾大学が衛星と地上システムおよび利用も含めた総合システムを担当した。本プログラムは高く評価されており、2018年10月7日ノーベル賞受賞者らを各国から集めて開催された「社会における科学と技術(STS)フォーラム」基調講演に立った安倍首相は、これを技術開発の意義を示す好例として取り上げた。

また、慶應義塾大学、東京大学およびJAXAと協力して開発した高速データリンク通信機(HTX/HMGA)は、JAXA革新的衛星技術実証1号機に搭載されて、マイクロドラゴンと



写真提供:JAXA

打ち上げられたイプシロンロケット4号機

同じイプシロンロケット4号機で打ち上げられた。打ち上げ後の実験により、通信速度として毎秒2.6ギガビットが得られており、このデータ伝送速度は、実験的ながら、低高度衛星としては世界最高速のものとなっている。

また、本プログラムで開発した技術を社会実装するために、慶大・東大・東工大発のベンチャーとして、Synspecive社を立ち上げた。Synspecive社は、109.1億円の資金調達を完了し、2020年度の初号機打ち上げを目指して衛星の開発を進めている。

このようにSDMでは、宇宙に関わる研究を行うだけでなく、それらを実際に社会で活用することも含め、全体システムとして研究を進めている。

宇宙関連分野で活躍する塾員・塾生たち

宇宙飛行士
向井千秋君

東京理科大学特任副学長／医師・医学博士／1977年医学部卒業



女子高等学校から医学部に進学。卒業後は心臓外科医として活躍した。偶然見かけた新聞記事がきっかけで

宇宙開発事業団（NASDA）の宇宙飛行士に応募し、1985年に毛利衛、土井隆雄とともに選出された。米国防空宇宙局（NASA）での訓練を経て、94年7月、スペースシャトル・コロンビア号に搭乗。日本人女性として初めて宇宙飛行を成功させ、わが国の航空宇宙史に大きな一歩を刻む。98年10月にはスペースシャトル・デイスカバリー号に伝説的な宇宙飛行士であるジョン・グレン（当時77歳）とともに搭乗し、2度目の宇宙飛行を果たした。その後、宇宙航空研究開発機構（JAXA）などで要職を歴任。宇宙医学の第一人者としてわが国の宇宙開発の発展に貢献している。現在は東京理科大学特任副学長としてスペース・コロンニー研究センター長も務め、生まれ故郷である群馬県館林市には「向井千秋記念子ども科学館」がある。

写真提供：JAXA/NASA

JAXA宇宙飛行士
星出彰彦君

1992年理工学部機械工学科卒業



幼い頃から宇宙飛行士に憧れ、理工学部在学中に応募資格を満たしていなくてもかわらず願書を出そうとし

たというエピソードも。卒業後、NASDA（現JAXA）に就職し、宇宙飛行士試験へチャレンジ。2度目の1999年に、国際宇宙ステーション（ISS）に搭乗する日本人宇宙飛行士の候補者として、古川聡、山崎直子とともに選出される。NASAでの訓練に参加するなどして宇宙飛行とミッションに備え、2008年6月、ついにスペースシャトル・デイスカバリー号によるミッションに参加し、ISS「きぼう」日本実験棟の組み立てに携わる。12年7月～11月、ISSに4カ月間にわたり滞在。滞在中は「きぼう」での実験や3回の船外活動、宇宙ステーション補給機「こうのとり」3号機のミッションなどを行った。現在、3度目の宇宙滞在に向けて準備中。在学中は理工学部体育会ラグビー部の選手として活躍したラグーマンでもある。

写真提供：JAXA/GTC

JAXAフライトディレクター
中野優理香君

2012年理工学部機械工学科卒業



小学校2年生の理科の授業で火星について調べたことがきっかけで、宇宙飛行士への憧れを抱く。湘南藤沢高等部時代に宇

宙船や宇宙ステーションでの活動を地球の基地からサポートする運用管制官の仕事を知る。理工学部時代は航空宇宙分野に欠かさない流体力学を研究し、卒業後はJAXAへ。2014年8月からISSにある日本実験棟「きぼう」の運用管制チームの指揮をとるフライトディレクターを務め、16年7月～10月、日本人の大西卓哉宇宙飛行士がISSに滞在した際のミッションをフライトディレクターとして支えた。17年12月からは宇宙ステーション補給機「こうのとり」のフライトディレクターにも認定され、18年11月、初めて小型回収カプセルを載せた「こうのとり」7号機ミッションのフライトディレクターを担当。「こうのとり」のISS離脱を成功させた。

写真提供：JAXA



展示会の様子

大学入学当初から月面探査を目指す「HAKUTO」プロジェクトにて、月面探査車の開発に参加していましたが、直前で打ち上げができなくなってしまい、とても悔しい思いをしました。このプロジェクトを通して問題だと感じたのは、宇宙開発に対する認知の低さです。もっと多くの人に知ってもらうことで、宇宙開発を加速できると思います、友人らと合同会社「Yspace」を立ち上げました。会社では、従来にないエンターテインメントの観点から、宇宙空間の特性を生かしたVR作品を制作しており、六本木ヒルズ等で

理工学研究科修士課程2年
高橋正樹研究室

ひだかもえこ
日高萌子君

一方で目指すのは、宇宙業界で活躍するエンジニアです。大学院では、JAXAの宇宙科学研究所と共同で、月面での着陸技術を研究しています。最前線で活躍する先生方と議論を重ねる中で苦労することも多いですが、航空宇宙分野の著名な国際学会で発表を行っています。まだまだ未熟ですが、月面旅行に気軽に行けるような世界を一日も早く実現できよう頑張りたいと思っています。

の大規模な展示会の実施や海外展示会への出展をしています。宇宙開発への関心が高くない人たちにも、エンターテインメント作品として提供することで、興味・理解をもってもらうことが可能だと考えています。



VR開発に取り組む日高君

COLUMN 塾旗と「独立自尊の書」、宇宙へ！

日本初の女性宇宙飛行士である向井千秋君は、2度のスペースシャトル搭乗時に塾旗＝「三色旗」を持参していたことをご存じですか。宇宙に行った三色旗は向井君の帰還後に返却され、三田キャンパス、信濃町キャンパスで返還式が開催されています。

星出彰彦君も2008年のスペースシャトル搭乗時には福澤諭吉「独立自尊の書」のレプリカと理工学部特製「アルミ製そろばん」を、12年のソユーズ宇宙船搭乗時には中央に「独立自尊」、左右に慶應義塾のペンマークと理工学部創立75年記念ロゴマークをデザインした扇子を持参しました。こちらも宇宙からの帰還後、慶應義塾へ返還されています。



ブラックホール研究の最前線

毎年のようにブラックホール^{おかしものはる}の謎に迫る研究成果を発表！

理工学部物理学科 教授 岡 朋治^{ともはる}／岡朋治研究室 岩田悠平君・辻本志保君（いずれも理工学研究科博士課程2年）

理工学部物理学科の岡研究室は、近年、ブラックホール研究で数々の研究成果を発表し、世界の宇宙物理学研究者から注目されています。研究室を主宰する岡朋治教授と大学院生に現在の研究テーマと、研究室が目指していることについてお話を伺いました。

宇宙物理学の分野では慶應義塾唯一の

実験系研究室である岡研究室は、私たちが住む太陽系がある銀河の構造や中心核、ガスなどの星間物質に関する観測的研究を手がけています。観測といっても肉眼で望遠鏡をのぞくわけではなく、電波を使って宇宙を観測する電波天文学の手法で研究を行っています。研究室では独自に小型ミリ波望遠鏡の開発も手がけているそうです。

「特に注目しているのは、私たちが住む太陽系を含む銀河系＝天の川銀河の中心領域です。この領域には銀河の他の部分とは違う特異な物質や現象が多く見つけられ、その最も中心には太陽の400万倍の質量を持つ超巨大ブラックホールがあると推測されています。この銀河系の中心核は『いて座A*（いてぎエー・

スター）』という電波天体として認識されています」（岡教授）

研究室では、野辺山、ハワイ、チリなどの電波望遠鏡を駆使して、この銀河系中心領域に漂う特異なガスの分布、運動、組成などを観測。銀河系中心核超巨大ブラックホールの活動性と形成の謎に迫る研究を展開しています。

「いて座A*はとても暗くてよく見えない天体ですが、その周囲にある明るい星の運動を観測すると、ケプラー運動という楕円軌道で動いています。これはそこにとてつもなく重い物体、すなわちブラックホールのような天体がある証拠です。銀河系中心核いて座A*は時折活動的になることが最近分かってきました」（岡教授）

現在、この「いて座A*の活動性の研究」を担当している岩田悠平君は「子どもの頃からブラックホールに興味がありました。現在、自分がその最先端の研究に携わっていることがとてもうれしい」と話してくれました。

岡研究室のもう一つ大きな研究テーマは、天の川銀河の中心核にある超巨大ブ



ガス雲を振り回す中間質量ブラックホールの想像図

ラックホールの起源。2018年3月、辻本志保君は天の川銀河の中心部にある特異分子雲を発見しました。この分子雲を観測すると約10万年前に起きた大爆発の痕跡が認められ、ブラックホールの初期段階である数十万太陽質量の巨大星団の存在が推測されました。

「こうした巨大星団の中で恒星や小型のブラックホールが爆発的に合体を繰り返すことで中規模のブラックホールが生まれ、さらにそれらが合体・成長することで銀河系中心核の超巨大ブラック



リンクス

宇宙科学総合研究会LYNCs

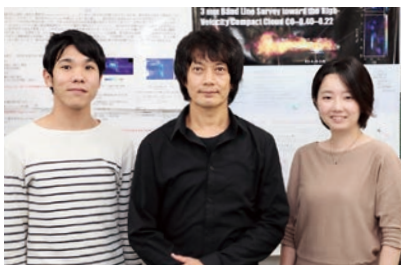
星と宇宙が好きな塾生、集まれ！

「宇宙科学総合研究会LYNCs」は、宇宙についていろいろな面から研究してみようと、2014年6月に設立されたサークルです。2016年からは文化団体連盟に所属しています。代表の山本和君（やまもと かず）（理工学部機械工学科3年）と元代表の秋山央亮君（あきやま ありあけ）（理工学研究科修士課程1年）に活動内容などを紹介してもらいました。

所属メンバーは理工学部生が多いのですが、文系の商学部、SFCの塾生も所属。宇宙に関心がある塾生なら誰でも参加できます。仲間や先輩が教えてくれる勉強会や講習会も随時開催しているので、初心者でも気軽に参加可能です。活動拠点は主に矢上・日吉の両キャンパス。メンバーは次の4つの本部に所属して活動しています。

【天文研究本部】天体観測を中心とした活動。遠征しての観望会や日吉キャンパスやSFCでの観測を実施します。

ホールが形成されていくと考えられています」（辻本君）。その仮説を裏付ける「中規模」のブラックホールはなかなか発見できま



左から岩田悠平君、岡朋治教授、辻本志保君

せんでしたが、2019年2月、岡研究室と国立天文台の研究チームが、南米チリにある電波望遠鏡「ALMA（アルマ）」の観測データ

から、太陽の3万倍の質量を持つ中型ブラックホールの存在を間接的に確認することに初めて成功しました。

また、2017年には岡研究室の大学院生が研究の過程で「野良ブラックホール」の存在を確認しました。今まで人類が確認した天の川銀河のブラックホールは60余り。しかし理論上は銀河内に1億〜10億のブラックホールが存在するはず。これまでに見つかったブラックホールは「連星系」といってガスを供給してくれる天体とペアになっており、ガスを輝かせてもらえるので人間が確認できました。「野良ブラックホール」とは孤立

して存在する間に沈んだブラックホールで、岡研究室が初めてその存在の痕跡を見出したのです。

岡研究室による相次ぐ発見で、今、ブラックホール研究は重要な段階を迎えています。最後に岡教授は「さらにブラックホールの生成と進化のシナリオに迫っていきたい。またブラックホール研究の先に、一般相対論を超える重力理論についても考えてみたい。宇宙から届いたヒントで現代物理の進展に貢献できれば最高です」と話しました。

宇宙への限らない夢とロマンを糧に、岡研究室の挑戦は続きます。

【工学研究本部】主にCassini（飲料缶サイズの小型模擬人工衛星）などを製作し、8月の能代宇宙イベントや3月の種子島ロケットコンテストに参加します。

【理学研究本部】メンバーが学びたいテーマについて1〜2週間に1度の勉強会を開催します。数学や物理学の初学者にも親切に教えます。

【先進技術研究本部】他の本部にはあてはまらない新規プロジェクトの立ち上げなどを行っています。

各本部の活動は自由参加で、StackやSkypeなどオンラインでのコミュニケーションも盛んなので、アルバイトや他サークルとの両立も可能です。宇宙について学びたい、語り合う仲間がほしいという塾生は一度訪ねてみてください。



前列左が山本和君、右が秋山央亮君

慶應義塾大学宇宙法研究センターの取り組み

法務研究科 教授／宇宙法研究センター 副所長

あおき せつこ
青木 節子

2012年1月に国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）と慶應義塾大学法学部の協力で慶應義塾大学に宇宙法研究センターが設置された。その目的は、日本の宇宙法研究水準を向上させること、法務系、宇宙科学・工学系を問わず、それぞれの職種に必要な宇宙法の知見を十分備える人材を育成し、国際場で宇宙活動のルール・基準を提案し、積極的に日本発の国際ルール形成に貢献できるようにすること、そしてアジア諸国に宇宙法の能力開発支援を行うことである。同時に、2012年4月以降、大学院法学研究科の公法学専攻に宇宙法専修コースが設けられ、JAXAからは非常勤講師や学生が派遣されている。

宇宙法研究センターでは、上記目的のため、年度ごとに2、3の共同研究テーマを設け、毎年2月に開催されるシンポジウムでその成果を発表してきた。共同研究にはテーマごとに最も知見を有する研究者・実務家が参加する仕組みを設け、日本の宇宙法コミュニティの形成と若手人材育成を図っている。

2019年度は、2つの共同研究を行っている。1つは、宇宙環境保護をめざす宇宙ゴミ除去活動等軌道上の新しい活動に関する法的問題点の分析であり、もう1つは2020年代に向けた宇宙秩序形成研究である。2019年、10年間の議論を経て、国連で長期的に持続可能な宇宙活動のためのガイドラインが採択された。2020年からは国連で同ガイドラインの国内実施要領についての議論が始まる。宇宙の安全な運用について日本が議論をリードし、国益の増進に努められるように、宇宙秩序形成研究会には関係省庁職員もオブザーバとして参加し、

議論に参加していただいている。

宇宙秩序形成研究に関連して、2019年度から宇宙法研究センターは、ここ数年約20カ国の宇宙法研究者・軍の法務官等が共同研究してきた「宇宙の軍事利用に適用される国際法マニュアル」（略称「ミラモス」）プロジェクトに参加する運びとなった。「ミラモス」発足時から筆者は個人資格でプロジェクトのメンバーであったが、2019年度からは、宇宙法研究センターとしても主体的に関わることが可能となり、世界の研究者のまとめる現行国際宇宙秩序の発見作業により大きく日本の考えを反映させる下地が確保されたといえる。

また、2019年度から新しい試みとして、年2回程度、宇宙法の新たな問題の講演・議論を行う一般公開セミナーを開催している。宇宙法研究センターのWebサイトをご参照の上、ぜひお越しいただきたい。

