

# 太陽紫外マグネシウム重線分光〔II〕\*

矢島 信之\*\*・河野 嗣男\*\*・末元 善三郎†

## はじめに

昭和46年9月に行った気球による予備実験〔I〕〔2〕の結果を基礎に、昭和47年9月、太陽紫外Mg II 2重線の本格的分光観測実験を行った。分光器としては、ファブリペロ干渉計2個を直列に結合させる方式により高分解能分光の実現をめざした。また太陽追尾制御装置に関しても、前回の予備実験の結果をもとに改良を加え、±5秒角以上の高精度追尾の実現をめざした。

さらに加えて、分光波長走査の1周期終了ごとに光路を切り換え、干渉フィルタを通した太陽紫外単色像を、35mmカメラで撮影する機能を付加した。もちろん、観測の主体は分光観測であるが、気球に搭載する機器を有効に利用する意味からも、単色像撮影を加えた。また、太陽像面上での分光位置を変えるため、分光器入射スリット上の太陽像を1分光サイクル終了ごとに順次移動させる機能を持たせた。

ここでは、これら観測装置の内容と、気球による観測実験の結果について報告する。

## 2. 観測装置

### 2.1 太陽追尾制御装置

太陽追尾は、前回の予備実験と同様に、まず第一段として、宇宙研で開発されたよりもどし制御〔3〕〔4〕によって、太陽の方向に Gondola 全体を回転させる。よりもどし制御が一定の範囲内に入ったならば、Gondola 内でミラーの反射角を制御する精密な追尾に移る。

#### 2.1.1 太陽追尾制御の概要

制御装置の概要を図1に示す。太陽光は、仰角、方位角の2軸が各々独立に制御される平面鏡 M1 によって、口径 80 mmφ、焦点距離 800 mm の凹面鏡 M2 に導かれる。凹面鏡によって集光された光は、紫外光だけを反射する中間鏡 M3 によって、分光器入射スリット上に紫外光の実像を結ぶ。M3 を透過した可視光は、全反射鏡面の中間鏡 M4 によって、精密太陽位置センサ上に、約 7.4 mmφ の実像を結ぶ。

太陽位置センサの出力信号は、プリアンプ、補償回路、パワーアンプを経て、サーボモータを駆動し、平面鏡 M1 の反射角を調節し、太陽像が位置センサの中央に来て、出力信号がたえず零となるよう制御する。

分光器入射スリット上に結像する太陽像の大きさが約 7.4 mmφ であるのに対し、スリット幅は 0.04 mm である。太陽の視角は約 32 分角であるから、スリットの視角は 10 秒

\* 宇宙研特別事業費による論文

\*\* 機械技術研究所

† 東京大学理学部

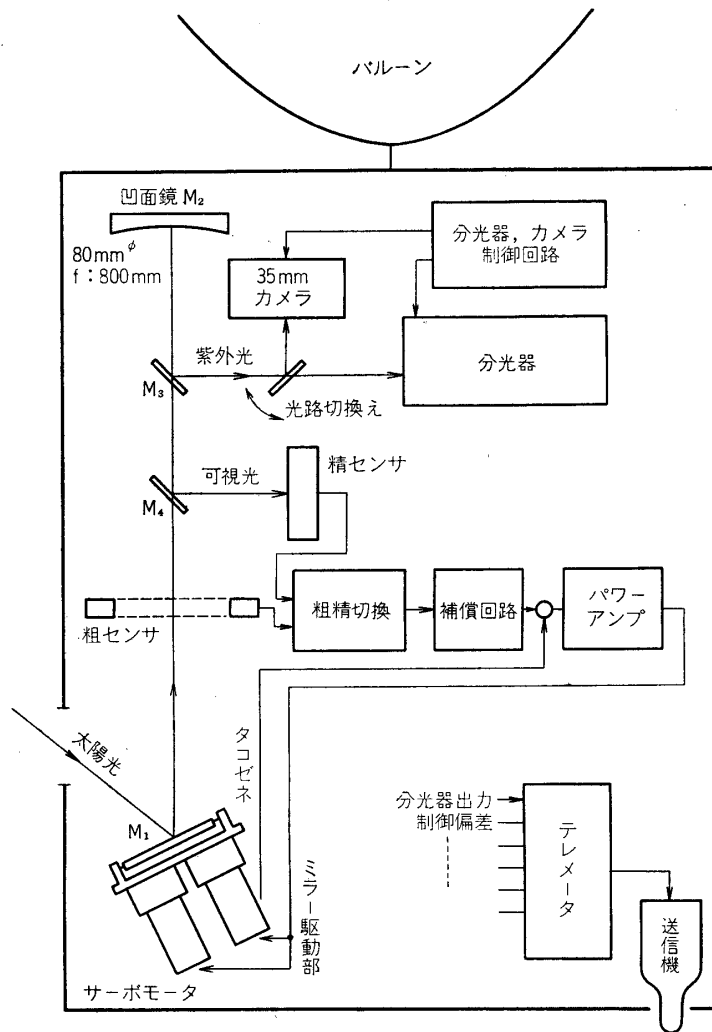


図 1 観測装置概略図

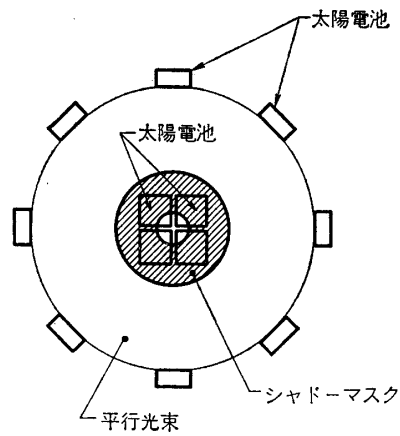


図 2 粗センサの構成図

角となる。したがって、追尾制御は最低  $\pm 5$  秒角程度の精度が要求されることとなる。

### 2.1.2 太陽位置センサ

位置センサは、粗センサ、精センサの二段階構成となっている。粗センサは、制御開始時に平面鏡 M1 が可動範囲内のいかなる方向にあっても、そこから反射された太陽光を捕え、追尾を開始できるように、分解能は低いが出検範囲の広いセンサである。南中時の太陽高度 (約 60 度) と平面鏡 M1 の可動範囲 ( $\pm 10$  度) との関係で、 $\pm 30$  度の検出範囲を持たねばならない。

粗センサは、図1のごとく、平面鏡 M1 の上方に太陽電池を配列し、M1 で反射された平行光を捕えて動作させている。図2が粗センサの構造図であり、中央に丸い穴のあいたシャドーマスクの下に4枚の太陽電池を配列した検出器を中央部に置き、さらに平行光束の周囲に太陽電池を配列し、検出範囲を広げている。写真1が粗センサの写真であり、下方が反射角を制御する平面鏡 M1、粗センサの上方奥に凹面鏡 M2 がある。

精センサは、一辺 20 mm の太陽電池4枚を組み合わせたもので、太陽可視光の結像位置に置かれている。検出範囲は約 2.5 度角である。写真2が精センサであり、後に説明する移動テーブルの上に取り付けてある。なお、精センサの前には、熱線カットフィルタを取り付けて保護している。

### 2.1.3 ミラー駆動機構

平面鏡 M1 の仰角、方位角 2 軸の反射角を制御し、太陽を追尾する機構を写真3に示す。80 mm $\phi$  の平面鏡をジンバルに取り付け、タコゼネ付きサーボモータで角度を制御する。通常の機構では、ジンバル外側を駆動する場合は、内側のジンバルリングと、それを駆動するためのサーボモータをも含めた機構を駆動せねばならない。その場合、外側ジンバルの駆動系は負荷が増大し、応答特性が悪くなる。そうした欠点を除くため、図3に示すように、平面鏡 M1 のホルダの背面に2枚の研磨した平面板を直交して取り付け、この板をサーボモータの回転軸に取り付けた腕で押して角度を変える構造とした。サーボモータで一方

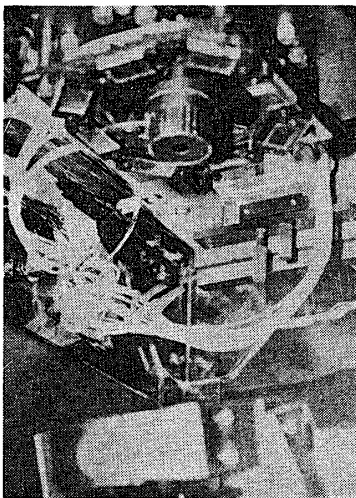


写真1 粗センサ

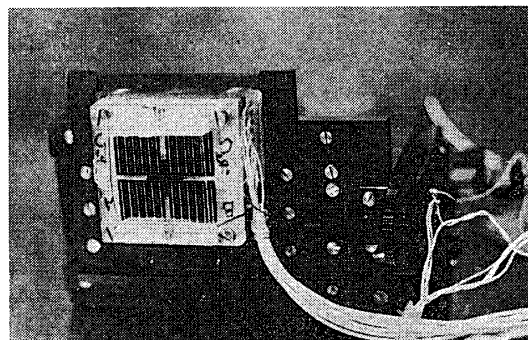


写真2 精センサ

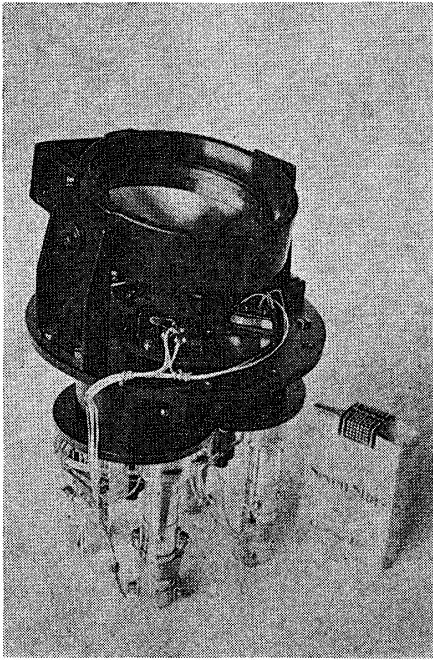


写真3 ミラー駆動機構

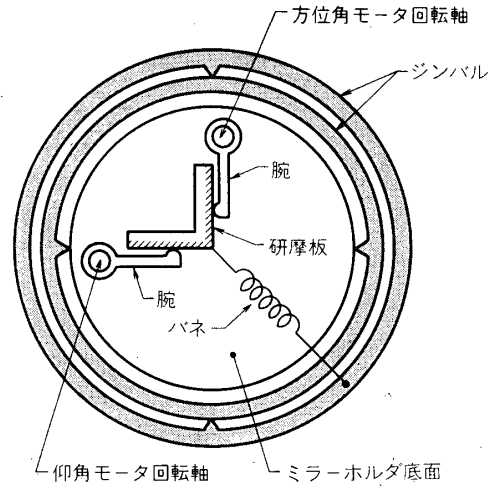


図3 ミラー駆動機構

の平面板を動かした場合、他方の平面板と腕の間は横にすべるのみで何の影響も受けない。

こうした構造によって、ミラー駆動用の二つのサーボモータとも同一平面に取り付けることができ、全体の構造が簡単になるとともに、動作特性も向上する。ただし、この機構では、広い範囲の角度の制御はできないが、我々の場合の動作範囲は2軸とも $\pm 10$ 度にセットした。この動作範囲は、仰角方向については、南中時の太陽高度約60度から、観測終了時である15時の高度約30度をカバーするのに十分な値であり、方位角方向に関しては、よりもどしの誤差分と二つの追尾制御の基準軸のずれによる偏差を加えても十分すぎる動作範囲である。

#### 2.1.4 制御回路

制御系の特性として基本的に要求されるものは、①制御の応答性をできるだけ速くし、②安定性を損なわずに制御系全体のゲインを高くすることである。とくに②は、ミラー駆動機構の摩擦やガタなどが原因となって生じる追尾精度の低下を防ぐ上で重要である。このための手段として、新しい方式を試みるまでには至らなかったが、タコゼネ出力のフィードバックによってサーボモータの応答特性を改善するとともに、位相遅れ補償によって前向きゲインの増加を計った。

制御は、まず粗センサの出力で追尾を開始し、その結果精センサの検出範囲内に太陽像が入って来たならば、検出器を精センサに切り換え、それ以降精密な追尾を行う。

粗センサから精センサへの切り換え回路は、図4のごとく、精センサの4枚の太陽電池の出力の和を取り、比較回路によって和の値が設定値を越えたならば、ゲート信号を発生させ、FETアナログスイッチを切り換える。

## 2.2 分光計

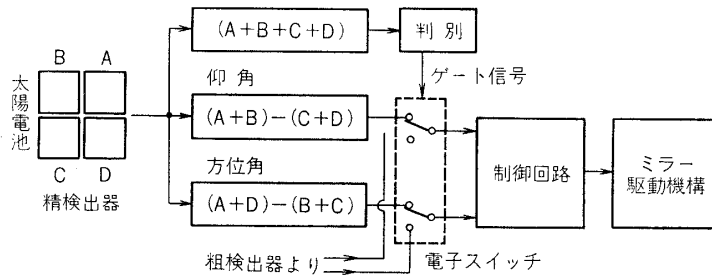


図4 精センサ, 粗センサ切換回路

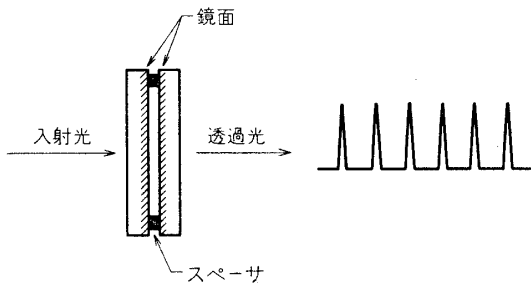


図5 ファブリペロ干渉計

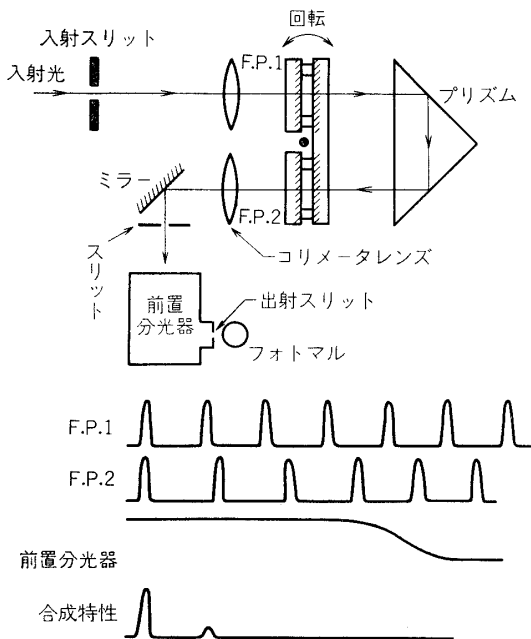


図6 分光計の概略図と分光特性

分光計は、ファブリペロ干渉分光計と、補助分光計としての小型回折格子分光計より成る。ファブリペロ干渉分光計の概念図は、図5に示すように、2枚の超精密に仕上げられた鏡を正確に平行に向い合わせ、鏡面間で生ずる光の干渉によって、チャンネルスペクトル型の透過特性を得るものである。

今回の観測に使用した分光計は、二つのファブリペロ干渉計を直列に結合させる方式である。二つのファブリペロ干渉計は、一方の鏡面を共通の基盤にし、プリズムによって光を折曲げて通過させるコンパクトな構造とした。波長走査は、ファブリペロ干渉計を回転させ、干渉計への入射角を変えて行った。干渉計の構造図と、合成された分光特性を図6に示す。

透過波長に対する二つのファブリペロのマッチングは、図6のF-P1のスペーサを光学接着エタロンとし、F-P2のスペーサを電歪素子としたので、後者の電圧を調整することによって行った。直列に結合されたファブリペロ干渉計の理論的分解能は $0.03 \text{ \AA}$ にし、分光計単体として $0.05 \text{ \AA}$ 程度に調整した。

光電出力の増幅器としては、前回の観測の教訓からログアンプを用い、3~4けたをカバーした。

### 2.3 その他の観測装置

#### 2.3.1 単色像撮影

分光計の波長走査が1周期終了するごとに、分光器入射スリットの前にミラーを挿入して

光路を切り換え、250枚撮り35mmモータドライブカメラを用いて紫外単色像の撮影を行った。同時にこのときは、分光計への入射光がカットされるので、分光観測データの零レベル確認にもなる。

カメラのシャッタ前には、中心波長 $2800\text{Å}$ 、半値幅約 $100\text{Å}$ の干渉フィルタを取り付け、シャッタ速度は、 $1/125$ 秒に固定した。露光量の調整は、カメラの直前に4枚のフィルタをターゲット式に置き、写真を1枚撮影するたびに切り換えた。ただし、フィルタの1枚は何も入れず、2枚はNDフィルタ、残りの1枚はカメラに取り付けたものと同じ特性の干渉フィルタである。最後の場合には、干渉フィルタが2枚直列に入ることとなり、半値幅も狭くなる。前報で指摘したように、オゾン層による紫外光の吸収が高度変化とともに大幅に変化するため、正確な露光量を事前に決定しえず、このような種々の露光量で撮影せざるをえなかった。

### 2.3.2 太陽像面走査

太陽像面上のスリット位置を固定せず、分光走査の1周期終了ごとに順次移動させる機能を持たせた。機構的には簡単であって、精センサを移動テーブルの上に乗せ、太陽面の中央から端までの13か所に相当するあらかじめセットされた位置をモータとマイクロスイッチの組み合わせで次々と移動させてゆく方式である。精センサが移動すれば、可視光の太陽像も検出器とともに移動する。その結果、分光器入射スリット上の紫外太陽像は、精センサの移動量と同量だけ移動し、相対的に太陽像上を入射スリットが移動することになる。

以上の一連のシーケンス制御の時間的推移をまとめると図7のようになる。1シーケンス動作は105秒となり、13か所の像面走査の周期を加えれば約22分周期であり、4時間の観測時間において約10回の測定を行ったことになる。

テレメータの1チャンネルを、クロック周波数 $0.5\text{Hz}$ で16チャンネルに低速時分割し、これら一連のシーケンス動作の確認を行うとともに、電源電圧等のチェックも行った。

## 3. 観測結果

### 3.1 観測経過

昭和47年9月21日8時45分、観測装置はB<sub>30</sub>気球で放球された。9時ごろよりテレメータが不調となり、再生信号はノイズが多く使用不能となった。10時52分、34kmの高度でレベルフライトに入り、よりもどし制御および観測装置を地上よりのコマンドでONにし

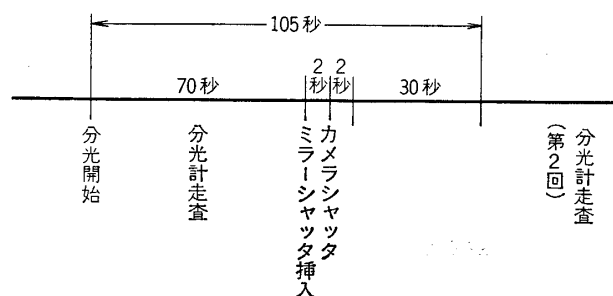


図7 太陽紫外観測シーケンス

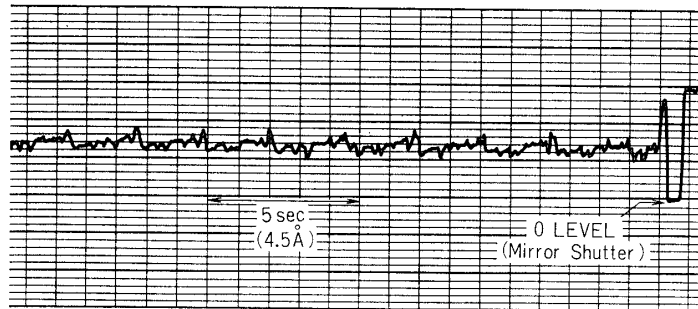


図8 分光データの一部分

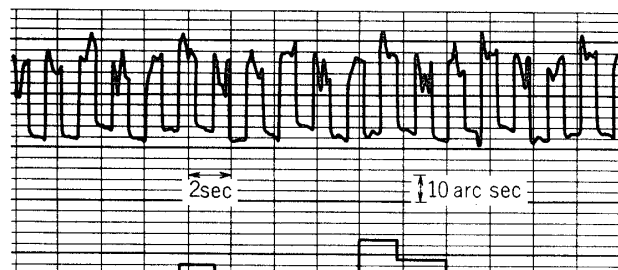


図9 太陽追尾偏差信号 (上段: 方位角, 下段: 仰角)

た。しかしテレメータは不調のまま、ノイズの間からかろうじて観測を開始していることが確認された。その後13時ごろより次第にノイズが消え、正常にデータを送って来た。以降、太陽追尾の動作範囲が限界となった15時40分まで2時間にわたり観測データが得られた。ただし、ゴンドラの着水推定位置が、北緯39度40分、東経143度50分の宮古市東方160 km 沖の海上となり、回収はできなかった。

### 3.2 分光観測

分光観測結果の一部を図8に示す。図では明らかでないが、波形の一部にそれと思われるプロファイルが認められるが、有効なスペクトルプロファイルを与えてはいない。これは、ファブリペロ干渉分光計の多くのチャンネルスペクトルの混入が原因となってコントラストが低下した結果と思われる。すなわち、図6において、前置分光器の特性幅が不十分のため、合成特性に示すような単独ピークによる分光ではなく、いくつかのピークが重なってしまったため、これを走査しても不十分なコントラストとなってしまったと思われる。補助分光器または干渉フィルタの良いものが入らなかったことが原因である。

### 3.3 太陽追尾制御

追尾制御は、テレメータが動作している期間を通じて、特に大きな変動もなく順調に行なわれた。ただし、制御精度は当初の目標を満足せず、 $\pm 10$  秒 (仰角) ないし  $\pm 20$  秒 (方位角) 程度であった。制御データの一部を図9に示す。仰角、方位角の偏差信号を時分割で送っており、上が方位角、下が仰角である。この追尾精度は、前回の観測における追尾精度とほとんど同程度である。観測途中で、装置が不調となった様子はなく、むしろ本質的に、モー

タの回転を歯車系で減速し、ミラーを制御するという方式では、若干の改良を加えたとしても、伝達機構の不感帯、ガタ、摩擦等の影響を大幅に減少させえず、どうしてもこの程度の制御偏差が生じてしまうものと考えられる。したがって精度を飛躍的に高めるには別の方式を導入してゆかねばならないだろう。

一般的にいて、高精度の追尾を一段階の制御機構で実現するのは無理であり、二段、三段の制御系によって順次制御範囲を狭め、追尾精度を高めねばならない。我々の観測においては、ゴンドラ全体を回転させるよりもどし制御が第一段階の制御に相当し、ゴンドラ内でミラー反射角を制御する追尾制御が第二段階の制御となる。ただし、よりもどし制御は方位角方向のみの追尾であるから、仰角に関してはゴンドラ内の追尾制御が第一段階となる。したがって、第二段階の制御とはいえ、制御範囲は10度以上の幅となり、その範囲内で1万分の1以上の分解能を持たせて2秒オーダの精度を実現することは困難である。したがって、分のオーダの制御範囲の中で秒あるいはそれ以下の精度を実現する、より精密な制御系をもう一段加えねばならない。少くとも、誤差の発生する要因の一番大きいミラー駆動機構は、軸受け部分や駆動モータなどに改良を加えた、より精密なものをもう一段階付加する必要があると考えられる。

#### 3.4 その他の制御

35 mm カメラによる単色像撮影や、それに付随する露光調整、また精センサを移動させることによる分光器入射スリット上での太陽像面走査など一連のシーケンス制御は全て正常に動作した。ただし回収できなかつたため、単色像撮影ずみのフィルムを得ることはできなかった。

### 4. ま と め

昭和46年9月の予備実験の結果をもとに、昭和47年9月、ファブリペロ干渉分光計を使用した本格的観測実験をめざした。分光器、太陽追尾装置、紫外単色像撮影など、全ての機器は正常に動作した。しかし、分光器は前置分光器の分解能が悪く科学的に有効なデータとしてはやや内容不足であった。また太陽追尾制御も $\pm 10\sim 20$ 秒角程度の精度となり、当初の目標を達成できなかった。

次回の観測では、分光計の改善を計るとともに、太陽追尾制御もさらに精密な駆動機構を加え、制御精度を高める計画である。太陽紫外単色像撮影も重要な実験なので回収を期待したい。

今回も、実験に際しては、東京大学宇宙航空研究所の西村純教授をはじめとする大気球実験班の方々に多大の御援助、御協力をいただいた、ここに深く感謝する次第である。また、観測装置の試作調整に御努力いただいた三鷹光器株式会社の中村勝重氏に御礼を申し上げます。

1974年1月31日



## 参 考 文 献

- [1] 河野嗣男, 矢島信之, 末元善三郎: 気球による太陽紫外線の観測; 宇宙観測シンポジウム, 211, 1971.
- [2] (同上): 太陽紫外マグネシウム2重線の分光, 大気球シンポジウム, 86, 1971.
- [3] 西村 純, 広沢春任, 太田茂雄, 大塚 豊, 奈良禧徳: よりもどし方式による方向規正; 宇宙研報告, 5, 132, 1969.
- [4] (同上): よりもどし方式による方向規正; 宇宙研報告, 6, 249, 1970.