

Shaped Charge による Ba 発光雲の観測

中 村 純 二*

Observations of Barium Luminescent Clouds Using Explosive Shaped Charges

Junji NAKAMURA*

Abstract: Several rocket experiments were performed in England, USA and Canada which aimed at the observation of electric and magnetic fields using barium shaped charges. This report describes the developments of barium shaped charge technique in Japan for the purpose of field line tracing experiments in the near future at Syowa Station by means of S-510 type rocket.

PETN/EPON type shaped charges were first tested. In that case the initial velocity of barium jet was 4 km/s and the spreading angle was 5°. Baratol/composition B type shaped charges were tested next. The initial velocity of barium jet was 8.9 km/s and the spreading angle was 1°. Judging from the result of the K-9M-66 rocket experiment, it is desirable to increase the quantity of barium liner from 0.3 mole to 1.5 mole and to decrease the total angle of liner cone from 90° to 30°.

要旨: 金属バリウムライナーを, shaped charge (成型爆薬) によってジェットとして超高層の大気中に射出し, 電界や磁界を観測するロケット実験は, これまでイギリス, アメリカ, カナダでも行われてきたが, わが国でも新たに shaped charge の開発を行い, 近い将来昭和基地において S-510 型ロケットにより独自の観測を行う計画である.

第1次開発実験では PETN/EPON 系 shaped charge を用い, ジェットの初速度 4 km/s, ひろがりの画角 5° という結果を得た. 第2次実験では Baratol/composition B 系 shaped charge を用い, 初速度 8.9 km/s, ひろがりの画角 1° という一応の目標に達した. しかし K-9M-66 号機によるテスト実験結果によれば, なお開発は十分といえず, 今後ライナー量を 0.3 モルから 1.5 モルに増量したうえ, ライナー全頂角も 90° から 30° に変更, さらにライナーの防蝕についても検討する必要がある.

1. Ba Shaped Charge による実験

金属バリウムライナーを shaped charge (成型爆薬) によってジェット状に超高層の大気中に射出し, 電界や磁界を観測するロケット実験は, すでにイギリス, アメリカ, カナダで

* 東京大学教養学部物理学教室. Institute of Physics, College of General Education, University of Tokyo, 8-1, Komaba 3-chome, Meguro-ku, Tokyo 153.

開発され、数回実施されている。

1969年 HUNTER *et al.* (1969) が提案した Ba 弾は図 1 a のようなもので、雷管と伝爆薬ならびに平面爆轟波を作る成型爆薬からなり、図 1 b のように平面衝撃波が中空円錐状の金属ライナーの部分を進行すると、金属は溶融して小塊となった後、さらに原子ないしイオン状

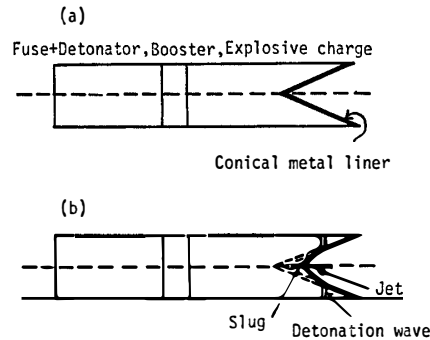


図 1 成型爆薬の作動原理 (HUNTER *et al.*, 1969)

a) 爆発前

b) 平面衝撃波を伴った爆発中

Fig. 1. Principles of the shaped charge operation (HUNTER *et al.*, 1969).

a) Before operation.

b) During operation with liner collapsing.

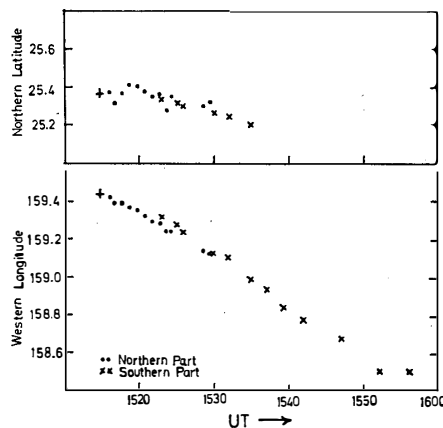


図 2 1971年10月18日の Ba 発光雲実験における発光雲の地理的緯度と経度の時間的变化。ただし、南北両半球の発光雲位置はいずれも POGO 10/68 による磁力線モデルに沿って北半球の高度 200 km 面に投影したものである。両半球での位置はよく一致しているから磁力線は等電位線とみなすことができる (WESCOTT *et al.*, 1974)。

Fig. 2. Geographic latitude and longitude versus time for the intersection of Ba cloud with 200 km altitude surface in the northern hemisphere (October 18, 1971 experiment). Both northern and southern hemisphere points were transferred to datum surface by the POGO 10/68 field model. Generally good agreement of north and south points indicates that field lines were equipotentials (WESCOTT *et al.*, 1974).

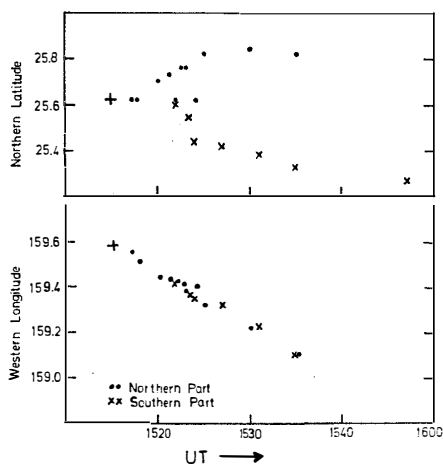


図3 1971年10月19日実験における Ba 発光雲の図2と同様な時間的変化の様相。両半球における位置の一致は経度ではいいが緯度ではよくない。このように時間と共に両半球で磁力線が異なった移動をするということは、磁力線が等電位とみなせない証拠である (WESCOTT *et al.*, 1974).

Fig. 3. *Intersection of Ba cloud (October 19, 1971 experiment). North and south drifts in longitude show a generally good agreement, but there is a significant difference in latitudinal drifts. Such drifts indicate that the plasma could not have remained in alignment with magnetic field line configuration and the field lines could not have been equipotentials (WESCOTT *et al.*, 1974).*

に蒸散し、ジェットを形作って弾の軸に平行に、8-16 km/s という高速で射出される。したがって、上空 300 km 付近で磁力線に沿って上方に Ba 弾を働かせると、Ba イオンジェットは他半球の共役点まで伸び、数万キロメートルに及ぶ磁力線が、太陽からの紫外線を受けて Ba II の 4554 Å 輝線で彩られることになる。

WESCOTT *et al.* (1974) によるこのような実験結果の1例は図2と図3に示す通りである。この場合 Ba plasma は磁力線に垂直な電界のため、 $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ の方向に移動する。その速度 \mathbf{V} から \mathbf{E} を求めることができるが、 \mathbf{E} の時間的変化を調べるには、同じ高度で比較する必要があるので、これらの図には北半球の高度 200 km 層に移した発光雲の位置が示されている。一般に磁力線は等電位と考えられるので、図2のように南北両半球における \mathbf{E} は等しいという結果が得られることが多いが、なかには図3のように両半球ではっきり \mathbf{E} が異なり、大きさにして 1 mV, 方向にして 47° の差が見られた例もある。この場合にはもちろん磁力線を等電位線と考えることはできない。この実験の行われた前3日間は地磁気はまったく静かで、Kp index は 0 であり、さらに電離層エコーの実測結果も電離層内の電子密度はわずかに 5.5×10^4 個/ccであることを示していた。このような状態では磁力線をもはや導体のように考えることはできないのであろう。

1972年3月7日 0659 UT (=X) にはオーロラ帯上空の $L=6.6$ の磁力線に沿って Ba 発光雲が作られた (WESCOTT *et al.*, 1975). この Oosik 実験により作られた Ba 発光雲の概要と地上観測点は図4に示す通りで, ロケット発射点である Poker Flat にインコヒーレント散乱レーダー, College に磁力計や全天カメラ, Ft. Yukon に VLF 受信機, Rattlesnake Peak に光電受光器, また Barter 島, Ester Dome, Johnston 島, New Zealand 等には TV カメラが設備された. この結果, たとえば Rattlesnake Peak では Ba 発射点から磁力線に沿って約 38000 km 離れた P 点において Ba 発光雲の検出に成功している.

さてこの Oosik 実験の約10時間前には, 世界的な規模の磁気嵐の SSC が始まっており, 数時間後に初相, さらに 0300 UT 頃には 1000γ の negative bay が観測された. したがって Ba 発光雲が作られた 0700 UT 頃はちょうど嵐の最盛期に当たり, 地球の周囲 $L \geq 4.2$ の

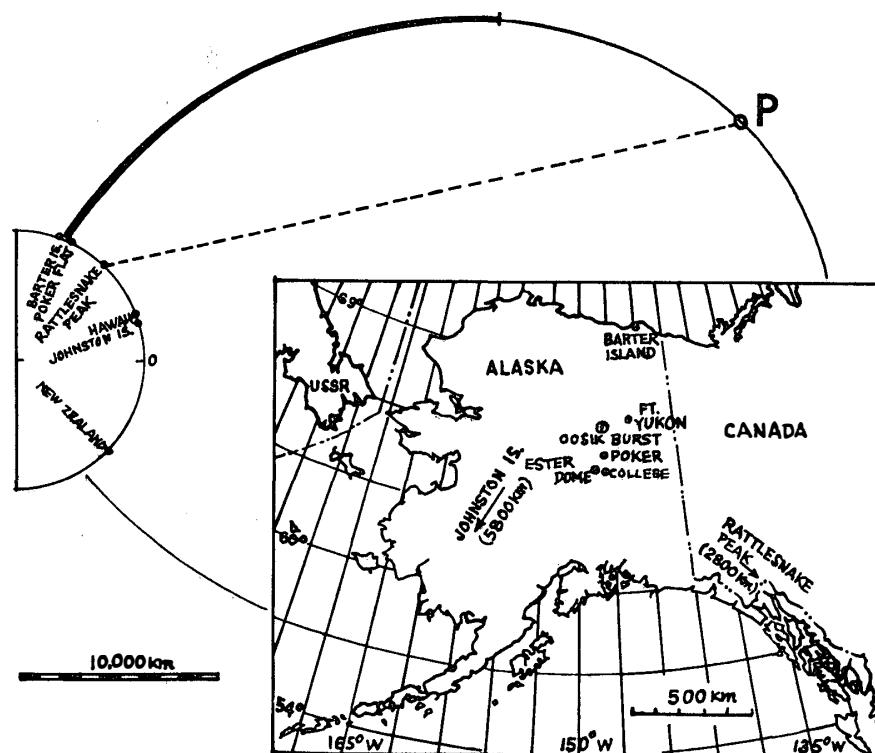


図4 Oosik 実験で彩られた磁力線の形とその観測のため設けられた観測点の位置を示す説明図. 磁力線のうち, 太い部分はバリウムジェットが観測点の写真に撮影された部分である (WESCOTT *et al.*, 1975).

Fig. 4. A composite illustration of the geometry of the Oosik field line and the location of some of the observation sites for the experiment. Heavy part of the field line is the portion traced out by imaging observations of the barium jet (WESCOTT *et al.*, 1975).

付近には ring current が流れていたことになる。しかし図 5 に見られるように College ではこの時刻には地磁気は静穏であり、発射後19分経過した 0718 UT に初めて水平成分が 400 γ 程度変化し substorm の始まったことを示している。そしてこの substorm は他の観測所の記録と照合してもきわめて局所的なものであることが分かっている。図 6 は College の全天カメラ写真であるが、上の地磁気活動に対応して発射後17分 ($X+17$ 分) 頃までは静かな帯状オーロラが南の空に現れているが、 $X+18$ 分頃から急にカーテン状となり、 $X+19$ 分と19分40秒の間にこの活発なカーテン状オーロラ (オーロラの北の縁) は、Ba 発光雲を南から北に横切っているのが認められる。

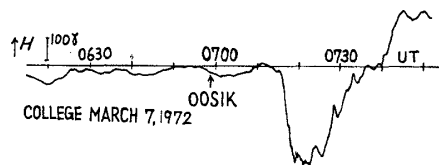


図 5 Oosik バリウム発光雲実験の前後数十分間の College における高速磁力計の記録 (WESCOTT *et al.*, 1975)

Fig. 5. Rapid run magnetogram data from College in the interval of the Oosik barium injection (WESCOTT *et al.*, 1975).

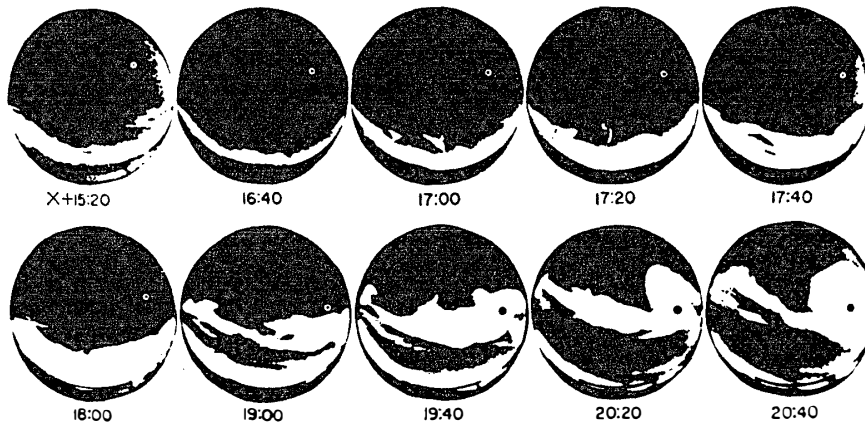


図 6 College における全天カメラ記録。X はロケット発射時刻であり、数字は X より後の分と秒を表している。各写真の露出時間は 4 秒であり、磁氣的北が上、磁氣的東が右にくるよう配置されている。各写真内の丸印は、高度 100 km 面内で観測されたバリウム発光雲の最も明るい位置を示している。最後の 2 こまではオーロラがらせん構造を示し始めている (WESCOTT *et al.*, 1975)。

Fig. 6. College all sky camera data. X is the release time, and the exposure of each frame was 4 s. The frames are printed with magnetic north up and magnetic east to the right. The small circle in each frame indicates the 100 km foot point of the field line corresponding to the brightest part of the observed barium cloud. The last two frames show the spiral structure of the aurora (WESCOTT *et al.*, 1975).

一方, Ba 雲は $X+16$ 分までは東方に移動していた. すなわち, 電界 E は南向きであったが, $X+19$ 分40秒以降は西に移動, すなわち E は北向きとなった. これからオーロラは E の方向に動くのではなく, 逆にオーロラジェットに引かれるように, 周囲の電界 E がその方向を規制されているといえる. さらにオーロラの北縁がその地点を横切るとき E の値はきわめて大きく, 200 mV/m にも達する. これはオーロラの北縁に負電荷が $6 \times 10^{12} \text{ C/m}^3$ 程度たまっているという計算になる. また磁力線の形は POGO 10/68 の平均値から大きく外れているが, この外れはオーロラ北縁で $8 \times 10^{-2} \text{ A/m}$ 程度の面電流が上向きに流れていると仮定することによって説明される.

1973年11月の有人宇宙衛星 Skylab α や同年12月の Skylab β における Ba 発光雲実験 (WESCOTT *et al.*, 1976 a, b) でも同様な解析が行われ, 脈動オーロラの場合, 電界は複雑な様子を示すことや, 北半球のカーテン状オーロラの場合その北縁で 0.2 A/m 程度の面電流が上向きに流れていた等の結論が得られた.

このように Ba shaped charge の実験によって得られる観測結果として, 次のような項目が考えられる.

- 1) 磁気圏ならびに電離圏における磁力線の形の決定.
- 2) これらの地点の電界の大きさと方向.
- 3) オーロラと電荷や電流, 面電流との関係.
- 4) Ba plasma と磁気圏ないし電離圏との相互作用.

2. わが国における Ba Shaped Charge の開発

わが国においても1977年以来成型爆薬を用いたバリウム弾やユーロピウム弾の開発を行ってきた.

2.1. 第1次開発実験 (1977年)

この場合の問題点は (1) 成型爆薬によって平面衝撃波を作ること, (2) 爆速が金属バリウム内の音速 3.9 km/s の約2倍となること, (3) 腐蝕に耐える金属バリウムライナーを作ること, (4) ノイマン効果によってバリウムプラズマのジェットが射出される場合, 画角ができるだけ小さいこと, (5) 真空中でも, 点火からジェットの噴射まで完全な爆燃の行われること. (6) 衝撃や温度などロケットの環境に耐え, かつ安全性のあること等であった. これらの点に対応して1977年には図7のような試作弾を作った. これについて能代実験場で実験を行った結果は, プラズマの噴出速度が 4 km/s しかなく, またプラズマのひろがりの画角が

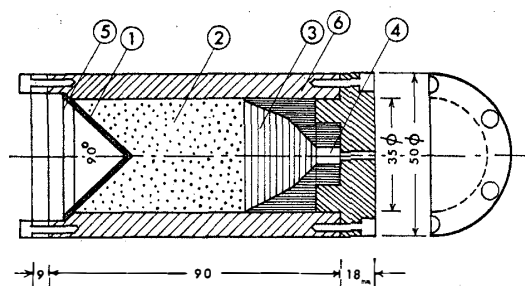


図 7 Ba 試験弾

- ① Ba ライナー ② PETN/EPON 系爆薬
 ③ 平面衝撃波生成用成型爆薬 (PETN/EPON + ニトロセルローズ)
 ④ 電気雷管 ⑤ Al パッキング
 ⑥ ジュラルミンの管体

Fig. 7. Tested barium shaped charge.

- ① Ba liner. ② PETN/EPON explosive.
 ③ Plane wave generating shaped charge (PETN/EPON + nitrocellulose).
 ④ Fuse/detonator. ⑤ Aluminium packing.
 ⑥ Duralumin case.

5°以上にひろがり所期の目的が達せられなかった。さらにバリウムライナーは、エチルセルローズ系の防錆剤であるカネパックでコーティングを行ったが、1-3週間目に金属 Ba が次々に表面から酸化されることが判明した。この原因は平面波レンズの設計が不十分であったことと、試験弾の直径が小さ過ぎた点が主な原因と考えられる (中村, 1977)。

2.2. 第2次開発実験 (1978年)

2.2.1 平面波レンズ

1978年に入ってまず本格的な爆薬レンズを作る目的でアメリカ Los Alamos での経験を参

表 1 Baratol 配合比
 Table 1. Mixing ratio of baratol.

Sample number	TNT (%)	BaN (%)	Distribution of BaN grain size (%)				Pouring results
			20#	48#	100#	150#	
			48	100	150	200	
1	25	75	0	60	40	0	No fluidity
2	25	75	0	50	50	0	Impossible to pouring
3	25	75	11	41	24	24	Difficult to pouring
4	30	70	11	41	24	24	Separable
5	28	72	11	41	24	24	Good

考に、低速爆薬として baratol を使用する方針を立てた。ただし、baratol は表 1 に示すように成分の 1 つである硝酸バリウム (略号 BaN) の粒度と混合比が大きく影響した。すなわち No. 1 試料では BaN の粒子が粗く、まったく流動性がなかった。No. 2 においてもなお流動性少なく溶填不能であった。No. 3 でどうにか溶填できたが、スムーズに作業が運ぶ状況ではなかった。一方 No. 4 のように TNT の混合比率を大きくすると流動性は増すが、BaN との間に分離の傾向が現れた。結局 No. 5 のような試料で所期のものが得られた。

次に高速爆薬としては composition B を用いた。これと baratol の爆速測定結果は表 2 の通りであり、だいたい平面波レンズの条件をみたしていることが確かめられた。その測定法

表 2 成型爆薬の爆速測定値
Table 2. Measured detonation velocities of shaped charge.

Shaped charge	Density	Detonation velocity (m/s)	Mean velocity (m/s)	Mixing ratio (%)
Composition B	1.64	7576	7650	RDX 58 TNT 39 WAX 3
		7692		
		7692		
		7652		
Baratol	2.33	4760	4700	TNT 28 Ba(NO ₃) ₂ 72 { 20#— 48# 11% 48 —100 41 100 —150 24 150 —200 24
		4690		
		4734		
		4660		

は図 8 に示す通りで、間隔 50 mm のイオンギャップの間をイオン化した燃焼面が通過する時間をオシロスコープによって求めたものである。Baratol の場合、テトリールから直接点火できないので、プースターとして composition B を用いた。ただし測定管の内径は 36 mm しかなく、打ち上げ時の内径 80 mm の場合に比し爆速が小さめに出る可能性がある。このため図 9 に示す方法で、成型爆薬により作られる平面爆轟波の平面度の測定を 8 月に工業技術院東京工業試験所平塚分室で実施した。

一般に 2 種類の成型爆薬を用いて平面爆轟波を作る場合、図 9 において baratol 円錐の頂点から円錐の底面に至る時間が等しくなるよう円錐底角 α をセットする。それには baratol の爆速を V_B 、composition B の爆速を V_C とするとき

$$\sin \alpha = \frac{V_B}{V_C}$$

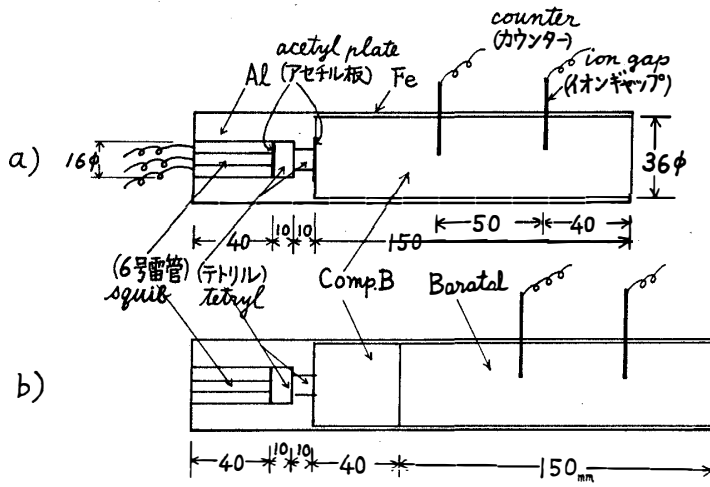


図 8 爆速測定装置

- a) Composition B の爆速測定
- b) Baratol の爆速測定

Fig. 8. Principles of measuring the detonation velocities.

- a) Detonation velocity for composition B.
- b) Detonation velocity for baratol.

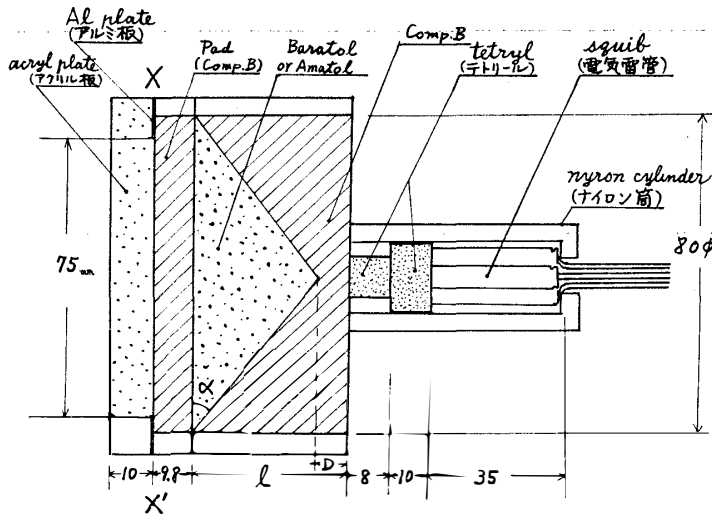


図 9 平面衝撃波を作る shaped charge 試作弾

Fig. 9. Testing apparatus for shaped charge generating the plane detonation wave.

の関係が成り立てばよい。ただし実験時には図示の D の大きさや管壁、あるいはテトリールから点火がはたして点状に行われるか否か、等が効いてくる。したがって α を理論値の 38° を中心に 41° から 33° まで変え、 D も 6 mm から 20 mm に変えて実験を行った。測定にはボースカメラの原理を応用して秒速約 3 km でフィルムを流した (ただし実験はフィ

ルムを固定し、8面鏡を高速回転する)。Shaped charge の前面には、距離 75 mm を隔てて遮光のための2枚のアルミ板が相対している。爆轟波が図9の XX' 面に達すると XX' 面内の空気は強く圧縮され高温となるので、それに接したアクリル面が強く輝く。この光をスリットを通して上記流しフィルムに導く。測定結果は図10に示す通りである。図10 a は composition B だけを用いた場合で、当然凸面状の衝撃波が進行する。このとき最初に XX' 面の中心部が光り出し、この光点は時間と共に円形状に周囲に拡がって行く。この結果 XX' 線に合わせたスリットを通して観測すると、図10 a のような写真記録となる。図10 b は composition B+baratol の平面レンズを用い $\alpha=38^\circ$ にセットした場合である。このとき写真記録では確かに周辺部がわずかにさきに光り出し、中央部があとで光っている。すなわち衝撃波は凹面である。なお上下の光線は周囲からの散乱光であって、測定には関係がない。図10 a でこれがないのは周囲を粘土で固め散乱光を防止したためである。図10 c は composition B+baratol のレンズで $\alpha=36^\circ$ にした場合である。なおわずかに凹面であるが略平面波が得られたことを示している。このような実験結果によれば、装填比重や D 、管壁の材

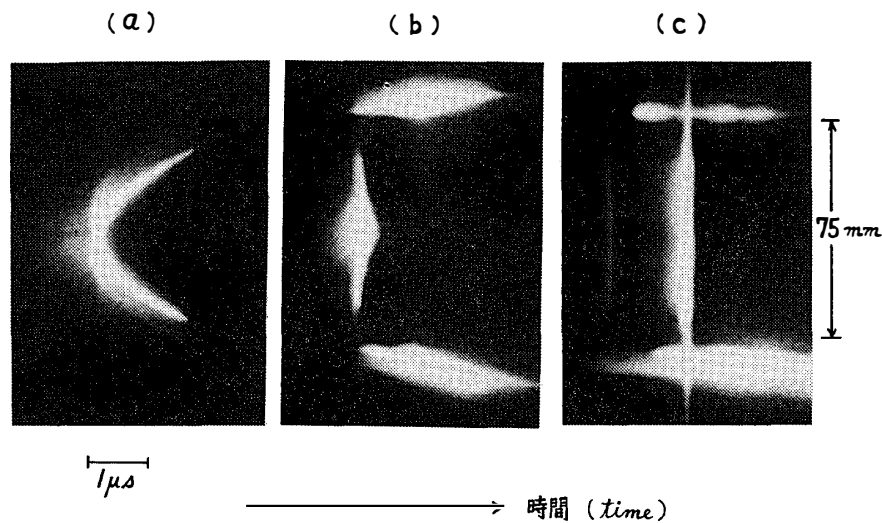


図10 波面の平面度測定のための高速写真

- (a) Composition B のみの場合；波面は凸
- (b) Composition B+baratol の円錐底角 $\alpha=38^\circ$ の場合；波面は凹
- (c) Composition B+baratol の円錐底角 $\alpha=36^\circ$ の場合；波面はわずかに凹。

Fig. 10. High speed photograph determining the curvature of wave front.

- (a) The case of composition B only: Wave front is convex.
- (b) The case of composition B+baratol, base angle of cone $\alpha=38^\circ$: Wave front is concave.
- (c) The case of composition B+baratol, base angle of cone $\alpha=36^\circ$: Wave front is slightly concave.

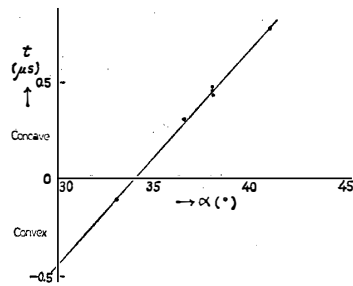


図11 Shaped charge の円錐底角 α と通過時間 t との関係. ただし t は直径 75 mm の円形 XX' 面を凸または凹の波面が通過する時間.

Fig. 11. Relation between α and t . T corresponds to the time interval when convex or concave wave front passes through the circular plane XX' of 75 mm diameter.

料にかかわらず平面度は円錐底角 α だけでほぼ決まることが明らかとなった. 図11は横軸に円錐底角 α , 縦軸に上記高速度写真における XX' 線の衝撃波通過時間 t をとったもので, これから $\alpha=34^\circ$ のとき最も衝撃波の平面度のいいことが想像される. そこで再度9月に工業技術院東京工業試験所で $\alpha=34^\circ$ ならびに $34^\circ \pm 1^\circ$ の実験を行い $\alpha=34^\circ$ のとき完全な平面爆轟波の形成されることを確認した. なお baratol の代わりに amatol を用いた実験も行ったが, 後者の実測値は不安定であった.

2.2.2 バリウムライナーの成型と防蝕

金属バリウムの素材は直径 22 mm の円筒である. 円錐状の雌雄の金型7個を利用して順次圧搾成型を行い, 最終的に外径 60 mm, 全頂角 90° の図12のような Ba ライナーを作るのであるが, 図13 a のようにまず10トンプレスで直径 60 mm の円板にした後, 金型を用いて絞り成型を行ったところ, 中心部の加工度が大きいため割れが生じ, 欠落した. そこで図13 b のように最初直径 35 mm の円錐状にした後, 絞り成型を行ったところ, 今度は逆に周

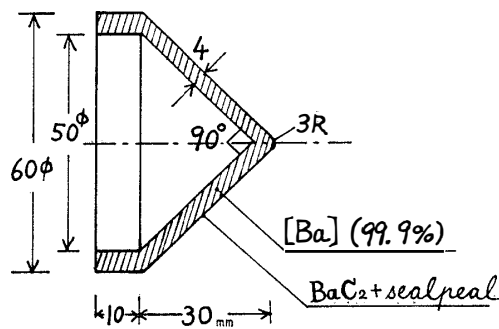


図12 中空円錐形 Ba ライナー. 重量は 68 g (0.5 mole)

Fig. 12. Hollow cone of barium metal liner which weight is 68 g (0.5 mole).

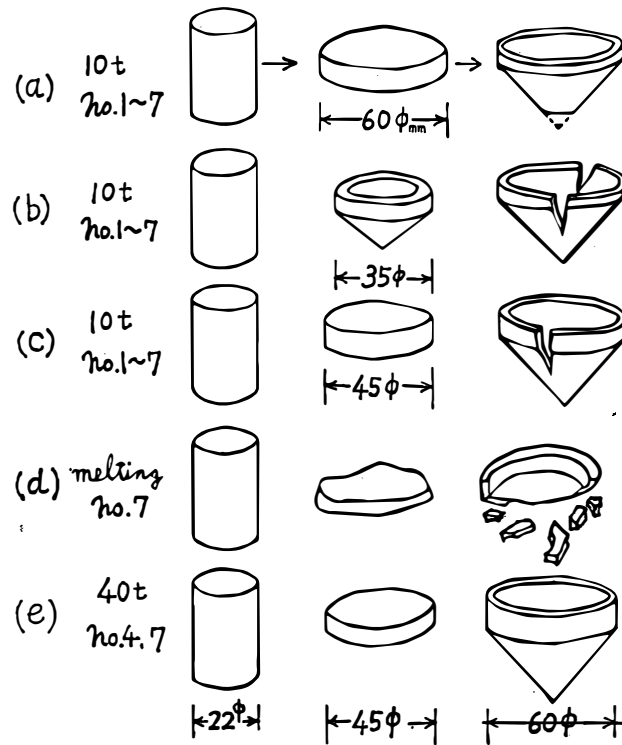


図13 Ba ライナーに対するプレス加工の概略

Fig. 13. Schematic diagram of barium liner's press processing.

縁部に割れを生じた。図13 c は上記両者の加工度を分散させるつもりで径 45 mm の円板から出発したところ、小さいながらやはり割れが生じた。図13 d ではアルゴンガス封入炉で融点 710°C の金属バリウムを 750°C まで加熱し、熔融後 No. 7 金型に流し込んだが、得られたライナーはきわめてもろく、成型は失敗であった。また Ba の再結晶温度である 220°C を少し上まわる 230°C まで加熱のうえ、焼きなまししても図13 a-c の割れを防止することはできなかった。結局、図13 e のように、加工硬化による割れを少なくする目的で圧搾回数を減らし、No. 4 と No. 7 の金型だけを用い、500トンプレスで短時間（数秒）の間40トン加えて成型することにより、ほぼ所望の形のものが得られた。

バリウムライナーの防蝕処理として前述のようにカネパックを用いたのでは2週間で腐蝕がはじまることが明らかとなったので、その後さまざまなコーティング材料を試み、次の方式でほぼ満足な結果を得た。すなわち、まず黒色の炭化バリウムの被膜をかけることにより、ライナー表面に BaC_2 被膜を作る。ただし、これだけでは機械的に弱いのでパラフィンワックスをかける。しかしそれでも凸部などではクラックの入る可能性があるため、脱水したキシレン溶液を減圧脱泡後、溶剤として用いてシールピールを溶かし、シールピールコーティ

ングを行う。その上さらにパラフィンワックスをかける。すなわちライナーの上に BaC_2 被膜-パラフィンワックス-シールピール-パラフィンワックスの4重コーティングを行うことによって、バリウム腐蝕に対してまったく安全なライナーを作ることができた。

2.2.3. 総合テスト

能代での総合テストに用いた Ba 試作弾の構造は図14に見られるように、K-9M-66 号機に搭載したものと同一であり、ライナーの厚みが 3.5 mm の A 弾と、5 mm の B 弾の2種類であった。A, B 両弾は 1 m 角の木枠の中央に仰角 45° でセットし、木枠の周囲には土のう 100 個を積みあげた。

実験の結果、A, B 両弾とも作動良好であった。射出された Ba ライナーは高温のため激しく空気中の酸素分子と反応し、30 m ほど進む間に反応を終ったため、Ba 量の少ない A 弾では1秒 500 こまの高速 16 mm ムービーの2こま目ですでに発光を終了し、正確な射出速度を求めることはできなかった。ただ 5 km/s より速かったことがいえるだけである。しかし B 弾では 500 こま/秒の2こま目まで完全に Ba ジェットを追跡することができ、これから求めたジェットの初速は 8.9 km/s であった。射出方向のうち、ひろがりの画角については、いずれも 1° 以内に収まり問題はなかった。これに対し、仰角は A 弾が $45^\circ \pm 1^\circ$ 、B 弾が

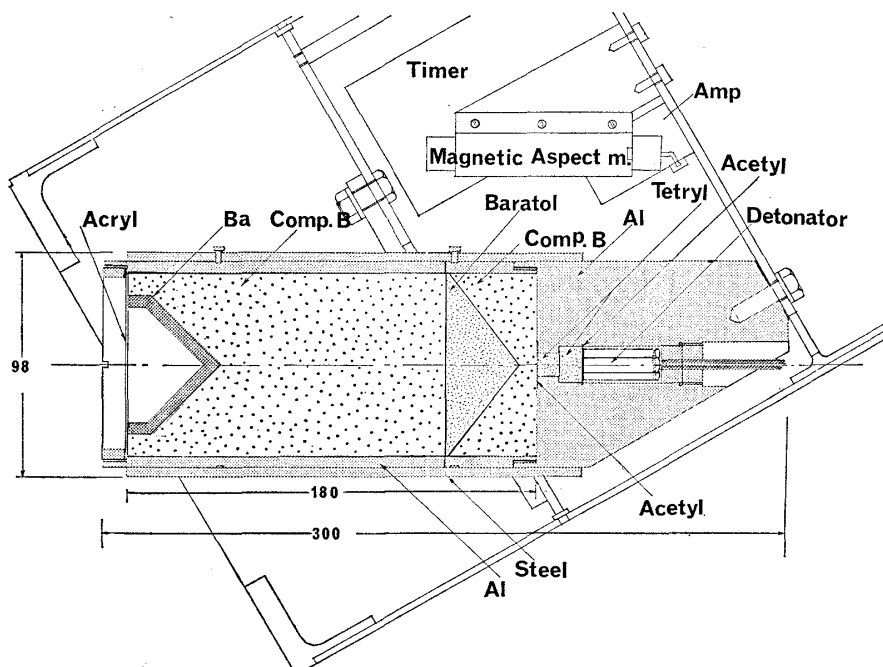


図14 K-9M-66 号機搭載用 Ba 弾の構造と Ba 弾ならびに磁気センサー搭載状況
 Fig. 14. Schematic diagram of barium shaped charge and magnetic aspect meter in the K-9M-66 rocket.

43°±1° で射出方向は多少弾の軸とずれていた。

3. K-9M-66 号機 ロケット 実験

図14は、K-9M-66 号機における Ba 弾の搭載状況を示すもので、ロケット軸に対し弾の軸は 30° 傾いている。ロケットは飛しょう中、仰角 80° を中心にスピニングやプリセッションを行うので、磁界の方向は仰角 41° であっても、弾の軸が磁力線方向を向く可能性はきわめて高い。Ba 弾の脇にはその軸に平行に磁気センサーが取り付けられており、センサーの方向が、その地点の磁力線の方向に対し 5° 以内にはいると、タイマーの働きで Ba 弾の点火が行われる。ところで Ba 弾が作動すると、管体は破裂し、その破片は主に軸と直角方向に飛散するので、磁気センサーが働き出す30秒前に Ba 弾搭載部を頭胴部から切り離し、50 m 以上隔離を図ることにした。また Ba 弾の向きが予測通りにいかず、20秒間磁気センサーを作動させても、磁力線に平行にならなかった際には、自動的に弾の点火を行うようセットした。

K-9M-66 号機は1979年1月23日 JST1806、太陽高度 -9° の夕方薄明時の空に向かって打ち上げられた。このとき 300 km の上空にはいまだ日射があって、作られた Ba イオンは励起され、Ba II 4554 Å 輝線を発するが、内之浦、南郷、種子島、山川および谷山などの地上観測点ではすでに薄暗く、5等星まで写真で撮影できる状態であった。X+310秒に弾は頭胴部から切り離され、X+340秒から20秒間磁気センサーが磁力線を探し続けた。ところが、プリセッションの周期が1分近くあったため、この20秒間には Ba 弾の軸が磁力線に一致することなく、X+360秒高度 316 km で弾は点火され、ジェットは磁力線と約 40° をなす方向に射出された。このためジェットは急速に拡散し、磁力線を彩るまでに至らなかったが、写真の結果については現在詳しく解析中である。

今回のロケット実験では、少なくとも磁気センサーの搜索時間を90秒にのぼし、また金属バリウム量も 0.3 モルから 1.5 モルに増量したうえ、ライナーの全頂角を 30° まで深く絞り、完全な Ba 発光雲を作る計画である。

4. 昭和基地での Ba Shaped Charge 実験

磁気センサーまで含め全重量約 20 kg の Ba shaped charge はロケットとして S-510 型を利用し、高度 250 km 以上で release する。発射時刻は太陽高度が $-8^\circ \sim -12^\circ$ の薄明時を

選ぶが、昭和基地では薄明時の持続時間が長いうえ、季節により局所時刻が大きく変化するので、オーロラの活動の各段階に対応した観測が行われるはずである。地上観測点として昭和基地とみずほ基地のほか、上空が曇る可能性を考慮してスカルプスネス露岩地帯にも航空カメラを2台セットする。

また磁気共役点との関連を問題にする大型弾実験の場合、レイキャビックのほか、モザンビーク、ザンジバル、ベンガジ、グラスゴーの中の2カ所程度に観測点を設けることができると理想的である。この場合TVカメラや光電受光器、分光計等も設置されることが望ましい。

電界や磁界の有力な直接観測の手段として、近い将来 **Ba shaped charge** 実験が、昭和基地で行われることを期待する。

終わりに今回、**shaped charge** の開発に何かとご協力いただいた日本工機の黒田英司氏、亀ヶ谷重夫氏、日本化薬の黒田託三氏ならびに工業技術院東京工業試験所の藤原修三氏に心から感謝の意を表する。

文 献

- HUNTER, J., MARTELLI, G., MARTIN, K. S. and ROTHWELL, P. (1969): Production of fast jet of ionized barium using explosive shaped charges. *Appl. Phys. Lett.*, **14**, 35-37.
- 中村純二 (1977): Ba シェープド・チャージによる電界と磁界の観測. 宇宙観測シンポジウム, 昭和52年, 東京大学宇宙航空研究所, 150-162.
- 中村純二 (1978): シェープド・チャージによる Ba plasma の基礎実験. 宇宙観測シンポジウム, 昭和53年, 東京大学宇宙航空研究所, 233-238.
- WESCOTT, E. M., RIEGER, E. P., STENBAEK-NIELSEN, H. C., DAVIS, T. N., PEEK, H. M. and BOTTOMS, P. J. (1974): $L=1.24$ conjugate magnetic field line tracing experiments with barium shaped charges. *J. Geophys. Res.*, **79**, 159-168.
- WESCOTT, E. M., STENBAEK-NIELSEN, H. C., DAVIS, T. N., MURCRAY, W. B., PEEK, H. M. and BOTTOMS, P. J. (1975): The $L=6.6$ Oosik barium plasma injection experiment and magnetic storm of March 7, 1972. *J. Geophys. Res.*, **80**, 951-967.
- WESCOTT, E. M., STENBAEK-NIELSEN, H. C., DAVIS, T. N. and PEEK, H. M. (1976a): The Skylab barium plasma injection experiments 1. Convection observations. *J. Geophys. Res.*, **81**, 4487-4494.
- WESCOTT, E. M., STENBAEK-NIELSEN, H. C., HALLINAN, T. J., DAVIS, T. N. and PEEK, H. M. (1976b): The Skylab barium plasma injection experiments 2. Evidence for a double layer. *J. Geophys. Res.*, **81**, 4495-4502.

(1979年4月14日受理)