

アルゴスシステムの気球利用試験

太田 茂雄・西村 純・広沢 春任・山上 隆正

(1985年5月31日受理)

ARGOS System Used for Balloon Observation

By

S. OHTA, J. NISHIMURA, H. HIROSAWA and T. YAMAGAMI

Abstract: The ARGOS system has been adopted for the tracking of balloons and the data taking for a balloon of long distance. Two flight tests were carried out at SBC in 1983 and 1984. The tracking and data taking were made up to about 2000 km in 1984, and the results were satisfactory.

1. 目 的

宇宙科学研究所では気球の長時間フライトを行なう手段としてサイクリング気球、ブーメラン気球、パトロール気球などの気球コントロール方式の開発を行ない科学観測に応用してきた。将来計画としては、更に長時間の気球フライトを目指した大洋横断気球および極地パトロール気球の構想がある。この内、極地パトロール気球の計画については国立極地研究所において具体化しつつある。この計画は南極の上層風を利用した長時間フライト法で、昭和基地から気球を放球し、オートレベルコントロールで高度 30 km 付近を浮遊すると、約 20 日間で南極上空を一周する[1]。この時、テレメータレンジ外における気球位置を確定、気球高度、観測器温度および電圧などの情報を得るためアルゴスシステムの利用を予定している。このため、1983年および1984年に三陸大気球観測所において、アルゴスシステム利用の地上実験および気球実験を行ないデータ収集の頻度、位置検出の頻度および精度、フランスのサービスアルゴスよりのオンラインデータの取得など基礎的なデータを得た。

本稿ではこれらの実験ならびにその結果について述べる。

2. アルゴスシステム

2-1 アルゴスシステムの概要

アルゴスシステムはフランスの CNES (国立宇宙開発センタ)、アメリカの NASA (航空宇宙局) および NOAA (海洋大気局) とが共同開発したもので、全地球上に分布する気

象、海洋、資源観測などのビーコンからの観測データを衛星リンクによって収集するものである。

各ビーコン（プラットフォーム）の送信周波数は全て 401.65 MHz となっており、定められた時間間隔で送信する。この送信間隔は位置検出を行なうものについては 40～60 秒、データ収集のみのものについては 100～200 秒に決められている。衛星では先着順にデータが受け付けられ、衛星内セントラルメモリに記憶される。衛星内受信機に同時に数データ到着した場合には、ドップラ周波数の違いによって分離される。分離可能な場合は 4 周波数まで同時に受信できる。衛星が NOAA テレメータ受信局の上空に達した時、コマンドにより衛星内セントラルメモリから高速でデータが送り出され、CNES のデータ処理センタへ送られる。処理センタでは地球上に 11 局設置された衛星軌道監視局からのデータを得て正確な衛星軌道を把握し、ビーコンの位置を計算して観測データと共に各利用者に配布する。又、衛星はビーコンからの電波を受信するとそれを直ちに折返し 136.77 MHz および 137.77 MHz の周波数で送信する機能も有している。利用者が直接受信装置を所有しておれば、リアルタイムでデータを得ることもできる。

2-2 アルゴス衛星

アルゴスシステムは現在 NOAA 7 号および 8 号の 2 個の衛星によって運用されている。この衛星は極をめぐる円軌道をとっており、周期は約 101 分である。2 つの衛星の軌道面は 60 度傾斜している。衛星は太陽周期軌道をとっており、衛星が赤道面を通過する時刻は現地太陽時で毎日一定となる。

衛星からの光学的な視野は半径 3000 km 余りある。地球上のビーコンはほぼ球型の放射パターンを持ったアンテナを使用するが、衛星で有効に電波を捕える範囲は半径 2600 km 程度である。

衛星が極をめぐる軌道をとるため、緯度により衛星が 1 日当り見える回数は異なる。ちなみに、赤道付近では 2 衛星当り 1 日平均 7 回、30 度付近で 9 回、極地方では 28 回である。

2-3 位置の検出

ビーコンの位置は搬送周波数のドップラ周波数変化と衛星の軌道とから決定される。衛星上で測定されるドップラ周波数は衛星を頂点とし、衛星の軌道方向を対称軸とする円錐上で同一となる。従って衛星の高度がわかっているならば、何回かの測定による円錐の交点がビーコンの位置を表わす。この時、衛星軌道に対称な 2 つの解が得られるので、真の位置はビーコンの以前の位置、進行方向および速度などを参照して決定する。

2-4 アルゴス送信機（プラットフォーム）の諸元

CNES の認定を受けたアルゴス送信機は国産としては東洋通信機株式会社で製作されている。表 1 にその諸元を示した。位置の検出に最も影響を与えるのは、衛星が電波を受信している十数分間の送信周波数の安定度である。本装置の場合、周波数の中期安定度（20 分間）は 1×10^{-8} 以下となっており、これによる検出位置のバラツキは 1σ で約 1 km、 3σ で約 2 km となる。送信間隔は観測の必要に応じて 40～200 秒の間に決める。送信時間はデータ数に応じて 0.36～0.92 秒の間で変わる。

なお、この送信機には 8 ビット、8 チャンネルのアナログインターフェースが標準装備

表1 プラットフォームの諸元

送信電力	33 dbm
送信周波数	401.65 MHz
中期周波数安定度(20分間)	1×10^{-8} 以下
長期周波数安定度(2時間)	1×10^{-6} 以下
変調方式	PCM-PSK
符号形式	Bi ϕ -L
通信速度	400 b.p.s.
電源電圧	18~30 V
消費電流(送信時)	700 mA
(平均)	17 mA
使用温度範囲	0~+40°C
寸法	107 H \times 130 W \times 324 Dmm
重量	1.5 kg

されており、注文により 32 チャンネルまで増設できる。

電源は 18~30 V で平均電流は 17 mA であるが、送信時には 700 mA 流れるので、これを流せる電池ならば容量の小さいものでも使用できる。

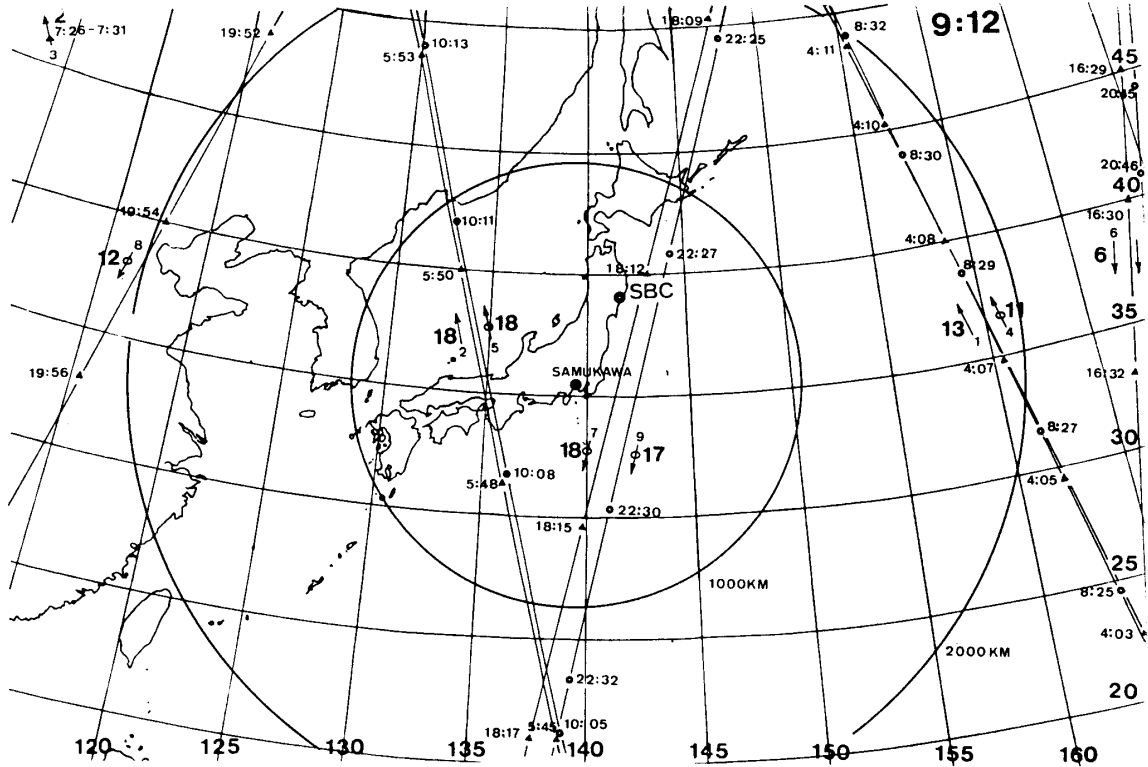
2-5 データの取得

データはフランスのサービスアルゴスから供給される。データの内容は実験の識別コード、プラットフォーム番号、データ収集時刻、観測データ、位置検出時刻、位置(緯度、経度)および周波数などである。データの受け取り方法は CNES との契約によって異なる。オンラインデータは世界気象機構の専用回線、電話およびテレックスなどで受けることができる。データ取得までの所要時間は通常 1 時間 45 分から 3 時間 30 分で、6 時間を越えることはない。オンラインデータは 1 度提供を受けるとファイルから扶消される。ファイルの保存期間は 12 時間である。オフラインデータは 1 週間から 4 週間毎にプリントアウト、マイクロフィッシュあるいは磁気テープの型で郵送されてくる。

3. 実 験

3-1 地上試験

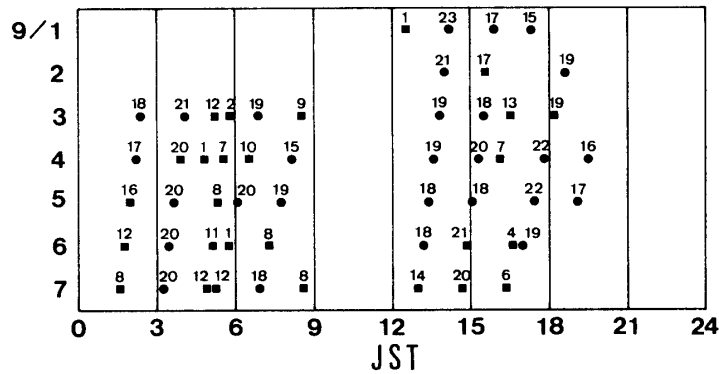
アルゴスプラットフォームの地上試験は茅ヶ崎市寒川町にある東洋通信機株式会社の工場で行なった。世界時で 1983 年 9 月 12 日 4 時より約 18 時間にわたって試験した。第 1 図はこの時間内に日本付近を通過したアルゴス衛星の軌道を示したものである。▲印は NOAA 7 号、○印は NOAA 8 号の軌道である。矢印は衛星の進行方向、矢印上に○印の



第1図 衛星軌道と受信状況

あるものは位置の検出が行なわれた軌道である。矢印の脇の数字は同一軌道上での受信回数である。半径 2000 km 以内を衛星が通過した場合は全て 10 回以上受信されている。この時間内にデータが得られた軌道が 9 回、この内、位置が検出されたのは 5 回である。位置の検出は衛星が殆んど同じ軌道を通っても行なわれる場合と行なわれない場合がある。

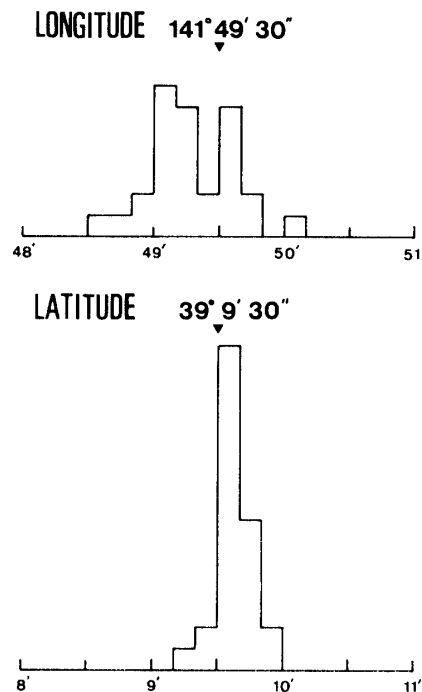
第2図は三陸大気球観測所において、1984年9月1日から7日の間に行なった地上試験の結果をまとめたものである。図は衛星がデータを収集した時刻と、その衛星通信時に受



第2図 データ取得時刻および受信回数

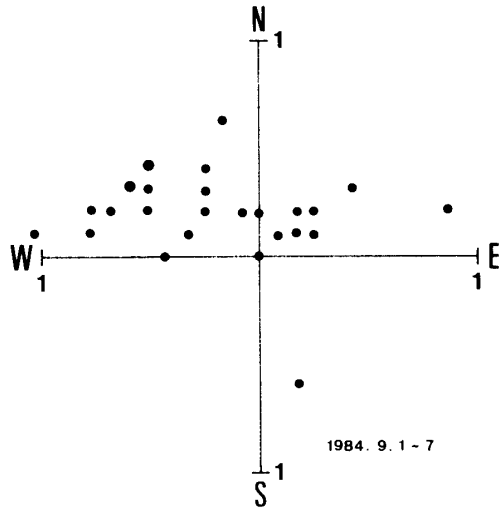
けた受信回数を示している。●印はデータ収集と同時に位置の検出が行なわれたこと、■印はデータ収集のみが行なわれたことを示している。位置の検出は衛星の1通過時の受信回数が20回前後ある時に行なわれ、10回程度では行なわれていない。図中、データ収集時刻が毎日26分程度進んでいる。これは衛星の周期が101分なので地球の自転と完全には同期していないためである。又、アルゴシステムは軌道面が相対的に60度傾斜している2個の衛星を使用しているため、三陸付近では1日に2回5時間程度衛星の通過の無い時間帯がみられる。

第3図は地上試験で得られた位置データのバラツキを示すヒストグラムである。図は緯度、経度で表わしており、三陸大気球観測所の位置は矢印で示した所にある。緯度方向はやや北側に経度方向はやや西側にずれており、誤差は経度方向に大きく緯度方向が小さい。測定された位置を三陸大気球観測所を中心にプロットしたものが第4図である。測定値の中心は北に約200m、西に約50mの所にあり、標準偏差は南北に±100m、東西に±500mである。

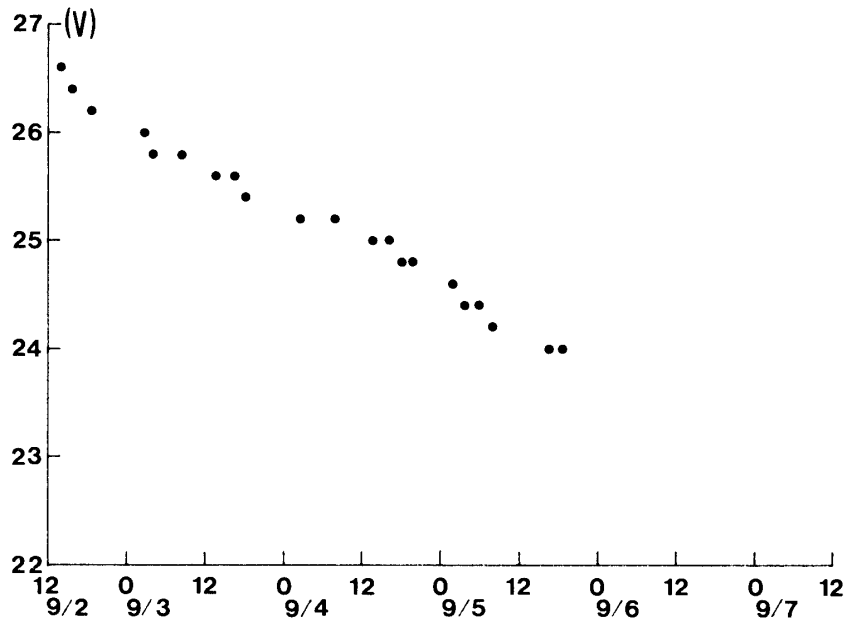


第3図 地上試験時の位置データ

プラットフォームの電源は18Vから30Vの間で使用できる。消費電流は8チャンネルのアナログインターフェースを含めると平均17mAである。4DD型のマンガン乾電池を使用すると、0°Cで約230時間使用できる。しかし、送信時には700mA流れるのでこの点を考慮する必要がある。第5図は4DDを5個直列として使用した地上試験の時の電池電圧を示している。この図によると、電池の寿命は200時間程度と推定される。



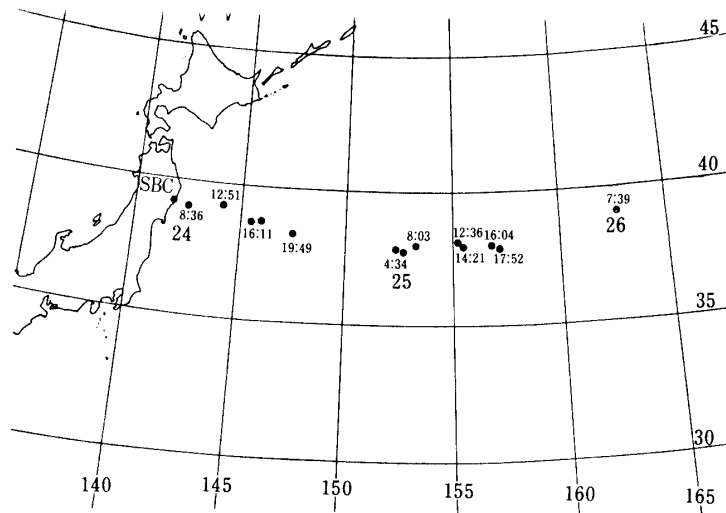
第4図 測定位置のバラツキ



第5図 電池電圧の変化

3-2 気球搭載試験

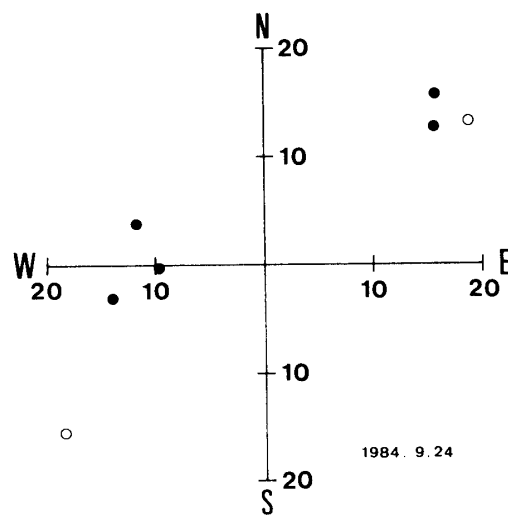
アルゴスプラットフォームの気球搭載試験は1983年9月および1984年9月の2回行なった。第6図は1984年9月24日6時58分に放球した B_1-33 気球の航跡図である。ここに印した気球位置はアルゴスによって得たものである。この気球には電気通信大学の商用電力線の誘導放射の観測器を搭載しており、日本列島からなるべく離れた場所まで測定することが要望された。このため、気球高度は西風が卓越した15~18 kmをとることにした。飛翔時間として50時間を予定し、日没補償はオートバラスト、切り離しはタイマによって行なった。アルゴスによる気球位置の最終データは9月26日7時39分のもので、北緯39.064度、東経162.699度の位置である。三陸大気球観測所の東方約1800 kmの位置である。気球は予定通り50時間飛翔して9月26日8時30分に切り離されたものと推定される。



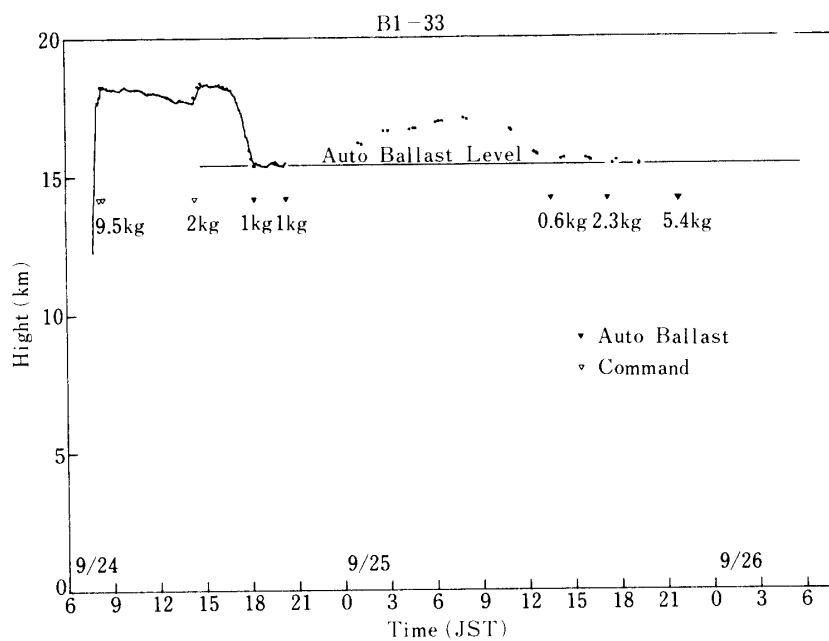
第6図 B_1-33 気球の航跡図

一方、1983年の実験では飛翔時間が短かったため、アルゴスによる飛翔中の位置検出は2回であった。これに対して1984年の実験では24時間あたり5ないし7回の位置検出が行なわれた。この内、三陸大気球観測所から測距が行なえる間に、アルゴスによって位置が決定された回数は5回である。測距による位置決定の精度はアンテナの角度精度が0.05度以下、測距の精度が300 m位なので、 ± 500 m位と考えられる。そこで、測距による位置を基準として、アルゴスで得た位置を印したのが第7図である。位置の誤差は10~20 kmある。地上試験に比べ大巾に悪い。なお図中の白丸は1983年の時のデータである。精度が悪い理由としてはCNESに気球の浮遊高度を通知していないこと、気球の移動速度が速い高度を飛翔していることなどが推定される。しかし、大洋横断気球、極地パトロール気球に使用する場合には十分な精度である。

第8図は1984年に放球した B_1-33 気球の高度曲線である。半導体気圧計によって測定したもので、実線は1673 MHzのテレメータを通して測定したもので、●印はアルゴスシス



第7図 飛翔中の測定位置のバラツキ

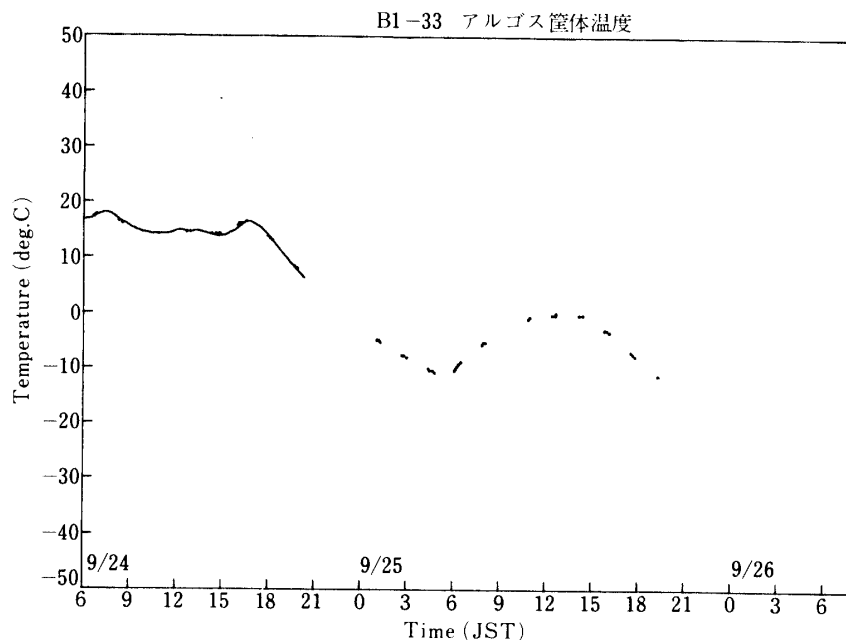


第8図 B₁-33 気球の高度曲線

テムを通して得たものである。

この気球はテレメータ、コマンドのレンジ外に出るため、日没補償はオートバラストによって行なっている。オートバラストの機構は気球高度が15.4 km以下となると5分間に1%の割でバラストを投下する型のものを使用した。図中、▼印はオートバラストでバラストを投下した時刻、▽印はコマンドによってバラストを投下した時刻である。第1日目の日没補償は1 kg ずつ2回バラストを投下している。B₁-33気球の総重量は約100 kgなので投下したバラストは2%に相当する。通常の日没補償は7~8%なので、この値は少な目であるが、日中に高度を調整するため11.5 kgのバラストを投下しており、この効果が日没時まで保存されたと考えられる。2日目の日没補償は8.3 kgのバラストを投下している。

アルゴスプラットフォームは筐体の大きさに比べて内部の消費電力が小さいので、筐体の温度低下が問題となる。1983年の実験ではレベルフライト後温度が低下し日没時には-20℃近くになっていた。このため、1984年の実験では断熱を厳重に行なったが、日没と共に温度が下がり、2日目の日出前には-10℃以下となった。日中は0℃迄回復したが、3日目の朝には-24℃まで低下した。その様子を第9図に示した。気球の浮遊高度が16 km付近で外気温が低く風速の速い所なので、ゴンドラ内温度が下がり易い条件になっているが、極地パトロール気球の様に長時間飛翔する気球には断熱だけでなく、ヒータ等によって温度低下を防ぐ対策が必要である。



第9図 プラットフォームの温度

4. ま と め

1983~4年の2回のアルゴスプラットフォームの試験結果をまとめると次の通りである。

- 1) テレメータレンジ外の気球追跡，データ取得にはアルゴスシステムは極めて有効な手段である。
- 2) データ取得回数は三陸付近で1日9回程度である。
1日当りの累積時間は地上で150分，上空で170分であった。
- 3) 半径2000 km以内を衛星が通過した場合は，その時に衛星が受信する回数は10回以上である。
- 4) 位置検出の回数は1日当り5~7回である。
- 5) 地上試験時の位置決定精度は±500 m以下である。
- 6) 気球搭載時の誤差は10~20 kmである。
- 7) プラットフォームの温度低下の対策が必要である。

参 考 文 献

- [1] J. Nishimura, et al.; Adv. Space Science, Scientific Ballooning III. 1984.