

神戸層群の地質調査と化石の同定
～地域連携，地域貢献に繋がる活動～

兵庫県立東灘高等学校 自然科学部

2年 佐藤 萌，安達俊矩，常塚真維，岡崎日那
相良美羽，藤田真衣，寛座陸大，野口勇翔
1年 池田善彦，太田達実，有井七海，武田明樹

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ともいえる。私たちは，神戸層群の地質学的な理解，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。そこで，神戸層群の植物化石と凝灰岩について調べた。

2. 方法

(1) 化石の同定

神戸市内の20か所以上の露頭を確認し，化石を採取した17か所について表1にまとめた。

露頭	採取した化石(記載のないものは葉を示す)
A	コナラ属(アベマキ, カシ, クヌギ), ツツジ属, トクサ属, バラ属, フウ属の葉や実, マツ属, 亜炭, 木炭, 珪化木
B	コナラ属(アベマキ, カシ, クヌギ), ツツジ属, トクサ属, バラ属, フウ属の葉や実, マツ属, 亜炭, 木炭, 珪化木, 植物の根か茎
C	細い完全形の葉(鋸歯がなく, 葉脈が見えない)
D	トクサ属の地下茎
E	葉脈のはっきりとした葉(風化が進んでいる為同定不可)
F	木炭
G	トクサ属の茎や節, フウ属, ヤマナラシ属(ハコヤナギ属), 木, 木炭, 年輪のある木炭, 鋸歯のある幼葉
H	カエデ属の翼果, マツ属, フウ属
I	数mm以下の植物片(同定不可)
J	トクサ属
K	トクサ属, フウ属, マンサク属, アンバー(琥珀)
L	フナ科, クスノキ科(タブノキ属?), サワグルミ属, トクサ属, ヌマミズキ科, ヤマナラシ属(ハコヤナギ属), マツ属, マンサク属
M	ヤマナラシ属(ハコヤナギ属)
N	葉の破片(同定不可)
O	ケヤキ属, ヤマナラシ属(ハコヤナギ属)
P	木の実や葉(同定不可)
Q	木片や葉(同定不可)

表1 各露頭と化石 一覧



図1 各露頭から出土した化石

露頭の場所は，地理院地図の等高線を参考に可能性のある場所を探索した。また，植物化石を考える会の山本氏や高岡氏の情報を基に調査した。葉の化石の同定は，鋸歯の有無，鋸歯の数や形，側脈と鋸歯の関係，葉脈の走り方，腺点の有無，などを基に行った。細かな葉脈が残っているものは顕微鏡でも観察した。同定には文献を参考にした。判断が難しい場合は山本氏や，人と自然の博物館の半田氏や，明石高校の中江先生の指導を仰いだ。



図2 化石の顕微鏡写真

同定スキルの向上を目指し，現生植物の同定を行った。まずは，学校内の植物を収集・同定し，植物標本と葉脈標本を作製した(図3, 4)。学校内の樹木には植物名ラベルが無くなっている(図5)，学校の許可を得て生徒が親しみやすいラベル(図6)を作成・設置する。



図3 植物標本



図4 葉脈標本



図5 木に取り込まれたラベル

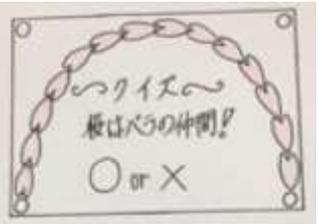


図6 ラベルの完成イメージ

(2) 地質調査
神戸層群の凝灰岩，及び，神戸層群と対比できる地層の成分分析を行う。

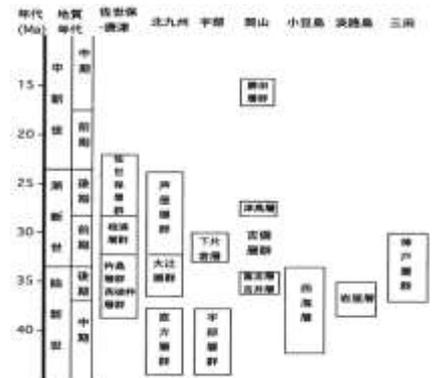


図7 各西南日本内帯の主な第三系の対比 (鈴木ほか, 2003)

各地の凝灰岩に含まれる微化石(花粉)を比較することで，凝灰岩層の対比ができると考え，まずは神戸層群の微化石を探した。

(3) 地域連携，地域貢献

主に以下を行った。

- ①化石体験・展示イベント
- ②地域の中学校との合同調査
- ③地域のボーイスカウトリーダーとの活動
- ④土地管理者へ，成果報告書と化石広場の企画書を提出

①～③を以下に示す。

時期	内容やテーマ
平成 27 年 8 月より	神戸層群に関する活動、開始
平成 27 年 11 月	県総文へ初出場(活動報告)
平成 28 年 1 月	「あいな里山とんど焼き 2016」へ出展
平成 28 年 5 月	「あいな里山オープニングフェスタ」へ出展
平成 28 年 8 月	「第 15 回 須磨の植物化石展」へ出展
平成 28 年 8 月	「化石少年集合！神戸の植物化石展」へ出展
平成 28 年 10 月	日本地学教育学会全国大会 徳島大会
平成 28 年 11 月	県総文へ出場(活動報告)
平成 28 年 11 月	日本学生科学賞 佳作受賞
平成 29 年 3 月	神大附属中央教育学校との合同調査
平成 29 年 5 月	本山南中学校との合同調査
平成 29 年 7 月	Science conference in Hyogo へ初出展
平成 29 年 7 月	本山南中学校との合同調査
平成 29 年 8 月	「第 16 回 須磨の植物化石展」へ出展
平成 29 年 8 月	ポイスカウリーダーとの合同調査
平成 29 年 9 月	日本地学教育学会全国大会 兵庫大会
平成 29 年 10 月	「あいな里山秋フェスタ」へ出展

表 2 過去のイベント、合同調査などの活動

④について、これまでの約 2 年間の活動をまとめ、土地管理者および土地所有者に、成果報告書と化石広場の企画書を提出した。化石広場の目的は、活動の継承の場、課外活動や研究の場、神戸層群の象徴、一般市民が安全に化石に触れられる場、の 4 点である。

3. 結果と考察

(1) 自然科学部では、300 個以上の化石を採取し、フウ属、トクサ属、マンサク属、カエデ属、ツツジ属、サワグルミ属、ヤマナラシ属(ハコヤナギ属)、ケヤキ属、バラ属、マツ属、ブナ科、ヒシ科、ヌマミズキ科、珪化木、木炭、炭化した植物片、琥珀、を見つけることができた。現在の日本でも見られる植物の仲間も多く含まれていることから、当時の日本も温暖な気候であったと考えられる。

(2) 神戸層群の凝灰岩の成分分析は、本紙の投稿時にはできていない。凝灰岩を神戸大学に持ち込み、佐藤先生の協力の下、行う予定である。また、神戸層群の微化石(花粉)を探したがまだ見つけられていない。

(3) イベントでは、これまでに 500 人以上の方々が神戸層群に触れた。過去のアンケートを以下に示す。また、2017 年度の青少年のための科学の祭典にて、神戸層群の認知度調査を行った。その結果を以下に示す。

○40 代女性と小学生 化石掘り体験ができ、子どもはとても喜んでいました。本物の植物化石をもらえてうれしかったようです。葉っぱとどんぐり遊びも普段できない遊びができて楽しかったです。
○40 代男女と幼稚園児の家族連れ とても楽しかったです。今まで経験したことのないことができて思い出になりました。 お兄さん、お姉さんが優しく丁寧で嬉しかったです。ありがとうございました。
○60 代男性 化石展示はこのような時しか見られないので、常設展示できないでしょうか。地層からみても大変価値が高いと思います。

表 3 体験者アンケート 一例

年齢	10歳未満	10代	20代	30代	40代	50代	60代	70歳以上	合計	割合
これまでに神戸市内で化石採取や体験をしたことがある	1	5	0	0	6	1	1	0	14	7%
神戸市内で化石採取ができることを知っているが採取や体験をしたことはない	4	19	1	3	13	2	3	1	46	21%
神戸層群という言葉聞いたことはない	3	2	0	3	5	3	2	0	18	8%
神戸市内で化石が採れることや神戸層群という言葉聞いたことがない	34	36	2	18	38	4	4	0	136	64%

表 4 神戸層群 認知度アンケート (人)

青少年のための科学の祭典の来客者は、小学生と保護者が多かった。10 代の認知度が高いのは、出展学校の高校生が過去の私たちの発表やイベントを経験したためであり、実質的な認知度は低いと考えている。

4. 反省と課題

(1) 採取した化石の中に、知識や経験の不足により同定ができないか見逃している化石があり、今後スキル向上を目指す。新たな露頭を見つけるために、特定の場所に決めず幅広く露頭を探す予定である。保管場所の不足が課題で、化石の取捨選択を余儀なくされている。

(2) 凝灰岩の分析や微化石探しは 9 月から始めたばかりなので、継続して活動を行う。

(3) 校外の方の協力が増え、以前は私たちだけでは困難であった成分分析や専門的な器具を使った調査などが可能になりつつある。今後は、学校内外に成果を還元し、より多くの方々に神戸層群に触れてもらいたいと考えている。この活動を数年後も継続して行える仕組みづくりが急務である。

参考文献

- 神戸市教育委員会著、神戸層群の化石を掘る、神戸市(1987)
- 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)
- 堀治三朗著、神戸層群産植物化石、日本地学研究会(1976)
- 国土交通省、“地理院地図 電子国土 Web”，<https://maps.gsi.go.jp/>(閲覧 2017 年 9 月 28 日)
- 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
- 鈴木茂之、檀原徹、田中元、“吉備高原に分布する第三系のフィッシュン・トラック年代”，地学雑誌，112(2003)

漂着ゴミからみた瀬戸内海の海流

兵庫県立神戸商業高等学校 理科研究部
 2年 森光 春平、本山 将也
 1年 西上 一成、宗拓 久斗
 顧問 石川 正樹

1. 動機及び目的

理科研究部では4年前から、神戸市垂水区の西舞子海岸で漂着ゴミの調査をしている。西舞子海岸には内海でありながら海外製のゴミも混ざっている。それらの流入経路に疑問をもち、それを解明するため瀬戸内海の各地と紀伊水道、豊後水道、また太平洋側と比較するため日本海側にも出かけ、生産地と製造日が推定できるペットボトルを回収しデータをとった。

今年、おおよそ瀬戸内海全域の調査を終え、瀬戸内海の海流についての知見をえたので報告する。また、漂着したペットボトルを用いた調査の有効性を確かめるために、海岸に漂着しているペットボトルの動向と河川に捨てられたペットボトルについても調査したので報告する。

2. 方法

昨年までと同様、西舞子海岸において月1回の漂着ペットボトル回収を行った。また、瀬戸内海沿岸の各地（愛媛県四国中央市の伊予寒川(4/8)、山口県宇部市の床波(8/22)、下関市の小串(8/23)、下関の巖流島(8/23)、香川県坂出市の小与島(9/2)）において、また、大阪府を流れる淀川（流れ75.1km）の庭窪ワンド(6/11)と学校近くを流れる山田川（流路延長3.8km）(6/14)でもペットボトルの回収を行った。それらはすべて持ち帰りバーコードと使用されている文字から生産国を調べた。合わせてキャップとラベルの有無、メーカー、商品名、容量、賞味期限の日付および製造工場のデータを記録した。

海岸に漂着したゴミがその後どうなるかを調べるため、2017年7月17日から8月6日までの間、毎週、西舞子海岸へ行き、漂着ペットボトル200本以上に油性マジックでマーク日と通し番号を書き、追跡調査した。ペットボトルは番号を書いた後、漂着していた場所の風景とともに写真撮影した後拾い上げた場所に返し、調査開始4週目にすべて回収するまで放置した。

3. 結果と考察

瀬戸内海に漂着したペットボトル

瀬戸内海を中心に新たに調査を行った5地点を加えた全20地点で収集した6000本以上（1地点あたり27~528本）のペットボトルについて、調査地ごとの生産国の割合を図1に円グラフで示し

た。その結果、瀬戸内海には中国、台湾、韓国、マレーシア、などアジア各国からのペットボトルが流れ着いていた。図1の赤枠で囲った紀伊水道と豊後水道の6地点では中国、台湾、韓国、ベトナム、マレーシアのうち複数の国の製品が3.1~11.1%含まれており、図1の青い円で示した播磨灘、燧灘の6地点では中国製または韓国製のものだけでなく（0~1.4%）含まれるだけであった。また外洋に近づくほど海外製品の種類と割合は増える傾向にあり、瀬戸内海に流入する海外製品は紀伊水道と豊後水道を通り流入するが、瀬戸内海中央部まではほとんど到達しないとわかった。日本海側の2地点（小串、竹野）では中国、韓国、ロシア、シンガポールからのペットボトルが37%含まれているのに対し、巖流島では韓国製、中国製を合わせて4.6%、伊予灘の3地点では、3.1%~5.4%。伊予灘と関門海峡の中間の周防灘（床波）では中国製が1.3%しか含まれておらず関門海峡からの海外製品の流入は殆どないと考えられた。

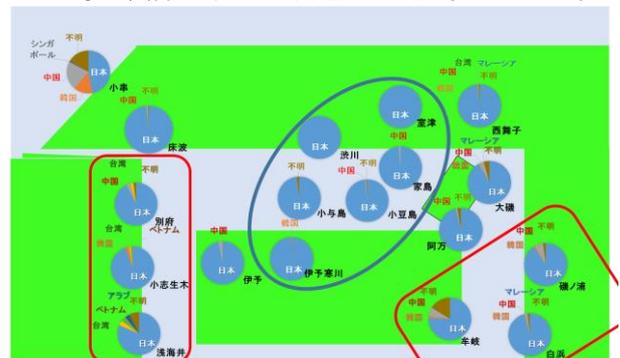


図1 漂着ペットボトルの生産国

漂着後のペットボトルの行方

油性マジックでマークした本数、マークしたペットボトルを再捕した数、再捕した数をマークした数で割った再捕率を表1に示す。その結果、1週間後の再捕率は12.5%~68.7%であり、31%以上が海岸からなくなっていた。1週目はマークしたペットボトルの本数が少ないので、7/23に漂着したペットボトルの2週間後の再捕率を計算すると33.7%であった。この数値は、1週間ごとにおよそ4割が再び流出し、2ヵ月後には99%が再び漂流することを意味している。つまり、海に流れ出した漂流ゴミは、海岸に一時的にはとどまるものの、再び海流に乗り瀬戸内海を漂流すると考えられる。

表1

	1週目 (7/17)	2週目 (7/23)	3週目 (7/29)	4週目 (8/6)
マーク数 (個)	8	83	182	214
再捕数(個)		1	57	102
再捕率(%)		12.5	68.7	56.0

漂着ペットボトルの賞味期限

2016年9月～2017年8月の間に西舞子に漂着したペットボトルを、秋9月～11月、冬12月～2月、春3月～5月、夏6月～8月の4期に分け、記載された賞味期限の西暦年をデータとして用いてグラフを作成した(図2)。その結果、3年以上前に賞味期限を迎えたペットボトルはわずかであること、グラフのパターンは少しずつ新しいものへとシフトすることがわかった。

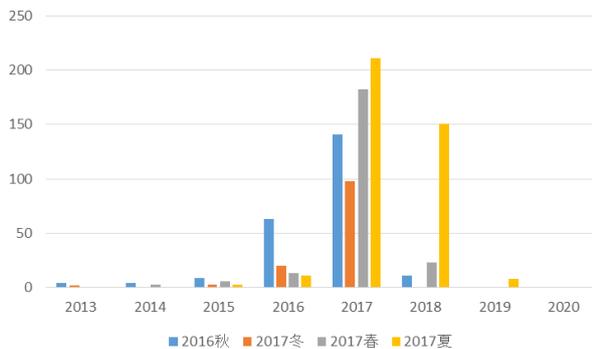


図2. 西舞子海岸の漂着ペットボトルの賞味期限 (2013年よりも古いものは除く)

そのグラフのパターンを、6月に調査した山田川、淀川のもの(図3)を比較すると、山田川は西舞子の今年夏のパターンと、淀川は昨年秋のパターンと一致した。河川のゴミは大雨ごとに海へと洗い流されるが、淀川のワンドに河川内で1年程度滞留するものと考えられる。しかし、淀川でも賞味期限が切れて5年以上経過したものはなく、ほとんどが最近捨てられたものであった。

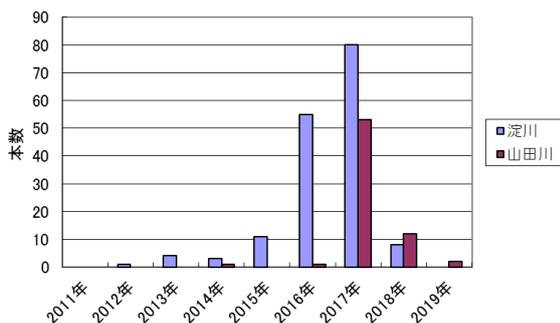


図3. 淀川山田川の漂着ペットボトルの賞味期限

4. まとめ

瀬戸内海の流れについては、よく研究されている。小林と藤原(1997)は備讃瀬戸に流れ込む吉井川、旭川、高梁川といった大きな河川によってできる塩分濃度の薄い軽い海水に、豊後水道、紀伊水道の深層部から密度が高く重い海水流れこむことによってできるエスチュアリー循環流の存在をしめした。この流れでは瀬戸内海中央部から2つの海峡に向かい表層水が流れ出る。また、藤枝ら(2010)は瀬戸内海の海洋ゴミの流れを、野外

におけるモニタリングデータをもとに計算し、海洋ゴミの53%は毎年外洋へ流出していると試算した。これらの先行研究は、瀬戸内海中央部では海外製品が少ないこと、ペットボトルが最近捨てられたものが大半であったことと一致する。

一方、藤原と中田(1987)は冬季の西よりの風によって豊後水道から瀬戸内海を東に向かい紀伊水道に抜ける通過流の存在を示している。しかし、東へ向かうほど海外製品の割合が減少するという傾向が見られなかったこと、春先に行った愛媛県伊予寒川や岡山県渋川での調査で海外製ペットボトルがほとんどみあたらなかったことから、通過流を支持する結果とはならなかった。

柳ら(1979)は実際の潮流観測値を集め瀬戸内海の恒流(ある地点でも一定方向の海流の流れ)を明らかにした。海流のような地球規模の海洋学的な動きを捉えることは部活動では難しいが、流動的な動きを見せる漂着物を調べることでその一端つかむことは可能である。ペットボトルは淀川、山田川での調査にあるように、河川に滞留することはあっても長期にはならず、瀬戸内海での漂流期間を調べるためのよい指標となる。また、素材の耐久性の問題はあるが、賞味期限の短く生産地が特定できる惣菜などの食品包装の漂着ゴミを使うことで、より細かな海流がわかるかもしれない。

要約

漂着ペットボトルを用いた調査により、瀬戸内海の表層の海水は、紀伊水道、豊後水道をそれぞれ出入りしており、瀬戸内海を西から東へと抜ける流れは確認できなかった。また、関門海峡を通じた外洋水の流入はわずかであろうと推測された。

海岸に漂着したペットボトルは離岸と漂着を繰り返しながら瀬戸内海をめぐる海流に乗り、その多くは外洋に出ていると考えられる。ペットボトルの大半が最近捨てられたものであったことは、瀬戸内海の海水が劇的に入れ替わっていることを示している。

淀川のような大河川ではワンド内に滞留することで小河川よりやや古いものも含まれていたが、ペットボトルは海洋ゴミの漂流期間を推定する指標として十分有効である。

引用文献

- 1) 海洋気象学会(1983)「瀬戸内海的气象と海象」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) 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.

太陽フレアから地球を守れ！
 ～続・宇宙天気予報への挑戦～

兵庫県立三田祥雲館高等学校 天文部
 2年 渡邊歩 小山息吹 木寅沙也果
 古家後はるか 中井まりあ

1年 山本紫苑 岡本優真 後藤杏実 前田悠登

1. 動機及び目的

私たちは2016年度、宇宙天気予報を行うことを目標に、過去41年間にわたる太陽黒点とフレアの出現状況について詳細に研究した。太陽活動に関わる研究は長期間のデータが必要となるためアメリカ海洋大気局（NOAA）およびウイルソン山天文台など世界各地の観測機関のデータを用いて一つのデータベースにまとめた。サイクル21～24までの太陽活動4サイクル分のデータを整理し各黒点群のタイプ、面積、寿命、フレア指数を求めた。その結果以下のことが分かった。

なお、本研究では大規模フレアを特に発生させやすい黒点の複数の磁場タイプをまとめてβγδ複合タイプとした。

(1)フレア指数と黒点面積には正の相関がある。磁場タイプ別に詳しく見るとβγδなど複雑な磁場タイプの方がその他のタイプより相関係数が高い。

(2)出現する黒点の磁場タイプとフレアの発生率に着目すると、βγδ複合タイプの出現率は低いがフレア発生率は非常に高い。

(3)βγδの出現する時期をみると、各太陽サイクルの黒点相対数のピークから0～2年後に多く発生するため、その時期に注目するとよい。

このように注意すべきフレアの大まかな発生時期は明らかになった。しかし、太陽表面で発生したフレアがすべて地球に影響を及ぼすわけ

ではない。また大規模フレアを発生させる恐れがある黒点の特徴を明らかにする必要がある。そこで、さらに詳しい宇宙天気予報を行うために、本研究では次の点の解明に取り組んだ。

- (1)これまでに地球に悪影響を与えたフレアの太陽表面での発生位置。
- (2)大規模フレアを発生させた黒点の面積変化。

2. データ収集

太陽フレアが地球に影響を与えた場合は地磁気の乱れを表すDst指数の値が減少する変化が現れる。本研究では各データを次の観測機関より収集した。

- ①京都大学地磁気解析センター
1975年9月～2016年4月 Dst指数
- ②気象衛星 Geostationary Operational Environmental Satellite(GOES)
1975年9月～2016年4月
黒点番号、緯度・経度、クラス、出現・消失日時

- ③アメリカ空軍 US Air Force (USAF)
1981年～2016年 面積

3. 解 析

太陽表面で大規模フレアが発生すると、プラズマ粒子が地球に到達するまでに2～3日を要する。また地球に影響があるのはXクラス、Mクラスなどの大規模フレアである。

- ①地球へ影響を与えたフレアの発生経度
フレアが発生しその時に起きたプラズマが地球に届くと、Dst指数の値が減少する。気象衛星GOESのデータより、フレアの発生日時とクラスを確認する。X及びMクラスのフレアが発生した2～3日後にDst指数が-150nT以下まで減少したものをピックアップし、そのフレアの発生経度をまとめた。

- ②各黒点群の面積変化率の比較
USAFの観測データベースには、各黒点の面積が分単位の時間分解能で詳細に記録されている。各クラスのフレアを発生させた黒点面積の時間変化に着目し次の①式より変化率を求めた。そのうち最大のものを最大変化率とした。

$$\text{面積変化率} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \dots \text{①}$$

ただし、ΔSは面積の変化量、Δtは時間変化量(日)を示す。

これらの計算は表計算ソフトExcelを用いて部員全員で協力して行った。なお本研究では黒点面積は全て太陽半球面に対する百万分率(ppm)で表している。

(表1)太陽フレアのクラス

爆発の大きさ	クラス	1年間の発生頻度(回)	
大 ↑ 小	X50	0.02	
	X30	0.03	
	X10	0.1	
	X	1	
	M	10	
	C	100	
	B	1000	
	A	10000	
	通信障害		停電
	(X, M, C, B, A)		

太陽フレアは放出されたエネルギーからA～Xクラスに分類される。クラスが1つ違えばエネルギーは10倍違うことになる。2017年9月に発生したXクラスフレアは9.8の大きさであった。

4. 結果

①地球へ影響を与えたフレアの発生経度

Xクラス及びMクラスフレアの発生経度とその割合の関係を調べた結果は図1のようになった。負の経度は太陽面の東側にあたる。注目すべきはXクラスフレアが西端で発生しているにも関わらず地球に影響を与えたケースがMクラスより10ポイント近く多いことである。

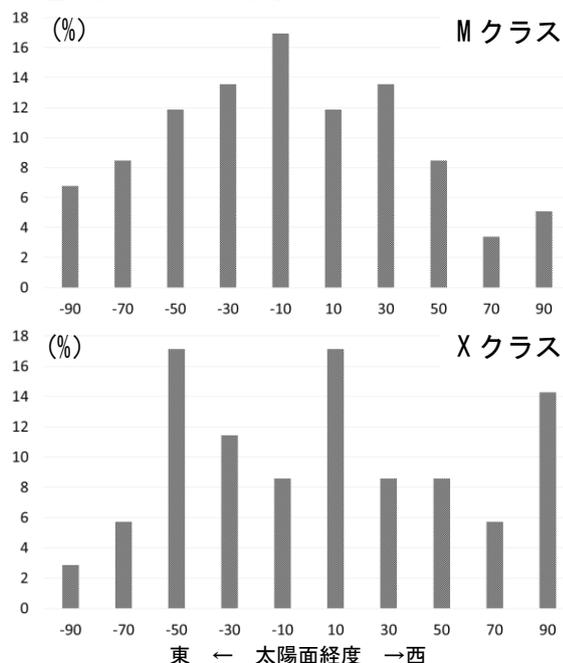


図1 地球に影響を与えたフレアの経度別発生率
データ収集した94個のデータをまとめた。横軸は太陽面経度で、縦軸が地球に影響があった割合(%)である。Mクラスについては中央経度よりやや東側に発生したフレアが影響を及ぼしている、特徴的なのはXクラスフレアで西端に発生したのもでも影響を及ぼしている点である。この事実については、プラズマの噴出角度と磁力線によるプラズマの軌道変化に注目する必要があると考えられる。

②各黒点群の面積変化率の比較

M、XクラスとCクラス、フレアを発生させなかった黒点の面積増加率を比較した。(図2)

5. 考察

太陽面の西端で発生したXクラスフレアが地球に影響を与えていることについては次のようなことが考えられる。①プラズマの噴出角度が180度以上である、②放出されたプラズマが磁場の影響を受けて運動している。これらについて、さらに深く研究を深める必要がある。

また、面積変化率が 10^3 以上の黒点がX、Mクラスフレアを発生させる傾向が大きいこと及び発生位置が明らかになった意義も大きい。2017年9月6日(UT)X9.8クラスのフレアが発生し、GPSに狂いが生じるなど地球に影響があった。

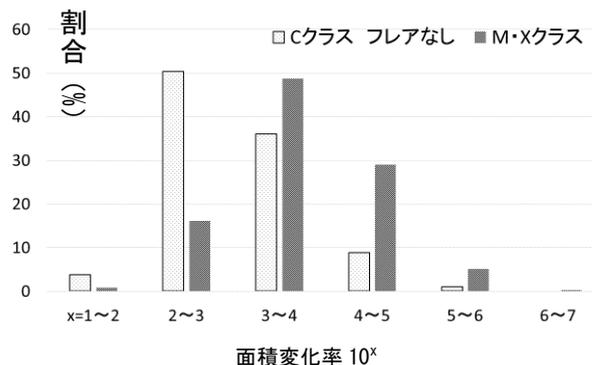


図2 クラス別時間あたりの面積変化率の割合

横軸は時間あたりの面積変化率、縦軸は各クラス中の割合を示す。Cクラスもしくはフレアを発生させなかった黒点は最大変化率が小さい黒点の割合が多いことが分かる。また、X、Mクラスのフレア黒点は面積変化率が大きいものが多い。面積変化率を監視することは、フレア発生予測に役立つ一つの情報であると言える。

このXクラスを発生したのは太陽の西端に近い位置であった。2017年現在はサイクル24のピークの少し後である。またサイクル23においてもピークの少し後である、2003年にXクラスのフレアが多数発生し、地球に影響を与えている。これらの現象は私たちの研究結果を裏付けている。

また、私たちは2017年8月よりH α 線による太陽フレア観測も開始している。発生位置と面積変化率に注目しながら観測を続け、自分たちの手で宇宙天気予報に挑戦したい。

6. まとめ

- (1)地球に影響があるフレアは太陽中央経度より少し東側で多く発生している。それに加えXクラスフレアは西端で発生したのもでも注意が必要。
- (2)大規模フレアを発生させる黒点は、急激に面積が増加する傾向がある。

謝辞

研究全般にわたり大変重要な助言とご指導を頂きました京都大学花山天文台 北井礼三郎先生に感謝申し上げます。

参考文献及びURL

- 1) 篠原 学 (2009) 宇宙天気 誠文堂新光社
- 2) アメリカ空軍 (USAF)
https://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-features/sunspot-regions/usaf_mwl/
- 3) アメリカ海洋大気庁 (NOAA)
<http://www.noaa.gov/>
- 4) ウィルソン山天文台
<https://www.mtwilson.edu/>
- 5) NASA Solar Physics
<https://solarscience.msfc.nasa.gov/>

植生による花崗岩体での土砂災害抑制効果

兵庫県立加古川東高等学校
自然科学部 真砂土チーム

2年 中野勝太, 中野美玖, 羽路悠斗, 尾藤美樹

1年 福嶋陸斗, 前田菜緒

1. 動機と目的

筆者らは2015年度から、花崗岩の風化が土砂災害に及ぼす影響に着目し、研究をおこなっている。過去三年間に全国各地で発生した土砂災害について傾斜度と降水量の関係を岩体別に調べた結果により、花崗岩では降水量が少なく、傾斜度が小さいところでも土砂災害が発生していることが分かっている(図1)。

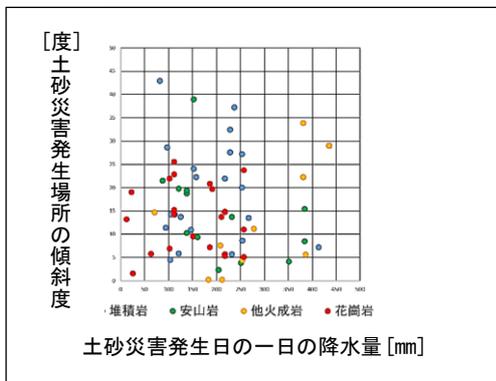


図1 土砂災害が発生した岩体での降水量と傾斜度の関係

本年度は、土砂災害と植生の関係に着目して研究を進めている。兵庫県加古川市北部に位置する花崗岩体の大藤山では2011年に土石流が発生している。当時の植生図では土石流発地点にはスギが分布しており、流木が麓の寺に大きな被害を与えた。しかし、すぐ側の風化層のみられる露頭ではより傾斜度が大いにも関わらず、土石流は発生していなかった。この露頭は植生図ではコナラが分布している地域であった。そこで、露頭の方がより傾斜度が大いにも関わらず、土石流が発生しなかったのは植生にも関係があると考えた。

今回は2011年の土石流発生跡(以下土石流跡)と風化層のみられる露頭との比較をおこない(図2)、植生による花崗岩体での土砂災害抑制効果のメカニズムを探ることを目的としている。そして最終的に現在の植生と地形、過去の土砂災害を調べることで、今後の土砂災害発生予見を可能にすることを目指している。



図2 大藤山での調査地点

2. 研究方法

文献調査により、ヒノキの植生域では土砂災害が発生しやすく、コナラの植生域では発生しにくいこと、花崗岩体とほかの地質では、花崗岩体の方がコナラの根が伸長すること⁽¹⁾、コナラの根の方がヒノキの根よりも補強強度が大きいことが判明した。さらにこれまでの筆者らの研究により、花崗岩は特徴的な風化進行により、厚い風化層と下層に粘土層を形成し、この粘土層上に水がたまることで大規模な土砂災害が発生することがわかっている(図3)。

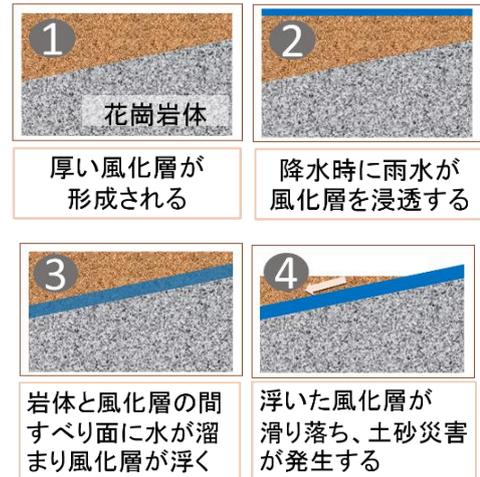


図3 花崗岩の特徴的な風化による土砂災害発生過程

これらより、コナラの根は風化層を保持し、風化層ごと崩壊する大規模な土砂災害を抑制すると考えた。そこで次のような3つの調査を行った。

①土砂災害によってできたと思われる地形を、ドローンを用いたUAS-SfM測量(小型無人航空機-多視点ステレオ写真測量)を用いて調査し、植生との関連を調べる(図4)。

②ヒノキとコナラの倒れやすさの比較を行う。地上部分の違いの影響による、樹木の倒れやすさの違いを、倒伏限界モーメントを用いて調べる。

$$\text{倒伏限界モーメント } Mc = 7.8D^2$$

D: 樹木の胸高直径

③根系の違いの影響を調べるために、根元の掘り起こし調査と地中レーダーを用いてヒノキとコナラの根系分布調査を行う(図5)。



図4 UAS調査の様子



図5 地中レーダーによる調査の様子

以上の3つをまとめることで、植生による土砂災害抑制効果のメカニズムを考察する。

3. 結果と考察

①土砂によってできた地形と植生図を重ね合わせた。土砂災害に関連する扇状地等の地形の境界と植生の境界がほぼ一致していたため、土砂災害と植生の間に関連性があるといえる(図6)。

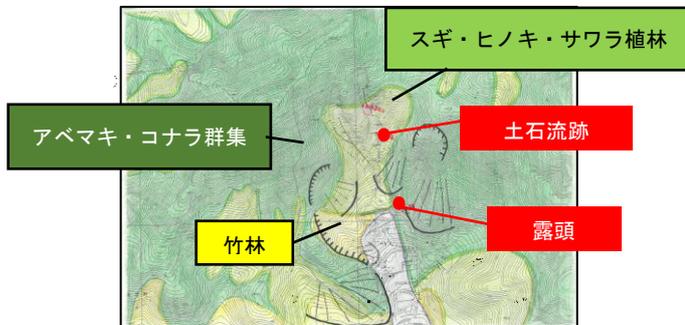


図6 UAS-SfM 測量による地形・植生確認

②スギ, コナラは、幹の直径・樹高に大きな差がなく、それらの数値のみで計算する倒伏限界モーメントには多少の差が見られるものの(表1, 2), これは胸高直径の違いのみによるものである。そのため、樹木倒伏については、地上部分の影響はほとんどなく、根系に主な要因があると考えられる。

表1 平均胸高直径(cm) 表2 倒伏限界モーメント(kg/m)

表1 平均胸高直径(cm)		表2 倒伏限界モーメント(kg/m)	
ヒノキ	コナラ	ヒノキ	コナラ
27	31.5	5686.2	7739.5

③掘り起こし調査より、ヒノキは根が浅く広く分布し、コナラは根が深く真下に向かって分布することが分かった(図7)。地中レーダーではより詳細な根の分布を見ることができ、3D化することもできるが、現在データは解析中である。

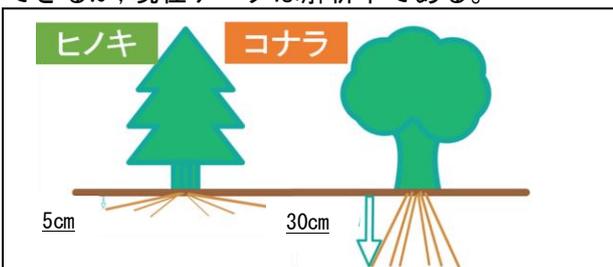


図7 掘り起こし調査から予想される根の分布

4. まとめ

土砂災害の発生と植生の間、関連性があることが確認でき、また、ヒノキとコナラの倒れやすさの差に地上部分の違いが及ぼす影響はほとんどないことが分かった。そして、ヒノキの根よりもコナラの根の方が深く伸長して分布していることが分かった。以上より、コナラには土砂災害発生抑制効果があり、そのメカニズムには根の分布が影響しているといえる。

5. 今後の課題

- 地中レーダーのデータ解析を進めること
- 地中のレーダーのデータから分かるヒノキとコナラの根の形を3D化した模型(図8)を用いて、ヒノキの植生とコナラの植生における土砂災害を再現し、根の形、斜度、降水量が与える影響を調べる
- 根系による補強強度が、スギ・ヒノキ群落より大きいアベマキ・コナラ群落よりは小さいアカマツについて調査を行うこと
- 大藤山や六甲山で調査地点を増やし、データを集めること

最終的には、調査で集められたデータを用いて、大藤山での土砂災害発生予見を行い、土砂災害危険度マップを作成することを目標とする。

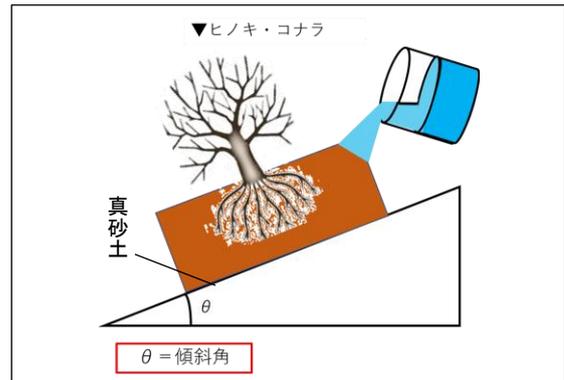


図8 新実験の模型

6. 参考文献

- 1) 福永健司・石塚望 他, “コナラの根系分布と土壌硬度との関係”, 日本緑化工学会, 2003年
- 2) 後藤宏二・石尾浩市ほか「山腹斜面における根系の実態調査について」国土交通省六甲砂防事務所, 2008年
- 3) 兵庫県立加古川東高校自然科学部真砂土チーム「花崗岩の風化による土砂災害への影響」, 2015年
- 4) 早川 裕弐・小花和宏之, 「小型無人航空機を用いた SfM 多視点ステレオ写真測量による地形情報の空中計測」, 2016年
- 5) 小花和宏之・早川裕弐・斎藤仁・ゴメス クリストファー, 「UAV-SfM 手法と地上レーザ測量により得られた DSM の比較」, 千葉大学環境リモートセンシング研究センター, 2014年
- 6) 加古川市, 「加古川市総合防災マップ」, 2014年 7) 株式会社エコリス, 「エコリス地図タイル」, <http://map.ecoris.info/>

発見した植物化石で推定する古神戸湖の環境

兵庫県立西脇高等学校 地学部（化石班）

3年：石井紗智, 田中朱音, 戸田亮河, 中橋徹, 村上智
2年：神崎直哉, 笹倉瑠那, 津田晟俊, 西山太一, 福田俊介, 藤原宏馬, 村上凱星
1年：友藤奈津歩, 西山壮人, 松井陵記, 村上由奈

1. はじめに（研究の動機と目的）

地学部は2014年以来、地元を流れる1級河川「加古川」の氾濫の原因を明らかにする研究をおこなっており、昨年筆者らは西脇市ー加東市が白亜紀後期に形成されたカルデラ内に位置していることを示した。このカルデラの一部はその後古神戸湖となったとされている。一連の研究で、古神戸湖の堆積環境が問題になっていた。

2. 神戸層群について

神戸層群は1938年に鹿間時夫によって命名された、淡路島北部から神戸市西区や須磨区、三田市から三木市、西は加東市の一部に広がる新生代古第三紀始新世末～漸新世（3800万年前～3500万年前）に形成された地層であり¹⁾、兵庫県南部のカルデラ内の堆積場が古神戸湖となった²⁾。

3. 研究の方法（地質調査）と結果

神戸層群三田累層が分布する兵庫県南部西脇市ー加東市を流れる加古川沿いに露頭調査をおこない、地質図と断面図を作成した（[図1](#)）。砂岩や泥岩、安山岩を巨礫として含む礫岩層の上位に、流紋岩質の火山灰をわずかに含む砂岩層と泥岩層の互層が整合的に堆積している。この互層はほぼ水平層で、厚さ最大50cm程度であり、加古川の流れによる浸食の程度によって、下位層の礫岩層が一部にあらわれている。砂岩層の上面には漣痕や斜交葉理が残されており、地層の逆転は起こっていない。西脇市ー加東市の境に位置する闘竜灘を中心とする地域には、これらを貫く安山岩の細脈が多くみられる。

4. 化石の発見

加東市北西部闘竜灘の下流1kmの神戸層群の砂岩層から、多量の植物化石を発見した。これまで本地域から植物化石の発見は報告されていない。

（1）黒色の植物化石

厚さ30cm程度のほぼ水平な中粒砂岩層中に、黒色植物化石が水平に含まれている（[図2](#)）。級化成層に水平に配列していることから、上流から川の流れによって運ばれてきて堆積した、異地性の化

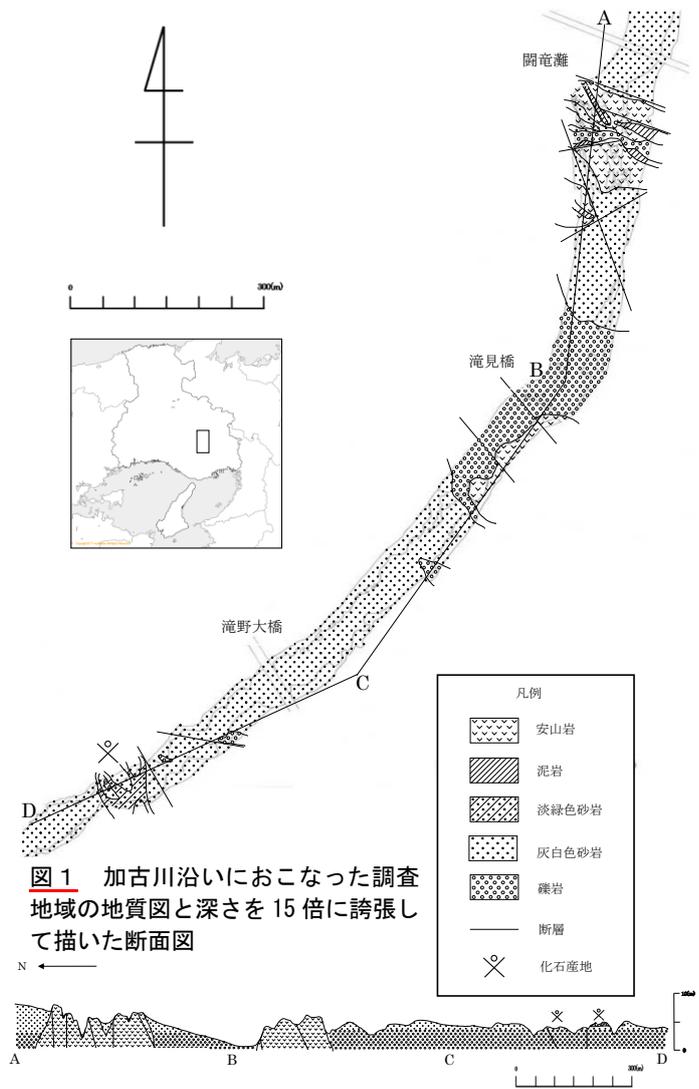


図1 加古川沿いにおこなった調査地域の地質図と深さを15倍に誇張して描いた断面図

石であると考えられる。最大60mm×200mmの枝や幹の断片であり、葉の化石は確認できない。完全に炭化しているため詳細は不明だが、大型樹木である。

図2



（2）緑色の植物化石

厚さ30～50cmの淡緑色砂岩層に含まれる最大10mm×70mmの緑色の植物化石を大量に発見した（[図3](#)）。砂岩層には水平方向の葉理が明瞭に観察されるが、この緑色化石には方向性や規則性が認められない。これらの密集層の少し上位側の淡緑色砂岩からは、直線的で厚みがある茎や、その先端に葉をつけている化石も発見した。これらは級化成層にほぼ平行に産する。化石の圧縮や炭化が進んでおり、葉脈等の植物構造を確認することはできない。植物の特徴を比較検討した結果、ヒカ



ゲノカズラ科 (*Lycopodiaceae*) の化石ではないかと推定した。ヒカゲノカズラは、温帯～熱帯域の陸上に3億7000万年前のデボン紀から生息していることが知られているシダ植物であり^{3) 4)}、神戸層群から初めての報告である。図4は地元多可町に自生するヒカゲノカズラである。



5. 考察

本調査地域の堆積岩の観察から、神戸層群の堆積岩は流紋岩質の火山灰をわずかに含む砂岩層が中心である。砂岩や泥岩、安山岩を巨礫として含む礫岩層の上位に、砂泥互層が整合的に堆積している。堆積岩層は上位ほど細粒になる級化成層をなしており地層の逆転はない。鬩竜灘を中心とする地域にはこれら貫く安山岩の細脈が多くみられる。砂岩層から緑色植物化石を大量に発見した。これまで、本地域から植物化石の発見は報告されていない。神戸層群から報告されている植物化石は、化石の保存にとってよい環境である凝灰岩層からのものである。神戸層群の研究にとって、凝灰岩層からの報告に偏ることは好ましいことではない。本研究で、加東市北部から初めて植物化石を発見したことは意義深いものである。

地層そのものが熱の影響を受けた形跡はみられないこと、炭化した植物化石が特定の灰白色砂岩層の葉理に水平に挟み込まれていることから、当

時の加古川上流で山火事などで焼かれて炭化した樹木の枝が、加古川の流れで運ばれてきて堆積したものと考えられる。加東市北西部は古神戸湖に加古川が流れ込む末端部であった可能性がある。この、厚さ30cm程度の灰白色砂岩層のすぐ上に堆積した淡緑色の砂地には、ヒカゲノカズラ科の植物が自生していた。緑色の植物化石の根の部分が淡緑色砂岩層にさまざまな方向に含まれていることは、現地生であることを示唆している。この時期には、現在の加東市北西部の湖は温暖な乾燥地となっていたのではないかと考えられる。しかしこの淡緑色砂岩層は、厚さが30～50cm程度しかなく、すぐ上に再び灰白色砂岩層が堆積している。直上の灰白色砂岩層には水底を示す漣痕が見られることから、このような乾燥地の状況は長くは続かず、再び温暖な浅い湖沼になったと推定される。

6. 今後の課題

本調査地域は護岸工事の対象となっており、工事が進むと、化石を産する地層は掘り返されてコンクリートの下に埋もれてしまうため、兵庫県立人と自然の博物館と協力して保存の方法を検討している。ヒカゲノカズラは数年前まで、西脇市内のどこでも見ることができた植物であるが、今回の現生植物の調査では西脇市から多可郡までの広範囲に1か所しか自生を確認できなかった。急激に絶滅に向かっている問題を解決する方法を検討したい。

参考文献

- 1) 山本裕雄・栗田祐司・松原尚志, “兵庫県淡路島北部の第三系岩屋層から産出した始新世石灰質ナンノ・渦鞭毛藻化石とその意義”, 地質学雑誌第106巻, 第5号, 379-382 (2000) .
- 2) 吉川敏之・栗本史雄・青木正博, “生野地域の地質: 地域地質研究報告”, 産総研地質調査総合センター (2005) .
- 3) 光田重幸, “しだの図鑑”, 保育社 (1986) .
- 4) 岩槻邦夫編, “日本の野生植物シダ”, 平凡社 (1992) .

謝辞

兵庫県立人と自然の博物館の半田久美子先生と国立科学博物館には化石の同定に関して、また小林拓郎西脇市動植物生態調査研究グループ代表には現生のヒカゲノカズラについてご教示いただいた。西脇市役所環境課の石原吉崇氏には植生の現地調査に同行いただき、有意義な助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。