

【事例紹介】

モンゴルにおける成層圏気球実験

-草原の民が開く成層圏への道-

Stratospheric Balloon Experience at Mongolia:
The Road of the Grassland Have Led the Road for the Space

千葉工業大学惑星探査研究センター 秋山 演亮

AKIYAMA Hiroaki

(Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology)

キーワード：宇宙開発、成層圏気球、海外の大学との交流

成層圏気球、大空を舞う

「3, 2, 1, 放球！」威勢の良いかけ声にあわせて、大草原に広がる真っ青な宙に、白い気球と吊り下げられた計測機器がゆっくりと舞い上がっていく。モンゴル工業技術大学と千葉工業大学他日本の大学・研究機関によるモンゴルでの共同成層圏気球実験の一コマである。地上で約10kリットルのヘリウムを注入された直径約3mのゴム製の気球は、総重量約6kgのペイロードを秒速数メートルの速さで高度13km以上の成層圏まで送り込むことが出来る。最終的な到達高度はゴム気球の製造品質にもよるが、大体30kmから40kmの高度まで飛翔が見込まれる。途中、マイナス50度付近にまで達する低温帯を通過した後、1000分の5気圧程度の低圧状態でゴム気球は直径20m弱まで膨張しついには破裂する。その後は気球直下に取り付けられたパラシュートを使って、秒速数mの速さで地表まで落下する。航行中の経路は搭載したGPSを地上に無線送信することにより追跡され、落下地点を特定し回収する。我々は2016年度より3度に渡り、計9回の成層圏気球の放球・回収実験を行ってきた。

飛行機の巡航する高度10km付近にはジェット気流と呼ばれる高速の風(冬場には秒速数十mにも達する)が存在し、地表からの対流圏と上層の成層圏を物理的に分断している。そのため成層圏では地表由来の物質は少ないとされており、宇宙から飛来した物質が多いと言われている。千葉工業大学ではこのような宇宙由来物質(宇宙塵)に注目し、将来的にはその中から生命誕生の元ともなった物質を採取出来ないかと考え、成層圏気球実験を進めてきた¹。

¹松井孝典他：「モンゴルにおける中型成層圏気球実験と今後の予定」、気球シンポジウム、isas16-sbs-030, 2016

一方、共産主義崩壊後のモンゴルを支える若い世代（40代前半）は、これから伸びゆく新しいモンゴルを支える人材育成に関して大いに関心を持ち様々な取組を行ってきた。その目玉の一つが、日本の高度経済成長を人的な面で支えた「高等専門学校」いわゆる「高専」のモンゴルへの誘致・設立である。10代の若者を濃密な5年間の技術教育で一人前に育て上げる高専のシステムはモンゴル国内で広く支持されており、既にモンゴル国内に3つの高専が設立され優秀な人材が育ちつつある。この高専の学生に未知への世界へのチャレンジに参加する機会として、千葉工業大学の計画する成層圏気球実験は受け入れられ、両校を主体として様々な日本・モンゴルの大学・研究機関が参加する共同実験の機会として、開催されるようになった。



草原の国と自由気球

しかしそもそも、何故モンゴルで成層圏気球実験を実施するのだろうか？気球の歴史は世界初のライト兄弟の飛行機よりも100年も古く、世界的な空の運航に関する取り決めの中でも「自由気球」として分類されてその飛行権利が認められている。成層圏気球もこの「自由気球」に分類されている。しかし現在では気球よりも飛行機が航空機の大部分を占めており、多くの旅客・貨物が世界の空を飛んでいる。飛行経路の制御が出来ず、名前の通り風の吹くままに「自由」にしか飛行出来ない気球は、これら飛行機に衝突する危険がある。そこで衝突時に大きな損害をもたらす可能性のある「大型」気球、仮にぶつかってもほとんど被害を生じない「中型」・「小型」気球の分類があり、運用にあたっては搭載する機器や構造強度等に関して、それぞれ制限がかけられている。国内やモンゴルで日本の大学が多く上げているのは総重量が6kg以下の中型あるいは小型の気球である。これらは航空法的には前述の理由で規制が少ないため、大型気球に比べて軽装備かつ簡単な手続きで飛行申請・許可を取ることが出来る。一方、決められた空港に着陸する飛行機と違い、自由気ままに落下してくる気球には、「落下地点」に対する問題も存在している。広い山岳部とわずかな平野しか持たず周囲を海に囲まれた国内では、多くの場合、気球は海あるいは山岳部に落下してしまう。海岸から数十kmから200km近く離れた海面に落下した場合には、そもそも回収に行く手段の確保が極めて困難である。昨今では地球全体の高層大気を含めた大気循環モデルが完成しており、放球直前にはかなり精度良く落下地

点の推測をすることが出来るが、それでも落下地点は予測より数十 km 以上ずれる場合も多い。そのため、落下地点にあらかじめ船舶を配置しておくことは難しく、落下点に向かうにも遠洋の場合は沿岸部専用の船舶では法的に航行が認められない。また仮に遠洋航行が可能な船舶を使えたとしても（その場合の船舶使用料は沿岸用に比べて十倍以上に跳ね上がるため、大学の一研究室で手軽に行える金額を超えてしまう）船舶の速度は遅い為、落下点までの到達には半日以上時間を要することも有り、波の高い海面で位置情報を発する電波が受信できなくなることも多く回収は困難である。一方で山岳部に落ちた場合、山の稜線に遮られ、通信が途切れて落下位置を確定出来ないことが多い。また仮に落下位置が特定出来たとしても、道の無い山岳部の奥深くに分け入って樹高十数 m の木の上に引っかかった気球を回収することは事実上不可能である。かといって平地に落下した場合、日本国内ではそれは高確率で人口密集地域への落下を意味する。高圧電線や鉄道線路・高速道路・人家の上に落下した場合、2kg 以下の小型気球であったとしても、様々なトラブルを産む原因になる事は想像に難くない。最近急速に発展し、人口密集地帯で飛ばされることが多いドローンについては様々なトラブルが頻発したこともあり新しく規制が成立し、気球のような 2kg ではなく 200g 以上で多くの飛行制限が設けられている。気球はこのドローンの規制に従う必要は無いが、しかし運用面に当たっては落下が予測される地域との交渉の上でドローン規制を意識せざるを得ない。ちなみに宇宙航空研究開発機構(JAXA)は世界有数の気球実験グループを有し、長年にわたる放球経験がある。かなり大規模な準備と申請の上で、1t を超える大型気球などの実験も数多く行われている。気球は最初から遠洋に落下することを想定して飛行計画が立案されており、ヘリコプターを使って位置を確認後、船舶により回収が行われる（日本の法律では、ヘリコプターによる海上回収は自衛隊などきわめて限られた組織が緊急時に実施する場合にのみ認められている）。

また併せて国内では気球実験の為の無線許可申請が極めて通りにくい。海外でよく使われる様なスマートフォン等携帯電波を使う事は国内では固く禁じられており、気球に無線を搭載する為には、実験局申請をする必要がある。しかし電波利用を所管する総務省は、任意に停波を実施することが困難な無人気球に搭載する無線機にきわめて厳しく、現在では気球実験用の実験局の申請許可を取り付けることはかなり困難である。筆者の知る限りでは、気球実験に特化した実験局を有するのは、JAXA および和歌山大学などごく少数の大学・研究機関に限られている。以上のような理由で、今後はますます国内における成層圏気球の実験は困難になっていくと考えられる。

一方、モンゴルは日本の 4 倍の国土面積を持つ大陸内部の国家である。人口はわずか 300 万人であり日本の 1/40 にすぎず、しかもそのほとんど（150~200 万人）は首都ウランバートルに集中している。またモンゴルの東半分は草原と砂漠地帯であり、ここに数十万人の遊牧民が暮らしている。これら遊牧民の居住地とウランバートルは舗装された幹線道路で結ばれている。遊牧民の多くは町や村ではなく草を求めて日本の国土の 2 倍に相当するこの広い平坦な草原部に点在して生活している。これ

ら住居は舗装道路から数十 km も離れた場所に位置することも多い。しかし近代化の波は着々と遊牧民の生活スタイルを変えており、筆者も実際に行ってみて驚いたのだが、多くの遊牧民が日本から輸入した中古のハイブリッドカー（しかも四駆ではなく二駆のセダントype）を利用している。そのため、幹線道路の周辺に広がる広大な草原地帯にも、縦横無尽に「自動車」が走行した事により生じた「獣道」が形成されており、大草原のほとんどの場所は、直接車で乗り付けることが可能となっている。

また電波利用に関してもモンゴルでは大学・研究機関による実験は尊重されており、比較的自由に使用許可を取ることが出来る。このような理由から、筆者等は最近、モンゴルでの成層圏気球実験を加速度的に展開している。

プロジェクト・マネジメント体験としての気球実験

モンゴルにおける両国の共同成層圏気球実験は、日本国内の大学・研究機関にとっては成層圏をフィールドとした理学的・工学的な実験場としての魅力が大きい。国を挙げて若者の育成に取り組んでいるモンゴルにとっては人材育成手段としての側面が大きい。一つには宇宙へ



の入口である「成層圏」が若者に理学や工学に関する大きな興味関心を引き起こす点が、教育的にも大きな関心もたれる理由となっている。成層圏は高度 100km 以上の宇宙空間とは異なるが、しかしそこで撮られた映像では丸い地平線とうっすらとした大気層を見ることが出来る。またその上には漆黒の空が広がっており、宇宙空間で撮影される映像と遜色ない景色を見ることが出来る。このような場所に自分達の装置を飛ばし自由に稼働させることは、教育的なモチベーションとして最高である。また地上と隔絶した環境にある成層圏での機器動作やそこまでの長距離通信実験は、実際に工学上の多くの知見やノウハウ、成果を与えてくれる。現在、国内で進められている IoT においては、従来の Wi-Fi 機器では通信が不可能な 100m を越える長距離通信の手段として、LoRa²等の通信方式が検討されている。これらの通信方式の実験を行うにも地上の影響を受けない成層圏気球は最適である。

また通常の学校での授業の成績評価は、一人一人の個人に対して行われる。しかし実際の社会生活においては、その評価は「チーム全体」が成し遂げた「成果」に対して下されるのが一般的である。成層圏気球実験は一人では実施が出来ない。数人以上の協力によって実施される「プロジェクト」に参加しマネジメントに取り組むことで、通常の授業だけでは学べないステークホルダーとの調整やスケジュール管理・リスク管理などに関して、on the job training 的に学習することが可能である。

² 少ない電力で長距離通信を可能とする方式の一つ。

筆者等も様々な「宇宙教育」の一環として成層圏気球実験を位置づけており³、共同実験を通じて、モンゴルにも教育手法として輸出を行っている。

気球実験がもたらす工学的な意義

山岳が少なくなだらかな地形が続くモンゴル東南部においても、地球が球体であることに起因する地平線問題のため人間の高さ程度に置かれた通信機は数 km で地平線の影に隠れてしまい、信号は直達出来ない。またそもそも水蒸気の発生源等も含めて地上には様々な電波伝搬障害要因があるため、衛星等への搭載を想定した通信機の試験には限界がある。成層圏気球の到達高度は 30~40km であり、垂直距離だけを考えると衛星(高度数百 km 以上)に比べて比較的距離が短い、水平方向には 100~300km も距離を取ることが可能であるため、地平線や地上の影響を受けることなく無線実験を行うことが可能である(高度 30km の成層圏気球から見た場合、地平線までの距離は約 650km)。

また気球は通信プラットフォームとしての活用も可能である。日本では過去にも「成層圏プラットフォーム」構想が検討され、大規模な無線通信プラットフォームとしての利用が検討されたことがある。ここまで大規模でなくても数百 m 程度の係留気球を使うことで、モンゴルのような平原の国では家畜の位置情報等の様々なデータを集めるシステムを利用することが出来る。我々の気球実験においても、国内から参加している山梨大学や京都産業大学のチームはこのような通信機器の実験に力点を置いている。最近の実験では省電力通信機器を使い、気球からの位置情報の送信(ダウンリンク)を行うだけではなく、地上からの信号送信(アップリンク)により気球に搭載された装置を稼働する(目標高度で気球を切り離す等)の実験にも成功している。現在、筆者等は国内において低消費電力かつ安価な IoT デバイスの開発も進めているが⁴、今後は共同実験の成果を反映し、モンゴルにおける畜産や農業、防災・減災のためにこれらの機器の普及教育を行う事も検討している。

今後の展開

国内での成層圏気球実験の実施が困難になる中、我々は今後ますますモンゴルでの共同実験を強化・拡充していきたいと考えている。IoT や長距離通信等の工学的な意味合いに加え、大気汚染の垂直分布計測などを通じた環境問題の研究、あるいは宇宙由来の物質分析等の理学的な課題に至るまで、その用途を広げていきたい。モンゴル側でも国土条件が成層圏気球実験に有利であることが理解され始めており、モンゴル工業技術大学以外にもモンゴル国立大学・モンゴル科学技術大学等が実験に興味を示し、将来的には国際成層圏研究所の設立も視野に入れた検討を行っている。成層圏という宇宙の

³ 秋山演亮他「教育用ロケットの打上げ実験場の開発と Candy Rocket」第 59 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1M03(JSASS-201504196), 2015

⁴ 秋山演亮他「低軌道衛星を活用した現地観測情報収集システムに関する実証試験」、砂防学会概要集、2016

入り口を目指したフロンティアに対する国際的な挑戦の中で、日本やモンゴル、そして参加する他国の学生との協力が生まれ、将来の世界を支える新しい人材・人脈が形成されることを強く望んでいる。モンゴルでの成層圏気球共同実験・教育への参加を希望される場合は、お気軽に連絡をいただければ幸いである。