

おもしろいロケットの科学（４）＜ロケット発射場＞

読者の皆さんも新聞やテレビの報道でご存じのことと思いますが、宇宙航空研究開発機構(JAXA)は 11 月 13 日、探査機「はやぶさ 2」が小惑星リュウグウの上空から地球に向けての長い旅に出発したと発表しました。

11 月 19 日以降、イオンエンジンの試運転を行い、12 月 3 日以降に本格的にエンジンを噴射させて地球を目指します。飛行距離は約 8 億 km で、地球と太陽の距離の 5 倍強となります。機体に収めたカプセルにはリュウグウで採取した貴重なサンプルが入っている筈です。日本の宇宙技術の粋を集めた「はやぶさ 2」の成果を世界中が期待しています。来年末の地球帰還まで順調に飛行を続けて欲しいですね。

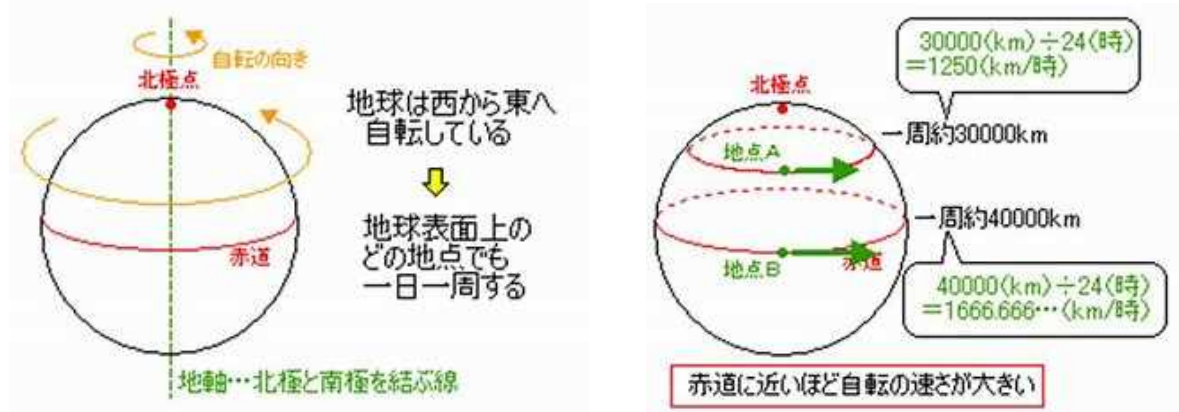
さて、今月は世界のロケット発射場についてのお話をしたいと思います。

〔ロケット発射場-1〕 発射場の条件

発射場 (launch site) とは、ロケット等を打ち上げる施設のことです。射場とも呼ばれます。宇宙へ向けて人工衛星を打ち上げるローンチ・ヴィークル (人工衛星や宇宙探査機などを運ぶロケット) の発射場については宇宙船基地などと呼ぶこともあります。通常は NASA などの宇宙開発機関が管理しています。空軍の基地と人工衛星の発射場が共用されていることもあります。また、ロケット発射の安全性、確実性などを確保するため以下のような自然・地理的および人為的条件があげられます。

＜緯度＞

発射場の位置は低緯度が望まれ、出来れば赤道直下が最適となります。赤道直下から真東に発射されたロケットは地球の自転遠心力をもっとも効率よく利用できます。また、打ち上げ後に赤道面への静止衛星投入のための移動に伴う衛星搭載燃料が少なく済み、相対的にロケットの搭載量低下、衛星の大型化が行えます。赤道直下で真東に発射する場合、**第一宇宙速度 (地球の楕円軌道に投入される最低速度) の 7.9km/s に対し地球自転周速度の分 0.46km/s だけロケットの燃料を節約できるのは大きな利点**となります。日本の種子島宇宙センターは北緯 30 度に位置し、 0.4km/s 分地球の自転が利用できますが、緯度の高いバイコヌール宇宙基地 (北緯 46 度) では 0.3km/s 分と自転利用の効率が落ちます。



地球の緯度の違いと自転速度

<安全確保>

発射場では大量の火薬類や危険物を扱うため、十分に広い土地を必要とします。また発射後のロケット各段の落下点に加え、万一故障した場合の飛翔経路、破損した場合の破片の落下範囲などを考慮して、人的・物的被害の出ないように発射場の位置や発射方向が決定されます。ゆえにロシアや中国のように射場を人の少ない内陸部にとれる場合を除き、海に面した場所に射場を設置することが多くなります。海に向かって発射する場合にも海上船舶を考慮する必要があります。一般に陸地や島の存在によって発射方位は制限を受け、漁期との関係で発射期間が限られている射場もあります。そのほかにも航空路なども考慮されねばなりません。イスラエルでは東側のアラブ諸国とのトラブルを避けるため、打ち上げ速度の不利を承知で西向きに打ち上げが行われています。

<天候>

発射の天候待ちを減らし射場の年間利用率向上のため、年間を通じて晴れの多い安定した気候、発射時ロケットの姿勢に影響を及ぼす風があまり強くないことなどが条件として挙げられます。

<地上設備>

最低でも、ロケットを組み立てる施設、打ち上げのためのロケット固定施設、液体燃料ロケットの場合にはロケット燃料を保管し注入する施設などが必要です。人工衛星を打ち上げる場合は大気圏外までの管制を行う施設、さらに有人飛行の場合には宇宙飛行士の宿泊施設や待機場所等も必要となります。軌道投入後、管制業務は運用担当施設に引き継がれます。

[ロケット発射場-2] 世界の主なロケット発射場

ロケットの発射場は世界中に分布しています。次図にはありませんが、最も高緯度にあるのは、おそらくノルウェー領のスピッツベルゲンにあるニュー・オルソン（北緯 79 度）でしょう。ここは、宇宙科学研究所でも観測ロケット SS-520 の打上げに使ったこともあります。極寒の地で、北極熊がうろついているというので、ブロックハウスの入り口には猟銃が立て掛けてあるという環境でした。一方、アフリカーケニアのサンマルコ基地やアリアンロケットを打ち上げている南米のフランス領ギアナのクールー基地のように、ほとんど赤道にある発射場もあります。



世界の主なロケット発射場（JAXA）

1、①東部宇宙・ミサイルセンター（米国）

米国最大の射場が東部宇宙・ミサイルセンターです。

NASA ケネディ宇宙センターとケープ・カナベラル空軍基地があります。米国フロリダ州メリット島にあり、位置はケネディ宇宙センターが北緯 28 度 36 分、西経 80 度 36 分。ケープ・カナベラル空軍基地が北緯 28 度 26 分、西経 80 度 33 分です。面積は 404km²。管理・運営はアメリカ航空宇宙局 (NASA) とアメリカ空軍が行っています。

主要打ち上げロケットは、ケネディ宇宙センターからはスペースシャトル、ケープ・カナベラル空軍基地からはデルタ、アトラス、タイタンなどの無人ロケットの打ち上げが行われています。軍事衛星のほか、NASA の探査機が打ち上げられています。日本の商用 衛星もここから打ち上げられたことがあります。

NASA ケネディ宇宙センターでスペースシャトルの打ち上げが行われるのはセンターの北東側、太平洋に面した発射台 39A と 39B です。また、打ち上げ管制センター (LCC) や宇宙船組み立て工場 (VAB) を含む地域は LC (打ち上げコンプレックス) 39 と呼ばれています。長さ約 4,500m、幅約 90m の着陸用滑走路があり、スペースシャトルが着陸します。着陸したオービタは再飛行に備えるために整備・点検を行う整備工場 (OPF) で次の飛行の準備を行います。ケネディ宇宙センターの一部は一般観光者に公開されていて、フロリダ州の観光スポットにもなっています。北隣は国立の保全地で、ワニなどの野生動物が生息する姿が見られます。



スペースシャトルの打ち上げ
(NASA ケネディ宇宙センター)

2、②西部宇宙・ミサイルセンター（米国）

西部宇宙ミサイルセンターは米国カリフォルニア州南部サンタバーバラ軍にある空軍の打ち上げ射場です。**バンデンバーグ空軍基地 (VAFB)** とも呼ばれています。位置は北緯 34 度 34 分、西経 120 度 21 分です。管理・運営はアメリカ航空宇宙局 (NASA) とアメリカ空軍が行っています。

主要な打ち上げロケットはスカウト、デルタ、アトラス、タイタン、ペガサス、トーラスなどで人工衛星用ロケット打ち上げ回数は 2005 年末までに 566 回となっています。

現在は空軍宇宙軍団第 14 航空軍の司令部が置かれており、大陸間弾道ミサイルの試射や人工衛星の打ち上げが行われています。太平洋に面していて、発射場の南側と西側が海に向かって開いています。ロケットは南方に向けて打ち上げられます。極軌道を回る衛星の打ち上げに適しています。



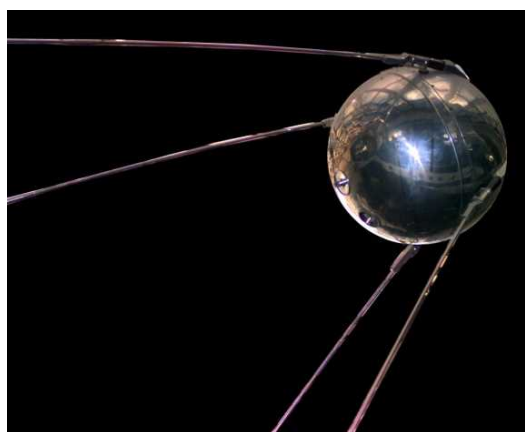
デルタ II ロケットの打ち上げ

3、⑦バイコヌール宇宙基地（ロシア）

米国ケープ・カナベラル空軍基地と並ぶ世界最大基地の発射場が**バイコヌール発射場**です。モスクワから南東に約 2,100km、中央アジアのカザフスタン共和国にあります。アラル海の東に位置しています。「バイコヌール」とはカザフ語で「褐色の富」を意味しますが、この褐色とは、ここが銅の産地であることに由来しています。

1955 年に建設が開始され、1957 年 10 月 4 日に人類初の人工衛星スプートニクを打ち上げた歴史的な発射場です。その後軍事衛星などの打ち上げを主に行ってきましたが、1996 年に 9 月にプロトンロケットでインマルサット 3F2 通信衛星を打ち上げたのを皮切りに、イリジウム、グローバルスター、パンナムサットなどの民間通信衛星が頻繁に打ち上げられるようになりました。

有人宇宙飛行に関しても、人類最初の宇宙飛行となった 1961 年のガガーリンの打ち上げ以来、ここから宇宙飛行士が打ち上げられています。国際宇宙ステーションに搭乗する宇宙飛行士や各種モジュールも打ち上げられています。



スプートニク1号



ユーリー・ガガーリン

位置は北緯 45 度 36 分、東経 63 度 24 分。打ち上げ方向は東です。管理・運営はロシア（カザフスタン）で、主要打ち上げロケットはプロトン、ロコット、ソユーズ、モルニア、ツィクロン、ゼニットなどです。2005 年末までの衛星等打ち上げ回数は 1,199 回で世界最多です。15 の発射台を含む 9 つの発射施設、11 の組立工場、470km の線路で横倒しにしたロケットを発射台まで運んでゆきます。

4、⑨西昌宇宙センター（中国）

中国で衛星打ち上げを実施している宇宙センターは甘肅省の**酒泉（チウチュワン）**、四川省の**西昌（シーチャン）**、山西省の**太原（タイユワン）**の 3 カ所ありますが、このうち静止軌道への打ち上げは西昌宇宙センターからのみおこなわれています。西昌は酒泉や太原より低緯度の静止軌道への打ち上げに適した北緯 28 度に位置しています。最初の打ち上げは 1984 年 1 月 29 日、長征 3 型 (CZ-3) 打ち上げランチャーにより同歩 (STTW) 軍事通信衛星を静止軌道に打ち上げました。



西昌宇宙センターと長征ロケット

西昌からの打ち上げはこの後、1996 年 2 月 14 日に長征 3B 型 (CZ-3B) が打ち上げ時に大爆発事故を起こすまで 21 回におよび、長征 3/3A 型 (CZ-3/3A) が同歩および東方紅 (DFH) 通信衛星、長征 2E (CZ-2E) がオーサットやオプタスなど海外の通信衛星を打ち上げました。西昌での打ち上げは 1996 年 7 月 3 日に再開、長征 3B 型の打ち上げは 1997 年 8 月 20 日に成功しました。

5、⑫ギアナ宇宙センター（欧州）

フランスは 1965 年 11 月、アルジェリア南部、サハラ砂漠にあるアマギール発射場でダイヤモンド・ロケットを発射、A1 衛星の軌道投入に成功しました。しかし、1967 年にアルジェリアとの協定が期限切れとなったため、その代替発射場として北緯 5 度 14 分と低緯度で、地球の自転を利用しやすい北東側に海面の開けているクールーが選ばれました。建設は 1964 年から始まり、1968 年 4 月に初めてペロニーク探査ロケットの打ち上げがおこなわれています。

続いてダイヤモンドおよび欧州ロケット開発機構 (ELDO) の、ヨーロッパ・ロケットによる衛星打ち上げもおこなわれましたが、1970 年代中盤にはいったん休眠状態に入りました。クールーに再び活気が戻ってくるのは、ESA (欧州宇宙機関) がアリアンロケットの打ち上げを開始した 1977 年からで、1999 年 12 月現在までにおこなわれた 125 回のアリアン 1、アリアン 2、アリアン 3、アリアン 4、アリアン 5 打ち上げは、すべてギアナ宇宙センターからおこなわれました (成功率約 94%)。



アリアンロケットの変遷 (I 型～V 型)

6、⑬種子島宇宙センター（日本）

種子島宇宙センターは種子島の東南端に位置し、総面積約 970 万 m² のわが国最大の発射場で、1969 年 10 月に完成しました。「世界一美しいロケット基地」とも言われています。小型ロケットを打ち上げる**竹崎発射場**と、大型ロケットを打ち上げる**大崎発射場**があります。

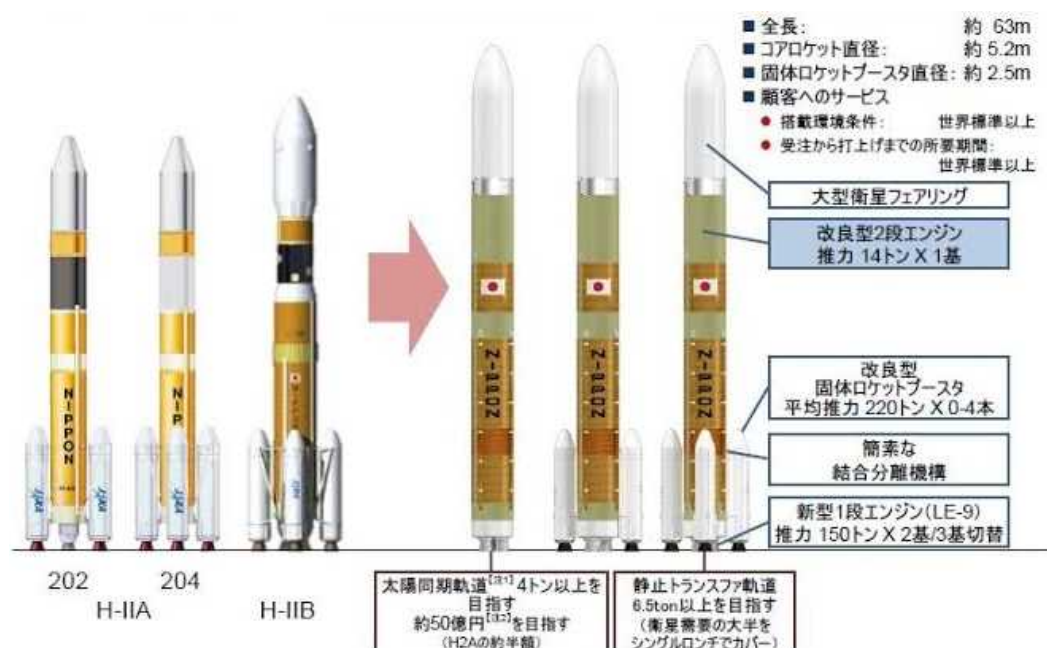
大崎発射場の 18km 北には増田宇宙通信所があり、さらにその 6km 北には野木レーダ局が、大崎発射場から 6km 西には、宇宙ヶ丘レーダ局と光学観測所などの関係施設が整備されています。

種子島宇宙センターでは、人工衛星やロケット打ち上げまでの各種の点検整備・組立など、発射前の整備作業、打ち上げ作業、打ち上げ後の追尾などの作業が行われます。つまり、実用衛星打ち上げの中心的な役割を果たす使命を担っているのです。このほか、固体ロケットモータおよび液体ロケットエンジンの地上燃焼試験などを行うほか、小型ロケットにより宇宙材料実験を行うなど、



種子島宇宙センターと発射前の HII ロケット

種子島宇宙センターは開発業務の一翼も担っています。



日本の宇宙ロケットの開発／H IIからH IIIへ (JAXA)

7、⑰内之浦宇宙空間観測所（日本）

内之浦宇宙空間観測所は1962年2月、より大型の観測ロケットを打ち上げるために、太平洋に面した鹿児島県内之浦に建設されました。それまでは、秋田県道川の秋田ロケット実験場で観測ロケットの打ち上げが行われていました。ここは、日本最初の観測ロケットの打ち上げが行われたところです。1950年代半ばから1960年代の初めにかけて、ペンシルロケット、ベビーロケット、カップロケットなど数多くのロケットが打ち上げられ、日本の草創期のロケット開発の舞台となりました。しかし、より大型のロケットを打ち上げるには日本海は狭く、新たな発射場の開発が求められました。いくつかの候補地から選ばれたのが、太平洋に面した鹿児島県の内之浦です。一見、打ち上げ場には向かないような丘陵地帯でしたが、丘陵をけずり、逆にその地形を生かした独特の配置の打ち上げ場がつけられました。



内之浦宇宙空間観測所の全貌

日本の固体ロケットは、ベビーロケット以後は、アルファ、ベータ、カッパ、オメガ、ラムダ、ミューというギリシャ文字を用いて命名されています。途中で計画が中止され、使われなかった文

字もありますが、ミューに近くなるほど、大型化し、高性能化が図られています。

1970 年ラムダ 4S-5 ロケットでついに技術試験衛星を打ち上げ、軌道にのせることに成功しました。これが日本最初の人工衛星「おおすみ」です。この衛星の名前は、打ち上げ場のある鹿児島県の大隅半島からとられています。以来、ミューロケットの改良を重ねながら、1 年に 1 個の割合で科学衛星が打ち上げられるようになりました。1997 年 2 月には新世代の M-V ロケットによって、電波天文観測衛星「はるか」の打ち上げに成功しています。1998 年 7 月には M-V 3 号機によって日本初の火星探査機「のぞみ」が打ち上げられました。

8、⑨スリハリコタ宇宙センター（インド）

スリハリコタ発射場 (SHAR) は、中国に続いて近年目覚ましい宇宙開発を続けているインド宇宙研究機関 (ISRO) の管理下にある宇宙センターで、当初は探測ロケットの発射場でしたが、その後 SLV (衛星打ち上げビークル) の打ち上げ射点やロケットの試験・組立てを行なう技術センター、打ち上げ管制、衛星追跡・遠隔測定などのための諸施設が建設され、現在ではインド随一の宇宙センターとなりました。SHAR では 1970 年 10 月に初めてロヒニ探測ロケットを打ち上げており、最初の人工衛星は 1979 年 8 月 19 日に SLV-3 ロケットにより打ち上げられたロヒニ 1A 技術衛星です。その後、1983 年までに SLV/ロヒニの打ち上げがさらに 3 回行なわれました。

そして 1987 年からは補助ロケットを追加した改良型ロケット ASLV (発展型衛星打ち上げ用ビークル) による SROSS (拡大型ロヒニ衛星) 地球観測衛星が、また 1996 年からは PSLV (極軌道衛星打ち上げ用ビークル) による IRS (インディアン・リモートセンシング衛星) の打ち上げが始まっており、SLV/ASLV/PSLV 含めて 10 回の打ち上げを行なっています。

このほか、静止軌道衛星打ち上げ用の GSLV (静止軌道衛星打ち上げ用ビークル) がロシアの協力で開発されており、スリハリコタから打ち上げられる予定です。



インドの月面着陸・探査機「チャンドラヤーン 2」の打ち上げ
2019 年 7 月 22 日 (AFP)

以上、今月は日本および世界の主なロケット発射場についての情報でした。次回はロケット発射を成功させるための方位などの設定、地球からの脱出、ロケットの軌道などについて調べてみる予定です。

<参考・引用資料>

「NASA」ホームページ

「JAXA・宇宙情報センター」ホームページ

「Wikipedia」

「宇宙の謎・宇宙開発の歴史」ホームページ

「トコトンやさしい宇宙ロケットの本」 的川泰宣著、日刊工業新聞社刊行