

花火 —その原理と大玉紹介—
Firework - Principle and Large-Size Star -

永井 二郎 (福井大学), 青木 和夫 (長岡技術科学大学)
Niro NAGAI (University of Fukui) and
Kazuo AOKI (Nagaoka University of Technology)
e-mail: nagai@mech.fukui-u.ac.jp, aoki@mech.nagaokaut.ac.jp

1. はじめに

世界中の様々なイベントで打ち上げられる大小様々な花火. これは「伝熱」よりも「燃焼」の学会誌で採り上げるべきテーマですが, あえて燃焼の素人2人が協力して, 花火の基本的な原理や長岡大花火 (三尺玉) について調査した結果を紹介いたします. 詳しくは参考文献[1]~[4], あるいはインターネットでウィキペディア Wikipedia 等をご参照下さい.

花火といっても, 打揚げ花火以外に仕掛花火や玩具花火があります. 法的には, 火薬類取締法に定められており, 火薬の応用技術としての火工品に該当し, 正式には煙火と呼びます. 本稿では, 図1に示すような夏の夜空の風物詩「打揚げ花火」のみを対象とします. ちなみに, 図1の壮大で美しい花火は, 長岡の三尺玉の大花火の写真です.



図1. 長岡大花火 (三尺玉) と長生橋 [3]

2. 花火の原理

2.1 基本的な仕組みと手順

図2に示すように, 打揚げられる花火玉は打揚げ筒の底にセットされます. 花火玉は, 割物あるいは単に玉と呼ばれます. 割物は打揚げ用火薬 (黒色火薬粒) の上に置かれているだけです.

その火薬に離れた場所から導火線によって着火, あるいは図2のように落とし火を落とすことで着火させます. すると打揚げ火薬が燃焼を開始し, 割物と打揚げ筒で囲まれた密閉空間内の温度と圧力が高まり, 割物は上昇し始めます. 火薬の燃焼が終了するころ密閉空間内圧力が最高になり, 割物が筒から放出されます.

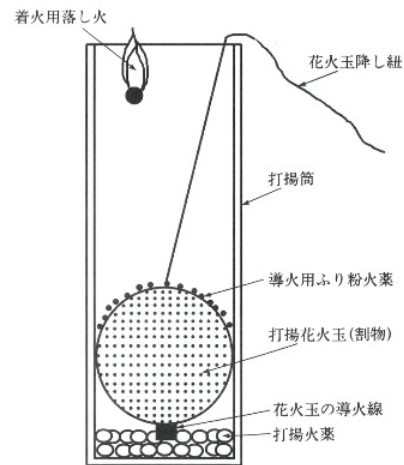


図2. 打揚げ筒の仕組み [1]

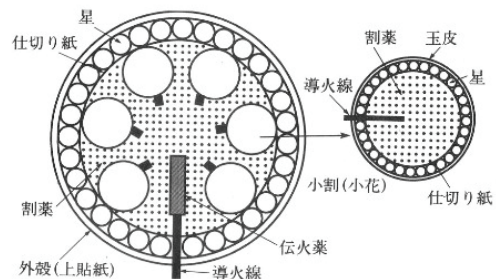


図3. 割物 (玉) の仕組み [1]

割物には、図3に示すように導火線があり、打揚げ筒内にあるうちに着火し、燃焼しながら一定の高度に達すると割物中心部の割葉に火が移ります。すると、割葉は爆発的燃焼（爆轟）を起こし、星と呼ばれる実際に発色する球状物に着火させると同時に、割物を包んでいる玉皮（外殻）を引き裂き、星を四方八方に放出させます。

星は、後述の炎色反応に従った色を発しながら飛散します。図3の割物は、内部に小さな割物（小割）を含んでおり、時間差や大きさの違いを伴う発色を実現します。

ちなみに、割物の大きさ（直径）は尺や寸で表されます。1尺=10寸=約300mmですから、例えば5寸玉は直径約15cmで5号と呼ばれ、重さは1.3kg程度です。最も大きな割物に相当する三尺玉は直径約90cmで30号と呼ばれ、重さは280kgもあります。

2.2 炎色反応と星の成分

きれいな花火の色は、炎色反応を利用しています。すなわち、炎の中に金属を入れると、金属はその熱エネルギーによりエネルギーの低い状態から高い状態になります。この活性化された状態から、エネルギーの低い安定した状態に戻る際に、そのエネルギーをある波長の光として放出します。これが炎色反応です。表1は、主立った元素の炎色を示しています。

花火の星は、過塩素酸カリウムを主成分として下記の発色剤が良く用いられます。

表1 各元素の炎色反応色 [4]

元素	色
リチウム (Li)	紅
ナトリウム (Na)	橙黄
カリウム (K)	紫
ルビジウム (Rb)	深赤
セシウム (Cs)	青紫
カルシウム (Ca)	橙赤
ストロンチウム (Sr)	深赤
バリウム (Ba)	黄緑
銅 (Cu)	青緑
モリブデン (Mo)	黄緑
ガリウム (Ga)	青
インジウム (In)	藍
スズ (Sn)	淡青

赤色星：炭酸ストロンチウム
 緑色星：硝酸バリウム
 青色星：硫酸銅
 黄色星：シュウ酸ナトリウム
 赤桃星：炭酸カルシウム

これらに加えて、発光を強めるために10%の木炭粉や、星の形状に成型するためのバインダーとなる糊剤として10%のみじん粉（モチ米から作られた澱粉）が加えられます。星の燃焼性の決定に、その固さや密度が影響するため、乾燥したり主成分を混合して成型していく手作業の過程が重要となります。

2.3 打揚げ技術

ある大きさの花火を所定の高度で開花させるには、相当の打揚げ技術が必要になります。割物の設計・製作と打揚げ技術が、まさに花火師の伝統技術であり芸術でもあります。

打揚げ筒は取り扱いの観点からは短い方が好ましいのですが、割物の加速器でもあるためある程度の長さが必要です。ただし、加速中に筒と割物の隙間から燃焼ガスが漏れるため、有効な長さの最適値が存在すると言われています。図4は、割物の大きさによって、目安となる打揚げ高度と到達時間を示しています。実際に割物が開花した際の平均的直径は、この打揚げ高度とほぼ同程度の値となります。

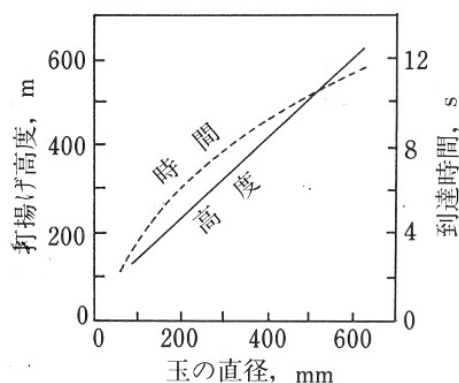


図4. 割物（玉）の大きさや打揚げ高度や到達時間の関係 [1]

2.4 花火や火薬の歴史

そもそも、火薬はなぜ火の薬と呼ぶのか？その理由は、医者が材料を粉末・混合して薬をつくったのと同様、火薬も粉末の混ぜもので、医者と同

種の道具を用いたから、だそうです。日本に火薬技術が伝わったのは、1543年の種子島鉄砲伝来時ですが、後江戸時代では、火薬技術開発はもっぱら花火開発が中心となりました。その後西欧で黒色火薬（硝石(硝酸カリウム)、木炭、硫黄の混合物)に代わる新しい火薬として、ダイナマイトやニトログリセリン、TNTが開発・発見されました。

「玉屋一っ!」「鍵屋一っ!」というイキのいい掛け声の対象は、江戸時代の花火屋ですが、その頃火薬は黒色火薬しかなく、燃焼温度が1700℃程度と推定され、花火の色は炭火の火の粉のような赤橙色でした。この温度の低い黒色火薬系統だけの花火を「和火」とよびます。一方、明治以降日本に輸入されてきた塩素酸カリウムを加えると、この強い酸化力により燃焼温度が2000℃以上になり、さらにアルミニウムやマグネシウムなどの光輝剤も使われ始めると3000℃近くに到達し、炎色反応色がはっきりと出始めました。この色鮮やかな花火は「洋火」と呼ばれています。

3. 長岡の大花火

3.1 三尺玉の歴史

毎年、8月2日、3日に信濃川畔で開催される長岡の大花火大会は、花火の打揚げ総数が約20000発という数量もさることながら、何といても「正三尺玉」の打揚げが目玉です。図5に割物（三尺玉）の実物大模型の写真を示します。直径90cm、重さ300kgの三尺玉が約600mの上空で直径650mもの大輪の花を咲かす光景は、肌を感じる大きな地響きとともに、人々に一瞬の沈黙とその後のどよめきを誘います。

新潟県は昔から花火師が多く、特に、割物が尺玉（10号玉）を超える大玉花火は越後の花火師の得意とするところ。世界で最初に三尺玉が打揚げられたのも新潟県小千谷市片貝で1891年（明治24年）と言われています。長岡市に隣接するこの片貝は新潟のなかでも花火の先進地であり、片貝に初めて花火が登場するのは18世紀半ばとも言われています。

長岡市ではじめて三尺玉が打揚げられたのは大正15年です。明治から続いていた花火大会が沈滞気味であり、花火大会を長岡市の名物の一つにするために三尺玉を打揚げたものと言われています。以来、三尺玉は信濃川畔で行なわれる花火大会の

超目玉として、燦然と輝いています。

戦前・戦中には長岡の花火大会も中止となりましたが、昭和20年8月1日の長岡空襲を経て、翌年、慰霊と戦災復興を祈願して花火大会が再開され、そして、昭和26年に待望の三尺玉も復活し、現在まで続いています。

近年、新潟県以外でも三尺玉が打揚げられることもあります。そのほとんどは新潟県内の花火師の製作によるものです。



図5. 正三尺玉の実物大模型（直径90cm）[3]

3.2 大玉競争

慰霊と戦災復興を祈願した長岡の花火大会（開催日8/2・3）と浅原神社の奉納を旨とした片貝の花火大会（開催日9/9・10）とは趣を異にしますが、いずれも三尺玉の打揚げを目玉とした新潟の有名な花火大会となりました。しかし、昭和50年代に入って、両者は大玉花火の本家を争うかのように玉の大きさを競い合い始めました。昭和57年に片貝が三尺三寸玉を打揚げると、昭和58年に長岡が三尺五寸玉を打揚げました。さらに、片貝が四尺玉に挑戦し、昭和59年の失敗を経て、翌昭和60年について四尺玉の打揚げに成功しました。四尺玉は直径1.2m、重量400kgもあり、打揚げ高さ800mで、直径800mの大輪の花を咲かせます。

しかし、大量の火薬を使う大玉開発をこれ以上野放しにできないとして、旧通産省は昭和59年の四尺玉挑戦後、火薬使用量を80kgに制限しました。これが一因となり、両者の不毛な競い合いにもようやく終止符が打たれました。参考までに、この規制後に成功した片貝の四尺玉は80kgという火薬量の制限内で火薬間に砂を詰めるなどの工夫をして打揚げたとのこと。それゆえ、日本で打揚げに成功した花火で、最大火薬量のは昭和58年に長岡で打揚げられた三尺五寸玉の120kgです。

現在では、長岡は三尺玉、片貝は四尺玉を目玉



図7. 震災復興祈願花火「フェニックス」[3]

として、それぞれに素晴らしい花火の製作と打揚げが行なわれています。

図6は片貝に設置されている打揚げ筒の実物大模型の写真です。写真の左端が尺玉（10号）で、中央が四尺玉の筒です。東京で有名な隅田川の花火大会で打揚げの花火は五寸玉（5号）が限界で、東京湾の花火大会でも尺玉（10号）が最大です（最近、尺五寸玉（15号）も打揚げられるとか？）。このことを考えると、三尺玉および四尺玉がいかに大きいか実感いただけるものと思います。

3.3 震災復興祈願花火ーフェニックスー

長岡は平成16年10月23日の新潟県中越大地震で大きな被害を蒙りました。戦後の長岡花火が震災復興を旨として始められたのと同様に、昨年、震災復興を祈願して不死鳥を意味する「フェニックス」花火が打揚げられました。これは、今までにない規模の花火をとの思いで、図7に示すように横一直線上の6箇所から同時に長時間打揚げ続ける超大型ワイドスターメインです。この花火が、平原綾香さんの曲「Jupiter」に合わせて打揚げられ、フェニックスが舞う姿も鮮やかに、人々に筆舌に尽くしがたい感動と希望を与えました。ちなみに、「フェニックス」は募金により打揚げられた花火で、一つ1000万円を超えるものです。今年は、長岡市制100周年を記念して再び「フェニックス」が大空に舞いましたが、来年も含めて今後も舞うかどうかは現時点では不明です。



図6. 打揚げ筒の実物大模型（小千谷市片貝）

4. 終わりに

真夏の夜を彩る花火を科学的に解説することは少し荷が重いことでしたが、入門としてご理解いただければ幸いです。割物が大玉の花火を中心に長岡の宣伝もさせていただきました。花火に関しては、“百聞（文）は一見にしかず”です。

参考文献

- [1] 久保田浪之介, 火薬のはなし, 日刊工業新聞社(1996)
- [2] 細谷政夫・細谷文夫, 花火の科学, 東海大学出版会(1999)
- [3] 長岡大花火 祈り, 長岡まつり協議会・(株)文藝春秋(2006)
- [4] 増本監修, 金属なんでも小事典, 講談社 BLUE BACKS (1997)