

共同研究課題 宇宙線WDCデータベース

研究代表者： 渡邊 堯（茨城大学名誉教授、名古屋大学太陽地球環境研究所 客員教授）

研究分担者： 野澤 恵（茨城大学理学部 準教授）

研究分担者： 荻野瀧樹（名古屋大学太陽地球環境研究所 教授）

研究分担者： 阿部文雄（名古屋大学太陽地球環境研究所 準教授）

1. 目的

ICSU (International Council for Science) の組織である世界データセンター組織 (World Data Center, WDC) に所属する「宇宙線世界資料センター (WDC for Cosmic Rays)」の業務として、世界各国の約 50 ヶ所の宇宙線中性子観測所で取得された観測データ（1 時間あたりのカウント数で、気圧補正等の処理がされたもの）を、標準のフォーマットでデータベース化を行うとともに、太陽惑星間空間現象や宇宙線を介した太陽活動と地球大気環境との関連について研究を行う。

2. データベース作成手順の概要

2.1 元データの取得

1980 年代までの宇宙線データは、主として数値を紙に印字した表であったが、その後はフロッピーディスクなどの磁気媒体に移行し、1990 年代からはネットワークによるデータの提供や、相手方 Web ページにアクセスして吸い上げる手法が主体となった。電子メールの添付ファイルとして送られてくるものもある。

2.2 元データのフォーマット

取り扱うデータは 1 時間値のため、データ量はそれほど大きくは無いので、通常は表の形をしたテキストファイルによって提供される。しかし観測所は独自のデータフォーマットを使用しているため、統一フォーマットに移し替える必要がある。以下に代表的なフォーマットの例を示す。日付や観測所名の判別をファイル名だけに頼らざるを得ないケースがあるため、データの取り違えに注意を要する。また、固定フォーマットでないデータや、「抜けデータ」が空欄のままになっているケースでは、計算機処理の前にエディタ等による編集が必要となる。以下に代表的なデータの形式を示す。中でも南アフリカ型（南ア共和国 North-West University 提供）のような不定フォーマットの場合は、エディタによって抜けデータに 0 等の数字を挿入するなどの編集作業が必須である。

IZMIRAN 型

```
POLAR GEOPHYSICAL INSTITUTE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
  APATITY, MURMANSK REGION, 14 FERSMAN str., RUSSIA, 184209
  APATITY (APTY), 18NM64 (until 68.09 IGY) NEUTRON MONITOR, PRESSURE CORRECTED DATA, tau=1200 mks
Altitude 177 M                               Mean=
Geographic Coordinates 67.55 33.33           Rc(1965)= 0.57 GV; SF= 64 (16)
Pressure Coefficient=-0.720 %/mb             Corrected to 1000 mb Standard Pressure
Comment: 64.000                               /64*1.000
7636 7644 7619 7619 7615 7615 7644 7623 7648 7607 7636 7623
7652 7644 7586 7611 7586 7582 7586 7578 7569 7590 7607 7574
7594 7599 7569 7586 7594 7599 7615 7611 7652 7677 7648 7640
```

Bartol 型

Start Date, Time	McMurdo			Swarthmore/Newark			South Pole			Thule		
YYYY MM DD HH MM	Corr	Uncorr	Press	Corr	Uncorr	Press	Corr	Uncorr	Press	Corr	Uncorr	Press

2009 01 01 00 00	10331	9337	740.2	3684	3740	758.5	0	0	0.0	4611	4679	752.5
2009 01 01 01 00	10309	9325	740.1	3665	3688	759.4	0	0	0.0	4620	4704	752.2
2009 01 01 02 00	10344	9366	740.0	3689	3702	759.7	0	0	0.0	4621	4706	752.2

南アフリカ型

2009,28,13,12192,6561,12637 2009,28,14,12214,6559,12679
2009,28,15,,,
2009,28,16,,,

2.3 CARDFORMAT データの作成

各観測所から寄せられた元データを、プログラムによって 1 行 80 バイトのテキストファイルに変換する。このファイルは不良データの除去など、データの品質管理目的の作業ファイルの性格を持つ。

KIEL N64PCSA91 1 11 5591 5616 5609 5606 5598 5610 5623 5624 5612 5649 5629 5657
KIEL N64PCSA91 1 12 5647 5645 5661 5650 5643 5634 5651 5648 5643 5626 5613 5620
KIEL N64PCSA91 1 21 5589 5587 5589 5596 5615 5605 5630 5614 5617 5598 5639 5650
KIEL N64PCSA91 1 22 5678 5654 5671 5671 5676 5680 5691 5656 5646 5632 5639 5628

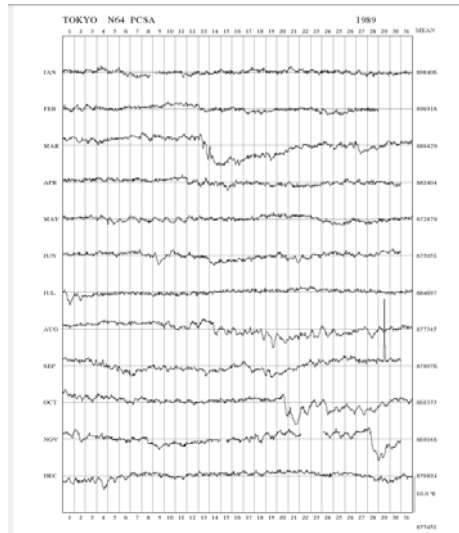
2.4 LONGFORMAT データの作成

上の手順によって作成した CARDFORMAT データをもとに、データに関する情報を含んだヘッダー部を含む、LOGFORMAT データを作成する。このデータ形式は理化学研究所より引き継いだものであり、一ヶ月毎に 4096 バイトの文字データで構成される。このデータ長は月の大小、閏年に拘わらず一ヶ月を 31 日としている。データ情報には、観測所略称、年月日、緯度経度、標高、cut-off rigidity、倍率、係数、気圧補正情報、データ提供先所在地、ホームページ等、データ使用上の注意等が含まれている。このデータフォーマットは、1991 年まで宇宙線 WDC が理化学研究所で運営されていた時代に公案されたもので、当時の主要な記憶媒体であった磁気テープへの収録効率の最大化を目的としていたため、データ長が長すぎてモニター上での扱いが困難であることや、データ情報を収録するヘッダー部の長さが制約されているため、近い将来 1 行 80 バイトの新フォーマットに移行することを計画している。

JUNGRIGYPCSA109 2 46.55 7.983570.00 4.49 100.0 0.0 0.0 6023.3 JUNGFRAUJOCH (IGY), SWITZERLAND,
PHYSIKALISCHES INSTITUT, UNIVERSITAT BERN 18 IGY NEUTRON MONITOR Corrected to 482mmHg Standard
Pressure, Coef=-0.96%/mmHg Snow fall: Days 7-8, 22-23 Snow removed from monitor: Day 8, 23 Details are
given in <http://cosray.unibe.ch/> 100810 5999 6016 6041 6036 6043 6063 6061 6058 6080 6087 6077 6070 6059 6054 6081
6067 6065 6046 6043 6028 6012 6011 6008 5977 5987 5981 5929 5971 5953 5954 5921 5891 5895 5907 5914 5919 5921 5928 5957
6007 5998 5964 5947 5934 5967 6008 6007 6025 5984 6015 6025 6026 6062 6048 6081 6056 6055 6073 6068 6071 6051 6054 6047
6070 6085 6070 6051 6062 6052 6065

2.5 Post Script 画像ファイルの作成 (PSPLOT)

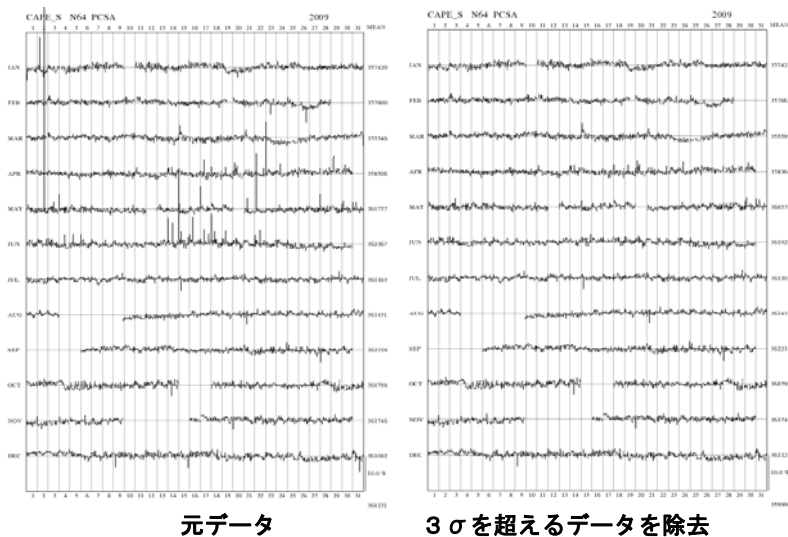
データの点検のため、LONGFORMAT データを月別にプロットする。例を第 1 図に示す。右の列には月別平均値を、右下には年間平均値を示す。このプロットを見て問題無ければ、CARDFORMAT、LONGFORMAT、PSPLOT のデータをホームページで公開する。



第1図：宇宙線中性子フラックスの年間プロット（1989年、東京）。上から1～12月の順に、月別平均値に対する偏差（%）を示す。

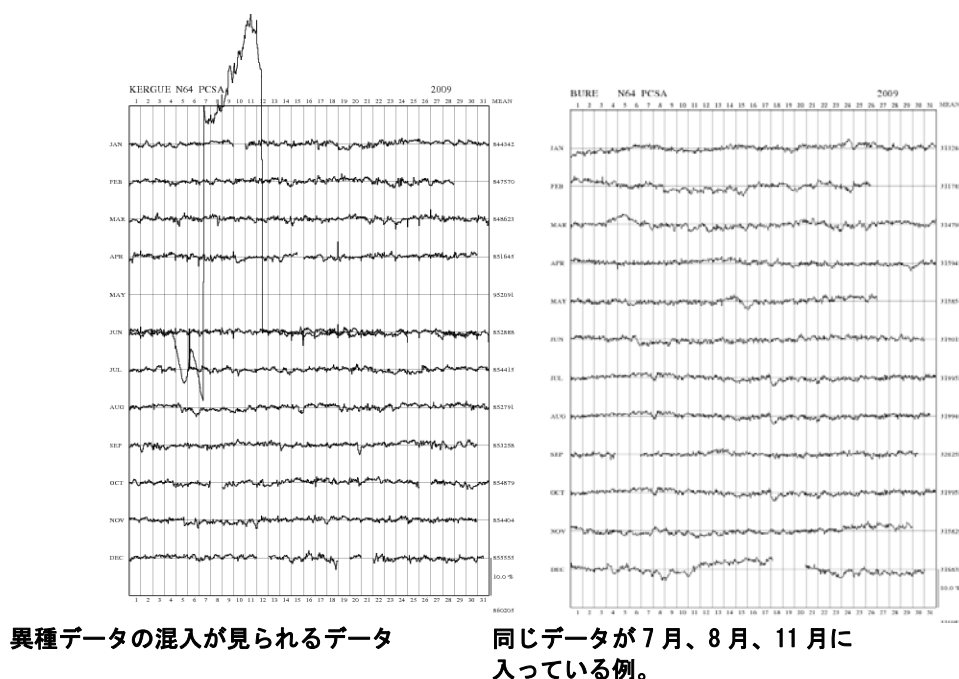
2.6 データの点検、修正

WDCの任務として重要なのは「データの品質管理」である。データに関する最終責任はデータ提供者にあるが、WDCでは最低限のチェックを行い、軽微な問題点はその場で修正し、データの入れ替えが必要なほど重大な問題点が発見された場合は、提供者に連絡して修正してもらう。日常的に最も良く遭遇する問題点は、ノイズの混入である、原因はいくつか考えられるが、統計的なバラツキを遥かに超えたノイズの場合は、見た目だけでなく平均値まで影響を及ぼすため、通常データの統計的な分散（ σ ）を3倍以上オーバーしたデータは、GLEなどの自然現象ではないことを確認して除去する。以下にその例を示す。



第2図：データ中に混入したノイズの除去を行った例（2009年、Cape Shmidt）。通常の統計的なばらつき（ σ ）の3倍を超えるノイズを除去する。

問題のあるデータとしてその次に多いのは、異種データの混入である。最も多く発生するのは気圧補正がされていないデータの混入であるが、素性が分からないデータの混入もある。極く部分的に混入している場合はデータを除去するが、データそのものの入れ替えが必要な場合は、データ提供者に連絡して修正データを送ってもらう。またデータに表示してある年月日と内容とが異なっているケースもしばしば発生するので、注意が必要である。以下に異種データが混入した例と、同じデータが複数の月に現れる例を示す。



第3図：異種データの混入（左図）、誤データのファイル化が発生している例（右図）

2.7 Web ページでの公開

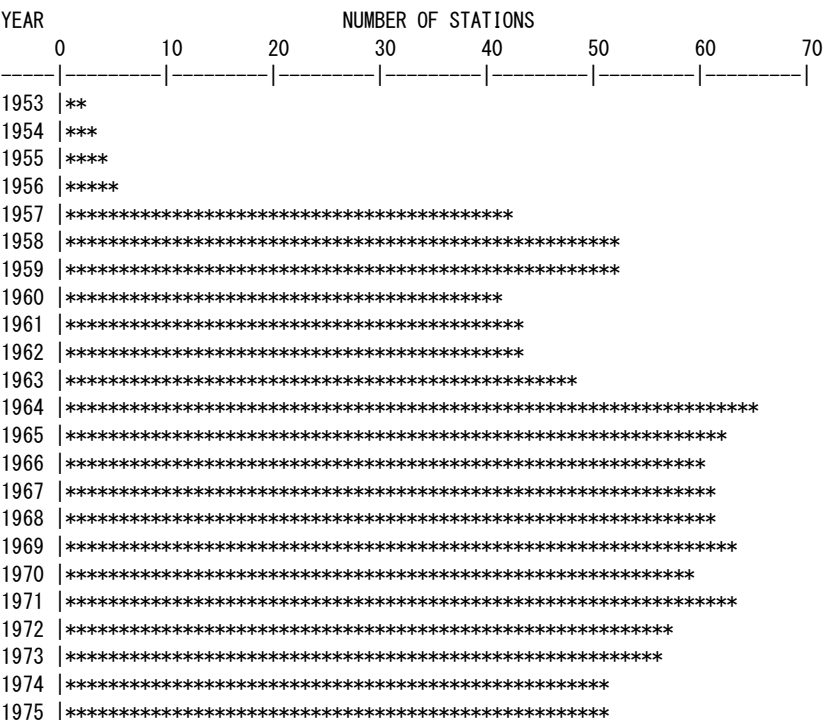
以上の手順によって作成したデータベースは、Webページで公開するほか、CD-Rなどのメディアによって提供する。Webページは名古屋大学太陽地球環境研究所のWebページを通じてアクセスできる。URLは<http://center.stelab.nagoya-u.ac.jp/WDCCR/>。ポータル画面のコピーを第4図に示す。データの検索は年別または観測所別に行えるようになっており、CARDFORMATと LONGFORMATのデータ（テキスト）、ポスト・スクリプトの画像データPSPLOTを公開している。データのフォーマットや使用上の注意はREAD_MEに英文で示されている。現在のところこのページではデータのリストから自分で欲しいデータを選択し、ftpで取得する手順になっているが、多くのデータの取得を希望する場合は、手順が煩雑であるため、もっと自由度の高いシステムとする必要がある。また画像はポスト・スクリプトの圧縮ファイルとなっているが、今後はもっと汎用性が高いPDFやJPEGファイルで提供するとともに、オンラインで任意のプロットが得られるシステムとすることが強く望まれる。また上述のようにWebページからのダウンロードは時間がかかるのが現状であるため、大量のデータが必要な場合は、CD-Rでの提供を請求してもらうよう推奨している。

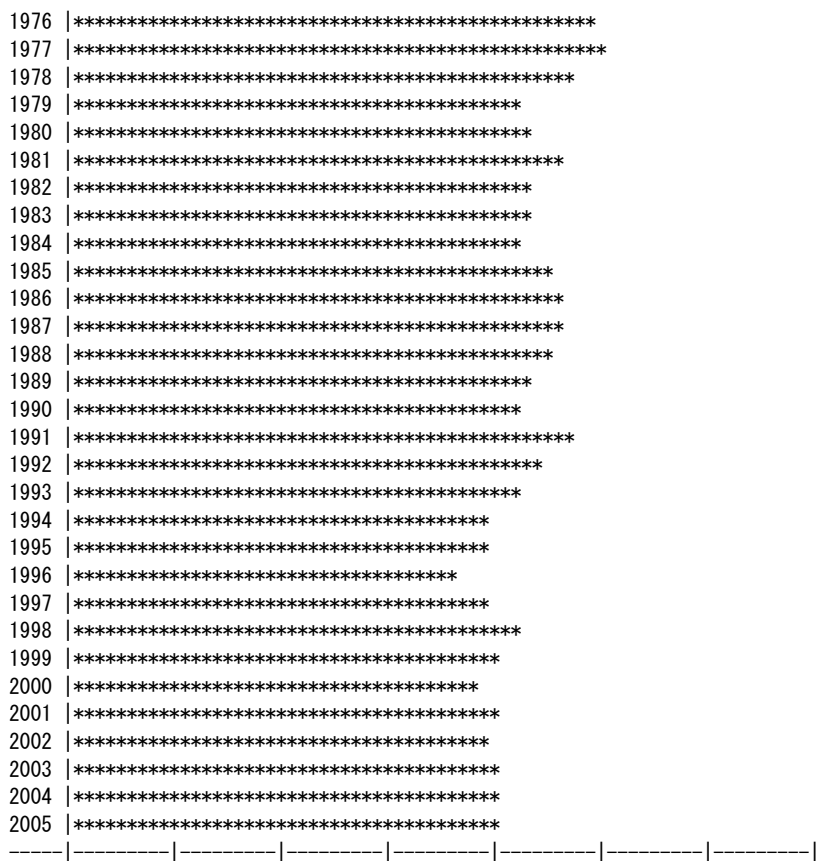


第 4 図：宇宙線WDCのWebページ (<http://center.stelab.nagoya-u.ac.jp/WDCCR/>)。

2.8 データの保有状況

宇宙線 WDC では定常的な観測が開始された 1953 年からの宇宙線中性子観測データを保有している。1953 年から 2005 年までにおける半世紀にわたる期間における年間データ件数の推移を、第 5 図に示す。この図に見られるように、当初は 2 - 3 ヶ所に過ぎなかった観測所も、IGY (国際地球観測年) が開始された 1957 年に爆発的に増加し、全世界で 50 ヶ所を越えるようになった。次いで第 2 のピークが訪れたのは 1964 年である。この年は高感度の宇宙線中性子計 (NM-64) がシカゴ大学のシンプソンによって開発され、同年に開始された IQSY に呼応して世界各国で宇宙線中性子の観測が行われるようになったことによる。1970 年代に入ると、研究者の世代交代などによって閉鎖される観測所が現れ始め、最近では 40-50 ヶ所の観測所が定常的な観測を行っている。





第5図：宇宙線 WDC が保有する中性子フラックス年間データの件数（1953–2005）。

3. 宇宙線データベースの利用状況

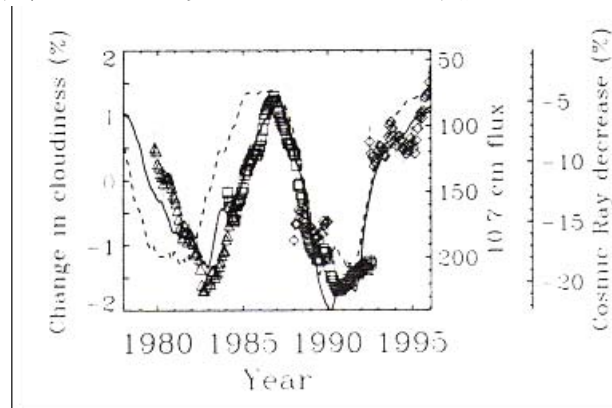
宇宙線 WDC で扱っているデータは、宇宙線中性子 1 時間カウント数であるが、従来より最も利用されてきた研究分野は、宇宙線フラックスの時間変動の解析による、惑星間空間の突発的構造や太陽圏磁場の 11 年周期変化の研究であった。現在このような研究を続けているグループは世界で約 30 ヶ所あり、宇宙線データベースの主要なユーザとなっている。また最近では、宇宙線と地球大気環境との関連が注目され、この方面の研究者からの利用も増えている。この他宇宙線データは、人工衛星などの宇宙環境の基礎データとして、宇宙工学関係者からの利用がある他、放射線環境データとして原子力工学研究者からの需要がある。また宇宙線が人体に及ぼす影響を研究する医学研究者によるデータ利用もある。データベースを収録した CD-R は約 200 枚作成し、国内外の関連研究者に配布している。

4. 最近の研究成果（宇宙線と地球環境との関係）

4.1 宇宙線フラックスと全球雲面積との相関について

20 世紀後半より顕著になり始めた地球温暖化傾向の主要な原因として、人為的な温室効果ガスによる影響が言われているが、太陽活動やそれに付随して発生する太陽地球系現象と地球環境との関連を主張する研究者も多い。最近注目を集めた研究として、第 6 図に示すような、宇宙線中性子フラックスと全地球雲面積との間の相関がある (H. Svensmark and E. Friis-Christensen, 1997, JASTP, 11, 1225)。宇宙線中性子フラックスは太陽黒点数の増減と逆相関を示し、宇宙線フラックスは太陽活動極小期に極大となるが、この解析が正しければ太陽活動極小期には雲の面積が増え、もしそれが下層雲で起こった場合は、全地球的に低温の傾向を示すことが予想される(高層雲の場合は、温室効果が働く)。しかしこの解析結果に対しては、人工衛星によって得られた雲の観測データの解析法に対する疑問など、重大な問題点を指摘する研究者もある (P. Laut, 2003, JASTP, 65, 801)。これらの解析には、宇宙線 WDC が

保有する米国 Climax における宇宙線中性子観測データが使われており、地球環境研究における宇宙線データの重要性が認識されたことは、大変有意義なことであった。そして上記の論文を発表した著者達を初めとして、人為的な温室効果ガスを、最近の地球温暖化の主たる原因とする考えに反対する動きが活発化し、社会的にも注目を集めたことは記憶に新しい。しかし第 6 図において顕著な雲面積の減少が見られる 1980 年代前半と 1990 年代前半の期間には、それぞれエル・チションとピナツボという、大気環境に大きな影響を与えた火山活動の結果、対流圏気温の低下によって雲の形成が抑制されたことも考えられ、第 6 図に示した結果をそのまま受け入れることには問題が残されている。

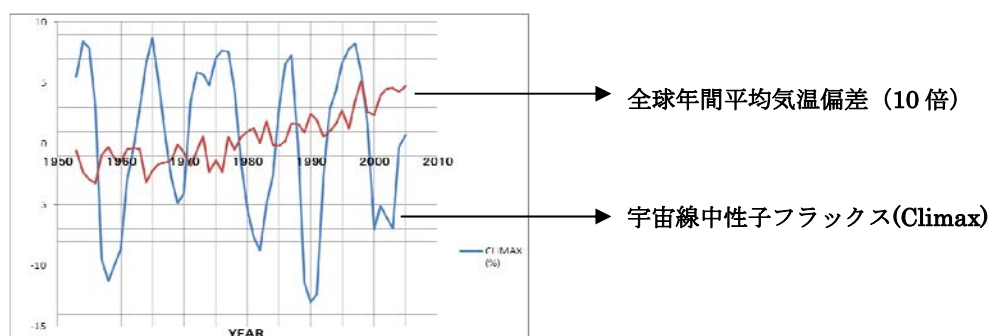


第 6 図：Climax における宇宙線中性子フラックス（細線）と全球雲面積との関係（Svensmark and Friis-Christensen, 1997）。観測に使用された人工衛星を区別するため、△や□などの記号が使われている。

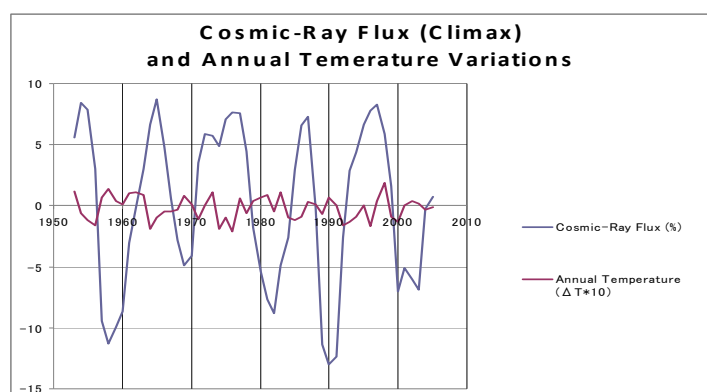
4.2 宇宙線フラックスと全球地上年平均気温との関係

第 6 図に示した解析が行われた期間は 1980 年代から 1990 年代と比較的短い期間であり、宇宙線データが得られるようになった 1950 年代まで遡った解析が望まれる。しかし人工衛星による全球雲面積データが得られるのは 1980 年代以降であるので、それ以前に遡ろうとすると、地上や高層の気象観測によって得られる気温などの気象データに頼らざるを得ない。しかし雲面積の増減は気温の増減をもたらすことが予想されるため、第一歩として全球の地表平均気温データとの比較を行って見た。まず 1953 年以降の期間について、Climax で得られた宇宙線中性子フラックス (%) と、全球地表年平均気温偏差を比較したグラフを第 7 図に示す。これによると宇宙線フラックスは太陽黒点の「11 年周期」に対応した増減を繰り返しているが（黒点極大期に宇宙線フラックスは極小）、過去半世紀にわたる長期的なトレンドは殆どみられない。一方全球地表平均気温に関しては、良く知られているように一貫した増大傾向にあり、長期間のトレンドとして見た場合、宇宙線フラックスに長期的な変化が見られないことから、地表気温との比較に限って言えば、宇宙線フラックスの変化を地球温暖化傾向と直接結びつけることには大きな無理があると思われる。

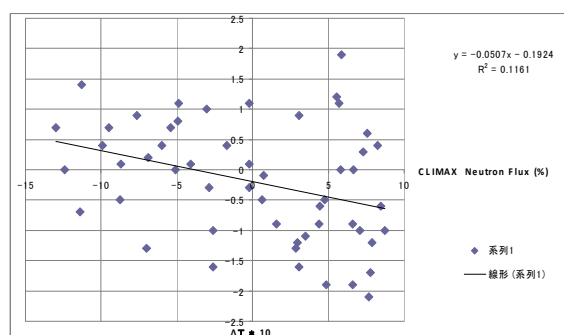
そこで次のステップとして、「宇宙線が地球温暖化の長期的トレンドには関係していない」という立場に立ち、宇宙線の 11 年周期変化と気温変化との対応を見るため、全球気温変化の長期的トレンドを除去する。これは気温のトレンドの最適 2 次曲線を決定し、それからの偏差として表すことによって行う。その結果を前述の宇宙線フラックスの変化と比較した結果を第 8 図に示す。そして宇宙線フラックスと長期トレンドを除去した気温変化（偏差）との間の相関を見ると、第 9 図にあるように、弱い相関ではあるが、宇宙線フラックスが高い時期には低温化の、宇宙線フラックスが低い時期には高温化の傾向が見られ、その相関係数は約 0.34 となる。ただしこの程度の相関係数は、同様に行った太陽黒点と地上年平均気温との解析でも得られるため、相関解析だけでは宇宙線が気温変化の原因となっているとは言えない。



第7図：Climaxにおける宇宙線中性子フラックス（%）と、全球年平均気温偏差（10倍）の年変化。



第8図：第7図と同じであるが、気温データからは長期変動を除去（10倍）。

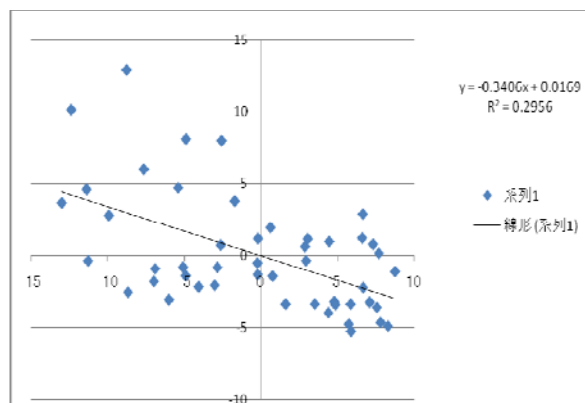


第9図：宇宙線フラックス（Climax）と長期変動を除去した全球年平均気温偏差との相関。縦軸が気温の、横軸が宇宙線のデータを示す。期間は1953-2005年。相関係数は約0.34。

4.3 宇宙線フラックスと高層大気温度との関係

宇宙線と地球大気との関係が重要となるのは、対流圏よりも成層圏であり、宇宙線や、それよりも一桁エネルギーが低い太陽高エネルギー粒子によるオゾン層の破壊などが議論されている。そこで全世界のラジオゾンデ観測によって得られた成層圏レベルの気象観測データと宇宙線との関係を解析する。解析に用いた成層圏データは、30 hPaにおける全球平均温度観測データであるが、地上気温データの場合と同じように、長期トレンド（地表気温とは逆に、低温下傾向にある）を除去したものを用いる。第10図に相関解析の結果を示す。この図によると宇宙線フラックスが増大に伴う低温化の傾向が見られるのに対し、宇宙線フラックスが減少すると高温化の傾向が存在し、地表温度の場合（第9図）と一致している。相関係数は、地表温度の場合よりも有意度の高い、約0.54が得られた。しかしこの高い相関係数をもたらした理由の一つとして、アグン（1963-64）、エル・チチョン（1981-83）、ピナツボ（1991-93）の大規模火山活動が、偶然にも太陽黒点極大期に発生し、火山起源のエアロゾルの影響による成層圏での温度上昇による寄与が、無視できないことによると考えられる。そこでこれらの火山活動の影響が認められる期間を除去して再解析を行うと、相関係数は0.3に低下した。この火山活動の影響は、太

陽活動と地球環境の関係を研究する場合、看過されがちであり、誤った結論を導くことの無いよう注意が求められる。いずれにせよ、宇宙線フラックスの増減に関係した成層圏における温度変化は、地表温度と同じ相関関係を示すことは興味深い、その理由の一つに火山活動の影響があるのかも知れない。



第 10 図：30 hPa における、長期変動を除去した温度偏差（縦軸）と、Climax における宇宙線中性子フラックスとの相関。期間は 1953-2005 年。相関係数は約 0.54（本文参照）。

4.5 今後の研究の方向

以上のように宇宙線フラックスの変化が地球大気環境に何らかの影響を与えることについては、宇宙線が大気中のイオン形成に深く関わっていることなどから、程度の問題はあっても無関係ではあり得ない。しかしそれは、最近の数十年間にわたる長期的な温暖化傾向と関連づけられるものではなく、約 11 年の太陽黒点周期に関連した太陽活動に関係した、地表や成層圏における大気温度の変化をもたらす要因の一つになっている可能性が高い。宇宙線は大気中に多くのイオンを発生させるため、対流圏における雲の形成過程に関与している可能性は高く、今後更に解析を進めることと並行して、気球やロケットによって、宇宙線によるイオンが形成される過程や、それによって引き起こされる雲の形成過程の直接観測が重要である。長期にわたる宇宙線観測データは、これらの研究を進める上で重要であり、今後とも長期的に安定したデータベース化を継続する必要がある。