

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名 「太陽輻射と磁気変動の地球変動への影響」
2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）  
研究代表者 吉村 宏和（東京大学大学院理学系研究科 助教授）

### 3. 研究内容及び成果

太陽活動が地球の気候変動にどのような影響を及ぼすかを明らかにするためには、太陽輻射の変動を知る必要がある。しかしながら太陽輻射を高精度で測定できる大気圏外からの人工衛星による連続観測は1970年代後半から現在にいたるまで、30年間程度に過ぎず、また、この連続観測による測定データも、いくつもの独立した宇宙探査機による測定の結果をつなぎ合わせたものである。このため、10年の時間規模をみると太陽輻射は0.1パーセントの大きさで変動することは確定していると見られているが、30年間の時間規模でみると、どのくらい変動するかは確定していると言いがたい。また、30年以前の過去の太陽輻射の変動を、現時点で存在するデータから直接知る方法も現在のところ知られていない。このため、太陽輻射変動が最近の地球温暖化の直接の原因であるか否か、あるいは、どの程度、地球温暖化に寄与しているかという本研究の基本課題に対する答えは見つかっていない。本研究は、これらの過去の太陽輻射の変動を知る指標として太陽の半径を測定し、半径の長期変動から太陽輻射の長期変動を推定し、太陽輻射変動が気候変動に寄与してきたか否か、また、寄与してきたとすればどの程度の寄与か、を明らかにすることに挑戦する。

本研究では100年間にわたる太陽写真像として蓄積され続けている資料を、新しく開発したデジタル化装置で数値化し、その数値データを計算機により処理することで、太陽半径を測定し、輻射変動を推定しようとする。この数値化されたデータからは、半径のみならず、黒点および黒点群の位置ならびに運動を測定できる。このデータを流体運動と磁場の構造の時間的発展の数値シミュレーション実験と比較することにより、太陽対流層の電磁流体の流れ、磁場、熱構造、熱の流れ、などの内部構造を探る。

#### (1) デジタル化装置の開発

太陽写真像の高速・高精度デジタル化装置を開発し、実用化した。4096×4096個の2次元CCD素子（15ミクロン×15ミクロンの大きさ）を用い-70℃まで冷却して使う。光源として時間的に安定し、写真乾板及びフィルムを一樣に照射する積分球、CCDと写真乾板の距離を一定の標準距離に補正するための較正板から成る。

#### (2) 太陽写真像のデジタル化

インド・ゴダイカナル天文台の1903年から2002年までの写真データのうち、毎年1月のデータを100年分、毎月3日のデータを100年分、望遠鏡が大きく変化するとみられる時期の連続データ、2つの期間の連続2年分と連続1年分の5種類のデータをゴダイカナル天文台でデジタル化した。また、ロンドンの素粒子物理学・天文学評議会(PPARC)が管理しているグリーニッチ天文台の写真データをロンドンカレッジ大学の宇宙科学研究所でデジタル化した。これは、1918年から1976年まではほぼ毎日のデータ、1917年以前のデータはカビで汚染されたものと良い状態で保存されている日食のデータ、1977年から1979年までは数が少ないデータから成っている。連続しているデータは、グリーニッチとハーストモンシュウの1セット、南アフリカ・ケープの1セットからなる。ほかの天文台のデータは数が少ない。

#### (3) 太陽半径の測定とその変動解析

デジタル化された太陽像の半径の自動測定法を考案し、すべての測定を完了した。測定された太陽像の半径はさまざまな時間スケールで変動している。

グリーニッチとハーストモンシュウの1セット及びケープの1セットの測定結果から、太陽半径の測定に関する地球大気のレンズ効果を見出し、その較正法を考案した。この較正法を

使って、ゴダイカナルの1セット、グリーニッチとハーストモンシュウの1セット、ケーブの1セットの測定した半径の変動から、3種のセットで共通する成分を分離し、これを太陽に起因する太陽半径の変動とした。

#### (4) 太陽輻射・磁場変動と地球気候変動との関係

太陽輻射変動は、太陽内部で磁場が熱を溜めたり、開放したりすることによって起こると研究代表者は提案している。これによると、太陽磁場変動と太陽輻射変動の間には、時間差がなければならない。この考えを示す様々な間接的な現象をすでに発見しているが、本研究で測定された太陽半径の変動は、太陽内部に熱が溜められたり、開放されたりしていることの証拠になると研究代表者は主張している。太陽の磁場、熱構造、電磁流体の流れの長期変動についての理論的研究をさらに推し進めつつある。現在、世界で一般に受け入れられている太陽輻射変動のメカニズムは、太陽表面の磁場の現象である暗い黒点と明るい白斑の輻射変動への寄与の差によって起こるというもので、太陽輻射変動は、太陽磁場変動を直接反映すると考えられている。本研究は、この考えに挑戦するものである。

### 4. 事後評価結果

#### 4 - 1. 外部発表、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

本研究は二つの柱から成っている。一つは約100年にわたって撮影された太陽写真像を、精度の高いデジタル化装置を開発し、それを用いて得られた大量のデータを高速計算機で解析し、太陽半径の時間変化を検出する。このとき黒点群も同時にデジタルデータとして記録され、その様々の変動から太陽面における微分回転の変動や大規模な流れとその変動を検出する。他の一つの柱は太陽対流層内部の流れ、磁場、熱構造の変化に関する数値シミュレーション実験を行ない、対流層の構造とその変動についての理論を構築することである。これにより、太陽半径の変化から輻射の変化を導く方法を確立する。また、黒点群等の解析から推定される太陽の大規模な流れの構造と変動は数値シミュレーションの検証となる。

これまでに示された研究成果は専ら第一の柱に関するものである。第一の課題の基礎となるインド・ゴダイカナル天文台の太陽写真像のデジタル化に予想外の困難に遭遇したことが研究の遅延の主たる原因である。

#### (1) 太陽写真像のデジタル化装置の開発

高精度・高速度で太陽像をデジタル化する装置・技術の開発とそれらの実用化に成功した。本装置は関連研究分野に活用されることになるであろう。本研究で開発したデジタル化装置・手法については特許が出願されている。

(2) 最近100年間にわたる太陽写真像として蓄積されているインド・ゴダイカナル天文台の資料及び当初の計画の時期には公開されていなかった英国・グリーニッチ天文台の資料を上記デジタル化装置によって、それぞれの研究所の協力を得て太陽写真像の数値化に成功した。

#### (3) 太陽半径の変動の解析

上記で得られた見かけの太陽半径の計測値に下記の補正を行なう。

地球軌道に基づく太陽 - 地球間距離の補正

地球大気に起因する補正

望遠鏡の変化に起因する補正

データの一部欠損期間の補正

望遠鏡で撮影された太陽写真像には当初予測していたもの以外の種々の外的擾乱があり、そのなかから有意義な情報を抽出するため上記の要素に基づく多種多様な補正を試みる必要があった。その補正方法と結果を論文として未だ発表していない。早急に論文として成果を公表すべきである。

#### (4)「太陽定数」の変動

太陽半径と「太陽定数」の変動の関係の定性的過程は論じているものの、定量的関係が示されていないため、太陽半径の変動から「太陽定数」の変動を定量的に導くことを論ずるに至っていない。また、このため、「太陽定数」の変動と地球気候の変動の関係を論ずるに至っていない。第二の柱である理論的研究のみならず、第一の柱であるデータ解析的研究にも残された課題は多い。しかしながら、本研究では太陽半径についての観測的・統計的事実を明示することが先決であり、地球気候との関係付けを急ぐことは拙速のおそれがある。

#### 4 - 2 . 成果の戦略目標・科学技術への貢献

最先端技術を開発、実用化し、最近 100 年間の太陽写真像から、太陽半径の変動を検出し、太陽半径の長期変動の大きさに初めて実証的根拠を与えたことは太陽物理学分野のみならず、「地球変動のメカニズム」研究領域でも、100 年スケールの地球温暖化に関して問題とされる太陽輻射変動の影響についての根拠のある大きさの見積もりを可能にする。

#### 4 - 3 . その他の特記事項(受賞歴など)