

## 大気球を用いた成層圏微生物採取実験：Biopause プロジェクト

大野宗祐、三宅範宗、奥平修、石橋高（千葉工業大学惑星探査研究センター）、  
河口優子（東京薬科大学）、梯友哉（宇宙航空研究開発機構）、  
前田恵介、山田学（千葉工業大学惑星探査研究センター）、山岸明彦（東京薬科大学）、  
山田和彦、福家英之、吉田哲也（宇宙航空研究開発機構）、  
高橋裕介（北海道大学）、野中聡（宇宙航空研究開発機構）、  
瀬川高弘（山梨大学）、石川裕子（リンカーン大学）、所源亮（ISPA）、  
山内一也（東京大学）、松井孝典（千葉工業大学惑星探査研究センター）

### Balloon Experiments for Sampling Stratospheric Bioaerosol: The Biopause Project

Sohsuke Ohno, Norimune Miyake, Osamu Okudaira, Ko Ishibashi(Chiba Institute of Technology),  
Yuko Kawaguchi(Tokyo University of Pharmacy and Life Sciences),  
Yuya Kakehashi(Japan Aerospace Exploration Agency),  
Keisuke Maeda, Manabu Yamada(Chiba Institute of Technology),  
Akihiko Yamagishi(Tokyo University of Pharmacy and Life Sciences),  
Kazuhiko Yamada, Hideyuki Fuke, Yoshida Tetsuya(Japan Aerospace Exploration Agency),  
Yusuke Takahashi(Hokkaido University), Satoshi Nonaka(Japan Aerospace Exploration Agency),  
Takahiro Segawa(University of Yamanashi), Yuko Ishikawa(University of Lincoln),  
Gensuke Tokoro (ISPA), Kazuya Yamanouchi (University of Tokyo),  
Takafumi Matsui(Chiba Institute of Technology)

## 本 文

我々は、成層圏微生物の全体像を把握し、地球生物圏の上端”biopause”を決定することを目標として、大気球による成層圏微生物採取実験 Biopause プロジェクトを行っている。昨年度に第1回実験を行い、採取・分析手法の実証に成功した。それを受け本年度行った第2回実験では装置内への浸水が発生してしまったが、来年度再度大気球実験を行い、成層圏微生物の高度分布を観測し多角的な分析を行うことを目指している。

# 大気球を用いた成層圏微生物採取実験：Biopauseプロジェクト

大野宗祐<sup>1</sup>, 三宅範宗<sup>1</sup>, 奥平修<sup>1</sup>, 石橋高<sup>1</sup>, 河口優子<sup>2</sup>, 梯友哉<sup>3</sup>, 前田恵介<sup>1</sup>, 山田学<sup>1</sup>, 山岸明彦<sup>2</sup>, 山田和彦<sup>3</sup>, 福家英之<sup>3</sup>, 吉田哲也<sup>3</sup>, 高橋裕介<sup>4</sup>, 野中聡<sup>3</sup>, 瀬川高弘<sup>5</sup>, 石川裕子<sup>6</sup>, 所源亮<sup>7</sup>, 山内一也<sup>8</sup>, 松井孝典<sup>1</sup>

<sup>1</sup>千葉工業大学惑星探査研究センター, <sup>2</sup>東京薬科大学, <sup>3</sup>宇宙航空研究開発機構, <sup>4</sup>北海道大学, <sup>5</sup>山梨大学, <sup>6</sup>リンカーン大学, <sup>7</sup>ISPA, <sup>8</sup>東京大学

## 生物圏の上端 biopause

biopause = 生物圏界面 (私の造語)

地球生物圏の上端 "biopause" はどこ? 明確な境界面が存在?

→ よく分かっていない.

< 成層圏の生物分布がbiopauseを理解する為の鍵 >

biopauseの有無、それを決定しているメカニズムの重要性

- > 地球生物圏は、宇宙に向けて開いている? or 閉じている?
- > 地球型生命は地球だけ存在している? =なぜ地球を研究するのか?
- > 極限環境生物学

成層圏微生物に関する先行研究

- > 10例以上の先行研究で、成層圏微生物の捕集・分析が報告されている
- > しかし、先行研究のほとんどは培養法によって分析
- > Biopause研究における培養法の問題点
  - ・難培養微生物を検出・分析できない
  - ・死んだ微生物を検出・分析できない = 寿命不明
  - ・浮遊微生物のエアロゾルとしての特性が分からない

微生物が単独で浮遊

サイズ・質量が小さい = 成層圏に長期間滞留することが可能  
紫外線に対する遮蔽力 = 成層圏での寿命が長い



凝集体 or 塵内部に付着

サイズ・質量が大 = 成層圏に短時間しか滞留できない  
紫外線に対する遮蔽力 = 成層圏でも長寿命の可能性

- 成層圏には微生物がほぼ存在し得ないように思える。  
しかし、微生物が成層圏で採取されたという観測結果が有る。
- 成層圏に微生物が存在できる理由を理解する必要
- 清浄な試料採取 + 多角的な分析が不可欠

本研究(Biopauseプロジェクト)の目的

= 地球生命圏上端biopauseの決定、成層圏生物圏の全体像の理解

- > JAXA大気球を用い、成層圏微生物採取実験を行う
- > 混入の少ない降下式インパクター採取法を採用
- > 成層圏中の浮遊微生物の高度分布を観測し、多角的に分析する

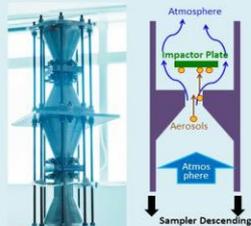
## Biopauseプロジェクト 今後の計画

- > 来年度(以降)にも大気球実験を計画・申請・準備中
- > 成層圏微生物の高度分布を観測し、多角分析(顕微鏡 & 培養)を行う
- > 違う時期、場所(赤道、極)での観測 → 成層圏生物圏の全体像把握  
→ biopauseの有無、高度、決定メカニズム

- > 赤道域では、対流圏 ⇒ 成層圏の大気流入が大規模に起こっている  
→ 成層圏最下部以外の成層圏微生物は赤道域で対流圏から流入?
- > 対流圏界面(成層圏/対流圏境界)の高度は低緯度で高い  
→ 最も高いところに居る生物が何か知るためには赤道域での実験が必要
- > 逆に対流圏界面高度、大気循環を考慮すると、極域でbiopauseの高度は低い?  
→ biopauseより上に行く実験を行うなら極域が最も容易なはず

## 降下式インパクター型試料採取装置

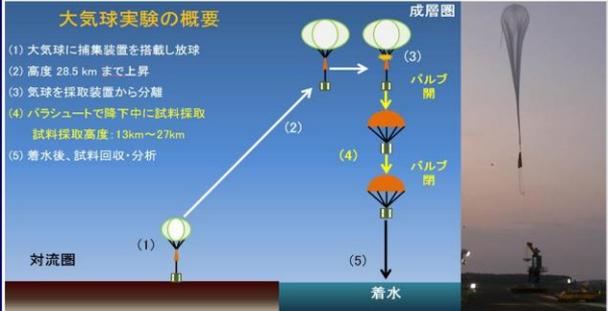
- > パラシュートでの降下途中に採集
- > 装置内部を通り抜ける大気中の微粒子を採取板に衝突させ捕獲
- > 新規に検討、設計、製作を行った
- > 成層圏気球用としては原理実証から必要
- > 比較的容易に高度分布の観測が可能
- > 地上微生物の混入を低減  
= 気球やゴンドラ外壁に付着した物は入ってこない



## 第1回気球実験(昨年度)

大気球実験の概要

- (1) 大気球に捕集装置を搭載し放球
- (2) 高度 28.5 km まで上昇
- (3) 気球を採取装置から分離
- (4) パラシュートで降下中に試料採取  
試料採取高度: 13km ~ 27km
- (5) 着水後、試料回収・分析



JAXA共同利用実験として、第1回の大気球実験を実施

> 北海道・十勝・大樹町のJAXA大樹航空宇宙実験場にて実験

> 第1回大気球実験の目的:

- 1) 降下式インパクター採取装置の実証試験
- 2) 顕微鏡(蛍光、SEM)での分析手法確立

> 2016/06/08に放球、装置は想定通り動作し、採取試料を回収

> 気球切離後、降下中に微生物を採取(高度27km - 13km)

> 装置とパラシュートは海に着水、漁船で回収

> クリーンベンチ内で採取装置を分解、採取試料を取外し、分析



第1回大気球実験: 結果のまとめ

> 新規開発した降下式インパクター型試料採取装置を用い、成層圏微生物の採取に成功

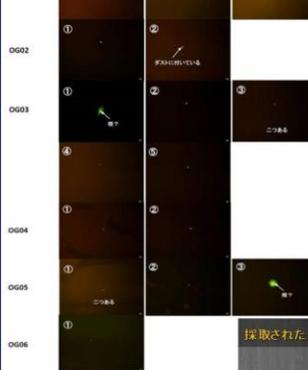
> 当初の目的(採取装置の実証試験、顕微鏡分析手法の確立)を達成

> 成層圏微生物は紫外線に対する厚い遮蔽を持たないものが多い

> 培養できないものも含めた成層圏微生物数密度(の上限値)を世界で初めて観測から決定することに成功(標準大気換算で70個/m<sup>3</sup>)

採取試料の蛍光顕微鏡画像

- > 蛍光顕微鏡で観察すると、DNAを含む粒子だけが緑色に光って見える
- 微生物とそれ以外の微粒子を区別
- > 21個の微生物らしきものを検出
- > 塵に付着したものが1個
- > 大きい凝集体は発見されず
- > 放球前に採取装置外壁に塗布した、コントロール用蛍光ビーズは検出されず  
= 地上微生物の混入は少ない



採取された成層圏エアロゾル(SEM画像)



インパクター型採取装置で採取されたエアロゾルに特有の「サテライト構造」を持つ微粒子を多数発見。= 成層圏で微粒子採取に成功した証拠