

2017 年度モンゴルにおける成層圏気球実験

千葉工業大学 惑星探査研究センター 秋山演亮

1. モンゴルにおける気球実験概要

国土が広く平坦地が広がり、車両通行可能な道路が縦横に走るモンゴルは気球実験の適地である。千葉工業大がでは国内外の関係機関と協力し、2016 年度よりモンゴルにて中・小型の成層圏気球実験を実施してきた。表 1 に 2017 年も含めこれまでの実験をまとめる。

表 1 モンゴルにおける成層圏気球実験のリスト

回数	年.月	ペイロード	到達高度	副ミッション等
1	2016.6	5,200g	40.0km	ダスト回収、動画撮影
2	2016.9	4,800g	21.4km	ダスト回収、動画撮影
3	"	4,000g	33.1km	動画撮影(TV 企画協力)
4	2017.6	2,300g	36.2km	双方向通信
5	"	2,300g	35.7km	双方向通信
6	"	(2000g 以下)	不明	モンゴル科学技術大学実験
7	2017.9	1,000g	33.4km	気球切り離し制御
8	"	4,800g	15.4km	気球内圧測定、動画撮影、ダスト回収
9	"	4,800g	31.5km	気球内圧測定、ダスト回収

これまで 9 回の実験すべてにおいて、ペイロードの回収に成功している。しかしそのうち 2 回は回収隊よりも先に現地にいる遊牧民が発見しており、このような事態を予測していなかった 1 回目は機体に案内が無く解体されてしまう事態も生じた。しかし 2 回目以降はペイロードにモンゴル語で、実験機器であり発見時には連絡を依頼する文章を入れたことで解体されずに回収を行うことが出来た。

2. モンゴル国内での国内法規・気象環境・情報インフラ・ヘリウム入手状況の現状

<国内法規>

昨年度、FAA 規則に準じたモンゴル国内規則があるが、英文とモンゴル語の内容に齟齬がある（大型・中型・小型の区別がモンゴル語では抜け落ちている）などの不備があることが判明した。この点はモンゴル航空当局も把握しており修正が行われるとの話になっていたが、運用面では改善されつつある。

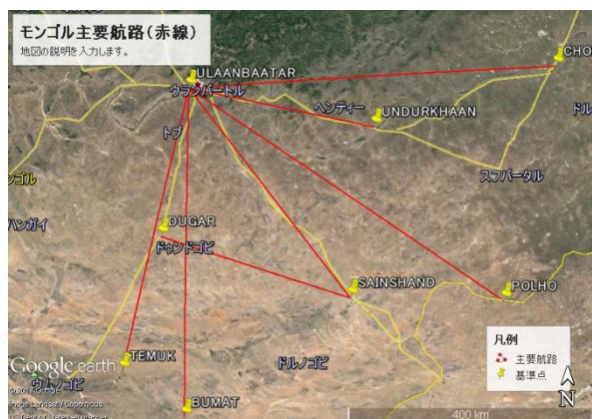


図 1 モンゴル主要航路図

一方で「レーダに写りやすくする為の反射板」（長さ 40cm、直径数 cm 程度の直交するアルミテープを貼り付けた反射板）や小型パトランプ（LED 等を用いた高輝度の物。全体重量は十数 g 程度）の搭載が求められるなど、大型気球に準じた規則が 2017 年でも引き続き求められた。またノータムを出しているにもかかわらず、航路の交差には過敏と思われるほどの注意が求められている。2017 年度の 6 月および 9 月期の実験においては、航路を航空機が飛行する可能性のある時間帯では気球の放球が認められず、正午から 16 時頃までに限定される等の制限があった。しかし 12 月の実験に向けて航路局に貼り図よく交渉を行った結果、気球が高度 18km 以下を飛行する範囲が航路を横切らないことを条件に、放球が航空機の飛行時間によらずに認められることとなった。図 1 にモンゴルにおける主要航空路を示す。なお、自由気球の飛行にあたっては、航空局への届け出の他に、空司令部・情報局にも、計画書の提出が求められている。無線使用にあたっては事前に申請が必要であるが、モンゴルの大学機関が研究に参加している場合、多くは「学術目的の一時的な電波使用」として運用上は無届けでも使用が黙認されることも多い。国内的にもまだ無線使用の届け出等の整備が確立していない部分もあるようだが、今後、安定的に使用を進める為に、むしろ我々の利用を契機に関係機関との調整が進められて制度化されることが望ましい。

< 気象環境 >

表 2 にウランバートルの各月の気象状況を示す。

表 2 ウランバートルの気象状況

ウランバートルの気温・降水量・ベストシーズン

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
最低気温(℃)	-26	-22	-14	-4	3	10	12	10	3	-5	-16	-23
最高気温(℃)	-16	-10	-1	8	17	22	24	22	16	7	-6	-14
降水量(mi)	1.9	1.9	2.8	6.4	14.6	36.7	46.5	46.1	22.6	5.3	4.8	3.5
ベストシーズン					★	★	★	★	★			

2016 年および 2017 年は、ベストシーズンとされる 6 月および 9 月に実験を行った。いずれも気候には恵まれたが、特に午後には断続的な突風が吹くことも有り、放球は朝方に実施することが望ましい。また今回、2017 年 9 月に実施した実験では搭載した理学機器の動作が不調で会ったことも有り、12 月に再実験を予定している。12 月は表 2 に示すように厳寒期に相当するが、一方で大陸性の高気圧に覆われていることも有り、以外と風は弱いとも言われている。しかし厳寒状況下で突風に耐えて放球準備をすることは大変な困難が予測される。そこで 12 月の実験より、専用の「ゲル」を準備することとなった。通常、ゲルの直径は数 m 程度、高さも 3m 程度であるが、今回我々が準備するのは直径が 10m 弱、高さも 5m 以上あるものを予定している。また通常は 1 カ所の入り口も 180 度離して 2 カ所準備する。ゲルの上部には直径 5m 円形の骨組み

を配置することで、天窓からの気球の放球を可能とした。ペイロード重量が **6kg** 程度となる中型気球においても、放球時の気球直径は 2～3m 程度であるので、余裕を持った放球が可能と考えられる。ゲルは移動式であり、任意の放球点に持ち運べるメリットもある。ただしゲル全般の運搬と上部の 5m 直径の円形部材の設置の為に、ユニック等の作業員が必要である。



図 2 一般的なゲル

3. 2017 年の実験状況

2017 年は 6 月に予備的な実験を実施し、9 月には理学目的で本格的な放球実験を実施した。表 3 に 9 月の実験状況をまとめる。

表 3 2017 年度 9 月期実験状況

放球日	20170908	20170909
放球時刻(MST)	13:30	12:58
破裂時刻(MST)	15:53	14:16
回収時刻(MST)	16:33	15:09
重量	総重量 7,200 g	総重量 5,280 g
初期気球重量	3,400g	3,400g
破裂後気球重量	2,500g	980g
ヘリウム量	12Kℓ (ただし不正確)	12 Kℓ (かなり正確)
最高到達高度	15.375 km	31.115km
水平移動距離	132km	121km
初期上昇速度	1.3m/s	6.5m/s
終端下降速度	3m/s	4～5m/s

これはこれまでの実験でも見られた現象であるが、充填したと考えられるヘリウム量に対して、上昇速度がきわめて遅い現象が見られた。本来であれば放球前に気球の浮力を正確に測定出来ると良いが、現地では突発的な風が吹くことも多く、計測は困難である。また気球へのヘリウム充填はボンベ圧のみで行っていることもあり、従来はボンベ残圧をあまり正確に測定していなかったが、計算してみると外気温およびボンベ残圧をきちんと計測しないと、想定していたヘリウム量が充填されていないことがわかった。そこで 2 回目以降は外気温およびボンベ残圧を正確に計測することでヘリウム充填量をより正確に計測することで、規定の上昇速度を得ることが出来た。

12 月の実験では、ゲル内でのヘリウム充填を予定していることもあり、直接浮力を正確に計算することで、上昇速度を厳密に定める予定である。

また 1 回目の実験では、気球高度が 15km と低高度にとどまってしまった。これは時

折見られる現象で、手作りであるゴム気球の製造ムラとも考えられている。一方、この時は上昇速度が遅かったことも有り、極低温（ $-40\sim 50^{\circ}\text{C}$ ）となる空域に長時間滞在したこともわかっている。このような極低温が気球の物性に悪影響を与えた可能性も否定しきれない。本件に関しては今後、低温下における気球素材の引っ張り強度試験等を実施することで、状況を解明したいと考えている。

また 2 回目の実験では十分な高度に達したが、搭載した理学機器側の不調で出すとの回収装置が作動しなかった。そのため、12 月に再度実験を実施することとなった。

4. 今後の予定

2017 年 9 月期の実験失敗を受けて、急遽 12 月にも再実験を実施することとなった。今回は航空局の理解も有り、朝 9 時からの放球が認められている。また専用ゲルを準備予定である。

気球のヘリウム充填はゲル内で行うが、搭載装置はあらかじめ天窓を通した吊り下げ索により野外に置くことで、気球の放球時にゲル内で引っかかるなどせずに放出できる事を計画している。

一方搭載する理学機器に関しては、千葉工大内に気球実験専用の真空槽を準備し、事前実験を実施した。（図 3）当真空実験層では液体窒素を使うことで低温試験も実施することが可能な構造となっているが、現時点ではまだ低温実験は実施していない。来年度以降、必要に応じて低温実験も実施する予定である。

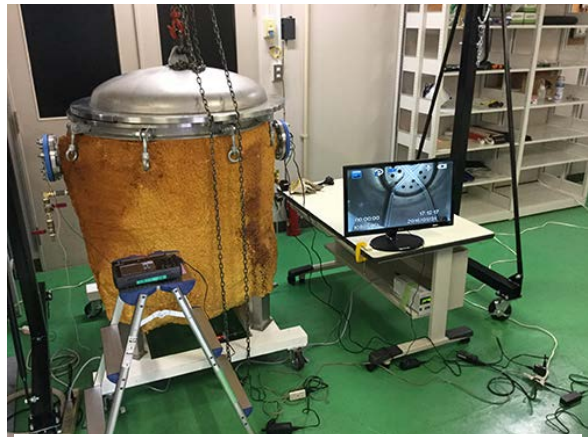


図 3 千葉工大に設置した真空実験層

5. まとめ

千葉工大では国内外の関係機関と協力し、モンゴルにおいて 2016 年度より継続的に成層圏気球実験を実施している。これまでのペイロード回収率は 100%であり、いずれも低コストの実験費用で成功している。これらのことから実験地としてのモンゴルが適していることを証明することが出来た。一方でモンゴル国内の関係各所との調整等は引き続き必要であり、今後も継続した実験を行うことで、恒常的な実験場としての環境の整備に努めたい。

6. 謝辞

本気球実験を実施するにあたり、宇宙生命・宇宙経済研究所（ISPA）の支援を戴くことが出来た。またモンゴル国内での実験環境の整備にはモンゴル工業技術大の Serugelen 総長およびスタッフの皆様にも多大なる御尽力を戴いた。ここに謝意を表する。