

# 宇宙プログラムでリスク解析は役に立つのか

フレッド・G・ケネディ大佐

ケネディ大佐はジョージア州ロビンズ空軍基地・ウォーナー・ロビンズ空軍ロジスティクス・センター Aerospace Sustainment Directorate・C2ISR部門の上級マテリアル・リーダーである。ここに述べられた見解は著者個人のものであり、必ずしも統合参謀本部、米空軍、国防総省の見解を代表したものであるのではない。

*我々宇宙業界では、ミッションの失敗や喪失への恐れが「風土病」のように強くなっており、そのせいで宇宙プログラムはしばしば大幅に遅れたり、深刻な予算超過になったり、キャンセルされたりする。損失や故障の可能性は宇宙につきものだと認識することが、このサイクルを打ち壊す唯一の方法である。*

( 翻訳担当：編集特別顧問 植田剛夫 )

Copyright©2011 by the American Institute of Aeronautics and Astronautics. This article was translated with the permission of Aerospace America. The original article was published in Aerospace America, November 2011, pp.29-34, Col. Fred G. Kennedy, "Space and risk analysis paralysis".

2010年11月に国防副長官は、空軍の宇宙関連の責任者を議長とし、国防総省の統括する多数の宇宙関連業務について中心的立場で調整をはかることを任務とした、国防宇宙会議の設立を承認した。

なぜこの新機関が必要だったのか？我々上級管理層から見ると、米国の安全保障宇宙業界は、その権威が全く散逸し、長期計画や優先順位づけを集中的に策定する能力を失っており、組織力の向上のために何ら有効な強化メカニズムを持ってなくなってしまっている。責任を持つ人間が誰もいないのだ。

自身の状況について空軍は認識しているようだ。空軍の本部機能の監査を行った後で軍は、宇宙分野での責任は5つの別の組織に分割されてしまっており、しかもそれぞれ別の次官に所属していると結論した。空軍がこの監査に選んだある人物は、現在の組織を「混乱状態」と評した。

この分割状態に対応するために軍は組織再編を行ない、宇宙での調達業務はSAF/AQ(調達担当の長官代理)の下におかれた。

この組織変更は、宇宙の調達部門が1990年代中にわたって同じSAF/AQにおかれていた事実を思い出しさえしなければ、適正な変更といえるかもしれない。この部門は2001年頃の我々の宇宙事業がまさに「断片的」であったために、AQから引き離されて次官の下におかれたものだ。我々の宇宙事業を悩ませるものは何であれ、我々が力を合わせて努力するように強制するのだが、やってみてもできそうもないのだ。

それでは我々は全く見当違いの非難をしているのだろうか？宇宙プロジェクトが断片化したり、多数の組織間で責任体制が曖昧化しているのは事実かもしれぬが、必ずしも組織全体の問題にはなっていないのだろう。空軍のプラットフォームについては、どの機能も、空軍エグゼクティブエイジェントの助力なしで、ちゃんと調達、運用、維持ができてきているのだから。

しかし宇宙については違う。宇宙部門では何が悪いのか全く発言することなく、国防総省内部の上級幹部たちは、自分たちが一体になって努力さえすれば(国防総省内部、または国防総省と情報機関の間、あるいは米国政府内のすべての関連部局間で)

「問題」は一掃される、と度々発言してきた。

これは実際問題正しいのかもしれない。しかし「なんだと？我々に問題があるって言うのか！」と単純に言ってしまふより、ちょっとでも分析してみる方が価値があるのではなからうか。宇宙プロジェクトのマネジメントにおいて、組織と人間関係が正しいと確認するために順序立てて考えてみようということは、現在の構造が正しくないと薄々気づいていることを意味する。何によって我々はそれを信じるようになるのか。我々が解決しようとしている問題は、正確には何であるのか。そして我々はその問題をはっきりさせることを何故恐れるのか？

### 問題は何か

もっとも見え透いた事象を二つ取り上げ、我々が答えを出せるのか見てみよう。

衛星の製造には長大な（我々が妥当と考えたよりもずっと長い）期間がかかる。



開始以来 15 年で 1 機打ち上げたのみの SBIRS

実例はいくらでもある。これを書いている現在、Space Based Infrared System ( SBIRS : 宇宙ベース赤外システム ) プログラムは開始から 15 年目にあり、ごく最近 1 号機を静止軌道に打ち上げたばかりである。

SBIRS は当初 1999 年から 2004 年にかけて打ち上げを行う計画だった。我々の経験した 10 年にもおよぶ遅滞は、ミサイル早期警戒システムに重大な懸念を生じつつある。これは長年使っている一連の早期警戒衛星衛星 ( DSP ) が劣化しているのに、後継衛星が益々手の届かぬ方へ回れ右して行ってしまうためである。

National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System ( NPOESS : 極軌道実用環境観測衛星システム ) プログラムは、国防総省、NOAA、NASA の共同プログラムで、2002 年にノースロップ・グラマン社に発注、リスク減のための実証衛星を 2006 年に、NPOESS 衛星初号機を 2009 年に打ち上げの計画だった。昨年ホワイトハウスが NPOESS の「分割」( プログラムのリストラによって、NOAA/NASA が一つのプログラムを実行し、国防総省がもう一つ別のプログラムを実行 ) を果たすまでに、実

証機は 5 年遅れて 2011 年となり、初号機は 2014 年までは完成を見ないこととなってしまった。我々は非公式にはあるが、プログラムを完全にやめて後日再開すると、衛星製造と打ち上げに 11 年かかるとの説明を受けた。これはアポロ計画より長い期間なのに、我々は LEO 迄しか到達せず、人間の一人も送るわけではないのだ！

海軍の Mobile User Objective System と空軍の Advanced EHF( 一つ前のプログラムであるミルスターも )、さらに NRO ( National Reconnaissance Office ) の Future



開発遅延の好例である AEHF 衛星システム

Imagery Architecture はいずれも似たようなストーリーを有し、開発遅延はどの機関のプロジェクトにも等しく起こる災難だということを実証して見せたに過ぎない。もし誰かが、予定通りの時期に軌道投入を行う能力の秘法を持っているとしたら、彼らはそれを出し惜しみして人に与えないようにしているのだろう。

### 宇宙プログラムは金がかかりすぎる ( 想像を絶する金食い虫 )

明らかに、完成に 5 年かかるという予定のプログラムが 10 年かかったら、コストが少なく済む筈がない。しかし私は、コストとスケジュールの両方を支配する共通のファクタがあり、コストを支配するのは単なるスケジュール遅れなどではなく、何かもっと悪質なものがあるとの意見を持っている。

もう一度 SBIRS に戻ろう。なぜならこのプログラムが明確にポイントを示してくれるからだ。

SBIRS は 1996 年に、5 機の衛星について 41 億ドルの予算見積りにて開始された。空軍は最近下院に対し、見積りは改訂され 151 億ドルに上昇したと通告した。理由の一つとして空軍は、衛星を 1 機追加して、今では 6 機を買うのだと説明した。しかし 1 機あたりの価格を単純計算すると 15 年ほどの間に、1 機あたりただでさえ高価な 8.2 億ドルから、信じられない 25 億ドルに跳ね上がっているのだ。

そして NPOESS はどうだろう。2002 年には国防総省、NASA, NOAA が 6 機の衛星を買うのに 61 億ドルとされていた。ところが 2009 年末には、衛星の数が 4 機に減ったのに、コストは 110 億ドルになった。

いかなる組織や機関も例外ではない。私自身の DARPA での宇宙プログラムも、結果として軌道上で成功を収めたものの、ほぼ 7 年間の期間にわたって大幅なコスト増があった。どの位かって？私は最近、メーカの当初の見積からプログラムの最終コストを予測するには、パイ ( 3.14 ) をかけることにしている。

## 「宇宙プログラムは普通とは違うんだ」とのご意見

たしかに宇宙プログラムは複雑な代物だ。我々のシステムは信じられぬほど過酷で容赦のない環境下で、長期間にわたって、修理も更新もなしで作動せねばならない。我々はもはや、宇宙のわかる技術者や設備などなくてはならぬ「産業基盤」を適正に保有していない。さらに悪いことに、我々の要求基準（あるいは調達基準、運用基準など）は完全に役立たずになっている。

そして、誰が宇宙は複雑でなければならぬと言ったのか？ 代表的な衛星に搭載され作動しているのは、推進系と姿勢制御のアクチュエータ（コントロールモーメントムジャイロ、モーメントムホイール、磁気トルカ）を除いては、センサとエレクトロニクスである。我々は長い間、大きなガラスの塊を研磨したり軽量化したりしてきているし、この地球上のすべてのデジタルカメラには、センサのデータを収集、デジタル化、貯蔵、送信できる技術が含まれているのだ。

どんな種類の回路でも設計し使うことのできる電気技術者はいくらでもいるし、米国でも世界中でもソフトウェア技術者の不足などはない。

宇宙環境はどうだろうか。正直のところ、太陽活動とか、地球上ではスペースシャトルの外ではほとんど経験することのない異常な熱的現象に対策を取らねばならないにしても、正直のところ宇宙環境は実際にはとても優しいものなのだ。



機数が減っても価格が上がり続ける NPOESS 衛星

**それでは法外な費用が何故必要なのか？** なぜ無限に、どう見ても避けがたい遅れが生ずるのか？

答えは簡単。**リスクを減茶減茶怖がる**からだ。

もっと詳しくいうと、これは、宇宙業界のあらゆる局面に影響を与えるコストやスケジュール見積にあたって、もっとも安全サイドの予測をも超えた範囲でしか影響しないような、もっとも起こりそうもない僅かなリスクすら受け入れられないという、この業界特有の根深い体質なのである。そして、この体質は自己増殖する。

これが SBIRS の総コストを3倍に、NPOESS の総コストを2倍に、Advanced EHF

の1機あたりコストを3倍にし、製造スケジュールに今や10年近くの遅れをもたらした元凶であり、真の問題なのである。病的なまでのリスク回避主義、すなわちシステムはいくら金がかかろうともちゃんと動かねばならぬとの信念が、衛星を打ち上げる前にコンポーネント、サブシステム、システム試験という、うんざりするほど過酷なシーケンスの実行に駆り立てるのである。

音響試験（打ち上げ直後の機械環境を模擬）、質量特性試験（精密に衛星の姿勢制御ができるように慣性モーメントを正確に決定）、モーダルサーベイ、振動試験、熱バランスおよび熱真空試験、フライトソフトウェアのドライラン、クリーンラン、認定試験、受入試験、そして地上システム総合試験があって打ち上げ、さらに衛星軌道上試験と、我々の何十億ドルもの投資が軌道上のゴミにならぬよう、繰り返し繰り返し繰り返し試験が行われる。

AEHF や SBIRS のような大型衛星では、最終のシステムレベル試験だけでも18ヶ月あるいはそれ以上もかかり、これらのプログラムでは、ひとたび衛星の組み立てを開始しシステム試験準備の段階では、1,000人から1,500人もの契約業者のスタッフが投入される。控えめに契約者の人工費を25万ドル/年とすると、ただ1機の衛星を試験するのに、1,500人で5億ドル以上もかけていることになる。

我々を、この強迫感にとらわれ悩ましい調達方式へと導いてきたイベントシーケンスはよく知られたものだ。これは業界のすべての部分にあてはまるものだが、少数の大型プラットフォーム衛星を難しい軌道に打ち上げるようなミッションの場合に著しいのである。



1950年代のMiDASプログラムの一部である赤外センサ警報システム

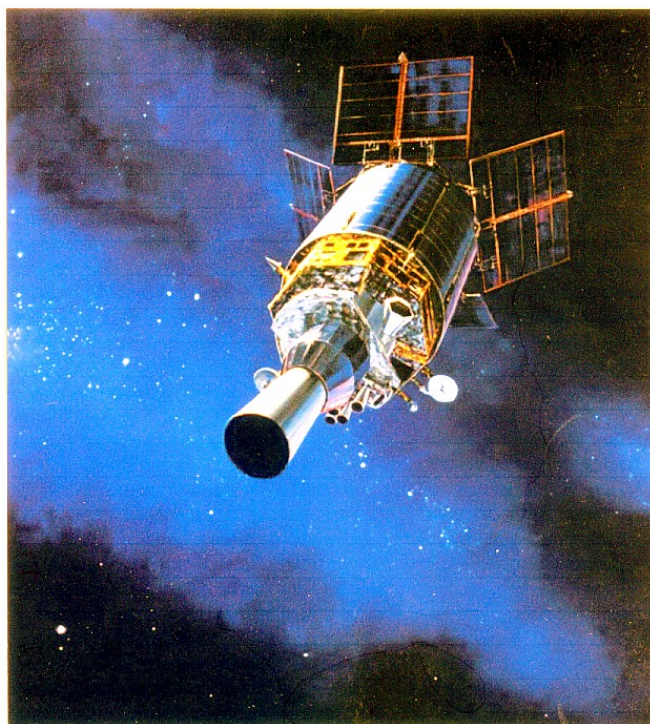
宇宙ベースのミサイル警戒システムなどへの要求事項は、それが我々の保有している技術的能力の範囲内（あるいは「ほぼ範囲内」）で実行可能かどうか、という認識を確かめつつ作成される。

このプログラムの場合、技術的能力はミサイルプルームの赤外センサによる検出であ

り、これをもとにした要求が、弾道ミサイルの早期警戒システムを、宇宙に配備したセンサによって補うことにより、ソ連のミサイル発射に対しての我々の警戒時間を延長できるようにしようという 1955 年の空軍の決定だった。

その結果、8~12 機の極軌道コンステレーションである MiDAS( missile defense alarm system ) が作られた。12 回の打ち上げ ( それに 3 回の打ち上げ失敗 ) の後空軍は、軌道上からのミサイル検出は可能であり有用であると決定づけた。

最初の 9 機の MiDAS 衛星は 1960 年 2 月と 1963 年 7 月の間の 3.5 年間に打ち上げられたことにご注意頂きたい。当初のプログラムプランは Advanced Research Projects Agency(ARPA:現在の DARPA の前身)によって 1959 年 2 月に提出されたもので、9 機の衛星、4 年間での開発、プログラム開始から最初の打ち上げまで 1 年という計画だった。



9 機目の DSP 衛星はプログラム開始から 11 年後に打ち上げられた

MiDAS はそのまま Defense Support Program(DSP)に発展した。空軍は、計画された 3 機の衛星コンステレーションの最初の DSP 衛星を、1970 年に静止軌道に打ち上げた。最終号機である DSP23 の打ち上げは 2007 年 11 月だった。

この間に DSP 衛星の重量は 2 倍に、消費電力はほぼ 3 倍になった。時には打ち上げ失敗が起こるので、我々の射場安全要求は段々に厳しいものとなり、どの打ち上げロケットもいかなるコストでもちゃんと作動せねばならぬことを明確化することで、ETR,WTR 双方の官僚主義者たちの望む「産業ベース」を確立させた文書”EWR127-1”の発行に至ったのである。

我々は正当な所有者以外が我々の衛星に指令を送れぬように、無線通信に暗号要求を採用し、フォート・ミードにもう一つの産業ベースを誕生させた。我々はさらに、現在では各企業が自分で保有する、ミッションの成功を保証する役割の、少なからぬ人数の陸軍スタッフを増員し、我々の衛星を製造する技術者・技能者の監督者をさらに監督する役割の「独立の検証・確認」の役割を果たさせるために、現在 3,700 名の

陣容である“Aerospace Corporation”を設立した。我々はプログラムのコスト、スケジュール管理のために厳しい標準を設定し、契約者が我々の衛星を製造する際には、彼等が社内で検証済みで承認済みの管理システムを用いるように要求した。

9機目のDSP衛星はプログラム開始から11年後に打ち上がった。それに対し9機目のSBIRS衛星は、我々が予算を確保できたと仮定しても、少なくとも2020年半ばより前には打ち上がりそうもない。2020年というのはプログラム開始の30年後である。これは全くのところ、一世代後の連中が生まれ、知識を身につけ、宇宙などというものは考えるだけでも欲求不満になる職業選択だな、と決心するに十分な長さの時間ではないか。

「我々をコスト、スケジュール面で崖っぷちへ追いつめるのは、単なる失敗に対する恐怖ではなく、もっと優れた性能を持たせたいという我々の持つ飽くことなき欲望である」と主張する向きもあるだろう。しかしながら殆どの場合、我々が機器パネルのハニカム表皮に取り付けるハードウェアは、最新の技術から数世代遅れてしまっている。我々は、うわべ上は「宇宙認定」するために何度も何度も試験し十分な統計データを確立していると称する、何年も前のゲートアレイやメモリやプロセッサを使っているのである。

ロケットエンジンはどうか？技術そのものは60年前の設計で、基本的には何も変わっていない。性能が向上しているのか、単にコスト、スケジュールが増えただけなのかの判断は難しい。なぜなら多くの場合最新レベルの技術にも取り残されてしまっているからだ。

我々が今日もしMIDASの要求文書を復活させ、その文書に基づいて衛星を設計、製造、打ち上げると計画したとしたら、業界の誰かが12か月で打ち上げ可能な計画をあえて提出するだろうか？勿論そんなことはありえない。我々は、通常システムテスト実施だけで12か月、打ち上げ作業やチェックアウトでさらに90~120日追加が必要との状況を認識することとなる。しかも今なら最新のセンサやバスコンポーネント、解析・設計ツールが、すぐに使える状態で揃っているという、1959年に我々の先人達が直面した状況とは大違いなのに。

### リスクを嫌悪することは、のろのろしたプロセスを生むことになる。

まず、過去の不具合の解析による、もっと試験を、もっとチェックを、もっと文書の整備を、もっと監督をすれば、この不具合は起こらずに済んだかもしれぬという、誰も逆らえないロジックから始まる。そして追加の人員が投入され、追加の標準や指示書が発行され、増強された試験計画が実施され、うまくいったと見たときには、全員が安堵の溜息をもらすのである。これは次の不具合が起こるまでの話で、不具合が起こると新たなサイクルが始まるというわけだ。

この悪循環はさらに次の病的な戦略を生むことになる。

今や1回の打ち上げは高価であり、プログラム同士が提携して、効率化やコスト抑制の名のもとに、複数のペイロードの要求事項やペイロードの親元の組織をうまくまとめられないかと、1機の衛星に相乗りする機会がいくつも生じている。

しかしながら、この「1個のバスケットに複数の卵」アプローチは、すべての運命がその一つの打ち上げにかかってしまうことを、相乗りの機関がすぐに悟ってしまうので、結局、監督、試験、提出文書を増加させる要求の強化だけになってしまう。さらにこのような相乗りペイロードのケースは、要求事項が両立せず（相互に相反する場

合もある) 設計に妥協を強要し、( NPOESS の場合のように ) 何十億ドルもの金を使った後にプログラム中止やリストラに追い込まれることすらあるのだ。

我々は半世紀以上にわたって、我々の先人たちのもっていた「試行錯誤」「失敗したらまた挑戦」という思考から遠ざかってきた。リスクを嫌悪することが我々の精神を強く支配してきた。多ミッションの分野( 通信、ミサイル警戒、環境モニタなど )では、コミュニティが、ある性能( 多くの場合 1 種類 )は他を持って替えがたく必須のものであるとして、ミッションの成功を確実にするためには、どんな手でも使い、可能な限り多くのマンパワー、時間、金をも使うことを決定してきたのである。これが馬鹿げたことだと指摘するのは言い過ぎだろうか？

## 解決法

解決法は問題自体と同様に人文的なものである。

国防総省の宇宙ポートフォリオの範囲内で、我々は試験を繰り返すことによって単純にリスクを回避したり叩きつぶそうとするのではなく、リスクを包容するようなアプローチを見つける必要がある。それにはトップダウンの指示と確固たる舵取りが必要だ。我々は一回りして、適切な宇宙のガバナンスや努力の単一化とは何か、そして解決しようとする問題点は何か、との質問に戻ってきた。問題点はリスクを嫌悪する姿勢にあり、解決法は、敵を利するものでないような解決法を精力的に探し求めるところにある。

我々がリスクを受け入れるようになるとはどういう意味なのだろうか。

最初に我々は、主要ミッションの分野で、クリティカルミッションの実行のためにはいくつもの衛星をアサインするような、古典的な戦略から決別せねばならない。これは大統領の国家宇宙政策方針の趣旨にも合致するものであり、方針で述べられた「弾力性」の必要にも対応する。我々は代替不可能な要素を避けて、性能を分散させるような運用や調達戦略の考え方を取る必要がある。さらに我々は、打ち上げ失敗があった時に、原因究明や中傷、非難のみしたがる特別委員会などをむやみに作らぬように努力すべきである。

**不具合は単純に許容されるべきではないが、宇宙ビジネスの一部として受容されるべきではある。**しかし、打ち上げや軌道上での単一の不具合が、国家安全保障にかかわるような状況やシステムにおいては、この限りではない。

それで、我々は SBIRS を 12 機の MIDAS のような低軌道衛星でおきかえるべきだろうか？あるいは 50 機？ さらに、広帯域グローバル SATCOM を Teledesic ( 世界規模のインターネットサービス提供のために 1990 年代に計画された 800 機以上のコンステレーション ) を使うことで不要にするべきだろうか？

必ずしもそうではない。DARPA の F6 ( 衛星をいくつかのサブ衛星に分割して別々に打ち上げ、リスクを分割しようとするもの ) の概念を採用してもよい。または、2007 年に DARPA が軌道上試験を行い、多分遠からず商用企業によって採用されるであろう、軌道上燃料補給、軌道上修理や更新などの形を取ってもよい。

「修理できない」ということは、我々がリスクを嫌悪する精神構造、すなわち衛星とそのすべてのクリティカルサブシステムは計画されたミッション寿命の間壊れてはな



らない、という信念の一つの拠り所になっている。必要時に修理ができれば、リスク嫌悪を緩和させ、衛星オペレータは、現在では「致命的」と分類されるレベルの不具合でも受け入れることができるようになるだろう。



DARPA の F6 構想は衛星を別々に打ち上げの個々のサブ衛星に分割するもの

フライトリスクの嫌悪と、これによる宇宙のカルチャーへの障害とを除くことを主眼として、強力な、国家が主体の宇宙ガバナンスの構築ができれば、我々の負の悪循環を停止させ、我々の現在持つものと同等の性能を備えた、弾力性にとんだ衛星コンステレーションの構築にむけて、業界の力を結集させることができよう。

代替不可能な要素で構成される設計や代替分析は極力避けなければならない。このようなアーキテクチャを支持するような要求事項は疑問視される必要があるし、「一つの事業にすべてを賭ける」ようなやり方の調達案件は、担当の役所に「やり直せ！」と突き返してやらねばならない。

プログラスマネジャーとそのスタッフ達は、試験をむやみにやりさえすればシステムの信頼性や性能が上がるものではないことを、( 徐々にではあろうが ) 理解し始めるだろう。「ミッション保証」に巢食う官僚主義は、時間が経ち、その有効性が著しく落ち込むにつれて消えてゆくだろう。( 少々突いてやる必要はあるだろう )

米国の新宇宙政策発表の後を受け、この緊縮財政強化の中にあって、我々は宇宙業界のカルチャーを良い方へと再構築する好機にある。もし国防総省の上層部が、この衛星分野やその他の分野で、弾力性に富み、代替が不可能でないアーキテクチャを推進してくれれば、我々はリスク嫌悪の勢力をうち破り、宇宙開発の初期の時代には最重要のものだったイノベーションと敏捷さを、ついには取り戻すことができるかもしれない。

これは一世代にもわたる仕事になるだろうし、決して容易ではないだろうが。