

理化学研究所 ニュース

May.—1979

No. 57

宇宙線と太陽と気候

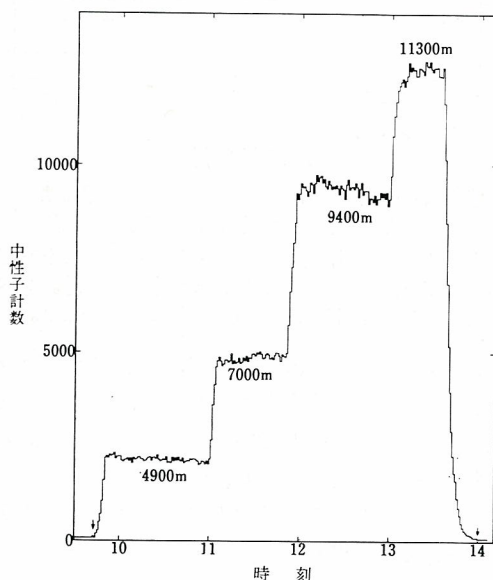
宇宙線の空間分布

大海原のかなたより、さざ波を黄金にきらめかせて昇る太陽、雲をあかねに染めて静かに沈む夕日。希望の朝、活動の昼、安らぎの夕べを太古より人々に示してきた太陽も、自然科学の目から見れば、まだまだ謎の多い物体である。まして人の眼にふれず五感にも感じられないものの存在と働きはどうして知られるであろうか。

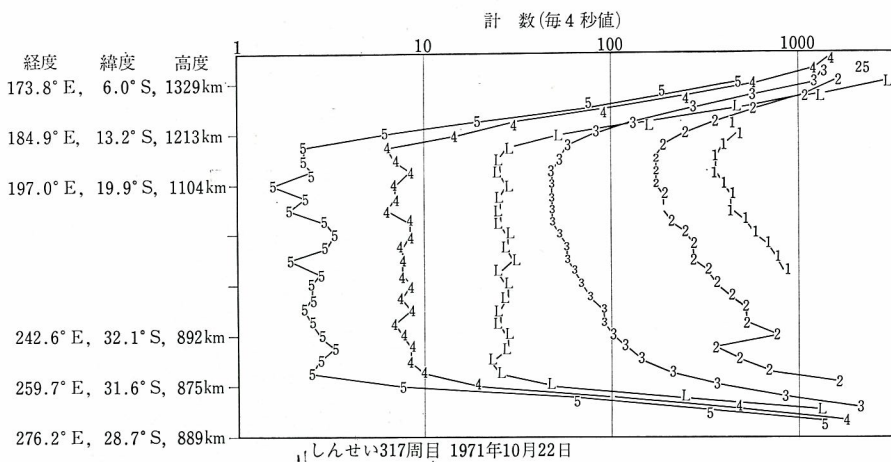
数億年、おそらく数10億年にわたり絶え間なく地球に降り注いでいる宇宙線も同様であった。その発見は原子の火のともる今世紀初頭の1912年である。地上から上空に上るにつれて増加する放射能を知り、宇宙から来る放射線すなわち宇宙線よるとした。その模様は去る3月19日の航空機実験で得た第1図からもみられる。宇宙線中性子は地上で1分間1平方センチに約1個の割合で来ている。これが1万メートルを越す上空では100倍以上になる。宇宙線のミュー中間子や電子等の荷電粒子も地上では中性子と同程度にあり、上空で中間子は10倍、電子は数10倍と増す。

気球に乗ってさらに高く上ると電子や中性子は20km付近で極大を越し、減りはじめる。ロケッ

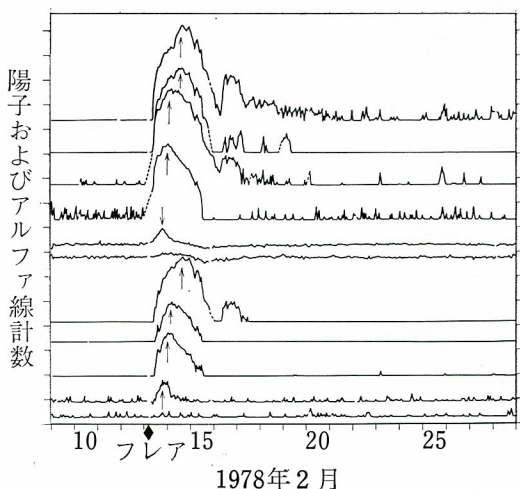
トにより、大気外に出ると減少は止まり一定量となる。すでに陽子、アルファ線等よりなる一次宇宙線の領域である。さらに1,000km以上に上ると再び急激な放射線の増加となり放射線帯に入る。



第1図 宇宙線中性子計数の高度変化。1979年3月19日、日本上空にて理研航空機実験による。この計数管は地上で毎分80の計数あり。



第2図 人工衛星しんせいの理研計数管による結果。急激な上昇は放射線帯を示す。左(計数少)ほどエネルギーの高い電子。



第3図 静止気象衛星ひまわりの結果。増加は太陽宇宙線現象。(気象研河野)

上の6本は陽子, 下はアルファ線。それぞれ上ほどエネルギーが低い。縦軸は対数目盛(一桁ごと)。レベルをずらして作図したので変化の形のみ意味あり。

(第2図)これは宇宙線と違うが、放射線や宇宙線測定技術によって検出されたもので、宇宙線研究者もその研究に参加している。地球物理と宇宙線物理の接点のひとつである。

宇宙ロケットや長円軌道人工衛星により地球半径の10倍以上に行くと、放射線帯を突破し惑星間空間といわれる領域にはいる。ここは太陽から放射される磁場とプラズマの流れ、すなわち秒速数100kmに及ぶ太陽風が吹きすさび、まれに太陽か

らの高エネルギー粒子や衝撃波が津波のように押しよせる激しい空間である。

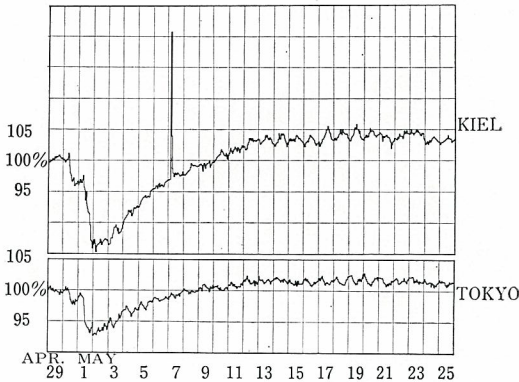
太陽宇宙線と太陽フレア

東京の南方赤道の地球を3コ重ねた高空に静止する気象衛星ひまわりは時々刻々と雲の分布、海面温度等天気予報や気候変動の資料を地上に送っている。ひまわりの側面にはりつめられた太陽電池の壁の小さな窓には陽子、アルファ線、電子等の荷電粒子を測る宇宙環境モニタ (SEM)がある。ふだんはわずかの一次宇宙線を測っているが、第3図のように何桁も増加する現象が得られる。これが太陽宇宙線である。

増加の数10分前に太陽面でフレアがおきている。フレアは太陽黒点の周辺で発生し、数10分で終る爆発的な現象である。粒子、光、電波、X線等の増加に衝撃波も加わる大きなエネルギー放出現象で太陽面上の火山や地震ともいえる。フレアによるX線で電離層が乱され、デリンジャ現象がおこり短波通信障害になる。フレアの衝撃波は2日前後ののち地球に達し、磁気嵐、極光等の地球磁気圏嵐をおこす。宇宙線も第4図のような宇宙線嵐となる。

銀河宇宙線

宇宙線嵐をおこすものは銀河宇宙線といって、太陽宇宙線と区別される。銀河宇宙線はいつも存



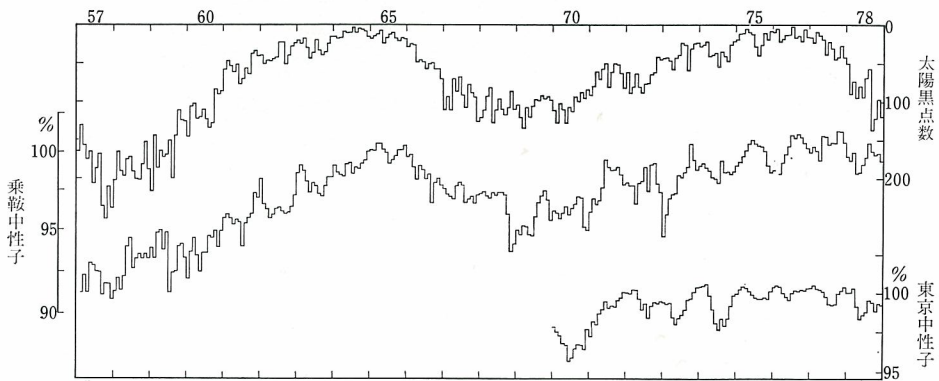
第4図 1978年5月1日の宇宙線嵐による減少。
横線の上下間隔は平均計数の5%。5月7日の増加は太陽宇宙線で高緯度地方にのみ見られる。

在する。一般に太陽宇宙線よりもエネルギーが高い。中には 10^{20} 電子ボルトのエネルギーをもち、

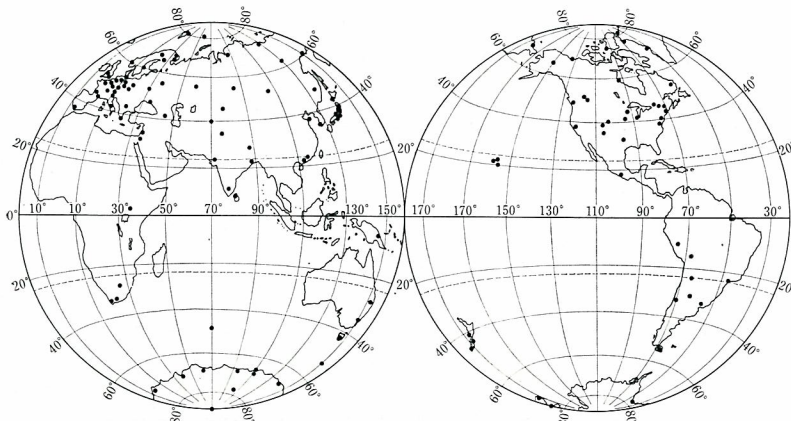
地上に100億個もの粒子を一瞬に注ぐ大空気シャワーを発生させるものもある。銀河宇宙線のうちエネルギーの低いもの（といっても 10^{11} 電子ボルト以下と考えてよいが）を調べてみると、太陽系内を太陽から遠ざかるほど宇宙線量が多くなる。それは木星、土星と進んだボエジャーロケット等により見られている。おそらく冥王星あたりまで増加しよう。その外の宇宙線量は地球付近の数倍に達しよう。これは秒速数100kmの太陽風が銀河宇宙線を押し戻しているためである。

太陽黒点11年変化と宇宙線連続観測

押し戻される程度が違えば地球付近での宇宙線量が変わってくる。とくに著しいのは太陽黒点数の11年ごとの増減に伴う宇宙線変化である。第5図は黒点数を逆さに画いたが、宇宙線量と逆相関の様子を示すためである。太陽黒点数の増減はフレ



第5図 太陽黒点（上下逆に画いた）と宇宙線の月平均値。11年の変化が両者似ている。



第6図 宇宙線観測所の汎世界観測網。理研にある宇宙線世界資料センターに観測資料を保存している。

ヤ頻度の増減その他太陽面上の活動度に関係し、当然惑星間空間の乱れ方も変化する。惑星間状態は銀河宇宙線の侵入のし方に反映する。

このような宇宙線の時間的変化を測定するため、汎世界的観測網がつくられている(第6図)。理研は1936年から準備研究を始め、戦後いち早く再開した古い歴史もっている。第5図にのせた乗鞍岳は建物の屋根や周辺の積雪、強風等の不利な条件のもとで不満足な観測ではあるが、とくに汎世界観測網の不備な初期の資料として内外の研究者に利用されている。条件のよい地上観測は遅れて出発したが(第7図)、すでに10年近い資料を蓄えた。その時々宇宙線嵐の研究等に用いられているが、長期の安定な観測は、時がたつほどかけがえの無いものとなってくる。長期観測の必要性の一例を以下に示そう。

太陽黒点と宇宙線

太陽黒点の観測は古くは中国のものもあるが、近代科学としては望遠鏡を用いた17世紀のガリレイから始まった。第8図にその昔からの年平均太陽黒点数の変化を示す。平均11年周期が著しいが、極大をつらねると約80年の増減が認められる。最近注目を集めているのはほとんど黒点の見られない1645—1715年である。マウンダ極少といわれている。

宇宙線は黒点数と逆相関を示すが、マウンダ極少のときはどうであったろうか。もちろんその頃宇宙線はさすがのガリレイにも知られていなかった。しかし宇宙線は存在した。宇宙線中性子が大気中の窒素に吸収されると炭素の同位元素 ^{14}C と



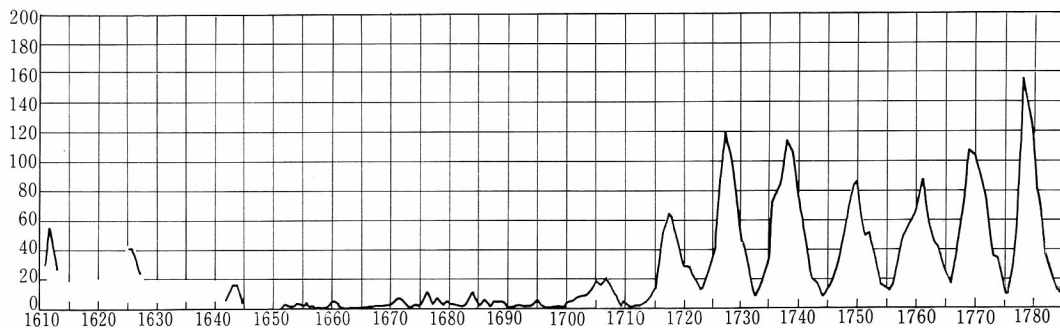
第7図 理研板橋の中性子観測装置。円筒のものが中性子計数管。角型のはポリエチレン板で囲んだもの。中に5 cm厚の鉛円筒。その中に計数管。

なる。炭酸ガス CO_2 の一部となって植物に吸収され固定される。我々は年輪に含まれる ^{14}C を通して当時の宇宙線量を知る。マウンダ極少には明かに宇宙線が多かった。

一方古気候学として気温変化を古くさかのぼってしらべることが近年盛んに行われている。2万年周期の気温変化などもその一例である。マウンダ極少の頃はテムズ川の異常な氷結などの記録も残っているが、科学的にも寒冷期を示す資料がある。

気候の11年変化

より短期の気候変動として気温や雨量等の11年変化がある。当然太陽活動度との関係が云々される。地球は太陽から光と熱を受けている。太陽定数といわれるこのエネルギー流のパーセントの桁の変化は気候に重大な影響をもたらす。気候の11



第8図 太陽黒点年平均値の図。(Eddy による)。

年変化が太陽定数の変化によるとすれば直接的だが、定数の11年変化が検出される精度の測定は未だない。

地球に降り注いでいるものは光や熱のほか、電波やX線、宇宙線、太陽風等である。これらのうち宇宙線はきれいな11年変化をしているものであり、気候の11年変化との関係に関心がもたれている。宇宙線の多くは荷電粒子であり、大気を電離する。10—100 km 付近が多い。電離された気体の場での化学反応はイオン化学の分野である。高層大気内の微量成分である窒素酸化物 NO_x の生成量はイオン密度と正の関係にあるといわれている。 NO_x の存在はオゾン O_3 の破壊につながる。10—100kmのいわゆる中層大気圏はオゾン層を中心としている。オゾンは太陽紫外線をさえぎる。オゾン量の減少は生物学的な影響のほか、地表温度低下につながるといわれる。

以上を総合すると、太陽黒点減、宇宙線増、イオン増、 NO_x 増、オゾン減、気温降下となる。マウンダ極少と合う。しかし化学反応や上層大気と気温には非常に複雑かつ正負両面の効果がからみあっている上、ある変化が次をおこし、又もとに戻えるという非線型の変動を含むので、上記の筋道は必ずしも完成されたものではない。

中層大気国際協同観測

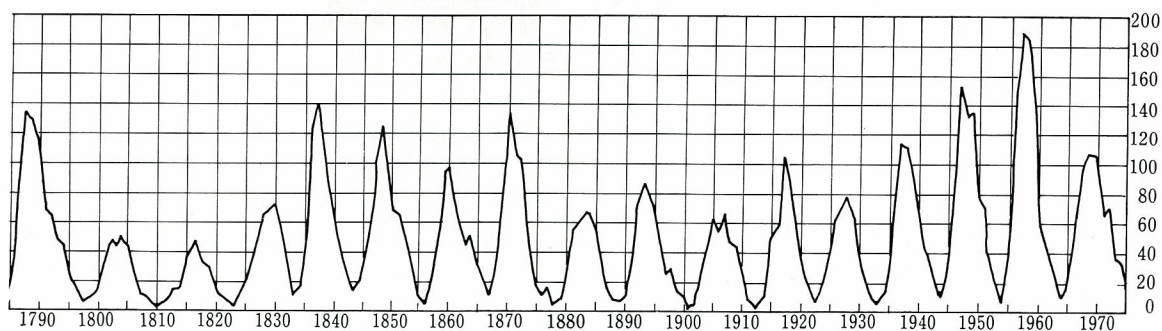
気候変動は自然界の原因のみでなく、人工的な効果も含まれる。人工的なものの危険性がいわれた高空飛行 SST の中止等の例もある。自然界がどう変わっていくかを見ること。何が原因かをつかむこと。そして人が何をなすべきかにまでいくこ

と。これらの資料を得るため国際的な協同観測事業が次々に行われている。

その一つが1982年から85年にかけて中層大気国際協同観測計画 (MAP) である。日本でも学会会議から政府に対し勧告が出され、研究者はすでに準備にはいっている。これにより10—100kmの大気層を太陽地球間物理学的に上層からと、気象学的に下側からみるのと合わせ、総合的な研究をすすめようとしている。この中で宇宙線も一つの働き場をもっている。

太陽は太陽風により銀河宇宙線の侵入をおさえる。地球は磁場や大気により宇宙線のほか、さらに太陽よりのプラズマ、紫外線その他さまざまな強い放射を防いでいる。10億年以上も前から生物はこうして守られつつ育てられてきた。人類の発生はこの歴史の中でせいぜい数百万年である。今こそ人間はこの地球において何を為すべきか問われている。広い視野と科学的な基礎にたつ判断が迫られている。しかしその場しのぎで無い考え方が重要であり、それは地道な研究の中から生まれる。

宇宙線研究室
主任研究員 和田 雅 美



1645—1715年はマウンダ極少。



「エントロピー、
時間、みみずく」

熱力学は昔から苦手である。中でもエントロピーの概念は直観的にとらえがたい。又一方、我々の意識の底にある、持続する非逆行性の時間の感覚も又とらえ難いものである。絶えず流れ続け、存在感と密接に結びついていて、物理的時間とはひどくかけはなれる事が多い。そこでこんな事が頭に浮んだ。もしかしたら我々は、個人という攔閉鎖系の中の、order, disorder に対応するエントロピー増大に敏

感な、何かの意味の感覚を先験的に持っているのではあるまいか、と。「もののあわれ」の感覚とか、ジョイスの文章やブルックナーの音楽の手法もこれと関係があるかもしれない。詩の方ではこういう存在感的な時間をとらえたものは少ないが、大分以前に、それがあざやかにとらえられている、と感じた童謡詩の一篇があった。気に入って曲をつけてそのままになっていたのを最近歌ってもらう機会があった。若谷さんという詩人の作である。その時一緒に書いた8曲の中自分で好きなものの一つで、おとなのための童謡のつもりである。

日本音楽著作権協会
(出)許諾番号第7907100号

「離れ小島のみみずくさん」 若谷和子詩
辻啓一曲

しんみりと

1, 2. はなれこじまのみみずくさん うみみて そらみて

1. つきをみた それからほしを — かぞえてた
2. あさをみた それからほんとにねんねした [~2番のみ]

無機化学研究室
副主任研究員 辻 啓 一