

特集 1**アマチュアでも楽しめるデータ解析天文学**

森 好平（四国天文協会、天体望遠鏡博物館）

1. はじめに

ブラックホールや重力波、はやぶさ2の大成功に火星探査。天文学の幅広い分野での成果が報道され、多くの人が天文に興味を持っていることは、天文教育普及研究会として大変喜ばしいことだと思います。しかし、主体的に天文学にかかわろうとする人の割合は、そんなに多くない気がします。私の中・高校時代には、簡単な機材で撮影した天体写真が天文雑誌に掲載されるなど、比較的容易に天文学にかかわったのですが、今は機材や技術が高度になりすぎて、若い人たちが参入しにくくなっている気がします。処理が簡単なデジカメになり、敷居が低くなったという意見はその通りなのですが、挑戦する目的が見いだせなくなっているのかもしれません。その結果が、天文関係の団体に所属するメンバーの高齢化ではないでしょうか。

天文学に興味を持ち、さらに深くかかわりたいと思った人が取り組める、天体写真に代わる新たな活動分野として、私が行きついたのが公開されているデータの解析です。私がこのようなことを始めた経緯と、その面白さをここに紹介いたします。

2. これまでのデータ解析事例**2.1 最初の取り組み**

私がデータ解析を始めるきっかけとなったのは、国立天文台渡辺潤一先生との対話でした。教職を定年退職し時間を持て余している時、渡辺先生が愛媛総合科学博物館にいらっしゃることを知り、ご一緒させていただきました。ずうずうしく先生の近くに陣取り、いろいろお話を聞かせてもらったのですが、話題の一つに太陽活動と地球の気候の関係が挙

がりました。太陽活動と雲量に相関があるが、空の透明度との関係の研究はないのではないかということでした。それで、ふと思いついたのが、以前、環境庁が主催していた「全国継続星空観測」です。写真によるバックグラウンドの暗さの数値も出ているので、太陽黒点相対数との関係が出てくるのではないか。そう思って解析した結果が図1です。

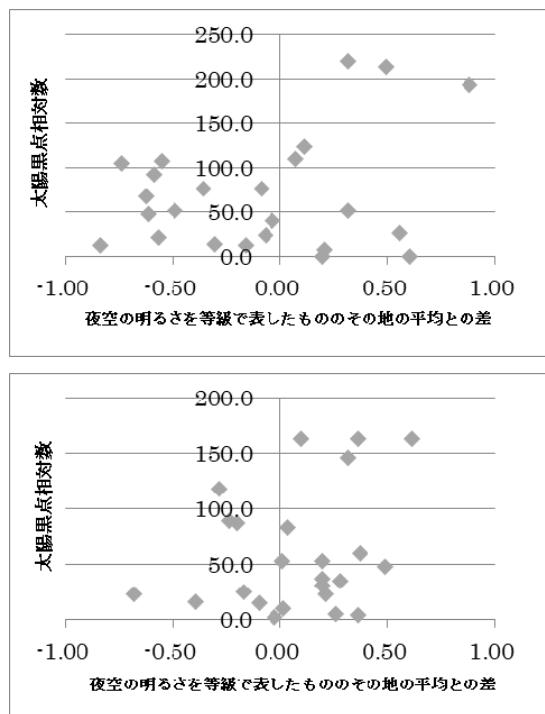


図1 夜空の明るさと太陽黒点相対数の相関

上：夏データ、下：冬データ

使用データ：文献[1]、[2]

相関係数は夏データで 0.288187、冬データで 0.25296 と数値は小さいものの正の相関を示しています。また、太陽黒点相対数が大きいとき夜空は必ず暗く、小さいときは明るい

ときや暗いときがあると見て取れます。これは、水蒸気量のように太陽黒点相対数と独立した要素が、夜空の明るさに影響しているとすると説明できます。

この結果をまたしても図々しく渡辺先生にメールで送ったところ、次のような返信をいただきました。

「論考資料、じっくりと拝読させていただきました。実に面白い点をついております。こうした論考は有意義ですし、今後のさらなる議論につながるものです。

実は、高層大気の透明度に関する太陽活動との研究は、かつてうちの櫻井さんがやっていました。(文献[3]を紹介)」(原文のまま)

このメールに感激したとともに、私がやろうとしたことが間違っていなかつたと自信を持つことができました。これがその後もデータ解析を続けていく原動力となったわけです。

2.2 Be-7 との出会い

教職を定年退職した1年後から、香川県環境保健研究センターで環境放射能水準調査を担当することになりましたが、その測定において、Be-7 の存在を知りました。Be-7 は上層大気の酸素や窒素の原子が銀河宇宙線により分解されてできる自然放射性物質で、降下物や大気浮遊塵の中に多く検出されます。C-14 や Be-10 のように半減期が長い物質は、年代測定や過去の地球の様子の研究に使われますが、Be-7 は半減期が 53.29 日と短く、最近の宇宙線量を反映しているものと思われます。それで、太陽活動の変動が反映しているのではないかと考え、データを解析した結果が図2です。このグラフが描かれた時の衝撃は大きく、データ解析の面白さに気づき、のめり込んでいくことになります。

図2より、負の相関の部分とそれから外れる部分があることが分かります。負の相関は太陽活動が活発になると惑星間磁場が強くな

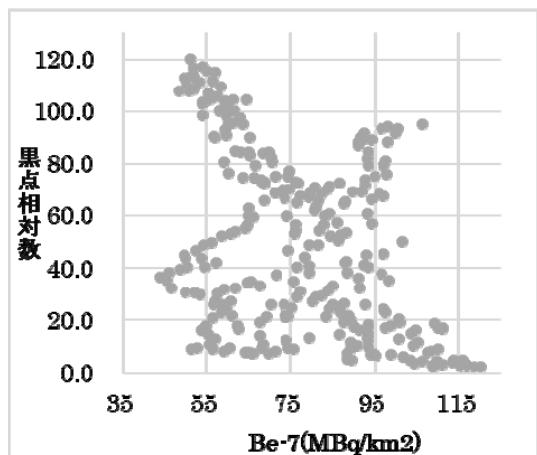


図2 降下物中の Be-7 量と太陽黒点相対数の相関関係（13か月移動平均したデータによる） 使用データ：文献[1]、[4]

り、銀河宇宙線が減少することを表しています。相関から外れる部分は期間が限られており、大規模フレアが連続した時期や太陽磁場の双極構造の崩れた時期に対応しているものもあります。詳しくはネット上に公開している香川県環境保健研究センター所報第 17 号（2018 年）[5]をご覧ください。

このグラフの Be-7 量は香川県高松市での降下物の測定データを使いましたが、地域性が出たのではないかという指摘を受けました。それで、国内 8 か所の降下物の測定データを規格化して解析したところ、大筋で一致する結果を得ることができました。詳しくはネット上に公開している香川県環境保健研究センター所報第 18 号（2019 年）[6]をご覧ください。

2.3 中性子線への発展

地上で測定される Be-7 量は太陽磁場の変化による銀河宇宙線量の変化以外に、地球大気のいろいろな変動の影響を大きく受けます。そのため、いろいろな補正を行ったものの、とても惑星空間磁場の変動をとらえたとは言

えないものです。太陽黒点相対数と地上で測定される Be-7 量の中間にある、銀河宇宙線量と直接関係するデータが欲しいところです。

手元にあったデータでは、モニタリングポストで連続測定している γ 線のうち、放射性物質がほとんど出さない3MeV以上のものを集計したものが銀河宇宙線由来として使用できそうでした。しかし、これは未公開のデータですので、今回のテーマからは外れてしまいます。興味がある方は香川県環境保健研究センター所報第18号(2019年)[7]、香川県環境保健研究センター所報第19号(2020年)[8]をご覧ください。また、私の手に入る γ 線のデータは保存されている期間が短く、大気の影響も大きく受けるため、太陽の研究には適していないようです。(逆に、地球上層大気の変動を探る手掛かりになりそうです。)

それで、ネット上で公開されているデータで適したものがないかと探し、たどり着いたのが地上での中性子線量の観測データです。中性子線は銀河宇宙線と地球上層大気の原子との衝突によって発生しますが、他の原子とあまり反応しないため、そのまま地上まで届いていると考えられます。また、文献[9]に世界各地の測定データがまとめられていて、長期間安定したデータを公開してくれていた、ユングフラウヨッホ(スイス)の測定値を使いました。その解析結果が図3ですが、このグラフが描かれた時も、目が点になってしましました。

図3において、サイクル22ではほぼ一直線となり、黒点相対数の増加がリアルタイムで中性子線量の減少となって表れています。ところが、サイクル21では、反時計回りの円に近い形になり、太陽黒点相対数に遅れて中性子線量が変化しています。これは、黒点を発生させる磁場とフレアやコロナ質量放出(CME)を起こす磁気リコネクションを誘発する磁場は、必ずしも同じ起源ではない

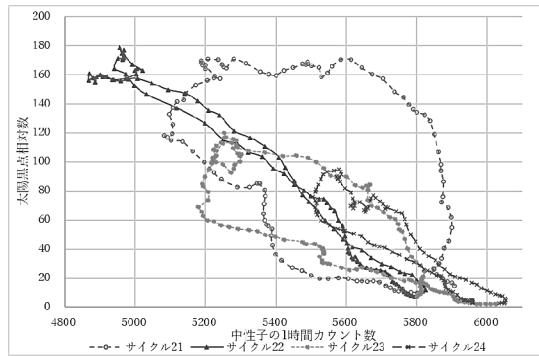


図3 中性子線量と太陽黒点相対数の相関関係(13か月移動平均したものを、太陽活動サイクルごとに時系列に線で結ぶ。)

ことを示唆しているように思えます。そして、この現象が太陽内部の磁場構造解明の手掛かりの1つになるのではないかと、どんどん妄想を膨らませてしまいました。

この結果に、国立天文台太陽観測科学プロジェクト特任専門員 伊集 朝哉 先生が反応してくださいました。香川県環境保健研究センターの所報に太陽黒点相対数のデータを利用させていただいたことを報告するメールに、この結果へのご意見をお聞かせいただきたいと記していたところ、返信メールをいただきました。その中で、フィンランドで観測された中性子線のデータを使っても同様のグラフが描かれたと伝えていただきました。そして、以下のデータを比較したグラフを添付してくださいました。

太陽黒点データ[1]、太陽フレアデータ[10]、地球に到達したコロナ質量放出のデータ[11]、惑星間空間磁場・太陽風データ[12]、フィンランドの宇宙線データ[13]

このグラフでは、ほとんどの期間で太陽黒点相対数と他の測定値は運動しているように見えるのですが、太陽サイクル21の極大期に当たる1980年ごろで中性子線量が減少途中であり、惑星間太陽磁場とフレア数は増加中であることが見て取れました。(CMEのデ

ータは 1986 年以降しかない）つまり、太陽黒点相対数に遅れて他のいくつかの観測値が変化しているわけです。この資料により、私の解析は間違っていたと自信を持つことができました。伊集先生にはこの他にもたくさんのアドバイスをいただき、大変感謝しています。

3. データ解析の面白さ

このように、いくつかのデータ解析を取り組んでみて、意外と面白い結果が出てくるものだと感じました。思いがけないグラフが描かれた時は、明るい火球を目撃した時のように「あ！」と声が出てしました。それが科学的に意味有りそうだと気づいた時は、新彗星を発見したような気分になりました。（オーバーは言い方ではあります）数字とにらめっこして何が面白いと思われがちですが、意外と感動もあるものなのです。

私は皆さんに「観測をやめて解析をやりましょう」と言っているのではありません。最初の取り組みで、全国継続星空観測のデータを使うことを思いついたのは、私がかつてこの観測に参加しデータ送っていたからです。五色台少年自然の家に勤務していたころ太陽観測をしていたから、Be-7 を知ったときにすぐに太陽との関係を解析したいと思い立ったのです。星が好きでいろいろな天文現象を観測してきたが、個人でできることに限界を感じながら、それでも天文学から離れたくない感じている人に、こんな面白い研究もできますよと、提案させていただきます。

4. 今後の発展と課題

4.1 太陽活動周期解明への寄与

現在は人工衛星などからの精密な観測により、太陽活動についての理解が急速に深まり、コロナ加熱問題などは解明に迫っているように思います。ところが、約 22 年の太陽活動

周期（極の反転も含め）についての研究は、あまり進展が見られないようと思われます。これは、精密観測が行われるようになってまだ 1 太陽周期ほどしかデータの蓄積がないからではないでしょうか。地上で観測される中性子線量のデータをもとに、2 太陽周期の変動についての資料（図 3）を提示できましたが、地上での別の観測データにはもっと長期間のものもありそうです。私が最もおもしろそうだと思っているのが、地磁気異常です。100 年以上のデータがあり、太陽風や惑星間太陽磁場の影響を受けていることが分かっています。太陽・地球の L1 ポイント（地球より 150 万 km 太陽に近い位置）を回っている観測機の太陽風や惑星間磁場のデータと、地磁気異常のデータを比較することにより、関連性を抽出できれば、観測機のデータを 100 年前まで延長できることになります。これにより、太陽周期の解明に寄与できるのではないかと妄想しています。

4.2 太陽活動域の経度シフト解析

私が五色台少年自然の家に勤務していたころ、自分で太陽黒点を観測したデータをもとに、図 4 のグラフを得ました。図 4 は太陽活動の極小期に近い時期に、観測された太陽黒点の経度をプロットしたものです。黒点は消滅しても活動領域としては継続しており、同じような経度にまた黒点が出現することが分かります。さらに、その領域が徐々にずれている（図中破線）ことから、黒点活動のもとになるものの深さが推測されるのではないかと考えています。自分の観測データだけでは短い期間しか解析できませんが、公開されているデータを使うと、太陽の内部の活動域の変動も見えてくるのではないかと妄想しています。

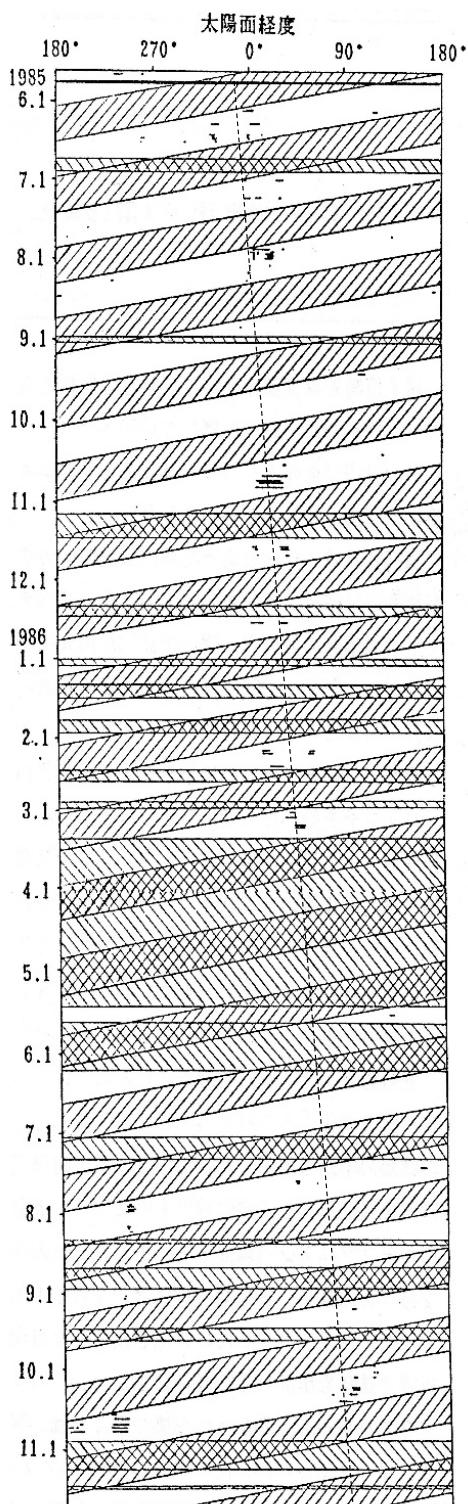


図4 活動領域の経度変化[14]

4.3 今後の課題

ここで紹介した太陽に関するもの以外にもたくさんのデータが公開されています。人數が限られたプロの研究者だけでは手が回りきらず、うずもれてしまっている貴重なデータがたくさんあることでしょう。先人の努力の積み上げである貴重な遺産をアマチュアの手で生かすことができたら、こんな素晴らしいことはないと思います。

最近は数値データばかりでなく、画像データもたくさん公開されています。写真処理の高い技術を持ったアマチュアもたくさんおられますので、その技術を生かすと研究者が見落とした新発見ができるかもしれません。

また、「最初の取り組み」で紹介した夜空の明るさは、全国のアマチュアが長年撮りためた写真データを出し合うことで、立派な研究に発展することも期待できます。

このように、アマチュアでも楽しめそうなテーマがたくさんありますので、興味を持って取り組む方が現れることを期待しています。

しかし、このような研究を個人的にやっていると、勝手な解釈で間違った方向に進んでしまいそうです。多方面の方々から、アドバイスやダメ出しなどのご意見をいただくことが必要です。特にその分野の専門の方々には、お忙しいところお手を煩わせることとなり申し訳ないのですが、アマチュアの研究活動にご援助いただけないでしょうか。今後とも、プロとアマの良好な関係が築けていけますようよろしくお願ひいたします。

文 献

- [1] 国立天文台太陽観測科学プロジェクト三鷹太陽地上観測
<https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/database.html>
- [2] 全国星空継続観察観測結果
<http://www.env.go.jp/kids/star.html>

- [3] Sakurai, T.; Irie, M.; Imai, H.; Miyazaki, H.; Sykora, J. (1999) , ‘Emission line intensities of the solar corona and sky brightness at Norikura: 1950-1997 ’ Publications of the National Astronomical Observatory of Japan, Vol.5, No. 3, p. 121 – 137
- [4] 環境放射線データベース
<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/data/database/>
- [5] 森好平 (2018) 「大気降下物中に含まれる Be-7 の長期変動の解析」, 香川県環境保健研究センター所報, 17 号, 51-56 頁
<https://www.pref.kagawa.lg.jp/kanpoken/syoho/syoho.html>
- [6] 森好平 (2019) 「大気降下物中に含まれる Be-7 の長期変動の解析(第 2 報)」, 香川県環境保健研究センター所報, 18 号, 45-53 頁
- [7] 森好平 (2019) 「モニタリングポストでの空間放射線スペクトルデータの活用」, 香川県環境保健研究センター所報, 18 号, 54-64 頁
- [8] 森好平 (2020) 「大気降下物中に含まれる Be-7 の長期変動の解析（第 3 報）」, 香川県環境保健研究センター所報, 19 号, 52-29 頁
- [9] World Data Center for Cosmic Ray
<http://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/WDCCR/>
- [10] NOAA National Center for Environmental Information
<https://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar/solarflares.html>
- [11] List of Richardson/Cane ICMEs Since January 1996
<http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/DATA/level3/icmetable2.html>
- [12] OMNIweb Plus
<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/index.html>
- [13] Oulu Cosmic Ray Station
<http://cosmicrays.oulu.fi/>
- [14] 森好平 (1987) 「太陽黒点の経度分布」, 四国天文協会 アストロピア, No.5

森 好平

* * * *