

太陽活動の長期変化と将来予測

吉田明夫（静岡大学）

1. はじめに

地軸の傾きの変化及び歳差運動は太陽放射の地球表面への照らし方を変える。そのことが、氷期―間氷期変動など、第四紀における地球の気候変化の大きな要因になってきたことが明らかにされている。一方、G型星として水素の核融合反応の安定期にある太陽の放射量の変動は、放射総量に比べて極めて小さく、その変動が直接、地球の気候に及ぼす影響も、また小さいと考えられている。しかし、地球は、太陽活動の指標とされる11年周期変動の振幅が小さかった時に相対的な寒冷期にあり、逆に変動の振幅が大きかった時に温暖期であったと推定されるデータが集められていることから、太陽風の強度変化も含めて、10年、100年、1000年というスケールでの太陽活動の変化と地球の気候との関係に少なからぬ気候研究者が関心を寄せている。

太陽活動の変化が地球の気候に、どのような仕組みを通して、どの程度の影響を与えるのか、その実態は明らかではない。しかし、太陽活動と気候変化の相関を示唆する種々のデータの存在は、近未来の太陽活動を予測したいという研究へのモチベーションともなって、多くの太陽研究者が、様々な手法に基づいて、次の11年周期変動の振幅を予測している。

ここで紹介するのは、シュワーベ・サイクルと呼ばれる約11年を周期とする太陽の黒点数の変化から導き出される過去と未来の活動の関連性である。

2. シュワーベ・サイクルの振幅

次期太陽活動を予測するという場合、通常は、サイクルにおける黒点数の最大値の予測を意味する。しかし、図1にみるように、各サイクルの黒点数の変化は相似ではなく、鋭いピークを持つサイクルがある一方で、なだらかな山頂の趣を示すサイクルもある。こうした、様々な形態のサイクル変動に対して、その変動の大きさを黒点数のピーク値で与えるのは妥当だろうか。もし、黒点のピーク値でない量を考えるとすれば、直ちに二つの候補が考えられる。一つは、黒点数のサイクル中の総和、そしてもう一つはサイクルでの平均値である。図2は、サイクルのピーク値と、黒点数の総和もしくは平均値との相関を並べて示したもので、これから、黒点のピーク値と黒点数の総和との相関よりも、ピーク値と黒点数の平均値との相関の方が明らかに良いことが見てとれる。前

者の相関係数は 0.919 であるのに対して後者の相関係数は 0.972 である。ここには示さないが、サイクルにおける黒点数の平均値を取る時、極小値のところで切るのではなく、極小値の 3 年前のところで切った時に、そのサイクルのピーク値と最も良い相関が得られる。そして、極小値の 3 年前の黒点数は次期サイクルの振幅と良い相関を示す（参考文献を参照）。

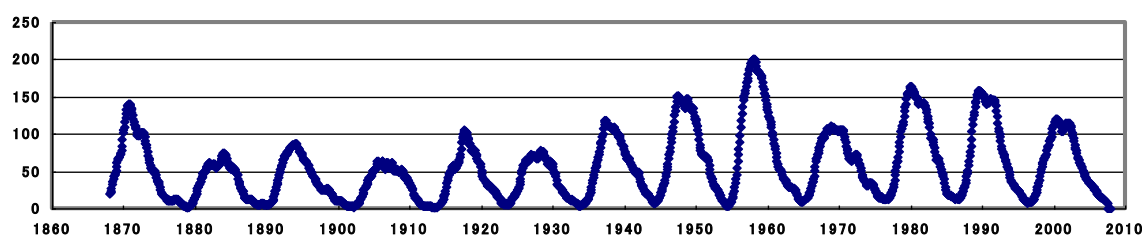


図 1 黒点数の 13 カ月平均。サイクルにおける黒点数変化には類似したところもあるが、個別性もみられる。

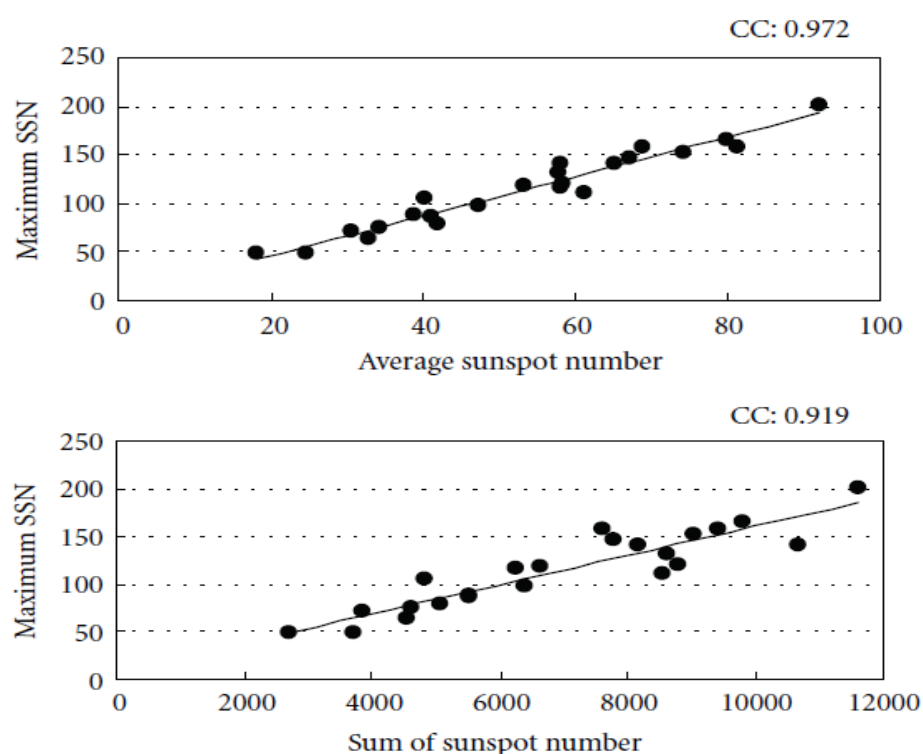


図 2 （上）黒点数のサイクル平均値と極大値の相関
（下）黒点数のサイクル総和と極大値の相関

3. 次期サイクル 25 の振幅の予測

図 3 は、シュワーベ・サイクルの偶数番目の黒点数の平均値と次の奇数番目のサイクルの黒点極大値との間の良い相関関係を使い、サイクル 24 の黒点平

均値から予測したサイクル25の黒点極大値を示している。興味深いことに、偶数番目の黒点数の平均値と次の奇数番目のサイクルの黒点極大値との間の相関は非常に良いのに対し、奇数番目の黒点数の平均値と次の偶数番目のサイクルの黒点極大値との間の相関は良くない。前者の相関係数が0.986であるのに対し、後者の相関係数は0.436である。この前者の非常に良い相関関係を用いて、サイクル25の黒点極大値は 115.4 ± 11.9 と予測される。

ここで注意する必要があるのは、偶数番目のサイクルの黒点数の平均値と次の奇数番目のサイクルの黒点極大値との間の良い相関関係には、その相関関係からはずれるアウトライアーが存在することである。何故、アウトライアーが現れるか、その理由は、いまのところ明かでないが、アウトライアーが現れる時には、すべての場合に、偶数番目のサイクルの立ち上がりにおける黒点数の増大の割合が異常に大きいことがわかっている。サイクル24の立ち上がりにおける黒点数の増大には、そうした異常性は認められないので、一般的な良い相関関係を基にした予測が成立すると考えられる。

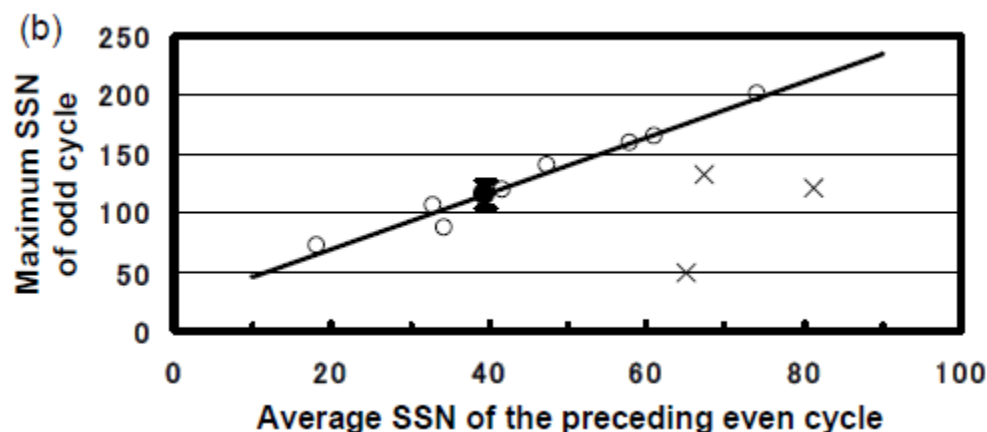


図3 偶数番目のサイクルの黒点数の平均値と次の奇数番目のサイクルの黒点極大値との間の相関関係を用いて予測したサイクル25の黒点極大値
×印は、相関関係からはずれるアウトライアーを示す。

4. シュワーベ・サイクルの黒点平均値にみられる興味深い性質

先述したように、偶数番目の黒点数の平均値と次の奇数番目のサイクルの黒点極大値との間の相関は非常に良いのに対し、奇数番目の黒点数の平均値と次の偶数番目のサイクルの黒点極大値との間の相関はほとんどみられない。黒点数のサイクル平均値を用いて、いろいろなサイクル間の相関関係を調べたところ、もう一つ、相関関係が存在することがわかった。それは奇数番目 ($2n+1$ 番目) のサイクルの黒点平均値と次の次の偶数番目のサイクル ($2n+4$ 番目) のサイクルの黒点平均値の間の相関である (アウトライアーが一つみられるが、

相関係数は -0.697 で逆相関)。ここで興味深いのは、偶数番目 ($2n$ 番目) のサイクルの黒点平均値と次のサイクル ($2n+1$ 番目) の黒点平均値の間の正の相関と、奇数番目 ($2n+1$ 番目) のサイクルの黒点平均値と次の次の偶数番目のサイクル ($2n+4$ 番目) の黒点平均値の間の負の相関を組み合わせると、サイクル番号 2、3、6、7、10・・・の各サイクルの黒点平均値の間には何らかの関連性があり、一方、サイクル番号 4、5、8、9、12・・・の各サイクルの黒点平均値の間にも何らかの関連性が存在して、かつ、これら二つのサイクル系列は互いに交り合わないことである。アウトライアーがみられることから、これら二つの相関関係の存在をもって、太陽活動の長期的な予測ができるとまでは言えないが、太陽黒点数のサイクル平均値にみられるこの性質は、太陽ダイナモ理論の構築にあたって、重要な意義を持っているのではないかと筆者は考えている。

黒点数のサイクル平均値に関して、もう一つ奇妙な性質が認められることがわかった。それは、平均値が 20 の倍数に近い値をとることが多いことである。

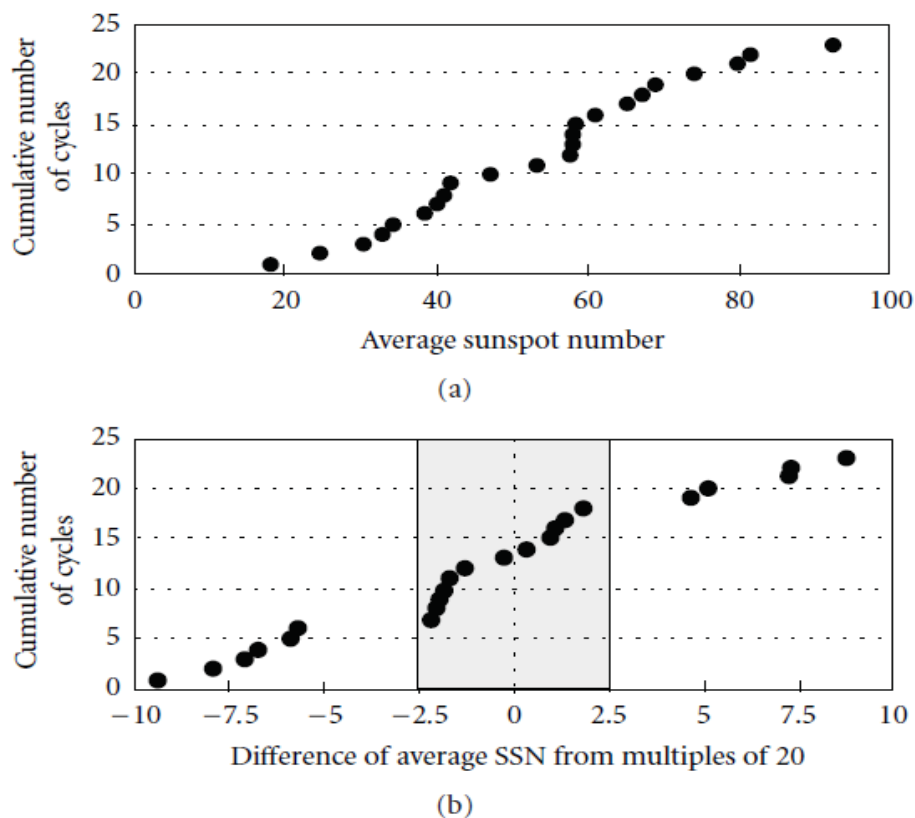


図 4 (a) 横軸は黒点数の平均値。縦軸は平均値の小さい方からサイクルの数を足していったときの累積数

図 4 (b) 横軸は黒点数 20 の倍数からのずれ。縦軸はそのずれの小さな方からサイクルの数を足していったときの累積数

図 4 (a) に示すように、黒点数のサイクル平均値は 20 と 40 付近の値をとるものが多い。図 4 (b) は、このことを見やすくするために、各サイクルの黒点平均値の 20 あるいは 40、60 (20 の倍数) からの、それぞれもっとも近い値からの差をとって、その差の小さな方からサイクル数の累積をプロットしたものである。この図から、全部で 23 サイクル中、12 のサイクルが、差が ± 2.5 以内に入ることが見てとれる。もし、黒点平均値が連続的にどんな値でもとれるとすると、23 サイクル中、12 のサイクルの平均値が、20 の倍数からの差が ± 2.5 以内に入る確率は 4.6×10^{-3} という小さな値になる。この確率値は非常に小さく、黒点平均値は連続的な値をとることができるとする仮説は極めて高い信頼度で棄却される。

5. おわりに

太陽活動サイクルの振幅として、サイクルにおける黒点の平均値をとると、振幅として黒点極大値をとった場合と比べて、偶数番目のサイクルの振幅と次の奇数番目のサイクルの振幅との相関は明瞭に良い。また、極小値の 3 年前の黒点数と次のサイクルの振幅との相関も (この関係は次期太陽活動の振幅の早期の予測を可能にする)、振幅として黒点の平均値をとったときの方が明らかに高くなる。

次のサイクルが奇数番目の時は、その振幅と前の偶数番目のサイクルの振幅との相関は低く、また、極小値の 3 年前の黒点数との相関も、ほとんど認められない。こうしたことから、太陽の双極子磁場の逆転も考慮した太陽活動の 22 年周期、いわゆるヘール周期は、奇数番目と次の偶数番目のサイクルの組でなく、偶数番目と次の奇数番目のサイクルの組を取るのが良いと考えられる。

偶数番目のサイクルの振幅と次の奇数番目のサイクルの振幅との高い相関関係を用いて、サイクル 25 の黒点極大値は 115.4 ± 11.9 と予測される。これから、少なくとも次のサイクルの太陽活動は極端に低くはならないと考えられる。サイクル 26 の振幅値は、上述のように、サイクル 25 の終盤期における黒点数の変化の様子から予測でき、更に、サイクル 27 の振幅は、そうして予測したサイクル 26 の振幅を基に、偶数番目のサイクルの振幅と次の奇数番目のサイクルの振幅との非常に良い相関関係を用いて、高い精度で推定することができるので、現サイクル 25 の太陽活動がどのように推移するかを注意深く観察することによって、今後数年以内に、次の次のサイクル 27 の振幅値までも、かなり高い精度で予測できると考えられる。サイクル 27 がアウトライアーになる可能性もなくはないが、それに関しては、サイクル 26 の立ち上がりを見れば判断できるであろう。

サイクルの振幅値として黒点平均値をとることによって見えてきた興味深い

性質は、サイクル番号 2、3、6、7、10・・・と、サイクル番号 4、5、8、9、12・・・の太陽活動が、それぞれ緩い相関関係でつながった互いに交わることのない二つの系列をつくっているとみられること、そしてサイクル平均値で表したときの振幅は連続的な値をとらず、20 の整数倍に近い値をとる傾向がみられることである。こうした性質が、太陽ダイナモとどのように結びついているかは、今後、明らかにすべき重要な問題であると考ええる。

参考文献

- Yoshida, A.: Difference between even- and odd-numbered cycles in the predictability of solar activity and prediction of the amplitude of cycle 25, *Annales Geophysicae*, 32, 1035-1042, 2014.
- Yoshida, A. and R. Sayre, Tendency of discreteness of the solar amplitude and intercycle relatedness, *Advances in Astronomy*, 2012, Article ID 519852, 2012.
- Yoshida, A. and H. Yamagishi, Predicting amplitude of solar cycle 24 based on a new precursor method, *Annales Geophysicae*, 28, 417-425, 2010.