

赤外線電球による風速計着氷防止について*

神野 武** 福永 伝一***

要 旨

850 mb 面における常時連続観測点としての伊吹山の風観測は、重要な気象要素であるが、冬期着氷障害に悩まされて風車型風向風速計は使用出来なかった。この着氷障害を解消するために昭和42年より赤外線電球を用い着氷防止の実験を行なってきたが、逐次成果は向上してほぼ満足される風の観測記録を収集出来る段階となったので、昭和46年冬から本格的にこの着氷防止装置を採用している。その概要を紹介する。

1. 冬期伊吹山の気象

伊吹山は海拔 1377 米、測候所はその一等三角点にあり、ほぼ 850 mb 面に相当し冬期は第 1-1 表に示すように霧氷、降雪の日数は月の 2/3 以上に達する。即ち着氷およびその成長に対し伊吹の気温、風速の値は好条件であり冬期間中は、建造物等は殆んど雪氷（着氷）に埋もれてしまう。写真 3～4 は着氷現象数時間の風速計の着氷状態である。参考までに他の山岳の霧日数を第 1-2

表に示す。

2. 着氷防止方法の構想

風向、風速計の着氷障害の対策は今迄に、いろいろと考えられているが、地方官署で容易に実行出来る方法が望ましく、昭和42年筆者の一人（神野）が三宅恒夫（元大阪管区気象台技術部長）のすすめにより、赤外線電球による着氷防止法を発想し、伊吹山測候所で試験を行ない、筆者の他の一人（福永）が、資料のとりまとめに当

第 1-1 表 冬期伊吹山の気象 累年値

要素	12	1	2	3	12月～3月 ウインドローズ
平均風速	11.0 m/s	11.7	11.7	11.6	
平均気温	-2.6°C	-5.6	-5.4	-2.3	
平均最低気温	-4.9°C	-8.1	-8.1	-5.3	
降雪日数	20日	24	21	17	
霧氷日数	25日	25	20	15	

第 1-2 表 各山岳の霧日数 1956～58平均

山岳	12	1	2	3
筑波山	11日	9	10	15
富士山	14	19	16	21
伊吹山	28	28	25	25
温泉岳	10	16	9	18
阿蘇山	14	22	17	22
剣山	23	26	22	22

* On Prevention of Anemometer-icing by Infrared Lamps

** T. Jinno 徳島地方気象台

*** D. Fukunaga 大阪航空測候所

—1972年3月21日受理, 1972年7月15日改稿受理—

1973年2月

った。

即ち赤外線電球により熱線を測器外部に照射し測器を加熱昇温させる方法をとれば、測器内部の改良（内部にヒーターを組み込むなど）の必要もなく、ただ熱吸収をよくするために測器を黒色塗装するのみで済むことになる。この構想のもとに実験に取り組んだ。（後に風車型風速計 Body を熱伝導のよい金属製とした。）

3. 赤外線電球

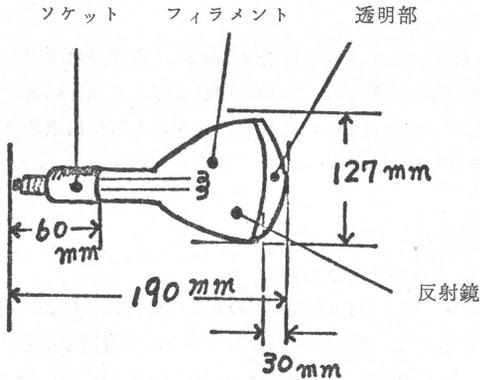
実験当初より現在まで松下電器産業KKの協力を受け集光式赤外線電球の球種も次々と開発されて6種にも及んだが、現在使用のものが最も優れているので特性等を紹介する。

特性 1

電球を点灯すると第 2 図に示すように約 25° の角度に

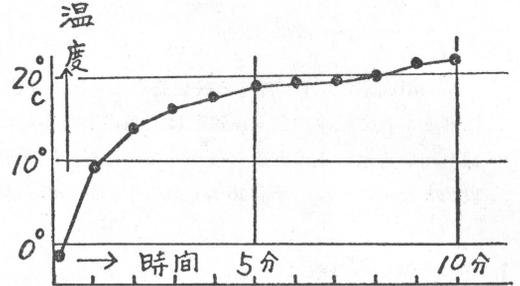
第2表 距離による昇温 (S45. 6. 7 室温20°C)

電球よりの距離	5 cm	15 cm	25 cm	35 cm	45 cm	55 cm	65 cm	75 cm
昇 温 度	129°C	92°C	59°C	31°C	23°C	16°C	12°C	9°C



品名...100~110 375 W IRH (松下電器産業 K.K.)
電力...375W (100/110V). 焦点距離...45 cm

第1図 赤外線電球諸元



室内測定 (S45. 3. 11)

第3図 昇温特性

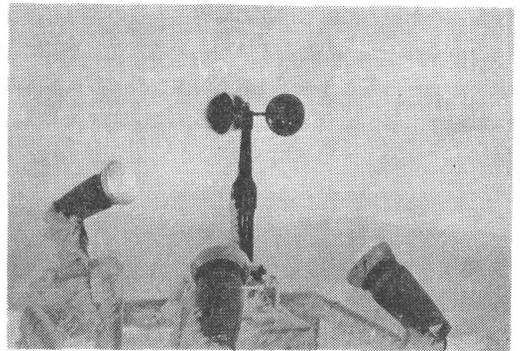
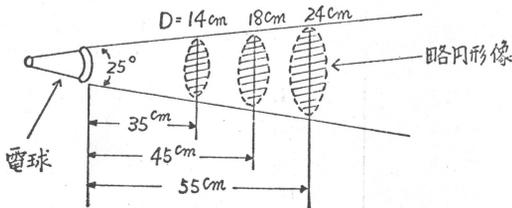


写真1 電球配置



第2図 電球の光束状況

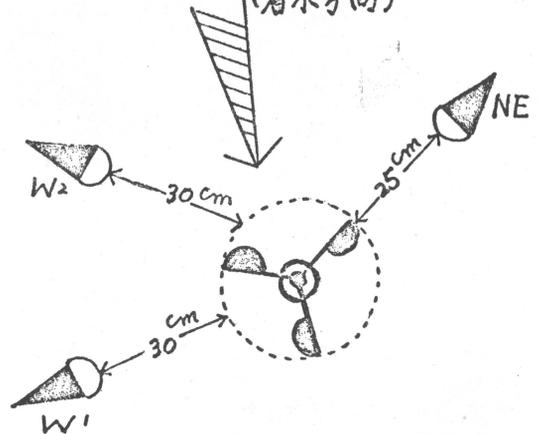
光束は拡がる。現在使用している電球の焦点距離は45 cm であるので、45 cm の所にある被射体には光束の中心付近の光の最強点の他約18 cm 径の円形面積を加熱することになる。(散乱光もかなりある)

特性2

電球から発する熱により昇温の度合を距離毎に測定してみると第2表となった。(測定は室内で黒球温度計を用いて行なった。)

実際に使用した場合、山頂温度を-15°Cと仮定すると照射距離45 cm で23°C 昇温し氷点まで8°Cの余裕で融氷させることになるが、気温のほか、風などの冷却要因が加わるために熱量不足の場合もある。

冬期主風向 (NNW)
(着氷方向)



第4図 風杯型風速計の電球配置平面図

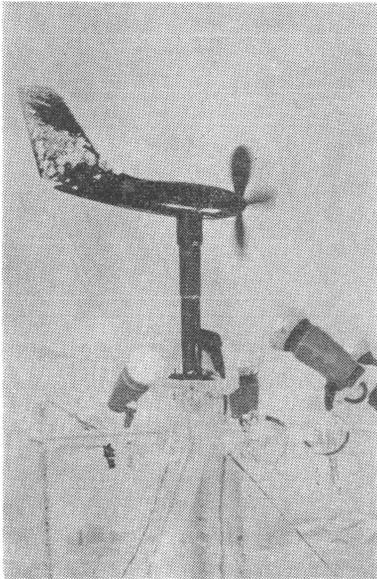
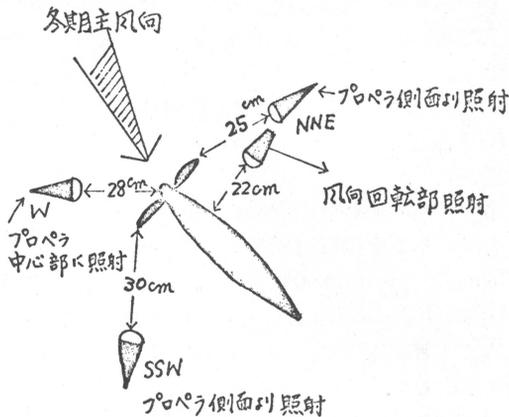


写真2 電球配置

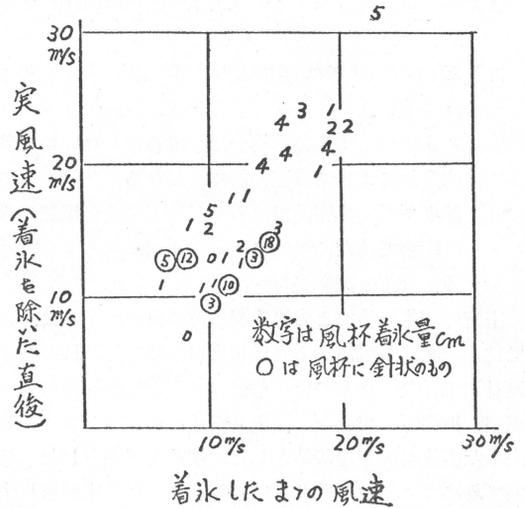


第5図 風車型風向風速計の電球配置平面図

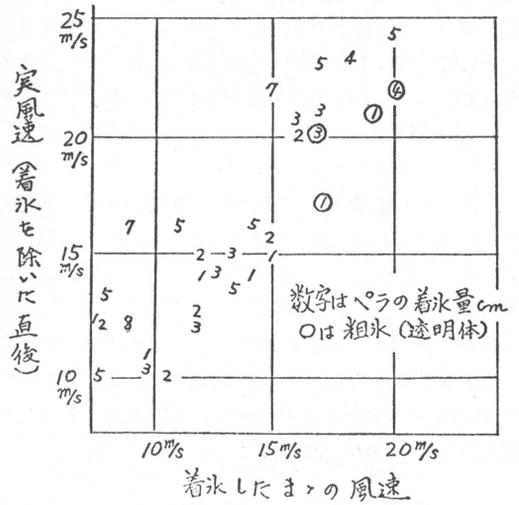
照射距離 45 cm により等時間々隔で昇温の様子を調べると第3図のようになり黒球温度計の場合では点灯後 8~10分 で平衡温度に達するが、実際の風測器への照射では点灯から融氷が始まるまで多少の時間遅れを生じる。

4. 測器と赤外線電球の配置

灯数によることは勿論であるが、照射距離、方向により防氷効果が大きく左右される。灯数を増すことは極めて効果的であるが、庁舎内設備全体の消費電力、配線の容量などの都合があるので照射距離、方向などを組み合わせて試験した結果、現在のような配置を得た。これを写



第6図 風杯型風速計の着氷量と風速



第7図 風車型風向風速計の着氷量と風速

真1~2, 第4~5図に示す。

5. 着氷と風速

昭和45年11月から昭和46年4月にかけての試験状況は、第3表のようであるが、この表でも明らかのように赤外灯照射中にもかかわらず何度か着氷障害を生じた。昭和45年11月~12月の間の障害時の気象状況について調べてみると、風速は10m/s以上、気温 -5°C~-8°Cの条件下で雪を混じえ着氷成長速度も、1cm/h以上のときに風速計にも着氷した。こうした障害時の着氷量と風速の関係について第6, 7図が得られた。

図についてみると

- 1) 着水量とそれによる風速誤差の関係は明瞭でない。
- 2) 20 m/s 以上では風による冷却作用が大きく着水量も多い。
- 3) 着氷についても毎回均一な形で着氷しないので着氷形状によって風速の誤差も異なる。
- 4) 風車型風向風速計では着氷が増大すると風速のみならず風向にも障害が現われるようである。(第9図参照)

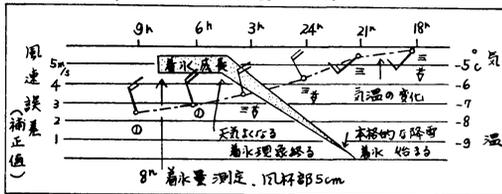
上記の着氷障害による風速誤差及び風向のずれについては、当試験を現用測器(風車型風向風速計, 風杯型風速計)で行なったもので、準器等による比較観測の風速誤差, 風向ずれではない。風速誤差は風速計の着氷を除去した直後の風速を基準とした比較差を誤差とした。風向ずれについては、第9図に示したような着氷が成長すると風速の減衰と共に風向も次第に方位が、着氷前の方位より約20°~30°変動してくる。着氷を除去すると着氷前の風向方位に復元する。筆者等はこうした実例を数回経験しているので第9図に見られる現象は、着氷によるもので本当の風向の変動とは判断しなかった。

6. 着氷障害の例

例1 風杯型風速計

昭和46年1月25日(21時)~26日(08時)に現われた障害。25日18時より一般に着氷現象はあったが、赤外線電球の効果で21時までは測器への着氷はなかった。21時以後になって気温が下降し降雪も強くなり着氷量が増大する悪条件が、26日04時まで続いた。08時に着氷量を測定すると測器風杯部に5cm, 軸部に10cm, 他の建造物には20cmの着氷があり約7時間で成長しているので、着氷強度は3cm/hであった。

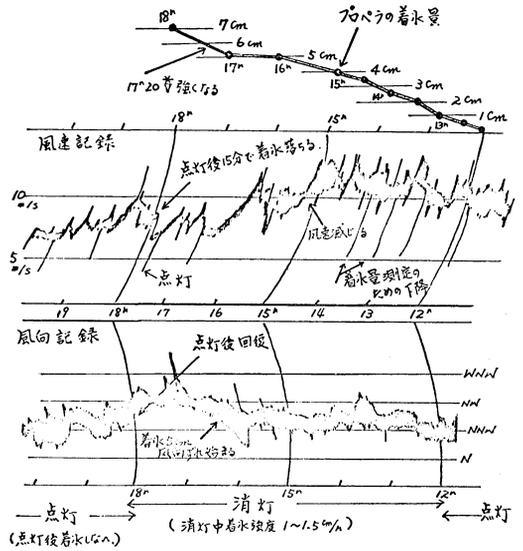
障害時の気象変化(風杯型風速計)



S46. 1. 25~26

21時~04時までに現われた着氷障害時の気象変化08時の測定では着氷量5cm 着氷除去前後の10分間平均風速で5m/sの風速差となった。中間時における風速補正はこの場合、着氷成長と比例しているものと考える。

第8図



第9図 風車型風向風速計の実験記録(S46. 2.1)

08時に着氷を除去したところ前後の風速差は5m/sあり障害が始まった前後の状況を図示すると第8図となった。

この場合において着氷の成長が一様に増加したものと仮定すると風速補正值も着氷成長度に比例するものとして考えたい。

例2 風車型風向風速計の着氷実験

昭和46年2月1日着氷発生中(気温 -8°C, 濃霧(視程60m), 雪を伴う)の状況のもとで、赤外灯照射効果及び着氷による障害状況を調べるために、赤外線電球を消灯して着氷の実態を30分~1時間毎に写真撮影をしながら観察した。

この間の着氷の経過は第9図(上段)に示すとおりであるが、この図からみると

- 1) プロペラの着氷量4cm 付近より自記紙上の記象形態(風の息の周期, 振幅)の変化から風速に障害が認められる。
- 2) プロペラの着氷量5cm以上(16時前)から、風向も同様にNWからNNWと偏倚している。
- 3) 点灯(17時45分)後、約15分でプロペラの着氷は落ち、点灯前の風速より2m/s上昇を示し、風向も、ほぼ15時頃の風向にもどっている。
- 4) 消灯試験の前後の点灯中では、他の建造物には同条件の着氷が発生していたが、風向風速計は赤外灯の効果で支障がなかった。



写真3 消灯6時間後の着氷状況
プロペラ7cm（試験終了直前）

写真3は消灯試験終了直前の着氷の状況を示すものである。

7. 赤外線電球の効果

5~6で着氷障害に関して述べたが、効果については風杯型風速計、風車型風向風速計とも現用測器各1台を実用しながら照射テストを行なっているため、数量的な効果の判定は至難である。照射中に測器以外の建造物の着

写真4~8 照射中の融氷状況

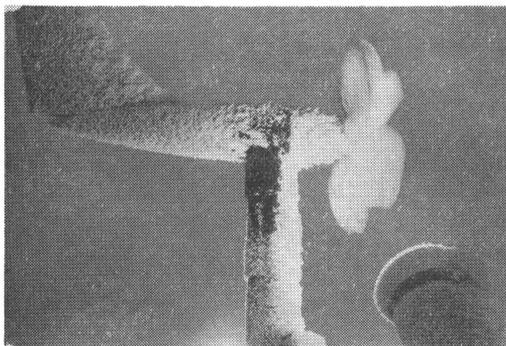


写真4 点灯後5分（軸部融け始める）

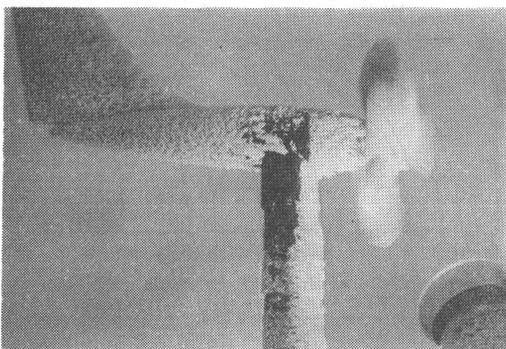


写真5 点灯後10分

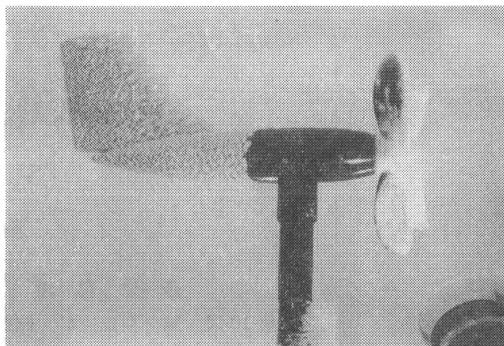


写真6 点灯後40分
胴体前部融けプロペラ融け始まる

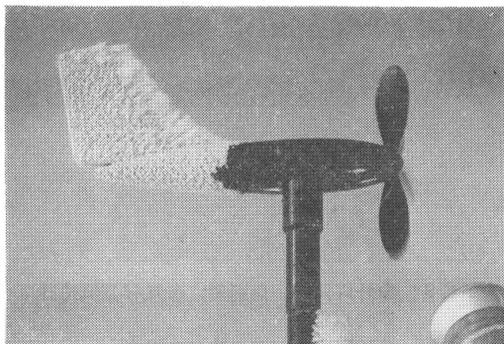


写真7 点灯後70分
プロペラ融ける

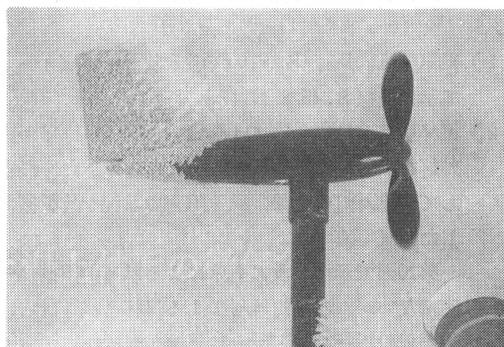
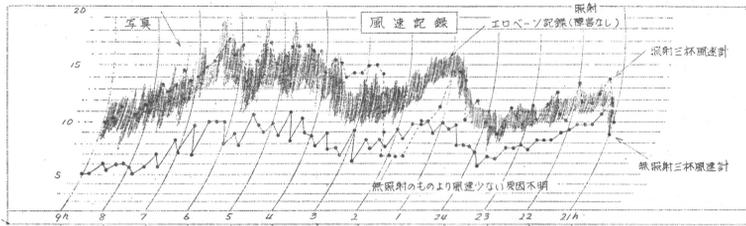


写真8 点灯後100分

実験時の気象 (S. 45. 2. 17)
 気温. -5.2°C ・風速10.8 m/s
 天気濃霧（視界40m）
 着氷量. 1 cm/h
 点灯前の着氷量. 4~5 cm
 使用電灯数 375W×3灯



着氷現象

第10図 風杯型風速計，照射，無照射の比較（10分間平均風速）

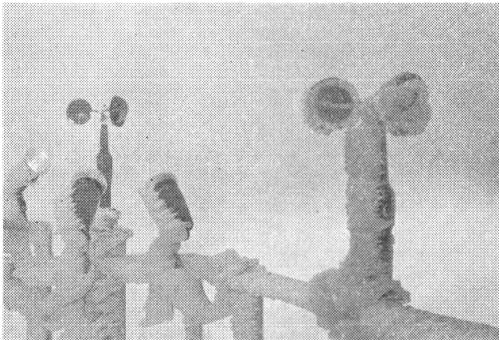


写真9 赤外灯照射，無照射，各風杯型風速計の着氷状況
第10図内で矢印の時刻に撮影
無照射測器の着氷量

風杯 2~3 cm 軸部 10 cm

氷状況と比較すれば赤外灯照射の効果は極めて明瞭である。

- 1) 風車型風向風速計について融氷状況を写真4~8に示す。(S. 45. 2. 17)
- 2) 風杯型風速計については、短い期間ではあるが赤外灯を照射した風速計と照射しない風速計を設置して、赤外灯の効果、風速障害の状況を比較観測した。(写真9)
第10図で示すように着氷による風速の誤差は一定でないが、赤外灯照射による風杯型風速計と、無照射の風杯型風速計とは風速差が次第に大きくなって赤外灯照射の効果は極めて明瞭である。(赤外灯照射の場合風車型と風杯型とは風速は殆んど等しい)
- 3) 日記記録より判定した、風杯型風速計の照射効果は、年度毎に赤外線電球の球種をはじめ灯数、距離等の照射条件は異なるが、第3表で示すような

第3表 風杯型風速計による月別効果日数

昭和44年

日数	月	12月	1月	2月	3月	4月	備考
着氷日数		21	20	15	18	7	2灯照射
有効であった日数		19	11	7	12	5	

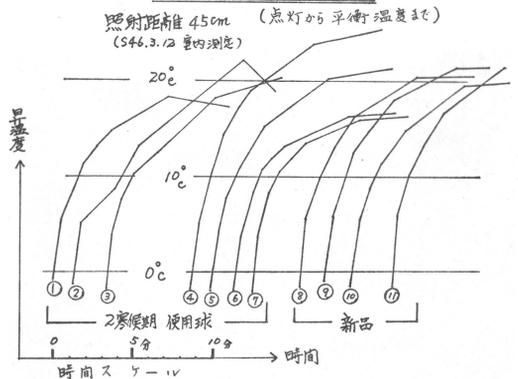
昭和45年

日数	月	12月	1月	2月	3月	4月	備考
着氷日数		21	24	18	22	3	2灯照射
有効であった日数		8	15	6	17	3	

昭和46年

日数	月	12月	1月	2月	3月	4月	備考
着氷日数		3	22	22	23	14	3灯照射
有効であった日数		1	14	20	20	11	

電球特性の比較



第11図

結果である。

8. 赤外線電球の経年変化

現在使用の電球（ナショナル赤外100～375）について特性の劣化はないか調べた。この種の電球寿命は約6000時間とされているが、二寒候期使用のものと新品のものを、先の温度特性と同じ方法で比較してみたところ、第11図に示すように、二寒候期使用で若干の劣化がみられるが、照射電球の光にも部分的な明暗のムラがあり、黒球温度計（球部）の測定位置にも問題があるので、その程度は明確でない。

9. 結 び

以上本調査テストの概要を述べたが、障害時の例で述べたような最悪条件下では完全に着氷を防止しきれないが、7の効果（月別効果日数）より有効率を求めると、

昭和44年（68%）、昭和45年（56%）、昭和46年（79%）となり、更に昭和46年1月～3月迄を算出した場合は照射有効率85%の高率を収めた。

この着氷防止装置を用いる以前の風観測において観測者が観測時毎に凍結した屋上に出て暴風の中で、風速計に熱湯をかけて着氷を除去していたのと比べると、準高層資料を連続的に蒐集することが可能となり観測者の労苦をも著るしく軽減されるに至った。

この試験の遂行に当っては、伊吹山測候所、彦根地方気象台の伊吹山頂勤務者の全員が当った。業務上多大な理解と協力を載った大阪管区気象台並びに各種赤外線電球の試作援助を賜った松下電器産業（株）特殊電球事業部など各位に深く感謝する次第である。

【新刊紹介】

J. R. Holton: An Introduction to Dynamic Meteorology (International Geophysics Series Vol. 16, 1972, Academic Press, 5, 700円)

久方振りに気象力学の教科書が出版された。著者は新進の俊秀な気象学者で、米ワシントン大学での lecture note をまとめたものである。一口にいうと、大規模大気じょう乱を中心とした気象力学について書かれてあり、最近の発展までふれた新鮮な内容の本である。目次を紹介すると

第1章 序 言

第2章 運動量方程式

第3章 水平運動方程式の初歩的応用

第4章 連続方程式

第5章 循環とうず度

第6章 プラネタリー境界層

第7章 中緯度のシノプティック・スケール運動の診断的解析

第8章 数値予報

第9章 大気振動：線型摂動理論

第10章 中緯度シノプティック系の起源と運動

第11章 大気大循環

第12章 熱帯運動系

本書の前半は、これ迄の教科書と大同小異だが、第6章以下は大変新しい内容で本書の特色を示しているといえよう。だから大規模運動についての気象力学を勉強したり、復習するのに適していると思う。しかし全体として物足りない気もするが、それは気象熱力学の記述が著るしく不足していることや定義しない専門語を用いていることなどによる。また中小規模じょう乱などにはふれられていない。紙数の都合で詳しい書評ができないが、Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 53, No. 11, Nov. 1972に出た Spar 教授の丁寧な批評は参考になると思う。学部4年生、修士コースの学生や若い気象技術者、研究者に一読をおすすめしたい。各章尾の問題を手がけてみるのも気分の転換によいだろう。

（気象庁電計室・新田 尚）