

# 宇宙と人を繋ぐ建築： ロケット打ち上げのための地上施設に関する史的研究

37-196120 平田 隆太郎

## 0. 序

### 0.1 背景、目的および既往研究

近年宇宙開発に民間企業の参入が相次いでおり、ロケット技術への関心が高まっている。しかし打ち上げのための地上施設（以下「ロケット発射場」あるいは「射場」と呼ぶ）の建築的要件や社会的価値については十分な関心が寄せられておらず、射場に関する総括的な記述は非常に限られている。唯一、長尾（2016）による記事があるが、話題が設備関連に偏っており網羅的とは言えない<sup>1</sup>。また本論文で事例として主に取り上げる内之浦宇宙空間観測所（USC）に関しては難波（1999）の研究などがあるが、設計者である池辺陽の作品としての位置付けが主であり、射場としての位置付けや地域社会との関わりについては触れていない<sup>2</sup>。本論文では射場の全体像を提示し、その要求性能や価値について史的な考察を加えることを目指す。

### 0.2 対象と方法

宇宙航空研究開発機構（JAXA）のロケット発射場である USC を主な対象とする。選定理由は山地かつ民家が近いという厳しい条件下で必要となる施設を備えていること、一方で土地面積が限られているため必要最低限のシンプルなシステムとなっていると考えられること、また当初は大学の施設であり開示された情報が多いことである。

史料・文献調査のほか現地調査と関係者へのインタビューを行い、射場の全体像をまとめ要求性能や社会的価値に関して考察する。史料として設計者や施設使用者による記述、JAXA 提供の建築図面、建築物の写真などを用いる。

### 0.3 論文の構成

第1章で射場の全体像を示す。第2章および第3章では特殊な性能が求められる組立棟および耐爆施設を取り上げ、各要求性能を確認するとともに事例に基づき詳述する。

## 1. 内之浦宇宙空間観測所（USC）にみるロケット発射場の全体像

### 1.1 日本の宇宙開発とロケット発射場

ロケット発射場はロケットの打ち上げを目的とする施設である。扱うロケットによって求められる規模は様々で、ロケットの試験・開発等を行う総合的施設の場合は宇宙センターと呼ばれるものもある。ロケットとミサイルは同様の技術を用いた装置であるため軍がロケット開発に大きな役割を果たしている国は多く、軍事施設の一部として射場が設けられる場合もある。

よく知られているように戦後日本の宇宙ロケット開発は糸川英夫(1912-1999)らのペンシルロケットを源流の一つとしており、独自の経過を辿っている。敗戦国としての立場もあり、軍事的な技術開発とは切り離して進められたことは特異な点である。糸川を中心とする東京大学生産技術研究所は当初秋田県の道川海岸にて打ち上げを行っていたが、より大型のロケットに対応するため、1962年、鹿児島県内之浦町（現肝付町）に鹿児島宇宙空間観測所（現内之浦宇宙空間観測所）を開所した。日本は国土が狭い上に山がちであり、海外の大国のように人家が少ない平地を

見つけることは困難である。USCは山地を切り拓いて造成した複数の台地に施設を分散して配置する珍しい構成をとった。多くの建築の設計を生産技術研究所の池辺陽(1920-1979)、構造設計を坪井善勝(1907-1990)が担当した。開所後も断続的に新築や改築がされ現在へ至っている。

### 1.2 ロケット発射場に求められる機能と建築

図2にロケット発射場の全体像を示す。USCを例として建築物・構造物を役割によって分類し、打ち上げプロセスに直接関わるものについては矢印で経過を示した。

ロケットは部品の状態で射場に搬入され、組み立て・整備を経て射点（ロケットが打ち上がる位置）に設置される。人員の退避と気象等の条件が確認された後、管制室からの司令により打ち上げられる。打ち上がると光学観測や通信によって記録・制御が行われる。その他にも管理部門や渉外のための施設などが必要となる。

### 1.3 小結

本章では内之浦宇宙空間観測所を例にロケット発射場の全体像を示した。池辺（1966）が指摘しているように射場の施設群は1つのシステムとして互いに密接に結びついている<sup>3</sup>。計画に際しては個々の要求性能を満たすだけでなく、常に全体を意識しながら進めることが肝要である。

## 2. USCのM組立室にみる大空間と柔軟性への対応

### 2.1 ロケット開発の進展と組み立てプロセスの変化

図1は日本の代表的なロケットの全長の推移を表している。徐々に大型化しており、特に1970年代までは多様なロケットが開発され試行錯誤が行われていたことが伺える。ロケットが比較的小型である場合、組立室でロケットを完成させ、可動式ランチャーにセットした状態で射点まで移動し、最終整備・打ち上げを行うプロセスが一般的である（図3A）。ロケットが大型化すると、組み立て・整備から打ち上げまでに1ヶ月以上の時間がかかることもある。実用性を考えると打ち上げの間隔を短くし回数をなるべく増やすことが望ましいが、それに対しては主に2つの方法が取られた。

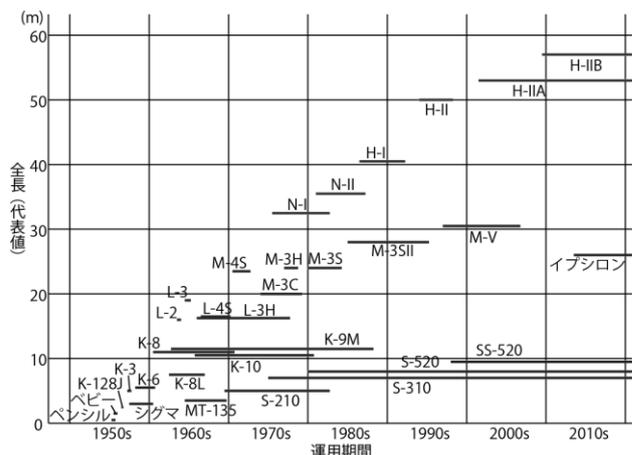


図1 代表的なロケットの全長の変遷（筆者作成）



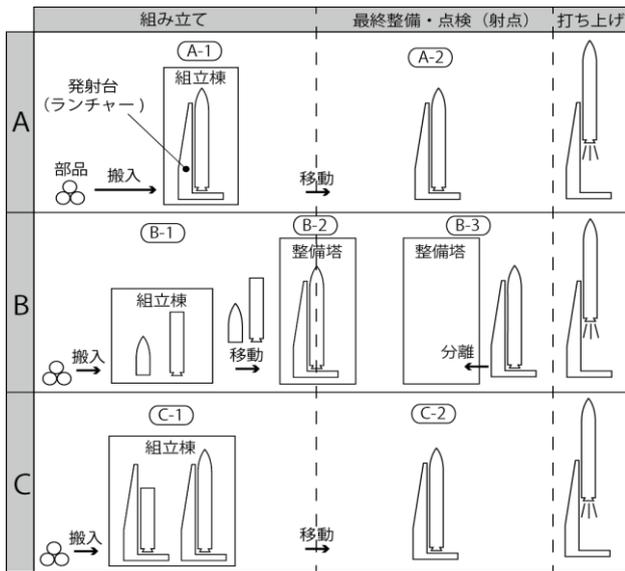


図3 ロケット組み立てプロセスの分類 (筆者作成)

1つ目はある程度の組み立てまでを組み立て棟で行い、全段組み立ては射点に設けた整備塔で行う方式である（図3B）。多くは整備塔が可動式になっており、組み立て完了後ロケットから分離して打ち上げる。組み立て工程を二段階に分けることにより、整備塔で全段組み立てを行っている間に組み立て棟では次のロケットを組み立てることが可能となり、打ち上げ間隔の短縮に繋がる。また組み立ては比較的小規模で済む。USCのMセンターではこの方式が取られている。2つ目は組み立て棟に複数のロケットを組み立てられるスペースを設ける方式である。こちらも次のロケットの組み立てを同時に進めることができる。また将来的にスペースの1つを新型ロケット用に改修し、1つは既存ロケット用に残すなど柔軟な対応が可能である。種子島宇宙センターのH-IIAロケットなどではこの方式が取られている。

## 2.2 組立棟の要求性能

組立棟の最大の役割は組み立てや整備の間ロケットを風雨から守ることである。そのために屋根を有し、ロケットを組み立てられるだけの空間を持っている必要がある。またロケットにアクセスするための作業台や部品を吊り上げるクレーンが必要となるため、これらの設備との兼ね合いを十分に検討しなければならない。

また組立棟に限ったことではないが、射場の施設には将来の要求の変化に対応する柔軟性が求められる。射場の施設は大規模であり建設費用が莫大なため、新型ロケットの開発に際しても既存施設の流用が検討される。しかし大きさや適する設備がロケットごとに大きく異なるため、広大な敷地を持つ海外の射場では毎回のように新たな射点設備を設置する場合も多い。日本では土地の確保が難しいため、施設の柔軟性がより重要となる。



図4 大型ロケット整備組立棟 (左: 増築前 右: 増築後) (JAXA デジタルアーカイブス)

例えば種子島宇宙センターの大型ロケット発射場ではH-IIAロケットの開発に際して既存の大型ロケット整備組立棟（1991）の前面に増築を行った（図4）。またケネディ宇宙センターのVehicle Assembly Building（1966）はロケット4機分のスペースで同時整備が可能だが、これを6機分に

拡張する増築案が計画されていた。増築はされなかったが、改修を経て現在も使用されている。

特にMロケット組立室はロケット開発において試行錯誤が繰り返された時期の建築であり、柔軟性の要求に対する意識は強かったと推測される。

## 2.3 スペースフレームによるM組立室の対応 —〈事例〉

大空間と柔軟性という要求に対し、USCのM（ミュー）頭胴部組立室（現Mロケット組立室 以下、M組立室と呼ぶ）ではスペースフレーム構造が用いられた。スペースフレームは電話の発明で知られるアレクサンダー・グラハム・ベル（1847-1922）が最初期に実現したとされ、バックミンスター・フラー（1895-1983）やコンラッド・ワックスマン（1901-1980）がその可能性を追求した。日本においてはワックスマンが1955年に来日し共同設計のワークショップ「ワックスマン・ゼミナール」を開催したが、これには池辺・坪井研究室から学生が参加している。

M組立室は1965年に竣工しており、日本のスペースフレーム黎明期の作品の1つと言えるだろう（図5）。四角錐のユニットから成る平板形状のスペースフレームを4本の支柱で支え、外周からカーテンウォールを吊り下げた構造となっている。スペースフレームは少ない材料で大スパンに屋根を掛けられる利点があり、大空間が求められる組立棟との親和性は高い。だが柱の間隔がおよそ19mと、技術的には当時としても難しいものではなく、大空間の実現だけを見るとスペースフレームを採用する必然性は大きくない。実際にHPシェルの屋根を用いた設計案も提示されており、様々な検討がされたことが伺える（図6）。

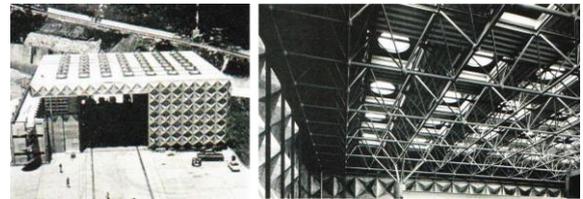


図5 新築時のM組立室 (『建築文化』彰国社, 1966.12, pp.75-76)



図6 M組立室設計案 (左) (『造』きづき書房, 1964.12, p.22)

スペースフレームの採用には将来の拡張性が考慮されたと考えられる。梁間方向と桁行方向が等価である上に基本単位が小さいため、任意の方向に任意の広さだけ増築できるシステムとなっている。また支柱を長いものと交換しカーテンウォールの下部に必要な分だけパネルを追加することで高さ方向への増築も可能である。シェルやドームなどの曲面による大空間ではこうした増築は難しく、拡張性を踏まえた設計となっている<sup>4</sup>。

実際に1982年から1983年に増築が行われ、より大型のロケットに対応した（図2①に増築後の外観を示す）。大空間と柔軟性を兼ね備えた建築が当時の先端的な構造であったスペースフレームによって実現されたのである。

## 2.4 小結

ロケット発射場を代表する建築である組立棟はロケット開発の進展に対し組み立てプロセスの工夫によって対応してきた。またM組立室は大空間と柔軟性という要求に対してスペースフレームを用いることで応えた。

### 3. USCの耐爆施設にみるコンクリートの造形

#### 3.1 耐爆性を要する施設

ロケットはその質量の大部分を燃料が占める危険物であり、万一の事を想定して人命を守る方策を十分に検討しなければならない。特に打ち上げの瞬間においてはロケットの爆発や墜落などの可能性がある。危険が及び得る範囲を定め、可能な限り人員を退避させることが望ましいが、その範囲内に留まる必要のある人員についてはシェルターを配置し保護することとなる。耐爆性を得るには建屋を強固にする方法と地下あるいは半地下とする方法があり、必要な耐爆性の度合いに応じて設計がされる。

##### ・長坪保安退避室・川原瀬退避室 —〈事例〉

USCには近隣住民用の退避室が設けられ、打ち上げ時に用いられた(図 2⑨⑩)。長坪保安退避室は施工に吹付けコンクリートを、川原瀬(こらぜ)退避室はプレキャストコンクリートを用いている。いずれも僻地にあり敷地の余裕もあまりないことから施工性を考慮したものであろう。宇野(1994)が指摘しているように USCの施設群の設計は多くの技術開発と共に行われており<sup>5</sup>、当時の先駆的な技術の実験という意味合いもあつたと考えられる。

##### ・能代ロケット実験場 第1計測室 —〈事例〉

射場には燃焼試験(ロケットエンジンを固定し、実際に燃焼させる試験)のための施設が併設されていることが多いが、USCは十分な土地がないため秋田県能代市の能代ロケット実験場(NTC)と連携し燃焼試験を行っている。NTCの第1計測室(図7、設計:池辺陽、1963)は燃焼試験の際に職員が在室するためRC造による耐爆設計となっており、燃焼試験を行うテストスタンドとの間に築かれた砂防堤により隔てられている。2階の窓がテストスタンド側の唯一の開口部となっており、砂防堤の向こうを見通す物見台の役割を果たしている。



図7 第1計測室(撮影:浅川敏)

#### 3.2 池辺陽によるコンクリートの造形

主にRC造を用いた以上の施設群について池辺は「造形的にも他の建築群と明確に分けることを意識したものである。多くの建築群の機能を形態的にも明確に表現することは、この種の建築に必要である」(池辺, 1966, p.64)と述べている<sup>4</sup>。例えばM管制室や長坪保安退避室には耐衝撃性を考慮したシェル構造が組み込まれており、それが造形にそのまま現れている。また第2光学観測室(図2⑰)や海上航空監視所(図2⑱)、第1計測室は打ち上げや実験を監視する施設であることを体現しているように思われる。池辺のご家族であるA氏によると、池辺は日常生活の中から造形のヒントを得ていたという<sup>6</sup>。また特に長坪保安退避室の造形は遊具として子供に親しまれ、シェルターの重苦しいイメージを払拭することを狙っていた。池辺は地域住民のことを非常に大切に考えており、射場の設置が決まり激動のただ中であつた内之浦の住民に受け入れられる施設であることを切に目指していたという<sup>7</sup>。

これらの造形に関して肝付町元職員のB氏は幼少期に、形から連想される名前をそれぞれの建築に付け親しんだという。造形の面白さについては地元住民の共有するところだったようで、USCが住民に愛される射場であることが伺える<sup>8</sup>。

#### 3.3 遠距離退避への転換

本章で取り上げた建築は、多くが現在は使用されていない。安全基準の厳格化により打ち上げの際には射点から半径2.1km以内が立入禁止となったため、住民は勿論のこと打ち上げ作業に当たる職員もその範囲外に退避し管制業務を行っている。作業の自動化が進んだことや、多くの打ち上げ経験を経て必ずしも職員が現地におらずとも作業に支障はないということが明確になってきたことで遠距離退避が可能となった。

その結果、これらの施設は使命を終え、既に解体されたものも少なくない。長坪・川原瀬の退避室はJAXAから肝付町へ譲渡されたため維持されているが、その他の施設については今後も解体が続くと見られる。

#### 3.4 小結

打ち上げ時には所定の範囲の立入禁止を基本とし、人員が留まる施設については射点からの距離に応じて耐爆性を持たせる必要がある。USCではこれらのRC造による建築物にはコンクリートの自由な形状を活かしたユニークな造形が施されており、地域住民に愛されていた。現在は多くの役割を終え、解体されつつある。

### 4. 結

現在のところロケットは人類が物質を宇宙空間に送り込む唯一の手段であり、ロケット発射場もそれに不可欠な存在である。USCの建築群はスペースフレームやRCなど多様な技術を駆使して施設の要求に応え、宇宙開発に携わる人々と宇宙とを繋いできた。

増築を経たM組立室は50年以上に渡り現役施設であり続け、人々の記憶を受け継ぎながら活躍している。また独特な造形は地域住民に愛され、住民が「宇宙の町」に誇りを持つことを助けた。住民のことを第一に考える池辺の想いが、内之浦の人々と宇宙を繋いだ。

現在は宇宙開発の機密性が上がり地域住民と宇宙開発の関わりは減ったように思う。また使命を終えて解体される施設があるように、宇宙開発が先の予測し難い先端的な分野であることは変わりがない。今後の宇宙開発において建築がどのように宇宙と人を繋げていくのかが課題となっている。

### 注

<sup>1</sup> 長尾隆治「総説 ロケット発射場の施設、インフラ」『土木技術』71巻2号、2016年2月、pp.8-15。

<sup>2</sup> 難波和彦『戦後モダニズム建築の極北 池辺陽試論』彰国社、1999

<sup>3</sup> 池辺研究室「宇宙科学研究のための建築群」『建築文化』21巻242号、1966年12月、pp.55-88。

<sup>4</sup> 同上。

<sup>5</sup> 宇野求「モダニズム・ジャパン 1950S'→1970S' 18 東京大学鹿児島宇宙空間観測所」『建築文化』49巻576号、1994.10、pp.137-144。

<sup>6</sup> インタビューによる。

<sup>7</sup> 同上。

<sup>8</sup> 同上。

### 主要参考文献

- ・ 宇宙空間観測30年史編集委員会 編『宇宙空間観測30年史』文部省宇宙科学研究所、1987。
- ・ JAXA宇宙科学研究所 編『内之浦宇宙空間観測所の50年』宇宙航空研究開発機構、2012。
- ・ 「スペースセンター 東京大学鹿児島宇宙空間観測所」『造』1964年12月、pp.19-34。
- ・ 「東大・能代ロケット実験場」『造』1965.9、pp.15-22。
- ・ 池辺陽『デザインの鍵』丸善、1979。
- ・ SD編集部 編『建築のハイテック・スタイル』鹿島出版会、1987。