

惑星トルクによる太陽活動への影響

新井 信乃 (お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科)

Abstract

太陽黒点数は太陽の活動性の指標として観測され続けている。19 世紀のシュワーベ (S.H.Schwabe) は約 11 年周期で増減を繰り返すという法則性を見出した。この 11 年周期の活動性を引き起こす要因は自転や磁場など太陽内部であると考えられている。

近年、銀河宇宙線に含まれる放射性核種から太陽活動データが復元され、数千年ものデータを取得することが可能になった (Steinhilber & Beer 2011)。データを解析すると 11 年周期だけでなく、より長期的な周期があることが分かった。J.A.Abrue ら (Abreu et al. 2012) はその周期性の要因として、太陽外部からの惑星運動が影響するのではないかと考え、太陽が惑星から受けるトルクを計算したところ、復元したデータと周期に高い一致が見られた。本発表では、J. A. Abreu らによって立てられた惑星トルクによる太陽活動への影響についての論文について発表する。

1 イントロダクション

太陽面上の黒点数は太陽の活動性の指標として観測され続けている。19 世紀のシュワーベ (S.H.Schwabe) は当時水星の内側にあるとされていた惑星バルカンを発見しようと太陽面の黒点を観測し続けた。バルカンこそ見つけることはできなかったものの、黒点数が約 11 年周期で増減を繰り返すという法則性を見出した。基本的には規則正しい周期

を刻むのだが、それ以外の周期や不規則な変動も見られる。太陽活動を評価するために、長期間の観測データを解析したいが、太陽黒点観測の歴史は 1610 年から始まったためデータ数が少ない。

そこで Steinhilber(2012) は長期間のデータを取得するために、地球に降り注いだ銀河宇宙線に含有している放射性核種の増減を調べた。そして数千年もの太陽活動を示すデータを修復することに成功した。データは以下の特徴をもっている。

(1) 極小期があること (~100yr)

(2) スペクトル分析すると長周期にピークが現れる (88yr, 104yr, 150yr, 150yr, 506yr, etc.)

以上より、太陽活動の根源である太陽ダイナモの生成は様々な時間尺度に影響する。

これまで太陽ダイナモモデルは太陽が独立した系であるとして考えられていた。今回は、太陽ダイナモへの影響として、惑星の存在を考えた。惑星は直接太陽活動に変化を与えるのではなく、間接的に太陽内部の層に影響を与えることで二次的に太陽磁場を変化させていると考えられている (Zaqarashvili et al. 2012)。

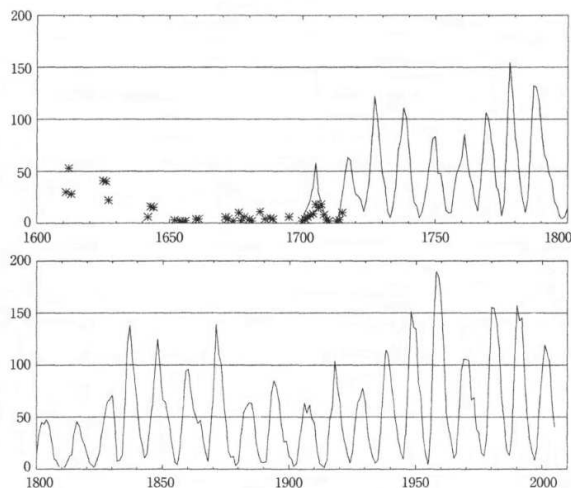


図 1: 太陽黒点相対数の時間変化

2 惑星による潮汐力

2.1 太陽内部になるタコクライン

まず現在考えられているダイナモ理論について記述する。太陽の内部には放射層と対流層の間にタコクラインと呼ばれる薄い層 (図 1b) があると考えられている (Spiegel & Zahn 1992)。それぞれ、放射層は厳密に剛体運動していて全体が同じ角運動量で回転しているが、対流層は上下方向に対流を起こしながら差動回転している。この間に挟まれたタコクラインがトロイダル磁場の生成・貯蓄において根本的な役割を果たして、太陽活動を生じさせていると考えられている (van Ballegoijen 1982)(Dikpati & Gilman 2001)。

J.A.Abreu らはタコクラインが楕円構造を持つ (Spiegel & Zahn 1992) という報告から、非球面構造であることによって惑星潮汐力からトルクが生じ、同期現象が起きているのではないかと考えた (Abreu et al. 2012)。

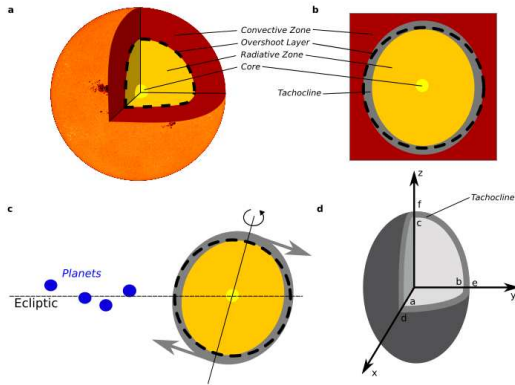


図 2: 太陽内部構造

2.2 惑星トルクの導出

J. A. Abreu らによると、太陽タコクラインにおける惑星トルクは、以下で表される。

$$N_{x,j} = A_i \frac{r_{y,i} r_{z,i}}{|r_i|^5} [V_2(e^2 - f^2) - V_1(b^2 - c^2)],$$

$$N_{y,j} = A_i \frac{r_{z,i} r_{x,i}}{|r_i|^5} [V_2(f^2 - d^2) - V_1(c^2 - a^2)],$$

$$N_{z,j} = A_i \frac{r_{x,i} r_{y,i}}{|r_i|^5} [V_2(d^2 - e^2) - V_1(a^2 - b^2)],$$

図 2d より、放射層と 3 軸との交点を a,b,c、対流層と 3 軸との交点を d,e,f とした。このトルク N_j を惑星全ての場合について考えたあと、統合する。

2.1 章で太陽内部は楕円形であると記載したが、計算を簡単にするために 3 軸楕円ではなく 2 軸楕円と仮定して 3 通り計算する。つまり、case1:e=f、case2:f=d、case3:d=e とした。

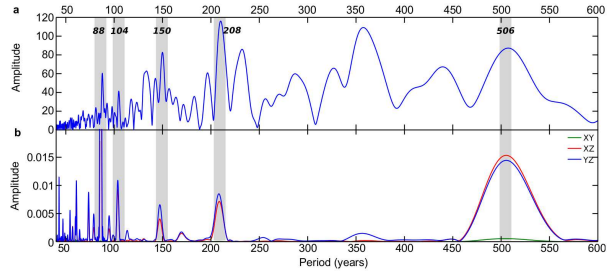


図 3: (a) 太陽活動 ϕ のパワースペクトル、(b) 惑星トルクのパワースペクトル

2.3 惑星トルクの解析と太陽活動

太陽活動 ϕ と今回求めたトルクのパワースペクトルを取った図が図 3 である。トルクに関しては、case1~3 通りそれぞれ解析した後、同じグラフに載せている。以下のように一部のピーク位置が一致していることが分かる。

次に、case1:e=f と仮定して計算した結果が図 4 である。(b) より、太陽活動とトルクの間に関連を導出している。矢印が左を示していれば逆位相、右を示していれば同位相である。また黒い等高線が示すのは、同期レベルが 95% 以上の領域である。(c) より、太陽活動と 208 年周期だけの相関を取っている。緑の線はトルクの関数、青の線は 208 年周期を示している。注目すべき点は、b、c にてそれぞれが逆位相同期している際、a では極小期を向かえているということだ。これは惑星-太陽間で物理的同期が起こっている

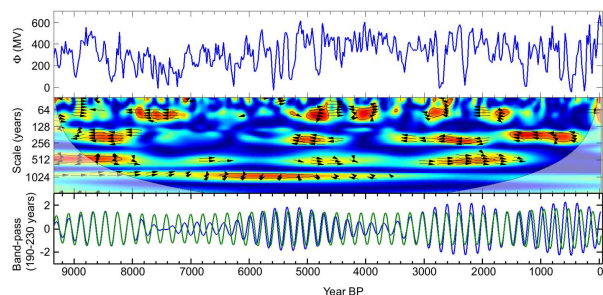


図 4: (a) 太陽活動 ϕ 、(b) Wavelet coherence analysis による相関、(c) 208 年周期におけるトルクとの同調関数

ということを推定する証拠となり得ると J.A. Abreu らは考えた。

3 ディスカッション・今後の展望

従来、惑星からの潮汐力は微量で無視できるとして考えられてきた。しかし J. A. Abreu らは惑星トルクを数千年スケールで解析した結果から、太陽活動とのスペクトルの一致が確認した。よって、弱い力であっても太陽内部構造に影響することで、太陽磁場を変動し、長周期性を生み出すということが分かった。

今後の展望は、22 年周期を持つ太陽磁場反転周期 (Hale & Nicholson 1925) を解明することである。太陽磁場反転は、太陽活動が最大のときに起こるとされている。周期性を作る因子を詳細に研究していきたい。

Reference

- Abreu, J. A., Beer, J., Ferriz-Mas, A., McCracken, K. G., & Steinhilber, F. 2012, , 548, A88
- Charbonneau, P. 2010, Living Reviews in Solar Physics, 7, 3
- Dikpati, M., & Gilman, P. A. 2001, , 552, 348
- Spiegel, E. A., & Zahn, J.-P. 1992, , 265, 106
- Steinhilber, F., & Beer, J. 2011, AGU Fall Meeting Abstracts, A903

van Ballegooijen, A. A. 1982, , 113, 99

Zaqarashvili, T. V., Carbonell, M., Ballester, J. L., & Khodachenko, M. L. 2012, , 544, A143