

# 微生物採集装置の開発

飯嶋 一 征<sup>1</sup>・井筒 直 樹<sup>1</sup>・福家 英 之<sup>1</sup>・斎藤 芳 隆<sup>1</sup>  
川崎 朋 実<sup>1</sup>・松坂 幸 彦<sup>1</sup>・並木 道 義<sup>1</sup>・太田 茂 雄<sup>1</sup>  
鳥海 道 彦<sup>1</sup>・山上 隆 正<sup>1</sup>・山田 和 彦<sup>1</sup>・瀬尾 基 治<sup>1</sup>  
山岸 明 彦<sup>2</sup>・横堀 伸 一<sup>2</sup>

## Development of the microbe sampling device

By

Issei Iijima<sup>1</sup> · Naoki Izutsu<sup>1</sup> · Hideyuki Fuke<sup>1</sup> · Yoshitaka Saito<sup>1</sup>  
Tomomi Kawasaki<sup>1</sup> · Yukihiro Matsuzaka<sup>1</sup> · Michiyoshi Namiki<sup>1</sup> · Shigeo Ohta<sup>1</sup>  
Michihiko Toriumi<sup>1</sup> · Takamasa Yamagami<sup>1</sup> · Kazuhiko Yamada<sup>1</sup> · Motoji Seo<sup>1</sup>  
Akihiko Yamagishi<sup>2</sup> · Shinichi Yokohori<sup>2</sup>

**Abstract:** The microorganism sampling experiment of the stratosphere and the troposphere was conducted by using the airplane by Tokyo University of pharmacy and life science. As a result, the bacterium of a strong ultraviolet rays tolerance exists in the stratosphere compared with the bacterium sampled on the ground. However, limit flight altitude of an airplane is about 12km. Therefore, to sample the atmosphere in a higher stratosphere, the balloon experiment of ISAS and Tokyo University of pharmacy and life science was planned. The device to sample the thin atmosphere was jointly developed. This paper deals with newly developed thin atmospheric sampling device to take microorganism. At first the design concept of this new sampling device is explained in detail. Then the actual device construction and some result of its flight are described.

### 概 要

平成11年から数回にわたり東京薬科大学による航空機を用いた成層圏、対流圏での大気中粉塵のサンプリングが行われ微生物の採取が行われた。その結果、大気圏上空では地上で採取した菌よりもより強い紫外線耐性の菌が多く存在していることが明らかとなった。しかし、航空機を用いた実験では飛行高度の限界が12kmであった。それ以上の上空にはより紫外線に強い菌の存在が予想される。そこで、より高高度での観測と長時間の大気採集が可能にするため大気球を用いた成層圏における微生物採集実験が計画された。宇宙科学研究本部では微生物採集装置の開発、製作を行い気球に搭載して微生物採集実験を行った。本論では新採集装置の開発、製作、本装置を使用した計2回の微生物採集実験の飛翔結果について報告する。

重要語 成層圏, 紫外線耐性菌, 微生物採集装置

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部

<sup>2</sup> 東京薬科大学

## 1. はじめに

平成13年度より，宇宙科学研究本部と東京薬科大学の協力による成層圏における紫外線耐性菌の採集実験が大気球を用いて行われている．本研究は成層圏での大気を長時間採集することによって，その中の微生物の分子生物学的解析を行うと同時に紫外線耐性菌の分布を明らかにしようとするものである．

この採集装置は大気吸い込み方式を用い，吸引した大気を装置内のフィルターでろ過し微生物を採集するシステムである．平成13年の第1回成層圏微生物採集気球実験では高度20kmで約1,000リットルの大気の吸引を行ったが，耐紫外線菌の採集はできなかった．平成16年度の第2回成層圏極限環境微生物の採集実験からは大気の吸引量を増大するために新たに微生物採集装置を開発し，気球に搭載した．

## 2. 実験概要

高度20kmで微生物採集装置を水平浮遊状態に入れ，モーターポンプで大気を装置内に吸引する．吸引口より取り込まれた大気は装置内の微生物採集用フィルターで濾過され，排出口より排出される．採取装置のライン概略図を図1に示す．装置は直径約1mのアルミ製の防水ゴンドラに納まるようにつくられ，吸引口，排出口はゴンドラ枠外の大気に開放されている．各ライン，吸排出口に設けてあるバルブは気密性の高いゲートバルブを使用しており，着水時の採集フィルター部への海水の浸入を防ぐ構造とした．フィルターは菌を確実に捕えるように，目の細かい孔径 $0.45\mu\text{m}$ のメンブランフィルターを使用した．メンブランフィルターの諸元を表1に示す．フィルターホルダー部は取り外し式となっている（図2）．また，フィルター押さえも，押さえの金具部分

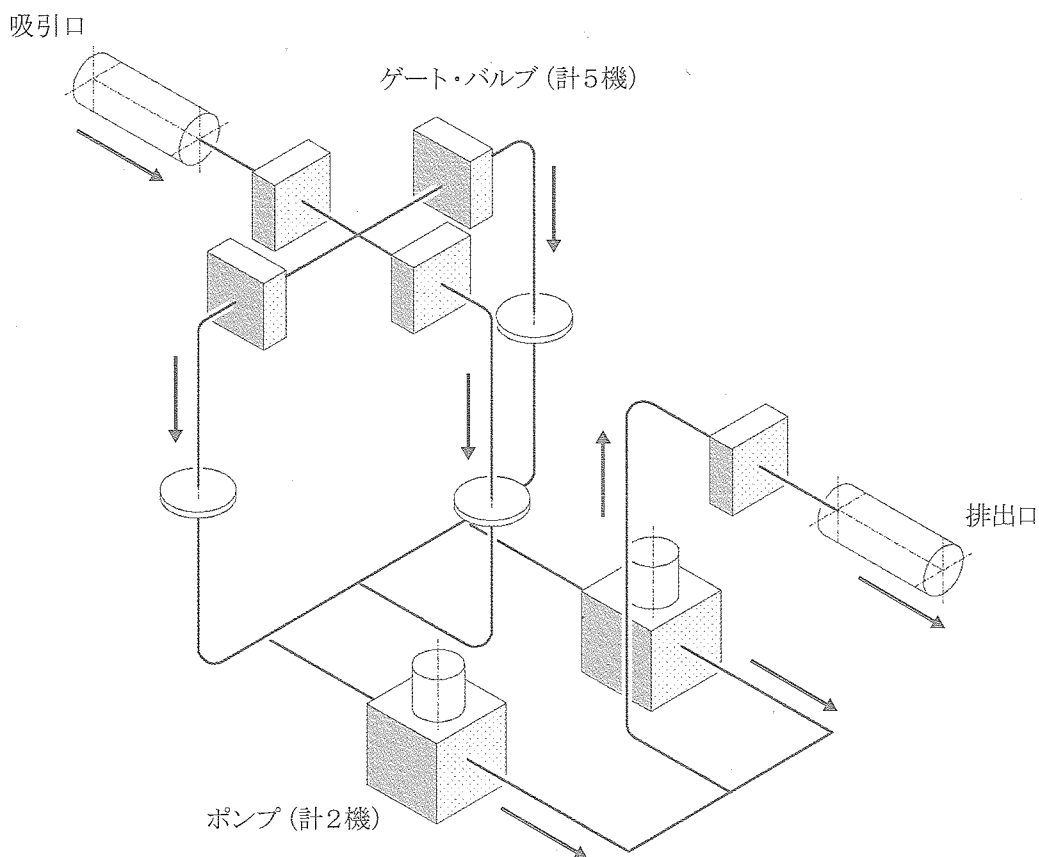


図1. 微生物採集装置概略図

を少なくし大気通過量を増すように製作した(図3)。採集ラインは3系統あり、バルブ操作によって切替えることができる。採集装置が収まるアルミ製の筒(直径1.04m、高さ0.56m)は、内部を1気圧に保つように機密処理が施されている。図4に装置外観図を示す。写真上側に吸引口、下側に排出口が延びている。採集装置総重量は約200kgである。採集終了時は、ゴンドラ着水時に海水が浸入することを防ぐために各ラインのゲートバルブを閉じて各ラインを気密とし、気球からゴンドラを切り離す。回収された採集装置からフィルターホルダー部を取り出し、研究機関に持ち帰り濾紙を培養液で培養し、採集された微生物の存在を確かめる。培養された微生物は耐紫外線強度試験およびDNA検定が行われる。

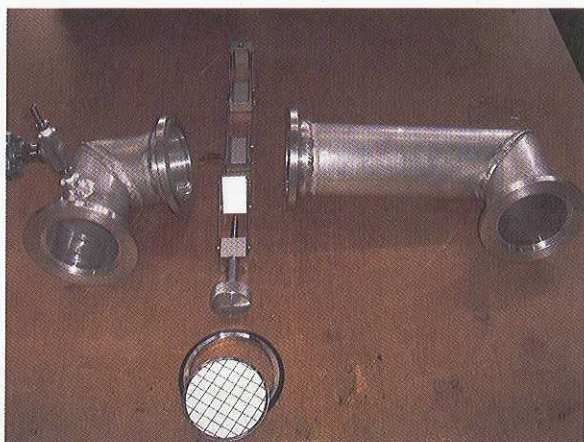


図2. フィルターホルダー部

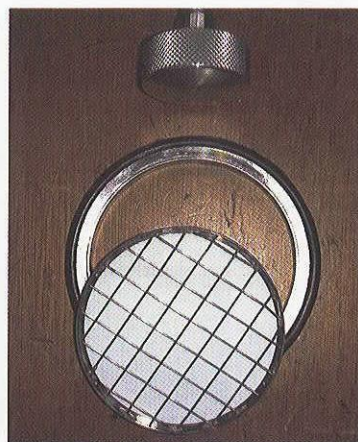


図3. フィルター部

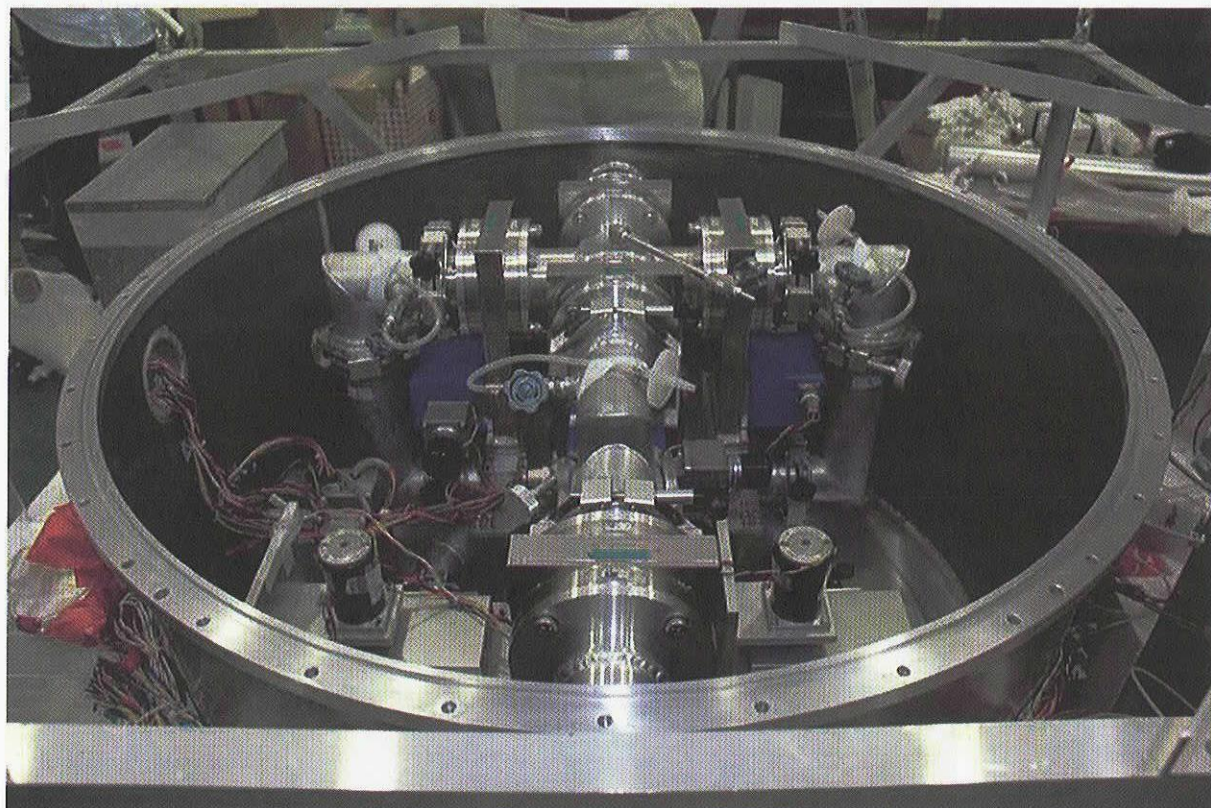


図4. 微生物採集装置外観図

### 3. 採集装置

平成13年に行われた第1回目の実験では採集量が約1,000リットルであった。平成16年からの実験では更に大気採集量を増やし短いサンプリング時間で確実に目標採集量を達成できるように新たに微生物採集装置を開発した。採集装置のフィルター径、装置管径を以前の装置と比較して約2倍の $\phi 90\text{mm}$ に改良した。また3機並列に搭載されたポンプのうち1機は内部の羽根車が大型のものをを使用した。ゴンドラ着水時の海水の浸入を防ぐためのバルブをバタフライバルブから気密性の良いゲートバルブに変更した。表3にゲートバルブの諸元を示した。図4に採集装置外観図を示す。

平成17年度では採集大気量をさらに増やすために装置内部の羽根車ポンプをすべて大型のもの2機(図9)に変更した。平成16年度の採集実験に使用された採集装置機器は、一度すべて分解しオーバーホールと洗浄を行った。また前年度実験で大気採集後、大気吸引口と排出口のゲートバルブ(株)フジテクノロジー製、型番:MEX-80JIS-D24)が長時間飛翔したため、電源容量が不足し動作せずにバルブが開いた状態で海面に着水させてしまった経験から、今回は電源容量を前年度の倍に設定した。



図5. ゴンドラ飛翔形態

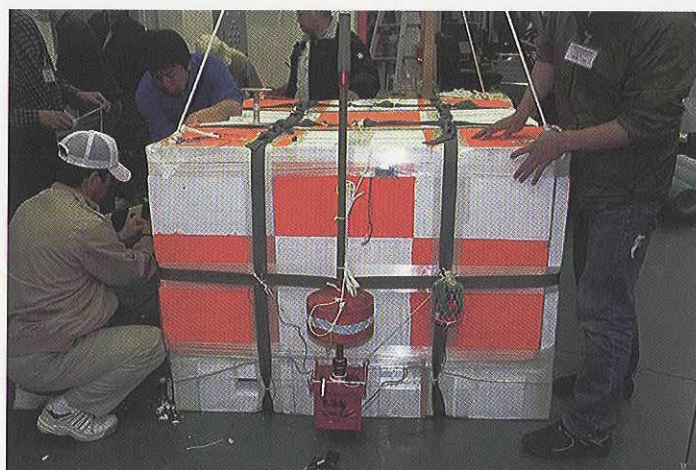


図6. ゴンドラ飛翔形態

表1. フィルター諸元

名称	MEMBRANE FILTER
POLYMER	MIXED CELLULOSE ESTER
CAT. NO.	A045A090C
LOT.NO.	31CGIA
製造元	ADVANTEC
孔径	0.45 $\mu$ m
フィルタ径	$\phi$ 90mm (白色)

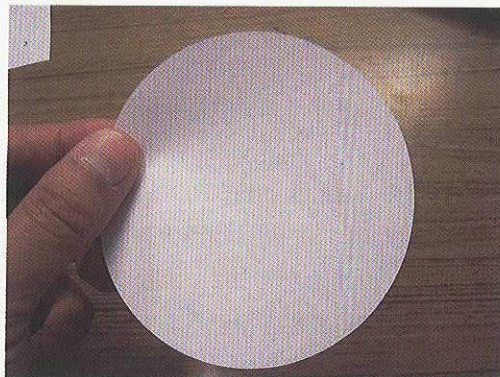


図7. 微生物採集用フィルター

表2. 直流モーター諸元

型式	DMW-45 (羽根車式ブロワー)
製造元	テックス(株)
定格電圧	DC74V
定格回転数	5700 $\pm$ 300R.P.M
定格出力	37W
定格負荷	0.65kgcm
定格負荷電流	2.5A 以下
無負荷回転数	6200 $\pm$ 300R.P.M
無負荷電流	1.0A 以下
回転方向	CW CWW
耐電圧	A.C.1000V 1 分間
絶縁抵抗	40M $\Omega$



図8. 大型羽根車ポンプ

表3. ゲートバルブ諸元

型式	MEX-80JIS-D24
製造元	(株)フジテクノロジー
リーク量	1 $\times$ 10 <sup>-10</sup> Pa $\cdot$ m <sup>3</sup> /s 以下
使用領域	大気圧 $\sim$ 10 <sup>-7</sup> Pa
フランジ材質	SUS304
弁体パッキン	バイトンOリング
弁棒シール	バイトンOリング
真空グリス	フォンブリン
モーターメーカー	ツカサ電工(株)
モーター型式	TG-30F-BM-100HA, 24V
モーター定格トルク	1.7Nm
モーター定格電圧	DC24V
コネクタ型式	SRCN 6 A21-16S (日本航空電子工業)
開閉時間 (24V)	約7秒
限界温度本体	150 $^{\circ}$ C
限界温度駆動部	50 $^{\circ}$ C



図9. ゲートバルブ

#### 4. 環境試験

開発した採集装置の実際の気球高度における吸引量を調べるために、真空恒温槽を用いて吸引特性試験を行った。

真空恒温槽内（isas内D棟3F）に採集装置、流量計を設置し、槽外に電源、流量計測器、データ収集用PCを配置した（図10）。流量計は低気圧下でも測定可能な(株)カイジョーソニック製の超音波流量計を用いた。表4に超音波流量計の諸元を示した。試験では実際に本番で使用されるメンブランフィルターをセットして行った。管路は本番で長時間採集に用いるラインで測定を行った。環境試験の結果を表5、図13に示す。

図13より本装置は高度19.5km付近で、1分間に7.2リットル程度の大气採集能力があり、また、10,000リットルの大气を採集するためには、約23時間の採集時間が必要であることがわかった。また、環境試験槽の中でもコマンドによるモーター On/Off、バルブ開閉は正常に動作することが確認された。

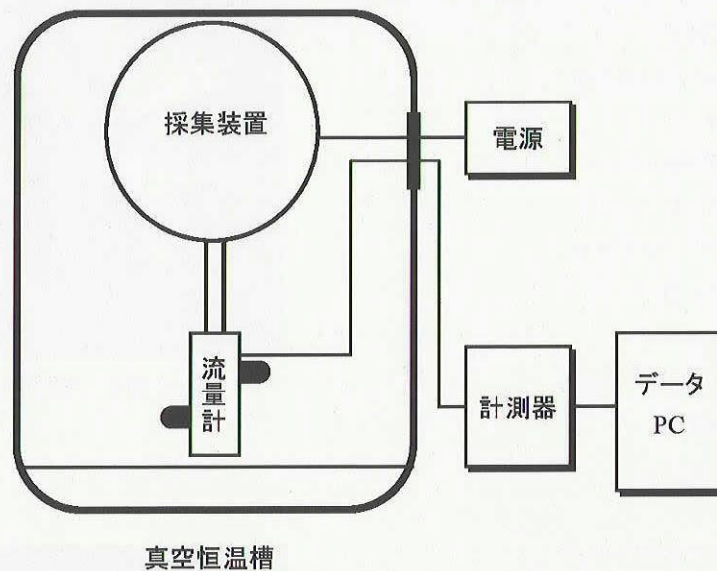


図 10. 環境試験設置図

表 4. 超音波流量計諸元

型式	GF-2000
製造元	(株)カイジョーソニック
演算方式	超音波伝播時間逆数差演算
適用流体	一般気体
センサー取付	取付け角度60°
センサー適用口径	50A~5000A
測定範囲	設定可能レンジ：±60m/s
測定範囲	測定保障範囲：±60m/s
測定精度	0 < FS 流速 < 5 m/sFS；± 1 %FS + 0.05m/s 0 ≤ FS 流速 ≤ 60m/sFS；± 1 %FS 5 ≤ FS 流速 ≤ 60m/sFS；± 2 %RD (但し、レイノルズ数補正後)
測定分解能	0.5m/s 以下

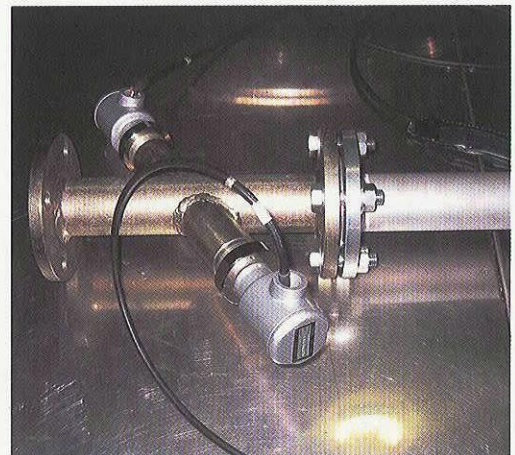


図 11. 超音波流量計本体

再現性	0.2%
設置条件	上流側：15D，下流側 5 D
供給電源	AC100V

### 超音波流量計原理

管路内を流れる気体に超音波を伝搬させると、伝搬速度は気体の流速に対応して変化する。この原理を応用して管路内の気体の流速を測定し、流量に換算して電気信号で出力する。

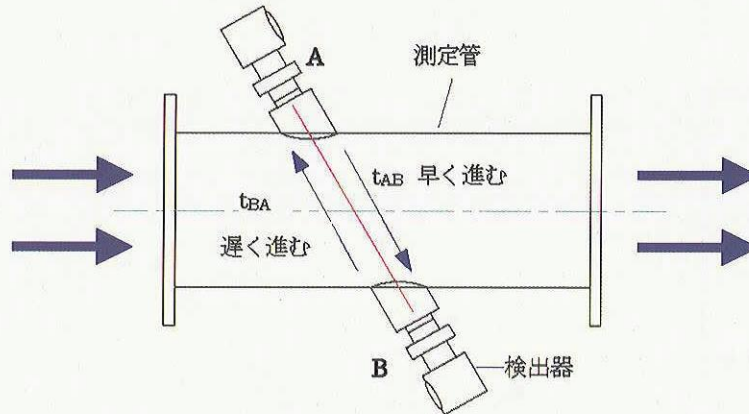


図 12. 超音波流量計原理

静止流体中の超音波の伝播速度  $C$  は、気体の種類、温度、圧力が決まれば一定となり、気体が流動するとその方向と流速に対応して変化する。流れの向きと超音波の伝播速度が順方向であれば伝播速度は流速分だけ増加し、逆方向であれば流速分だけ減少する。

配管に予め決められた位置に配置した超音波センサーから超音波を交互に送受信する（図12）。管内に流れがある場合、上流側 A から下流側 B に向かって超音波が伝播する時間  $t_{AB}$  は流れに順方向のため早く伝搬する。逆に下流側 B から上流側 A に向かって超音波が伝播する時間  $t_{BA}$  は流れに逆らうために遅くなる。 $C$  は音速、 $L$  は超音波の伝播する距離とし、これを式で表すと、

$$t_{AB} = \frac{L}{(C + V \cos \phi)}$$

$$t_{BA} = \frac{L}{(C - V \cos \phi)}$$

となり、この超音波の伝播時間の差から流速  $V$  を求める。 $\phi$  はパイプと軸と超音波伝播軸との角度である。

$$V = \frac{L}{2 \cos \phi} \left( \frac{1}{t_{AB}} - \frac{1}{t_{BA}} \right)$$

上式より、音速の項が計算式から除かれているので、ガスの成分、温度、圧力などの影響で音速が変化しても、流速計算には影響しないために安定した計測が可能となる。

表 5. H16年度 試験結果—大気採集能力

圧力[mmHg]	圧力[hPa]	流量[m <sup>3</sup> /min]	流量[m <sup>3</sup> /min]NTP
760	1013.3	0.0318	0.0318
532	709.3	0.0417	0.0292
191	254.7	0.0738	0.0185
91	121.3	0.1054	0.0126
47	62.7	0.1162	0.0072

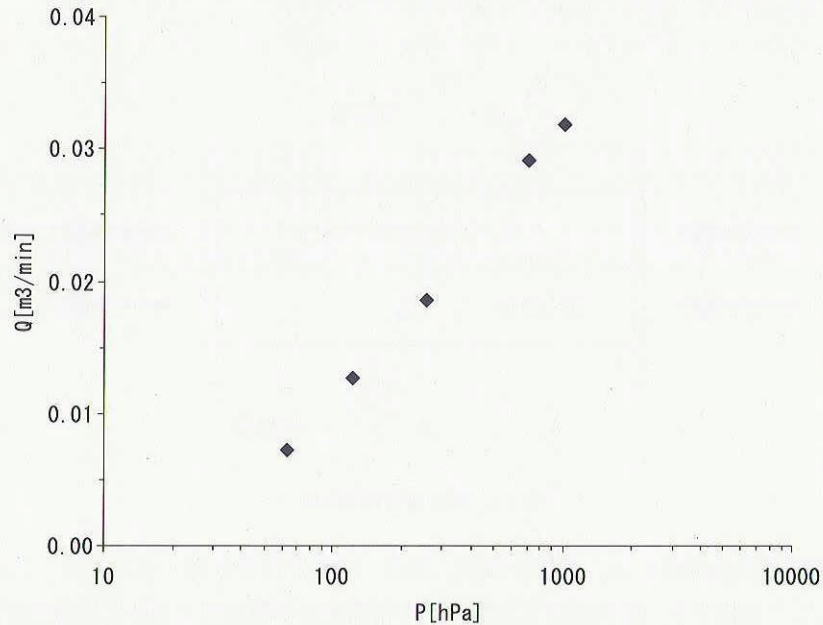


図 13. H16年度 試験結果—採集量

平成17年度では吸引ポンプを全て大型のものに変更し2機並列に設置した。流れの脈動が前年度と比べると顕著に現れた。最大採集量は約1.6倍になったが、同時に脈動の正負のブレ幅も大きくなり、採集流量は去年と同程度であった。図14に常圧での試験結果を示す。

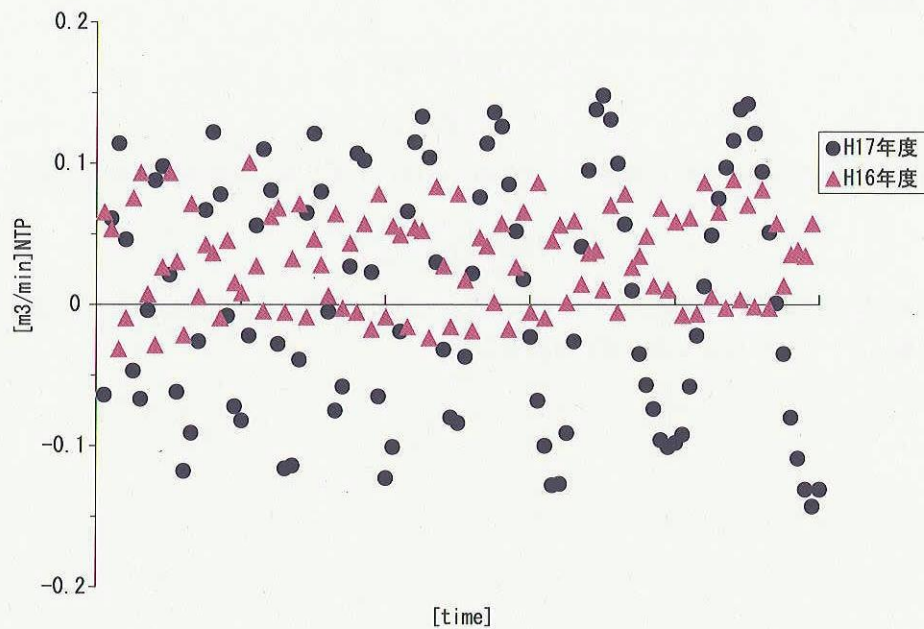


図 14. H17,16年度 試験結果—大気採集量 常圧



## 5. 飛翔実験

新採集装置を用いた成層圏微生物採集実験は平成16年度より計2回行われた。平成16年度採集実験は平成16年8月25日に岩手県大船渡市三陸大気球観測所において行われた。使用した気球は容積1万5千立方メートルであり、ゴンドラから気球頭部までの全長が73mであった。採集装置を含む観測器の重量は347kgであり、気球高度コントロール用バラストを全重量の53%にあたる240gを搭載した。

気球は8月25日7時30分に放球され、相乗りした中性子の観測を行いながら、放球から2時間34分後に排気弁を操作し、高度20kmで気球を水平浮遊状態にし、成層圏大気の採集を開始した。

その後、気球はゆっくりと東方に進行し、バラストを投下し気球を高度25kmまで上昇させ、戻り風領域に入った。その後気球は西方に進行し、気仙沼湾南東方約20kmに達した時、指令電波を送信し、観測器を気球より切り離し緩降下させた。気球および観測器は8月26日中にヘリコプターと回収船によって無事に回収された（気球：N38°43'62"E142°06'00"，ゴンドラ：N38°44'00"E142°12'00"）。

平成17年度実験は平成17年6月6日には容積3万立方メートルの気球を用い実験が行われた。採集装置を含む観測器の重量は307kgであり、気球高度コントロール用バラストを全重量の53.8%にあたる247gを搭載した。

気球は6月6日AM5時55分に放球され、気球は高度約22kmでレベルに入り、7日AM4:55に海上に着水した。飛翔時間は約23時間であった。気球および観測器は6月7日中にヘリコプターと回収船によって無事に回収された（気球：N38°47'89"E141°40'81"，ゴンドラ：N38°47'53"E141°42'17"）。図15に気球の飛翔航跡図、図16に高度曲線、図17に気球荷姿図、図18にB15-84号機の放球の瞬間の写真、表6にポンプ操作時刻を示した。

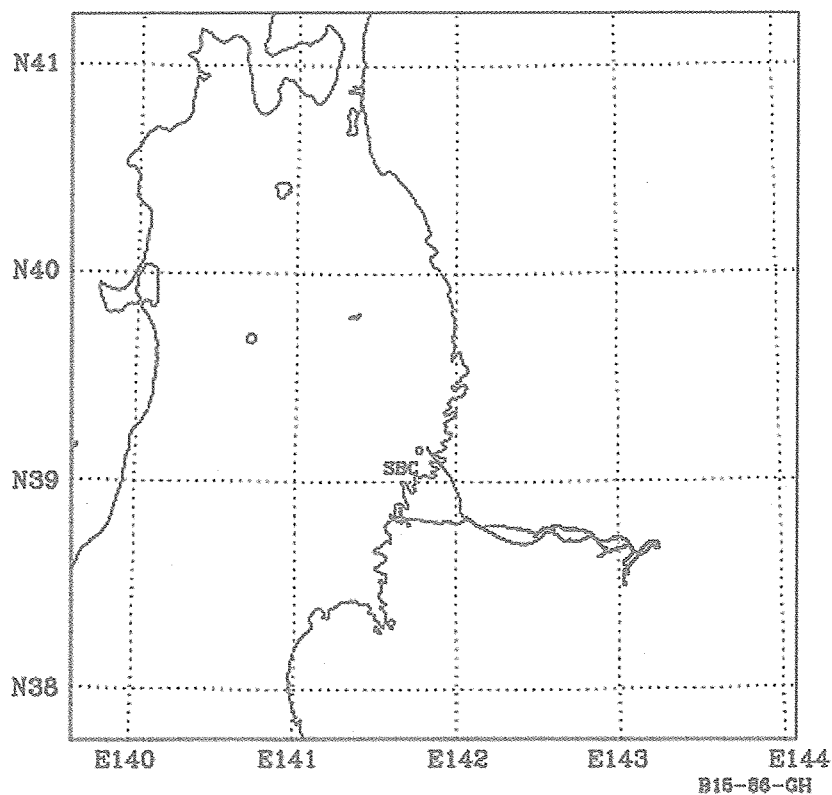


図 15. 飛翔航跡図 (H17年度)

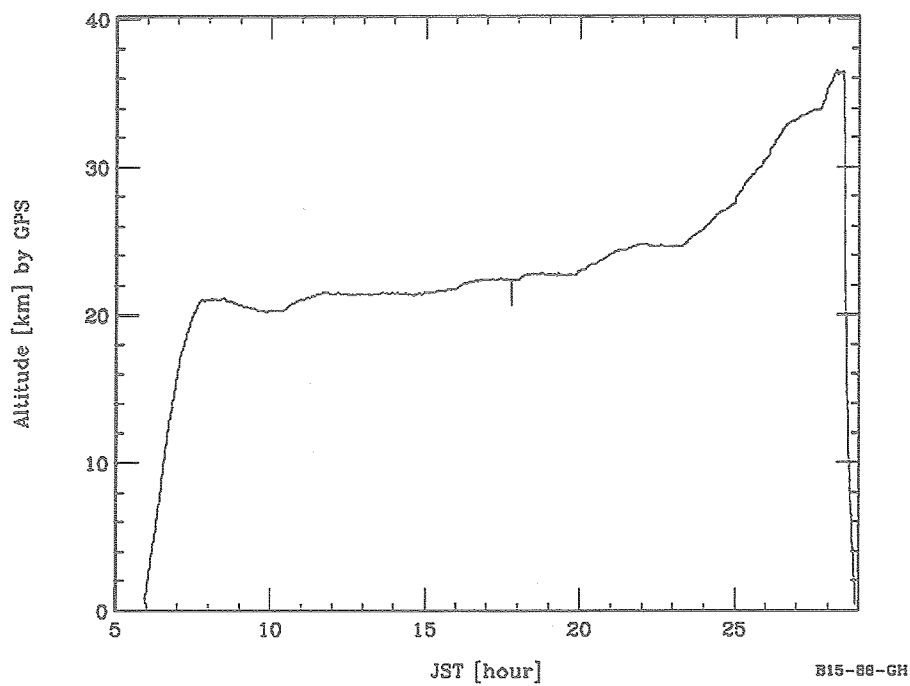


図 16. 高度曲線 (H17年度)

表 6. ポンプ操作

6月6日	05:55	放球	
	06:40	ポンプ On フィルター No.1	35min 稼動
	07:19	ポンプ Off	
	07:21	ポンプ On フィルター No.3	18min 稼動
	07:39	ポンプ Off	
	07:41	ポンプ On フィルター No.2	20hour32min 稼動
	07:50	ポンプ Hi モード On	
6月7日	04:22	ポンプ Off	
	04:55	観測機着水	
		合計: 21時間25分稼動	

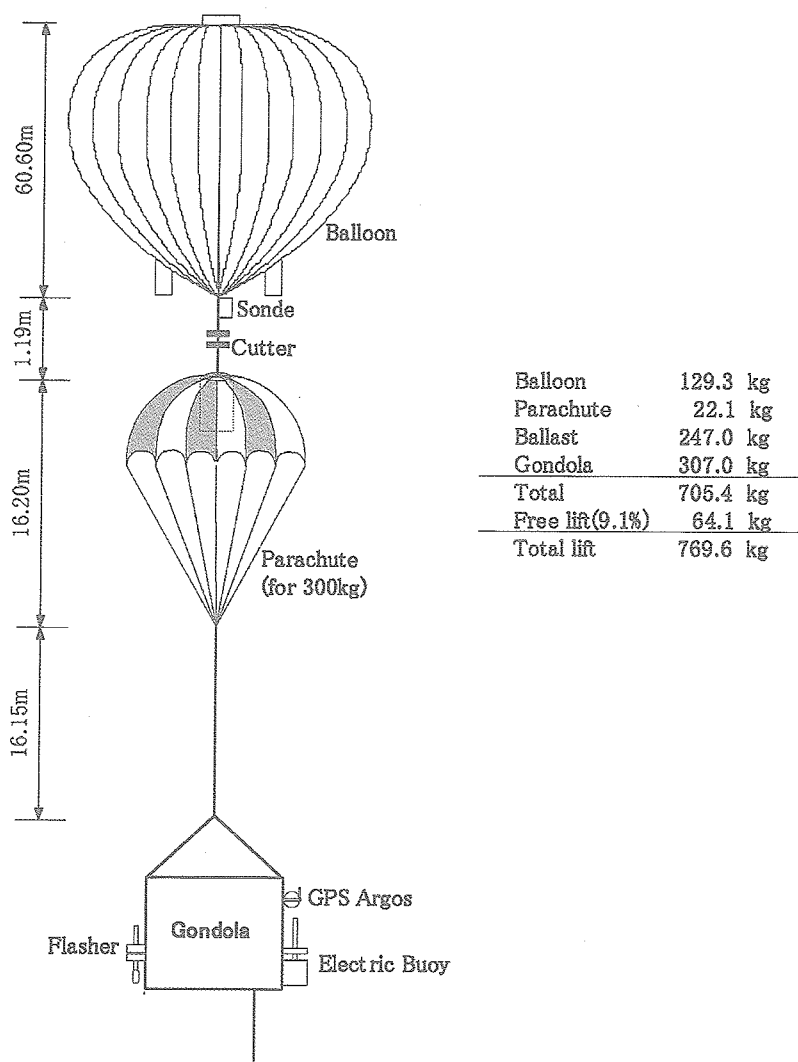


図 17. 荷姿図 (H17年度)



図 18. 放球の瞬間（撮影：isas 記録班 新倉氏）

## 6. まとめ

新微生物採集装置を使った実験が平成16, 17年度に行われた。平成16年度の微生物採集実験では体積15,000m<sup>3</sup> 3気球を使用した34時間17分という長時間気球観測に成功し、合計27時間36分にわたる微生物採集が行われ、約9,000リットルの大気をフィルターでろ過することができた。この結果、10,000リットルの希薄大気を採集可能な装置を完成することができた。また、防海水対策として各フィルターライン、吸排出ラインにゲートバルブを設置し、気密性をより高めたが、使用した電源容量の不足により最終ラインのバルブを閉じることができなかった。しかし、幸運にもパイプ内には海水の浸入はほとんどなく、濾紙を完全な形で回収することができた。回収された濾紙は三陸大気球観測所で培養液に入れられ培養しながら研究機関に持ち帰った。現在も尚、耐紫外線特性試験が行われ分析中である。

平成17年度の微生物採集実験では装置の改善を行い、さらに大気採集量を増やすために吸引ポンプを全て大型のものに変更した。23時間という長時間気球観測に成功し、合計21時間37分にわたる微生物採集が行われた。また、改善点として各ラインと吸引排出バルブの電源は前年度の倍の容量とした。ゴンドラ着水後にバルブが全て閉じられていることも確認された。濾紙はフィルターホルダー部ごと研究機関に持ち帰り、現在、耐紫外線特性試験を行っている。

## 謝 辞

この成層圏における微生物採集実験は東京薬科大と宇宙科学研究本部との共同実験として実施されたものである。この計画から実施までに多大な助言とご指導を頂いた宇宙科学研究本部 山下雅道教授を初め、超音波流量計の改良等に尽力された(株)カイジョーソニック関係各位に感謝の意を表します。また、微生物採集装置の各機器の製作、気球の製作に尽力くださった各関係会社の皆様に暑く感謝の意を表します。この実験に当たり、ご協力いただいた三陸大気球実験班各位に心より感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- [1] 山岸明彦 他, 大気球を用いた極限微生物の探索, 大気球シンポジウム, 2002
- [2] 飯嶋一征 他, 超音波を用いた気体流量計による希薄大気吸引装置の評価, 大気球シンポジウム, 2003