

# 歴史からみた NASA及び日本の宇宙開発機関の技術文化

1. 概要紹介
2. マーシャル宇宙飛行センター
3. 有人宇宙船センター
4. ジェット推進研究所
5. ゴダード宇宙飛行センター
6. ISAS
7. NASDA
8. おわりに

2008年1月10日

日本学術振興会  
特別研究員  
佐藤 靖

# 1. 概要紹介

## ■ 宇宙開発史という分野

— 米国では歴史研究の一分野を形成

- 技術史 — プロジェクト史、センター史
- 政治史 — 国際政治、国内政治
- 文化論 — メディア、世論
- 組織論 — マネジメント、組織文化、事故の社会学的分析

— 日本では歴史研究者による歴史記述は僅少

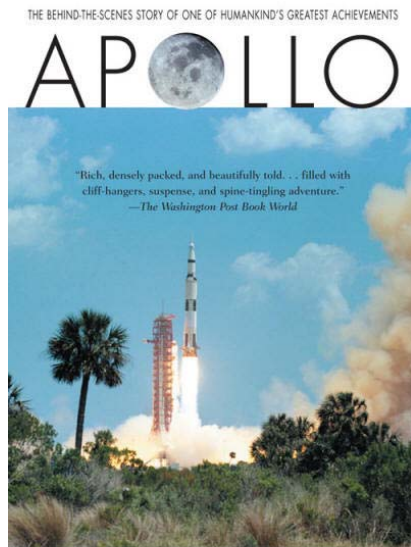
## ■ 研究内容と方針

- NASAの組織と技術の成立期の技術文化
- 日本の宇宙開発機関との比較

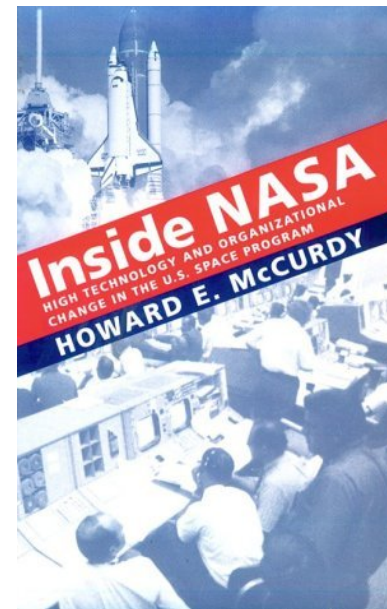
## 初期の宇宙開発略年表

- 1957年10月4日 ソ連、スプートニク1号打上げ成功
- 1958年1月31日 米陸軍、エクスプローラー1号打上げ成功
- 1958年10月1日 NASA設立
- 1961年4月12日 ソ連、ガガーリンが有人宇宙飛行を達成
- 1961年5月5日 米国、シェパードが有人宇宙飛行を達成
- 1961年5月25日 ケネディ大統領、アポロ計画を発表
- 1967年1月27日 アポロ宇宙船、地上点検中に火災事故
- 1968年12月24日 アポロ8号、有人月軌道周回を達成
- 1969年7月20日 アポロ11号、有人月面着陸を達成

## 研究のきっかけとなった二冊



Charles Murray and  
Catherine Bly Cox,  
*Apollo: The Race to the  
Moon* (New York: Simon  
and Schuster, 1989)



Howard E. McCurdy,  
*Inside NASA*  
(Baltimore: Johns  
Hopkins University  
Press, 1993)

# 1. 概要紹介

## ■ 『NASAを築いた人と技術』 目次

- 序章 未踏技術への陣容
- 第1章 フォン・ブラウンのチーム  
----(マーシャル宇宙飛行センター)----
- 第2章 アポロ宇宙船開発  
----(有人宇宙船センター)----
- 第3章 大学人の誇りと試練  
----(ジェット推進研究所)----
- 第4章 科学者たちの選択  
----(ゴダード宇宙飛行センター)----
- 第5章 人間志向の技術文化  
----(日本の宇宙開発機関)----
- 終章 システム工学の意味

# 1960年代のNASA主要センター



# 1. 概要紹介

- NASA各センターは、それぞれの組織母体の伝統に根ざした技術文化をもっていたが、それは得てして
  - 経験的判断や人的裁量に頼りがちで、
  - 指揮命令系統が弱く、
  - 全般的に客観性や厳密さに欠けるものだった
- しかしNASAは、世論と議会の監視のもと、予算やスケジュールの制約を受けつつ技術開発を国家プロジェクトとして進めていく必要があった
- そこでNASA本部は、各センターの技術プロセスに対する管理を強化するため、形式化・規格化された技術手法の導入を推進
  - そうした手法の中核には、システム工学があった

# 1. 概要紹介

## ■ システム工学とは

- ー 巨大技術システム(例 : ICBM)開発の統合業務
  - 一義的な定義は困難

## その具体的な業務は

- システムの各構成要素の開発業務を監督するとともに、それら構成要素が互いにうまくかみ合うよう調整
  - 各構成要素について、仕様およびインターフェースを定義
  - それらパラメータを管理し、トレードオフによりシステム全体の最適化を図る
- コスト・スケジュール面の制約を勘案しつつ、計画全体の整合性の維持を図る



# 1. 概要紹介

- システム工学の特徴
  - 技術システムを記号と数式に還元＋文書化
  - 作業単位の明確化・体系化
  - 形式化、規格化、合理化、最適化
  - 人的要因をできるだけ排除 → 脱人格化
- NASA本部はシステム工学を推進
- しかし、ローカルな技術文化を培っていた各センターにおいては反発がみられた
- システム工学の技術文化と、各センター独自の技術文化とのせめぎあいの中から、NASAの技術基盤が形成されていった

## 2. マーシャル宇宙飛行センター

### ■ マーシャル宇宙飛行センター

- 1960年代は専らロケット開発を担当
- アポロ計画においては、巨大なサターン型ロケット(サターンV型は全長110m)を開発
- 全体で7500人(1965年)
- 予算17億ドル(1965年)

### ■ マーシャルの技術コミュニティ

- 著名なロケット技術者ヴェルナー・フォン・ブラウンをリーダーとする100名強のドイツ出身の技術者が中核
- 30年来の協働を通じて、オールラウンドな技術能力を蓄積し、団結力のあるチームを形成

## フォン・ブラウンと側近たち



## 2. マーシャル宇宙飛行センター

- 言葉では表現しきれない技術判断やハードウェア志向の実践的経験を重視
- 信頼感と相互理解に基づく有機的な協力関係と有機的な技術システム統合の方式

良いチームはみな・・・冷静な科学的言語では評価が難しい一定の性格をもっている。良いチームには帰属の意識、誇り、そして集団で物事を成し遂げる気持ちがある。自ら進んで取り組むという要素がそこにある。・・・良いチームは木や花のようにゆっくりと有機的に育つのでなければならない。

— Wernher von Braun, “Teamwork: Key to Success in Guided Missiles,” *Missiles and Rockets* 1 (October 1956), pp. 40-41.

## 2. マーシャル宇宙飛行センター

### ■ NASA本部からの外注化推進の圧力

- 「今後、自前での実機のハードウェア製作は非常の場合を除いて望ましくない」

— Letter from Don R. Ostrander to Wernher von Braun, 10 June 1960.

- マーシャルは外注化を進めたものの、契約メーカーと一体となって開発を進め、全体論的な技術開発スタイルを維持

### ■ NASA本部からのシステム工学導入の圧力

- 強い抵抗
- センター内の一部組織にNASA本部対応を任せることによって、センターの大部分の組織は独自の技術開発スタイルを維持

### 3. 有人宇宙船センター

- 航空諮問委員会 (NACA) 出身の技術者らが中核となったコミュニティ
  - 明確な責任分担や組織図上の固定された関係ではなく、インフォーマルな人的ネットワークによるセンター運営
  - 民主的・相互的な報奨構造

誰かが何か良い業績を挙げたときには、組織の中の優秀な人は皆その人と仕事をしたがったし、その人のチームでその人のアイデアについて研究したかった。「クリームが上に昇る」ということであり、それがこの組織の仕組みで、皆それを理解していた。

— Transcript of an interview with Guy Thibodaux by Robbie E. Davis-Floyd and Kenneth J. Cox, Sep. 9-10, 1996, p. 21.

### 3. 有人宇宙船センター

#### ■ ジョセフ・シェイ

- アポロ宇宙船計画室長(1963-67)

- システム技術者の典型

- 高い技術能力、自己依存的

「皆が中途半端な理解ですませてしまう  
ことが多いのにいつも驚いてしまう」

— Joseph F. Shea, “The Apollo  
Program,” July 1966.

- 週間報告で自ら全てをコントロール

- トップダウン的

「私は変更委員会を民主的プロセスで運営したことは一度もな  
かった」

— Transcript of an interview with Joseph F. Shea  
by Ivan D. Ertel, Jan. 12, 1972



### 3. 有人宇宙船センター

- NACA出身の技術者らの考え方 ~ ジョージ・ロウの言葉より
  - 技術的問題に臨む際、システム分析より人的解決を志向
    - ・ 「私はシステムを信じていない。私は仕事をする能力があり意欲をもつ人たちを信じている。」
    - ・ 「私は、システム工学やコンピュータや文書の[ようなもので運営される]組織において究極的に最善の判断とされるようなものを選択する必要は必ずしもないと考える。人間とわたりあうときには通用しないからだ。」
    - 宇宙船開発において、その運用者を中心に据えて考える
      - ・ 「最善の技術的判断、最善の分析的判断は最善の全体的判断でないこともある。」
      - ・ 「ユーザーがいるときには、ユーザーの言うことに耳を貸して、ユーザーが決定事項を受け入れて理解していることを確認しなければならない。」



## 4. ジェット推進研究所

### ■ ジェット推進研究所(JPL)

- もともとは陸軍向けのミサイル開発の研究所
- 1960年代は無人月惑星探査機の開発を担当
- レンジャー計画
- マリナー計画
- サーヴェイヤー計画

### ■ 組織の特徴

- 組織上はカリフォルニア工科大学の一部だが、同大学とNASAとの間の契約に基づいてNASAの宇宙計画を実施
- カリフォルニア工科大学の出身者が主なポジションに
- エリート学術機関らしい技術文化

## 4. ジェット推進研究所

- コミュニティの価値観が技術スタイルに反映していた
- 研究開発を進めるうえで個人の裁量を尊重
  - デザイン・レビューの不徹底(他者の仕事への干渉を回避)
  - 所内での統一的な技術基準の欠落
  - ハードウェア試験でのコンポーネントの性能評価重視
- ありきたりの仕事を軽視する姿勢 ~ 信頼性の軽視
  - 設計の際の冗長性(redundancy)の欠如
  - ハードウェア試験の不徹底
  - 低品質の部品の使用
  - 故障報告システムの欠如

## 4. ジェット推進研究所

- NASA本部としては、JPLの学術主義的で規律に欠けた文化は許容できなかった
  - NASA本部は、JPLをより秩序ある、規律と斉一性をそなえた組織へと改革しようとした
- 1960年代前半、JPLの改革が進行
  - デザイン・レビューの実施、故障報告システムの運用、試験計画と品質管理の強化
  - 所内の技術基準の設定、プロジェクト・マネージャーの権限強化、リダンダンシーの追加
- 改革は妥協の産物となったが、JPLのその後の成功に貢献

## 4. ジェット推進研究所

### ■ JPLのその後

- 1970年代にはViking計画やVoyager計画を成功させ、深宇宙探査で大きな成果
- 1970年代後半になって、JPLは防衛システムの開発に乗り出す
  - NASA予算の削減のあおりを最小限に食い止める
  - 平和利用技術と軍事技術が一体となった技術開発
- 1990年代、「Faster, Better, Cheaper」アプローチに乗ってMars Pathfinder計画やCassini計画を実施

(参考文献) Peter J. Westwick, *Into the Black: JPL and the American Space Program, 1976-2004* (New Haven: Yale University Press, 2006)

## 5. ゴダード宇宙飛行センター

- ゴダード宇宙飛行センター
  - 科学衛星、通信衛星、放送衛星、打上げロケット、観測ロケットなどの開発・運用を担当
- ゴダード宇宙飛行センターの組織の特徴
  - センター発足時の人材は海軍研究所 (Naval Research Laboratory, NRL) より供給
  - NASAの「科学センター」としての「集団的人格」
    - 技術は科学研究の用に資するべきものであるという基本的な考え方を共有
    - 安定的・継続的に科学上の成果がもたらされている限り、一定の割合で技術的失敗が起きることは許容

## 5. ゴダード宇宙飛行センター

- 「展望台級衛星」をめぐるNASA本部との考え方の相違
  - 1960年代前半、NASA本部は小型で簡便な「エクスポローラー級衛星」から大型で洗練された「展望台級衛星」への移行を推進
  - 一方、ゴダードの科学者や外部の科学者コミュニティは、規格化された展望台級衛星より、科学ミッションに柔軟に対応できるエクスポローラー級衛星や観測ロケットを志向
    - エクスポローラー級衛星－50～百数十kgの重量
      - 単一ないしは若干数の実験装置の要求に合わせて衛星の電力・温度・通信機能などを調整
    - 展望台級衛星－数百kg～2t程度の重量
      - 規格化されたインターフェースにより多数の実験装置を搭載

## 5. ゴダード宇宙飛行センター

- ゴダードにおける技術者の価値観と科学者の価値観とのせめぎあい
  - 1960年代前半、NASA本部は効率化・規格化・集権化といった技術者の価値観を推進
  - しかし、ゴダードの科学者らは集権的な管理方式に抵抗し、画一的な技術開発方式を受容せず  
また、彼らは自分たちの個人主義的な研究の進め方と相容れない展望台級衛星を敬遠
- 科学と技術の関係についてのJPLとの比較
  - JPL— 技術の高度化そのものを追求する組織文化
  - ゴダード— 技術は科学ミッションを支えることで必要十分

## 6. ISAS

---

- 1955年4月 東京大学生産技術研究所の糸川英夫教授のグループがペンシルロケット発射に成功
- 1964年4月 東京大学航空研究所に糸川らが合流し東京大学宇宙航空研究所が誕生
- 1970年2月 日本初の衛星「おおすみ」打上げに成功
- 1981年4月 文部省宇宙科学研究所が誕生
- 2003年10月 宇宙航空研究開発機構(JAXA)の宇宙科学研究本部となる



## 6. ISAS

- ISASの技術コミュニティ
  - 自律的 – 技術輸入を行わず
  - 教授、大学院生、技官、メーカーの間の調和的協働
  - 大学院生の「徒弟制度」
    - 大学院生側は
      - 専門分野における知識・技能を習得し、
      - 論文を書くための材料を入手
    - ISASは
      - プロジェクト遂行に必要な人員を確保し、
      - 優秀な人材の連続性を維持

## 6. ISAS

---

- 漸進的な技術開発
  - 大小さまざまな改良を絶えず取り入れ性能改善
  - 知識経験の継続的蓄積
- 独自の技術
  - 一貫して固体燃料ロケットを追求
  - 重力ターン方式
- 属人的なシステム統合
  - 幅広い技術分野に通じた糸川(および糸川の後継者)の個人的能力
  - 各分野の教授間の密接な協力

## 6. ISAS

### ■ 柔軟性

- 固定的でない責任分担
- 工学系教授と理学系教授との間の密接で柔軟な協力関係  
→工学と理学の統合

### ■ 信頼性

- 地上試験は限定的
- ISAS関係者とメーカーの技術者との間のインフォーマルな意思疎通  
→ 製造ラインで起きていることについて真に重要な情報が伝達される双方向の意思伝達経路の維持

## 7. NASDA

---

- 1964年7月 科学技術庁に宇宙開発推進本部設置
- 1969年7月 米国との間でロケットと人工衛星に係る技術導入の枠組み確立
- 1969年10月 宇宙開発事業団設立
- 1975年9月 N-I ロケット1号機により人工衛星「きく」の打上げ成功
- 1994年2月 H-II ロケット1号機打上げ成功
- 2003年10月 宇宙航空研究開発機構(JAXA)発足

# 7. NASDA

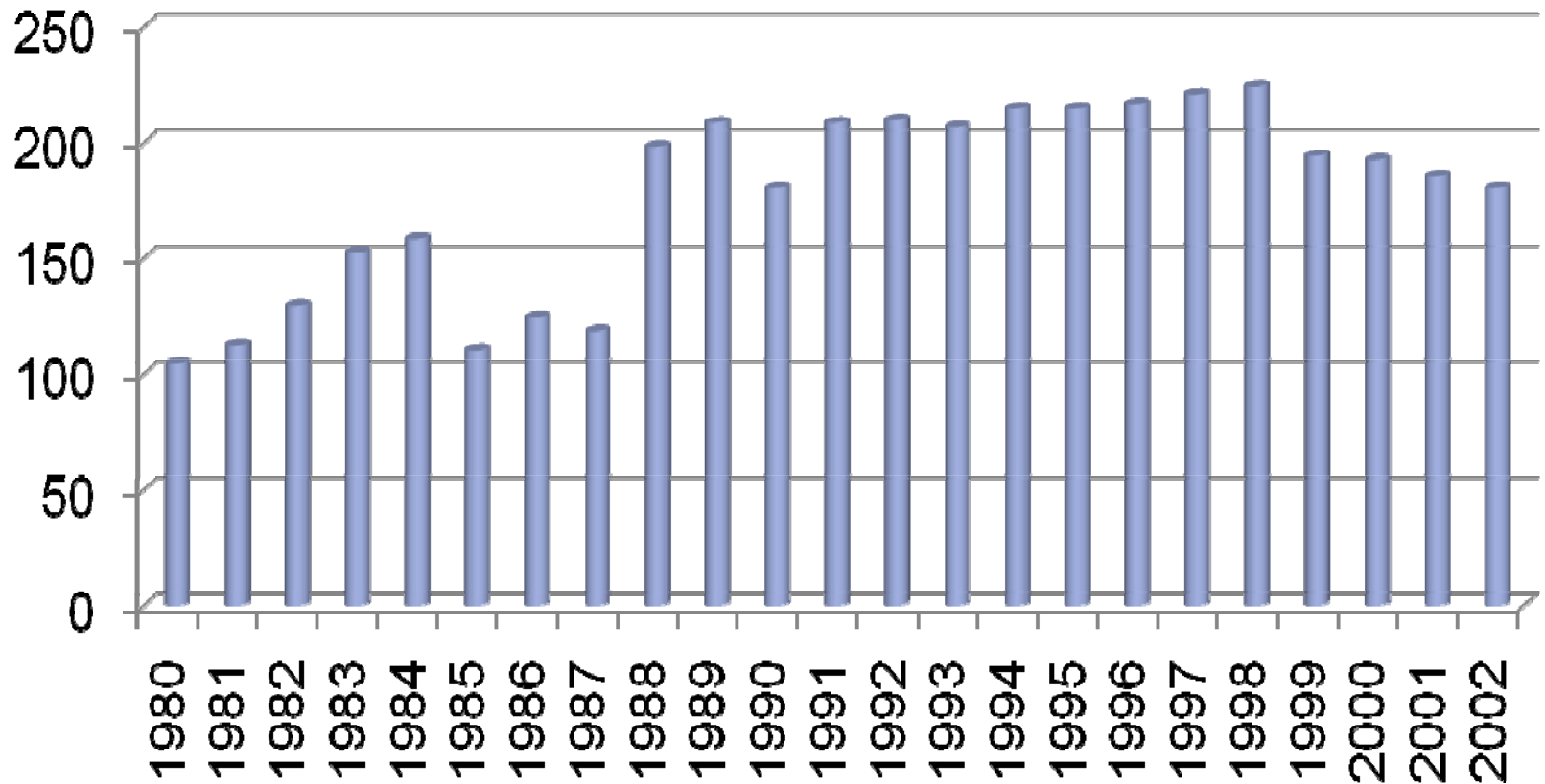
- NASDAの技術スタイル
  - 当初はISASの影響を強く受ける
  - 技術導入を開始してからは早期に人工衛星と液体ロケットに関する技術能力を構築
  - システム工学を「金科玉条」として吸収
    - 各メーカー等から集まった技術者の共通言語としても機能
    - しかし実際にはシステム工学の受容に関してNASDA内部にも温度差
    - システム工学の実践にあたっては多くの場面で簡素化・簡略化

## 8. おわりに

- M-3SIIロケットによる成果—独自の成功モデルを確立
  - 1985年～1995年までの10年間に科学衛星8機を打上げ
- 大型化・複雑化への路線選択— M-V計画の決定
  - しかし予算は減少、計画延期・失敗
    - ほぼ毎年1機衛星打上げのペースが維持困難に
  - ただし、大型ロケットならではの成果も
- 2003年JAXAへの統合 → M-Vロケットの廃止
  - H-IIAロケットを用いた科学ミッション
  - M-Vの後継ロケットは小型化
  - 国際協力の強化
- システム工学的手法の導入

# ISASの予算の推移

## 予算額(億円)



## 8. おわりに

- ISASは1980年代に既存の成功モデルを放棄し、大型化・複雑化への路線を選択  
→ 現在に至る
- NASAとの比較で考えると—  
これは、従来ゴダードの領域だけをカバーしていたのがJPLの領域もカバーするようになったことを意味している  
一方で、予算は縮小  
→ 深宇宙探査機と地球周回衛星の開発分担を再考する必要？(NASAでは、技術文化の異なるセンターがそれぞれを担当)
- 工学と理学とが一体となった体制の再考も不可避か？