

野中郁次郎の

成功の本質

ハイ・パフォーマンスを生む
現場を科学する

VOL. 53

はやぶさ

知識社会においては、知識こそが唯一無二の資源である。知識とは個人の主観や信念を出発点とする。その意味で、知識の本質は人にほかならない。本連載は知識創造理論の提唱者、一橋大学の野中郁次郎名誉教授の取材同行・監修のもと、優れた知識創造活動とイノベーションの担い手に着目する。



Ikujiro Nonaka_一橋大学名誉教授。1935年生まれ。早稲田大学政治経済学部卒業。カリフォルニア大学経営大学院でPh.D取得。一橋大学大学院国際企業戦略研究科教授などを経て現職。著書『失敗の本質』（共著）、『知識創造の経営』『知識創造企業』（共著）、『戦略の本質』（共著）、『流れを経営する』（共著）。

Text = 勝見明

ジャーナリスト。1952年生まれ。東京大学教養学部中退。著書『「度胸」の経営』『鈴木敏文の「統計心理学」』『イノベーションの本質』（本連載をまとめた野中教授との共著）、『イノベーションの作法』（同）、『イノベーションの知恵』（同）。

Photo = 勝尾仁（50P）
JAXA提供（49、51～52P）

絶体絶命のピンチを克服！ 世界初の快挙を成しとげた チーム力の秘密を探る

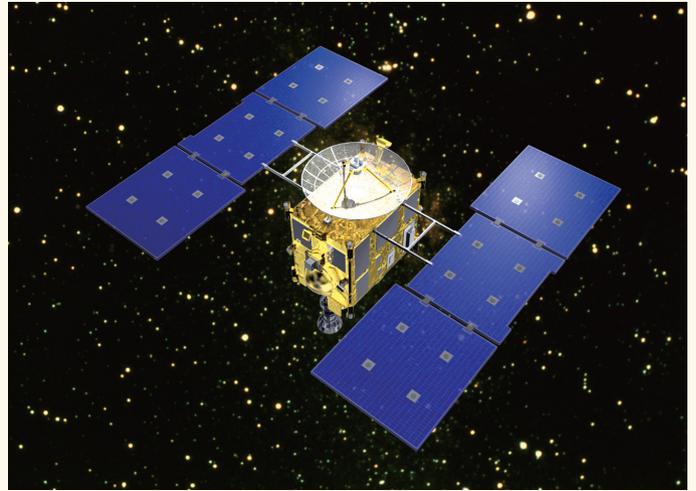
小惑星探査機はやぶさの快挙は閉塞感漂う日本社会に光明をもたらした。3億キロ彼方の小惑星イトカワまで航行し、1秒ほどの着陸と離陸（タッチ&ゴー）の間にサンプルを採取し、地球に帰還する。世界初の試みは「日本だからできた」とプロジェクトマネジャー、通称プロマネを務めた宇宙航空研究開発機構（JAXA）の川口淳一郎教授は言う。「宇宙開発は巨費を投じるため、保守的にならざるをえません。NASAのような大きな機関にとって、はやぶさのようなプロジェクトは怖くてできないでしょう。それほどハイリスク・ハイリターンの計画でした」

リスクの高さはプロジェクトが生まれた経緯が物語る。太陽系初期の状態が残るとされる小惑星から試料を持ち帰る小惑星サンプルリターン構想は1980年代半ばに日本で生まれた。その実現には技術を蓄積する必要がある。川口は1990年代初め、探査機を小惑星に近づけ同じ速度で並んで飛行させる小惑星ランデブー計画の研究をNASAと共同で進めた。

ところが、NASAは比較的低リスクのこの計画を単独で立ち上げてしまい、川口は悔しい思いをした。日本はいかにして世界に貢献するか。後追いではなく、アメリカにできないことをやろう。当時、30代半ばだ



はやぶさのイメージイラスト（右）と実物（上）。本体は約1×1.6×1.1メートルの箱型で、ソーラーパネルを広げると全幅約5.7メートル。重さ500キログラム強。小惑星からの試料採取という動きが、獲物めがけて飛ぶ隼を彷彿させることから命名された。



った川口はNASAとの研究会の席上、思わずこう発言していた。

「日本はイオンエンジンを使って小惑星サンプルリターンをやります」

小惑星までの往復には燃料と酸化剤を燃やす従来の化学エンジンでは不可能で、低燃費のイオンエンジンが必要だった。その開発の状況も正確に知らないまま、NASAのスタッフに宣言したのだ。川口が話す。

「ハッターです。弁慶の勸進帳です。ただ、日本としてオリジナリティを追求しなければいけない。イオンエンジンの開発は未知数でしたが、計画が実現するころには何とかなるのではないかと。明らかに背伸びした計画でしたが、開き直りでした」

実際、計画が1995年に承認されたとき、川口自身、「本当か」と半信半疑だった。実力以上でもオリジナリティを追求し達成する。実際、打ち上げ後は次々とトラブルに襲われたが知恵と工夫で克服していった。それはなぜ可能だったのか。はやぶさ7年間の旅路を振り返ってみたい。

はやぶさは本来、小惑星サンプルリターンの技術を実証するための工

学実験探査機だった。自らに課した以下の5つのミッションは、いずれも世界初の試みだった。

①イオンエンジンによる惑星間航行

推進剤のキセノンを電気分解し、できたプラスイオンを噴き出すのがイオンエンジンだ。推進力は1グラム弱と小さいが燃費がよい。プロジェクトの成否のカギを握った。

②宇宙の彼方での自律誘導航法

地球とイトカワの間の通信は往復40分近くかかり、着陸の際、地球からの指示が間に合わないため、はやぶさが自分で判断して目標に近づき、姿勢を制御して降下、着陸する。

③微小重力下でのサンプル採取

イトカワの重力は微小でドリルなどで掘削できない。そこで探査機に取りつけられたサンプラーホーンという筒状装置の先端が接地すると、なかから弾丸が発射され、表面を砕いて試料を採取する方法がとられた。

④イオンエンジンを使用した地球スイングバイ

地球スイングバイとは、打ち上げ後、太陽の周りを1周して再び地球に接近し、その重力を利用して加速

をつけ、イトカワへ向かう方法だ。精確な軌道調整が求められる。

⑤カプセルによる大気圏再突入

試料採取容器を入れたカプセルを大気圏に再突入させる際の速度はスペースシャトルのそれを上回る。超高熱に耐える技術が必要とされた。

タッチダウン後の上昇中 燃料漏れが発生する

これらのミッションを担い、はやぶさは2003年5月9日に打ち上げられた。1年後、地球スイングバイに成功する。再接近時に許される誤差は位置が1キロ以下、速度は秒速1センチ以下。宇宙空間の細い回廊を通り抜ける至難の技を成しとげた。

打ち上げから2年4カ月後の2005年9月、イトカワ上空20キロの位置に到達して航行を停止。着陸の準備に入った。ところが、10月3日、リアクションホイールという姿勢制御装置が故障する。目標めがけて着陸するはやぶさにとって、姿勢制御装置は生命線の1つだ。航行途中で3基中1基が故障。それは想定済みだったが、2つ目の故障は想定外だった。

「どうして君はこれほどまでに 指令に応じてくれるのか」

探査機には姿勢制御用の小型の化学エンジンが各所についていたが、精度の高い制御は難しかった。が、残る1基のリアクションホイールと化学エンジンを併用するしかない。急遽プログラムを修正し、可能な限り精度を高める工夫が行われた。

11月初めから3度の降下リハーサルの後、11月20日、1回目のタッチダウンに挑むが失敗。はやぶさは30分間、イトカワの表面に横たわっていたことが判明する。降下途中に何らかの障害物を検知し、自分の判断で降下、着地していた。1週間後の11月26日、2回目のトライ。管制室のモニターにサンプラーホーン内の弾丸発射を示す文字が表示され、タッチダウンの成功を示した。ところが、喜びもつかのま、上昇途中で異常が発生する。姿勢制御用の化学エンジンから燃料が漏れ出したのだ。

12月に入り、化学エンジンが機能しないことが判明する。リアクシ

ョンホイール1基では姿勢を保てない。ソーラーパネルもアンテナも方向がずれたまま電力供給が止まり、通信が途絶する事態が予測された。何か打つ手はないか。使えるものは何でも使おう。ここでチーム内で奇策が生まれる。イオンエンジンの推進剤キセノンをそのまま生ガスで噴射し、姿勢制御に使う案だった。もともと往復に必要な量は40キロだったが、打ち上げ直前、川口の判断で66キロまで増量していたことが幸いした。

奇策は功を奏し、姿勢は徐々に安定する。通信機能も回復。着陸時の詳しいデータが判明する。それはサンプル採取用の弾丸が発射されていない事実を伝えた。ただ、タッチダウンの衝撃で表面の砂や粉が舞い上がり、採取された可能性は残された。

その後、事態が急転する。12月8日、化学エンジンの燃料が再漏洩。姿勢制御が不能になり、通信が途絶。はやぶさが行方不明になってしまった。チームは必死に信号を送った。はやぶさのソーラーパネルが太陽方向に向けば、そのときだけ受信機は機能する。ただ、受信可能な周波数も、どのタイミングで受信してくれるかもわからない。それでもあきらめず、あらゆるパターンの指令を来る日も来る日も発信し続けた。

46日目の翌2006年1月23日、奇跡的に通信が復活する。不安定な姿

勢で回転しながらわずかに開く通信の窓、に指令が届いたのだ。行方不明になった惑星探査機が再発見された例はない。川口は、はやぶさに「人知を超えた何か」を感じたという。

イオンエンジン停止 帰還を嫌がったはやぶさ

1年以上かけて準備を整え、はやぶさは翌2007年4月、地球帰還に向け、巡航運転を始めた。イオンエンジンの生ガス噴射を続けると推進剤が不足する。メンバーは太陽光の微小な圧力を使って姿勢制御する奇策をまた考え出していた。この航行開始から2年半後の2009年11月4日、最悪の事態が発生する。イオンエンジンが停止したのだ。A、B、C、Dの4基中、A、Bが不調でDを使ってきたがこれが停止。Cも寿命間近。このままでは地球帰還は絶望的だ。チームは最後の一手に望みを託した。

イオンエンジンはプラスイオンを噴き出すイオン源と、噴き出したプラスイオンにマイナスイオンの電子をぶつけて中和させる中和器の2つの部分に分かれていた。そこで健全な部分同士、イオン源Bと中和器Aを結んでクロス運転する。そのための回路が「もしかしたら役立つかもしれない」と担当者によって開発の最後の最後に加えられていた。

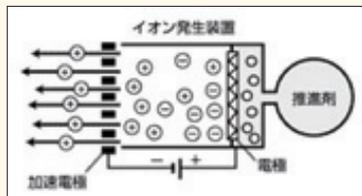
エンジンが停止したとき、川口は



川口淳一郎氏

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所教授
宇宙航行システム研究系 研究主幹
月・惑星探査プログラムグループ
プログラムディレクター

出典：JAXAホーム
ページより転載



はやぶさが撮影した小惑星、イトカワの映像。地球と火星の軌道を横切るように公転しており、その形状から「ラッコ」の愛称で呼ばれた(右)。はやぶさの心臓部、イオンエンジンのしくみ。推進剤のキセノンを電気分解し、できたプラスイオンを噴き出して推進力とする(上)。



「はやぶさは帰還を嫌がったのではないか」と感じたという。当初の計画でははやぶさはカプセルを地球に向けて切り離れた後、航行を続けるはずだったが、化学エンジンが使えなくなった時点で自らも大気圏に突入し燃え尽きる運命が決まっていた。それでもクロス運転の指令に応じた。「どうして君はこれほどまでに指令に伝えてくれるのか」。そんな思いを押さえきれなかった。

7カ月後の2010年6月13日、大気圏突入直前、チームは「最後に故郷を見せてあげたい」と指令を送った。はやぶさは地球の写真を撮って送り返すと、大気圏で火の球となり、夜空にはじけ散った。カプセルはオーストラリアの砂漠に無事着地。回収された容器のなかから約1500個の微粒子が確認され、イトカワのものと判明する。はやぶさは見事にミッションを果たしたのだった。

奇抜なアイデアを 担当分野を超えて採用

はやぶさプロジェクトはなぜ、数々の苦難を克服できたのか。チームはJAXA傘下の宇宙科学研究所のなかで各部門に横串を通して組織さ

れた。コアメンバーは50~60人。うち6割はNEC、富士通などの協力企業や大学関係者が占める。どのメンバーも専属ではない。

「それでもまとめるのが大変と感じたことはなく、放っておいてもみんなが次々提案してくれました。その方向づけをするのが私の役目でした」

と、川口は言う。混成部隊で結束力と自律性の高いチームをつくるのができたのはなぜか。第1に着目すべきは、目標自体がきわめて挑戦的であったことだ。川口が話す。

「われわれは世界初の5つのミッションを掲げました。これは経営的に無謀なやり方でした。どのミッションもバラ(並列)ではなく、すべてシリーズ(直列)で、1つでもこけると先がなくなるからです。ただ、裏返せば、どの分野もすべてのミッションに関わることになるので、誰もが小惑星サンプルリターンに挑戦できるストーリーになっている。だから、おもしろい。全員がゴールを共有し、結束力が生まれるよう、あえて無謀なやり方をとったのです」

実際、1回目のタッチダウンに失敗後、危険を回避して帰還を求める声もあったが、川口は「ストーリー

の完結」を目指し、リスクをとった。

着目すべき2点目は自律性を鼓舞した川口流のマネジメントだ。自ら「奇抜なアイデアを求める」と公言し、「リスクが大きいからダメだと却下するのではなく、最善の策だと思えば、実績や立場に関係なく取り入れるようにした」という。

実際、イトカワでの降下リハーサル後、本番でどのような軌道で着陸させるか、最も重要な誘導航法の最終案は本来の誘導担当ではなく、姿勢制御担当のアイデアを採用した。

また、帰還に向け、太陽光圧を姿勢制御に活かすアイデアは、普段は太陽光圧で姿勢制御が乱されることに悩んでいた担当者が、「悩まされるほどの力があるなら逆に使おう」と考えた奇抜な発想だった。

メーカー側の主要メンバーは、「川口先生の見切りはすごくて『何日後にやる』と言って、できるかできないか、ギリギリの要求を出してくる。だから運用側も必死になって対応し、きちんとやりとげました」と述べている。帰還後の祝賀パーティでもメンバーからは、「何とかしてプロマネの鼻を明かしたかった」「プロマネを出し抜きたかった」といった声

「本当にやるべき手はすべて打ったか。 神頼みは自らに問い、 メンバーに意気込みを示すためでした」

があがったという。この点について川口に質すと、

「私が求めたのはオリジナリティの発揮です。人から言われたことをするのはオリジナリティはなくなります。だから、メンバーは私が解決策を出す前に自分でアイデアを出そうとしてくれたのだと思います」

こうして結束力と自律性を両立させる一方、モチベーションの維持にも腐心した。どんなトラブルが発生しても挑戦する意欲を失わせない。それは、はやぶさが行方不明になったときに大きな意味を持った。

「60～70%の確率で復旧の見込みがある」。川口はメンバーにそう伝えた。だから、悲観する必要はないと。この説明には実はカラクリがあった。正確にはソーラーパネルやアンテナの向きなど、「復旧に必要な条件が整う見込み」が60～70%の確率だったが、巧みな表現により希望

に目を向けさせた。また、意図的に会議の数を増やし、メンバーたちに可能性のある具体案を検討させ、まだ希望があることを再認識させた。

細かな気づかひもしている。通信途絶が続くと管制室からメンバーの足が遠のき、人数が減っていった。それでもプロマネ自らポットのお湯を毎日交換し、いつでも熱い湯が出るようにした。交信はできなくとも「熱い活動」を続けているというメッセージをポットの湯に託した。

東京・台東区にある飛不動尊にもお参りに行った。航空安全と道中安泰を祈願する人々でにぎわう寺だ。「神頼み」にも理由があった。

「われわれが想像するはやぶさの状態が正しく、打つ手にぬかりがなければ、功を奏するはずです。ただ、相手の状態はわかりません。本当にやるべき手はすべて打ったか。地球帰還を果たすまでは絶対あきらめない

い。神頼みは自らに問い、メンバーたちへ意気込みを示すためでした」

製造重視から発想重視へ 減点法から加点法へ

チームは日本のお家芸ともいえる創意工夫で困難を乗り越えた。メンバーたちが行ったのは多くは「合理的判断」だったというが、それだけでは偉業達成は不可能で「ジャンプが必要だった」と川口はこう話す。「われわれがアイデアを創出し、イノベーションを起こしていくときのキーワードはインスピレーションでした。それは日本社会の閉塞感を破るためにも必要です。モノづくりも製造重視から発想重視へと転換する。教育も100点満点の減点法ではなく、発想のオリジナリティ重視へと転換する。はやぶさプロジェクトも評価は減点法ではなく、技術実証の成果をリスクの高さに応じて評価する加点法をとりました。だから、イオンエンジン稼働の達成度は100点ですが、小惑星サンプル入手は500点です。減点法で100点満点をねらい、リスクをとらなかったら、はやぶさは飛んでいなかったでしょう」

その快挙に国中が沸き立ったが、一時のお祭り騒ぎに終わらせてはならない。火の球となって散ったはやぶさの後にどう続くか。日本企業の挑戦が問われる。（文中敬称略）



打ち上げから約7年後の2010年6月13日、大気圏に突入し燃え尽きていくはやぶさの最後の勇姿（上）。大気圏に突入し燃え尽きる3時間前に、はやぶさが撮影した地球の写真。カメラが劣化していたため、画面が白くなっている（右）。



タイムリーな判断には「合理性」だけでなく 対象に対する「感情移入」も必要だ

野中郁次郎氏 一橋大学名誉教授

挑戦的な目標は共有が容易になる

チームのそれぞれのメンバーが自らを動機づけながら新たな知を生み出していく。自律的な個人から生まれた知が全体の知となるような、個と全体のバランスがとれた状態を「自己組織」と呼ぶ。はやぶさプロジェクトにはチームを自己組織化するための条件がよく表れている。

第1に、メンバーの誰もが「おもしろい」と共感する目標を設定できるかどうかだ。はやぶさプロジェクトは、世界の科学技術に貢献するというビジョンのもと、5つの目標を掲げた。いずれも前人未踏であり、誰もが初めて経験することだった。ハイリスクであってもきわめてチャレンジングな目標を掲げたことが、逆に目標の共有を容易にした点は注目すべきだろう。

2つ目のポイントとして、5つの目標がすべて有機的につながり、各メンバーが直接の担当ではないミッションについても共有できるようになっていた点だ。一人ひとりの知の有機的な総合化を可能にする目標設定を意図的に行ったプロジェクトマネジャーの構想力が見事だ。

自己組織化したチームはなぜ、成果を導くことができるのか。最も大きい要因は、主体的なコミットメントがメンバー各自の暗黙知を触発することだ。探査機の姿勢制御が太陽光圧によって影響を受けることに悩んでいた担当者が地球帰還に向け、逆に太陽光圧を利用しようと思いついたのもその一例だ。打ち上げ前、川口氏がキセノンの積載量を40キロから66キロに増量したのも、イオンエンジン担当者がクロス運

転を可能にする回路を入れておいたのも、理屈ではなく、それぞれの暗黙知によるものだ。それがはやぶさの窮地を救ったことは示唆的だ。

主体的関与は感情移入を生む

チームが自己組織化すると、メンバー一人ひとりがタイムリーに判断できるようになる。判断の基準は1つは合理性だろう。ただ、はやぶさプロジェクトで刮目すべきは、対象への感情移入が強く見られたことだ。「どうして君はこれほどまでに指令にに応じてくれるのか」と吐露した川口氏をはじめ、メンバーはみな「我が子を育てる感覚」を持っていたという。主体的に関わるほど、相手がモノで遠く離れていても、感情移入し、限りなく身体性を感じるようになる。

そのため、宇宙開発という科学技術の最先端の世界であっても、満身創痍のはやぶさをケアし、地球に帰してやりたいという思いがわいた。だからこそ、はやぶさのちょっとした変調や状態の差異も見逃さず、即時に応答できた。それが多くの人々の感動を呼ぶ物語となった。

「クールで感情を出さない」とは広報役のJAXA名誉教授・的川泰宣氏の川口評だ。自己組織のリーダーは独裁的であってはならず、自己をクールに客観視する必要がある。その一方で、川口氏ははやぶさとの通信途絶時に管制室のポットの湯を替え続けるなど心配りし、NASA相手にハッターをかますなど情緒面の深さも感じる。その分、感情移入も強かった。タイムリーな判断には合理性と情緒性、両方が重要であることをはやぶさの快挙は再認識させてくれる。