

無黒点日の数からサイクル24の 太陽活動を予測する

久保田 諄
鈴木 美好

要旨

太陽表面に現われる黒点の数は約11年の周期で増加と減小を繰り返す。その極大と極大の間にある極小の時期には、太陽面に黒点が全く観測されない無黒点日が数多く存在する。その無黒点日の日数は次の黒点数極大期に現われる黒点数と密接な逆相関 ($\gamma=0.89$) があることを発見した。この関係をもとにして次のサイクル24の極大における黒点数を推定すると、78.2の低い値が得られた。この値は他のいろいろな方法による推定値とほぼ一致する。1930年以來のこの低い値は黒点数の更に長い変動の周期 (Gleissberg 周期) の存在を確証するものである。

キーワード：太陽黒点，無黒点日，Gleissberg 周期

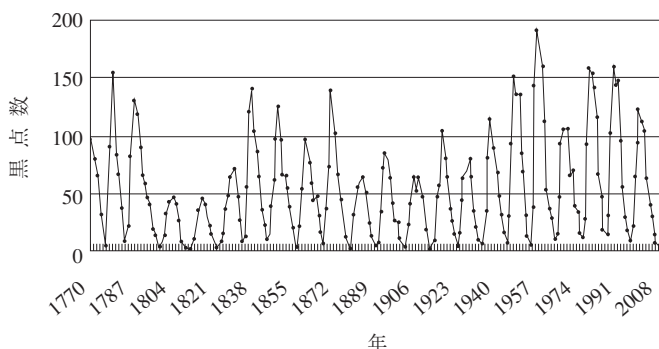
I 序 論

太陽面に現われる黒点の数は昔から世界中の観測者によって記録されている。特に1865年以降は、Wolf が提唱した黒点相対数 (ウオルフ相対数) を国際的な共通の指標として使い、世界中の観測者が協力して毎日の黒点数が連続して記録されている。自然科学におけるデータの時系列として、この黒点相対数は最も長いものである。

太陽面で観測される毎日の黒点相対数の月平均値 (一ヶ月間に観測された黒点相対数の総和をその月の観測日数で割った値) あるいは年平均値 (同様に一年間に観測された黒点相対数の総和をその年の観測日数で割った値) を時間 (年月) にたいしてグラフに画くと、黒点数が約11年の周期で増加と減小を繰り返していることがわかる (図1)。この曲線の一つ一つの山の頂上を極大、そして谷間の底を極小と呼ぶ。そして、この黒点数の時間的な変化の極小から次第に増加して極大となり、そして減小して次の極小となるまでの期間を1サイクルと呼んでいる。これらのサイクルには年代順に番号が付けられ、1792年に極大となったサイクルを1番とし、現在はサイクル23が終わって、サイクル24が始まったばかりである。

図1の規則的な変化でわかるように、サイクルの周期は、詳しく調べると最短7年から最長15年の範囲で変化しているが、平均して10.5年で、ほぼ一定である。しかし、サイクルの極大値は最小49から最大201の範囲で大きく変化している。(また、極小値も最小0か

図1：黒点相対数の経年変化



ら最大11の範囲にある。) また、サイクルごとの極大値だけを追跡して見ると、さらに長い周期の変化がこの時系列のデータの中に含まれていることがわかる。このような過去の黒点相対数のデータを基にして、次のサイクルの極大値を予測するのは昔からの問題で、多くの人々がいろいろな方法で挑戦している。

最も単純な方法はサイクルの極大値のサイクル毎の変化を追跡し、外挿する方法であろう (Secular trend method)。それぞれのサイクルの極大値をサイクル番号順にプロットし、図2のようにそれらの点の回帰直線を求めて、その延長上で次のサイクルの極大値を推定する。また、回帰直線ではなく、図3のように80年の周期 (Gleissberg 周期) をもつ正弦曲線を適合させて、その曲線上で次のサイクルの極大を求める方法もある。

図2：黒点相対数の極大値のサイクルにともなう変化：直線回帰

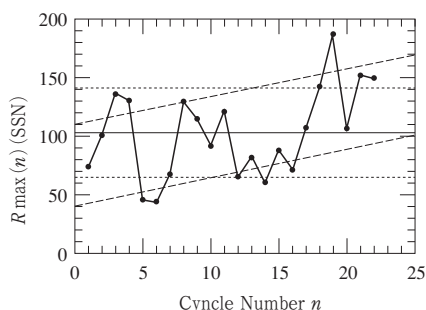
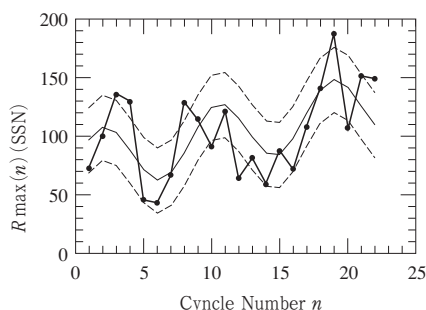


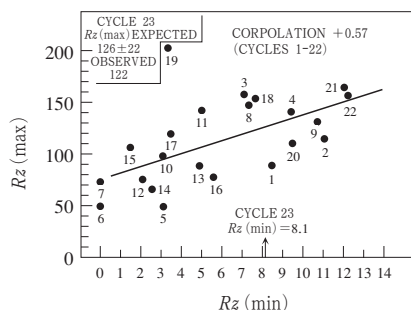
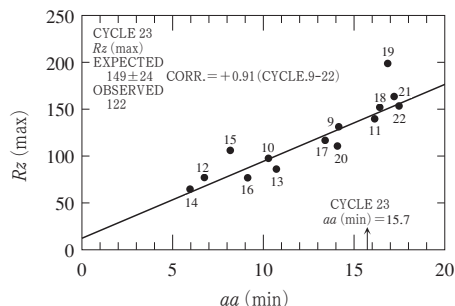
図3：黒点相対数の極大値のサイクルにともなう変化：正弦曲線



しかし、それらの予測法のうちで最も的中率が高いと考えられているのは precursor 法 (前兆法) と呼ばれる方法であろう。前兆となる現象の指標は前のサイクルの黒点相対数の極小値や極小の時の地磁気の aa 値がよく使われる。つまり、この方法は前の極小値や aa 値を使って後のサイクルの黒点相対数の極大値を推定するものである。

図4はケイン (Kane 2002) による黒点相対数の極小値 ($Rz(\min)$ 横軸) と、その次のサイクルの極大値 ($Rz(\max)$ 縦軸) の相関を示している。回帰式は $Rz(\max) = (76.3 \pm 14) + (6.0 \pm 2.0) Rz(\min)$ と書けるが、相関係数は0.57なので、この式を使って極小値から次のサイクルの極大値を推定するのはかなり冒険である。図5はサイクルの極小の時の aa

図4：黒点相対数の極大値と極小値の関係 (Kane 2002)

図5：黒点数の極大値と極小期の aa 指数の関係 (Kane 2002)

指数 ($aa(\min)$ 横軸) とその次のサイクルの黒点相対数の極大値 ($Rz(\max)$ 縦軸) の関係を示している (Kane 2002)。

aa 指数は毎日の地磁気の擾乱 (磁気活動) の大きさを示す指標値で、地球上のたがい反対側の地点 (例えばキャンベラとハートランド) で測られた地磁気の変動の大きさから決められる。一般に太陽面の黒点の付近ではフレアと呼ばれる高いエネルギーを持った爆発がしばしば起こる。また、太陽の最外側の大気であるコロナの中ではコロナ質量放出 (CME) と呼ばれるガス放出が頻発する。これらの現象からは磁気を帯びたガス雲が高速で惑星間空間に放出され、これらの磁気雲が地球に遭遇すると地球の磁気 (地磁気) に烈しい変動をひき起こす。これが磁気嵐と呼ばれる現象で、その強度の変化を表す指標が aa 指数である。従って、太陽面に黒点の数が多いほど、 aa 指数も高くなることが考えられる。

Kane (2002) が求めた $aa(\min)$ と $Rz(\max)$ の関係は $Rz(\max) = (8.29 \pm 15.35) + (8.96 \pm 1.17)aa(\min)$ と書いて、両者の相関係数は0.91である。サイクル22と23の間の極小期における aa 指数の平均値 (15.7) を使うと、サイクル23の極大値として 149 ± 2 がえられる。しかし、実際の観測値は122であったので、かなり大きい推定値であった。 aa 指数は太陽面そのものに現われる活動現象を示す指標値ではなく、その影響で地球上に現われる現象の間接的な指標である。従って、太陽面の黒点活動そのものの中から前兆となる現象の指標を探し、それを使って次のサイクルの黒点活動を予測しなければならない。われわれは黒点サイクルの極小期における無黒点日の数 (無黒点日数) に注目した。

II 無 黒 点 日

無黒点日とは太陽面に黒点が一日中一つも見えない日であり、一つも記録されなかった日を云う。すなわち、その日の黒点相対数がゼロと記録されている日と定義する。勿論、太陽面には微小な黒点 (ポア pore と呼ばれる) が頻繁に現われ、消えているが、その寿命は数時間程度なので、次の日まで存続するのは稀である。黒点相対数として記録されるのは少なくとも2日以上存続する黒点についてであろう。常識的に見て、この無黒点日は黒点の少ない時、つまり、二つの隣り合ったサイクルの中間にある極小期に集中している

であろう。

サイクルの極小期における無黒点日の数を調べるのに、「Solar geophysical Data」(NOAA) および ワルドマイヤー (Waldmeier 1961) による「The Sunspot Activity in the years 1610~1960」に掲載されている、1821年(サイクル6の極大)から2008年までの黒点相対数のデータを使った。一ヶ月あたりの黒点相対数ゼロの日数を数え、さらにサイクル6から23までの、隣り合った二つのサイクルの間にある無黒点日の総数を数えた。

図6：サイクル21-22の間にある黒点数極小期における、一ヶ月あたりの無黒点日数の経月変化

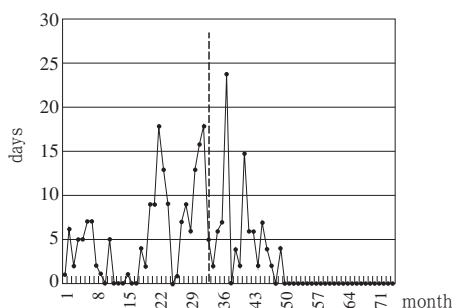


図6はサイクル21-22の間の極小期附近の一ヶ月当たり無黒点日数の経月分布である。縦軸は一ヶ月当たりの無黒点日の数(最大31)、横軸は数え始めた月(1973年7月)からの月の数である。縦の点鎖線は黒点相対数から決められた極小の月(1976年3月)(理科年表)である。無黒点日の経月分布の中心またはその分布の最大(1976年7月)と黒点相対数の極小は時期的に食い違っている。

黒点データセンター(Bruxelle)から公表されている年平均黒点相対数(確定値)の極小とは何であろうか。月平均黒点相対数とは先述の通り、一ヶ月間に太陽面上で観測された黒点相対数の総和を観測日数で割った値であり、年平均黒点相対数はそれを13ヶ月の移動平均を行なって決められている。これらの作業によってかなり曲線が平滑化されて、数ヶ月程度の無黒点日があっても年平均曲線では消えてしまうであろう。また、この年平均黒点相対数の曲線では、極小の時にも隣り合った前後のサイクルからの影響が重なり合って現れる。つまり、極小期でも前のサイクルの終わり頃の黒点が赤道に近い低緯度に僅かながらも残っているし、また次のサイクルの最初の頃の黒点が緯度40度あたりの高い緯度で始まっているからである。従って、黒点相対数の確定値による極小期と極小値は実際の太陽面黒点活動の極小を表すものとは云えない。本当の黒点活動の極小期は無黒点日の分布の中心となる筈である。

図7はそれぞれの極大の間に存在する、極小期を中心とした無黒点日の総数の経年的な変化を示している。この図で明らかなように、無黒点日の総数にもサイクルによってゆるやかな増加と減小があり、図1と比較すると、黒点相対数の極大値の変化と逆相関になっていることがわかる。

この相関を明らかにするために、隣り合った二つのサイクルの極大値の平均 $r(\max)$ (縦

図7：サイクル6-7からサイクル22-23の黒点極小期における無黒点日の総数の変化

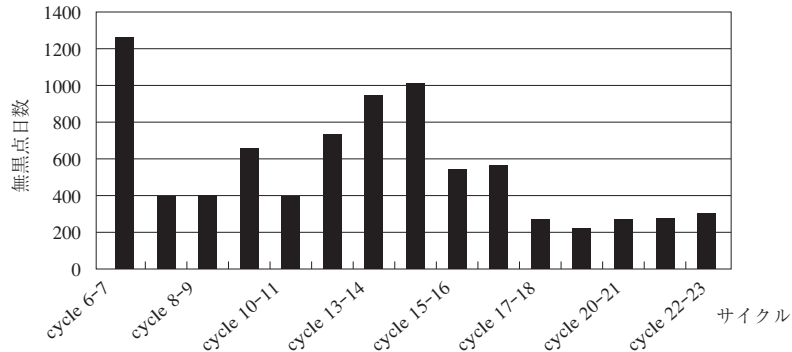
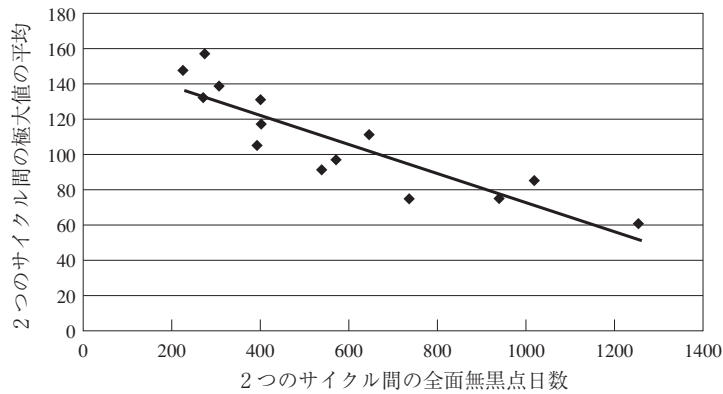


図8：隣り合った二つのサイクルの黒点相対数極大値の平均値とその間にある極小期の無黒点日の総数との関係



軸)をその二つのサイクルの間にある極小期を中心とした無黒点日の総数 P (横軸) に対してプロットしたのが図8である。両者の相関は非常に良く、相関係数は -0.89 である。(但し、サイクル18-19における値は非常にかけ離れているので除外した) その回帰式は

$$r(\max) = (156.9 \pm 7.2) - (0.086 \pm 0.012)P$$

と書ける。試みにこの式にサイクル22と23の間にある極小期の無黒点数 $P=272$ 日を代入すると、二つのサイクルの極大値の平均として $r(\max)=133$ が得られる。一方、実測されたサイクル22と23の極大値はそれぞれ158と120であるから、その平均は138であり、予想値に非常に近い値である。

サイクル24の極大値を予測するために、サイクル23が終わる(2009年5月)までの無黒点日の総数を $P=675$ 日とするならば、サイクル23と24の極大値は上の式により、 $r(\max)=98.9$ が得られる。一方、サイクル23の観測された極大値は119.5であるから、推定されるサイクル24の極大値は78.2(76.4~80.0)となる。しかし、 P の値は確定したわけではなく、これより大きくなると考えられるので、推定される極大値は78.2以下となるであろう。

サイクルの上昇期間 Tr (年) はそのサイクルの極大値 $Rz(\max)$ と関係し(久保田他

1995), $Tr = (16.37 \pm 0.63) - 6.00 \log Rz(\max)$ と書ける。サイクル24の極大値として78.2を使うと, サイクル24の上昇期間は5.01年が得られる。サイクル23と24の間の極小を2008年とするならば, サイクル24の極大期は2013年となる。

Ⅲ 結論と考察

無黒点日数から推定したサイクル24の極大値は78.2 (76.4~80.0) であり, 極大期は2013年が得られた。この予測結果を他の人々の結果と比較しよう。

図2に示した回帰直線 (Hathaway et al. 1999) によれば, n 番目のサイクルの極大値は $r(\max) = 74.8 + 2.42n \pm 34.6$ と書ける。 $n=24$ を代入すると, $r(\max) = 132.9 \pm 34.6$, すなわち, $r(\max) = 167.5 \sim 98.3$ が得られる。サイクル23の実測された極大値よりも高い値となる。また, 図3の正弦曲線は, 同様に Hathaway et al. によると, n 番目のサイクルの極大値として, $r(\max) = 74.8 + 2.42n + 27.4 \sin[2\pi(n-0.0)/8.4] \pm 28.3$ と書けるので, $n=24$ を代入すると, $r(\max) = 111.5 \pm 28.3$, つまり, $r(\max) = 139.8 \sim 83.2$, かなり低い値で, われわれの結果と近くなっている。

Javaraih et al. (2009) はサイクルの極小期における, 太陽面の南半球の日面緯度範囲 $0^\circ \sim 10^\circ$ にある黒点の面積の総和から次のサイクルの黒点数の極大値との相関 ($\gamma=0.98$) から, サイクル24の極大値として87を得ている。また, 極小期における aa 指数と次のサイクルの極大値との関係に注目した Nipa J. Bhatt et al. (2009) はサイクル24の極大値として 111 ± 21 を得た。これらはいずれも, われわれの得た値に近い低い値である。これらの方法に使われた指標と実際の極大値の相関係数から見て, サイクル24の極大値はサイクル22や23のそれよりかなり低く, 100ないしそれ以下であると考えられる。

もし, このような低い黒点相対数の極大値をもつサイクルが現われるならば, 1928年以来的のことである。ちょうど, 80年を距てて再びこの低いサイクルが現われるならば, 80年周期の Gleissberg サイクルの存在が確かめられるであろう。また, このような低い極大の期間には太陽全輻射量がどのような変化を示すであろうか, 地球の環境に及ぼす影響から見て興味深い。

参 考 文 献

- Hathaway, D. H., Wilson, R. M., and Reichman, E., (1999), "A synthesis of solar cycle prediction techniques", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, 22375-22388.
- Kane, R. P., (2002), "Prediction of solar activity: Role of long-term variation", *Journal of Geophysical Research* Vol. 107, NO. A7, 10, 1029/2001
- Javaraiah, J. (2007), "North-south asymmetry in solar activity: predicting the amplitude of the next solar cycle", *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, Vol. 377, L. 34-L38
- Nipa J Bhatt, Rajmal Jain, Malini Aggarwal (2009), "Predicting Maximum Sunspot Number in Solar Cycle 24", *J. Astrophys. Astr.*, Vol 30, 71-77.
- Waldmeier, M., (1961) "The Sunspot Activity in the years 1610-1960", Zurich Schulthess.
- 久保田諄, 鈴木美好, 時政典好 (1995), 大阪経大論集 第45巻6号 p7