

発音弾法による気温・風の観測結果

竹 屋 芳 夫*

Observation Temperature and Wind by Grenade Method

By

Yoshio TAKEYA

Abstract: Atmospheric temperature and wind velocity in the mesosphere are measured by Rocket-grenade method. Firing of ten rockets at Michikawa ($39^{\circ}34' \text{ N}$, $140^{\circ}03' \text{ E}$) and of one at Uchinoura ($31^{\circ}15' \text{ N}$, $131^{\circ}04' \text{ E}$) resulted in six measurements of temperature and wind velocity up to about 65 km. The results obtained are described and discussed.

概 要

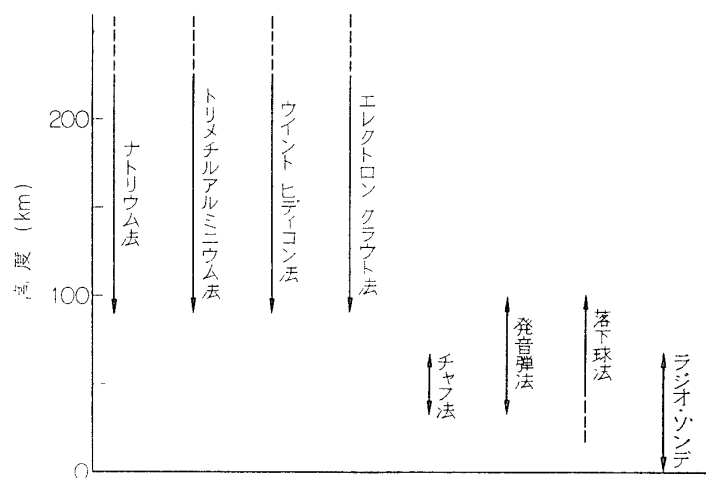
秋田県道川 ($39^{\circ}34' \text{ N}$, $140^{\circ}03' \text{ E}$) および鹿児島県内之浦 ($31^{\circ}15' \text{ E}$, $131^{\circ}04'$) において、中間層の気温と風を観測することを目的として、発音弾法による測定を行なった。現在までに 11 機のロケットによる観測が行なわれ、そのうち 6 回の結果が得られている。その結果と検討について述べたものである。

1. 序

上層大気における大気の状態の観測のうち、気温および風の観測は、発音弾法によって 1958 年以降、11 回にわたって行なわれてきた。発音弾法は、音波の伝播が可能な範囲すなわち、地上からおよそ高さ 100 km までがその観測可能な範囲となる。しかし、地上から高さ約 20 km まではレーウイン・ゾンデによって大気状態が観測できるので、実際にはそれ以上の高度すなわち主として中間層の観測が目的となる。

現在発音弾法以外に、第 1 図に示すような各種の観測法が開発され、これらの方法によって範囲は地上から高さ 200 km 以上にまで風の観測ができるようになった。一方、電離層においては電波による観測あるいは、ダイナモ理論によって、系統的な風系が導出されまた地上付近にも Rossby 以来、大気大循環論により、風系が確立されている。この両者の間にある中間層においては、ロケットによる観測が行なわれて始めて理論的な風系の導出が試みられるようになった。すなわち、Leovy あるいは Faust らによって中間層の卓越風のモデルが提出され気温の世界分布が重要であることを示している。

* 大阪市立大学工学部



第 1 図 各種観測法の観測範囲

発音弾法は、気温と風を同時に観測できるので、以上述べたことから中間層の観測の一つの有用な手段である。

われわれは、1956 年から研究を始め 1957 年男鹿半島における予備実験、1958 年の 150-G ロケットによるテストを経てカップ 6 型ロケットによる本番観測を行なった。第 1 表にその記録をまとめて示す。

第 1 表 観測実験記録

ロケット番号	発射時刻 (J.S.T.)	発音弾数	良 否
TW-1	1958. 6. 24日 10: 50	1	不 良
TW-2	1958. 6. 30日 16: 52	1	不正値
TW-3	1958. 9. 25日 11: 55	1	"
TW-4	1958. 9. 26日 12: 50	1	"
TW-5	1958. 12. 23日 12: 30	2	良
TW-6	1959. 3. 18日 11: 45	5	"
TW-7	1959. 3. 20日 11: 52	5	"
TW-8	1960. 9. 17日 11: 47	6	"
TW-9	1960. 9. 29日 11: 46	6	"
TW-10	1961. 7. 21日 11: 42	8	"
K-8L-6	1964. 11. 12日 12: 05	6	不 良

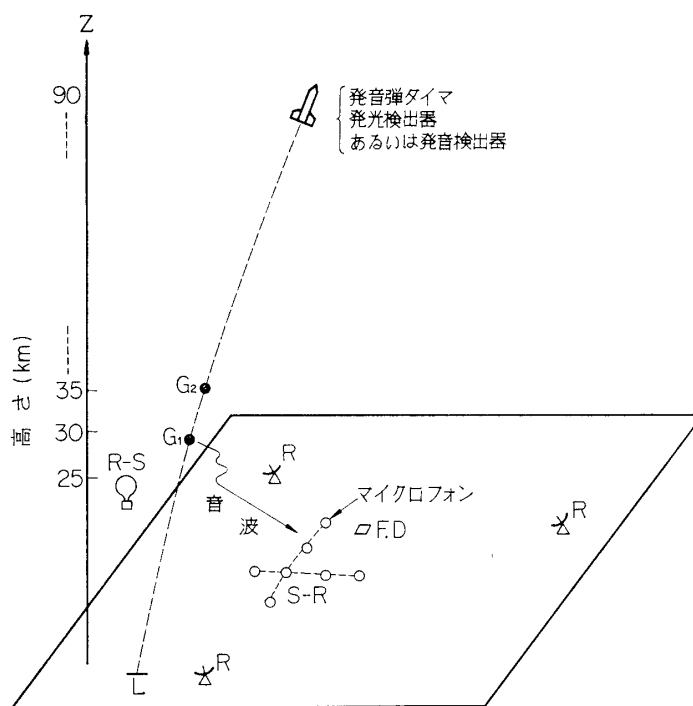
2. 測 定 原 理

発音弾法は前論文でくわしく述べたように、ロケットに発音弾を搭載し、これを上層で発音させる。この音波を地上で受音し、その結果から伝ば路を計算し、気温と風の垂直分布を導出する方法である。この方法では

- 発音弾の発音位置 (X, Y, Z) および発音時間 T_1
- その音波が地上に達した時間 T_2

c) 音波の地上での入射角および方位角

を知ることが必要である。a) はロケットに対するレーダ追跡によって知ることができる。特に、発音時間は地上におかれた赤外線フラッシュ・デテクタまたはロケット搭載のフラッシュ・デテクタ、爆圧計などにより正確に知ることができる。b) および c) は地上に設けられた音源標定器によって測定され、c) を知るためには受音点は4点以上を要する。この音源標定器は1号機、2号機がありさらに磁気テープを使用した精密受音測定装置を開発使用している。これを模式的に示したのが第2図である。



第2図 発音弾法による気温、風の測定模式図 S-R: 音源標定機, R: レーダ, R-S: ソンデ, L: ランチャ, G₁, G₂: 発音弾の発音位置, F.D.: 赤外線発光検出器

風の存在する場合に音波の通路を支配する式は

$$\frac{C}{\sin i} + W_x = k_0 \quad (1)$$

である。ここで、 W_x は音波の波面法線方向の風の分力、 i は入射角である。また、 C は音速で、これは大気温度 θ [°K] として

$$C^2 = (20.06)^2 \theta \quad (2)$$

で与えられる. 一方, k_0 はスネルの定数に対応するものである.

今、波面法線の方向を x 軸にとった座標系で発音点の位置を X, Y, Z とすれば

$$\left. \begin{aligned} X &= \int_0^Z \frac{C \sin i + W_x}{C \cos i} dz \\ Y &= \int_0^Z \frac{W_y}{C \cos i} dz \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$Z = \int_0^Z dz$$

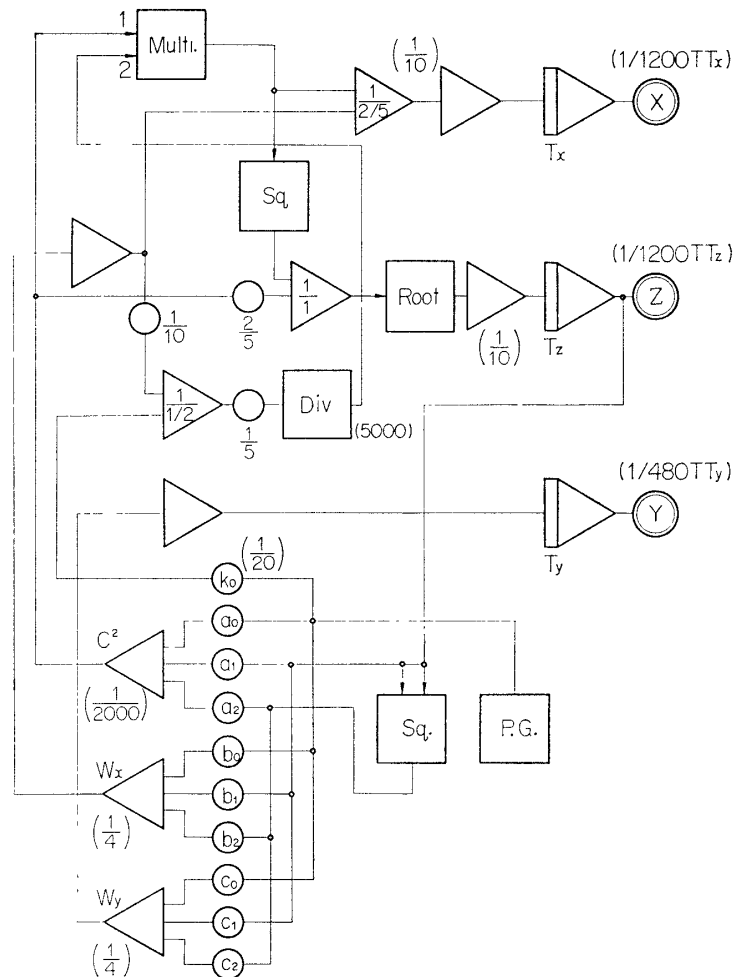
で与えられる．ここに W_y は y 軸に沿う風の分力である．また伝ば時間は

$$T_2 - T_1 = \int_C \frac{1}{C \cos i} dz \quad (4)$$

となる，ただし風の垂直分力は無視する．

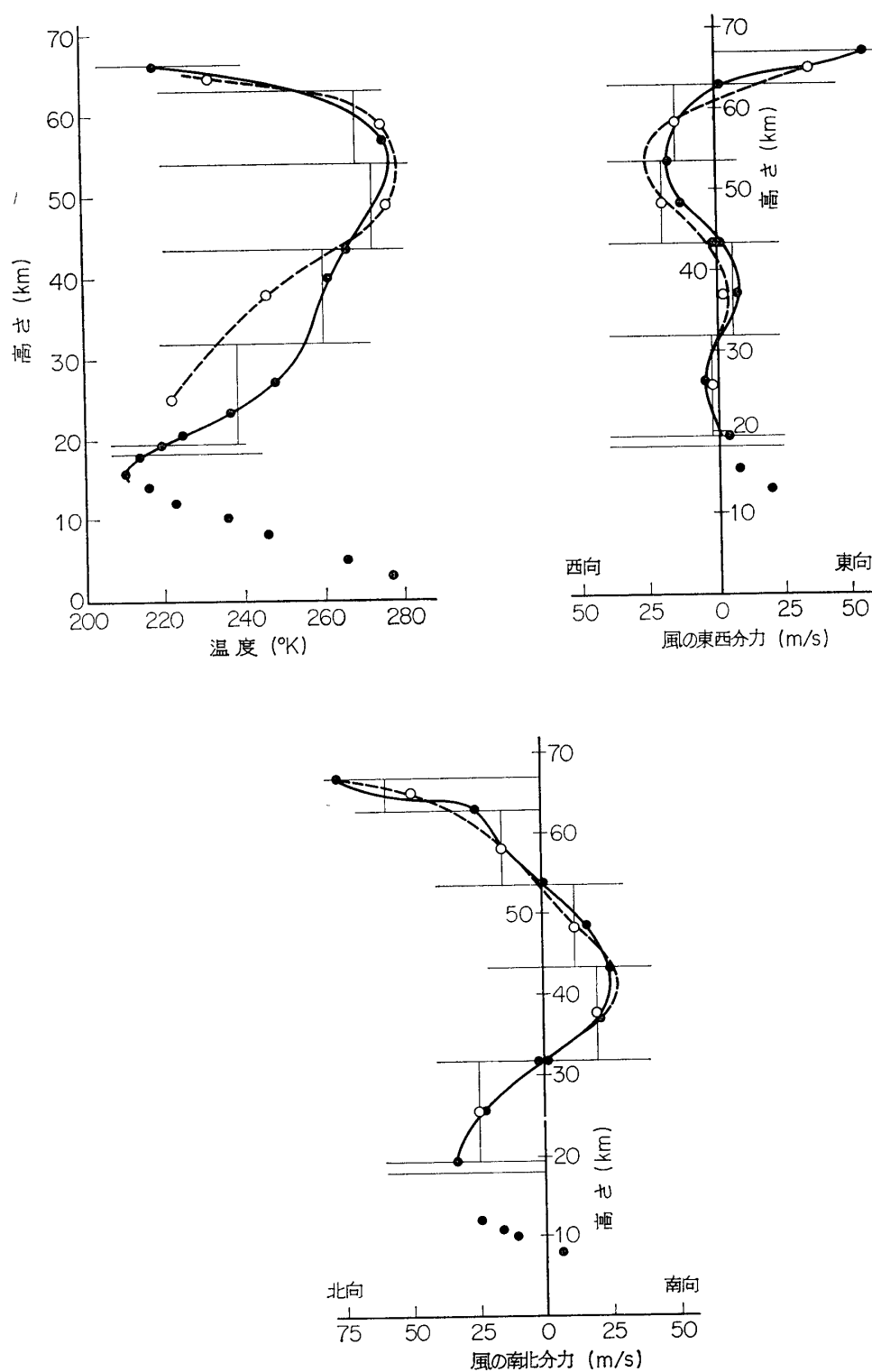
(1) および (3) (4) 式により入射角 i が消去できるので C , W_x , W_y の高さに対する分布を仮定し (3) および (4) 式に代入しこれを満足するように，逆に分布を定めれば，風および (2) 式から気温が求まることになる．

この計算を行なうために単能のアナログ計算機を開発した．そのブロックダイアグラムを第 3 図に示す．本計算機はその演算増幅器が $12A \times 7$ ，2 本のみの簡単な増幅器にもかかわらず，その総合精度は 5% 程度である．また非線型素子は 2 極管の折線近似を用い，特に

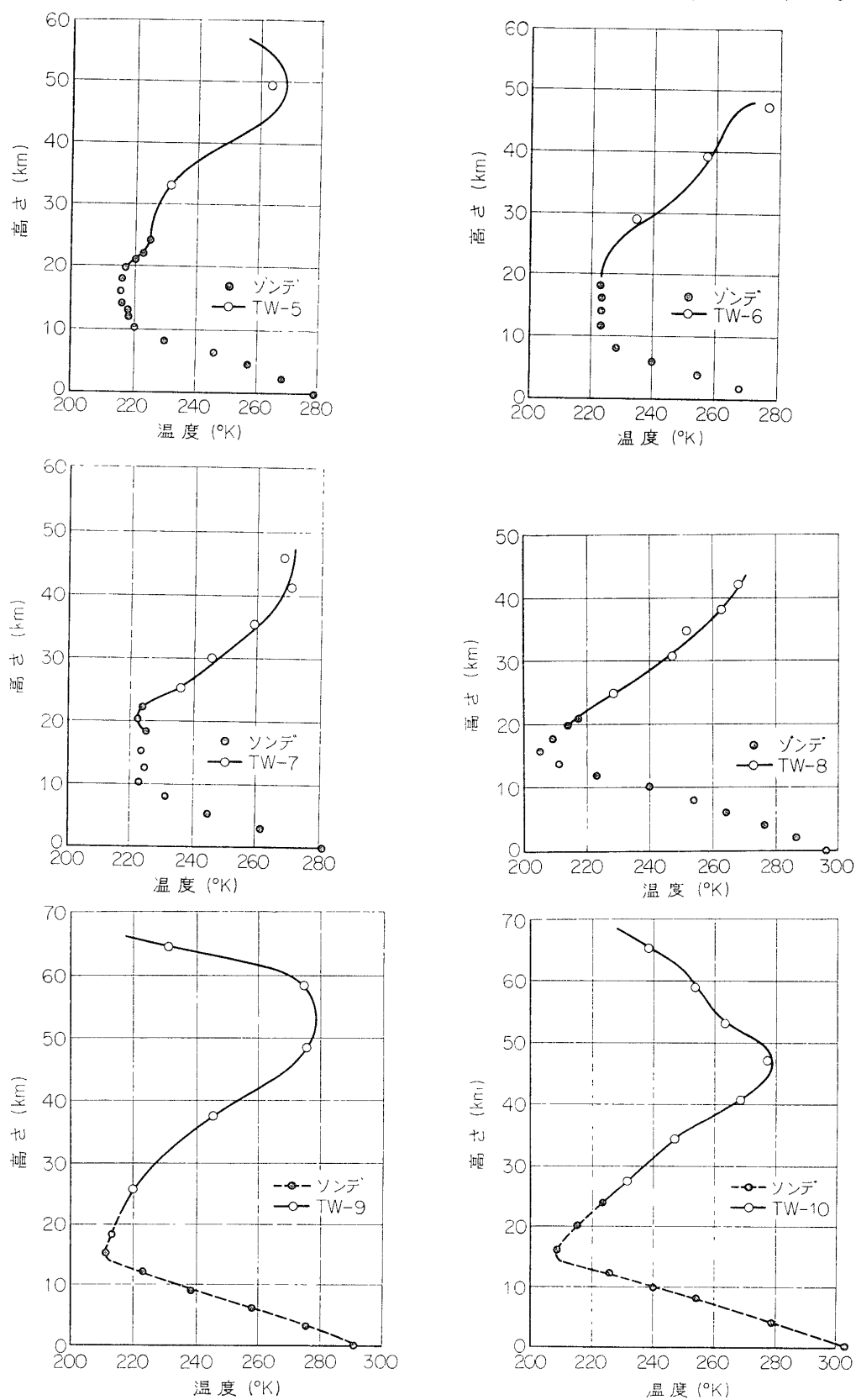


第 3 図 温度および風のためのアナログ計算機ブロックダイアグラム

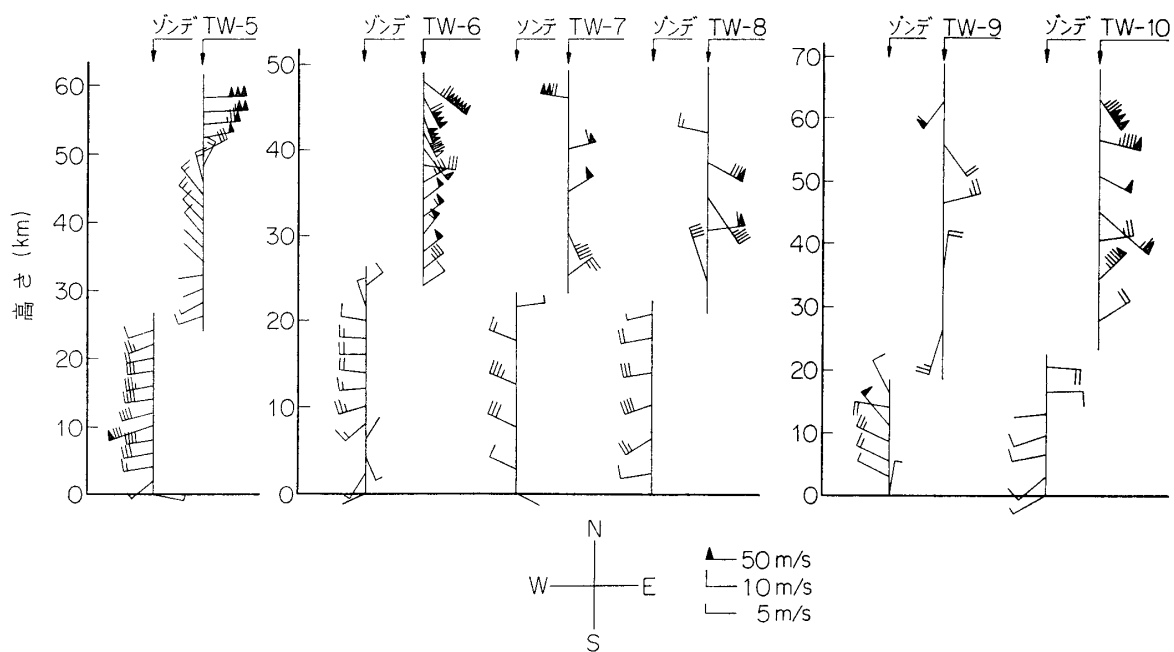
Multi: 乗算器, Sq : 自乗器, Root: 開平方器, Div: 割算器, P.G.: 同期矩形波発生器



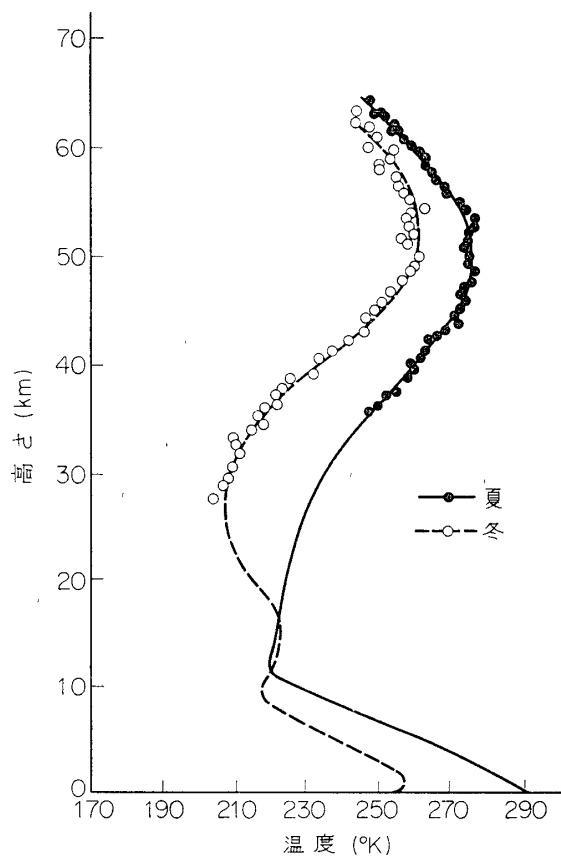
第4図 TW-9 の観測による温度と風の計算結果
 実線 計算機演算結果
 点線 観測結果



第 5 図 TW-5, 6, 7, 8, 9, 10 号機の視測による温度分布



第6図 TW-5, 6, 7, 8, 9, 10 号機の観測による風



第7図 Ft. Churchill における観測の夏と冬の温度分布の平均値

割算器についても $1/x$ を直接近似している点で安定である。

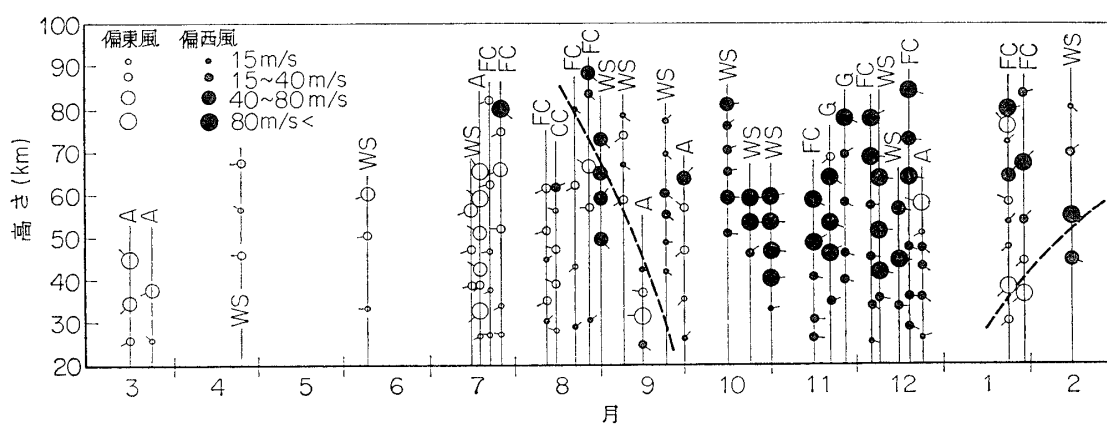
計算結果の一例を第 4 図に示す。

3. 気温と風の観測結果と検討

第 1 表に示したように観測は 11 回行なわれたが、そのうち実際に気温と風が求められたのは TW-5~10 の 6 回である。その結果を第 5 図および第 6 図に示す。TW-5 は冬、TW-6, 7 は春、TW-8, 9 は秋、TW-10 は夏の観測である。

以上の観測結果および世界各地の観測結果から、夏型と冬型の二つの型を見出すことができる。これをまとめたのが第 7 図である。すなわち mesopeak は $270^{\circ}\text{K}\sim 280^{\circ}\text{K}$ で約 50 km の所にあり、これより下は冬は温度勾配がゆるやかで夏は急激である。また mesopeak から上の部分でも温度勾配については同様のことが言える。しかし、この部分では温度分布はやや複雑であって夏は約 80 km の点に $180^{\circ}\text{K}\sim 170^{\circ}\text{K}$ の最低の温度の点が明確に現われるのに対して冬はこの点に小さな peak ができることがあり、80 km の点の温度は $190^{\circ}\sim 250^{\circ}$ の範囲である。道川におけるわれわれの実験では、TW-10 が夏型、TW-5 が冬型を示しているものとすれば TW-7, 8 は夏型を示し、TW-6 および 9 はその中間の形であるように思われる。

一方、この温度分布に対して風についてまとめて見たのが第 8 図であって、図において白丸は偏東風、黒丸は偏西風を示し丸に付した線は風の方角を示している。図中破線を入れているのは、大略して、夏型と冬型の境と思われるところである。TW-6 および 9 はこの移行期に重なっているが風の方から見れば TW-6 は完全に夏型を示し、TW-9 は移行期で南北分力が大きいことがある程度うなづけるのである。



第 8 図 世界各地の風の観測による風の季節的な変化。ただし A: 道川, WS White Sands, FC Ft Churchill, CC Cape Canaveral, G:Guam

4. 結 言

上記の結果から一応夏型と冬型の二つの型があることは結論づけることができる。ただ第 8 図に引かれた夏型と冬型の境の線が斜めであることは、すなわち高さによってこの移行の時期がずれるということは、温度分布を見る際にも注意を要することと思われる。

すなわちたとえば高さについて三つの区間 (0~20 km, 20~50 km, 50 km~) にわけておのおのに時期を違えて独立に上記の二つの型を移行するとも考えられる。

さらに言えば、中間層におけるオゾンの分布、電離層における酸素分子および原子の組成等も密接に影響しており、また太陽光線および Corpuscular heating 等も考える必要がある。

これら諸相の理論的計算については、いまだ緒についたところであり、序に述べた卓越風系の理論についても、さらに気温および風の緯度分布が観測によって書くことができればさらに発展することと思われる。この意味においてさらに上層の気温、風の測定の必要性が痛感され現在ビデオソウインド法、人工電子雲法による風などの測定を開発中である。特に後者は中性粒子の運動と荷電粒子のそれとが同時に測定できると思われるのできわめて有用な手段と考えられる。

1966 年 7 月 23 日

参 考 文 献

- [1] Yoshio Takeya, Takaaki Okumoto: J.G.G., Vol. X, No. 3, 1959.
- [2] 前田憲一・竹屋芳夫・松本治弥・奥本隆昭: 生産研究, 第 11 巻, 第 8 号.
- [3] Kenichi Maeda, Haruya Matsumoto, Yoshio Takeya, Takaaki Okumoto: Report of Ionosphere and Space Research in Japan, Vol. XIV, No. 4, 1960.
- [4] 竹屋芳夫, 奥本隆昭: 電波伝ば研究専門委員会資料.
- [5] 竹屋芳夫, 奥本隆昭, 建部 渉: 昭和 36 年電気四学会連合大会.
- [6] K. Maeda, Y. Takeya, : Space Research II.
- [7] 前田憲一, 竹屋芳夫, 松本治弥: 生産研究, 第 13 巻, 第 10 号.
- [8] 竹屋芳夫, 奥本隆昭, 建部 渉: 電波伝ば研究専門委員会資料.
- [9] 竹屋芳夫: 昭和 37 年度電気関係学会関西支部連合大会.
- [10] 前田憲一, 竹屋芳夫, 松本治弥, 奥本隆昭, 大家 寛, 建部 渉: 生産研究, 第 15 巻, 第 7 号.
- [11] Yoshio Takeya, Takaaki Okumoto, Wataru Tatebe: Memories of the Faculty of Engineering Osaka City University, Vol. 5, Dec., 1963.

質 疑 討 論

上山: 発音弾法による最大の利点および欠点をお尋ねしたい。

竹屋: 最大の利点

○時間をえらばずにいつでも実施できること。

○ある範囲の平均値測定であること, これは利点であると共に欠点ともなりうる。

欠 点

○火薬をかなり大量に使用するため危険性が大きいこと。