研究レポート集2020

Report 第21号

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２２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

我々人類の長い歴史の中で、感染症と自然災害は過去にも幾度となく繰り返されており、両者の脅威に対し人類は終わりなき戦いを続けていると言われています。

感染病に関しては、近年でも2014年のエボラ出血熱、2012年の MERS、2002年の SARS などがあり大正時代に流行したスペイン風邪では、全世界で5億人以上が感染し2千万人から5千万人（明確な統計がないため）の死者を出したといわれています。また、昨年末には中国湖北省武漢市を中心に発生した新型コロナウイルス感染症は、人や物の移動の高速化に伴い地球規模で流行し全世界を震撼させていますが、現在のところ感染経路や治療法など解明されておらず我々の暮らしや経済に大きなダメージを与えており、教育機関の休校や閉鎖、イベント・行事の中止、東京オリンピックの延期など多方面に影響を及ぼしています。

京都八坂神社の祭礼で長い歴史がある祇園祭も感染症の拡散防止のために、今年は中止になりましたが、今から1,150年前の貞観11年（869年）に京の都を始め日本各地で疫病が流行した時、悪疫を封じ込む御霊会として行ったのが始まりと言われていますが、皮肉なことに悪疫封じの祭礼がコロナ禍により中止となっています。また、初宮参りの「犬張り子」や郷土玩具である会津地方の「赤べこ」や飛騨高山地方の「さるぼぼ」なども疫病除けで、昨今、新型コロナウイルス除けとして話題となった「アマビエ」は、江戸時代の肥後国の預言者妖怪と言われていますが、神頼りや占いではなく一日でも早く治療薬やワクチンが開発されコロナ疫病を封じ込め、今までの生活が取り戻せることを心より祈っています。

一方の自然災害は、世界全体で気象変動による自然災害の被害が顕在化する中で、特に日本は位置や地形、地質、気象条件などにより世界有数の災害大国ですが、近年は大型台風や線状降水帯の発生による集中豪雨が多発しており、2020年7月豪雨、2019年9月の台風15号、19号、2018年7月豪雨では倉敷市真備町を中心に甚大な被害が発生したことは、皆さんの記憶にも新しいと思います。その他、日本全土で頻発する地震や火山噴火など自然災害の防災・減災のために、政府は「国土強靭化基本計画」基づき国民経済や生活を支える重要インフラの機能維持を目的に3か年緊急対策を講じていますが、最も大切な事は一人一人が自分の命は自分で守る自主防災力の向上であり、自然災害を最小限に抑えるためには自主防災組織のシステム整備など地域住民の連帯意識の醸成で、日常生活における人々の交流は普段の暮らしを豊かにするだけでなく、災害時に大きな力を発揮することを再認識する必要を強く感じています。最後になりましたが、今後も八雲環境科学振興財団が、環境や防災・減災に貢献されることを期待いたします。

評議員　藤　井　　　勉

（㈱エイト日本技術開発　監査役）

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　２億６，９９５万円（令和２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１００万円以内
②一般研究（テーマ自由）　一件当たり　５０万円以内
（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	㈱エイト日本技術開発 代表取締役社長
理　事	河野伊一郎	倉敷芸術科学大学学長
	沖　陽子	岡山県立大学学長
	辻　英明	前岡山県立大学学長
	佐藤　豊信	岡山商科大学大学院経済学研究科教授
	波田　善夫	岡山理科大学名誉教授
	阿部　宏史	岡山大学名誉教授
	伊丹　文雄	E・Jホールディングス㈱ 顧問
監　事	西田　秀史	弁護士
	松原　治郎	税理士
	小谷　浩治	㈱エイト日本技術開発 執行役員管理本部長
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
	西垣　誠	岡山大学名誉教授
	鳥越　良光	岡山商科大学名誉教授
	星野　卓二	岡山理科大学生物地球学部特担教授
	神崎　浩	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	岩田　正晴	ロック地域計画事務所 代表
	谷本　俊夫	元E・Jホールディングス㈱取締役
	藤井　勉	㈱エイト日本技術開発　監査役
選考委員	稲井　寛	岡山県立大学情報工学部教授
	坂本　圭児	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	大久保賢治	岡山大学特命教授
	田村　隆	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	佐藤　丈晴	岡山理科大学生物地球学部准教授
	永井　泉治	㈱エイト日本技術開発　取締役常務執行役員

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のできる理事の３分の２以上の議決を経て、評議員会において、議決に加わることのできる評議員の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、次のイからヘ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って、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って、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っては、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って、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 評議員に異動があったときは、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項の決議を行な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ってはならない。

8　理事又は監事に異動があったときは、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、その請求があった日から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。

（役員の任期）

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、役員の全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っ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

⑽　行政庁からの示達文書

⑾　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に、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．令和元年度（平成31年度）事業実施状況

令和元年度の助成事業は、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11,164千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。

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。	令和元年度募集テーマ A．環境配慮型技術に関する研究 B．生物多様性に関する研究 C．防災・減災に関する研究（新テーマ）
2．助成金額と件数	総　　額　・・・・・・400万円程度 1件あたり助成額　・・50万円以内 助成件数　・・・・・・8件程度	総　　額　・・・・・・600万円程度 1件あたり助成額　・・100万円以内 助成件数　・・・・・・6件程度
3．助成対象となる期間	令和2年3月31日まで	令和2年3月31日まで

4．助成対象となる費用
研究に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、ファクシミリ、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。

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、履行していただきます。
○助成期間終了後3ヶ月以内に研究レポート（1頁2,000字、A4で6頁程度）の提出
ただし、特定研究部門助成対象者は指定様式にて提出
○令和2年11月頃に開催予定の財団主催の研究報告会にて研究成果の発表
○財団所定の「報告書（経費使用明細書含む）」の提出
○対外的に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
○研究を中止又は延期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精算

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

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
令和元年6月1日から令和2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　・・・・・・80万円程度
○1件当たり助成金　・・20万円以内
○助成件数　・・・・・・4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

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。
○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。

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
令和元年10月1日から令和3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
○第2回募集（予定）：1件程度
令和2年2月1日から令和3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

2．助成金額と件数
○総　　額　・・・・・・90万円程度
○1件当たり助成金　・・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の明示
○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。
○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
○開催を証明することのできる開催模様の写真等の提出。

応　募　手　続　き

1. 応募資格

○環境科学との関連性がないものについての助成は認めません。申請書所定欄に環境科学との関連性について記述して下さい。

○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。

○平成 30 年度に助成対象者となった研究者（共同研究者を含む）は、令和元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	平成 31 年 4 月 19 日（金）（必着）	令和元年 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。

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	４２件	１２件	6,800 千円
国際研究交流助成事業	１２件	4 件	800 千円
研究集会助成事業	4 件	4 件	1,200 千円
合　計	５８件	２０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	３４件	１３件	6,860 千円
国際研究交流助成事業	１０件	5 件	1,000 千円
研究集会助成事業	1 件	1 件	300 千円
合　計	４５件	１９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	３７件	１４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	４６件	１９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	２５件	１４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	２９件	１７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	２９件	１１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	３８件	１８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	２８件	１２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	３５件	１８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	１９件	１０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	２３件	１５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	２０件	１０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	２９件	１７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	２８件	１４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	３１件	１７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	１１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	３３件	１４件	9,689 千円
研究集会助成事業	6件	5件	1,500 千円
合　計	３９件	１９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	１０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	３５件	１２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	４５件	２０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
	岡山県立医大学	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	４２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	４６件	１３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	２８件	１５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	３３件	１９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

累計（平成 10 年度～令和元年度（平成 31 年度））

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	５７９件	２５９件	151,577 千円
国際研究交流助成事業	１４８件	９８件	19,593 千円
研究集会助成事業	３１件	３６件	10,480 千円
合　計	７５８件	３９３件	181,650 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

令和元年度　環境研究助成報告

8．令和元年度　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
金　秉洙	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	疎水性地盤材料の遮水性を用いた盛土斜面部の安定化工法の提案	３６
門田有希	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	サツマイモネコブセンチュウ抵抗性に関する実用的な選抜ＤＮＡマーカーの開発	４２
池田　啓	岡山大学資源植物科学研究所	フィトクロムの生理機能の改変を用いた温暖環境に対する適応基盤の構築	４７
平岡敦子	倉敷市立短期大学	被災経験保育士の経験に基づく保育現場の水害時の防災・減災対策に関する研究	５０
西田英隆	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	気候変動下においてもムギ類の安定生産を向上させる出穂期関連遺伝子の解析	５６

② 一般研究

助成対象者	所　　属	研究テーマ	ページ
上野浩司	川崎医療福祉大学 医療技術学部	香害による神経症状の原因解明の基礎的研究	６０
村田芳行	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	活性カルボニル種の生成制御を介した植物の環境ストレス耐性の向上	６６
三木直子	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	広葉樹二次林の持続的利用に向けた萌芽再生機構の解明	７２
氏原岳人	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	エコ・リバブルシティ実現のための都市構造に関する実証的基礎研究	７８
川上賀代子	就実大学薬学部	黄ニラの細胞内グルタチオン上昇作用に着目した機能性食品の開発	８６
大橋唯太	岡山理科大学 生物地球学部	ドローン（UAV）技術を利用した大規模霧の立体気象観測	９２
能美洋介	岡山理科大学 生物地球学部	付加体砂岩のジルコンは後背地について何を語るか—四万十帯古第三系砂岩のジルコン結晶形態を中心に—	１００
豊田　新	岡山理科大学 理学部	東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う環境汚染による生態系の被曝—牛の生体線量計測	１０６
後藤弘爾	岡山県農林水産総合センター	日長に応答して花をつけるトマト品種開発のための基盤研究	１１１

疎水性地盤材料の遮水性を用いた盛土斜面部の安定化工法の提案

岡山大学大学院　　金　秉洙

1．はじめに

近年，各地で土砂災害が多発している。土砂災害の発生要因に降雨浸透が挙げられ，降雨時に雨水が斜面内部に浸透することで土の抵抗力が弱まり，河川堤防崩壊や山の斜面崩壊につながる。降雨浸透による土砂災害の対策として土構造物の斜面に遮水性の高い材料を用いて斜面内部への水の浸透を抑えることが挙げられる。そこで，本研究では降雨浸透による地盤崩壊を防ぐため，新たな地盤材料である「疎水性をもつ土」の高度な遮水機能に着目し，その実効性をもつ疎水性地盤層の設置による斜面部の安定化工法の提案及びその実用化を目指す。そのため，まず水浸入水頭試験を用いて乾燥密度，平均粒径，表面の状態，層厚，混合率の観点から疎水性地盤材料の遮水特性を評価した。そして，その結果を踏まえて室内盛土模型実験を行い，降雨強度，層厚，混合率を変化させながら，盛土斜面への降雨浸透の有無を確認し，疎水性地盤材料の盛土斜面への適用性を検討した。

2．水浸入水頭試験

水浸入水頭（water infiltration head, WIH）試験では，珪砂 2～5 号，豊浦砂を用いて，疎水性地盤材料の遮水特性を評価した。水浸入水頭は，水が供試体の表層に浸透した瞬間の水頭(h_w)を指すものとして定義される。水浸入水頭試験では，アクリル円筒内に所定の乾燥密度で作製された供試体の表面に水を滴下し，浸透が始まるまで水頭(h_w)を上げ，浸透時の水頭を測定する。本研究では，複合的に評価を行うため，Case 1: 乾燥密度，Case 2: 表面の状態，Case 3: 層厚，Case 4: 混合率として計 4 つのケースに分け，それぞれ試験条件に合わせて水浸入水頭試験を実施した。

2.1 概要

水浸入水頭（water infiltration head, WIH）試験では，珪砂 2～5 号，豊浦砂を用いて，疎水性地盤材料の遮水特性を評価した。水浸入水頭は，水が供試体の表層に浸透した瞬間の水頭(h_w)を指すものとして定義される。水浸入水頭試験では，アクリル円筒内に所定の乾燥密度で作製された供試体

表-1　用いた試料の物理特性

項目	珪砂 2 号	珪砂 3 号	珪砂 4 号	珪砂 5 号	豊浦砂
ρ_s (g/cm^3)	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
ρ_{dmax} (g/cm^3)	1.57	1.58	1.58	1.54	1.64
ρ_{dmin} (g/cm^3)	1.39	1.33	1.32	1.26	1.37
e_{max}	0.91	0.98	1.01	1.10	0.93
e_{min}	0.68	0.67	0.67	0.71	0.61
D_{50}	65.1	71.7	73.3	87.5	53.8
U_c	2.9	1.3	0.82	0.48	0.17
U'_c	1.19	1.40	1.80	1.39	1.63

Note: ρ_s=土粒子密度，ρ_{dmax} =最大乾燥密度，ρ_{dmin} =最小乾燥密度，e_{max} =最大間隙比，e_{min} =最小間隙比，D_{50}=平均粒径，U_c =均等係数，U'_c =曲率係数

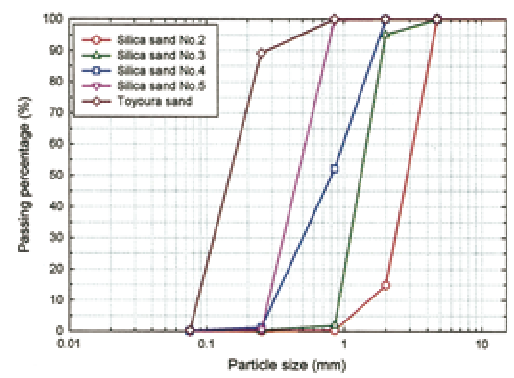


図-1　粒径加積曲線

の表面に水を滴下し，浸透が始まるまで水頭(h_w)を上げ，浸透時の水頭を測定する。本研究では，複合的に評価を行うため，Case 1: 乾燥密度，Case 2: 表面の状態，Case 3: 層厚，Case 4: 混合率として計 4 つのケースに分け，それぞれ試験条件に合わせて水浸入水頭試験を実施した。

2.2 試料の物理特性

珪砂 2～5 号，豊浦砂を用いて試験を行った。**表-1** に用いた試料の物理特性を，**図-1** に粒径加積曲線を示す。また，試料はすべて含水比が非常に低い状態（ほぼゼロ）になるように 50℃で乾燥させ，室温と平衡にした後，試験を実施した。

2.3 Case 1: 乾燥密度を変化させた場合

Case 1 では，乾燥密度による水浸入水頭への影響を調べるため，乾燥密度を ρ_d=1.40g/cm^3,

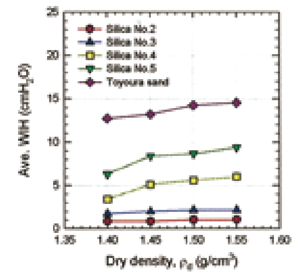


図-2　乾燥密度と水浸入水頭の関係

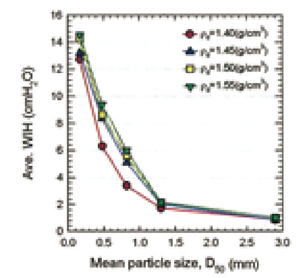


図-3　平均粒径と水浸入水頭の関係

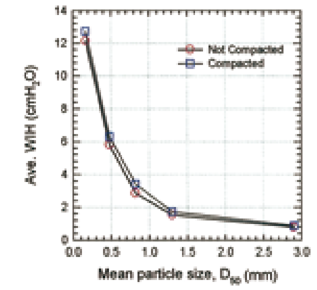


図-4　締固めの有無による水浸入水頭の比較

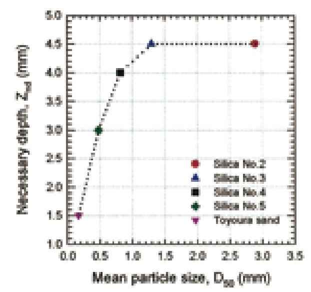


図-5　平均粒径と必要層厚の関係

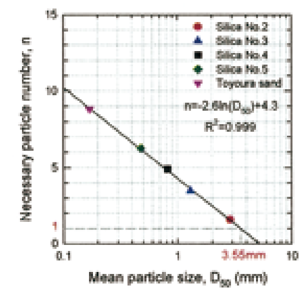


図-6　平均粒径と必要な粒子の個数の関係

1.45g/cm^3，1.50g/cm^3，1.55g/cm^3 の 4 通りに変化させ，高さ 5.0cm で供試体を作製し水浸入水頭を測定した。また，平均粒径の違いによる水浸入水頭への影響を調べるため，すべての乾燥密度で，珪砂 2～5 号，豊浦砂の 5 つ試料を用いて試験を行った。乾燥密度と水浸入水頭との関係を**図-2** に示す。いずれの試料も，乾燥密度が増加すると水浸入水頭は増加することが分かる。次に，平均粒径と水浸入水頭との関係を**図-3** に示す。いずれの乾燥密度でも，平均粒径が増加すると水浸入水頭は減少することが分かる。こういった乾燥密度や粒径の違いによる水浸入水頭の変化は，粒子間の空隙が関係しており，乾燥密度が大きい，また平均粒径が小さいと空隙が小さくなるため水が入り込みにくく，高い遮水機能を発揮すると考えられる。よって，現場で疎水性地盤材料を用いる際には，コストの許す範囲で粒径の小さな試料を用いるべきであると考えられる。

2.4 Case 2: 表面の状態を変化させた場合

Case 2 では，供試体表面の状態が水浸入水頭に

表-2　混合した試料の物理特性

混合率(豊浦砂:珪砂 2 号)	2：8	4：6	6：4	8：2
均等係数(U_c)	22.3	22.0	9.3	2.2
曲率係数(U'_c)	7.67	0.18	0.22	0.67

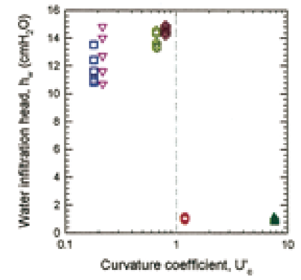


図-7　曲率係数と水浸入水頭の関係

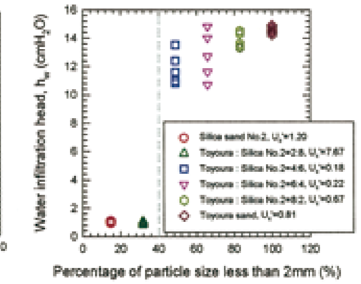


図-8　2mm以下含有率と水浸入水頭の関係

与える影響を調べるため，乾燥密度 ρ_d=1.40g/cm^3 で，締固めの有無により表面の状態を変化させ試験を実施した。締固めの有無による水浸入水頭の比較（**図-4**）を見ると，締固め有の方が水浸入水頭は増加することが分かる。しかし，締固めによる増加は，前述した乾燥密度や平均粒径による増加よりも微少である。よって，表面状態の違いが水浸入水頭に与える影響は小さく，施工時における締固めの必要性は軽減され，コスト削減につながると考えられる。

2.5 Case 3: 層厚を変化させた場合

Case 3 では，十分な水浸入水頭を得るのに必要な厚さの最小値について検討した。珪砂 2～5 号，豊浦砂を用いて，乾燥密度を ρ_d=1.50g/cm^3 とし，0.5mm 毎で層厚を増加させ，Case 1 で求めた層厚 5.0cm の水浸入水頭の最小値を超えたものを必要層厚（Necessary Depth : Z_{nd}）と定義し，その遮水性能について評価を行った。また，必要層厚を平均粒径で割ること(=Z_{nd} /D_{50})で必要な粒子の個数を簡易的に求め，その相関関係について検討した。各試料の必要層厚，必要な粒子の個数の関係を**図-5** と **6** に示す。平均粒径が小さいと，必要層厚は小さいことが分かる。また，必要な粒子の個数は平均粒径の増加に伴って減少することが分かる。さらに，いずれの試料も，層厚 4.5mm 以下で十分な遮水機能を持った。よって，層厚を小さくすることで，施工時のコスト削減が可能となると考えられる。ここで，平均粒径(D_{50})と必要な粒子の個数(n)の関係において，以下の式が得られた（**式-1**）。

$$n = -2.6\ln(D_{50}) + 4.3 \qquad \text{(式-1)}$$

表-3　用いた試料の物理特性

項目	疎水性豊浦砂	珪砂1号	真砂土
ρ_s(g/cm^3)	2.64	2.65	2.58
ρ_{dmax} (g/cm^3)	1.64	1.67	1.88
ρ_{dmin} (g/cm^3)	1.37	1.45	-
D_{50}(mm)	0.17	4.50	0.38
透水係数(k_s)(cm/s)	1.63×10^{-2}	2.44×10^{-1}	1.40×10^{-4}

表-4　Case 1 の実験条件

項目		Case 1-1	Case 1-2	Case 1-3
被覆層の厚さ(cm)		2.0	2.0	2.0
疎水材層の厚さ(cm)		3.0	3.0	3.0
被覆層	初期乾燥密度, ρ_{di} (g/cm^3)	1.50	1.50	1.50
疎水材層		1.50	1.50	1.50
排水経路		1.64	1.64	1.64
降雨強度, I (mm/hr)		20	50	100
斜面傾斜角度, Φ (°)		10	10	10
測定時間, t (hr)		5	5	5

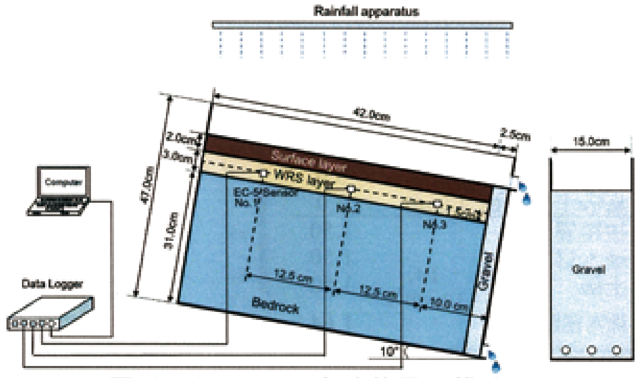


図-9　Case 1 の実験装置の模式図

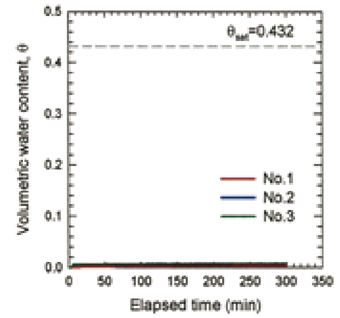


図-10　Case 1 の EC-5 センサーの測定結果
（降雨強度 I=100mm/hr）

式-1 より平均粒径が 3.55mm で必要な粒子の個数が 1 となり，この点が遮水機能を発揮できる限界の平均粒径であると考えられる。一方，金ら(2019a)の研究により，平均粒径 3.6mm の珪砂 1 号では水浸入水頭試験が測定不可能であることが明らかになっている。よって，今回得られた結果と一致することが分かる。

2.6 Case 4:混合率を変化させた場合

Case 4 では，粒度分布の違いが水浸入水頭に与える影響を調べるため，混合率を変化させて水浸入水頭を測定した。豊浦砂と珪砂 2 号を用いて，混合率（豊浦砂：珪砂 2 号）を重量比で 2：8，4：6，6：4，8：2 の 4 通りに分けて試験を行った。**表-2** は混合した試料の物理特性を示している。曲率係数(U'_c)との関係（**図-7**），2.0mm 以下土粒子含有率との関係（**図-8**）を見ると，曲率係数が約 1.0 であり，2.0mm 以下含有率が 40%を境に水浸入水頭の値が大きく変化していることが分かる。このように曲率係数(U'_c)や 2.0mm 以下含有率が水浸入水頭と有意な関係を示すことが明らかとなった。よって，実際の施工現場で，疎水性地盤材料が優れた遮水機能を発揮するかどうかを判断する基準として，曲率係数(U'_c)や 2.0mm 以下含有率が重要な尺度になると考えられる

3. 室内盛土模型実験

3.1 概要

室内盛土模型実験では，水浸入水頭(WIH)試験の結果を踏まえて，疎水性地盤材料の盛土斜面への適用性を検討した。降雨強度，層厚，混合率に対して，3 つの Case に分けて模型実験を行い，水浸入水頭試験の結果と比較して実際の施工現場への適用性を評価した。Case 1 では降雨強度(I)3 パターン(20 mm/hr，50 mm/hr，100mm/hr)を適用した場合，Case 2 では層厚を 0.5cm とした場合，Case 3 では混合率（豊浦砂：珪砂 2 号）を 4：6 とした場合について，降雨の盛土斜面への浸透の有無を測定した。本研究で使用した実験装置は金ら(2018 & 2019b)の研究で用いたものと同様である。

3.2 試料の物理特性

疎水性豊浦砂，珪砂 1 号，真砂土を用いた。珪砂 1 号は排水経路，真砂土は被覆層として使用した。**表-3** に試料の物理特性を示す。疎水性豊浦砂の水浸入水頭(WIH)値は 8.5cm である。

3.3 Case 1: 降雨強度に対する検討

現場の盛土斜面では，様々な降雨条件で降雨浸透が発生する。そこで，Case 1 では，降雨強度の変化による疎水材層の遮水機能を検討した。降雨強度(I)3 パターン(20mm/hr, 50mm/hr, 100mm/hr)の条件下で実験を行った。**図-9** のように被覆層 2.0cm，疎水材層 3.0cm として模型盛土を作製した。また，降雨の浸透の有無を測定するため，疎水材層に 3 ヶ所 EC-5 センサーを設置した。水浸入水

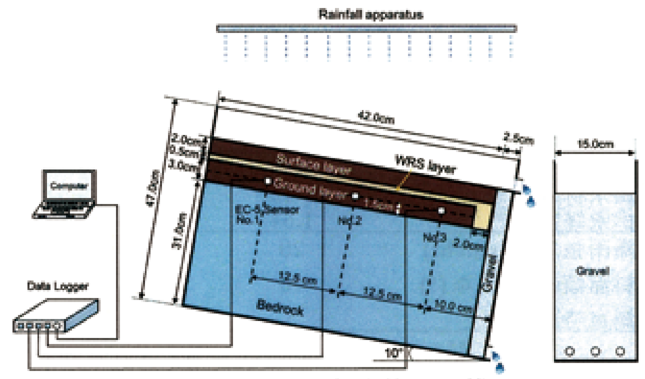


図-11　Case 2 の実験装置の模式図

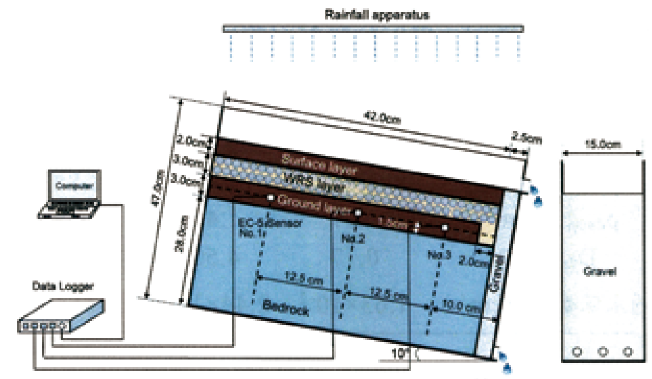


図-13　Case 3 の実験装置の模式図

表-5　Case 2 の実験条件

項目		値
被覆層の厚さ(cm)		2.0
疎水材層の厚さ(cm)		0.5
真砂土層の厚さ(cm)		3.0
被覆層	ρ_{di} (g/cm^3)	1.50
疎水材層		1.50
土層		1.50
排水経路(礫)		1.64
降雨強度,I (mm/hr)		100
斜面傾斜角度,Φ (°)		10
測定時間,t (hr)		5

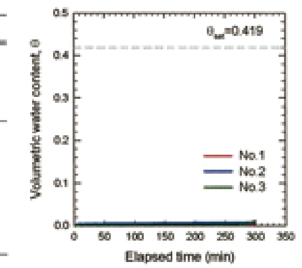


図-12　Case 2 の EC-5 センサーの測定結果

表-6　Case 3 の実験条件

項目		値
被覆層の厚さ(cm)		2.0
疎水材層の厚さ(cm)		3.0
真砂土層の厚さ(cm)		3.0
被覆層	ρ_{di} (g/cm^3)	1.50
疎水材層		1.50
土層		1.50
排水経路(礫)		1.64
降雨強度,I (mm/hr)		100
斜面傾斜角度,Φ (°)		10
測定時間,t (hr)		5

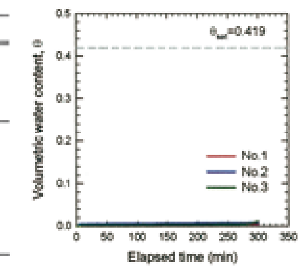


図-14　Case 3 の EC-5 センサーの測定結果

頭試験の結果から，最も平均粒径の小さい疎水性豊浦砂は乾燥密度 ρ_d=1.50g/cm^3 で十分な遮水機能(WIH=14.2cm)を示した。そこで，室内盛土模型実験の Case 1 では，疎水性豊浦砂を用いて，乾燥密度 ρ_d=1.50g/cm^3 で締固めを行い，模型盛土を作製した。**表-4** に実験条件をまとめる。

EC-5 センサーにより測定された結果を**図-10** に示す。降雨強度 20mm/hr，50mm/hr，100mm/hr に対して 5 時間測定したが，いずれの降雨強度でも，終了時点でセンサー（No.1，No.2，No.3）の反応は見られなかった。**図-10** で微小な反応があるように見えるが，この地盤層の飽和体積含水比(θ_{sat})が 0.432 のため，これは測定中のノイズなどの影響によるものだと考えられる。また，実験開始後すぐに被覆層に水が浸入し，実験終了後，被覆層は完全に湿潤状態であった。一方，下の疎水材層は乾燥状態であった。以上の結果から，疎水材層 3.0cm（乾燥密度 ρ_d=1.50g/cm^3）の条件において，疎水材層内への降雨浸透は起こらないことが確認され，疎水材層の優れた遮水機能が明らかになった。

3.4 Case 2: 層厚に対する検討

実際に疎水材を斜面に設置する際，その層厚で利用される疎水材の土量が決まる。層厚は施工費用と繋がり，薄いほどその経済性は高く評価される。そこで，Case 2 では，疎水材の層厚を薄く設置した場合の遮水性能を検討した。**図-11** のように被覆層 2.0cm，疎水材層 0.5cm，EC-5 センサー設置のための土層 3.0cm として模型盛土を作製した。降雨浸透の有無を測定するため，疎水材層の下に真砂土の層を設けて，その層内に 3 ヶ所 EC-5 センサーを設置した。また，排水経路からの水の浸入を防ぐため，土層の側面に厚さ 2.0cm で疎水材（疎水性豊浦砂）を設置した。

水浸入水頭試験の結果から，いずれの試料も層厚 0.45cm 以下で十分な遮水機能を示した。最も平均粒径の小さい疎水性豊浦砂は層厚 0.15cm で十分な遮水機能(WIH=14.1cm)を示した。そこで，室内盛土模型実験の Case 2 では，疎水性豊浦砂を用いて，作製可能であった最小の層厚 0.5cm，乾燥密度 ρ_d=1.50g/cm^3 で締固めを行い，模型盛土を作製した。**表-5** に実験条件をまとめており，EC-5 センサーにより測定された結果を**図-12** に示す。降雨強度 100mm/hr で 5 時間測定した結果，終了時点でセンサー(No.1，No.2，No.3)の反応は見られなかった。**図-12** で微小な反応があるが，この地盤層の飽和体積含水比(θ_{sat})が 0.419 のため，Case 1 と同様にこれは測定中のノイズなどの影響であると考えられる。実験開始後すぐに被覆層に水が浸入し，終了後，被覆層は湿潤状態であった。

一方，疎水材層，センサー設置土層は乾燥状態であった。よって，非常に薄い疎水材層 0.5cm（乾燥密度 ρ_d=1.50g/cm^3）の条件でも，疎水材層より

下への降雨浸透は発生しない，すなわち優れた遮水機能を維持することが明らかになった。

3.5 Case 3：混合率に対する検討

様々な砂質土が疎水材として利用可能だが，その粒度分布は異なる。疎水材の遮水機能には土粒子の大きさの影響が大きいため，粒度分布の変化に対する疎水材層の遮水性能を検討する必要がある。本研究では，既に水浸入水頭試験で豊浦砂と珪砂2号の混合試料を用いた結果，2.0mm 以下土粒子含有率が 40%以上で優れた遮水機能(WIH=11.9cm)を示すことが明らかとなった。そこで，室内盛土模型実験の Case 3 では，混合率（豊浦砂：珪砂2号）を 4：6 とした混合疎水材で，疎水材層の遮水性能について検討した。図-13 のように被覆層 2.0cm，混合疎水材層 3.0cm，EC-5 センサー設置土層 3.0cm として模型盛土を作製した。Case 2 と同様，排水経路からの水の浸入を防ぐために，側面に疎水材（疎水性豊浦砂）を設けた。降雨浸透の有無を測定するため，混合疎水材層の下に土層（真砂土）を設けて，そこに3ヶ所 EC-5 センサーを設置した。表-6 に実験条件をまとめる。

EC-5センサーにより測定された結果を図-14 に示す。降雨強度 100mm/hr で 5 時間測定したが，終了時点でセンサー（No.1，No.2，No.3）の反応は見られなかった。図-14 で微小な反応があるが，この地盤層の飽和体積含水比(θ_{sat})が 0.419 のため，Case 1 & 2 と同様にこれは測定中のノイズなどの影響であると考えられる。実験開始後すぐに被覆層に水が浸入し，終了後，被覆層は湿潤状態であった。一方，センサー設置土層，側面の疎水材は乾燥状態であった。混合疎水材層は，珪砂2号の部分は若干の浸透が見られたものの，豊浦砂の部分は浸透が見られなかった。そのため，混合疎水材層の下には水が浸透しておらず，遮水機能を発揮していることが分かった。以上の結果から，混合率（豊浦砂：珪砂2号）が 4：6 の混合疎水材層 3.0cm（乾燥密度 ρ_d=1.80g/cm^3）において，疎水材層より下への降雨浸透は発生しない，すなわち優れた遮水性能を維持できることが明らかになった。

3.6 水浸入水頭試験結果との比較・評価

室内盛土模型実験の Case 1 では，疎水性豊浦砂を用いて，乾燥密度 ρ_d=1.50g/cm^3 で締固めを行い，斜面への降雨浸透の有無を測定した。水浸入水頭試験(Case 1 と Case 2)の結果から，最も平均粒径の小さい豊浦砂において，乾燥密度 ρ_d=1.50g/cm^3 で締固めを行うと，十分に優れた遮水機能を発揮した。室内盛土模型実験でも，降雨強度 20mm/hr，50mm/hr，100mm/hr で実験を行った結果，いずれの降雨強度においても降雨浸透は見られなかった。よって，水浸入水頭試験の Case 1 と Case 2 で得られた結果と室内盛土模型実験の結果が一致していることが分かる。従って，疎水材は盛土斜面に適用した際に優れた遮水機能を発揮し，降雨浸透による斜面崩壊の対策に有意であると考えられる。

室内盛土模型実験の Case 2 では，疎水性豊浦砂を用いて，層厚 0.5cm，乾燥密度 ρ_d=1.50g/cm^3 で締固めを行い，斜面への降雨浸透の有無を測定した。水浸入水頭試験(Case 3)の結果から，いずれの試料も，層厚 0.45cm 以下で十分な遮水機能を発揮した。また，最も平均粒径の小さい豊浦砂は 0.15cm の層厚で十分な遮水機能を発揮した。室内盛土模型実験では，施工性を考慮して 0.5cm で模型盛土を作製したところ，降雨強度 100mm/hr に対して降雨浸透は見られなかった。よって，水浸入水頭試験の Case 3 で得られた結果と室内盛土模型実験の結果が一致していることが分かる。そのため，盛土斜面に適用する際に，層厚を小さくすることによるコスト削減が可能となると期待される。また，実際の施工現場においては，施工性とコストの両方を考慮して，状況に合わせた層厚を決めることが重要であると考えられる。

室内盛土模型実験の Case 3 では，疎水性豊浦砂と疎水性珪砂2号を用いて，混合率（豊浦砂：珪砂2号）4：6 で混合疎水材を作製し，斜面への降雨浸透の有無を測定した。水浸入水頭試験(Case 4)の結果から，豊浦砂と珪砂 2 号を混合すると，2.0mm 以下土粒子含有率が 40%以上で優れた遮水機能を発揮した。室内盛土模型実験においても，混合率（豊浦砂：珪砂2号）4：6 で実験を行った結果，降雨強度 100mm/hr に対して降雨浸透は見られなかった。よって，水浸入水頭試験の Case 4 で得られた結果と室内盛土模型実験の結果が一致していることが分かる。そのため，実際の施工現場において，2.0mm 以下土粒子含有率が遮水性能の発揮有無を判断する目安となり，40%以上であれば，盛土斜面に適用した際に優れた遮水機能を発揮すると考えられる。

以上より，水浸入水頭試験の結果は，実際の盛土斜面においての様々な疎水性地盤材料の条件に従って反映できると考えられる。そして，更なる水浸入水頭試験の実施により，実際の施工現場において疎水材層の迅速な検討ができると期待される。

4．結論

本研究では，珪砂 2～5 号と豊浦砂を用いて水浸入水頭試験と室内盛土模型実験を行い，疎水性地盤材料の遮水特性及び盛土斜面部への適用性について検討した。以下に，本研究で得られた結果及び考察についてまとめる。

(1) 水浸入水頭試験では，疎水性地盤材料の乾燥密度が大きいほど，また平均粒径が小さいほど遮水機能が増加した。これは，乾燥密度が大きい，また，平均粒径が小さいと，土粒子間の空隙が小さくなり，水を反発しようとする力が発揮されやすくなるからである。そのため，実際の施工現場において，コストの許す範囲で粒径の小さな試料を用いることが重要だと考えられる。

(2) 地盤表面での締固めの有無による遮水性能について水浸入水頭試験を行った結果，遮水性能にあまり大きな差は見られなかった。そのため，乾燥密度や平均粒径と比べ，締固めに留意する必要性は低いと判断される。よって，施工時での締固めの必要性が軽減され，人的コストやエネルギー的コストなどの建設費用の削減に繋がると考えられる。

(3) 疎水性地盤材料の遮水性能における必要な層厚についての水浸入水頭試験による検討では，平均粒径が小さいほど必要な層厚は小さくなることが明らかとなった。また，必要な粒子の個数は平均粒径の増加に伴って，ユニークな関係として減少することが分かった。この関係より，平均粒径が 3.55mm を超えると疎水性地盤材料は遮水機能を発揮できないと判断され，金ら(2019a)の研究における平均粒径 3.6mm の珪砂1号で水浸入水頭試験が測定不可能であったという結果と一致する。さらに，いずれの試料も層厚 4.5mm 以下で十分な遮水機能を持った。よって，層厚を小さくすることでのコスト削減は十分に可能であると考えられる。

(4) 疎水性地盤材料を混合させた場合，曲率係数が 1.0 より小さく，2.0mm 以下の土粒子含有率が 40%より大きいと優れた遮水機能を発揮した。これは，優れた遮水機能を持つ試料の割合に依存し，その割合が 40%より多ければ，遮水機能が十分に発揮されると考えられる。

(5) 室内盛土模型実験では，盛土斜面に設置した疎水材層において降雨強度の変化による遮水機能を検討するため，降雨強度(I)の 3 パターン(20mm/hr，50mm/hr，100mm/hr)で実験を行った。その結果，いずれの降雨強度も疎水材層内への降雨浸透は起こらず，疎水材層の優れた遮水機能が明らかになった。よって，疎水材層の設置は降雨浸透による斜面崩壊の対策として有意であると考えられる。

(6) 疎水材の層厚を薄く設置した場合の盛土斜面の遮水性能を検討した結果，非常に薄い疎水材層 0.5cm と降雨条件(I)100mm/hr の条件で，疎水材層より下への降雨の浸透は発生しない，すなわち優れた遮水機能を維持した。そのため，盛土斜面に適用する際に，層厚を薄くすることによるコスト削減が可能となると期待される。

(7) 疎水材の粒度分布が遮水性に及ぼす影響について室内盛土模型実験により検討された。混合率（豊浦砂：珪砂 2 号）を 4：6 にして模型実験を行った結果，混合疎水材層より下への降雨の浸透は発生せず，優れた遮水機能を維持した。よって，実際の施工現場において，2.0mm 以下含有率を目安として遮水機能の発揮有無を判断することが可能であり，2.0mm 以下含有率が 40%以上であれば，盛土斜面に適用した際に優れた遮水機能を発揮すると考えられる。

参考文献

1) 金 秉洙，小林 弘昌，門吉 俊斗，竹下 祐二．2019a．疎水性地盤材料の作製方法とその遮水性能に関する研究，第 71 回土木学会中国支部研究発表会，岡山(2019 年 6 月 1 日)，pp. 192-195.

2) 金 秉洙，小林 弘昌，松本 一樹 竹下 祐二，加藤 正司．2018．キャピラリーバリアの被覆層における疎水材の適用性の検討 ーその 2：室内模型実験の実施ー，第 53 回地盤工学研究発表会，地盤工学会，高松(平成 30 年 7 月)，pp. 1203-1204.

3) 金 秉洙，小林 弘昌，森 啓史朗，竹下 祐二，加藤 正司．2019b．疎水性地盤材料を混合したキャピラリーバリア材の遮水性能に関する研究，第 54 回地盤工学研究発表会，地盤工学会，埼玉(2019 年 7 月)，pp. 609-610.

サツマイモネコブセンチュウ抵抗性に関する実用的な選抜 DNA マーカーの開発

岡山大学大学院環境生命科学研究科　門田有希
岡山大学大学院環境生命科学研究科　小畠望美
農研機構九州沖縄農業研究センター　田淵宏朗

1．はじめに

サツマイモ（*Ipomoea batatas* (L.) Lam.）はヒルガオ科サツマイモ属に属する農作物であり、熱帯から温帯にかけて広い地域で栽培が行われている。世界における年間生産量は 1 億トンを超えており、世界的に重要な作物の一つとされている [1]。タンパク質やビタミン、ミネラルなどを豊富に含むため、特に発展途上国において貴重な栄養供給源となっている。サツマイモの主要な生産国として挙げられるのは、中国、ウガンダである。日本におけるサツマイモの生産量は 863,600 トン（2010）であり、主な産地としては、九州地方の鹿児島県や宮崎県、関東地方の茨城県や千葉県が有名である。サツマイモの用途別消費の内枠は、生食用のほか飼料用、種子用、加工食品用、でん粉用、焼酎原料用など多岐にわたっている。それら用途に応じて食味（甘味、肉質など）の優れたもの、デンプン含量が高いものなど多数の品種および系統の育成が進められ、また近年ではセンチュウや主要病害抵抗性を付与した品種の作出も求められている。

サツマイモネコブセンチュウ（*Meloidogyne incognita*）は、サツマイモの代表的な土壌性線虫害で、アレナリアネコブセンチュウ（*M. arenaria*）、ジャワネコブセンチュウ（*M. javanica*）、およびキタネコブセンチュウ（*M. hapla*）と並ぶ世界的に重大な有害線虫の一種である。生育適温が 25~30℃であり、温暖な地帯に生息するためサツマイモが栽培されているほとんどの地域でその存在が確認されている。サツマイモネコブセンチュウは、サツマイモ塊根に寄生すると細根基部を中心に肥大不良になるためにくぼみが発生する。症状が進行するとくびれや裂開が生じるため、サツマイモの収量が大きく減少するほか外観品質が著しく損なわれ商品価値が大きく低下する [2]。日本においてはサツマイモネコブセンチュウのレース SP1～SP9 が知られており、地域によって出現しやすい優占レースは異なる [3]。先行研究において、レース SP1 は佐賀県，熊本県，長崎県において発生が確認されており、SP4 および SP6 は沖縄県と茨城県に多く分布している [3)-5]。今回研究対象としている SP2 については熊本県やサツマイモ生産量が日本 1 位である鹿児島県で主に発生している。これら線虫に対して、実際の栽培現場では D-D 剤などの土壌くん蒸剤といった殺線虫剤による土壌消毒を用いた防除対策が行われている [6]。しかしながら、D-D 剤の主要成分である 1,3-ジクロロプロペンには皮膚刺激性および催涙性があり、有機物分解能や土壌微生物群集構造に対して影響を及ぼすという報告もある。また、薬剤使用の際にコストおよび土壌表面の被覆やガス抜きなどの作業といった労力がかかる問題がある上、抵抗性の崩壊なども危惧されている。そこでこのような土壌消毒無しに栽培可能な抵抗性品種の育成が求められている。

一方、サツマイモは 6 倍体（2n = 6x = 90）で自家不和合性、巨大なゲノムサイズを有する（2.2～3Gb）等の特徴から、遺伝解析が極めて難しい作物種として知られている [7]。このような状況において我々は、「ゲノム情報を活用した農産物の次世代生産基盤技術の開発プロジェクト（大豆及び畑作物の有用遺伝子の同定とＤＮＡマーカーの開発）」という農林水産省支援の研究プロジェクトのもと、「次世代シーケンスを用いた活動型レトロトランスポゾンの挿入多型解析によるサツマイモ高密度連鎖地図の作成と立枯病およびネコブセンチュウ抵抗性マーカーの開発（SFC3003）」という課題名において、サツマイモの病虫害に関する遺伝解析を進めてきた。遺伝解析が極めて難しいとされたサツマイモを対象に次世代シーケンサー（Next Generation Sequencer：以降 NGS とする）を利用することで高密度な連鎖地図を構築し、さらに QTL 解析やゲノムワイドなアソシエーション解析（Genome wide association study：以降 GWAS とする）を行い、3 つのサツマイモネコブセンチュウレース（SP1, SP4, SP6-1）に対して抵抗性を制御する遺伝領域を同定することに成功した [8]。さらに同定された遺伝領域の DNA 配列情報を利用し、実際の育種現場で利用可能な選抜 DNA マーカーを開発した [8]。加えて、ゲノムワイドな SNP 情報を利用した GWAS によりゾウムシ抵抗性や収量性など重要な農業形質に関わる遺伝領域も見出した [9]。

そこで本研究では、新たなレース SP2 に対して QTL 解析や GWAS 等の遺伝解析を行い、抵抗性に関わる遺伝領域を同定し、さらに同定された QTL の情報を活用することで、実用的な選抜 DNA マーカーを開発することを目的とした。

2．材料および方法

2.1 植物材料と核酸抽出

供試材料はレース SP2 に対して抵抗性を示すサツマイモ品種「ジェイレッド」と感受性を示す品種「潮州」、さらにこれら 2 品種を交配して得られた F_1 集団 107 系統である。品種「ジェイレッドは」は、SP8 を除く多くのレースに対して抵抗性を示すことが知られている [3),10)-11]。一方で、品種「潮州」は、SP2 を含む多くのレースに対して感受性を示す [10]。これら植物体のゲノム DNA については DNeasy Plant mini Kit（QIAGEN Inc., Germany）により抽出した。抽出した DNA については、NanoDrop 2000（Nanodrop Technologies., DE, USA）を用いて定量した。

2.2 サツマイモネコブセンチュウ抵抗性評価試験

サツマイモネコブセンチュウ抵抗性評価試験については、共同研究先である九州沖縄農業研究センターにて行われた。方法は Tabuchi et al., 2017[10] に従って行われた。まずは F_1 集団 107 系統とその親品種の苗を 25~30℃の温室において発根させ、7～10 日後ツルから約 1.5cm を切り取ることで一節苗を得た。一節苗にレース SP2 の線虫二期幼虫 500 頭を接種し、接種 35 日後に各個体に着生した卵のう数を計測した。各系統につき 2～15 回の反復試験を行い、その平均値を算出した。

2.3 抵抗性に関する遺伝解析

遺伝解析については、先行研究で構築された高密度連鎖地図を用い [8]、連鎖解析用ソフトウェア MapQTL により QTL 解析を行った [12]。解析モデルは Mixture Model に設定し、初期設定の状態で Interval Mapping を実行した。また、QTL を検出する際の閾値となる LOD スコアを算出するため、Permutation Test を 1000 回行った。

さらにゲノムワイドな SNP 情報と抵抗性検定結果を用いて GWAS を行った。GWAS は Tassel ソフトウェア [13] を用いて行い、結果の可視化には R の qqman パッケージ [14] を用いた。

2.4 選抜 DNA マーカーの開発

遺伝解析で同定された抵抗性 QTL 領域における SNP 情報から、Hayashi et al., 2004[15] の方法に基づき遺伝子型判別用の PCR プライマーを設計した。この方法では、ターゲットとなる SNP をプライマーの 3'末端塩基とし、その 3 塩基上流に人為的な塩基置換を導入したプライマーを設計する。それにより、遺伝子型の違いを増幅産物の有無により区別することができる。設計したプライマーを用い、親品種および F1 系統を対象に遺伝子型解析を行った。増幅産物については、3%アガロースゲルに電気泳動し、バンドパターンを確認した。

3．結果

3.1 サツマイモネコブセンチュウ抵抗性評価結果

サツマイモネコブセンチュウ抵抗性評価の結果、抵抗性親品種である「ジェイレッド」においては平均卵のう数が極めて少なく、0.883 であった。一方、感受性親品種である「潮州」においては、平均卵のう数が多くなっており，194.09 であった。よって、両親品種間における抵抗性強度には大きな差があることが示された。また、抵抗性・感受性の着生卵のう数の閾値を 10 に設定し、10 以下を抵抗性、10 より多い場合を感受性とすると [10),16]、F1 集団において抵抗性：感受性は 1：3 に分離した。先行研究におけるレース SP1, 4, 6-1 の抵抗性評価結果では、同様の閾値をもって抵抗性：感受性を設定したところ、抵抗性：感受性は 1：1 に分離した [8]。よって、これらレースに対する抵抗性は一本の染色体に座乗する（=Simplex）単一の優性遺伝子によって制御されていると考えられた。事実、遺伝解析の結果でも単一の大きな抵抗性ピークが確認されている [8]。一方で今回研究対象とした SP2 については異なる分離比が確認されたことから、SP1, SP4, SP6-1 とは異なる遺伝的な制御を受けていると考えられた。

3.2 QTL 解析

先行研究における連鎖地図の情報と抵抗性評価結果を用い、QTL 解析を行った。本研究で使用した連鎖地図は、SSR、レトロトランスポゾン挿入

多型および SNP マーカーから構成されており、「ジェイレッド」については 6341 マーカーから成る 90 の連鎖群、「潮州」については 6008 マーカーから成る 90 の連鎖群が構築されている[8]。この高密度な連鎖地図を用い、MapQTL により QTL 解析を行った。その結果、ジェイレッドにおいては、連鎖群 Ib03_2 および Ib07_4 に候補の QTL を検出した。また潮州については、連鎖群 Ib07_5 に候補の QTL を検出した（表 1）。

表 1．検出された QTL のまとめ

親品種	連鎖群	Position (cM)	LOD	R^2 (%)
ジェイレッド	Ib03_2	131.35	3.24	42.1
	Ib07_4	69.64	4.10	26.0
潮州	Ib07_5	68.83	3.54	15.5

3.3 GWAS 解析

さらに QTL 解析の信頼性を検証するため、ネコブセンチュウ抵抗性検定結果ならびに SNP マーカーの遺伝子型情報を用いて GWAS を行った。その結果、「ジェイレッド」において、QTL 解析と同様に Ib07 の連鎖群に比較的高いピークを検出した（図 1）。

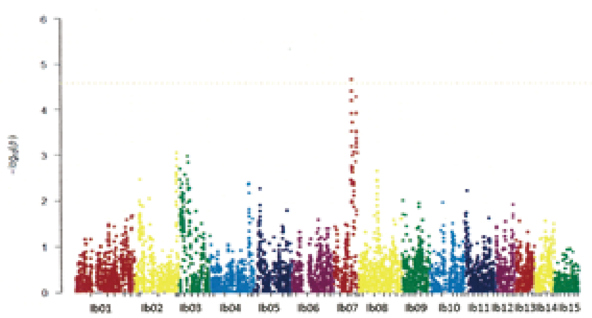


図 1．GWAS のピーク図

3.4 検出された QTL の効果の検証

QTL 解析によって同定された３つの QTL（「ジェイレッド」由来の QTL が２つ、「潮州」由来の QTL が一つ）について、それぞれの QTL の効果を調べた。各 QTL の遺伝子型に基づいて F1 系統を分類し、平均卵のう数を算出することでその効果を調査した。まず、「ジェイレッド」で確認された連鎖群 Ib03_2 における QTL の効果を調べた。QTL の遺伝子型がジェイレッド型の場合、平均卵のう数が少なく、潮州型では多いことが示された。また、「ジェイレッド」の Ib07_4 連鎖群で検出された QTL についても、遺伝子型がジェイレッド型の場合平均卵のう数が少なく、潮州型では多かった。以上のことから、「ジェイレッド」がもつ２つの QTL はジェイレッド型で抵抗性を示すことが明らかとなった。一方、「潮州」で確認された Ib07_5 に座乗する QTL についても、遺伝子型がジェイレッド型の場合平均卵のう数が少なく、潮州型では多くなり、「潮州」のもつ QTL は潮州型で感受性を示すことが明らかとなった。

3.5 選抜 DNA マーカーの開発

検出された QTL 領域の遺伝子型情報を利用し、レース SP2 に対する選抜 DNA マーカーの開発を試みた。今回は Hayashi et al., 2004[15]の方法を参考に、QTL 領域に存在する SNP に注目することで遺伝子型判別用の PCR プライマーを設計した。

今回は、「潮州」由来の Ib07_5 連鎖群に検出された感受性の効果をもつ QTL を対象に選抜 DNA マーカーを開発した。設計した PCR プライマーを用いて遺伝子型解析を行った結果、「ジェイレッド」では DNA 増幅が見られず、「潮州」では DNA 増幅が確認された（図 2）。F1 系統を用いた遺伝子型解析においてもジェイレッド型（抵抗性）では DNA 増幅が見られず、潮州型（感受性）では DNA 増幅が確認される傾向にあった。しかしながら、遺伝子型と増幅の有無が完全に一致するわけではなく、一部不一致の系統も少数ながら存在した。この感受性 QTL を用いた遺伝子型解析の結果、F1 集団 99 系統のうち、65 系統を識別することができた。よって、このマーカーを用いれば約 65.7％の確率でネコブセンチュウレース SP2 に対する抵抗性・感受性の識別が可能であるということが示された。

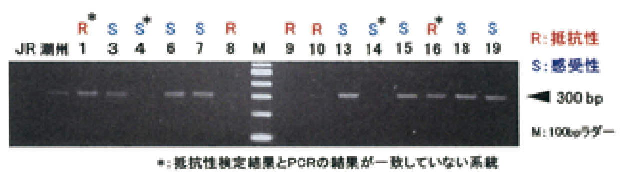


図 2．遺伝子型判別 DNA マーカーによる PCR 結果

4．まとめと今後の展望

本研究では、サツマイモの重大な有害線虫であるサツマイモネコブセンチュウ SP2 を対象に、NGS を利用した遺伝解析を行った。その結果、複数の QTL を検出することができた。また、ある一つの QTL 領域に注目し、配列情報を利用することによって PCR 増幅の有無で簡易に判別可能な選抜 DNA マーカーを開発した。このマーカーは感受性親である「潮州」に由来しており、感受性個体では DNA が増幅し、抵抗性個体では DNA が増幅しないため、PCR バンドの有無によって抵抗性あるいは感受性かを判別することができる。しかしながら、今回対象とした SP2 では、複数の QTL が検出され、単独の QTL だけでは高効率で選抜可能なマーカーの開発は難しいと考えられた。実際、遺伝子型情報と抵抗性評価結果の情報から、検出された３つの QTL を組み合わせることでより効率的に抵抗性個体を選抜可能であることが示唆されている。また今回は先行研究により公開されている多型情報を用い遺伝解析を行っているが、この多型情報は単純な分離比を示す遺伝子多型のみに注目しており、量的形質など複雑な分離を示す形質の場合には十分ではない。近年高次倍数体を対象とした新たな統計遺伝学的な解析ソフトも開発されている[17-20]。今後は、このような新しいソフトを用いた解析を行うことで、サツマイモのような６倍体であっても農業形質に関与する遺伝子座を効率的かつ適切に見つけ出すことができると考えられる。

5．謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご支援を頂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いたします。また、農林水産省支援「ゲノム情報を活用した農産物の次世代生産基盤技術の開発プロジェクト（大豆及び畑作物の有用遺伝子の同定とＤＮＡマーカーの開発）」にも感謝申し上げます。

6．引用文献

1) FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (http://www.fao.org)
2) Lawrence, G.W., Clark, C.A. and Wright, V.L. 1986, Influence of *Meloidogyne incognita* on resistant and susceptible sweet potato cultivars, J. Nematol., 18, 59–65.
3) Sano, Z. and Iwahori, H. 2005, Regional variation in pathogenicity of *Meloidogyne incognita* populations on sweetpotato in Kyushu Okinawa, Japan. Jpn. J. Nematol., 35, 1–12.
4) Kuranouchi, T., Momota, U., Takada, A., Nakamura, Y., Tamiya, S., Nakatani, M., Kumagai, T and Katayama, K. 2016, The susceptibility of sweetpotato cultivars and lines to root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, in two experimental fields and the determination of the nematode race, Breed. Res., 18, 145–51.
5) Sano, Z., Iwahori, H., Tateishi, Y. and Kai, Y. 2002, Differences in the resistance of sweet potato cultivars and lines to Meloidogyne incognita populations, Jpn. J. Nematol., 32, 77–86.
6) 農研機構・九州沖縄農業研究センター“有害線虫総合防除技術マニュアル” https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/nematode.pdf
7) Monden, Y. and Tahara, M. 2017, Genetic linkage analysis using DNA markers in sweetpotato. Breed. Sci., 67, 41–51.
8) Sasai, R., Tabuchi, H., Shirasawa, K., Kishimoto, K., Sato, S., Okada, Y., Kuramoto, A., Isobe, A.. Tahara, M. and Monden, Y. 2019, Development of molecular markers associated with resistance to *Meloidogyne incognita* by performing quantitative trait locus analysis and genome-wide association study in sweetpotato. DNA Res., 26, 399–409.
9) Okada, H., Monden, Y., Nokihara, K., Shirasawa, K., Isobe, S. and Tahara, M. 2019, Genome-Wide Association Studies (GWAS) for Yield and Weevil Resistance in Sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Plant Cell Rep., 38, 1383–1392.
10) Tabuchi, H., Kuranouchi, T., Kobayashi, A., Monden, Y., Kishimoto, K., Tahara, M., Okada, Y. and Iwahori, H. Southern root-knot nematode Y. and Iwahori, H. 2017, Southern root-knot nematode race SP6 is divided into two races. Nematol. Res., 47, 29–33.
11) Yamakawa, O., Yoshinaka, M., Kumagai, T., Hideka, M., Komaki, K., Kukimura, H. and Ishiguro, K. 1998, “J-Red”: a new sweetpotato cultivar, Bull. Kyushu Agri. Exp. Stn., 33, 49–72.
12) Van Ooijen, J.W. 2009, MapQTL 6: Software for the Mapping of Quantitative Trait Loci in Experimental Populations of Diploid Species. Kyazma BV, Wageningen, Netherlands.
13) Bradbury, P.J., Zhang, Z., Kroon, D.E., Casstevens, T.M., Ramdoss, Y. and Buckler, E.S. 2007, TASSEL: software for association mapping of complex traits in diverse samples, Bioinfomatics, 23, 2633–2635.
14) Turner, S.D. 2014, qqman: an R package for visualizing GWAS results using Q–Q and

Manhattan plots, biorXiv.
15) Hayashi, K., Hashimoto, N., Daigen, M. and Ashikawa, I. 2004, Development of PCR-based SNP markers for rice blast resistance genes at the *Piz* locus, Theor. Appl. Genet., 108, 1212–20.
16) Nakayama, H., Tanaka, M., Takahata, Y., Matsui, K., Iwahori, H., Sano, Z.I. and Yoshinaga, M. 2012, Development of AFLP-derived SCAR markers associated with resistance to two races of southern root-knot nematode in sweetpotato, Euphytica, 188, 175–85.
17) Mollinari, M. and Garcia, A.A.F. 2019, Linkage analysis and haplotype phasing in experimental autopolyploid populations with high ploidy level using hidden markov models. G3: Genes, Genomes. Genetics 9: 3297–3314
18) Mollinari, M., Olukolu, B.A., Pereira, G.D., Khan, A., Gemenet, D., Yencho, G.C. and Zeng, Z.B. 2020, Unraveling the hexaploid sweetpotato inheritance using ultra-dense multilocus mapping. G3: Genes, Genomes. Genetics, 10, 281–292.
19) Pereira, G.S., Gemenet, D.C., Mollinari, M., Olukolu, B.A., Wood, J.C., Mosquera, V., Gruneberg, W.J., Khan, A., Buell, C.R., Yencho, G.C. and Zeng, Z.B. 2020, Multiple QTL mapping in autopolyploids: a random-effect model approach with application in a hexaploid sweetpotato full-sib population. Genetics, doi:10.1534/genetics.120.303080.
20) Yamamoto, E., Shirasawa, K., Kimura, T., Monden, Y., Tanaka, M. and Isobe, S. 2020, Genetic Mapping in Autohexaploid Sweet Potato with Low-Coverage NGS-based Genotyping Data. G3: Genes, Genomes. Genetics, https://doi.org/10.1534/g3.120.401433.

フィトクロムの生理機能の改変を用いた温暖環境に対する適応基盤の構築

池田啓
岡山大学資源植物科学研究所

１．はじめに

陸上植物は生育環境における光条件を感知するための光受容体（フィトクロム）をもつ。フィトクロムは赤色光を感知することで生理活性をもち，発芽・成長の促進や開花の抑制といった環境に応答した植物の様々な生理応答を制御する役割をもつ。一方で，生理活性をもつフィトクロムは自律的に生理活性を失う性質をもっており，温度が高い条件ほど速やかに生理活性を失う。フィトクロムの生理活性の強さが温度に依存して変化することは，フィトクロムが温度に応じた生理応答を制御する温度センサーとしての役割を果たすことを意味する。したがって，フィトクロムの温度センサーとしての機能を改変することは，温度に対する生理応答を変化させ，本来最適な温度条件とは異なる温度条件で生育することに適した生理応答をもたらす可能性がある。

本研究では，植物が自然界における進化の中で獲得したフィトクロムの性質に注目することで，それらの変異が温度条件の違いに対する生育に左右する影響をもつかを明らかにすることを目指す。これまでの研究から，日本列島の 3000m 級の山岳のみに生育する植物（ミヤマタネツケバナ・*Cardamine nipponica*）とその姉妹種で北極圏に生育する *Cardamine bellidifolia* とは，アミノ酸配列が 7 つ異なるフィトクロムタンパク質（PHYB）をもち，ミヤマタネツケバナの *PHYB*（*CnPHYB*）は独自に進化したものであることが明らかにされている（Ikeda *et al.* 投稿中）。また，CnPHYB は，*C. bellidifolia* の PHYB（CbPHYB）と比べ，温暖な条件において速やかに活性を失う性質をもつ（Ikeda *et al.* 投稿中）。したがって，北極圏に生育する *C. bellidifolia* と比べ温暖な気候に生育するミヤマタネツケバナにとって，*CnPHYB* の方が *CbPHYB* より温暖な環境での生育に適した生理応答を与える可能性が考えられる。

そこで，モデル植物であるシロイヌナズナの形質転換体を用いることで，*CnPHYB* と *CbPHYB* がもたらす温度に対する生理応答の違いを明らかにする。特に，植物が成長し，いかに多くの子孫を残すかを左右する，(1) 種子生産量と (2) 発芽の性質とに注目し，温暖な条件において，*PHYB* の違いがこれらの形質にどのような影響を与えるかを明らかにする。

２．材料および方法

２.１ シロイヌナズの形質転換と実験系統の選抜

実験室で栽培した *C. bellidifolia*（カムチャッカ半島産）及びミヤマタネツケバナ（木曽駒ヶ岳産，長野県）の葉からそれぞれ RNA を抽出し，逆転写反応を行った後に，cDNA を鋳型にそれぞれの種の *PHYB* のコード領域の全長を PCR 増幅した。*CbPHY, CnPHYB* を In Fusion（Takara Bio）を用いてベクターと結合させ，プラスミドを作成した。作成したプラスミドは，*PHYB* を 35S プロモーターのもとで強発現させるとともに，PHYB の N 末に GFP が付加されたタンパク質をコードするものである。

このプラスミドを用いてアグロバクテリウムを形質転換した。その上で，形質転換したアグロバクテリウムを用いたフローラルディップ法によって，*CbPHYB, CnPHYB* をシロイヌナズナの *PHYB* の正常な機能を失った変異株（*phyB-*）に導入した。*CbPHYB, CnPHYB* が導入された系統をそれぞれ 3 ラインずつ選抜した。

２.２ 栽培実験

(1) 形質転換体の育成と種子生産量の評価

シロイヌナズナの野生型（Ler），*phyB* 変異株および *CbPHYB, CnPHYB* を導入した形質転換体の種子を，キムワイプ上で吸水させ，3 日間冷蔵庫に安置した後に，バーミキュライトに移し，22℃白色光（24 時間連続照射）条件において発芽を誘導した。この条件で 10 日間育成した後に，プ日長 12 時間で光（ラントフレック，日本医科機器）を照射した条件へと移し，22℃，28℃において植物を育成した。果実が熟した後に，主茎の果実を採取し，果実ごとに含まれる種子数を数えた。

(2) 発芽実験

上記（1）の育成で採取した種子を室温（約 25

℃）で乾燥させたのちに，発芽実験に使用した。種子は 5%次亜塩素酸溶液を用いて滅菌したのちに，クリーンベンチ内で MS 培地（0.8%アガー・丸型シャーレ）に播種した。播種したシャーレは遮光し，7 日間冷蔵庫（4℃）に保管した後，10℃，22℃，34℃の 3 つの温度条件において，赤色光（ca. 30μmol）を常時照射し，発芽を誘導した。発根した段階を発芽と定め，光条件に移動後 10 日までの発芽を観察し，発芽率を記録した。

３．結果と考察

(1) 種子生産量に対する *PHYB* の効果

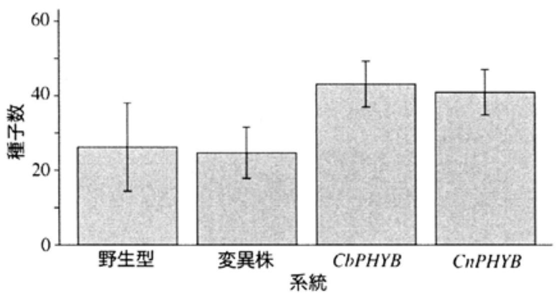
22℃で育成した個体は，高い再現性をもって育成した。平均的に生育した株を選び，各系統 8～14 個体ずつより主茎の果実に含まれる種子を，果実ごとに数えた（表 1）。他方で，28℃で育成した植物は十分に生育せず，開花・結実がうまくいかなかったため，十分なデータが得られなかった。

表 1．種子数の計測に用いた個体数と果実数

系統	ライン	個体数	果実数
野生型		14	149
変異株		9	168
CbPHYB	#6	10	84
	#13	8	57
	#18	12	115
CnPHYB	#5	14	251
	#7	10	203
	#13	12	141

22℃で育成した系統ごとの 1 果実あたりの平均種子数を図 1 に示した。野生型（26.2 粒／果実）は，変異株（24.7 粒／果実）と比べ，わずかに種子生産量が多かった。これに対し，*CbPHYB*，*CnPHYB* を導入した形質転換体は，野生型よりも多くの種子を生産した（*CbPHYB*: 43.1，*CnPHYB*: 41.0 粒／果実）。他方，*CbPHYB* と *CnPHYB* では，種子生産量に大きな差が見られなかった。

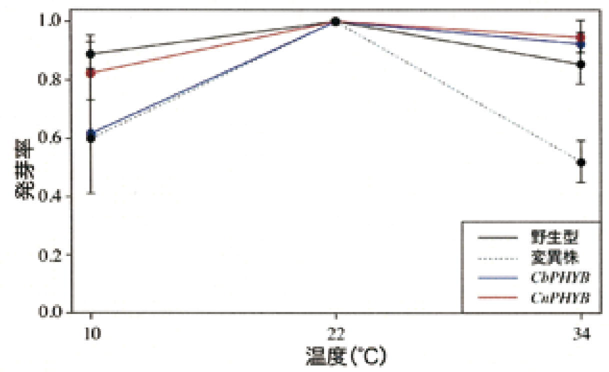
野生型と変異株の比較では，*PHYB* が種子生産量に影響しているとは考えにくいが，*CbPHYB*，*CnPHYB* を強発現した際に種子生産量が増加している。この理由には，野生型における *PHYB* の発現量では，種子生産量に影響するほどの働きをもたないが，強発現によって *PHYB* の発現量が増えたことが種子生産量を増やすことに寄与したためと考えられる。あるいは，PHYB の N 末に GFP を付加しているため，GFP を連結した PHYB の働きが種子生産量に影響したことが考えられる。また，今回の導入した *PHYB* は，シロイヌナズナのものではなく，異なる属の植物に由来するものである。そのため，*CbPHYB*，*CnPHYB* がシロイヌナズナの種子生産に関連する生理応答に何らかの作用をもったことで，種子生産量が増加した可能性も考えられる。これらの仮説を検証するには，シロイヌナズナの *PHYB* を強発現した植物や *CbPHYB*，*CnPHYB* をシロイヌナズナの *PHYB* プロモーターで誘導した植物，GFP を付けない PHYB を発現させた植物を用いて，種子生産量を評価する必要がある。いずれにしても，*CbPHYB* と *CnPHYB* のアミノ酸配列の違いは，22℃における種子生産量に大きな影響をもたないことが示された。



図－1　シロイヌナズナの野生型，変異株，形質転換体における果実あたりの平均種子生産量（粒／果実）。*CbPHYB* 及び *CnPHYB* はそれぞれ，*Cardamine bellidifolia*，*Cardamine nipponica* の *PHYB* を強発現した形質転換体を示す。それぞれの形質転換体には，3 ライン用いており，ラインの違いを考慮せずに計算した平均値を示す。エラーバーは標準誤差を示す。

(2) 発芽に対する *PHYB* の効果

野生型，変異株，形質転換体における発芽特性の違いを顕著に見ることのできる発芽誘導後 4 日目の発芽率を図 2 に示す。22℃においては，いずれの系統も 100%発芽している。これに対し，10℃，34℃においては，いずれの系統も 22℃と比べ，発芽率が低下している。特に，*phyB* 変異株は野生型と比べ 10℃，34℃のいずれにおいても発芽率が低下していることから，いずれの温度においても，シロイヌナズナの *PHYB* は発芽を促進する役割をもつことが考えられる。*CnPHYB* を導入した形質転換体は，10℃，34℃のいずれにおいても野生型と同程度に発芽することから，シロイヌナズナの *PHYB* の機能を回復したことが考えられる。これに対し，*CbPHYB* を導入した形質転換体は，34℃では *CnPHYB* と同様に発芽率が回復しているが，10℃における表現型が変異株と大差ない。また，10℃，34℃のいずれにおいても，*CnPHYB* を導入した形質転換体の方が，*CbPHYB* を導入した形質転換体よりも高い割合で発芽している。



図－2　シロイヌナズナの野生型，変異株，形質転換体の発芽率。赤色光を連続照射した，10℃，22℃，34℃の 3 つの温度条件における 4 日目の発芽率を示す。*CbPHYB* 及び *CnPHYB* はそれぞれ，*Cardamine bellidifolia*，*Cardamine nipponica* の *PHYB* を強発現した形質転換体を示す。それぞれの形質転換体には，3 ライン用いており，ラインの違いを考慮せずに計算した平均値を示す。エラーバーは標準誤差を示す。

これらの結果から，10℃と 34℃においては，*PHYB* が発芽を促進する役割をもち，*CnPHYB* の方が *CbPHYB* よりも発芽を強く促進することが考えられる。また，*CbPHYB* は 10℃における発芽を促進する役割をもたない可能性がある。他方，10℃では発芽率のばらつきが全体的に大きいため，10℃における発芽はチャンバー内における光の当たり方のような細かい条件が影響した可能性も考えられる。

(3) まとめ

CbPHYB と *CnPHYB* とでは，22℃における種子生産量に大きな違いをもたなかったが，10℃，34℃といった発芽を抑制する条件では *CnPHYB* の方が発芽を促進する働きが強いことが示唆された。今回の実験では 28℃における育成がうまくできなかったため，28℃で生育を開始するタイミングを変更するなどの条件を検討することが課題として残された。特に，28℃で育成した際の種子生産量やそれらの種子の発芽率を評価することで，*PHYB* ごとの温度応答の違いに対する理解が深まるものと期待される。また，10℃における発芽率では，実験条件の影響が結果を左右している可能性が考えられたため，反復を増やすとともに，サンプルの配置などの影響がないかを検証する必要があると考えられた。

被災経験保育士の経験に基づく保育現場の水害時の防災・減災対策の検討

倉敷市立短期大学保育学科　　平岡　敦子
倉敷市立短期大学保育学科　　金山　和彦

1　はじめに

近年の激甚自然災害の増加とそれに伴う人々の生活の安全保障が難しい状況下、防災・減災対策を講じることは喫緊の課題である。平成30年西日本豪雨災害で甚大な被害を被った倉敷市真備町では、いまだ住民は生活をはじめ心身の回復などすべてにおいて復興は道半ばである。長く続いた大雨によって引き起こされた河川・堤防の決壊やバックウォーター現象といった水害を後に二度と繰り返さないため、その対策として河川架け替えなどの治水対策事業工事は２０２３年の完成を目標に行われている。まだまだ復旧作業は道半ばであり、いまだ防災対策が十分でない土地に戻った住民らは、雨季が近づくにつれ再被災への不安を募らせている。

真備町は過去にも河川氾濫による水害に何度も見舞われた歴史がある。真備町の立地環境から、過去の被災時は浸水地域に集落が見られなかったが、近年の倉敷市の産業構造の変化に伴い同町のベッドタウン化進んだことなどにより、多くの人的被害が発生したとされている。保育・幼稚園に通う子どもたちを持つ子育て世帯も多く住んでおり、その多くが被災した。

子どもにとって、被災するということはその育ちに多大な影響をもたらし、影響の大小、持続の状態は個人差こそあれ誰もが抱えながら成長することになる。生命の危機を感じる体験であったり、大切なものや人を喪失する体験となり、子どもとして与えられなければならない生活の質、例えば親や周囲からの愛着や養護といった育ての質が保障されなくなるといったことが生じる。被災家族は生活の復興に向けてあらゆる努力をしなければならない上に、不安定な生活環境や多くの日常の喪失に伴う侵襲、身体の疲労や不調、家族関係など身近な人間関係などの変化とそれに伴う不調など、多くの非日常が被災後に生じる。そのため、生活の自立が幼少である故に困難な子どもに多くのしわ寄せがくる。その子どもの生きることや生活を保障する者として保育者が存在する。保育園は、その子どもの権利が保障される場所として大変貴重な存在である。

被災地において、保育者らが地域社会で担う役割は保育者であり支援者であるなど大変重要であるが、なかでも防災・減災において果たす役割も大きい。それは、2019年度からの保育教育カリキュラムおよび保育所保育指針内容の変更に、防災に関する大幅な内容の充実があった事に裏付けられる。当然のことながら、被災経験者らが感じるその責任の大きさも察して余りある。

被災園勤務保育者から発せられる言葉から、「またあれくらいの雨がきたら子どもと園を守るのか、危機感と緊張や不安を強く感じている。次の雨が来る前にどうにかしたい」と被災の危険性を強く感じている。被災地でも、早急な避難方法の確立が必要でるとしながらも、先行研究の少なさや検討されるべき内容が煩雑であるということから、未だ策定には至っていない経緯がある。本研究は豪雨災害を主たる対象災害とした防災・減災と方法について、当事者が満足する安全かつ確実な方法の策定という視点から検討する。

1.1 研究目的

被災地における被災体験を生かした水害時の保育施設における防災・減災マニュアルの作成のための検討過程より、保育施設の防災・減災の役割と課題を明らかにする。

2　研究方法

2.1 調査期間及び対象者

2019年6月～2019年12月に平成30年西日本豪雨災害浸水被災地である倉敷市真備町にある保育施設とそこに勤務する園長、被災経験があり防災・減災対策に取り組んでいる保育者を対象とした。を対象とした。

2.2 調査内容

(1)被災による保育施設への侵襲状況

同地域の発災時の保育施設及びその周囲の様子について、倉敷市、真備町内で作成されている災害記録物、被災保育施設の職員の経験を調査した。

(2)被災経験に基づく保育士の防災・減災意識

被災時の対応や必要とされた判断といった要素を明らかにするために、東日本大震災の津波から子どもたちとともに無事に避難した経験を持つ保育者、豪雨災害被災経験者など被災経験者を対象にインタビューを行った。

調査 1) 東日本大震災被災園でのインタビュー：岩手県野田村保育所園長および保育士3名、倉敷市真備かなりや保育園園長2名。

調査 2) 豪雨被害経験した保育施設長へのインタビュー：新見市立新見保育所所長1名、倉敷市真備かなりや保育園園長1名。

調査 3) 南海トラフ等自然災害対策のための子どもへの防災・減災教育に先駆的かつ長期的に取り組む園の実際の聞き取り調査：対象は高知県黒潮町立大方保育園園長1名、主任保育士2名。

(3)真備町内保育施設における「被災経験を生かした保育施設防災・減災のための避難マニュアル作成」

独自の防災・減災マニュアルの作成が必要となる真備町内の保育施設真備かなりや保育園（現幼保連携型認定こども園真備かなりや保育園）を対象に、同地域の好発災害である水害を想定した防災・減災マニュアルを作成、その過程で生じた課題と、今後検討すべき課題を同施設保育士と共に検討した。

2.3 調査方法

本研究では、アクションリサーチ法による。本研究者は、2018年8月から被災地の保育施設においてそこに勤務する保育者らと共に復興過程で生じる課題の解決に取り組み、支援活動をしていた。被災者が被災地において自らの職務を遂行しながら被災による傷つきからの回復を果たしつつ、職場、この場合保育施設の安全を守るための方法を模索するという課題に研究者が共に取り組む中で、参与観察により得られた語りや様子を、矢守（2004）によるアクションリサーチアプローチを参考にデータ化し分析した。その中で、対象者が何か意味を感じながら表現しきれないと感じている部分などをin-depthに探索するため、フォーカスグループインタビュー（FGI）により被災経験者らの相互的な交流から語られることでその意味を明らかにすることを試みた。

なお、本文中に記した「」内は、被災を経験した者らによって語られた被災について印象的な会話文として筆者がノートに記したものなどを引用したもの、【】内は、その語りが示すことを抽象化したもの、『』内は、抽象化したものを集め、語りの文脈が示すことの抽象度を上げたものである。

3　結果

3.1 平成30年西日本豪雨災害による倉敷市の被災の実態

(1)被災時の状況

平成30年7月6日から7日にかけ、その数日前から続いた長雨に追い打ちをかけるような大雨に見舞われたことで、高梁川水系の河川が氾濫、8か所で堤防が決壊、7か所で一部損壊・損傷、そのため倉敷市の被災が真備地区集中し同地区の1200 haが浸水、2350名を超える住民が被災家屋等から救助された。これによって5700棟を超える家屋が損壊、住居と同時にそれまでの日常を失った。その後、住居を失った住民の多くは仮設住宅等へ移り住み、ピーク時約3300世帯、約9000人が仮設住宅で暮らしながら、また自宅を住みながら修復するなど、それぞれが多くの負担を抱えながら生活の再建への歩みを進めることとなった。

真備町の被災の特徴に、狭い範囲で多くの場所が破堤した、水位が地域ごと異なる、10年に一度繰り返されているなどがある。浸水時の水面の標高では、最も高いところでは16mを超えるところもあり、決壊地に近い場所にあった園舎はその屋根まで水に飲まれて全壊した。

図－１　真備町公立保育園被災（7月7日午後倉敷市職員撮影）

表－１　倉敷市真備地区の保育・幼稚園施設の被災状況と避難

種別		園名	被災状況と在園児数		避難先（指定避難場所施設）			
			被災状況	当時在園児数	避難先（指定避難場所施設）	園からの距離	想定避難方法	浸水時避難所の可否
幼稚園	公立	薗幼稚園	被災なし	38	薗小学校	隣接	徒歩避難	○
		川辺幼稚園	全壊	76	川辺小学校	隣接	徒歩避難	×
		二万幼稚園	被災なし	18	二万小学校	隣接	徒歩避難	○
		箭田幼稚園	全壊	66	箭田小学校	隣接	徒歩避難	×
		呉妹幼稚園	床下浸水	15	呉妹小学校	隣接	徒歩避難	▲
		岡田幼稚園	被災なし	62	岡田小学校	隣接	徒歩避難	○
保育園	公立	まきびの里保育園	全壊	104	吉備路クリーンセンター	約2.5km	徒歩避難（園舎内垂直避難検討）	−
	民間	真備かなりや保育園（当時）	1階全壊	159	岡田小学校	約300m	徒歩避難	○
		真備かなりや小規模保育園1	全壊	18				
		真備かなりや小規模保育園2	全壊	15				
		ナーサリー	全壊	9	岡田小学校	約1km	徒歩避難	○

倉敷市真備町内には６公立幼稚園と１公立保育園、４民間保育園（うち３園は同一法人）がある。今回の浸水被害場所は過去の浸水被害地

図－2　真備町内にある保育施設位置

域と一致しており、町内の保育施設においても 8 園の園舎が損壊した（表 1)。

河川の増水が起きて避難についての各指示が出始めたのは 7 月 6 日（金）日中からだったが、決壊による浸水したのは 7 月 7 日（土）の夜間から早朝にかけてであったため、全園休園、園児・保育士が園内で被災した者はいなかった。

表－2　平成 30 年西日本豪雨災害被災当日以降の倉敷市真備地区の保育・幼稚園の動き

時期	倉敷市保育・幼稚園課および真備地区の保育・幼稚園の動き
7月6日(金) 11:30 避難準備・高齢者等避難準備開始 12:00 避難所開設 22:00 真備地区全域に避難勧告 （避難者避難開始）降雨ピーク	終日通常保育
7月7日(土) 0:47 箭田付近(右岸)越水 1:30 高馬川堤防決壊確認・避難指示(緊急) 自衛隊救助活動開始 4:07 真備地区全域に避難指示(緊急) 6:30 末政川堤防決壊 小田川東側100m浸水始まり 役場から「逃げろ」連絡 12:00 高梁川左岸に避難指示(緊急) 15:10 大雨特別警報解除	7:00 真備町町内在住保育士談 「気になって園を見に来て片付けていたら、 急に(道路に)水が来て、どんどんやってきて、 これはやばい！と思って急いで逃げた」(岡田辻田地区保育園) 真備地区保育・幼稚園全園休園 午後 倉敷市 被災地被災状況確認 保育園・幼稚園の臨時窓口の設置 (保育・幼稚園支援室内等)
7月7日(土)~11日(水)	園児の安否確認及び保育の必要性の確認
7月11日(水)~随時	対策会議の実施(保健福祉局及び教育委員会)
7月12日(木)	他地区保育所における緊急的一時預かりの実施
7月18日(水)	真備かなりや保育園、法人内および市内民間協力園での代替え保育開始
7月19日(木)~10月31日(水)	他地区保育所等における緊急代替保育の実施
7月20日(金)~8月31日(金)	真備地区の公立幼稚園3園を利用した預かり保育の実施
7月30日(月)	真備かなりや保育園の園舎2階部分での保育再開(3歳~5歳児を対象)・1階および園庭のリフォーム工事並行
9月1日(土)	隣接地区である穂井田地区の旧穂井田幼稚園舎を利用した仮園舎で「まきびの里保育園」保育再開 ・仮設舎新設準備作業並行 真備かなりや保育園隣接館で3歳未満児保育開始
11月1日(木)	・真備かなりや保育園及び真備かなりや小規模保育園の全面復旧による保育再開、二万分館で子育て支援センター再開 ・まきびの里保育園の仮園舎(プレハブ)完成による保育の再開

しかし、真備町岡田地区にある真備かなりや小規模保育園園長は、7 日早朝雨が上がり晴天となったため午前 7 時前に町内にある自宅から園舎の無事を確認に到着し園庭を確認していたところ、園庭前の道路に水が流れ押し寄せてきはじめたのを目撃し、ただならぬ危機感を感じて車で逃げたと証言している。その時の様子を「どんどんやってきて」「あっという間に道路（の路面）とかそこらが水で見えなくなって」「怖かった」と語っている。これは、6:30 末政川の決壊に伴う浸水による災害状況（表 2）であるが、のちに「あんな水の状態だったら、子どもなんかはどの年の子も歩いて（避難所に）行くのは無理だし、私らだって足取られるよ」と、避難経路検討の際の意見として、その危機的状態を繰り返し伝えていた。

(2)被災地の現状

発災以降の日々、真備町民ほか多くの被災者のたゆまぬ努力と市内外の多くの人の力により、復興による街の景色は変わりつつある。しかし、倉敷市発表資料によると、令和 2 年 8 月時点で約 800 世帯 2000 人を超える被災者が市内外にある仮設住宅で生活している。これからの生活再建の方向性が未決定であるなどの理由から目処が立たず、

庁内の保育施設は、全壊した川辺幼稚園と箭田幼稚園が 2020 年 2 月、まきびの里保育園（仮設舎、図 2)、真備かなりや小規模保育園は 2018 年 11 月から保育を再開した。床下浸水被害の呉妹幼稚園は 2018 年 9 月から、1 階全壊の真備かなりや保育園は 2018 年 7 月から 1 階のリフォーム工事と並行しながら 2 階で部分保育を開始し、同年 11 月工事完了に伴い事業完全再開、2020 年度、幼保連携型認定こども園真備かなりや保育園として事業を継続している。これらの園はすべて被災した同じ場所に再建、修繕して再開した。

3.2 被災園に勤務した保育士の体験の語り

被災経験保育者らから、豪雨による河川氾濫による水害から逃れるためには、避難開始・初動のタイミング、避難行動の選択、といった「判断の難しさ」の不安があるということがしばしば語られる。すなわち、災害時の保育者は、避難に不確実性下の意思決定が求められる存在であるということである。その際の選択についてのジレンマについては、瞬時の判断を適切に行うために平時に検討し決定されている必要がある。本研究ではそのジレンマとなりうる要素を、経験者らの語りから明らかにすることを試みた。対象者の背景は、①津波被害から避難した経験を持ち、その後防災・減災に取り組んでいる経験を持つ保育者と、②浸水被害を経験してこれから保育の現場で起こることを想定している当事者との間での「体験の共有と相互作用」によって発せられる言葉を、FGI（フォーカスグループインタビュー）法によって引き出した。これにより、当事者が被災後の『これから』をどうしたいかという視点をもって『被災地での復興と防災・減災への思いの形』を明らかにした。

(1)被災状況下にある保育士の役割

同地域の保育者らは、発災後おおよそ避難に関する指示が解除された時点から、ほぼどの園も管理職を中心に園児の安否確認や園の被災状況の確認など活動を開始していた。それらは皆程度の違いこそはあれ被災した状態だった。今回の災害は夜間におきていたため、園での避難行動の機会は回避された。

その後復興の過程で、被災地にとって【高い保育のニーズ】があり、『保育業務の回復』として【園の復旧作業】、その【手続き】【失った全必要書類の再作成】、『保育環境の回復』【保育道具】、【子どものおもちゃ類の設置】、【日常保育のルチーンワーク】、『被災者・家族の支援』として【社会生活復旧】、親や職員の気持ちの傾聴するといった【メンタルヘルスケア】に長時間従事した。『想定外の対応困難事例への対応』も多く、【子どもの不定愁訴】、【親の困り感】、【病気】、【虐待】、【社会生活不適応】など、被災に起因する訴えたったために、通常の援助技術では追いつかない苦労の場面が多数みられた。【被災保育者への対応】では、職場間のストレスや人間関係などの調整も必須であえるなど、保育者の役割は多様かつ過重であった。中でも、園の復旧は保育ニーズに応えるという大前提の他、多くの地域住民にとっても子どもという「期待と希望」の象徴のシンボルでもあったとされていて、その重圧は保育者もことあるごとに町の人からの声掛けされる場面を経験していて、その感じた重圧は当事者である保育者にとっては相当であった。

また、被災後は子どもにとって家庭は決して安全な場所ではなく、そのために生じる諸問題への対応も、保健福祉部門が被災者援助に入っているため協働する対象もなく、園単独で対応することが求められた。時期はくしくも台風シーズンでもあったため、再被災の可能性も少なくなかったため、防災・減災対策の見直しも必須であった。

多様かつ過重な労働の中、最優先されるべきは衣の保育、即ち安全の保障であることの基軸は忘れることなく、園児の日常を保障することと園の環境の復旧、安全な子どもの社会生活の土台となる家族への支援を主な業務として対応していた。

しかし、園児の被災の影響を最小限にする意図から、園児の日常を保障することと園の復旧、家族支援を主な業務として対応に努めていた。

(2)被災保育士の防災・減災への思い

同地域の保育施設では、被災経験した保育士らへの復興・回復支援の中での相互関係の中での語りには、被災による傷つき、回復の過程、のために必要な支援ニーズ、防災・減災意識は時が経過しても、あらゆる場面でいろいろに語られた。

前述のように、同地域は定期的な水害が繰り返される場所であり、発災した 7 月以降は台風等による豪雨リスク期はしばらく続いたうえに、毎年同じ時期となると同様の災害の発生に対する危機対策をしなければならない宿命を背負っている。

実際に避難を経験者は、その時の苦しさと恐ろしさと、成功体験でありながら、被災後何度も何度も自身で想像したり周囲が経験した「避難の失敗」、避難の失敗がもたらす「子どもや自分の命や未来の喪失」に遭遇したかもしれない可能性を思い涙していた。いずれも「でも、準備して、その通りに一生懸命逃げ切れれば大丈夫（だった)」と確固たる表情で語った。それは、保育者である自身の信念や保育を信じているその様子に、真備町被災保育士らは強く共感し、それまでの傷つきをもととした不安を一転させた瞬間であった。その自信を先に進む原動力の素地として防災・減災の方法を検討し積み上げていった。

3.3「被災経験を生かした保育施設防災・減災マニュアル作成」

(1)保育施設の水害時避難マニュアル作成

本研究では、倉敷市真備町にある真備かなりや保育園を対象に水害時避難マニュアル作成の支援場面を対象とした。

真備かなりや保育園では、もとより避難マニュアルは独自で作成し所持していたが、その内容は、何か緊急な事態が発生した場合、特に火事を想定しものであった。この度、大規模な水害が発生したことから、水害を想定した避難マニュアル作成に取り組んだ。時期は、平成 31 年 2 月から開始し修正作業を含め現在に至る。

1) マニュアル作成の作業過程

マニュアル作成のために進めた手続きは、①保育士間の防災・減災への取り組みに対する意識確認、②発災前後の被災経験まとめおよび近隣への聞き取り、③園舎内外の環境調査、④水害時の対応・判断に必要な情報・知識の習得、⑤マニュアルのフォーマット検討、⑥地域社会の状況確認・協同の調整、⑦マニュアル(試作)作成、⑧見直し・再調整、と進めた。

2) 避難時にマニュアル化が必要な項目

前 1)に示した作業過程の②、③、④、⑥で検討された内容から、①研究者が、真備かなりや保育園保育者らが必要と感じた語りに焦点を当てながら抽出した項目、②真備かなりや保育園保育者ら

が必要と思い挙げた項目、③調査の過程で検討した項目をまとめた(表 3)。

表－3　保育施設防災・減災マニュアル作成のための確認事項

確認項目	項目詳細
発災前後の被災経験（園の周辺の状況）	浸水の速度、道路の状態、河川の異常から浸水までの様子など被災時の状況、発災時の気象条件・状態、水流の想定、避難タイミング
園周辺の地理、環境	浸水しやすい場所、河川があふれやすい場所、居住の状態、排水溝の位置（園からの距離）、排水溝へ流出入している川や用水路、土砂の堆積しやすさと冠水の状態（歩行の可能性）、旧川地（古地図上）は土地が低く水が溜まりやすい地形であるので避ける、橋の下がり（土砂や流木が滞る）、橋の状態（増水時の通行の可能性）、近隣水路の管理状態（塵、枝木、土砂堆積など）
園舎内の環境確認	遊具の場所、危険個所（電気・ガスなどの配置、凹凸、転倒リスク）持ち出し物品・持ち出し不可貴重品等設置場所、避難口
園児・職員の特徴	園児の年齢、クラスごとの人数、子どもと教職員の特徴
地域の防災体制・協力体制	近隣住民などによる避難協力の可能性、地域防災組織・体制、避難体制や申し合わせ事項、地域との関係性
避難場所	避難場所・施設までの距離、避難先の土地の高さ（浸水のによる再避難の危険性）、連絡方法、子どもが避難することが可能か（収容人数、地域の受容状態）、親の迎えの来やすさ、避難先の物資の有無、指定避難所以外に可能な避難場所
可能な避難方法	徒歩（乳児移送用手押し車（バギー）使用の可否含む）・車による避難が可能な状態、異年齢ごとの移動の可能性
避難経路	避難時の交通量、道の幅・高低・傾斜、路肩の強弱、乳児移送用手押し車（バギー）使用の可否・不可能となった場合の放置場所、う回路、周囲の住宅、橋の状態（増水時の通行の可否）、川の広さ、経路の増水時の通行の可否、川の氾濫の危険性（過去の決壊歴、工事場所）、経路私有地の可能性、道路の安全（穴や土の状態など）

避難経路を決定するために、被災時の園の周囲環境と避難経路の様子を想定しながらの調査と観察を行ったが、降雨量によって状況が変わることを今回の経験で知っているだけに、なかなか決定には至らなかった。今回は地形学の専門家の助言を求め、必要情報を整理し、安全性を決定するための条件を明らかにすることができたため（表 3)、避難経路の決定にこぎつけることができた。

4　考察

4.1 被災時の対応に関するマニュアルの作成に伴う支援の必要性

運動機能の発達段階も全く違う子どもが集う保育園児にとって避難経路の安全確保は重要な課題である。豪雨災害などで出水時、茶色い濁流があたりを覆うことは、安全の目安を失い避難を困難とする。また、出水の時期も河川の増水状態、降雨の状態、気象予報図、地理的特徴などを理解し、専門性高く予想しなければ、避難開始の時期を予想したり決定するのは困難である。これは、頻度主義的に判断することも古典的なパターンによって判断することも困難であり、不確実性の非常に高い意思決定を要することである。

避難マニュアル作成検討時、保育者らだけでは多くの解決できない課題に直面した。マニュアルの作成は、非常な事態にそれを利用し避難する方法を備える作業である。これを有事に使用するときには、マニュアル使用の手続きを経て使用する『時期』と『方法』を決定しなければならない。『時期』は、①休園の決定、②避難開始、③マニュアル等の見直し、『方法』は、①避難、②連携、③携帯物などである。これらは何度も検討されたが、特に『時期』の決定は非常に困難であった。生命の危険が生じる災害発生時・可能性が高い時に、通園時の保護者の安全や避難時の子どもの危険性を考えると、保育者・園だけでの意思決定は非常に難しく、決定に困難が伴う。保育所は児童福祉法によって福祉施設として設置されていため休園しにくい。行政の指導や支援の下検討されなければならない。保育施設における避難マニュアルの作成は、保育者の経験にのみ頼り作成することには限界があり、行政や専門家らの指導や支援が必要かつ有益と考える。

4.2 被災経験者が防災・減災に備えることを考えるということ

保育園は、児童福祉施設として子どもの安全・安心の観点から、条例などで設備及び運営に関する防災計画の策定が義務付けられ、平時より防災・減災体制の整備等の取り組むことが定められている。

東日本大震災発災時、甚大な被害受けた名取市立閖上保育所で全園児を津波から救ったことでのちに「閖上の奇跡」と呼ばれ有名になった保育所長（当時）佐竹悦子氏にインタビューをしたとき、「昨今保育現場における防災・減災対策で伝えていることに、奇跡は偶然では起きないこと、そして閖上保育所が助かった理由は作って終わりではないマニュアルを持つことの継続」を語っていた。黒潮町立大方保育所園長の語りの中でも「いつ来るかわからないから、その時のための準備が防災マニュアルで、それを毎月行う訓練の後に見直すことで、助かれるという安心を重ねていってるし、それがそのまま園の安全管理にもつながっている」と述べており、被災経験者に伝えられた言葉にある【備えの必要性】が重視される。

今回のインタビュー中、対象保育者は全員「突発的に発生するであろう災害を思うと、自分（の判断の間違い）はこの子らの命を無くすことにしてしまうのではないか」、という「重圧に時折押しつぶされてしまいそうになる」、と声を震わせ涙ぐんでいた。しかし避難成功経験のあるものは「備えあれば憂いなし」「私たちが一生懸命だったら、子どもたちも頑張ってくれた」と力強く語った。それは非常事態時の避難成功イメージを持ち、それが被災の不安に希望が共存した状態と見てとれた。被災可能性の高い場所で避難マニュアルを準備し、所有することを精神的拠り所となりうる。

コーピングやセラピーが進むにつれて被災経験などのトラウマ的出来事が、レジリエンスと共に経験されることも多いことが指摘されている。

過去の経験による傷つきを生きづらさより成長を強める方に変えていくのに必要なことは、①社会システムを持つこと（取り残されない)、②ナラティブ支援システム（体験を共有できる共感的な聞き手を持つ)、③役割変化（「被害者」から「サバイバー」そして「援助者」に変わること）である。防災・減災への取り組みの実践の差異たるものである避難マニュアルの作成は、これらすべてを網羅する作業過程であったと考える。しかし、これを実践するためには協働と支援ができるシステムはあるべきである。

この時、真備かなりや保育園の保育者らは、まだ被災の心的影響から回復の実感が得られていなかったが、東北の保育士らの話を聞いた後「私たちも保育士なんだから、きっとその時(非常時)はどうにか頑張れるね」と、いきいきとした表情で、何度も何度もうなずいていた。この旅行から帰った後の彼女は目を見張るような前向きな変化とともに、一気に避難マニュアルの作成を成し遂げていったのは、レジリエンスと PTG の瞬間の目撃者となったと感じた時であった。

5　課題

自然災害における避難行動時の不確実性下の意思決定を支えるための支援の必要性

水害は、自身に比べ予測可能とされる種の災害である。しかし、避難のタイミングや経路、休業などを決定することはかなり専門性の高い判断を要する。倉敷市ではこの災害を機に、災害時などの休園の決定に行政が主体的決定することを全国に先駆け実施に向け検討している。しかし、災害の種類によっては、発災の場所が全市的とはならず、また高度に専門的な防災知識を要する場面もある事から、担当者の責任の重さや実施の可能性を考察すると、関係者全体での継続的検討がなされなければならない。

自然災害時という不確実性下において意思決定を必要とされる者が、適切な合理的判断のための準備と、持続的な支援を受けることができることが課題である。

6　結語

平成 30 年西日本豪雨被災地では、過去とした い被災経験の影響に未だ翻弄されて日々粛々と暮らしている。発災から今日まで、多くの被災地域住民、被災地復興支援にかかわったボランティア、自治体職員など職種を問わず全ての人が汗をかいた。そこに生きた保育者の支援、則ち支援者支援という形で町の復興支援に入る経験は、とても相互的で持続的な活動である。今回八雲事業財団の助成をいただき、保育者へのナラティブなアプローチ、それによる彼女らのレジリエンスの目撃者となることができたことは感謝の極みであり、深謝の念に堪えません。

今、被災地には以前と変わらない子どもの声が聞こえる。あの日、責任の重圧と心身の疲労により声を失った者、何度も被災遊びを繰り返す子どもに寄り添いながら災害に心を打ち砕かれた者、何かできないないかとわき目も降らず走り続けた者、飛び交う怒号、緊張…どれも「あの日」目にした場面である。回復を支援する中で、これをアクションリサーチの形として残す機会を与えていただいたことは、災害復興としてとても大きく貢献を果たしたと自負する。

防災・減災への取り組みは、被災の経験を過去のものとして未来の安心と安全を保守することとして被災経験地に暮らす者は挑んでいる。まだまだ検討されなければならない課題は多い。今回の成果を素地として、生活の安全を守る仕組みとしての防災・減災対策を発展させていく。

参考文献

倉敷市（2019)：平成 30 年 7 月豪雨災害対応検証報告書

岡野一郎，他（2018)：乳幼児教育学会第 28 大会シンポジウム資料「行政から見た豪雨災害に対する対策・支援」

黒川雅代子，他（2019）：あいまいな喪失と家族のレジリエンス－災害支援の新しいアプローチ，誠信書房

アミア・リーブリッヒ（2015)：心的外傷後成長(PTG)研究におけるナラティブ・アプローチ　苦労体験学（Suffering Experience Research）に向けて，和光大学総合文化研究所年報

矢守勝也(2016)：アクションリサーチ実践する人間科学，新曜社

気候変動下においてもムギ類の安定生産を向上させる出穂期関連遺伝子の解析

岡山大学大学院環境生命科学研究科（農学系）　西田 英隆

1．はじめに

気象の極端現象により作物の出穂・成熟期が大きくずれて世界レベルで食糧生産が不安定になっている。本研究は、多様性に富むオオムギ遺伝資源の中から見出した、気象変動条件下でも出穂期があまりずれない品種について遺伝的な原因の解明を試みるものであり、オオムギがもつ多様性を気候変動下でのオオムギ・コムギの品種改良に応用しようとするものである。

日本の西南暖地におけるオオムギ栽培では、登熟・収穫期に梅雨の長雨に遭遇すると穂発芽や赤かび病が発生する。穂発芽は、収穫前の穂に稔っている種子が発芽する現象であり、その結果、品質の低下が起きる。赤かび病は、感染すると稔実率が低下して収量が減少したり、品質が低下するだけでなく、中毒症状の原因となるかび毒が生成される。これらを回避するために、わが国のコムギ育種においては穂発芽耐性品種や早生品種が育成されてきた。しかしながら、このような早生品種には春播型（冬季の低温を経験しなくても穂の形成が開始・進行するタイプ）かつ不感光性（穂の形成の開始・進行が冬季の短日条件（昼が短い条件）による抑制を受けないタイプ）であるものが多く、これらの性質をもつために暖冬条件における穂の形成（幼穂形成）が早くなりすぎて、栄養生長期間の短縮や、春先の寒の戻りによる凍霜害が発生し、その結果、収量が減少すると考えられている。これらの問題を低減するためには、早生形質と、暖冬条件でも幼穂形成が早くなりすぎない出穂期安定性を両立させることが必要であり、これを実現できる遺伝子の同定が急務である。

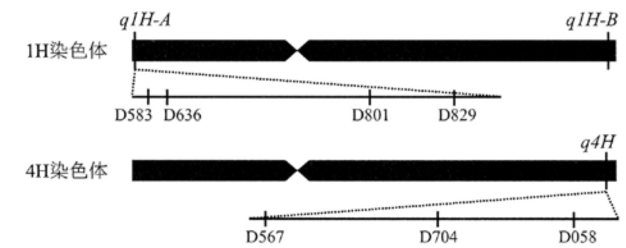
著者らは先行研究において出穂性が異なるオオムギ品種・系統を供試し、複数年に渡る圃場出穂日の調査を通して、出穂期安定性を示す品種・系統の探索を行った。その結果、早生品種の多くが出穂期不安定性を示すが、中には出穂期が比較的安定性を示す品種も存在することが明らかになった。そこで、出穂期不安定性を示す品種のひとつである「イシュクシラズ」と出穂期安定性を示す「カシマムギ」の交雑に由来する組換え自殖系統（RILs）集団を育成・供試して遺伝解析を行った結果、出穂期の分離が主に *HvPhyC* と *HvCEN* により説明できることを明らかにした。*HvPhyC* は光受容体であるフィトクローム C のアポタンパク質をコードし、日長反応性（感光性/不感光性）を支配しており、その不感光性が出穂期不安定性に影響を及ぼしていると推察される。しかしながら、これら 2 個の遺伝子だけでは出穂期の分離を充分に説明できないと考えられたため、DArTseq 解析により取得した一塩基多型（SNPs）情報を用いてバルク分離分析を行った。その結果、出穂期 QTL 領域が 1H 及び 4H 染色体上に検出された。これらは過去に報告されていない新規出穂期関連 QTLs であり、これらが出穂期安定性に関与する可能性があると考えられた。そこで本研究では、これらの新規 QTLs 領域が分離すると考えられる集団を育成・供試し、圃場出穂期に関する遺伝解析と DNA マーカーを用いた連鎖解析を行い、さらに未検出の新規 QTLs の探索を行った。

2．材料及び方法

上述した「カシマムギ」×「イシュクシラズ」RILs 集団（F5 世代、199 系統）の中から、*HvPhyC* と *HvCEN* の遺伝子型が同じである 2 系統を 2 組選抜し（表－1）、それぞれ F2 集団を育成・供試した。F2-2017-15 は *HvPhyC* 早生型・*HvCEN* 早生型である IKRIL-022 と IKRIL-026 の交雑に由来する F2 集団、F2-2017-19 は *HvPhyC* 中生型・*HvCEN* 晩生型である IKRIL-064 と IKRIL-082 の交雑に由来する F2 集団である。これらの F2 集団を 2019 年 11 月 21 日に岡山大学農学部研究圃場に播種し、圃場出穂日を調査した。

先行研究において DArTseq により取得した SNPs 情報を用いて、1H、4H 染色体の新規 QTLs 領域に座乗する DNA マーカー（CAPS、dCAPS；図－1）を設計し、マーカー遺伝子型と圃場出穂日の対応を解析した。

その後、DArTseq により F2 集団における SNPs 情報を取得し、上記以外に圃場出穂期との対応が見られる染色体領域の探索を行った。

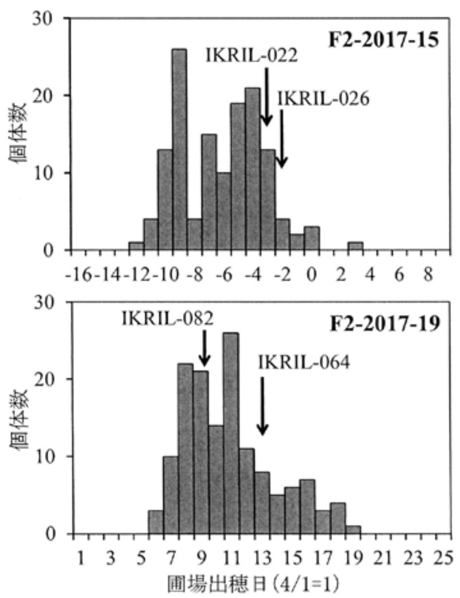


図－1　先行研究において見出した QTL 領域（*q1H-A*、*q1H-B*、*q4H*）とその近傍に座乗する新規 DNA マーカー

3．結果及び考察

(1) F2 集団における圃場出穂日の分離

F2 集団 2 集団は両方とも、圃場出穂日が約 2 週間の変異を示した。その頻度分布は連続的であり、分離には複数個の QTLs が関与していることが明らかになった（図－2）。さらに、早生親と比べてより早生、晩生親と比べてより晩生である超越分離個体が出現し、両親系統がそれぞれ異なる早生 QTLs を保有することが明らかになった。



図－2　F2-2017-15 及び F2-2017-19 の圃場出穂日に関する頻度分布

(2) 圃場出穂日に関するバルク分離分析

先行研究で見出した新規 QTLs が圃場出穂日に及ぼす影響を解析するため、まず F2 集団の中から早生と晩生の各 8 個体を選抜し、バルク分離分析を行った。

1H 染色体短腕の新規 QTL 領域（*q1H-A*）近傍に座乗する DNA マーカー4 個は、F2-2017-15 と F2-2017-19 の両集団においてイシュクシラズ型で固定しているか、もしくは分離していても圃場出穂日との対応が見られなかった（表－2、表－3）。したがって、両親系統は *q1H-A* に関して同一の遺伝子型を有しており、この QTL は F2 集団における圃場出穂日の分離に関与しなかったことが明らかになった。

一方、4H 染色体長腕の新規 QTL 領域（*q4H*）近傍に座乗する DNA マーカーに関しては、F2-2017-19 において D567 と D704 が、F2-2017-15 において D704 と D058 が、統計的に有意ではなかったものの圃場出穂期との対応が示唆された（表－2、表－3）。そこで以下の詳細な解析を行った。

表－2　バルク分離分析におけるマーカー遺伝子型と圃場出穂日の対応

		圃場出穂日との対応	
染色体	マーカー	F2-2017-15	F2-2017-19
1H	D583	対応なし	対応なし
	D636	Iで固定	対応なし
	D801	Iで固定	Iで固定
	D829	対応なし	Iで固定
4H	D567	Iで固定	対応あり
	D704	対応あり	対応あり
	D058	対応あり	Iで固定

* I: イシュクシラズ型ホモ

表－3　バルク分離分析における圃場出穂日と遺伝子型頻度の関係

バルク	マーカー遺伝子型			計
	K	H	I	
F2-2017-15 (4H, D583)				
早生	5	2	1	8個体
晩生	1	3	4	8個体
F2-2017-19 (4H, D704)				
早生	3	4	1	8個体
晩生	0	4	4	8個体

K, H, I: カシマムギ型ホモ, ヘテロ, イシュクシラズ型ホモ

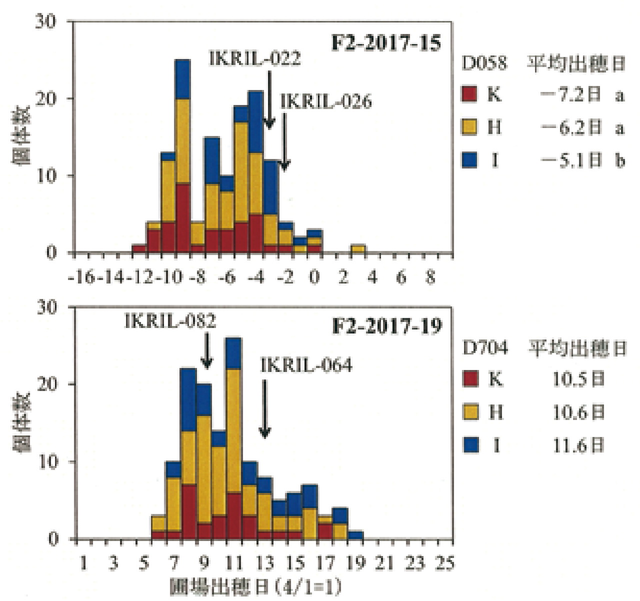
(3) F2 集団全個体におけるマーカー遺伝子型と圃場出穂日の対応

F2-2017-15 の全個体を供試し、4H 染色体長腕の DNA マーカー（D704、D058）遺伝子型と圃場出穂日の対応を解析した。その結果、D704 マーカー遺伝子型間で平均出穂日に有意差は見られなかった。一方、D058 については、イシュクシラズ型ホモは、カシマムギ型ホモ及びヘテロと比

べて有意に出穂が遅かった（P<0.01；図－３）。したがって、4H 染色体長腕の新規出穂期関連 QTL（*q4H*）は D704 の近傍ではなく、D058 の近傍に座乗すると考えられた。イシュクシラズ型ホモとカシマムギ型ホモの平均出穂日の差から *q4H* の効果は 2.1 日と推定されたが、効果の大きさを正確に評価するためには *q4H* と密接連鎖する DNA マーカーの開発が必要である。

F2-2017-19 の全個体についても、4H 染色体長腕の DNA マーカー（D704、D567）遺伝子型と圃場出穂日の対応を解析したが、D704 と D567 のいずれにおいてもマーカー遺伝子型による平均出穂日の違いは認められなかった(図－３)。

上述の通り、F2-2017-15 においては D567 がイシュクシラズ型ホモで固定していても圃場出穂日が分離していること、また F2-2017-19 においては D058 がイシュクシラズ型ホモで固定しており、なおかつ圃場出穂日の分離が見られなかったことから、*q4H* は D058 の近傍に座乗することが明らかになった。D058 の近傍には、シロイヌナズナ花成期関連遺伝子の同祖遺伝子が座乗しており、新規 QTL の有力な候補遺伝子であることから、今後詳細な解析を行う予定である。

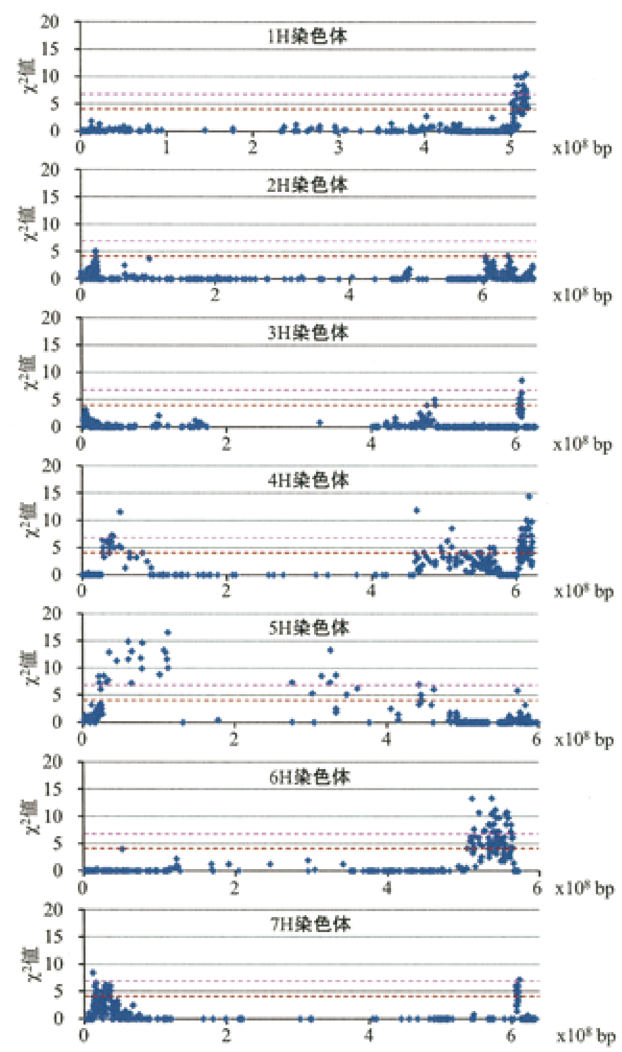


図－３　F2-2017-15 及び F2-2017-19 の圃場出穂日に関する頻度分布．DNA マーカー遺伝子型により色分けをした（後述）。K: カシマムギ型ホモ、H: ヘテロ、I: イシュクシラズホモ。

(4) DArTseq による新規出穂期関連 QTLs の探索；バルク分離分析

F2-2017-15 における圃場出穂日の変異は 16 日であり、4H 染色体長腕の新規 QTL だけでは十分に説明することができないことから、未検出の新規 QTL が存在すると考えられた。そこで、F2-2017-15 の全個体を供試して DArTseq を行い、新規 QTL を探索した。

まず、F2 集団の中で最も早生・晩生の各 20 個体を選抜し、DArTseq で取得した SNPs 情報を用いてバルク分離分析を行った。その結果、1H 染色体長腕、4H 染色体長腕、5H 染色体短腕、6H 染色体長腕において圃場出穂日と関連する QTL 領域が検出された（図－４）。これらの QTL 領域のうち、5H 染色体短腕と 6H 染色体長腕はχ^2値が顕著に高かった。また、1H 染色体長腕と 4H 染色体長腕の QTL 領域はそれぞれ *q1H-B* と *q4H* であると考えられた。



図－４　F2-2017-15 の圃場出穂日に関するバルク分離分析．赤色及び桃色の点線はそれぞれ有意水準 5%及び 1%における閾値（3.84 及び 6.63）を示す。

(5) DArTseq による新規出穂期関連 QTLs の探索；QTL の効果の評価

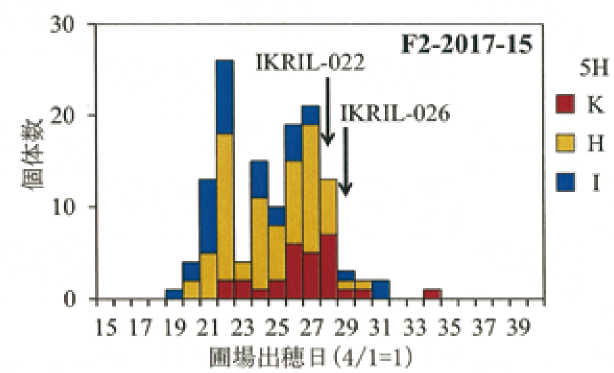
F2 集団(F2-2017-15)全個体を上記の新規 QTL 遺伝子型毎にグループ分けし、平均出穂日を比較した。その結果、4 個の新規 QTLs の全てにおいて、遺伝子型毎の平均出穂日が有意に異なった（表－４）。圃場出穂日に及ぼす効果は、5H 染色体短腕の新規 QTL が最も大きく 3.1 日（図－５）、以下、4H 染色体長腕が 2.7 日、1H 染色体長腕が 2.6 日、6H 長腕が 2.1 日であった。以上の結果から、当初から着目していた 4H 染色体長腕の新規 QTL（*q4H*）に加えて、新たに 1H 染色体長腕、5H 染色体長腕、6H 染色体長腕に座乗する新規 QTLs を検出することができた。

表－４　F2-2017-15 において検出された新規 QTL 領域が平均出穂日に及ぼす効果

染色体	平均出穂日 (個体数)		
	K	H	I
1H	26.0 a (20)	25.1 a (76)	23.4 b (36)
4H	23.5 a (34)	24.6 ab (68)	26.2 b (32)
5H	26.6 a (28)	24.6 b (72)	23.5 b (34)
6H	25.7 a (41)	24.9 ab (50)	23.6 b (34)

K, H, I: カシマムギ型ホモ，ヘテロ，イシュクシラズ型ホモ

平均出穂日に付したアルファベット: 異なる文字は 1%水準で有意であることを示す。



図－５　F2-2017-15 において 5H 染色体長腕上に検出された新規 QTL 領域が平均出穂日に及ぼす効果．K: カシマムギ型ホモ、H: ヘテロ、I: イシュクシラズホモ。

(6) 結論及び今後の展望

HvPhyC 及び *HvCEN* の遺伝子型が同一である両親を交雑・育成した F2 集団を用いたことにより両遺伝子の効果がマスクされ、新規出穂期関連 QTLs を効率的に検出することができた。新規 QTLs の原因遺伝子はまだ特定されておらず、今後はその特定を目的とした詳細な解析を行う予定である。原因遺伝子の特定は遺伝子機能の解明につながるだけでなく、DNA 配列変異を利用した選抜用 DNA マーカーの開発により将来の品種改良の効率化・迅速化を可能にする。

また、新規 QTLs が出穂期安定性に及ぼす効果を明らかにするために、遺伝的背景が同一であり新規 QTL 型だけが異なる準同質遺伝子系統群を育成し、自然条件における栽培や模擬的暖冬条件である加温栽培を複数年にわたって実施していく予定である。

さらにオオムギは、主要作物であるコムギと遺伝的に近縁であり、その知見はコムギに応用が可能である。したがって、本研究で得られる成果は、食糧の増産や作物の気候変動対応が求められる現在において非常に大きい波及効果をもつと考えられる。

β-シトロネロールの吸入による神経心理への作用の解析

川崎医療福祉大学医療技術学部臨床検査学科　　上野　浩司

1. はじめに

近年，日本では新たな公害として「香害」という言葉が誕生している。柔軟剤や洗剤などの人工的な香り(匂い)によってめまいや吐き気，認知機能の低下といった症状を呈することをいい，化学物質過敏症の原因の一つとされている。しかし，香り分子による脳への影響はほとんど調べられておらず，香害に対する予防方法や治療方法の確立はまったく進んでいない。しかし，香害は一般化しつつあり，早急な対策が求められている。

いくつかの研究がアロマセラピーで使用されるエッセンシャルオイルには神経生理的作用を持つことを報告している。これらの作用はこれらの精油の主要な化学成分であるモノテルペンに起因するとされている。モノテルペンはこれらの薬草のエッセンシャルオイルの主要な化学成分であり，そして多種多様な芳香族植物から水蒸気蒸留または溶媒抽出によって得られる芳香成分である。実際にそれらは，治療特性を有する薬用植物と同様に食用植物中に見出される。アロマテラピーで使用される多くのエッセンシャルオイルの効果の科学的根拠は欠損している。実際に吸入した香り分子の中枢神経系への作用メカニズムの分子メカニズムの多くは不明である。

モノテルペンアルコールであるシトロネロールは *Cymbopogon citratus*, *C. winterianus*, *Lippia alba* などのさまざまな芳香性植物種の精油に広く見られる天然モノテルペン化合物である。β-シトロネロール(3,7-dimethyl-6-octen-1-ol；CAS番号106-22-9)は，世界中のいくつかの植物種の精油中に天然に見出される揮発性非環式モノテルペンである。β-シトロネロールは果物の心地よい香りと風味の原因となる揮発性成分として自然に豊富である。β-シトロネロールは香料産業において有用となる臭気特性を有する。β-シトロネロールは一般的に食品使用のための安全な化合物として認識されている。β-シトロネロールの許容される1日摂取量は0.5 mg/kg体重である(FAO(Food and Agriculture Organization)/WHO(World Health Organization)Expert Committee on Food Additives Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-first report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Rome)。シトロネロールの薬理作用のいくつかは研究されている。抗菌作用，抗真菌作用，鎮痙作用，血圧降下作用，血管弛緩作用および抗けいれん作用のようないくつかの薬理学的効果がシトロネロールに関して報告されている。

これらβ-シトロネロールは化粧品，柔軟剤などの香りとして我々の生活環境に存在している。また，エッセンシャルオイル中のβ-シトロネロールは吸入によって嗅覚および呼吸器系に吸収されるか，マッサージによって経皮的に体内に取り込まれる。しかしながら，β-シトロネロールの吸入による生体への影響はほとんど調べられていない。本研究は，β-シトロネロールの吸入によってマウスの感情や行動にどのような変化を与えるのかを明らかにすることを目的とした。本研究はβ-シトロネロールがもつ生理的作用の一端を明らかにし，香りのもつ機能としてエッセンシャルオイルの科学的根拠，香害としての神経心理的作用の科学的根拠を示すであろう。

2. 材料と方法

2-1　実験動物

10週齢の雄マウス(C57BL/6)を2つのグループに分けました。β-シトロネロール暴露群(n = 10)および暴露なしのコントロール群(n = 10)。マウスは日本チャールズ・リバー株式会社(神奈川県)から購入しました。12/12時間の明暗サイクル，室温23〜26° Cの範囲で食物と水を自由に摂取できるケージ内でマウスを飼育しました。これらの実験は，米国国立衛生研究所(NIH)の実験動物の管理と使用に関するガイド(1996年改訂)に準拠しており，川崎医科大学の動物実験委員会によって承認を受けた後実施しました。

2-2　香料の吸入

β-シトロネロールは富士フイルム和光純薬株式会社(325-53052，大阪，日本)から購入しました。生理食塩水をコントロールとして使用しました。吸入装置は以前に使用されたものと同じものを用いました8)。吸入は密閉容器で行いました。2 mLのβ-シトロネロール(または生理食塩水)を吸収させたコットン(4×4 cm)を，穴の開いた蓋を持つステンレス鋼容器(60×60×35 mm)に入れました。マウスがコットンをなめたり触ったりすることは出来ない状況にしました。ステンレス鋼容器を新しい飼育ケージ(235×325×170 mm)内に置き，このケージをさらに大きな2つケージ(292×440×200 mm)で囲いました。コットンを配置して約20分後，マウスを30分間内部のケージに入れた。30分間吸入させた後行動実験を行いました。

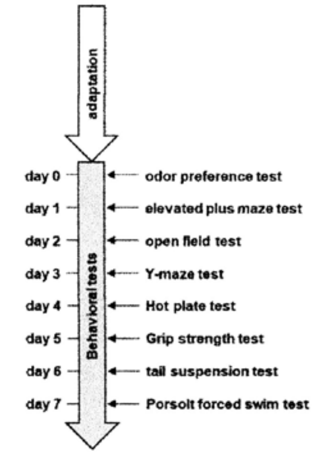


図1. 実験スケジュール

2-3　行動実験

すべての行動実験は明期(9:00〜16:00)の間に実施しました。各行動実験は1日につき1テストのみとした(図1)。マウスはランダムな順序でテストしました。各試験の終了後，70%エタノールと次亜塩素酸を含む水で実験装置を洗浄し，嗅覚刺激によるバイアスの発生を防止しました。

2-4　ホットプレート試験

ホットプレートテストはマウスの温度感受性を評価するために用いました。マウスを55.0±0.3° Cに加熱した板の上に置き，最初の足の反応(足を上げる，舐める等)までの潜時を記録しました。組織損傷を防ぐためのカットオフ時間は30秒としました。

2-5　握力試験

前肢の握力を評価するために，グリップ強度計を使用しました。前肢がワイヤーグリッドをつかむことができるように，マウスを尾で持ち上げて保持した。その後，グリッドを解放するまでゆっくり後ろに引き戻しました。前肢によって加えられるピーク力は，ニュートン(cN)で記録されました。

2-6　高架式十字迷路試験

高架式十字迷路を使用して不安様行動を調べました。実験装置は2つのオープンアーム(8×25 cm)と同じサイズの高さ30 cmの透明な壁のある2つのクローズドアームで構成されている。アームは白いプラスチック板で構成され，床から高さ40 cmであった。同じタイプのアームは互いに反対側に位置していました。マウスは最初にクローズドアームに直面して迷路の中央に置き，6分間自由に移動させました。マウスの行動はビデオで記録し，ビデオトラッキングソフトウェア(ANY-MAZE, Stoelting Co., Wood Dale. IL. USA)を使用して，アーム進入回数，移動距離(m)，およびオープンアームで費やした時間を分析しまし

た。

2-7 オープンフィールド試験

オープンフィールド試験によってマウスの探索様行動，不安様行動，および一般的な活動量を調べました。各マウスは壁(45×45×40 cm)に囲まれた正方形の装置の中央に配置しました。総移動距離(m)と中央エリアで費やされた時間を記録しました。中央エリアは箱の中央の 20×20 cm の部分として定義しました。実験装置は 100 lux で照らしました。マウスの行動は 30 分間にわたって記録し，ANY-MAZE ソフトウェアを使用してデータ分析を行いました。

2-8 Y 迷路試験

Y 迷路試験装置(各アームの長さ：40 cm, アームの下部の幅：3 cm, アームの上部の幅：10 cm, アームの壁の高さ：12 cm)を使用して空間作業記憶を調べました。マウスを Y 迷路の中心に最初に置き，6 分間自由に行動させまし。視覚的な合図は実験室の迷路の周りに配置しました。ANY-MAZE ソフトウェアを使用して総移動距離(m)，アームへの進入回数，および交互の数を分析しました。

2-9 テールサスペンション試験

テールサスペンション試験によってマウスのうつ様行動を調べました。各マウスは粘着テープを尾の先端から 1 cm 未満の位置に貼り，白いプラスチック製の箱の床から高さ 60 cm の位置に吊り下げられました。吊り下げられたマウスの行動を 6 分間記録しました。ビデオカメラで画像を撮影してマウスの不動時間を測定しました。ANY-MAZE ソフトウェアを使用してデータの分析を行いました。

2-10 強制水泳試験

Porsolt 強制水泳試験を使用してマウスのうつ様行動を調べました。実験装置はアクリル樹脂製のシリンダー(高さ 20 cm×直径 10 cm)で構成されていました。シリンダーに深さ 7.5 cm まで水(23° C)を入れました。マウスをシリンダー内に 6 分間置き，その行動を記録しました。テールサスペンション試験と同様に不動時間は ANY-MAZE ソフトウェアを使用して評価しました。

2-11 統計解析

データは，一元配置分散分析(ANOVA)，反復測定分散分析を使用して分析しました。 p 値が 0.05 より下回った場合に統計的に有意とみなした。データは箱ひげ図として表示しました。

3. 結果

3-1 マウスにおける β-シトロネロールの匂いへの関心

先ずマウスが β-シトロネロールの匂いに対して好意的か嫌気的かを調べました。実験装置内において匂いのある領域とない領域で費やされた時間，匂いのあるケージの周りへの進入回数，ケージの周りで費やされた時間に違いは観察されませんでした(図 2A, t=-0.061, p=0.952;図 2B, t=-0.498, p=0.629;図 2C, t=0.516, p=0.617)。β-シトロネロール嗜好指数は約 0.5 でした

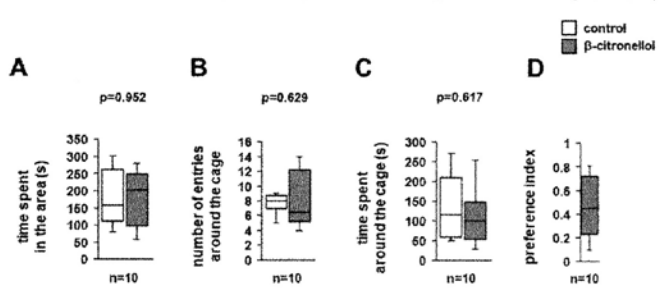


図 2. β-シトロネロールの匂いへの関心

(図 2D)。

3-2 β-シトロネロールの吸入が握力と温度感受性に及ぼす影響

β-シトロネロールロールの温度感受性を評価するために，ホットプレート試験を実施しました。侵害受容を評価するために，マウスを 55℃の熱い板の上に置きました。β-シトロネロールを吸入したマウスとコントロールマウスとの間に熱さを感じるまでの潜時に有意差はなかった(図 3A, t=-0.949, p=0.355)。

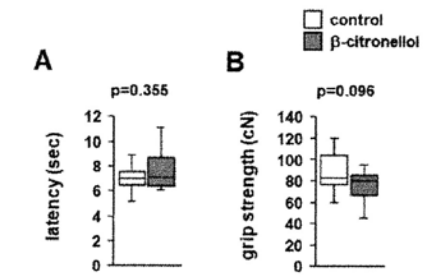


図 3. 温度感受性と握力

β-シトロネロールを吸入したマウスとコントロールマウスの前肢の握力を比較しました。 2 つのグループ間で前肢の握力に有意差はありませんでした(図 3B, t=1.750, p=0.096)。

3-3 高架式十字迷路試験における β-シトロネロール吸入の影響

高架式十字迷路を使用して，β-シトロネロール吸入後のマウスの不安様行動を評価しました。移動距離の合計(図 4A, t=0.655, p=0.520)，さらにオープンアームへの進入回数の合計(図 4B, t=1.426, p=0.170)に違いは観察されませんでした。オープンアームで費やされた時間は β-シトロネロールを吸入したマウスでは，コントロールマウスよりも有意に低かった(図 4C, t=2.456, p=0.024)。

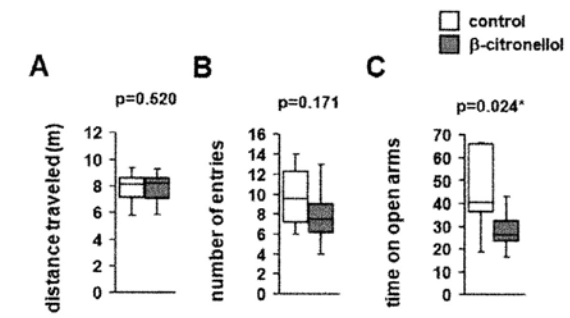


図 4. 高架式十字迷路試験

3-4 オープンフィールド試験における β-シトロネロール吸入の影響

オープンフィールド試験では，移動した距離の合計(図 5A, t=2.150, p=0.045, 5D, $F_{5,90}$=1.924, p=0.004)，中央エリアへ進入回数の合計(図 5B, t=2.111, p=0.048, 5E, $F_{5,90}$=0.744, p=0.761)，または中央エリアで費やした時間(図 5C, t=2.219, p=0.040, 5F, $F_{5,90}$=0.324, p=0.819)に 2 つのグループ間で有意差が見られました。

3-5 Y-迷路試験における β-シトロネロール吸入の影響

Y 迷路試験で自発的交替反応を観察することにより，β-シトロネロールが短期空間作業記憶に及ぼす影響を調べました。移動距離の合計(図 6A, t=0.888, p=0.385)，アームへの進入回数(図 6B, t=1.215, p=0.239)，または交替率(図 6C, t=-0.850, p=0.406)。

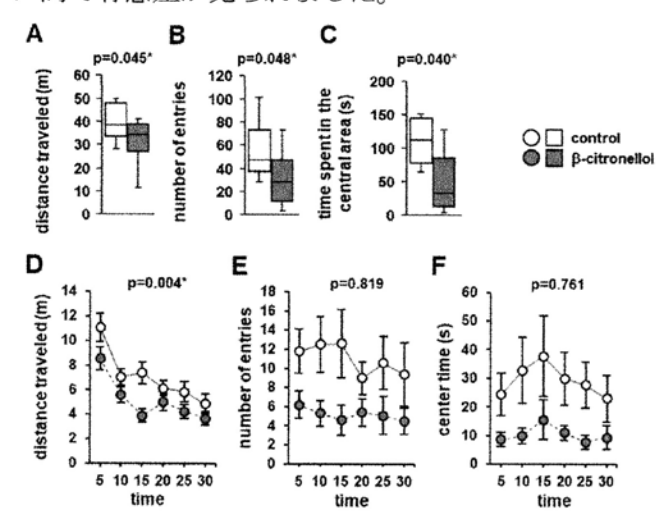


図 5. オープンフィールド試験

3-6 マウスのうつ病様行動に対する β-シトロネロールの影響

β-シトロネロール吸入によるマウスのうつ様行動への影響を調

べました。テールサスペンション試験では，β-シトロネロールールを吸入したマウスの方がコントロールマウスよりも無動時間の割合が有意に低かった(図 7A， t=2.436，p=0.025)。各 1 分間に無動で過ごした時間の割合は，グループ間に有意差はありませんでした(図 7B，$F_{5,90}$=0.318，p=0.893)。強制水泳試験では，グループ間に有意差は観察されませんでした(図 7C， t=0.495，p=0.626;図 7D，$F_{5,90}$=0.293，p=0.293)。

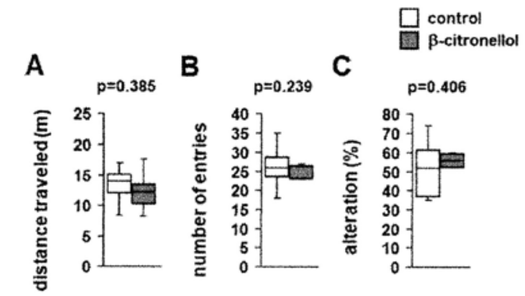


図 6. Y 迷路試験

4. まとめ

本研究において，我々はβ-シトロネロールの吸入はマウスの不安様行動を増加させること明らかにした。β-シトロネロールの吸入は他の多くの行動実験では，コントロールマウスと比較して明確な変化を引き起こさなかった。

マウスはβ-シトロネロールに対して好意的でも忌避的でもない行動を示した。この行動は以前のマウスのシトロネロールへの関心の報告と一致し，この結果は，捕食者の匂いのような忌避的な匂いによってマウスの不安を増大させているわけではないことを示している。

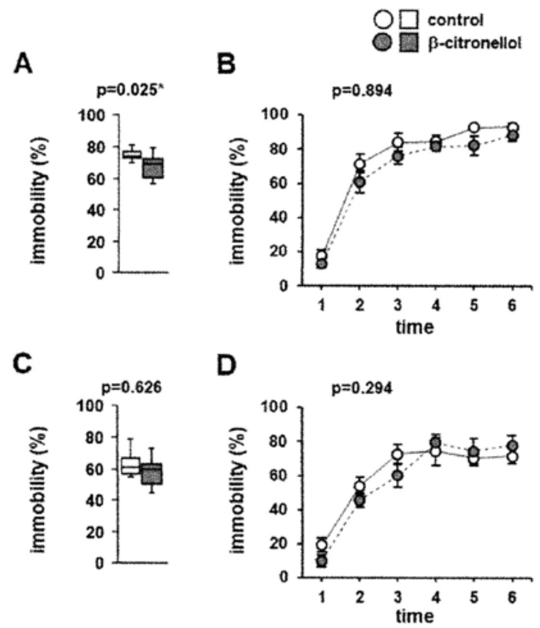


図 7. テールサスペンション試験，強制水泳試験

本研究ではホットプレート試験において，β-シトロネロールの吸入によって鎮痛効果を示さなかった。しかしながら，シトロネロールはいくつかの用量で中枢性鎮痛効果を有することが報告されている。これらの効果はシトロネラル，α-テルピネオール，リナロールなどの他のモノテルペンと同様に，シトロネロールの鎮痛作用にオピオイド系が関与することを示唆している。本研究結果とこれらの結果の違いは，投与した容量の違いや投与方法による違いが考えられる。β-シトロネロールの吸入による鎮痛効果を詳細に解析するには，吸入する時間を増加させて調べる必要がある。

シトロネロールの腹腔内投与は運動機能に変化を生じさせないことが示されている。本研究でも，前肢の握力は β-シトロネロールを吸入したマウスとコントロールマウスで変化はなかった。これらの結果はシトロネロールが運動機能に影響を与えないことを示している。

β-シトロネロールの吸入は Y 迷路試験においてマウスの認知機能に影響を与えなかった。シトロネロールの認知機能への影響を報告した論文がないように，β-シトロネロールは認知機能に影響を与えない可能性が高い。

本研究は，テールサスペンション試験においてマウスがβシトロネロールを吸入することでうつ様行動が減少することを示した。βシトロネロールがうつ様行動を減少させたという以前の報告は存在しないが，シトロネロールを含むエッセンシャルオイルがうつ様行動を減少させたとする報告は存在する。しかし，強制水泳試験では β-シトロネロールを吸入したマウスはうつ様行動を減少させなかった。テールサスペンション試験におけるβシトロネロールのうつ様行動への影響は不安増大効果による可能性もある。βシトロネロールのうつ様行動への影響を明らかにするにはさらなる研究が必要である。

本研究は，高架式十字迷路試験とオープンフィールド試験においてマウスがβ-シトロネロールを吸入することで不安様行動が増加することを示した。マウスの Geller および Vogel 競合試験を用いた試験においては，シトロネロールの抗不安効果の報告がある。我々の知る限り，シトロネロールの不安様行動への影響を示した報告はこの 1 本のみである。彼らはマウスへのストレスの大きい腹腔内投与を採用しており，本研究で用いたストレスの小さい吸入による投与方法とは大きく異なるため，マウスの行動実験結果を比較することは難しい。また，香り分子の腹腔内投与はヒトにおいては非現実的投与方法でもある。しかし，不安という感情にシトロネロールが影響を与える可能性が高いことをこれらの結果は示している。

また，リナロール，リモネン，酸化リナロール，または α-ピネンといった香り分子も吸入すると抗不安作用を引き起こすことが報告されている。興味深いことに，香り物質の不安軽減効果の報告はあるが，不安増悪効果を示した報告は私たちの知る限り存在しない。鎮静効果のあるエッセンシャルオイルが存在する一方，興奮効果のあるエッセンシャルオイルも存在する。不安に関しても増加するもの，減少するものがあると考える方が自然である。本研究結果は香り物質としてβ-シトロネロールのマウスへの吸入による神経心理的作用として不安様行動へ影響があることを示す最初の報告である。

近年，香水や洗剤，柔軟剤に含まれる香り分子に起因して頭痛やアレルギー症状，不快感などが誘発されることが増加している。これらの症状は香り分子によるものなのか，香りの感じ方によるものなのかは未だ明らかにされていない。香り分子の受容器である TRP のイオンチャネルの活性化が，炎症や疼痛の発生および神経毒性に関与する可能性も報告されている。不安感や恐怖は動物にとってストレスとなる。β-シトロネロール吸入による不安感の増加はマウスにとってもストレスであると推測される。本研究結果は，β-シトロネロールの吸入が香害の増悪，精神神経疾患を増悪させる可能性があることを示している。長期間の吸入による影響を明らかにするにはさらなる研究が必要である。

5. 結論

β-シトロネロールの吸入はマウスの中枢神経系に作用し，不安様行動を増加させる。しかし，β-シトロネロールの吸入はマウスの活動量，感覚機能や認知機能などには影響を与えなかった。本研究はβ-シトロネロールを含むエッセンシャルオイルや様々な製品において，β-シトロネロールを吸入することで脳神経に影響を与えるという科学的根拠の一端を示した。

謝辞

本研究成果の一部は，公益財団法人八雲環境科学振興財団の研究助成金(平成 31 年度環境研究助成(一般))によって実施されました。ここに記して深く感謝の意を表します。

活性カルボニル種の生成制御を介した植物の環境ストレス耐性の向上

岡山大学
大学院環境生命科学研究科
村田　芳行

要約

活性酸素種産生は、ジャスモン酸誘導気孔閉口やアブシシン酸誘導気孔閉口における重要な信号伝達因子である。我々は、タバコとシロイヌナズナの孔辺細胞アブシシン酸信号伝達経路において、活性カルボニル種生成が活性酸素種産生の下流の信号伝達因子として機能していることを報告した。

本研究では、活性カルボニル種消去酵素（2-alkenal reductase）過剰発現体と活性カルボニル種消去剤（carnosine と pyridoxamine）を用いて、ジャスモン酸メチル誘導気孔閉口への活性カルボニル種の関与を明らかにすることを目的とした。また、活性カルボニル種生成の制御による気孔運動の制御ならびにストレス耐性の制御を試みた。

ジャスモン酸メチル誘導気孔閉口は、過剰発現体において観察されず、また、活性カルボニル種消去剤（carnosine と pyridoxamine）によって阻害された。ジャスモン酸メチル処理によって、野生株の葉の表皮において、acrolein や 4-hydroxy-(*E*)-2-nonenal などの活性カルボニル種量の上昇が観察されたが、過剰発現体の葉の表皮においては、活性カルボニル種量の上昇が観察されなかった。ジャスモン酸メチル処理によって、野生株でも過剰発現体でも活性酸素種の産生が観察され、この活性酸素種産生は、活性カルボニル種消去剤によって影響を受けなかった。さらに、活性カルボニル種は、孔辺細胞内カルシウム濃度上昇を引き起こした。

以上の結果より、孔辺細胞のアブシシン酸信号伝達経路だけでなく、ジャスモン酸信号伝達経路において、活性カルボニル種生成は、活性酸素種産生の下流の信号伝達因子として機能していることが示された。

また、過剰発現体は、気孔閉口できないため、野生株よりも早く萎れる表現型を持っていた。

序論

高等植物の表皮には、一対の孔辺細胞によって形成される気孔と呼ばれる小孔が存在する。この孔辺細胞は、種々のストレスに応答して、細胞の体積を変化させて、気孔口径を調節する。この気孔の開閉は、ガス交換や水分損失や菌の感染に大きく影響をする（Murata et al. 2015）。

植物の傷害応答などに関わるジャスモン酸メチルは、気孔閉口を誘導する。孔辺細胞において、ジャスモン酸信号伝達経路は、アブシシン酸信号伝達経路と、下流の信号伝達因子を共有している。ジャスモン酸は、原形質膜 NADPH オキシダーゼが触媒する活性酸素種産生を引き起こし、原形質膜カルシウム透過性陽イオンチャネルを活性化し、細胞内カルシウム濃度の上昇を引き起こし、さらに下流の信号伝達因子の活性化や不活性化へとつながる。しかし、ジャスモン酸メチルによって誘導される活性酸素種産生が、どのように下流に伝達されるかは不明である。

種々のストレスによって産生される活性酸素種は、脂質の酸化し、脂質過酸化物の生成を引き起こす。この脂質過酸化物の分解によって、アルデヒドやケトンやヒドロキシ酸が生成する。この中で、α,β 不飽和結合を持つアルデヒドやケトンは、活性カルボニル種と呼ばれ、単純なアルデヒドやケトンと比較して、非常に強い求電子性を有する。植物において、ストレスによるこの活性カルボニル種の生成とストレスによる細胞の損傷には、高い相関があり、また、この損傷は、活性カルボニル種消去剤によって軽減される。

一方、活性カルボニル種は、細胞死誘導やオーキシン応答において、活性酸素種産生の下流で信号伝達因子として機能している。また、活性カルボニル種消去酵素（2-alkenal reductase）過剰発現体や活性カルボニル種消去剤は、アブシシン酸誘導気孔閉口や過酸化水素誘導気孔閉口を阻害する（Islam et al. 2016; 2019）。また、同消去剤は、孔辺細胞におけるアブシシン酸誘導活性カルボニル種生成を阻害するが、アブシシン酸誘導活性酸素種産生は阻害しない。さらに、acrolein や 4-hydroxy-(*E*)-2-nonenal は、NADPH オキシダーゼ欠損変異体（*atrbohD atrbohF*）の気孔閉口を誘導する。また、これらの活性カルボニル種は、原形質膜カルシウム透過性カチオンチャネルを活性化し、孔辺細胞内カルシウム濃度上昇を引き起こす。これらの結果は、孔辺細胞アブシシン酸信号伝達経路において、活性酸素種産生の下流で活性カルボニル種が機能していることを示している。さらに、活性カルボニル種は、グルタチオンの枯渇を導き、活性カルボニル種誘導気孔閉口は、グルタチオン欠乏変異体 ***cad2-1*** において強められる。これらのことから、孔辺細胞内のグルタチオンが活性カルボニル種と抱合体を形成することによって、アブシシン酸誘導気孔閉口を負に制御していることが示唆されている。しかし、ジャスモン酸メチル誘導気孔閉口への活性カルボニル種の関与は不明である。

本研究では、活性カルボニル種消去酵素（2-alkenal reductase）過剰発現体を用いて、ジャスモン酸メチルへの気孔応答、活性酸素種産生、活性カルボニル種生成、細胞内カルシウム濃度変化を解析することを目的とした。

材料と方法

植物材料と栽培条件

シロイヌナズナ由来 2-alkenal reductase（At5g16970）を過剰発現させたタバコ（P1#11、P1#14、P1#18）を用いた。シロイヌナズナは、野生株 Coloumbia-0 を用いた。ともに、バーミキュライト：クレハ培土（7：3）を用いて、温度 21℃、湿度 60%、16 時間明条件＋8 時間暗条件の人工気象器内で栽培した。肥料として、0.1%ハイポネックスを与えた。

気孔口径測定

5 週齢から 7 週齢のタバコならびに 4 週齢から 6 週齢のシロイヌナズナの葉を用いた。切り取った葉を 5 mM KCl、50 µM $CaCl_2$、10 mM 2-(*N*-morpholino)ethanesulfonic acid (MES) を含む溶液（tris(hydroxymethyl)aminomethane (Tris)で pH 6.15 に調整）に浮かべ、2 時間明所で静置した。ジャスモン酸メチルを添加し、さらに 2 時間明所で静置した。活性カルボニル種消去剤は、ジャスモン酸メチル添加 30 分前に溶液に加えた。葉は市販のブレンダーで破砕した後、表皮をナイロンメッシュで回収した。回収した表皮をスライドガラスに載せ、気孔口径を光学顕微鏡下で観察した。各実験において、20 個の気孔を観察し、同一条件の実験を最低 3 回繰り返した。

活性カルボニル種の定量

5 週齢から 7 週齢のタバコをブレンダーで破砕後、明所で気孔口径測定溶液に 2 時間浸漬し、50 µM MeJA を加え、さらに 30 分間静置した。活性カルボニル種を抽出し、dinitrophyenylhydrazine（DNPH）で誘導体化し、逆相 HPLC を用いて、分離定量した。

過酸化水素測定

孔辺細胞の過酸化水素測定には、2′,7′-dichlorodihydrofluorescein diacetate (H_2DCF-DA)を用いた。表皮を気孔口径測定溶液に 3 時間浸漬し、H_2DCF-DA を添加し、30 分間処理した後、洗浄し、回収した表皮を 20 分間暗所で 50 µM MeJA 処理をした。その後、蛍光顕微鏡下で観察した。

細胞内カルシウム測定

カルシウム感受性蛍光タンパク質 Yellow Cameleon 3.6 を孔辺細胞内に発現した 4 週齢から 6 週齢のシロイヌナズナを用いた。切り取った葉をスライドガラスに固定し、向軸側の表皮と葉肉細胞を除去し、残った背軸側の表皮を測定溶液（5 mM KCl, 50 µM $CaCl_2$ and 10 mM MES-Tris (pH 6.15)）に 2 時間明条件下で浸漬した（Munemasa et al. 2011）。蛍光顕微鏡下で測定を開始し、5 分後に MeJA 処理（10 µM）を始めた。同時に、6 個から 8 個の孔辺細胞の蛍光変化を調べた。この実験を異なる日に異なる葉を用いて、繰り返した。

結果と考察

ジャスモン酸メチルに対する活性カルボニル種消去酵素過剰発現体の気孔応答

図 1 に示すように、野生株において、1 µM と 10 µM ジャスモン酸メチルは、気孔閉口を誘導したが、0.1 µM ジャスモン酸メチルは、気孔閉口を誘導しなかった。2-alkenal reductase 過剰発現体においては、10 µM までのジャスモン酸メチルは、気孔閉口を誘導しなかった。

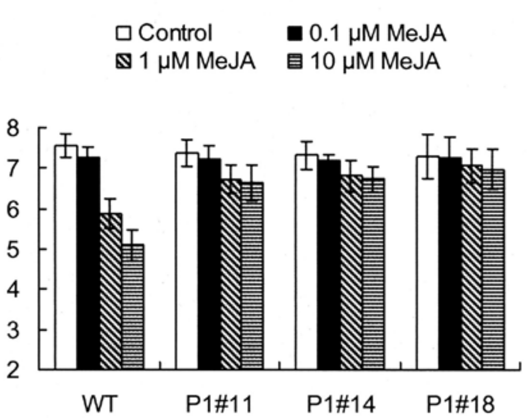


図 1　ジャスモン酸メチル誘導気孔閉口（µm）

タバコとシロイヌナズナにおいて、このジャスモン酸メチル誘導気孔閉口は、活性カルボニル種消去剤（carnosine と pyridoxamine）によって阻害された。

これからの結果は、ジャスモン酸メチル誘導気孔閉口に活性カルボニル種が関与していることを示唆している。

ジャスモン酸メチル誘導活性カルボニル種生成

図 2 に示すように、ジャスモン酸メチル処理によって、野生株の表皮では、種々の活性カルボニル種（acrolein と 4-hydroxy-(*E*)-2-nonenal）の増加が観察されたが、過剰発現株の表皮では、増加が観察されなかった。また、4-hydroxy-(*E*)-2-hexenal、(*E*)-2-heptenal、formaldehyde、acetaldehyde、propionaldehyde、*n*-heptanal、acetone も、同様の上昇が観察された。

この結果は、ジャスモン酸メチルが活性カルボニル種産生を誘導することを示している。

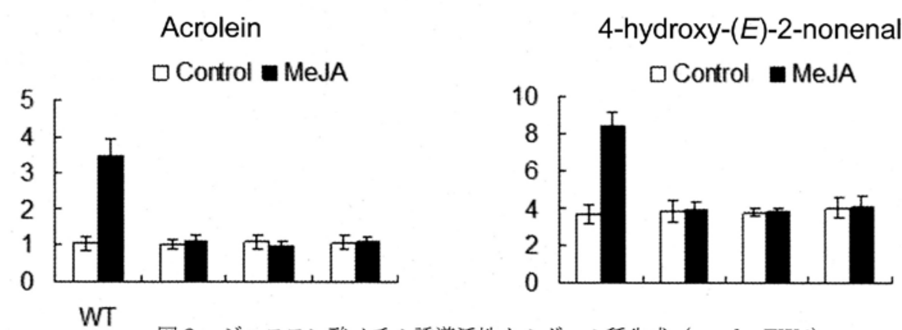


図 2　ジャスモン酸メチル誘導活性カルボニル種生成（nmol g FW^{-1}）

ジャスモン酸メチル誘導活性酸素種産生

図 3 に示すように、ジャスモン酸メチル処理によって、野生株と過剰発現体の両方で過酸化水素の蓄積が観察された。また、この活性酸素種産生は、活性カルボニル種消去剤（carnosine と pyridoxamine）によって阻害されなかった。

ジャスモン酸メチル誘導活性カルボニル種生成が、ジャスモン酸メチル誘導活性酸素種産生よりも下流であることを示唆している。また、過酸化水素処理によって、活性カルボニル種が生成すると言う以前の結果（Islam et al. 2016; 2019）と矛盾しない。

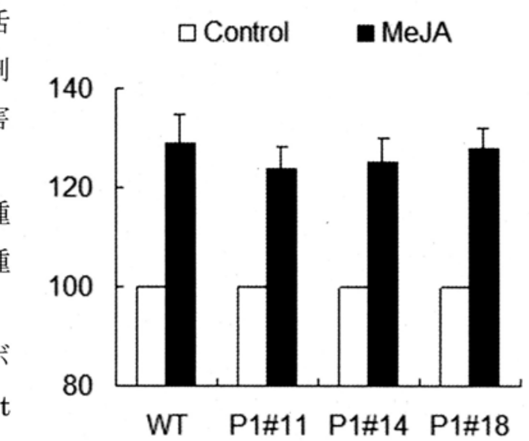


図 3　ジャスモン酸メチル誘導活性酸素種産生（%）

ジャスモン酸メチル誘導細胞内カルシウム濃度上昇

図 4 に示すように、ジャスモン酸メチル処理によって、細胞内カルシウム濃度上昇が観

察された。しかし、活性カルボニル種消去剤（carnosine と pyridoxamine）によって、細胞内カルシウム濃度上昇が観察されなくなった。

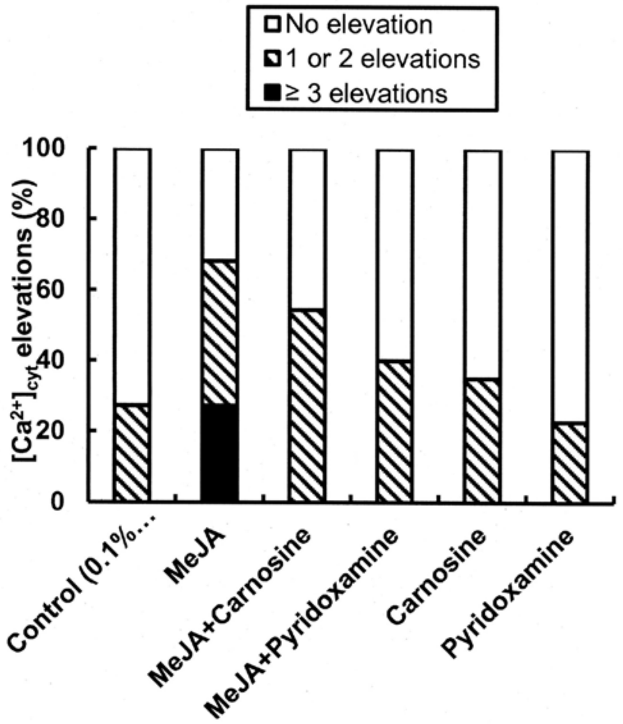


図3　ジャスモン酸メチル誘導細胞内カルシウム濃度上昇

この結果は、ジャスモン酸メチル誘導細胞内カルシウム濃度上昇の上流で、活性カルボニル種が機能していることを示唆している。また、活性カルボニル種が原形質膜カルシウム透過性カチオンチャネルを活性化すると言う結果（Rhaman et al. 2020）と矛盾しない。

結論

以上の結果より、ジャスモン酸誘導気孔閉口を導くジャスモン酸信号伝達経路において、活性カルボニル種が活性酸素種産生の下流で、また、細胞内カルシウム濃度上昇の上流で機能していることが示された。

参考文献

Islam, M.M., Ye, W., Matsushima, D., Munemasa, S., Okuma, E., Nakamura, Y., et al. (2016) Reactive carbonyl species mediate abscisic acid signaling in guard cells. *Plant Cell Physiol.* 57: 2552-2563.

Islam, M.M., Ye, W., Matsushima, D., Rhaman, M.S., Munemasa, S., Okuma, E., el al. (2019) Reactive carbonyl species function as signal mediators downstream of H_2O_2 production and regulate $[Ca^{2+}]_{cyt}$ elevation in ABA signal pathway in Arabidopsis guard cells. *Plant Cell Physiol.* 60: 1146-1159.

Munemasa, S., Hossain, M.A., Nakamura, Y., Mori, I.C. and Murata, Y. (2011) The

Arabidopsis calcium-dependent protein kinase, CPK6, functions as a positive regulator of methyl jasmonate signaling in guard cells. *Plant Physiol.* 155: 553-561.

Murata, Y., Mori, I.C. and Munemasa, S. (2015) Diverse Stomatal Signaling and the Signal Integration Mechanism. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 66: 369-392.

Rhaman, M.S., Nakamura, T., Nakamura, Y., Munemasa, S. and Murata, Y. (2020) The Myrosinases TGG1 and TGG2 function redundantly in reactive carbonyl species signaling in Arabidopsis guard cells. *Plant Cell Physiol.* 61: 967-977.

広葉樹二次林の持続的利用に向けた萌芽再生機構の解明

岡山大学大学院環境生命科学研究科
三木直子

1. はじめに

代表的な里山林の一つである落葉広葉樹二次林は、1960年代頃の燃料革命や化学肥料の普及によりほとんど利用されなくなるとともに、管理する人材の不足などによって、大径木化が進行している。大径木化したナラ類などの落葉広葉樹による二次林では、ナラ枯れによるナラ類の集団枯死が発生しやすいため(小林・上田 2005)、ナラ枯れを未然に防ぐ対策として、森林を伐採し、その後の萌芽更新により森林を若返らせることが有効であるとされている(e.g. 山瀬 2012)。また、近年では良質材としての広葉樹材の利用価値が見直され、さらにクリーンウッド法の施行(2017年)により合法的に伐採された木材である国産材の広葉樹材の需要が著しく高まっている。しかし、大径木化したナラ類などの広葉樹林の再生手法については十分には明らかになっておらず、その手法の確立が重要な課題となっている。

伐採後の森林の再生過程としては、切株の休眠芽から萌芽枝が形成されることで再生する萌芽更新と、堅果の芽生えから起こる実生更新がある。萌芽枝は地下部に残存する根茎の貯蔵養分を利用して成長し(Bellingham and Sparrow 2000)、また地上部に対して地下部の割合が大きく乾燥下でも吸水できることから、乾燥の影響が小さい(Pietras et al. 2015)。そのため、実生に比べて成長が速く(伊藤 1996, Bond and Midgley 2001, Kennard et al. 2002)、枯死率が低い傾向があり(Kennard et al. 2002))、萌芽更新は森林の再生過程において重要な更新様式であると考えられる(紙谷 1986, 伊藤 1996)。

萌芽枝の発生や生死については、これまで切株サイズや樹齢(紙谷 1986)などの切株属性、切株の置かれている光や土壌水分などの環境条件(松浦ら 2002, Morisset et al. 2012)が影響を与えることが報告されている。しかし、樹齢や切株サイズにより萌芽能力が異なり、比較的若齢で、樹幹サイズが大径木化しない段階で萌芽が旺盛であるとの報告(韓・橋詰 1991, 山瀬 2012)がある一方で、切株直径は萌芽枝の発生に有意な影響を与えないとの報告もある(松本・倉本 2015, Dihn et al. 2018)など、その影響については先行研究によって様々であり、大径木化の影響についても明確でない点が多い。またナラ類は伐採等の攪乱を受けると萌芽により再生を行う萌芽再生種である(酒井 1997)が、樹種による違いについても十分には明らかになっていない。

そこで本研究では、大径木化したナラ林の主要構成種について、伐採後2年間の萌芽枝の発生消長に切株属性や環境条件が与える影響を明らかにすることを目的とした。

2. 調査地

調査は、岡山県新見市の釜谷国有林 597林班内の落葉広葉樹二次林で行った。標高は約 530～620m、斜面方位は南、面積は4.89h、林齢は約76年生である。また、2018年の年平均気温は 12.9℃、年間降水量は1858.0mm であった(気象庁　新見観測所)。2017年の10月~11月にかけて、広葉樹は胸高直径が38cm以上、アカマツは30cm以上の個体について伐採が行われた。調査は伐採後1年目である2018年と伐採後2年目である2019年に行った。

3. 方法

3.1 切株および萌芽枝調査

切株および萌芽枝に関する調査は、伐採後1年目と伐採後2年目に行った。調査対象樹種はナラ類のコナラ(*Quercus serrata* Murray)、アベマキ(*Quercus variabilis* Blume)の2種とした。各樹種の測定対象個体数は、コナラ70個体、アベマキ43個体である。また各樹種の測定萌芽枝数は、コナラが176本、アベマキが389本である。

測定対象とした各個体の切株について、地際直径と伐採高を測定した。また、測定対象とした切株内の全ての萌芽枝について、長さ、発生高を測定し、クランプ由来かどうかを記録した。長さについては 2018年の10月と2019年の10月に、生死については2018年の10月、2019年の6月と10月に測定した。

3.2 環境条件

(1)光条件

光条件の指標として全天空写真解析による林冠開空率を求めた。調査区内の対象とした個体ごとに円周魚眼レンズを装着したデジタルカメラ(D80、Nikon、日本)を用いて全天空写真を撮影した。全天空写真から林冠開空率の算出には画像解析ソフト(LIA32、free software)を用いた。

(2)土壌条件

土壌条件の指標として、土壌含水比、土壌養分含有率(全炭素、全窒素)を求めた。土壌表層の有機物層を取り除いた後、表層(0～10cm)の土壌を移植ごてを用いて採取した。土壌は各個体において、斜面等高線方向に80～100cm離れた2か所から採取した。

持ち帰った土壌試料を実験室にて 2mm のふるいで篩別し、根や粗大有機物を取り除き、未乾燥土壌とした。未乾燥土壌試料の一部の採取時重量を測定後、強制対流式低温乾燥機を用いて 105℃で 48 時間以上乾燥させ絶乾重量を測定した。これらの値から土壌含水比を算出した。

また、未乾燥土壌試料を室内で数日間から数週間自然乾燥させた後、強制対流式低温乾燥機を用いて 40℃で 72 時間以上乾燥させ、風乾土壌試料とした。その風乾土壌試料から5gを量り取り、乳鉢と乳棒を用いて粉砕した。その粉砕試料を用いて全炭素量、全窒素量を測定し、土壌の単位乾燥重量あたりの全炭素含有率と全窒素含有率を算出した。分析にはマクロコーダー(JM1000CN、株式会社ジェイ・サイセンス・ラボ、日本)を用いた。

3.3 統計解析

各切株個体の萌芽枝の発生の有無やその発生量に対する各要因の影響を明らかにするために、応答変数を伐採後1年目の10月時点での萌芽枝の有無および萌芽枝本数、説明変数を切株属性として切株直径、切株の高さ、環境条件として土壌含水比、林冠開空率を入れ一般化線形モデル(GLM)を用いて解析を行った。萌芽枝の長さの成長量、萌芽枝の生死に対する各要因の影響を明らかにするために、応答変数を1年目(2018年10月)の萌芽枝長、成長停止期(2018年10月～2019年6月)および成長期(2019年6月～2019年10月)の生死、説明変数を切株属性として切株直径、切株の高さ、クランプ由来かどうか、萌芽枝発生高、環境条件として土壌含水比、林冠開空率、1年目の状態として、切株あたりの萌芽枝数、萌芽枝長、損傷の有無(ただし、1年目の状態については、応答変数が生死のとき)、ランダム効果に個体を入れ一般化線形混合モデル(GLMM)を用いて解析を行った。土壌含水比と土壌養分含有率(全炭素、全窒素)については相関関係が見られたことから多重共線性を避けるため、そのうち一変数(今回は土壌含水比)のみを説明変数として採用した。モデル選択には赤池の情報基準値(AIC)を用いた。採用した全ての説明変数の組み合わせにつ

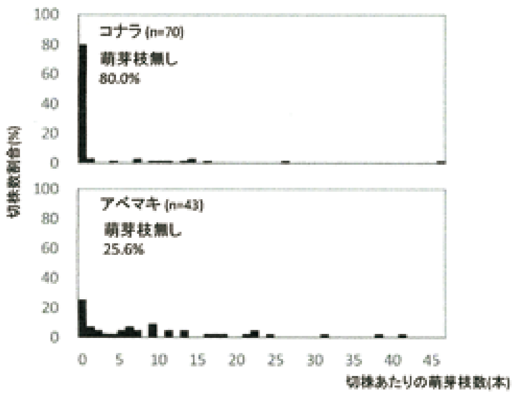


図 1 切株あたりの発生萌芽枝数ごとの切株数の割合

表 1 切株あたりの発生萌芽枝数の GLM 解析の結果

	切株属性		環境条件		切片	AIC
	切株直径	切株の高さ	土壌含水比	開空率		
コナラ	-0.086***	0.015***		0.022	2.469	646.2
	(±0.010)	(±0.004)		(±0.012)	(±0.538)	
アベマキ		0.005	2.047***	0.025***	-0.330	561.2
		(±0.003)	(±0.304)	(±0.007)	(±0.365)	

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

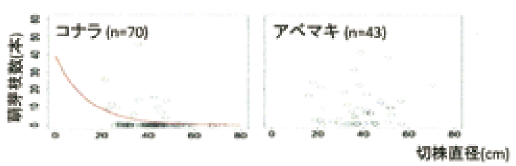


図 2 切株直径と切株あたりの発生萌芽枝数の関係

いてモデルを作成し、AIC を基準として最も低いモデルを選択した。また、Ward の検定で有意であった説明変数を有効な説明変数とみなした。また説明変数(切株直径、切株の高さ、土壌含水比、林冠開空率、土壌炭素含有率、土壌窒素含有率)の種間の検定には Welch の T 検定を用いた。すべての解析には統計ソフト(R version 3.3.2)を使用した。

4. 結果

コナラ、アベマキの切株の直径および高さ、ならびに切株位置の土壌含水比、土壌炭素含有率、土壌窒素含有率、林冠開空率について樹種間で比較したところ、全ての項目において、有意な差は認められなかった(結果非掲載)。

表 2 萌芽枝の長さの成長量の GLMM 解析の結果(伐採後 1 年目)

	切株属性				環境条件		切片	AIC
	切株直径	切株の高さ	クランプ	萌芽枝発生高	土壌含水比	開空率		
コナラ					-2.710		5.426***	1069.1
					(±1.526)		(±0.327)	
アベマキ							3.961***	3704.7
							(±0.068)	

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

切株あたりの発生萌芽枝数ごとの切株数の割合を比較すると、コナラは 80.0%の切株で萌芽枝が発生していなかった。一方アベマキは萌芽枝無しの切株の割合は 25.6%であり、多くの切株で萌芽枝が発生しており、萌芽枝数も多かった(図 1)。

切株あたりの発生萌芽枝数については、コナラでは切株直径が小さく、切株の高さが高いほど個体あたりの発生萌芽枝数が多い傾向があった。アベマキでは、土壌含水比と開空率が高いほど個体あたりの発生萌芽枝数が多い傾向があった(表 1、図 2)。

伐採後 1 年目の萌芽枝の長さの成長量については、コナラおよびアベマキともに、萌芽枝の長さについて、有意な説明変数は選択されなかった(表 2)。

伐採後 1 年目の 10 月に発生が確認された萌芽枝の 2 年目の 10 月における生残割合は、コナラは 49.4%と比較的低く、一方アベマキは 67.6%と比較的高かった。また、成長停止期および成長期の萌芽枝の生死については、コナラについては成長停止期で、アベマキについては成長停止期および成長期で 1 年目の萌芽枝長が長いほど萌芽枝の生残率が高い傾向があった(表 3、図 3)。

5. 考察

本研究では樹齢約 76 年生の大径木化した落葉広葉樹の二次林における、伐採後 1 年目と 2 年目の萌芽枝の発生、成長、生死

表 3 萌芽枝の生死の GLMM 解析の結果

		切株属性				環境条件		1年目の状態			切片	AIC
		切株直径	切株の高さ	クランプ	萌芽枝発生高	土壌含水比	開空率	切株あたりの萌芽枝数	萌芽枝長	損傷の有無		
コナラ	成長停止期		−0.057**	−15.329	0.025*	−9.168*			0.037**		23.128	162
			(±0.019)	(±1400.814)	(±0.011)	(±4.504)			(±0.012)		(±1400.817)	
	成長期										1.725	129
											(±0.936)	
アベマキ	成長停止期		−0.045	−1.127	0.030			−0.067	0.076***		2.562	250
			(±0.027)	(±0.668)	(±0.017)			(±0.042)	(±0.013)		(±1.755)	
	成長期						−0.07	−0.097***	0.044***	−1.742**	3.447*	273
							(±0.039)	(±0.027)	(±0.009)	(±0.533)	(±1.465)	

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

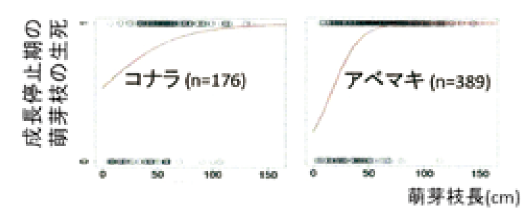


図 3 1 年目の萌芽枝長と成長停止期の萌芽枝の生死の関係(0:枯死、1:生残)

に影響している要因について解析を行った。

伐採後 1 年目において、コナラは萌芽枝無し個体の割合が高く、萌芽枝数も比較的少なかった。一方、アベマキは有り個体の割合が高く、萌芽枝数も比較的多かった(図 1)。また、コナラは萌芽枝の発生の有無や発生数に切株直径などの切株属性が負に影響し、アベマキでは土壌含水比や開空率などの環境条件が正に影響していた(表 1、図 2)。コナラについての先行研究において、切株直径が約 70cm までの個体を対象として切株直径が萌芽枝の発生に負の影響を与えることが報告されている(韓・橋詰 1991)。一方、切株直径が約 50cm までの個体を対象として、切株直径は有意に影響しないことが報告されている(松本・倉本 2015、Dihn et al. 2018)。本調査対象個体はコナラが約 72cm までであり 50cm 以上の個体では萌芽枝の発生は認められていないことから、コナラはより大径木化すると萌芽枝の発生量が低下すると考えられた。またアベマキについて本調査個体は約 74cm までであり、アベマキはより大径木化しても萌芽枝の発生量は低下しないものと考えられた。また、根の貯蔵炭水化物濃度と萌芽枝の発生に正の相関があること(Kabeya and Sakai 2005)、切株の置かれた土壌資源の利用可能性が影響すること(Cruz et al.2003)が報告されている。萌芽能力は最も少ない資源によって制限される可能性がある(Palacio et al. 2014)ことから、コナラは大径木化すると根の貯蔵炭水化物濃度が低下し、それが萌芽枝発生量の低下に関与する可能性が考えられた。アベマキは、大径木化しても根の貯蔵炭水化物濃度はほぼ変化せず、そのため萌芽枝発生に切株直径が影響せず、切株の置かれた環境の資源(土壌水分、土壌養分、光)が影響する可能性が考えられた。

伐採後 1 年目の萌芽枝の長さの成長量ではコナラ、アベマキ両種で切株属性も環境条件も影響していなかった(表 2)。先行研究では、コナラにおいて発生時期が早いほど成長量が大きいことが報告されている(嶋ら 1989, Dihn et al. 2018)ことから、コナラ、アベマキとも 1 年目の萌芽枝の長さ成長量には萌芽枝の発生時期が影響する可能性があることが考えられた。

萌芽枝の生死について、コナラ、アベマキ両種で伐採後 1 年目の萌芽枝長が長いほど生残する傾向が示された(表 3、図 3)。先行研究において、コナラで萌芽枝が大きいものほど生残率が高いことが報告されている(嶋ら 1989)ことから、伐採後 1 年目の萌芽枝の成長が伐採後 2 年目の生死に非常に重要であることが考えられた。

萌芽枝の発生において、コナラでは切株直径などが負に影響することから切株に属

する内的な要因が影響し、アベマキでは土壌水分、光などが正に影響することから切株の置かれた環境条件が影響していると考えられた。萌芽枝の成長と生死では、両種とも、1年目の成長量が大きい、長い萌芽枝ほど生残すること、また、成長量には切株属性や環境条件は影響しないことが明らかとなった。コナラ、アベマキはともに伐採などの攪乱を受けると萌芽により再生する萌芽再生種(酒井 1997)だが、コナラでは大径木化により萌芽能力が低下し、一方でアベマキでは大径木化しても萌芽能力が低下しないこと、また、コナラでは萌芽発生率、生残率がアベマキよりも低く、種間で明確な違いがあることを新たに明らかになった。これらの知見は種特性に応じた管理の重要性を示唆する貴重な資料となりうるものと考えられる。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なるご支援を賜りました財団法人 八雲環境科学振興財団に深く感謝申し上げます。

7. 引用文献

Bellingham PJ, Sparrow AD (2000) Resprouting as a life history strategy in woody plant communities. Oikos, 89: 409–416

Bond WJ, Midgley JJ (2001) Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. Trends in Ecology and Evolution, 16(1): 45–51

Cruz A, Pérez B, Moreno JM (2003) Plant stored reserves do not drive resprouting of the lignotuberous shrub *Erica australis*. The New Phytologist, 157(2): 251-261

Dihn TT, Akaji Y, Matsumoto T, Toribuchi T, Makimoto T, Hirobe M, Sakamoto K (2018) Sprouting capacity of *Quercus serrata* Thunb. and *Quercus acutissima* Carruth. after cutting canopy trees in an abandoned coppice forest. Jornal of Forest Research, 23: 287-296

韓 海栄・橋詰 隼人 (1991) コナラの萌芽更新に関する研究(Ⅰ) 壮齢木の伐根における萌芽の発生について. 広葉樹研究, 6: 99-110

伊藤 哲 (1996) 樹木の萌芽の生理的機能の解明による適正な森林動態制御に関する研究. 宮大演報, 13: 1-76

Kabeya D, Sakai S (2005) The relative importance of carbohydrate and nitrogen for the resprouting ability of *Quercus crispula* Seedlings. Annals of Botany, 96: 479-488

紙谷智彦 (1986)豪雪地帯におけるブナ二次林の再生過程に関する研究(Ⅱ)主要構成樹種の伐り株の樹齢と萌芽能力との関係. 日林誌, 68(4): 127-134

Kennard DK, Gould K, Putz FE, Fredericksen TS, Morales F (2002) Effect of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forest. For. Ecol. Manag, 162: 197 –208

小林 正秀・上田 明良 (2005) カシノナガキクイムシとその共生菌が関与するブナ科樹木の萎凋枯死. 日林誌, 87(5): 435-450

松本薫・倉本宣 (2015) 40 年以上放置されたコナラ主体の雑木林における萌芽更新. 明治大学農学部研究報告, 65(2): 23-28

松浦光明・小林達明・有田ゆり子 (2002) 大径木化したコナラ二次林の萌芽更新規定要因. 日緑工誌, 28: 115-120

Morisset JB, Mothe F, Bock J, Breda N, Colin F (2012) Epicormic ontogeny in *Quercus petraea* constrains the highly plausible control of epicormic sprouting by water and carbohydrates. Annals of Botany, 109: 365–377

Palacio S, Hoch G, Sala A, Korner C, Pete Millard (2014) Does carbon storage limit tree growth? New Phytologist, 201: 1096–1100

Pietras J, Stojanović M, Knott R, Pokorny R (2015) Oak sprouts grow better than seedlings under drought stress. i Forest, 9: 529–535

酒井暁子 (1997) 高木性樹木における萌芽の生態学的意味—生活史戦略としての萌芽特性—, 種生物学研究, 21: 1-12

嶋 一徹・片桐成夫・金子信博 (1989)コナラ二次林における伐採後2年間の萌芽の消長. 日林誌, 71(10): 410-416

山瀬 敬太郎 (2012) 暖温帯域での高齢化した里山構成種 7 種の萌芽能力. 日本緑化工学会誌, 38(1): 109-114

エコ・リバブルシティ実現のための都市構造に関する実証的基礎研究

岡山大学大学院環境生命科学研究科　氏原　岳人

1．研究背景と目的

2015年に採択されたパリ協定では，世界の平均気温の上昇を産業革命前の 2℃未満（努力目標1.5℃）に抑え，21世紀後半には温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることが掲げられた．一方，環境に配慮した低炭素な暮らしは，我われの日常生活における“制約”や“負担”といった負のイメージを連想させることも多い．しかし，都市計画の世界的な成功事例をみると，「環境にやさしい（低炭素）」で「住みやすい」とされる都市（エコ・リバブルシティ）は実に多い．本研究では，「環境にやさしくかつ住みやすい都市」をエコ・リバブルシティと定義し，その実現に向けた地方都市の都市構造について，岡山市を対象とした実証研究データに基づき明らかにする．

具体的には，住みやすさの根源である人間の本質的欲求に着目し，マズローの欲求段階説に基づいた中心市街地の訪問動機と，居住地や交通手段との関連性について分析することで，エコ・リバブルシティの実現に向けた都市構造に関する知見を得ることを目的とする．

2．使用データ

2．1　アンケート調査の概要

本研究ではインターネットによるアンケート調査を実施し，その結果を用いて分析する．表-1 にアンケート調査の概要を示す．なお，本研究では，サンプル数の関係上，年代別の均等割り付けは実施できていないものの，なるべく偏りないように配慮した．アンケート回答者の個人属性を図-1 に整理した．日常的な交通行動や移動環境に関する評価，中心市街地への訪問動機を質問項目とした．また，中心市街地への訪問動機に関する調査項目は，青木[1]が実施したヒアリング調査の質問紙における訪問動機に関する質問文を参考に，マズローの欲求段階説に基づき表-2 のように作成した．アンケート調査は岡山市居住者を対象として 11 月 27 日から 28 日の 2 日間実施し，回収サンプルは 1, 300 サンプルであった．

表-1　アンケート調査の概要

調査名	地域に関するアンケート
調査媒体	インターネット
調査対象	岡山市居住者の楽天インサイト・モニター
調査期間	2019年11月27日～11月28日
サンプル数	1300サンプル（私用で中心市街地を訪れたことがあるサンプル：1248）
調査項目	①通勤・通学，買物等の私用の交通行動について ②公共交通利用について ③現在の移動環境について ④中心市街地への訪問動機について ⑤地域について（ソーシャルキャピタル） ⑥個人属性

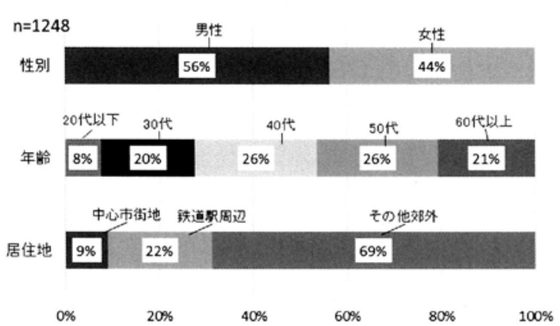


図-1　回答者の個人属性（私用で中心市街地を訪れたことがあると回答したサンプル）

（1）　マズローの欲求段階説とは

本項では，中心市街地の訪問動機の項目（表-2）を作成するにあたり参考とした，マズローの欲求段階説について説明する[2]．マズローの欲求段階説とは，アメリカの心理学者マズローが「人間は自己実現に向かって絶えず成長する」と仮定し，人間の欲求を 5 段階の階層で理論化したものである．この 5 段階の階層の概要図を図-2 に示す．下の階層から欲求の中でも動機づけの出発点であり，基本的な欲求とする「生理的欲求」，安心，安定，依存，保護，恐怖・不安・混乱からの自由といった「安全の欲求」，他者との関わりや，所属する集団での位置の切望といった「所属と愛の欲求」，自己に対する高い評価や自己尊敬，他者からの尊敬といった「承認の欲求」，そして，自分自身であろうとし，自分がなりうるすべてのものになろうとする願望の「自己実現の欲求」の 5 つの欲求で構成されている．この階層は低階層の欲求であるほど，より物質的なもので低次の欲求と言われ，低次の欲求が満たされると上階層のより精神的な高次の欲求を求めるとされている．人間は，高次の欲求を満足することで，より主観的な結果，つまり，真の幸福，平穏さ，内的生活の豊かさがもたらされる．また，健康への方向をたどり，精神病理から遠ざかること，利己性の減少など，社会的に望ましい結果をもたらし，より大きな，より強い，より真実の個性につながるとされている．マズローの欲求段階説では低次欲求と高次欲求の区別ははっきりとされていないため，本研究においてはより低次な欲求を「生理的欲求」，「安全の欲求」，高次な欲求を「所属と愛の欲求」，「承認の欲求」，「自己実現の欲求」と区別し，前者を「物質的欲求」，後者を「精神的欲求」と呼ぶことにする．

（2）　マズローの欲求段階説に基づいた中心市街地の訪問動機の指標作成

マズローの欲求段階説を踏まえ，中心市街地の訪問動機の項目を表-2 のように全 18 項目とし，この項目を系統ごとに 5 分類した．なお，訪問動機が複数の系統に跨る場合もある．その場合には，アンケートの設問内容の表現を踏まえ，主な動機を一つに特定している．項目の 1～5 を日用品や食料品購入のような購買目的などで構成された「購買動機」，6～8 を購買行動の効率性などで構成された「効率性動機」，9，10 を人と会うことや親交目的などの「交流動機」，11～14 をおしゃれな服装やエステなど，自分自身を磨き上げるような項目で構成された「自己向上動機」，そして，15～18 を楽しさや気分転換のような精神面の項目で構成した「精神充足動機」とした．

訪問動機の項目とマズローの欲求段階説の階層との紐付けが必要となるが，訪問動機の性質上の問題から，各階層との整合性を図った上での紐付けが困難であった．このため，本研究では 5 段階に分類せず，この 5 つの動機グループを物質的欲求と精神的欲求の 2 つに大きく分けた．マズローの欲求段階説の文献[2]において，「低次の欲求は，高次の欲求よりはるかに部分的で，明確で，より限定されている」

表-2　中心市街地の中心市街地の訪問動機[1]

物質的欲求	購買動機	1.日用品を買うため
		2.食料品を買うため
		3.家電製品・家具を買うため
		4.洋服を買うため
		5.食事をするため
	効率性動機	6.効率的に買い物や用事を済ませるため
		7.一度に多くの用事を済ませるため
		8.いろいろな種類の店があるため
精神的欲求	交流動機	9.人と会うことや，それによって親交を深められること
		10.イベントやサークル活動に参加することができるため
	自己向上動機	11.美容室・エステ・ジムへ行くため
		12.少し贅沢をするため
		13.新しくできたお店や流行の店へ行けるため
		14.おしゃれな服装で外出するため
	精神充足動機	15.楽しみながら用事を済ませるため
		16.雰囲気や景色を楽しむため
		17.特に目的はないが気分転換のため
		18.行けばいいことがあるかもしれないという期待感があるため

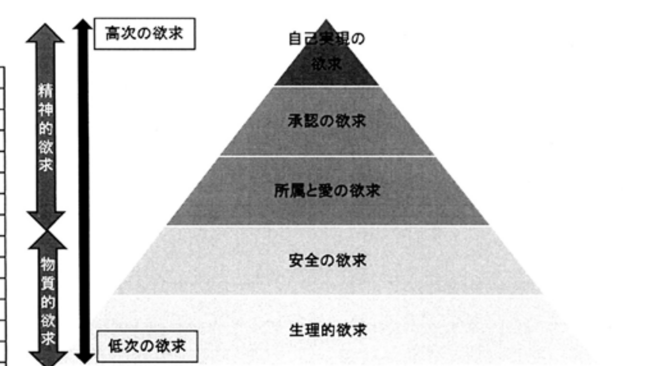


図-2　マズローの欲求段階説の構造

と述べられており，この記述と対応するように，より物質的な動機とする購買動機，効率性動機を「物質的欲求」，内面からの精神的な動機とする交流動機，自己向上動機，精神充足動機を「精神的欲求」と位置付けた．以降では，大きく 2 つの階層に欲求を分類した訪問動機に基づき分析しているが，本研究の主旨である物質的あるいは精神的欲求に対する来訪者特性の傾向を捉えることができたと考えている．

２．２　分析対象地域の概要

本研究では，岡山県岡山市を分析対象地域とする．岡山市は人口約 72 万人，面積約 790 ㎢の政令指定都市である．中心部には西日本最大級のショッピングモールであるイオンモール岡山等の商業施設や，表町や奉還町などの古くから存在する商店街も存在する．その一方で，岡山市の郊外部は公共交通や商業施設が充実していない地域も存在している．そこで，被験者の居住地域により移動環境等が異なることを考慮し，居住地を表-3，図-3 のように 3 つに分類した．

訪問動機等を尋ねる際の地域の定義として，「中心市街地」は岡山市が定める中心市街地区域図 [3] の「中心市街地」の区域と定義した．中心市街地を除く鉄道駅から徒歩圏内(半径 800m)の範囲を「鉄道駅周辺」とした．そして，上記以外の地域を「その他郊外」とした．

３．中心市街地の訪問動機からみた来訪者特性

３．１　クラスター分析による訪問動機タイプの分類

（１）　クラスター分析による類型化

中心市街地の訪問動機全 18 項目（表-2）を利用し，人々の訪問動機の傾向を把握した．訪問動機の回答を「あてはまる」を 4 点，「ややあてはまる」を 3 点，「あまりあてはまらない」を 2 点，「あてはまらない」を 1 点の 4 点満点に得点化した．その得点を利用し，私用で中心市街地を訪れることがあると回答する 1,248 サンプルを対象に，訪問動機の 18 項目で ward 法を用いてクラスター分析を行った．

まず，クラスターの分類特性を把握するために，10 程度のクラスターから分析した．クラスターの訪問動機の各平均値を比較すると，物質的欲求の項目が低得点である（動機として弱い）クラスターは，精神的欲求も低得点となっていた．一方，精神的欲求の項目が高得点のクラスターは，物質的欲求も同程度以上に高得点であった．つまり，中心市街地の来訪に対して，物質的欲求を動機とせずに，精神的欲求だけを動機とする来訪者は限定的と言える．

表-3　分析対象地域の居住地分類と定義

居住地分類	定義	サンプル数
中心市街地	岡山市が定める 岡山市中心市街地区域	116
鉄道駅周辺	中心市街地を除く 鉄道駅から半径800m圏内(徒歩圏)	289
その他郊外	その他いずれの地域にも 属さない地域	895

図-3　分析対象地域の中心市街地

以上の分析結果を参考に，本研究の主旨を考慮した上でクラスターを 3 分類した結果を採用し，図-4 にデンドログラムを示した．クラスター分析による 18 項目の各平均値を表-4 に示す．この平均値をさらに，表-2 の 5 分類の動機ごとに，平均値の平均を求め，その得点を表-5 に整理した．

まず，クラスター1 に属するのは 427 サンプルとなり，全体の 34%を占めた．このグループはどの動機も平均点以下と点数が低い．特に精神的欲求の「自己向上動機」と「精神充足動機」が 2.00 点以下と低得点である．つまり，精神的欲求が非常に弱いクラスターであることから，「非精神的欲求タイプ」とネーミングした（ただし物質的欲求は弱いものの存在する）．次に，クラスター3 は全体の 20%と 3 つのクラスターで最も少ないグループとなった．このクラスターはどの動機グループも 3.00 点以上と高得点であり，物質的欲求と精神的欲求の両方が訪問動機に大きく関わっていることが分かる．従って，クラスター3 は「精神・物質的欲求タイプ」とネーミングした．最後に，クラスター2 は 577 サンプルと全体の 46%を占めており，クラスター1 とクラスター3 の中間的な点数となっていることから，クラスター2 を「中間的性格欲求タイプ」と位置付けた．

以上のクラスター分析の結果から，中心市街地を訪問する動機として，精神的欲求を求めない「非精神的欲求タイプ」，物質的欲求・精神的欲求をある程度平均的に求める「中間的性格欲求タイプ」，物質的欲求だけではなく，精神的欲求を高く求める「精神・物質的欲求タイプ」の 3 つの欲求タイプに大きく分類することができた．そのなかでも，精神的欲求を求めないグループは全体の 3 割以上を占めており，精神的欲求も求めるグループと比較すると，そのサンプル数は多いことが分かった．

（２）欲求タイプ別の来訪者特性

本項では，前項で類型化した欲求タイプに対して，個人属性や交通手段，ソーシャルキャピタル等に関する回答を利用し，クロス集計，独立性の検定を行い各タイプの特性を把握した．さらに独立性の検定の結果から，有意となった項目でそれぞれ残差分析を行い，詳細な特性をまとめたものを表-6 に整理した．

これらの結果から「非精神的欲求タイプ」は男性，年齢は 50 代以上が有意に高く，郊外居住者が多い結果となった．交通手段に関する項目では，他のタイプと比較すると，鉄道やバスを「まったく利用しない」傾向にある．

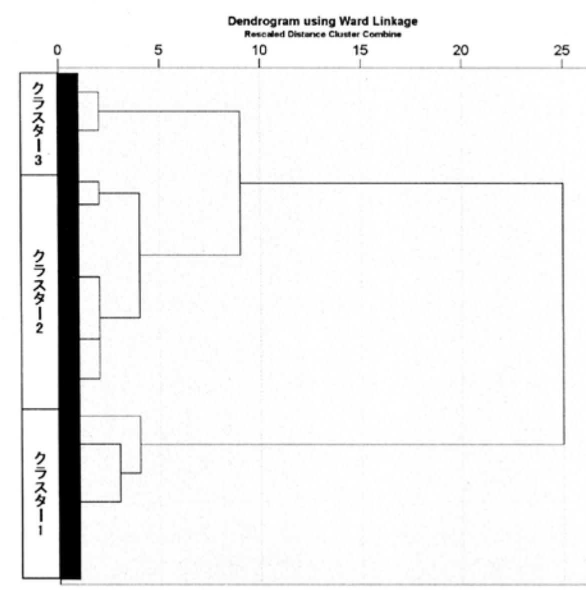


図-4　3 クラスターのデンドログラム

表-4　3クラスターごとの全項目の訪問動機の平均値

設問項目			得点化による平均値 クラスター1 (n=427)	クラスター2 (n=577)	クラスター3 (n=244)	合計平均値 (n=1248)
物質的欲求	購買	1.日用品を買うため	2.15	3.08	3.74	2.89
		2.食料品を買うため	1.94	2.89	3.49	2.68
		3.家電製品・家具を買うため	2.23	2.83	3.48	2.76
		4.洋服を買うため	2.74	3.38	3.93	3.27
		5.食事をするため	2.86	3.41	3.92	3.32
	効率性	6.効率的に買い物や用事を済ませるため	2.07	2.88	3.76	2.77
		7.一度に多くの用事を済ませるため	2.10	2.97	3.77	2.83
		8.いろいろな種類の店があるため	2.50	3.33	3.91	3.16
精神的欲求	交流	9.人と会うことや，それによって親交を深められること	2.33	2.90	3.70	2.86
		10.イベントやサークル活動に参加することができるため	1.77	2.32	2.81	2.23
	自己向上	11.美容室・エステ・ジムへ行くため	1.40	1.95	3.08	1.98
		12.少し贅沢をするため	1.90	2.71	3.48	2.58
		13.新しくできたお店や流行の店へ行けるため	1.54	2.58	3.61	2.43
		14.おしゃれな服装で外出するため	1.42	2.28	3.33	2.19
	精神充足	15.楽しみながら用事を済ませるため	1.92	2.88	3.62	2.70
		16.雰囲気や景色を楽しむため	1.73	2.62	3.34	2.46
		17.特に目的はないが気分転換のため	1.67	2.56	3.48	2.44
		18.行けばいいことがあるかもしれないという期待感があるため	1.49	2.41	3.37	2.28

表-5　3クラスターごとの5分類の訪問動機の平均値

クラスター	n	物質的欲求 購買動機	効率性動機	精神的欲求 交流動機	自己向上動機	精神充足動機	タイプ
1	427(34%)	2.38	2.22	2.05	1.57	1.70	非精神的欲求タイプ
2	577(46%)	3.12	3.06	2.61	2.38	2.62	中間的性格欲求タイプ
3	244(20%)	3.71	3.81	3.26	3.38	3.45	精神・物質的欲求タイプ
合計平均	1248(100%)	2.98	2.92	2.55	2.30	2.47	

一方で，「精神・物質的欲求タイプ」は「非精神的欲求タイプ」と相対する結果となった．「精神・物質的欲求タイプ」の性別は女性，年齢は30代以下と若年層が有意に高く， 中心市街地に居住する人が他のグループより多い．交通手段に関しては私用の交通手段が公共交通である人が有意に高く，自家用車が低い結果となり，公共交通の利用頻度も他のタイプと比べ多い．なお，居住地の公共交通利便性（例えば，駅・バス停まで20分以上）は高くない．また，ソーシャルキャピタルの項目において，大切だと思うや愛着を感じているという質問に対して，「そう思う」の割合が他のタイプと比べて高い結果となった．さらに，自由に使える自家用車や免許保有の質問で，3つのタイプで有意差はない一方で，先述のように「精神・物質的欲求タイプ」で私用の交通手段で公共交通が有意に高い．なお，「精神・物質的欲求タイプ」は自家用車を保有し自由に使える状況にありながら，公共交通を選択している人の割合が他のクラスターと比較して有意に高いことをクロス集計の結果から確認した．

また，それぞれのクラスターに対する個別の属性の影響（偏相関）を把握するため，目的変数をクラスター分析により類型化した3つの欲求タイプ，説明変数を，先の分析で明確な傾向が確認できた性別，年齢，居住地の個人属性，私用の交通手段，鉄道，バスの利用頻度の交通手段特性として，数量化Ⅱ類分析を実施した．分析結果から，2つの軸が存在したが，影響の大きい第1軸を採用した．数量化Ⅱ類の分析結果を図-5に示す．偏相関係数が特に高い値を示したのは，年齢，性別であった．しかし，個人属性だけではなく，交通手段に関してもクロス集計結果と同様に明確な傾向が確認できる．「精神・物質的欲求タイプ」において，私用の交通手段で「公共交通」が，鉄道，バスの利用頻度で「ほぼ毎日」等の頻度の高い項目が影響していた．

表-6　各欲求タイプと来訪者属性との関連性

指標	分類	p値	非精神的欲求タイプ 有意:高	有意:低	中間的性格欲求タイプ 有意:高	有意:低	精神・物質的欲求タイプ 有意:高	有意:低
性別**	男，女	0.00	男性	女性			女性	男性
年齢**	20代以下，30代，40代，50代，60代以上	0.00	50代以上	30代以下			30代以下	50代以上
職業*	会社員，自営業，専業主婦，学生，パート・アルバイト，公務員，無職，その他	0.02	無職	専業主婦	専業主婦			無職
世帯構成	三世代同居，二世代同居，夫婦のみ，単身世帯，その他	0.21						
世帯人数	1人，2人，3人，4人，5人，6人以上	0.09						
居住地**	中心市街地，鉄道駅周辺，その他郊外	0.00	郊外	中心市街地			中心市街地	郊外
通勤・通学の交通手段	公共交通，自家用車，自転車，徒歩，その他，行わない	0.06						
私用の交通手段**	公共交通，自家用車，自転車，徒歩	0.00		公共交通			公共交通	自家用車
私用の交通手段の数	1つ，2つ，3つ，4つ以上	0.08						
自由に使える自家用車	持っている，持っていない	0.46						
普通自動車免許	持っている，持っていない	0.26						
公共交通整備水準 利用頻度 鉄道**	ほぼ毎日，週に3，4日，週に1，2日，月に1，2日，年に数日以下，まったく利用しない	0.00	まったく利用しない	ほぼ毎日 週に1，2日			ほぼ毎日 週に1，2日	まったく利用しない
公共交通整備水準 利用頻度 バス**		0.00	まったく利用しない	ほぼ毎日 週に1，2日	週に3，4日		週に1，2日	まったく利用しない
公共交通整備水準 駅までの所要時間 鉄道*	5分未満，5～15分未満，15～20分未満，20分以上，分からない，まったく利用しない	0.01	まったく利用しない				20分以上	まったく利用しない
公共交通整備水準 駅までの所要時間 バス**		0.00	まったく利用しない		わからない		20分以上	まったく利用しない
公共交通整備水準 運行間隔 鉄道**	15分未満，15～20分未満，20～30分未満，30分以上、分からない，まったく利用しない	0.00	わからない まったく利用しない	15分未満 30分以上	30分以上		20分未満	まったく利用しない
公共交通整備水準 運行間隔 バス*		0.01	まったく利用しない	30分以上			30分以上	まったく利用しない
日常の生活※1における移動環境評価	とても満足，満足，どちらでもない，不満，	0.09						
日常の生活※1における交通手段別移動環境評価 鉄道	とても満足，満足，どちらでもない，不満，とても不満	0.06						
日常の生活※1における交通手段別移動環境評価 バス*		0.01	とても不満	満足		とても不満		
日常の生活※1における交通手段別移動環境評価 自家用車		0.90						
日常の生活※1における交通手段別移動環境評価 自転車*		0.03	とても不満					とても不満 どちらでもない
日常の生活※1における交通手段別移動環境評価 徒歩*		0.01	どちらでもない	とても満足			とても満足	どちらでもない
地域※2について（ソーシャルキャピタル） 大切だと思う**	まったくそう思わない，どちらかといえばそう思う，どちらでもない，どちらかといえばそう思う，大いにそう思う	0.00	どちらでもない	大いにそう思う			大いにそう思う	どちらでもない どちらかといえばそう思う
地域※2について（ソーシャルキャピタル） 愛着を感じている**		0.00	どちらでもない			大いにそう思う	大いにそう思う	どちらでもない
地域※2について（ソーシャルキャピタル） 自分の居場所がある気がする**		0.00				大いにそう思う	大いにそう思う	どちらでもない
地域※2について（ソーシャルキャピタル） 自分のまちだという感じがする**		0.00			どちらかといえばそう思う	大いにそう思う	大いにそう思う	どちらかといえばそう思わない
地域※2について（ソーシャルキャピタル） ずっと住み続けたい		0.13						

※1 日常の生活とは，日常的に行う，買物，医療，娯楽，通勤・通学の行動範囲とする
※2 地域とは，現在の居住地の小中学校の学区程度とする

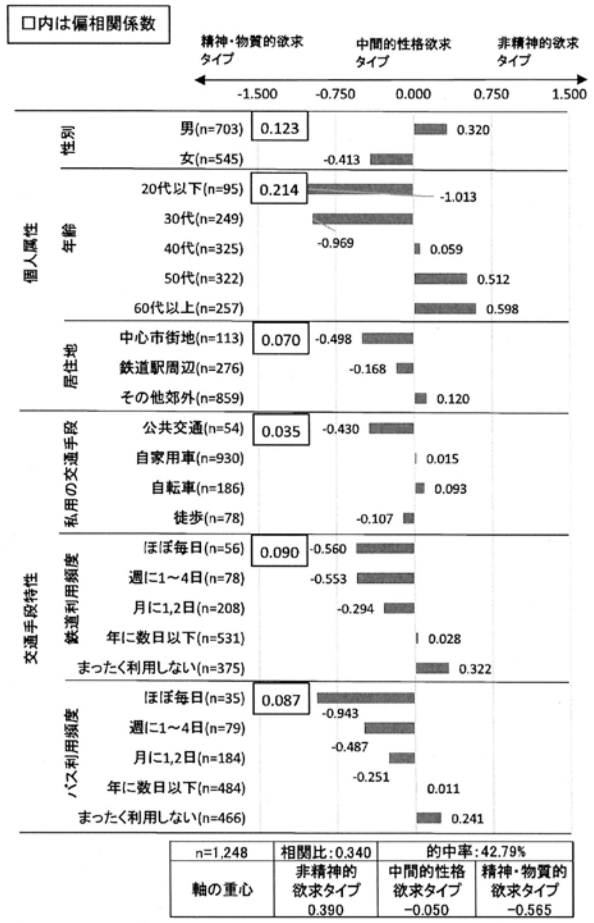
独立性の検定 **:1%有意 *:5%有意　残差分析 （濃）:1%有意 （淡）:5%有意

3．2　訪問動機と交通手段の関連性

前節での結果をもとに，本節では中心市街地の訪問動機の中でも精神的欲求と位置付けた10項目と交通手段との関連性を把握する．分析で使用する交通手段は，中心市街地への来訪を想定して，「（買い物等の）私用目的の際の交通手段」とする．一方，アンケートの設問として目的地を中心市街地のみに限定できていない．したがって，以降の分析結果は，（中心市街地への来訪を含む）一般的な私用目的で用いられる交通手段と中心市街地への訪問動機との傾向を把握していることになる．

中心市街地の訪問動機と私用の交通手段のクロス集計結果を表-7に整理した．なお，有意差が見られた項目は残差分析を行った．分析結果から，ほとんどの高次欲求の項目に対して，公共交通，自転車，徒歩において「あてはまる」，「ややあてはまる」の割合が高く，自家用車で割合が低くなっている．特に有意な結果となっているのは，「美容室・エステ・ジムへ行くため」，「少し贅沢をするため」などの自分自身への非日常的な体験を求める動機や，「楽しみながら用事を済ませるため」，「雰囲気や景色を楽しむため」，「特に目的はないが気分転換のため」のようなポジティブ感情を求める精神的欲求の訪問動機である．一方で交流動機である2つの項目では，交通手段で有意な差は見られなかった．精神的欲求の中でも，人との交流等ではなく，楽しむことや気分転換等の精神的充足の動機が交通手段により相対的に差異が生じる結果となった．

以上から，自家用車に比べ，公共交通や徒歩を利用する人は非日常体験の動機や，楽しむことや気分転換のような精神的欲求である訪問動機から中心市街地を訪れている割合が高いことが分かった．自動車



図−5　欲求タイプの来訪者属性モデル

表−7　精神的欲求に関する訪問動機と交通手段

動機	設問項目	交通手段	設問項目に対する該当評価			
			あてはまる	ややあてはまる	あまりあてはまらない	あてはまらない
交流動機	9.人と会うことや，それによって親交を深められること	公共交通(n=54)	43%	37%	11%	9%
		自家用車(n=927)	32%	33%	21%	14%
		自転車(n=186)	38%	27%	22%	13%
		徒歩(n=78)	40%	28%	23%	9%
	10.イベントやサークル活動に参加することができるため	公共交通(n=54)	26%	30%	20%	24%
		自家用車(n=927)	14%	26%	26%	34%
		自転車(n=186)	19%	20%	27%	33%
		徒歩(n=78)	14%	24%	32%	29%
自己向上動機	12.美容室・エステ・ジムへ行くため**	公共交通(n=54)	26%**(+)	20%	26%	28%**(−)
		自家用車(n=927)	12%**(−)	15%	24%	48%**(+)
		自転車(n=186)	20%**(+)	20%	16%**(−)	43%
		徒歩(n=78)	18%	13%	27%	42%
	13.少し贅沢をするため*	公共交通(n=54)	31%*(+)	43%	17%	9%
		自家用車(n=927)	17%**(−)	40%	22%	20%
		自転車(n=186)	24%	31%*(−)	25%	20%
		徒歩(n=78)	24%	37%	24%	14%
	16.新しくできたお店や流行の店へ行けるため	公共交通(n=54)	26%	39%	20%	15%
		自家用車(n=927)	17%	33%	23%	26%
		自転車(n=186)	20%	31%	20%	28%
		徒歩(n=78)	23%	24%	22%	31%
	17.おしゃれな服装で外出するため	公共交通(n=54)	20%	33%	26%	20%
		自家用車(n=927)	14%	24%	29%	33%
		自転車(n=186)	17%	18%	31%	34%
		徒歩(n=78)	14%	22%	24%	40%
精神充足動機	11.楽しみながら用事を済ませるため**	公共交通(n=54)	35%*(+)	44%	17%	4%*(−)
		自家用車(n=927)	19%**(−)	41%	23%	16%**(+)
		自転車(n=186)	26%	40%	21%	13%
		徒歩(n=78)	36%**(+)	28%*(−)	29%	6%*(−)
	14.雰囲気や景色を楽しむため**	公共交通(n=54)	31%**(+)	31%	28%	9%**(−)
		自家用車(n=927)	16%**(−)	35%*(+)	24%	24%
		自転車(n=186)	22%	27%**(−)	28%	24%
		徒歩(n=78)	24%	27%	28%	21%
	15.特に目的はないが気分転換のため*	公共交通(n=54)	28%	31%	28%	13%*(−)
		自家用車(n=927)	16%**(−)	32%	25%	27%*(+)
		自転車(n=186)	24%*(+)	31%	23%	22%
		徒歩(n=78)	26%	33%	21%	21%
	18.行けばいいことがあるかもしれないという期待感があるため	公共交通(n=54)	26%	33%	30%	11%
		自家用車(n=927)	12%	29%	29%	29%
		自転車(n=186)	15%	29%	28%	28%
		徒歩(n=78)	18%	31%	23%	28%

・独立性の検定　**:1%有意　*:5%有意
・残差分析　(+):割合高い　(−):割合低い

は目的を果たす便利な移動手段であるが，駐車場所や料金等の面から，目的を達成したのちはそのまま帰宅するという効率的な行動パターンになりやすいと想定できる[4]．

4．結論

本研究では，住みやすさの根源である人間の本質的欲求に着目し，マズローの欲求段階説に基づいた中心市街地の訪問動機と，居住地や交通手段との関連性について分析することで，エコ・リバブルシティの実現に向けた都市構造に関する知見を得た．本研究によって得られた成果を以下に整理する．

1) クラスター分析による訪問動機の分類によって，中心市街地の来訪者には，「非精神的欲求」，「精神・物質的欲求」等のタイプが存在することを確認できた．また，物質的な動機を達成することを前提に，精神的な動機が求められる構造になっており，それらの関係性を確認できた．
2) 各欲求タイプは，年齢や性別に加えて交通手段選択も影響している．具体的には，「精神・物質的欲求」タイプは公共交通を，「非精神的欲求」タイプは非・公共交通の傾向にある．なお，精神的欲求に関する訪問動機の中で，「人との交流」では，公共交通利用の傾向は相対的に弱く，「自己向上動機」や「精神的充足動機」で強い．さらに，各欲求タイプと「自由に使える自家用車があるかどうか」には関係性は見られず，自動車保有に依存しない傾向にある．

3) 以上の分析結果に基づくと，精神的欲求を満たすことを目指した都市構造の実現においては，そのエリアだけでなく，そのエリアにどのような手段で来訪するか，(あるいはその手段が整備されているか）を合わせて考えることの重要性が来訪者特性により指摘できる．自動車のアクセス性を高める（環境負荷の高い）都市構造は，高次の精神的欲求の充足にはつながりにくい可能性がある．
4) 今後の発展可能性としては、大型商業施設や商店街等の特性の異なる施設や施設群を考慮した分析が考えられる。施設レベルに落とし込むことで、より具体的な都市構造に向けた提案が可能となる。

【参考文献】

1) 青木俊明(2005),「中心市街地の訪問動機の分析とそれに基づく活性化方策の考察―宮城県仙台市を題材に―」,都市計画論文集,No.40-3,pp.643-648
2) A.H.マズロー(1987),「Motivation and Personality」, 小口忠彦訳,人間性の心理学,産業能率大学出版部刊
3) 岡山市 HP,中心市街地活性化基本計画　関連データ集:中心市街地区域図，http://www.city.okayama.jp/contents/000136477.pdf,2019 年 12 月 16 日最終閲覧
4) 安藤亮介・氏原岳人（2018),「プローブパーソンデータを用いた中心市街地における歩行者の都市空間創成の影響分析―来訪者の交通行動と居住地特性に着目して―」,都市計画論文集,Vol.53,No.2. pp.161-171

黄ニラの細胞内グルタチオン上昇作用に着目した機能性食品の開発

就実大学　薬学部　川上　賀代子

1. はじめに

睡眠は衣食住とともに生存のために欠くことのできない重要な行動である。不眠に悩んでいる現代人は多く、鬱病をはじめとする自律神経性の疾患や、睡眠不足に起因するあらゆる疾患の原因となっている。米国のシンクタンク「ランド研究所」の調査研究（2016 年 11 月）によると、日本の睡眠不足を原因とした経済的損失は、15 兆円に達し、この割合は調査対象 5 か国(アメリカ、ドイツ、イギリス、カナダ)の中で最も高くなっている。睡眠不足の原因として不規則な生活様式を強いられることで、睡眠異常等の概日リズム障害、すなわち脳内で作られる睡眠ホルモンであるメラトニン分泌リズムの異常が考えられる。

メラトニンは、serotonin *N*-acetyltransferase (NAT) を律速酵素として合成される睡眠ホルモンである。NAT は遺伝子発現や NAT タンパクの分解機構等、様々な制御を受けているが、我々は NAT 活性が内因性トリペプチドであるグルタチオンによりレドックス制御をうけることを明らかにした(*1*)。すなわち、NAT の二つのシステイン残基の間で形成される分子内ジスルフィド結合が活性に重要な働きをしており、この二つのシステイン残基の間で、-SH/S-S の交換反応が起こることにより、還元型（SH 型）で活性型になる一方、酸化型（S-S 型）では、不活性型となる。すなわち、活性型の NAT は酸化ストレスを受けると不活性型になり、不活性型の NAT はグルタチオンによって S-S 結合が還元されることで活性型となる。

グルタチオンはグルタミン酸、システイン、グリシンからなるトリペプチドであり、生体が有する主要な抗酸化物質である(*2*)。その細胞内濃度は比較的高く維持されており、抗酸化作用だけでなく、薬物などの解毒にも大きく関わっている。細胞内のグルタチオンの恒常性が変化することにより酸化ストレスを誘引し、様々な疾病につながることが報告されている(*3*)。よって、細胞内グルタチオンを制御することにより NAT を活性化するだけでなく、様々な疾病の予防に有効であると考えられる。

グルタチオンは、γ-glutamylcysteine synthetase (γ-GCS) および glutathione synthetase の 2 つの酵素によって生合成され、このうちγ-GCS はグルタチオン生合成過程での律速酵素である(*4*)。γ-GCS の発現調節は転写因子 Nuclear factor (erythroid-derived 2)-like 2 (Nrf2)によって制御されていることが報告されている(*5*)。細胞が活性酸素などのストレスに晒されると Nrf2 は細胞質から核内へ移行し、γ-GCS をはじめ、グルタチオンの構成アミノ酸であるシステインの取り込みに関与する cystine/glutamate transporter (xCT) やヘムを分解して強い抗酸化作用を持つビリベルジンを産生する酵素である hemeoxygenase-1（HO-1）などの抗酸化系を誘導する。

我々はこれまでに、細胞内グルタチオン量を上昇させる食品成分の探索を行い、黄ニラが細胞内グルタチオン量を上昇させることを明らかにした(*6*)。黄ニラは岡山県が生産量第 1 位であり、全国生産量の約 7 割を占めている岡山県の特産品のひとつである(*7*)。黄ニラは青ニラと同じニラの品種であるが栽培方法が異なる。黄ニラは青ニラの地上部を刈り取り、被覆資材で太陽光を遮断する軟化栽培による周年出荷の野菜であり、先端と下端を切断して出荷されるが、その廃棄部は未利用バイオマスとなっている（図 1）。そこで本研究では、黄ニラの部位別の細胞内グルタチオン上昇作用の解析を行った。また、睡眠ホルモン合成酵素である NAT 活性への影響についても調べた。

図 1　黄ニラの栽培風景と可食部・廃棄部

2. 試料と方法

2. 1. 黄ニラ試料

黄ニラは岡山県農林水産総合センター農業研究所から供与いただき、可食部（中間部）と廃棄部（出荷時に切断される先端および下端）に分けた（図 1）。黄ニラは通常、太陽光を遮断して栽培し、収穫されるが、栽培期間の途中で 1〜3 時間程度、太陽光に暴露（露光）することで葉の黄色が濃くなる(*8*)。そこで、露光ありと露光なしの黄ニラを試験試料とした。また、黄ニラの廃棄部を株式会社アーチファームからご供与いただいた。

2. 2. 黄ニラ抽出物の調製

黄ニラをフードプロセッサーで破砕した後、3 倍量の 50%エタノールを加え、スターラーで撹拌しながら室温で 1 時間抽出した。得られた抽出液の黄ニラ残渣をガーゼで取り除いたのちに吸引ろ過し、ろ液を凍結乾燥して 200 mg/mL になるように dimethyl sulfoxide に溶解した。比較対象として同じ品種を露地栽培した青ニラも同様に 50%エタノールで抽出し、試料とした。

2. 3. 逆相カラムによる黄ニラ抽出物の分画

黄ニラ抽出物 2.4 g をミリ Q 水に再溶解し、Sep-Pak C18 35 cc Vac Cartridge（日本ウォーターズ）に供した。0% メタノール （ミリ Q 水)、5% メタノール、10% メタノール、20% メタノール、40% メタノール、100% メタノール（各 50 mL）で溶出させた。各溶出液は凍結乾燥または減圧濃縮後、100 mg/mL になるように dimethyl sulfoxide に溶解して試料とした。

2. 4. 細胞内グルタチオン量の測定

ヒト肝がん細胞 HepG2 を 6 穴プレートに 1.5×10^5 cell/ 2 mL で播種し、48 時間培養した。その後、黄ニラ抽出物（終濃度 0、0.25、0.5 mg/mL）を添加し 1、3、8、24 時間後に細胞を回収した。細胞をホモジナイズし、上清を過塩素酸で除タンパクした後、DTNB 法を用いてグルタチオン量を測定した。還元型グルタチオン（GSH）と酸化型グルタチオン（GSSG）の分別定量は、徐タンパクしたサンプルに、4-Fluoro-7-sulfamoyl benzofurazan（ABD-F）を添加し、GSH を誘導体化した。その後、Tributylphosphine により GSSG を還元し、4-Fluoro-7-sulfobenzofurazan, ammonium salt（SBD-F）で誘導体化した。それぞれの誘導体は高速液体クロマトグラフ（Prominence UFLC LC-20AD、島津製作所）を用いて同時定量した。カラムは InertSustain C18 5 μm（4.6 mm×150 mm ジーエルサイエンス）を用い、蛍光検出器（励起波長：380 nm，蛍光波長：510 nm）により検出した。

2. 5. NAT 活性の測定

アフリカミドリザル腎臓由来 COS7 細胞に NAT を強制発現させた COS7/NAT 細胞を 6 穴プレートに 1.5×10^5 cell/ 2 mL で播種し、48 時間培養した。黄ニラ抽出物（終濃度 0.5 mg/mL）を添加し、24 時間培養した後に過酸化水素処理を 30 分行い、細胞を回収した。細胞をホモジナイズし、遠心分離して得られた上清に tryptamine（シグマ）を添加して、37℃で 15 分間反応させた。トルエンを加えて反応を停止し、トルエン層中の *N*-acethyl triptamine を高速液体クロマトグラフ（Prominence UFLC LC-20AD）を用いて定量した。カラムは InertSustain C18 5 μm（4.6 mm×150 mm）を用い、蛍光検出器（励起波長：285 nm，蛍光波長：360 nm）により検出した。

2. 6. xCT、HO-1 および Nrf2 タンパク発現量の測定

回収した細胞に RIPA buffer を添加してタンパク質抽出液を調製した。抽出したタンパク質は SDS-ポリアクリルアミド電気泳動後、PVDF 膜に転写した。Nrf2 の核移行を調べるため、核抽出液は Ramyaa らの方法を用いて調製した(*9*)。一次抗体は anti-xCT、anti-HO-1、anti-Nrf2、anti-β-actin、anti-lamin B を用いた。二次抗体は anti-rabbit 又は anti-mouse IgG HRP conjugated antibody を用いた。ECL Prime Western Blotting Detection を用いて目的タンパク質を検出し

た。各バンドは画像解析ソフト Image-J により定量化し、β-actin または lamin B で補正した。

3. 結果

3. 1. 黄ニラの HepG2 細胞内グルタチオン上昇作用に及ぼす影響

黄ニラの廃棄部と可食部の HepG2 細胞内グルタチオン量に対する影響を調べた結果、廃棄部および可食部ともに細胞内グルタチオン上昇作用があることが分かった（図2）。また、露光処理の有無で比較すると、露光処理によりグルタチオン上昇作用がみられなくなり、青ニラつまり太陽光に当てて栽培したニラでは無処理のコントロール細胞と比べて有意差はなかった。以上の結果から、太陽光に暴露することにより、細胞内グルタチオン上昇活性成分が減少することが示唆された。

黄ニラ抽出物を HepG2 細胞に添加することにより濃度依存的に細胞内グルタチオン量が上昇した（図3A）。また、細胞内グルタチオン量の経時変化を調べた結果、1、3 時間後では減少が見られたが、24 時間後で上昇することが分かった（図3B）。

3. 2. 黄ニラの NAT 活性に及ぼす影響

COS7/NAT 細胞を過酸化水素で処理することにより NAT 活性の低下がみられた（図4）。一方で、黄ニラ抽出物を添加することにより、過酸化水素によって低下した NAT 活性は 1.6 倍有意に上昇した。過酸化水素無処理では、黄ニラ抽出物による NAT 活性の上昇は見られなかった。

3. 3. 黄ニラの COS7/NAT 細胞内グルタチオン上昇作用に及ぼす影響

COS7/NAT 細胞を過酸化水素で処理することにより還元型のグルタチオン量の有意に減少し（図5）、酸化型グルタチオン量の上昇がみられた（図6）。一方で、黄ニラ抽出物を添加することにより、還元型のグルタチオン量の過酸化水素による減少がみられなかった。酸化型グルタチオン量は黄ニラ抽出物添加により、過酸化水素処理のみに比べ減少傾向があったが、有意差はなかった。

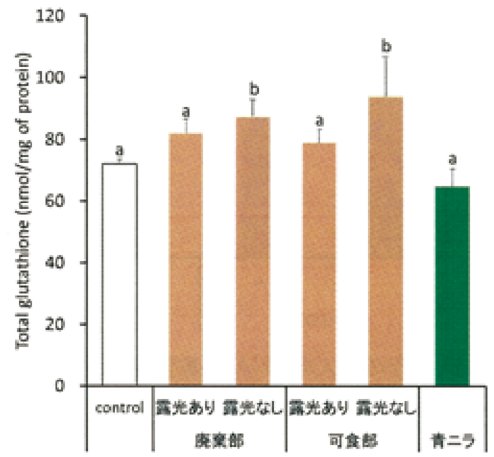


図2　黄ニラ部位別の HepG2 細胞内グルタチオン量に及ぼす影響（平均値±標準偏差、n = 3、${}^{a,b}p < 0.05$）

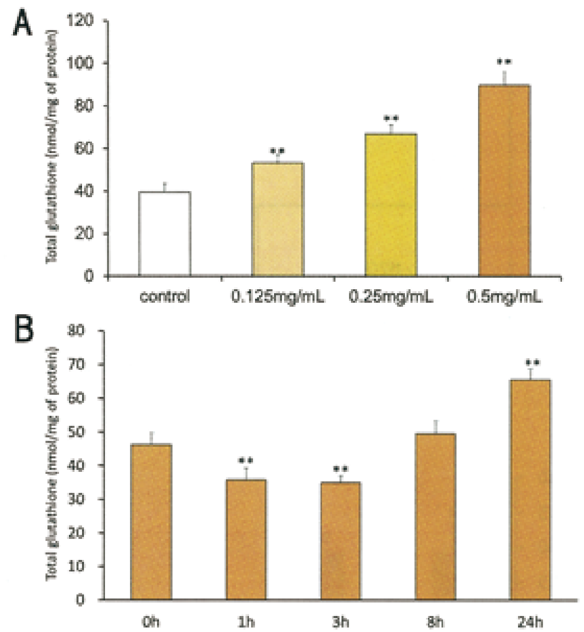


図3　黄ニラの細胞内グルタチオン量に及ぼす影響（平均値±標準偏差、n = 3、${}^{**}p < 0.01$ vs. control または 0h）A：濃度による影響、B：時間による影響

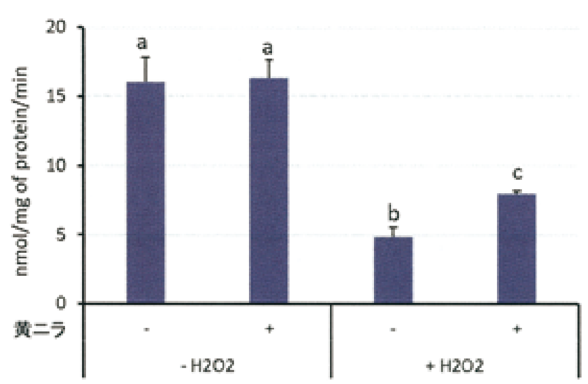


図4　黄ニラの NAT 活性に及ぼす影響（平均値±標準偏差、n = 3、${}^{a,b,c}p < 0.05$）

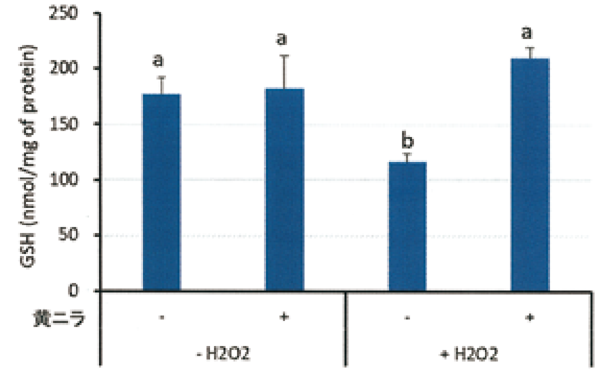


図5　黄ニラの COS7/NAT 細胞内還元型グルタチオン量に及ぼす影響（平均値±標準偏差、n = 3、${}^{a,b}p < 0.05$）

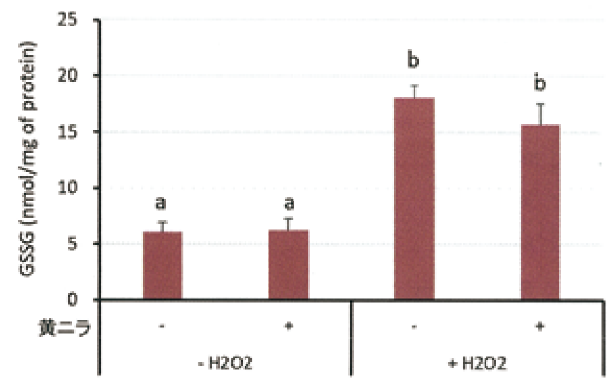


図6　黄ニラの COS7/NAT 細胞内酸化型グルタチオン量に及ぼす影響（平均値±標準偏差、n = 3、${}^{a,b}p < 0.05$）

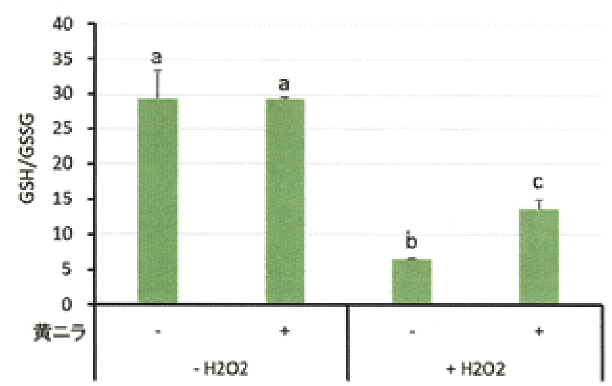


図7　黄ニラの COS7/NAT 細胞内 GSH/GSSG 比に及ぼす影響（平均値±標準偏差、n = 3、${}^{a,b,c}p < 0.05$）

GSH/GSSG 比は過酸化水素処理によりコントロールに比べて低下したが、黄ニラ抽出物を添加することにより、2.1 倍有意に上昇した。過酸化水素無処理では、黄ニラ抽出物による還元型および酸化型グルタチオン量の上昇は見られなかった。

3. 4. 黄ニラの xCT、HO-1 および Nrf2 タンパク発現量に及ぼす影響

黄ニラ抽出物の添加による HepG2 細胞内グルタチオン上昇メカニズムを調べるために、xCT のタンパク質発現量を調べた。その結果、黄ニラ抽出物を添加することにより 8、24 時間後に 0 時間に比べて xCT の発現上昇がみられた（図8）。一方、HO-1 は 8 時間後から有意に上昇し、24 時間後では 0 時間と比較して 2 倍に上昇した。さらに、xCT や HO-1 の発現を制御している Nrf2 のタンパク質発現を調べた結果、核内の Nrf2 は 1 時間後から上昇がみられ、8、24 時間後に有意に上昇していることが明らかとなった（図9）。

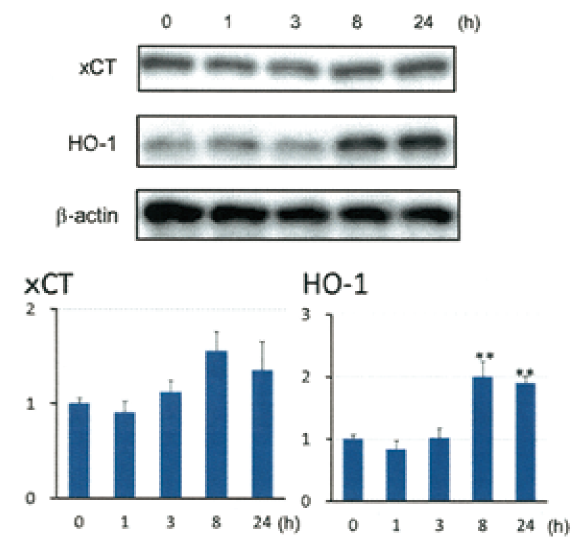


図8　黄ニラによるタンパク質発現への影響（平均値±標準誤差、n = 3、${}^{**}p < 0.01$ vs. 0 h）

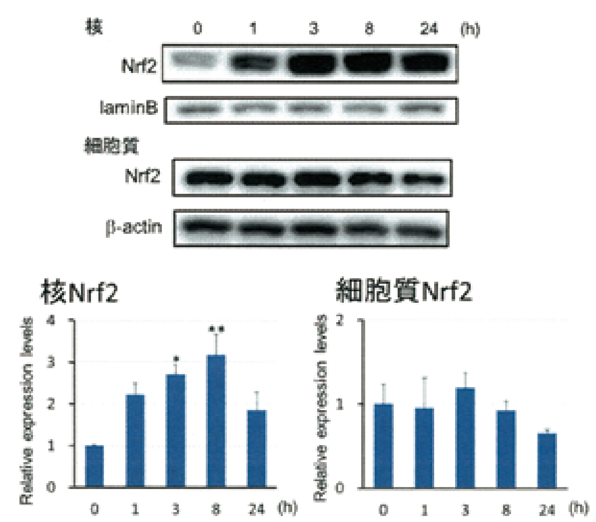


図9　黄ニラによる Nrf2 の核移行への影響（平均値±標準誤差、n = 3、${}^{*}p < 0.05$、${}^{**}p < 0.01$ vs. 0 h）

3. 5. 黄ニラ分画物の細胞内グルタチオン上昇作用

黄ニラの細胞内グルタチオン上昇作用を示す活性成分を同定するため、Sep-Pak C18 Cartridge で成分の分画を行った。分画物の収量から、黄ニラ抽出物中の 98% が Cartridge に非吸着の画分（0% メタノール画分）に溶出しており、黄ニラ抽出物には親水性が高い成分が多いことが分かった（データ非表示）。各画分の細胞内グルタチオン上昇作用を調べた結果、40% 及び 100% の画分に活性成分が含まれていることが明らかとなった（図 10）。

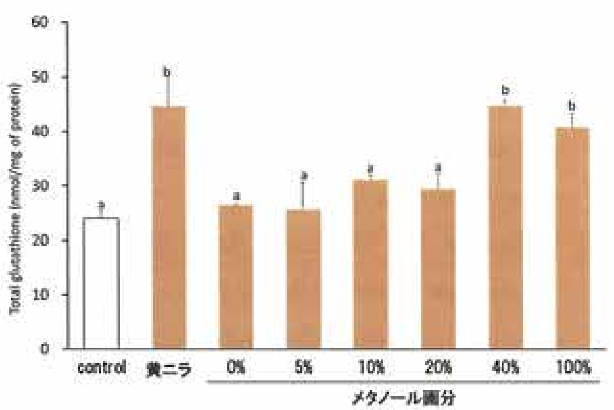


図 10　黄ニラ分画物の HepG2 細胞内グルタチオン量に及ぼす影響（平均値±標準偏差、n = 3、${}^{a,b}p < 0.05$）

4. 考察

岡山県における黄ニラの生産は、栽培面積（13 ha）、生産量（102 t）ともに全国 1 位であり、岡山県は日本一の黄ニラの産地となっている。黄ニラは先端と下端を切断して出荷されるが、その廃棄部は未利用バイオマスとなっている。そこで、黄ニラの廃棄部と可食部の HepG2 細胞内グルタチオン量に対する影響を調べた結果、廃棄部および可食部ともに細胞内グルタチオン上昇作用があることが分かった（図 2）。

NAT はグルタチオンによるレドックス制御を受けており、酸化ストレスにより NAT の SH 基がジスルフィド結合して不活性型となる。そこで、NAT 活性に対する過酸化水素の影響を調べた結果、過酸化水素で処理することにより NAT 活性の低下がみられたが、黄ニラを前処理することにより、過酸化水素による NAT 活性の低下が抑制された（図 4）。また、グルタチオン量を調べた結果、黄ニラ前処理によって GSH および GSH/GSSG 比の低下が抑制された（図 5、図 7）。以上の結果から、黄ニラは GSH および GSH/GSSG 比を上昇させることにより、酸化ストレスによって不活性型となった NAT を活性化させていることが示唆された。

細胞内グルタチオン量上昇メカニズムを調べるために、グルタチオン合成の律速酵素である γ - GCS のタンパク発現量について検討したが、変動は見られなかった（データ非表示）。そこで、グルタチオンの構成アミノ酸であるシステインの取り込みに関与する xCT のタンパク発現量を調べた結果、黄ニラにより 8、24 時間後に 0 時間に比べてタンパク発現量の上昇がみられた（図 8）。よって、xCT によるシステインの取り込みの上昇によりグルタチオン量が上昇することが示唆された。

xCT と同様に Nrf2 によって制御されている HO-1 のタンパク発現量を調べた結果、黄ニラにより 8 時間後から有意に上昇し、24 時間後では 0 時間と比較して 2 倍に上昇することが分かった（図 8）。また、核内の Nrf2 のタンパク発現量は 1 時間後から上昇がみられ、8、24 時間後に有意に上昇していた（図 9）。以上の結果から、黄ニラ抽出物は Nrf2 の核移行を誘導し、下流の xCT や HO-1 の発現を誘導していることが示唆された。

Nrf2 は通常 Keap1 と結合してユビキチン-プロテアソーム系で分解されるが、Keap1 と解離すると安定化し、核へ移行して抗酸化酵素群を誘導することが分かっている(*10*)。また、含硫化合物である Dinallyl trisulfide は Keap1 と結合して Nrf2 を活性化し、HO-1 の発現を誘導するという報告がある(*11*)。黄ニラと同じ種で栽培方法が異なる青ニラにも含硫化合物が含まれている(*12*)。本研究により、40% 及び 100% メタノール画分に活性成分が含まれていることが示唆された（図 10）。しかし、黄ニラ成分に関する報告はほとんどなく、青ニラとは栽培方法が異なるため、含硫化合物の含有量や成分が異なることが予想される。現在、黄ニラの活性成分の同定を進めているところである。

以上の結果から、黄ニラの可食部と廃棄部ともに細胞内グルタチオン上昇作用があること、細胞内グルタチオン量を上昇させることにより、睡眠ホルモン合成酵素を活性化することが示唆された。さらに、黄ニラは細胞内グルタチオンを上昇させるだけでなく、Nrf2 を介して抗酸化系を誘導することが示唆された。酸化ストレスは糖尿病、高血圧、がんなど多くの病気の発症や進展に関与していることが明らかとなっている。本研究により、黄ニラの酸化ストレスに起因する疾病の予防と進展抑制、睡眠の質改善に寄与する機能性食品素材としての可能性を見出すことができた。

5. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大なる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心より感謝申し上げます。黄ニラを提供していただいた岡山県農林水産総合センター農業研究所および株式会社アーチファーム 植田輝義様に感謝申し上げます。

6. 参考文献

1) Tsuboi S, Kotani Y, Ogawa K, Hatanaka T, Yatsushiro S, Otsuka M, Moriyama Y. 2002. An intramolecular disulfide bridge as a catalytic switch for serotonin *N*-acetyltransferase. *Journal of Biological Chemistry* **277**: 44229-44235.

2) Meister A, Anderson ME. 1983. Glutathione. *Annual Review of Biochemistry* **52**: 711-760.

3) Reid M, Jahoor F. 2001. Glutathione in disease. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care* **4**: 65-71.

4) Seelig GF, Simondsen RP, Meister A. 1984. Reversible dissociation of gamma-glutamylcysteine synthetase into two subunits. *Journal of Biological Chemistry* **259**: 9345-9347.

5) Bryan HK, Olayanju A, Goldring CE, Park BK. 2013. The Nrf2 cell defence pathway: Keap1-dependent and -independent mechanisms of regulation. *Biochemical Pharmacology* **85**: 705-717.

6) Kawakami K, Matsuo S, Moritani C, Hatanaka T, Tsuboi S. 2017. Antioxidant activity of agricultural products in Okayama Prefecture. *The Shujitsu University Journal of Pharmaceutical Sciences* **4**: 32-36.

7) 岡山県農林水産部農政企画課ホームページ. *http://wwwprefokayamajp/page/detail-26757html*.

8) 平成 25 年度試験研究主要成果. 2014. 黄ニラ軟化処理途中の日入れ処理による黄色発色向上技術. *岡山県農林水産総合センター農業研究所*: 57-58.

9) Ramyaa P, krishnaswamy R, Padma VV. 2014. Quercetin modulates OTA-induced oxidative stress and redox signalling in HepG2 cells — up regulation of Nrf2 expression and down regulation of NF-κB and COX-2. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects* **1840**: 681-692.

10) Kobayashi M, Yamamoto M. 2005. Molecular mechanisms activating the Nrf2-Keap1 pathway of antioxidant gene regulation. *Antioxid Redox Signal* **7**: 385-394.

11) Kim S, Lee HG, Park SA, Kundu JK, Keum YS, Cha YN, Na HK, Surh YJ. 2014. Keap1 cysteine 288 as a potential target for diallyl trisulfide-induced Nrf2 activation. *PLoS One* **9**: e85984.

12) Yabuki Y, Mukaida Y, Saito Y, Oshima K, Takahashi T, Muroi E, Hashimoto K, Uda Y. 2010. Characterisation of volatile sulphur-containing compounds generated in crushed leaves of Chinese chive (*Allium tuberosum Rottler*). *Food Chemistry* **120**: 343-348.

ドローン（UAV）技術を利用した大規模霧の立体気象観測

大橋唯太
岡山理科大学生物地球学部

1. はじめに

日本では山間部を中心に、寒候期に放射霧がよく発生する。濃霧は、高速道路の予期せぬ規制などの交通障害をしばしば発生させる（山本、2000）。また作物地帯では、日照不足による気温低下や光合成の阻害など、収穫量の減少にもつながり得る。このような問題を背景に、民間の気象情報会社なども霧の発生予測を試みているが、霧の予測をおこなうには霧そのものの特性を理解する必要がある。これまでは係留ガス気球を使った鉛直大気の気象観測を実施する手法が主流であったが、ここ数年で Unmanned Aerial Vehicle（UAV）、通称ドローンと呼ばれる小型無人航空機が急速に進歩し、容易に上空の情報を得る技術が発達した。これによって気象学・大気環境学の学術分野での大気観測に、今後大きな革新がもたらされると期待される。

本研究では、ドローンを霧の気象観測に利用することで、これまで知ることが難しかった霧の鉛直構造や動態を明らかにする。これによって霧の特性をより詳しく把握でき、霧発生予測の精度向上に貢献することが期待される。なお本研究では、対象フィールドとして広島県三次盆地で頻発する放射霧を選んだ。

2. 研究方法

（1）使用した機器類

観測で使用したドローンは、SwellPro 社製の SPLASH DRONE 3+ と Holy Stone 社製の HS120D の２種類である（**図１**）。日中の観測では SPLASH DRONE 3+を、夜間の観測では重量が 200g 未満のトイ・ドローンに該当する HS120D をそれぞれ使用した。ドローンの仕様を表に示す。SPLASH DRONE 3+ は重量 2380g、最大飛行時間は 16 分だが、完全防水性能を備えている。Holy Stone は重量 198g、最大飛行時間 32 分だが防水機能は備えていないため、霧が発生している大気中では飛行できない。いずれも GPS で位置情報（緯度・経度・高度）が確認でき、カメラを搭載している。

図１　研究で使用した２種類のドローン。左が昼間用の SPLASH DRONE 3+（SwellPro 社製）、右が夜間用の HS120D（Holy Stone 社製）。定規は 30cm スケールを示す。

気象観測に使用した機器は、SysCom 社製の SHTDL-3、T&D 社製の TR-73U、Nielsen-Kellerman 社製の Kestrel 4500 である（**図２**）。SHTDL-3 では気温と相対湿度を（精度は±0.2℃、±1.5%）、TR-73U と Kestrel 4500 では気圧を（精度は±1.5hPa）それぞれ測定できる。いずれも、ドローンへの搭載を考えて小型の機器を選んでいる。気象データのサンプリング間隔は SHTDL-3 と TR-73U は１秒、Kestrel 4500 は２秒に設定した。これらの機器はドローンの底面部に装着したが、トイ・ドローンには重量の関係で気圧計を搭載させることができなかった。したがって夜間の観測では、気圧が測定できていない。

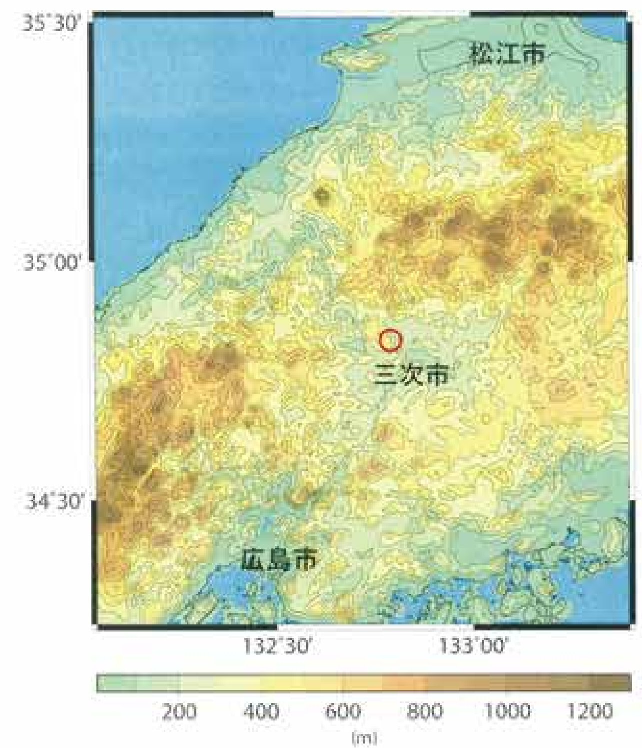
図２　ドローンに搭載した気象観測機器。上が気温と相対湿度を測定できる SHTDL-3（SysCom 社製）、左下が気圧を測定できる TR-73U（T&D 社製）と、右下が Kestrel 4500（Nielsen-Kellerman 社製）。定規は 17cm スケールを示す。

（2）観測の方法

ドローンによる霧の鉛直観測は、広島県三次市を中心とする三次盆地内でおこなった。三次盆地を中心とする地形図と実際に放射霧が大規模に広がった様子を、**図３**に示す。図中の赤い円で囲った範囲でドローン観測を実施した。この円内にある、江の川の河川敷と高谷山（山頂の標高は 491m）、ドローンを昇降運転することによって、気象状態を観測した。霧が発生する前の大気状態を把握する目的で、夕方の 17 時と夜間の 21 時にも観測をおこなった。三次盆地の放射霧は夜の０～１時頃から発生し始めることが知られるが（宮田，1994；Ohashi et al.，2012）、航空法の関係で夜間に防水性の SPLASH DRONE 3+ を飛行させることができなかったため、日の出を待って午前６時に霧層内の観測をおこなった。この早朝の時間帯は、放射霧が最も発達した状態であることが多い。

観測地点は、河川敷で１か所（**図４a**）、高谷山で２か所（**図４a** の斜面①・②）を設けた。それぞれの地点で地表から 50m・100m・150m の３高度で１分間、ドローンをホバリングさせて各高度の気象測定をおこなった（**図４b**）。ただし、HS120D は最大上昇高度が 120m であったため、夜間は地表 50m と 100m の２高度の測定に限った。ドローンを現地でホバリングさせている様子を、**図５**に示した。

ドローンに搭載されたカメラで撮影した映像をもとに、霧の底部（bottom）と頂部（top）の高度をそれ



A satellite image (visible light) from the Himawari-8 on Nov. 5, 2018 at 0800 JST.
https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index_j.html

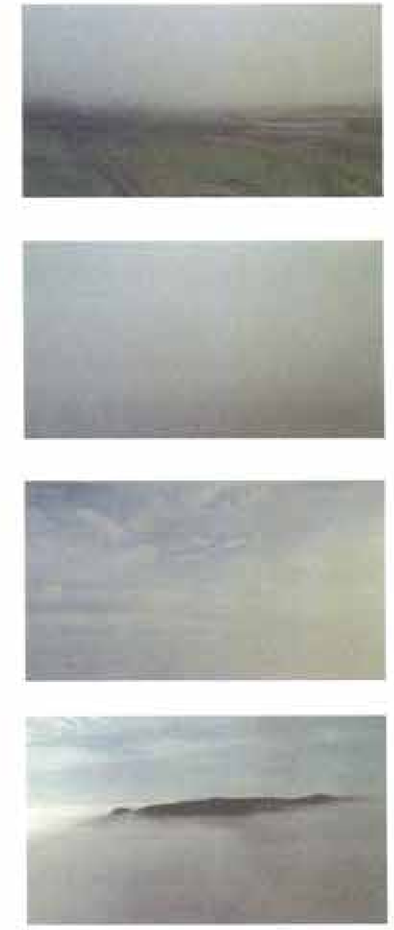
図３　本研究で観測対象とした三次盆地内における観測位置（左図の赤い円印）と、三次盆地で広がる放射霧の衛星画像の様子（右図）。衛星画像は、ひまわり８号で 2018 年 11 月５日午前８時に撮影されたもの。

(a)

(b)

図４　(a) ドローン観測を実施した３地点の河川敷、斜面①、斜面②の位置。(b) 各地点でのホバリングを表した模式図。

図５　飛行中のドローンの様子。



盆底から 30m 高度

盆底から 250m 高度

盆底から 300m 高度

盆底から 350m 高度

図６　飛行中に撮影された霧の様子。

ぞれ推定することで、霧層の発達の厚さがわかる。これもドローン観測の利点の一つである。ドローンが上昇してから霧粒の集合が映像で確認でき始めた高度を霧層の底部、霧層から外れて空が映像で確認でき始めた高度を霧の頂部と判定した（図６）。ただし、カメラ映像を目視で判定した結果のため、正確性にはやや欠けると考える。

（３）データ解析の方法

実際に現地でドローンを地表から 50m・100m・150m の３高度でホバリング飛行させた１分間の測定データをみると、後半 30 秒間のデータのほうが時間変動が小さく安定してことが明らかとなった。気温・相対湿度の後半 30 秒間のデータのばらつきは、30 秒平均値に対してそれぞれ±0.1℃以下と±1.0%以下と、充分に小さかった。そこで解析には、各高度１分間の測定値のうち後半 30 秒のデータを平均した値を用いることにした。ドローンを用いた気象観測では、最低でも 30 秒間は事前にホバリング状態で高度を維持させたあとに気象データを測定したほうが、信頼性のより高い気象情報を得られるといえる。

直接観測できる霧内部の気象要素は気温（℃）・相対湿度（%）・気圧（hPa）があるが、これらとは別に大気中の水蒸気量を表す比湿（kg/kg）、大気の湿潤度を表す湿数（℃）を以下の式によって算出した。

$$q = \frac{0.622e}{P-0.378e} \qquad (1)$$

ここで q が比湿（kg/kg）、P が気圧（hPa）、e が水蒸気圧（hPa）を示す。

これ以降に示す高度の値は、地表面からの高さを意味することとし、「地表高度」と呼んでいく。また、ドローンは飛行直前から気象データを取得しており、地上の気象観測結果として解析に用いることにした。

3. 結果と考察

（1）霧の発生

2019年10～12月の期間で11日分の観測が実施できた。この11日のうち、放射霧が確認できたのは9日あった。**表1**に、観測日に確認できた霧の底部・頂部の推定高度と、霧層の推定厚さをまとめた。日による違いは大きく、霧の底部は地表から高度10～170m、頂部は高度200～310m、霧層の厚さは90～290mの範囲であった。それぞれの平均値（中央値）は、霧の底部が地表高度74m（50m）、頂部が地表高度261m（270m）、霧層の厚さが187m（160m）となった。三次盆地を形成する周辺の山地は、地表高度が西方で150～350m、北方で350～550m、東方で250～450m、南方で50～250mであり、霧層が盆地の内部に蓄積して発達していると窺える。

表1　ドローンの搭載カメラの映像から推定された放射霧の底部・頂部の地表高度（地表面からの高さ）と、霧層の厚さ。

観測日（2019年）		放射霧の発生（早朝）	霧の底部高度（m）	霧の頂部高度（m）	霧層の厚さ（m）
10月	20日	あり	50	280	230
	21日	あり	170	270	100
	22日	あり	120	280	160
	23日	あり	20	310	290
11月	9日	あり	150	240	90
	10日	あり	50	300	250
	11日	なし	－	－	－
	12日	あり	50	200	150
	13日	あり	10	260	250
12月	5日	なし	－	－	－
	16日	あり	50	210	160
平均（範囲）			74（10~170）	261（200～310）	187（90～290）

一方で霧の濃さをドローンカメラの映像から判定することはできなかった。霧の濃さを表現する方法には、①水平視程距離と②霧水量の２つが考えられるため、今後はドローンに搭載できる視程計か霧水捕集器が必要となる。

（2）気温の鉛直プロファイル

ここでは事例として、2019年11月11～13日に観測された気温の鉛直プロファイル（高度分布）を**図7**に示す。早朝6時に観測で捉えられた霧は、気象庁の人工衛星画像（霧プロダクト）からの様子では、三次盆地に広がる放射霧の最盛期から消滅期へと移行する直前とみられた。したがって、発達途上ではない放射霧の代表的な厚さを示したものと考えられる。両日とも霧の内部では湿潤断熱減率（－0.5℃/100m）に沿って気温が低下する様子が認められている。これは空気が飽和に達して凝結現象が起こっている証拠であり、理想的な気温プロファイルが観測されたといえる。霧の頂部より上になると気温は1℃ほど急上昇していたが、これは日射が温度センサー部に当たってしまった影響も否定できない。ドローンによる気象観測では、日中の日射加熱による測定誤差をどのように補正するかは課題になってきそうである。ただし霧の頂部よりも上空では気温が急激に上昇する結果が、数値シミュレーションなどによる既往研究からも報告されているため（例えば，Ohta and Tanaka，1986）、その特徴が今回の観測でも捉えられたものと考えている。

一方、霧が発生した前日の夕方17時と夜間の21時の気温プロファイルの特徴も、非常に興味深いものが得られていた。11日には21時、12日には17時の段階で地表高度50～150mに気温の逆転層が観測された。この逆転層は、地表での放射冷却が促進した際に形成される現象であり、形成が早く確認された12日のほうが翌朝（13日午前6時）の霧層も厚い発達がみられる。したがって、前日夕方から夜間にドローンを用いて温度逆転を観測することで、放射霧の発達強度の予測につながるかもしれない。

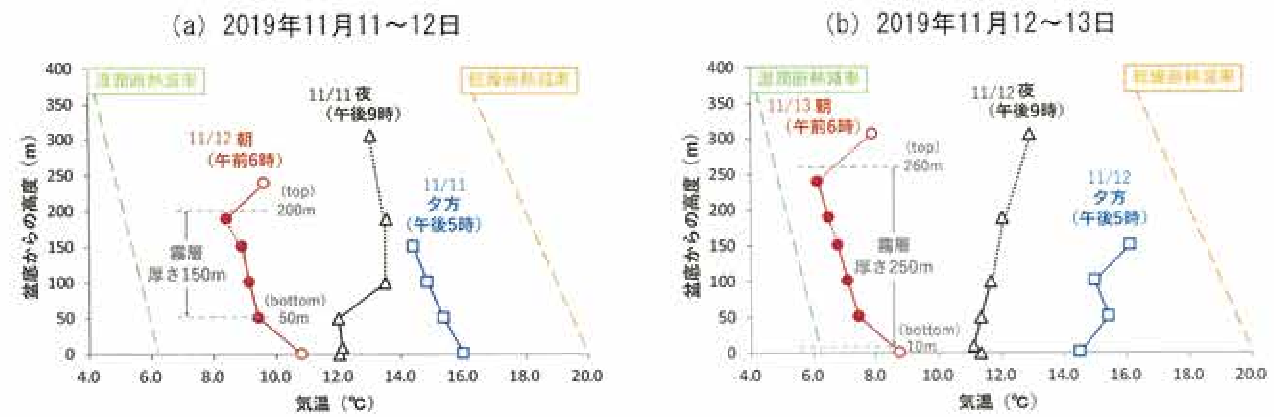


図7　霧が発生する早朝6時と、霧が発生していない前日の夕方17時および夜間21時にドローンで観測された気温（℃）の鉛直プロファイル。2019年11月（a）11～12日と（b）12～13日の事例結果。標準的な気温の高度変化を表す乾燥断熱減率（－1.0℃/100m）と湿潤断熱減率（－0.5℃/100m）の鉛直プロファイルもあわせて示してある。塗りつぶされたマーカーは、霧が発生した状態での観測結果を表す。また、霧の発生が確認できた早朝6時のプロファイルには、霧の底部から頂部までの範囲も示した。

（3）相対湿度の鉛直プロファイル

ここでも事例として、2019年11月11～13日に観測された相対湿度の鉛直プロファイルを**図8**に示す。早朝6時に観測された霧層内部の相対湿度は96～98%と高く，上層ほど空気が飽和状態に近くなる特徴を確認できるが，逆に言えば未飽和であっても霧粒が形成されている状況化とわかる。水野（2000）によると，大気中における微小水滴の生成にエアロゾル粒子の影響を受けた凝結核の形成である「不均一核形成」が寄与するとされる。大気中の吸湿性エアロゾルが関係した不均一核形成によって，気温が上昇して相対湿度が低下し始めても霧粒がすぐに蒸発しなかった可能性が考えられる。事実，ドローンとは別に地上で連続測定していた気温の時間変化をみると、観測中の6時ごろはすでに気温の上昇が始まっており、相対湿度が既に低下する段階に入っていることが推測される。霧層内部の下層ほど相対湿度が低くなる分布は気温と逆相関であり（図7参照）、日射による地表面加熱が下層ほど強く現れつつある状況下と考えられるが、そのなかでも霧が速やかに消散せず地表付近まで存在している様子は、今回初めて明らかになった。

（4）水蒸気量（比湿）の鉛直プロファイル

同じく、2019年11月11～13日に観測された比湿の鉛直プロファイルを**図9**に示す。比湿は大気中の水蒸気量（g/kg）であり、(1)式で計算される。前日の夕方17時に比べて霧層の比湿は低い様子がわかる。特に霧層が厚く発達した12～13日は、前日夕方の霧発生前と比較して1g/kg程度の減少が霧発生時には確認でき、これは11～12日のケースよりも顕著な水蒸気の減少が発生している。おそらく12～13日のほうが多量の凝結が発生して、その結果、鉛直方向にも厚い放射霧が形成された可能性を示唆する。また、午前6時の霧層内でも上層ほど比湿が減少している鉛直プロファイルとなっており、既述の気温と相対湿度のプロファイルの特徴を考慮すれば、上層ほど気温が低く飽和状態に達しやすいために凝結量も必然的に多くなった結果が予想される。

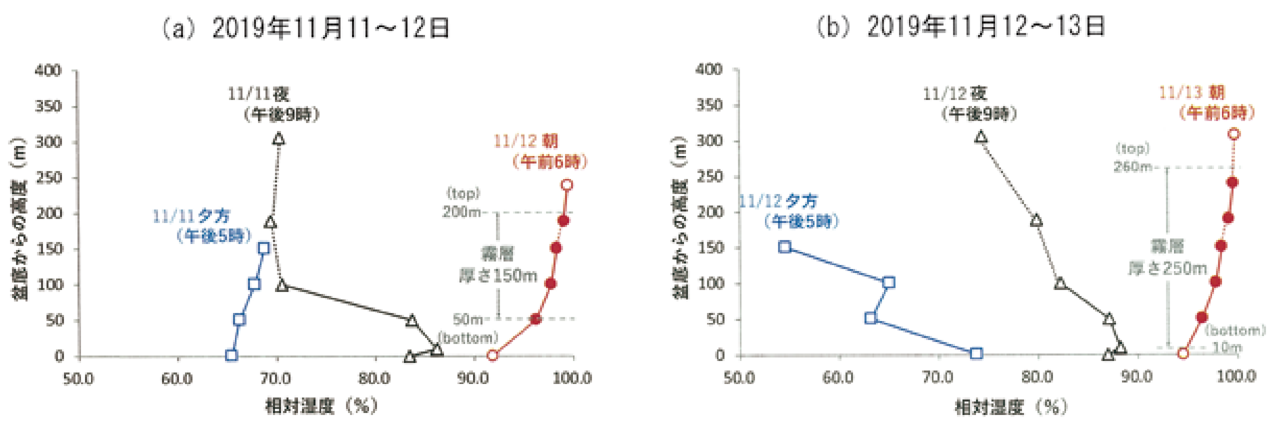


図８　霧が発生する早朝６時と、霧が発生していない前日の夕方 17 時および夜間 21 時にドローンで観測された相対湿度（%）の鉛直プロファイル。2019 年 11 月（a）11～12 日と（b）12～13 日の事例結果。塗りつぶされたマーカーは、霧が発生した状態での観測結果を表す。また、霧の発生が確認できた早朝６時のプロファイルには、霧の底部から頂部までの範囲も示した。

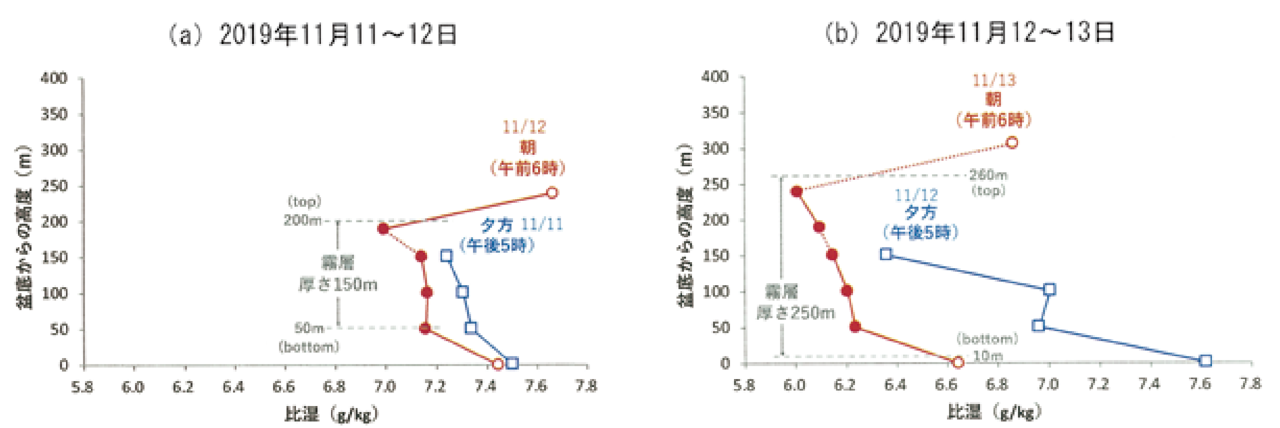


図９　霧が発生する早朝６時と、霧が発生していない前日の夜間 21 時にドローンで観測された比湿（大気中の水蒸気量：g/kg）の鉛直プロファイル。2019 年 11 月（a）11～12 日と（b）12～13 日の事例結果。塗りつぶされたマーカーは、霧が発生した状態での観測結果を表す。また、霧の発生が確認できた早朝６時のプロファイルには、霧の底部から頂部までの範囲も示した。

4. 得られた成果と今後の課題

本研究では、霧を例とした気象現象を観測する手法にドローンを活用する試みをおこなった。その結果、気温や湿度などの気象データを従来の気象観測に比べて簡易に取得できることが確認された。特に今回のドローン観測によって明らかとなった霧に関する興味深い大気の鉛直構造は、以下の点であった。

（1）霧層内はどの日も上層ほど気温が低く、湿潤断熱減率（－0.5℃/100m）に従った気温変化を示した。これは、凝結熱の発生と霧層頂部の放射冷却が関与していると考えられる。

（2）厚い放射霧が発達するような朝の前日には、上空 50～150m のあたりで気温の強い逆転層が形成されていた。これは地表面の放射冷却が強く働いている過程として捉えることができ、放射霧が発生する前兆として考えられる。

（3）霧層の内部全体が、鉛直方向に必ずしも飽和状態となってはいない様子が確認できた。これは空気が飽和状態から未飽和状態への遷移過程であり、大気中に存在する吸湿性エアロゾルが凝結核となっていることで霧水粒子が維持される作用が予想される。

ドローンは航空法のクリアや周辺住民の理解など、飛行前の事前調整に時間を要する一方、GPS 情報やカメラ映像を活用することで、気象現象の立体的な特徴の解明に有効な観測手法となり得る。今回は鉛直方向の直線的測定を実施したが、複数のドローンを用いて水平方向まで含めた観測計画を立てることで、大気の３次元構造まで簡易に把握できる可能性を秘める。

謝　辞

本研究の実施に多大なご支援をいただきました（財）八雲環境科学振興財団「平成 30 年度（令和元年度）環境研究助成」に、心より感謝申し上げます。本研究の遂行にあたっては、岡山理科大学生物地球学部の当時４年生の西原大貴氏による多大な貢献がありました。また、鳥取環境大学の重田祥範准教授にも観測にはご協力をいただきました。三次市の関係部署には、観測のご理解ならびにご協力を頂きました。皆様に心より感謝申し上げます。

引 用 文 献

宮田賢二，三次盆地の霧の研究，渓水社，1994

水野量，雲と雨の気象学（応用気象学シリーズ 3），朝倉書店，2000

Ohashi Y., M. Iwashita, and M. Kusamoto: Possibility of predicting basin fog by using the maximum possible cooling amount and surveillance camera images. *Journal of Agricultural Meteorology*, 68-2, 97-106, 2012

Ohta S. and M. Tanaka: A numerical study of the formation and the dissipation of radiation fogs. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 64-1, 65-77, 1986

山本 哲，日本における濃霧による視程不良害発生の気候学的特徴，自然災害科学，19-1，99-110，2000

付加体砂岩のジルコンは後背地について何を語るか
ー四万十帯古第三系砂岩のジルコン結晶形態を中心にー

岡山理科大学生物地球学部生物地球学科　能美洋介

研究目的と背景

堆積岩を構成する砕屑物の種類や量は，古環境や堆積環境，もしくは後背地の情報を得るための有力な手がかかりとなる．一般的には，構成粒子のモード組成や堆積構造の解析などが行われているが，特徴的な化学組成を持つ重鉱物を用いた堆積岩研究も行われている．この一例として，寺岡（2003）の四万十帯砂岩の砕屑性ザクロ石を用いた研究がある．一方，近年の分析技術の発達から砕屑性ジルコンの U-Pb 年代測定が盛んに行われるようになった（例えば，常盤ほか，2016）．これは堆積年代に制限をかけることを期待している．

ジルコンは花崗岩などの酸性火成岩類に普遍的に含まれる比重 4.7 の重鉱物であり，酸やアルカリに侵されにくく，風化にも強いことから堆積岩中にも産する．また，ジルコンの結晶形態は晶出させたマグマの温度と化学成分によって異なる形態をとるとするモデルが Pupin（1980）により提唱されている．Pupin のモデルを作業仮説とすれば，ジルコンの結晶形態はそれを晶出させた母岩の情報を保持していることとなり，堆積岩の後背地についての情報が得られる事が期待される．堆積岩中のジルコン結晶形態そのものを対象にした後背地推定の可能性は古くより着目されており，山本・松熊（1964）では，各地の砂岩中のジルコン結晶の色や形の比較を行った事例がある．しかし，ジルコンの結晶形態は多様で，記載方法が確立していなかったために，その後この方面の研究は途絶えた感があった．しかし，林（1990）はジルコンが正方晶系であることに着目し，結晶の対象性を利用して，柱面に平行な面に投影されたジルコン像の頂点や稜線間の距離を用いて，0 から 1 の間の値からなる柱面指数 PR，錐面指数 PY，伸長指数 EI，偏平指数 FI の 4 つの指数で結晶形態を数値表現する方法を開発した．また，能美ほか（1997）は，林（1990）の 4 つの指数のうち柱面指数 PR と錐面指数 PY が PY-PR 図を作成することで Pupin(1980)の結晶形態分類図と対比できることを示した．

以上のような背景を元に，本研究では付加体である四万十帯の砂岩に含まれるジルコン結晶の形態解析によって，その後背地についてどのような情報が得られるのかを確認する

ことが目的である．そのための研究対象地域として西南日本外帯の代表的付加体である四万十帯古第三系（南帯）を対象とした．四万十帯は白亜紀以降に付加した地質体で地表に露出している部分のうち白亜紀のものは北帯と呼ばれているが，メランジュ等の構造的影響を受けていることが多く，砂岩の連続性も良くないことが多い．一方，南帯は古第三系と新第三系のものがあるが，新第三系は分布が一部地域に限られているため，本研究では古第三系を研究対象とした．

この一連の研究は、2018 年から独自にスタートさせており，これまでに①紀伊半島，②四国東部，③四国西部について試料の解析を進めてきているが，2019 年度の本助成研究で，その西方延長の④九州南部，⑤屋久島・種子島（屋久島については別途調査を実施，本助成研究では種子島を対象とした），の試料の分析を行なった．

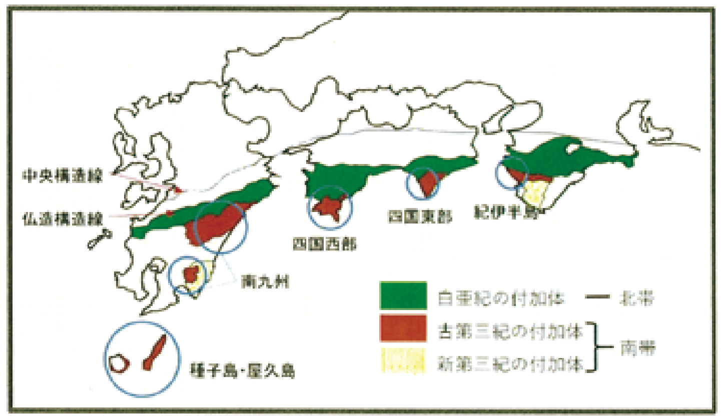


図 1　西南日本四万十帯古第三系の位置と本研究で使用した地域区分

研究手法

ジルコン結晶形の記載は以下の手順で行った．まず，砂岩試料を粉砕した後，#250 のふるい分けしたものを椀かけをして比較的重い残渣を回収した．その後，残渣中から実体顕微鏡下でジルコン粒子をピッキングし，取り出した粒子を光硬化樹脂に封入した．封入したジルコン結晶のうち，上下の錐面と柱面に欠損が無い完全固体を顕微鏡下で撮影し，林（1990）の記載法を適応した自作記載プログラムを用いて，柱面指数 PR と錐面指数 PY を求めた．得られた個々の粒子の錐面指数 PY と柱面指数 PR を用いて能美ほか（1997）の PY-PR 図を作成し，分析砂岩試料中のジルコン粒子の結晶形態分布を比較した．

また，試料砂岩の岩石学的な基本情報を得るため，岩石薄片の鏡下観察とモード測定も行った．

助成研究の結果

本助成研究で試料採集を実施した④南九州の採集地点を下図に示す．この地域の四万十帯古第三系は日向層群と呼ばれており，宮崎県北・中部と都城市の東南部のエリアに分かれて分布する．研究助成期間中に 2 回の調査を実施し，6 地点より砂岩試料を得た．

④南九州の 6 地点の PY-PR 図を図に示す．図に示されるように，この地域では比較的多くのジルコンの完全結晶が得られた．結晶形の分布はやや横に広がったばらつきを持つ縦長の散布形態をしており PR が 0.4 から 0.3 の中央よりやや上方に集中が見られる．平均値は PY が 0.36～0.40，PR が 0.32～0.39 であり，中央値は PY が 0.36～0.39，PR が 0.30～0.40 の範囲であった．

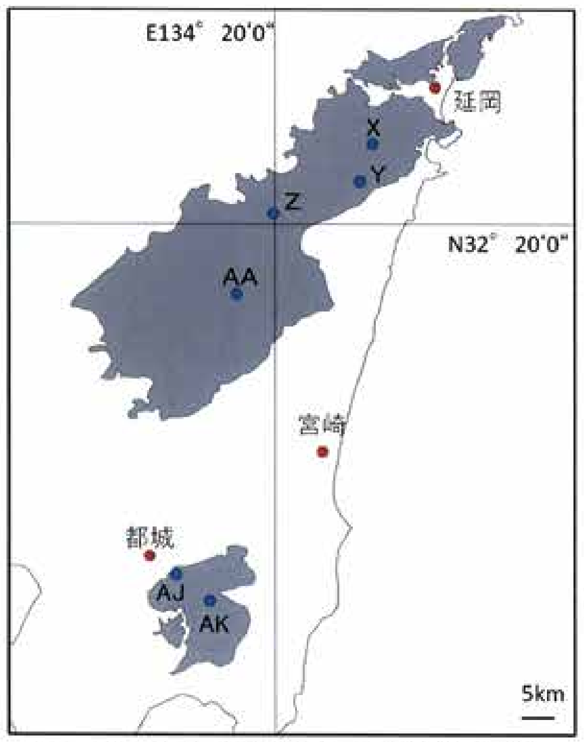


図２　南九州の四万十帯古第三系と試料採集地点

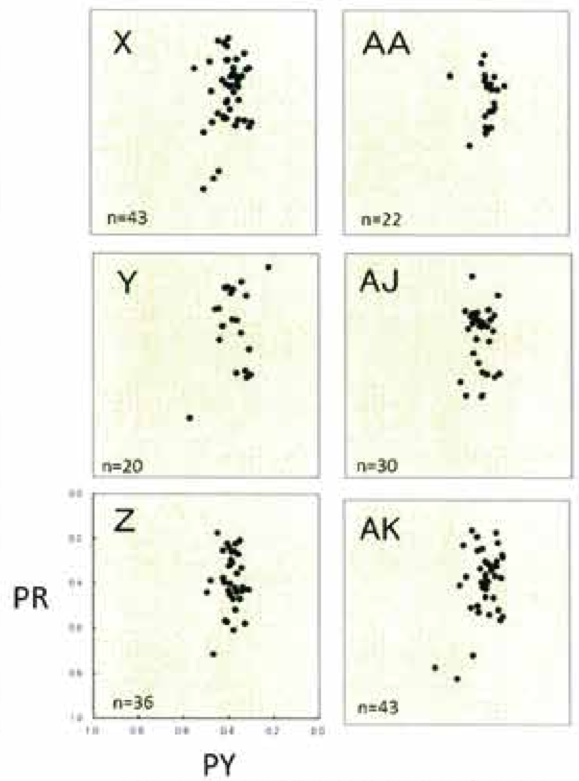


図３　南九州の四万十帯古第三系砂岩のジルコンの PY-PR 図

薄片観察の結果は，これらは石英を多く含み，岩片として酸性火成岩類を多く確認できた粒度は様々で，約 0.1～0.3mm で淘汰のよいもの，0.3～1.0mm で淘汰の悪いものなどがあった．都城市南東部のものは 0.3～0.4mm で淘汰のよい砂岩であった．

モード分析の結果，地点Ｙが長石質ワッケ，地点ＡＡが長石質アレナイト，地点Ｘが石質ワッケ，その他の地点は石質アレナイトに分類された．

次に，⑤屋久島・種子島地域の試料採集地点を下図に示す．この地域の四万十帯古第三系は熊毛層群と呼ばれている．今回の研究助成で種子島の調査を 1 回実施し，4 カ所から試料を得た．

⑤屋久島・種子島地域のジルコン結晶形記載結果を下図に示す．なお，屋久島ＡＣ地点の薄片観察の結果，岩石中に鉱化作用による強い変質が認められたため，本研究の主旨とは異なる試料と判断し削除した．それ以外の地点については④南九州同様に比較的多くのジルコンの完全結晶が得られている．結晶形態の分布はいずれも似通っており，やや右に傾斜した縦長の散布形態をしている．種子島のＡＨ地点では中央よりやや上方に分布の集中があるように見えるが，その他の地点では，はっきりした集中は認められない．平均値は PY が 0.37～0.43，PR が 0.37～0.52 の範囲にあり，中央値は PY が 0.37～0.73，PR が 0.34～0.56 であった．

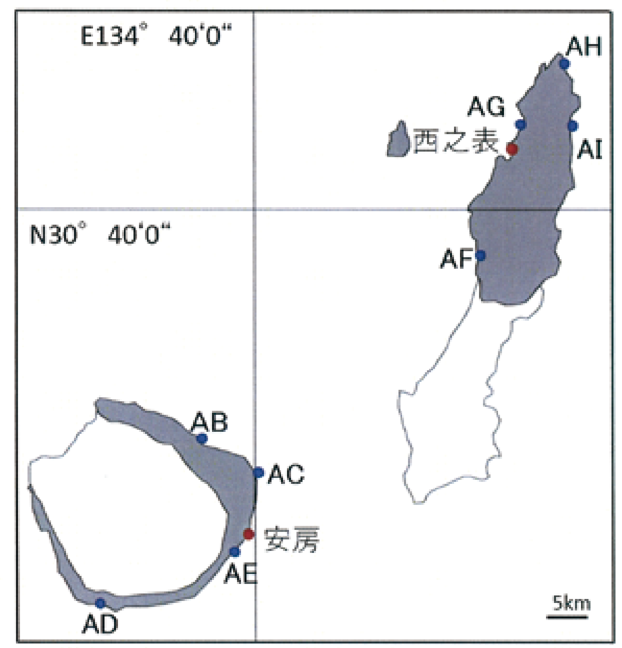


図４　屋久島・種子島の四万十帯古第三系と試料採集地点

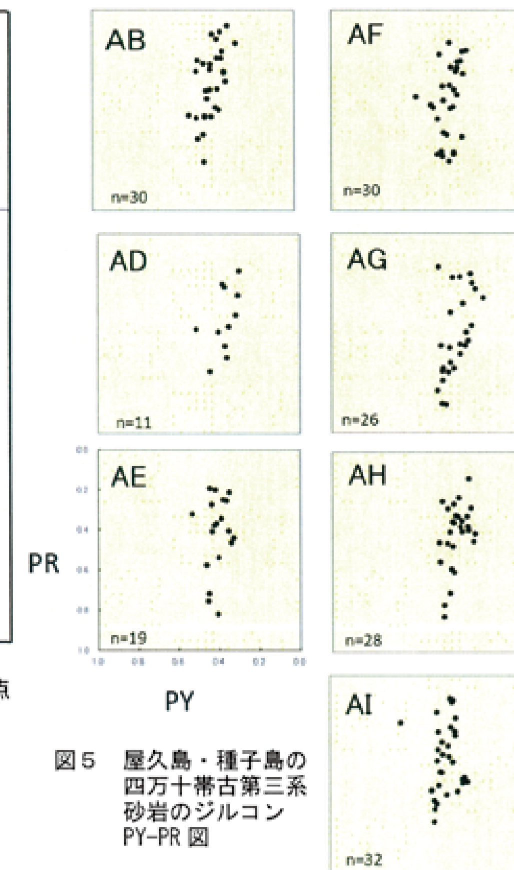


図５　屋久島・種子島の四万十帯古第三系砂岩のジルコン PY-PR 図

薄片観察の結果，種子島の試料は石英を多量に含み，岩片として酸性火成岩類を多く含んでいることが確認された．また中性火成岩類の岩

片が各地点で確認された．

種子島の砂岩のモード分析の結果は，石英が大部分を占めており，基質量が 8～10%と少なく，地点ＡＦは長石質アレナイト，地点ＡＧは石英質アレナイト，地点ＡＨとＡＩは石質アレナイトに分類された．

議論

下図はこれまでに実施した四万十帯古第三系の他地域のジルコン結晶形解析結果の PY-PR 図である．

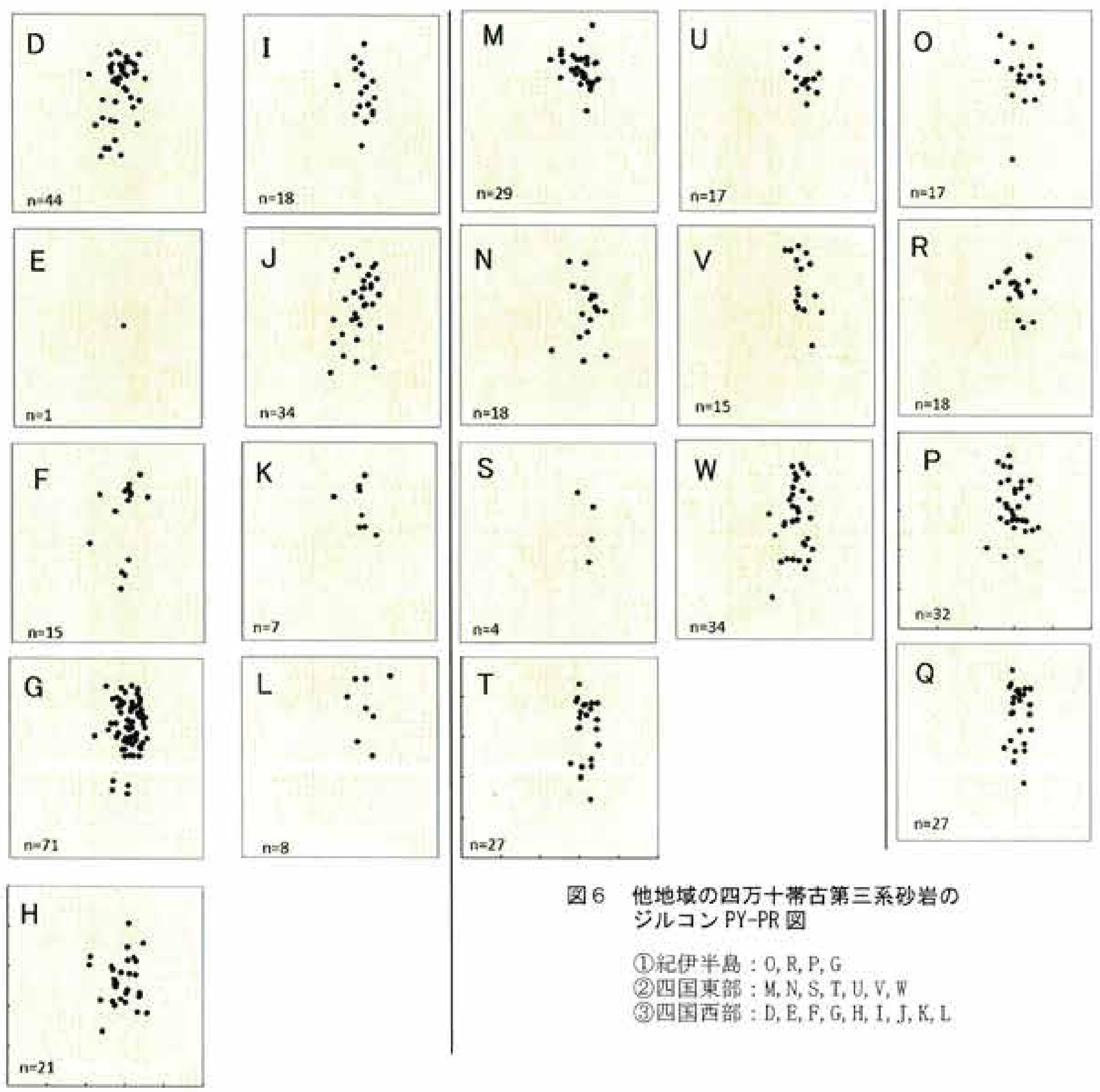


図6　他地域の四万十帯古第三系砂岩のジルコン PY-PR 図

①紀伊半島：O, R, P, G
②四国東部：M, N, S, T, U, V, W
③四国西部：D, E, F, G, H, I, J, K, L

ジルコンの完全結晶が多く得られている地点とほとんど得られていない地点があるが，概ね同様の位置に分布が見られ，柱面指数 PR が中央よりやや右よりの位置で縦長の分布があり，錐面指数が低めの位置に点の集中が生じているパターンである．地域的に見れば，③四国西部では PR がやや高めの位置になっている．これら図の右寄りで縦長の分布は花崗岩に含まれるジルコンの PY-PR 図でしばしば見られるパターンであり，四万十帯古第三系砂岩の供給地として花崗岩が広く分布している地域が考えられる．具体的には内帯の領家帯がその候補としてあげられるが，今後，含有されるジルコンの U-Pb 年代測定などのデータを積み重ねつつ議論を深める必要がある．

また，③四国西部は，①紀伊半島や②四国東部のものに比べやや塩基性の花崗岩体の関与があったことが Pupin モデルから想定されるが，③四国西部の試料の薄片観察では，岩片として酸性火成岩類，中性～塩基性火成岩類，堆積岩，チャートなど様々な岩種を含んでいた．したがって，砂岩を構成する岩片の多様性が PY-PR 図における点群分布の差異を生んでいる可能性がある．以上に様に，本助成研究結果とこれまでの研究結果を合わせると，四万十帯古第三系砂岩に含まれるジルコンの完全結晶の量と結晶形態分布について，わずかながら地域性が生じていることが確認できた．木村（1992）は西南日本四万十帯古第三系を砂岩のモード組成に基づいて，琉球区（沖縄本島・奄美大島・種子島），日向区（九州・四国西部），室戸区（四国東部・紀伊半島），駿河-相模区（赤石山地・関東山地）の 4 つの堆積岩区に区分した．本研究におけるモード分析とジルコン結晶形態記載結果はこれと調和的であり，石英の量が多い屋久島は琉球区に区分できることも確認された．現時点では，結晶形態の表現方法や統計的な取り扱いなど，地域による差異を客観的に表現する手法の開発が必要であるが，薄片観察など基本的な手法を組み合わせることで，ジルコン結晶形態解析は堆積岩の後背地推定の一助となる可能性が示唆される．

文献

林正雄（1990）ジルコン結晶形態と地球科学への応用．地質学雑誌，96，pp. 117-123.

木村克己（1992）始新世－漸新世前期四万十累層群の堆積岩岩石区．地質学論集 38，pp. 299-309.

能美洋介・弘原海清・升本眞二（1997）ジルコン結晶形態分類図の数値表現．情報地質，8，pp. 149-155.

Pupin J.P (1980)　Zircon and Granite Petrology. Contributions to Mineralogy and Petrology, 73, pp. 207-220.

寺岡易司（2003）西南日本の古生代－第三紀砂岩中の砕屑性ザクロ石．地質調査研究報告書，54，5/6，pp. 171-192.

常盤哲也・竹内誠・志村侑亮・太田明里・山本鋼志（2016）紀伊半島に分布する四万十帯砂岩の凝灰質砂岩の砕屑性ジルコンの U－Pb 年代とその意義．地質学雑誌，122，pp. 625-635.

山本敬・松熊和子（1964）堆積物岩のジルコンに関する研究．岩石鉱物鉱床学会誌，52，5，pp. 174-186.

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う環境汚染による生態系の被曝
－牛の生体線量計測－

岡山理科大学　豊田　新

1．はじめに

ヒドロキシアパタイト[$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$]からなる歯のエナメル中に放射線によって CO_2^-ラジカルが生成する。これを電子スピン共鳴（ESR, electron spin resonance, EPR, electron paramagnetic resonance と同義）を用いて検出することにより、過去の被曝線量を求める手法は、人の歯については確立されている[1, 2]。哺乳動物の歯を用いても同様に線量計測が行うことができると考えられ、いくつかの試みがあるが[3-6]、いずれも測定の可能性を示したものであった。実際の放射線事故による被曝の検出については、福島第一原子力発電所事故に伴う汚染によるイノシシの被曝の測定が最初の例であるが[7]、イノシシが捕獲された場所の環境放射線量とイノシシの推定年齢の積として予想される被曝線量に比べて、ESR を用いてイノシシの歯から実際に検出された線量がはるかに高い結果となっている。この結果からだけでは、哺乳動物の歯を用いた ESR 線量計測が実際の放射線事故の際に有用であるかどうかははっきりしない。

本研究では、福島第一原子力発電所事故による放射性核種の汚染地域で研究用に飼育されてきた黒毛和牛の歯を用いて研究を行った。ガンマ線照射に対する線量応答を調べ、牛の歯について、人の歯に対して用いられているような、検量線を用いて被曝線量を求めるキャリブレーション法が適用できるかどうかを調べた。そして、この手法を用いて、これらの牧場で飼育されていた牛について、実際に歯の被曝線量を求めた。さらに、これらの値を、飼育された牧場で計測されてきた環境放射線量から求められる計算値と比較した。

2．試料と実験方法

2.1　試料の採取

福島県大熊町池田の牧場（2017 年 11 月における地上 1 m における空間線量率 1.0－1.9 mSv/h）及び浪江町小丸の牧場（同 9.5－19 mSv/h）の計 2 か所で飼育されていた黒毛和牛計 19 頭からそれぞれ主に M1 及び P4 の位置の歯を採取した。2 頭については、歯の位置による被曝線量の差異を調べるために左下顎の歯をすべて用いた。顎から歯を取り出し、カッターで半分に切断した。その後、象牙質をドリルで削り、象牙質部分を大まかに除去した後、20%KOH 水溶液に浸し、60℃で超音波洗浄機にかけて、象牙質を溶解した。洗浄、乾燥させた後に 1 mm の篩に通るまで細かく砕いて測定用の試料とした。

2.2　ガンマ線照射

上記のうち 6 頭の 12 個の歯から抽出したエナメルを 100 mg ずつ 7 つに分け、そのうちの 6 個についてガンマ線照射を行った。量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所コバルト 60 ガンマ線照射施設において、1.03 Gy/h の線量率で 5.2 Gy までの吸収線量とした。

2.3　ESR 測定

粉末のエナメル質試料を石英ガラス管に入れ、岡山理科大学総合機器センターの日本電子製 ESR 測定装置 JES-PX3200 を用いて、室温で各試料について ESR スペクトルを測定した。マイクロ波出力を 2 mW、磁場変調幅を 0.2 mT[8]、磁場掃引幅 10 mT、時間 30 秒で 40 回掃引、時定数 0.03 秒、拡大率 2000 とした。マンガンマーカーがスペクトルの両端に入るように中心磁場を調節した。測定は 3 回行い、スペクトルを加え合わせて、人の歯の線量計測に用いられる信号分離プログラム New-ER[9] を用いて信号処理を行い、重なって観測される有機物と考えられる信号の成分を取り除いて線量計測に用いられる CO2－ラジカルの信号強度を求めた。

3．結果と議論

3.1　信号の線量応答

牛の歯に見られる典型的な ESR スペクトルを図 1 に示す。人の歯のエナメルの信号とほぼ同様の波形が観測され、人の歯の ESR スペクトル解析に使用される New-ER のプログラムを用いて信号の分離を行うことができた。

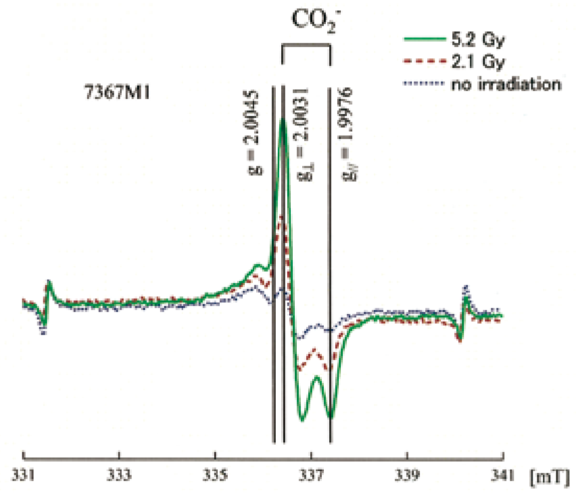


図 1　牛の歯に見られる典型的なＥＳＲ信号。照射によって、CO_2^-ラジカル信号強度が増大する。

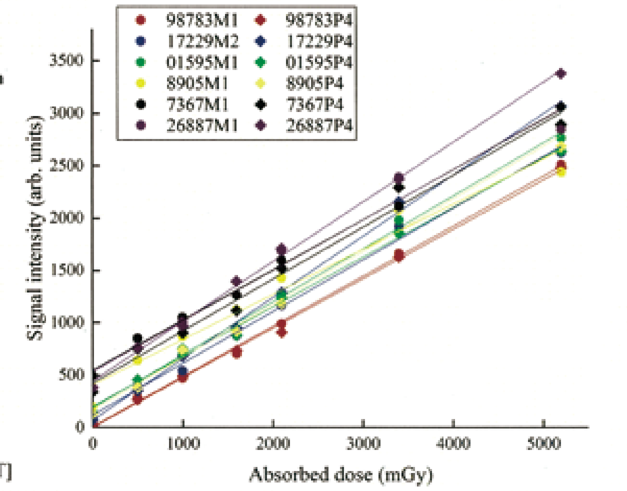


図 2　牛の歯にみられる CO_2^-ラジカル信号強度の線量応答。あてはめた直線の傾きが感度である。

ガンマ線による CO_2^-ラジカル信号強度の増大の様子を図 2 に示す。どの試料についてもガンマ線の吸収線量に対して信号が直線的に増大した。いくつかの試料については吸収線量 0（未照射）に対して正の切片となっているが、これは、環境の放射性核種からの放射線による被曝があることを示している。各試料の線量応答に最小二乗法によって直線をあてはめ、傾きを求めた。この直線の傾きがガンマ線に対する感度となる。これら 12 試料の感度の平均値をとって、人の歯に対する感度の比を求めたところ、1.06±0.11 となった。人の歯とほとんど同じ感度があることがわかった。感度のばらつきは 10%となったが、これは報告されている人の歯の感度のばらつき 10%[10] と同様で、キャリブレーション法によって、人の歯と同様の精度で線量を求めることができることを示している。

3.2　牛の歯の被曝線量

それぞれの試料に観測された CO_2^-ラジカル信号の信号強度を、前の節で求めた、ガンマ線に対する感度で割ることによって、それぞれの被曝線量を求めた。これは、被曝がないときの信号強度を 0 と仮定したキャリブレーション法を用いていることになる。結果を図 3 に示す。

小丸の牧場の牛の試料については、3 個体で 700 mGy 以上の高い被曝線量となった一方で他の 2 個体では 500 mGy 未満となった。大熊の牧場の牛の試料については、低い値を示すものが多かったが、1 Gy 程度の高い値を示す試料もあった。年齢の高い牛で高い値を示すものがあり、若い牛の被曝線量は小さかった。同じ個体の M1 と P4 の被曝線量を比較すると、試料によっては M1 の方が高い値を示すものがあった。これは、歯の萌出時期と対応している可能性がある。つまり、M1 は P4 のすぐ奥の位置にあるが、乳歯から永久歯になる過程で、乳歯のない M1 の位置に最初に永久歯が萌出し、P4 の位置には乳歯と代わって最後の永久歯が萌出する。外部の放射線にさらされる期間としては、

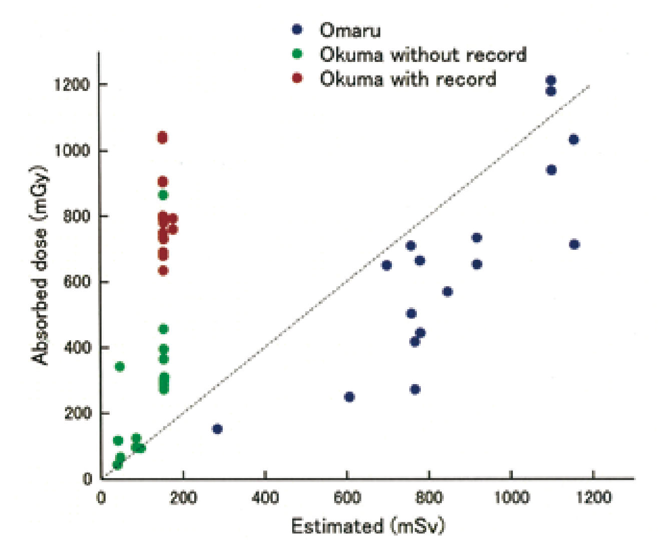


図 3　ＥＳＲ線量計測によって求められた牛の各個体の被曝線量を環境の線量率から計算された推定値（図 4 参照）に対してプロットした。

M1 が最も長く、P4 が最も短くなる[11]。

3. 3　環境放射線量との比較

小丸の牧場においては環境放射線量がモニターされており、すでに報告がある[12]。事故後徐々に減衰してきており、この環境放射線の線量率を積分することによって、牛の被曝を計算によって推定できると考えた。事故直後から蓄積の被曝線量の計算値を図 4 に示す。歯の形成時期と試料の採取時期がわかれば、図に示すようにこの蓄積線量の計算値の差として被曝線量を推定することができる。各個体の生年と歯の位置から文献[11]をもとに求めた歯の形成時期と試料の採取時期から図 4 を用いて歯の被曝線量を推定した。大熊の牧場については、環境放射線の線量率が小丸の牧場の 7. 2 分の 1 であることから、減衰の傾向が同一であると仮定して計算を行った。このようにして求めた推定値に対して計測値を取ると、図 3 に示す結果が得られた。

小丸の牧場の試料については、計測値が推定値と相関し、ほぼ一致している試料もある。一方、大熊の牧場の試料については、特に移動履歴がある個体について相関から大きく外れ、推定値よりも大きい計測値が得られた。小丸の牧場の個体については、ほぼその牧場で飼育されてきたのに対して、大熊の牧場の個体には、放浪して環境放射線線量率の高い地域で捕獲されて移動して飼育されてきたものがあり、こうした移動履歴のある個体について高くなっていることがわかる。放浪していた期間に被曝し、計算値よりも高い線量が得られたと考えられる。

3. 4　歯の位置による被曝線量の差異

小丸の牧場の 7 歳及び大熊の牧場の 12 歳の 2 つの被曝線量の高い個体について、左下顎のすべての歯を採取し、同様の処理を行って被曝線量を求めた。また、小丸の 7 歳の個体から採取した歯については、形成時期からそれぞれの歯についての被曝線量の計算値を求めた。結果を図 5 に示す。

12 歳の個体については、前方の位置の歯の線量が高く、奥の位置に向かって徐々に小さくなるが、全体としてはなだらかな変化となっている。一方、7 歳の個体については、同様の傾向は見られるものの、M1, M2 の位置で線量が高くなっていることがわかる。またこの位置では、計算による値も高くなっている。計測値と計算値の絶対値はあまり一致していないが、大小の傾向は一致している。先に述べたように、乳歯のない位置には、乳歯を置き換えて永久歯が萌出するより先に永久歯が萌出する。12 歳の牛は事故時に 7 歳であり、すべての永久歯が萌出していた。このため、すべての歯が同じように被曝したとすれば、このなだらかな分布になることがわかる。一方、7 歳の牛は事故時に 9 か月であり、乳歯から永久歯に生え変わる前であったと考えられる。このため、小丸の 7 歳の牛については、計算によってその傾向が示されるように、M1、 M2 の位置の歯の被曝線量が他の位置の歯より大きくなったのであろう。

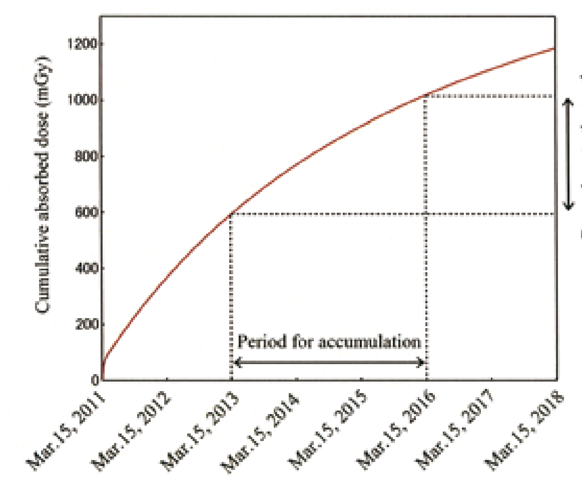


図 4　小丸牧場にてモニターされている環境放射線量から計算された蓄積被曝線量。歯の形成から牛の個体の試験までの期間がわかれば、この図から被曝線量を推定することができる。

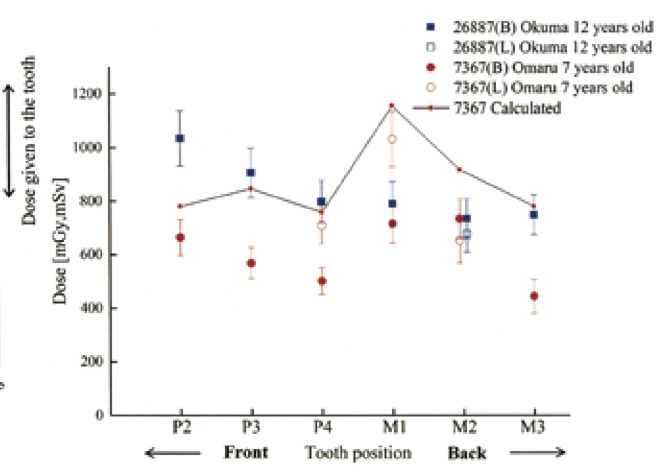


図 5　牛の歯の被曝線量の歯の位置による分布。永久歯の萌出の早い M1, M2 の歯で高くなっており、絶対値はあわないものの、傾向は計算値とあっている。この傾向は、12 歳の牛では見られない。

前方の歯の線量が奥の歯より高い傾向は、両方の個体で見られるが、この原因は萌出（形成）時期の差異では説明できない。牛が草を食べる際に、口を下に向けるため、前方の歯が放射性核種に汚染された地面に近いために線量率が高かったといったことは考えられるかもしれない。

4. 本研究のまとめ

哺乳動物の歯のエナメルを用いた ESR 被曝線量計測の可能性は以前から示されていた。本研究によって、牛の歯が人の歯と同様の感度をもち、被曝線量計測に有用である可能性を示された。

この手法を応用したところ、福島第一原子力発電所事故によって放出された放射性核種に起因する被曝を実際に検出することができた。避難がすぐに行われたため、人に対する被曝は小さかったと言われているが、汚染された環境では動物に対する被曝が課題となっていた。環境のモニターからは一部では大きな被曝が予想されていたが、それが本研究により、実際に測定値として、1 Gy 程度の値を検出した。そして、求められた計測値は大まかにではあるが、モニターされてきた環境放射線の線量率の蓄積からの計算値と一致する結果となった。個体の歯の位置による被曝線量の差異が認められ、これは歯の萌出（形成）時期を反映した歯の被曝の期間に対応する差異であることがわかった。本研究の結果は、牛の歯を用いたＥＳＲ被曝線量計測が有効に機能し、かなり詳細に被曝線量の差異を区別できる可能性があることを示唆する。

5. 今後の課題と研究の進展

検出限界を定量的に求めるといった将来の課題はあるものの、本研究によって、少なくとも牛の歯について、人の歯と同様の信頼性の高い線量計測が行えることが示された。このことは、さらに、他の哺乳動物の種の歯を用いて、線量計測を定量的に行える可能性を示すものとして重要な成果であると考えられる。前述のイノシシの例[7]についても、歯のＥＳＲ計測によって求められた線量が個体の被曝線量をより正確に表しており、イノシシの生息域では、捕獲された場所より環境の線量率がはるかに高いことを示すものである、という解釈を支持するともいえる。

現在、福島第一原子力発電所事故に起因する放射性核種による汚染地域に生息する生物の放射線影響に関する研究が進んでいる。この際に、各生物個体がどれだけ被曝したかは、放射線の影響を評価する際の重要なパラメターであり、この計測を可能にする重要な一歩を踏み出すことができたと考えている。

謝辞

本研究は、岡山理科大学大学院理学研究科大学院生戸高安曇、北里大学獣医学部夏堀雅宏、岩手大学農学部岡田啓司、佐藤至、佐藤洋、佐々木淳との共同研究によって行われた。ここに謝意を表する。

引用文献

[1] IAEA, Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment, IAEA-TECDOC-1331, IAEA, 2002.
[2] ISO, Radiological protection - Minimum criteria for electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy for retrospective dosimetry of ionizing radiation - Part 1: General principles, International Standard, ISO 13304-1, 2013.
[3] S. Toyoda, H. Tanizawa, A. A. Romanyukha, C. Miyazawa, M. Hoshi, Y. Ueda, and Y. Nitta (2003) Gamma ray dose response of ESR signals in tooth enamel of cows and mice in comparison with human teeth, Radiat. Meas., 37 (4-5), 341-346.
[4] Klevezal, G., Serezhenkov, V., & Bakhur, A. (1999). Relationships between ESR-evaluated doses estimated from enamel and activity of radionuclides in bone and teeth of reindeer. Applied Radiation and Isotopes , 567-572.
[5] Serezhenkov, V., Moroz, I., Klevezal, G., & Vanin, A. (1996). Estimation of Accumulated Dose of Radiation by the Method of ESR-spectrometry of Dental Enamel of Mammals. Applied Radiation and Isotopes, 1321-1328.
[6] Khan, R. F., Rink, W., & Boreham, D. (2003). Biophysical dose measurement using electron paramagnetic resonance in rodent teeth. Applied Radiation and Isotopes, 189-196.
[7] Harshman, A., Toyoda, S., Johnson, T. (2018) Suitability of Japanese Wild Boar Tooth

Enamel for Use as an Electron Spin Resonance Dosimeter, Rad. Meas., 116, 46-50.
[8] Zhumadilov, K., Ivannikov, A., Skvortsov. V., Stepanenko, V., Zhumadilov, Z., Endo, S., Tanaka, K., Hoshi, M. (2005) Tooth enamel EPR dosimetry: optimization of EPR spectra recording parameters and effect of sample mass on spectral sensitivity, Journal of Radiation Research, 46, 435-442.
[9] Ivannikov, A. I., Skvortsov, V. G., Stepanenko, V. F., Tikunov, D. D., Takada, J., and Hoshi, M. (2001) EPR tooth enamel dosimetry: optimization of the automated spectra deconvolution routine, Health Physics, 81, 124-137.
[10] Wieser, A., El-Faramawy, N., Meckbach, R. (2001) Dependencies of the radiation sensitivity of human tooth enamel in EPR dosimetry, Appl. Radiat. Isot. 54, 793-799.
[11] Dyce K. M., Dack W. O., Wensing C. J. G. eds., (2002) Textbook of veterinary anatomy, Third Edition, Saunder, Pennsylvania, Chapter 25, The head and ventral neck of the ruminants, pp627-648.
[12] Natsuhori, M., Kojima, T., Sato, I., Okada, K., Sasaki, A., Sato, H., Sajito, M., Kobayashi, E., Kakizaki, T., Wada, S., Ito, N., Sanada, N. (2017) Radioactive contamination profiles of soil, external and internal exposure to Japanese Black Cattle after Fukushima Daiichi Nuclear Plant Accident, Japanese Journal of Large Animal Clinics, 8, 143-147 (in Japanese).

日長に応答して花をつけるトマト品種を開発するための基盤研究

岡山県農林水産総合センター　生物科学研究所

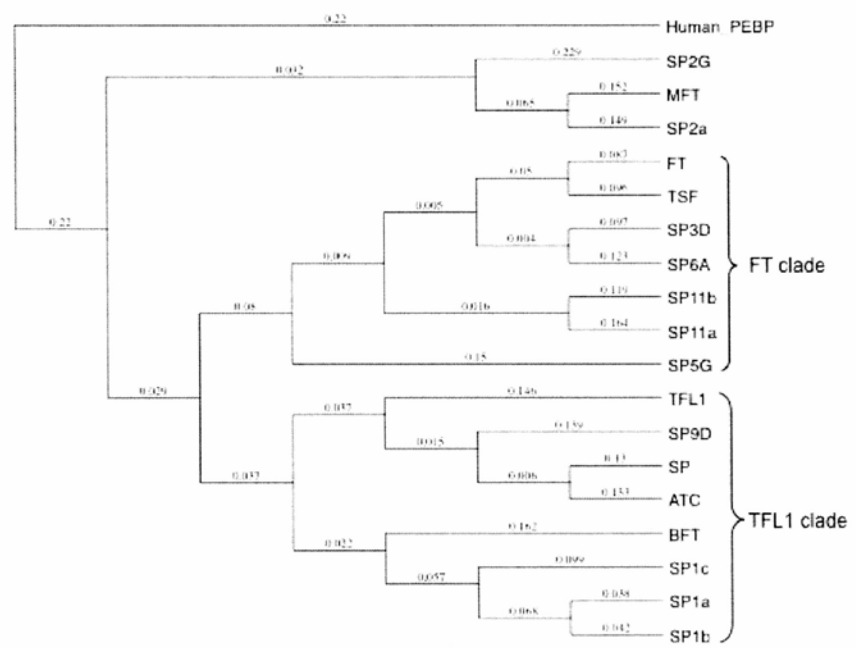
後藤　弘爾

1．はじめに

植物は光や温度などの環境要因（外的要因）および植物ホルモン、栄養状態、成長度合いなどの生理的要因（内的要因）が刺激となって、花芽を発生させる(このことを花成と呼ぶ)。花成とは、花が開くことでは無く、茎頂から発生する器官が栄養器官である葉から、生殖器官である花に成長相が転換する現象である。日長は季節に伴い正確に変化するので、植物は日長の変化に鋭敏に反応し、花成が誘導される(日長応答的花成)。植物は日長応答の様式により、明期が長いと花成が起きる長日植物と暗期が長いと花成が起きる短日植物とに分類されるが、日長応答性を示さない中性植物も存在する。

花成ホルモンとも呼ばれるフロリゲンは、日長に応答して葉で生産され、長距離シグナル伝達によって、茎頂に届き花成を誘導するホルモン様の物質として 1930 年代に定義された。近年、モデル植物のシロイヌナズナを用いた研究から、フロリゲンの分子実体は *FT* 遺伝子がコードするタンパク質であることが明らかとなった。また、*FT* のホモログ遺伝子は殆どの被子植物に保存されており、調べられた植物では花成に関与していることが明らかになったことから、FT ホモログタンパク質がフロリゲンの分子実体であることが広く認められるようになった。

トマトは日長によらず花成が起きる典型的な中性直物とされているが、トマトの近縁野生種の多くが短日植物であることから、人類が栽培化の過程で中性化した変異体を品種として固定した可能性が高い。農作物として栽培されている植物の多くは、栽培化の過程で野生種(原種)の中から農業上、食用上有用形質を持つものを人為的に選抜し、遺伝的に固定したもの(栽培品種)である。本研究では、トマトが栽培化の過程で失った日長応答的花成の鍵となる遺伝子の特定を目指している。また、農作物の中性植物化は、季節に非依存的に花成が期待できる（四季咲き性）ことから、有用な農業形質として栽培化や品種改良の過程において積極的に取り入れられてきた形質である。しかしながら近年の地球環境変動に伴い、農作物の花成時期の制御を従来の栽培技術のみで行うことが困難になりつつあり、またコストも高くつくようになって来ている。日長応答性を利用すれば、非常に鋭敏な花成誘導が可能になり、かつ季節性の利用などで低コストで花成誘導することができる。本研究により日長応答的花成の鍵となる遺伝子を特定することができれば、中性化した現在の栽培トマト品種においてその遺伝子機能を復活させ、日長応答的花成を示す品種を開発することで、人為的花成制御が容易になったトマトを育種することが可能となる。



【図 1】トマト *FT* ホモログ遺伝子の分子系統樹。
各遺伝子のコード領域から予測されるアミノ酸配列を近隣結合法(Neighbor-Joining 法)により分子系統樹を作製した。SP__はトマトの *FT* ホモログ遺伝子で、MFT、FT、TSF、BFT、ATC と TFL1 はシロイヌナズナの *FT* パラログ遺伝子である。Human_PEBP は root を計算するためのヒトのもつ *FT* ホモログ遺伝子。

2. 結果と考察

2-1.トマトゲノム上に存在する *FT* 遺伝子群

トマトの全ゲノム解読[1]により、トマトのゲノム上には 14 個の *FT* ホモログ遺伝子が存在することが予想された。これらの中から発現している遺伝子を全てクローニングすることにした。フロリゲン遺伝子 *FT* は、主として葉で発現していることから、トマトの成熟葉を材料とし、そこから RNA を抽出し cDNA を合成した。調整した cDNA を鋳型に、ゲノム情報に基づいてプライマーを設計し、PCR 法による目的遺伝子の増幅を行った。

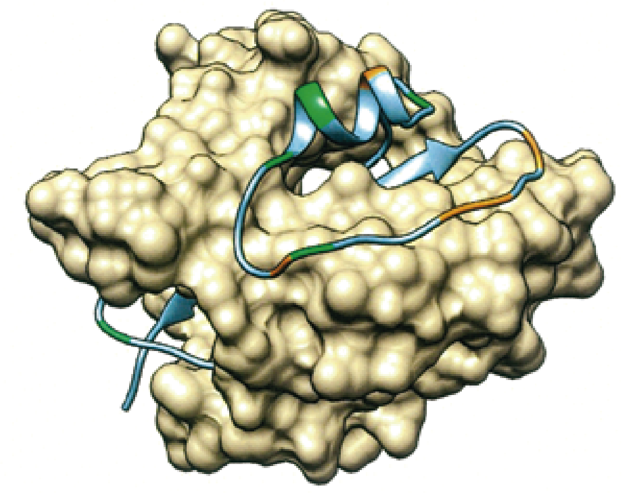
その結果、12 個の *FT* ホモログ遺伝子のクローニングに成功した。残りの 2 個の遺伝子については、発現していないか、遺伝子アノテーションに誤りがある可能性が示唆された。クローニングに成功した 12 個の *FT* ホモログ遺伝子について、全長の塩基配列を決定し、コードするアミノ酸配列に基づいた分子系統樹を作製した(図 1)。図に示す FT clade とは、フロリゲン FT に近いアミノ酸配列を持つタンパク質群である。また、TFL1 clade とは、シロイヌナズナでの研究の結果、花成を抑制する機能を持つことから[2]、フロリゲンとは逆の機能を持つアンチフロリゲンとよばれる TFL1 に近いアミノ酸配列を持つタンパク質群である。従って、TFL1 clade のタンパク質は、その配列が FT と相同性を持っているのにもかかわらず、花成に対しては抑制的に作用すると考えられている。

2-2. トマト近縁野生種の日長応答性

現存するトマトの栽培品種は、日長感受性を示さない中性植物であるとされている。実際に日本で栽培されている品種およびヨーロッパ系と呼ばれる品種について、十数種類について調べたところ全て中性植物であった。そこで、中南米の自生地から採取されたトマト近縁野生種の日長応答性を調べた。トマト遺伝資源ストックセンター(Tomato Genetics Resource Center、U. C. Davis)が所有しているトマト近縁野生種について、日長応答性を調べた結果を表 1 に示す。この様に過半数の

S. galapagense	短日性
S. pennellii	短日性
S. pimpinellifolium	中性
S. cheesmaniae	短日性
S. lycopersicum var. cerasiforme	短日性
S. peruvianum	中性
S. corneliomulleri	中性
S. neorickii	短日性
S. chilense	中性
S. huaylasense	短日性
S. arcanum	中性
S. chmielewskii	中性
S. chilense	中性
S. chmielewskii	短日性
S. habrochaites	短日性

【表 1】トマト近縁野生種の日長応答性
短日性は、長日条件下に比べて短日条件下で花成が促進されたもの。長日性は、逆に長日条件下の方が花成が促進されたもの。中性は、長日条件かと短日条件下とで花成に差がみられなかったもの。



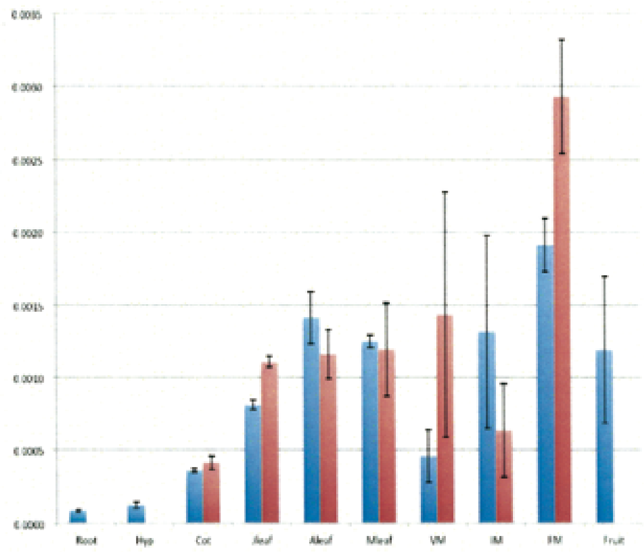
【図 2】トマト SP タンパク質の立体分子構造比較。
SP タンパク質の内、栽培トマトにおいて変異があるタンパク質(変異型、茶色のサーフェスモデル)と近縁野生種のタンパク質(野生型、カラーのリボンモデル)の予想立体構造を重ね合わせた。変異型では、分子表面に位置する領域が欠損していることがわかる。

種が短日性を示す結果となった。

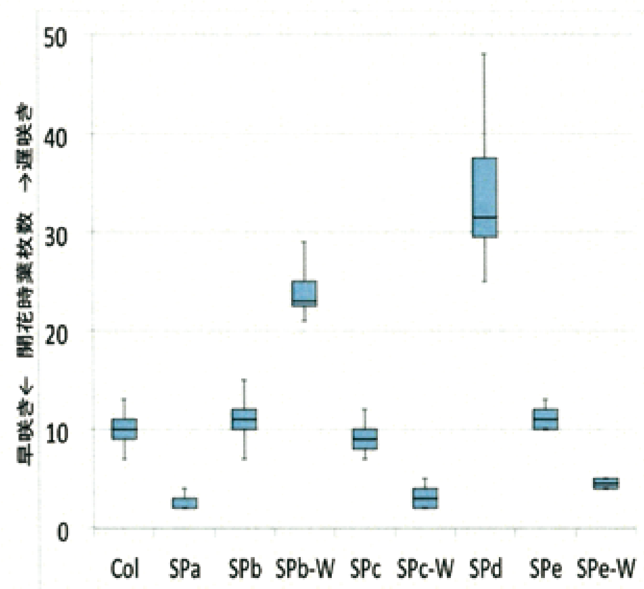
2-3. トマト *FT* ホモログの遺伝子構造

トマト栽培品種からクローニンした *FT* ホモログの遺伝子と、表 1 のトマト近縁野生種からクローニングした *FT* ホモログの遺伝子との塩基配列とを比較した結果、多くの一塩基多型(SNP)が観察された。それらの中にはアミノ酸配列に影響を及ぼすものも存在した。

特に注目すべき知見として、FT clade に属する 2 つの遺伝子において、栽培品種から得られた遺伝子に、ナンセンス突然変異とフレームシフト突然変異が見つかった。一方、それらに対応する近縁野生種の遺伝子では完全長のタンパク質をコードしていた。これらについて予想される立体構造を比較すると、栽培品種のタンパク質では、分子表面に位置する機能的にも重要な領域が突然変異により欠損していることがわかった(図 2)。このことは、野生種で機能していたタンパク質が、栽培品種では機能が失われている可能性を示唆するものと考えられる。



【図 3】トマト *FT* ホモログ遺伝子の組織特異的発現。蓄積している RNA 量を定量的逆転写リアルタイム PCR 法により測定した。縦軸はハウスキーピング遺伝子に対する相対的な発現量。青は長日条件、赤は短日条件での値。Root:根、Hyp:下胚軸、Cot:子葉、Jleaf:幼若葉、Aleaf:成熟葉、Mleaf:第一花房後の葉、VM:栄養茎頂メリステム、IM:花序茎頂メリステム、FM:花メリステム、Fruit:果実。



【図 4】遺伝子導入シロイヌナズナを用いたトマト *FT* ホモログ遺伝子の機能解析。
Col は遺伝子導入していない対照植物。SPa、SPb、SPc、SPd、SPe は、栽培トマト由来の遺伝子を、SPb-W、SPc-W、SPe-W は、近縁野生種由来の遺伝子を持つ遺伝子導入植物を示す。

2-4. トマト *FT* ホモログ遺伝子の組織特異的発現の解析

トマト *FT* ホモログ遺伝子の機能解析を進めるにあたって、解析可能な遺伝子数に限度があるので、遺伝子を絞り込む必要がある。フロリゲンは、日長を感受する葉で花成誘導条件下で発現が誘導されると考えられる。これまでの他の植物種での研究からも、このことは支持されている。トマトには、FT clade と TFL1 clade の両方の遺伝子群が存在しているが、*FT* ホモログ遺伝子群の中でもアンチフロリゲンとして働く *TFL1* 遺伝子は、シロイヌナズナでは茎頂で発現することが知られている。これまでに調べられたトマトの TFL1 ホモログは、直接花成に影響を与えていない。

そこで、葉で特異的に発現する遺伝子について機能解析を進めるため、栽培トマトにおける *FT* ホモログ遺伝子の組織特異的発現を調べた(図 3)。図に示した遺伝子は、葉と茎頂の両方で発現がみられた。残りの遺伝子の内、4 個の遺伝子については主として葉で発現が観察され、3 遺伝子については主に茎頂で発現がみられた。最後の 3 遺伝子については、発現量がどの組織においても低く、かつ組織特異的な発現は観察されなかった。また、長日条件と短日条件とで遺伝子発現の違いを調べたところ、長日条件特異的な発現を示した遺伝子が 1 個、短日条件特異的な発現を示した遺伝子が 3 個あり、残りは日長条件特異性を示さなかった(図 4)。

以上の発現パターンから、トマト *FT* ホモログ遺伝子の中に、日長に応答して葉で発現するという、典型的なフロリゲン遺伝子と同じ発現パターンを示すものが見つかった。一方、図 3 に示したように、葉と茎頂の両方で発現しているという、これまでの考え方では説明できない発現パターンを示す遺伝子も存在することが明らかとなった。

トマト *FT* ホモログ遺伝子は、12 個存在しており、被子植物の中では、比較的遺伝子メンバーの数が多い。従って、遺伝子メンバーの中にはフロリゲンの機能から機能分化したものや他の機能を持つようにリクルートされたものが存在する可能性が考えられる。

2-5. シロイヌナズナを用いたトマト *FT* ホモログ遺伝子の機能解析

組織特異的遺伝子発現解析の結果、FT clade の遺伝子の殆どが葉特異的な発現を示し、TFL1 clade の遺伝子の多くが茎頂特異的な発現パターンを示した。

そこで、FT clade の遺伝子について、シロイヌナズナを用いた機能解析を行った。35S プロモーターを用いて、各々の遺伝子を構成的に発現させたシロイヌナズナの花成の表現型を調べた(図 4)。

SPc と *SPe* 遺伝子は花成に関する表現型を示さず、遺伝子構造から予想されたように、変異遺伝子であることが示された。そこで、これらの遺伝子の野生型遺伝子と考えられる近縁野生種由来の遺伝子 *SPc-W*、*SPe-W* を導入したところ、早咲き表現型がみられ、フロリゲンとして働き得ることが示された。

この実験で得られた非常に興味深い事実は、次の 2 点である。まず、*SPd* 遺伝子は FT clade の遺伝子であるにもかかわらず、遅咲きの表現型を示したことである。さらに、SPb は、構造上では栽培種由来のタンパク質と近縁野生種由来のタンパク質とで、2 個のアミノ酸置換が起きているだけであるが、栽培種由来のタンパク質は機能を持たないことが示された。

他の植物種由来の遺伝子機能をモデル系であるシロイヌナズナで評価する手法は、これまでの研究から十分に妥当性のあることだと認められている。特に花成に関する表現型は、十分に信頼できるものである。本研究で明らかになった事実は、これまでの FT ホモログ遺伝子に関する既成概念を覆すような重要なものであると考えられる。今後、これらトマト FT ホモログ遺伝子の機能解析をトマトにおいて行い、本結果を確認する必要がある。

3. まとめと展望

本研究では、トマトの持つ *FT* ホモログ遺伝子を全てクローニングし、その遺伝子構造を明らかにした。FT clade に属する 2 遺伝子について、トマト近縁野生種由来の遺伝子と比べて、トマト栽培種の遺伝子には機能欠失をもたらすような変異が生じていることが明らかとなった。また、シロイヌナズナを用いた遺伝子機能解析の結果、近縁野生種由来の遺伝子では花成に関する機能を有するのに栽培種由来の遺伝子ではその機能が失われていることが確認できた。

遺伝子機能解析により、フロリゲンとして機能することが期待される FT clade に属する遺伝子であっても、花成を抑制するアンチフロリゲン様の機能を持っていることが明らかとなった。また、遺伝子構造解析からだけでは予想し得なかった機能変異が起きている遺伝子も見つかった。

以上の結果は一部はモデル植物を用いた結果であるので、今後トマト栽培種において実際のゲノム構成の中で、遺伝子の機能を明らかにしていきたいと考えている。そのためにゲノム編集技術を積極的に用いることにより、トマトにおいてFT cladeに属する遺伝子の機能解析を進める計画である。これにより、栽培化の過程で失われた鍵となる遺伝子を明らかにし、それがどの様なメカニズムでトマトの日長応答的花成の変化に関与したのかについて解明して行きたいと考えている。

謝辞

本研究を実施するにあたりご支援を戴きました（公益財団法人）八雲環境科学振興財団に感謝致します。

引用文献

1. The tomato genome sequence provides insights into fleshy fruit evolution. *Nature* **485**, 635-641, (2012).
2. Hanano, S. & Goto, K. Arabidopsis TERMINAL FLOWER1 is involved in the regulation of flowering time and inflorescence development through transcriptional repression. *Plant Cell* **23**, 3172-3184, (2011).

令和元年度 国際研究交流助成報告

９．令和元年度　国際研究交流助成報告

助成対象者	所　　属	参加会議	ページ
冨田栄二	岡山大学大学院 自然科学研究科	29th CIMAC Congress	１１８
谷　夢希	岡山大学大学院 自然科学研究科	26th International Symposium on Electroseparation and Liquid Phase-Separation Techniques (ITP2019)	１１９
井上寛隆	岡山大学大学院 自然科学研究科	ＮＴ19	１２０

冨 田 栄 二

岡山大学大学院自然科学研究科

参加会議名　CIMAC2019
主催団体名　CIMAC（国際燃焼機関会議）
開 催 期 間　2019年 6月10日～2019年6月14日
開 催 地　カナダ バンクーバー

表　題

Evaluation of Combustion Characteristics of Ultra Low Sulphur Fuel Oil by Using OCA (Optical Combustion Analyzer) and a Two Stroke Test Diesel Engine（OCA（光学的燃焼解析装置）と2ストローク試験エンジンによる極低硫黄燃料油の燃焼特性評価）

＜内容＞

本CIMAC国際会議は，約35か国，発表数約400件，参加者1300人程度の規模の講演会で，3年に1度，欧州，北米，東アジアの順で開催される．今回は，カナダのバンクーバーで開催された．船舶関連の動力に関する研究発表会では，世界で最高峰の講演会として認識されている．今回は，共同研究先の三井E&Sマシナリーからも5名が参加した．

本研究では，極低硫黄燃料の着火性，燃焼性，後燃え特性を把握するために，定容容器（OCA: Optical Combustion Analyzer)）内にディーゼル雰囲気を作成して，1回だけ燃料を噴射して燃焼させ，その様子を高速度ビデオカメラで観察するとともに，フォトダイオードで紫外光を捉えて着火遅れを求めた．さらに，単気筒試験用エンジンを用いて，運転性能，着火遅れ，排気特性等を調査し，定容容器で得られた結果と比較，検討した．燃料としては，低硫黄A重油，マレーシア産極低硫黄燃料，オランダ産極低硫黄燃料，C重油の4種類を用いた．それぞれ，密度，動粘度，流動点など燃料特性は異なるが，燃料温度を，実機運転と同じ温度に変えて，動粘度が適切な範囲内に入るようにした．定容容器による結果から，着火遅れは，オランダ産極低硫黄燃料，マレーシア産極低硫黄燃料，低硫黄A重油の順に少しずつ長くなったが，大きな差はなかった．一方，C重油の着火遅れはかなり長くなった．後燃えに関しては，燃料噴射弁を閉じてから火炎が消滅するまでの時間および消滅する位置で評価した．その結果，低硫黄A重油が一番，時間および距離が短く，マレーシア産極低硫黄燃料，オランダ産極低硫黄燃料，C重油の順になった．これらの結果は，試験用単気筒エンジンでの着火遅れ特性や，PM排出と関連があることがわかった．

谷　　夢希

岡山大学大学院自然科学研究科

参加会議名　ITP2019
主催団体名　Royal society of science
開 催 期 間　2019年9月1日～2019年9月4日
開 催 地　Toulouse, France

表　題

Determination of Exosomal Membrane Proteins CD63 by Capillary Electrophoresis

＜内容＞

Determination of Exosomal Membrane Proteins CD63 by Capillary Electrophoresis

Yumeki Tani[1],
Takashi Kaneta[1], CHAN KI CHUN Romain[2]

[1] Department of Chemistry, Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, Okayama, Japan
[2] Institut National Polytechnique of Toulouse, Toulouse, France

Contact: yumeki224@gmail.com

(Type the text of the abstract directly here, single spaced, in 10 points Arial and fully justified text)
Exosome are extracellular vesicles with 30 to 200 nm and include proteins, mRNA, miRNA a d DNA derived from cell, thus they have attracted attention as a new biomarker of various diseases. However, it takes a long time to isolate and concentrate them owing to their size. While the exosomal membrane proteins, CD63, CD81, CD9, is widely used as exosomal marker recently, the kits to quantify it are also expensive, which takes about 24 hours. Therefore, we attempted to inexpensively determine CD63 within a short time.

HeLa cell-derived exosomes were dissolved in phosphate buffer containing sodium dodecyl sulfate to disperse exosomal lipid bilayers. Then IM1914U, the antibody of CD63, and fluorescence substrate were added to the solution and the capillary electrophoresis were performed. A laser beam was focused to the capillary and the fluorescence was observed by CCD camera. The peak of CD63-IM1914U antibody was observed. When the fluorescence substances (Rhodamine B or Fluorescein) and pH of the solution (pH 6.5 to 8.0) were changed, it was found that the optimized conditions were fluorescein in the solution at pH 8.0. The optimization of amount of antibody was studied with a constant amount of CD63, the size of the peak increased as the amount of antibody was increased, and it was finally saturated. Additionally, the concentration of CD63 was varied and concentration of antibody was fixed, the results show that peak area of complex was increase until it was saturated. Thus, we proposed this method that can determine CD63 at a low cost in a short time compared to ELISA and Kit.

井 上 寛 隆

岡山大学大学院自然科学研究科

参加会議名　NT19
主催団体名　International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional Materials
開 催 期 間　2019 年 7 月 21 日～2019 年 7 月 26 日
開 催 地　ドイツ　ヴュルツブルグ

表　題
Synthesis condition of CNT arrays for fabricating the double-walled carbon nanotube yarns by dry-spinning
【乾式紡績法により作製される 2 層 CNT 紡績糸を実現するための合成条件検討】

＜内容＞

現在，軽量・高強度部材として，航空機や高級自動車，風力発電機のブレード，燃料電池自動車の水素タンクなどに採用が進んでいる炭素繊維は，その製造工程の難しさから製造企業の独占・寡占状態から脱却できずコストが下がらないため，高価格帯の応用にとどまっている．このような軽量で高強度な部材の採用が一般製品にまで進むことで，化石燃料の消費抑制や二酸化炭素の排出量削減が急速に進むことが予想される．我々は，炭素繊維の持つ軽量性，高強度性を持ち合わせながら，一般的なプロセスで作製できる二層カーボンナノチューブ（DW-CNT）カーボンナノチューブ(CNT)という超高強度なナノ材料を繊維化しバルクスケール応用を可能にする技術を持ち合わせている(乾式紡績法)．つまり，この DW-CNT 繊維は，高強度，高電気伝導性，軽量，柔軟といった物性や化学的安定性，環境耐性を持ち合わせながら，バルクスケールデバイスのための現実的なコストであるという利点を有する．しかし，乾式紡糸可能となる条件である長尺・高密度の DW-CNT アレイの合成ウィンドウは狭いため，紡績性 DW-CNT アレイ合成に関する詳細な報告はない．

本研究では，CNT アレイの紡績性を評価するために，合成温度と合成時間の両方に対してパラメトリックなアプローチを実施した． CNT アレイの嵩密度，高さ，および紡績性の関係から，紡績可能な CNT アレイの高さ（150～300 μm）および嵩密度（80～150 mg / cm^3）の両方に最適値があることを明らかにした．また，上記の紡績可能となるアレイ構造条件を満たした上で，CNT のチューブ径，層数を制御するための検討も行った．CNT の成長初期段階における精密な温度制御によって，基板上にナノサイズの触媒粒子が十分に分散された表面状態を形成することで，DW-CNT を 85％以上含む紡績可能な CNT アレイが合成可能であることを明らかにした．本成果は，ナノ材料合成分野だけでなく，ナノ材料構造体を用いたアプリケーション開発においても，物性改善の糸口を示す重要な知見に成り得るものである．

本報告は，国内外の多くの研究機関や企業の研究者に対して実施し，様々な議論を行うことができた．例えば，すでに CNT アレイの合成には成功しているが乾式紡績はできないため何が紡績を可能にするキーポイントなのか，実際に作製される DW-CNT 繊維の詳細な物性値はどの程度か，さらに繊維の物性を向上させるためにはどのような合成条件を変化させる必要があるかなどについて話し合いを行ない，我々の有する DW-CNT の乾式紡績技術への注目度の高さや，CNT 繊維への需要，他のグループとのコラボレーションの可能性を感じた．

令和元年度 研究集会助成報告

10. 令和元年度　研究集会助成報告

助成対象者	所　　属	集会名	ページ
澤田大介	岡山大学大学院 医歯薬学総合研究科	第４５回反応と合成の進歩シンポジウム	１２２

澤　田　大　介

岡山大学大学院医歯薬学総合研究科

研究集会名称	第45回反応と合成の進歩シンポジウム
主催機関名	日本薬学会　化学系薬学部会
開催期間	2019年10月28日～2019年10月29日
開催地	倉敷市芸文館

＜内容＞

令和元年10月28-29日、日本薬学会化学系薬学部会の主催のもと、第45回 反応と合成の進歩シンポジウムを開催した。本研究集会は、有機化学と関連研究に取り組み，学部の垣根を越えた学生からシニアまでの幅広い世代の研究者などが一堂に会し、新規反応や機能性分子の開発および物性・応用に関する最新の研究成果を発表する研究集会である。

本研究集会は倉敷市芸文館を会場とし、387名(大学関係225名、学生124名、企業関係30名、研究機関8名）の研究者や学生が全国から参加した。特別講演として京都大学化学研究所の中村正治教授をお招きし、鉄触媒を活用した有機合成と環境・エネルギー分野へ応用に関する最先端の講演がなされた。また化学系薬学部会賞の受賞講演（大阪大学・井川貴詞氏、東京医科歯科大学・藤井晋也氏）も行われた。一般口頭発表は31演題、ポスター発表は132演題となり、合計163件の一般発表が行われ，11件の企業展示を隣に、ポスター発表会場では参加者の熱い議論が交わされていた。またポスター及び要旨集（添付)を作成し、参加者に配布した。また要旨集、ポスターやホームページには、八雲環境科学振興財団からの助成を受けたことを明記した。

令和元年度 その他の助成報告

11. 令和元年度　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	自由発想を重視したロボット製作活動	１２４

２０１９年度八雲環境科学振興財団助成

自由発想を重視したロボット製作活動

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，自由発想を重要視した IoT によるロボット制御を利用した課題解決の方法を学ばせることを目的とした。

一昨年度は MESH によるプログラミングを行い，昨年度はリモコン式のロボット製作（ロボコン）を行った。今回はこの２つを組み合わせて，ロボットを MESH のプログラムで動作させる仕組みを作り上げる活動をさせたい。目的とする動きを創造的に組み立てていく自由発想を重視した活動を中心として，必要な材料・機材を多く用意し，その中から必要なものを選びながら作り上げ，プログラムしていく活動は，子どもたちにとっても楽しく，学ぶ成果も大きいと思われる。

【プログラミングの課題例】

【人感センサーなどの入力タグを使用する】
○人を追いかける自動車
○机から落ちない自動車
○壁に当たると方向転換して走り続ける自動車　等

タブレット上でタグを画面上に並べてプログラムを作成する MESH で自動車の動作をプログラムして目的とする移動をするなどの動作を実行させる。

複数のモーターや歯車の組み合わせ方を調整し，最適な速度で動作させたり，それに合わせてプログラムで動作量を加減したりと，機械的な動作とプログラムによる動作を試行錯誤で調整していく活動が必要となる。機械的な部分を試行錯誤しやすい「万能フレーム」を主な材料としている部品セットとプログラミングが容易な MESH との接続をする IoT の部品を追加して色々な目的とする動作を２～３名程度の班ごとに創意工夫して製作させることとした。

2　プログラミング練習Ⅰ（１日目）

参加している子どもを５組にグループ化して，まず MESH の簡単なプログラミングから始めた。

スイッチタグと LED タグを使用して交差点の信号機をプログラミングさせた。青→黄→赤→青と時間をおいて変わっていく信号機の色を LED に出力させることは比較的簡単にプログラミングできた。

次に，横断歩道の信号機を考えさせ，自動車用と歩行者用の信号機の点滅をプログラムさせると，やや複雑なため，苦労していたがなんとかできるようになった。

２つの LED をスイッチで点滅させている

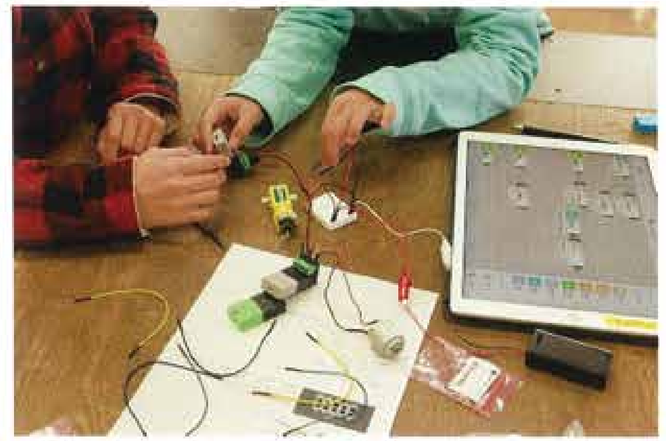
3　プログラミング練習Ⅱ（２日目）

やや複雑なプログラムとして目覚まし時計をプログラムさせた。

タイマーとスイッチと音の組み合わせであるが，明るさタグで明るくなるとベルが鳴り，スイッチで止めるようにさせる班もあった。早くできた班には，スヌーズを考えさせた。

4　２つのモーターを動かす（３日目～）

GPIO タグを２つ使用して，２つのモーターを動かすプログラムを確認させた。一つの電池から２つのタグへの配線が難しいが付属していたブレッドボードでハンダ付けなしで接続させ，正逆転，回転速度の増減，停止などを確認した。



仮に組み立ててどの程度動くかを確認中

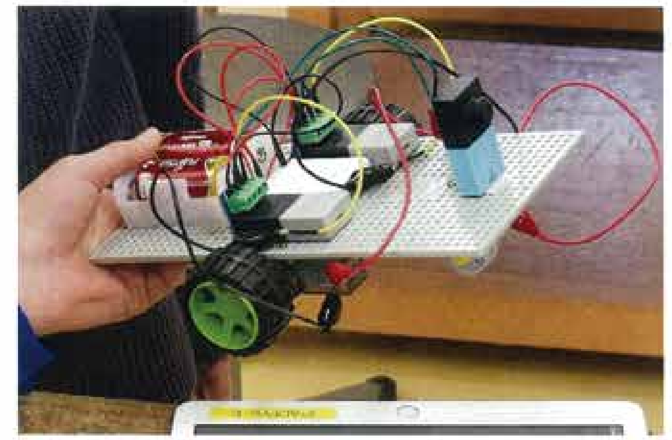
5　人を追いかける車の製作（４～５日目）

昨年製作した「乾電池を運ぶ自動車」の走行部分だけを残して，他の部分は取り外したものを用意して，まず前回の MESH タグの配線を接続して走らせるように製作させた。昨年経験している人は手早く配線してプログラミングに取りかかれたが，今年初めての人は走る仕組みを確認したり調整したりすることに時間がかかった。

配線を付け替えているところ

中にはキャタピラはやめて車輪に組み直した班もあり，自動車づくりとプログラミングを分担して行っていた。

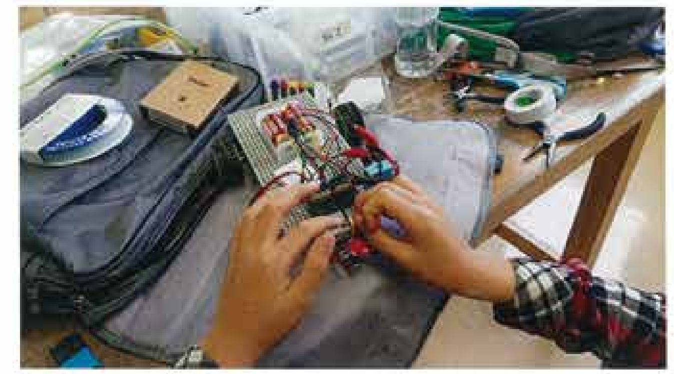
人感センサーや LED タグを２つ使用して取り組んでいる班もあった。



軽快に動くように，車輪に変更した班

6　壁にぶつからない車（６日目）

明るさのセンサーやマイクロスイッチのタグなどを使用して，自分たちの考えた動きをするようにタグとプログラミングをいろいろと組み合わせていた。



マイクロスイッチを取り付け，壁に当たると・・・

7　調整・対戦（７・８日目）

前日までにほぼできあがっていたが，新型コロナウイルスが広がったため，活動が急遽中止となり，残念であった。

8　まとめ

子どもたちのアイデアを試行錯誤しながら製作できる部品のセットとプログラミングしやすい MESH タグを増やしたことで，思っていた以上にいろいろな仕組みを考えたり，短時間に組み直しできるため，いろいろと試行錯誤させたりすることができた。支援する者としてはそれぞれのグループ毎にやっていることがどんどん変化するため，なかなか大変だった。

今後は，各自が考える発明品の中にプログラミングを取り入れ，より高度な発明品ができることを期待している。

助成実施要項

12. 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　財団の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、財団において適当と認めるもの。

（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。

13. 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	通常の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

2020年3月11日、世界保健機関（WHO）は、新型コロナウイルス感染症の世界的大流行「パンデミック」を表明した。日本、そして世界各地において、新型コロナウイルス感染症による不安の広がりとともに私たちの暮らし、仕事、社会、経済に大きな影響を及ぼし続けている。このような状況下、熊本県を中心とした九州地方や中部地方など各地で集中豪雨による甚大な被害が発生した。これを気象庁は、顕著な災害をもたらしたこの一連の大雨について、災害の経験や教訓を後世に伝承することなどを目的として「令和２年７月豪雨」と名称を定めた。

今後、私たちはコロナ渦の中、自然災害による複合災害に備え、対策を講じていかなければならないであろう。

公益財団法人 八雲環境科学振興財団
研究レポート集　第21号

令和２年11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１－２１
（株エイト日本技術開発内）
TEL (086) 252-7670

印刷　吉備サプライ有限会社
岡山市北区野田４丁目２－２０
TEL (086) 805-2111

THE YAKUMO FOUNDATION FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

telephone: 086-252-7670

facsimile: 086-252-8918

URL: http://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