

宇宙で力を発揮する混合容器の開発

高橋昭久¹, 大西武雄²

¹群馬大学・先端科学研究指導者育成ユニット, ²奈良県立医科大学・医・放射線腫瘍医学講座

Development of new bags for mixing reaction of different solutions in space

Akihisa Takahashi¹, Takeo Ohnishi²

¹Adv. Sci. Res. Lead. Dev. Unit, Gunma Univ., ²Dept. of Radiat. Oncol., Sch. of Med., Nara Med. Univ.

E-Mail: a-takahashi@gunma-u.ac.jp

Abstract: Four characteristics of space environments are good visibility, high vacuum, microgravity and space radiation. Using these unique space environments, many kinds of fruitful space experiments have produced important results and new scientific findings. In space experiments, regular instruments cannot be used from the reason of a microgravity environment. Therefore, researchers must design special instruments for space experiments. We introduced a new experimental instrument for mixing different chemical solutions of under germ-free conditions with exact volume in space.

Key words; space experiment, microgravity, new bag.

(1)はじめに

宇宙環境の四大特徴は、良好な視界・高真空・微小重力・宇宙放射線である。特に、微小重力状態ならば、地上では比重の違いで混ざらない水と油でも混ぜることができる。また、地上では暖められて軽くなった空気は上昇し、冷えた空気は下降するという空気の対流が起こるが、微小重力状態ではそれがなくなる。このように微小重力環境では、自重・浮力・沈降・対流がない[1]。一方、このような微小重力状態では、常に1G環境の地上で日常何の不思議もなく、習慣的に行っていることが通用しなくなる。

(2) 宇宙生物実験の特殊性

宇宙実験で目的通りの成果を得ることは必ずしも容易ではない。宇宙実験の場合、実験機会が限られ、大変なコストを要するため、試行錯誤的な実験方法はできない。(1)何をどこまで明らかにするか、より具体的な実験の目的を設定すること、(2)どのような道具を使い、どのような手順ですすめるかのプロトコルを完成することが重要である。

1. 実験容器の開発

地上実験の装置や操作などは重力がある環境を前提にしているため、地上実験のノウハウは微小重力環境の宇宙実験には容易に当てはめられない。宇宙実験では新たな試料容器・装置の開発や操作の確認が必要である。ピペットを用いて計量しようとしても、空気が入り、正確な液量を計量できない。これまでの宇宙実験では、あらかじめ地上で液体を密封し、ピストン運動で混合する2連式注射器のような装置が用いられてきた。このような装置は器具の体積が大きくなることが最大の欠点である。また、値

段が高く、研究者が要求する多様な実験に融通がききにくいことが多い。共通機器や標準的な操作技術だけでは大きな制約となるので、宇宙実験では、個別の研究テーマに即した、新たな試料容器や装置を研究提案者自ら工夫・開発することが求められる。我々は、STS-89宇宙実験において、2本鎖切断DNAの修復におよぼす微小重力の影響を確かめるため、試料混合容器の開発に携わった。この実験は、凍結保存した2本鎖切断DNAと修復酵素を、解凍後に混合反応させるというものであった[2]。酵素実験なので無菌的に数10から数100μlの微量な溶液を正確に混合した。そこで、すでに医薬品や化粧品で利用されている簡単に2成分を混合できる包装形態で高圧滅菌できる素材で製作した。

2. 実験容器の改良

これで完璧と考えていた容器であったが、STS-89宇宙実験では宇宙飛行士により、操作をする前にすでに2液が混合されていると誤認されてしまった。使用溶液がいずれも無色透明であったことも、誤りの原因となったと思われる。しかしながら、溶液を着色すると、光化学反応によりDNAに傷をつけかねない。その後STS-91宇宙実験において、それぞれの液に色つきガラスビーズを入れ、2液の仕切りも色つきシールを貼ることで、仕切りをビーズが移動したかどうかで2液の混合が容易に判定できるように改良した。さらに、2液の反応後、反応停止液を混合できる容器を我々は開発した。これにより最終的に微量の3液混合を可能にした(Fig.1)[2]。このような試料混合容器は微生物(大腸菌・酵母菌)の培養・凍結保存にも利用でき、実際、宇宙実験での成功を導いた[3,4]。

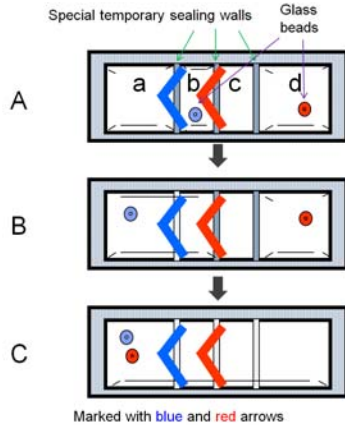


Fig. 1. New bag for DNA repair reaction [2]. **A**, before activation; **B**, after activation; **C**, after deactivation. **a**, DNA with double strand breaks; **b**, blue bead and T4 DNA ligase; **c**, empty compartment; **d**, red bead and detergent.

3. 実験容器の大型化

この容器をさらに国際宇宙ステーションでの Rad Gene 実験として、ヒトの浮遊培養細胞の培養・凍結保存に応用することを提案した[5].

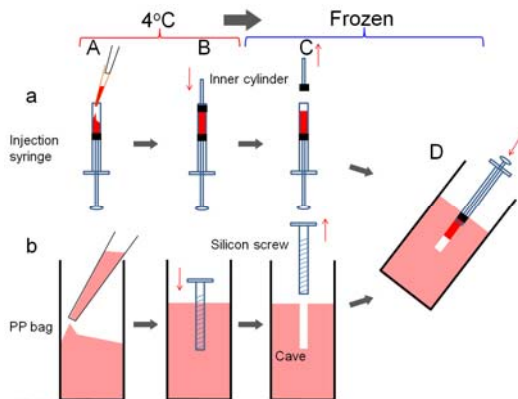


Fig. 2. Outline of filling method of two frozen samples. **A**, 0.25 ml of cultured cells in injection syringe (**a**) and 10 ml of culture medium in polypropylene (PP) bag (**b**). **B**, the cells were kept in inner cylinder (**a**) and a silicon screw was kept in culture medium (**b**). **C**, inner cylinder and silicon screw were removed from injection syringe and PP bag, respectively. **D**, the frozen cells in injection syringe (**Ca**) were thrust into cave in the frozen culture medium (**Cb**).

細胞の凍結保存液(DMSO)は数%の濃度から毒性を示すので、できるだけ液量を減らし、一方、培地の量を 10ml に増やす必要があった。解凍の際に、大量の培地はなかなか解けないのに対して、微量の細胞凍結液はすぐに解け、そのまま放置すると細胞に悪影響が出てしまい、2液を容易に混合することが困難であった。そこで、両液とも同じ区画に凍ら

せたまま凍結細胞を充填した (**Fig. 2**). これにより、地上回収後の解凍による細胞への凍結保存液の影響を軽減することができた。また、宇宙飛行士の作業時間を減らすことが可能となった。このオリジナルの培養容器 (**Fig. 3**) は 2 部屋に分かれ、**Fig. 2** は **Fig. 3a** に相当し、凍結した細胞と培地が、**Fig. 3b** には宇宙で培養後に凍結保存液を含む培地を入れた。2つの部屋が仕切られた状態で凍結して打ち上げ、宇宙で培養した。培養終了後、宇宙飛行士に2つの液を混ぜてもらい、凍結し、地上で回収した。2部屋が接する仕切りは片方から圧力をかけることで、一方向のみに仕切りが簡単に破れ、それぞれの部屋には一つずつビーズを入れ、液が確実に混ざったときの目印とした。これを用い、多くの成果を得ることができた[6-8].

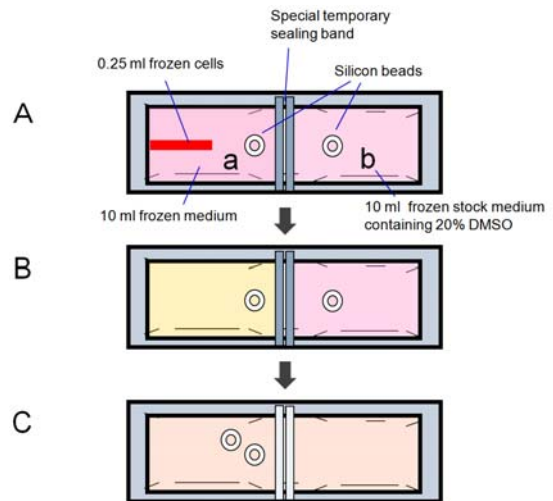


Fig. 3. Cell culture bag [5-8]. **A**, before activation (maintained at -80°C); **B**, after activation (maintained in the cell biology experimental facility at 37°C with a humidified 95% air/5% CO_2 atmosphere); **C**, after deactivation (maintained at -80°C).

(3)おわりに

宇宙実験で目的通りの成果を得るためには宇宙空間の特殊性を知り、新たな試料容器や装置を自ら工夫・開発することが重要である。

参考文献

- [1] 高橋昭久, 他 (2001) *Foods Food Ingrid J Jpn.*, 190, 28-38.
- [2] Takahashi, A. et al. (2000) *Int J Radiat Biol.*, 76, 783-788.
- [3] Takahashi, A. et al. (2001) *Adv. Space Res.*, 28, 549-553.
- [4] Ohnishi, T. et al. (2001) *Adv. Space Res.*, 28, 555-561.
- [5] Ohnishi, T. et al. (2009) *Biol Space Sci.*, 23, 3-10.
- [6] Takahashi, A. et al. (2010) *Int J Radiat Biol.*, 86, 669-681.
- [7] Takahashi, A. et al. (2010) *Int J Radiat Oncol Biol Phys.*, 78, 1171-1176.
- [8] Takahashi, A. et al. (2010) *Biol Space Sci.*, 24, 17-41.