

令和7年度 科学部の活動の記録



兵庫県立姫路東高等学校

SSH 第Ⅱ期の科学部は国際的な活動と専門研究

科学部主顧問 教諭 川勝 和哉

本校は、本年度「国際的に活躍する「出る杭」となる人材の育成と科学技術人材の裾野の拡大」をテーマとしてスーパーサイエンスハイスクール (SSH) 事業の第Ⅱ期指定を受け、本年度はその1年目にあたります。課題研究を事業の中核に据え、その先導役を科学部が担っています。科学部は自ら高いレベルの研究を行う「出る杭」となり、彼らが他の生徒の課題研究のテーマ設定に助言を与えたり、課題研究の質を高めるための方法を伝えたりすることによって、本校運営指導委員の方々からも、多くの生徒の課題研究の質を向上させていると評価をいただいています。科学部の役割は、研究計画の立案やプレゼンテーションの助言など多岐にわたり、それが影響してか、外部の発表会に参加する生徒も増えました。このように、科学部の生徒は、他の生徒に働きかけることによって、科学技術人材の裾野の拡大を図っています。

科学部の生徒は、先導者としての役割を果たすことを求められていることを明確に意識し、高い志をもって研究活動に取り組んでいます。テーマの決定から研究計画の立案、実験方法の検討、結果から議論によって考察を導き、プレゼンテーションを行う、という一連の探究活動のプロセスを完遂するだけでなく、企業の助成金に応募して自ら研究資金を調達したり、必要な化学分析を行うために高大連携関係を構築したりするなど、一般の研究者並みの活動を行っています。このような活動は上級生から下級生へと受け継がれていき、科学部の研究のレベルをさらに高みへと押し上げています。

本年度は、国際学会での発表やニュージーランドでの野外調査など、世界に活躍の場を広げることが目標にして活動を行いました。また、高校生のためのコンテストから脱して、一般研究者として学会発表を行うことも目指しました。科学部の生徒は、高度に専門的なレベルの研究テーマについて先行研究から学び、必要があれば大学の研究者と連絡を取り合うことで、高いレベルの内容を理解し、学術的に価値の高い複数の研究論文をまとめました。高校生の研究が、専門研究者にどのくらい通用するのかという壮大な実験は、今のところ高い成果を上げています。これからも、科学部の生徒自らが高い評価を得ることを目指し、さらに「出る杭」となって他の生徒を先導する役割を担うことを目指して進んでいくことと思います。科学部の生徒には、その覚悟が感じられます。

目 次

科学部の国際的に展開した活動	1
1 科学部の活動方針	9
2 科学部の探究の進め方	9
3 研究成果（専門学会と論文コンテスト等）	9
4 地域の小学生を対象にした活動	18
5 発展的な探究活動	18
6 学術誌への論文掲載	19
7 研修旅行	20
8 科学部顧問の活動	20
9 生徒アンケートの結果	22

研究論文とポスター

磁性流体の粘度と磁束密度の関係をラビリンスパターンで解明する （科学部物理系研究部 磁性流体班）	24
植物の器官や組織に見られる規則的な配列はいつ決定されるのか （科学部生物系研究部 サボテン班）	35
ニハイチュウの生活環の解明へ向けて （科学部生物系研究部 ニハイチュウ班）	46
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熱水の温度・圧力 （科学部地学系研究部 マグマ班）	57

【 科学部の国際的に展開した活動 】

1. 国連「世界津波の日」2025 高校生サミットで議論

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7年11月27日(木) 9:30~11月28日(金) 11:00
 11月27日(木) 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
 11月28日(金) 総会(首相挨拶等、宣言採択)、閉会式
 場所 東北大学災害科学国際研究所(仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1)
 参加者 松岡沙和、西川大貴、藤本知真 引率:川勝和哉
 内容 「世界とつながろう、津波から未来を守るため—東日本大震災の教訓と仙台防災枠組みから、災害リスクと防災・減災を考える—」をテーマとして開催された。昨年度は世界45か国から137名の高校生が集って盛大に開催されたが、本年度は政情不安の影響で、ブルネイ、カンボジア、インドネシア、ラオス、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、ベトナム、日本の10か国から88名の参加にとどまった(中国は直前にキャンセルとなった)。参加生徒は、政情が活動に与える影響を肌で感じたことと思う。



本校生徒の参加は、昨年度に引き続いて2年連続で、復興、防災・減災、災害文化の伝承、のテーマに分かれて議論した。ファシリテーターやプレゼンターに自ら立候補して、海外の高校生の議論や意見をしっかりとめ、共同宣言の採択を行うなど、積極的な活動が目立った。また参加高校生同士で盛んに交流し充実した活動を行った。



2. American Geophysical Union 2025 (AGU) 国際学会で発表(地学系研究部マグマ班)

主催 American Geophysical Union (AGU)
 テーマ Evaluating Temperatures and Pressures in the Bingi Bingi Point Complex Granitoid during Late-stage Magmatic Differentiation — Magma Residue that Formed Oscillatory Zoned Structures in Amphibole —
 日程 令和7年12月16日(火) 6:00~8:00(日本時間)
 場所 New Orleans Ernest N. Morial Convention Center
 発表者 川勝和哉、松岡沙和、山口歩珠、辻本ゆき乃、西川大貴、藤本知真
 内容 2023年度のオーストラリア海外研修(露頭調査)で得られた成果を American Geophysical Union 2024年の発表では、マグマ分化末期は酸化的环境であったと結論づけていたが、AGU 2025では、EPMAによる化学分析によって具体的に推定した温度・圧力や酸素分圧を示した。世界最高峰の学会で高校生の発表が2年連続で採択されること自体が初めてであったが、今回の発表でもその内容が高く評価された。

Abstract The complex plutonic body at Bingi Bingi Point in the southeastern part of NSW, Australia is internationally recognized as an outcrop that preserves the solidified state of immiscible magma. Tonalite magma is rising to envelop the diorite, supplying a large amount of Magma residual liquid to the diorite. In diorite and tonalite, the hornblende shows a universally developed patchy zoned structure of magnesio hornblende. Through the circulation of this magma residual liquid, a pale green rim of actinolitic hornblende was formed. Furthermore, in this area, an oscillatory zoned structure has developed significantly, in which fine bands of 1 μm in width are repeatedly formed

in a wavy manner.

The field study and observations using a polarizing microscope, as well as the analysis of component elements by EPMA, indicate that the pale green rim area, which includes the oscillatory zoned structure of amphibole, was rebalanced by hydrothermal residual liquid. The suite values derived from an amphibole mineral thermometer and pressure gauge, which utilize plagioclase - alkaline feldspar and are based on the Al and Ti contents of the amphibole that has developed an oscillatory zoned structure, formed at temperatures below 630° C, pressures below 2kb. The coexistence of opaque minerals shows that the oxygen fugacity was $\log fO_2 = -19.5$ to -19.0 . These data indicate that the pale green rim of the amphibole formed during a subsolidus process through the progressive oxidation. The oscillatory zoned structure of amphibole indicates that hydrothermal residual liquid has circulated.

Evaluating Temperatures and Pressures in the Bingi Bingi Point Complex Granitoid during Late-stage Magmatic Differentiation —Magma Residue that Formed Oscillatory Zoned Structures in Amphibole—

Kazuya Kawakatsu, Sawa MATSUOKA, Ayumi YAMAGUCHI, Yukino TSUJIMOTO, Daiki NISHIKAWA, and Kazuma FUJIMOTO

Hyojo Prefectural HimejiHigashi Senior High School

Motive and Background

OPEN

Results by EPMA analyses

Results ①

Results ②

Results by EPMA

OPEN

Temperature and Pressure

Modal compositions

Di:49%, Pl:55%, Kfs:16%, Hbl:22%, Bt:2%, Mc:3%, Sph:1%, An:1%

Ts:14%, Pr:2%, Kfs:16%, Bt:2%, Mc:3%, Sph:1%, An:1%

OPEN

Discussion

Discussion

The results of geothermometry and geobarometry indicated the OZS was formed in subsolidus conditions.

Through the archive survey of Australia and Southeast Japan, OZS which is a product of hydrothermal circulation was identified in amphiboles of different ages and areas.

OZS of amphibole in granite could have the potential to be used as indicators of the circulation of residual hydrothermal fluid in subsolidus conditions.

Future task

To demonstrate the validity of the OZS, it is to be

OPEN

Research Purpose

Research Purpose

- With EPMA
- The Al^{IV} content in hornblende is less than 0.8 and only trace amounts of Cl were present.
- The coupled Fe²⁺ substitution patterns in the OZS domains, the Mg²⁺ content gradually decreases from the core to the rim.
- These features are similar to the features of amphiboles in the Sierra and San Geronimo Complex.

This lead us to conclude the magma dehydrated and re-equilibrated creating a residual hydrothermal fluid and an oxidizing environment that allowed OZS to develop in the core.

The propose of research

We presented the result at American Mineralogical Society meeting.

OPEN

References

Acknowledgement

We appreciate the advice and assistance of Professor Kazumasa Tetsuo, Assistant Professor Hisaoaki Furuta and Master of Science student Hiroki Gondo (Department of Geology & Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University) with EPMA analyses.

We are grateful to Kazuya Kawakatsu, the Science Club advisor of our school for the valuable discussion.

OPEN

ABSTRACT COMMENT CONTACT GET POSTER

Evaluating Temperatures and Pressures in the Bingi Bingi Point Complex Granitoid during Late-stage Magmatic Differentiation —Magma Residue that Formed Oscillatory Zoned Structures in Amphibole—

Hyojo Prefectural HimejiHigashi Senior High School

Kazuya KAWAKATSU, Sawa MATSUOKA, Ayumi YAMAGUCHI, Yukino TSUJIMOTO, Daiki NISHIKAWA, and Kazuma FUJIMOTO

Keywords

- Residual Hydrothermal liquid** ... The residual liquid composed of H₂O that remains after the complete crystallization of various minerals during magma differentiation.
- Progressive oxidation** ... Oxidation that proceeds gradually or continuously under oxidizing conditions.
- Subsolidus** ... The area beneath the solidus line on the temperature–pressure chart (phase diagram) when a material is completely solid.
- Patchy zoned structure** ... Mottled structure that was formed when crystals develop rapidly.

Oscillatory zoned structure of amphibole

Fig.1: Oscillatory zoned structure of amphibole

- OZS is a repeating band-like structure.
- They are formed by ion substitution as the rim of the crystallizing amphibole re-equilibrates due to the circulation of residual hydrothermal liquid.

Motive of this study

Mr. Kawakatsu, Science Club Advisor, Himeji Higashi High School, made the world's first discovery of OZSs in amphiboles of plutonic rocks. (Geochi. Cosmoch. Acta, 1987¹⁾)

Nevertheless

No widespread research using this finding has been published.

Inspired by his research, our science club decided to develop it further in our own study.

Motive and background①

The discovery in San-in-Belt was made by Mr. Kazuya Kawakatsu and Sanyo-Belt by Himeji Higashi High school.

According to previous studies of the San-in and the San-yo Belts, OZS, which formed secondarily by circulation of hydrothermal solution, was found in these areas.

Would OZS possibly give insights into circulation of hydrothermal solution?
What should we do to show off the utility of OZS in worldwide?

First, to Australia to find more OZS !

Motive and background②

In 2024, we conducted an outcrop survey, created a geological map, and collected rock samples at Bingi-Bingi Point southeastern New South Wales, Australia (Devonian).

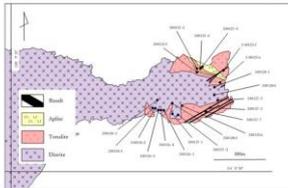
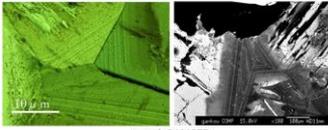


Fig.2 Created a geological map



We discovered a lot of OZSs in amphibole in diorite and tonalite as we'd hypothesized.³⁾

Fig.3 An example of amphibole's OZS in the diorite in contact with tonalite. (left: PPL, right: BSE image)

Research Purpose

- With EPMA
 - The Al(VI) content in hornblende is less than 0.6 and only trace amounts of Cl were present.
 - The coupled Edenitic substitution patterns in the OZSs dominate.
 - The Mg/(Mg+Fe_{total}) gradually decreases from the core to the rim.
- These features are similar as the feature of amphiboles of the San-in and San-yo belt (Cretaceous~Paleogene).

This lead us to conclude the magma dehydrated and vesiculated, creating a residual hydrothermal liquid and an oxidizing environment that allowed OZS to develop in the rim³⁾.

The propose of research

We presented the result at American Geophysical Union and Japanese Geological Society etc.....

Got highly regarded! **Is it really subsolidus condition?**

We will make a pressure and temperature clear in detail through geothermometer as paying attention to the amphibole with OZS and coexisted minerals for confirming whether hydrothermal solution circulated in subsolidus and oxidizing environment.

To study

- We won a research grant.
- We were successful in applying for Kyoto University's Advanced Research Project (COCOUS-R) and we analyzed the samples at the Kyoto University Faculty of Science on February 1st and 2nd as well as March 25th.



Fig.4 EPMA Analysis

Results①

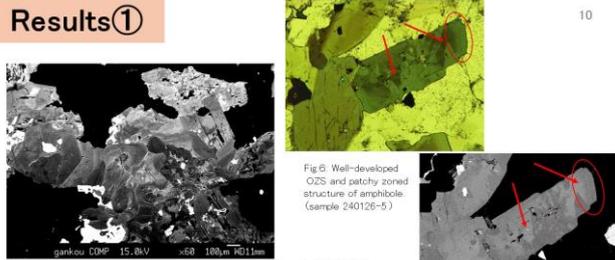


Fig.5 Amphibole with well-developed patchy zoned structure (sample 240126-5)

Fig.6 Well-developed OZS and patchy zoned structure of amphibole (sample 240126-5)

- Almost all amphiboles are euhedral or subhedral.
- All develop OZSs in their pale-green rims.
- Some core of magnesio-hornblende have patchy zoned structure.

Results②

- We analyzed plagioclase and alkali-feldspar co-existing with amphibole displaying OZS, and OZS in magnesio-hornblende.
- The rim of plagioclase co-existing with the amphibole have reaction rim with alkali-feldspar.
- Almost all opaque minerals are pyrite.

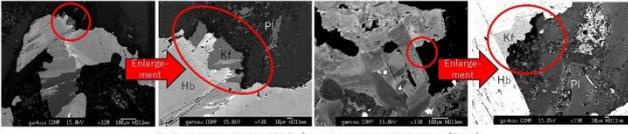
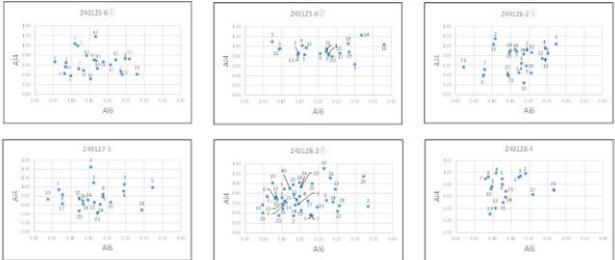


Fig.7 amphibole having OZS(Hb) coexisting with two-feldspars (Pl, Kf)
(Reaction-rim is shown around alkali-feldspar in contact with plagioclase)

Results by EPMA



Modal compositions

Diorite: Qz4%, Pl56%, Kf6%, Hb28%, Bt3%, Mt, Ilm, Sph, Pt, Ap
Tonalite: Qz19%, Pl62%, Kf6%, Hb9%, Bt2%, Mt, Ilm, Sph, Pt, Ap

Based on this mineral substitutions, geothermometry and geobarometry are available.

From amphiboles

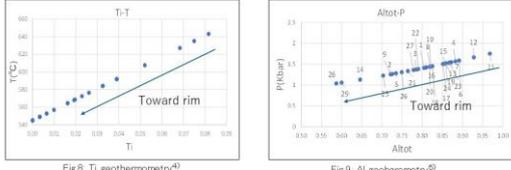


Fig.8 Ti geothermometry⁴⁾
 Fig.9 Al geobarometry⁵⁾

- Geothermometry using Ti in amphibole shows a temperature range from 640°C to 545°C from the outside to the rim.
- Geobarometry using Al in amphibole shows a pressure range from 1.7kbar to 1.0kbar from from the outside to the rim too.

Chemical formula of amphibole 25

$$(Na+K)_x Ca_{2-z} (R^{2+}_{5-y-z} R^{3+}_y R^{4+}_z) (Al_{x+y+2z}) (Si_{8-x-y-2z}) O_{22} (OH)_2$$

$R^{2+} = Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}$ $R^{3+} = Al^{3+}, Fe^{3+}$ $R^{4+} = Ti^{4+}$

$x = A\text{-site occupancy}$ $y = \text{sum of } Al^{VI} + Fe^{3+}$ $z = Ti^{4+}$



3. ニュージーランド海外研修（露頭調査と試料採取）

(ア) 研究の背景と目的

本校は地球科学（地学）をベースにした理数教育を展開している。学校設定科目「理数探究基礎」の展開や課題研究、科学部の活動等において、地球科学の学びを行っている。SSH 指定 I 期において、科学部を中心とした希望者 19 名がオーストラリア NSW 州南東部 Bingi Bingi Point の複合深成岩体の露頭調査を行い、地質図の作成と岩石試料の採取を行った。その後、国内で薄片を作成して京都大学理学部で講習を受けて、EPMA 分析を行った。その結果、①海外で初めて角閃石の波状累帯構造を発見し、②化学分析からマグマ分化過程末期の環境を解明し、③波状累帯構造が熱水残液循環の指標になることを提唱した。この成果は日本地球惑星科学連合大会や日本地質学会で発表したほか、世界最高峰の国際学会 American Geophysical Union 2024 (AGU2024 at Washington DC) での発表に採択され、現地で発表を行って高い評価を得た。

これらの学会発表の中で議論において、専門研究者から (ア) 発見した角閃石の波状累帯構造をマグマ分化末期環境を推定する指標とする提案を行っているが、閃緑岩以外の岩石からも発見できるのか、(イ) 時代や地域によって発見されたりされなかったりするのか、(ウ) 角閃石以外でも波状累帯構造は発達するのか、(エ) NSW 州とタスマン海を挟んで対置するニュージーランドではどうか、等のようなさまざまな質問や助言を得た。これらの発展的な課題に取り組むために、ニュージーランド南島北部の Nelson～Motueka の露頭調査を行い、京都大学理学部と連携して EPMA 化学分析を行い、オーストラリア NSW 州での研究成果と比較する。本研究で得られるであろう成果は、新しく発見した鉱物の微細構造を国際的な指標とする学術的価値の高いものになるほか、たとえば火山の噴火予知につながる指標の有効性を高めるなど、本校が推進している防災や減災にもつながると考えられる。国内の専門学会のほか、あらためて American Geophysical Union での発表、日本学生科学賞や JSEC への投稿を目指す。これらの活動は、高校生の議論の場を国際的なものにし、本校 SSH のテーマである「出る杭の育成」にも大いに資するものである。

(イ) 研究テーマ

ニュージーランド南島北部 Nelson～Motueka 深成岩体のマグマ分化末期の環境の推定

(ウ) 実施日程

令和 8 年 1 月 7 日（水）～ 1 月 14 日（水）の 6 泊 8 日（機内 1 泊）

(エ) 調査地域

ニュージーランド南島北部 Nelson～Motueka 近郊の露頭

(オ) 参加者

生徒：1、2 年次生徒 15 名（男子 9 名、女子 6 名／1 年次生徒 5 名、2 年次生徒 10 名）

引率：教員 3 名（川勝和哉、野内仁輝、岩井紀子）

(カ) 宿 泊

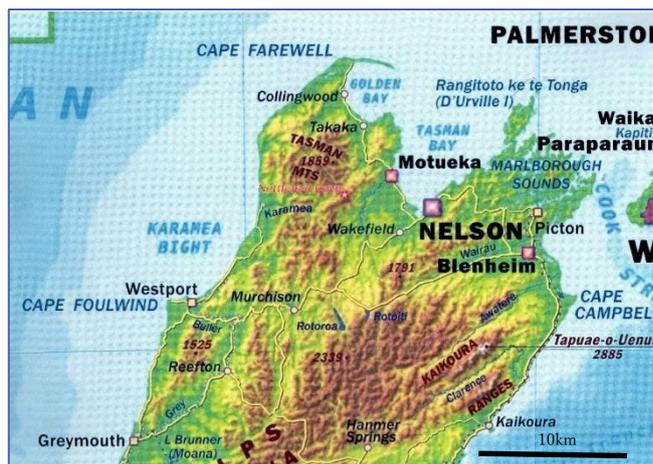
Beachcomber Motor Inn (23 Beach Road, Nelson, New Zealand)

(カ) 内 容

本海外研修は、博物館を訪問したり市内の観光を行ったりするプログラムを一切排除し、マグマ分化過程の専門研究を目的として実施したものである。事前学習として、先行研究の十分な理解と、地質調査に必要なクリノメーターやハンマー、ルーベ等の使用演習、英語や文化に関する学びを行った。本調査の成果はレポートにまとめて提出するほか、文化祭で全校生徒に報告を行う。さらに、岩石試料から薄片を作成して偏光顕微鏡で観察し、EPMA 等を用いた化学成分の分析を行って、研究論文としてまとめ、国際学会等で発表することを目指す。

ニュージーランド南島北部 Nelson～Motueka 近郊には Haast 変成帯が南北に横たわり、Torlesse テレーン（堆積岩層）との間に Median バソリスと呼ばれている深成岩体が露出している。全体に丘陵地が広がっているため、露頭を発見することが困難な環境であった。参加生徒は、事前に先行研究を参考にして Google Earth を活用して露頭の位置を予想し、そのルートに専用の 4WD 車で入って露頭を探した。歩い

たルートは1本で約7kmに及ぶこともあり、真夏の調査は過酷であったが、合計10本のルートを踏破した。調査期間中は好天に恵まれ、充実した調査を行うことができた。真夏の活動であったが、生徒は明確な目標をもって主体的に生き生きと活動を進めた。毎日、ホテルに戻ると、その日のルートマップの完成と採取した試料の処理を行い、翌日のルートについて全体で情報を共有するなどした。目指す深成岩帯を発見することができるかどうか緊張して調査を行ったが、採取を目指す岩体を発見することができ、生徒は興奮したと同時に胸を撫でおろした。閃緑岩～斑レイ岩を発見できなければ、研究論文をまとめることもできなかったからである。露頭の発見は、生徒にとって、どうしても達成しなければならないミッションとなっていた。



深成岩体に沿った調査を行い、露頭分布と産状の確認および必要な試料61個の採取を行った。今後は持ち帰った試料の記載、薄片の偏光顕微鏡観察と京都大学理学部と連携したEPMA分析等を行い、研究論文をまとめて国際学会等での発表を目指す。



ネルソン空港に到着



露頭調査を開始(砂岩層)
センターオブニュージーランド



大理石で建てられたクライストチャーチ大聖堂に立ち寄りました



食事は Smugglers Pub & Café で



翌日のルートの確認



モーターでの朝食

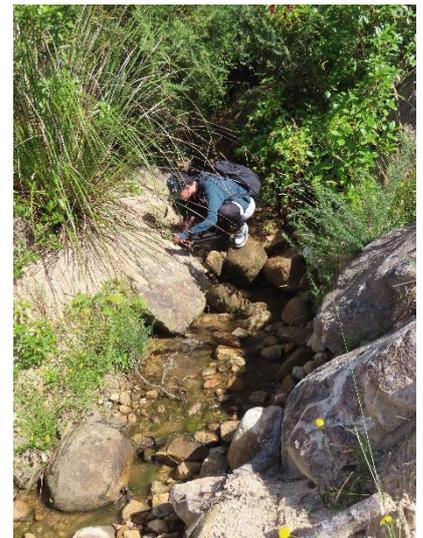


ついに発見した深成岩の観察





岩石の同定を行う



困難な岩石試料の採取



その日のうちに試料の処理とルートマップの確認



見事な片岩の観察と採取

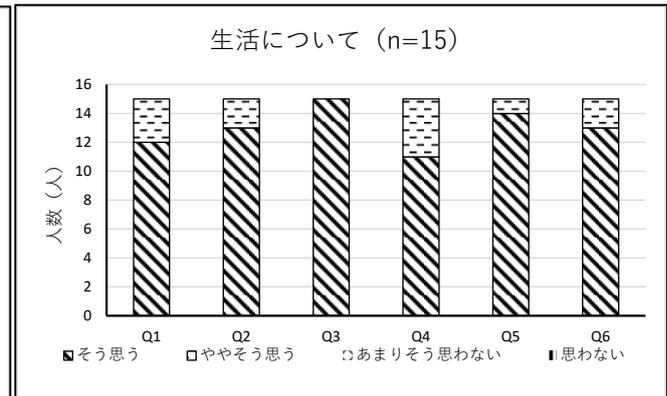
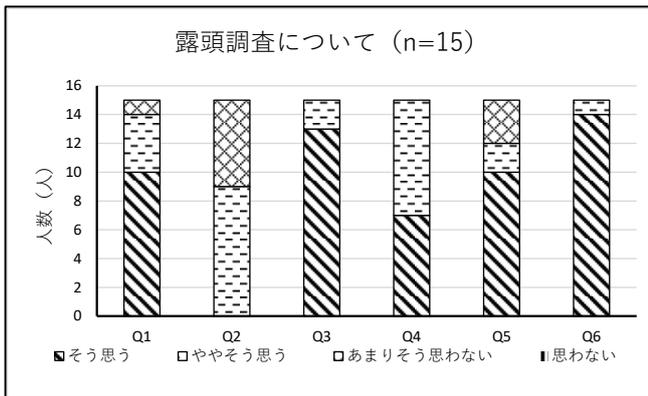


ルートマップをまとめて地質図へ



ガイドとともに記念撮影

(キ) アンケートと感想



- Q1: 露頭調査の目的は理解できていましたか
- Q2: 露頭調査の方法や技術は修得していましたか
- Q3: 露頭調査の目的は達成できましたか
- Q4: 今後の研究方針を理解できていますか
- Q5: 積極的に調査できましたか
- Q6: この内容をもっと調べたいと思いますか

- Q1: 主体的に行動することができましたか
- Q2: 現地での生活に向けた準備をしましたか
- Q3: 生活は充実していましたか
- Q4: 英語のコミュニケーションは取れましたか
- Q5: 経験は今後の学校生活に生かせると思いますか
- Q6: 海外での活動への興味・関心は強くなりましたか

露頭での調査は岩石の同定に始まり、クリノメーターによる走向・傾斜の測定まで、岩石学に特化した専門的な内容を伴うものであったために、モデル化した事前学習では手に負えなかったようである。今後の活動への意欲がうかがえるが、一方でマグマ分化の内容に関する専門的な理解が必要である。ニュージーランドでの生活は、しっかりと準備し、積極的に活動したことによる充実感が伺える。

〈生徒の感想〉

- 特に印象に残ったことは、採取した岩石を判別する作業です。最初は、同じような色や形、表面の岩石の見分け方なんて難しい、と思っていましたが、岩石に含まれている結晶構造の種類や割れ方などをルーペで観察することで岩石を判別できると知り、驚きました。私たちが採取した岩石は自然のものなので、図鑑や教科書、資料集に載っているような典型的な岩石ではなく、正しく判別することが難しいことを学びました。深成岩の造岩鉱物についても一度復習して、毎日露頭調査を行い、調査地点どうしの地形的なつながりを知り、先生からの助言を受けながら、違う環境にある同じ深成岩の岩体を繰り返し観察することで、次第に深成岩の判別ができるようになりました。判別ができたときはすごくうれしかったです。地形や環境、露頭などのたくさんのことは、実際に自分で採取、観察しないとわからない、ということが分かりました。また実践することで知識が早く、より深く身につくということを実感しました。今回の研修を通して、これまで論文や先輩方から教わったマグマの知識に加え、ニュージーランドの深成岩や岩石そのものについて理解を深め、それらの新たな知識もつきました。今回得た知識や技術をこれからの科学部の研究や学会発表に生かしたいと思います（1年女子）。
- リーダーという立場で、私は不安と覚悟をもって現地へ行きました。今回の調査では、波状累帯構造の研究の発展に寄与するであろう深成岩をなんとでも見つける必要がありました。一日調査を終えた後の露頭調査は非常に充実したものになりました。特に顧問の川勝先生の知識と経験は活動の中で大きな指針となっていました。先生は単に答えをくれる存在ではなく、私たち自身が考え判断するための視座を示してくださったからこそ、海外でも調査を成功させることができたと考えています。加えて、部員全員がしっかりと目的意識を据えてはたらきかけてくれたことで、達成感をも得ることができました。難しい露頭であったからこそ、仲間とのクリティカルな議論によって疑問や情報がさらに磨かれていく感覚を覚えました。多くのことを気づかせてくれた仲間と先生には感謝しています。この研修は多くの学びと刺激に満ちており、人生の大きな財産になる体験だったと感じています（2年女子）。
- 普段私たちは、学校の授業で教科としての英語を習っています。しかし、現地に行ってみると英語がまず聞き取れない、聞き取れたとしても自分が言いたいことが伝わらないなど苦労することがかなり多かったです。しかし、現地の人たちがとてもあたたかくフレンドリーな方ばかりだったので、あまり英語が得意でない私でもとても楽しく話すことができました。今まで、語学というのは難しく、ハードルが高いものだと思っていました。しかし、今回の研修で、海外の人と繋がれる楽しさ、達成感を味わったことで語学への敷居が少し下がった様な気がします。川勝先生は、露頭調査の中心となり、岩石の名前や地層の仕方などニュージーランドに行く前まではほとんど知らなかった地学のことを教えてくれました。その他の先生も、生徒たちが安全に調査できるように尽力してくださいました。（2年男子）。
- 普段私はマグマ班に所属していますが、同じ班の人と比べて岩石の判定をすることが苦手でした。実際現地でも岩石を見てみると、種類によって違いが目に見えて面白かったです。先生が、岩石を見つけるごとに岩石の名前当てクイズを出してくれて、正解したときは嬉しかったです。そのお陰か、日本に帰ってきて砂利の石などを見ていると、前よりは少し見分けることができるようになったと思います。やはり、実際に見るのが一番身につくと思えました。露頭調査では、2日目ぐらまではルートマップに岩石の試料番号を記入する担当だったため、ハンマーを握ることがありませんでしたが、3日目はハンマーを使って岩石試料を採取しました。「岩石の目をさがして、その通りにたたくと割れる」と先生からアドバイスをいただいたので、岩石を軽くたたいて目を探していると、何か所かたたいた時の音が他と違うところがあって、これが先生のいう岩石の目だと分かりました。1回コツをつかむと結構見つけやすかったです。これから数か月かけて、持ち帰った岩石を分析していきます。みんなで実際に現地に行って、話し合いながらとってきた大事な試料なので、絶対に波状累帯構造を見つけて、研究に貢献できるように頑張ります（2年女子）。
- ニュージーランドへ行く前に使用する機器の扱い方を教わっていたにもかかわらず、いざ実地で使おうとするとなかなか正しく使うことができませんでした。私は「わかったふり」にしか慣れていなかったことを痛感して、かなり悔しかったです。だからこそこの研修に参加した意義があったと感じています。私はこの研修が初めて海外へ行く機会であったため、現地の人と言葉が通じるかや、ほかの人へ迷惑をかけてはしまわないかなどを気にして、出発前にはただひたすらに緊張していました。しかし現地では、そんなことを気にする余裕などない5日間でした。最終日にバスの運転手さんへ思い切って話しかけると、とても気さくに対応してくださって、拙い英語だったけれど、とても幸せな気持ちになれました。この研修は私にとって多くの学びと、行動することの大切さを教えてくれたとともに、やはり力不足を実感させるものでした。この経験を糧にして、今後の活動へ生かしたいです（2年男子）。

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おり、成果を上げている。教員は指導せず、効果的な助言にとどめる。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。上級生の行った研究の継続研究を希望する場合には、安易にテーマ選択させず、先行研究から課題を学び、その解決方法についても理解していることを確認する。

(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。ただし地学系研究部マグマ班のように、研究が高度に専門化していて、生徒の理解が到達していれば、高大連携で大学の分析装置を活用することもある。

(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、探究力が身につい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、高校生が取り組むことができるテーマであるか、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。

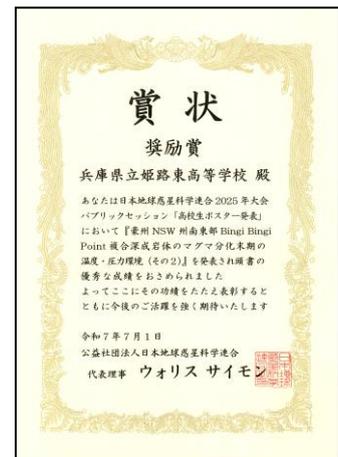
3 研究成果（専門学会と論文コンテスト等）

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。

毎年、研究生徒は入れ替わり、研究テーマも変化し、また論文コンテストや学会では審査基準が異なる環境の中で、常に全国上位入賞レベルを維持していることは注目に値する。教員の助言を参考にしながら、生徒自身が主体的に研究活動を進めており、生徒の研究に向かう姿勢や能力が高いレベルで維持され、向上していることを示している。生徒の研究テーマには、基礎研究が目立つ。工学的研究のほうが評価を得やすい中、基礎研究で成果を得ていることは、生徒の高い能力を示している。

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

主催 日本地球惑星科学連合
 日時 令和7年5月25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 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温度・圧力環境 (その2) (地学系研究部マグマ班)
 Magma Differentiation of Bingi Bingi Complex, Southeast NSW, Australia (part 2)
 研究者 山口歩珠、辻本ゆき乃、西川大貴、藤本知真、松岡沙和、富士佳蓮 (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。高校生発表は昨年度を大きく上回る131件あり、対面でポスター発表を行った。専門研究者との対話によって、今後の方針を考える助言を得ることができた。



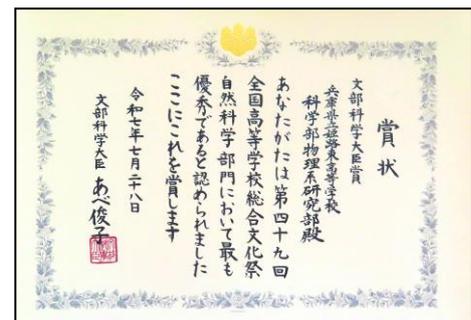
(2) U-18 が未来を変える★研究発表 SHOW Q-1 で全国大会ファイナリストに選ばれ ABC アスミライ賞を受賞 (地学系研究部マグマ班)

主催 ABC テレビ、文部科学省、経済産業省
 日程 令和7年7月21日(月) 全国大会
 場所 大阪関西万博 EXPO ホール (大阪市此花区夢洲中 1)
 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)
 発表者 前川司、中田天晴、富士佳蓮、山口歩珠、辻本ゆき乃 (地学系研究部マグマ班)
 結果 「知の甲子園」といわれている大会で、テレビショー大会として知られている。本年度初めて挑戦したところ、論文による1次審査、発表動画による2次審査、5月31日(土)東京渋谷サクラステージでの口頭発表による最終審査を経て、マグマ班が見事にベスト8ファイナリストに選ばれ、前夜祭として万博会場で発表しテレビ収録された。
 一般に理解されにくい専門的な内容であり、テレビショーとして位置づけられている大会だけに、京都大学の山極壽一氏ら専門研究者だけではなく弁護士やテレビ関係者等各界の50名以上の審査員から評価を受けたことは、生徒にとって大きな経験となった。万博会場では見事な発表を行い、この模様は毎日放送 ABC 地上波で9月28日(日)に放送された。

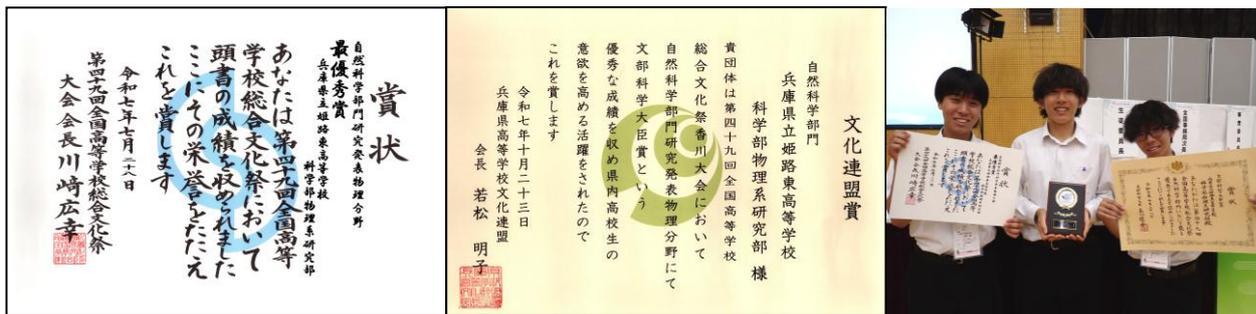


(3) 第49回全国高等学校総合文化祭自然科学部門で最優秀賞及び文部科学大臣賞受賞 (物理系研究部磁性流体班)

主催 文化庁、(公)全国高等学校文化連盟ほか
 日時 令和7年7月26日(土) 12:00~7月28日(月) 12:50
 場所 香川大学幸町キャンパス (高松市幸町 1-1)
 テーマ 磁性流体の特性をラビリンス・パターンで解明 (物理系研究部磁性流体班)
 発表者 前川司、永井翔、石井漸 (物理系研究部磁性流体班)
 結果 昨年度の兵庫県高等学校総合文化祭で物理部門最優秀賞を得て、全国大会への出場を果たした。物理分野22件の発表で、研究内容もプレゼンテーションも優れているとして、最優秀賞及び文部科学大臣賞を受賞した。



この成果は9月3日(水)のサンテレビ「NEWS×情報キャッチ」で20分間にわたって生放送され、大きな反響を呼んだ。



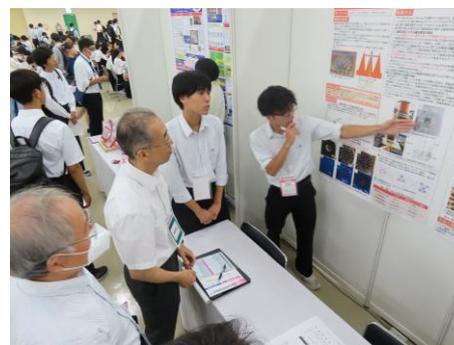
(4) 自由すぎる研究 EXPO 2025 で応募4研究がすべてが全国大会入選(生物系研究部サボテン班、生物系研究部ニハイチュウ班、地学系研究部マグマ班、物理系研究部磁性流体班)

- 主催 株式会社とものかい、文部科学省
 日程 令和7年8月4日(月)全国大会
 テーマ
- ・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(物理系研究部磁性流体班)
 - ・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)
 - ・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)
 - ・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)
- 発表者
- ・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、村上虎太郎、松岡沙和(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(地学系研究部マグマ班)
- 結果
- 論文による1次審査、発表動画による2次審査、論文による最終審査を経て、応募した4研究のすべてが入選を果たした。特にマグマ班は180点満点中170点を獲得し、非常に高い評価を得た。

(5) 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(物理系研究部磁性流体班)

- 主催 文部科学省、(独)科学技術振興機構
 日時 令和7年8月6日(水)13:00~8月7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

- 磁束密度と磁性流体の形状変化の関係をラビリンス・パターンを用いて解明する方法の提案(物理系研究部磁性流体班)
 A Method to Clarify the Relationship between Magnetic Flux Density and Shape Change in Magnetic Fluid Using Labyrinth Patterns
 発表者 前川司、石井漸、永井翔(3年次磁性流体班)
 結果 経験校を含む238件の発表があった。磁性流体は、身近な多くの工業製品に活用されているが、まだその基礎特性が解明されていない。磁性流体の特性を解明するために開発した新しい方法について発表し、専門研究者と熱い議論を交わした。今後の研究方針についての明確な指針を得ることもできた。



(6) 第16回東京理科大学坊っちゃん科学賞で、入賞(全国3位)3件(生物系研究部サボテン班、生物系研究部ニハイチュウ班、地学系研究部マグマ班)、佳作1件(物理系研究部磁性流体班)受賞

- 主催 東京理科大学
 応募 令和7年8月31日(日) 論文締切
 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)
 - ・ ニハイチュウの飼育・培養液の作成—生存に最適な pH の解明— (生物系研究部ニハイチュウ班)
 - ・ 豪州 NSW 州南東部 Bingi Bingi Point 複合深成岩体のマグマ分化末期の環境 (地学系研究部マグマ班)
 - ・ 磁性流体に加えた外部磁力の影響を知る新しい方法の提案—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)
 - ・ 中田天晴、岡本莉空、中村賢矢、甲斐心晴、村上虎太郎、松岡沙和 (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、松岡沙和 (地学系研究部マグマ班)
 - ・ 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 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。



(7) 日本動物学会第 96 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)

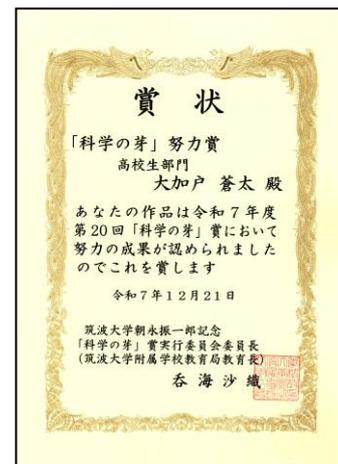
- 主催 日本動物学会
 日時 令和7年9月6日(土) 10:45~13:30
 場所 ポートメッセなごや (名古屋市港区金城ふ頭 2-2)
 テーマ 二胚動物門ニハイチュウの生活環の解明に向けて—ど
 のようにして蠕虫型ニハイチュウから滴虫型ニハイチ
 ユウが生まれるのか— (生物系研究部ニハイチュウ班)
 研究者 甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎、中田天晴、岡本莉
 空、中村賢矢、上原星志郎、佐藤みひろ、末永日鞠、
 世良一貴、田中智陽 (生物系研究部ニハイチュウ班)
 結果 生活環すら解明さえていないニハイチュウについて、
 毎日粘り強く顕微鏡で観察を続け、その生態を明らか
 にした優れた研究発表であった。発表件数は昨年度の
 ほぼ 2 倍にあたる 98 件であった。



(8) 第 20 回筑波大学「科学の芽」賞で 2 研究が努力賞受賞 (全国 3 位 / 物理系研究部磁性流体班、生物系研究部ニハイチュウ班)

- 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7年9月13日(土) 論文締切
 テーマ
- ・ 磁性流体の粘度と磁束密度の関係をラビリンスパターンを用いて解明する (物理系研究部磁性流体班)

- 研究者
- ・ニハイチュウ (*Dicyemida Dicyemidae*) の生活環の解明 (生物系研究部ニハイチュウ班)
 - ・植物の器官や組織に見られる配列の規則性はいつ決定されているのか (生物系研究部サボテン班)
 - ・豪州 NSW 州南東部 Bingi Bingi Point 複合深成岩体に循環した熱水残液の温度・圧力 (地学系研究部マグマ班)
 - ・前川司、永井翔、石井漸、飯田凌央、大加戸蒼太、前田修吾、八尾龍之介 (物理系研究部磁性流体班)
 - ・甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎、上原星志郎、佐藤みひろ、末永日鞠、世良一貴、田中智陽 (生物系研究部ニハイチュウ班)
 - ・武内美月、小田翔太郎、宮下翔真、寺田悠哉 (生物系研究部サボテン班)
 - ・山口歩珠、辻本ゆき乃、西川大貴、藤本知真、松岡沙和、富士佳蓮 (地学系研究部マグマ班)
- 結果
- 高校生部門応募総数が昨年度の 262 件から 492 件へと大幅に増加した。磁性流体班とニハイチュウ班の受賞は 4 年連続である。



(9) 日本地質学会第132年学術大会第23回ジュニアセッションで発表 (地学系研究部マグマ班)

- 主催
- 日本地質学会
- 日時
- 令和7年9月14日(日) 13:30~15:00
ポスターコアタイム
- 場所
- 熊本大学 (熊本市中央区黒髪 2-39-1)
- 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熱水循環の温度・圧力環境 (地学系研究部マグマ班)
Temperature and Pressure of Late Magma Differentiation of Bingi Bingi Complex, Southeast NSW, Australia
- 研究者
- 辻本ゆき乃、西川大貴、藤本知真、松岡沙和、山口歩珠、富士佳蓮 (地学系研究部マグマ班)
- 結果
- 26 件の発表があり、大学院レベルの研究であると非常に高い評価を得た。本年度よりマグマ班は、学会発表の目的を高校生発表の受賞から高いレベルの専門研究の議論へと移しており、本学会での発表は、専門研究論文作成のための助言を得る目的であった。



(10) 日本植物学会第89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
- 日時
- 令和7年9月20日(土) 12:00~14:00 コアタイム
- 場所
- 福岡国際会議場 (福岡市博多区石城町 2-1)
- テーマ
- 植物の器官や組織に見られる螺旋配列はいつ決定されているのか—エンドウマメ (*Pisum sativum L.*) とヒヨコマメ (*Cicer arietinum*) の葉の螺旋方程式— (生物系研究部サボテン班)
- 研究者
- 武内美月、小田翔太郎、宮下翔真、寺田悠哉 (生物系研究部サボテン班)
- 結果
- 全国から 39 件の発表があった。サボテンや他の植物の器官や組織に見られる螺旋配列がいつ形成されるのかを解明した研究発表で、盛んな議論が行われた。



(11) 第23回高校生科学技術チャレンジ2025 (JSEC) 全国大会で敢闘賞を受賞 (生物系研究部サボテン班)

- 主催
- 朝日新聞社、テレビ朝日 文部科学省認定大会
- 日時
- 令和7年10月31日(金) 全国大会締切
- 場所
- 日本科学未来館 (東京都江東区青海 2-3-6)
- テーマ
- ・植物の器官や組織に見られる規則的な配列はいつ決定されるのか (生物系研究部サボテン班)
 - ・磁性流体の粘度と磁束密度の関係をラビリンスパターンで解明する (物理系研究部磁性流体班)
- 発表者
- ・武内美月、小田翔太郎 (生物系研究部サボテン班)
 - ・大加戸蒼太、前田修吾、八尾龍之介 (物理系研究部磁性流体班)

結果 昨年度を100件以上も上回る過去最多の506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、本校のサポテン班を含む100研究が1次審査に進出した。審査の結果、最終審査に残ることはできなかったが、それに準じるレベルだとして敢闘賞を受賞した。



(12) 第98回日本生化学会高校生発表会で発表し、全国2位銀賞受賞(生物系研究部ニハイチュウ班)

主催 日本生化学会
日時 令和7年11月3日(月) 11:00~12:30
場所 国立京都国際会館(京都市左京区岩倉大鷲町422)
テーマ 二胚動物門ニハイチュウの生活環の解明に向けて一どのようにして蠕虫型ニハイチュウから滴虫型ニハイチュウが生まれるのか(生物系研究部ニハイチュウ班)
研究者 甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎、上原星志郎、佐藤みひろ、末永日鞠、世良一貴、田中智陽(生物系研究部ニハイチュウ班)
結果 本学会の発表分野は生命科学分野を中心とするもので、本発表はそれから外れているため、発表はどうかと考えていたため、30研究以上の発表の中で全国2位の銀賞受賞に一番驚いたのは、発表した生徒自身であった。



(13) 第69回日本学生科学賞兵庫県コンクールで兵庫県教育長賞を受賞し、中央予備審査会へ進出(生物系研究部ニハイチュウ班)

主催 読売新聞社、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
応募場所 令和7年11月5日(水) 中央予備審査会論文締切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 ・ニハイチュウの生活環の解明へ(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熱水の温度・圧力(地学系研究部マグマ班)
発表者 ・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)
 ・山口歩珠、辻本ゆき乃、西川大貴(地学系研究部マグマ班)
結果 論文およびポスターが9名の審査委員によって審査され、ニハイチュウ班の基礎研究の学術的意義が高く優れているとして兵庫県教育長賞を受賞し、中央予備審査会への推薦が決まった。



(14) 第8回キャタピラーSTEM賞に女子生徒4名が応募

主催 キャタピラージャパン合同会社
応募 令和7年10月31日(金) 要旨締切
日時 令和7年11月 審査委員会
テーマと応募者 ・都市における自転車絡む事故を減らすために(2年 松岡沙和)
 ・空き家問題と農業危機問題の同時解決に向けて(1年 板家有良)

- ・若者と高齢者が共に社会の一員となって活躍していくために（1年 佐藤みひろ）
 - ・空き家を廃物から資源へ（1年 末永日鞠）
- 結果 受賞の有無よりも、地域に関心を持ち自ら積極的に応募しようとする姿勢を大切にしたい。

(15) 第49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た3つの分野すべての研究が最優秀賞を受賞し、来年度の全国大会出場を果たし（物理系研究部磁性流体班、生物系研究部ニハイチュウ班、地学系研究部マグマ班）、さらにポスター発表優秀賞を受賞（生物系研究部ニハイチュウ班、物理系研究部磁性流体班）

主催 兵庫県高等学校文化連盟自然科学部会
 日時 令和7年11月8日（土）10:00～17:00 口頭発表、ポスター発表、フリーセッション
 令和7年11月9日（日）10:00～16:00 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
 ・ラビリンスパターンと磁束密度、粘度の関係（物理系研究部磁性流体班）
 ・ニハイチュウの生活環の解明に向けて（生物系研究部ニハイチュウ班）
 ・角閃石の波状累帯構造形成の温度・圧力（地学系研究部マグマ班）
 研究者
 ・大加戸蒼太、前田修吾、八尾龍之介（物理系研究部磁性流体班）
 ・甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎、上原星志郎、佐藤みひろ、末永日鞠、世良一貴、田中智陽（生物系研究部ニハイチュウ班）
 ・山口歩珠、辻本ゆき乃、西川大貴、藤本知真、多田悠希、田路倅太、関尾悠起、板家有良、和田和優（地学系研究部マグマ班）
 結果 主に2年次生徒による口頭発表と、1年次生徒によるポスター発表の結果、発表した3つの研究のすべてが分野最優秀賞を受賞し、来年度の全国総文への出場権を獲得した。発表数は、物理分野4件、生物分野14件、地学分野6件であった。



(16) 神戸大学高校生・私の科学研究発表会2025で発表（物理系研究部磁性流体班、生物系研究部ニハイチュウ班、サポテン班、地学系研究部マグマ班）

主催 兵庫県生物学会、神戸大学サイエンスショップ
 日時 令和7年11月30日（日）10:00～16:00
 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
 ・ニハイチュウの生活環の解明に向けて一どのようにして蠕虫型ニハイチュウから滴虫型ニハイチュウが生まれるのか（生物系研究部ニハイチュウ班）：口頭発表
 ・磁性流体のラビリンスパターンと磁束密度、粘度の関係（物理系研究部磁性流体班）：口頭発表
 ・植物の組織や器官の螺旋配列はいつ決定されるか（生物系研究部サポテン班）：ポスター発表
 ・豪州 NSW 州複合深成岩体の角閃石から発見される波状累帯構造形成の温度・圧力（地学系研究部マグマ班）：ポスター発表

- 研究者 ・ 甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎、上原星志郎、佐藤みひろ、末永日鞠、世良一貴、田中智陽（生物系研究部ニハイチュウ班）
 ・ 大加戸蒼太、前田修吾、八尾竜太郎（物理系研究部磁性流体班）
 ・ 武内美月、本莊初香（生物系研究部サポテン班）
 ・ 山口歩珠、辻本ゆき乃、西川大貴、藤本知真、多田悠希、田路倅太、関尾悠起、板家有良、和田和裕（地学系研究部マグマ班）
- 結果 52件の発表があった。本校からは1年次生徒が初めて中心になって発表した。

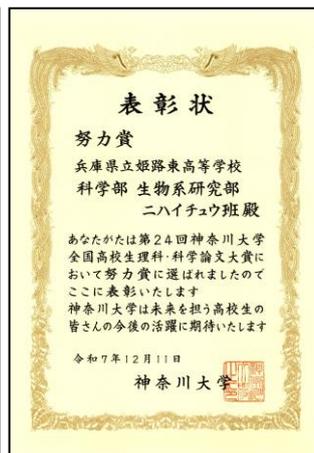
(17) 第48回日本分子生物学会高校生発表会で口頭発表およびポスター発表（生物系研究部ニハイチュウ班）

- 主催 日本分子生物学会
 日時 令和7年12月5日（金）17:00～19:00
 場所 パシフィコ横浜展示ホール（横浜市西区みなとみらい）
 テーマ 二胚動物門ニハイチュウ (*Dicyemida Dicyemidae*) の生活環の解明に向けて一どのようにして蠕虫型から滴虫型が生まれるのかー（生物系研究部ニハイチュウ班）
- 研究者 甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎、上原星志郎、佐藤みひろ、末永日鞠、世良一貴、田中智陽（生物系研究部ニハイチュウ班）
- 結果 74件（昨年度は45件）のポスター発表があった。またその中から事前審査によって選ばれた本校を含む24件の口頭発表が行われた。



(18) 第24回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞で努力賞2件（物理系研究部磁性流体班、生物系研究部ニハイチュウ班）のほか団体奨励賞を受賞

- 主催 神奈川大学、文部科学省認定大会
 応募 令和7年8月21日（木）論文締切
 日時 令和6年12月11日（木）審査委員会
 テーマ ・ 磁性流体の形状変化をラビリンスパターンを用いて解明する（その2）ー磁性流体の粘度と磁束密度の関係ー（物理系研究部磁性流体班）
 ・ 二胚動物門ニハイチュウ (*Dicyemida Dicyemidae*) の生活環の解明に向けて一どのようにして蠕虫型ニハイチュウから滴虫型ニハイチュウが生まれるのかー（生物系研究部磁ニハイチュウ班）
 ・ 植物の器官や組織に見られる螺旋配列はいつ決定されているのかーエンドウマメ (*Pisum sativum L.*) とヒヨコマメ (*Cicer arietinum*) の葉腋の螺旋方程式ー（生物系研究部螺旋方程式班）
 ・ 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（その2）ー波状累帯構造を形成したマグマ残液の温度・圧力環境の推定ー（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、前田修吾、八尾龍之介（物理系研究部磁性流体班）
 ・ 甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎、上原星志郎、佐藤みひろ、末永日鞠、世良一貴、田中智陽、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）
 ・ 武内美月、小田翔太郎、宮下翔真、寺田悠哉（生物系研究部螺旋方程式班）
 ・ 山口歩珠、辻本ゆき乃、西川大貴、藤本知真、松岡沙和、富士佳蓮（地学系研究部マグマ班）
- 結果 応募総数54校から129件であった。テーマの独自性と高い学術的価値によって努力賞を受賞したほか、応募4研究がそろって高いレベルであるとして、団体奨励賞も受賞した。



(19) プラズマ・核融合学会第23回高校生シンポジウムで全国2位卓越賞を受賞（物理系研究部磁性流体班）

- 主催 プラズマ・核融合学会

日時 令和8年1月31日(土) 13:00~17:50
 場所 京都大学吉田キャンパス(京都市左京区吉田本町)
 テーマ 磁性流体のラビリンスパターンと磁束密度、粘度の関係(物理系研究部磁性流体班)
 研究者 大加戸蒼汰、前田修吾、八尾龍之介(物理系研究部磁性流体班)
 内容 16件の口頭発表と3件のポスター発表が行われた。本校は両方で発表し評価を受けた。



(20) 第28回化学工学会学生発表会で本発表研究に採択され発表予定(物理系研究部磁性流体班)

主催 化学工学会
 日時 令和8年3月7日(土) 9:30~16:00 オンライン開催
 テーマ ラビリンスパターンと磁束密度、粘度の関係(物理系研究部磁性流体班)
 研究者 大加戸蒼汰、前田修吾、八尾龍之介(物理系研究部磁性流体班)

(21) 日本農芸化学会2026年度大会ジュニア農芸化学会で本発表研究に採択され発表予定(生物系研究部ニハイチュウ班、サボテン班)

主催 日本農芸化学会
 日時 令和8年3月12日(木) 9:00~14:00 全128件が発表予定
 場所 同志社大学室町キャンパス(京都市上京区今出川通烏丸東入玄武町601)
 テーマ ・ニハイチュウの生活環の解明に向けて(生物系研究部ニハイチュウ班)
 ・植物の組織や器官にみられる螺旋配列はいつ決定されるのか(生物系研究部サボテン班)
 研究者 ・甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎、上原星志郎、佐藤みひろ、末永日鞠、世良一貴、田中智陽(生物系研究部ニハイチュウ班)
 ・武内美月、小田翔太郎(生物系研究部サボテン班)

(22) 第22回日本物理学会 Jr. セッションで本発表研究に採択され発表予定(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
 日時 令和8年3月14日(土) 9:00~12:30 オンライン開催
 テーマ 磁性流体のラビリンスパターンと磁束密度、粘度の関係(物理系研究部磁性流体班)
 研究者 大加戸蒼汰、前田修吾、八尾龍之介(物理系研究部磁性流体班)

(23) 京都大学ポスターセッション2025で兵庫県を代表して発表予定(地学系研究部マグマ班)

主催 兵庫県教育委員会、京都大学
 日時 令和8年3月14日(土) 12:00~16:30 全32件が発表予定
 場所 京都大学百周年時計台記念館(京都市左京区吉田本町)
 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熱水循環の温度・圧力の解明(地学系研究部マグマ班)
 研究者 山口歩珠、辻本ゆき乃、西川大貴、藤本知真、松岡沙和、多田悠希、田路倅太、関尾悠起、板家有良、和田和裕(地学系研究部マグマ班)

(24) 第73回日本生態学会高校生ポスター発表会で本発表研究に採択され発表予定(生物系研究部ニハイチュウ班、サボテン班)

主催 日本生態学会
 日時 令和8年3月15日(日) 11:00~13:00 全124件が発表予定
 場所 国立京都国際会館(京都市左京区岩倉大鷲町422)
 テーマ ・二胚動物門ニハイチュウの生活環の解明(その1)(生物系研究部ニハイチュウ班)
 ・植物の器官や組織に見られる螺旋配列はいつ決定されているのか(生物系研究部サボテン班)
 研究者 ・甲斐心晴、松岡沙和、村上虎太郎、上原星志郎、佐藤みひろ、末永日鞠、世良一貴、田中智陽(生物系研究部ニハイチュウ班)
 ・武内美月、小田翔太郎(生物系研究部サボテン班)

(25) 第178回日本金属学会2025年春季講演大会に採択され発表予定(物理系研究部磁性流体班)

主催 日本金属学会
 日時 令和8年3月18日(水) 14:00~16:30 オンライン開催全52件
 テーマ 磁性流体のラビリンスパターンと磁束密度、粘度の関係(物理系研究部磁性流体班)
 発表者 大加戸蒼汰、前田修吾、八尾龍之介(物理系研究部磁性流体班)(物理系研究部磁性流体班)

4 地域の小学生を対象にした活動

(1) わくわく実験教室を企画、開催

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。生徒の研究内容を小学生に伝えることは本校生徒のプレゼンテーション能力の向上につながる。

主催 兵庫県立姫路東高等学校科学部
生活創造部

日時 令和7年7月24日(木) 13:30~15:30

場所 兵庫県立姫路東高等学校 生物教室、調理教室

テーマ 磁石の不思議(磁石キツツキ、磁石で回るフライパン／磁性流体班)

ピザが膨らむナゾを解明しよう(生活創造部)

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 毎年、姫路市内を6つの地域に分けて小学生を招いている(保護者同伴)。本年度は網干地区の11の小学校に案内を出したところ、7校から22名の小学生の参加を得た(4年生7名、5年生7名、6年生8名)。

アンケート結果:実験は面白かった 21名、説明はわかりやすかった 22名、説明の内容は理解できた 21名、実験を通して自然や理科は面白いと感じた 21名



(2) 「出前教室 in 荒川公民館」を企画、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

日時 令和7年8月9日(土) 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 磁石の不思議(磁石キツツキ、磁石で回るフライパン／磁性流体班)

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った。近隣小学生20名(1年生3名、2年生3名、3年生6名、4年生3名、5年生5名)が参加し、盛況であった。



5 発展的な探究活動

(1) 京都大学理学部探究活動推進事業 COCOURS-R2025 に3名1チームが合格

主催 京都大学大学院理学研究科

日時 令和7年5月30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3名(山口歩珠、辻本ゆき乃、松岡沙和)

協力者 河上哲夫教授(大学院理学研究科地球惑星科学教室)

内容 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名は、これを高大連携事業に発展させ、今後、京都大学理学部の Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) を活用してニュージーランドから採取してきた試料の分析を行うことになる。



(2) 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2名(生物系研究部ニハイチュウ班)が合格

主催 大阪大学理学部

日時 令和7年6月15日(日) 13:30~17:30

場所 大阪大学豊中キャンパス(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 2 名 1 チーム (末永日鞠、佐藤みひろ) が合格して活動した。
- 協力者 古谷秀隆教授 (大阪大学大学院理学研究科)
- 内容 体感コース S は、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、提出した研究計画書をもとに面接審査を受け、採択が決定した。

(3) JST グローバルサイエンスキャンパス ROOT プログラムに 2 年次生徒 1 名が合格 (生物系研究部サポテン班)

- 主催 神戸大学をはじめとする兵庫県内の大学連合
- 日時 令和 7 年 8 月 11 日 (日) 10:00~12:00
- 方法 Teams によるオンライン面接
- 合格者 基礎ステージに 2 年次生徒 1 名 (武内美月) が合格した。
- 内容 神戸大学等の大学連合で先進的な高校生の研究をサポートする事業。神戸大学等で講義を受けたり、自身の研究に関する助言を得たりした。

(4) 日本環境科学会奨励賞 (クリタ活動賞) を受賞 (地学系研究部マグマ班)

- 主催 日本環境科学会若手育成事業委員会
- 日程 令和 7 年 9 月 12 日 (金) 採択
- テーマ マグマ分化末期の熱水残液循環の指標を提案する (地学系研究部マグマ班)
- 採択者 地学系研究部マグマ班
- 内容 環境科学分野の高校生・高専生による活動の一層の啓発と活動意欲の高揚を図ることで、水・環境に係る研究人材の育成ならびに研究の進展と、関連する科学技術の向上に寄与することを目的として、年間 2 件が採択される。本年度は、マグマ班の応募が採択された。選考委員から次のような講評を得た。「本研究は挑戦的な研究で、成果の公表にも積極的に取り組んでいることが評価されました。分析方法などに、高校生らしい視点が入ってくるとより良いと考えられます。今後、環境科学の視点を入れて、研究が進展していくことを期待しています。」今後の研究の成果は、令和 8 年 9 月に法政大学で開催される日本環境科学会で発表することが求められている。

(5) 第 18 回日本地学オリンピック (2026 年国際地学オリンピック日本代表選抜) に 22 名が挑戦

- 主催 NPO 法人地学オリンピック日本委員会
- 日時 令和 7 年 12 月 21 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 10 名、1 年次生 12 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 AO 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 1433 名、平均点 36.11 点、本校では地学基礎を学習していない生徒がほとんどであったが、最高点は 45 点であった。

6 学術誌への論文掲載

(1) 日本金属学会誌「まてりあ」に研究論文掲載 (物理系研究部磁性流体班)

- 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 64 巻 6 号 pp398~400.
- 内容 物理系研究部は、身近な製品に活用されているが、その基礎的な性質が未解明である磁性流体について継続研究を行っている。2024 年度の日本金属学会で基礎研究の成果を発表したところ、高い評価を得て最優秀賞を受賞したことから、学会誌への掲載の推薦を受けた。論文は 2 度の査読を経て受理され、掲載された。



7 研修旅行

(1) 東京博物館研修

目的 研究員による講義を聞いたり議論したりすることによって、現在科学部が進めている研究の内容を深化させたり、今後の研究の指針を得たりする。また、研究員とのネットワークを構築する。

日程 令和7年6月14日(土) 6:00~15日(日) 21:30

参加者 生徒20名(3年次生徒10名、2年次生徒10名) 引率：川勝和哉

内容 基礎研究を主に

行っている科学部員が理学内容の展示で日本最大である国立科学博物館と、工学内容の展示で最大級の日本科学未来館を訪問し、学芸員と議論することによって、今後の指針を得ることができた。本研修は、昨年度実施予定であったが気象条件の悪化によって中止せざるを得なくなった研修の代替として、2、3年次生徒を対象に実施したものである。



(2) つくば研修

目的 科学部の1年次生徒が、筑波学園都市に点在する科学研究拠点を訪問し、見聞を広めるとともに、研究者と議論を行うことによって、研究がどのようなものかを理解する。

日程 令和7年8月15日(金) 6:00~16日(土) 22:30

参加者 1年次生徒10名 引率：川勝和哉

内容 1年次生徒を対象とした研修として、AIST-Cube、地質標本館、サイバーダイナミクススタジオ、地図と測定の科学館、筑波実験植物園、物質材料研究機構、JAXAを訪問した。いずれの施設でも強烈な刺激を受け、その後の研究に資することができた。



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が強く推奨されている。以下は、本校の科学部顧問である川勝和哉教諭が行った、学会等での研究発表や運営の活動である。

(1) 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7年5月25日(日) 17:15~19:15 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 「出る杭」となる高校生を育てる探究活動を専門学会がどう支援していくか

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。今後の教育に必要とされる出る杭の生徒の育成を専門学会がどのように支援していくべきかについて議論した。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~2028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



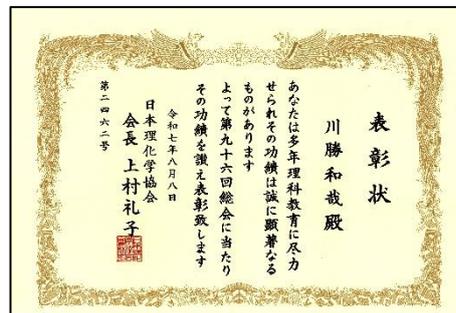
(2) サイエンス・トライやる事業の小学校出前授業で教員研修を実施

主催 兵庫県教育委員会、播磨東教育事務所
 日時 令和7年7月28日(月) 10:00~12:00
 場所 稲美町立天満東小学校(加古郡稲美町岡1500)
 テーマ 探求から探究へ
 内容 探究学習の視点から理科教育の現状を分析し、今後の小学校における探究活動の指針について、実験や観察を交えながら講義した。従来の教育は、「なぜ」よりも「どうすれば」が重視され、わかっている答えに、どうたどり着くかの学び(探求)が中心であった。しかし新しい概念「探究」では、「どのようにして」だけではなく「なぜ」(探究)が重要とされる。子どもが求めているもの、子どもの成長に大切なものは、答えではなく思考の過である。その育成は、身の回りの不思議を感じるとる余裕、不思議を生徒と共有する余裕、答えや解き方はわからなくても生徒の不思議につきあう余裕、が必要である。



(3) 全国理科教育大会で日本理化学協会教育功労賞を受賞

主催 日本理化学協会
 日時 令和7年8月8日(金) 9:15~10:05
 場所 いわて県民情報交流センター「アイーナ」
 (盛岡市盛岡駅前西通1-7-1)
 内容 科学部を継続的に全国上位入賞する部活動に育成したことや、探究活動に関する指導等、長年の理科教育への貢献に対して、教育功労賞が授与された。



(4) 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7年9月28日(日) 10:00~12:30
 場所 兵庫県立姫路東高等学校
 参加 県立神戸高校、県立飾磨工業高校、県立龍野高校、県立姫路東高校(以上SSH指定校)から24名、指定校以外から2名参加
 内容 川勝和哉教諭が講師となり、概要と出題傾向の概説、重点的に抑えておくべきポイントの講義(地質図の読み方、地震に関する問題の流れ、マグマ分化を動的にとらえる考え方)と、実習(地質図の作図、震源地を求める作図)を行った。地学オリンピックは多くの問題が「地学基礎」から出題されるが、参加者のうち地学基礎を履修している生徒は1名のみであった。本講座が地学オリンピック受験のために大きな後押しとなった。



(5) 第99回形の科学会シンポジウムで講演

主催 形の科学会
 日時 令和7年11月29日(土) 10:00~10:25
 場所 大阪大学豊中キャンパス(豊中市待兼山町1-1)
 テーマ 深成岩類の珪酸塩鉱物に記録されたマグマ分化末期の環境
 内容 The environment at the final stage of magma differentiation recorded in the silicate minerals of plutonic rocks
 本会は、研究対象で分類される従来の科学の枠組みを超えて、「形」という概念を中心とした学際的な科学の確立を目指す専門学会である。マグマ分化過程で結晶化したケイ酸塩鉱物の二次的な置換について講演を行った。
 Abstract In petrology, the process of magma differentiation is understood based on the shapes and compositions of minerals observed at present. The Oscillatory Zoned Structure discovered in amphiboles from plutonic rocks suggest that they may not preserve the conditions present during crystallization from magma. This structure indicates that once-crystallized minerals are secondarily



replaced by hydrothermal solution formed under progressive oxidizing conditions.

(6) 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

目的 日本地質学会の運営および日本地学オリンピックの支援
 内容 日本地質学会の代議員（2022年～2028年）として、日本地質学会の運営や学会発表の審査を行うほか、日本地学オリンピック支援委員会委員（2022年～）として日本地学オリンピックの問題評価、受験者の裾野の拡大や国際大会に進出する生徒の支援等を行っている。

(7) 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

目的 科学倫理教育の目的と方法を普及させることによって、社会的な生命倫理の議論をわき起こす。
 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。

(8) 一般社団法人先端技術倫理学会の理事および倫理審査委員

目的 VRやAI等の先端技術を活用した病院の医療行為や科学技術を活用した研究に関して、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を行うことを目的に設立された学会である。
 内容 VR革新機構VR研究倫理学会法務倫理研究委員会から名称を変更した学会で、川勝は理事及び倫理審査委員を務める。代表理事は横松繁VR革新機構代表理事、会長は瀬戸山晃一京都府立医科大学教授。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（県立姫路東高校教諭）、西山晴基（弁護士、知的財産技能管理士）他外部委員。11月2日（日）に大会を開催したが、4月3日（木）以降すでに複数の案件の倫理審査を行った。

9 生徒アンケートの結果

令和8年2月2日実施、2年次生10名、1年次生12名が回答した。

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：8名（67%）	1年次：4名（33%）	1年次：0名（0%）
2年次：10名（100%）	2年次：0名（0%）	2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：8名（100%）	1年次：0名（0%）
2年次：9名（90%）	2年次：1名（10%）

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年次：0名（0%）	2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？

刺激を受けた、面白かった	期待通りではなかった
1年次：12名（100%）	1年次：0名（0%）
2年次：10名（100%）	2年次：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）

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
1年次：11名	1年次：2名	1年次：5名	1年次：0名
2年次：9名	2年次：5名	2年次：7名	2年次：0名

問5. 科学部の活動についての自由記述。

- 私たちが研究しているものはわかっていないものであり、新しい発見がたくさんある反面、なぜこのようなことになるのか、どのようにすれば研究が進むのかわからず、研究が難航することも多いです。しかし、さまざまな課題に対して班員とともに調べ、話し合い、解決していくのはとても楽しい。そして私たちが見つけたことを発表し、伝えていくことは、研究対象の面白さを再確認することにつながり、それが認められることは何よりもうれしいことでした。これからもこの科学部で研究活動を続けていきたいです。(2年)
- 昨年度は研究や発表で役に立っていなかったのですが、本年度は研究を進め、学会で発表をこなせるようになりたいと思っていました。研究を行う中で、研究の楽しさや責任感を感じ、学会では大学の先生の意見を聞き議論することで、高校生の発表とのレベルの差を感じ、とても良い刺激になりました。また国際的な活動にも参加したおかげで、将来国際的に活躍できるようになりたいと思うようになりました。今年度の活動は、私の期待以上の経験が得られました。(2年)
- 研究がうまくいかなかった経験を通じて、自分の行動や考え方を客観的に見直すことができました。結果だけに注目するのではなく、計画や準備、判断の過程に目を向けることの重要性を学びました。また副部長として、人とどのように接するかという心の持ち方を学ぶことができました。(2年副部長)
- 私は文系選択者ですが科学部に所属しています。顧問の川勝先生から得られる内容の濃い助言や、学会での発表経験、国際的な活動への参加など、すべてにたいへん満足していて、刺激的な毎日を送っています。科学の本質は知識を増やすことではなく、なぜそうなるのかを問い、仮説を立てて検証する思考過程にあると学びました。私は大学の文系学部を志望していますが、文系の学問でも同じで、流行を作る手法や成功事例をなぞるのではなく、なぜその戦略が機能するのかを理解する力が重要だと考えています。理系の研究で培った論理的思考力はどんなものにも応用が可能で、科学部の活動は私たちの人生を形作る大切な時間だと感じています。(2年部長)
- 今年はとても充実して成長を感じられる1年になった。学会発表で自分から研究者に話しかけて説明したり、質問に答えたりできるようになった。普段の活動でも、より自分の意見を主張できるようになったり、仲間を信頼して任せたりできるようになった。(2年)
- 1年間の科学部の活動を通じて、科学は知識を学ぶだけではなく、自ら課題を見つけ検証し考察していく過程が重要だと学びました。実験をはじめとする研究では、思い通りの結果が得られないことも多く、そのたびに条件を見直し試行錯誤を重ねました。この経験から、論理的に考える力と粘り強く取り組む姿勢が身に付きました。また他の人との意見交換を通じて、多様な視点に触れ、協力することで探究がより深まることを実感しました。この一年間で培った探究心を今後の部活動にも生かしていきたいです。(1年)
- 科学部に入るまでは、人前で発表したり質問されたりしたことがあまりありませんでした。しかし一から行った研究を自分たちなりにまとめ、それを学会で発表したことは、思考力を向上させることに大きく役立ったと思います。また顧問の先生や大学の先生からアドバイスをもらい、自分の研究をより良いものに改良していく過程で探究心を育むことができました。これからも科学部で自分の能力を上げていきたいです。(1年)
- 私は今まであまり科学に興味を持っていませんでした。研修や研究内容が充実していて、新しいことに挑戦したい自分にとって魅力的だと感じて、科学部に入部しました。実際に活動してみて、新しい発見や学びがたくさんありました。そして身につけた知識や経験が研究活動に使うことができるおもしろさを実感できました。(1年)
- 中学の時に、高校の部活動とは思えないほどハイレベルな研究をしていると知り、高校生になるとこんなにさまざまな経験ができるのかと胸が高まっていました。そこで、この学校に合格してすぐに入部しました。最初は論文の内容が理解できなかつたり、何の実験をしているのかわからなかつたりして苦しい思いをしましたが、必死についていき、初めて先輩に発表を誉められた時にはとてもうれしかったです。(1年)

【振り返り】

- 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)、令和7年度36名と推移している。教員は助言を与えるのみで、テーマの決定や研究企画から、生徒が主体的に活動している。
- ② 多くの部員は期待通りだったと回答している。1名が期待通りでなかったと回答しているが、研究の進め方やグループ内での意思の疎通がうまく取れなかったことによる感想のようである。次の研究への反省材料として頑張ろうとしている。
- ③ 本校を来校されたり、学会発表で議論していただいたりした大学の教員との議論は、生徒の研究活動の活力となっている。
- ④ 本校を志望する近隣中学生は増加しており、アンケートによると県内でも有数の魅力ある学校として評価されている。中学生の多くは事前に科学部の活動を知っており、本校を志願する材料の一つになっている生徒もいるようである。科学部に入部してくる生徒は、期待と不安に胸を膨らませており、活動は高い満足度をもたらしている。

研究論文とポスター

磁性流体の粘度と磁束密度の関係をラビリンスパターンで解明する

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
飯田凌央 石井漸 永井翔 前川司 大加戸蒼太 前田修吾 八尾龍之介

A. 研究目的

(1) 昨年度までの研究

磁性流体は、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。磁性流体を利用した応用機器は多方面で開発されており、工業的にも重要な物質であるが、その特性はまだ十分に明らかにされていない。磁性流体は、外部から磁場を近づけると、磁力線の流れに沿ってスパイクという特徴的な突起を形成することが知られている (図1)

(1)。しかし、磁束密度の変化に対応してスパイクの形状 (特に底面の形状) がどのように対応して変化するか、その臨界磁力はいくらなのかについて未解明であった。筆者らは、2022 年から継続的に研究を続けており、これまでに、①磁性流体に加える外部磁力の磁束密度を高めていくと、スパイク底面の形状は円形→六角形→五角形+七角形へと変化していくこと、②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)、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、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こと、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こと、⑨さらに磁力を強めると、10 mT 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 (2)。

立体スパイクの底面形状は、磁力線のわずかな向きの変化の影響を受けやすく、観察しにくい。そこで筆者らは、形状の変化を明確に知る方法としてヘレショウセルを用いたラビリンスパターンを活用する方法を提案した (3)。⑩ヘレショウセル全面に均等に磁力がかかり、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した (図3)。

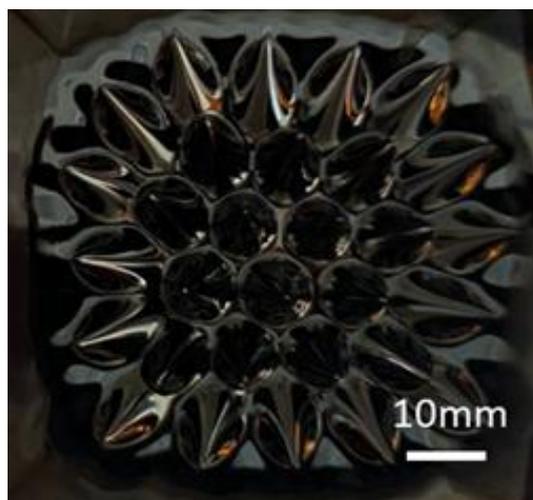


図1 磁性流体の立体スパイク (2)

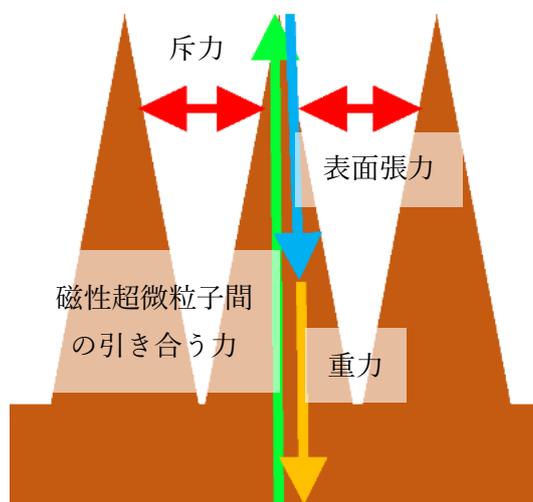
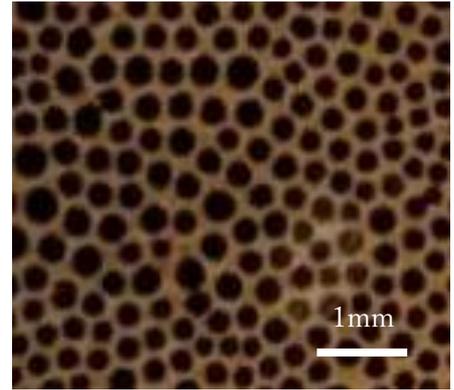


図2 立体スパイクの力のつり合い

さらに、⑪その変化は磁束密度の変化に対して連続的であり、磁性流体の粘度が $97 \text{ mPa} \cdot \text{sec}$ (20°C) の場合、臨界時磁力は 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し、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ことを明らかにした⁽³⁾。

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⁽³⁾



(2) 本年度の目的 (以降は本年度の研究)

研究を進める中で新たな課題が明らかになった。厚さや濃度が形状の変化に関わっているのではないかと考え、ヘレショウセルにした磁性流体の厚さや粘度を変化させ、磁束密度とラビリンスパターンの形状の関係を明らかにしようと考えた。さらに、超伝導のピン止め効果のようなものが見られて、磁束密度をあげるとラビリンスパターンは小さくなり数が増えていくのではないかと考え、磁束密度とラビリンスパターンの大きさや数との関係についても実験によって明らかにすることを目的に研究を行った。

B. 研究方法

ポリビニルアルコールの洗濯のり 1.00 g と磁性流体 0.01 g を $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ のガラス板 2 枚で挟み込んで、厚さ 0.2 mm のヘレショウセルにした。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^3 、 20°C 粘度 $97 \text{ mPa} \cdot \text{sec}$ 、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 (図4)。ヘレショウセルにした磁性流体は 2 つのコイルの間に、上下 25 mm の距離になるように設置した。磁性流体に現れるラビリンスパターンを、コイル上方に固定したカメラで撮影した。実験結果の処理には、画像解析ソフト ImageJ を用いた。実験は 2025 年 6 月～7 月に行った。

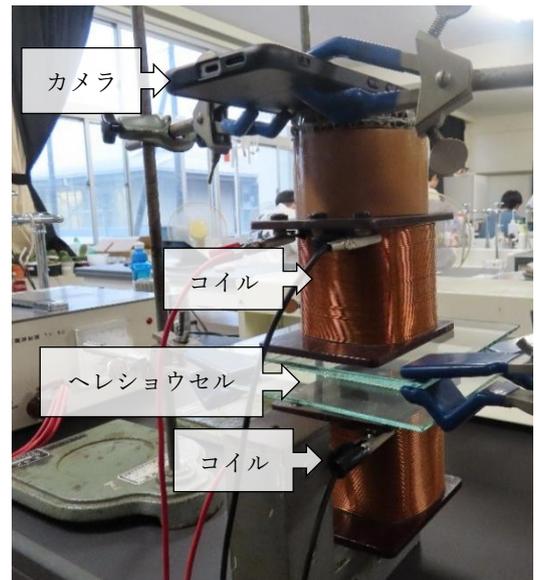


図4 ヘレショウセル実験装置

(1) 粘度を一定にして、磁束密度を変化させ、①現れる図形の形状の数の割合と、②現れる図形の面積、③形状が変化する臨界磁力を測定した。

粘度は $4 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ と $10 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 、 $19 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ の 3 種類で実験を行った。コイルで加える磁束密度を $20, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 40 \text{ mT}$ と変化させた。図形の形状の数の割合は、観察全領域 360 mm^2 内で出現したさまざまな形状の図形の数の割合で求めた。ここでは、図形にならない領域の面積は測定しなかった。また、それぞれの形状の図形を無作為に 5 つずつ抽出し、それらの面積を測定した。実験回数はそれぞれの磁束密度で 10 回である。

(2) 磁束密度を一定にして、粘度を変化させ、①現れる図形の形状の数の割合と、②現れる図形の面積を測定した。

外部から加える磁束密度を、20、23、25、27、29、31、33、35、37、40 mT の 10 種類で実験を行った。粘度を 4 dPa・s と 10 dPa・s、19 dPa・s と変化させ、観察全領域内で現れるさまざまな形状の図形の数を集めて、全図形の中で占める割合を求めた。ここでは、図形にならない領域の面積は測定しなかった。また、それぞれの形状の図形を無作為に 5 つずつ抽出し、それらの面積を測定した。実験回数はそれぞれの粘度で 10 回である。

C. 得られた結果

(1) 粘度を一定にして、磁束密度を変化させる実験

① 磁束密度と現れる図形の形状の数の割合

ラビリンスパターンは、磁束密度を変化させると、一般に円形→6角形→5角形+7角形の順に出現した。5角形と7角形は、6角形の崩壊と同時に形成されるが、それぞれの個数に規則性や関連がないため、5角形と7角形の合計数を数えた。さまざまな磁束密度において出現する図形の形状が全体に占める割合を 図5～図7 に示す。それぞれの図形の割合は連続的に変化した。

粘度 19 dPa・s 層では、20 mT から 40 mT にかけて、ラビリンスパターンはその形状が連続的に変化する。しかし粘度の低いヘレショウセル層で形成されるラビリンスパターンに高い磁束密度を加えると、隣接するラビリンスパターンと結合して線状となり崩壊する。10 dPa・s では 40 mT 付近の磁束密度では測定範囲で一部分のみに崩壊がみられる。4 dPa・s 層では 25 mT より大きい磁束密度で、ラビリンスパターンは完全に崩壊し、観察が不可能であった。

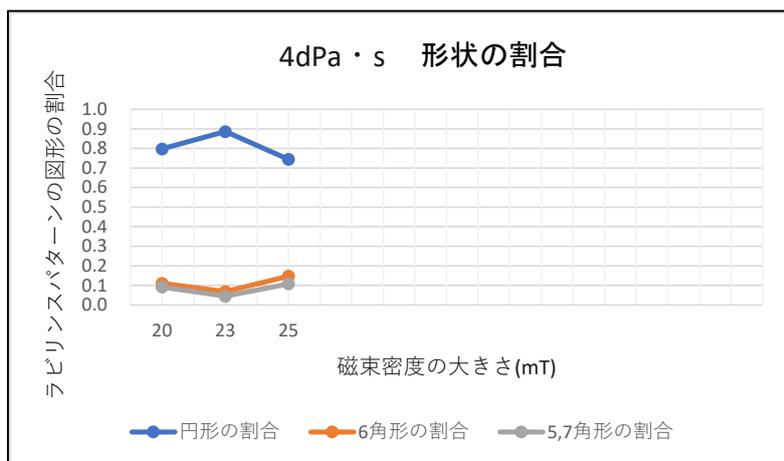


図5 磁束密度と 4 dPa・s 層のラビリンスパターンの形状が全体に占める割合の関係
相関係数：円は-0.2627、6角形は0.3629、5角形+7角形は0.1375

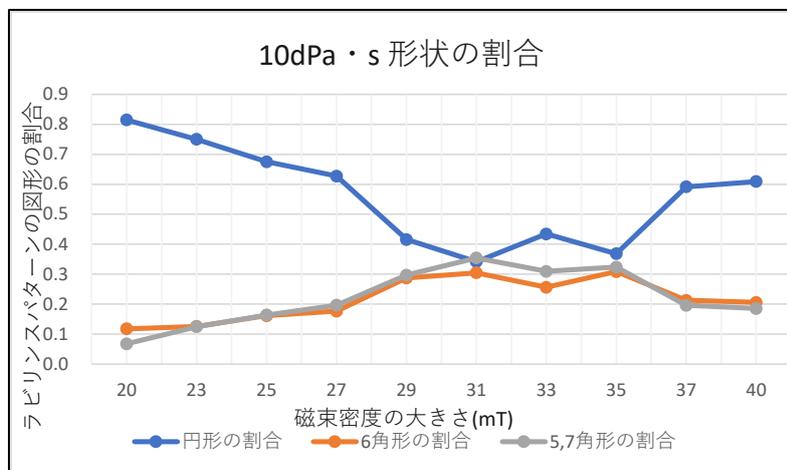


図6 磁束密度と 10 dPa・s 層のラビリンスパターンの形状全体に占める割合の関係
相関係数：円は-0.5661、6角形は0.6062、5角形+7角形は0.5281

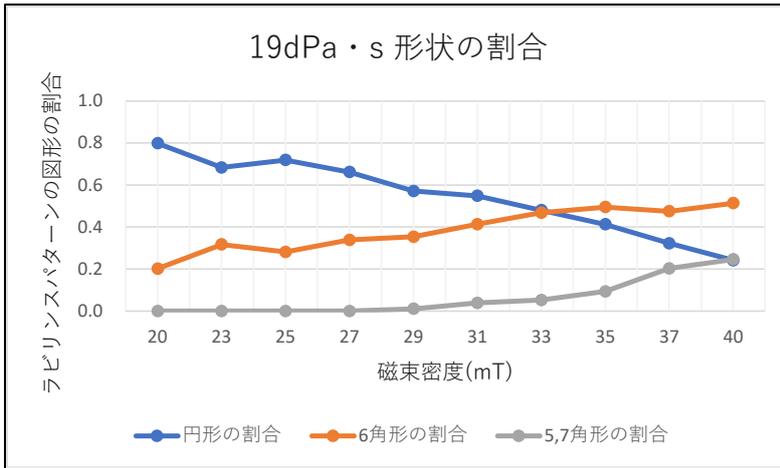


図7 磁束密度と 19 dPa・s 層のラビリンスパターンの形状が全体に占める割合の関係
 相関係数：円は-0.9847、6角形は0.9633、5角形+7角形は0.8724

② 磁束密度と現れる図形の面積の関係 (図9～図11)

4 dPa・s 層では、25 mT より大きい磁束密度を磁性流体に加えるとラビリンスパターンが形成されず、ヘレショウセル内全体に磁性流体が広がってしまい観察が不可能であった(図8)。4 dPa・s では磁力と図形の面積の間に相関がみられず、10 dPa・s では31 mT までは面積の減少の傾向がみられ、それ以上の磁束密度では横ばいとなった。19 dPa・s では31 mT で5角形と7角形が生じ、その後40 mT まで面積の減少の傾向がみられた。すべての粘度で5角形より7角形の方が面積が大きかった。



図8 ラビリンスパターンの形状が安定しない (4 dPa・s、25 mT)

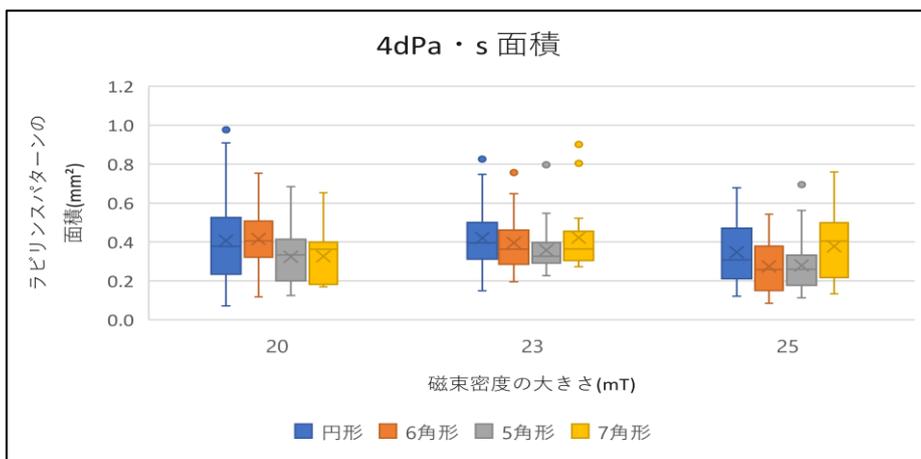


図9 4 dPa・s 層に現れるラビリンスパターンの面積 (×：平均値、横棒：中央値)
 相関係数：円は-0.1172、6角形は-0.3662、5角形は-0.1528、7角形は0.1059

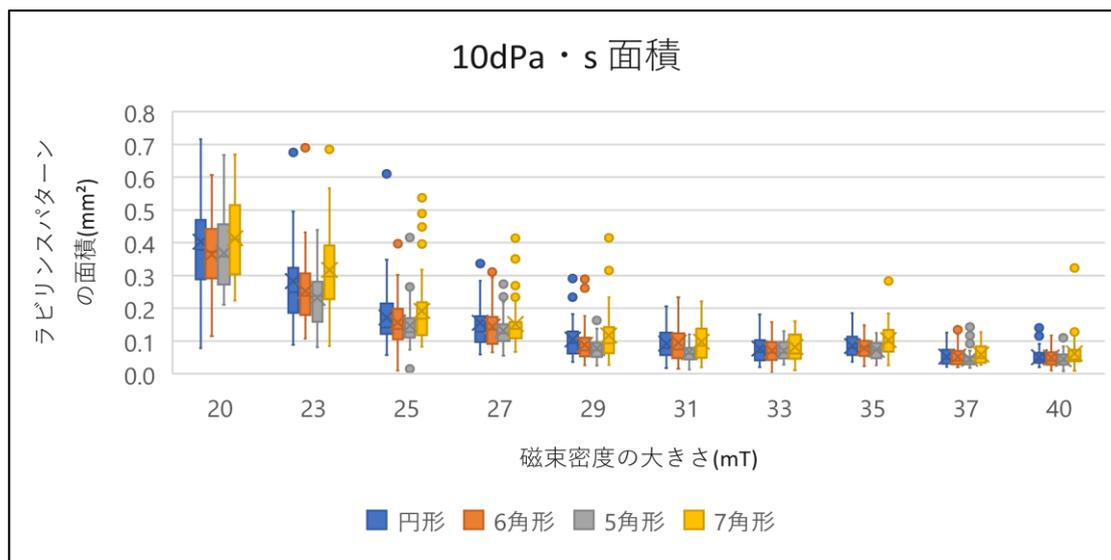


図 10 10 dPa・s 層に現れるラビリンスパターンの面積 (×：平均値、横棒：中央値)
 相関係数：円は-0.6824、6角形は-0.7365、5角形は-0.7506、7角形は-0.7007

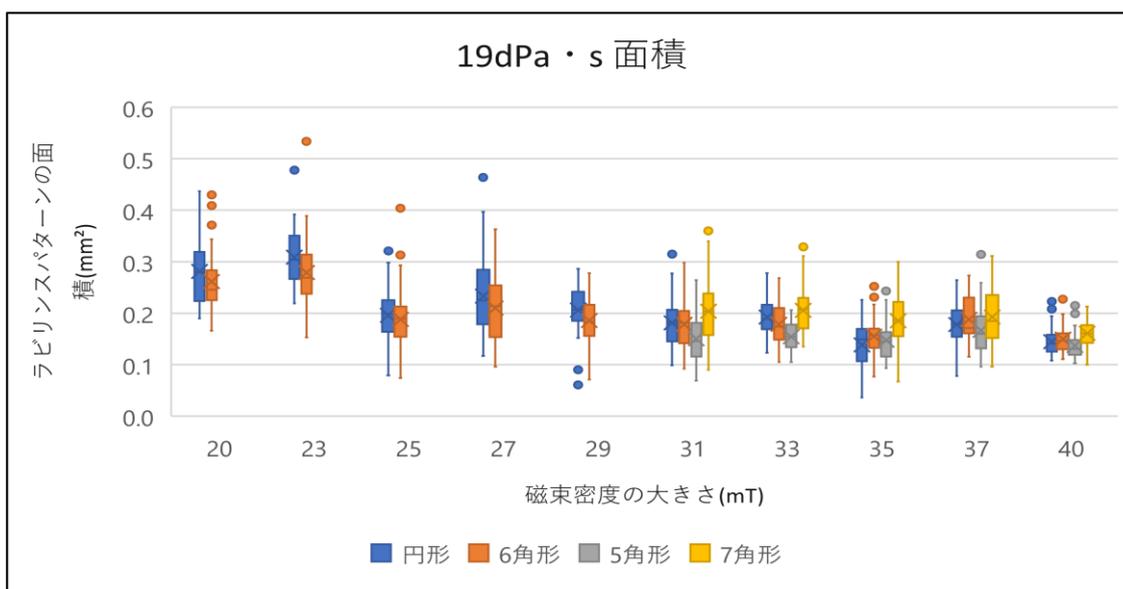


図 11 19 dPa・s 層に現れるラビリンスパターンの面積 (×：平均値、横棒：中央値)
 相関係数：円は-0.6207、6角形は-0.5132、5角形は-0.0680、7角形は-0.2904

③ 形状が変化する臨界磁力 (図 12～図 14)

形状が変化する臨界磁力は、粘度によって異なった。円形、6角形、5角形+7角形が形成される臨界磁力を示す。

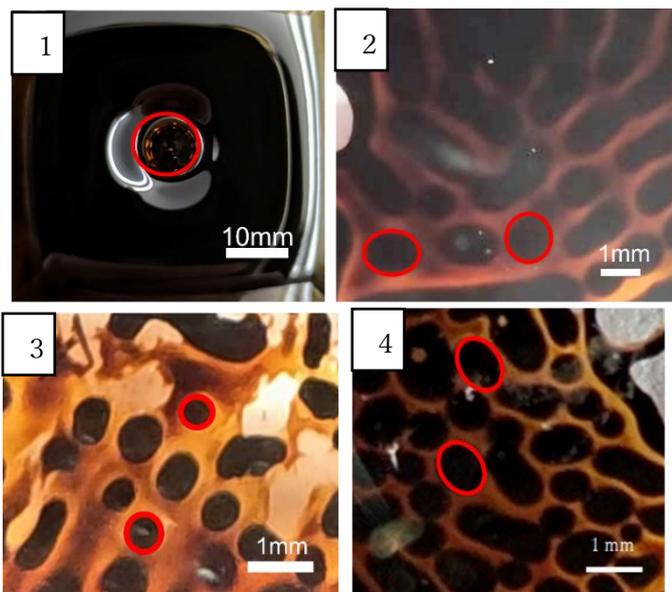


図 12 円形が形成される立体スパイクとラビリンスパターンの臨界磁力

- 1 : 立体スパイク 14.7 mT
- 2 : 4 dPa・s 層のラビリンスパターン 13.0 mT
- 3 : 10 dPa・s 層のラビリンスパターン 15 mT
- 4 : 19 dPa・s 層のラビリンスパターン 17 mT

図 13 六角形が形成される立体スパイクとラビリンスパターンの臨界磁力

- 1 : 立体スパイク 17.6 mT
- 2 : 4 dPa・s 層のラビリンスパターン 15 mT
- 3 : 10 dPa・s 層のラビリンスパターン 17 mT
- 4 : 19 dPa・s 層のラビリンスパターン 23 mT

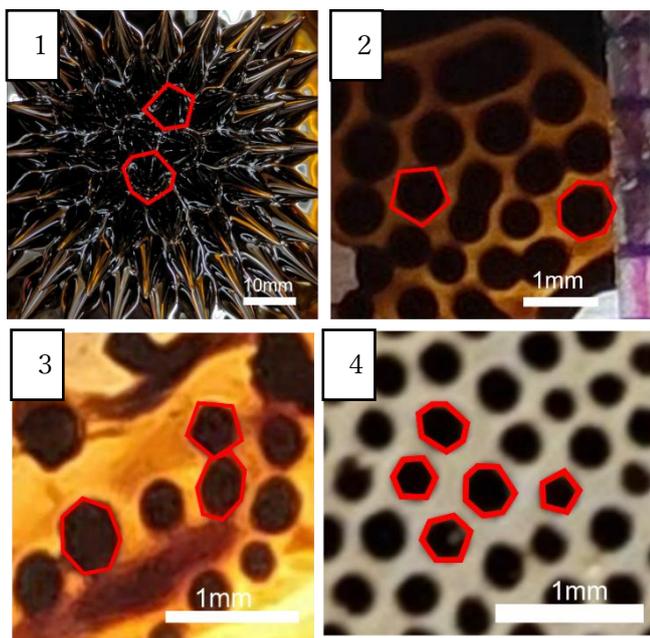
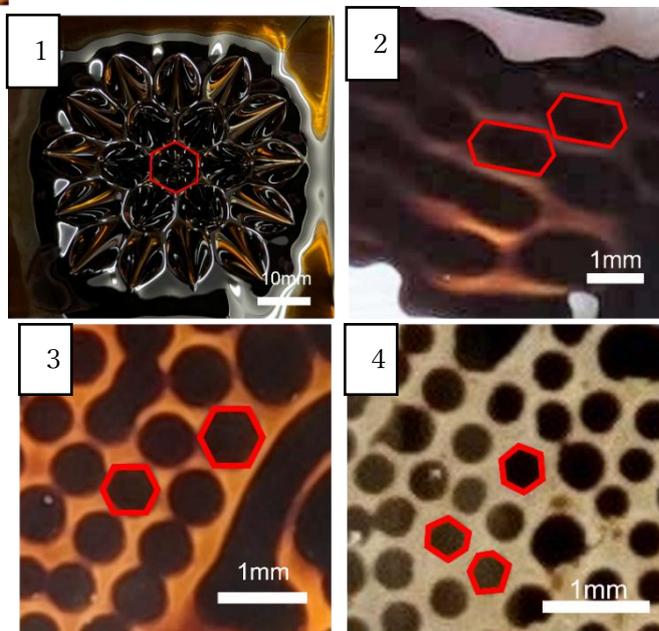


図 14 五角形と七角形が形成される立体スパイクとラビリンスパターンの臨界磁力

- 1 : 立体スパイク 26.4 mT
- 2 : 4 dPa・s 層のラビリンスパターン 17 mT
- 3 : 10 dPa・s 層のラビリンスパターン 19 mT
- 4 : 19 dPa・s 層のラビリンスパターン 37 mT

(2) 磁束密度を一定にして、粘度を変化させる実験

① 粘度と現れる図形の形状の数の割合

同じ磁束密度で、粘度を変化させたときに現れる図形の割合を図 15 に示す。磁束密度が 20 mT と低い時には、粘度が変わっても円形の割合は変わらず、六角形の一部が壊れて五角形や七角形を生じる。磁束密度が 23 mT のときには、粘度の高まりにつれて、円形が崩れて六角形の割合が増える。しかし 25 mT になると再び粘度の変化に対して円形の割合はほぼ一定になる。一方、粘度が 4 dPa・s や 10 dPa・s のように低い時には、六角形が崩れてできる五角形や七角形の割合が高まり、19 dPa・s になると六角形で安定して五角形や七角形は現れにくくなる。

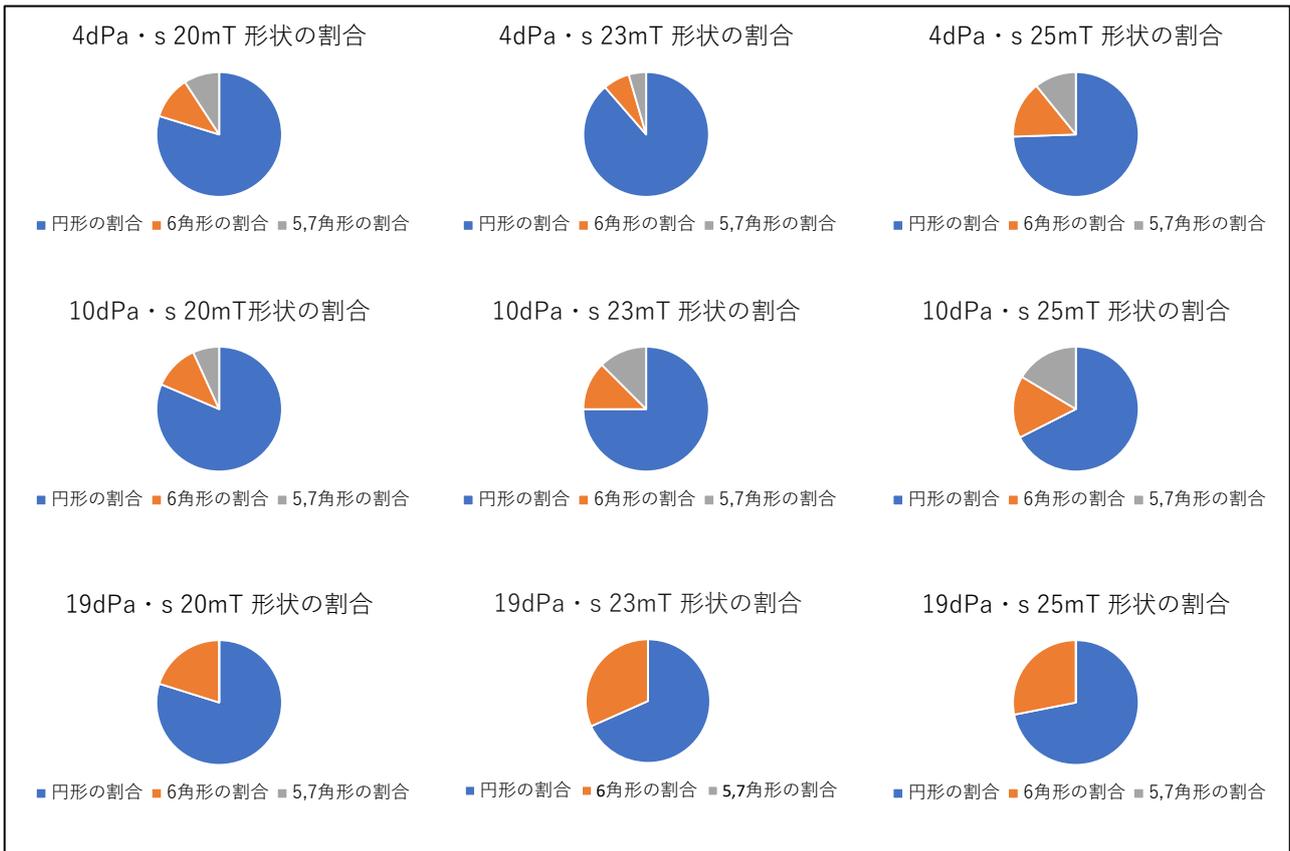


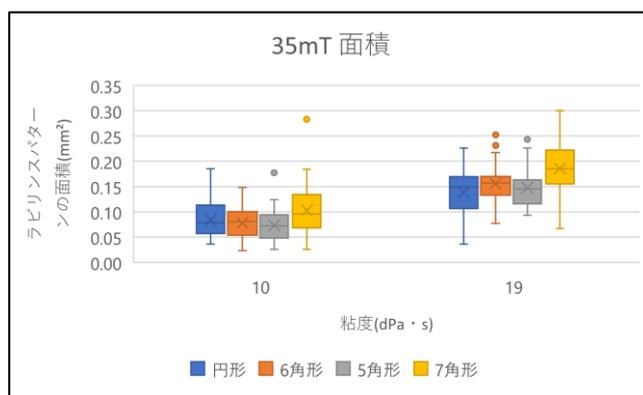
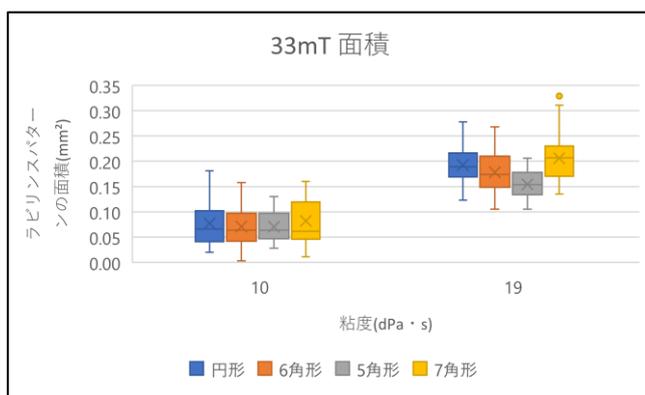
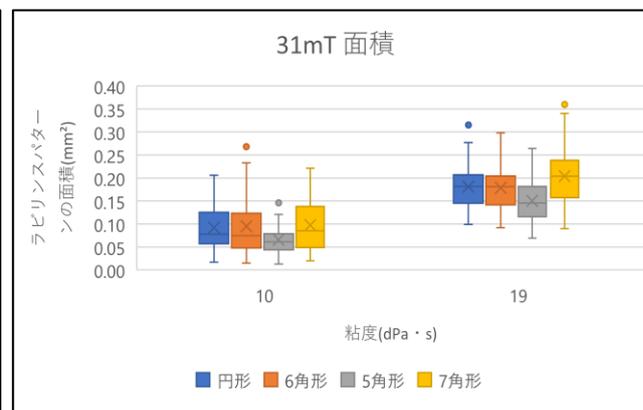
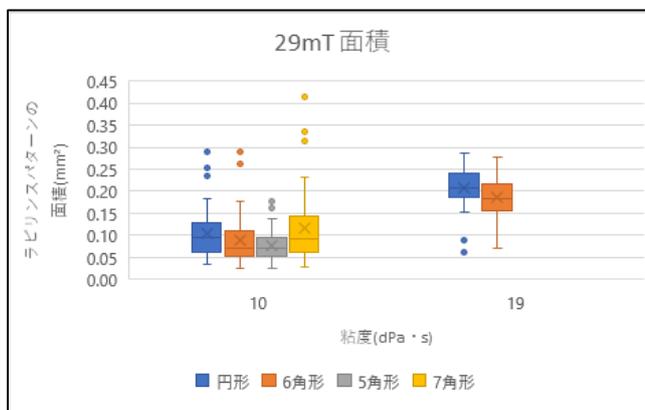
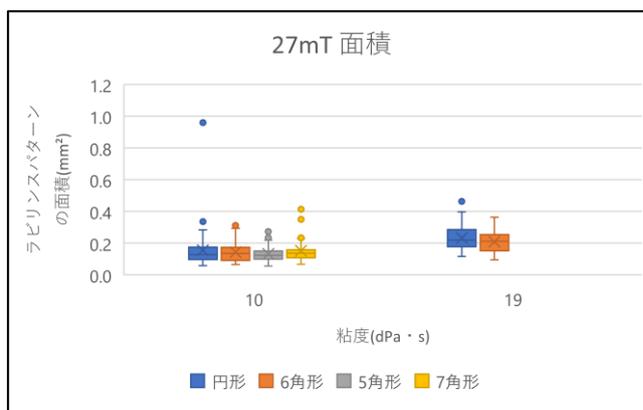
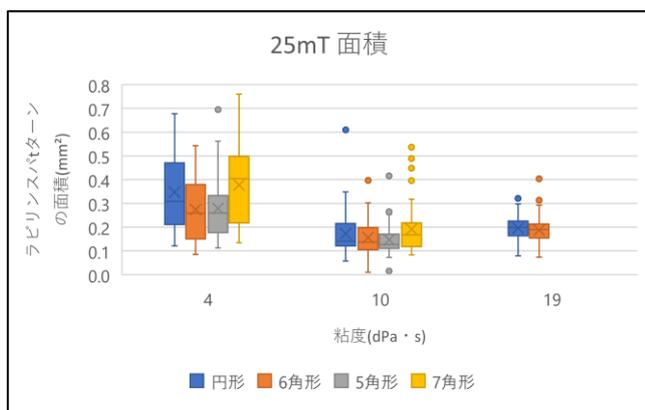
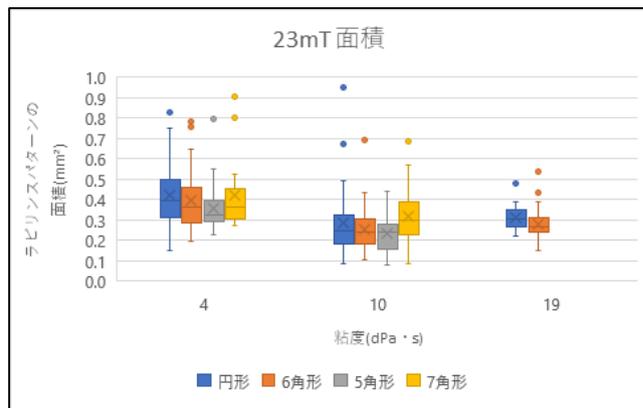
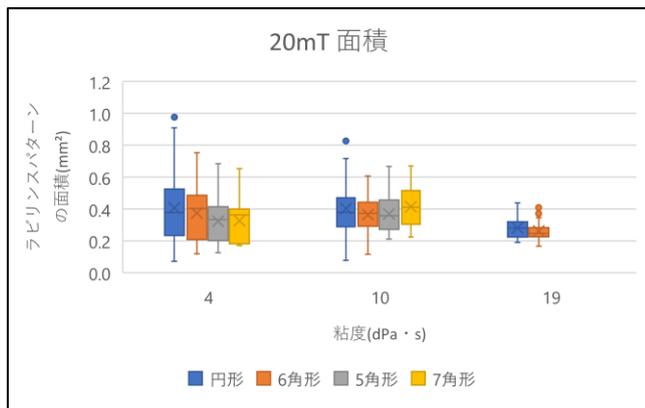
図 15 同じ磁束密度で、粘度を変化させたときに現れる図形の割合

② 粘度と現れる図形の面積の関係

図 16 にそれぞれの磁力で、粘度を変えたときに現れる図形ごとの面積を示した。磁束密度が小さいと (29 mT まで)、粘度が 19 dPa・s でも五角形や七角形が現れないが、31 mT 以上になると、粘度が 19 dPa・s であっても五角形や七角形が現れるようになり、10 dPa・s で現れる図形よりも面積は大きくなる。実験を行ったすべての粘度で、五角形よりも七角形の方が面積が大きくなる傾向が見られた。五角形と七角形は隣接して一辺を共有して形成されることが多く、等しい辺を持つ五角形と七角形では七角形の方が面積が大きい

相関係数は、円は 20 mT~40 mT までで -0.3164, -0.2984, -0.4065, -0.3437, 0.7034, 0.6910, 0.5678, 0.8778, 0.8756 と変化する。六角形は -0.4173, -0.3211, -0.2803, 0.4460, 0.6859, 0.5952, 0.8292, 0.7746, 0.8791, 0.8692 と変化し、五角形は 0.1844, -0.5444, -0.5691, 0.7335, 0.8306, 0.7385, 0.8541, 0.8873 (27 mT と 29 mT はデータが少なく値を出せない)、七角形は 0.3113, -

0,3118、-0,5776、0,6805、0,8289、0,6495、0,8491、0,7947 と変化した (27 mT と 29 mT はデータが少なく値を出せない)。



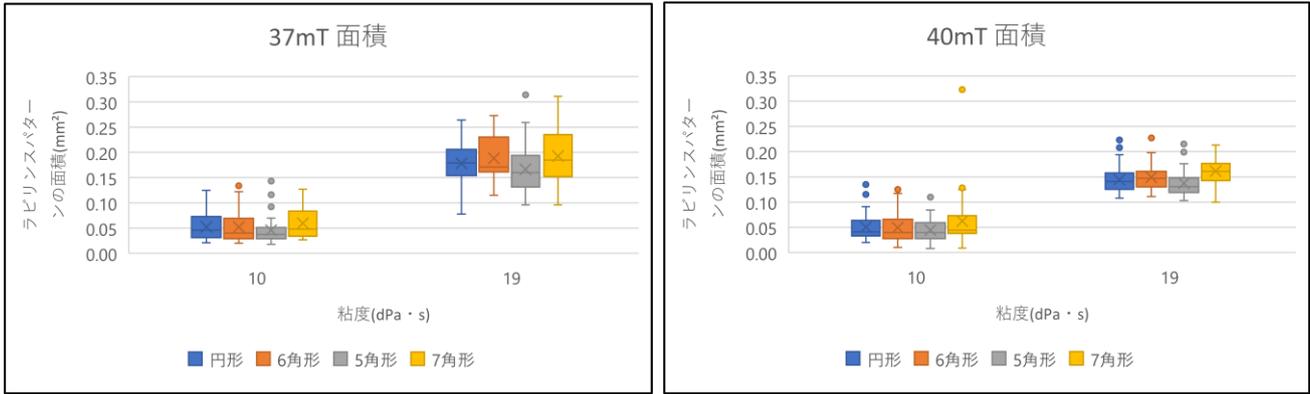


図 16 磁束密度ごとのラビリンスパターンの粘度と面積の関係

D. 考察

ヘレシヨウセル層の磁性流体の粘度が $4 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ では、 13 mT で円形が、 15 mT で六角形が、 17 mT で五角形や七角形のラビリンスパターンが形成された。 $10 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ では、 15 mT で円形が、 17 mT で六角形が、 19 mT で五角形や七角形が形成された。層の粘度が $19 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ では、 17 mT で円形が、 23 mT で六角形が、 37 mT で五角形と七角形のラビリンスパターンが形成された。このことは、形状が変化する臨界磁力は、ヘレシヨウセル層を形成する磁性流体に加えたポリビニルアルコールの粘度が低いほど小さいことがわかる。ラビリンスパターンの形状変化の力学的な原理として、①磁性流体に外部磁力を加えた際に内部の磁性ナノ粒子が同一方向の磁気モーメントを持つ、②その間で発生する斥力が隣接するラビリンスパターンを互いに斥け合う、③磁束密度を大きくするに従い斥力も大きくなり、ラビリンスパターンが安定した形状を取ろうとする、が知られている。ヘレシヨウセル層の磁性流体の粘度の変化は、このうち②に影響を与えていると考えられる。ヘレシヨウセル層の粘度が低下したことにより、ラビリンスパターンの層内での流動性が増して、隣接するラビリンスパターン間で発生する斥力の影響を受けやすくなるため、低粘度層の形状変化の臨界磁力が小さくなったと考えられる。

磁性流体層の粘度の違いによって形成されるラビリンスパターンの面積は、 $4 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ では相関がない。 $10 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 、 $19 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ では、磁性流体に加える磁束密度が大きくなると、形成されるラビリンスパターンの面積が減少する傾向が見られた。ラビリンスパターンの図形が次々と崩れて、ひとつひとつの面積が小さくなっていくにつれて、面積の減少幅も小さくなり、 $10 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ では 31 mT 以降で横ばいとなった。

粘度 $19 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 層では、 20 mT から 40 mT にかけて、ラビリンスパターンはその形状が連続的に変化するが、粘度の低いヘレシヨウセル層では、隣接するラビリンスパターンと結合して崩壊する。磁性流体に加える磁束密度を大きくするにつれて、ラビリンスパターン間に作用する斥力は大きくなる。粘度の高い層の内部では、ラビリンスパターン間の斥力大きくなって層の内部でラビリンスパターンは緩やかに形状変化が進行するが、層の粘度が低下すると、斥力の影響を受けたラビリンスパターンが層を押す力が、層がラビリンスパターンを支える力を上回ってしまう。こうして、隣接するラビリンスパターンと結合し、層内の磁性流体の表面張力の合力が大きくなった結果、ラビリンスパターンは層内部で崩壊すると考えられる (図 17)。

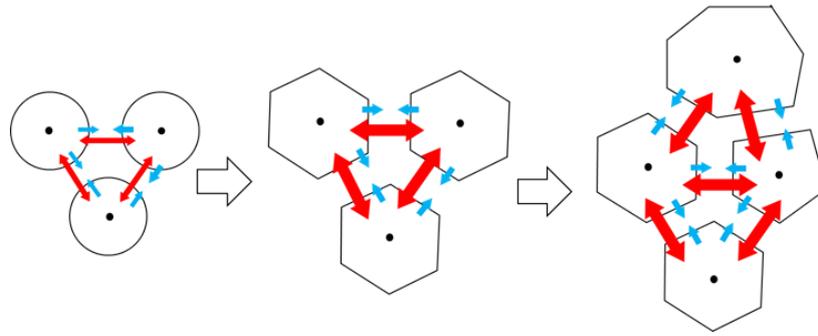


図 17 ラビリンスパターンの形状変化のモデル図
赤：ラビリンスパターン間の斥力、青：表面張力

E. 結論

磁性流体をヘレシヨウセルにすることで、詳細な磁性流体の性質が明らかになった (表 1)。

表 1 磁性流体の粘度と磁束密度の関係

	粘度大	粘度小
磁束密度大	図形の面積は小さい 円の割合が低い 6、5、7角形の割合が増加する	図形が崩壊する
磁束密度小	図形の面積は大きい 円の割合が高い	小さい磁束密度で崩壊する 図形の面積は大きく円の割合が高い

立体的なスパイクについて、ある条件下では4角形の底面のスパイクが現れるという報告⁽⁴⁾があるが、その形成条件やメカニズムはまだ明らかにされていない。筆者らによるラビリンスパターンを用いた実験においても、4角形のラビリンスパターンは観察されなかった。本研究で4角形が現れなかったことは、磁性流体の粘度や流動性は4角形の出現に影響していないと考えられる。現在、立体スパイクの実験に戻り、4角形底面の立体スパイクや4角形のラビリンスパターンの形成条件を明らかにしようとしている。また低粘度で高磁束密度でのラビリンスパターンの崩壊については、隣接するラビリンスパターン間に働く斥力の大きさの測定を行うとともに、粘度による層の耐久性を明らかにして、ラビリンスパターン崩壊の具体的な条件を明らかにしたいと考えている。

F. 謝辞

本研究を継続的に行う中で、本校科学部主顧問の川勝和哉教諭には、考察において有益な助言と議論をいただいた。ここに記して謝意を表する。

G. 参考文献

- (1) M.Cowley and R.Rosensweig. 「Interfacial Stability of a Ferromagnetic Fluid」. J.Fluid Mech, 1967, 30, pp671-688.
- (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, 2023, 62, pp809-811.
- (3) 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. 「外部磁場による磁性流体のスパイク形成の条件」. まてりあ, 2025, 64, pp398-400.
- (4) 福田芳行, 堂原教義. 「磁性流体の界面変形現象に関する研究」. 日本機械学会論文集 B 編, 2000, 66, 651, pp2891-2898.

Elucidating the Relationship between the Viscosity of Magmatic Fluids and Magnetic Flux Density using Labyrinth Patterns

Hyogo Prefectural Himeji Higashi Senior High School Science Club

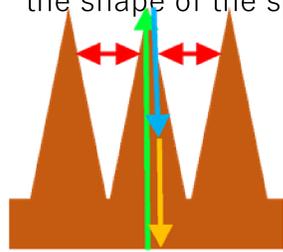
Sota Okado Shugo Maeda Ryunosuke YAO Tsukasa MAEKAWA Syo NAGAI Ryo IIDA Zen ISHII Advisor : Kazuya KAWAKATSU

Keyword Spike, Critical magnetic field, Hele-shaw cell, Labyrinth pattern

Experimental results

Research background

- When the magnetic field applied to a ferrofluid exceeds the critical value, the magnetic forces, surface tension, and gravity on the surface of the magnetic fluid balance each other, forming spikes.
- The shape of the labyrinth pattern generated when a magnetic field is applied to a Hele-Shaw cell-like magnetic fluid closely matches the shape of the spike bases and their change trends (Figure 2).



Represents the direction of forces;
the magnitudes are not exact.
Red: repulsive force between spikes,
Green: attractive force between magnetic nanoparticles,
Blue: surface tension,
Yellow: gravity

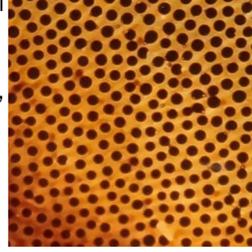


Figure1 Spike model diagram

Figure2 Labyrinth pattern

Research objective

We hypothesized that the viscosity of Hele-shaw cell's polyvinyl alcohol (PVA) is related to changes in shape, and we attempted to clarify this relationship. Additionally, we sought to elucidate find clarify the relationship between changes in viscosity and the number and size of labyrinth patterns. **We conducted the study with the aim of clarifying these relationships.**

Experimental Method

(1) Measurement of changes in magnetic flux density, ratio of shape geometry, area, and critical magnetic force

The viscosity of PVA was fixed at 4, 10, and 19 dPa·s, and experiments were conducted by varying the magnetic flux density applied with a coil in 10 levels: 20, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, and 40 mT. Throughout the entire observation area

- Shape ratio
- Area of a Shape
- Critical Magnetic Force for Shape Change

were measured. ② In this step, five shapes were randomly selected from the figures that allowed the determination of the shapes of the entire observation area, and their areas were measured.

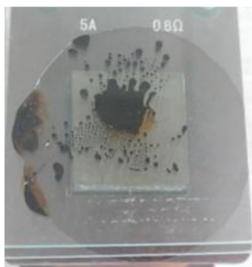


Figure3 Hele-shaw cell



Figure4 Experimental apparatus

(2) Measurement of changes in viscosity and the ratio and area of the shape

The magnetic flux density applied by the coil was fixed at 20, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, or 40 mT, and experiments were conducted by varying the viscosity of PVA between three values: 4, 10, and 19 dPa·s.

- Shape ratio
- Area of a spike shape

were measured. In ② shapes in discernible areas were randomly extracted one by one, and their areas were measured. (Measured a total of 300 times, 10 times each)

Future Challenges and Acknowledgments

Since the quadrilateral labyrinth pattern has not been observed, we plan to return to experiments with three-dimensional spikes to clarify the specific conditions for the formation and collapse of quadrilateral shapes. In conducting this research, we received valuable advice from Mr. Kazuya Kawakatsu, an advisor in the science department of our school. We would like to express our gratitude here.

References

- M.Cowley and R.Rosensweig, 1967. Interfacial Stability of a ferromagnetic Fluid, J.Fluid Mech, 30,671-688
- Misaki Shimura, Kaede Sugawara, Mayu Kageyama, and Risa Matsuda (Physics Research Group, Science Department, Himeji Higashi High School, Hyogo Prefecture). 2023. How does the shape of spikes in magnetic fluid change depending on the strength of an external magnetic field? Material, 62, 809-811
- Mayu Kageyama, Risa Matsuda, Ryo Iida, Susumu Ishii, Sho Nagai, Kenya Nakamura, Karen Fuji. Conditions for spike formation in magnetic fluids due to an external magnetic field. Material, 64, 398-400.
- Yoshiyuki Fukuda and Noriyoshi Dohara. 2000. Study on Interfacial Shape Change of Magnetic Fluids. Transactions of the Society of Mechanical Engineers, Series B, 66, 651, 2891-2898.

(1) Rate of change and shapes of magnetic flux density, area, and critical magnetic force

No correlation was observed at 4dPa·s. On the other hand, at 10dPa·s and 19dPa·s, the proportion of hexagons, pentagons and heptagons increased.

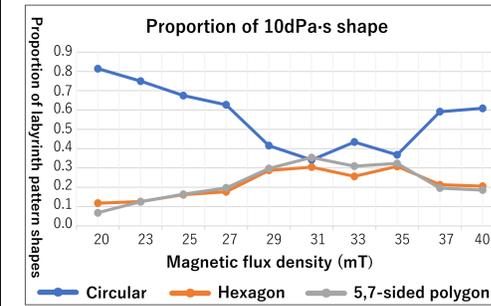


Figure5 Proportion of shapes with magnetic flux density and viscosity

In terms of area, at 4 dPa·s there was no correlation between magnetic flux density and changes in the areas occupied by each shape, while at 10 dPa·s and 19 dPa·s a decreasing trend in area was observed. At all viscosities, the area of the heptagon was larger than that of the pentagon. (Figure 6)

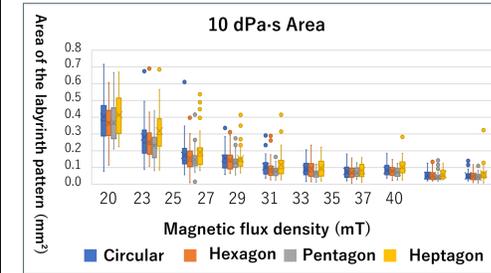


Figure 6 Area of labyrinth patterns at each viscosity

Table 1 Relationships between Viscosity and Critical Magnetic Force

	Three-dimensional	4dPa·s	10dPa·s	19dPa·s
Circle	14.7mT	13mT	15mT	17mT
Hexagon	17.6mT	15mT	17mT	23mT
Heptagon	26.4mT	17mT	19mT	37mT

(2) Measure changes in viscosity and the ratio

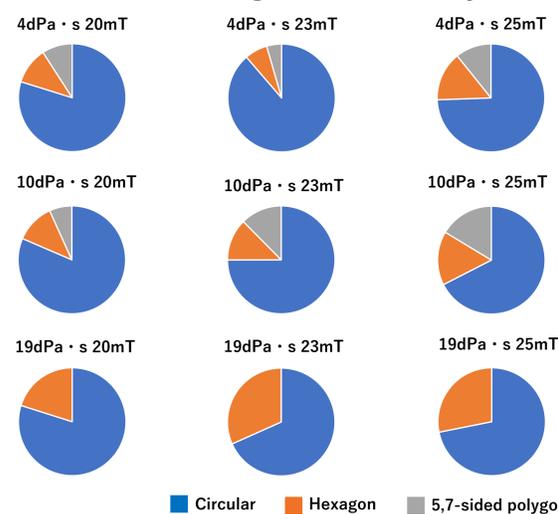


Figure 7: Proportion of shapes when viscosity is changed

《 Proportion of shapes 》
When the viscosity was increased to about 19 dPa·s at 20–25 mT, the 5- and 7-sided polygons disappeared. On the other hand, when the viscosity was changed to 4–10 dPa·s, the proportion of 5- and 7-sided polygons formed by the deformation of hexagons increased. (Figure 7)

Conclusion

Table 2 The relationship between the viscosity of magnetic fluids and magnetic flux density.

Magnetic flux density	Constant viscosity		Magnetic flux density	Constant magnetic flux density	
	High magnetic flux density	<ul style="list-style-type: none"> The area of each shape is small. Increase in hexagons, pentagons and heptagons 		<ul style="list-style-type: none"> The figure is collapsing The percentage of circular shape is low 	High viscosity
Low magnetic flux density	<ul style="list-style-type: none"> The area of each shape is large. The percentage of circular shape is low. 		Low viscosity	<ul style="list-style-type: none"> The area of each shape is small The figure is collapsing Increase in hexagons, pentagons and heptagons The percentage of circular shape is low 	

- In the low-viscosity layer, the fluidity of the magnetic fluid increases, making it more susceptible to the repulsive effects between adjacent labyrinth patterns, which is believed to lower the critical magnetic force for shape change.
- In low-viscosity layers, adjacent labyrinth patterns connect, and as the resultant surface tension increases, the shapes collapse.
- The lower the viscosity, the more rapidly the changes tend to occur.

植物の器官や組織に見られる規則的な配列はいつ決定されるのか

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

寺田悠哉 宮下翔真 武内美月 小田翔太郎

A. 研究目的

(1) 昨年度までの研究

筆者らは2020年から継続的に植物の組織や器官の配列の規則性について研究しており、サボテン（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）の刺座⁽¹⁾やトウモロコシの実の穎果や苞葉、校庭に自生しているアレチヌスビトハギやヒメムカシヨモギの葉が、いずれも頂端部を原点として、下方に向かって共有点で交差しながら左右に螺旋を描きながら配列していることを明らかにした⁽²⁾。これらの配列を座標として測定し、ImageJを用いて統計処理した結果、種や器官、組織を問わず、種固有の変数を持つ共通の螺旋方程式 $l = se^{tu} \times u(n-1)$ （原点から各座標点までの水平距離を1とする、 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い程小さくなる、 e ：ネイピア数 ≈ 2.71828 ）で一般化できる配列をもっていることを明らかにした⁽²⁾。また、サボテンの研究において、種ごとの変数の個性は遺伝子による系統樹の遠近に関係せず、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⁽¹⁾。

(2) 本年度の研究の目的（以降は本年度の研究）

このような螺旋方程式で示される組織や器官の配列は、いつ決定されているのだろうか。本研究では、エンドウマメとヒヨコマメの葉の螺旋配列の方程式を明らかにするとともに、成長途中で葉の螺旋配列は変化するか、あるいは最初から計画された螺旋方程式になるように配列していくのかを明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

透明カップを断面が見えやすいように縦に半分に切断し、カップの上端1か所に印をつけて基準点とした。バーク堆肥（土にリン酸とカリウム0.3%、窒素1%を加えたもの）を含む「花と野菜の土」を土壌とし、地表面から深さ1cmの位置に、エンドウマメ11個体とヒヨコマメ10個体を個別に植えて試料とした（図1）。恒温器内で太陽光の影響を与えないように直上から光を当てて、温度25℃、湿度65%で維持した。6月18日～7月10日までの23日間、毎日8:00と16:00の2回ずつ、1枚目の葉の葉腋（葉の付け根部分）と基準点からの角度 x を測定した。また、1枚目の葉の葉腋の位置を基準点に一致させ、ここから2枚目以降の葉の葉腋との角度 u を測定した（図2）。



図1 試料のようす

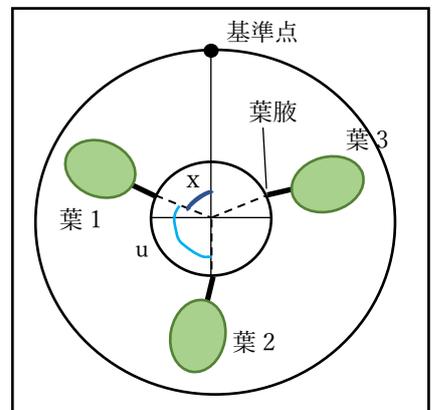
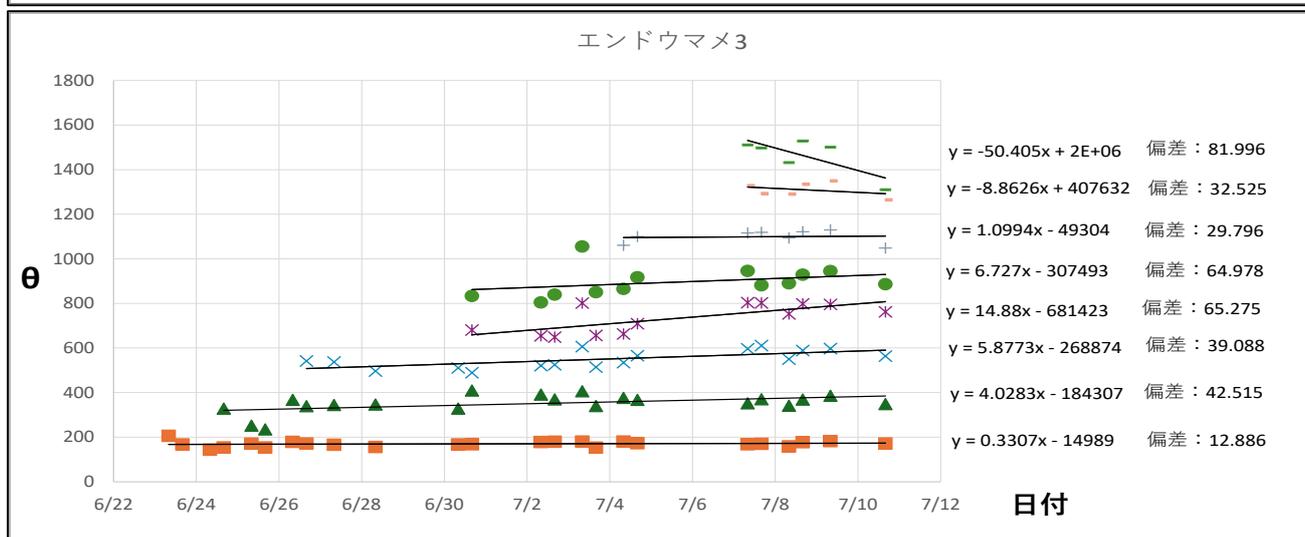
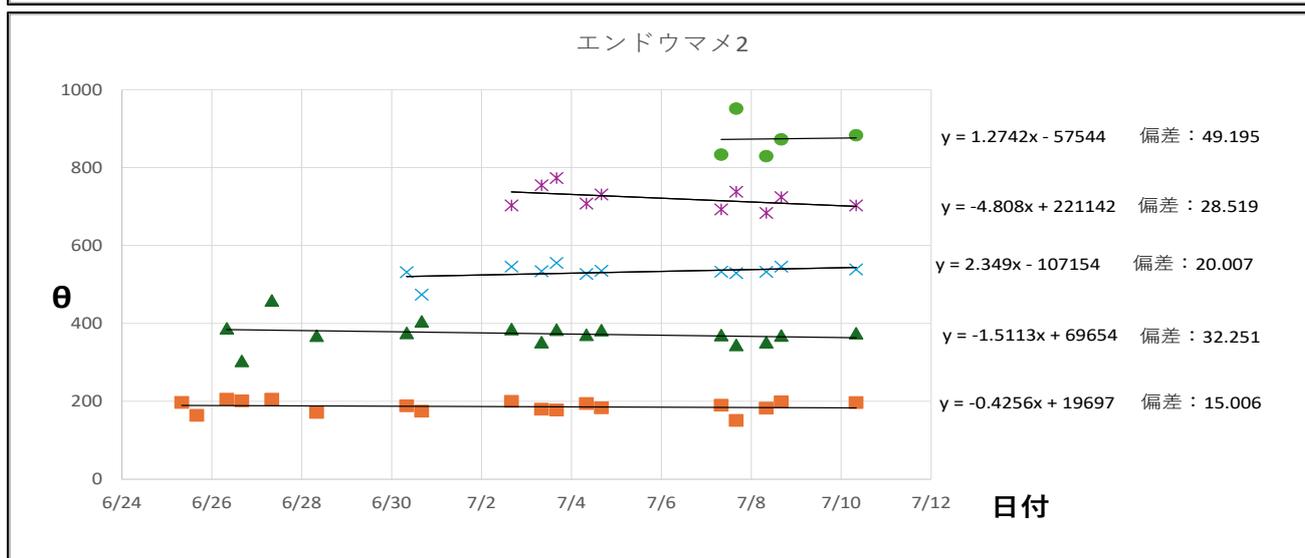
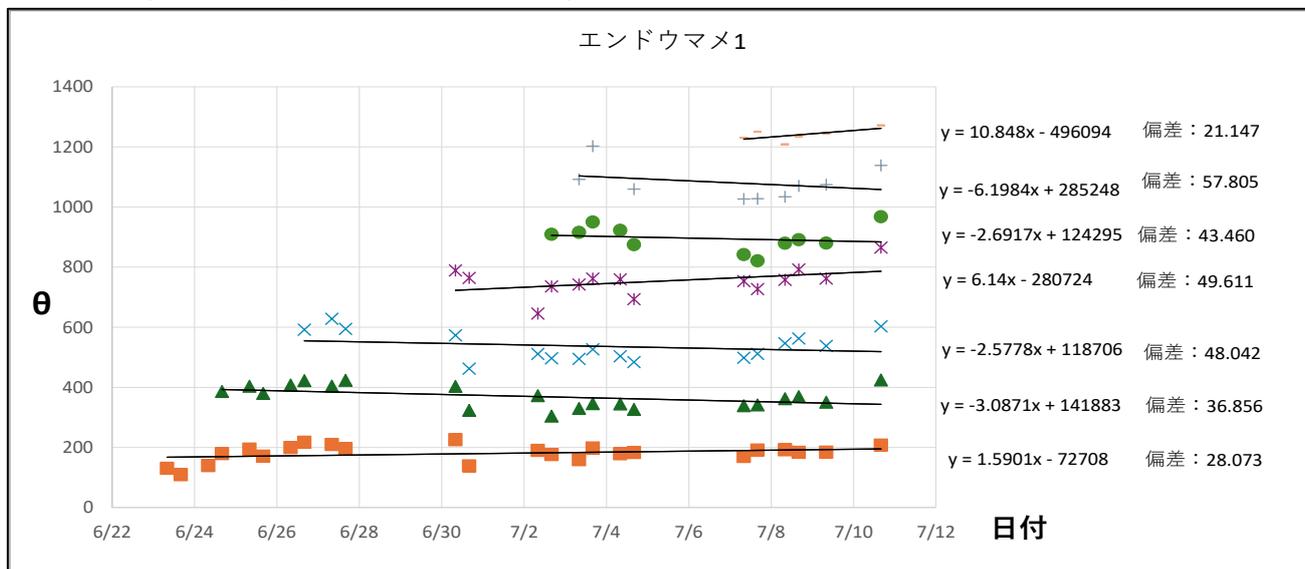
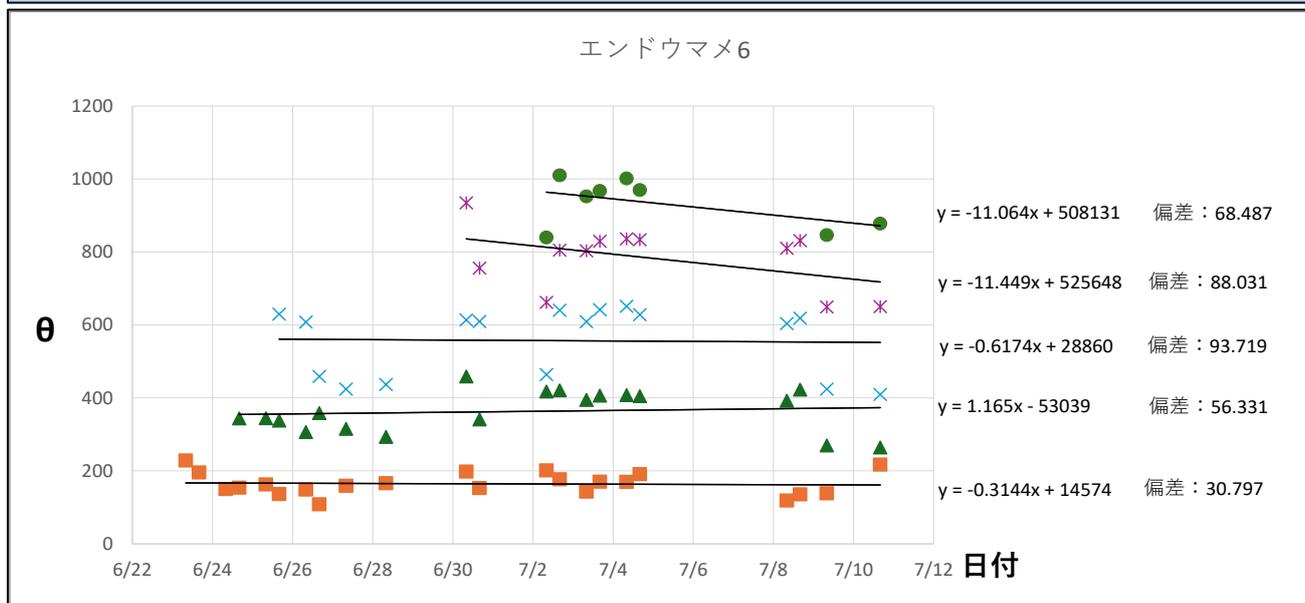
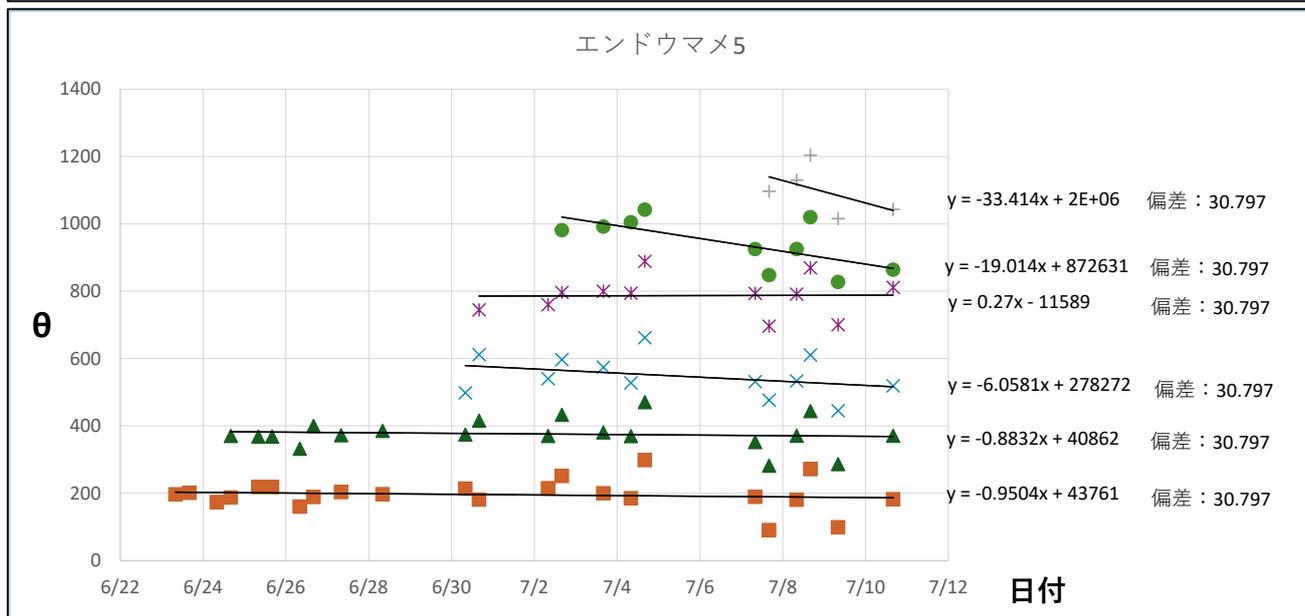
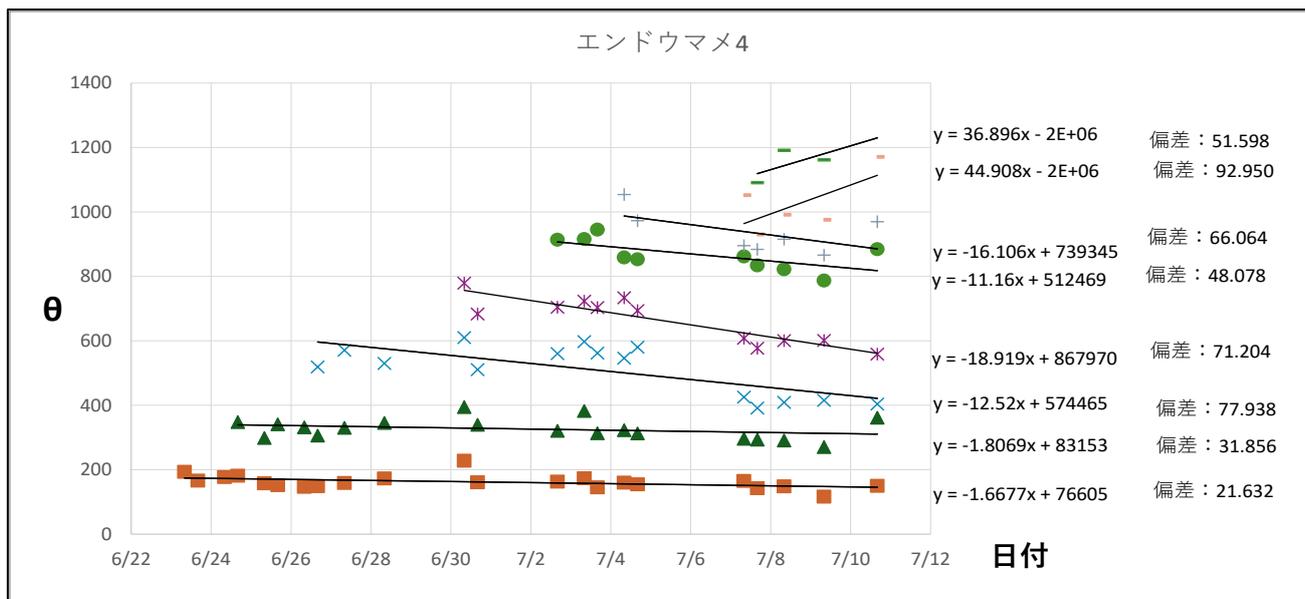


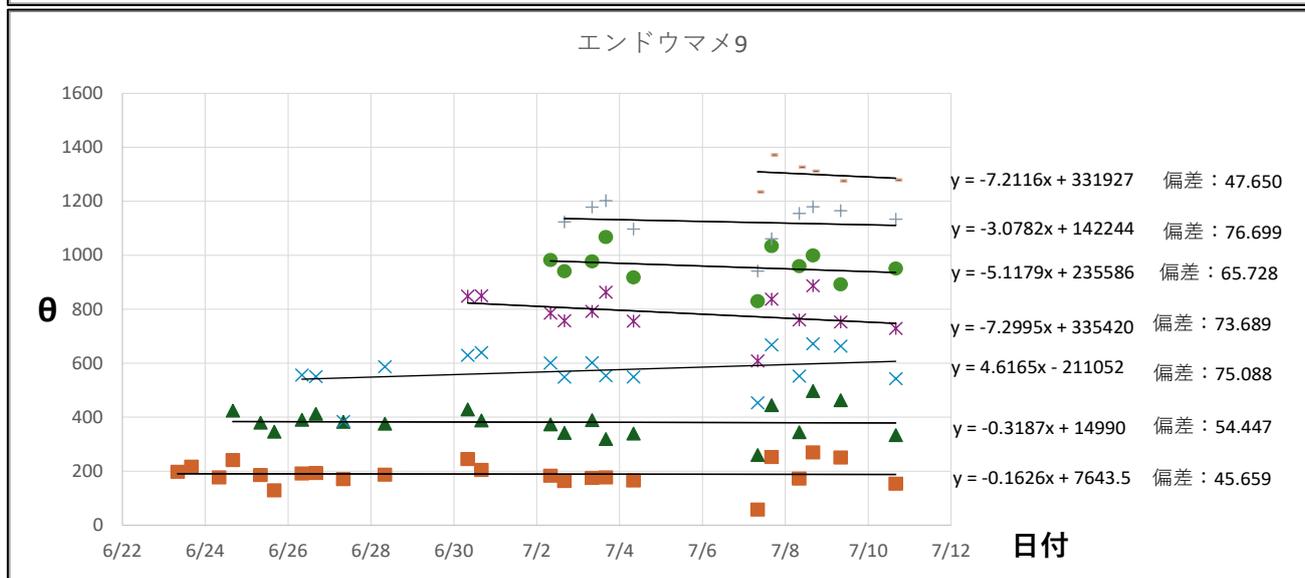
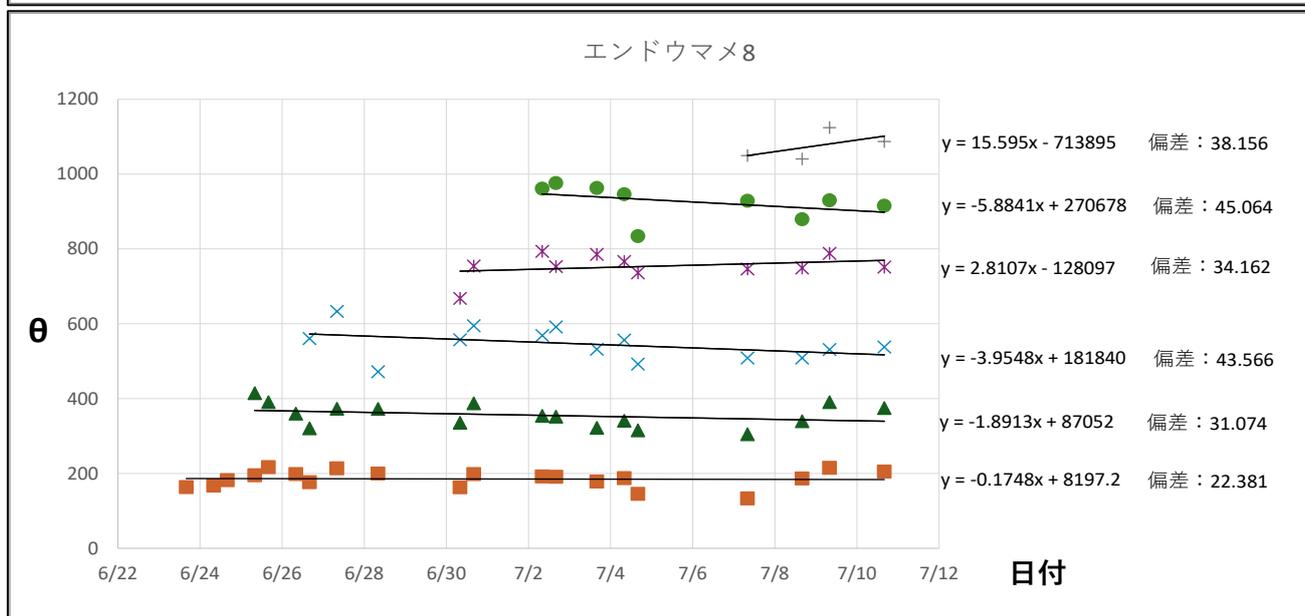
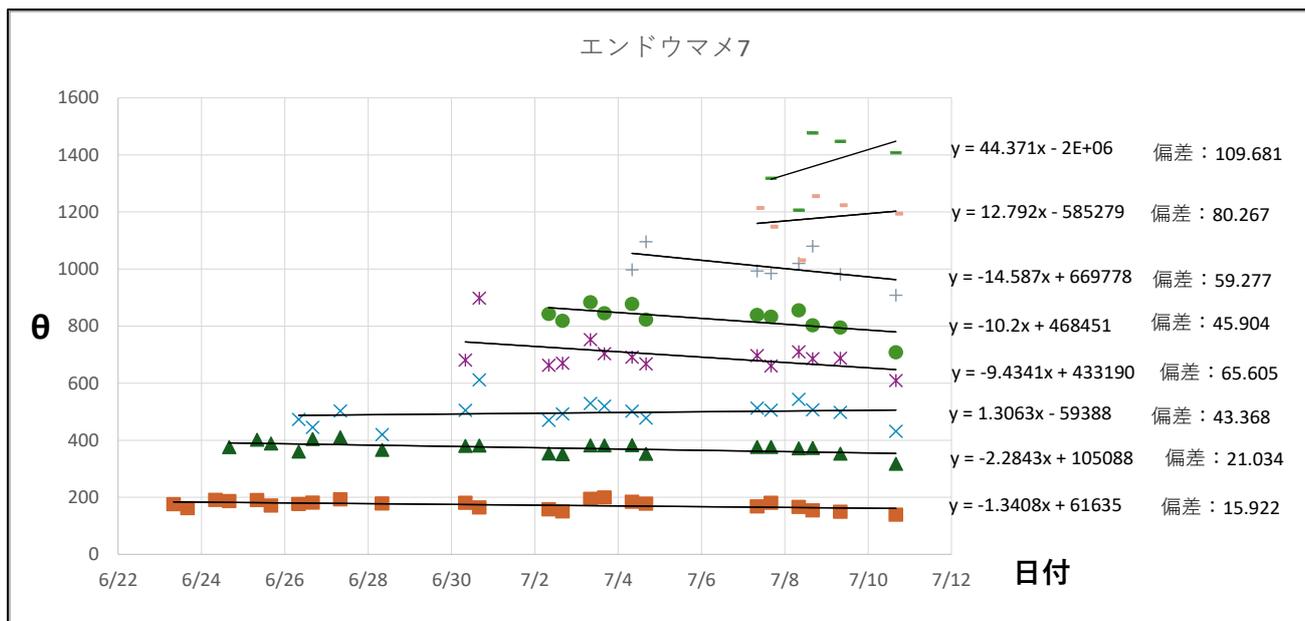
図2 座標としての測定角

C. 得られた結果

図3に、エンドウマメの隣接する葉ごとの水平面上で1枚目の葉の葉腋となす角度 θ を、図4にはヒヨコマメのそれを示す。エンドウマメもヒヨコマメも、成長して葉が増えても、1枚目の葉とのなす角度（隣接する葉のなす角度 u の累積） θ はほぼ一定の値を示す。







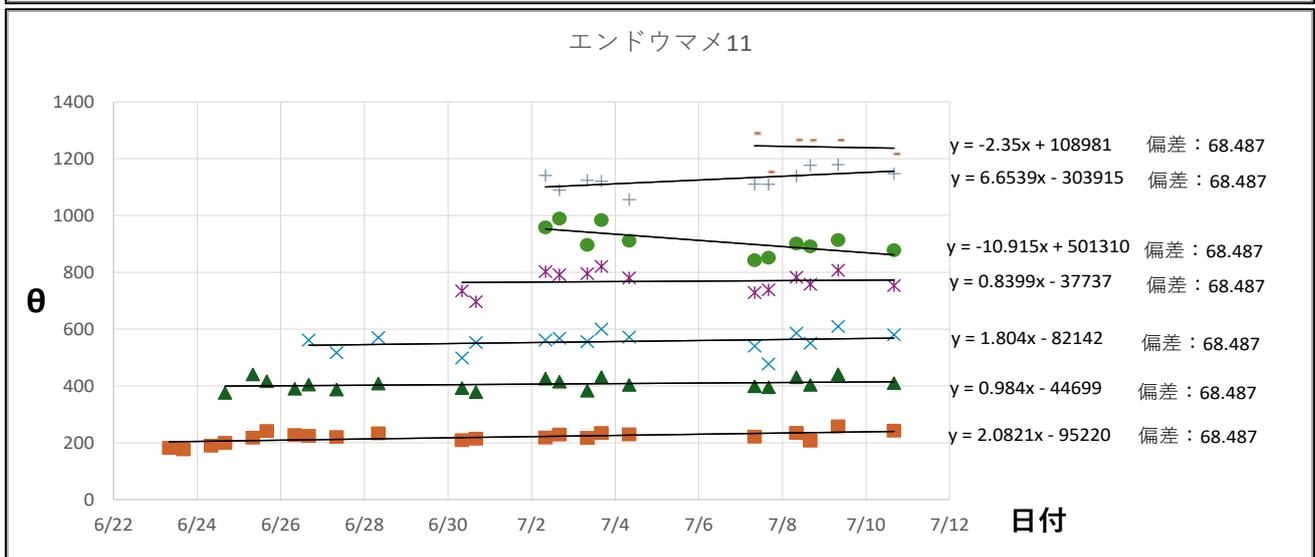
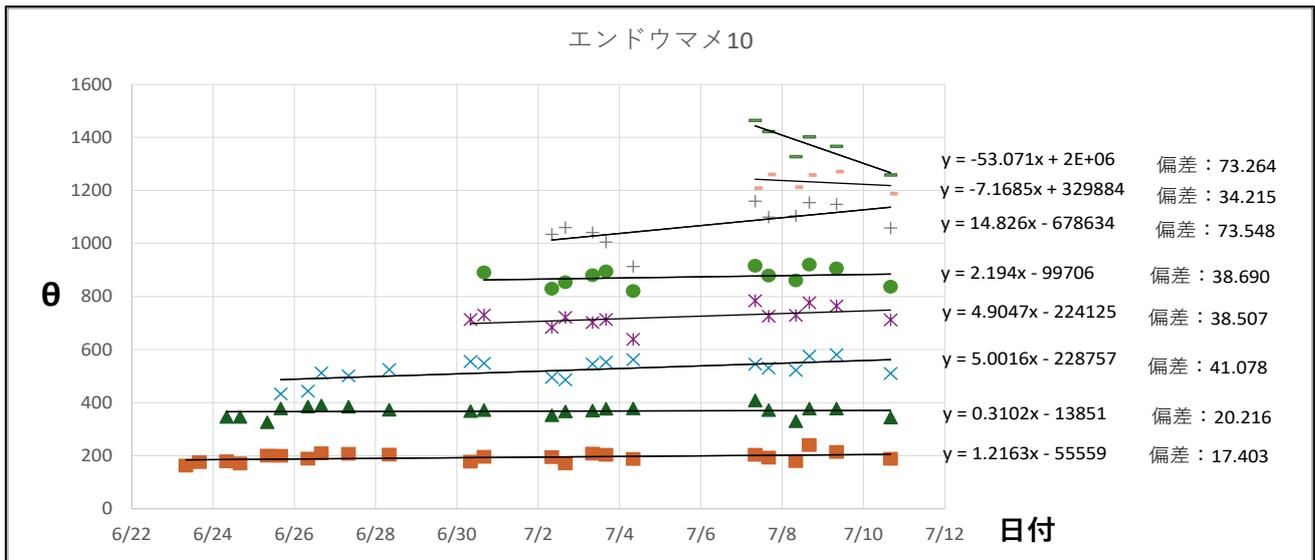
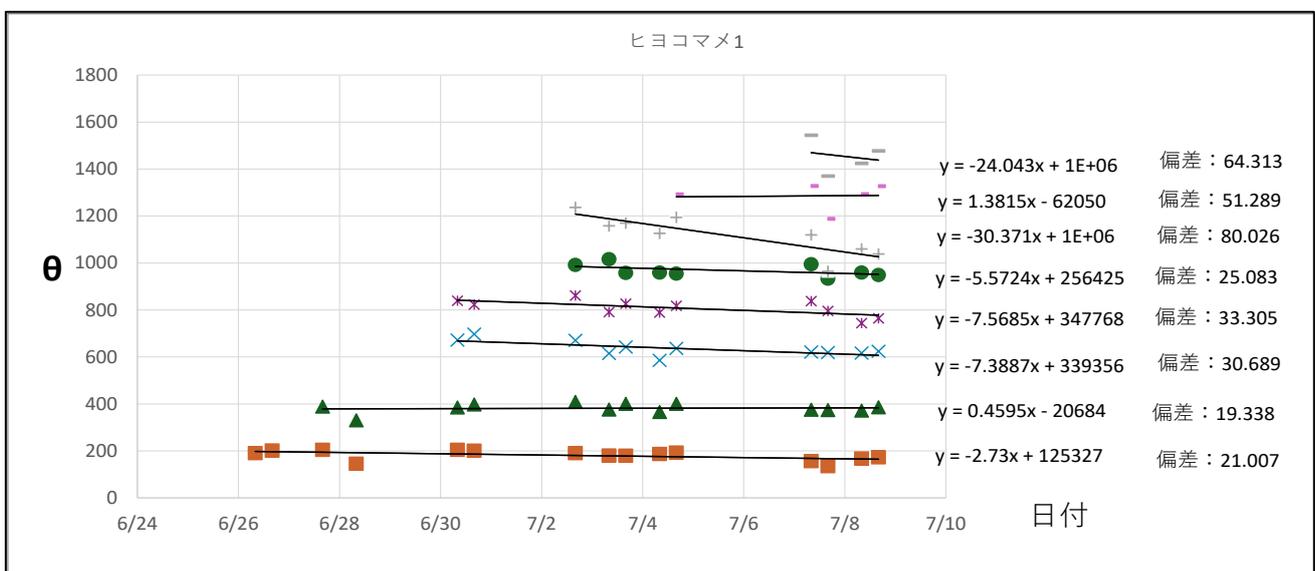
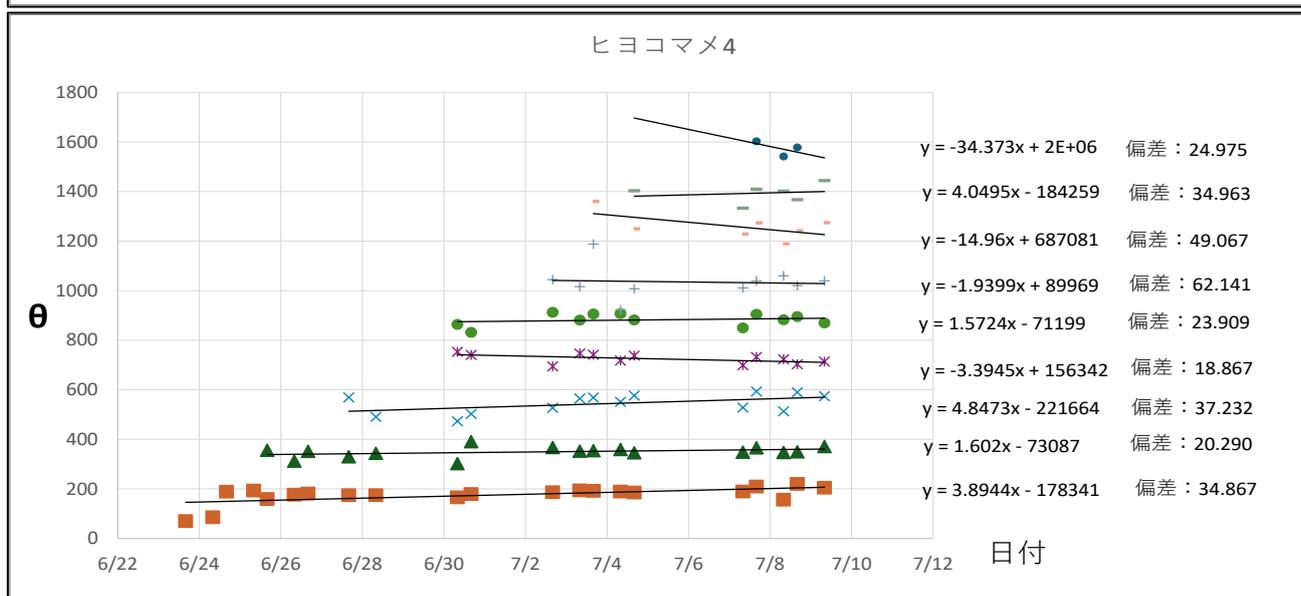
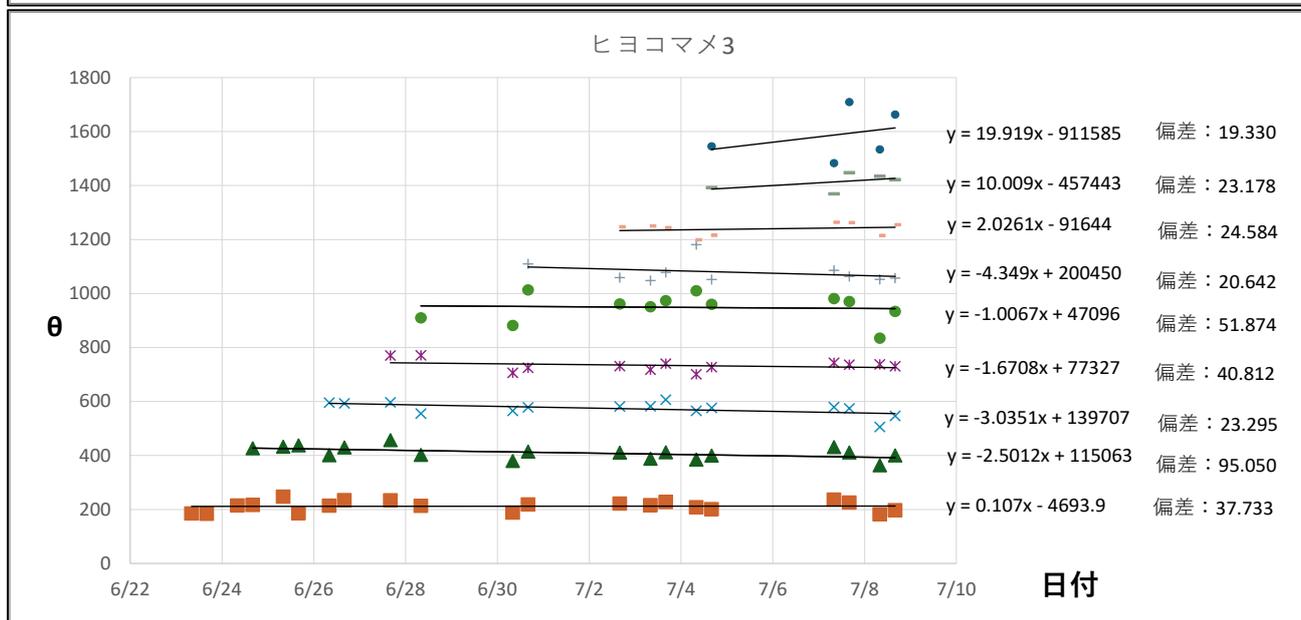
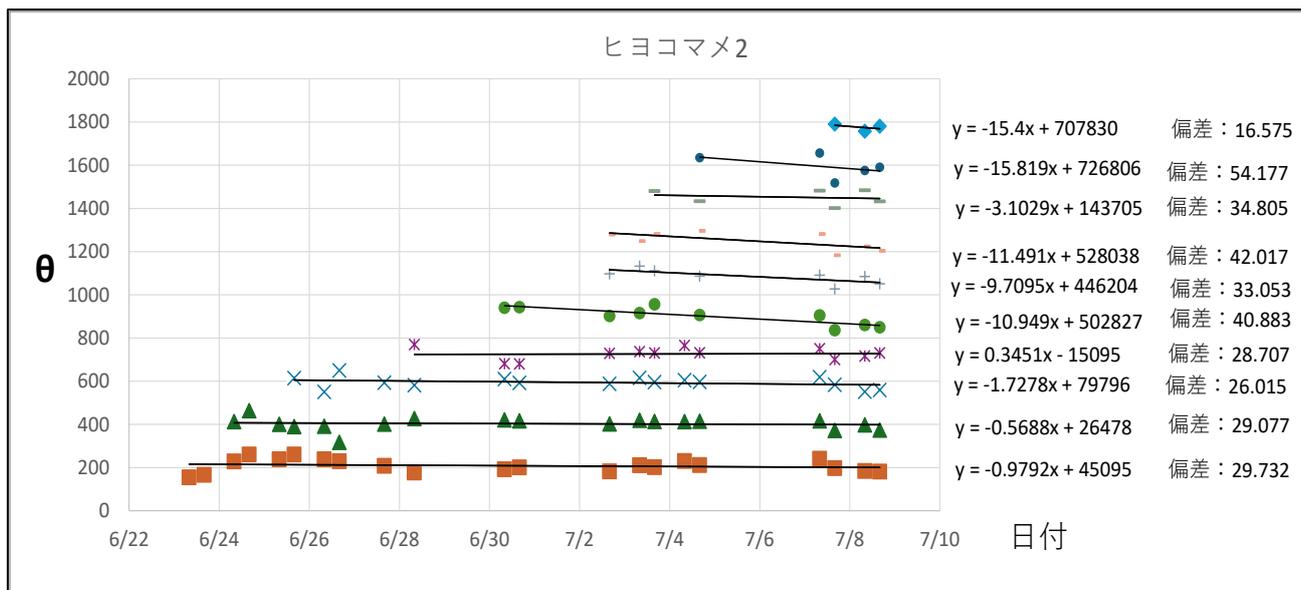
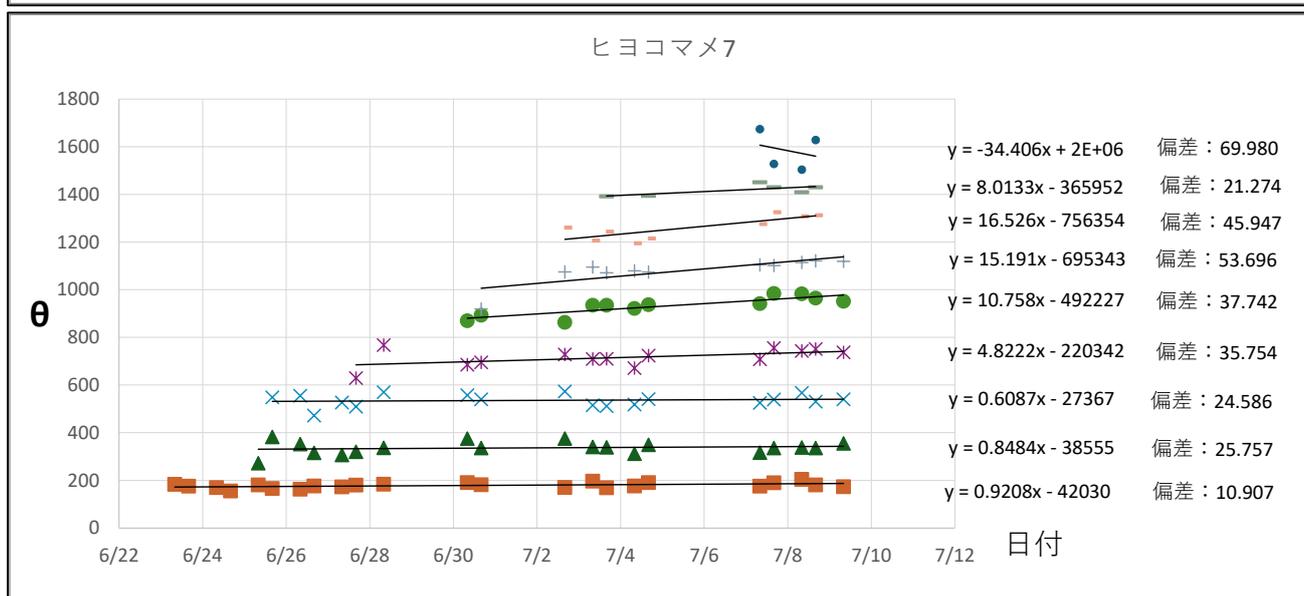
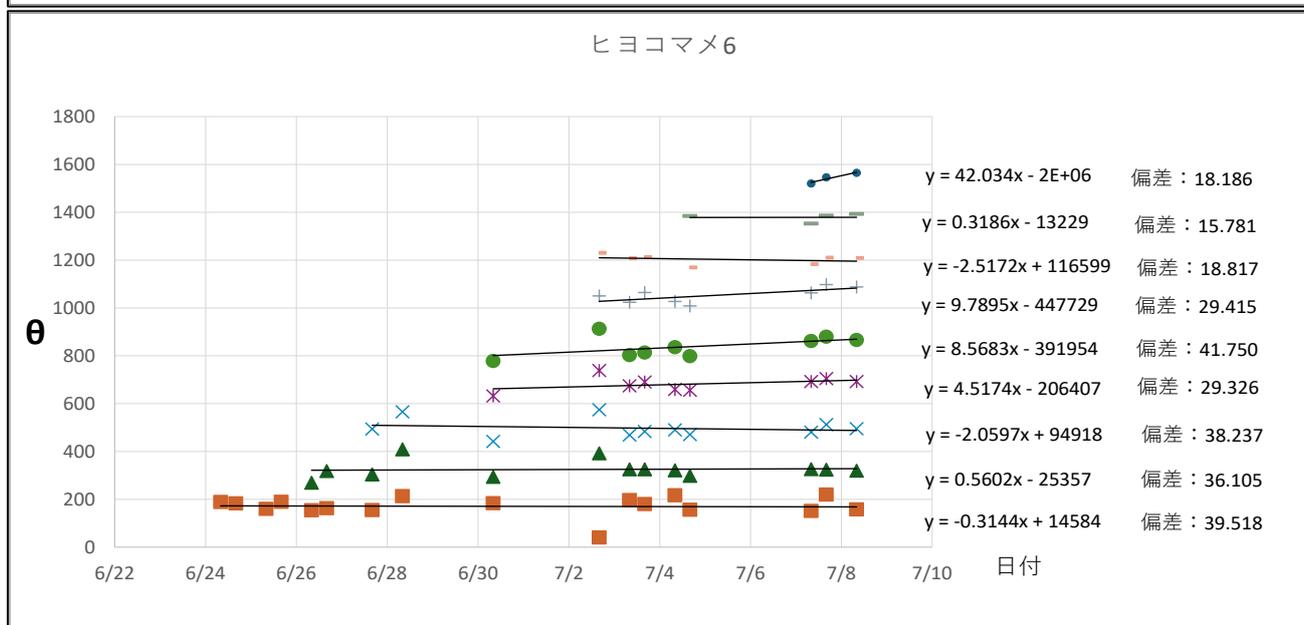
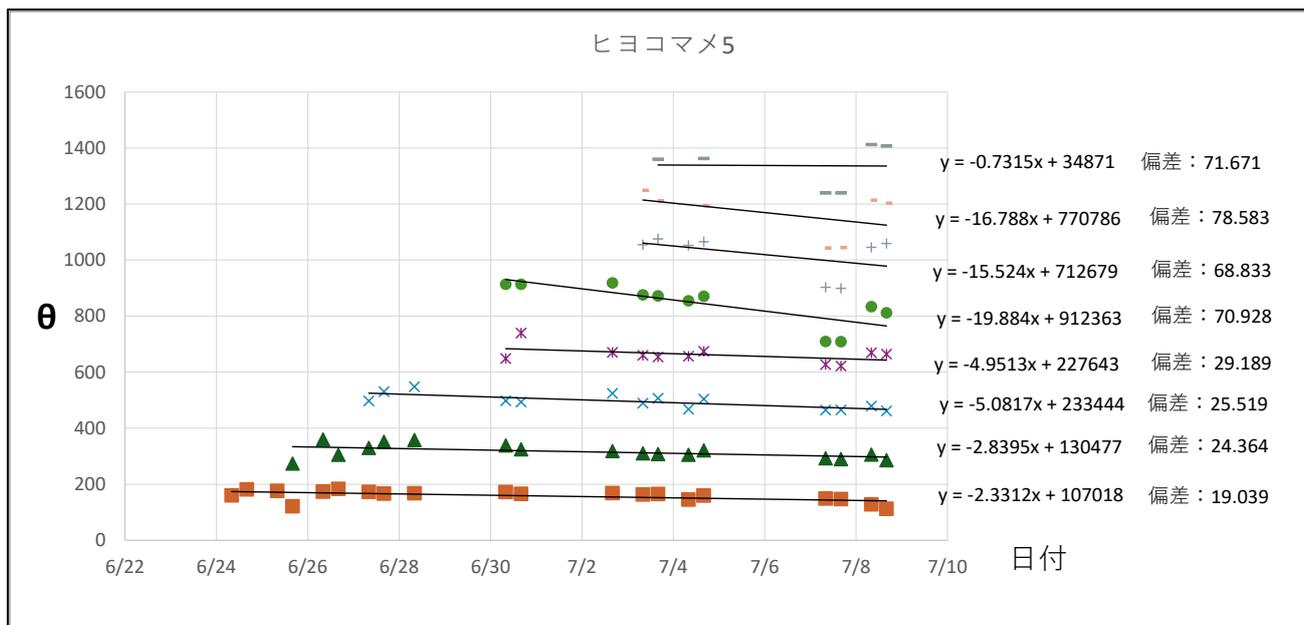


図3 エンドウマメの隣接する葉ごとの水平面上で1枚目の葉の葉腋となす角度 θ それぞれの図の、下から、1枚目と2枚目、1枚目と3枚目、1枚目と4枚目、1枚目と5枚目、1枚目と6枚目、等の葉の葉腋間の角度を示す。







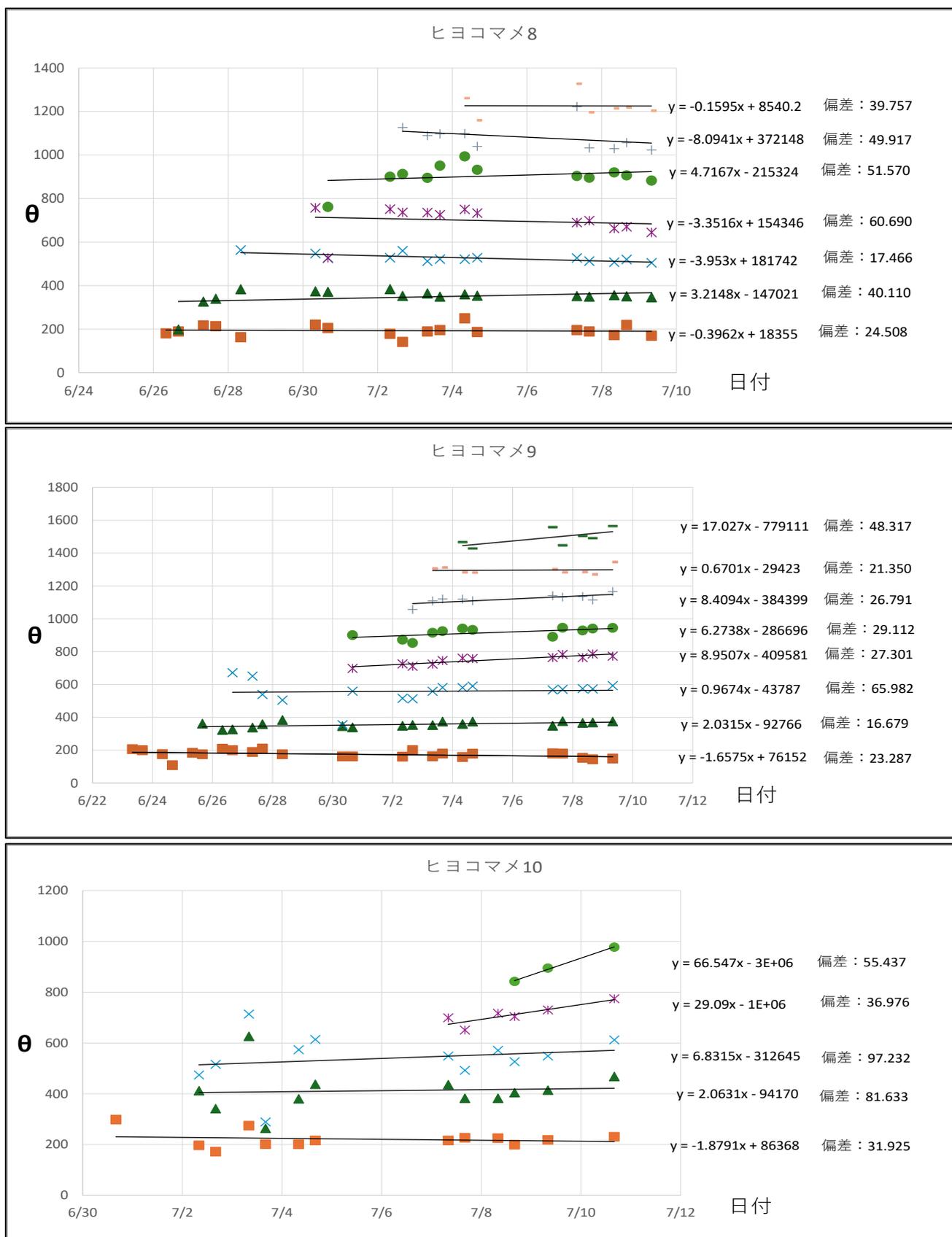


図4 ヒヨコマメの隣接する葉ごとの水平面上で1枚目の葉の葉腋となす角度 θ それぞれの図の、下から、1枚目と2枚目、1枚目と3枚目、1枚目と4枚目、1枚目と5枚目、1枚目と6枚目、等の葉の葉腋間の角度を示す。

図5には、エンドウマメの、図6にはヒヨコマメの1枚目の葉の基準点とのなす角度 x の推移を示した。毎日1枚目の葉は基準点に対して、偏差は大きいがほぼ同じ位置にある。

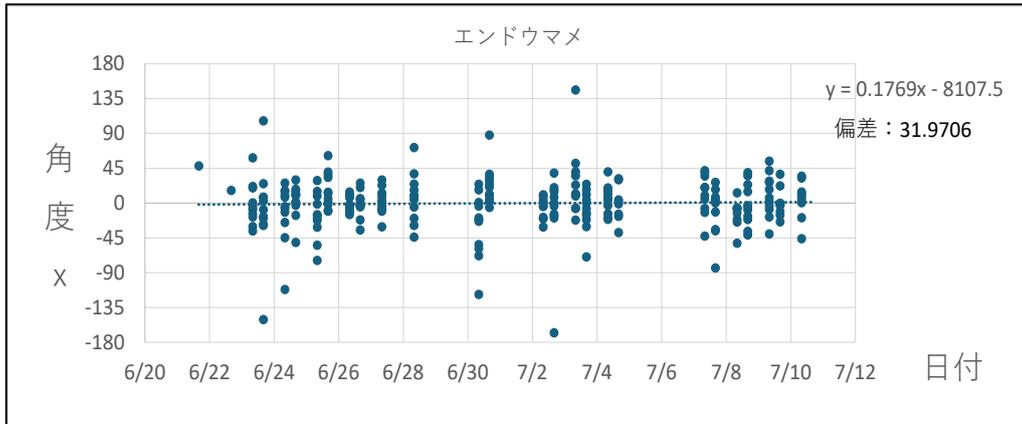


図5 エンドウマメの1枚目の葉と基準点とのなす角度（左回りを+、右回りを-とする）

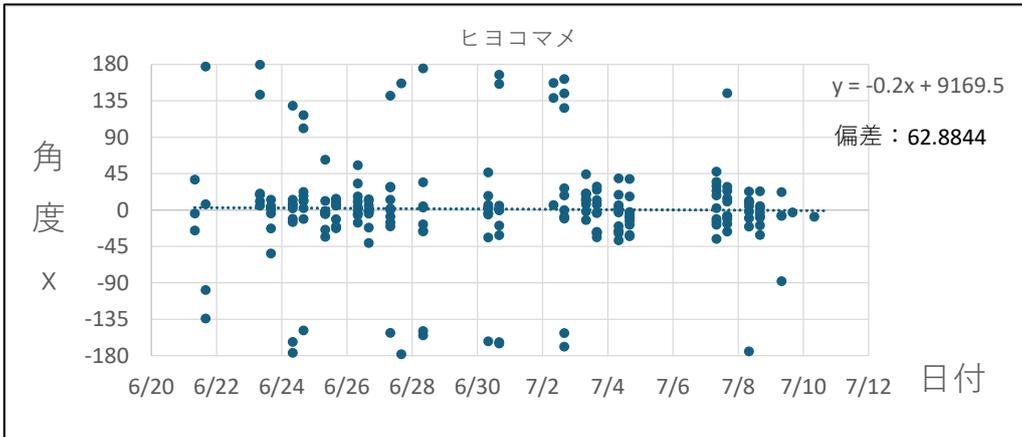


図6 ヒヨコマメの1枚目の葉の基準点とのなす角度（左回りを+、右回りを-とする）

D. 考察

成長して葉が何枚になっても、葉腋は互いの角度をほぼ維持しており、軸は系統的に回転していない。茎の中心部からそれぞれの葉の葉腋までの水平距離 r 、1枚目の葉となす角度（隣接する葉腋のなす角度 u の累積） θ とすると、螺旋方程式 $r = a\theta$ と表される。ここで $\theta = u(n-1)$ (n : 観察時に付いている葉のうち何枚目か、 u : 隣接する2枚の葉の葉腋のなす水平面上の角度) で示される。先行研究に合わせて $r = 1$ として ($a = 1/\theta$) Excel 上でこの近似曲線を指数関数で示すと $a = se^{kn}$ と示される (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、

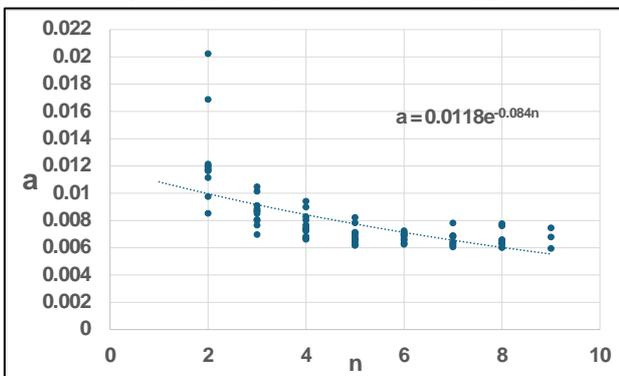


図7 エンドウマメ 11 個体の、何枚目の葉か (n) と葉の a の値 ($1/\theta$)

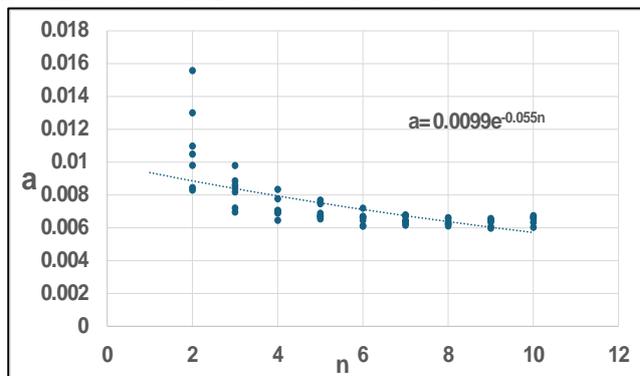


図8 ヒヨコマメ 10 個体の、何枚目の葉か (n) と葉の a の値 ($1/\theta$)

t：螺旋を描く座標点の数が多い程小さくなる、e：ネイピア数 ≈ 2.71828)。螺旋方程式は $1/\theta$ の値から近似曲線を引いて求めるため、葉が2枚では近似曲線が正確に引けない。そこで、葉が3枚になってから、葉腋のなす角度から ImageJ を使って統計処理した。図7に、エンドウマメ 11 個体の、図8にはヒヨコマメ 10 個体の、観察時に付いている葉のうち何枚目か (n) と葉の a の値 ($1/\theta$) を示した。また、図9にエンドウマメ 11 個体の、図10にヒヨコマメ 10 個体の、観察時に付いている葉のうち何枚目か (n) と隣接する葉のなす角度 u の累積 θ を示した。

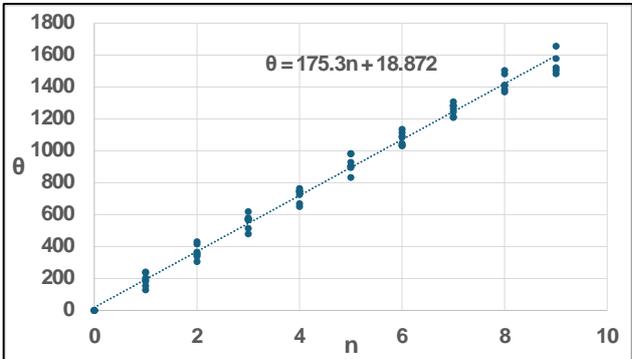
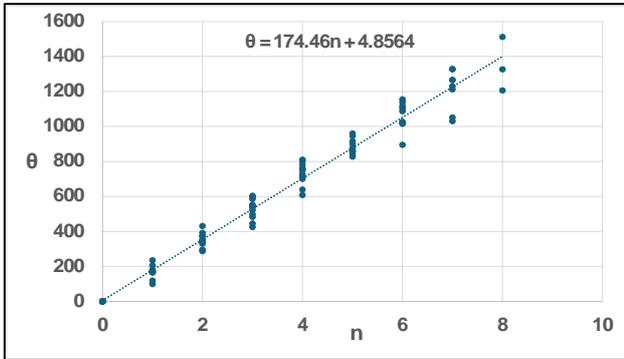


図9 エンドウマメ 11 個体の、何枚目の葉か (n) と隣接する葉のなす角度 u の累積 θ

図10 ヒヨコマメ 10 個体の、何枚目の葉か (n) と隣接する葉のなす角度 u の累積 θ

a と θ から葉の葉腋の配列は、サボテンの刺座やトウモロコシの実の穎果や苞葉、アレチヌスビトハギやヒメムカシヨモギの葉と同様に螺旋方程式 $1=se^{tu} \times u(n-1)$ で表すことができる (表1)。

表1 螺旋方程式と葉の枚数の増加に伴う変数 a の偏差

種	螺旋方程式
エンドウマメ	$1=0.0118e^{-0.084n} \times 174.46(n-1)$ a の偏差：0.001774
ヒヨコマメ	$1=0.0099e^{-0.055n} \times 175.3(n-1)$ a の偏差：0.001248

さらに重要なことは、変数 θ が葉の枚数によって変化しないことである。これによって、 θ から求められる a の値もまたほぼ一定となり、変数は成長して葉の枚数が増えてもほぼ一定となる。

E. 結論

エンドウマメやヒヨコマメの葉腋の螺旋方程式の変数は、それぞれ固有値をもち、それぞれが成長して葉の枚数が増えても、それぞれの種が同一の変数をもつ螺旋方程式に従って成長を続け、途中で変化することはない。螺旋方程式は葉が形成される時点ですでに決定されている。

いくつかの植物で組織や器官の配列を調べたが、いずれも種によって固有の変数を持つ螺旋方程式で表すことができた。最初の葉が形成された時点で固有の値を示す螺旋方程式の変数は、他の植物でも同様なのか、その原因は何かについて現在研究を続けている。

F. 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教諭には、考察において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) 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, 2023, 61 (1), pp46-48.
- (2) 宮下翔真, 寺田悠哉, 武内美月. 「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」. 第68日本学生科学賞要旨, 2024.

When Is the Regular Arrangement of Plant Organs and Tissues Determined?

—Spiral Equations of Leaves in Pea (*Pisum sativum* L.) and Chickpea (*Cicer arietinum*)—

Hyogo Prefectural Himeji Higashi Senior High School Science Club Spiral Equation Group

Mizuki TAKEUCHI, Shotaro ODA, Shoma MIYASHITA, and Yuya TERADA

Advisor: Kazuya KAWAKATSU

Keywords Coordinate point, Spiral Equation

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

r : horizontal distance from the center of the stem to each leaf
 n : leaf number at the time of observation
 θ : cumulative angle of adjacent leaves in $^\circ$
 u : angle between two neighboring leaves
 s : The smaller this value is, the more widely the spiral drawn by the coordinate points expands when viewed from above
 t : Becomes smaller as the number of coordinate points forming the spiral increases
 e : Napier's constant ≈ 2.71828

Motivation

Since 2020, we have studied the regular patterns in the arrangement of plant organs and tissues. We found that cactus areoles, corn kernels and bracts, and leaves of weeds growing in our schoolyard form spiral patterns around the shoot apex. In our cactus study, we also suggested that species-specific spiral variables may reflect environmental factors such as rainfall, sunlight, temperature, and altitude rather than genetic relationships.

Purpose

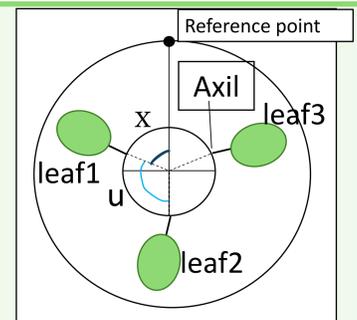
The purpose of this study is to clarify whether the spiral arrangement of leaves changes during growth, or whether plants grow according to a spiral equation that is already determined from the beginning.

Method

We cut transparent plastic cups vertically in half so that the cross section could be observed easily. A mark was made at one point on the upper edge of each cup as a reference point. Eleven pea plants and ten chickpea plants were planted in individual cups, at a depth of 1 cm from the soil surface (Fig. 1). They were grown in an incubator at 25°C and 65% humidity, and light was given from directly above to avoid the influence of sunlight. From June 18 to July 10 (23 days), we measured twice a day, at 8:00 and 16:00, the angle x between the axil of the first leaf and the reference point. We also aligned the axil of the first leaf with the reference point and measured the angle u between successive leaf axils (Fig. 2). ImageJ software was used for statistical analysis.

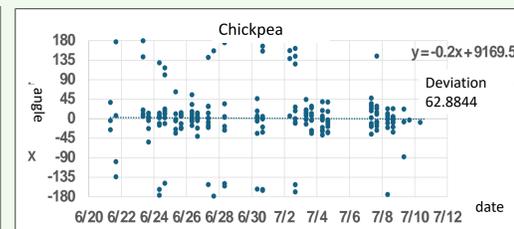
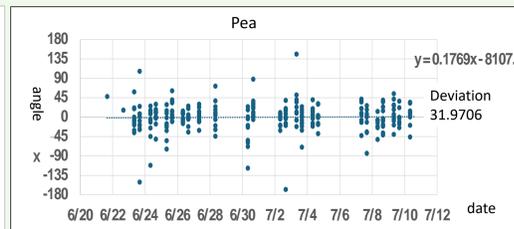
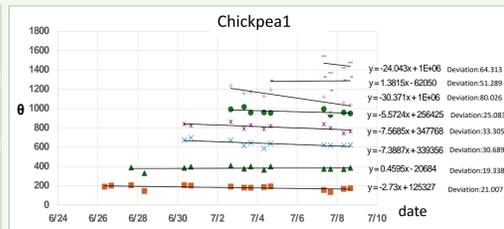
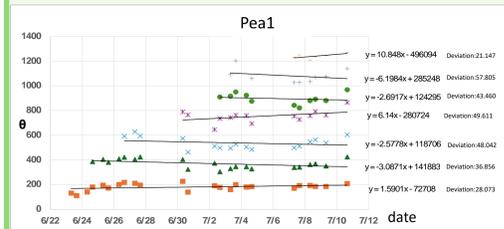


(figure 1) Sample Chickpea



(figure 2) Top view of the sample

Results



The angle θ on the horizontal plane formed between the axil of the first leaf and the axil of each adjacent leaf for peas.

The angle θ on the horizontal plane formed between the axil of the first leaf and the axil of each adjacent leaf for chickpeas.

The angle formed between the first leaf of peas and the reference point.

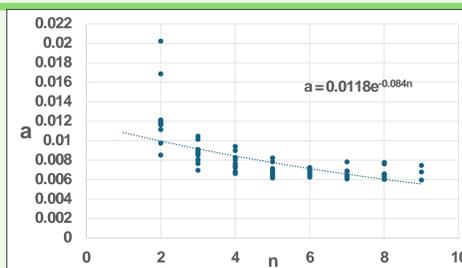
The angle formed between the first leaf of chickpeas and the reference point.

Even as the plants grow and the number of leaves increases, the leaf axils maintain almost the same mutual angles, and the axis does not rotate systematically.

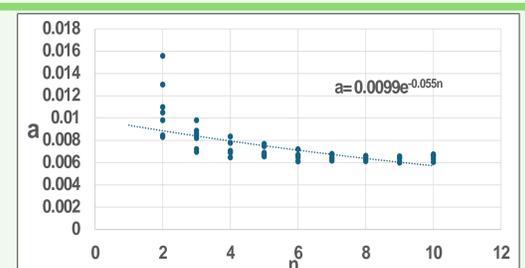
Each day, although the deviation is large, the first leaf remains in nearly the same position relative to the reference point.

Discussion

Even as the plants grow and the number of leaves increases, the leaf axils maintain almost the same mutual angles, and the axis does not rotate systematically. Let r be the horizontal distance from the center of the stem to each leaf axil, and θ be the angle formed with the first leaf; then the relationship can be expressed by the spiral equation $r = a\theta$. Here, θ is given by $\theta = u(n-1)$. In accordance with previous studies, we set $r = 1$ (thus $a = 1/\theta$), and when this approximate curve is expressed as an exponential function in Excel, a is given as $a = s e^{(t)n}$. Because the spiral equation is obtained by drawing an approximate curve based on the values of $1/\theta$, an accurate approximation cannot be drawn when there are only two leaves. Therefore, after the number of leaves reached three, statistical processing was performed using ImageJ based on the angles formed by the leaf axils.



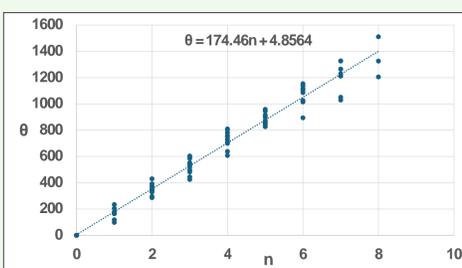
For the 11 pea individuals: the relationship between the leaf number (n) and the value of a for the leaf ($1/\theta$).



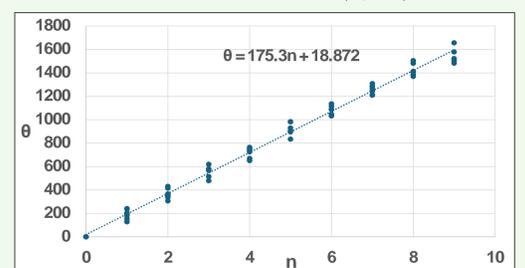
For the 10 chickpea individuals: the relationship between the leaf number (n) and the value of a for the leaf ($1/\theta$).

Table1 Spiral Equation and Changes in Parameter a with Leaf Number

species	Spiral Equation
Pea	$1 = 0.0118e^{-0.084n} \times 174.46(n-1)$ Deviation of a : 0.001774
Chickpea	$1 = 0.0099e^{-0.055n} \times 175.3(n-1)$ Deviation of a : 0.001248



For the 11 pea individuals: the relationship between the leaf number (n) and the cumulative angle θ , based on u , the angle formed between adjacent leaves.



For the 10 chickpea individuals: the relationship between the leaf number (n) and the cumulative angle θ of u , the angle formed between adjacent leaves.

More importantly, the variable θ does not change with the number of leaves. As a result, the value of a obtained from θ is also almost constant, and the variables remain nearly unchanged even as growth proceeds and the number of leaves increases. The variables of the spiral equations for the leaf axils of pea and chickpea each have species-specific values. Even as they grow and the number of leaves increases, each species continues to grow according to a spiral equation with its own constants, without changing. The spiral equation is already determined at the time when the leaves are formed.

Conclusion

Even as growth proceeds the number of leaves, the angle θ formed with the first leaf remains almost constant. Each day, although the deviation is large, the first leaf remains in nearly the same position relative to the reference point. The spiral equations of pea and chickpea are determined at the stage when the leaves are formed and do not change thereafter.

Future Work

We are currently continuing our research to determine whether the variables of spiral equations, which show specific values at the time the first leaf is formed, are also observed in other plants, and to clarify the causes of these values.

References

- 1) Murase, T., Yamato, T., Yoshida, R., Motowaki, T., Kishigami, K., Terada, Y., Miyamoto, Y., Miyashita, S. 2023. (Is the arrangement of cactus areoles regular?) *Chemistry and Biology*, 61(1), 46–48.
- 2) Miyashita, S., Terada, Y., Takeuchi, M. 2024. Similarity of regular arrangements observed in cactus, maize, Canadian fleabane, and panicked tick-trefoil. Abstracts of the 68th Japan Student Science Award.

Acknowledgments

In conducting this study, we received valuable advice from Mr. Kazuya Kawakatsu, the advisor of our school's Science Club. We would like to express our sincere gratitude here.

ニハイチュウの生活環の解明へ向けて

兵庫県立姫路東高等学校 科学部生物系研究部ニハイチュウ班

甲斐心晴 松岡沙和 村上虎太郎 上原星志郎
佐藤みひろ 末永日鞠 世良一貴 田中智陽

要 旨

二胚動物門のニハイチュウには蠕虫型幼生と滴虫型幼生の2種類が存在し、滴虫型幼生は蠕虫型ニハイチュウの体内で発生する。滴虫型の受精卵は、母体である蠕虫型ニハイチュウの体内を、中央の両性生殖腺から前後方向に次々と列をなして移動しながら、卵割を繰り返して成長する。第3卵割までは等割であるが、8細胞期に分化が起こり、第4卵割以降は不等割するようになる。その後屈光体が形成され、4個の芽胞細胞が芽胞囊細胞に包まれ、繊毛を動かし始める。最後に、母体前後の体皮細胞の間をすり抜けて次々と外液中に飛び出し、繊毛をオールのようにかいて外液中を泳ぎ回る。蠕虫型ニハイチュウの体皮細胞は修復され、次の生活環に移行する。滴虫型ニハイチュウが受精卵から海水中に放出されるまでの生活環において、卵割に要する時間は全体の約87%を占めている。

低密度の環境下では、蠕虫型ニハイチュウからは同じ蠕虫型幼生が生まれるが、高密度の環境になると、蠕虫型ニハイチュウから滴虫型幼生が発生する。腎囊中にとどまり続ける蠕虫型ニハイチュウから生じる蠕虫型幼生は、一度に1~2個体程度であるが、滴虫型幼生は一度に多くの個体を生じる。生育密度が高くなり環境が悪化すると、大量の滴虫型幼生が発生して海水中を泳ぎ回り、異なる遺伝子を持った滴虫型個体と出会うことは、結果として種の保存に有利に働いてきたのかもしれない。

キーワード：蠕虫型ニハイチュウ 滴虫型ニハイチュウ 両性生殖腺 屈光体 芽胞囊細胞

1. 問題提起と研究目的

二胚動物門のニハイチュウ (*Dicyemida Dicyemidae*) は、タコなどの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ある。多細胞生物が細胞数を減少させながら進化した生物¹⁾として、生物の進化の解明に重要な生物と考えられているが、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、蠕虫型と滴虫型の2種類の幼生があり(図1)、それぞれが互いの生活環を交わせながら生活していると考えられている(図2)²⁾。蠕虫型は腎囊内にとどまり続けるが、滴虫型は腎囊中で発生し、尿とともに海水中に出ていくことが知られている²⁾。

筆者らは2022年から、ニハイチュウが底生軟体動物の腎囊の中でどのように生息しているのかについて継続的に研究を重ねてきた。その結果、①蠕虫型は腎囊表面の窪みに極帽とよばれる頭部を接着させて腎囊内で生活するのに対して、滴虫型は腎囊表面に接着せず、尿中に漂って生活し、機会を見て海水中に逃れること^{3) 4)}を明らかにし、②ニハイチュウを長期にわたって観察するために、先行研究⁵⁾を参考にし、ニハイチュウの飼育・培養液を開発した⁶⁾。さらに、開発した飼育・培養液を用いて長期の観察を行ったところ、③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はpH=6.40、蠕虫型ニハイチュウはpH=5.40を好み、マダコの尿がpH=6.90以上ではニハイチュウは確認できないこと⁶⁾、④pH=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こと⁶⁾、⑤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こと⁶⁾、を示した。

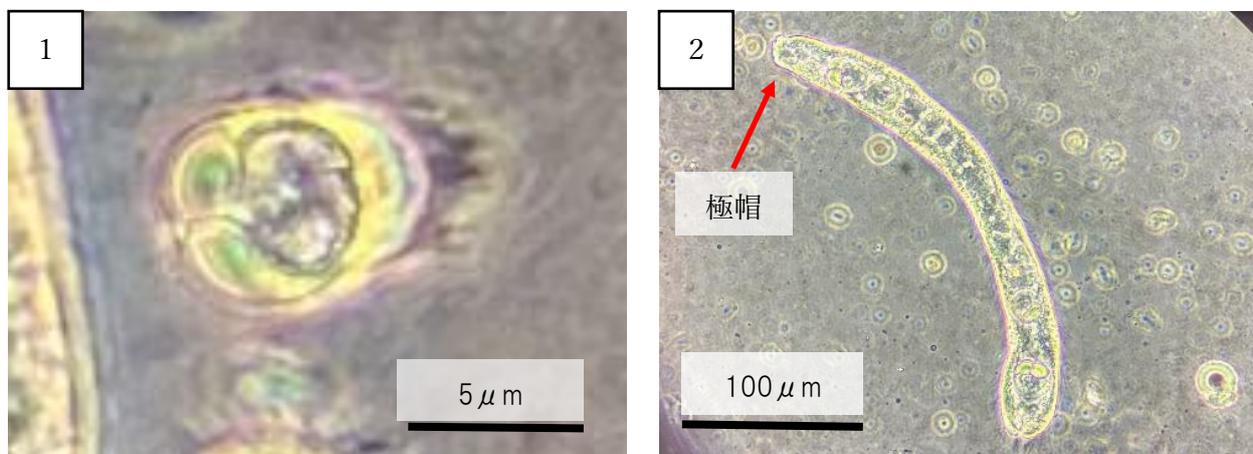


図1 滴虫型ニハイチュウ (1) と蠕虫型ニハイチュウ (2)

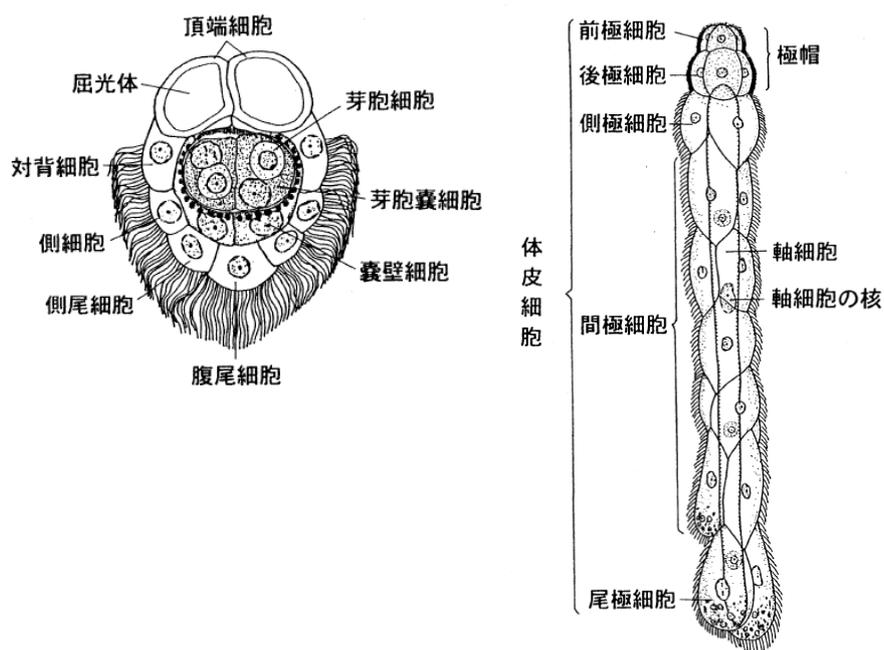


図2 ニハイチュウの構造⁷⁾

蠕虫型ニハイチュウは生息環境が低密度のときネマトジェン型で、体内で蠕虫型の幼生を生じて増えるが、生息環境の密度が高くなると、その中央部に両性生殖器官を生じてロンボジェン型に変化する (図3)²⁾。この中で精子と卵を生じ、受精してできた受精卵は滴虫型幼生となり、排出されることが知られている⁷⁾。

筆者らのこれまでの研究の過程で、生殖器からどのように受精卵が生じて発生が始まるのか、滴虫型はどのように蠕虫型の体から生まれてくるのか、生殖のサイクルはどのような時間的割合なのか、などと

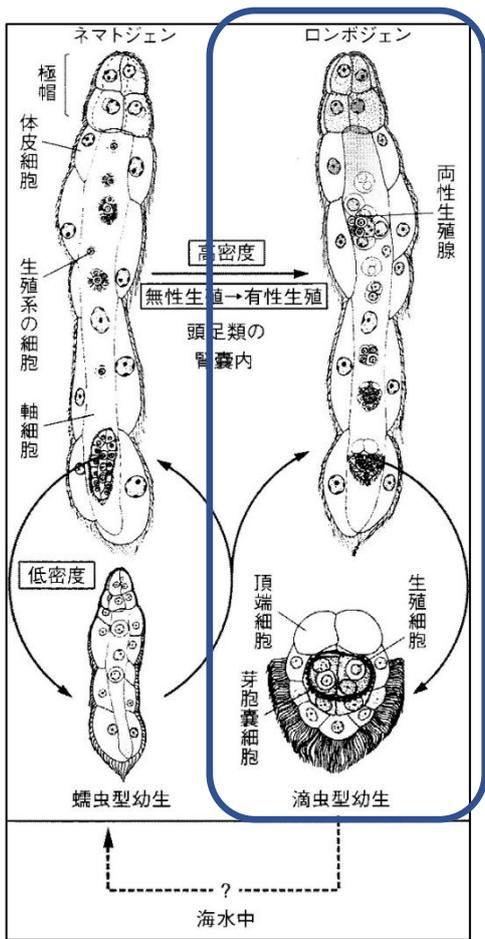


図3 ニハイチュウの生活環²⁾

いった、ニハイチュウの生活環に関する疑問が多く生じており、これらは最新の、能登ほか⁸⁾や栗田ほか⁹⁾らによる研究でも詳細は解明されていない。筆者らはじっくりと時間をかけてニハイチュウの生態を観察し、これらの疑問に対する答えを得ることを目的に研究を行った。今回は特に図3に青枠で示す部分の生活環部分に注目した。観察には、昨年度筆者らが提案した pH調整尿の飼育・培養液⁶⁾を用いた。

3. 研究方法

2025年4月～7月に毎日2時間程度をかけて観察した。

- ① 純水 1 L に対し、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）36.0 g を溶かして人工海水を作成した。
- ② 市場から購入し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吸い取り（図4）、ビーカーに移して冷蔵保存した。
- ③ 塩酸や水酸化ナトリウム水溶液を加えて pH を変化させた人工海水に、尿の体積 1 に対して人工海水の体積 5 になるようにマダコの尿を混ぜて飼育・培養液を作成し⁶⁾、25 °C の実験室内で採取したニハイチュウを浸した。
- ④ ホールスライドガラスに飼育・培養液を垂らし、カバーガラスをかけ、飼育・培養液が蒸発しないようにネイルポリッシュで封印した。
- ⑤ 位相差顕微鏡を用いて詳細に観察し、デジタルカメラでニハイチュウの動きや状況を撮影した（図5）。
- ⑥ 位相差顕微鏡でニハイチュウの集団を撮影し、どのステージのニハイチュウが何個体存在しているかを確認した（図6）。

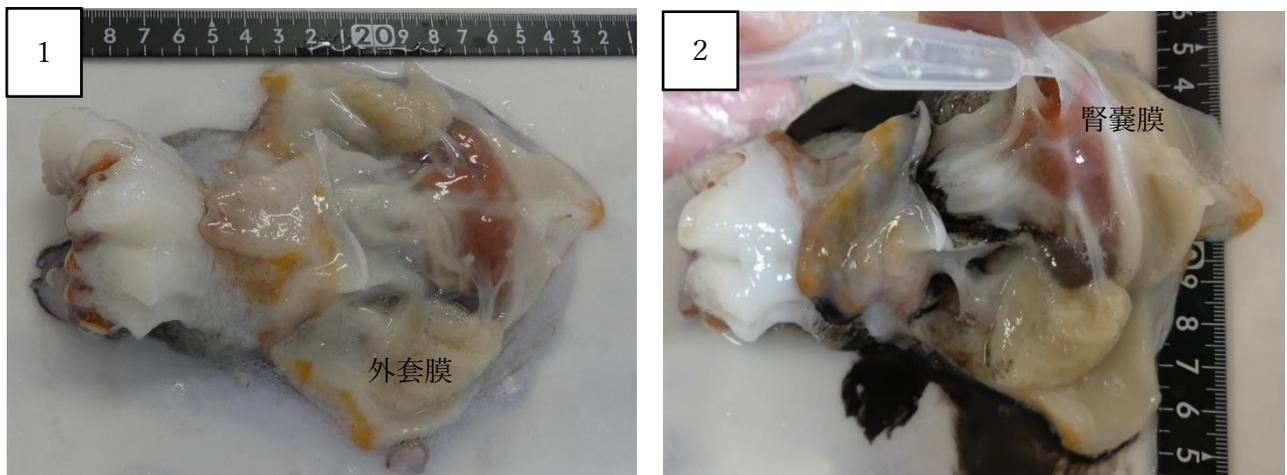


図4 ニハイチュウ採取のようす（1：外套膜を切除する、2：腎囊膜を開いて尿を吸い出す）



図5 位相差顕微鏡によるニハイチュウの観察

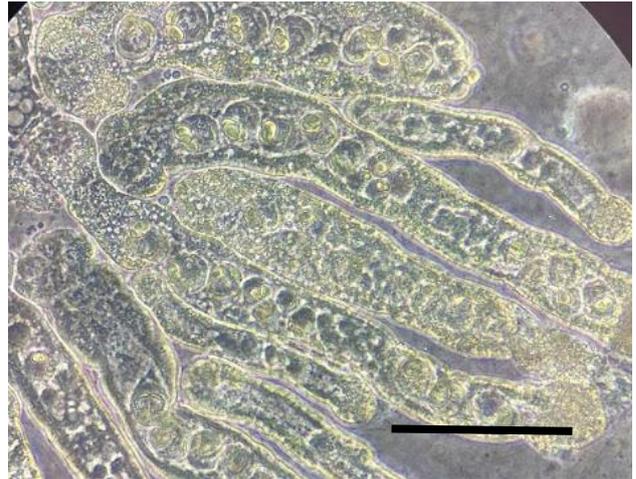


図6 各ステージの個体数をカウントする (スケールバーは 100 μm)

4. 結果

(1) 各ステージ (図7) で何が起きているのか

- A: 蠕虫型ニハイチュウ (通常はネマトジェンと呼ばれる状態) の軸細胞後方から蠕虫型ニハイチュウの幼生が生まれる。
- B: 蠕虫型ニハイチュウの体の中央部付近に両性生殖腺が現れ、卵と精子が受精卵を形成する。
- C: 両性生殖腺で形成された受精卵は、体の前後に移動しながら8細胞期になるまで等割する。
- D: 第4卵割以降は不等割を繰り返しながら次第に体の前方および後方に向かって移動していく。
- E: 成長した滴虫型ニハイチュウに屈光体が形成される。
- F: 滴虫型の幼生に芽胞囊細胞が形成され、形成された繊毛を動かし始める。
- G: 滴虫型の幼生は母体から生まれて泳ぎ始める。

以下に各ステージのようすを詳細に記載する。

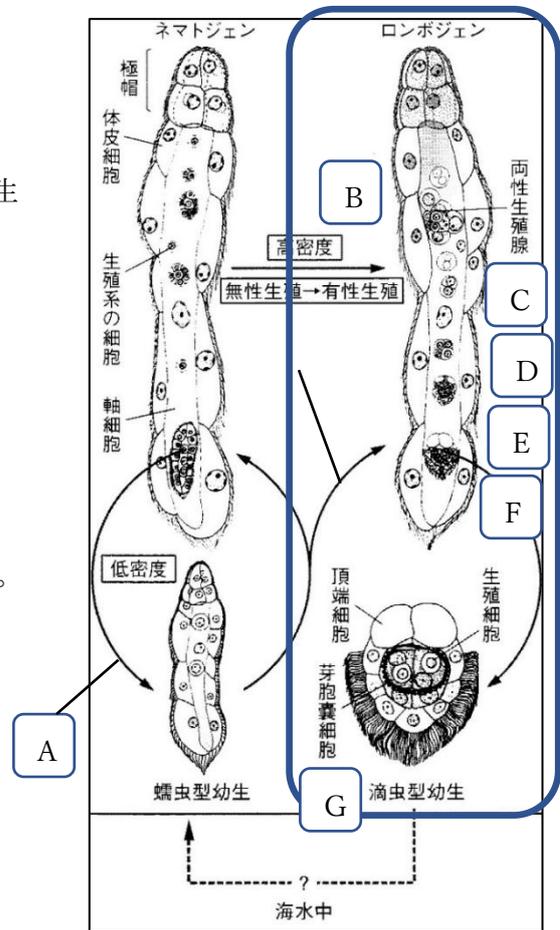


図7 各ステージで起こる変化

- A: ニハイチュウ集団が低密度だと、蠕虫型ニハイチュウ (通常はネマトジェンと呼ばれる状態) の軸細胞後方 (極帽の反対側) から蠕虫型の幼生が生まれる。生まれる際には母体の体皮細胞の間をすり抜けるように出てくる。破れた体皮細胞からは細胞質が一時漏れ出るが、その後すぐに修復される (図8)。一度に生じる蠕虫型幼生は 1~2 個体程度である。

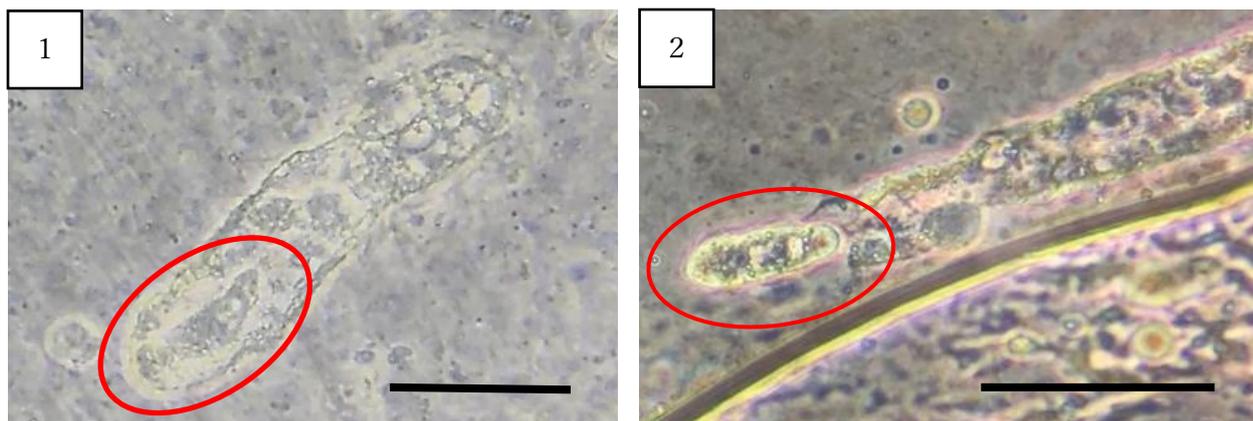


図8 蠕虫型ニハイチュウの体の後方に蠕虫型幼生が生じる（1）。体皮細胞は修復される（2）
（スケールバーは100 μ m）

B:ニハイチュウ集団が高密度になると、蠕虫型ニハイチュウの体の中央部付近に両性生殖腺が現れる（この状態はロンボジェンと呼ばれる）。両性生殖腺が生じる密度の閾値は不明である。両性生殖腺内には、卵と精子が見られ、精子が卵の周りを激しく泳ぎ回る様子が確認できる。精子が卵内に侵入して複数の受精卵を形成したことは、精子の輪郭が不鮮明になることで判別できる（**図9**）。

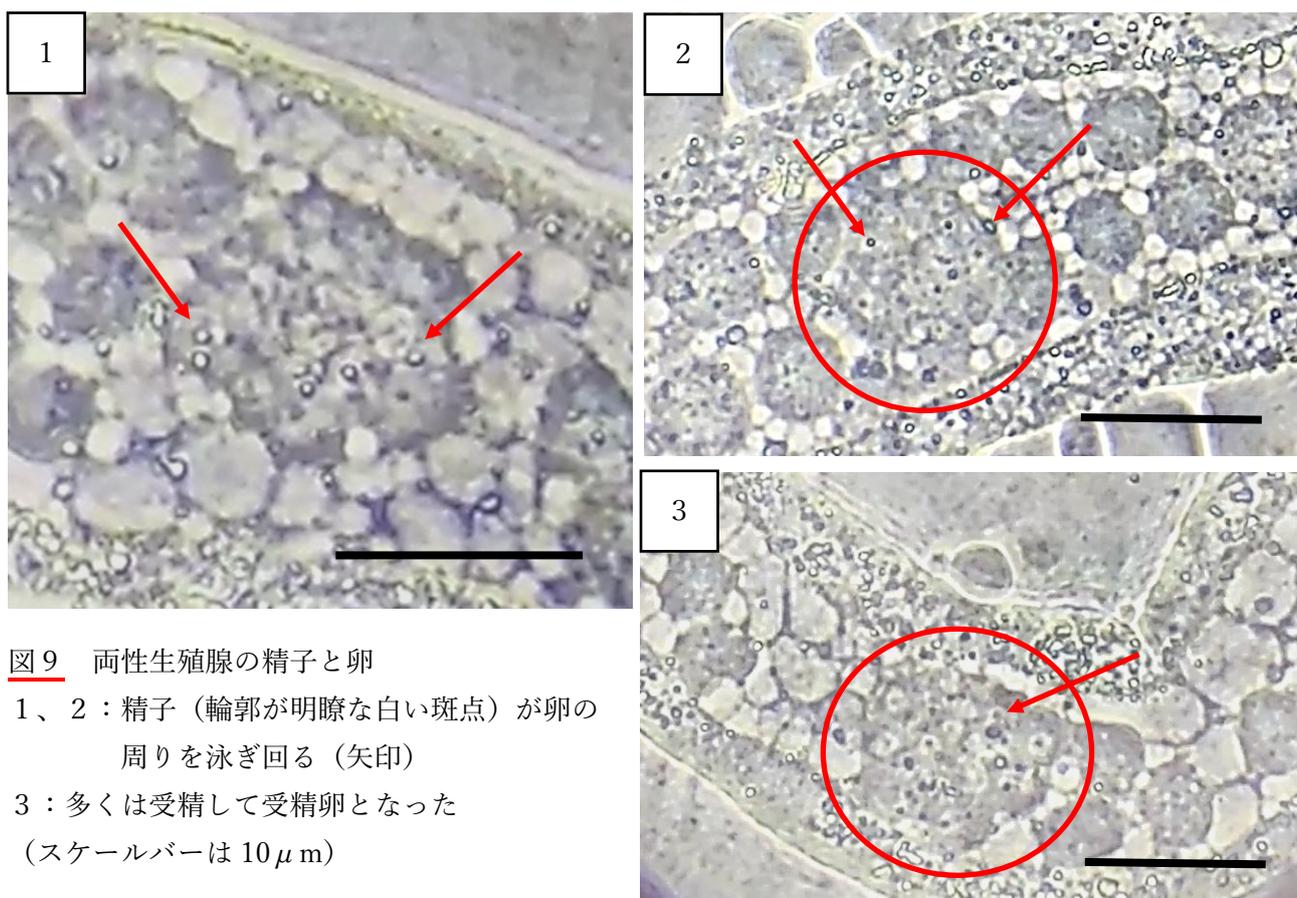


図9 両性生殖腺の精子と卵

- 1、2：精子（輪郭が明瞭な白い斑点）が卵の周りを泳ぎ回る（矢印）
- 3：多くは受精して受精卵となった
（スケールバーは10 μ m）

C：ロンボジェン中央部の両性生殖腺で形成された受精卵は、8細胞期になるまで等割する（図10）。

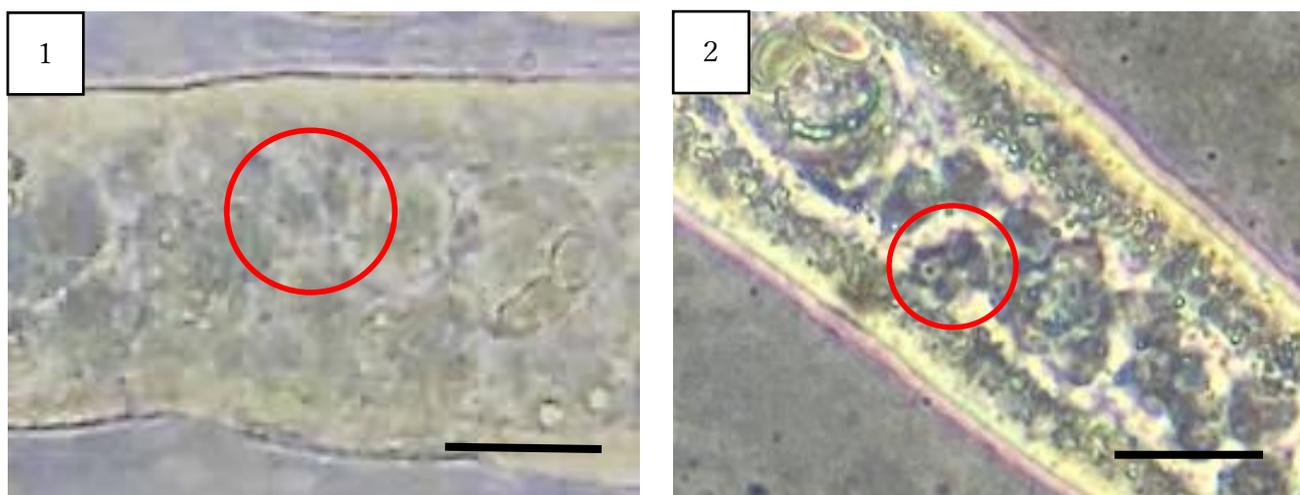


図10 受精卵が等割を始める（1：2細胞期、2：4細胞期／スケールバーは5 μ m）

D：第4卵割以降は左右相称型の不等割に変化する（図11）。

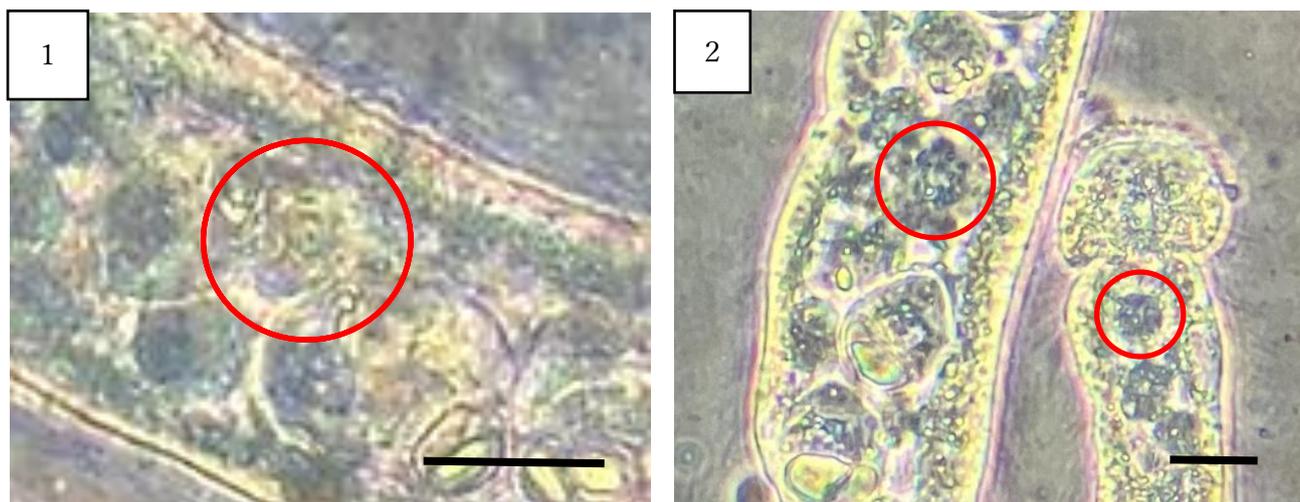


図11 不等割に変化した受精卵（スケールバーは5 μ m）

E：卵割を繰り返しながら、次第に体の中央部から前方・後方に向かって移動し、屈光体を形成していく（図12）。体の両端のものほど早い段階で形成された滴虫型の幼生である。



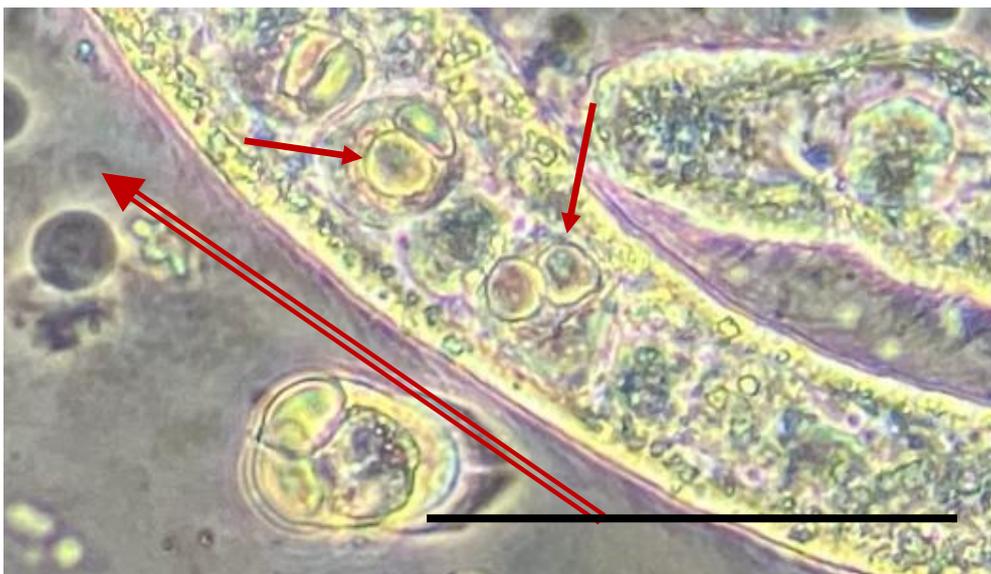


図12 滴虫型の幼生が前後に移動しながら成長し（二重矢印）、屈光体（矢印）を形成する（スケールバーは10 μ m）

F: 滴虫型の幼生に芽胞囊細胞が形成され、4個の芽胞細胞が包み込まれる。繊毛を動かし始める（図13）。

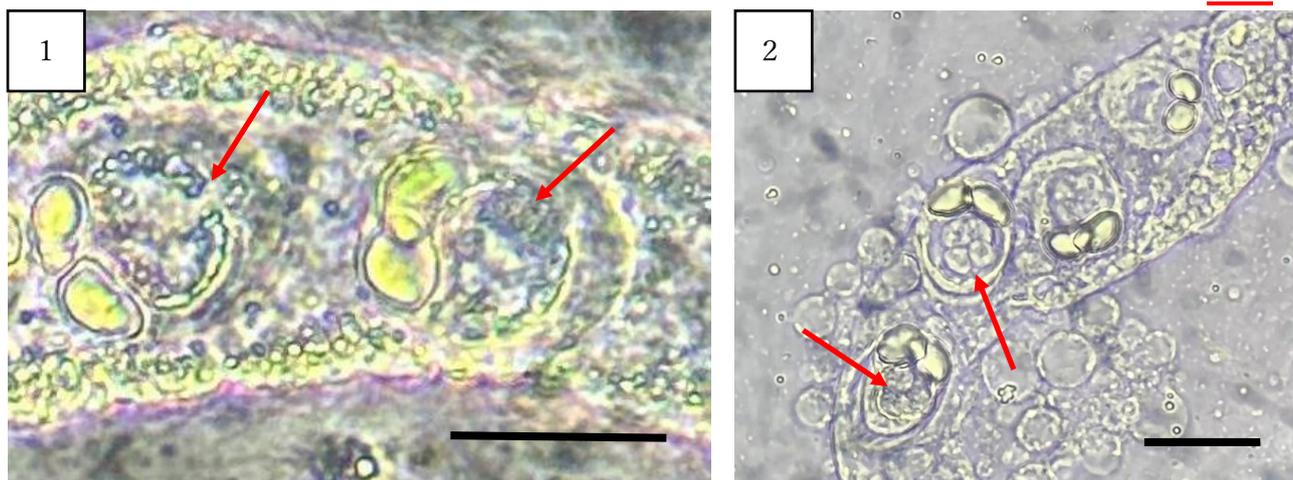


図13 滴虫型の幼生に芽胞囊細胞が形成され（矢印）、繊毛が波打ち始める（スケールバーは5 μ m）

G: 中央部の生殖腺から前後方向に成長しながら移動した滴虫型の幼生は、母体の蠕虫型ニハイチュウの体皮細胞の間をすり抜けて外液中に飛び出し、繊毛をオールのようにかいて泳ぎ回る。母体のロンボジエンはすぐに体皮細胞を修復する（図14）。

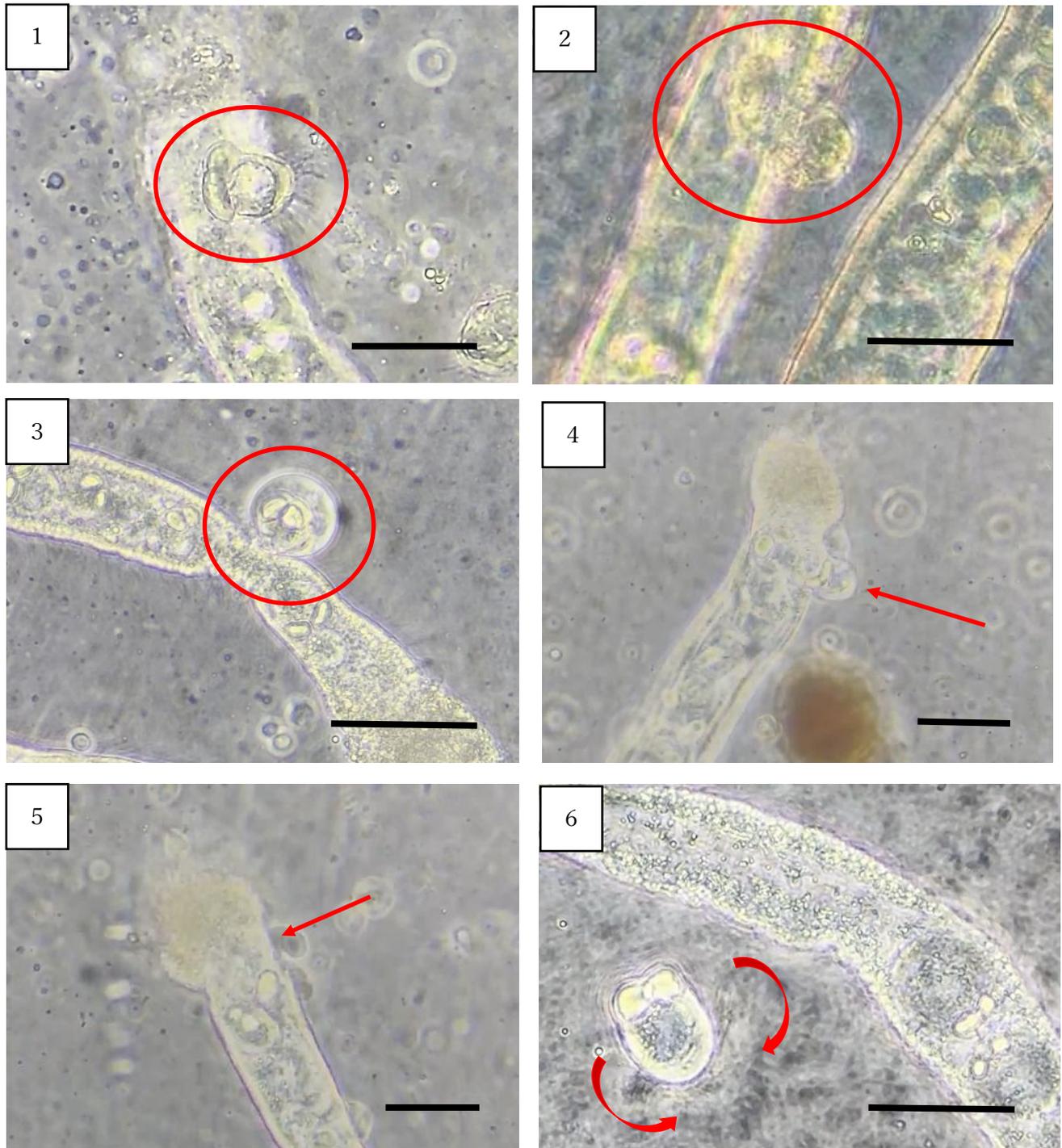


図 14 滴虫型の幼生が母体側面の体皮細胞の間をすり抜けて出てくると（1～3）、傷ついた体皮細胞はすぐに修復され（4～5）、滴虫型ニハイチュウは繊毛を矢印のように動かして泳ぎ回る（6）（スケールバーは5 μ m）

(2) 各ステージにかかる時間の割合 (図 15)

ニハイチュウの顕微鏡写真を撮影し、滴虫型ニハイチュウが受精卵から発生して海水中に放出されるまでの、B~F それぞれのステージに見られる個体数比を求めた。観察したニハイチュウの総数は 115 個体である。

B-C: 両性生殖腺が形成されてから 8 細胞期 (等割) まで

67 個体

D: 8 細胞期以降、第 4 卵割以降不等割が進むまで

32 個体

E: 細胞に屈光体が形成される

10 個体

F: 芽胞囊細胞が形成され、形成された繊毛を動かし始める

6 個体

1 個体が誕生してから死滅するまでを追跡することは非常に困難であった。また、滴虫型ニハイチュウが完成形となつてからどの程度の時間生存するのかはわかっていないが、個体によってかなりの違いがある。

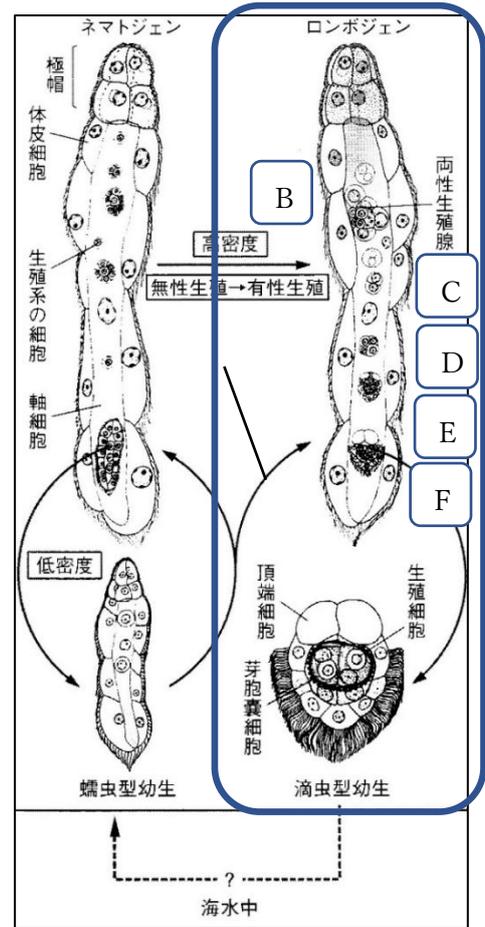


図 15 各ステージの時間の割合

5. 考察

蠕虫型ニハイチュウの両性生殖腺内で現れた卵と精子が受精すると、滴虫型幼生が誕生する。生じた受精卵は両性生殖腺から前後に次々と列をなして移動しながら、卵割を繰り返して成長していく。第 3 卵割までは等割であるが、8 細胞期に分化が起こり、第 4 卵割以降は不等割する。成長した滴虫型幼生には屈光体が形成される。その後 4 個の芽胞細胞が芽胞囊細胞に包み込まれ、繊毛を動かし始める。最後に、滴虫型幼生は母体の蠕虫型ニハイチュウ (ロンボジェン) の体皮細胞の間をすり抜けて次々と外液中に飛び出し、繊毛をオールのようにかいて外液中を泳ぎ回る。母体となった蠕虫型ニハイチュウの体皮細胞は修復され、次の生活環に移行する。非生殖系のネマトジェンに戻るのか、生殖系のロンボジェンに戻って再び滴虫型の産生に向かうのかは、密度によって決定されるのかもしれないが、詳細は不明である。

滴虫型ニハイチュウが受精卵から発生し、海水中に放出されるまでの各ステージに見られる個体数比は、各ステージにかかる時間を反映していると考え、各ステージに要する時間比は、B-C : D : E : F = 67 : 32 : 10 : 6 となる。受精卵が卵割する時間が全体の約 87% を占めており、その後母体である蠕虫型ニハイチュウの前後に向かって移動しながら滴虫型の体形成に要する時間はきわめてわずかである。

6. 結論と今後の課題

腎嚢中にとどまる蠕虫型ニハイチュウは、生育密度が低い状態では同じ蠕虫型のクローンを生むが、生育密度が高い環境下では、尿とともに海水中に放出される滴虫型のクローンを生むことが知られている

7). 今回の観察で、蠕虫型ニハイチュウは一度に1~2個体程度の蠕虫型幼生を生むのに対して、滴虫型幼生は一度に連続して多く生まれることを確認した。生育環境が悪化すると、蠕虫型ニハイチュウは海水中を自由に泳ぎ回ることができる滴虫型ニハイチュウを大量に生じ、異なる遺伝子を持った滴虫型個体と出会うことは、結果として種の保存に有利に働いてきたのかもしれない。ニハイチュウの生活環を解明することによって、生物の進化の解明に貢献できると考える。

本研究は、まだニハイチュウの生活環を完全に解明したものではない。特に、密度が高くなると蠕虫型ニハイチュウは両性生殖器官を生じて滴虫型を生じるが、海水中に放出された滴虫型ニハイチュウがどのように他の個体と出会い、何が起って蠕虫型ニハイチュウとして腎嚢に戻ってくるのかを明らかにしなければならない。飼育・培養液中で滴虫型ニハイチュウを長期間培養し、滴虫型ニハイチュウがDNAを排出したり変態したりしないかを観察する計画である。また、ナタデココ等を海水中で煮沸して糖분을除いた模擬腎嚢上に蠕虫型ニハイチュウを固定し、特定の個体を長期間観察して、蠕虫型ニハイチュウの中で滴虫型ニハイチュウが発生する様子を観察し、卵割に要する時間を個々の個体で測定したい。また、ネマトジェンが両性生殖腺をもつロンボジェンに変化する密度の閾値を解明する必要がある。現在、これらの課題に取り組み、ニハイチュウ全体の生活環解明に向けて研究を進めている。

7. 参考文献

- 1) 古屋秀隆. 2011. 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.
- 2) 古屋秀隆. 2012. 動物飼育. 共立出版, 日本比較生理生化学会編, 51-57.
- 3) 岸上葉菜 (兵庫県立姫路東高等学校科学部生物系研究部). 2023. 軟体動物の腎嚢の生育場所によるニハイチュウの極帽形態の変化. 日本農芸化学会誌「化学と生物」., 61., 11., 569-571.
- 4) 前田隆良・岡本莉空・中田天晴・中村賢矢・岸上葉菜 (兵庫県立姫路東高等学校科学部生物系研究部). 2024. 蠕虫型ニハイチュウが片利共生する軟体動物の腎嚢における生育場所に対応する極帽形態の形成過程. 2023 年度日本農芸化学会要旨.
- 5) E.A.Lapan and H.J.Morowitz, 1975. The dicyemid mesozoa as an integrated system for morphogenetic studies. I. Description isolation and maintenance, Journal of Experimental Zoology, 193(2), 147-159.
- 6) 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 (兵庫県立姫路東高等学校科学部生物系研究部). 2024. ニハイチュウ培養液に最適な pH の解明. 日本動物学会要旨.
- 7) 古屋秀隆. 1996. ニハイチュウ (中生動物) の生物学. 比較生理生化学., 13, 3, 209-218.
- 8) 能登朋子・山口正晃・遠藤浩. 1998. 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.
- 9) 栗田ひろ子・能登朋子・遠藤浩. 2007. 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.

8. 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。

Towards Understanding the Life Cycle of Dicyemids

Hyogo Prefectural Himeji Higashi Senior High School Science Club

Kosei KAI Sawa MATSUOKA Kotarou MURAKAMI Hoshirou UEHARA Mihiro SATO Himari SUENAGA Kazuki SERA
Tomoharu TANAKA Tensei NAKATA Riku OKAMOTO Kenya NAKAMURA Advisor : Kazuya KAWAKATSU

Keyword verminform dicyemida Infusoriform dicyemida infusorigen refringend body Capsule cell

About Dicyemida

Dicyemids (phylum Dicyemida) are multicellular animals that live as commensals in the renal sacs of cephalopods. They measure several hundred to several thousand micrometers in length and consist of fewer than 40 cells. They are believed to have evolved through a reduction in cell number from multicellular ancestors. Dicyemids have two morphological types, the vermiform type and the infusoriform type (Fig. 1). The vermiform dicyemids attach their calottes to the surface of the kidney³⁾ and complete their entire life cycle within the renal sac of the octopus. Infusoriform dicyemids are produced in the renal sac of the host when the density of vermiform dicyemids becomes high. They are expelled into the sea together with urine, swim freely in search of a new host, and grow within the new host⁷⁾. This creature is thought to complete their life cycle by alternating between the two forms²⁾.

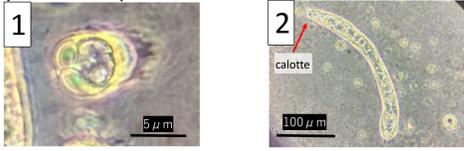


figure 1 Vermiform larvae and Infusoriform larvae

Motive And Purpose

Infusoriform larvae are born from the fertilized egg formed with infusorigen. We had this questions like :

- How is the fertilized egg formed, and development begun?
- How does the infusoriform larva develop from the vermiform dicyema ?
- What is the rate of reproduction?

Experimental Method

- ① Artificial seawater was prepared by dissolving 36g of powdered seawater in 1L of deionised pure field water.
- ② A live octopus was dissected, and urine was collected from kidney.
- ③ Hydrochloric acid and sodium hydroxide were used to make a pH adjustment solution to change the pH of urine. The urine and the adjustment solution were mixed in a ratio of 1:5, and a culture medium prepared.
- ④ We dropped solution ③ onto a slide glass, covered it with a cover glass, and sealed it with nail polish.
- ⑤ We checked how many individuals of dicyemida were at each stage.

※The common octopus was bought from a market. The urine was kept in a refrigerator.

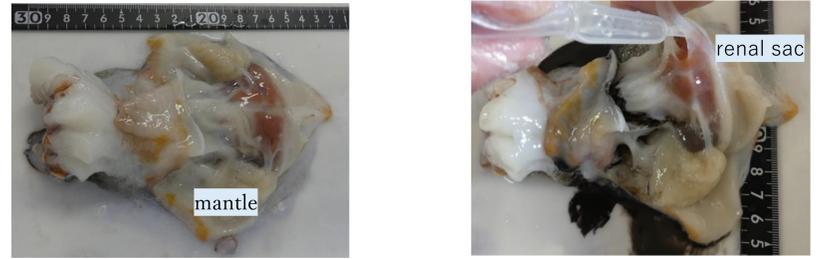
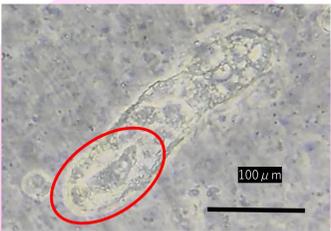


Fig.2 How dicyemids were collected

Result

A : A vermiform larva is born from an axial cell of a mature vermiform dicyemida (nematogen)



Asexual reproduction

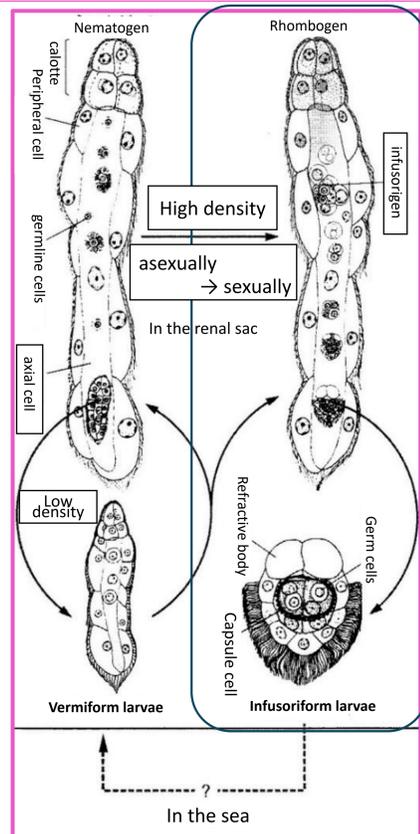
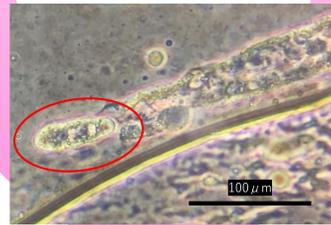


figure 3 life cycle of dicyemids

The proportion of time spent in each stage.

From the photographed dicyemids, the proportions of individuals at stages B-F, representing the development of the infusoriform dicyemid from the fertilized egg to its release into seawater, were determined for the region enclosed by the blue frame. A total of 115 dicyemids were examined (Fig. 3).

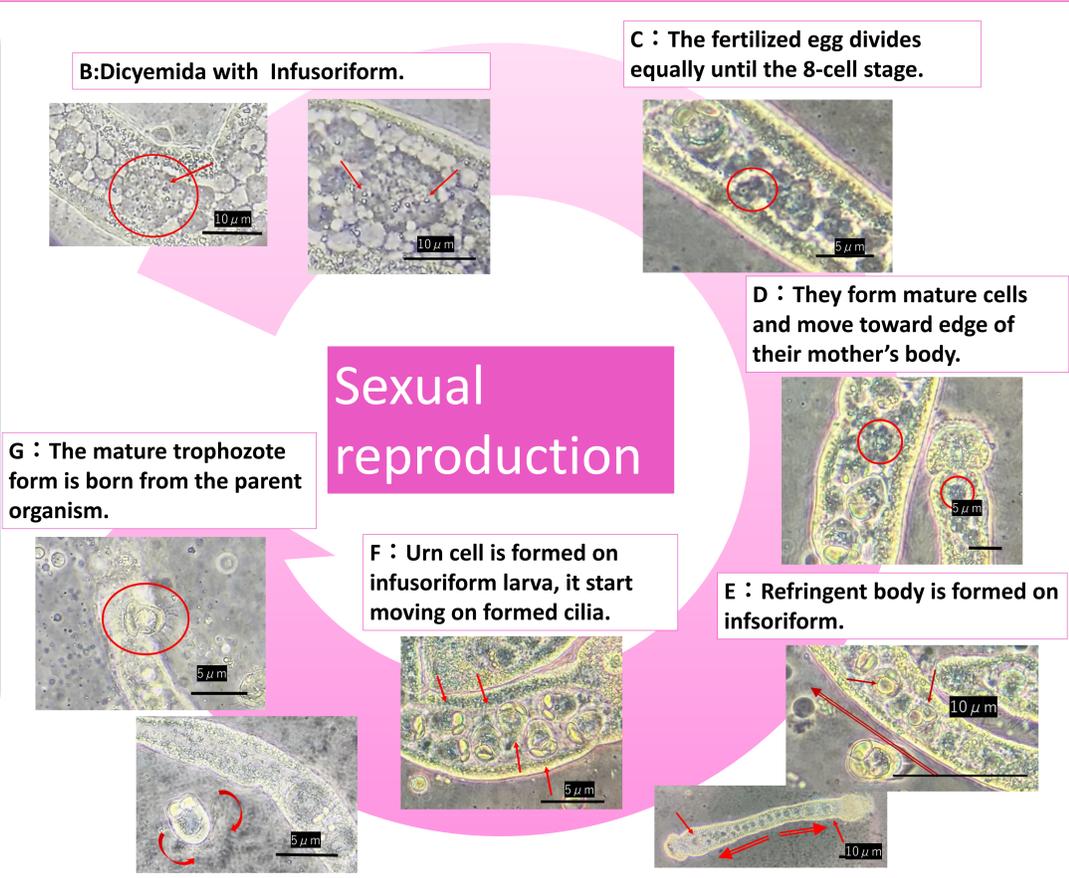
- B-C: The eight-cell stage is after the formation of an infusorigen —67 individuals**
- D: From the 8-cell stage onward, unequal cleavage progresses beginning with the fourth cleavage. — 32 individuals**
- E: Refringent body is formed on infusoriform. —10 individuals**
- F: Urn cell is formed on the Infusoriform larva, it start moving on formed cilia —6 individuals**

References

- 1) Furuya Hidetaka. 2011. Molecular biology and establishment of a culture system for dicyemid. Toray Science Foundation ANNUAL REPORT 2011, 70-71. (in Japanese)
- 2) Furuya Hidetaka. 2012. raising animals. Kyoritsu Shuppan Co., Ltd, The Japanese Society for Comparative Physiology and Biochemistry, 51-57. (in Japanese)
- 3) Kanna Kishigami (HIMEJIHIGASHI High School Science Club Biology Research Club Dicyema Team) . 2023. Formation of polar cap morphology corresponding to the growth site in the renal sac of mollusks in which Dicyemodoca is a symbiotic. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry [Chemistry and Biology] ., 61,,11,,569-571. (in Japanese)
- 4) Yura Maeda · Riku Okamoto · Tensei Nakata · Kenya Nakamura · Kanna Kishigami (HIMEJIHIGASHI High School Science club Biology Research Club Dicyema Team) . 2024. Elucidation of the optimal pH for the growth of Dicyemida. The Zoological Society of Japan. (in Japanese)
- 5) E.A.Lapan and H.J.Morowitz, 1975. The dicyemid mesozoa as an integrated system for morphogenetic studies. I. Description isolation and maintenance, Journal of Experimental Zoology, 193(2),147-159.
- 6) Tensei Nakata · Riku Okamoto · Kenya · Kosei Kai · Sawa Matsuoka · Kotaro Murakami (HIMEJIHIGASHI High School Science club Biology Research Club Dicyema Team) . 2024. Elucidation of the optimal pH for the growth of Dicyemida. The Zoological Society of Japan. (in Japanese)
- 7) Hidetaka Furuya. 1996. Biology of Dicyema The Japanese Society for Comparative Physiology and Biochemistry, 13, 3, 209-218. (in Japanese)
- 8) Tomoko Noto · Masahiro Yamaguti · Hiroshi Endoh. 1998. Phylogenetic position of Dicyemida from protein coding genes. The Molecular Biology of Japan, 21, 343. (in Japanese)
- 9) Hiroko Awata · Tomoko Noto · Hiroshi Endoh. 2007. Parasitic adaptation of the dicyemid mesozoon Dicyema japonicum: Peculiar behavior of distinct chromosomal DNA elements during and after development. The Japanese Journal of Protozoology, 40, 1, 68-70. (in Japanese)

Acknowledgments

In conducting this study, we received careful and valuable guidance on fundamental aspects of Dicyemida from Professor Furuya of the Department of Biological Sciences, Graduate School of Science, Osaka University. The authors also gratefully acknowledge the guidance of Mr. Kazuya Kawakatsu, Senior Teacher and advisor of the Science Club.



Sexual reproduction

Consideration

- ① Vermiform larva bud from the back of the mother dicyemid. After they are born, the mother's peripheral cell is regenerated.
- ② Cleavage is equal up to the third division; however, differentiation occurs at the eight-cell stage, and subsequent fourth and later cleavages are unequal. In the developed Infusoriform larva, a refractive body is formed, after which four spore cells become enclosed by a sporangial cell and ciliary movement begins.
- ③ Infusoriform larva swim by paddling with cilia, after it escapes outside from peripheral cell of mother dicyemid.
- ④ After they are born, the mother's peripheral cell is regenerated, and, Infusoriform larvae transition to next life cycle. Density may lead to the metamorphoses Nematogen or Rhombogen, but this is unclear.
- ⑤ Assuming that the proportions of individuals observed at each stage from the fertilized egg to the release of the infusoriform dicyemid into seawater reflect the duration of each stage, the relative time required for each stage is as follows. Approximately 87% of the total developmental time is occupied by cleavage of the fertilized egg. The ratio are **B-C : D : E : F = 67 : 32 : 10 : 6**
- ⑥ The time required for the formation of the dicyemid-type organism, as it moves back and forth within the host vermiform dicyemid, is extremely short.

- Low density population density causes the organism to produce vermiforms, whereas high population density causes it to produce infusoriforms.
- Vermiforms are produced in a few numbers, while infusoriform are produced continuously in large numbers.

As crowding causes competition, habitat get worse over time, rhombogen form a large amount of infusoriform larva, by encountering those with different genes, may lead to the success of a species as a result.

Future Challenges

After the Infusoriform larva emerges from the host body, how does it encounter other individuals? Does genetic exchange occur? how does it transform into the vermiform dicyema from that stage? And, at what density does the reproductive cycle of dicyemida change?

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熱水の温度・圧力

兵庫県立姫路東高等学校 科学部地学系研究部マグマ班

西川大貴 山口歩珠 辻本ゆき乃 藤本知真 松岡沙和
板家有良 関尾悠起 多田悠希 田路倅多 和田知優

要 旨

豪州 NSW 州南東部の Bingi Bingi Point 複合深成岩体は、不混和マグマが固結した状態を残す露頭として国際的に知られている。閃緑岩を包み込むようにトータル岩マグマが上昇し、多量の熱水を閃緑岩に供給したと考えられている。閃緑岩やトータル岩の角閃石には、magnesian hornblende のパッチー累帯構造が普遍的に発達しているほか、この熱水残液の循環によって、actinolitic hornblende の淡緑色リムが形成され、この領域に幅 $1 \mu\text{m}$ の微細なバンドが繰り返し波状に形成される波状累帯構造が著しく発達している。露頭調査と偏光顕微鏡による観察、および EPMA による成分元素の分析から、角閃石の波状累帯構造領域を含む淡緑色リム部は熱水残液によって再平衡したと考えられる。斜長石-アルカリ長石を利用する鉱物温度計、および波状累帯構造を発達させている角閃石の Al や Ti 成分をもとに計算する鉱物温度計と圧力計によって、角閃石の淡緑色リム部は、 640°C 以下、2 kbar ($2.0 \times 10^6 \text{hPa}$) 以下を示す。さらに不透明鉱物の共存関係による分圧計は、酸素分圧 $\log f_{\text{O}_2} = -19.5 \sim -19.0$ を示す。これらは、角閃石の淡緑色リム部や波状累帯構造が、サブソリダス過程における累進的酸化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、熱水残液が循環したことを示す指標となる。

キーワード：熱水残液 累進的酸化 サブソリダス 波状累帯構造 パッチー累帯構造

1. はじめに

マグマは分化末期にどのような振る舞いをするのかを解明することは、基礎研究としてだけでなく、たとえば火山噴火のメカニズムを知ることにもつながる。しかし、マグマは開放系の中で分化し、周囲の岩石と反応したり（混染）、マグマ中のガスを不規則に脱ガスしたり、不均一な地層の中でそれぞれの地域に特有な振る舞いを見せたりするため、全体像の解明は容易ではない。筆者らはこれまで、深成岩類の角閃石にマグマ分化末期の環境が記録されている微細構造として、波状累帯構造に着目して研究を行ってきた。角閃石の波状累帯構造は、晶出後イオン置換が起こり、幅 $1 \mu\text{m}$ の帯が数 mm の領域に波状に繰り返される構造である。変成岩中の角閃石の波状累帯構造は、現在に至るまであちこちの変成岩から報告されており¹⁾ など、波状累帯構造の存在は広く知られている。

Kawakatsu and Yamaguchi は、火成岩類である大東-横田花崗閃緑岩の角閃石から波状累帯構造を発見し、マグマ分化末期に熱水残液の循環がおり、変成作用よりもずっと軽微な置換反応が起こっていたことを示した²⁾。この報告は、既に晶出した鉱物も、変成作用のような高温あるいは高压の環境ではなくても、熱水残液によって二次的に置換される現象が普遍的に起こることを示唆するとともに、現在われわれが見ている火成岩の鉱物が、マグマから一次的に晶出したものではなく、全体が置換されて異なる鉱物に姿を変えている可能性があることを示すものであり、大きな意義を持つとされた。

Kawakatsu and Yamaguchi の論文以降、深成岩を構成するケイ酸塩鉱物の波状累帯構造の形成と流体相の影響の関係に関する論文が多く発表された^{3) ~13)} など。波状累帯構造がもはやケイ酸塩鉱物において

は通常の構造であり、熱水が影響を及ぼして形成されるという報告も現れた¹⁴⁾。しかしそこには、角閃石に関する報告が抜け落ちており、角閃石の波状累帯構造そのものに焦点を当ててマグマ分化末期のサブソリダス環境を解明するような研究はほとんどみられない^{15)~17)}。

Kawakatsu and Yamaguchi の論文に啓発された筆者らは、波状累帯構造は一次的に晶出した鉱物内部に二次的な熱水の影響の証拠を残すものであり、これを分析することによってマグマ分化末期の環境を推定することができると考え、角閃石の波状累帯構造の研究に取り組んできた。揖保川花崗閃緑岩の研究では、角閃石から Kawakatsu and Yamaguchi に続いて世界で2例目の波状累帯構造を発見し、その形成メカニズムを明らかにした¹⁸⁾。さらに神戸花崗閃緑岩からも同様の構造を発見した。深成岩類の角閃石に見られる波状累帯構造は、たとえば市販の深成岩類の角閃石にも見られるなど、それと認識されていないだけでどこにでも普遍的に見られるものと考えられる。

筆者らは2024年1月に、豪州NSW州南東部 Bingi Bingi Point 複合深成岩体の露頭調査を行った(図1)。調査地域の閃緑岩には、後から包み込むように貫入したトータル岩マグマから多量の熱水支脈や苦鉄質包有岩がみられた。苦鉄質包有岩の周囲は細粒であり、熱による反応縁と考えられる¹⁸⁾。これら2つのマグマは、不混和な状態で連続的に分化したのと考えられる。

採取した閃緑岩とトータル岩の試料の偏光顕微鏡観察によって、海外の深成岩体から初めて、深成岩の角閃石に発達する actinolitic hornblende の波状累帯構造を発見した(図2)¹⁹⁾。その角閃石の淡褐色コア部は、magnesian hornblende のパッチー累帯構造を示す。淡緑色リム部の波状累帯構造は、再平衡によって結晶成長のc軸方向に発達している。内側の構造を外側の構造が切るように形成されていることから、何度も熱水残液が循環したと考えられる¹⁹⁾。

京都大学理学部の協力を得て、筆者ら自身によって角閃石の波状累帯構造の Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) を用いた成分分析を行った結果、①波状累帯構造は、自形の磁鉄鉱やスフェーンと共存していること、②酸化的環境下でみられる Edenite 型の組み合わせ置換が優勢であること、③マグマの飽和・脱水を経験した角閃石の特徴とされる Al^{VI} が0.6以下の値を示すこと、④M1-M3サイトの Fe^{3+} が、このサイトの $Na+Ti+Fe^{3+}$ の半分以上を占めていること、⑤ $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ の値が0.18~0.50と低いこと、⑥ $Mg/(Mg+Fe_{Total})$ の値は、淡褐色コア部から淡緑色リム部に向けて減少すること、⑦淡緑色リム部の Cl は微量であること、等を明らかにした。これらはいずれも、マグマ分化末期に酸化的環境でマグマの発泡・脱水に伴う熱水残液の循環が起こり、既に晶出していた角閃石に淡緑色リム部が形成されたり、波状累帯構造が発達したりしたことを示している¹⁹⁾。西南日本内帯に分布し、白亜紀~古第三紀に形成された揖保川閃緑岩や神戸花崗岩、豪州南東部に分布し、デボン紀に形成された Bingi Bingi Point 複合深成岩体の閃緑岩やトータル岩の角閃石から同様の構造が発見されたことは、異なる地域や時代においても、波状累帯構造は熱水残液が循環した形跡を残す指標になる可能性があると考えた。

雲仙普賢岳の1991年の噴火をはじめとして、溶岩の噴出の記録が解析されており、マグマの脱ガスと急激な冷却が火口付近で起こることが指摘されている²⁰⁾。マグマの脱ガスの時期や環境、酸素分圧を推定できれば、噴火準備段階や噴火のダイナミクスを理解することができる。熱水残液の動向やサブソリダス過程の温度・圧力環境を推定することは、基礎研究として極めて重要な意味を持つ。

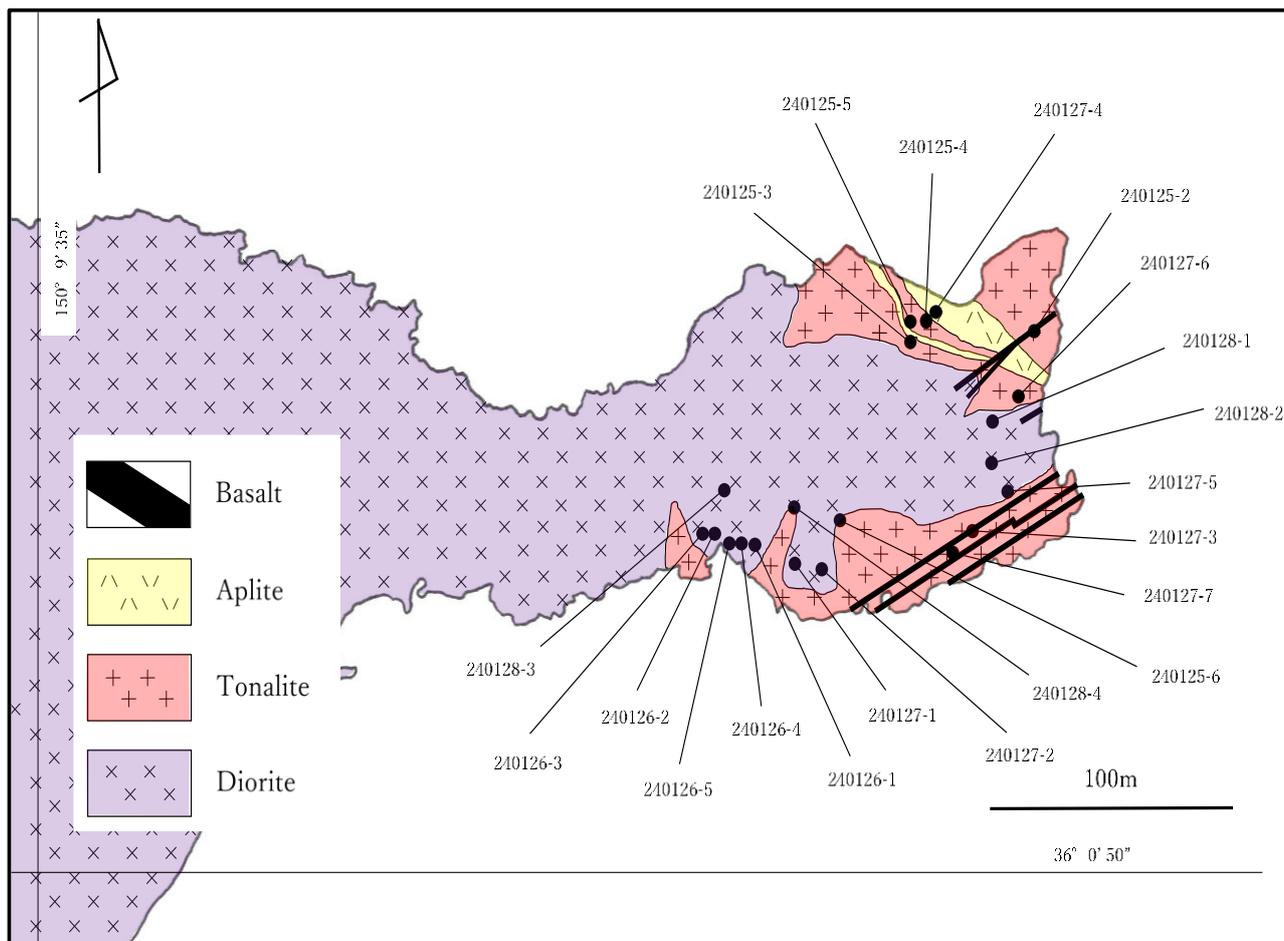


図1 豪州 NSW 州南東部 Bingi Bingi Point 複合深成岩体の岩石分布図¹⁹⁾

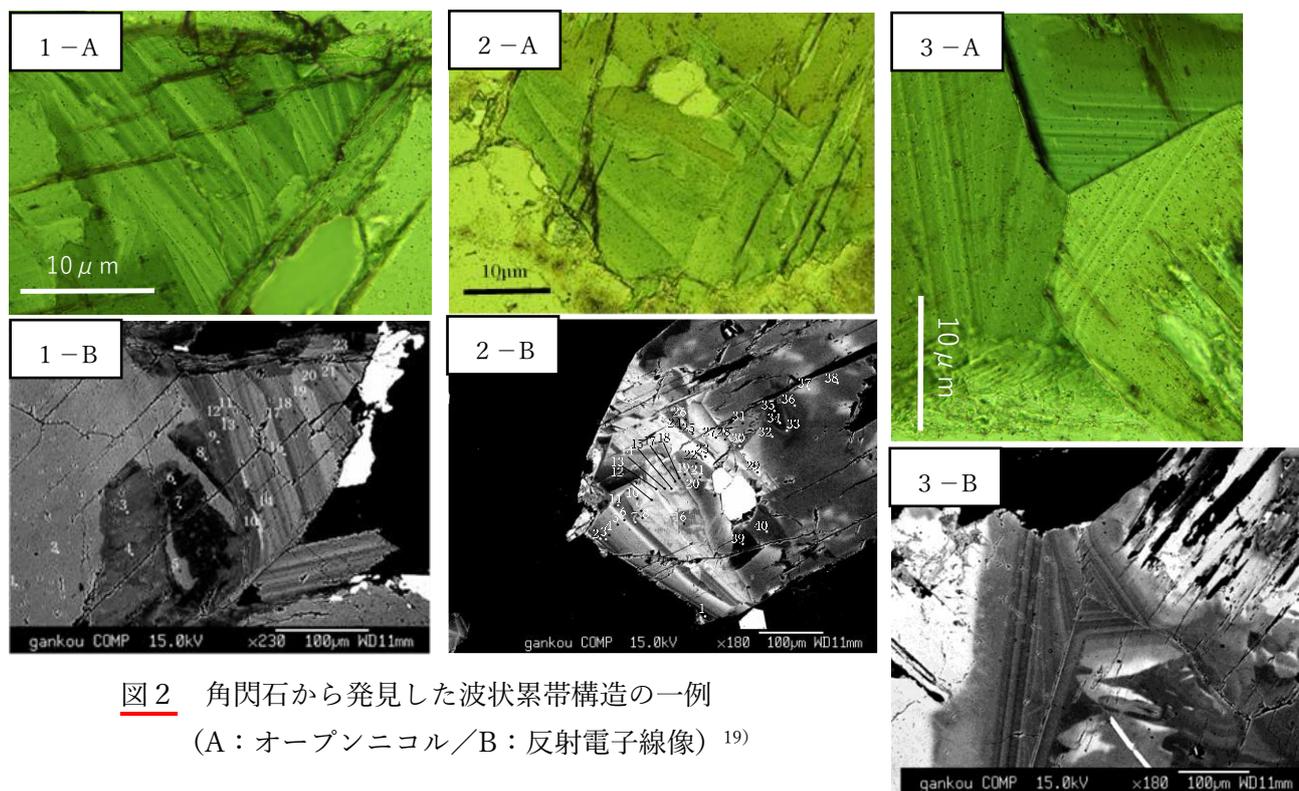


図2 角閃石から発見した波状累帯構造の一例
(A: オープンニコル/B: 反射電子線像)¹⁹⁾

2. 研究目的

波状累帯構造発見の成果を2024年にワシントンD.C.で開催された American Geophysical Union や日本地質学会等で発表したところ、高い評価を得た一方で、熱水残液が循環した（すなわち波状累帯構造が形成された）温度や圧力の具体的な環境を解明することが新たな課題として示された。熱水残液循環の指標とするためには、具体的な数値が必要とされた。そこで、角閃石の内部構造や他の鉱物との共存関係を詳細に観察し、熱水残液循環時の温度・圧力を明らかにすることを目的に研究を行った。

3. 研究方法

鉱物の成分を用いた温度・圧力を推定する方法では、それを活用する条件として岩石の構成鉱物の組み合わせが指定されている。そこで、採取した閃緑岩試料から研磨薄片6枚を作成して偏光顕微鏡で観察し、モード組成を測定した。また、角閃石と共存する長石類や不透明鉱物の記載を行った。その後、京都大学理学部の協力を得て、3日間にわたって角閃石と共存する斜長石、アルカリ長石、不透明鉱物の EPMA 分析を行い（図3）、鉱物温度計を用いて波状累帯構造が形成された時の温度・圧力環境を推定した。



図3 京都大学理学部での EPMA 分析

4. 観察・分析結果

(1) 岩石試料のモード組成

Bingi Bingi Point の閃緑岩とトータル岩のモード組成を測定した。鉱物組合せは、鉱物温度計および圧力計を用いるための条件をクリアしている。

閃緑岩：石英 4%、斜長石 56%、アルカリ長石 6%、角閃石 28%、黒雲母 3%、そのほか、磁鉄鉱、チタン鉄鉱、スフェーン、ルチル、燐灰石、変質鉱物

トータル岩：石英 19%、斜長石 62%、アルカリ長石 6%、角閃石 9%、黒雲母 2%、そのほか、磁鉄鉱、チタン鉄鉱、スフェーン、ルチル、燐灰石、変質鉱物

(2) 角閃石の産状と、Ti による温度計、Al による圧力計

角閃石はほとんどが自形～半自形で、多くの角閃石には淡褐色パッチー累帯構造がみられるとともに、淡緑色リム部に波状累帯構造を発達させている（図4）。また、黒雲母と結晶外縁部で共存しているようすもみられる（図5）。

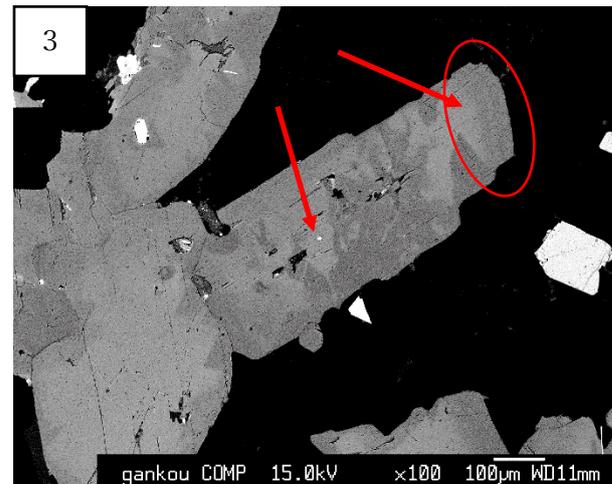
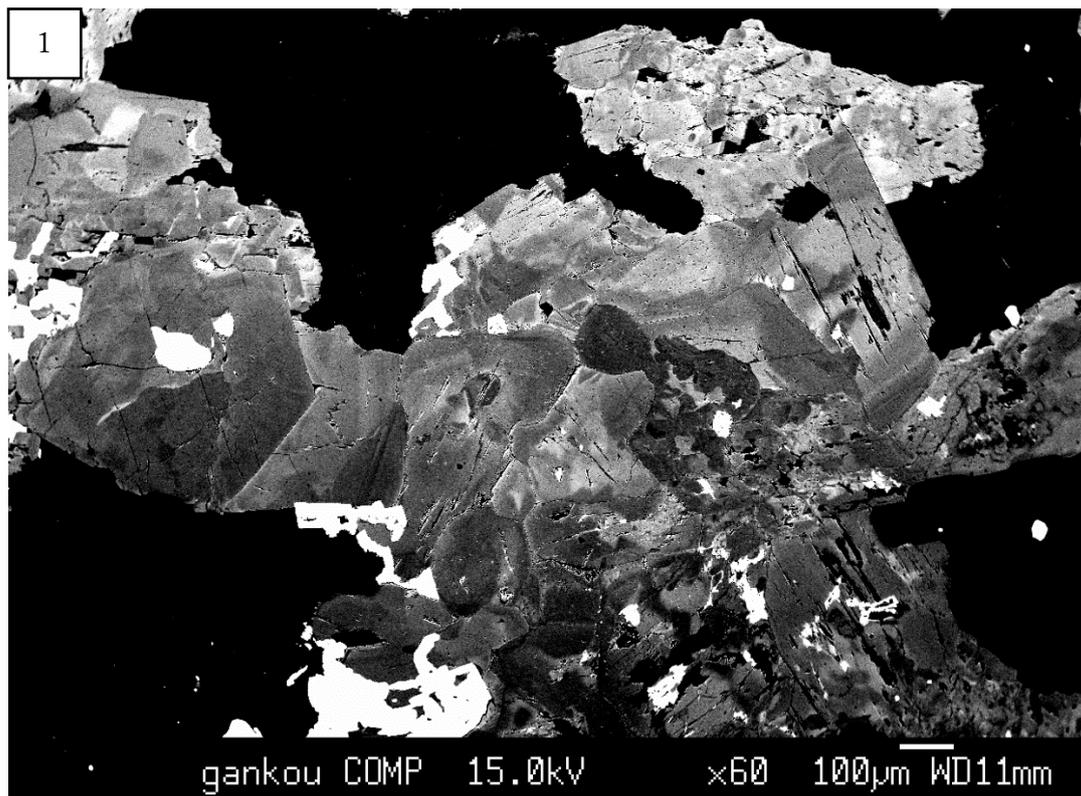


図4 パッチー累帯構造と波状累帯構造が発達した角閃石（試料 240126-5）
（1・3：反射電子線像、2：オープンニコル／矢印部：パッチー累帯構造、円内：波状累帯構造）

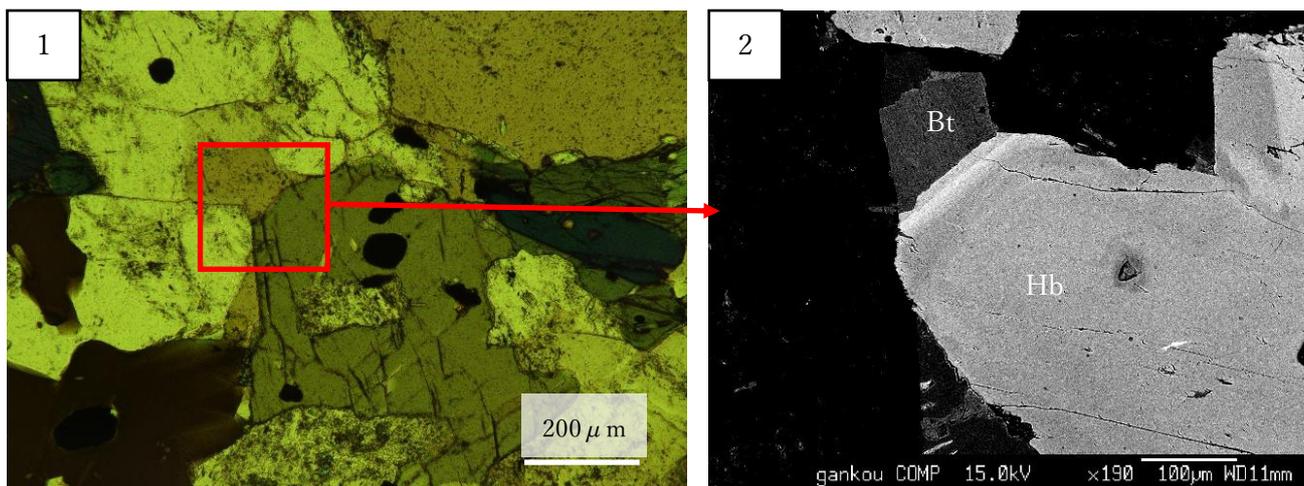
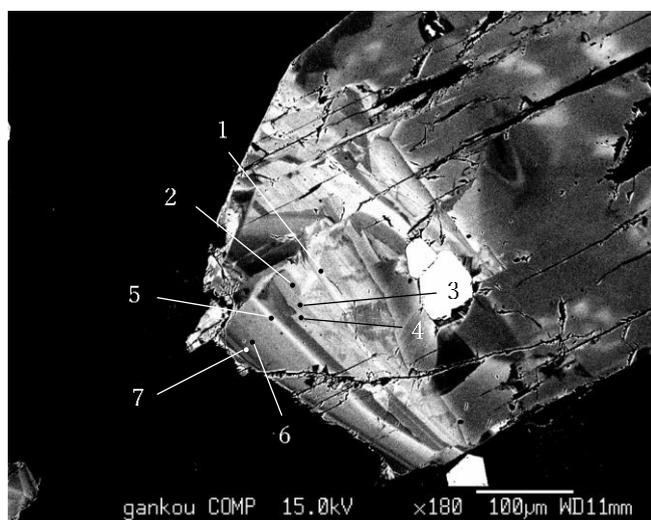
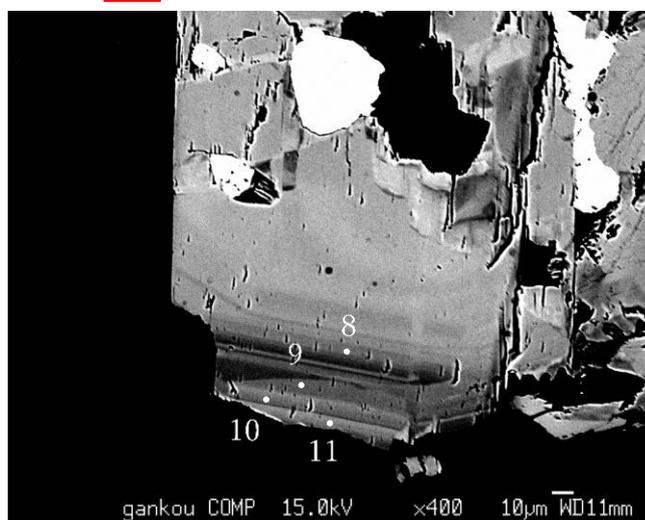


図5 波状累帯構造をもつ角閃石と共存する黒雲母（試料 240128-4/ 1：オープンニコル、2：反射電子線像/Bt：黒雲母、Hb：角閃石）

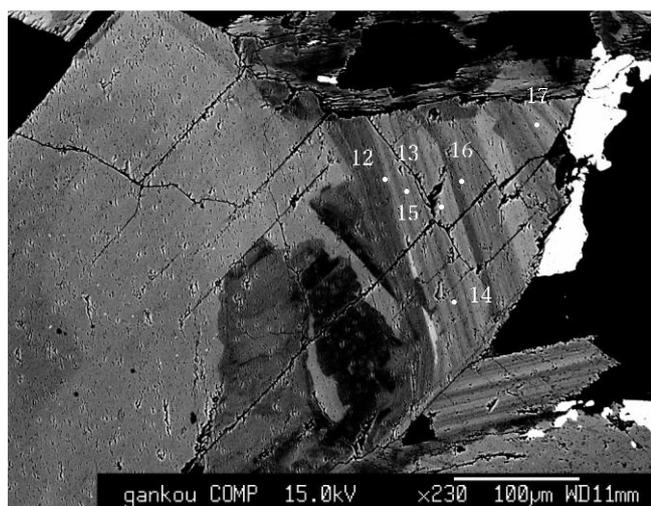
斜長石やアルカリ長石と共存する角閃石リム部の分析点（図6）を反射電子線像上で示す。



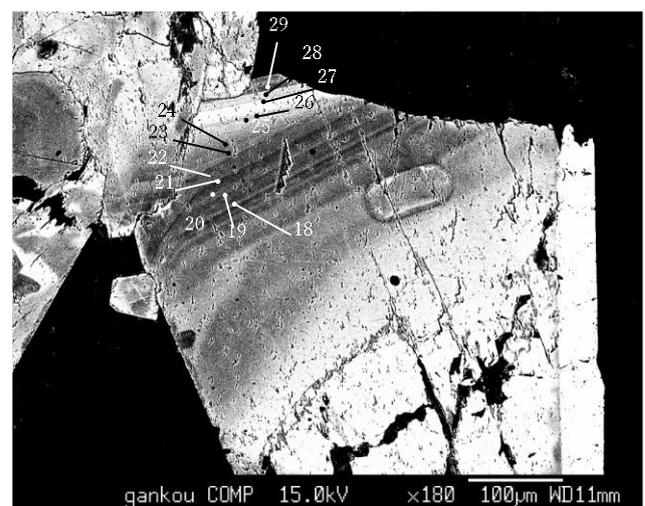
試料 240128-2



試料 240128-4



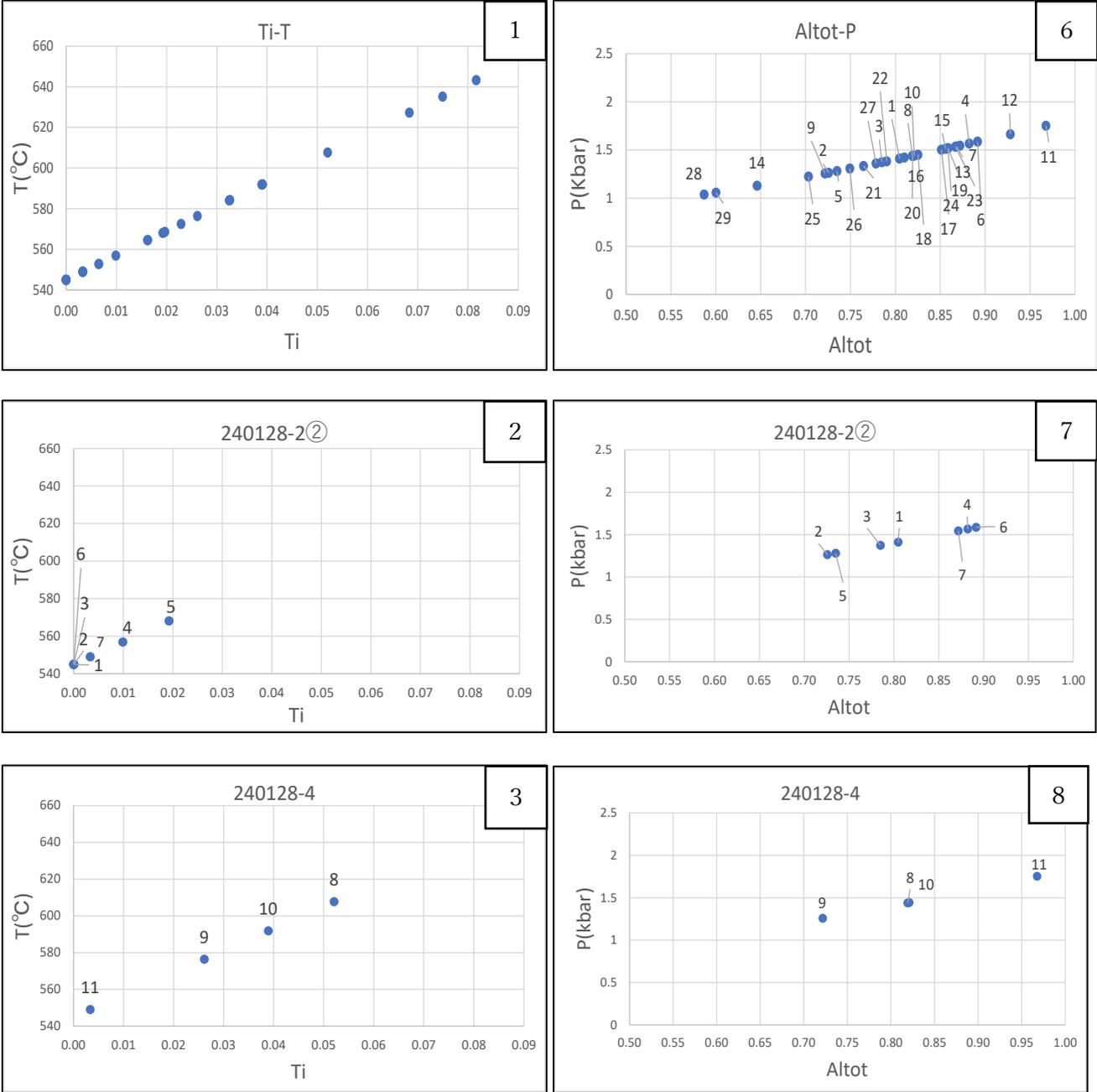
試料 240125-6



試料 240127-5

図6 波状累帯構造を発達させた角閃石の淡緑色リム部の EPMA 分析点

角閃石のリム部の Ti をもとにして、リム部の平衡温度を求める温度計によると²¹⁾、淡緑色リム部の外縁部に向かって、約 640°C から 545°C まで次第に低下していく (図 7)。また、角閃石の Al をもとにして平衡圧力を求める方法は、角閃石 + 斜長石 + 黒雲母 + 石英 + アルカリ長石 + チタン鉄鉱 + 磁鉄鉱 + 燐灰石の鉱物組み合わせがみられるときに用いられるものであり、モード組成から本試料において有効である。角閃石のリム部の Al から $P(\text{kbar}) = 0.5 + 0.331 \times \text{Al}(\text{total}) + 0.995 \times (\text{Al}(\text{total}))^2$ によって平衡圧力を推定すると、淡緑色リム部から結晶外縁部に向かって、1.7kbar ($1.7 \times 10^8 \text{Pa}$) ~ 1.0kbar ($1.0 \times 10^8 \text{Pa}$) と低下することがわかる²²⁾ (図 8)。



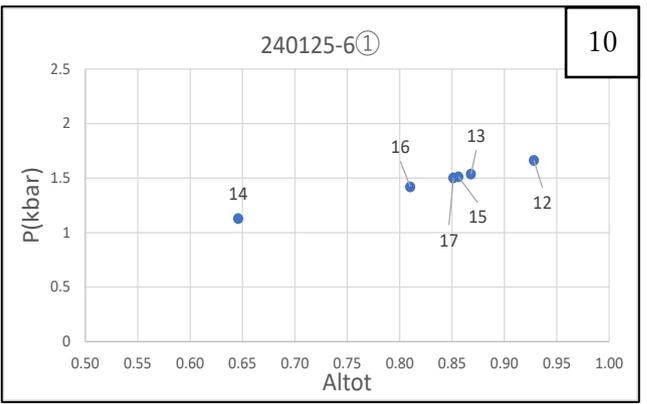
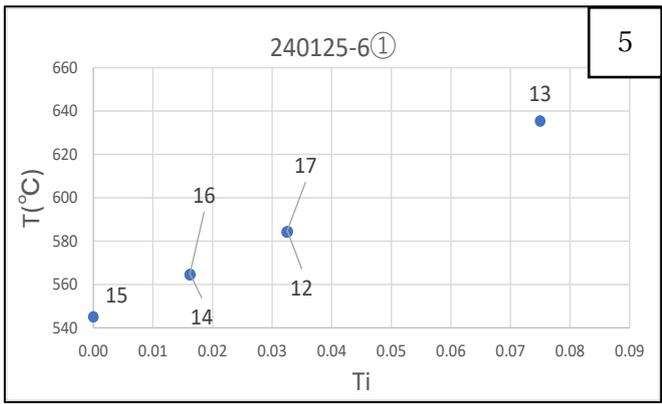
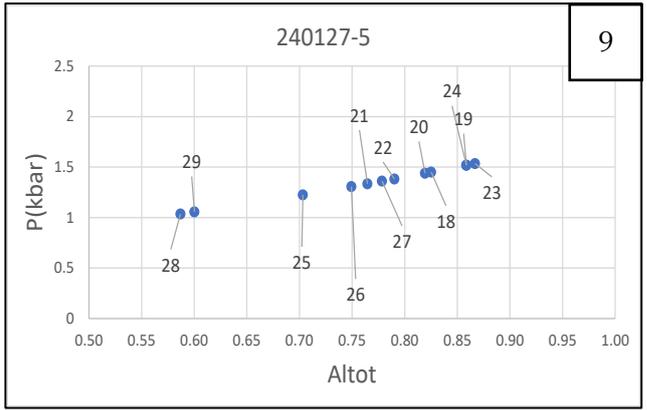
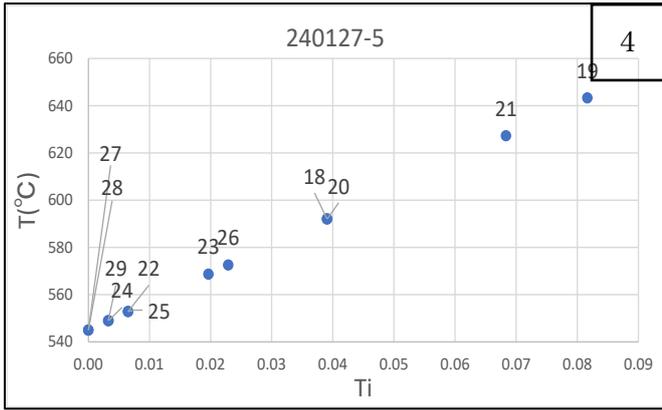


図7 角閃石のTiをもとにした温度計

1：全体の集計、2～5：角閃石ごとの分析値

図8 角閃石のAlをもとにした圧力計

6：全体の集計、7～10：角閃石ごとの分析値

(3) 長石類の産状と、斜長石－アルカリ長石温度計

閃緑岩では、斜長石が56%と多くを占めているが、アルカリ長石も6%程度見られる。波状累帯構造をもつ角閃石と隣接して共存する斜長石及びアルカリ長石の関係を観察すると、アルカリ長石と接する斜長石のリム部にのみ、数回成分をやり取りしたとみられる反応縁がみられる(図9)。

波状累帯構造を発達させた角閃石の淡緑色リム部と共存する斜長石とアルカリ長石の化学組成から、平衡温度を求めた²³⁾。分析点は、反射電子線像に示した(図10)。その結果、1 kbar (1.0×10⁶hPa) 条件下で400°C以下、10 kbar (1.0×10⁷hPa) 条件下でも500°C以下を示した(図11)。これはいずれもサブソリダス温度を示している。

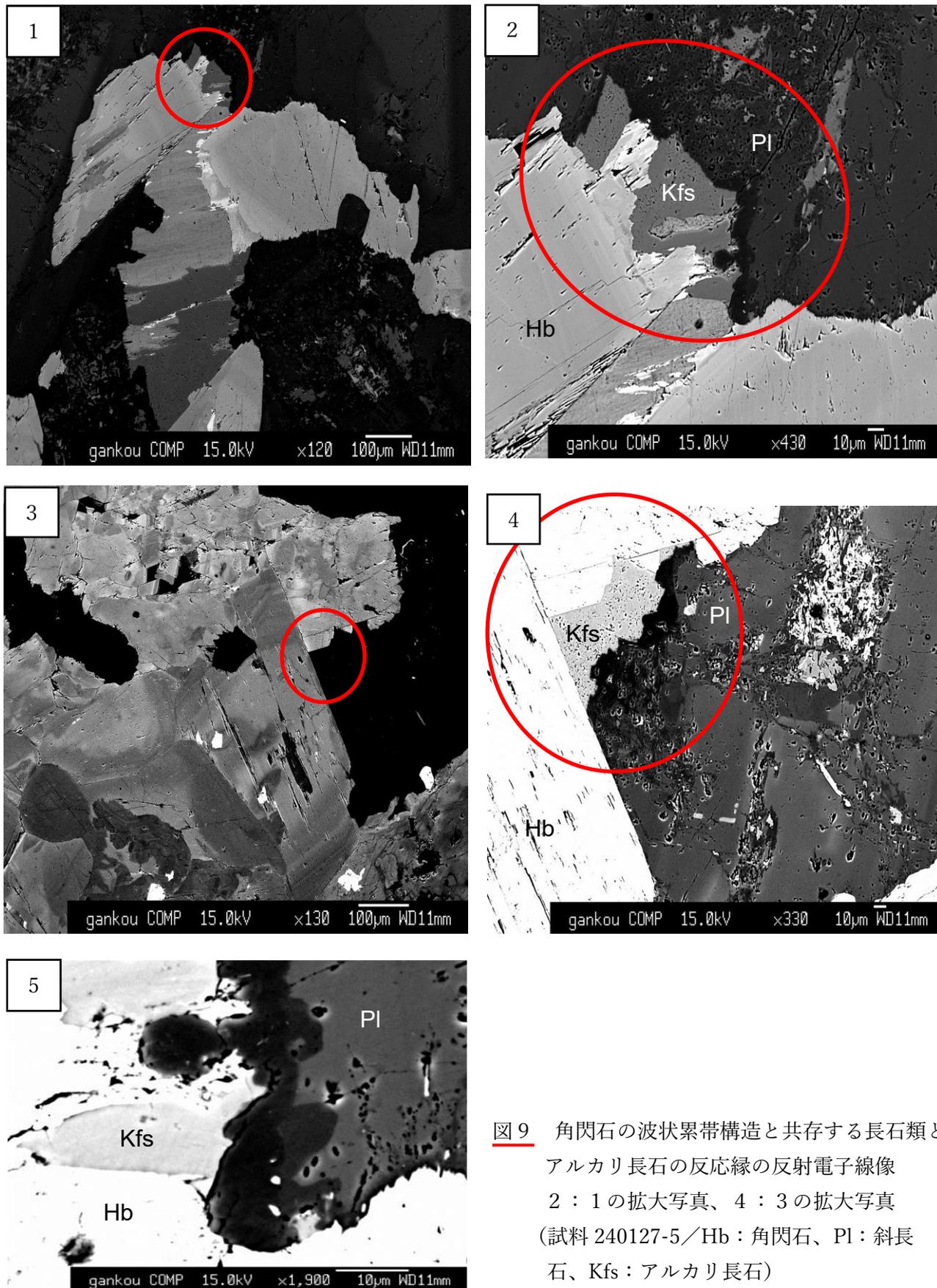
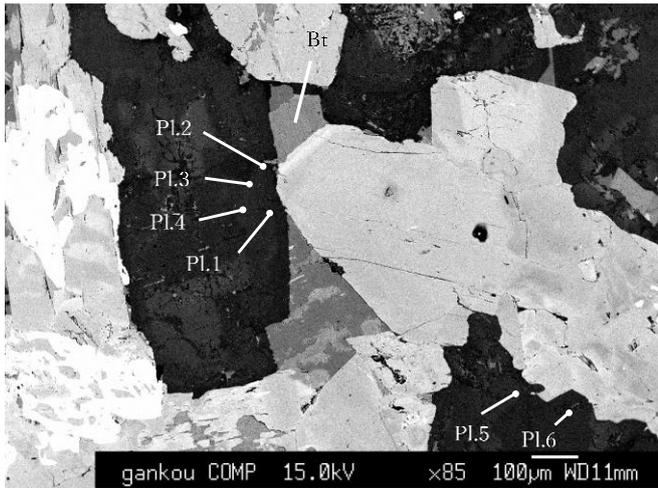
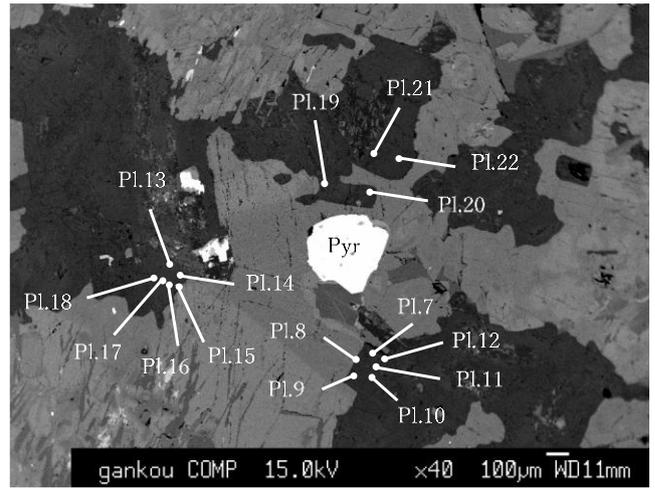


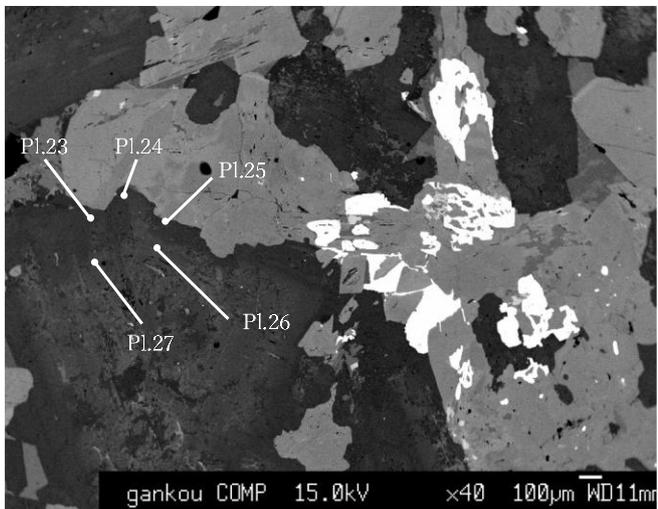
図9 角閃石の波状累帯構造と共存する長石類とアルカリ長石の反応縁の反射電子線像
 2：1の拡大写真、4：3の拡大写真
 (試料 240127-5/Hb：角閃石、Pl：斜長石、Kfs：アルカリ長石)



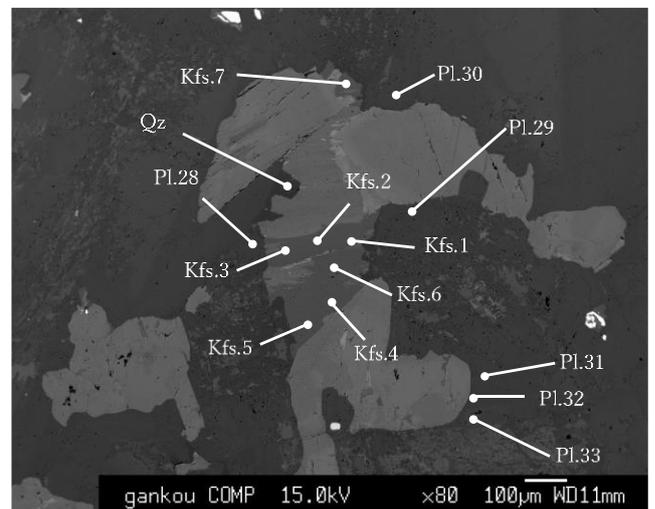
試料 240127-5



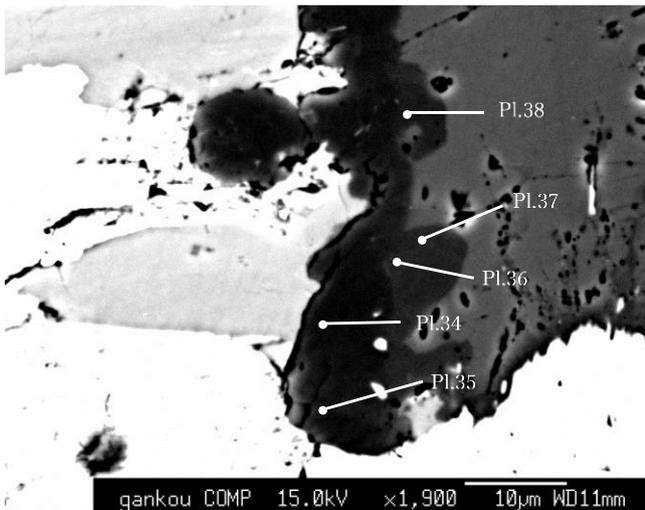
試料 240127-2



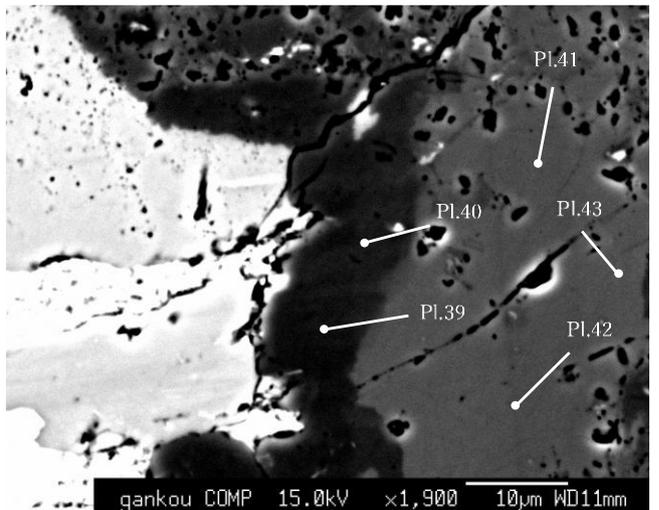
試料 240127-5



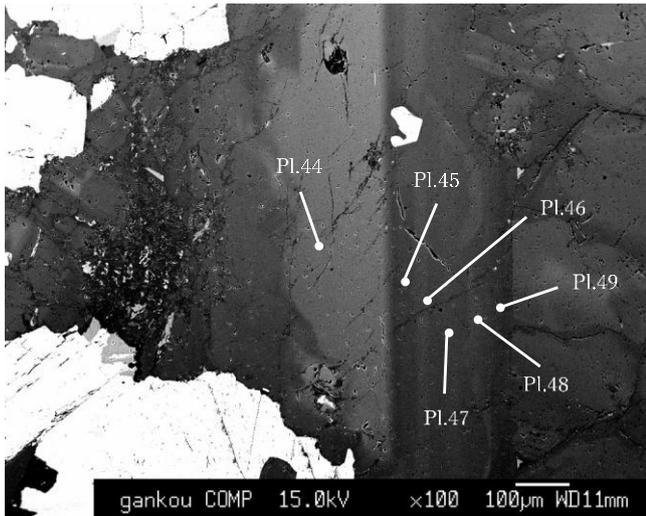
試料 240127-5



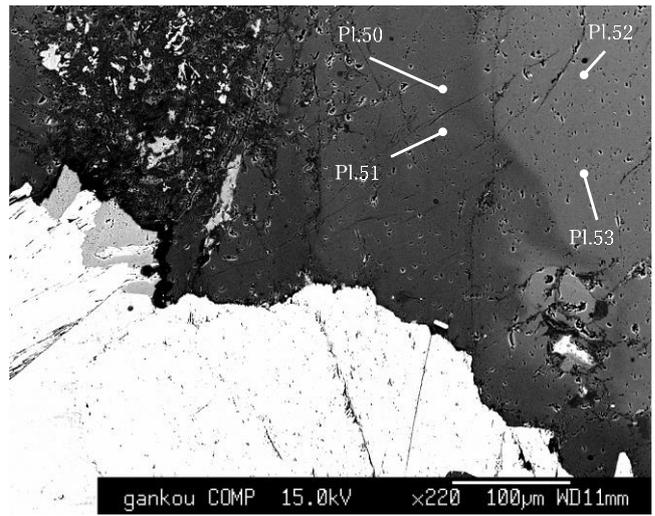
試料 240127-5



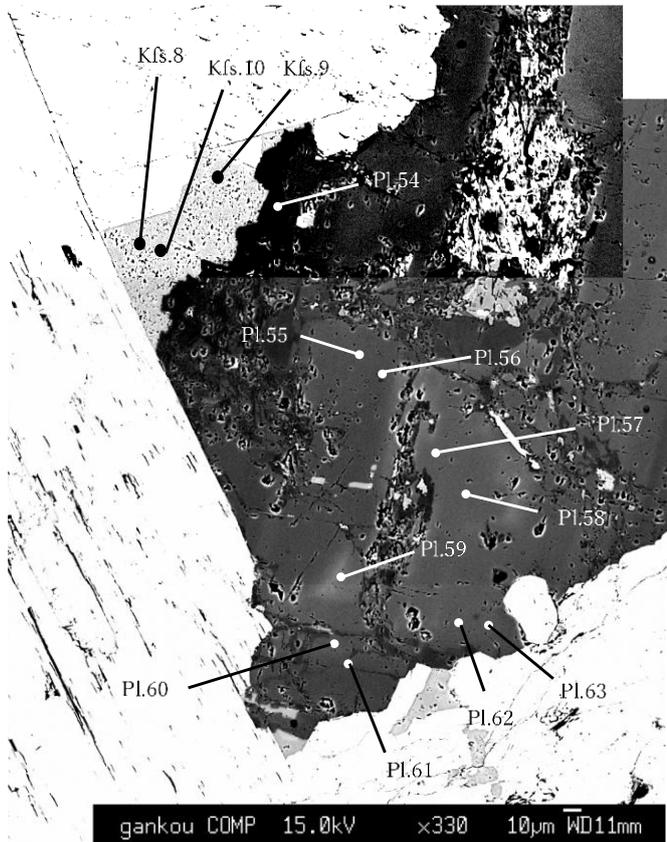
試料 240127-5



試料 240127-5



試料 240127-5



試料 240127-5

図10 長石類の分析点を示す反射電子線像
(Pl:斜長石、Kfs:アルカリ長石、Bt:黒雲母、
Pyr:黄鉄鉱、Qz:石英)

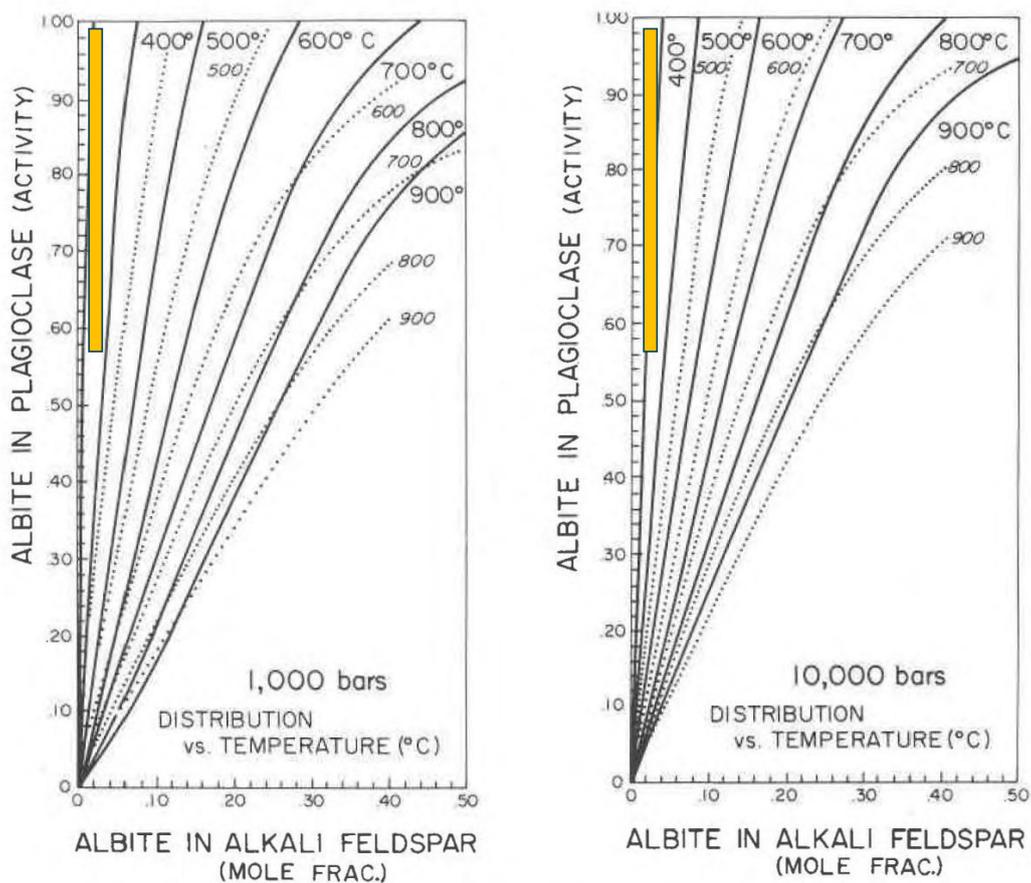
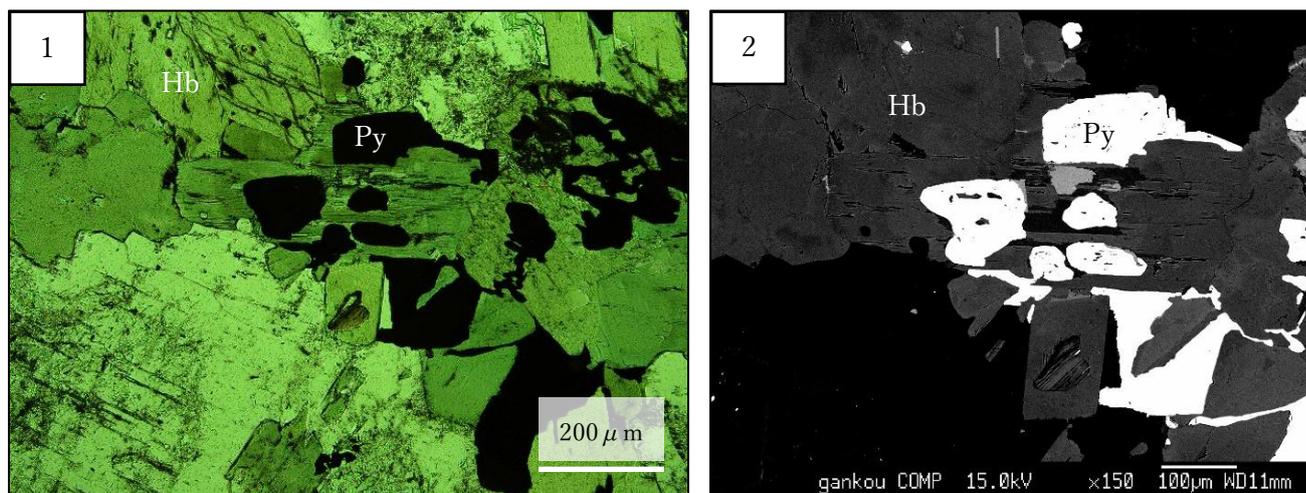


図 11 斜長石－アルカリ長石温度計における共存温度

(4) 不透明鉱物の産状と、推定される圧力

不透明鉱物の多くは黄鉄鉱が占めている。自形の黄鉄鉱は自形角閃石のリム部で共存しており、一部は淡緑色リム部の波状累帯構造とも共存している。さらに鉱物間にも多量の黄鉄鉱が生じている (図 12)。



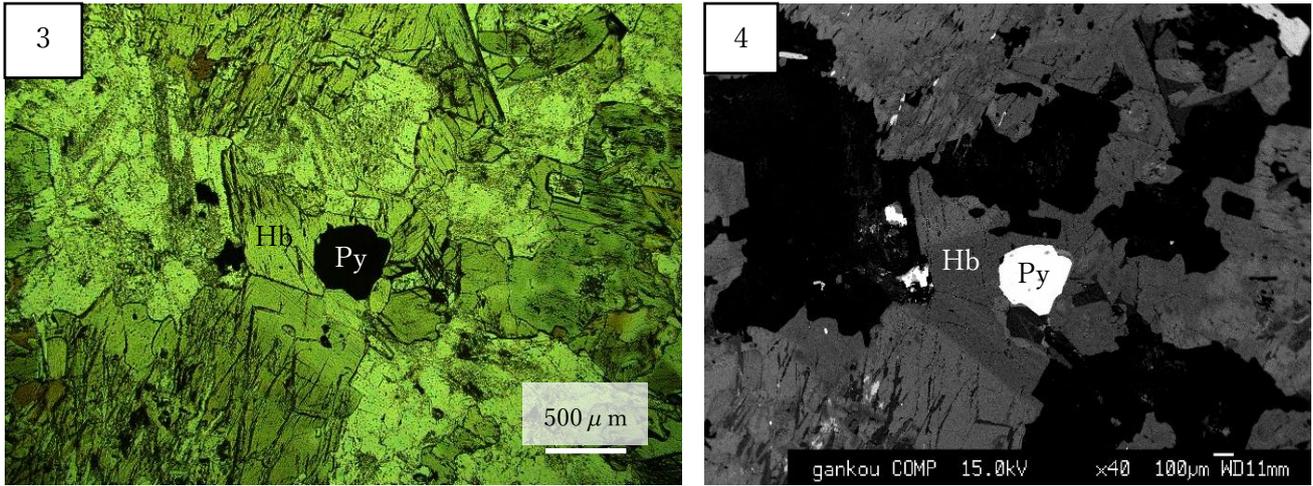


図12 角閃石のリム部と共存する黄鉄鉱 (Hb：角閃石、Py：黄鉄鉱／1～2：試料 240127-5、3～4：試料 240127-2)

これまで多くの研究者によって、磁鉄鉱とチタン鉄鉱の組成によって酸素分圧と平衡温度を計算する方法が活用されてきた²⁴⁾。本研究の試料においても磁鉄鉱とチタン鉄鉱はわずかにみられるが、いずれも角閃石の波状累帯構造を発達させている淡緑色リム部と共存する自形の結晶は見られず、平衡温度や酸素分圧を計算する手段として用いることができなかつた。550 °Cにおける $\log f_{O_2} - \log f_{S_2}$ ダイアグラムの鉱物組み合わせから見ると²⁵⁾、磁鉄鉱とチタン鉄鉱、黄鉄鉱の共存は A-B ライン上で安定に共存しており、 $\log f_{O_2} = -19.5 \sim -19.0$ 、 $\log f_{S_2} = -3.5 \sim -2.5$ となる(図13)。不透明鉱物の多くは黄鉄鉱であった。一部の黄鉄鉱には離溶ラメラ様の構造がみられた。角閃石の波状累帯構造と共存する黄鉄鉱の EPMA 分析点を反射電子線像に示した(図14)。黄鉄鉱は極めて純度が高く、反射電子線像においては離溶ラメラ状の構造が確認されるが、きわめて細いため組成に有意な差は認められなかつた。

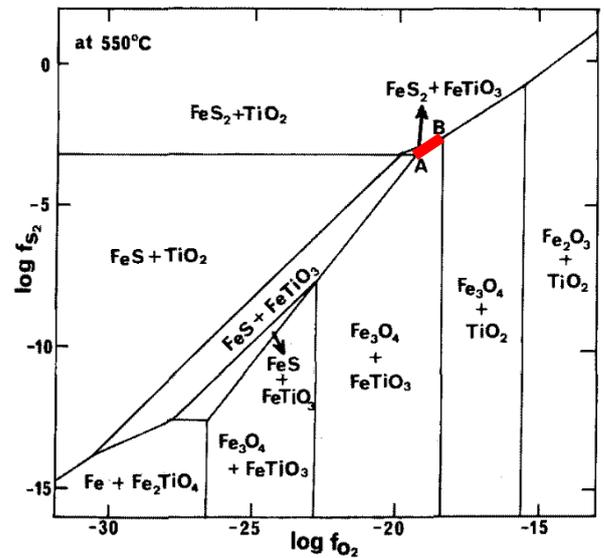


図13 不透明鉱物の共存関係による圧力推定値

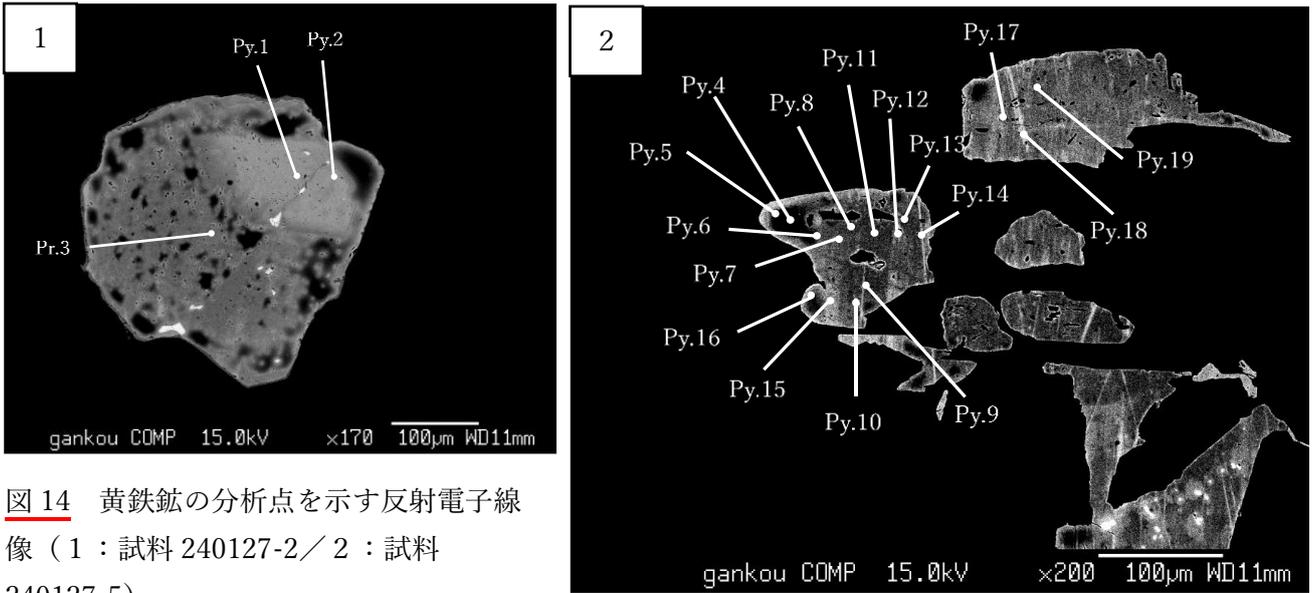


図14 黄鉄鉱の分析点を示す反射電子線像 (1: 試料 240127-2 / 2: 試料 240127-5)

5. 考察

本調査地域の閃緑岩やトーナル岩には多くの岩脈や苦鉄質包有岩があちこちにみられる。トーナル岩と閃緑岩の接触部にはしばしば急冷縁がみられ、結晶化が進んだ低温の閃緑岩に高温のトーナル岩マグマが上昇したことを示している。閃緑岩は、①角閃石が自形であることから、角閃石はマグマ分化過程の早期から晶出していた、②角閃石にパッチー累帯構造がみられることから、角閃石は急速に成長した、③角閃石の Cl 含量がきわめて低いこと (<0.03 Wt%)、さらに、④マグマが結晶化する途中で自形の硫化鉱物 (主に黄鉄鉱) が多量に晶出していることなどから、閃緑岩を形成した玄武岩質マグマは多くの H₂O と S を供給されて発泡していたと考えられる。

計算によって推定されるマグマの温度は 500°C前後で変動することが知られていることから、角閃石の淡緑色リム部に発達する波状累帯構造が形成された平衡温度や圧力環境を推定するためには、複数の方法を用いる必要がある。本地域の角閃石はマグマ分化過程早期の淡褐色コア部から分化過程末期のサブソリダス過程における淡緑色リム部の波状累帯構造までを記録している。角閃石はいずれも淡褐色コア部から淡緑色リム部に向かって Fe²⁺ / (Fe²⁺ + Fe³⁺) が減少しており、酸化が進行して Fe³⁺ が増加したことを示している。この酸化はマグマ固結後のサブソリダス過程まで累進的に進行し、多量の黄鉄鉱や磁鉄鉱を角閃石の淡緑色リム部に晶出させている (表1)。

表1 角閃石のリム部が再平衡したときの推定環境

推定方法	リム部の平衡温度・圧力	引用文献
角閃石の淡緑色リム部の Ti 温度計	640 °C~545 °C	Otten,1984 ²¹⁾
角閃石の淡緑色リム部の Al 圧力計	1.7 kbar (1.7×10 ⁶ hPa) ~ 1.0 kbar (1.0×10 ⁶ hPa)	Mutch et.al.,2016 ²²⁾
2長石による温度計	400 °C以下 (1 kbar=1.0×10 ⁶ hPa) 500 °C以下 (10 kbar=1.0×10 ⁷ hPa)	Whitney and Stormer, 1977 ²³⁾
不透明鉱物の共存関係の分圧計	log fO ₂ = -19.5~-19.0 (500 °C) log fS ₂ = -3.5~-2.5 (500 °C)	根建ほか,1984 ²⁵⁾

マグマが酸化する原因として考えられるのは、①地殻物質の混染、②H₂ガスの選択的な放出、③玄武岩マグマの混入によって酸化剤の役割を果たす多量のSO₂の供給、が考えられるとされている²⁶⁾。①は浅所貫入のため地殻物質の混入の影響は大きくはないと考えられる。また②については、火山体の火道内でよくみられる現象であり²⁷⁾、深成岩体で大規模に起こるとは考えにくい。いずれにも可能性があり断定することは難しいが、地質調査において、閃緑岩を包有するように不完全に分化したトータル岩が上昇して熱水を供給していることからすると、③の玄武岩マグマのSO₂の供給が重要であったと考えられる。マグマが上昇して温度や圧力が低下すると、結晶分化作用においてSO₂はH₂SとO₂に分解してFe²⁺がFe³⁺に酸化されることが知られている³⁾²⁸⁾。そのようにして、角閃石のリム部の成長と同時期に自形の黄鉄鉱を晶出させながらマグマの酸化が進行し、角閃石のFe³⁺が高くなっていったと考えられる。

6. 結論

角閃石の波状累帯構造のAl成分による推定圧力は、1.7kbar (1.7×10⁶hPa) ~1.0 kbar (1.0×10⁶hPa)を示す。また、角閃石の波状累帯構造を発達させている淡緑色リム部の再平衡温度を計算すると645~545 °Cのサブソリダス温度を示す。角閃石の波状累帯構造部分と共存する斜長石とアルカリ長石のアルバイト成分を用いた2長石温度計は、10 kbar (1.0×10⁷hPa) 条件下で500 °Cを示す。さらに、酸素分圧はlog fO₂=-19.5~-19.0 (500 °C)を示す。これらは、角閃石の波状累帯構造がサブソリダスの酸化的環境下で形成されたことを示している。先の研究報告では、角閃石の波状累帯構造部分のEPMA分析結果による陽イオンの置換関係をもとにサブソリダス形成されたと推定したが、これが裏付けられた結果となった。角閃石の波状累帯構造は、熱水残液が循環したことを示す指標となると考えられる。

7. 今後の課題

角閃石の波状累帯構造が指標として有効であることを示すためには、いったいどのくらいの岩体で検証を進めればよいのだろうか。同じ鎖状ケイ酸塩鉱物である輝石についても、変成岩からの波状累帯構造の報告はあるが、深成岩からのものはみられない。輝石に波状累帯構造が発達していることを示すことができれば、さらに幅広い議論を展開することができる。カンラン岩中の単斜輝石に離溶ラメラが発見されており^{32)~35)}、固溶体を形成する陽イオンに溶液による再平衡の履歴が残っていることを示している。南アフリカのPhalaborwa銅鉱床(酸化的環境)の輝石には、同じ鉱物でdiopsideからaugiteまでの幅を示し、熱水残液の中で自形輝石のリム部にNaとFe³⁺の微細な波状累帯構造が形成されている³⁶⁾。

地域も時代も異なる深成岩であっても、角閃石が含まれる深成岩の角閃石に波状累帯構造が発達していれば、マグマ分化末期の環境が酸化的サブソリダス環境であったことを示すことができる、という仮説に基づいて、オーストラリア東部とタスマン海を挟んで向き合うニュージーランドの深成岩類についても研究を進める予定である。ニュージーランド南島のペルム紀Greenhills Complex²⁹⁾や二畳紀~ジュラ紀Longwood complex³⁰⁾では、苦鉄質包有岩を多く含み、熱水残液の影響を強く受けているなど、浅所に貫入したマグマの分化過程の記録が残されている。オーストラリアNSW州南東部のBingi Bingi複合岩体はLachlan Fold Beltに位置するMoruya Batholithの一部であり³¹⁾、プレートが拡大していく地域である一方、ニュージーランド南島はサブダクション帯である。これと並行して、日本国内の閃緑岩~ハン

レイ岩体についても調査を行う予定である。西南日本内帯の白亜紀閃緑岩、ジュラ紀オーストラリア南東部閃緑岩、ニュージーランド南島ペルム紀～ジュラ紀閃緑岩～ハンレイ岩と、時代や深成岩の種類、有色鉱物の種類など環境が異なっても、マグマ分化末期の環境を推定し、有色鉱物の波状累帯構造が熱水残液循環の指標となるのかどうかを検証する。筆者らは角閃石における熱水残液の研究を輝石に拡大させて、包括的な研究に発展させることができる。

8. 引用文献

- 1) Rios,C., Garcia,C. and Takasu,A. 2003. Tectono-metamorphic evolution of the Silgara Formation metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes. *Journal.South Amer.Earth Sci.*,16.133-154.
- 2) Kawakatsu,K. and Yamaguchi, Y. 1987. Successive zoning of amphiboles during progressive oxidation oin the Daito-Yokota granitic complex, San-in belt, southwest Japan. *Geochim.Cosmocim.Acta*,51, 535-540.
- 3) Takagi,T. and Tsukimura,K. 1997. Genesis of Oxidized- and Reduced-Type Granites. *Econ.Geol.*,92,81-86.
- 4) Imai,A. 2001. Generation and Evolution of Ore Fluids for Porphyry Cu-Au Mineralization of the Santo Tomas II (Philex) Deposit、 Philippines. *Resource Geol.*,51,2,71-96.
- 5) Ishihara,S. and Hirano,H. 2016. Geneses of Two Type Rocks to Carry Placer-Magnetite Ores in the Sanin Granitic Belt, SW Japan. *Res.Geol.*,67,103-108.
- 6) Lisboa,V.A.c., Conceicao,H., Rosa,M.L.S., Marques,G.T., Lamarao,C.N., and Lima,A.L.R. 2020. Amphibole crystallization conditions as record of interaction between ultrapotassic enclaves and monzonitic magmas in the Gloria Norte Stock, South of Borborema Province. *Brazil.Jour.Geol.* 1-10.
- 7) Rossi,P., and Cocherie,A. 1990. Genesis of a Variscan batholith: Field, petrological and mineralogical evidence from the Corsica-Sardinia batholith. *Tectonophysics*,195.,319-346.
- 8) Takagi,T. 1992. Mineral equilibria and crystallization conditions of Ukan Granodiorite (ilmenite-series) and Kayo Granite (magnetite-series), San'yo Belt, Southwest Japan. *Jour.Geol.Soc.Japan.*,98.,101-124.
- 9) 高木哲一, 1993. 磁鉄鉱系列／チタン鉄鉱系列花崗岩質マグマの酸化還元状態の推移－中国地方中部～東部の例－. *岩鉱*. 88.,165-178.
- 10) Takagi,T., Naito,K., and Kamei,A. 2010. Petrographic contrast between ilmenite- and magnetite-series gabbroids in the Ryoke and San-in belts, southwestern Japan Arc. *Jour.Mineral.Petrol.Sci.*,105.,194-214.
- 11) 岩田智加・亀井淳志・岩田克彦・柴田知之・三谷明日華. 2013. 山陰帯島根県奥出雲に分布する阿毘緑花崗閃緑岩の火成活動および結晶作用. *地質学雑誌*.119.,190-204.
- 12) Orejana,D., Losantos,E., Villaseca.C., and Jeffries,T.E. 2015. Mineral chemistry of late Variscan gabbros from central Spain: constrains on crystallization processes and nature of the parental magmas. *Jour.Iberian Geol.*,41., 2.,253-272.
- 13) Akita University. 2020. Evolution of the hydrothermal system and ore mineralization in the Southwest prospect, in the vicinity of the Santo Tomas II deposit, Bsguio district, Philippines. *Cirineo Avriel Venis Literal.*,6517102.,1-203.

- 14) Shore, M. and Fowler, A.D. 1996. Oscillatory zoning in minerals: A common phenomenon. *Canadian Mineral.*, 34., 1111-1126.
- 15) Yamaguchi, Y., and Wada, H., Ohta, Y., and Harayama, S. 2003. Amphibole zoning, a record of progressive oxidation during crystallization of mafic microgranular enclaves in the Kurobegawa Granitic Pluton. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, 98, 151-155.
- 16) Kawakami, T., Sueoka, S., Yokoyama, T., Kagami, S., King, G.E., Herman, F., Tsukamoto, S., and Tagami, T. 2021. Solidification depth and crystallization age of the Shaidani Granodiorite: Constraints to the average denudation rate of the Hida Range, central Japan. *Island Arc*, 30., 1-11.
- 17) Suzuki, K., Kawakami, T., Sueoka, S., Yamazaki, A., Kagami, S., Yokoyama, T., and Tagami, T. 2022. Solidification pressures and ages recorded in mafic microgranular enclaves and their host granite: An example of the world's youngest Kurobegawa granite. *Island Arc*, 31, 1-15.
- 18) 岩本滂治・多田明良・本脇敬人・山本悠介（兵庫県立姫路東高等学校科学部地学系研究部）. 2023. 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.
- 19) 稲本晴香・陰山麻愉・永野千世・藤田詩桜・松田理沙・村尾倅生・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（兵庫県立姫路東高等学校科学部地学系研究部）. 2024. オーストラリア南東部ニューサウスウェ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—角閃石の波状累帯構造に基づいて—. 日本地質学会第131年学術大会要旨.
- 20) 山口佳昭・近藤均. 1994. 雲仙火山1991溶岩の石基ガラス中の隠微晶質鉱物—溶岩噴出条件・脱ガス・酸化の記録—. 日本火山学会講演予稿集.
- 21) Otten, M.T. 1984. The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 86, 189-199.
- 22) Mutch, E.J.F., Blundy, J.D., Tattitch, B.C., Cooper, F.J., and Brooker, R.A. 2016. An experimental study of amphibole stability in low-pressure granitic magmas and a revised Al-in-hornblende geobarometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 171, 85., 1-27.
- 23) Whitney, J.A. and Stormer, J.C. Jr. 1977. The distribution of $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ between coexisting microcline and plagioclase and its effect on geothermometric calculations. *Amer. Mineral.* 62, 687-691.
- 24) Spencer, K.J. and Lindsley, D.H. 1981. A solution model for coexisting iron-titanium oxides. *Amer. Mineral.*, 66, 1189-1201.
- 25) 根建心具・大貫仁・吉田武義・田切美知雄. 1984. 南東阿武隈山地、水石山超苦鉄質—苦鉄質複合深成岩体—特に不透明鉱物について—. *岩鉱*. 79., 5., 200-213.
- 26) 山口佳昭・川勝和哉, 2009. 大東—横田のマグネタイト系深成岩類を生じたマグマの累進的酸化—純度の高い磁鉄鉱の生成—. 日本地質学会第116年学術大会要旨.
- 27) Burgisser, A. and Scaillet, B. 2007. Redox evolution of a degassing magma rising to the surface. *Nature* 445, 194-197.
- 28) Hattori, K. 1993. High-sulfur magma, a product of fluid discharge from underlying mafic magma: evidence from Mount Pinatubo, Philippines. *Geol.*, 21., 12., 1083-1086.
- 29) Spandler, C.J., Arculus, R.J., Eggins, S.M., Mavrogenes, J.A., Price, R.C., and Reay, A.J. 2003.

- Petrogenesis of the Greenhills Complex, Southland, New Zealand: magmatic differentiation and cumulate formation at the roots of a Permian island-arc volcano. *Contrib.Mineral.Petrol.*,144.,703-721.
- 30) Price,R., Spandler,C., Arculus,R., and Reay,A. 2011. The Longwood Igneous Complex, Southland, New Zealand: A Permo-Jurassic, intra-oceanic, subduction-related, I-type batholithic complex. *Lithos*,126.,1-21.
- 31) Predergast,E.I., Offler,R. and Zwingmann,H, 2012. Adaminaby group west of Batemans Bay: Deformation and metamorphism of the Narooma accretionary complex NSW. *Australian J.Earth Sciences*,1-18.
- 32) 山口佳昭・富田克敏. 1968. 幌満産カンラン石はんれい岩中のトウ輝石の離溶ラメラ. *地球科学*. 22,5.,219-223.
- 33) 山口佳昭. 1982. カンラン岩における単斜輝石の再平衡と微細組織. *地球科学*. 36.2.,62-68.
- 34) Yamaguchi,Y., Tomita,K., and Sawada,Y. 1974. Crystallization trend of zoned Pyroxenes in Quartz Gabbro from the Koyama Intrusive Complex at Mt.Koyama, Yamaguchi Prefecture, Japan. *Memoirs.Geol.Soc.Jap.*,11,69-82.
- 35) 富田克敏・山口佳昭. 1980. 輝石と角閃石の連晶と構造的関連. *岩鉱*.,2.31-43.
- 36) Eriksson,S.C. 1985. Oscillatory zoning in clinopyroxenes from the Guide Copper Mine, Phalaborwa, South Africa. *Amer.Mineral.*,70.,74-79.

9. 謝辞

本研究を進めるにあたって、京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物質科学講座の河上哲生教授および東野文子助教、同修士の権藤洸人氏には、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教諭には終始有益な助言をいただいた。ここに示して謝意を表す。

Temperature and Pressure of Hydrothermal Fluids Circulating during the Final Stages of Magma Differentiation in the Bingi Bingi Point Composite Pluton, Southeastern New South Wales, Australia

Hyogo Prefectural Himeji Higashi Senior High School, Science Club

Ayumi YAMAGUCHI Yukino TSUJIMOTO Daiki NISHIKAWA Kazuma FUJIMOTO Sawa MATSUOKA
 Yura ITAYA Haruki SEKIO Yuki TADA Kota TOJI Chihiro WADA and Karen FUJI Advisor : Kazuya KAWAKATSU

Keywords Hydrothermal residual liquid Progressive oxidation Subsolidus Patchy zoned structure Oscillatory zoned structure

The purpose of the research In our outcrop survey conducted in Australia last year, we estimated that the final stage of magma differentiation was in an oxidizing environment. This year, we will clarify the specific equilibrium temperature and pressure based on composition of amphiboles with OZS and the minerals that coexist with it.

Motive and background

- In 2024, we conducted an outcrop survey, created a geological map, and collected rock samples at Bingi-Bingi-Point southeastern New South Wales Australia (a Devonian magma). (Fig1)
- We discovered a lot of OZSs in amphiboles in diorite and tonalite as we'd hypothesised.
- The Al(VI) content in hornblende is less than 0.6 and only trace amounts of Cl were present.
- The coupled Edenitic substitution patterns in the OZSs dominate.
- The Mg/(Mg+Fe total) gradually decreases from the core to the rim.
- These features are similar South West Japan.

From these features

We estimated magma is vesiculated and dehydrated associated with circulation of hydrothermal residual liquid in subsolidus minerals and oxidizing environment and OZS was developed in pale-green rim.

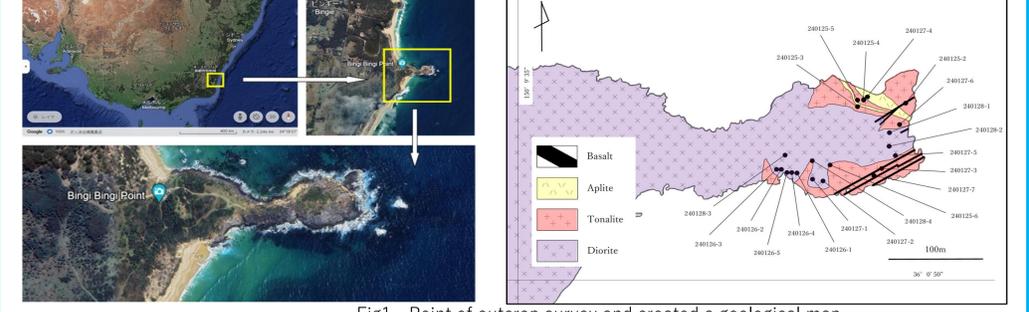


Fig1 Point of outcrop survey and created a geological map.

To study

- We were successful applying for KYOTO University's Advanced Research Project(COCOUS-R) and we analyzed the samples at the KYOTO University Faculty of Science on February 1st and 2nd as well as March 25th.
- We won a research grant.

Results

- Almost all amphiboles are euhedral or subhedral.
- All OZSs develop in pale-green rims.
- Some cores of magnesio-hornblende have patchy zoned structures. (Fig2)
- The pale green rim and the OZS developed there co-exist with feldspar and euhedral pyrite.

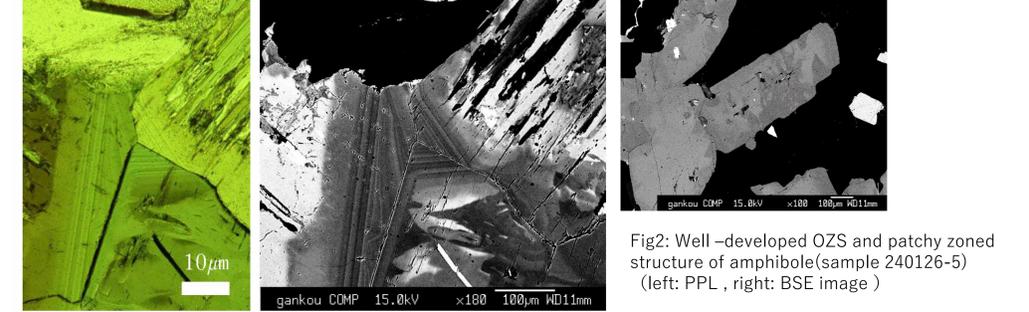


Fig2: Well-developed OZS and patchy zoned structure of amphibole (sample 240126-5) (left: PPL, right: BSE image)

EPMA analyses

- We analyzed plagioclase and alkali-feldspar co-existing with amphiboles displaying OZS, and OZS in magnesio-hornblende.
- The rim of plagioclase co-existing with the amphibole have reaction rim with alkali-feldspar. (Fig 3)
- Almost all the opaque minerals are pyrite.

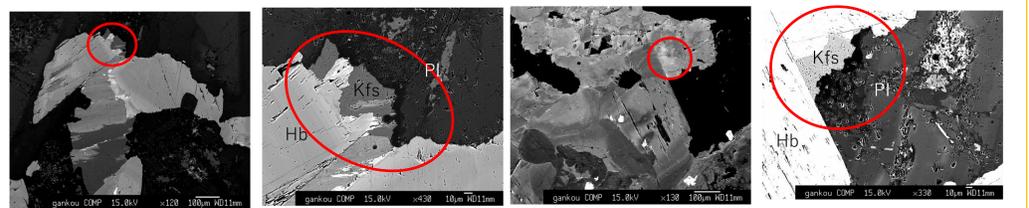


Fig 3: Amphiboles showing OZS (Hb) co-existing with two-feldspers(Pl,Kfs) (Reaction-rim is shown around alkali-feldspar in contact with plagioclase)

Based on the analysis results, a mineral thermometer and pressure gauge were used to estimate the temperature and pressure at which OZS of amphibole formed.

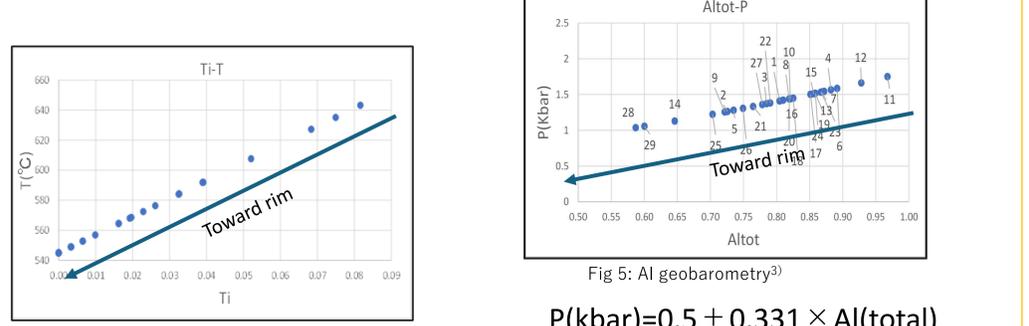
Reference

1)Kawakatsu, K. and Yamaguchi, Y. (1987) *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51, 535-540.
 2) Otten, M.T. (1984) *Contrib. Mineral. Petrol.*, 86, 189-199.
 3)Himeji Higashi High school Science Club, Hyogo Prefecture. (2023) Japanese Geological Society 128th General meeting / Kanagawa university. (in Japanese)
 4) Himeji Higashi High school Science Club Geological society 131th General meeting. (in Japanese)
 5)Mutch, E.J.F., Blundy, J.D., Tattitch, B.C., Cooper, F.J. and Brooker, R.A. (2016) *Contrib. Mineral. Petrol.*, 171:85.
 6)Whitney, J.A. and Stormer, J.C. (1977) *Amer. Mineral.*, 62, 687-691.
 7)Munetomo Nedachi · Hitoshi Onuki · Takeyoshi Yoshida · Michio Tagiri. (1984) *Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, 79, 5, 200-213. (in Japanese)

Acknowledgment We appreciate the advice and assistance of Professor Kawakami Tetsuo, Assistant Professor Higashino Fumiko and Master of Science student Hiroto Gondo (Department of Geology & Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University) with EPMA analyses. We are grateful to Kazuya Kawakatsu, the Science Club advisor of our school for the valuable discussion.

*Based on this mineral substitutions, geothermometry are available
 Diorite : Qz4%, Pl56%, Kf6%, Hb28%, Bt3%, Mt, Ilm, Sph, Pt, Ap
 Tonalite : Qz19%, Pl62%, Kf6%, Hb9%, Bt2%, Mt, Ilm, Sph, Pt, Ap

From amphiboles



- Fig 4: Ti geothermometry²⁾
- Fig 5: Al geobarometry³⁾
- $P(\text{kbar}) = 0.5 + 0.331 \times \text{Al}(\text{total}) + 0.995 \times (\text{Altotal})^2$
- Geothermometry using Ti in amphiboles shows a temperature range from 640°C to 545°C from the outside to the rim.
 - Geobarometry using Al in amphiboles shows a pressure range from 1.7kbar to 1.0kbar from the outside to the rim.

From two-feldspar

- According to geothermometer which utilizes plagioclase and alkali-feldspar coexisting with OZS, a temperature is under 400°C at 1kbar, and under 500°C at 10kbar.
- The equilibrium temperature was calculated based on Ti in the OZS developed in the actinolitic hornblende rim and the composition of the coexisting plagioclase.

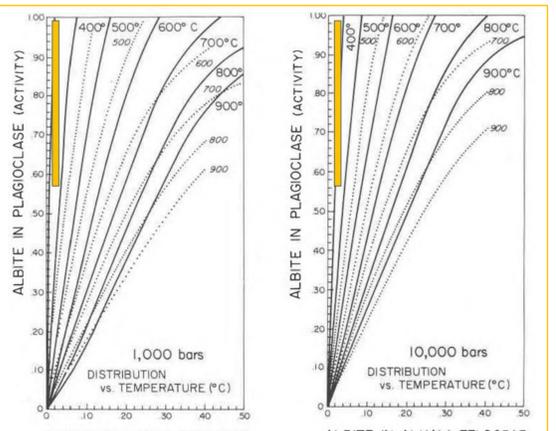


Fig 6: Temperature in Geothermometer which utilizes plagioclase and alkali-feldspar⁴⁾

The results show subsolidus

Fugacity

- According to diagram of logfS₂-logfO₂ when pyrite, magnetite and ilmenite coexist at the same time, the fugacity in shown on the AB line.
- In this case, logfS₂ is -3.5 to -2.5 and logfO₂ is -19.5 to -19.0.

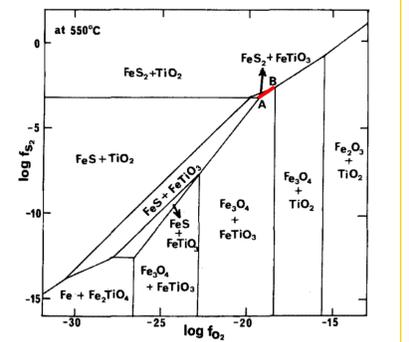


Fig 7 Fugacity of opaque minerals assembly⁷⁾

Analysis

From diorite

- 1) Some amphiboles are euhedral. →Crystallization started early in magma differentiation.
- 2) Some amphiboles have patchy zoned structures. →Amphiboles grew rapidly.
- 3) Many euhedral Sulfur containing minerals (Almost all pyrite) crystallized during magma differentiation.

The Basaltic magma which formed diorite magma was provided with a lot of H₂O and SO₂, and vesiculated.

From amphibole contained in diorite and tonalite

- 1) The amphiboles recorded from early to late magma differentiation, and OZS occurs in the pale-green rim which formed in subsolidus condition.
- 2) Fe²⁺ / (Fe²⁺ + Fe³⁺) contained in the amphibole decreases from the pale-brown core to the pale-green rim. →Oxidation has progressed, and Fe³⁺ content has increased.
- 3) Very little Cl is contained in the amphibole (<0.03Wt%)

Approach	Equilibrium temperature and pressure	Table
Ti Geothermometry	640°C~545°C	Otten, 1984
Al Geobarometry	1.7kbar~1.0kbar	Mutch et al., 2016
Geothermometry utilizing plagioclase and alkali-feldspar	Under 400°C (1kbar) Under 500°C (10kbar)	Whitney and Stormer, 1977
Fugacity of opaque minerals assembly	logfO ₂ = -19.5~-19.0 (500°C) logfS ₂ = -3.5~-2.5 (500°C)	Nedachi et al, 1984

Discussion Through the outcrop survey of Australia and Southwest Japan, OZS, which is a product of hydrothermal circulation, was identified in amphiboles of different ages and areas.

→OZS of amphiboles in plutonic rocks have the potential to be used as indicators of the circulation of residual hydrothermal liquid in subsolidus conditions.

Future task To establish oscillatory zoned structure as an indicator of late magma differentiation and a subsolidus environment, it would be necessary to demonstrate through geological surveys that such structures are observed in all intrusive bodies worldwide—a task that is impossible. We need to examine the regions, ages, and data sets required to demonstrate its validity as an international indicator. We have conducted investigations in the inner belt of southwestern Japan (San-in and San-yo belts) and southeastern Australia. This year, we plan to investigate ultramafic bodies in northern South Island, New Zealand (pyroxene from Late Cretaceous gabbro).

令和7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/>