

第6章 宇宙輸送システム

06.1 概要

ロケット打上げ技術と射場の保有は国家の独立性の重要な要素である。使用可能なロケットの種類とその能力は、さまざまな射場の活動状況と共に、各国の宇宙への関与の度合いを示すものであり、また、国際市場での打上げサービスの供給者としての役割の度合いを示すものである。その状況は各国によって大きく異なっている。打上げ能力をあるレベルに維持することにより自国の自主独立性を維持しようとする国もあれば、国の衛星の打上げのかなりの部分を商業打上げで補なおうとする国もある。

宇宙時代の幕開け以来、5,200以上の衛星が18の射場から40機種近くのロケットを使って打上げられてきた。しかし、宇宙では少数独占の傾向が確実に広がりつつあり、8カ国のみ自国の衛星を自国の射場から打上げる手段を有しており、更に各国の中でも他政策に比較し宇宙に対する重要性に関し、かなりばらつきが出ている。更に、今後近い将来この独自の打上げ手段を持つ可能性のある国としては、あと2ヶ国しか考えられない。宇宙で最も早く立上がり、最も大きな宇宙勢力の中で、保有する打上げ手段の数と言う点で、米は露と互角の立場にある。以前、露は、打上げ頻度と言う観点から世界中で第一人者の勢力を有していると位置付けられる立場にあった。その間、欧州の宇宙活動は安定したレベルに到達した。射場の中には休眠状態におかれていた、場合によっては非常に長期間に渡って休止状態にある射場もいくつかあったが、最近場合により再開されるケースが出てきている。これは、独自の自立した宇宙輸送システムを確保し、それを商品として売出そうとする目論見が、宇宙での新興国あるいは新利用者間で起きてきているからである。

新たな打上げロケットは、主に宇宙先進国によって、その国の打上げ能力を正当化し妥当なものにするため開発されてきた。その目的は、より効率的な、即ちより低コストの打上げ手段を開発することであり、それは自国の衛星を上げるためだけでなく国際市場でのより優位な立場を維持するためであった。宇宙先進国はまたその打上げ手段から財政上の見返りを自由に見出せる様に考慮した。したがって宇宙先進国は小型衛星、LEO衛星群計画等々の需要に応じるべく、そのロケットのラインアップの幅を戦略ミサイル派生型の可能性まで広げた。

この宇宙活動の分野では、他の多くの分野と同様に、米のみが再使用型宇宙輸送システムであるスペースシャトル並びに幅広い多くの革新的開発計画の恩恵を受け、独走の立場にある。それと対照的に、そのやり方はさまざまであるが、露はむしろ、廉価で信頼性の高い打上げシステムの分野で膨大な経験を活用して商業化する方向を目指した。欧州は域内での需要が低かったことから国際市場をなんとか少しでも確保せざるを得なかった。そのために商業衛星の要求を満足する打上げロケットの開発はどうあるべきかを決め、その際、諸外国ロケットの打上げ能力との競合状況はどうか、また外国ロケットが持っていない特徴は何か、につき、注意深く評価していった。日本ではH-IIロケットが開発されたが、まずはその技術上及び産業上のある程度の自給自足性を立証するためであったが、結果的にはあまりに割高の打上げ手段に終わった。したがってH-IIは、よりコストダウンを図ったH-IIAに取って代わられた。H-IIAでは外国技術を再度採用している。一方中国では、その打上げシステムの信頼性回復に時間を要したが、結果として、顧客にとって魅力のある打上げ価格を提案することでその立場を強固なものにした。中国は引続き西

側、特に米の技術移転の厳しい制限の犠牲者であり、これが国際顧客獲得を大きく阻害している。

その他の国では、例えばインド、更に活動度合いは下がるがブラジルでは、着実に自国の打上げ能力開発を進めている。これらの国ではまず低軌道への打上げ能力を有する小型ロケット開発から始め、静止軌道へのペイロード投入を有するシステムに移行している。インドは2001年4月以降静止衛星打上げ能力を有している。これとは対照的にイスラエルではその領地が非常に限られていることから上述の例にならって開発を進めるのは難しく、更に制限の多い方法で進めることに甘んじざるを得ない状況にある。

最後の分類に入る国としては、新たに台頭してきている国家、例えば北朝鮮、イランあるいはイラクといった国々があるが、これらは最初の宇宙勢力が当初採用した論理に従い、ミサイル打上げ技術を利用し、打上げロケットの基本的技術を蓄積しようとしている。言うまでもないことであるが、この傾向はミサイル関連技術輸出規制（MTCR）等の、武器管理に関する取決めの観点で大きな議論となった。

今日、これらの国がある程度成熟した段階にひとたび到達した際には、主権並びに戦略上の独立を保つために開発されたこれらの国の射場並びに打上げロケットは、需要と供給という国際法則に直面することになる。打上げサービスを世界貿易機関（WTO）の管轄下に取り込むことについては今だ論争中であるが、打上げ活動に対して各国が高い補助金を出しているにも拘わらず、打上げ活動はどちらかという商業活動に関連した事実として取扱われる方向にある。この点から、経済上及び産業上の利益が限られ、それほど大きくない状況に変わりがないにも拘わらず、私企業の役割が更に大きくなることが期待されている。

06.2 国際比較

射場は宇宙へ衛星を送るための通路であることから、宇宙活動の記録が地表に刻まれているということができる。射場の位置によって生じる地理的な制約や状況によって、打上げロケットの特性並びに軌道投入の条件が決まってしまう。しかし、地表で打上げ活動が行われる場所については、自国領内のどこに設置するかは、地政学上及び技術上の要素によって決まってくる。一方打上げロケット開発は、それが戦略的なものか、産業的なものか、また商業的なものか、各政府が決めた優先順位に従った具体的な国家政策によって変わってくる。

射場の状況

射場が位置する緯度が地政学上最も重要である。地球が不動として、衛星の軌道を地上に投影した場合、その軌跡は大圏 (Great Circle) になる (図 3.1 参照)。軌跡が赤道そのものでない場合には、赤道と必ず交わる。かかる状況下 (図 6.1)、ある決められた緯度 度にある射場から打上げられた衛星は、一平面内に位置する軌道に入るように飛行し、この軌道面は赤道面と 度と同じ、あるいはそれ以上の交差角で交わる。これからして、南極あるいは北極に位置している射場からは直接極軌道にしか打上げを行うことはできない (軌道傾斜角 90 度)。打上げ後軌道面を変えるためにはその角度を変えざるを得ず、角度修正の費用は修正角に比例して増大する。このことからなぜ低緯度が好まれるのか容易に理解できる。

更に、衛星が最終的に軌道に入る時の速度は、ロケットによって衛星に与えられる速度と、最初に射場が位置する場所から得られる地軸周りの地球の回転速度にも依存する。緯度 度の射場の回転速度は、赤道上の地表の回転速度に \cos をかけたものに等しい。従って回転速度は赤道上で最大となり、両極ではゼロになる (図 6.2)。しかし、この回転速度による増速分は方位角が正の場合のみ、即ち東打ちの場合にのみ有利に働く。従って方位角がマイナス即ち西打ちの場合には逆にロケット打上げ(速度)から差引かなければならない。このことから非静止軌道衛星打上げの場合には東の方に前向きに打つロケットのほうが西向きに後ろ向きに打つロケットより遥かに多いことが分かる。静止衛星に関しては、定義に従って、地球の回転と同じ方向でしか軌道を回れないことになる (図 2.30 参照)。

静止衛星を赤道面と離れた軌道から投入するという費用がかかる打上げに比べ、低緯度の射場を使う利点は非常に大きい。というのも、これにより、最終投入軌道傾斜角 0 度でできるだけ近くすることができるばかりでなく、射場の回転速度も最大に寄与できるからである。

非常に重要な地政学上の要素の 2 番目として近隣地域の人口密度レベルがある。射場設置に際しては、使用済の各段をあるいは打上げ後の不具合によってロケット自身を地上に落す場合に海洋地域あるいは人口密度が低い地域のみとなるような場所を設定する必要がある。

この特徴並びに打上げが大部分東打ちであることを考慮すると、大陸の東端に位置すること(クーレー、ケーブ・カナベラル、スリハリコタ、種子島・鹿児島、サンマルコ、アルカンタラ)あるいは大陸の砂漠地帯の西側(ハンマギール、バイコヌール、ヴォルゴグラード)に位置させることが得策であることがはっきり分かる。中国の 3 箇所の打上げ射場のみがこれらの規則に当てはまらない。これらの射場からの打上げ軌跡は人口密集地域の上を通過している (図 6.3)。軌道まで上昇して行く間衛星をモニタするために飛行

経路に沿った追跡局を設置する必要性があったことがこれらの場所を選ばせた可能性はあるかもしれない。アスンシオン島はギアナ宇宙センタから打上げられる低軌道傾斜角の打上げの際この目的に供せられているし(図 6.29 参照)、海上追跡管制については、米や露でもその採用の可能性は引続きある。イスラエルはアラブ近隣諸国上空の飛行を避けるために、西打ち、即ち地中海に向かって打上げを余儀なくされているが、これは非常に例外といえる。

射場の特徴

複合打上げ設備の中に恒久的に建設されている施設としては、ロケット組立、推薬充填、衛星点検並びにロケット打上げのために確保された区域が含まれている。射座は打上げテーブルおよびプラットフォーム、更に打上げテーブル上のロケット並びにアンビリカルマストを保護するための打上げ整備棟から成り立っている。これらさまざまな設備は区域内の通信システムによって結ばれている。装置、人員の射場への搬入に関しても、便利な輸送手段、例えば空港、港、道路、鉄道が用いられなければならない。射場は、安全上の理由から、住居密集地域からある程度はなれた場所に位置しなければならない。また、ある程度の隔離状態を保ちつつ、将来の射場拡張の空き地も十分残しておかなければならない。

国別の射場

ほんの一握りの国家のみしか、射場を自国領内に分散させて配置できない。さまざまな地理上の制約、あるいは自国内の体制に関連した選択の故に、いくつかの射場を集約している国家もある。しかし、これらの国家でも、打上げ射場の数が即その国の宇宙活動のレベルを示すものではない(図 6.3)。ソ連は最初の射場を、カザフスタンのバイコヌール市から 300km 程離れたところにあるチュラタムに建設した。更に主に軍事目的から露の北に位置するプレセツク コスモドロームを建設し、またカスピ海近くのカプスティン・ヤールに更に小型の射場を建設したがこれは余り使われなかった。露は、最後の 2 射場がたまたま自国領土内にあったことから引継いだ。バイコヌールに関しては、カザフスタンと交渉し、引続き露が使用できるよう協定を締結した。1997 年以来、露は、露領シベリア地域にあるスポボドヌィのミサイル射場を改装し、小型 ICBM を転換した打上げロケットの射場として使用している。

米は 2 箇所に主要な射場を有している。1 箇所はフロリダのケープ・カナベラルに、もう 1 箇所はカリフォルニアのバンデンバーグにある。更にワロップス島にある二次的な射場も使用している。

欧州宇宙機関はたった 1 箇所の統合打上基地しか有してない。それは仏領ギアナのクールー近くにあるギアナ宇宙センタであり、赤道に非常に近い海岸沿いに建設されている。欧州に帰属する 2 番目の射場としては、やはり赤道に非常に近いサンマルコ射場がある。インド洋のケニア海岸から 5km も離れていない沖合の洋上プラットフォーム上に建設されている。しかしその活動レベルは非常に低く、1988 年以降打上げは 1 回も行われていない。

極東に目を向ければ、インドはインド半島の東海岸沿いの沖合にあるスリハリコタの小島に射場を有しており、一方、日本は日本列島の鹿児島及び種子島の東岸に射場を有している。中国の 3 射場は全て内陸にある。最も古い射場は酒泉(チウチュエン)にあり、その後西昌(シーチャン) 更には太原(タイユアン)に射場が建設されて行った。タイユアンは 1988 年に初めて使用された。

地中海地域ではイスラエルが、テルアビブのすぐ南にあるパルマヒン射場のみが小型ロケットの打上げに使用できるが、保安上の理由から西打ちを行っている。上述の通り、ロケットは地球の自転と逆方向に地上を離れるため、最終的な東向きの軌道で速度が減ってしまうことになる。

最後になるが、ブラジルは、自国の開発した軽量の VLS ロケット打上げのために、1997 年に、アルカントラ統合打上基地を開設した。この射場はほぼ赤道上にあり、理想的な位置にある。

宇宙のリソースを商業化しようという希望が高まる中、いくつかの国々で新たな射場を立上げようとする計画が検討されている。主に私企業グループからの提案が多くなされている；スペースポート カナダはこのタイプの最初の提案であり、早くも 1994 年に提案がなされた。その時にアクジュート・アエロスペース社がマニトバにあるチャーチル研究射場を 30 年のリースで借受けている。この射場は当初、観測ロケットを弾道軌道に打上げるために設計されたものだが、1984 年に閉鎖されていた。同社は 1,000 から 2,000kg の衛星を打上げるために 2 基の射点統合射場を建設予定である。この宇宙港は 1998 年 4 月にブラック・ブラン 9 観測ロケットを打上げ、開業した。この観測ロケットはカナダ宇宙機関の科学ミッションのペイロードを上げた (ACTIVE ミッション)。アラスカのコーディアック 複合射場は同じ開発カテゴリに分類されるもので、米の商業打上げ法に刺激されて開始したものである。この射場は極軌道、あるいは西向き軌道に小型、中型ロケットを打上げるのに使用される。最初の打上げは 2001 年 9 月に行われた。

それと同時に、国によっては、さまざまな理由から、大規模な投資を正当化できるような大型国家計画として十分に推進することができず、国の射場を民間との協同事業として提案する国もある。

例としては、豪州が 1946 年に設立されたウーメラ射場に関し、この方針(民間との協同事業)を長く追求している。この射場からは 1971 年に英が欧州・ロケットのブルース・トリーク段の実験を行い、衛星を 1 機打上げている。この射場は遠隔地であり、ほとんど荒地の広範な地域の真中に位置しており、キスラー社はこの地域の利点を活用し、同社の再使用型ロケットであるキスラー K1 の 1 段/2 段の回収を図ろうとしている。この部分に関しては、露はスタールト小型ロケットの設置を考えている。1986 年から豪州クイーンズランドの北海岸にあるケーブヨークに新たな射場を建設しようとする提案が何度もなされている。南緯 12 度に位置することから、静止軌道打上げにとって、より有利になっている。しかし、ケーブヨーク宇宙局共同体はいささかその勢いがなくなっているようである。更にダーウィン近くに射場を建設する可能性に関しては、KIT 通信会社に関連して小型のパックアストロ・ロケットを打上げる場合につき理論上の検討が進められている。更に最近では、2001 年 6 月に、新たなオーロラ・ロケットの開発に関する露との双方向協定の枠組の中で、クリスマス島(インド洋)に宇宙港を建設するために必要な資金提供の機関を設立したと豪政府は発表した。

同様に南アフリカではブレダズドープ近郊のオーバーベルグ試験射場を近いうちに商業打上げに供することを提案してきている。この射場は南アフリカ共和国の打上げロケットである RSA3 号を打上げるのに利用されたが、1994 年に閉鎖された。また、1989 年 6 月にイスラエルの打上げロケットであるシャビットの試験に使用される計画があった。

その他のプロジェクトは単に現在の活動を拡張するものである。例えば、ノルウェー及びスウェーデンではそれぞれの国のアンドーヤ及びエスレンジにある射場を利用して、小型の極軌道衛星を欧州宇宙機関(ESA)に代わって打上げる候補になっている。

洋上、海中、空中打上げ

固定式の陸上射場に課せられた制約を取払うことができる。1つの方法は、ロケットを軽量化し大型航空機から発射するもので、この場合航空機はロケットの第1段の役割を果たす。オービタル・サイエンス社(OSC)は、最初はハーキュリーズに、その後はロッキードのL1011 トライスタ(スターゲイザ)に搭載された同社のペガサス・ロケットを使用して、1990年から小型ペイロードを軌道に打上げている。2001年には米、欧、マーシャル諸島にある6ヶ所の異なる空港から30以上のミッションの打上げが行われた。露企業であるエア・ローンチ・エアロスペース社(コムボマシュ、ポリヨット、KBマケイフ、KBキーマフトマテイクその他の合弁会社)は同様の計画を持っており、液酸・液化天然ガスの2段式ロケットをアントノフ124の胴体に搭載し打上げを行う。その他の露の打上げロケット(スペースクリッパ、サーフ)も進展があると思われる。ペイロードの点検整備並びに推進剤充填の設備を既に有している射点に近い滑走路を利用することは非常に便利である。OSC 打上げの飛行は通常バンデンバーグ、ケープ・カナベラル、あるいはワロップス島の滑走路から行われる。しかし、十分な長さを持った滑走路であればどこでも使用することができ、現にある飛行はマドリッド近くのトレヨンにあるスペイン軍の基地から行われた。実際のところ、このタイプの打上げの主な利点は打上げの自在性である。

その他の計画は現在検討中である。例えばイスラエルのIAL MLM局が推進している空中打上げの計画がある。この計画では、1段式、2段式、あるいは3段式、更には4段式のレオリンク・ロケットを使用し、3基のマイクロサテライトをC130ハーキュリーズ輸送機から打上げる予定である。イスラエルの企業であるラファイエル社は非常に類似したマイクロサテライトの空中打上げの計画を有しているが、この計画では、F-15型航空機を利用し、50から100kgのペイロードを高度300から1000kmの軌道に打上げる能力を有する自重5-6トンの3段式のロケットを運搬する予定である。

船舶や潜水艦もまた、衛星を軌道に投入するためのプラットフォームとして使用することができる。露はかつてバレンツ海で潜水艦からの単独打上げを行ったことがあり、成功している。退役したシティル型の潜水艦発射型弾道ミサイル(SLBM)を使用した。KBマケヨフ社はさまざまな潜水艦発射型弾道ミサイルを、潜水艦からあるいは船舶から、はたまた航空機からも発射し、小型ペイロードを低軌道に打上げるといった幅広い提案を行っている。

浮体式打上げシステムであるシーローンチ・サービス社は多くの面で革新的である。この会社は米企業のボーイング社、ノルウェーのクバニールグループ、ウクライナのSDO ユージノエ社/PO ユシュマシュ社、及び露のRSC エネルギア社による合弁会社である。28,000トンの洋上打上げプラットフォームであるオデッセイはシーローンチ・コマンドと呼ばれる30,000トンの指令輸送船と共に運用される。両方の設備ともクバニール社で建造された。ロケットはカリフォルニア州のロングビーチにある基地から運込まれ、静止トランスファ軌道に衛星を打上げるため、クリスマス島(太平洋)近傍の赤道直下まで輸送される(図6.4)。1段目と2段目はユージノエ製造のゼニット3ロケットであり、3段目はRSC エネルギアが製造したブロックDMが使用されている。ボ社はペイロードの整備並びにインテグレーションばかりで

なく、ミッション管制並びに販売をも担当している。1999年3月から2001年6月までの間の7基打上げ成功、及び2000年3月のたった1回の失敗を経て、この斬新的な方法は十分実証されたとみなされており、今後競争をあおることになりそうである。

射場の活動状況

ある国の射場を他国と比較してみると、国家によってその宇宙活動のレベルが異なっていることが分かるし、また同じ国の中でも射場によってもそのレベルが異なることが分かる(図6.5)。

この分析から分かることは、米並びに露が優位にある点は首尾一貫して変わっていないことであり、そのうち露は宇宙時代の幕開け以来の全打上げのほぼ2/3を占めており、一方その他の宇宙勢力を合わせてもせいぜい10%程度しか占めないことが分かる。この大きな違いが出た原因としては、国家としての政府の要求において、相対的にどの程度(打上げあるいは宇宙活動)重要と考えているかの違いであり、また、衛星寿命に関し技術上どんな選定を行うかの違いといえる。これらの2つの要素からして、露がなぜかかる優位な状況にあるかが分かる。クーラーは興味あるケースである。なぜならば、主に商業打上げに関心を持っており、その結果市場需要のほとんど半分以上を確保しながら、全打上げの14%程度しか占めていない。この比較的低い活動レベルは、特に1990年代半ばから露並びに米による市場競争がどんどん尖鋭化しているため、如何にその市場が限られているかを間接的ではあるが示している。クーラーからソユーズのようなロケットを打上げる構想は、2000年の活発な議論の主題ではあるが、大きな転換期を示すものと思われる。露と更に強力な協力関係(ソユーズは欧州/露の合弁会社であるスターセム社を通じ商業化される)を推奨する議論の中で、上記構想は、クーラー射場自体を商品として活用するといった新たな商業的な考え方が生まれてきていることを更に如実に表わしていると思われる。今日まで、欧州の主目的はむしろアリアンの打上げ市場での立場を維持することにあった。

活動レベルを国毎に比較すると、露が只一人ぬきんでており、それは旧ソ連崩壊の後でも自国領土外に1つの打上げ射場を有しているばかりでなく、最近新たな射場をスパボードヌィに建設し始めた事実を見ても明白である。バイコヌール基地は1965年までは旧ソ連の唯一の射場であったが、有人飛行並びに静止衛星打上げに特化しており、定期的に使われることが保証されている状態であった。しかし、1995年には年間の打上げ頻度は初めて、対抗している米のケープ・カナベラルよりも低くなってしまった。外国衛星の商業打上げは限られていたため、この国家活動の減少を補うには十分でなかった。更にカザフスタンとの協定は何ら大きな障害にはならないように見えたが、露の宇宙政策にとっては苦痛の種として残っている。射場の高いリース料は、計算方法により差があるが、露宇宙予算の10-17%を占めており、また特に国家の宇宙活動の主要な構成要素に対し主権を及ぼすことができないことから、長期的観点から代替案を求めべきとの問題提起が起きてきている。この観点から新たな宇宙基地開設の必要性が何度か説明されてきた。しかし、新たな射場の使用に制限が多いことから、更にそこで使用されるロケットの特性から、スパボードヌィ基地が強力な競争相手になるまでにはまだ道のりは長いと言わざるを得ない。

過去25年以上に亘り、最も多くの衛星を打上げてきたのはプレセツクである。その活動レベルは徐々に下がり始め、1980年末から顕著になってきたが、これは露の宇宙への関与が不調になってきたことを意味する。1996年に至って初めて露の衛星打上げ数が米を下回ってしまった。プレセツク基地の打上げ減少を説明できる事実としては、同基地が通信用あるいは偵察用であれ、寿命に幅はあるものの比較的寿

命の短い低軌道の軍事衛星の打上げにずっと特化していたことが上げられる。この定常的な打上げの減少の部分的な原因としては、偵察衛星の寿命が長くなったこと、全般的に軍事財源が減少したことが上げられる。それにもかかわらずプレセツク宇宙基地はいくつかの利点を有している。それは露領内に位置しているため、バイコヌールで要求できない、自主独立が保証されていることである。この理由から、一連の新設備が建設されていることに代表されるように、この射場に対する関心が再度出てきており、この射場は最近その恩恵に浴している(E122 ページ参照)。更に、低軌道への民間衛星の打上げが増える方向にあり、これにより更なる突破口を見出せる可能性が出てきた。

ヴォルゴゴラード近郊のカプスチン・ヤール射場は長い間極秘に取扱われてきた。1961年から1988年の間100機あるいはそれ以上の打上げが行われた後、11年間全く活動をしておらず休眠状態にあった。1999年及び2000年に2機のコスモス3Mで外国衛星打上げを行っており、これにより、商業打上げの新たな可能性の道が開かれたと思われる。しかし、射場をかかる目的で利用することに対し、満場一致の支援が得られているわけではない。露宇宙軍(VKS)は2つの欠点があることに注目している。1つは人口密集地域にあること、もう1つはカザフスタン上空を通過して打上げを行わなければならないことである。これらの理由から露宇宙軍はスパボードヌィ基地を擁護している。

米ではケープ・カナベラルでのスペースシャトルの頻繁な利用及び静止衛星の頻繁な打上げのために、米で最も古い打上げ設備が引続き主導的役割を果たすことが保証されている状況にある。1996年には30回の打上げが行われており、世界で最も忙しい射場になり、それはプレセツクとバイコヌールからの打上げを合計したものとほぼ同じであった。1970年代には露が年に120機もの衛星打上げを行っていたのと比べると、今日では遥かに少ない衛星しか打上げられていないのは明白である。

バンデンバーグ基地は多くの面でプレセツク基地と類似点を有している。この射場での打上げが定常的に減少しているのもまた、低地球軌道を回る偵察衛星が減少したことに関連しており、更に特に米の偵察衛星の長寿命化が旧ソ連の軍事衛星より以前に実現した事実による所が大きい。シャトルを高傾斜角の軌道に打上げるためにこの射場を使用する計画が一時あったが、実現せずに終わった。しかし、民間による衛星群打上げが起きたことにより大幅な需要回復に繋がり、これらの計画が主に米を中心として始まったため、プレセツクより遥かに大きな需要回復を見出した。バンデンバーグにあるいくつかの設備を民間にリースすることが始まったのは、小型衛星を低軌道に打上げる傾向が出てきたことを示すものであった。(しかし、これらの計画に対する)商業上の期待はその後下降線を辿り、結局は資金支援が停止するまでに至ってしまった。カプスチン・ヤールに相当する米のワロップス射場は1986年以降ロケットの打上げには使用されていない。1990年から、その活動はそれほど活発ではないが、航空機から小型衛星を打上げることが定期的に行われている。主要な露並びに米の射場から遥かに遅れを取っているが、他国の射場より進んでいる射場として欧州宇宙機関(ESA)が利用しているクールー統合打上げ基地がある。この射場は自動的に獲得できる大きな市場を要求することができないという点において非常に特異な地位を占めている。特に軍用分野は見事なほどに存在しない。従って事業の基盤は主に商業打上げに集中している。この理由から静止衛星が大部分であり、商業打上げにやはり注力している中国のシーチャン基地と似通った特徴を持っている。

日本には2箇所に射場があり、日本の宇宙機関であるISAS並びにNASDAが各自の射場並びに関連

施設をそれぞれに有している。両機関ともその射場並びに使用については、厳しい制限が課せられており、この2機関の活動を調整し合理化を図る試みが何度かなされたが、この状況(2機関併設)はここ当分続く見通しである。(訳注:2003年にJAXA鹿児島宇宙センタに統合) 最も古い打上げ設備は鹿児島にあり ISAS が運用している。これは科学衛星打上げに特化している。一方種子島にある射場では NASDA の管理下にある ISAS 以外のその他のすべての衛星打上げが行われている。

中国ではタイユアン基地が最初ミサイルの打上げに利用されたが、その後中国製の太陽同期衛星を少数ではあるが打上げている。1998年から1999年までの間イリジウムの打上げが行われ、その活動レベルは非常に上がった。チウチュエン及びシーチャン基地は長征ロケットで直面した困難に苦しめられたばかりでなく、米の衛星輸出制限並びに諸許可の制限にも苦しめられ、これらの射場の商業利用は非常に少なくなってしまう。これらの理由により中国のこれらの射場の活動はむしろ限られたものに留まっている。

最後にインドは GSLV ロケットの開発により、スリハリコタの活動は間違いなく高まるが、一方ではパルマヒンにあるイスラエルの射場の利用は国家独立の要求に関連した小型 LEO 衛星の打上げに限られてしまう(国家独立の証としての衛星を打上げること)。

従ってさまざまな射場での活動レベルは徐々にではあるがよりバランスの取れた方向に進みつつあるといえるが、射場が利用される度合いを見ることにより、宇宙勢力として各国がどのレベルの階層にあるかを如実に捉えることができるといえる。

打上げロケット

宇宙輸送システムの開発は宇宙先進国となる上で決定的な要素である。自国の打上げ技術を管理・制御することにより、その国はより自立性を確保しつつ、宇宙での野望を追求することができる。仏独協同の通信衛星シンフォニーを1978年に打上げようとした際、欧州自身の打上げロケットを所有していなかったため米に打上げを依頼したが、商業分野では衛星も米と競合しうる状況であったため、打上げに関し非常に大きな困難に直面し、打上げ国(米)が手にしている力を欧州は思い知らされた。この結果、欧州としても自前の打上げ設備を所有すべきとの要望が出て、アリアン製造へと繋がった。打上げロケット開発には高品質の製造技術、長期間に亘る安定した財政支援が必要であるといった事実にも拘わらず、同様のこと(自前の打上げ設備に対する要望)が中国の長征ロケット計画にもいえるし、その他の国家計画でも、日本、インド、イスラエル更に最近ではブラジル、韓国にもいえることである。今日、政治的また戦略的な必要性が引続き商業面を支配している。即ち打上げビジネスでの競争力を語る場合、莫大な公共投資が打上げ事業にとって決定的な要素であることを往々にして忘れがちである。同様に、打上げに必要な費用は経済とは全くかけ離れた特殊な面に頼っているといえる。最後に、打上げロケットと長距離ミサイルは共通の技術基盤を有していたことから、打上げロケット計画は国家の主権を確たるものにするという考え方を更に強固なものにした。

打上げロケット開発には多くの技術的制約を包含している。ロケットは過度な大気による減速を避けられる十分な高度で、第1宇宙速度(E14ページ参照)に達するかあるいはそれ以上の速度を得なければならない。大部分を大気圏外で運用できるようにしなければならない。これは大気を酸化剤の元として使用する乗物・輸送手段とは明らかに異なる。打上げロケットはペイロードと推進システムの重量比の最適化

といった問題に常に直面する。

これからして、単段式再使用型宇宙輸送システム（SSTO）計画のように、単段式ロケットで軌道に到達することが如何に困難であるかが説明できる。結果として、ロケットは積重ね式あるいは並置式の多段式を採用しており、各段は推進剤を使切ると同時に順次切離される。

現在のロケットの前身である、初期のロケット及びミサイルのさまざまな段で3種類の推進剤が使用された。ケロシンと液体酸素の組み合わせ、更にもっと保管が容易なNTOとヒドラジン誘導体の組合せ、いわゆるハイパーゴリック推進剤といわれるものなどはいずれも第1世代弾道ミサイルから派生したものである。同様のことが固体推進剤にもいえるが、時として中国の黒色火薬と比較されるが、実際はむしろ準硬質ゴムの粘りを持ったものである。

液体水素・液体酸素の極低温推進の起源は異なる。この推進はスペースシャトルが点火後直ちに必要とする莫大な推力を提供するために、また、ロケット上段に使われる。しかし、極低温といった極端な温度条件故に保管は遥かに困難であり、軍事上ミサイルに要求される、いつでも発射できる状態を恒久的に維持することには適さない。このことが、現在進行している武器に関する論争の中で、時として、いくつかの打上げロケット計画と大陸間弾道弾保有能力の開発とを性急に関係付けようとすることに歯止めをかけている。

もうひとつの汚染のない推進系として、液体酸素と天然ガスを利用した推進系があるが、少なくとも軽量の打上げロケット開発ではこの重要性が増すと思われる。

ほとんど全ての宇宙先進国は、最初の打上げロケットの開発にはミサイル設計で取得した技術を利用した。独のV2ロケットの技術は従って大部分米に取上げられ、米が宇宙への打上げに初めて成功したのもウェルナー・フォン・ブラウン博士と彼のチームの作業成果であった。一方旧ソ連では、R7型大陸間弾道弾能力に大部分を頼っており、これがその後のソ連の宇宙計画の大きな流れを決定付けた。仏が、そのレベルは大幅に下がるものの、1965年当時宇宙での第3勢力に位置できたのは、ある軍用ミサイル計画があったことによるところが大きい。この過程は中国、イスラエルとも類似な点があった。興味あるのはイラクが1989年タマーズ1の打上げを試みた時、また北朝鮮が1998年にテポドンを打上げた時に、(全世界に)恐怖が生じたことである。これは、特に誘導の分野で、ある種の打上げロケットを大陸間弾道ミサイルになぞらえ、同じものと見なす可能性が引続き存在することを証明するものである。これとは対照的に、日本のH-IIロケットの場合には、本来大陸間弾道弾と見なされる可能性があるにも係らず、第2次世界大戦後日本の軍事活動が自衛に限られていることから、かかる解釈が出てくることは殆どない。

打上げロケットの基本設計に軍用技術を使用すると、当然の帰結として、使捨てロケット開発が結論として出てくる。初めて再使用型エンジンの考えが現実のものになったのは1970年代に米がスペースシャトルを設計してからである。また、欧州並びに日本でも再使用型エンジンに関し、さまざまな研究がなされた。時として“シャトル”の言葉を使う場合、不明瞭さを伴う。それは単にスペースプレーン(宇宙航空機)を意味する場合もあるし、米のSTS(宇宙輸送システム)を意味する場合もある。この事態が生じるのはむべなるかなで、従来の打上げロケットと宇宙機(SPACECRAFT)を区別するのは難しいから

である。というのも“宇宙機”(SPACECRAFT)は衛星を軌道に投入するための全く新手段であるにもかかわらず、轟音を発して飛立つときには普通のロケットエンジンを使用しているからである。第2世代再使用型宇宙輸送システムはNASAが繰返し取上げる研究テーマである。かかる計画の中には、X-33計画、X-34計画が含まれている。X-33は、STSと同じ打上げ能力を持ち、7基の極低温エンジンを有する単段式再使用型宇宙輸送システム(SSTO)である。

X-34は打上げ能力は1/20であるが、2段式であり、そのうちの1つの段だけ地上に帰還し、着陸することができる。これら2つの計画は2000年に放棄されたが、NASAの宇宙打上げ政策(Space Launch Initiative)の大枠の中で、更なる構想が計画されている。また、民間が進めている小型の再使用型ロケットの計画もあり、ケリー・エアロスペース社とキスラー・エアロスペース社がこれに該当する。

1980年代から、ロケットエンジンを使用しない超音速航空機の構想を検討する新たな研究の流れが始まった。かかる航空機は従来の航空機と同じ方法で離着陸を行い、これにより、垂直離陸に必要な多くの地上設備群による制約を取払うことができる。この航空機は大気密度の濃い部分を通過後直ちに搭載した酸素の供給を受け、軌道速度に到達する。これらのプロジェクトは、特に民間・商業への応用となると、技術上の問題、高い経費、このタイプのシステムの可能性に関する評価が割れていることに悩まされる。

打上げ能力

過去20年以上に亘り、ソ連並びに米が各陣営内での独占体制を構築して、ほとんど全ての打上げを行ってきた。ソ連は露に代わったが、これらの大国のみが、引続き、有人飛行も含めありとあらゆるミッションに亘り、完全な宇宙輸送能力を有している。この階層のもう一方の極端な側には、新興宇宙勢力、たとえばイスラエル、ブラジル等があるが、その実力は小型衛星打上げ能力を有する打上げロケットを保持するに留まり、静止軌道へ到達できる能力はない(図6.6)。

欧州アリアンロケットが1980年代半ばに開発された頃は、商業打上げ市場が急速に拡大することが予想されていた。実際、自国衛星を、特に静止軌道に打上げようとする国や企業数はどんどん増加していた。アリアンスペースは明らかに米よりも、いつでも対応できる状態にあった。というのも、米の打上げ会社は政府並びに軍からの内需で手一杯であったからである。更に、米が内政上の理由で、スペースシャトルのみを自国の打上げ手段とする決定を下したことから、アリアンの立場は強固なものとなった。技術上の問題でスペースシャトルの打上げが激減した時、米の打上げに対する需要は特に軍用打上げの需要は引続き増加していたため、これに比例してアリアンの外国顧客の数は増加していった。1986年のチャレンジャー事故ではこの傾向が最高に達したが、この同時期にアリアン計画も困難に直面していたため、多くの衛星は1980年代半ばまでウェイティングリストに載せざるを得ない結果となった。

中国政府はソ連に追従し、西側市場に自国の打上げロケット利用を提案し始めた。中国はその当時1984年にCZ3打上げロケットを使って最初の静止軌道衛星を打上げていた。一方では、同じ頃にソ連は信頼性が十分実証されたプロトンロケットを、また、1985年に初飛行を行った新型の更に近代化されたゼニットロケットを、提案することができた。

これらの新しいサービスは米と欧州側にとって、喜んで迎えられたわけではなくいささか気が進まないまま受け入れられた。

西側は、機密技術の輸出を制限するココム（COordinating COMittie for export control）に基づく法律を適用し、ある程度成功を収めた。衛星はしばしば米の許諾に基づき開発されていたことを思い出すべきである。結果として、国際協定が締結され、中国の打上げ設備に与えられた打上げは、1989年から1994年の間に9基の静止衛星打上げ、更に、1995年末から2000年末までは静止衛星11基追加と決まった。しかし、中国は連続打上げ失敗を起こしたため、国際市場でのプレーヤとしての信頼は深刻な打撃を受けた。

ソ連の崩壊は新たな特徴、局面を作り出した。1993年に米は露に対し、1993年から2000年末までに8機の静止軌道衛星の打上げ割当てを与えた。これと同時に米・ロ宇宙協定を正式に締結することが決定された。これらのステップは二人の大統領、エリツィン大統領とクリントン大統領との会談後、ゴア・チェルノムイルジン協定書により政治的に正式に制度化され、これが結果として1993年のロッキード・フルニチェフ-エネルギー（LKE）合弁会社の設立へと繋がった。この会社の目的はプロトンロケットの拡販を行うことであった。2年後、ロッキード社とマーチンマリエッタ社の合併により、LKE社はインターナショナル・ローンチ・サービス（ILS）として知られる新たな合弁会社に移行した。この会社組織は顧客に対しプロトンロケットとアトラスロケットをそれぞれバイコヌールとケープ・カナベラルから打上げることが提案できた。当時の野望は2000年までに全世界の商業打上げの50%を提供することであった。一方では1994年にはゼニット3ロケットの打上げ能力の販売、運用を行う、シー・ローンチと呼ばれる別の合弁会社が設立された(E126 ページ参照)。この米と露の企業の利益を連合させるという新たな背景の中で、当初の割当て政策は緩和され、1995年末から2001年末の間ウクライナからの打上げは5機、シー・ローンチは11機、露は16機が許されることとなった。1996年になると、プロトンロケットを製造しているフルニチェフセンターは気がついてみると2001年まで20機の注文を取っていた。米は最終的に、条約署名相手の露とウクライナが弾道兵器非拡散に関するミサイル関連技術輸出規制（MTCR）によって課せられる条件を遵守することを条件に、当初の割当ての考えを2000年に放棄した。中国の状況は、米との特殊な関係の背景からして、より複雑であるが、それにも拘わらず、世の趨勢としては、この割当て政策は終結する方向にある。米の規制はむしろ衛星輸出許可に集中する傾向にある。

従って、1990年代の後半は、1980年代の打上げロケット不足の後、ロケット間の競争が進み始める時期であった。欧州は1993年の米と露の交渉には関与しなかったため、自分の戦略に関し検討しなけりならなかった。1996年にはソユーズロケットの国際拡販を行うスターセム合弁会社が設立された。EADS(旧エアロスペース)がこの会社の35%の株を有しており、15%を欧州のもう1社のアリアンスペースが、25%をサマラ・スペースセンタ(TsSKB)が、更に25%を露ン・アビエーション・アンド・スペース・エージェンシが保有している。LKEの協定と類似しているが、この合弁会社は少し異なった観点から設立された。即ち衛星群を構成する小型衛星を軌道に打上げることには特化して、アリアン5を補完することを目的としていた。1995年にもう1つの欧州での協定が署名され、露独の会社であるユーロコット社が設立された。この会社は、51%の株をダイムラー・クライスラー・エアロスペース(今日のEADSの一部)が、フルニチェフが49%所有しており、小型ロケットであるロコット打上げロケットの拡販を行う。

シャトルは米に唯一残された打上げ手段であったため、シャトルの事故によって打上げ手段に空白ができてしまったが、商業打上げ市場には影響を与えなかった。米は、自分で軍用、政府衛星を打上げる能力

がなくなってしまったことに気がついた。そのため代替手段を実現するために夥しい作業が米防省に委ねられることになった。デルタ、アトラスの生産ラインが再開され、1985年から1997年の間に40機のタイタンIVロケットの発注が出され、ペガサス、トーラス、アシーナ、その他小型の打上げ計画が政府補助を受け、更に発展型使捨てロケット(EELV = Evolved Expendable Launch Vehicle)計画が1994年8月の大統領令として実行に移された。

EELV計画は従来型の使捨てロケットのファミリーであるが、現打上げサービスより柔軟性があり使いやすく、且つ経費を20～25%削減できるものであった。最初は、デルタロケット、アトラスロケット(デルタ3、アトラス2AR、アトラス2AS)の近代化を支援する財政基盤を提供したが、次の段階で、この競合する2社の間で選定を行わなければならなかった。1999年1月に、この2社の“競合パートナー”を維持することが最終決定され、内ボーイング社がその補助金の2/3に当たる19機の打上げを受注し、ロッキードマーチン社が残りの1/3に相当する9機打上げを受注した。この2種類の、将来モジュール型である一連のデルタ4、アトラス5は、それぞれ小型、中型、大型の派生型を持ち、考えられるありとあらゆるタイプの静止軌道衛星をカバーできなければならない。米の正式報告書、公文書ではEELVの野心的な売上見通しの規模に関し、疑問をはさむ余地は殆どなかった。

21世紀当初、世界の打上げ市場は競争が極端に激しくなった。衛星打上げの需要と、打上げ手段・設備の供給との関係は1980年代の状況と比較すると全く逆転してしまった。競争も更に複雑なものとなった。この状況になったのは、何度も試され試験された打上げ設備(ロケット)が1980年代に比べて増えており、今だに運用中であったからであるし、一方では、新たな打上げロケットは次々登場してきており、また衛星市場自身は実際には当初予想されたよりもゆっくと拡大していったからでもある。(打上げ)企業は、最善の状況であっても、特にその企業の本質からして企業としての活動が、年にせいぜい12機これらの打上げに限られてしまう場合には、打上げロケット開発と衛星(の技術)革新の異なる時間目盛をうまく合わせる戦略を見出さなければならない。新たに台頭してくる宇宙勢力がこの領域での独立・自立を達成できるかことに腐心しているのであれば、これは衛星市場を縮小する趨勢となり、その将来はどちらかという物寂しいといわざるを得ない。かかる状況下、現在の宇宙勢力は引続き更に競争力を増すようにあられることになる。2005年売上予想の現在見通しでは、衛星軌道重量キログラムあたり\$12,000～\$14,000の価格になると言われている。

06.3 露並びに CIS 共和国

ソ連の崩壊と共に、露はソ連宇宙の潜在能力を主として引継ぎ、ウクライナはいくつかのノウハウを維持し、カザフスタンはバイコヌールの主要射場を引継いだ。宇宙分野は大幅な国家予算削減にかなり苦しんだが、打上げに関する高度なノウハウによって、民間企業は合併企業の形態を通じてその活動を維持することができた。

バイコヌール

この1番最初の射場は、広さ1560平方kmに及び、更にカザフスタン共和国領アラル海の北東部の46000平方kmものステップ地帯をも所有している。この地域の気候は典型的な内陸性であり、その1日のまた年間の温度差は非常に大きく(摂氏+45度から摂氏-35度まで)、且つ降雨量も少ない(年間250mm未満)。雲ができるのが非常に少ないので、打上げ活動にはかなり好都合である。水はシルダリア川から供給され、モスクワ-タシケント鉄道がこの射場へのアクセスとして使える。(図6.7及び6.8)

この射場は長い間ソ連の極秘のベールに包まれていた。この射場はソ連によりバイコヌール・コスモドローームと呼ばれていたが、実際にはバイコヌール市から370km離れたところに位置していた。事実、シルダリア川の右岸に位置していたチュラタム市が最も近い都市である。次にこの射場に第2の都市として現れた都市は、レニンスク市であり、宇宙活動に従事する作業員を収容するためであった。1996年にカザフスタン共和国はこのレニンスク市をバイコヌール市と改名し、2000年には公式発表で60,000人の居住者を有していた。バイコヌールの射場は多くの大衆の興味の対象であった。というのも、この射場から最初の有人打上げばかりでなく最初の人工衛星の打上げが行われたからである。歴史的に興味深い場所がいくつかこの射場にはある。例えば、ユーリ・ガガーリンとセルゲイ・コロレフが居住していた住宅とか各宇宙飛行士が宇宙への出発の前に植樹した公園とかがある。

バイコヌール基地は旧ソ連が建設した3つの宇宙基地の内、ソ連崩壊時にCIS露連邦の領土外に建設されていた唯一の射場である。全ての有人宇宙船の打上げがこの射場で行われたこと、静止衛星打上げに関しては3つの射場のうち最善の場所であることを考慮すると、露がこの射場の使用を止めることは考えられなかった。1991年10月にミンスク条約が締結され、CISの全ての加盟国はこの射場へ自由に出入りできることが謳われた。1992年5月25日に露とカザフスタンとの間で協定が結ばれ、露は射場の運営費の94%を負担することとなった。更に、1994年3月28日及び12月10日にそれぞれ別の協定が締結され、20年間の同コスモドローーム並びにレニンスク市に対する露の自治権が認められた。これらの協定は更に10年の更新の可能性が含まれている。これらの協定の見返りとして、年間\$115Mの賃貸料が支払われる。同射場での露の自治権並びに役割については今だに論争の余地があるようである。露の強大な軍隊の存在(28,000人の軍人の駐屯)、並びに要求された期限内の支払能力の欠如を考慮し、さまざまな協定が締結された。いかなる内容であれ、とにかく妥協案を見出そうとする気持ちが勝っていた。露にとってこの射場は重要であったが、カザフスタンにとってはこの射場は何ら役に立たず、維持することも不可能であった。とにかく両国はほかの分野では緊密な関係を保っている。

財政支援の問題はバイコヌール射場を商業打上げに開放することで、部分的には解決された。これらの商業打上げは、プロトンロケットを使用する米との合併企業、及びソユーズロケットを使用する欧州との

合併企業を通じて可能となった。これらの企業はそれぞれ、インターナショナル・ローンチ・サービス（ILS）社及びスターセム社であり、現在の設備を利用し且つ改修を続けている。プロトンに乗せるペイロードの輸送にはブラン（ソ連版 スペースシャトル）のために建設されたジュピリー軌道が使われ、スターセムはエネルギー設備複合体の中にある大きなビルをペイロード整備等に完全に改修して使用している。同様の精神を持って、ユーロコット社の商業打上げはプレセツク射場から行われる手はずになっていたが、ロコット打上げロケットの燃焼試験は（独との協力の一環で）、バイコヌールで行われた。2000年初頭にはコスモドロームの国際化が比較的進んだことから、露航空宇宙機関のロサビアコスモス（RAKA、以前の RKA）は露宇宙軍（VKS）からその運用を正式に引継いだ。しかし、VKS は引続き打上げ設備複合体の開発に責任を有していることから、射場全体を近代化すべきとの需要が高まっている状況に直面しているにもかかわらず、VKS の信用のなさが、ゆゆしい問題になってきている。

プレセツク

プレセツク射場（コスモドローム）は軍用衛星の主射場であり、もともとはミサイル射場であった。この目的で 1960 年に建設されその後、長く秘密とされていた。1966 年に打上げられたコスモス 112 号衛星がこの射場から打上げられた最初の衛星である。後につけられた“北域射場（コスモドローム）”という正式名称は、この射場が民間打上げ活動に公開された時に、インターコスモス機関に関連してつけられたものである。この射場は、広大な準極地域の松や樺の森林の中心にある、中央露台地の氷河が形成されている上のアルカンゲルスク南方のタイガ地帯にどちらかというともな殺風景な地域に位置している。軍並びに宇宙の複合設備全体で 1762 平方 km の地域を占めている。この地域には弾道ミサイル射場、宇宙打上げ設備複合体、並びに関連地上設備複合体が含まれている。図 6.9 にスポット衛星の画像を示す。これから上記設備に関連した内外のインフラの状況が良くわかる：電力線、鉄道（アルカンゲルスク-モスクワ線並びにコスモドローム自身が運営している線の支線）、道路、滑走路。ただ、この写真では、目視できるコスモドロームやミサイル射場に具体的にどのような専用設備があるのか判別するのは更に困難である。図 6.10 からはかなりな部分につき判別可能である。

ソユーズ並びにモルニヤ・ロケットの打上げにはコロレフ区域にある 4 つの射座が使われる。一方コスモスはヤンゲル区域にある 2 つの射座から打上げられ、ツィクロンは同じ区域の 2 つの射座から、またロコットも同地域のロコット用に割当てられた 1 基のコスモス射座から打上げられる。小型衛星打上げ用ロケットであるスタート 1、並びにスタートは最初このプレセツクから打上げられた。プレセツクは露領内に位置していることから、一定レベルの開発計画が進められている。例えば、ヤンゲル区域の北部にゼニット用の 2 基の射座が、また、将来のアンガラロケット用に打上げ複合設備が建設されている。カプスチン・ヤール宇宙センタは余り使われていないが、以前ミサイル射場として使われていたところから発展してきたもので、当初は 1947 年に中距離ミサイル並びに観測ロケット打上げのために建設されたものである。場所は北緯 48.4 度、東経 45.8 度で、干上がった湖があちこちに点在する低降雨ステップ地帯である低ボルガ地域の北東側の丘に位置している。この射場は全ての打上げ射場の中でもっとも打上げ活動が非活発な所である。

コスモス打上げロケットが 1962 年 3 月に初めてこの射場に現れ、その後コスモス 3M ロケットが小型コスモス衛星並びにインターコスモスをこの射場から打上げている。小型シャトルのプロトタイプの実験が 1982 年から 1987 年の間 6 回行われた。内 4 回は軌道投入されており、これがこの射場で行われた最後の大規模宇宙計画となった。1987 年以降には一切打上げが行われていないことから、軌道打上げは完

全に放棄されたように見えていた。しかし、この射場は1999年4月に再開され、ポリョット-アシュアード・スペース・アクセス社が最初の商業打上げを行った。その後、2000年には独と伊の小型科学衛星が2番目の商業打上げとして打上げられた。

スバボードヌィ

以前ミサイル射場であったこの打上げ射場は、ごく最近に衛星打上げセンタに改修された点で、他とは大きく異なるケースである。そして最初に小型衛星用打上げロケットであるロコット並びにスタールト1ロケットが現存するサイロから打上げられており(内スタールト1の例としては1997年3月に最初の打上げに成功している)、また将来の大型打上げロケットであるアンガラがここから打上げられる見通しである。

この射場はシベリア横断鉄道からそれほど離れていないスバボドヌィ市とペロゴルスク市の間にあり、またアムール川の一支流であるゼーヤ川の川岸にあるシベリア東部に位置している(図6.11)。この射場の緯度、経度は大体北緯51度、東経128.5度である。ここの極寒の冬がある大陸性気候並びに緯度とも射場を建設するには、不適切である。しかし、バイコヌールの状況が不安定であり、将来の使用に関しても不透明さがあることに加え、長距離戦略ミサイルを打上げロケットに改装するのに理想的な装置があるこの射場の状況を重ね合わせて考えると、この露領内に新たな打上げ設備を建設することは実に確たる理由があると言える。

セミヨルカからエネルギーまでの打上げロケット

ソ連の打上げロケットの歴史は1956年に始まった。この年に初の大陸間弾道ミサイル(ICBM)が製造され、R7あるいは別名セミヨルカ・ロケットを誕生させた。セミヨルカは補助ロケットモータ4基を備えた一段式ロケットで、1957年10月4日に最初のスプートニク衛星を軌道に投入した。このロケットはいわゆるコロレフロケットシリーズの背骨をなすもので、命名はこのロケットシリーズの設計者の名前に由来する。このシリーズの内3種類のロケット、ヴォストーク、モルニヤ、及びソユーズUは現在も使用されている(図6.12)。ヴォストーク・ロケットはセミヨルカの派生型で小型の補助段を追加したものである。ヴォスホート・ロケットは更にもう一段追加したもので3倍の打上げ能力を持っており、またモルニヤロケットはヴォスホートに3段を追加したものである。ソユーズは1966年に登場し、性能向上型の2段目をヴォスホートに取りつけたものである。1973年にはソユーズU型へと発展し、更に1982年から1985年の間にはソユーズU2へと発展した。ソユーズU2は単なるソユーズ・ロケットであるが、合成ケロシンであるシンティンを燃焼させていた。(シンティンは非常に高価で1995年以降は使用されていない。)

ソユーズ2が使えるようになるまで、スターセム社はソユーズUを最初のいくつかの契約(グローバルスター)で使用した。このロケットは第5、第6世代の軍事偵察衛星から転用したイカー軌道上移動用上段を使用し、補強されている。増強型のソユーズST型は2000年に試験に供された。これはイカー上段に加えて、4段目即ちフリゲート・モジュールを搭載している。このモジュールはNPORAポチキン社がフォボス衛星及びマーズ96衛星用に開発したもので、2000年2月及び3月の試験飛行を経て、使用可能になっている。同じエンジンをソユーズ2に取付け可能で、打上げ能力の増強並びに静止遷移軌道への打上げを可能としている。

近代化されたソユーズはしばしば過去 10 年そこそこから話題に上がってきた。最初はルースと呼ばれ、以後順次ソユーズ FG、ソユーズ/S T、ソユーズ 2 となり、最後にオーロラ（あるいは露語でアヴロラ）と呼ばれている。ソユーズ FG は 2001 年に飛行したが、ソユーズのブースター並びに 1 段エンジンを近代化したものである。ソユーズ/S T は F T に新型の 2 段並びにゼニットロケットから転用したデジタル誘導装置を付加した。また、ソユーズ 2 は S T に新型の RD 120M エンジンを 1 段に採用したものである。最後のオーロラロケットはソユーズ 2 を、プロトン及びゼニットで使用されているブロック D 上段の派生型であるコルヴェット 3 段で延伸し、静止トランスファ軌道への打上げを可能にしている。更に 1 段には NK-33 エンジンを採用している。このロケットは 2003 年から就航予定である。

2001 年 1 月 1 日迄に、308 機のもルニヤ・ロケットばかりでなく、ヴォストーク並びにその前身ロケットが合計 175 機、ヴォスホートが 305 機、ソユーズが 813 機打上げられた。その内、19 機のヴォストーク、14 機のヴォスホート、20 機のソユーズが打上げ失敗であった。一方もルニヤロケットでは 32 機の打上げ失敗が起きたが、内 22 機がブロック 1 に起因している。

もう一方の打上げロケット・ファミリとしては、弾道ミサイルから派生したヤンゲル打上げロケットシリーズがあり、大部分の軍用ミッション打上げに供せられた。小型ロケットであるコスモスロケットは 1962 年から 1977 年まで使用された。151 機の打上げ成功並びに 22 機の判明している打上げ失敗の後、コスモス・ロケットはより強力な型であるコスモス 3 M に道を譲った。このロケットは 2 段式で、2 段目は再着火可能である。ツィクロン 2、3 はミッションによって、それぞれ 2 段式、3 段式である(図 6.13)。コスモス 3M はポリョット A K O 社のオムスク市で組立てられており、ツィクロンはウクライナの会社である N P O ユージノエで造られている。

これと並行して、ソ連はウラジミール・チェロメイの指揮下、斬新な大型打上げロケットを開発した。これがプロトン・ロケットであり、現在はプロトン K と呼ばれている。このロケットは最初に 1965 年に 2 段式で登場し、打上げ 4 回の行われたが、内 1 回は失敗した。4 段式プロトンは 1967 年に、3 段式は 1968 年に登場した。現設計は 1986 年並びに 1991 年の改修を経たものである。現在非常に有名になったこのロケットの主要な利点は、部分的にはあるがモジュール構想に由来する柔軟性にある。高軌道並びに探査用に設計されたバージョンの 4 段目はケロシンと液体酸素(ブロック D , D M)又はシンティン(ブロック D M 2、D M - 2 M , 並びに計画のみで終わった D M 3)を使用することができる。増強型のプロトン M はフルニチェフで製造される新型の 4 段目を採用する予定である。この 4 段目には、アンガラロケットに装着される予定でありまたインドの G S L V ロケットに既に採用されている極低温 K V R B、又はフェアリング内に収納できる UDMH-四酸化二窒素のプリーズ M のいずれかが採用できる。5 段目としてフリゲート段もプロトンに搭載できる。また 2 段目には、当初アンガラ用に計画されていた、極低温エンジンである RD-0210 を採用することも可能である(図 6.14)。

ソ連は早くも 1983 年からプロトン・ロケットを商業打上げ用ロケットとして、特に静止軌道衛星の打上げとして、提案してきている。しかし、最初の契約をインマルサットと締結するまでには、1993 年のソ連の崩壊により米の態度が変わるまで待たねばならなかった。ILS がプロトンの国際販売を手がけている。

プロトンが最初に登場してからほぼ 20 年たって、ツィクロン・ロケットの開発を除けば、1987 年に至って初めて超大型・重量物打上げロケットの新たなシリーズとしてエネルギー・ロケットがその全容を現した。米のサターン・ロケットと同様に月征服を目指した巨大な N1 打上げロケットが失敗してしまったのは、あまりに長い準備期間が原因であったといえる。N1 ロケットの試験は 1969 年に正式に中止となった。エネルギーは非常に強力な打上げロケットで、中心に 1 基の極低温コア推進系を持ち、その側面を 2 から 8 基のケロシン-液酸ブースタで固めている(図 6.15)。

このロケットは 65 から 200 トンまでのペイロードを低地球軌道に打上げられるように設計されている。これは大型の射場建設あるいは惑星間探査用衛星組立てのために使われる予定であった。事実 4 基のブースタを装着して、スペースシャトル・プランを打上げる計画であった(13 章参照)。更なる展開としては、センタコアに隣接して 2 段目を取付けたり、高軌道投入用に設計された上段を装着することも可能であった。

財政上の問題に加え、ソ連後の露として営利を目指さなければいけない状況が加わり、エネルギーは直ちに達成すべきミッションがないままに放置されることとなった。かかる強力な打上げ手段を必要とする商業ペイロードは現存しない。2 回の打上げ成功を 1987 年と 1988 年に達成したが、結果としてこの計画は棚上げとなり、エネルギーを宇宙ステーション建設に使用するといった期待できない米との協定を待つか、エネルギーを使用するに足る大型の商業衛星の出現を待つしかない。技術陣を引続き就業させているばかりでなく、チュラタムにある 2 基の射点を並びに既に建設されたロケットの維持は正式には中止されてはいない。しかし、将来何に採用されるかは更に不確実になっているようである。

エネルギーが初飛行をする前の 1985 年に中型打上げロケットであるゼニットが登場した(図 6.15)。このロケットはエネルギーのブースタ 1 基に 2 段目を装着したものを使用し、NPO ユージノエによってウクライナで建造された。ゼニットは CIS の中で最も近代化された打上げ設備である。最初の外国との打上げ契約は、グローバルスター計画で 36 基の衛星を打上げる内容で、1995 年 5 月に締結された。2 段式であるが、3 段式も現在開発中である。ウクライナ共和国は両方の型を豪州のケープヨーク射場計画に提案しており、その技術は既にシーローンチで使われている。ゼニット 3 型は場合によってはブロック DM を 3 段式として付加し、フェアリングはボーイングから供給されている。(図 6.15) ゼニットはさまざまな方法で能力増強が可能であり、例えば、再着火式の 4 段目を追加したり、アントノフ AN-225 から打上げたりすることが可能である。大型ゼニットは中心タンクの周りに複数の一段を束ねることで可能となる。

弾道ミサイルの転換

露の打上げ能力の歴史に関するこの章は、何百何千の戦略大陸間弾道ミサイル及び潜水艦発射式弾道ミサイル(ICBM 及び SLBM)の廃棄協定に直接関係している。米と同様に、露も国際市場に売込む目論見で、役目を解除されたミサイルを中小型打上げロケットに転換することを模索した。これにより、西側顧客は小型衛星を軌道に打上げるのに非常に低価格ですむといった利益が得られることになった。

トポル・ミサイルはヴォトキンスクの工場で、4 段目を追加することによりスタールト 1 に転換された

(最初の打上げは1993年3月25日)。5段目を追加した型のスタールトの打上げは1995年3月28日に行われたが、失敗に終わった。スタールトの拡販は、モスクワ熱技術工科大学のコンプレクス科学技術センタ(現在はコンプレクス-MITと呼ばれている)が行っている。このセンタは現在、豪州、カナダ、及びブラジルのアルカントラ射場とスタールトの露国外での打上げにつき交渉を進めている。1997年3月にスパボードヌイ射場はスタールト1の打上げを行い、その活動を開始した。この射場は現在時々商業打上げを行っており、例えば2000年にイスラエルのエロス衛星を打上げた。

これと並行して、クルニチェフでは、2段式のステレト大陸間ミサイルに液体燃料式3段のブリーズMを追加し、ローコット宇宙打上げロケット(図6.16)を開発した。この最初の打上げは1994年12月26日に行われた。クルニチェフと独企業であるDASA、これはその後ダイムラークライスラーエアロスペースとなったが、との間の合弁会社としてユーロコットが設立された。ユーロコットは欧州の小型衛星市場に米製新型小型打上げロケットの半分の価格で打上げを提供することを希望している。現在のところ、欧州自身の中では、少し旧式になったコスモス3Mロケット以外に明らかな競争はない。

NPO マシノストロイェニヤもまた、おなじICBMを転換してストレラという名前で提案している(図6.16)。

NPO ユズノイエはICBMのスカルペル及びR36M2(SS18 サタン)で作業を進めている。スペース・クリッパと言う名前と呼ばれ、1号機が打上げられれば、それはモジュール化されたロケットシリーズの誕生を意味する。このシリーズは固体式3段あるいは4段の中小型ロケット6種類から成り立っており、アントノフAn-124から打上げられる(図6.16)。R36M2ミサイルにフリゲートあるいはツィクロンのS5Mを3段として追加すると3段式のドニエプル中型ロケットになり、低軌道へ4400kgの打上げ能力を有する。

KB マケイェフは露の3種類のSLBMを小型液体燃料ロケットへ転換することを検討している。これらは、4段式シティル(SSN23 スキフ・ミサイル)、3段式ヴォルナ(SSN18 スティングレイ・ミサイル)及び2段式ヴィソタ(SSN8 ミサイル)である。シティルは1998年7月5日に潜水艦からの試験打上げに成功し、以後定常的に使用されている。4段式シティルにもう一つ別のSLBMであるリフの固体式1段を装着することにより、中型ロケットであるプリポイ/サーフ・ロケットを作上げることができる。上記のロケットは全て船あるいはアントノフAn-225から打上げることができる。

新設計の打上げロケット

米と同様に、また国際打上げ市場で見られる同様の性能向上の需要を満たすために、旧来の弾道ミサイルの転換から直接派生していない小型打上げロケットの計画がいくつか存在している。その他にも、より強力なロケットの近代化も私企業の主導の下に進められており、時として国際拡販を組織するために外国企業を呼びこんでその企業とのパートナーシップの下に行われていることもある。

SLBMの転換とは別に、KB マケイェフはコンボマシュのNPO エネルゴマシュと提携して、NPO エネルゴマシュが開発している液体酸素/液体メタンエンジンを装着した新型の2段式小型ロケットの商業化に必要な外国企業のパートナーシップを求めている。リキシャと命名されたこの最初のプロジェクトは

1997年に設立されたエア・ローンチ・エアロスペース社によって顔色なからしめられた様子である。このロケット(エア・ローンチ：図 6.16)はアントノフ AN124-100 で運ばれ、高度 11000m で点火 6 秒前に後部貨物ドアから放出される。これらのロケットが関係する市場は 2,500kg 以下の低軌道衛星である。

最も野心的な計画はモジュール化した打上げロケットであるアンガラ・ロケット・ファミリーである。設計・製作は KB フルニチェフが進めており、国際拡販は ILS が担当している。

当初は大型重量物打上げロケットが構想としてあがっていた。一段目は RD-171 エンジンのチャンバ 4 基からなるゼニット RD-174 エンジンの性能向上型 1 基を使用していた。2 段目はエネルギーの極低温 RD120 エンジンを使用していた。液体酸素タンクは 1 段・2 段の各段の両側に装着されていた。3 段目としてプロトン M のブリーズ M あるいは極低温 KVRG 段を追加することも可能であった。この場合 4,500kg から 5,000kg の衛星を静止トランスファ軌道に、あるいは 28 から 30 トンの衛星を低地球軌道に打上げることができた。

2 番目の計画は 1999 年に提示されたが、米の EELV 計画の設計を踏襲したもので、同じコア-モジュールを使った 5 種類のロケット・ファミリーである(図 6.17)。この共通コアには、RD-171 及び RD-180(ゼニット、アトラス で使用) から開発された RD-191M エンジンが用いられる予定である。

アンガラ 1.1 は 1 基の共通コアとブリーズ M 二段を有しており、一方アンガラ 1.2 は 1 基の共通コアに、ゼニットの二段の派生型であり、またソユーズ 2 とオーロラに予定されている二段と同一である、ブロック 1 を二段として装着している。これらのアンガラロケットは現在あるコスモス M とツィクロンロケットに取って代わる予定である。アンガラ 3 及びアンガラ 5 は 3~5 基の共通コアを有しており、その上にブロック 1 およびプロトン M の PVRB から派生した汎用極低温上段(GCUS)が装着されている。これらのアンガラロケットは低軌道に 14 から 24.5 トンの貨物を打上げることができ、徐々にゼニット 2 及びプロトンに取って代わる予定である。超大型版も計画されており、これはアンガラ 5 の 2 段目を RD-0120 エンジンを装着した UOHB(Universal Oxygen Hydrogen Block)に替えたものである。この型では GTO に 11.2 トンを投入できる。

打上げは 2001 年にプレセツクから行われる予定だったが、現在は 2003 年の見通しである。当初計画の期限は守られなかったが、最終的に射点はバイコヌールに建設されることになる。アンガラロケットのモジュールシステムは大きな柔軟性を持っていることから、打上げ市場での主役の一つになると思われる。

ブースタの回収といったいくつかの発明は、半再使用型ロケットの分野で新規技術を試験することにより、コスト(打上げ費用)の低減に繋がるとも考えられる。これに関連して、フルニチェフセンタでは将来のバイカルロケット(アンガラ IVA)を研究している。このロケットは有翼 URM の形状をした 1 段を有しており、この 1 段は帰還して、YAK130 から借りてきた 2 基のジェットエンジンを使って着陸する。

現在、打上げロケットは露の宇宙活動の中で長所となっている。その信頼性、低い製造コストは多くの潜在顧客にとって魅力ある特徴である。ここ数年間は、戦略的な備蓄政策によって積み上げてきた在庫が

あったことから、初期投資に対する見返りを刈取ることができた。しかし、1997年以降、これら在庫が払底し、更に政府の財政支援が得られなかったこととあいまって、新たな設計開発は進んでいない。これにより企業は外国企業との提携締結を余儀なくされたが、外国企業の本当の関心が露の宇宙分野の関心と同じでなかったといった結果になるかもしれない。変わり目が既に2001年に到達していたようである。国際市場ではこれら露ロケットの真の潜在力に大いに気がつき始めている。露の指導者達は、そのパートナーシップを(自分たちに有利になるように)大きく変えたいとの希望を相手に確認しつつ、各国との協定、例えば豪州とクリスマス島(インド洋)からの打上げに関する協定、あるいは宇宙打上げ市場への新規参入国との協定を模索している。

図 6.1 **北緯 45 度の打上げ射場からの打上げに関する地上軌跡**

傾斜角 45 度の東打ちの場合の地上軌跡を上記の地球上の赤い軌跡で示す。その他の軌跡（細黒線）ではその打上げ方角がどうであれ、軌道傾斜角はその射場の緯度角より常に大きくなる。ここに示された軌跡は地球が動かないとして示されている。下段の図では同じ地上軌跡をメルカトル投影法で描かれている。いずれも 2,000km の所で切っている。同じ方法が図 6.3 の平面球形図での軌跡を描くときに使われている。

図 6.2 **色々な射場の各緯度で地球回転により付加される接面方向速度**

図 6.3 **全世界の衛星打上げ設備の位置早見図**

1957 年から 2000 年までの間に衛星打上げを行った全ての射場が主要計画と共にこの図に記載してある。地球の自転による接面方向の速度並びに周辺地域の人口レベルが自国領内に打上げ射場を設置する時の重要な要素である。

図 6.4 **シーローンチ社の浮体式打上げシステム**

図 6.5 **1957 年から 2000 年間の各四半期の、異なる打上げ射場から軌道に投入された衛星あるいは探査機の機数**

各四角()が軌道に投入された衛星あるいは探査機を意味する。

図 6.6 **2000 年末現在の全世界で運用中あるいは開発中の打上げロケット**

現在使用中の打上げロケットの名前は赤字で示してある。

図 6.7 **バイコヌールのスポット画像**

2001 年 6 月 5 日、2001 年 4 月 10 日（西側）、2000 年 6 月 22 日、及び 2001 年 5 月 11 日（東側）にそれぞれ撮影した 4 枚のスポット 4 画像を組み合わせたもの。
北°-ライト CNES2000、2001 スポットイメージ社配信

図 6.8 **バイコヌールのスポット映像の解説スケッチ**

図 6.9 **プレセツクのスポット画像**

2000 年 6 月 26 日（西側）及び 1998 年 7 月 15 日（東側）に撮影したスポット 4 衛星の 4 枚の画像を組み合わせたもの。
北°-ライト CNES1998、20002 スポットイメージ社配信

図 6.10 **プレセツクのスポット画像の解説スケッチ**

図 6.11 **スボポドニイ打上げ施設のスケッチ**

モスクワの協同科学情報センター(Coordinate Scientific Information Center)の情報に基づく。

図 6.12 **コロレフあるいはタイプ A と呼ばれるロケット群**

図 6.13 **ヤンゲル打上げロケット、タイプ C 及び F**

図 6.14 **プロトンロケット**

プロトンはシーローンチ社が選択したゼニット 3 を別とすれば、静止衛星を打上げるための唯一の露製ロケットである。

図 6.15 **エネルギー及びゼニット**

図 6.16 **新型の小型ロケット及びミサイルから転換したロケット**

図 6.17 **アンガラ計画**

表 6.1 **2001 年現在運用中あるいは開発中の CIS の打上げロケット**

ソ連の打上げ設備に関し公式な情報がなかったため、西側機関は 1967 年に独自の分類を作り出した。例えば米国防省あるいは米議会（科学政策研究局）の分類等。後者はシャルドンコードと呼ばれ、大文字が下段を、数字が上段を意味する。小文字はある具体的な特徴を意味する。例えば “e” は惑星間探査ミッションと超長楕円軌道用の地球脱出用段を表す。