

## 投稿

## 黒点は巨大都市か？

## ～トライやる生徒による太陽観察～

鳴沢真也（兵庫県立大学西はりま天文台）

## 1. 「トライやる」とは？

兵庫県の中学2年生は5日間ですが、様々な職種の施設・事業所に「出勤」して現実の職業を体験します。これがトライやる・ウィークという活動です（以下、トライやる）。「トライ」は、もちろん try からのネーミングなのですが、トライアングルもかけています。つまりこの活動は学校、家庭、地域の連携で行う、というものです。詳細は[1]をご参照ください。

そもそもトライやるは、1995年の阪神淡路大震災、そしてあの痛ましい1997年の神戸児童連続殺傷事件（酒鬼薔薇聖斗事件）を機に、生徒を社会に出して学習させるという趣旨で1998年にスタートしました。最近では他県でも類似した活動がみられるようです。

筆者の職場であり佐用町大撫山頂にある西はりま天文台（当時は兵庫県労働部の管轄）でも初年度から希望があれば積極的に生徒を受け入れていきました。最初の年は、お互いに何をどこまでするのかわからず、また活動は昼間に限られていましたので、とりあえず宿泊者向けの小型ドーム内の清掃などをさせていました。2年目からは夜間の活動も認められて、観望会での接客の補助などもしてもらいました。この時期の活動は21時に終了したのですが、そこからタクシーと電車を使い継ぎ、最後は田舎道を自転車で遠方の自宅まで帰宅していった生徒もいました。過去における活動内容などについては、[2][3][4]などを参考にしてください。

## 2. トライやるでの太陽観察

当天文台は2012年から兵庫県立大学に移

管され、主な活動は社会教育から研究へと様変わりしました。その後に筆者がトライやるの担当になったのですが、上述の事情を踏まえ、活動内容も雑務や社会教育の手伝いから、主として研究体験に変えました。また、昨今の社会事情を配慮して、数年前からは活動時間も昼間のみとしました。

昼間の研究というと自然な成り行きで太陽観察になります。そこで過去2年は、白色光（D80 mm, f400 mm + f12.4 mm の接眼鏡）とH $\alpha$ （D60 mm, f500 mm + f15 mm の接眼鏡）による直視観察をし、スケッチを毎日してもらうことがメインの活動となりました（図1、2）。

活動期間は、5月下旬～6月上旬（以下春）と11月中旬頃（以下秋）で、原則的には春に佐用町立中学（4校あり）、秋に当大学附属中学と広域事務組合立播磨高原東中学（両校とも播磨科学高原都市内）の生徒を受け入れています。それぞれの期間に平均数名の「同僚」が「勤務」に来ます（天文台は山の上にありますので、通勤はタクシーまたは保護者によ



図1 太陽観察の様子。もちろん減光フィルターつき。

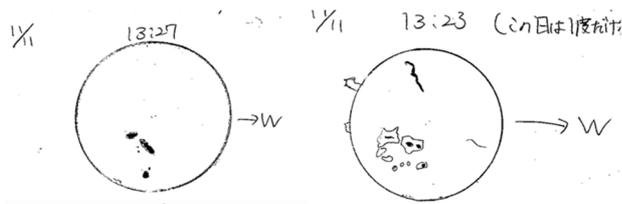


図 2 生徒によるスケッチの 1 例。左は白色光。右は  $H\alpha$ 。どちらも鏡像。生徒のスケッチをコピーしてさらにスキャンしたもの。

る送迎です)。

初日は天文台の概要紹介、施設案内、職員への挨拶回りなどから始まります。社会人体験ですので、挨拶、名刺の受け取り方なども指導します。太陽観察の他にも(時間的な都合や天気がよければ)60 cm 望遠鏡による昼間の星の観察もしてもらいます。また逆に悪天候の場合は、観望会などの案内ポスターの作成や、地球外知的生命へのメッセージの考案などをします。

### 3. 黒点、学校では教わるのか?

読み進めていただく前に、学校では黒点などはどこまで教えるか紹介しておきます。

中学では天文分野は 3 年生で学びます。ですからトライやる参加生徒は、基本的には太陽についての知識は小学生レベルのはずです。特に天文に深い知識を持った生徒が来たことはこれまでにありませんでした。

参考までに、学習指導要領[5]には、学習の例として「天体望遠鏡で太陽表面の黒点の観察を数日行い、それらの観察記録や写真、映像などの資料を基に、太陽表面の特徴を理解させる。その際に、黒点の形状や動きなどの様子から、太陽は球形で自転していることを見出して理解させることが考えられる」とあります。

また例えば「太陽表面は約  $6000^{\circ}\text{C}$  で、黒点はそれより  $1500\sim 2000^{\circ}\text{C}$  ほど低く、そのため黒く見えている」と記載する教科書もあり

ます[6]。

このため、ただ黒点をスケッチしただけでは、学校でやることと変わりありません。大学附属の天文台に来たからには豆科学者になって欲しいです。そこで自ら考えて、さらにそれを検証するにはどうしたらよいかを考えてもらうことにしました。

この指導ポリシーは、同僚だった故森 淳君の小学生を対象とした実習の影響も受けています。彼が執筆した文章もぜひご一読ください[7]。

### 4. トライやる生徒の考える黒点

実際の観察後に、なぜ黒点は移動するのか? またそもそも黒点の正体は何か? スケッチを参考に考えてもらうと、まだ頭の柔らかい中学生らは、とてもユニークなアイデアを提案します。またなぜそう考えたのか? それを確かめるにはどうすれば良いか? こういった点も彼らなりに奇抜なことを考え出します。筆者も思いもよらなかった発想が飛び出すので、それを読者の皆様にご披露することが本稿の主目的です。

#### 3.1 黒点はなぜ移動するのか?

2021 年秋(参加 2 校のうち 1 校はコロナ感染対策の方針で活動がわずか 3 日間でした)は、前もって筆者が黒点の正体について、外層でのプラズマ対流、磁力線、表面温度と光度の関連なども含めて概要を説明しておきました。観察は 3 日連続ででき、生徒らは黒点が移動することを知りました。ではなぜ移動するのかについて考察させたところ、生徒 A と B は、以下のような仮説を提唱しました。

- 1 太陽が自転しているから。
- 2 地球が公転しているから(観察した角度が変化した)。
- 3 移動したのではなく、黒点が 1 度消えて、



図3 モデル（本文参照）を使っでの考察

偶然同じような黒点が発生した。

- 4 太陽の自転軸の向きが変わった。
- 5 対流で黒点が生じた。
- 6 観察した場所が違うから（赤道儀を設置した場所が日によって違った）。

いきなり1番の仮説が出てきてしまったのですが、ひとまず仮説2を検証させることにしました。おおよその黒点移動量を見積もるため（太陽の自転軸は視線に対して直交しているなど仮定して）、ボールに日毎の黒点の位置をマークさせ（生徒はこれをモデルと呼びました）、これを極方向から観察・スケッチさせました（図3）。

これから1日分の移動量として、彼らの出した数値は約 $18^\circ$ /日でした。また地球の公転の1日分の角度も計算させたところ、上記の数値より $1/6$ 程度となるため、2番の説は消えました。

続いては仮説6の検証です。赤道儀を設置した場所は日によって最大で2mほど違いました。一方で、筆者の方から太陽-地球間の距離を教えたところ、生徒らは仮説6はありえないと考えました。

残りの仮説の検証はなかなか難しいので（観察の3日目に、新たな黒点が出現していたので、特に仮説3は可能性として残りました）、ここで太陽の自転周期を教えることにしました。彼らがモデルを使って自転周期を求



図4 黒点の正体はなんだろう？議論中の様子。

めた数値は、真の自転周期より15日ほど長くなっています。そこで、このズレはどうして生じたのか考えてもらいました。出てきた仮説は以下の3つです。

- 1 モデルの作成時に誤差が生まれた。
- 2 黒点は自転によっては移動していない。
- 3 黒点は緯度方向にも移動している。

仮説2は表面上の何らかの流れに乗っているということでしょう。この2番や3番が出たのは、意外なことでなかなか良かったのですが、残念ながら考察の時間は日程的にここでリミットとなりました。

### 3.2 黒点はチリか？ クレーターか？

2022年は、黒点の正体を教えないでスケッチをさせました。それを参考に黒点とは何か考えてみよう、というわけです（図4）。春の参加生徒が出した仮説は以下です。仮説1~3は主に生徒Cが、仮説4は生徒Dによる提唱です。途中で生徒から太陽の表面温度を質問されたので、それは筆者が教えました。

- 1 極端に温度差（冷たいか、逆に暑い）がある部分
- 2 チリの集まり

### 3 隕石が衝突した場所

#### 4 太陽人が建設した巨大都市

続いて、これらの説を検証するには、どうしたらよいか、考えてもらいました。

仮説 1 の検証：「太陽表面上での温度差がわかる望遠鏡があればいい。」

おそらくサーモグラフをイメージしたと思われるのですが、「これを作るには莫大な費用が必要なことは否めません」とのコメントも出しました。

仮説 2 の検証：「密度を測定する。」

太陽全体と黒点部の密度の測定ということでしょうか。実際に生徒 C は太陽の体積は算出できましたが、質量の求め方でストップでした。「6 千度でも耐えられる探査機で黒点部のサンプルリターンをすればいい（という趣旨）」が結論となりました。

仮説 3 の検証：「長時間観察する。」

「太陽表面は 6 千度なので隕石は溶けるかもしれない。でも、耐えられる隕石もあるかもしれない。」との意見が出ました。

### 3.3 黒点は巨大都市か？

さて、仮説 4 ですが、これは想定外のアイデアで、筆者も驚き半分、嬉しさ半分だったので、これはある程度時間をさいて考察を続けさせました。

スケッチから大きさを見積もると地球の約 2 倍の大きさとわかり、この時点でレポートに「太陽人の文明はととても発達していると考えられます」と書いてありました。

次に筆者が「太陽人が存在するかどうかはどうやったらわかるか？」と質問したところ、地球外知的生命へのメッセージ考案の後だったこともあり、生徒 E が、「太陽に電波を送信してみる」と提案しました。そこで太陽間の距離と光速度を教えて計算させると、地球の各種の電波はすでに太陽に到達しているこ

とを理解しました。「ではなぜ返事が来ないのか？」と問うと、「太陽人が住んでないか、バリアがあるからです」との返答でした。初日の考察はここまでです。

2 日後に観察をすると、生徒らは黒点が増えていることに気がつきました。この日の生徒 D のレポートは以下です（太陽の年齢はやはり質問されたので、筆者が教えました）。

「2 日で都市を大量に作れるすごい技術を持っていると考えます。太陽は 46 億歳なので、このペースで増えていくと太陽全体が黒点だらけになってしまうと思います。それはないので、使わなくなった都市は溶かして消していると思います。」

都市かどうかについての最終的なまとめとして、以下が書いてありました。

「今はわからないのが結論です。未来では高性能な探査機で調べてほしいです！！」

ただし、この生徒 D も、活動が始まって数日目ほどからは、太陽の表面温度などから考えて、おそらく大都市の可能性はかなり低いと気がついていた様子でした。

### 3.4 黒点はタコのスミ？ 低気圧？

2022 年秋は、1 人だけの参加でした。しかもコロナ感染対策でこの学校も生徒の参加は 3 日間だけとしていました。ところが、やって来た F はなかなかユニークな生徒でした。

まず、初日の観察をした後の、黒点の正体として、彼は以下を提唱しました。

- 1 穴
- 2 イカやタコのような生き物によるスミ
- 3 (自然界の) スミ
- 4 低気圧のようなもの
- 5 未確認生物
- 6 UFO

2日目の観察で、黒点の移動を知った生徒Fは、仮説1をまず削除しました。穴なら移動しないという理由からですが、高分解能の望遠鏡でウィルソン効果（注釈1）が観察できればもっと議論が進んだのにと筆者は内心残念でした。質問されたので、表面温度とそれゆえ水が存在しないことを教えた仮説2も削除しました。レポートには「タコ焼きになってしまう」との記載がありました。

3日目に観察すると、昨日観察した黒点が3つに分裂していました。すると、生徒Fは仮説6も消去しました。理由を尋ねると、「UFOは分裂しないから」だそうです。そこで筆者は、「ウルトラホーク1号のように分裂するかもしれないよ」（注釈2）、と言おうと思ったのですが、タイミングを逃してしまいました。

こうして残った3つの仮説ですが、筆者がどうすれば確かめられるかと質問する前に、生徒Fは自発的に3番と5番を消してしまいました。訳を尋ねると、「消去法です」との答えでした。現代っ子らしいやり方ですが、結局黒点の正体は、4番の「低気圧のようなもの」という結論となりました。逆にH $\alpha$ で観測したプラージュは「高気圧と類似の現象」と考えたようです。

#### 4. H $\alpha$ での観察による考察

##### 4.1 プロミネンスは太陽を覆う膜

春も秋もどの生徒にもH $\alpha$ でも観察してもらっているのですが、生徒Fが観察した時は、幸運なことに20のプロミネンスが出現していました。ダークフィラメントも数本が、そしてプラージュも認められました。そこでFには、これらの正体についても考察させる時間を特に設けました。

するとFは、プロミネンスというのは太陽全体を覆う膜と考えました。コロナのイメージでしょうか。日によって形状などが変化す

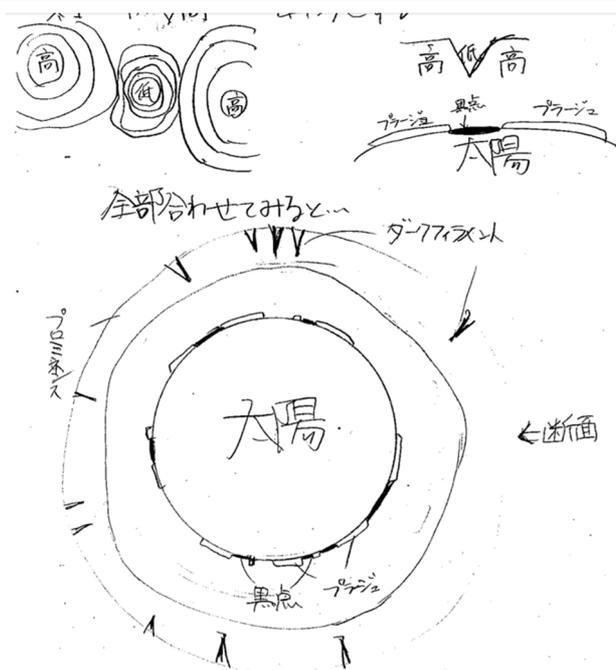


図5 生徒Fが考えた太陽表面

るので、理由はともかく、何か動きがあるとも考えました。Fが考える、太陽表面の様子を図5です。

##### 4.2 プロミネンスと昼間の星の見え方には相関がある？

実は、生徒Fが筆者を驚かせたのは、ここからなのです。晴天の場合は、60cm望遠鏡で昼間に見える星の観察もしたのですが、Fは「プロミネンスの数と星の見え方に関係があると思う」と言い出したのです。「プロミネンスの数が多い時は太陽の光が増幅されて、星は暗く、ぼやける」というのが彼の推論です。なるほど、それもいい案なのでレポートに書くように言いますと、星の明るさと、ぼやけ度（つまりシーイングのことになりますが）も、筆者が何も言わなくても数値化することをやってみせ（図6の左側）、自発的に図6に示した表を作成したのです。

さらにこの表から「(例外はあるが)プロミネンスの数と星の見え方は反比例の関係にある」とまとめてみせました。「反比例」という

① プロミネンスの数がどのくらい星は暗くぼやけて見える  
プロミネンスが太陽の光を増幅し、星が見えてくる

	一日昼	二日目昼	一日夕	二日目夕
プロミネンス	1	3	1	4
ベガ	2	4	2	1
アルデバラン	2	4	2	1

② プロミネンスの数をぼやけた

	一日昼	二日目昼	一日夕	二日目夕
プロミネンス	1	3	1	4
ベガ	3	5	4	1
アルデバラン	3	5	4	1

図 6 プロミネンスと星の見え方のまとめ。生徒 F が自発的に作った表。

言葉もレポートの原文のままです。最後に、「気温についても関係がありそうなので、いつか検証したい。そしてプロミネンスが太陽の光を増幅させていることを検証したい」と書いて活動を終わりました。

### 5. 研究発表会

トライやるの最終日（5 日目）は、生徒らの研究発表会です（活動が 3 日間だけの生徒は準備する時間がとれないのでこれは略しています）。天文台の職員と大学生・院生、教諭、保護者、新聞記者が聴講者です。1 人ずつの発表が終わると、主に職員や大学生・院生らが質問やコメントをします。それでも、彼らはどうどうと発表しますし、予期してなかった質問などにも自分なりに考えをひねり出して答えています。これも社会に出るための一つのトレーニングになっていることでしょう。

こうして全ての活動が終了すると、ここでちょっとしたサプライズがあります。彼らに「ジュニア研究員認定証」が手渡されるのです（図 7）。これは活動が 3 日間だけの生徒ももらうことができます。

### 6. 活動をふりかえって

認定書をもらうと、彼らは天文台を「退職」



図 7 ジュニア研究員認定証

するわけですが、2022 年春の生徒らは、帰宅前に「結局、黒点の正体は何なのですか？」と筆者につめよりました。そこで、概要を説明したのですが、全員が狐につままれたような無言の状態でした。「そんなこと中学生に分かるわけないでしょ。」と内心思っていたのかもしれないかもしれません。一方で、2022 年秋の F 君は、特に質問することもなかったので黒点の正体は知らないまま、それでも活動に満足した様子で帰宅していきました。

繰り返しになりますが、筆者が彼らに学んで欲しいことは、実際に観察し、疑問は自分で考え、解決するということです。ただ、限られた機材、時間で黒点の正体を中学生が解明することは確かに無理です。このため、いつも筆者が迷うことは、何をどこまで教えるのか、教えないのか、という点です。彼らが考えを巡らせている時に、つい口を挟みたくくなります。夏休みの自由研究を、自分がしてしまう親の気持ちがよくわかります。

ちなみに、これまで観察中に半暗部に気がついた生徒は一人もいません。これについては、彼らが一通り観察を終えた後で、筆者が半暗部もスケッチしてそれを教えてやり、再

び観察させています。

さてトライやるを終えて半月ほどしたら、生徒 C から手紙が来ました。そこには以下の文がありました。

「何よりも私の心の中に残っているのは、「0から自分達で考えること」の大切さです。以前の私なら、目の前に不思議が立ちただかると、1番の近道で答えまでいっていました。ですが、これを機に「自分で考える」ことをまなべたので、これからの生活や授業にいかしていきます。」

そう言ってもらえると、「嗚呼、理解してくれたか」、「指導して良かった」と感じる訳ですが、とにかく大人にも想像ができないような彼らの斬新な発想を聞けることが、この活動を担当している者の醍醐味なのかもしれません。来年度からは担当が外れるかもしれませんが、また機会があれば筆者も生徒らと共に学んでゆきたいと思っています。

注釈 1) ウィルソン効果：リム付近では半暗部のうち太陽中心側がリム側のそれより狭く見える現象。暗部が凹んでいることによる(例えば[8]など)。

注釈 2) ウルトラホーク 1号：「ウルトラセブン」に登場する架空の団体ウルトラ警備隊が使用している戦闘機。3つのパーツに分離しても飛行・戦闘が可能(例えば[9])。

## 謝 辞

トライやるの受け入れは、当天文台の正式な事業の一つです。毎回協力してくれる職場の同僚にこの場を借りてお礼します。

また本稿執筆の過程において、ウルトラホーク 1号についての情報は坂元 誠さんから得ました。感謝申し上げます。

## 文 献

[1] 地域に学ぶ中学生・体験活動週間「トライやる・ウィーク」(文部科学省のサイト)

[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/career/05010502/026/007/001/006.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/career/05010502/026/007/001/006.htm)

[2] 坂元 誠 (2002) 『西はりま天文台でのトライやる・ウィーク』, 第 16 回天文教育普及研究会年会集録, p.21

[3] 坂元 誠 (2006) 『西はりま天文台でのトライやる・ウィーク』, 第 11 回全国の天体観察施設の会集録, p.41

[4] 佐藤友美 他 (2010) 『「トライやるウィーク」と兵庫県立西はりま天文台公園の取り組み』, 日本天文学会 2010 年秋季年会 Y07b

[5] 文部科学省学習指導要領中学理科編  
[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387018\\_005.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387018_005.pdf)

[6] 中学 3 年理科教科書 (啓林館)

[7] 森 淳 (2005) 『ディープ・インパクトに学ぶ』, 西はりま天文台月刊誌宇宙 NOW, No.185 (2005 年 8 月号), p.4

<http://www.nhao.jp/public/now/docs/now185.pdf>

[8] 桜井隆, 小島正宜, 小杉健郎, 柴田一成 (2018) 『シリーズ現代の天文学 10 太陽 (第 2 版)』, 日本評論社, p.179

[9] 「ウルトラセブン」第 7 話『宇宙囚人 303』



鳴沢 真也