

第1章

火薬の原理



1.1 火薬の発明と発展

1.1.1 火薬こと始め

物体が燃焼するためには、①燃えるものがあること、②燃やすものがあること、③燃える温度になること、の3つの条件がある。一例として木炭が燃焼するためには、①炭があること、②周囲に酸素（空気）があること、③着火する熱源があること、になる。すなわち、燃えるものと燃やすものが揃っていることが条件で、燃えるものは燃料であり、燃やすものは酸化剤である。

これに対して火薬が燃えるためには、①構成物質に燃料成分が含まれていること、②構成物質に酸化剤成分が含まれていること、③熱源があること、になる。火薬はガソリンなどと同じように、燃焼して高温のガスを生成することができる。ただし、ガソリンは密閉容器内では燃焼しても途中で燃焼が中断するが、火薬はより激しく燃焼して中断することはない。ガソリンが燃えるのには大気中の酸素を必要とするが、火薬は必要としない特殊な物質である。密閉容器内で火薬が燃焼すると、容器の内圧を増加させる。内圧が容器の耐圧限界に達すると、容器を破壊して破片を周囲に飛散させる。破片は火薬から推力を得て、運動エネルギーに変換していることになる。

このような火薬の性質が他の物質と異なり、破壊のために、あるいは砲弾の推力を得るために使用されて、長い歴史の中で発展してきた。火薬の原形は古代中国の唐時代において、そして現在でも使用されている黒色火薬はヨーロッパにおいて13世紀に発明されたとの記述がある。黒色火薬は自然界に存在するものではなく、経験によって得られた自然界の物質を混合して作られたものであり、爆発的に燃焼する特性を得るために用いられた。このような混合物質

を見出したのは偶然の発見によるものと考えられるが、それらをうまく用いることによって発達してきた。黒色火薬は現在でも大量に生産され、花火などに用いられている。このような火薬による爆発力と推進力は新たな兵器を生み出し、その応用範囲を拡大していった。

わが国では、鎌倉時代の蒙古軍来襲（1274年と1281年）によって初めて火薬を経験することになった。黒色火薬を球状の土器に入れて爆発させることにより、破片を飛散させて殺傷する兵器が用いられた。日本人が初めて手にした火薬はその260年後の1543年、ポルトガル人によって種子島に持ち込まれた黒色火薬である。この黒色火薬は火縄銃に用いられたもので、銃は当時の刀鍛冶によって間もなく量産されるようになった。

鉄砲の威力に注目した織田信長は3,000丁もの鉄砲を用いて、設楽が原の長篠の戦において武田の軍勢をせん滅させることになり、天下取りを目指すことにもなった。以後、わが国は当時の世界でも例のない銃保有大国になった。黒色火薬の組成が木炭、硝石、それに硫黄の混合物であることから量産が容易であったが、硝石はわが国では産出しないために中国から輸入していた。しかし、江戸時代に入って鎖国されるようになると硝石の入手ができなくなり、化学の知識のない中で硝石の製造に知恵を絞った。

1.1.2 黒色火薬は自然界の物質で作られた^(1~3)

江戸時代には、鉄砲の威力が幕府の屋台骨を揺るがす武器と見なされていた。関所では「入り鉄砲に出女」と言われていたように、江戸に入り込む鉄砲を取り締まっていた。諸藩にとっても鉄砲と黒色火薬を入手することは重要な命題とされていた。

黒色火薬の成分は木炭 [C] の粉末、微粒子の結晶体である硝石 [KNO_3]、それに硫黄 [S] が0.15 : 0.75 : 0.10の比率で均質になるように混ぜられている。炭素は木炭であることからどこにでもあり、硫黄は火山国であることから入手できる材料である。わが国では産出していない硝石は、周辺にある物質から工夫して製造していたようである。現在でも、古い農家の土間などから硝石が見つかるようで、農家が副業として硝石を作っていた記録が残されている。

腐った魚の「はらわた」と「枯草を焼いた灰」を混ぜて、土をかけておくと

白い結晶性の硝石が析出してきた。この工程を現在の化学で解説してみると理解できる。腐ったものからアンモニアが発生して、硝化バクテリアによって亜硝酸が発生し、空気に酸化されて硝酸が発生する。この硝酸が枯草の灰に含まれている酸化カルシウムと反応して硝酸カルシウムを生成する。硝酸カルシウムは土に含まれている炭酸カリウムと反応して硝石が生成される。硝石は土の中に白色の結晶粒として混入しているために、水洗いなどによって分離して硝石だけを分離することができる。

黒色火薬の威力は微粒化した木炭と硝石、それに硫黄が均一に混合できるようにこれらの原材料をすり潰す工程が必要であり、当時の医薬品を作るために用いられたのと同じような円盤の中心に取っ手がつけられ、原材料の入れられた「やげん」とよばれる石臼を両手で引いて擦り合わせていた。さらに、火薬の威力を高めるための最適な成分の比率を取得するために調合を繰り返していた。このような工程は効き目の高い漢方薬を調合するやり方と同様であり、医の薬と同じように火の薬という火薬の語源が与えられた。

1. 魚の“はらわた”から腐敗してアンモニア $[\text{NH}_3]$ が発生する
魚のはらわたの腐敗 $\rightarrow \text{NH}_3$
2. アンモニアは空気中の酸素 $[\text{O}_2]$ に酸化されて亜硝酸 $[\text{HNO}_2]$ を生成する
$$2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{HNO}_2$$
3. 亜硝酸は酸素に酸化されて硝酸 $[\text{HNO}_3]$ となる
$$2\text{HNO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{HNO}_3$$
4. 硝酸は枯草の灰 $[\text{CaO}]$ と反応して硝酸カルシウム $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$ となる
$$2\text{HNO}_3 + \text{CaO} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$$
5. 硝酸カルシウムは土に含まれている炭酸カリウム $[\text{K}_2\text{CO}_3]$ と反応して炭酸カルシウム $[\text{CaCO}_3]$ と硝酸カルシウム $[\text{KNO}_3]$ を生成する
$$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{KNO}_3$$
6. 硝石は土と灰、それに炭酸カルシウムに混ざって生成する

これらを水に溶かして煮詰めることによって硝石だけを分離する

1.2 火薬類の分類と応用

1.2.1 火薬類と定義され、火薬と爆薬に分類されている

火薬および爆薬は火薬類とよばれ、ともに燃焼現象によって高温ガスを生成することから高エネルギー物質ともよばれる。火薬類は表 1.1 に示すように、火薬および爆薬、さらに火工品に分類される。火工品は火薬および爆薬を用いた機械的な部品あるいは構成品である。着火装置および爆破装置であり、電気回路および電子部品も含まれることがある。

火薬と爆薬とでは燃焼によって現れる現象が異なり、これらの性質が火薬と爆薬との応用領域を決定している。燃焼が安定に継続できる火薬はロケットの推進力を得るための推進薬として、火砲の砲弾の推進力を得るための発射薬として用いられる。推進薬はロケット燃焼室に装填され、発射薬は火砲の薬きょうに装填される。推進薬は圧力 3～15 MPa で 1～600 s 程度飛翔しながら燃焼を継続する。発射薬は圧力 100～1,000 MPa で、0.01～0.5 s 程度の時間内で燃焼する。推進薬および発射薬の燃焼する速度は圧力が高くなると増加する特性があり、密閉容器内でこれらの火薬が燃焼すると圧力が増して、それによってさらに燃焼速度が増加し、圧力を急激に増加させる。このような火薬の特性を

表 1.1 火薬類の分類と応用⁽²⁾

分類	火薬	爆薬	火工品
原理	推進力	破壊力	点火／伝火
物質	推進薬 発射薬 ガス発生剤 花火の揚げ薬	爆破薬 炸薬 点火薬 起爆薬	[機械・電子部品と火薬 あるいは爆薬との組合せ]
応用	ロケットモータ 火砲 銃 ベースブリード弾	発破 爆弾 砲弾 成形弾 自己鍛造弾	雷管、信管 導火線、導爆線 点火装置、起爆装置 爆発ボルト、ナット 花火 ガスジェネレータ

用いて圧力を設定し、燃焼速度と燃焼時間を決定することができる^(2,3)。

瞬時に燃焼が完結する爆薬は、**衝撃波**を発生することにより高圧力を周囲に伝播させる。この衝撃波が発破および爆弾などの破壊力となる。ただし、火薬とは異なり爆薬は燃焼圧力を制御することができず、高圧力を得るためには化学エネルギーの高い爆薬が必要になる。爆薬は燃焼する速度が高いため、発生する衝撃波の圧力も高くなる。火薬の燃焼を開始させるための**点火**と、爆薬の爆轟を開始させるための**起爆**は現象が異なるため、火工品に用いられる方式は異なっている。火薬は微量な火薬粉末と電気火花の組合せなどによって点火され、爆薬は少量の鋭敏な爆薬と機械的な衝撃などの組合せなどによって起爆される。火薬は応用される銃および火砲などの発射薬、ロケットなどの推進薬によって点火装置は異なる。爆薬は応用される岩石を破壊する発破薬、砲弾を炸裂させる炸薬、コンクリートの建造物を破壊する破砕薬などによって起爆装置は異なる。

一般に火薬と爆薬は複数の高エネルギー物質の複合体であり、火薬と爆薬を構成している物質の種類および化学組成で区別することは困難である。火薬の条件によって爆発することもあり、爆薬が緩やかに燃焼することもある。このように、火薬と爆薬が区別されるのは、推進力を得るために用いられるときが火薬であり、破壊力を得るために用いられるときが爆薬として区別される。本書においては、一般に使用されているように「火薬と爆薬」を総称して「火薬」として記載しており、火薬と爆薬の分類が必要なときにだけ分けて記載している。

1.2.2 燃焼火炎の生成^(4~6)

気体、液体、固体の燃料が燃焼すると火炎を伴った高温ガスが生成される。液体燃料と固体燃料は、燃焼する前に加熱されて熱分解しながら燃料ガスを生成する。その燃料ガスに酸化剤となる空気が周囲から拡散して混合しながら火炎を発生する。この火炎は**拡散火炎**とよばれる。気体燃料にあらかじめ空気を混合しておく**可燃ガス**になっており、**混合気**とよばれる。混合気を着火すると周囲の空気に無関係に燃焼して火炎を発生する。この火炎は**予混火炎**とよばれる。拡散火炎と予混火炎の特性を図1.1に示す。