

1. 研究テーマ

- (1) 研究領域 : 地球変動のメカニズム
- (2) 研究総括 : 浅井 富雄
- (3) 研究代表者 : 東京大学大学院、助教授、吉村 宏和
- (4) 研究課題名 : 太陽輻射と磁気変動の地球変動への影響
- (5) 研究期間 : 平成 11 年 11 月～平成 17 年 3 月

2. 研究実施の概要

本研究課題は、研究代表者の1970年代からの研究の自然な延長として発想されたものであり、研究の実施に当たっては、これまでの研究成果が基本になり指針となっている。課題の究極の目的は、太陽の輻射および磁場の変動が地球の気候変動と直接の因果関係をもっているか否か、因果関係があるとすれば、どの程度のものであるか、を確定することである。太陽の輻射は、地球大気および海洋の運動を駆動する原動力である。大気、海洋の運動の変動は、気候変動となり、人類の活動に深く関与している。太陽輻射が、さまざまな時間スケールで変動していることは、1900年代からの米国のアボットの地上からの長期観測の継続と位置づけられる、1970年代からのさまざまな宇宙探査機による観測で確定している。この太陽の輻射の変動は、太陽の磁場の変動と連動しているとみられている。特に、太陽磁場変動の基本周期である、11年周期変動と関連していて、太陽輻射の変動も約11年に周期で、変動し、その変動幅は、約0.1パーセントであることは確立している。しかし、これには、2つの不明確な点があり、いまだに問題となっているばかりでなく、太陽輻射変動と地球気候の変動の関係を考えるとき、それを明らかにする鍵の1つの要素となっている。1つの不明確な点は、磁気活動変動と輻射変動はいつも、フェイズを同じくして変動しているかどうかと言う点である。1970年代後半の第21太陽周期と呼ばれる時期から、太陽磁気活動の高いときに太陽輻射は強く、低いときに、弱いとされてきた。しかし、第22太陽周期と呼ばれる時期が終わり、磁気活動が急速に低下したにもかかわらず、輻射は高いレベルを維持したという事実がある。もう1つの不明確な点は、複数の第21太陽周期から第23太陽周期にわたる30年規模の時間スケールの太陽輻射変動が、強くなっているのか、弱くなっているのか、明確でないことである。これは、計測した宇宙探査機の寿命が、30年より短く、また、単独の宇宙探査機の計測機の精度が太陽の絶対測光を可能にするほど良いと言うわけではなく、複数の計測機の結果をつなぎあわせて30年の変動をみるとき、不確定性が大きくなることに由来している。30年間の太陽輻射の長期変動を信頼できる精度で決めることが可能であれば、現代の地球温暖化が太陽輻射の増加によるものかどうか、決定的な答えが得られるはずである。このことが、現時点では可能でないため、太陽輻射が地球気候に影響している

かどうか、影響しているとすれば、どの程度であるかを見るには、別の手法をとるほかはない。その1つは、理論的研究であり、また、理論的研究に裏打ちされた、太陽輻射変動の別の指標の計測である。

この問題に関する研究代表者のこれまでの研究成果の基本概念は、次の項目からなっている。（1）太陽の内部の電磁流体運動が磁場を創生し、磁場の極性を反転しつつ、拡大する。この過程は太陽のダイナモ（発電機）過程と呼ばれる。（2）磁場は、太陽11年周期として、さまざまな変動する太陽の活動現象を引き起こす。（3）拡大した磁場のローレンツ力は、磁場を創生する電磁流体の流れを変え、磁場を創生する過程を抑える。（4）創生する力と抑える力がつりあう場合の磁場の大きさが、太陽の磁場の大きさになり、太陽周期の振幅となる。（5）太陽の磁場を創生するダイナモを駆動する電磁流体の流れは、緯度によって自転周期が異なる微分回転の流れと、太陽規模のグローバル対流の流れの2種類からなる。（6）磁場のローレンツ力が、微分回転を100年ほどの時間スケールで、50パーセントも変化させることは、研究代表者が確認している。（7）磁場のローレンツ力が微分回転を変化させるには、20年から30年の時間がかかり、両者の時間変化には、時間のずれがある。（8）この遅れ時間は、太陽のどの深さの磁場のローレンツ力が微分回転を変化させているかの指標になる。（9）磁場は対流の流れも変化させることが、理論でも、観測された微分回転を変動させることからでも、予測できる。（10）対流が変化すると、対流は熱を運ぶから、太陽内部の熱的構造を変化させ、熱を溜めたり、開放したりする。（11）この太陽内部の熱構造の変化は、太陽から放射される輻射を変化させる。（12）磁場が、熱構造を変化させるには時間がかかり、また、その熱構造の変化が、電磁流体の流れを変化させるには時間がかかるから、磁場と輻射変動の間には時間の遅れがある。（13）この遅れ時間は、太陽内部の熱構造の変化が起こる深さにより、深いほど遅れ時間は長い。（14）太陽11年周期磁場の非線形過程の100万年の数値実験は、20年、200年、1000年ほどの3種類の遅れ時間があれば、観測でみられる太陽磁場の行動を再現できる。（15）太陽の磁場の長期行動は、磁場が太陽圏のそとから降り注ぐ銀河宇宙線を妨げるから、宇宙線が地球大気内につくる不安定同位体の炭素14ならびベリリウム10の、樹木内部あるいはグリーンランドおよび南極の層状化した氷の内部に閉じこめられた量を測定することによって、再現できるが、太陽の輻射の長期行動を再現する指標は、難しい。しかし、太陽輻射と地球気候に関連があると仮定して、地球の気温の平年偏差

を太陽の輻射の指標とすると、太陽の磁場と地球の気温の長期変動の関連は、研究代表者の非線形ダイナモ理論が予測する太陽の磁場と輻射の長期変動の関係と酷似する行動を示した。

太陽輻射変動が地球の気候変動に直接関係があり、時間の遅れが無視できるほど、すぐに、地球の気温変動に結びつくとすれば、理論が予測する太陽輻射と測定された地球の気温の長期変動は、似た行動を示すはずであるからであるが、逆は必ずしも真ではないので、さらにこの関連を追求する必要があった。太陽輻射ならびの地球気候の変動で、100年の時間スケールのものは、現代の地球温暖化と密接な関係がある。また、研究代表者は、これらの宇宙探査機のデータを解析することにより、200日の時間スケールでも、磁場と輻射は、顕著な時間遅れを伴った変動をしていることを見つけて、磁気変光脈動と名づけている。すなわち、太陽の磁場は、11年の太陽周期の変動に乗って、200日の周期で変動し、輻射は、それに伴って遅延時間を持ちながら変動している。これは、太陽内部で、磁場が熱の流れを変化させ、輻射を変動させている直接の証拠である。問題は、このような、輻射と磁場の変動の原因となるメカニズムがどのような深さで起こるかということである。深いところで起これば、遅れ時間は長く、輻射変動の原因になる熱構造の変化も太陽全球にわたる。浅いところで起これば、遅れ時間は短く、熱構造の変化も磁場が強いところに局在する。そこで、本研究課題では、現在の地球温暖化に直接関係がある、100年規模の時間スケールで、太陽輻射の変動があったかどうかを研究するため、熱構造が変化するとそれに伴って変化するとみられる太陽の半径を正確に測定することによって、検証することを主たる目的とするプロジェクトを開始、実行した。

そのために、過去に写真として記録された太陽像を数値として表現するデジタル化を実施した。また、黒点、白斑などの太陽表面の現象は、微分回転を始め、太陽の電磁流体の動きの指標でもあるので、その位置、形状などの情報を得ることができるということも、デジタル化の一つの目的でもあった。写真データは、英国グリニッチ天文台のプログラムのデータ、米国ウィルソン山天文台のデータ等が存在することがわかっていた。グリニッチ天文台のプログラムは、1874年の金星日面通過を写真として記録観測するために、5機の太陽写真儀を英国が制作したことから始まった。金星日面通過の観測が終わってから、英国は、それらを当時の大英帝国の各地、特にインド、南アフリカの喜望峰に配置し、継続的な写真による太陽の観測ネットワークをつくりあげた。

その結果得られた太陽の写真像は、ロンドン郊外のグリニッチ天文台に集められ、写真から、太陽表面の黒点と白斑の位置と面積が計測され、グリニッチ天文台の太陽写真儀の結果として出版され、世界の太陽研究の代表的なデータになっていた。グリニッチ天文台のプログラムの天文台が太陽像を撮影できないときは、米国、ロシア、ハンガリー、スイス、オーストラリアなどの天文台が太陽像の写真を提供し、真に世界規模の太陽観測網を作っていた。

しかし、技術の進歩とともに、グリニッチ天文台のプログラムは、必要のないものとされ、その保管、保持さえ、危うくなっていた。本研究プロジェクトが始まった1999年の1年前の1998年には、英国グリニッチ天文台は正式に閉鎖され、写真データは使用できない状態になっていた。また、米国ウィルソン山天文台でも、同様なプログラムが20世紀初頭から始まり、現在にも継続観測されているが、このデータもカーネギー研究所に所有権はあるのか、現在、實際上運営しているカリフォルニア大学に所属するかもわからなかった。

具体的にデジタル化可能であった写真データは、インド南部タミル州コダイカナル天文台において、大英帝国がはじめ、インドに継承されていた観測プログラムが撮像しているデータのみであった。

このような状態で始められた本プロジェクトは、（１）研究課題が目指す目的を達成する精度を持つ新たなデジタル化装置の開発、（２）世界各地に散在する写真データのデジタル化の重要性の議論の喚起、（３）インド・コダイカナル天文台にある太陽像の1903年から2002年まで、1ヶ月3日の100年間のデータ、1年のうち1月のデータをすべて、100年間のデータ、2種類のデータのデジタル化、（４）英国に残るすべてのグリニッチ天文台の写真データのデジタル化、（５）太陽半径の正確な測定、（６）太陽の形状の変化より半径の変化が11年の時間スケールでは大きいことの発見、（７）太陽半径が100年の時間スケールで変動していることの発見、を達成した。

このことにより、現代の地球温暖化に寄与する可能性のある太陽輻射変動は、熱の分配が太陽全球におよぶほど、つまり、仮にある場所で温度構造が変化したとしても、その温度変化は全球に伝わり、太陽全体が膨張したり収縮したりするほど深いところで起こっていることがわかった。

本研究プロジェクトは、研究代表者を主とする日本チームと、役割がプロジェクトの時期によって変わる国際チームからなり、（１）デジタル化装置の開発のあたっては、米国の国立太陽天文台のチームと日本チームが主な役割を果た

し、(2) デジタル化の重要性の議論の喚起、については、各国のチームと、正式にチームに所属しない協力者が、仮想天文台構想の推進という形と、個々に議論で貢献した。特に、2000年の国際天文学連合の英国・マンチェスター総会では、天文学の写真のデジタル化について、その価値と、方法、残る写真データの取り扱いでは、意見が全く分裂したが、3年後、2003年のオーストラリア・シドニー総会では、一致して、すべての写真データをデジタル化することが議決された。また、米国ウィルソン山天文台のデータの米国科学財団(NSF)の資金による2003年からのデジタル化の開始にみられるように、本プロジェクトの国際社会における影響は大きい。(3) インド・コダイカナル天文台にある太陽像のデジタル化は、日本チームとインドチームが貢献し、(4) グリニッチ天文台の写真データのデジタル化には、日本チームと英国のロンドン・カレッジ大学、マラーダ宇宙研究所(Mullard Space Science Laboratory/University College London)のチームが貢献した。(5) - (7)のデータの解析、太陽半径の測定、補正、時間変動の検出には、日本チームが貢献した。

本プロジェクトが開始された1999年には、グリニッチ天文台が閉鎖され、その貴重なデータがどのようなになるか、英国はじめ世界の研究者が危惧していたが、本プロジェクトにより、現在および未来にわたって、生かされることが認識され、英国-日本の共同研究が世界遺産を救ったことになった。

写真データは、ガラス乾板の上に記録され、太陽像ばかりでなく、あらゆる分野で、使われているから、本プロジェクトは、精密な画像のデジタル化をどのようにするべきかの実験にもなり、現在、各国の太陽画像を保持している天文台から、本プロジェクトで開発した方式のデジタル化装置で、デジタル化をしたいという申し出は相次いでいる。これらの天文台は、本プロジェクトが始まり結果を出す前は、従来のスキャナの方が良い、あるいは、スキャナで十分としていたところである。

本研究課題の究極の目的は、太陽の磁場の変動に起因する輻射の変動が地球の気候変動と直接の因果関係をもっているかどうか、また、その関係は、どの程度のものであるか、を確定することであるが、その答えは、まだ、見つかっていない。しかし、太陽の半径が100年という時間スケールで変動していることを地上からのデータのなかに見つけたことは、求める答えを得るための大きな進歩である。

3. 研究構想

本研究は、太陽の輻射の変化によって、地球の気候が変化した可能性を検証することを主たる目的として構想された。太陽が生まれ、太陽系が形成されてから、地球の気候は、いくつもの極端な変動を示している。温暖な時期もあれば、氷河期もあり、最近は、全球凍結あるいはスノーボールアースと呼ばれる状態に地球があったこともあることが明らかになりつつある。現在の温暖化は、比較にならないほど、極端な気候変動が過去にあったのであり、これからもあるであろう。一方、太陽の輻射変動の研究は、数十億年の時間スケールのいわゆる、太陽の進化あるいは星の進化にかんするものは、よく研究され、知られている。この進化の時間スケールは、太陽あるいは星の内部での核融合、太陽の場合は水素がヘリウムに変換される核反応、の時間スケールである。数十億年より短い時間スケールの太陽輻射変動の研究は、それほど進んでいない。この進化の時間スケールより短い時間スケールの太陽輻射変動は、太陽内部の比較的表面近くにある対流層と呼ばれる太陽を構成する高温のプラズマあるいは電磁流体が激しく運動している場所で起こりうる。この対流層では、磁場と電磁流体の流れの相互作用の結果として、太陽中心の核融合反応で生成されたエネルギーの流れを、熱として蓄えたり、開放したりすることができる。この開放されたり蓄積されたりする熱の流れの結果、太陽表面から放射される輻射は変動する。このメカニズムは、定量的にはよく知られているわけではないので、過去数十億年の間に何度も地球の気候を劇的に変化させるだけの輻射変動があっても不思議ではない。研究代表者の研究は、宇宙空間から観測された輻射変動に200日と言う短い変動があり、この変動が太陽の磁場と時間のずれを持って連動していることを明らかにしていた。したがって、対流層のなかで熱が蓄積されたり解放されたりするメカニズムが現実にあることは確認していた。本プロジェクトでは、この太陽輻射の変動の100年規模の時間スケールの成分を過去に写真として記録された太陽像から再現し、これが、現在の地球の温暖化と密接な関係にある地球の気候変動の100年成分と、どのような関係にあるかを検証することを目標とした。

実際のプロジェクトの実施過程では、過去の写真データを保存している海外の天文台、研究機関との交渉、写真データを研究課題が必要とする精度

で数値化するデジタル化装置の開発に多くの時間が割かれ、かつ、デジタル化作業の継続に時間が割かれた。

しかし、この努力は、当初の課題から飛躍して、20世紀から21世紀にかける画像記録の写真から数々の2次元電子記録素子への変換期にあたり、写真として記録されたいかなる画像も、同じ技術で数値化し、デジタル化するという、時代が必要とする技術の先駆的プロジェクトにもなった。プロジェクトの開始後、技術の進歩があり、計画段階では、予測できなかったほど、高精度のデジタル化装置の開発が可能であることがわかってきたからである。このため、自然科学のあらゆる分野に共通すると見られ、特に、天文学の分野では、仮想天文台と称される、過去の宇宙の姿、現在観測される宇宙の姿、コンピュータで予測される未来の宇宙の姿を世界中の計算機のなかにいれ、研究所はもとより、教育機関、社会、家庭から、いつでも、宇宙を見ることができ、考えることができるという考えと実際に構築されつつあるものを実現する手段と、本プロジェクトの手段は一致することになった。そのため、デジタル化のプロジェクトのみでも「過去の太陽を見る」という概念とフレーズで、国際的な理解を得ることができるようにもなった。

「宇宙」という言葉に代わりに「太陽」という言葉を入れると、「過去の太陽の姿、現在観測される太陽の姿、コンピュータで予測される未来の太陽の姿を見ることができ」となり、同じことが、地球についても言える。

このような、新展開のもとに、デジタル化プロジェクトをできるだけ進めるように、当初の方針を変え、5年間にできることを推進した。

4. 研究内容

(1) 実施内容

本プロジェクトの実施内容は、(1) 東京および米国・ツーサンにおけるデジタル化装置・開発制作、(2) インド・コダイカナルにおけるインド天体物理研究所・コダイカナル天文台太陽写真データのデジタル化、(3) 英国・ロンドンカレッジ大学・マラード宇宙科学研究所における、グリニッチ天文台太陽写真データ・デジタル化、(4) 東京大学におけるデジタル太陽像データ解析および理論から、なっている。

本プロジェクトは、太陽輻射と磁場の過去の姿を再現し、未来の姿を予測し、地球気候との関連を明らかにすることを目的として、理論的な研究と「過去の太陽を観測する」という写真として記録されて太陽像の正確な数値化によって太陽の基本量を測定するという、2つの柱をたて計画されたが、実際は、太陽像の正確な数値化によって太陽の基本量を測定したことがプロジェクトの見える結果となった。

この数値化のプロジェクトが成功したことには、新しい数値化の装置を開発し、実用化できたことが大きく、本プロジェクトの成果の1つといえる。太陽半径がどのくらい変動するかどうか、まったく手がかりがない状態で、計測する機器を設計し、製作することは、至難の事業であった。過去、太陽半径を計測した例はいくつもあったが、その方法と結果の精度には、大きな不確定性がともない、たびたび、相反する結果を主張していた。

このような状況で、過去100年に及ぶ写真データの計測から意味のある結果が出るか否かは、大きな賭けのようなものであり、したがって、数値化して計測するデジタル化装置は、できるだけ、精度のよいものでなければならなかった。

このような機器は、プロジェクトが始まった1999年には、1次元感光素子を機械的に移動するスキャンナが主流となっていたが、太陽像の形状を精度高く測定するには、不向きであることは、当初の設計段階で明らかになっていた。機会的に移動する部分は、たくさんの写真乾板あるいは、フィルムをスキャンするうちに変化し、一様なデータを採取することが難しいのである。また、光源の一様性も保障することが難しい。このプロジェクトでは、2次元感光素子を採用し、一様光源として、積分球を使った。

それでも、既成のものでは、プロジェクトの目的を達成することができず、数々

の新しい工夫をいたるところでせざるを得なかった。



スペクトラル・インストルメンツ社における CCD カメラ

一方、数値化の部分に時間がとられた背景には、太陽像の数値化をすべきものが、他国にあり、その国のサイエンスに対する方針が、5年間の期間に大きく変化したという事情がある。複数の国にある太陽像のデータを対象として、プロジェクトを始める前およびプロジェクトの実施中もデータのデジタル化の可能性を探り、可能なところはデジタル化した。結果は、インド・コダイカナル天文台のもの、英国グリニッチ天文台のプログラムのものである。インドの場合は、2004年12月26日の津波の後の対処の仕方にみられるように、インドのみで、対処し、他国の干渉を許さないという意見が、国際社会の一員であるという意見をしのいだように、プロジェクトが重要であると認識されればされるほど、インドのみでするということが起こった。国際社会の一員であるということが浸透すれば、一つ一つのプロジェクトの協力体制も研究所全体の問題となる、現在、国全体としては、この方向に向かっているとおもいますが、国家戦略の方針はまだ、定かでない。国内の前政権政党は国内優先で、現在の政権は国際化に力を入れるとみられるが、国内でも統一しているとは見えない。

米国はウィルソン山天文台の例にみられるように、インドと同様、米国独自でするというのを2003年からNSFの資金で、大がかりに実践開始した。

本プロジェクトに参加しないかという申し入れを1999年から2000年にかけてしていた結果、米国は独自ですることを選んだのである。その方法はハンガリーのドブレセン天文台が採用した方法と機器（広いスキャンナ）でデジタル化する方法であるが、これには、問題があることをデジタル化開始後、気づき、私の方法の精度がよいことを認め、できることなら、私の方法で、デジタル化したいといっている。米国国立太陽天文台（NSO）もハンガリーのドブレセン天文台も同じように希望している。インドも同じことを希望していることは明らかである。

本プロジェクトが、太陽像、ひいては、少なくとも天文学のデータの精密な数値化デジタル化の国際的インシアティブをとったのは、明らかであり、歴史に確実に残る成果である。国際天文学連合の総会が2000年と2003年に開かれ、その間に劇的な意見の変貌を遂げたのを見ると、その意義がわかる。1999年のプロジェクト開始時には、その必要性すら認めない国と研究所が多かった事実をみれば、それがわかる。英国の現在、存在がわかっている太陽のグリニッチ写真乾板さえ、それがまだ、存在することに驚いている英国の指導的天文学者がいたことは、英国のデータをデジタル化している途中、まだ、見つかっていないデータを検索する段階でわかった。これは、写真で記録しても、その当時の目的である黒点、黒点群、白斑の面積、位置を測定したら、もうその写真は保存する必要がないという研究者がいまだに多いからである。もし、英国の研究者が、このデータの重要性に気づいていたら、日本の一プロジェクトに、それまで、英国が営々と築いてきた貴重なデータを使えさせるはずはないことが、交渉の過程で明白になっていた。2003年の交渉でさえ、当初は、日本に全部データを送るから、日本でデジタル化をすればよいといっていたデータの前管理者のケンブリッジ大学の担当者と、現管理者のPPARCでは、意見が違い、PPARCの管理者は、英国のパートナーの研究所でしか、デジタル化を認めないといってきた。そのため、時期が遅れば、日本あるいは、世界の研究者は、これらのデータは使えないと判断し、写真データのデジタル化を第一優先にした。その結果、2003年にパートナーになる研究所を見つけ、交渉し、見つかっている太陽像すべてのデータをデジタル化した。現在、グリニッチ天文台で、見つかっていない太陽写真像の印画紙に焼き付けられたデータがケンブリッジ大学のあることがわかっているが、この、もともとグリニッチ天文台で働いていた管理者は、このデータが存在することすら、公開したくないといっている。

逆説的であるが、もしも、インドにおいても、データの重要性をあまりいわなかったら、すべてのデータのデジタル化が完成したのではないかと、考えている。重要性なデータであるとわかって、デジタル化を他国と進んでするような研究者あるいは国家の考えが高まれば、もっとも望ましいサイエンスのあり方であろうが、サイエンスが、国家の存亡を決め得るとわかった20世紀から、

この考えかたは各国で強まり、それを克服するのには、多くの努力を必要とするであろう。

「過去の太陽を観測する」ことが見える結果を出したといったが、それには、理論的な背景がある。現在、太陽輻射変動の原因として支配的な考えは、暗い黒点が太陽表面に現れれば、太陽輻射は少なくなり、明るい白斑は太陽表面に現れれば、太陽輻射は多くなる、という考えである。黒点の場合は、C. G. Abbot によってすでに、提唱されたいものであるが、C. G. Abbot は同時に黒点がおおく現れるときは、輻射は多く、少ないときは、輻射は少ないという相関関係を提唱している。この一見、矛盾する考えは、現在も、宇宙探査機が、宇宙から、太陽輻射を地球大気の影響を得なく測定してからも、同じ主張がなされ、一見、矛盾した関係は、黒点と白斑の面積の比によってきまるとされ、黒点と白斑の面積が測られている。この考えに基づいて、IPCC の太陽輻射に関するレポートは書かれ、特に、太陽輻射は、太陽磁場の時間変化、それも、数百年の時間変化を気候のモデルの外部強制力として入れ、計算され、太陽輻射の効果があるとかないとか議論されていて、気候学者は、どのようにしても、2 酸化炭素の影響を入れないと、現在の温暖化は再現できないと主張している。

1940 年から、1970 年にかける、寒冷化は、エアロゾル等のためとされる。これは、白斑は、太陽輻射を多くし、黒点は少なくするというアプローチと同じで、2つのパラメータを操り、どうにでもなるという感をもたざるを得なく、米国でも、この点で合意がなっていない。

私は、1970 年代の太陽磁気発生機構であるダイナモの研究から、発生し、強くなった磁場は、ダイナモを駆動する流体の流れ、それは、微分回転と対流の流れであるが、その流れを変え、ダイナモを弱くし、流れを駆動する力と流れを変える力が釣り合ったとき、平衡状態のなるという考えを提唱し、数値実験で、それを示してきた。その当時の計算機では、この非線形過程を詳細にナビエ・ストークス方程式と、MHD 方程式を連立させて解くことは、むりであると判断したので、非線形過程はモデル化して、私が定式化したダイナモ方程式にいれ、この非線形ダイナモ方程式を数値的に解き、実験した。その結果、磁場が、遅れ時間なしに、ダイナモの強さを変えるとすると、太陽周期を表す、方程式の振動解の振動の振幅は一定となり、非線形振動論のいわゆるリミットサイクルになることがわかった。しかし、磁場がある一定の時間後、ダイナモの強さを変えるとすると、振動の振幅は揺動を始め、振動論の振幅の変調が見られた。これは、この非線形ダイナモ方程式の一般的な性質である、その形は、差分偏微分方程式になっていて、その解析的構造は、今にいたるまで、明らかでない、英国、米国の研究者は、非線形常微分方程式の解として研究した論文を多くだしたが、ダイナモは、空間を伝搬するダイナモ波なので、常微分方程式の研究では、この性質を解明できない。

過去の太陽磁場の長期変動は、ベリリウム10、炭素14など、太陽圏外から飛来する銀河宇宙線が地球大気内でつくる不安定元素の、グリーンランド・南極の氷、あるいは、木の年輪内の量、を測定することによって再現できるが、この過去の太陽磁場を私の非線形理論で再現するためには、20年、200年、1000年位の3種類の遅れ時間は必要であることがわかっていた。

一方、物理的考察から、太陽内部の磁場のローレンツ力が太陽内部の流体を変動させるほど強いならば、観測にかかるであろうと考えていたが、第1の証拠は、ねじれ振動という微分回転に乗る軸対象の流れで、1980年には、これは、太陽ダイナモ波の磁場が太陽表面に衝突して、波動になり、表面に近く、物質密度も低く、時間の遅れがほとんどなく、太陽の流体を動かしていることがわかった。

次に、微分回転そのものが、100年の時間スケールで変動していることを見つけた。次の図は、それを示す。Astronomische Nachrichten に発表した図である。上図は、ある深さ、この場合は、太陽黒点の磁束管の根っこに当たる層で、太陽全面で、角運動量を積分した量で、この増加は、内部から、角運動量はこのより表面に近い層に供給されることを示し、減少は、この層から、引き抜かれることを示している。ことばを変えるなら、この量は、動径方向の角運動量の輸送が起こっていること、あるいは、動径方向の加速および減速が起こっていることをしめしている。

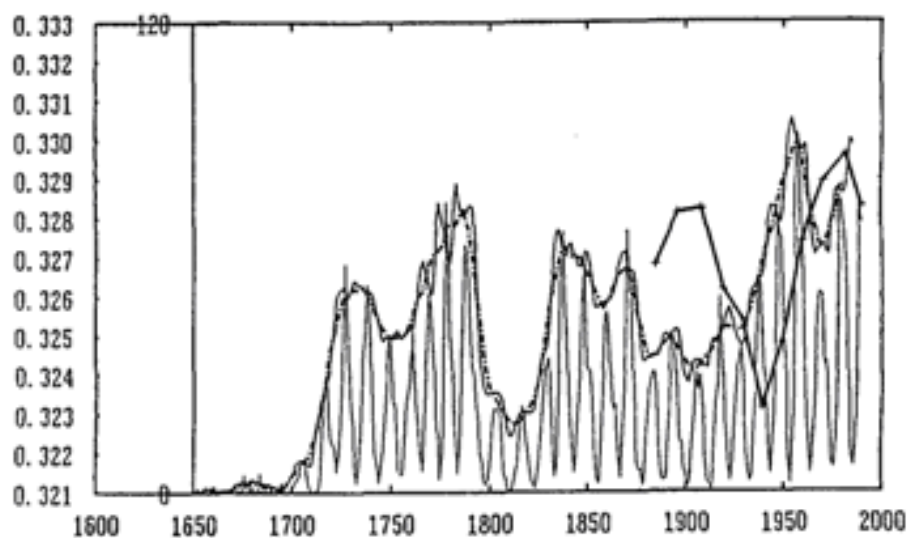
下図は、赤道と極の間の角速度の変化を表している。太陽の微分回転、赤道加速は、20パーセントとされているが、この値は、グリニッチの出版された測定データに基づくもので、上図と下図をよくみると、角運動量は動径方向ばかりでなく、緯度方向にも変化し、それも、15パーセントから25パーセント、実に、50パーセントも、100年間に間に変化していることがわかる。

これらは、太陽の内部、それもかなり深いところで、磁場のローレンツ力が十分強く、そこのプラズマの運動は大きく磁場によって動かされ、しかも、磁場が変化してから、約20年から、30年の遅れをもっていることを意味している。

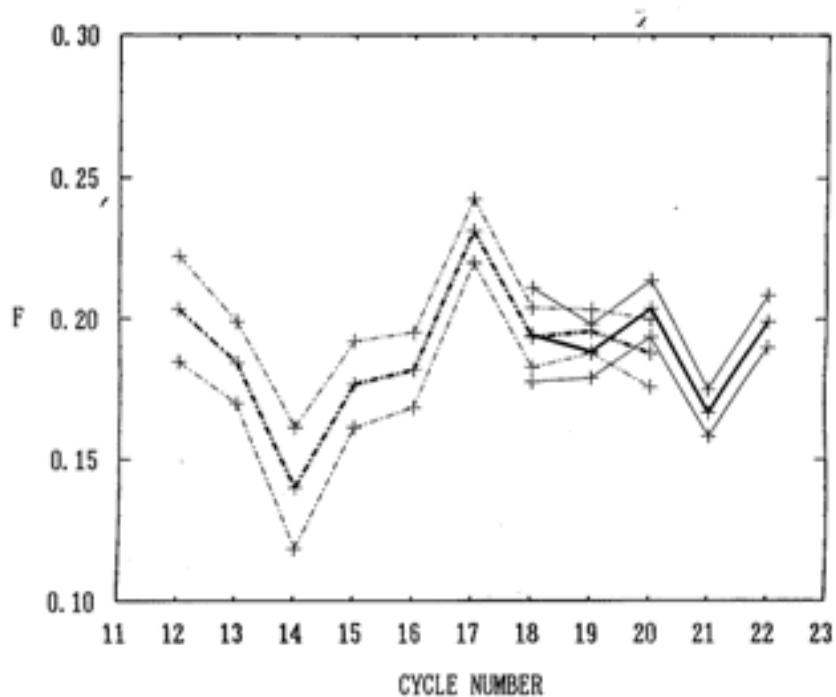
グリニッチのデータはさらに、黒点群の種類によって、微分回転の角速度とその変化がことなることを示していた。グリニッチで歴史的に太陽を撮像するごとに測定されて黒点群の位置の定義は、黒点群を構成する各黒点の面積を加重平均の加重としてとっていたので、この測定が適切なものかどうか、あるいは、新しい太陽のダイナミックスがわかるかどうか、再検討する必要があると、この現象を見つけた、1992年—1993年には、考えていたが、そのデータ

の所在がわからず、また、そのための資金もなかった。

今回のプロジェクトでは、このデータを採取できたこと自体、(1)の述べた事情を勘案すると、大きな成果であると考えている。



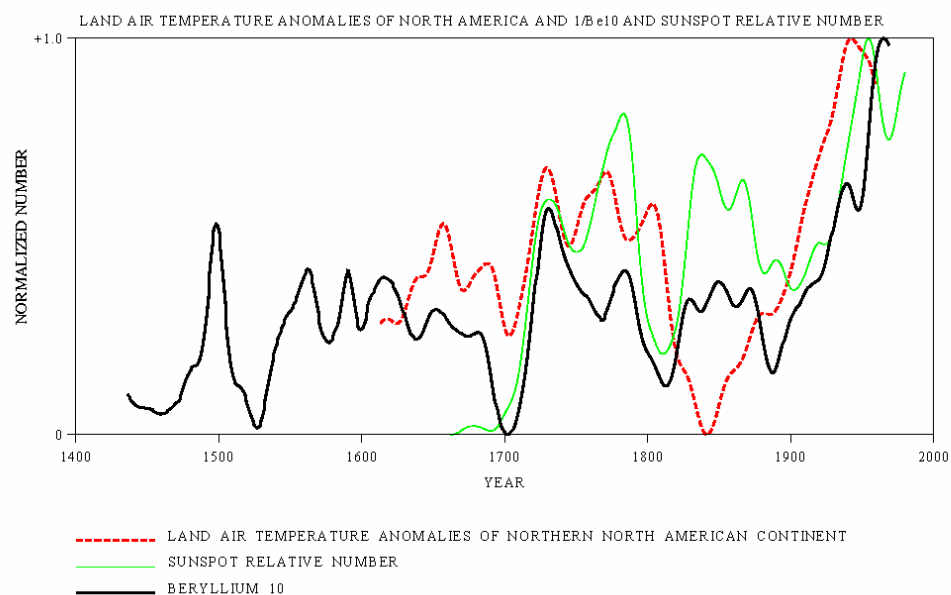
横軸は、西暦年数。縦軸は、黒点相対数と角運動量面密度。



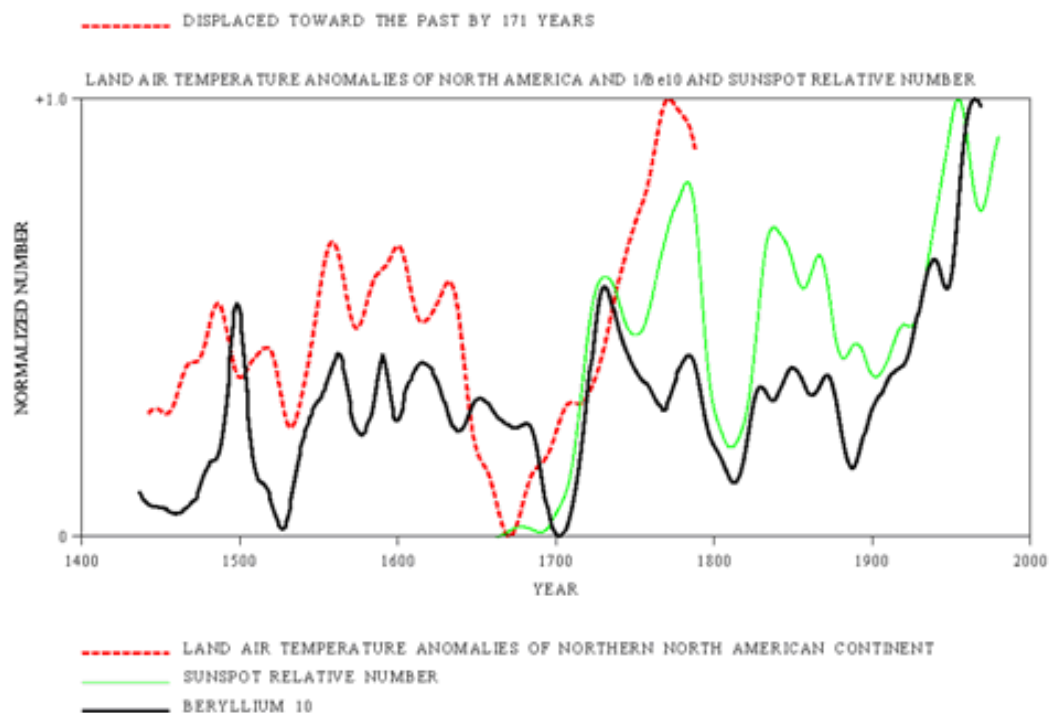
横軸は、太陽周期番号。縦軸は、極と赤道の回転角速度の比。

理論は、さらに、この微分回転の変動の発見は、ダイナモを駆動するもう一つの流れである、対流も磁場のローレンツ力によって実際に変化していることを強く示唆していた。対流は熱を運ぶから、対流層の熱構造を変え、熱を溜めたり、放出したりすることができることを強く示唆していた。これは、表面から放射される輻射の量が変化することを意味している。熱構造の変化は、ゆっくり起こるから、私の非線形ダイナモ理論の、2000年、1000年の遅れ時間はこの熱構造の変化に由来することが十分可能性が高いと考えられた。

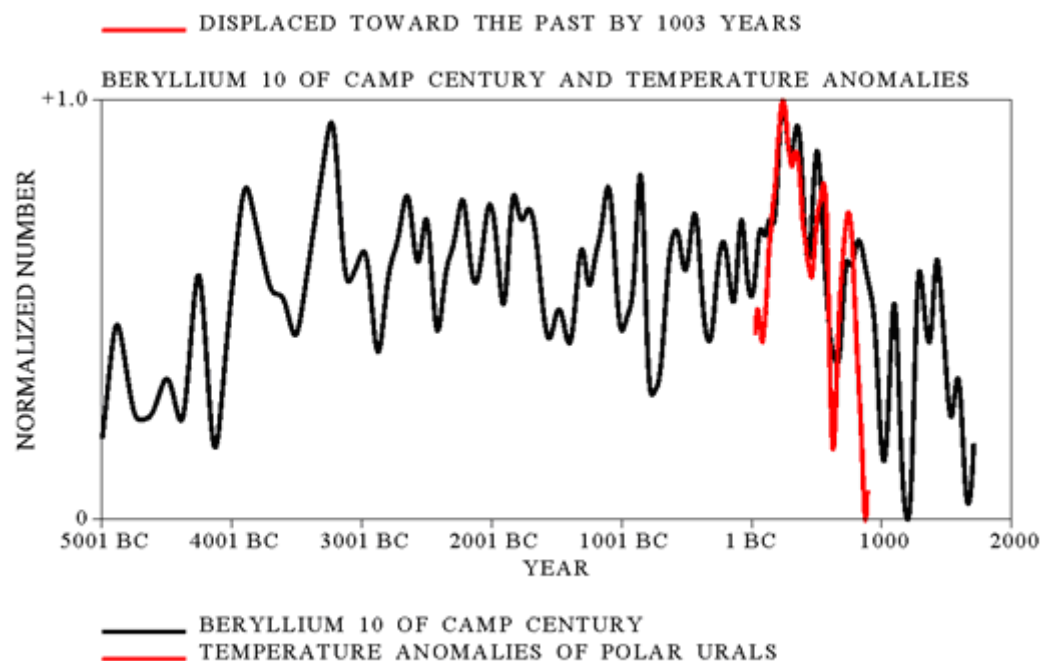
もし、このようにして起こる太陽の輻射変動が、地球の気候に直接影響し、地球の気温が変動したとするならば、地球の気温を太陽の輻射変動の指標にすることができる。このようなことで、太陽の磁場の指標として、ベリリウム10の量を使い、また、地球の気温の平年変化の指標として、木の年輪の成長速度を表す幅のデータを使って比較したので、次の3つの図である。



Yoshimura, H.:Proc. Japan Acad. Vol. 72, Ser. B, pp. 197-201.



Yoshimura, H.:Proc. Japan Acad. Vol. 72, Ser. B, pp. 197-201.



Yoshimura, H.:Proc. Japan Acad. Vol. 72, Ser. B, pp. 197-201.

上の 2 つの図は、グリーンランドの D y e 3 という場所のデータと、北米大陸の樹木のデータの気温のデータを使い、下の 1 つの図は、Camp Century という場所のデータと、シベリアの樹木のデータを表している。

上の 2 つの図は、200 年の遅れをもって、太陽輻射の指標としての気温の変化曲線は、太陽磁場の変化曲線をなぞっていることを示し、下の 1 つの図は、1000 年に遅れをもって、太陽輻射の指標としての気温の変化曲線は、太陽磁場の変化曲線をなぞっていることを示している。上の 2 図の 2 番目の図は、温度の指標の曲線を過去に 171 年ずらせて図示していて、下の 3 番目の図は、過去に 1003 年ずらせて図示している。

現在の温暖化を示す温度計で測定された気温の変化を示す曲線は、200 年まえの太陽磁場の変化、つまり、1700 年代からの、マウンダー極小期からの急激な上昇に伴う、輻射の急激な上昇を示していることになる。

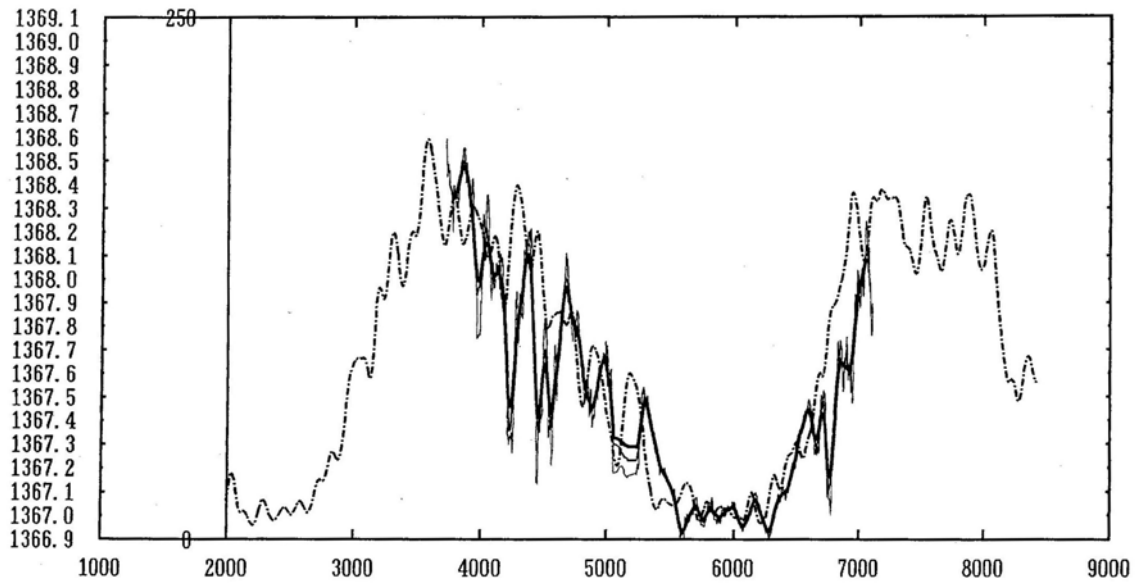
このことは、あまりにも、現在、日本で行き渡っている温暖化の 2 酸化炭素説と対照的なことを主張しているので、公然ということをし控えているが、すでに日本学士院の欧文報告に出版し、関係する世界の研究者には送ってある。

また、このことが事実であれば、あまりにも社会的影響が大きいと考えられるので、慎重に追試するため、太陽のみのデータで、このことを確認できないかと、太陽の半径の計測を急いだ。

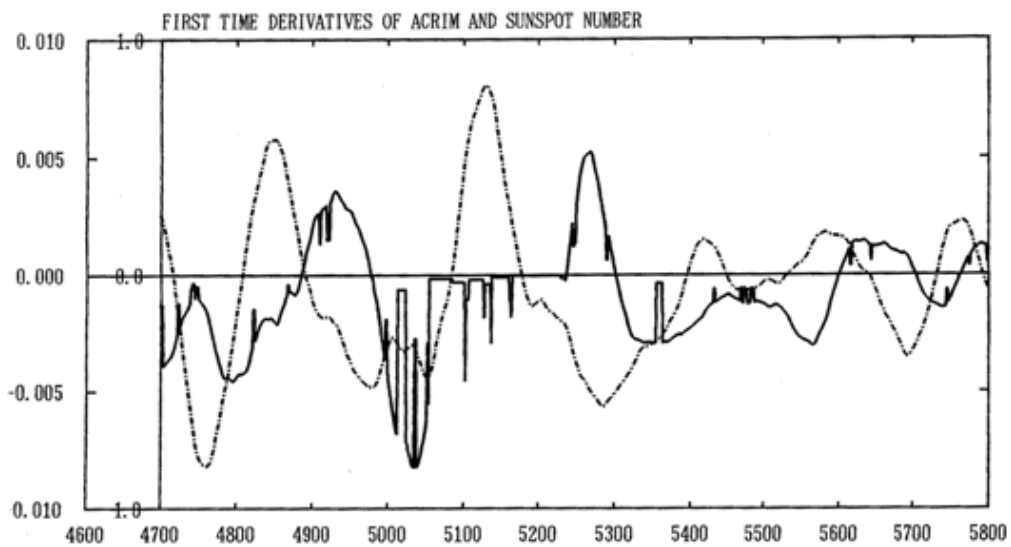
太陽の半径の変化と一言でいっても、様々な要素がある。まず、太陽 11 年周期に伴う変化があると主張する人たちがいるが、これは、私の理論が正しいとすると、あまり妥当性がない。理由は、太陽半径を変化させるはずの磁場の分布が、太陽周期の磁場は、太陽緯度で 30 度より赤道よりに多く、偏って分布しているからで、この磁場によって変化した太陽の熱構造は、分布を球対称性に保てないと考えられるからである。したがって、太陽 11 年周期に伴う半径の変化があるとすれば、太陽の形状の変化としてとらえられるはずで、現在、これを探索中である。

太陽半径の変化の研究と太陽 11 年周期の変化の研究の間には、私は、200 日の周期の磁場と輻射の変動を宇宙探査機による輻射の計測結果と磁場のデータの解析により発見している。遅れ時間を持ちながら、両者は変動し、また、平均して、磁場が表面に現れる 20 日前に太陽は暗くなり、50 日後に明るくなるという結果を得ている。ドイツの Astronomische Nachrichten に発表している。この 200 日周期の変動の磁場は、黒点を構成する磁束管の集合体となる大きな磁束管からなっていて、この磁束管が表面に現れる前に暗くなり、現れてから明るくなる。この黒点の磁束管の集合体となる磁束管が熱を溜めたり放

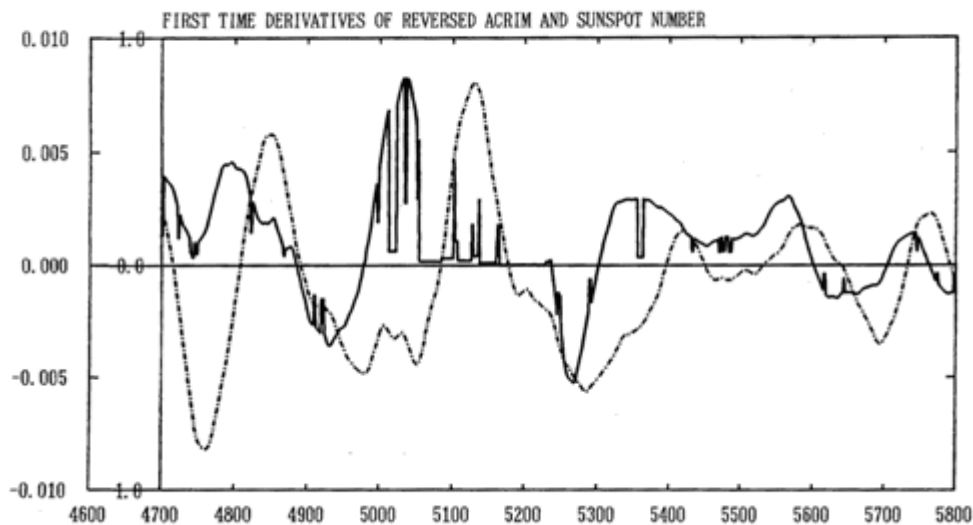
出したりしている証拠であることになる。この磁束管は、太陽半径と比べて、空間スケールが小さいので、太陽の形状を変えるまでにはいたらないと考えられる。次の3つの図の代表的な図を示す。



Yoshimura, H. : 1994, Astron. Nachr. 315, pp.371-390.



Yoshimura, H. : 1994, Astron. Nachr. 315, pp.371-390.



Yoshimura, H.: 1994, Astron. Nachr. 315, pp.371-390.

したがって、太陽 11 年周期に対応する磁束管も同様に熱の流れを溜めたり、放出したりしているが、これも、太陽の半径規模の変化をすることは期待できない。

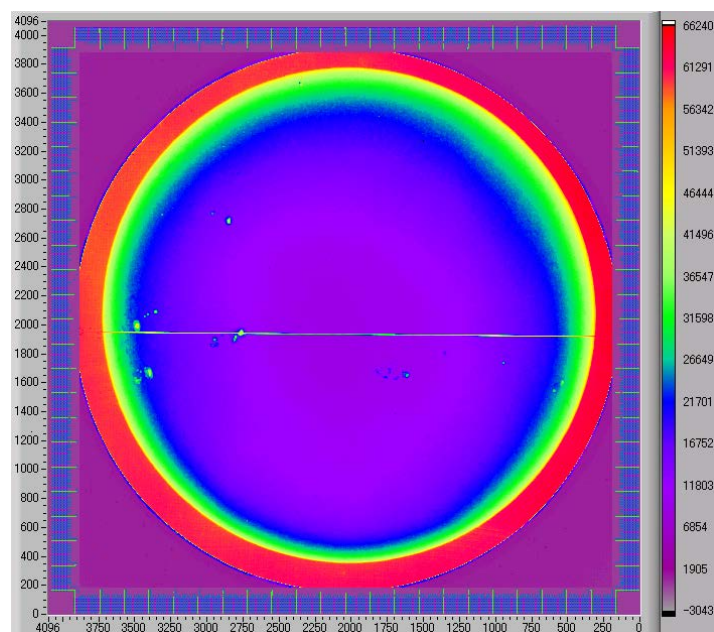
半径の変化が検出できるとすれば、11 年周期以上の長期変動の磁場変動に伴うもので、それは、非線形ダイナモ理論で予測し、実証した、55 年周期のものか、110 年周期以上の長さのものであるはずである。

インド・コダイカナル天文台の太陽像のデータの半径の計測の結果から、1 年周期のものがありそうであるが、明確でないということもあり、また、もっと長期の変動もあるそうであるが、データの計測の結果は、いくつも、大きなジャンプがあったことにより、どの程度、真実か良くわからないという事実直面した。

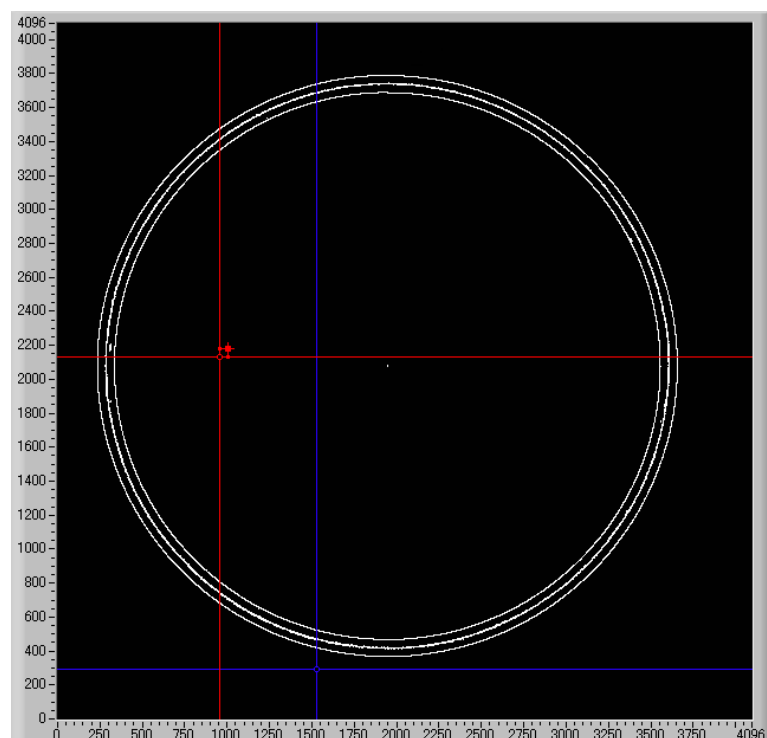
ジャンプとは、短い期間、たとえば、1 週間の間に、0.5 パーセントの半径の計測値が変化することである。

これらの疑問を解決するための最低限のデータがグリニッチ天文台のプログラムで得られた。このプログラムは、幸運なことにグリニッチと天文台が移転したハーストモンシュウのロンドン近郊ばかりでなく、南半球の喜望峰、ケープでのデータも含んでいたことである。その他にもいくつもの天文台のデータも含んでいたが、半径の長期変動の計測には使えない。

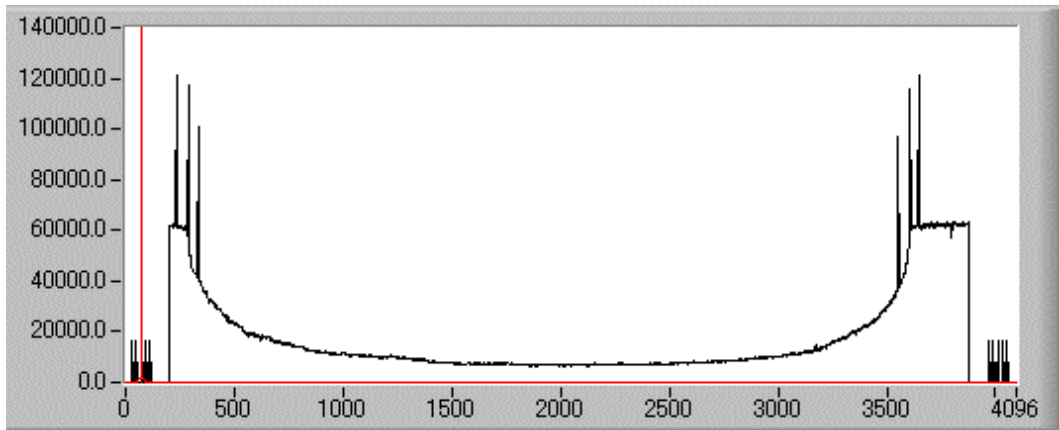
次の一連の図は、計測過程を説明した図である。



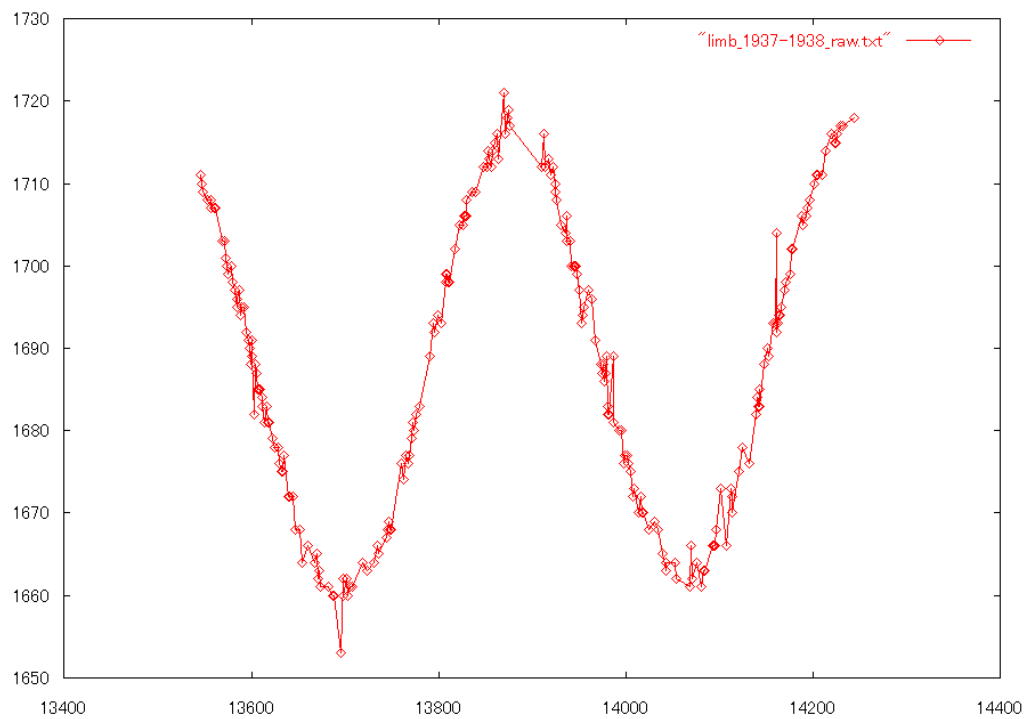
較正板を載せて撮像した太陽写真乾板。



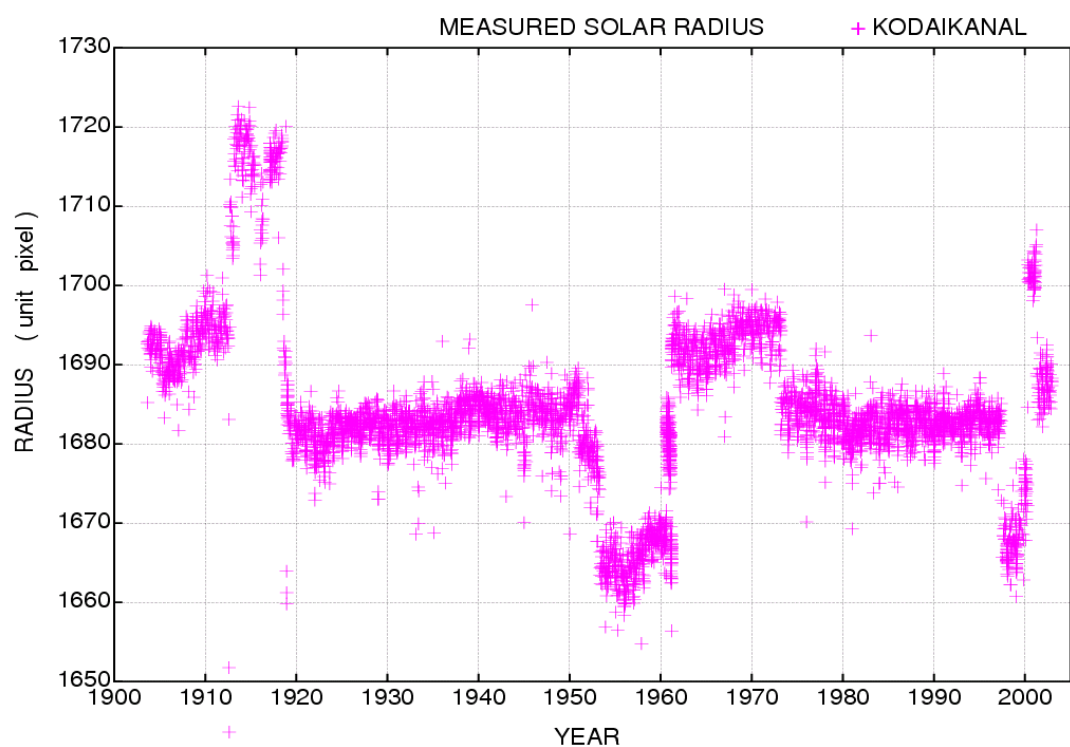
太陽の縁を決める。



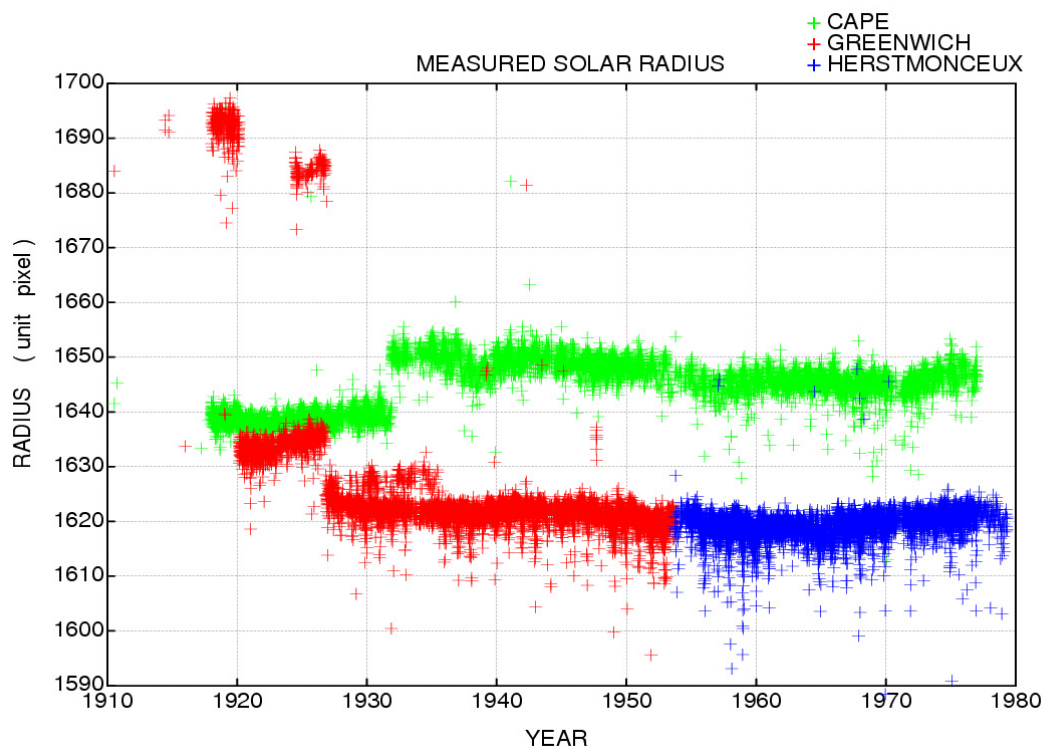
太陽の縁を決める。



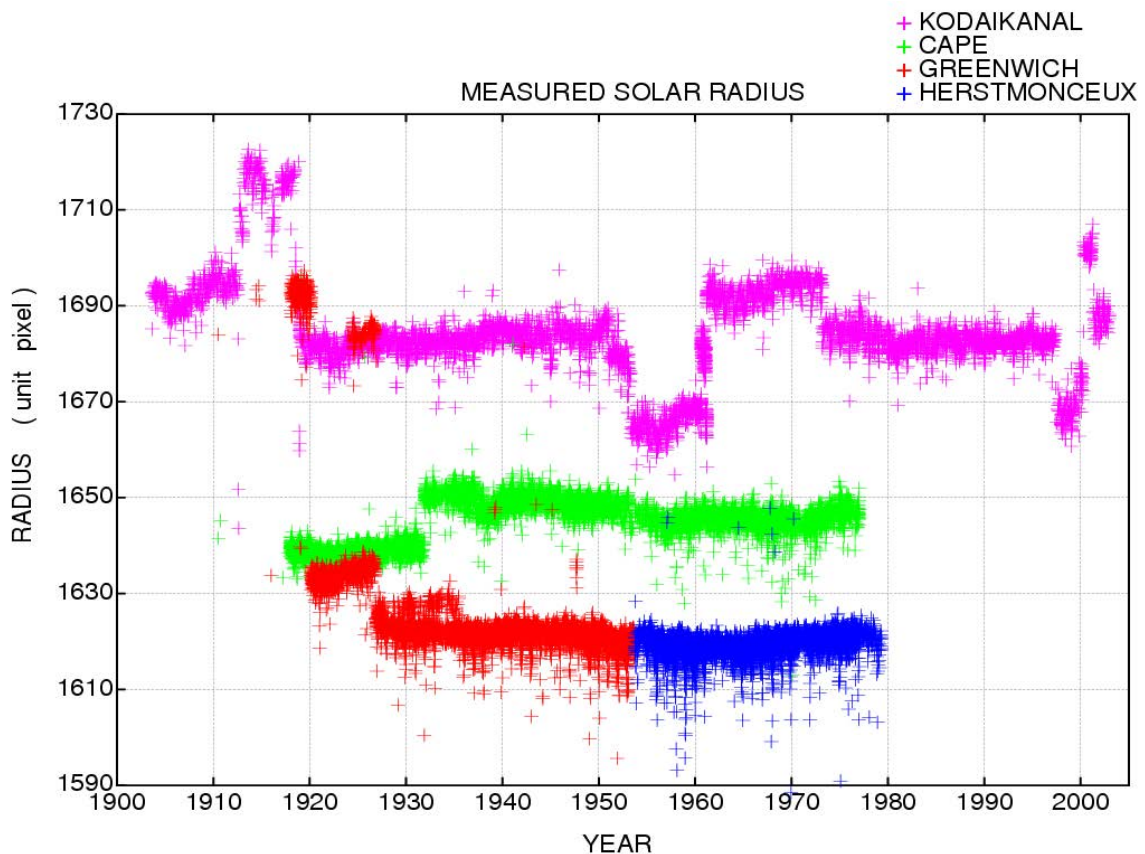
太陽と地球間の距離を補正しない段階の太陽の半径の2年間の変化。



太陽と地球間の距離を補正したあとのコダイカナルのデータの長期変動。



太陽と地球間の距離を補正したあとのグリニッチのデータの長期変動。



コダイカナルとグリニッチのデータの長期変動。

グリニッチとケープのデータの半径の計測値をみると、太陽から地球までの距離の影響を正確に補正していたにもかかわらず、明確な年周期が両者とみられ、しかも、グリニッチとケープでは、1年で逆の相関があり、慮者とも、夏に大きく、冬に小さいことがわかった。これで、見かけ上、地平線に近くなっても、地上より観測した太陽は、実際より小さく見え、太陽高度ときれいな関数関係があることがわかった。

次は、この効果の補正が可能であるかどうかである。多くの場合、冬から夏にかけて、観測される高度が変化するばあい、その関数関係は同じである。夏至を境に半径の曲線は前の年の冬と次の年の冬に向かって対称である。この場合、高度から計算した、太陽の光が通過する地球大気の高さと計測した半径の間には線形関数関係がある。したがって、この関数関係を使って、天頂までの伸ばし、観測高度が違って、天頂の伸ばすことによって、基準の高度で観測したものに統一化できる。この場合、天頂を基準の高度にすることによって、天頂に太陽があたかもあったかのように、引きなおし、同一基準で比較できる。

ところが、この年変化に、冬から夏にむけての時間変化と夏から冬に向けて時間変化に非対称性のあるものがあつた。

このことを理解するには、望遠鏡の構造を知る必要がある。

望遠鏡は、コダイカナルも、グリニッチも、英国式とよばれる、対物レンズと写真乾板の距離一定で、途中に拡大鏡が2枚のレンズとしてある。焦点は、この拡大鏡の位置を変えて、合わせる。コダイカナルの観測者に残されていた英国式の方法は、10日から、2週間毎に、焦点を合わせる。経験的に大気がレンズとなるので、観測高度によって焦点が合わず、しかも、焦点が合わないのか、いわゆるシーイング(空の状態)がわるいのか、判断がつかない。しかし、系統的に季節ごとに、観測高度は、系統的に変わるので、10日から、2週間毎に、焦点を合わせる。このことが適切になされない場合、冬から夏にかけてと、夏から冬にかけての測定半径の時間変化曲線に非対称性が現れる。

この非対称性があらわれた年は、対称になるように補正する

また、グリニッチの写真撮影は、よく、2つの望遠鏡でなされていて、日食にもっていくこともあった。一方、ケープの写真撮影は、単一の望遠鏡でなされ、しかも、グリニッチの指示どおりにされている。

したがって、ケープのデータはより一様性が高いと期待された。客観的結果は、確かに、数少ない補正で、ケープは、コダイカナル、グリニッチのデータの結果と、長期的に同じ傾向を示した。

この補正方法の妥当性は、明らかにジャンプとわからないときの行動も、隠れたジャンプして検出えることで、顕著なのは、1948年5月2日に、望遠鏡は、グリニッチから、ハーストモンシュウに移された、同じ日に、同じ望遠鏡で、グリニッチとハーストモンシュウで撮像され、連続性を保とうとされたが、補正後、明らかなジャンプの構造が見られ、ジャンプの補正もしなければならなかったことが、わかったことである。乾板にラベルには、1953年に移動したことになっていたが、移動の正確な日を知らずに隠れたジャンプを検出し、その後、文献で、確認できたことが、この補正法の力のなりよりの証拠である。

この結果を見ると、1920年から1970年にかけて、太陽半径は大きくなり、その後、小さくなり、ほぼ一定であるということを示している。しかし、1970年からの、下降線は、コダイカナルだけのデータから得られた結果なので、さらに、独立のデータを求め、ハンガリーのドブレセン天文台のデータをデジタル化し、上記の結果を不動のものにしたかったが、本プロジェクトでは、そこまでは、できなかった。

太陽半径がこのように長期変動するということは、太陽内部の深いところの熱構図が変化していることを示している。

太陽輻射と直接の単純な関係式をだすことができれば、事柄はやさしい。単純な関係式は、1970年代後半から、1980年台にかけての、ダイナミカルな過程を考えずに、混合距離理論を多少、もじって出している論文に多数あるが、意味を持たないと考えている。むしろ、この研究の結果に基づいて、太陽内部の磁場と熱構造の変化および、輻射の変化を正確に出すほうが、正論であると考えている。

プロジェクトの限られた資源と時間で、すべてができないとわかったとき、優先させたのが、太陽像データのデジタル化である。はじめに述べたように、このようなデータは、いつも使えるような状況でないことがわかったので、また、その重要性は十分認識していたので、優先順位を上げた。現在、ハンガリーのドブレセン天文台、米国のウィルソン山天文台、米国の国立太陽天文台が、このプロジェクトで開発されたデジタル化装置を使い、自分のところにあるデータをデジタル化したいという意向を示している。スキャンナによるデジタル化の精度の限界に気がついた結果である。

本プロジェクトでは、その限界は、計画とプロジェクトの当初のテストで、確認し、スキャンナを使わない方針をはじめからとった。空間化解像度が高いため、精度が悪くてもよいという議論はあったが、デジタル化を開始して、初めて、その欠陥に気づく例も多い。

(2) 得られた研究成果の状況及び期待される効果

研究成果をまとめると、次のようになる。

- ① 高精度のデジタル化装置を開発、実用化した。改善の余地はあるが、世界に高精度デジタル化のイニシアティブをとった。
- ② 太陽像の写真乾板とフィルムのデジタル化を世界の文化遺産であるグリニッチ・プログラムで実行し、その価値を知らしめた。
- ③ インドの社会で、コダイカナルの同様な世界遺産の価値を知らしめた。
- ④ 太陽像が極めてどの高度でも極めて円に近いことを確認。
- ⑤ 太陽半径の100年規模の時間スケールの時間変動を検出した。
- ⑥ このことにより、太陽輻射変動の再現の基礎データを得た。

これから、計測した太陽半径の変動に様々な補正を施し、真の太陽半径の変動成分を抽出する。この補正は、モデルによる部分があるので、独立データで、同じ変動がみられるか、検討している。上の図でもわかるように、コダイカナルのデータが、グリニッチのデータより長く、グリニッチのプログラムが終了した1976年以降のデータとして、ハンガリーのドブレセン天文台のデータ、ウィルソン山天文台のデータを同じ、デジタル化装置で、数値化する可能

性を探っている。これらは、世界の天文学会の仮想天文台構想の一環として、いずれは、実現されるであろうが、本プロジェクトが、それを加速したことは間違いない。

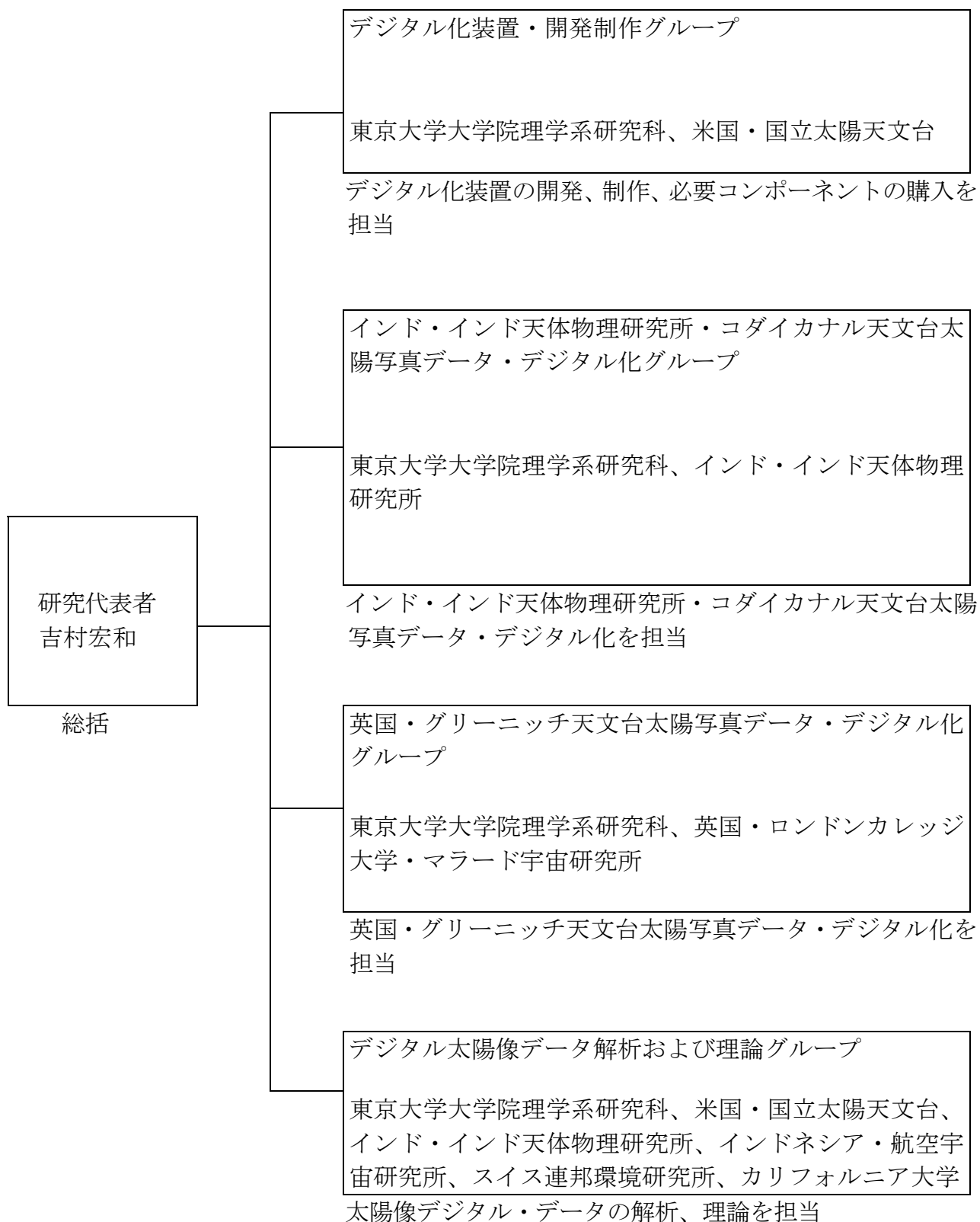
すでに、本プロジェクトが始まる時は渋っていた、ウィルソン山天文台のデータのデジタル化はスキャンナによるとしても、始まっている。この潮流は、これからも、続くであろうが、不適切で、不正確なデジタル化をすると、写真データのなかに潜んでいる情報をなくす恐れがあり、それが、写真データの価値の評価を下げ、貴重なデータが失われるのを危惧している。

それを防ぐためにも、本プロジェクトで開発したようなデジタル化装置あるいは、それ以上のデジタル化装置で写真データの数値化が進むことを願っている。

このプロジェクトで得られたデジタル・データは、これからの、数多くの研究の基礎になるものであり、一定期間後、世界に開放する予定である。

5. 研究実施体制

(1) 体制 (計画時から随時に変更、実際に稼働した体制)



(2) メンバー表

① デジタル化装置・開発制作グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期	備考
吉村 宏和	東京大学	助教授	デジタル化装置の発明、開発、総合テスト、改善、製作 会社との交渉、搬送	H11.11- H17.03	JST/CREST 研究員
黄 文宏	東京大学	研究員	スキャンナのテスト	H12.02- H13.03	
S. Keil	National Solar Observatory	Director	CCD カメラテスト	H11.11- H13.03	
S. Hegwer	同上	Chief Observer	CCD カメラテスト	同上	
S. Wilkins	同上	Observer	CCD カメラテスト	同上	
R. F. Howard	同上	Astronomer Emeritus	デジタル化装置の評価	H12.08- H17.03	
W. C. Livingston	同上	Astronomer Emeritus	デジタル化装置の評価	同上	
R. N. Smartt	同上	Astronomer Emeritus	デジタル化装置の評価、 光学系のテスト	同上	
J. Singh	Indian Institute of Astrophysics	Professor	デジタル化装置のテスト	H12.08- H12.08	
S. S. Gupta	同上	Associate Professor	同上	同上	

② インド天体物理研究所・コダイカナル天文台太陽写真データ・デジタル化グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参 加 時 期	備考
吉村 宏和	東京大学	助教授	デジタル化装置設置、 環境整備、稼動テスト、デジタル・データの評価、デジタル化作業の交渉	H13. 02- H15. 03	JST/CREST 研究補助員
白浜 公平	東京大学	大学院生	デジタル化装置設置、 環境整備、稼動テスト、デジタル化作業	同上	
J. Singh	Indian Institute of Astrophysics	Professor	同上	同上	
S. S. Gupta	同上	Associate Professor	同上	同上	

③ 英国・グリニッチ天文台太陽写真データ・デジタル化グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参 加 時 期	備考
吉村 宏和	東京大学	助教授	デジタル化装置設置、 環境整備、稼動テスト、デジタル・データの評価、デジタル化作業の交渉	H16. 01- H16. 10	JST/CREST 研究補助員
白浜 公平	東京大学	大学院生	デジタル化装置設置、 環境整備、稼動テスト、デジタル化作業	同上	
Keith O. Mason	Mullard Space Science Laboratory	所長、教授	英国・欧州におけるデータ検索、デジタル化のチーム編成、統括 英国・欧州におけるデータ検索、デジタル化	H16. 01- H16. 10	

Louise Harra	Mullard Space Science Laboratory	太陽物理学グループ主任研究員	のチーム編成、統括	H16.01- H16.10	
Lidia van Driel-Gesztelyi	同上	研究員	同上	同上	
Anthony Dibbens	同上	主任技術員	デジタル化のチーム編成、統括、データ輸送交渉	同上	
Herve Lamoureux	同上	技術員	デジタル化装置設置、環境整備、デジタル化作業チームの統括、デジタル化作業	同上	
Paul Addison	同上	技術員	デジタル化作業	同上	
Douglas Davis	同上	技術員	デジタル化作業	同上	
Graham Willis	同上	技術員	デジタル化作業	同上	
Gary Davison	同上	技術員	デジタル化作業	同上	

④デジタル太陽像データ解析および理論グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期	備考
吉村 宏和	東京大学	助教授	太陽像のデジタル・データ解析、太陽内部の磁場と流れのシミュレーション、太陽圏における銀河宇宙線の太陽風による変化、太陽と地球気候の関係の研究	H11.11- H17.03	
黄 文宏	同上	研究員	太陽像のデジタル・データ解析	H12.02- H13.03	JST/CREST 研究員

白浜 公平	同上	大学院生	太陽像のデジタル・データ解析、太陽圏における銀河宇宙線の太陽風による変化	H13. 04- H17. 03	JST/CREST 研究補助員
林 啓志	名古屋大学	研究員	太陽圏における太陽風の研究	H11. 11- H14. 12	
M. A. Kambyr	Indonesian Institute of Air and Space	Head of Solar Research	太陽像データの解析	H11. 11- H17. 03	
J. Singh	Indian Institute of Astrophysics	Professor	太陽像データの解析	H13. 02- H15. 03	
S. S. Gupta	同上	Associate Professor	同上	同上	
R. F. Howard	National Solar Observatory	Astronomer Emeritus	同上	H12. 08- H17. 03	
W. C. Livingston	同上	同上	同上	同上	
R. N. Smartt	同上	同上	太陽像のデータの解析、太陽と地球気候の関係の研究、	H16. 04- H17. 03	
R. Ulrich	Universiy of California, Los Angles	Professor	ウィルソン山天文台太陽像のデジタル化、データの解析、太陽と地球気候の関係の研究	H13. 04- H17. 03	
J. Beer	Swiss Federal Institute of Environmental Science and Technology	Senior Scientist	グリーンランドの氷の中の Be10 の測定、太陽と地球気候の関係の研究	H11. 11- H17. 03	

J. Pap	NASA/GSFC	Researcher	太陽像のデータの解析、太陽と地球気候の関係の研究	H12.04-H17.03	
P. Raychaudhuri,	Calcutta University,	Professor	太陽中心核の変動とニュートリノの研究	H15.06-H17.03	

(3) 事業団が雇用し派遣した研究員等

氏名	現職	派遣先	担当する研究項目	参加時期	備考
黄 文宏	北京師範大学 副教授	東京大学大学院理学系研究科	太陽像のデジタル・データ解析、太陽内部の磁場と流れのシミュレーション、デジタル化、スキャンナのテスト	H12.02-H13.03	JST/CREST 研究員

6. 研究期間中の主な活動

(1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	場所	趣旨	内容	参加人数
平成14年 4月14日	バンガロール・インド	コダイカナル天文台太陽データのデジタル化作業体制の再編成についての討議	インド天体物理学研究所・所長との会談	2
平成14年 5月12日	バンガロール・インド	コダイカナル天文台太陽データのデジタル化作業体制の再編成についての討議	インド天体物理学研究所・所長、副所長との会談	3
平成15年 3月8日	バンガロール・インド	コダイカナル天文台太陽データのデジタル化作業体制の再編成についての討議	インド天体物理学研究所・所長代理との会談	4
平成15年 3月20日	バンガロール・インド	コダイカナル天文台太陽データのデジタル化作業体制の再編成についての討議	インド天体物理学研究所・所長代理との会談	7
平成15年 3月30日 3月31日	バンガロール・インド	コダイカナル天文台太陽データのデジタル化作業体制の再編成についての討議	インド天体物理学研究所・所長代理との会談	5
平成15年 10月16日	バンガロール・インド	コダイカナル天文台太陽データのデジタル化再開についての討議	インド天体物理学研究所・所長代理との会談	5

(2) 招聘した研究者等

氏 名（所属、役職）	招聘の目的	滞在先	滞在期間
J. Singh (Indian Institute of Astrophysics Professor)	インド・コダイカナル天文台の太陽写真データのデジタル化に関する討議	東京大学	H14. 01-H14. 02
S. S. Gupta (Indian Institute of Astrophysics Kodaikanal Observatory, Resident Scientist, Associate Professor)	インド・コダイカナル天文台の太陽写真データのデジタル化に関する討議	東京大学	H14. 01-H14. 02 H15. 01-H15. 02
P. Raychaudhuri (Calcutta University, Professor)	太陽中心核の変動に関する討議	同上	H15. 06-H15. 06

7. 主な研究成果物、発表等 (研究代表者を含むもののみ)

(1) 口頭発表 (国内 0 件、海外 3 件)

Yoshimura, H. : Mechanism of Cyclically Polarity Reversing Solar Magnetic Cycle as a Cosmic Dynamo ,
International Astronomical Union Colloquium No.179, Cyclically Evolution of Solar Magnetic Field : Advances in Theory and Observations, Held in Kodaikanal, India, December 13th-16 th, 1999.

Yoshimura, H. : The Solar Cycle Variation of the Solar Wind and the Solar and Interplanetary Magnetic Field、 33th COSPAR(Committee on Space Research) Scientific Assembly. Held in Warsaw, Poland. 16 th-23 th, 2000.

Hayashi, K. and Yoshimura, H. : The Speed of the Solar Wind and the Solar Surface and Coronal Magnetic Field、
33th COSPAR(Committee on Space Research) Scientific Assembly. Held in Warsaw, Poland. 16 th-23 th, 2000.

(2) 論文発表 (国内 0 件、海外 2 件)

Yoshimura, H. : Mechanism of Cyclically Polarity Reversing Solar Magnetic Cycle as a Cosmic Dynamo , Journal of Astrophysics and Astronomy, Vol. 21, Nos. 3 and 4, (Proceedings of International Astronomical Union Colloquium No.179, Cyclically Evolution of Solar Magnetic Field : Advances in Theory and Observations, Published by the Indian Academy of Sciences), pp. 365-371, 2000.

Van Driel-Gesztelyi. L. and Yoshimura, H.: UK - Japanese Collaboration Saves Our Solar Heritage, Frontiers, Particle Physics and Astronomy Council, Issue 21 Winter, pp. 4-5, 2005

(3) 特許出願 (国内 8 件、海外 2 件)

高速度高精度デジタル化システム

発明者 吉村宏和、出願人 科学技術振興機構、 2001.10.01

デジタル化システム内のレンズによる像のひずみの補正方法及びその装置

発明者 吉村宏和、出願人 科学技術振興機構、 2001.10.01

光学用ガラス窓の結露・結氷防止方法及びその装置

発明者 吉村宏和、出願人 科学技術振興機構、 2001.12.12

積分球光源の開放端の構造

発明者 吉村宏和、出願人 科学技術振興機構、 2001.12.12

多重隔壁による光学系散乱光の抑制装置

発明者 吉村宏和、出願人 科学技術振興機構、 2002.11.05

ピンホールと CCD を組み合わせた結像装置及び結像光学装置

発明者 吉村宏和、出願人 科学技術振興機構、 2003.06.30

開放穴を通過する波動として伝播する情報の中間結像および撮像装置並びに撮像方法

発明者 吉村宏和、出願人 科学技術振興機構、 2004.06.29

積分球波動源を用いた対象のデジタル化装置

発明者 吉村宏和、出願人 科学技術振興機構、 2004.09.17

(4) 受賞等

① 受賞

なし。

② 新聞報道

1999 年 1 件

(5) その他特記事項

なし。

8. 結び

数十年にわたって研究してきたことで、どうしてもできないと思っていた太陽写真データを数値化して、研究室の計算機のなかに収め、研究を続行できるということからみれば、初期の目的以上の達成とみることができる。

特に、グリニッチ天文台のデータは、太陽研究の基礎になるデータを提供し続けてきたのに、1976年にプログラムが停止されると聞いて、とても残念に思っていたこともあり、感無量というほかはない。当時の英国の太陽研究者はもとより、世界の太陽研究者にとって、大きな損失であった。今回のプロジェクトの調査で、当時の状況、あるいは、その状況が、それ以降も続き、1998年には、ついにグリニッチ天文台が閉鎖され、1999年の4月には日本学士院の招待で訪日されていた最後の台長であった、**Alec Boksenberg** 氏と東京で会い、データの所在などを尋ね、1999年に、本プロジェクトは採択され、当初の目標が、紆余曲折があったとしても達成されたので、科学技術振興機構の方々には、深く感謝したい。

英国ならびに世界の天文学者は、この損失を乗り越え、新しい概念の国際仮想天文台連合（**International Virtual Observatory Alliance**）として、再び、過去のデータを現代と未来を予測する計算機シミュレーションの結果を組み合わせ、統合し、新しい次元の天文学、社会に開放さえて宇宙像を提供しようとしている。

単純にグリニッチ天文台のデータのデジタル化というプロジェクトをはじめたとしても、今回のように数年、あるいは、実際かかった期間、交渉から1年、実際のデジタル化作業、6ヶ月ですむことは到底できない。

それだけでも、ゆうに、5年以上の期間を設けるであろう。ウィルソン山天文台の例が、その例である。

今回のプロジェクトは、大英帝国のプロジェクトとして始まった、インド・コダイカナルのデータのデジタル化から開始したが、その経験が、短期間での、グリニッチ天文台のデータのデジタル化に結びついたことになる。

英国のデジタル化が **MSSL/UCL** でなされ、**MSSL/UCL** は、**Alec Boksenberg** 氏の終身大学であると、**MSSL/UCL** で聞き、今回のことは、様々な人々の思いが実を結んだ結果となっているという感を強くしている。

本プロジェクトの中心機器である、 4096×4096 、一素子、15ミクロンの **CCD** カメラは、米国・国立太陽天文台／サクラメント天文台で、創始者の **Jack Evans** 先生が亡くなられて、その追悼式に出席したとき、教えられたもの

である。台長の Steve Keil 氏、友人の Ray Smartt 氏に感謝したい。

1998年は、インドが核実験をして、プロジェクトが始まった1999年は、輸出禁止の状態があり、日本、米国から、インドに物品を運ぶには、大変なことであった。JST の方々には、様々な点で、お世話になり、支援していただいた。多くの方々の努力により、それまでの日本の科学技術推進のやりかたでは、不可能なことが達成できた。最初に時点から、Alec Boksenberg 氏には、このプロジェクトの資金規模では、世界中にある、太陽写真像のすべてをデジタル化するのは無理であるけれどと、メールで言っている。それにしては、思いもかけないほど、数々の難局を開けたのは、ひとえに、JST の多くの方々、東京大学の人々、日本国内および世界中にいる友人たちの支援のおかげである。

世界政治は、次々を変化していくが、データを解析し、調査を続けていくうちに、データのなかにもその影響が見られるといっても、100年間の激動期に、このように、忠実に観測をつづけてきた人たちに敬意を払わざるを得ない。

ことに、インドのコダイカナルで、早朝から、望遠鏡をあけ、太陽に向け、魔術師のように、錘で動く機械仕掛けの時計を操りながら毎日観測している人々、その人々に朝ごはんを持ってくる子供たちをみることに象徴されるように、インド、英国、米国と、国と文化は違っても、共通する科学および自然にたいする見方はかわらないということを、幾度、思い知らされたことか、わからない。

本プロジェクトの当初の大きな目的である、地球温暖化と太陽輻射変動の関連についても、多くの人間的要素はありと見えるが、いずれあきらかになるであろうし、本プロジェクトの成果が、その解明に、貢献することは明らかである。