

—研究論文—
Scientific Papers

南極における無人観測 (I)
 — 無人観測装置の開発と観測結果の速報 —

鮎川 勝*・寺井 啓*・勝田 豊*・
 吉田治郎*・外谷 健**・坂本純一***

Unmanned Observation in Antarctica (I)
 — Development of an Unmanned Observatory
 and Preliminary Result of Geomagnetic
 Variations Recorded at the Observatory —

Masaru AYUKAWA*, Kei TERAJ*, Yutaka KATSUTA*
 Jiro YOSHIDA*, Takeshi TOYA** and Junichi SAKAMOTO***

Abstract: It was planned to set up several unmanned upper atmosphere observatories in the area around Mizuho Station (70°42' S, 44°20' E) in Antarctica during the period of 1976–1978 for the IMS (International Magnetospheric Study).

The first unmanned observatory, situated between Mizuho and Syowa Stations in Antarctica, was set up on May 30, 1977 by the wintering party of the 18th Japanese Antarctic Research Expedition. Observation of geomagnetic variations at this observatory was carried out from May 30 to August 23, 1977.

The unmanned observatory consists of the following parts.

1. Wind-driven generator

Two wind-driven generators (DYNA Technology Co., model 1222H) are used for keeping batteries and instruments warm. Each generator can supply electric power of ~200 W on an average when the wind blows continuously at a speed of ~10 m/s.

2. Heat insulation boxes

Batteries and instruments are put in two heat insulation boxes. The boxes

* 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

** 気象庁地磁気観測所. Kakioka Magnetic Observatory, 595, Kakioka, Yasato-machi, Ibaraki 302-01.

*** 郵政省電波研究所. Radio Research Laboratories, 2-1, Nukui-Kitamachi 4-chome, Koganei-shi, Tokyo 184.

protect the batteries and instruments from low temperature and heavy snow in Antarctica. The wall of these boxes is made of veneer, aluminium plate and styrofoam plate with a thickness of ~ 10 cm. Using thermostats and heaters (200 W for the battery box and 100 W for the instrument box), the temperature inside the boxes can be kept from 0°C to 10°C near Mizuho Station throughout the year.

3. Instrumentation

Fluxgate type magnetometer

Component	: H, D, Z components
Sensitivity	: 10 nT/mm on the chart record
Range	: ± 1250 nT
Power consumption	: +18 V/100 mA, -18 V/60 mA
Timing	: Chronometer (stability 10^8)

4. Recorder

The heat pen recorder is used. The data observed at the unmanned observatory are recorded on a chart which is replaced every three and half months.

A specification of the recorder is as follows.

Available chart width	: 250 mm (± 1250 nT)
Recording speed	: 30 mm/h
Power consumption	: +18 V/670 mA, -18 V/100 mA

5. Battery

Layer-built air cells are used for power supply to the instruments.

In this report, results of the environmental test of these facilities in a low-temperature room are given in detail. Furthermore, magnetic variation data obtained from the unmanned observatory are presented.

要旨: 日本南極地域観測事業では国際磁気圏観測計画 (1976-1978) の一環としてオーロラ・フレアの発生機構を解明するため、東南極大陸氷床上のみずほ基地を中心とした周辺に無人による地上観測網の設置を計画した。

本報告は、この計画を遂行するために必要な長期無人観測施設の開発に関して実施した基礎実験と、その結果に基づいて試作した無人観測システムの紹介および各種性能試験結果を報告する。また、1977年5月30日から8月23日までの約3カ月間、東南極みずほ高原付近において試作無人観測システムを用いて地磁気三成分観測に成功したので速報する。

風エネルギー利用の風車発電機を初めて実用化した試作無人観測施設は、極低温環境下において正常に動作し、超高層自然現象に関する基礎的物理量である地磁気変化の量を良好に記録した。

1. はじめに

オーロラ・フレア (polar substorm) の発達を精密に調べることは、磁気圏の物理過程を明らかにするうえで極めて重要である。1976年から3年計画で始まった国際磁気圏観測計画 (International Magnetospheric Study) の南極地域における日本の観測計画は、

(1) ロケット, 大気球による電離圏におけるプラズマ粒子, 波動, 電場および磁場の直接観測, (2) 人工衛星観測データのテレメトリー受信, (3) 観測点群によるオーロラとそれに伴う諸現象の同時観測, (4) 昭和基地—静止衛星 GEOS—レイキャビックを結ぶ地磁気共役点観測などを骨子とし, これらの観測を通じてオーロラ・フレアの発生機構を解明することを大きな目的としていた (鮎川, 1978; 鮎川他, 1976; 鮎川他, 1978; NAGATA *et al.*, 1976). 極域に見られるオーロラ嵐現象は, 地磁気磁力線が外部磁気圏あるいは磁気圏テイルに連なっていることから磁気圏に関する多くの情報を含んでいる.

地上観測によってオーロラ嵐を精密に測定するためには, 昭和基地 (69°00' S, 39°35' E) 1 地点での観測に依存するのでは不十分で, 多点同時観測を実施することが多くの研究者によって切望されていた. 以上の事柄が背景となって, 日本南極地域観測事業では, IMS 実施期間に昭和基地とみずほ基地 (70°42' S, 44°20' E, 海拔 2230 m) の周辺に地上観測網を敷く計画を立てた. しかし現在の観測隊の輸送能力や構成人員の規模では, 有人観測基地を増やすことは望めない. そこで南極みずほ高原付近の過酷な自然条件 (最低気温約 -60°C, 平均気温約 -30°C, 想定最大風速約 40 m/s, 平均風速約 10 m/s) (守田, 1966; 上田, 1971; 山田, 1974) に耐えうる無人観測装置の開発が必要となった.

無人観測装置の開発に当たって解決しなければならない問題は,

- (1) 電力供給の方法
- (2) 観測機器の保護方法 (特に保温)
- (3) 長時間記録方法
- (4) 正確な時刻表示
- (5) 観測機器類の低消費電力化と小型化
- (6) 観測機器類の低温特性の向上
- (7) 記録伝達方法

などが考えられる. ここでは装置開発の第一歩として実施した基礎室内実験と, その結果に基づいて試作した無人観測装置について報告する. また, 1977年5月30日から8月23日までの約3カ月間, この試作装置を用いてみずほ基地に近い南極大陸氷床上で無人による地磁気三成分観測に成功したのであわせて報告する.

2. 実験用小型保温箱による基礎実験

極低温, 強風, 雪嵐, 地吹雪など環境条件の厳しい場所, たとえば南極昭和基地近辺で

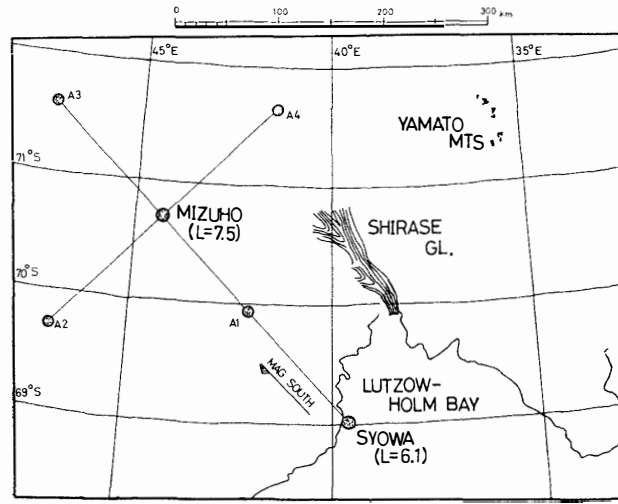
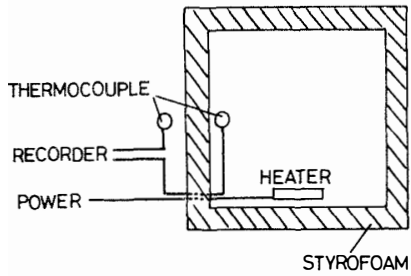
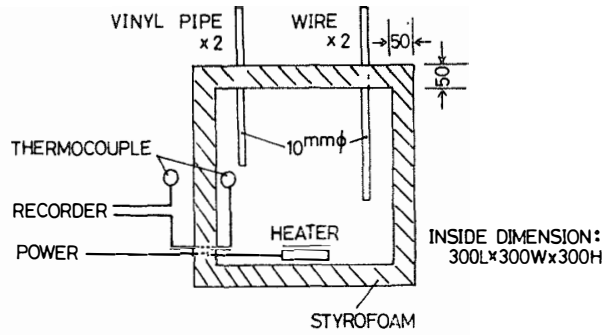


図 1 昭和基地およびみずほ基地周辺の無人観測配置図
 Fig. 1. Location of two manned stations (Syowa and Mizuho) and four unmanned stations (A1-A4).

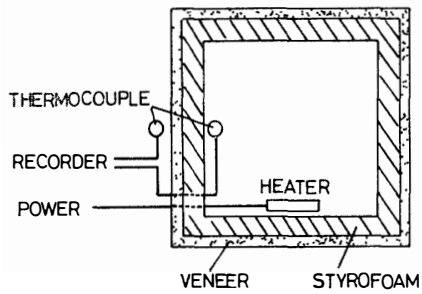
a) EXPERIMENT - 1



c) EXPERIMENT - 3



b) EXPERIMENT - 2



d) EXPERIMENT - 4

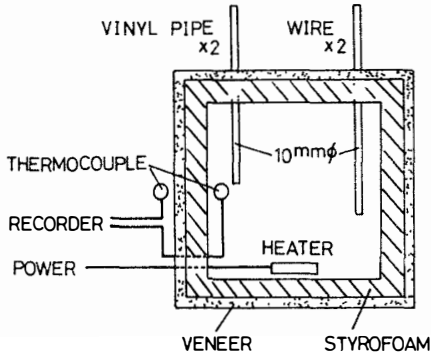


図 2 実験用小型保温箱の断面図
 Fig. 2. Sectional structure of the small-scale heat insulation boxes.

無人観測を行うためには、まず最初に観測機器の保護方法の検討が必要である。とりわけ低温からの防御が肝要で、保温箱やその電力供給方法の開発が重要である。無人観測装置の配置計画は、図1に示す昭和基地と、1970年に雪氷・気象観測のために開設されたみずほ基地の2つの有人観測基地を中心とした南極大陸氷床上の4地点(A1~A4)であった。

1972年のみずほ基地における気象観測結果は、年平均気温約 -30°C 、6月から10月にかけての厳寒期の6カ月平均気温はおおよそ -40°C 、平均風速は 10.7 m/s で、最大風速は 27 m/s (ESE)であった(南極地域観測統合推進本部, 1973; 佐々木, 1974; YAMADA and NARITA, 1975)。無人観測設置予定地A1~A4の環境条件は、これまで観測されていなかったが、みずほ基地の観測結果より類推することができる。無人観測用の保温箱は、このような気象環境から観測機器類を保護し、観測器が安定して動作できる内部環境を提供するものでなければならない。保温箱の製作に当たって、その設計資料を得るために、図2に示す実験用小型保温箱で基礎実験を行った。実験用小型保温箱の外壁は厚さ 5 cm の発泡スチロールだけで構成する場合と、さらにその周囲に厚さ 0.5 cm のベニヤ板を重ね合わせた場合があり、両者ともその内部は一辺 30 cm の立方体で内容積は $2.7 \times 10^4\text{ cm}^3$ である。内部保温は床面に $100\text{ V} \cdot 200\text{ W}$ 定格の板ヒータを置いて行った。実験は1975年3月から4月にかけて、平均温度が約 -20°C に維持された国立極地研究所旧冷凍庫を使用して行い、図2-a, b, c, dの4つの異なる状態について、ヒータに供給する電力と冷凍庫温度(以下外部温度という)および実験用小型保温箱内温度(以下内部温度という)の関係を記録した。実験例として保温箱内ヒータに 9 W と 12 W の電力を与えた時の結果を図3に示す。

保温箱に供給する電力(加熱)と放熱(熱の移動)の関係は、拡散や対流などによる熱放出を無視すれば保温箱の外壁を通して外部へ伝達・消失されるものと考えられ、熱の移動方程式、

$$Q = \lambda S \frac{\theta}{l} t \quad (1)$$

で与えられる。また電力と熱量の関係はジュールの法則、

$$Q = 0.24 Pt \quad (2)$$

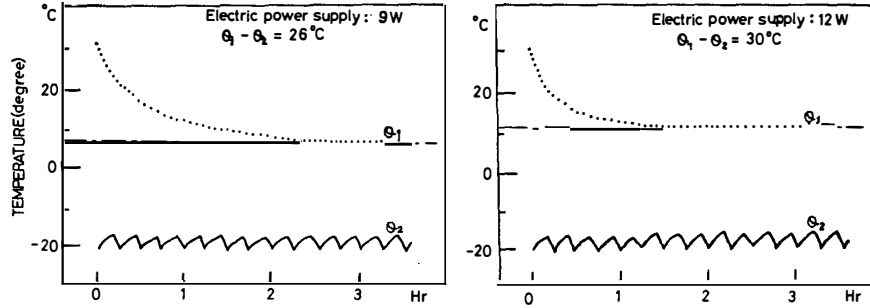
で与えられる。式(1), (2)において、

Q : 熱量 (cal)

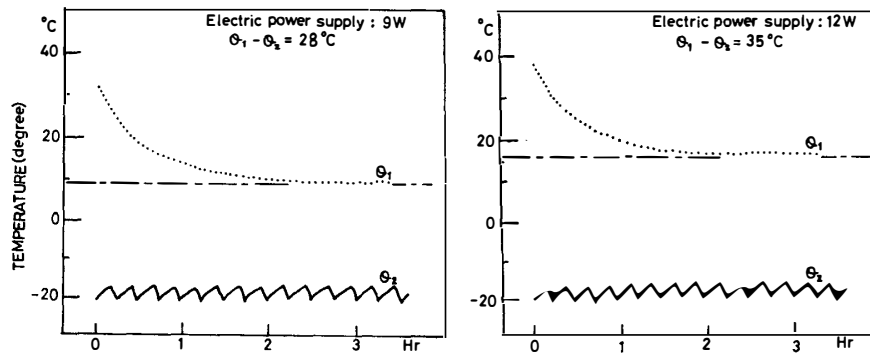
S : 外壁の断面積 (cm^2)

θ : 外部と内部の温度差 ($^{\circ}\text{C}$)

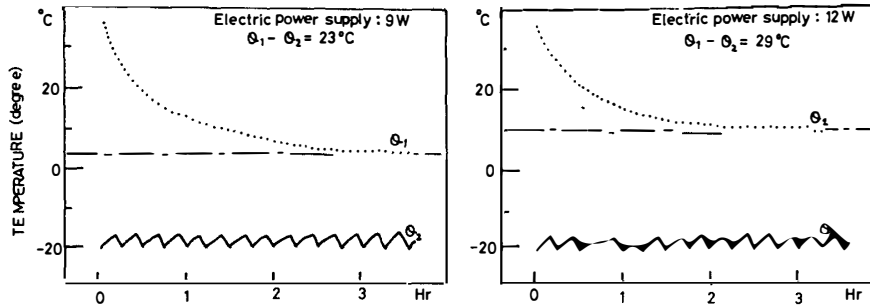
a) EXPERIMENT - 1



b) EXPERIMENT - 2



c) EXPERIMENT - 3



d) EXPERIMENT - 4

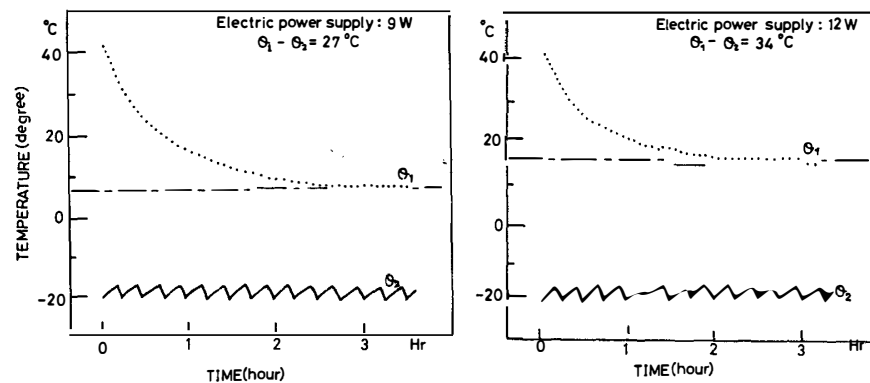


図 3 実験用小型保温箱の温度特性

Fig. 3. Thermal characteristics of the small-scale heat insulation boxes.

l : 外壁の厚さ (cm)

t : 時間 (s)

P : 電力 (W)

λ : 熱の伝導率 (cal/cm·s·K)

である。 λ 値は保温箱を形成する断熱材質によって決まる。

実験結果は図 2 に示す 4 つの異なるいずれの条件においてもヒータに毎秒 12 W の電力を供給すれば、保温箱内は外部温度より約 30°C 高い室温を保持し得ることを示唆した。このことから熱の移動式を用いて、発泡スチロールの熱伝導率を算出すると、およそ 8.9×10^{-5} cal/cm·s·K となる。実験 2 および 4 の結果は、発泡スチロールにベニヤ板を重ね合わせることによって断熱効果が確実にあがることを示している。求めた発泡スチロールの熱伝導率を保温箱設計に当たって、基本的に必要な熱伝導率の目安として採用すれば、作成しようとする保温箱の形状と保温能力（その保温箱に期待する保温効果）を決めることにより供給すべき電力値（熱量）が算出できる。

筆者等は、このことから発泡スチロールを主たる断熱材質として構成する保温箱を作成することによって、年平均気温 -30°C という気象条件下で観測機器類の安定動作に必要な環境を得られる可能性があるかと判断し、3 節に述べる保温箱を作成した。

3. 保温箱の試作と電力供給法

実験用小型保温箱を使った基礎実験結果に基づき、観測計器類を保護する保温箱（以下保温箱 A という）と電源系統を保護する保温箱（以下保温箱 B という）の 2 つの無人観測用保温箱を試作した。無人観測装置の設置予定周辺の年平均気温が氷点下 30°C であることから、筆者等が目標とした試作保温箱の保温性能は、外部温度が -30°C というような極低温状態であっても保温箱内温度は 0°C 程度を保持することであった。このために保温箱 A, B が必要とする熱量（供給電力 P_A, P_B ）は、A, B の内部形状を各々 $100 \times 100 \times 100$ cm, $160 \times 150 \times 120$ cm, 壁厚 10 cm の発泡スチロールで製作すると、式 (1), (2) より、

$$P_A = 66.75 \text{ W} \quad P_B = 136.17 \text{ W}$$

と算出できる。実際に試作した保温箱 A, B の断熱材質は、現場の最低気温が氷点下 60°C 近くを記録した事実や、強風・地吹雪および降雪など一概に決められない自然環境の影響を考慮して、図 4 に示すようなベニヤ板、アルミ薄板、発泡スチロールなどを重ね合わせ

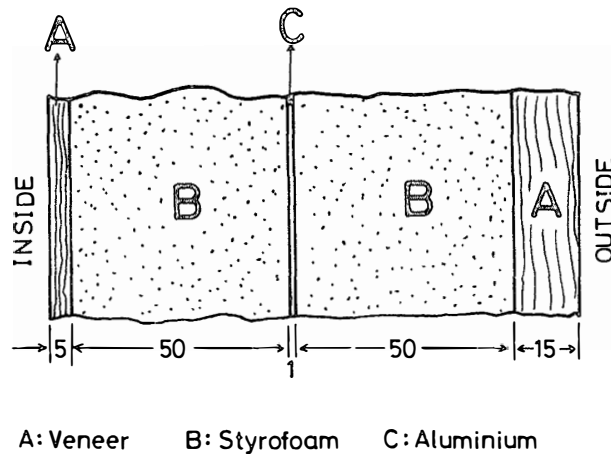


図 4 無人観測用保温箱壁の断面構造

Fig. 4. Sectional structure of the wall of the large-scale heat insulation box.

た構造とし、さらに保温熱源として計算値の約 5 割増の定格値（ヒータ A: DC12V 100W, ヒータ B: DC 12V 200W）をもつヒータを備えつけた。一方保温箱がこのような定格値のヒータを有していると、南極の夏期間には逆に室温が上昇し過ぎ、高温によって観測機器が動作不良を起こす可能性がある。そこでサーモスタットを使って保温箱 A は $+10^{\circ}\text{C}$ 、保温箱 B は $+20^{\circ}\text{C}$ で室内に設置した熱源（ヒータ）を電氣的に OFF する温度制御回路を備えつけた。

筆者等は以上のことから観測機器類の安定動作に必要な環境は、発泡スチロールを主材とする保温箱によって提供できそうな知見を得たが、その保温に要する電力供給の方法については、必ずしも信頼度の高い確実な方法を提案するには至らなかった。そこで無人観測予定場所が平均風速 10 m/s の風が吹くことに着目し、予算的にも技術的にも最も実現可能な方法として、風エネルギーの利用すなわち風車発電機の活用方法を吟味した。

南極における風車発電機の利用については西堀 (1958)、栗野 (1973) などにより早くから啓もうされており、第 1 次越冬隊 (1957 年、本田技研製風車発電機 DC 24V 1 kW、不慮の事故で流失) 以来、西山・高野 (1971) あるいは栗野 (1973)、AWANO *et al.* (1976) などを中心とした研究活動が盛んであった。第 12 次隊 (1970~72 年) の伊藤・中尾 (伊藤他, 1974) は昭和基地およびみずほ基地で風車発電機の基礎データ取得に成功し、風車発電機が南極で十分活用できることを示唆した。外国隊では 1970 年頃から南部ビクトリアランド、ドライバレー地域のバンダ基地でニュージーランド隊が 12V DC 風車発電機を地震観測他の補助電源として、実用していたとの報告がある (CUTFIELD, 1970; NEW ZEA-

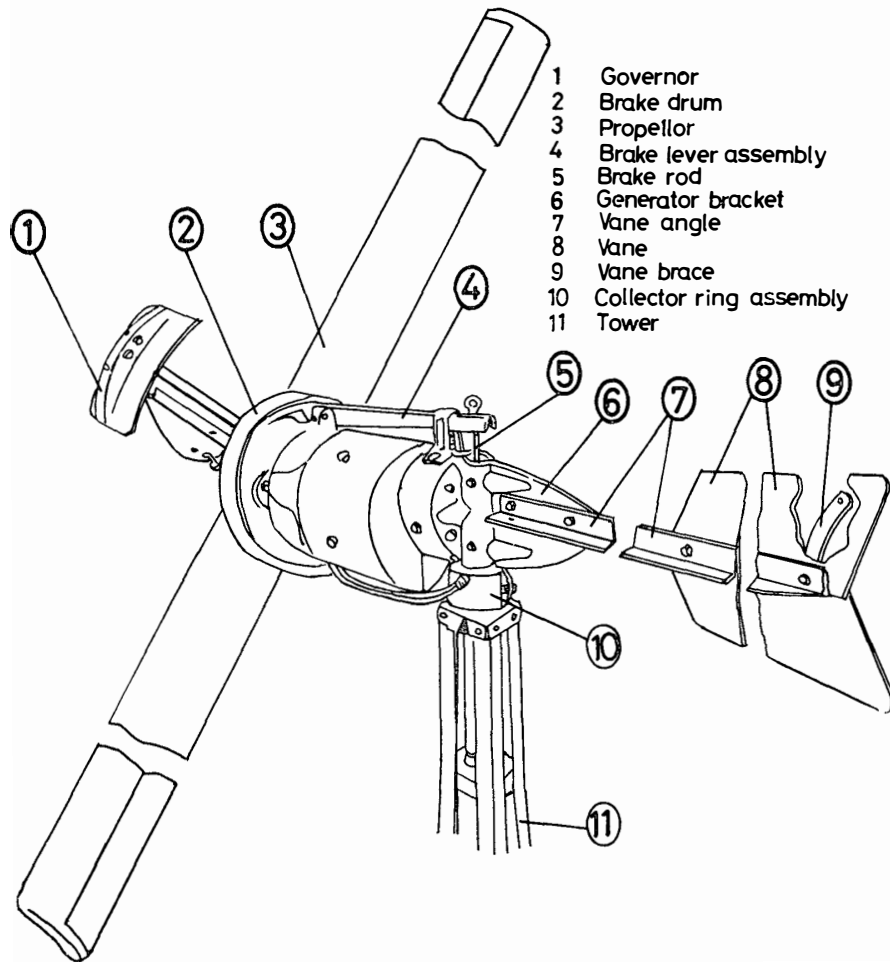


図 5 ウィンチャージャー 1222H 型風車発電機の概略図

Fig. 5. Outline of the Wincharger 1222H-type wind-driven generator.

LAND ANTARCTIC SOCIETY, 1969). 日本隊では風車発電機利用による観測はこれまで計画されなかったが, 無人観測施設の設営に当たって初めて実用化の計画を企てた. 筆者等は風エネルギー利用電源として, 米国ダイナ・テクノロジー社製のウィンチャージャー 1222H 型 (DC12V, 200 W) 風車発電機を選んだ. 1222H 型風車発電機の概観を図 5 に示し, その仕様を以下に表す.

名 称 : Wincharger 1222 H	プロペラ形式 : 木製 2 ブレード (1.8 m ϕ)
発 電 機 : 4 極分巻自動式	定 格 容 量 : DC12 V, 200 W (~10 m/s)
最大電圧 : 15 V	回 転 数 範 囲 : 270/900 RPM
ギヤ比 : 直結	電 圧 制 御 : なし
ブレーキ : ガバナー方式 (空気ブレーキ)	

1222 H 型風車発電機システムは, (1) 発電機本体が一般の重負荷発電機に比べ堅牢・

小型軽量，(2) ブレーキが遠心力を利用した空気ガバナー方式で，構造が極めて簡素である（ガバナーは風速 10 m/s 以上でフラップが開き，ブレーキとして働くと同時にハズミ車効果によって変動風時の際，装置の振動防止の一助となる），(3) 付属のタワーは 4 本足で非常に良く平衡がとれており，設置が簡単である，などの特長を有し，筆者等が風車発電機の選定基準としていた小型・堅牢・組立設置容易・安価・需要を満たす発電能力を有する等々の条件をほぼ充足していた．さらにこの風車発電機は 1975 年 8 月 23 日襲来した台風 6 号（日平均最大風速 18.4 m/s，瞬間最大風速 29.4 m/s）下における動作状況や，後述する低温環境動作試験の結果から，極地域特有の低温あるいは強風圧下（ブリザード・地吹雪）でも安定して動作することが十分期待できるものであった．

4. 風車発電機および試作保温箱の性能試験

4.1. 自然風による風車発電機の動作試験

1975 年 6 月国立極地研究所屋上にウィンチャージャー 1222 H 型風車発電機を設置し，自然風による動作状態を観察した．試験は風車発電機の出力を抵抗負荷で消費させる簡単な回路を使用して，負荷端子における電圧・電流値および 3 杯風速計の信号をペンレコーダで記録した．その結果図 6 に示す風速と出力の関係を得た．■の各測定値は風車発電機の出力が同じ風速に対して必ずしも同一値をとらないことを示している．この原因はデータ測定期間中自然風の風向と風速が激しく変わったためで，風車発電機のプロペラ面が瞬時に変化する風向に完全に追従しえなかった結果生じたものと解釈できる．風車発電機は，図 6 によれば風速 10 m/s でおよそ 125 W の電力を負荷に供給したものと推定できる．そこで試作保温箱 A（定格 100 W のヒータ具備）と B（定格 200 W のヒータ具備）の保温をこの風車発電機の出力で賄うことにすれば，風速 10 m/s の風が吹き続ける環境下において保温箱 A は 41.7 W，保温箱 B は 83.3 W の電力が供給されることになる．したがって両保温箱は，外部温度よりも約 22°C 高い室内温度を保持するものと推定できる．この結果は筆者等が設計目標とした，平均風速 10 m/s，外部温度 -30°C の環境下で室内温度を 0°C 程度に保持する無人観測施設を満足しない．そこで保温箱への供給熱量を増加することを考え，1222 H 型風車発電機の 2 台並列運用を計画した．この場合は風速 10 m/s において保温箱 A には 83.4 W，保温箱 B には 166.6 W の電力供給が期待でき，熱の移動方程式にしたがえば，両保温箱とも外部温度より約 44°C 以上の室内温度を保つ可能性があり，施設の設計目標を十分満たす．

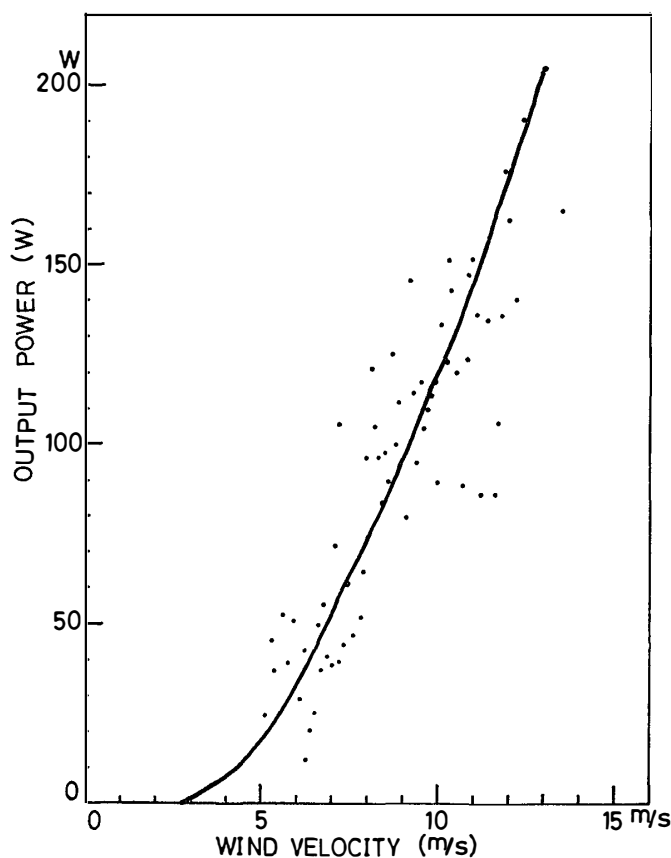


図 6 風速と野外設置されたウィンチャージャー 1222H 型風車
発電機出力の関係

Fig. 6. Relation between wind speed and output power of the Wincharger 1222H-type wind-driven generator which was set up outdoors.

4.2. 環境試験室における風車発電機および保温箱の性能調査

4.1. では自然風下における風車発電機の動作観察結果から、試作する無人観測施設に期待できる保温性能について言及した。

ここでは風車発電機の低温環境下における動作や試作保温箱が実際に有する保温能力を調査する目的で行った環境試験結果について報告する。実験は1975年6月30日から7月5日の期間、株式会社ミサワホーム総合研究所の低温環境実験室において実施した。

4.2.1. 小型風洞を利用した風車発電機の動作実験

実験は図7に示す結線で実施した。結果は表1および図8に示す通り 1222H 型風車発電機の定格性能を必ずしも満たしていない。原因としては、(1) 実験に利用できる環境実験室内空間が十分でなかったために、風車発電機のプロペラ面が風向に対して直角方向をとりえなかったこと、(2) 風洞口の径がプロペラ径より小さかったことなどが考えられ

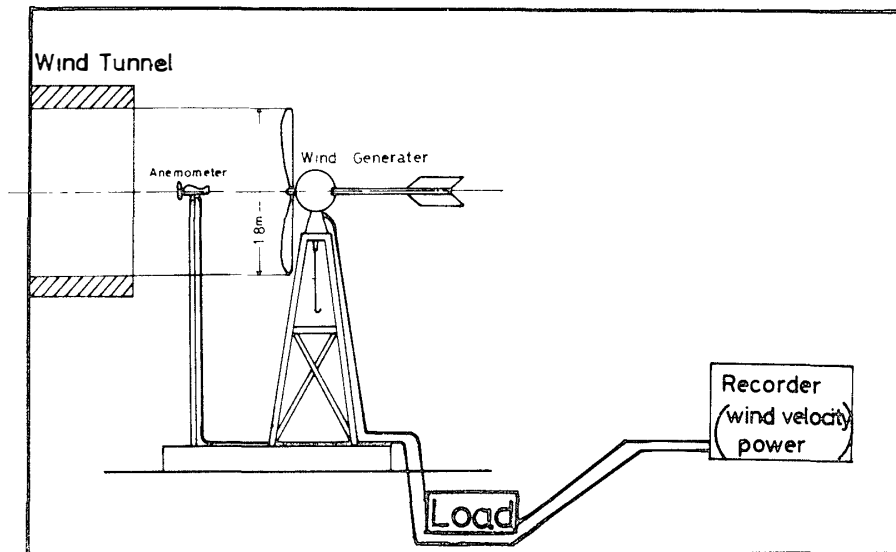


図 7 低温環境実験室における風車発電機の特徴試験

Fig. 7. Schematic diagram of the environmental test of the wind-driven generator in the low-temperature room.

表 1 風車発電機の特徴

Table 1. Characteristics of the wind-driven generator.

Wind velocity (m/s)	Output power (W)*	Remarks
1.3	0	
1.9	0	
2.3	0	
2.9	1	
3.4	1.7	
4.2	4.9	
4.5	9.7	
5.2	17.5	
5.7	27.7	
6.3	41.7	
6.9	54.9	
7.5	68.0	
8.3	86.9	
9.0	98.4	
9.6	123.6	
10.2	138.6	Governor functioning
12.1	157.5	"
15.7	172.9	"

* Load 2.88 Ω

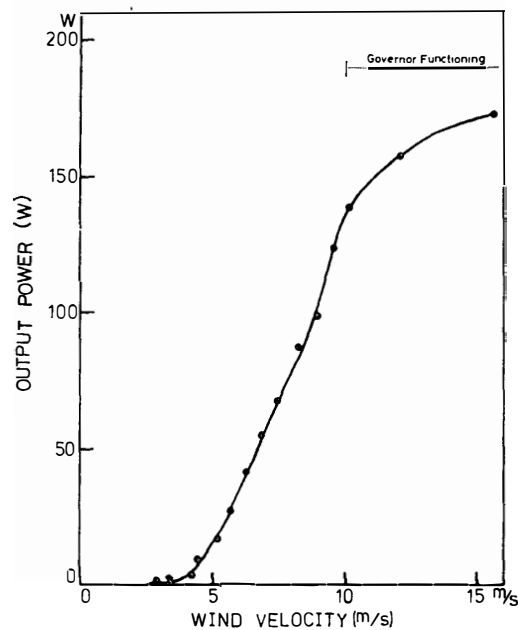


図 8 低温環境実験室における風車発電機の発電特性

Fig. 8. Output power of the wind-driven generator as a function of wind speed which was obtained from the environmental test in the low-temperature room.

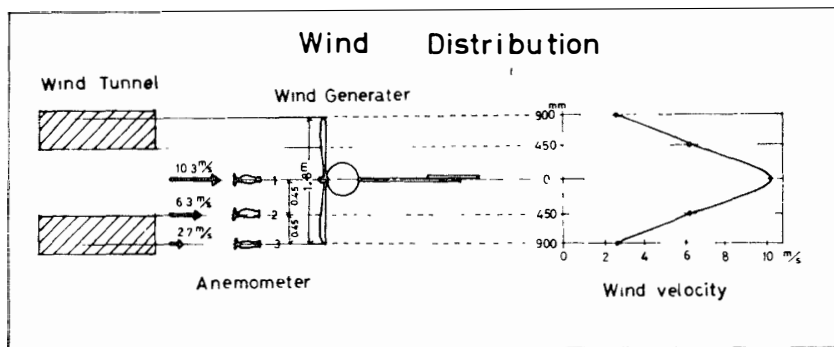


図 9 低温環境実験室における風車発電機に対する風の分布

Fig. 9. Wind velocity distribution near the wind-driven generator in the low-temperature room.

る。ちなみに風洞口より吹き出される風のプロペラ面での風速分布を調べると図9が得られた。したがって本実験によって得られた風速—出力特性(図8)は、1222H型風車発電機の正確な性能を表しているとはいえない。しかしながら図8は風車発電機の発電能力を知る目安としては有効な資料で、風速 10 m/s において約 140 W/台 の出力が期待できる実験事実は、1222H型風車発電機が保温箱 A, B の目標とする保温効果に十分な熱量を供給する可能性を有していると判断できる。

4.2.2. 試作保温箱の性能実験

試作した保温箱が実際に有する保温能力はどの程度であるのか見極めるために低温環境実験を行った。実験は図10のように保温箱を氷点下約 30°C の低温室に搬入して、保温箱内ヒータに適当な電力（熱量）を加えることにより保温箱が確保する室内温度と外気温すなわち低温実験室温度とを熱電対（銅—コンスタンタン）方式でペンレコーダに連続記録し

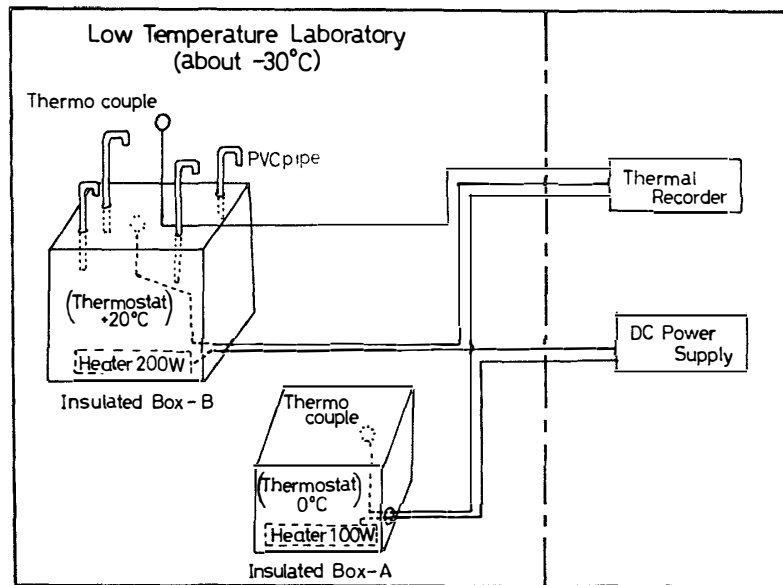


図 10 低温環境実験室における無人観測用保温箱の保温試験

Fig. 10. Thermal test of the heat insulation boxes for an unmanned station in the low-temperature room.

表 2 保温箱 A の保温性能

Table 2. Thermal characteristics of the heat insulation box A.

Experiment	DC power supply (W)	Outside temperature (°C)	Inside temperature (°C)	Temperature difference (°C)	Remarks
No. 1	6.0	-29.0	-12.0	17.0	Thermostat 0°C
No. 2	10.7	-26.0	-11.0	15.0	"
No. 3	16.7	-29.0	- 9.5	19.5	"
No. 4	24.0	-26.0	- 2.0	24.0	"
No. 5	32.7	-28.0	+ 2.0	30.0	"
No. 6	50.5	-28.0	+ 2.0	30.0	"
No. 7	74.9	-29.0	+ 2.0	31.0	"
No. 8	50.5	-26.0	+21.0	47.0	Thermostat +20°C
No. 9	74.9	-25.0	+22.0	47.0	"
No. 10	96.0	-24.0	+22.0	46.0	"

た. 保温箱 A についての実験結果を表 2 に示す. 実験は保温箱内のヒータ回路にサーモスタットによる温度制御回路を取り付けて, その動作確認も兼ねて行った. 表 2 に示す実験 1~7 はサーモスタットの動作設定を 0°C , また実験 8~10 は $+20^{\circ}\text{C}$ に設定した時の実験結果である. 実験結果によれば保温箱 A は約 33 W の熱量供給によって外気温より約 30°C 高い室内温度を確保することが判明した. ところで実験用小型保温箱実験で求めた発泡スチロールの熱伝導率 $8.9 \times 10^{-5}\text{ cal/cm}\cdot\text{s}\cdot\text{K}$ と供給電力 33 W を使って, 式 (1), (2) から保温箱 A の保温能力を算出すると, 外気温と室内温度の差は約 14.8°C となる. したがって保温箱 A は計算値 (保温箱に期待した保温能力) より約 2 倍の保温能力を有していたことになり, 発泡スチロールにベニヤ板およびアルミ薄板を重ね合わせて構成した保温箱外壁は, 断熱効果を高めるうえで極めて有効な方法であるといえる.

4.2.3. 総合試験

試作した無人観測の保護設備系統の効能を総合的に確かめるために低温環境 (約 -30°C) の中で風車発電機を動作させ, その出力によって保温箱の保温を行った. 風車発電機の低温下における動作は極めて良好で, 保温箱への熱量供給も順調に行われた. その結果保温箱 A の室内温度は風洞口からの風速約 11 m/s で風車発電機が回転を続けた時に 0°C を持続した (外気温約 -30°C). 図 11 に実験の概略図を示す.

環境実験室における各種動作実験の結果は, 南極の厳しい自然環境の中で試作無人観測施設が観測機器を十分保護し, 無人による観測記録取得の可能性が大きいことを示唆した.

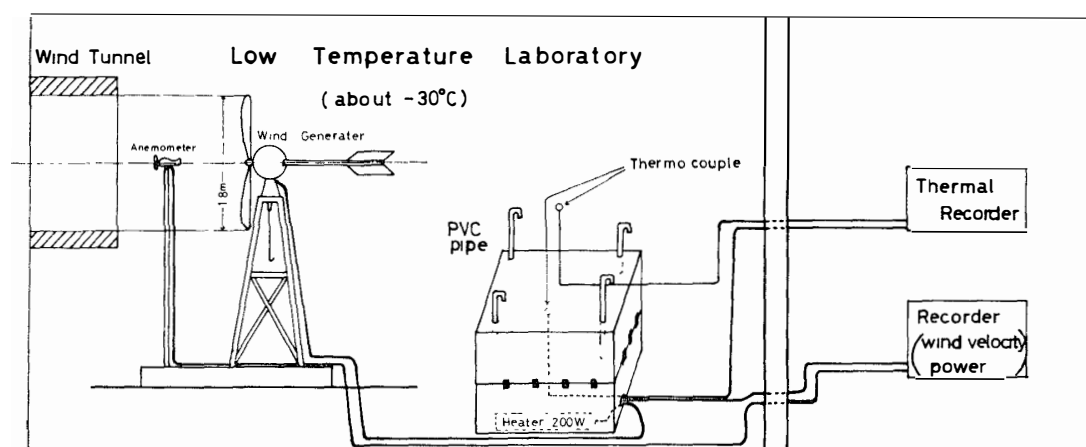


図 11 無人観測施設の低温実験室での環境テスト

Fig. 11. Environmental test of the unmanned observatory in the low-temperature room.

5. 観測装置と電源

観測装置は超高層物理現象の最も基本的なパラメータである地磁気三成分観測を目的として、フラックスゲート磁力計を製作した。装置は無人による観測であることから低温動作・記録方式・消費電力・電源などについて考究すべき点が多かったが、予算や製作期間の制限から以下のことを基本目標として製作した。

- (1) 刻時装置を除くすべての観測系は、氷点下約 30°C の低温下で正常な動作が可能なこと（設置予定場所の年平均気温 -30°C）。
- (2) 記録系統はインクぎれや凍結の恐れがなく、30 mm/h 程度の記録速度のアナログ記録方式で約 120 日の長時間記録が可能なこと（4 カ月毎の保守・点検）。
- (3) 消費電力を極力小さくすること（電源容量が有限）。
- (4) 正確な時刻校正が可能なこと（観測は他地点との同時観測が重要）。

5.1. 観測装置の構成と仕様

試作した無人観測施設の構成は大別すると観測系統（検出部・制御部）、電源系統、保温箱および保温用電源（風車発電機）に別れる。図12に施設の構成概要を示し、図13に観測系統のブロック・ダイアグラムを示す。

5.1.1. 検出部

検出部は三成分分離独立型で構成し、消費電力を極力小さくする目的で $H \cdot Z$ 成分検出

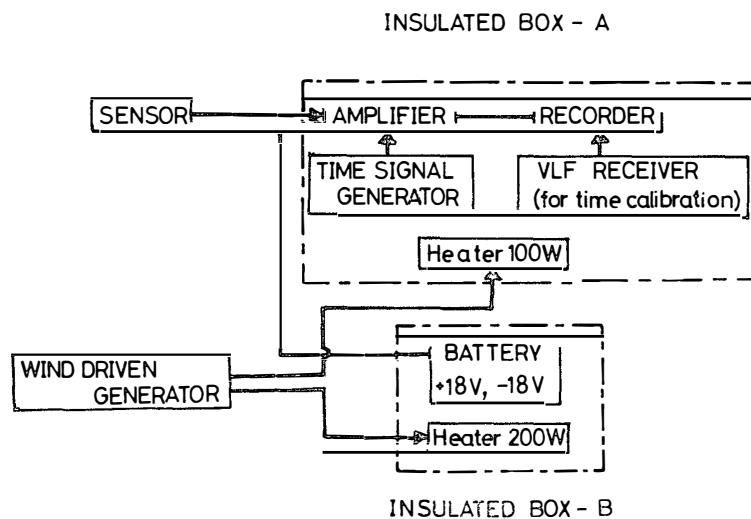


図 12 無人観測所の構成図

Fig. 12. Schematic diagram of the unmanned observatory.

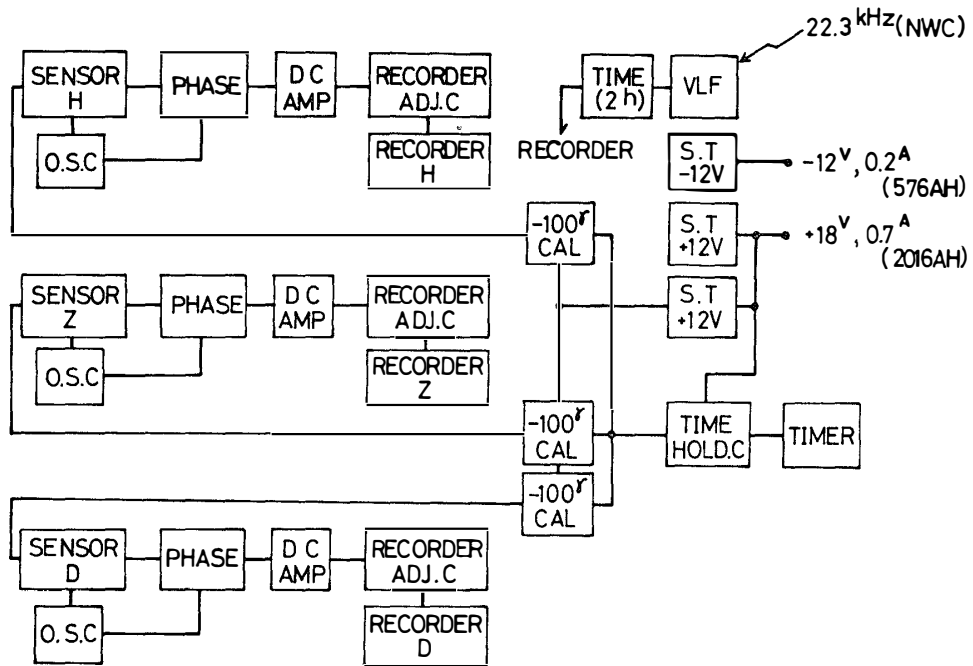


図 13 フラックスゲート磁力計のブロックダイアグラム

Fig. 13. Block diagram of the fluxgate magnetometer.

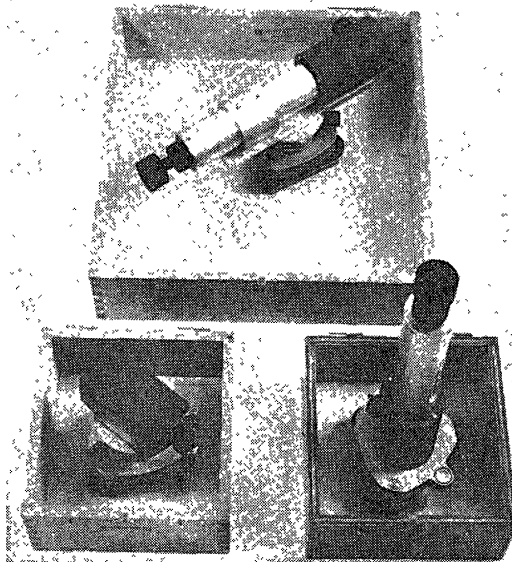


図 14 フラックスゲート磁力計用 H, D, Z 成分検出器

Fig. 14. Fluxgate magnetometer sensors for H, D and Z components.

器の地球磁場打ち消しに永久磁石を用いた。磁場打ち消しの範囲は、H成分：10000～25000 nT，Z成分：35000～55000 nT である。図14に三成分検出部の概観を示す。

5.1.2. 制御部

制御部は増幅器，記録器，刻時信号発生器および VLF 標準信号 (NWC 22.3 kHz) 受信器で構成し，刻時信号発生器(セイコー SQCT-510 水晶時計を使用)の他は氷点下 30°C においても動作可能な特性を有する仕様とした。

(1) 増幅器: 増幅器は $H \cdot D \cdot Z$ 各成分の観測信号増幅部と -100 nT 較正信号発生部の 4 系統から成り，較正信号は毎正時 3 分間出力する。

増幅部の主な仕様は以下の通り，

発振周波数: 17.8 kHz ± 0.1 kHz 動作温度範囲: $-30^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$

出力: ± 50 mV / ± 1250 nT 測定感度: 10 nT/mm (記録紙上)

消費電力: $+18$ V 系 100 mA (毎正時 3 分間は 150 mA)

-18 V 系 60 mA

(2) 記録器: 記録器は低温下および無人で長期正常動作が期待できる放電記録方式の MC642-3B 型記録器 (渡辺測器) を選定し，記録速度 30 mm/h の連続観測で約 120 日の長時間記録を可能にするための改造をした。主な性能を以下に示す。

有効記録幅: 250 mm (± 1250 nT) 記録位置調整: 全記録幅の任意の位置に設定可能

記録方式: 放電方式 記録速度: 30 mm/h の単速，精度 $\pm 1\%$

記録ペン: 3 ペン (間隔 5 mm) ペン速度: 0.5 s/full scale

感度: 0.1 V/full scale 記録紙: 80 m 巻放電紙

直線性: $\pm 0.3\%$ full scale

分解能: $\pm 0.2\%$ full scale

(3) VLF 標準信号受信器: 刻時信号発生器で作る時刻信号は，水晶振動を利用していため低温動作特性が悪い。そこで記録紙上に表示される時刻の校正を目的として，VLF 標準信号受信器を製作した。VLF 標準信号受信器は，オーストラリアの NWC 局から送信される 22.3 kHz 標準電波を受信して，正確な時刻を観測記録系に与える装置である。この 22.3 kHz 人工標準電波は，通常 1000 kW の送信電力で連続送信されているが，2 時間毎に正時の 5 分前に送信を断ち，その 4 分後 (正時の 1 分前) に通常送信時より約 6 dB 大きい電力で送信を再開，丁度正時に元の送信電力 1000 kW に復帰する送信形態を有している。本受信器は，特に正時の 1 分前に約 6 dB 大きな電力で送信を再開する信号の立ち上がりを検知して，約 2 秒幅の $+5$ V パルス電圧を時刻信号として出力する効能をもち，ダイヤル切り換えによって以下のモニターが指示計器または拡声器で可能である。

オーディオモニター (受信信号を約 1.5 kHz 信号に変換する)

シグナルモニター (検波出力, 出力電圧, 入力電源電圧, 定電圧電源電圧, 局部発振器発振レベル, 検波レベル, 時刻信号出力などの表示)

5.1.3. 動作試験

1975年7月下旬, 製作した観測装置と VLF 標準信号受信器の総合動作試験を比較的ノイズの少ない富士山麓裾野において実施した. 結果は良好で, 特に VLF 標準信号の受信は直径約 1 mm, 長さ 20 m のアンテナ線を地上に展張することによって確実に受信し, かつ2時間毎の +5 V パルス出力 (時刻信号) も確認できた. また8月18日から1週間, 氷点下約 20°C の国立極地研究所旧冷凍庫内に検出部・制御部・記録部および VLF 受信器などを無保温状態で設置し, 低温下における動作試験を行った. 各装置は試験中 (1週間連続) 低温障害もなく正常に動作した.

5.2. 観測電源

長期無人観測の電源には, 風車発電機など自然エネルギーを利用する装置と2次電池とを組み合わせる浮動充電方式の電源が経済的に適当と考えるが, 試作した無人観測施設は風車発電機の定格出力が小さいことから, 保温用電源と観測用電源を別系統とした. 保温用電源は3節で述べた 1222 H 型風車発電機を採用し, 観測用電源には空気積層電池 (1次電池) を選んだ. 空気積層電池は, (1) 積層型であるため直列・並列を自由に組み合わせて所要の電圧, 容量を得ることができる, (2) 構造上注液, 補水が不要で液漏れが皆無である, (3) (2) 項により保守が容易で運搬取り扱い等が簡単, (4) 氷点下 30°C において

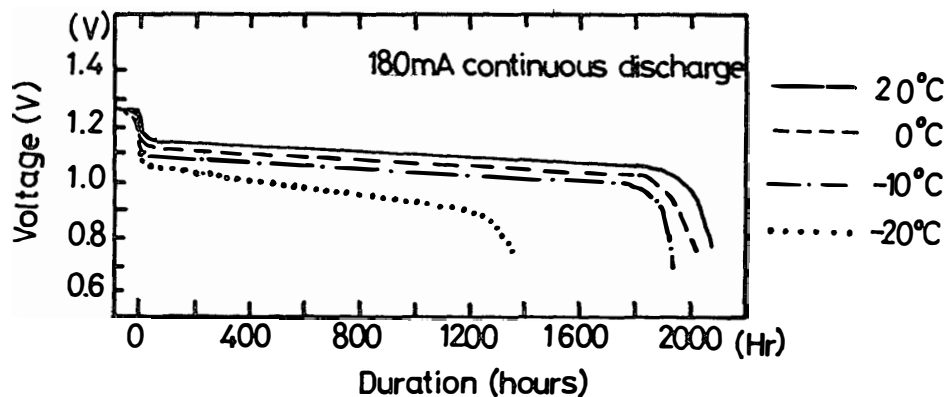


図 15 空気積層電池の放電特性

Fig. 15. Discharge curve of the layer-built air cell as a function of temperature.

も動作可能，などの特長をもつ．このことから筆者等は空気積層電池が南極の厳しい環境下での運用に適していると判断した．図15は空気積層電池の温度に対する放電特性曲線である．図に示す -20°C 放電特性曲線を使用して，約 120 日の連続観測に十分な容量をもつ空気積層電池を観測電源として準備した．

6. 観測結果の概要

1977年5月25日，第18次南極地域観測隊の第2回みずほ旅行隊（寺井他4名）は，無人観測施設建設のために図1のA1点（ $69^{\circ}47'08''\text{S}$ ， $41^{\circ}34'31''\text{E}$ ，標高1470m）に到着した．建設は表3の気象観測記録が示す低温，強風，地吹雪あるいは太陽天頂角が終日90度以下にはならないなどの厳しい環境状態で行われた．5月30日に建設が完了し（図16に施設概略図を示す），昭和基地経由で短波帯のラジオ時刻放送を受信して，装置の時計合わせを行い，21h00m(UT)から観測を開始した．以後，8月23日までの約3カ月間基礎実験結果に基づいて試作した無人観測施設は，ほぼ計画通り正常に動作し，良好な地磁気三成分観測記録を取得した．観測終了間近の8月17日，第3回みずほ旅行隊が装置の時刻較正を行った．昭和基地の基本時計との照合の結果，無人観測装置の時計は $\pm 1\text{s}$ 程度の誤

表3 無人観測施設建設期間中の気象観測記録

Table 3. *Weather condition during the period of the unmanned observatory construction.*

Date (L.T.)	Air temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Atmospheric pressure (mb)	Wind direction	Wind velocity (m/s)	Visibility (km)	Weather
1977						
May 25 (1500)	-24.1	817	ESE	12.0	0.2	☉ ⇄
May 26 (1500)	-26.0	820	E	9.0	5.0	○
May 27 (1500)	-26.0	819	E	13.5	10.0	○
May 28 (1500)	/	/	/	/	/	○
May 29 (1500)	-30.5	815	E	13.5	0.1	○ ⇄
May 30 (1500)	-33.1	826	E	10.0	0.3	○ ⇄
May 31 (1500)	-30.2	837	E	12.0	15.0	○

Notes for the table.

(L.T.) G.M.T. +3 hours ○ Clear ☉ Cloudy ⇄ Blowing snow

差で動作していたことが確認できた。

一方時刻較正用として準備した VLF 標準信号受信器は、1976年10月から 22.3 kHz 標

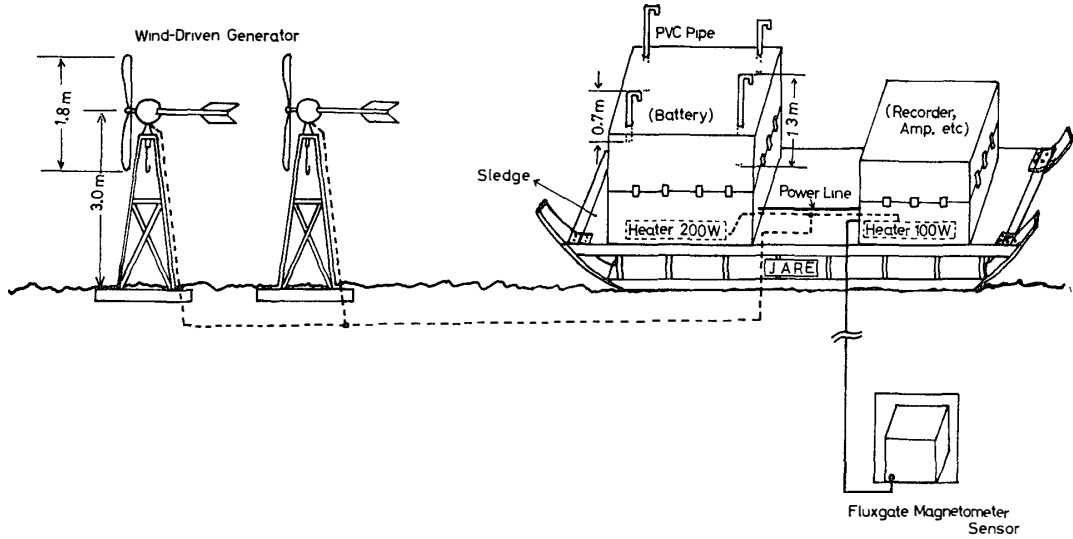


図 16 無人観測施設概略図

Fig. 16. Schematic diagram of the unmanned observatory which was set up in Antarctica.

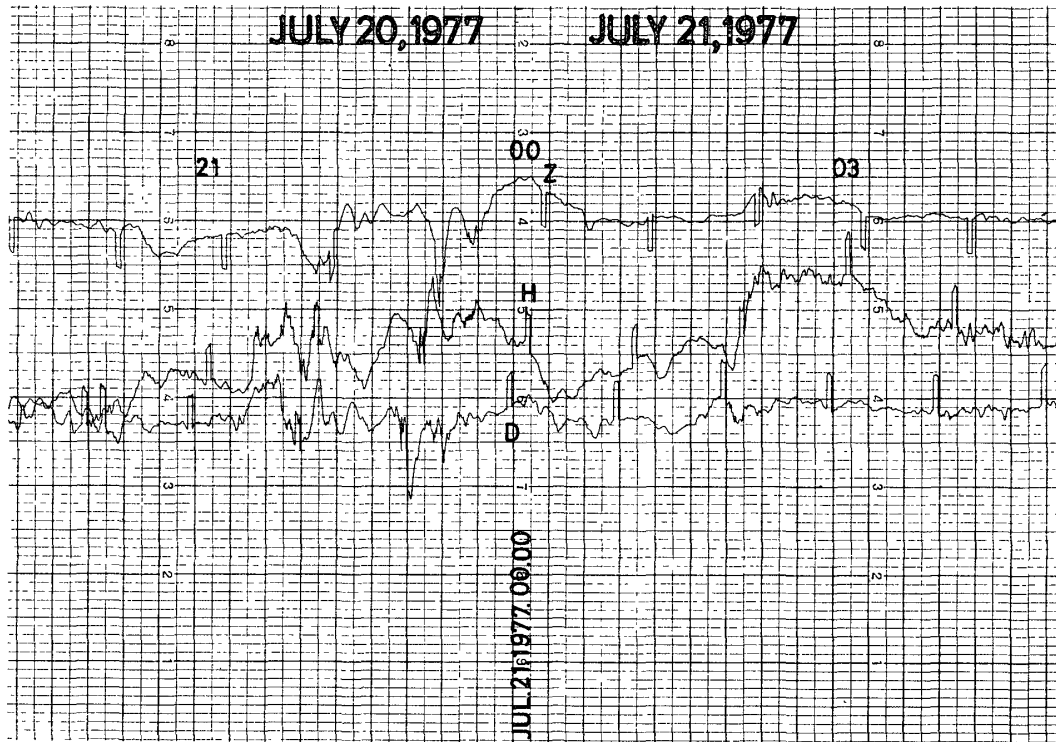


図 17 無人観測点 (A1) で記録された三成分磁場変動の例

Fig. 17. Example of the magnetogram recorded at the unmanned station (A1).

準電波 (NWC 局) の送信変調方式が変わったことから計画通りの機能を果たさなかった。

図17に記録の一部を示す。また図18(a), (b) に観測点群による地磁気変化の比較例を示す。無人観測点 A1 の地磁気 H 成分変化を、昭和基地およびみずほ基地の記録と比較すると、3 地点付近で大きなオーロラ・ブレイクアップ現象が見られる時、その変化の開始にわずかながら時間差が認められる。これは昭和基地で観測したオーロラの動きと良い相関を有し、オーロラの時間空間変動とその電流構造を詳細に見極める際、有力かつ貴重な情報となるであろう。また、3 地点の観測記録と北半球の Iceland Leirvogur ($64^{\circ}11' N$, $21^{\circ}42' W$) の地磁気変化を比較すると非常に良い相関が見られ、これらの場所が互いに地磁気共役点にあることが明らかであり、今後多くの観測例を比較検討することによって、Leirvogur が昭和基地、無人観測点 A1、みずほ基地のいずれの観測地点と最も良い共役性を有するか見極めることが可能であろう。さらに Leirvogur 付近の IMS 地上観測網と昭和基地を中心とした観測網の地磁気同時観測記録から、オーロラに伴って電離層に流れる電流、いわゆるオーロラ・ジェット電流 (AEJ) の微細構造や AEJ の南北両半球の共

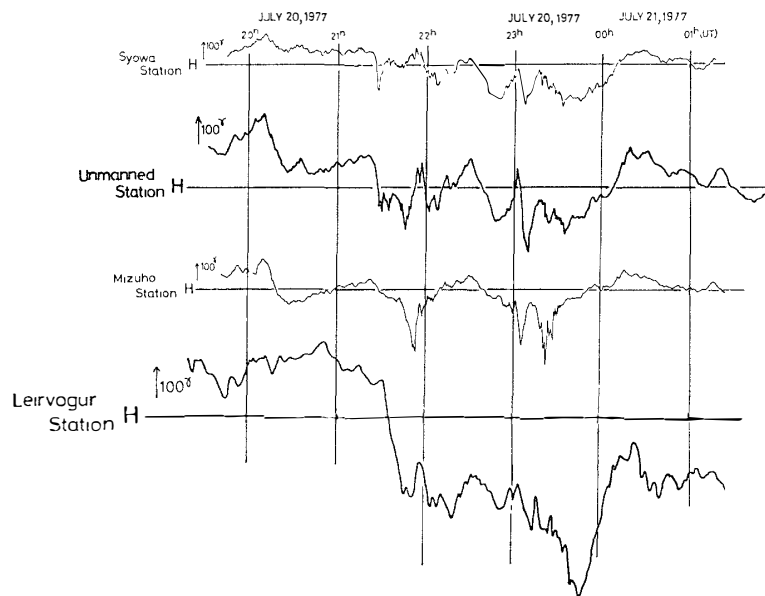


図 18a 昭和、無人 (A1)、みずほおよび Leirvogur における地磁気 H 成分の同時観測記録例 (横線は地磁気の静かな日のレベルを示す)。

Fig. 18a. Example of magnetograms of H component recorded at Syowa, Unmanned (A1), Mizuho and Leirvogur Stations (The cross line indicates the level of geomagnetic quiet day).

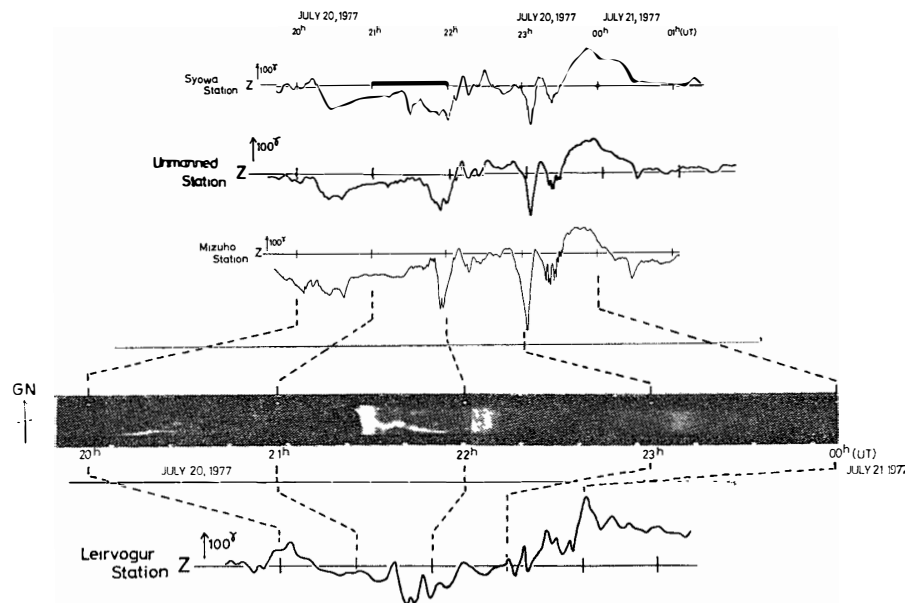


図 18b 昭和, 無人 (A1), みずほおよび Leirvogur で観測された地磁気 Z 成分の変化とオーロラ活動との関係 (横線は地磁気の静かな日のレベルを示す).

Fig. 18b. Relation between auroral activity and magnetic variations of Z component recorded at Syowa, Unmanned and Mizuho Stations in the Southern Hemisphere and at Leirvogur Station in the conjugate area (The cross line indicates the level of geomagnetic quiet day).

役性を吟味する際, 無人観測点 A1 の観測記録の存在は意義深いものがある. これらのことは IMS 計画の成果の一環として今後逐次解析報告する.

7. おわりに

日本南極地域観測隊の点観測から面観測への脱皮は無人による観測を抜きにしては考えられない. 今回報告した試作無人観測施設は現地における観測機器調整法など設置作業に関して改良の余地があったが, 計画した約 120 日の地磁気三成分観測をほぼ満足する形で取得した事実に大きな意義があった. 従来南極観測関係者から実用化が叫ばれてきたところの風車発電機の実用化を初めて試み, 観測に成功したことは, 今後の南極地域観測発展のために貴重な資料を与えるであろう.

最後に基礎実験から環境実験に至るまで, 多くのご意見とご指導を賜った国立極地研究所川口貞男博士, 平沢威男博士および佐野雅史氏に深い謝意を表します. また株式会社ミサワホーム総合研究所稲吉勝一氏には環境実験についてお世話になった. 厚くお礼申し上げ

げる。南極における観測計画遂行に関しては、第18次南極地域観測隊の楠宏隊長以下の献身的協力があった。特に試作無人観測装置が約3カ月の間、極低温下で正常に動作し続け、良好な記録を取得しことは、厳しい環境下で建設作業に携わった第2回みずほ旅行隊（阿部豊雄・森脇喜一・長谷川正道・佐々木秀勝および筆者の一人寺井啓）のご努力に負うところが大きい。また、準備段階でこれを支援した藤井理行・石田直見・藤島博明および外谷健（筆者の一人）等みずほ基地越冬隊員の方々のご協力に支えられた成果である。記して厚く感謝の意を表す。

文 献

- 上田 豊 (1971): 東南極みずほ高原付近の気象状態について. 南極資料, **41**, 42-61.
- 鮎川 勝 (1978): 第18次隊による南極での IMS 観測. IMS シンポジウム1978年, 東京大学宇宙航空研究所. 220-227.
- 鮎川 勝・平沢威男・国分 征 (1976): 南極における無人観測施設の設置計画. IMS シンポジウム1976年, 東京大学宇宙航空研究所. 124-129.
- 鮎川 勝・藤沢 格・外谷 健・阿部豊雄・坂本純一・寺井 啓 (1978): 無人観測点 (A1) における超高層観測. 日本南極地域観測隊第18次隊報告, 95-101.
- 栗野誠一 (1973): 風力発電. 極地, **9**(1), 20-25.
- AWANO, S., MURAYAMA, M. and TAKEUCHI, S. (1976): Wind electric generator NU-101 driven by axial-flow air-turbine with stator. Mem. Natl Inst. Polar Res., Ser. F(Logistics), **2**, 1-47.
- CUTFIELD, S. K. (1970): The first year at Vanda Station. Antarctic, **5** (9), 371-374.
- 伊藤正則・中尾正義・西山 孝・高野共平 (1974): 南極における風力発電 (II). 極地, **9**(2), 8-13.
- 守田康太郎 (1966): 極地気象学. 極地, **2**(2), 2-9.
- NAGATA, T., HIRASAWA, T., AYUKAWA, M. and FUKUNISHI, H. (1976): Multipoint ground observations around Syowa Station, Antarctica by means of unmanned and automatic observatories. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **6**, 44-51.
- 南極地域観測統合推進本部 (1973): 日本南極地域観測隊第13次隊報告, 214-215.
- NEW ZEALAND ANTARCTIC SOCIETY (1969): Vanda news. Antarctic, **5**(7), 298.
- 西堀栄三郎 (1958): 南極越冬記. 東京, 岩波, 269 p. (岩波新書 318).
- 西山 孝・高野共平 (1971): 南極における風力発電. 極地, **7**(1), 31-36.
- 佐々木 浩 (1974): 東南極みずほ観測拠点における地上気象観測. 南極資料, **50**, 21-28.
- 山田知充 (1974): 昭和基地沿岸からみずほ観測拠点に至る地域の気象状態について. 南極資料, **50**, 1-20.
- YAMADA, T. and NARITA, H. (1975): Snow temperature at 10 meters below the surface in Mizuho Plateau in 1972-1973. JARE Data Rep., **27**(Glaciol.), 145.

(1978年11月8日受理)