A flight to remember

永久飛行の夢

Nature Vol.451 (884-886) / 21 February 2008

SOLAR IMPULSE/EPFL CLAUDIO LEONARDI

燃料を使わずに永久に飛行する夢を抱いたパイロットは、太陽エネルギーを利用することを思いついた。太陽電池飛行機で夜通し飛行し続け、さらには世界を一周しようという計画について、Vicki Cleave 記者が取材した。

1903 年、ライト兄弟が製作したライトフライヤー号という 1 人乗り飛行機が、風の強い海岸で世界初の動力飛行に成功した。飛行距離は短かったが、動力飛行の歴史はここから始まった。それから 1 世紀あまりが過ぎた今、ソーラーインパルス号という新しい 1 人乗り飛行機が、地球を一周する記録破りの飛行に挑戦しようとしている。この飛行機の翼幅は長く、片方の翼の長さだけでオリバー・ライトの初回の飛行距離を上回っている。しかし、ソーラーインパルス号の最大の特徴は、80m の翼幅ではなく、その動力源と必要とする動力の少なさにある。この飛行機は太陽エネルギーのみを動力源としている。太陽電池の出力は合計 9kW 程度であり、ライトフライヤー号が搭載していた 1 基のエンジンの出力とほぼ同じである。

ライト兄弟の時代、飛行機は「空気よりも重い機械」とよばれていた。人々は飛行機に不信感をもっていて、操縦するどころか、離陸することさえできないのではないかと考えていたからである。太陽電池による有人飛行の歴史も、同じような疑いを抱かせるものだった（コラム「太陽電池飛行機の歴史」を参照）。太陽電池飛行機のほとんどは現代の飛行機について私たちが抱いているイメージとかけ離れており、飛行速度は非常に遅く、不恰好な骨組みは天候に翻弄される。しかし、ソーラーインパルス号で世界を一周しようとしているパイロットたちは、一度に最大 5 日間、太陽の照らない夜も飛行し続けることを計画している。

9100 万米ドル（約 91 億円）にのぼるソーラーインパルス号計画を進めているのは、スイスの気球パイロットの Bertrand Piccard である。彼は、1999 年にブライトリングオービター 3 号という気球で初のノンストップ世界一周飛行に成功したパイロットの 1 人としてすでに記録集に載っているが、ソーラーインパルス号の世界一周飛行にもパイロットの 1 人として参加する予定である。Piccard は冒険家の家系に生まれた。彼の祖父の Auguste は、1930 年代に気球で高度 23km まで上昇し、当時の記録を塗り替えた。彼の父の Jacques は、マリアナ海溝のチャレンジャー海淵に潜り、人類が到達した最も深い場所を訪れた 2 人のうちの 1 人となった。

Piccard は、ブライトリングオービター 3 号を降りた直後から、太陽電池飛行機による世界一周飛行を考え始めたという。「マスコミは、1999 年の私の世界一周気球飛行を、『あらゆる冒険が成し遂げられた今、最後に残った冒険』だと報道しました。私は当時まだ 41 歳で、すべての冒険が成し遂げられてしまったのなら、残念なことだと思っていました」。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

彼は、世界一周気球飛行に極めて大量の燃料が必要だったことにも失望していた。離陸時には4トン近くあった液体プロパンが、着陸時にはわずか40kgしか残っていなかったのである。「燃料や航続時間の制限は非常に厳しいものでした。大西洋での風がもっと弱かったら、私たちは途中で不時着水することになり、世界一周は果たせなかったでしょう。燃料を必要とせず、航続時間の制限もなく、昼も夜も飛び続けられる航空機があれば、どんなによいだろうと思ったのです」と彼は話す。

燃料を積まずに飛行したいと考えたのは、Piccardが最初ではない。25年以上前、米国カリフォルニア州モンロビアにあるエアロバイロンメント社の航空エンジニアのPaul MacCreadyは、太陽電池が作り出す小さな電力で飛ぶことのできる、軽量で低速の飛行機を製作した。ゴッサマーペンギン号と名づけられたこの飛行機は、パイロットを含めない重量は31kgに満たず、地面に対する速度は自転車よりも遅かった。計画されているソーラーインパルス号は、パイロットを含めた最大重量が2000kgあり、夜間飛行のためにエネルギーを蓄える充電池が、その約4分の1を占めている。すべてがうまくいけば、ソーラーインパルス号は時速50～100kmの速度で飛行し、世界一周の途中でパイロットの交代のために5回着陸することになる。

太陽電池飛行機での世界一周は、孤独なパイロットにとって、いわゆる「実質本位の空の旅」になる。パイロットは、80℃から－60℃までの極端な温度から自分を守ってくれるこぢんまりしたコックピットの中で、一度に最大5日間、窮屈な同じ姿勢に耐えることになる。パイロットの1人であり、このプロジェクトの最高責任者であるAndré Borschbergは「睡眠の取り方や、注意力を持続させる方法などの問題は、まだ解決していません」と話す。

パイロットたちは、この低速の飛行機で何時間も暗闇の中を飛行するときに、最も警戒しなければならないだろう。無人太陽電池飛行機はすでに夜間飛行を行っているが、有人太陽電池飛行機で一度に6時間以上飛び続けた例はない。ソーラーインパルス号のチームは、低高度への滑空と、電池を動力源とすることを組み合わせて、夜をやり過ごそうと計画している。ソーラーインパルス号は、日中には最高で高度12kmまで上昇するが、日が暮れると高度1kmまで降下する。低高度では空気の密度が高いため、飛行機の速度は遅くなり、消費電力も少なくなるからである。

天候の予測がかぎ

しかし、最大の課題は天候だろう。軽量で低速のソーラーインパルス号は、強風や乱気流に対応することができない。「この飛行機は、最大級の旅客機に匹敵する大きさをもちながら、どんな風にも反応してしまうのです」とBorschbergは話す。超大型旅客機のエアバスA380よりもわずかに長い翼幅をもつソーラーインパルス号の飛び方は、ライトフライヤー号よりもハンググライダーに近いと考えられている。

飛行機は、最も天気のよい時間帯を選んで離陸することができるが、夜間の降下の間は風と乱気流のなすがままになる。「夜間に向かい風が吹くと、夜の時間が長くなります。夜が長くなれば、それだけ電池の残量が足りなくなるおそれがあります」とBorschbergは話す。夜明けを迎えるたびに、そのありがたさが増していくだろう。パイロットも飛行機も、エネルギーに余裕がなくなっていくからだ。

太陽電池飛行の専門家の多くはパイロットであるが、彼らは、このプロジェクトは成功しうると考えている。Piccardは、プロジェクトを立ち上げる前にMacCreadyにこの計画を打ち明けて、「飛行機のできが非常によく、めったにないほど良好な気象条件に恵まれるなら、実現は可能」という意見をもらっていた。「私たちの初飛行が実現しないうちに、彼が亡くなってしまったことが、悲しくてなりません」とPiccardは話す。

André Borschberg（左）とBertrand Piccardは、ソーラーインパルス号のパイロットとして世界一周飛行に挑戦する。

SOLARIMPULSE/STÉPHANE GROS

英国の防衛関連技術企業であるキネティク社が開発したゼフィール号の技術ディレクターで、無人太陽電池飛行の最長記録保持者であるChris Kelleherの見解も、MacCreadyと同様である。「これは実現可能な計画です」と彼はいう。「問題は、飛行の高度と速度、そして気象条件です」。ソーラーインパルス号よりもはるかに小さなゼフィール号を地上で操縦するKelleherは、高度が約18km以上になれば、操縦は容易になると説明する。「高高度の風は規模が大きいため、ゼフィール号は大きな定期線旅客機のように飛行することができ、気塊の中をごくゆっくりと進んでいきます」。

ソーラーインパルス号には人が乗っているので、ゼフィール号ほど高く飛ぶことはできない。ゆえに、このプロジェクトを成功させるためには気象の予測が極めて重要になるとKelleherは考えている。「気象条件が安定していれば、天候を予測して低高度を飛行することは可能です」。

しかし、安定した気象条件を期待できる時期は、どのくらいあるのだろうか？計画では、飛行機ができるだけ多くの日光を受けつつ、熱帯の最悪の荒天をできるだけ避けられるように、北回帰線に沿った飛行経路をとることになっている。気象予測が計画立案の最も重要な部分の1つになるだろうという点につ

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

いては、Borschberg も同意している。「離陸時の計画を立てるのはむずかしくありません。いつ離陸するかは自分で決めればよいからです。着陸時の状況は不確実なので、計画を立てるのはむずかしくなります」。

ソーラーインパルス号のチームは、自分たちの天気予測システムを試すために、昨年 5 月から飛行シミュレーションを行っている。研究者たちは、ソーラーインパルス号の性能を模擬し、さまざまな気象条件での飛行を再現できるシミュレーターを使った。「シミュレーターを使えば、この飛行機をほぼ実際と同じ条件の中で飛ばすことができます」と Borschberg は話す。

シミュレーションからは、いくつかの貴重な教訓が得られた。「私たちは、飛行が予想よりも長くなる可能性があることを知りました。また、『これから 5 日間は絶対に大丈夫だ』などという確信をもって離陸するのは、不可能であることもわかりました」と Piccard は話す。悪天候を避けるためには、臨機応変に飛行していかなければならない。「ハワイからフロリダ州マイアミに向かうシミュレーションをしたときには、メキシコ湾の大きな嵐のために、アリゾナ州フェニックスで着陸しなければなりませんでした。私たちは柔軟になることを学びました」と Piccard は話す。

試行錯誤

初期の太陽電池飛行機も悪天候と闘ってきた。その結果はいろいろだった。ゴッサマーペンギン号の後継機であるソーラーチャレンジャー号は、1981 年、白いふわふわした雲の浮かんだ晴れた日に英仏海峡を横断する飛行を成し遂げた。しかし、1980 年代からエアロバイロンメント社で働く Bob Curtin は、「実際にはかなり天候は荒れていて、空には雲が多かった」と振り返る。しかし、ソーラーチャレンジャー号は、巨大なソーラーインパルス号と比べれば、小さな軽量の飛行機のように飛行した。

エアロバイロンメント社と米航空宇宙局（NASA）が製作した超軽量無人飛行機のヘリオス号は、最後の飛行で乱気流にうまく対応することができなかっ

太陽電池飛行機の歴史

記録によると、太陽電池飛行機が初めて空を飛んだのは 1974 年 11 月 4 日のことだった。この飛行機はサンライズ 1 号という無人飛行機で、電動模型飛行機部品会社であるアストロフライト社（カリフォルニア州）の Robert Boucher が、遠隔操縦によりモハベ砂漠のカタパルトから離陸させた。

最初に有人飛行に成功した太陽電池航空機はゴッサマーペンギン号だった。これは、1979 年に英仏海峡を横断した人力飛行機のゴッサマーアルバトロス号を小さくしたものであり、エアロバイロンメント社（カリフォルニア州モンロビア）の Paul MacCready が設計した。ゴッサマーペンギン号の翼幅は 22m で、3km 以上の距離を飛んだ。太陽電池パネルの発電力は、わずか 541W だった。

ゴッサマーペンギン号の後継機であるソーラーチャレンジャー号は、1981 年に英仏海峡を横断し、262km の距離を飛んだ。翼幅はわずか 14m と小さかったが、太陽電池の発電力は約 2600W で、高度 4.4km まで上昇することができた。

エアロバイロンメント社は NASA と協力して、人工衛星の代わりとなり、偵察用に使える無人太陽電池飛行機の設計に取り組んだ。彼らが協力して作り上げたのが、14 個のモーターを備えた翼幅 75m の超軽量全翼飛行機ヘリオス号だった。その試作機は、2001 年にロケット以外の動力による航空機の公式世界記録高度である 29.5km まで上昇し、29km 以上の高度を 40 分以上にわたり飛び続けた。ヘリオス号は 2003 年に太平洋上空で空中分解した。

民間の功績では、有人グライダーと太陽電池飛行機を組み合わせたサンシーカー号もある。Eric Raymond は、1990 年にサンシーカー号に乗り、ほぼ 2 か月にわたる 21 の行程により米国を横断した。Alan Cocconi の遠隔操縦太陽電池飛行機のソーロング号は、2005 年に 48 時間にわたって飛び続けた。Raymond はソーラーインパルス号のチームの一員であり、Cocconi はその重要なアドバイザーである。

Cocconi の無人飛行の最長記録は、2007 年にキネティク社が開発したゼフィール号によって破られた。ゼフィール号は 54 時間飛び続けた。

V.C.

ゴッサマーペンギン号

ソーラーチャレンジャー号

ヘリオス号

B. RHINE/NASA

J. READER/TIME LIFE PICTURES/GETTY IMAGES; N. GALANTE/PMRF/NASA

©2008 NPG Nature Asia-Pacific

た。ヘリオス号の巨大な全翼構造（胴体や尾翼がほとんどなく、全体が翼のようになっている構造）は、飛行中はカーブした形になるように設計されていて、ある程度の乱気流には対処することができた。ヘリオス号は、高高度を飛ぶ航続時間の長い飛行機の開発をめざすNASAのプロジェクトの一環として製作され、高度29km以上を飛ぶことができた。しかし、2003年に長距離飛行記録を作ろうとしていたときに、カーブした翼が制御不能な振動を始め、ヘリオス号は太平洋上空でばらばらになってしまった。ヘリオス号とは異なり、ソーラーインパルス号には伝統的な固い翼が使われているため、翼の振動により空中分解する心配はないが、風に翻弄されることになるだろう。とはいえPiccardは、「この設計を選んだいちばんの理由は、コックピットを組み込む必要があったからです」といっている。

ソーラーインパルス号の開発に携わっている多国籍チームは、天候の予測がむずかしいことを考慮して、最終設計には既存の技術だけを使うことになるだろう。それは賢明な選択である。2003年にこの計画の可能性を検討したときには、3～4年のうちに利用可能になりそうな技術進歩は考慮に入れたが、技術の大躍進は当てにしなかった。

例えば、このときの検討では、単結晶太陽電池の効率は20％になるだろうと予測されたが、現在では約22％になっている。太陽電池の厚さはわずか130μmで、粉々になることなく翼の上面に組み込めるだけの柔軟性がある。また、充電可能なリチウム電池のエネルギー貯蔵密度は1kgあたり200W時になるだろうと予測されたが、この予測も的中した。

ソーラーインパルス号の設計は、これらの技術を使う方向で固定された。今後の挑戦は、科学的なものではなく、工学的なものになる。「技術はすでに決まっているので、あとはエネルギー消費量を減らすことを考えることになります」とBorschbergは話す。

困難を乗り越えて

現在、プロジェクトが必要とする4つの主要スポンサーのうちの3つが決まり、計画に必要な資金の3分の2が確保されている。チームは、翼幅61mの小型の試作機の製作に着手した。試作機の試験飛行は今年中に行われる予定であり、夜を徹した飛行を可能にする方法について、さらによいアイディアが得られるはずである。チームは、試作機から得られる教訓を全体設計にフィードバックして、2009年から2010年にかけてフルサイズの飛行機を製作する。順調にいけば、2011年には世界一周飛行に挑戦することになる。

ソーラーインパルス号が離陸してからも、その推移は注意深く見守られることになるだろう。自身が曲芸飛行パイロットであり、ソーラーインパルス号を操縦するチャンスがあれば大喜びすると思われるKelleherは、「私たちは、ソーラーインパルス号にとても興味をもっています」という。エネルギー効率と軽さを追求したソーラーインパルス号のことを、彼は「可能性の芸術作品」だと考えている。しかし、彼の会社は、通信衛星の代替となる可能性のある無人太陽電池飛行機のほうに、より一層の関心をもっている。人工衛星を使ったデータのやりとりには高いコストがかかるが、ゼフィール号などを使えば、安いコストで情報を中継できる可能性がある。「私たちは、無人太陽電池飛行機が人工衛星に取って代わるようになるとは思っていませんが、人工衛星が不得手な仕事の多くをこなしたり、ずっと安いコストで引き受けたりすることはできると思っています」とKelleherは話す。

ヘリオス号の墜落以来、エアロバイロンメント社の太陽電池飛行機の研究は中断している。けれども現在、同社の事業開発担当副社長になっているCurtinは、太陽電池飛行機には将来性があるとみている。彼は、低動力での飛行から同社が学んだことのすべてが、通信の中継と観測のための無人高高度飛行機であるグローバルオブザーバー号のプロジェクトに応用されていると指摘する。グローバルオブザーバー号は、液体水素を使った内燃機関から動力を得て、一度に1週間は飛び続けられるものになる予定である。

Curtinの説明によると、エアロエンバイロンメント社がこのプロジェクトに太陽電池ではなく水素を使うことにしたのは、グローバルオブザーバー号のペイロード（有効搭載量）が約181kgと大きいからであるという。これは、ゼフィール号の30kgに比べてはるかに大きい。現在の太陽電池で飛行機を飛ばすためには、昼が長く、夜が短い必要があるため、低緯度でしか使えないという事情もある。

けれどもCurtinは、太陽電池と充電池の技術の改良により、再び太陽エネルギーが使われるようになる可能性は残っているという。「本当に将来性があるのは、おそらく無人飛行機のほうでしょう。永久に飛び続ける飛行機を開発しようとしていて、それが現実のものになるのなら、人間を載せるのは賢明なことではないからです」と彼は話す。

Piccardは、MacCreadyの挑戦が自分に影響を及ぼしたように、燃料を使わずに飛行するという自分の夢が、エネルギー消費についての人々の考えを変えることを期待している。そうした夢を追いかけるのはなぜかと尋ねられたとき、PiccardもMacCreadyも、1927年のチャールズ・リンドバーグの単独大西洋横断飛行を理由に挙げた。「リンドバーグが1人で飛行機に乗ったのは、残りのペイロードをガソリンにあてなければならなかったからです」とPiccardはいう。しかし、その35年後には、300人の乗客を載せた旅客機が大西洋を横断するようになっていた。Piccardは、今回のプロジェクトでは1人で飛行機に乗ることになるが、近い将来、太陽電池飛行機のパイロットは孤独ではなくなるだろうと考えている。■

Vicki Cleaveは*Nature Materials*のシニアエディター。

©2008 NPG Nature Asia-Pacific