

太陽黒点と地球……内田 豊さんに捧ぐ

海野和三郎

内田 豊さんは非常に天体物理の直感の優れた人でした。地球環境問題のような国家規模の大型プロジェクト研究のリーダーとしてうってつけの人で、今にそうなるのではないかとひそかに思っていました。惜しい人を失って残念でなりません。モートン波の理論を始めとし太陽磁場に関連した研究が内田さんにはたくさんあります。太陽活動と地球環境について述べ追悼文の代わりにしたいと思います。

太陽磁場の活動が地球に及ぼす影響は、黒点のマウンダー・ミニナム時の低温を始め年輪や地層中の花粉などを調べて古くから知られているが、最近新しい展開が出てきた。乗鞍コロナ観測所のコロナグラフによる50年にわたる空の明るさの精密な観測を、国立天文台の桜井 隆¹⁾さんが周期解析をして出した結果は、その決定打と考えられる。コロナグラフによる空の明るさの測定は、コロナ輝線の測光のバイプロダクトであるが、光源である太陽のすぐ周辺のコロナ領域の可視域の大気の散乱光の精密測光である点で他の大気光測定とは異質である。この測定の優れた点は、同一の装置での50年の連続データ集積があることと、光源と同一のエアームスからの散乱光の測定であることである。空の明るさは場所場所で時間的にも揺らぎが大きいから、コロナグラフでの観測が、空の明るさに対する唯一の信頼できる精密測定であるといえる。

空の明るさの変動の原因は多種多様で、年間の移動平均をみても約50年の間に顕著なピークが20個ほど見えるかなり不規則な変動で、中にピナツポやエルチヨンの噴火による影響とおぼしきピークもある。桜井さんの周期解析によると、年周変化が最大の寄与を示すが、11.8年くらいの周期変動が次に大きく、この成分の存在の信頼度は95%以上であり、それら以外に有意な周期はない。従って、乗鞍の空の明るさの変動は、季節の気象変

動や中国からの黄塵による年周変動に次ぐ大きな変動として、黒点活動の影響と考えられる太陽活動周期が、不規則なゆらぎを遥かに越える振幅(全変動の25%程度)の周期変動であるということになる。しかし、ここで理解が困難なことは、空の明るさのピークが黒点活動のピークより2~3年遅れるらしいことである。空の明るさがエアロゾルによる太陽光の散乱であることは、ピナツポの影響をみてもよさそうな仮定であるが、何故エアロゾル形成に黒点活動と位相のずれが起こるのか理解に苦しむ。この問題が解決しない限り、空の明るさの太陽活動周期説は確立したとはいえない。ただ、この問題を別にすれば太陽活動の影響と考えられている大気現象は他にもあるので、それらの現象との関連を検討して問題の手がかりが得られるかもしれない。

太陽活動の地球に及ぼす大きな影響として、極紫外線(EUV)による電離層の活発化とコロナ爆発に伴う磁気プラズマジェット流によるオーロラや磁気嵐などが考えられる。紫外線で励起された超高層大気は夜光(エア・グロー)を生じる。一方、磁気プラズマ流は地球磁気圏の励起以外に、銀河宇宙線から地球をシールドする間接的な役割もあり、これが宇宙線による電離がつくる大気中イオンによる雲の形成に影響するという^{2), 3)}から複雑である。オーロラの出現頻度⁴⁾は黒点の極大期よりはその前後にピークがあり、その説明としては、ちょうど地球をヒットすることになるような類の太陽風プラズマジェット流に対しては極大期には地球が活動領域を覆う磁場のドームの陰になり、オーロラ出現はダブルピークになるという。一方、夜光はパーマメント・オーロラともいわれるように、昼間紫外光で電離した大気分子が再結合しカスケードして低いエネルギー準位に落ちる時に出す輝線がその正体であるとする、夜光にも当然太陽活動周期

がある⁵⁾。

E. N. パーカー³⁾は、地球温暖化の要因の一つとして、古くから知られた太陽活動と輻射量の関係のほかに、太陽活動から出た磁気雲による銀河宇宙線のシールド効果を挙げている。これは、ウイルソン霧函の原理と同じく、宇宙線がイオンを作りイオンが霧の核を作るため、雲量が宇宙線とよい相関²⁾を示すことを根拠とする。雲はいろいろな作用を持つが結果として気温を下げる働きをするので、太陽活動が地球温暖化になるようである。しかし、高度の低い雲は冷却に、高い雲は温暖化に効くという話もある²⁾。量的な評価はむづかしいが、その大きさは二酸化炭素の増加の影響に匹敵するかもしれない。宇宙線のエネルギーは知っているが、飽和水蒸気が太陽光入射変動の増幅機構となっていることになる。一方、磁気雲が直接地球磁気圏を揺さぶる影響はオーロラであるが、オーロラが雲の形成に影響があるかどうか、知らない。(知っている人は教えてほしい!) もしオーロラ粒子がつくるエアロゾルが空の明るさに効くとすれば、2年程度の位相おくれはオーロラの第2ピークに対応することになる。その場合、地磁気との関係で空の明るさの変動が観測地の磁気緯度による可能性がある。

一方、柴橋博資、湯浅学の両氏と私⁶⁾は、EUVで作られた電離層イオンが乱流拡散で大気密度の濃い対流圏最上部に運ばれエアロゾル形成の核を作ると考え、拡散方程式の解を求めた。EUV入射の周期変動に対する解は減衰進行波で、11.5年の周期と2~3年の位相遅れを与えると拡散係数が求まる。拡散波は形を変えずに減衰して進行するが、進行速度は拡散係数と振動数(EUV入射時間の逆数)の積の平方根に比例する。このことを用いて、各黒点群の活動と対応する乗鞍の空の明るさの関係を調べて仮定を検証する必要がある。(どなたか力を貸して下さい。)これに関連したもう一つの研究⁷⁾は、空の明るさの変動と地球温暖化を結びつけることである。これには、太陽活動でできたエアロゾルの光学的性質に対する仮定が必要であ

る。空の明るさには可視光の前方散乱係数が関与し、温暖化には10ミクロン程度の遠赤外の吸収係数が関与するからである。先ず、輻射輸達の式を可視域と赤外に分けて、可視域の方からは空の明るさの変動に対応する可視域の光学的厚さ τ_{opt} の変動を求める。次に、赤外の式を解いて輻射平衡の温度成層を赤外の光学的厚さ τ_{IR} で表す。勿論、地球大気は昼あり夜あり、対流や風もあって輻射平衡にはないが、海洋と大地の熱容量が大きいため地球全体で平均すると輻射平衡大気モデルは第ゼロ近似としてそう悪くない。その上、求めたいのは温室効果と太陽活動による温室効果の増加である。エディントン近似を使うと、温度の4乗が τ_{IR} の一次式となるが、 τ_{IR} に比例する項が温室効果である。この τ_{IR} が太陽活動で作られるエアロゾルでどれだけ増加するかを空の明るさの変化から求めた τ_{opt} の増加と関係づければ、黒点周期の温室効果が求まることになる。

ところで地球は、太陽半径と太陽・地球間距離の比の2乗に比例して希釈された太陽輻射(有効温度5,760 K)を地表全面積の4分の1の面積(地球半径の円盤面積)で受ける。受けたエネルギーの平均と等しい放射をする黒体輻射温度を地球の有効温度 T_E とすると、 T_E は277.5 Kとなる。これを温室効果なしの時の地表の基準温度とする。現在の地球全体の平均地表温度をかりに15℃、288Kとすれば、277.5 Kとの差約10°が温室効果となる。空の明るさの黒点周期変動は約25%、太陽活動でできるエアロゾルの不透明度の可視光対赤外の比が赤外に吸収帯を持つ温暖化ガスに比べてどれだけ大きいかわからないが問題であるが、もし同じとすると黒点周期の気温上昇は黒点極大より2~3年おくれで2.5°ほどあることになる。今年の夏暑かった理由の一つであろう。とすると、来年の冬は暖かく夏は暑くなる可能性がある。ただし、エアロゾルの赤外吸収は小さい可能性もあり、また空の明るさの黒点周期変動振幅はランダムなノイズの影響で25%を若干下回る可能性もある。今後

の研究に待つところ大である。

地球温暖化に関連する機構は殆どが非線形の影響を持つから、地球環境問題を考える上で太陽活動の影響は周期的なものでも無視できない。また、科学的に確実な結論ができるまで待っているのは人力の及ばない危機に突入してしまう危険性もある。手遅れにならぬよう可能性を予測することが重要である。太陽活動による地球温暖化の問題は桜井の研究¹⁾を境に新段階に入ったものとする。

(先事館先事研究所)

参考文献

- 1) Sakurai T., *Earth Planet Space*, 54, 153-157, 2002.
- 2) Svensmark H., Friis-Christensen E. J., *Atm. Sol.-Terr. Phys.* 59, 1225-1232, 1997.
- 3) Parker E. N., *Nature*, 399, 416-417, 1999.
- 4) Bone N., *The AURORA*, 2nd ed. (John Wiley & Sons, New York) 116-117, 1996
- 5) Walker M., *Publ. Astr. Soc. Pacific*, 100, 496-506, 1988
- 6) Unno W., Shibahashi H., Yuasa M., unpublished (submitted to PASJ)
- 7) Unno W., Shibahashi H., *Proc. D. Gough Memorial Sympos.* in press.

内田 豊君を偲ぶ

加藤正二

内田 豊君の突然の悲報に接し言葉もない。8月26日、何か重要なメールが来ているような気がして、夕方出先から勤務している大学までわざわざ出向いた。というのは、携帯していたノートパソコンが故障して、全く陸の孤島にいる状態がしばらく続いていたからである。葬儀に出られず残念であった。

内田豊君とは50年近くにわたる長いつき合いであり、共に天文学を志して切磋琢磨してきた仲であった。特に互いに若く、将来の天文学を熱っぽく語り合った20代が深い思い出として心に焼き付いている。

私が最初に彼を知るようになった経緯は今でも鮮明に覚えている。東大教養の2年生のときである。当時は教養の2年の後半から専門に分かれることになっており、彼も私も物理学科の天文コースに進んだ。秋からは、物理学科の学生に対する講義、演習が理学部の建物近くのプレハブ教室で始まった。朝早く来なければ前の方に席を確保するのは困難であったので私はいつも後ろの方に座ることになった。秋も深まり、教室内は寒かったの

だと思う。多くの学生がオーバーを着て授業を受けていた。その中で、教壇から見て、右側の最前列にポケットの部分が破れかかった黒いマントを着た少し大人の感じのする学生がいつも座っていた。存在感のある学生であったのですぐに気が付いた。多分物理の学生だろうと思っていた。その後、コースに分かれて顔合わせをした時に、その学生が、その後50年近くにわたってつき合うこととなる内田君であった。その時に彼が「これからはお互い君やさんをつけないで名前だけで呼び合おう」と言ったのを覚えている。呼び捨てで名前を呼び合うことに慣れていなかった私は彼との約束を守れなかったが、今にして思えば彼に悪かったかなと思っている。

3年生になると、専門の科目も始まり、一緒に本郷と麻布の天文教室の間を往復することも多くなり、それに伴いつき合いも深くなった。今は、飯倉の都電の停留所で寒い中を都電を待っている間に交わした会話などが懐かしく思い出される。大学院に入ったのは、彼と私ともう一人船越君の3人であった。船越君はすぐに生化の大学院に進路を