

平成19年度

卒業論文

日本の宇宙政策とGPS/GNSSの歴史

海事システム工学科（情報コース）

学籍番号 0421034

氏名 多田 達哉

指導教員 久保 信明

論文要旨

「日本の宇宙開発とGPS/GNSSの歴史」

1章	序論	
1.1	はじめに	2
1.2	背景と目的	2
2章	世界の宇宙政策	
2.1	宇宙法とは	4
2.2	宇宙法の問題点	4
2.3	宇宙開発の歴史	5
2.4	宇宙利用を規律する法律	7
2.5	宇宙利用の現状	8
2.6	世界の宇宙政策	13
2.7	今後の宇宙政策	16
3章	日本の宇宙政策	
3.1	日本の宇宙利用の現状	19
3.2	日本の宇宙政策	20
3.3	各国との比較	22
3.4	日本の宇宙政策の課題	24
4章	GPS/GNSSの歴史	
4.1	GPS/GNSSとは	25
4.2	GPS/GNSSの歴史	30
4.3	GPS/GNSSの現状	31
4.4	GPS/GNSSの将来	31
5章	総括	
5.1	結論	32

第1章 序論

1 - 1 はじめに

私はGPS受信機や測位計算ではなく、日本の宇宙政策に興味を持ち本研究室の研究対象である、GPS/GNSSの歴史と関連させて勉強し、内容をまとめて紹介することにした。

宇宙政策や宇宙法は、宇宙空間全体を舞台としているため、地球上で生活し今後宇宙を開発し利用していくことになる私たちにとっては、非常に重要な分野である。そして、今後さらに重要になってくる分野でもある。そういった事からも、宇宙空間に関係の深い勉強をしていた私にとって、十分に興味を惹かれる分野であった。

1 - 2 背景と目的

宇宙開発予算が年々減少傾向にあるなか、新たな測位衛星システムや国際宇宙ステーションの計画が推進中であり、さらに宇宙基本法の制定に近い日本の宇宙政策、宇宙開発は現在重要な過渡期にある。そこで日本の宇宙政策の現状と将来に向けた課題を、抱える国情の異なる世界の国々の政策例を通して明確にしていく。いまや宇宙大国となった日本の宇宙開発は、すでに欧米に引けをとらないレベルにまで上がってきている。これらの蓄積されてきた豊富な、そして高度な技術をどう活用していくかが今後の大きな課題となってきた。日本としては、宇宙基本法の制定により宇宙開発へ向けた国家の体制も整い、国益に役立つ「宇宙」を目指している段階である。欧米諸国はもちろんのこと、アジアの近隣国である中国やインドも国情に応じた宇宙戦略、つまり宇宙をどう利用するか、どのように国益に反映していくかの戦略が国家として考えられていることが強く見て取れるようになってきている。新たな宇宙の時代へ向かっている日本の今後の課題を、宇宙開発の歴史や、抱える国情など様々な点で異なる世界の国々の宇宙政策を通して考えた。

また、現在我々の生活の中において、とても大きな役割を果たしていて、いまや無くてはならないものへと進化を遂げた測位衛星システムは非常に重要な宇宙分野技術戦略となっている。その、測位衛星システムへの日本の宇宙政策の位置づけから、世界の宇宙開発においての、日本の宇宙戦略を検討する。

GPS そのものの勉強をしていた私にとって興味を引く内容ではあったが、内容が全くわからない分野でもあった。そこで、様々な研究者の方々の論文や、シンポジウムでの発表文献を調べることから勉強を始めた。そして、各人の意見や考えを比較し、世界の宇宙利用がどのように進んでいくのかとともに、日本の進んでいる方向を理解し、自分の考えを

深めた。そして、将来世界の中で日本が進むべき方向や、とるべき政策などを理解するとともに、自分なりに検討を行った。

第2章 世界の宇宙政策

2 - 1 宇宙法とは

宇宙法とは、「宇宙空間の利用に関する国際法規則の総称」のことである。つまり世界中で結ばれた規則や条約をまとめて宇宙法と呼んでいる。他の国際法と比較してみると、国家の主権が大きく制限されるところに特徴がある。宇宙法は新しい分野であるため、慣習法ではなく条約が第一義的に重要な法源と考えられる。諸条約や国連総会決議を中心に宇宙法は構成されていて、中核にあるのは1967年に締結された宇宙条約である。ここで少し、宇宙法の中核を成している宇宙条約を紹介する。宇宙条約とは通称であり、「月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における国家活動を律する原則に関する条約」が正式名称となる。第1条では宇宙空間探査利用の自由、第2条では天体を含む宇宙空間の国家による領有の禁止、第4条では宇宙空間の平和利用の原則、第6条、第7条では国家への責任集中原則が、それぞれに規定されている。

2 - 2 宇宙法の問題点

上記のような項目が規定されている宇宙条約を中核とする宇宙法には、様々な問題点が生じてきている。その理由としては法整備が急遽行われた点が挙げられる。法整備が急ピッチに進められてきたのは宇宙開発技術の発達が急激であったため、また当初は宇宙開発を進める国がアメリカとソ連を中心に、ごく少数であったために条約の制定が容易であったためと考えられる。生じてきている問題点としては多々あるが、ここでは影響が大きいと考えられるものについて述べることにする。

まず初めに、領空と宇宙空間の境界が明確に決められていない点がある。つまり、どこまでが自国の領空であり、どこからが宇宙空間となるかということが決められていないということである。これでは、衛星は領空侵犯なのでは？という疑問が当然生じてくるが現在のところ大きな問題にはなっていない。しかし、宇宙開発競争が今後さらに激化してくることを考えると疑問に思う。

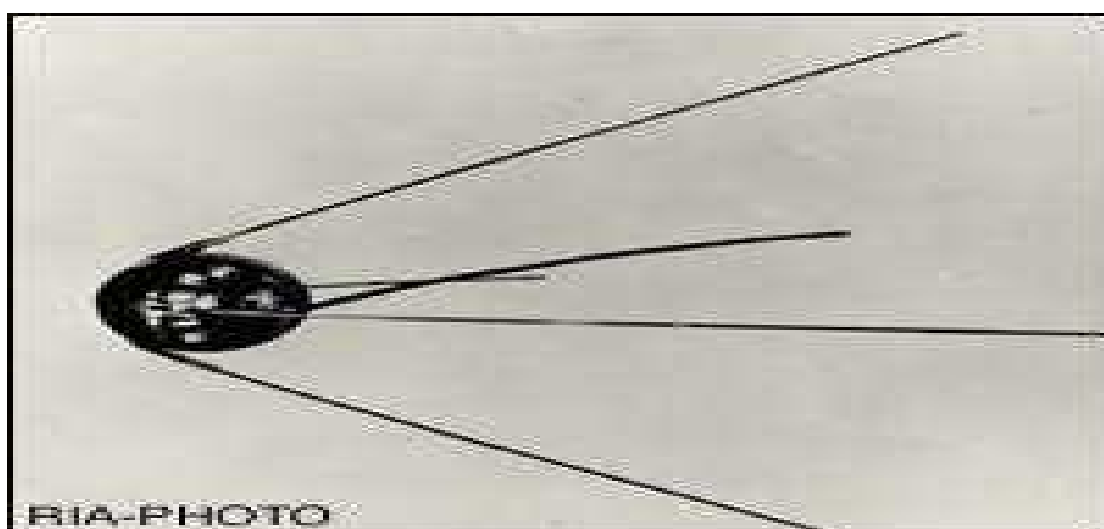
次に、天体の領有権が曖昧であるという点である。宇宙条約の第2条で、「天体を含む宇宙空間に対しては、いずれの国家も領有権を主張することは出来ない」と規定されている。しかし、企業や個人、団体の領有は禁止されていないという曖昧さが残っている。天体の資源の領有を禁止する条約として1979年に締結されている月協定（月、その他の天体における国家活動を律する協定）がある。しかし締結国は、オーストラリア、オーストリア、ベルギー、チリ、カザフスタン、メキシコ、モロッコ、オランダ、パキスタン、ペルー、フィリピン、ウルグアイという宇宙開発に積極的ではない国ばかりの10カ国に

留まっている。先進国もオーストラリア、オーストリア、ベルギーのみであり、日本は署名しておらず、今後もその可能性はほとんどないと考えられている。そのため、月協定の法的意義は問われており、いまや死文化してしまっている。ここに、宇宙条約に残る曖昧さの結果が現れているといえるだろう。実際、アメリカの企業であるルナエンバシー社では月、火星、金星の土地が1エーカー 2700円で売られている。

宇宙法の問題点としてもうひとつ挙げたいと思う。それは、宇宙の平和利用原則に残された曖昧さである。それは、宇宙空間の利用における軍事利用に関する部分に残されている。天体での軍事活動は一切禁止されているが、他の宇宙空間においては地球の軌道上への核兵器などの大量破壊兵器の配備、使用が禁止されているだけという状況である。よって、通常兵器であれば配備、使用が事実上可能であるということである。日本のように宇宙開発、宇宙利用において非軍事という方向で進めているのは、少数派というのが現状である。以上のように、宇宙法には多くの問題点が残っている。しかし、我々はこの宇宙法の下において宇宙開発を進めてきた、そして今後も進めていかなくてはならない。

2 - 3 宇宙開発の歴史

宇宙法の歴史は、人類の宇宙開発の発展とともに歩んできたといえる。ソビエト連邦が1957年に世界初の人工衛星スプートニク1号（直径58cmの球形をしていて、重量は83,6kgというものであった）を打ち上げ、地球周回軌道に乗せることに成功した。



「人類初の人工衛星 スプートニク1号」

出展：SPACE INFORMATION CENTER

翌年の1958年にはアメリカ合衆国が人工衛星エクスプローラー1号の打ち上げに成功する。ここから、人類の宇宙空間の利用、そして活動が急速に展開されていった。

宇宙開発競争は、冷戦中のソ連とアメリカによる文化と科学技術を発展させた。宇宙技術は、ミサイルなど軍事技術への応用が可能なことと、国民だけに留まらず世界の人々へのイメージ向上に与える影響が大きく、利益があると考えられたことから、両国の競争は激化していった。当初はソ連が宇宙開発史上初の成果をことごとく独占していった。しかし、アメリカが月面着陸という最も印象的な成果を挙げたことで宇宙開発競争は一段落した。しかし、21世紀に入り状況は変わってきている。日米欧、そして中国、インド、イスラエル、さらには民間という世界中を巻き込んだ宇宙開発競争が始まっている。



「アメリカ合衆国初の人工衛星 エクスプローラー1号」

出展：SPACE INFORMATION CENTER

2 - 4 宇宙利用を規律する法律

宇宙空間は国家の管轄権が行使されることの無い国際公域である。公海、南極に続いて宇宙空間と深海底が国際公域とされるようになった。国際公域は人類共生を目指す場とされているために、一般的に平和利用原則が課せられている。しかし、宇宙開発、利用については、この平和利用は不明確そして疑問が残る。

初の人工衛星打ち上げから1ヵ月後には、宇宙の探査・利用に関する決議が国連総会で出され、翌年には宇宙空間平和利用委員会（COPUOS:Committee on the Peaceful Uses of Outer Space）が設置された。1959年からは常設機関となっている。以下にCOPUOSの作成した国際条約と原則宣言を紹介する。

【条約】

- 1967年「月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における国家活動を律する原則に関する条約」（「宇宙条約」）（1967年発効、日本は原締約国）（現在締約国99）
- 1967年「宇宙飛行士の救助及び送還並びに宇宙空間に打ち上げられた物体の返還に関する協定」（1968年発効、日本は1983年加入）（現在締約国89）
- 1972年「宇宙物体により引き起こされる損害についての国際的責任に関する条約」（1972年発効、日本は1983年加入）（現在締約国83）
- 1975年「宇宙空間に打ち上げられた物体の登録に関する条約」（1976年発効、日本は1983年加入）（現在締約国45）
- 1979年「月その他の天体における国家活動を律する協定」（1984年発効、日本は未署名）（現在締約国11）

【原則宣言】

- 1982年 直接放送衛星原則宣言
- 1986年 リモート・センシング原則宣言
- 1992年 原子力電源搭載衛星原則宣言
- 1996年 宇宙条約第1条の内容明確化のための宣言（「スペース・ベネフィット宣言」）

2 - 5 宇宙利用の現状

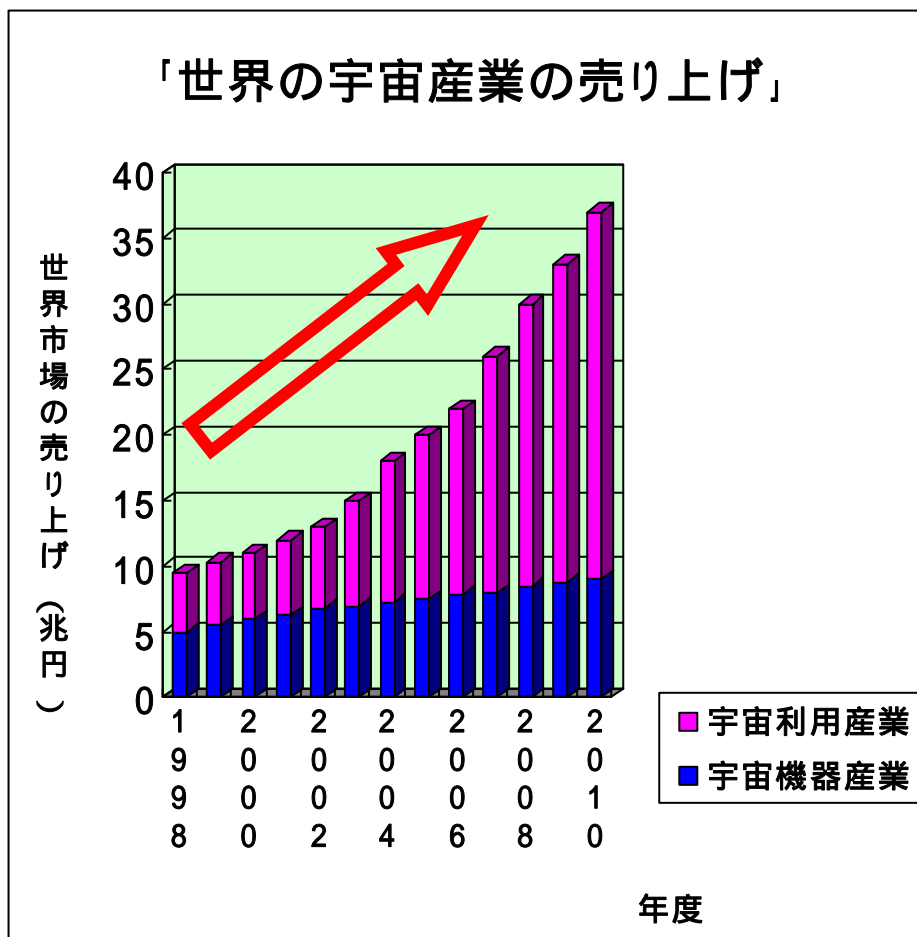
いまや宇宙空間は様々な分野で研究が行われている。そして、利用されている。産業としても発展を続けていて今後も伸びていくと予想される。宇宙空間を舞台とした産業は、大きく2つに分けることが出来る。測位衛星システムの利用や、宇宙科学・宇宙環境利用などの「宇宙利用産業」と、衛星の打ち上げシステムやロケットの開発などの「宇宙機器産業」である。実際、宇宙利用産業と宇宙機器産業、ともに拡大を続けている。(図2 - 5.1 図2 - 5.2 参照)

年度	宇宙利用産業	宇宙機器産業
1998	4.5 兆円	5 兆円
1999	4.8 兆円	5.5 兆円
2000	5 兆円	6 兆円
2001	5.7 兆円	6.3 兆円
2002	6.2 兆円	6.8 兆円
2003	8 兆円	7 兆円
2004	10.7 兆円	7.3 兆円
2005	12.5 兆円	7.5 兆円
2006	14.1 兆円	7.9 兆円
2007	18 兆円	8 兆円
2008	21.5 兆円	8.5 兆円
2009	24.2 兆円	8.8 兆円
2010	28 兆円	9 兆円

「世界の宇宙産業の売り上げ」 (図2 - 5.1)

日本経団連調べ

次ページの図2 - 5.2にて、図2 - 5.1をグラフ化した。
より一層、宇宙産業の成長・発展の具合が分かると思う。



「世界の宇宙利用産業の売り上げ」 (図2-5.2)

上に図で示したように、宇宙産業は利用を中心に急速に拡大を続けている。また、全体では日本は現在、世界市場の10%程度である。

急速に拡大している宇宙利用産業の現状を分野に分けて紹介する。

[宇宙利用・科学]

- ・ 宇宙利用自体が国民生活に密着し、浸透してきている。
- ・ 地球観測等、利用技術の開発により宇宙利用は拡大している。
- ・ 全世界においてアメリカのGPSシステムの利用が急増している。そこで、欧州はアメリカに頼りきるのではなく、独自の測位衛星システムであるGalileo計画を推進中である。
- ・ 商用静止衛星は年間30機程度で推移しており市場としては冷戦終結後から競争は激化している。低軌道衛星市場は先行き不透明となっている。
- ・ 宇宙科学・宇宙環境利用で国際宇宙ステーション計画の進行とともに、国際協力が進んでいる。

[通信・放送]

- ・ 位置情報システムによる安全対策などの複合的な利用が推進。
（米連邦通信委員会が、緊急通信時に津放射の発信位置を特定できるように、自動位置特定機能システムの搭載を、携帯電話事業者に要求している。）
- ・ 移動体通信、高速大容量通信など次世代化が進行している。

[測位]

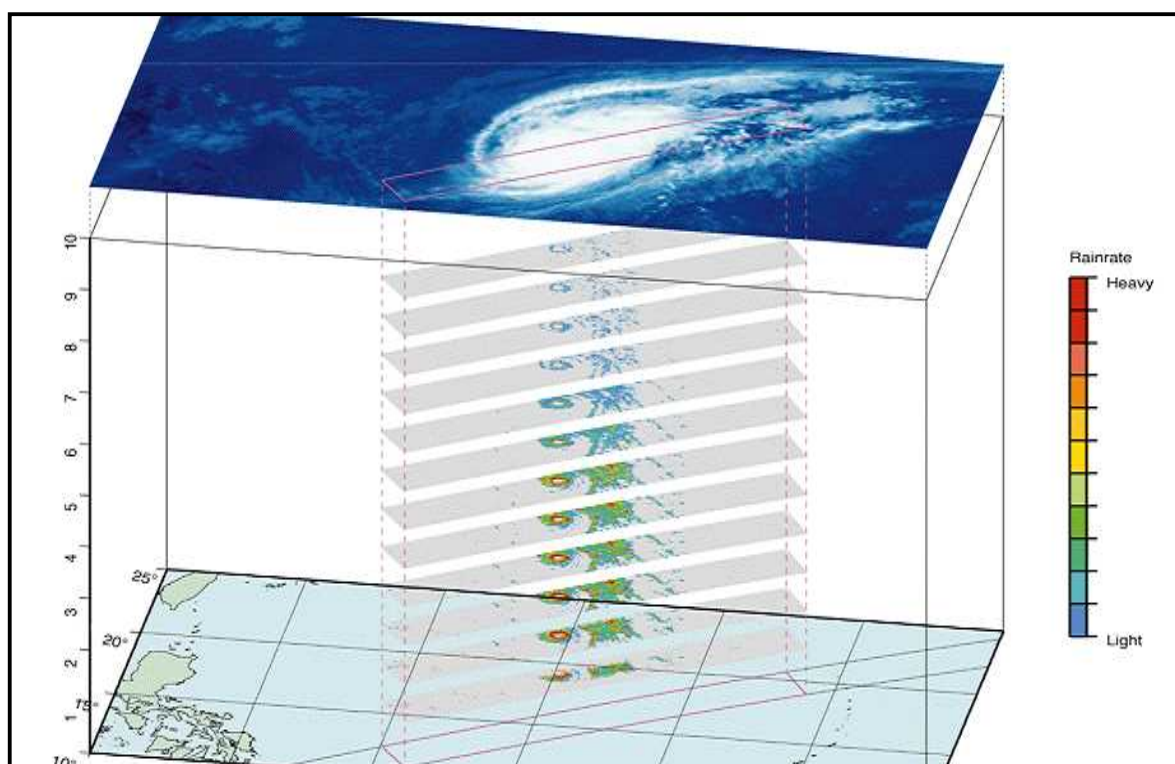
- ・ カーナビゲーションなどにより、測位情報は今や交通管理に不可欠なものとなっており、物流・位置情報提供等民間での利用が拡大を続けている。

[安全保障・危機管理]

- ・ 情報収集衛星の導入が進んでいる。
- ・ 広域災害の観測へ、環境観測衛星を含めた監視システムを構築するという計画がある。

[地球環境モニタリング・気象観測]

- ・ 気象衛星情報が生活に浸透しているのは当然のことであるが、さらに多国間協力による地球観測により、地球環境問題への取り組みも進んでいる。（図2-5.3 参照）

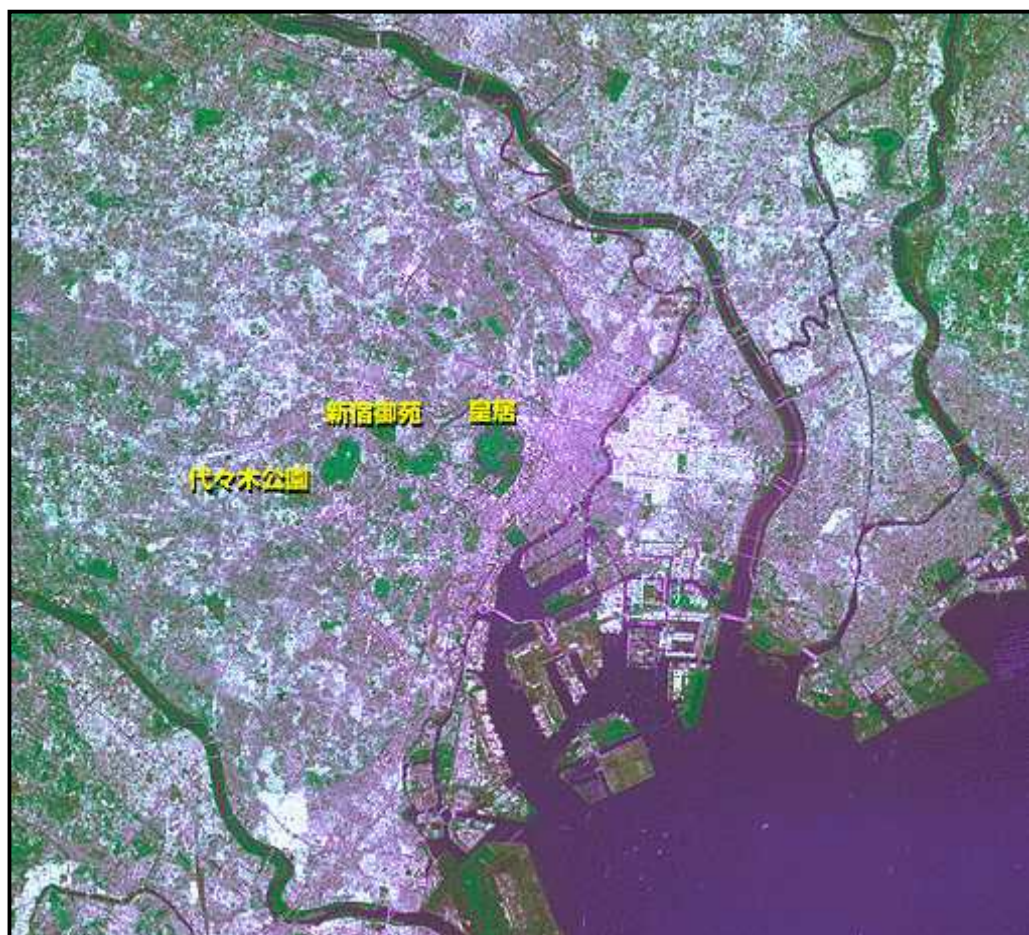


「台風28号の3次元降雨分布」 （図2-5.3）

出典：NASDA

[資源探査・モニタリング]

- ・ 衛星画像の民生利用が進んでいる。(図2-5.4 参照)
(1990年代のアメリカによる産業競争力の強化政策による。)



「画像解析による東京付近の植生把握」 (図2-5.4)

出典：RESTEC

[宇宙科学]

- ・ 人類の知的創造への貢献が進む。
- ・ 国際的な協力の動きもある。

[宇宙エネルギーの利用]

- ・ 宇宙太陽光発電衛星システムの構想が進んでいる。
(宇宙太陽光発電衛星システムとは、大気などの様々な理由でエネルギーが減衰してしまう地上ではなく、宇宙空間において太陽光発電を行い、そのエネルギーを地球に送電するというシステム。 図2 - 5 . 5 参照)



「宇宙太陽光発電衛星システム 一例」 (図2 - 5 . 5)

出典：三菱電機

[宇宙環境利用]

- ・ 長時間の微小重力などの環境を利用したライフサイエンス・材料実験。
- ・ 宇宙医学など、有人宇宙活動を見据えた研究

以上のように、宇宙空間は大変多くの分野で研究・開発が進められている。そして、世界では既に産業として確立されており、市場規模も拡大を続けている。軍事技術から研究が始まり民間に転用され、さらなる発展をしてきたのが宇宙分野である。いまや、我々の日常生活に密着し広く浸透しており、さらなる進展が目指されている。そして、その成果

を交際競争力の強化や、新たなビジネスの創造、国民の生活のさらなる質の向上が求められている。

2 - 6 世界の宇宙政策

2 - 5「宇宙利用の現状」で述べたように、宇宙利用・開発は拡大が続いている。本項では、その様な状況の中で、世界の国々はどのような宇宙政策を採り開発・研究・利用を進めているのかを述べていく。

アメリカ、欧州、中国、インド等では宇宙開発・利用を将来に向けた重要な国家戦略と位置づけている。アメリカでは国家宇宙政策局が立案し、NASA(National Aeronautics and Space Administration 米国航空宇宙局)が中心となり、宇宙開発・利用の国家戦略を立てている。そのようなシステムが確立されているのである。

EUでもアメリカのGPSと協調しつつ、今までのようにアメリカに頼りきるのではなく、将来に向けて独自の測位衛星システム計画であるGalileo計画を進めてきている。ロシアでは40年近く開発・運用されてきた有人宇宙船であるソユーズ(図2 - 6 . 1参照)に変わる次世代宇宙船クリッパーの開発を進め、2010年の打ち上げ、初飛行を目指している。そして、日本の隣国である中国では1992年から本格的に宇宙開発が始められ、2003年に世界で3番目の有人宇宙飛行を成功させている(神船五号 図2 - 6 . 2参照)。



「ロシアの宇宙船ソユーズ(図2 - 6 . 1)」 「中国の宇宙船 神船五号
(図2 - 6 . 2)」

アメリカ、欧州、ロシア、中国、インド、そして日本など世界の国々で宇宙開発競争が繰り広げられている背景には、宇宙開発・利用が国力の向上に大きな力を及ぼすと考えられているからである。宇宙開発・利用に不可欠であるロケットや人工衛星は、無数の高度な技術が結集された巨大な結晶である。地球上とは異なり宇宙空間は微重力、真空、そして急激な温度変化という環境である。そのような環境下での運用には高い信頼性が求められ、さらには地球上では不可能な新技術の開発が期待されている。そして、それらは宇宙関連分野だけに留まらず、基礎科学から、その裾野にある産業にまで影響を与え発展、振興に寄与すると考えられているのである。

各国の宇宙政策をみる指標にと考え、表に宇宙開発予算、そして人員数をまとめた。(図2-6.3)また、中国は2005年以降現在も未公表であるために「不明」とした。宇宙開発・利用には高度な技術だけでなく、優秀な人材と予算、そして緻密な計画から生み出される国家戦略が必要である。図2-6.3を見るとわかるが、日本にはその人材と予算が圧倒的に足りない。日本について詳しくは第3章で述べる事にする。ここでは、今まで通り今後もリーダーシップを発揮するであろう「アメリカ」と、アメリカに頼りきるのではなく独自の宇宙戦略を立ち上げた「欧州」について考えていく。

	米国 NASA	米国 DoD	欧州 ESA	欧州(仏) CNES	日本	中国
人員	17940人	22600人	1700人	2500人	1380人	不明
予算	14591億円	15844億円	2708億円	1896億円	2675億円	不明
(年度)	(1999)	(2000)	(2000)	(2001)	(2002)	

「各国の宇宙開発予算と人員数」(図2-6.3)

総合科学技術会議調べ

1970年代の始めまで冷戦下での宇宙開発競争は国威発揚と軍事目的に偏っていた。また、米ソという二つの大国で殆ど研究開発が行われていた。しかし、次第にフランス、ドイツ、イタリア、イギリスを中心とする欧州や日本、中国、インドなどが開発競争に加わってきた。その中でも、特に欧州は、1975年に欧州宇宙機関(ESA)を設立して、各種宇宙システムの共同開発、欧州宇宙産業の支援、発展を進めてきた。国際衛星通信の幕開けとなった1964年のインテルサットの設立によって、衛星の実利用はさらに放送・通信、気象、地球観測、資源調査、航行・測位、安全保障など広範囲に及んでいる。アメリカは商業的に事業が成り立つ通信・放送の分野ではいち早く競争力をつけた結果、圧倒的なシェア誇ってきた。アメリカが発表した宇宙戦略の一部を紹介すると以下のようになる。

- ・ 有人及び無人探査による宇宙に関する知識の向上
- ・ 安全保障の強化・維持
- ・ 米国の経済競争力、科学技術力の向上
- ・ 州、地域及び産業界による宇宙技術への投資、利用の促進

宇宙探査、安全保障、経済競争力と科学技術力の向上、そして産業界への投資と促進と多岐に渡り戦略が立てられている。アメリカは今後も、今まで通りに宇宙のあらゆる分野において世界のリーダーシップを発揮するとともに、宇宙開発の覇権を握ろうとしていると考えられる。

次に、欧州の発表している宇宙戦略としては以下の様なものがある。

- ・ 宇宙開発基盤の強化
- ・ 科学的知識の向上
- ・ 市場と社会のための利益躍進

欧州の戦略を見てみると、宇宙開発基盤の強化、科学的知識の向上といった、独自の宇宙開発を目指しているのが良く見て取れる。GPSを始めとして、アメリカのシステム、政策に依存するのではなく、自らのシステムを構築することで宇宙開発・利用において自立を目指しているのである。そして、市場と社会のための利益躍進を目指している。アメリカやロシアといった2大宇宙大国が軍事利用から民間へとシフトしてきたのとは異なり、欧州はもともと民生用に開発が進んできた。そのため、強くユーザ向けであり、幅広く実用的な技術の開発という方向で進んでいるという点も特徴的である。

2 - 7 今後の宇宙政策

今後の動向としては、日本の参加も決定しており、日本、アメリカ、欧州、カナダ、ロシアを含む15カ国が協力して進める国際共同開発の一大プロジェクトである、国際宇宙ステーション(ISS)の2010年までの完成がアメリカ、欧州ともに重要な計画となっている。(図2-6.4)

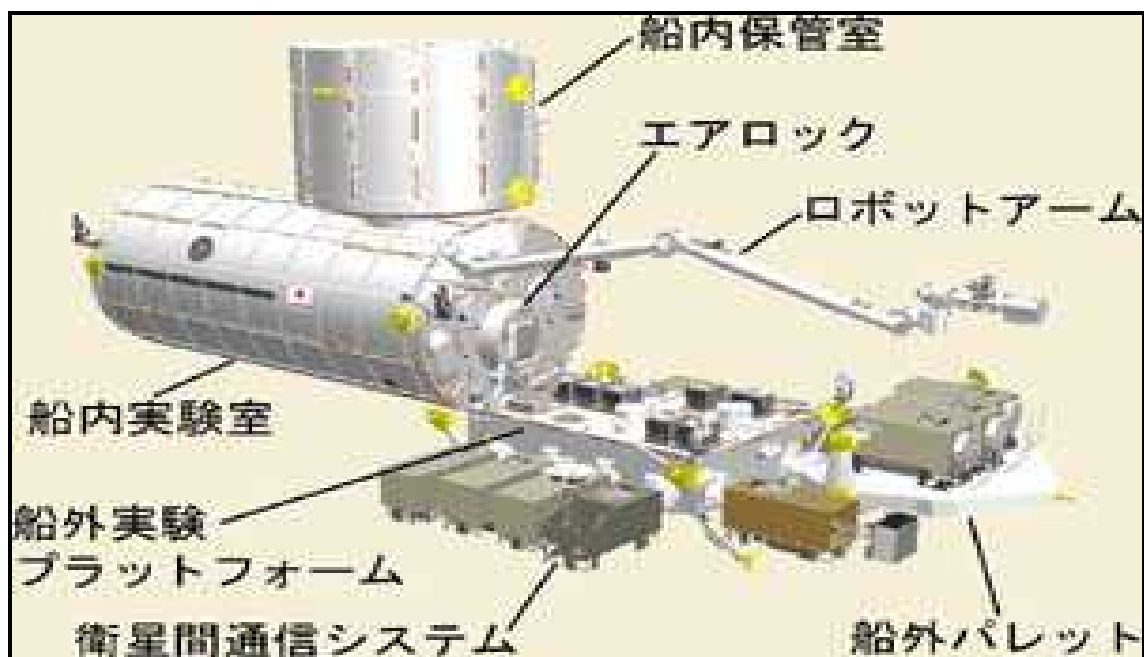
国際宇宙ステーションは約90分で地球の周りを1周し、地球や宇宙を観測する。主な目的は、地球上では行えない、特殊な宇宙環境を利用したさまざまな研究や実験を長期間行うための巨大な有人施設である。地球や天体の観測、そして実験・研究などを行うことができる。そこで得られた成果を活かして科学・技術をより一層進歩させること、そして、地上の生活や産業に役立てていくこととされている。また、日本の実験モジュールである「きぼう」の設置も決まっている。(図2-6.5)1998年から軌道上での組み立て作業が開始され、2000年から宇宙飛行士の長期滞在も始まったが、2003年にスペースシャトル「コロンビア」が大気圏突入時に空中分解するという事故が発生し、宇宙ステーションの計画は「ソユーズ」「プログレス」に依存する状態が続き、組立作業は大幅に遅れている。

アメリカの詳しい動向としては、2010年までに国際宇宙ステーションを完成させ、スペースシャトルを退役させる。そして、惑星探査にも対応可能な宇宙船を2008年までに開発し、2014年までに有人飛行を行う。さらに、2020年までに月での、長期滞在を行う計画になっている。



「国際宇宙ステーション完成予想図」 (図2-7.1)

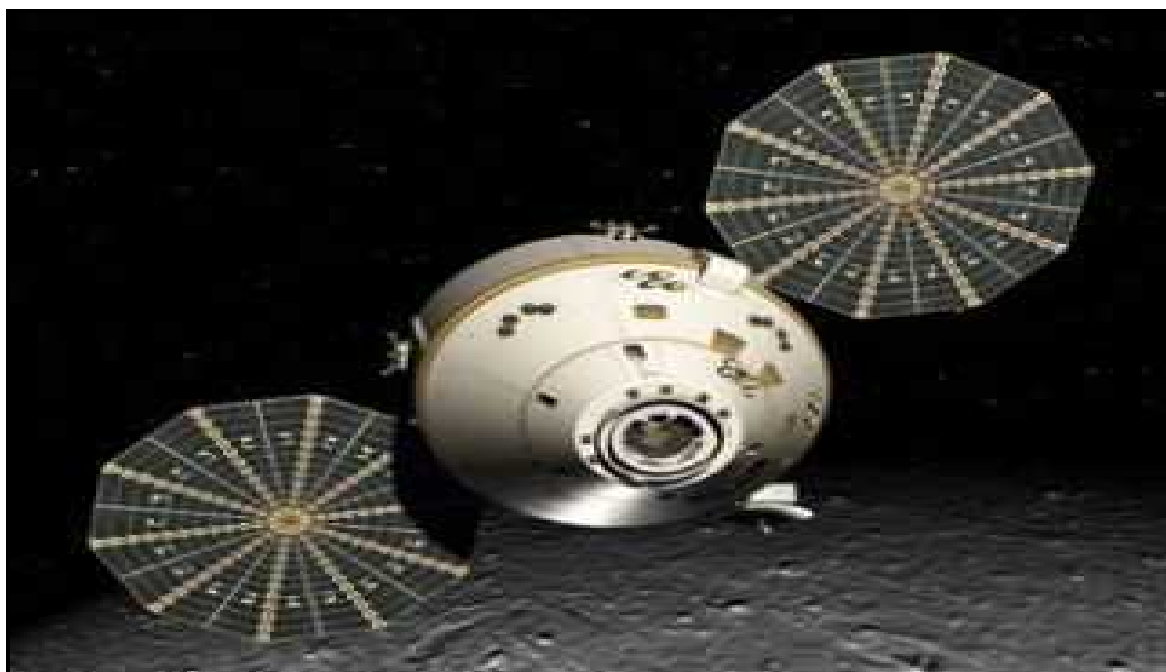
出典：encarta



「日本の実験モジュール きぼう」 (図2-7.2)

出典：JAXA

そして、2010年からは国際宇宙ステーションでの実験に移行するので、アメリカはスペースシャトルを2010年に退役させることが決定している。人員の輸送手段、月面などの天体への探査には、「オリオン」というスペースシャトルに変わる新しい宇宙船が計画されている。(図2-7.3)



「アメリカの新有人宇宙船 オリオン予想図」 (図2-7.3)

出典：NASA

欧州の今後の政策としては、独自の衛星測位システム(ガリレオ計画)の推進が非常に重要な計画となっている。ここで、Galileoとは欧州独自の衛星による無線航法システムを指しており、通信・放送、地球環境、農業・水産業等の分野における新世代のユニバーサルサービスの開発を目指すとともに、民生用目的の衛星ナビゲーションにおけるグローバルスタンダードを目指している。欧州の太陽系探査計画としてAurora計画というものがある。この最終目標は2030年までに国際協力により火星への有人探査を目指すものとされている。

米国のGPSシステムとの間には完全な相互運用性が確保されることになっている。そしてEU拡大に伴う安全保障対応、デジタルデバイドの解消を目指す、欧州宇宙機関(ESA)が2003年に発表した「アジェンダ2007」において記されている。ここでいうデジタルデバイドとは、EU拡大に伴い諸国内において国家間で生じてきている高速大容量通信などの通信手段の利便性における様々な格差を指している。その格差を宇宙技術によって解消させることを目指している。

第3章 日本の宇宙政策

3 - 1 日本の宇宙利用の現状

次は、日本の宇宙開発と宇宙政策について述べていく。日本の宇宙政策は長期に渡って、研究開発に重点を置いてきた。その理由として、アメリカやロシアに時間も技術も全てにおいて遅れて宇宙開発に参入したため、何よりもまず技術的なキャッチアップを最優先するという戦略的目標があったからである。そして、日本は、アメリカ、ロシアを除いた、欧州、中国と並ぶ宇宙大国といえる状況にまで成長してきた。自力での人工衛星打ち上げ順では、世界で4番目に打ち上げており、これまでの人工衛星打ち上げ総数も世界で4番目となっている。

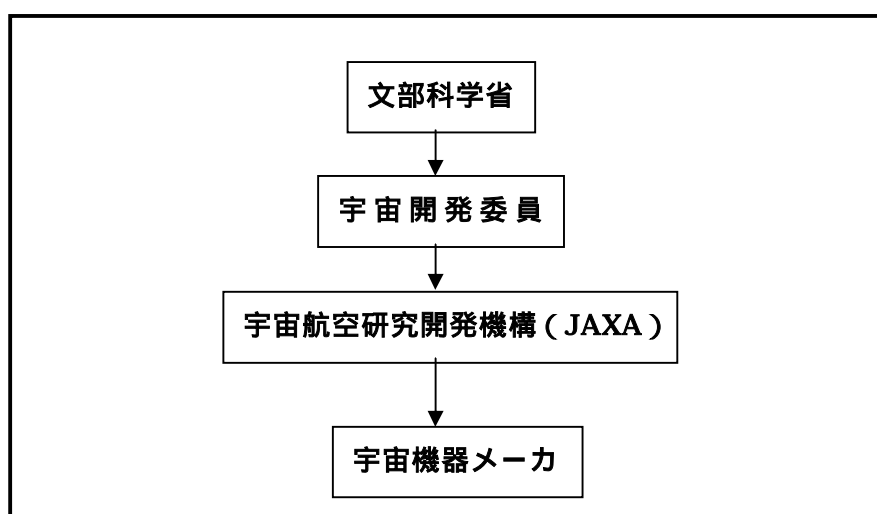
現在の状況としては、測位衛星システムは米国のGPSを利用しており、宇宙技術開発を長年続けてきている。利用面では、衛星測位関連の日本の市場規模は全世界の47%を占め、カーナビゲーションの現在の稼働台数は約800万台となっている。日本ではアメリカの測位衛星システムであるGPSを無料で利用している。日米間の枠組として「GPS利用に関する日米共同声明」がある。以下に抜粋を紹介する。

- ・ 米国政府は、平和的・民生的・商業的及び科学的利用のためのGPS標準測位サービスに直接課金しない。
- ・ 日本政府は、GPS標準測位サービスの利用を促進するために、米国と密接に活動。
- ・ 両政府は、GPS技術・機器及びサービスの運用基準の互換性を促進、十分な周波数割り当ての提供に向けて効果的な方法を開発するように支援、両国間の関心事項の情報交換の促進、の協力を実施する。
- ・ 1年に1回全体会合を開催する。（2001年2月5日第1回日米GPS全体会合開催）

以上のような枠組みが日本とアメリカの間で組まれている。日本は世界の国々と同様にアメリカのGPSを使わせて貰っている立場にいるわけである。そして、今後も当面は使わせて貰うことになるだろう。

3 - 2 日本の宇宙政策

アメリカ、ロシアとの遅れを取り戻すために、長年にわたり研究開発に力を入れ、キャッチアップを最優先してきた日本の宇宙開発は、現在欧米に引けをとらないレベルにまで上がってきている。しかし、これらの長年蓄積されてきた豊富で高度な技術をどう活用していくかが今後の大きな課題になってきている。日本としては、宇宙基本法の制定を目指すとともに、国家の体制も整え、国益に役立つ「宇宙」を目指している段階である。しかし、このキャッチアップ政策には変わりがみられてこなかった。1997年の省庁再編による文部省と科学技術庁の統合による文部科学省の発足と、宇宙開発三機関（宇宙科学研究所、宇宙開発事業団、航空宇宙技術研究所）の統合では、重複する業務を削減し、効率のよい政策運営も目指されてきた。このような中で宇宙政策も戦略見直しが図られてきた。しかし、宇宙開発に劇的な変化が見られてこなかった。よって、政策決定、政策執行のスタイルが維持されてきた。この、宇宙政策に変化が見られてこなかった理由として「宇宙村」の存在がある。つまり、宇宙開発が文部科学省 - 宇宙開発委員会 - 宇宙航空研究開発機構（JAXA） - 宇宙機器メーカーという宇宙開発に関わる主要なファクターに変化がなかったということが挙げられる。これを揶揄して「宇宙村」と呼ぶことがある。（図3 - 2 . 1）もちろん、省庁再編や三機関統合により、多少の顔ぶれの変化はあったが、主たるファクターは変化せず、作り上げられた宇宙政策の理念が変化しなかったことがある。それぞれのファクターは、この政策理念に基づいて自らの行動規範を定めており、それによって、安定した利益を享受し、一定の秩序を保つことができてきた。言い換えれば、環境が変化したとはいえ、「宇宙村」の内側には、変化に対応すべき理念が存在しなかったのである。



「宇宙村と呼ばれる宇宙開発ファクター」
（図3 - 2 . 1）

しかし、こうした環境変化と「宇宙村」の対応に対し、「宇宙村」の外から日本の宇宙政策のあり方を変化させようとする動きが現れてきた。そのきっかけとなったのが、2003年のH-A6号機の打ち上げ失敗である。この失敗により、日本は自国の宇宙開発、そして宇宙政策への不備を痛感することになった。そして、宇宙基本法の制定が目指されるようになった。ここで、日本の宇宙開発の今後の命運を握るといっても過言ではない「宇宙基本法」について説明する。

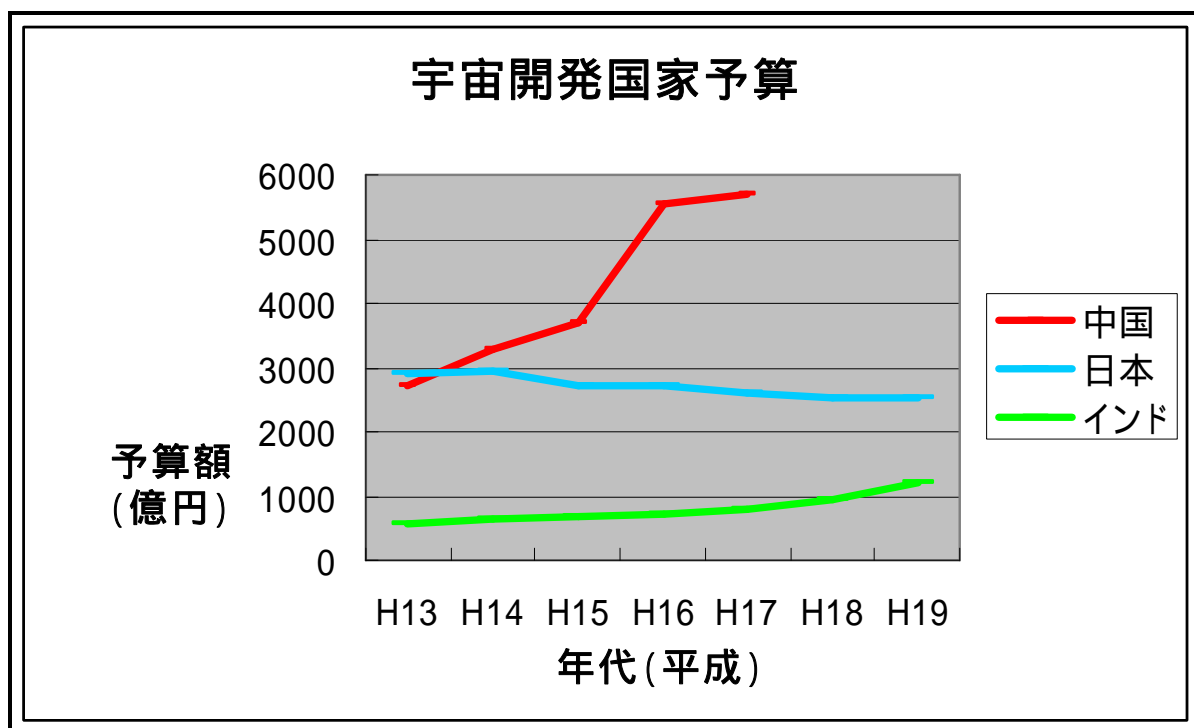
宇宙基本法の仮骨子では、「研究開発を中心としてきた我が国のこれまでの宇宙開発を見直し、我が国の安全保障、産業の振興、国民経済の発展、国民生活の水準の向上及び人類社会の福祉に寄与する戦略的な宇宙開発とする必要があることにかんがみ、これからの宇宙開発を進めていく上での基本理念、及び基本となる施策に関する方針を定め、国及び地方公共団体の責任を明らかにし、並びに宇宙開発戦略本部を設置するとともに、宇宙開発に関する施策を総合的かつ計画的に推進することにより、宇宙開発に関する施策を迅速かつ重点的に推進することを目的とする。」と述べられている。そして、この宇宙基本法が目指すもの、である。まず、日本の宇宙政策の決定メカニズムを再編することが重要なポイントと考えられている。宇宙基本法では、宇宙開発のあらゆる政策を調整し、国家戦略としての宇宙開発の全体像を描く役割を担う、宇宙開発担当大臣を設置することが義務づけられることになる。しかし、宇宙開発は様々な府省にまたがって進められているために、宇宙開発担当大臣だけでは困難になる。そこで、宇宙基本法では、内閣総理大臣を本部長とする宇宙開発戦略本部が設置されることとなっている。宇宙開発戦略本部には全府省が参加し、これまで宇宙開発とは無縁であった外務省などもユーザ府省として含まれる。そして、ユーザ府省が宇宙システムを使って、所掌する政策分野を効率的に進めるための提案を出し、それを文部科学省ないしは経済産業省などがプロジェクト委託を受ける形で必要な機器を開発する、という議論がなされ、それを総理の権威の下、宇宙開発担当大臣が調整するという仕組みとなる。

そして、日本の宇宙産業の競争力強化が全面にでているという特徴もある。これまでの日本における宇宙開発の法制度（宇宙開発委員会設置法、JAXA法）では、産業競争力という概念があまり含まれていなかった。しかし、宇宙基本法では、第四条において「宇宙開発は、宇宙開発の積極的かつ計画的な推進、宇宙開発に関する研究開発の成果の円滑な企業化等により、我が国の宇宙産業その他の産業の技術力及び国際競争力の強化をもたらし、もって我が国産業の振興に資するよう行われなければならない」と明示的に産業競争力の強化が規定されている。

このように、宇宙基本法は長年行われてきた日本の宇宙開発を大きく変えようとするものである。しかし、宇宙基本法は、今はまだ国会で審議中である。そして、制定後に期待しているような効果を出してくれるかもわからない。しかし、これまでは「国民不在・政治不在」といわれてきた宇宙開発の分野においても、政治が介入するようになった、という点は将来的に考えての希望となった。「政治不在」は言い換えれば、官僚機構やJAXA、産業界といった「宇宙村」の論理を否定する存在がいなかったことを意味する。政治が介入することで国民が広く、宇宙開発のあらゆる点で関わることになればと思う。

3 - 3 各国との比較

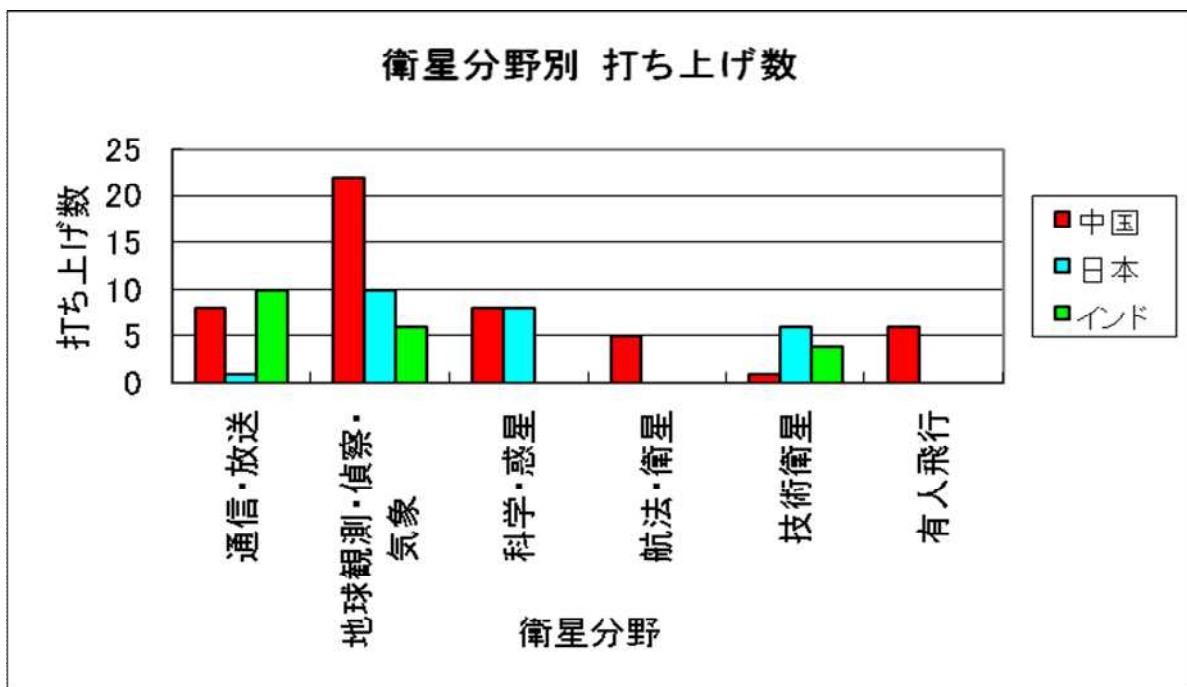
日本の宇宙開発・政策を各国と比較していく。ここでは、日本の姿をよりわかり易く浮かび上がらせるために、近隣国であり近い将来には日本だけでなく世界に対して強い影響力をもつと思われる中国とインドとの比較も試みた。「宇宙開発予算」(図3-3.1)を比べることで、その国がどれだけ宇宙開発に力を入れているのかが分かると考え、比較対象にした。ここで、中国の予算は平成17年度以降、現在まで公開されておらず不明のために平成17年度からは未記入とした。さらに、「衛星分野別の打ち上げ数」(図3-3.2)をみることで宇宙開発の中で、特にどの分野に力を入れているか、そしてどのような戦略で宇宙開発を進めているかが分かると考え、比較対象にした。



「宇宙開発国家予算」(図3-3.1)

日本が減少傾向にあるのが分かる。将来的には年間1000億円まで削減するという意見まである。インドは平成17年度以降、年10パーセント以上の伸びを現在も続けている。宇宙分野では後進国ではあるが徐々に力を付けてきている国である。そして、中国がもの凄い勢いで予算が上昇している。現在の予算は未公表であるが、おそらく同様の伸びをしているだろう。有人宇宙飛行も成功させ、人工衛星の打ち上げ数でも日本を抜いて世界3位となっている。このようなデータからも、近隣諸国が宇宙開発に本腰をいれてきているのは明白である。

衛星分野別の打ち上げ数では、インドが通信・放送の分野に力を入れているのがわかる。国民生活の質の向上、サービスの向上のためにも宇宙技術を取り入れている。そして、中国は全体的に多くの人工衛星を打ち上げている。特に、地球観測・偵察・気象衛星の数が際立って多い。ここに、中国の宇宙開発が欧州や日本のように民生用に発展しているのではなく、軍事的な目的でも開発を進めているのが表れている。その結果、国力の向上につながるという戦略なのだろう。また、有人飛行も行っているという点も注記しておく。各国の状況や、国家の戦略が如実に表れていて非常に興味深いデータであった。



「衛星分野別 打ち上げ数」(図3-3.2)

インド、中国ともに宇宙開発が民生用だけでなく、軍事的利用の意味合いも強く軍民両用に立脚している。これは日本の宇宙開発の歴史とは全く異なる点である。それ以外にも、それぞれの国情に応じた宇宙戦略が国家として練られていることが強くみてとれる。国土は広く、人口も日本の10倍以上、文化、通信・放送、教育、医療と社会的後進性への対応など日本とは抱える国情が全く異なっている。インド、中国にとってはこのような点で、宇宙開発、そして宇宙技術を応用するのは非常に大きな効果があるのだろう。今後、日本も国家としてどのように宇宙開発を進め、どのように宇宙を利用し、国益に資するのかを冷静に判断し、明確な国家戦略を立てていく必要がある。そして、それを実行することのできる国家体制の整備が急がれる。

3 - 4 日本の宇宙政策の課題

前項でも述べたが、日本の宇宙政策には、国家として宇宙開発に対し明確な国家戦略を立てていく必要がある。つまり、宇宙開発体制の構築が必要なのである。これまでの「宇宙村」ではなく、体制を再構築していくべきである。この点では宇宙基本法が大きな役割を担っていると見える。また、国際競争力を有する宇宙産業を育成していく必要がある。このためには、やはり国家として国際競争力に資する戦略を策定していくべきである。

技術立国である日本が、10年先、20年先と将来的に世界をリードするためには、先端技術開発及び技術利用を進めることが非常に大切なことである。その、先端技術が宇宙技術であり、先端開発が宇宙開発なのである。宇宙は、日本が世界をリードする可能性を秘めた、世界の国々に平等に与えられた一つの場なのである。

第4章 GPS/GNSSの歴史

4 - 1 GPS/GNSSとは

第3章までに、世界の国々と日本の宇宙政策を述べてきた。次は、日本を含め欧州や中国そしてインドなどの国々が力を入れている宇宙分野技術戦略である測位衛星システムについて紹介する。宇宙開発の中でも、特に幅広く実用されているシステムである。そして、まだまだ質の向上が見込まれていて、我々の生活に大きな影響を与えてくれるシステムである。この技術を利用、活用することで国民や社会へ質の高いサービスを提供することが出来る。最も身近な用途はカーナビゲーションであるが、船舶や航空機の航法支援などにも用いられており、いまや無くてはならない、社会のインフラとなっている。

一般的に、このシステムを総称してGNSS (Global Navigation Satellite System : 全世界的航法衛星システム) と呼ぶ。国際民間航空機関 (ICAO) では、民間航空航法に使用可能な性能を持つ衛星航法システムと定義されている。GPS/GLONASS/Galileo/QZSS/各種補強システムの総称をGNSSと呼ぶ。図4 - 1 . 1にGLONASSの一覧を載せた。

System	衛星と現状	将来
Global System	GPS (USA 31機) GLONASS (RUS 14機) Galileo (EU テスト中) Compass (CHN 一部試験運用中)	GPS (2013年 ~ GPS) GLONASS (2010年 ~ 21機) Galileo (2013年 ~ 30機) Compass (将来的に30機)
Regional System	QZSS (JPN 計画中)	2010年に1号機打ち上げ予定、将来的に3機を予定。
Augmentation System	WAAS (USA 2機) MSAS (JPN 2機) EGNOS (EU 2機)	WAAS (静止衛星の増加 2機 3機へ)

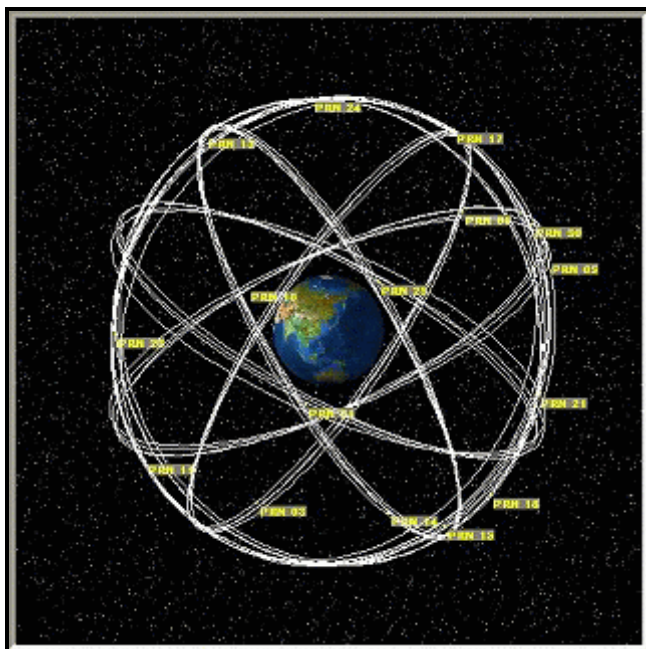
「GNSS 一覧」(図4 - 1 . 1)

Global System とは全世界をカバーしているシステムである。アメリカの GPS や、ロシアの GLONASS、テスト中ではあるが欧州の Galileo、そして中国の Compass が試験運用中となっている。そのなかでも、特にアメリカの GPS が優位な状況が分かる。いまや、我々の生活の中にも浸透している GPS の概略を説明する。

GPS (Global Positioning System) とは全地球測位システム (図 4 - 1 . 2) のことであり、人工衛星を利用して、3次元位置決定により自分が地球上のどこにいるのかを割り出すシステムである。米軍の軍事技術の一つで、地球周回軌道に 30 基程度配置された人工衛星が発信する電波を利用し、受信機の緯度・経度・高度などを数 cm から数十 m の誤差で割り出すことができる。GPS 衛星は高度約 2 万 km の 6 つの軌道面にそれぞれ 4 つ以上、計 30 個以上が配置され、地球を周回している。(図 4 - 1 . 3) 約 7 年半で寿命を迎えるため、毎年のように新しい衛星を打ち上げて軌道に投入しており、30 個前後の衛星が常時運用されている。1993 年 12 月に米国国防総省 (Department of Defense : DOD) が米国運輸省に正式運用開始宣言を通達したことにより民間への利用が正式に開始された。1990 年から 2000 年までは、米国の軍事上の理由で、民生 GPS 向けのデータに故意に誤差データを加える操作が行われ、精度が意図的に落とされていた。そういった点から、GPS を使用する際の米国の介入を嫌った EU は独自の Galileo システムを計画、中国の参加を得て計画を進めつつある。2005 年にはロシアのソユーズロケットを用いて最初の Giove 衛星を打ち上げている。



「GPS 衛星」(図 4 - 1 . 2)

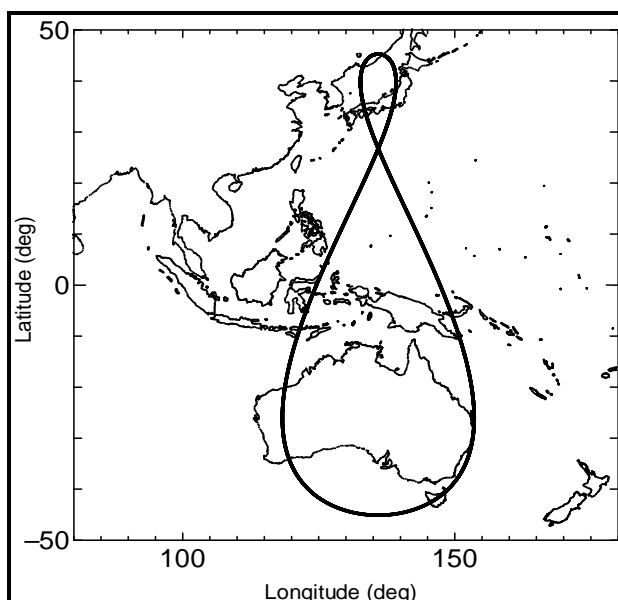


「GPS 衛星の軌道概念図」(図 4 - 1 . 3)

そして、日本が取り組み、計画を推進している限定的な地域に絞りカバーする Regional System と DGPS データの補強を目的とする Augmentation System について話しを進めていく。日本にはビルが乱立する都市の内部や、山間の峡谷など、電波が遮られる可能性が高い場所が多い。つまり位置を決定するために必要な信号数を確保できない、つまり GPS 衛星の可視条件が悪い場所が多い。そのため測位制度の劣化が頻繁に起こってしまう。日本の都市部では、GPS が利用できる確立は30～40パーセント程度といわれている。都市部での測位制度の劣化はカーナビゲーションシステムを利用している際に道に迷ったりするという大きなデメリットとなる。これらを解消するために日本の Regional System である準天頂衛星システム (QZSS) (図4 - 1 . 3) が作られた。QZSS は GPS など地球の周りを周回するような通常の衛星の軌道とは違い、赤道に対して起動を傾けることにより、日本の天頂付近を通る準天頂軌道を通るようにされている。(図4 - 1 . 4) さらに、複数の衛星を組み合わせることで、1機以上の衛星が常に日本のほぼ真上に見えるというシステムになっている。このため衛星が真上に位置することになるので、ビルや山などの障害物の影響を軽減することが可能となる。高層ビル群に囲まれた都市部や山岳の谷間でも周りを気にすることなく通信が出来るようになるのである。さらに、アメリカの GPS との協力の下でなりたっており、GPS と組み合わせることで、これまで測位が困難であった場所においても測位が可能となり、アジア太平洋地域の国々にもサービスを提供できるようになる。

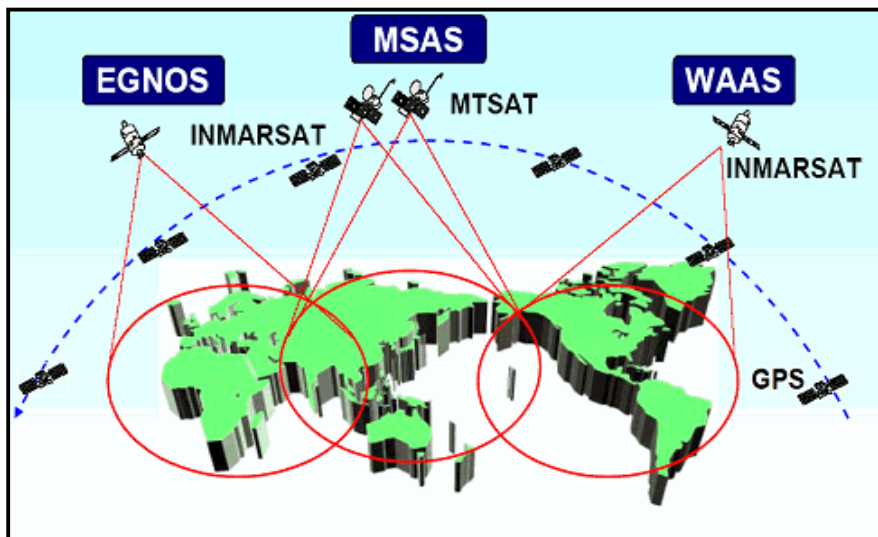


「準天頂衛星の想像図」(図4 - 1 . 3)



「準天頂衛星の軌道概念図」(図4-1.4)

そして、GPSのデータを補強するAugmentation Systemだが、総称して静止衛星型衛星航法補強システム (SBAS: Satellite Based Augmentation System) と呼ばれている。静止衛星を使って航空機向けにGPSの誤差を補正する信号を送出する。これは地上の電子基準点で計測したGPSの測位誤差情報を基にしている。主な機能は、このディファレンシャル (精度) 補正機能でありGPSの測位精度を向上させる機能である。SBASは、GPS衛星毎に信号の有する誤差を航空機に提供するディファレンシャル補正機能を有し、水平数m程度まで位置精度を向上させることができる。ディファレンシャル情報は、電離層に起因する誤差と、それ以外の誤差に分離して伝送される。広範囲をカバーし、情報を提供しているが、アメリカ、日本、欧州がそれぞれ打ち上げている。アメリカがWAAS、日本がMSAS、欧州がEGNOSと呼ばれる衛星である。それぞれの衛星がカバーしている地域が以下の図である。(図4-1.5)



「SBAS カバー地域図」(図4 - 1 . 5)

4 - 2 GPS/GNSS の歴史

GPS は米国国防総省により、地球上で24時間測位可能システムを目指し1973年に研究開発が始められ、1974年に最初の NAVSTAR (Navigation System with Time and Ranging) 衛星が打ち上げられた。そして、1993年に正式運用宣言がなされた。しかし、この時点で衛星はブロックと呼ばれる実験機を含めた24衛星以上で配置されていた。ブロックと呼ばれる実用機に全衛星が代わり、本格的な完成が達成されたのは1995年であった。また、2000年までアメリカによる SA (Selective Availability) と呼ばれる測位制度を劣化させる操作が軍事的な配慮から為されていた。それによって、精度は単独測位では水平方向で約100mとなっていた。そのような理由もあり、即位精度を上げるために数々の補正システムが研究され、世界中で運用されている。現在は欧州の Galileo などの計画が進み、これに対して優位を保ち続けたいという米政府の意図も含まれ、SAは解除されている。

4 - 3 GPS/GNSS の現状

GPS/GNSS で得ることが出来る測位情報は、利用することで交通管制、測量などの公共的な分野に留まらず、カーナビゲーションや注目を浴び始めているマンナビゲーション、そして救難や犯罪防止、交通事故を未然に防ぐなどで、個人の生活にも安心・安全・質の向上に貢献している。

GPSに関しては近代化GPSと呼ばれるGPS 衛星の打ち上げを計画推進中である。そして、ロシアのGLONASSは24機を再配備する計画を実施中であり、2007年3月において11機運用中である。

4 - 4 GPS/GNSS の将来

国土情報の基盤としてGPS/GNSSによる測位情報を利用していくことで、地図・測量、交通、輸送、漁業・農林、建設、防犯等に至るまで、更なる幅広い分野への利用が見込まれている。

システムとしては、衛星の長寿命化、搭載原子時計の改良、軌道誤差・時計誤差の縮減がそれぞれの衛星システムにおいて、各国で研究開発が進められている。

これまでは、アメリカのGPSの独壇場であった測位衛星だが、ロシアのGLONASSが再配備され始め、そして欧州はGalileo計画を推進中でありGPSに頼りきりの状況からの脱却を計っている。さらに、中国でもインドでも、そしてナイジェリアまでもが参入しており、今後測位衛星システム市場の競争は宇宙開発自体と同様に競争が激化していくだろう。

第5章 総括

5 - 1 結論

我々が思っている以上に、宇宙開発は重要なものであり、世界中で宇宙政策が練られ、開発、利用が進んでいる。そして、特に資源の乏しい日本にとっては、宇宙空間や周囲を囲む海を利用、開発していくということが国力を維持、発展させていくために非常に重要なことである。

米国は世界のリーダーシップ、欧州は社会的インフラストラクチャと自立の確保、中国は国力の向上、と各国がそれぞれの戦略を持ち、明確な政策を打ち出している。日本も国家として宇宙開発において何を目指していくのか、戦略をはっきりとすべきである。「国民不在・政治不在」と揶揄されてきた宇宙開発ではなく、官民連携して明確な宇宙政策を示し、国策に乗っ取った宇宙開発を進めていくことが、日本には必要なことである。そして、ユーザに反映させることでビジネスモデルの確立が必要である。ビジネスモデルが確立されることで、国民への浸透も広がり、国家予算も増やせるようになり、日本の宇宙開発はより発展していくであろう。

謝辞

本研究および本論文作成、GPS の基礎において、日々ご指導ご鞭撻頂きました、東京海洋大学情報通信工学研究室の久保信明准教授に心から深く御礼申し上げます。

本研究を提案して頂き、宇宙分野の真髄を知ると同時に、今後に残る研究が出来たと感じています。

本当に有難う御座いました。

安田明生教授には、実際の講義を通して電気通信分野の指導をして頂きました。また、会うたびに「卒業大丈夫か」と言われて、危機感を感じさせて頂き、奮起することが出来ました。

本当に有難う御座いました。

先輩の近藤俊一郎さん、富永麗司さん、湯浅純一郎さん、土本和彦さん、伊勢島潤さん、山田英輝さんには、お忙しい中多くのアドバイスをして頂きました。先輩方のアドバイス等が無かったら、研究を進めることが出来なかったと感じています。

富永麗司さんには、私生活においても仲良くさせて頂き大変感謝しております。そのため、とても楽しく研究生活を送ることが出来ました。土本和彦さんには、空手道部の先輩ということもあり研究以外のことで多くの事を学ばせて頂きました。山田英輝さんには、研究室で正面の席という事もあり、パソコンの基礎知識でもわからない事があった時は、すぐに教えて頂きました。

諸先輩方、本当に有難う御座いました。

同期の森田通裕くんには、研究で挫けそうになった時は、一緒に挫けて頂きました。

研究の合間に御飯を食べに行ったり、一服しに行ったり、共に研究した毎日が楽しかったです。また私生活においても4年間お世話になりました。

有難う御座いました。

4年間、東京海洋大学で学んできた過程で出会った多くの方々、そして暖かく見守ってくれた両親、全ての方に感謝します。

本当に皆様、有難う御座いました。

参考・引用文献

- ・ 精説 GPS 基本概念,測位原理,信号と受信機 (Pratap Misra and Per Enge 原著)
- ・ 新・GPSの基礎 (土屋 淳・辻 宏道 著)
- ・ GPS/GNSS SYMPOSIUM 2005 (社団法人 日本航海学会 GPS/GNSS 研究会)
- ・ GPS/GNSS SYMPOSIUM 2006 (社団法人 日本航海学会 GPS/GNSS 研究会)
- ・ GPS/GNSS SYMPOSIUM 2007 (社団法人 日本航海学会 GPS/GNSS 研究会)
- ・ 「宇宙の軍事利用を規律する国際法の現状と課題」 (青木 節子)
- ・ 「適法な宇宙の軍事利用決定基準としての国会決議の有用性」 (青木 節子)
- ・ 「どうする日本の宇宙開発」 (青木 節子)
- ・ 「宇宙基本法の経緯と目的」 (鈴木 一人)
- ・ 「国家戦略としての新たな宇宙の時代へ」 (北村 幸雄)
- ・ 「世界の航空宇宙工業」 (日本航空宇宙工業会)
- ・ 「宇宙開発利用における欧米の状況」 (総合科学技術会議事務局)