

アポロ宇宙船月着陸50周年

- アポロ11号は1969年7月16日に打上げられ、史上初めて人類を月に着陸させることに成功した事は記憶に新しい。
- しかしその後アポロ13号は1970年4月11日打上げられましたが地球より32万kmの地点でアポロ13号の機械船の酸素タンクが爆発、アポロ13号は生還の可能性がほとんどない絶望的状況であった。
- その絶対絶命の危機をNASAは見事切り抜けました。
- その時のNASAの対応を「NASAの危機管理」として紹介します。

* 2019年7月 *

S40年機械工学科卒 小嶋一郎

NASAの危機管理

- ・NASA危機管理の基本
- ・アポロ13号の危機管理
- ・NASA危機管理の日本版はやぶさ
(はやぶさの事例、NASAの評価)
- ・はやぶさの教訓

IHIOB

小嶋 一郎

(2013年1月)

注：NASAの危機管理方式は宇宙開発分野のみならず他の業界にも役立つと考えます。これは2013年1月作成したのですが、今年のアポロ宇宙船月着陸50周年に当たり再度紹介します。

NASAの危機管理

プレゼンテーションの構成(目次)

1. NASAの危機管理
2. NASAの危機管理の基本
3. アポロ13号の危機管理
4. NASA危機管理の事例
5. NASA危機管理の日本版
はやぶさの事例
6. はやぶさ帰還に対するNASAの評価

NASAの危機管理

- 危機管理(Crisis Management)は、企業経営や事業活動、企業イメージに、重大な損失をもたらす、もしくは社会一般に重大な影響を及ぼすと予想される事態を「危機」と考え、万一危機が発生した場合に損失を極小化する活動を指しています。
- 本日は**宇宙開発に限定して、アメリカNASA(米航空宇宙局)はアポロ13号の事故をどのような危機管理で乗切ったか**の例で述べさせていただきます。
- 日本の宇宙航空研究機構(JAXA)もNASAに学び、独自の危機管理を実施しています。
はやぶさの成功も結果的にはNASAの危機管理を学んでいました。
- この中から宇宙開発以外の分野で参考になる教訓を得る事が出来ればと考えます。

NASAの危機管理

- ・NASAは、アポロ13号やスペースシャトルの爆発事故に代表されるいくつかの事故を経験し、その教訓に基づいて危機管理手法を確立しています。
- ・一両日で確立されたものでなく、数々の苦難の過程を経て確立しました。決して希望を捨てない、絶対に諦めない様に訓練されています。打つ手が全部尽きるまで挑み続ける行動です。
- ・地位や職制にとらわれず人材を投入する事で想像的解決策を見出し、不可能を可能にする様に決められています。

・NASAの危機管理の基本

- What if games (もし、こうなったらどうする) です。
- トラブルは起きることを前提に不断のシミュレーションを行う必要性を指摘しています。
- その背後にある考えは「人間は間違いを犯す (To err is human)」という性悪説の考え方です。

NASAの危機管理の基本

決して希望を捨てない、絶対に諦めない様に訓練され、打つ手が全部尽きるまで挑み続ける事を主眼としています。

1. **事実は現場に聞け**
2. **事実の把握**
3. **情報の一元化**
4. **情報の公開**
5. **問題想定(事故)の事前シミュレーション**
6. **リーダーの素質と責任**

アポロ13号の危機管理

1.アポロ13号絶体絶命の危機

- 1970年4月11日13時13分打上げられました。
- 地球より32万kmの地点、アポロ13号機械船の酸素タンクが爆発
3人の宇宙飛行士は酸素と電力不足に直面しました。
- アポロ13号は生還の可能性がほとんどない絶望的状况であった。
- その中で乗組員と地上管制官、技術者達は最後まで諦めず、わずかな可能性を切り開くことに全力を注ぎ成功しました。
- 月面着陸は断念し、乗組員は一時的に着陸船に避難し、月を周回する方法を選択して地球に無事帰還しました。

事故から3日と15時間でアポロ13号は南太平洋サモア諸島近くに着水しました。

- この時のニクソン大統領の言葉：

アポロ13号は宇宙探査のリスクをまざまざと見せつけた。ここで私は宣言する、“これは成功を収めたミッションであると！！”

アポロ13号の危機管理

地球にどのような方法で帰還したか

機械船は破損している、司令船には司令船独自のバッテリー^{注1}と酸素が搭載されているが、それらは大気圏再突入の際に必要なもので、帰還途中には使用することはできない。そのため、彼らは月着陸船を救命ボートに見立て乗り移り、電力を限界まで抑え、飲料水の摂取を極力控えることによって無事地球に生還した。

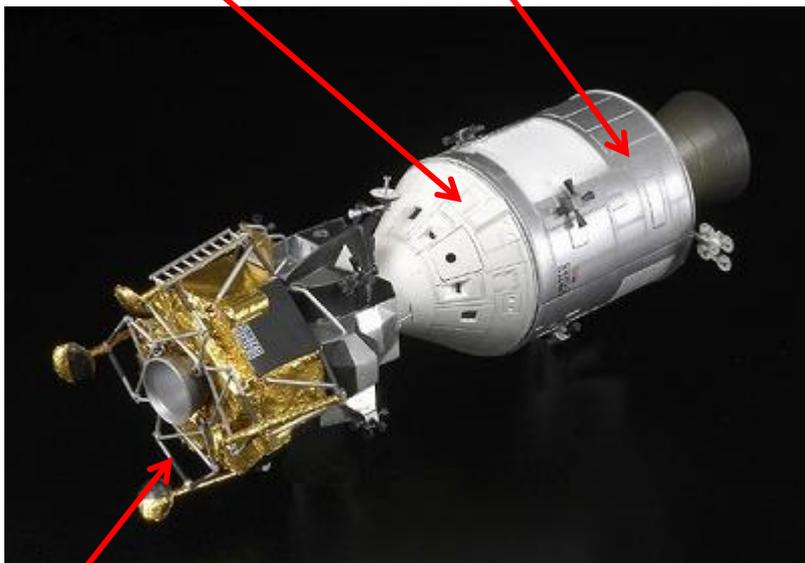
^{注1}約10時間分しか準備されていません。

アポロ宇宙船概要

アポロ司令 (CM)、機械船 (CSM)

司令船

機械船



月着陸船 (LM)

*写真は組み立て、塗装した状態です

全高:36.2 ft、11.03 m、直径:12.8 ft、3.9 m
重量

司令船:12,807 lb、5,809 kg、

機械船:54,064 lb、24,523 kg、

計:66,871 lb、30,332 kg

ロケットエンジン

CM RCS (N₂O₄/UDMH)

x 12:92 lbf ea、409 N、

SM RCS (N₂O₄/UDMH)

x 16:100 lbf ea、445 N、

機械船推進系 (N₂O₄/Aerozine 50)

x 1:20,500 lbf ea、91.2 kN

性能

航続時間:14 days、200 orbits、

遠地点:240,000 miles、386,242 km、

近地点:100 miles、160 km、

ΔV :9,200 ft/s、2,804 m/s

概要

地球・月軌道の周回

乗員:3名; 船長(CDR)、

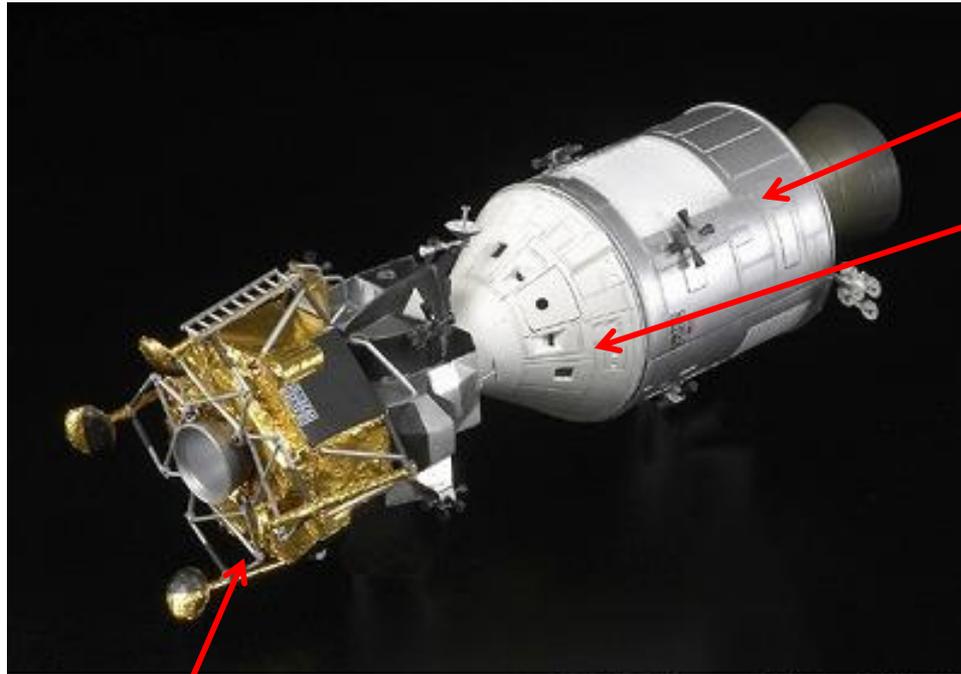
司令船(CM)パイロット、

月着陸船(LM)パイロット

機械船 (Service Module) の破壊した 第二酸素タンク



アポロ宇宙船危機脱出



*写真は組み立て、塗装した状態です

機械船

司令船

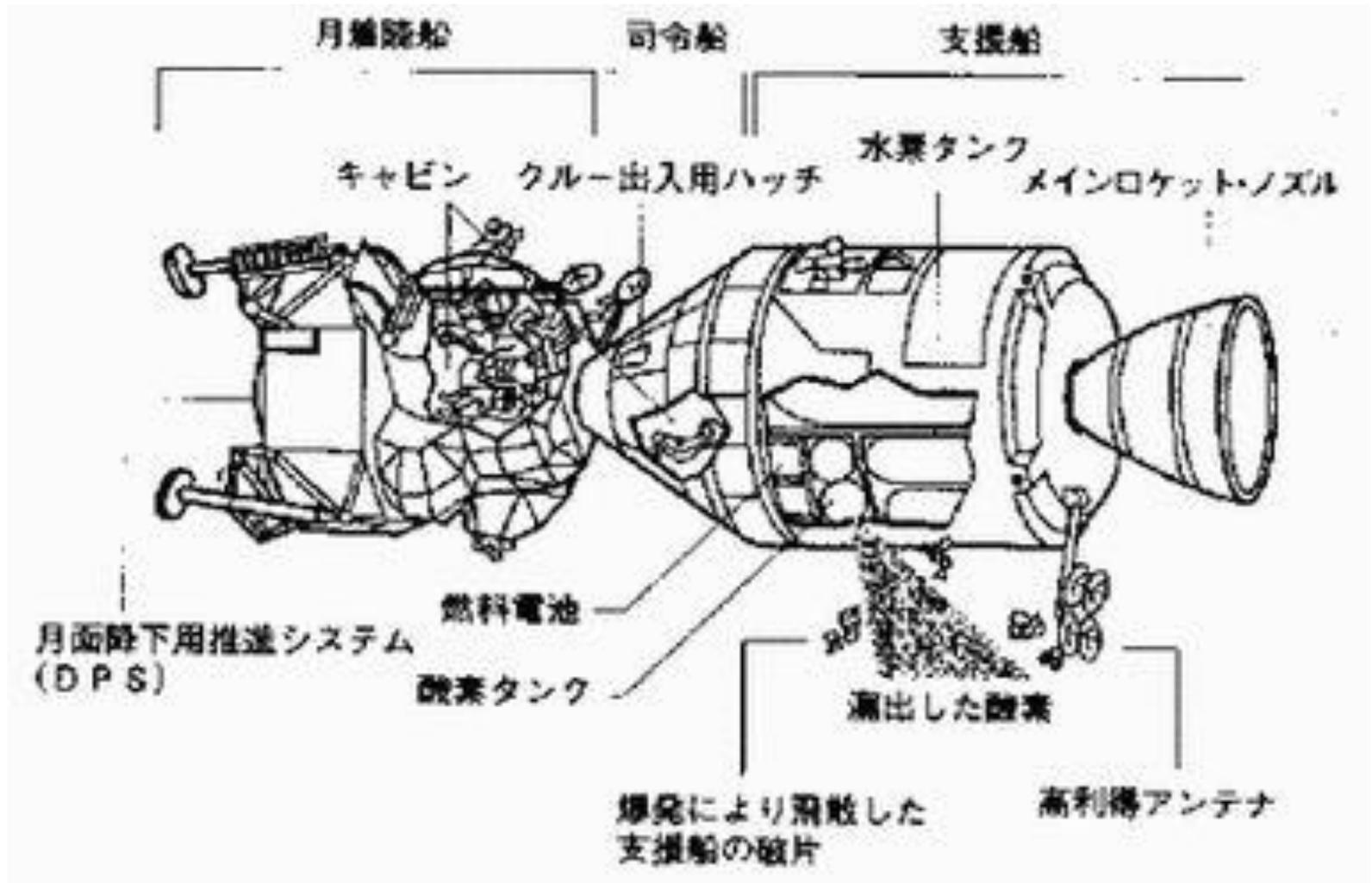
司令船(CM:Command Module)

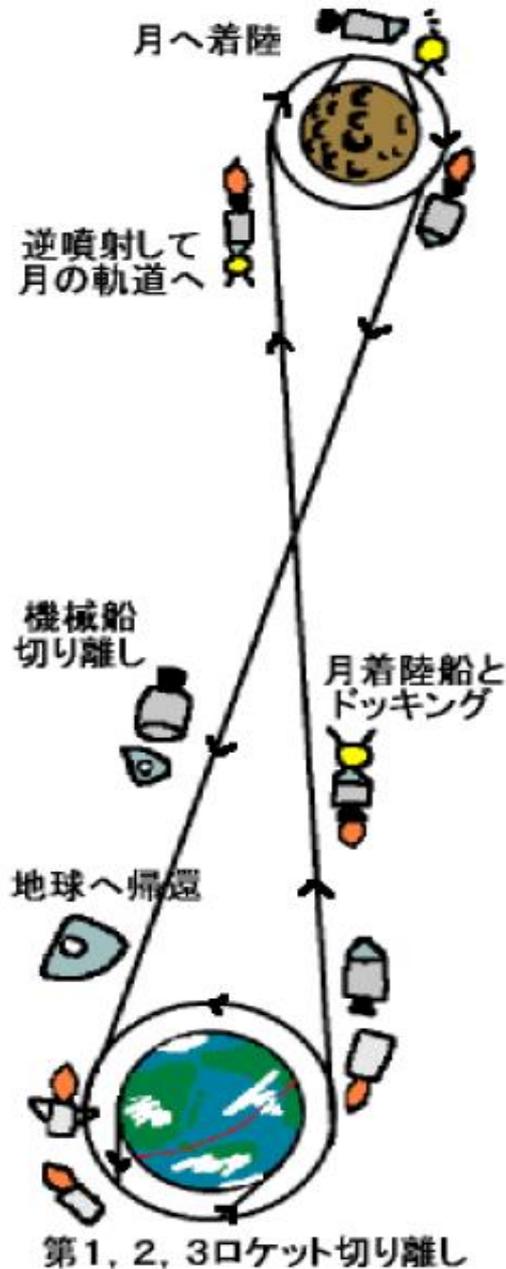
- ・外壁とそのなかの居住区画の二重構造。
- ・3人の宇宙飛行士はここに乗り込み2週間の月旅行に旅立ちます。
- ・外壁のヒートシールドで太陽の熱と大気圏突入時の熱から船内を守る。
- ・外壁と居住区の間には、一部繊維質の断熱材が詰められている。
- ・機体はアルミ箔に包まれたように輝いている。

月着陸船(LM)での危機脱出

宇宙空間だけを飛行する月着陸専用のものであったが、**13号の危機では地球への帰還用に使用された**。2人の飛行士を445時間生存させるよう設計されていたが、あらゆる部分を切り詰めて使用した結果、3人の飛行士を90時間生存させることに成功した。

アポロ月着陸船構造





左図はアポロ宇宙船の通常の飛行ルート

- ・しかし13号は機械船が破損したため
月着陸船と司令船を使ったイレギュラーな方法
で地球に帰還した。
- ・想定外の奇跡的帰還方法であった。
- ・ここには地上管制室と乗組員との連携で危機を切抜けた。
- ・NASAの危機管理が立派に働いた例である。

無事帰還した司令船



無事に帰還したアポロ13号の宇宙飛行士たち。先頭はジム・ラベル船長。



打上ロケットサターンV概要



製造

ボーイング（第一段：S-IC）、
ノース・アメリカン（第二段：S-II）、
ダグラス（第三段：S-IVB）

- ・ 全高110.6m、直径10.1m、重量3,038,500kg
- ・ 搭載能力 低軌道118,000kg、
月軌道 47,000kg
- ・ 第一段 (S-IC) エンジンF-1：5基、
推力3,465トン (34.02MN)、
燃焼時間150秒、燃料 / 酸化剤ケロシン / 液体酸素
- ・ 第二段 (S-II) エンジンJ-2：5基、
推力453トン (5MN)、
燃焼時間360秒、燃料 / 酸化剤液体水素 / 液体酸素
- ・ 第三段 (S-IVB) エンジンJ-2：1基、
推力102トン (1MN)、
燃焼時間1回目：165秒、2回目：335秒、
燃料 / 酸化剤液体水素 / 液体酸素

アポロ13号時の体制

1. アポロ13号乗組員

船長: ジムラベル

月着陸船操縦士: フレッドヘイズ

司令船操縦士: ジャックスワーガード

2. 管制塔

フライトディレクター

ジーン・クランツ (Gene Kranz): 白班 : **事故時の責任者**

ミルト・ウィンドラー (Milt Windler): 茶班

グリン・ルーネイ (Glynn Lunney): 黒班

ゲリー・グリフィン (Gerry Griffin): 金班

3. NASA長官

トーマス・ペイン

NASA危機管理の事例

もっとも成功した失敗 アポロ13号の危機管理

- アポロ13号は生還の可能性がほとんどない絶望的状况であった。
- 乗組員と地上管制官、技術者達は最後まで諦めず、わずかな可能性を切り開いて成功に導いた。
- NASA長官トーマス・ペインは“君達に任せたしっかりやってくれ、私に何か出来る事があれば言ってくれ”の言葉のみ、余計な事を言わない。お互いの信頼感が力となった例です。
- 前向きな態度があれば、可能性が開ける事がある。すぐ諦める事よりはずっと良い事で、どんな危機的状况でも不屈の闘志が必要であると言う事です。
- 現場に権限を与え、迅速で的確な決断をする組織作り、不可能を可能にするために結集される知恵、そして危機に会っても冷静さを保ち、想定外の状况に立ち向う勇気が危機脱出の精神です。
- 危機管理の基本は、情報の一元化、情報の共有と責任の明確化、情報の公開で危機を乗切る事です。

NASA危機管理の事例

危機の状態

- ・ 2時間後に酸素は無くなり司令船は真っ暗になる危機であった。
- ・ この事故後どう対処するかの決断に迫られていた。
- ・ 電力が無くなる前に1分1秒でも早く地球に帰還する必要があった。

帰還方法(決断)

- ・ 方法1:反転して地球に戻るケース(一番早い)
→これに反対したのは航空力学担当官ジュリー・ブスチック氏であった。メインエンジンは一緒に無くなっているかもしれない、燃料漏れを起こしているかもしれないという理由であった(不確実な情報は採用しない)。
- ・ 方法2:このまま月に向かい月の引力を利用して最小限のエネルギーで地球に戻る、**この場合は地球まで4日かかる。電力が持つかが問題であった。**

ミッションコントロールの危機管理の基本は、

第1に問題が発生した時は考える時間を稼げるような方向を選ぶ事である。

第2にもし状況が悪くなっても出来るだけ選択肢が残る方法を選ぶ事である。

NASA危機管理の事例

リーダーシップ

- ・フライトディレクター ジーン・クラレツさんは専門家の意見から月を廻る方向を選んだ(責任者の判断)。
- ・クラレツさんは帰還計画を立案する役となり、他の4人のフライトディレクターが8時間交代で任務に当たる事となり、グリーン・ラニーさんがクラレツさんの代役となった(役割の明確化)。
- ・電力管理責任者に電気・環境担当官のジョン・アーロンさん(26歳)を指名、即関係者に伝えた(信頼出来ると判断した若手の当用、情報の一元化)。

NASA危機管理の事例

もう一つの危機（月着陸船CO₂除去出来ない）

・CO₂の処理危機

月着陸船のCO₂除去装置は水酸化リチウム
のカートリッジを使っていた。2日間2人分しかなか
った。

規格が異なる司令船のカートリッジを在り合せの
機材を手作りの作業で製作、交換して切り抜けた。

（NASAでは誰でもアイデアがあれば皆聞いてく
れた。問題解決に役立つアイデアであれば組織
のどんな偉い人でも話を聞いてもらえた（信頼感））

NASA危機管理の事例

更なる危機（大気圏進入角度の補正危機）

- 安全に大気圏に入る角度は 7.7° ～ 5.3° の間 **2.4° 以内**である。浅過ぎるで 5.3° 以下だとジャンプする。宇宙船の旅には星を見ての手動運転であったが、チリが多く観察不可のため、地球と太陽を使って、宇宙船の位置を修正する方法をとった。3人は想定外の作業で事態を切抜けた。（電源遮断で飛行データを失ったため手作業でプログラム移す作業を強いられた）。

NASA危機管理の事例

司令船の再起動に成功

- 残された電力で再起動する方法をアーロンさんはシミュレーターで確認した。その結果、バッテリーの電力が足りない事が分かった。必要最小限の電力を3日で見つけ実行した。26歳の若者の手で成功した(権限の委譲)。

奇跡の生還(無事大気圏を抜ける)

- 司令船で地球にもどる帰還途中しばらく電波が途絶え、予定時間になっても応答がなかった。その1分半の緊張感、予定より1分20秒遅れでつながった時の歓声。
- 事故から3日と15時間でアポロ13号は南太平洋サモア諸島近くに着水した。
- NASAの危機管理の成果が実った。

NASA危機管理の日本版

はやぶさの事例

・はやぶさの奇跡的帰還、日本版危機管理の例

1) イトカワ到着後、姿勢制御不可能になり地球との交信不可となった。**はやぶさ行方不明**

→イオンエンジンをスラスラ代わりにする、はやぶさは時間が立てば必ず姿勢が安定し、電力が回復する事を信じ、1ビット信号を打続け、約1ヶ月半2006年1月23日信号キャッチした(決して諦めない不屈の精神)。

2) はやぶさ帰還途中、帰還用イオンエンジンすべて停止帰還手段がなくなった。**帰還不可の状態**

→生きている部品(Bのイオン源とAの中和器)を利用するクロス運転でイオンエンジンとしての機能を生かし危機を切抜けた(専門家集団の知恵の成果)。

NASA危機管理の日本版 はやぶさの事例

1. 情報は現場に聞け、事実の把握

- はやぶさには**自己診断機能**と変更可能な各種制御プログラムを持っていた。地球よりの指令で自身の温度、圧力等の情報を送れる事や、各種制御プログラムは変更可能でいろいろな動作を地球よりの指示で変える事が出来た(事実の把握)。
- はやぶさの管制室には構成機器を自ら設計開発した技術者集団が一堂に介する体制にあった(少数精鋭の体制)。

NASA危機管理の日本版 はやぶさの事例

2. 情報の一元化、共有化

すべての情報は川口プロマネに集約され、その筋のプロであるプロジェクトメンバーが共有した。

3. 情報の公開

すべての情報は的川広報担当に任せられて(役割分担、権限移譲) **失敗も成功**もタイムリーに事実をマスコミに知らせ、**危機を共有**した。

4. 問題のシミュレーション

- ・解決策は手順をシミュレーションして実行に移した(技術計算、手順の作成等)。
- ・打上前に問題点を想定しての解決手順を取得。

NASA危機管理の日本版 はやぶさの事例

6. リーダの素質と責任(川口淳一郎プロマネ)

- ・軌道解析のスペシャリストであり、宇宙開発技術に秀でた人であった。
- ・過去の失敗の経験を生かせる能力の持主であった。
- ・決して諦めない根性、プロジェクトを進める為の精神力、チームワークを維持する根性の持主であった。
- ・NASA等関係筋とのコミュニケーションを採れる能力の持主であった。
- ・プロジェクトメンバーへの気配り、意見を良く聞き、技術集団の心を掴かみ力を一つに結集する能力の持主であった。
- ・優れたアイデアを持つ人の意見を昨採用する能力の持主であった。
- ・メンバーに常に宿題を出してモチベーションを高くした。

プロジェクトリーダーは川口プロマネのような素質を持った人が当たるべき。

はやぶさ帰還に対するNASAの評価

- NASAの「はやぶさ」担当プログラム・エグゼクティブのアンソニー・キャッロは、機体の地球帰還を「信じられないような偉業」と言い、機体はボロボロに壊れながらも、日本のフライト・コントローラーたちが巧みに力を結集して帰還を成功させたと、たたえた。
- NASAのプロジェクト・サイエンティストのドナルド・ヨーマンは、「はやぶさ」の帰還は、単に素晴らしいという段階を超えて、もはや、奇跡の領域に入っていると述べた。
- Anthony Carro, NASA's program executive for Hayabusa, called the return "an incredible feat." Much of the spacecraft was crippled, he said, "but the Japanese flight controllers were ingenious in figuring out ways to combine the powers of what they had, and they brought it back."
- NASA project scientist Donald Yeomans called the return "well beyond remarkable and into the miracle stage."

はやぶさ帰還に対するNASAの評価

そして、記事は、つぎのようにも書いている。

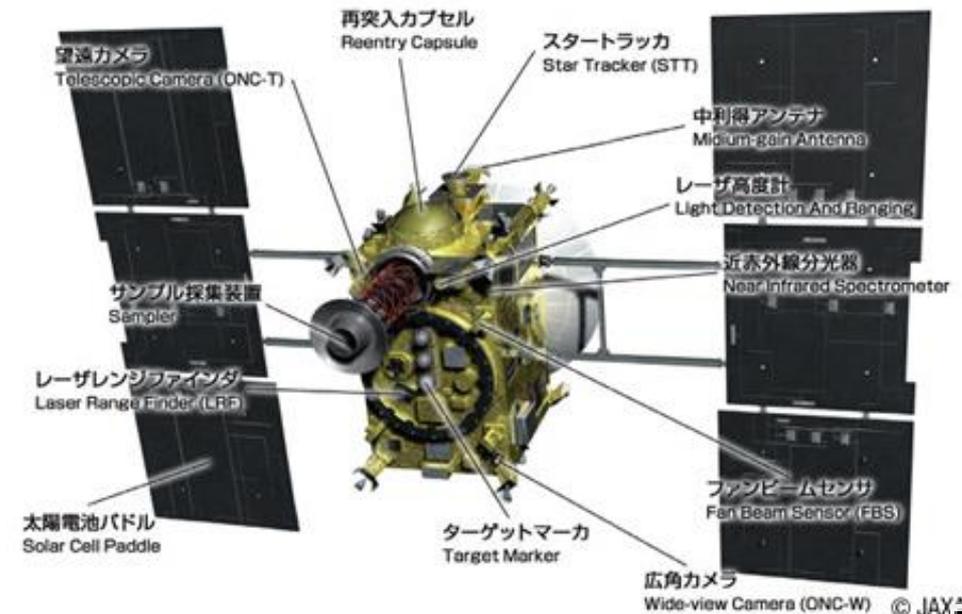
- 日本の宇宙機関は、世界のなかでは最大級の機関にはほど遠く存在感が薄く、そのプログラムも、最も意欲的なところからかけ離れていた。しかし、この「はやぶさ」のミッションは、宇宙開発先進国のなかでも特別な地位を占めるに至った。この「はやぶさ」の偉業は、アポロ13号と、火星探査車「スピリット」、「オポチュニティ」の間くらいにランク付けされるくらいの大偉業である。

はやぶさ帰還に対するNASAの評価

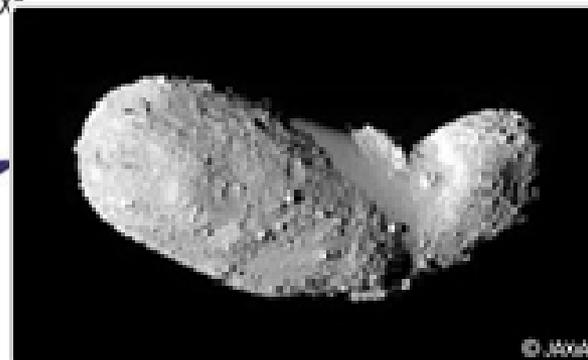
- この「はやぶさ」ほどに日本の宇宙開発計画が世界から注目を集めたことはかつてなかったとしている。
- アポロ13号は、アポロ11号から16号までの月面探査船計画のなかで、ただこの一機だけが相次ぐ機体トラブルにより月に到達できなかったミッションであった。小惑星への到達を果たした「はやぶさ」とは、その点で言うと比較にはならない。しかし、アポロ13号は、酸素タンクが爆発するという絶体絶命の危機を乗り越えて生還を果たし、NASAの危機管理のすばらしさが世界から絶賛された。
- この話は、ロン・ハワード監督、トム・ハンクス主演で映画にもなった。機体がほとんど壊れかけながらも地球帰還を果たした、奇跡にも近いような危機管理の対応能力のすばらしさという点で、アポロ13号と「はやぶさ」は並べられているのである。

はやぶさの教訓

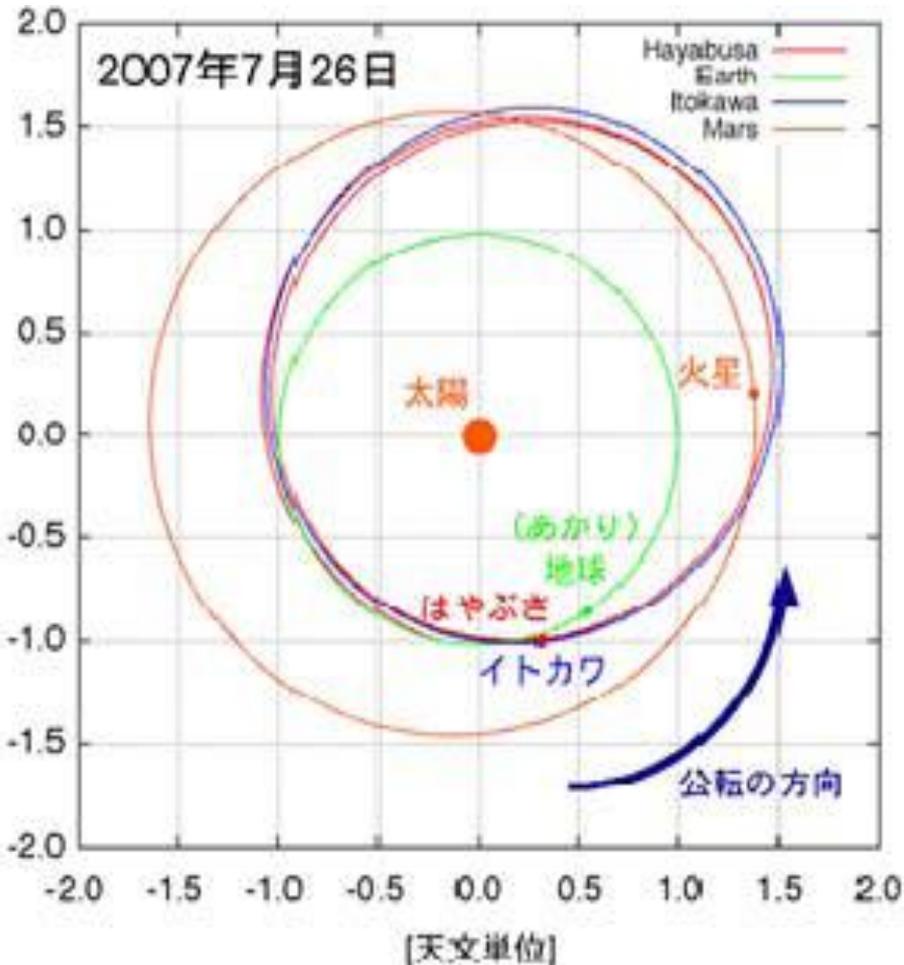
- 「はやぶさ」は、宇宙開発の歴史上において、早くも殿堂入りを果たしたと言っても過言ではないだろう。そして、それは、これからの日本のさらなる宇宙開発計画への強力なコミットメントへの第一歩でなければならないはずである。
- 20世紀は経済力、軍事力に優れている国が世界をリードして来たが、21世紀日本の役割は、日本は技術力がある、技術立国である。それにふさわしい立派な国づくりを進めるべきと考える。
- 「成熟社会に向けて存在感ある日本へ」と飛躍したい。



探査衛星はやぶさ
 1m × 1.6m × 2m、約510kg



イトカワ惑星(ラッコ状)
 体積 0.0184km³、
 重量 3.51 × 10¹⁰kg、
 平均密度 1.9g/cm³
 三軸系 535 × 294 × 209m



地球:

公転周期 365 日(1 年)、
 平均軌道速度 29.78km/s
 自転周期 24 時間 (平均太陽日)、
 体積 $1.083207 \times 10^{12} \text{km}^3$ 、
 質量 $5.9736 \times 10^{24} \text{kg}$ 、平均密度 5.49g/cm^3

イトカワ:

公転周期 1.52 年(地球の1.52 倍)、
 平均軌道速度 25.37km/s
 自転周期 12 時間 (平均太陽日)、
 体積 0.0184km^3 、
 重量 $3.51 \times 10^{10} \text{kg}$ 、平均密度 1.9g/cm^3
 三軸系(ラッコ状) $535 \times 294 \times 209 \text{m}$

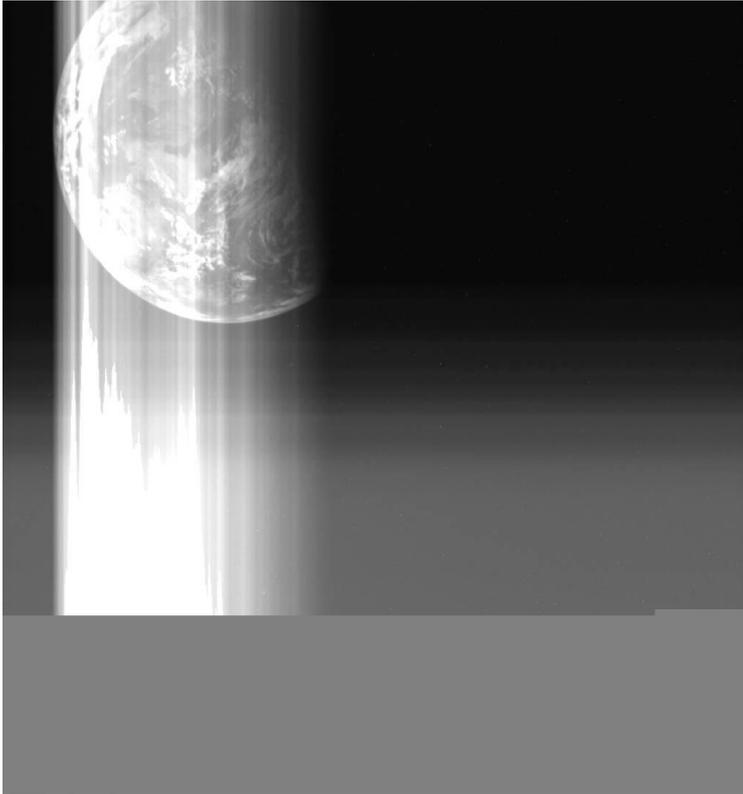
地球とイトカワとの距離 約3 億km

通信時間: 約40 分 (往復)

引力は地球の10 万分の1

イトカワの公転周期は地球と共振関係にあり、1.5 年。つまり、地球が太陽を3 周するあいだにイトカワは2 周する。地球から見ると3 年に一度接近してくることになる。

さよならはやぶさ



写真左：
はやぶさが送って来た最後の地球
(さよならはやぶさご苦労様でした)



写真右：
はやぶさ回収カプセルウーメラ上空(お帰りな
さい)

はやぶさの成果

添付資料2

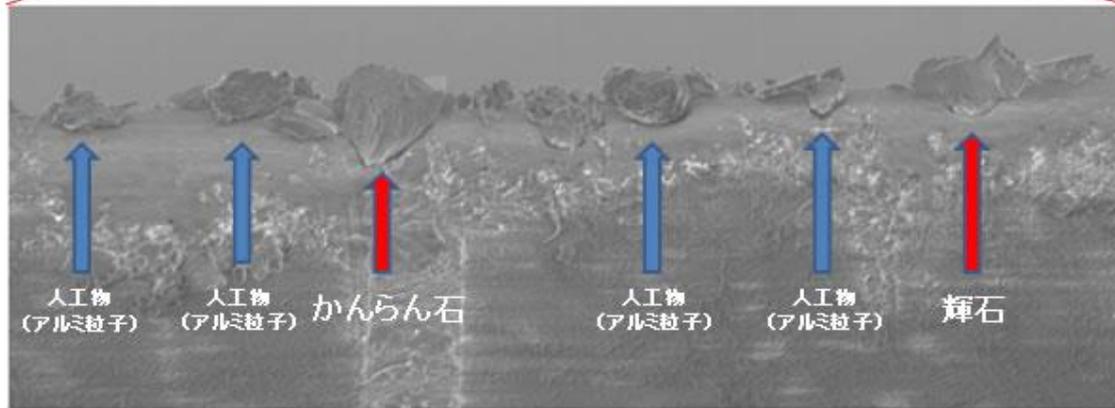
掻き出しヘラの電子顕微鏡写真

1. ヘラ先端部の光学顕微鏡写真

5mm



2. 赤で囲んだ部分の電子顕微鏡での拡大写真



50µm

イトカワの誕生

イトカワは大小の岩石が振動で揺さぶられて出来るラブルパイル天体と判明した。

また、同位体顕微鏡で“²⁶Al”と言う放射性物質の解析の結果からイトカワは46億年前に太陽系が誕生して、

760万年後に形成され、そのままの状態を留めている事が判明した。

- 日本のロケットの歴史を築いたミュー(M)シリーズの最新型「M-V」
- 主要諸元
 - 国際標識番号 2003-019A
 - 打ち上げ日時 2003(平成15)年
5月9日 13:29
 - 打ち上げロケット [M-Vロケット5号機](#)
 - 打ち上げ場所 内之浦宇宙空間
観測所
- はやぶさ諸元
 - 形状 約1m×約1.6m×約2m
太陽電池パドルの端から
端まで約5.7m
 - 質量 510kg(含燃料)

