

チベットで飛ばせなかったラジコンヒコーキの話

—エアロゾンデ飛行実験視察報告—*

浅 沼 順**・玉 川 一 郎***

1. はじめに

1998年度夏期に集中観測を実施したGAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment)-Tibet では、当初、大気陸面過程および降水過程の3次元的な観測を主な目的として、集中観測期間中にエアロゾンデ (Aerosonde) と呼ばれる無人航空機を用いた観測を計画していた。1997年7月にIAMASに出席した筑波大学の安成哲三・木村富士男両教授が、そして11月に浅沼が、それぞれ開発チームの中心人物であるオーストラリア気象庁研究センター (BOMRC, Bureau of Meteorology, Research Center) のGreg Holland博士とコンタクトを取った。これを受けて、実際の飛行状況とその性能を詳しく把握するため、玉川・浅沼の両名が1998年2月にオーストラリア西部のパースと西北部のポートヘッドランドで行われている飛行実験を視察するため現地へ向かった。

2. Aerosonde とは

エアロゾンデ (Holland *et al.*, 1992; McGeer and Holland, 1993) とは、BOMRCと民間会社であるSENCON (本社:メルボルン) 及び米国のInsitu Group (カフォルニア) の三者協同で開発している気象観測用の無人航空機 (UAV, Unmanned Air Vehicle) あるいはRPA, Remotely Piloted Aircraft) である。早い話が気象測器を搭載したラジコン飛行機、あるいは翼と動力を持ったラジオゾンデである。現在、米国

において無人航空機の開発を支援するプロジェクトとして、海軍学校研究所、海軍大学院、カリフォルニア工科大学、プリンストン大学等が協同でCIRPAS (Center for Interdisciplinary Remotely Piloted Aircraft Studies; Bluth *et al.*, 1996) と呼ばれる機関をつくっているが、エアロゾンデはこのCIRPASSの援助する開発計画の1つでもある。無人航空機による気象観測の利点 (Bluth *et al.*, 1996; Holland *et al.*, 1992) は、パイロットの必要がないことから、

- 長距離・長時間の連続飛行が可能
- 機体の小型・軽量化が可能
- 経済性が向上できる
- 有人飛行では危険な台風観測などのミッションも可能

などの利点があげられる。特に近年においては、自動航法装置の発達により操縦の自動化が可能になったこと、機体の設計技術や素材の進歩により機体の小型軽量化が可能になったこと、GPSや衛星通信システムといった周辺技術が充実したことにより、無人航空機技術の気象部門への応用がさらに進むことになった (Holland *et al.*, 1992)。

Holland博士の話によれば、ゾンデ観測網の希薄な海上での観測を目標として、1991年に開発に着手したが、最初の数年は資金難で開発がなかなか進まなかったとのこと。なかなかそのアイデアを信じてもらえなかったらしい。1994年頃から本格的な開発が始まり、1995年にはMCTEX (Maritime Continent Thunderstorm Experiment) に参加し初飛行に成功した。また、1997年の高度5000 mまでの飛行の実現で、実験段階としての第一段階の開発を終え、実用機として確立したとのこと。飛行可能高度を5000 m以上に伸ばすには、エンジンに圧縮空気を送るコンプレッサーを付ける必要があり、まずは実用ベースにのせることを優先したとのことであった。1998年には大西洋横断飛行や

* A radio-controlled airplane that did not take the air over the Tibetan Plateau — a visit to the Aerosonde operational trial at Port Hedland, Western Australia

** Jun Asanuma, 長岡技術科学大学環境・建設系。

*** Ichiro Tamagawa, 名古屋大学大気圏科学研究所 (現:岐阜大学工学部)。

第1表 エアロゾンデの性能・仕様 (1998年2月現在, 最新の性能に関しては本文中のホームページを参照のこと)

| | | |
|----------|---------|------------------------------------|
| ○機体仕様 | 重量 | 14 kg |
| | 翼幅 | 2.9 m |
| ○性能 | エンジン | 20 cc, 750 W |
| | 飛行高度 | ～海拔5000 m |
| | 水平速度 | 25 m/sec (約100 km/hr) |
| | 上昇速度 | 3 m/sec (海拔4500 m 付近) |
| | 航続可能時間 | 24時間以上 |
| ○オペレーション | スタッフ | 1機に常時1名のオペレーター他 |
| | 航法 | GPSによるナビゲーション, 自動(地上からの監視, 制御必要) |
| | 通信方法 | UHF(水平距離半径80kmまで) |
| | 発射 | 自動車の屋根から |
| | 着陸 | 手動, 胴体着陸 |
| ○観測項目 | 地上の装備 | コントロールボックス, パソコン, GPS アンテナ, 通信アンテナ |
| | 温湿度, 気圧 | Vaisala RSS901 |
| | 風速 | GPS, ビトー管 |
| | 高度 | 気圧から, あるいは Differential GPS |

SCSMEX (South China Sea Monsoon Experiment) への参加など数々の応用実験を繰り返している。Holland 博士によれば, 将来的には, 100 hPa 面までの飛行や衛星通信による航続距離の延長(大西洋横断が成功したとのことなので, これは98年秋に達成した模様), また乱流観測の実現など性能の向上を目指すとともに, 量産化体制も整えていくとのことである。

1998年春の時点で, 我々が把握したエアロゾンデの性能を表1に示す。搭載しているセンサーは, ヴァイサラ社のラジオゾンデ用温湿度・気圧センサーで, 両翼の下とボディの3個所に搭載している(写真1)。風速はボディ先端のビトー管による対機風速とGPSによる機体の対地速度から対地風速を求める。約200 m周期のS字状に飛ぶことにより, 2次元風速を得ることができる。(浅沼記)

3. 飛行実験視察

3.1 パースにて

雪国からトンネルを越えるとそこは夏の国だった…メルボルンで飛行機を乗り換えパースの飛行場につくと, 出口にはすでに我々の名前の書いたプラカードを持った John が背筋をピンと伸ばして立っていた。聞けば彼は, 米国の Insitu Group 内のエアロゾンデ開発チームの1人で, 今回のオーストラリアの実験のために, こちらに滞在しているとのこと。1997年の11月にメルボルンを訪れた際に SENCON 社を訪れ, エアロゾンデ開発チームのそれぞれと会って話す機会を持ったが, いずれのメンバーも若い(?)ことに気が付い

た。SENCOR 社内のチームリーダーである Greg Tyrell 氏が, 30代半ばで後の技術者はほとんど30代前半か, 20代後半である。

さて, John の案内でパースの町中のホテルにチェックインし, 一休みの後, 午後から早々に実験の現場を見学させてもらうため, パース中心街の10数階立てビルの上部に位置するパース気象局を訪れた。厳重なセキュリティ管理が行われた気象局の予報部門のある階の会議室に, エアロゾンデチームが陣取っていた。「現場」といっても, 実際にエアロゾンデの飛行を行っているのはオーストラリア北部の港町ポートヘッドランドで, ここではエアロゾンデの遠隔操作を行っているだけである。パース気象局にあるコントロールターミナルをオーストラリア気象庁のシリアル回線につなぎ, ポートヘッドランドの気象台の UHF アンテナを経由して, 飛行中のエアロゾンデをコントロールするのである。今回は, 衛星通信経由の操縦の前段階というところであろうか。低高度での飛行はポートヘッドランドにいるスタッフが行い, 飛行が安定したところでパースに操縦を渡す。ポートヘッドランドとパースのオペレータが電話でチェックリストを1つ1つ連呼して確認した後, 「OK?」「OK!」の合図で操縦を受け渡すのである。

すべての操縦はコントロールターミナルにつないだノート PC で行う。飛行中のエアロゾンデの位置, 高度, 姿勢からセンサーの計測値に至るまで, たくさんの数値が表示された画面を幾つも切り替えながら確認し, 数値を変更することによって操縦を行う。時折,

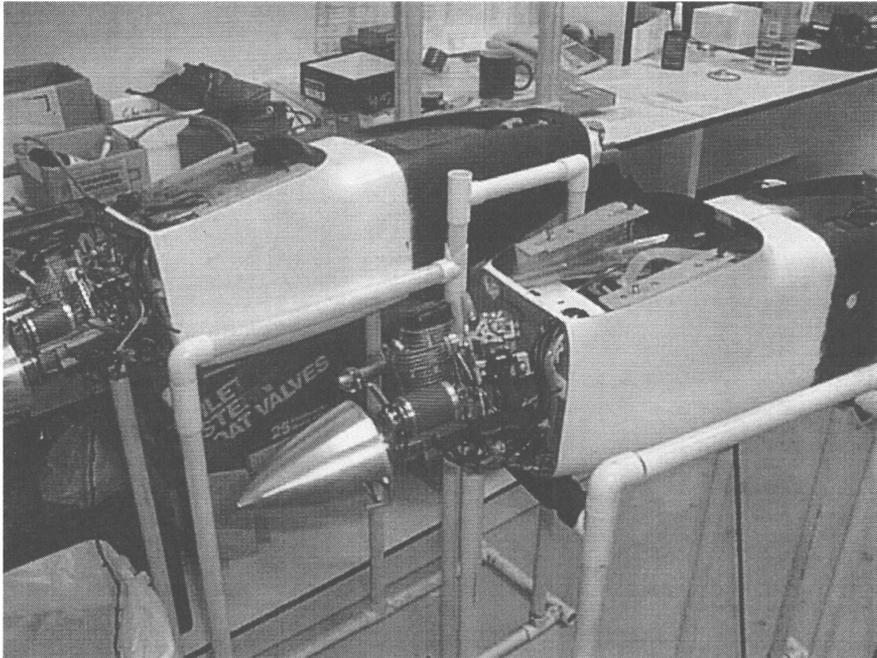


写真1 エアロゾンデの組み立て風景。カーボンファイバーの機体の後部にラジコン用のエンジンを搭載している。機種部分には、ジャイロ、制御用コンピュータ、通信機器が搭載されている（メルボルンの SENCON 社本社にて）。

いや、ほとんどひっきりなしにPCが「ピッ、ピッ」と音を出す、そのたびにオペレーターがどこが異常なのかをチェックしている。これは警告音で、それぞれの状態パラメータに範囲を設定し、これが範囲外になると警告音が発せられるようになっているのだそうだ。ほとんど鳴りっ放しなので、オペレーターは休む隙なくディスプレイに目を走らせ操作を繰り返している。エアロゾンデは基本的には自動操縦であり、行く先の座標をプログラムしておけば、現在の風向・風速をもとに自動航法装置がその場所へ到達するようにしてくれる。例えば、コースを閉曲線にしておけば、そのコースを永遠に飛び続けるのだそうだが、実際は警告音が鳴りっ放しで、「自動操縦というのには程遠いな」と実感した。

壁にはプロジェクターでポートヘッドランド付近の地図が写し出されている。ポートヘッドランドの東方の海岸地帯をエアロゾンデを模したアイコンが移動して現在値を示している。今回の実験の研究上の目的は、海風フロントの検知・観測であり、海岸線をまたいで南北に長い長方形の飛行予定コースが壁に写る画像に書かれていた。飛行コース近辺はほとんど塩田とのこ

とで、飛行実験の妨げになるのは（妨げになっているのはこちらの方であるが）、ポートヘッドランド空港に離発着する飛行機だけとのことであった。

さて、今度の西オーストラリアでのエアロゾンデ飛行実験には我々の他に2名の見学者が来ていた。彼らは台湾大学と台湾気象庁からで、SCSMEXの観測の一環としてエアロゾンデを南シナ海海上で飛ばす計画があり、その打ち合わせを兼ねて見学に来たのだそうだ。すでに台湾側とオーストラリア側との間でエアロゾンデ数機の購入も含めた契約ができており、操縦方法の事細かに至るまでオペレータに質問しているのが印象的であった。SCSMEXでエアロゾンデの基地となるのは、南シナ海上の小さな環礁で、軍の施設がある以外は何もない孤島に1か月滞在することになるらしい。チベットに5月から100日間滞在する予定の私と「こっちも大変だが、そっちも大変そうだな」とお互い笑いあった。

2日間パースに滞在し、チベットでの飛行計画についてもオーストラリア側とじっくり話し合った。見学の後半は、ポートヘッドランドに移動して実際にエアロゾンデの離発着と飛んでいる姿を見ることになる。

リーダーの Holland 博士は、急にメルボルンに帰らなければいけない用事ができ、ポートヘッドランドには同行できないという。「俺がいない方がみんな自由のできるのさ」とうそぶいていた。11月にメルボルンを訪れた際に、滞在の最終日にエアロゾンデ開発チーム全員に私も加えてもらってディナーを食べる機会があったが、そのときにも「家族とコンサートに行くから」といって、若い技術者と共に残されてしまった。軽んじられていると言ってしまうとそれまでだが、プロジェクト・リーダーとしての Holland 博士の大胆さを感じた。若い技術者と私だけになれば、プロジェクトのあまり外へ言えない事情まで私が聞いてしまうかも知れない。それでも敢えて、リーダーのいない場をつくるのは、「知りたいことは何でも知ってくれ」という自信とプロジェクトのメンバーへの信頼なのだろうか。Holland 博士は、プロジェクトのメンバーのことを「Aerosonde crew=乗組員」と呼ぶ。その言葉の中に、プロジェクトメンバーの技術への尊重を感じるのは私だけであろうか。(浅沼記)

3.2 ポートヘッドランドの暑い一日

我々が、Bureau of Meteorology, Australia の Kendal McGuffie に連れられて、赤い大地の Port Hedland に着いたのは、2月11日のもう夕方であった。現地スタッフが基地にしている空港の気象台を訪れ挨拶を交わした後、我々はホテルへと向かった。

翌日、8時15分にホテルを出て連れて行かれたのは、Leslie Salt Evaporators、果てしなく続く蒸発池に氷山のような塩の山が立つ風景であった。昨日、パースでコントロールの様子を見学した海風観測の離着陸はここで行われている。

入口に入って、80 km/h で5分程走ったところに、滑走路はあった。彼らが基地にしているのは、クーラー付の12畳は優にあるコンテナハウスで、動力源はなんと12.5 kVA の発電機、あとで聞いたらこれしかレンタル屋に無かったそうだが、まるでレーダを動かすような発電機である。こういう設備を簡単に用意できてしまう国の人が本当に何もかも不便なチベットでエアロゾンデ観測を実行できるのか、一抹の不安を覚えた。

行ってみると、もう現地スタッフは機体の整備中であつた。その段取りは以下のようなものである。台に固定された胴体部分だけのエアロゾンデを2人がかりで調整し、その後胴体の前半部を覆うカバーをテープで貼付け、そこに翼をねじで止める。これで機体は完成するのだが、その後、離陸までに確認を繰り返す。



写真2 車の屋根に備え付けられた発射装置にエアロゾンデを取りつける。この後、ジャイロ、翼、通信装置などの最終点検を行い、離陸を待つ(ポートヘッドランドの実験にて)。



写真3 車の屋根からのエアロゾンデ離陸の瞬間。約時速80 km で十分な揚力を得られるようになると自動的に飛び出す(ポートヘッドランドの実験にて)。

まず、機体を前後左右に傾けてジャイロの動作を確認、そして、ラジコンで舵の動作を確認する。その後、機体を2人がかりで離陸用のフォードのステーションワゴンの屋根の上に(なんと紐で縛って!)取付けられているランチャーに固定し(写真2)、車に載せて離陸開始位置まで移動する。今度は、無線で小屋と連絡を取りながらエンジンの動作確認をする。最後に炎天下のオーバーヒート対策で風が当たるように車を停止させて離陸開始の連絡を待つ。一連の様子は観測機器と言うよりまさに航空機の取り扱いである。屋根の上のエアロゾンデのエンジン音が大きくなり、無線で開始の合図を受けると、全力でフォードが走り出す。車速が80 km/h に達した時、ゴンという音とともにエアロゾンデがランチャーから離陸した(写真3)。



写真4 胴体着陸寸前のエアロゾンデ。高度300 m以下はラジコンと同じ誘導装置を用い、目視飛行である（ポートヘッドランドの実験にて）。

離着陸は、ラジコン操作で行うのだが、操縦はでっぷりと太った SENCON 社の David Hobby で、彼はオーストラリアのラジコン大会で5位に入ったラジコンの専門家である。彼の操縦で、エアロゾンデは高度300 mまで上昇して、そこからはコンテナハウスの中のパソコン経由で制御され、ポートヘッドランド空港の管制空域を抜けると、パースからの制御になる、はずであったがGPSの受信にトラブルがあり、すぐに着陸する事になった。やはりDavidの操縦で、先程離陸に使った砂地の広場に着陸する。エアロゾンデは車輪を持っていないので、炭素繊維に樹脂加工した丈夫な胴体で胴体着陸する(写真4)。話によれば、舗装路でも平気だが、草が生えていると引っかかって難しいのだそうだ。今までの最高記録はひざ丈の草だったそうだが、かなり難しかった様子である。

しかし、ここは暑い。40度くらいあってかなり湿度も高い。水を飲んで、ときどきクーラーに当たっていないと気分が悪くなる。一緒に見学していたSCSMEXから来た台湾人は水を持っていたが、我々は、昼までなら大した事はなかろうとたかを括って持っていなかったのだが、それは間違いだった。なんだか気分が悪い。後の昼食時に水のペットボトルを買って午後に備えた。

エアロゾンデの離陸は横風8ノット(4 m/s)以下でないといけないそうで、ここでは海風が吹き始めると離陸路の横風となるので、本格的に吹き始める前に離陸しなければいけない。急いで、機体を変え、離陸を行い、観測を行った。高度300 mを越えると、パソコン経由の制御になる。緯度経度高度を指定してそこを通

るように飛行させるのだが、さまざまな警告音がパソコンからでてくる。常に、パソコンを数画面切替えてモニターしている様子で、とても難しそうである。よく警告がでるのは、風向風速の観測のために、S字飛行を繰り返すためか。1時間程して管制空域を越え制御をパースに渡すと、夕方の着陸にまでここにいる必要は無いので、气象台へ引き返した。

夕方また現地へ行くと海風がかなり強い。8ノットを十分に越えているが、着陸は操縦者の腕による。Davidは鮮やかに機体を制御して、きれいに横風の中を着陸させた。

このようにして暑い1日は終わった。我々見学組は、タイ料理の店に行って食事した(香菜がないのが珍しかった)が、SENCOS社の人達は遅くまで作業をしていた。聞けば彼らはもう何週間もここにいるそうだ。大変な重労働である。エアロゾンデプロジェクトも、プロジェクトの常として現場の者は強烈にこき使われている。どこも同じと同情を感じた。(玉川記)

4. 話の顛末

この視察旅行から帰国し、我々はチベットでの集中観測期間中でのエアロゾンデの飛行に向けての準備に入った。しかしながら、中国側のカウンターパートである中国気象科学院(CAMS, Chinese Academy of Science)の反応が鈍く、そのせいかオーストラリア側との交渉も遅れがちとなった。3月末に浅沼が別の用事で北京を訪れた際にCAMS上層部と会談したところ、通信関連および飛行そのものの許可取得を含めて、中国側で何も手続きが進んでいないことが判明した。日本へ帰国後GAME-Tibet側で協議を重ね、CAMS側へ再三の催促を行ったところ、CAMSの出した飛行許可申請に対して中国当局から「チベット上空での外国籍の航空機の飛行は許可できない」との返答をもらったという知らせが届いた。日中間、日豪間を電子メールが行き交った末、エアロゾンデ数機の中国側譲渡も含めた対応策を日本側から提案したが、エアロゾンデに使用している米軍仕様のUHF通信技術の中国への譲渡に米軍の許可が必要であることが判明し、時間切れで交渉中止、計画断念となった。私自身、政情不安な地域での研究活動では、研究以外の諸々の事情に大きく左右されることを実感させられることとなり、GAME-Tibetでのエアロゾンデ飛行に関する取り組みは、終わった。(浅沼記)

5. おわりに

今回、実際にエアロゾンデの飛行とその制御状況を目の当たりにし、また開発チームとチベットでの飛行に関して議論して、「コンピュータディスプレイからの遠隔操作での飛行」と一言で言ってしまえば、簡単そうに見受けられるが、我々が想像していた以上に難しいことであることを我々は強く実感した。エアロゾンデの飛行制御については、未だ開発の余地が残されているように思う。エアロゾンデの主な開発目的が海上での観測であることから、これまで主に海上での実験を繰り返して来たようであるが、例えばアジアに多い人口密集地域での使用に関しては、安全上の問題が常に付きまとうであろう。GAME-Tibetでの観測を終えて帰国した今から振り返ると、もしも中国側との交渉がうまくいきエアロゾンデの機体をチベットに持ち込めたとしても、チベットのような山地において、実際に観測器械としての役割を果たせたかどうか、テスト飛行以上のことができたかどうかは、甚だ疑問が残るところである。

しかしながらエアロゾンデのような無人・無線制御の航空機を用いた気象観測は、有人飛行による観測に比べて経済的にもそして観測の自由度の点でも大きく利点があり、安全性に関する諸問題さえ克服されるならば、今後さらに発展していく分野であろう。冷戦後の世界において、関連した軍事技術が民需へ転換されていることも、これに拍車を掛けていることは想像に難くない。最近の似たような事例としては、ロシアで微気象観測用に開発している例 (Kukharets and Tsvang, 1998) や国内でも微量気体の観測用に開発している例 (国立環境研究所井上元氏よりの私信) もあるようである。

エアロゾンデに関する最新の情報は、オーストラリ

ア気象局のホームページから得られる (執筆時現在)。
<http://www.bom.gov.au/bmrc/meso/New/aero-home.htm>

また、CIRPASのホームページは<http://web.nps.navy.mil/~cirpas>

である。(浅沼記)

謝 辞

著者の1人(浅沼)の1997年11月の渡豪視察旅行は、地球フロンティア研究システムの援助を受けた。また1998年2月の著者ら(玉川・浅沼)の渡豪は文部省科学研究費(国際学術研究, 課題番号09041198, 代表福嶋義宏)の援助を受けた。また、この場をお借りして、幻となったGAME-Tibetでのエアロゾンデ飛行計画に御協力・御尽力頂いた方々に感謝したい。

参 考 文 献

- Bluth, R. T., P. Durkee, J. Seinfeld, R. Flagan, L. Russell, P. Crowley and P. Finn, 1996: Center for interdisciplinary remotely piloted aircraft studies (CIRPAS), *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**(11), 2691-2699.
- Holland, G. J., T. McGeer and H. Yongren, 1992: Autonomous aerosondes for economical atmospheric soundings anywhere on the globe, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **73**(12), 1987-1998.
- Kukharets, V. P. and L. R. Tsvang, 1998: A radio controlled aircraft to investigate atmospheric turbulence, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **15**(1), 215-218.
- McGeer, T. and G. J. Holland, 1993: Small autonomous aircraft for economical oceanographic observations on a wide scale, *Oceanography*, **6**(3), 129-135.