

太陽黒点とフレアの謎を追え！

兵庫県立三田祥雲館高等学校 天文部

2年 溝口智貴、田中暁、中田篤志、中村俊介、
廣野河世、森内翔太

1年 渡邊歩、木寅沙也果、古家後はるか、
小山息吹、中井まりあ、森本一成

1. 動機及び目的

私たちは天文部の活動として日常的に太陽黒点スケッチと一眼レフカメラの撮像を行っている。毎日継続していると太陽黒点が誕生し、成長を続け、その大きさを増し、やがて消滅を迎える黒点の一生を目にする機会が何度かあった。そこで、昨年度は黒点の面積と寿命の関係について研究を行ってきた。その結果、寿命の長い黒点は大きな面積を持つことがわかった。また黒点は磁力線が太陽表面を貫く領域であるので、エネルギーの大きな黒点は大きな面積をもつこともわかった。

太陽の表面では時折、爆発的なエネルギーの放出現象であるフレアが観測される。今年度は、今までの研究を発展させるため、フレアを生み出す黒点について詳しく調べることにした。フレアは磁気嵐による停電等を引き起こし、私たちの生活に多大な悪影響を及ぼすことがある。フレアの発生メカニズムを明らかにすることは太陽物理学の立場だけでなく、われわれ人間の日常生活に必要なことである。

太陽黒点は良く知られたチューリッヒ分類の他に、磁気タイプに着目したウィルソン山天文台分類がある。どのタイプがフレアを発生させるか、おおよその見当はついてはいるが、詳しい統計的な調査はまだ成されていない。この研究の最終目的は、統計的にフレア発生の様子を考察し、フレアの発生を予測する根拠を発見することにある。

2. データ収集

2-1 太陽観測衛星 Solar Dynamics Observatory (SDO) より

2010年5月～8月、

2010年10月～12月、

2011年2月～2012年11月、

2013年1月～2015年10月、

2015年12月～2016年6月

NOAA 番号、出現・消失日時、寿命(日)、及び緯度・経度

2-2 アメリカ海洋大気庁 (NOAA)

SDO のデータと同じ期間のフレア強度のデータベースを収集した。

データ収集は、年代が新しいものから始めている。

α タイプ 単極性黒点群
 β タイプ 双極性黒点群
 γ タイプ 複極性黒点群
 δ タイプ 密集複極性黒点群

(表1) ウィルソン山天文台分類

本論文のグラフでは α タイプをA、 β タイプをB、 γ タイプをG、 δ タイプをDと表現している。

本論文の執筆時点ではサイクル24の大部分のデータを整理している。現在継続的に他のサイクルのデータも収集している。

3. 解析

データ収集した778個のデータを整理し、各黒点群のタイプ、面積、寿命、フレア指数(FI)を求めた。太陽黒点は磁気特性から表1のように大きく4タイプに分類される。さらに、実際の極性状態に応じ、複数のタイプにまたがって分類されることが多い。一般に黒点は誕生してから成長を続け面積を増し、やがて面積が縮小し続け消滅する。すなわち刻々とその姿を変えていくが、その中で最も成長した段階で各黒点群のタイプを決定した。

フレアはそのエネルギーによってA～Xの5クラスに分類され、エネルギーの強度は順に

$$A < B < C < M < X$$

であり、1クラス違うと10倍違う。一つの黒点群が誕生から消滅までの間に発生させたフレアの強度を合計し、黒点群のフレア指数が計算される。すなわちフレア指数は、その黒点群から放出されたエネルギーの大きさを示す。

SDOのデータベースには各黒点群から発生されたフレアのクラスと強度が時系列で記録されている。一つの黒点群について誕生から消滅するまで、発生したフレアのクラスと強度を読み取り、次の

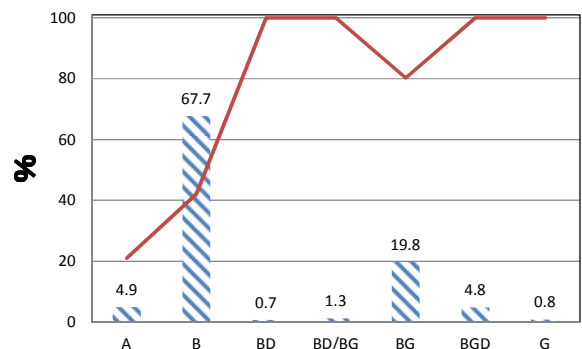


図1 タイプ別出現率とフレア発生率

棒グラフが黒点の出現率を示す。すなわち全黒点に占める各タイプの割合。折れ線グラフはフレアの発生率を示す。グラフから β δ 、 $\beta\gamma$ 及び $\beta\gamma\delta$ タイプの黒点は出現率は低いが出現すると100%フレアを発生させている。

①式によってフレア指数を計算した

$$FI = \sum B \times 0.1 + \sum C + \sum M \times 10 + \sum X \times 100 \quad \dots \textcircled{1}$$

ただし、B, C, M, X はそれぞれのクラス内での強度を表す。

これらの計算は表計算ソフトを用いて行った。

4. 結果

タイプ別の出現率とフレア発生率をまとめたものが、図1である。このグラフが示すようにβタイプの出現が最も多い。しかしフレア発生率を見るとβタイプではフレアは約40%しか発生していない。逆にβδ、βγ、βγδ、及びγでは発生率は1%前後だが100%フレアを発生させていることがわかる。また図2に求めた黒点の面積とフレア指数の分布を示した。全く相関なく分布するタイプもあるが、β及びβδγタイプの黒点は存在領域が偏っている傾向がある。

5. 考察

太陽黒点は約11年のサイクルで増減を繰り返す。現在はサイクル24と呼ばれる活動時期の途中である。図2及び先行研究を合わせフレアを発生させるのはβγ、βδ、βγδタイプの黒点群である可能性が高いことがわかった。これらのタイプの黒点があるときにフレアが発生する可能性が高い。

そこで、発生時期の予想をするために、各タイプの黒点群が太陽活動サイクルの中で、いつ発生しているかを分析してみた。その結果が図3である。

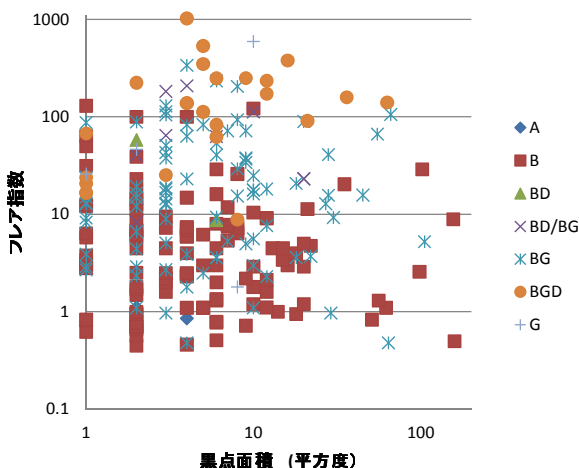


図2 面積とフレア指数の相関

タイプ別に黒点面積とフレア指数の分布をまとめた。この相関図からβタイプは面積が大きくてもフレア指数100を超えない。またβγδタイプのものは面積が小さくてもフレア指数100を超えることが多い。すなわち大規模フレアの出現予報にはβγδの出現に着目すれば良い。

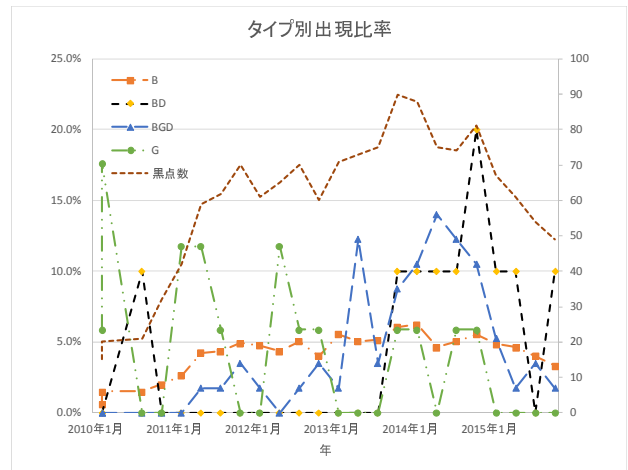


図3 各タイプの出現時期

黒点数の増減がサイクルの活動度を表す。サイクル24は2014年頃に活動のピークを迎え、現在衰退の途中である。βγδ（青い点線）の変化を見るとピーク及びその直後に多く出現している。

βタイプの黒点はサイクル全体を通じ出現している傾向がある。βγδについてはサイクルの活動と同期して出現している傾向にあり、特に活動ピーク時およびその直後に多く出現しているように見える。すなわちピークを迎えた時期には大規模フレアが発生しやすいと言える。

図よりβδタイプについてはサイクルの後半に偏って出現している傾向がある。

6. まとめと課題

現時点での考察から、フレア発生予測のためには、特にβγδタイプの黒点が出現したときに注意すれば良いことがわかった。しかし、この結論はサイクル24のデータを基に導き出したものであり、一般的な結論とするにはさらに多くのデータから考察を重ねる必要がある。

現在、他のサイクルについてもデータ収集と解析を進めており、また他のタイプにも注目しながらより正確な結論を発表する予定である。

謝辞

京都大学理学部附属花山天文台 北井礼三郎先生には研究全般にわたり、有益なご指導を賜りました。心より感謝申し上げます。

参考文献及びURL

- 1) 天文ガイド 2010年8月～2015年12月号, 誠文堂新光社
- 2) アメリカ海洋大気庁 (NOAA) National Centers for Environmental Information <http://www.ngdc.noaa.gov/>
- 3) 国立天文台編 理科年表 2016, 丸善(2016)

兵庫県南部のカルデラの北限とマグマ活動

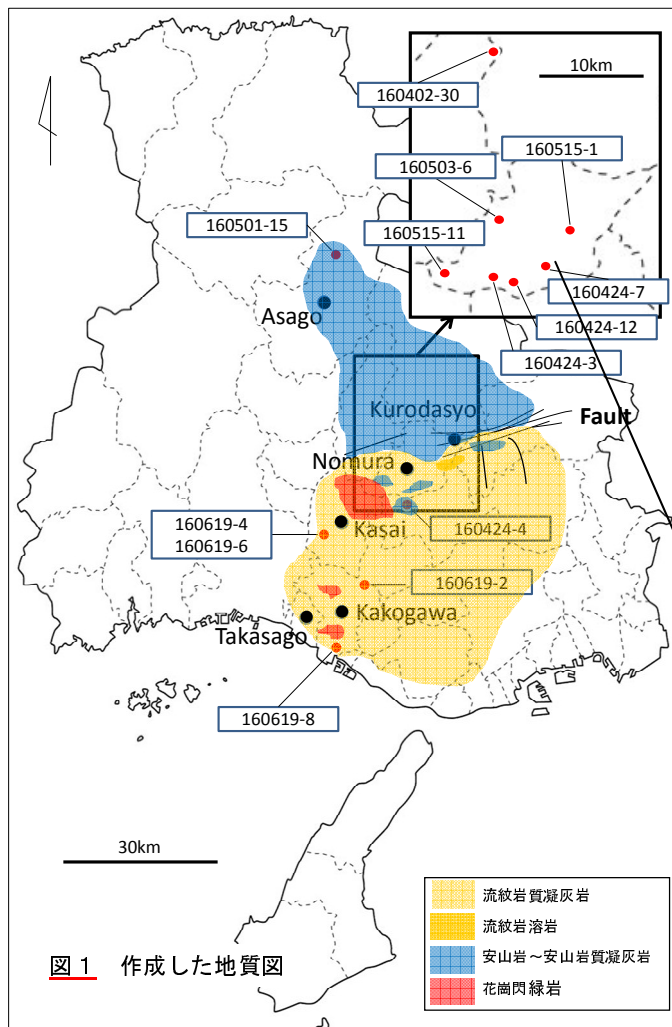
兵庫県立西脇高等学校 地学部

2年：石井紗智・戸田亮河・田中朱音・村上智

1年：神崎直哉・岸本大輝・津田晟俊・福田俊介・藤原宏馬・村上凱星・笹倉瑠那・藤原丈瑠・吉田葵

1. はじめに

本校周辺を流れる1級河川である加古川は、これまで毎年のように氾濫を起こしてきており、現在治水工事が急ピッチで進められている。兵庫県立西脇高等学校地学部は、水害の原因のひとつが岩石の分布にあると考えて、平成26年以降継続的に、主に流紋岩質凝灰岩に着目した研究をおこない、形成過程のモデル化を図った¹⁾。しかしこの段階でも、①小室ほか²⁾は、さらに北西部の宍粟市波賀町引原地域がカルデラ北限であるとし、兵庫県立加古川東高等学校地学部³⁾はより南の加古川市と加西市の境にあるとするなど、カルデラの北限の位置についてさまざまな異なる見解がある

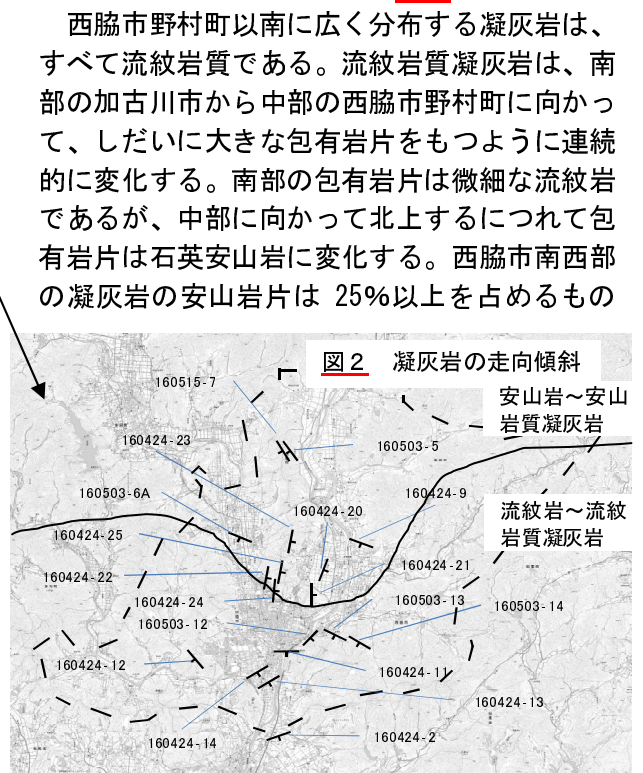


こと (Yamamoto⁴⁾ は白亜紀後期に、兵庫県中部を北限とする巨大なカルデラまたはカルデラ群が存在し、その後、古第三紀前半に兵庫県北部に火成活動の場が移動したとしている)、②カルデラ形成後の具体的なマグマ活動が明らかでないこと、などの残された課題があった。そこで本年度は、地質調査を再度実施して、カルデラの北限が西脇市黒田庄町にある明確な証拠を得るとともに、流紋岩質凝灰岩に加えて、これまで詳細に扱ってこなかった安山岩にも着目して、カルデラ形成後のマグマ活動を考察することにした。加古川はこのカルデラ上を流れていることを明らかにしたうえで、加古川の氾濫の原因と考えられるどのようなマグマ活動が起こったのかを考察したい。

2. 露頭調査と岩石試料の記載

南の加古川市から西脇市をこえて朝来市北部まで、10日間にわたって詳細な露頭調査をおこない、新たに103個の岩石試料を採取した。西脇市野村町と黒田庄町の町境には、多可町から黒田庄町を経て丹南町まで、複数の断層が並行して東西にのびており、この断層群からは、南北方向にも複数の断層が生じている(図1)。この断層群を境にして、西脇市野村町以南は流紋岩質凝灰岩～流紋岩であるが、西脇市黒田庄町以北では安山岩質凝灰岩や安山岩となる。西脇市野村町の断層付近には多くの小規模な安山岩の貫入がみられる。断層群北側の凝灰岩層の走向は概ね南北方向だが、断層南側の西脇市野村町では、凝灰岩層の走向が概ね東西方向である(図2)。

西脇市野村町以南に広く分布する凝灰岩は、すべて流紋岩質である。流紋岩質凝灰岩は、南部の加古川市から中部の西脇市野村町に向かって、しだいに大きな包有岩片をもつように連続的に変化する。南部の包有岩片は微細な流紋岩であるが、中部に向かって北上するにつれて包有岩片は石英安山岩に変化する。西脇市南西部の凝灰岩の安山岩片は25%以上を占めるもの

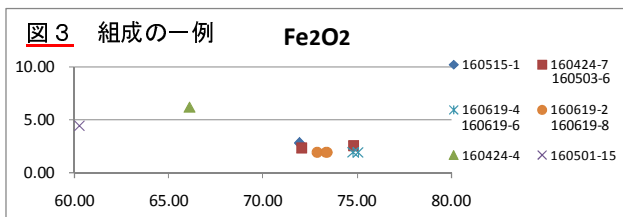


がある。いずれも基質の流紋岩質凝灰岩部分の鉱物組織は加古川市の流紋岩質凝灰岩と同一である。朝来市の安山岩（試料 160501-15）は南に 40° 程度に傾斜した流理構造をもつ。一方、加東市の凝灰岩に貫入する安山岩（試料 160424-4）には水平方向の流理構造が発達している。南部の加古川市付近に小さく島状に点在する花崗岩類（主に花崗閃緑岩）は、北部の西脇市野村町明楽寺付近（試料 160515-11）では大きな露頭として出現する。

3. 岩石試料の化学組成

各地から得た凝灰岩の全岩化学組成の分析に加え、大きな安山岩片を含む流紋岩質凝灰岩（試料 160424-7・160503-6）から安山岩片の部分を取り除き、基質の凝灰岩部分の全岩化学組成を分析した。分析はブルーカー社の水平学氏に依頼した。

西脇市野村町や黒田庄町の大きな岩片を含む凝灰岩（試料 160424-7・160503-6）の基質部分の化学組成は、加古川市（試料 160619-2・160619-8）や加西市（試料 160619-4・160619-6）の凝灰岩の全岩化学組成とよく類似しており、岩石記載と矛盾しない（[図 3](#)）。



4. 考察

西脇市野村町と黒田庄町の間東西方向にカルデラの北限があることを示した。ただし、兵庫県立西脇高等学校地学部¹⁾や小室ほか²⁾、Yamamoto⁴⁾が指摘するように、このカルデラが、82~65Maの1~20kmの大きさの複数のカルデラ群によって構成されている可能性がある。

カルデラ内に広く分布する凝灰岩の岩相や包有岩片、走向傾斜から、西脇市が南部の加古川市に対して相対的に隆起して削剥され、カルデラの深部付近が露出した場所であることがわかる。

兵庫県南部~中部のカルデラ内で噴火によって堆積した流紋岩質凝灰岩は同時期のものではと考えられる。流紋岩質凝灰岩に包有される安山岩片は、カルデラ底に分布していた安山岩が流紋岩質マグマの噴火によって破碎されて凝灰岩に取り込まれたものと考えられる。この安山岩は現在では露頭として確認することができない。

異なる安山岩マグマの上昇活動は少なくとも3度あった。流紋岩質凝灰岩が安山岩片を含むためには、現在露頭では確認できないカルデラ底の安

山岩がすでに固結していなければならない。その後の噴火で堆積した流紋岩質凝灰岩に貫入した安山岩は、この安山岩よりずっと後の貫入である。兵庫県北部のカルデラの外で上昇した安山岩は、固結の際に形成される流理構造が南に 40° 傾斜しているが、加東市の安山岩の流理構造は水平である。これは、前者の安山岩の固結後（後者の固結前）に、地層が南に傾いたことを示している。Yamamoto⁴⁾は、西脇市南部の形成時代は白亜紀後期、兵庫県北部は古第三紀に形成されたとしており、本研究はこれに矛盾しない。

カルデラ北部にあたる西脇市付近が侵食されてカルデラ底が露出した後、カルデラ内の凝灰岩に複数の小規模な硬質の安山岩マグマが貫入した。加古川の流は部分的に急激に曲げられることになり、洪水の原因となっていると考えられる。

5. さいごに（今後の課題）

今回の研究では、カルデラの北限の位置とカルデラ底でおこったマグマ活動を考察した。現在は、カルデラの外側（北側）のマグマ活動について検討をおこなっている。北側のマグマ活動は玄武岩質であり、カルデラ内のものとはまったく異なっている。

引用文献

- 1) 兵庫県立西脇高等学校地学部（2015）兵庫県中部~南部の白亜紀後期の基盤岩の形成過程（第2報）（日刊工業新聞社未来の科学者との対話 14, 38-75）
- 2) 小室裕明・亀井淳志・大平寛人・三好未希子・田結庄良昭・引原団体研究グループ（2014）兵庫県宍粟市引原に分布する火山岩類および深成岩類の放射年代（地球科学 68, 81-88）
- 3) 兵庫県立加古川東高等学校地学部（2015）凝灰岩の性質の相違によるカルデラ湖形成の推定（日刊工業新聞社未来の科学者との対話 14, 100-114）
- 4) Yamamoto, T. (2003) Lithofacies and eruption ages of Late Cretaceous caldera volcanoes in the Himeji-Yamasaiki district, southwest Japan: Implications for ancient large-scale felsic arc volcanism (The Island Arc, 12, 294-309)

謝辞

本研究では、上田誠也東京大学名誉教授や金沢謙一神奈川大学教授に有益な助言をいただいた。本校地学部顧問の川勝和哉先生には、有意義な指摘を得た。ここに記して謝意を表する。

夜空の明るさに対する光害対策効果の推定

兵庫県立龍野高等学校自然科学部天文班

2年 中村篤志 谷口紗彩

1. はじめに

光害とは町の街灯や住宅から漏れた過剰な明かりが大気中の浮遊物質によって乱反射、散乱して様々な悪影響のことを指す。都市部では夜空が明るくなることによって肉眼で星を見ることが出来ない。そこで「伝統的セタライトダウン」という取り組みが行われている。これは旧暦セタの日に毎年行われているイベントでこの日だけは明かりを消して星を見えるというものだ。参加を呼びかける際、何か指標があった方が一般の人には分かりやすい。そこで「何個の街灯に光害対策を施すと、どれくらい夜空は暗くなるのか」という指標の作成に取り組んだ。

2. 模擬街灯実験

実験は室内で行い、周辺からの光の侵入と反射を抑えるために暗室を作成した。(図2)街灯を模擬した白熱電球に覆いをかぶせた時、覆いをかぶせていない時の垂直方向への光の漏れを比較して、対策によってどれくらいの効果を得られるかを調べた。



図1. 模擬街灯

街灯を模擬した白熱電球に水槽をかぶせた。カメラは上向きに固定して測定した。



図2. 作成した暗室

3. 順序

- ① 模擬した街灯に覆いをかぶせた時、覆いがない時の値の変化を調べる。
- ② ポグソンの式に調べた値を代入して等級の変化量を求める。

使用器具：デジタル一眼レフカメラ
(Canon EOS60D)

カメラ設定 ISO 800, 焦点距離 35 mm,
シャッター速度 30s

4. 実験結果

	平均カウント値
対策あり	1308.14
対策なし	1925.64

↑明るさは67.4%に

ポグソンの変形式

$$\Delta m = -2.5 \log(L_{\text{後}}/L_{\text{前}})$$

Δm ・・・等級の変化量 logは常用対数

$L_{\text{前}}$ ・・・光害対策前の夜空の明るさ

$L_{\text{後}}$ ・・・対策後の夜空の明るさ

ポグソンの変形式に代入

「対策あり」は「対策なし」の67.4% $\cong 7/10$

$L_{\text{前}} = \chi$, $L_{\text{後}} = (7/10)\chi$ と置くと $\Delta m = 0.39$

対策前→対策後 等級が0.39増える

5. 考察 I

満天の星空が望める西はりま天文台気は約21.0等級、佐用町の市街地は約20.5等級である

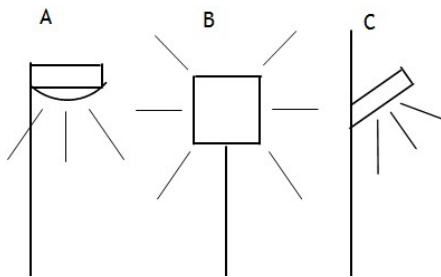
(SQM スカイクウォリティーメーターによる観測結果より) 佐用町のすべての街灯に覆いをかぶせた場合、佐用町でも西はりま天文台と同等の星空が望めると推測される。

6. モデル化

何個の街灯を消すと、どのくらい光害対策の効果があるのかモデル化を試みた。モデル化を行う範囲は龍野高校の近くにある水田を中心に半径756mの円内にある街灯を対象とした

- ① 街灯を3種類に分類してそれぞれの上方向へ漏れる光の量(上方光束)を求めた

街灯を3種類に分類

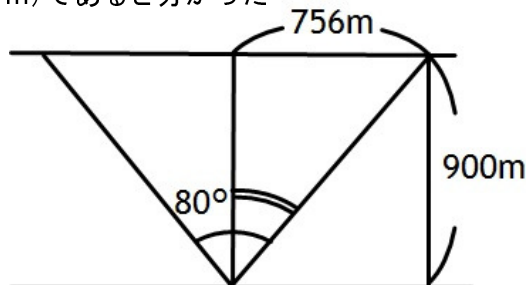


街灯 A タイプ : 1318 <lm>

街灯 B タイプ : 6217.2 <lm>

街灯 C タイプ : 72149.55 <lm>

- ② 夜空の高さを900mと設定して三角比より夜空の単位面積は半径756mの円(1794623.04 m²)であると分かった



基準点から半径756mの円内に

街灯 A タイプ : 10+12=22 個、

街灯 B タイプ : 18 個、街灯 C タイプ : 165 個が存在した。

- ③ 星空単位面積に到達する全上方光束は、
(タイプ別の街灯一つ当たり上方光束) × (そのタイプの街灯の個数) の和
で求められる。

よって到来する全光束は 131764.75 <lm>

これを星空の単位面積 1794623.04 <m²> で割ったものが、星空での照度 0.07342 <lx> である。

7. 実験結果

下記の式に求めた照度を代入すると、-11.17等級となった。しかしこの結果は明らかに誤っているため、このモデルのどこかに不備があることが判明した。

照度を等級に変換する式

$$\chi = -2.5(5 + 2\log 2 + \log E)$$

x: 等級 E: 照度 log は常用対数

8. 考察 II

今回のモデル化では大気中の光の散乱や減光について考慮していなかった点、夜空の高さの設定が不十分であることが問題点として挙げられる。

9. 今後の課題・展望

模擬街灯実験では半径756mの範囲の街路灯の個数を計測したが、さらに計測範囲を広げていきたい。モデル化では大気中の光の透過率を求めて、補正を行うことでより精度の高い値を出していきたい。また街路灯の光がアスファルトによってどのくらい反射しているかということも測定し、このモデル化に加えていきたいと思う。

10. 謝辞

研究の助言・機材の貸し出しをいただきました愛知県立一宮高校地学部顧問の高村先生に感謝します。

11. 参考文献

『夜空の明るさ2013』 東筑紫学園高等学校
『道路照明灯からみる光害』 浜松北高校

地域連携による神戸層群の化石調査

兵庫県立東灘高等学校 自然科学部

3年 川上恭輝, 長谷川弓寿暉

播磨可織, 小林奈央

1年 杉浦紫帆, 佐藤萌, 安達俊矩, 岡崎日那

常塚真維, 相良美羽, 藤田真衣

寛座陸大, 野口勇翔

1. 動機及び目的

神戸層群は三田市から神戸市西部, 淡路島北部に広がり, 植物化石や貝化石が見つかる代表的な地層¹⁾ともいえる。神戸市内には土地開発にともない神戸層群が露出している箇所が複数存在している。私たちは, 神戸層群の地質学的な理解, 及び地域連携による神戸層群の活用に興味を持った。

本研究では, 神戸層群に注目し, 地質調査を基に堆積時の環境を推測することを目的としている。また, 神戸層群と堆積物中に含まれる化石について今後どのような活用法があるのかを地域連携によって検討するのも本研究の目的の一つである。その目的を達成するため, これまで化石を活用したイベントを企画, 提案し, 開催したので報告する。

2. 方法

(1) 地質調査について

これまで神戸市内の15か所以上の露頭を確認したが, その中でも化石が出る5か所の露頭について表1にまとめた。

表1 化石が出土した露頭のまとめ

地点	標高	地質、色	出土した化石	化石の色	化石が出る層の地面からの高さ	地質の特徴
A	224.9m	凝灰岩(白灰色)	バラ、マツ、トクサ、木炭	茶色	1m	白灰色の母岩に0.1mm未満の斑点(棕色)がある
B	191.1m	凝灰岩(灰色)、砂岩(灰色)	クヌギ、フウ、アベマキ、亜炭	茶色がかった黒色	5m	*色や出土の仕方が他と異なる。本文に記載する。
C	169.3m	凝灰岩(白色)	未同定	白みがかった茶色	1m	白色の母岩に0.1mm未満の斑点(黒色)がある
D	185.4m	凝灰岩(白色)	トクサの地下茎	茶色	0.5m	白色の母岩に0.1mm未満の斑点(紫色、棕色、黄色)がある
E	202.7m	凝灰岩(白色)、砂岩(茶色~白色)	未同定	灰色がかった茶色	1m	凝灰岩と砂岩の境界付近から化石が出土する

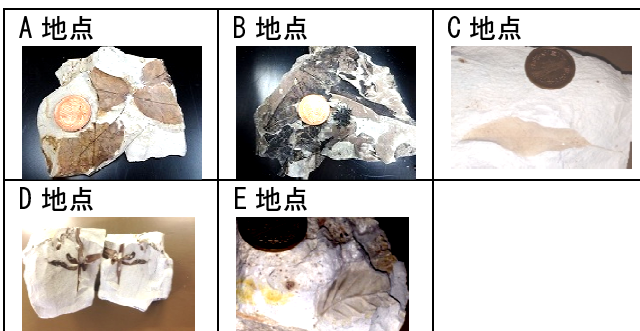


図1 各露頭から出土した化石の写真

*B地点の様子は他と異なる点がある。B地点の母岩は灰色で, 化石は他の地点と比べて色が濃く黒に近い。また, 他は葉の化石が1枚ずつ出土す

ることが多いが, B地点では多数の葉の化石が重なった状態で出土することがある。化石の同定は参考文献¹⁾²⁾³⁾と照らしながら行った。色は目視により確認した。標高は国土交通省 国土地理院「標高がわかるWeb地図」⁴⁾を用いて計測した。

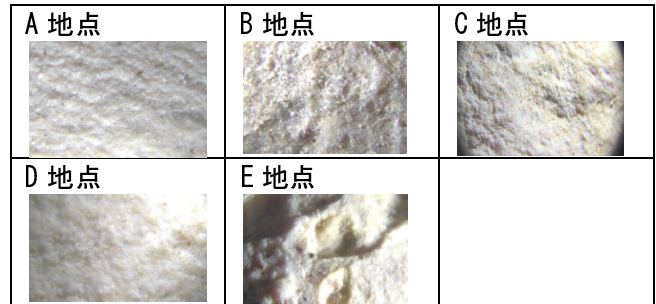


図2 各露頭の石を顕微鏡を用いて撮影(倍率60倍)

肉眼で灰色に見えたB地点の母岩には, 顕微鏡で見たところ白色の凝灰岩に黒色の小さな斑点が多数確認できた。同様の黒色の斑点は他の地点にも確認できた。

木炭について, A地点では化石が出る層の上方約0.5mのところから大きさ2cm以上の木炭が多数出土した。また, A地点の近くの露頭(化石は出ていない)からも同様の木炭が出土した。他の地点からは2cm以上の木炭は出土していない。

(2) 地域連携, 地域貢献について

2015年度の末頃に, 活動に協力いただいている方々と今後の神戸層群の植物化石の活用法について話し合いを重ね「化石を通じた様々な世代間の交流, 神戸層群という地域の魅力の発信」を合言葉に継続的に活動を行うこととなった。これまで私たちが関わったイベントを以下にまとめる。

表2 自然科学部が関わったイベントのまとめ

年月	開催場所	イベント名	出演者	来場者	体験者	共同開催
2016年1月	国営明石海峡公園神戸地区 あいな里山公園	あいな里山と んど焼き2016	神戸層群の化石展示 と自然遊び~動物の 化石展示や, おもしろ 葉っぱ遊びもあるよ!	220人以上	50人以上	神戸の植物化石を考える会
2016年5月	国営明石海峡公園 神戸地区 あいな里山公園	オープニング フェスタ	神戸層群の化石展示 と化石掘り体験	150人以上	30人以上	1ブース出展 (単独)
2016年8月	神戸市立須磨離宮公園	第15回 須磨の 植物化石展	第15回 須磨の植物 化石展	50人以上	20人以上	神戸の植物化石 を考える会の イベントへ参加
2016年8月	国営明石海峡公園 神戸地区 あいな里山公園	化石少年集 会! 神戸の植 物化石展	化石掘り体験と葉っ ぱは染めのエコバッグづく り	80人以上	80人以上	主催: あいな里 山公園 企画運営: 自然 科学部

いずれのイベントも, 来場者は家族連れが多く体験者は小学生を中心に幼稚園児から70代まで, 幅広い年代層であった。

化石掘り体験では, 植物化石の破片を石膏の中に埋め込み, 体験者に削って化石を取り出してもらう方法を考案した。体験者の安全に配慮するため, 五寸



図3 化石掘り体験セット

釘を加工したタガネに廃棄予定であった柔道マットの切れ端を加工して取り付け、道具の使い方に慣れていない体験者でも安全に行える工夫を施した。

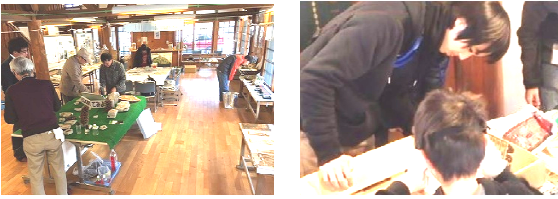


図4 あいな里山とんど焼き 2016 での化石展示と化石掘り体験の様子



図5 オープニングフェスタでの化石展示と化石掘り体験の様子

「第15回 須磨の植物化石展」では、8月7日に来客者の対応などを行った。



図6 須磨離宮公園にて

「化石掘り体験と葉っぱ染めのエコバッグづくり」は事前予約の段階でほぼ満員の状況であった。この時の様子が朝日新聞⁵⁾に掲載され、化石展示の状況が神戸新聞⁶⁾に掲載された。



図7 化石掘り体験とエコバッグ作り



図8 朝日新聞 9月18日⁵⁾



図9 神戸新聞 8月17日⁶⁾

3. 結果と考察

(1) 地質調査について

今回調査した各地点について、堆積時の環境を以下のように推測することができる。同定した植物が現生では温帯～亜熱帯の植物であるため、当時は温暖な気候であったと考えられる。B地点から何層にも重なった葉の化石が出ることから、B地点は湖や海や河川などの水の底であった可能性が高い。A地点からは2cm以上の木炭が出土することから、A地点では森林火災があった可能性がある。

(2) 地域連携、地域貢献について

神戸層群に関わる活動を始めてから1年ほど経過し、各種イベントに参加していただいた地域の方は500人以上になった。協力していただいている方々が少しずつ増え、20代～80代の方々から多くのことを学ぶことができた。私たちは、協力いただいている方々との信頼関係を築きつつあると感じている。今後も協力関係を継続し、様々な機会を通じて神戸層群の魅力を発信していきたい。

4. 反省と課題

(1) 未調査の露頭がまだ数多くあるので、計画的に調査を行う必要がある。凝灰岩を形成する大量の火山灰の由来について今のところ不明である。一説には、当時陸続きであった中国大陸から飛来した⁷⁾とあるが、はっきりとした証拠が見つかっていない。今後はこの点についても解明したいと考えている。

(2) 今後の方向性を検討し、協力していただいている方々と共有する時期に来ていると感じている。また、年度を跨いで継続するためには協力していただいている方が異動したとしても、問題なく実施できる仕組みづくりが急務である。

謝辞

あいな里山公園での活動を全面的にバックアップして下さった高橋真理子氏、山本哲氏、神戸の植物化石を考える会の高岡得太郎氏、山本順一氏、岩本昌三氏、地質調査の方法をご教授いただいた神戸大学の佐藤鋭一氏、校外活動全般に協力して下さった明石高校の中江涼教諭、舞子高校の山田ゆい教諭、本校OBの福井孝尚氏、本校の松本誠司教諭、石戸奈穂子教諭、小池康明教諭、森下洋平講師、化石調査の用具購入等に助成していただいている公益財団法人中谷医工計測技術振興財団の皆様、そして、イベントに参加して下さった参加者の皆様、心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 神戸市教育委員会著、神戸層群の化石を掘る、神戸市(1987)
- 2) 高岡得太郎著、散歩道で出会う身近な樹木たち、神戸新聞総合出版センター(2008)
- 3) 堀治三朗著、神戸層群産植物化石、日本地学研究会(1976)
- 4) 国土交通省、“地理院地図 電子国土Web”, <http://saigai.gsi.go.jp/2012demwork/checkheight/index.html>(閲覧2016年9月21日)
- 5) 朝日新聞 神戸版 9月18日発行
- 6) 神戸新聞 8月17日発行
- 7) 新修神戸市史編集委員会著、新修神戸市史 歴史編I 自然・考古、神戸市

海外製ペットボトルは紀伊水道を通ったのか

兵庫県立神戸商業高等学校 理科学研究部
1年 本山将也, 森光春平
顧問 石川正樹

1. 動機及び目的

昨年度の発表で明石海峡西舞子海岸には海外からの漂流物が流れ着くことを報告した。そして、海外製のペットボトルは瀬戸内海を西から流れ着くのではなく、黒潮に乗り紀伊水道を通ると推定した。それは、日本海側で多くを占めた韓国製ペットボトルが対馬海流に乗り関門海峡を通るならば、瀬戸内海は西に行くほど韓国製の比率が高まるはずが、伊予灘、播磨灘では見つからず、八重山諸島、白浜、大磯で見つかったからである。しかし、その他の海外製ペットボトルは本当に紀伊水道を通ったのか、次の2つの点で疑問が残った。

- ・瀬戸内海の海水の90%は1.4年後には入れ替わっている（海洋気象学会 1983）。瀬戸内海には豊後水道から紀伊水道に向かう通過流がある（海洋気象学会 1983）。つまり、海外製ペットボトルが瀬戸内海を通過して、西舞子に漂着した可能性。
- ・大阪湾に来る外国船の乗組員が誤って海に捨てた可能性。

本研究では、昨年までのデータを踏まえつつ、それらを明らかにすることを目的とした。

2. 方法

昨年までと同様、西舞子海岸において月1回の調査を行った。西舞子海岸に流れ着くまでの漂流ルート推定するデータを得るため、大分県の別府湾、豊後水道において、漂着ペットボトルの調査を行った。ペットボトルに記載された生産地と賞味期限の日付および製造工場のデータを記録した。そしてバーコードと使用されている文字から生産国を調べた。海流などの論文を調べ、調査結果と比較して、西舞子へ流れ着いた海外製品が紀伊水道を通ったことの妥当性を調べた。また、日本の港に入港する外国船のうち、大阪湾、播磨灘・燧灘、伊予灘に入港した隻数を比較し、外国船から誤って捨てられた可能性を検討した。

3. 結果と考察

①漂着ペットボトル調査

瀬戸内海を中心とした15地点で収集したペットボトルの生産国を図1に示す。瀬戸内海の大坂湾側（赤の囲み）、伊予灘（緑の囲み）、紀伊水道、豊後水道の出口（黄色の囲み）では、すべての地点で海外製ペットボトルが見つかった。一方、播磨灘側（青の囲み）ではほとんど見つからなかった。



図1 漂着ペットボトルの調査場所と結果

瀬戸内海の海水が外洋水と入れ替わるのに、2/3が豊後水道、1/3が紀伊水道、そして関門海峡はわずか1.5%しか寄与しない（海洋気象学会 1983）。従って、関門海峡からの海外製ペットボトルの流入はほとんどない。一方、瀬戸内海は通過流に数多の瀬戸内海流入河川が流れ込む巨大な汽水域ともいえる。瀬戸内海西部に進入した海外製品が大阪湾にたどりつくまでには、瀬戸内海中央部で国産ペットボトルの流入があり、その濃度は薄まるはずだ。しかし、西舞子ではそこに含まれる海外製品の割合とマレーシア・韓国を含むという特徴から、むしろ白浜や大磯と共通である。つまり紀伊水道を通ると考えた方が自然である。

②ペットボトルの漂流期間

2013年9月~2014年8月、2014年9月~2015年8月、2015年9月~2016年8月の間に西舞子に漂着したペットボトルに記載された賞味期限の西暦年だけをデータとして用いてグラフを作成した（図2）。その結果、それぞれ調査期間の終わりの年にピークを示した。ペットボトル飲料の賞味期限が製造後半年から1年程度とすると、近年捨てられたものがほとんどであるとわかった。

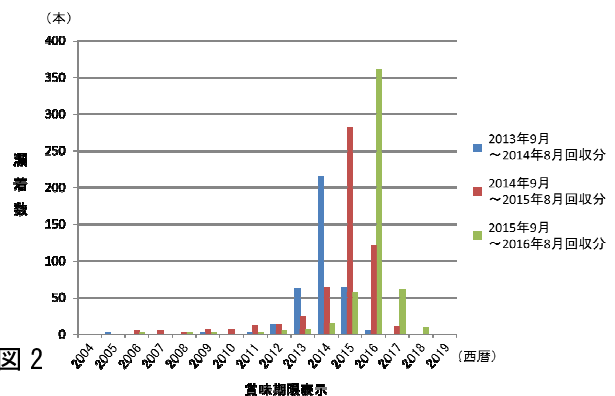


図2 賞味期限別表示

瀬戸内海の海洋ゴミの53%は外洋へ流出する（藤枝ら 2010）。瀬戸内海のペットボトルは海水の入れ替えにともない外洋に流出し急速にその数を減らすと思われる。

③国内産ペットボトルの製造工場

国内の各所に工場を持っている大手飲料メーカーC社のペットボトル3銘柄を用いて、製造工場を調べた。西舞子で熊本工場を示すMKUものが、九州でも兵庫県明石工場を示すWAKの記号のものが、漂着していた。一部のペットボトルは、瀬戸内海の複雑な海流によって東向きだけでなく、西向きにも移動している可能性がある。

④西舞子に漂着するペットボトルの季節変動

2013年9月～2016年8月までの3年間の月ごとのペットボトルの漂着数とそこに含まれる海外製品の割合を図3に示す。海外製品の割合は、夏（7月から9月）と冬（12月と2月）に多く、春と秋は少ない傾向が見られた。

西舞子への月ごとのペットボトル漂着数
2013年9月～2016年8月の合計

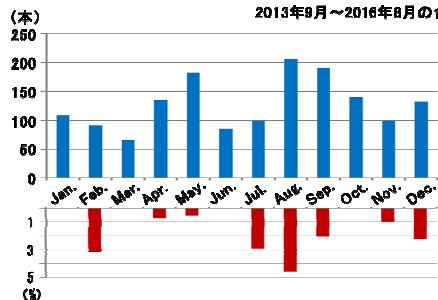


図3 海外製品が含まれる割合

夏の増加については、梅雨前線の北上に伴って南からの風が強まり北向きの海流ができ、大阪湾に流れ込むのだと思われる。事実、2016年8月には外洋性のフジツボの仲間であるエボシガイは付着した台湾製ペットボトルが西舞子に漂着し、2014年7月には西舞子近くで暖かい海に生息するゴマモンガラの子魚が採集されている(石川 2015)。これらは、紀伊水道を通り流れ着いたと考えられる。一方、冬に増加する点については、豊後水道を通過した海外製品が半年かけて瀬戸内海を東進して漂着したとも考えられるが、よくわからない。

⑤日本の港に入港する外国船の隻数の比較

平成27年度に日本の港に入港した外国船は102,720隻であった(神戸税関貿易統計)。そのうち、大阪湾の港(大阪、神戸など)は14525隻、播磨・燧灘(福山、新居浜など)には10423隻、伊予灘(宇部、松山など)には14347隻であった。外国船から誤って捨てられた可能性が、外国船の来港数に比例すると仮定すると、播磨灘、燧灘で海外製ペットボトルが少ないとは考えにくい。

次に、大阪湾にはどれぐらいのペットボトルが漂流しているのか推定した。2012年日本全国で1年間の196億本のペットボトルが製造された(日経エコロジー2015年5月号)。2012年はそのうち9.5%が回収されていない(ペットボトルリサイクル推進協議会HP)。大阪湾に面している、もしくは

は河川が流入している県の人口を合わせた日本の総人口の11%(京都、奈良、1/2の人口で試算、兵庫県は神戸淡路阪神地区の人口で試算)(総務省統計局HP、兵庫県HP)が消費し、仮に回収されなかったペットボトルの10%が河川などを通して大阪湾に流れ込んだとすると、その数はおよそ2000万本となる。大阪湾周辺に漂着した海外製ペットボトルは全体のおよそ3%で、そこから計算すると大阪湾には年間60万本の海外製ペットボトルが漂流していることになる。大阪湾沿岸の港には平成27年度14500隻の外国船が来港したので、1隻あたり41本のペットボトルを海に捨てたことになる。廃棄物の海洋投棄は国際法によって禁止されている(1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約)ので、一部には外国船から誤って捨てられることがあっても、ほとんどは海流で運ばれたと考えた方がよいだろう。

4. 反省と課題

西舞子に漂着した海外製ペットボトルは紀伊水道を通ったと考えるのが妥当である。瀬戸内海各所には、一定方向への流れ(恒流)が存在する(柳、樋口 1979)。また、エスチュアリー循環流と呼ばれる塩分の水平分布を背景とした汽水域特有の循環流により備讃瀬戸を中心に東西方向へ表層水が移動も存在する(海洋気象学会 1983)。瀬戸内海の海流は複雑であり、すべての海外製品が瀬戸内海の通過流により西舞子にたどり着くと考えるのは難しい。しかし、冬場の海外製ペットボトル漂着数の増加、大分でも明石工場製のペットボトルが漂着していたことから、瀬戸内海の複雑な海流に乗り漂流物が行き来している可能性も否定できない。今後、調査地点と調査時期を増やし、継続して調査していく必要がある。

引用文献

- 1) 海洋気象学会(1983)「瀬戸内海の気象と海象」海洋気象学会, 神戸
- 2) 藤枝繁, 星加章, 橋本英資, 佐々倉諭, 清水孝則, 奥村誠崇(2010)瀬戸内海における海洋ごみの収支, 沿岸域 学会誌, 22(4), 17-29.
- 3) 石川正樹(2015)兵庫県初記録のゴマモンガラ, 兵庫生物, 15(1), 8-9
- 4) 神戸税関貿易統計 全国順位表データ 入港隻数 平成27年度
- 5) 日経エコロジー2015年5月号 「技術フロンティア 環境配慮型ペットボトル 「最軽量」 巡り0.1g競う 再生技術で商品アピール」
- 6) 総務省統計局 第2表 都道府県, 総人口, 日本人人口(平成26年10月1日現在)
- 7) 兵庫県ホームページ 平成28年9月人口推計
- 8) 柳哲雄, 樋口明生(1979)瀬戸内海の恒流, 沿岸海洋研究ノート, 16(2), 123-127.