

アフリカ・ザンビアにおける 2001 年日食・日本学術観測団の観測

高橋典嗣^{*}，湯元清文^{**}，一本 潔^{***}

^{*} 〈明星大学 〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1〉

e-mail: takahasn@ge.meisei-u.ac.jp

^{**} 〈九州大学 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1〉

e-mail: yumoto@geo.kyushu-u.ac.jp

^{***} 〈国立天文台 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: ichimoto@solar.mtk.nao.ac.jp

2001 年 6 月 21 日、アフリカのアンゴラ、ザンビア、ジンバブエ、モザンビーク、マダガスカルで皆既日食が見られた。日本学術会議の天文学国際共同観測専門委員会、日食分科会の委員が中心となる観測チーム、「2001 年日食・日本学術観測団」は、この皆既日食の観測をザンビアのルサカで行った。観測は、快晴に恵まれ、成功した。観測地選定の経緯と観測で得られたデータの概要、現地での観測団の様子等について報告する。

1. 観測地選定の経緯

第 18 期日本学術会議の天文学国際共同観測専門委員会では、日食分科会の委員が中心となる共同観測チーム、「2001 年日食・日本学術観測団」を結成した¹⁾。

観測団派遣に先立ち、皆既帯が通過するアンゴラ、ザンビア、ジンバブエ、モザンビーク、マダガスカル各国の事情の調査及び 2000 年 6 月 17 日から 26 日の日程で実際に現地を訪問し、視察調査も行った。この結果、アフリカ南部の 6 月の気象状況は乾季で、気象条件としてはどこも申し分ない。そこで皆既帯が通過するアフリカ諸国の政治や治安を最優先とし、国政も安定して平和国家を主張するザンビアを観測地に決定した。

図 1 にザンビアを通る皆既帯を示した。ザンビアの首都ルサカは、すっぽり皆既帯に入り、中心線まで移動しなくても市内や空港で皆既継続時間を 3 分確保することができ、今回の皆既帯の中で最も便利な場所の一つである。加えて、ザンビア

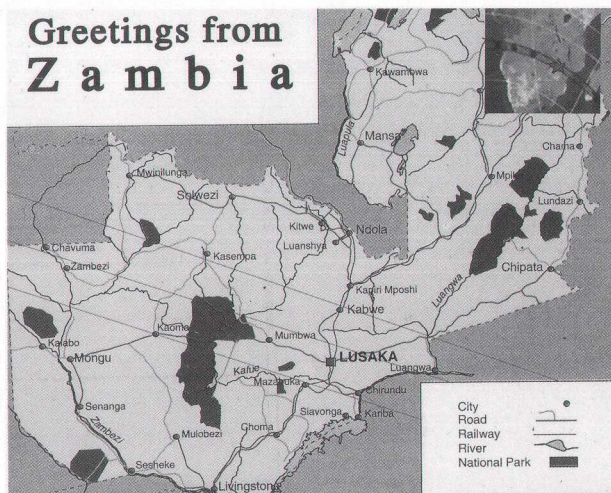


図 1 ザンビアを通る皆既帯。ザンビアの絵はがきに皆既帯を加筆

の在日本大使館の全面的な支援と便宜供与を受けることになった。ルサカ市内で安全な観測地と宿泊場所を確保することができたばかりでなく、一年の準備期間中、現地の様子やホテル予約の状況など逐次連絡を受けた。これにより、日本にいなから観測地の状況を把握することができたので、安心して観測準備に専念することができた。



図3 観測地の様子。ザンビア日本大使館の中庭に設置された観測機材

こうして一年の準備期間を経て、ルサカ市内のホテル Longacres Lodge と日本大使館の中庭の2箇所で、皆既日食の観測を行った。図2 (=表紙) は今回得られた太陽コロナ像、図3は在ザンビア日本大使館における観測機材設営の様子を示している。

2. 観測概要

観測テーマは、皆既日食時の地球磁場の変動、フラッシュスペクトルの偏光、コロナ輝線、コロナの電子温度、コロナの測光など多岐にわたった。これらの内、幾つかの観測装置や得られた初期データについて簡単に紹介する。

2-1 地上磁場多点同時ネットワーク観測による日食の地上磁場への影響の調査

皆既日食に伴う地球磁場の変動を観測するために、ルサカとルサカから南西約150kmにあるジンバブエとの国境付近のチルンドでの2カ所に磁力計を設置し、九州大学の既存の環太平洋地磁気ネッ

トワーク (CPMN)²⁾との同時比較観測を行った。

皆既日食の地球物理学的な観測目的は、日食に伴う超高層大気現象の変動を時空間の4次元の現象と捉え、それらを分離解析できる高時間・空間分解能の地磁気変動データを取得することにある。皆既日食中には電離層中のプラズマ密度、電気伝導度が大きく変動することが知られているが、具体的な研究テーマは、以下の地磁気変動について焦点が絞られている。

(1) 研究の目的

① Sq 電流系の変化

地磁気静穏時に見られる地上磁場の日変化 Sq (Solar quiet) 磁場変動は、電離層電気伝導度の空間分布に大きく左右されている。皆既日食に伴う局所的な電離層電気伝導度の空間分布の変化が、日食下、そして反対半球の電離層に電磁気的な作用として発生し、地上観測点の Sq 磁場変動として検出されるかを確認する。

② DP 2 型地磁気擾乱

周期1時間程度の DP 2 型地磁気擾乱は、太陽風中の磁場の変化に伴う電場の極域電離層への侵

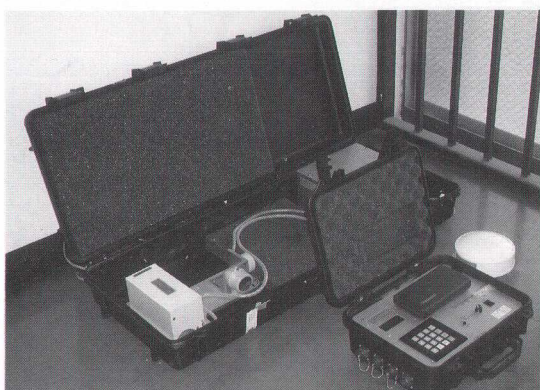


図4 観測に用いられたフラックスゲート磁力計。奥のケースは磁力計，傾斜計，温度計センサーとアンプリー。手前のケースはコントロールボックスとメモリーカード記録計である。

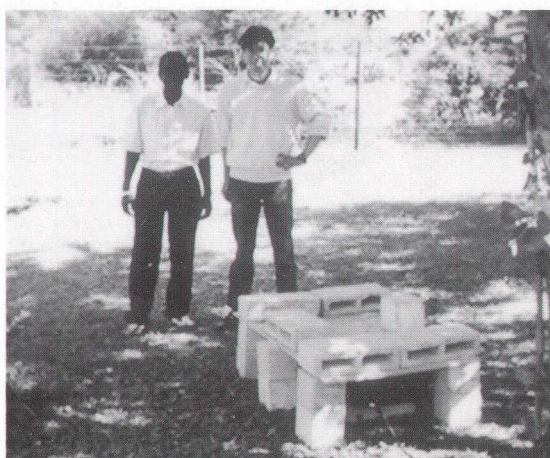


図5 チルンドでの磁力計設置風景

入によって生じるグローバルな電離層電流変動であると考えられている。①と同様に日食による局所的な電離層電気伝導度の空間分布の変化が，DP 2 地磁気擾乱の振幅や伝播に影響を与えるかどうかを確認する。

③ ULF 地磁気脈動

数秒から 10 分程度の周期を持つ ULF 地磁気脈動の固有周波数は，電離層のプラズマ密度状況によって変化することが理論的に期待されている。日食効果による電離層のプラズマ密度，電離層電気伝導度変化が，ULF 地磁気脈動の振幅分布，伝播モードや固有周波数の変化に影響を与えるかどうかを調査する。

(2) 観測方法

①，②を調べる為に，ルサカの日本大使館敷地内 (LSK, -26.1° Mlat, 98.7° Mlon) にフラックスゲート磁力計を設置した (図4)。これに定常観測を行っている「CPMN」の南アフリカのハーマナス (HER, -42.12° Mlat, 82.72° Mlon) とイタリアのラキーラ (LAQ, 36.3° Mlat, 87.6° Mlon) のデータを加えて，得られた磁場変動がローカルな磁場変動か，また北半球でも影響が現れるか等の評価した。

③を調べる為に，2 観測点間での H 成分振幅比

法，位相差法を用いることを計画した。そこで，ルサカから南西約 150km にあるジンバブエとの国境付近のチルンド (CRD, -26.8° Mlat, 97.8° Mlon) の，橋を建設中の鹿島建設のキャンプヤード (ジンバブエ側) の一角に，同型のフラックスゲート磁力計を設置した (図5)。

(3) 観測結果

ルサカ，チルンドでは 6 月 15 日から 22 日までの地磁気データを取得できた。図6はルサカ (LSK) で観測された地磁気の南北 (H)，東西 (D) 成分を示しており，図中の横線は日食継続期間である。これを見ると磁気嵐が発生した 18 日を除いて，毎日平均的な Sq 磁場変動が観測されていることがわかる。21 日の日食期間中には，他の日に比べて D 成分が 20nT 近く西向きに変化していることがわかる。これは Sq 電流系の午後側の南向き電離層電流が減少したことに相当しており，電離層電気伝導度の減少から予測される磁場変動と一致している。

図7は日食期間中にヨーロッパ，アフリカ地域の「CPMN」の観測点で記録された磁場変動である。図中の横線はそれぞれの観測点の日食継続期間を示している。ただし，LAQ では磁気共役点での日食継続期間を示している。これを見ると，

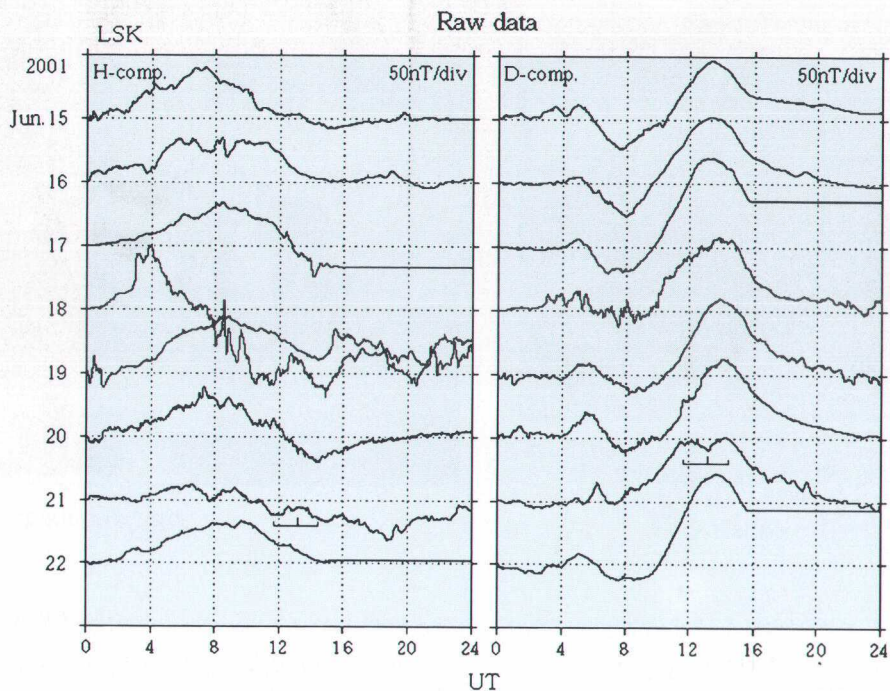


図6 ルサカで2001年6月15～22日に観測された地磁気の南北(左), 東西(右)成分. 図中の横線は皆既日食継続期間を示している.

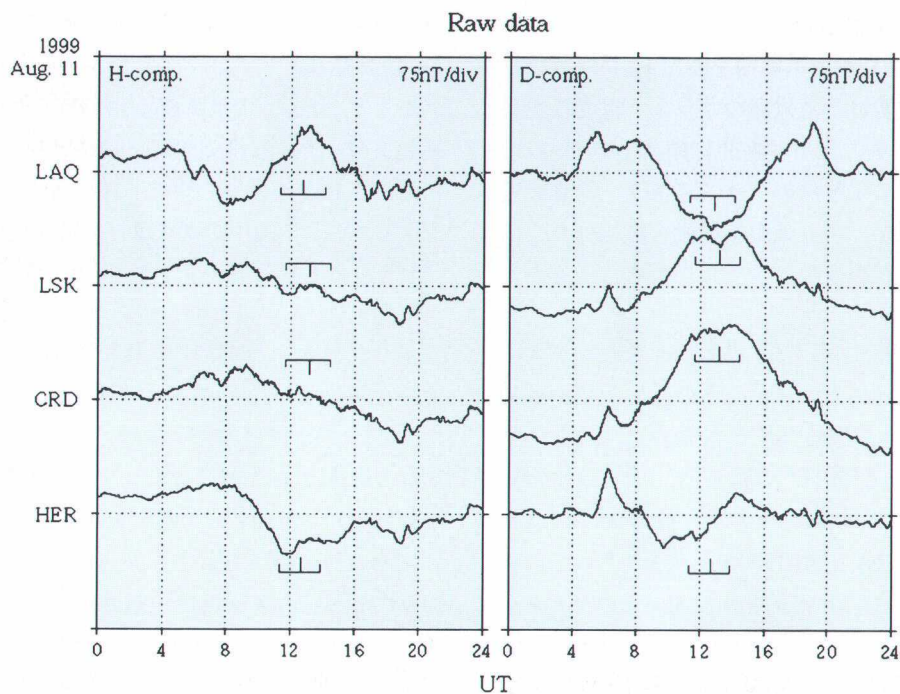


図7 日食時に環太平洋地磁気ネットワーク(CPMN)で記録されたデータ.



図8 アルミホイルで作成したボックス内に分光器が入っている。

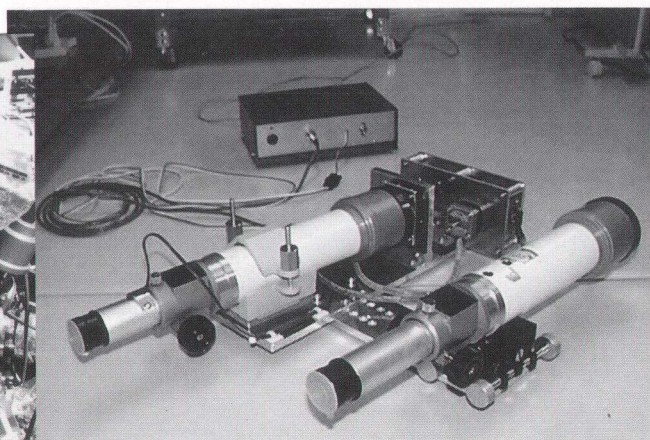


図9 手前からガイド望遠鏡，分光器部，パルスモーター制御回路

HERの南北(H)成分にも日食に関連すると考えられる磁場変動が観測されている。また、日食の反対半球のLAQでは日食効果は観測されなかった。

残念ながら、皆既日食期間中には解析できる十分な振幅のULF地磁気脈動が発生しなかったために、研究目的②、③についての解析研究はできていない。

(地磁気観測担当者：湯元清文，吉川顕正，田中良昌)

2-2 フラッシュスペクトルの偏光観測

皆既日食の直前には、太陽の外層が極めて細く、三日月型に光って見える。このとき分光器により得られるフラッシュスペクトルの観測は、これまでも多くの観測者により行われてきた。しかし、 $H\beta$ (486nm) と $HeD3$ (588nm) の区間の直線偏光を測ることは、あまり観測例がない。1999年8月11日のトルコに於いて行ったのに続いて、今回が2回目となった。この観測は、連続光の測定から彩層内での電子散乱が他の過程と比べてどの程度かを調べ、これまでの彩層モデルの検証を行うことがで

きる。また、 $H\beta$ と D_3 の輝線の偏光により、プロミネンスの磁場強度を決定する。さらに、コロナ輝線の偏光から各線の励起機構を調べ、コロナの温度構造を調べる等の目的³⁾のため行った。

(1) 観測機材

分光器には、リチャードソングレーティング社製の透過型グレーティングを使用した。グレーティングのサイズは $52 \times 52\text{mm}$ で、格子定数は 75本/mm 、ブレイズ角は $4^\circ 57'$ で、口径 60mm 、焦点距離 420mm の対物レンズの全面に取り付けた。焦点面での分散は 29nm/mm に設計した。

さらに、グレーティングの前には、偏光板を取り付けている。偏光板は、マイクロドライブ方式のパルスモーター制御回路で、 0.5 秒間隔で 45 度ずつ回転させ、画像取り込み速度を $1/30$ にしたとき、各角度による画像を 10 フレーム以上取得できるように設定した。パルスモーター制御回路は、RS232C インターフェースにより、コンピュータで自由に回転速度と回転間隔を変えることができる。

撮影は、SONY製のCCDカメラ(XC75)を使った。ピクセルサイズは、 $9.8 \times 8.4\ \mu\text{m}$ で、ピクセル数は、 640×480 ピクセルである。ビジョンフリーザーにより露出時間を $1/30$ 秒に設定し、リアル



図 10 画像取り込み用のコンピュータ

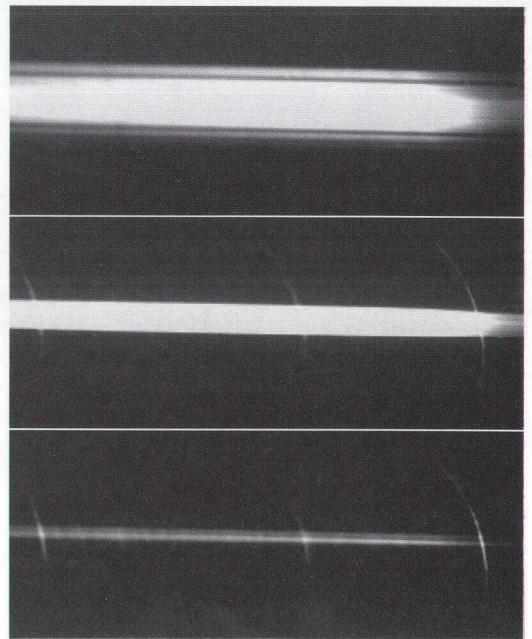


図 11 第2接触時のフラッシュスペクトル

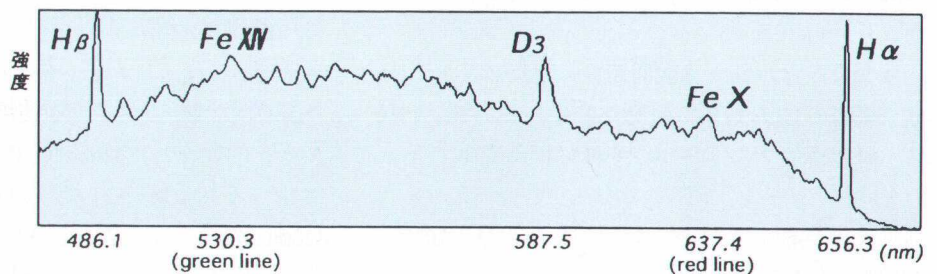


図 12 図 11 から作成したラインプロファイル

タイムでコンピュータに連続して非圧縮画像で記録した(図8～図10)。

(2) 観測で得られたスペクトル

第2接触時に3000枚、第3接触時に3000枚、合計6000枚の画像を取得することができた。画像取り込み速度は、1秒間に30枚に設定したので、第2接触、第3接触の前後それぞれ100秒間のデータを取得した。図11は、第2接触前後の3000枚の内から4秒ごとの3枚を並べている。約12秒で連続光の吸収線が輝線に変わっていくことがわ

かる。

図12には、図11のコロナ輝線のラインプロファイルを示した。これより、太陽彩層の2つの水素輝線($H\beta$, $H\alpha$)とヘリウム線(D_3)及び太陽コロナの輝線 Fe XIV (green line) と Fe X (red line) が同定できる。図13には、第3接触直前の輝線スペクトルを示した。

(フラッシュスペクトル観測担当者：井上幹也、高橋典嗣、西村美恵、矢治健太郎、山口善久)

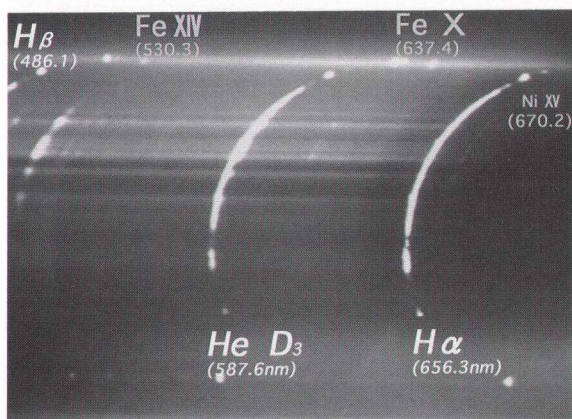


図13 皆既食中の輝線スペクトル

2-3 5303 コロナ輝線の観測

200 万度に対応する高温のコロナ輝線 (530.3nm, green line) と白色光による写真撮影を行った。光学系は、口径 10cm (ボーグ製) にパーロレンズを用いて合成焦点距離 2800mm に設計した。コロナ緑線の撮影には、半値幅が $3.0\text{\AA}$ の干渉フィルター (アンドーバー製) を恒温槽に入れて使用した。これらの装置で、太陽の南西側の撮影に成功した。図 14 (=表紙) は、撮影した画像と OMC (Octodirectional Maxima Convexities) アルゴリズム⁴⁾ によりループ構造を強調したものである。今後これらの画像や衛星画像等から、ループ構造の違いや、相関について解析を行う予定である。

(輝線観測担当者: 大越 治, 高橋典嗣, 武田 秋)

3 インターネット中継と遠隔講義・国際交流

観測団は、ザンビア滞在中に教育活動の一貫として、国際交流、インターネット中継および遠隔講義を行った。

3-1 ザンビアからのインターネット中継

「ライブ! エクリプス」実行委員会では、1997 年 3 月のシベリア日食から毎回インターネット中継による日食のライブ中継を行っている^{5), 6)}。今回

のアフリカ皆既日食においても、ザンビア、ジンバブエ、マダガスカルの 3 カ国からインターネット中継を行った。この内、ザンビアからの中継は、日本学術観測団が担当し、太陽全体像、太陽拡大像、観測地の風景をインド洋上のインマルサット衛星経由で 2 回線を使用して画像を KDDI 大手町ビル内に設置した ENOC (Encoding and Network Operation Center) に配信した。ここで他の中継地点からの画像とともに映像編集され、インターネットによって世界中に配信された。ストリーミングは、Real-Media, WindowsMedia, QuickTime を用い、それぞれ低帯域 (56 kbps) ・高帯域 (256 kbps) の 2 つのストリームを作成し、受信者側が自分のネットワーク環境に合わせて選べるようになっている。

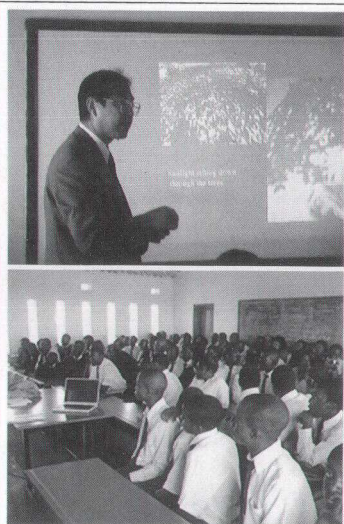
(インターネット中継担当者: 金沢千治, 嶋村圭史)

3-2 遠隔講義

ライブエクリプスが配信する日食画像を使い、広島市の小学校 4 校と東京の科学技術館で同時に遠隔講義⁷⁾を実施した。講義時間は、日本時間で 21 : 00 ~ 22 : 30 と遅い時間であったが、どの会場も多数集まった (図 15)。講義時間の 21 : 30 ~ 21 : 50 の 20 分及び 22 : 20 ~ 22 : 30 の 10 分間の 2 回、皆既日食の前と直後にザンビアの観



図15 遠隔講義の様子・広島市立井口明神小学校 (写真提供: NPO 法人中国・四国インターネット協会)



**Lecture meeting of The Total Solare Eclipse
on 21 June 2001**

Place Prince Takamado Basic School

The time appointed for meeting AM 09:30

Date and Time 19 June 2001 AM 10:00 - 12:00

Programme

09:30	Collect the questionnaires
10:00	Welcome address
	Principal Phiri, Prince Takamado Basic School.
10:10	Sing a Japanese Song
	(Melody of the four seasons in Japan)
	Solar Eclipse Party of Science Council in JAPAN.
10:40	The Total Solare Eclipse on 21 June 2001
	Speaker Noritsugu Takahashi.
11:00	Method of Observe at Solar Eclipse
	Speaker Kentaro Yaji.
11:30	Origami and Taketonbo
	(Fold a piece of paper into the figure of a crane)
	Speaker Inoue and Ogawa.
11:50	Closing address

Lusaka, Zambia, June 19, 2001

図 16 講演会の様子とプログラム

測地と日本の各教室を簡易テレビ会議システム (Net Meeting) で結んだ。この時間、日本の教室の子ども達の質問にザンビアで応え、双方向の映像と音声により、臨場感あふれる授業を展開することができた。

遠隔講義の参加児童・生徒には、遠隔講義の前と講義直後にアンケート調査を実施した。調査結果は現在解析中であるが、学校教育において皆既日食のように直接体験が難しい現象を画像情報として教材化し、臨場感あふれる直接体験のようにして与えることは、有効である⁸⁾ことを示している。情報通信技術の進展により、今後このように時間と空間の壁を克服した同様の教材化が盛んに開発されるていくと推察される。今回の遠隔講義は、この分野の先駆的な試みであった。

(遠隔講義担当者：縣 秀彦，尾久土正己，高橋典嗣，前田香織，山崎良雄)

3-3 ザンビアでの日食講演会

現地に滞在中、理科教育国際交流の一貫として、日本の支援で校舎が建設されたプリンスタカマドベイシックスクールにおいて、日食講演会を開催した。講演の様子とプログラムを図 16 に示した。参加し

た生徒は約 100 名で、講演の他に日本の四季の歌を観測団員がメドレーで合唱したり、折り紙の実演や竹とんぼを生徒に配付し、校庭で飛ばし方を実演するなど、どれも好評であった。

3-4 ザンビア滞在中の交流

プリンスタカマドベイシックスクールでの講演会終了後、五月女光弘大使より、大使公邸での昼食会に招かれた。観測成功を願って集まってくれたザンビア大学副学長やザンビアの科学者達、日本大使館の方々と話すことができる貴重な機会であった。南アフリカから取り寄せたという新鮮な魚介類のお寿司や天井など、思い掛けない日本料理に感激した。連日の準備と観測の緊張感で疲れた観測団員にとって、心和む一時であった。

また、ザンビア滞在中に、ザンビアの婦人会(桜会)や大使館が主催する講演会で講演を行う機会を得た。今回の観測では、日本大使館の支援が、観測成功の鍵となった。こうして、観測が終了すると観測成功の乾杯が用意されていた。図 17 は、五月女大使を囲んで観測成功を祝って撮影した、記念写真である。

謝 辞

観測団の準備から観測終了まで、外務省中東アフリカ局の山上春雄氏、ザンビア日本大使館の坂治己氏、富松敬二氏をはじめとする大使館の皆様にご支援とご尽力いただいた。特に、視察調査と観測地の選定から観測終了まで、中村義博大使、五月女光弘大使に格別のご配慮を賜った。観測面では、明星大学の日江井榮二郎学長、平山 淳教授にご教示いただいた。また、日本学術会議第4部会天文学国際共同観測専門委員会及び日食分科会の皆様、日本学術会議の小野寺佳朗氏には、観測団派遣の便宜を図っていただいた。ここに記して、これらの諸氏に深く感謝申し上げます。



図 17 五月女大使を囲んで記念撮影

参 考 文 献

- 1) 高橋典嗣・湯元清文, 2001 年アフリカ日食観測計画, 太陽コロナ研究の現状と展望 (国立天文台), 55-57 (2001).
- 2) Yumoto, K., Characteristics of Pi 2 magnetic pulsations observed at the CPMN stations, A review of the STEP results, Earth Planets Space, 53, 981-992(2001).
- 3) 米嶋和香子・平山 淳・高橋典嗣・山崎高幸・鈴木大輔・飯塚康至, 1999 年 8 月 11 日の皆既日食におけるフラッシュベクトルの偏光観測, 太陽コロナ研究の現状と展望 (国立天文台), 39-44 (2001).
- 4) Takeda, A., Kurokawa, H., Kitai, R., and Ishiura, K. Contribution and Properties of the Green and Red-Line Coronal Loops in the K-Corona, Publ. Astron. Soc. Japan, 52, 375-391 (2000).
- 5) 尾久土正己, 世界最強の日食中継ボランティア, 天文月報 (日本天文学会), 93(2), 86-92 (2000).
- 6) 尾久土正己・板垣朝子・高橋典嗣・和田英一・森 友和・相川成周・安田 豊・中山雅哉・森下貴裕・市川雄一・大原弘美・渡辺健次・近藤弘樹, インターネットを使った大規模な日食中継の実現とその教育への応用, システム教育情報学会誌, 18(2), 219-231 (2001).
- 7) 高橋典嗣・木内誠二・山崎良雄, 2001 年アフリカ日食インターネット中継による遠隔講義, 第 3 回天網の会ワークショップ (国立天文台天文学データ解析計算センター), 94-98 (2001).
- 8) 高橋典嗣・縣秀彦・前田香織・尾久土正己・山崎良雄, 「総合的な学習の時間」における遠隔学習導入の有効性に関する考察, 日本教育工学会学会誌, (投稿中).

Observation of The Total Solar Eclipse on 21 June 2001 in Zambia.

Noritsugu TAKAHASHI

Meisei University, Hodokubo Hino, Tokyo JAPAN 191-8506

Kiyohumi YUMOTO

Kyusyu University, Fukuoka, JAPAN 812-8581

Kiyoshi ICHIMOTO

National Astronomical Observatory of Japan, Mitaka, Tokyo 181-8588

Abstract: On 21 June 2001, path of totality in Angora, Zambia, Zimbabwe, Mozambique, and Madagascar in Africa. The Japan Scientific Observation Team, consisting primarily of the members of the Solar Eclipse Subcommittee of the Committee for International Collaboration in Astronomy of the Science Council of JAPAN, visited Lusaka in Zambia to observe the total solar eclipse. Blessed with fine weather, the observation was successful. The outline of the influence of solar eclipse on the terrestrial magnetism, polarization of the flash spectrum, and other observation data, as well as the way educational activities were carried out, are reported.