

小特集 宇宙気候学

3. 太陽活動と地球環境変動

3. Solar Activity and Terrestrial Environmental Change

3.4 27日太陽周期の雲変動と太陽活動

3.4 Cloud Variation with 27-day Periodicity and Solar Activities

高橋 幸弘

TAKAHASHI Yukihiro

北海道大学

(原稿受付：2013年9月17日)

最近、太陽自転周期である27日程度の気象変動がみついている。ここでは特に西太平洋における雲変動に焦点を当てて紹介する。従来、11年周期についての調査は多くなされてきたが、それらは振幅が小さく、測定誤差の問題が指摘されているが、1ヶ月程度の周期変動は振幅が数10%を超えることもある。本節では、全球の積乱雲活動の指標であるシューマン共鳴現象と、衛星から観測される雲の変動が、共に太陽極大期のみ27日の周期性を示すことを紹介する。また、太陽振幅ではなく、周期が11年周期の太陽活動に関連していることを指摘し、それがエルニーニョなどより長い時間変動に影響している可能性を議論する。

Keywords:

cloud cover, OLR, solar activity, 27-day, 11 year

太陽の地球気象・気候への影響は、2章で示されたように太陽フレアに伴う1日程度のものから、11年周期、さらには10万年のオーダーまで、非常に幅広い時間スケールのものが考えられてきた。気候変動という観点でみた場合は、多くの研究はまず雲データなどの1ヶ月または1年の平均値を求め、その年々変動をみて、太陽活動に同期した11年周期変化の有無を議論している。しかしながら、雲量を含む気象学的なデータは、より短周期で大きな振幅をもつことが珍しくない。人工衛星で観測される外向き長波放射量(OLR: Outgoing Longwave Radiation)強度は、上空から見えている地上や雲の温度が高いほど大きくなる。つまり、雲量が多いほど、また雲頂高度が高いほど、小さな値を示すことになる。11年周期のOLRの振幅、つまり雲の変動は数%以下とされているが、本節で紹介する約27日のOLRの変動は数10%に達する。また、多くの研究では、気象パラメータの変動の振幅そのものと太陽活動を比較しているが、ここでは約27日の「周期」が、11年の太陽活動変動に連動して変化することを示す。

佐藤らは、南極昭和基地に置かれたELF (Extremely Low Frequency) 帯(ここでは特に、1-100 Hz)の磁力計を用い、シューマン共鳴の日々変動を調べた[1]。シューマン共鳴は、落雷に伴って放射された電磁波が地上と電離層の間を導波管伝搬し、地球一周に要する時間を基本周期とする共鳴現象で、数次までの共鳴周波数付近のパワーを

積算したものは、地球全体で起きている落雷のエネルギーに相関すると考えられている。著者等は2000-2002年の太陽極大付近のシューマン共鳴の日々変動の周波数解析を年ごとに行った結果、どの年もパワースペクトルが 27 ± 1 日に明確な極大をもつことを発見した(図1)。この周期は太陽自転周期とほぼ一致し、太陽活動が何らかの影響を及

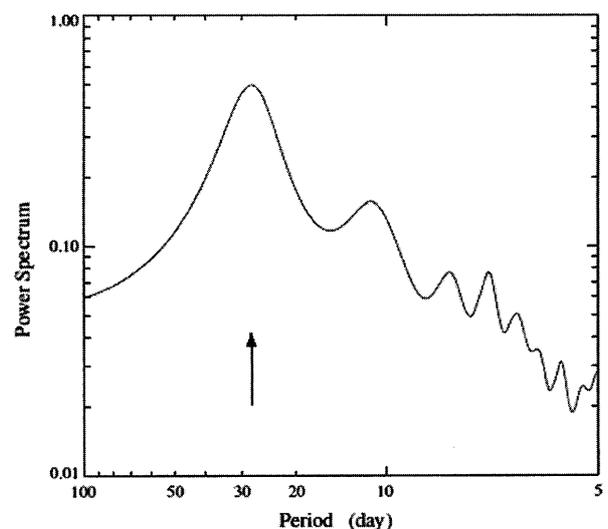


図1 シューマン共鳴強度の日々変化のスペクトル(太陽極大期の2000年の1年間のデータを使用)。全球的な雷活動が、約27日のピークをもつことがわかる([1]から転載)。

ぼしている可能性を示唆している。こうした変化の説明には二通り考えられる。一つは、落雷活動、ひいては積乱雲の対流活動そのものが、そうした周期変動をしているというものである。もう一つの可能性は、電磁波が導波管伝搬をする際、電離圏の状態がその減衰率に影響することから、太陽自転周期で変動することがわかっている紫外線が電離圏に作用し、見かけ上落雷活動が変動しているようにみえるというものである。著者等は紫外線による電離圏変動の大きさを推定し、それが、先の27日変動の振幅を説明できないほど小さいことを示している。

こうしたシューマン共鳴の変動が、電離圏ではなく落雷活動そのものに起因することを確認するために、高橋ら[2]は気象学で広く用いられている OLR を解析することで、それに落雷と同様の27日付近の周期変化が存在しないかを調べた。OLR は衛星の赤外線観測によって求められる値で、当然電離圏の影響はまったく受けない。また30年以上にわたってグリッド毎のデータベースが整備されており、太陽の11年変動との関連を調べる上で好都合である。図2は1980年から2003年までの24年間の OLR データに周波数解析を行い、25-29日周期のパワーを示したマップである。東経140度、北緯10度を中心とした西太平洋暖水域 (WPWP: Western Pacific Warm Pool) と、東インド洋の二つの地域にはっきりとしたピークが見られる。このうち、WPWP は、エルニーニョに深く関わる地球気候を考える上で特に重要な海域である。ここで、太陽活動の11年周期との関連を調べるために、太陽活動の代表的指標のひとつである F10.7 index を使って極大および極小の2-3年を選び出し、その年ごとに OLR の日々変動のスペクトルを求めた (図3)。F10.7 は波長 10.7 cm の電波強度で、経験的に太陽紫外線強度と高い相関があることが知られ、紫外線よりも観測が容易であることから広く代理パラメータとして使用されている。この期間に太陽極大は3シーズン、太陽極小は2シーズンが含まれる。破線は1年ごとのスペクトル、実線は、各シーズンのスペクトルの平均値を示す。ピンク色にハッチされた部分は 27 ± 3 日である。これらを見ると、極大期は1991年を除いたほとんどの年で、ハッチされた周期に明白なピークをもつことがわかる。1991年はピナツボ火山の噴火に伴い、全地球的に異常気象が観測された年である。逆に、極小期には、ハッチされた周期にピークが入ることはない。また、極大期はやはり1991年を除いて40-60日付近に緩やかな山をもち、特に1980-1981年と2000-2002年のシーズンは、この長周期側のピークのスペクトルがシーズン内で非常に似ている。一方、極小期のスペクトルは総体的に年ごとのばらつきが大きく、長周期側に明らかな傾向は見出せない。これらのパワースペクトルについて、極大期の3シーズン、極小期の2シーズンのそれぞれの平均を図4に示す。極大期 (赤線) は平均すると27日と50日強にピークをもつことがわかる。他方、極小期 (青線) は25日付近に極小値をもつと同時に、35日付近に「肩」をもつことが見て取れる。しかし、図3から明らかのように、この「肩」は毎年現れるわけではなく、年によってはみられない、あるいは周期が長周期側にシフトしてお

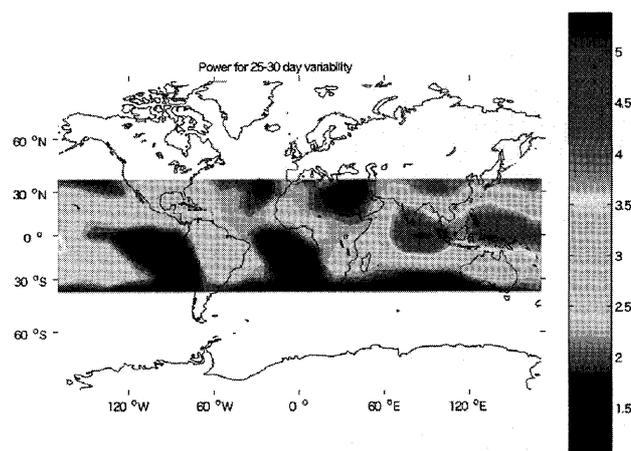


図2 25年間の OLR データの周波数解析結果。周期25-30日のパワーを疑似カラーで表示 ([2] から転載)。

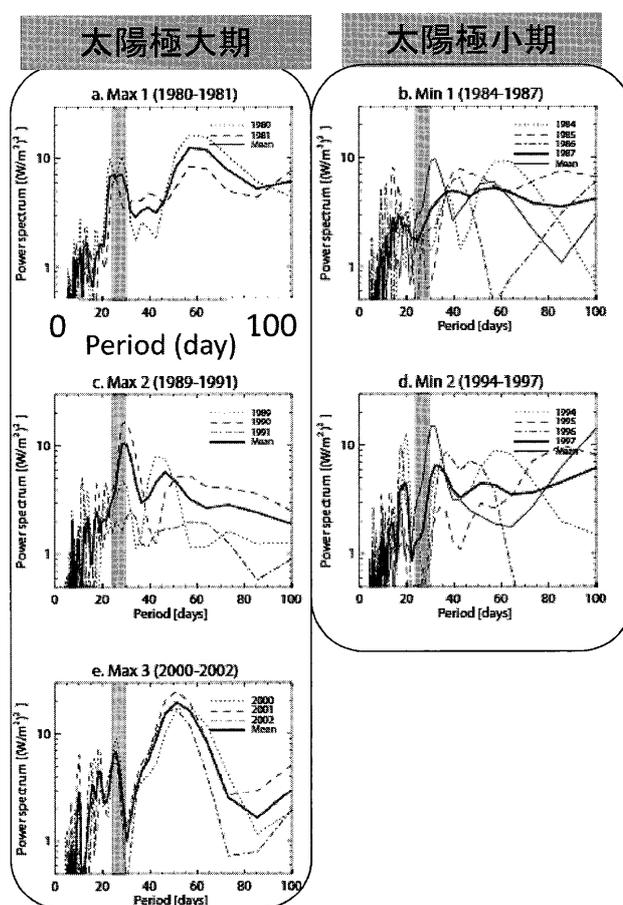


図3 太陽極大期および極小期の WPWP における OLR 変動の1年毎のスペクトル (破線) およびシーズン毎の平均値 (実線)。ハッチされているのは 27 ± 3 日で、極大期には殆どこの範囲にピークをもつものに対し、極小期にはこの周期には明確なピークがない ([2] から転載)。

り、あくまで平均の姿である。

図2の中で WPWP と並ぶもう一方の空間的なピークである東インド洋についてスペクトルを調べると、極小期だけでなく極大期であっても 27 ± 3 日にピークが現れることはほとんどなく、30-35日の間にピーク又は肩をもつことが多いことが報告されている。図2で強いパワースペクトルが見られるが、これは周期で見たときピークになってい

るのではなく、幅広いスペクトルで大振幅をもつ結果、25-29日周期でも振幅が大きくなった結果である。

図5は図1と同じシューマン共鳴現象の周波数解析を、極小期の1シーズンについて行った結果を書き加えたものである[3]。極大期には27日付近にあったピークが長周期にシフトし、約35日にピークが存在する。この結果は、図4に示したOLR変動のスペクトルにおける太陽極大期と極小期の様相と似通っている。すなわち、太陽極大期には約27日にピークをもち、太陽極小期には約35日にピーク又は肩をもつという特徴である。つまり、太陽極大期に約27日の強いピークを必ずもつのは、全球でWPWPのみということになる。

これらのデータは太陽活動と地球気候の関係を考察する上で必要な、いくつかの新しい視点を提示している。第一に、冒頭でも触れたように、この約27日の周期変動の振幅は20%を超えることもあり、11年周期で示唆されている雲量の変動に比べ、1桁程度大きい。したがって、気候の11

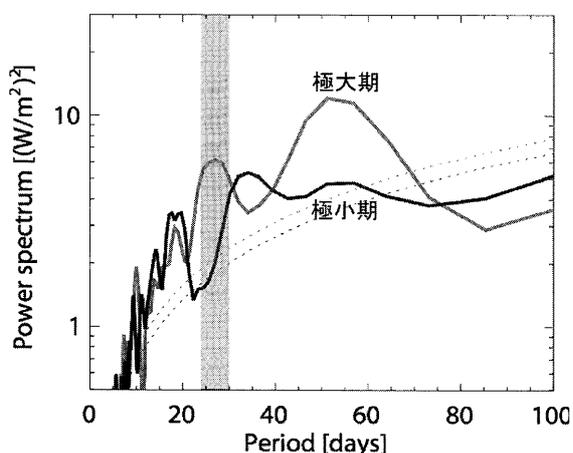


図4 図3の太陽極大期および極小期のそれぞれの平均値。極大期には27日付近と50-60日に顕著なピークをもつが、極小期は35日付近に弱いピークが見られる ([2]から転載)。

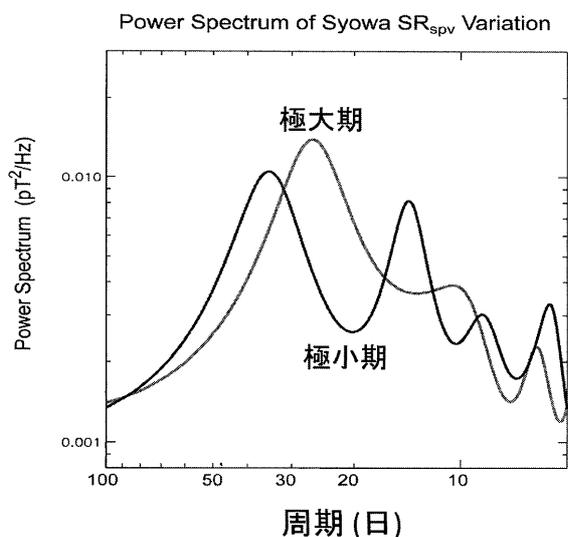


図5 太陽極大期および極小期のシューマン共鳴強度スペクトルの変化。OLRと同様、極小期にはピークが長い周期(35日付近)に移動する ([3]による)。

年変動説に対する疑義の論拠となっている、OLRなど衛星の雲計測における感度校正の問題は、27日という短時間の大幅変化という点から、ここでは無視することができる。また、こうした大幅変動の存在は、1ヶ月あるいはそれよりも長期間の平均値を用いて、太陽と地球気候結合のメカニズムを考察することの危うさを暗示している。いうまでもなく、大気活動は極めて非線形性の高い物理・化学現象であり、11年周期の振幅の10倍もの背景変動の中で、1ヶ月以上の平均値のみを取り出してその変化を論ずることには十分な注意を要する。

第二に、大気の11年周期変動を調べるとき、その振幅だけではなく、周期の変動にも注意を払うべき点である。24年分のOLRを調べた結果、ピナツボ火山爆発の異常気象の年を除けば、太陽極大期には約27日に明確なピークをもち、逆に太陽極小期にはその範囲にピークが現れないという傾向ははっきりしている。この様相が、出自の全く異なる雷放電データ(シューマン共鳴)にも見られたことは大変興味深い。OLRにしても、雷放電にしても、それぞれ理由は異なるものの、データの信頼性という部分で弱点は存在する。しかしそれらのパワースペクトルが、太陽極大・極小に関して酷似した変化を見せたことは、それぞれのデータの信憑性を大きく高めているといえる。では、こうしたピークとなる周期が太陽活動に応じて変化することは何を意味するのであろうか。ひとつの可能性は、地球大気が元来35日程度の「固有」周期的なものを有し、太陽極大期には太陽自転周期である27日周期の何らかの太陽活動変動が外部強制力として大気に作用し、その周期を27日近傍に引き込み、一種の共鳴が気象学的パラメータの大幅変動を生み出したとする仮説である。この外部強制力の候補には、紫外線や宇宙線、TSI (total solar irradiance: 全太陽放射) あるいは4章で説明する全球電流系、さらに、それらの組み合わせといったものが想像できるが、現時点で拙速な判断をすることは避けるべきであろう。

第三に、1ヶ月よりも長い気象・気候変動を考えると、ここで紹介したような短周期変動との関連を十分考慮する必要がある。図4の太陽極大のスペクトルでは約27日と50日強の二つの顕著なピークが見られるが、これらの周期はちょうど倍の関係にある。このことは、これらのピークが一種の共鳴状態にある可能性を示唆する。いずれの年でも、約27日のピークの方が鋭い(周期幅が狭い)ことを鑑みると、そちらがメカニズムの本質であると考えるのが自然ではないか。つまり、太陽自転の影響が、間接的に40-60日の長周期側の周期性にも関与しているという想像が成り立つ。赤道のメソスケール(2-2000 kmスケール)の気象変動の代表的なものに、30-90日周期をもつとされるマッデンジュリアン振動(MJO)があるが、そのメカニズムは十分解明されたとは言い難い。現象的には、インド洋で発現した数1000 kmスケールの積乱雲を含む対流システムが東進し、地球周回をある間隔で繰り返すものとされている。もし、図4でみられるふたつのピークがMJOの一面を表しているとするなら、MJOは太陽活動の影響を受けているという推論も可能である。先に述べたように、インド

洋では広い周期範囲で変動が活発なのに対し、WPWPでは約27日に明瞭なピークをもつとすると、それはMJOに伴う対流システムがインド洋からアジア多島域を通過してWPWPに至る過程で、何らかの27日周期のフィルタリング的な作用を受けていることが想像される。MJOはエルニーニョの開始や終息に寄与する場合があるとされている。そう考えると、太陽の自転に伴う27日の変動が、エルニーニョのような、より長時間スケールの現象にも関与していることになる。こうした推論は、現時点では根拠に乏しく想像の域を出ないが、ここで指摘しておきたいのは、雲や気温といった気象学的パラメータの「量」ではなく、それらの変動の「周期」が、より長い時間スケールの気候変動に影響を及ぼしている可能性である。

地球大気の27日周期変動と太陽活動の関係については、

NASAのLeeらが成層圏の変動について調査している。また、英国 Reading UniversityのHarrisonらは、大気電場の27日変動と雲底高度が同期していることを報告するなど、世界的に27日変動は注目を集めつつある[4]。

参考文献

- [1] M. Sato and H. Fukunishi, *Geophys. Res. Lett.* **32**, L12807 (2005).
- [2] Y. Takahashi *et al.*, *Atmos. Chem. Phys.* **10**, 1577 (2010).
- [3] M. Sato *et al.*, Regional dependences of 30-day variation of lightning activities, SGPSS2007秋学会, Nagoya, 2007.
- [4] R.G. Harrison and M.H.P. Ambaum, *Environ. Res. Lett.* **8**, 015027 (2013).
<http://iopscience.iop.org/1748-9326/8/1/015027>