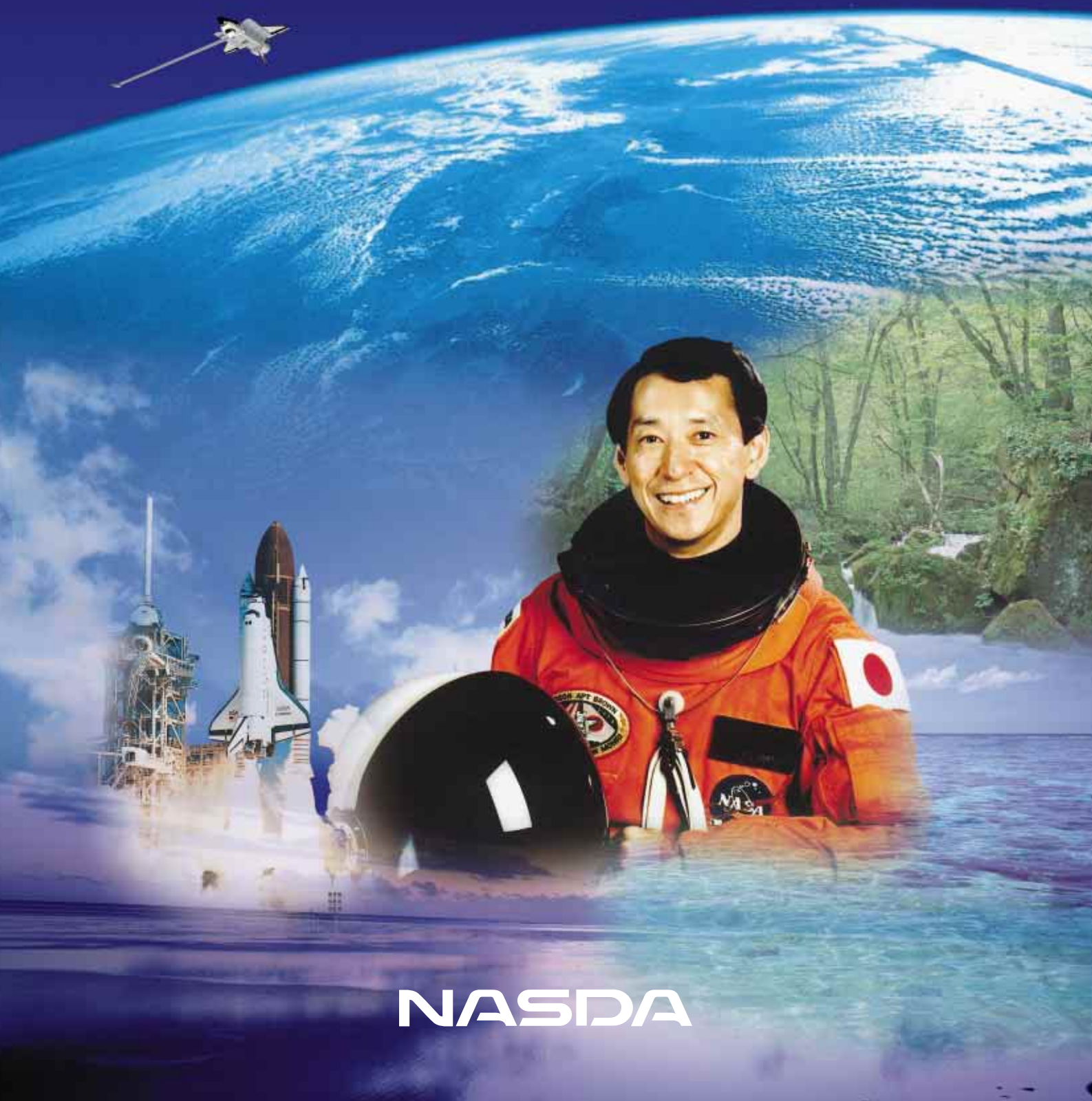


毛利宇宙飛行士スペースシャトル地球観測ミッション
Astronaut Mohri's Earth Observation

STS-99 SRTM

「地球まほろば」

The Earth "MAHOROBA"



NASDA



宇宙の「まほろば」地球

私たち人類は、科学技術を駆使して宇宙で生きる生命へと進化しようとしています。今世紀、私たちは地球を飛び出し宇宙から地球を一つの惑星として目の当たりに見ることができるようになりました。地球は美しい星ですが同時に非常に怖い星です。私たちはこの地球をどのように扱うべきなのでしょう。

今秋、私が搭乗するスペースシャトルエンデバー号では、地球表面の詳しい立体（3D）地形図をつくります。2個の大きなレーダを同時に使い、わずか11日間の飛行で地球の陸地のほとんどを網羅し測定します。

意外なことに地球上には未だ普通の地図すらない地域がたくさんあるのです。私のミッションではこの地球の「素顔」が明らかになります。はっきりと地球の素顔を知ることによって、私たちがこの地球をどう扱うべきなのか、その答えのきっかけが得られるのではないかと考えています。

来世紀は国際宇宙ステーションによって私たち人類が宇宙への新たな可能性を試す時代となるでしょう。しかし地球だけはいつまでも私たちにとって宇宙の「まほろば」*であって欲しいものです。1999年9月16日この地球のすばらしさを再発見する宇宙の旅に出かけます。

もうすぐやってくる21世紀に向けて、このミッションの成果をみなさんと共に20世紀からの贈りものとして、引き継げたいと願っています。

*：いいところ。優れてよい所。

毛利衛

もくじ

ミッション概要.....	3
SRTM.....	4
主なSRTM構成機器.....	5
合成開口レーダー.....	7
SRTMの仕組み.....	9
SRTMの技術的な難しさ.....	11
宇宙用合成開口レーダーの歴史.....	12
3次元地形図の利用方法.....	13
毛利宇宙飛行士の任務.....	14
EarthKAM.....	15
STS - 99搭乗員.....	17



During the 20th century, human beings acquired the ability to observe the Earth directly from space. These observations expanded and renewed our appreciation for the beauty of our home planet.

Furthermore, from Earth orbit, we also began to understand better what a complex and fragile system of oceans, landscapes, and natural processes characterizes our world.

It is surprising that, even today, there are vast areas of the Earth that remain a mystery to us, vast areas for which we have not even simple maps. In fact, to date, although we have accurate, three-dimensional maps of Venus and Mars, we have no such comparable maps of the Earth.

This coming autumn, I will be aboard the Space Shuttle *Endeavour* as it collects the data necessary to construct the most precise, three-dimensional map ever made of the Earth's surface. Using two large radars simultaneously, this short, eleven-day flight will cover 80% of the Earth's total land mass, home to nearly 95% of the world's population.

Because the Space Shuttle will fly over most of the world's surface (from 57 degrees latitude north to 57 degrees latitude south), our mission will be able to collect data capable of creating the most complete topographic map ever produced of the Earth.

The knowledge subsequently gained from this Space Shuttle mission should, therefore, revolutionize our understanding of our own world, and gain for us, in remarkable detail, new insights about the planet on which we live. Already, we anticipate that information collected will enable scientists throughout the world to be better able to study the dynamic processes which affect human and other ecological life cycles, processes like flooding, earthquakes, climatic changes, soil erosion, mountain-building, volcanism, desertification, and weather activity.

Consequently, in the fall of 1999, when I board the Space Shuttle, I will depart for a journey into space which will, in a very real sense, "rediscover" our world. I sincerely hope this "rediscovery" will be regarded as a gift from the 20th century to the 21st century, a gift which will help us appreciate, far more, the beauty, wonder, and complexity which, for me, will make Earth MAHOROBA^{*1} forever.

*1: A kind of paradise in Japanese mythology.

Table of Contents

Outline of the Mission	3
SRTM	4
Main Equipment of SRTM	5
Synthetic Aperture Radar	7
Principle of SRTM	9
Technical Difficulties Attendant to SRTM	11
History of the Synthetic Aperture Radar for Use in Space ...	12
Three-dimensional Topographic Map Applications	13
Astronaut Mohri's Duties	14
EarthKAM	15
STS-99 Crew Members	17



ミッション概要

Outline of the Mission

STS - 99は地球観測を目的とした米国航空宇宙局 (NASA) のスペースシャトルミッション (飛行計画) です。

この飛行では、1992年の第一次材料実験「ふわっと92」 (STS - 47) で初飛行した毛利宇宙飛行士が2度目の宇宙飛行に挑みます。

今回の主なミッションは、シャトルに搭載された合成開口レーダー (SAR) を使用して地球表面の詳しい立体地形図を作ること、シャトル・レーダー・トポグラフィー・ミッション (SRTM) と呼ばれています。

また、中学生などがミッションに参加し、シャトル搭載の電子カメラから地球を撮影する教育プログラム (EarthKAM) も予定されています。高精細度テレビカメラ (HDTV) による地球の撮影も行われる予定です。

STS-99 is a space shuttle mission of the National Aeronautics and Space Administration (NASA), which is intended for carrying out Earth Observation.

On this mission, Astronaut Mohri will challenge space flight for the second time, the first time being his flight in 1992 in which he was involved in "SPACELAB J" (STS-47).

The main purpose of this mission, called the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), is to create a detailed, three-dimensional topographic map of the Earth's surface using a Synthetic Aperture Radar (SAR).

An educational program called EarthKAM is also scheduled. In this program, middle school students will participate in the mission and take photographs of the Earth from a digital camera mounted on the shuttle. There are also plans to take images of the Earth using a High-Definition Television Camera (HDTV).

STS飛行計画番号	STS - 99
打上げ予定日時	1999年9月16日 8:47a.m. (米国東部夏時間) 1999年9月16日 9:47p.m. (日本時間)
打上げ場所	フロリダ州NASAケネディ宇宙センター
飛行期間	約11日間4時間 (予備日2日)
オービター	エンデバー号 (14回目の飛行)
軌道高度	約233km (約126海里)
軌道傾斜角	57度
帰還予定日時	1999年9月27日 12:52p.m. (米国東部夏時間) 1999年9月28日 1:52a.m. (日本時間)
帰還地 (予定)	フロリダ州NASAケネディ宇宙センター

STS Mission No.	STS-99
Launch Date (estimated)	September 16, 1999 8:47a.m. (EDT) September 16, 1999 9:47p.m. (JST)
Launch Site	NASA Kennedy Space Center
Mission Duration	11 days, 4 hours (2 additional days possible)
Orbiter	Endeavour (14th flight)
Orbit altitude	233km (126 nautical miles)
Orbit inclination	57degrees
Landing Date (estimated)	September 27, 1999 12:52p.m. (EDT) September 28, 1999 1:52a.m. (JST)
Landing Site (estimated)	NASA Kennedy Space Center

STS-99ホームページ <http://jem.tksc.nasda.go.jp/shuttle/sts99/>



NASA/JPL/Caltec



STS - 99の主なミッションであるSRTMは、スペースシャトルのカーゴベイに搭載したメインアンテナと、シャトルから60m伸展したマストの先端に取り付けた船外アンテナの「2つの目」で、わずか11日間の飛行中に地球の陸地の80%に及ぶ範囲について高精度の3次元地形データを取得します。

現在、地球規模での地形図は、水平方向で1,000m、垂直方向で100mの精度の粗いものしかなく、地形を正確に把握するのは困難です。本ミッションで得られる地形データの精度は、水平方向で30m、垂直方向で16m。これは、大型のビルやスタジアムなどをはっきりと確認できる精密さです。このデータを解析し、今までで最も精密で大規模な地球表面の起伏を表示する3次元地形図が完成します。

データの取得には、NASAジェット推進研究所（JPL）が開発したSIR - Cと、ドイツ航空宇宙センター（DLR）がイタリア宇宙機関の協力で開発したX - SARの2種類の合成開口レーダーを使用します。SIR - C/X - SARはNASAが推進する宇宙レーダー実験（SRL）機器で、1994年に実施されたSTS - 59（SRL - 1）及びSTS - 68（SRL - 2）での搭載に続き、今回が3回目の搭載になります。

シャトルが帰還した後、取得した9.8テラバイト（CD 1枚あたり650メガバイトとして、約15,000枚分に相当）ものの膨大なデータの解析に1年～1年半が必要です。

この高精度3次元地形図は一般に公開され、地形を考慮に入れた地域的な天気予報、山岳部の森林分布量の正確な把握、航空機の安全航行、無線通信の見通しエリアの把握など、様々な分野での利用が期待されています。

SRTM is the main mission of STS-99 and seeks to acquire high-resolution, three-dimensional topographic data covering 80% of the Earth's surface during a flight of only 11 days. Data is acquired by means of two "eyes" consisting of the main antenna mounted on the space shuttle cargo bay and the outboard antenna mounted on the end of a mast that extends 60 m from the shuttle.

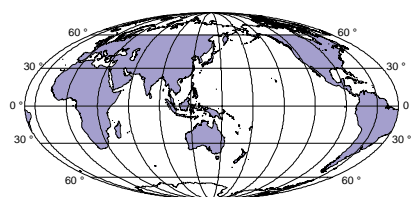
At present, topographic maps of the entire Earth have a resolution of only 1,000 m in the horizontal direction, and 100 m in the vertical direction, hence it is difficult to obtain an accurate grasp of the Earth's topography. The resolution of the data obtained during this mission will be 30 m in the horizontal direction, and 16 m in the vertical direction. This means that it should be possible to clearly recognize a large building or a stadium, for example. This data will be analyzed and used to make the most accurate-to-date, large-scale, three-dimensional topographic map showing the relief of the Earth's surface.

Data will be acquired using two types of synthetic aperture radar, SIR-C developed by NASA's Jet Propulsion Laboratory (JPL), and X-SAR developed jointly by the German Aerospace Center (DLR) and the Italian Space Agency. SIR-C/X-SAR is the third flight in the series following STS-59 (SRL-1) and STS-68 (SRL-2) which were carried out in 1994 using the Space Radar Laboratory (SRL) equipment promoted by NASA.

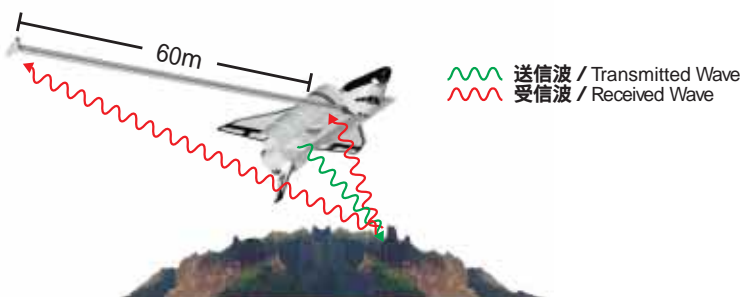
It will take one year to one year and half after the shuttle returns to Earth to process the extremely large amount of data (9.8 terabytes; one CD contains 650 megabytes, so this amount is equivalent to 15,000 CDs) that will be acquired.

The high-resolution, digital, three-dimensional topographic map produced from this data will be disclosed to the general public in the hope that it will be used in various fields. Potential applications include regional weather forecasting that takes account of topography, obtaining an accurate understanding of the distribution of forests in mountains, safe navigation of aircraft, and determining line-of-sight areas in wireless communications.

SRTM観測範囲
SRTM coverage



SRTM観測イメージ
SRTM Observing image (not to scale)





主な S R T M 構成機器

Main Equipment of SRTM

SRTMは、メインアンテナ、船外アンテナ、アンテナの位置やシャトルの姿勢を計測する姿勢及び軌道決定用電子機器 (AODA)、船外アンテナを取り付けた60mの伸展式マスト、マストを収納するキャニスターなどの機器から構成されます。

メインアンテナ

シャトルカーゴベイ内の支持構体に取り付けられた、長さ約12m、幅約4mの送受信用SIR-C/X-SARアンテナです。

船外アンテナ

シャトル本体左舷から60m離れた位置に設置される受信専用のSIR-C/X-SARアンテナです。

姿勢及び軌道決定用電子機器 (AODA)

高精度の3次元地形図を作成するためのデータ処理を行うには、観測時の非常に精密なアンテナの位置及びシャトルの姿勢誤差情報が必要となります。これらの情報を計測するシステムがAODAです。AODAは、GPS受信器、メインアンテナと船外アンテナ間の距離測定装置、発光ダイオードを使用した光学センサーなど、いずれも高精度なセンサーで構成されています。これらの機器の操作、監視は船内からクルーがAODA用のラップトップ・コンピュータを用いて行います。

伸展式マスト

重量約300kgの船外アンテナをシャトル本体左舷から60m離れた位置に伸展し、支持するための伸展式マストです。打上げ及び帰還時には、約1/20の長さに折り畳まれます。マストは、高い強度を有する複合素材の支柱、金属製のワイヤー、ジョイント部などから成る、87もの立方体の格子 (ベイ) から構成されています。

この伸展式マストは米国のAEC-Able社が開発しました。同社による国際宇宙ステーションの太陽電池パドル展開用マスト技術から応用したものです。

キャニスター

打上げ及び帰還時にマストを収納する装置で、直径約1.4m、長さ約2.9mあります。マストの伸展及び収納は、キャニスター内部に取り付けられたモーターによって行われます。

高速データレコーダー (PHRR) およびレコーダー・インタフェース制御装置 (RIC)

船内に6台のPHRRと、PHRRを操作するためのRICを2台搭載します。観測中、3台のPHRRでデータを記録し、3台は予備です。RICはラップトップ・コンピュータで、常時1台を使用し、1台は予備として搭載されます。

The main equipment to be used in SRTM consists of the main antenna, an outboard antenna, Attitude and Orbit Determination Avionics (AODA), a mast that extends 60 m from the shuttle, and a canister for housing the mast.

Main antenna

This is a 12 m-long, 4 m-wide transmitting and receiving SIR-C/X-SAR antenna. It is mounted on the support structure in the shuttle cargo bay.

Outboard antenna

This is a receiving-only SIR-C/X-SAR antenna and is mounted 60 m from the port side of the shuttle.

Attitude & Orbit Determination Avionics (AODA)

In order to perform data processing for creating a high-resolution, three-dimensional topographic map, it is necessary to obtain extremely accurate information concerning errors in the position and attitude of the antenna during measurement. This information is measured using the AODA system, which consists of highly accurate sensors including a GPS receiver, equipment for measuring the distance between the main antenna and the outboard antenna, and an optical sensor that uses a light emitting diode. These devices are controlled and monitored by the crew in the shuttle, using an AODA processing computer (APC).

Mast

This mast extends 60 m from the port side of the shuttle and supports the 300 kg outboard antenna at its end. During launch and return to Earth, the mast is folded to about 1/20th of the fully extended length. The mast comprises some 87 cubic bays, each of which consists of support columns made of high-strength compound material, metal wires, joints, and so on.

This mast was developed by the US AEC-Able Engineering Company Inc., utilizing the technology that it developed for the mast deploying the solar array wings used in the International Space Station.

Canister

The canister houses the mast during launch and return to Earth. It is 1.4 m in diameter and 2.9 m long. The mast is extended and retracted by a motor installed inside the canister.

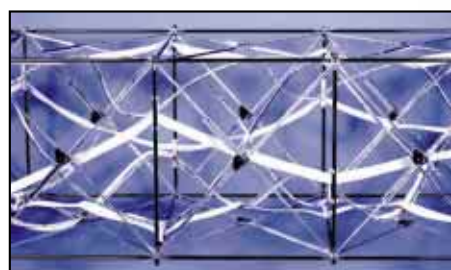
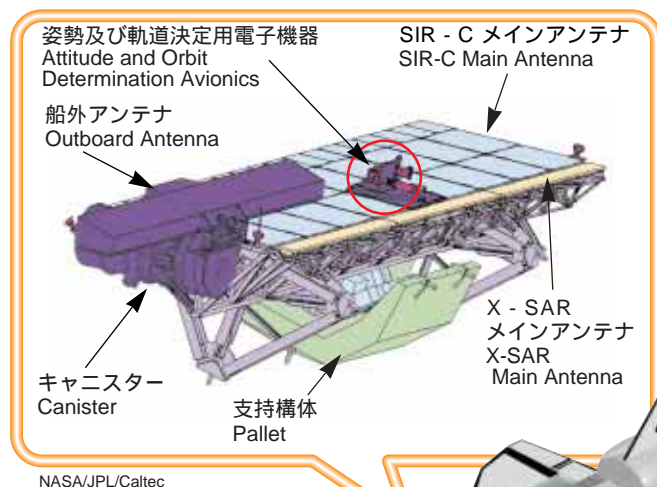
Payload High Rate Recorder (PHRR) and Recorder Interface Controller (RIC)

The shuttle has six PHRRs, and two RICs that control the PHRRs on board. Three PHRRs record data during observation, and remaining three are in reserve. RIC is a laptop computer: One RIC is always used to control the PHRRs, and the other is spare.



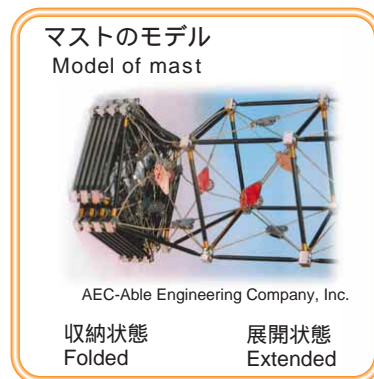
SRTM訓練風景
During a training session with
SRTM flight hardware

NASA/JPL/Caltec



AEC-Able Engineering Company, Inc.

マストの外観 (3ベイ分)
Exterior of Mast (three bays)



AEC-Able Engineering Company, Inc.

キャニスター
Canister

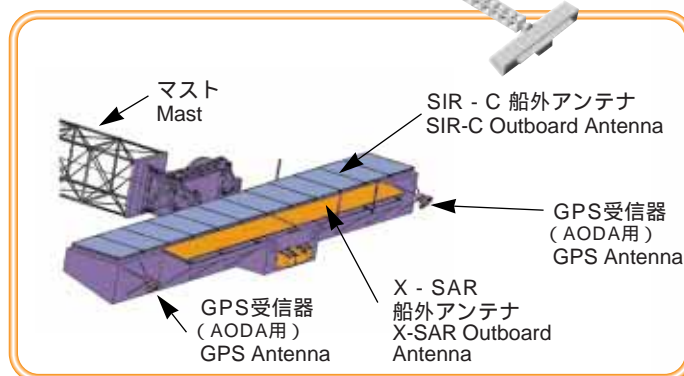


AEC-Able Engineering Company, Inc.

マストを伸展した状態
Mast in fully extended state



AEC-Able Engineering Company, Inc.



NASA/JPL/Caltec

SIR-C/X-SAR主要諸元 Major specification of SIR-C/X-SAR

項 目 Item		SIR-C Spaceborne Imaging Radar-C	X-SAR X-band Synthetic Aperture Radar
サイズ Size	メインアンテナ/Main antenna	12.0m × 3.5m	12.0m × 0.5m
	船外アンテナ/Outboard antenna	8.1m × 0.9m	6m × 0.4m
観測周波数/Frequency		5.3GHz (Cバンド)	9.6GHz (Xバンド)
波長/Wavelength		5.8cm	3.1cm
解像度 Resolution	水平方向/Horizontal	30m	30m
	垂直方向/Vertical	16m	16m
観測高度/Altitude		233km	233km
観測幅/Swath width		225km *2	50km
偏波/Polarization *1		HH, HV, VH, VV	VV
オフナディア角/Off nadir		23 ~ 63° *2	52°

*1 : HH (Horizontal transmit, Horizontal receive) ; 水平偏波にて送受信
HV (Horizontal transmit, Vertical receive) ; 水平偏波にて送信、垂直偏波にて受信
VH (Vertical transmit, Horizontal receive) ; 垂直偏波にて送信、水平偏波にて受信
VV (Vertical transmit, Vertical receive) ; 垂直偏波にて送受信

*2 : SIR-CはスキャンSARで運用し、オフナディア角は電子的に操作する。
SIR-C is designed with Scan SAR. The beam can be electronically steered.

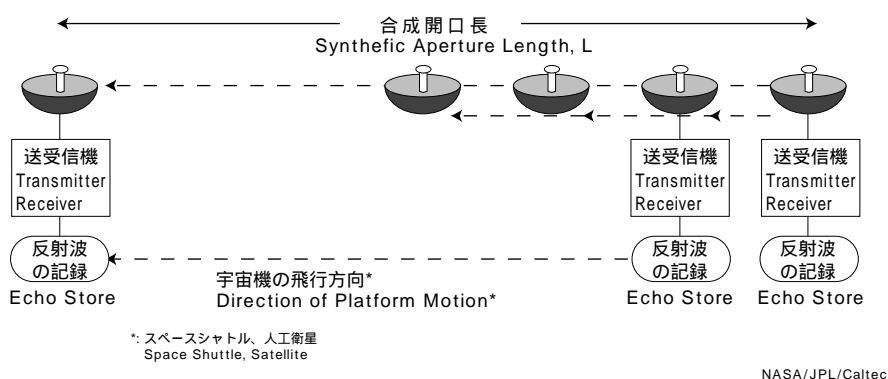


合成開口レーダー(Synthetic Aperture Radar : SAR)は、地表を観測するためのリモートセンシング・センサーの一種で、航空機や人工衛星に搭載して使用されています。

アンテナを搭載した衛星や航空機の移動に伴う異なる観測位置での同一対象物からの反射波を観測し、この情報を処理することにより、小型のアンテナを使用した場合でも、大型のアンテナで観測した場合と同様に高い精度が得られます。つまり、小型のアンテナの開口面（電波を送受信する面）をたくさん並べて、大きなアンテナを使用した場合と同じ効果が得られるのです。このことから、開口面を合成したレーダーということで「合成開口レーダー」という名称になりました。

A Synthetic Aperture Radar (SAR) is a kind of remote sensing sensor for observing the surface of the Earth. It is installed and used on aircraft and satellites.

Radio waves from the SAR reflect off the same object and are observed at positions that vary with the motion of the satellite or aircraft on which the antenna is installed. The acquired information is then processed. As a result, high accuracy is possible even when a small antenna is used, just as if the observations were made using a large antenna. In other words, this is equivalent to arranging the apertures of a large number of small antennas (the aperture is the face of the antenna that transmits and receives radio waves) in a straight line, resulting in the same effect as if a large antenna were used. This radar thus behaves as if it had a synthesized aperture and is therefore called a synthetic aperture radar.



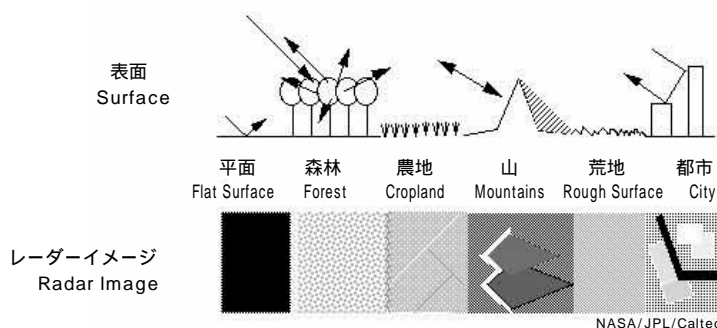
NASA/JPL/Caltec

SARは、直線上を移動しながら一秒間に1,000回以上ものパルス状の電波（マイクロ波）を地上に送信し、反射波を受信することにより地表面の物性や起伏、凸凹、傾斜などを観測する能動型の電波センサーです。また、昼夜に関係なく、雲や雨等の天候にもほとんど影響されない全天候型のセンサーです。

SARは反射波の強度だけを受信する一般のレーダーとは異なり、反射波の強度と位相を受信します。反射波の強度は、対象物によりかなり異なります。この強度を画像の明暗で表すと、表面が非常になめらかな場合には非常に暗く、粗い表面の場合には明るく映り、人間が実際に見るイメージとはかなり異なります。人間が見るイメージにするにはコンピュータによる処理が必要となります。

SAR is an active type radio wave sensor. It transmits radio waves (microwaves) to Earth at the rate of more than 1,000 pulses per second while moving in a straight line, and receives the waves reflected from Earth, thus enabling the physical properties, relief, irregularity, inclination, and so on, of the Earth's surface to be measured. This is an all-weather sensor which operates both day and night and is virtually unaffected by clouds, rain or other weather.

In contrast to a general radar which receives only the intensity of the reflected waves, a SAR radar receives both the intensity and the phase of the reflected waves. The intensity of the reflected waves differs considerably with the object. If this intensity is expressed as the contrast of an image, the waves reflected off an extremely smooth surface appear as a very dark area, and the waves reflected off a rough surface appear as a bright area. Such an image is quite different from the image that a person actually sees. In order to convert the image of the intensity of the reflected waves into an image that a person actually sees, it is necessary to process the intensity using a computer.



NASA/JPL/Caltec

反射波の明暗
Contrast of reflected waves

SARには、主にLバンド、Cバンド、Xバンドのマイクロ波周波数帯が使われます。各バンドの波長は、それぞれ15～30cm、3.75～7.5cm、2.4～3.75cmです。波長が異なると、特性も異なります。一般に、短い波長の電波は物質の表面で反射しやすく、長い波長の電波は物質内部にある程度入り込む性質を持っています。波長の1/2を越える大きさの対象物では電波は透過せず反射しますが、波長の1/4未満の大きさでは電波は対象物を透過します。波長の1/2ぐらいの大きさの対象物では、電波は反射と透過の両方が生じます。

森林を例にすると、Lバンドの波長では葉を透過して幹や地表で反射されます。Xバンドの波長では葉で反射され、Cバンドの波長では葉や枝で反射されますが、条件によっては幹や地表で反射されます。この特性から、Lバンドでは熱帯林、北方林などの植生分布、植生分類がわかります。また、植生の有無、森林伐採や森林火災などによる森林の減少や植生による回復などの変化がわかります。C、Xバンドでは葉や枝による反射強度の違いによって更に農地、草地を含む植生分類への応用が研究されています。

SARの利用目的は森林分野に限らず、地質、自然災害などの防災、農業利用、雪氷、海洋、惑星探査と多分野にわたります。これらの目的にあわせた波長のSARを航空機や人工衛星に搭載し、地球全体の観測を行っています。

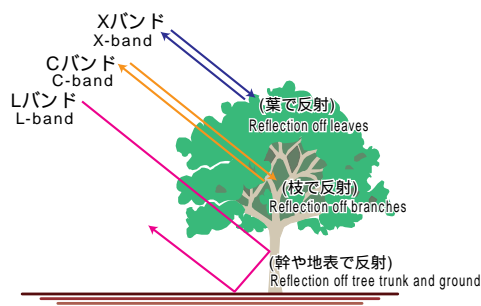
波長23.5cmのLバンドSARを搭載した日本の地球資源衛星1号(JERS-1)は、その波長特性から資源探査に有効でした。衛星の運用は1998年10月で終了しましたが、運用開始から約6年間に取得したデータは、現在でも多くの研究分野や実用分野に利用されています。

SAR uses microwaves mainly in the L-band (15 to 30 cm), C-band (3.75 to 7.5 cm) and X-band (2.4 to 3.75 cm). The characteristics of the waves differ according to the wavelength. Generally, radio waves that have a short wavelength are readily reflected by the surface of matter, and those that have a long wavelength penetrate the matter to some extent. If the size of an object is greater than 1/2 of the wavelength, the waves will not penetrate the object but will be reflected off it. If the object is less than 1/4 of the wavelength, the waves will penetrate the object. If the object is about 1/2 of the wavelength, the waves will both be reflected off, and also penetrate the object.

Taking a forest as an example, radio waves in the L-band penetrate the leaves, but are reflected off the tree trunks and the ground. Waves in the X-band are reflected off the leaves, while waves in the C-band are reflected off both leaves and branches, and, depending upon the conditions, they are also reflected off the tree trunks and the ground. Because of these characteristics, L-band waves enable determining the distribution of vegetation and the kind of vegetation in a tropical forest or northern forest, for example. They also enable detecting the existence of vegetation, changes such as the shrinking of forests due to logging or forest fires, or the recovery of forests due to planting. Research is being carried out on C- and X-band waves with a view to using them to classify vegetation, including that on farmland and grassland, by utilizing the difference in the intensity of the waves reflected off leaves and branches.

The applications of a SAR are not limited to forests, but embrace a wide range of fields including geology, prevention of natural disasters, agriculture, detection of snow and ice, oceanography, and planetary exploration. SARs of wavelengths matched to these applications are mounted on aircraft and artificial satellites, and used for observing the entire Earth.

Japan Earth Resources Satellite-1 (JERS-1), which carries a 23.5 cm wavelength L-band SAR, is effective for resource exploration because of the characteristics of this wavelength. This satellite was decommissioned in October 10, 1998. However, the data acquired over its six-years life is still being utilized in many fields of research and practical applications.



SAR画像

SAR image



光学センサー画像

Optical sensor image

SARの画像（左）と光学センサーの画像（右）です。光学センサーの映像は帯状に伸びた雲によって地表の状況がわからないのに対し、SARの映像は地表の状況が鮮明に映し出されています。

Shown above are a SAR image (left) and an optical sensor image (right). The image obtained from the optical sensor shows a cloud band that obscures the ground beneath it. In contrast, the SAR image shows the conditions on the ground clearly.



左図は光学センサー(LANDSAT)とSAR(SIR-A：スペースシャトルミッション)で観測した同一地域の画像を重ね合わせたものです。

斜め帯状の部分がSARで取得した画像、その周りの黄色い部分は光学センサーで取得した画像です。現在は砂漠ですが、SARの観測結果から砂層の下に古代の河床があることがわかりました。

The figure at left shows superimposed images of the same zone obtained using an optical sensor (LANDSAT) and a SAR (SIR-A; space shuttle mission).

The part with the oblique band is the image acquired by the SAR, and the yellow area surrounding it is the image obtained using the optical sensor. The region is now a desert. However, the SAR observation revealed that there is an ancient riverbed beneath the sand layer.

本ミッションでは、シャトルのカーゴベイに搭載したメインアンテナと船外アンテナの「2つの目」でデータを取得します。この2つの目で取得したデータを干渉法（インターフェロメトリ）と呼ばれる手法を用いて解析し、3次元地形図を作成します。

インターフェロメトリとは、航空機／人工衛星の進行方向と直角に配置された2個のアンテナまたは2つの衛星軌道（一般に並行軌道）上から同一地域について取得されたSARデータの位相差を利用して干渉させ、地形の高度を求める技術です。2個のアンテナの距離または2つの衛星軌道の距離が固定でSARの波長が短いと、地形の高度を算出する精度は高くなります。SRTMのメインアンテナと船外アンテナは60mの固定距離であること、波長の短いCバンド(SIR-C)、Xバンド(X-SAR)を使用することから、高精度の地形図作成が可能となります。

また、これまでは人工衛星や航空機、スペースシャトルを利用して同一地域のデータを取得していましたが、この方法では軌道を精密に同期させなければならないうえ、2回分のデータを取得するのに非常に時間がかかるという制約があります。今回のSRTMのように2つのアンテナを同時に使用して、短期間に、広範囲のデータを取得することは初めての試みです。

3次元地形図の作成（富士山）

JERS-1のSARによる1995年9月7日と同年10月21日に受信した富士山の反射波データを例に、3次元地形図作成の概要を説明します。

- (1) 両日の反射波データに特殊なデータ解析処理を行い、2次元の画像を作成します（図1）。画像は1つの波長における反射波の強度を画像の明暗で示しています。見た目には同じ画像ですが、衛星の軌道は少しずつずれていて、軌道間距離は約330mです。
- (2) 2枚の画像間で同じ地点からの反射波データから位相差を算出します。軌道間距離などの誤差を補正後、2次元の位相差画像が作成されます（図2）。位相差の画像は、地図の等高線のような縞状の模様で表されます。
- (3) (2)の情報をさらに解析処理して高度を算出します。算出された高度を(1)の反射波の強度を表す2次元画像に与え、3次元地形図を作成します（図3）。

In this mission, data is acquired by two "eyes" consisting of the main antenna mounted in the shuttle cargo bay and the outboard antenna. The data acquired from these two eyes is analyzed using a method called interferometry so that three-dimensional topographical maps can be made.

Interferometry is a technology that sets up interference between two sets of dissimilar phase SAR signals covering the same zone in order to obtain the height of the landform on the Earth. The data is obtained either from two antennas on an aircraft or satellite, one of which faces the direction of travel and the other of which faces the direction perpendicular to it, or from two satellite orbits (generally parallel orbits). If the distance between the two antennas or the two orbits is fixed, and the wavelength of the SAR is short, the accuracy of computing the landform height is high. Because the main antenna and the outboard antenna used in SRTM are fixed at a distance of 60 m from each other, and because the wavelengths used are in the short C-band (SIR-C) and X-band (X-SAR), it is possible to produce highly accurate topographic maps.

Until now, data for the same zone was obtained by flying a satellite, aircraft or space shuttle in two different orbits. However, this method necessitated accurate synchronization of the orbits, and required a very long time to acquire the two sets of data. SRTM will be the first attempt to use two antennas simultaneously in order to obtain a wide range of data in a short time.

Creating a three-dimensional topographic map (Mt. Fuji)

The creation of a three-dimensional topographic map is described below, using as an example the reflected wave data for Mt. Fuji acquired by JERS-1's SAR on September 7 and October 21, 1995.

- (1) The SAR data obtained on both days was subjected to special data processing, and two-dimensional images were created (Fig. 1). For each image, the intensity of the reflected waves of a single wavelength is indicated as the contrast of the image. The images appear the same to the eye, but the orbits of the satellite used to acquire them are about 330 m apart.
- (2) The difference in phase between the signals from the same points on both images is computed. Correction is made for the distance between the two orbits, then a two-dimensional phase difference image is created (Fig. 2). The phase difference image is expressed as a striped pattern that resembles contour lines on a map.
- (3) The information of (2) is further analyzed and processed in order to compute the altitude. The computed altitude values are applied to the two-dimensional images of (1) that represent the intensity of the reflected waves, and a three-dimensional topographic map is created (Fig. 3).



図 1 / Fig.1

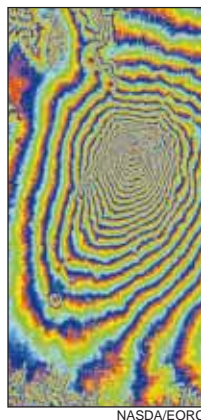


図 2 / Fig.2

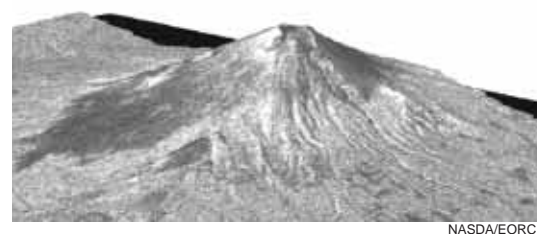


図 3 / Fig.3



本ミッションでのシャトルの姿勢はとても特徴的です。

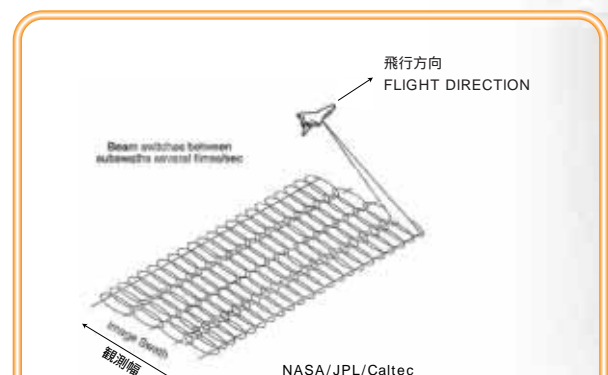
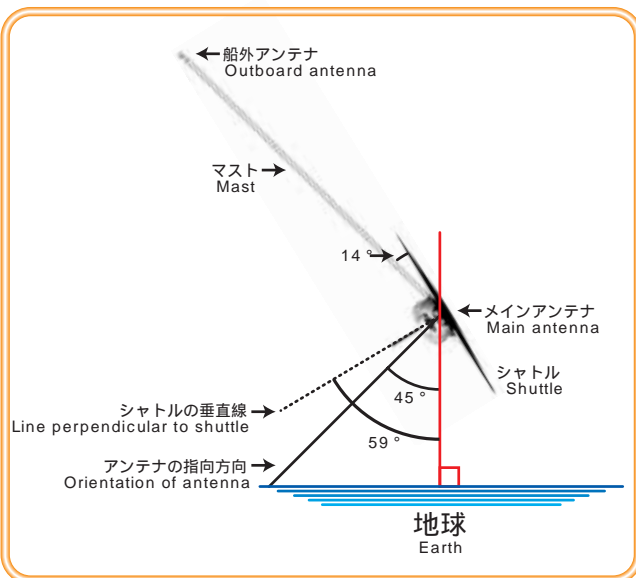
シャトルのカーゴベイ内にあるメインアンテナは、アンテナ面がカーゴベイの水平面に対して14度の傾きを持つようにカーゴベイ内の支持構体に傾斜させて取り付けられています。船外アンテナを北に向け、アンテナの指向方向及びマストの角度が地球との垂直線から45度を保持するよう、シャトルの姿勢を地球との垂直線から59度傾けた状態で飛行します。この姿勢は、陸地の多い北半球の観測範囲を広げるのに有効です。

また、シャトルの尾部を進行方向に、カーゴベイを地球方向に向けて飛行します。これは、シャトルの窓へのスペースデブリ衝突のリスクを軽減するためです。

The attitude of the shuttle used in this mission is very distinctive.

The main antenna in the shuttle cargo bay is installed obliquely on the support structure in the cargo bay so that the antenna face is tilted at an angle of 14 degrees with respect to the horizontal surface of the cargo bay. The outboard antenna is oriented to the north, and the shuttle flies tilted at an angle of 59 degrees with respect to the line perpendicular to the surface of the Earth. This is to maintain the orientation of the antenna and the angle of the mast at 45 degrees with respect to the line perpendicular to the surface of the Earth. This attitude increases the coverage of the Northern Hemisphere, which contains large areas of land.

The shuttle flies with the tail section facing the direction of travel, and the cargo bay facing the direction of the Earth to reduce the risk of space debris colliding with the windows of the shuttle.



: SRTMでは船尾を進行方向に向けて飛行します
On SRTM, the shuttle flies with the tail section facing the direction of travel.

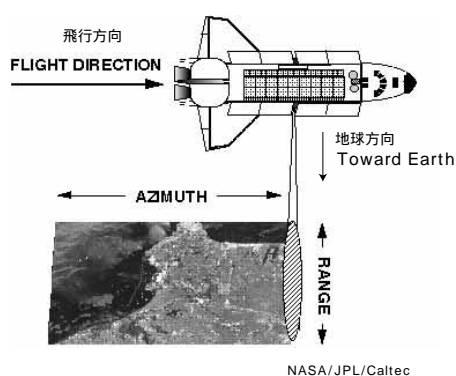
シャトルによるスキャンSAR観測イメージ
スキャンSARはアンテナのビームを操作して観測幅を広げる技術です。ビームの操作には、アンテナに取り付けられた複数の位相器から送信する位相を個々に変化させて電子的に操作する方法と、アンテナ自体を動かして機械的に操作する方法の2通りあります。

SRTMではSIR-CにスキャンSARが用いられ、電子的にビームを操作します。

Scan SAR observation image acquired using the shuttle

Scan SAR is a technology in which the antenna beam is scanned in order to increase the coverage. There are two methods of scanning the beam, one in which each of the phases transmitted from multiple phase detectors mounted on the antenna is changed so as to scan the beam electronically, and one in which the antenna itself is moved so as to scan the beam mechanically.

In SRTM, SIR-C is using Scan SAR and the beam is scanned electronically.



シャトルによるSAR観測イメージ
SAR observation image acquired using the shuttle

: SRTMでは船尾を進行方向に、アンテナを地球に向けて飛行します。
On SRTM, the shuttle flies with the tail section facing the direction of travel, and the antenna facing the Earth.





マストの伸展／収納

マストの長さは60m。宇宙空間で伸展させる構造物としては過去最長です。打上げ及び帰還時には約1/20の長さに折り畳んでカーゴベイ内のキャニスターに収められています。キャニスター内部のモーターによって1ベイごとに逆にひねりながら伸展／収納される技術は、本ミッションでの技術的な挑戦です。マストの伸展は打上げ約5時間30分後に開始され、約17分かかります。

装置の故障などで伸展／収納できない場合は、船外活動(EVA)を行って手動で伸展／収納します。

外乱や振動による姿勢変化を最小限にする

今回のミッションでは、シャトルはマストを伸ばした状態で秒速約7.7kmで飛行します。このとき、メインアンテナやマストの先の船外アンテナには重力作用による外乱^{*1}や、毎日実施されるシャトルの軌道制御(スラスト噴射)によるマストの揺れやしなりなどの振動が発生します。メインアンテナと船外アンテナのずれは ± 0.03 度以内でなければならないという精度の高い制御が要求されています。

シャトルの姿勢が大きく変化する軌道制御や振動を押さえるための姿勢制御は、観測をしない海上を飛行中に行います。重力作用による姿勢への影響は、船外アンテナの先にとりつけられたスラストから常時少しずつ窒素ガスを噴射することにより、観測中でも制御します。また、観測中の船外アンテナのずれの修正は、クルーの操作で適宜行われます。

^{*1}：低軌道(軌道高度1,000km以下)を飛行する長い軸を持つ宇宙機には、片方の端を地球に向け、もう片方を地球の反対方向に向ける重力傾度(gravity gradient)の姿勢に移行して安定しようとする特性があります。

Deployment and retraction of the mast

The mast is 60 m long. This is the longest articulated structure to be used in space up to now. During launch and return to Earth, the mast is folded to about 1/20th of the fully extended length, and stored in a canister in the cargo bay. The technology for deploying and retracting the mast while twisting it in the reverse direction one bay at a time by means of the motor in the canister was a technical challenge for the mission. The mast starts to be extended about 5 hours and 30 minutes after lift-off, and takes 17 minutes to fully extend.

If the mast cannot be extended or retracted due to a breakdown of the equipment, this work will be done manually from outside the shuttle (EVA).

Minimizing changes in attitude due to external disturbances or vibration

On this mission, the shuttle will travel at a speed of about 7.7 km per second with the mast extended. The main antenna and outboard antenna will be subjected to external disturbances due to the effect of gravity ^{*1}, and to vibration due to shaking and flexing of the mast as a result of the daily orbit control (thrust jet) of the shuttle. The alignment between the main antenna and the outboard antenna must be within ± 0.03 degrees, so highly accurate control is required.

Attitude control and maneuver, which greatly change the attitude of the shuttle, are performed above the sea when observations are not performed. Control is made for the influence in attitude due to the effect of gravity, by slowly and continuously releasing jets of nitrogen gas from thrusters installed at the end of the outboard antenna while observation is taking place. Misalignment of the outboard antenna during observation is corrected by the crew at appropriate intervals.

^{*1}：A spacecraft that has a long axis and travels in a low orbit (orbit altitude of no more than 1,000 km) tends to assume an attitude and gravity gradient such that one end faces the Earth and the other end faces the opposite direction.



SARの着想は第2次世界大戦初期にレーダー技術が出現した直後からありました。その後、米国が理論、実験の両面から精力的な研究を進めた結果、1950年代後半にはすでに6種類ほどの試験用航空機SARシステムが出現しました。

宇宙からのSARによる観測は、1978年米国の海洋観測衛星SEASATから始まり、日本の地球資源衛星1号(JERS-1)や、ヨーロッパ宇宙機関(ESA)のERS-1、ERS-2、カナダのRADARSATなどで行われています。

シャトルによるSARミッションは、1981年のSTS-2から始まりました。SARを搭載したSpaceborne Imaging Radar(SIR) - Aが最初です。その後、SIR - Aに改良を加えたSTS-41G(SIR-B)、さらに改良を加えたSIR - CがSTS-59とSTS-68で使用されています。STS-59以降、SIR - Cと併せてXバンドの周波数帯を持つ合成開口レーダーX-SARが搭載されたことから、シャトルミッション名に宇宙レーダー実験(SRL)の名称がつけました。

SAR was conceived immediately after the appearance of radar technology at the beginning of the Second World War. Subsequently, the US actively researched SAR from both the theoretical and empirical aspects. As a result, by the latter half of the 1950s, six kinds of experimental aircraft SAR systems had already appeared.

Observations from space using SAR started from the US oceanographic observation satellite SEASAT in 1978. SAR observations were subsequently carried out using Japan Earth Resources Satellite-1 (JERS-1), the European Space Agency's (ESA) ERS-1 and ERS-2, and Canada's RADARSAT.

SAR missions using the shuttle started from STS-2 in 1981. The first SAR employed was the Spaceborne Imaging Radar (SIR)-A. Subsequently, an improved version of SIR-A was used in STS-41G (SIR-B), and a further improved version called SIR-C was used in STS-59 and STS-68. From STS-59, a X-SAR synthetic aperture radar that operates in the X-band was installed together with SIR-C, hence the name of the Space Radar Laboratory (SRL) was used for the name of the shuttle mission.

打上げ年月	ミッション名	開発国	特 徴
1972年12月	Apollo17号	米国	史上初の宇宙用SAR、ALSE (Apollo Lunar Sounder Experiment) を用いて月面観測を行った。
1978年 6月	SEASAT	米国	初めて人工衛星にSARを搭載。海洋観測を目的とした。
1981年11月	STS - 2/SIR - A	米国	シャトル搭載SAR。
1983年11月	STS - 9/MRSE	ドイツ	Spacelabミッションの一部として搭載。
1984年10月	STS - 41G/SIR - B	米国	シャトル搭載SAR。SIR - Aの改良型を搭載。
1989年 5月	マゼラン	米国	金星探査機、初の惑星探査用SAR。金星表面の3次元地図を製作した。
1991年 3月	ALMAZ - 1	ソ連	SARを搭載。
1991年 7月	ERS - 1 *1	ESA	CバンドSARを搭載。
1992年 2月	JERS - 1 *2	日本	LバンドSARを搭載。
1994年 4月	STS - 59/SRL - 1	米国	シャトル搭載SAR。SIR-Bの改良型及びX - SARを搭載。
1994年10月	STS - 68/SRL - 2	米国	シャトル搭載SAR。
1995年 4月	ERS - 2 *1	ESA	CバンドSARを搭載。
1995年11月	RADARSAT	カナダ	CバンドSARを搭載。
1997年10月	カッシーニ	米国	土星探査機、KuバンドSARを搭載し、土星の衛星タイタンの地表面などを観測予定。

Year and month of launch	Mission name	Country where mission was developed	Features
December 1972	Apollo 17	US	The moon's surface was measured using the first space SAR in history. This SAR was called Apollo Lunar Sounder Experiment (ALSE).
June 1978	SEASAT	US	The first artificial satellite to carry SAR. Was designed to conduct oceanographic observation.
November 1981	STS-2/SIR-A	US	Shuttle-mounted SAR.
November 1983	STS-9/MRSE	Germany	One of the experiments in the Spacelab mission.
October 1984	STS-41G/SIR-B	US	Shuttle-mounted SAR. Improved version of SIR-A.
May 1989	Magellan	US	Venus probe. First SAR designed for planetary exploration. Three-dimensional map of the surface of Venus was produced.
March 1991	ALMAZ-1	USSR	SAR installed.
July 1991	ERS-1 *1	ESA	C-band SAR installed.
February 1992	JERS-1 *2	Japan	L-band SAR installed.
April 1994	STS-59/SRL-1	US	Shuttle-mounted SAR. Improved version of SIR-B and X-SAR installed.
October 1994	STS-68/SRL-2	US	Shuttle-mounted SAR.
April 1995	ERS-2 *1	ESA	C-band SAR installed.
November 1995	RADARSAT	Canada	C-band SAR installed.
October 1997	Cassini	US	Saturn probe. Ku-band SAR installed. To be used to observe the surface of Titan, a satellite of Saturn.

*1 : European Remote Sensing Satellite-1, 2

*2 : Japan Earth Resources Satellite-1



本ミッションで得られる高精度3次元地形図の利用方法として、以下の3つが考えられています。

1. これまで紙の地図上で等高線を引くことで表示されていた地形図をデジタル標高モデルとして扱えます。そのため、農業、林業などの資源管理、環境の把握、鉱物資源の開発、地方自治体規模の地域生活環境保全、都市開発計画、広域に及ぶ災害状況の把握などを目的として、衛星画像データと様々な地図、統計情報などの地理情報データとを組み合わせ、コンピュータ上での地理情報システムとしての利用が可能となります。
2. これまで平面的にとらえられていた地球観測データを、地形の違いをも含めたデータとしてとらえることが可能となります。例えば、地形を考慮に入れた地域的な天気予報、気候モデルの改良、山岳部の森林分布量の正確な把握が可能となります。
3. 平面的な地図よりも、地点間の地理的關係を明確に表す鳥瞰図を用いた都市計画、道路交通網の整備、景観を考慮した建築、カーナビゲーション、無線通信の見通しエリアの把握などへの利用が可能となります。

The high-resolution, three-dimensional topographic map obtained as a result of this mission can conceivably be used in the following three ways.

1. A topographic map that was previously expressed by drawing contour lines on a paper map can be treated as a digital elevation model. Consequently, it is possible to combine satellite image data with various geographical information and data, such as maps and statistical information, and create a geographic information system on a computer. Conceivable applications of such a system include resource management in agriculture and forestry, understanding the environment, mineral resource development, conservation of the regional living environment on a local government scale, town planning and development, and surveying a disaster situation over a wide region.
2. Earth observation data that was previously obtained in two-dimensional form can now be obtained as data that includes differences in topography. This data can be used for regional weather forecasting that takes account of topography, improving climate models, obtaining an accurate understanding the distribution of forests in mountains, and so on.
3. A three-dimensional map can be used in applications that use a bird's-eye view to express the geographical relationship between points more clearly than a plane map. Examples include town planning, creation of road traffic networks, architecture that takes account of the overall landscape, car navigation systems, and determining line-of-sight areas in wireless communications.





さらに具体的な例として、航空機の安全性向上について説明します。

航空機には、1970年代から山や地面への不意な衝突を防止するために対地接近警報システム（GPWS）が装備されてきました。これは、電波高度計をもとにして地面などへの接近を音声や警報灯で警報するシステムですが、衝突を回避できないほど急な斜面の場合には有効ではありませんでした。世界の航空機による死亡事故原因のトップは、何らかの原因で乗員が気づかないまま航空機が地面に接近し、回避できずに墜落してしまうケースです。

そこで、ここ数年、機能強化型GPWSの導入が始まっています。このシステムは、ほぼ全世界の地形や空港周辺の障害物の情報と、GPSなどの位置情報とを組み合わせることで斜面などへの衝突をパイロットに知らせるシステムであり、安全性は大幅に向上しています。しかし、このシステムで使われているデータは、精度500m～1,000m程度の粗い地形データを使用しているに過ぎません。従って、SRTMで取得したデータ（数値標高データ等）が利用できるようになれば、より精度が高く安全なシステムになると考えられています。

A more practical example for improving aircraft safety is described here.

Since the 1970s, aircraft have been fitted with a ground proximity warning system (GPWS) in order to prevent collisions into mountains or terrain. This system, which was based on a radio altimeter, warned the pilot by means of a voice or a warning lamp that the aircraft was approaching the ground or another obstacle. Unfortunately, this system was ineffective if a slope was so steep that a collision could not be avoided. Most aircraft accidents involving deaths were cases in which the aircraft approached the ground too closely, unnoticed by the pilot for some reason or other, and crashed.

To prevent this, several years ago a functionally enhanced ground proximity warning system (EGPWS) was introduced. This system, which contains data representing the topography of virtually the entire Earth as well as obstacles near airports throughout the world and positional information such as the GPS, informs the pilot of an impending collision with a slope, for example. It is much safer than the previous GPWS. However, the data used by this system is rough topographic data that has an accuracy of only 500 m to 1,000 m. If the data obtained during SRTM can be utilized, it should be possible to realize a more accurate and safer warning system.

毛利宇宙飛行士の任務

毛利宇宙飛行士はミッションスペシャリスト(MS)としてSRTMの運用に関する作業はもちろん、シャトルの運用に関する作業も行います。

SRTMの運用ではマスト位置の監視や修正、シャトルの窓からカメラで地球を撮影します。また、「高速データレコーダー」という観測データを記録する装置の主担当であり、観測データが途切れないよう随時、装置の状況をチェックし、トラブル発生時には装置の交換や修理など、臨機応変に対応します。なお、SRTM運用の他、将来シャトルで使う予定のGPS実験機器の操作や熱交換機の評価試験も行います。

シャトルの運用ではシステム機器の点検や操作などを担当します。また、帰還時にはパイロットの後部席に座って計器類の点検などを行い、コマンダーやパイロットが行うシャトルの操縦を支援します。

今回の飛行はシャトルからの地球観測がテーマです。地球観測は、組立てが進む国際宇宙ステーション(ISS)の主要な目的の一つであり、毛利宇宙飛行士が本ミッションに参加することにより、この分野の経験を深めることが期待されています。シャトルやISSから地球を観測することは、人工衛星とは違う、人間が見た地球の変化も地上の私たちに伝えてくれることでしょう。

Astronaut Mohri's Duties

Astronaut Mohri will perform work related to operating SRTM and the space shuttle, as a Mission Specialist (MS).

As part of operating SRTM, Astronaut Mohri will monitor and correct the position of the mast, and photograph the Earth from the window of the shuttle. He will also be in charge of the "Payload High Rate Recorder" (PHRR), which records observation data, and will check it from time to time to ensure that the flow of data is not interrupted. In the event of trouble, he will take appropriate action such as replacing or repairing the recorder.

In addition to operating SRTM, Astronaut Mohri will operate the GPS experimental equipment, which is scheduled to be used in the future shuttle, and will perform evaluation tests on the heat exchanger unit.

Astronaut Mohri will be responsible for inspecting and operating Space Shuttle system equipment. Also, during the reentry, he will sit behind the pilot's seat and inspect the instruments, and also assist the commander and pilot in maneuvering the shuttle.

The theme of this flight is observation of the Earth from the shuttle. Observation of the Earth is one of the main purposes of the International Space Station (ISS) which is currently being assembled. It is expected that Astronaut Mohri's participation in this mission will deepen our experience in this field. Unlike a satellite, observation of the Earth from the shuttle and ISS will provide not only raw data but also information regarding changes in the Earth as seen by people.



EarthKAMは、中学生などがスペースシャトルに搭載された電子カメラで地球を撮影し、その写真を活用して理科や社会科の諸テーマで研究を行う教育プログラムです。NASA、カリフォルニア大学サンディエゴ校（UCSD）などが協力し、実施しています。

本ミッションは、STS - 76, 81, 86においてKidSatという名称で行った同様のミッションを発展させたもので、STS - 89以降EarthKAMの名称でプログラムが開始されました。

プログラムに参加した学校では、撮影に関するテーマの選定や利用方法の検討を行い、インターネットを利用して他の参加校と互いに話し合います。また、シャトルの仕組みや軌道についても学びます。

撮影地点が雲に覆われているのを避けるため、生徒たちは気象衛星の画像をもとに効果的な撮影地点を選定し、インターネットを通じてシャトルに選定地点の撮影指示を行います。撮影された電子写真は数時間後に地上の参加校まで送信されます。

使用するカメラは電子カメラです。打上げ後、クルーがシャトルの後方フライトデッキの頭上ウィンドウに取り付けます。さらに電子カメラはシャトル内のパソコンに接続され、地上から電子カメラを制御できるように設定されます。

カメラや付属機器の取付け / 取外し、最初のカメラ指向、レンズ交換を除けば、クルーの介在は無く、すべて地上から操作することができます。

EarthKAMではこれまで、ヒマラヤ、太平洋上の雲、火山、インドネシアの大規模な山火事などのテーマに基づき2,000枚以上の地球の写真が撮影されています。

今回のEarthKAMには日本からも初めて参加する予定です。

過去の実施状況

シャトルミッション	参加校	撮影枚数
STS - 76	3校	325枚
STS - 81	17校	533枚
STS - 86	52校	670枚
STS - 89	37校	490枚

EarthKAM is an educational program under which middle school students will photograph the Earth using a digital camera mounted on the Space Shuttle. They will then use these photographs to carry out research under various themes in science and social studies. This is a NASA-sponsored program conducted in cooperation with the University of California at San Diego (UCSD) and other organizations.

This mission is a more developed version of similar missions that were conducted under KidSat during the STS-76, 81 and 86 shuttle missions. Since STS-89, the program has been conducted as "EarthKAM".

Each school that participates in the program will study the method of selecting and using themes on Earth photography, and will hold discussions with other participant schools via the Internet. They will also learn about the principles of operating the shuttle and the orbit through which it will travel.

In order to avoid a situation in which the photographing point is covered with clouds, the students will select candidates for photography based on images obtained from a meteorological satellite, and send photographing instructions to the shuttle via the Internet. The electrophotographs taken this way will be transmitted to the participating schools on Earth several hours later.

The camera to be used is a digital camera. After the launch, the crew will install the digital camera on the overhead window of the aft flight deck at the rear of the shuttle. Next, they will connect the digital camera to a personal computer in the shuttle, and set it in such a way that it can be controlled from Earth.

Apart from the work of installing and stowing the camera and accessories, the initial pointing of the camera, and replacement of the lens, the camera will be operated entirely from Earth without any intervention on the part of the crew.

In EarthKAM projects up to now, more than 2,000 photographs of the Earth have been taken, based on themes such as the Himalayas, clouds above the Pacific Ocean, volcanoes, and the large-scale forest fires in Indonesia.

Japan is scheduled to participate in this coming EarthKAM for the first time.

Past EarthKAM projects

Shuttle mission	Number of participating schools	Number of photographs taken
STS - 76	3	325
STS - 81	17	533
STS - 86	52	670
STS - 89	37	490

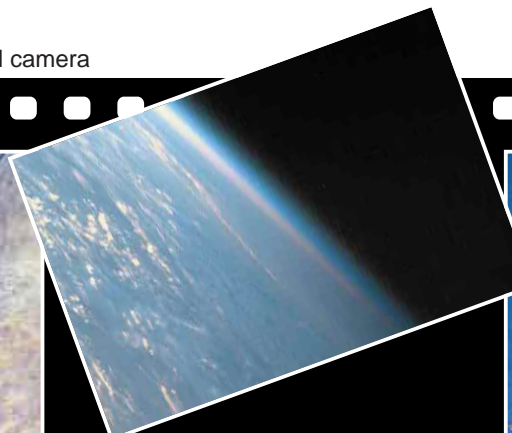
EarthKAMで撮影された電子写真 / Electrophotographs taken by EarthKAM camera



ヒマラヤ山脈
Himalaya Mountains



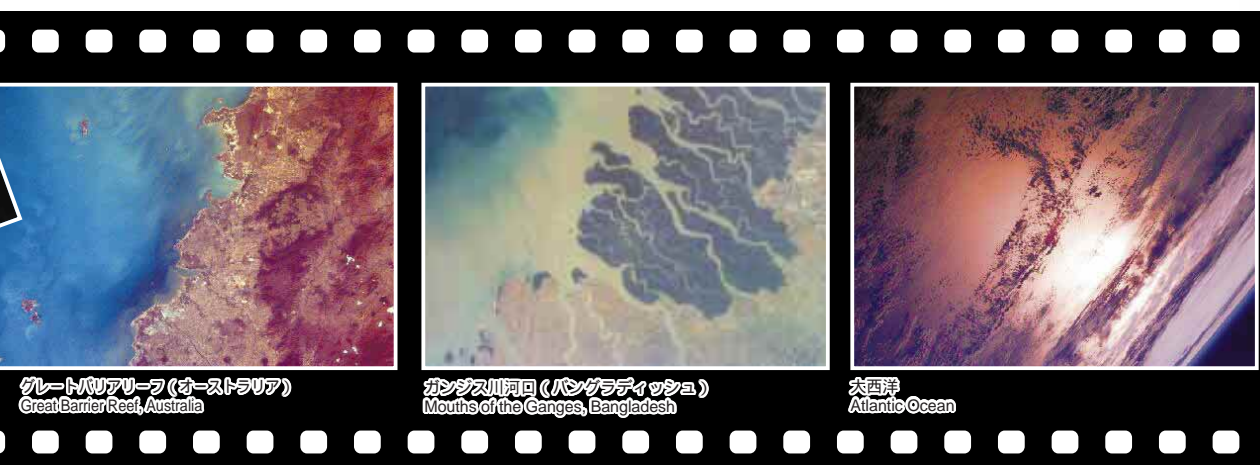
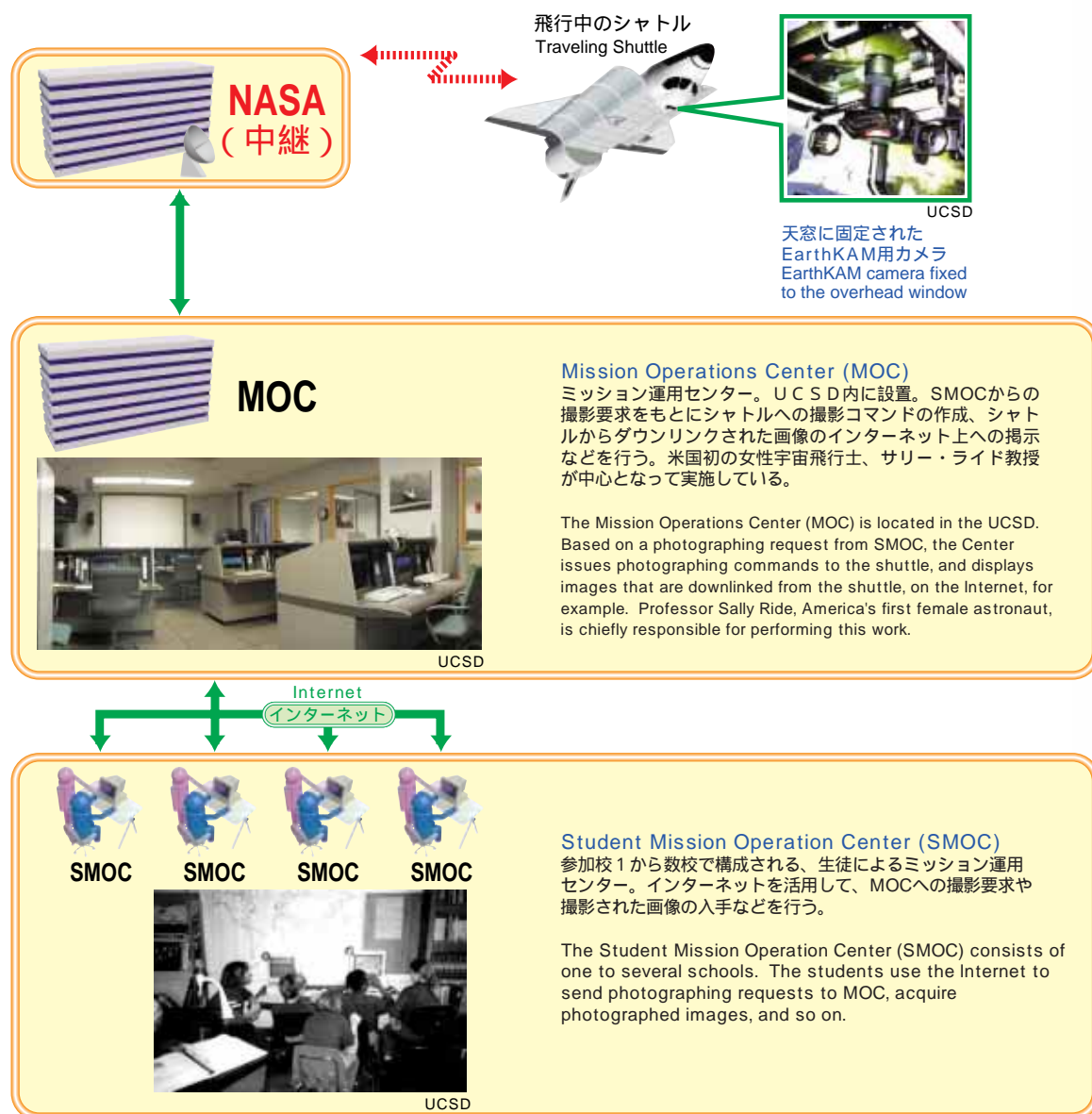
ナイル川 (エジプト)
Nile River, Egypt



モロッコの平原 (北アフリカ)
Morocco Plains, North Africa

EarthKAM運用イメージ

Operating image of EarthKAM



NASA/JPL/Caltec

コマンダー（船長）
ケビン R・クレーゲル

1956年ニューヨーク州生まれ。
 1993年に宇宙飛行士となる。STS - 70（1995年）、
 STS - 78（1996年）にパイロットとして搭乗。
 STS - 87（1997年）でコマンダーとして土井宇宙飛
 行士と共に飛行。STS - 99は4回目の飛行。



Commander (CDR)
Kevin R. Kregel

Born in 1956 in New York.
 Became an astronaut in 1993. Served as Pilot
 on STS-70 (1995) and STS-78 (1996). Flew as
 Commander of STS-87 (1997), together with
 Astronaut Takao Doi. STS-99 will be his fourth
 flight.

パイロット（操縦士）
ドミニク L・P・ゴーリィ

1957年ルイジアナ州生まれ、米海軍中佐。
 1996年に宇宙飛行士となる。STS - 91（1998年）
 でパイロットとして搭乗。STS - 99は2回目の飛行。



Pilot (PLT)
Dominic L. Pudwill. Gorie

Born in 1957 in Louisiana. U.S. Air Force
 Lieutenant Colonel.
 Became an astronaut in 1996. Served as Pilot
 on STS-91 (1998). STS-99 will be his second
 flight.

ミッションスペシャリスト（MS1）
ゲルハルト P・J・ティエル

1953年ドイツ生まれ、ESA宇宙飛行士。
 1988年ドイツ航空宇宙センター（DLR）にて宇宙飛行士
 基礎訓練を開始。STS - 55（1993年）のバックアップ
 PSとしてミッションを支援。1996年7月、DLR及びドイ
 ツ宇宙機関より選ばれ、NASAのミッションスペシャリス
 ト基礎訓練コースに参加。1998年4月に修了し、MSとし
 て認定された。STS - 99は初飛行となる。



Mission Specialist (MS1)
Gerhard P. J. Thiele

Born in 1953 in Germany. ESA Astronaut.
 Began basic astronaut training at DLR in 1988.
 Alternate PS for STS-55 (1993). In July 1996,
 was selected by DLR and the German Space
 Agency to participate in the NASA astronaut
 candidate training course. Completed training in
 April 1998, and qualified as a Mission Specialist.
 STS-99 will be his first flight.

ミッションスペシャリスト（MS2）
ジャネット リン カヴァンディ

1959年ミズーリ州生まれ、化学博士。
 1996年に宇宙飛行士となる。STS - 91（1998年）
 でミッションスペシャリストとして初飛行。STS - 99
 は2回目の飛行。



Mission Specialist (MS2)
Janet Lynn Kavandi

Born in 1959 in Missouri. PhD in Chemistry.
 Became an astronaut in 1996. Flew on STS-91
 (1998) as Mission Specialist. STS-99 will be
 her second flight.

ミッションスペシャリスト（MS3）
ジャニス ヴォス

1956年インディアナ州生まれ、航空宇宙工学博士。
 1991年に宇宙飛行士となる。STS - 57（1993年）、
 STS - 63（1995年）、STS - 83（1997年）、
 STS - 94（1997年）でミッションスペシャリストと
 して飛行した。STS - 99は5回目の飛行。



Mission Specialist (MS3)
Janice Voss

Born in 1956 in Indiana. PhD in Aerospace
 Engineering.
 Became an astronaut in 1991. Flew as a
 Mission Specialist on STS-57 (1993), STS-63
 (1995), STS-83 (1997) and STS-94 (1997).
 STS-99 will be her fifth flight.



ミッションスペシャリスト (MS4) 毛利 衛

宇宙開発事業団 (NASDA)
宇宙環境利用システム本部
宇宙環境利用推進部
有人宇宙活動推進室 室長



Mission Specialist (MS4) Mamoru Mohri, PhD

General Manager, Astronaut Office,
Space Utilization Promotion Department,
Office of Space Utilization Systems,
National Space Development Agency of
Japan (NASDA)

1948年1月	北海道余市町生まれ
1972年3月	北海道大学大学院 理学研究科化学専攻修士課程修了
1976年7月	南オーストラリア州立フリンダース大学大学院 理学博士号取得
1982年1月～ 1985年10月	北海道大学工学部原子工学科助教授
1985年8月	宇宙開発事業団によりペイロードスペシャリスト (PS : 搭乗科学技術者) 候補者として向井千秋、土井隆雄と共に 選定され、同年11月宇宙開発事業団入社
1992年9月	「ふわっと 92」のPSとして、日本人として初めてスベ ースシャトルに搭乗
1996年8月	NASAのミッションスペシャリスト (MS : 搭乗運用技 術者) 基礎訓練コースに参加
1998年4月	NASAからMSに認定される
1998年10月	STS-99のMSとして2度目のスペースシャトル搭乗決定

Jan. 1948	Born in Hokkaido, Japan.
March 1972	Received Master of Science Degree in Chemistry from Hokkaido University.
July 1976	Awarded Doctorate in Chemistry from Flinders University of South Australia.
Jan. 1982 to Oct. 1985	Associate Professor at the Nuclear Engineering Department of Hokkaido University.
Aug. 1985	Selected by NASDA as Payload Specialist (PS) with Dr. Chiaki Mukai and Dr. Takao Doi; joined NASDA in Nov. 1985.
Sep. 1992	Flew aboard the Space Shuttle Endeavour on STS-47, the first flight for a Japanese astronaut.
Aug. 1996	Attended the 1996 NASA astronaut candidate training course.
April 1998	Qualified as a Mission Specialist (MS).
Oct. 1998	Assigned as MS for STS-99, his second flight.

「ふわっと 92」

1992年9月、日本人として初めてスペースシャトルに搭乗した毛利宇宙飛行士は、PSとしてシャトル内の宇宙実験室で無重力環境を利用した新素材の開発や、宇宙が人間の体に与える影響を調べる数々の実験を行いました。また、飛行中、日本の子供たちに向けた、パネやコマ、水などを使った宇宙理科実験を行い、無重力の不思議さや宇宙での生活をわかりやすく説明し、子供たちの宇宙への興味をかきたてました。



“SPACELAB J”(STS - 47)

In September 1992, Astronaut Mohri, the first Japanese person to fly on the space shuttle, developed new materials utilizing the zero-gravity environment in the space laboratory in the shuttle as a PS. He also performed numerous experiments to investigate the effect of space on the human body. During the flight, he also conducted space scientific experiments for Japanese children, using a spring, a spinning top, water, and so on, and described the strangeness of weightlessness and life in space in a readily understandable way, thus arousing the children's interest in space.





NASDA

宇宙開発事業団
筑波宇宙センター
〒305-8505 茨城県つくば市千現2丁目1-1
Phone: 0298-54-3999 Fax: 0298-50-2232

National Space Development Agency of Japan
Tsukuba Space Center
1-1, Sengen 2-chome, Tsukuba-shi Ibaraki 305-8505, Japan
Phone: #81-298-54-3999 Fax: #81-298-50-2232

Home Page URL
<http://www.nasda.go.jp/>
<http://jem.tksc.nasda.go.jp/>



このパンフレットは
エコマーク認定の
再生紙を使用しています。

