

## ポーラー・パトロール気球 (PPB) I. 気球システム

西村 純\*・小玉正弘\*\*・鶴田浩一郎\*・福西 浩\*\*\*

### Polar Patrol Balloon: I. Balloon System

Jun NISHIMURA\*, Masahiro KODAMA\*\*, Koichiro TSURUDA\*  
and Hiroshi FUKUNISHI\*\*\*

**Abstract:** Because of the importance of the balloon observations in the polar region, a project, Polar Patrol Balloon, is proposed in which a balloon will be able to float and observe around Antarctica for a month. In this project, the balloons are to be launched from some bases in Antarctica where there is no sunrise in the winter and no sunset in the summer, and a zero pressure balloon can maintain its altitude for one month by dropping a small amount of ballast.

A study of meteorological feasibility had been made for this project, and it was found that a period for the balloon to fly around the pole is about one week in the winter and a few weeks in the summer at an altitude of 30 km. The deviation of the trajectory from a circle is smaller in the summer season. A feasibility study was also made for power supply, on board memory storing observed data, and auto-ballasting system to perform the flight of about one month. The balloon will be located by ARGOS systems during the flights. Some merits of possible international collaboration for this project are also discussed.

**要旨:** 極域における気球観測の重要性が高まるに伴い、一カ月に及ぶ長時間気球観測計画として、ポーラー・パトロール気球が提案されるに至った。この計画においては、気球は南極にある観測基地から放球されることになる。厳冬期および盛夏期にはそれぞれ日の出および日没がないことを利用することにより、ゼロプレッシャー気球を比較的少量のバラスト投下で一カ月程度等高度を維持することは可能であると考えられる。

これまでの気象学的検討によれば、30 km 高度を飛行する場合、冬季なら数日間、夏季では数週間で南極大陸周縁を周回できる。航跡の緯度円からのずれは夏季の方が冬季に比べずっと少ないので、夏季の方がこの計画の実現性は高い。さらに、一カ月程度の観測飛行を行うために必要な電源、データ収録用オンボードメモリー、飛行中のオートバラスト機構などについても実現性の検討を進めている。気球位置についてはアルゴス・システムを利用する計画である。外国所属の基地の協力を得られた場合に期待される利点についても付記する。

### 1. はじめに

ポーラー・パトロール気球は極地方の上空を周回する気球観測のシステムである。極を中心にして数日以上かけて気球が周回することにより、極地方特有の現象を長期間にわたっ

\* 宇宙科学研究所. The Institute of Space and Astronautical Science, 6-1, Komaba 4-chome, Meguro-ku, Tokyo 153.

\*\* 山梨医科大学. Yamanashi Medical College, Tamaho, Nakakoma, Yamanashi 409-38.

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

て系統的に観測することができる。最初にこの考えは十数年前に小玉によって提案された。上空に長期間浮遊するにはスーパープレッシャー 気球が必要だと考えられ、技術的な困難さもあって見送りとなった。2-3 年前、鶴田により宇宙科学研究所が計画中の極軌道衛星 EXOS-D との同時観測の重要性が指摘されるに至り、あらためて技術的な検討が行われた。極地方特有の日照条件を考えると必ずしもスーパープレッシャー 気球の使用は必要ではなく、慣用のゼロプレッシャー気球でも実現性のあることがわかってきた。

このような観点から国立極地研究所では、将来計画の一環としてこのプロジェクトをとりあげることになった。すなわち、気球専門委員会の中にポーラー・パトロールの気球システムおよび観測について2つのワーキンググループを設け、実現の可能性、開発方針、観測の重要性について検討することになった。

気球システムについてのワーキンググループの第1次検討結果を以下に述べる。

## 2. ポーラー・パトロール気球

ポーラー・パトロール気球は南極の観測基地から放球する。20 km 以上の高度に昇った気球は冬季には偏西風に、夏季には偏東風に乗ってそれぞれ東まわり、西まわりに極を中心に周回する。一周して昭和基地上空に戻ってきた時、コマンド電波で機上にためたデータを地上に電送するシステムである。まずこのシステムを成り立たせるには、南極上空の気象状態を調べ、どの季節が一番適しているかを検討する必要がある。次いで、長期間にわたって気球が浮遊可能かどうか、気球追尾の方式、観測データを機上にためる方策、電源などが問題点である。

## 3. 気球について

スーパープレッシャー気球は排気口のない気球で、上空では内圧が外気圧より勝っている気球である。気球内ガス温度の変化があっても容積が変動しないので、浮力は一定である。同一高度を長時間にわたって浮遊することができる。スーパープレッシャー気球はこのようによい特性をもっているが、気球強度などに技術的問題があり、宇宙観測器程度の重量の観測器を積んで高度 30 km に安定して浮遊できるものは世界的にもまだ完成していない。

一般の気球観測に使われているものは、ゼロプレッシャー気球と呼ばれるもので、気球下部に排気口をもっているために、気球内外圧の差はほとんどない。数 100 kg の観測器を搭載して高度 30 km 以上に達することは、三陸の大気球観測所でもたびたび行われている。ただ気球ガス温度の変動があると浮力が変化し、これを補償するためにバラストを投下しなければならない。1日に1回ずつ日の出、日の入りがあると、1日あたり全重量の約 10% のバラストを投下する必要がある、5-6 日程度の浮遊が限界だとされている。

極地方の冬季、夏季では日の出、日の入りがないので、バラストの消費が少なく、1 ヲ月

程度の一定高度浮遊が可能のように思われる。そこでポーラー・パトロール気球にはゼロプレッシャー気球を採用する方針で検討をすすめることにした。このためには、気球高度を一定にたもつオートバラストシステムが必要で、現在、宇宙科学研究所で検討、開発を行っているところである。

#### 4. 気象学上の検討

まず放球可能な時期の選定である。日の出入がないという条件から、夏の全日照期(11月末-1月中旬)と冬の日陰期(5月末-7月中旬)にしばって考えることにする。昭和基地では、すでに年間数機の放球が行われており、この経験によると、夏季には放球可能の日が多い。一方、冬季は地上気象の変動が激しいために、放球のチャンスを見つけることは難しくなってくる。

気球高度での風については、気象衛星観測結果から計算されたデータを図1と図2に示しておいた。南緯70度の地点では、高度30km程度を例にとると、夏季は東西風は安定しており、南北風はほとんどなく、また分散も少ない。したがって、気球の航跡は極を中心と

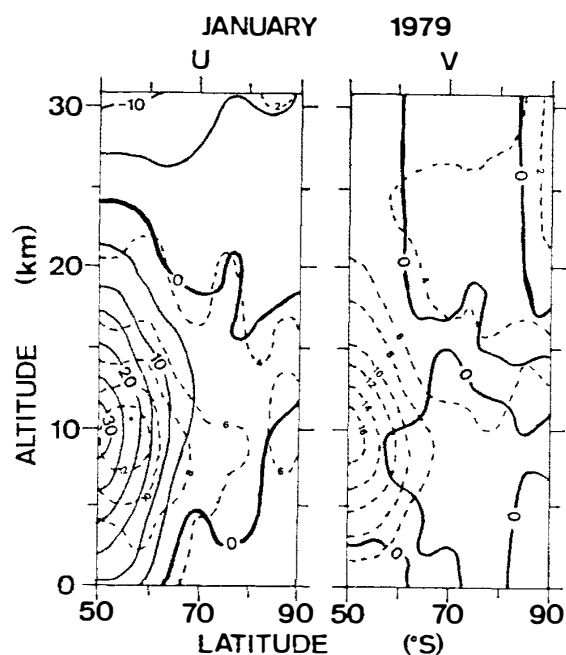


図1 南極域の夏季上層風 (U: 東西成分, V: 南北成分). 実線は月平均値, 点線は分散値を示す (単位: m/s). BENGSSON *et al.* (1982) の資料による

Fig. 1. Wind system in the altitude range of 0-30 km in the austral summer. The symbols U and V represent the east-west and north-south components, respectively. The solid and dotted lines represent the monthly mean values and deviations in unit of m/s (after BENGSSON *et al.*, 1982).

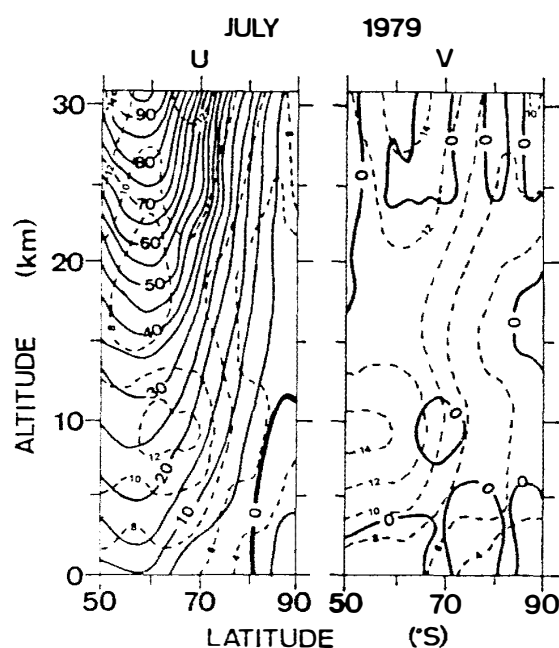


図2 南極域の冬季上層風. 記号などは図1と同様. BENGSSON *et al.* (1982) の資料による  
Fig. 2. Wind system in the altitude range of 0-30 km in the austral winter. The notation is the same as that in Fig. 1 (after BENGSSON *et al.*, 1982).

する比較的きれいな円を描くことが期待される。これに反して冬季では、両成分とも分散が大きく、気球がひとまわりして昭和基地付近に戻って来る公算は少なくなる。これは冬季には成層圏の突然昇温などで気圧の配置が著しく乱れることがおきるためである (表 1)。

表 1 気象学的実現性のまとめ

Table 1. Summary of meteorological conditions at the altitude of 30 km around the mid-summer and mid-winter in Antarctica and predicted trajectories of the polar patrol balloon.

季 節	盛 夏 (11月末-1月中旬)	厳 冬 (5月末-7月中旬)
平 均 風 向 風 速	偏 東 風 25 km/h	偏 西 風 180 km/h
風 速 分 散 { 東 西 成 分 南 北 成 分 }	{ $\pm 10$ km/h }	{ $\pm 43$ km/h }
平 均 周 回 時 間	約 22 日 西 回 り	約 4 日 東 回 り
平 均 南 北 変 位	$\pm 2^\circ$ ( $\pm 200$ km)	$\pm 6^\circ$ ( $\pm 700$ km)
予 想 航 跡	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ほぼ緯度円上</li> <li>・ 周回率-10 割</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 波動成分顕著</li> <li>・ 突然昇温で風向逆転もあり得る</li> </ul>

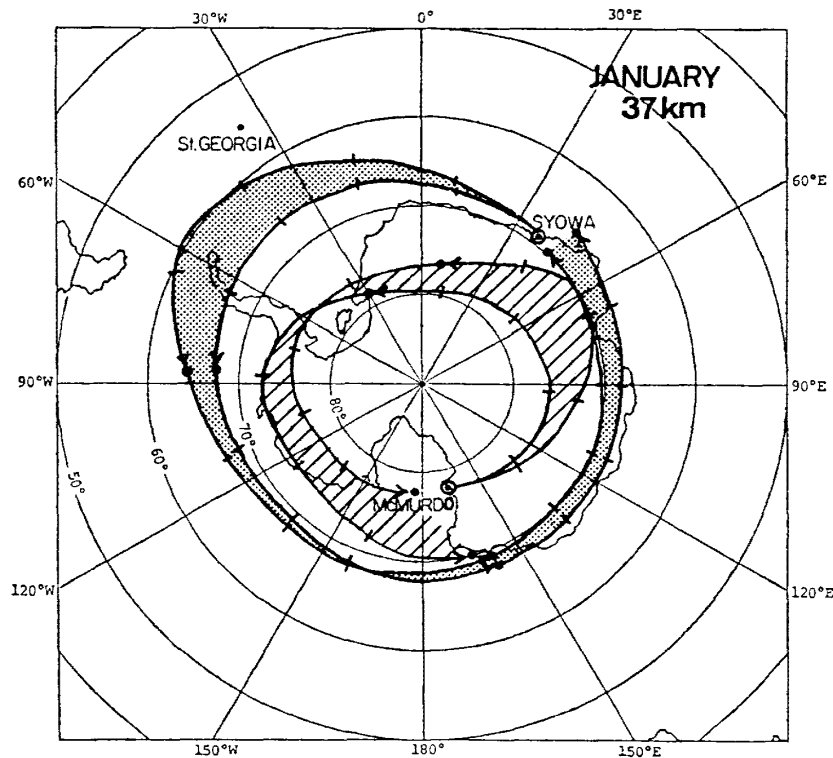


図 3 夏季の予想航跡。北半球 5 mb 面天気図 (NASA, 1978) より 1976 年 7 月 7-21 日の資料を用いて作成。放球後 1 日ごとに短線、5 日ごとに黒丸を記入してある

Fig. 3. Predicted trajectories of the Polar Patrol Balloon at the altitude of 37 km. The trajectories are estimated from the 5 mb northern-hemisphere weather maps in the period of July 7-21, 1976 presented by NASA (1978). The location of the balloon is shown by tick marks every day and by circles every five days.

表1からわかるように、高度 30 km での夏季の1周日数は約 20 日間、冬季の1周日数は4日程度のものである。高度が変わると風速が変わり、1周日数も変動する。たとえば夏季に高度 25 km および 35 km を取ると、1周日数はそれぞれ 40 日および 10 日程度となる。1周の日数を短くしようとすればできるだけ高々度に昇ることが望ましいことがわかる。

次に航路の分散を調べるために、風向風速についてデータの多い北半球の結果を参照して概算を行った(図3, 4)。航路の計算は NASA の天気図(週刊)およびベルリン自由大学の天気図(日刊)を用い、それぞれ1週、1日の風系は一定として行ったものである。当初推定したように、この例でも夏季での南北変位は少なく、一方冬季ではかなり南北変位が大きく、特に日の出、日没のある緯度にまで分散してしまうことに問題のあることがわかる。

上空での輻射温度気温の変化は、気球のガス温度の変化をもたらし、ゼロプレッシャー気球では浮力変動をもたらし、一定高度を保つためにはバラストを投下する必要がある。ガス温度の変動の頻度が高いとバラストの消費量がふえて、長期間にわたる浮遊が不可能になる。1975年に小型のスーパープレッシャー気球による地球周回の実験、Tropical Wind, Energy-conversion and Reference Level Experiment (TWERLE) がアメリカとフランスの共同実験で

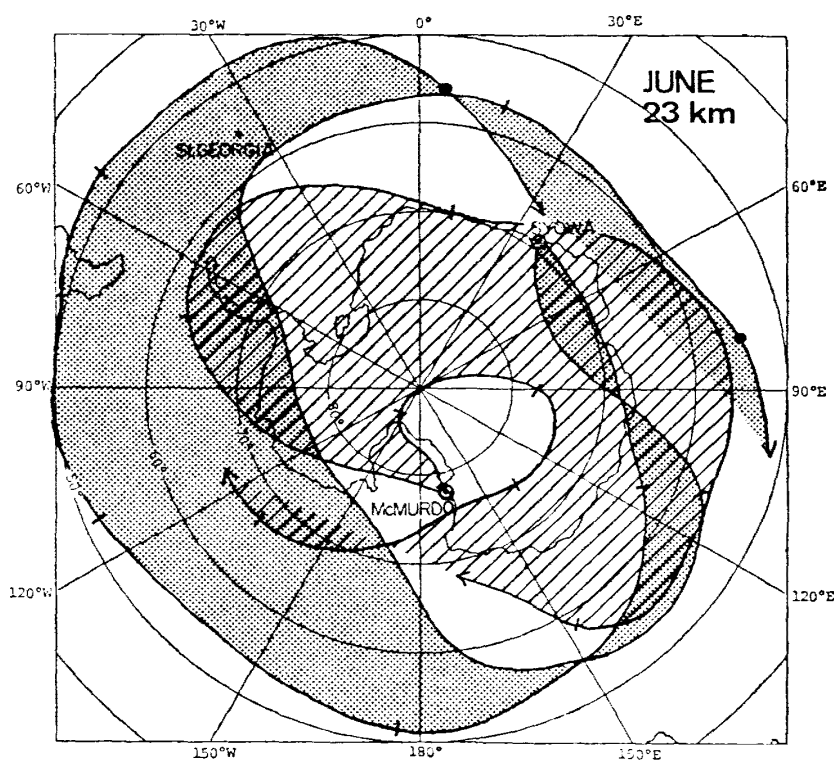


図4 冬季の予想航跡。北半球 30 mb 面天気図 (INST. METEOROL. FUB, 1982) より 1982 年 12 月 1-5 日の資料を用いて作成。記号は図3と同様

Fig. 4. Predicted trajectories of the Polar Patrol Balloon at the altitude of 23 km in the austral winter. The trajectories are estimated by using the 30 mb northern-hemisphere weather maps in the period of December 1-5, 1982 (INST. METEOROL. FUB, 1982). The notation is the same as that in Fig. 3.

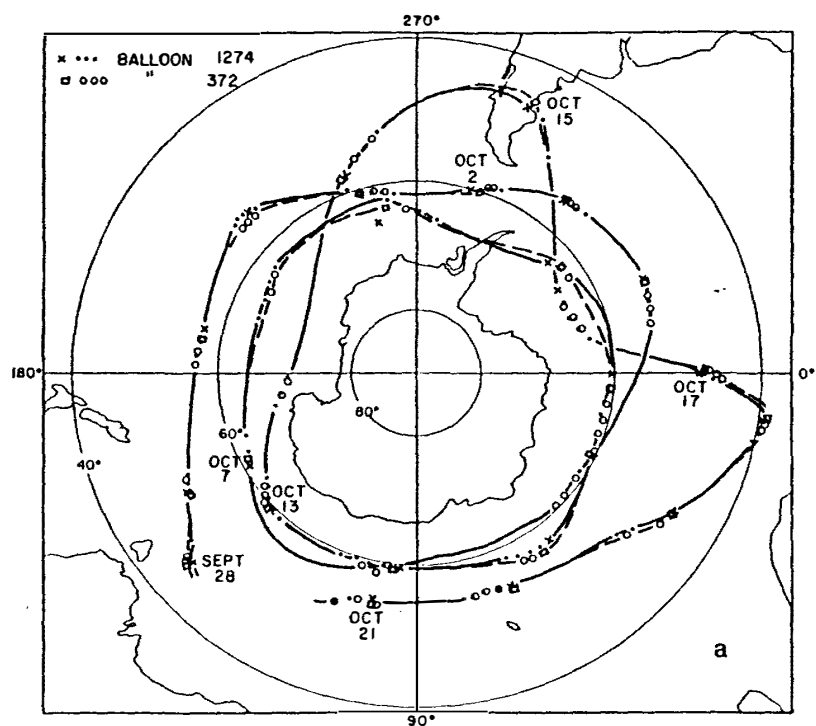


図 5 TWERLE 気球の航跡 (TWERLE TEAM, 1977 による)

Fig. 5. Trajectories of the balloons launched in the TWERLE experiment (after TWERLE TEAM, 1977).

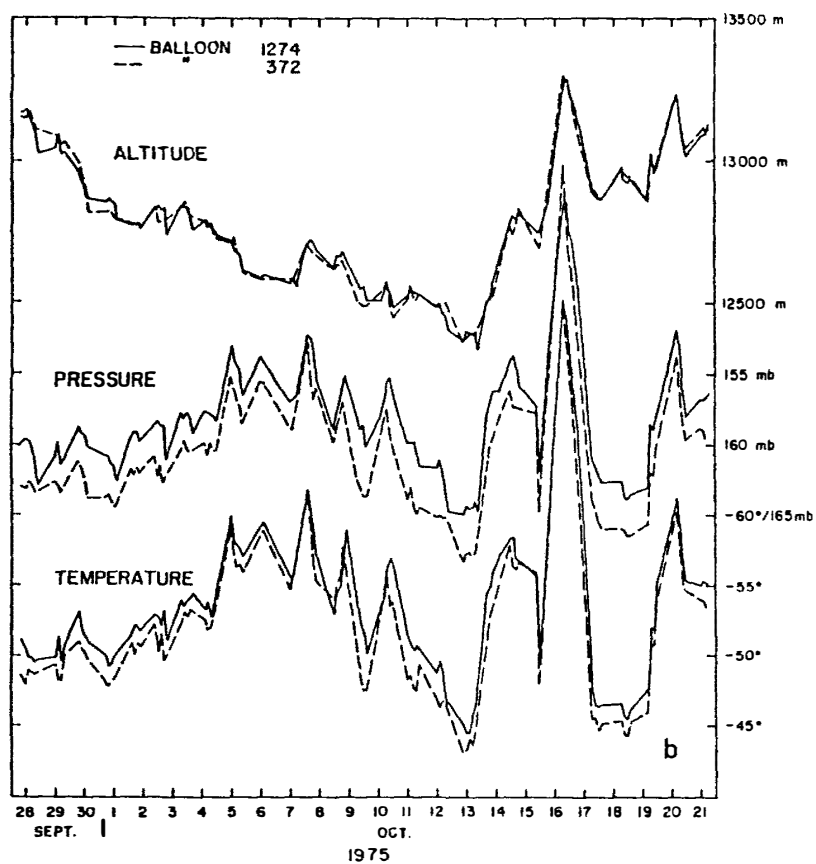


図 6 TWERLE 気球 (図 5 に示したもの) の高度、気圧および気温測定結果 (TWERLE TEAM, 1977 による)

Fig. 6. Measurements of altitude, pressure and temperature by the TWERLE balloons shown in Fig. 5 (after TWERLE TEAM, 1977).

行われた。このうち極地方に浮遊した2個の気球についてのデータを示したのが図5および図6である。この気球は高度13 km付近を浮遊したものであるため、条件が異なるが、9月から10月中旬にかけて温度の変動は比較的少ない。

10月15日付近の大きな変動はアンデスの山越えの気流によるもので、局所的なものと考えられている。10月中旬までの外気温変動は $10^{\circ}\text{C}$ 程度のものであるので、全重量の数%のバラスト投下で十分に補償できる程度のものである。上空における輻射温度の詳しい様子については現在解析を行っている。

## 5. 追尾およびデータ電送

受信基地から約500 kmの範囲は、測距、コマンド、データ受信が可能で気球位置の確認は非常に正確に行うことができる。この領域を超えた時は衛星中継のアルゴスシステムを利用することにより、1時間ないし2時間ごとに気球位置の追尾を行うことを考えている。また、若干のデータもこのシステムで電送することが可能である。

大量の観測データの電送は、2通り考えることができる。一つは国際協力で南緯70度付近に存在する外国基地での受信である。いわゆるリアルタイムデータの受信である。もう一つは人工衛星と似たシステムで、機上の大容量メモリーにいったんデータを取り入れ、1周して基地上空付近にもどった時、コマンドで呼び出してデータをはき出させる方式である。小型大容量メモリーは国立極地研究所でも開発中であり、また現在の日本の技術水準から考えると20メガバイト程度のテープレコーダーは使用できるものと思われる。この容量では、1日に約0.5-1メガバイト、1秒に5-10バイト程度にあたるので、不十分ではあるが一応観測の目的を達することができると考えている。

## 6. 搭載機器および電源

搭載機器として最少限必要なものは、送信器、コマンド受信器、アルゴス送信器、オートバラスト、オンボードメモリーである。観測器およびこれらの電力をまかなう電源としては、日照のある夏季には太陽電池が考えられる。太陽電池の出力は $100\text{ W/m}^2$ 程度である。現在、国立極地研究所でアイスランドの無人観測所の電源として使用している経験もあるので、その経験をもとに考えていくことにしたい。日照側に50 cm角程度の太陽電池を考えると、20-30 Wの電力の確保は可能になる。この電力を蓄えるための二次電池も必要で、その容量は現状では鉛蓄電池、ニッケルカドミとともに、 $20\text{ Wh/kg}$ 程度のものである。

一次電池としては、現在気球観測に使用されている効率のよいLiF電池を考えると、容量は $200\text{ Wh/kg}$ で約1桁効率がよい。もし、太陽電池によらずLiFのみを電力源とし、20 W程度の消費を考えると1日に約2 kg、10日で約20 kg程度の電池が必要なことになる。

## 7. まとめと考察

ワーキンググループが発足してまだ日が浅いために、検討不十分な面もあるが、現状でわかったことを列記する。

1) 南極地方の気象の解析の結果、放球条件、航路の安定性を考えると夏季が望ましい。ただしこの場合、1周する日数は高度 30 km で約 1 カ月程度となる。1 周日数を減らすためには高度をさらに上げる必要がある。

2) 技術的な問題を考慮すると、ゼロプレッシャー気球が实际的である。この場合、効率のよいオートバラストシステムの開発が必要である。

3) 気球の追尾は主としてアルゴスシステムにたよる。データはいったんオンボードメモリーに取り入れ、1 周後基地上空にきた時取得する。メモリーとしては毎秒 5-10 バイト程度のものが可能である。外国基地からのリアルタイムデータ受信も検討する。

4) 20-30 W の電力消費を考え、主として太陽電池でこれを供給する。

今後の方針としては国際協力の可能性の検討、特に、米国のマクマード基地が昭和基地の約 10 度南に位置するため、同時放球の可能性の打診および諸搭載機器の開発検討を行いたいと考えている。さしあたり本年度は、気象関係のさらに詳細な解析、オートバラストの開発、コマンドシステムの整備などを行い、3 年後にはテスト飛翔を行うスケジュールを考えている。ポーラー・パトロール気球という新しいシステムの完成によって、極地方におきる諸現象解明に新局面がひらかれることを期待している。

## 謝 辞

ポーラー・パトロール気球計画は、昭和 59 年度より国立極地研究所の開発計画として認められ、現在国立極地研究所宙空専門委員会気球分科会の中に、気球システムと観測に関する 2 つの作業部会が設置され、検討を進めている。本論文は気球システム作業部会での検討結果に基づいた報告である。ここで、作業部会のメンバーである宇宙科学研究所の太田茂雄氏、山上隆正氏、国立極地研究所の山岸久雄氏、宮岡 宏氏に心から謝意を表する。また、宇宙科学研究所（名古屋大学水圏科学研究所）の山中大学氏からは気球の予想飛翔軌道の計算などに多大なるご尽力をいただいた。ここに記して深謝する。

## 文 献

- BENGSSON, L., KANAMITSU, M., KÅLLBERG, P. and UPPALA, S. (1982): FGGE research activities at ECMWF. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **63**, 277-303.
- INSTITUT FÜR METEOROLOGIE, FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN (1982): Berliner Wetterkarte, Dezember 1982.
- NASA (1978): Synoptic analyses, 5-, 2-, 1-, and 0.4-millibar surfaces for July 1976 through June 1977. *NASA Ref. Publ.*, **1032**, 223 p.
- TWERLE TEAM (1977): The TWERLE experiment. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **58**, 936-948.

(1984 年 4 月 23 日受理)