



太陽コロナの形とオーロラ

—磁気赤道上のストリーマー発生位置に関する法則—

齋藤尚生

〒982-0212 仙台市太白区太白三丁目 6-29 (元東北大学理学部)

e-mail : saitots@mb.infoweb.ne.jp

オーロラなどの仕組みを探るために太陽風を遡っていくと、太陽磁場やコロナの、全体的な立体構造と時間変化の問題に突き当たらざるを得ない。このように外側から内側に向かって順に太陽を眺めると、大規模構造との関連で、色々な太陽面現象が新しく見えてくるように思われる。この小文は、地球物理側から太陽を40年以上眺めてきた、いわば逆さ眼鏡的レポートである。

1. はじめに

またオーロラが日本でも見える時期がめぐってきた。オーロラ嵐群が起こる仕組みは、太陽コロナの立体的な大規模構造に、とても関係がある。

1955年の学部の卒論に、地球のM型擾乱とその原因についてのテーマを採り上げた。その7年後、当時東京天文台教授の故長沢進午先生が、私達地球物理の若手研究者に呼びかけられて、太陽のM型領域と地球のM型擾乱の合同シンポジウムが開かれた。太陽活動がもう極小期に入る頃というのに、フレアも活動領域も無いのに磁気嵐や宇宙線嵐やオーロラ嵐群が27日毎に規則的に現れるようになる。これがM型擾乱であり、その太陽源が謎めているので、M型領域(Mはミステリーの略)と呼ばれた。長沢先生のお陰で太陽面現象が一層面白くなり、単極領域がM領域だろうという論文を書いた^{1), 2), 3)}。あとでM領域とみなされた場所にコロナルホールが発見され、そこは単極領域になっていることが解って、論争は一見終結するかに見えた。しかし肝心のコロナルホールはなぜ出来るのか? なぜ極小期直前にだけそのような振る舞いをするのか? 謎はもっと深まった。

そのうち、齋藤(国治)・川口・日江井・平山

諸先生方の日食観測隊に、地球物理分野として2度ほど参加させて頂いたり、HAOの招待研究員としてポルダで仕事をしたり、人工惑星「さきがけ」による太陽風・ハレー彗星の観測¹⁵⁾をしたりしている間に、太陽面諸現象が太陽風を介して地球磁気圏を乱す仕組みが、次第に解ってきた。従って卒論や長沢先生にご指導を頂いてから今まで40年以上、地球側から太陽を見続けてきたことになる。しかし最近天文学会でも発表するようになるまでは研究結果は、太陽に関わるものでも全部地球物理関係の学会や学会誌に発表してきた。いつも太陽風・地球への影響が念頭にある地球物理屋と、太陽内部との繋がりを念頭に置いて居られる太陽物理の方達では、同じ太陽でも随分違って見えることは常々感じてきた。従って表題に「オーロラ」とあるのは第1に、地球を念頭に置くと、コロナの形はこう見える、という私見であることをご理解頂きたいからである。第2に、つい最近まで、オーロラは天文学研究の一分野であったし、同じ夜空に起こる現象として、今でもオーロラに関心を持っている一部の読者に、今から写真撮影の準備をしておいて頂きたいからである。(CME起源の磁気嵐が去る2月18日には既にオーロラぎりぎりの光度にまで増光した。太陽活動は

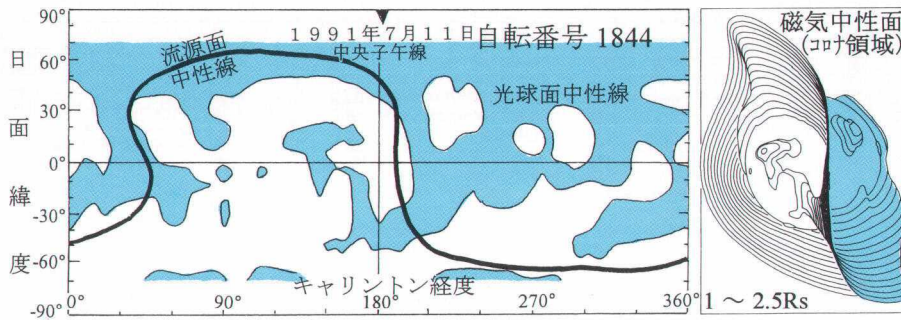


図1 (左) 光球面 (細線) と流源面 (太線) での磁気中性線. (右) 両者を繋ぐ中性曲面. 青(白)色は \oplus (\ominus)磁場を表わす.

現在かなり高まっているので、日本から肉眼で見えるオーロラは何時起こってもおかしくない時期にある。) ただし CME → オーロラにまで内容を上げると、益々紙面が足りなくなるので、この仕組みについては、別の文献⁴⁾を読んで頂きたい。

さてこのように、長年地球方向から太陽磁気圏を、違う学会で発表し続けてきたので、この小文だけをお読みになると、随所で唐突に感じられる方が多いと思われる。だからここでは、出来るだけ考え方の筋道が辿れるように記述をしてみたい。従って太陽専門の先生方には釈迦に説法になってしまうところをご寛恕頂き、また一見疑問に思われる場合もぜひ巻末参考文献を読んでいただきたい。それでも地球物理から見た太陽像は、天文の専門家をご覧になれば、当然沢山欠点がある筈である。直接厳しくご批判いただければ誠に幸いである。

2. 太陽の大規模磁場構造についての回転反転と3双極子モデル

地球磁気圏擾乱に関係の深い太陽コロナの立体的な大規模構造を理解する上で、はじめにその基礎資料を幾つか提示させていただく。

まず図1は Solar Geophysical Data から引用した太陽磁場の展開図で、複雑な細線は、ウィルコックス天文台で観測した光球面 ($r = 1.0 R_s$) 上の磁気

中性線である。太陽磁場はコロナの上部から太陽風によって運び去られるので、仮想的な太陽風流源面 ($r = 2.5 R_s$) 上の磁場分布は、太陽磁気圏にとって大変重要である。

観測された光球面磁場に Source surface 法を当てはめて計算した流源面上の中性線を、図1に太線で表す。細線と太線はコロナ領域では、右図のように立体的に中性曲面で繋がっている。流源面中性線は太陽風で惑星間空間に運び出されて、太陽圏中性面を形成する。これはバレリーナスカートとか磁気赤道面とかセクター境界とも呼ばれる。太陽半径を数倍以上離れると、中性面はこのように単純な形になる。この傾向は、流源面の r の値を多少変えても、あるいは計算を MHD model に変えても、殆ど変わらない。このことを念頭に入れて SGD 掲載の流源面中性線 (つまり図1の太線だけ) の展開図を、2 solar cycle に亘って纏めたのが図2である。(70°以上の極冠域は省いてあるが、球面上では面積が小さいから、殆どユニークに決定できるので、省いても問題ない。) 青 (外向き \oplus 磁場) と黒 (内向き \ominus 磁場) の極性が、22年周期で縦方向に反転していることが (特に極大期の1979年、1989年頃に) 明瞭である。

そこで丸橋ほか⁶⁾によるデータ計算も援用してこの反転則をより視覚的に立体表現したのが、図3である。一枚の磁気中性曲面がふわふわとたわみ

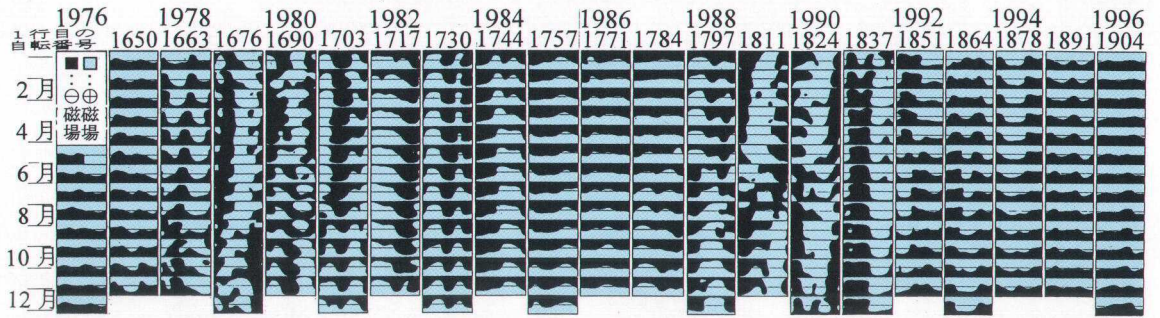


図2 流源面中性線の太陽周期変化 (サイクル 21 (1976-1986) と 22 (1986-1996)).

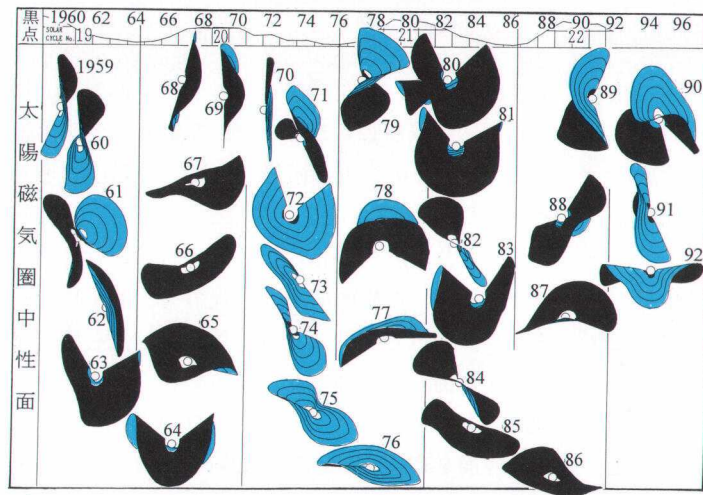


図3 太陽圏中性面 (2.5 Rs ~ 20 Rs) の回転反転.

ながらも、極大期に縦方向に反転している。この共通の傾向は、精密観測が開始されて以来既に40年間も同じように繰り返されているから、これは太陽磁場の半恒久的な本性と見なして良いであろう。極大期には時々メインシートの他に、アイスクリームコーンのようなサブシートが現れている(8)の Fig.5 参照)。しかしこれは、たかだか数回の自転で消滅する一時的現象であることも、図2を一見すればすぐ分かる。外部コロナは、基本的にはこの中性面に沿って拡がるので、中性面は同時に外部コロナ面をも表している。このように本質的には一枚の中性面(つまりコロナ面)が、ふわふわたわみながら22年周期で縦方向に回転することによって極性を反転する性質を、「回転反転モデル」⁹⁾と名付けておこう。太陽圏中性面は太陽風の直接観測でも、地球磁気圏の擾乱でも知ることができる。その結果は図2や図3の傾向と、殆ど矛盾することはない。従って一番基礎になる図2のデータにしばしば立ち戻りながら、これから議論を進めていこう。なぜ中性面が回転反転するかについては、3双極子モデルで説

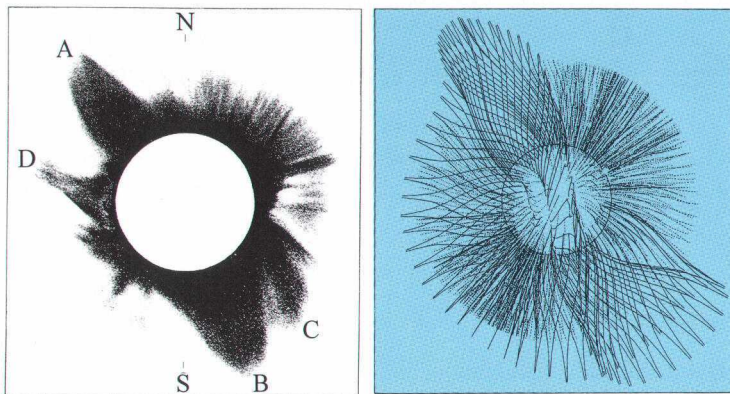


図4 (左) 1991年日食の動径・非動径ストリーマー (観測).
図5 (右) 三双極子モデルにもとづく諸ストリーマーの説明.

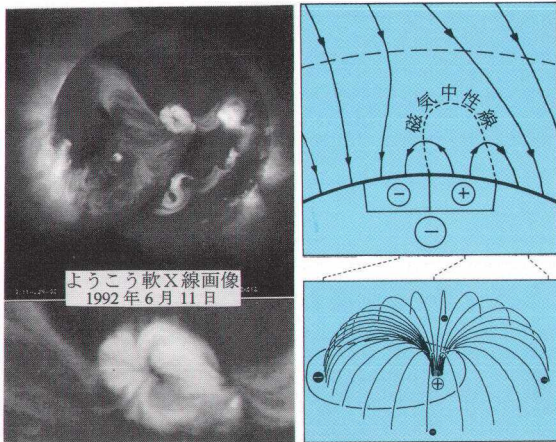


図6 アネモネ型コロナと、モデルから期待される一対のアーケード。

明されているが、ページ数節約のために、この詳細については7), 8) と、本稿の第5節を比較参照していただきたい。

3. 動径的と非動径的なストリーマー

コロナ流（ストリーマー）の主軸を内側に延長したとき、太陽中心を通るものを動径的（又は radial な）ストリーマーと呼び、中心から（大抵磁気的な低緯度方向に）ズレるのを、非動径的（non-radial な）ストリーマーと呼ぶことにする。さて前節で述べた回転反転を考えると、極大期を少し過ぎた1991年7月11日に観測された皆既日食のストリーマー（図4のABC）が、東西方向ではなく約45°傾いて伸びていた事実も、自然に理解できる¹¹⁾。この日の外部コロナ領域での磁力線概念図（図5）は、図1の太線から作図されたものである⁷⁾。流源面直下では、太線に沿って磁力線のアーケードが太陽を取り囲んでいることは、流源面中性線の定義から考えて当然であり、沢山の計算結果もそのようになっている（例えば12）。図5の主眼は外部コロナの構造を可視的に示すことにあるので、アーケード以下の内部コロナの複雑構造については、図では省略してある。図4と5を比較す

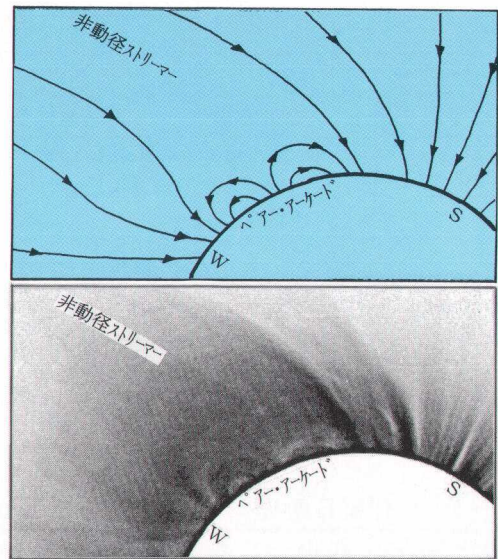


図7 1998年日食の非動径ストリーマーとアネモネ構造。

ると、ヘルメット型ストリーマーABCは、たわんだコロナ面が丁度我々の視線方向と一致して、光学的に厚くなった場所で、見かけ上濃くなって見えていたことがよく分かる。つまり、波打った磁気赤道面に沿って動径的に伸びて見えるのが、これらのストリーマーである¹¹⁾。

ところがこれらABCに対して、ストリーマーDには次のような特徴がある。(a) その主軸は非動径的であり、(b) 磁氣的に高緯度から出ており、(c) 先太であり、(d) 根元には双極磁場がある。（黒点が消滅した後、この強い双極場が根元のこの位置に残っていたことは、観測的に確かめられた(13)の図6参照）。(e) このストリーマーを図5Bと比較すると、同じ非動径であっても中心双極子磁場（図の点線）にきちんと沿っていることが解る。(f) 点線に沿う傾向は、低緯度(磁氣的には高緯度)から出ているポーラープリュームにも同じ様に見られる。(g) Wang¹⁴⁾によると、ポーラープリュームの根元には、大抵アネモネ型磁場構造が見られる。(h) ようこうが打ち上がって以来、SXT像に多数のアネモネ型コロナが観測される。(i) それは、磁氣的



表 1 動径・非動径ストリーマーの性質

ストリーマー	ストリーマーの根元	磁気極性	形状	根元のアーケード数	三次元構造	電流面
動径型	磁気赤道	双極型	ヘルメット	1 (又は奇数)	曲面	あり
非動径型	磁気高緯度	単極型	先太	2 (又は偶数)	アネモネ型	なし

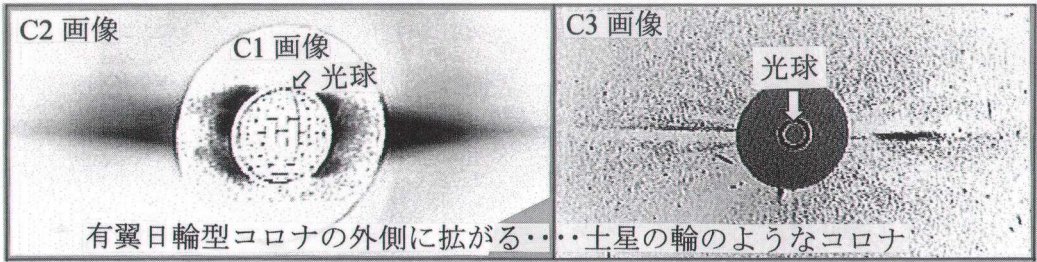


図 8 極小期の土星の輪型コロナ (SOHO/LASCO-C1, C2, C3).

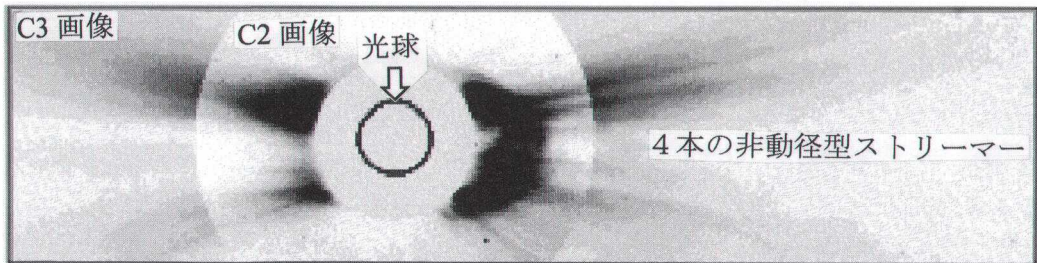


図 9 上昇期の非動径型ストリーマー (SOHO/LASCO-C1, C2, C3).

に高緯度の単一磁場領域の中に、双極磁場領域が発生したときに形成されるアネモネ型磁場構造によるものである。その断面は1対のアーケード型磁場構造⁸⁾になる(図6)。(j)この図と全く同じ構造を持った大規模な非動径ストリーマーの根元のアーケード構造が、1998年2月26日の皆既日食¹³⁾で認められた(図7)。

以上のことを纏めると、表1のようになり、このようにストリーマーを動径型と非動径型に分類すると、一見複雑な外部コロナの構造とその太陽周期変化が次のように、かなり整理されて見えてくる。

4. 太陽活動度による外部コロナの形状変化の解釈

(1) 極小期のコロナ

この時期は黒点磁場による変形が少ないために、太陽の磁気赤道面(つまりコロナ面)と heliographic な赤道面とはほとんど一致する。従ってどの瞬間に皆既日食が起きても、地球からは有翼日輪型¹⁶⁾のコロナが観測されやすい。最近の極小期では SOHO 衛星の C3 コロナグラフ像で、まるで土星の輪のように平面的なコロナ面が観測された(例えば1996年2月1日や3月29日・図8右参照)。この時光球付近では、表1や図8左のC1コ

コロナグラフ画像に示された通りの奇数（3個）のアーケードが観測されて、ヘルメット型に絞られた上、Wu型の再結合¹⁷⁾によって突発的に高速太陽風が吹き出すのが観測された（図8右）。両極には大きなコロナルホールが出来て、定常的に高速太陽風が吹き出すが、一般に地球方向から逸れるので、地球磁気圏は静かである。

(2) 上昇期のコロナ

この時期、太陽圏中性面はまだ heliographic な赤道面付近でたわんでいる。一方黒点緯度の蝶型出現法則に従って、活動領域は低緯度帯から高緯度帯に急激にジャンプし、高緯度帯の単極領域の中に双極磁場が沢山発生する。従ってこの時期は、南北高緯度から赤道面方向に向かった非動径的なストリーマーがしばしば観測される^{18), 19)}。例えば SOHO/LASCO 資料では、1997年11月6日のコロナ（図9）はこの典型例と言って良い。中性面は次第に傾くので、コロナルホールは周期的に地球に向く。しかしホールの中には複雑な活動領域があり、しかもフレアを起こすので、地球磁気圏擾乱の回帰性は隠され、非周期性が目立つようになる。

(3) 極大期のコロナ

コロナ面は迎角を増し、遂には垂直になったのち反転をする。(1) 丁度垂直になっている時期に、(2) コロナ面が平面に近く、(3) しかもその面が視線方向にきた瞬間に(4) 皆既食が起これば、南北方向に伸びたヘルメット型ストリーマーが見えるはずである。この4条件が同時に満足されるケースは極めて稀である。例えば(4重極成分のため)南北のコロナ面が捻れたり、(4重極軸の向きによって)副中性面が出来れば、条件(2)が崩れる¹¹⁾。しかし過去に部分的に条件を満たしたことは皆無ではない。1970年3月7日や1980年2月16日などの皆既食の極域に、これが認められる。

この時期には、垂直コロナ面とは別に、沢山の活動領域から、沢山の非動径ストリーマーが出る。1970年3月7日の日食時の東側低緯度域に見られた有名な非動径ストリーマーは、その典型例であ

る(13)の図11)。

南北型ストリーマーは SMM 衛星でも観測された証拠があるが、データの入手に制約がある。その代わりに SOHO / LASCO では来年あたりに南北型ストリーマーが見えるはずであるから、楽しみである。動径非動径に関わらず、ストリーマーの根元の活動領域では、フレアや CME を頻発し、地球に突発性磁気嵐を起こす。幾つかの条件を満たせば、北日本でオーロラも目撃される。一般に明るいコロナ面から吹き出す太陽風は低速なので、地球をよぎる時オーロラ嵐は不活発になる。極大期にはコロナ面は垂直になるので、本来ならオーロラの27日回帰性が明瞭になるはずである。しかし突発性のフレアが頻発するので、回帰性は乱されて一見目立たなくなる。ところがフレアの影響を取り除くと、垂直コロナ面による回帰性が極大期でもはっきり現れていることが解る²⁰⁾。

(4) 下降期のコロナ

黒点の衰退とともに非動径ストリーマーが次第に整理されて、次節に示すような2カ所に活動領域が収斂し、そこがフレアの巣にもなる。3双極子原理により、傾斜した安定な磁気赤道面が生じ、従って安定した傾斜磁極冠 (= 単極磁場領域 = コロナルホール = 高速太陽風源) ができる。これが冒頭で述べた太陽のミステリー領域および地球のミステリー擾乱(回帰性磁気嵐)の原因となる^{4), 16)}。この時期は、活発なオーロラ嵐も周期的に地球の極域に現れる。

ところで以上の太陽周期変化をよく眺めると、全体は大変単純な法則に纏めることができる。それを次節で述べてみよう。

5. コロナストリーマー発生位置に関する平面則

ストリーマーの発生成長が大規模磁場に関係がある以上、コロナ強度と流源面中性線は、位置関係に法則性があることが予想される。そこでいま



図2のような流源面中性線の展開図に、Fe XIVのコロナ強度の展開図を重ね合わせてみると、明るいコロナは大抵中性線のある一定の位置に現れるという顕著な傾向が見出される。そこで22年周期規模で、この傾向を追ってみよう。

いま図2の中から各phaseの特徴を代表するような自転番号を選び、10枚の展開図で22年周期変化を示そう(図10)。回転反転を直感的に理解しやすいように、横軸を次のように横にずらした相対キャリントン経度(RCL)で表わす。つまり中性線(=太陽磁気赤道)がRCLの $\sim 90^\circ$ と $\sim 270^\circ$ でheliographicな赤道と交わるように左右にずらす。そして赤道上のRCL = 90° の点を、日面磁気経緯度の原点と決める。抽出した年号と太陽自転番号は、各パネルに記してある。

このパネルに、サクラメントピークで観測したコロナ強度の展開図を重ね合わせてみる。するとストリーマーの発生位置に、22年間を通じた法則性があることに気づくであろう。つまり、(コロナ全体が暗い極小期を除外すると、)ストリーマーは、流源面中性線の下、日面経緯度でそれぞれ(B, RCL) $\simeq (20^\circ \text{ S}, 90^\circ; 20^\circ \text{ N}, 270^\circ)$ の2カ所付近から発生しやすい傾向が見られよう。一見この傾向に対して例外のような時期もある。例えば1990年は($20^\circ \text{ N}, 270^\circ$)は存在せず、一方1977年はこのほかに($10^\circ \text{ N}, 90^\circ$)に付加的なストリーマーが存在する。しかしこれらも後述のように3双極子原理で合致していることに注目すべきである。特に下降期には法則性が最も典型的な形で毎太陽周期に現れる。この傾向は地磁気データからも求めることが出来るが、実に過去100年以上に亘って、この法則性が綺麗に保持されている²⁰⁾。従ってこの法則性が100年以上に亘って、どのサイクルにも帰帰

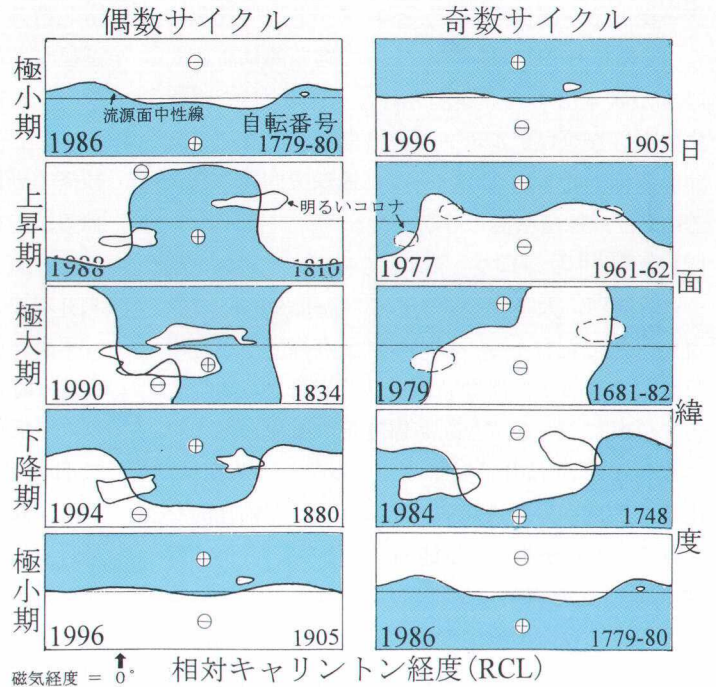


図10 磁気赤道とストリーマーに関する22年周期則。

性磁気嵐を起こしている原因であると断定して良いと思われる。

大事なことは、3双極子原理を充分考慮すると、中性線とストリーマーの位置関係は自転番号によらない、ということである。他の自転番号についてもこの法則がよく働いていることを、読者は自ら確かめて実感されることを強くお勧めする。

6. ストリーマー発生に関する立体則

図10を図11のように立体的模式的に表してみると、中性曲面(=コロナ曲面)の中でもひとときわ明るい部分、つまり(双極型の)ストリーマーが出る場所は、22年周期を通じて大体決まっていることが解る。つまり双極型コロナの発生場所は、22年間を通じて一定の半球の、一定の中～低緯度帯だけに限られる。

極大期などにストリーマー分布が、一見複雑そうに見える原因は、主に次の3種類である。

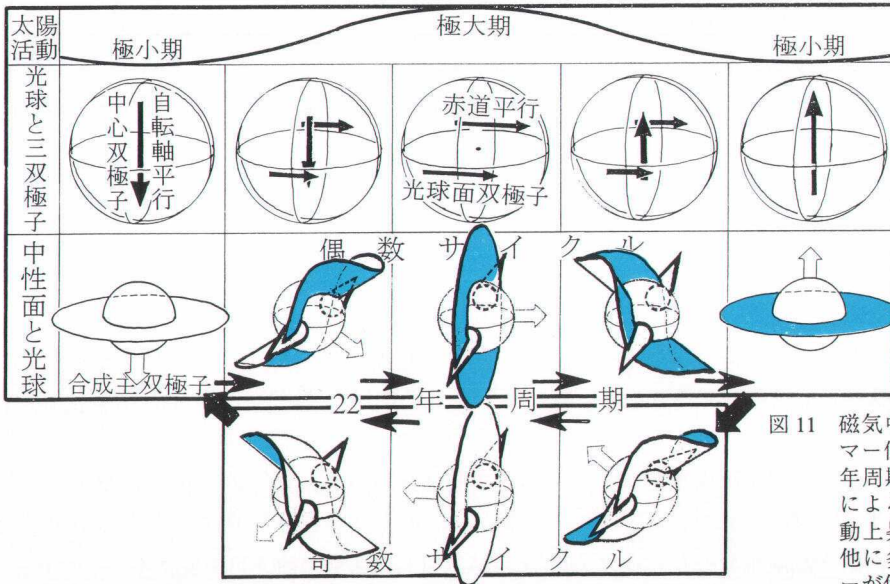


図 11 磁気中性面と動径型ストリーマー位置に関する基本的な 22 年周期則と、3 双極子モデルによるその説明。主に太陽活動上昇期と極大期には、この他に多くの非動径ストリーマーが付け加わる。

(1) 沢山の活動領域からは、根元に（複合型）アネモネ構造を伴う（非動径的）単極ストリーマーが現われる。(2) 大きく傾いたコロナ曲面の視線効果による、見かけ上の（動径的）ストリーマーが見える。(3) 普段使われているキャリントン経度で眺めると、磁気経度の原点は絶えず移動する。

つまり、磁気経緯度という概念を導入したお陰で、非常に単純な法則が見えてきたと言える。そしてこの 3 種類の原因を念頭に入れた上で、非動径ストリーマー成分を分離して、コロナ面と動径ストリーマーだけを取り出して見ると、図 11 に示されるような簡明な法則が出てきたのである。

7. 3 双極子による解釈

ではなぜコロナに単純な法則性が生ずるのだろうか？ 単極領域では、磁場は直接宇宙空間に繋がっている。プラズマも熱も、たちまち宇宙空間に放出される。つまり単極領域（＝南北磁極冠域）は暗いコロナホールに対応する。従って明るいコロナであるためには、双極領域でなければならない。

一般に双極磁場が光球面上に浮上する場合、太陽のトロイダル磁場に起因している以上、よく知

られているヘイル・ニコルソンの極性法則に従わねばならない。双極磁場が浮上する場所は、大規模磁場を代表する磁気赤道に対して、次の 3 カ所しかあり得ない。

- (1) 双極場の極性と同相の磁気赤道上。
- (2) 双極場の極性と逆相の磁気赤道上。
- (3) 磁気赤道から離れた単極領域。

詳述を省かざるを得ないが、この中で長期間安定に存在できるのは、(1) だけである。そしてその位置こそが、図 11 に太線で示した、2 本の動径型ストリーマーの根元になるのである。見方を変えれば、あたかも太陽の中心を貫く軸のようなその 2 本の双極型ストリーマーの消長が、磁気赤道面（＝コロナ曲面）を、軸まわりにクルクル回転反転させ続けているのだと表現することもできる。

次に、中性面反転という観測事実は、理論的にはどのように説明できるだろう？ これまでストリーマーの根元には双極磁場が存在することを述べた。そこでストリーマーの根元部分に、ヘイル・ニコルソン法則に従った双極子を置いてみる。この法則は、双極場の極性が南北半球では互いに逆向きになることで知られている。しかし図 10 のように、



約 180° 離れている 2 つの双極子を、図 11 のように立体表示すると、同じ方向に向くことになる⁷⁾。(この関係は多くの方が勘違いをされるので、注意して頂きたい。)

この双極磁場は、極小期では黒点が無いからゼロとなり、極大期には最大になる。そこで双極場の強さを矢印の長さで表現する。等価的に光球面に置いたこの双極子は、赤道にはほぼ平行なので、赤道(平行光球面)双極子と呼ぶことにする。この赤道双極子は、太陽のトロイダル磁場が流源面より外に漏れた部分に相当している。赤道双極子がなぜ(大抵の場合)2本なのかは詳述したい大事などところである。しかしトロイダル磁場が光球面から洩れて流源面の高さに達するためには、ループの裾野としては 100 数十度の広範囲を占有しなければいけないので、あとは推論していただきたい。一方ポロイダル磁場は、図に示したように、「等価的に」中心に置いた、自転軸に平行な双極子として表現する。これを、(自転)軸(平行中心)双極子と名付けよう。この軸双極子は、極小期に最大となり、極大期にゼロになったのち反転するので、こちらも双極子の強さを矢印の長さで表現する。

次に各 phase 毎に、(2本の赤道双極子と1本の軸双極子の合計)3本ずつのセットを考えて、その単純合成した磁場を計算すると、磁気中性面が求められる。原点をいつも手前に置くと、その磁気赤道面の傾き角は、図 11 で示したように $0^\circ \rightarrow 90^\circ \rightarrow 180^\circ \rightarrow 270^\circ \rightarrow 360^\circ$ のように 22 年周期で左まわりに回転反転をする(裏から見れば右まわり)。一見複雑そうな流源面中性線(即ち太陽圏中性面)も、原則的には、消長する3個の双極子の合成で記述できる。それが3双極子モデルである。

8. 結論と討論

まとめると主な結論は次のようになる。

1. 複雑なコロナの形状を、動径流と非動径流に分離することにより、法則性が見出された。
2. 磁気赤道面起源のストリーマーは断面がヘル

メット型であり、動径的である。一方高緯度帯から出るストリーマーは先太型であり、非動径的である。

3. 非動径流の磁場構造は、根元が双極であり、先端は単極である。
4. その結果、高緯度非動径流の根元には、アネモネ型の磁場構造(=一対のアーケード)が形成される(多くの場合複雑な複合アーケードになるが)。
5. 明るく動径的なストリーマーの、磁気赤道曲面に対する位置に、明瞭な法則性が見出された。
6. 大規模な非動径流は、次々にアネモネ型不安定で吹き飛ばされ、動径流の根元に成長した双極場も、フレアによって衰退し、その結果、磁気赤道曲面は次第に傾き角を変える。
7. 傾角変化は、組織的な回転反転として表され、更にこれは、3双極子モデルで説明された。
8. コロナルホール(南北両磁極冠域)の回転反転は、上昇期と下降期で対称である(図 11 参照)にもかかわらず、ミステリー領域は下降期にだけ顕著である。これは活動領域の発生緯度が、非対称的な蝶型変化をするからである。

図 11 では3双極子を近似的に、白矢印の中心合成双極子で表現した。ところがむしろ3双極子を分離したまま図のように置いて厳密に計算したほうが、観測とよりよく一致する傾向がある(例えば9)の Fig. 3)。つまりこれは、現実の太陽でも3双極子法則が働いている証拠にもなる。

太陽のような複雑現象を解明するには、先ずストリーマーを動径性で分離したり、磁気経緯度系を導入するなどして、最初に3双極子モデルのような単純明快なモデルを抽出することが先決だと考える。それをした上で、一見モデルに合致しないように見える個々の複雑現象について、次のような付帯法則を追加していくことによって、総てを説明するというプロセスが必要だと考える。例えば鞍型中性面(4セクター構造)になる時は、2個の

動径流 (= 赤道双極子) が⁸, 南北いずれかの半球に偏在している (例えば自転 No.1898). 中性面が捻れている場合には, 赤道双極子の経度差が, 例えば 160° になっている (No.1816). 副中性面が⁹出来る時には, 一時的にもう 1 個の副赤道双極子が現われている (No.1846). 片揺れ中性面 (No.1912) の場合には, 片方の赤道双極子だけが異常発達している. 赤道双極子が 4 個出来る場合もある (No.1943). つまり三双極子モデルで大切なのは 3 という数字ではなく, 「観測された流源面中性線下の」「コロナの明るい所に」「ヘイル・ニコルソン則に従って」赤道双極子を置いて計算すれば, 中性線が再現できるということだ. 球面調解析すれば, 「数学的」には正確に再現できるが, 「物理的に」意味があるのは, 「動径流まで含めた磁場の大規模構造を支配しているのが, 軸及び赤道双極子」だということである. いろいろな双極子を組み合わせた理論的計算例や, 具体的自転番号に対する計算例は, 文献 7), 11), 18) を参照して頂きたい.

なお, 磁気赤道面が回転反転するに従って, 太陽風の大規模構造も 22 年周期で回転反転するが, これはむしろ太陽風物理学や地球物理学の問題なので, 詳細は 7), 13) などに譲ることにする. 日本で眼視される日が近付いているオーロラと太陽フレアとの関係についても, 別の文献 4) に譲ることにする.

謝辞

1991 年及び 1998 年の日食の写真は, 沼沢茂美氏によるものなので感謝する. 内容に関しては多くの方々のご討議を頂いたが⁸, 特に柴田一成・赤祖父俊一両教授によるところが多い. 末松芳法助教授には締め切りに関して多大のご迷惑をお掛けしたので, 深くお詫び申し上げます.

We would like to thank for courtesy of SOHO/LASCO consortium. SOHO is a project of international cooperation between ESA and NASA.

参考文献

- 1) Saito T., 1965, Rept. IonosSpaceRes. Japan, 18, 260
- 2) Saito T., 1965, J. Geomag. Geoelectr., 17, 23
- 3) Saito T., 1965, Rept. Ionos. Space Res. Japan, 19, 30
- 4) 斎藤尚生, 1988, オーロラ・彗星・磁気嵐, (共立出版)
- 5) 斎藤尚生, 1989, 彗星—その本性と起源, 桜井邦朋他編, (朝倉書店), 第 7 章
- 6) Marubashi K., et al., 1983, Radio & Space Data, No.12 (Rad. Res. Lab.)
- 7) Saito T., et al., 1994, in Dusty Plasmas, ed. Kikuchi H. (Plenum Publ., New York) p.449
- 8) Takahashi Ta., et al., 1993, in X-ray Solar Physics from Yokoh, eds. Uchida Y., et al., (Univ. Academy Press, Tokyo) p.305
- 9) Saito T., et al., 1993, in X-ray Solar Physics from Yokoh, eds. Uchida Y., et al., (Univ. Academy Press, Tokyo) p.211
- 10) Saito T., et al., 1989, J. Geophys. Res., 94, 14993.
- 11) Saito T., et al., 1993, J. Geophys. Res., 98, 5639.
- 12) Hakamada K., et al., 1991, J. Geophys. Res., 96, 5397
- 13) 斎藤尚生, 1999, 21 世紀の太陽研究の方向を探る (京都大学飛騨天文台) 150 頁
- 14) Wang Y. M., 1998, ApJ, 501, L145
- 15) Saito T., et al., 1986, Nature, 321, 6067, 303
- 16) 斎藤尚生, 1982, 有翼日輪の謎—太陽磁気圏と古代日食, 中公新書 (中央公論社)
- 17) Michels D. J., et al., 1999, Adv. Space Phys., in press
- 18) Saito T., et al., 1999a., Adv. Space Res., in press
- 19) Saito T., et al., 1999b., Adv. Space Res., in press
- 20) Saito T., 1989, in Laboratory and Space Plasmas, ed. Kikuchi H. (Springer-Verlag, New York) p.473

Large-Scale Structure and Dynamics of the Solar Coronal Sheet

Takao SAITO

Taihaku 3-6-29, Taihaku-ku, Sendai, 982-0212, Japan (Emeritus Prof. of Tohoku Univ.)

Abstract: Studies of large-scale magnetic field and corona of the sun are reviewed from a latent viewpoint of solar-terrestrial physics. Coronal streamers are classified into radial one and non-radial one. A pair of radial streamers are revealed to emanate from a pair of antipodal regions which are involved in a warped coronal sheet (=magnetic neutral sheet). The sheet rotates around an axis of a pair streamers with 22-year period. Coronal hole and CME (flare and filament disappearance) are considered to be related to this large-scale structure and its dynamics.