

メソゾンデの将来計画

中村純二*・前田 坦**

On the Mesosonde Projects at Syowa Station

Junji NAKAMURA* and Hiroshi MAEDA**

Abstract: A new tool named mesosonde was developed by using a large-scale gun for ionospheric and meteorological research purpose. Type “MSL-160” gun has a size of 155 mm in caliber and 13 m in length. An apogee of 12 kg weight of payload is about 120 km.

In comparison with small rockets, one of the main characteristics of the mesosonde is a possibility of production of luminous clouds in every hour or in every half an hour, which would enable us to analyze wave properties in the upper atmosphere. Also as the mesosonde is an economical tool, we are able to get statistical characteristics about the stratosphere dynamics from a large number of launching.

Trimethyl aluminum, sodium or barium clouds may be photographed from Syowa Station, Mizuho Station and a temporary observatory near Skarvsnes.

Before setting up the “MSL-160” gun at Syowa Station, several flight tests should be performed in Japan.

要旨: MAP 期間中, 昭和基地において, 中間圏および下部電離圏の物理的状態や気象状態を調べるため, 口径比の大きいラウンチャーによりメソゾンデを打ち上げる計画を提案する. 計画中の「MSL-160」型ラウンチャーは口径 155 mm, 全長 13 m であって, 重量 12 kg のメソゾンデを高度 120 km まで打ち上げる能力がある.

小型ロケットでも同様な観測が行えるが, それに対するメソゾンデの主な特徴は, 30分から1時間おきの打ち上げが実施できることで, たとえば, 人工雲法により大気の変動的性質を調べることができる. また, きわめて経済性が高く, たとえば, 毎週1回定期的な気象観測を行うことも可能である.

TMA, Na, Ba 雲等の地上観測は, 昭和基地, みずほ基地ならびにスカルブスネス露岸地帯の3点より行う.

実施に当たっては, 日本で事前に性能試験や観測, 技術連絡等を行っておく必要がある.

* 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.

** 京都大学理学部地球物理学教室. Department of Geophysics, Faculty of Science, Kyoto University, Kitashirakawa Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606.

1. は し が き

中間圏から下部電離圏，とくに中間圏は，ロケット・人工衛星による観測域と，バルーン・航空機による観測域との中間に当たり，観測回数が少なく，現在その研究が最も立ち遅れている領域である。

一方，地上 60 km~90 km の中間圏は，上の電離圏と下の大気圏の相互作用の場として，大気力学上，あるいは超高層物理学の立場から，最近重要な役割を果たしていることがいよいよ明らかになりつつある。

この領域に，たとえば，毎週一回定期的に TMA (trimethyl aluminum) 発光雲を作って，中間圏における拡散，渦，乱流の状況を直接観測し，風系の周期性を解析したり，あるいは一晩十数回の観測を行うことによって，大気の波動的性質を解明したりする研究は，MAP 期間の将来計画として優先的に取り上げられるべきであると思われる。また，とくに極地においては，オーロラの出現する電離層 E 層付近の風や電界の向きを，TMA, Na, Ba 人工雲などにより，一晩数回測定し，時間的変化の大要を調べることもこの際きわめて有意義であろう。

これらの目的に最適で，しかも経済性からもきわめて有効であるのが以下のメソゾンデによる方法である。

2. メ ソ ゾ ン デ

メソゾンデとは口径比の大きい大砲，すなわち高射砲に似たラウンチャーによって，飛しょう体（いわゆるメソゾンデ）を高速で発射し，搭載機器を中間圏から電離圏に打ち上げようとする装置で，これまでカナダの High Water 射場，アラスカの Fort Greely，米国の White Sands, Wallops 島，Barbados 島およびソ連等に設置され，すでに超高層諸現象の解明にいくつかの成果を上げているものである (MURPHY *et al.*, 1966; MURPHY, 1969; WILLIAMSON, 1969)。

その後米国では，メソゾンデの大型化が行われ，口径 400 mm ラウンチャーで F 層の探査が実施された他，口径 1000 mm ラウンチャーの計画 MARTLET が発表され，人工衛星を打ち上げる準備が進められた。しかし，このように大型になると，ますます地上数 100 m の厚い大気層を高速で突切ることが困難となり，多数発射を前提としない限り，必ずしも，ロケットに比べて経済的とはいえぬことが明らかとなった。

探査計画の重点が、space lab., space shuttle に移るにおよび、音響公害の問題とも関連して、現在わずかにカナダの High Water 射場で気象観測が行われているだけである。

一方、ソ連では 1974 年以来、elektron 計画に沿ってメソゾンデ探査が実施されつつある。

わが国で MAP 期間中に、中間圏を目標にした発光雲ならびに気象観測を独自に行おうとする場合、音公害の問題がほとんどない南極で実施するには、メソゾンデが小型ロケットやバルーンに比し、はるかに合目的な方法であることは自明である。

また、今後みずほ基地等大陸奥地の標高 2000 m 以上の基地における発射を考えるならば、口径 180 mm あるいは 400 mm の到達高度 400 km に達するメソゾンデでも、きわめて経済的に所期の成果をあげることが予想される。この意味でも南極における超高層探査の道具として、メソゾンデの設置を考えてみたい。

ここに紹介するメソゾンデは、わが国で製造し、MAP 期間中に昭和基地に設置することを旨としたもので、その諸元は表 1 に示す通りである。すなわち、ラウンチャーの口径は、155 mm、長さ 13 m で、これからメソゾンデを発射すれば、重量約 5 kg の搭載機器を高度 120 km 程度まで打ち上げることができるのである。

表 1 メソゾンデラウンチャー「MSL-160」型の諸元
Table 1. Specifications of "MSL-160" mesosonde launcher.

口径	155 mm
口径比	75 以上
全長	13 m
重量	12.5 t
射出体重量	12 および 16 kg
メソゾンデ重量	8 および 12 kg
搭載機器重量	3 および 5 kg
発射薬量	20-30 kg
飛しょう体初速 (可変)	1500-2000 m/s
射出時最大加速度	32000 g
到達高度	120 km
ラウンチャー抗力 (可変)	120 t
梱包の分割区分	
5 分割の場合	最大長 6.5 m, 最大重量 2.5 t
7 分割の場合	最大長 5.0 m, 最大重量 2.0 t
環境条件 (耐力)	気温 -50°C, 風速 50 m/s
発射間隔	最小 20 分

3. メソゾンデと小型ロケットの特徴

中間圏における発光雲実験や気象要素の測定は、小型ロケットによっても実行可能であるが、これとメソゾンデを比較するとき、設置場所を昭和基地に仮定するとき、どんな特徴があるか列記してみよう。

- 1) メソゾンデの落下点の範囲は、発射点の前方約 5 km を中心とする直径約 3 km の限られた範囲であって、航跡の精度がよく、警戒水域も目視で十分確認できる。
- 2) 打ち上げ時の天候、特に風速に左右されず、風速 20 m/s 以上、気温 -40°C でも発射可能である。このことは発光雲の場合、地上同時観測が要求されるので、発射確率に対する制限を大きくゆるめるものである。
- 3) メソゾンデは 20–30 分おきの繰り返し発射が可能のため、たとえば、周期数時間の大気の波動性を問題にする場合、1 時間おき 10 回の連続観測といった理想的な観測条件をみたすことができる。
- 4) 経済性が良好で、1 回の観測に必要な金額は、せいぜい 500 万円程度である。これはロケットの同様な金額の数分の一に過ぎない。
- 5) 必要人員はラウンチャー架台工事（これは前年度夏に済ませておくこともできる）、基地への輸送、現地組立等に夏隊 6 名程度、この中越冬隊員としては火薬関係に 1 名、ラウンチャー関係に 1 名、メソゾンデ関係に 1 名、計 2~3 名である。
- 6) 発射時の最大加速度は 32000 g であって極めて大きいですが、すでに TMA 発光雲観測に対する搭載機器は開発され、地上試験を待つばかりである。また、Na, Ba 発光雲も数回の開発実験を行えば観測可能になる見込みである。簡単なレーダー装置を含む気温、風、温度など気象センサーについては、わが国では未経験であるが、アメリカ、カナダ、ソ連ではすでに実施済みであって、その技術は容易に導入できる。このように大加速度がメソゾンデ観測のネックとなる可能性は考えられない。
- 7) 発射音は相当大きく、1 km 離れた所で約 110 フォン、3 km 離れた所で 100 フォン程度である。これは 20~40 センチ砲などに比べれば小さく、1 km 離れていれば、雷よりむしろ小さい位である。それに連続音でなく 1 回限りの音なので、生物に与える影響についてはまったく問題がないと考えられる。さらに昭和基地は付近に民家もなく、発射時刻の全隊員への事前通達も完全に行われるので好都合である。
- 8) 火薬の安全性：低温に対する安全性は、すでに -50°C まで数年にわたって研究が

続けられ問題はない。むしろラウンチャーの復座機に用いるオイルや、搭載機器である液状 TMA の凝固を防ぐ意味で、現在小型ロケットに対して行っているのと同様なラウンチャー基部の温風保温をすれば足りる。

取扱上の安全性については、火薬類取締法が厳重に定められており、これに従って取扱保安責任者が扱う限りまったく問題はなく、火薬量から言ってもロケット推薬と比較してむしろ安全である。発射時あるいは発射直後の異常についても十分安全を見込んでラウンチャーやスタンドの強度、メソゾンデの飛しょう性能は設計されている。

もっともこれらの点については、国内においてあらかじめ高速風洞によるテストやメソゾンデ模型の初速、航跡を調べるための発射試験など、数種の試験を行って十分な確認をしておく必要はあろう。いずれにしても、発射後推薬の異常燃焼のため、ロケットが逆戻りするような事故は考えられない。

以上の諸点から見て、昭和基地における中間圏ならびに下部電離圏における観測は、メソゾンデによるのが最良の方法であると考えられる。

4. メソゾンデラウンチャー「MSL-160」型の概要

4.1. ラウンチャー

諸元は表 1 の通りで、外観は図 1 に示す通りである。メソゾンデ発射時は図のように仰角 87° となるが、メソゾンデや推薬装てん時にはワイヤーロープ A でスタンドごと横にし、図の B が地面となる。

ラウンチャー腔内には初速測定用ピックアップや腔内検圧器が組込まれ、各発射毎に測定が行われる。推薬は薬きょう方式でなく薬のう方式であって、自由に薬量を変えることができるので、測定の結果をみてこれを調節することにより、所定の高度に正しくペイロードは打ち上げられるはずである。さらに、積極的に薬量を調節することにより、ペイロードの到達高速を変えたり、ペイロードの重量の変化に対処することも可能である。

この他アラインメント測定機と腔内通過ゲージが準備され、発射の度毎にラウンチャーの曲がりがないかどうか、腔径が一様であるかどうかをチェックし、変化が見られた場合には所要の修正を施した上、次の発射に備える。

架台は図のようにコンクリートベトンの上に、 $2\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 、厚さ 100 mm のベースプレートをおき、中央にラウンチャー発射時の後退ならびに点検のため入れる径 800 mm 、深さ 1 m 程度のピット C を設ける。これらの架台は最大 120 t の抗力を受けるので、

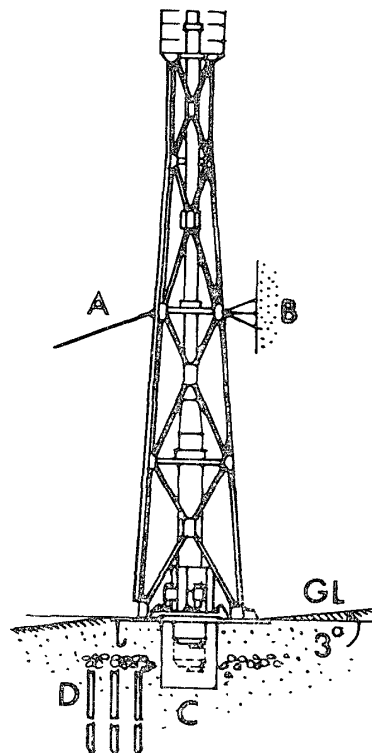


図1 メソゾンデラウンチャー

A: ワイヤロープ, B: 装てん時の地面の位置, C: コンクリートピット,
D: ピラー, GL: 地表面

Fig. 1. Mesosonde launcher.

A: wire-rope, B: ground position at the time of loading, C: pit,
D: pillar, GL: ground level.

その繰り返し抗力に耐えればよい。したがって岩盤を利用して設置できれば申し分ないが、地盤が軟弱な場合、Dのように数本のピラーを打込んで補強する。

補助施設として、1) 発射薬貯蔵庫、2) 火薬工室、3) メソゾンデならびに部品整備室、4) TMA, Na, Ba 等の装てん組立室、5) 計測ならびに発射指令室等が必要である。1) は勿論ロケット推薬貯蔵庫と共用できる。3) と 4) はロケット頭胴部組立室と共用可能である。5) も他の観測棟と共用できる。この意味でロケット発射点近傍に発射台を設けることにより、ロケットと交互に能率よく実験は行える見込である。

4.2. メソゾンデ

メソゾンデは全重量 16 kg, 全長約 1.5m で図2のようにノーズコーン N, 搭載機器部 E, ブーム H, フィン(翼) I ならびにサボ G から成る。サボはメソゾンデがラウンチャー内にある間、腔内ガスの密閉を受持つもので、発射直後風圧のため自動的に本体か

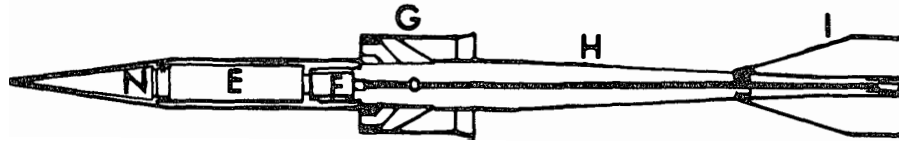


図 2 メソゾンデ

E: 搭載機器, F: 延時装置, G: 弾側板, H: 導火線を内蔵した胴体部, I: 尾翼, N: 尖端円錐部

Fig. 2. Mesosonde.

E: payload, F: time delay apparatus, G: sabot, H: boom containing fuse, I: fin, N: nose cone.

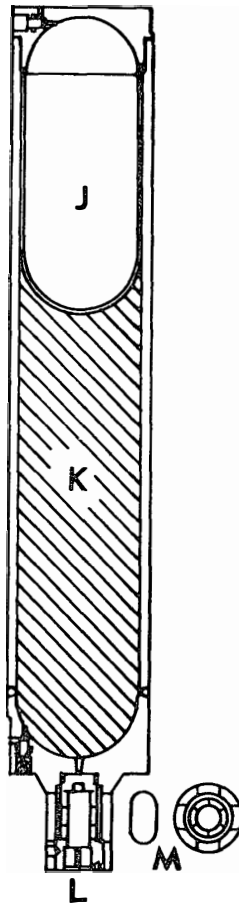


図 3 TMA 蒸散装置

J: 乾燥窒素ガス, K: 液状 TMA および TEA, L: 急開弁, M: 噴射孔

Fig. 3. TMA vaporizer.

J: dry nitrogen gas, K: liquid TMA and TEA, L: rupture valve, M: ejection nozzle.

らはずれてしまう。したがって実際に上空に飛んで行く本体の重量は、12 kg、この中ペイロードの重量は約 5 kg である。ただし到達高度とメソゾンデの姿勢の安定性から見て、これらの重量は多少変更になる可能性もある。

一方、低高度の中間圏に少し重い搭載機器を打ち上げる場合には、形状の異なるメソゾンデも用意した方がよく、計 2 種類のゾンデを計画中である。

4.3. 搭載機器

図 3 は TMA 発光雲を作る TMA 弾の概要であって、J に 50 気圧の乾燥 N_2 ガス、K に TMA と TEA (trimethyl aluminum) 混合液が入っている。急開弁 L が開くと、J と K の間のピストンが移動し、4 箇の窓 M から 1 秒間にわたって TMA が噴射される。外径 90 mm の容器は、32000 g に耐えるべく内面は半球形となっており、ピストンも半球と円筒を組合わせた特殊プラスチック製である。

急開弁を所定の高度で働かせるため、図 2 の F には延時装置 (図 4) が入っている。発射と同時にメソゾンデ尾部で導火線に火が入りやがて図 4 の O 点で F への着火が起こる。ここかららせん状の導火線 P に沿って火は伝えられるが、P のおかれた空洞には気圧調整弁 Q がつけられていて、内圧が一定に保たれるため、P の燃焼速度は一定とな

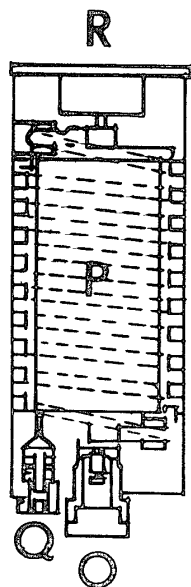


図 4 延時装置

O: 着火部, P: らせん状導火線, Q: 気圧調整弁, R: 点火部

Fig. 4. Time delay apparatus.

O: booster, P: spiral fuse, Q: pressure regulation valve, R: igniter.

り、所期の秒時の後、火は R 点に至り、ここに搭載機器の点火、すなわち急開弁の作動その他が起こる。

4.4. 開発に必要なシステム研究と試験

以上の開発を行うために、観測、試験、技術の各部門にわたるシステム研究が必要である。

4.4.1. 観 測

宇宙観測の現状ならびに将来から考えて、どのような観測を実施して行くか、超高層気象（中間圏）とオーロラ観測（電離圏）の両面から項目を検討し、センサー、発光雲材料、打ち上げ時刻、打ち上げ高度等についての討論を行う。

4.4.2. 地上試験

風洞試験、発射試験、完成試験の3種に大別される。

風洞試験は、1/5~1/10 模型（外形のみ）による高速風洞を用いての飛しょうの安定性と材質強度のチェックならびに 1/1 実体模型についての乱流計測ないし振動試験とからなる。

発射試験は、35 mm 90 口径の発射機を使用、ダミー弾 50 発につき初速、腔内圧、航跡等を測定する。

完成試験は、昭和基地において観測に入る前に、ダミー弾 2 種各 5 発、本番の弾 2 種各 3 発、計 16 発の発射を行うことである。もちろん試験の後半になって見通しがついた場合には、試験と同時に観測も一部始められる見込である。

4.4.3. 技 術

現地における輸送、開梱、組立、機能試験等に協力できる隊員候補者をラウンチャー製造地である広島で訓練すること、火薬、メソゾンデ、ラウンチャー関係の専門技術者で越冬要員となる者の国内訓練ならびに技術者間の連絡や、技術者と観測員間の相互連絡等が含まれる。

以上の開発に属する準備作業や試験は、メソゾンデ観測を実現する上にどうしても必要な条件である。

5. 地 上 観 測

人工雲の観測には、地上からの 2 点以上の同時観測が必要条件である。毎週一回行われる気象観測の方は、昭和基地とみずほ基地を観測点とする。

1 晩に数回打ち上げるオーロラ観測や気象特別観測の場合、観測点としては以上 2 地点の他に、これらを結ぶ直線上にない 1 点、たとえばスカルプスネス露岩地帯を期待したい。スカルプスネス観測点の要員は 2 名で、1 名が通信連絡、他が写真、テレビ等の直接観測に当たる。スカルプスネスへの出張期間は、天候待ちを含めて大体数日から 1 週間であって、このような観測を年 2~3 回予定している。

昭和基地にはさらに分光計、レーザー装置を設備する。また、Ba 電離雲の場合にはエコーサウンディング、ドップラーレーダー等による同時観測も行えれば理想的である。

なお、観測可能な時間として、TMA 雲は太陽高度 -10° 以下の夜間、Na 雲、Ba 雲は太陽高度 $-10\sim 12^{\circ}$ の薄明時、Ba 雲の電波観測と気象観測については制限がない。昭和基地は緯度 69° に位置することから、シーズンにより薄明時のローカルタイムは異なる上、薄明時は長時間続くので、ローカルタイムについては薄明時実験であっても、UT に関しては相当自由度の高い観測ができるものと考えられる。

文 献

- MURPHY, C. H. (1969): Seasonal variation of ionospheric winds over Barbados, West Indies. *J. Geophys. Res.*, **74**, 339-347.
- MURPHY, C. H., BULL, G. V. and EDWARDS, H. D. (1966): Ionospheric winds measured by gun-launched projectiles. *J. Geophys. Res.*, **71**, 4535-4544.
- WILLIAMSON, L. E. (1969): The use of guns for atmospheric sounding. *Stratospheric Circulation*, ed. by W. L. WEBB. New York, Academic Press, 559-573.

(1978年6月10日受理)