

研究レポート集 2025

Report

第26号

THE YAKUMO FOUNDATION FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

telephone: 086-252-7670

facsimile: 086-252-8918

URL: <https://www.ej-hds.co.jp/zaidan/>

公益財団法人 八雲環境科学振興財団

〒700-8617 岡山市北区津島京町三丁目1番21号(株)エイト日本技術開発内

THE YAKUMO FOUNDATION FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

公益財団法人 八雲環境科学振興財団

設立の趣旨



今日の環境問題は、従来の公害問題とは異なり、日常的な事業活動や生活活動に起因する部分が非常に多く、また、地球環境問題が示すように空間的・時間的広がりをもつ深刻な問題であります。岡山県は、豊かな自然と温暖な気候に恵まれた風土を背景に、古代吉備文化に代表される古い歴史と多彩な文化を持つ住みよい地域であります。しかし、より便利で快適な暮らしへと進展していく中で、現状の自然環境，社会環境，生活環境などは必ずしもバランスのとれた状態とは言い難く、多くの問題を抱えているものと思われます。

株式会社エイト日本技術開発（旧株式会社エイトコンサルタント）は、昭和30年に八雲測量社として創業し、今日まで「自然との共生」を基本理念に、地域の社会資本整備の要請に応えて参りました。これまでの足跡を振り返りますと、今日の成果を成し遂げることができたのも、社会全般のご指導とご支援によるものと深く感謝するとともに、これまで以上の社会貢献ができないかと日頃配意しておりました。

このような中で、21世紀に向けた「環境」に関するテーマについて、産官学がより一体となった学術研究面での充実および地球環境保全を視野に入れた国際的な意識の醸成を奨励することが必要であると考えました。そして、環境科学に関する調査研究の推進や創造性豊かな研究者の養成を支援することにより、岡山県における学術および技術開発の進展並びに国際研究交流の増進に貢献していくことを目的として、平成10年7月29日、「財団法人 八雲環境科学振興財団」が設立され、おかげさまで27年目を迎えました。

今後とも当財団の育成につきまして、御協力、御支援を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

公益財団法人 八雲環境科学振興財団
代表理事 小 谷 裕 司

目 次

1. 巻頭言	1
2. 財団の概要	2
3. 役員等名簿	3
4. 定款	4
5. 令和6年度事業実施状況	1 7
6. 年度別助成事業実施状況	2 1
7. 研究発表会実施状況	3 3
8. 令和6年度環境研究助成報告	3 8
9. 令和6年度国際研究交流助成報告	1 1 7
10. 令和5年度研究集会助成報告	1 2 0
11. 令和6年度研究集会助成報告	1 2 2
12. 令和6年度その他の助成報告	1 2 4
13. 助成実施要項	1 3 4
14. ご寄附のお願い	1 4 0

1. 巻頭言

平成 10 年のことだったと思う。当時の学部長だった（当時の財団理事でもあった）寺本巖先生から「今度建設コンサルが研究助成の財団作ったんだけど、そこの審査員やってくんない？環境なんだけどね」と頼まれた。通信工学が専門の私としては、直感的には畑違いとの不安もあったが、異分野への知識が広がる絶好の機会と捉えて、二つ返事でお引き受けした。実はもう一つ、研究助成申請書の書き方の参考になるのではといった下心があったことも否定はできないのだが。

実際に選考委員の仕事が始まってみると、当初抱いていた畑違いとの不安はすぐに解消された。広範な分野から集まって来た申請書を目にすることになったためである。これら全ての詳細を充分理解できる人など存在しようもないことは明らかで、それならば自分が選考委員でもよいのではと妙に安堵したことを覚えている。よくよく考えてみると、環境には地球という星（その周りの宇宙も？）に存在するもの、そこで起こること、そこに生きるもの全てが含まれる。人間が勝手に考えた学問体系などは全て飲み込まれてしまうのである。

前置きのつもりが思いもよらず大きな話になってしまったが、本題は、私がこれまで抱えてきた素朴で俗っぽい疑問を投げ掛けることである。工学系の人間としてはやはり工業製品が気になるので、エアコン購入の実体験を少し脚色してみた。家電量販店でよくあるパターンであるが、保証期間が、価格の手頃なものは 5 年、やや高価で高機能なものは 10 年に設定されている。後者の方が省エネ効果が高く、使っているうちに価格差の元が取れるというのが売り文句になっている。さらに、機能も充実していて、保証も長くて安心とのことで、つい後者を買ってしまう。実際にはどのくらい電気代が浮いているのか比べようもないのだが、それはさておき、保証が切れたところに調子が悪くなり、店に相談すると「修理より買い替えの方がお得ですよ」と判で押したような答えが返って来る。今後の費用負担を考えると確かにそうだと思う。そして、買い替えは店にとってもメーカーにとっても嬉しいことである。経済的にはこのような流れになるが、環境のためにはどうであろうか？買い替えると以降の消費電力量は減るが、それは古い機械の処分と新しい機械の製造に費やされるエネルギーや資源に見合ったものなのだろうか？どうも私には長く使った方が環境に優しいように思えてならないのである。

次々と新製品を開発して世に出すということは科学技術の進展に欠かせないことであり、大きな経済効果もある。その一方で、リサイクルについては、これまでも多くの実績があり、近年対象となる資源の種類も広がりを見せている。また、中古市場の拡大やフリマサービスの普及などにより、リユースも盛んになってきた。さらにもう一步進めて、単純な長期使用についても技術的・経済的な効果が生み出されることを期待したい。

最後になりますが、岡山县内限定とはいえ、環境科学の振興に関して当財団は一定の役割を果たしてきたし、これからも果たしていくものと確信しています。ただ少しもったいないと感じていることは、申請の分野が化学と生物学に偏っているという現状です。対象が環境科学なので、それが自然なことではありますが、さらに広範な分野からの応募を期待します。そして願わくは、当財団から助成を受けた研究がこの星の未来を大いに輝かせるものになることを祈念しています。

選考委員 稲井 寛
(岡山県立大学情報工学部教授)

2. 財団の概要

名 称	公益財団法人 八雲環境科学振興財団
所 在 地	岡山県岡山市北区津島京町三丁目1番21号 (株式会社エイト日本技術開発内)
主務官庁	岡山県教育委員会
設立許可	平成10年7月29日 (平成14年8月26日 特定公益増進法人に認定) (平成24年10月1日 公益財団法人に移行)
出 捐 者	株式会社エイト日本技術開発 他
基本財産	2億7,180万円(令和7年3月末現在)
事業概要	(1) 環境研究助成事業 環境科学に関する研究費用の助成(年間12件程度) ① 特定研究(テーマ指定) 一件当たり150万円以内 ② 一般研究(テーマ自由) 一件当たり 80万円以内 (2) 国際研究交流助成事業 環境科学に関わる海外渡航費用の助成及び海外研究者招聘費用の 助成(年間4件程度) 一件当たり 20万円以内 (3) 研究集会助成事業 環境科学に関する研究集会等の開催費用の助成(年間2件程度) 一件当たり 30万円以内
助成対象	岡山県内の大学等の研究機関に所属する研究者又は研究グループ

3. 役員等名簿

役職名	氏 名	現 職 等
代表理事	小谷 裕司	E・Jホールディングス(株) 代表取締役社長
理 事	沖 陽子	岡山県立大学前学長 / 岡山大学名誉教授
	辻 英明	岡山県立大学名誉教授
	佐藤 豊信	岡山大学名誉教授
	波田 善夫	岡山理科大学名誉教授
	阿部 宏史	環太平洋大学副学長
	西垣 誠	岡山大学名誉教授
	伊丹 文雄	元E・Jホールディングス(株) 顧問
監 事	西田 秀史	弁護士
	松原 治郎	税理士
	小谷 浩治	(株)八雲取締役
評 議 員	本水 昌二	岡山大学名誉教授
	杉尾 剛	岡山大学名誉教授・杉尾化学合成独立栄養細菌研究所所長
	鳥越 良光	岡山商科大学名誉教授
	星野 卓二	岡山理科大学名誉教授
	神崎 浩	岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域教授
	谷本 俊夫	元E・Jホールディングス(株)取締役
	藤井 勉	元E・Jホールディングス(株)取締役
選考委員	稲井 寛	岡山県立大学情報工学部教授
	田村 隆	岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域教授
	佐藤 丈晴	岡山理科大学生物地球学部教授
	後藤丹十郎	岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域教授
	前田 守弘	岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域教授
	永井 泉治	(株)エイト日本技術開発監査役

4. 定款

公益財団法人 八雲環境科学振興財団 定 款

第1章 総 則

(名 称)

第 1条 この法人は、公益財団法人八雲環境科学振興財団（英文名：Yakumo Foundation for Environmental Science）と称する。

(事業所)

第 2条 この法人は、主たる事務所を岡山県岡山市に置く。

第2章 目的及び事業

(目 的)

第 3条 この法人は、環境科学に関する調査研究の推進や創造性豊かな研究者の養成を援助・支援することによって、環境科学の振興を図り、もって学術及び技術開発の進展に寄与することを目的とする。

(事 業)

第 4条 この法人は、前条の目的を達成するため、次の事業を行う。

- (1) 環境科学に関する調査研究の助成及び研究者の養成援助
- (2) 環境科学に関する国際研究集会等への派遣並びに国際研究交流の助成
- (3) 環境科学に関する学術講演会、フォーラム、シンポジウム、研究集会等の助成
- (4) 環境教育活動への支援等による環境科学の啓発
- (5) 環境科学に関するフォーラム、シンポジウム、セミナー、研究発表会等の開催
- (6) 出版物の編集および刊行
- (7) 環境科学に関する技術開発・実用化に向けた研究開発等の企画、資料・情報の収集及び提供、調査・研究及び支援
- (8) 優秀な環境科学に関する研究者に対する表彰事業
- (9) その他前条の目的を達成するために必要な事業

2 前項の事業については、岡山県において行うものとする。

(事業年度)

第 5条 この法人の事業年度は、毎年4月1日に始まり、翌年3月31日に終わる。

第3章 財産及び会計

(財産の種類別)

第 6条 この法人の財産は、基本財産及びその他の財産の2種とする。

2 基本財産は、この法人の目的である事業を行うために不可欠なものとして理事会及び評議員会で定めた財産とする。

3 その他の財産は、基本財産以外の財産とする。

(基本財産の維持及び処分)

第 7条 基本財産については、適正な維持及び管理に努めるものとする。

2 この法人の公益目的事業遂行上やむを得ない理由があるときは、理事会の議決に加わることできる理事の3分の2以上の議決を経て、評議員会において、議決に加わることできる評議員の3分の2以上の議決により承認を得た後、基本財産の全部若しくは一部を処分又は担保に提供することができる。

(財産の管理・運用)

第 8条 この法人の財産の管理及び運用は、理事長が行うものとし、その方法は理事会で定める。

2 財産は、安全確実な方法で運用しなければならない。

(事業計画及び収支予算)

第 9条 この法人の事業計画書、収支予算書、資金調達及び設備投資の見込みを記載した書類については、毎事業年度の開始日の前日までに、理事長が作成し、理事会の決議を経て、評議員会の承認を受けなければならない。これらを変更する場合も同様とする。

2 前項の書類については、毎事業年度の開始日の前日までに行政庁に提出し、主たる事務所に、当該事業年度が終了するまでの間備え置き、一般の閲覧に供するものとする。

(事業報告及び決算)

第10条 この法人の事業報告及び決算については、毎事業年度終了後、理事長が次の書類を作成し、監事の監査を受けた上で、理事会の承認を経て、定時評議員会に提出し、第1号及び第2号の書類についてはその内容を報告し、第3号から第6号までの書類については承認を受けなければならない。

(1) 事業報告書

(2) 事業報告の附属明細書

(3) 貸借対照表

(4) 正味財産増減計算書

(5) 貸借対照表及び正味財産増減計算書の附属明細書

(6) 財産目録

2 前項の計算書類等については、毎事業年度の終了後3ヶ月以内に行政庁に提出するものとする。

3 第1項の書類のほか、次の書類を主たる事務所に5年間備え置き、一般の閲覧に供するとともに、定款を主たる事務所に備え置き、一般の閲覧に供するものとする。

(1) 監査報告

(2) 理事及び監事並びに評議員の名簿

(3) 理事及び監事並びに評議員の報酬等の支給の基準を記載した書類

- (4) 運営組織及び事業活動の状況の概要及びこれらに関する数値のうち重要なものを記載した書類

(公益目的取得財産残額の算定)

第11条 理事長は、公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律施行規則第48条の規定に基づき、毎事業年度、当該事業年度の末日における公益目的取得財産残額を算定し、前条第3項第4号の書類に記載するものとする。

(長期借入金及び重要な財産の処分又は譲受け)

第12条 この法人が資金の借入をしようとするときは、その事業年度の収入をもって償還する短期借入金を除き、評議員会においては評議員の総数及び理事会においては理事の総数の3分の2以上の議決を経なければならない。

- 2 この法人が重要な財産の処分又は譲受けを行おうとするときも、前項と同じ議決を経なければならない。

(会計原則)

第13条 この法人の会計は、一般に公正妥当と認められる公益法人の会計の慣行に従うものとする。

第4章 評議員

(定数)

第14条 この法人に、評議員7名以上10名以内を置く。

(評議員の選任及び解任)

第15条 評議員の選任及び解任は、一般社団法人及び一般財団法人に関する法律第179条から第195条の規定に従い、評議員会において行う。

- 2 評議員を選任する場合には、次の各号の要件をいずれも満たさなければならない。

- (1) 各評議員について、次のイからへに該当する評議員の合計数が評議員の総数の3分の1を超えないものであること。

イ 当該評議員及びその配偶者又はその親族

ロ 当該評議員と婚姻の届出をしていないが事実上婚姻関係と同様の事情にある者

ハ 当該評議員の使用人

ニ ロ又はハに掲げる者以外の者であつて、当該評議員から受ける金銭その他の財産によって生計を維持しているもの

ホ ハ又はニに掲げる者の配偶者

ヘ ロからニまでに掲げる者の親族であつて、これらの者と生計を一にするもの

- (2) 他の同一の団体(公益法人を除く。)の次のイからニに該当する評議員の合計数が評議員の総数の3分の1を超えないものであること。

イ 理事

ロ 使用人

ハ 当該他の同一の団体の理事以外の役員(法人でない団体で代表者又は管理人の定めのあるものにあつては、その代表者又は管理人)又は業務を執行する社員である者

ニ 次に掲げる団体においてその職員(国会議員及び地方公共団体の議会の議員を除く。)である者

- ① 国の機関
- ② 地方公共団体
- ③ 独立行政法人通則法第2条第1項に規定する独立行政法人
- ④ 国立大学法人法第2条第1項に規定する国立大学法人又は同条第3項に規定する大学共同利用機関法人
- ⑤ 地方独立行政法人法第2条第1項に規定する地方独立行政法人
- ⑥ 特殊法人(特別の法律により特別の設立行為をもって設立された法人であつて、総務省設置法第4条第15号の規定の適用を受けるものをいう。)又は認可法人(特別の法律により設立され、かつ、その設立に関し行政官庁の認可を要する法人をいう。)

3 評議員は、この法人の理事又は監事若しくは使用人を兼ねることができない。

4 この法人の評議員のうちには、評議員のいずれか1名及びその親族その他特殊の関係がある者の合計数が評議員総数(現在数)の3分の1を超えて含まれることになってはならない。

5 評議員に異動があつたときは、2週間以内に登記し、登記事項証明書等を添え、遅滞なくその旨を行政庁に届け出なければならない。

(権 限)

第16条 評議員は、評議員会を構成し、第20条に規定する事項を決議する。

(任 期)

第17条 評議員の任期は、選任後4年以内に終了する事業年度のうち最終のものに関する定時評議員会の終結の時までとする。ただし、再任を妨げない。

2 任期満了前に退任した評議員の補欠として選任された評議員の任期は、退任した評議員の任期の満了する時までとする。

3 評議員は、第14条に定める定数に足りなくなるときは、任期の満了又は辞任により退任した後も、新たに選任された者が就任するまで、なお評議員としての権利義務を有する。

(報酬等)

第18条 評議員は無報酬とする。

2 評議員には、その職務を行うために要する費用の支払いをすることができる。

第5章 評議員会

(構 成)

第19条 評議員会は、すべての評議員をもって構成する。

(権 限)

第20条 評議員会は、次の事項について決議する。

- (1) 理事及び監事の選任及び解任
 - (2) 理事及び監事の報酬等の額
 - (3) 役員及び評議員に対する報酬等の支給の基準
 - (4) 定款の変更
 - (5) 事業計画及び収支予算の承認
 - (6) 貸借対照表及び正味財産増減計算書類の承認並びにこれらの付属明細書の承認
 - (7) 残余財産の処分
 - (8) 基本財産の処分又は除外の承認
 - (9) その他評議員会で決議するものとして法令又はこの定款で定められた事項
- 2 前項の規定にかかわらず、個々の評議員会においては、第23条第1項の書面に記載した評議員会の目的である事項以外の事項は、決議することができない。

(種類及び開催)

第21条 評議員会は、定時評議員会として毎事業年度終了後3ヶ月以内に1回開催するほか、必要がある場合に開催する。

(招 集)

第22条 評議員会は、法令に別段の定めがある場合を除き、理事会の決議に基づき理事長が招集する。

- 2 評議員は、理事に対し、評議員会の目的である事項及び招集の理由を示して、評議員会の招集を請求することができる。
- 3 前項による請求があったときは、理事長は遅滞なく評議員会を招集しなければならない。

(招集の通知)

第23条 理事長は、評議員会の開催日の5日前までに、評議員に対して、会議の日時、場所、目的である事項を記載した書面をもって招集の通知を発しなければならない。

- 2 前項にかかわらず、評議員全員の同意があるときは、招集の手続きを経ることなく、評議員会を開催することができる。

(議 長)

第24条 評議員会の議長は、その評議員会において、出席した評議員の中から選出する。

(定足数)

第25条 評議員会は、評議員の過半数の出席がなければ開催することができない。

(決 議)

第26条 評議員会の決議は、法令又はこの定款に別段の定めがある場合を除き、決議について特別の利害関係を有する評議員を除く評議員の過半数が出席し、その過半数をもって行なう。

- 2 前項の規定にかかわらず、次の決議は、決議について特別の利害関係を有する評議員を除く評議員の3分の2以上に当る多数をもって行なわなければならない。

- (1) 監事の解任
- (2) 評議員に対する報酬等の支給の基準

- (3) 定款の変更
- (4) 基本財産の処分又は除外の承認
- (5) その他法令で定められた事項

3 理事又は監事を選任する議案を決議するに際しては、各候補者ごとに第1項の決議を行わなければならない。理事又は監事の候補者の合計数が第30条に定める定数を上回る場合には、過半数の賛成を得た候補者の中から得票数の多い順に定数の枠に達するまでの者を選任することとする。

(決議の省略)

第27条 理事が評議員会の目的である事項について提案した場合において、その提案について、議決に加わることのできる評議員の全員が書面又は電磁的記録により同意の意思表示をしたときは、その提案を可決する旨の評議員会の決議があったものとみなす。

(報告の省略)

第28条 理事が評議員の全員に対し、評議員会に報告すべき事項を通知した場合において、その事項を評議員会に報告することを要しないことについて、評議員の全員が書面又は電磁的記録により同意の意思表示をしたときは、その事項の評議員会への報告があったものとみなす。

(議事録)

第29条 評議員会の議事録については、法令で定めるところにより、議事録を作成する。

- 2 議長とその会議に出席した評議員2人は、前項の議事録に記名押印する。

第6章 役員等

(役員の設置)

第30条 この法人に、次の役員を置く。

- (1) 理事 6名以上9名以内
 - (2) 監事 3名
- 2 理事のうち1名を理事長とし、この者をもって、一般社団法人及び一般財団法人に関する法律上の代表理事とする。

(役員の選任)

第31条 理事及び監事は、評議員会の決議によって選任する。

- 2 理事長は、理事会の決議によって理事の中から選定する。
- 3 監事は、この法人の理事又は使用人を兼ねることができない。
- 4 理事のうち、理事のいずれか1名とその配偶者又はその親族その他法令で定める特別の関係にある者の合計数は、理事総数の3分の1を超えてはならない。監事についても、同様とする。
- 5 他の同一の団体(公益法人を除く)の理事又は使用人である者その他これに準ずる相互に密接な関係にある者として法令で定める者である理事の合計数は、理事の総数の3分の1を超えてはならない。監事についても、同様とする。
- 6 この法人の理事のうちには、理事のいずれか1名及びその親族その他特殊の関係がある者の合

計数が、理事総数(現在数)の3分の1を超えて含まれることとなってはならない。

- 7 この法人の監事には、この法人の理事及び評議員並びにこの法人の使用人が含まれてはならない。また、監事は、相互に親族その他特殊の関係があつてはならない。
- 8 理事又は監事に異動があつたときは、2週間以内に登記し、登記事項証明書等を添え、遅滞なくその旨を行政庁に届け出るものとする。

(理事の職務及び権限)

第32条 理事は、理事会を構成し、法令及びこの定款で定めるところにより、職務を執行する。

- 2 理事長は、法令及びこの定款で定めるところにより、この法人を代表し、その業務を執行する。
- 3 理事長は、毎事業年度に4ヶ月を超える間隔で2回以上、自己の職務の執行の状況を理事会に報告しなければならない。

(監事の職務及び権限)

第33条 監事は、次に掲げる職務を行う。

- (1) 理事の職務執行を監査し、法令で定めるところにより、監査報告を作成する。
- (2) 監事は、いつでも、理事及び使用人に対して事業の報告を求め、この法人の業務及び財産の状況の調査をすること、並びに各事業年度に係る計算書類及び事業報告書を監査すること。
- (3) 評議員会及び理事会に出席し、必要あると認めるときは意見を述べること。
- (4) 理事が不正の行為をし、若しくはその行為をするおそれがあると認めるとき、又は法令若しくは定款に違反する事実若しくは著しく不当な事実があると認めるときは、これを理事会に報告すること。
- (5) 前号の報告をするために必要があるときは、理事長に理事会の招集を請求すること。但し、その請求があつた日から5日以内に、2週間以内の日を理事会とする招集通知が発せられない場合は、直接理事会を招集すること。
- (6) 理事が評議員会に提出しようとする議案、書類その他法令で定めるものを調査し、法令若しくは定款に違反し、又は著しく不当な事項があると認めるときは、その調査の結果を評議員会に報告すること。
- (7) 理事がこの法人の目的の範囲外の行為その他法令若しくは定款に違反する行為をし、又はその行為をするおそれがある場合において、その行為によってこの法人に著しい損害が生ずるおそれがあるときは、その理事に対し、その行為をやめることを請求すること。
- (8) その他監事に認められた法令上の権限を行使すること。

(役員任期)

第34条 理事及び監事の任期は、選任後2年以内に終了する事業年度のうち最終のものに関する定時評議員会の終結の時までとする。ただし、再任を妨げない。

- 2 補欠として選任された理事又は監事の任期は、前任者の任期の満了する時までとする。
- 3 理事又は監事は、第30条に定める定数に足りなくなるときは、辞任又は任期終了後においても、新たに選任された者が就任するまで、なお理事又は監事としての権利義務を有する。

(役員の解任)

第35条 理事又は監事が、次のいずれかに該当するときは、評議員会の決議によって解任することができる。ただし、監事を解任する場合は、議決に加わることのできる評議員の3分の2以上の議決に基づいて行わなければならない。

- (1) 職務上の義務に違反し、又は職務を怠ったとき
- (2) 心身の故障のため、職務の執行に支障があり、又はこれに堪えないと認められるとき。

(報酬等)

第36条 役員は無報酬とする。

- 2 役員には、その職務を執行するために要する費用の支払いをすることができる。

(取引の制限)

第37条 理事が次に掲げる取引をしようとする場合は、その取引について重要な事実を開示し、理事会の承認を得なければならない。

- (1) 自己又は第三者のためにする、この法人の事業の部類に属する取引
- (2) 自己又は第三者のためにする、この法人との取引
- (3) この法人がその理事の債務を保証することその他理事以外の者との間におけるこの法人とその理事との利益が相反する取引

- 2 前項の取引をした理事は、その取引の重要な事実を遅滞なく、理事会に報告しなければならない。

(責任の免除)

第38条 この法人は、役員の一般社団法人及び一般財団法人に関する法律第198条において準用される第111条第1項の賠償責任について、法令に定める要件に該当する場合には、理事会の決議によって、賠償責任額から法令に定める最低責任限度額を控除して得た額を限度として、免除することができる。

(顧問)

第39条 この法人に、顧問を若干名おくことができる。

- 2 顧問は、学識経験者又はこの法人に功労のあった者のうちから、理事会において選任する。
- 3 顧問の任期は、2年とする。ただし、再任を妨げない。
- 4 顧問は、無報酬とする。ただし、その職務を行うために要する費用の支払いをすることができる。

(顧問の職務)

第40条 顧問は、理事長の諮問に応え、理事長に対し、意見を述べることができる。

第7章 理事会

(構成)

第41条 理事会は、すべての理事をもって構成する。

(権限)

第42条 理事会は、次の職務を行なう。

- (1) 評議員会の日時及び場所並びに目的である事項の決定
- (2) 規則の制定、変更及び廃止に関する事項
- (3) 前各号に定めるもののほか、この法人の業務執行の決定
- (4) 理事の職務の執行の監督
- (5) 理事長の選任及び解職

2 理事会は次に掲げる事項その他の重要な業務執行の決定を、理事に委任することができない。

- (1) 重要な財産の処分及び譲受け
- (2) 多額の借財
- (3) 重要な使用人の選任及び解任
- (4) 第38条の責任の免除

(種類及び開催)

第43条 理事会は、通常理事会及び臨時理事会の2種とする。

2 通常理事会は、毎事業年度に4ヶ月を超える間隔で2回以上開催する。

3 臨時理事会は、次の各号の一に該当する場合に開催する。

- (1) 理事長が必要と認めたとき
- (2) 理事長以外の理事から会議の目的である事項を記載した書面をもって理事長に招集の請求があったとき
- (3) 前号の請求があった日から5日以内に、その日から2週間以内の日を理事会とする理事会の招集通知が発せられない場合に、その請求をした理事が招集したとき
- (4) 第33条第5号の規定により、監事から理事長に招集の請求があったとき、又は監事が招集したとき

(招 集)

第44条 理事会は、理事長が招集する。ただし、前条第3項第3号により理事が招集する場合及び前条第3項第4号後段により監事が招集する場合を除く。

2 理事長は、前条第3項第2号又は第4号前段に該当する場合は、その請求の日から2週間以内の日を臨時理事会の開催日として招集しなければならない。

3 理事会を招集するときは、会議の日時、場所、目的である事項を記載した書面をもって、開催日の5日前までに、役員に通知しなければならない。

4 前項の規定にかかわらず、役員の中員の同意があるときは、招集の手続きを経ることなく理事会を開催することができる。

5 理事長に事故があるとき又は理事長が欠けたときは、各理事が理事会を招集する。

(議 長)

第45条 理事会の議長は、理事長がこれに当たる。

(定足数)

第46条 理事会は、理事の過半数以上の出席がなければ会議を開くことができない。

(決 議)

第47条 理事会の決議は、決議について特別の利害関係を有する理事を除く理事の過半数が出席し、その過半数をもって行なう。

(決議の省略)

第48条 理事が理事会の決議の目的である事項について提案した場合において、その提案について、議決に加わることのできる理事の全員が書面又は電磁的記録により同意の意思表示をしたときは、その提案を可決する旨の理事会の決議があったものとみなすものとする。ただし、監事が異議を述べたときは、その限りではない。

(報告の省略)

第49条 理事又は監事が理事及び監事の全員に対し、理事会に報告すべき事項を通知したときは、その事項を理事会に報告することを要しない。

2 前項の規定は、第32条第3項の規定による報告には適用しない。

(議事録)

第50条 理事会の議事については、法令で定めるところにより、議事録を作成する。

2 出席した理事長及び監事は、前項の議事録に記名押印する。

第8章 委員会

(委員会)

第51条 この法人の事業を推進するために、理事会はその決議により、委員会を設置することができる。

2 委員会の任務、構成及び運営に関し必要な事項は、理事会の決議により別に定める。

(選考委員会及び委員構成等)

第52条 この法人は、第4条第 1 項第1号から第3号に定める助成および第8号に定める表彰の対象者を選考するために、選考委員会を置く。

2 選考委員会は、6名以上9名以内の委員をもって組織する。

3 選考委員会の委員は、その3分の2以上が学識経験者でなければならない。

4 前項の委員は、この法人の理事及び評議員以外の者から、理事会で選出し、理事長が委嘱する。

5 選考委員会の議事の運営の細則等は、理事会が決定する。

(選考委員の任期)

第53条 選考委員の任期は、2年とする。ただし、再任を妨げない。

2 補欠又は増員により選任された選考委員の任期は、前任者又は現任者の残任期間とする。

3 選考委員は、その任期満了後でも、後任者が就任するまでは、なおその職務を行う。

(選考委員の解任)

第54条 選考委員が、次のいずれかに該当するときは、理事現在数及び評議員現在数の各々の3分の2

以上の議決により、理事長がこれを解任することができる。

- (1) 職務上の義務違反その他選考委員たるにふさわしくない行為があると認められるとき
- (2) 心身の故障のため、職務の執行に支障があり、又はこれに堪えないと認められるとき
- 2 前項の場合、当該選考委員にあらかじめ通知するとともに、理事会及び評議員会で議決する前に、当該選考委員に弁明の機会を与えなければならない。
- 3 前項の場合において、やむを得ない理由があるときは、当該選考委員から提出された弁明書をもってこれにかえることができる。なお、弁明書が一定の期限までに提出がなされないときは、第1項に規定する議決のみにて解任することができる。

第9章 定款の変更、合併及び解散等

(定款の変更)

第55条 この定款は、評議員会において、議決に加わることのできる評議員の3分2以上の議決を経て変更することができる。

- 2 前項の規定は、この定款の第3条「目的」、第4条「事業」及び第15条「評議員の選任及び解任」についても適用する。
- 3 公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律第11条第1項各号に掲げる事項に係る定款の変更(軽微なものを除く)をしようとするときは、その事項の変更につき、行政庁の認定を受けなければならない。
- 4 前項以外の変更を行った場合は、遅滞なくその旨を行政庁に届け出なければならない。

(解 散)

第56条 この法人は、基本財産の滅失によるこの法人の目的である事業の成功の不能その他法令で定められた事由によって解散する。

(公益認定の取消し等に伴う贈与)

第57条 この法人が公益認定の取消しの処分を受けた場合又は合併により法人が消滅する場合(その権利義務を承継する法人が公益法人であるときを除く。)には、評議員会の決議を経て、公益目的取得財産残額に相当する額の財産を、当該公益認定の取消しの日又は当該合併の日から1ヶ月以内に、公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律第5条第17号に掲げる法人又は国若しくは地方公共団体に贈与するものとする。

(残余財産の帰属)

第58条 この法人が清算をする場合において有する残余財産は、評議員会の決議を経て、国若しくは地方公共団体又は公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律第5条第17号に掲げる法人であつて租税特別措置法第40条第1項に規定する公益法人等に該当する法人に贈与するものとする。

第10章 事務局

(事務局及び職員)

第59条 この法人の事務を処理するため、事務局を設置する。

- 2 事務局には、必要の職員を置く。
- 3 重要な職員は、理事長が理事会の承認を得て任免する。
- 4 職員は有給とすることができる。
- 5 事務局の組織及び運営に関し必要な事項は、理事長が理事会の議決を経て、別に定める。

(備え付け帳簿及び書類等)

第60条 この法人の事務所には、常に次に掲げる帳簿及び書類を備えておかなければならない。ただし、他の法令によりこれらに代わる書類及び帳簿を備えたときは、この限りではない。

- (1) 定款
 - (2) 役員、評議員及びその他の職員の名簿、役員の就任承諾書並びに履歴書
 - (3) 認定、許可、許可等及び登記に関する書類
 - (4) 定款に定める機関(理事会及び評議員会)の議事に関する書類
 - (5) 財産目録
 - (6) 役員等の報酬等に関する規定
 - (7) 事業計画書及び収支予算書
 - (8) 事業報告書及び計算書類等
 - (9) 監査報告書
 - (10) 行政庁からの示達文書
 - (11) その他法令で定める帳簿及び書類
- 2 前項各号の帳簿及び書類の閲覧については、法令の定めによる。

第11章 情報公開及び個人情報の保護

(情報公開)

第61条 この法人は、公正で開かれた活動を推進するため、その活動状況、運営内容、財務資料等を積極的に公開するものとする。

(個人情報の保護)

第62条 この法人は、業務上知り得た個人情報の保護に万全を期すものとする。

(公告の方法)

第63条 この法人の公告は、電子公告により行なう。

- 2 事故その他やむを得ない事由により、電子公告をすることができない場合は、官報に掲載する方法による。

第12章 補 則

(株式の権利行使の制限)

第64条 この法人が保有する株式について、その株式の発行会社に対して株主としての権利を行使する場合には、下記の事項を除き、あらかじめ理事会において理事の総数(理事現在数)の3分の2

以上の承認を得なければならない。

- (1) 配当の受領
- (2) 無償新株式の受領
- (3) 株主割当増資への応募
- (4) 株主宛配付書類の受領

(実施細則)

第65条 法令及びこの定款に定めるもののほか、この法人の運営に必要な事項は、理事会の決議により理事長が別に定める。

附 則

- 1 この定款は、一般社団法人及び一般財団法人に関する法律及び公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律の施行に伴う関係法律の整備等に関する法律第106条第1項に定める公益法人の設立の登記の日から施行する。
- 2 一般社団法人及び一般財団法人に関する法律及び公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律の施行に伴う関係法律の整備等に関する法律第106条第1項に定める特例民法法人の解散の登記と、公益法人の設立の登記を行なったときは、第5条の規定にかかわらず、解散の登記の日の前日を事業年度の末日とし、設立の登記の日を事業年度の開始日とする。
- 3 この法人の最初の理事長は、次に掲げる者とする。
理事長 小谷裕司 とする。
- 4 この法人の最初の評議員は、次に掲げる者とする。
本水 昌二 杉尾 剛 波田 善夫 西垣 誠 阿部 宏史
鳥越 良光 岩田 正晴 谷本 俊夫 藤井 勉
- 5 この定款は、平成29年3月 1日一部改正。
- 6 この定款は、令和 元年6月 5日一部改正。

5. 令和6年度事業実施状況

令和6年度の助成事業は、環境研究助成、国際研究交流助成、研究集会助成の公募を行い、総額 16,536 千円の助成を実施した。

当年度における公募の概要は次のとおりである。

募集の目的

当法人は、環境科学に関する調査研究の推進や創造性豊かな研究者の養成を支援することによって、岡山県における学術及び技術開発の進展に寄与することを目的とし、次に掲げる助成事業を行います。

I. 環境研究助成

一般研究		特定研究	
1. 助成対象研究			
テーマは設定しません。 自然科学と社会科学の両分野の研究で 自然環境の改善（環境科学）に寄与するものとします。		令和6年度募集テーマ A. 脱炭素社会に関する研究 B. 生物多様性に関する研究 C. 防災・減災に関する研究	
2. 助成金額と件数			
総 額400 万円程度 1 件あたり助成金額80 万円以内 助成件数5 件程度		総 額1200 万円程度 1 件あたり助成金額 150 万円以内 助成件数8 件程度	
3. 助成対象となる期間			
令和7年3月31日まで		令和7年3月31日まで	

4. 助成対象とならない費用

本助成研究を実施するための直接必要な経費を助成します。汎用性のある機器（パソコン、コピー機、携帯電話、カメラ等）の購入費は助成対象外とします。

直接必要な経費とならない例：

- ・当財団以外の学会等への研究発表に必要な費用
- ・本助成研究以外の情報収集等の人件費・出張・宿泊・旅費等の費用
- ・本助成研究以外の事務所費・光熱水道料金・人件費・謝金等
- ・本助成研究成果以外の印刷費・製本費・翻訳費

注意：助成申請に当たり経費の一部が上記の判定が難しい場合、減額されることがありますので、申請費用はできるだけ判断しやすい記載としてください。

5. 助成対象者の義務等

下記の事項について財団所定の「合意書」を締結し、以下の内容を履行していただきます。

○申請者が研究を主体的に実施すること

○助成期間終了後3ヶ月以内に、申請者が研究レポート（1頁2,000字、A4で6頁程度）を作成し、提出をすること

ただし、特定研究部門助成対象者は指定様式にて提出すること

○令和7年11月頃に開催予定の財団主催の研究報告会（Web開催の可能性有）にて特定

研究においては、申請者が研究成果の発表を行うこと。一般研究申請者については、自ら発表を志願するものおよび財団事務局が指名したものが発表を行うものとする（発表志願者は次年度以降の選考において優遇されます）。

- 申請者が財団所定の「報告書（経費使用明細書含む）」の提出すること
- 対外的に本研究成果を発表する場合には、当財団の援助を受けたことを明示すること
- 研究を中止または停止した場合はその理由書と経費使用明細書の提出及び助成金の返金もしくは精算を速やかにおこなうこと。ただし、研究を延期する場合は、その理由書を提出し、認められた場合、助成費用は継続することができる。

注意：助成対象者の義務を果たさない場合は、次年度以降の助成申請に当たり、提出された組織及び研究者に対し、申請を辞退いただく場合があります。

6. 選考基準

当財団選考委員より構成される選考委員会において、以下の基準で厳正な審査を行う。

- 当財団が助成するにふさわしい研究者
- 学術的・社会的要請が高く将来性豊かな研究者
- 独創性・先駆性に優れた研究者

7. その他

- 特定研究部門助成対象者の中から、最も優れた研究に対し、「八雲賞」を授与します。

Ⅱ. 国際研究交流助成

1. 助成対象

令和 6 年 6 月 1 日から令和 7 年 5 月 31 日までに出発帰着する下記の派遣又は招聘。

- 国内外で開催される環境科学に関する国際研究集会での発表、又は共同研究を目的とした、海外研究者の招聘。

2. 助成金額と件数

- 総 額 ……40 万円程度
- 1 件当たり助成金額 …20 万円以内
- 助成件数 …… 2 件程度

3. 助成対象となる費用

派遣又は招聘に必要な渡航費及び滞在費並びに研究集会参加費。

注意：審査に当たり、他機関からの助成が無い場合を優先します。

4. 助成対象者の義務等

- 公開講演会又は研究発表会にて発表をお願いする場合があります。この場合謝金は お支払できません。
- 派遣又は招聘完了後 1 ヶ月以内に財団所定「報告書」の提出すること
- 渡航又は招聘を中止若しくは延期した場合、その理由書の提出と助成金の精算。
- 研究集会等での発表を目的とする場合、研究発表後 1 ヶ月以内に発表論文と応募者が発表者であることが証明できるものを提出すること
- 参加、開催を証明することのできる開催模様の写真等の提出すること

注意：助成対象者の義務を果たさない場合は、次年度以降の助成申請に当たり、提出された組織及び研究者に対し、申請を辞退いただく場合が有ります。

Ⅲ. 研究集会助成

1. 助成対象

○第1回募集（今回募集）：2件程度

令和6年10月1日から令和8年3月31日までに岡山県内で開催される、環境科学に関する研究集会、学術講演会、シンポジウム等（Web開催可）。

○第2回募集（予定）：1件程度

令和7年2月1日から令和8年3月31日までに岡山県内で開催される、環境科学に関する研究集会、学術講演会、シンポジウム等（Web開催可）。

2. 助成金額と件数

○総 額 ……90万円程度

○1件当たり助成金額 …30万円以内

○助成件数 …… 3件程度

3. 助成対象となる費用

研究集会等の開催に要する会場費、印刷費、通信運搬費等の費用。

4. 助成対象者の義務等

○研究集会等の開催が、当財団の助成を受けている旨を明示すること

○研究集会等終了後1ヶ月以内に財団所定「報告書」および財団から助成を受けたことを示すもの（ポスター、HP、チラシ等）の提出すること

○開催を中止又は延期した場合、その理由書の提出と助成金の精算をすること

○開催を証明することのできる開催模様の写真等の提出をすること

注意：助成対象者の義務を果たさない場合は、次年度以降の助成申請に当たり、提出された組織及び研究者に対し、申請を辞退いただく場合が有ります。

応募手続き

1. 応募資格

- 環境科学との関連性の欄に記載のないものについての申請は認めません。申請書所定欄に環境科学との関連性について必ず記述して下さい。環境研究助成の特定研究申請者は選定したテーマを明示しその関連性について記述ください。
- 岡山県内の大学等の研究機関に所属する研究者（博士課程(後期)の大学院生を含む）。
- 研究機関の長又は学長若しくは学部長等の推薦を受け、申請書所定欄に記入して下さい。大学院生はそれに加えて、指導教官からの推薦状（様式自由）を添付して下さい。
- 環境研究助成、国際研究交流助成、研究集会助成に重複して応募はできますが、それぞれ 1 件までとします。また重複して応募された場合でも、助成対象となるのは 1 人又は 1 グループにつき最大 1 件とします。
- 令和 5 年度に助成対象者となった研究者（共同研究者を含む）は、令和 6 年度は同一の助成部門（「環境研究助成の特定研究部門」、「環境研究助成の一般研究部門」、「国際研究交流助成部門」、「研究集会助成部門」）に再応募することはできません。
- 国際研究交流助成において、研究集会等での発表を目的とする場合、応募者が発表者であることを要件とします。また、論文採択が予定の段階でも応募できますが、選定された場合の助成金の振込は、採択後とします。申請時において決定している場合は、「論文採択通知」等の写しを申請書に添付して下さい。
- 申請書について、白黒コピーの申請書によって審査いたします。

2. 募集期間と選考手続

	応募締切	最終決定	結果通知
I.環境研究助成	令和 6 年 4 月 24 日（水）（必着）	令和 6 年 6 月上旬	申請者及び推薦者に採否、助成金額及び交付期日と方法を通知いたします。
II.国際研究交流助成			
III.研究集会助成			

※ 書類に不備があった場合、選定されない場合があります。

3. 申請書類

応募申請書様式は、各大学等の事務室等に配布しています。

または、当財団のホームページからダウンロードして下さい。

申請書の様式は変更しないでください。（申請書フォーマット、枚数の変更不可）

<http://www.ej-hds.co.jp/zaidan/>

応募申請書類は、下記の財団事務局にご送付下さい。

応募申請書類送付先・問い合わせ先

〒700-8617 岡山市北区津島京町 3 丁目 1 番 21 号

(株)エイト日本技術開発内

公益財団法人 八雲環境科学振興財団 事務局

TEL: 086-252-7670

FAX: 086-252-8918

Eメール: yakumo@ej-hds.co.jp

6. 年度別助成事業実施状況

平成 10 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
国際研究交流助成事業	7 件	7 件	1,357 千円
合 計	7 件	7 件	1,357 千円

平成 10 年度は、環境研究助成事業は実施いたしませんでした。

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
国際研究交流助成事業	岡山大学	5 件
	岡山県立大学	1 件
	岡山商科大学	1 件

平成 11 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	24 件	11 件	5,886.3 千円
国際研究交流助成事業	13 件	10 件	1,938.2 千円
合 計	37 件	21 件	7,824.5 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	7 件
	岡山理科大学	2 件
	岡山商科大学	1 件
	津山工業高等専門学校	1 件
国際研究交流助成事業	岡山県工業技術センター	1 件
	岡山大学	5 件
	岡山県立大学	3 件
	岡山理科大学	1 件

平成 12 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	20 件	13 件	6,620 千円
国際研究交流助成事業	9 件	8 件	1,517 千円
合 計	29 件	21 件	8,137 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	5 件
	岡山理科大学	4 件
	岡山商科大学	1 件
	川崎医科大学	1 件
	津山工業高等専門学校	2 件
国際研究交流助成事業	岡山県工業技術センター	1 件
	岡山大学	7 件

平成 13 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	14 件	12 件	6,370 千円
国際研究交流助成事業	16 件	12 件	2,350 千円
合 計	30 件	24 件	8,720 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	7 件
	岡山県立大学	1 件
	川崎医科大学	1 件
	倉敷芸術科学大学	2 件
	津山工業高等専門学校	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	7 件
	岡山県立大学	2 件
	岡山理科大学	1 件
	津山工業高等専門学校	1 件
	財団法人淳風会	1 件

平成 14 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	27 件	12 件	7,200 千円
国際研究交流助成事業	10 件	7 件	1,400 千円
研究集会助成事業	2 件	1 件	300 千円
合 計	39 件	20 件	8,900 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	7 件
	岡山理科大学	3 件
	岡山商科大学	1 件
	川崎医科大学	1 件
国際研究交流助成事業	岡山県工業技術センター	1 件
	岡山大学	4 件
	岡山理科大学	1 件
	津山工業高等専門学校	1 件
研究集会助成事業	岡山大学	1 件

平成 15 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	28 件	13 件	6,900 千円
国際研究交流助成事業	9 件	3 件	600 千円
研究集会助成事業	2 件	2 件	600 千円
合 計	39 件	18 件	8,100 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	5 件
	岡山理科大学	3 件
	岡山県立大学	1 件
	倉敷技術科学大学	2 件
	吉備国際大学	1 件
	津山工業高等専門学校	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	3 件
研究集会助成事業	岡山大学	2 件

平成 16 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	4 2 件	1 2 件	6, 800 千円
国際研究交流助成事業	1 2 件	4 件	800 千円
研究集会助成事業	4 件	4 件	1, 200 千円
合 計	5 8 件	2 0 件	8, 800 千円

※ 研究集会助成事業は平成 17 年度開催 採択 2 件を含む。

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	7 件
	岡山理科大学	2 件
	岡山商科大学	1 件
	美作大学	1 件
	就実大学	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	2 件
	岡山県立大学	1 件
	岡山県工業技術センター	1 件
研究集会助成事業	岡山大学	3 件
	岡山理科大学	1 件

平成 17 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	3 4 件	1 3 件	6, 860 千円
国際研究交流助成事業	1 0 件	5 件	1, 000 千円
研究集会助成事業	1 件	1 件	300 千円
合 計	4 5 件	1 9 件	8, 160 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	8 件
	岡山理科大学	3 件
	岡山商科大学	1 件
	美作大学	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	1 件
	岡山理科大学	1 件
	岡山県立大学	1 件
	岡山県工業技術センター	1 件
	津山工業高等専門学校	1 件
研究集会助成事業	川崎医科大学	1 件

平成 18 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	3 7 件	1 4 件	8, 250 千円
国際研究交流助成事業	8 件	4 件	760 千円
研究集会助成事業	1 件	1 件	300 千円
合 計	4 6 件	1 9 件	9, 310 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	9 件
	岡山理科大学	2 件
	岡山県立大学	1 件
	吉備国際大学	1 件
	津山工業高等専門学校	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	3 件
	岡山商科大学	1 件
研究集会助成事業	岡山大学	1 件

平成 19 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	2 5 件	1 4 件	7, 250 千円
国際研究交流助成事業	3 件	2 件	400 千円
研究集会助成事業	1 件	1 件	300 千円
合 計	2 9 件	1 7 件	7, 950 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	9 件
	岡山理科大学	3 件
	吉備国際大学	2 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	2 件
研究集会助成事業	岡山大学	1 件

平成 20 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	34 件	13 件	7,290 千円
国際研究交流助成事業	9 件	4 件	800 千円
研究集会助成事業	1 件	1 件	300 千円
合 計	44 件	18 件	8,390 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	7 件
	岡山理科大学	3 件
	岡山県立大学	1 件
	吉備国際大学	1 件
	倉敷芸術科学大学	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	3 件
	岡山理科大学	1 件
研究集会助成事業	川崎医科大学	1 件

平成 21 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	26 件	13 件	7,090 千円
国際研究交流助成事業	6 件	2 件	400 千円
研究集会助成事業	1 件	1 件	150 千円
合 計	33 件	16 件	7,640 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	5 件
	岡山理科大学	2 件
	岡山県立大学	1 件
	吉備国際大学	2 件
	津山工業高等専門学校	2 件
	くらしき作陽大学	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	1 件
	岡山県工業技術センター	1 件
研究集会助成事業	岡山理科大学	1 件

平成 22 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	39 件	12 件	7,360 千円
国際研究交流助成事業	3 件	3 件	600 千円
研究集会助成事業	3 件	2 件	530 千円
合 計	45 件	17 件	8,490 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	9 件
	岡山商科大学	1 件
	津山工業高等専門学校	1 件
	川崎医療福祉大学	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	3 件
研究集会助成事業	岡山大学	1 件
	岡山理科大学	1 件

平成 23 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	2 9 件	1 1 件	6, 890 千円
国際研究交流助成事業	7 件	5 件	1, 400 千円
研究集会助成事業	2 件	2 件	600 千円
合 計	3 8 件	1 8 件	8, 890 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	5 件
	岡山理科大学	1 件
	岡山県立大学	1 件
	津山工業高等専門学校	2 件
	就実大学	1 件
	岡山農林水産総合センター 生物科学研究所	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	3 件
	岡山理科大学	2 件
研究集会助成事業	岡山大学	1 件
	川崎医科大学	1 件

平成 24 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	2 8 件	1 2 件	6, 917 千円
国際研究交流助成事業	5 件	4 件	744 千円
研究集会助成事業	2 件	2 件	600 千円
合 計	3 5 件	1 8 件	8, 261 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	5 件
	岡山理科大学	2 件
	岡山県立大学	1 件
	津山工業高等専門学校	2 件
	倉敷芸術科学大学	1 件
	岡山農林水産総合センター 生物科学研究所	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	3 件
	岡山県工業技術センター	1 件
研究集会助成事業	岡山理科大学	2 件

平成 25 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	1 9 件	1 0 件	4,738 千円
国際研究交流助成事業	2 件	2 件	400 千円
研究集会助成事業	2 件	3 件	800 千円
合 計	2 3 件	1 5 件	5,938 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	4 件
	岡山理科大学	4 件
	山陽学園大学	1 件
	倉敷芸術科学大学	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	2 件
研究集会助成事業	岡山大学	1 件
	就実大学	1 件
	岡山理科大学	1 件

平成 26 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	2 0 件	1 0 件	5,446 千円
国際研究交流助成事業	5 件	4 件	775 千円
研究集会助成事業	4 件	3 件	900 千円
合 計	2 9 件	1 7 件	7,121 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	6 件
	岡山理科大学	2 件
	津山工業高等専門学校	1 件
	就実大学	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	2 件
	岡山理科大学	1 件
	岡山県立大学	1 件
研究集会助成事業	岡山大学	3 件

平成 27 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	2 8 件	1 4 件	8, 323 千円
国際研究交流助成事業	2 件	2 件	400 千円
研究集会助成事業	1 件	1 件	300 千円
合 計	3 1 件	1 7 件	9, 023 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	1 1 件
	岡山理科大学	1 件
	岡山県農林水産総合センター	1 件
	就実大学	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	2 件
研究集会助成事業	岡山大学	1 件

平成 28 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	3 3 件	1 4 件	9, 689 千円
研究集会助成事業	6 件	5 件	1, 500 千円
合 計	3 9 件	1 9 件	11, 189 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	1 0 件
	岡山理科大学	2 件
	岡山県農林水産総合センター	1 件
	倉敷芸術大学	1 件
研究集会助成事業	岡山大学	4 件
	岡山理科大学	1 件

平成 29 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	3 5 件	1 2 件	8, 924 千円
国際研究交流助成事業	6 件	5 件	986 千円
研究集会助成事業	4 件	3 件	900 千円
合 計	4 5 件	2 0 件	10, 810 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	8 件
	岡山理科大学	1 件
	岡山県農林水産総合センター	1 件
	岡山県立大学	1 件
	津山工業高等専門学校	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	4 件
	岡山理科大学	1 件
研究集会助成事業	岡山大学	1 件
	岡山理科大学	1 件
	岡山県立大学	1 件

平成 30 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	4 2 件	9 件	6, 474 千円
国際研究交流助成事業	2 件	2 件	400 千円
研究集会助成事業	2 件	2 件	600 千円
合 計	4 6 件	1 3 件	7, 474 千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	8 件
	岡山理科大学	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	2 件
研究集会助成事業	岡山大学	1 件
	就実大学	1 件

令和元年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	2 8 件	1 5 件	10, 297 千円
国際研究交流助成事業	4 件	3 件	566 千円
研究集会助成事業	1 件	1 件	300 千円
合 計	3 3 件	1 9 件	11, 164 千円

○所属機関別助成実

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	8 件
	岡山理科大学	3 件
	倉敷市立短期大学	1 件
	岡山県農林水産総合センター	1 件
	就実大学	1 件
	川崎医療福祉大学	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	3 件
研究集会助成事業	岡山大学	1 件

令和 2 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	2 1 件	1 4 件	10, 377 千円
国際研究交流助成事業	1 件	0 件	0 千円
研究集会助成事業	5 件	5 件	1, 300 千円
合 計	2 7 件	1 9 件	11, 677 千円

○所属機関別助成実

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	1 3 件
	岡山県立大学	1 件
研究集会助成事業	岡山大学	3 件
	川崎医科大学	1 件
	岡山理科大学	1 件

令和 3 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	3 3 件	1 8 件	13, 336 千円
国際研究交流助成事業	0 件	0 件	0 千円
研究集会助成事業	3 件	3 件	900 千円
合 計	3 6 件	2 1 件	14, 236 千円

○所属機関別助成実

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	1 3 件
	岡山理科大学	4 件
	倉敷芸術科学大学	1 件
研究集会助成事業	岡山大学	2 件
	統合物性モデル技術研究組合	1 件

令和 4 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	38 件	15 件	16,018 千円
国際研究交流助成事業	3 件	2 件	400 千円
研究集会助成事業	3 件	3 件	900 千円
合 計	45 件	20 件	17,318 千円

○所属機関別助成実

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	10 件
	岡山理科大学	3 件
	統合物性モデル技術研究組合	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	2 件
研究集会助成事業	岡山大学	3 件

令和 5 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	43 件	14 件	15,116 千円
国際研究交流助成事業	2 件	2 件	374 千円
研究集会助成事業	3 件	2 件	600 千円
合 計	48 件	18 件	16,090 千円

○所属機関別助成実

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	11 件
	岡山理科大学	2 件
	津山工業高等専門学校	1 件
国際研究交流助成事業	岡山県農林水産総合センター	1 件
	岡山大学	1 件
研究集会助成事業	岡山大学	2 件

令和 6 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	37 件	16 件	15,556 千円
国際研究交流助成事業	5 件	2 件	400 千円
研究集会助成事業	3 件	2 件	580 千円
合 計	45 件	20 件	16,536 千円

○所属機関別助成実

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	1 1 件
	岡山理科大学	3 件
	岡山県立大学	1 件
	岡山県農林水産総合センター	1 件
国際研究交流助成事業	岡山大学	1 件
	岡山理科大学	1 件
研究集会助成事業	岡山大学	1 件
	統合物性モデル技術研究組合	1 件

累計（平成 10 年度～令和 6 年度）

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	7 5 1 件	3 3 6 件	221, 977 千円
国際研究交流助成事業	1 5 8 件	1 0 4 件	20, 767 千円
研究集会助成事業	4 8 件	5 1 件	14, 760 千円
合 計	9 5 7 件	4 9 1 件	257, 504 千円

7. 研究発表会実施状況

平成 12 年度

開催日時	平成 12 年 9 月 29 日（金） 13 時～
場 所	岡山ロイヤルホテル
発表者数	8 名
協 賛	株式会社エイトコンサルタント
出 席 者	約 50 名

平成 13 年度

開催日時	平成 13 年 11 月 6 日（火） 13 時～
場 所	岡山ロイヤルホテル
発表者数	10 名
協 賛	岡山県教育委員会 株式会社エイトコンサルタント
出 席 者	約 60 名

平成 14 年度

開催日時	平成 14 年 11 月 8 日（金） 13 時～
場 所	リーセントカルチャーホテル
発表者数	12 名
協 賛	岡山県教育委員会 株式会社エイトコンサルタント 岡山グリーンライオンズクラブ
出 席 者	約 60 名

平成 15 年度

開催日時	平成 15 年 11 月 6 日（木） 13 時～
場 所	リーセントカルチャーホテル
発表者数	12 名
協 賛	岡山県教育委員会 株式会社エイトコンサルタント 岡山グリーンライオンズクラブ
出 席 者	約 60 名

平成 16 年度

開催日時	平成 16 年 11 月 4 日（木） 13 時～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	13 名
協 賛	岡山県教育委員会 株式会社エイトコンサルタント 岡山グリーンライオンズクラブ
出 席 者	約 50 名

平成 17 年度

開催日時	平成 17 年 10 月 26 日（水） 13 時～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	12 名
協 賛	岡山県教育委員会 株式会社エイトコンサルタント 岡山グリーンライオンズクラブ
出席者	約 80 名

平成 18 年度

開催日時	平成 18 年 11 月 1 日（水） 12 時 30 分～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	14 名
協 賛	岡山県教育委員会 株式会社エイトコンサルタント 岡山グリーンライオンズクラブ 岡山旭ライオンズクラブ 岡山吉備ライオンズクラブ 岡山ブルーライオンズクラブ
出席者	約 100 名

平成 19 年度

開催日時	平成 19 年 11 月 12 日（月） 12 時 30 分～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	14 名
協 賛	岡山県教育委員会 株式会社エイトコンサルタント 岡山グリーンライオンズクラブ
出席者	約 80 名

平成 20 年度

開催日時	平成 20 年 11 月 4 日（火） 13 時～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	12 名
協 賛	岡山県教育委員会 株式会社エイトコンサルタント 岡山グリーンライオンズクラブ
出席者	約 50 名

平成 21 年度

開催日時	平成 21 年 10 月 30 日（金） 12 時 50 分～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	13 名
協 賛	岡山県教育委員会 株式会社エイト日本技術開発 岡山グリーンライオンズクラブ
出席者	約 50 名

平成 22 年度

開催日時	平成 22 年 11 月 1 日（月） 12 時 50 分～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	13 名
協 賛	岡山県教育委員会 株式会社エイト日本技術開発 岡山グリーンライオンズクラブ
出席者	約 50 名

平成 23 年度

開催日時	平成 23 年 10 月 25 日（火） 13 時～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	12 名
協 賛	岡山県教育委員会 株式会社エイト日本技術開発 岡山グリーンライオンズクラブ
出席者	約 50 名

平成 24 年度

開催日時	平成 24 年 10 月 5 日（金） 13 時～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	12 名
協 賛	株式会社エイト日本技術開発 岡山グリーンライオンズクラブ
出席者	約 60 名

平成 25 年度

開催日時	平成 25 年 11 月 14 日（木） 13 時～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	12 名
協 賛	株式会社エイト日本技術開発 岡山グリーンライオンズクラブ
出席者	約 60 名

平成 26 年度

開催日時	平成 26 年 10 月 28 日（火） 13 時～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	11 名
協 賛	株式会社エイト日本技術開発 岡山グリーンライオンズクラブ
出 席 者	約 60 名

平成 27 年度

開催日時	平成 27 年 11 月 2 日（月） 13 時～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	10 名
協 賛	株式会社エイト日本技術開発 岡山グリーンライオンズクラブ

平成 28 年度

開催日時	平成 28 年 10 月 31 日（月） 10 時 30 分～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	15 名
協 賛	株式会社エイト日本技術開発 岡山グリーンライオンズクラブ

平成 29 年度

開催日時	平成 29 年 11 月 1 日（水） 10 時 30 分～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	14 名
協 賛	株式会社エイト日本技術開発 岡山グリーンライオンズクラブ

平成 30 年度

開催日時	平成 30 年 11 月 1 日（木） 12 時 30 分～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	13 名
協 賛	株式会社エイト日本技術開発

令和元年度

開催日時	令和元年 11 月 5 日（火） 13 時～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	10 名
協 賛	株式会社エイト日本技術開発

令和 3 年度

開催日時	令和 3 年 1 1 月 5 日（金） 1 3 時～
場 所	リーセントカルチャーホテル
発表者数	1 4 名
協 賛	E・J ホールディングス株式会社他

令和 4 年度

開催日時	令和 4 年 1 1 月 2 日（水） 1 2 時 5 0 分～
場 所	リーセントカルチャーホテル
発表者数	1 7 名
協 賛	E・J ホールディングス株式会社他

令和 5 年度

開催日時	令和 5 年 1 1 月 7 日（火） 1 2 時 5 0 分～
場 所	リーセントカルチャーホテル
発表者数	1 6 名
協 賛	E・J ホールディングス株式会社他

令和 6 年度

開催日時	令和 6 年 1 0 月 2 9 日（火） 1 2 時 5 0 分～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	1 4 名
協 賛	E・J ホールディングス株式会社他

令和 7 年度（予定）

開催日時	令和 7 年 1 1 月 5 日（水） 1 2 時 3 0 分～
場 所	リーセントカルチャーホテル
発表者数	1 5 名
協 賛	E・J ホールディングス株式会社他

令和 6 年度 環境研究助成報告

8. 令和6年度 環境研究助成報告

① 特定研究

助成対象者	所 属	研究テーマ	ページ
満身 稔	岡山理科大学理学部	亜鉛・金属ポルフィリンダイマー錯体に基づく革新的可視光駆動型 CO ₂ 還元触媒の創製	39
難波和彦	岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域	キノコとレタスのハイブリッド栽培施設の環境制御の為に二酸化炭素収支実測に基づく検討	43
若林恭平	岡山理科大学大学院理工学研究科	防災点検技術者のための BIM/CIM 利活用支援 AI・IoT システムの開発	48
谷 明生	岡山大学資源植物科学研究所	微生物叢機能から推定する二毛作の持続的生産性	54
富田朝美	岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域	多様な土壌環境適応性を制御するイネ葉身褐変症状に関する遺伝的メカニズム及び生理的特性の解明	59
御輿真穂	岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域	二ホンウナギの環境 DNA モニタリングを通じて解明する川と海とのつながり	63
森 裕樹	岡山大学異分野基礎科学研究所	高効率有機薄膜太陽電池に向けた非縮環構造を基盤とする半導体ポリマーの開発	68
高橋多美子	岡山県立大学保健福祉学部子ども学科	能登半島地震から展望する就学前教育・保育施設における防災・減災	73

② 一般研究

助成対象者	所 属	研究テーマ	ページ
泉 実	岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域	植物寄生性線虫のミトコンドリアを標的とした抗線虫薬剤の探索	79
藤井達生	岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域	鉄バクテリア由来酸化鉄を利用した高日射反射率ベンガラの開発	84
千葉 謙太郎	岡山理科大学生物地球学部	北米産恐竜類化石を用いた化石タンパク質検出手法の確立	90
廣部 宗	岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域	大山ブナ二次林における17年間の林分動態	95
西野直樹	岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域	畜産環境エアロゾル微生物叢の解析および特性評価	100
藤井隆史	岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域	けい酸塩系表面含浸材のコンクリートのスケール抑制効果とそのメカニズムの解明	105
畑中唯史	岡山県農林水産総合センター	亜臨界水処理コンブを活用した虫歯予防機能性素材の開発研究	111

※所属は採択時

亜鉛・金属ポルフィリンダイマー錯体に基づく

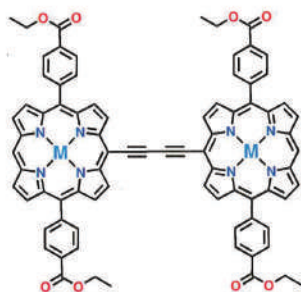
革新的可視光駆動型 CO₂還元触媒の創製

岡山理科大学 理学部 満身 稔

1. はじめに

化石燃料の大量消費によって生成する CO₂ の濃度上昇による地球沸騰化は、人類が解決しなければならない喫緊の課題である。また、この問題とともに、人類は化石燃料の枯渇という深刻な問題も抱えている。この危機的状況の打開策として、CO₂ を光化学的還元によって一酸化炭素、あるいはギ酸、メタノール、メタン、軽炭化水素などの燃料に資源化でき、CO₂ 排出量が実質ゼロとなる脱炭素社会の実現に貢献する人工光合成が注目されている。この CO₂ を電気化学的に 1 電子還元するには、 -1.90 V vs SHE という非常に高い還元電位を必要とするが、CO₂ に複数の電子とプロトンと同時に反応させれば、より低い電位で上記の有用な還元生物を得ることができる。そこで、この CO₂ の光化学的還元反応を達成するために、十分な還元力と多電子を蓄積する機能を持った効果的な触媒の開発が求められている。これまでに報告されている金属ポルフィリン錯体を用いた光化学的 CO₂ 還元の先行研究として、鉄ポルフィリン錯体 Fe-*p*-TMA やコバルトポルフィリン錯体 CoTTPS を CO₂ 還元触媒、光増感剤に [Ir(ppy)₃] あるいは [Ru(bpy)₃]²⁺ を用いた研究が知られている^{1,2)}。

本研究では、ポルフィリンモノマー錯体と比べて 2 倍の電子を蓄積できる 1,3-ブタジイン架橋拡張 π 共役金属ポルフィリンダイマー錯体が CO₂ の多電子還元により期待して、Scheme 1 に示す 3 種類の 1,3-ブタジイン架橋金属ポルフィリンダイマー

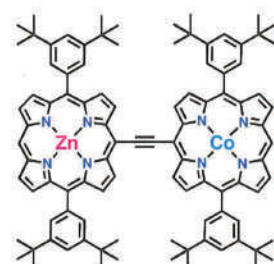


Scheme 1. M₂PD_PhCO₂Et (M = FeCl, Co, Zn)

錯体 M₂PD_PhCO₂Et (M = FeCl, Co, Zn) を新規に合成した。これらの錯体について、UV-Vis 吸収スペクトル、電気化学的 CO₂ 還元評価、光増感剤に [Ru(bpy)₃](PF₆)₂、犠牲還元剤に 1,3-dimethyl-2-phenyl-2,3-dihydro-1H-benzo[d]imidazole (BIH) を用

いた光化学的 CO₂ 還元触媒評価を行なったので報告する。さらに、金属ポルフィリンダイマーの構造的特徴を最大限に活かし、一方のポルフィリンに光増感機能、もう一方に CO₂ 還元触媒機能を持たせ、[Ru(bpy)₃]²⁺ などの従来の光増感剤を必要としない単一成分分子のみで光触媒機能を果たす画期的な可視光駆動型 CO₂ 還元触媒の実現を目指して、

Scheme 2 に示すエチニル架橋亜鉛コバルトポルフィリンダイマー錯体 ZnCoPD_PhDBu の合成に成功したので、合わせて報告する。

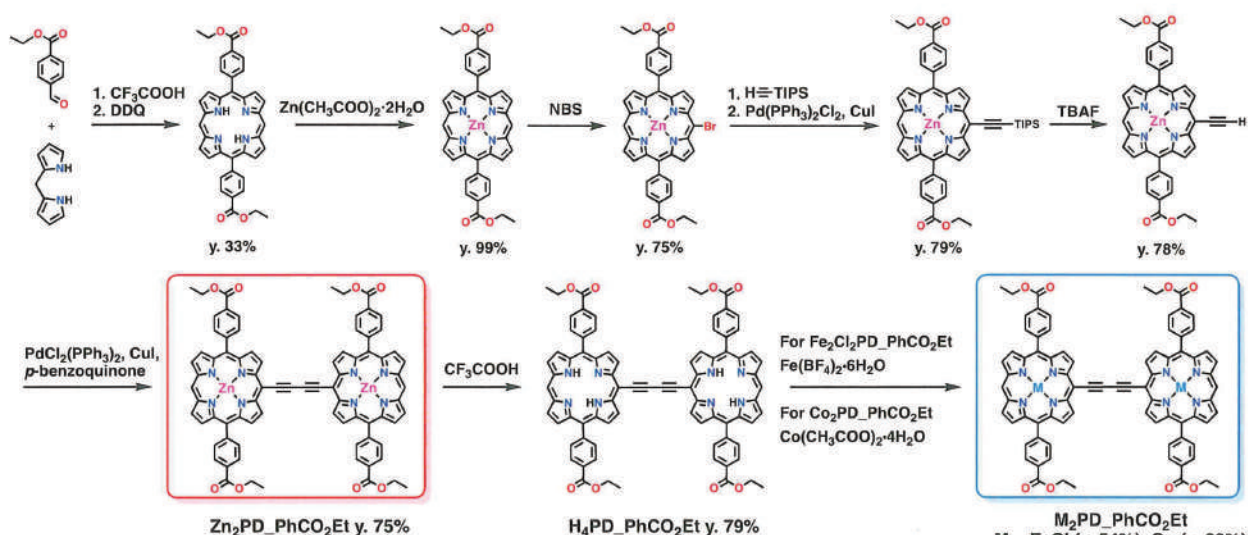


Scheme 2. ZnCoPD_PhDBu

2. 結果と考察

2.1 合成

本研究で均一系 CO₂ 還元触媒として開発する 1,3-ブタジイン架橋金属ポルフィリンダイマー錯体 M₂PD_PhCO₂Et (M = FeCl, Co) は、以下の Scheme 3 に示す合成経路で合成を行なった。まず、トリフルオロ酢酸の存在下、ジピロメタンと 4-ホルミル安息香酸のマクドナルド型縮合反応により環化を行い、DDQ による脱水素反応によりポルフィリン環を形成し、酢酸亜鉛(II)二水和物により亜鉛(II)イオンを挿入した。次に、NBS を用いてモノプロモ体を合成し、菌頭クロスカップリングにより TIPS アセチレンを導入した後、TBAF を用いてエチニル基の脱保護を行った。これらのエチニル体のホモカップリングを行い、亜鉛ポルフィリンダイマー-Zn₂PD_PhCO₂Et を比較的良い収率で得ることに成功した³⁾。得られた Zn₂PD_PhCO₂Et に過剰量のトリフルオロ酢酸を加え、脱亜鉛したフリーのポルフィリンダイマー-H₄PD_PhCO₂Et を合成した。この H₄PD_PhCO₂Et を用いて、テトラフルオロホウ酸鉄(II)六水和物との反応により鉄(III)ポルフィリンダイマー-Fe₂Cl₂PD_PhCO₂Et を、酢酸コバルト(II)四水和物によりコバルト(II)



Scheme 3. Synthetic routes of M₂PD_PhCO₂Et (M = FeCl, Co, Zn)

ポルフィリンダイマー-Co₂PD_PhCO₂Et を得ることに成功した。

2.2 結晶構造

単結晶を成長できた Zn₂PD_PhCO₂Et について X 線結晶構造解析を行なった (図 1)。この錯体は 1,3-ブタジイン基で架橋した共平面構造から成るポルフィリンダイマー構造であることを確認した。ブタジイン基の中心に対称心が存在し、分子の半分が結晶学的に独立していた。亜鉛原子周りの配位環境は、ポルフィリンの四つの窒素原子とアピカル位にピリジンの窒素原子が配位した 5 配位構造である。

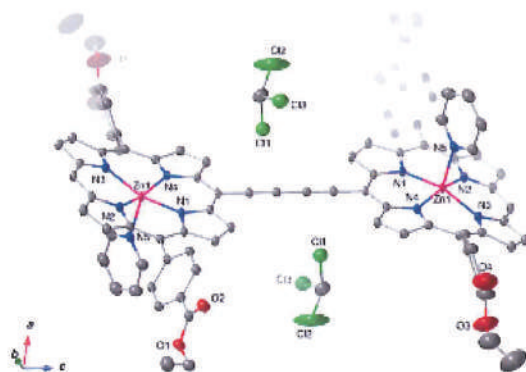


図 1 Zn₂PD_PhCO₂Et の結晶構造

2.3 UV-Vis 吸収, 発光・励起スペクトル

クロロホルム溶液中で測定した金属ポルフィリンダイマー錯体の吸収スペクトルを亜鉛ポルフィリンモノマー錯体 ZnP_PhCO₂Et と共に図 2 に示す。ZnP_PhCO₂Et では、414 nm に非常にシャープな Solet 帯と 543, 581 nm に Q 帯が観測される。これに対し M₂PD_PhCO₂Et では、1,3-ブタジイン基を軸とする二つのポルフィリン平面間の二面角

に応じて、ポルフィリンユニット間の励起子カップリングが著しく変化するため、ブタジイン架橋による π 共役の拡張によるレッドシフトに加えて、ソーレー帯と Q 帯がともに非常にブロードな吸収を示し、さらに、Q 帯は著しいモル吸光係数の増加と吸収が 700 nm まで延びている⁴⁾。これにより、これらのポルフィリンダイマー錯体では、ダイマー化によって可視光領域の広い範囲の光を吸収することが可能であることを明らかにした。

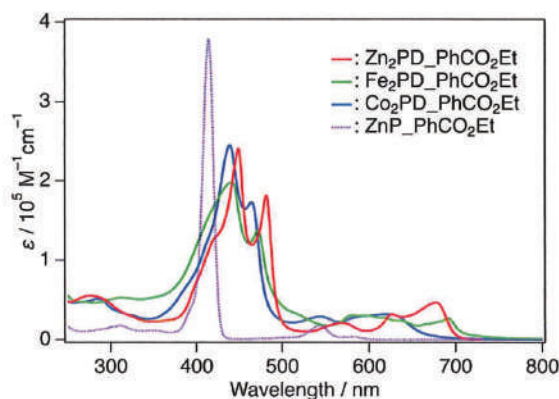


図 2 金属ポルフィリンダイマーの UV-Vis 吸収スペクトル

クロロホルム溶液中で測定した Zn₂PD_PhCO₂Et の発光・励起スペクトルを図 3 に示す。Solet 帯の短波長側 449 nm の励起では、685 nm に発光極大と 631 nm に発光のショルダーが観測された。そこで、検出器の波長をそれぞれ 685 nm と 631 nm に固定し、励起スペクトル測定を行なったところ、685 nm で検出した励起スペクトルでは Solet 帯領域の 449, 482 nm で吸収が観測されるのに対し、631 nm で検出した励起スペクトル

ルでは 449 nm の吸収のみを示した。ブタジイン架橋ポルフィリンダイマーでは、ブタジイン基を軸とする回転によりねじれ配座と共平面配座が存在し、これらの寄与によって二つの発光バンドが生じることが知られている⁵⁾。Zn₂PD_PhCO₂Et では、449 nm の吸収と 631 nm の発光はねじれ配座に帰属されるのに対し、482 nm の吸収と 685 nm の発光は共平面配座に帰属される。449 nm の吸収では、ねじれ配座に帰属される 631 nm の弱い発光と共平面配座による 685 nm の強い発光を示している。これは励起状態ではブタジイン架橋部位はクムレン性が強いために、ねじれ配座から共平面配座への安定化が起こり、685 nm の発光ピークが強く現れるためであると考えられる。

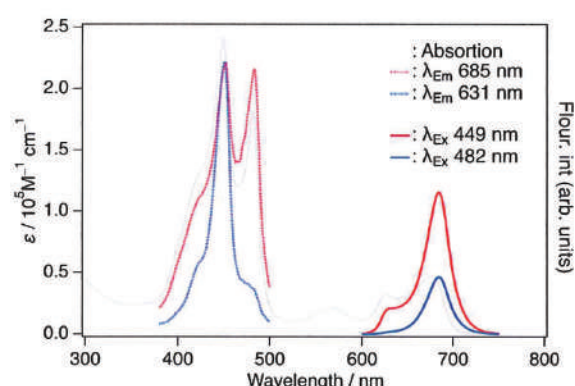


図3 Zn₂PD_PhCO₂Et の発光・励起スペクトル

2.4 電気化学 CO₂還元評価

金属がコバルト、鉄の金属ポルフィリンダイマー-M₂PD_PhCO₂Et (M = FeCl, Co, Zn) の電気化学的特性および電気化学的 CO₂還元特性を調べるために、サイクリックボルタンメトリー(CV)による電気化学測定を行なった。Zn₂PD_PhCO₂Et の Ar 飽和 (黒線) および CO₂ 飽和 (赤線) した THF-5% H₂O 溶液中で測定したサイクリックボルタモグラムの図 4 に示す。Ar 雰囲気下では、 $E_{1/2}^1 = -0.92$ V, $E_{1/2}^2 = -1.04$ V にポルフィリン環の還元

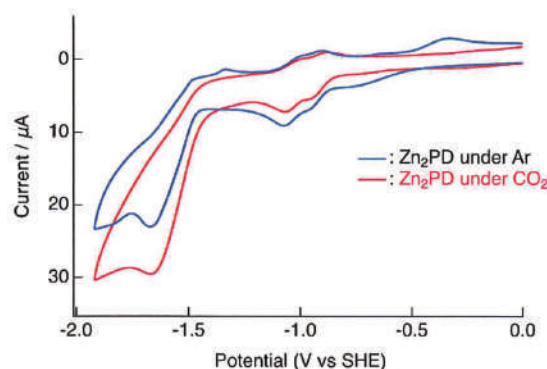


図4 Zn₂PD_PhCO₂Et のサイクリックボルタモグラム (vs SHE)

帰属される二段階の可逆な 1 電子還元波が観測され、さらに、 $E_{pc}^3 = -1.68$ V に非可逆な還元波が観測された。一方、CO₂雰囲気下においても Ar 雰囲気下と同様な挙動が観測され、酸化還元不活性な亜鉛(II)イオンを含む Zn₂PD_PhCO₂Et では、電気化学的 CO₂還元は起きていないと考えられる。次に、Co₂PD_PhCO₂Et の Ar 飽和 (黒線) および CO₂ 飽和 (赤線) した THF-5% H₂O 溶液中で測定したサイクリックボルタモグラムの図 5 に示す。Ar 雰囲気下では、 $E_{1/2}^1 = -0.67$ V に Co₂^{II}/Co₂^I に帰属される可逆な 2 電子還元波が、 $E_{1/2}^2 = -1.48$ V に Co₂^I/Co₂⁰ に帰属される可逆な 1 電子還元波がそれぞれ観測された。一方、CO₂ 雰囲気下では、Co₂^{II}/Co₂^I に帰属される $E_{1/2}^1 = -0.67$ V の 2 電子還元波に加えて、約 -1.45 V 付近から大きな非可逆な還元波が観測され、この還元波は CO₂ から CO への 2 電子還元に対応すると考えられる。Fe₂Cl₂PD_PhCO₂Et では、測定中に溶液が懸濁したため、評価ができなかった。これに関しては、溶媒の検討が必要であると考えられる。

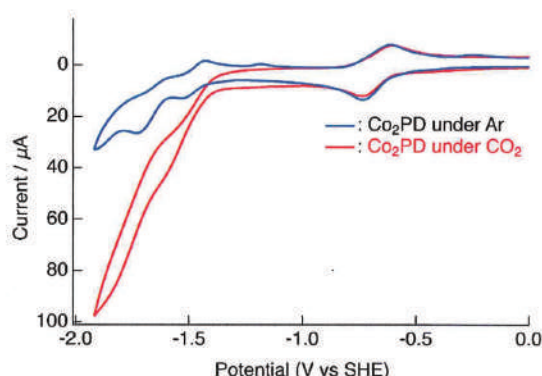


図5 Co₂PD_PhCO₂Et のサイクリックボルタモグラム (vs SHE)

2.5 光化学的 CO₂還元評価

金属がコバルト、鉄の金属ポルフィリンダイマー-M₂PD_PhCO₂Et (M = FeCl, Co) について、励起光に 430 nm の LED 光源、光増感剤に [Ru(bpy)₃](PF₆)₂、犠牲還元剤に 1,3-dimethyl-2-phenyl-2,3-dihydro-1H-benzo[d]imidazole (BIH)を含む DMF-TEOA 混合溶液 (4:1, v/v) における光化学的 CO₂還元特性の評価を行なった (図 6)。Fe₂PD_PhCO₂Et と Co₂PD_PhCO₂Et では、共に光化学的 CO₂還元が認められ、3 時間後の CO 生成における触媒回転数(TON_{CO})はそれぞれ 112, 82 であることを明らかにした。

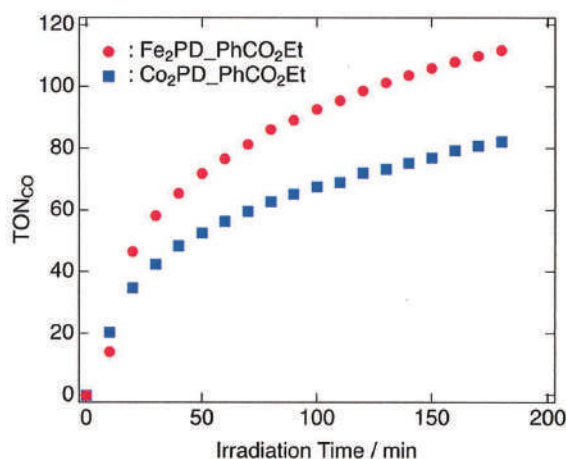
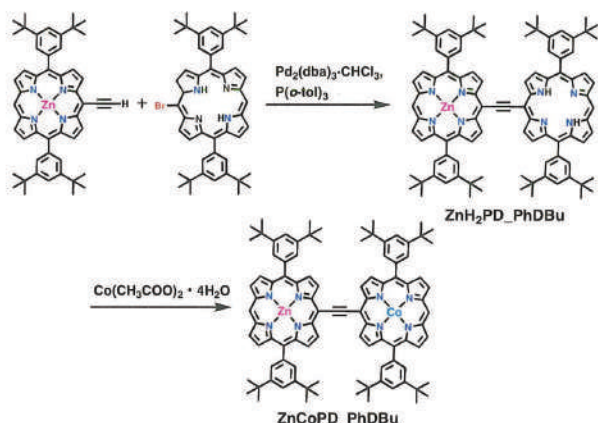


図6 $M_2PD_PhCO_2Et$ ($M = FeCl, Co$)の光化学的 CO_2 還元による CO 生成評価

2.6 亜鉛金属ポルフィリンダイマー錯体の合成

一方のポルフィリンに光増感機能, もう一方に CO_2 還元触媒機能を持たせ, $[Ru(bpy)_3]^{2+}$ などの光増感剤を必要としない単一成分分子のみで光触媒機能を果たす画期的な可視光駆動型 CO_2 還元触媒の実現を目指して, Scheme 4 に示すエチニル架橋亜鉛コバルトポルフィリンダイマー錯体 $ZnCoPD_PhDBu$ の合成に成功した. この錯体の合成では, ヘテロ金属ポルフィリンダイマー錯体を構成するために, エチニル体とプロモ体のクロスカップリングによって, ZnH_2PD_PhDB を合成した後, 酢酸コバルト(II)四水和物との反応により, $ZnCoPD_PhDBu$ を単離することに成功した⁶⁾. 一方, Zn_2PD_PhDBu の合成は, 共に亜鉛ポルフィリン錯体のエチニル体とプロモ体のクロスカップリングによって行なった.



Scheme 4. Synthetic route of $ZnCoPD_PhDBu$

クロロホルム溶液中で測定した金属ポルフィリンダイマー錯体 $ZnMPD_PhDBu$ ($M = Co, Zn$) の吸収スペクトルを亜鉛ポルフィリンモノマー錯体 ZnP_PhDBu と共に図 7 に示す. ZnP_PhDBu では,

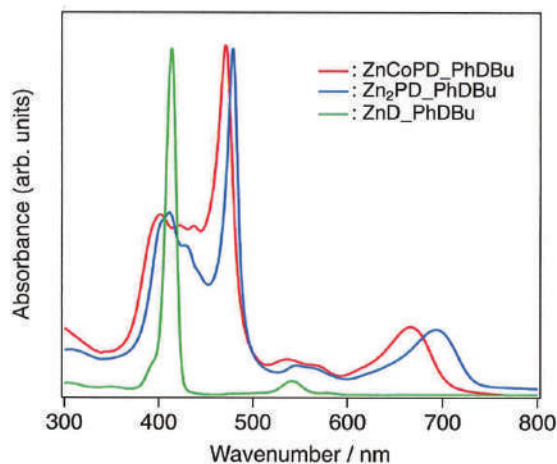


図7 $ZnMPD_PhDBu$ ($M = Co, Zn$) の UV-Vis 吸収スペクトル

414 nm に非常にシャープな Solet 帯と 542, 580 nm に Q 帯が観測される. これに対しエチニル架橋金属ポルフィリンダイマー錯体では, ブタジイン架橋錯体と同様に, 二つのポルフィリン平面間の二面角に応じて, ポルフィリンユニット間の励起子カップリングが著しく変化するため, エチニル架橋による π 共役の拡張によるレッドシフトに加えて, ソーレー帯と Q 帯がともに非常にブロードな吸収を示し, さらに, Q 帯は著しいモル吸光係数の増加と 700 nm 付近まで吸収が延びており, 可視光領域の広い範囲の光吸収が可能であることを明らかにした. 今後, これらのポルフィリンダイマー錯体について分光学的性質の評価を行うと共に, $ZnCoPD_PhDBu$ については, 電気化学的, 光化学的 CO_2 還元の評価を行なっていく予定である.

3. 謝辞

本研究を遂行するにあたり, 公益財団法人八雲環境科学振興財団, 環境研究助成資金を賜りましたことを深く感謝申し上げます. また, 本研究における光化学的 CO_2 還元評価は大阪公立大学 中園孝志博士, 山田 裕介教授にお世話になりました. 御礼申し上げます.

4. 文献

1. H. Reo et al., *Nature*, **2017**, 548, 74–77.
2. X. Zhang et al., *ACS Catal.*, **2021**, 11, 10436–10449.
3. L. Favereau et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **2015**, 137, 14256–14259.
4. D. Peeks et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2016**, 18, 5264–5274.
5. J. D. Wilkinson, et al., *J. Mater. Chem. C*, **2014**, 2, 6802–6809.
6. Z. Li, et al., *Nano Lett.*, **2012**, 12, 2722–2727.

キノコとレタスのハイブリッド栽培施設の環境制御の為の 二酸化炭素収支実測に基づく検討

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域 難波 和彦

1. はじめに

2022 年の日本の食用キノコ類の生産量は約 46 万 t で、近年この水準で推移している。生産量 1 位はえのき茸で約 12 万 6 千 t、2 位はぶなしめじで約 12 万 3 千 t、3 位はまいたけで約 5 万 5 千 t となっている。生産額は 2,200 億円超で、生しいたけが 684 億円で最も多く、次いでぶなしめじ 477 億円、まいたけ 351 億円と続く。

キノコの生産方法は大量生産に適した菌床栽培が主流となっている。滅菌したオガクズなどの木質基材に栄養源を混ぜて固めた菌床にキノコの菌を植え付け袋に密閉して培養する。培養工程が終わると袋を切って発生操作を行い、子実体（いわゆるキノコ部分）を収穫する。

キノコは菌類なので成長中は呼吸に伴い二酸化炭素を排出する。排出量の詳細な数値は存在しないが、規模の大きな施設内での濃度値は容易に労働基準法の上限值である 5,000 ppm を上回り、常に換気をしないと危険な環境である。また、成長に伴い発熱するため冷房も欠かせない。夏季には冷房機をフル稼働させながら換気を行うため、エネルギーロスも大きい。

この二酸化炭素排出量は相当なものになると予測できるが、オガクズは元々木材のため、カーボンニュートラルの考え方で我が国の総排出量には計上されていない。

一方、我々は施設栽培の恩恵で一年中レタスなどの野菜を入手することが可能である。日中植物は逆に二酸化炭素を吸収するため、この施設栽培では日の出から早い段階で二酸化炭素不足に陥る。不足する二酸化炭素は換気で補うか、積極的に供給して成長促進を行う場合も多い。この二酸化炭素は燃焼ガスが用いられるか、別の場所からポンペで輸送される。二酸化炭素を二酸化炭素を排出しながら輸送しているわけである。

そこでキノコとレタスを同時に栽培する事でこれらを同時に解決することを発想した。キノコから発生した二酸化炭素をその場で植物の光合成で利用すれば、現在キノコ栽培現場から放出されている二酸化炭素量削減だけでなく、燃焼や輸送で

使われている化石燃料の削減も期待できる。

これを実現するためには、キノコから発生する二酸化炭素量の詳細なデータが必要である。レタスが光合成によって吸収する二酸化炭素量については既に多くの報告がある反面、菌床栽培中のキノコから排出される二酸化炭素量を時系列で計測した事例はほとんどない。

また成長は温度の影響を強く受け、キノコの種類によっても様々であることから、これらを組み合わせながら数多くの実測値が必要である。この数値に基づいてキノコとレタスそれぞれの最適な環境制御が可能となる。

そこで今回、キノコ由来の二酸化炭素をレタス栽培に用いるための二酸化炭素収支を実測することを目的とし、その計測装置を構築した。

2. 実験装置

2.1 供試キノコ

キノコは様々な種類を計測していく予定であるが、最初は今後市場での大きな伸びが期待されるキクラゲ (*Auricularia auricula-judae*) とした。シイタケ市場が既に飽和気味となっている中、同様の栽培方法であるキクラゲは栽培現場でも期待されている品種である。

菌床は培地に植え付け直後の物を菌床メーカーから購入し、1 実験あたり 20 個体を供試してその呼吸や生長状態を観察した。サイズは一般的な 2.0 kg の菌床袋で、20 cm×14 cm×13 cm で培地が充填されている。呼吸用のフィルタは 47 mm 径のもの 1 穴であった。



(a) キクラゲの菌床



(b) リーフレタスの株

図-1 菌床とリーフレタス

2.2 供試レタス

レタスはリーフレタス (*Lactuca sativa* var. *crispa*) を水耕栽培で本葉 10 枚程度に育てた物を供試した。光条件は明期 16 h、暗期 8 h とした。

2.3 恒温器

キノコなど菌類の成長は温度依存性が高いことが知られている。実験期間を短縮するには、温度を多段階に設定できる恒温器が望ましい。そこで、棚ごとに 5 段階の温度設定ができる EYELA 社の MTI-1000 を今回の助成で購入させていただいた。しかしこの恒温器、納期が遅れ 11 月末にようやく届いたので実験開始がかなり遅れてしまった。

2.4 二酸化炭素収支計測装置

二酸化炭素収支は、計測対象物を密閉した容器に入れて通風し、入口と出口の濃度と空気の流量を計測することで算出した。二酸化炭素濃度センサには宝産商株式会社の TKR04A を用いた。これはデータログを備えて、計測結果を内部メモリに記録でき、無線で送信できるもので、電池でも駆動できるが安定計測のために AC 電源を接続した。これを計測対象につき 1 台ずつ、密閉容器に入れて計測した。



(a) 恒温室と菌床 (b) 二酸化炭素収支計測装置
図-2 二酸化炭素収支計測装置

2.5 通風ポンプ

安永エアerpump社の AH-80 で、14.7 kPa の圧力と 80 L/min の流量を弁で調整しながら、10 個の密閉容器に分配した。



図-3 通風ポンプからの分配

出口の流量はトランステック株式会社の気体用熱式質量流量計 5210-1 で 5 mL/min の精度で随時記録した。

3. 実験方法

3.1 菌床培養

キクラゲ培養の最適温度は、徳島県立農林水産総合技術支援センターのマニュアルでも 22~32 °C とされているなど明確ではないので、まず 22 °C から 2 °C 刻みで 30 °C までを 5 段階で設定した。1 つの棚に 4 菌床ずつで培養し、うち 2 菌床は密閉容器内で二酸化炭素濃度を計測、他の 2 菌床は菌糸の成長を培地が菌で白くなる様子から観察した。

培養期間中は光は不要なので暗黒条件で行った。培養期間の目安は、温度と日数の積算で 1200 °C 日とされているが今回は少し長めに、2024 年 12 月 20 日から 2025 年 3 月 10 日までとして二酸化炭素濃度の推移を計測した。

つぎに低温条件も確かめるために、2025 年 5 月 22 日から 14~22 °C まで 2 °C 刻み 5 段階で培養を行った。

3.2 二酸化炭素収支計測

通風量が最低 0.4 L/min となるように調節した結果、二酸化炭素収支計測装置出口での流量は 0.4~1 L/min となった。データログは 5 min おきに行った。

2 回目の培養試験では、キノコから排出された二酸化炭素をレタスで固定する実験も行った。菌床と同等レタスを密閉容器に入れて、一方には二酸化炭素濃度 400 ppm 弱の外気を、もう一方にはキノコからの二酸化炭素を送り込んだ。

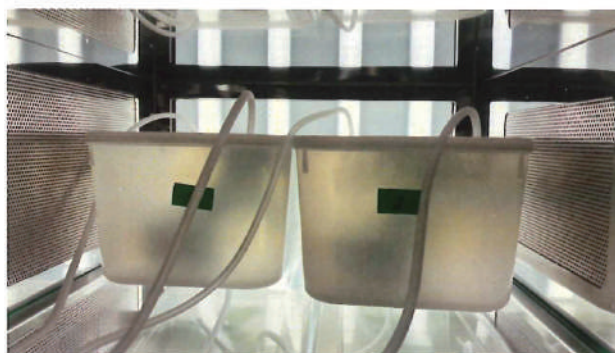


図-4 レタスでの二酸化炭素固定

3.3 発生操作

培養工程の後発生操作を行った。袋に刃物で切り込みを入れて散水し、光を点灯することで発生刺激とした。操作を行った袋は密閉容器に戻して

二酸化炭素濃度の計測を続けた。

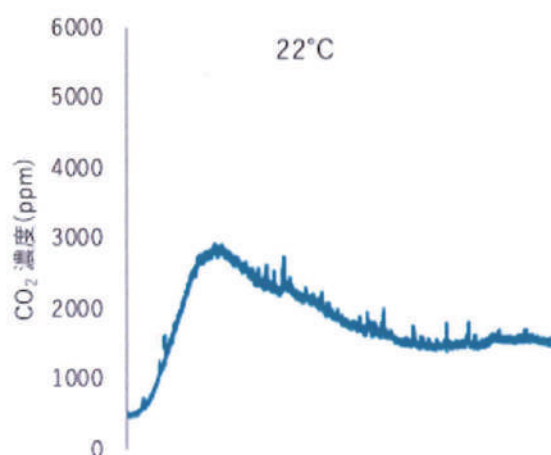
4. 実験結果

4.1 培養実験 1 回目

培養実験の結果、菌糸成長に温度の影響が予想以上に大きく、呼吸量にも大きな差となって現れることが詳細に明らかになった。なお、結果については培養実験だけで3か月を要するので、まだ繰り返しの無い進行中の実験報告であることをお断りさせていただく。

図5に22℃区での培養の様子と、排出二酸化炭素濃度の推移を示す。袋の中の白い部分が菌糸で1/10ではまだ下の方まで菌が成長していないが、1/23には全体が白くなっているのが分かる。さらに成長が進むと(2/3)、褐色部分が増えて子実体を作る準備が始まってくる。

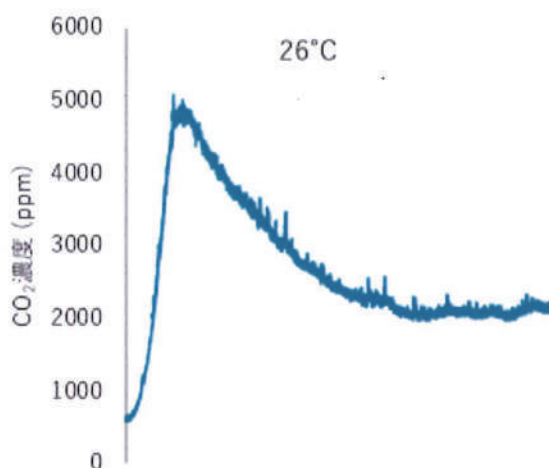
二酸化炭素濃度は、培養開始から一ヶ月ほどかけて徐々に増加し、最高で2,000 ppmに達した後漸減し次の一ヶ月程度で1,500 ppm程度の値となり、その後はその値付近で推移した。培養期間を通じてかなり安定して二酸化炭素を排出する事が明らかになったので、利用に向けて意義深い情報を得ることができた。



図－5 22℃区での菌床の成長の様子（上）と二酸化炭素濃度の推移（下）

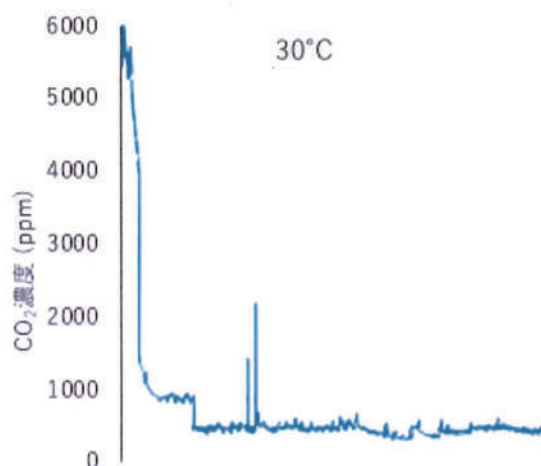
二酸化炭素濃度は温度が高くなると、最大値、総排出量とも増加した。図6に26℃区での濃度推

移を示す。培養開始後数週間で最高値の5,000 ppmに達し、その後は2,000 ppm程度まで漸減し、その値付近で推移した。大きな施設では高い栽培棚を設置するので、棚の上下で4℃の温度むらは容易に発生するが、成長に与える影響は大きいので、品質を整えるためには実際の温度を細かく計測する必要がある。今回の二酸化炭素利用の観点からも、温度管理の重要性が改めて明らかになった。中間の24℃区では、二酸化炭素濃度の推移も丁度中間くらいの値で推移した。



図－6 26℃区での二酸化炭素濃度の推移

一方30℃区においては異なる振る舞いとなった(図7)。培養直後に6,000 ppmを超える濃度に達した後急速に値を減らし、その後は450 ppm程度で推移した。明らかに成長阻害を受けていると考えられた。温度そのものによるものか、高二酸化炭素濃度によるものか、現時点では原因は明らかでは無いが、栽培環境としては問題があることは明確となった。



図－7 30℃区での二酸化炭素濃度の推移

期間中の二酸化炭素排出量を、周辺空気の二酸化炭素量を 1 としたときの割合で図 8 に示す。22℃区から温度上昇に伴って排出量が増え、22℃では 3.9 であったものが、28℃区では最大の 6.3 となった。一方 30℃区では 2.0 と大きく減少した。わずかな温度差で結果が大きく異なることが明らかとなり、制御系の設計への大きな手がかりとなった。精密な温度制御が難しい環境であれば、安全率を大きくとって 20℃台前半で運用すべきである。また、近年の猛暑での外気温の高さも適正な温度での運用を難しくすると考えられた。

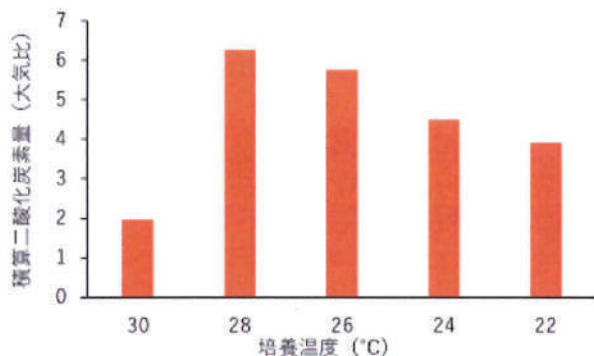


図-8 温度区別の積算二酸化炭素排出量

なお、発生は密閉容器の中ではうまくいかなかった。キクラゲは常に芽の辺りが湿っている必要があるが、通風による菌床の乾燥を上手く制御できなかった。容器の中での散水方法は引き続き課題として検討を続けていく。

容器から出して散水の頻度を上げたところ、発生が始まりその後 1 か月以上収穫できた (図 9)。生産量や品質に培養温度が影響を及ぼすのかどうかについても検討し、二酸化炭素排出量も含めた最適な温度条件を見いだしたい。



図-9 発生したキクラゲ子実体

4.2 培養試験 2 回目

低温での培養試験では、さらに成長が緩やかになり、排出される二酸化炭素の量も少なくなった。

14℃区の濃度は最大でも 1,000 ppm 程度であった (図 10)。これは、1 か月を経過してもまだ菌床の半分くらいは培地が見えたままの状態であった。30℃区のような成長阻害は見られなかった反面、二酸化炭素の利用という観点では量が不十分であると考えられた。

しかし低温でも成長は続いているので、冬季などの暖房コストとの兼ね合いや、キノコとレタスの栽培比率などで温度は設定しても良い。

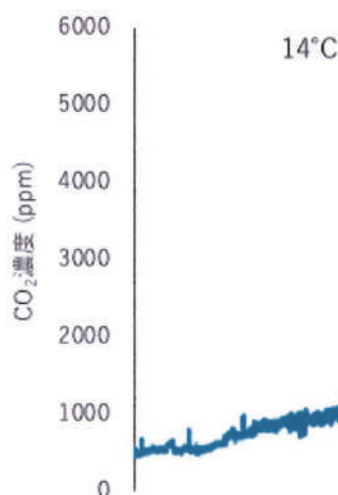


図-10 14℃区での二酸化炭素濃度の推移

4.3 レタス栽培試験

図 11 に周辺空気 (外気) を通風して栽培を行った、対照区の二酸化炭素濃度の変化を示す。濃度の高いときが暗期で 350 ppm 程度であった。照明点灯に伴い速やかに二酸化炭素の吸収が始まり 100 ppm 程度で推移した。この差分の 250 ppm 分を明期の間レタスで固定できたことになる。

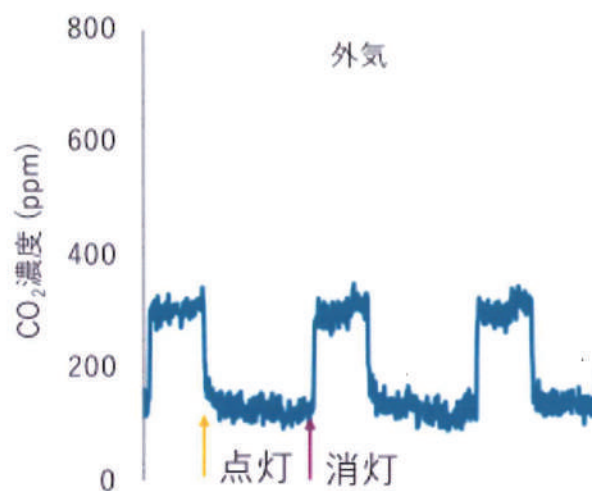


図-11 外気をレタスに通風させたときの二酸化炭素濃度の推移

一方、キノコ由来の二酸化炭素を通風させたときの結果が図 12 で、700 ppm 程度の濃度で送られてきた二酸化炭素を 300 ppm 程度まで吸収していた。キノコから発生した二酸化炭素を、余すこと無く利用するにはまだ流量や通風方法に工夫が必要であるが、400 ppm 分を有効に利用できたことが明らかになった。

まだ短期的な結果なので、今後収量がどうなるのか、品質への影響はあるのか、高二酸化炭素濃度下での生育に問題は無いかなど、引き続き検討を続けていく。

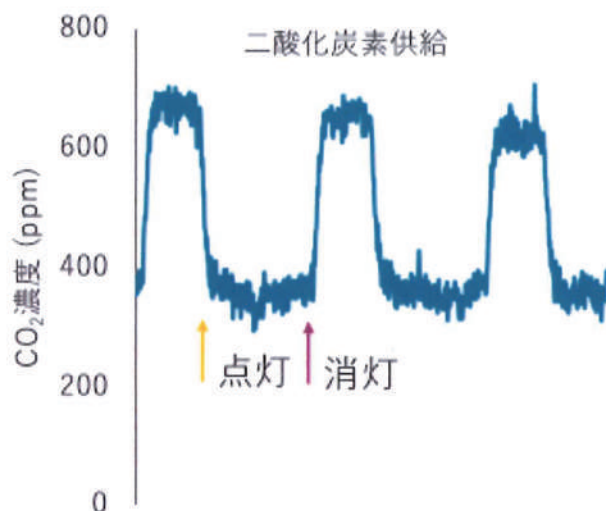


図-12 キノコ由来の二酸化炭素をレタスに通風させたときの二酸化炭素濃度の推移

5. おわりに

キノコ由来の二酸化炭素をレタス栽培に用いる栽培施設設計のための二酸化炭素収支を実測することを目的とし、キクラゲの菌床を 14~30℃ の環境下で培養して、排出された二酸化炭素をレタスに通風した結果以下の知見を得た。

- 1) 菌床は培養温度が高くなるほど成長が良くなり、排出された二酸化炭素量も増大した。
- 2) 数℃の違いでも排出量は大きく変わり、30℃では成育阻害が観察されたので、温度管理が重要である。
- 3) レタスに通風しての二酸化炭素吸収は問題なく行われた。

今後の展望を以下に述べる。

- 1) 今回支援いただき購入した装置で培養試験を続けて、温度環境の明確な基準を設定する。
- 2) 二酸化炭素は安定して排出されるものの、温度、培養期間などによって大きな濃度差を生じる。これをレタス栽培に応用するには、通風の制御装置に工夫が必要である。この設計、開発も進めていきたい。

- 3) 長期的な栽培実験でレタスの品質や収量をチェックし、ハイブリッド栽培施設を生産現場に提案できるように民間企業等と協力して準備していく予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり助成を賜りました、公益財団法人八雲環境科学振興財団に深く感謝申し上げます。

また、本報告の一部は菱機工業株式会社との共同研究の成果ですので、記してご助力に感謝いたします。

防災点検技術者のための

BIM/CIM 利活用支援 AI・IoT システムの開発

大分大学 大学院工学研究科 博士後期課程工学専攻 2年 若林 恭平
大分大学 理工学部 DX 人材育成基盤プログラム 准教授 小田 哲也

1. はじめに

国土交通省は、建設分野における持続可能なインフラ整備の実現と将来的な省人化を目指し、BIM/CIM (Building/Construction Information Modeling) の導入と活用を強力に推進している。特に、令和 5 年度からは、公共工事における BIM/CIM の原則適用が段階的に義務化され、設計・施工・維持管理といったインフラライフサイクルの全体にわたり、三次元データを活用することが求められるようになっている。BIM/CIM は、インフラ構造物の幾何情報、構造的特性、施工履歴、保守履歴などを統合管理する仕組みであり、その導入により、効率的かつ環境負荷の少ないインフラ整備が可能になると期待されている。

しかしながら、実際の点検・保守の現場においては、BIM/CIM の活用が必ずしも定着しておらず、特に維持管理段階では、設計時のデータと現況との乖離が大きな障壁となっている。施工前には三次元モデルが整備されていても、施工後や供用中の構造物については更新されたモデルが存在しない場合が多く、現場技術者が BIM/CIM データを参照しながら点検作業を行うことが困難な状況にある。このような背景から、BIM/CIM の利活用は制度的には推進されているものの、運用面では多くの課題を抱えており、実装と運用のギャップが顕在化している。

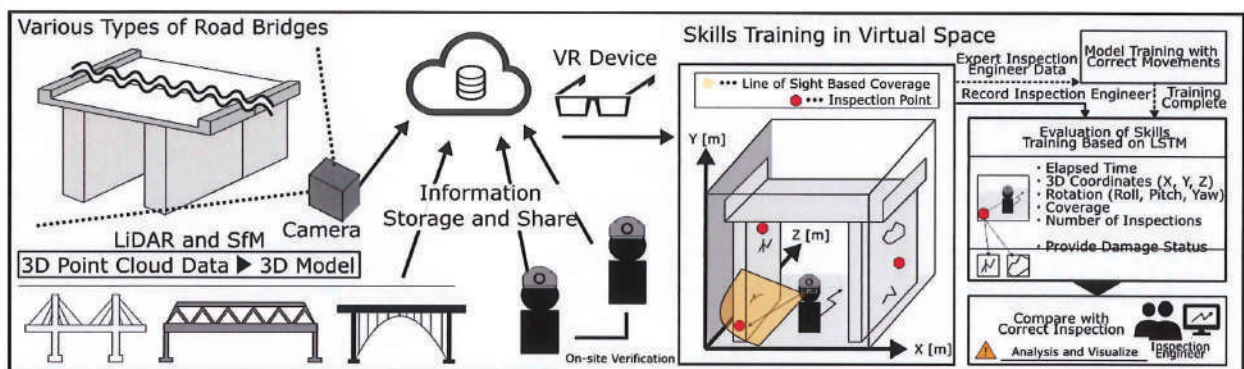
点検作業においては、構造物の劣化状況を正確に把握し、必要な補修判断を行う高度な技能が求められるが、こうした技能はこれまで熟練技術者の経験や勘に依存しており、その多くが暗黙知として共有されてきている。そのため、技術の標準化や再現性の確保が難しくなっており、点検品質のばらつきや技能承継の困難性といった問題が発生している。技術者の高齢化や若手人材の確保難が深刻化するなか、暗黙知を形式知として可視化し、体系的に後進に伝達可能な仕組みの構築が急務となっている。

さらに、BIM/CIM の活用による効率化・省人化という政策における目標と、現場での実際の点

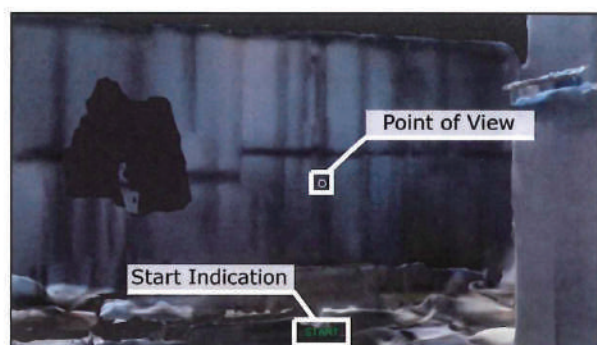
検作業の属人的・アナログ的な性質との間には大きな乖離が存在しており、このギャップを埋めるための“橋渡し”となる実装技術の必要性が高まっている。現場の実情に即した形で、BIM/CIM データを活用可能な形式に再構成し、作業者が直感的に理解・運用できるような支援技術の導入が強く求められている。近年では、業務効率化と点検技術者の安全確保を目的として、ドローンや人工知能 [1, 2, 3, 4], 三次元計測技術 [5, 6, 7] を活用した自動化点検の導入が進められている。

本研究では、これらの課題をふまえて、防災点検技術者のための BIM/CIM の現場定着と技能継承の同時実現を可能とする BIM/CIM 利活用支援 AI・IoT システムを開発する。提案システムは、点検現場における熟練技術者の実際の行動データ（視線、移動経路、注視対象等）を取得・記録・解析し、仮想空間内でその行動を再現可能とする Virtual Reality (VR) 訓練環境を提供する [8, 9]。初学者はこの仮想空間内で、熟練者の動作を模倣・学習することにより、短期間での技能獲得が可能となる。加えて、提案システムには時系列解析が可能な深層学習モデルを活用した動作評価機能を有しており、訓練中や実作業中に取得される点検動作を時系列で解析することで、視認不足、危険動作、動作のばらつきといった技能的課題を定量的に検出することができる。さらに、スマートグラスなどのウェアラブルデバイスを用いることで、BIM/CIM データを実際の構造物上に重ね合わせて提示し、作業者の視野内に必要な情報を提供する視覚支援機能も備えている。

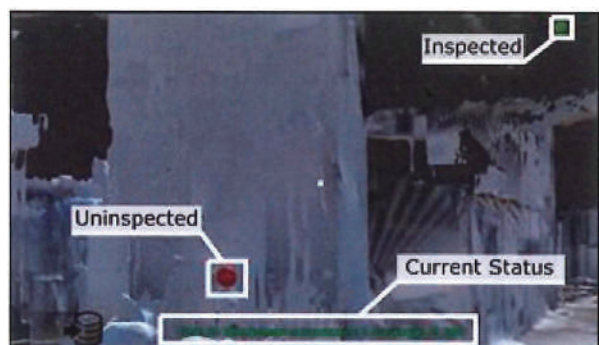
これらの機能を統合することで、提案システムは、熟練技能の形式知化と可視化を進めるとともに、BIM/CIM の視覚的な利活用を可能にし、初学者や非熟練者による一定水準の点検作業の実現を支援する。最終的には、省人化と品質維持を両立するとともに、BIM/CIM が実際の保守点検の現場で運用可能な形で定着していくための“橋渡し技術”としての役割を果たすことが期待される。



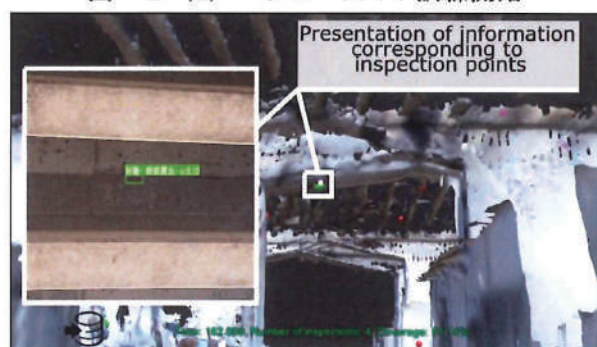
図－1 提案システムの概要



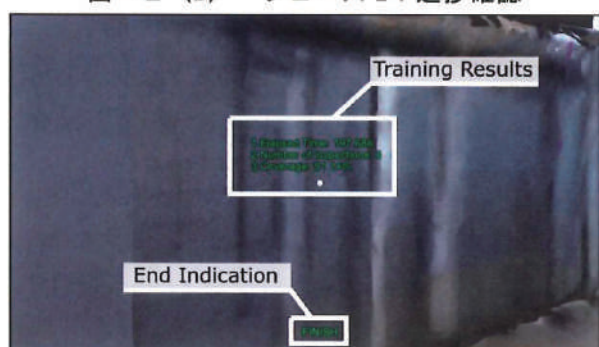
図－2 (a) フェーズ 1：訓練開始



図－2 (b) フェーズ 2：進捗確認



図－2 (c) フェーズ 3：訓練中の表示



図－2 (d) フェーズ 4：訓練終了

図－2 点検訓練におけるユーザインタフェース表示例

2. 提案システム

本研究では、橋梁点検技術者の育成および維持管理支援を目的として、仮想環境において点検訓練を実施可能なデジタルツインシステムを構築する。

提案システムの全体構成を図 1 に示す。提案システムは、道路橋の三次元モデルを基盤とし、現実の構造物およびその周辺環境を忠実に再現した仮想点検環境を実現するため、Structure from Motion (SfM) および Light Detection and Ranging (LiDAR) を組み合わせた手法を用いる。具体的には、SfM によりフォトグラメトリに基づく点群データを生成し、LiDAR により取得された

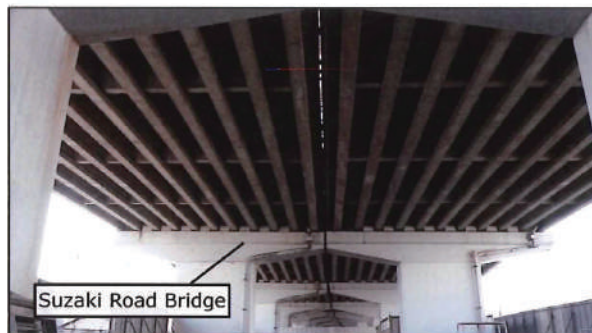
距離情報と統合することで、実点検環境に類似した三次元空間を構成する。

さらに、撮像された画像に対しては YOLOv8 を適用し、亀裂や剥離といった多様な損傷を認識する。これにより、検出された損傷情報を三次元モデル上にマッピングすることが可能となり、空間的な損傷分布の可視化と定量評価を実現する。

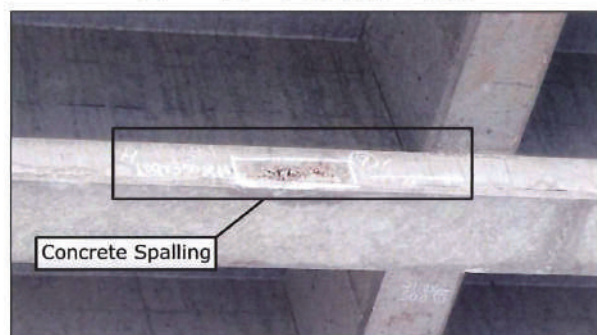
仮想空間上での訓練は、Unity を用いて開発されており、訓練者は VR デバイスを装着することで、橋梁構造物を視覚的に観察・点検することが可能である。点検においては広範な視野確保と劣化部位の正確な識別が求められるため、三次元上の視認領域 (Visually Inspected Area) を計測



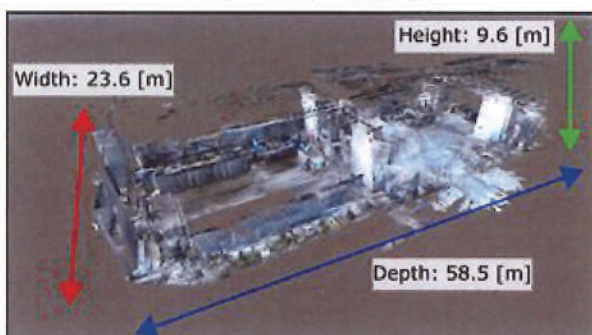
図－3 (a) 対象橋梁の場所



図－3 (b) 全体像



図－3 (c) 損傷事例



図－3 (d) 三次元モデル

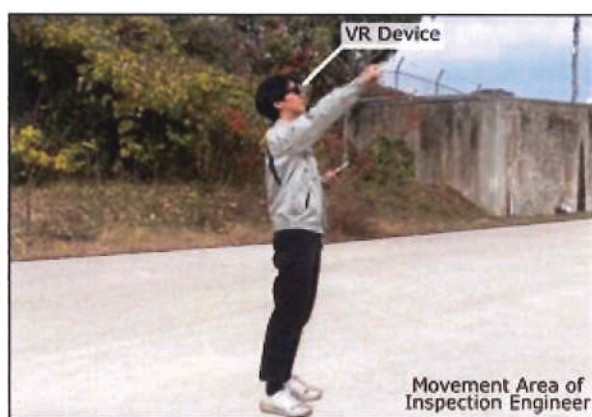
図－3 橋梁目視点検における対象橋梁

する。橋梁の三次元モデルを構成する三角形ポリゴンに対し、視線方向との法線ベクトルの一致性および視錐台内への包含性を評価し、実際に視認された領域を定量的に算出する。訓練者がどの構造部材をどの角度から視認していたかを詳細に把握することが可能となる。訓練中の進行状況は、ユーザインタフェースを介して段階的にフィードバックされる（図2参照）。

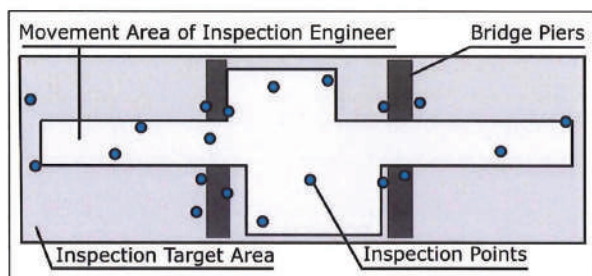
訓練終了後には、訓練中に取得された三次元座標（X, Y, Z）および回転角（Roll, Pitch, Yaw）に基づき、Long Short-Term Memory（LSTM）を用いた動作分析を実施する。提案システムでは、動作時系列データに含まれる時系列的特徴を保持しつつ、適切な視点移動がなされているか、視認範囲に過不足がないかといった観点から、訓練者の動作に対する技術的妥当性を評価する。

また、LSTMモデルにより得られた予測値と実測値との誤差に基づき、異常動作や見落としが検出された箇所を「危険動作」として定量的に抽出する機構を有している。回転成分に関する平均誤差と標準偏差をもとに閾値を設定し、これを超える箇所を危険動作区間としてフラグ付けする。

最終的に、提案システムは各時点における位置・姿勢・視認領域・危険検出結果を記録し、訓練者が自身の点検行動を客観的に評価できる環境



図－4 実験環境



図－5 実験シナリオ

訓練者が自身の点検行動を客観的に評価できる環境を提供する。これにより、点検技能の定量化と可視化を実現し、訓練者の技術向上および点検精度の向上に資する支援が可能となる。



図-6 (a) 訓練者

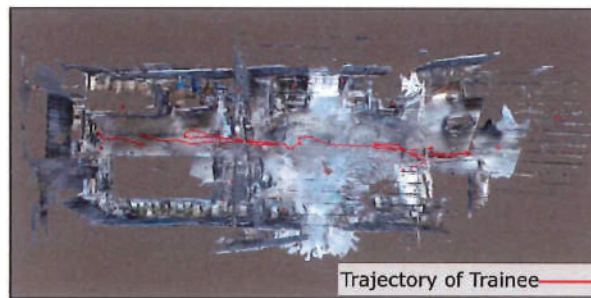


図-6 (b) 訓練生

図-6 訓練者および訓練生の移動軌跡 (X-Z 平面)

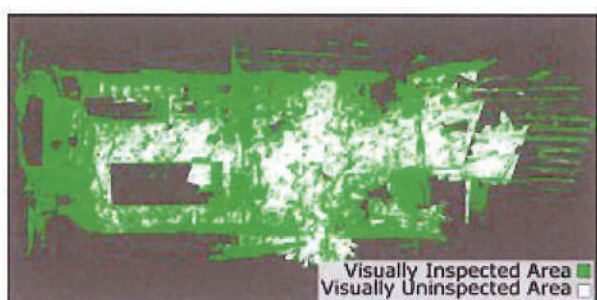


図-7 (a) 訓練者



図-7 (b) 訓練生

図-7 三次元モデル上の視認領域 (X-Z 平面)

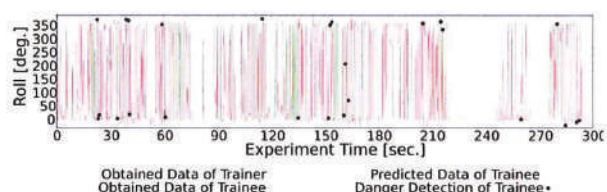


図-8 (a) Roll

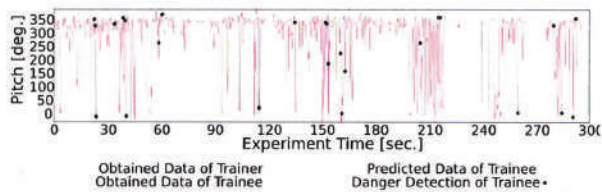


図-8 (b) Pitch

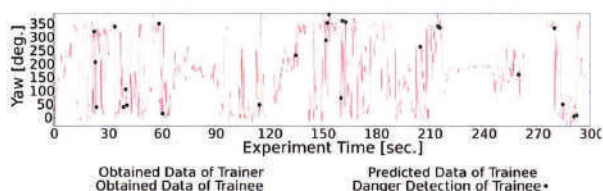


図-8 (c) Yaw

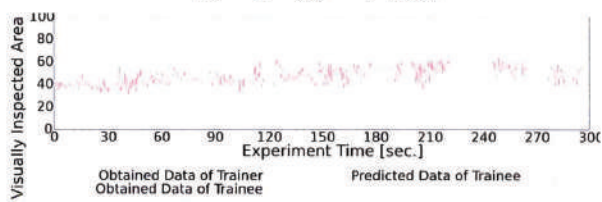


図-8 (d) 視認領域

図-8 橋梁目視点検中の回転成分と視認範囲の時系列変化

3. 実験シナリオ

提案システムの有効性を検証するため、熟練者（訓練者）と初学者（訓練生）の橋梁目視点検動作を比較する実験を実施した。本研究では、実際の橋梁点検現場と同様の条件下での仮想訓練を再現することを目的としており、実際に損傷事例が多く確認されている橋梁を対象とする。実験の対象としたのは、岡山県岡山市南区浜野4丁目付近の一般国道2号岡山バイパスに位置する洲崎高架橋である。この路線は、日交通量が10万台を超える幹線道路であり、大型車の混入率も高く、既

に建設から約50年が経過した老朽橋梁が多く存在する。実際、日常的に伸縮装置の破損や壁高欄・地覆部のコンクリートの浮きといった異状が発生しており、道路管理者による緊急対応が頻繁に行われている。これまでの点検結果からも、主桁の剥離・鉄筋露出、PC定着部の損傷、うき・定着部異状などの深刻な損傷が多数報告されており、今後も老朽化の進行に伴って損傷の拡大が予想されることから、的確かつ早期に異状を発見・把握する能力を有する点検技術者の育成が急務となっている。

本研究のユースケースとして、同高架橋の構造・損傷傾向を反映させた仮想点検シナリオを構築し、仮想空間において橋梁目視点検訓練を実施した。図 3 に本実験の対象とした橋梁の外観および損傷事例、ならびに三次元復元により作成したモデルの全体像を示す。図 3(a)には対象橋梁の現地写真、図 3(c)にはコンクリート剥離の一例、図 3(d)には訓練で使用した三次元モデル全景を示している。

訓練生は、VR 環境内で再現された当該橋梁の三次元モデル内を自由に移動し、あらかじめ指定された点検対象領域を視認する。仮想空間上での訓練実施環境の構成を図 4 に示す。また、橋梁点検における視認対象の配置、移動範囲、および評価対象箇所のレイアウトを図 5 に示す。

4. 実験結果

実験結果を図 6、図 7、図 8 に示す。図 6 は、訓練者および訓練生の点検時における X-Z 平面上の移動軌跡を可視化した結果である。図 6(a)に示す訓練者の軌跡では、67.601 [m]の移動距離で橋梁全体を効率的かつ網羅的に点検している様子が確認できる。訓練者の軌跡は、無駄な往復や同一箇所の反復が少なく、構造物の特徴や損傷部位に応じた的確に動作が構成されており、点検経験に基づく行動パターンであることがわかる。一方で、図 6(b)に示す訓練生の移動軌跡は、106.867 [m]と移動距離が長く、訓練者との差分は 39.266 [m]である。総距離の差異は、訓練生が特定の箇所を何度も往復することや、構造的に意味の薄い領域の探索等に起因している。また、動作の空間的な散逸性も高く、計画性の低い探索行動が確認できることがわかる。したがって、非効率な動作や目的の曖昧さを示唆しており、点検技能の熟達度に起因する動作効率の違いが現れていることがわかる。

図 7 は、橋梁三次元モデル上における視認領域の可視化結果を示している。視認済みの領域は緑または赤で、未視認領域は白色で表示されている。図 7(a)の訓練者の結果では、構造物の大部分が視認されており、点検対象範囲を過不足なく把握していることが確認できる。これに対して、図 7(b)に示す訓練生の視認結果では、点検対象として設定された一部の重要部位に視認のばらつきが見られ、特に端部や細部構造において視認漏れ（白色領域）が多く発生していることがわかる。訓練生が橋梁構造物に対する理解が不十分であったこと、および効率的な観察ルートを選択できなかったこ

とが原因と推察される。

図 8 では、点検中の姿勢データ（回転要素: Roll、Pitch、Yaw）および視認領域の時系列的变化の解析・可視化した結果を示す。図 8(a)~(c)に示す訓練者の姿勢推移は、およそ 15 秒周期の一定したリズムを示しており、点検動作が反復的かつ安定していることを示している。周期性からは、訓練者が構造物の部位ごとに計画的な視線移動を行い、効率的な観察を実施していることがわかる。一方で、訓練生の姿勢データには、30 秒および 150 秒付近で急激な視点の変化が観測されており、これは急な方向転換や視線逸脱などの危険動作として分類される。加えて、危険動作が発生していない時点でも、特定箇所への視線の偏りや、冗長な再確認が多数検出されており、動作の一貫性と安定性に欠けていることがわかる。訓練者と訓練生の動作の差異は、訓練生が訓練者と比較して橋梁目視点検における視認計画が未成熟であることを示しており、提案システムによって訓練がこの差をどのように改善できるかを評価する上で重要な指標となる。図 8(d)は、VR デバイスにより取得された三次元位置・姿勢情報をもとに算出された視認領域の予測結果である。訓練者の実視認率は 86.4%であり、訓練生の実視認率は 69.8%である。訓練生の姿勢データから LSTM に基づいて予測された視認率は 62.9%となっており、提案システムが訓練者と訓練生の視認パフォーマンスを定量的に評価可能であることが示された。また、予測精度が実測と近似することから、視線データに基づく視認領域の評価モデルが有効であることが確認された。

以上の実験結果から、提案システムは橋梁目視点検訓練における技能差を定量的に評価し、視認の偏りや動作の過不足といった非熟練者特有の課題を抽出する機能を有していることがわかった。

提案システムを活用することで、非熟練者に対して効率的なフィードバックを提供し、仮想訓練を通じて技能獲得の加速と点検品質の平準化が期待できる。また、熟練技術者が不在でも一定水準の訓練評価が可能となるため、省人化・自動化の観点からも有効な支援技術であると位置付けられる。

5. まとめ

本研究では、橋梁の視覚的点検訓練を目的とした VR および深層学習に基づくデジタルツインシステムを提案した。本システムは、橋梁の三次元モデルを用いた仮想環境において、訓練者の視点

移動や視認範囲を記録・分析し、点検行動を定量的に評価する機能を有している。さらに、深層学習モデルを適用することで、点検中における不適切な動作や視認の偏りを検出し、視認領域の予測精度も一定の水準を有することが実験的に示された。これらの成果により、提案システムは橋梁点検技能の可視化・定量評価・危険検出を一体的に行える訓練支援基盤として有効であることが示された。今後は、異なる橋梁形式や多様な点検シナリオへの適用を通じて、提案手法の一般性・拡張性を検証する予定である。

本研究で提案したシステムは、BIM/CIM データの現場活用を促進し、属人的であった点検作業を標準化・体系化する基盤技術としても機能する。これにより、熟練技術者の知見をデジタル上に再現・蓄積し、初学者が短期間で実践的な技能を獲得できる環境を構築することが可能となる。加えて、深層学習による動作評価や視認の補完的支援により、非熟練者や少人数体制においても、一定水準の点検品質を維持することができる。

本研究の成果は、技能承継を起点として、現場での BIM/CIM の実用的利活用を進め、省人化と品質確保の両立を実現するための“橋渡し”となるものである。今後は、本システムを多様なインフラ点検現場へと展開し、省人化を見据えた持続可能な維持管理体制の確立に貢献することが期待される。

参考文献

- [1] L. Ali, F. Alnajjar, H. Al Jassmi, M. Gocho, W. Khan and M. A. Serhani, “Performance Evaluation of Deep CNN-Based Crack Detection and Localization Techniques for Concrete Structures,” *Sensors*, Vol. 21, No. 5, pp. 1688, 2021.
- [2] Y. Wang, C. S. Cai, B. Han, H. Xie, F. Bao and H. Wu, “A Deep Learning-Based Approach for Assessment of Bridge Condition Through Fusion of Multi-Type Inspection Data,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 128, pp. 107468, 2024.
- [3] Y. Li, C. Yin, Y. Lei, J. Zhang and Y. Yan, “RDD-YOLO: Road Damage Detection Algorithm Based on Improved You Only Look Once Version 8,” *Applied Sciences*, Vol. 14, No. 8, pp. 3360, 2024.
- [4] N. Grasso, C. Spadavecchia, V. Di Pietra and E. Belcore, “LiDAR and SfM-MVS Integrated Approach to Build a Highly Detailed 3D Virtual Model of Urban Areas,” in *Proc. GISTAM*, pp. 128–135, 2023.
- [5] C. Ma, C. Lin, O. W. Samuel, W. Guo, H. Zhang, S. Greenwald, L. Xu and G. Li, “A Bi-Directional LSTM Network for Estimating Continuous Upper Limb Movement from Surface Electromyography,” *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 6, No. 4, pp. 7217–7224, 2021.
- [6] L. Inzerillo, G. Di Mino and R. Roberts, “Image-Based 3D Reconstruction Using Traditional and UAV Datasets for Analysis of Road Pavement Distress,” *Automation in Construction*, Vol. 96, pp. 457–469, 2018.
- [7] J. Liao, J. Zhou and W. Yang, “Comparing LiDAR and SfM Digital Surface Models for Three Land Cover Types,” *Open Geosciences*, Vol. 13, No. 1, pp. 497–504, 2021.
- [8] Y. Lu, Z. Zhang, Y. Zhang and L. Li, “Virtual Reality Architecture Teaching Application Based on Unity Platform-Taking a Small Architect’s Metaverse Application as an Example,” in *Proc. The Int. Conf. Computational Design and Robotic Fabrication*, pp. 180–189, 2023.
- [9] M. Mulders, J. Buchner and M. Kerres, “Virtual Reality in Vocational Training: A Study Demonstrating the Potential of a VR-Based Vehicle Painting Simulator for Skills Acquisition in Apprenticeship Training,” *Technology, Knowledge and Learning*, Vol. 29, No. 2, pp. 697–712, 2024.

微生物叢機能から推定する二毛作の持続的生産性

岡山大学資源植物科学研究所 谷 明生

1. はじめに

岡山大学資源植物科学研究所では、将来必ず起こると想定される食糧危機や肥料枯渇といった問題に対処する研究を具体的に進めるべく、「次世代作物共同研究コア」を組織した。その中で「フィールドフローラ研究チーム」は異分野研究者が集まり、試験管内の実験に留まらず、様々な環境が刻々と変化する圃場を舞台としたフィールド研究を進めている。圃場では、天候(日照、降雨、気温等)、土壌(母岩、風化、有機質等)や人為介入(肥料・農薬や耕耘等)という作物を取り巻く環境があり、また作物の遺伝型にも左右されて、作物の葉圏や根圏で微生物群集構造(叢)が形成され、作物を含めて一つの生態系を形成している。

岡山県を含む日本の西南暖地では少なくとも鎌倉時代からイネ・ムギの二毛作が盛んに行われており、季節に応じた作物を栽培することで土地生産性・持続可能性の高い農業をローカルに実現してきた。今後の農環境の劣悪化を考え、当チームは二毛作の高い生産性に注目しており、その農業生態系全体の環境要因と根圏細菌叢を時系列で解析した。3年間、5-7回/シーズン、2作物、2品種、2圃場(施肥区と無施肥区)、4部位(根、根表面、根圏土壌、土壌)、3-6反復の約2500点のサンプルの細菌叢の解析を非培養的にDNAバーコーディングで行った。その結果、オオムギとイネそれぞれに特異的な細菌叢が構成されて3年間繰り返されること、毎年少しずつ細菌叢が違っていること、シーズン内でも細菌叢の変遷が見られることなどを明らかにした。また土壌環境(イオンやpH、硝酸等)の測定データとあわせ、それらの要因と細菌叢の構造ならびに機能がそれぞれどのように相関するかを解析した。

一方、研究所内にはイネ・オオムギそれぞれの単作圃場もあり、これらとの比較をすることで二毛作圃場の生産性をより詳述できる。オオムギ単作区では夏に緑肥を栽培するなど、実際の農業環境・管理方法に近く、事前検討では施肥区・無施肥区より硝酸含量が5-10倍ほど高いことなどが分かっている。そこで、本研究ではオオムギを対

象に、二毛作圃場の施肥区・無施肥区に対して単作区のデータを集め、品種の異なる作物の生育、根圏細菌叢とその機能の相違について解析することを目的とした。

2. 材料と方法

2021年にサンプリングし凍結保存したオオムギサンプルを対象とした。二毛作区のうち慣行区(施肥区)、無施肥区、単作区の3つの圃場で生育させたはるな二条(ビールオオムギ)、早木曾2号(在来種)の植物体を圃場から引き抜き、根についた土を落とした画分(根圏土壌 Rhizosphere)、強固に付着した土を超音波洗浄で落とした画分(根の表面 Rhizoplane)、土壌を落とした根の画分(Root)、及び根圏の影響が及ばないであろう、同圃場の土の四画分に分けた。それぞれの画分は2-6サンプルを反復として取得した。Fecal/Soil Microbe Miniprep Kit (Funakoshi社)によりDNAを抽出し、原核生物16S rRNA遺伝子の一部(約500 bp, V3-V4領域)をPCRによって増幅し、MiSeq シーケンサによって並列的に配列(Amplicon sequence variants, ASVs)を取得した。配列データはQIIME2により解析した。

3. 結果

ASVsの多様性を基に α 多様性としてShannon多様度とFaithの系統発生多様度をサンプルごとに求め、図1に示した。土壌(Bulk Soil)サンプルが最も多様性が高く、根(Root)に近づくほど多様性が小さくなることが分かる。また圃場ごとの違いとして、施肥区(Fertilized)が単作区(Mono-Cropping)よりShannon多様度において高い傾向があった。土壌サンプルを除いてFaithの系統発生多様度については統計的に有意な違いがないため、施肥区でShannon多様度が高いのは、単作区で均等度(Evenness)が低い、つまり特定のASVに偏っていることを意味しているかもしれない。

サンプルごとの類似度(β 多様性)を図2に示す。系統的な情報と微生物の相対的な存在量を考

慮に入れサンプル間の距離を計算する Weighted-unifrac 指標を用いた主成分解析の結果を3次元的に示している。Aに示すように第1軸を説明するのはサンプルの部位であり土壌から根に近づくまでに微生物叢が変化する様子が分かる。Bには品種の違いを示している。品種の対照として土壌を指定しているために影響力が大きく出ているが、厳密な品種の違いはそれほど大きくないと思われる。Cに示すようにサンプリングの日時が第3軸を説明する。オオムギのシーズンは冬から春まで気温が上がるため微生物叢も変化すると考えられる。圃場の影響はそれらよりも小さいということが分かった。

Silva データベースにより種のレベルまで同定した Operational taxonomy units (OTUs)について、全てのサンプルで相対的平均存在量 1%、サンプル間存在量 10%以上を示す OTU をヒートマップで示した。図3は土壌サンプル、図4は根のサンプルのみを示す。

図3に示すように、土壌において、単作圃場では施肥区、無施肥区に比べて、Xanthobacteraceae, Bathyarchaeia, Acidobacteriales が相対的に少なく、*Bacillus*, Roseiflexaceae, Pyrinomonadaceaeが多いことが分かった。施肥区、無施肥区にも多く存在するがさらに単作圃場で多く存在するものとして WD2101 soil group, *Sphingomonas* 属細菌が多いことが分かった。

図4に示すように、根のサンプルでは、他の区ではほとんど検出されない *Caulobacter*, Comamonadaceae, *Bacillus* が単作区で存在した。単作区により多いものとして、*Massilia*, Oxalobacteraceae, *Pseudomonas*, *Duganella* 属細菌が見いだされた。また、窒素固定菌である *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Pararhizobium* 等の相対量は他の圃場と大きく変わらないが、*Paenibacillus* 属細菌の量は少ないことが分かった。

OTU では細菌の分類学的位置は分かるものの、その機能は分からない。FAPROTAX (Functional Annotation for PROkaryotic TAXa)は細菌のゲノムデータベースに基づき、分類学的位置からその細菌が持つ細胞機能へのアノテーションを行うソフトウェアである。これを用いて OTU 存在量データから機能の存在量への変換を行い、それぞれの機能の相対的存在量が各サンプルの由来となった品種、画分、圃場というパラメーター正あるいは負に働くかどうか (sign(coefficient)) と、統計的有意性(q-value)を求め、それらをかけたもの

について、図5のヒートマップに示した。

土壌サンプルに比べてオオムギ品種への応答では、報告族化合物の分解機能が少し異なり、在来種(J064)ではより少ないことが分かる。画分を比べると、根及び根に近いほど尿素分解が高くなる。この活性を持つのは *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Paenibacillus* などであり、土壌より根圏に多く存在するこれらの細菌が尿素分解に関与している可能性がある。また根に近いほど細胞内寄生が高くなっている。Entomoplasmatales-type III が細胞内寄生する可能性がある。また根に近いほど好氣的アンモニア酸化、硝化機能が低くなる。*Nitrosomonas* や *Nitrobacter* がこれらの活性に関与するが、図1、2に示したような比較的多く存在する細菌群には属していないようであった。圃場を比べると、単作区では極端に窒素固定能が低いこと、硝酸還元機能が高いことが分かる。単作区では、イネ・オオムギ二毛作と異なり夏に緑肥を栽培している。また硝酸濃度も高いことから窒素固定菌の定着量が低くなっていると考えられる。

図6に、2018年から2021年までの各圃場の土壌抽出液のイオン測定結果の一部(カリウムとリン)を示す。両イオンとも単作区、施肥区、無施肥区の順に濃度が高く、栽培中に減少する傾向が見られた。硝酸濃度は3月測定で無施肥区 0.85 ± 0.25 、施肥区 1.59 ± 0.73 、単作区 4.42 ± 0.85 であった。

4. まとめ

当研究所圃場で二毛作圃場の対照としての単作圃場では、オオムギ根圏の微生物叢の構造に大きな影響を与えるのはサンプリング部位、品種、日時であり、圃場の影響はそれらに比べて小さかった。しかしながら、単作区ではいくつかの特異的な微生物が検出された。これらの機能としては窒素固定と硝酸還元であった。また実際に硝酸含量は高く、カリウムとリンも高かった。単作区では、夏場に緑肥栽培と施肥を行っていることにより植物が窒素源として利用する硝酸は充分に存在しており、窒素固定菌への依存性が低い状況であることが分かった。単作区でのオオムギの生育は施肥区、無施肥区に比べて格段によく、実際の農家での栽培環境に近いと考えられる。今回の Amplicon 解析では細菌構造は分かるが、総細菌数は分からない。土壌有機物の多さから考えると単作区は総細菌数が多いことが考えられ、これらを含めて総合的に判断する必要があると考えられる。

図1 サンプルごとの微生物多様性 (α 多様性)

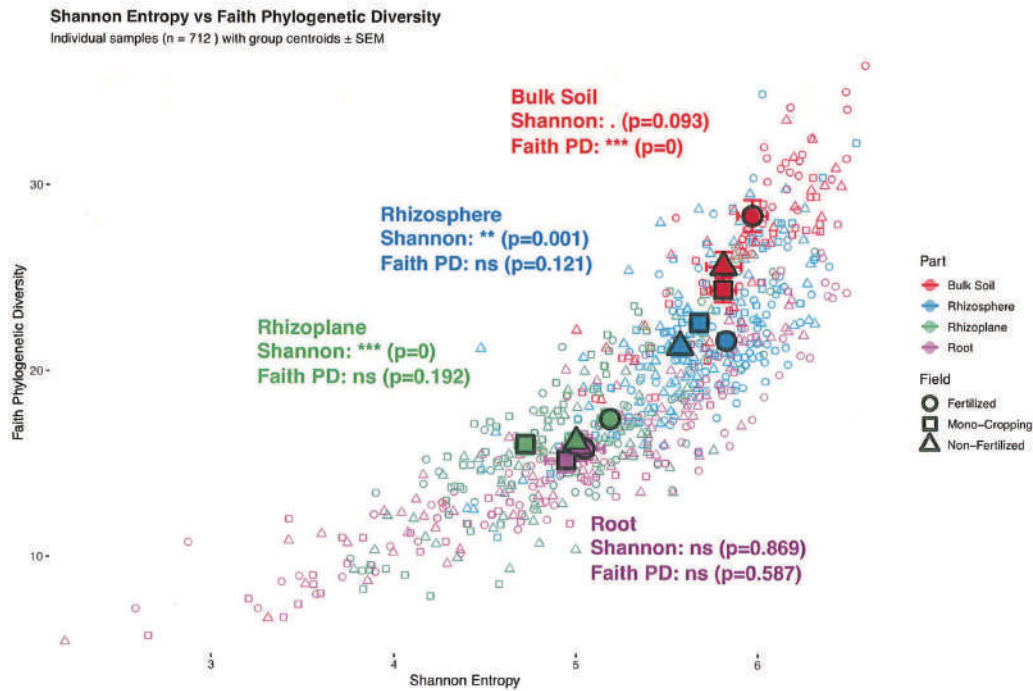
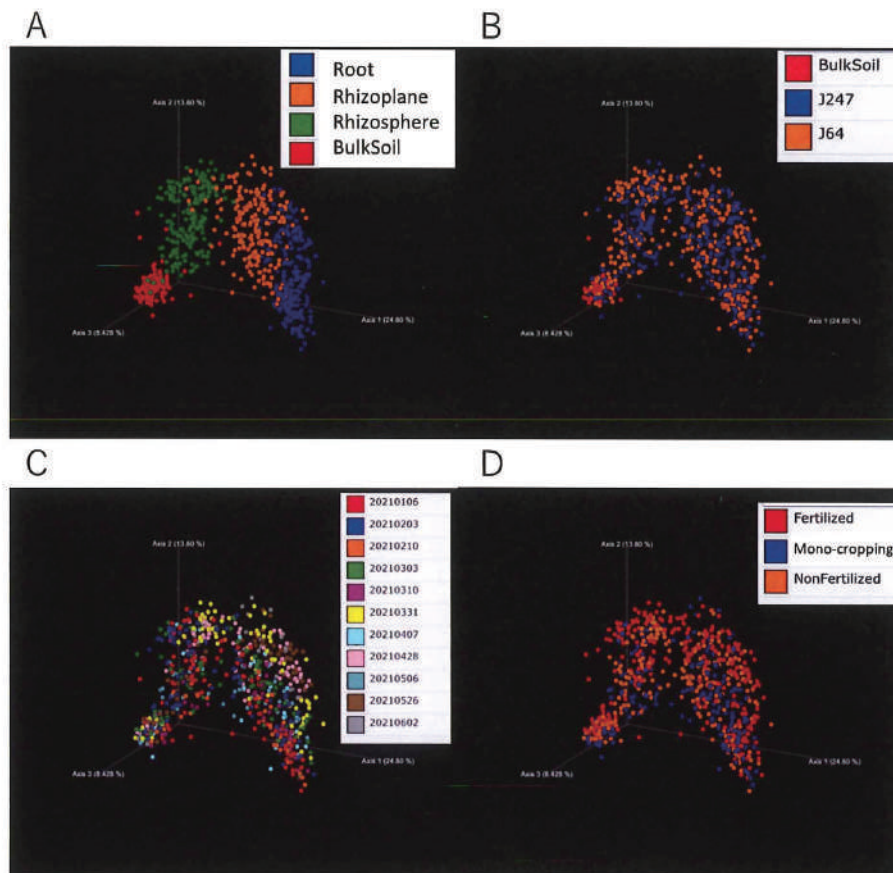


図2 サンプルごとの類似度 (β 多様性)



	Fertilized	Mono-	Non-fertilized
--	------------	-------	----------------



	Fertilized	Mono-	Non-fertilized
R	0.3		

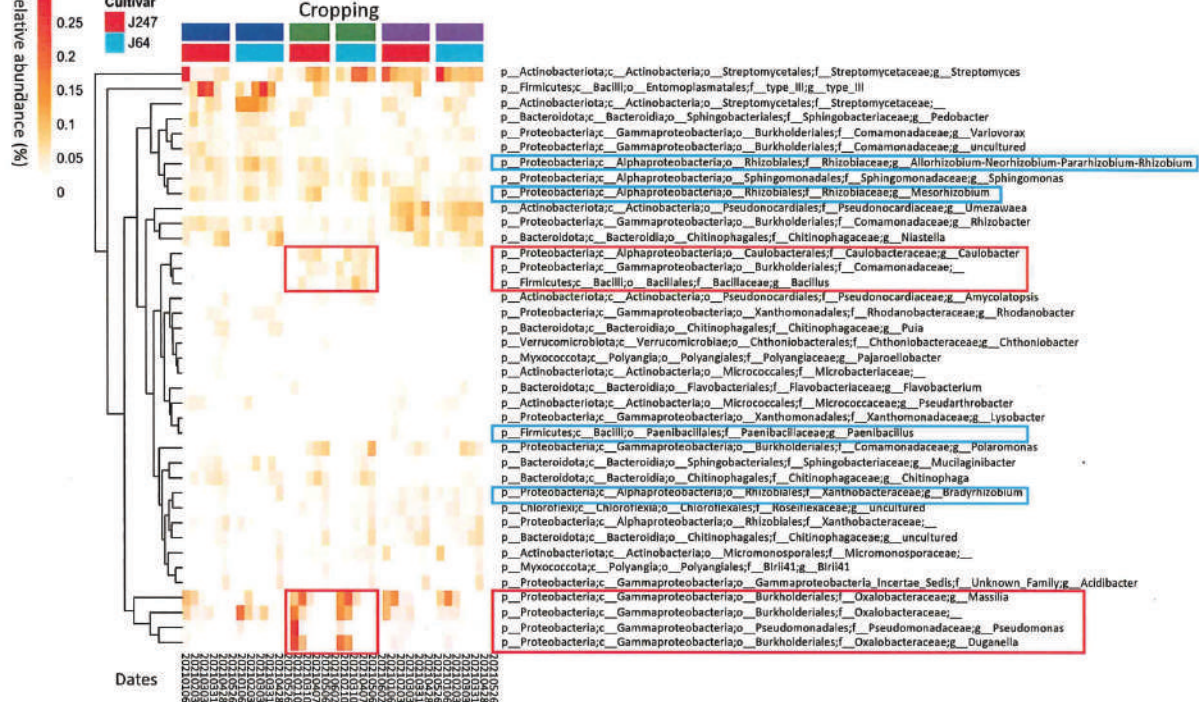


図5 環境パラメーターの微生物機能への影響

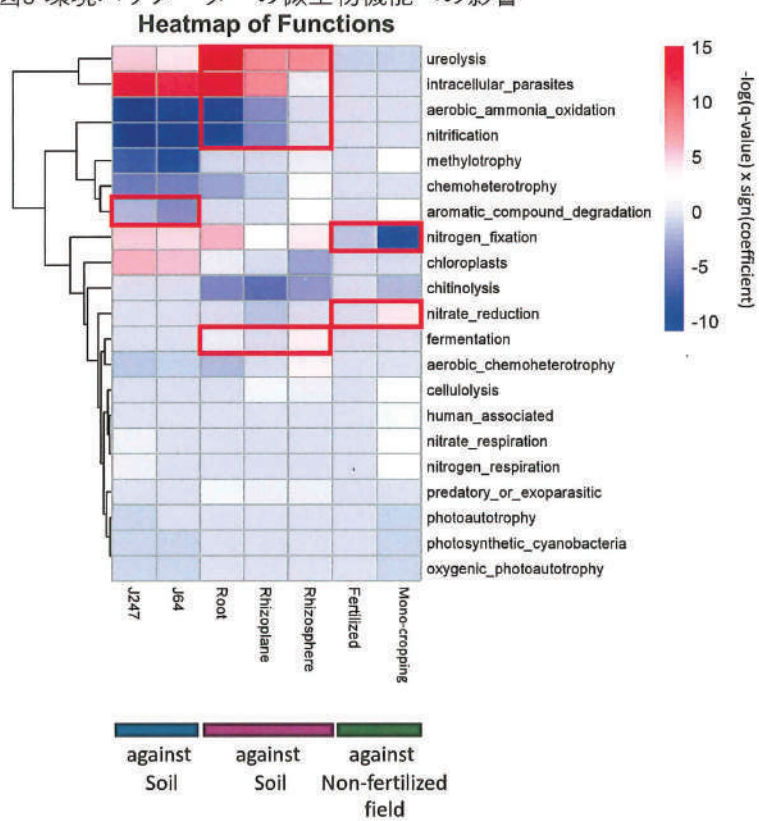
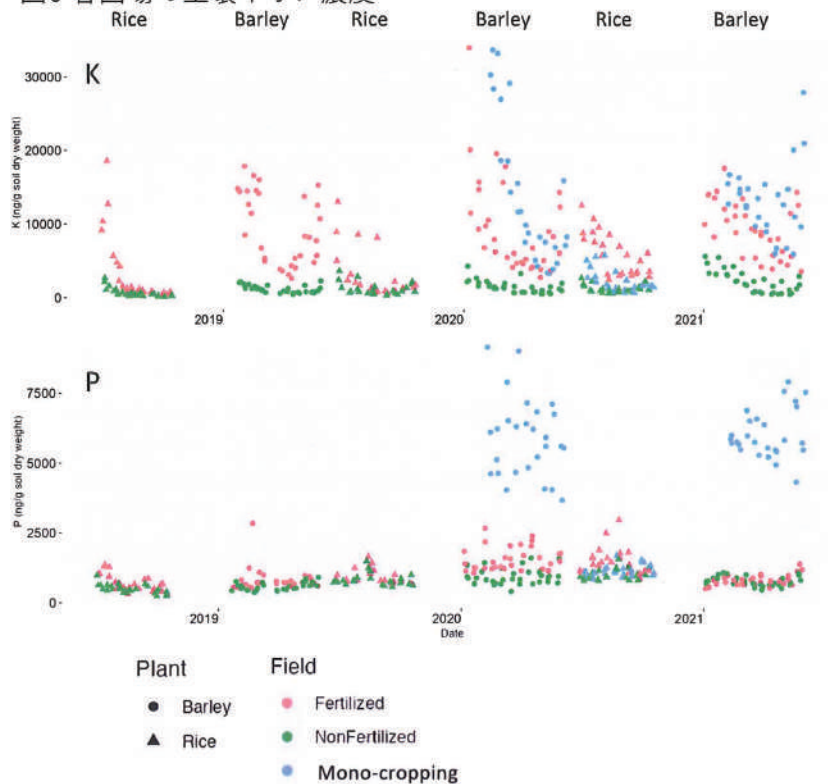


図6 各圃場の土壌イオン濃度



多様な土壤環境適応性を制御するイネ葉身褐変症状に関する

遺伝的メカニズム及び生理的特性の解明

岡山大学学術研究院環境生命科学学域 富田朝美

1. はじめに

開発途上地域における貧困の克服や持続可能な開発目標 (SDGs) に対応するためには、アジアやアフリカの熱帯地域において、持続可能な栽培環境の下で安定的な食糧生産を実現していく必要がある。これらの地域では、多くの場合、肥料養分に乏しく生産性の低い土壤環境での栽培が行われている。一方で、深水栽培、水田、畑、不良環境など、多様な生態系が存在しており、それぞれに適応した品種の導入が求められる。このような背景から、イネ品種・遺伝資源の有する生物多様性を活用し、熱帯地域向けの不良環境耐性品種の開発は喫緊の課題である。

熱帯地域の湛水水田では、酸性硫酸塩土壌に由来する強い還元ストレス（鉄毒害を含む）によって、著しい収量減が生じることがある。このような土壌問題に対しては、化学的な対処法は環境負荷が高いため、耐性品種を活用した耕種的対策が強く求められている。しかしながら、これまでに真に遺伝的メカニズムに基づく耐性品種の開発には至っていない。

還元ストレスによる特徴的な症状として、葉身褐変症（ブロンジング）が知られている。これによる収量減少は顕著であり、褐変面積が約 1 割増加すると、収量は約 5% 減少するという報告もある。したがって、葉身褐変の抑制はイネ生産における重要な課題である。しかしながら、葉身褐変症に関する研究例は少なく、その発症メカニズムや制御機構については未解明な点が多い。効果的な対策を講じるためには、葉身褐変症の発症に関わる制御遺伝子やその生理的メカニズムを明らかにし、得られた知見を耐性品種開発に活用することが求められる。

本研究では、予備試験により、水田栽培において移植後の生育初期に、葉先・葉縁に褐変が局所的に出現する特異な形質を示すイネ

遺伝資源を検出した。この形質の原因となる遺伝子は、酸性土壌や還元ストレスへの耐性に関与している可能性が示唆された。本研究は、この興味深い知見に基づき、以下の問いに答えることを目的とする。すなわち、「イネ葉身に局所的に発生する褐変症状の遺伝・生理的機構は何か？」および「この形質は不良環境耐性品種の開発に有効か？」という問いである。

熱帯地域においては、乾燥地、アルカリ土壌から、酸性・還元土壌まで、多様な不良土壌環境に適応するイネ品種が求められる。本研究では酸性や還元土壌での適応性に着目し、前述の問いを踏まえて以下の 2 点を明らかにした。

（実験 1）イネ葉身局所褐変症を制御する染色体領域と候補原因遺伝子の同定および機能解明

（実験 2）褐変症と関連する元素動態や酸化ストレスとの関係を解析し、生理的要因を明らかにすること

1.1 実験材料および方法

(1) 実験 1-1

世界イネコアコレクション 65 品種 (WRC) (Tanaka et al. 2020) を供試材料に用いた。イネ種子はスポルタックスターナ SE (200 倍) + スミチオン乳剤 (1000 倍) (シンガレセイチュウ予防) 水溶液に浸して 24 時間種子消毒を行い、その後水道水に浸して 24 時間吸水を行った。浸種 2 日後に催芽種子を成苗用みのるポット (220 穴) に播種し 4 週間育苗を行った。土には水稻育苗培土 (宇部培土 2 号) を用いた。その後、イネ成苗を岡山大学農学部附属山陽圏フィールド科学センターの 3 号水田に条間 30 cm、株間 20 cm で手植え移植した。施肥は基肥のみとし、緩効性肥料 LP 複合 140E-80 (N-P₂O₅-K₂O, 14-14-14) を各成分で

10 a 当たり 8 kg 施用した。管理は 9 月上旬まで常時湛水状態とし、雑草、病虫害防除は慣行に従った。移植 1 ヶ月後に、イネ葉身に出現する局所褐変症状を達観評価により判別し表現型とした。

また、各品種の全ゲノムデータ(Tanaka et al. 2020)について BWA を用いて参照配列(日本型水稻品種:日本晴)にマッピング後、GATK および bcftools を用いてバリエーションコールを行った。rMVP を用いて得られた多型情報と表現型(褐変症状)とのゲノムワイド連鎖解析(GWAS)を実施し、P 値の低い SNP の検出を試みた。

(2) 実験 1-2

日本型イネ品種コシヒカリおよびベトナム品種 Khau Mac Kho 各 6 株、これらの交雑 F2 計 120 個体を用いた。

実験 1-1 と同様に、水田で慣行栽培を行った。分けつ期(7 月上旬)に表現型調査を実施した。イネ株から葉身を採取後、その表面画像を得た。その画像から、葉面積(cm²)、葉身数、褐変面積(cm²)及び褐変率(%)を算出した。褐変面積は、ImageJ を用いて葉身画像から HSV により褐色部位を抽出し Python(OpenCV)を用いて定量した。

また、遺伝子型解析のため、F2 個体からイネ葉身を採取した。葉身から DNA を抽出し、dpMIGseq 法によって遺伝子型を調査した(Nishimura et al., 2022)。dpMIGseq 法では、得られた DNA を鋳型として PCR を 2 回行った。1 回目で SSR にはさまれた部分を増幅し、2 回目でアダプタを付与した。その後、ライブラリの作成とシーケンス解析を行い、日本晴を参照配列としてマッピングを行った後に多型を検出した。検出した多型をもとに連鎖地図を作成し、連鎖地図をもとに表現型と遺伝子型との連鎖解析を行い、各形質に関連する QTL を試みた。

(3) 実験 1-3

日本型イネ品種コシヒカリおよびベトナム品種 Khau mac Kho を用いた。

実験 1-1 と同様に、水田で慣行栽培を行った。分けつ盛期(7 月上旬)に水田栽培中のイネ株から葉身局所褐変が発生した葉身を採取し、-80℃で保存した。その後葉身から totalRNA を抽出した。RNA-seq 法よりライブラリの作成、シーケンス解析を行った。得られたリードは bowtie2 を用いて参照配列(日本晴)にマッピングし、rsem を

用いて遺伝子発現量を網羅的に定量した。2 品種間の発現比(LogFC 値)を算出し、LogFC 値が 2 以上または -2 以下となる発現変動遺伝子(DEGs)を検出した。DEGs について GO 解析と KEGG 解析を実施した。

(4) 実験 2

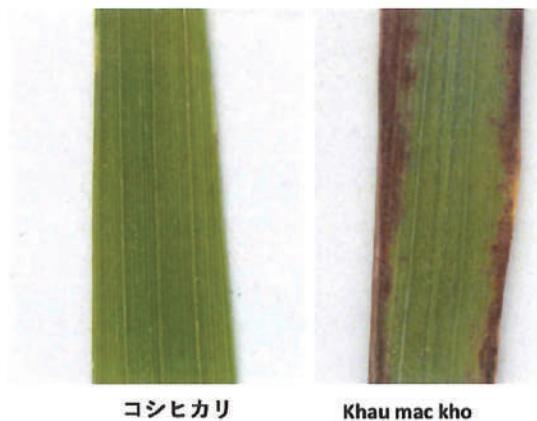
供試材料として日本型イネ品種コシヒカリおよびベトナム品種 Khau Mac Kho を用いた。実験 1-1 と同様に、水田で慣行栽培を行った。移植 7 日および 14 日後に各イネ苗の採取を行った。水田栽培中のイネ株から、褐変が発現している葉身を採取し、徒手切片法によって葉身切片を作成した。デジタルマイクロスコプ(キーエンス社・VHX-2000SP)を用いて葉身切片の内部構造を観察した。また、イネ株から 7 月下旬(分けつ盛期)に葉身を採取したのちに 80℃で熱風乾燥させ、SEM-EDX を用いて葉身表面に存在する元素の定性、定量及びマッピングを試みた。

2. 結果および考察

(1) 実験 1-1

WRC 集団における葉身局所褐変症状を観察した結果、ベトナム品種 Khau Mac Kho およびインドネシア品種 Padi perak は、他の品種とは異なり葉身の縁に褐変を多数示した(図 1)。これについて GWAS 解析を行なった結果、第 9 染色体に 1 個、第 4 染色体上に 2 個、第 5 染色体に 4 個、第 6 染色体に 5 個、第 12 染色体に 1 個、計 13 個の閾値を超える有意な SNP を検出した(図 2)。この中で、第 4 染色体上の 11.34Mbp に位置する SNP は、Os04g0271450 (Non-protein coding transcript) の遺伝子領域に位置した(表 1)。また、第 12 染色体の 17.48Mbp に位置する SNP は Os12g0478400 (RAP) または LOC-Os12g29434.1 (MSU)の遺伝子領域に存在した。この Os12g0478400 の遺伝子領域の中で、検出された SNP は第 2 エキソンと第 3 エキシソンの間のイントロン領域(+6022bp)に位置した。この SNP のハプロタイプを比較した結果、非褐変型(日本晴型)は TTG、褐変型は 3bp 欠損であった。この遺伝子は、WALL-ASSOCIATED KINASE GENE 125(Zhang et al. 2005)と報告されており、細胞壁のペクチンとの結合調節を行う。ペクチンはカルシウムイオンと結合して機能することから、葉身局所褐変は酸性土壌で生じるカ

ルシウム欠乏に応答して出現する可能性が示唆された。



コシヒカリ Khau mac kho

図-1 葉身局所褐変症状

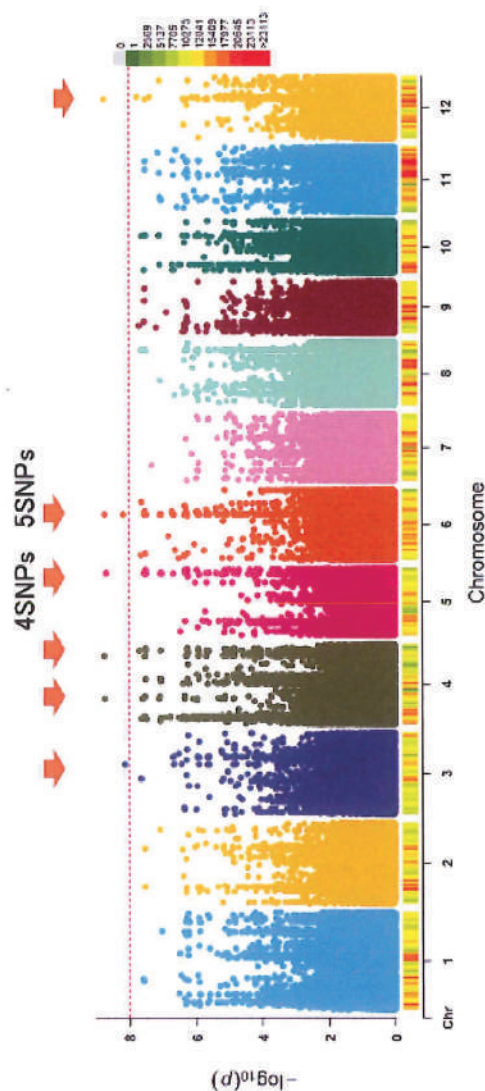


図-2 葉身局所褐変症状の GWAS 解析

表-1 葉身局所褐変症状の関連候補遺伝子

Chr.	SNP Position(Mb)	Gene ID	Gene Annotation
4	11.339606	Os04g0271450	Non-protein coding transcript.
12	17.484025	Os12g0478400(RAP) LOC_Os12g29434.1(MSU)	EGF-type aspartate/asparagine hydroxylation site domain containing protein. (Os1210478400-00)

(2) 実験 1-2

両親間の褐変程度を比較した結果、葉身数はコシヒカリの値が高くなった(表 2)。葉面積、褐変面積および褐変率は、Khau Mac kho がコシヒカリより高い値を示した。コシヒカリには褐変はほとんど認められなかった。F₂ 個体の各形質について、連続的な幅広い変異が認められた。現在 F₂ 個体の多型検出および連鎖地図作成、表現型の QTL 解析を進めている。この解析から褐変症状を制御する遺伝子座を検出し、GWAS 解析結果と比較することで、褐変症状を制御する真の染色体領域および関連遺伝子を明らかにする。

表2. 葉身褐変症状に関する2品種間平均値	葉身数	葉面積(cm ²)	褐変面積(cm ²)	褐変率(%)
コシヒカリ	10.33	34.48	0.03	0.07
Khau mac kho	7.33	68.83	2.57	3.92

(3) 実験 1-3

葉身局所褐変出現部位について RNAseq 解析を行ない得られた DEGs について、GO 解析をおこなったところ、葉緑体結合、光合成、チラコイドに関する GO が多数エンリッチメントされた(表 3)。また、KEGG 解析の結果、代謝経路や光合成に関する KEGG が多数エンリッチメントされた。葉身ブロンジングは、酸化ストレスによる抗酸化酵素のタンパク質構造変化と、液胞での抗酸化物質の老廃物蓄積の過程で発現変動する遺伝子産物とその発生メカニズムに関与すると示唆された。

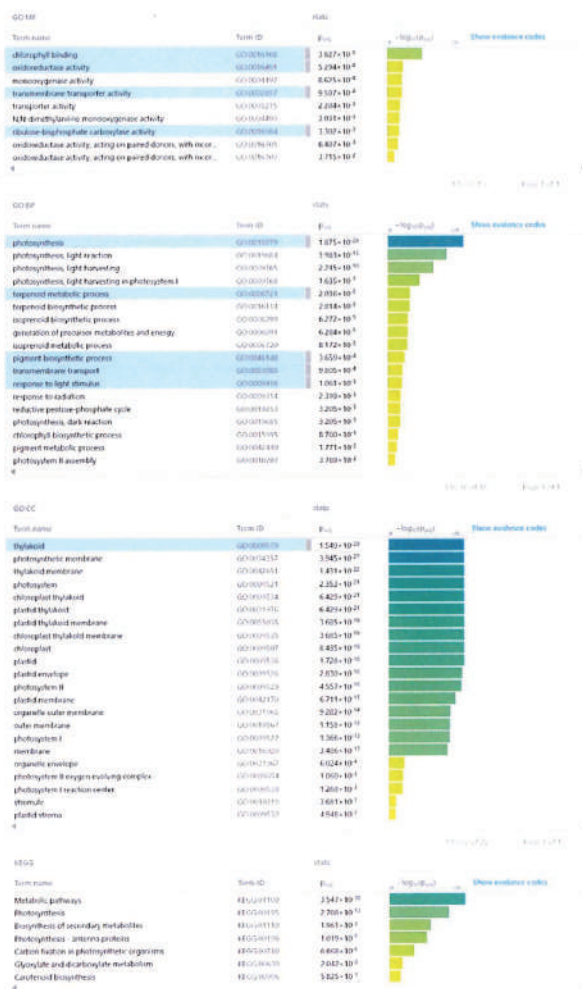
(4) 実験 2

褐変の発現が確認されなかったコシヒカリの葉身内部に褐色部位は見られなかったが、褐変が発現した Khau Mac kho の葉身内部には褐色部位が観察された(図 3)。褐色色素は主に葉緑体が存在する葉肉細胞に多数分布しており、一部表皮細胞、維管束および維管束鞘細胞にも褐色色素が観察された(図 3)。このことから、葉身局所褐変症状は葉緑体内で発生することが示唆された。実験 1-1 で認められたように、この褐変症状はカルシウム欠乏応答により発生する可能性がある。今後はカルシ

ウム欠乏と葉緑体内での褐色色素との関係について、酸化ストレスの影響を踏まえながら詳細に解析する予定である。

一方、SEM-EDX による元素定性・定量分析を実施したが、2 品種の葉身部位に著しい違いは認められなかった。今後は、ICPE 分析なども用いた解像度の高い元素吸収量分析を実施する予定である。

表-3 葉身局所褐変症状の GO 解析



以上から、イネの葉身局所褐変症状は、第 12 染色体上に存在する Os12g0478400 が関与しており、イントロン領域の 3bp 欠損により褐変が出現すること、この褐変はカルシウム欠乏に応答し出現すること、葉緑体内で発生し光合成関連遺伝子にも影響することが明らかとなった。本研究で得られたことは、熱帯地域で生じる不良環境下でのイネ栽培や、還元ストレス耐性品種の開発への有用な知見になる。

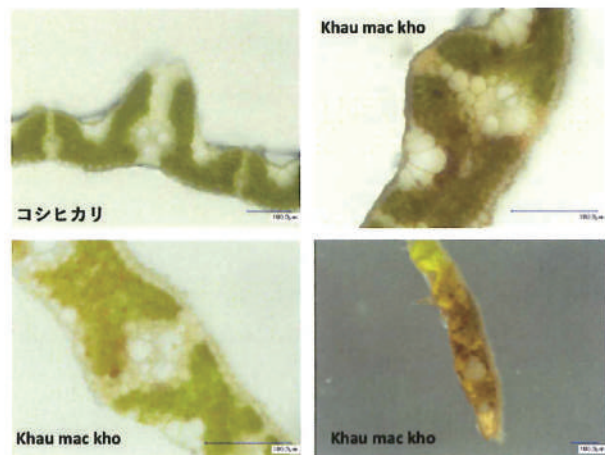


図-3 葉身内部構造

3. 参考文献

- Tanaka, N., Shenton, M., Kawahara, Y., Kumagai, M., Sakai, H., Kanamori, H., Yonemaru, J., Fukuoka, S., Sugimoto, K., Ishimoto, M., Wu, J., and Ebana, K. (2020) Investigation of the genetic diversity of a rice core collection of Japanese landraces using whole-genome sequencing. *Plant and Cell Physiology*, 61: 2087–2096.
- Tomita, A., Tanaka, J.-P., Wissuwa, M., and Fukuta, Y. (in press) Genetic variation in leaf bronzing and dry matter production of rice varieties as indicators of tolerance to iron toxicity. *Breeding Science*.
- Nishimura, K., Motoki, K., Yamazaki, A., Takisawa, R., Yasui, Y., Kawai, T., Ushijima, K., Nakano, R., and Nakazaki, T. (2022) MIG-seq is an effective method for high-throughput genotyping in wheat (*Triticum* spp.). *DNA Research*, 29: 1–13

Zhang, S., Chen, C., Li, L., Meng, L., Singh, J., Jiang, N., Deng, X.-W., He, Z.-H., and Lemaux, P. G. (2005) Evolutionary expansion, gene structure, and expression of the rice wall-associated kinase gene family. *Plant Physiology*, 139: 1107–1124.

ニホンウナギの環境 DNA モニタリングを通じて解明する

川と海とのつながり

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域
東京大学大気海洋研究所

御輿 真穂
脇谷 量子郎

1. はじめに

岡山県の河川は全国でも有数の淡水魚種数を誇り、アユ、ハゼ科魚類、モクズガニ、テナガエビといった、海と川を行き来して一生を過ごす回遊種が数多く生息している。ダムや堰などの河川横断工作物があると、これら回遊生物の進入が困難となり、生物多様性が劣化する。一方で、河川からつながる用水路もまた、多くの生物が生息して生態系をつくっているが、工作物が多く水流・水量ともに季節変動のある用水路が、どの程度河川とのつながりを維持しているかについて解明した例はほとんどない。そこで、本研究では、これまで淡水における生物多様性の現状を調査してきた背景を踏まえ、調査域をさらに拡大し、(1)岡山市街地の農業用水路における水域間の接続性と生態系を把握すること、および(2)川と海とのつながりが確保されている水域を今後も保全していくことに注目した。

生態系を評価するための指標種には、ニホンウナギを取り上げる。ニホンウナギは海と川を行き来する通し回遊魚であり、沿岸の海水および汽水域から河川上流域までの幅広い環境に生息するため、川と海の間をつなぐ指標種として適している。ニホンウナギは古くから身近な食材として人気があり、市民からの関心が高い。また、近年、その個体数が減少し続けており、環境省やIUCN（国際自然保護連合）によって絶滅危惧種の指定を受けたことは全国的に大きな注目を集めた。こうしたことから、本研究では、川と海の間をつなぐを評価・保全する本研究のシンボル種としてニホンウナギを取り上げた。

1. 1 本研究の目的

(1) 岡山市街地の農業用水路における水域間の接続性と生態系の評価

岡山市街地には古くからの灌漑事業によって、網の目のように用水路が走り、貯水池の役割を果たす野池も多く存在する。これらに設置された水門等の工作物が回遊魚の進入に与える影響を評価

するために、本研究では環境 DNA モニタリングを用いる。これにより季節変動も含めたより広い範囲の調査を行い、用水路を含む河川と海とのつながりの現状を把握する。

(2) 川と海の間をつなぐが確保されている水域を保全する人材の育成

川と海の間をつなぐは、沿岸域から上流域まで、水系全体を俯瞰する必要がある。このため、ある水域間の接続性を保全するには、その水系全体の環境保全に関心を持つ地域住民を育成することが重要である。申請者らは、2012 年より行ってきた市民参加型調査「旭川うなぎ探検隊」を基礎に、将来の地域の環境保全を担う次世代の市民の育成システムを開発してきた。本研究ではこのシステムをさらに発展させ、未来の環境学習リーダーとなる大学生を育成することを目指す。

2. 材料と方法

(1) 岡山市街地の農業用水路における水域間の接続性と生態系の評価

岡山市街地の複数の農業用水路を選定し、採水を行った。採水地点は、旭川から笹ヶ瀬川へとつながる用水路（図 1A）の 15 地点、旭川から岡山市街中心部を通過して児島湾へとつながる用水路

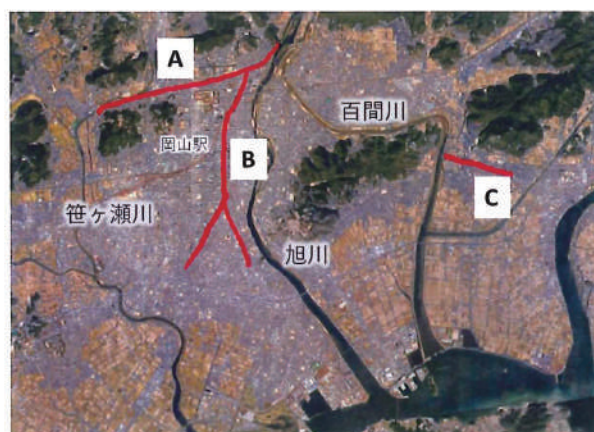


図 1 本研究で調査した用水路

(図 1B) の 13 地点、百間川から砂川へ接続する用水路 (図 1C) の 7 地点である。採水は 2024 年 12 月に、環境 DNA 学会の公開しているマニュアル (文献 1) に沿って行い、生物技研 (相模原市、日本) にてメタバーコーディング解析を行った。

(2) 川と海のつながりが確保されている水域を保全する人材の育成

2012 年度より実施している「旭川うなぎ探検隊」は、百間川との分岐部分に位置する旭川の明星堰において行っている、ニホンウナギに代表される回遊魚に着目した定点魚類相モニタリングである。岡山大学を中心とした大学生ボランティアが、子どもたちと少人数のチームを組むことで、魚取りや川遊び、回遊魚の解説を通じて、地域の河川環境、特に川と海のつながりに興味を持つ次世代として育成されることを目標としてきた。大学生ボランティアの参加は、細やかな安全対策と環境学習指導を可能にするだけでなく、活動を通じてボランティア自身が成長できるところに大きな意味がある。2020 年度、2021 年度は新型コロナウイルス感染拡大防止のために実施を見送ったが、2022 年度より岡山大学理学部の夏期集中講義として再開し、大学生ボランティアの学びに着目し、未来の環境学習リーダーとするため、旭川うなぎ探検隊を材料に、市民参加型調査の意義と方法、水生生物のフィールド調査における採捕と環境 DNA 解析の比較などについて学習を行った。2024 年度は子どもたちの参加は募らず、手網や定置網等を用いた通常の採捕、電気ショッカーによる採捕、および採水による環境 DNA の解析を行い、それぞれのサンプリング方法による結果を比較し

た。このイベントは、旭川南部漁業協同組合連合会、岡山県環境保全事業団環境学習センターアスエコ、岡山県自然保護センター、岡山県内水面漁業協同組合連合会、岡山大学理学部附属臨海実験所、岡山の自然を守る会、岡山理科大学理学部齋藤研究室、中央大学研究開発機構ウナギ保全研究ユニットから組織する、旭川うなぎ探検隊実行委員会によって運営された。また、国土交通省中国地方整備局岡山河川事務所の後援により、テントや調査機材の貸与を受けた。

3. 結果と考察

(1) 岡山市街地の農業用水路における水域間の接続性と生態系の評価

メタバーコーディング解析によって、調査地点に生息する魚類を網羅的に調べた結果、旭川と笹ヶ瀬川をつなぐ用水路 A、および旭川水系の用水路 B ではそれぞれ複数の地点でニホンウナギの DNA が検出された (図 2, 3, 4) が、百間川水系の用水路 C ではニホンウナギの DNA は検出されなかった (図 5)。用水路 A (図 2) では 15 地点中 4 地点でニホンウナギの DNA が検出され、ニホンウナギが検出されなかった 7 地点において他の回遊種の DNA が検出された。用水路 B (図 3, 4) では 13 地点中 5 地点でニホンウナギの DNA が検出され、他の 6 地点で回遊魚の DNA が検出された。用水路 C (図 5) では 7 地点のいずれにおいても、ニホンウナギの DNA は検出されず、回遊種の DNA が検出されたのは 1 地点であった。

旭川から笹ヶ瀬川へと接続する用水路 A、および旭川から児島湾へと接続する用水路 B において

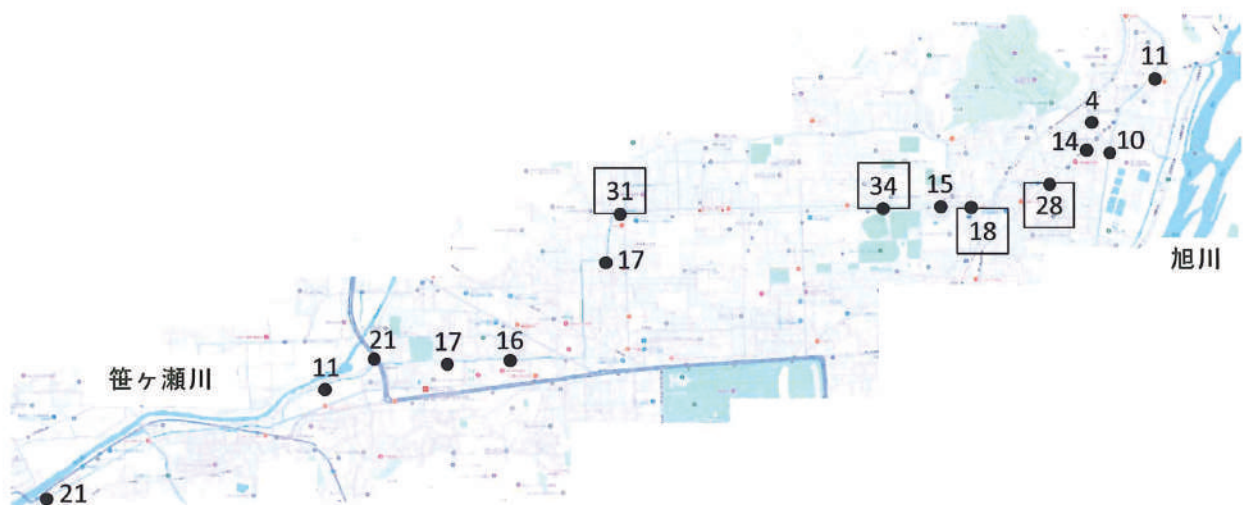


図 2 用水路 A における調査地点

各地点における数字はメタバーコーディング解析で検出された種数を示す。□で囲まれた数字で示す地点はニホンウナギが検出された地点を示す。

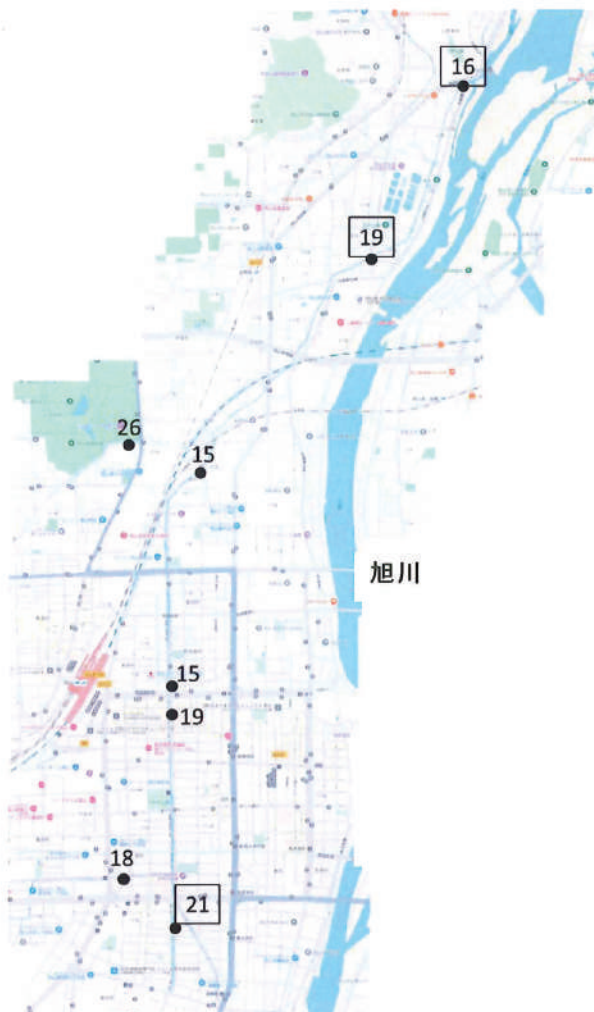


図3 用水路B(北)における調査地点



図4 用水路B(南)における調査地点
数字は検出された種数を、□で囲まれた数字の
地点はニホンウナギが検出された地点を示す。

ニホンウナギ、あるいはヌマチチブなど他の回遊種の DNA が検出されたことから、これらの用水路は河川および海との接続性がよく保たれていることが示唆された。これらの用水路は複雑に枝分かれしながら市街地や住宅地の中に入り込んでおり、水量は気候や農期によって変動する。本調査では 12 月および 1 月の低温期／農閑期にサンプリングを行ったが、変温動物である魚類の代謝が低下している時期にもかかわらずほとんどの調査地点で 10 種を超える種数が検出できたことは、環境 DNA のメタバーコーディング解析が魚類の生息状況を知るための有用な手法であることを示唆する。百間川から砂川へと接続する用水路 C においてはニホンウナギの DNA は検出されず、他の回遊種も最も砂川河口に近い 1 地点のみであったことから、用水路 C は用水路 A、B に比べて河川から隔離されている。用水路 C は郊外の農地の多いエリアに位置するため、河川との接続は水門の開閉に依存する可能性が高く、サンプリングを行った農閑期には水門が閉鎖されていたと考えられるため、水温の異なる時期を含む、年間を通じた調査の重要性が示唆された。今後も定期的に調査を続けていく予定である。



図5 用水路Cにおける調査地点
数字は検出された種数を示す。

(2) 川と海のつながりが確保されている水域を 保全する人材の育成

「旭川うなぎ探検隊」は、人材育成と定点魚類相モニタリングとを兼ねて実施しているイベントである。例年は市民参加型調査として実施していたが、2024 年は採捕方法による比較と大学生の人材育成を目的に、2024 年 8 月 24 日（土）、旭川と百間川の分流部付近にある明星堰周辺で開催した。漁具を用いて採集された魚類の種数は 24 種、電気ショッカーを用いて採集された魚類の種数は 14 種で、スミウキゴリが新たに記録され、調査を

開始した 2012 年以降に記録された魚類の種数は計 39 種となった（表 1）。採集された魚種には複数の回遊種が含まれ、調査地点である明星堰周辺においては川と海とのつながりが 10 年以上にわたって保たれていることが確認できた。また、調査の同日・同地点で環境水を採集し、環境 DNA のメタバーコーディング解析を行ったところ、35 種の魚類 DNA が検出された。当日徒手にて採捕した 26 種を上回る結果となり、これまで徒手に

よる採捕ができていない魚種が 3 種検出された。検出された種には複数の回遊種、および準絶滅危惧種や外来種も含まれることから、環境 DNA の解析が魚類の生息状況を明らかにするために有用な分析系であることが確認された。

この調査は、8 月 22 日から 24 日の 3 日間において実施した岡山大学理学部の夏期集中講義の一部であり、講義の中で旭川うなぎ探検隊の事前・事後学習を行った。8 月 22 日は岡山大学で講

表 1 採集魚種一覧。網かけは回遊種を示す。

目	科	種名	RDB	外来生物	2012年 ～2023年	2024年 調査	2024年 電気ショッカー	2024年 環境DNA
ウナギ	ウナギ	ニホンウナギ	絶滅危惧IB類		○	○	○	○
キュウリウオ	キュウリウオ	アユ			○	○		○
コイ	コイ	フナ類			○	○		○
		コイ			○			○
		ヤリタナゴ	準絶滅危惧		○	○		○
		アブラボテ	準絶滅危惧		○	○	○	○
		カネヒラ			○	○	○	○
		シロヒレタビラ	絶滅危惧IB類		○			
		イチモンジタナゴ	絶滅危惧IA類	国内移入	○			○
		オイカワ			○	○	○	○
		カワムツ			○	○		○
		ヌマムツ			○			○
		カワヒガイ			○			
		ムギツク			○	○	○	○
		カマツカ			○	○		○
		ニゴイ類			○	○		○
		イトモロコ			○	○		○
		コウライモロコ			○	○		○
		ウグイ			○	○		
		タモロコ			○	○	○	○
	ドジョウ	シマドジョウ			○			○
		スジシマドジョウ類	絶滅危惧Ⅱ類		○	○	○	○
ナマズ	ナマズ	ナマズ			○			○
	ギギ	ギギ			○	○		○
	アカザ	アカザ	準絶滅危惧		○			
ボラ	ボラ	ボラ			○			○
スズキ	カジカ	ウツセミカジカ			○	○	○	
	ケツギョ	オヤニラミ	絶滅危惧Ⅱ類		○	○		
	バス	オオクチバス		特定外来	○			○
	タイワンドジョウ	カムルチー		外来	○			○
	ドンコ	ドンコ			○			
	ハゼ	カワヨシノボリ			○		○	○
		ヌマチチブ			○	○	○	○
		シマヨシノボリ			○			○
		ウキゴリ			○	○		○
		ゴクラクハゼ			○	○	○	○
		マハゼ			○	○	○	○
		スミウキゴリ					○	○
	カワアナゴ	カワアナゴ			○	○	○	○
徒手採捕での記録なし								3 種
出現種数						24 種	14 種	35 種
魚類種数(累計)					38 種	38 種	39 種	

義を行い、ニホンウナギを含めた絶滅危惧種の保全や生物多様性を維持することの重要性、種の同定における DNA 情報の位置づけや異なる採集方法のメリット・デメリットなどを講義し、市民参加型調査の意義について学生とともに議論した。8月23日は翌日の調査の予備調査として、実際に旭川で魚類採集を行った。ほとんどの学生にとって川での魚採集は初めての経験であるため、この事前学習は翌日のうなぎ探検隊の準備として重要である。8月24日の午前には旭川うなぎ探検隊のスタッフとして調査に参加し、その後、岡山大学にて事後学習（振り返り）を行った。参加学生からは「魚類相調査の意義がよくわかった」「今後は市民参加型調査にも継続して参加したい」との声が多く寄せられ、事前・事後学習を通じた丁寧な学習環境の整備が、将来の地域の環境保全を担う次世代、および未来の環境学習リーダーを育成することに貢献することが示唆された。

4. 参考文献

1. Minamoto, Miya, Sado, Seino, Doi, Kondoh, Nakamura, Takahara, Yamamoto, Yamanaka, Araki, Iwasaki, Kasai, Masuda & Uchii (2021) An illustrated manual for environmental DNA research: water sampling guidelines and experimental protocols. Environmental DNA 3: 8-13, <https://doi.org/10.1002/edn3.121>

高効率有機薄膜太陽電池に向けた非縮環構造を基盤とする

半導体ポリマーの開発

岡山大学異分野基礎科学研究所 森 裕樹

1. はじめに

カーボンニュートラルの実現に向けて、半永久的に利用可能な太陽光発電の普及拡大は必要不可欠であるが、現在広く普及しているシリコン太陽電池は、年々発電コストが低下しているにもかかわらず、様々な問題により導入件数が伸び悩んでいる現状にある。その理由として、重くて硬いため、設置不可能な場所が多く存在し、普及拡大には土地造成をする必要がある。また、昨今の災害による影響で事故件数が増大していることに加え、今後大量廃棄による問題も浮上している。そのため、太陽光発電の普及拡大には、低環境負荷かつ立地の制約を克服できる次世代太陽電池の開発が重要となる。

その中でも、有機薄膜太陽電池 (OPV) は、上記の問題点を克服可能な次世代太陽電池の一つとして期待されている。OPV は印刷塗布によってプラスチック上に作製できるため、立地制約がなくなる。このほか、有機物で構成されるため、競合するペロブスカイト太陽電池と比べて無毒であり、燃やして破棄できるため低環境負荷であることが OPV が必要とされる最たる理由である。現在、実験室レベルで 18%⁽¹⁾ を超える変換効率が達成されているが、変換効率を追求するあまり有機半導体の分子構造が複雑化し、高度に拡張した多縮環構造が必要となる点が大きな課題となっている。例えば、18% を超える半導体ポリマーの多くは 15-20 工程の多段階合成を必要とし、材料の合成コストが最終的なモジュールのコストを増加させる⁽²⁾。そのため、低コスト合成と高効率を両立可能な新材料の開発が極めて重要となる。

2. 低コストかつ高効率を実現する材料の設計

2.1 OPV の変換効率を決定する三つの因子

OPV の光電変換効率 (PCE) は、素子に一定強度の擬似太陽光 (P_m) を照射し、電流密度-電圧曲線を計測することで得られる三つのパラメータである短絡電流密度 (J_{sc})、開放電圧 (V_{oc})、形状因子 (FF) を用い、次式にて算出する (PCE =

$[(J_{sc} \times V_{oc} \times FF)/P_m] \times 100$)⁽³⁾。そのため、高い変換効率を達成するためには、いかにしてこれら三つのパラメータを高めるかが重要となる。現在の OPV は、通常、300-600 nm に吸収を有する p 型半導体ポリマーと、600-900 nm に吸収を有する低分子 n 型半導体材料を発電層として用いる (図 1)⁽⁴⁾。そのため、できるだけ太陽光を効率よく吸収し、高い J_{sc} を達成するには p 型半導体ポリマーが広いバンドギャップを有し、適切な領域の光を吸収する必要がある。また、 V_{oc} は p 型半導体ポリマーの最高被占軌道 (HOMO) 準位と n 型半導体の最低空軌道 (LUMO) 準位の差 (ΔE_{DA}) に比例するため (図 1)、HOMO 準位を深くすることで高い V_{oc} を達成できる^{(3),(5)}。このほか、 J_{sc} と FF は電流の輸送効率が高いほど増加するため、ポリマーの π 平面が基板に対して平行に配列した “face-on” 配向を形成することで効率よく電流を輸送することが可能となる (図 1)⁽⁶⁾。

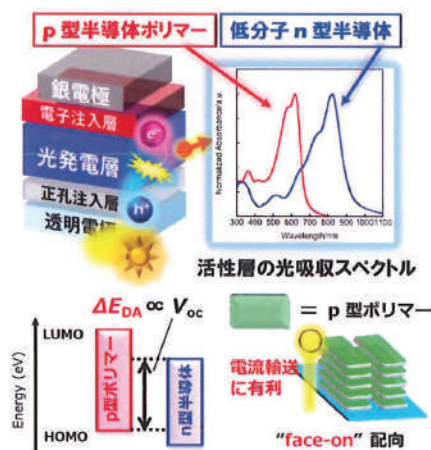


図-1 OPV の模式図と活性層の吸収スペクトルおよびエネルギー準位図、face-on 配向の模式図

2.2 これまでに開発した材料と課題

我々のグループではこれまでに高効率かつ低コストで合成可能な半導体ポリマーを開発するため、ビニレン架橋ビス(ジフルオロキノキサリン)

(FQxE) 骨格とこれを主骨格とする新規半導体ポリマー **PQE3T-HD** を合成してきた (図 2)。**PQE3T-HD** は、広く拡張した多縮環構造を持たないため、計 11 段階、全収率 9% 以上で合成でき、既存の代表的なポリマーである **PM6** (計 15 段階、全収率 <3%) よりも高収率かつ反応工程を短縮可能である。また、スケールアップが困難な極低温下での反応数や、高コストな精製法であるカラムクロマトグラフィーによる精製工程数を大幅に削減できる利点も有する。現時点において、**PQE3T-HD** の変換効率は、n 型半導体として **Y12** と組み合わせた OPV において 13.6% を達成している。この値は、**PM6** を用いた OPV (PCE = 15.2%) にあと一歩といった現状にあり、さらなる変換効率の改善によって **PM6** を上回る効率を達成できれば、真に低コストかつ高効率を可能とする材料の開発によって発電コストを大幅に低減できる。効率向上に向けた課題は、 V_{oc} と FF が相対的に低いことである。そこで本研究では、**PQE3T-HD** のチオフェン数を三つから二つにした新たなポリマー **PQE2T-HD** (図 2) を開発し、 V_{oc} と FF の改善により変換効率の改善を目指す。電子ドナーであるチオフェン数の減少により HOMO 準位が低下することが理論化学計算によって明らかとなっているため、 V_{oc} の向上が期待できる。このほか、ポリマー主鎖構造における対称性が向上するため、薄膜中での結晶性の増加によって FF の改善も期待できる。

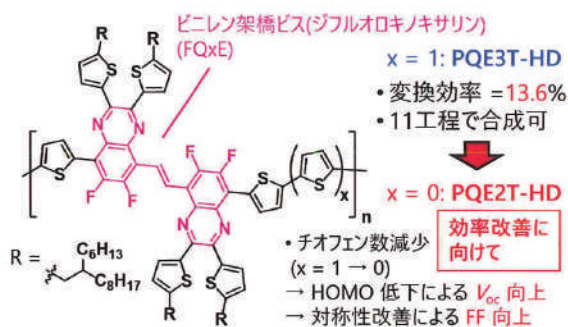


図 2 新規ポリマー **PQE3T-HD** および **PQE2T-HD** の構造

3. 結果と考察

3.1 標的ポリマー **PQE2T-HD** の合成

まず、これまでに確立した合成手法に従い、モノマー **1** を合成した (図 3)。続いて、パラジウム触媒を用いたスタニル化により、プロモ基をスズ官能基へ変換し、もう一つのモノマー **2** を合成した。最後に、得られたモノマー **1** と **2** を用

い、右田-小杉-Stille カップリングによる共重合反応により、目的のポリマー **PQE2T-HD** の合成に成功した (図 3)。高温ゲル浸透クロマトグラフィー (GPC) 測定をおこなったところ、得られた **PQE2T-HD** の数平均分子量 (M_n) は 87.8 kDa、分散度 (D) は 1.94、重合度 (DP_n) は 50 であった。以前合成した **PQE3T-HD** (M_n = 135.8 kDa, D = 1.99, DP_n = 73) と比較しても十分に高分子量体で得られており、分子量が特性に及ぼす影響は小さいといえる。また、興味深いことに、**PQE3T-HD** は室温のクロロホルムに対して高い溶解度 (>5 mg/mL) を示すのに対し、**PQE2T-HD** は低い溶解度 (<1 mg/mL) を示した。これは、ポリマー主鎖の対称性が向上したため、分子間相互作用が増大したことに起因する⁽⁷⁾。

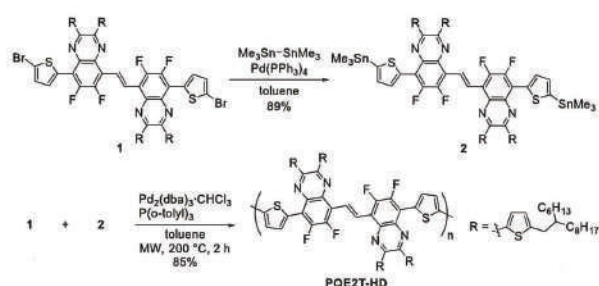


図 3 新規ポリマー **PQE2T-HD** の合成経路

3.2 **PQE2T-HD** の物理化学特性

まず、得られたポリマーの光吸収特性を調査するため、スピンコート法で作製したポリマー薄膜の紫外-可視吸収スペクトルを測定した (図 4a)。

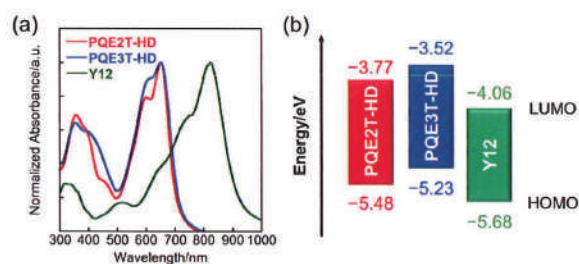


図 4 **PQE2T-HD**, **PQE3T-HD** および **Y12** 薄膜の (a) 紫外-可視吸収スペクトルおよび (b) エネルギー準位図

PQE2T-HD 薄膜は、**PQE3T-HD** 薄膜と類似の吸収スペクトルを示し、吸収端から見積もったバンドギャップは 1.71 eV であった。これは、**PQE3T-HD** 薄膜と同様の値であり、n 型半導体である **Y12** と相補的な光吸収により、太陽光を効率よく吸収可能であることが分かった。また、

PQE2T-HD 薄膜の 650 nm 付近に見られる 0-0 遷移に由来するピーク強度 (I_{0-0}) と 600 nm 付近に見られる 0-1 遷移のピーク強度 (I_{0-1}) の比 (I_{0-1}/I_{0-0}) は 1.26 であり、**PQE3T-HD** 薄膜 ($I_{0-1}/I_{0-0} = 1.11$) よりも大きな値を示した。このことから、**PQE2T-HD** は薄膜中でより規則的に配列した薄膜構造を形成していることが分かった⁽⁸⁾。これは、**PQE2T-HD** のポリマー主鎖がより高い対称性を有するため、位置規則性が高いことに起因する。

続いて、サイクリックボルタンメトリー法により作製したポリマー薄膜の酸化電位を測定し、得られた酸化波より HOMO/LUMO レベルを算出した (図 4b)。電子ドナーであるチオフェンの数を三つから二つにした **PQE2T-HD** は、期待通り **PQE3T-HD** よりも HOMO 準位が低下した。そのため、n 型半導体である **Y12** の LUMO 準位との差が増加するため、 V_{oc} の向上が期待できる^{(3),(5)}。また、**Y12** と比較すると、**PQE2T-HD** の HOMO および LUMO 準位は **Y12** よりも高く、適切な差が生じていることから、効率よく電荷分離 (電流生成) が生じることが期待できる。

3.3 PQE2T-HD を用いて作製した OPV の特性

続いて、合成した **PQE2T-HD** の OPV 材料としての可能性を調査するため、図 5 に示す構造 (ITO/(PEDOT:PSS)/polymer:Y12/PDINO/Ag) を有する順構造型バルクヘテロ接合 OPV を作製し、その特性を調査した。活性層の作製手法を最適化した結果、室温、窒素雰囲気下、擬似太陽光 (AM 1.5G, 100 mW/cm²) 照射によって得られた電流密度-電圧特性を図 5 に示す。

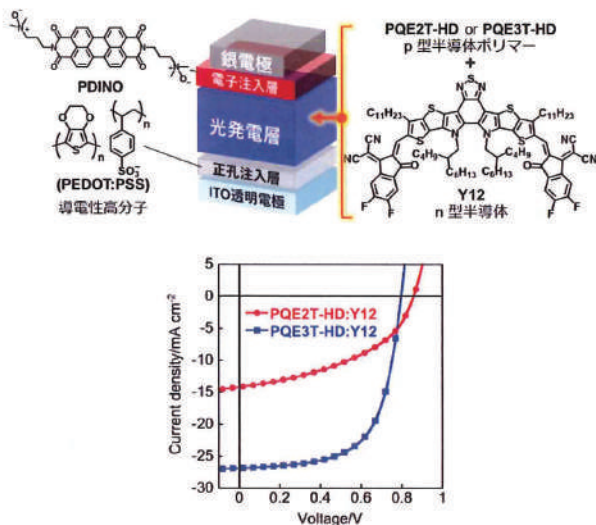


図-5 OPV の模式図と **PQE2T-HD:Y12** および **PQE3T-HD:Y12** 系 OPV の電流密度 (J) - 電圧 (V)

特性

以前合成した **PQE3T-HD:Y12** 系 OPV は 13.6% の変換効率 ($J_{sc} = 26.86$ mA/cm², $V_{oc} = 0.80$ V, FF = 0.63) を示したのに対し、**PQE2T-HD:Y12** 系 OPV は 5.5% と低い変換効率 ($J_{sc} = 14.18$ mA/cm², $V_{oc} = 0.86$ V, FF = 0.40) を示した。これは、**Y12** とは異なる n 型半導体を用いても改善しなかった。**PQE2T-HD** は **PQE3T-HD** よりも深い HOMO 準位を有するため、当初の目的通り V_{oc} が 0.80 V から 0.86 V へ向上したものの、 J_{sc} と FF が著しく低下したため、変換効率の改善には至らなかった。空間電荷制限電流 (SCLC) 法により算出した **PQE2T-HD:Y12** 系 OPV のホールおよび電子移動度は、それぞれ 0.83×10^{-4} cm² V⁻¹ s⁻¹ および 2.41×10^{-4} cm² V⁻¹ s⁻¹ であり、**PQE3T-HD:Y12** 系 OPV (ホール: 5.51×10^{-4} cm² V⁻¹ s⁻¹, 電子: 6.75×10^{-4} cm² V⁻¹ s⁻¹) と比較すると、特にホール移動度の低下が顕著であった。そのため、**PQE2T-HD:Y12** 系 OPV における J_{sc} と FF の低下は、電流の輸送効率が著しく低下したことに起因する。

3.4 PQE2T-HD:Y12 混合薄膜の構造解析による構造-特性相関の解明

得られた特性の差について調査するため、まず、SPRING-8 での放射光を用いた薄膜の微小角入射広角 X 線散乱 (GIWAXS) 測定をおこなった (図 6)。

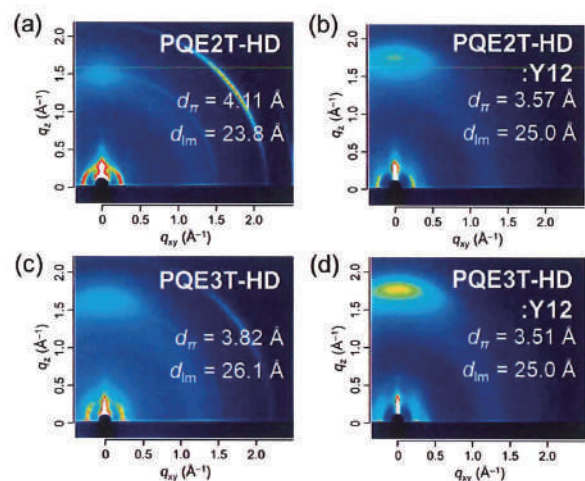


図-6 (a) ポリマー単膜および (b) ポリマー:Y12 混合薄膜の GIWAXS 像; (a, b) **PQE2T-HD** および (c, d) **PQE3T-HD**

図 6a,c より、PQE2T-HD は PQE3T-HD と同様に、 q_z 軸方向にポリマーの π スタック構造に由来する (010) 回折が、 q_{xy} 軸方向にポリマーのラメラ構造に由来する (010) 回折が観測されたことから、OPV の電流輸送に適した “face-on” 配向を形成していた。これは、Y12 と混合した薄膜でも同様の配向が維持されていることから (図 6c,d)、ポリマーの分子配向は適切であり、 J_{sc} と FF を低下させた要因ではないことが分かった。これらの結果より、ポリマー主鎖の対称性や位置規則性はポリマーの分子配向には影響しないことが分かった。この結果を受け、特性低下の要因をさらに調査するため、混合薄膜における原子間力顕微鏡 (AFM) 測定をおこなった (図 7)。

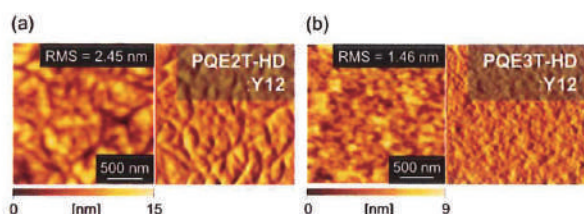


図-7 (a) PQE2T-HD:Y12 混合薄膜および (b) PQE3T-HD:Y12 混合薄膜の AFM 像; (左) 形状像、(右) 誤差信号像

測定の結果、PQE3T-HD:Y12 混合薄膜は微小ドメインから成る適切な相分離構造を形成したのに対し、PQE2T-HD:Y12 混合薄膜は 100 nm を超えるドメインを有する非常に大きな相分離構造を形成したことが分かった。OPV において、相分離は大きすぎても小さすぎても不適切であり、理想的なサイズは 20-40 nm であることが知られている⁽⁹⁾。PQE3T-HD:Y12 混合薄膜はこの領域のサイズに収まっているが、PQE2T-HD:Y12 混合薄膜は著しく大きいサイズとなっている。相分離が非常に大きな場合、電流の生成と輸送が大きく妨げられるため、これが PQE2T-HD:Y12 系 OPV において、 J_{sc} と FF が低下し、変換効率が改善しなかった大きな要因であることが分かった。

3.5 混和性と理論化学計算による考察

続いて、PQE2T-HD が PQE3T-HD よりも大きな相分離構造を形成した要因について調査する目的で、接触角測定により Y12 との混和性を調査した (図 8)⁽¹⁰⁾。異なる溶媒を用いてそれぞれの薄膜における接触角を測定することで、各々の表面自由エネルギーを算出することができる。この

表面自由エネルギーの差が小さいほど混和性が高く、相分離が進行しにくくなる。



図-8 PQE2T-HD, PQE3T-HD および Y12 薄膜の水およびエチレングリコールに対する接触角

測定の結果、PQE2T-HD, PQE3T-HD および Y12 の水に対する接触角はそれぞれ 102.5°, 100.1°, 98.7° であり、エチレングリコールに対する接触角はそれぞれ 77.5°, 76.9°, 71.6° であった。これらより算出した PQE2T-HD, PQE3T-HD および Y12 の表面自由エネルギーはそれぞれ 21.23, 20.07, 24.79 mN/m であり、PQE2T-HD と Y12 の表面自由エネルギーの差よりも、PQE3T-HD と Y12 の差の方が大きいことが分かった。この結果より、むしろ PQE2T-HD と Y12 の方がより高い混和性を有していることから、混和性が大きな相分離を形成した要因でないことが分かった。

そこで、この要因を調査するため、密度汎関数理論 (DFT) 計算により、ポリマーの二量体モデル化合物の計算をおこなった (図 9)。

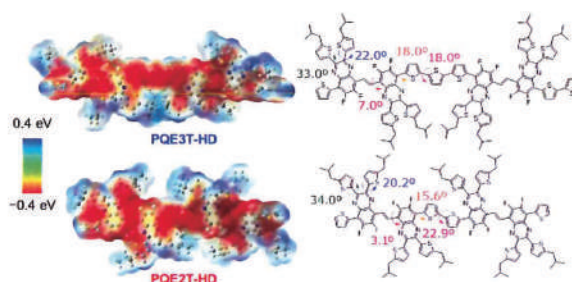


図-9 PQE2T-HD および PQE3T-HD の二量体モデル化合物における (左) 静電ポテンシャル分布図および (右) 算出した二面角

まず、静電ポテンシャル分布図より、いずれも主鎖骨格は負に帯電しており、それぞれのポリマーで電子密度に差はないことが分かる。そのため、静電的な相互作用に差はないことを意味しており、これが相分離を促進した要因でないことが分かった。

た⁽¹¹⁾。一方、両者の二面角を比較した場合、**PQE2T-HD** が **PQE3T-HD** よりも全体的に小さな二面角を有しており、より高い共平面性を持つことが明らかとなった。可溶性側鎖がすべて同じ向きに存在する **PQE2T-HD** の高い対称性と位置規則性に加え、高い共平面性が **PQE2T-HD** の溶解性の低下と分子間相互作用の増大を促し、結果として大きな相分離構造を形成したと結論付けた。

4. まとめと今後の展望

本研究では、以前開発した **PQE3T-HD** の V_{oc} と FF に改善による変換効率の向上を目的に、チオフェン数を三つから二つにした新たなポリマー **PQE2T-HD** を合成し、その特性を調査した。また、合成したポリマーの物理化学特性や OPV の特性、薄膜構造の解析により、構造-特性相関を明らかとした。これまでに確立してきた合成手法を用いてモノマーを合成し、クロスカップリングを用いた共重合反応により目的の **PQE2T-HD** を合成することに成功した。電子ドナーであるチオフェン数の減少により、吸収特性を変化させることなく HOMO 準位のみを低下させることが可能であったため、**PQE2T-HD** を用いた OPV は **PQE3T-HD** よりも高い V_{oc} を達成した。また、**PQE2T-HD** は **PQE3T-HD** と同様に、OPV の電流輸送に適切な“face-on”配向を形成したが、過度に結晶化した相分離構造を形成したため、変換効率は 13.6% から 5.5% に低下した。種々の測定や理論化学計算により、**PQE2T-HD** を用いた OPV が大きな相分離を形成した要因は、**PQE3T-HD** よりも高い共平面性と位置規則性による溶解性の低下と結晶性の増加によるものであることが分かった。当初は、 V_{oc} の改善だけでなく、この結晶化の増大によって FF の向上も同時に狙っていたが、これらの結果より、むしろ **PQE3T-HD** の結晶性は維持したまま、HOMO 準位を制御することが変換効率の向上に向けて鍵となることが明らかとなった。ポリマー主鎖に存在するチオフェンの一部に電子求引性の置換基を導入し、HOMO 準位を低下させることは分子設計上だけでなく合成上でも容易であるため、本研究では次なる分子設計における重要な知見が得られたといえる。今後は、この方針に従い、置換基修飾によって **PQE3T-HD** の HOMO 準位を制御することに重きを置き、変換効率の改善をおこなう。

5. 参考文献

- (1) C. Li, J. Song, H. Lai, H. Zhang, R. Zhou, J. Xu, H. Huang, L. Liu, J. Gao, Y. Li, M. H. Jee, Z. Zheng, S. Liu, J. Yan, X. Chen, Z. Tang, C. Zhang, H. Y. Woo, F. He, F. Gao, H. Yan, Y. Sun, *Nat. Mater.* **2025**, *24*, 433.
- (2) Q. Liu, Y. Jiang, K. Jin, J. Qin, J. Xu, W. Li, J. Xiong, J. Liu, Z. Xiao, K. Sun, S. Yang, X. Zhang, L. Ding, *Sci. Bull.* **2020**, *65*, 272.
- (3) H. Mori, *Polym. J.* **2021**, *53*, 975.
- (4) S. Li, C. Li, M. Shi, H. Chen, *ACS Energy Lett.* **2020**, *5*, 1554.
- (5) G. Dennler, M. C. Scharber, C. J. Brabec, *Adv. Mater.* **2009**, *21*, 1323.
- (6) I. Osaka, K. Takimiya, *Polymer* **2015**, *59*, A1.
- (7) I. Osaka, M. Shimawaki, H. Mori, I. Doi, E. Miyazaki, T. Koganezawa, K. Takimiya, *J. Am. Chem. Soc.* **2012**, *134*, 3498.
- (8) Y. Teshima, K. Yamanaka, Y. Sato, H. Ohkita, T. Mikie, M. Saito, I. Osaka, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2024**, *16*, 3735.
- (9) L. Ye, B. A. Collins, X. Jiao, J. Zhao, H. Yan, H. Ade, *Adv. Energy Mater.* **2018**, *8*, 1703058.
- (10) H. Mori, R. Hosogi, Y. Minagawa, H. Yamane, Y. Nishihara, *ACS Appl. Polym. Mater.* **2024**, *6*, 3883.
- (11) L. Ma, S. Zhang, J. Wang, J. Ren, M. Gao, J. Zhang, T. Zhang, H. Yao, L. Ye, J. Hou, *ACS Mater. Lett.* **2021**, *3*, 1276.

能登半島地震から展望する就学前教育・保育施設における防災・減災

岡山県立大学保健福祉学部子ども学科 高橋 多美子

1. はじめに

近年、我が国では地震や台風、洪水などの自然災害に見舞われる頻度が増加している。2011年の東日本大震災では、亡くなった方が15,786名にのぼり、そのうち0～9歳の子どもは499名であった(内閣府、2012)。2016年の熊本地震、2018年の大阪府北部地震、2024年の能登半島地震においても、子どもが亡くなったことが報告されている。南海トラフ巨大地震に関しては、10年以内には30%程度、20年以内には60%程度、40年以内には90%程度の発生確率が示されている(地震調査委員会、2023)。そのような背景から、2017年に改訂された『保育所保育指針』『幼保連携型認定こども園教育・保育要領』には、これまでの「健康」領域における災害に関する記述だけでなく、第3章「健康及び安全」において「災害への備え」が追記され、就学前教育・保育施設における子どもの安全・命を守るための取り組みが不可欠である。

小学校以降の地震防災教育においては、1995年の阪神淡路大震災並びに2011年の東日本大震災を契機に、文部科学省・教育委員会・研究機関等によって、小学生から高校生を対象にした地震防災教育に関する様々な取り組みや教材開発が行われるようになった。藤井基貴・生澤茂樹(2013)は、避難所生活を想定した防災キャンプ等を取り入れ、体験的な学びが行えるようになっている。また、村越真・松村由貴(2014)は、これまでの被害想定にとらわれることなく、想定外の状況に対応できるような避難訓練を実施し、子どもが主体的に判断・行動する能力を促すことを目的とした防災教育に取り組んだこと報告している。このように、東日本大震災以降、学校教育において、震災の経験を踏まえ新たな地震防災教育が進展している。

一方、就学前教育・保育施設においては、阪神淡路大震災以降、林国夫ら(2008)が考案した「ぼうさいダック」など幼児期に適したカードゲーム等の防災教材も散見されるようになり、東日本大震災の実話を基にした絵本『花ちゃんのはやあるき はやあるき』等が出版された。地震や津波発生時における避難訓練の重要性等が子どもにも理解できるように表現されるなど、徐々に教材が開

発されつつある。しかしながら、小林真ら(2019)は、幼児教育・保育においては、小学校以降の防災教育と比較して、子どもが主体的に判断・行動する防災教育が十分に行われておらず、避難訓練に留まっていることを指摘している。幼児教育の基本は、環境を通じた主体的な学びであり、日常的に遊びや生活を通して学ぶ保育が求められる。さらに、岡本和花・白神敬介(2021)は、保育者が自然災害の発生した際に安全に避難誘導できるか不安であることを述べている。

このように、小学校以降の防災教育への取り組みは大きく進展しているが、幼児を対象とした研究実績が小学校以降のものと比較し希薄であり、現在の幼児期における防災教育の課題や必要性の提示に留まるものが散見される。2024年1月に能登半島地震が発生し、甚大な被害が生じている。

本研究では、能登半島地震発生後の就学前教育・保育施設の状況や子どもへの対応方法、震災後の地震防災等を調査することにより、近い将来発生が予測されている南海トラフ地震、首都直下型地震等に対応でき、子どもの命を守る地震防災・減災構築の一助を担うことを目的とする。

2. 調査方法

能登半島地震において、震度7の揺れを経験した志賀町と輪島市の被災園を2025年1～3月に視察し、園長や保育者に聞き取り調査を行った。調査対象園は、志賀町の私立認定こども園8幼稚園と公立T保育園、輪島市の私立認定こども園W幼稚園と公立M保育所である。

調査内容は、被災後の就学前教育・保育施設の状況、地震発生後の対応、保育再開後の子どもの様子、震災後の地震防災に関すること等である。

尚、倫理的配慮を行い、研究について口頭・文書で説明し、同意を得て実施した。

3. 調査結果

(1) 志賀町内の就学前教育・保育施設における調査

1) 認定こども園S幼稚園

①地震発生による施設の状況

施設内においては、窓ガラスの破損、棚の転倒

等の被害はなかったが、棚の中や上の書類や子どもの用具等が飛び出し、散乱していた。園庭の遊具の転倒はなかったが、安全面の確認のため、保育再開前に、業者による点検を行った結果、遊具の問題はなかった。電気・ガスの使用は可能であった。最も大きな被害は、図1に示すように、園庭や駐車場が30cm程地盤沈下したため、上下水道が使用できなくなったことであった。また、図2に示すように、園庭や駐車場には、地割れも生じていた。尚、S幼稚園は、2022年4月に新園舎が完成し、保育を行っていた。

②地震発生後の園の対応

保育者自身も被災者であるため、保育の再開に向けて取り組むことができる保育者のみで、園の環境改善に尽力した。また、県外施工業者によるボランティアや地域の施工業者によって、排水管や仮設トイレの設置等を行っていただき、2024年1月15日から臨時保育を開始することができた。

臨時保育「遊びの広場」は、小学生も含む子どもと保育者を対象に、短時間開設した。その1週間後1月22日から弁当持参の通常保育を開始し、1月25日から給食を再開した。

能登半島地震で被害を受けた保育施設に通う子どもや保護者、職員を支援する目的で、石川県内の保育関係4団体によって開設された「オールこども石川」の援助のおかげで、オムツ・ミルク等の配給があり、保育が実施できた。

③保育再開後の子どもの様子

保育再開後に、NPO団体の協力を得て、保護者を対象に子どもの様子についてアンケート調査を実施した。その結果、「これまで気にならなかった生活音に怯えるようになった」「トラックが通過する際の振動に敏感になった」「ストレスがあるのか怒りっぽくなった」「地震の不安のせいか幼稚園に行きたがらないようになった」「家では大人から離れないようになった」「チック症が出ている」「甘えん坊になり、一緒にいないと不安そうにしている」「トイレに一人で行けないようになった」「揺れがあると机の下から、出てこれなくなる」等の意見があった。園生活においても、地震警報のアラームがあると、敏感に反応する子どもがおり、配慮した。また、避難訓練を引き続き、実施していたが、震災のトラウマがある子どもがいるため、子どもの負担にならないように、地震発生を知らせるアナウンスについては「今日は避難訓練です。クラスの先生と話をしましょう」と優しく語り掛けるように実施した。



図1. 地震による地盤沈下 図2. 地震による園庭の地割れ

註：S幼稚園が2024年1月に撮影した写真である。

④震災後の地震防災

震災前から取り組んでいてよかった地震防災対策として「町内の公立・私立の就学前教育・保育施設や町役場と連携していたこと」、地震防災教育として「保育者の話を聞くこと」「ダンゴムシのポーズ等の避難訓練」が挙げられた。日々の保育の中で大切なことでもあるが、その積み重ねが災害時に生きてくることを述べられた。「ダンゴムシのポーズ」に関しては、保護者の方が、「地震発生時に子どもがその避難行動をしていた」という話をしており、保育における学びが反映されていた。震災前におけばよかったこととして「外国籍の家庭への震災に関する配慮・支援」が挙げられた。

そして、震災後は、地域の避難場所になることを想定して、最低3日間水や食料、テント、ストーブ等、施設機能の強化が必要であることを指摘された。さらに、震災後に取り組んでよかったこととして、NPO団体の協力を得て、1年間程の長期的視点で子どもの心のケアを行ったことを挙げた。保育者だけでなく保護者も参加して、子どもへの対応の仕方について研修を受けると共に、数回に渡り、子どもの様子をについて保護者にアンケート調査を実施し、一人一人の子どもの心身の状態を把握し、保育に臨んでいた。

2) T保育園

①地震発生による施設の状況

地震発生の翌日2024年1月2日にT保育園に入ると、机上の書類や事務用品などが落下しており、机も揺れのために移動していた。また、図3・4に示すように、園舎内外壁の破損、3部屋の床の傾斜、駐車場の亀裂等の被害があった。現在でも、床の傾斜は修理されておらず、保育に使用できない状態である。園舎の内外壁も完全には修理が行われておらず、今後、施設の改築等について検討中である。窓ガラスの破損、壁時計の落下、保育室等の棚の転倒はなかったが、棚の中の物は散乱していた。

施設内の電気・ガスについては、震災後すぐに使用できたが、水道は使用できなかった。尚、T保育園は、2014年に現在の施設が開設されていた。



図 3. 園舎の外壁破損



図 4. 園舎の内壁破損を補強している箇所

②地震発生後の園の対応

保育者であると共に公務員であるため、地震発生直後は、避難所で夜中まで物資配布の業務を行いつつ、役所の担当課長とスマホで連絡を取り合った。保育者とは一斉メールにて安否確認を行った。翌日、保育園に行き、被害状況を確認した。

2024年1月4日に保育者全員が保育園に集まり、応急的な園舎の片付け、本庁からの要請に応じて避難所の物資の仕分け、事務手続き等の業務を行った。自宅の損壊が大きかった保育者は自宅の片付け等で大変時期であったが、お互いに情報交換や支え合いながら保育再開を準備していた。

1月9日に保護者に対して正式に休園を配信し、1月12日から保護者に、子どもや保護者の安否確認を電話で行い始めた。1月20日に水道が復旧し、1月25日から保育を再開した。

③保育再開後の子ども等の様子

子どもの自宅が被災したり、保育中に余震が続いたりしたが、子どもは全体的には落ち着いて過ごすことができていた。4・5歳の女兒らが、「地震ごっこ」をして遊んでいたが、安全性に配慮しながら見守っていた。地震発生時及び発生後しばらく、保護者と一緒に過ごすことができたことが子どもにとってよかったのではないかと園長先生が言われた。しかし、保育にあっては、被災時を思い出すような話や大きな音など地震に関連するようなことは控えるように保育者は心掛けた。

また、子どもの中には、県外へ一時避難し、被災したことや慣れない場所での生活によってストレスを抱え、避難先の保育園でトラブルになることがあった。保護者もストレスを抱えていたため、保護者に声掛けを行い、気持ちの揺れ動きを察するように努めた。さらに、被災の経験を話したい

保護者、そうでない保護者など、表情や口調等を確認しながら個々に応じた対応を行った。

④震災後の地震防災

震災を経験し、これまで取り組んでいてよかったと思われた地震地震防災教育として、「慌てずに保育者の話を聞くこと」、また地震防災対策として「見通しをもって行うこと」が挙げられた。

そして、震災後に新たに実施するようになった地震防災教育として「すぐに戸外に出ずに話を聞くこと」「身支度を整える」「下足を履く」「帽子をかぶる」が挙げられた。T保育園は、日常的に裸足保育を行っているため、地震発生時にはすぐに下足を履けるように、これまで下駄箱に下足を入れていたが、図5に示すように、下足を箱に入れ、子どもの活動と共に持ち歩くようにした。帽子に関しては、ヘルメットも準備しているが、調整等に時間がかかったり、視野が狭くなったりして、課題があるため、帽子をかぶることにしている。また、新たに実施するようになった地震防災対策として、「避難持ち出し用品は玄関(出口)付近に置く」であり、図6に示すように、学級毎に、上着等の避難持ち出し品をビニール袋に入れて玄関付近に置き、担任が災害時に直ちに持ち出せるようにしている。

現在、地震発生時に、ダンゴムシのポーズや机の下に入るようになっているが、巨大地震の際には横揺れが大きく、机も大きく移動するため、子どもにとって危険であり、改善が必要であることを述べられた。さらに、津波警報発令時には、近隣中学校3階へ避難することになっていたが、町民が大勢避難していたため、実際に子どもが避難することができるか検討する必要があった。



図 5. 子どもの下足入れ



図 6. 学級毎の避難持ち出し品

(2) 輪島市内の就学前教育・保育施設における調査 1) 認定こども園 W 幼稚園

①地震発生による施設の状況

地震発生後の園舎内は、図7に示すように、遊戯室の壁の損壊、本棚の転倒、子ども用ロッカーの物の散乱、子ども用・保育者用机の移動等が見られたが、窓ガラスや壁時計、テレビ等の破損、

園庭の遊具の転倒はなかった。幼稚園は、2021年に新園舎になり、耐震性が高かったおかげで、大きな被害はなかったが、近隣の民家が崩れ、その影響で使用できない保育室があった。

幼稚園の敷地内に園長の自宅があったが、屋根が落ちたり、床がずれたり、全ての棚や家具が転倒したりして、全壊であった。地震発生時は、1～2分間立っておられないほどの揺れであり、土煙が生じた。水道が長期間使用できず、1月5日程まで停電だったが、ガスは使用できた。

②地震発生後の園の対応

震災後に、各家庭に安否確認の電話を行ったが、孤立した集落に住む1家庭に連絡が取れず、1週間後に人伝で全ての家庭の安否が確認できた。震災後は、自主避難所となり、近隣の方が30名程利用していた。水道が使用できるようになった2024年3月11日から、保育を再開した。開始当初は、半分ほどの子どもが登園した。親戚や知り合いの家に避難していた家族が徐々に地元に戻ってきており、現在ではほぼ登園している。

そして、W幼稚園では、震災の普及が一段落した2024年9月に豪雨災害に見舞われ、園舎の1階が床上浸水し、そのため、保育は2階のみで行い、現在でも園舎の1階保育室の修理や、園庭の整備を行っていた。図8は、豪雨災害のあった9月より、継続的にボランティアを行っているT大学の大学生による園庭の土砂の入れ替え作業の様子である。子どもは、9月以降、園庭での遊びが十分にできない状態であった。



図7. 遊戯室の壁の破損



図8. ボランティアによる園庭の整備

③保育再開後の子ども等の様子

保育再開後、保育中に「地震ごっこ」をして遊ぶ様子が見られたが、震災後2ヶ月以上経過していたため、全体的には落ち着いて子どもは過ごしていた。2024年10月頃に、保護者から、子ども(3歳児)が夜泣きや夜中によく目を覚ますようになったことを相談されたことがあった。

④震災後の地震防災

震災を経験してこれまでに取り組んでおけばよかった地震防災対策として、水や食料等の備蓄が

挙げられた。また、新たに実施するようになった地震防災対策として、地震の規模によって避難方法を変更することが挙げられた。園舎は海拔5mの場所にあるが、高い津波が想定されない場合は、園舎の耐震性が判明したことから、これまで想定していた近隣の小学校への避難より、園舎2階への避難の方が適切であろうという見解になった。これには、損壊した住宅等によって子どもが安全に歩いて行けないことも要因にあった。それぞれの地域に応じて、想定内外の数通りの避難方法が必要であることが示唆された。

さらに、行政の災害用備蓄について、大人だけでなく、子どもも視野に入れ、ミルク・離乳食やオムツ等を加えることを提案された。

2)M保育所

①地震発生による施設の状況

地震発生の翌日2024年1月2日に、M保育園に行くと、園舎の玄関のガラス戸が割られ、津波を恐れた地域住民200名程の避難所となっていた。そのため、事務室に保管していた個人情報記載されていた書類を確認し、保管した。M保育園は福祉避難所に指定されていないが、当時、公共施設は、同様に避難所となっていた。

園舎においては、図9・10に示すように、屋根の損傷やそれによる雨漏り、遊戯室の天井版の一部剥落、壁や床の亀裂、床の傾斜、机等の移動、ロッカー・本棚からの物の散乱等があったが、窓ガラスや蛍光灯の破損はなかった。尚、M保育所は、1987年頃に現在の施設が開設されていた。

園庭では数カ所液状化現状が起きていたが、遊具の転倒はなかった。また、駐車場には亀裂が入っていた。電気・水道の使用ができず、敷地内に設置された仮設トイレを使用していた。



図9. T保育所の屋根損傷



図10. 雨漏りによる天井の損傷

②地震発生後の園の対応

保護者に電話連絡をしていき、1月8日に全員に電話が繋がり、安否確認ができ、在園児24名中17名が市外に避難・転出していた。保育者の安否確認も並行して行い、1月3日に全員の安否を確

認することができた。本保育所は、地域住民の避難所にもなっていたため、輪島市内のK保育園にて、一時保育が1月22日から開始されていたため、保護者には一時保育が必要な方はそちらを利用するよう勧めた。

M保育所では通常保育を7時30分から18時30分まで行っているが、1月31日から、8時15分から17時30分までの一時預かり保育を開始した。震災後、子どもの安否確認、保育所の復旧だけでなく、避難所運営を住民と連携し行っていたが、2月12日に避難所が閉所され、2月13日から通常保育を再開した。

③保育再開後の子ども等の様子

1月31日から一時預かり保育を開始した当初、登園時に泣く、登園を嫌がる、大きな音を怖がる、地震ごっこを行う等の子どもが見られた。一方で、久しぶりの登所が嬉しかったようで、楽しく遊ぶ子どももいた。また、避難者と挨拶や交流することで、アットホームな関係作りができていた。近隣の公立K保育所は全壊であったため、M保育所で合同保育が行われた。

子どもの様子には気を配り、震災後の避難訓練の際には、子どもが動揺しないように、優しい声でアナウンスするようにした。保護者の中にも、不安が強い様子やストレスや悩みを抱えている様子が見られ、個々に応じた対応を行った。

④震災後の地震防災

震災を経験してこれまで取り組んでいてよかったと思った地震防災として、避難訓練が挙げられ、保護者から「子どもの方が親より落ち着いていた」「ダンゴムシのポーズをしていた」等の話があった。また、保育者と子どもの3日分の食料や、消毒液・ティッシュ・ラップ・ビニール袋等を備蓄していたため、食事面・衛生面において役立ったことが挙げられた。

そして、電気が使用できなかったため、NTTが持参してくれた発電機も役立ったこと、避難所運営のため、LED懐中電灯やランタン、毛布、敷物、粘着テープ等が多く必要であり、備蓄すべきだったこと、震災後、避難所と保育の双方の運営を担っていたため、保育者が無理をしない震災後の防災計画が必要であることを述べられた。

4. 考察

今後の就学前教育・保育施設における地震防災の在り方として、次の2点を示す。

(1)就学前教育・保育施設における地震防災

震度7を経験した被災園の調査から、1987年に

開設されたM保育所、2014年に開設されたT保育園、2021年に開設された認定こども園W幼稚園、2022年に開設された認定こども園S幼稚園は、地震発生場所の相違の影響があるにせよ、新しく開設され施設ほど、園舎内の影響が小さかった。1981年改正の耐震基準が「新耐震基準」、2000年改正は「2000年基準」と呼ばれ、それまでの基準をさらに強化されたことが影響しているだろう。熊本地震においては、保育所の窓ガラスが葉損したり、棚が転倒したりする被害が見られたが、今回の調査では、そのような状況はなく、津波が発生せず、地震のみならば、施設内で子どもの安全を確保できる状況であった。但し、テーブルの下への避難は、テーブルが大きく横揺れし、子どもが怪我をする恐れがあり、改善が必要であった。今回の能登半島地震は、土地の隆起により、輪島市や志賀町においては津波被害がなかったが、海岸から近距離の地域に施設があり津波被害が想定される認定こども園W幼稚園、T保育園は、数通りの避難経路・避難場所の確認が必要であったことを述べていた。

また、震災後しばらく保育を再開できなかったり、親子一緒による一時預かり保育を行ったりしたことで、親子で一緒に過ごすことができ、子どもの分離不安を解消し、保育再開後における集団生活を円滑に行うことに繋がったことが示唆された。災害等において、その震災経験が子どものトラウマにつながるような際には、保護者が仕事より子どものことを第一に考え、より添える時間を確保することが重要であり、そのような理解が社会的に求められる。さらに、地震対策として、震災後の子どもや保護者の心のケアに関する研修等を取り入れることも重要である。

このように地震対策は、就学前教育・保育施設の地形や地域等によって重要な要所に相違があるため、各就学前教育・保育施設において行政や専門機関、地域等と検討しながら、最適な地震防災計画を考案し、再考することが望まれる。

(2)震災後の支援システムの構築

今回の調査から、認定こども園S幼稚園やT保育園、M保育所の保育者は、早くから一時預かり保育の開設や、本庁からの要請に応じた避難所運営に関する業務、自主避難所運営に取り組んだ経緯から、施設の地震防災対策と共に避難所運営等を考慮した防災計画を考慮しなければならいことを述べていた。その際に、日頃の保育者や地域住民との信頼関係が、円滑に取り組める要所である

ことが再確認できた。

しかしながら、保育者自身も被災者であったが、震災後に施設の復旧・再開だけでなく、子どもや保護者の心身のケア、避難所運営等、様々な業務を担っており、「当時の精神状態では業務が厳しかったが、その感覚ですら麻痺したような状態だった」「震災直後は、一心不乱に動いていて、しばらくして体調を崩してしまった。他の保育者も同様だった」等の回答があり、被災者の努力に頼らない施設再開や避難所のシステム作りが必要である。

今回、認定こども園S幼稚園は、震災後に石川県内の保育関係4団体によって開設された「オールこども石川」の支援を受けているが、他の施設においてはそのような支援がなかったことから、通常時において、県内の就学前教育・保育施設間においてサポート体制がとれるシステム、さらに、県単位のみならず、国として、災害時に就学前教育・保育施設に人的・物的支援が得られるシステムを構築し、対応に当たることが望まれる。

5. 結論及び今後の課題

就学前教育・保育施設の地震防災対策は、施設の立地状況等により異なり、それぞれの施設において、想定内外の避難経路・避難場所を考慮する必要性や、備蓄、子どもの心のケアに関する研修等の必要性が調査から再確認された。また、これまで取り組んでいた避難訓練を子どもが覚えていて落ち着いた行動が取れたという保護者の声があった反面、施設における避難の際には、テーブルの下に避難する方法は、安全面から検討する必要があることが判明した。さらに、震災後、本来の業務である保育の再開に向けた取り組みだけでなく、避難所の運営等の業務を担うことも視野に入れ、災害が起こる前に行政と連携し、検討すること、保護者や地域住民との日頃の信頼関係が避難所運営に重要であることが明らかになった。

今後の課題として、第一に、能登半島地震で被災した他の就学前教育・保育施設の事例調査を行い、検討を重ねることである。第二に、それらの調査を基に、就学前教育・保育施設における地震防災・減災の普及に取り組むことである。

謝辞

本研究の遂行に当たり、多大なご支援をいただきました令和6年度公益財団法人八雲環境科学振興財団「環境研究助成(特定研究)」に心より感謝申し上げます。また、震災後、大変な時期に調査にご協力いただきました石川県志度町並びに輪島

市の就学前教育・保育施設の園長先生・保育者の皆様に深謝申し上げます。

引用文献

- 藤井基貴・生澤茂樹(2013)「防災道德」の授業開発に関する研究―「道德教育」と「防災教育」をつなぐ授業理論と実践―, 静岡大学教育学部附属教育実践総合センター紀要, 21, pp. 91-101.
- 地震調査委員会(2023)長期評価による地震発生確率値の更新について, 地震調査推進本部事務局.
- 林国夫・吉川肇子・矢守克也・田和淳一(2008)防災教育ツール「ぼうさいダック」の開発と実践―呉市消防局の事例を中心に―, 日本リスク研究学会誌, 17(3), pp. 103-110.
- 小林真・五十嵐望美・竹田誠・窪田広美(2019)幼児に対する防災教育プログラムの実践, 富山大学人間発達科学研究実践総合センター紀要教育実践研究, 14, pp. 75-93.
- 厚生労働省(2017)保育所保育指針, フレーベル館.
- 文部科学省(2017)幼稚園教育要領, フレーベル館.
- 村越真・松村由貴(2014)静岡県の小中学校における防災教育の実態と課題, 教科開発学論集, 2, pp. 1-10.
- 内閣府(2012)子ども・子育て白書 東日本大震災の被災地等における子ども・子育てに関する対応, pp. 150-151.
- 内閣府・文部科学省・厚生労働省(2017)幼保連携認定こども園教育・保育要領, フレーベル館.
- 岡本和花・白神敬介(2021)就学前施設における保育者の自然災害発生に対して抱く不安の実態, 日本家政学会誌, 72(1), pp. 13-24.

はじめに

感染症とは、環境中に存在する病原性の微生物（細菌、ウイルス、カビ、酵母など）が動物や植物の体内に侵入して引き起こす病気であり、回虫や蟯虫のような寄生虫によって起こる寄生虫症も感染症である。植物病害性である植物寄生性線虫は、現在までに 4000 種以上の種類が報告されており、線虫による森林や農作物の被害額は全世界で年間 10 兆円以上といわれている。

例えば、サツマイモでは、ネコブセンチュウ、ネグサレセンチュウなどがサツマイモの品質を著しく低下させて減収につながる。寄生範囲は広く、イモ類、根菜類、果菜類、野菜類にも発生する。世界各国で共通して大きな問題になっており、①殺線虫薬剤の利用や②抵抗性品種の育種など様々な防除手段を用いた対策がとられているが、薬剤に対する抵抗性の獲得や祖先種から栽培品種を改良選抜に途方もない時間と労力がかかることなどから、効果的で安全・安価な防除対策についてさらなる検討が必要である。

背 景

植物寄生性線虫による被害は農作物だけではなく樹木でも見られ、樹木ではマツ材線虫病による被害が特に大きい。マツは古くから我が国で利用されてきた植物の一つであり、その用途は木材資源としてだけでなく、防風林・防砂林などの国土保全の面や、庭園や盆栽への利用という文化的な一面もある。それらマツは晩秋から盛夏にかけて松枯れにより大きな被害を受ける。様々な研究の結果、マツノザイセンチュウ

(*Bursaphelenchus xylophilus*) がマツ材内の樹脂道や通道組織を破壊する萎凋病であるとわかり、正式な名称として「マツ材線虫病」と総称されている。薬剤の樹幹注入が防除対策の主流であるが、市販薬剤の多くは高価であり、また魚毒性を示すものが多く、生態系・環境への影響を無視できない。マツ材線虫病は 100 年近く研究されているが、真に有効な防除法に関してはまだ開発の余地がある。そこで本研究では、これまでの研究結果がある独自の利点から、まずは植物寄生性線虫としてマツノザイセンチュウを対象とし、線虫であるマツノザイセンチュウ（植物寄生虫）によって引き起こされるマツ材線虫病（植物感染症）に対する抗線虫化合物を探索、その探索方法としてマツノザイセンチュウを用いたアッセイと、その作用点としてミトコンドリア（ミトコンドリア呼吸鎖）阻害にも着目して検討を行った。

目的・方法

当研究室においてこれまでに抗マツノザイセンチュウ活性（以下、抗線虫活性と称す）を有する様々な化合物を天然物および合成物から見出してきている。それら化合物の一つとしてトリイン誘導体を単離していること[1]や近年細菌から抗菌活性を有するポリイン類が単離されたこと[2]などから、線虫に対する新規薬剤の候補としてポリイン化合物に着目した（Fig. 1）。炭化水素であるためその水溶性の低さや三重結合が光重合してしまう不安定さを有するポリイン化合物を合成するにあたり、活性試験を行うためにも化合物に安定性を付与させる方法として、構造内に糖を持つ糖質誘導体として合成することを検討した。またポリイン化は、既報である Glaser カップリングや Cadiot-Chodkiewicz カップリングなどを用いることとした。ジインやトリイン化合物の合成と化合物ライブラリーを構築し、それら化合物を用いた抗線虫活性試験を行った。

ポリインー糖質誘導体の合成

水溶性を向上させるために糖として、D-グルコース、N-アセチル-D-グルコサミン、D-マンノースを用いた。プロパルギルアルコール中、塩酸を触媒とした Fischer グリコシド化を行った後に 4,6-O-ベンジリデン化を行って、末端アセチレン構造をもつプロパルギルグリコシド (**2a**~**2c**) を合成した（Fig. 2）[3]。

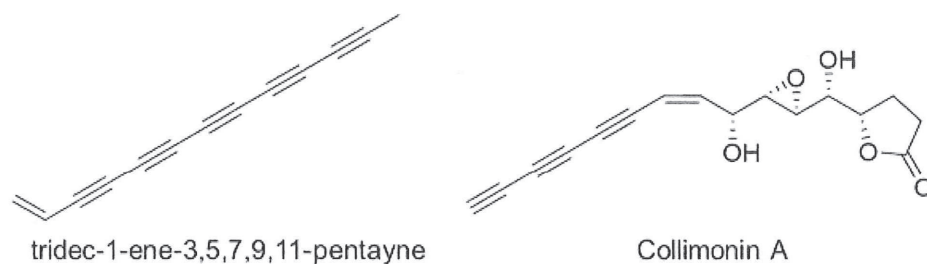


Fig. 1. ポリインを有する生理活性物質

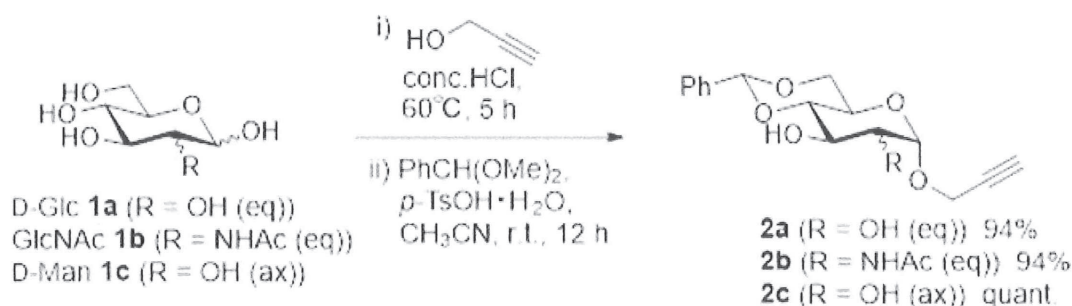


Fig. 2. Fischer グリコシド化によるプロパルギルグリコシドの合成

ジイン体の合成は、Glaser カップリングを用いることにした。Glaser カップリングは、塩基溶媒中、末端アセチレン構造を持つ化合物同士のカップリングによりジインを得る反応である[4]。触媒として酢酸銅(II)などの銅塩を用い、銅アセチリドの形成を経て、酸素を通してカップリングが進行する。合成したプロパルギルグリコシド(モノイン体、**2a**~**2c**)を用いて、酢酸同存在下、ピリジン中で 60°C にて加熱してGlaser カップリング(ホモカップリング)を行った。得た化合物の4, 6位の脱ベンジリデン化を行って目的とするジイン体(**3a**~**3c**)を得た (Fig. 3)。

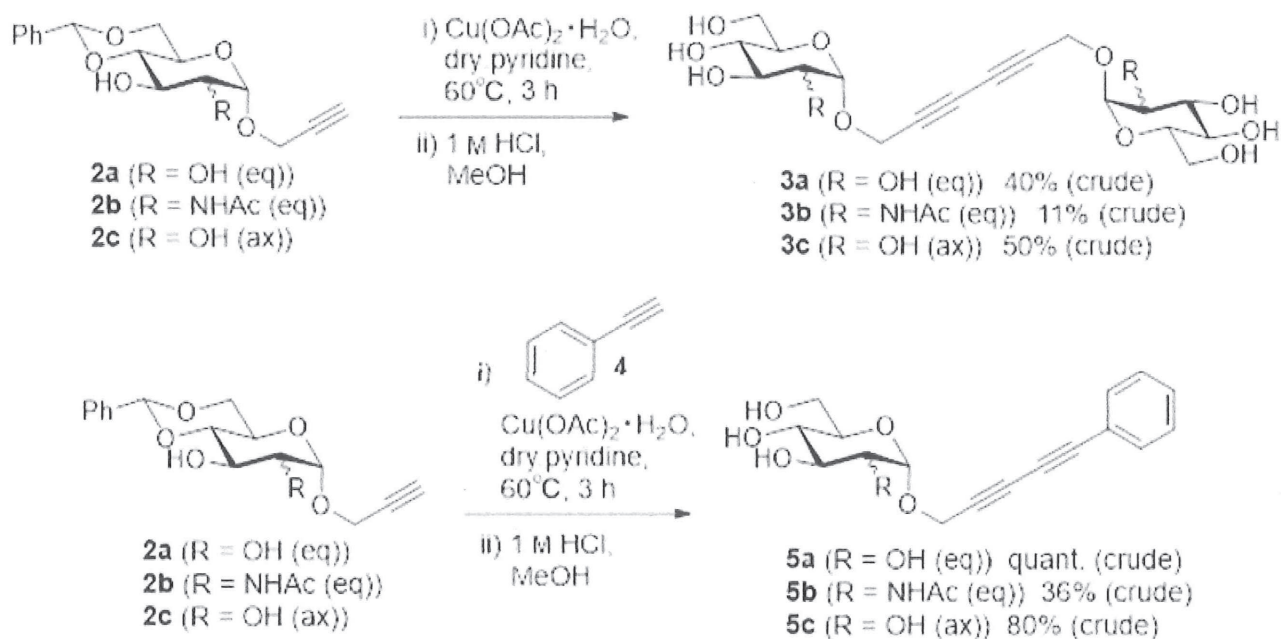


Fig. 3. Glaser カップリングによるジイン体 (ホモおよびヘテロカップリング体) の合成

また、プロパルギルグリコシド (**2a~2c**) とエチニルベンゼン (**4**) を用いて、Glaser カップリングを行った後、脱ベンジリデン化を行うことで、ヘテロカップリングしたジイン体 (**5a~5c**) を得ることができた (Fig. 3)。化合物 **4** のホモカップリングにより化合物 **6** を得た (Fig. 4)。

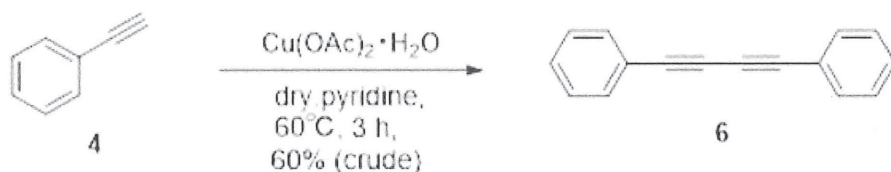


Fig. 4. エチニルベンゼンを用いたGlaser カップリングによるジイン体の合成

同様に、反応経路や反応条件の検討を種々行って、図に示したような三重結合を複数有する化合物群を合成した (Fig. 5)。

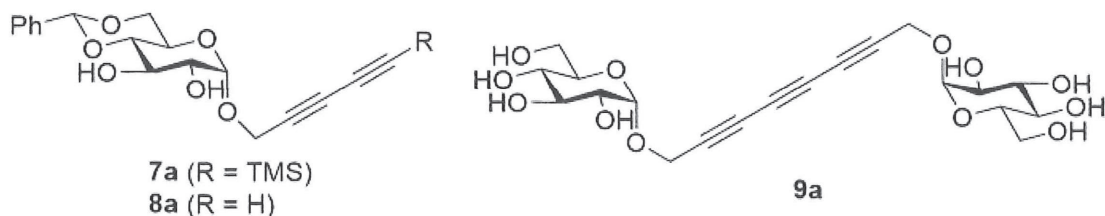


Fig. 5. エチニルベンゼンを用いたGlaser カップリングによるジイン体の合成

輪状ろ紙法を用いたマツノザイセンチュウに対する抗線虫活性試験

供試生物には、マツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus xylophilus*) とその食餌生物である灰色カビ病菌 (*Botrytis cinerea*, 以下 *B. c.* 菌) を用いた。アッセイ法として輪状ろ紙法を採用した。

輪状ろ紙法は、抗線虫活性試験法の一つである綿球試験法を改良した我々の研究室独自の抗線虫活性試験法である (Fig. 6) [5]。輪状ろ紙 (円筒ろ紙をわか状 (輪状) にカットしたもの) に試料溶液をしみ込ませ乾燥させた。輪状ろ紙を *B. c.* 菌 (線虫の食餌生物) が一面に生育しているシャーレに並べた。別途調整した線虫懸濁液か線虫が生育する培地から一部を切り取ってシャーレに置き、室温暗黒下で培養した。輪状ろ紙の輪の内側における摂食面積と非摂食面積の割合から阻害率を求めた (Fig. 7)。

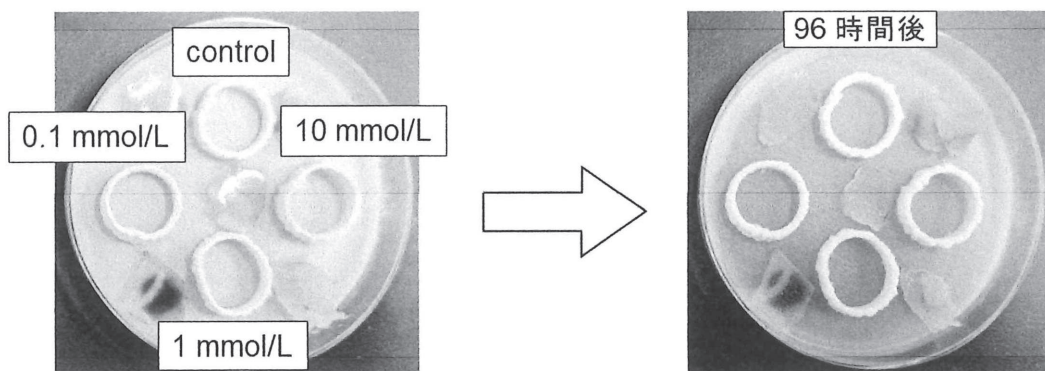


Fig. 6. 輪状ろ紙法を用いた抗線虫活性試験

評価方法

試験開始から 96 時間後の写真を画像処理ソフト

(Image J) を用いて解析を行い、以下の式で阻害率を求め評価を行った

$$\text{阻害率 (\%)} = \frac{\text{残っている B.c.菌の面積}}{\text{全体の面積}} \times 100$$

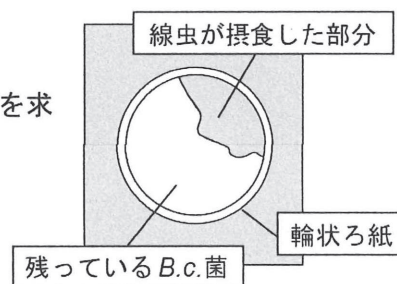


Fig. 7. 輪状ろ紙法を用いた抗線虫活性試験

結 果

輪状ろ紙法を用いたマツノザイセンチュウに対する抗線虫活性試験

輪状ろ紙法を用いて、合成した化合物 (2a~2c, 3a~3c, 5a~5c, 6 および 7a~9a) のマツノザイセンチュウに対する抗線虫活性試験を行った。10, 1, 0.1 mM に調整した試料溶液を用意し、アッセイを行った。その結果、どの化合物でも 10 mM 以下の濃度では抗線虫活性を示さなかった (Table 1)。

Table 1. 抗線虫活性試験の結果

compound	IC ₅₀ (mmol/L)	compound	IC ₅₀ (mmol/L)	compound	IC ₅₀ (mmol/L)	compound	IC ₅₀ (mmol/L)
2a	> 10	3a	> 10	5a	> 10	6	> 10
2b	> 10	3b	> 10	5b	> 10	Morantel tartrate	0.02
2c	> 10	3c	> 10	5c	> 10		

ミトコンドリア呼吸鎖の阻害試験

予備実験として、培地から単離した線虫を破碎して調製したマツノザイセンチュウ由来ミトコンドリアを用いて、ミトコンドリア呼吸鎖の阻害試験を行った。3-nonylphenol (環境ホルモン、申請者の研究室において強い抗線虫活性があることを過去に見出している) を用いて、呼吸鎖関連酵素 (NQR など) の阻害実験を行った結果、ミトコンドリア呼吸鎖を阻害することが分かった (論文未発表)。これは酵母ミトコンドリアに作用してその細胞増殖を阻害することと似ていた。

総 括

水溶性を向上させるために糖として、D-グルコース、N-アセチル-D-グルコサミン、D-マンノースを用いてプロパルギルアルコール中で Fischer グリコシド化を行い、末端アセチレン構造を持つプロパルギルグリコシドを合成した。その後、Glaser カップリングを行い、ジインを有する糖質誘導体の合成を行った。また、プロパルギルグリコシドと TMS アセチレンを用いた Hay カップリングとその条件検討、Cadiot-Chodkiewicz カップリングを用いたトリインを有する糖質誘導体の合成を行った。合成したジインを用いて輪状ろ紙法による抗線虫活性試験を行ったが、いずれの化合物も 10 mM 以下の濃度では抗線虫活性を認めることは出来なかった。また、マツノザイセンチュウ由来ミトコンドリアを用いてミトコンドリア呼吸鎖の阻害試験を行った結果、強い抗線虫活性を有する既知化合物がミトコンドリア呼吸鎖を阻害することが分かった。今後は活性の強い化合物を引き続き探索を行うとともに、酒石酸モランテルや 3-nonylphenol など抗線虫活性を有する化合物を用いて詳細にミトコンドリア阻害活性試験を行い、ミトコンドリア呼吸鎖が抗

線虫活性に真に関与しているかどうかを確かめる。また、構築した化合物ライブラリー、入手が容易な既知化合物を対象としたミトコンドリア阻害活性試験を行って、ミトコンドリア呼吸鎖を阻害する化合物を探索する。

謝 辞

本研究は、岡山大学大学院環境生命自然科学研究科博士前期課程・柳田 菜名 氏の卒業論文研究および修士論文研究の一環として行われたものです。核磁気共鳴装置 (NMR) の代理測定をして頂きました岡山大学自然生命科学研究支援センター准教授・砂月 幸成 氏に御礼申し上げます。最後となりましたが、本研究を行うにあたり研究助成して頂きました公益財団法人 八雲環境科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Kai, K., *et al.*, *Org. Lett.*, 2018, 20, 3536-3540.
- 2) Kawazu, K., *et al.*, *Agric. Biol. Chem.*, 1980, 44, 903-906.
- 3) Fischer, E., *Chem. Ber.*, 1893, 26, 2400-2412.
- 4) Glaser, C., *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, 1869, 2, 422-424.
- 5) Izumi, M., *et al.*, *Nematol. Res.*, 2022, 51, 33-36

鉄バクテリア由来酸化鉄を利用した高日射反射率ベンガラの開発

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域 教授 藤井達生

1. 緒言

地球温暖化の進行とともに、夏の猛暑が世界各地で猛威を振っている。太陽が浴びせる強烈な日射は、巨大な熱源となり、住宅や自動車の室内温度を大きく上昇させる。そのため今や夏場にエアコンは欠かせないものとなり、電力需要の急増に伴う火力発電所からの地球温暖化ガスの放出は、地球温暖化をますます加速している。これを少しでも抑制するためには、冷房需要を抑制することが必要であり、そのためには日射による熱エネルギーを屋内空間に導かないことが重要である。その手段の一つが、太陽光の中でも熱源となる近赤外線に対し、高い反射率を持った遮熱顔料の開発である。家屋等への外装用の遮熱顔料として既に TiO_2 が実用化されているが、白色や黒色など無彩色なものしかない。そのため、外装用に遮熱顔料を普及させるためには、色彩豊かな遮熱顔料の登場が望まれている。

ところで、本研究が注目する鉄バクテリア由来酸化鉄(図1)は、自然の素材でありながら単純な熱処理のみで美しい赤色を呈し、有史以前より天然の赤色顔料(べんがら)として人類は広く利用してきた。しかし、小川や泉の底など自然界の至る所で見られる鉄バクテリア由来の酸化鉄は、今では景観を妨げる茶色い汚泥として、どちらかというと排除の対象になっている。くわえて、鉄バクテリアが沈殿を形成する際には、他の不純物元素を同時に吸着、除去するため、環境に優しい自然な浄水方法として鉄バクテリア法は注目されているが、浄水場から大量に発生す

る酸化鉄汚泥も産業廃棄物として捨てられているのが現状である。よって本研究では、この鉄バクテリア由来酸化鉄を、新たな資源として利用することで、地球環境を保全し、持続可能な社会の実現へと貢献することを目的としている。そのための活用分野の一つとして遮熱顔料に注目し、鉄バクテリア由来酸化鉄を利用した、高性能な遮熱顔料の開発を目指した。

地上に降り注ぐ太陽光は、近紫外から中赤外線の領域におよぶ幅広い波長($0.3\sim 3\ \mu\text{m}$)の光からなっている。なかでも近赤外線(波長 $0.8\sim 2.5\ \mu\text{m}$)は太陽光エネルギーの約52%を占め、物質に吸収されると容易に熱へと変換される。そのため日射による温度上昇を防ぐには、近赤外線を吸収せず、反射する材料が有効である。ところで、ミー散乱理論によると、粒子サイズが光の波長の約半分になったとき、粒子による光の散乱は最大となることが知られている。その点、鉄バクテリア由来酸化鉄は、近赤外線の波長に相当する直径約 $1\ \mu\text{m}$ のチューブ形状を有し、しかもその内部は空隙となるため、赤外線に対して高い反射率が期待できる。そこで本研究では、鉄バクテリア由来酸化鉄の

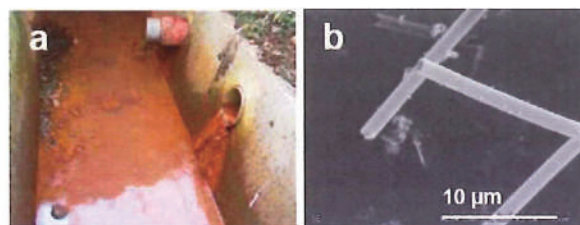


図 1. a) バクテリア由来酸化鉄によって茶色く染まった用水路と、b) 茶色の沈殿物を洗浄して得られた粉末の電子顕微鏡(SEM)像

粒子サイズが、その色調と近赤外線反射率に及ぼす影響を精査し、遮熱顔料としての可能性を探究するとともに、近赤外線領域で高い反射率を持つ TiO_2 と複合化することで、遮熱特性のさらなる向上を目指した。

2. 実験方法

原料となる鉄バクテリア由来酸化鉄沈殿物は、岡山大学農学部構内に設置した井戸水の濾過タンクから採取したものをを用いた。まず、茶色い酸化鉄沈殿物を含む井戸水を、オートクレーブにより 120°C で 2 時間半ほど殺菌し、デカンテーションにより沈殿物のみを分離した。そこに再び精製水を加え、洗浄とデカンテーションを 3 回繰り返し、最後に沈殿物を凍結乾燥することで、精製した鉄バクテリア由来酸化鉄を得た。さらに、この茶色い鉄バクテリア由来酸化鉄は、 800°C で 2 時間焼成することで、目的とする赤色の酸化鉄粉末へと変化させた。

次に粒子サイズの異なる酸化鉄粉末を得るため、焼成後の酸化鉄について、粉碎時間を変えてメノウ乳鉢で手粉碎したもの、あるいは、ボールミルをもちいて粉碎したものを用意した。なお、ボールミル粉碎はジルコニアボール($\phi 5\text{ mm}$)を使用し、回転数 100 rpm で行った。そして粉碎前後の試料について、その結晶構造や組成、形状を X 線回折法(XRD)、蛍光 X 線分析法(XRF)、走査型電子顕微鏡(SEM)により分析し、また粒子の色調や日射反射率を分光測色計と可視・赤外分光光度計により評価した。

一方、 TiO_2 との複合化は、焼成後の酸化鉄粉末にゾル・ゲル法をもちいて TiO_2 をコーティングすることで行った。具体的には、 800°C で焼成したバクテリア由来酸化鉄 0.1 g をエタノール中に分散させ、 0.5 ml のアンモニア水を加えた後、所定量のチタン酸テトラブチ

ル(TBOT)を $1.5\sim 2.5\text{ ml}$ 加えた。その後、溶液を 85°C で 24 時間ゆっくりと攪拌し、得られた沈殿物を回収、洗浄した後、 TiO_2 の結晶化のため 500°C で 3 時間焼成した。得られた試料の評価については、先段と同様、XRD、XRF、SEM、分光測色計および可視・赤外分光光度計により行った。

3. 実験結果

3.1. 鉄バクテリア由来酸化鉄のサイズと近赤外線反射率との関係

図 2 に 800°C 焼成後の鉄バクテリア由来酸化鉄および、それらを各条件で粉碎した後の鉄バクテリア由来酸化鉄の SEM 観察結果を示す。鉄バクテリア由来酸化鉄は、 800°C 焼成後も焼成前と同じく、直径約 $1\text{ }\mu\text{m}$ の長細いチューブ形状を維持していることが確認できた。一方、乳鉢で手粉碎した試料は、粉碎時間を長くするほどチューブが折れ、短くなっており、ホールミル粉碎した試料に至っては、まだ一部にチューブ状粒子が残っているものの、大部分はバラバラの粉末状粒子へと変化していた。よって粉碎処理は、鉄バクテリア由来酸化鉄の粒子サイズを調整する手法として有効であると判断できる。

ところで、ボールミル粉碎の場合、粉碎に使

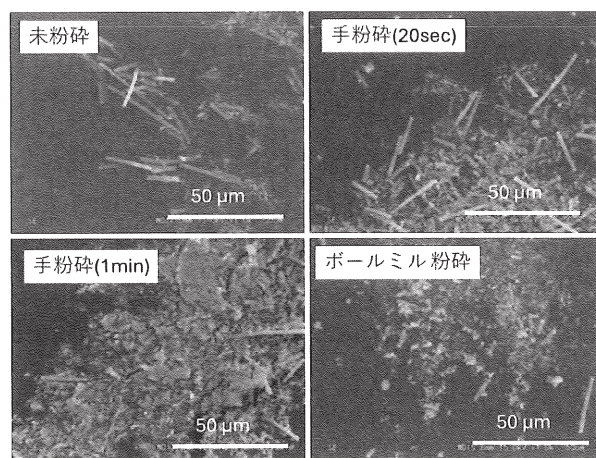


図 2. 800°C 焼成後の鉄バクテリア由来酸化鉄の SEM 像、および各条件下で粉碎後の SEM 像

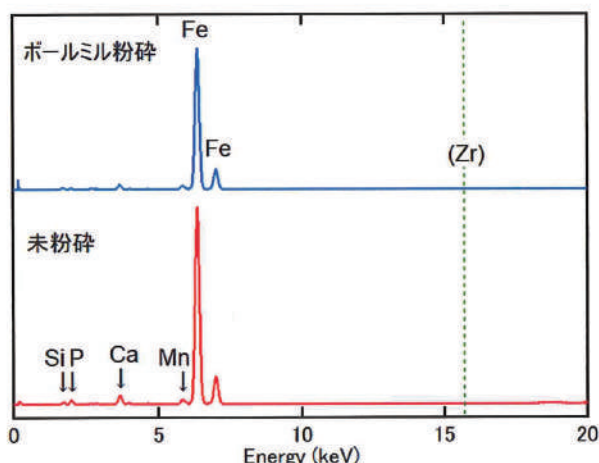


図3. ボールミル粉碎の前後での試料のXRFスペクトルの比較

用したボールやポットの成分(この場合は ZrO_2) が不純物として混入する可能性がある。そこで、ボールミル粉碎前後における試料の化学組成を、XRF 分析した結果を図3に示す。なお、XRF 分析では、酸素や炭素等の低原子番号の元素は検出されないことに留意する必要がある。XRF 分析の結果、鉄バクテリア由来酸化鉄には、主成分である Fe 以外にも、Si、P、Ca、Mn など自然由来の不純物元素が含まれていることが確認でき、この結果は、既報の結果とも一致していた。また、ボールミル粉碎後において、その組成は

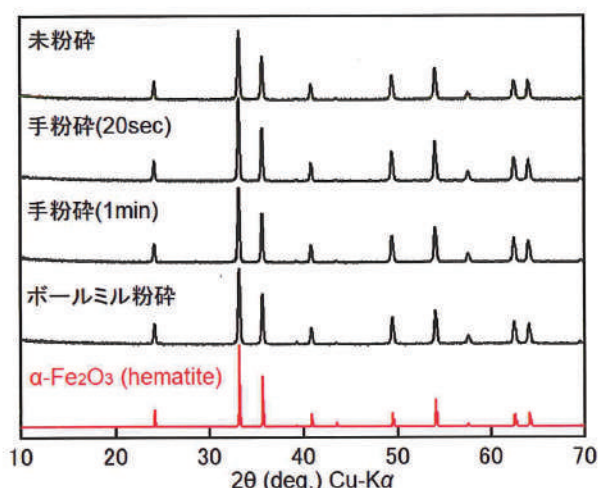


図4. 粉碎前および各条件で粉碎処理した鉄バクテリア由来酸化鉄の XRD パターン、および純粋な酸化鉄($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)結晶の XRD パターン

粉碎前とほとんど変化しておらず、心配していた Zr の混入は認められなかった。

次に、粉碎前後における鉄バクテリア由来酸化鉄の構成相を XRD により評価した。粉碎前後における鉄バクテリア由来酸化鉄の XRD パターンを図4に示す。いずれの試料も、赤鉄鉱として知られる酸化鉄($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)相のピークのみが強く現れており、粉碎処理の前後で構成相に変化がないことが確認できた。また、XRD から求めた酸化鉄 ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)相の格子定数についても変化は見られておらず、粉碎過程で Si 等の不純物元素と酸化鉄($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)が反応し、固溶が進行する等の形跡は認められなかった。

図5は粉碎前後での鉄バクテリア由来酸化鉄の色調を分光測色計により評価した結果である。色調は、国際照明委員会 CIE が定める $L^*a^*b^*$ 表色系を用いて表示した。ここで L^* は明度、 a^* は赤色度、 b^* は黄色度を表す。測定の結果、酸化鉄粒子のチューブ形状が失われるにつれ、赤色度 a^* 、黄色度 b^* とともにわずかに減少する傾向が見られた。そしてボールミル粉碎によってさらに粒子サイズを小さくすると、色相角は黄色方向へとやや変化しており、この結果は、粒径が小さい酸化鉄粒子ほど黄色味がかって見えることと対応している。一方、明度 L^* は、最初、わずかに増加し、その後、徐々に減少していく傾向が見られた。

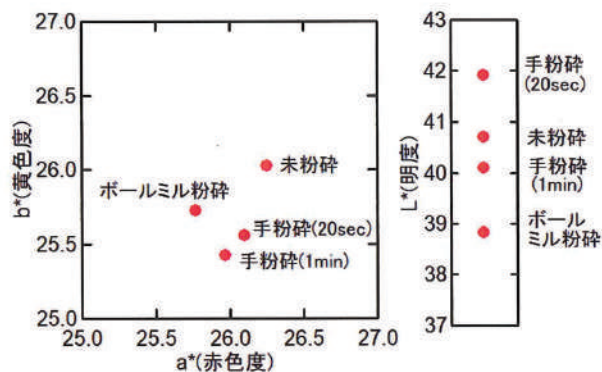


図5. 粉碎前および各条件で粉碎処理した鉄バクテリア由来酸化鉄の色測定結果

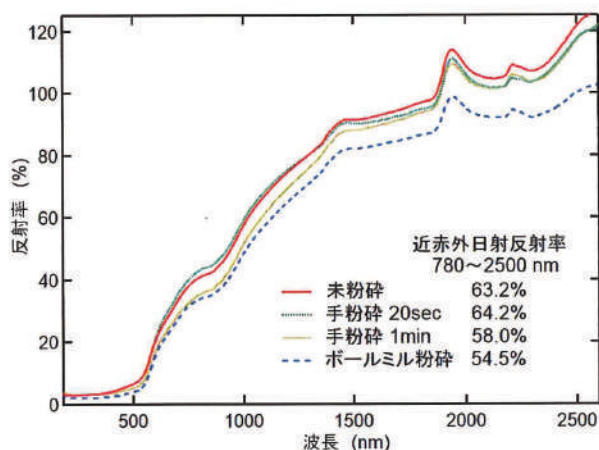


図 6. 粉碎前および各条件で粉碎処理した鉄バクテリア由来酸化鉄の可視・赤外反射スペクトルとそこから算出した近赤外日射反射率

最後に、これら鉄バクテリア由来酸化鉄の粉碎前後における光反射スペクトルを測定した結果ならびに、得られたスペクトルから基準太陽光の重係数を乗じて算出した近赤外日射反射率(波長範囲 780~2500 nm)を図 6 に示す。酸化鉄は、緑色の光に対応する波長 550 nm より長波長側の光を反射し、赤色を呈するが、近赤外領域をみると、可視光領域よりもさらに高い反射率を示すことが分かる。しかも、鉄バクテリア由来酸化鉄を軽く粉碎した試料では、その日射反射率は未粉碎のものより、わずかに大きな値を示した。これは、日射反射率に大きく寄与する波長 1 μm 付近で有意に反射率が増加したためである。しかし粉碎が進むにつれ、酸化鉄粒子の近赤外日射反射率は、逆に低下した。すなわち、ミー散乱理論によると、粒子サイズが光の波長の半分程度になったときに散乱は極大となることが知られている。よって、鉄バクテリア由来酸化鉄を利用した高日射反射率ベンガラを得るには、チューブ状酸化鉄の粒子サイズを、そのままの状態より、少し小さく、波長の半分程度の大きさとなるよう粉碎した方が望ましく、それ以上に小さく粉碎することは逆効果であることが判明した。

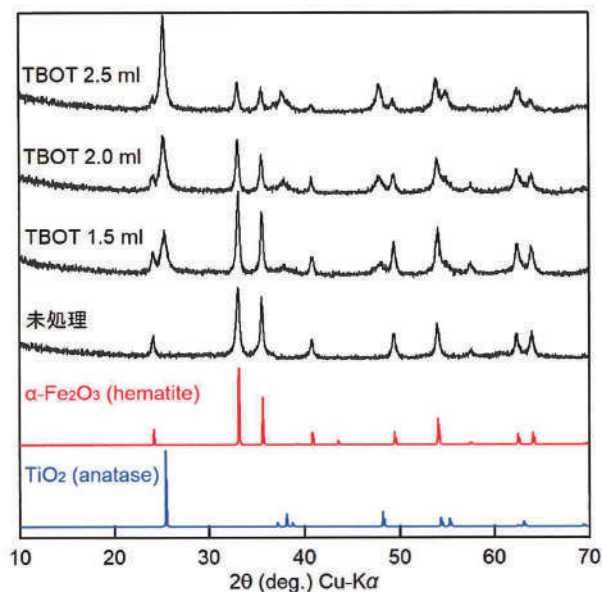


図 7. TBOT の添加量を変えて被覆処理した鉄バクテリア由来酸化鉄の XRD パターン、および純粋な酸化鉄($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)およびアナターゼ型酸化チタン(TiO_2)の XRD パターン

3.2. TiO_2 で被覆した鉄バクテリア酸化鉄の近赤外反射率

鉄バクテリア由来酸化鉄に所定量の TBOT を加え、500°C で焼成した後の試料の XRD パターンを図 7 に示す。TBOT を添加した試料の XRD パターンは、酸化鉄($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)相のピークに加えてアナターゼ型酸化チタン(TiO_2)のピークが出現しており、そのピーク強度は TBOT の添加量が増すにつれ大きくなった。ところで、酸化チタンには、いくつかの多形が存在しており、アナターゼ型酸化チタンは低温で、ルチル型酸化チタンは高温で生成することが知られている。そして、ルチル型の方が、より高い日射反射率を示す。そのため、焼成温度を 500°C 以上にも上げて、ルチル型酸化チタンの生成を目指したが、焼成温度が上がると酸化鉄と酸化チタンが互いに反応し、色調が低下したため、本研究では両者が反応しない焼成温度として 500°C を選択した。

次に、図 7 で示した試料について、その粒子形態を SEM 観察した結果を図 8 に示す。TBOT

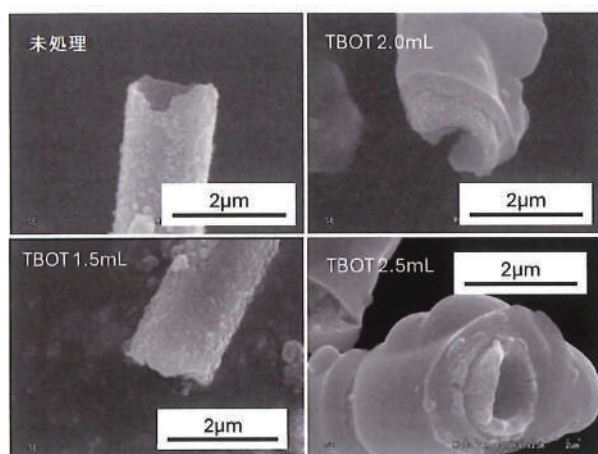


図 8. TBOT の添加量を変えてチタニアで被覆した鉄バクテリア由来酸化鉄の SEM 像

を添加量した試料では、鉄バクテリア由来酸化鉄粒子に特徴的な表面の小さな凹凸が滑らかなものへと変化しており、とりわけ TBOT を 2.0 ml 以上添加した場合は、下地の酸化鉄とは明らかに異なる別の層が酸化鉄粒子表面を覆っていた。すなわち、鉄バクテリア由来酸化鉄粒子の表面を、チタニア層で被覆することに成功したと言える。一方、チューブ状酸化鉄粒子の内壁面に関しては、それほど大きな変化は見られていないことから、チタニア層の被覆は、主として、チューブ状粒子の外壁面でのみで起こることがわかった。

チタニアで被覆された鉄バクテリア由来酸化鉄粒子について、被覆前後における粒子の色調を比較、測定した結果を図 9 に示す。被覆前と比較して、チタニア被覆後の試料は、赤色度 a^* がわずかに増加し、一方、黄色度 b^* は大きく減少する傾向が見られた。すなわち、より鮮やかな赤色に近づいたと言える。またこのことは、バンドギャップの大きいチタニアが存在することで、短波長側の光の吸収、すなわち黄色の補色である青～紫色の光の吸収が小さくなったことと対応していると考えられる。

最後に、チタニアで被覆した鉄バクテリア由来酸化鉄の光反射スペクトルを測定した結果を

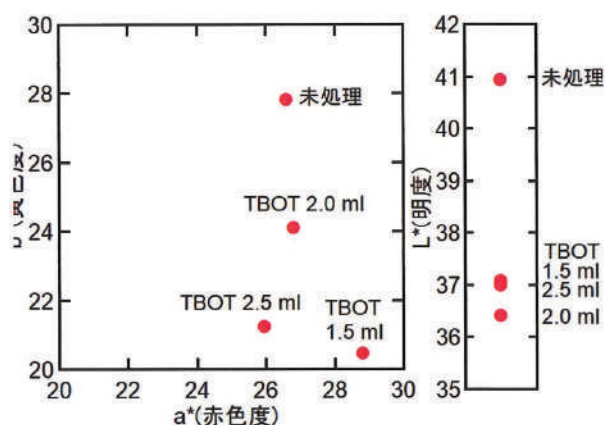


図 9. TBOT の添加量を変えてチタニアで被覆した鉄バクテリア由来酸化鉄の色測定結果

図 10 に示す。上の段落で述べたように、バンドギャップの大きいチタニアと複合化したことで、短波長側の光の吸収が抑制され、可視光域での反射率の増加が見られている、一方、熱源となる近赤外領域の反射率を見ると、チタニア被覆後も反射率の向上は見られず、ほとんど変化しなかった。すなわち、鉄バクテリア由来酸化鉄をチタニアで被覆することで、粒子サイズが大きくなり、ミー散乱理論から期待される最適な粒子サイズを越えてしまったため、チタニアによる反射率向上の効果を打ち消し合ってしまう

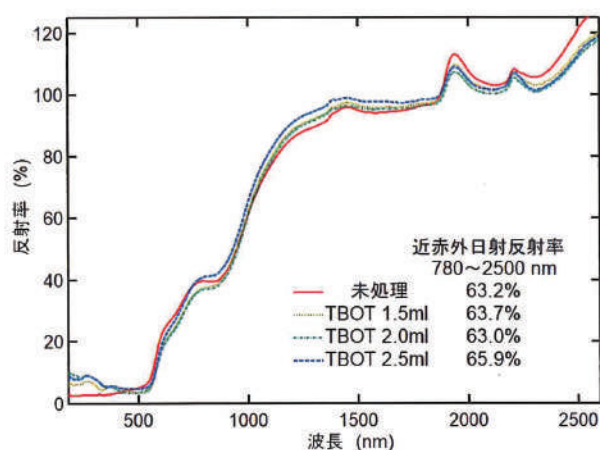


図 10. TBOT の添加量を変えてチタニアで被覆した鉄バクテリア由来酸化鉄の可視・赤外反射スペクトルとそこから算出した近赤外日射反射率

た可能性がある。一方、TBOT を 2.5 ml 添加した試料では、近赤外反射率が無添加の酸化鉄よりも若干向上していたが、これは、被覆の効果というよりも、チタニア粒子の体積分率が増加したことに起因した可能性が考えられる。

4. 結言

自然界に存在する鉄バクテリア由来酸化鉄を利用した高彩色、かつ高い近赤外日射反射率を示す赤色顔料の作製を試みた。鉄バクテリア由来酸化鉄は、直径約 1 μm の中空繊維状の形状をしており、市販の酸化鉄顔料よりも高い遮熱特性を持つことが期待されている。事実、鉄バクテリア由来酸化鉄の近赤外日射反射率は約 63% と、高い値を示すことを明らかにした。しかも、鉄バクテリア由来酸化鉄を軽く粉砕し、粒子サイズをやや小さくすることで、近赤外日射反射率は約 64% へと向上した。これは、粒子サイズを近赤外線波長の波長より若干小さくすることでミー散乱の効果が強く現れたためと考えられる。

一方、近赤外線反射材料として知られるチタニアを鉄バクテリア由来酸化鉄と複合化することで更なる反射率の向上を期待したが、残念ながら複合化による反射率の向上は見られず、ほとんど変化しなかった。この原因は、酸化鉄粒子の表面にチタニア層が被覆されたことで、粒子サイズが大きくなり過ぎ、近赤外領域でのミー散乱が小さくなったためと考えられる。よって、複合化による近赤外日射反射率の向上を行うためには、まず酸化鉄粒子を粉砕して小さくした後、チタニアで被覆することが望ましいと思われ、現在はその仮説を検証すべく、さらなる実験を継続して実施している。

学会発表

- ・ 赤瀬幸香・狩野旬・藤井達生、「 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ 赤色顔料の近赤外反射率の向上」、2024 年日本化学会中国四国支部大会、講演番号 1A-08、2024.11.16
- ・ 法上叶佳・赤瀬幸香・狩野旬・藤井達生、「細菌由来酸化鉄に由来する新規遮熱赤色顔料の開発」、粉体粉末冶金協会 2024 年春季大会、講演番号 2-3A、2025.5.28

北米産恐竜類化石を用いた化石タンパク質検出手法の確立

岡山理科大学 生物地球学部 恐竜学科

千葉 謙太郎

要旨

本研究は、申請者らが開発した化石タンパク質の可視化・抽出手法を、新たに北米産の脊椎動物化石に適用し、その有効性を検証することを目的として実施された。本助成により、岡山理科大学所蔵の約7,500万年前の恐竜コリトサウルスの化石、およびカナダ・マニトバ州産の白亜紀軟骨魚類化石を分析対象とした。その結果、コリトサウルス化石からは、電子顕微鏡観察によるコラーゲン特有のバンド構造、電気泳動による分子量の一致、さらに質量分析による鳥類コラーゲンとの高い相同性を持つアミノ酸配列の検出という、複数の独立した証拠から内在性タンパク質の残存が強く示唆された。これは、本研究グループの手法により、モンゴル産化石だけでなく北米産化石にも有効であることを示唆している。一方、軟骨魚類化石では、軟骨の微細構造が非常によく保存されていることが確認され、今後のタンパク質分析への大きな可能性が示された。本研究成果は、化石タンパク質の保存条件の理解を深め、生物多様性の変遷を分子レベルで解明する古タンパク質学の分野に大きく貢献するものである。

1. 序論

地球上の生命の歴史、すなわち生物多様性の変遷を理解することは、現代の地球環境変動に対する生物応答を予測する上で不可欠な知見となる。化石記録は、そのための唯一の直接的な証拠であるが、形態情報のみから得られる知見には限界があった。近年、分子生物学の発展により、DNAやタンパク質といった生体分子を用いた進化・系統研究が飛躍的に進展している (Green et al., 2010)。しかし、DNAは分解が早く、地質学的な時間スケールではほとんど残存しないため、数億年にわたる化石記録の大部分には適用できない。

一方で、タンパク質、特に骨や歯の主成分であるI型コラーゲンは、DNAよりもはるかに安定しており、数百万年以上前の化石からも検出例が報告されている (Buckley et al., 2019; Schweitzer et al., 2019)。しかし、化石からタンパク質を検出する研究は、常に外部からの汚染 (コンタミネーション) のリスクという大きな課題に直面してきた (Buckley et al., 2008; Saitta et al., 2019)。多くの先行研究では、化石全体を粉碎して分析するため、タンパク質が化石のどの部位に由来するのか、またそれが本当に内在性のものかを証明することが困難であった。

この問題を解決するため、我々の研究グループは、化石を脱灰せずに薄片を作成し、特殊染色法を用いて骨組織内のタンパク質の分布を直接可視化する革新的な手法を開発してきた (Inaba et al., 2025)。この手法は、タンパク質の存在を組織学的に確認することで汚染の可能性を低減し、その後の質量分析などによる詳細な検証の信頼性を大幅に向上させるものである。

本研究の目的は、この独自の手法を、モンゴル産化石とは堆積環境が大きく異なる北米産の化石に適用することである。具体的には、岡山理科大学が所蔵する恐竜コリトサウルスと、カナダで発見された軟骨魚類化石を対象とし、①異なる地質環境下でのタンパク質の保存状態を比較検証すること、②我々の開発した手法の汎用性と有効性を実証すること、の2点を大きな目標として研究を計画・実施した。

2. 試料

本研究では、2点の化石試料を主たる分析対象とした。第一の試料は、恐竜 (ハドロサウルス科) コリトサウルス (*Corythosaurus*) の骨化石である。この試料は、岡山理科大学恐竜学博物館に所蔵されているもので、約7,500万年前のアメリカ・モンタナ州に分布するジュディスリバー層から産出したものである。本研究では、この骨片から直接サンプリングを行い、分析を行った。

第二の試料は、カナダ・マニトバ州南部に分布する白亜紀後期カンパニアン階 (約8000万年前) の海成層であるピエール頁岩層から産出した、極めて保存状態の良い軟骨魚類化石 (通称「Dave」) である。軟骨魚類の骨格は、硬骨魚類と異なり石灰化度が低く、死後は速やかに分解されるため、化石記録として残るのは通常、硬い歯や稀な石灰化軟骨に限られる。しかし、本標本は、無酸素に近い海底環境に急速に埋没したことにより分解を免れ、全身の軟骨骨格が立体的に関節した状態で奇跡的に保存され

た特異な例である。この「ラガーシュテッテン」とも呼べる例外的な保存状態は、組織レベルだけでなく、分子レベルでの生体情報が残存している可能性を強く示唆するものである。この世界的に見ても非常に貴重な試料は、マニトバ大学のKirstin S. Brink博士との共同研究に基づき、タンパク質分析の対象として骨格の一部をサンプリングすることが許可された。

3. 方法

本研究で実施した分析手法は、我々が発表した論文(Inaba et al., 2025)に従った。まず、化石試料の微細構造を観察するため、試料表面を研磨後にオスミウムコーティングを施し、電界放出形走査電子顕微鏡(FESEM)を用いた。タンパク質の抽出にあたっては、化石表面の汚染層を物理的に除去後、試料を滅菌済みの器具で粉末化した。粉末試料を塩酸で脱灰し、ペプシン溶液による可溶化という手順を踏んだ。抽出したタンパク質は、12.5%ポリアクリルアミドゲルを用いたSDS-PAGEに供し、クーマシーブリリアントブルー(CBB)染色でバンドを可視化した。タンパク質の同定のため、SDS-PAGEで確認された目的のバンドをゲルから切り出し、インゲル消化法によりトリプシンで断片化した。得られたペプチド混合物は、北海道大学創成研究機構のオープンファシリティに設置されている液体クロマトグラフ-質量分析計(Orbitrap Elite)を用いて分析した。取得したデータは、Mascot サーバーおよびPEAKS Studioを用いたDe Novoシーケンシングによりアミノ酸配列の同定を行った。

4. 結果・考察

本助成研究による分析の結果、両試料から重要な知見が得られた。まず、コリトサウルスの骨化石の分析では、複数の手法から内在性タンパク質の存在を示唆する強い証拠が得られた。骨化石の破断面をFESEMで詳細に観察したところ、骨基質を構成するコラーゲン線維の存在が確認され、さらに高倍率での観察により、I型コラーゲン線維の分子配列に由来する特徴的な周期構造、すなわち約67nm間隔の縞模様(D-band periodicity)が明瞭に認められた(図1)(e.g., Orgel et al., 2006)。この構造は、単なる有機物の残存ではなく、タンパク質が本来の三次元的な線維構造を維持したまま保存されていることを示す直接的な視覚的証拠であり、微生物によるバイオフィームなどとは明確に区別される。これほど古い時代の化石で、分子の自己組織化に起因する構造がこれほど明瞭に確認されることは稀であり、極めて良好な保存状態を示唆するものである。

この構造的なデータは、生化学的な分析によっても裏付けられた。化石から抽出したタンパク質をSDS-PAGEで分析した結果、I型コラーゲンの $\alpha 1$ 鎖(約130 kDa)および $\alpha 2$ 鎖(約120 kDa)の分子量に相当する領域に、明瞭なバンドが検出された(図2)(e.g., Lee et al., 2021)。なお、化石周囲の堆積物や抽出過程で用いた試薬のみのネガティブコントロールでは、このようなバンドは一切検出されなかったことから、得られたタンパク質が化石由来であることを示唆している。

最終的な検証として、このバンド領域をゲルから切り出し、液体クロマトグラフィー質量分析(LC-MS/MS)に供した。得られた膨大な質量スペクトルデータを、データベースに依存しないPEAKSソフトウェアによるDe Novoシーケンシングで解析した結果、複数のペプチドのアミノ酸配列を決定することに成功した。これらの配列をBLASTで検索したところ、その多くが鳥類(ニワトリなど)のI型コラーゲン配列と高い相同性を示した。これは、鳥類が恐竜類に含まれるという仮説と一致する結果であり、検出されたペプチドがコリトサウルス自身に由来するものであることを強く支持する。さらに、同定されたペプチド配列中には、グルタミンやアスパラギン残基の脱アミド化や、プロリン残基の水酸化といった、タンパク質が長期間地中に埋没する過程で生じる特徴的な化学修飾(diagenetic modification)も確認され、これが現代の生物による汚染ではないことの化学的な証拠となった。



図1 (左). コリトサウルス骨化石標本の電子顕微鏡写真. 骨基質中に観察された, I 型コラーゲン特有の約 67nm 周期のバンド構造が確認できる.

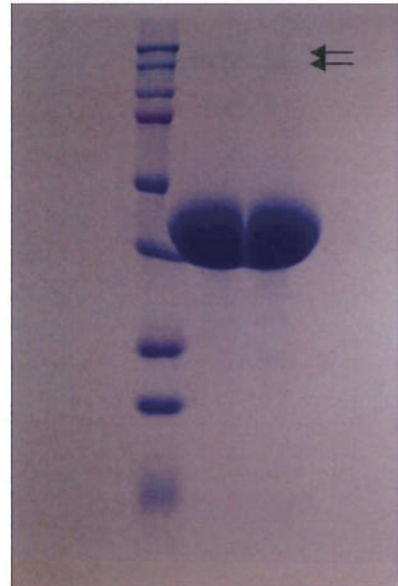


図2 (右). コリトサウルス抽出タンパク質の SDS-PAGE 結果. I 型コラーゲンの分子量 (約 100-130 kDa) に相当するバンド (矢印) が確認される.

次に、カナダ・マニトバ州産の白亜紀軟骨魚類化石、通称「Dave」の分析も行った。この化石は軟骨魚類としては異例の保存状態を誇る貴重な標本であり、その骨格要素の一部を FESEM で観察した結果、軟骨組織の基本構造である線維性軟骨と推定される微細な線維構造や、かつて軟骨細胞が存在したと考えられる三次元的な空隙（細胞小腔）が、極めて良好な状態で立体的に保存されていることが明らかになった（図 3）。通常、化石化の過程で失われがちなこれらの微細構造が明瞭に残っていることは、分子レベルでの保存も期待できることを強く示唆する。この結果に基づき、貴重な化石試料を用いた破壊分析をいきなり行うのではなく、まずは信頼性の高い予備調査手法を確立するため、現生の軟骨魚類（アカエイ）の軟骨を対照試料として用い、非脱灰状態のまま軟骨組織中の II 型コラーゲンを特異的に可視化する組織染色手法の確立に着手している。この手法が確立されれば、化石試料へのダメージを最小限に抑えつつ、タンパク質が豊富に残存する領域を特定し、その後の質量分析をより効率的かつ確実に行うことが可能となる。

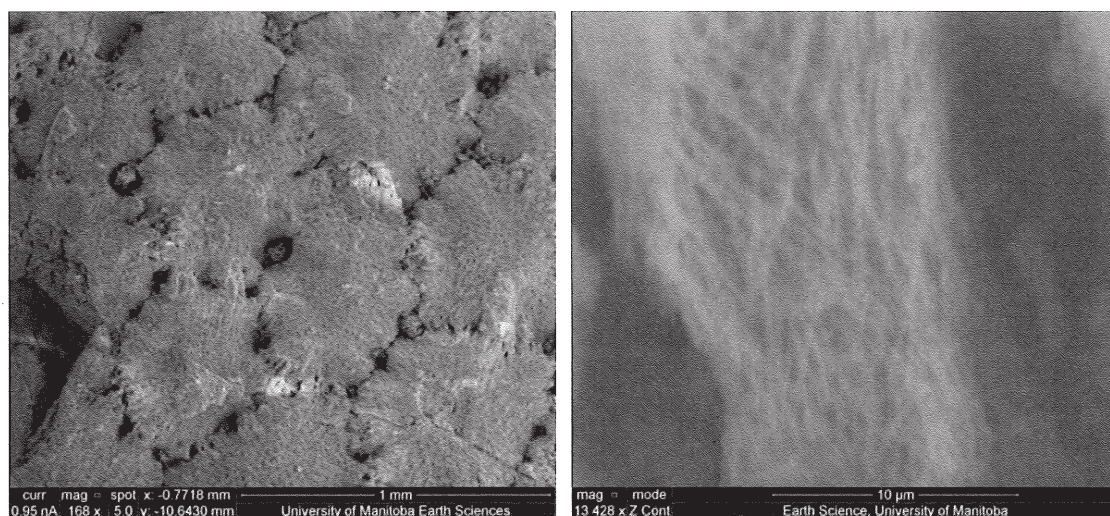


図 3. 軟骨魚類化石「Dave」試料の電子顕微鏡写真. 極めて良好に保存された軟骨の微細構造. 線維状の構造が観察される (右).

5. 今後の展望

本研究は、我々が開発したタンパク質分析手法が、これまで分析が困難であった北米産の恐竜化石にも有効であることを示唆した点に大きな意義がある。コリトサウルスの分析結果は、①電子顕微鏡による微細構造、②電気泳動による分子量、③質量分析によるアミノ酸配列情報という、3つの独立した分析から整合性の取れた結果を示しており、内在性 I 型コラーゲンの残存を強く支持するものである。この成功は、我々の手法がモンゴルのような特殊な保存環境だけでなく、より多様な地質環境の化石にも適用可能であることを示しており、古タンパク質学研究的対象を大きく広げるものである。

一方、軟骨魚類化石「Dave」の分析は、今後の研究に大きな可能性を示すものとなった。FESEM で確認された驚くほど良好な微細構造の保存は、この試料がタンパク質研究の新たなターゲットとなりうることを示唆している。これまでの古タンパク質学研究的は、骨の主成分である I 型コラーゲンに大きく依存してきた。しかし、「Dave」のような保存の良い軟骨化石は、軟骨組織の主要な構造タンパク質である II 型コラーゲンを分析する絶好の機会を提供する (Yoon, 2022)。II 型コラーゲンは、3本の同一な $\alpha 1(\text{II})$ 鎖から構成されるホモ三量体であり、単一の遺伝子 (COL2A1) にコードされているため、分析ターゲットとしてより直接的である。

II 型コラーゲンのアミノ酸配列を解読できれば、軟骨魚類の初期進化や系統関係に新たな可能性を見出すことができる。コラーゲンタンパク質は、構造維持のために機能的に制約されているものの、種間でアミノ酸置換が十分に蓄積されており、系統解析に有用な情報を含んでいることが知られている (Coates et al., 2021)。特に、条鰭類 (硬骨魚類) の研究では、I 型コラーゲンのアミノ酸配列から構築された系統樹が、ゲノム情報に基づく系統樹と高い一致を示すことが報告されており、コラーゲン配列が信頼性の高い系統シグナルを持つことが実証されている (Coates et al., 2021)。軟骨魚類は、現生顎上綱の初期分岐群として極めて重要な系統的位置を占めるため (Inoue et al., 2013)、II 型コラーゲンという新たな分子マーカーを用いることで、従来の形態学的、あるいはミトコンドリア DNA 解析では解明が困難であった系統関係に、独立した視点から迫ることが可能となる。

今後の展望として、本研究で得られた知見をさらに発展させたい。第一に、「Dave」からの II 型コラーゲンの抽出・配列解読を完遂し、軟骨魚類の系統樹における位置付けを試みる。第二に、我々の手法を、より多様な分類群や時代の化石へと展開する。特に、コラーゲンよりも進化速度が速く、より近縁な種間の識別にも有効とされるオステオカルシンなどの非コラーゲン性タンパク質 (NCPs) の分析は、古タンパク質学の次なるフロンティアである (Szewczuk, 2021; Nielsen-Marsh et al., 2002)。最終

的には、複数のタンパク質マーカーを組み合わせたマルチマーカー解析を行うことで、より解像度と信頼性の高い系統樹を構築し、数億年にわたる生物の進化史を分子の言葉で読み解くという、我々の最終的な目標に近づくことができると確信している。

謝辞

本研究の遂行にあたり、多大なるご支援を賜りました公益財団法人 八雲環境科学振興財団に心より御礼申し上げます。また、貴重な化石試料のサンプリングにご協力いただいたマニトバ大学の Kirstin S. Brink 博士、ならびに王立オンタリオ博物館の David Evans 博士に深く感謝いたします。質量分析にあたっては、北海道大学創成研究機構オープンファシリティの支援を受けました。関係各位に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Buckley, M., Walker, A., Ho, S. Y. W., et al. (2008). Comment on "Protein Sequences from Mastodon and Tyrannosaurus rex Revealed by Mass Spectrometry". *Science*, 319(5859), 33.
- Buckley, M., Lawless, C., & Rybczynski, N. (2019). Collagen sequence analysis of fossil camels, *Camelops* and cf. *Paracamelus*, from the Arctic and sub-Arctic of Plio-Pleistocene North America. *Journal of Proteomics*, 194, 218-225.
- Coates, M. I., et al. (2021). Phylogenetic analyses of ray-finned fishes (Actinopterygii) using collagen type I protein sequences. *Royal Society Open Science*, 8(8), 210868.
- Green, R. E., Krause, J., Briggs, A. W., et al. (2010). A Draft Sequence of the Neandertal Genome. *Science*, 328(5979), 710-722.
- Inaba, H., Chiba, K., Saneyoshi, M., et al. (2025). New Application of Histological Staining for Visualization of Endogenous Proteins in Fossil Material. *Journal of Proteome Research*.
- Inoue, J. G., et al. (2013). Revealing less derived nature of cartilaginous fish genomes with their evolutionary time scale inferred with nuclear genes. *PLoS ONE*, 8(6), e66400.
- Lee, S. Y., et al. (2021). Optimization of Collagen Extraction from Whiting Fish (*Merlangius merlangus*) Skin Using the Taguchi Method and Its Characterization. *Foods*, 10(11), 2829.
- Nielsen-Marsh, C. M., et al. (2002). Osteocalcin protein sequences of Neanderthals and modern primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(24), 15286-15290.
- Orgel, J. P., et al. (2024). Collagen fibril assembly and the D-band. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(23), e2401133121.
- Saitta, E. T., Liang, R., Lau, M. C. Y., et al. (2019). Cretaceous dinosaur bone contains recent organic material and provides an environment conducive to microbial communities. *eLife*, 8, e46205.
- Schweitzer, M. H., Schroeter, E. R., & Cleland, T. P. (2019). Paleoproteomics of Mesozoic Dinosaurs and Other Mesozoic Fossils. *Proteomics*, 19(16), 1800251.
- Stylianou, A. (2022). Assessing Collagen D-Band Periodicity with Atomic Force Microscopy. *Materials*, 15(4), 1608.
- Szewczuk, M. (2021). Overview of Paleoproteomics. *Journal of Proteomics & Bioinformatics*, 14(8), e126.
- Yoon, C. (2022). Collagen Type II as Building Block in Cartilage Engineering Approaches: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(23), 14646.

大山ブナ二次林における 17 年間の林分動態

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域

廣部 宗・宮崎祐子

はじめに

森林は国土の 7 割を占める最も主な植生タイプであり、バイオマス資源の生産だけでなく炭素蓄積や洪水緩和をはじめ様々な生態系サービスを提供していることから(林野庁, 2024)、それらを持続的に維持管理していかなければならない。

ブナ林は我が国の冷温帯を代表する森林生態系であり、世界遺産に登録されている白神山地をはじめとしてブナ林の保全についての関心は高い。ブナ林の全国的な分布には冬季の低温の程度、夏季の湿潤さ、および積雪の多寡などの気候要因が複合的に関わっているとされている(八木橋ら, 2003)。これらの要因がブナ林の分布におよぼす影響の相対的重要性は地域によって異なるが、温暖化しつつある現在の地球環境とそれに伴う気候変動がブナ林の分布に及ぼす影響は避けられないと考えられる。

中国地方の高海拔地にもブナ林が分布しており、これらのブナ林を変動する地球環境のもとで今後持続的に管理していくためには、その構造と長期的な動態の解明が不可欠である。我が国におけるブナ林の長期動態研究はこれまで多くなされてきているが(Nakashizuka, 1984, 1988 など)、原生林または原生林に近い状態にある天然林で実施されたものがほとんどであり、二次林における知見は少ない。二次林とは自然災害や伐採などによりそれまでであった森林が失われ、その後に自然に再生した森林のことを指し、植生遷移の途中段階にある。我が国では、1960 年代前後まで薪炭林などとして利用され、その後放置されて成立したブナ二次林も代表的な植生の一つである(深町, 2002)。

そこで本研究では、2007 年に永久調査区が設置されている大山ブナ二次林における再調査を通じて、17 年間の林分動態を明らかにすることを目的とした。

調査地と方法

・調査地

調査地は鳥取県西伯郡大山町の大山国有林内に位置するブナ二次林(35°21'N, 133°32'E)である。調査地の標高は約 990m、斜面方位は南南西で 11~12° 程度の緩傾斜である。調査地から約 7km 離れた大山寺における年平均気温は 10.5℃、平均降水量は 3635mm である。

2007 年 5 月、調査地内にササ型林床および低木型林床を含む 40m×240m の調査区を斜面横断方向に設置した。

・毎木調査

調査区内に存在する胸高直径(Diameter at Breast Height: DBH) 2cm 以上の樹木を対象に毎木調査を行った。調査内容は、樹種、DBH、階層(林冠層または下層)および根本位置の測定であり、同様の毎木調査は 2007 年、2013 年および 2018 年に

も実施されている。また、2013 年以降の調査では、過去に調査記録がある樹木幹の生死も確認した。

結果と考察

大山ブナ二次林に設置した 0.96ha 調査区において、2007 年の樹種数は 23 種、幹密度は 916 本・ha⁻¹、胸高断面積合計は 43.6 m²・ha⁻¹であり、17 年後の 2024 年にはそれぞれ 27 種、1188 本・ha⁻¹、胸高断面積合計は 41.0 m²・ha⁻¹であった（表 1）。近隣のブナ成熟林における DBH4cm 以上の樹木を対象とした毎木調査では、幹密度 937 本・ha⁻¹、胸高断面積合計 34.3 m²・ha⁻¹と報告されており（Yamamoto et al, 1995）、毎木調査対象 DBH 基準が異なるため幹密度の比較は困難であるが、大径木によりほぼ決定される胸高断面積合計はブナ二次林で成熟林に比べ値が大きかった。

表 1. 大山ブナ二次林に設置した 40m×240m 調査区における DBH2cm 以上の樹木を対象とした毎木調査結果の概要。

項目	2007 年	2013 年	2018 年	2024 年
樹種数	23	25	28	27
幹密度 (本・ha ⁻¹)	916	848	1151	1188
胸高断面積合計 (m ² ・ha ⁻¹)	43.6	43.7	44.5	41.0

次に、相対胸高断面積が 1%を超える 4 樹種（ブナ、ミズナラ、イタヤカエデ、ミズメ）およびその他樹種の相対幹密度（図 1）および相対胸高断面積（図 2）の変化を見てみると、時間経過とともにミズナラの相対幹密度および相対胸高断面積が減少する一方、ブナの相対幹密度および相対胸高断面積は増加していること、ミズナラの相対幹密度および相対胸高断面積の減少は直近の 2018 年から 2024 年でそれ以前に比べ大きいことがわかった。これらは、2007 年以降も二次遷移の進行により同森林におけるブナの優占率が高まっていることを示している。また、近年におけるミズナラ相対幹密度および相対胸高断面積の大きな減少は、2014 年以降に大山周辺でも見られるようになったナラ枯れ（鳥取県, 2024）の被害が、調査地周辺で顕著となったためであると考えられた。ナラ枯れは、原因となる昆虫（カシノナガキクイムシ）が穿孔する際に大径木を選択する傾向があり（赤石ら 2006）、調査区内で最大胸高直径を持つミズナラ（2018 年時点で 124.1cm）も含め、多数のミズナラ大径木の死亡が確認されている。

2024 年毎木調査の結果を用いて、相対胸高断面積が 1%を超える 4 樹種の直径階頻度分布図を作成したところ（図 3）、2007 年における相対頻度のピークは全ての樹種で既存木の成長により 2024 年にはより大きい直径階へ移動した。また、4 樹種のうちミズナラとミズメについては 17 年間最小直径階への新規加入個体がなかったが、ブナとイタヤカエデについては新規加入がみられた。新規加入個体はブナで顕著であり、2024 年のブナの直径階頻度分布は最小直径階の頻度が最も高い L 字型を示したが、その他の樹種では中間直径階の頻度が最も高いベル型に近い型を示した。直径階

頻度分布の型は樹種の耐陰性やギャップ依存性の指標となるとされ (Nakashizuka et al., 1992; Masaki et al., 1992)、L 字型分布を示す樹種は耐陰性が高く、林冠ギャップ依存性が低い一方、ベル型分布を示す樹種は耐陰性が低く、林冠ギャップ依存性が高いと言われている。これらから、本森林では今後ますます耐陰性が高く、林冠ギャップ依存性が低いブナの優占率が高まっていくことが予想される。しかし、ナラ枯れによって枯死した幹は 5~9 年後に幹が折れ、倒伏することが報告されており (斎藤・柴田, 2012)、林内に規模が大きい林冠ギャップが発生することで、耐陰性が低く、林冠ギャップ依存性が高いミズナラやミズメの新規加入がみられる可能性もある。このため、今後も定期的な毎木調査による森林動態の追跡が必要だろう。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大なご支援をいただきました公益財団法人八雲環境科学振興財団に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 赤石大輔・鎌田直人・中村浩二 (2006) コナラ・アベマキ二次林におけるカシノナガキクイムシの初期加害状況. 日本森林学会誌 88(4), 274-278. 深町加津枝 (2002) 地域性をふまえた里山ブナ林の保全に関する研究. 東京大学農学部演習林報告, 108, 77-167.
- Masaki, T., Suzuki, W., Niiyama, K., Iida, S., Tanaka, H. and Nakashizuka, T. (1992) Community structure of species-rich temperate forest, Ogawa Forest Reserve, central Japan. *Vegetatio* 98, 97-111.
- Nakashizuka, T. (1984) Regeneration process of climax beech (*Fagus crenata* Blume) forests IV. Gap formation. 日本生態学会誌 34, 75-85.
- Nakashizuka, T. (1988) Regeneration of Beech (*Fagus crenata*) after the Simultaneous Death of Undergrowing Dwarf Bamboo (*Sasa kurilensis*). *Ecological Research* 3, 21-35.
- Nakashizuka, T., Iida, S., Tanaka, H., Shibata, M., Abe, S., Masaki T. and Niiyama, K. (1992) Community dynamics of Ogawa Forest Reserve, a species rich deciduous forest, central Japan. *Vegetatio* 103, 105-112.
- 林野庁 (2024) 令和 5 年度森林・林業白書.
- 斎藤正一・柴田銃江 (2012) 山形県におけるナラ枯れ被害林分での森林構造と枯死木の動態. 日本森林学会誌, 94, 223-228.
- 鳥取県 (2024) 鳥取県内のナラ枯れ被害状況. <https://www.pref.tottori.lg.jp/100867.htm>
- ハ木橋 勉, 松井哲哉・中谷友樹・埴田 宏・田中信行 (2003) ブナ林とミズナラ林の分布域の気候条件による分類. 日本生態学会誌 53, 85-94.
- Yamamoto, S., Nishimura, N., Matsui, K. (1995) Natural disturbance and tree species coexistence in an old-growth beech - dwarf bamboo forest, southwestern Japan. *Journal of Vegetation Science* 6, 875-886.

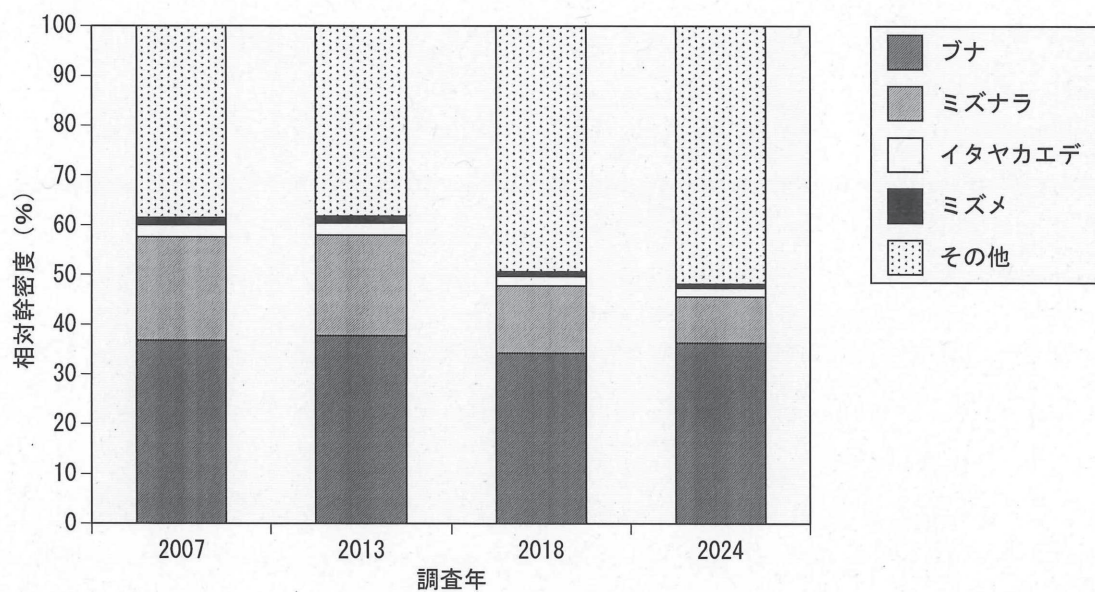


図1. 大山ブナ二次林に設置した 40m×240m調査区における DBH2cm 以上の樹木の相対幹密度の変化.

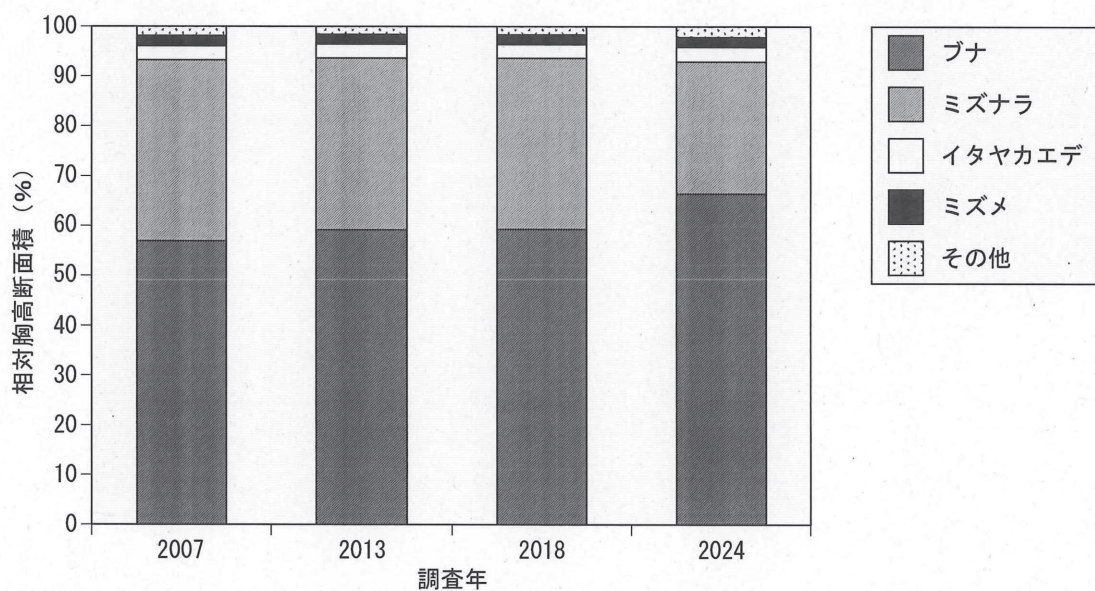


図2. 大山ブナ二次林に設置した 40m×240m調査区における DBH2cm 以上の樹木の相対胸高断面積の変化.

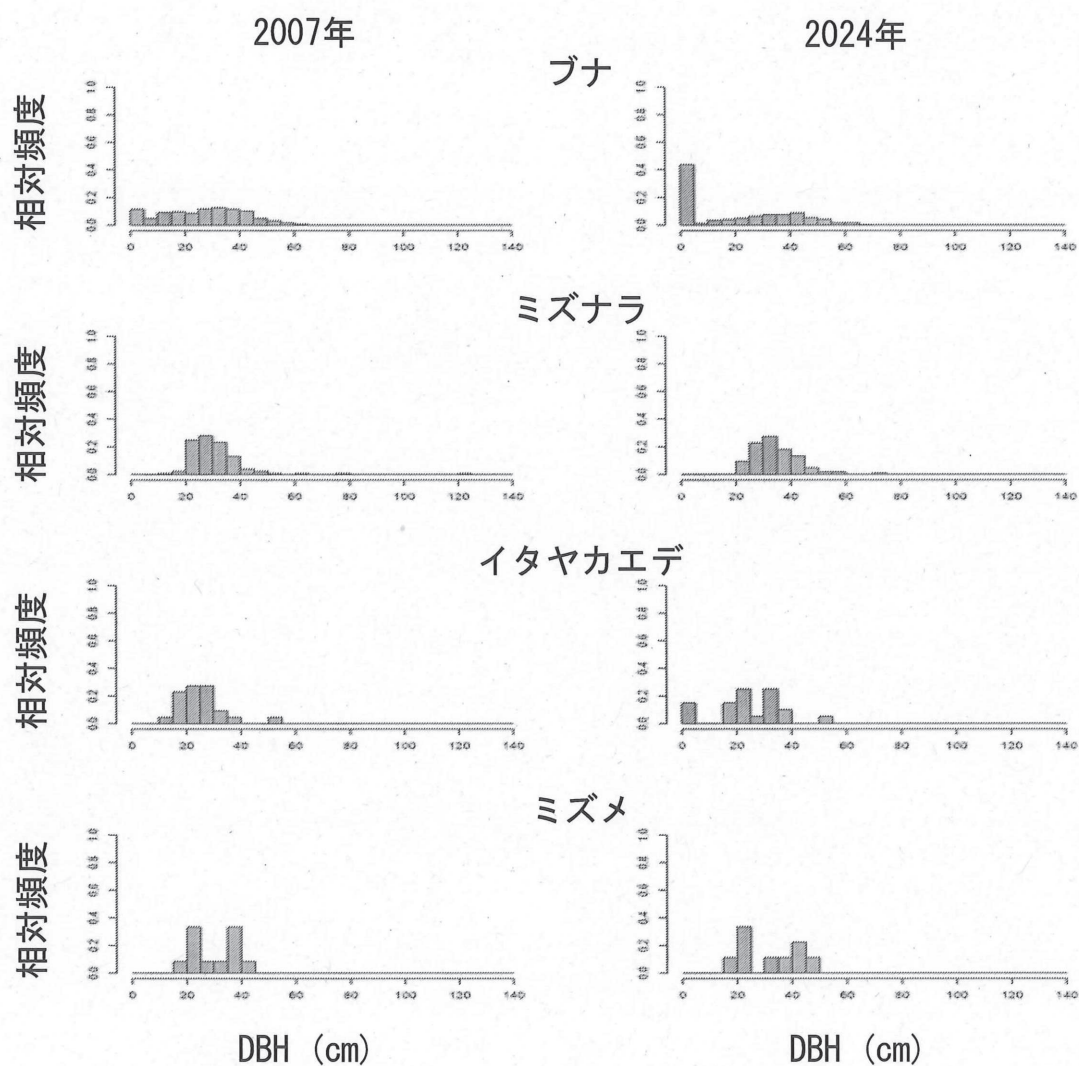


図3. 大山ブナ二次林に設置した 40m×240m調査区において相対胸高断面積が大きい4樹種の直径階頻度分布 (左図: 2007年、右図: 2024年).

1. 緒言

エアロゾルは空気中に浮遊する微小な液体または固体の粒子であり、その中には有機粉塵、花粉などとともに細菌、真菌、ウイルスなどが含まれる。畜産環境のエアロゾルは真菌濃度が高いという特徴があり、長期間の曝露では呼吸器系の疾患が、短期間の曝露では目の炎症、喉の痛み、咳などが引き起こされうる。一方、牛、豚、鶏が身近な環境で育った人は、エアロゾル微生物に継続的にさらされるため、免疫機能が亢進して鼻炎や喘息の発症率が低いという報告もある。都市農村、屋内外を問わず、我々は日常的にエアロゾル微生物にさらされており、その構成や性質によって健康面も影響を受ける。しかし、空気中のエアロゾル微生物叢に関する調査研究は、水や土壌に関するものに比べ乏しい。

畜産環境の微生物叢に関して、公衆衛生あるいは動物衛生上の懸念が示されていることに薬剤耐性がある。現在の抗菌薬は処方半数以上が産業動物に使用されており、環境中に放出された耐性菌が河川、下水などを通して人に伝播する可能性が指摘されている。WHO は、薬剤耐性に関するグローバルアクションプランで「ワンヘルス・アプローチ」すなわち人、動物、環境という分野が横断的に連携することを求めているが、畜産環境のエアロゾルを対象とした調査研究は少なく、農業施設（畜舎）と非農業施設を比較して微生物叢の構成および特性を評価したものはほとんどない。

本研究では、乳牛および肉牛の飼育施設（牛舎）でエアロゾルを採取し、それらに含まれる微生物叢の構成および薬剤耐性保有状況を培養法および非培養法の両方で調べた。また、畜産以外の農業施設（園芸）、非農業施設（公共施設、観光施設、大学）でもエアロゾルを採取し、同様の調査を行って微生物叢とその薬剤耐性保有状況を調べた。乳牛は 2 軒（中国四国酪農大学校のホルスタイン牛舎とジャージー牛舎）、肉牛は 1 軒（岡山大学津高牧場）の農場でサンプルを採取したが、治療目的以外の抗菌剤は基本的に使用していない。園芸農業で抗菌薬が使われることはなく、そこで薬剤耐性が確認されれば、人とモノの移動によって薬剤耐性が拡散、伝播する様子を理解できる。

類似する調査研究が、他国、他地域でなされていないわけではないが、抗菌薬の使用法、薬剤耐性菌の選択割合は国による違いがあり、日本で産業動物に使用される抗菌薬は、 β -ラクタム系、テトラサイクリン系、スルホンアミド系のものが多い。また、都市および農村のいずれでも、環境微生物叢は地域や季節による違いがある。畜産環境のエアロゾル微生物叢に関する調査研究は非常に少なく、中国四国地方でそれを実施する意義は大きい。

本研究では、エアロゾルを落下菌としてではなく、エアーサンプラーを用いて採取した。細菌群および真菌群をそれぞれ選択培地および滅菌フィルターで採取して、多様な微生物種を回収するよう試みた。培養法および DNA 情報に基づく微生物叢解析を行ったが、一部のサンプルで真菌 DNA が微量しか回収できず、PCR の条件検討等を繰り返したものの、ITS rRNA を指標としたアンプリコン解析は未達である。ただし、培養法に基づくデータ、16S rRNA を指標とした細菌叢デ

ータは十分得られており、農業施設と非農業施設のエアロゾル微生物叢を調べた取り組みとして、科学的エビデンスレベルの高い調査事例となった。

2. 材料と方法

2024 年 3 月（春）と 10 月（秋）に、真庭市蒜山および岡山市北区でエアロゾルサンプルを採取した。真庭市では、中国四国酪農学校第 1 牧場（ホルスタイン種酪農；酪農 H）の牛舎内、同第 2 牧場（ジャージー種酪農；

酪農 J）の牛舎内、公共施設（公共）の屋外、道の駅（観光）の屋外で、岡山市では、岡山大学津高牧場（肉牛）の牛舎内、同津島農場（園芸）の施設内、岡山大学農学部屋内および屋外でサンプリングした。真庭市の採取場所は 2 km 以上離れていたが、岡山大学津島農場、農学部の屋内、屋外の採取場所は、200 m 以内の近接した場所にあった。

エアロゾルはエアーサンプラー（MAS-100）を用いて行い、 $100 \text{ L/分} \times 10 \text{ 分} = 1000 \text{ L}$ の空気に浮遊する微生物を、Nutrient Agar（細菌用培地）、Malt Extract Agar（真菌用培地）および滅菌フィルター（細菌、真菌の DNA 抽出用）に捕集した。細菌および真菌の培養は 30°C で行い、生育したコロニーを釣菌して、DNA 情報に基づく菌種同定および薬剤耐性の評価に用いた。滅菌フィルターは細断してビーズ破碎を行い、微生物 DNA を精製して細菌叢および真菌叢解析に用いた。

培養法により細菌 146 株（春 65 株、秋 81 株）、真菌 80 株（春 34 株、秋 46 株）が得られたため、菌種同定は PCR-RFLP でタイピングしてから行った。細菌 16S rRNA 遺伝子の多型検出には制限酵素 Hae III と Hinf I を、真菌 26S rRNA 遺伝子 D1/D2 領域の多型検出には制限酵素を用い、サンガーシーケンスで塩基配列を測定して細菌種および真菌種を同定した。アンプリコン解析は 16S rRNA 遺伝子 V4 領域および ITS rRNA 遺伝子 gITS7-ITS4 領域を標的として行ったが、一部のサンプルで真菌 DNA が微量しか回収できず、MiSeq データは細菌叢についてのみ得られた。

細菌の薬剤耐性は、ペニシリン（ペニシリン系）、セファゾリン（第 1 世代セファロスポリン系）、テトラサイクリン（テトラサイクリン系）、オフロキサシン（ニューキノロン系）およびエリスロマイシン（マクロライド系）に対する耐性の有無をディスク法で調べた。抗菌物質は 1.5 mg/mL で溶解したものを $20 \mu\text{L}$ ($30 \mu\text{g}$ 相当) 滴下した。

3. 結果および考察

培養法で得た細菌 146 株は属レベルで 21 種（*Acinetobacter* sp.、*Arsenicicoccus* sp.、*Atlantibacter* sp.、*Bacillus* sp.、*Brevibacterium* sp.、*Cellulomonas* sp.、*Chryseobacterium* sp.、*Curtobacterium* sp.、*Dermacoccus* sp.、*Enterobacter* sp.、*Exiguobacterium* sp.、*Kocuria* sp.、*Leucobacter* sp.、*Mammaliicoccus* sp.、*Microbacterium* sp.、*Mycobacterium* sp.、*Paenibacillus* sp.、*Pantoea* sp.、*Roseomonas* sp.、*Staphylococcus* sp.、*Streptomyces* sp.）に、真菌 80 株は



図 1. エアロゾルの採取場所と採取方法。岡山県北部 2 ケ所、南部 1 ケ所で畜産環境（牛舎内）のサンプルを採取した。

18種 (*Alternaria* sp.、*Anthracoctystis* sp.、*Aspergillus* sp.、*Aureobasidium* sp.、*Curvularia* sp.、*Dichotomophthora* sp.、*Epicoccum* sp.、*Fusarium* sp.、*Irpex* sp.、*Leptobacillum* sp.、*Lichtheimia* sp.、*Paecilomyces* sp.、*Penicillium* sp.、*Sordariomycetes* sp.、*Sporobolomyces* sp.、*Syncephalastrum* sp.、*Trametes* sp.、*Trichoderma* sp.) に分類された。高頻度で検出された細菌は *Bacillus* sp.と *Staphylococcus* sp.、真菌は *Aspergillus* sp.、*Penicillium* sp.、*Trichoderma* sp. であり、農業施設（畜舎）を特徴づける微生物叢はなかった。一方、農業施設（園芸）を特徴づける細菌として *Microbacterium* sp.が示され、真庭市の公共施設および観光施設では、春サンプルに *Bacillus* sp.と *Staphylococcus* sp.が検出されないという特徴もあった。大学（集団施設）の屋内、屋外で微生物叢に大きな違いは見られず、培養法で調べた細菌叢および真菌叢に基づくと、農業施設と非農業施設に明確な違いはないと判断された。

表 1. 岡山県北部（真庭市蒜山）および南部（岡山市北区）で採取したエアロゾルの培養法による細菌叢（黒字）および真菌叢（赤字）解析結果

真庭市蒜山	春	秋	岡山市北区	春	秋
酪農 H (牛舎内)	<i>Bacillus</i> sp.	<i>Atlantibacter</i> sp.	肉牛 (牛舎内)	<i>Dermacoccus</i> sp.	<i>Arsenicicoccus</i> sp.
酪農 H (牛舎内)	<i>Staphylococcus</i> sp.	<i>Bacillus</i> sp.	肉牛 (牛舎内)	<i>Staphylococcus</i> sp.	<i>Bacillus</i> sp.
酪農 H (牛舎内)	<i>Microbacterium</i> sp.	<i>Staphylococcus</i> sp.	肉牛 (牛舎内)	<i>Bacillus</i> sp.	<i>Acinetobacte</i> sp.
酪農 H (牛舎内)	<i>Anthracoctystis</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp.	肉牛 (牛舎内)	<i>Pantoea</i> sp.	<i>Pantoea</i> sp.
酪農 H (牛舎内)	<i>Dichotomophthora</i> sp.	<i>Trichoderma</i> sp.	肉牛 (牛舎内)	<i>Mammalicoccus</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.
酪農 H (牛舎内)	<i>Curvularia</i> sp.	<i>Sordariomycetes</i> sp.	肉牛 (牛舎内)	<i>Brevibacterium</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp.
酪農 H (牛舎内)	<i>Syncephalastrum</i> sp.		肉牛 (牛舎内)	<i>Penicillium</i> sp.	
酪農 H (牛舎内)	<i>Aspergillus</i> sp.		肉牛 (牛舎内)	<i>Fusarium</i> sp.	
酪農 J (牛舎内)	<i>Bacillus</i> sp.	<i>Bacillus</i> sp.	肉牛 (牛舎内)	<i>Alternaria</i> sp.	
酪農 J (牛舎内)	<i>Staphylococcus</i> sp.	<i>Chryseobacterium</i> sp.	肉牛 (牛舎内)	<i>Aspergillus</i> sp.	
酪農 J (牛舎内)	<i>Arsenicicoccus</i> sp.	<i>Staphylococcus</i> sp.	園芸 (作業施設内)	<i>Bacillus</i> sp.	<i>Bacillus</i> sp.
酪農 J (牛舎内)	<i>Paecilomyces</i> sp.	<i>Sporobolomyces</i> sp.	園芸 (作業施設内)	<i>Microbacterium</i> sp.	<i>Microbacterium</i> sp.
酪農 J (牛舎内)	<i>Lichtheimia</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp.	園芸 (作業施設内)	<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Leucomonas</i> sp.
酪農 J (牛舎内)	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Leptobacillum</i> sp.	園芸 (作業施設内)	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Dermacoccus</i> sp.
		<i>Penicillium</i> sp.	園芸 (作業施設内)	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp.
					<i>Fusarium</i> sp.
公共施設 (屋外)	<i>Curvularia</i> sp.	<i>Bacillus</i> sp.	大学 (集団施設屋内)	<i>Bacillus</i> sp.	<i>Staphylococcus</i> sp.
公共施設 (屋外)	<i>Epicoccum</i> sp.	<i>Paenibacillus</i> sp.	大学 (集団施設屋内)	<i>Staphylococcus</i> sp.	<i>Dermacoccus</i> sp.
公共施設 (屋外)	<i>Penicillium</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.	大学 (集団施設屋内)	<i>Curtobacterium</i> sp.	<i>Roseomonas</i> sp.
		<i>Trichoderma</i> sp.	大学 (集団施設屋内)	<i>Mycobacterium</i> sp.	<i>Bacillus</i> sp.
		<i>Aspergillus</i> sp.	大学 (集団施設屋内)	<i>Kocuria</i> sp.	<i>Pantoea</i> sp.
観光施設 (屋外)	<i>Streptomyces</i> sp.	<i>Pantoea</i> sp.	大学 (集団施設屋内)	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Cellulomonas</i> sp.
観光施設 (屋外)	<i>Epicoccum</i> sp.	<i>Bacillus</i> sp.	大学 (集団施設屋内)	<i>Penicillium</i> sp.	<i>Atlantibacter</i> sp.
観光施設 (屋外)	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Enterobacter</i> sp.			<i>Aspergillus</i> sp.
観光施設 (屋外)	<i>Trametes</i> sp.	<i>Chryseobacterium</i> sp.			<i>Anthracoctystis</i> sp.
		<i>Aspergillus</i> sp.			<i>Trichoderma</i> sp.
		<i>Trichoderma</i> sp.			<i>Aureobasidium</i> sp.
			大学 (集団施設屋外)	<i>Staphylococcus</i> sp.	<i>Exiguobacterium</i> sp.
			大学 (集団施設屋外)	<i>Dermacoccus</i> sp.	<i>Pantoea</i> sp.
			大学 (集団施設屋外)	<i>Bacillus</i> sp.	<i>Staphylococcus</i> sp.
			大学 (集団施設屋外)	<i>Arsenicicoccus</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.
			大学 (集団施設屋外)	<i>Paenibacillus</i> sp.	
			大学 (集団施設屋外)	<i>Irpex</i> sp.	
			大学 (集団施設屋外)	<i>Trametes</i> sp.	

16S rRNA 遺伝子（細菌）および 26S rRNA 遺伝子（真菌）に基づく菌種同定。黄色でハイライトした細菌で薬剤耐性が確認された。

146 株、21 種の細菌について薬剤耐性を調べたが、ほとんどの株が抗菌剤 5 種すべてに感受性で、薬剤耐性を示したのは 5 株、3 種だけであった。オフロキサシン、エリスロマイシンに耐性を示す株は 1 つもなく、薬剤耐性はセファゾリン、テトラサイクリン、ペニシリンに対する単剤あるいは多剤耐性であった。5 株のうち 4 株は春のサンプリングで得られたものであり、4 株のうち 2 株は牛舎（ジャージー種酪農）で採取した *Bacillus* sp.であった。そのうち 1 株はセファゾリンとペニシリンに、もう 1 株はセファゾリンとテトラサイクリンに耐性を示した。春のサンプリングでは道の駅で採取した *Streptomyces* sp.も薬剤耐性を示し、その 1 株はセファゾリン、テトラサイクリン、ペニシリンの 3 剤に耐性であった。また、大学屋外で採取した *Staphylococcus* sp.のうち 1 株がテトラサイクリンに対する単剤耐性を示した。秋のサンプルで薬剤耐性を示した

のは1株だけであり、それは大学屋内で採取した *Staphylococcus* sp.で、耐性はテトラサイクリンに対する単剤耐性であった。

MiSeq によるアンプリコン解析では、478 種の ASV (Amplicon Sequence Variant という分類指標) が確認された。季節および採取場所に関わらず *Sphingomonas* sp.が最優勢で検出され、特に秋のサンプルでは、すべての採取場所で *Sphingomonas* sp.の占有率が 90%以上であった。春のサンプルにおける *Sphingomonas* sp.の占有率は大学屋外 (90%) を除き 15%前後であり、一定 (0.5%程度) の占有率を示す ASV として、*Lactobacillus* sp.、*Phyllobacterium* sp.、*Acinetobacter* sp.、*Bacillus* sp.、*Turicibacter* sp.、*Pseudomonas* sp.、*Mesorhizobium* sp.、*Clostridium* sp.、*Bacteroides* sp.、*Eubacterium coprostanoligenes* group、*Streptococcus* sp.、*Staphylococcus* sp.が認められた。農業施設と非農業施設の違いは非培養法でもみられず、畜産環境に特徴的な細菌叢というより、春と秋という季節によってエアロゾル細菌叢は大きな違いがあると評価された。なお、培養法で得られた情報と比べると、非培養法のアンプリコン解析では腸内容物と関連する細菌種が見出されやすかった。

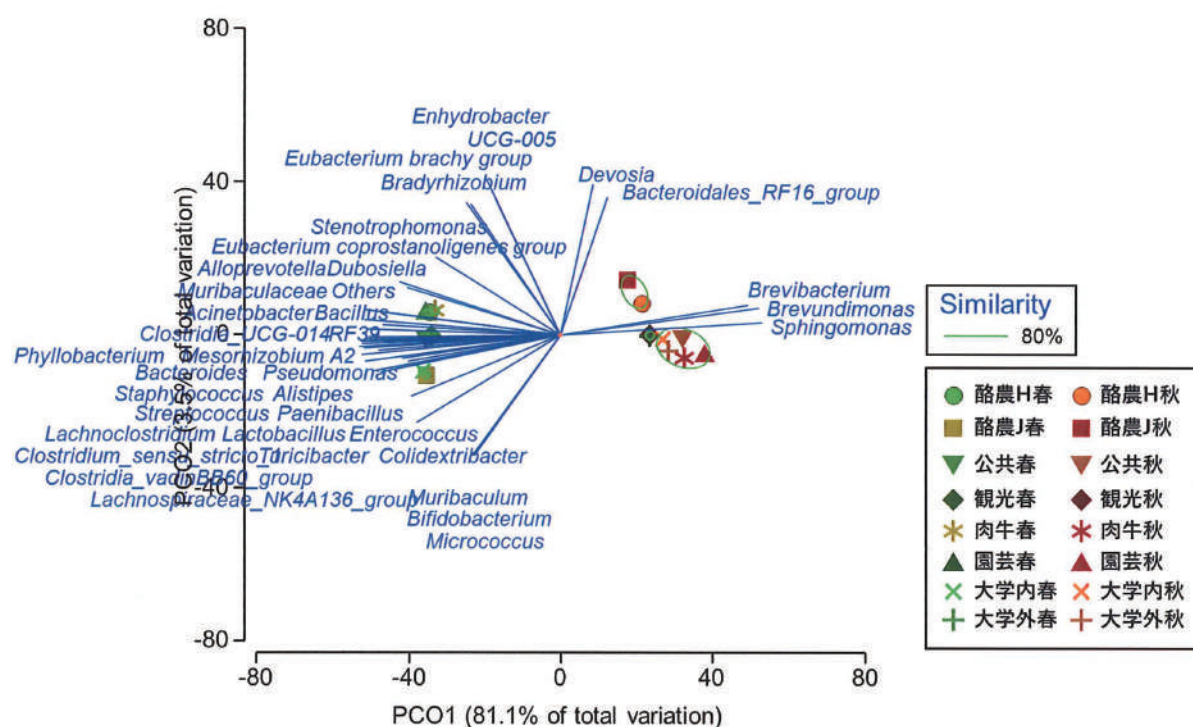


図 2. 16S rRNA 遺伝子 V4 領域を標的としたアンプリコン解析で調べたエアロゾル細菌叢の主座標分析。緑のサークルは類似性 80%以上のグループを示す。細菌叢を特徴づける菌種として、>0.7 の相関係数を示す ASV を記載している。

酪農従事者で古くから問題となっている関連疾病に、農夫肺 (farmer's lung) という過敏性肺炎がある。病因とされるエアロゾル微生物は *Micropolyspora* sp.、*Thermoactinomyces* sp.といった好熱性放線菌であるが、本研究では培養法、非培養法のいずれでもこれらの細菌は検出されなかった。一方、我々はこれまで落下菌のアンプリコン解析で、*Aerococcus* sp.や *Actinomyces* sp.を牛舎内に浮遊する占有率の高い細菌として報告してきた。本研究では 3ヶ所の牛舎で春と秋の 2 回調査を行ったが、*Actinomyces* sp.は低率で検出されたものの、*Aerococcus* sp.は検出した 478 種の中に含まれなかった。エアロゾルの微生物叢はサンプリング手法によって評価が異なる

ことが考えられるが、空中の浮遊菌を強制的に捕集する今回の方法は、科学的により信頼できるものであろう。

牛舎内のエアロゾルは、飼料、牛の体、糞等から発生すると考えられており、飼料から 80～90%、牛の体から<10%、糞から<10%と推定されている。培養法で頻度高く検出された *Bacillus* sp.、*Staphylococcus* sp.、*Aspergillus* sp.、*Penicillium* sp.、*Trichoderma* sp.等はこれらで説明可能であるが、本研究では農業施設と非農業施設で違いが認められなかった。アンプリコン解析で占有率が高かった *Sphingomonas* sp.は水中や土壌に広く認められる好気性菌で、季節に関わらず多数検出されても不思議ではない。しかし、真庭市と岡山市北区はおおよそ 100 km の物理的距離があり、同じ季節でも最低、最高気温は数℃の違いがある。非培養法による細菌叢解析は季節による違いを明確にしたが、*Sphingomonas* sp.の占有率がなぜこれほど変動するのか、農業地域と都市域の違いはこれほど小さいのか等について、調査研究を繰り返して科学的エビデンスのレベルを高める必要があろう。

我々は、不定期ではあるが、畜産食品、土壌、糞便等から分離した細菌の薬剤耐性保有状況を調べている。糞便から得た細菌であれば、単剤あるいは多剤耐性を示す株が数%の割合でみつかることは珍しくない。本研究では 146 株の細菌について薬剤耐性を調べたが、耐性を示したのは 5 株と 3%と少なかった。牛舎で採取した *Bacillus* sp.と *Staphylococcus* sp.に耐性がみられたが、オフロキサシンやエリスロマイシンには感受性であり、人医療のリスクとなるような状況とは思われない。一方、セファゾリン、テトラサイクリン、ペニシリンの 3 剤に耐性を示した *Streptomyces* sp.は、道の駅すなわち観光施設で採取したものである。*Streptomyces* sp.も水中や土壌に広く認められる好気性菌で、道の駅の周囲にあった畑地から浮遊したのかもしれないが、観光施設の訪問客が持ち込んだ可能性もゼロではない。多くの *Streptomyces* sp.は非病原菌であり、多剤耐性菌の検出がそのままリスクとなるわけではない。畜産環境であれ非畜産環境であれ、また都市域であれ非都市域であれ、空中に浮遊する薬剤耐性菌に接する機会は一定頻度であると理解すべきであろう。

けい酸塩系表面含浸材のコンクリートのスケーリング抑制効果と そのメカニズムの解明

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域（工学系） 藤井隆史

1. はじめに

高度経済成長期に建設された社会インフラは、建設後 50 年以上経過し、老朽化が顕著になっている。寒冷地においては、凍害の発生事例が多数報告¹⁾されており、とくに、凍結防止剤が散布される地域では、塩分と凍結融解の複合作用によるスケーリングの促進が問題となっている。スケーリングも含めた凍害の根本的な原因は、コンクリートの細孔中に含まれる水の凍結であり、細孔中の水が凍結により膨張することで不凍水が細孔間を移動し、その際に発生する不凍水圧によりコンクリートの組織が破壊され凍害が生じるとされている²⁾。一方で、塩水中では、凍結と融解を繰り返さずに凍結状態を保持しただけでも劣化が進む。これは、骨材周辺に生じる遷移帯の主成分である水酸化カルシウムが、低温の塩水中では溶解しやすくなることで、遷移帯に入った塩水が水酸化カルシウムを溶かし、その隙間に溜まった塩水中の淡水部が凍結することで膨張圧が生じ、ひび割れを発生させ、塩水中の真水が凍結すると塩水の塩分濃度が高まり、さらに多くの水酸化カルシウムを溶かし、その隙間を広げていくことで破壊に至ることを著者らは示している³⁾。

スケーリングの対策は、一般には水セメント比の低減や AE 剤による空気の連行が行われている。また、これらに加え、コンクリートの表層部を樹脂や撥水剤によって、コンクリートへの吸水・透水を抑制することが、スケーリングの対策として行われている⁴⁾。コンクリート表層部を改質する工法の一つとしてけい酸塩系表面含浸工法がある。けい酸塩系表面含浸材は、細孔中のカルシウムイオンとけい酸イオンが反応してセメント水和物に近い C-S-H ゲルを形成させることで表層部の組織を改質する工法である。けい酸塩系表面含浸材には、塩化物イオンの浸透抑制効果があり⁵⁾、スケーリングに対しても効果が確認されている⁶⁾。けい酸塩系表面含浸材によるスケーリングの抑制効果を高めるためには、施工前のコンクリートを湿潤状態にして、けい酸塩系表面含浸材を塗布した後も、長く湿潤状態を保つことが必要である⁶⁾。すなわち、けい酸塩系表面含浸材

が十分に反応することが、スケーリングの抑制効果を高めることになる。本研究では、けい酸塩系表面含浸材によるスケーリングの抑制効果について、モルタル小片の凍結融解試験を用いて検討を行った。凍結融解作用を促進する塩化物イオンおよび凍結時に塩化物イオンによって溶解しやすくなるカルシウムイオンに着目し検討した。

2. 実験概要

2.1 試験方法の概略

スケーリング試験は、ASTM C 672, RILEM CDF, JSCE-K 572, JSCE-C 507 などの方法がある。本研究では、これらの試験のうち、スケーリング試験の結果が明確にかつ短時間に現れる JSCE-C 507 に基づく小片試験体を用いた塩水中での凍結融解試験⁷⁾により、検討を行った。

2.2 使用材料および配合

セメントには、普通ポルトランドセメント（密度：3.15g/cm³、ブレン値：3,350cm²/g）を、細骨材には、硬質砂岩砕砂（表乾密度：2.65g/cm³、吸水率：1.53%、粗粒率：2.93）を用いた。モルタルの配合は、JSCE-C 507-2018 に示される配合を参考に、1 バッチ当たり水 300g、セメント 600g、表乾状態の細骨材 1,350g の割合で用いた。また、フライアッシュ I 種（密度：2.40g/cm³、ブレン値：5,650cm²/g）も実験に用いた。フライアッシュを用いる場合には、セメント質量の 30%を置換して用いた。モルタルが凍結融解作用によって劣化しやすくし、けい酸塩系表面含浸材の効

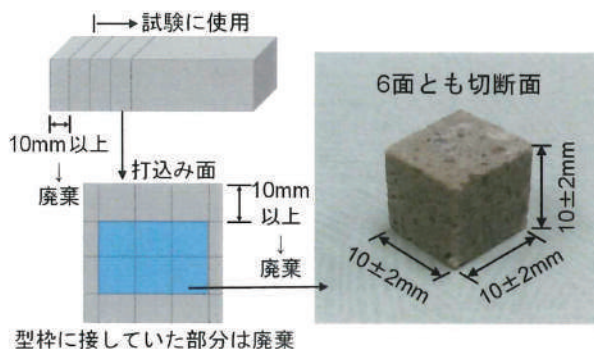


図-1 小片試験体の作製方法

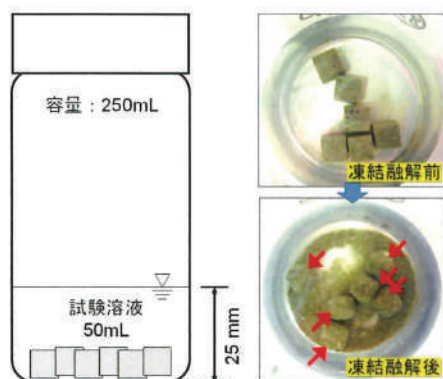


図-2 小片凍結融解試験に用いた容器と凍結融解試験中の小片の状態

果が明確に分かるようにするため、AE 剤は、用いていない。内在塩分の影響を検討する場合には、1 バッチ当たり 40g および 80g の塩化ナトリウムを練混ぜ水に溶かして添加した。けい酸塩系表面含浸材は、けい酸ナトリウムを主成分とする反応型のもの（密度：1.26g/cm³、乾燥固形分率：32.5%）を使用した。

2.3 小片試験体の作製、含浸材の塗布方法

小片試験体の作製方法の概要を図-1 に示す。モルタルを練り混ぜ後、40×40×160mm の型枠に打ち込み、24 時間室内で養生した後に脱型し、温度が 40±2℃ の水中養生を材齢 56 日まで行った。材齢 28 日以降の水中養生期間中に、湿式ダイヤモンドカッターを用いて 1 辺が 10±2mm となる小片試験体を作製した。この時、材料の均質性を確保するため、型枠端部から 10mm と、打込み面から 10mm の部分は破棄した。また、側面から 5mm 程度の型枠に接する部分も廃棄し、6 面全てが切断面になるようにした。

含浸材の塗布は、表面の水をふき取った小片試験体を十分な量の含浸材に 30 分間浸漬させ、しずくが概ね落ちる程度まで液切りした後、20±2℃ の恒温恒湿度室内にて、底に水を張り相対湿度が 100%RH 近くに保たれた湿気箱内に 7 日間静置させた。

2.4 試験方法

(1) 小片凍結融解試験

図-2 に示すように、容量が 250mL のポリプロピレン製の容器に所定の養生および処置を終えた小片試験体 6 個と質量パーセント濃度で 5% の塩化ナトリウム水溶液（以下、塩水）を 50mL 入れ、図-3 に示すように、16 時間の凍結工程と、8 時間の融解工程の計 24 時間を 1 サイクルとして小片試験体を凍結融解させた。融解工程終了後、図-2 中の矢印に示すモルタル小片を取り出し、表面の水分をペーパータオルで吸い取り、崩れ落ちた部分を取り除き、

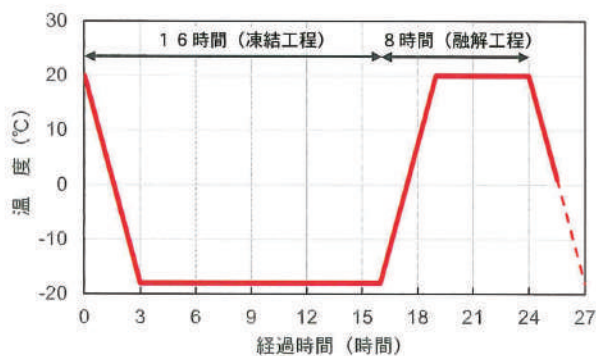


図-3 凍結融解の温度履歴

5mm ふるいに留まるものの質量を測定した。

(2) モルタル中の水酸化カルシウム量の測定

モルタル小片に含まれる水酸化カルシウム量は、熱重量示差熱同時測定装置によって測定した。試料は、モルタル片をメノウ乳鉢ですりつぶし粉末の状態にしたものを用いた。試料を昇温速度 10℃/min で 600℃まで昇温し、450℃付近の水酸化カルシウムの脱水反応による反応域を示差熱の測定結果から読み取り、その間に生じた質量減少量を用いて水酸化カルシウムの含有量を算出した。

(3) モルタル小片から溶出するカルシウムイオン量の測定方法

試験には、図-1 で作製したモルタル小片を用いた。モルタル小片 6 個を塩水に浸漬させた。塩水の量は、モルタル小片 6 個の質量の 4.2 倍とした。温度 20±2℃ で静置し、7 日ごとに塩水を全量抜き取り、新しい塩水に入れ替えた。抜き取った塩水中に含まれるカルシウムイオン量を原子吸光光度計で定量した。

3. 実験結果および考察

3.1 けい酸塩系表面含浸材の効果

図-4 は、モルタル小片試験体を用いて、凍結融解抵抗性に塩水の濃度が与える影響を調べた結果である。蒸留水を用いて試験を行ったものは、50 サイクルまでは、劣化はほとんど生じていない。一方、塩水を用いたものでは、塩水の濃度が高くなるほど、小片試験体の劣化が大きくなっており、濃度が 3% 以上のものは、試験開始後、直ぐに質量が急激に減少し 10 サイクルで質量残存量がほぼ 0 となっている。このように、塩水中では、凍結融解による劣化が著しく進行することが分かる。塩水中で凍結融解による劣化が促進される要因の一つとして、骨材周辺の遷移帯の主成分である水酸化カルシウムが、塩

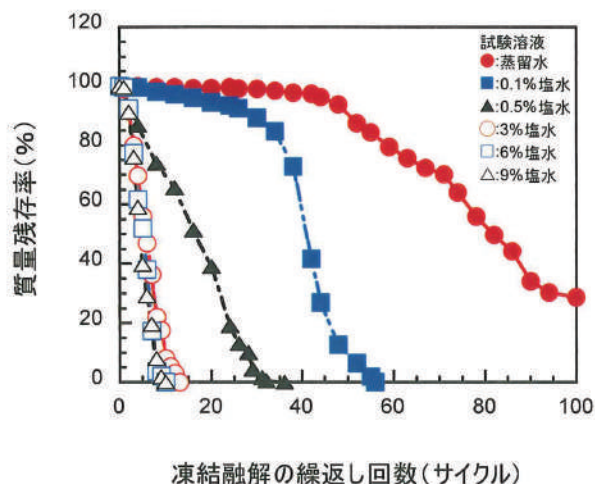


図-4 塩水濃度が凍結融解抵抗性に及ぼす影響

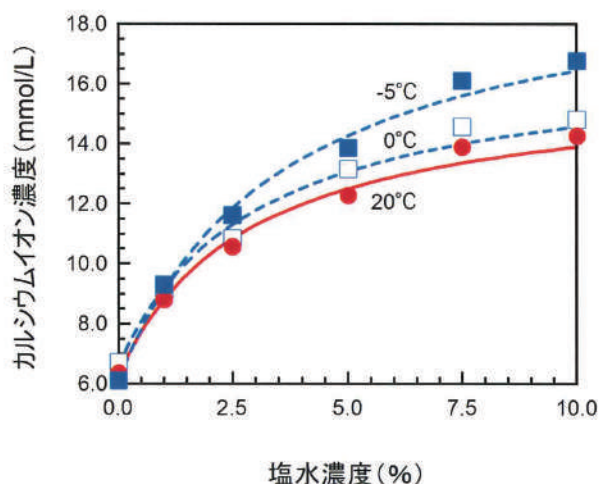


図-5 塩水濃度とカルシウムイオン量の関係

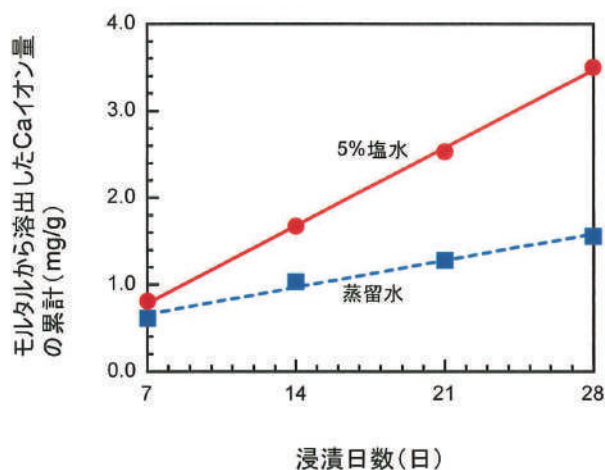


図-6 砕砂を用いたモルタルからのカルシウムイオンの溶出

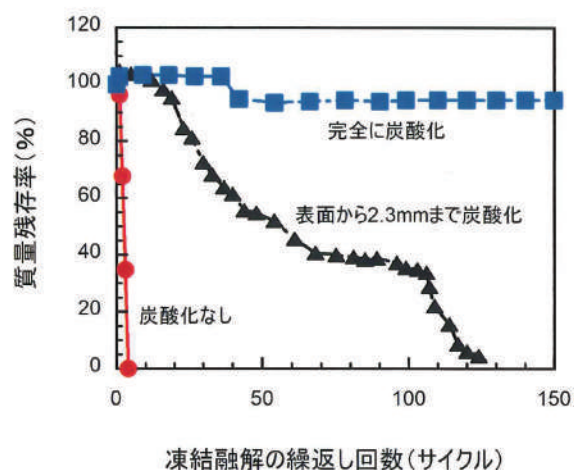


図-7 炭酸化させたモルタルの小片の凍結融解抵抗性

水中で溶解しやすくなることが考えられる³⁾。

図-5は、容量が250mLの塩化ビニル製の容器に、水酸化カルシウム 2g と蒸留水または所定の濃度に調製した塩水 200g とを入れ、マグネチックスターラーを用いて 20 時間攪拌し、上澄み液中のカルシウムイオン濃度を測定したものである。溶液は、-5℃、0℃および 20℃の恒温槽内で攪拌を行った後、4 時間静置し、水酸化カルシウムを沈殿させた。その後、上澄み液だけを 2 分間吸引ろ過し、ろ液を採取した。採取したろ液中のカルシウムイオン濃度は、原子吸光光度計を用いて定量している。水酸化カルシウムは、低温ほどよく溶けること⁸⁾が知られているが、この図より、塩水濃度が水酸化カルシウムの溶解に与える影響の方が大きいことが分かる。

図-6は、10×10×10mm の砕砂を用いたモルタル小片試験体を、蒸留水および5%の塩水に浸漬させ、溶液中のカルシウムイオン量を調べた結果である。



(a) 炭酸化なし (b) 2.3mm 炭酸化 (c) 完全に炭酸化
図-8 試験に用いたモルタル小片の炭酸化深さ

この結果は、50mL の凍結水の入った塩化ビニル製の容器に 6 個のモルタル小片試験体を入れ、20℃で静置し、7 日ごとに溶液を取り出し、原子吸光光度計でカルシウムイオン量を定量したものである。なお、溶液は、7 日ごとに全量を入れ替えている。この図より、蒸留水に浸漬した場合よりも、5%の塩水に浸漬させた方が、モルタル小片からのカルシウムイオンの溶出が多くなることが分かる。

図-7は、砕砂を用いたモルタル小片試験体を炭酸化させた後、5%の塩水中で凍結融解試験を実施した

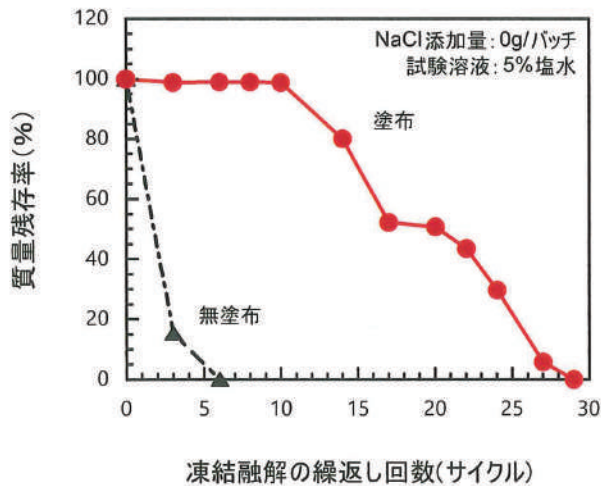


図-9 けい酸塩系表面含浸材の効果

結果である。試験に用いた小片試験体は、3種類で、1つは材齢91日まで水中養生を行った炭酸化させていないモルタル小片試験体で、1つは7日間水中養生を行った後に恒温恒湿度室（温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ ）で692日間気中養生をさせ、表面から2.3mmの深さまで炭酸化させたモルタル小片試験体である。もう1つは7日間水中養生を行った後に、84日間、促進中性化試験槽（温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ 、二酸化炭素濃度 $5.0 \pm 0.2\%$ ）内で促進中性化を行い、完全に炭酸化させたモルタル小片試験体である。図-8に、3種類のモルタル小片試験体を割裂し、1%のフェノールフタレイン溶液を噴霧して撮影した写真を示す。図-7より、炭酸化をさせていない小片試験体は4サイクルでモルタルが崩壊したのに対し、深さ2.3mmまで炭酸化させたモルタル小片試験体は、40サイクル時点でも質量残存率が60%を保っている。また、フェノールフタレイン溶液による呈色域が完全になくなるまで炭酸化した小片試験体は、150サイクル時点でも質量残存率は90%以上を保っている。炭酸カルシウムの水への溶解度は、水酸化カルシウムと比べて100分の1程度である⁸⁾。水酸化カルシウムが炭酸化により、溶解度の小さい炭酸カルシウムになることで、塩水中でカルシウム化合物が溶けにくくなり、凍結融解抵抗性が上がったと考えられる。

3.2 けい酸塩系表面含浸材の劣化抑制効果

図-9は、けい酸塩系表面含浸材を塗布したモルタル小片の凍結融解試験結果を示したものである。けい酸塩系表面含浸材を塗布していないものは、6サイクルですべての小片が崩壊したのに対し、けい酸塩系表面含浸材を塗布したものは、10サイクルまで質量が減少せず、その後、緩やかに減少している。

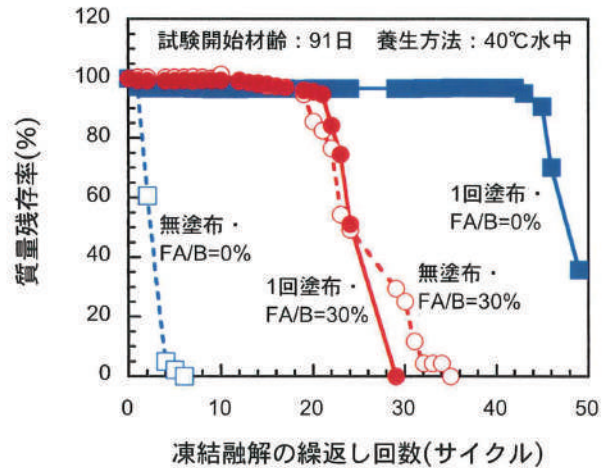


図-10 けい酸塩系表面含浸材の効果に与えるフライアッシュの影響

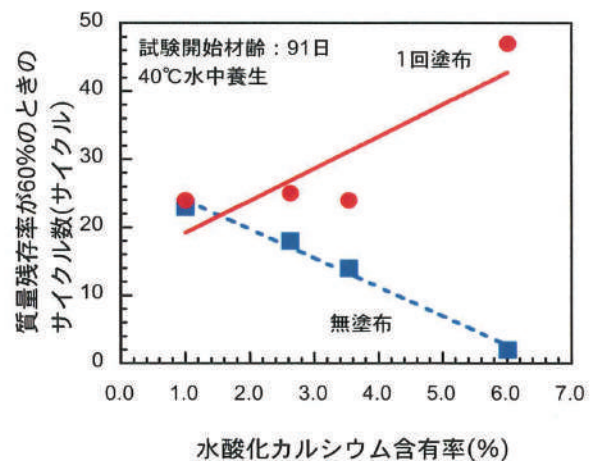
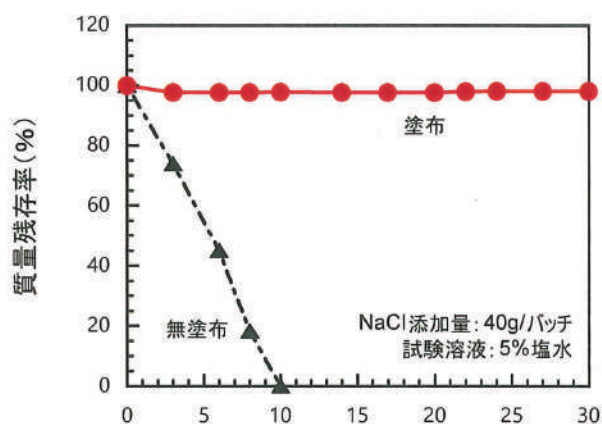


図-11 フライアッシュを使用したモルタルの水酸化カルシウム含有率と凍結融解抵抗性の関係

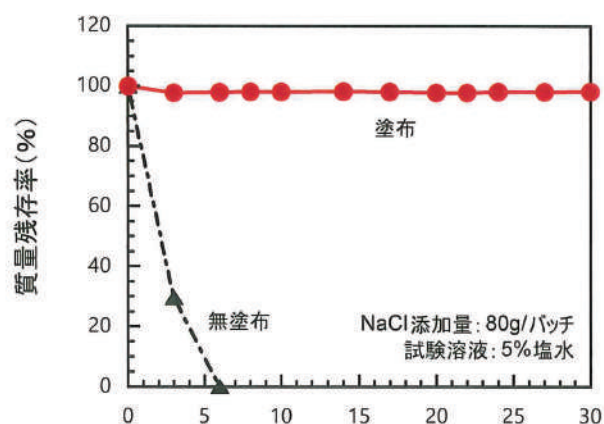
けい酸塩系表面含浸材を塗布することで、塩水中での凍結融解による劣化の進行を抑制することが可能であると言える。

図-10は、フライアッシュを用いたモルタルを用いて、けい酸塩系表面含浸材が小片の凍結融解抵抗性に与える影響を調べた結果である。フライアッシュを用いていない場合、含浸材を塗布することでモルタルの質量損失が抑制されている。これに対して、フライアッシュを結合材の30%置換して用いた場合には、含浸材塗布の有無にかかわらずほぼ同サイクルでモルタル小片が崩壊している。図-11は、フライアッシュを用いたモルタルの水酸化カルシウム含有率と小片凍結融解試験において質量残存率が60%を下回った時のサイクル数の関係を示したものである。フライアッシュは、結合材質量の10%、20%および30%を置換して用いた。フライアッシュを用い



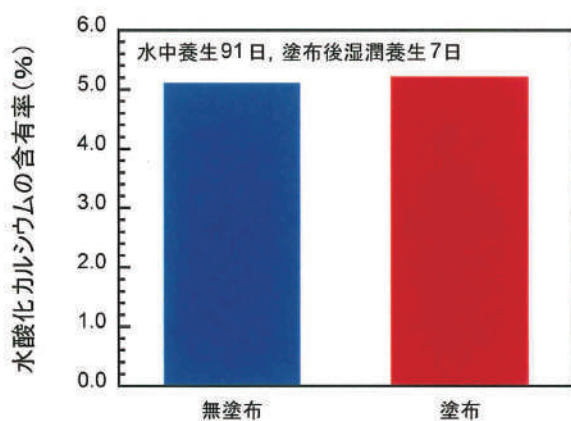
凍結融解の繰返し回数(サイクル)

図-12 40g の塩化ナトリウムを練り混ぜたモルタル小片の凍結融解試験結果



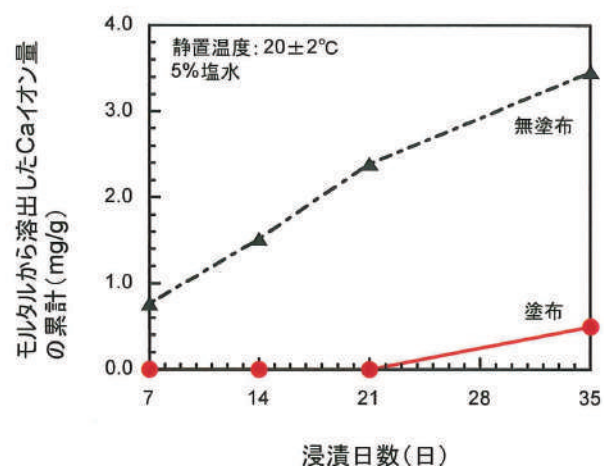
凍結融解の繰返し回数(サイクル)

図-13 80g の塩化ナトリウムを練り混ぜたモルタル小片の凍結融解試験結果



けい酸塩系表面含浸材

図-14 水酸化カルシウム含有量の変化



浸漬日数(日)

図-15 カルシウムイオンの溶出量

ていないものは、セメント量が多く、水和反応による水酸化カルシウムの生成量も多くなるが、水酸化カルシウム含有率が多い場合は、含浸材の塗布により 60%到達サイクル数が異なり、含浸材塗布により凍結融解による劣化が遅くなっていることがわかる。一方で、フライアッシュをセメントの一部と置換して用いた場合には、セメント量が減ることに加え、フライアッシュのポゾラン反応により水酸化カルシウムが消費されることでモルタル中の水酸化カルシウムが減少する。このような水酸化カルシウム含有率が少ない場合は、含浸材塗布の有無に関わらずほぼ同サイクルで質量残存率が 60%に到達している。けい酸塩系表面含浸材は、セメントの水和反応で生じた水酸化カルシウムと反応することで表面を改質するものである。けい酸塩系表面含浸材による凍結融解抵抗性の改善効果は、水酸化カルシウムの生成量が多いものほど大きくなることが確認された。

けい酸塩系表面含浸材が塩水中での凍結融解による劣化を抑制する要因としては、けい酸塩系表面含浸材の反応生成物によるモルタル中への塩化物イオンの浸透の抑制によるもの、けい酸塩系表面含浸材と水酸化カルシウムの反応によって水酸化カルシウムが消費されること、けい酸塩系表面含浸材の反応生成物によってモルタル中からのカルシウムイオンの溶出抑制などが考えられる。

3.3 けい酸塩系表面含浸材の劣化抑制要因の検討

図-12 および図-13 は、それぞれ、1 バッチ当たり 40g および 80g の塩化ナトリウムを添加したモルタルの小片凍結融解試験結果を示したものである。子田らは、外来塩によって蓄積された塩分濃度が高くなるほど、スケーリング量が増加すること、同じ塩分濃度であれば、内在塩の方が外来塩よりも、より著しいスケーリングが生じることを報告している⁹⁾。けい酸塩系表面含浸材がモルタル中の塩化物イオン

の浸透を抑制するため、劣化が抑制されているとすれば、けい酸塩系表面含浸材を塗布しても、塩化ナトリウムを添加したモルタルは、早期に劣化することが考えられる。けい酸塩系表面含浸材を塗布していないものは、塩化ナトリウムを添加量によらず 10 サイクルまでに全て崩壊した。一方で、けい酸塩系表面含浸材を塗布したものは、無塗布のものに比べて、内在塩濃度が高くなっても劣化が抑制されている。このことから、けい酸塩系表面含浸材がモルタル中の塩分濃度の上昇を抑制することによって凍結融解による劣化を抑制しているとは、考えにくい。

図-14 は、けい酸塩系表面含浸材の塗布が、モルタル中の水酸化カルシウムの含有量に与える影響を調べた結果である。材齢 91 日まで水中養生を行ったモルタル小片にけい酸塩系表面含浸材を塗布し、湿潤養生を 7 日行った後に測定を行った。けい酸塩系表面含浸材塗布によるモルタル小片の水酸化カルシウム含有量の差はないことが分かる。けい酸塩系表面含浸材は、カルシウムイオンと反応することで、表層品質を改質するものであるが、モルタル小片全体の水酸化カルシウム量を減少させるほどの反応は生じないと考えられる。

図-15 は、モルタル小片を 5%塩水に浸漬させ、7 日ごとに溶液を取り出し、カルシウムイオン量を測定した結果である。けい酸塩系表面含浸材を塗布していないものは、時間の経過とともにカルシウムイオンが溶液中に溶出しているのに対し、けい酸塩系表面含浸材を塗布したものは、カルシウムイオンの溶出量が著しく少ないことが分かる。けい酸塩系表面含浸材を塗布することで、モルタルの表層が改質され、モルタル内部のカルシウムイオンの溶出が抑制される効果によって、塩水中での凍結融解による劣化が抑制されるものと考えられる。

4. まとめ

本実験によって得られた知見を以下に示す。

- (1) けい酸塩系表面含浸材を塗布すると、塩水中でモルタルが凍結融解作用により劣化するのを抑制する効果がある。
- (2) けい酸塩系表面含浸材のスケーリング抑制効果は、混和材料の使用や中性化促進によって低下

した。これは、混和材料の置換によるセメント量の低減や炭酸化によって母材中の水酸化カルシウム含有率が低下したためと考える。

- (3) けい酸塩系表面含浸材が塩水中でのモルタルの劣化を抑制するのは、モルタル中のカルシウムイオンの溶出を抑制することの影響が大きい。

参考文献

- 1) 庄谷征美, 月永洋一: 東北地方のコンクリート構造物の凍害について, コンクリート工学, Vol.42, No.12, pp.3-8, 2004.12
- 2) 林修, 吉野利幸, 鎌田英治: セメント硬化体の凍害機構モデル, コンクリート工学論文集, Vol.11, No.2, pp.49-62, 2000.5
- 3) 綾野克紀, 藤井隆史, 岡崎佳菜子: 高炉スラグ微粉末および高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの塩水中での凍結融解抵抗性, 土木学会論文集, Vol.79, No.12, 23-00042, 2023.12
- 4) 遠藤裕丈, 田口史雄, 谷本俊充: 寒冷環境下におけるシラン系表面含浸材によるコンクリートの保護効果に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.2081-2086, 2006.6
- 5) 坂元貴之, 武若耕司, 山口明伸, 樋原弘貴: 各種表面含浸材の塩分浸透および中性化に対する抑制効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1625-1630, 2011.6
- 6) 森脇拓也, 大西豊, 藤井隆史, 綾野克紀: けい酸塩系表面含浸材のスケーリング抑制効果に及ぼす施工方法の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.1433-1438, 2021.6
- 7) 小山田哲也, 羽原俊祐, 高橋拓真, 高橋俊介: スケーリング劣化を考慮した新しい凍結融解試験法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.935-940, 2011.6
- 8) 日本化学会編: 化学便覧 基礎編 改訂 6 版, 丸善出版, p. 694, 2021.1
- 9) 子田康弘, 佐久間正明, 岩城一郎: 内在塩あるいは外来塩の蓄積がコンクリートのスケーリング抵抗性に及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.66(2022), pp.422-428, 2013.2

「亜臨界水処理コンブを活用した虫歯予防機能性素材の開発研究」

岡山県農林水産総合センター・生物科学研究所 畑中唯史

1. はじめに

日本人は、歯磨きの習慣があるにもかかわらず、先進国の中でも、虫歯が多い国とされている。虫歯は、虫歯菌がシュクロースを分解してできたグルコースを重合し、バイオフィルム（不溶性 α -グルカン）を形成し、歯に付着する。その後糖類を代謝し乳酸を作り、口腔内環境は酸性になり、歯のエナメル質の脱灰が起こり、う蝕が始まる。このバイオフィルムは、虫歯菌のグルコシルトランスフェラーゼ（GTF）によって形成される（Hoshino et al. 2022）。

既報の GTF 活性測定法は、①シュクロース分解活性をフルクトース定量する方法（Konishi et al. 1999）、②不溶性グルカンを遠心によって回収し、酸で加水分解して、グルコースを定量する方法（Musaka et al. 1979）、③光散乱測定を用いる方法（Komatsu et al. 2011）が知られている。方法①は、初発の反応であり、不溶性グルカン形成とは活性は一致しない。方法②は遠心後、煩雑な工程を伴う方法である。方法③は、特殊な装置を必要とし、多検体同時測定には不向きである。これまでに GTF 反応系に、水溶性デキストランを添加することで、不溶性グルカン形成が加速することが知られていた（Musaka et al. 1979）。我々は、この現

象を利用して、不溶性グルカン形成を濁度で継時変化をモニターすることで、簡便・迅速なストレプトコッカス属細菌由来 GTF による不溶性グルカン形成活性測定法を確立した。

課題名に示す「亜臨界水処理」とは、水に物質を入れてから水温 100°C から 300°C の範囲で、3 ～ 8 MPa の圧力にすると、反応性の高い水になり、加水分解反応を起こし、多くの成分を抽出することができるようになる現象であり、この抽出法は、食品中のタンパク質や多糖類の加水分解やアミノ・カルボニル反応を起こすため、新しい食品が生まれる可能性があり、新たな食品加工法として注目されている（衛藤英男 2013）。

コンブは、養殖時に間引く、海洋生物付着による見た目の悪さなどで、廃棄物が生じる。また、出汁用コンブ製造時にも廃棄物がでる等、未利用部分の多い海産物である。本研究では、この廃棄コンブを原料に、亜臨界水処理を行い、可溶性画分を作製し、その機能性（虫歯予防）を評価し、虫歯予防に資する活性物質の濃縮・同定を目的とする。

2. 材料と方法

2-1. 酵素の調整法

大腸菌用系発現ベクター(pET21(a))にクローンされた *Streptococcus salivarius* ATCC25975 株由来不溶性グルカン合成活性を示す GTF (Puanglek et al. 2016) を大腸菌 BL21(DE3)Star に形質転換し、アンピシリン (50 μ g/mL) 入り LB 培地で 37°C, 終夜培養した。この培養液 0.5mL を、発現用培地であるアンピシリン (50 μ g/mL) 入り Overnight Express Instant LB medium (メルク社製、50mL) に殖菌し、500-mL バッフルフラスコを用いて、30°C, 150rpm で 24 時間振とう培養した。その後遠心 (2,000 x g, 60 分) により集菌し、菌体を-30°Cで終夜保存した。菌体を氷上で溶解後、100mM NaCl, 10mM Na₂S₂O₅, 10% glycerol を含む 10mM リン酸バッファー(pH 6.4) に懸濁し、超音波破碎 (ネッパジーン社製 Elestin NP035P, 破碎 5 分, インターバル 1 分, 計 60 分) した。その後、破碎液を遠心 (2,000 x g, 60 分) し、得られた上清を、100mM クエン酸バッファー (pH 5.3) に透析し、その透析内液を粗酵素液とした。

2-2. GTF 阻害活性評価法

粗酵素液の酵素活性は、シュクロースを基質とし、遊離したフルクトースを、フルクトースアッセイキット (メルク社製) で定量し、1 分間当たり 1 マイクロモルのフルクトースを遊離させる活性

を、1 ユニットとして値付けした。粗酵素液 (0.25U/mL) 100 μ L、亜臨界水処理コンブサンプル水溶液 100 μ L に、蒸留水を 700 μ L 加え、室温 10 分放置する。その後、96 ウェルプレートに 180 μ L ずつ 4 ウェルに分注し、3 ウェルには、1M シュクロース, 10mg/mL 水溶性デキストラン 40 (東京化成社製) を含む 100mM クエン酸バッファー (pH 5.3) を 20 μ L、残り 1 ウェルをブランクとしバッファーのみを添加し、反応をスタートさせた。その後、プレートリーダー (コロナ社製 SH8000) を用いて、測定ごとにミキシングをかけ、25°Cにて 600nm を 3 分毎 60 回測定した。この時、ブランクの Area under the curve (AUC) 値を、サンプルの AUC 値から差し引くことで、GTF による不溶性グルカン合成活性を算出し、亜臨界水処理コンブサンプルの代わりに精製水を添加した AUC 値を 100%として、GTF 阻害率を算出した。

2-3. 虫歯菌によるバイオフィーム形成阻害試験法

日本の小児口腔内由来臨床分離株 (*Streptococcus mutans* MT8148 株) を、マイクロプレートで培養し、形成したバイオフィームをクリスタルバイオレットで染色した後、酢酸で溶出し、吸光度計 (600nm) で比色定量した (Matsunaga et al. 2010)。培養液に、亜臨界水処理 (130°C, 45 分) コンブを終濃度 5 μ g/mL 添加し、阻害効果を検討した。既知の阻

害物質であるエピガロカテキンガレート (EGCg) を終濃度約 0.7 μ g/mL 添加し、ポジティブコントロールとした。

2-4. 遠心式限外ろ過フィルターによる分画方法

亜臨界水処理 (130°C, 45 分) したコンブを、蒸留水で 10mg/mL に溶解し、遠心式限外ろ過フィルター (ミリポア社製 アミコンウルトラ-15) を用いて、分子量による分画を試みた (分画分子量 : 3,000=3kDa, 50,000=50kDa, 100,000=100kDa)。各フィルターを 2 本ずつ使用し、10mg/mL の溶液を各 10mL 入れ (トータル 200mg)、遠心 (2,000g) して、通過画分をその分子量以下、濃縮画分をその分子量以上とした。それぞれを凍結乾燥し、濃度を終濃度 2mg/mL にあわせ、活性阻害試験を行った。また、回収率は、10mg/mL x 20mL = 200mg を 100% とし、各分画の凍結乾燥物の重量から算出した。

2-5. 透析と遠心式限外ろ過フィルターを組み合わせた分画方法

亜臨界水処理 (130°C, 45 分) したコンブ (939mg) を、20mg/mL に溶解し、透析膜 (分画分子量 : 3,500=3.5kDa) を用いて、蒸留水 (4L x 3 回, 5°C) に対して、5°C で 3 回透析した。透析内液 60mL のうち 12ml (全体の 1/5 量) は、そのまま凍結乾燥を行い、残り 48ml (残り 4/5 量) は、遠心式限外ろ過フィルター (ミ

リポア社製アミコンウルトラ-15、分画分子量 : 50,000=50kDa) を用いて、分子量による分画を試みた。フィルターを 4 本使用し、透析内液を入れ、遠心 (2,000 x g, 40 分) して、通過画分をその分子量以下、濃縮画分をその分子量以上とした。回収率は、2-4. の場合と同様に算出した。

2-6. 分子量分布測定

亜臨界水処理 (130°C, 45 分) したコンブを、蒸留水で 10mg/mL に溶解し、遠心式限外ろ過フィルター (ミリポア社製 アミコンウルトラ-15) を用いて、分子量による分画し (分画分子量 : 3,000=3kDa)。通過画分をその分子量以下、濃縮画分をその分子量以上とし、凍結乾燥したものをサンプルとして用いた。カラムに、Shodex OHpak SB-806 HQ (8.0mm I.D. x 300mm, 昭和電工(株)製) を用い、0.3M NaCl を含む 10mM NaPO₄ を溶媒に、流速 (1mL/分) の条件で分離し、RI 検出器で分子量分布を算出した。検量線は、プルラン (P-82 [STANDARD], Shodex) を標品として作成した。

2-7. FT-IR による構造解析

亜臨界水処理 (130°C) したコンブを、15mg/mL に溶解し、遠心式限外ろ過フィルター (分画分子量 : 3,000) を用いて、分子量 3,000 以上の画分を濃縮した。濃縮液を凍結乾燥し、赤外スペクト

ル分析 (Frontier Gold, Perkinelmer、ATR 法) に供し、データベースライブラリーと比較した。

3. 結果と考察

3-1. 亜臨界水処理 (130℃) 時間の検討

130℃の処理時間 (0, 15, 30, 45, 60 分) 処理したサンプルを、終濃度 2 mg/mL 添加し、GTF 阻害率を算出した (図-1)。図-1 (A) に、濁度 (600nm) の経時変化を示し、図-1 (B) に、阻害率を示す。得られた結果から、130℃, 45 分処理が最も高い阻害率を示すことを明らかにした。

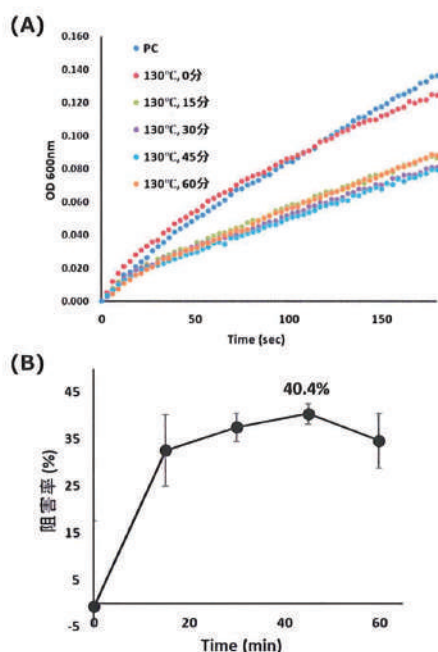


図-1 130℃における亜臨界水処理時間の検討
(A) 亜臨界水処理130℃サンプルによる濁度の経時変化
(B) 亜臨界水処理130℃サンプルによるGTF阻害率

3-2. 虫歯菌によるバイオフィーム形成阻害試験結果

図-2 に試験結果を示すように、EGCg には及ばないものの、亜臨界水処理

コンブによりバイオフィーム形成が阻害されることを確認した。

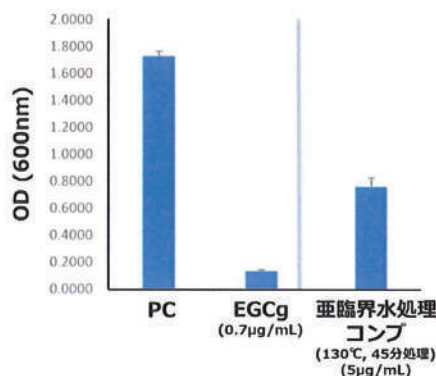


図-2 虫歯菌を用いたバイオフィーム形成阻害試験

3-3. 遠心式限外ろ過フィルターによる分画

亜臨界水処理 (130℃, 45 分) したコンブを、遠心式限外ろ過フィルターにかけ、パス画分及び濃縮画分を凍結乾燥し、終濃度 2 mg/mL 添加し、GTF 阻害率を算出した。3kDa 以下の画分が、最も阻害率が低く、50kDa 以上の画分が最も高い値を示したことから、活性成分は、3~50kDa の間に多く存在することが推測された (図-3)。50kDa 以上、100kDa 以上の回収率が、ほぼ同様の約 60% であることから (表-1)、3~50kDa の分子量画分を濃縮すれば良いことが判明した。

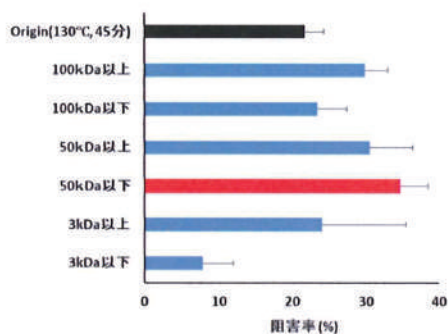


図-3 遠心式限外ろ過フィルターによる各画分のGTF阻害率

表-1 各画分の回収率

200mgスタート	mg	回収率 (%)
3kDa以下	86.5	43.3
3kDa以上	76.3	38.2
50kDa以下	117.9	59.0
50kDa以上	38.5	19.3
100kDa以下	120.8	60.4
100kDa以上	34.0	17.0

3-4. 透析と遠心式限外ろ過フィルターを組み合わせた分画

亜臨界水処理（130℃, 45 分）したコンブを、透析および遠心式限外ろ過フィルターにかけ、パス画分及び濃縮画分を凍結乾燥し、終濃度 2 mg/mL 添加し、GTF 阻害率を算出した。その結果、3.5～50kDa の分子量画分に、阻害物質は濃縮されることを確認した（図-4、表-2）。

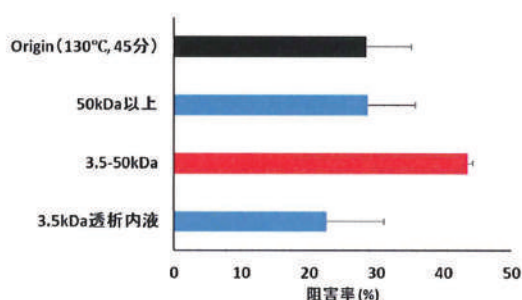


図-4 透析、遠心式限外ろ過フィルターによる画分のGTF阻害活性

表-2 各画分の回収率

サンプル	mg	1000mg換算	回収率(%)
スタート	939	1,000	—
3.5kDa透析内液(1/5)	54.3	289	28.9
3.5-50kDa(4/5)	77.6	103	10.3
50kDa以上(4/5)	138.1	184	18.4

3-5. 分子量分布測定結果

亜臨界水処理（130℃, 45 分）したコンブを、分画分子量 3kDa の遠心式限外ろ過フィルターにかけ、パス画分及び濃縮画分を凍結乾燥し、各々分子量分布を測定した（図-5）。その結果、3kDa 以上の

画分のみに、保持時間 9.9 分付近に、ピークトップ分子量=24.3kDa、数平均分子量=19.9kDa、重量平均分子量=47.5kDa のピークが検出され、このピークに含まれる成分が、阻害活性を示すことが示唆された。

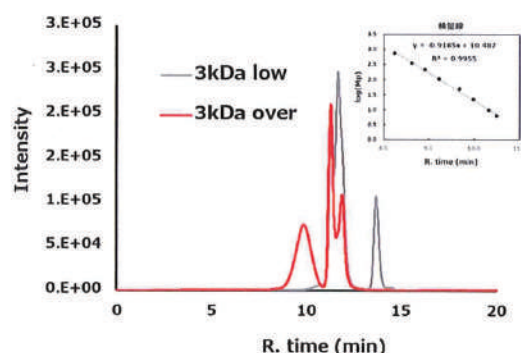
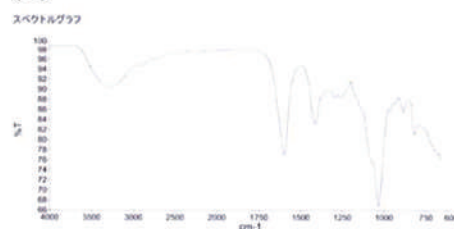


図-5 ゲルろ過カラムによる分子量分布測定

3-6. FT-IR による分析結果

得られたスペクトル（図-6(A)）を、データベースと照合したところ、アルギン酸ナトリウムがヒットし、阻害活性を示す成分の主骨格は、アルギン酸のポリマー（図-6(B)）であることが判明した。

(A)



(B)

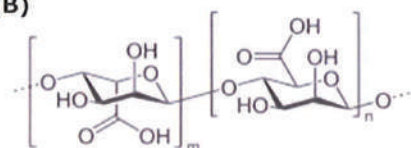


図-6 FT-IRによる分析結果
(A) スペクトル (B) アルギン酸の分子構造

4. まとめ

我々が開発したストレプトコッカス属細菌由来グルコシルトランスフェラーゼ阻害活性評価系を用いて、亜臨界水処理を施すことによって初めて、阻害効果を導けることを明らかにした。その阻害活性を示す成分は、アルギン酸のポリマーを主な骨格とし、分子量 3.5kDa～50kDa の分子量分布をもち、数平均分子量＝19.9kDa、重量平均分子量＝47.5kDa を示すことを明らかにした。さらに、虫歯菌の生菌を用いた評価においても、亜臨界水処理コンブの成分は、バイオフィーム形成を阻害することを確認し、亜臨界水処理コンブの虫歯予防素材としての可能性を示すことができた。

5. 参考文献

- Hoshino T, Fujiwara T. The findings of glucosyltransferase enzymes derived from oral streptococci. *Jpn Dent Sci Rev* 2022;58:328-335.
- Konishi N, Torii Y, Yamamoto T, et al. *J Biochem* 1999;126:287-295
- Komatsu H, Abe Y, Eguchi K, et al. Kinetics of dextran-independent α -(1 $\rightarrow$ 3)-glucan synthesis by *Streptococcus sobrinus* glucosyltransferase I. *FEBS J* 2011;278:531-540.
- Musaka H, Shimamura A, Tsumori H. Effect of salts on water-insoluble glucan formation by glucosyltransferase of

Streptococcus mutans. *Infect Immun* 1979;23:564-570.

- Puanglek S, Kimura S, Enomoto-Rogers Y, et al. In vitro synthesis of linear α -1,3-glucan and chemical modification to ester derivatives exhibiting outstanding thermal properties. *Sci Rep* 2016;6:30479.

衛藤英男 亜臨加水抽出法を用いた食品加工への応用の最近の進歩. *化学と生物* 2013;51(7):457-461.

- Matsunaga T, Nakahara A, Minnatul K.M, et al. The inhibitory effects of catechins on biofilm formation by the periodontopathogenic bacterium, *Eikenella corrodens*. *Biosci Biotechnol Biochem* 2010;74(12):2445-2450.

6. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、助成を賜りました八雲環境科学振財団に深く感謝いたします。また、GTF 発現ベクターを分譲いただいた、東京大学・岩田忠久教授、木村聡先生に感謝いたします。

令和 6 度 国際研究交流助成報告

9. 令和6年度 国際研究交流助成報告

助成対象者	所 属	参加会議	ページ
大橋唯太	岡山理科大学 生物地球学部	2024 年欧州気象学会年次会議	118
LIU KEXIN	岡山大学学術研究院 環境生命自然科学学 域	第 12 回国際河川水理会議	119

※所属は採択時

大 橋 唯 太

岡山理科大学生物地球学部生物地球学科

参加会議名	EMS Annual Meeting 2024 (2024 年欧州気象学会年次会議)
主催団体名	European Meteorological Society (欧州気象学会)
開催期間	2024 年 9 月 2 日～2024 年 9 月 6 日
開催地	スペイン・バルセロナ

表 題 Machine learning approach to predict mortality reduction from summer heatstroke and heart disease through urban modification scenarios for climate change adaptation (気候変動適応のための都市改変シナリオによる夏の熱中症と心疾患の死亡減少を予測する機械学習アプローチ)

<内容>

以下の研究成果内容を発表することができた。猛暑になると熱中症や循環器疾患による死亡数が増加しており、日本では熱中症警戒アラート等の発令によって国レベルでの対策が進められはじめた。しかし、将来の急激な大気の高温化に適応するためには、緑化や風の道など都市規模での改変策も含めた都市自体のレジリエンスの向上も、熱中症など暑熱障害を減らすために急務である。

そこで本研究では、都市気象と建物エネルギーの連成数値モデル（以降 WRF-CMBEM）と、機械学習（以降 AI）を組み合わせることによって、都市域で種々の気候変動適応策の導入が夏の熱中症や心疾患による死亡数をどの程度減少させるか予測する手法を提案した。

ケーススタディとして国内で人口が最も集中する東京 23 区を対象に、過去に猛暑の年となった 2018 年 7～8 月に対して数値シミュレーションを試みた。WRF-CMBEM を用いて、現在（無対策）ケース、地表面緑化ケース、建物排熱削減ケース、太陽光発電導入ケース、高反射屋根（クールルーフ）導入ケースのそれぞれで、東京 23 区の地上気温がどの程度低下するか再現実験を行った。その計算結果を用いて、機械学習であらかじめ学習させておいた気温と死亡数の関係性を各ケースに当てはめたとき、死亡数がどの程度減少するか予測を行った。その結果、緑化ケースが最も効果的で、1km 空間解像度の東京 23 区エリアに対して 50～90 パーセンタイル値で 0.28～0.37℃気温が低下し、死亡ピーク期間の熱中症を 38.9%、心疾患を 17.3%減少させることがわかった。その次にクールルーフケースが気温と死亡数を低下させる能力があり、これら複数の対策ケースを組み合わせた都市への導入がより効果的であることが示唆された。

LIU KEXIN

岡山大学大学院環境生命自然科学研究科

参加会議名	第 12 回国際河川水理会議
主催団体名	国際水文環境工学研究協会
開催期間	2024 年 9 月 2 日～2024 年 9 月 6 日
開催地	リバプール、イギリス

表 題 Numerical Investigation on Flood Control Effects of the Active Use of Floodplain (高水敷の活用による治水効果に関する数値実験の検討)

<内容>

この度は、八雲環境科学振興財団の「国際研究交流助成」を受け、イギリスのリバプールにて開催された River Flow2024 (第 12 回国際河川水理会議) に参加し、15 分の口頭発表を行った。

2015 年の鬼怒川氾濫のように、上流域の高水敷が機能していない河川では、洪水時に下流域で越水・氾濫が発生する可能性がある。そこで、本研究では高水敷の有効活用を目指し、部分的な掘削によるより少ない労力下流域のピークカットが可能な手法を提案した。具体的には、包括的な氾濫解析モデルを用いて数値実験を実施し、掘削による洪水貯留効果を解析した。掘削パターンとしては、水平掘削 (HL)、低水路と同じ勾配を有する傾斜掘削 (SL)、およびこれらの複合掘削 (CB) の 3 種類を設定し、掘削深さは 20 cm および 30 cm とした。掘削の間隔は 500m で、横断方向の長さは 100m、縦断方向の長さは地形の急激な変化を避けつつ掘削深さと勾配に基づいて調整した。さらに、貯留機能を向上させるため、高水敷と低水路の間や掘削箇所の上流側に高さ 0.5m の壁を設置し、横断方向に 25m の排水用ギャップを残した。

その結果、掘削深さ 20 cm の SL パターンが、最も効果的な下流域のピーク流量と水深を低減し、ピーク到達時間の遅延が確認された。また、掘削箇所の流速、水深分布と高水敷の縦断水位変化を詳細に分析することで、CB パターンがより円滑に流量を高水敷へ導入できることが確認された。そこで、さらなるピークカットを得るために、壁の高さを 1.0m に引き上げるケースと、追加の壁を設置するケースについて検討を行った。これらの調整により、4500 m^3/s の超過洪水に対しても 50 m^3/s のピーク流量削減と 30 分程度のピーク到達時間の遅延が可能であることが明らかとなった。

令和 5 年度 研究集会助成報告

10. 令和 5 年度 研究集会助成報告

助成対象者	所 属	集会名	ページ
岸本 昭	岡山大学学術研究院 環境生命自然科学学 域	2024 年日本化学会中国四国支部大会	1 2 1

※所属は採択時

岸本 昭

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域

研究集会名称	2024年日本化学会中国四国支部大会
主催機関名	岡山大学
開催期間	2024年11月6日～2024年11月7日
開催地	岡山大学津島キャンパス

<内容>

2024年11月16日～17日の2日間に渡り「2024年日本化学会中国四国支部大会」を岡山大学津島キャンパスで開催しました。概要は下記のホームページに記載してございます。

<https://nikka.hiroshima-u.ac.jp/csjs/>

中国四国地区の化学者が一堂に会し、最新の研究成果を発表しました。一般研究発表（口頭・ポスター形式）に加えて特別講演（日本化学会会長）と若手招待講演もありました。さらに、化学教育研究、高校生による課題研究発表も行い、若い世代の人材育成にも貢献しました。環境科学のベースとなる広い意味での化学ならびに基礎から応用まで分野を問わず幅広い研究内容が発表されました。環境調和型ポリマー、バイオマス化成品、再生可能エネルギー、電気エネルギーを利用した化学変換、水素生成・貯蔵、二酸化炭素の有効利用など、グリーンケミストリーや環境配慮技術に関する研究の成果も発表されました。

令和 6 年度 研究集会助成報告

11. 令和 6 年度 研究集会助成報告



助成対象者	所 属	集会名	ページ
アルワシャリ ハモード	岡山大学学術研究院 環境生命自然科学学 域	第三回持続可能な地震耐久性建築に関する学術セミナー	1 2 3

※所属は採択時

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域

研究集会名称	第三回持続可能な地震耐久性建築に関する学術セミナー
主催機関名	岡山大学 グリーンイノベーションセンター
開催期間	2024年11月16日～2024年11月19日
開催地	岡山大学の共育共創コモンズ及び林原美術館

<内容>

研究集会「第三回持続可能な地震耐久性建築に関する学術セミナー」は、2024年11月16日から19日にかけて、岡山大学グリーンイノベーションセンター主催、東北大学知のフォーラム共催により開催された。スウェーデン、オーストラリア、ニュージーランド、ドイツ、日本から計12名の海外招聘研究者を含む、65名（研究者・企業関係者・学生・一般参加者）が参加した。

11月16～18日には、岡山県真庭市のCLT製造工場、木材加工施設、バイオマス発電所の技術見学を実施し、地域資源を活用した木材利用の現状を共有した。

11月19日には、岡山大学共育共創コモンズと林原美術館の2会場にて国際セミナーを開催し、木質構造の耐震性能、耐久性、再利用性、複合構造に関する最新研究が発表された（講演内容は別紙参照）。

本セミナーは、国際的な木造建築技術の共有と発展、産学官連携の促進、そして持続可能な社会構築に向けた国際ネットワークの強化に大きく貢献するものであった。

令和 6 年度 その他の助成報告

12. 令和 6 年度 その他の助成報告

助成対象名称	内容	ページ
岡山市少年少女発明クラブ 上田 達伸	センサーを利用したロボコン作品の製作	125
岡山理科大学教育推進機構 基盤教育センター 高原 周一	小学生とその保護者を対象にした科学実績と 科学ショーの実施	128
中国学園大学 子ども学部 佐々木弘記	AR/VR による震災・浸水の疑似体験と非常時の 食事の調理・試食体験を通じて災害に対する レジリエンスを身につけよう！	130

センサーを利用したロボコンカーの製作

岡山市少年少女発明クラブ

1 はじめに

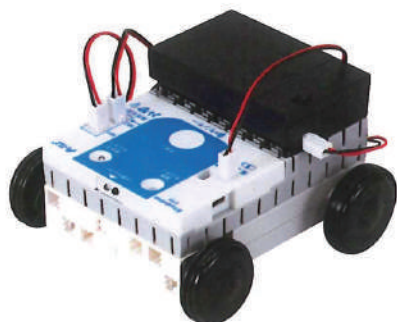
本クラブの目的である発明工夫の活動の中で、昨年度は、ほぼ統一されたロボコンを製作し、「2つの荷物を運ぶ」という基本的なロボコンの課題に取り組むことができた。

今年度は初心者参加者が多いことも考慮し、センサー内蔵の「プロコンカー」を利用し、主に自動走行する仕組みとプログラミングを作成させた。

【使用した機材】

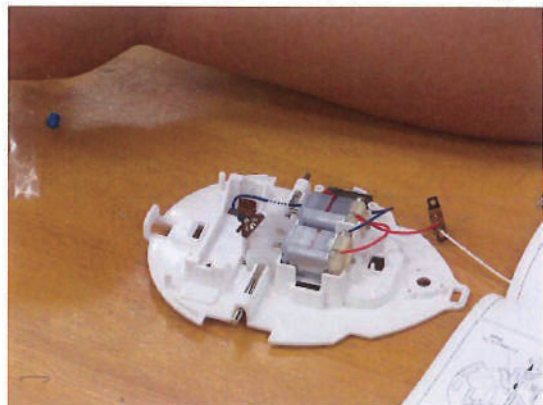
① プロコンカー（アーテック）

2つのギアボックスの車輪による走行装置
明るさセンサー、赤外線フォトリフレクタ
温度センサー、ボタンスイッチ
iPad の Scratch によるプログラミング



2 ロボット製作の練習（壁づたい走行）（10/12）

ロボコンに取り組むのが初めての人が多いため、練習を兼ねて、壁づたい走行のキットを使用して、説明書を見ながら走行装置を組み立てさせた。



3 プロコンカー組み立てとコース走行（10/26）

最初に走るコースを作ってから、説明書通りにプロコンカーを組み立てさせた。写真を見ながらではあるが、向きや位置を間違えることもあったが指摘してやり、全員組み立てることができた。



次に見本を見せて、iPad でプログラムを入力して、直進後、左折する走行することに挑戦させた。

直進の時間を調整し、左折する時間で90度曲がるように調整した。ちょうど90度になるようにするときには何度も数値を変えて試走させていたが、時間切れとなった。

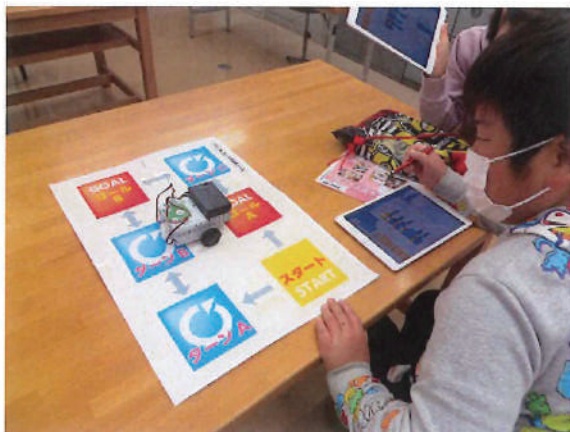


「スタートから左折、右折してゴール」

4 決めたコースを走行（11/16）

前回に引き続き、自分で決めたコースを走るようにプログラムの調整をした。曲がるための時間や直

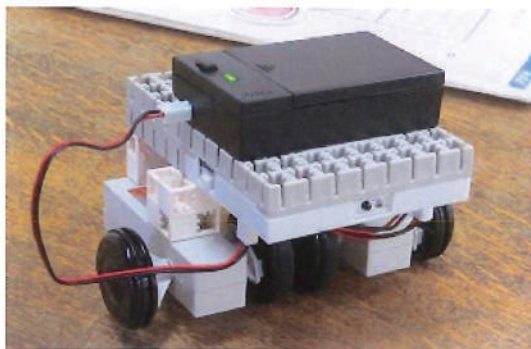
進の時間が分かったので、スムーズにでき、色々なコースを設定していた。



5 黒い線に沿って走る車 (11/30)

まずセンサーを使って、黒色の画用紙の縁に沿って走ることを考えさせた。前回の組み立て方ではセンサーが上を向いているので、下を向くように組み直すのだが、部品の構造上なかなかできにくく苦労していた。見本を示してなんとかできた。

センサーの数値はプログラム画面で確認できるのでそれを見ながら「もし数値が小さければ・・・」とプログラムさせるのだが、外光が影響して暴走することもあったが、なんとかできた。



センサーが下向きの車



6 ライトでリモコン (12/14)

自動的に走るより、リモコンで走るクルマを好むので、小型のライトで右折、左折するプログラムを考えさせた。参考の見本プログラムを見ながら加筆修正、試走を繰り返していた。友達と相談しながらプログラムする姿も見えた。



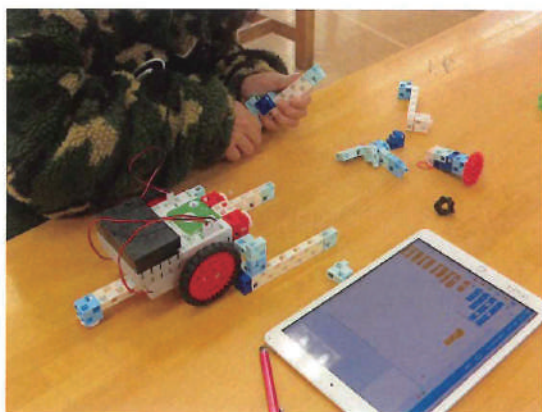
7 自動制御のプログラミング (1/11)

追加部品を用意して、駐車場のゲートを作るように指示した。「車が前に来て、スイッチを押すとゲートが開き、通過すると閉じる」ことを最終目標ですが、「前に来ると空いて通過するとしまる」ことから始めたが、実用的なプログラムは複雑で、なかなかむずかしいことを体験できた。

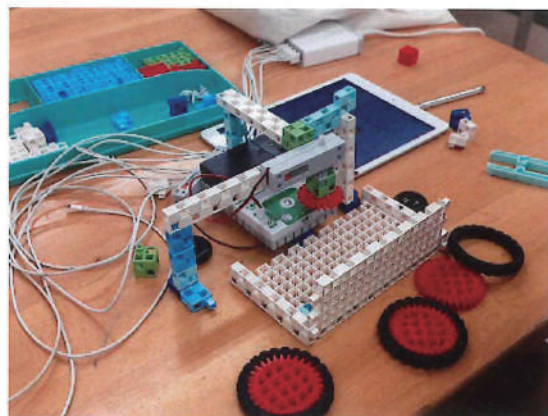


8 自由課題 (2/8,2/22～)

追加部品についているサンプルを元に自分で考えた動きをするロボットカーづくりをして、続けて自分で考えた物を作るようにさせた。



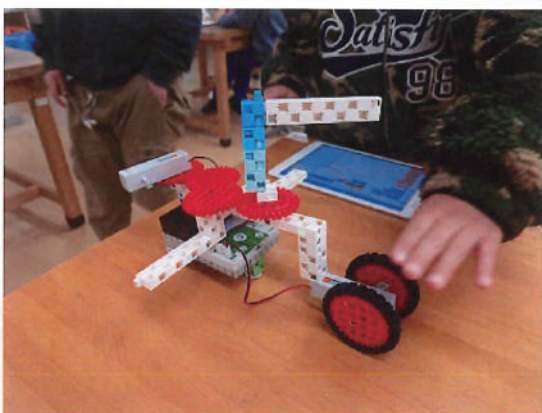
ごみを集めて回る車



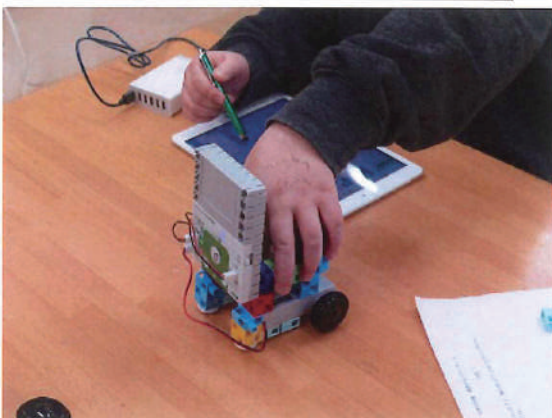
複雑になった自動貯金箱



コインを置くと取り込む自動貯金箱



払いのけながら走るクルマ??



ライトを追いかける車

9 まとめ

最初は見本を示して作らせ、途中から課題を与え簡単なサンプルを示し、自分で考えさせた。何回も作ってみることを繰り返すと最初は全くできなかった人もだんだんと自分で考えながらできるようになった。既製の物を組み立てるのではなく、バラバラの部品を自分の考えた課題に合わせて組み立て、プログラムしていくことができるようになった。

今回はクラブからいろいろな部品を用意して、貸し出す形で作らせたが、用意した色々な部品の中から必要な部品を探して作っていき、持ち帰ることができると思う。

小学生とその保護者を対象にした科学実験と科学ショーの実施

岡山理科大学 科学ボランティアセンター

1. はじめに

岡山理科大学科学ボランティアセンターは、科学・工学教育の振興につながるようなボランティア活動を牽引する人材の養成・認定を行っています。具体的には、科学イベントの主催、地域の方が主催する科学イベントへの学生・教職員の派遣、学生のトレーニング等を行っています。2024年度は延べ750名（実人数140名）の学生や教員が地域の学校・科学館・公民館などに出かけて72件の科学イベントを実施しました。

今回は助成を受けた物品を使用して、小学生でもわかりやすく見て楽しめる実験だけでなく、実際に体験することを通して環境科学の啓発に直接的に寄与することとしました。

2. 活動の特徴

環境に関わる現象や状況について、実験を行ったり視覚的に見せたり体験させたりすることで啓発活動を行いました。今年度は昨年引き続き「手回し発電機」を使った発電の仕組みやエコ体験を実施したほか、新たに海の問題の啓発として「ちりめんモンスター」にとりくみました。学生は本やインターネットで環境科学についても情報を集め、どのような展開にすれば子どもたちが理解しやすいかを考えます。これは学生自身にとっても良い勉強となり、本番も学生が主体となって進めていきます。

体験型・参加型の内容と進行方法により、参加者が実験を十分に楽しむことができ、同時に単に派手な実験を見せるだけでなく、実験をする前にどうなるか予想を聞いたり、原理説明をしたり、一連の実験結果を考察してもらう中で、科学の真の楽しさを実感できるように内容を工夫しています。このことにより、発達段階に応じた科学リテラシーや科学的なものの見方を身につけることを目指しました。



《チリメンモンスター》

3. 実施事業

5月25日	手回し発電機で遊ぼう	岡山市立東山公民館	参加者 11人
6月23日	チリメンモンスター	うかん常山交流センター	参加者 30人
7月13日	手回し発電機でエコ体験	岡山市奉還町商店街	参加者 100人
7月21日	磯の生き物・貝殻標本・魚の解剖	岡山理科大学自然教室	参加者 6人
8月18日	セミの抜け殻・クモの巣標本づくり	岡山理科大学自然教室	参加者 6人
11月3日	チリメンモンスター	人と科学の未来館サイピア	参加者 17人
11月9・10日	チリメンモンスター	ライフパーク倉敷	参加者 300人
11月29日	チリメンモンスター	津島児童学院	参加者 6人

4. 実施者の感想

○発電の内容は小学校で習うこともあり、子どもたちは、「学校で習ったよ!」と教えてくれました。実際に手回し発電機のハンドルを回してみると、電球ごとにハンドルの重さが異なることに驚いているようでした。実験に子どもたちが真剣に取り組む姿や話を聞いてくれる姿が見られ、とてもうれしくなりました。(理学部基礎理学科2年生)



○電気の仕組みについて手回し発電機を使いながら説明することで、わかりやすく、そして電気の重要性を伝えることができました。話を聞くだけでは子どもたちはすぐに飽きてしまいがちですが、実際に道具を使ってもらい一緒にすることで、楽しいと思ったり、どうすると電気が弱くなったり強くなったりするのかを考えながら使ってくれました。電気は身近なところにもあるので、子どもたちも取りかきやすく、電気を作るのは大変だということをすぐに理解してくれたと思います。この実験では扱う道具が多かったので、講師と子どもたちで使う道具を分けたり、みんなで使ったりと、順序良く、そして楽しく実験ができました。(動物学科2年生)



○海の生き物を使った内容はスタッフ側に専門的知識が必要とされることが多いので大変なこともありましたが、毎回違った生き物が発見されるので参加者と一緒に学びながら活動を行うことができました。参加者には海の生き物に実際に触れることができるということで子ども達だけでなく大人の人にも興味を持ってもらい楽しんでもらうことができました。また、生き物を探す際には虫メガネやピンセットなどの器具を使用することで細かい特徴にも子ども達自ら気づくことができ、生き物の種類を特定するという高度な作業にも挑戦することができました。子ども達自身の活動がメインの題材なので宝探し感覚で海洋学に触れてもらえるよい機会となりました。(生物地球学科3年生)



○事前に自分たちで見てどんな生物がいるか調べていて、ある程度は知っていましたが実際にやってみるとわからない生物がいろいろ出てきました。しかし、他のスタッフと助け合い、学びを深めながら楽しいコーナーにすることができたと思います。そして子どもたちは『これなに?』『あれなに?』とキラキラした目でチリモンを探していました。

私たちが話しかけにいくと、『こんなのいたよー!』と自慢してくてくれる子どももいてとても微笑ましくなりました。(工学部機械システム工学科2年生)

5. まとめ

今年度も八雲環境科学振興財団から助成をいただくことができ、その助成金で購入した実験器具等で視覚的にわかりやすい実験を行うことができました。

今後は体験ブースだけでなく、主催している自然室教やその他の実験教室で、参加者が実験・工作を十分に楽しみながら学習できるプログラムの設定が重要だと感じました。環境に関する学習の後、実際に子どもたちが環境に関する工作等も実施できるプログラムを設定できると、なお環境科学の啓発につながると思います。このような機会をいただき、八雲環境科学振興財団に感謝を申し上げます。

AR/VR による震災・浸水の疑似体験と非常時の食事の調理・試食体験を通して災害に対するレジリエンスを身に付けよう！

1 はじめに

一昨年度（令和4年度）の活動では、八雲環境科学振興財団から助成をいただき、SDGsのゴール6, 7, 12を取り上げ、「子ども科学体験大学」を実施してきた。参加した小学生はそれぞれのゴールについての理解を深めるとともに、観察実験を通して小学生なりに自分たちでできる解決策を模索することができた。昨年度（令和5年度）には、中学生を対象として、バーチャルリアリティ（以下、VR）を用いて参加者がよりリアルに課題を把握する模擬体験と現実の観察・実験を通してゴール7についての理解を深めることができた。ところで、岡山県は地震災害は比較定少ないが、2018年7月の西日本豪雨災害では大きな被害に見舞われた。更に令和6年は年明けの元旦には能登半島地震が発生し、改めて災害への対応が求められている。

そこで、本年度は、防災・減災に関わるゴール11「住み続けられるまちづくり」を取り上げ、参加者に地震による震災や豪雨による浸水等による災害に対するレジリエンス（耐久力・しなやかさ）として非常時に対応するための知識と技能を身に付けてもらおうと考えた。具体的には、活動として「災害の疑似体験」と「非常食の調理・試食」を取り上げる。前者については、昨年度の活動で用いたVRのヘッドセットを受講者が装着し、震災を疑似体験したり、浸水被害をシミュレートできるアプリを用いて水害を疑似体験したりする。後者については、本大学で管理栄養士を養成する人間栄養学科の教員から栄養や調理法等の専門的な助言を得ながら災害時の食事のレシピを作成し、実際に調理し、試食する。ガスや水道、電気などのライフラインが使えない状況を想定し、カセットコンロやポリ袋を使用した調理方法を用いて調理する。災害時への対応は大人も関心のあることであり、調理・試食を伴うことから保護者も同伴し、共に調理・試食を体験することとする。

なお、これまでの「子ども科学体験大学」では、は将来教師を目指している学生が計画の段階か

ら講座の運営に参画してきた。大学生が講座の準備や講師役を務め、教師としての実践的な指導力を身に付ける良い機会となっている。本活動においても小学校教諭の免許を取得する子ども学科の学生2名と栄養教諭の免許を取得する人間栄養学科の学生7名が講座に参画する。

2 活動の目的

本活動は、次の二つの活動を経て実施する。一つ目の活動は、将来教師を目指す学生が講座の計画の段階から参画し、講座の準備を行う活動である（以下、活動Ⅰと言う）。小学校教師を目指す学生、栄養教諭を目指す学生、ともに将来教師になったときに担当する安全教育の一環として防災教育を行う授業を計画し、運営できる実践的な指導力を身に付けることが目的である。

二つ目の活動は、本大学（中国学園大学）を会場として、大学近隣の小学生およびその保護者を対象として講座を実施する活動である（以下、活動Ⅱと言う）。「災害の疑似体験」と「非常食の調理・試食」から構成される講座の実践を通して受講者に災害に対するレジリエンスを身に付けることが目的である。

3 活動Ⅰ

(1) 計画

活動Ⅰでは、将来小学校教師を志望する子ども学科の学生が講座の「災害の疑似体験」の目標と内容を企画する。また、将来栄養教諭を目指す学生は「非常食の調理・試食」の目標と内容を企画する。これらの活動を通して実践的な指導力が身についたかどうかを評価する。なお、活動Ⅱで実施する講座の時間は3時間とし、前半の1時間で「災害の疑似体験」を扱い、後半の2時間で「非常食の調理・試食」を行う。

(2) 災害の疑似体験

①講座の目標

浸水被害をシミュレートできるアプリを用い



図1 浸水シミュレーションアプリ ARERT

て水害を疑似体験したり、VR アニメーションの中で震災を疑似体験したりすることを通して、参加者に非常時に対応するレジリエンスを身に付ける。

②講座の内容

浸水被害のシミュレーションには、豪雨災害が起きた際の岡山市の浸水状況を疑似的に体験できるようにするために、AR を用いて浸水被害の様子をタブレットの画面に再現し、それを観察する。具体的には、iPad を活用し AR で浸水のシミュレーションができるアプリ「ARERT」¹⁾ (図1) を用いて、実際に大学周辺の道路や建物などの映像を背景にして浸水のアニメーションを重ねて表示する。

更に災害時に特有の心理に関する知識として、「正常性バイアス」を取り上げる(図2)。正常性バイアスに気付かせるために、参加者が豪雨災害を順を追って模擬体験することが必要だと考えた。具体的には、豪雨災害時の VR アニメーションを視聴できるヘッドセットを装着し、時間の経過に沿って災害の様子を視聴する。そのアニメーションでは避難が遅くなったために浸水に襲われるという内容である。どうして避難警報が出たときにすぐに避難せず、ぐずぐずしてしまうのかその心理を考える場面を設ける。災害の VR アニメーションとして、広島県防災 YouTube Channel が提供する「ひろしま自然災害体験 VR」²⁾ を用いる。

正常性バイアス

自然災害や火事、事故、事件などといった自分にとって何らかの被害が予想される状況下にあっても、それを正常な日常生活の延長上の出来事として捉えてしまい、都合の悪い情報を無視したり、「前例がない」「自分は大丈夫」「今回は大丈夫」「まだ大丈夫」などと過小評価するなどして、逃げ遅れの原因となる。

図2 正常性バイアス



図3 ひろしま自然災害体験 VR

これは 360° を見渡すことのできる動画で、災害の予兆などを感じながら避難までを体験することができる(図3)。その後、津波や地震のアニメーションを視聴し、リアルに災害を疑似体験する。

(2) 非常食の調理・試食

①講座の目標

災害時のガスや水道、電気などのライフラインが使えない状況を想定し、カセットコンロやポリ袋を使用した調理方法を用いて調理することを通して、参加者に非常時に対応できるレジリエンスを身に付ける。

②講座の内容

講座では、初めに非常時の食事についての講義を行う。食料に関する基礎知識や調理方法を伝達するために、パワーポイントのスライドを提示する。まず、電気、ガス、水道等のライフラインが使えなくなった時に食事についてどのような問題が起こるか児童が考える場面を設ける。そして、非常時の食事における問題点についてまとめる(図4)

ライフライン以外で非常時の食事にどんな問題が起こるだろう？	
・バランスの良い食事をとりにくい。	→特に野菜、肉、魚などの食材がとりにくい。
・偏った食事になりやすい。	→特にごはんやパンに偏りがち。
・水分が不足しやすい。	→水がいつもより手に入りにくい。自由に使えない。風呂、手洗い、トイレなど生活の中で水を使う場面はたくさんあり、水は貴重なものになる。
・流通が止まる可能性がある。	→食材や食品がいつもより手に入りにくい。

図4 「非常時の食事」スライド

次に、ライフラインを使わずにカセットコンロやポリ袋を使用した調理方法があることを提示する。

その後の非常食の調理実習については学生は3つのグループに分かれてレシピを考案し、それぞれのグループに講座の参加者が入り、学生と一緒に調理をする。なお、レシピの作成や調理に際

しては本学人間栄養学科の教員が専門的なアドバイスをを行う。非常食の条件として、手に入りやすい食材を活用し、栄養バランスに優れた食材を、電気を使わずカセットコンロで調理することとする。また、手作り紙皿などを利用して、食後の食器洗いに必要な水の使用量を削減する配膳方法も提案する。

③試行実践

学生は先の条件の下にグループ毎にレシピを考案し、「とうもろこしご飯」「切り干し大根のサラダ」「トマト鯖缶カレー」を紹介するプレゼンを作成した。作成したレシピに沿って実際に 11 月 12 日に調理を行った（写真 1）。いずれのグループも時間内で調理をすることができた。また、調理方法や手順について栄養学科の教員が専門的なアドバイスをを行い、いくつか修正が加えられた。



写真1 調理の試行

4 活動Ⅱ

(1) 計画

活動Ⅰで設定した目標や内容に沿って講座の実施について計画する。VR を用いるので発達段階を考慮し対象は小学校 5、6 年生とその保護者とする。また、受講者を募集するため、大学周辺の小学校にチラシを作成して配布する。

(2) 評価の方法

講座の最後にアンケート調査を実施し、分析して講座を評価する。

(3) 講座の様子

・日時：2024 年 11 月 23 日（月）10:00～13:00

講座には 4 組の児童保護者ペアが参加した。

ア. 災害の疑似体験

講座の初めに、講師が Web でハザードマップを提示しながら、もしもこの大学周辺に豪雨が降った場合の予想水位を検索するよう指示した。受講者は Web を用いて想定される水位を調べた。次に、

受講者は一人一台の iPad を保持し、「ARERT」を起動させた。そして想定される水位を入力した。講義室から戸外へと iPad を携えて出て、出入口付近や大学前の道路に iPad のカメラを向けて、背景の映像にアニメーションで浸水の様子を重ね合わせて観察した（写真 2）。



写真2 ARによる観察

次に、講義室に戻り、浸水被害の様子をバーチャルリアリティで疑似体験する活動に移った。VR ゲームを導入に用いた甲斐もあり、参加者はスムーズにヘッドセットを操作し、VR で指定した映像を視聴することができた。また、講師が「どうして避難するのが遅くなったのだろうか」と質問を投げかけ、正常性バイアスについての理解を深めていった。

イ 非常食の調理・試食

講座の初めに、講師が「水や水道などのライフラインが使えなくなると食事にどのような問題が起こるだろうか」と問いかけた。そして、講師はスライドを示しながら非常時の食事の問題点をまとめた。次に、学生の各グループから「とうもろこしご飯」「切り干し大根のサラダ」「トマト鯖缶カレー」のレシピが紹介された。受講者の児童保護者ペアに学生がサポートに加わり、調理を始めた（写真 3）。学生のサポートもあり、受講者



写真3 調理の様子

はてきばきとレシピに沿って調理を進め、時間内に料理を完成した。そして、デザートとして「お麩（ふ）チョコ」も加え、調理した料理を試食して講座を終えた。

5 評価

(1) 活動Ⅰ

将来教師を目指す学生の実践的指導力を育成することが活動Ⅰの目的であった。「災害の疑似体験」にお参画した2名の学生へのインタビューを通して、「学級活動でAR/VRを使った安全教育を行う方法が分かった」等の発言があり、実践力が身に付いたことがうかがえた。一方、栄養教諭を目指す学生については、アンケート調査の結果（図6）からほとんどの項目で「ややそう思う」「そう思う」を選択しており概ね実践力が身に付いたと言える。

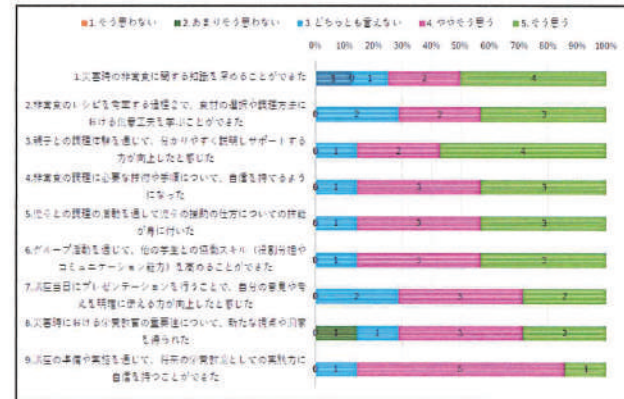


図6 学生へのアンケート結果

(1) 活動Ⅱ

講座の実践を通して受講者に災害に対するレジリエンスを身に付けることが活動Ⅱの目的であった。「災害の疑似体験」についてのアンケート結果を図7に示した。アンケートは「1ARを用い

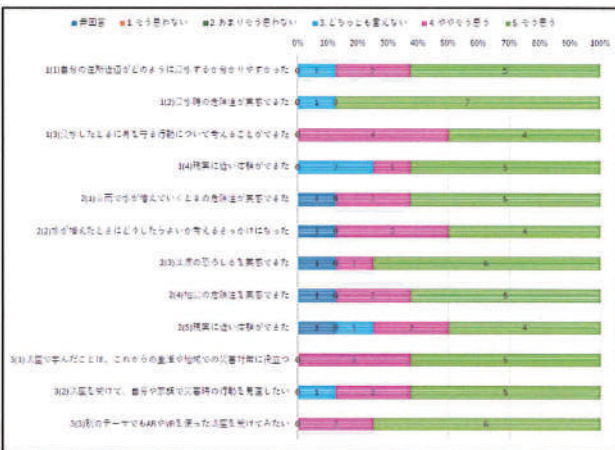


図7 災害の疑似体験のアンケート結果

た浸水の疑似体験」「2 VRによる災害の疑似体験」

「3 前半の講座を通して」の設問から構成されている。受講者はほとんどの項目で「ややそう思う」「そう思う」を選択しており概ね講座の目標を達成することができたことがうかがえる。一方、「非常食の調理・試食」についてのアンケート結果を図8に示した。



図8 非常食の調理・試食のアンケート結果

受講者はほとんどの項目で「ややそう思う」「そう思う」を選択しているが、項目5「非常食の調理に挑戦することで、災害時にも自分で調理できる自信が付いた」だけは受講者全員が「ややそう思う」を選択しており、「自信が付いた」と言い切れるまでは自信が持ててはいないことが指摘できる。

6 おわりに

防災・減災に関わるゴール11「住み続けられるまちづくり」を取り上げ、参加者に地震による震災や豪雨による浸水等による災害に対するレジリエンスとして非常時に対応するための知識と技能を身に付けてもらうことを目的に講座を開催した。アンケートの結果、概ね目的を達成することができた。一方、講座を企画・運営した学生の実践的指導力についても向上したことがうかがえた。

謝辞：本活動は、公益財団法人八雲科学振興財団による環境科学啓発事業助成を受けて実施しました。ここに記して謝意を表します。

注

- 1) ARERT: https://www.pu-kumamoto.ac.jp/users_site/iimulab/apps/ARERT
- 2) ひろしま自然災害体験 VR: <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/249/dosyasaigai-vr.htm>

13. 助成実施要項

公益財団法人八雲環境科学振興財団 研究助成制度実施要項

(趣旨)

- 第1 この要項は、公益財団法人八雲環境科学振興財団定款（以下「定款」という。）第4条第1号に基づき、公益財団法人八雲環境科学振興財団（以下「財団」という。）が行う、環境科学に関する研究助成の実施について定めるものとする。

(研究助成の対象)

- 第2 財団が行う研究助成は、次に掲げる学術研究に助成するものとする。
- 一 自然科学又は社会科学若しくは人文科学の分野における環境問題に係わる基礎並びに応用研究で、研究者が1人で行うもの、又は研究者が2人以上のグループで同一の研究課題について共同で行うもの。
 - 二 国の内外で、環境科学の学術的調査研究活動を行うもの。

(研究助成対象機関)

- 第3 財団が行う研究助成の対象者が所属する研究機関（以下「研究機関」という。）は、次に掲げるものをいう。
- 一 大学及び高等専門学校
 - 二 県及び県の附属研究機関
 - 三 民法第34条の規定により設立された学術的研究を行う法人
 - 四 前号に掲げるもののほか、学術的研究を行う機関で、財団において适当と認めるもの。

(推薦者)

- 第4 研究助成金の交付の申請には次の各号による研究機関代表者の推薦を受けなければならない。
- 一 研究機関に所属する研究者が1人で研究を行う場合は、当該研究機関の代表者又は学部長
 - 二 同一の大学で異なる学部の研究者2人以上が、同一の研究課題について共同して研究を行う場合は学長
 - 三 前号に掲げる場合を除くほか、異なる研究機関に所属する研究者2人以上が同一の研究課題について共同して研究を行う場合は、各研究機関の代表者

(研究助成の種別)

- 第5 研究助成は、その助成対象により、次のとおり区分する。
- 一 一般研究
財団が例示する先駆的又は独創的で将来性のある研究課題を対象とする。

二 特定研究

財団が毎年提示する基本テーマに関する研究課題を対象とする。

三 学術調査研究

国の内外で行われる環境科学に関する学術調査研究で、当財団において適当と認めたものを対象とする。

(研究助成の期間)

第6 前項に規定する研究助成の期間は、原則として1年とする。

(助成研究の募集)

第7 研究助成金の交付を申請しようとする者は、別に定める様式の研究助成申請書を、財団に提出するものとする。

(助成研究の選考)

第8 研究助成金の交付は、定款第52条に定める選考委員会において選考し、理事会の議を経て決定する。

(選考基準)

第9 助成の対象となる研究は、次の基準により審査する。

- 一 研究目的に対する学術的・社会的要請が大きいこと
- 二 研究計画が十分に検討され研究目的の達成可能性が高いこと
- 三 独創性に優れ、新たな研究分野として広がる可能性が高いこと
- 四 政府及び企業等の補助、助成が得難い等、当財団が助成する必要性が高いこと

(助成経費)

第10 助成研究者には、別に定める助成経費を支給する。なお、研究助成金は、申請課題の研究以外の目的に使用することはできない。

(報告書の提出)

第11 研究助成金の交付を受けた者は、助成期間終了後6ヶ月以内に、別に定める様式の研究成果報告書を、財団に提出しなければならない。

(雑則)

第12 研究助成金の交付を受けた者が、国立学校設置法第2条第1項に規定する国立学校に勤務するときは、助成金の受入れは、奨学寄附金委任経理事務取扱規則（文部省令第14号、昭和39年4月23日）に基づき、処理するものとする。

附 則

この要項は、平成24年10月1日から施行する。

公益財団法人八雲環境科学振興財団 国際研究交流助成制度実施要項

(趣旨)

- 第1 この要項は、公益財団法人八雲環境科学振興財団定款（以下「定款」という。）第4条第2号に基づき、公益財団法人八雲環境科学振興財団（以下「財団」という。）が選出する国内外の研究者等を、国内外で開催される国際研究集会等に派遣又は招聘することを助成すること並びに国内外の研究者（又はグループ）が共同で研究を行うことを助成することの実施について定めるものとする。

(国際研究交流助成の対象)

- 第2 この要項で対象とする国際研究交流助成は、次の条件を満たすものとする。
- 一 下記に示す国際研究集会への国内研究者の派遣
 - イ 外国で開催される研究集会であること。
 - ロ 国際的に権威のある学会、学術団体又は学術研究機関等が主催するものであること。
 - 二 下記に示す国内研究集会への海外研究者の招聘
 - イ 国内で開催される国際研究集会であること。
 - ロ 国際的に権威のある学会、学術団体又は学術研究機関等が主催するものであること。
 - 三 下記に示す国際共同研究のための派遣及び招聘
 - イ 協定等に基づき、国内外の研究機関で一定期間組織的に研究（研究機関の代表者が認めたもの）することを目的とした、国内研究者の派遣又は国外研究者の招聘であること。
 - ロ 国際的な共同研究を目的とした、研究者の交流や情報資料交換のための、一時的な国内研究者の派遣又は国外研究者の招聘であり、財団において適当と認めるもの。

(研究助成対象機関)

- 第3 財団の行う助成の対象者が所属する研究機関（以下「研究機関」という。）は、次に掲げるものをいう。
- 一 大学及び高等専門学校
 - 二 県及び県の附属研究機関
 - 三 民法第34条の規定により設立された学術的研究を行う法人
 - 四 前号に掲げるもののほか、学術的研究を行う機関で、財団において適当と認めるもの。

(推薦者)

- 第4 助成金の交付の申請には所属する研究機関代表者又は学部長の推薦を受けなければならない。

(助成対象研究者の募集)

- 第5 派遣又は招聘研究者の助成を希望する者は、別に定める助成申請書を所属機関の長を経て財団に提出するものとする。

(助成対象研究者の選考)

- 第6 派遣又は招聘研究者の助成選考は、定款第52条に定める選考委員会の議を経て理事会で決定する。

(選考基準)

- 第7 派遣又は招聘の助成は、対象研究者の以下の基準の充足状況により選考する。
- 一 優れた研究活動の実績があること。
 - 二 国際研究集会においては、講演若しくは研究発表を行うこと又は座長になること等重要な役割を果たすこと。
 - 三 国際研究交流における活動に必要な語学力を有すること。
 - 四 国際研究集会への参加あるいは国際共同研究により、研究の著しい向上が期待されること。

(助成経費)

- 第8 派遣又は招聘研究者には、別に定める助成経費を支給する。

(報告書の提出)

- 第9 派遣研究者は又は招聘助成を受けた研究者は研究集会等終了後1ヶ月以内に、別に定める報告書を財団に提出しなければならない。

(雑則)

- 第10 助成金の交付を受けた者が、国立学校設置法第2条第1項に規定する国立学校に勤務するときは、助成金の受入れは、奨学寄附金委任経理事務取扱規則（文部省令第14号、昭和39年4月23日）に基づき、処理するものとする。

附 則

この要項は、平成24年10月1日から施行する。

公益財団法人八雲環境科学振興財団 研究集会助成制度実施要項

(趣旨)

- 第1 この要項は、公益財団法人八雲環境科学振興財団定款（以下「定款」という。）第4条第1号に基づき、岡山県内で開催される環境科学に関する研究集会、学術講演会、シンポジウム等（以下「研究集会」という。）に対し、公益財団法人八雲環境科学振興財団（以下「財団」という。）が行う助成の実施について定めるものとする。

(助成対象研究集会)

- 第2 財団が助成する研究集会は次のとおりとする。
- 一 学協会及びその支部が主催するもの
 - 二 公知された懇話会、研究会等が主催するもの
 - 三 財団が認める組織が主催するもの

(助成条件)

- 第3 研究集会への助成は、岡山県下の研究機関に常勤する研究者が世話人として申請するものでなければならない。
- 2 前項の研究機関は、次に掲げるものをいう。
- 一 大学及び高等専門学校
 - 二 県及び県の附属研究機関
 - 三 民法第34条の規定により設立された学術的研究を行う法人
 - 四 前号に掲げるもののほか、学術的研究を行う機関で、財団において適当と認めるもの。

(推薦者)

- 第4 助成金の交付の申請には、所属する研究機関の代表者又は学部長等の推薦を受けなければならない。

(助成研究集会の募集)

- 第5 助成金の交付を申請しようとする者は、別に定める様式の研究集会助成申請書を財団に提出するものとする。

(助成の選考)

- 第6 研究集会助成の決定は、定款第52条に定める選考委員会において選考のうえ、理事会の議を経て決定する。

(選考基準)

第7 助成の対象となる研究集会は、次の基準により審査する。

- 一 明確に限定された研究主題であり、新しい知識又は概念の展開の可能性が大きいこと
- 二 研究法などの点で学術的価値が高いこと
- 三 岡山県において開催する意義が明らかであること
- 四 研究集会を開催するための組織と運営が明確であること

(財団名表示の義務)

第8 採択された研究集会は、刊行する印刷物等に共催、協賛、賛助等の冠を付し、財団名を記載しなければならない。

(助成額の基準)

第9 研究集会への助成額の交付基準は別に定める。

(報告書の提出)

第10 助成金の交付を受けた者は、研究集会が終了した後、1ヶ月以内に別に定める様式の報告書を財団に提出しなければならない。

(雑則)

第11 助成金の交付を受けた者が、国立学校設置法第2条第1項に規定する国立学校に勤務するときは、助成金の受入れは、奨学寄附金委任経理事務取扱規則（文部省令第14号、昭和39年4月23日）に基づき、処理するものとする。

(実施細則)

第12 この要項に定めるもののほか、必要な事項は別に定める。

附 則

この要項は、平成24年10月1日から施行する。

14. ご寄附のお願い

公益財団法人八雲環境科学振興財団は、平成 10 年に設立され、これまでに、省資源・リサイクル、環境計測、生態系保全をはじめ環境科学に関する多くの助成事業を行ってまいりました。今後、当財団の事業をより実りあるものにするため、広い分野の多くの方々に財団設立の主旨をご理解いただくとともに、ご指導・ご支援をいただくことが必要と考えております。

この寄附金は、事業目的の達成のために運用財産として使用させていただきます。

なお、当財団は、平成 24 年 10 月に公益財団法人として認定されており、このご寄附については、税制上の優遇措置を受けることができます。

また、岡山県下で開催される研究集会等につきまして、企業等から寄付を受ける場合、あるいは研究者個人またはグループを指定し、企業から寄付を受ける場合において、当財団が同意する場合は上記と同様に税制上の優遇措置を受けることができます。

上記の主旨をご理解いただき、ご寄付にご協力をお願い致します。

1. 募集の内容及び特典

募集期間	随時
対 象	個人・法人
寄付金	個人 1 口 5,000 円、法人 1 口 10,000 円 特定指定寄付金(事務局までお問い合わせ下さい)
特 典	・財団が発行する研究レポート集、財団ニュースの配付 ・財団が主催する研究発表会、その他事業企画等のご案内 ・その他理事長が必要と認める資料の配付

2. 税制上の優遇措置について

当財団は、公益財団法人の認定を受けております。当財団に対する寄付金には、税制上の優遇措置が適用されます。詳細は所轄の税務署又は税理士にお尋ねください。

個人寄付の場合	「所得控除」が受けられます。 (寄付金額-2,000 円)の金額が所得金額から控除されます。 控除額は所得金額の 40%が限度となります。
法人寄付の場合	通常的一般寄付金の損金算入限度額と別枠で、損金算入が認められます。

3. 寄附金申込み手続き

寄附申込書をダウンロードのうえ、郵送にて当財団事務局宛に送付後、ご送金手続きをお願いいたします。 当財団ホームページ → <http://www.ej-hds.co.jp/zaidan/>

4. お振込先

銀行名	三井住友銀行岡山支店
預金種類	普通預金
口座番号	6497055
口座名義	公益財団法人八雲環境科学振興財団 (フリガナ) コウエキザイダンホウジンヤクモカンキョウカガクシンコウザイダン

☆ご不明な点は事務局までお問い合わせ下さい。

公益財団法人 八雲環境科学振興財団

〒700-8617 岡山市北区津島京町 3-1-21 (株式会社エイト日本技術開発内)

TEL : 086-252-7670

FAX : 086-252-8918

e-mail : yakumo@ej-hds.co.jp

2025 年夏、異常的な高温が多発し、記録的な猛暑が続いた。これは地球温暖化に加え、太平洋高気圧の強い張り出しが要因であり、梅雨入り・梅雨明けも記録的に早かったため、各地で、水不足が深刻化した。

文部科学省と気象庁は「日本の気候変動 2025」を発表、日本での気温上昇や豪雨・猛暑日の増加、海面上昇などを指摘するものであった。これらの現象は地球温暖化がなければ発生し得ないレベルであると結論づけている。

公益財団法人 八雲環境科学振興財団
研究レポート集 第 26 号

令和 7 年 10 月発行

発行 公益財団法人八雲環境科学振興財団
岡山市北区津島京町 3 丁目 1 - 2 1
(株)エイト日本技術開発内)
TEL (086)252-7670

印刷 吉備サプライ株式会社
岡山市北区野田 4 丁目 2 - 2 0
TEL (086)805-2111