

春は宇宙に帆を上げる

Setting sail for history

Nature Vol.433(678-679)/17 February 2005

Tony Reichhardt

大きな夢と低予算があいまって、向こう見ずだがワクワクするような計画が生まれた。太陽光を帆に受けて宇宙を帆走する「ソーラーセイル」を実現する計画だ。このソーラーセイルのパイオニアである Lou Friedman は間もなく、各国宇宙機関に先んじて宇宙機「コスモス 1」を打ち上げ、宇宙空間に大きな帆を広げようとしている。Tony Reichhardt が報告する。



ロシアの技術者たちは宇宙機に推進力を与える太陽帆をテストしている。

これは忍耐の物語だ。Lou Friedman はソーラーセイルを打ち上げるまで人生の半分を費やしたが、耐え忍んできたのは彼だけではない。先見の明のある人たちは 100 年近く前からソーラーセイルを夢見てきたが、実現することはなかった。だがこの 4 月、すべてが予定どおり運ばば、600 平方メートルのマイラー（強化ポリエステルフィルムの商品名）製の帆を持つ「コスモス 1」という名の宇宙機が（宇宙機というよりも風車に似ているが）宇宙の航海にこぎ出す。コスモス 1 は、太陽光だけで宇宙船を推進できることを証明するはずだ。

コスモス 1 は、バレンツ海のロシアの原子力潜水艦から、ミサイルを転換したロケットで軌道上へ打ち上げられる。コスモス 1 の資金は、Friedman が会長を務める米国の宇宙開発推進団体「惑星協会」（本部・カリフォルニア州パサデナ）が出し、その機体はモスクワにあ

る旧ソ連時代からの航空宇宙企業「NPO ラポーチキン」が製作した。

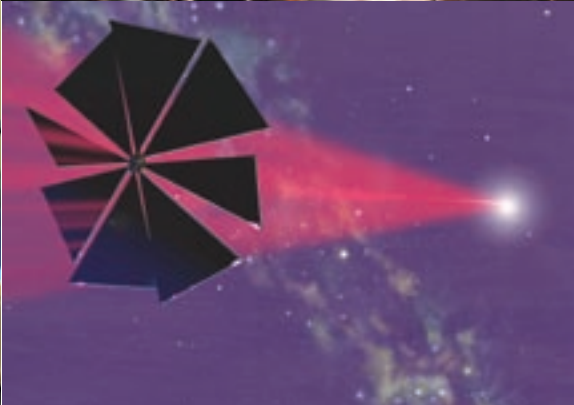
高度 800 キロの初期の軌道に達すると、コスモス 1 は 8 枚の三角形の羽根を広げる。そこで地上の管制官は、船乗りが風を手探りで探すように羽根を傾ける。コスモス 1 の軌道がわずかにでも押し上げられれば、この時点で光の圧力による推進を実証するには十分だ。そうなるには数日かかるかもしれないが、コスモス 1 の打ち上げチームは待つことをいとわないはずだ。

ソーラーセイルは急いでいる人には向かない。光子が巨大な反射する帆に当たって運動量を与えることにより、宇宙船は推進力を得る。最初のうち、その加速はほとんど気づかないほど小さい。しかし、従来のロケットと違ってソーラーセイルは絶え間なく加速され、太陽が輝いている限り、1 滴の燃料も使わずに加速し続ける。

構想から 84 年

1 日後、惑星間の帆走のための速度上昇は時速 160 キロにすぎないはずだ。しかし、100 日後には宇宙船は時速 16,000 キロで進んでいるだろう。3 年後には宇宙船の速度は時速 160,000 キロにも達するだろう。この速度は、現在太陽系を出て行こうとしている無人宇宙探査機「ボイジャー」の 3 倍で、5 年足らずで冥王星に着くほどだ。これは、米航空宇宙局（NASA）の冥王星探査機「ニューホライズン」が冥王星に到達するのにかかる時間の半分だ。

こういうわけで、SF 作家たちは、少なくとも推進原理としてはソーラーセイルを気に入っているし、航空宇宙エンジニアたちもそこは同じだ。1970 年代、Friedman は NASA のジェット推進研究所（JPL、カリフォルニア州パサデナ）のプロジェクトマネジャーだった。そこで彼は、ハレー彗星への米国の探査ミッ



ションの概念設計チームを率い、巨大な640,000平方メートルの帆を利用する計画をまとめた。このアイデアはNASAの首脳陣には「あまりにリスクが高い」として受け入れられなかった。「振り返ってみると、あの計画はあまりに無謀だったし、スケジュールも非現実的だった」とFriedmanは認める。

FriedmanはJPLを去った後、1980年にCarl Sagan、Bruce Murrayとともに惑星協会を設立した。そして、協会で宇宙開発の国際協力を進める間にロシアの宇宙科学者やエンジニアたちとともに親しくなった。当時、ロシアの技術者たちと親しくしていると疑いの眼差しで見られた。後にソーラーセイルの計画にあたって惑星協会がロシアに協力を求めたのは、経済的にも技術的にも賢明だった。ロシアのミサイル打ち上げ技術の利用は、「お得な買い物」だった。というのは、NPO ラボーチキン、膨ら

ませることができる宇宙船についてすでに研究を行っていたからだ（コスモス1の帆を支えるマストは、宇宙空間で膨らませなければならない）。ソーラーセイルに対するロシアの興味は、先見性のある物理学者Konstantin Tsiolkovskyにさかのぼる。Tsiolkovskyは早くも1921年にソーラーセイルについて書いているのだ。

Friedmanは今、ようやくここまで来た興奮の中で、現実的な可能性を冷静に見極めようとしている。この計画の予算はわずか400万米ドル（約4億2,000万円）で（NASAならこの額を机上の研究でほとんど使ってしまうだろう、とFriedmanは言う）、つまり一部の材料を節約したり、設計の再検討の回数を最小限に抑えたりせざるを得なかったことを意味している。しかし、開発チームには「有能で経験豊かな人々」が集まっており、失敗する可

現実か絵空事か：Gregory Benford（右下の写真）は、Lou Friedman（上の写真）が設計したソーラーセイルの推進力を、レーザー（左下）を使って上げることが計画している。

能性のあるすべてを未然に防ごうとしてきた。モスクワでのある技術再検討の後、あるロシア人コンサルタントがコスモス1の成功の可能性を70%としたことをFriedmanは覚えている。「成功の可能性は70%だって？ それならゴッド！」とそのときFriedmanは叫んだ。

残念ながら、2001年に行った準軌道（地球を周回しない軌道）の打ち上げテストは失敗し、開発チームは帆の展開テストを行うことができなかった。宇宙船をロケットから分離することができず、宇宙船とロケットはともに海に消えた。Friedmanらはこの短い飛行試験をもう一度行うことはせず、次の打ち上げで宇宙船を地球周回軌道に入れることを決めた。

NASAのゴダード宇宙飛行センター（メリーランド州）のTim Van Santは「NASAはこのようなリスクの高い計画は行わないだろうが、コスモス1計画は陰ながら応援する」と話す。Van Santは、NASAの太陽地球関係研究プログラムのための技術開発を管理している。彼の部署は、従来のロケット推進方法では行えないミッションを実現させるため、ソーラーセイルを長い間検討してきた。たとえば、宇宙船を太陽近傍を回る極軌道に入れるには、太陽の重力に抗うための莫大な量のロケット燃料が必要となる。太陽帆推進は自然のブレーキとして働き、燃料が尽きてしまうこともない。

ソーラーセイルで先行した日本

しかし、夢見ることと、それを実際に実行することには大きな隔たりがある。ソーラーセイル計画のほとんどは、結局、実際に太陽の近くまで旅立つことはなかった。1992年、コロンブスのアメリカ大陸航海から500周年を祝うため、ソーラーセイルによる国際的な「ヨットレース」開催について話し合いが持たれ

た。パサデナに本拠がある世界宇宙財団 (WSF) などが、プロとアマチュアの人たちが力を合わせて宇宙船を地上で建造してテストするところまで達したが、資金が底をついた。もっと最近では、「チームエンカウンター」というテキサス州のグループが、お金を出したお客のメッセージや絵、写真、DNA サンプルを宇宙船につけ、恒星間空間へ送り出すという計画を発表した。しかし、こうした計画で打ち上げに近づいたものはなかった。

ソーラーセイルの飛行経験という点では、コスモス 1 が打ち上げられるまでは日本が世界のトップを走っている。日本の宇宙航空研究開発機構 (JAXA) は昨年 8 月に、気象観測ロケットを使って準軌道の短時間テストを行った。このテストでは、10 メートルの 2 枚の帆をマストから広げ、かざぐるまの形を作った。JAXA は今年 5 月には、35 キロの高度で 20 メートルの帆を科学観測用気球からつるしてテストする予定だ。

JAXA の最終目標は、太陽帆推進とイオン推進エンジンを組み合わせたハイブリッド推進システムを開発することだ。提案されている JAXA のミッションのひとつでは、木星の極を回る軌道へ探査機を入れたりいくつかの小惑星の近くを通過したりするため、50 メートルの帆を使った太陽帆推進とイオン推進を組み合わせることが計画されている。

しかし、Friedman らの今回の計画ほど地球周回軌道に近づいた計画はなかった。とはいえ、コスモス 1 が予定通りに軌道に入り帆を広げたとしても、Friedman はいつ成功を祝うべきかわからないでいる。打ち上げチームは帆を制御して宇宙船をさらに高い軌道に押し上げようとするわけで、「どの時点で成功といえるかは、はっきりしない」と彼は話す。ソーラーセイルが直面するたくさんの技術的課題のうち、帆の

力学がもっとも難しいかもしれないと Friedman は考えている。帆は安定なのか、あるいは強風にあおられる軽くて薄い帆のように、ねじれ、丸まってしまうのか、だれにも正確には分からないのだ。

もしコスモス 1 が高い軌道に達し、ミッションのほかのすべての目標を達成したら、今までに行われたことのない実験が最後に行われる。カリフォルニア大学の物理学者で SF 作家の Gregory Benford とマイクロウェーブサイエンス社 (カリフォルニア州ラファイエット) の社長である James Benford の兄弟は協力して、モハーベ砂漠にあるパラボラアンテナから 450 キロワットのマイクロ波ビームをコスモス 1 に照射することになっている。このビームがコスモス 1 に追加の推進力を与えるはずだと Benford 兄弟は考えている。この方法は将来、薄い布地でできた帆を持つ宇宙船を、ほかの小惑星や、もしかしたらほかの恒星へ、より早く到達させる方法として使われるかもしれない。

NASA や ESA も

コスモス 1 が成功すれば、NASA などの宇宙機関が抱えるソーラーセイル計画にもいづらか弾みがつくだろう。NASA がソーラーセイルを飛行させる可能性があるのは、もっとも早いもので 2009 年の「宇宙技術実証ミッション 9」(ST9) だ。もっとも、ほかの技術もこのミッションへの採用を競っているだろうが。

NASA が持つもっとも将来のソーラーセイル計画には、活発な太陽領域を連続して観測するために太陽の十分近くの軌道を回る「太陽粒子加速機構観測衛星」(Particle Acceleration Solar Orbiter、PASO) と、太陽のより高緯度を研究する「太陽極撮影衛星」(Solar Polar Imager、SPI) がある。NASA と米海洋気象局 (NOAA) は、太陽嵐の予報

をするため、地球・太陽間の安定軌道に「気象台」を置きたいとも考えている。これはコスモス 1 の 3 倍から 5 倍の大きさの帆を必要とするだろう。

欧州宇宙機関 (ESA) も、NASA と同じ理由でソーラーセイルに興味を持っている。すなわち、太陽の極を回る軌道に衛星を投入するためだ。ESA は、地球近傍小惑星を訪れる「アースガード」というミッションの構想も研究している。

承認されたソーラーセイルミッションはまだ存在しないが、Van Sant は、基礎技術の開発に年間約 1,000 万ドル (約 10 億 5,000 万円) を費やしている。ソーラーセイル開発のパイオニア企業である、ルガルド社 (カリフォルニア州タスティン) とエイブルエンジニアリング社 (カリフォルニア州ゴレタ) は、NASA のプラムブルック実験施設 (オハイオ州) の巨大な真空チャンバーで、20 メートルの帆を製作するためのいくつかの設計案をテストすることにしている。

エイブルエンジニアリング社の帆は CP-1 という厚さ 2.5 マイクロメートルの極度に薄い新しいポリマーでできている。これは、コスモス 1 で使われるアルミニウムコートしたマイラーの半分の厚さだ。「もしくしゃみをしたら、このフィルムはテーブルの向こう側に吹き飛んでしまうだろう」と Van Sant は話す。ソーラーセイル用の帆は薄く、軽いほどよいが、薄くて軽いフィルムは破れやすい。コスモス 1 の補強された帆でさえ永久には持たず、打ち上げから 1 か月以内に強い日光により劣化し始める。しかし、太陽帆推進の原理を実証するには短期間の飛行で十分であり、もし成功すれば、太陽光で推進力を得るほかの宇宙船の計画にも実現のチャンスをもたらすだろう。 ■

Tony Reichhardt (ワシントン DC) がネイチャーに寄稿。