

特集 2：航空機による学生無重力実験コンテスト
(解説)

微小重力環境における線香花火の火花の飛び方

市村 豊¹・井上 武士²・渋谷 龍一¹・堀岡 昌代¹・渡辺 匡人¹

Spark of Japanese Sparkler “senkoh-hanabi” under Microgravity

Yutaka ICHIMURA¹, Takeshi INOUE², Ryuichi SIBUTANI¹,
Masayo HORIOKA¹ and Masahito WATANABE¹

Abstract

We have performed combustion experiments of Japanese sparkler called “senkoh-hanabi” in 20 sec microgravity conditions by parabolic flight of airplane. The Japanese sparkler in a closed chamber was ignited by hot wire and the occurrence of spark was observed by video camera. Under the microgravity condition, Japanese sparkler was not sparking. However, after the change of gravity from 0 G to 1.5 G, Japanese sparkler suddenly began to spark. From the observation we conclude that the convections of air around the fire-ball of Japanese sparkler are important to generate sparks.

1. はじめに

線香花火は日本古来の花火で、火花の発生する時間間隔や火花の形・大きさの変化に独特なリズムがあり、中学・高校の理科クラブでの研究テーマとして興味をもたれることが多く、最近でも科学コンテストにおいて線香花火の研究報告がなされている¹⁾。この火花の飛び方の非線形性に着目した研究が、過去に寺田寅彦や中谷宇吉郎により先駆的に行われた^{2,3)}。

これまでの報告から、地上において我々が一般的に見る線香花火は、点火した後以下のような変化をしながら燃焼する。

1. 初めに火薬が溶解して火球を形成する。
2. 火球が生成した直後は火花が発生せず、火球が大きくなりながら振動した状態が10秒程度続く。
3. 点火から13-17秒ほどで火花が生じる。初期の火花は散発的に発生する。
4. さらに時間がたつと、発生する火花の大きさが小さくなり、絶え間なく発生するようになる。
5. 燃焼の末期には火花の分裂が消失する。

点火から燃焼終了まではおよそ40秒程度である。

一般的な線香花火の火薬の成分は、硝酸カリウム36-59%、硫黄22-34%、残りが無定形炭素類であり、この3成分の単純な火薬から分裂する火花が発生し、この火花の飛び方が時間変化することが線香花火の特徴である。近年、伊藤^{4,5)}は、線香花火の火花発生についてより詳しく調べ、線香花火の火花発生は火薬内部の炭素が二酸化炭素へ

変化する反応時の衝撃で炭素粉が弾き飛ばされ火花が飛び散るメカニズムを提案している。

しかし、火花が発生する際の火球への酸素供給量や火球内部の流体の挙動に着目した研究はおこなわれておらず、火花の発生へのこれらの影響は不明である。

そこで線香花火の火球周りの空気の対流および火球内部の流動が、線香花火の火花の発生に及ぼす影響を明らかにするため、航空機のパラボリックフライトを利用した20秒間の微小重力環境で線香花火を燃焼させ、線香花火から発生する火花の観察を行った。

2. 実験方法

航空機のパラボリックフライトによる微小重力環境を利用するため、Fig. 1に示したような密閉された金属製チャンパー内部で線香花火を燃焼させた。航空機内部の気圧の関係で、実験は地上での実験に比べ低い圧力(0.8-0.9気圧)でおこなった。この金属製チャンパー内に線香花火を設置し、直径0.23 mmのニクロム線を線香花火の火薬部分に巻きつけ、通電加熱(6V2A)し線香花火を自動的に点火できるようにした。また、微小重力下において線香花火の周りの空気の対流の影響を調べるためにチャンパー下部にファンを設置し、花火へ強制的に空気を送風できるようにした。この金属製チャンパーを航空機用実験ラックの中心に設置し、側面の観察窓から線香花火の燃焼をビデオカメラ(SONY DCR-PC350)で光学的に観測した。今回試料として使用した線香花火は、一般的な東日本型線香花火(長手牡丹)である。

1 学習院大学理学部 〒171-8588 豊島区目白 1-5-1

Department of Physics, Gakushuin University 1-5-1 Mejiro, Tokyo 171-8588, Japan (E-mail: argon@gdb.so-net.nc.jp)

2 明治大学政治経済学部 〒101-8301 千代田区神田駿河台 1-1

Department of Political Science and Economics, Meiji University, 1-1 Kanda-Surugadai, Tokyo 101-8301, Japan

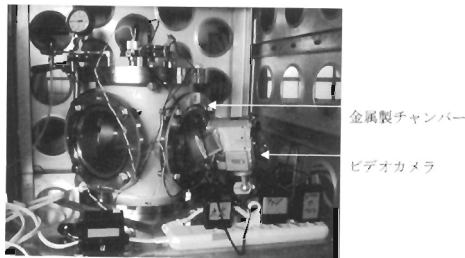


Fig. 1 Photograph of experimental apparatus setup inside airplane for parabolic flight.

線香花火の燃焼時間は点火から燃焼終了まで40秒程度であるが、航空機による微小重力環境は約20秒である。このため、微小重力環境で線香花火の燃焼の開始から終了までを一度に観察することはできない。そこで点火するタイミングを実験ごとに変え、「0Gになると同時に点火」および「0Gの7秒前に点火」の条件での線香花火の火花の飛び方を観察した。

3. 実験結果と考察

前記した実験装置を用いることにより、30回程度微小重力環境での線香花火の燃焼を観察することができた。この結果、微小重力環境では線香花火の火球は形成するが、火花の飛散が生じないことが明らかとなった。また、0Gから1.5Gへと重力が変化した直後に Fig. 2 に示すように火花の飛散が急激に生ずることも明らかとなった。0Gから1.5Gへの変化の際には、1Gでの燃焼時よりも大量の火花が発生することも観察された。一方、微小重力状態開始前の1.8Gの過重力状態で線香花火を点火し、火花が発生している状態で微小重力状態へ変化した場合には、発生する火花の量が減少し、微小重力状態になってから10秒後に火花の発生が観測されなくなった。また、微小重力下においても線香花火の燃焼中に火花の下からファンで送風した場合には火花が発生することもわかった。

以上の観察結果より、微小重力下において線香花火の火花が発生しなかった原因は、線香花火の火球周りの空気対流の抑制効果によると考えられる。微小重力状態では、空気対流が1G状態よりも抑えられるために、燃焼中の火花への酸素供給量が減少し燃焼が不十分になるため空気対流が抑制される。それによって1Gにおいては対流によって外部から供給されている酸素が、微小重力状態では火花に対して十分に供給されずに燃焼が不十分になってしまったと考えられる。伊藤らの研究^{4,5)}によれば、線香花火から火花が発生するためには、火球の温度が800-900°Cまで上昇し、火球内部の炭素粉の一部が二酸化炭素に変化する際の反応時に炭素粉が弾き飛ばされて火花となると考えられている。このため、火花が飛散するには火球内部の温度が、900°C程度まで上昇する必要があるが、微小重力環境では酸素の供給量が減少し、火球内部の温度がこの温度まで到達しなかったため、火花の飛散が生じなかったと考えられる。これは、微小重力下で観測した線香花火の

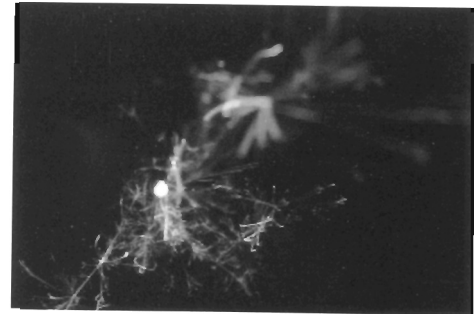


Fig. 2 Photograph of Japanese sparkler under 1.5 G.

映像において火球の色が赤黒く、微小重力環境での火球の温度が明らかに地上よりも下がっていたことから結論できる。一方、0Gから1.5Gの過重力状態へ変化した際には、空気対流が0G状態と比べて急激に増加し、酸素の供給量が急激に増加したため、火花が多量に発生したと考えられる。

以上のように、線香花火の火花の発生には、火球周りの空気対流が大きく影響していることが微小重力実験で明らかとなった。

まとめ

航空機を利用したパラボリックフライトを用いて、微小重力環境下での線香花火の燃焼実験をおこない、線香花火の火花の飛び方を観察した。その結果、微小重力状態においては線香花火の火花が発生しないことが明らかとなった。また、重力が0Gから1.5Gへ変化した直後に1Gよりも激しく火花が発生することも明らかとなった。これは微小重力環境において、火球周りの空気対流の抑制により火球への酸素の供給量が変化したことが原因であると考えられ、線香花火の火花発生に及ぼす火球周りの空気対流が重要な役割をしていることを明らかにした。

謝辞

本実験は宇宙航空研究開発機構、日本宇宙フォーラムの援助を受け「第2回航空機を利用した無重力実験コンテスト」の一環として実施されました。航空機実験の実施にあたり、多大なご協力を賜ったダイヤモンドエアーサービス株式会社の皆様に深く感謝致します。また実験実施にご協力いただいた、学習院大学の水上一也、盛田麻衣、石井啓太、鈴木有子、水村沙織、笠井聖子、和田麻莉子、得永真吾の各氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 「第46回日本学生科学賞 作品集」P46, 読売新聞東京本社事業開発部, 2003
- 2) 寺田寅彦「寺田寅彦随筆集 第二巻」岩波文庫, 1964
- 3) 中谷宇吉郎, 関口謙「線香花火及び鉄の火花に就いて」理化学研究所彙報, 6輯12號, 1927
- 4) 伊藤秀明「線香花火の実験的考察-溶融 K₂Sn 中の石墨微結晶の構造的酸化反応」化学と教育, 39(6)号, P682-685, 1991
- 5) 伊藤秀明「線香花火(特に長手牡丹)用合成木炭の開発とその火花発現のメカニズムの解明」火薬学会誌, 57(5)号, P186-191, 1996

(2005年12月12日受理)