

日中大洋横断気球実験

——第2, 第3年度の実験と3年間のまとめ——

西村 純・奥田 治之・広沢 春任
榎野 文命・矢島 信之・秋山 弘光
太田 茂雄・藤井 正美・山上 隆正
並木 道義・岡部 選司・松坂 幸彦
小松 錦司・高成 定好・白坂 友三
池田 光之・山中大学*

Transoceanic Flight between Japan and China

By

Jun Nishimura, Haruyuki Okuda, Haruto Hirosawa,
Fumiyoshi Makino, Nobuyuki Yajima, Mitsuhiro Akiyama,
Sigeo Ohta, Masami Fujii, Takamasa Yamagami, Michiyosi
Namiki, Yoriiji Okabe, Yukihiko Matsuzaka, Kinji Komatsu,
Tadayoshi Takanari, Tomozou Sirasaka, Mitsuyuki Ikeda,
Manabu Yamanaka.

Abstract : The joint balloon project between ISAS and Academia Sinica of China, "The Transoceanic Flight Between Japan and China" has been carried out for three years (from 1986 to 1988). In 1986, two balloon flights were challenged as an engineering test of transoceanic flight over East China Sea.

In 1987 and 1988, following the successful results of the test flights, five balloons were launched for the purpose of scientific observations in the field of a space astronomy, cosmic-ray research and stratospheric atmosphere study. During the long duration flights toward China, all balloon-born instruments worked well and many useful scientific data could be obtained,

The balloon launching and tracking system for this project and

* 京都大学超高層電波研究センター

the results of two test flights were already explained in the former paper. As a sequel to the paper, this paper describes scientific instruments for each balloon observation and also describes the flight behavior of all seven balloons which were successfully reached to China and recovered without serious damages. As a conclusion, the significance of this balloon project is summarized.

概 要

日中大洋横断気球実験は、日中両国政府の合意の下に、宇宙科学研究所と中国科学院の共同プロジェクトとして、1986年から3年間実施された。第1年度の1986年には、飛翔試験として2機の気球を東支那海を越えて中国本土まで飛翔させた。この成功を受け、1987年と1988年には科学観測を目的とする本格的気球実験が行われ、合計5機の気球の飛翔に成功し、天文観測、宇宙線観測、成層圏大気観測が実施され、多くの有益な観測データが取得された。

本プロジェクトのための気球放球、追尾システムの詳細と第1年度の2機の気球の飛翔結果についてはすでに述べられている。本論文は、その続きとして、第2、第3年度に放球された気球に搭載した科学観測装置およびその気球実験の概要を述べるとともに、3年間の大洋横断気球実験のまとめとして、中国まで飛翔した計7機の飛翔結果の解析と評価を行う。

ま え が き

日中大洋横断気球実験は、1985年7月に開催された第三回日中文化交流政府間協議において合意され、両国間の共同プロジェクトとして1986年から3ヶ年計画で実施されたものである。九州の内之浦町より放球された気球は、東支那海を横断し、上海附近で中国本土に上陸して内陸部に入る。その間の距離は約1000 kmである。内陸部に入った気球は、地上からの指令電波で観測装置を切離し、パラシュートで安全な地上に降下させ回収を図る。

計画の第1年度である1986年には、まずテスト飛翔を行い、大洋横断気球技術の確認をすることとし、2機の気球を中国本土まで飛翔させ、搭載機器の回収にも成功した。この飛翔テストの成功を受け、続く1987年と1988年には、各気球にそれぞれ日中両国の担当機関が開発した観測機器を搭載し、気球が中国に向けて飛翔している間に各種科学観測を実施することとした。中国側は紫金山天文台が宇宙硬X線観測、上海天文台が銀河赤外線観測、日本側は名古屋大学空電研究所が成層圏一酸化窒素観測、国立天文台が恒星赤外線

測，神奈川大学が一次電子観測，大阪市立大学が宇宙硬 X 線観測を行った。

1987 年と 1988 年の 2 ヶ年に中国まで飛翔させた気球は計 5 機であり，上記各観測が実施され多くの有益な科学データが取得できた。また観測器は全て中国内陸部で中国側回収班の手で無事回収された。

すでに宇宙科学研究所報告（特集第 20 号，1987 年）記載の論文（以下，前論文と呼ぶ）¹⁾において大洋横断気球実験用放球施設・設備，日中両国の気球追尾・受信体制，気球に搭載される共通計器の詳細が述べられている。また 1986 年の気球実験についても詳しく述べられている。そこで，それらの記述は，前論文に譲り，本論文では 1987 年，1988 年の 2 年間に実施した大洋横断気球実験における各種搭載観測機器の説明および各気球の飛翔経過について述べる。また第 1 年度の 2 機も含め，中国本土まで飛翔させた計 7 機の気球の飛翔データを整理し，3 年間のまとめとして，日中間大洋横断気球飛翔が長距離・長時間気球飛翔方式として極めて確実に有効な方法であることを述べる。

I 気球放球，受信追尾システム

先に述べたように，本項目は前論文に詳しく記されているので，ここではそれ以降に変更された点のみ記す。

1. 放球場

第 1 年度と同一の場所を用い，気球放球作業の管理・指令を遂行するためのプレハブ小屋とヘリウムガスコンテナの貯蔵用仮設建物も同一のものを用意した。第 1 年度に比べ作業時には，観測器の動作確認作業が加わったが，それらは管理・指令小屋に各観測チームがテレメータで受信された観測データの解析・表示装置を持ち込み，動作チェックを行った。

2. 大根占町宿利原受信所

東支那海方向に開けている場所として，大隅半島の西側，KSC より直距離 24 km の台地上に受信所を設定し，大型自動車に無線設備一切を装備した移動観測車を配置した。第 1 年度は NTT の無人交換局の敷地を借用したが，若干手狭であったため，近くの遊休地を借用することとした。そこに，移動観測車と並べて 15 m² 程度のプレハブ小屋を建て，科学観測用データの復調・表示・記録および観測器操作用コマンド送出端末をここに配置し，科学観測の実施に必要な機能を集中させた。写真 1 は同小屋内部であり，データ受信中の様子である。

3. KSC 内施設

放球前の準備段階の作業は KSC 内の PI センター，放球後の気球管制および中国との連絡はコントロールセンターを第 1 年度と同様に使用した。今回は本格的科学観測を行うため，各観測器の事前調整と動作テストが重要な作業となったが，ロケット実験用に設備が整っていることと KSC 職員の積極的協力を受けたことにより，多岐にわたる準備作業を円滑に進めることができた。また，気球搭載望遠鏡等の調整のように広い作業空間を必要



写真 1 大根占受信点の観測データ受信室。

とする場合には、ロケット整備用施設も適時使用した。

4. 放球設備

放球作業に用いるランチャー車、ローラー車、ガス減圧器等も第1年度と同一のものを使用した。唯一の変更点は、気球にヘリウムガスを注入した後に浮力を計測する装置である。この装置はランチャー車に取り付けられているロードセルである。当初はランチャーの小型化を図るため、気球つりひもを直接ロードセルに結合する簡単な方式とした。このため、風に吹かれた場合の横方向の力が計測誤差となる。放球場の地上風は当初の予想以上に強く吹く場合があり、この誤差が無視できない。そこで最終年度は三陸大気球観測所で採用しているものと同一の横方向分力を逃がすことのできるダブルレバー方式に改良し、測定精度の向上を図った。その結果、ガス注入後の浮力計測をより安定して行うことが可能となった。

5. 中国側受信・追尾体制

第1年度は、上海市郊外の南汇に中国側の移動観測車が置かれ、指令本部もそこに置かれた。また上海天文台には、日本側が持ち込んだ受信・追尾装置が置かれていた。第2年度と第3年度には、中国側移動観測車を南京市郊外に置き、内陸部まで飛翔する気球の追尾体制を強化するとともに、司令本部は日本との連絡体制が円滑な上海天文台に移された。

II 観測装置の概要

日中大洋横断気球の目的は、飛翔時間の長いことと回収の可能性の高いことを生かした科学観測を実施することにあつた。日中両国では、そうした目的にあつた観測項目を選ん

で準備を進め、1987 年と 1988 年に観測実験を実施した。その科学的成果は、各観測担当者の個々の報告に譲り、ここでは観測目的および搭載された観測器と飛翔中の実験の概要について述べる。

1. 1987 年度

この年は、中国側 2 項目、日本側 2 項目の計 4 項目、4 機の気球実験を計画した。

(1) B 50-C 6, 宇宙硬 X 線観測

この観測実験の担当機関は、中国科学院所属の紫金山天文台である。観測項目は、20 keV から 100 keV 領域の宇宙硬 X 線を検出し、明るい X 線源の時間変動等を調べる。観測に用いられる X 線検出器は、Xe ガスを封入した高圧比例計数管である。そのサイズは約 18 cm×20 cm×60 cm の箱型であり、重量は 27 kg である。

この観測装置の外観を写真 2 に示す。上段部に X 線検出器の高圧比例計数管が横向きに置かれている。検出器の両サイドに回転軸が取り付けられ、パルスモータで駆動される回転機構により、仰角が制御される。方位角の制御は観測装置全体を回転させて行うが、その駆動装置は直径約 50 cm のリアクションホイールである。このリアクションホイールは、観測装置の下段部に取り付けられている。方位角を制御する基準には磁気センサが用いられ、その零点を指向するように制御する。磁気センサは回転テーブルに取り付けられており、その回転角度を変更することにより観測装置を所定の方位に合せる。仰角および回転テーブルの設定角は、搭載コンピュータにより、観測目標の日周運動を計算して求め、

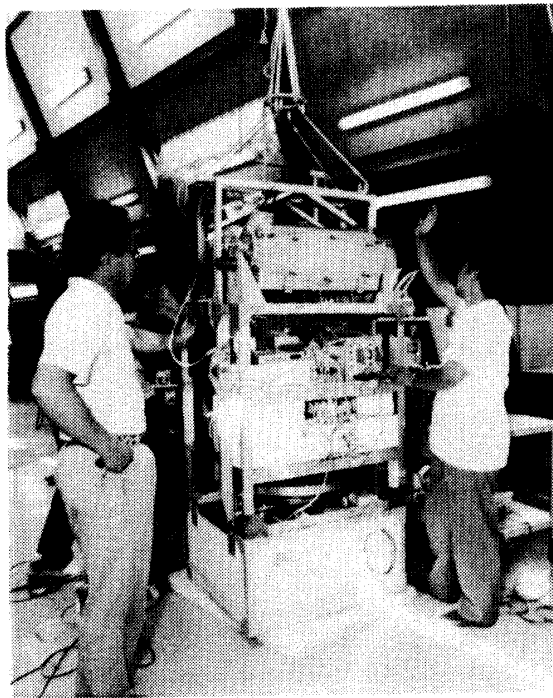


写真 2 室内で調整作業中の紫金山天文台の宇宙硬 X 線観測器 (B 50-C 6)。

X線検出器を自動的に目標に向ける。

観測装置の寸法は横巾 $0.7\text{ m} \times 0.8\text{ m}$ 、高さ 2 m であり、全重量は 180 kg である。気球高度要求は 30 km 以上であり B 50 の大型気球が用いられた。

(2) B 30-C 5, 銀河赤外観測

この観測実験の担当機関は、中国科学院所属の上海天文台である。観測内容は、赤外線領域での銀河面の走査であり、観測波長域は $0.9\text{ }\mu\text{m}$ の近赤外と $85\sim 130\text{ }\mu\text{m}$ の遠赤外の 2 系統である。前者はシリコンフォトダイオードで検出し、後者は液体ヘリウムで冷却したケルマニウムボロメータで検出する。各波長毎に別々の小型望遠鏡が用いられており、その口径は 10 cm である。2 つの望遠鏡は並列に結合され、2 軸の回転台座に乗っている。この台座をパルスモータで駆動し、天空の走査を行う。その場合、観測装置全体の方位角は、一定の方向に固定しておく必要がある。その制御装置は B 50-C 6 と同一のものであり、いずれも陝西省西安市にある西北工業大学が開発を担当している。

観測器は巾 $0.8\text{ m} \times 0.9\text{ m}$ 高さ 1.4 m で全重量は 130 kg である。この装置の外観を写真 3 に示す。要求高度は 30 km 以上であり、B 30 型気球が用いられた。

(3) B 15-C 2, 成層圏大気観測

この観測実験の担当機関は、名古屋大学空電研究所である。観測目的は、ケミルミネッセンス方式の一酸化窒素測定器により、成層圏の一酸化窒素濃度の詳細な日変化を観測するものであり、長時間フライトが実現できる日中大洋横断気球飛翔の特質を生かした実験



写真 3 放球直前のテストを行う、上海天文台の銀河赤外観測器 (B 30-C 5)。

である。

写真 4 に観測器の外観を示す。左方につき出した棒状の採取口の先端から大気をポンプで吸い込み、内部のチェンバー内で標準オゾンと反応させて蛍光を発生させ、フォトマルチプライアでその光量を測定して一酸化窒素の濃度を精密に測定する。採取口が長いのは、ゴンドラからの脱ガスの影響をなるべく少なくするためである。

観測データは、PCM 信号で地上に伝送されるとともに、観測器内にも小型コンピュータを搭載し、そのフロッピーディスクメモリにも記録される。このメモリに蓄えられたデータは回収された後に解読されるが、受信ノイズ等がないため質のよいデータとなる。後述するように、この観測器は中国本土内で無事回収されており、データ解析には、このメモリデータが有効に使われた。

なお、観測器は 1 辺 0.9 m の立方体であり、重量は 150 kg である。使用気球は容積 1.5 万立方メートルの B 15 型である。

(4) B 30-C 8, 恒星赤外観測

この観測実験の担当機関は、東京大学東京天文台（現国立天文台）である。観測装置は、口径 30 cm, 合成焦点距離 5 m の反射望遠鏡に高分散フーリエ分光器を組合せたものである。フーリエ分光器は赤外線検出器に InSb を使用し、波数域 $3000\sim 7000\text{ cm}^{-1}$ を 0.5 cm^{-1} の分解能で観測できる。この分光器により、主に赤色巨星の赤外域高分散スペクトル観測を行う。

目標の星の追尾制御としては、仰角方向は観測装置の内部で鏡筒のみを動かし、方位角

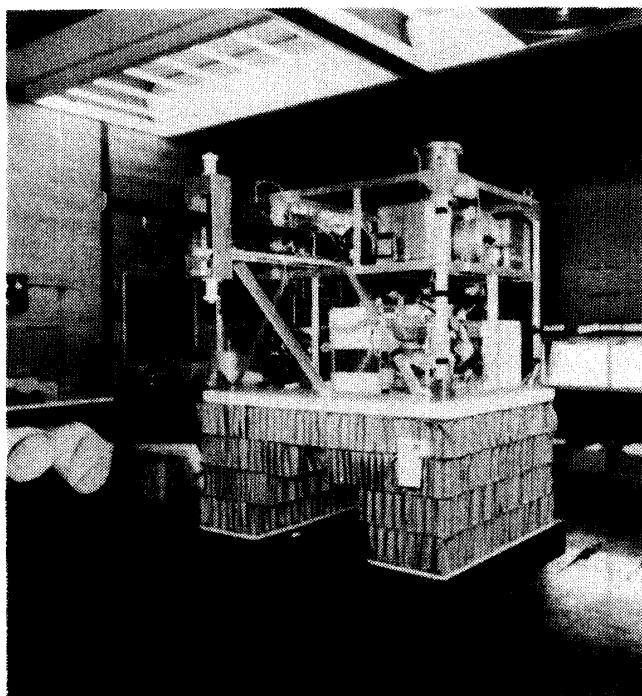


写真 4 名古屋大学空電研究所成層圏一酸化窒素観測器 (B 15-C 2)。

は観測装置全体をコントロール・モーメント・ジャイロを駆動装置として用いて回転させる。この2軸制御を粗制御とし、さらに精密制御として、望遠鏡光路内に挿入した2枚の小型平面鏡の反射角を微細に調整し、秒オーダーの追尾制御精度を実現する。

鏡筒には、 32×32 素子の半導体イメージセンサを用いた2次元検出カメラが取り付けられ、目標の星を確認・捕捉する。追尾用センサは、口径5 cmの焦光レンズの焦点位置に回転セクタとフォトマルチプライアを置いたものであり、検出中心からの2方向の偏差を出力する。このセンサも前記カメラと同様に鏡筒に取付られている。

観測データおよび観測機器のモニタはクロック周波数16 kHzのPCMデータとして伝送される。

この観測装置の外観を写真5に示す。観測装置のサイズは、横巾1 m \times 1 m、高さ2 mであり、重量は450 kgである。気球の水平浮遊高度の要求値は30 kmであり、容積3万 m³のB30型気球を用いる。

2. 1988年度

この年は、中国側2項目、日本側3項目の観測実験を計画した。中国側の2項目は前年度と同一であり、日本側の1項目は中国紫金山天文台と合乗りである。したがって、放球機数は前年度と同様に4機を予定した。ここでは、新たに加わった観測項目を中心に述べ、前年度と同一項目のものは変更点のみ述べる。

(1) B50-C6, 銀河硬X線観測



写真5 国立天文台の恒星赤外分光観測器 (B30-C8)。

紫金山天文台が担当する部分については前年度と同一であるが、この年度は、大阪市立大学が担当する硬 X 線観測が新たに加わった。その X 線検出器はフォスウィッチ型シンチレーション計数管であって、20 keV から 80 keV の領域を観測する。観測器の大きさは巾 21 cm×19 cm、高さ 40 cm で重量 20 kg のものを 2 台中国側観測装置の外側の左右に張り出して取付けた。その仰角は制御せず、固定である。

(2) B 30-C 7, 銀河赤外線観測

この観測も前年度と同一であり、観測器は前年に中国まで飛翔し回収されたものを改修して使用している。その際、望遠鏡が銀河面を走査する方法は大巾に変更された。前年度は、鏡筒が乗っている回転台座をパルスモータで直接駆動したため、その振動の影響が赤外線検出器に現れ、データの質を低下させていた。そこで、新たに平面鏡を鏡筒の前に置き、その回転角を制御して銀河面を走査することとした。この回転部分に防励対策をほどこし、望遠鏡への振動の伝搬防止を図ったため、検出器出力への影響は著しく改善された。

(3) B 30-C 9, 宇宙一次電子の観測

この観測実験の担当機関は神奈川大学である。観測装置は高感度 X 線フィルムと原子核乾板および鉛板を組合せたもので、立体角と面積が大きく、入射粒子の弁別が確実なことが特色である。そのサイズは 40 cm×50 cm、全観測器重量は 310 kg である。

この観測は、フィルム上に記録されるものであって、回収することによってのみ観測データが取得できる。このため、中国側回収班の成果に負うところ大である。また観測時間

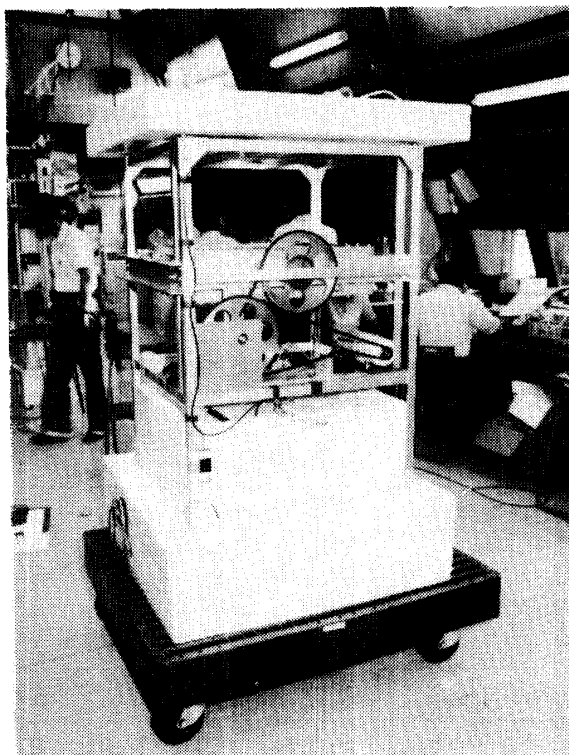


写真 6 神奈川大学の一次電子観測器 (B 30-C 9)。

が長いほどフィルム上への記録密度が増大する。放球時期を遅くし、飛翔速度が遅くなることを期待すること、また安全性等で中国側の事情が許せば、できるだけ内陸まで飛翔させ、時間を延ばすことが求められた。

使用気球は、必要高度が高いため、小型の観測装置としては大型の容積 30 万 cm^3 の B 30 型を利用した。

III 実験経過

1. 1987 年

この年は 4 観測項目、4 機の気球を予定した。放球時期は、上層風の安定性と第 1 年度の実績を考慮し、同様の 7 月後半から 8 月上旬に計画した。実際には 3 機が放球され、内 2 機が中国まで飛翔に成功し、全て回収された。1 機は上昇途中に気球破壊が発生した。中国まで飛翔した 2 機の気球のリストおよび参考までに第 1 年度のリストを表 1 に示す。

実験にあたって、中国からは上海天文台より 5 名(内 2 名は東京のみ滞在)、紫金山天文台より 5 名、空間科学技術中心から 2 名の研究者・技術者が来日した。日本からは 2 名が、上海天文台において追尾・受信を行うため中国に渡った。

(a) B 15-C 2

この気球は、7 月 29 日 00 時 30 分に放球され、毎分 300 m の速度で正常に上昇し、1 時間 20 分後に鹿児島湾上空 27 km で水平浮遊状態に入った。その後、時速 60 km で中国に向け飛翔を続け、29 日 9 時には、日本側の受信限界を越え、同日 14 時 30 分には上海北方 60 km の地点で中国本土に上陸した。その後さらに西方に進み、南京の東南東 80 km に達した 17 時 23 分に、中国側の受信班は指令電波を送り、観測器を気球から切離し、パラシュートで地上に降下させた。観測器は、江蘇省金壇付近において、中国側回収班の手により完全な形で回収された。気球が飛翔している間、観測器は正常に動作し、成層圏一酸化

表 1 中国まで飛翔した気球のリスト
(第 1 年度と第 2 年度)

1986 年度

気球番号	放球日	目 的	担当機関	高度	観測時間	回収場所
B 5-C 1	7/25	飛翔実験	宇宙研/宇宙	25.0	18:10	浙江省桐芦市
B 30-C 3	7/30	〃	空間応用中心	35.2	12:54	安徽省郎溪市

1987 年度

気球番号	放球日	目 的	担当機関	高度	観測時間	回収場所
B 15-C 2	7/29	成層圏 NO.	名古屋大	27.0	17:32	江蘇省金壇市
B 30-C 5	8/3	銀河赤外線	上海天文台	32.0	10:32	浙江省杭州市

窒素濃度の日変化に関する詳しい観測がなされた²⁾。

(b) B 30-C 5

この気球は、8 月 3 日 19 時 04 分に放球され、毎分 290 m の速度で正常に上昇を続け、放球後 20 時 54 分に佐多岬の上空高度 32 km において水平浮遊状態に入った。その後気球は高度を一定に保ち、毎時 140 km の速度で西方に進み、翌 4 日 03 時に、浙江省東岸の寧波付近で中国本土に上陸し同日 05 時 10 分、杭州市西方 30 km に達した。そこで、中国側受信班は指令電波を送り、観測器を切離し、パラシュートで地上に降下させた。観測器は、浙江省桐芦の北西 6 km の地点で中国側回収班により無事回収された。

(c) B 30-C 4

この気球は、8 月 10 日 19 時 30 分に放球され、毎分 300 m で正常に上昇を開始したが、20 時 40 分に、高度 19 km で気球破壊が発生した。そこで、ただちに指令電波を送り、観測器をパラシュートで降させた。降下場所は志布志湾内であり、観測器は KSC から出動した回収班により回収された。

(d) B 50-C 6

この気球は、8 月 7 日に放球を行うべく準備作業を進めたが、ガス注入が終了した時点で地上風が強くなり、突風を受けて気球が放球前に破壊した。3 日後、予備気球を用い再度放球すべく準備を開始したが、準備作業中に観測器に不調カ所が発見され、作業は中止された。こうした事情により予定した実験期間内に放球することができなくなり、本実験は次年度に持越された。

2. 1988 年

この年は、5 観測項目、4 機の気球の放球を予定した。実験期間は、第 1、第 2 年度より約半月遅い 8 月上旬から下旬に設定した。これは、上層風が弱まるので中国までの飛翔時間が長くなることを期待してのことである。気球は、計画した全てを放球したが、内 1 機は上昇途中で気球制御部に不具合が生じ飛翔を中断した。残り 3 機は中国本土まで飛翔し、その間搭載装置はいずれも正常に動作し、科学観測に成功した。また 3 機全てが無事中国側回収班の手により回収された。なお、この年の気球には全て NOAA 衛星を用いた位置測定システムであるアルゴス送信機を搭載し、とくに中国内でパラシュート降下後の観測器位置の正確な把握を図った。中国まで飛翔した 3 機の気球のリストを表 2 に示す。実験

表 2 中国まで飛翔した気球のリスト
(㉠ 3 年度)

1988 年度

気球番号	放球日	目 的	担当機関	高度	観測時間	回収場所
B 50-C 6	8/16	宇宙硬 X 線	紫金山天文台 大阪市大	34.7	15 : 20	安徽省当徐市
B 30-C 7	8/20	銀河赤外線	上海天文台	33.0	13 : 18	浙江省臨安市
B 30-C 9	8/23	宇宙一次電子	神奈川大	33.0	16 : 07	江蘇省漂陽市

にあたっては、中国からは上海天文台3名、紫金山天文台4名、空間科学技術中心2名の科学者・技術者が来日した。日本からは前年度同様2名が上海天文台に出向いた。

(a) B 30-C 7

この気球は、8月16日19時10分に放球された。その後毎分280 mの速度で正常に上昇し、21時15分之内之浦町西方45 kmの地点で高度33 kmに達し、水平浮遊状態に入った。

気球は高度を一定に保ち、毎分80 kmの速度で中国に向かって進行し、内之浦町西方640 kmに達したところで日本側からの受信限界となった。気球は8月17日8時には上海南方40 kmの上空を通過し、10時30分には浙江省杭州市西方70 kmの上空に到達した。そこで、中国側の受信班は指令電波を送り、観測器を気球から切離し、パラシュートで地上に降下させた。観測装置は浙江省臨安市北西25 kmの地点に降下した。その地点は天目山系の西天目山に近い山地であったため回収作業はかなり困難であったが、アルゴシステムにより、観測器の位置が正確に確認できたため、9月1日、中国側回収班により無事回収された。飛翔中観測は正常に行なわれ、銀河赤外線に関するデータが取得された。

(b) B 30-C 9

この気球は、7月20日5時17分に放球された。気球は毎分300 mの速度で正常に上昇し、7時08分に内之浦町西方30 kmにおいて高度33 kmで水平浮遊状態に入った。その後気球は高度を一定に保ち、時速120 kmの速度で中国に向かって進み、同日16時頃に上海市北方10 kmの地点を通過し、18時35分に、江蘇省漂陽市付近で指令電波が発せられ、観測装置をパラシュートで地上に降下させた。

観測装置は8月21日朝、漂陽市西方10 kmの地点で発見回収された。すでに述べたように、この観測装置は原子核乾板であるため、回収することが不可欠の要件であった。回収された観測装置は何ら損傷を受けておらず、実験は成功であった³⁾。

(c) B 50-C 6

この気球は、8月23日18時57分に放球された。気球は毎分300 mの速度で正常に上昇し、21時13分之内之浦町西方80 kmの地点において高度34.7 kmで水平浮遊状態に入った。その後高度を一定に保ち、平均約90 kmの速度で西方に進行し、翌日6時00分頃に上海市北方50 kmを通過し、10時04分南京市南南西70 kmの上空で指令電話が発せられ、観測装置をパラシュートで地上に降下させた。観測装置は、8月24日、安徽省当涂市付近で回収された。飛翔中、観測は正常に行なわれ、CygX-1の観測が行なわれた。

(d) B 30-C 8

この気球は、8月25日20時31分に放球された。当初気球は毎分300 mの速度で順調に上昇したが、21時53分に、高度24.7 kmに達したところで突然降下を開始したため、宿利原の移動観測車より指令電波を発し、観測器を切離しパラシュートで地上に降下させた。このため観測には至らなかった。

IV 大洋横断気球飛翔のまとめ

本章では、3年間に中国本土まで飛翔した7機の気球の飛翔データをもとに、飛翔方向、飛翔時間等を分析し、長距離・長時間飛翔を実現する有力な手段としての日中大洋横断気

球飛翔の有効性を明らかにする。

1. 気球の飛翔状態と追尾

3 年間のプロジェクト実施期間中、9 機の気球を放球し、内 7 機が中国本土まで飛翔に成功し、2 機は気球の異常で飛翔を中断した。しかしこの中断した 2 機はいずれも放球後 1 時間以内の上昇中に異常が発生している。気球にとって異常の生じることのあるこの初期状態を通過し、水平浮遊状態まで至り、偏東風に乗り、中国に向け飛翔を開始した残り全ての気球は、以後所定の高度を維持しつつ安定に飛翔を続けた。

放球された気球は、まず日本側の追尾・受信局が気球の位置測定および観測データの受信を行い、東経 126 度の分担区分線の前後で気球位置情報の交換を行い、以後中国側に引継がれる。第 1 年度の 2 機の飛翔実験において、この受信・追尾の引継が順調に行なわれたことが、前論文において詳しく述べてあるが、第 2 年度、第 3 年度いずれも同様に順調に引継が行なわれ、日中両国にまたがる気球の飛翔管制は、全機正常に実施できた。

2. 気球の飛翔コース、飛翔速度

本プロジェクトを実施するに先だち、東支那海を越える大洋横断気球の飛翔コースと速度は詳しく解析され、報告されている⁴⁾。その結果より、飛翔コースは、放球点より ± 15 度の開き角の範囲内に入ると予測され、また飛翔速度は 6 月から 8 月の間では時速 90~130 km, 9 月、10 月では 18~54 km と予測された。結論を先に述べると、7 機の気球の実際の飛翔範囲は、全て上記予測範囲に入っており、飛翔速度も同様によい一致を示している。

図 1 に 3 年間に飛翔した 7 機の気球の航跡図を示す。気球の飛翔位置は、図から明らかにように、7 機全て予想水平浮遊範囲内によく入っている。予想水平浮遊範囲は、上昇中東方に約 100 km 進み、その後反転して中国に向うものとし、その際、気球は放球後南北に ± 15 度の開き角をとった中を飛翔するであろうとして設定された。この予想水平浮遊範囲の南北開き角のみを狭めたものと実際の気球航跡図と比較し、それらが、何度の開き角の範囲に入っているかを求めたものが図 2 である。7 機の内 6 機までは ± 10 度の範囲に入っている。残る 1 機は、日本から 600 km までの間西南西に進んだため開き角が大きくなったが、その後は西方に転じたため、中国本土内の最終位置は他の 6 機とほぼ同じ範囲内にある。航跡全体よりも中国本土に上陸した位置に着目して、放球点からの真西方向にたいする上陸点の開き角の絶対値をとって頻度を調べると図 3 となる。全ての気球は ± 6 度以内であって、その中の 4 機まで ± 2 度の範囲であり、飛翔分散が非常に小さいことがわかる。

次項でも述べるが、第 3 年度は観測時間を長くするため、飛翔速度が遅くなるよう放球シーズンを 20 日ほど遅くし 8 月とした。その結果、飛翔コースの分散が増大することが危惧されたが、結果の上では、何ら差異は出ていない。

3. 飛翔速度・時間

中国本土まで飛翔した 7 機の気球は、全て 10 時間以上の観測時間が確保されている。こ

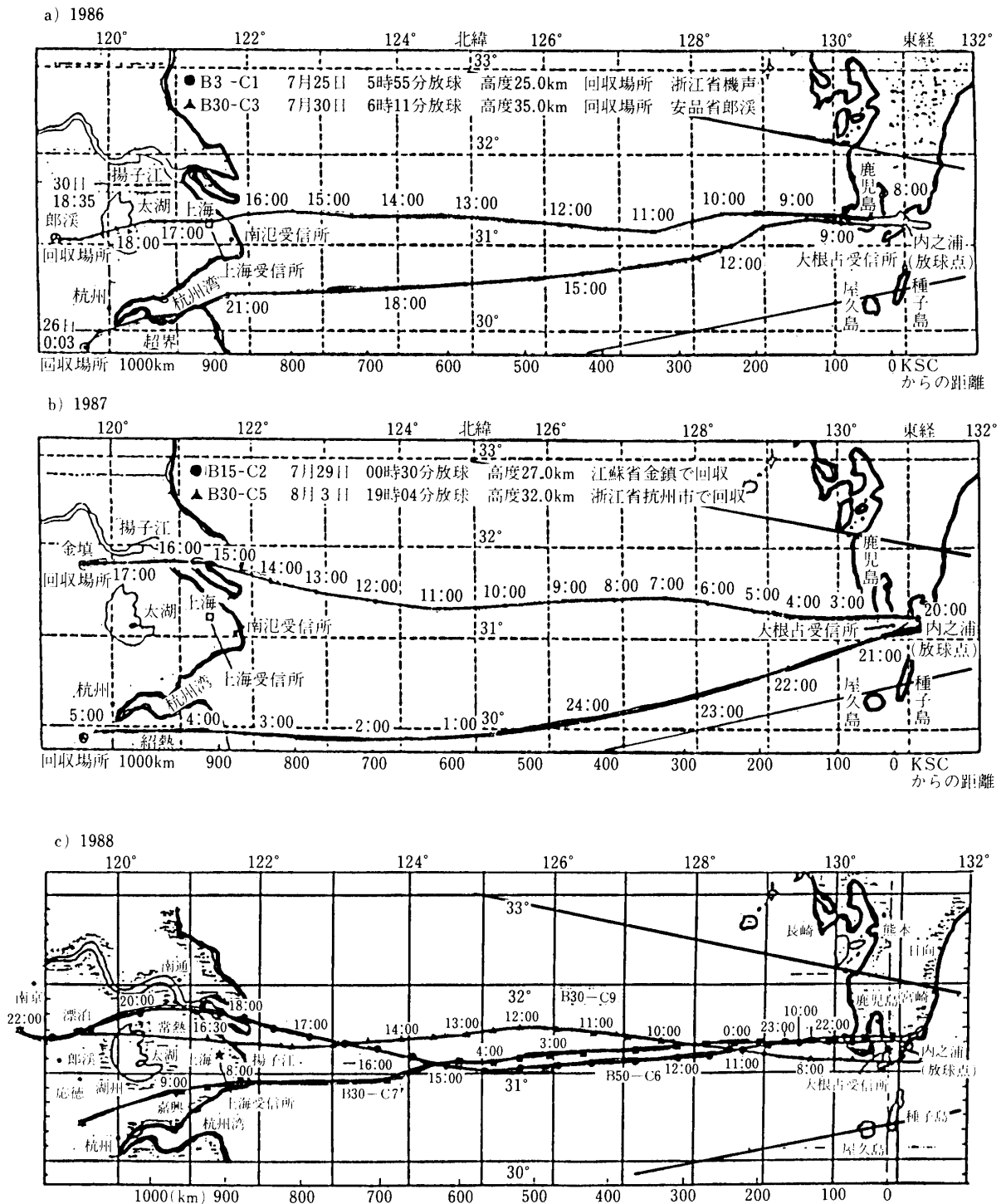


図1 中国まで飛翔した気球の航跡図

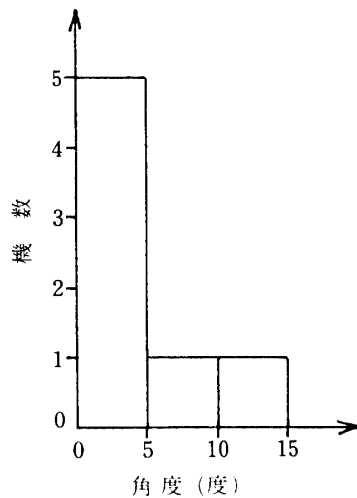


図2 飛行航跡の最大南北開き角

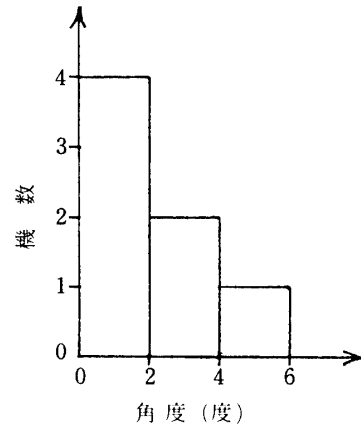


図3 中国本土上陸地点の放球点からの開き角

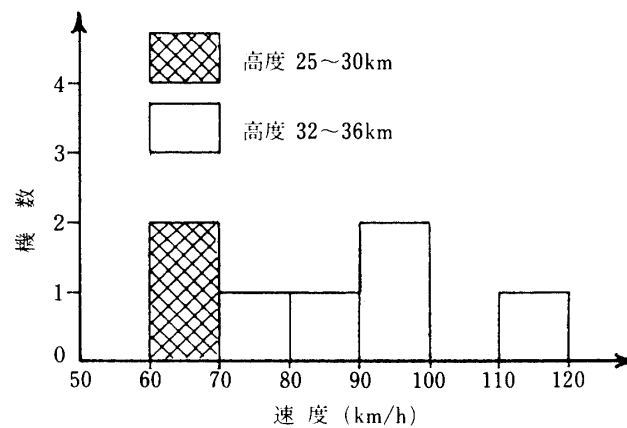


図4 平均飛行速度

の時間を各気球の飛行距離で割って平均飛行速度を求めたものが図4である。

飛行速度の基本傾向としては、高度が高いほど速くなり放球日が遅くなるほど遅くなる。前者の傾向については、放球した7機の内、2機が高度30 km以下であり、その速度は他と顕著な差があるので、異った表示で図示した。放球シーズンについては、第3年度のみ7月から8月に約20日間ずらし、飛行時間の延長を図った。その結果、気球高度が32 km以上のグループの中でも、その年の3機は時速70~100 kmの範囲にあり、他の2機は90~120 kmであり、明らかに差異が認められる。

4. 回収

中国本土内において、パラシュートで地上に降下させた観測器の回収は中国側の担当であり、日本側は参加していない。回収班の構成等は前論文に詳しく述べられているとおり、

2つの班が作られ一つの班は上海西方にある大きな湖、太湖、より北側、他は南側で待機する体制をとった。図1の航跡図から明らかなように、7機の降下地点は太湖の南北に3機ずつ、中間が1機となり、分担区分が妥当であったことがわかる。7機の気球の観測器はいずれもほとんど損傷を受けず完全に回収されている。

6機の気球については、観測器は平地に降下したため、発見・回収は容易であって、降下後1両日の内に終了している。1機(B 30-C 7, 1988年放球)は、天目山系内の西天目山附近の山地に降下したため、場所は特定されていたものの、現場には容易に到達できなかった。また観測器の運搬も困難であり、分解して運ばざるをえなかった。このため、作業の終了は降下してから2週間後となった。

この気球の回収に当っては、観測器に搭載されていたアルゴスシステムが有効に機能した。気球飛翔位置を知るためのアルゴスシステムの活用はすでに何回か試みられ、停止している場合には誤差1 km以内で測定されるという良い成果を得ていたので⁴⁾、本プロジェクトにおいても、最終年度に全機に搭載した。他の場合は、降下後ただちに発見されているので、アルゴスシステムは活用されなかったが、山中に降下したこのB 30-C 7は、目視の困難な山中の査索となったため、あらかじめアルゴスシステムにより正確な位置が判明していることが極めて有益であった。

V まとめと考察

本プロジェクトは、3年間で7機の気球を中国本土まで飛翔させることに成功した。第2年度と3年度は、天文観測、宇宙線観測、成層圏大気観測の分野の観測器が搭載され、それらの科学観測にも成功した。また観測器は、中国側回収班の手により全て回収された。この3年間の実験の意義を気球工学の側面からまとめると以下ようになる。

1) 安定した東支那海横断気球飛翔の実証

3年間の飛翔実験を通じ10時間から18時間におよぶ気球の飛翔状態が大変安定しており、すべて予想した飛翔範囲の中を飛んで中国本土に到達し、この大洋横断気球飛翔の有効性を実証することができた。

2) 長距離気球飛翔管制技術の習得

1000 km以上離れた距離を、日中双方で分担して気球の管制を実施したが、飛翔位置計測、コマンド操作、データ受信等を十分確実に実施できることを示した。

3) 確実度の高い中国本土内での回収

中国側が強力な体制をとったこともあるが、中国本土まで飛翔した気球の回収は全て短期間の内に確実に行なわれた。回収された観測器の損傷もほとんどなかった。

4) 日中間協力による科学観測の成功

両国科学者・研究者の協力により、各種科学観測を成功させることができた。気球による科学観測の利点は、実験が比較的安い費用で手軽に行え、観測時間が長く、飛翔中コマンド操作およびデータ受信が常時できる点にある。今回の大洋横断気球による科学観測の成功は、こうした気球実験の利点を一層拡大したものとして大きな意義を持っている。

謝 辞

本プロジェクトは、日中政府間の合意にもとづく国家間プロジェクトとして実施された。合意の場となった第三回日中文化交流委員会に向けて準備の労を取られた大崎文部省学術局長および崔泰山中国科学院国際合作局副局長（いずれも当時）にまず深く感謝の意を表する。

本気球実験を行うに当って、放球に適した場所をお貸しいただいた内之浦町当局、航空機管制上多くの御配慮をいただいた運輸省航空局の担当部局、その他御協力いただいた各方面の方々に心から御礼を申し上げる。

参 考 文 献

- [1] 西村，他，日中大洋横断気球，宇宙研報告，特集第 20 号，3～21，1987.
- [2] 近藤，他，26 km 高度での一酸化窒素の日変化の測定（日中共同気球観測），宇宙研報告，特集第 22 号，43～60，1988.
- [3] 小林，他，88 年日中バルーン 1 次電子の観測，大気球シンポジウム集録，昭和 63 年，193～196，1988.
- [4] 野口，他，日中共同気球（B 50-C 6）による Cyg X-1 の観測報告，大気球シンポジウム集録，昭和 63 年，140～141，1988.
- [5] 山中，他，東支那海横断気球の実現性に関する気象学的考察，宇宙研報告，特集第 8 号，15～32，1983.
- [6] 大田，他，アルゴスシステムの気球利用試験，宇宙研報告，特集第 13 号，25～34，1985.