

気象に影響を与える太陽活動に関する教材について

八 田 明 夫 *

(2012 年 10 月 23 日 受理)

On teaching materials about solar activity which affect the weather

HATTA Akio

Abstract

In this paper, the relation of the solar activity cycle and climate change which affect weather is introduced. The solar cycle was overdue and a delay in the increase in the number of sunspots has happened. The solar observation satellite "hinode" announced the observation result to which the solar pole polarized four times. Visual fluctuation of solar activity is shown. Comparison with climate change and solar activity by analysis of the carbon isotope in tree annual rings is performed. The relation of the clouds which solar activity and cosmic ray make is clarified, and many comments about solar activity fall and cooling are made.

Keyword : solar activities cycle, satellite "hinode", climate change

要約

本論では、気象に影響を与える太陽の活動周期と気候変動との関係を説明する教材を紹介している。太陽活動周期が遅れ、黒点数増加の遅れが起こっている。太陽観測衛星「ひので」は、太陽の極が4極化した観測成果を発表した。こうした太陽活動の変動を視覚的に捉えることのできる情報が出されている。過去から現在への気候変動は、樹木年輪中の炭素同位体の分析により明らかにされ、気候変動と太陽活動との比較が行われている。太陽活動と宇宙線が作る雲の関係が明らかにされ、太陽の活動低下と寒冷化に関する解説や予測が数多く出されている。これらの太陽活動の低下を示す観測結果と気候変動予測を教材として紹介する。

キーワード : 太陽活動の低下, 太陽観測衛星ひので, 気候変動

* 鹿児島大学教育学部 教授

1 はじめに

2012年4月19日、国立天文台のHPに、日本の太陽観測衛星「ひので」が太陽極域磁場の反転を捉えたことを紹介する記事がでた。これは、「ひので」の観測で、太陽の極域磁場の極性が反転しつつあることを世界で初めて捉えたことの報道である。予想より早い極性の反転で、「これまでの太陽磁場の極性反転メカニズムの見直しを迫る重要な結果です」という見出しで観測情報を伝えた。太陽活動の低下や過去の極小期の出現と関連があるという解説も出されている。

筆者は現在の温暖期を『人類の排出した二酸化炭素による地球温暖化説』だけで説明する現在の環境教育では、二酸化炭素の削減が進まないにも関わらず、将来寒冷化した場合、説明がつかなくなるので、人間の活動が無かった時代にも「温暖期」や「寒冷期」があったことや、二酸化炭素原因説の他に、温暖化や寒冷化の原因やメカニズムを説明した例が存在することも紹介しなければいけないと述べた（八田，2011）。

本論では最近の観測結果の紹介や『人類の排出した二酸化炭素による地球温暖化説』以外の気候変動に関する研究例を紹介する。

2 太陽観測衛星「ひので」による観測成果

国立天文台はHPで、我が国の太陽観測衛星「ひので」が太陽極域磁場の反転を捉えたことを紹介した。（<http://www.nao.ac.jp/news/science/2012/20120419-polar-field-reversal.html>）

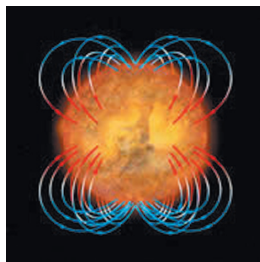


図1 太陽観測衛星「ひので」が捉えた太陽極域磁場の反転（上記URLより）

国立天文台の太陽極域磁場の反転に関する記事の要約は次の通りである。

大局的に見ると、太陽の磁場は、太陽の北極がマイナス極、南極がプラス極となっている。太陽の両極の極性は、黒点の数が最大になる時期に反転することが知られている。次の反転は、2013年5月の太陽活動極大期（黒点数が最大になる時期）にほぼ同時に起きると予想されていた。しかし、予想された時期より約1年早く、2012年1月の観測で北極磁場がほぼゼロの状態に近づいていることが、発見された。

すなわち、北極の磁場を担う斑点状の磁場の数が急速に減少し、低緯度に逆極性の斑点が現れ、現在太陽の北極域では、逆極性の磁場の大規模な消滅と極性の反転が発生していると考えられている。

この観測の結果から、太陽の北極磁場がまもなくマイナスからプラスに転じると予想される。

また、南極では極性反転の兆候がほとんどみられず、安定してプラス極が維持されている。これらの観測結果は、驚くべきことに太陽の内部で磁場を生み出すダイナモ機構の状態が、現代的な太陽観測が始まって以来初めて、変動を来していることを示している。

地球が寒冷であったと言われるマウンダー極小期やダルトン極小期には、太陽がこのような状況にあったと考えられている。

3 太陽の活動周期と気候変動との関係

常田佐久（2012）は、「ひので」による太陽の4重極化現象の観測の意義と最近の太陽活動について述べているなかで、太陽の異変について、2011年9月2日付けの、彼自身見解が引用された読売新聞の記事を紹介している。

『地球環境に変動？ 太陽北極域で異例の磁場反転―』 宇宙航空研究開発機構の太陽観測衛星「ひので」が、太陽の北極域で磁場が反転し始めた様子を観測することに成功した。太陽の北極、南極の磁場は約11年周期で反転することが知られているが、今回は予想時期より2年も早い。南極域では反転が見られないなど異例の様相を呈している。地球の環境変動につながる恐れもあるという。磁場の反転と、太陽の黒点数増減の周期は、通常約11年で一致していたが、2009年初頭まで続いた黒点の周期は2016年に延びた。活動周期が延びる時期は、地球が寒冷化することが知られている。常田佐久教授（東京天文台）は、つぎのように太陽活動を解説している。太陽は約11年周期で活動が低下する極小期と活発化する極大期を繰り返しており、極大期には南北両極のプラスとマイナスの磁場が同時に反転する。ところが今回、太陽観測衛星「ひので」のデータを基にした東京天文台と理化学研究所の研究者を中心とした国際研究チームの研究発表によると、北極においては例年より少し早めに磁場の反転化が発生しているのに、南極ではそれがみられずにいるようである。その結果、現在南極と北極が共にプラス（N極）となっており、磁極が無かった東西にマイナス（S極）ができるという異常な事態が発生しようとしている。これらの観測結果は、太陽の内部で磁場を生み出すダイナモ機構が、現代的な太陽観測が始まって以来、初めての変動であると説明している。

4重極化現象だけでなく、表面の黒点の数も通常の極大期の数に比べて少ない状態が続いている。変動の原因は、太陽の活動が低下し、冬眠期に突入しようとしているからではないかと天文学者は考えているようである。太陽活動の異常現象は地球に小氷河期をもたらすのではないかと懸念されている。

常田佐久（2012）は、太陽の冬眠期と地球の寒冷化との関連性については詳しく述べられていないので、多くの方が戸惑っているようである。そこで、昨年6月に放送されたNHK・BSテレビの「コズミック フロント」・「迫りくる太陽の異変」という番組を再度見直して見たところ、太陽の活動度合いが地球の気象に大きな影響を与えている要因について触れていたの、見逃された方のためにその内容を簡単に伝えておくことにした、と紹介している。

太陽活動の低下がもたらす影響：太陽活動の活動期と低下期はおよそ 11 年の周期で訪れ、それを表しているのが黒点の大きさと個数である。しかし、地球に及ぼす光の量には活動期と低下期の間にわずか 0.15% ほどしか差がない。つまり、太陽の活動度は地球に及ぼす光のエネルギーそのものの量にはほとんど影響を及ぼしていないようなのである。（この点で次の注意が必要である。太陽活動は「光のエネルギーそのものの量」には影響しない、と述べているのであって、地球への他のメカニズムによる影響がないとは述べていないのである—筆者）

それでは、地球の気象や寒暖に太陽の影響はないではないかと思ってしまうが、最近の研究から実はそうした考えは誤りであることが分かって来たのである。その決め手となったのが、黒点の発生は、太陽内部で起きている磁力の働き（ダイナモ現象）によるもので、太陽の内側で強い磁力が発生した時、つまり太陽の内部活動が活発化した時に黒点が多く発生することが判明したことであった。このダイナモ現象の活発化によって、黒点が出来ると同時に磁力線が大量に発生し太陽の外に飛び出す。これが、太陽フレアとよぶ地球の何百個分にも達する巨大な炎である。この飛び出した磁力線は太陽系の外周部にまで及び、それによって太陽系全体にバリアが張られ、宇宙から飛来してくる宇宙線が太陽系内に入ってくるのを保護しているのである。

もし太陽内部のダイナモ現象が弱まると単に黒点の発生が減少するだけでなく、磁力線によるバリアの力が弱体化し、宇宙線（紫外線）が大量に地球に注がれることになる。その結果、大気中には多くの微粒子が生成されて蒸発した水蒸気と一緒に大量の雲が形成される。

宇宙線が飛来しなくても、地上の水蒸気が蒸発して雲は形成されるが、単に水蒸気が冷却されて出来た雲と違って、宇宙線によって出来た雲は微粒子が多いため、一つ一つの粒子に付着する水蒸気の量が少なくなる。それゆえ、通常の雲と違って宇宙線が多い時に出来る雲は、雨となって地上へ降り注いで消えてしまうことが少ないのである。つまり、微粒子によって発生した雲は雨が降っても消えずにそのまま残る確率が高く、地球は厚い雲に覆われた状態が長く続くことになり、寒冷化をもたらすことになる、というわけである。（太文字指定—筆者）

11 年のサイクルが狂い始めたその後には、70 年近い太陽活動の停滞期が続く、異常な冷夏の

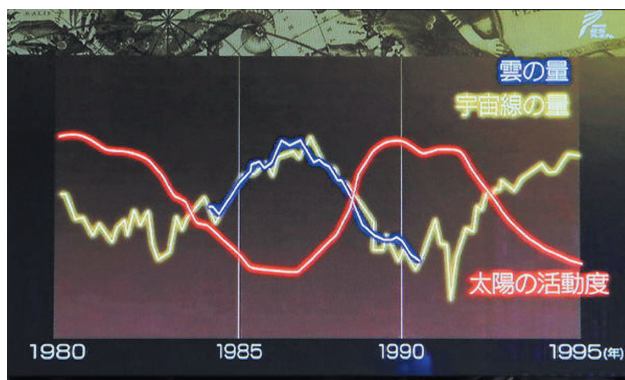


図2 太陽活動・宇宙線の量・雲の量（NHK「コズミック フロント」・「迫りくる太陽の異変」より）

発生で作物の不作による大飢饉が発生している。その代表例が 1600 年代の終わりと 1700 年代にかけて発生した「マウンダー極小期」と呼ばれる活動の停滞期で、この時、ロンドンのテムズ川が凍結したり、世界中で作物の不作による大飢饉が発生している。

図 2 は、太陽の活動と逆の周期を示す宇宙線の量の周期を示している。また、宇宙線の量と同じ周期の雲量の周期を示している。

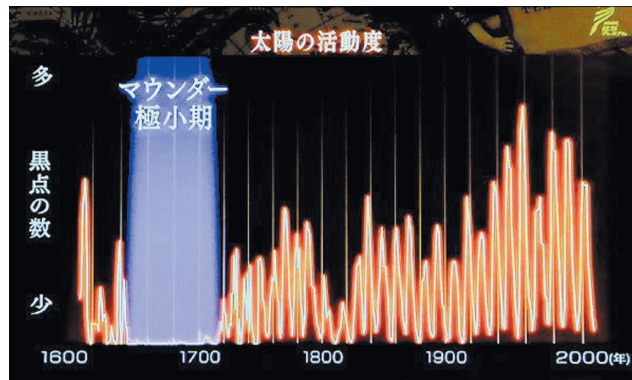


図 3 黒点数周期の変動とマウンダー極小期 (NHK「コズミック フロント」・「迫りくる太陽の異変」より)

上記のように、常田佐久 (2012) は、これが「コズミック フロント」の「迫りくる太陽の異変」という番組が伝える寒冷化現象 (小氷河期の到来) の概要であると解説した。

このように寒冷化による小氷河期の到来の可能性について NHK も報道し始めたが、実は以前から言われて来ていることである (丸山 茂徳, 2006)。八田 (2011) でも述べたが太陽活動の低下でスベンスマルク効果による雲量の増加が起これば寒冷期になるという解説は新しいものではない。

4 遅れた太陽活動周期—黒点数増加の遅れ

常田佐久 (2011) は、『「ひので」の観測成果～上昇し始めた太陽活動と極域磁場の反転～』の中で、遅れた太陽活動周期 (図 4) を示した。太陽活動は、通常 11 年サイクルであるが、今サイクルは 12.6 年と、太陽周期が異常に長くなっていることを示している。

周期の伸び、南北の非対称性の発生、磁場の減少により太陽は活動の停滞期に入ろうとしているのか懸念される情報である。太陽活動の低下がもたらす気候の寒冷化が心配される。

このような黒点数の回復の遅れは、学校における天体観測等でも観測できる現象である。高校や中学校の理科部や天文部は、太陽黒点の経年変化を記録しているところが少なくない。観測データの意味を文献で確認して、『二酸化炭素原因説』を教える学校の環境教育に疑問を持ってもおかしくはない。

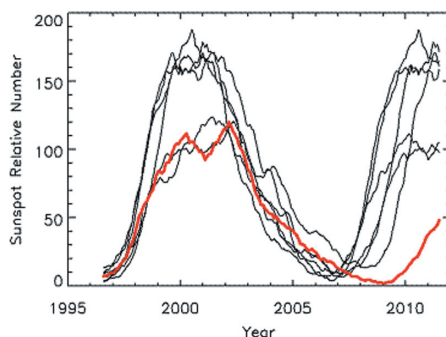


図4 遅れた太陽活動周期（赤線のグラフが今回の周期）
（過去7サイクルの黒点数推移を重ねて表示。データは国立天文台太陽観測所）

5 太陽活動の変動を視覚的に捉えることのできる情報

「太陽の活動、20年間で低下 国立天文台が長期観測」という見出しで太陽の活動を連続的に見ることのできる画像が紹介されている（2012/05/31 19:31【共同通信】）。

<http://anago.2ch.net/test/read.cgi/scienceplus/1338483933/>

こうした情報は、太陽の活動に関して学ぶ時に記述された事柄だけを学ぶのと違って視覚的に捉えることができ、理解の助けになるものである。太陽の活動を捉えた写真を連続的に並べたもので、太陽の表面の活発な活動が変動しており、周期のあることが良く分かる。記事は以下の内容である。

太陽の活動がこの20年間に次第に低下していることを長期的な観測で突き止めたと、国立天文台と米航空宇宙局（NASA）のチームが31日、発表した。このまま太陽の活動が弱まれば、過去に地球が寒冷化した時期と似た状況になるかもしれないという。太陽活動は約11年の周期で強弱を繰り返しているが、活発さを表す太陽からの電波の強さが低下傾向にあった。チームは、同天文台の野辺山太陽電波観測所（長野）で1992年から20年間毎日、太陽の観測を続け、約7

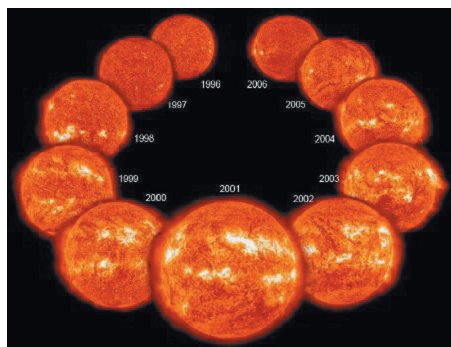


図5 NASAの衛星が1996～2006年に観測した太陽を重ね合わせた画像
http://img.47news.jp/PN/201205/PN2012053101001855_-_.CI0003.jpg

千枚の画像から電波の強さの分布を調べた。

この記事に引き続いて、NASA の衛星が 1996 ～ 2006 年に観測した太陽の画像を重ね合わせて連続的にならべたものを紹介している。1996 年の黒点の不活発な状態から 2001 年の活発な時期を経て、2006 年の不活発な時期までを 1 枚の画像に示し、太陽活動の変化を一目瞭然のものにしている。

静かな太陽が、2001 年の活発な時期を経て、2006 年に再び静かになっている。静かになった後は、これまでであれば再び活発になり黒点数も増加するのだが、黒点数の増加が遅れた事実は前に述べた通りである。

6 太陽活動の低下と気候変動の関係を示すその他の情報

太陽活動の低下と気候変動の関係を示す次の図 6 は宮原（2009）など、いくつかの文献に紹介されている。この図は、黒点と気候変動の関係を示している。

ガリレオが望遠鏡を発明して以来、黒点数の変動は記録されており、気温の低下した時期を極小期として研究され、極小期の名前がつけられている。17 世紀中頃から 18 世紀にかけての極小期は研究者の名前からマウンダー極小期と呼ばれ、19 世紀頃の極小期は、ダルトン極小期の名前がついている。極小期は、小氷期とも表現されるが、20 世紀後期に比べて約 1 度から 0.6 度程度の寒冷化であったと考えられている。この程度の寒冷化でも、地域的に更に低温下するので農作物の収量に大きな影響を与えたものと思われる。

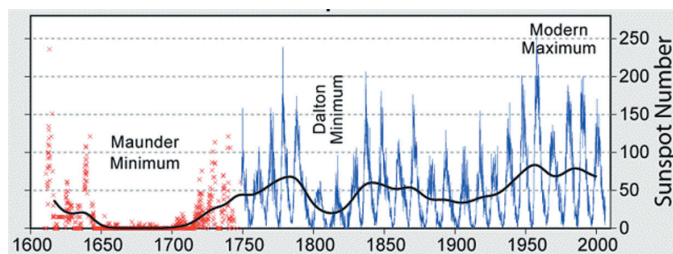


図 6 黒点数の変動と極小期

黒点数周期の伸びは 11 年周期が認められ、太陽の磁極に関する南北の非対称性の発生、太陽磁場の減少が観測されている。

太陽は活動の停滞期に入ろうとしているのであろうか？ 今期の太陽活動はようやく上昇に向かってきたが、その活動のレベルは必ずしも高くない。長期的に見ると太陽活動は低下していく兆候がはっきりしてきたと考えられている。「ひので」による太陽活動を反映する極域の精密観測により、太陽活動の長期変動の解明が行なわれるが期待される。

太陽活動の低下を示す教材になるその他の情報の一つに 2011 年 6 月 15 日の『ナショナルジオグラフィック ニュース』の記事がある。

太陽が極小期に突入する 3 つの証拠

http://www.nationalgeographic.co.jp/news/news_article.php?file_id=20110615001

Victoria Jaggard for National Geographic News, June 15, 2011

この記事は、太陽の内部、表面、上層大気を調べた3つの研究成果から、次の太陽周期は大幅に遅れるという予測が出ていることを紹介した。さらに、太陽活動の上昇が、まったく訪れない可能性もあるという。通常であれば、次の周期は2020年前後に始まる。各研究のデータを総合すると、太陽活動が異常なほど低下する「極小期」に間もなく突入する可能性がある。1645～1715年のマウンダー極小期以来の活動低下になるかもしれない、と述べている。

表面の研究成果として「黒点が力を失う・・・」の記事では、「黒点」は、磁場の活動が激しい領域を示しており、地球がすっぽり入るほど大きな黒点も存在する。何世紀も前から、黒点数の変動は、太陽磁場の強弱の判断に利用されてきた。1800年代には、黒点が約11年で増減を繰り返す周期的変化が確認された。現在は24期にあたり、2013年ごろに太陽活動が最大になる見込みだった。アメリカ国立太陽天文台(NSO)のマット・ペン氏らは最近、アリゾナ州キットピークにあるマクス・ピアス望遠鏡で、13年以上続けられた黒点の観測データを分析した。その結果、右肩下がり減少を続けている傾向が明らかになり、さらに続けば25期に入っても磁場活動は黒点を生み出すほど強くないだろうとペン氏らは考えている。「黒点はどんどん明るくなっている」とペン氏は述べる。「データから判断して、24期の太陽活動は23期の半分の強さになるだろう。次の周期では、黒点が姿を消すかもしれない」。

太陽の内部を研究する手法は『日震学』である。太陽の“ジェット気流”，コロナの磁気現象も不活発であることを観測している。NSOのフランク・ヒル氏らは、日震学の手法で太陽周期を観測している。この手法では、太陽内部の音波が引き起こす表面の振動から内部構造を推測する。ヒル氏らは特に、太陽の表面下に隠れた“ジェット気流”，いわゆるねじり振動を追跡している。この流れる物質の帯は両極付近で発生し、赤道に向かって移動する。磁場を生み出す役割の一端を担うと考えられている。

黒点は表面下の帯の進路に沿って発生する傾向があり、帯が赤道に近づくとも太陽活動が激しくなることが多い。そのため、太陽周期の有効な指標となり得る。「24期のねじり振動は1997年に発生した」とヒル氏は話す。「よって、2008～2009年には25期の流れが発生しているはずだが、いまだ確認されていない」。

NSOで太陽の薄い上層大気「コロナ」の研究を率いるアメリカ空軍のリチャード・アルトロック氏も、コロナの磁気現象が明らかに変化していることを確認した。コロナの磁場が両極に向かって急激に動く現象は黒点の増加と関係している。磁場が太陽の北緯・南緯で約76度に達するころ、太陽活動が最大になる。この動きは、太陽が磁場を“一掃する”現象とも関係している。新しい磁場が形成され、新たな太陽周期が始まる前兆だ。

ところが、現在の動きはスピードが遅く、2013年に最大を迎える太陽活動は非常に弱い可能性がある。新たな太陽周期の始まりも遅れ、場合によっては訪れないかもしれない（実際は約2

年遅れで黒点増加が始まった一筆者)。これら3つの証拠は25期が不発に終わることを強力に示唆している。3つの研究成果は、ニューメキシコ州ラスクルーセスで開催されているアメリカ天文学会の会合で6月14日に発表された。以上が『ナショナルジオグラフィック ニュース』の記事の紹介である。

7 樹木年輪中の炭素同位体の分析による気候変動と太陽活動との比較

宮原ひろ子(2009)は、中世の温暖期と近世の小氷河期における太陽活動と気候変動について、www.icrr.u-tokyo.ac.jp/1ry/Miyahara090414.pdf で樹木年輪中の炭素同位体の分析から過去の太陽活動の考察を紹介している。

太陽活動が弱いと宇宙線が入りやすくなり、この宇宙線により ^{14}C の生成量が増加する。植物に取り込まれる ^{14}C の割合も増加する。炭素14を指標とする手法により太陽活動を復元する方法で基本となる、「宇宙線によって炭素14が生成されるメカニズム」は次のように説明される。

太陽活動が低下すると、太陽圏（太陽の磁場が広がる空間）が宇宙を飛び交う高エネルギー粒子（陽子）を遮る働きが衰える。→高エネルギー宇宙線が地球にも飛び込んでくるようになる→大気中の原子核に当たって陽子と中性子が出される→中性子がN原子核に当たって ^{14}C ができ、陽子がでる→植物に取り込まれる ^{14}C の割合が増加する。

太陽活動が低下すると、このプロセスで宇宙線により ^{14}C が生成される量が増加する。一方、太陽活動が活発化すると→太陽（圏）の磁場が宇宙線をバリアで防ぐ→地球に飛び込んでくる宇宙線（陽子）量が減少→宇宙線（陽子）が作る炭素14の量が減少→樹木年輪に取り込まれる炭素14の濃度が減少する。

要するに、太陽磁場の広がる空間が宇宙を飛び交う高エネルギー粒子を遮り、光合成で取り込まれる ^{14}C の割合を減ずるのである。まとめると次の表のようになる。

表1 太陽活動と炭素14の関係

太陽活動	活発（黒点多）	= ^{14}C 濃度低下
	静穏（黒点少）	= ^{14}C 濃度上昇

2003年～2007年は、太陽活発で黒点が多かった。気候も温暖期であった。

2008年黒点数の回復が遅れた。年間300日、黒点が無かった。今も太陽活動は弱い。過去50年で最低の太陽風（活動の低下）である。宇宙線量の増加で雲量が増加する。雲量が多いと日射量が少なくなり気温は低下する。次の表は過去の小氷期のデータである。

表2 最近の三回の極小期

1282-1342 年	ウオルフ極小期
1416-1534 年	シュベラー極小期
1645-1715 年	マウンダー極小期

1665年にはイギリスのテムズ川が凍結したという記録も絵画とともに紹介されている。

宮原ひろ子(2009)はマウンダー極小期の前兆現象について次のように述べている。

宮原は「太陽圏の磁場は宇宙を飛びかう放射線(荷電粒子)から地球を防護する役割を果たしている。しかし、そのバリアの強度は、太陽活動度に依存して変化する。⇒地球に飛来する宇宙線は時間とともに変化する。(たとえば太陽の11年周期変動にともなう増減)」と解説している。

年輪に含まれる ^{14}C の割合は太陽活動の低下時期に増加することは、前述した。宮原(2009)はMiyaharaらの2004, 2006, 2008を引用して、過去1100年間における太陽“11年”周期の変遷を調べた結果を示している。それは、シュペーラー極小期やマウンダー極小期に ^{14}C の割合が増加し、黒点周期が11～14年周期になっていることを示している。

太陽活動度(黒点数)の増減の経験則を次のように紹介している。太陽活動の11年周期が伸びると次のサイクルの最大黒点数(振幅)が少なくなる(小さくなる)。1996年に始まった最後の太陽サイクルは終わるまでに12年以上かかった。このことから、次のサイクルは活動が弱くなる可能性が大きい?!としている。

マウンダー極小期(継続時間:～70年)の場合、直前の2太陽サイクルが12～13年程度に伸びている。ダルトン極小期(継続時間:～20年)の場合直前の1太陽サイクルが13年程度に伸びている。シュペーラー極小期(継続時間:120年)の場合、直前の2太陽サイクルが～13年程度に伸びている。

結論として、太陽サイクルの期間は通常11年程度であるが、1996年に始まった太陽サイクル23の期間は12～13年程度に伸びておりダルトン極小期が発生する直前の様相に似ている。今後、黒点が増えていったとしても、通常の1/3程度の数の黒点しか現れない可能性がある。

太陽サイクル24の期間が再び12～13年程度に伸びた場合は、マウンダー極小期やシュペーラー極小期などのような70年以上の無黒点期が発生する可能性がある、と述べている。

7 太陽活動と宇宙線が作る雲の関係

宇宙から飛来する荷電粒子の銀河宇宙線と雲量の関係を示したグラフは宮原(2009)、ほか何名かが紹介している。宇宙線が大気をイオン化し、小さい雲凝結核の生成を促進するという説明

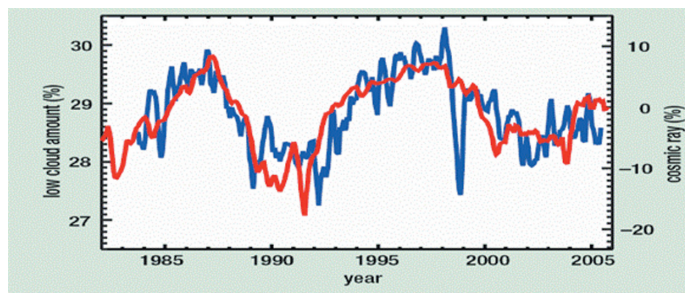


図7 宇宙から飛来する荷電粒子の銀河宇宙線と雲量 (Svensmark, 2007の図を宮原, 2009より引用)

がスベンスマルク効果として知られている。IPPC には「まだ証明されていない」という扱いをされている。

宇宙線によるイオン化が雲形成に与える影響の過程を調べる実験が行われる。スイス CERN での基礎実験 (SKY, CLOUD 実験) や名古屋大, 甲南大などによるエアロゾル生成実験である。これらの実験がスターとし、スベンスマルク効果は本当であるか明らかにされることに期待したい。

これまで CO₂ による「地球温暖化」説以外の気候変動を説明する説を教材として紹介してきた。最後に以下の「試算」を紹介する。

(財) 地球環境産業技術研究機構 (RITE) システム研究グループ (2008) は、二酸化炭素削減政策にかかる費用を試算して、「COP/MOP3 で言及がある『2020 年に 1990 年比 25 ~ 40% 減』を仮に日本がコミットした場合、国民一人当たりの負担額は年間 220 ~ 480\$ 程度 (日本全体では年間 3.4 ~ 7.1 兆円)」の額を推定している。

25% 削減の目標を達成するために、仮に半分を海外から二酸化炭素の排出権を購入する場合、3 兆円以上の額を海外に支払うことになるという。二酸化炭素の削減策が進まない状況で、太陽活動の低下による寒冷化が始まったら、こうして海外に支払われる負担は何であったのだろうか。いずれにせよ、太陽活動の低下を受けた気象の変動がどのようになるかで、原因は明らかになるであろう。

引用文献：

常田佐久 (2012) : 『「ひので」による今回の観測の意義と最近の太陽活動について』

2012 年 4 月 19 日公開の URL

<http://hinode.nao.ac.jp/news/120419PressRelease/PressRelease-20120419a-tsuneta.pdf>

常田 佐久 (2011) : 「ひので」の観測成果. ~上昇し始めた太陽活動と極域磁場の反転~, 2011 年 8 月 31 日. 宇宙航空研究開発機構. 宇宙科学研究所ひのでプロジェクトチーム. www.jaxa.jp/press/2011/08/20110831_sac_hinode.pdf

八田明夫 (2011) : 二酸化炭素温暖化原因説の扱い方, 鹿児島大学教育学部研究紀要, 教育科学編, 第 63 巻, p.43-54.

丸山茂徳 (2006) : 「異説, 地球温暖化」—生命と地球の進化論—本田財団レポート No.116, p.1-26

宮原ひろ子 (2009) : 中世の温暖期と近世の小氷河期における太陽活動と気候変動 —樹木年輪中の炭素同位体の分析から—www.icrr.u-tokyo.ac.jp/1ry/Miyahara090414.pdf

(財) 地球環境産業技術研究機構 (RITE) システム研究グループ (2008) : 長期と中期の CO₂ 排出削減 費用の分析 (2008 年 7 月 11 日)

<http://www.rite.or.jp/Japanese/lab/sysken/about-global-warming/download-data/MarginalAbatementCosts.pdf>