

発光弾による風の観測

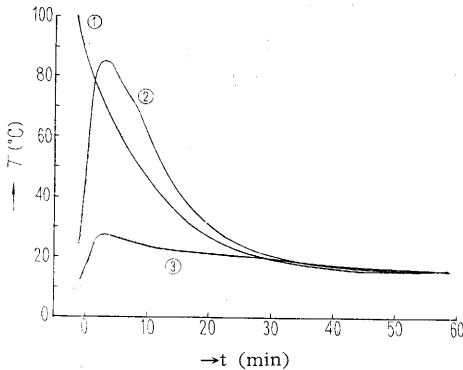
中村 純二・秋田 一雄・斎藤 肇児

1. まえがき

地表上 80~150 km の上空における風向，風速の水平成分を求めるために，ナトリウム蒸気を必要な高度に散布し，その共鳴線による発光を地上の数力所から追跡する方法がある^{1)~5)}。しかしながら風速をいっそう正確に測定し，さらにその鉛直成分まで求めるにはガスを点状に散布する必要がある。本報告はこの種の観測用ロケット搭載装置を開発する目的で，テルミット法と光薬法により金属ナトリウムおよび金属リチウムを蒸散させようとした一連の地上実験について述べたもので，あわせて K-8L-2 号機によって行なわれたロケット実験の結果の概要も記した。

2. テルミット弾の地上実験

1) ナトリウム・テルミット系の安定性 まず金属 Na とテルミット (Fe₂O₃: Al=3:1) の接触による発火の危険性を調べるため，種々の大きさの Na 片をテルミット粉末に混合し，混合後の温度変化とこの混合系を加熱した場合の発火温度を測定した。この結果次のことがわかった。(a) Na の大きさが 2~3 mm 角の場合は十分注意して混合しても発火することがあるが，6 mm 角程度にすれば発火しない (第 1 図)。(b) 混合時の温度



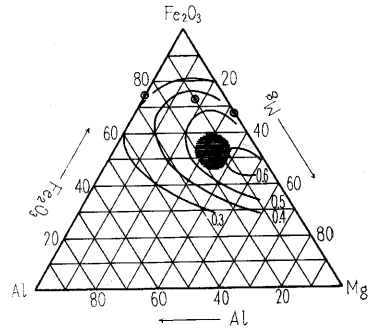
Fe₂O₃: Al: Na=24: 8: 8
 総重量 50 g・比重 0.8
 ① Na 片の大きさ=3 mmφ×5 mm
 ② Na=5×5×5 mm³
 ③ Na=10×10×10 mm³

第 1 図 ナトリウム・テルミット混合物の発熱曲線
 上昇は数分後が最高で，以後時間とともに低下する。
 (c) 混合物の発火温度は酸化物被膜の融点 290°C にはほぼ等しく，これは金属 Na の発火温度⁶⁾とも等しい。しかし圧さくや加速度による衝撃のため酸化物被膜がこわれると Na の融点 98°C のわずか上で発火する。荷重変形の実験から被膜がこわれない圧さく圧力の上限を求め

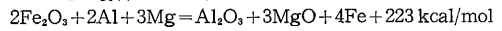
たところ 2 kg/cm² となった。

リチウムの場合は急激な切断を行なわない限り，テルミットの混合や圧さくによる発火の可能性はまったく認められなかった。

2) テルミット・マグネシウム系の燃焼速度 テルミット弾の燃焼速度をなるべく大きくして，線分状に Na ガスを放出し，風速の鉛直成分まで測定できるような蒸発器を開発する目的で Fe₂O₃-Al-Mg 3 成分系について燃焼速度 v の測定を行なった。 v の値は粒度，装填比重，燃焼管の直径，気圧などに依存するが測定結果の 1 例を第 2 図に示す。 v の最大値の付近では燃焼が不規則

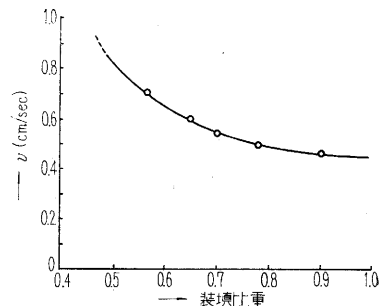


装填比重 0.82 管径 2.78 cm Mg 80 メッシュ
 //印は燃焼安定領域
 ⊙は理論混合比の対応点
 特に Fe₂O₃-Mg-Al 系の理論混合比は 72: 12: 16
 その場合の反応式は



第 2 図 Fe₂O₃-Mg-Al 系の燃焼速度 v (cm/sec)

で再現性も少ないが，その近くに燃焼の安定領域が見られたので，この部分を基本成分として採用した。粒度は細かいほど v 大であるが常に同程度の粒度のものを得る必要があるので，搭載用には Al 250 メッシュ，Mg 100



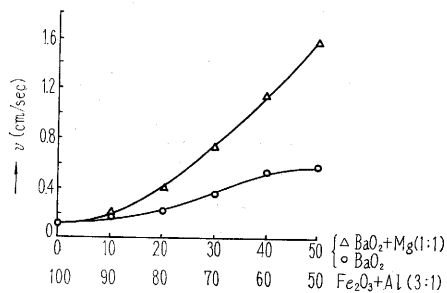
Fe₂O₃: Al: Mg=72: 12: 10
 管径 1.25 cm, Mg 80 メッシュ

第 3 図 v に対する装填比重の影響

メッシュのものを用いた。装填比重は小さいほど ρ 大であるが環境試験に耐えるためには 0.8 以上である必要があった (第 3 図)。管径は大きいほど ρ 大で径 5 cm 以上になると飽和の傾向を示した。

$Fe_2O_3-Al-Mg$ 系に Na を加えた場合の ρ はテルミット 60%, Mg 20%, Na 20% のものが大きく、かつ安定であることが確かめられた。

点火剤 (スタータ) としては確実に発火する BaO_2 : $Mg=1:1$ の混合物を用いた。発熱量の関係でこれから直ちにテルミット主剤に燃焼を移すことはむずかしいので $Fe_2O_3-Al-Mg-BaO_2$ から成る 2 種類のブースタを中間に挿入した。第 4 図はブースタに対する燃焼速度の測



△: $Fe_2O_3+Al+Mg+BaO_2$
○: $Fe_2O_3+Al+BaO_2$

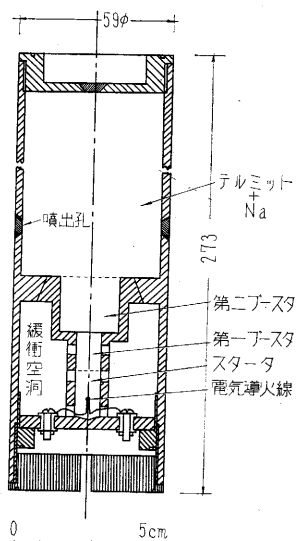
第 4 図 ブースターテルミットの燃焼速度

定結果の 1 例でテルミットにスタータを 30~50% 混入する時、燃焼速度も大きく安定であることを示している。

3) 弾の構造 弾は主燃焼室と点火栓にわけ、点火栓に電気導火線、スタータ、第 1 および第 2 ブースタを、主燃焼室にテルミット主剤と Na および Li を装填した。

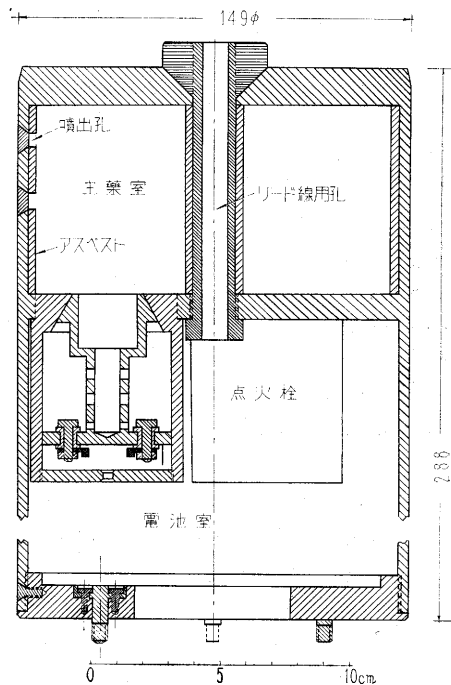
真空容器内で燃焼実験を行なった結果、点火栓の立消えになる場合がしばしば生じたので、点火栓は密閉方式をとることとした。この場合スタータの燃焼によるガス圧のため未燃薬剤が移動して密閉を破り、あるいは立消えとなることがあるので緩衝空洞を設けて放出ガスを吸収する一方、主剤に近づくにしたがって燃焼面積が、しだいに広がるような構造とした。

主燃焼部は燃焼中ジュラルミン容器がくずれないように容器内面にアスベストを巻いた。アスベストの厚さが 2 mm だと管体は部分的に軟化し、1 mm だと融解するが、3 mm 以上ではまったく軟化しないことが実証された。K-8L-2 号機の場合はテルミット弾をロケット本体から射出する方式の T_1 弾と、ロケットに組み込んだまま燃焼させる T_2 弾を搭載したが、いずれも Na 蒸気の放出は容器内のガス圧が数気圧以上になった時、側壁に設けた小窓を吹き破る方式とした。この窓は直径約 3 mm、外向きのテーパを持ち、温度とともに容易に軟化するボンドで止めた。第 5 図 T_1 および第 6 図 T_2 はテルミット燃焼弾の構造の概略を示すもので、薬量は T_1



第 5 図 K-8L-2 号機 T_1 弾

が Na 40 g, T_2 が Na 250 g であった。第 7 図は点火部のガス圧緩衝空洞に圧力計を装填し、点火から主剤の燃焼に至る間の圧力の時間変化を測定したものである。点火後圧力は 1~2 kg/cm² 程度の値をとり、主剤の着火とともに急激な圧力上昇を示した。この図にはコンデンサを回路に入れた熱電対による各部の温度変化の結果も示されているが、特に主剤下端部の温度上昇の



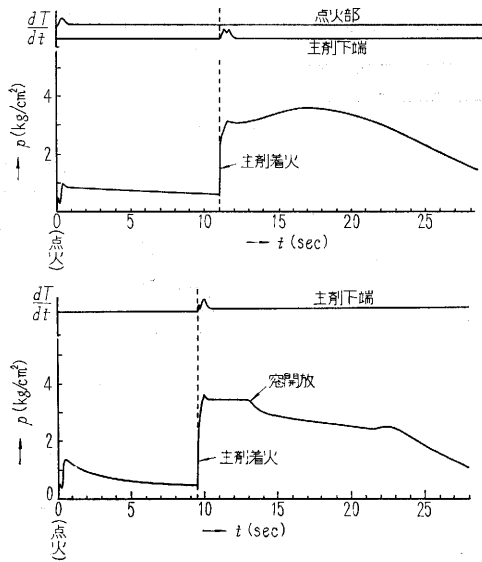
第 6 図 K-8L-2 号機 T_2 弾

時刻は圧力のピークとよい一致を示している。

3. 光薬弾の地上実験

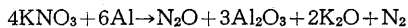
1) 光薬の組成 Armstrong⁷⁾は Al 粉末を上空で爆散させ、その雲から出る光を地上から観測して風速を求めた。この場合雲は確かに点状であるが、重力落下の影響はまぬがれがたく、やはり風速の鉛直成分を正確に知ることはむずかしい。そこでわれわれは爆散方式によって原子状の Na を放出する光薬弾の実験を始めた。

熱伝達の時間を考慮して爆燃速度の遅い何種類かの塩類について地上実験を行ない、直視分光器でスペクトル



第7図 緩衝空洞内の圧力並びに温度勾配曲線

を観測した結果、次の点が明らかになった。
 (a) $B(NO_3)_2$ は発熱量小さく、光薬成分としては不適当である。(b) $KClO_4$ は発熱量は大きい、反応の際放出される Cl_2 ガスが蒸発した原子状 Na を侵す欠点がある。(c) $KNO_3 + Al$ の混合物の場合



の反応によって酸素バランスはほとんど零に近く、発熱量も大きいので、光薬の基本組成として適当である。(d) $NaNO_3 +$ ステアリン酸アルミニウムの場合光薬自身も Na ガスを出す可能性があるが、爆燃速度が大きすぎるため Na 塊の一部分は固体のまま爆散されるぞましくない。

管体の材質と弾の内部における Na 配置を決めるために、直径 1m、長さ 6m の鉄管中で各種の実験用光薬弾を炸裂させ、残留した金属 Na を回収の後秤量して酸化した Na 量を推定した。この結果管体としては鉄よりジュラルミンの方がすぐれており、光薬中の Na 配置としては Na をなるべく分散させ、かつやすいシート状にするのがよいことがわかった。

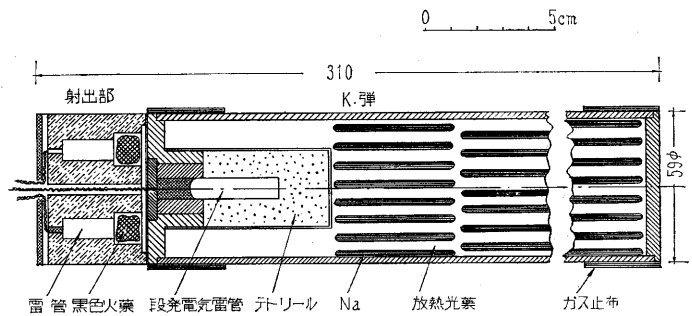
2) 真空実験 真空中では蒸気圧の関係で酸化 Na 量は多くなる反面、点火系を含む光薬の燃焼の持続性が不確実になると考えられる。このため肉厚約 25mm の鍛鉄製容器内で小型光薬弾の炸裂実験を行なった。これにより真空点火の確実性は確かめられたが、酸化した Na は直ちに残存空気と反応し、吸収スペクトルによる Na の検出はできなかつた。後者を確かめるため Na の代わりにハンダ (Pb : Sn = 3 : 2) の小塊を多数混入した擬弾の実験を行ない、熱伝達の模様を調べた。この結果約 250g のハンダのうち、20% は蒸発し、残りの 80% についても大部分熔融してはほぼ融点 $182^\circ C$ まで温度が

上昇したことが示された。

3) 光薬弾の構造 以上の実験に基づいて K-8L-2 号機のために設計された光薬弾の構造は第 8 図のとおりである。すなわち 4g の黒色火薬によってロケット本体から前方に約 90 m/sec の速度で射出された光薬弾は、射出と同時に段発電気雷管に着火され、これが 0.4 秒の遅延秒時の後発火して導爆薬 (テトリール) にうつり、つづいて光薬が爆燃する。パラフィンとポリエチレンで被覆されたシート状の Na は光薬中に渦巻状に埋め込まれており、炸裂と同時に四方に蒸散する。この場合の薬量は Na 120g であった。

4. 発光雲の観測

1) 打上時刻 発光雲の位置を地上観測から決める場合、発光雲の高度ではなお日射があり Na や Li の共鳴線が強く発光しているとともに、地上では薄明状態が続いて背景の空に 3 等星程度の星が見えていなくてはならない。この条件が満足されるのは太陽高度が $-8^\circ \sim -9^\circ$



第8図 K-8L-2号機 K弾

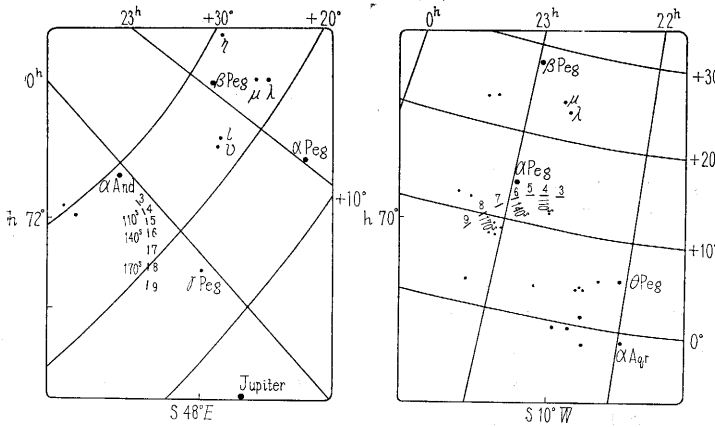
の数分間であつて K-8L-2 号機については次の発射時刻が予定された。

1963. 12. 12, 17: 50^{±2} JST

このほかに観測点の上空に雲がなく、月のない暗夜であることが要求される。

2) 観測網 発光雲の位置を決定するには 2 カ所以上の観測点から発光雲を同時撮影しなくてはならない。このため K-8L-2 号機の場合は都井岬突端と船間中学校に、観測点を置き、内之浦からの無線指令にもとづき各観測点でまったく同時に発光雲の撮影を行なった。この観測に使用した通信機は SSB 方式のもので、周波数は 1711.5 kc 送信出力は内之浦のみ 50 W、他は 10 W であった。電界強度の計算によれば $S/N=20$ db として各観測点の必要強度は $30 \mu V/m$ 以上となる。

3) 観測カメラ 各観測点には経緯台にのせた 2 台の航空写真用 K20 型カメラをセットした。2 台のうち 1 台は NaD 線用に Y2 フィルタを用い、他の 1 台には Li 赤線用に R1 フィルタをつけた。レンズはいずれも Nikkor F 200 mm, f 1/3.5, フィルムは Fuji SSS (サイズ $6^\circ \times 4.5^\circ$) 現像はパンドール $20^\circ C$, 20 分、皿現



5 秒露出 10 秒休みの撮影フィルム中 3 駒目から 9 駒目までの航跡が記入されている。枠内の線は赤経赤緯，枠外の数字はカメラの方位と仰角を示す。

第 9 図 船間および都井で撮影された K-8L-2 号機航跡の写真

像。また露出は発光雲の光りはじめた発射後 70 秒後から始めて Na カメラは 5 秒露出で 10 秒休みの観測を約 30 駒，Li カメラは 20 秒露出で 10 秒休みの観測を約 18 駒行なった。

5. K-8L-2 号機の飛しょう結果

発光弾 4 箇 (K₁, T₁, K₂, T₂) を搭載した K-8L-2 号機は 1963 年 5 月に打上げが予定されていたが，天候不良のため延期となり，ロケットエンジンは持帰りとなっ

た。その後同年 12 月 12 日 JST 1750 2 号機は快晴に恵まれ，上下角 78°，方向角 N 145°S で発射された。しかしロケットは予定の航跡を飛しょうせず，最高到達高度は 103 km (予定は 182 km)，飛しょう距離は 74 km (予定は 170 km)，飛しょう方向は発射後 20 秒前後で左にそれ，落下地点の方位は予定より 17° 東寄りであった。このため発光雲は認められず，船間および都井で撮影した 5 秒露出の観測フィルムの数駒に第 9 図に示すような軌跡がうつただけである。この軌跡をくわしく調べると，周期約 1.3 秒の光度の極大が見られる。これはロケットのスピンの回転にともなって機体の反

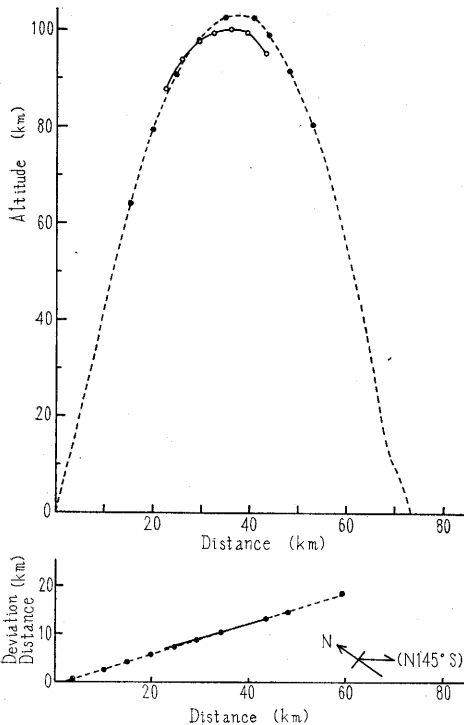
射光が撮影されたものか，機体内で発光弾が異常燃焼を行なったものか原因不明であるが，この軌跡をロケットの航跡と考えてその位置を算出すると第 10 図の実線の結果が得られる。同図の点線はレーダートランスポンダによる航跡の測定結果である。両者は誤差の範囲内で一致していると考えられる。この日の地上における気温は 9°C，風向は北西，風速は 4 m/sec であった。

6. 結 び

1964 年 7 月 26 日 K-8L-4 号機によるテスト飛しょうのうち，同日夕刻発光弾 2 箇 (T および K) を搭載した K-8L-5 号機が打ち上げられ発光弾の実験は成功した。この結果については次回に報告を行なう。

おわりに

本実験の指導をされ，たえず激励していただいた東京天文台の古畑正秋教授，地上実験や弾の製作に協力を惜しまれなかった昭和化成工業 KK の方々，ならびにロケットの打上げにあたってお世話になったたくさんの方々から感謝の意を表す。(1964 年 10 月 12 日受理)



点線はレーダートランスポンダによる測定値
実線は 6 図から求めた計算値
上下角 78°，方向角 N 145°S

第 10 図 K-8L-2 号機の航跡

文 献

- 1) H. D. Edwards, J. F. Bedinger, E. R. Manring and C. D. Cooper: The Airglow and the Aurorae pp. 122 ~134 (1956)
- 2) L. Broglio: Space Research II pp. 1125~1140(1961)
- 3) H. D. Edwards, C. G. Justus and D. C. Kurts: J. Geophys. Res. **68** pp. 6062~6063 (1963)
- 4) J. Blamont: Planet. Space Sci. **10** pp. 89~101(1963)
- 5) C. H. Mc Donnell and W. D. Charles: Rep. of Atlantic Res. Corp, Contract AF 19 (628) 295 JAN (1963)
- 6) K. Akita and S. Yamashika: Rep. of Fire Res. Inst. **24** (1964)
- 7) E. B. Armstrong: Planet. Space Sci. **11** pp. 733~742 (1963)