

短 報

自動気象ステーションのセンサーの問題点について*

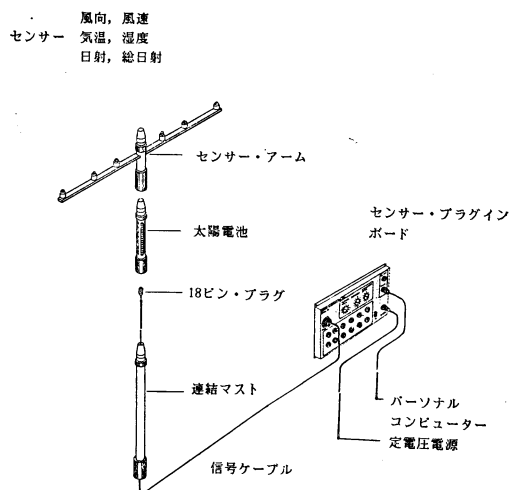
萩野谷 成 徳** 藤 谷 徳之助***

1. はじめに

最近, 商用電源を用いずに長期連続観測が可能でコンパクトな自動気象観測装置が実用化され, 多くの人の期待と関心を呼んでいる。これは最近実施される野外観測が商用電源のない場所で, しかも長期間の連続記録の取得を目的として行われることが多くなったためである。今回筆者らは自動気象観測装置の一つであるアーンデラー社のものを使用する機会を得た。使用に先立って, 各感部の校正を行った。その結果いくつかの問題点が明らかとなったので, この機会に校正結果を中心に装置の紹介を行う。

2. 装置の概要

使用した自動気象観測装置は, ノルウェーのアーンデラー社製の「自動気象ステーション: AWS・2700」である。観測装置のシステムを第1図に示す。ここでは AC 電源の取れる船舶で今回使用したシステムのみを図示した。本装置は測定部とデータ処理部から成る。測定部はセンサーおよびマストで構成され, 信号ケーブルを通じてデータ処理部に接続されている。データ処理部は, センサー・プラグイン・ボードとパーソナルコンピュータから構成されている。センサー・プラグイン・ボードは, センサーの出力を自動スキャンし, その出力を10ビット・バイナリー・コードに変換する部分である。サンプリング・インターバルは, 1/2分から180分までの10種類のインターバルのほかに, 連続作動や遠隔始動も可能である。センサーの構成および仕様は第1表の通りであ



第1図 観測装置のシステム外観図

る。

おもな特徴は, 外部電源の必要がないこと, 運搬・組立が容易なこと, 観測データをメモリーに保存したり, VHF 電波でテレメトリーすることが可能であることなどである。使用電力量を節約するために, 風速計以外のセンサーへの通電はサンプリング時だけである。風速計には, 測定インターバルの間の風速の平均値および最大値を測定するため常時通電している。測定インターバルが8秒以上で3時間以内であれば, インターバルの長さに関係なく, 風速を算術平均値として測定できる。最大風速値は, 測定インターバル間に2秒以上続いた風速の中の最大値として求められる。風向計センサーは回転軸の周りにオイルが充填されており, 粘性によるダンピングがかかるように設計されている。温度計・湿度計には日射スクリーン(日除け)がついており, 自然通風される構造になっている。周囲の風速が $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上になると日射スクリーン内外の温度差が小さくなり気温・湿

* Outline of the Automatic Weather Station 2700 by AANDERAA INSTRUMENTS.

** Shigenori Haginoya, 気象研究所物理気象研究部.

*** Tokunosuke Fujitani, 気象研究所応用気象研究部.

—1989年6月26日受領—

—1989年10月3日受理—

第1表 センサ構成および仕様

風向センサ：矢羽根式風向計 立ち上がり風速：30 cm・sec ⁻¹ 精度：±5% 作動温度：-40°C～+50°C 重量：600 g 風速センサ：3杯式風速計 立ち上がり風速：30～50 cm・sec ⁻¹ 測定レンジ：60 m・sec ⁻¹ 風程：1.194 m/1回転 精度：±2% または ±20 cm・sec ⁻¹ （いずれか大きい方） 作動温度：-40°C～+50°C 重量：500 g 大気温センサ：白金測温抵抗体 測定レンジ：-44°C～+49°C 分解能：0.1°C 時定数：空中約6分 日射スクリーン：ホワイート・ナイロン 本体重量：125 g 総重量（日射スクリーンを含む）：565 g 湿度センサ：応湿伸縮繊維 測定レンジ：5%～100% RH 精度：±3% RH 分解能：0.3% RH	作動温度：-30°C～+50°C 時定数：数分間以上 日射スクリーン：ホワイート・ナイロン 本体重量：160 g 総重量（日射スクリーンを含む）：600 g 日射量センサ：サーミスター・ブリッジ 波長：0.3～2.5 μm 測定レンジ：0～2000 W・m ⁻² 精度：±20 W・m ⁻² 分解能：4 W・m ⁻² リニアリティ：±1%以下 時定数：60秒で最終値の63% ガラスドーム：ポリシリケート・ガラス 重量：250 g 総日射量センサ：サーミスター・ブリッジ 波長：0.3～60 μm 測定レンジ：0～2000 W・m ⁻² 精度：読み取り値の±3% 分解能：4 W・m ⁻² 時定数：60秒で最終値の90% 作動温度：-30°C～+50°C ドーム：ルポレン樹脂 重量：250 g
--	--

度の測定が可能となる。湿度センサーには塩水透浸処理された化学繊維が用いられているが、その測定原理は毛髪湿度計と同じである。日射計と総日射計*の違いはドームだけであり、前者はガラスドーム、後者は合成樹脂ドームである。そのほかの部分の構造は同じである。日射計では太陽の直達および散乱光を、総日射計では太陽の直達および散乱光のほかに大気の熱放射を測定している。すなわち総日射計は下向き全放射量を測定する装置である。なお、本自動気象観測装置は購入後1年以上経過しており、その間に約1カ月間の洋上での使用後のものである。このためメーカーの検定値が大幅にずれていることが考えられる。

3. 較正結果

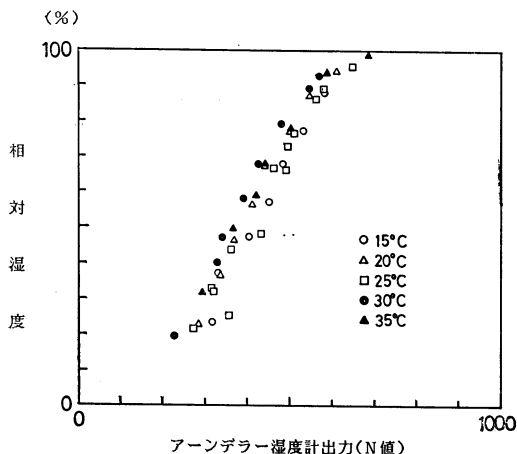
気象研究所には温度湿度計の較正装置として恒温恒湿槽、風向風速計の較正装置として大型気象風洞がある。

* 英文カタログには Total radiation sensor (pyrradiometer: 放射計) と書いてある。ここでは日本語カタログの名称をそのまま使用する。

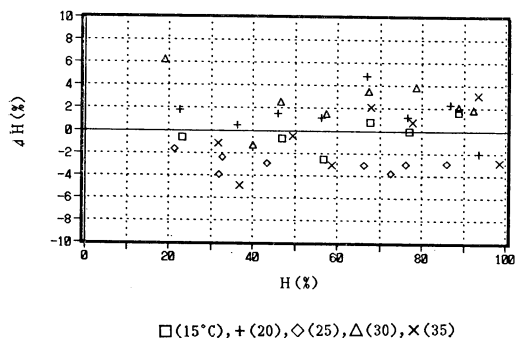
また日射計・放射計の較正は高層気象台の放射ルーチンデータや、同じく気象測器工場内にある気象庁日射計検定室の基準日射計で行うことができる。

3.1 温度計・湿度計の較正

温度・湿度の較正装置は恒温恒湿器（いすゞ製作所：いすゞアルファ低恒温恒湿器：SEA-32 Z-A）を用いた。準器にはアスマン型通風乾湿計を用いている。センサーの温度が一定になるのに時間がかかるため、ある設定温度に保ったまま湿度だけを変えて較正を行った。このような較正作業を何通りかの設定温度に対して実施した。センサー・プラグイン・ボードからの湿度計の出力値 N と相対湿度との関係を第2図に示す。温度による系統的なずれがみられ、湿度センサーの較正曲線に温度依存性がある。この傾向は永井（1989）の報告にも述べられている。そこで温度とアーンデラー湿度計の出力値 N の2変数を与えて相対湿度を求める実験式を求めた。第3図は、横軸にアスマン乾湿計から求めた相対湿度をとり、縦軸にはこの相対湿度と実験式から求めた湿度との差を示している。この結果をみると、較正データのば



第2図 アスман乾湿計で測定した相対湿度 H （縦軸）とアンデラー湿度計の出力 N との関係。



第3図 アスман乾湿計による相対湿度 H （横軸）と校正データのばらつき ΔH . $\Delta H = H - f(T, N)$. $f(T, N)$ は2次曲面の回帰式。

らつきは2乗平均偏差の平方根 σ^{**} の値で $\pm 3\%$ 以下に抑えられていることがわかる。なお、添付されているメーカーの校正値は、 20°C の温度における出力値 N と相対湿度の関係しか示されていない。もちろん校正曲線の温度依存性については触れられていない。メーカーの校正値をそのまま使用したときの誤差は相対湿度で10%以

** σ は次式で定義される。

$$\sigma = \left[\frac{1}{n} \sum_i (G_i - f(N_i))^2 \right]^{0.5}$$

G_i は校正値、 $f(N_i)$ はアンデラー出力 N 値を用いて校正曲線から計算した値、 n は総データ数である。

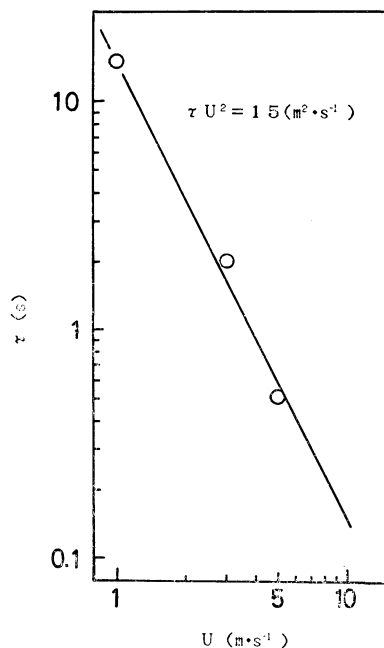
上にもなる。

温度計はメーカーの校正値とほとんどずれていない (30°C 付近で 0.3°C のずれ)。温度計の出力の安定性は、室温に保ったデュワー瓶の中に長時間アンデラー温度計を入れておき、このときの出力データをサンプリングすることによって求めた。標準温度計の読みは一定値を保っているが、アンデラー温度計の測定値は変動している。これから求めた温度測定におけるサンプリングのばらつきは、 N 値の標準偏差で 0.87 、温度に換算した標準偏差で 0.09°C である。

3.2 風向計・風速計の校正

大型風洞内に風速計の感部を設置して校正を行った。風洞内の乱れの強さは 0.5% 以下であり、風速分布の空間的な変動も $\pm 1\%$ 以下である。風速の範囲は $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \sim 18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ である。得られた結果をみると、風洞風速を増加させた場合も減少させた場合も、出力値と風速の間には系統的な差はなく、 $\sigma = 0.04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ のばらつきで両者の間に直線関係が成立している。すなわちこの風速計の再現性は非常に良いことが明らかとなった。なお、メーカー校正値との差は相対誤差で 6% 程度であった。

矢羽根式風向計についても、風洞を用いて応答特性を調べた。矢羽根式風向計は風向変動に対して、本来2階線型の応答特性を示す。今回使用した矢羽根式風向計は小型軽量であるため、その慣性モーメントの値は小さいと考えられる。一方、粘性の高いオイルを使用してダンピングしている。実際にこの風向計感部を風洞気流中に流れに直角に設置し、急に手を離した場合の動きを観察すると、全く振動することなく流れ方向に一致する。従って、対数減衰率が大きく、振動の周期が小さい。また、実際問題としてこの装置では、風向の連続記録を得ることができないので、対数減衰率などから時定数を求めることは不可能である。以上のような理由から、ここではこの矢羽根式風向計の運動について、矢羽根の偏角の2階の時間微分の項は1階の時間微分の項に比較して小さいと仮定してこれを無視し、1階線型の応答特性を示すものと考えて時定数を求めた。具体的には、矢羽根式風向計を風洞気流に直角に設置し、急に手を離した場合に風向計と気流のなす角度が 60° , 30° , 0° となるまでの時間を測定し、時定数はこれらの値から、角度が e^{-1} (33.1°) となる時間として求めた。得られた結果を第4図に示す。この結果を見ると、時定数 τ と風速 U の間には近似的に $\tau U^2 \sim \text{一定} = 15 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ の関係が成立している。この τ を移動平均の時間と考えると、オイルダンパーは $f_c = 0.44/\tau$ のローパスフィルターとして作用し



第4図 風向計の応答時間 (τ) と風洞風速 (U) との関係。

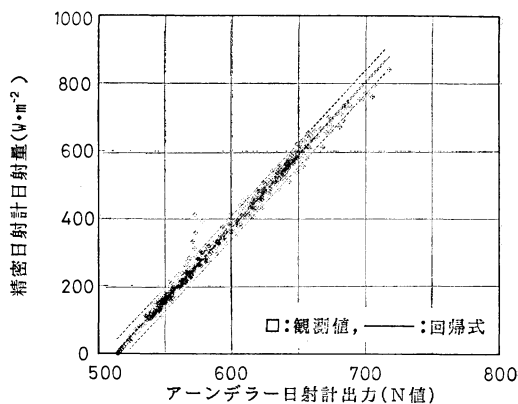
第2表 風速と遮断周波数との関係

U ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	f_c (Hz)
1	0.029
5	0.73
10	2.9

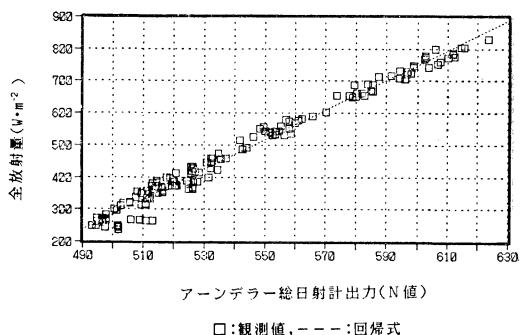
ているものと考えられる。この遮断周波数 f_c の値を各風速について求めると第2表のようになる。このことから、風速が増加すると短期間の変動にまで追従することがわかる。従って、このような風向計を用いて平均風向を求める場合には、風速が増加するとともにデータのサンプリング間隔を細かくしてその平均値を求めなければ正確な平均風向を求めることはできない。

3.3 日射計・総日射計の較正

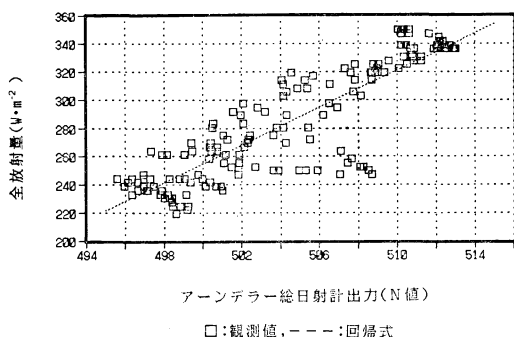
放射計の較正に際して注意しなければならない点は、これらの受感部の感度が長波放射と短波放射で異なることである (Yasuda, 1975; Sato, 1982)。ここでは較正曲線を日中と夜間に分け、基準となる日射計・放射計との比較観測をして求めた。準器としては、短波については日射計検定室の精密日射計 (英弘精機製: MS-801型)、



第5図 精密日射計で測定した日射量とÅンデラー日射計出力との関係。



第6図 英弘放射計で測定した日中の全放射量 (長波放射量+短波放射量) とÅンデラー総日射計出力との関係。



第7図 英弘放射計で測定した夜間の長波放射量とÅンデラー総日射計出力との関係。

長波については高層気象台の下向き放射計 (英弘精機製: CN-11A型) を用いた。日射計については30分平均値同士の比較を行って較正曲線を求め (第5図)、ま

た総日射計については1時間平均値同士の比較を行った(第6図, 第7図)。

これらの較正結果をみると, 日射計については2~3の点がバラついているが, 両者の一致は非常によく, 較正曲線は一次式で表現することができる。このときのデータのばらつき σ は $37 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, メーカー較正值との差は相対誤差で10%以下であった。一方, 総日射計についてみると, 日中のデータについては両者の値のよく一致しており, 較正曲線は一次式で表すことが可能である。しかし, 夜間のデータについては両者の値は一致はよくない。このときの σ は日中 $22 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 夜間 $20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ でほとんど差はないが相対誤差にすると日中9.2~2.7%, 夜間9.1~5.7%となる。夜間のバラつきが相対的に大きい原因ははっきりしないが, 考えられることは, 夜間の放射量が日中に比べて小さいのに放射計の分解能が日中と夜間とで同じであること, 総日射計が無通風であるため弱風時の夜間にはドームに結露が生じたり, 降水後の雨滴がドームに付着したりすることである。なお, 比較観測中に夜半に降った雨が朝方ドーム表面に残っているのが見られた。メーカー較正值との差は相対誤差で30%以上にも達した。大きく較正值がずれた原因の一つに洋上での使用が考えられるがはっきりしたことはわからない。野外での使用にあたっては観測前後の較正はもちろんのこと観測中にも気温, 湿度などから放射量を求める実験式(例えば Kodo, 1967)などで随時データをチェックすることを勧めたい。

4. 観測データの処理

この装置には観測データの処理のために, 以下に示す2種類のソフトウェアが付属している。

4.1 データ収集プログラム

A/D 変換した観測データをパーソナルコンピュータに取り込み, フロッピーディスクに納めるプログラムである。データは, ランダムアクセスデータファイル形式で書き込まれる。観測データは, サンプルング後直ちに多項式の較正曲線によって物理量に変換され, ディスプレイに表示されるので, 随時データのチェックを行うことができる。

4.2 データ処理プログラム

フロッピーディスクのデータを処理するプログラムである。数値データの表示およびプリンタ出力, 時系列の作図およびプリンタへのハードコピーを行う。これ以外のデータ処理をする場合(例えば大型計算機や他のパーソナルコンピュータ用ソフトウェアで処理する場合

など)は, データをテキスト形式(ASCII コード形式)に変換してから処理する方が簡単である。

5. おわりに

最近, 野外観測に使用される機会が増えているノルウェー・アーンデラー社の自動気象観測装置のセンサーについて, その特性を調べた。今回の較正の結果, 上に述べたように, 湿度, 風向および総日射計についてはセンサー自身の特性や較正方法, さらに較正值の安定性に問題点があることが明らかとなった。これ以外のセンサーについては, 電源がとれないところや気象条件の厳しいところでの無人観測に対してメーカー較正值をそのまま使用しても, 10%程度の相対誤差でデータを得ることができる装置であることが明らかとなった。最後に, この装置にはアナログ出力を得るためのモニター端子がなく, これが今回も述べたような応答特性を調べることが不可能にしている。また実際の測器の保守などの場合にもこれは必要であると考えられる。今後の改良を望みたい。

謝 辞

今回較正したアーンデラー自動気象ステーションは海洋科学技術センターと気象研究所の共同観測に使用したものである。センサーの較正に快く同意していただいたセンターの宗山敬博士に謝意を表します。

測器の較正にあたって, 装置の使用, 資料の提供などについて気象研究所物理気象研究部第二研究室加藤真規子室長, 気象衛星・観測システム研究部第四研究室上田真也室長・永井智広研究官, 気象庁観測部日射計検定室志村英洋検定官・三浦雄美利技官, 高層気象台観測第三課上野丈夫主任研究官の方々にお世話になりました。

参考文献

- AANDERAA (JAPAN) LIMITED, 1986: アーンデラー自動海洋・気象測定器, pp. 95.
- Kondo, J., 1967: Analysis of solar radiation and downward long-wave radiation data in Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophysics., 18, 91-124.
- 永井智広, 1989: 自動観測用に適した新しい湿度センサーについて(II), 測器技術資料, 第0108号.
- Sato, T., 1982: A method to measure the daytime long wave radiation. J. Meteor. Soc. Japan. 61, 301-305.
- Yasuda, N., 1975: Measurement of thermal radiation flux during daytime. J. Meteor. Soc. Japan, 53, 263-266.