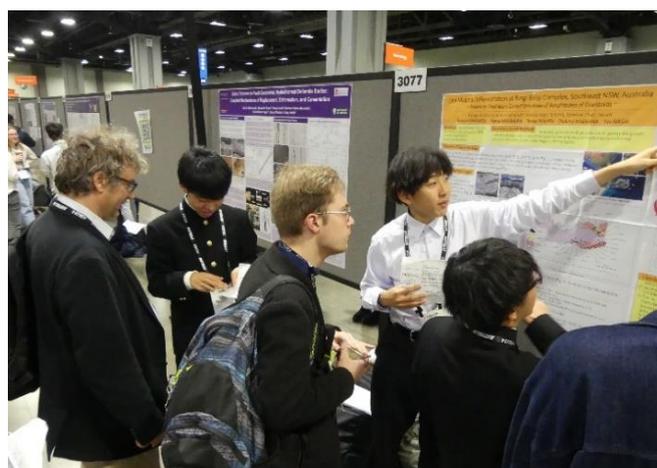


# 令和6年度 科学部の活動の記録



高

兵庫県立姫路東高等学校



# SSH 第 I 期の 5 年間で世界に挑んだ壮大な実験の成果

科学部主顧問 主幹教諭 川勝 和哉

本校は、令和 2 年 4 月にスーパーサイエンスハイスクール (SSH) 事業の指定を受け、その前年度から環境整備を始めていた科学部の活動を本格化させました。新たな活動を始動させるときには、はじめが肝心です。多くの場合、まずできることから始めて、軌道に乗ってきたら徐々に目標を引き上げていくという方法をとるのだと思いますが、いったんそのようにスタートしてしまうと、その環境に慣れてしまって、そこから目標を上げていくことは難しくなります。本校の場合、科学部を立ち上げる時に、明確な方針を生徒に示しました。それは、本校 SSH の柱として科学部が位置付けられているという意識を持って科学研究を柱として活動することでした。当時、科学研究を経験したことがなく、科学研究って何だろう、なんだか難しそうだと感じた部員も多く、気軽に科学部に入ってきていた生徒の多くは部活動にこななくなりました。そのときに残った少数の生徒によって、令和 2 年 4 月からの科学部の活動がスタートしたわけです。顧問である私も部員生徒も、半端な気持ちではありませんでした。何かを始める時には、この本気度が大切だと思うのです。

あれから 5 年たった現在では、科学部は部員数 37 名の人気の部活動に成長しています。科学部の伝統といわれる活動に向かう姿勢が、上級生から下級生へ、先輩から後輩へと引き継がれていきます。部員数が増加していったのは、もちろん研究成果が上がったからという理由はあるでしょうが、それよりも、部内の人間関係や活動環境が明るく元気であるという理由が大きいようです。生徒は、楽しそうな部活動に自然と集まり、集中する環境の中で研究が整然と進んでいきます。科学部には、楽しそう「なのに」成果がすごい、という表現はあたりません。一方部員は、顧問の指導は厳しいと感じていると思います。研究に関することよりも、社会人としてのありようを厳しく指導しています。科学部の活動方針は「立派な社会人を目指す」です。こうした人間教育の上で、部員は主体的に活動し、成果を上げています。

少人数で始まった科学部の活動も、国際的に評価を受ける研究論文を書くほどに成長しました。5 年間かけて行ってきた高校生の研究が、ジュニアセッションではなく、世界最高峰の国際学会で評価を受けることができるのかどうかという壮大な実験は、国際学会での高い評価という成果を得て成功に終わりました。実は、この実験を始める 5 年前から、国際学会での発表は絶対に可能だという信念がありました。顧問は常に「出る杭」を育てることを意識しており、生徒の主体性や個性を大切にしながら助言しています。そしてこれからも「出る杭」の生徒の発見と育成を目指して活動していきたいと考えています。

## 目 次

主な国際的な活動—世界に挑んだ壮大な実験—	1
1 科学部の活動方針	2 0
2 科学部の探究の進め方	2 0
3 研究成果(専門学会と論文コンテスト等)	2 0
4 小中学生を対象にした活動	2 9
5 発展的な探究活動	2 9
6 国際的な活動	3 0
7 専門学会誌に論文掲載	3 2
8 科学部顧問の活動	3 2
9 生徒アンケートの結果	3 4

## 研究論文とポスター

磁性流体に加える外部磁力と形成されるスパイク底面の形状の関係を解明する方法の提案 —ヘレシヨウセルを用いる方法— (科学部物理系研究部 磁性流体班)	3 6
サボテン、トウモロコシ、ヒメムカシヨモギ、アレチヌスビトハギにみられる規則的な配列の類似性 (科学部生物系研究部 サボテン班)	4 7
ニハイチュウの飼育培養に最適な pH の解明 (科学部生物系研究部 ニハイチュウ班)	5 7
豪州 NSW 州南東部 Bingi Bingi Point 複合深成岩体のマグマ分化末期の環境 —露頭調査と角閃石の波状累帯構造の解析に基づいて— (科学部地学系研究部 マグマ班)	6 3

## 【主な国際的な活動－世界に挑んだ壮大な実験－】

### 1. オーストラリア海外研修（野外調査）

#### （ア）研究の背景と目的

日本の西南日本内帯に広く分布する白亜紀深成岩類は、南部のチタン鉄鉱系列と北部の磁鉄鉱系列に大きく二分される。これらはもともと異なるマグマだったのか、同じマグマが固結する過程で異なるマグマや地殻物質が混染したのかはまだ明らかにされていない。科学部顧問の川勝和哉主幹教諭は、大学院生時代に西南日本内帯山陰帯の深成岩の角閃石から世界で初めて波状累帯構造を発見した。本校の生徒が偶然その論文を目にし、その構造の美しさに魅かれた生徒は、自分たちがこの研究を引き継ぎたいと希望した。

詳細な露頭調査と岩石鉱物学的研究によって、生徒は山陽帯の深成岩の角閃石から初めて波状累帯構造を発見した。この微細構造は、マグマ分化過程末期の環境を示すものとして重要な意味をもっている。この研究は火山の噴火に関する知見を深めることにも役立つ。研究論文は、日本学生科学賞で中央審査会に進出するなど、一定の成果を上げていた。この研究の成果を基にして、オーストラリア南東部ニューサウスウェールズ州海岸地帯の露頭調査と岩石・鉱物学的な研究を行い、日本国内の研究でマグマ分化過程のモデルを作成する際に用いた角閃石の波状累帯構造が、国際的に通用する指標なのかどうかについて検証を行うことを目的とした。

#### （イ）研究テーマ

角閃石の波状累帯構造がマグマ分化の指標となるのかどうかの検証－岩石鉱物学的研究－

#### （ウ）実施日程

令和6年1月22日（月）～2月1日（木）の9泊11日（機内1泊）

#### （エ）調査地域

シドニー大学、オーストラリア博物館、ナルーマ～トマキン海岸線、ブルーマウンテンズ国立公園

#### （オ）参加者

希望者 38 名（うち科学部 13 名、男子 14 名、女子 24 名）のうち、抽選で 19 名を選抜した。

生徒：1、2 年次生徒 19 名（うち科学部 12 名／男子 11 名、女子 8 名）

引率：教員 2 名（川勝和哉主幹教諭／理科、平林友貴教諭／数学）

#### （カ）内容

##### ① シドニー大学

本調査地域の自然について長く調査・研究を行っているシドニー大学理学部を訪問し、研究者等と対面で議論することによって、観点を絞って効率的な調査ができるようにした。特に、調査地域は複雑な岩石分布であることが知られており、それらの個々について、地質構造や鉱物組成の特徴について事前に議論しておくことは重要である。さらに、潮位変化など海岸地帯特有の調査の難しさがあるため、安全な調査の継続のための助言を得た。研究者の案内によって理学部内の岩石・鉱物や地質構造に関する展示を見学して、現地調査に必要な生徒の観察眼を養い同定作業の一助となった。また、それらについて生徒と研究者が質疑応答を行い、さらに帰国後の研究の進め方についても助言を得た。調査対象地域から採取される岩石試料はもちろんのこと、測定に使用するクリノメーターの技術の進歩についての展示などもあり、見ごたえ充分であった。



### ② オーストラリア博物館

オーストラリア南東部の地質調査および岩石試料採取の前に、シドニー市街にあるオーストラリア最古の博物館であるオーストラリア博物館を訪問した。生徒から依頼して岩石・鉱物学の研究者に説明を受け、その後の議論でも生徒から多くの質問が出た。事前学習によって得ていた知識を活用しながら、実際に岩石を手にとって観察することによって、翌日から調査するナルーマ〜トマキン海岸線に分布する岩石や鉱物等に関する有益な情報を得た。



### ③ ナルーマ〜トマキン海岸線フィールドワーク

調査地域は、ユーロボダラ国立公園の東に隣接する Bingi Bingi Point の海岸線沿いの周囲約 1.5km (南緯 36° 00' 50"、東経 150° 09' 22") である。日本国内で経験と実績を積んできたマグマ分化の研究をさらに発展させるために、本格的な野外での地質調査を行うとともに、岩石の観察と岩石試料の採取を行った。シドニーから南へ約350kmのフィールド付近のホテルに宿泊しながら、露頭調査を行った。



地形図をもとに、クリノメーターやハンマー、地形図等の地質調査用具を用いて測量と岩石の露頭観察を行い、岩石分布図を作成すると同時に、必要な岩石試料の記載と採取を行った。ホテルに戻るとすぐに集合して、当日の調査結果や試料のまとめを行い、翌日確認すべき項目を明らかにした。生徒は自ら考え、議論しながら主体的に活動した結果、調査は非常に効率よく正確に進み、本来予定していなかった地域まで調査地域を広げることができた。



Bingi Bingi Point の海岸露頭



#### ④ ブルーマウンテンズ～シーニックワールド研修

ナルーマ～トマキンの海岸線では、深成岩を貫く玄武岩の岩脈が露出していたが、この地域を構成する広大な地層の観察はできない。そこで、ユネスコの世界自然遺産に指定されているブルーマウンテンズ国立公園を訪問し、今回の研究で注目する火成岩が貫入している地層を広域に観察した。地層の堆積を観察し、地層形成のメカニズムについても説明を受けて理解することができた。残念ながら霧が深く、十分な観察をすることはできなかったが、時折霧が晴れたときにあらわれる広大な地層の様子は壮観であった。シーニックワールドはブルーマウンテンズ国立公園内にあり、ブルーマウンテンズを構成する地層の岩石を直接手に取り、現地ガイドの説明を聞いて理解を深めた。



## 2. アメリカ海外研修（学会発表）

### （ア）発表の背景と目的

「オーストラリア海外研修（露頭調査）」で採取した岩石試料から薄片を作成し、偏光顕微鏡で1か月間にわたって辛抱強く観察を続けたところ、深成岩の角閃石から波状累帯構造という微細構造を発見した。海外の深成岩から初めての発見であった。これは、教科書に記載のあるマグマ分化過程の内容を覆す成果であった。

生徒はこの構造の成因や環境を推定したいと考えた。まず化学分析を行うことができるように、京都大学の先端研究を支援するプログラムCOCOUS-Rに応募して合格し、京都大学理学部のEPMAを用いて生徒自ら分析を行った。さらに中谷医工計測技術科学技術振興助成金に応募して採択され、研究費を獲得した。この資金をもとにした分析によって、この微細構造がマグマ分化末期の環境を示す指標であることを明らかにした。学術的価値の高い成果を得たことで、国際学会の場で（ジュニアセッションではなく）の発表に挑戦することにした。高校生の研究が国際的な専門学会に通用するのかというチャレンジでもあった。世界中から約27000人の研究者が集まる世界最大級の地球物理学の国際学会で、ワシントンDCで開催される国際学会 American Geophysical Union (AGU) を発表の場を選び論文を応募したところ、採択され現地で発表することになった。また、スミソニアン博物館群を訪問し研究者と議論した。



### （イ）発表テーマ

Late Magma Differentiation at Bingi Bingi complex, Southeast NSW, Australia  
— Based on Oscillatory Zoned Structure of Amphiboles of Granitoids —

### （ウ）実施日程

令和6年12月9日（月）～12月15日（日）の5泊7日（機内1泊）

### （エ）場 所

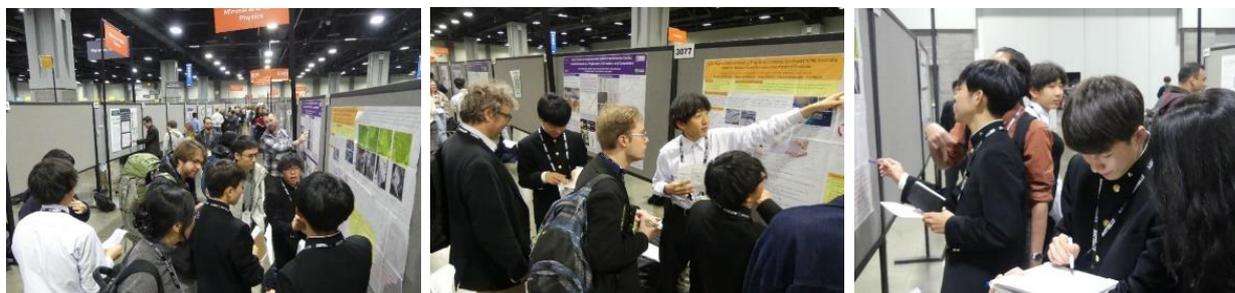
ウォルターE. ワシントン・コンベンションセンター  
スミソニアン国立自然史博物館、スミソニアン国立航空宇宙博物館

### （オ）参加者

生徒：2年次科学部生徒4名（中田天晴、中村賢矢、永井翔、前川司）

引率：教員2名（川勝和哉主幹教諭／理科、平林友貴教諭／数学）

(力) 内容



## Late Magma Differentiation at Bingi Bingi Complex, Southeast NSW, Australia — Based on Oscillatory Zoned Structure of Amphiboles of Granitoids —

Hyogo Prefectural Himejihigashi Senior High School, Science Club, Japan

Kazuya KAWAKATSU Kenya NAKAMURA Tensei NAKATA Tsukasa MAEKAWA Syo NAGAI

**Keywords** Hydrothermal Solution  
Oscillatory Zoned Structure (OZS)  
Coupled Substitution  
Subsolidus Condition

**Oscillatory Zoned Structure** A repeating structure of  $\mu\text{m}$ -order bands across the growth axis of a crystal. Forms due to ion substitution and recrystallisation as hydrothermal solutions circulate in late-stage magma differentiation.

**Overview of Research Area**

Bingi Bingi Point is in New South Wales, Australia (36°0' 50"S, 150° 9' 22"E, Fig. 1), located in the Lachlan Fold Belt and a part of the Moruya Batholith. The area is largely comprised of two different types of magma from the late Devonian. Aplite veins, four meters wide, intrude into the plutonic rock. Basalt magma intruded 30 million years ago (Fig. 2).



Fig. 1 Bingi Bingi Point (source: Google Earth)

**Overview of Rock Types**

(1) Diorite  
Euhedral amphiboles and quartz pegmatite crystallized due to residual magma activity at interfaces (Fig. 3)



Fig. 3 Diorite Xenoliths



Fig. 4 Tonalite - Diorite Interface

(2) Tonalite  
Contains diorite xenoliths that are cubic near the interface but elongate further from (Fig. 4). Fine-grained mineral deposits found near the xenoliths indicate they were heated by the tonalite magma. Xenoliths show strike that is near-parallel to the diorite-tonalite interfaces (Fig.5).

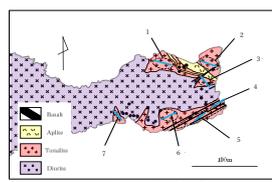


Fig. 5 Aligned Strike of Xenoliths

(3) Aplite veins  
Aplite veins intrude tonalite and contain xenoliths of both diorite and tonalite (Fig. 6).



Fig. 6 Aplite - Basalt interface



Fig. 7 Red and black basalt

(4) Basalt  
Three parallel veins, two black and one oxide red, intrudes linearly across diorite and tonalite (Fig.7). Northern veins include aplite xenoliths of all three and aplite shows thermal effects near interfaces.

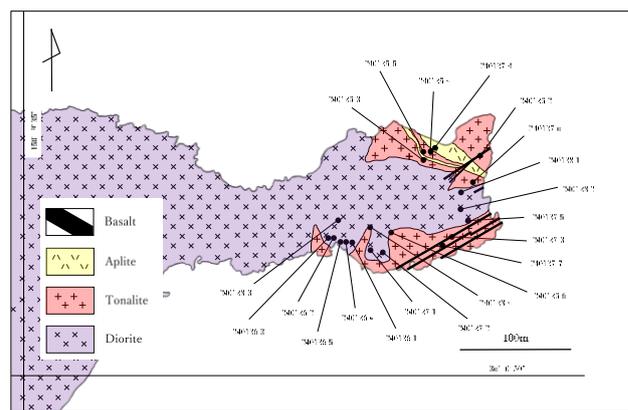


Fig. 2 Rock-type Map & Sample Points

**Acknowledgements**

Our thanks to Professor Tetsuo KAWAKAMI, Assistant Professor Fumiko HIGASHINO, and MSc student Miku NAKANO of Kyoto University for their assistance with EPMA analyses and invaluable advice.

**References**

- (1) Kawakatsu, K. and Yamaguchi, Y. (1987) Geochim.Cosmochim.Acta, 51,535-540.
- (2) Prendergast, E.I. (2007) Australian J.Earth Sciences, 481-501.
- (3) Prendergast, E.I., Offler, R. and Zwingmann, H. (2012) Australian J.Earth Sciences, 1-18.
- (4) Whalen, J.B. and Chappell, B.W. (1988) Amer.Mineral,73,281-296.
- (5) Branagan, D.F. and Packham, G.H. (2000) Published by New South Wales Department of Mineral Resources, Sydney, 317-319.
- (6) Wiebe, R.A. and Collins, W.J. (1998) J.Struct.Geol.,vol.20, 1273-1289.
- (7) Smith, J.V (2004) J.Struct.Geol.,26,1317-1339.
- (8) Hyogo Prefectural Himejihigashi Senior High School Earth Science Club (2023) Abstract of the 128<sup>th</sup> Academic Conference of the Geological Society of Japan.(in Japanese)

**OZS in Amphibole**

OZS was observed in samples where diorite interfaces with tonalite (Fig. 8). It is observed in the green actinolite rim, formed by recrystallisation, and not the original magnesio-hornblende core. OZS appears to "fill in" the gaps. Invasion of hydrothermal solution can be observed in the a-, b- and c-axes, but OZS only develops across the c-axis. OZS forms in a parallel pattern in non-contiguous amphibole crystals. Later OZS cuts across earlier, inner, zones, corresponding with overlapping OZS from other grains near the outer boundary. (Fig. 8)

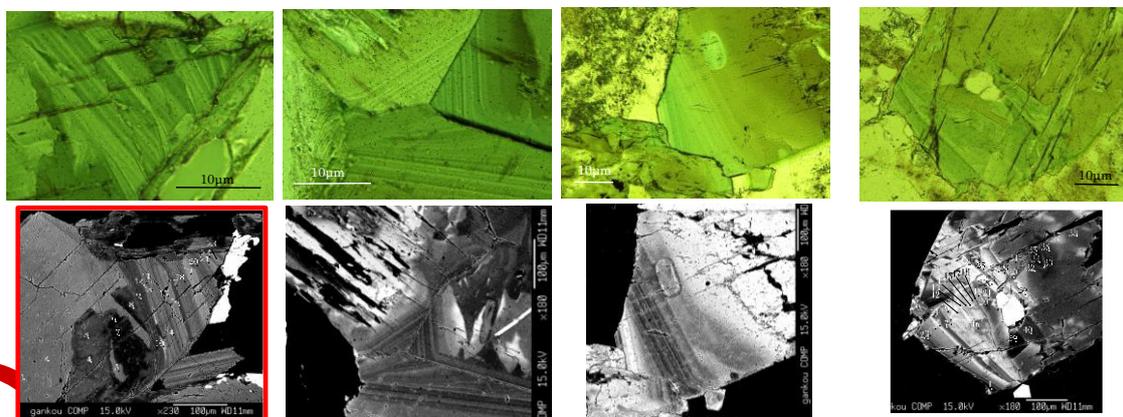


Fig. 8 Examples OZS at diorite-tonalite interface (Upper : open-Nicol, Lower : Backscattered Electron Scanning)

Fig. 9 OZS in a diorite amphibole far from the tonalite interface

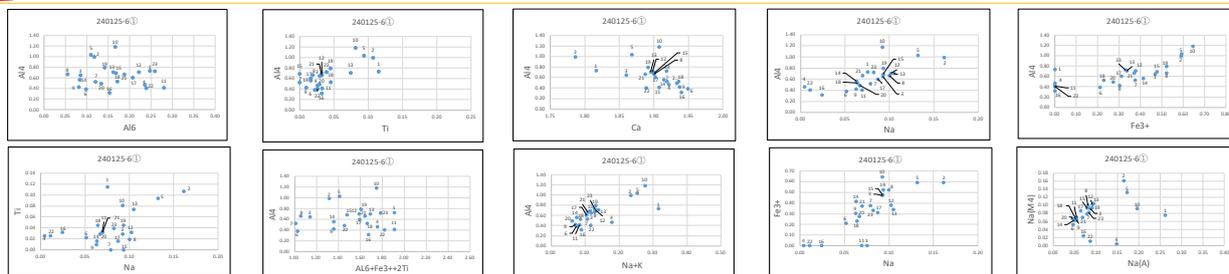


Fig. 10 EPMA Analyses of Sample 240125-6(1)

**Conclusions**

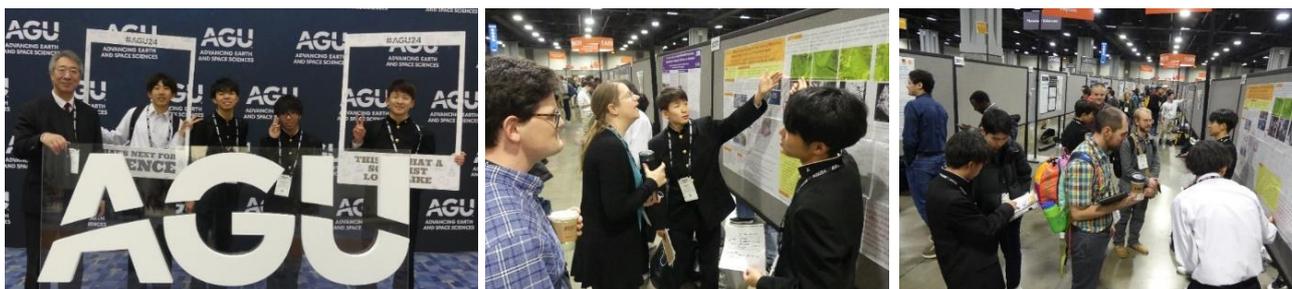
- 1) Thermal convection from the tonalite magma created diorite xenoliths which elongated along the interface (6)(7).
- 2) As the tonalite magma dehydrated and foamed, residual magma solution circulated over the diorite (1), causing OZS to develop in the amphibole.
- 3) The  $Al^{VI}$  value is less than 0.6, indicating hydrothermal solution produced from dehydrating, saturated magmas under the subsolidus condition. Edenitic substitution patterns in the OZSs dominate the amphibole.  $Fe^{3+}$  in the M1-M3 sites comprises more than half  $\Sigma Na^+, Ti^+, Fe^{3+}$ . The  $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$  value is 0.18~0.50 and the  $Mg/(Mg + Fe_{total})$  gradually decreases from core to rim. The OZS coexists with large crystals of euhedral magnetite and contains very low traces of Cl. Along with the presence of euhedral magnetite and sphene, these further indicate secondary recrystallisation in oxidizing condition under the subsolidus conditions.

Identical structures found can be explained by the effects of hydrothermal solutions in differing areas and eras (1)(8). This shows that OZS is a useful indicator of hydrothermal circulation.

**Current study**

- 1) Comparison of the Australian "I-type" and "S-type" granitoid classifications to the Japanese "magnetite" and "ilmenite" classifications.
- 2) Estimation of hydrothermal solution temperature and pressure from oxide minerals and feldspar that coexist with OZS amphibole.

2024年12月13日(金) 8:30~12:20にHall B-Cでポスター発表を行った。25名をこえる研究者が訪れ、生徒は1対1でしっかり説明し、熱い議論を展開した。質疑応答も活発で、何とか研究内容を伝えようとする熱意が伝わったのか、他のブースに比べて特別な活気に満ちていた。内容が極めて専門的であるとして国際学会誌への投稿や海外の大学への進学を勧められた。



⑤ スミソニアン国立自然史博物館研修

1910年に開館した、スミソニアン博物館群の中で最も古い博物館である。展示数は約1億4800万点で、テーマ別にエリアが分かれている。あちこちで研究者が研究活動を行っており、互いに議論したり助言を得たりすることができた。

⑥ スミソニアン国立航空宇宙博物館研修

1946年に設立された博物館で、展示の中には、電磁気学に関する展示も多くあり、磁性流体班の生徒は、あちこちの退役軍人やNASAを引退した研究者等と有益な対話を行った。

3. 第91回国際地球科学教育学会

(ア) 発表の背景と目的

地球科学（地学）は Earth Science と呼ばれており、自然を包括的に学ぶ科目であるため、理科の基礎科目を分野横断的に学ぶのに適している。また、現代は地学の内容を学ぶ必要性が高まっているにも関わらず、地学基礎



および地学の講座が開講されている学校は少なく、地学を専門とする教員の採用もほとんど行われていない。さらに、本校は兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）の震源域付近に立地しており、震災の教訓を語り継ぐ教育が求められている。これらのことから、本校の理科教育は、1年次で物理基礎と生物基礎を地球科学分野をベースにして統合的に学ぶ「自然科学探究基礎Ⅰ」を、2年次では地球科学分野をベースにして化学基礎を学ぶ「自然科学探究基礎Ⅱ」を学校設定科目としている。自然災害について、単に災害時の行動や防災に備えておくだけではなく、自然災害の理論的理解を教育の両輪とすることによって、防災や減災への効果的な取組につながることから、自然科学探究基礎Ⅰでは、北淡震災記念公園野島断層保存館で理論的理解を、また人と防災未来センターで社会行動学的対応を学ぶ。



兵庫県立大学理学部の紹介で、日本国内で国際地球科学教育学会が開催されることを知った科学部の生徒は、本校のユニークな理科教育について講演したいと希望し、応募することになった。この学会では、高校生発表（ジュニアセッション）も開催されていたが、本校は研究者の発表枠で申請し、受理されて口頭発表することになった。国際地球科学教育学会（GeoSciEd）は国際地球科学教育機構（IGED）が主催する4年に1度の国際会議で、世界中の地学教育関係者や研究者が集まり、各国における地学教育の新しいアイデアや実践などの情報を共有する場である。

(イ) 発表テーマ

Learning about Disaster Prevention in High School

— Scientific Understanding of Natural Disasters and Acquisition of Knowledge of Disaster Prevention Behavior —

(ウ) 実施日程

令和4年8月23日（金）～24日（土）9：00～12：00 発表は国際同時配信された。

(エ) 場所

島根県国際会議場くにびきメッセ

(オ) 参加者

生徒：岸上栞菜、志村実咲、菅原楓（科学部2年女子）

引率：川勝和哉（主幹教諭／理科）

## Learning about Disaster Prevention in High School

-Scientific understanding of natural disasters and acquisition of knowledge of disaster prevention behavior-

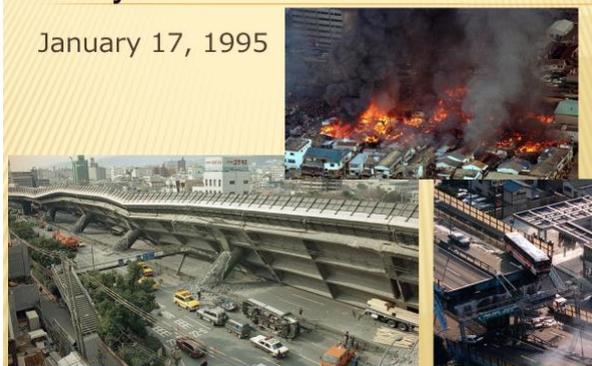
K.KAWAKATSU, A.MITSUI, N.KODAMA, T.MAEDA, H.NAKANOU, A.TADA, Y.MUROMOTO, **K.KISHIGAMI**, H.GOTOU, K.MOTOWAKI, Y.NISHINO, T.SATOU, **M.SHIMURA**, **K.SUGAWARA**, K.TAKATA, T.TAKEUCHI, Y.TAKEUCHI, N.YAMAURA, Y.YOKOO, R.YOSHIDA

HYOGO PREFECTURAL HIMEJI-HIGASHI SENIOR HIGH SCHOOL  
SHIMURA MSAKI, SUGAWARA KAEDE, KISHIGAMI KANNA



## Do you know this disaster?

January 17, 1995



## On the earthquake education

- Disaster prevention/Disaster aid prep
- hazard maps
- earthquake insurance
- earthquake-resistant building
- shelter locations and evacuation route
- prepare disaster prevention goods

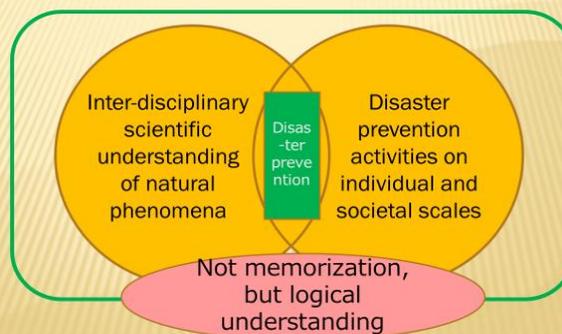


## When a disaster occurred, ...

- Should we just think about the time when a disaster occurred?
- we cannot think about disaster prevention or mitigation without knowing how disasters occur



## What is needed for disaster prevention?



文部科学省 令和2年度～6年度 指定  
**Super Science Highschool**  
スーパーサイエンスハイスクール

兵庫県立姫路東高等学校 SSH

---

**Himeji Higashi High School's SSH**  
Research and Development  
Collaboration of research activities and dissemination of results  
For elementary and junior high school students and parents nationwide and in the region, spread results.

Challenges for international activities with a focus on earth science

Make role model of science ethics education and sending out it inside and outside the prefecture

Research and development of evaluation method

Make progress activity capacity for teachers

Make role model of scientific theory research international problem for human resource development that leads the world

Training of science girls and challenges for international activities

Challenges for international activities of science club

Evolving research activity  
Positively work on science olympics and lectures high school cooperate with university.

For fostering people who lead the world  
Role model creation for international research and scientific ethics

international activities for female students

international E.S. activities

3<sup>rd</sup> grade science course "application stage"

presentations at International conferences

Make a presentation at an International conference

Support of the science club

2<sup>nd</sup> grade science course "development stage"

Research at Georgetown University

Australia field study

Science Ethics

- Inquiry-Based Study of Science and Mathematics, Science Ethics
- Basic Inquiry-Based Study of Natural Science II

All 1<sup>st</sup> grade students "basic stage"

- foundational cross-discipline
- workshops at universities and museums
- start Inquiry-Based Study of Science and Mathematics

- Basic Inquiry-Based Study of Natural Science I (focus on earth science)
- Inquiry-Based Study of Science and Mathematics

Hyogo Prefectural Himejihigashi Senior High School SSH schematic diagram

### BY THE WAY...

- Physics, chemistry, biology, and earth science are overlapping fields.
- We cannot understand nature without learning comprehensively.
- Developer is history  
→science→engineering
- Program that only SSH can do.



### WHY “BASED ON EARTH SCIENCE?”

We find it necessary to learn interdisciplinary science. But...



Why do we use earth science as a base?



Experiencing the H-A Earthquake gives us a unique perspective.

Basic Inquiry-Based Study of Natural Science  
≠the simple union of basic subjects  
=using ES as a base foundation



To learn base in basic subjects and link with the earth science through experiments and observation

### BASIC INQUIRY-BASED STUDY OF NATURAL SCIENCE

- Students work to gain a comprehensive cross-discipline understanding of basic science natural.
- Earth science are representative.



- Students study mainly basic physics and basic biology earth science comprehensively.
- Students study mainly basic chemistry comprehensively in natural science basics of 2<sup>nd</sup> grade.

### BASIC INQUIRY-BASED STUDY OF NATURAL AND BASIC INQUIRY-BASED STUDY OF SCIENCE AND MATHEMATICS I

Gain a broad perspective and basic knowledges in Basic Inquiry-Based Study of Natural



Practice concretely in basic Inquiry-Based Study of Science and Mathematics



- Logical & critical thinking (hypothetical deductive method)
- Discussion & debate abilities
- Presentation ability to tell other people



- Ability to show objectively by mathematics (statistics, probability etc...)
- language skills to communicate with others

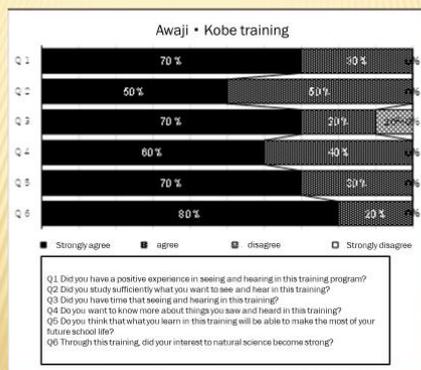
### FOR TO TAKE ROOT NATURAL SCIENCE

Hokudan Earthquake Memorial Park Nojima Fault Preservation Museum

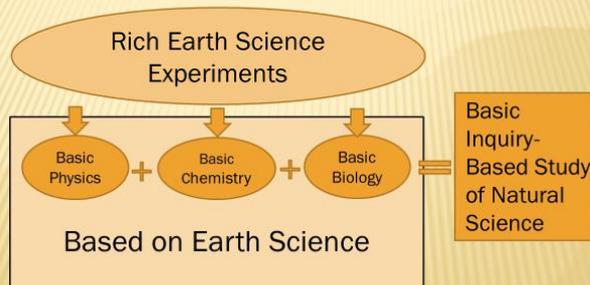


Disaster reduction and human renovation institution

### QUESTIONNAIRE



### CLASS DEVELOPMENT



#### 4. 国際学会誌「Journal of Modern Education Review」に論文掲載

##### (ア) 発表の背景と目的

国際地学教育学会での口頭発表が高い評価を得て、学会から論文を投稿するように推薦があった。本校の自然教育について肯定的であった生徒は、世界の理科教育の参考にしてほしいと考え、発表生徒は研究論文にまとめて投稿したところ、査読を通過して論文が掲載された。国際学会誌に研究論文が掲載された最初の論文となった。

##### (イ) 論文テーマ

Disaster Prevention Education : Combining Scientific Understanding of Disasters with Knowledge of Disaster Mitigation Strategies

##### (ウ) 著者

Kazuya KAWAKATSU, Kanna KISHIGAMI, Misaki SHIMURA, Kaede SUGAWARA

##### (エ) 内容

Journal of Modern Education Review, Vol.13, No.1, 1-9.

Journal of Modern Education Review, ISSN 2155-7993, USA  
 January 2023, Volume 13, No. 1, pp. 1-9  
 Doi: 10.15341/jmer(2155-7993)01.13.2023/001  
 © Academic Star Publishing Company, 2023  
<http://www.academicstar.us>



---

### Disaster Prevention Education: Combining Scientific Understanding of Disasters with Knowledge of Disaster Mitigation Strategies

*Kazuya Kawakatsu, Kanna Kishigami, Misaki Shimura, Kaede Sugawara*  
*(Hyogo Prefectural Himeji Higashi Senior High School, Honmachi 68-79, Himeji City, Hyogo Prefecture, Japan)*

**Abstract:** Himeji Higashi High School is located near the epicenter of the 1995 Southern Hyogo Earthquake. The occurrence of these tragedies stresses the necessity to scientifically understand disasters and develop and implement disaster prevention actions at both the individual and societal levels. It is our belief that we cannot properly prepare for or mitigate disasters without understanding how and why they occur. Such knowledge is gained through Earth science education, which synthetically interweaves all three natural sciences to facilitate a deeper theoretical comprehension of natural disasters. Himeji Higashi's Super Science High School program aims to provide interdisciplinary scientific education to foster students' comprehensive understanding of natural phenomena and consolidate their related learning. Students learn by selecting specific subjects of disaster prevention and mitigation to study. In addition, students understand the mechanisms of natural disasters in class and experience disasters through museum training. A questionnaire was administered to the students upon completion of the program. The results showed that indicates the program is promising and may have had a positive impact on students. More than 85% of students were satisfied with our educational program, and we can expect that they will understand nature and work for disaster prevention and mitigation themselves.

**Key words:** Southern Hyogo Earthquake, Natural Science, disaster prevention, disaster mitigation

#### 1. Introduction

Himeji Higashi High School is located near the northern tip of Awaji Island, which was the epicenter of the Southern Hyogo earthquake (i.e., commonly the Hanshin-Awaji earthquake). This earthquake occurred at 5:46 AM on January 17, 1995, killing 6,434 people. It caused widespread devastation, particularly in the built-up urban areas of Kobe city, such as Sannomiya or Motomachi (Figure 1). However, as years passed, the lessons learned were forgotten to the point that interest in disaster prevention is waning, especially in generations that have never experienced such disasters.

Japan's disaster prevention and mitigation education is only briefly addressed in Earth science textbooks, and only touches on advance preparation and actions to take in the event of a disaster. This kind of education, which does not cover the mechanisms by which disasters occur, produces students who fear nature. Moreover, not all students study Earth science as a mandatory subject in Japan. However, disaster victims point out that it is important to understand and coexist with nature to prevent and mitigate disasters.

Kazuya Kawakatsu, Master of Science, Principal Teacher at Hyogo Prefectural Himeji Higashi Senior High School; research areas: science education and science ethics. E-mail: kazuya-kawakatsu@hyogo-c.ed.jp.



Devastation in Kobe City

Scientific Understanding of Disasters with Knowledge of Disaster Mitigation Strategies



Disaster prevention activities on individual and societal levels

Disaster prevention and mitigation involves developing a mechanisms at play in disasters (Figure 2). Based on this, developing, refining, implementing, and practicing disaster prevention and mitigation at individual and societal levels.

**Figure 2 Concepts Necessary for Disaster Prevention Education**

Natural disasters, including earthquakes and typhoons, occur at a high frequency in Japan, and students are

## 5. 21世紀の中高生による国際科学技術フォーラム SKYSEF2024

### (ア) 発表の目的

科学研究の成果発表や科学探究活動を通じて、国内外の生徒と議論することによって、科学探究の諸能力を高め合うとともに、生徒の課題研究とその発表をさまざまな形で支援してきた教員同士のネットワークを構築する。

### (イ) 主催

静岡理科大学

### (ウ) 発表テーマ

Late Magma Differentiation of Bingi Bingi Complex, Southeast NSW, Australia  
– Based on Oscillatory Zoned Structure of Amphiboles of Granitoids –

### (エ) 実施日程

令和6年8月20日（火）～23日（金）

### (オ) 場所

静岡市清水テルサ

### (カ) 参加者

生徒：松田理沙、稲本晴香、永野千世、横山桃子（科学部3年次女子生徒）、  
引率：川勝和哉（主幹教諭／理科）

### (キ) 内容

イタリア、グアム、タイ、台湾、日本の生徒103名が集まった。本校は口頭発表の部で第1位を獲得した。

8月20日（火）開会式、基調講演（加藤憲二静岡大学名誉教授）、歓迎レセプション

8月21日（水）ポスターセッション、口頭発表

8月22日（木）国際共同プロジェクト（課題研究）、ティーチャーズ・ミートアップ

8月23日（金）国際共同プロジェクト、発表会、表彰式、閉会式



## Hyogo Prefectural Himejihigashi Senior High School



Our School is a Super Science Highschool (SSH) that stands within the grounds of the World Heritage Site of Himeji Castle. The keep is visible from almost every classroom, in fact. We are a school of 840 students, two-thirds of whom elect to enter one of our science courses.

Himeji Castle



### School Motto

Our school motto is "Expand your individuality and your dreams will fly!" To stay true to this ideal, we have done a few things to break the mold.

We have adopted a credit system, which is uncommon in Japan.

This allows students more flexibility to study what they are interested in. We also have a lot of career guidance. Various professionals and academic come to the school to have and discuss their experiences. Building on that, students visit or even work with various companies and organizations. Some even experience nursing in hospitals and clinics.

These events help students to find things or careers they are interested in, and helps them understand how to get these.

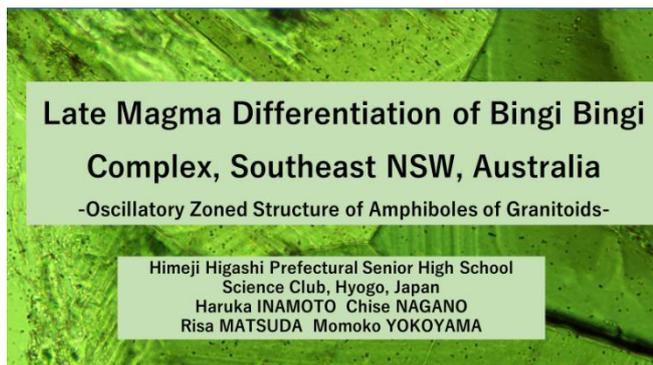


### Super Science Highschool

Our school has many events such as language training programs, a field study in Australia, a science training program at Biogen, and so on.

We are members of science club and we will go to an international conference in the U.S. this December. The science club leads our school's SSH activity. We have participated in many conferences in Japan, and got many awards.





### Keywords

**Xenoliths**... Fragments of other rock contained in igneous rock. They often have elongated shapes and can be found in many areas where research is conducted.

**Hydrothermal solution**... A high temperature, low concentration aqueous solution of minerals.

### What is Oscillatory Zoned Structure (OZS)?

Fig. 1 OZS in an amphibole in diorite (2023)

OZS is a wave-like repeating structure of  $\mu\text{m}$ -order bands which develops across the growth axis (c-axis) of the crystal. It is formed by ion substitution and secondary re-equilibration due the circulation of hydrothermal solution during late-stage magma differentiation.

### Motive and Background

We did an outcrop survey in NSW, Australia  
 ↓  
 We modelled the environment during the last-stage magma differentiation from a mineralogical viewpoint

**Bingi Bingi Point NSW, Australia**

Bingi Bingi Point is an important area for studying magma differentiation processes as different magmas mixed incompletely here.

At the time of our study, no detailed mineralogical or metrological surveys had been conducted.

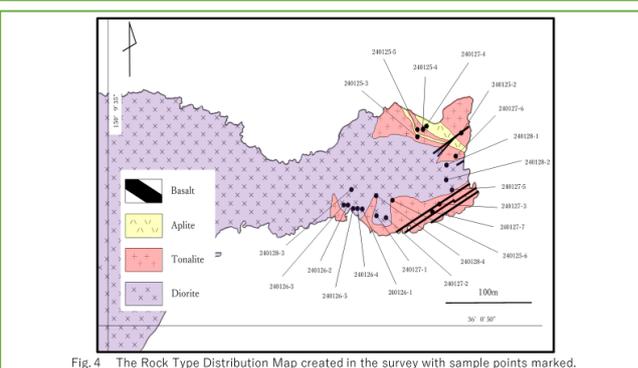
Fig. 2 A part of the Bingi Bingi outcrop

### The Research Area

Bingi Bingi Point is located in New South Wales, Australia  
 Co-ordinates: 036° 0' 50" E  
 150° 9' 22" S

The circumference of the area is about 1.5km

Fig. 3 Point of outcrop survey (Google Earth)



### Overview of Rock Types

(1) Diorite  
 An igneous rock of medium silica content. Euhedral amphiboles and quartz pegmatite crystallized due to hydrothermal activity at interfaces. (Fig. 5)

Fig. 5 Diorite-Tonalite interface

(2) Tonalite  
 An igneous rock similar to diorite but with a higher quartz content. Includes diorite xenoliths that are square near the interface but elongate further from it. (Fig. 6) Fine-grained mineral deposits found near the xenoliths indicate they were heated by the tonalite magma. Xenoliths show strike that is near-parallel to the diorite-tonalite interface. (Fig. 7)

Fig. 6 Diorite xenoliths

Fig. 7 Aligned strike of elongated xenoliths

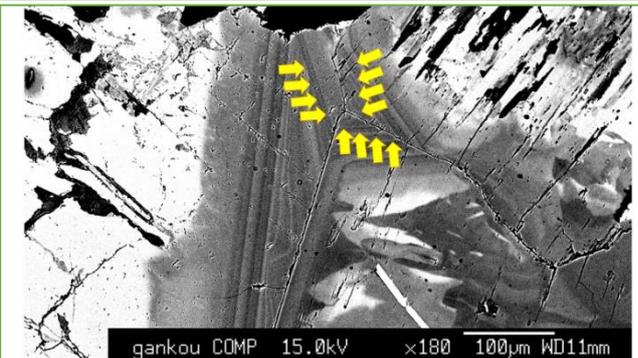
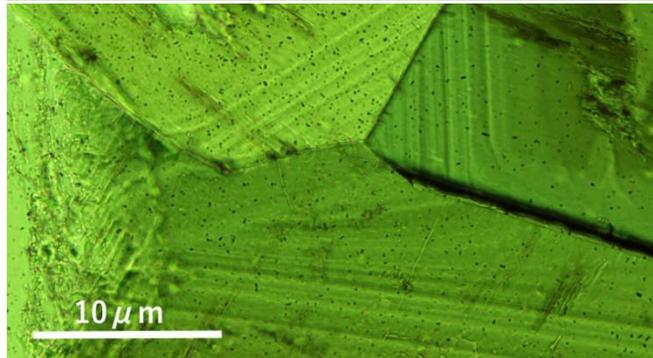
### Overview of rock

(3) Aplite vein  
 An igneous granite-like rock with high quartz content. Aplite veins intrude tonalite and contain xenoliths of both diorite and tonalite. (Fig. 8)

Fig. 8 Aplite-Basalt interface

(4) Basalt  
 An igneous rock with low silica content but higher metal content. Three parallel veins, two black and one oxide red, intrude linearly across diorite, tonalite and aplite. (Fig. 4, Fig. 9) All veins include aplite xenoliths and aplite shows thermal effects near interfaces.

Fig. 9 two kind of basalt



### OZS was discovered in amphiboles in diorite near interfaces

Twelve polished thin section were viewed through a polarized optical microscope

Distinct OZS is observed where tonalite and diorite are in contact. (Fig 10)

OZS is observed only on the pale green rim, which coexists with magnetite and sphene

Sample 240127-5      Sample 240127-5      Sample 240125-6

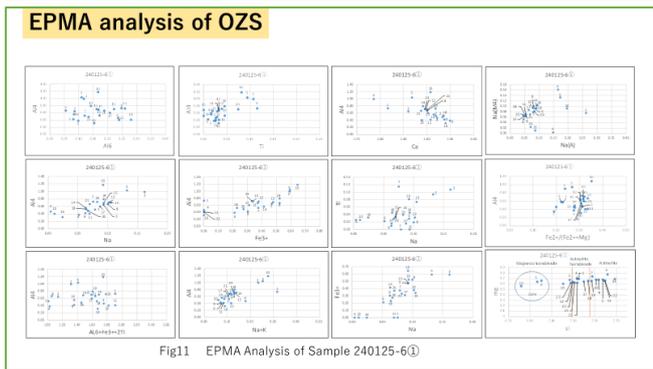
Fig10 Examples OZS of amphiboles from the diorite-tonalite interface (Upper: open Nicol, Lower: backscattered electron image)

### OZS was discovered in amphiboles of diorite away from the interface

Fig11 Examples OZS of amphibole of diorite being off tonalite (Sample 240128-2)

OZS developed an irregular shape away from the interface (Fig. 11)

Again, OZS can only be seen on pale green rim, not on the original "core" material. The sample coexists with euhedral magnetite and sphene



### Conclusions & Discussion

Source of hydrothermal solution

Diorite solidified → Tonalite magma flows across, creating diorite xenoliths.

Thermal convection elongates xenoliths → Xenoliths are attached to the wall of cooled diorite.

We discovered a lot of OZS created by hydrothermal solution in amphibole samples. (Fig13)

External OZS cuts across or deforms internal OZS → An effect of hydrothermal solution from dehydrating magmas.

Fig.12: Linearly deformed xenoliths

Fig.13 OZS in an amphibole

### Conclusions & Discussion

OZS of amphibole in bulk diorite is irregular. (Fig.14)

→Diorite's own hydrothermal solution circulated strongly

Fig14 Strong Patchy Zoned Structure

A	Tet.	A	Tet.	1型	Edenite type
Fe <sup>2+</sup> + Si	→	Na, K	+ Al		
M1-M3	Tet.	M1-M3	Tet.	2A型	Tschermakite type
Mg + Si	→	Al + Al		2B型	
Mg + Si	→	Fe <sup>3+</sup> + Al			
M4	M1-3	M4	M1-3	3A型	Glaucofanane type
Ca + Mg	→	Na + Al		3B型	Riebeckite type
Ca + Mg	→	Na + Fe <sup>3+</sup>			
A	M4	A	M4	4型	Richtecite type
Fe <sup>2+</sup> + Ca	→	Na + Na			
M1-M3	Tet.	M1-M3	Tet.	5型	
Mg + 2Si	→	Ti + 2Al			
M4	M1-3	M4	M1-3	6A型	
2Ca + Mg	→	2Na + Ti		6B型	
Ca + Al	→	Na + Ti			

Table 1: Amphibole coupled substitution patterns (left is Edenite/ Czamanske and Wones, 1973 revision)

The coupled Edenitic substitution patterns in the OZSs dominate the amphibole and indicate an oxidizing environment.

The Al<sup>VI</sup> value is less than 0.6.

↑ a characteristic of hydrothermal solutions produced from saturated magmas undergoing dehydration.

Fe<sup>3+</sup> in the M1-M3 sites comprises more than half the total of Na+Ti+ Fe<sup>3+</sup>. The Fe<sup>2+</sup>/ (Fe<sup>2+</sup>+Mg) value is 0.18~0.50 and the Mg/ (Mg+Fe<sup>total</sup>) gradually decreases from core to rim.

The OZS contains low traces of Cl.

These are the characteristics of a pluton experiencing secondary re-equilibrium in an oxidizing environment.

All of the OZS in rocks...

Since OZS coexists euhedral magnetite and sphene, OZS formed in oxidizing environment under the subsolidus condition. We think that OZS is useful as an indicator of hydrothermal solution circulation of as OZS development is affected by era and region.

### Current Studies

Research area= Batholith(granitoid) { I-type (Igneous) : Contains magnetite and ilmenite  
S-type (Sedimentary) : Contains ilmenite

Rock of research area(granitoid) . . . Magnetite-bearing I-type. It has higher oxygen partial pressure than S-type one

Australia : Classify into "I-type" and "S-type"

Japan : Classify into "magnetite" and "ilmenite"

A comparison of classifications is necessary.

We want to find a way to estimate hydrothermal solution temperature and pressure from iron oxide minerals or feldspars that coexist with OZS amphiboles.

### Acknowledgements

We wish to thank Professor Kawakami Tetsuo and Master of Science student Miku NAKANO (Graduate School Faculty of Science, Kyoto University) for their advice and assistance with EPMA analyses.

**References**

- 1) Kawakatsu, K. and Yamaguchi, Y. (1987) Geochim.Cosmochim.Acta,51,535-540.
- 2) Prendergast, E.I. (2007) Australian J. Earth Sciences, 481-501.
- 3) Prendergast, E.I., Offler, R. and Zwingmann, H. (2012) Australian J.Earth Sciences, 1-18.
- 4) Whalen, J.B. and Chappell, B.W. (1988) Amer.Mineral,73,281-296.
- 5) Branagan, D.F. and Packham, G.H. (2000) Published by New South Wales department of Mineral Resources, Sydney, 317-319.
- 6) Wiebe, R.A. and Collins, W.J. (1998) J.Struct.Geol.,vol.20, 1273-1289.
- 7) Smith, J.V (2004) J.Struct.Geol.,26,1317-1339.
- 8) 兵庫県立姫路東高等学校科学部 (2023) 日本地質学会第128年学術大会要旨／第20回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞努力賞受賞論文

**Thank you for your attention**



**6. 国連「世界津波の日」2024 高校生サミット**

**(ア) 発表の目的**

「世界津波の日」は、2015年12月の国連総会において日本が提唱して全会一致で採択され制定された。世界50か国の高校生が災害の脅威と対策を議論したりきずなを深めたりする場として2016年から開催されており、防災の取組や創造的復興の歩みを発信する。今回のサミットの全体テーマは「熊本の教訓を世界へ、そして未来へー熊本地震や集中豪雨など大規模自然災害を経験した熊本で、命を守る対策と創造的復興を学ぶー」であった。

**(イ) 主催**

文部科学省大臣官房文教施設企画・防災部

**(ウ) 発表テーマ**

Disaster Prevention Education —Combining Scientific Understanding of Disaster with Knowledge of Disaster Mitigation Strategies

**(エ) 実施日程**

令和6年10月23日(水)～10月24日(木)

**(オ) 場所**

熊本市熊本城ホール

**(カ) 参加者**

生徒：岡本莉空、寺田悠哉、宮下翔真(科学部2年次男子)

引率：川勝和哉(主幹教諭/理科)

**(キ) 内容**

10月22日(火) スタディーツアー

10月23日(水) 分科会(討論・統括)、開会式、スタディーツアー報告会、レセプション

10月24日(木) 記念植樹、記念碑除幕式、総会(共通宣言採択)、閉会式

HYOGO PREFECTURAL  
HIMEJIHIGASHI HIGH SCHOOL



[Assigned theme]  
"Disaster Prevention" through Self-Help and Mutual Assistance

## DISASTER PREVENTION EDUCATION

COMBINING SCIENTIFIC UNDERSTANDING OF DISASTERS WITH  
KNOWLEDGE OF DISASTER MITIGATION STRATEGIES

Member  
RIKU OKAMOTO YUYA TERADA SHOMA MIYASHITA

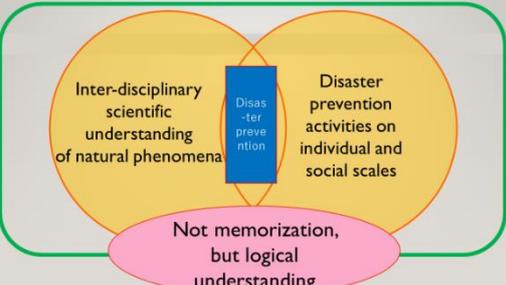
### DO YOU KNOW THIS DISASTER?




### WHEN A DISASTER OCCURS...

- (1) Should we just think without acting when a disaster occurs?
- (2) We cannot think about disaster prevention or mitigation without knowing how disasters occur.

### WHAT IS NEEDED FOR DISASTER PREVENTION?

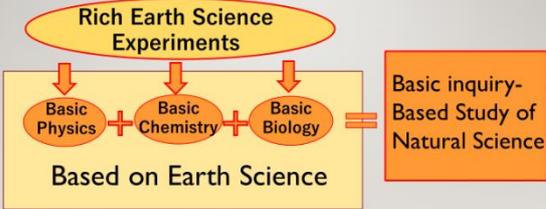



### WHAT IS SSH?



- (1) SSH is a project in which Japan's Ministry of Education identifies, designates and invests in cutting-edge high schools in them in order to promote science and mathematics education.
- (2) Currently, approximately 210 high schools are enjoying the benefits of this program under the SSH.

### CLASS DEVELOPMENT



### BASIC INQUIRY-BASED STUDY OF NATURAL SCIENCE

- Students work to gain a comprehensive cross-discipline understanding of basic natural science.
- Earth science is the summary subject.

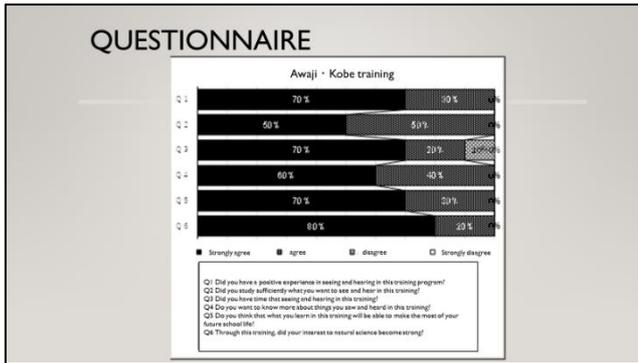
- (1) 1st grade students study mainly basic physics and basic biology to begin developing comprehensive knowledge of Earth Science.
- (2) Students study add basic chemistry knowledge to their natural science basics in 2nd grade.

### FOR NATURAL SCIENCE TO TAKE ROOT



Hokudan Earthquake Memorial Park  
Nojima Fault Preservation Museum

Disaster reduction and human renovation institution



### THERE ARE TWO POINTS

- (1) Since earth science is a fundamental subject that covers the natural sciences, we provide education that integrates four fields in to earth science.
- (2) For disaster prevention education, it is necessary to have a logical understanding of natural phenomena and education on social disaster prevention strategies.



(グループ順に) ブラジル、インド、マーシャル諸島、ブルネイ、カンボジア、トンガ、ペルー、フィリピン、ハワイ、カナダ、ラオス、ミクロネシア、クック諸島、台湾、パラオ、パプアニューギニア、スリランカ、モンゴル、韓国、ツバル、オランダ、バヌアツ、ベトナム、アンゴラ、フランス、キリバス、中国、ナウル、ソロモン諸島、マレーシア、モルディブ、サモア、オーストラリア、チリ、インドネシア、ドイツ、メキシコ、シンガポール、タイ、トルコ、モンタナ、フィジー、ニュージーランド、日本から137名の高校生が参加、分科会(討論)、記念植樹と除幕式、総会(共通宣言採択)を行った。



世界の高校生たちが自然災害の脅威や防災について意見を交わす「世界津波の日 高校生サミット」が23日、熊本市中央区の熊本城ホールで始まった。国内78校の約310人と海外43カ国・地域の約210人が、地震や豪雨を経験した熊本で命を守る対策と創造的復興を考える。24日まで。

テーマは「熊本の教訓を世界へ、そして未来へ」。開会式では、議長の熊本高2年の河合智彩さんと副議長長九州学院高2年の渡辺樹李亜さんが「世界各地で自然災害が発生する中、高校生が議論するサミットは意義深い。成功に向けて力を合わせる」と宣言した。

木村敬知事は「たゞんべんの

## 「高校生サミット」防災考える

### 熊本市で開幕 海外から200人超

「世界津波の日 高校生サミット」の分科会で、減災をテーマに発表する生徒たち

23日、熊本市中央区

熊本日日新聞 2面(2024年10月24日)

## 7. International Webinar on Earth Science and Climate Change

### (ア) 発表の目的

世界的な気候変動について現状を科学的に分析し、どのように対応していく必要があるのか、さまざまな専門家が議論して対応策を考える国際会議で、川勝に講演依頼があった。

### (イ) 主催

Earth Science Scholars Conferences

### (ウ) 発表テーマ

Disaster Prevention Education — Combining Scientific Understanding of Disaster with Knowledge of Disaster Mitigation Strategies

### (エ) 実施日程

令和5年9月25日(月)～26日(火)

### (オ) 場所

本校生物教室から ZOOM 国際配信

### (カ) 発表者

川勝和哉(主幹教諭/理科・科学倫理)

### (キ) 内容

自然災害教育の観点から、気候変動への対応策を立てることを目的に30分間講演した。



I prefer: ORAL presentation

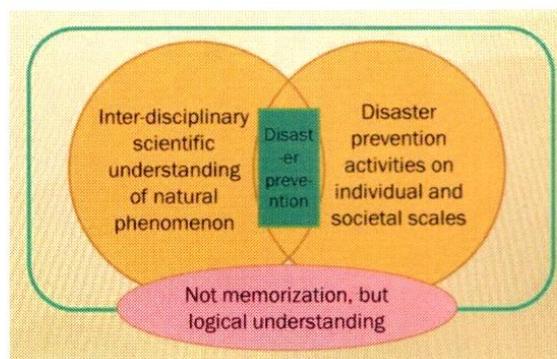
## Disaster Prevention Education: Combining Scientific Understanding of Disaster with Knowledge of Disaster Mitigation Strategies

**Kazuya Kawakatsu<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Hyogo Prefectural Himejihigashi Senior High School, Honmachi 68-70, Himeji-City, Hyogo Prefecture, Japan  
E-mail: kazuya-kawakatsu@hyogo-c.ed.jp*

### Abstract

Our school is located near the epicenter of the Southern Hyogo Earthquake that occurred on January 17, 1995. As the years pass by, lessons learned have started to be forgotten. The main lesson we learned from the disaster is that it is necessary to understand the natural world scientifically and to practice disaster prevention activities as an individual and societal scales to protect ourselves from disasters.



Japan has many natural disasters and students are taught how to prepare for and respond to them.

Fig.1 What is Needed for Disaster Prevention?

Aside from those practical considerations, students learn about the underpinning scientific theories of such disasters in earth science classes. However, students don't study the four natural science (chemistry, physics, biology and earth science), but only choose to study 2 or 3 subjects from them. Therefore, students who don't choose earth science have no opportunities at school to learn the mechanisms behind disasters. In modern Japan, very few schools offer earth science courses so many students are denied the opportunity to understand the theory of natural disasters.

The most important research and development theme of our school is "International Activities centered on Earth Science". Our school has set up "Basic Inquiry-Based Study of Natural Science" to encourage comprehensive across the four fields of science with a focus on earth science. Here is also "Inquiry-Based Study of Science and Mathematics" research based on earth science. In this system, all students study across the four fields of natural science and so they can come to understand natural phenomena and natural disasters comprehensively. In "Basic Inquiry-Based Study of Natural Science", students investigated the Nojima-Fault which was responsible for the Southern Hyogo Earthquake and visit the Disaster-Prevention Future Center. We learned about disaster prevention and mitigation techniques there. We would like to show the country the fruits of our labour nationwide.

**Keywords:** Southern Hyogo Earthquake, mechanisms, activities, disaster prevention

### Biography

Master of Science, Shimane University Graduate School of Science.

Principal Teacher of Natural Science Education of High School.

Received the Noyori Science Encouragement Award in 2011 and 2014, the Physics Education Achievement Award of the Japan Society of Physics in 2012, the Outstanding Faculty and Staff Award from the Minister of Education, Culture, Sports, Science and Technology in 2013, the Kanagawa University Excellent Instructor Award for 15 consecutive years, the Tokyo University of Science Outstanding Instructor Award in 2017, and the Research Awards from the Takeda Science Foundation in 2018 and 2022.

Wrote textbooks and problem collections on the basics of earth science, earth science, and the basics of science and mathematics.

Delegate of the Geological Society of Japan (2022~) and of the Union of Japan Earth Sciences (2020~), member of the Subcommittee on International Education Response, the American Geoscience Union, and the Society of Japan Geoscience Education.

### Presenting Author Details and Photo

Full Name: Kazuya Kawakatsu

Email ID: kazuya-kawakatsu@hyogo-c.ed.jp

Phone No: 81-079-285-1166

LinkedIn: none

Twitter: none

Recent Photograph:



Keynote Presentation at Earth Science Webinar 2023  
Day 1/11:30-12:00, 25 September 2023

## Disaster Prevention Education

Combining Scientific Understanding of Disaster with Knowledge of Disaster Mitigation Strategies

---

KAZUYA KAWAKATSU

PRINCIPAL TEACHER OF NATURAL SCIENCE  
ON HYOGO PREFECTURAL HIMEJIHIGASHI SENIOR HIGH SCHOOL

## BASIC INQUIRY-BASED STUDY OF NATURAL AND BASIC INQUIRY-BASED STUDY OF SCIENCE AND MATHEMATICS I

Gain a broad perspective and basic knowledges in Basic Inquiry-Based Study of Natural

+

Practice concretely in basic Inquiry-Based Study of Science and Mathematics

||

- Logical & critical thinking (hypothetical deductive method)
- Discussion & debate abilities
- Presentation ability to tell other people

↑

- Ability to show objectively by mathematics (statistics, probability etc...)
- language skills to communicate with others

## 1 科学部の活動方針

### (1) グループ研究を柱とする。

知識も経験も乏しい高校生が研究活動を行うためには、生徒が研究班を構成して、互いに議論しながら研究活動を進めることが、生徒の成長のために有益である。グループ研究では、考えをまとめる力、聞き共感する力、議論する力、伝える力などが育成され、生徒自身の主体性も向上することから、本校科学部ではグループ研究を基本としている。教員は助言するにとどめ、指導しようとしなない。力のある生徒は、研究の基礎を習得した後、個人研究に向かわせる。

### (2) 身近な自然現象をテーマとして扱う。

生徒自らが日常生活の中で疑問に感じたことをテーマにする。科学部は、物理、化学、生物、地学、数学、工学、農学等の各分野の純粋なテーマばかりでなく、それらの分野横断的あるいは統合的なテーマも扱う。また、複数の分野にまたがる発想でテーマを発展させることを推奨している。生徒が希望すれば、同時並行で異なる複数のテーマの研究を行うこともある。

### (3) 特別な分析機器を用いずに、高校生らしい柔軟な発想と工夫で研究を行う。

学会発表で、どのような仕組みの分析装置かは知らないが、分析結果の数値に基づいて考察をしているという生徒を見かける。本校では、高大連携によって高度な分析装置を活用する場合には、きちんと講習を受講することを求めている。高校生のうちは、特別な装置を用いずに、身の回りにある装置で目的を達成することはできないかを考えさせたい。

### (4) 研究成果は学会や論文コンテストで評価を得る。

科学的な研究成果は、社会に公開して初めて意味を持つ。専門学会での発表等で、研究者と議論することによって成果の評価を得るほか、研究論文を発表する。専門学会やコンテストの全国レベルの高い成果は、生徒をさらに高い探究へと向かわせ、探究力が身につけていることを客観的に保証するものであることから、生徒の進学にも生かされる。

### (5) 研究成果を地域に還元する。

定期的な公開講座の開催やHPなどで研究結果を公開することで、成果を社会に還元する。

## 2 科学部の探究の進め方

(1) 9月～12月：学会発表等が集中している時期であるが、この期間中に、部員一人一人が、今後取り組みたいテーマ案を持ち寄る。この際には、先行研究論文なども読み、興味深さや研究の現状、高校生が取り組むテーマであるか、等について互いに議論し、テーマ案を絞り込む。

(2) 1月～3月：テーマ案の中から部員各自の希望によってグループ分けを行い、詳細な研究目的と方法、計画を具体化させる。さらに予備実験や予備観察を通して、問題点を整理する。

(3) 4月～8月：新入生の獲得活動とともに本格的な研究を開始する。成果をまとめて論文を作成し、そこからプレゼンテーションに必要な、パワーポイント（口頭発表）、ポスター（ポスター発表）、発表原稿、質疑応答集等を作成する。

(4) 9月～12月：学会等の発表会に積極的に参加して、研究者との議論の中から、研究の問題点や補足すべき点などについて得た指摘に基づいて追加の研究を行い、最終論文にまとめて発表する。

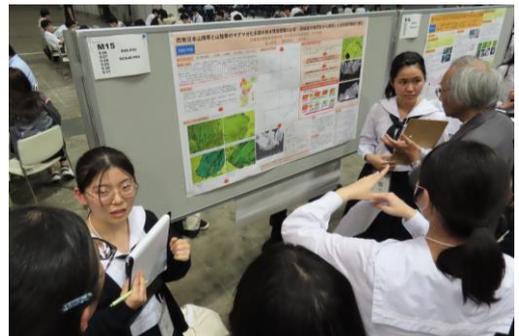
※ 科学部の部員数は、総部当時の令和2年度18名（男子14、女子4）、令和3年度24名（男子19、女子5）、令和4年度31名（男子19、女子12）、令和5年度36名（男子27名、女子9名）、令和6年度37名（男子24名、女子13名）と推移している。

## 3 研究成果（専門学会と論文コンテスト等）

類似の表題の研究発表や論文が複数あるが、研究を継続的に行っているため、提出する大会ごとに内容は異なっている。また大会の趣旨に合わせて発表の重点を変えている。

### (1) 日本地球惑星科学連合（JpGU）高校生セッションで発表（地学系研究部マグマ班）

主催 日本地球惑星科学連合  
応募 令和6年4月8日（月）申込締切  
令和6年4月15日（月）予稿締切  
令和6年5月17日（金）e-poster 投稿締切  
日時 令和6年5月26日（日）13:45～15:15  
場所 千葉県幕張メッセ（千葉市美浜区中瀬2-1）  
テーマ ・西南日本山陽帯と山陰帯のマグマ分化末期の熱水残液循環の比較―深成岩の角閃石から発見した波



状累帯構造で推定— (地学系研究部マグマ班)  
 Comparison of Hydrothermal Residual Circulation at the Magma Differentiation  
 ・豪州 NSW 州南東部沿岸 Bingi Bingi Point 複合深成岩体の形成過程 (地学系研究部マグマ班)  
 Magma Differentiation of Bingi Bingi Complex, Southeast NSW, Australia  
 発表者 ・陰山麻愉、松田理沙、藤田詩桜 (地学系研究部マグマ班)  
 ・横山桃子、永野千世、稲本晴香、陰山麻愉、松田理沙、藤田詩桜 (地学系研究部マグマ班)  
 結果 日本で最大級の地球科学の専門学会で、米国地球物理学連合 (AGU) と連携関係にある。高校生発表は 109 件あり、対面でポスター発表を行った。大会会場で専門研究者と対話をしたり、大学・企業ブースを訪問したりして、よい経験となった。

(2) スーパーサイエンスハイスクール (SSH) 生徒研究発表会で発表 (地学系研究部マグマ班)

主催 文部科学省、(独) 科学技術振興機構  
 応募 令和6年5月23日(木) 申込および要旨締切  
 令和6年7月26日(金) ポスター電子ファイル提出締切  
 日時 令和6年8月6日(火) 13:00~8月8日(木) 16:30  
 場所 神戸国際展示場 (神戸市中央区港島中町 6-11-1)  
 テーマ 西南日本山陽帯と山陰帯のマグマ分化末期の熱水残液循環の比較—深成岩の角閃石から発見した波状累帯構造で推定— (地学系研究部マグマ班)  
 Comparison of Hydrothermal Residual Circulation at the Magma Differentiation  
 発表者 松田理沙、陰山麻愉、藤田詩桜 (3年次マグマ班)  
 結果 経験校を含む 231 件の発表があった。正確で丁寧な新しい発見について説明し質疑応答した。先端的で専門性が高い発表であったことから、「本当に君たちが行ったのか」、「先生に言われてやっただけなのではないか」という批判を受けることになってしまった。この発表会は、SSH 指定校として研究開発を行い、出る杭の生徒の育成を目指した結果を発表するものであるのであれば、それに対して高校生では無理だろうという旧来の先入観によって評価されたことは大変残念であった。この件に関しては、顧問の川勝主幹教諭が日本地質学会で指摘し、是非聞くべき講演として「ハイライト講演」に選ばれた。

(3) 第15回東京理科大学坊っちゃん科学賞で、優良入賞 (全国3位) 3件 (生物系研究部サボテン班、地学系研究部マグマ班、物理系研究部磁性流体班)、佳作1件 (生物系研究部ニハイチュウ班) 受賞

主催 東京理科大学  
 応募 令和6年7月31日(水) 申込締切  
 令和6年8月31日(土) 論文締切  
 テーマ ・サボテン種に共通な刺座配列方程式と種固有の変数 (その2) (生物系研究部サボテン班)  
 ・角閃石から発見した波状累帯構造からマグマ分化末期の熱水残液の循環を解明する (地学系研究部マグマ班)  
 ・外部磁力によって磁性流体にスパイクが形成される条件 (その2) (物理系研究部磁性流体班)  
 ・軟体動物の腎囊表面の形状による蠕虫型ニハイチュウの棲み分け (2) (生物系研究部ニハイチュウ班)  
 研究者 ・村瀬太郎、大和司、寺田悠哉、宮本泰成、宮下翔真 (生物系研究部サボテン班)  
 ・松田理沙、陰山麻愉、藤田詩桜 (地学系研究部マグマ班)  
 ・陰山麻愉、松田理沙、飯田凌央、石井漸、永井翔、中村賢矢、富士佳蓮 (物理系研究部磁性流体班)

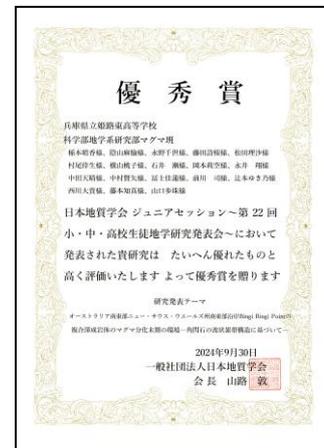


- ・前田隆良、岡本莉空、中田天晴、中村賢矢（生物系研究部ニハイチュウ班）
- 結果 253 件の論文応募があった。中学校・高等学校教育関係者 59 名による分野別審査と、秋山仁特任副学長を審査委員長とする 12 名による東京理科大学教授審査によって、本校から応募した 4 件の研究すべてが受賞を果たした。これらの研究論文をまとめた作品集が 3 月に出版される。

**(4) 日本地質学会第 131 年学術大会第 22 回ジュニアセッションで優秀賞（全国 1 位）を受賞（地学系研究部マグマ班）受賞**

主催 日本地質学会  
 応募 令和 6 年 7 月 16 日（火）申込および要旨締切  
 日時 令和 6 年 9 月 8 日（日）13:30～15:00 ポスターコアタイム  
 場所 山形大学小石川キャンパス（山形市小石川町 1-4-12）  
 テーマ オーストラリア南東部ニュー・サウス・ウエールズ州南東部沿岸 Bingi Bingi Point の複合深成岩体のマグマ分化末期の環境一角閃石の波状累帯構造に基づいてー（地学系研究部マグマ班）  
 Late Magma Differentiation of Bingi Bingi Complex, Southeast NSW, Australia —Based on Oscillatory Zoned Structure of Amphiboles of Granitoids—

研究者 稲本晴香、陰山麻愉、永野千世、藤田詩桜、松田理沙、村尾倭生、横山桃子、石井漸、岡本莉空、永井翔、中田天晴、中村賢矢、富士佳蓮、前川司、辻本ゆき乃、西川大貴、藤本知真、山口歩珠（地学系研究部マグマ班）  
 発表者 稲本晴香、陰山麻愉、永野千世、藤田詩桜、松田理沙、村尾倭生、横山桃子、石井漸、岡本莉空、永井翔、中田天晴、中村賢矢、富士佳蓮、前川司、辻本ゆき乃、西川大貴、藤本知真、山口歩珠（地学系研究部マグマ班）  
 結果 21 件の発表があり、専門研究者が行う研究に引けを取らないと高く評価された。その後の研究に対する助言を得ることができ有意義な発表会となった。また地質情報展や山形博物館研修を行い、地学に関する知見を深くした。



**(5) 日本動物学会第 95 回大会で高校生ポスター賞を受賞（生物系研究部ニハイチュウ班）**

主催 日本動物学会  
 応募 令和 6 年 5 月 7 日（火）申込および要旨締切  
 日時 令和 6 年 9 月 14 日（土）11:30～14:15  
 場所 長崎大学文教キャンパス（長崎市文教町 1-14）  
 テーマ 蠕虫型ニハイチュウ培養液に最適な pH の研究（生物系研究部ニハイチュウ班）

研究者 中田天晴、岡本莉空、中村賢矢、甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎、前田隆良（生物系研究部ニハイチュウ班）  
 結果 今後の研究に貢献する基礎研究として高く評価され、高校生ポスター賞を受賞した。発表件数は 49 件。



**(6) 日本植物学会第 88 回大会で発表（生物系研究部サボテン班）**

主催 日本植物学会  
 応募 令和 6 年 7 月 31 日（水）申込・要旨締切  
 日時 令和 6 年 9 月 16 日（月・祝）9:30～14:20  
 場所 ライトキューブ宇都宮（宇都宮市みらい 1-20）  
 テーマ サボテンの刺座とトウモロコシの実の穎果の配列の類似性（生物系研究部サボテン班）

研究者 宮下翔真、寺田悠哉、宮本泰成、村瀬太郎、大和司、武内美月、本莊初香（生物系研究部サボテン班）  
 結果 昨年からはほぼ倍増の全国から 43 件の発表があった。サボテンの刺座配列が螺旋方程式で表されたのと同様に、ほかの植物でも螺旋方程式で表すことができるのか研究した成果に対して、生物学的意義が高いと評価された。

**(7) 第 22 回高校生科学技術チャレンジ 2024 (JSEC) で佳作を受賞（地学系研究部マグマ班）**

主催 朝日新聞社、テレビ朝日 文部科学省認定大会  
 応募 令和 6 年 9 月 30 日（月）申込および論文締切  
 日時 令和 6 年 10 月上旬～中旬 審査

場 所 日本科学未来館（東京都江東区青海 2-3-6）  
 テーマ ・豪州 NSW 州南東部 Bingi Bingi Point 複合深成岩体のマグマ分化末期の環境—露頭調査と角閃石の波状累帯構造の解析に基づいて—（地学系研究部マグマ班）  
 ・ニハイチュウの生存に最適な pH の解明—飼育・培養液の最適な pH 調整に向けて—（生物系研究部ニハイチュウ班）  
 研究者 ・富士佳蓮、山口歩珠、辻本ゆき乃（地学系研究部マグマ班）  
 ・中田天晴、岡本莉空、中村賢矢（生物系研究部ニハイチュウ班）



結 果 昨年度を 60 件も上回る過去最多の 404 件の応募があった。論文に対する予備審査（1 研究あたり 4~6 名の審査委員）によって、本校のマグマ班を含む 100 研究が 1 次審査に進出した。マグマ班は大変完成度の高い専門研究であると認められたが、それゆえにグラフの読み方やグラフの意図するところを説明するように指摘を受けた。またニハイチュウ班は、ニハイチュウの飼育・培養液を作成する段階で終わらずに、そこから先の観察の研究が期待された。

**(8) 京都大学ポスターセッション 2024 に応募（物理系研究部磁性流体班）**

主 催 兵庫県教育委員会、京都大学  
 応 募 令和 6 年 10 月 11 日（金）申込および要旨締切  
 場 所 京都大学吉田南校舎（京都市左京区吉田本町）  
 テーマ 磁性流体に加えられた外部磁力の大きさを比較する方法の提案—ヘレシヨウセルを用いて—（物理系研究部磁性流体班）  
 研究者 前川司、飯田凌央、石井漸、永井翔、大加戸蒼太（物理系研究部磁性流体班）  
 結 果 昨年まで 3 年連続で兵庫県代表に選出されて発表し、昨年度は最優秀賞を得たことから、本年度は応募にとどまった。

**(9) 第 68 回日本学生科学賞兵庫県コンクールで佳作を受賞、中央審査会へ進出（生物系研究部サボテン班）**

主 催 読賣新聞社・兵庫県教育委員会・神戸市教育委員会・兵庫県中学校教育研究会理科部会  
 文部科学省認定大会  
 応 募 令和 6 年 9 月 20 日（金）申込および研究概要締切  
 令和 6 年 10 月 15 日（火）審査委員会  
 場 所 バンドー神戸青少年科学館  
 （神戸市中央区港島中町 7-7-6）  
 テーマ ・サボテン、トウモロコシ、ヒメムカシヨモギ、アレチヌズビトハギにみられる規則的な配列の類似性（生物系研究部サボテン班）  
 ・磁性流体に加えたさまざまな大きさの外部磁力の影響を知る方法の提案—ヘレシヨウセルを用いて—（物理系研究部磁性流体班）  
 研究者 ・宮下翔真、寺田悠哉、武内美月（生物系研究部サボテン班）  
 ・前川司、石井漸、永井翔（物理系研究部磁性流体班）  
 結 果 論文およびポスターについて 9 名の審査委員によって審査された。その結果、サボテン班の数理学的研究が、高校生の研究ながら学術的意義が高く優れているとして、中央審査会への推薦が決まった。

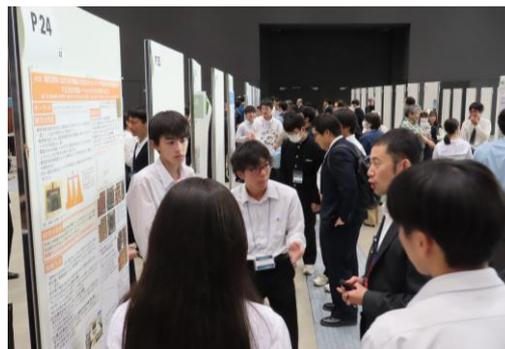


**(10) 第 7 回キャタピラーSTEM 賞に応募**

主 催 キャタピラージャパン合同会社  
 応 募 令和 6 年 10 月 31 日（木）申込および要旨締切  
 日 時 令和 6 年 11 月 審査委員会  
 テーマと応募者  
 ・空き家を再利用した子ども食堂（松岡沙和）  
 ・SDG s 達成に向けたアイデア（山口歩珠）  
 ・空き家をコミュニティースペースにする地域の活性化（武内美月）  
 ・地域コミュニティの活性化に空き家を活用して高齢者を取り残さない（本莊初香）  
 結 果 受賞の有無よりも、地域に関心を持ち自ら応募しようとする姿勢を大切にしたい。

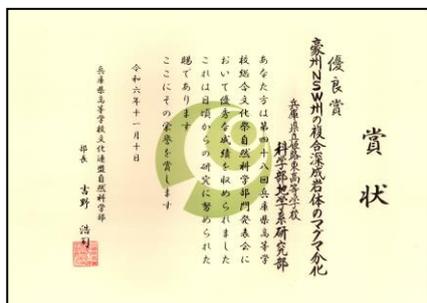
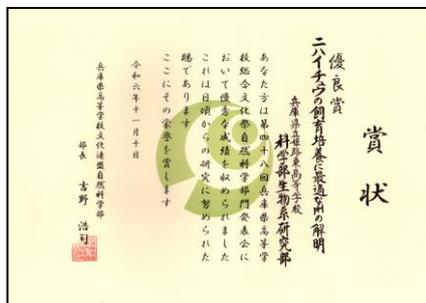
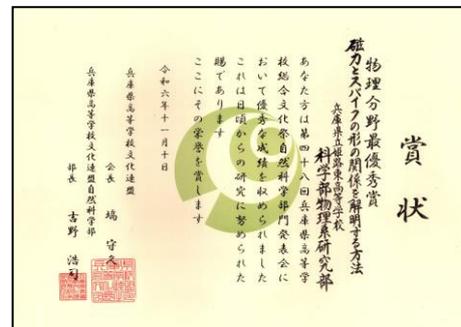
(11) 日本航空宇宙学会第68回宇宙科学技術連合講演会で発表 (物理系研究部磁性流体班)

主催 日本航空宇宙学会  
 応募 令和6年9月15日(日) 申込および要旨締切  
 日時 令和6年11月5日(火) 16:00~17:00  
 場所 アクリエひめじ (姫路市神屋町143-2)  
 テーマ 磁性流体に加える外部磁力と形成されるスパイク底面の形状の関係を解明する方法の提案—ヘリシヨウセルを用いる方法— (物理系研究部磁性流体班)  
 研究者 前川司、陰山麻愉、村尾倅生、飯田凌央、石井漸、永井翔、中村賢矢、富士佳蓮、大加戸蒼太、辻本ゆき乃、山口歩珠 (物理系研究部磁性流体班)  
 結果 本年度から始まったジュニアセッションで、19件の発表があった。航空宇宙学会らしく、いつもの理学系学会とは異なる視点からの質疑が行われ、よい刺激を受けた。



(12) 第48回兵庫県高等学校総合文化祭自然科学部門発表会で口頭およびポスター発表し、最優秀賞 (物理系研究部磁性流体班) を得て第49回全国高等学校総合文化祭への進出を決めたほか、優良賞 (生物系研究部ニハイチュウ班、地学系研究部マグマ班) 受賞

主催 兵庫県高等学校文化連盟自然科学部会  
 応募 令和6年9月17日(火) 申込締切  
 令和6年10月2日(水) 論文締切  
 令和6年10月25日(金) 参加調査票提出締切  
 日時 令和6年11月8日(金) 予選 (生物分野)  
 令和6年11月9日(土) 口頭発表、ポスター発表  
 フリーセッション  
 令和6年11月10日(日) ポスター発表、フリーセッション  
 場所 バンドー神戸青少年科学館 (神戸市中央区港島中町7-7-6)  
 テーマ  
 ・ 磁力とスパイクの形の関係を解明する方法 (物理系研究部磁性流体班)  
 ・ ニハイチュウの飼育培養に最適な pH の解明 (生物系研究部ニハイチュウ班)  
 ・ 豪州 NSW 州の複合深成岩体のマグマ分化 (地学系研究部マグマ班)  
 研究者  
 ・ 前川司、永井翔、石井漸、飯田凌央、大加戸蒼太 (物理系研究部磁性流体班)  
 ・ 中田天晴、岡本莉空、中村賢矢、甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎 (生物系研究部ニハイチュウ班)  
 ・ 富士佳蓮、山口歩珠、辻本ゆき乃、西川大貴、藤本知真 (地学系研究部マグマ班)  
 結果 生物分野の予備審査の結果、口頭発表24件 (物理分野2件、化学分野4件、生物分野13件、地学分野5件)、ポスター発表49件であった。論文と当日の口頭発表、およびポスター発表審査の合計点で評価を受け、磁性流体班が来年度開催の全国総合文化祭への出場権を得た。



(13) 第68回日本学生科学賞 中央審査会に出場 (生物系研究部サボテン班)

主催 読賣新聞社、全日本科学教育振興委員会、科学技術振興機構 文部科学省認定大会  
 応募 令和6年11月4日(月) 応募フォーム (出品票) および研究レポート提出締切  
 令和6年11月16日(土)~17日(日) 中央予備審査会  
 テーマ 身近な植物の器官に見られる配列—葉や果実の規則的な配列を示す螺旋方程式— (生物系研究部サボテン班)

研究者 宮下翔真、寺田悠哉、武内美月（生物系研究部サボテン班）

要旨 1. 動機、背景、目的  
 昨年度の研究でサボテンの刺座が螺旋方程式を描いて配列していることを明らかにした。その他の身近な植物の葉や果実などの器官にも螺旋が隠されているように見えることから、本年度はトウモロコシの実の穎果や苞葉、校庭に生えているヒメムカシヨモギやアレチヌスビトハギの葉の配列を調べることにした。

2. 研究方法  
 トウモロコシ（11 個体）の実の穎果や葉、校庭に生えているヒメムカシヨモギ（15 個体）やアレチヌスビトハギ（15 個体）の葉の配列を、x-y-z の座標として測定し imageJ で処理して、数式化できないか検討した。

3. 研究結果  
 今回調べたすべての植物の器官に、サボテン種の刺座配列の螺旋方程式と同じように示せる規則正しい配列がみられた。変数は種によって、あるいは同種であっても器官によって異なる。外見が異なったり、成長段階が異なったりしていても、螺旋方程式に違いはない。

4. まとめ、結論  
 さまざまに異なる形状の植物の器官が、固有の変数を持つ螺旋方程式  $r = se^{ln} \times u(n-1)$  で表される配列をもっている。植物の器官が螺旋を描くことで、太陽光を受けやすくなり、穎果が隙間なく成長したりすることができると考えられる。

5. 展望  
 生育環境で変数が決まるのか、DNA で決まるのかを明らかにしたい。たとえばトウモロコシの苞葉の配列と実の穎果の配列の螺旋方程式の変数が異なっていた。植物種によって、また同種であっても器官や組織ごとに変数がなぜ異なるのかについて、DNA を調べるなどして明らかにしたい。

結果 全国から推薦された 303 件（兵庫県を含めて 9 都県は各都県で予備審査あり）の研究論文について 20 名の審査委員によって審査された。残念ながら中央最終審査には至らなかったが、「結論と今後の課題に記したように、植物の生育環境や DNA との関連をさらに明らかにしていくこと、特に器官の発生のメカニズムに関する知見も必要ではないか（数理モデルから発生のメカニズムにアプローチする）」という今後の展開についての有意義な助言を得ることができた。

(14) 神戸大学高校生・私の科学研究発表会 2024 で 1 位優秀賞（物理系磁性流体班）、奨励賞 2 件（生物系研究部ニハイチュウ班、生物系研究部サボテン班）を受賞

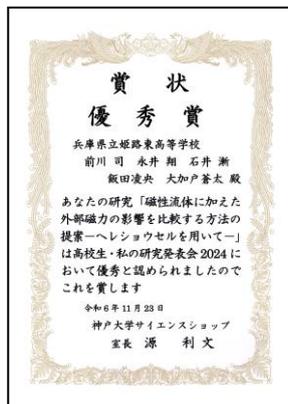
主催 兵庫県生物学会、神戸大学サイエンスショップ  
 応募 令和 6 年 10 月 16 日（水）申込および要旨締切  
 日時 令和 6 年 11 月 23 日（土・祝）  
 場所 神戸大学百周年記念館（神戸市灘区六甲台町 1-1）  
 テーマ

- ・磁性流体に加えた外部磁場の影響を比較する方法の提案—ヘレシヨウセルを用いて—（物理系研究部磁性流体班）：口頭発表
  - ・ニハイチュウの生育に最適な pH の解明—飼育・培養液の作成のための基礎研究—（生物系研究部ニハイチュウ班）：口頭発表
  - ・サボテン、トウモロコシ、ヒメムカシヨモギ、アレチヌスビトハギにみられる規則的な配列の類似性（生物系研究部サボテン班）：ポスター発表
  - ・豪州 NSW 州の複合深成岩体のマグマ分化（地学系研究部マグマ班）：ポスター発表
- 研究者
- ・前川司、永井翔、石井漸、飯田凌央、大加戸蒼太（物理系研究部磁性流体班）
  - ・中田天晴、岡本莉空、中村賢矢、甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎（生物系研究部ニハイチュウ班）

・宮下翔真、寺田悠哉、武内美月、本莊初香（生物系研究部サボテン班）

・富士佳蓮、山口歩珠、辻本ゆき乃、西川大貴、藤本知真（地学系研究部マグマ班）

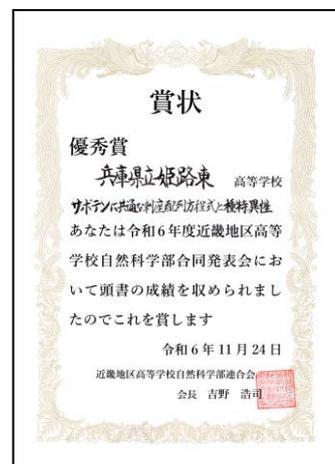
結果 口頭発表とポスター発表を合わせて 49 件の発表があつ



た。本校からは1年次生徒が初めて中心になって発表する機会と位置付けており、良い経験となった。

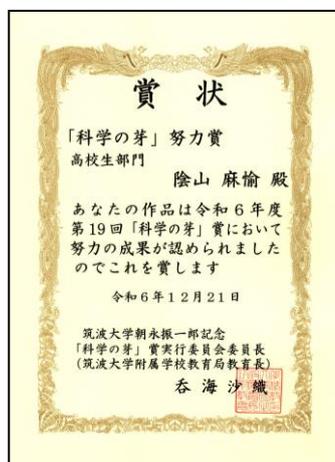
(15) 令和6年度近畿地区高等学校自然科学部合同発表会（近畿高等学校総合文化祭）で1位優秀賞を受賞（生物系研究部サボテン班）

主催 近畿地区高等学校自然科学部連合会  
 応募 令和6年6月21日（金）申込締切  
 令和5年9月20日（金）論文締切  
 日時 令和6年11月24日（日）11:30～18:00  
 場所 京都教育大学（京都市伏見区深草藤森町1）  
 テーマ サボテンに共通な刺座配列方程式と種特異性（生物系研究部サボテン班）  
 研究者 宮下翔真、寺田悠哉、宮本泰成、武内美月、本莊初香（生物系研究部サボテン班）  
 結果 近畿地方の各府県から選抜された23件の研究のポスター発表会で、高校生どうしの交流も積極的に行われた。本校から発表した研究は、昨年度の兵庫県高等学校総合文化祭で優れた研究であると選抜された研究である。



(16) 第19回筑波大学「科学の芽」賞で努力賞（全国3位／物理系研究部磁性流体班、生物系研究部サボテン班）受賞

主催 筑波大学「科学の芽」賞実行委員会 文部科学省認定大会  
 応募 令和6年9月17日（火）申込および論文締切  
 日時 令和5年11月29日（金）審査委員会  
 テーマ  
 ・磁性流体に加える外部磁力と形成されるスパイク底面の形状の関係を解明する方法の提案—ヘレショウセルを用いて—（物理系研究部磁性流体班）  
 ・サボテン、トウモロコシ、ヒメムカシヨモギ、アレチヌスビトハギの葉や穎果の規則的な配列の類似性（生物系研究部サボテン班）  
 ・ニハイチュウの生存に最適なpHの解明—飼育・培養液の最適なpH調整に向けて—（生物系研究部ニハイチュウ班）  
 ・豪州NSW州南東部 Bingi Bingi Point 複合深成岩体のマグマ分化末期の環境—露頭調査と角閃石の波状累帯構造の解析に基づいて—（地学系研究部マグマ班）  
 研究者  
 ・陰山麻愉、村尾倅生、飯田凌央、石井漸、永井翔、中村賢矢、富士佳蓮、前川司、大加戸蒼太、辻本ゆき乃、山口歩珠（物理系研究部磁性流体班）  
 ・村瀬太郎、宮下翔真、寺田悠哉、宮本泰成、大和司、武内美月、本莊初香（生物系研究部サボテン班）  
 ・中田天晴、岡本莉空、中村賢矢、甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎（生物系研究部ニハイチュウ班）  
 ・松田理沙、稲本晴香、陰山麻愉、永野千世、藤田詩桜、村尾倅生、横山桃子、飯田凌央、石井漸、岡本莉空、永井翔、中田天晴、中村賢矢、富士佳蓮、前川司（地学系研究部マグマ班）  
 結果 高校生部門262件の応募のうち、磁性流体班とサボテン班が努力賞を受賞した。一昨年度から3年連続の受賞となった。

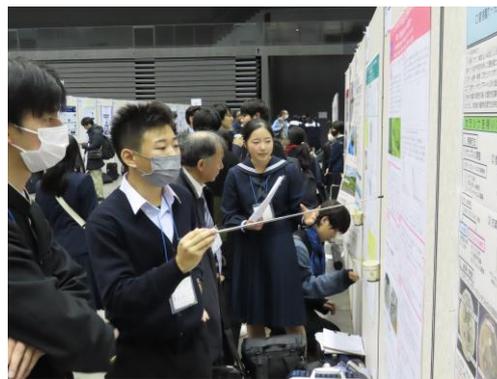


(17) 第47回日本分子生物学会高校生発表会で口頭発表およびポスター発表（生物系研究部サボテン班、生物系研究部ニハイチュウ班）

主催 日本分子生物学会  
 応募 令和6年10月17日（木）申込および要旨締切  
 日時 令和6年11月29日（金）12:55～14:55  
 場所 福岡国際会議場マリンメッセ福岡（福岡市博多区石城町2-1）  
 テーマ  
 ・サボテン、トウモロコシ、ヒメムカシヨモギ、アレチヌスビトハギにみられる規則的な配列の類似性（生物系研究部サボテン班）  
 ・ニハイチュウの生存に最適なpHの解明—飼育・培養液作成のための基礎研究—（生物系研究部ニハ



- 研究者 イチュウ班)  
 ・宮下翔真、寺田悠哉、宮本泰成、武内美月、本莊初香（生物系研究部サボテン班）  
 ・中田天晴、岡本莉空、中村賢矢、甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎（生物系研究部ニハイチュウ班）
- 結果 本学会は、研究指針と参加指針が明確にされており、高校生の発表であっても遵守することが求められている。口頭発表の後、引き続いてポスター発表を行い、短時間ながら20名以上の研究者の訪問を受けた。本年度は、審査を通過した25件の口頭発表と45件のポスター発表があった。なお本大会にプレゼンテーションの審査はない。



**(18) 第23回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞に応募（地学系研究部マグマ班、物理系研究部磁性流体班、生物系研究部ニハイチュウ班、生物系研究部サボテン班）**

- 主催 神奈川大学 文部科学省認定大会  
 応募 令和6年8月22日（木）申込および論文締切  
 日時 令和6年12月12日（木）審査委員会  
 テーマ
- ・豪州 NSW 州南東部 Bingi Bingi Point 複合深成岩体のマグマ分化末期の環境—発見した角閃石の波状累帯構造の解析に基づいて—（地学系研究部マグマ班）
  - ・磁性流体に加える外部磁力とラビリンス・パターンとの関係（物理系研究部磁性流体班）
  - ・ニハイチュウの飼育・培養に最適な pH の解明（生物系研究部磁ニハイチュウ班）
  - ・サボテンの刺座、トウモロコシの穎果、ヒメムカシヨモギ、アレチヌスビトハギの葉の規則的な配列の類似性（生物系研究部サボテン班）
- 研究者
- ・松田理沙、稲本晴香、陰山麻愉、永野千世、藤田詩桜、村尾倅生、横山桃子、飯田凌央、石井漸、岡本莉空、永井翔、中田天晴、中村賢矢、富士佳蓮、前川司（地学系研究部マグマ班）
  - ・陰山麻愉、村尾倅生、飯田凌央、石井漸、永井翔、中村賢矢、富士佳蓮、前川司、大加戸蒼太、辻本ゆき乃、山口歩珠（物理系研究部磁性流体班）
  - ・中田天晴、岡本莉空、中村賢矢、甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎（生物系研究部ニハイチュウ班）
  - ・宮下翔真、寺田悠哉、宮本泰成、村瀬太郎、大和司、武内美月、本莊初香（生物系研究部サボテン班）
- 結果 応募総数 58 校 128 件。予備審査と審査委員 5 名による審査が行われた。研究論文をまとめる時間的余裕がない状況で応募したためか、残念ながら受賞することはできなかった。

**(19) 公益財団法人中谷医工計測技術振興財団 2024 年度科学教育振興助成成果発表会でポスター発表し奨励賞を受賞（地学系研究部マグマ班）**

- 主催 公益財団法人中谷医工計測技術振興財団 文部科学省  
 助成 令和6年3月1日（金）助成採択  
 日時 令和6年12月21日（土）14:15～12月22日（日）16:00  
 場所 東京工科大学鎌田キャンパス（東京都大田区西蒲田 5-23-22）  
 テーマ マグマ分化末期の熱水残液の循環が鉱物に与える影響の解明—深成岩の角閃石から発見した波状累帯構造を指標として—（地学系研究部マグマ班）
- 発表者 辻本ゆき乃、山口歩珠（地学系研究部マグマ班）  
 内容 助成を受けた小中高の生徒が集まり、テーマや年齢の異なる参加者に発表しあい交流の機会をもつもの。筑波大学国際統合睡眠医科学研究機構長の柳沢正史教授の特別講演の後、全国の小中高の課題研究の現状を知る有意義な発表会となった。



**(20) プラズマ・核融合学会第22回高校生シンポジウムでポスター優秀賞を受賞（物理系研究部磁性流体班）**

- 主催 プラズマ・核融合学会  
 応募 令和6年12月13日（金）応募締切  
 日時 令和7年1月25日（土）13:00～17:30  
 場所 金沢大学角間キャンパス（石川県金沢市角間町）  
 テーマ
- ・磁性流体に加える外部磁力と形成されるスパイク底面の形状の関係を解明する方法の提案—ヘレショウセルを用いる方法—（物理系研究部磁性流体班）
- 研究者
- ・飯田凌央、石井漸、永井翔、富士佳蓮、前川司、大加戸蒼太（物理系研究部磁性流体班）

内容 口頭発表の後にポスター発表を行い、総合的に審査が行われた。今後の課題について有益な助言を得ることができた。発表件数は13件だが、多くの団体が大学研究室との共同研究成果発表であり、高校生単独の研究として本校が唯一の受賞となった。



**(21) 日本農芸化学会 2025 年度大会ジュニア農芸化学会で全国 2 位銀賞を受賞 (生物系研究部ニハイチュウ班)**

主催 日本農芸化学会  
 応募 令和6年12月6日(金) 申込および要旨締切  
 日時 令和7年3月7日(金) 8:30~14:00  
 場所 札幌コンベンションセンター(札幌市白石区東札幌6条1-1-1)  
 テーマ ・ニハイチュウの飼育・培養に最適な pH の解明(生物系研究部ニハイチュウ班)  
 研究者 ・中田天晴、岡本莉空、中村賢矢、甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎(生物系研究部ニハイチュウ班)

**(22) 第 27 回化学工学会学生発表会で奨励賞を受賞 (物理系研究部磁性流体班)**

主催 化学工学会  
 応募 令和6年12月6日(金) 申込締切  
 令和7年2月7日(金) 要旨締切  
 日時 令和7年3月8日(土) 9:30~16:00 オンライン開催  
 テーマ ・磁性流体に加える外部磁力和形成されるスパイク底面の関係を解明する方法の提案-ヘレショウセルを用いる方法-(物理系研究部磁性流体班)  
 研究者 ・前川司、永井翔、石井漸、富士佳蓮、大加戸蒼汰、飯田凌央(物理系研究部磁性流体班)

**(23) 第 175 回日本金属学会 2025 年春期講演大会第 13 回高校生・高専生ポスター発表でポスター優秀賞を受賞 (物理系研究部磁性流体班)**

主催 日本金属学会  
 応募 令和7年1月8日(水) 申込締切  
 日時 令和7年3月8日(土) 14:30~18:00  
 場所 東京都立大学南大沢キャンパス(東京都八王子市南大沢1-1)  
 テーマ ・磁性流体に加える外部磁力和形成されるスパイク底面の関係をヘレショウセルを用いて解明する方法の提案(物理系研究部磁性流体班)  
 発表者 ・前川司、永井翔、石井漸、富士佳蓮、飯田凌央、大加戸蒼汰(物理系研究部磁性流体班)

**(24) 第 21 回日本物理学会 Jr. セッション (2025) で奨励賞を受賞 (物理系研究部磁性流体班)**

主催 日本物理学会、高等学校文化連盟全国自然科学専門部  
 応募 令和6年12月13日(金) 申込および要旨、論文、研究倫理受講確認書締切  
 日時 令和7年3月15日(土) 9:00~13:30 オンライン開催  
 テーマ ・磁性流体に加える外部磁力和形成されるスパイク底面の関係を解明する方法-ヘレショウセルを用いて-(物理系研究部磁性流体班)  
 研究者 ・前川司、飯田凌央、石井漸、永井翔、富士佳蓮、大加戸蒼汰(物理系研究部磁性流体班)

**(25) 第 72 回日本生態学会 (2025 年) 高校生ポスター発表会で本発表研究に採択され発表 (生物系研究部ニハイチュウ班)**

主催 日本生態学会  
 応募 令和6年10月31日(木) 申込締切  
 令和7年2月21日(金) 要旨締切  
 日時 令和7年3月16日(日) 11:00~13:00  
 場所 札幌コンベンションセンター(札幌市白石区東札幌6条1-1-1)  
 テーマ ・ニハイチュウの生育に最適な pH の解明-飼育・培養液の作成のための基礎研究-(生物系研究部ニハイチュウ班)  
 研究者 ・中田天晴、岡本莉空、中村賢矢、甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎(生物系研究部ニハイチュウ班)

#### 4 小中学生を対象にした活動

##### (1) 「出前授業 in 荒川公民館」を開催

- 目的 近隣小学校の児童に身近な科学の面白さを体験してもらうことによって、自然科学に関する興味・関心を高めるとともに、本校生徒のプレゼンテーション能力の向上を図る。
- 主催 兵庫県立姫路東高等学校科学部
- 募集 令和6年7月18日(木)申込締切  
近隣の小学生を対象に募集する。
- 日時 令和6年7月24日(水)14:00~15:30
- 場所 姫路市立荒川公民館(姫路市町坪127-4)
- テーマ 手作りCD分光器で光の違いを観察しよう
- 参加者 兵庫県立姫路東高等学校科学部の生徒及び教員
- 内容 科学部が研究しているオリジナルなテーマの内容について、科学部の生徒がわかりやすくした実験・観察を行い、発見や解明の楽しさを追体験してもらう。近隣小学生15名(3年生2人、4年生4名、5年生2名、6年生5名)、中学生3名(1年生1名、2年生2名)、保護者11名が参加し、盛況となった。



##### (2) わくわく実験教室を企画

- 目的 近隣小学校の児童を本校に招き、身近な科学の面白さを体験してもらうことによって、自然科学に関する興味・関心を高める。本校生徒のプレゼンテーション能力の向上を図る。
- 主催 兵庫県立姫路東高等学校科学部、生活創造部
- 募集 令和6年7月12日(金)申込締切  
近隣の小学4・5・6年生を対象に募集する。
- 日時 令和6年8月18日(日)9:00~12:00
- 場所 兵庫県立姫路東高等学校 生物教室・調理教室
- テーマ 手作りCD分光器(光に色をつけよう)  
無重力パフェ〜アイスをつくろう(氷点降下と卵の泡立ち)
- 参加者 兵庫県立姫路東高等学校科学部、生活創造部の生徒及び教員
- 内容 インフルエンザ禍の影響によって残念ながら中止となった。

#### 5 発展的な探究活動

##### (1) JST グローバルサイエンスキャンパス企画大阪大学の教育研究力を活かしたSEEDSプログラム(傑出した科学技術人材発見と早期育成)に1年次生徒5名(2チーム)が合格

- 主催 大阪大学理学部
- 応募 令和6年5月22日(水)申込および書類締切
- 日時 令和6年6月2日(日)、6月9日(日)13:30~17:30  
記述試験と面接審査
- 場所 大阪大学(豊中市待兼山町1-1)
- 合格者 体感コースS(科学系部活動所属生徒対象)に1年次生徒5名2チームが合格して活動した。マグマ班:西川大貴、藤本知真、ニハイチュウ班:甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎
- 協力者 古谷秀隆教授(大阪大学大学院理学研究科)  
福田光順教授(大阪大学大学院理学研究科)
- 内容 体感コースSは、現在高等学校の部活動で行っている研究をさらに深化させるために大阪大学の教員および施設を活用するもので、事前に研究計画書を提出して面接審査を受け、採択の可否が決定する。本校から2チームが応募し、いずれも合格して研究活動を行った。



##### (2) 京都大学理学探究活動推進事業COCOUS-R2024に3名1チーム合格

- 主催 京都大学大学院理学研究科
- 応募 令和6年5月15日(水)申込および書類締切
- 日時 令和6年5月31日(金)合格発表
- 場所 京都大学理学部(京都市左京区北白川追分町)
- 合格者 2年次女子生徒1名(富士佳蓮)、1年次女子生徒2名(辻本ゆき乃、山口歩珠)
- 協力者 河上哲夫教授(大学院理学研究科地球惑星科学)、中野美玖

氏（同大学院生）  
 内容 応募があり選考に合格した女子高校生 1～3 名と、京都大学理学部の大学院生がチームとなり探究活動を進める事業で、月 2 回定期的に ZOOM を活用して研究の進捗状況の確認と助言指導が行われた。合格した地学系研究部マグマ班の 3 名が、ZOOM ミーティングの枠を超えて、高大連携の事業に発展させ、京都大学理学部の Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) を 2 月 1 日 (土)～2 日 (日)、3 月 25 日 (火) の 3 日間自由に使って、鉱物の化学成分分析を行わせていただくことができた。

### (3) 数学理科甲子園に挑戦

主催 兵庫県教育委員会  
 応募 令和 6 年 9 月 6 日 (水) 申込締切  
 日時 令和 6 年 10 月 28 日 (土) 9:00～16:00  
 場所 甲南大学 講堂兼体育館 (神戸市東灘区岡本 8-9-1)  
 受験者 2 年次生 6 名 1 チーム  
 結果 本大会は、科学の甲子園全国大会の兵庫県予選と位置付けられている。2 年次生徒 6 名が 1 つのチームとなって、数学や理科の課題に取り組んだ。予選 (筆記競技) の個人戦、団体戦の合計得点で本選進出が決まるが、残念ながら予選敗退し本選に進出できなかった。

### (4) 第 17 回日本地学オリンピック (第 18 回国際地学オリンピック日本代表選抜) に 15 名が挑戦

主催 NPO 法人地学オリンピック日本委員会  
 応募 令和 6 年 11 月 15 日 (金) 申込締切  
 日時 令和 6 年 12 月 15 日 (日) 16:30～17:30 (オンライン開催)  
 場所 生徒各自の自宅で受験  
 受験者 2 年次生 6 名、1 年次生 9 名  
 結果 国際大会予選として実施される科学オリンピックのひとつ。この成績は多くの国立大学の A0 入試や推薦入試に用いることができる。マークシート方式の筆記試験で、原則として高等学校地学基礎の教科書の内容から出題されるが、思考的な発展問題も含まれる。受験者総数 1624 名、平均点 34.01 点、本校では 1 年次生徒がまだ地学基礎を学習していないこともあって受験者平均点 28.3 点であった。

## 6 国際的な活動

### (1) 21 世紀の中高中生による国際科学技術フォーラム SKYSEF2024

主催 静岡理工科大学  
 テーマ Late Magma Differentiation of Bingi Bingi Complex, Southeast NSW, Australia  
 –Based on Oscillatory Zoned Structure of Amphiboles of Granitoids–  
 日程 令和 6 年 8 月 20 日 (火)～23 日 (金)  
 場所 静岡市清水テルサ  
 参加者 生徒：松田理沙、稲本晴香、永野千世、横山桃子 (科学部 3 年次女子生徒)  
 引率：川勝和哉 (主幹教諭/理科)  
 内容 イタリア、グアム、タイ、台湾、日本の生徒 103 名が集まった。本校は口頭発表の部で第 1 位を獲得した。  
 8 月 20 日 (火) 開会式、基調講演 (加藤憲二静岡大学名誉教授)、歓迎レセプション  
 8 月 21 日 (水) ポスターセッション、口頭発表  
 8 月 22 日 (木) 国際共同プロジェクト (課題研究)、ティーチャーズ・ミーティング  
 8 月 23 日 (金) 国際共同プロジェクト、発表会、表彰式、閉会式  
 感想 ・自分たちの研究は日本語で説明しても難しい内容で、伝えることの難しさを痛感していました。今回は英語で説明して聞き手に理解してもらう必要があったので、どう説明したら分かりやすいか、何を強調すべきか、などメンバー 4 人で話し合っ話し込んで考えました。まさか私たちが賞を取るなんて！とても拙い英語だったけど、伝えようとする姿勢を評価してもらえたようです。受験との両立でめげそうになりながらも、頑張ってきてよかった！と思えた瞬間でした。涙が溢れそうになりました。  
 ・2 日目のポスター発表の前半時間は緊張して原稿を読むだけになってしまい、相手の目を見て笑顔で話すということが出来ず、うまく発表することができませんでした。だから、後半時間と口頭発表は相手に伝わるような発表をしたいと思い、原稿を確認しながら話すのをやめて、少し不格好になってしまったけど自分の言葉で話してみました。すると、自分の言葉で一生懸命伝えたほうが、綺麗な英文を並べて作った原稿を読んだ時よりも研究の内容を理解してもらうことができました。そして発表の後に、わかりやすかったよとか、高校生のしている研究とは思えないくらいすごいねと言っていただけは本当にうれしかったです。英語の流暢さよりも自分の言葉

- でわかりやすく説明することや、相手とコミュニケーションをとることが大切だと思いました。
- ・3日目の国際共同プログラムでは班分けをされ、海外の高校生と一緒に作業をしました。イタリアの高校生が辛抱強く私の英語を聞いてくれたおかげで、意外にも自分が話したい内容が通じるようになっていきました。私はこの SKYSEF でたくさんのことを学べました。

## (2) 国連「世界津波の日」2024 高校生サミット

- 主催** 文部科学省大臣官房文教施設企画・防災部
- テーマ** Disaster Prevention Education —Combining Scientific Understanding of Disaster with Knowledge of Disaster Mitigation Strategies
- 日程** 令和6年10月23日(水)～10月24日(木)
- 場所** 熊本市熊本城ホール
- 参加者** 生徒：岡本莉空、寺田悠哉、宮下翔真(科学部2年次男子)  
引率：川勝和哉(主幹教諭/理科)
- 内容** (グループ順に) ブラジル、インド、マーシャル諸島、ブルネイ、カンボジア、トンガ、ペルー、フィリピン、ハワイ、カナダ、ラオス、ミクロネシア、クック諸島、台湾、パラオ、パプアニューギニア、スリランカ、モンゴル、韓国、ツバル、オランダ、バヌアツ、ベトナム、アンゴラ、フランス、キリバス、中国、ナウル、ソロモン諸島、マレーシア、モルディブ、サモア、オーストラリア、チリ、インドネシア、ドイツ、メキシコ、シンガポール、タイ、トルコ、モンタナ、フィジー、ニュージーランド、日本から137名の高校生が集まり、分科会(討論・統括)、記念植樹、記念碑除幕式、総会(共通宣言採択)を行った。
- 10月22日(火) スタディーツアー
- 10月23日(水) 分科会(討論・統括)、開会式、スタディーツアー報告会、レセプション
- 10月24日(木) 記念植樹、記念碑除幕式、総会(共通宣言採択)、閉会式
- 感想** ・今回、様々な国から人が集まる高校生サミットで、発表する事が出来たととても良い経験になった。とても緊張していたけど、楽しく議論する事が出来た。また、班になって災害について考えるときには協力する事が出来てよかった。レセプションでは、海外の人と話して仲良くなる事もできた。これらのことを通して、積極的に話すことはとても大切だと思った。英語の上達のためにはやっぱり自分から話していかないといけないし、将来において大切な、自分で考えて行動する自主性をしっかり持たないといけないと感じ、学んだ。
- ・防災・減災の発表に関しては、今回頑張って発表する事が出来たが、よりみんなに主張したい、伝えたいというようなプレゼンテーションを意識して行う事は十分ではなかったと思う。こんな事を伝えたい!という自分の思いを理解してもらえる事が大切だと分かった。それでも自分たちの主張が共通宣言に盛り込まれたことから、発表のやりがいを感じるとともに、今後は世界のさまざまな現象に目を向け自分のできることについて考え行動したい。

## (3) American Geophysical Union (AGU) 国際学会発表

- 主催** American Geophysical Union (AGU)
- テーマ** Late Magma Differentiation at Bingi Bingi complex, Southeast NSW, Australia  
— Based on Oscillatory Zoned Structure of Amphiboles of Granitoids —
- 日程** 令和6年12月9日(月)～12月15日(日)の5泊7日(機内1泊)
- 場所** ウォルターE. ワシントンコンベンションセンター  
スミソニアン国立自然史博物館、スミソニアン国立航空宇宙博物館
- 参加者** 生徒：中田天晴、中村賢矢、永井翔、前川司(2年次科学部生徒4名)  
引率：教員2名(川勝和哉主幹教諭/理科、平林友貴教諭/数学)
- 内容** 12月9日(月) JR 姫路駅出発、伊丹空港と羽田空港経由、ワシントン・ナショナル空港到着、ウォルターE. ワシントンコンベンションセンターでカンファレンス・ワークショップ
- 12月10日(火) ウォルターE. ワシントンコンベンションセンターで学会に参加
- 12月11日(水) スミソニアン国立自然史博物館研修
- 12月12日(木) スミソニアン国立航空宇宙博物館研修
- 12月13日(金) ウォルターE. ワシントンコンベンションセンターでポスター発表
- 12月14日(土) ワシントン・ナショナル国際空港出発
- 12月15日(日) 羽田空港を経由、伊丹空港到着、JR 姫路駅到着、解散
- 感想** ・前日はみんなで夜中まで打ち合わせをして、当日いい発表が出来るように準備してきました。会場は見たことないくらい広くて人数もとても多かったです。これまで国内の学会で何回も発表してきて、その時も緊張はしていましたが、今回は比較にならないくらい緊張しました。みんなでこれまでたくさん頑張ってきたし、先生や仲間のため、これからの人生で自分が自信をもって生きていけるように絶対に悔いのないような発表にするという思いでした。発表は僕たちが日本

の高校生であることもあり、多くの方が聞きに来てくれました。最初は話しかけることもできませんでしたが、だんだん話すことに対しても楽しくなり、聞いてくれた方も優しく対応してくれ、cool など発表に関しても多くの方が褒めてくれたのもっと発表していきたい！という気持ちになれました。これまで AGU に向けて仲間や先生に助けられながらも頑張ってきた成果が出て本当にうれしいです。終わった後の皆の表情も全力を出しきったように見えました。

- ・アメリカに到着して AGU に向かう前からこの学会は国内の学生が参加する学会とは比較にならないと分かってはいましたが、今思うと私はきっと AGU に参加することの意味がまだ理解しきれていなかったと思います。到着して周りを見てその会場の規模に、集まる科学者の数に、研究者の研究内容に、発表会場の緊張感に、そして何より学校で見たことない会場に入るときの川勝先生の真剣な表情を見て、私は事の重大さを認識しました。川勝先生は私たち生徒と一緒に AGU に立つ計画を何年もかけて遂行し、さらに言うと、今回の研究は、先生が大学生時代からの研究を引き継いで 30 年以上脈々と続いてきたもので、この大会に参加している研究者は、まさに人生をかけてここに来た人達なのだと思います。緊張で毎日大変でした。

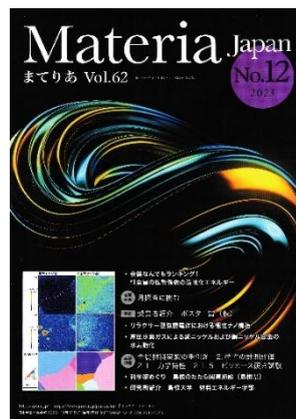
結果、多くの方が私たちの研究を聞きに来てくださって、成功と呼べるものだったと思います。高校生なのに AGU に立っているなんて信じられない、と非常に多くの方が言ってくださいました。しかし内容に共感してもらったり、私たちの研究の価値が本当に伝えられたかどうかという部分においては十分ではなかったように思います。きっと先生が発表したらもっと多くの人に本当の意味で研究に対する議論が生まれたと思います。こんな所まで高校生を連れてきたファーストオーサーは一体何者なんだ、素晴らしいという海外の方も少なくありませんでした。

- ・発表する前は正直、川勝先生と先輩方の研究を間違いなく伝えよう、先生の顔に泥を塗らないようにしましょう、というプレッシャーが大きかったです。しかし、発表の前日の夜、川勝先生から伝えようとする気持ちを強く持つという話を聞きました。いつも、先生の話の聞くとなぜかやる気に満ちてきます。その時から、絶対にこの研究を認めてもらうんだという強い決意を持つ事ができました。その日は朝まで発表と質疑応答の準備をしました。そうして本番、ほとんどの人に伝えたいことを伝えることができ、議論もできて、本当に楽しい 4 時間を過ごしました。終わったあとは達成感でいっぱいでした。

## 7 専門学会誌に論文掲載

### (1) 日本金属学会誌「まてりあ」に研究論文が掲載予定

論 題	外部磁力による磁性流体のスパイク形成の条件
著 者	陰山麻愉、飯田凌央、石井漸、永井翔、中村賢矢、富士佳蓮、松田理沙（物理系研究部磁性流体班）
掲載誌	「まてりあ」第 63 巻に掲載予定（令和 6 年 7 月 22 日受理）
内 容	2024 年の日本金属学会における科学部物理系研究部磁性流体班の発表が、日本金属学会最優秀賞を受賞したことから、学会誌「まてりあ」への論文を投稿することになった。研究論文は査読を経て受理された。本論文はオンラインジャーナルとしても公開されている。



## 8 科学部顧問の活動

SSH では、教員の研究活動や学会での発表を推奨されている。以下に、本校の科学部顧問である川勝和哉主幹教諭が、学会等での研究発表や運営での活動についてまとめる。

### (1) 一般社団法人 VR 革新機構 VR 研究倫理学会法務倫理研究委員会 理事及び倫理審査委員

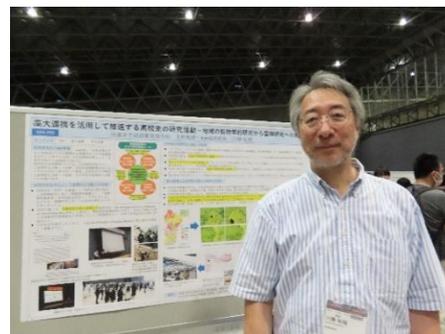
日 程	令和 6 年 5 月 29 日（水）、6 月 19 日（水）、7 月 14 日（日）、8 月 24 日（土）、10 月 10 日（木）、10 月 12 日（土）、以降随時審査会開催（非公開）
実施者	川勝和哉（本校 SSH 推進部長、法務倫理研究委員会委員、倫理審査委員）
テーマ	VR と AI を活用した研究開発に特化した第三者機関（VR、AI、医学、倫理、法律、教育の専門家）による倫理審査と事前相談
内 容	横松繁 VR 革新機構代表理事を代表とする、日本で初めての VR や AI に関する倫理学会である。生成 AI の普及に伴う課題について倫理的側面から検討し、3D や VR、生成 AI の法制度面および倫理面を考慮した、バランスの取れたガイドラインの作成を行うことを目的に議論を行っている。今後その成果を全国に発信する。10 月 10 日（木）に設立、8 月 24 日（土）にプレス公開した。研究倫理審査委員会委員は、瀬戸山晃一（委員長／京都府立医科大学大学院教授）、松山琴音（副委員長／日本医科大学研究統括センター長）、永井由香里（北陸先端科学技術大学院大学副学長）、吉原慎一（弁護士、公認会計士、税理士）、川勝和哉（県立姫路東高校主幹教諭）、西山晴基（弁護士、知的財産技能管理士）他外部委員。

(2) JST-RISTEX プログラムの科学技術の倫理的・法制的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践研究開発プログラム「公正なゲノム情報利活用の ELSI ラグを解消する法整備モデルの構築」研究事業協力者

日程 令和6年7月19日(金)、7月23日(火)、7月26日(金)  
 実施者 川勝和哉(本校SSH推進部長、ELSI研究協力者)  
 テーマ 科学倫理教育の目的と方法  
 内容 本校のSSH事業「科学倫理教育のロールモデルの作成と全国への普及」の一環として、全国の科学倫理教育に興味を持っている高等学校に、ELSI代表の京都府立医科大学医学部大学院の瀬戸山晃一教授や愛知学院大学法学部の鈴木慎太郎教授と連携して、研修会をZoom開催した。

(3) 日本地球惑星科学連合 (JpGU) で講演

主催 日本地球惑星科学連合  
 日時 令和6年5月26日(日) 9:00~12:00 ポスター講演  
 場所 千葉県幕張メッセ(千葉市美浜区中瀬2-1)  
 テーマ 高大連携を活用して推進する高校生の研究活動ー地域の鉱物学的研究から国際研究への展開  
 内容 日本で最大級の地球科学の専門学会で、米国地球物理学連合(AGU)と連携関係にある。高大連携を活用した課題研究の進め方が全国のロールモデルになるとして高く評価された。また大学院生の学生優秀発表賞の審査を担当した。



2020年~2022年 固体地球科学セクション代議員、2024年~2026年 地球惑星科学総合セクション代議員、2022年9月~ 国際教育対応小委員会委員

(4) サイエンス・トライやる事業 小学校出前授業で教員研修を実施

主催 兵庫県教育委員会、播磨東教育事務所  
 日時 令和6年8月28日(水) 14:00~16:00  
 令和6年9月5日(木) 15:00~16:30  
 場所 稲美町立天満南小学校、神河町立神崎小学校  
 テーマ 高校教育から見た小学生時代の理数教育の方向性と重要性  
 内容 探究学習の視点から理科教育の現状を分析し、今後に向けての展開における注意事項等について、教員を対象にして実験・実習をまじえながら講演した。



(5) 日本地質学会第131年学術大会で講演

主催 日本地質学会  
 日時 令和6年9月8日(日) 13:30~15:00 ポスター発表  
 場所 山形大学小石川キャンパス(山形市小石川町1-4-12)  
 テーマ 高校生の海外での露頭調査と岩石鉱物学的研究ー「高校生らしさ」とは何かー



内容 先進的な研究論文を高校生の研究論文コンテストに応募すると審査員から「このような研究は高校生ではなしがたいものであり、大学研究者の指導と知恵のもとになし得たものと考えざるを得ない。高校生らしい視点で自信をもって研究を行ってほしい」という評価が返ってくる事が多い。科学や技術で世界を牽引する若者を本気で育てるために、「高校生らしさ」とは何なのかを改めて問いたい。この内容は各分野で必ず聞くべき講演である「ハイライト講演」に選ばれ、多くの研究者と議論することができた。  
 2022年~2026年 日本地質学会代議員、日本地学オリンピック支援委員会委員

(6) 地学オリンピック講座を開催

目的 地学オリンピックの問題に関係する実験や実習を行うことによって、地学に対する興味・関心を深めるとともに、地学オリンピックに挑戦しようとする意欲を養う。

主催 兵庫県立姫路東高等学校  
 日時 令和6年9月29日(日) 10:00~12:30  
 場所 兵庫県立姫路東高等学校  
 参加 高校1年生13名、2年生8名、3年生1名(7校)  
 内容 過去問を解答し、生徒同士で解説しあう。自学が困難で解説が必要な分野について、知識を結び付ける解説や偏光顕微鏡など観察器具の使用経験をする。





### 9 生徒アンケートの結果

令和7年2月20日実施、3年次生13名、2年次生11名、1年次生11名が回答

問1. 研究を始める前は、研究についてどう思っていましたか？（1年次生は入学時、2・3年次は年度当初）

期待していた	よくわからないので不安だった	興味がなかった
1年次：7名（64%）	1年次：4名（36%）	1年次：0名（0%）
2・3年次：19名（86%）	2・3年次：3名（14%）	2・3年次：0名（0%）

問2-1. 問1で「期待していた」と答えた人に聞きます。

期待通りだった	期待通りではなかった
1年次：7名（100%）	1年次：0名（0%）
2・3年次：19名（100%）	2・3年次：0名（0%）

問2-2. 問1で「不安だった」や「興味がなかった」と答えた人に聞きます。

思っていた以上に面白かった	やはり面白くなかった
1年次：4名（100%）	1年次：0名（0%）
2・3年次：3名（100%）	2・3年次：0名（0%）

問3. 大学の先生の指導や助言はどうでしたか？（1～3年次全体）

刺激を受けた、面白かった	期待通りではなかった
35名（100%）	0名（0%）

問4. 科学部の活動は自分にとって役立ったと思いますか？（複数回答可、1～3年次全体）

自然科学に対する 興味が増した	進路選択の役に立った	勉強の意欲が増した	役に立たなかった
29名（83%）	27名（77%）	31名（89%）	0名（0%）

問5. 科学部の活動についての自由記述。

- ・科学部は実験をたくさんする部活動だと思っていたが、研究から発表、論文執筆までやると知って、最初は不安だった。活動しているとあっという間に時間が過ぎ、とても楽しく充実している（1年）。
- ・小学6年生で科学部を知って以来、ずっと科学部に興味があり、入部前から期待していた。入部してみると期待以上で、尊敬する先輩もおり、これからも頑張っていきたい（1年）。
- ・まだ拙い研究だが、活動の充実度は非常に高い。受賞も大切だが、仲間として奮闘する部員に対するリスペクトを忘れず、助け合う心を忘れない部の雰囲気が好きだ。科学部が生活の大きな糧になっている（1年）。
- ・リーダーとして主体的に活動する立場になって、計画性をもって活動することの大切さを実感した（2年）。

#### 【振り返りと分析】

- ① 科学部の部員数が、SSH指定1年目の令和2年度18名（男子14名、女子4名）、令和3年度24名（男子19名、女子5名）、令和4年度31名（男子19名、女子12名）、令和5年度36名（男子27名、女子9名）、令和6年度37名（男子24名、女子13名）と増加しており、主体的で活発に活動できた。
- ② 中学生の多くが科学部の活動を知り、本校を志願している。そのため、入部当初より研究活動に期待している1年次生徒の割合が高く、主体的な活動と高い成果による充実感を得ている。



# 研究論文とポスター

## 磁性流体に加える外部磁力と形成されるスパイク底面の形状の関係を解明する方法の提案 —ヘレショウセルを用いる方法—

兵庫県立姫路東高等学校 科学部物理系研究部 磁性流体班  
前川司 永井翔 富士佳蓮 石井漸 飯田凌央 大加戸蒼汰

### 要 旨

磁性流体に磁場を近づけると、磁力線の流れに沿って磁性流体からスパイクが立ち上がる。外部磁力の強さによってさまざまに変化するスパイク底面の形状を比較する方法として、磁性流体をヘレショウセルにする方法を考案した。ヘレショウセルにした磁性流体にコイルで垂直方向に外部磁場を加えると、ヘレショウセル全面に均等に磁力がかかる。現れるラビリンス・パターンは、3次元の実験で生じるスパイク底面の形状を歪むことなく示す。コイルによる外部磁力を強くしていくと、形成されるラビリンス・パターンは、17 mT で円形、23 mT で六角形、さらに37 mT で七角形や五角形が出現する。その過程の磁力では、外部磁力の強さを反映して、それぞれの形状の図形の割合が連続的に変化する。磁力を強くするに従って、一定面積あたりのスパイクの本数は増え、スパイク1本あたりの底面積は小さくなる。外部磁力の強さと底面が様々な形状を示すスパイク形成条件を明らかにするために、ヘレショウセルを用いた方法は有効である。

キーワード：スパイク、臨界磁力、ヘレショウセル、ラビリンス・パターン

### 1. 研究の背景

磁性流体は、磁性を帯び、砂鉄のように磁石に反応する性質を持つ機能性流体で、直径が10 nm程度の磁性超微粒子と、分散媒体である水、有機溶剤、さらに粒子を吸着して分散媒体中で安定に分散させるための界面活性剤からなるコロイド溶液である。磁性流体の平面に対して上下方向に磁力を加え、臨界磁力に達すると、磁性流体は磁力線に沿って盛り上がり、スパイクを形成する<sup>1)</sup> (図1)。本校科学部は2022年3月から、磁性流体にさまざまな強度の磁力を加え、磁性流体の表面に形成されるスパイクの底面の形状や面積、スパイクの高さ、スパイクの数について研究を行ってきた<sup>2)</sup>。その結果、① 臨界磁力をこえると、磁性流体表面の磁力と表面張力、重力がつりあってスパイクが形成されること(図2)、② 容器に入れた磁性流体が深いほど、スパイクが立ち上がるまでに強い磁力が必要であること、③ 磁性流体の濃度が高い(超微細粒子の密度が高い)ほど、スパイクが形成される臨界磁力は小さく、また高いスパイクを形成すること、④ 磁性流体の濃度が低いと、磁力によって超微細粒子どうしが引き合う力は表面張力と重力の合力よりも小さく、スパイクは形成されないこと、⑤ その臨界濃度は27%~14%であること、⑥ 濃度が27%の磁性流体の臨界磁力は15.0 mTであり、濃度が高いほど臨界磁力は小さいこと、⑦ 濃度が48%の場合、

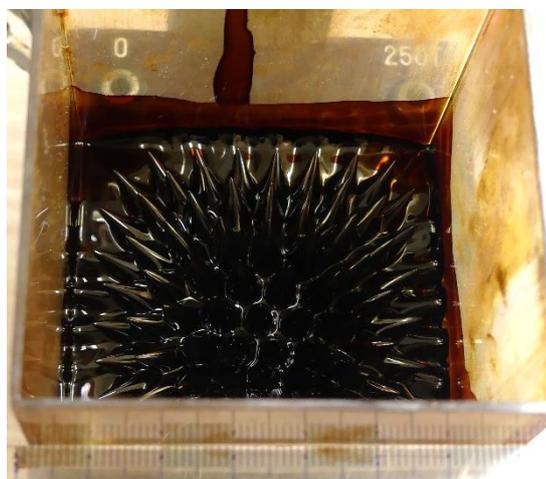


図1 筆者らの実験によるスパイク

7~8 mT で生じた底面が円形のスパイクは、磁力を強くしていくにつれて円形から六角形へと変化する事、⑧ 磁性流体の表面張力によって、隣接するスパイク間の斥力を失って底面が六角形をなす事、⑨ さらに磁力を強めると、10mT 付近でスパイクは不安定化して底面が五角形や七角形に崩れていくこと、を明らかにした。

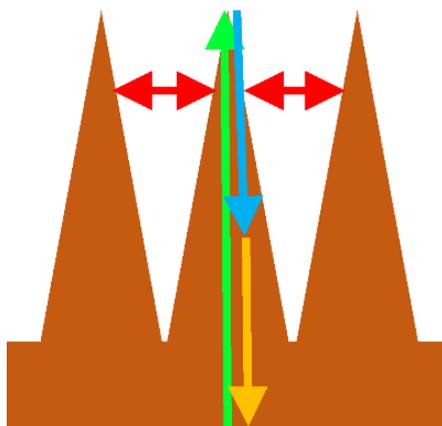


図2 スパイクのモデル図<sup>2)</sup> (力の向きを表したもので大きさは正確ではない／赤：スパイク間の斥力、緑：磁性超微粒子間の引き合う力、青：表面張力、黄：重力)

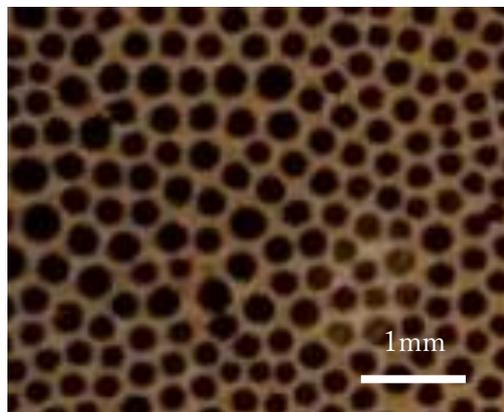


図3 ヘレショウセルにした磁性流体にコイルで垂直方向に外部磁力を加えたときのラビリンス・パターンの模様の一例

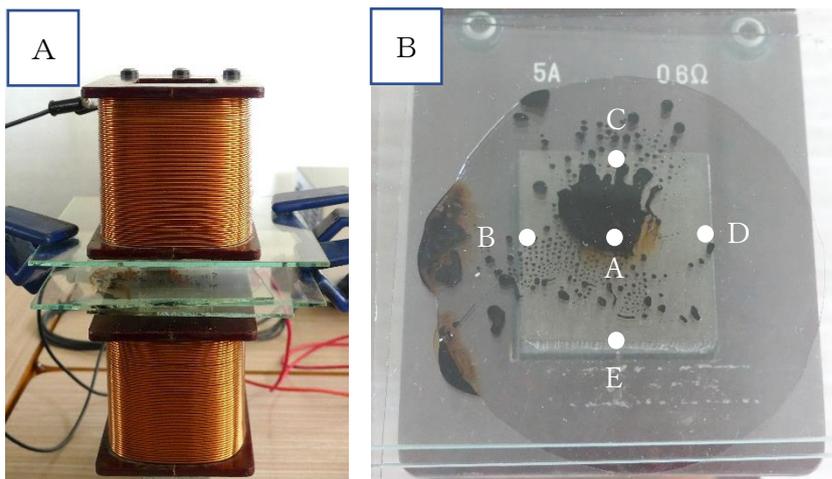
## 2. 研究の目的

これまでの磁性流体の研究では、フェライト磁石を用いた立体的なスパイクを観察していた。スパイク底面の形態を観察するために、直上から撮影した写真を用いていたが、磁力線は中央部では真下から直上に向かうが、その周囲は放射状に上方に伸びるため、スパイクも放射状に形成され、底面の形状を正確に観察することが困難であるという欠点があった(図1)。外部磁力の大きさによってどのようにスパイク底面の形態が変化するかを、より正確に調べることはできないかと考え、磁性流体を薄層のヘレショウセルにして、コイルで垂直方向に外部磁力を加える方法を考えた。ヘレショウセルとコイルを用いることで、生じるラビリンス・パターン(ガラスなどの平板で磁性流体を挟み込んで、洗濯のりなどの異なる粘性を持った流体とともに薄膜状にして、外部から磁力を加える事で発生する特徴的な模様)は、スパイク底面の形状を示すのではないかと考えた(図3)。この方法を用いてスパイク底面の形状を観察できれば、立体では放射状に形成されていたスパイクを薄層における断面として観察することで、スパイク底面の形状や面積、スパイクの数を正確に知ることができる。実験によってこの方法の有用性を検証することを目的にして研究を行った。磁性流体を利用した応用機器は多方面で開発されており、本研究はその基礎研究となる。

## 3. 実験方法

ガラス板 100 mm×100 mm に洗濯のり(ポリビニルアルコール) 1.00 g をのせ、磁性流体 0.01 g をその中央に入れてガラス板で挟み込んでヘレショウセルとした。ノギスで測定した磁性流体の厚さは 0.2 mm である。磁性流体は、酸化鉄、イソパラフィン、イソステアリン酸を成分とする、シグ

マハイケミカル社製 DS-50 (20 °C 密度 1.40 g/cm<sup>3</sup>、20 °C 粘度 97 mPa /sec、飽和磁化 9 mT、濃度 48 %) を用いた。山菱電機株式会社製変圧器 S-130-5 (最大電流 5 A、容量 500 VA) に株式会社内田洋行製大電流低圧電源装置 TY-50 を、電源装置から 2 つのコイルに並列につないだ。2 つのコイルを 図 4 のようにヘレシヨウセルにした磁性流体の上下に 25 mm の距離に設置した。変圧器で電圧を変化させ磁性流体に加わる 図 4 ヘレシヨウセル実験装置 (A) と磁力の測定点 A~E (B) 外部磁力を変化させた。



### (1) ヘレシヨウセルにかかる磁力の測定

ヘレシヨウセルにかかる磁力を、カネテック社製ガウスメーター TM-801 (直流磁界標準分解能測定モード 0~200.0 mT の分解能 0.1 mT、精度 ±5 % of rdg. +3 digit / 200.1~3000.0 mT の分解能 1 mT、精度 ±5 % of rdg. +10 digit) を用いて、図 4 の A~E の 5 か所 (コイルの鉄芯領域内) で、外部磁力が 20、23、25、27、29、31、33、35、37、40 mT の時の磁力を測定した。

### (2) 出現するラビリンス・パターンの形状の観察

図 4 のようにヘレシヨウセルにコイルを用いて、20、23、25、27、29、31、33、35、37、40 mT の外部磁力を加えたときに現れるラビリンス・パターンの形状と、磁性流体 37 ml を内底面が 66 mm×66 mm、深さ 5.0 mm のスチロール樹脂製容器に入れ、フェライト磁石を容器底面から遠ざけたり近づけたりして、スパイクを形成させた先行研究 (図 5)<sup>2)</sup> のスパイク底面の形状を比較した。

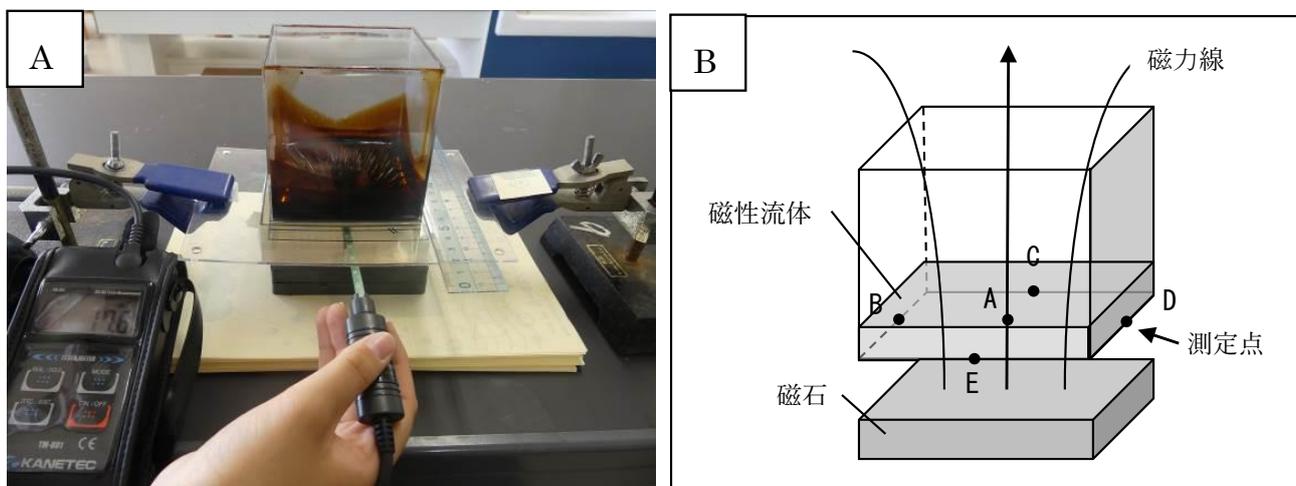


図 5 スパイクを形成する実験装置 (A) と磁力の測定点 A~E (B)<sup>2)</sup>

### (3) 磁力の変化とヘレショウセルの模様形状や面積、数の測定

ヘレショウセルに垂直方向にコイルを用いて外部磁力を加え、現れる模様形状やその面積、数をそれぞれ10回ずつ観察した。実験によって形成された模様を直上からデジタルカメラで撮影し、画像解析ソフト imageJ を用いて1枚の画像につき10か所、計1000か所無作為に抽出し、外部磁力の強さの変化による、① スパイク底面の形状の変化、② 発生したスパイク底面の面積の変化、③ 5 mm×5 mm 内で発生したスパイクの数をそれぞれ測定した。外部磁力は図4のA～E点で測定した。

## 4. 結果

### (1) ヘレショウセルにかかる磁力

コイル領域内のヘレショウセル中央部Aと周辺部B～Eで測定した磁力を表1に示す。外部磁力が20、23、25、27、29、31、33、35、37、40 mTのいずれにおいても、コイル領域内にかかる磁力はほぼ均一であった。

表1 ヘレショウセルのA～E点にかかる磁力

外部磁力 (mT)	平均磁力 (mT)	A点 (mT)	B点 (mT)	C点 (mT)	D点 (mT)	E点 (mT)
40.0	41.14	40.0	42.2	42.8	40.0	40.7
37.0	37.26	37.0	37.8	37.3	36.9	37.3
35.0	35.64	35.0	36.8	36.1	35.3	35.0
33.0	33.58	33.0	34.4	35.2	32.9	32.4
31.0	31.68	31.0	32.0	33.2	31.3	30.9
29.0	29.72	29.0	30.8	30.5	29.3	29.0
27.0	27.58	27.0	27.9	28.6	27.3	27.1
25.0	25.54	25.0	26.1	26.0	25.4	25.2
23.0	23.60	23.0	23.9	24.7	23.3	23.1
20.0	21.14	20.0	21.2	21.7	21.4	21.4

先行研究<sup>2)</sup>の実験によると、磁性流体をスチロール樹脂製容器に入れ、フェライト磁石を容器底面から遠ざけたり近づけたりしたときの容器底面5か所で測定した平均の磁力と各測定点における磁力は、いずれの測定点においても、容器底面と磁石が近くなるほど磁力は大きく、磁石中央の測定点Aの磁力が最も大きい(図6)。これに対して、ヘレショウセルを用いた磁力はA～E点の誤差が小さく、均一に磁力がかかっている(図7)。

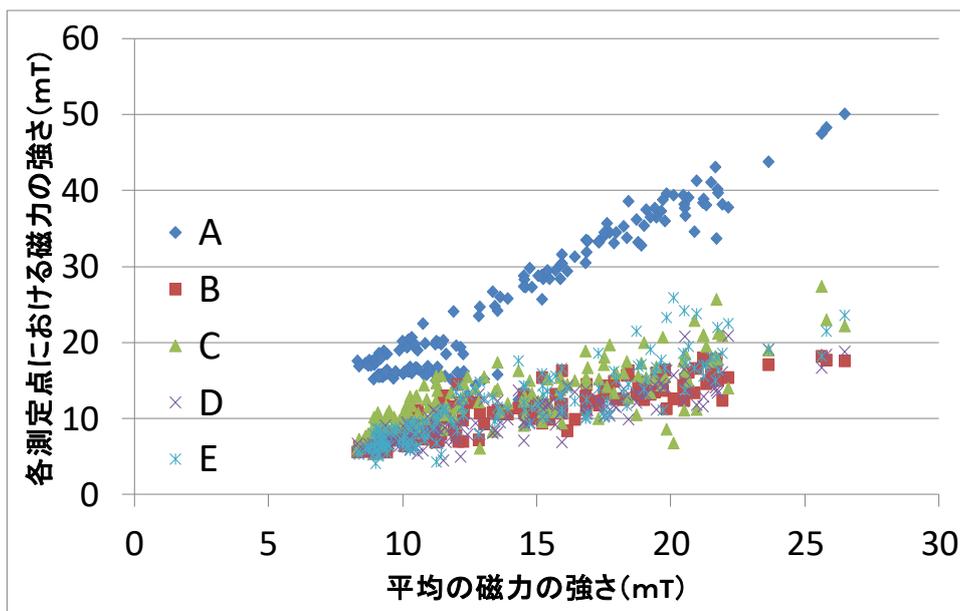


図6 樹脂容器内の平均磁力と各測定点磁力<sup>2)</sup>

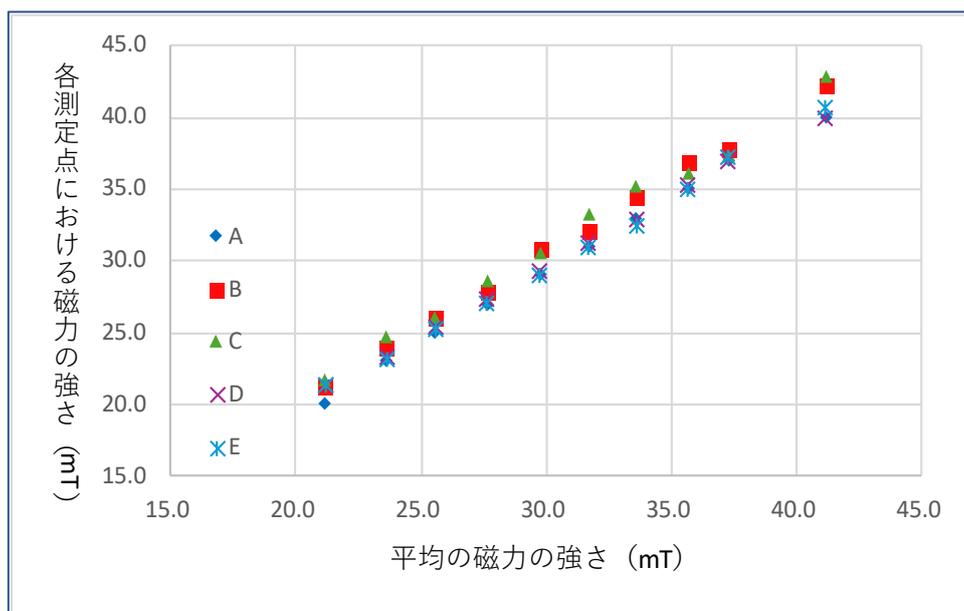
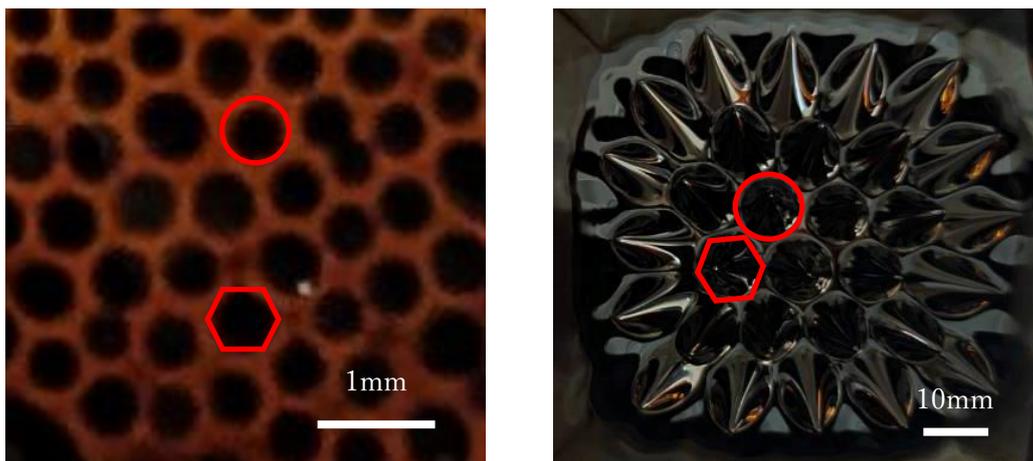


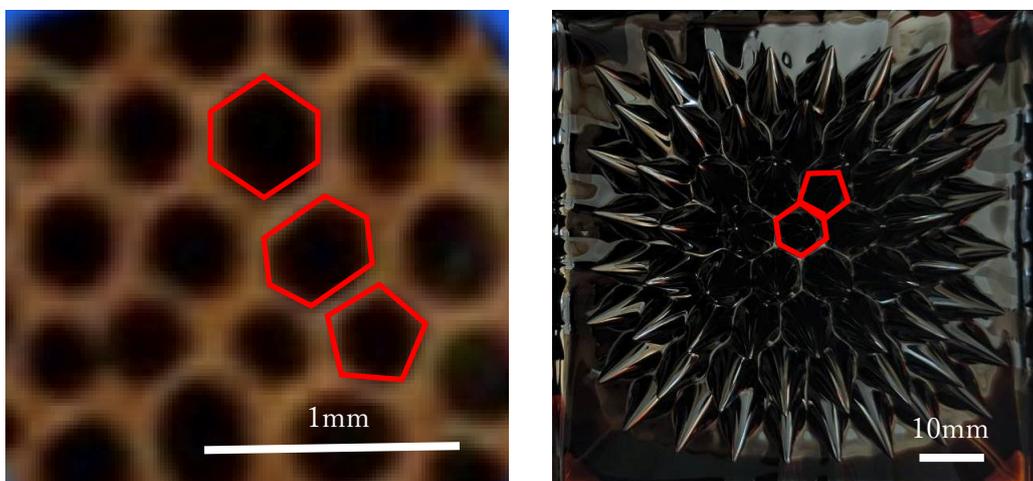
図7 ヘレシヨウセルの平均磁力と各測定点磁力

## (2) 出現するラビリンス・パターンの形状

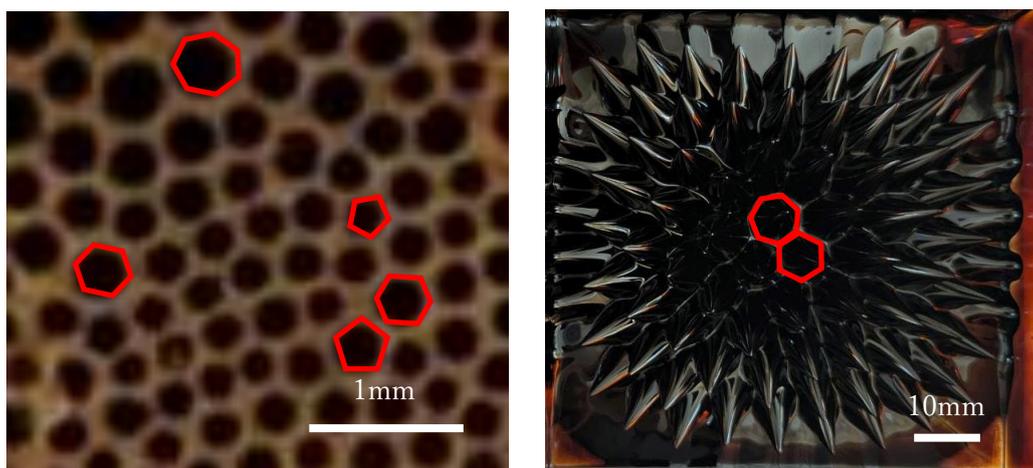
外部磁力が20、23、25、27、29、31、33、35、37、40 mT のときの、ヘレシヨウセルを用いて出現させたラビリンス・パターンの模様は、いずれもヘレシヨウセル全面に広がった。主なものを図8に示す。模様の形状は、立体的にスパイクを形成した時よりも小さいが、スパイクの底面の形状とほぼ一致した。



外部磁力が 20 mT のときのヘレショウセルの模様と樹脂製容器内のスパイク底面の形状  
(多くは円形だが一部に六角形が生じている)



外部磁力が 33 mT のときのヘレショウセルの模様と樹脂製容器内のスパイク底面の形状  
(主に六角形だが一部に五角形も生じている)



外部磁力が 37 mT のときのヘレショウセルの模様と樹脂製容器内のスパイク底面の形状  
(六角形が残っているが七角形や五角形も混在している)

**図8** ヘレショウセルを用いた場合 (左) とスパイクを生じた場合 (右) の底面の模様の比較

### (3) 磁力の変化とヘレショウセルの模様形状や面積、数の測定

#### (a) 外部磁力の強さとスパイク底面の形状の関係

ラビリンス・パターンの模様は、磁力が弱いときには決まった形を示さず、外部磁力を大きくするにつれて円形から六角形、さらに七角形や五角形が出現した。濃度 48 % の磁性流体でラビリンス・パターンが形成される臨界磁力は、12.7 mT で、先行研究<sup>2)</sup>の 12.0 mT とよく一致した。ラビリンス・パターンの形状は、17 mT で円形が生じ、23 mT で六角形、37 mT で七角形や五角形が出現した (図9)。

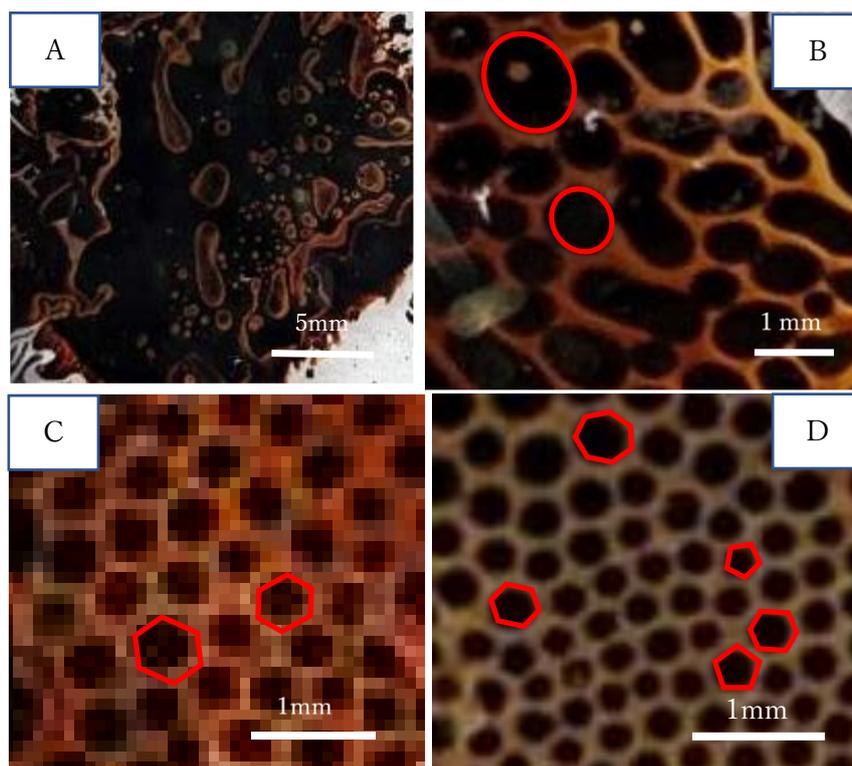


図9 外部磁力を強くしていったときのラビリンス・パターンの模様の変化  
 A : 外部磁力が 12.7 mT のとき、B : 外部磁力が 17 mT のとき (円形が出現)  
 C : 外部磁力が 23 mT のとき (六角形が出現)、  
 D : 外部磁力が 37 mT のとき (七角形や五角形が出現)

ヘレショウセルを用いた場合は、磁力を強くするにしたがって、外部磁力に敏感に反映して、それぞれの図形の割合は連続的に変化した。360 mm<sup>2</sup> に出現するすべての図形の中で、それぞれの形状の図形が占める割合を、それぞれ 100 回測定した合計を 図 10 に示した。磁力に図形の割合は敏感に反応する。

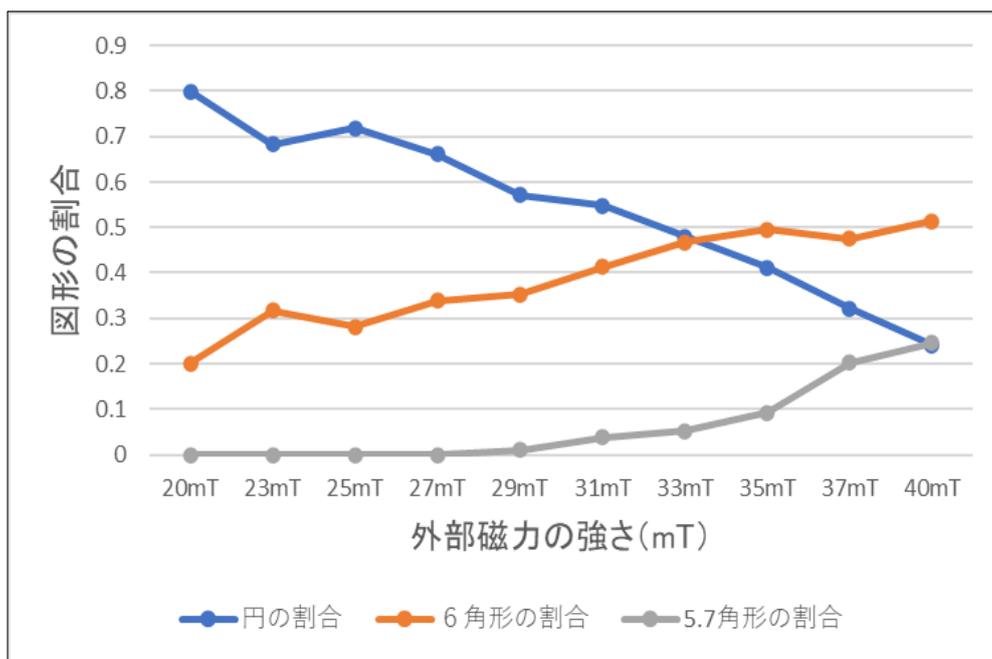


図 10 外部磁力の強さと出現する図形の割合

(b) 外部磁力の強さとスパイク底面の面積の関係

磁性流体にかかる外部磁力が強くなるほど、スパイク底面のラビリンス・パターンの面積は小さくなっていった (図 11)。

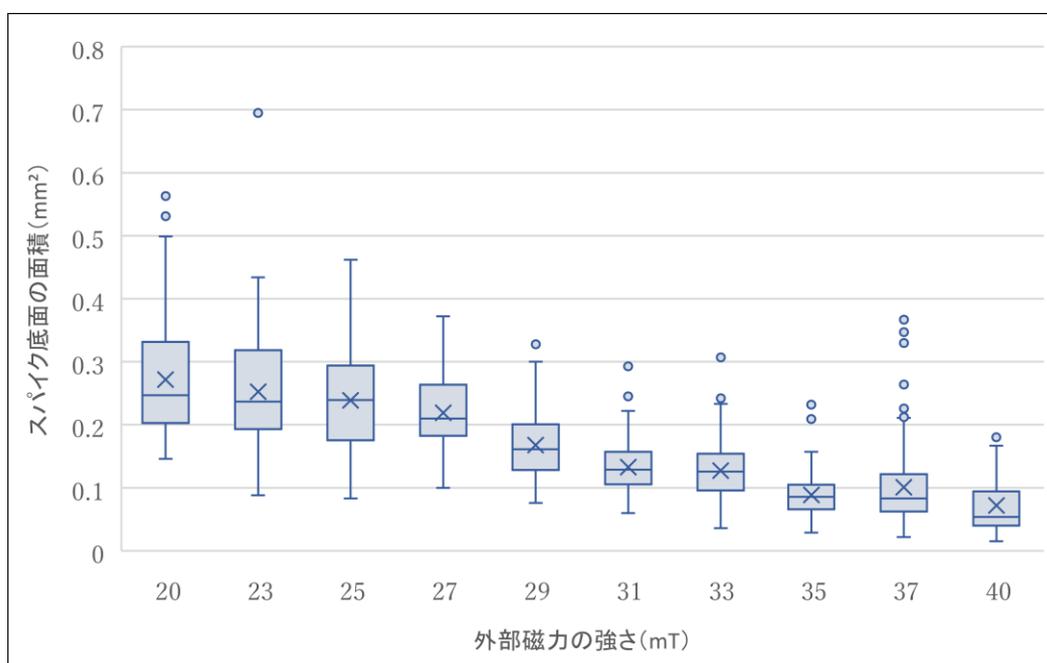


図 11 外部磁力の強さとスパイク底面の面積の関係 (横バーは中央値、×は平均値)

(c) 外部磁力の強さと一定面積あたりのスパイクの数の関係

外部磁力をさまざまに変化させて、生じたラビリンス・パターンの模様を、無作為に設定

した 5 mm×5 mm の領域で数えた (図 12)。外部磁力を強くするとラビリンス・パターンの数は増加傾向にあった。

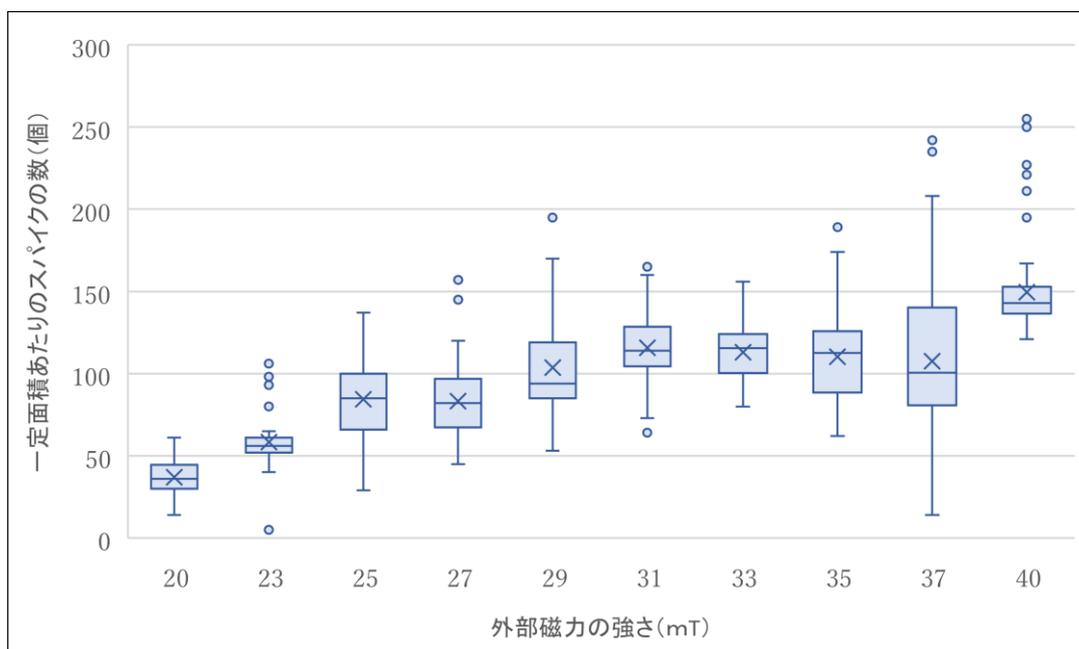


図 12 外部磁力の強さと一定面積あたりのスパイクの数の関係 (横バーは中央値、×は平均値)

## 5. 考 察

これまで、外部磁力としてフェライト磁石を用いて立体的なスパイクを形成させ、磁力の強さとスパイク底面の形状や面積、形成されるスパイクの数を計測していたが、この方法ではスパイクの底面の形状は、いずれの場合も、中央部のスパイク底面のみが正確な形状を示し、そこから周囲に離れるほど底面の形は歪んでいた。これは、放射状にのびる外部磁力の磁力線にそってスパイクが形成されるため、中央部の磁力線だけが直下から直上へと伸び、その周囲では磁力線が放射状に生じるためである。

ヘレショウセルにした磁性流体にコイルで垂直方向に外部磁力をかけると、ヘレショウセル全面に均一に磁力がかかり、ラビリンス・パターンの模様が広がる。このラビリンス・パターンの模様は中央のスパイク底面の形状とほぼ一致する。

ヘレショウセルに対して外部磁力を強くしていくと、発生するスパイク断面のラビリンス・パターンは 14 mT で生じ始め、17 mT で円形、23 mT で六角形、37 mT で七角形や五角形が出現する。ヘレショウセルを用いた場合は、磁力を強くするにしたがって、外部磁力に敏感に反映して、それぞれの図形の割合は連続的に変化する。360 mm<sup>2</sup> に出現するすべての図形の中で、それぞれの形状の図形が占める割合は連続的に変化的なことから、この割合は外部磁力の強さを忠実に反映していると考えられる。磁力が強くなるにしたがって、模様の面積は小さくなり、数は増加する。ラビリンス・パターンによるスパイク発生臨界磁力は、濃度 48 % の磁性流体で 12.7 mT であり、先行研究<sup>2)</sup>の形状の変化や臨界磁力 12.0 mT とよく一致する。

外部磁力の強さとスパイク底面の形状の変化や、臨界磁力の強さは、ヘレショウセルの方法によ

って、より正確に観察することができる。

## 6. 今後の課題

ラビリンス・パターンは立体的なスパイクに対して小さいため、観察が困難な場合がある。より簡易で観察しやすい条件を明らかにしたい。

## 7. 謝 辞

本研究を行うにあたって、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭と松田好生教諭には、実験の方法や評価について有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

## 8. 参考文献

- 1) M. Cowley and R. Rosensweig, Interfacial Stability of a Ferromagnetic Fluid, J. Fluid Mech, 30, 671-688 (1967) .
- 2) 志村実咲, 菅原楓, 陰山麻愉, 松田理沙, 外部磁場の強度によって磁性流体のスパイクの形状はどのように変化するのか, まてりあ, 62, 809-811 (2023).

# 磁性流体に加える外部磁力と形成されるスパイク底面の形状の関係を解明する方法の提案 —ヘレショウセルを用いる方法—

兵庫県立姫路東高等学校 科学部物理系研究部 前川司 永井翔 富士佳蓮 石井漸 飯田凌央 大加戸蒼太

**キーワード** スパイク ヘレショウセル ラビリンスパターン

## 研究の背景

磁性流体は磁力を加えると、磁力線に沿って盛り上がり、スパイクを形成する<sup>1)</sup>(図1)。これまでの研究から以下を明らかにした。

- ・臨界磁力をこえると、磁性流体表面の磁力と表面張力、重力が釣りあってスパイクが形成される。(図2)
- ・濃度が48%の場合、7~8mTで生じた底面が円形のスパイクは、磁力を強くしていくにつれて円形から六角形へと変化する。
- ・磁性流体の表面張力によって、隣接するスパイク間の斥力を失って底面が六角形をなす。
- ・さらに磁力を強めると、スパイクは不安定化して底面が五角形や七角形に崩れていく。

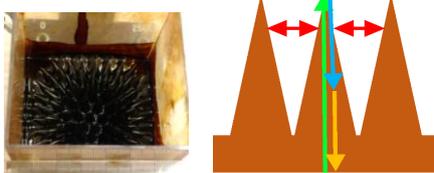


図1 筆者らの実験によるスパイク

図2 スパイクのモデル<sup>2)</sup>(力の向きを表したもので大きさは正確ではない。赤:スパイク間の斥力、緑:磁性超微粒子間の引き合う力、青:表面張力、黄:重力)

## 研究の目的

磁性流体を薄層のヘレショウセルにして、コイルで垂直方向に外部磁力を加え発生するラビリンスパターンは、スパイク底面の形状を比較する方法として有効ではないかと考えた。  
**実験でこの方法の有用性を検証することを目的に研究を行った。**

## 実験方法

- ・ガラス板100mm×100mmに洗濯のり1.00gをのせ、磁性流体0.01gを中央に入れてガラス板で挟み込んでヘレショウセルとする。
  - ・変圧器に電源装置をつなぎ、電源装置から2つのコイルに並列につないだ(図3)。
  - ・変圧器で電圧を変化させて磁性流体に加わる外部磁力を変化させた。
- (1)ヘレショウセルにかかる磁力の測定  
ヘレショウセルにかかる磁力を、ガウスメーターを用いて、図3のA~Eの5か所(コイルの鉄芯領域内)で、外部磁力が20,23,25,27,29,31,33,35,37,40mTの時の磁力を測定した。(合計100回測定)
- (2)出現するラビリンス・パターンの形状の観察  
図3のようにヘレショウセルにコイルを用いてそれぞれの外部磁力を加えたときに現れるラビリンス・パターンの形状と先行研究(図4)<sup>2)</sup>のスパイク底面の形状を比較した。
- (3)磁力の変化とヘレショウセルの模様、形状や面積、数の測定  
磁力を変化させて、(a)スパイク底面の形状の変化、(b)発生したスパイク底面の面積の変化(合計1000個測定)、(c)5mm×5mm内で発生したスパイクの数(合計1000回測定)

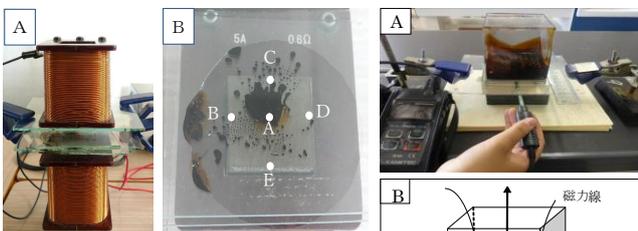


図3 ヘレショウセル実験装置(A)と磁力測定点A~E(B)

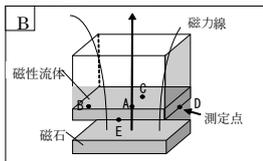


図4 スパイクを形成する実験装置(A)と磁力の測定点A~E(B)<sup>2)</sup>

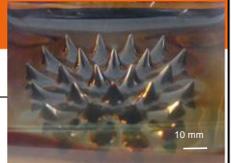
## 今後の課題と謝辞

ラビリンス・パターンは立体的なスパイクに対して小さいため、観察が困難である。より明かな方法を模索する。  
本研究を行うにあたって、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭と松田好生教諭には有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) M.Cowley and R.Rosenzweig, Interfacial Stability of a Ferromagnetic Fluid, J.Fluid Mech,30,671-688(1967).
- 2) 志村実咲, 菅原楓, 陰山麻愉, 松田理沙, 外部磁場の強度によって磁性流体のスパイクの形状はどのように変化するのか, までりあ, 62, 809-811(2023)

磁性流体に外部磁力を加えると形成されるスパイク



## 実験結果

### (1)ヘレショウセルにかかる磁力の測定

フェライト磁石を用いたとき平均の磁力と各測定点における磁力は磁石中央の測定点Aの磁力が最も大きい(図5)。これに対して、ヘレショウセルを用いたコイルによる磁力はA~E点でほぼ均一。(図6)

### (2)出現するラビリンス・パターンの形状の観察

出現するラビリンス・パターンの模様は、立体的にスパイクを形成した時より小さいが、スパイクの底面の形状とほぼ一致した。(図7)  
ヘレショウセルを用いた場合にはより敏感に外部磁力に反応し連続的な図形の変化がみられた。

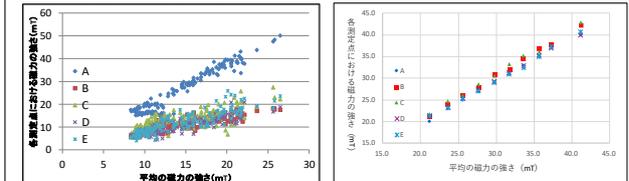


図5 樹脂容器内の平均磁力と各測定点磁力<sup>2)</sup> 図6 ヘレショウセルの平均磁力と各測定点磁力

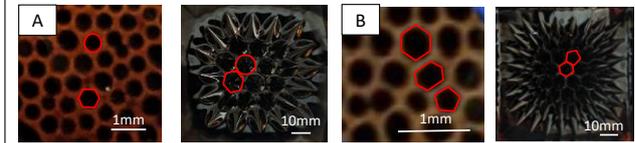


図7 ヘレショウセルを用いた場合(左)とスパイクを生じた場合(右)の底面の模様と比較

A:外部磁力が20mTのとき(多くは円形だが一部に六角形が生じる)  
B:外部磁力が33mTのとき(主に六角形だが一部に五角形も生じる)  
C:外部磁力が37mTのとき(六角形が残っているが7角形や5角形も混在している)

### (3)磁力の変化とヘレショウセルの模様、形状や面積、数の測定

#### (a)スパイク底面の形状の変化

図8のA~Dはそれぞれ外部磁力が  
A:12.7 mTのとき(形が定まっていない)  
B:17 mTのとき(円形が出現)  
C:23 mTのとき(六角形が出現)  
D:37 mTのとき(七角形五角形が出現)

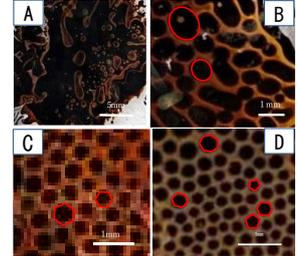
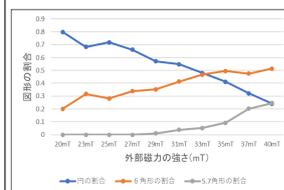


図8:外部磁力を強くしていくときのラビリンスパターンの文様の変化

図9 外部磁力と出現する図形の割合

磁力を強くするにしたがって、外部磁力に敏感に反映して、それぞれの図形の割合は連続的に変化した。

360mm<sup>2</sup>に出現するすべての図形の中でそれぞれの形状の図形が占める割合は連続的に変化した(100回測定/図9)。

#### (b)発生したスパイク底面の面積の変化(合計1000個測定)

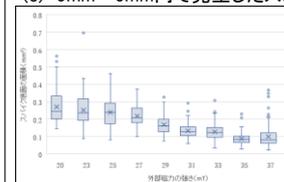


図10 外部磁力とラビリンスパターン底面の面積の関係(横バーは中央値、×は平均値)

#### (c)5mm×5mm内で発生したスパイクの数(合計1000回測定)

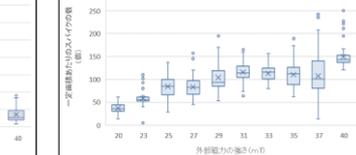


図11 外部磁力と一定面積あたりのラビリンスパターンの数の関係(横バーは中央値、×は平均値)

## 考察

●ヘレショウセルに加える外部磁力を強くしていくと、円形、六角形、七角形+五角形と次第に変化し、それぞれの図形の割合は連続的に変化する。この割合は外部磁力の強さを忠実に反映していると考えられる。  
●外部磁力の強さとスパイク底面の形状の変化や、臨界磁力の強さは、ヘレショウセルの方法によって、より正確に観察することができる。

## サボテン、トウモロコシ、ヒメムカシヨモギ、アレチヌスビトハギにみられる 規則的な配列の類似性

兵庫県立姫路東高等学校 科学部生物系研究部 サボテン班  
宮下翔真 寺田悠哉 宮本泰成 本莊初香 武内美月

### 要 旨

サボテンの刺座は、上方中央（茎頂部）の刺座から左右に螺旋を描いて、共有刺座で交差しながら螺旋方程式を描いて配列している。そのほかの植物でもさまざまな部位が螺旋を描いているように見えることから、トウモロコシの実の穎果や苞葉、校庭に生えているヒメムカシヨモギやアレチヌスビトハギの葉の配列を調べたところ、それらすべてがサボテンと同じように、種に固有の変数を持つ螺旋方程式で表すことができた。身の回りのさまざまな植物は、種固有の変数を持つ螺旋方程式  $r=se^{tu} \times u(n-1)$  で一般化できる配列をもっている可能性がある。

キーワード：座標点、螺旋方程式、共有点

### 1. 研究の背景

2020年から、筆者らは、ブリンチュウ、キンシャチ、オウカンリュウ、シュワルジー、ギンオウギョク、エイカンマル、カカンマル、タンゲマル、ソデガウラの9種類のサボテンについて、刺座の配列の研究を行ってきた。その結果、① サボテン種はすべて、上方中央の刺座から下方に向けて、共有刺座で交差しながら、左右に螺旋を描いて規則的に配列していること、② すべてのサボテン種の刺座配列は、共通な螺旋方程式  $r=se^{tu} \times u(n-1)$ 、 $z=bn$  で示すことができること、③ サボテン種によって螺旋方程式の変数が異なること、④ 種ごとの個性は、原産地の雨量、日照時間、気温、標高などの環境を反映している可能性があること、を明らかにした<sup>1)</sup>。

### 2. 研究の目的

本研究では、トウモロコシの実の穎果や苞葉、校庭に生えているヒメムカシヨモギやアレチヌスビトハギの葉の配列など、あちこちに螺旋方程式が隠されているように思えたことから、サボテン以外の植物の実の穎果や葉の配列を調べることを目的とした。

### 3. 実験方法

(1) トウモロコシの実の穎果を床に鉛直に立て、穎果の位置に針を刺し、上方から穎果の配列を  $x-y$  平面の座標で、真横から穎果の配列を  $x-z$ 、 $y-z$  座標で測定した (図1)。試料は11個体である。

$r$ ：原点0から各穎果の座標点までの水平距離、 $n$ ：原点の座標点を0番目としたとき何番目の穎果か、 $u$ ：隣接する穎果の座標点を結ぶ直線のなす水平面上の角度、 $z$ ：原点からの高さ、 $b$ ：隣接する穎果の座標点の高さの差

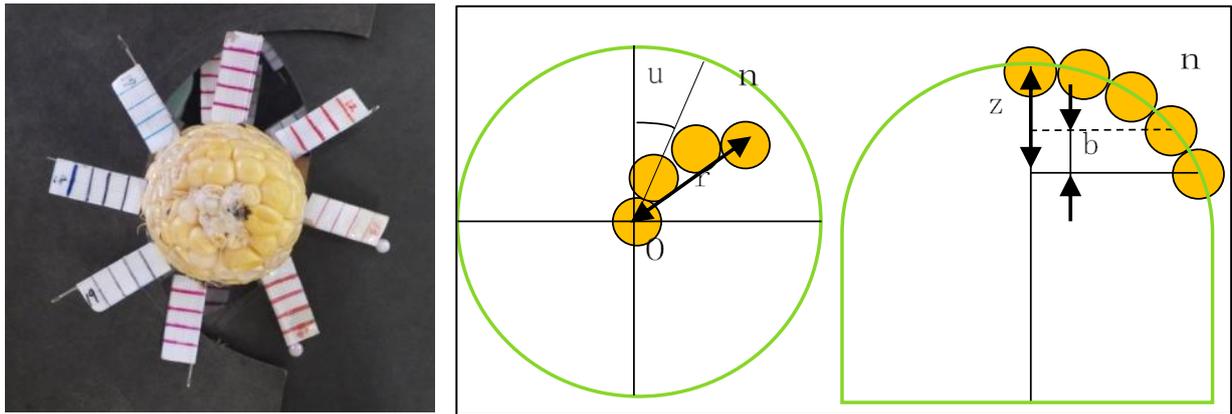


図1 トウモロコシの実の穎果の座標点の測定方法（左）と  $x-y$  平面、 $x-z$ 、 $y-z$  平面座標

(2) トウモロコシの苞葉は高さがほとんど変化しない。苞葉の両端に針を刺し、その中間部を苞葉の中心線として水平面の座標を測定した(図2)。座標は水平面における茎の中心からの角度と半径も併せて測定した。試料は11個体である。

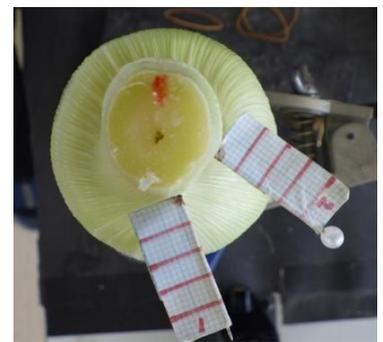


図2 トウモロコシの苞葉の座標の測定

(3) ヒメムカシヨモギとアレチヌスビトハギの葉は、茎を吊り下げてそれぞれの葉の位置にカラーをつけた。茎の頂上部の中心を原点として、茎がついている根本との角度と、原点からの水平距離や高さを座標として測定した(図3、図4)。試料はそれぞれ15個体である。



図3 ヒメムカシヨモギの葉の座標の測定



図4 アレチヌスビトハギの葉の座標の測定

(4) 測定した座標値は imageJ を用いて統計処理した。

#### 4. 結果

極方程式  $r=a\theta$ 、 $z=bn$  ( $r$ : 原点と座標の水平距離、 $\theta$ : 原点と隣接する座標点とを結ぶ直線とのなす角度、 $z$ : 原点からの高さ、 $n$ : 原点を0とする座標の数) で表される方程式を一般に螺旋方程式と呼ぶ。 $r=a\theta$  は、螺旋を真上から見た時の形を示し (図5)、 $z=bn$  は、螺旋を真横から見た時の高さを表している。この2つの方程式を用いて、螺旋を描くようすを立体的に示すことができる。

図5で、原点から最初の共有点座標までの距離を1としたとき、原点から各共有点までの水平距離  $r=a\theta$  より、 $r$  と  $\theta$  の実測値を用いて  $a$  の値を Excel 上で求めた。

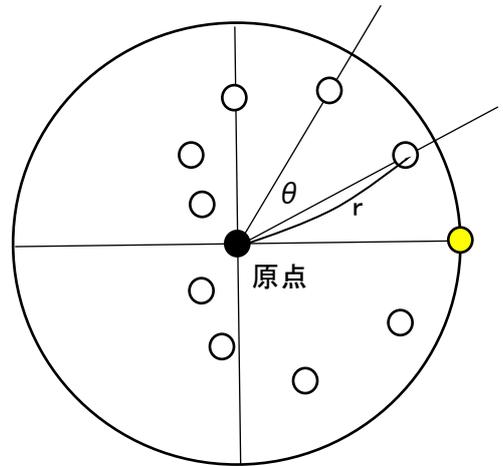


図5 螺旋配列する点の水平面座標

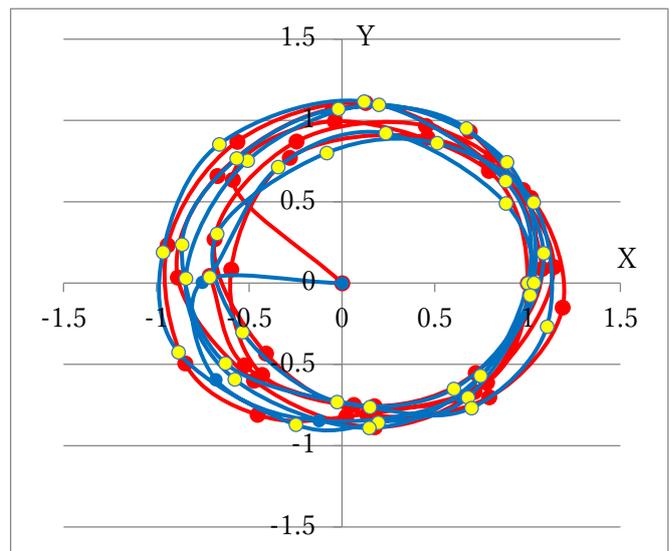
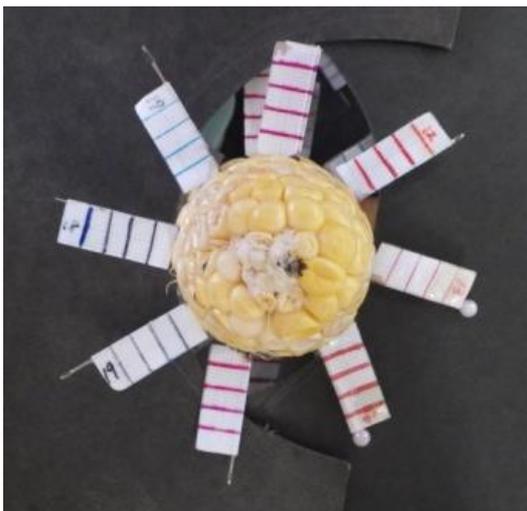
① トウモロコシの実の穎果は、サボテンの刺座と同じように、頂点(先端)の穎果から下方(根本)に向かって、共有の穎果で交差しながら左右に螺旋を描いており、サボテンと同じ螺旋方程式で表すことができた。変数は異なるが、サボテンの刺座配列の螺旋方程式の一般式と同じように表現できる (図6)。

$$r=0.0358e^{-1.152n} \times 48.585 (n-1) \quad z=-0.1315n$$

$r$ : 原点の穎果から各穎果までの水平距離、 $n$ : 原点の穎果を0番目としたとき何番目の穎果か、  
 $z$ : 原点の穎果から各穎果までの垂直距離

螺旋方程式はサボテンと同じだが変数は類似しておらず、トウモロコシ固有の値であった。

トウモロコシの実の穎果 (試料番号5)



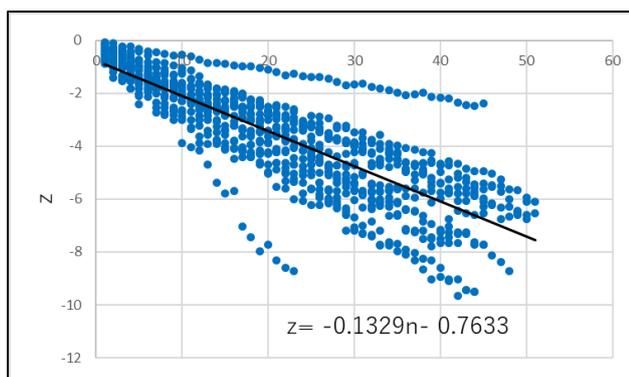
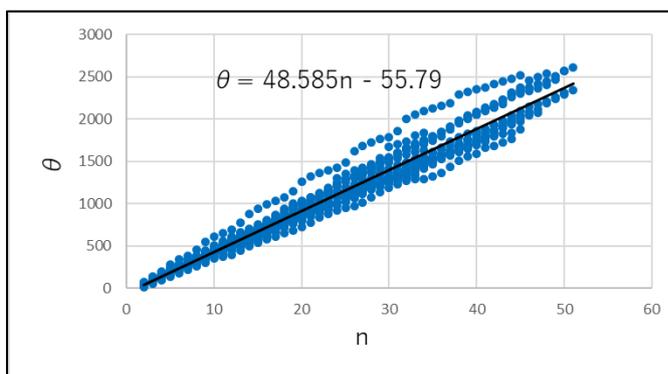
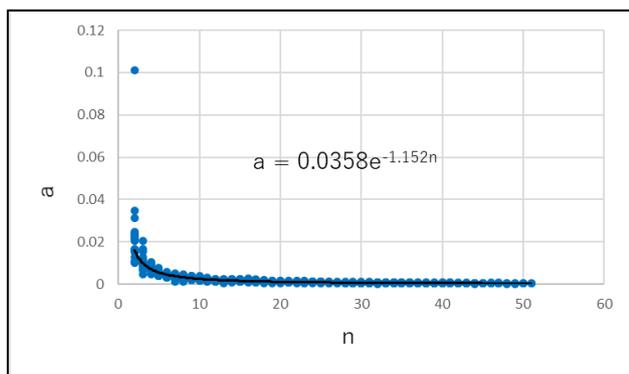
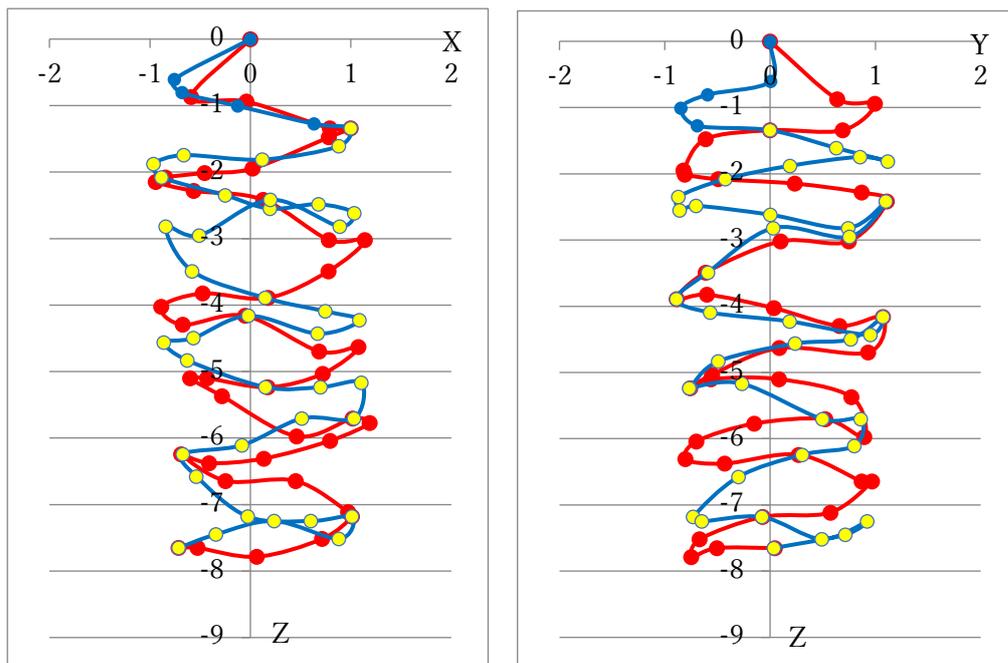


図6 トウモロコシの穂の穎果配列の座標と変数

②トウモロコシの苞葉は、原点から右回りに螺旋を描いて配列しており、次のような螺旋方程式で表せる（図7）。苞葉は垂直距離がほとんどないため、原点からの垂直距離はほぼ0である。また、半径  $r$  は小さく、さらに変化がないため、 $z$  で表すことができない。

$$r = 0.0072e^{-0.280n} \times 194.01 (n-1)$$

$r$  : 原点から各苞葉の中心までの水平距離、 $n$  : 原点を0番目としたとき何番目の苞葉か

トウモロコシの苞葉 (試料番号7)

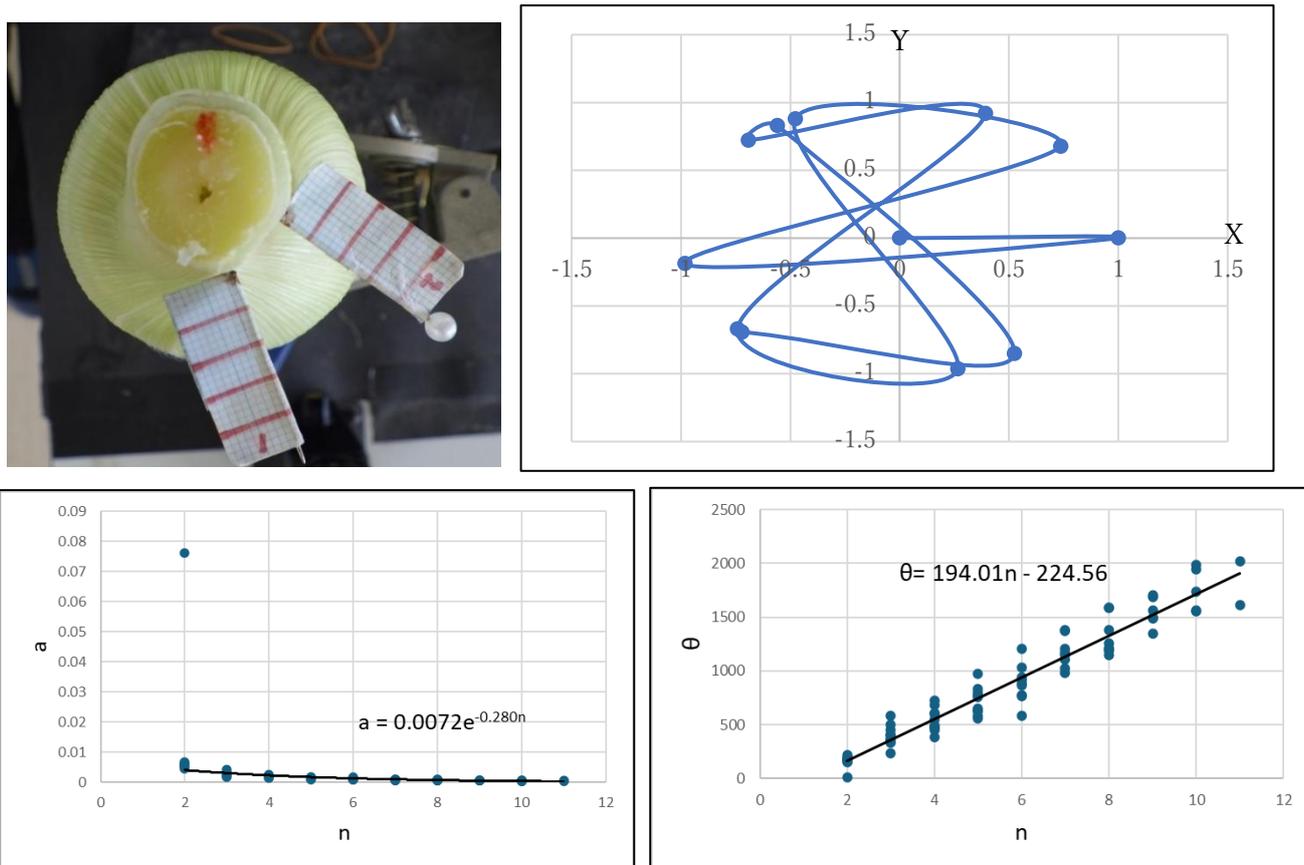


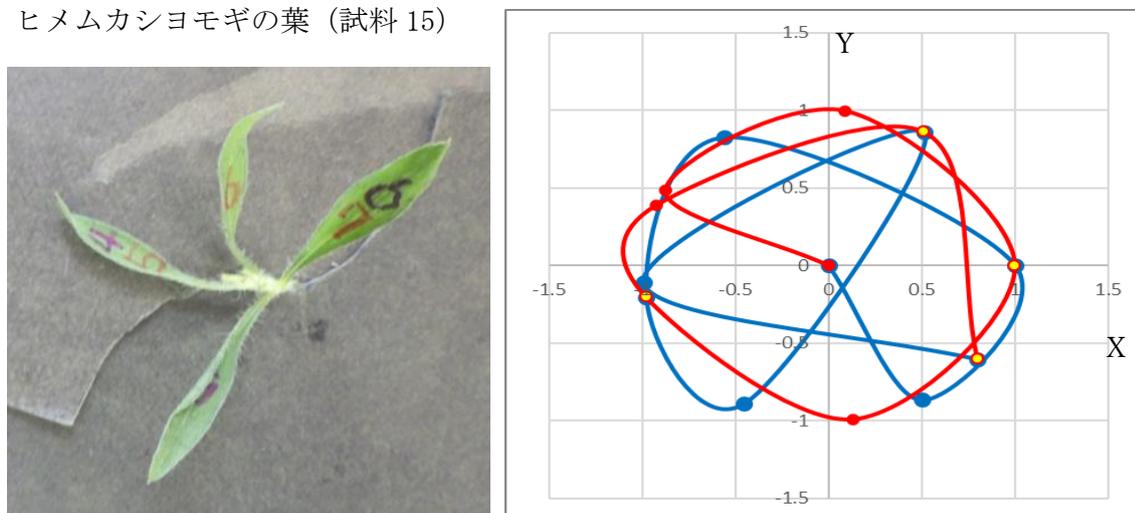
図7 トウモロコシの苞葉の配列の座標と変数

③ヒメムカシヨモギの葉は左右に共有の葉で交差しながら螺旋を描いて配列しており、次のような螺旋方程式で表せる (図8)。

$$r = 0.0135e^{-0.258n} \times 97.684 (n-1) \quad z = -2,3158n$$

r : 原点から各葉までの水平距離、n : 原点を0番目としたとき何番目の葉か、z : 原点から各葉までの垂直距離

ヒメムカシヨモギの葉 (試料15)



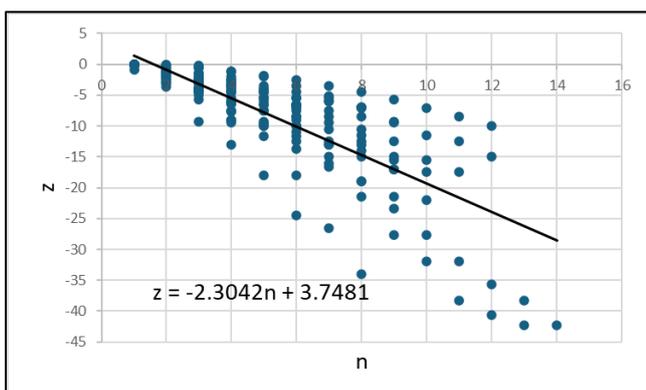
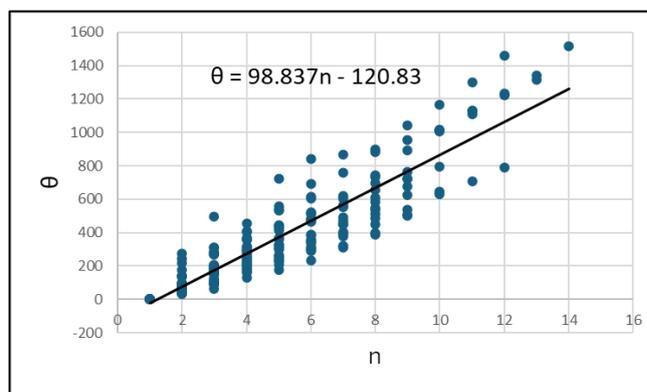
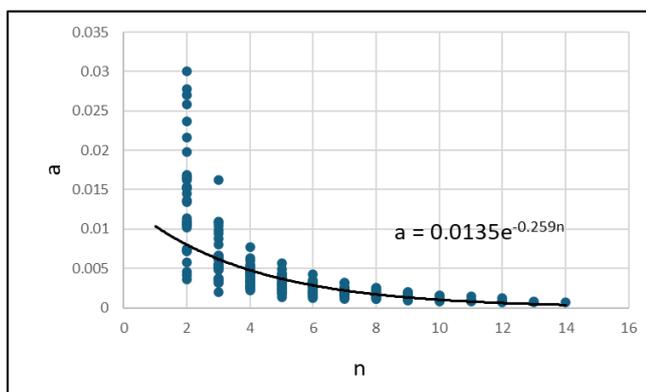
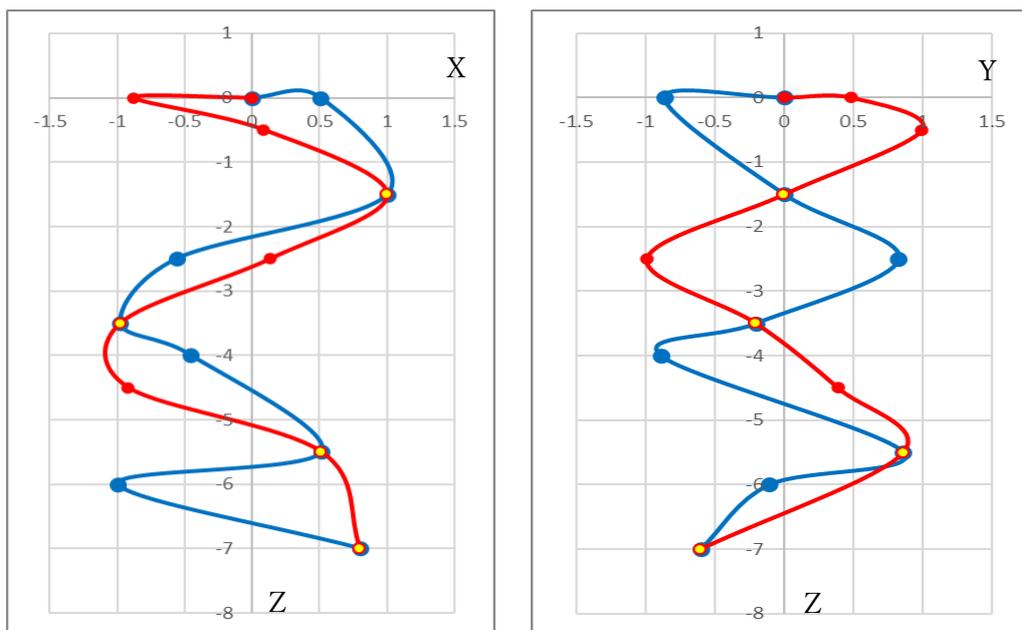


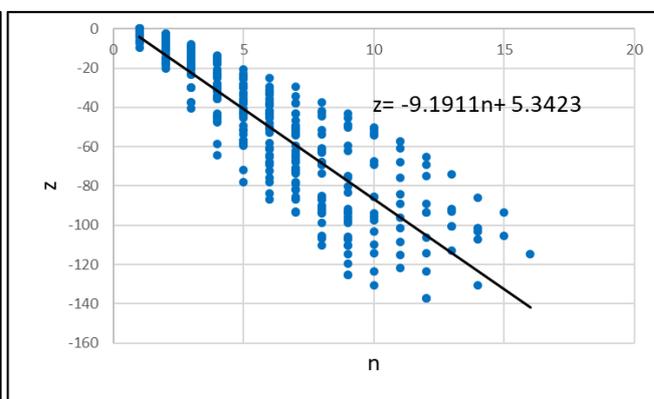
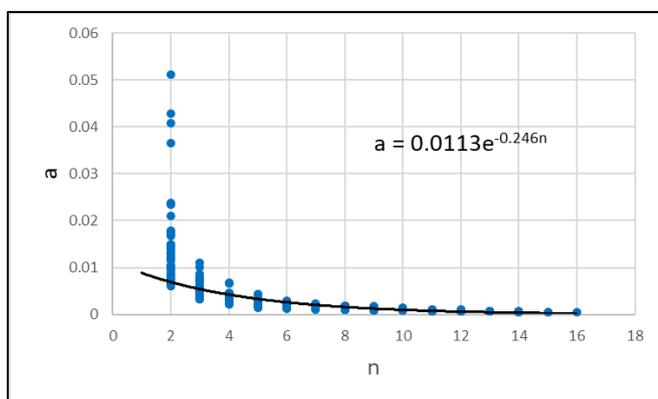
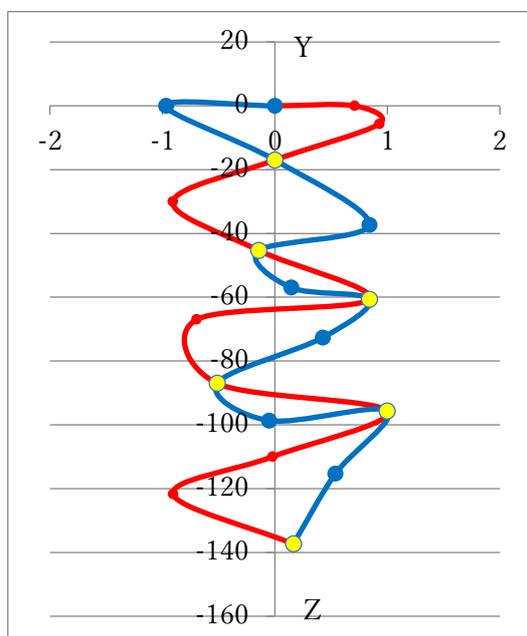
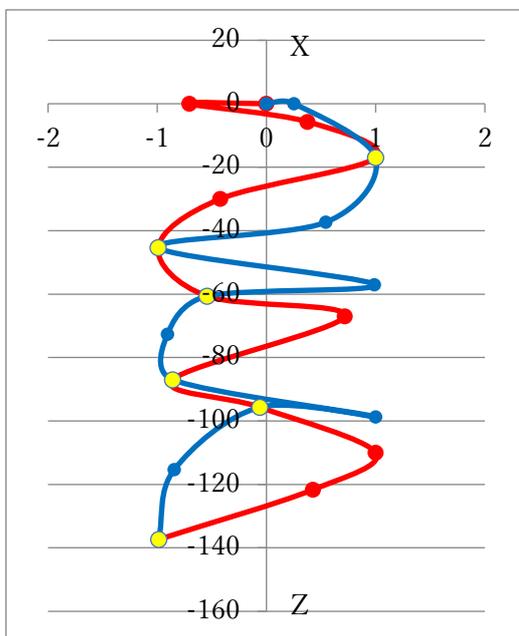
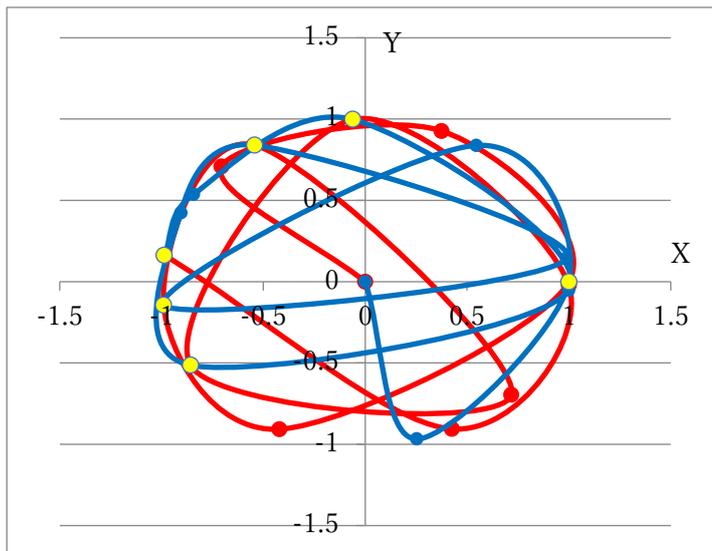
図8 ヒメムカシヨモギの葉の配列の座標と変数

④アレチヌスビトハギの葉は左右に共有の葉で交差しながら螺旋を描いて配列しており、次のような螺旋方程式で表せる (図9)。

$$r = 0.0113e^{-0.246n} \times 119.97 (n-1) \quad z = -9.1911n$$

r : 原点から各葉までの水平距離、n : 原点を0番目としたとき何番目の葉か、z : 原点から各葉までの垂直距離

アレチヌスビトハギの葉 (試料番号 13)



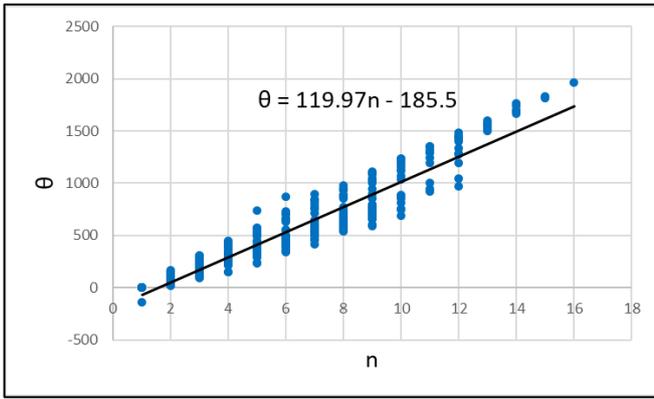


図9 アレチヌスビトハギの葉の配列の座標と変数

⑤いずれの植物でも、外見が違っていても成長段階が異なっても、螺旋方程式の変数に違いはない。

### 5. 考察

トウモロコシの実の穎果や苞葉、ヒメムカシヨモギの葉、アレチヌスビトハギの葉は、いずれもサボテンと同様に頂端部を原点として螺旋を描いて配列しており、それぞれ固有の変数をもつ螺旋方程式で表すことができた。いずれの植物でも、外見が異なったり、成長段階が異なったりしていても、螺旋方程式に違いはない。

一方、螺旋を描いて配列する葉の半径  $r$  が非常に小さいもの（トウモロコシの苞葉や、ヒメムカシヨモギの葉、アレチヌスビトハギの葉）や、高さの差がほとんどないもの（トウモロコシの苞葉）を比較するために、トウモロコシの実の穎果の  $r=1$  とし、 $z$  では方程式化しないとして修正すると、以下のようにまとめることができる（表1）。

表1 半径  $r=1$ 、 $z$  を用いない螺旋方程式

植物種	修正前	修正後
トウモロコシの 実の穎果	$r=0.0358e^{-1.152n} \times 48.585(n-1)$ $z=-0.1315n$	$r=0.0054e^{-0.063n} \times 48.585(n-1)$
トウモロコシの葉	$r=0.0072e^{-0.280n} \times 194.01(n-1)$	$r=0.0072e^{-0.280n} \times 194.01(n-1)$
ヒメムカシヨモギの 葉	$r=0.0135e^{-0.259n} \times 98.837(n-1)$ $z=-2.3042n$	$r=0.0135e^{-0.259n} \times 98.837(n-1)$
アレチヌスビトハギ の葉	$r=0.0113e^{-0.246n} \times 119.97(n-1)$ $z=-9.1911n$	$r=0.0113e^{-0.246n} \times 119.97(n-1)$
サボテン各種 <sup>1)</sup>	$r=se^{tm} \times u(n-1)$ $z=bn$	$r=se^{tm} \times u(n-1)$

このように、半径  $r=1$  とし、高さの差を用いないで植物を比較すると、さまざまに異なる形状の植物の部位が、以下のような共通の螺旋方程式で表される。

$$r = se^{tn} \times u (n-1)$$

r : 原点から各座標点までの水平距離

n : 原点の座標点を0番目としたとき何番目の座標点か

u : 隣接する2組の座標点間のなす水平面上の角度

s : 数値が小さい程、上から見たときの座標点が描く螺旋は大きく膨らむ

t : 螺旋を描く座標点の数が多し程小さくなる

このほかにも、さまざまな種の植物のさまざまな部位の配列を、固有の変数を持つ螺旋方程式で一般化することができる可能性がある。

## 6. 今後の課題

今回、サボテン種以外の植物の部位について配列を調べた。今後は、一見して螺旋状に配列していないように見える植物の部位についても調べていきたい。トウモロコシでは苞葉の付き方も実の穎果も螺旋方程式で表すことができたが、その変数は異なっていた。同じ植物のさまざまな部位の方程式を求めることで、類似性があるのかどうかを検証したい。

## 7. 参考文献

- 1) 村瀬太郎, 大和司, 吉田龍之介, 本脇敬人, 岸上栞菜, 寺田悠哉, 宮本泰成, 宮下翔真, サボテンの刺座の配列は規則的なのか, 化学と生物, 61(1), 46-48 (2023) .

## 8. 謝 辞

本研究を行うにあたって、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

# サボテン、トウモロコシ、ヒメムカシヨモギ、アレチヌスビトハギにみられる規則的な配列の類似性

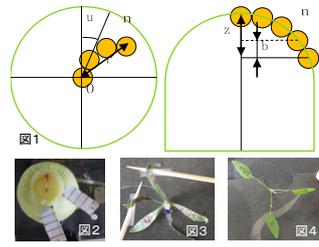
兵庫県立姫路東高等学校 科学部生物系研究部  
宮下翔真 寺田悠哉 宮本泰成 本莊初香 武内美月

**キーワード** 座標点、螺旋方程式、共有点

**背景** 2020年から、サボテンの刺座の配列についての研究を行った。その結果、サボテン種はすべて、頂端部から左右に螺旋を描いて配列しており、共通な螺旋方程式  $r = se^{tn} \times u(n-1)$   $z = bn$  によって示すことができ、その螺旋方程式は種によって異なる変数をもつこと、種ごとの個性はサボテンの原産地の環境を反映している可能性があることを明らかにした<sup>1)</sup>。

**目的** トウモロコシの実の穎果や苞葉、校庭に生えているヒメムカシヨモギやアレチヌスビトハギの葉の配列など、あちこちに螺旋方程式が隠されているように思えたことから、サボテン以外の植物でも実の穎果や葉の配列を調べる。

**測定方法** (1) トウモロコシの実の穎果を床に鉛直に立て、穎果に針を刺し、上方から穎果の配列を x-y、真横から x-z、y-z 座標で測定した (11個体/図1)。(2) トウモロコシの苞葉は高さがほとんど変化しないため、苞葉の水平面の座標を測定した (11個体/図2)。(3) ヒメムカシヨモギとアレチヌスビトハギの葉は、茎の頂上部の中心を原点として茎の根本との角度と、原点からの水平距離や高さの座標を測定した (各15個体/図3、図4)。



**結果** **螺旋方程式とは**  
真上から見た時の螺旋の形を表す方程式 (図5)  
 $r = a\theta$   
真横から見た時の座標点の高さを表す方程式  
 $z = bn$   
2つの方程式で立体的な螺旋を表す (螺旋方程式)  
r: 原点と座標点の水平距離  
θ: 角度の累計  
z: 原点からの座標点の高さ  
n: 原点を0とする座標点の数

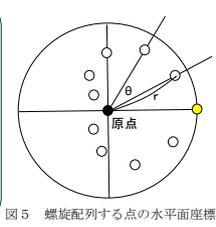


図5 螺旋配列する点の水平面座標

**① トウモロコシの実の穎果**

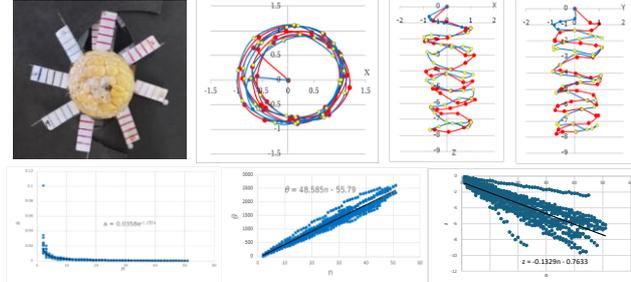


図6 トウモロコシの実の穎果配列の座標と変数

$r = 0.0358e^{-1.152n} \times 48.585(n-1)$   $z = -0.1315n$   
r: 原点の穎果から各穎果までの水平距離、n: 原点の穎果から0番目としたとき何番目の穎果か、z: 原点の穎果から各穎果までの垂直距離  
サボテンの刺座と同じように、頂部の穎果から下方に向かって共有の穎果で交差しながら左右に螺旋を描いており、変数は異なるが、サボテンの刺座配列の螺旋方程式の一般式と同じように表現できる

**② トウモロコシの苞葉**

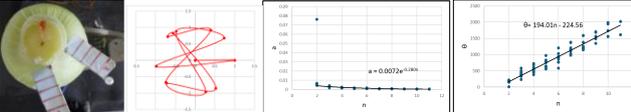


図7 トウモロコシの苞葉の配列の座標と変数

$r = 0.0072e^{-0.280n} \times 194.01(n-1)$   
r: 原点から各苞葉の中心までの水平距離、n: 原点を0番目としたとき何番目の苞葉か、z: 原点から右回りに螺旋を描いて配列している。苞葉は垂直距離がほとんどなく原点からの垂直距離はほぼ0であり半径rも変化がないためzで表せない

**③ ヒメムカシヨモギの葉**

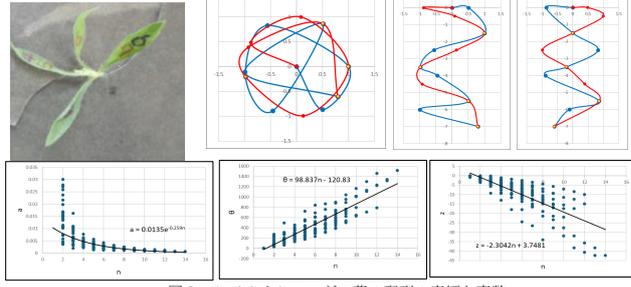


図8 ヒメムカシヨモギの葉の配列の座標と変数

$r = 0.0135e^{-0.258n} \times 97.684(n-1)$   $z = -2.3158n$   
r: 原点から各葉までの水平距離、n: 原点を0番目としたとき何番目の葉か、z: 原点から各葉までの垂直距離  
左右に共有の葉で交差しながら螺旋を描いて配列している。

**④ アレチヌスビトハギの葉**

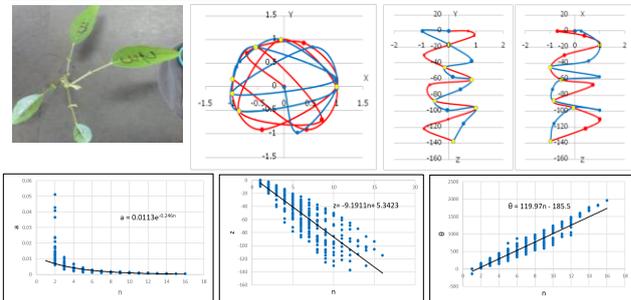


図9 アレチヌスビトハギの葉の配列の座標と変数

$r = 0.0113e^{-0.246n} \times 119.97(n-1)$   $z = -9.1911n$   
r: 原点から各葉までの水平距離、n: 原点を0番目としたとき何番目の葉か、z: 原点から各葉までの垂直距離  
左右に共有の葉で交差しながら螺旋を描いて配列している。

- いずれも頂端部を原点として螺旋を描いて配列しており、それぞれ固有の変数をもつ螺旋方程式で表すことができた。
- 外見や成長段階が異なっても、螺旋方程式に違いはない。

**考察** 螺旋を描いて配列する葉の半径 r が非常に小さいもの (トウモロコシの苞葉や、ヒメムカシヨモギの葉、アレチヌスビトハギの葉) や、高さの差がほとんどないもの (トウモロコシの苞葉) を比較するために、トウモロコシの実の穎果の  $r=1$  とし z で方程式化しないとすると、表1のようにまとめることができる。

観察した植物に共通の螺旋方程式  
 $r = se^{tn} \times u(n-1)$   
r: 原点から各座標点までの水平距離  
n: 原点の座標点を0番目としたとき何番目の座標点か  
u: 隣接する2組の座標点間のなす水平面上の角度  
s: 数値が小さい程、上から見たときの座標点を描く螺旋は大きく膨らむ  
t: 螺旋を描く座標点の数が多い程小さくなる

表1 トウモロコシの苞葉の配列の座標と変数

植物種	修正前	修正後
トウモロコシの実の穎果	$r = 0.0358e^{-1.152n} \times 48.585(n-1)$ $z = -0.1315n$	$r = 0.0054e^{-0.063n} \times 48.585(n-1)$
トウモロコシの葉	$r = 0.0072e^{-0.280n} \times 194.01(n-1)$	$r = 0.0072e^{-0.280n} \times 194.01(n-1)$
ヒメムカシヨモギの葉	$r = 0.0135e^{-0.258n} \times 98.837(n-1)$ $z = -2.3042n$	$r = 0.0135e^{-0.258n} \times 98.837(n-1)$
アレチヌスビトハギの葉	$r = 0.0113e^{-0.246n} \times 119.97(n-1)$ $z = -9.1911n$	$r = 0.0113e^{-0.246n} \times 119.97(n-1)$
サボテン各種 <sup>1)</sup>	$r = se^{tn} \times u(n-1)$ $z = bn$	$r = se^{tn} \times u(n-1)$

**今後の課題** 一見して螺旋状に配列していないようにも見える植物の部位についても調べていきたい。また、同じ植物の様々な部位の方程式に類似性があるのかどうかを検証したい。

**引用文献** 1) 村瀬太郎, 大和司, 吉田龍之介, 本脇敬人, 岸上葉菜, 寺田悠哉, 宮本泰成, 宮下翔真, サボテンの刺座の配列は規則的なのか, 化学と生物, 61(1), 46-48(2023).

**謝辞** 本研究を行うにあたって、本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、有益な助言をいただいた。ここに記して謝辞を表す。

## ニハイチュウの飼育培養に最適な pH の解明

### —飼育・培養液の最適な pH 調整に向けて—

兵庫県立姫路東高等学校

中田天晴 岡本莉空 中村賢矢 甲斐心晴 松岡沙和 村上虎太郎

#### 要 旨

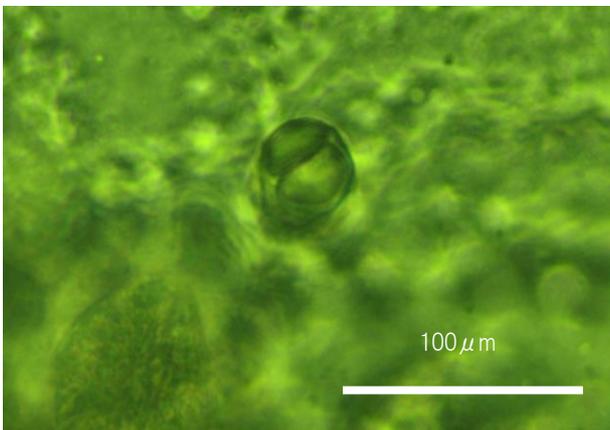
細胞数が 40 に満たないニハイチュウには滴虫型と蠕虫型の 2 種類があり、進化によって細胞数を減らしてきたことで注目されている生物である。ニハイチュウを長時間観察をするためには飼育・培養液を調整しなければならないが、まだ詳しい方法が明らかにされていない。マダコの尿の pH=5.81~6.90 と幅が広く、滴虫型ニハイチュウが多く生息しているのは pH=5.81~6.24、蠕虫型ニハイチュウが多く生息しているのは pH=5.81~6.00 である。マダコの尿が pH=6.90 以上のときニハイチュウは確認できない。

共生するマダコの尿に塩酸や水酸化ナトリウムを加えて「pH 調整尿」を作り、その中でニハイチュウの活動を観察すると、滴虫型ニハイチュウは pH=6.40、蠕虫型ニハイチュウは pH=5.40 が最も生存率が高い。pH=5.31~6.50 の多くの尿中において、滴虫型ニハイチュウは蠕虫型ニハイチュウよりも生存率の低下がゆるやかである。腎囊中にとどまる蠕虫型ニハイチュウは pH が比較的低い尿中に、海中を泳ぎまわる滴虫型ニハイチュウは pH が比較的高い海水中に適応している。

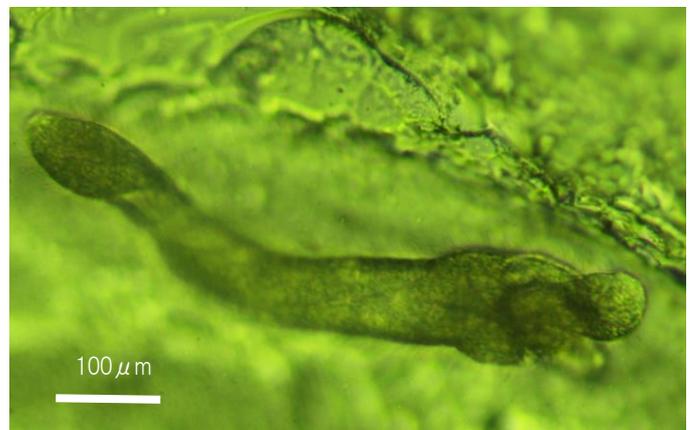
キーワード：蠕虫型ニハイチュウ 滴虫型ニハイチュウ pH 調整尿 生存率

#### A. 研究の目的

底生頭足類は、なぜ尿を腎囊にためておくのかまだよくわかっていない。その腎囊の尿の中に棲みついて生活するニハイチュウもまた、生態が解明されていない生物である。ニハイチュウ（二胚動物門）は、底生頭足類の腎囊に片利共生する、体長数 mm で細胞数が 40 に満たない多細胞動物で、多細胞生物が体を構成する細胞数を減少させて進化した生物<sup>1)</sup>として重要とされているが、まだその生態は明らかにされていない。ニハイチュウには、滴虫型（[図1](#)）と蠕虫型（[図2](#)）の 2 種類の幼生がある。蠕虫型ニハイチュウは、宿主（本研究の場合マダコ）の腎囊内で成長と増殖を完結する形態であり、滴虫型ニハイチュウは、宿主の腎囊内で生まれると、尿とともに海水中に押し出され、別の宿主を探して海中を遊泳し、新しい宿主内で成長する形態である。マダコの尿の成分を分析すると、アミノ酸やビタミン類などの栄養分を多量に含んでおり<sup>2)</sup>、ニハイチュウはいわば尿という栄養ドリンクの中で一生を過ごす生物である。



[図1](#) 滴虫型ニハイチュウ



[図2](#) 蠕虫型ニハイチュウ

筆者らは、生態がよくわかっていないニハイチュウの生態について調べるために長時間の観察を試みたが、すぐに死んでしまって十分な観察を行うことができなかった。

上記のように、ニハイチュウを長時間飼育・培養することができる溶液を作成する必要性が生じた。飼育・培養液の成分についてはいくつかの先行研究があり<sup>1)</sup>、溶液の pH が重要であることが示されている<sup>2)</sup>。しかし、まだその詳細は明らかにされていないため、ニハイチュウが耐性を持っている<sup>3) 4)</sup> 塩酸や水酸化ナトリウムを用いて尿の pH をさまざまに変化させ、尿の pH と生存の可否や生存時間との関係を明らかにすることを目的として実験を行った。尿の最適な pH が明らかにできれば、飼育・培養液作成の一步となる。

## B. 研究方法

以下の方法でマダコの腎囊からニハイチュウを採取し、異なる pH に調整した尿の中に入れてニハイチュウの行動を観察した。マダコは本校近隣の市場で最も入手しやすいタコである。実験は 25°C の実験室内で行い、尿は冷蔵環境で保存した。実験は 2024 年 4 月～8 月にかけて実施した。①～⑧は一連の操作である。

- ① あらかじめ人工海水を作成しておく。人工海水は、ジェクス社の粉末海水（塩化ナトリウム、塩化マグネシウム、塩化カルシウム、塩化カリウム、硫酸マグネシウム、チオ硫酸ナトリウムの混合）を用いた。さらに、尿の pH を変化させるために、塩酸と水酸化ナトリウム水溶液を準備した。
- ② 先行研究<sup>5) 6)</sup> を参考にして、市場から購入してきた生きたマダコの腎囊膜をハサミで開いて、中にためられている尿をピペットを用いて吸い取り、ビーカーに移して冷蔵保存した（図 3）。この尿中にニハイチュウが生息しており、ニハイチュウを尿ごと取り出した。
- ③ マダコの尿の pH をケニス株式会社製コンパクト pH メーター LAQUA（分解能 0.01pH、精度 ±0.01pH）で測定した。マダコの尿中に生息するニハイチュウの 0.01mL あたりの個体数を数え、マダコの尿の pH との関係調べた。さらに、尿の pH を調整するために、取り出した尿の体積を測定した。測定したのはマダコ 7 個体の腎囊内に共生するニハイチュウ（滴虫型 181 個体、蠕虫型 206 個体）である。
- ④ 採取した尿の pH と体積を基にして、採取した尿の pH ±0.5 刻みで、pH が異なる尿を作るための塩酸や水酸化ナトリウム入りの人工海水を作った。pH の異なる溶液を作る際に、塩酸や水酸化ナトリウム水溶液を加えることによって尿の濃度が変化することを避けるために、尿 10 に対して常に塩酸や水酸化ナトリウム入りの人工海水 1 の体積比となるように計算した。なお、ニハイチュウは弱塩酸や弱水酸化ナトリウムに耐性を持つことが知られており、ニハイチュウの生態を調べる実験でしばしば用いられている<sup>5) 6)</sup>。
- ⑤ 小型ドリルを用いて、スライドガラス中央部に 0.01mL の溶液が入る窪みを作った。
- ⑥ 塩酸や水酸化ナトリウム入りの人工海水を、採取した尿中に尿 10 に対して 1 の体積比となるように加えて「pH 調整尿」を作り、それをスライドガラスの窪みにマイクロピペットを用いて 0.01mL 滴下し、溶液の蒸発を防ぐためにカバーガラスをかけて、すぐに顕微鏡で観察するとともに時間の計測を始める。
- ⑦ 0.01mL の「pH 調整尿」中のニハイチュウが死んで動かなくなるまでの時間を 1 個体ずつ記録した。すべてのニハイチュウが死滅したら観察を終えた。これを調整したすべての「pH 調整尿」で繰り返し行った。死滅するまでの時間を蠕虫型と滴虫型に分けて記録した。
- ⑧ 対照実験として、塩酸や水酸化ナトリウムを入れないマダコの尿でも同様の観察を行った。

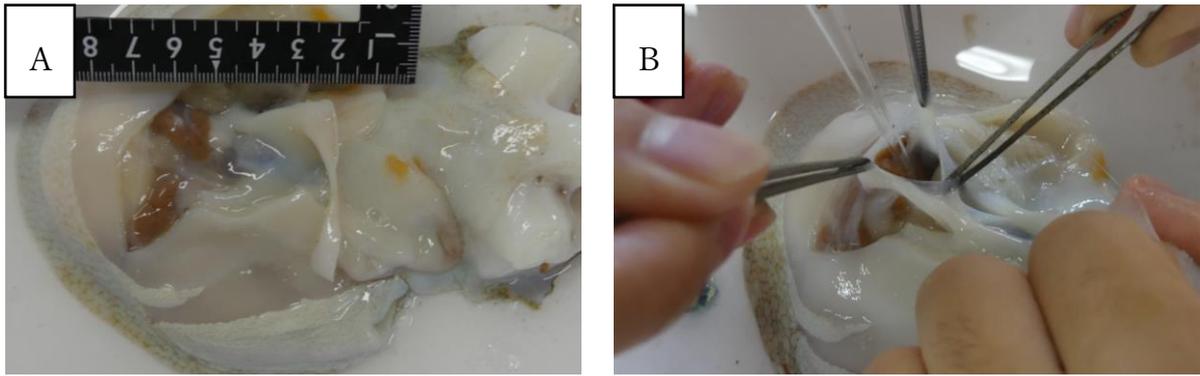


図3 ニハイチュウ採取のようす (A: 外套膜を切除して腎囊を露出する、B: 腎囊膜を開いて尿を吸い出す)

C. 得られた結果

① マダコの尿の pH とニハイチュウの生息数との関係を、表1および図4に示す。マダコの尿は pH=5.81~6.90 と変動幅が大きい、滴虫型ニハイチュウが多く生息しているのは pH=5.81~6.24、蠕虫型ニハイチュウが多く生息しているのは pH=5.81~6.00 である。マダコの尿が pH=6.60 以上になると滴虫型ニハイチュウを、また pH=6.90 以上になると蠕虫型ニハイチュウを確認できなかった。

表1 マダコの尿の pH とニハイチュウの生息数の関係 (左: 滴虫型、右: 蠕虫型、マダコ7個体中)

pH	個体数	pH	個体数
5.81	55	5.81	68
5.81	36	5.81	67
5.90	7	5.90	12
5.98	11	5.98	6
6.00	30	6.00	38
6.24	42	6.24	3
6.58	0	6.58	12

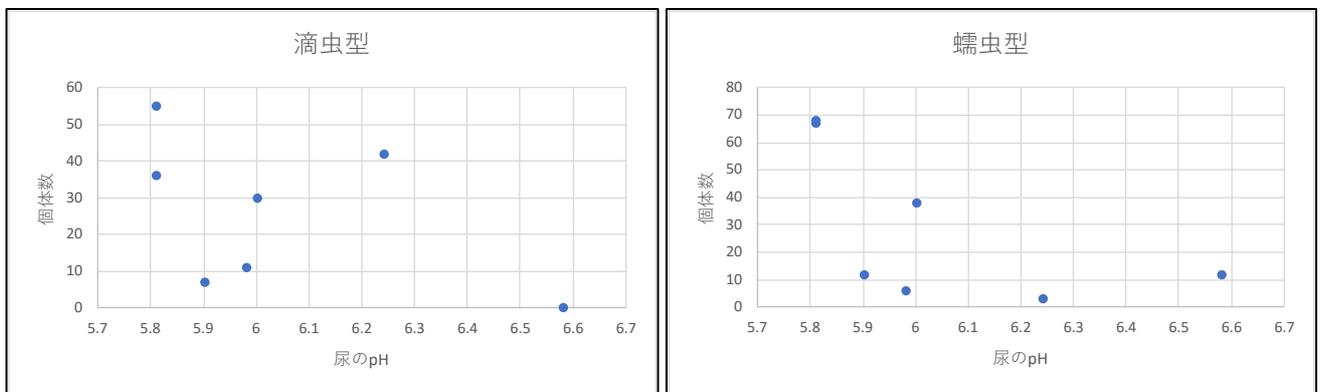


図4 マダコの尿の pH とニハイチュウの生息数の関係 (マダコ7個体中)

② 尿中のニハイチュウが pH の違いによってどの程度生存できるのかを比較するため、時間の経過による生

生存率を異なる pH の 9 種類の尿で各 1 回ずつ求めて比較した。生存率とは、ある一定期間を経過した集団について、その時点で生存している生物の割合である<sup>7)</sup>。全体に、塩基性側よりも酸性側に pH をずらした尿の方が生存率が高くなる傾向がみられ、pH=5.31~6.50 の多くの尿中において、滴虫型ニハイチュウは蠕虫型ニハイチュウよりも生存率の低下がゆるやかである。滴虫型ニハイチュウは pH=6.40 (図5)、蠕虫型ニハイチュウは pH=5.40 (図6) が最も生息しやすい環境であった。蠕虫型ニハイチュウにとって生存率が最も高い pH は、最も多く共生している尿の pH=5.81 よりもより酸性である。滴虫型ニハイチュウも蠕虫型ニハイチュウも、死ぬ前には円を描くように回転した。

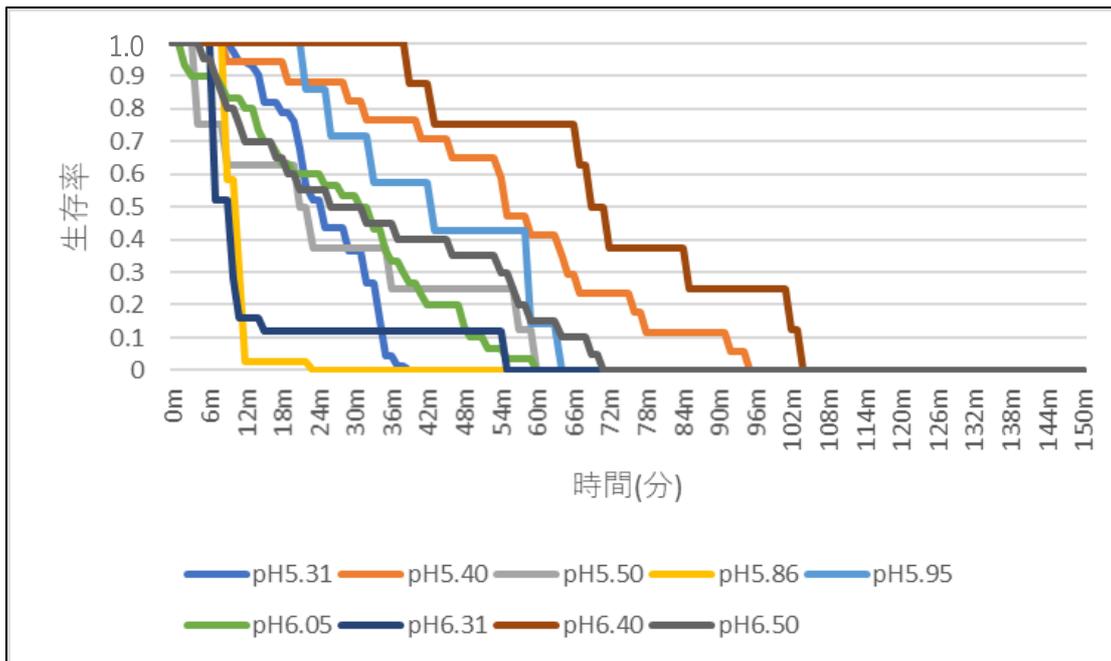


図5 尿の pH と滴虫型ニハイチュウの生存率の関係

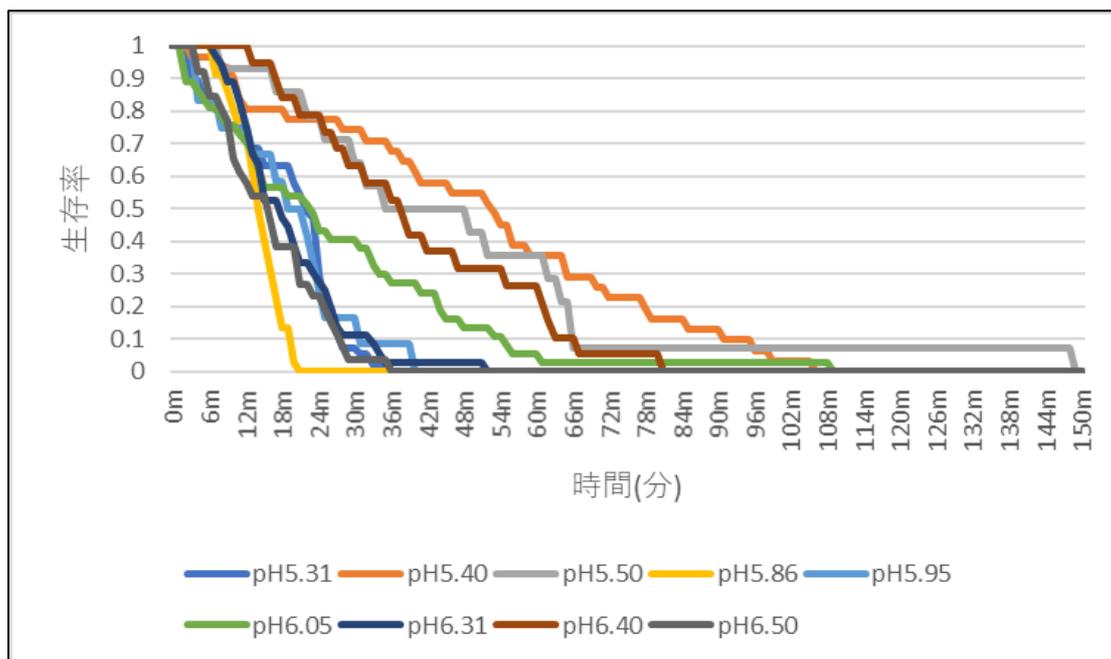


図6 尿の pH と蠕虫型ニハイチュウの生存率の関係

## D. 考察

マダコの尿の pH=5.81~6.90 と幅が広い。この中で、滴虫型ニハイチュウが多く生息しているのは pH=5.81~6.24 であり、蠕虫型ニハイチュウが多く生息しているのは pH=5.81~6.00 である。マダコの尿が pH=6.90 以上になるといずれのニハイチュウも確認できなかったことから、ニハイチュウは酸性環境を好むことがわかる。

共生するマダコの尿に塩酸や水酸化ナトリウムを加えて「pH調整尿」を作り、その中でニハイチュウの活動を観察すると、滴虫型ニハイチュウは pH=6.40、蠕虫型ニハイチュウは pH=5.40 のときに、最も生存率が高かった。蠕虫型ニハイチュウは、より酸性環境を好むことがわかる。また、pH=5.31~6.50 の多くの尿中において、滴虫型ニハイチュウは蠕虫型ニハイチュウよりも生存率の低下がゆるやかであった。腎囊中にとどまる蠕虫型ニハイチュウは pH が比較的低い尿中 (pH=5.81~6.90) に、海中を泳ぎまわる滴虫型ニハイチュウは pH が比較的高い海水中 (pH=7.7~7.9)<sup>8)</sup> に適応しているといえる。さらに、蠕虫型ニハイチュウは、何らかの方法でマダコの尿の pH を下げ、自身の生きやすい pH 環境を作っている可能性がある。

今後は、なぜニハイチュウにとって pH が低い酸性環境の方が生息しやすいのかについて明らかにする方法を考えたい。さらに、今回の研究の成果に基づいてニハイチュウの培養を行い、当初の目的にあるようにニハイチュウの生態を解明するために長時間の観察に臨みたい。

## E. 結論

マダコの尿の pH=5.81~6.90 であるが、滴虫型ニハイチュウは pH=6.40、蠕虫型ニハイチュウは pH=5.40 を好む。また、pH=5.31~6.50 の多くの尿中において、滴虫型ニハイチュウは蠕虫型ニハイチュウよりも生存率の低下がゆるやかである。腎囊中にとどまる蠕虫型ニハイチュウは pH が比較的低い尿中に、海中を泳ぎまわる滴虫型ニハイチュウは pH が比較的高い海水中に適応している。

## F. 謝辞

本研究を行うにあたり、大阪大学大学院理学研究科生物科学専攻の古屋秀隆教授には、ニハイチュウについての基礎的な情報について丁寧なご指導をいただいた。また本校科学部主顧問の川勝和哉主幹教諭には、終始有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

## G. 参考文献

- 1) 古屋秀隆, ニハイチュウの分子生物学と培養系の確立, 公益財団法人東レ科学振興会第 52 回事業報告書, 70-71 (2011) .
- 2) 古屋秀隆, 動物飼育, 共立出版, 日本比較生理生化学会編, 51-57 (2012) .
- 3) E. A. Lapan and H. J. Morowitz, The dicyemid mesozoa as an integrated system for morphogenetic studies. I. Description isolation and maintenance, Journal of Experimental Zoology, 193(2), 147-159 (1975) .
- 4) 古屋秀隆, ニハイチュウ, 研究者が教える動物飼育 第1巻, 51-57 (2012) .
- 5) 栗田ひろ子, 能登朋子, 遠藤浩, 中生動物ニハイチュウの寄生適応戦略: 発生中の DNA の増幅と削減、そして細胞分化後の反復配列の特異的増幅, 原生動物学雑誌, 40(1), 68-70 (2007) .
- 6) 能登朋子, 山口正晃, 遠藤浩, ニハイチュウの系統的位置の再検討, 日本分子生物学会年会プログラム講演要旨集, 21, 343 (1998) .
- 7) 国立ガン研究センター, 生存率, <https://gan.joho.jp> (2018) .
- 8) 国土交通省, 瀬戸内海総合水質調査ホームページ, <https://www.pa.cgr.mlit.go.jp/suishits/index> (2023)

# ニハイチュウの飼育培養に最適なpHの解明

兵庫県立姫路東高等学校 科学部生物系研究部

中田天晴 岡本莉空 中村賢矢 甲斐心晴 松岡沙和 村上虎太郎

**キーワード** 滴虫型ニハイチュウ 蠕虫型ニハイチュウ pH調節尿 生存率

## ニハイチュウについて

ニハイチュウ(ニ胚動物門)は、底生頭足類の腎囊内に片利共生する体長数百~数千 $\mu\text{m}$ 、細胞総数40個未満の多細胞動物である。蠕虫型と滴虫型の2タイプがあり、滴虫型ニハイチュウは、宿主の腎囊内で生まれると、尿とともに海水中に押し出され、別の宿主(本研究の場合マダコ)を探して海中を遊泳し、新しい宿主内で成長する(図1)。蠕虫型ニハイチュウは海中に排出されないように頭部(極帽)を腎囊表面に接着し、一生をタコの腎囊内で終える(図2)。ニハイチュウは単細胞生物と多細胞生物のつながりを知るうえで重要な生物であるとされている。

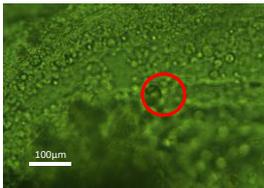


図1 滴虫型ニハイチュウ(筆者ら撮影)

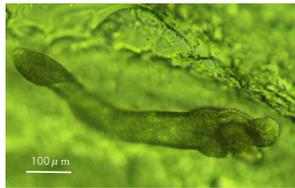


図2 蠕虫型ニハイチュウ(筆者ら撮影)

## 動機と目的

筆者らは昨年度までニハイチュウの極帽についての研究を行っていたが<sup>3)</sup>、観察する上でニハイチュウが短時間で死んでしまうため、ニハイチュウを延命させる必要が生じた。

飼育・培養に関してはいくつかの先行研究があり<sup>1)6)7)</sup>、溶液のpHが重要であることが示されている<sup>2)</sup>。しかし、まだその詳細は明らかにされていないため、ニハイチュウが耐性を持っている<sup>6)7)</sup>塩酸や水酸化ナトリウムを用いて尿のpHを様々なに変化させ、**尿のpHと生存時間との関係を明らかにすること**を目的として実験を行った。ニハイチュウの適切な尿のpHを明らかにできれば、筆者らの必要とするニハイチュウの延命だけでなく、飼育・培養液作成の解明の一歩となる。

## 実験方法

実験は25°Cの実験室内で行い、尿は冷蔵環境で保存した。マダコは本校近隣の市場で最も入手しやすいタコである。以下の方法でマダコの腎囊からニハイチュウを採取し、異なるpHに調整した「pH調整尿」の中に入れてニハイチュウの行動を観察した。

### (1)尿のpHとニハイチュウの生息数の関係

- ①マダコの腎囊膜をハサミで切り、中にたまっている尿をスポイトで吸い取り(図3)、pHメーターを用いてpHを測定する。
- ②採取した尿を容量が0.01mLのホールスライドガラスに垂らしてカバーガラスをかけ、顕微鏡を用いてホール内の滴虫型、蠕虫型それぞれの個体数を測定した。

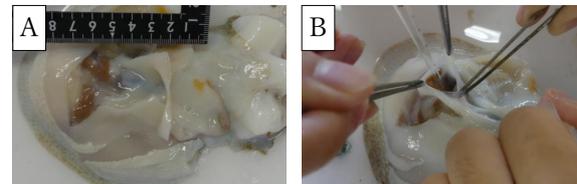


図3 ニハイチュウ採取のようす(A:外囊膜を切除して腎囊を露出する、B:腎囊膜を開いて尿を吸い出す)

### (2)尿のpHとニハイチュウの生存率の関係

- ①(1)の尿のpH $\pm$ 0.5の「pH調整尿」を作るために、塩酸や水酸化ナトリウム入りの人工海水を作った。尿の濃度が変化することを避けるために、尿10に対して塩酸や水酸化ナトリウム入り的人工海水1となるようにpHを計算した。
- ②塩酸入りの人工海水、水酸化ナトリウム入り的人工海水、また何も加えていない人工海水のいずれかを尿に加えた。人工海水を加えた瞬間から時間を計測し始めた。
- ③容量が0.01mLのホールスライドガラスに垂らしてカバーガラスをかけ、すぐに顕微鏡で観察した。0.01mLの「pH調整尿」中のニハイチュウが死んで動かなくなるまでの時間を1個体ずつ記録した。すべてのニハイチュウが死んだら観察を終えた。これを調整したすべての「pH調整尿」で繰り返し行った。死ぬまでの時間は蠕虫型と滴虫型に分けて記録した。

## 結果

- (1)マダコの尿はpH=5.81~6.90と変動幅が大きいが、滴虫型ニハイチュウが多く生息しているのはpH=5.81~6.24、蠕虫型ニハイチュウが多く生息しているのはpH=5.81~6.00である。マダコの尿がpH=6.60以上になると滴虫型ニハイチュウが、またpH=6.90以上になると蠕虫型ニハイチュウを確認できない(図4)。

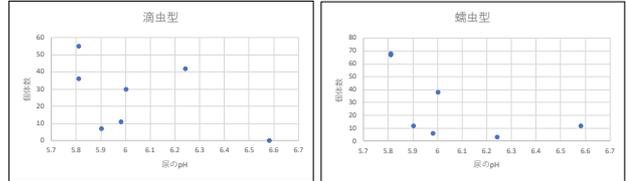


図4 マダコの尿pHとニハイチュウの生息数の関係(マダコ7個体中)

- (2)pH=5.31~6.50の多くの尿において、滴虫型ニハイチュウは蠕虫型ニハイチュウよりも生存率<sup>8)</sup>の低下が緩やかである。滴虫型ニハイチュウはpH=6.40(図5)、蠕虫型ニハイチュウはpH=5.40(図6)が最も生息しやすい環境であった。滴虫型ニハイチュウも蠕虫型ニハイチュウも、死ぬ前には円を描くように回転した。

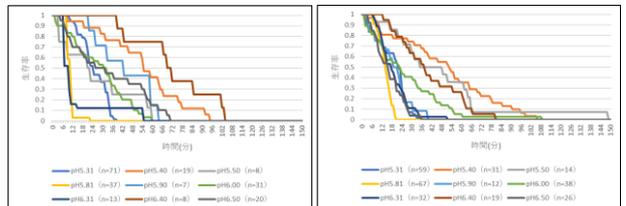


図5 尿のpHと滴虫型ニハイチュウの生存率の関係

図6 尿のpHと蠕虫型ニハイチュウの生存率の関係

## 考察

- ①マダコの尿のpH=5.81~6.90であるが、滴虫型ニハイチュウはpH=6.40、蠕虫型ニハイチュウはpH=5.40を好む。
- ②マダコの尿がpH=6.90以上になるといずれのニハイチュウも共存しないことから、ニハイチュウは酸性環境を好むことがわかる。
- ③海中を泳ぎまわる滴虫型ニハイチュウはpHが比較的高い海水(pH=7.7~7.9)<sup>9)</sup>に、腎囊中にとどまる蠕虫型ニハイチュウはpHが比較的低い尿(pH=5.81~6.90)に適応している。
- ④蠕虫型ニハイチュウは、何らかの方法でマダコの尿のpHを下げ、自身の生きやすいpH環境を作っている可能性がある。

## 今後の課題

なぜニハイチュウにとってpHが低い酸性環境の方が生息しやすいのかに、また、どのようなメカニズムで滴虫型が高いpH、蠕虫型が低いpHに適しているのかについて明らかにする方法を考えたい。そして、今回の研究成果に基づいてニハイチュウの培養を行い、当初の目的にあるようにニハイチュウの生態を解明するために長時間の観察に臨みたい。さらに、今回はpHに着目したが、温度や尿の成分などの他の事象についても検証して、よりニハイチュウにとって最適な尿を解明したい。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、大阪大学大学院理学研究科の古屋秀隆教授に、ニハイチュウについての基礎的な情報についてご指導をいただいた。また本校科学部主顧問の川勝和哉主幹教諭には、終始有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 古屋秀隆, ニハイチュウの分子生物学と培養系の確立, 公益財団法人東レ科学振興会第52回事業報告書, 70-71 (2011) .
- 2) 古屋秀隆, 動物飼育, 共立出版, 日本比較生理生化学会編, 51-57 (2012) .
- 3) 岸上菜菜, 軟体動物の腎囊の生育場所によるニハイチュウの極帽形態の変化, 化学と生物, 61(11), 569-571 (2023) .
- 4) 栗田ひろ子, 能登朋子, 遠藤浩, 中生動物ニハイチュウの寄生適応戦略: 発生中のDNAの増幅と削減, そして細胞分化後の反復配列の特異的増幅, 原生動物学雑誌, 40(1), 68-70 (2007) .
- 5) 能登朋子, 山口正晃, 遠藤浩, ニハイチュウの系統的位置の再検討, 日本分子生物学学会年会プログラム講演要旨集, 21, 343 (1998) .
- 6) E.A.Lapan and H.J.Morowitz, The dicyemid mesozoa as an integrated system for morphogenetic studies. I.Description isolation and maintenance, Journal of Experimental Zoology, 193(2),147-159 (1975) .
- 7) 古屋秀隆, ニハイチュウ, 研究者が教える動物飼育 第1巻, 51-57 (2012) .
- 8) 国立ガン研究センター, 生存率, <https://ganjoho.jp> (2018) .
- 9) 国土交通省, <https://www.pa.cgr.mlit.go.jp/suishits/index> (2024.8.30) .

## 豪州 NSW 州南東部 Bingi Bingi Point 複合深成岩体のマグマ分化末期の環境 —露頭調査と角閃石の波状累帯構造の解析に基づいて—

兵庫県立姫路東高等学校 科学部地学系研究部 マグマ班  
富士佳蓮 山口歩珠 辻本ゆき乃 西川大樹 藤本知真

### A. 研究目的

筆者らは 2021 年以降、西南日本内帯の深成岩を形成したマグマ分化末期の環境についての研究を行っており、2023 年には角閃石から発見した波状累帯構造の分析を基にして、山陰帯と比較した山陽帯マグマ分化末期の酸素分圧上昇を明らかにした<sup>1)</sup>。

今回筆者らは、オーストラリア南東部ニュー・サウス・ウェールズ州のユーロボダラ国立公園の東に隣接する Bingi Bingi Point 複合深成岩体の岩石・鉱物学的研究を行った。Bingi Bingi Point 複合深成岩体は、古生代デボン紀（約 3 億 8000 万年前）の 2 種類の異なるマグマ<sup>2)</sup> が、十分に混ざりあうことなく地表 10km にわたって位置している。本地域の深成岩類は、Lachlan Fold Belt に位置する Moruya Batholith の一部である<sup>3) 4) 5)</sup>。本調査地域は、異なるマグマの不完全な混入のようすを残しているとして多くの野外調査が行われているが、詳細な岩石・鉱物学的研究はなされていないことから、鉱物学的視点からマグマ分化末期の環境を明らかにすることを目的とした。

### B. 研究方法

周囲約 1.5km (図 1 / 南緯 36° 0' 50"、東経 150° 9' 22") の Bingi Bingi Point の露頭調査を 1 月 25 日～29 日の 5 日間行い、岩石相互の関係を明らかにした。岩石試料の採取を行い、帰国後研磨薄片を 12 枚作成し、偏光顕微鏡で 1 か月間毎日観察を続けた。結果で詳述するように、海外の深成岩から初めて角閃石から波状累帯構造という微細構造を発見したため、形成要因まで明らかにしたいと考え、京都大学理学部の協力を得て EPMA の原理と使用法の講義を受け、5 月 11 日～12 日に筆者ら自身で角閃石の微細構造の EPMA 分析を行った。



図 1 露頭調査地点 (Google Earth)

### C. 得られた結果

図 2 に筆者らが作成した調査地域の岩石分布図と試料採取地点を示す。

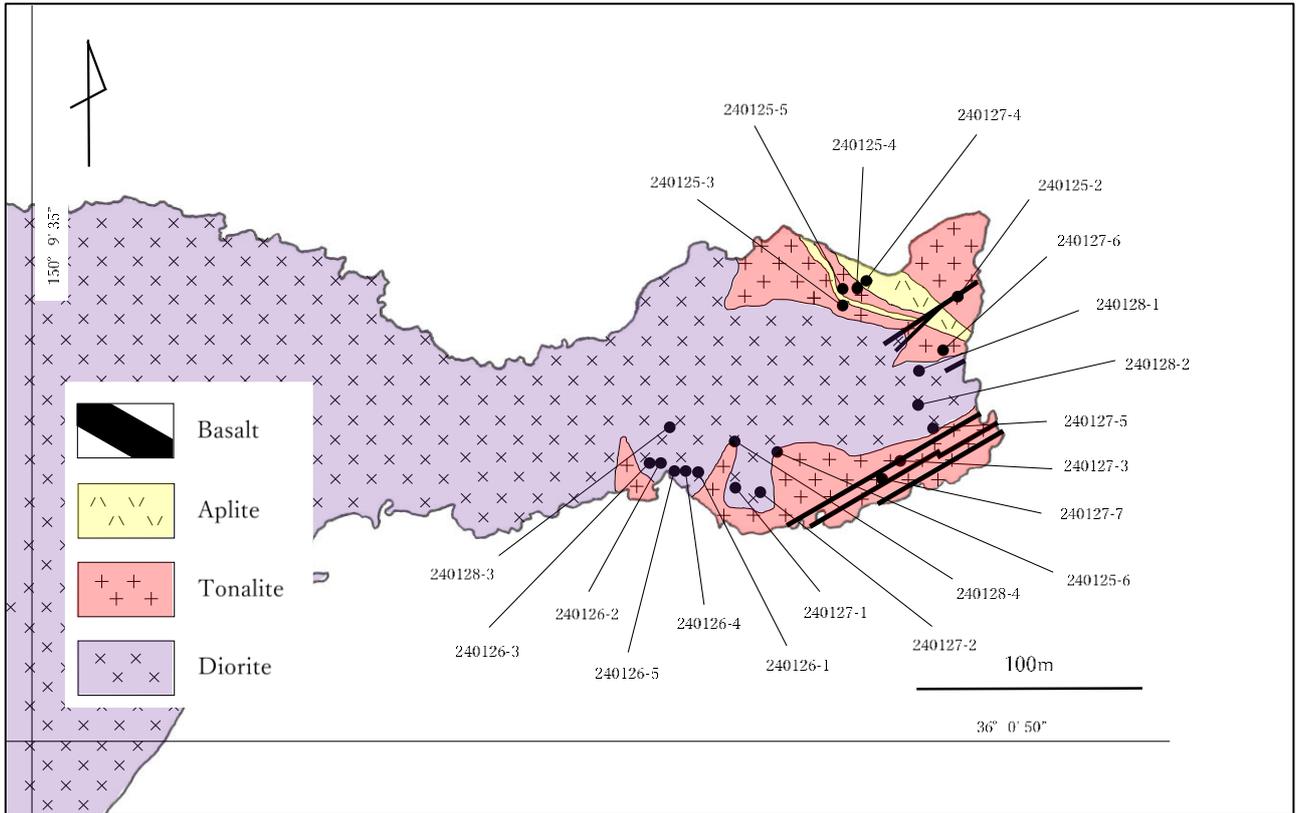


図2 調査地域の岩石分布図と試料採取地点

### ① 閃緑岩

調査地域の大部分を占めており、2mm～5mm程度の粗粒な有色鉱物が目立つ。岩体の周縁部には、周囲のトータル岩から二次的に熱水支脈が入り込んでいる様子が見られ、ペグマタイトのような自形の角閃石や石英の巨晶が晶出している（図3／試料240127-1）。



図3 閃緑岩に見られる熱水支脈

### ② トータル岩

調査地域の東部から西部に向けて、閃緑岩を包み込むように分布している。全体に閃緑岩の岩片が捕獲岩として包有されている。閃緑岩との接触部付近では、熱水支脈が不規則に染み込むように見られ、大小の閃緑岩の角ばったブロック状の捕獲岩がトータル岩マグマの中に落ち込んでいる（試料240127-7／図4）。ブロックの周縁部はゆるやかに溶食されて、やや丸みを帯びている。閃緑岩との接触部から離れるにつれて、閃緑岩は餅のように引き延ばされ、周囲がより強く溶食されて紡錘形となる（試料240127-6／図5）。トータル岩に包有される閃緑岩の捕獲岩は、概ね閃緑岩との接触面にほぼ平行になるように配列している（図6）。



図4 ブロック状の閃緑岩片を捕獲岩として包有するトータル岩



図5 引き伸ばされた閃緑岩の捕獲岩

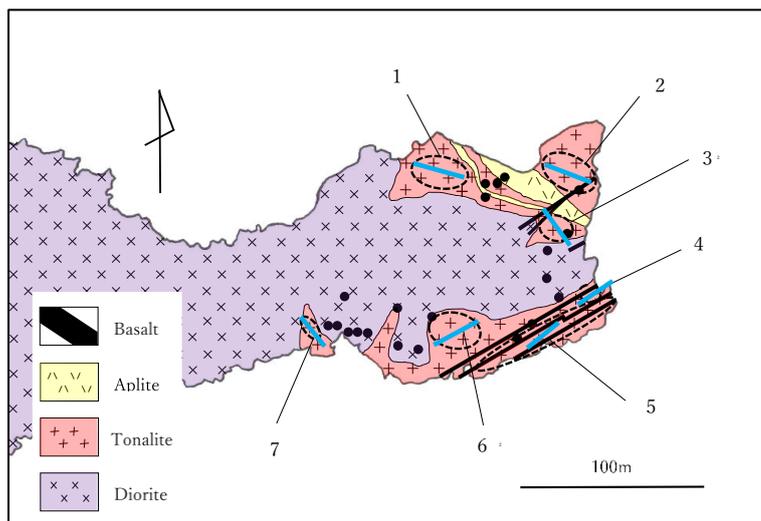


図6 トーナル岩に取り込まれる閃緑岩捕獲岩の走向 (青線)

### ③ アプライト脈

Bingi Bingi Point の北西から南東部に N49W~N66W の方位で、閃緑岩とトーナル岩を貫くアプライト脈がみられる。アプライト脈は全体に淡黄色で、微細な有色鉱物からなる直径 10mm 前後の集合体を斑点状に含んでいる。アプライト脈は、北西部で幅が 3m をこえるが、南東に向かって次第に薄くなり、ついにはトーナル岩の中で分断されるように消える。様々な大きさの閃緑岩やトーナル岩の大小の岩片を捕獲岩としてブロック状に取り込んでいる。岩片はいずれもその周囲が溶食されて紡錘形を呈して、アプライト脈の貫入と同じ方位の N56W~N78W の走向に配列している。明瞭な流離様の構造が確認できる。

### ④ 玄武岩

Bingi Bingi Point の南部には、表面が赤く酸化した玄武岩脈（走向 N56E~N71E）と黒色の玄武岩脈（走向 N47E~N69E）の 2 種類が、北東から南西方向に平行にのびている。北部の黒色玄武岩は走向 N48E で北東から南西にのびている。南部の表面が赤く酸化した玄武岩脈は幅 10cm 程度でほぼ一定で、幅 20cm~最大幅 140cm の黒色の玄武岩に切られており、さらに固結後に張力が働いて途中で左右にずれている。南部および北部の黒色玄武岩脈は、いずれも閃緑岩やトーナル岩、アプライト脈を切って直線的にのびている。玄武岩との接触部のアプライトには、黒色玄武岩による熱の影響がみられる。赤色および黒色玄武岩は、いずれもアプライトの岩片を捕獲岩として包有している。

### ⑤ 岩石薄片の記載（角閃石を中心に）

閃緑岩およびトーナル岩試料（試料 240125-6、240126-5、240127-2、240127-5、240128-2、240128-4）の研磨薄片を各試料 2 枚ずつ合計 12 枚作成し、偏光顕微鏡で詳細に観察した。

閃緑岩とトーナル岩および閃緑岩の捕獲岩は、いずれも構成鉱物は同じで、斜長石と角閃石を多く含むほか、他形で鉱物間を充填するように、スフェーン、磁鉄鉱、リン灰石をわずかに含む。磁鉄鉱は少ないが、角閃石の淡緑色リム部に自形や半自形の磁鉄鉱が共存している。

閃緑岩の角閃石から、明瞭な波状累帯構造を発見した。主なものを図 7~図 8 に示す。特に、トーナル岩と接する閃緑岩（試料番号 240125-6、240126-5、240127-2、240127-5、240128-4）から多く発見された。たとえば試料 240127-5 の閃緑岩からは、25mm×35mm の薄片から 80 個以上の波状累帯構造が発見された。西南日本山陰帯では 2~3 個程度、山陽帯では 1 枚の 1 個見つかるかどうかという頻度であることを考えると極めて発達の高頻度である。波状累帯構造は、淡緑色のリム部に発

達しており、淡褐色のコア部からは発見できない。角閃石の波状累帯構造は、結晶成長のc軸方向に結晶の外縁部に形成されている。波状累帯構造の多くは、途中で折れ曲がったり、外側の累帯構造によって内側の累帯構造が切られたりしている。

一方、トータル岩との接触部から離れている閃緑岩(図9/試料番号240128-2)の角閃石にみられる波状累帯構造は、不規則な形状の淡褐色部が部分的に残り、その周囲はすべて淡緑色リム部で、その間隙に激しく不規則に波状累帯構造が発達している。

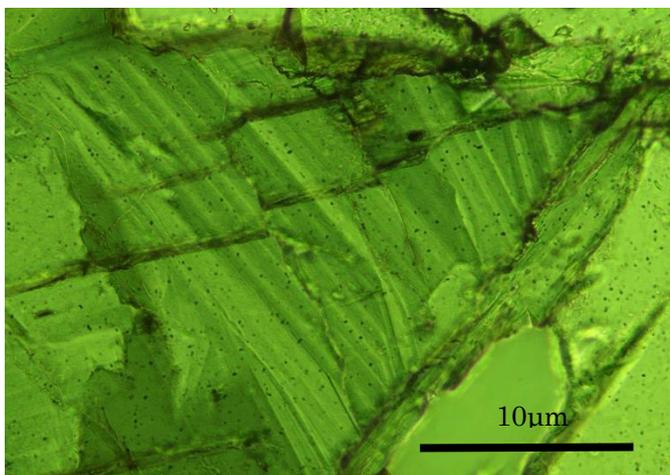


図7 トータル岩と接する閃緑岩の角閃石の波状累帯構造(試料240125-6①/オープンニコル)

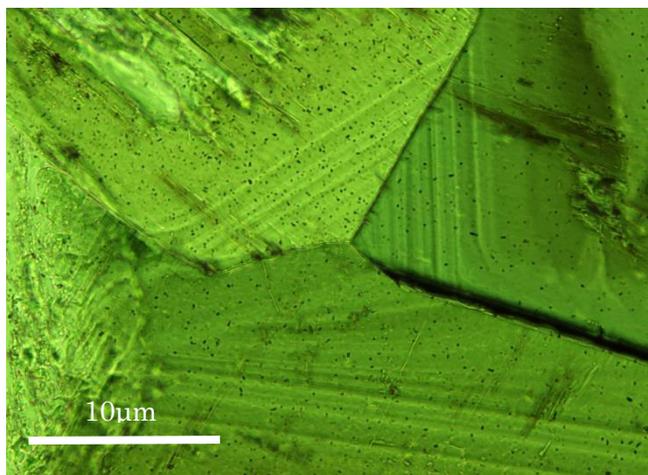


図8 トータル岩と接する閃緑岩の角閃石の波状累帯構造(試料240127-5/オープンニコル)

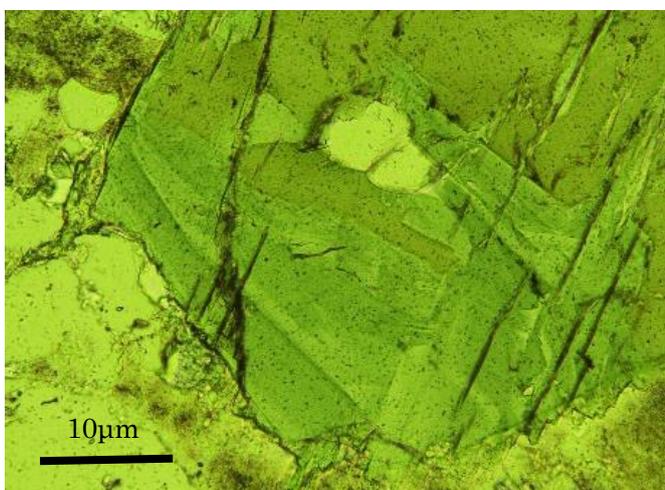


図9 閃緑岩の角閃石の波状累帯構造(試料240128-2②/オープンニコル)

#### ⑥ 角閃石のEPMA分析結果

角閃石の波状累帯構造を発見したので、どのように形成されたのかを明らかにしたいと思い、京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地質学鉱物学教室の波長分散型電子線マイクロアナライザーEPMA(JEOL JXA-8105)で、鉱物の反射電子線像の撮影と、鉱物の定量分析を行った。定量分析の条件は、ビーム径3µm、加速電圧15kV、電流10nAであり、測定時間は、ピーク測定10秒、バックグラウンド測定5秒、Fはピーク測定60秒、バックグラウンド30秒、C1はピーク測定30秒、バックグラウンド15秒とした。

反射電子線像では、多くの角閃石で、c軸方向だけでなく、角閃石の結晶の横からも熱水が侵入した跡がみられるが、波状累帯構造はc軸方向のみに発達している。トータル岩と接する閃緑岩の角閃石の波状累帯構造は淡緑色リム部のみに発達しており、淡褐色コア部にはみられない。外側の累帯構造が内側の累帯構造を何度も切るように発達している(図10)。異なる角閃石の結晶にもかかわらず、リム部を寄せ合っている結晶粒の外側から、波状累帯構造が平行に連続して形成されている(図11)。それぞれの鉱物の内側から形成された場合にはこうはならない。波状累帯構造が結晶の外側からの影響によって形成されたことを示している。

一方、閃緑岩体の接触部から離れている閃緑岩の角閃石は結晶全体が淡緑色ゾーンで、そこに不規則なパッチー状に淡褐色リム部が残存しており、その間隙に激しく累帯構造が発達している(図12)。

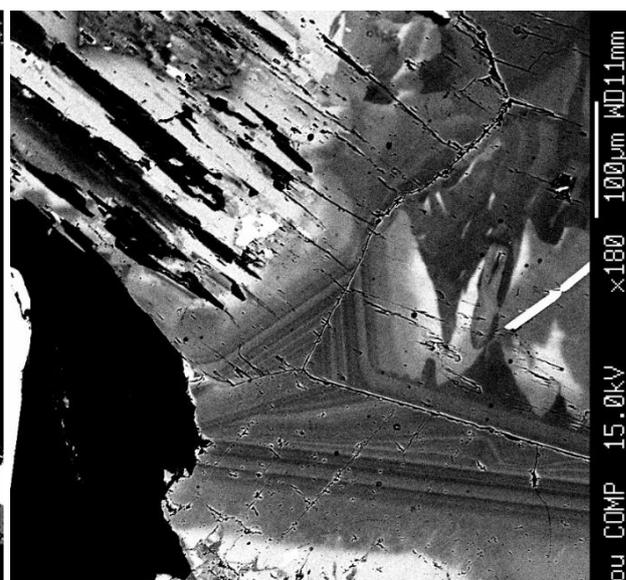
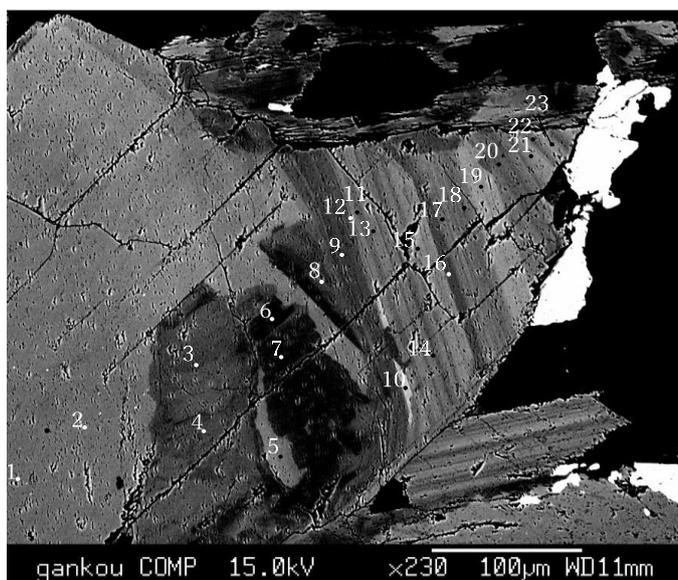


図 10 角閃石の反射電子線像 (試料 240125-6①) / 図 11 角閃石の反射電子線像 (試料 240127-5)  
数字は EPMA 化学分析点を示す)

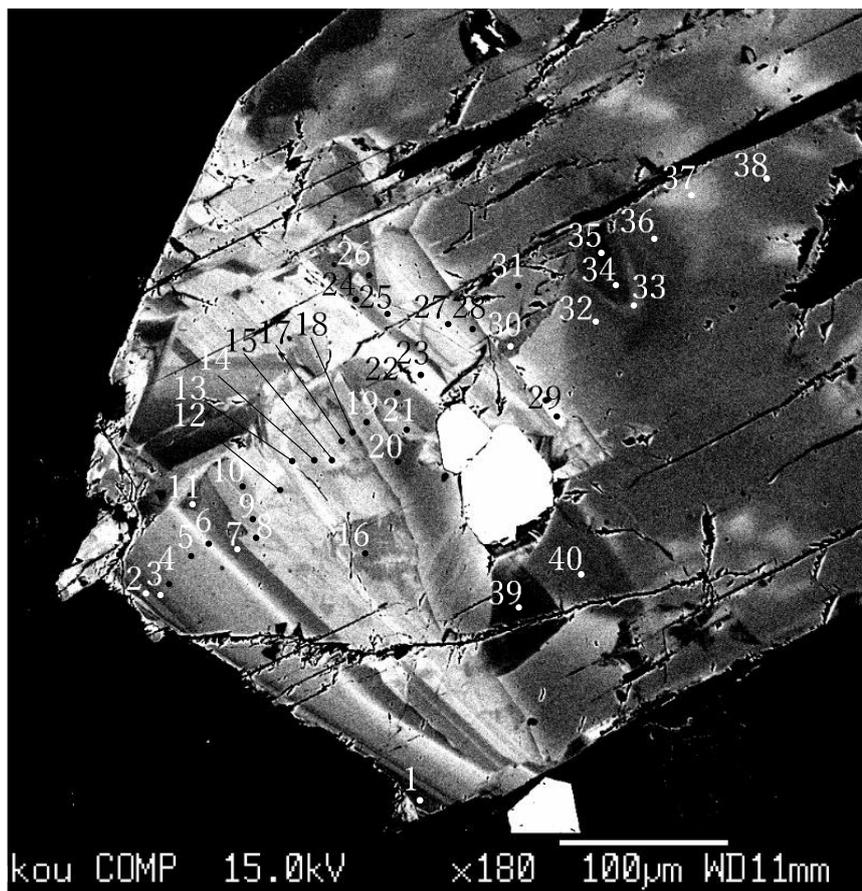
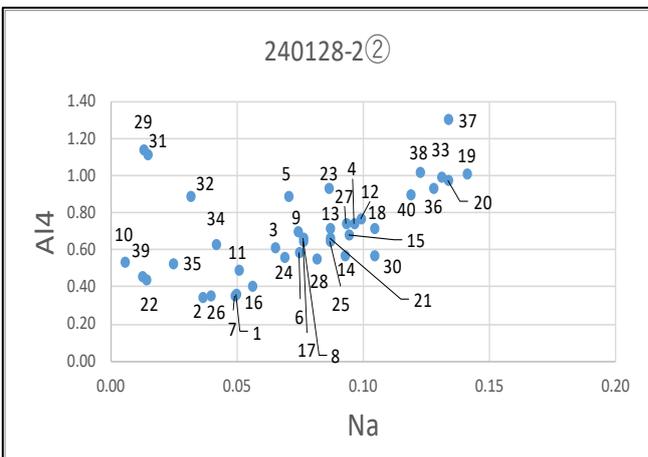
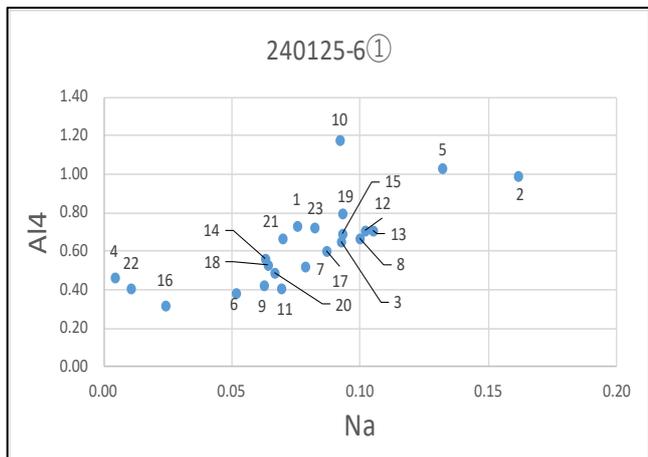
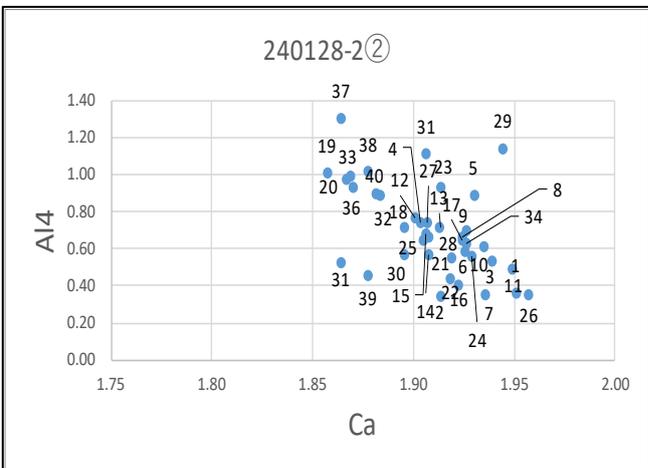
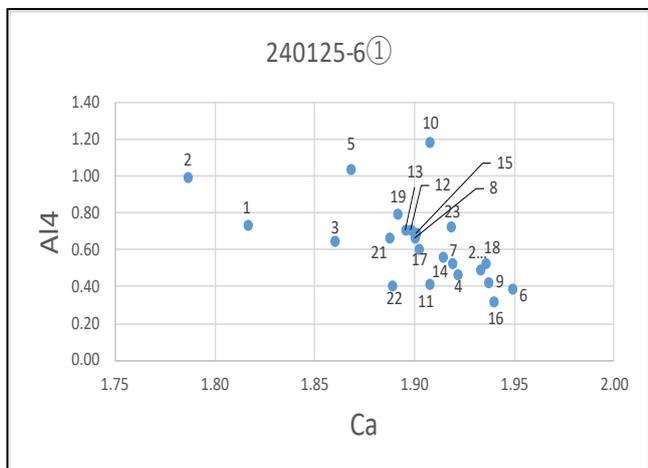
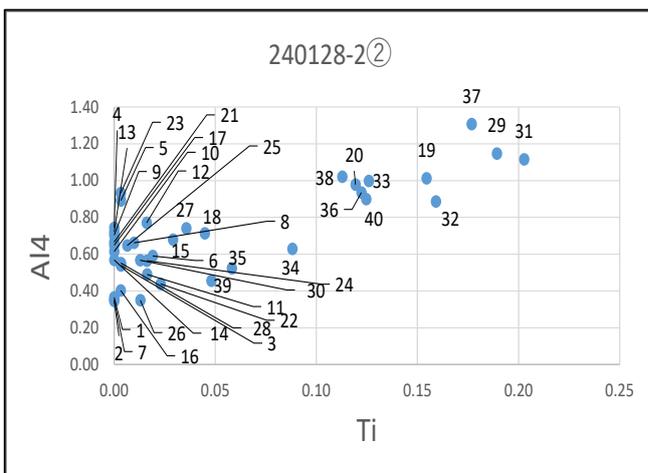
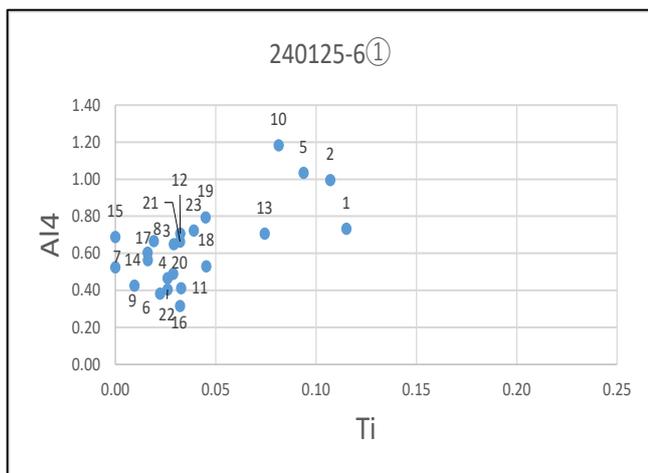
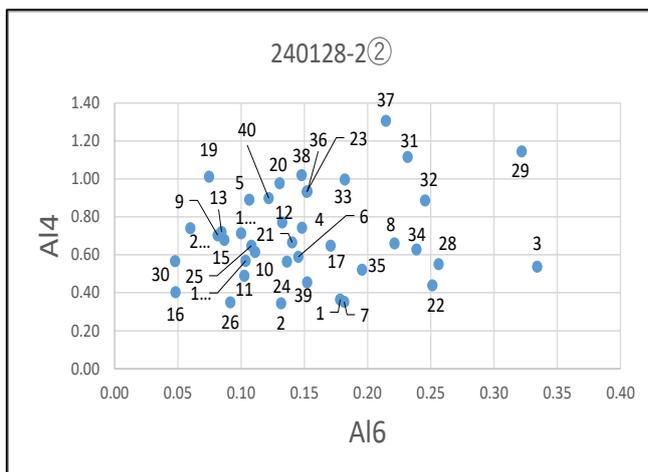
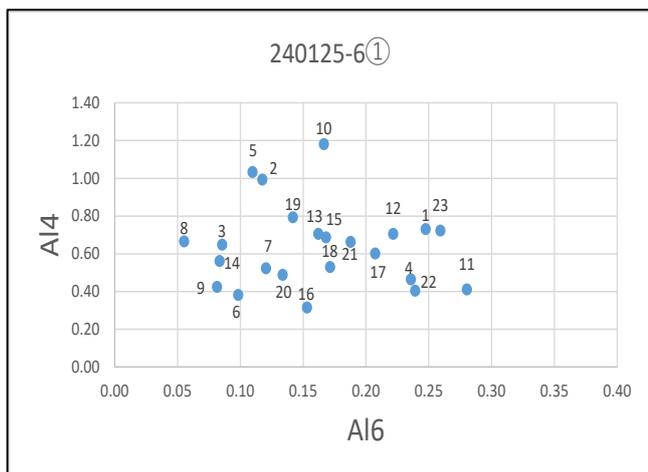
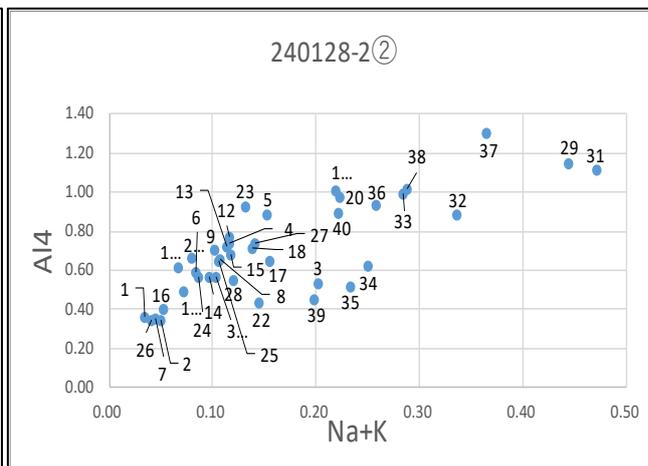
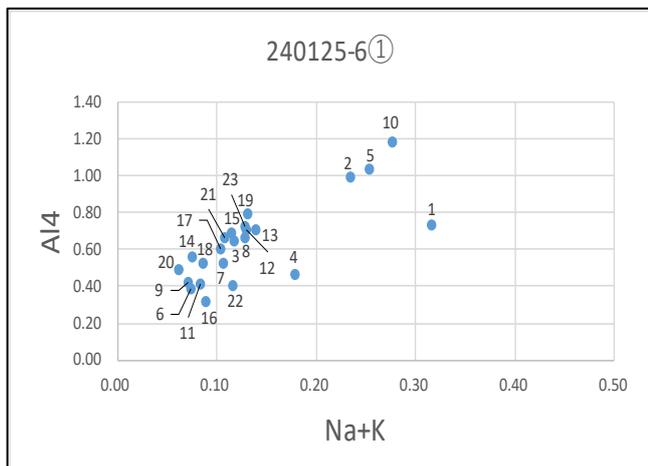
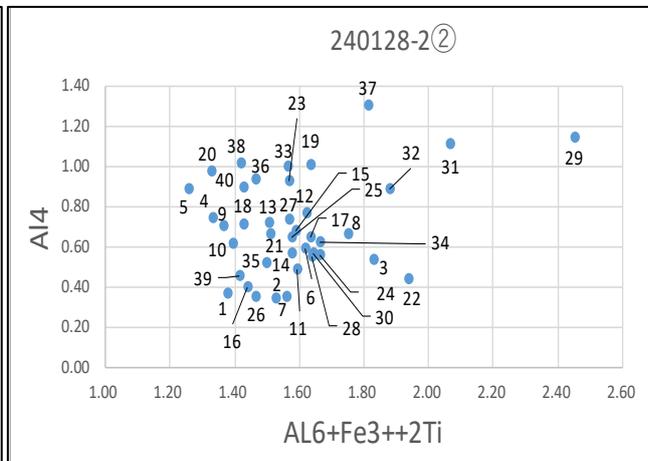
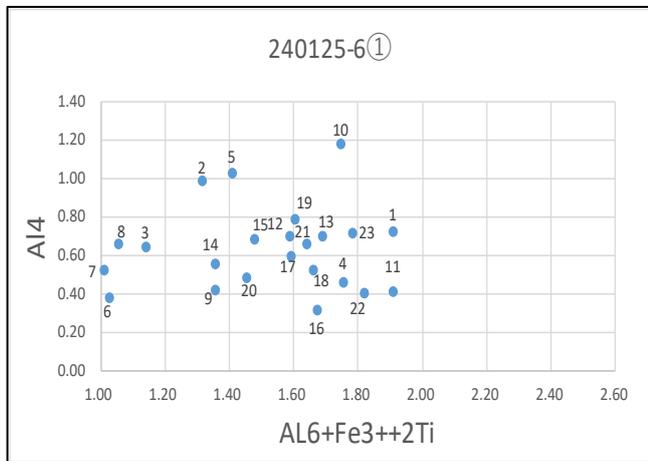
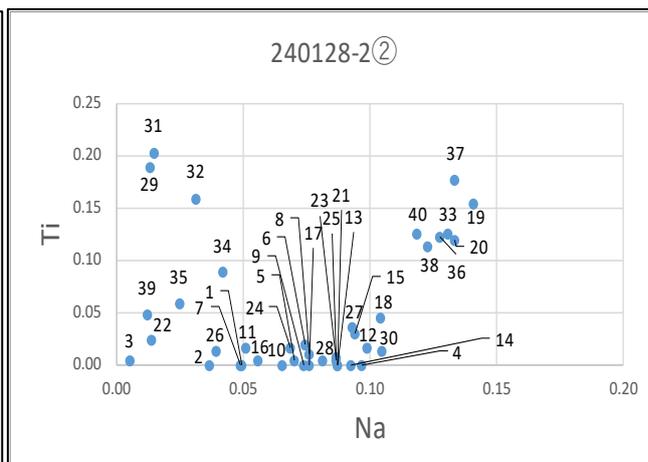
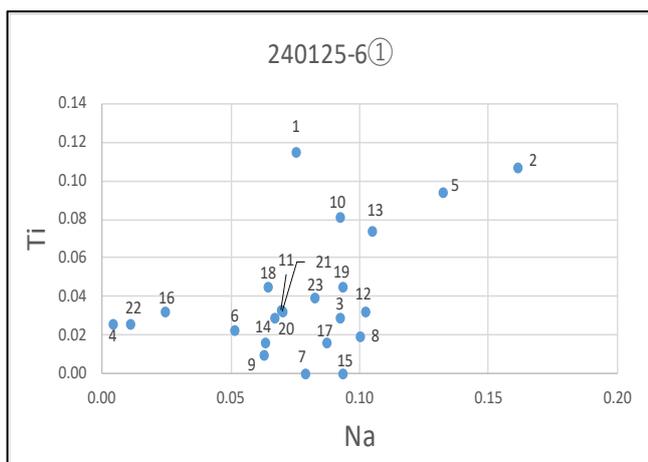
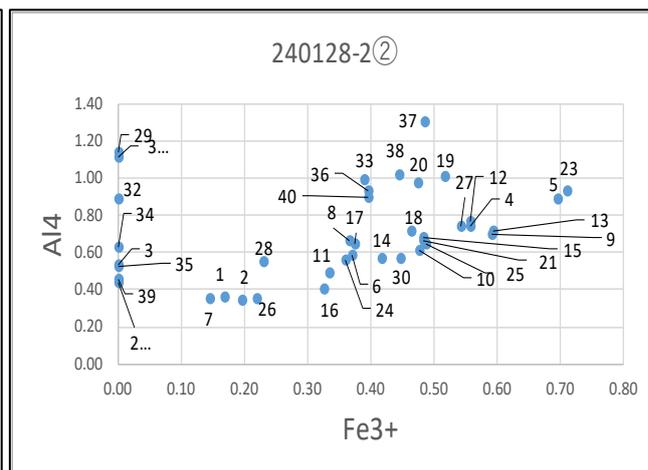
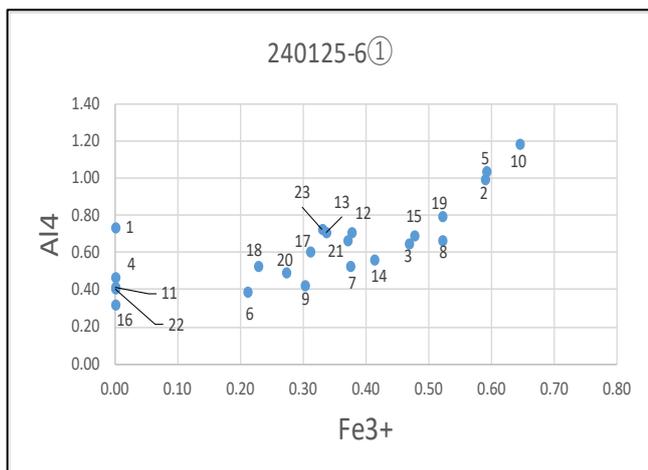


図 12 角閃石の反射電子線像 (試料 240128-2②) / 数字は EPMA  
化学分析点を示す)

EPMA の点分析結果は ZAF 補正を適用し、各サイトの陽子配置を計算した<sup>6)</sup>。これに基づく陽イオン間の関係の一部を 図 13 にグラフで示した。





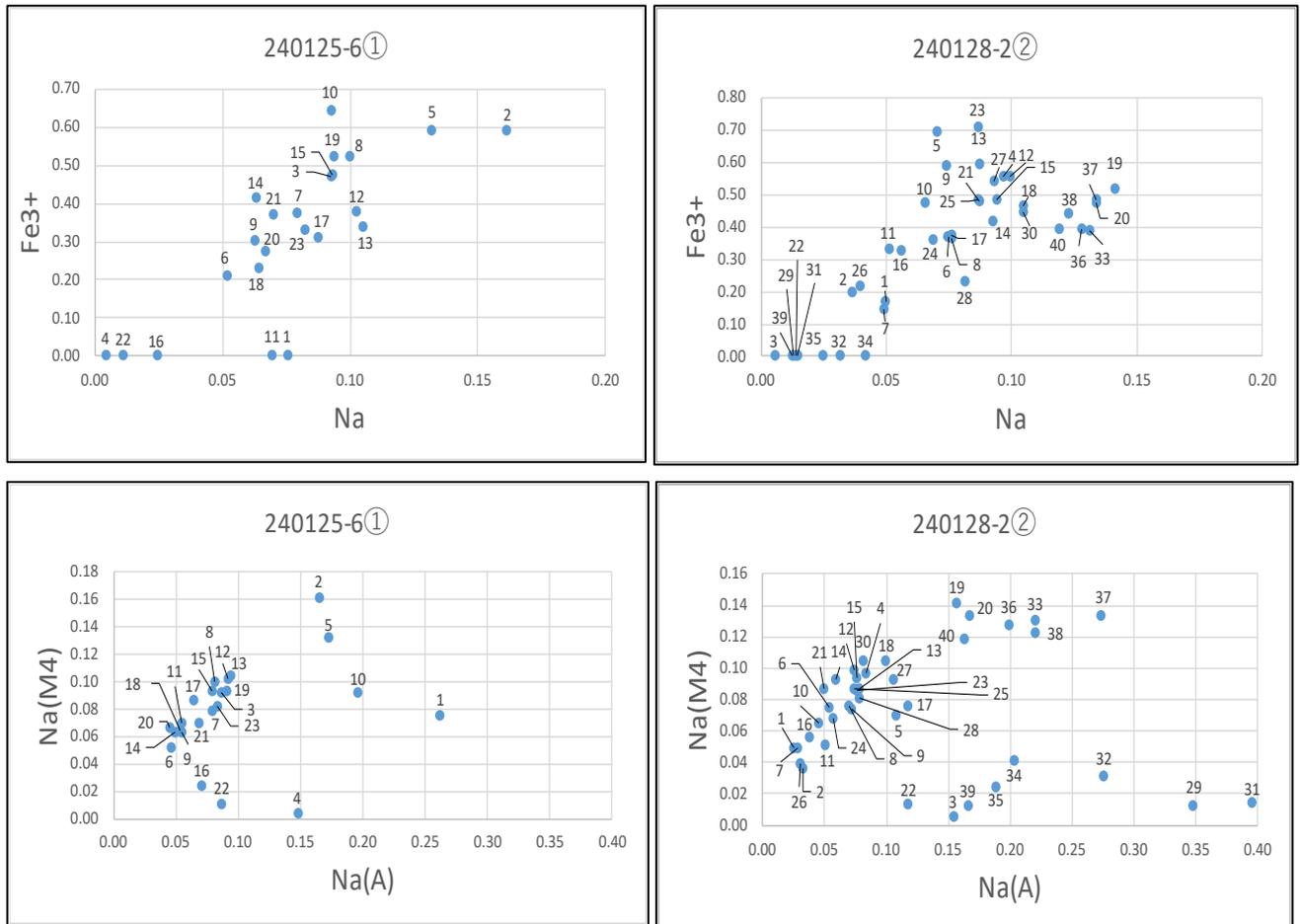


図 13 角閃石の陽イオンの関係図

#### D. 考察

トータル岩に包有される閃緑岩の捕獲岩は、両岩の接触面付近ではブロック状だが、接触面から離れるにつれて次第に大きく引き延ばされて一方向に配列する。先行研究<sup>7) 8)</sup>の形成メカニズムを基に考えると、閃緑岩の周囲に後から包み込むように上昇したトータル岩のマグマに取り込まれて紡錘形となり、閃緑岩体の壁面に沿うマグマの流動方向に配列したと考えられる。トータル岩マグマから熱水支脈が閃緑岩に供給され、その後、先に固結していた閃緑岩片やトータル岩片を捕獲岩として取り込みながらアプライト脈が貫入した。玄武岩マグマが2度既存の岩石片を取り込みながら貫入した。

トータル岩を形成したマグマから熱水の影響を受けた閃緑岩の角閃石から、明瞭に発達した波状累帯構造を多く発見した(1枚の薄片あたり80個以上)。西南日本山陰帯で2~3個程度、山陽帯では1枚の1個見つかるかどうかという頻度であることを考えると極めて多い。波状累帯構造は淡緑色リム部のc軸方向(結晶の成長方向)にのみ発達している。淡緑色リム部は自形の磁鉄鉱やスフェーンと共存している。西南日本内帯山陰帯大東-横田石英閃緑岩<sup>9)</sup>や、山陽帯白亜紀-古第三紀の揖保川花崗閃緑岩の角閃石の波状累帯構造<sup>1)</sup>の先行研究は、角閃石の波状累帯構造は豊富な熱水残液の循環が繰り返された記録であり、マグマに含まれるH<sub>2</sub>Oの脱水と発泡によって起こる<sup>10)</sup>マグマ分化末期の流体相(熱水残液)の循環によって、高い酸素分圧条件下のサブソリダス過程で、既に結晶化している角閃石のリム部が二次的に再平衡し、イオン置換によって形成されたことを示している。角閃石の波状累帯構造は、接触部から離れた閃緑岩体の角閃石からも多く発見された。これらの角閃石結晶は、周囲から激しい熱水の作用を受けた様子が見え、コア部が不規則なパッチー状に残されるのみで、その間に波状累帯構造が発達している。閃緑岩そのものの潤沢な熱水残液が、自らの岩体内で激しく循環したことを物語っている。外側の累帯構造が内側の構造を何度も切るように発達しており、外側から数度の影響によって波状累帯構造が形成されたことを示している。

角閃石は固結時の環境に応じて、組み合わせ置換を行う<sup>11)</sup>。マグマから晶出した角閃石はAl<sup>VI</sup>が

0.6 以上であり<sup>12)</sup>、 $Al^{IV}$  が 0.6 以下の角閃石部分は、サブソリダス環境下で形成される<sup>13)</sup>。本研究の角閃石の淡緑色リム部は 0.6 以下であり、サブソリダス環境のマグマの脱水と発泡を経験し、熱水残液の循環によって形成されたことを示している。淡緑色リム部の累帯構造のイオン置換は、 $Al^{IV}$  と  $Na + K$  グラフで IA 型の Edenite 型の強い相関関係を示している。 $Al^{IV}$  と  $Ti$ 、 $Al^{IV}$  と  $Na$ 、 $Al^{IV}$  と  $Fe^{3+}$ 、 $Fe^{3+}$  と  $Na$ 、 $Na-Na$  にも緩やかな相関関係がみられ、一部に 5 型、3A Glaucophane 型、2B 型、3B Ribbeckite 型、4 Richterite 型置換の可能性がうかがえる。M1-M3 サイトの  $Fe^{3+}$  は、同サイトの  $Na$ 、 $Fe^{3+}$ 、 $Ti$  の合計の半分程度以上を占めている。 $Fe^{2+}$  と  $Mg$  の単純な置換は普遍的に行われており、M4 サイトの  $Ca$  は 1.79~1.95 の狭い幅で推移している。M1-M3 サイトの  $Mn$  は 0.01~0.08 と変動領域が狭い。

$Fe^{2+} / (Fe^{2+} + Mg)$  の関係を見ると、その値は低く (図 14)、西南日本内帯の山陰帯石英閃緑岩<sup>9)</sup> と類似している。さらに  $mg$  値 ( $Mg / (Mg + Fe_{Total})$ )<sup>14)</sup> は、コア部からリム部に向かって magnesian hornblende から actinolitic hornblende の領域を通して actinolite まで減少している (図 15)。激しい熱水残液の循環を経験したと考えられる試料 240128-2②では、パッチー状に取り残されたコア部が magnesian hornblende の組成を残している。このような陽イオンの置換パターンは、酸素分圧が高い環境下であったことを示している<sup>9) 11) 13) 15)</sup>。角閃石の淡緑色リム部は、結晶化した後、サブソリダス環境下でさまざまな激しさの再平衡を経験し、淡緑色リム部に波状累帯構造を発達させたと考えられる。

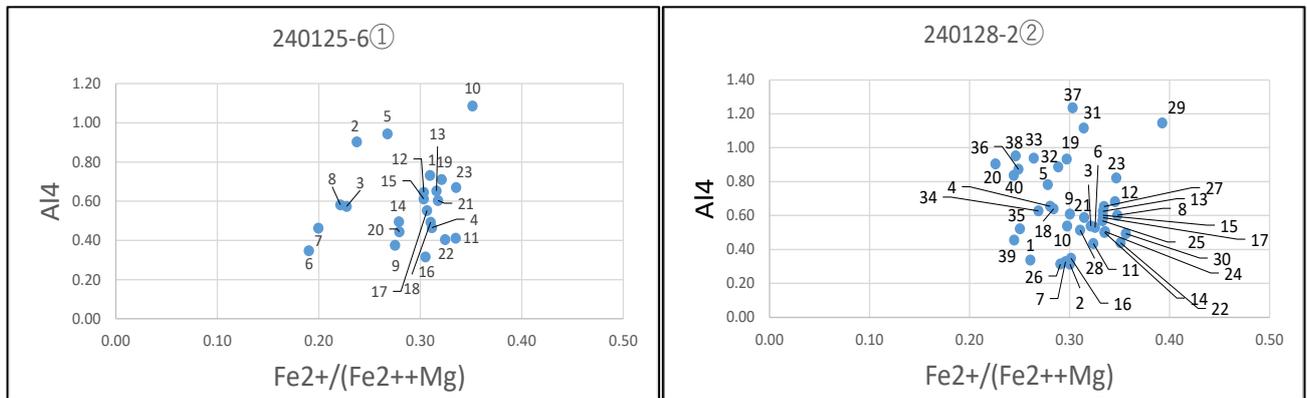


図 14 角閃石の  $Fe^{2+} / (Fe^{2+} + Mg)$  の関係

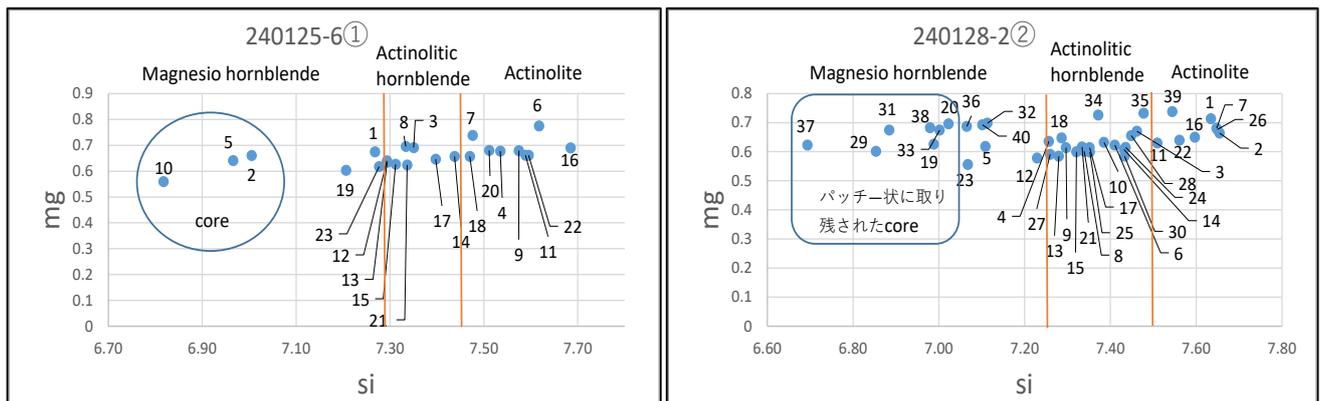


図 15 角閃石の  $mg-Si$  図

マグマは飽和・脱水すると、マグマ中の  $Cl$  は極めて高い割合で流体相中に分配され、発泡によってマグマ中の  $Cl$  は著しく減少する<sup>16)</sup>。本調査地域の角閃石の淡緑色リム部の波状累帯構造の  $Cl$  は極めて微量であり、サブソリダス環境下で形成されたことを示唆している。この特徴は、マグマ分化早期に脱水と発泡を経験して、熱水残液によって淡緑色リム部を形成し、そこに高い酸素分圧条件下で波状累帯構造を形成した、西南日本内帯の山陰帯深成岩類の特徴と類似している<sup>9)</sup>。

角閃石の波状累帯構造のバンドを構成する 1 本の幅は 1~2  $\mu m$  であり、電子線ビーム径が 3  $\mu m$  であることを考えると、波状累帯構造の成分分析値は純粋な 1 本のバンドの成分を示しているわけではな

い。しかし、角閃石を構成するほとんどの陽イオンの組成が波状に増減を繰り返している。

本調査地域は古生代デボン紀末期に活動したマグマによる花崗岩類のバソリスである。一方、西日本山陽帯と山陰帯の深成岩類は中生代白亜紀～古第三紀にかけて活動したマグマである。露頭調査から熱水残液の影響を受けたことが明らかな深成岩の角閃石から、時代や地域を越えて熱水残液で形成されたと考えられる波状累帯構造が発見されたことは、波状累帯構造が熱水残液循環の指標となる可能性を示している。

現在、波状累帯構造をもつ角閃石と共存する鉱物について詳細に分析し、鉱物温度計を活用して、波状累帯構造が形成された温度、圧力を推定しようとしている。

## E. 結論

閃緑岩が固結した後に、閃緑岩の岩片を取り込みながら分化したトータル岩マグマが上昇した。この後、アプライト脈が貫入し、2度玄武岩マグマが深成岩類に貫入した。

トータル岩マグマによる熱水残液の影響を受けた閃緑岩の角閃石は、波状累帯構造を発達させている。波状累帯構造は、酸化的なサブソリダス環境下で、外側からの熱水残液の循環によって形成された。また、接触部から離れた閃緑岩体の中心部付近の角閃石には、不規則なパッチー状にコア部が取り残され、その隙間に波状累帯構造が発達しており、熱水残液の激しい循環を示している。これらは野外調査によって確認した結果と一致する。角閃石の波状累帯構造は熱水残液循環の指標となる可能性がある。

## F. 謝辞

本研究を行うにあたって、京都大学大学院理学研究科の河上哲生教授、東野文子助教および同修士の中野美玖氏には、筆者らがEPMA分析を行う便宜を図っていただいた。ここに記して謝意を表する。

## G. 参考文献

- 1) 兵庫県立姫路東高等学校科学部, 石英安山岩の角閃石から熱水残液の循環を示す波状累帯構造を発見, 日本地質学会第128年学術大会要旨(2023) .
- 2) J.B. Whalen and B.W. Chappell, Opaque mineralogy and mafic mineral chemistry of I- and S-type granites of the Lachlan fold belt, Southeast Australia, *Amer. Mineral*, 73, 281-296 (1988) .
- 3) D.F. Branagan and G.H. Packham, *Field geology of New South Wales*, Published by New South Wales department of Mineral Resources, Sydney, 317-319 (2000) .
- 4) E. I. Prendergast, Early Palaeozoic subduction in the southeastern Lachlan Fold Belt, Batemans Bay, New South Wales, *Australian J. Earth Sciences*, 481-501 (2007) .
- 5) E. I. Prendergast, R. Offler and H. Zwingmann, Adaminaby group west of Batemans Bay: Deformation and metamorphism of the Narooma accretionary complex NSW, *Australian J. Earth Sciences*, 1-18 (2012) .
- 6) T. Holland, and J. Blundy, Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116:433-447 (1994) .
- 7) R.A. Wiebe and W. J. Collins, Depositional features and stratigraphic sections in granitic plutons: implications for the emplacement and crystallization of granitic magma, *J. Struct. Geol.*, vol. 20, 1273-1289 (1998) .
- 8) J.V. Smith, Determining the size and shape of blocks from linear sampling for geotechnical rock mass classification and assessment, *J. Struct. Geol.*, 26, 1317-1339 (2004) .
- 9) K. Kawakatsu and Y. Yamaguchi, Successive Zoning of Amphiboles during Progressive Oxidation in the Daito-Yokota Granitic Complex, San-in Belt, Southwest Japan, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51, 535-540 (1987) .
- 10) G.C. Kennedy, Some aspects of the role of water in rock melts, *Geol. Soc. Amer. Sp. Paper* 62, 489-504 (1955) .
- 11) G.K. Czamanske and D.R. Wones, Oxidation during magmatic differentiation, Finnmarka complex, Oslo area, Norway: Part 2, The mafic silicates, *J. Petrol.*, 14, 349-380 (1973) .
- 12) B.E. Leak, On aluminous and edenitic hornblendes, *Mineral. Mag.*, 38, 389-407 (1971) .
- 13) A.R. Chivas, Geochemical evidence for magmatic fluids in porphyry copper mineralization. Part. 1., *Contrib. Mineral. Petrol.*, 78, 389-403 (1981) .
- 14) B.E. Leak, A catalog of analyzed calciferous and subcalciferous amphiboles together with their nomenclature and associated minerals, *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, 98, 210 (1968) .
- 15) D.F. Hendry, A.R. Chivas, S.B. Reed and J.V.P. Long, Geochemical evidence for magmatic fluids in porphyry copper mineralization. Part. 2., *Contrib. Mineral. Petrol.*, 78, 404-412 (1981) .
- 16) A.T. Anderson, Chlorine, sulfur, and water in magmas and oceans, *Geol. Soc. Amer.* 85, 1485-1492 (1973) .

# 豪州NSW州南東部Bingi Bingi Point複合深成岩体のマグマ分化末期の環境

## —露頭調査と角閃石の波状累帯構造の解析に基づいて

兵庫県立姫路東高等学校 科学部地学系研究部

富士佳蓮 山口歩珠 辻本ゆき乃 西川大貴 藤本知真

**キーワード** 熱水残液 波状累帯構造 サブソリダ環境

**研究の動機と背景** 異なるマグマの不完全な混入を残しマグマ分化過程を知る重要な地域だが、詳細な岩石鉱物学的研究はなされていないNSW州の露頭調査を行い、マグマ分化末期の環境を推定する。

**角閃石の波状累帯構造とは** 結晶の成長方向(c軸)に幅数 $\mu\text{m}$ の微細な帯状構造が何重にも繰り返して発達する構造で、マグマ分化末期の流体相(熱水残液)の循環によって、既に結晶化している角閃石のリム部が二次的に再平衡し、イオン置換によって形成される1)。

**調査地域の概要**

- 19名で5日間にわたって豪州NSW州南東部沿岸地帯の露頭調査を行い、21個の岩石試料を採取した。
- 調査地域は、Bingi Bingi Point海岸線沿い、周囲約1.5km(図1/南緯36° 0' 50"、東経150° 9' 22"付近)。
- Lachlan Fold Beltに位置するMoruya Batholithの一部をなす2)3)。
- Bingi Bingi Point海岸線沿いには古生代デボン紀4)の2種類の異なるマグマが地表10kmにわたって現れている。
- これらの深成岩の割れ目に、幅4mのアプライト脈が貫入する。
- 3000万年前5)に玄武岩マグマが割れ目に沿って貫入。
- 作成した岩石分布図を図2に示す。



図1 露頭調査地点 (Google Earth)

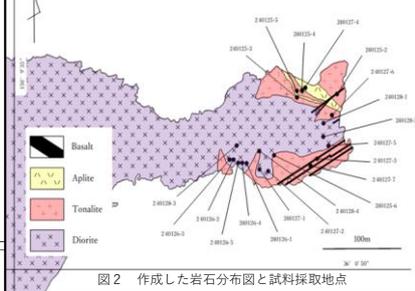


図2 作成した岩石分布図と試料採取地点

**岩石の概要**

(1) 閃緑岩

- 岩体の周縁部には、二次的に支脈が入り込み、熱の影響で自形角閃石の大きな鉱物が晶出している。

(2) トーナル岩

- 閃緑岩の岩片を捕獲岩として包有。
- 閃緑岩との接触部付近の捕獲岩は角ばっているが離れるにつれて引き伸ばされている(図3)。
- トーナル岩と紡錘形の閃緑岩の捕獲岩との接触部には細粒の有色鉱物が見られ、トーナル岩マグマから熱の影響を受けたことを示す(図4)。
- 捕獲岩の走向は閃緑岩とトーナル岩の接触面にほぼ平行(図5)。

(3) アプライト脈

- トーナル岩を貫く。
- 閃緑岩やトーナル岩の捕獲岩をもつ(図6)。

(4) 玄武岩

- 黒色脈2本と赤く酸化した脈1本が平行に伸びる。
- 黒色玄武岩脈は、いずれも閃緑岩やトーナル岩、アプライト脈を切って直線的に伸びる(図7)。
- 玄武岩との接触部のアプライトには、黒色玄武岩による熱の影響がみられる。
- 赤色および黒色玄武岩は、いずれもアプライトの岩片を捕獲岩として包有する。

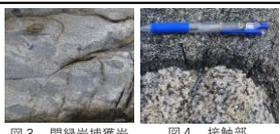


図3 閃緑岩捕獲岩

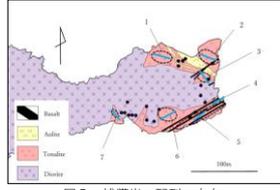


図4 接触部



図5 捕獲岩の配列の走向



図6 接触部

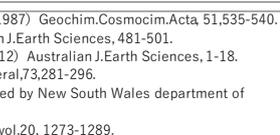


図7 2種類の玄武岩

**引用文献**

- 1) Kawakatsu, K. and Yamaguchi, Y. (1987) Geochim. Cosmochim. Acta, 51, 535-540.
- 2) Prendergast, E.I. (2007) Australian J. Earth Sciences, 481-501.
- 3) Prendergast, E.I., Offler, R. and Zwingmann, H. (2012) Australian J. Earth Sciences, 1-18.
- 4) Whalen, J.B. and Chappell, B.W. (1988) Amer. Mineral, 73, 281-296.
- 5) Branagan, D.F. and Packham, G.H. (2000) Published by New South Wales department of Mineral Resources, Sydney, 317-319.
- 6) Wiebe, R.A. and Collins, W.J. (1998) J. Struct. Geol., vol. 20, 1273-1289.
- 7) Smith, J.V. (2004) J. Struct. Geol., 26, 1317-1339.
- 8) 兵庫県立姫路東高等学校科学部 (2023) 日本地質学会第128年学術大会要旨/第20回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞努力賞受賞論文。

**謝辞** 京都大学大学院理学研究科の河上哲生教授と東野文子助教および修士の中野美玖氏にはEPMA分析を行う便宜を図っていただいた。また本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には有意義な議論をしていただいた。ここに謝意を表する。

**角閃石の波状累帯構造**

- トーナル岩と接する閃緑岩から多くの明瞭な波状累帯構造を発見した(図8)。淡緑色のリム部のみ発達し淡褐色のコア部にはない。
- c軸方向だけではなく角閃石の結晶の横からも熱水が侵入した跡がみられるが、波状累帯構造はc軸方向にのみ発達している(図8)。
- 外側の累帯構造が内側の構造を切るように発達している。異なる角閃石の結晶でも、リム部を寄せ合う結晶粒の外側から平行に細い帯が対応して形成されている(図8)。
- 閃緑岩中央部の角閃石には不規則にコア部が残存し、その間隙を波状累帯構造が埋める激しい再平衡がみられる(図9)。

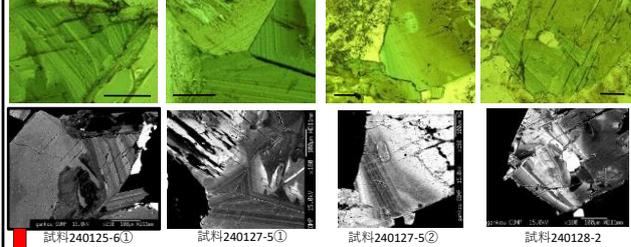
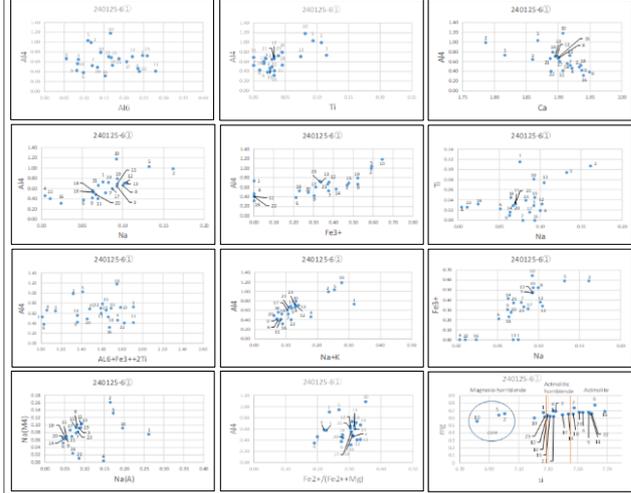


図8 トーナル岩と接する閃緑岩の角閃石の波状累帯構造の例(上段: オープンニコル200倍/スケールバーは10 $\mu\text{m}$ 、下段: 反射電子像) 図9 トーナル岩から離れた閃緑岩の角閃石

**波状累帯構造のEPMA分析** (試料240125-6①の例)



**考察** (1) 先に固結していた閃緑岩を分化したトーナル岩マグマが包み込み、熱対流で閃緑岩片をはがしとって引延ばし6)7)、既に固結していた花崗岩類の壁に沿って配列した。

(2) その際トーナル岩マグマの脱水・発泡による数度の熱水残液の作用1)の影響を閃緑岩が記録して角閃石に波状累帯構造を発達させた。

(3) 淡緑色リム部とそこに発達した波状累帯構造は自形磁鉄鉱やスフェーンと共存しており、酸化的環境下で形成されたことを示す。

(4) 波状累帯構造の成分は、I型のEdenite型を中心とした組合せ置換を示す。マグマの飽和・脱水による熱水残液によって置換された置換された角閃石の特徴とされるAl<sup>VI</sup>が0.6以下である。M1-M3サイトのFe<sup>3+</sup>はこのサイトのNa+Ti+Fe<sup>3+</sup>の半分以上を占める。Fe<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2++Mg</sup>)の値は0.18~0.50と低い。Mg/(Mg+Fetotal)はコア部からリム部に向けて、magnesian hornblende~actinolitic hornblende~actinoliteと減少する。波状累帯構造のClは微量である。これらの特徴は、酸化的環境下における二次再平衡を経験した深成岩類と共通である。

**露頭調査によって熱水残液の影響を受けたことが明らかになった角閃石から、時代や地域を越えて同じ微細構造が発見された1)8)ことは、角閃石の波状累帯構造が熱水残液の循環の指標となることを示す。**

**今後の課題** 波状累帯構造をもつ角閃石と共存する鉱物について詳細に分析し、鉱物温度計を活用して、波状累帯構造が形成されたときの温度・圧力を明確にしようと考えている。それが分かることによって、波状累帯構造が熱水残液の影響によって形成されたことを明らかにすることができる。

令和6年度 科学部の活動の記録

兵庫県立姫路東高等学校

〒670-0012 兵庫県姫路市本町 68 番地 70

電話 (079) 285-1166 (代)

FAX (079) 285-1167

URL <http://www.hyogo-c.ed.jp/~himehigashi-hs/>