

研究レポート集 2016

Report

第17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18年目を迎えました。

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

公益財団法人 八雲環境科学振興財団
代表理事 小谷 裕 司

目 次

1. 巻頭言	1
2. 財団の概要	2
3. 役員等名簿	3
4. 定款	4
5. 平成27年度事業実施状況	1 3
6. 年度別助成事業実施状況	1 6
7. 研究発表会実施状況	2 5
8. 平成27年度環境研究助成報告	2 9
9. 平成27年度国際研究交流助成報告	1 2 8
10. 平成26年度研究集会助成報告	1 3 1
11. 平成27年度その他の助成報告	1 3 4
12. 助成実施要項	1 4 5
13. ご寄附のお願い	1 5 1

1. 巻頭言

私たちは自らを取り巻く環境から様々な被害を受けています。その被害としては、暴風、豪雨、洪水、地震、津波などの自然災害、環境汚染に伴う私達の日々の生活に安全性を脅かす被害などがあります。

自然災害で思い起こされるのは、2004年にスマトラ沖地震による津波がタイのプーケットの海岸を襲った、この世の出来事と思われぬ大惨事があります。その時、わが国でもこれと同じ大惨事が起こるとは夢想だにしていまませんでした。2011年3月11日に、三陸沖で大地震が発生し、それに伴う大津波が三陸から福島の海岸を襲い、人間が創造したありとあらゆるものを破壊し尽くしました。人類は5万年前に地球上に誕生し、長い農耕時代後、18世紀中頃に産業革命、19世紀から20世紀前半のエネルギー革命、20世紀後半の情報革命を経て、人工知能（AI）とモノのインターネット（IoT）の進展に伴って、現在第4次産業革命が進行していると言われていています。こうした科学技術の発展に伴って自然は支配できると思っていた人々にとって、上述の自然の猛威の前にはなす術もなく、ただ見守るのみで、人生観を一変するショッキングな出来事でした。

こうした大惨事を目にしたとき、今から2400年ほど前に創始された老壯思想（人間は自然の一部であり、人間は人知を超えた「道」によって生かされ、「道」に従うべきであるという考え方）が思い出されました。確かに、私たち人間は自然の一部に過ぎず、自然に従順であるべきです。しかしながら、一方では、私たちは、この事実を踏まえた上で、主体的に生きていかなければなりません。

人間は、これまで、自らの意志で科学技術を発展させ、豊かで、より便利な生活を求め、多くのものを発明し、この発明されたものが人類にどのような影響を及ぼすかについては分からないままに、大量に生産し、消費してきました。こうした人間活動の結果として、今日、CO₂の増加に伴う地球温暖化、オゾン層の破壊、酸性雨、環境ホルモンの蔓延、水質汚染などにより私達の生活の安全が脅かされるようになりました。いまさら、私たちは太古の昔の生活に戻ることはできません。逆に、発展した科学技術を活用して、安全で豊かな生活を維持し、発展させなければなりません。こうした環境破壊に伴う問題を解決するためには、環境科学分野の研究の役割は益々重要になっています。

近年、大学などにおける研究環境は悪化し、とりわけ研究経費は年々削減され、研究費の確保に苦勞しています。こうした中、八雲環境科学振興財団は平成10年設立以来、岡山県における環境に関する調査研究の推進や創造性豊かな研究者の養成の支援をされ、常々その功績に対して深く敬意を表しています。今後も、当該財団が発展を続け、環境科学分野の調査研究などの支援の担い手として、私達が安全かつ安心して営むことができる生活の構築に貢献されますことをご期待いたします。

理事 辻 英明
(岡山県立大学 学長)

2. 財団の概要

名 称	公益財団法人 八雲環境科学振興財団
所 在 地	岡山県岡山市北区津島京町三丁目1番21号 (株式会社エイト日本技術開発内)
主務官庁	岡山県教育委員会
設立許可	平成10年7月29日 (平成14年8月26日 特定公益増進法人に認定) (平成24年10月1日 公益財団法人に移行)
出 捐 者	株式会社エイト日本技術開発 他
基本財産	2億7,086万円(平成28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	(株)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
	赤木 靖春	学校法人加計学園専務理事
	沖 陽子	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	辻 英明	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
	伊丹 文雄	E・Jホールディングス(株) 顧問
監 事	西田 秀史	弁護士
	石村 顕示	税理士
	小谷 浩治	E・Jホールディングス(株) 管理本部副本部長
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
	波田 善夫	岡山理科大学生物地球学部教授
	西垣 誠	岡山大学名誉教授
	阿部 宏史	岡山大学理事・副学長
	鳥越 良光	岡山商科大学名誉教授
	岩田 正晴	ロック地域計画事務所 代表
	谷本 俊夫	日本インフラマネジメント(株) 顧問
	藤井 勉	(株)エイト日本技術開発 取締役
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
	星野 卓二	岡山理科大学副学長
	大久保賢治	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	神崎 浩	岡山大学大学院環境生命科学研究科長
	永井 泉治	(株)エイト日本技術開発 執行役員インフラ保全センター長

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) その他前条の目的を達成するために必要な事業
- 2 前項の事業については、岡山県において行うものとする。

(事業年度)

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

第3章 財産及び会計

(財産の種類別)

第6条 この法人の財産は、基本財産及びその他の財産の2種とする。

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

3 その他の財産は、基本財産以外の財産とする。

(基本財産の維持及び処分)

第7条 基本財産については、適正な維持及び管理に努めるものとする。

2 この法人の公益目的事業遂行上やむを得ない理由があるときは、理事会の議決に加わることのできる理事の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、収支予算書については、毎事業年度の開始日の前日までに、理事長が作

成し、理事会の決議を経て、評議員会の承認を受けなければならない。これらを変更する場合も同様とする。

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

(事業報告及び決算)

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

- (1) 事業報告書
- (2) 事業報告の附属明細書
- (3) 貸借対照表
- (4) 正味財産増減計算書
- (5) 貸借対照表及び正味財産増減計算書の附属明細書
- (6) 財産目録

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

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

- (1) 監査報告
- (2) 理事及び監事並びに評議員の名簿
- (3) 理事及び監事並びに評議員の報酬等の支給の基準を記載した書類
- (4) 運営組織及び事業活動の状況の概要及びこれらに関する数値のうち重要なものを記載した書類
(公益目的取得財産残額の算定)

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

(長期借入金及び重要な財産の処分又は譲受け)

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

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

(会計原則)

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

第4章 評議員

(定数)

第14条 この法人に、評議員7名以上10名以内を置く。

(評議員の選任及び解任)

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

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

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

イ 当該評議員及びその配偶者又はその親族

ロ 当該評議員と婚姻の届出をしていないが事実上婚姻関係と同様の事情にある者

ハ 当該評議員の使用人

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

ホ ハ又はニに掲げる者の配偶者

ヘ ロからニまでに掲げる者の親族であつて、これらの者と生計を一にするもの

(2) 他の同一の団体(公益法人を除く。)の次のイからニに該当する評議員の合計数が評議員の総数の3分

の1を超えないものであること。

イ 理事

ロ 使用人

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

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

① 国の機関

② 地方公共団体

③ 独立行政法人通則法第2条第1項に規定する独立行政法人

④ 国立大学法人法第2条第1項に規定する国立大学法人又は同条第3項に規定する大学共同利用機関法人

⑤ 地方独立行政法人法第2条第1項に規定する地方独立行政法人

⑥ 特殊法人（特別の法律により特別の設立行為をもって設立された法人であつて、総務省設置法第4条第15号の規定の適用を受けるものをいう。）又は認可法人（特別の法律により設立され、かつ、その設立に関し行政官庁の認可を要する法人をいう。）

3 評議員は、この法人の理事又は監事若しくは使用人を兼ねることができない。

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

（権限）

第16条 評議員は、評議員会を構成し、第20条に規定する事項を決議する。

（任期）

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

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

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

（報酬等）

第18条 評議員は無報酬とする。

2 評議員には、その職務を行うために要する費用の支払いをすることができる。

第5章 評議員会

（構成）

第19条 評議員会は、すべての評議員をもって構成する。

（権限）

第20条 評議員会は、次の事項について決議する。

(1) 理事及び監事の選任及び解任

(2) 理事及び監事の報酬等の額

(3) 役員及び評議員に対する報酬等の支給の基準

(4) 定款の変更

(5) 事業計画及び収支予算の承認

(6) 貸借対照表及び正味財産増減計算書類の承認並びにこれらの付属明細書の承認

(7) 残余財産の処分

(8) 基本財産の処分又は除外の承認

(9) その他評議員会で決議するものとして法令又はこの定款で定められた事項

2 前項の規定にかかわらず、個々の評議員会においては、第23条第1項の書面に記載した評議員会の目的である事項以外の事項は、決議することができない。

（種類及び開催）

第21条 評議員会は、定時評議員会として毎年度5月に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、その事項の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

(役員の設定)

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。

(役員を選任)

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 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、必要で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、役員的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、役員の実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実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実員に対し、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号に定める助成の対象となる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なければならない。ただし、他の法令によりこれらに代わる書類及び帳簿を備えたときは、この限りではない。

(1) 定款

(2) 役員、評議員及びその他の職員の名簿、役員の就任承諾書並びに履歴書

(3) 認定、許可、許可等及び登記に関する書類

(4) 定款に定める機関（理事会及び評議員会）の議事に関する書類

(5) 財産目録

(6) 役員等の報酬等に関する規定

(7) 事業計画書及び収支予算書

(8) 事業報告書及び計算書類等

(9) 監査報告書

(10) 行政庁からの示達文書

(11) その他法令で定める帳簿及び書類

2 前項各号の帳簿及び書類の閲覧については、法令の定めによる。

第11章 情報公開及び個人情報の保護

(情報公開)

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

(個人情報の保護)

第62条 この法人は、業務上知り得た個人情報の保護に万全を期すものとする。

(公告の方法)

第63条 この法人の公告は、電子公告により行なう。

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

第12章 補則

(株式の権利行使の制限)

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

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

(実施細則)

第65条 法令及びこの定款に定めるもののほかに、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. 平成 27 年度事業実施状況

平成 27 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 902 万円の助成を実施した。

当年度における公募の概要は次のとおりである。

募集の目的

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

I. 環境研究助成

	一般研究	特定研究
1. 助成対象研究	テーマは設定しません 自然科学と社会科学の両分野の研究で自然環境の改善（環境科学）に寄与するものとしてします。	平成 27 年度募集テーマ A. 防災・減災に関する研究（新テーマ） B. 環境保全に関する研究 C. 地域活性化に関する研究
2. 助成金額と件数	総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 400 万円程度 1 件あたり助成額 ・ ・ 50 万円以内 助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 8 件程度	総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 200 万円程度 1 件あたり助成額 ・ ・ 100 万円以内 助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 4 件程度
3. 助成対象となる期間	平成 28 年 3 月 31 日まで	平成 28 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、A 4 で 6 頁程度）の提出
- 平成 28 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

Ⅱ. 国際研究交流助成

1. 助成対象

平成 27 年 6 月 1 日から平成 28 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 ・ ・ ・ ・ ・ 60 万円程度

○1 件当たり助成金 ・ ・ 20 万円以内

○助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 3 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。

Ⅲ. 研究集会助成

1. 助成対象

○平成 27 年 10 月 1 日から平成 29 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 1 回募集（今回募集）：1～2 件

・第 2 回募集（平成 27 年 10 月頃募集予定）1 件程度

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

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26年度に助成対象者となった研究者（共同研究者を含む）は、平成26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。

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27年 4月10日（金）（必着）	平成27年 5月下旬	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
 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

累計 (平成 10 年度～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	474 件	209 件	116,191 千円
国際研究交流助成事業	136 件	88 件	17,641 千円
研究集会助成事業	24 件	25 件	7,180 千円
合 計	634 件	322 件	141,012 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 27 年度 環境研究助成報告

8. 平成 27 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
金尾忠芳	岡山大学大学院環境生命科学研究科	環境微生物である鉄硫黄酸化細菌を有効利用するための基盤研究	30
赤穂良輔	岡山大学大学院環境生命科学研究科	市街地レイアウトを考慮した津波の遡上解析と避難シミュレーションの結合手法の開発	40
樋口輝久	岡山大学大学院環境生命科学研究科	近世福山藩によって築造された別所砂留の保存・活用に向けた実態調査	46

② 一般研究

助成対象者	所 属	研究テーマ	ページ
石原浩二	岡山理科大学 理学部	生態系を酵素レベルで模倣した酵素複合反応系を用いるバイオリファイナリー技術の開発と資源再利用への応用	52
岸本 昭	岡山大学大学院自然科学研究科	靱殻発泡剤を用いた高信頼性耐火断熱材の作製	59
西村美保	岡山大学大学院自然科学研究科	緑藻における酸素発生系の改変がもたらす光合成機能への影響	72
廣部 宗	岡山大学大学院環境生命科学研究科	林冠木伐採による放置落葉広葉樹二次林の再生初期過程	78
坪井誠二	就実大学薬学部	岡山産雄町米および米糠を用いた快眠を導く機能性食品の開発	83
裏地美杉	岡山県農林水産総合センター生物科学研究所	放線菌フェルラ酸エステラーゼによる未利用バイオマス細胞壁分解法の確立	91
鈴木和将	岡山大学大学院環境生命科学研究科	廃棄物最終処分場における多成分多相流の数値シミュレーション手法の構築	97
宮崎祐子	岡山大学大学院環境生命科学研究科	シカの食害による林床環境の改変がテンナンショウ属の性転換と個体群動態に与える影響	103
近藤秀樹	岡山大学資源植物科学研究所	本邦の稀少ラン科植物に発生するウイルスの性状解明と遺伝子診断技術の開発	110
江崎文一	岡山大学資源植物科学研究所	<i>AtSAMS1</i> 遺伝子を介したエピジェネティックな遺伝子発現制御とアルミニウム (Al) ストレス耐性機構との関わりについて	116
後藤丹十郎	岡山大学大学院環境生命科学研究科	廃棄可能有機物固化培地を用いたバラの養液栽培方法の開発	122

市街地レイアウトを考慮した津波の遡上解析と避難シミュレーションの結合方法の開発

岡山大学大学院環境生命科学研究科

赤穂 良輔

概要

岡山市南部の沿岸域は海拔0 m地帯が広がっており、また液状化危険度が非常に高いため、地震発生直後から堤防沈下による浸水が発生する可能性がある。また、避難計画の高度化には、最大浸水深だけでなく津波の到達時刻や氾濫経路を再現できる氾濫解析モデルの利用が有効である。そこで本研究では三角形格子を用いた津波解析モデルを用いて、市街地レイアウトおよび堤防沈下を考慮した南海トラフ地震津波の氾濫解析を行い、岡山市における津波到達前後の浸水特性を予測した。さらに、氾濫解析結果を用いて津波到達前の浸水状況下での避難経路および避難時間について検討した。浸水深と流速による歩行速度の低下を考慮することで、歩行速度が遅い高齢者の場合は、避難時間が平均1.6倍、最大で28分増加する結果となり、浸水を考慮した避難計画の重要性が示唆された。

1. 序論

東日本大震災以降、政府や地方自治体によりハード面、ソフト面の両方から対策が講じられている。特に近い将来発生が予測されている日本近海の海底地震には東海地震、南海地震、東南海地震があり、西日本沿岸地域で大きな被害が予想されている。これらの地震は90～150年周期で発生しており、直近のものは1946年に発生した昭和南海地震である。この地震以降70年以上が経過しており、政府の地震調査委員会¹⁾は南海トラフを震源とする地震が今後30年以内で60～70%の確率で発生すると予測している。特にこの3つの地震が連動して起こる南海トラフ巨大地震が発生した場合、最大でマグニチュード9.1の巨大地震になると予測されており、この3連動地震を想定した津波被害予測および避難対策が急がれている。

本研究で対象とする岡山県岡山市は、児島湾を介して瀬戸内海に面しており、南海トラフからの距離は約200 kmである。しかし、岡山県が平成25年3月に公表した南海トラフ巨大地震発生時の津波シミュレーションでは、地震発生から約2時間50分後に第一波が到達し、最大津波高は約2.6 mと想定されている²⁾。これに基づき、岡山市では平成25年8月に津波ハザードマップが作成され、193箇所の津波避難場所が設定された。

岡山県南部地域は、江戸時代以降に開発された干拓地や戦後埋め立てによって作られた工業地帯が広がっており、海岸より約5 kmの範囲にわたり海拔0 m地帯となっている(図-1)。さらに、岡山県危機管理課³⁾が公表している岡山県液状化危険度マップでは、同地域における液状化危険度を示すPL値は15以上となっており、液状化による堤防を含む地盤の沈下が予想される。これらの地質的特徴より、同地域で

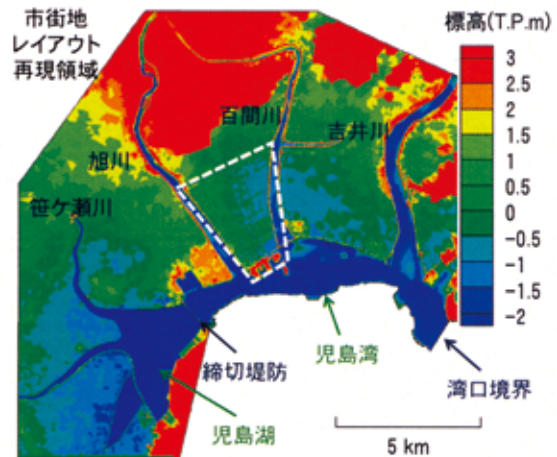


図-1 対象領域

は、地震発生直後より海域または河川からの浸水の可能性があり、これらを踏まえた避難計画の策定が必要であると考えられる。工代ら⁴⁾は児島湾沿岸および各河川兩岸の盛土堤防や児島湖締切堤防の沈下を想定した南海トラフ巨大地震発生時の岡山市における津波遡上解析を行い、堤防の沈下により浸水範囲が約10倍に拡大する可能性があることや、長時間に渡り浸水域が拡大することを示している。

また、避難計画の高度化には、従来の津波による最大浸水深だけでなく、津波の到達時刻や氾濫経路を再現できる氾濫解析モデルの利用が有効である。赤穂ら⁵⁾は東北地方太平洋沖地震における釜石市を対象として市街地レイアウトを考慮した解析を行っている。三角形非構造格子を用いて建物を再現し、建物境界を半透過壁として取り扱うことで建物内への浸水による水の貯留の影響を考慮できるモデルを提案している。半透過壁を通過するフラックスの大きさは、災害時の映像や現地調査といった実際の浸水記録との照合により、再現性の高い透過係数の値



図-2 市街地レイアウトの再現領域

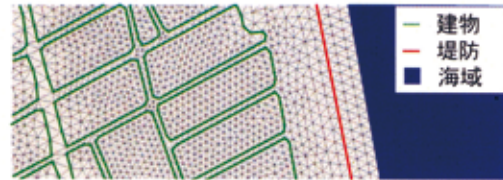


図-3 計算格子

表-1 各学区(図-2)の年齢3区分別人口(平成26年)
(単位 上段:人, 下段:%)

	a	b	c	d	e	f
15歳未満	375 (17)	304 (18)	183 (22)	746 (17)	498 (17)	244 (18)
16-64歳	1,270 (58)	971 (58)	495 (58)	2,830 (64)	1,885 (65)	879 (63)
65歳以上	544 (25)	413 (24)	174 (20)	842 (19)	513 (18)	263 (19)
計	2,189	1,688	852	4,418	2,896	1,386

を経験的に与えている。

一方、近年は避難シミュレーションと津波シミュレーションを連成させた研究が行われており、有川ら⁹⁾はポテンシャル理論に基づく避難シミュレーターの歩行速度に、津波シミュレーションより得られた浸水深を反映させたモデルを構築し、岩手県釜石市及びチリ国イキケ市を対象とした避難シミュレーションを実施している。また、須賀ら⁷⁾や二瓶ら⁸⁾は水深あるいは流速による歩行速度への影響について水路を用いた水中歩行実験より検討しており、目黒ら⁹⁾は実験結果⁷⁾に基づく歩行速度減衰モデルを提案し、津波災害時の避難シミュレーションを実施している。ただし、市街地レイアウトまで考慮した津波シミュレーションと避難シミュレーションを組み合わせた研究については、まだ行われていない。

そこで本研究では、岡山市を対象として市街地レイアウトおよび堤防沈下を考慮した津波氾濫解析を行い、津波到達前後の浸水特性を予測するとともに、津波到達直前の浸水状況下での避難経路および避難時間について検討を行った。

2. 対象津波および対象領域の地形概要

2.1 対象津波

南海トラフの巨大地震モデル検討会(2012)¹⁰⁾では11の震源ケースが推定されている。本研究では工代ら⁴⁾と同様に岡山県山田港に到達する推定津波高が最も大きい四国沖に大すべり域を設定したケース④を対象地震としてシミュレーションを行った。

2.2 計算領域

計算領域は、図-1に示す児島湾および児島湖北部の沿岸域を含む範囲とした。児島湾には旭川、百間川、吉井川の三川が注いでおり、児島湾と児島湖は長さ1558m、幅30mの締切堤防により分断されている。また、海岸沿いには天端高T.P. 3~4mの堤防が設置されている⁴⁾。

また、本解析では、浸水範囲だけでなく避難経路や避難時間を予測するために、旭川左岸側の河口付近東西4km、南北4kmの範囲(図-1白破線枠)の建物および主要な道路の配置を詳細に再現した。図-2に主要な道路および岡山市が設定している避難所を示す。また、表-1は、図-2の赤枠で示した各学区内の年齢3区分別人口を示している¹¹⁾。各学区ともに約20%が65歳以上となっており、特に西側海岸付近のd学区の人口密度が高くなっている。

3. 氾濫解析

3.1 計算モデル

浅水流方程式を基礎式として用い、三角形非構造格子を用いた有限体積法で離散化を行った。数値流束はGodunov系手法のRiemann解法の一つである修正型のRoe法¹²⁾により与えた。

本研究の計算領域は岩手県釜石市と比較し、建物密集度が低く範囲も広い⁵⁾ため、赤穂ら¹³⁾が提案した仮想的な透過壁をもつ建物ブロックモデルを採用した。本モデルでは、図-3のように主要な道路の側線と格子線を一致させ、次式よりフラックスを与える。

$$Q = \begin{cases} S_p V_p & \text{if } h_{out} > h_{in} \\ -S_p V_p & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{where} \begin{cases} S_p = C \times \frac{h_{in} + h_{out}}{2} B \\ V_p = \sqrt{2g|h_{out} - h_{in}|} \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 S_p は透過面積、 V_p は透過速度、 h_{out} と h_{in} はそれぞれ境界線の外側と内側の水深、 B は当該セル境界長さである(図-4)。また、 C は透過係数を表しており、図-5のように道路側線で囲まれた閉曲線(建物ブロック)内の面積 V_g と含有する建物の面積の総和 V_b の比より得られる建物占有率 V_b/V_g を用いて次式より与える。

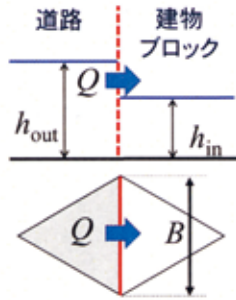


図-4 透過フラックス



図-5 建物占有率の概念図

$$C = C_0 + C_V \cdot \left(1 - \frac{V_b}{V_g}\right) \quad (3)$$

ここに、 C_0 は基準の透過係数、 C_V は面積比に対する透過係数を表しており、本研究ではともに 0.01 を与えた。

3.2 計算条件

(1) 地形および道路側線

計算領域の標高および粗度係数は内閣府が公開している 10 m 格子のデータをもとに作成した。ただし、建物再現エリアについては、国土交通省が示している手引き¹⁴⁾に示されている「その他(道路, 空地)」の粗度係数 $0.025 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$ と内閣府のデータを比較し、小さい方の値を採用した。さらに、岡山県の津波浸水想定²⁾では地震発生直後に堤防が 75% 沈下する条件で想定を行っており、本研究でもそれに従う。また、岡山県危機管理課が公開した液状化危険度マップ³⁾によると、旭川左岸両岸付近に位置する工業地帯は液状化危険性が非常に高い地域に分類されている。さらに、内閣府の南海トラフの巨大地震モデル検討会¹⁵⁾では、旭川河口付近の液状化による地盤沈下量が約 0.3 m と推定されている。以上を踏まえ、盛土堤防の沈下に加え、工業地域の地盤を一律に 0.3 m 引き下げで解析を実施した。

道路側線および建物の輪郭線は、国土地理院が提供する基盤地図情報基本項目に含まれる道路線データを基盤地図情報ビューアよりシェープファイルに変換し、幅 3.5 m 以下の細い道を取り除いた主要道路(図-2)のみを解像した。道路側線で囲まれた建物ブロック毎に式(3)より算出した透過係数 C を与えた。図-6 に建物占有率の分布を示す。南部の建物占有率が高くなっているが、概ね 0.5 以下となっており空地等が多い領域となっている。また、北部は農地となっており、建物の影響は非常に小さいと考えられる。そこで、建物占有率が 0.2 以下の建物ブロックは排除し、粗度でのみ抵抗を考慮した。

(2) 計算格子

計算格子は、前述の道路側線データを自動格子生成ソフトにより、格子線が各境界線に沿うように作成した。格子サイズは建物再現領域で約 5 m、

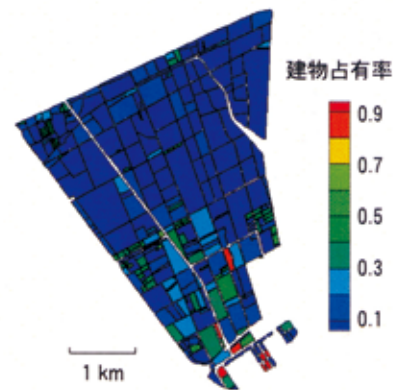


図-6 建物占有率の分布

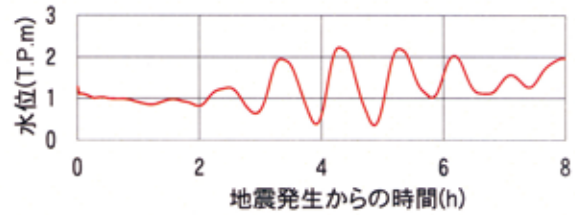


図-7 湾口境界からの入力波形

その他の陸域は約 300 m、河道内は約 50 m、海域は約 70 m とした。格子数は 747,116 個である。

(3) 初期条件および境界条件

児島湖の水位は通常約 T.P. -0.5 m になるように岡山県によって管理されているため、本研究での初期水位もこの値に設定した。一方、児島湾の初期水位は「平成 24 年気象潮位表」の山田港における年間最高潮位である T.P. 1.29 m とした。河川の初期水位も同じく T.P. 1.29 m とした。

湾口境界からの入力波形は、工代ら¹⁶⁾と同様の波源を含む広領域津波伝播解析を別途行い、図-1 に示す湾口境界線を四等分する三点の水位の平均値より求めた。また、計算時間は地震発生から 8 時間後までとした。図-7 に流入境界の入力波形を示す。地震発生から約 2 時間半後に第一波が到達し、同程度の津波が 5 回到達した。

3.3 計算結果および考察

(1) 津波到達前の浸水深分布

図-8 に第 1 波到達直前となる地震発生から 150 分後までの浸水深分布の時間変化を示す。堤防沈下により海岸線あるいは河川から浸水し、各境界線より 1.5 km 程度の地点まで浸水域が到達している。浸水深は 0.5 m 以下の領域が多く、海岸付近では 1.5 m 程度に達する領域もあるため、歩行での避難が不可能あるいは可能ではあるものの避難速度は大きく低下すると考えられる。

(2) 津波到達後の最大浸水深分布

図-10 に第 2 波から第 5 波到達後の最大浸水深の分布を示す。また、併せて堤防沈下を考慮しない最大浸水深分布を図-9 に示す。堤防沈下を考慮しない場合は、浸水域は海岸線より 2.5 km 程度で留まっており、浸水深も概ね 1 m 以下となった。一方、堤防沈

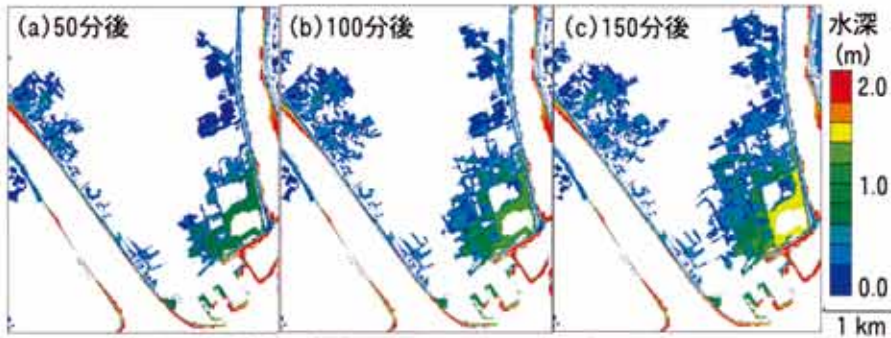


図-8 津波到達前の浸水深分布の時間変化

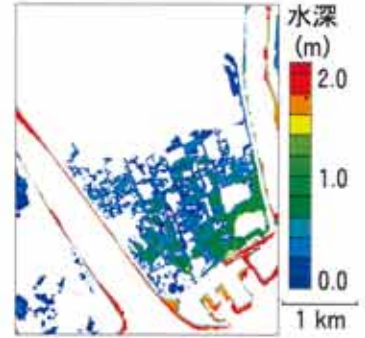


図-9 津波到達後の最大浸水深分布 (堤防の沈下なし, 400分後)

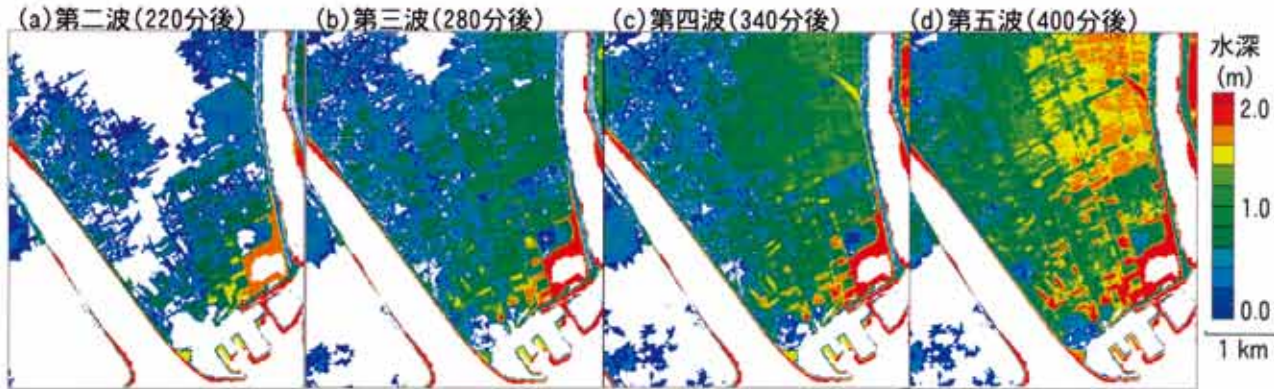


図-10 津波到達後の最大浸水深分布 (堤防沈下あり)

下を考慮した場合は、深水域が海岸線から約4kmの地点まで到達しており、最大浸水深は東側で2m以上に達した。また、図-7が示すように、第2波から第5波のピーク水位は同程度であるが、浸水域は第5波到達以降も拡大した。これは、堤防沈下による影響は、最大浸水深の上昇による被害拡大だけでなく、被災時間の長期化を示唆している。

(3) 計算モデルによる流況の違い

図-11に建物の影響を粗度で考慮した従来モデルによる最大浸水深差の分布を示す。なお、従来モデルによる最大浸水深の分布は、岡山市による解析結果²⁾と概ね一致した。本解析結果は、東部での浸水深差が大きくなっているが最大で2cm程度となった。本解析範囲では建物密集度が低いため、最大浸水深分布の差が生じていないと考えられる。ただし、図-12に示す局所的な流況については、本解析モデルでは、氾濫水が道路に集中している様子が確認でき、従来モデルよりも再現性が高いと考えられる。

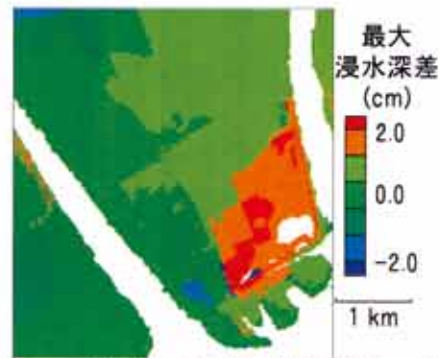


図-11 粗度モデルとの最大浸水深の差

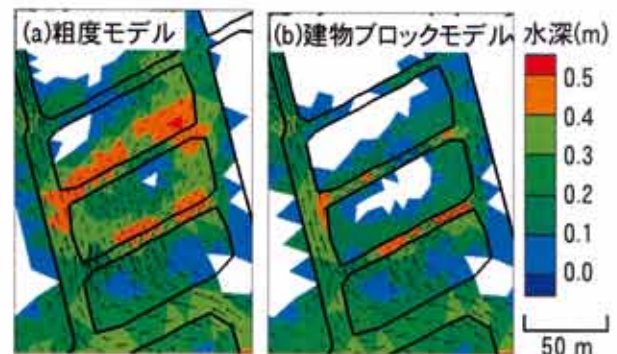


図-12 粗度モデルとの局所的流況の比較

4. 避難時間の検討

4.1 検討方法

前章で示した氾濫解析結果を用いて、浸水を考慮した避難モデルによる避難時間の検討を行った。本研究では、避難時の歩行速度を以下に示す目黒ら⁹⁾の歩行速度減衰モデルより与えた。

$$U = U_{\max} \left| 1 - \frac{H}{H_{\max}} - \frac{V}{V_{\max}} \right| \quad (4)$$

ここで、 H_{\max} は歩行限界水深、 V_{\max} は歩行限界流速、 U_{\max} は最大歩行速度を示す。また、 H は水深、 V は水の流速、 U は歩行速度を表している。

建物再現領域内の計36箇所の交差点を「始点」とし、図-2に示した計9箇所の避難場所のうち、式(4)

表-2 歩行速度減衰モデルに用いる係数の設定

	歩行限界水深 H_{max} (m)	歩行限界流速 V_{max} (m/s)	最大歩行速度 U_{max} (m/s)
成人男性	0.7	2.5	1.5
成人女性	0.5	2.0	1.3
高齢者	0.3	1.5	1.2

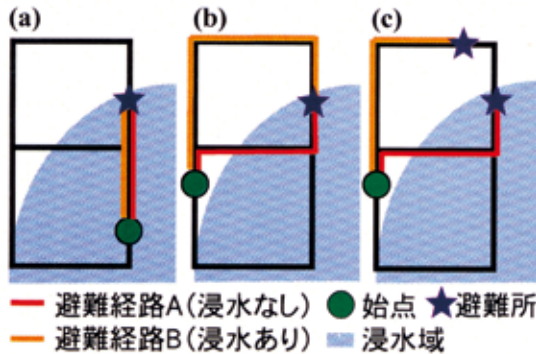


図-13 浸水による避難経路の変化のパターン：
(a)避難経路・場所の変化なし、(b)避難経路が変化、
(c)避難場所が変化

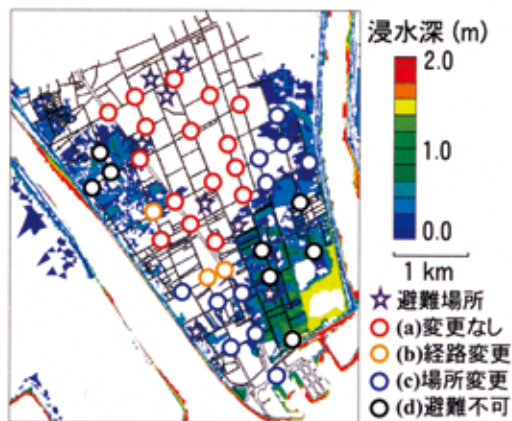


図-14 浸水による避難経路変化の分布図
(高齢者のケース)

の歩行速度を用いて最短時間で到達できる避難場所を「終点」として検出した。以降、始点から終点に至るルートを「避難経路」、要した時間を「避難時間」と定義する。本研究では、 H_{max} 、 V_{max} 、 U_{max} について表-2 に示す成人男性、成人女性、高齢者の3 ケースについて検討した。また、道路上の水深および水の流速は、避難経路および避難時間の変化が最も顕著になると考えられる津波到達直前の地震発生から 150 分後の計算結果 (図-8(c)) を用いた。

4.2 検討結果

(1) 避難経路

浸水の影響を考慮することにより、図-13 に示す3パターンが発生する可能性がある。ここで、赤線は

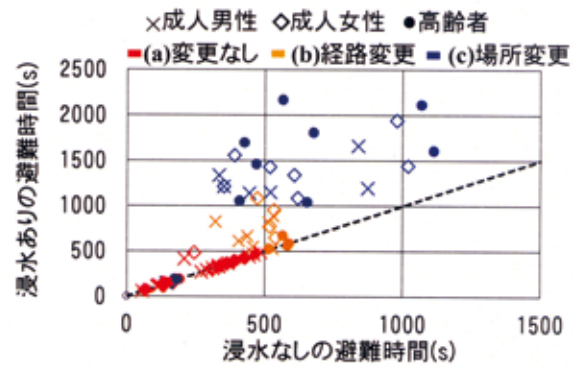


図-15 避難時間の比較

表-3 学区ごとの避難時間の平均値および避難時間比
(単位 上, 中段: 秒, 下段: -)

	a	b	c	d	e	f
浸水なし	339	235	532	485	517	361
浸水あり	530	235	694	746	1160	756
避難時間比	1.6	1.0	1.3	1.5	2.2	2.1

浸水を想定しない場合の避難経路 A, 黄線は浸水を想定した場合の避難経路 B を示す。(a)は浸水により避難時間は増加するが避難場所、避難経路ともに変化しない；(b)は浸水により避難場所は変化しないが避難経路が変化する；(c)は浸水により避難場所が変化することで、避難経路も変化する。

図-14 は、歩行速度が最も遅く避難時間を要する高齢者を対象とした場合の浸水を考慮することによる避難経路変化の分布を示す。赤点は「(a)避難経路の変更なし」、黄点は「(b)避難場所は変化せず避難経路が変化」、青点は「(c)避難場所変更による避難経路が変化」を示している。また、灰点は浸水により「(d)避難不可能」になった始点を示している。図-2 に示した学区と比較すると、特に e,f 学区では、地震発生から 150 分後には、ほぼ全域で避難不可能になることが分かる。また、図-9 より f 学区は、最大浸水深が 2 m 以上となる領域であるため、迅速な避難行動が必要であると考えられる。

このように、市街地レイアウトを考慮した氾濫解析結果を用いることで、浸水による避難経路の変更について、より詳細な検討が可能となる。

(2) 避難時間

図-15 は、浸水を考慮することによる避難時間の比較を示している。避難場所が変化した場合に避難時間が大きく増加する傾向が確認できる。また、今回検討した始点の場合では、最大で約 28 分増加している。さらに、歩行速度が遅い高齢者の場合は、避難時間の増加率が高いだけではなく、避難場所の変更が必要な始点が増加することが明らかとなった。

図-2 に示した学区ごとの避難時間の平均値および

避難時間比を表-3 に示す。ただし、避難時間の平均値は、表-1 に示した年齢 3 区分人口に学区ごとの平均避難時間を乗じた値の平均値を示している。なお、男女比は全ての学区で 1:1 と仮定した。浸水を考慮しない経路 A による避難時間は、占有面積が広く避難場所が 1 箇所のみである c 学区が最大となるが、浸水を考慮した経路 B の場合では、占有面積が狭く避難場所が 2 箇所ある e 学区が最大となった。このことより、効果的な避難場所の設定には、占有面積に対する避難場所を増やすという従来の常識的な設定方法ではなく、上記の避難時間比を考慮することが有効であると考えられる。

今後、本解析モデルに基づく時間的な氾濫域の拡大を考慮に入れ、避難開始時刻の違いによる避難経路・避難時間について検討することで、より実用的な避難計画作成ツールの構築が可能になると考えられる。

5. 結論

本研究では、岡山市南部地域を対象に南海トラフ地震津波を想定した氾濫解析および避難時間の検討を行った。以下に、本研究より得られた主な結論を示す。

1. 液状化による堤防沈下を想定した氾濫解析を行ったところ、津波到達前までに海岸線より約 1.5 km の領域まで浸水することが明らかとなった。
2. 湾口での最大波高は 2.2 m 程度であるが、同等の津波が計 5 回到達することで、浸水領域は地震から 8 時間後まで拡大することが明らかとなり、岡山市では最大波高ではなく水位上昇の長期化による浸水被害を考慮した避難計画の立案が重要であることが示唆された。
3. 氾濫解析結果に基づく歩行速度減衰モデルにより、避難経路および避難時間について検討した結果、浸水によって避難時間が平均 1.6 倍、最大で 28 分増加することが明らかとなった。
4. 1 から 3 の結論より、本研究で用いた市街地レイアウトを考慮した氾濫解析モデルは、浸水を考慮した避難計画の検討に有効なツールであることが示された。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフの地震活動の長期評価（第二版），2012。
- 2) 岡山市，津波ハザードマップについて【平成 25 年 8 月作成】，URL:http://www.city.okayama.jp/soumu/bousai/bousai_00180.html。
- 3) 岡山県危機管理課，南海トラフ巨大地震による震度分布図・液状化危険度分布図について，URL:<http://www.pref.okayama.jp/page/308887.html>。
- 4) 工代健太，吉田圭介，前野詩朗：南海トラフ巨

- 大地震を想定した岡山市の津波遡上解析，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.70, No.2, I_289 - I_294, 2014。
- 5) 赤穂良輔，石川忠晴，畠山峻一，小島崇，都丸真人，中村恭志：岩手県釜石市街地における 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の氾濫解析，土木学会論文集 B1(水工学)，71(1)，16-27, 2015。
 - 6) 有川太郎，大家隆行：数値波動水槽と連成した避難シミュレータによる避難行動特性についての検討，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.71, No.2, I_319-I_324, 2015。
 - 7) 須賀堯三，上阪恒雄，吉田高樹，浜口憲一郎，陳志軒：水害時の安全避難行動（水中歩行）に関する検討，水工学論文集，Vol.39, 1995。
 - 8) 水野力斗，二瓶泰雄：様々な環境条件下における水害避難時の歩行速度に関する実験的検討，土木学会論文集（水工学），Vol.72, No.4, 2016。
 - 9) 目黒公郎，織田浩平：津波災害時の避難行動シミュレーションモデルの開発，生産研究（研究速報）57 巻 4 号，2005。
 - 10) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）津波断層モデル編—津波断層モデルと津波高・浸水域等について—，2012。
 - 11) 岡山市，町丁別，男女・年齢別住民基本台帳（平成 28 年），URL:http://www.city.okayama.jp/kikaku/kikaku_00304.html。
 - 12) Roe, P. J. : Approximate Riemann Solvers, Parameter Vectors, and Difference Schemes, *J. Comput. Phys.*, Vol. 43, pp. 357-372, 1981。
 - 13) 赤穂良輔，石川忠晴，張秋松：半透過建物群モデルを用いた釜石市街地の津波氾濫解析，日本流体力学会年会，2015。
 - 14) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室，国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室：津波浸水想定設定の手引き，Ver.2.0, 2012。
 - 15) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）強震断層モデル編—液状化可能性，沈下量について—，2012。
 - 16) 工代健太，前野詩朗，赤穂良輔，吉田圭介：南海トラフ地震下の鳴門・明石海峡部の津波波形を用いた岡山市に襲来する津波の予測モデルの検討，水工学論文集，第 60 巻，2016。

近世福山藩によって築造された別所砂留の保存・活用に向けた実態調査

岡山大学大学院環境生命科学研究科
樋口 輝久

1. はじめに

広島県福山市は、国登録有形文化財の堂々川の砂留群に代表されるように、江戸期の砂防堰堤（砂留）が数多く現存している全国でも希な地域である¹⁾。これまでに明らかになっている福山藩の砂留は、市東部の旧神辺町と中央部の蔵王、赤坂、山手地区に計 35 基であったが（時期不明、近代も含めれば 49 基）²⁾、2009 年～2014 年にかけて、旧芦田町福田の別所地区の五入道川で、一気に 36 基の砂留が地域住民の手によって発見された。

別所砂留の特徴は、その数もさることながら、これまでの記録を更新する大型の砂留から比較的小規模なものまでが現存していることに加え、アーチ形状や様々な形態の水通しを持つなどバラエティーに富んだ形式が見られることである。それによって、平成 27 年（2015 年）度の土木学会選奨土木遺産にも認定された。別所砂留のもう一つの特徴は、地元の有志やボランティアによって、砂留の積極的な保存整備活動が行われ、市民や地元の小中学生に対して見学会を開催するなど啓蒙活動も行われている点である。

しかしながら、一夏を越すと石積みに草が生い茂り、砂留の表面が見えなくなる状況では、毎年、定期的に草の除去作業が必要になるが、現在は、地元住民のボランティアによって活動が成り立っていること、さらに参加者の平均年齢が高く、今後、継続的に活動していくためには何らかの対策が必要な状況である。そのため、砂留を文化財指定することによって、保存の道筋を付け、制度的に行政のサポートが得られるシステムを構築しておく必要がある。その一助として、別所砂留を文化財指定するために必要な基礎情報を明らかにすることを本研究の目的とする。具体的には、①砂留の 3D レーザースキャナ計測を実施し、図面を作成する。規模（堤長、堤高）を把握する。②別所砂留に関する古文書を収集し、その内容を分析して、築造年代の特定をはじめ、砂留築造の社会的・歴史的・技術的背景を明らかにする。

2. 地域住民による別所砂留の発見と保存整備活動

(1) 砂留の発見

2009 年 11 月、地元の古老から五入道川の奥に 13 ヶ所の砂留があると聞いた岡田紀幸氏、光成良秀氏の 2 名が、半世紀もの間、手入れがなされていない鬱蒼と茂った山中に分け入り、砂留の踏査を開始した。草木の伐採をしながらの山道整備は、1 日に 40m しか進まない日もあったというが、徐々にメンバーも増え、目星を付けて、沢に降りては石積を確認していった。2012 年までに 14 基の砂留が確認され、言い伝えの“13 ヶ所”を超えていた。その後も、さらに発見され、2014 年 2 月までに計

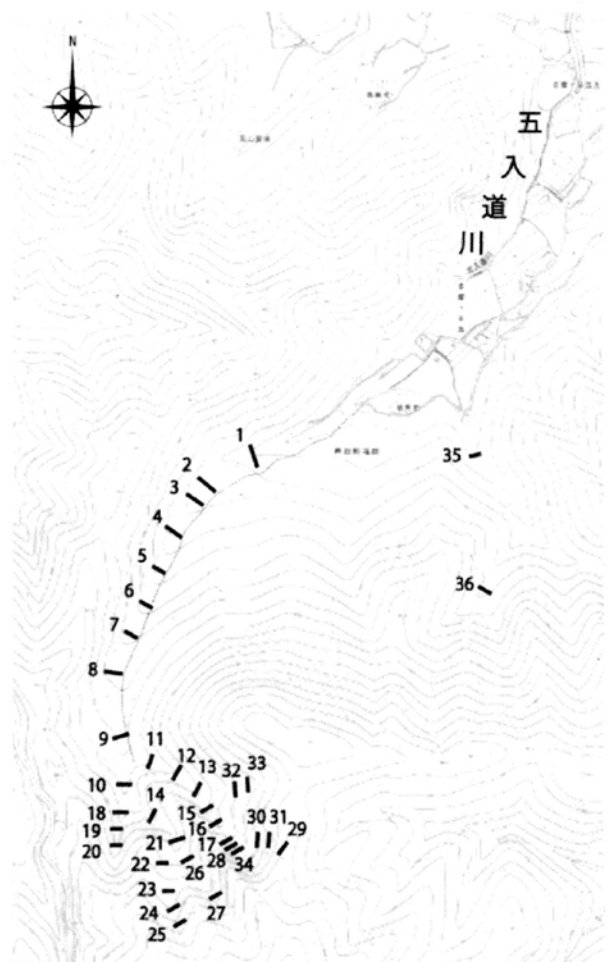


図-1 別所砂留の分布図（国土地理院公共測量地図に加筆）

36基の砂留が確認された(図-1)。谷を横切るように築造された大型の14基については、言い伝えを元に下流から順に、一番砂留、二番砂留、…と名付け、比較的小規模で沢の奥に残る22基については、便宜上、発見した順に十五番から番号が付けられた。

(2) 保存整備活動

砂留の全貌が明らかになるに従って、先人の遺業に感心するとともに地域の資産としての認識が高まり、2011年からは地元の別所町内会や福相学区ボランティアの会から毎回20～40名の有志が作業に加わった。草刈機やチェーンソー等の機械はすべて個人の持ち出しである。作業は山道の整備から始まり、砂留周辺の樹木の伐採、そして、長年にわたって石積の上に厚く堆積した土砂を除去し、急斜面の水通し部はロープにつかまりながら石の目地に生えた草を手作業で除去していった(写真-1)。一夏を越すと石積が見えなくなるほど草が伸びてくるため、継続的な作業が必要で、農閑期を中心に年10回程度、多い年は20回以上整備作業を実施している。

なお、2015年9月に土木学会選奨土木遺産に認定されたのに合わせて、「別所砂留を守る会」が結成された。



写真-1 整備作業の様子 (五番砂留)



写真-2 選奨土木遺産認定記念碑の除幕式の様子

(3) 啓蒙活動

2013年3月、一般向けに初めて見学会を開催し、120名が参加した。その後も案内看板や仮設トイレを設置し、見学者の受け入れ体制を整え、他学区の団体や新聞社主催のウォーキングツアーを案内するなど別所砂留のPR活動を実施してきた。2016年3月には、選奨土木遺産認定の記念碑を設置し、見学会と併せて、除幕式を行った(写真-2)。参加者は過去最高の210名にのぼった。「別所砂留を守る会」のメンバーの多くが、地域を愛する定年退職後の人々で、継続的に活動を行って行くためには、後継者の育成が課題である。子供達に地域の歴史を伝え、関心を持ってもらうため、2015年3月からは地元の小中学校の学習に組み込み、生徒達の案内を始めた。また、「砂留通信」を2014年1月から2016年3月までに計9回発行し、学区内の全1200戸に配布するなど啓蒙活動も積極的に行っている。

3. 別所砂留の実態

(1) 別所砂留の構造と規模

堂々川砂留は、全体が石積となっているのに対して、別所砂留は一部を除き、水通し部分が石積で基本構造は土堰堤となっている。さらに、選奨土木遺産の認定理由にもなったように、様々な形式が見られるのも大きな特徴である。一番砂留は中央部に急傾斜の水通しがあり、下方にいくに従って幅が細くなっている(写真-3)。三番は右岸側に一定勾配のやや狭い水通しがあり、唯一、下端部が巻石状になっている(写真-4)。四番は堤長の半分程度が階段状の水通しとなっている(写真-5)。五番は左右に水通しが2ヶ所ある。六番は途中で傾斜が変化した緩やかな水通しがあり、そこから続く堰堤下部にも石積が施してある。七番は急傾斜の水通しを有し、右岸側の上部には巨石による石組が確認できる。八番は途中で傾斜が変化した水通しと左岸側の堤体表面の一部が石積となっている(写真-6)。また、唯一上流面の石積も確認できる(写真-7)。なお、七番、八番は使用された石材の大きさや組み方から、一度破堤した後、修復の際に現在の水通しを設けたものと推測される。九番の天端はきれいなアーチ状をなしており、水通しの幅は狭く、背が高い(写真-8)。十番砂留はほぼ全幅が水通しになっており(写真-9)、自然の勾配に沿って石が敷かれ(写真-10)、天端は緩やかなアーチ状になっている。十四番砂留は、最奥部に位置し、下部は地形に沿って、上部は階段状の水通しとなっている。



写真-3 水通しの下方が細くなっている一番砂留



写真-7 上流面の石積が見える八番砂留（上流側）



写真-4 水通しの下端部が巻石状になった三番砂留



写真-8 アーチ状の九番砂留（ドローンによる空撮）



写真-5 水通しが階段状になった四番砂留



写真-9 最大規模の十番砂留



写真-6 水通しの勾配が変化している八番砂留（下流側）



写真-10 自然の斜面に沿った石積の十番砂留（上部）

(2) 別所砂留の実測調査

砂留の規模を把握するため、大規模で水通しを有する14基の砂留について、2015年7月に測量を実施した。その結果は表-1の通りである。堤長は水通し部分ではなく、土堰堤の部分も含めた全長である。これまで近世砂留の最大高さを誇った堂々川六番砂留（堤高 13.3m、堤長 55.8m）より別所の十番砂留（堤高 17.62m）が高いことが明らかとなった。また、堤長についても七番砂留が堂々川六番砂留にはほぼ匹敵する規模（堤長 55.5m）であることも判明した。なお、後述する3Dレーザースキャナ計測を実施するにあたって、重機を使用して堆積した土砂を取り除いたところ、その下にも石積が確認された。したがって、堤高はさらに高くなっている。

続いて、砂留の現況を記録保存するため、2016年2月に3Dレーザースキャナ計測とドローンによる空撮を四番、八番、九番、十番砂留で実施した。3Dレーザースキャナ計測の結果については、点群データとして管理している（図-2）。さらに、その点群データをもとに、十番砂留については図面（平面図、立面図、断面図）を作成した（巻末に掲載）。

4. 別所砂留に関する記録

別所砂留が発見される前に、明らかになっていた別所砂留に関する記録は、安政3（1856）年、「福田村別所砂留普請に山手村の石築が派遣された」という三谷家文書（山手村の庄屋）のみであった³⁾。別所砂留の発見後、國頭家文書（別所村の庄屋）を検索したことによって、

現在までに3通の別所砂留に関する江戸時代の記録が見つまっている。

1つ目は、明和元（1764）年の砂留の管理に関する記録「仕ルー札之事」である。別所村の砂留管理者7名が、村役人に宛てた文書で、14基の砂留それぞれについて、長さ等の規模、担当者の名前が記されている。すなわち、明和元（1764）年までには、別所砂留が築造されていたことを意味している。

2つ目は、天保12（1840）年、洪水被害を受けた砂留を修復するための申請書「乍恐以書附ヲ奉願上候御事」である。四、五、十二番を除く各砂留の「切口長」、「上り」と「人足」が記載されており、合計は3391人に及んだ。

3つ目は「別所拾三ヶ処普請人足着帳」で、弘化3（1846）年5月8日から12日までの各日の担当の「普請人」と「石築」の名前が記されている。5日間で「普請人」50人、「石築」7人が従事した。

以上の記録から、別所砂留は、明和元（1764）年にはすでに完成していて、その後、度々、修復が行われていたことが明らかになった。

5. おわりに

3Dレーザースキャナ計測については、大型で水通しを有する14基の砂留のうち、予算の都合で4基で実施しかできなかったため、少なくとも残りの10基については実施をし、記録保存をする必要がある。また、図面の作成については十番砂留1基のみであったため、3Dレー

表-1 砂留の規模

砂留	堤高(m)	堤長(m)	法長(m)
一番砂留	6.44	26.5	11.6
二番砂留	8.40	51.5	18.3
三番砂留	3.77	55.0	21.0
四番砂留	10.98	46.5	15.0
五番砂留	6.50	51.0	15.0
六番砂留	4.75	32.0	9.0
七番砂留	8.74	55.4	16.0
八番砂留	7.75	53.0	15.2
九番砂留	12.01	32.0	21.0
十番砂留	17.62	32.0	32.5
十一番砂留	7.78	19.5	13.2
十二番砂留	9.04	22.9	15.5
十三番砂留	10.01	31.0	16.2
十四番砂留	12.49	22.0	18.2

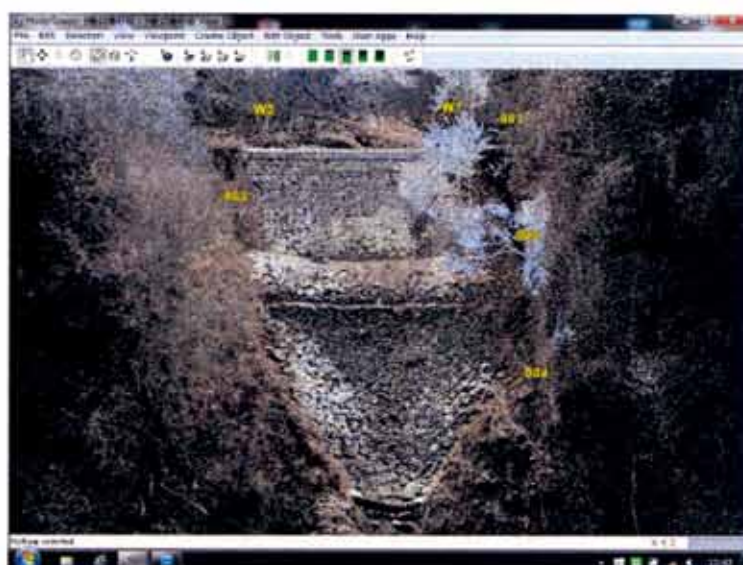


図-2 十番砂留の点群データ（表示画像）



図-4 天保12 (1840) 年「乍恐以書附ヲ奉願上候御事」(國頭家文書)

ザースキャナ計測を終えたものから順次、作成したい。

文献調査については、さらに関係各所の検索を行い、各砂留の築造時期、改修の時期とその具体的な箇所の特定制と合わせ、洪水の被害状況を記した記録の発見に努めたい。

以上、計測による記録保存と文献調査による裏付けをすすめ、別所砂留の恒久的な維持管理ができるよう文化財指定をめざしたい。そして、別所砂留が地域資産として、広く活用され、地域の活性化に役立つことを期待したい。



図-3 明和元 (1764) 年「仕ル一札之事」(國頭家文書)

謝辞：本研究を遂行するにあたって、多大なるご支援を頂きました八雲環境科学振興財団に感謝いたします。また、光成良秀氏を会長とする「別所砂留を守る会」の皆様には様々な面でご協力を頂きました。文献に関しては、山名洋通氏、田口由美氏の研究成果を利用させて頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 近世以前の土木・産業遺産 (<http://kinseizen.com/>) .
- 2) 広島県：福山藩の砂留 ―その歴史的背景と構造―, 1997.
- 3) 前掲 2), p.280.



図-5 弘化3 (1846) 年「別所拾三ヶ処普請人足着帳」(國頭家文書)

立面图
3.1.136



断面图
3.1.136



平面图
3.1.136



侧面图

右侧面
3.1.136

左侧面
3.1.136



3.1.136 00



生態系を酵素レベルで模倣した酵素複合反応系を用いる バイオリファイナリー技術の開発と資源再利用への応用

岡山理科大学大学院理学研究科 教授 石原 浩二

I. 研究目的

二十世紀は、人々が豊になるために数多くの化学物質が製造され、利用されてきた「大量消費」の時代であり、また、同時に多くの環境問題が発生した「汚染」の時代でもあった。人間が生み出した化学物質が地球環境を汚染し、人類だけでなく多くの野生生物の活動に多大な影響を及ぼしていることは明白であり、さらに、利益優先を重視するあまりに、地球資源の枯渇や製造過程で発生する廃棄物、特にバイオマス処理に関連する諸問題も無視できないほど深刻になりつつある。

これら反省を踏まえ、現代においては、環境保全・資源循環の実現に向けた「省エネルギー・環境調和型物質生産システム」の早期確立が望まれており、世界的規模での基礎的・実用的研究が進められている。特に、資源に乏しい日本では、現有資源の有効活用に関する研究は時代的急務であり、資源の有効活用も視野に入れたバイオマス利用に関連する手法の早急な開発が求められている。

このような中、日本各地でバイオマス有効利用に関する研究が進められているが、木質系バイオマス活用事業は実用化に至っていない。この現状を打破する試みとして、木質バイオマスを用いたバイオマス複合プラスチックの製造が試みられているが、バイオマスの加工準備において、従来の一般的な手法（酸やアルカリを多用する化学的手法）では、環境への負担軽減などの解決すべき課題が山積したままである。一方、遺伝子組換え微生物を活用した生物化学的手法に基づく木質バイオマス処理に関する研究についても進められているが、生物多様性の観点から、組換え体の利用はハードルが高く、実用化は難しいのが現状である。

そこで本研究は、申請者のこれまでの研究成果を活用しつつ、自然界の生態系（エコシステム）における物質の分解・再循環過程を参考にし、土壌微生物が産生し、細胞外へ分泌する各種酵素を組み合わせた「酵素複合反応システム」を構築し、バイオマスの分解へと利用することで、木質系バイオマスの効率的、かつ、環境に配慮したバイオリファイナリー（バイオマスの再資源・再利用化）技術を開発することを主目的とする。さらに、バイオマス分解過程で発生する生成物の機能性物質素材への応用についても検討を行い、真の循環型経済社会の構築とバイオマス再利用産業の創製へと貢献することを最終目標とする。

本年度は、担子菌、特に、食用キノコ類を中心に、木材の重要成分であり、難分解物質とされるリグニンに対する分解能力を調査し、バイオリファイナリーへの応用について検討したので、その結果を報告する。

II. 実験方法

1. 実験材料など

実験でしようした食用キノコ類は、独立行政法人製品評価技術基盤機構・バイオテクノロジーセンター（NBRC）より購入し、申請者の研究室で保存管理している微生物ライブラリー中、食用キノコを中心とした19株を使用した。以下、表1にそれら微生物株の一覧を示した。

表1. 本研究で使用した微生物株（食用キノコ類）

NBRC No.	学術名	和名
8705	<i>Fomitopsis pinicola</i>	ツガサルノコシカケ
30372	<i>Pholiota nameko</i>	ナメコ
30522	<i>Grifola frondosa</i>	マイタケ
30528	<i>Pleurotus cornucopiae</i>	タモギタケ
30661	<i>Grifola frondosa</i>	マイタケ
30719	<i>Lenitinula edodes</i>	シイタケ
30720	<i>Lenitinula edodes</i>	シイタケ
30723	<i>Lenitinula edodes</i>	シイタケ
30724	<i>Lenitinula edodes</i>	シイタケ
30773	<i>Tricholoma matsutake</i>	マツタケ
30774	<i>Agaricus bisporus</i>	マッシュルーム
30775	<i>Lyophyllum ulmarium</i>	ブナシメジ
30782	<i>Agaricus bisporus</i>	マッシュルーム
31862	<i>Flammulina velutipes</i>	エノキタケ
31863	<i>Ganoderma lucidum</i>	マンネンタケ
32798	<i>Pleurotus eryngii</i>	エリンギ
32987	<i>Grifola frondosa</i>	マイタケ
100328	<i>Hericium erinaceus</i>	ヤマブシタケ
104985	<i>Trametes versicolor</i>	カワラタケ

以上の微生物株は、PDA（ポテトデキストロース寒天）シャーレ培地上で室温にて培養し、2ヶ月に一度の間隔で継代した。なお、カワラタケはリグニン分解能を有する白色腐朽菌として有名であるので、比較のためにリストに入れた。

2. シャーレ培地上でのリグニン分解能力の調査（1次スクリーニング）

難分解性物質の一つである青色色素、レマゾールブリリアントブルーR（RBBR）をリグニン分解の指標化合物として利用した。1 mM RBBR 含有-1/10 PDA シャーレ培地（ポテトデキストロースは規定の1/10量）に表1の微生物を植菌し、培地中のRBBR色素が分解されて脱色するかどうかを肉眼で確認し、リグニン分解能力を有した株をスクリーニングした。

3. 液体培地におけるリグニン分解能力の調査（2次スクリーニング）

RBBR 含有シャーレ PDA 培地でのスクリーニングと同様に、1 mM RBBR を含む規定の 1/10 量のポテトデキストロース液体培地を作製し、1 次スクリーニングでリグニンを分解する可能性が示唆された微生物株について液体培養を行った。暗所、室温、好氣的条件下で 12 日間培養後、濾紙を用いた吸引ろ過にて菌体を除去し、培養後の培地について分光光度計を用いて 595 nm の波長を測定し、青色色素の脱色具合を確認した。なお、RBBR を含まない培地で各微生物株を培養した後の培地を RBBR が 100% 分解されたと判断し、RBBR を含む培地で微生物株を培養していない状態の培地を RBBR 分解率 0% として、各微生物株による RBBR の残存率を算出した。

4. リグニン分解酵素群の活性測定

リグニン分解に深く関与するとされるラッカーゼ (Lac)、リグニンペルオキシダーゼ (LiP)、マンガンペルオキシダーゼ (MnP) の 3 種の酵素活性について調べた。アッセイの方法は飯盛ら、また、R. Bourbonnais らの方法に従って分光学的に測定した。

5. 酵素複合反応系の構築と木質バイオマス分解への応用

リグニン分解酵素活性で高い値を示した微生物株の培養後培地を等量混合 (10 mL ずつ混合) し、木質バイオマス分解への応用を試した。木質バイオマスとしては、ヒノキをブレンダーで粉碎後、オートクレーブしたものを使用した。ヒノキ微粉砕片 1.0 g と培養後培地 30 mL を混合し、暗所、室温、好氣的条件下で 2 週間振盪した。その後、濾紙上で吸引濾過紙、残渣を 60°C で完全に乾燥させた後に重量を測定し、分解率を算出した。

III. 結果と考察

1. シャーレ培地上でのリグニン分解能力の調査（1次スクリーニング）

1 mM RBBR 含有-1/10 PDA シャーレ培地における培養の結果について、以下の表2にまとめた。

表2. RBBR 含有 PDA シャーレ培地上での RBBR 分解のまとめ

NBRC No.	和名	RBBR分解状態
8705	ツガサルノコシカケ	×
30372	ナメコ	◎
30522	マイタケ	△
30528	タモギタケ	◎
30661	マイタケ	△
30719	シイタケ	◎
30720	シイタケ	◎
30723	シイタケ	◎
30724	シイタケ	◎
30773	マツタケ	×
30774	マッシュルーム	○
30775	ブナシメジ	◎
30782	マッシュルーム	◎
31862	エノキタケ	×
31863	マンネンタケ	◎
32798	エリンギ	◎
32987	マイタケ	△
100328	ヤマブシタケ	×
104985	カワラタケ	◎

◎よく分解した、○分解した、△あまり分解しなかった、×分解しなかった

その結果、ナメコやシイタケを中心とした15株について、目視ではあるが、RBBRの分解を確認することが出来た。

2. 液体培地におけるリグニン分解能力の調査（2次スクリーニング）

1次スクリーニングで選出した15株について液体培地で培養を行い、RBBRの分解（残存）を分光学的に測定した結果を表3にまとめた。

表 3. RBBR 含有液体培地での培養後の RBBR 残存率のまとめ

NBRC No.	和名	RBBR残存率(%)
30372	ナメコ	8
30522	マイタケ	>99
30528	タモギタケ	79
30661	マイタケ	97
30719	シイタケ	7
30720	シイタケ	1
30723	シイタケ	44
30724	シイタケ	9
30774	マッシュルーム	>99
30775	ブナシメジ	9
30782	マッシュルーム	10
31863	マンネンタケ	16
32798	エリンギ	22
32987	マイタケ	97
104985	カワラタケ	<1

液体培地中での RBBR の分解を調査した結果、NBRC30372 ナメコ、NBRC30719 シイタケ、NBRC30720 シイタケ、NBRC30724 シイタケ、NBRC30775 ブナシメジ、NBRC30782 マッシュルーム、NBRC31863 マンネンタケ、NBRC32798 エリンギの 8 株に、高い RBBR 分解能を見いだすことができた。

カワラタケはリグニン分解菌として有名であるが、本研究により、シイタケやナメコにカワラタケと同等のリグニン分解能が存在することが判明した。

3. リグニン分解酵素群の調査

液体培養で高い RBBR 分解能を示した 8 株について、ラッカーゼ、リグニンペルオキシダーゼ、マンガンペルオキシダーゼの 3 種の酵素活性について調べた結果を表 4 に示した。

表 4. RBBR 分解能を有する 8 株に関するリグニン分解酵素活性調査

NBRC No.	和名	Lac (munits/mL)	LiP (munits/mL)	MnP (munits/mL)
30372	ナメコ	1.3×10	6.0×10^{-1}	3.3×10
30719	シイタケ	9.0×10	1.0×10^{-1}	3.9×10
30720	シイタケ	not detected	1.0×10^{-1}	1.6×10^2
30724	シイタケ	not detected	1.1×10^{-1}	1.1×10
30775	ブナシメジ	2.0×10^{-1}	9.0×10^{-1}	2.9×10
30782	マッシュルーム	1.2×10^2	9.0×10^{-1}	2.6×10
31863	マンネンタケ	3.1×10^{-1}	0.4×10	2.7×10
32798	エリンギ	1.5×10	9.0×10^{-1}	2.0×10^{-1}
104985	カワラタケ	1.0×10^2	3.0×10^{-1}	1.7×10

ラッカーゼについては、NBRC30782 マッシュルームが高い活性値を示し、カワラタケを 100% とした場合に対して 116%であった。リグニンペルオキシダーゼについては、NBRC30719 シイタケ、NBRC30720 シイタケ、NBRC31863 マンネンタケの 3 株について高い値を示し、特にマンネンタケは、カワラタケの 13 倍もの値を示した。マンガンペルオキシダーゼについては、NBRC30372 ナメコ、NBRC30719 シイタケ、NBRC30720 シイタケの 3 株が高い値を示し、特に、NBRC30720 シイタケはカワラタケの 10 倍近い値を示した。

4. 酵素複合反応系の構築と木質バイオマス分解への応用

3の結果より、それぞれ、ラッカーゼ、リグニンペルオキシダーゼ、マンガンペルオキシダーゼ活性で高い値を示した NBRC30782 マッシュルーム、NBRC31863 マンネンタケ、NBRC30720 シイタケの 3 株の培養後培地を混合し、ヒノキ微粉砕片の分解へ応用した。このとき、比較対象にカワラタケの培養後培地についても調査した。

その結果、カワラタケでは 24%の分解率を示したのに対して、酵素複合反応システム（3株の混合培養液）では 27%を示し、カワラタケとほぼ同じ値を示すことがわかった。

IV. 結論

食用キノコ類についてリグニン分解の指標となる RBBR の分解能について調査した結果、ナメコやシイタケなど、8種の微生物株に高い分解能を見いだした。これら8株についてリグニン分解酵素活性を調査した結果、マッシュルーム NBRC30782, マンネンタケ NBRC31863, シイタケ NBRC30720 の3株の培養後培地に、それぞれカワラタケを越える Lac, LiP, MnP の高い活性値を見いだした。これらの培養液を混合させた酵素複合反応システムを構築し、ヒノキ微粉砕片分解へと応用した結果、効率の良いリグニン分解システムの開発に有効であることがわかった。今後は、リグニン分解酵素の比率や混合のタイミングを検討することで、さらなる効率化を目指し、遺伝子組換え技術に頼らない、自然に優しい手法、かつ、実用化しやすいリグニン分解システムの構築を目指す予定である。

V. 謝辞

本研究を行うにあたり、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の意を表します。

VI. 参考文献

1. M. Tien and T.K. Kirk, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **81**, 2280-2284 (1984).
2. R. Bourbonnais and M.G. Paice, *FEBS Lett.*, **267**(1), 99-102 (1990).
3. R. Bourbonnais and M.G. Paice, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **36**, 823-827 (1992).
4. M.G. Paice *et al.*, *Appl. Environ. Microbiol.*, **59**(1), 260-265 (1993).
5. 飯盛, 町田, 特開平 9-95885 (1997).

籾殻発泡剤を用いた高信頼性耐火断熱材の作製

Fabrication of reliable refractory materials with high thermal insulation by using foaming agent derived from rice husk

岡山大学大学院自然科学研究科 教授 岸本昭

緒言

1-1. 研究の目的

現在エネルギー問題への関心が高まり、省エネルギー対応の住宅が望まれている。常温付近の保温・保冷にはプラスチック発泡体が、耐火断熱材としては無機繊維が日常的に用いられている。後者は微小な脆性材料であるため、劣化や破砕により端面が鋭利となり、吸引すると呼吸器に健康被害をもたらす。

現行内断熱といわれる工法では、無機繊維が室内に暴露しないようにプラスチック内装を施すが、火災に際しては容易に燃焼してしまうことや、有毒ガスの発生が問題となる。より高气密とされる外断熱工法を用いた場合、高分子断熱材を貼付しようとするとはやはり燃焼しやすいという問題がある。これを不燃性の無機断熱材に代替しようとする、従来の無機断熱材は強度、熱遮断性双方に劣るため、かなりの厚みをとる必要があり、地震や経年劣化による落下の不安が残る。

申請者が既に報告している超塑性発泡法を用い、プラスチック同様の発泡体をセラミックスで実現することにより、軽量で信頼性の高い耐火断熱材を実用的な方法で作製する。これを利用し、現行の発泡ポリウレタンによる内断熱住宅同様の気密省エネ住宅を、同じくコストの安い耐火性セラミックス発泡材に代替し、延焼・有毒ガス生成・繊維吸引による健康被害がない住環境を創出することを目的とする。

新しい材料が使われるようになるためには、コストも重要な要件である。マトリックス材料に安価な原料を用い超塑性変形能を付与することにより、大部分の構成要素の低価格化は可能である。しかしながら、発泡剤にはこれまで SiC や AlN といった高純度機能材料原料が用いられてきた。体積分率は 5% 程度ではあるがこれらを安価な素材に置き換えることも低価格化には重要である。現在電子材料である SiC やシリコンの出発原料として籾殻の利用が検討されている。現状では不純物をとりのぞき機能材料の原料とするためにはコストがかかりすぎるとの課題がある。SiC を発泡剤として用いる場合大気中かなり高温で熱

処理しても得られる製品に大きな差がないことが確認されている。そこで籾殻を転換し酸素を含むような SiC が発泡剤として利用できるかどうかを検討することが本研究での目的となる。

1-2. 本研究の特色

申請者らは耐火物として知られるジルコニアセラミックスを一度焼結させ緻密な外皮を作ると同時に内部の気体のガス圧を利用して、固相のまま発泡させることに成功した。つまり、焼結後に気泡を導入することで、機械的信頼性を保ちつつ、気孔率を高めることができるようになった。この様な気密性は従来の無機繊維を用いた断熱材には見られず、気密性を持たせようとして貼付する内装材に類焼や有毒ガス発生の問題がある。また無機繊維のみでは強度を保つことができないため他の構造材料と併用する必要がある。しかし、今回開発しようとする断熱材は緻密な気孔壁を持つため、耐熱防火性と気密・断熱性、および強度を兼ね備えている。

焼結は、粒子の結合をもたらすが、同時に気孔を排除するように働くため、従来の発泡後焼結させる方法では、不十分な焼結で気孔率を確保するか、気孔率を犠牲にして粒子間結合を高めるかのいずれかであった。これに対し、超塑性を利用した焼結後の発泡させる今回の方法は、粒子間結合を低下させることではないので、高い信頼性を確保したまま高い気孔率の多孔体を得ることができる。また、有する気孔は閉気孔であり、さらに、内部は減圧となっていることが示唆されており、高い断熱効果が期待される。こうした閉気孔を高い気孔率で有する多孔質セラミックスは高分子、金属、ガラスからの類推から、融点付近でしか作製できないと考えられていた。ジルコニアの融点 2720℃といった高温での作製は、実用からほど遠く、この温度で発泡する物質（＝作製温度付近で蒸気圧が上がる）も限られていた。今回、高信頼性高気孔率の多孔体は、発泡物質を混入成形後、大気中、焼成温度で処理するという、きわめて簡単なものであり、実用性の高い方法と言える。

焼結後ガス放出し気孔を拡張させる物質として、これまで SiC や AlN が利用できていることがわかっている。しかし、市販されているこれらの材料は、主として電子材料として利用することが想定されているため、高純度化が必要となり生成のためのコストがかかる。この高純度化が籾殻を SiC や Si 源として用いるための障壁となっていた。本研究の特徴は安価な発泡剤を提供することあり、高純度化が困難であるため電子材料素子の原料として採用が見送られていた籾殻を発泡剤原料として用いることにある。

1-3. 実験の背景

籾殻 (hull, husk, chaff) とは、稲の小穂から玄米を除いて残った穎などのことをいう。また、米生産国で非常に利用可能な農業廃棄物である。年間の世界

米生産量はおよそ4億トンあり、その10%以上は籾殻である。籾殻の主な成分は、様々な気候と地理的な位置に応じて変化するが、セルロース、リグニンと灰である。適度な温度での燃焼から、アモルファスで87-97%の二酸化ケイ素と若干量の金属的な不純物を含む白い灰が得られる。籾殻は高純度のアモルファス二酸化ケイ素の優れた供給源であると考えられており、この二酸化ケイ素は、非常に純度の高いシリコン、窒化ケイ素、炭化ケイ素とマグネシウム・ケイ素化合物の合成のための良い材料であることが示されている。

2. 実験方法

2.1 マトリックス粉末の作製

マトリックス粉末には、超塑性発現が確認されている3YSZ (3mol%Y₂O₃安定化ZrO₂) に超塑性能を高めるために10mol%のSiO₂を添加したものをを用いた。この組成を得るため、3YSZ粉末 (TZ-3Y、東ソー) にコロイダルシリカ (スノーテック0、日産化学工業) を必要量加えた。10分×6回の湿式ボールミル混合後、乾燥、粉砕、ふるいがけをおこなって調製した。

2.2 籾殻由来発泡剤の作製

籾殻は岡山県産のものを利用した。すりつぶした籾殻を、開閉型管状炉 (SHIMADZU) を用いて乾燥空气中500℃で1時間焼成し籾殻灰とした。この籾殻灰に4倍のモル比のカーボンブラック (CARBON BLACK、MA220、三菱化学) を加えて乳鉢で混合した。籾殻灰と炭素の混合比は、 $\text{SiO}_2 + 3\text{C} \rightarrow \text{SiC} + 2\text{CO}_2$ の式からシリカの3倍の炭素が必要だと考えられるが、今回は確実にSiCの組成を得るためモル比C/SiO₂=4で炭素を付加した。この混合粉を、雰囲気昇降炉を用いてAr雰囲気中1500℃で3時間焼成 (昇温速度20℃/min) した。このとき強還元下で焼成するために試料をカーボンシートで覆った。このようにして得られた試料を籾殻-SiCとした。

2.3 多孔体の作製

マトリックス粉末に任意の割合でSiC発泡剤を加え、10分×7回の湿式ボールミル混合後、乾燥、粉砕、ふるいがけをおこないマトリックス粉末と発泡剤の複合粉末を作製した。φ20mmの成型器に複合粉末を2g入れ一軸加圧 (約15MPa・1分間)、CIP処理 (約125MPa・1分間) を行い、ペレットを作製した。このペレットをスーパーバーン (SUPER BURN SH, MOTOYAMA) を用いて大気雰囲気下で1600℃8時間焼成し、多孔体を作製した。

2.4 評価方法

籾殻-SiCの相同定はXRDにより調べた。

SiC粒子の粒度分布はレーザ回折式粒度分布測定装置SALD-2100 (SHIMADZU) により測定した。

多孔体の気孔率はアルキメデス法により測定し次式より算出した。

$$\text{見かけ密度} : \rho = \frac{m}{m - m_l} \rho_w$$

m : 試料の質量
 m_l : 水中での試料質量
 ρ_w : 水密度
 ρ_a : 理論密度

$$\text{気孔率} : P = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_a}\right) \times 100$$

SiC 粒子、多孔体の断面は走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope : SEM) (HITACHI) により観察した。

多孔体の熱拡散率の測定は LFA447 (Bruker) を用いてレーザーフラッシュ法により行った。熱伝導率は以下の式より算出した。

$$\text{熱伝導率} : \kappa = \alpha \rho C_p$$

α : 熱拡散率
 C_p : 比熱
 ρ : 密度

多孔体の弾性率の測定は三点曲げ試験により行った。算出は以下の式で行った。

$$\text{弾性率} : E = \frac{l^3}{4wt^3} \times \frac{1}{Y}$$

l : ギャップ間距離
 w : 試料の幅
 t : 試料の厚さ
 Y : 応力・歪み曲線の傾き

3. 靱殻-SiC の特性

3.1 靱殻-SiC の XRD パターン

2.2 で得られた靱殻-SiC の XRD 図を図 3-1 に示す。単相の SiC が得られたことがわかった。

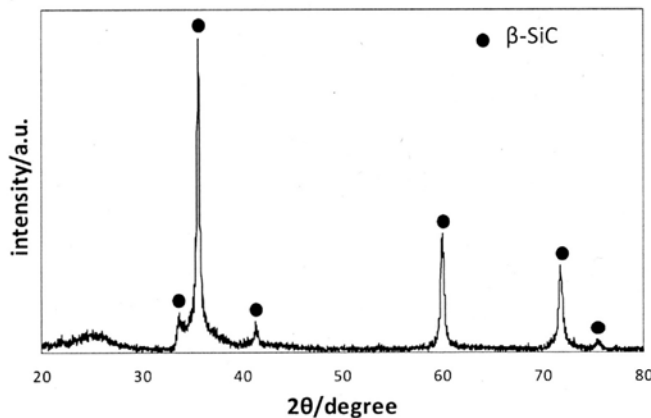


図 3-1 靱殻-SiC の XRD パターン

3.2 靱殻-SiC の SEM 画像

図 3-2 に β -SiC と靱殻-SiC の SEM 画像を示す。これより求めた一次粒子の平均粒径はそれぞれ $0.4\ \mu\text{m}$ 、 $0.05\ \mu\text{m}$ であった。

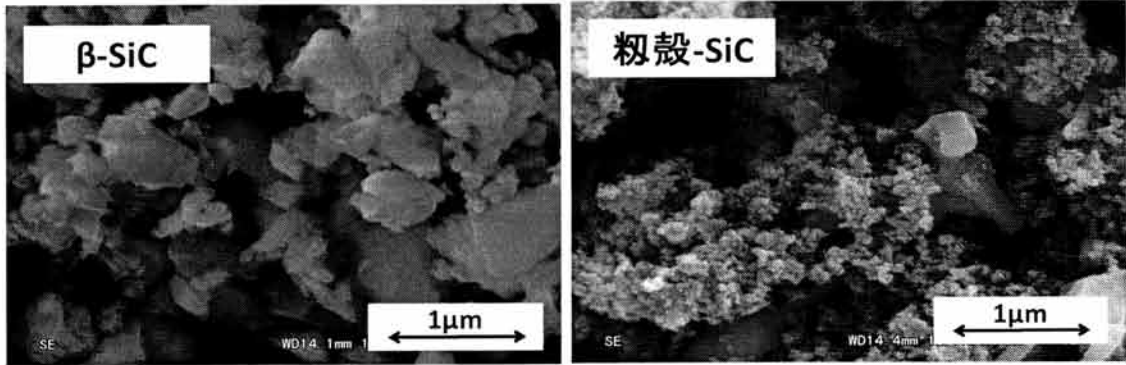


図 3-2 SiC 粒子の SEM 画像

3.3 靱殻-SiC の粒度分布

β -SiC と靱殻-SiC の粒度分布を図 3-3 に示す。これより求めた二次粒子の平均粒径はそれぞれ $0.7\ \mu\text{m}$ 、 $25\ \mu\text{m}$ であった。SEM 画像から求めた一次粒子の平均粒径と比較すると、 β -SiC は二次粒子がわずかに大きい程度であったが、靱殻-SiC は 500 倍ほどの大きさであった。このことから、靱殻-SiC は凝集して粒径の 500 倍ほどの大きさの塊となって存在していることがわかった。

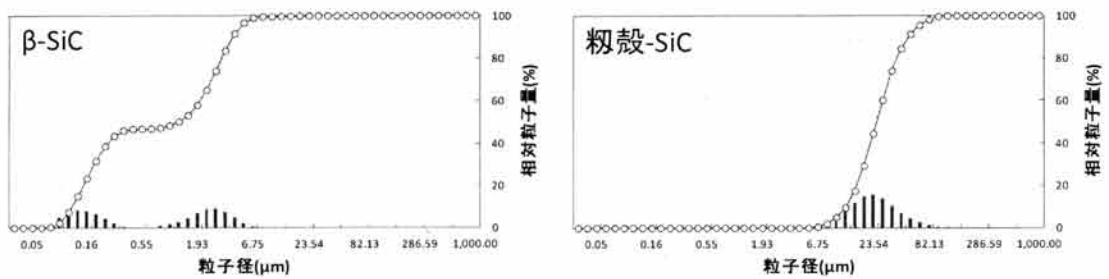


図 3-3 SiC 粒子の粒度分布

3.4 粉殻-SiC を発泡剤とした多孔体

発泡剤として β -SiC、または粉殻-SiC を使用した多孔体について気孔の様子を比較した SEM 画像を図 3-4 に示す。平均気孔径は β -SiC 多孔体が $10\mu\text{m}$ 、粉殻-SiC 多孔体が $15\mu\text{m}$ であった。発泡剤の粒径が小さい粉殻-SiC 多孔体は気孔径も小さくなると考えていたが、むしろ大きくなった。これは 3.3 で述べたように粉殻-SiC 粒子は凝集して存在しており、その大きな塊が発泡するため、一つひとつの気孔も大きくなったと考えられる。粒子の凝集状態の違いによる発泡のイメージ図を図 3-5 に示す。

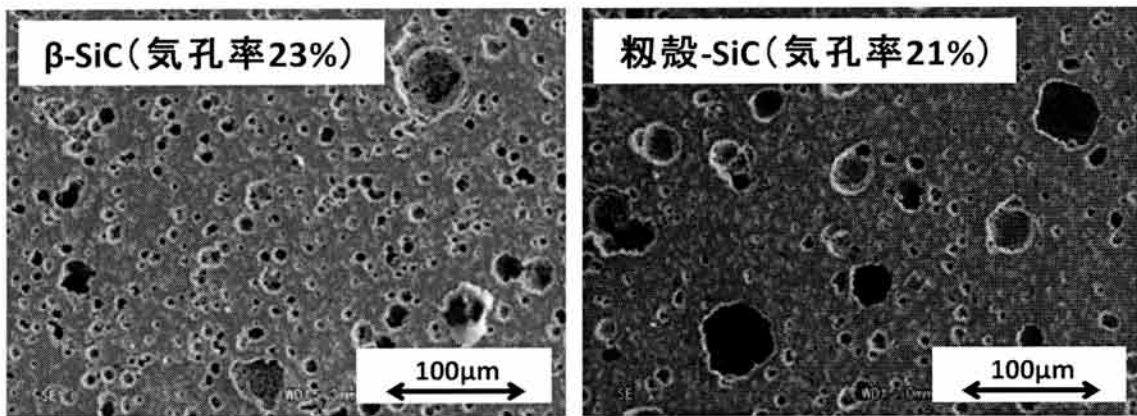


図 3-4 発泡剤による気孔の変化

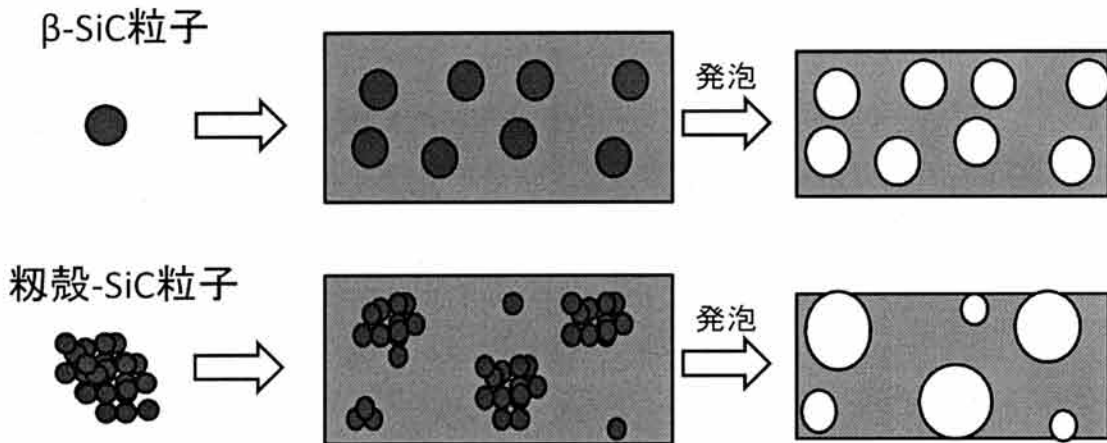


図 3-5 発泡のイメージ図

4. 分散性を向上させるためのアプローチ

4.1 ボールミル粉砕

凝集した粒子をボールミルにかけて細かく粉砕することで分散しやすくなる

のではないかと考え、粉殻の仮焼後・本焼後に 10 分×6 回の乾式ボールミル処理、ふるいがけをおこなった粉殻-SiC 発泡剤をマトリックスと混合し多孔体を作製した。図 4-1 に処理をしなかったものとの比較図を示す。平均気孔径は処理なしが $14\mu\text{m}$ 、処理ありが $15\mu\text{m}$ であり、値の変化はほぼ見られなかった。これは、そもそもボールミル粉砕では凝集粒子の粉砕ができていない可能性や、もしくは粉砕ができていたとしてもマトリックスと湿式混合する際に再凝集している可能性が考えられる。

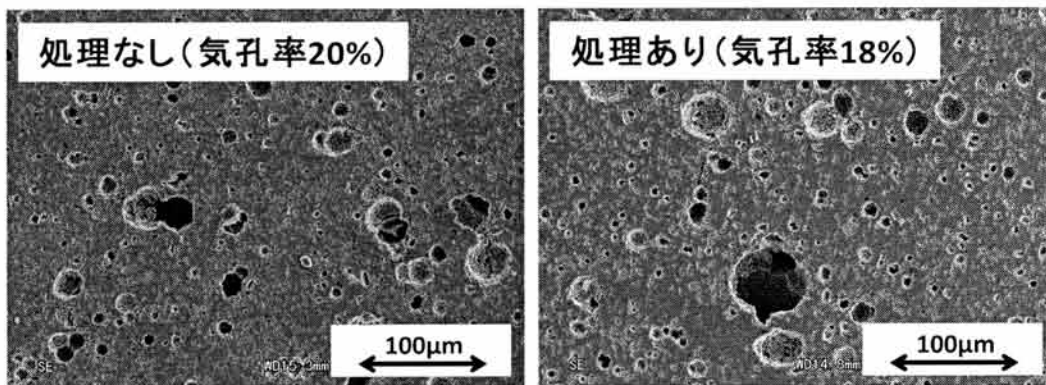


図 4-1 ボールミル粉砕による気孔径の変化

4.2 分散剤の添加

分散剤は、固体粒子を均一に分散させ沈降や凝集を防止し安定な懸濁液を形成する薬剤である。液体中で凝集している粒子の中に分散剤を添加すると、分散剤は粒子に吸着し、粒子を液体にぬれやすくする。そうすることで、粒子間に存在する空気が液体と置き換わりやすくなり、凝集している粒子がばらばらにほぐれていく。次にばらばらにほぐれた粒子表面に吸着した分散剤が、電荷による反発、および立体障害により反発し、粒子同士の接近を防ぎ分散体を安定化させる。図 4-2 にイメージ図を示す。この働きを利用すれば、粉殻-SiC 粒子の凝集を解けるのではないかと考えた。

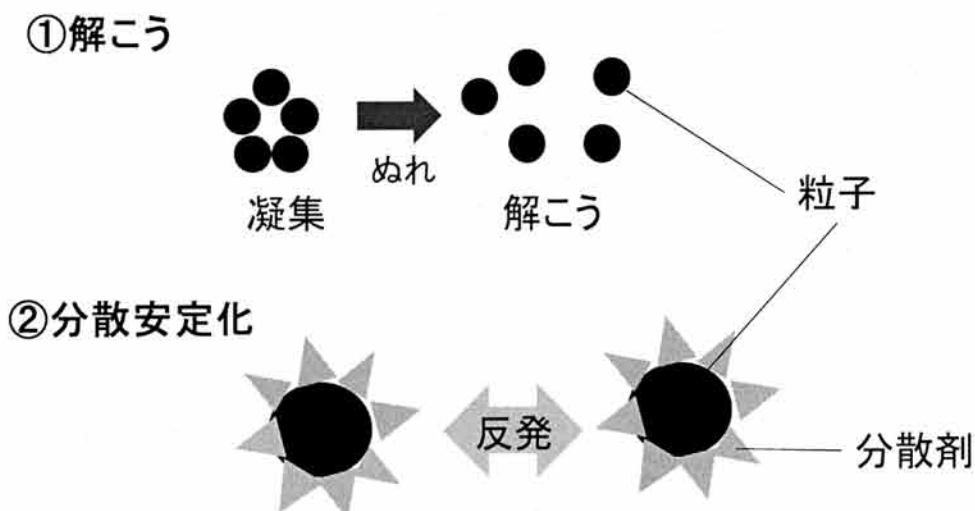


図 4-2 分散剤の働き

分散剤を添加するにあたり、固体粒子に適した分散媒、分散剤を選択する必要がある。本研究では靱殻-SiC に対し、分散剤としてポリアクリル酸（分子量：～1,800、5,000、450,000）・トリトン X-100・お茶、分散媒として蒸留水・エタノールを用意した。任意の量の靱殻-SiC を、分散剤を溶解させた分散媒中に入れ攪拌し静置して分散状態を観察したところ、分散剤にポリアクリル酸（分子量 1,800）、分散媒にエタノールを用いたとき最も良く分散しており、この組み合わせで実験を進めることとした。

靱殻-SiC と分散剤を分散媒中に入れ超音波振動を加え分散させた後マトリックスと混合し作製した多孔体の気孔の様子を図 4-3 に示す。平均気孔径は分散剤添加なしが $15\mu\text{m}$ 、添加ありが $14\mu\text{m}$ となり、値の変化はほぼ見られなかった。これは、分散の第一ステップである凝集粒子の解こう（図 4-2①）がなされていないのではないかと考えた。

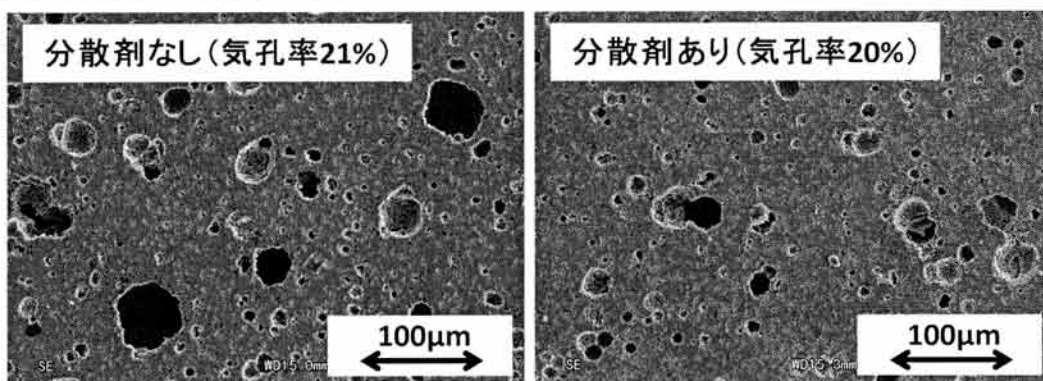


図 4-3 分散剤添加による気孔径の変化

4.3 練りによる分散性の向上

分散剤添加に加えて、さらに凝集を解く工夫が必要であると考え、「練り」のプロセスを追加することとした。これは粘度が高くなるほどせん断力はより強くなり凝集がほどけやすくなるという理由から、固体粒子と分散剤・分散媒を混合する際に用いられる手法である。そこで本研究においても、乳鉢に適量の靱殻-SiC と分散剤、分散媒を入れよく練って混合したものをさらに分散媒で希釈して分散剤溶液を作製し（図 4-4）、この粒度分布を測定することで効果について検証した。

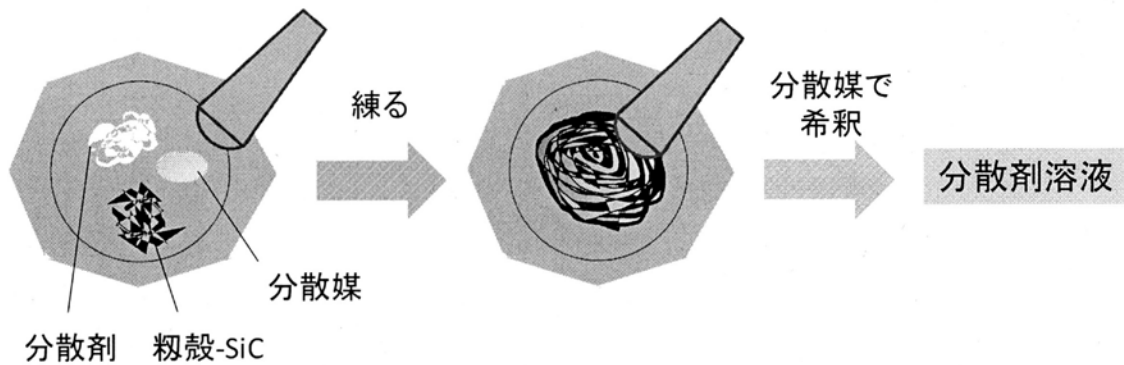


図 4-4 「練り」の模式図

分散剤を添加せず靱殻-SiC のみを練った試料、また靱殻-SiC の重量に対して 1/2、1、2、3、5、10 倍量の分散剤を添加し練った試料の粒度分布を図 4-5 に示す。また分散剤添加量に対する平均粒径の変化を図 4-6 に示す。

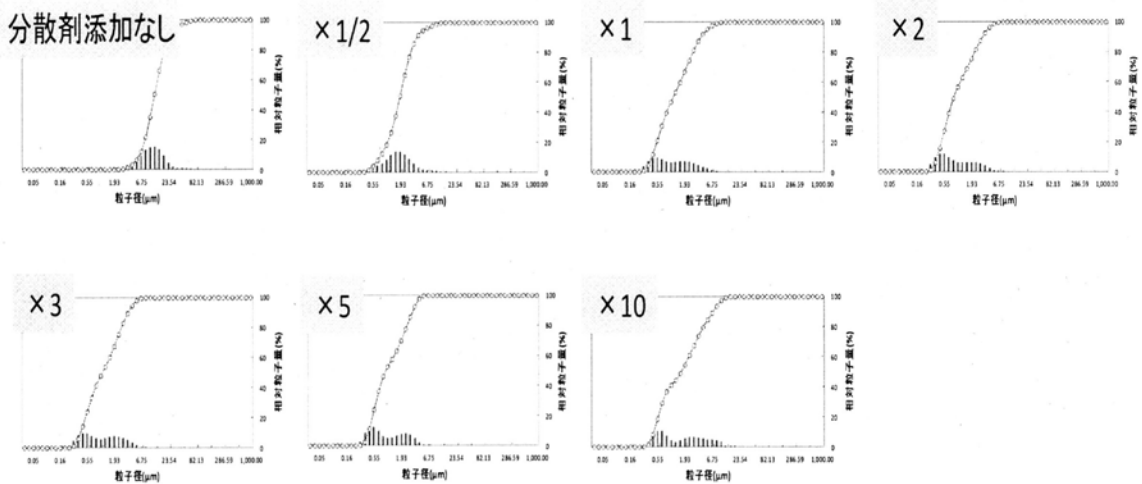


図 4-5 分散剤添加量に対する粒度分布の変化

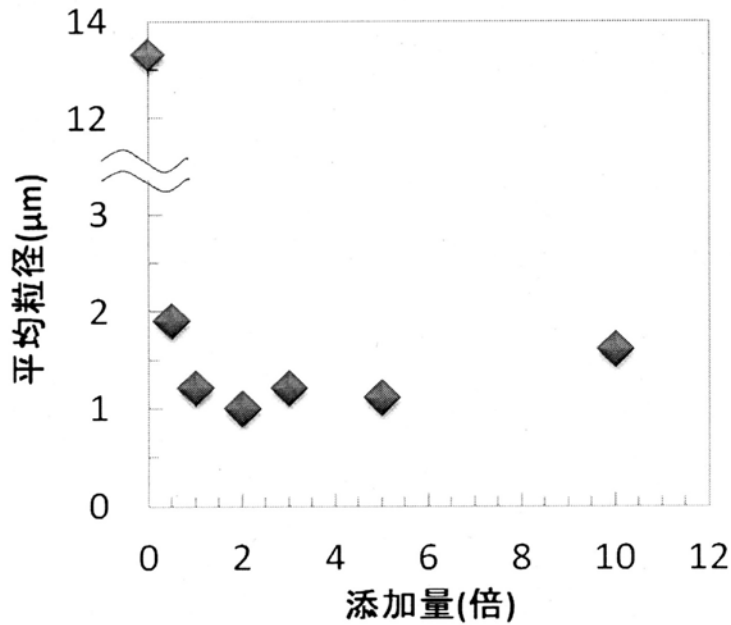


図 4-6 分散剤添加量に対する平均粒径の変化

図 4-6 より、分散剤添加量を多くするにつれて粉殻-SiC の平均粒径は小さくなり分散性の向上が認められた。また、2 倍量を境に粒径の低下は見られなくなり逆に大きくなってしまったが、これは未吸着分散剤の増加に伴って媒体粘度の増加、枯渇凝集作用、拡散電気二重層の縮小などが起こり、凝集につながったと考えられる。このことから、分散剤を添加し鍊ることで粉殻-SiC 粒子の分散性が向上すること、また粉殻-SiC の重量に対して二倍量の分散剤を添加したときに最も分散性が良いことがわかった。

5. 多孔体の特性評価

4.3 において分散剤を添加し鍊ることでより分散性を向上させることができた粉殻-SiC を発泡剤とした多孔体について、その気孔径、弾性率、熱伝導率を測定し、 β -SiC を発泡剤とした多孔体と比較した。

5.1 気孔径

β -SiC、粉殻-SiC、分散剤を添加した粉殻-SiC を発泡剤とした多孔体について、気孔の様子を比較した SEM 画像を図 5-1 に示す。またそれぞれの平均気孔径の変化を図 5-2 に示す。SEM 画像を見てわかるように、粉殻-SiC 発泡剤に分散剤を添加するにつれて大きな気孔が減少し、 β -SiC を用いたものと同程度まで気孔径を縮小させることができた。

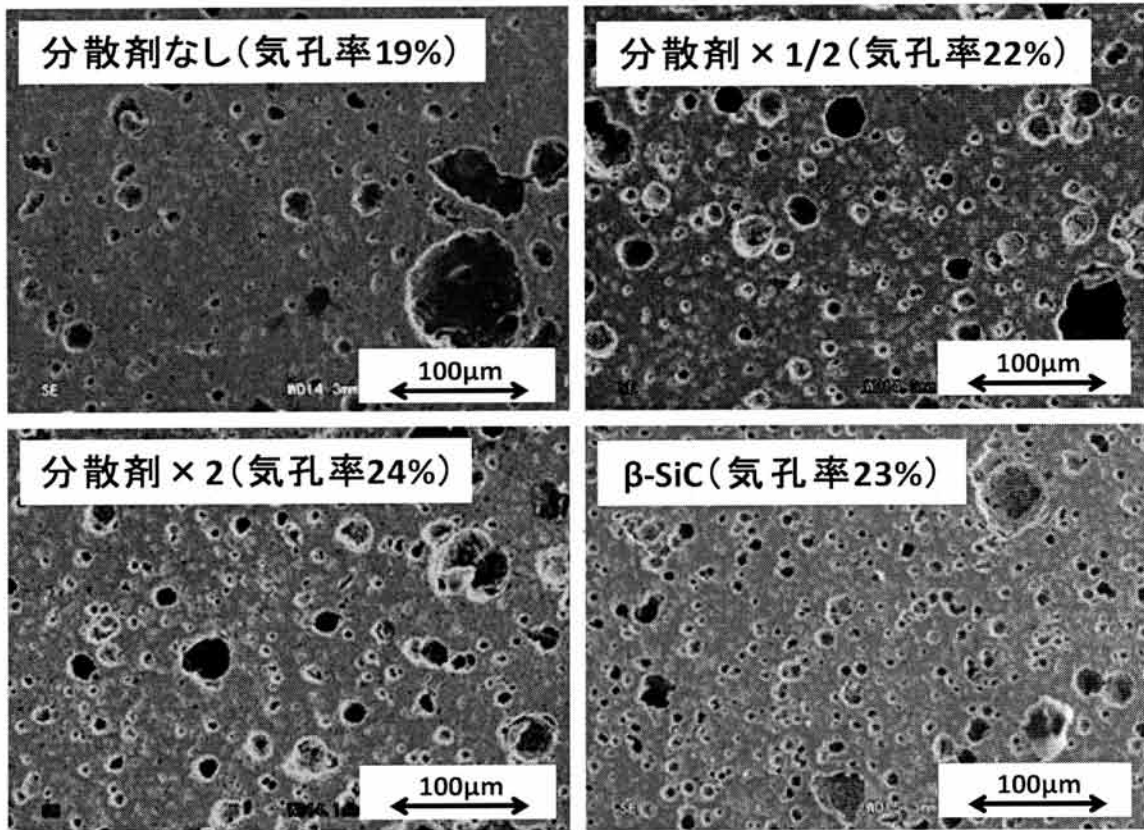


図 5-1 分散剤添加量による気孔の変化

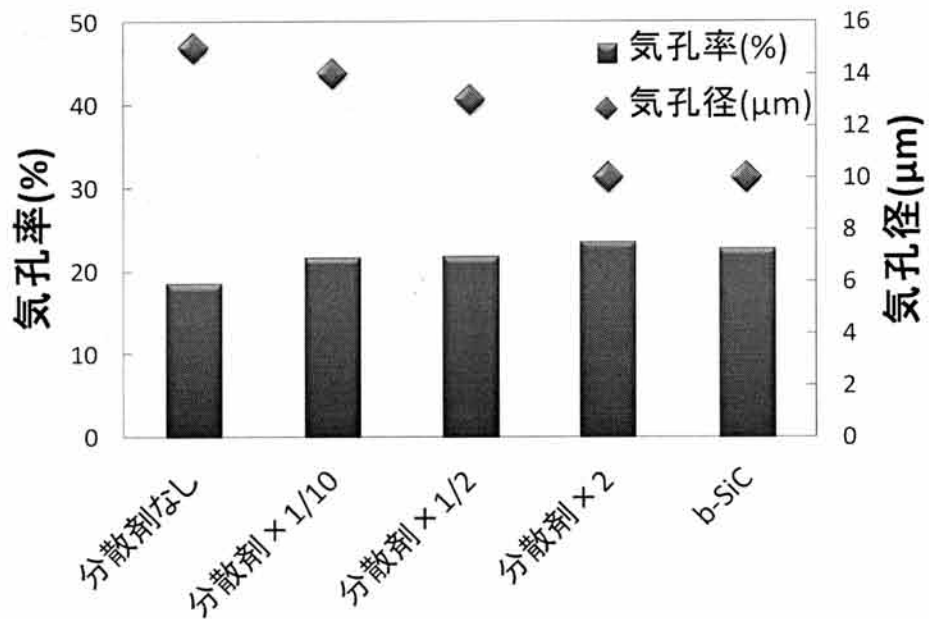


図 5-2 分散剤添加量による気孔径の変化

5.2 弾性率

β -SiC、靱殻-SiC、分散剤を添加した靱殻-SiC を発泡剤とした多孔体について、弾性率を比較した (図 5-3)。本研究の目的より、弾性率が高い多孔体ほどよい特性をもつと言える。 β -SiC 発泡剤を用いた多孔体の弾性率が最も高く、分散剤なしの靱殻-SiC 発泡剤を用いた多孔体の弾性率が最も低くなった。分散剤の添加量を増やすにつれて弾性率も高くなり、2 倍量の分散剤を添加した靱殻-SiC で β -SiC に最も近い弾性率を得ることができた。気孔径が小さくなるほど高強度となり弾性率は高くなることから、分散剤によって気孔径を縮小できたことが弾性率の向上につながったと考えられる。

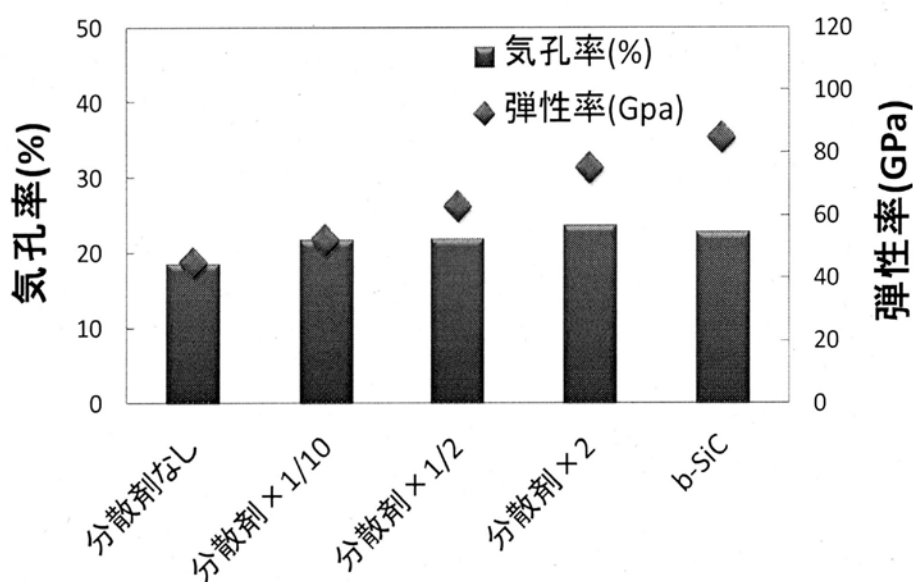


図 5-3 分散剤添加量による多孔体弾性率の変化

5.3 熱伝導率

β -SiC 発泡剤と、靱殻-SiC の中で最も弾性率が高かった分散剤 2 倍量添加の発泡剤を用いた多孔体について、熱伝導率を比較した (図 5-4)。本研究の目的より、熱伝導率が低い多孔体ほどよい特性をもつと言える。本来なら気孔率が高いほど熱伝導率は低くなるが、気孔率の低い靱殻-SiC のほうが熱伝導率も低いという結果が出た。また 5.2 より、本来なら気孔率が高いほど弾性率は低くなるが、気孔率の低い靱殻-SiC のほうが弾性率も低かったという結果をふまえると、気孔率以外の要因、例えば気孔の分布や形状などが熱伝導率と弾性率に影響を与えている可能性が考えられる。

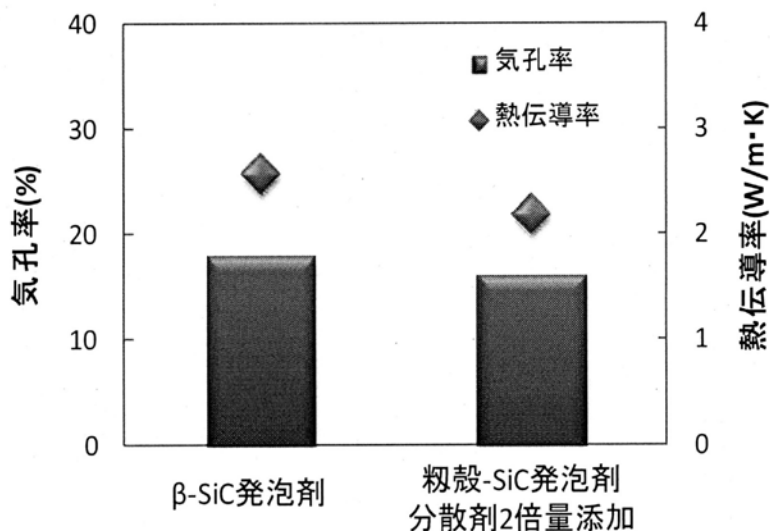


図 5-4 多孔体熱伝導率

6. 結言

β-SiC と靱殻-SiC の粒径は、一次粒子が $0.4\mu\text{m}$ 、 $0.05\mu\text{m}$ 、二次粒子が $0.7\mu\text{m}$ 、 $25\mu\text{m}$ であり、このことから靱殻-SiC は粒径の 500 倍ほどの大きさの塊に凝集していることがわかった。この凝集している靱殻-SiC の分散性を向上させ、より粒径の小さい発泡剤とすることで多孔質セラミックスの気孔径の縮小化を検討すること、またその特性を評価することを本研究の目的とした。

分散性を向上させるアプローチとして、凝集粒子のボールミル粉碎と、分散剤の添加を行うこととした。まず凝集粒子のボールミル粉碎を行ったが、この方法では分散性を向上させ気孔径を縮小させることができなかった。これは、そもそもボールミル粉碎では凝集粒子の粉碎ができていない可能性や、もしくは粉碎ができていたとしてもマトリックスと湿式混合する際に再凝集している可能性が考えられる。

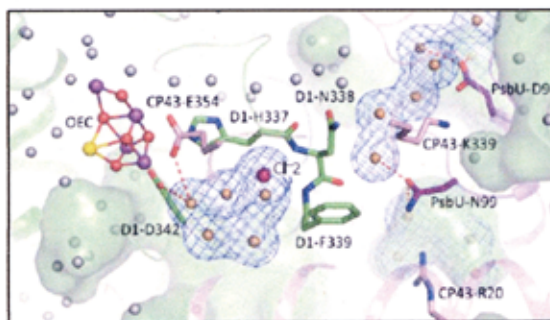
次に分散剤の添加を行った。分散剤にはポリアクリル酸（分子量 $\sim 1,800$ ）、分散媒にはエタノールを用いた。しかし単に添加するだけでは分散性は向上しなかった。そこで分散剤、分散媒と靱殻-SiC を練るというプロセスを加えたところ、二次粒子の粒径は $1\mu\text{m}$ となり分散性を向上させることができた。また分散剤は靱殻-SiC の重量に対して 2 倍量添加した場合に最も分散性が向上することがわかった。これを発泡剤とした多孔体は気孔径が $10\mu\text{m}$ となり、β-SiC を発泡剤とした多孔体と同程度まで気孔径を縮小させることができた。弾性率は 75GPa 、熱伝導率は $2.2\text{W/m}\cdot\text{K}$ となり、この値も β-SiC を発泡剤とした多孔体と同程度まで向上させることができた。

緑藻における酸素発生系の改変がもたらす光合成機能への影響

岡山大学異分野基礎科学研究所 西村 美保

1. はじめに

酸素発生型の光合成生物では、葉緑体にある光化学系 II (PSII) 複合体において水が分解され、酸素とプロトンを生産する。プロトンの蓄積による急激な pH の低下は、PSII および周辺タンパク質の損傷を招く恐れがあり、PSII の反応中心結合タンパク質 D1 にあるマンガククラスター付近で生成されたプロトンは、その後タンパク質外部へと移動して排出される。近年 PSII の X 線結晶構造解析によって、プロトンの排出経路に関わると考えられる水素結合ネットワークの存在が明らかになった (図 1)。プロトン排出経路は強光で損傷を受けやすい PSII 複合体のアミノ酸残基で形成されており、ここに存在するアミノ酸残基は光



合成の酸素発生系に関わる重要な機能を果たしていると考えられる。本研究では PSII の D1 タンパク質に着目し、緑藻クラミドモナスの D1 タンパク質 338 番目のアスパラギン残基 (D1-N338) を 19 種類の別のアミノ酸に変えた変異株を作出した。酸素発生系のアミノ酸残基を改変することでもたらされる光合成機能への影響を報告する。

図 1. D1-N338 周辺の水素結合ネットワーク (Umena *et al.*, Nature, 2011)

D1-N338 近傍の水素結合ネットワークには、一部途切れている箇所がある。クロライドイオンはマンガククラスターの配位環境維持に関与している可能性が考えられている。

2. D1-N338 変異株の作製

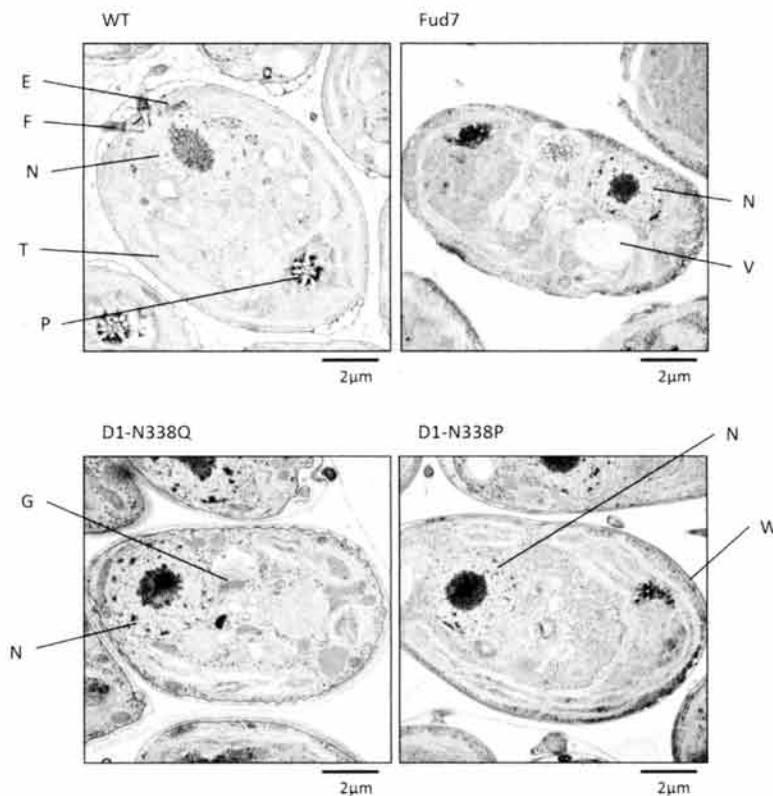
PSII の D1 タンパク質の 338 番目のアスパラギン残基を他の 19 種類のアミノ酸に置換した変異株を得るため、目的のアミノ酸に変異を持つ *psbA* 遺伝子と、その下流にスペクチノマイシン耐性を付与する *aadA* カセットが挿入されている形質転換ベクターを用い、パーティクルガン法で変異を導入して形質転換体を作成した。変異を導入したのは、*psbA* 遺伝子を欠損する Fud7 株の葉緑体である。得られた形質転換体に変異が導入されているかを DNA シークエンシングで確認した。

3. 変異体の内部構造観察

今回の観察に用いた株は、野生株 (WT)、Fud7、D1-N338Q、D1-N338P の 4 種類。TAP

(Tris-acetate-phosphate) プレート培地において細胞を $5 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で培養し、凍結置換法により電子顕微鏡で観察した。細胞は銅ディスクに挟んで -175°C の液体プロパンで急速凍結したのち、2%のオスミウム酸を溶解した -80°C のアセトンで48時間かけて凍結置換した。その試料を -20°C で4時間、 4°C で2時間置き、アセトン30分 \times 2回、100%エタノール30分 \times 2回の脱水を行い、エタノール中で一晩室温放置した。30分ずつ2回、酸化プロピレン(PO)を浸透させ、PO : Quetol-651 樹脂 = 70 : 30 の混合液に1時間浸けた後、POを一晩かけて揮発させた。新しい100%樹脂に試料を移し、 60°C で48時間かけて硬化させた。ウルトラミクロトーム (Ultracut UCT; Leica, Vienna, Austria) で80nmの超薄切片を切り出して銅グリッドに載せ、2%の酢酸ウラニルで15分間染色したものを透過型電子顕微鏡 (JEM-1400Plus; JEOL Ltd., Tokyo, Japan) で観察した。

観察の結果、クラミドモナスの細胞において眼点 (E)、鞭毛 (F)、核 (N)、カップ状の葉緑体中にあるチラコイド膜 (T)、炭素固定を担うピレノイド (P)、ゴルジ体 (G)、液胞 (V)、細胞壁 (W) の構造を見ることができた (図2)。ピレノイドは、RubisCOを多量に含むタンパク質顆粒である。細胞中に見られる白く穴のように抜けている箇所は、樹脂の浸透が不十分で切片作製時に抜け落ちてしまった部分であると考えられる。野生株と比べて変異株では、ピレノイド存在領域の基質面積が多い傾向が見られたが、内部構造に大きな違いは見られなかった。観察に用いた変異株 D1-N338Q は強光下でも生育する株、



D1-N338P は強光下で生育低下が確認される株である (図3、4)。今回の通常光下での観察とは違い、光強度や通気条件(好気・嫌気)を変えた場合には内部構造の変化が見られる可能性がある。また、変異株は液体培養の際に野生株に比べて凝集しやすい傾向があるので、細胞表面の詳細な解析によりその理由を見つけることができるかもしれない。

図2. 凍結置換法による緑藻クラミドモナス変異株の観察

E : eyespot, F : flagella, N : nucleus, T : thylakoid membrane of cup-shaped chloroplast, P : pyrenoid, G : Golgi apparatus, V : vacuole, W : cell wall

4. 光従属栄養および光独立栄養条件下における生育

クラミドモナスの細胞は $5 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光の下、TAP 液体培地を用いて 12 穴培養シャーレで培養した。液体培養した細胞を $1.0 \times 10^6 \text{ cells ml}^{-1}$ に調整し、光従属栄養条件のものは TAP プレート培地に、光独立栄養条件のものは HSM (high salt minimal) プレート培地に $10 \mu\text{l}$ ずつ滴下した。光強度は 5、50、100、200 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で生育を比較した。野生株に比べて生育速度が遅いものの、作出した変異株は光合成的に生育した (図 3-2)。しかし D1-N338P については、光強度が上がるにつれて生育低下が確認された。

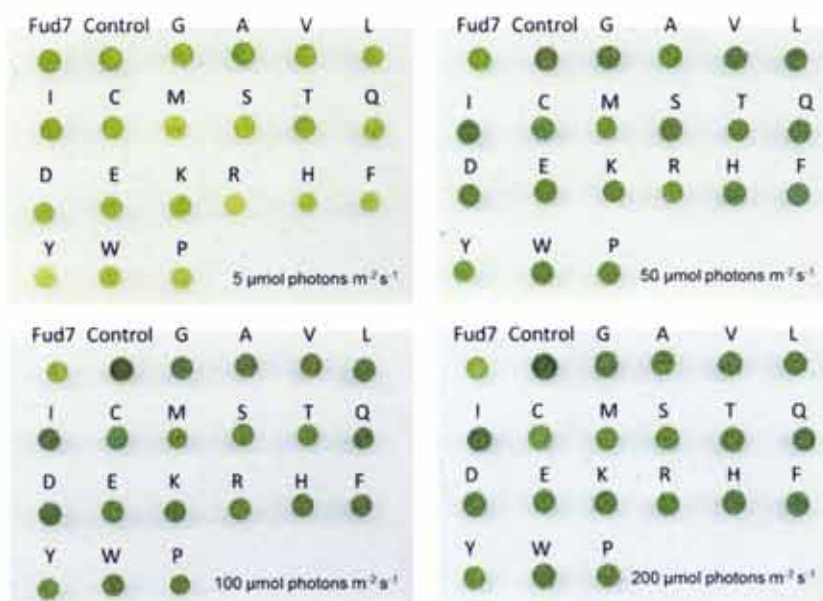


図 3-1. 光従属栄養 (TAP 培地) Air 3days

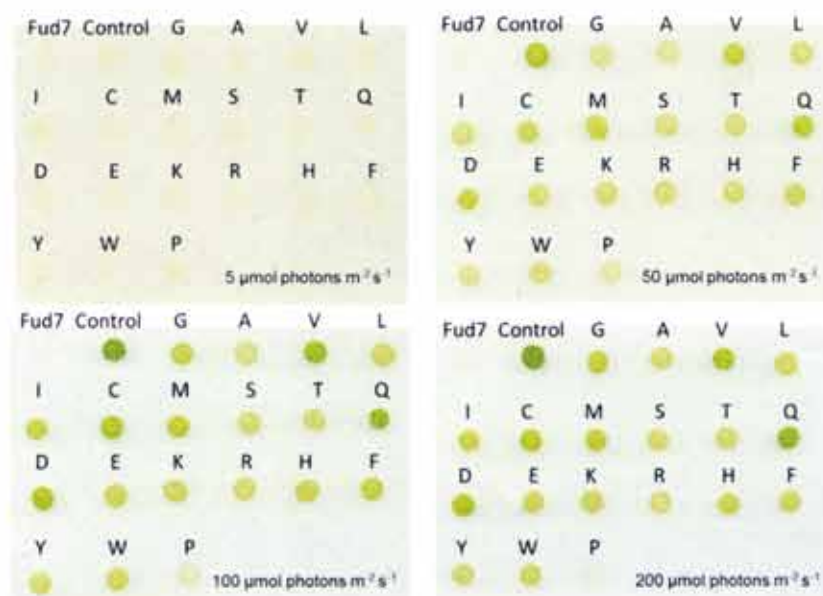


図 3-2. 光独立栄養 (HSM 培地) Air 4days

5. 嫌気条件下における生育

強光下では光合成で使い切れなかった過剰な電子が酸素と反応することで活性酸素が生成する。クラミドモナスを嫌気条件下に置くことで酸素による損傷を減少させることができるのではないかと考え、高 CO₂ 条件下での生育について調べた。

まず4. と同様の操作で、TAP および HSM プレート培地にそれぞれの変異株の細胞を滴下した。5%CO₂ の嫌気環境（通常大気は 0.04%CO₂）を作るため、密封容器にアネロパックと呼ばれる酸素吸収・炭酸ガス発生剤と細胞を滴下したプレート培地を入れて生育を調べた。

生育促進が期待された 5%CO₂ の TAP プレート培地では、予想に反して通常の空気下 (Air) に置いた場合よりもほとんどの変異株で生育速度が遅くなっていた。なかでも D1-N338G や D1-N338M 変異株は、光強度が上がるに従って生育の低下が見られた (図 4-1)。対照的に D1-N338R 変異株は強光下で生育が促進していた。

一方 HSM プレート培地ではすべての変異株で、Air 条件 (図 3-2) よりも 5%CO₂ 条件にすることで生育速度の上昇が見られた (図 4-2)。これらのことから、D1-N338 残基は強光や嫌気条件下での生育に関与していることが示唆される。D1-N338P 変異株については、CO₂ 条件下に置いても Air 条件下で見られた強光による生育低下 (図 3-2) が軽減されることはなかった (図 4-2)。

今回は 5%CO₂ 下での生育について調べたが、さらに高い 20%CO₂ 下での生育についても調べ、嫌気条件下における D1-N338 変異株の解析を進める予定である。プレートでの培養日数によって生育評価が大きく変わってくるので、その点にも注意する。

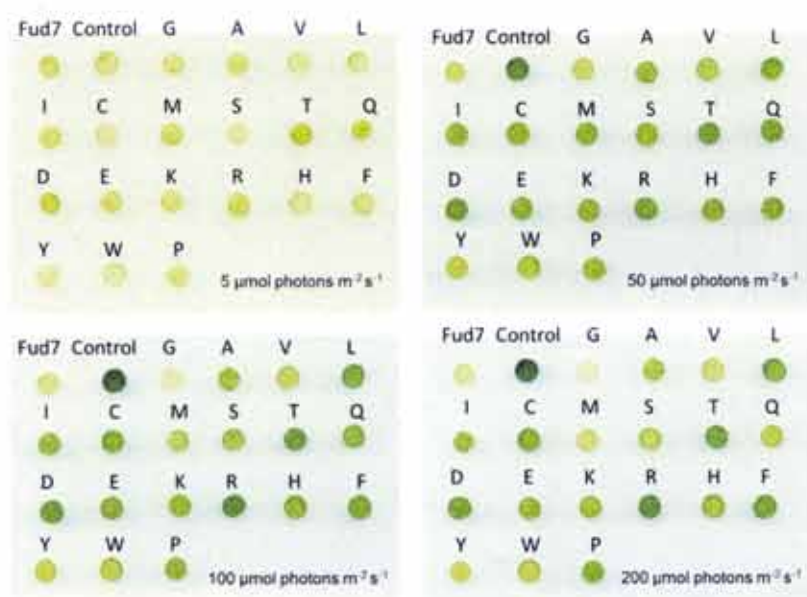


図 4-1. 光従属栄養 (TAP 培地) 5%CO₂ 3days

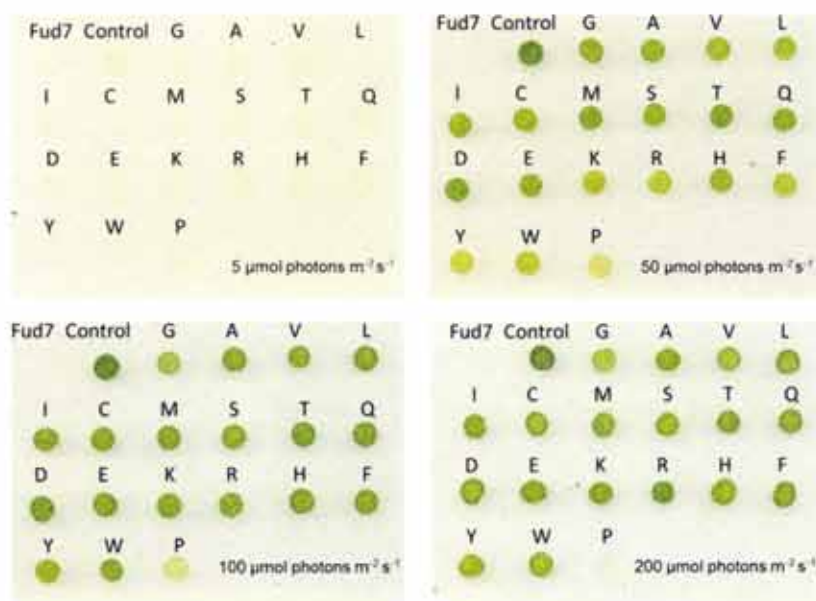


図4-2. 光独立栄養 (HSM 培地) 5%CO₂ 4days

6. 酸素発生活性の測定

細胞は TAP 液体培地において $5 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で培養し、 $10 \mu\text{g Chl ml}^{-1}$ に調整して 0.3 mM DCBQ 存在下で酸素発生活性を測定した。励起光は $3,800 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で、測定には Clark-type O₂ electrode (Oxytherm OXYT1; Hansatech Instruments) を使用した。

大半の変異株がコントロール(野生株)の 60~80%の酸素発生活性を示し、特に D1-N338R では最も活性が低く、野生株の 40%以下にまで活性が減少した(図5)。アミノ酸置換によって、PSIIの酸素発生系の機能が低下していると考えられる。一方で D1-N338V や D1-N338M のように、野生株よりも高い酸素発生活性を示した変異株もあり、これらの変異株では PSII の活性が促進されている可能性がある。

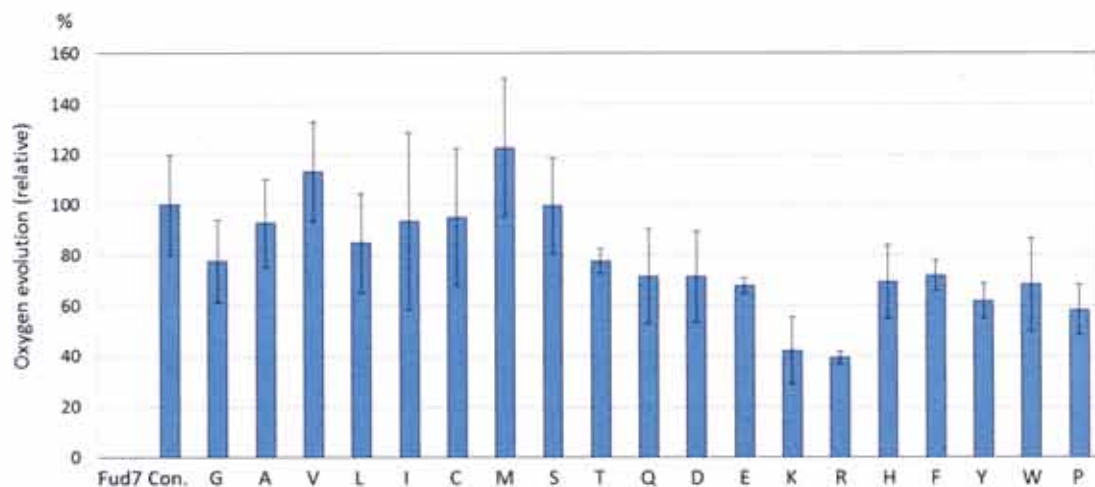


図5. D1-N338 変異株の酸素発生活性 Con.は野生株。

7. まとめ

水素結合ネットワークを形成するアミノ酸残基 D1-N338 は、他のアミノ酸に置換した 19 種類の変異株のすべてが光合成的に生育できたため、機能上さほど重要ではないと考えられる。しかし酸素発生活性を測定してみると、野生株よりも低い活性を示す変異株が多く見られ、アミノ酸置換によって PSII の構造が変化し、例えばマンガククラスターなどが損傷を受けやすくなったり安定性を減じたりした可能性が考えられる。一方で D1-N338V や D1-N338M 変異株のようにアミノ酸置換によって野生株より高い酸素発生活性を示すものも得られた。

興味深いことに D1-N338R 変異株は、酸素発生活性が野生株の半分以下と著しく低下していたにもかかわらず光独立栄養で生育でき、嫌気条件では強光下で生育が促進していた。光合成で発生する酸素が少ないため、他の変異株よりも強光下における酸化的損傷が少なくなっているのかもしれない。

今後 D1 タンパク質やマンガンの蓄積量を調べるなど、変異株において PSII 複合体とその機能にどのような変化が起きているのかを具体的に明らかにしていく必要がある。

8. 参考文献

Kuroda, H., Kodama, N., Sun, X.Y., Ozawa, S. and Takahashi, Y. (2014)

Requirement for Asn298 on D1 Protein for Oxygen Evolution: Analyses by Exhaustive Amino Acid Substitution in the Green Alga *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant and Cell Physiology* 55: 1266-1275.

Ogata, K., Yuki, T., Hatakeyama, M., Uchida, W. and Nakamura, S. (2013)

All-Atom Molecular Dynamics Simulation of Photosystem II Embedded in Thylakoid Membrane. *J Am Chem Soc* 135: 15670-15673.

Umena, Y., Kawakami, K., Shen, J.R. and Kamiya, N. (2011)

Crystal structure of oxygen-evolving photosystem II at a resolution of 1.9 angstrom. *Nature* 473: 55-U65.

林冠木伐採による放置落葉広葉樹二次林の再生初期過程

岡山大学大学院環境生命科学研究科

廣部 宗

はじめに

燃料革命により経済的価値を失った落葉広葉樹二次林は放置され（金澤ら 2009；金森ら 2009），かつて薪炭利用されていた優占樹種（ナラ類）の林冠木が大径木化している（山瀬 2012）。このため，再生可能資源の未利用や生物多様性の低下などが生じており，資源利用と保全が問題となっている。さらに，近年全国的に深刻な被害が報告されているナラ枯れは（黒田 2012），原因となる昆虫（カシノナガキクイムシ）が穿孔する際に大径木を選択する傾向があるため（赤石ら 2006），放置落葉広葉樹二次林ではナラ類の集団枯損発生による未利用資源の消失も懸念されている。

このような被害を未然に防ぐためには大径木化した林冠木を伐採し，萌芽更新により森林の若返りを図ることが有効とされる（黒田 2008）。萌芽は成長が早く種子散布と比較して確実な更新手段であり（酒井 1998），二次林の更新において重要な役割を果たすが（紙谷 1986），放置落葉広葉樹二次林における大径木伐採により速やかな森林再生が可能であるかについては不明な点が多い。そこで本研究では放置落葉広葉樹二次林を対象とし，林冠木伐採後の森林再生初期過程を伐採前後の土壤養分条件を含めた環境条件の変化とともに明らかにすることを目的とした。

調査地と方法

調査地は真庭市本庄の放置落葉広葉樹二次林（35°10'N, 133°42'E）であり，調査地付近の年平均気温は 13.5°C，平均年降水量は約 1400mm，土壤は白亜紀後期深成岩類を母材とする褐色森林土である（臼田ら 2015）。林冠木伐採に先立ち，林分内に幅 40m・長さ 90m の調査区を設置し 36 個の 10m×10m 方形区に区切った。2013 年 5 月から 6 月に胸高直径（Diameter at Breast Height: DBH）4cm 以上の樹木を対象として毎木調査を行った（写真 1 左）。伐採作業は 2013 年 12 月に実施された（写真 1 右）。その際，円盤試料を採取してコナラとクヌギの齢構造を解析した。



写真 1. 伐採前の林内（左）と伐採後の調査区（右）

環境条件として、伐採前の2013年6月、伐採後の2014年6月および2015年6月に調査区内の10m格子点で高さ2m地点の全天空写真を撮影し、林冠植被率を解析した。全天空写真撮影と同時期に各方形区で鉍質土壌表層(0-5cm)を採取し、土壌含水比と実験室培養による見かけの窒素無機化速度を測定した。伐採後の森林再生過程については、調査区内のナラ類5種について全ての切株からの萌芽更新状況を伐採後1回目の成長期間終了後(2014年秋)、2回目の成長期間開始前(2015年春)および2回目の成長期間終了後(2015年秋)に調査した。

結果と考察

伐採前の林分では胸高断面積合計においてコナラが44.8%、クヌギが22.4%を占め、優占していた(表1)。胸高直径の平均値(最小値-最大値)はコナラでは27.8cm(11.0-48.5)、クヌギでは25.0cm(15.0-41.4)であり、生存幹の幹齡の平均値(最小値-最大値)はコナラでは60.5年(49-75)、クヌギでは57年(55-67)であった。これらの結果と過去履歴の聞き取り調査から、伐採前の林分が1960年頃まで薪炭林として利用された後放置され、コナラやクヌギが大径木化した二次林であることが確認された(臼田ら 2015)。

表1. 伐採前(2013年5月)における胸高直径4cm以上の樹木を対象とした毎木調査結果。

樹種#	幹密度 (本・ha ⁻¹)	相対密度 (%)	胸高断面積 (m ² ・ha ⁻¹)	相対胸高断面積 (%)
コナラ	286	15.7	16.9	44.8
クヌギ	169	9.3	8.4	22.4
リョウブ	747	41.0	3.9	10.3
ヤマザクラ	106	5.8	2.8	7.3
アベマキ	33	1.8	1.3	3.4
クリ	17	0.9	0.9	2.4
その他	464	25.5	3.6	9.4
合計	1822	100.0	37.8	100.0

: 相対胸高断面積の合計が90%に達するまでの上位樹種

ナラ類5種の萌芽更新状況については、伐採後1回目の成長期間終了時点(2014年秋)における萌芽株率(萌芽が発生した切株/全ての切株)はコナラが0.71、クヌギが0.74、アベマキが0.75、クリが0.80、ナラガシワが1.00であった(表2)。前回の萌芽更新から長期間経過していた場合、萌芽更新には期待できないとの報告もあるが(伊東 2013)、施業放置により大径木化・老齡化が進行している二次林においても伐採により7割以上の切株から萌芽発生が見られることが示された(表2)。但し、コナラとクヌギ以外は切株数が十分でない(~12株)ため萌芽株率は不正確

である可能性がある。また、萌芽が発生した切株当たりの平均萌芽発生数はコナラが 26.8 本/株、クヌギが 17.3 本/株、アベマキが 21.3 本/株、クリが 8.5 本/株、ナラガシワが 46.4 本/株であり、樹種により切株当たりの萌芽発生数に違いがみられた（表 3）。萌芽株率および萌芽株あたりの平均萌芽数はいずれも時間経過に伴って減少し、伐採後 2 回目の成長期間終了時点における萌芽株率はコナラが 0.59、クヌギが 0.67、アベマキが 0.67、クリが 0.8、ナラガシワが 1.00、萌芽株あたりの平均萌芽数はコナラが 17.9 本/株、クヌギが 11.4 本/株、アベマキが 14.6 本/株、クリが 6.8 本/株、ナラガシワが 27.2 本/株であり、各樹種の順位に変化は無かった。

表 2. 伐採後 2 回目の成長期間終了時点(2015 年秋)までの萌芽発生株数（萌芽株率）の変化。

樹種	全切株数	萌芽切株数（萌芽株率）		
		2014 秋	2015 春	2015 秋
コナラ	97	69 (0.71)	61 (0.63)	57 (0.59)
クヌギ	61	45 (0.74)	44 (0.72)	41 (0.67)
アベマキ	12	9 (0.75)	8 (0.67)	8 (0.67)
クリ	5	4 (0.80)	4 (0.80)	4 (0.80)
ナラガシワ	5	5 (1.00)	5 (1.00)	5 (1.00)

表 3. 伐採後 2 回目の成長期間終了時点（2015 年秋）までの合計萌芽数と萌芽株あたりの平均萌芽数の変化（カッコ内の数字は新規出現数）。

樹種	合計萌芽数			萌芽株あたりの平均萌芽数		
	2014 秋	2015 春	2015 秋	2014 秋	2015 春	2015 秋
コナラ	1851	1535	1023 (124)	26.8	25.2	17.9
クヌギ	780	660	467 (24)	17.3	15.0	11.4
アベマキ	192	160	117 (3)	21.3	20.0	14.6
クリ	34	29	27 (2)	8.5	7.3	6.8
ナラガシワ	232	156	136 (0)	46.4	31.2	27.2

次に切株数が十分に多いコナラとクヌギを対象に、伐採後 1 回目の成長期間終了時点（2014 年秋）にみられた萌芽枝について 2 回目の成長期間終了時点（2015 年秋）までの生残/枯死状況を萌芽枝長階級別に示す（図 1）。コナラとクヌギの萌芽枝は、成長休止期間（2014 秋-2015 年春）についても成長期間（2015 春-2015 秋）についても 2014 年秋にサイズが小さかったものの方が枯死しやすいことが示唆された。また、2015 年秋時点で生残している萌芽枝についても約半数には主軸の先枯れや先折れによる側枝への「芯代わり」がみられ（結果省略）、発生した萌芽枝のう

ち健全に成長するものの割合は低いことがわかった。

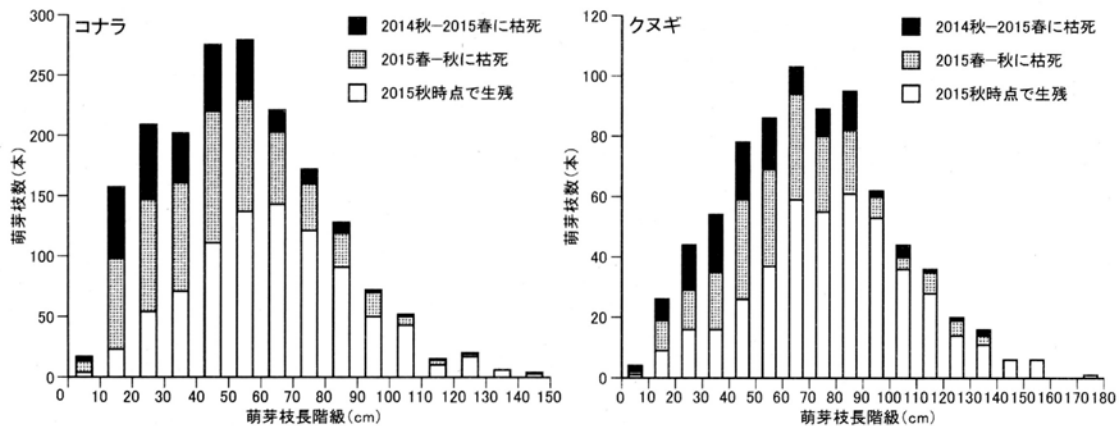


図1. 1回目の成長期間終了時点（2014年秋）にみられた萌芽枝の2回目の成長期間終了時点（2015年秋）までの生残／枯死状況。

各切株をランダム効果とした一般化線形混合モデルにより、成長休止期間（2014秋-2015年春）および成長期間（2015春-2015秋）におけるコナラとクヌギ萌芽枝の生残／枯死要因を解析した結果、両樹種に共通して1回目の成長期間における伸長成長量が多い萌芽枝ほど生残しやすい傾向があることがわかった。嶋ら（1989）は、27年生林分伐採後の萌芽枝の消長は萌芽枝のサイズに依存し、小さく劣勢な萌芽枝の多くは被圧により枯死する機会が多いことを報告しており、大径木化・高齢化が進行した本調査地でも萌芽枝の初期成長がその後の生残を大きく左右することが再確認された。また、萌芽枝の発生位置や切株の伐採高などそれぞれの樹種でのみ影響がみられる要因も検出された。これらを踏まえて樹種ごとに適切な補助作業を行い、伐採後1年目の萌芽枝成長を促すことで、より速やかな森林再生につながる可能性が示唆された。

謝辞

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

引用文献

- 赤石大輔・鎌田直人・中村浩二（2006）コナラ・アベマキ二次林におけるカシノナガキタイムシの初期加害状況. 日本森林学会誌 88(4), 274-278.
- 伊東宏樹（2013）前回の萌芽更新から64年を経過したコナラ二次林の萌芽試験. 森林総合研究所報告 12(2), 105-109.
- 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)：平均胸高直径の異なるブナ二次林6林分における種子生産. 日本林学会誌 68(11), 447-453.

- 金森智哉・橋本啓史・横内 茂 (2009) 岐阜県多治見市諏訪町の里山における管理林と放置林の植生の違いと将来予測. 名城大学農学部学術報告(45), 5-16.
- 金澤洋一・上村真由子・福井美帆 (2009) アベマキ・コナラ薪炭林の10年周期による供給可能な薪エネルギー量. 景観生態学 13, 105-111.
- 黒田慶子 (2008) ナラ枯れと里山の健康. 166pp. 全国林業改良普及協会, 東京.
- 黒田慶子 (2012) ナラ枯れのメカニズムと対策. グリーン・エージ 464, 4-7.
- 酒井暁子 (1998) 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. 日本林学会誌, 71(10), 410-416.
- 白田麻純・牧本卓史・赤路康朗・廣部 宗・坂本圭児 (2015) 年輪解析による落葉広葉樹二次林の成立過程. 日本緑化工学会誌 41, 103-108.
- 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.

岡山産雄町米および米糠を用いた快眠を導く機能性食品の開発

就実大学 薬学部 坪井 誠二

1. はじめに

米は古くから日本人が主食としてきた食材であり、安全・安心に摂取できるタンパク源である。近年、米由来タンパク消化物の機能性研究が進み、II型糖尿病の原因血中酵素であるジペプチルペプチダーゼ IV の阻害効果、また、その活性因子が Ile-Pro、Val-Pro等プロリンを含むジペプチドであること等が明らかになった^{1,2)}。本研究では、米由来タンパク消化物の新たな機能性として、睡眠障害改善機能の可能性について報告する。

睡眠は人が生存する上で衣食住とともに重要な課題である。不眠に悩んでいる現代人は多く、うつ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。2006年に行われた日本大学の内山らの試算では、睡眠不足や不眠症による日本の経済損失は年間で3兆5千億円にのぼるとされ、その多くが寝不足による生産性の低下が原因である。寝不足の原因は、不規則な生活様式を強いられることによる睡眠異常等の概日リズム障害がその要因のひとつとしてあげられ、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。現在、日本人の4～5人に1人が睡眠に問題を抱え、9人に1人が睡眠導入薬を常用しているという。さらに、認知症やうつ病等とも睡眠障害が関係していることも明らかになってきた³⁾。海外では、合成したメラトニンを食品として直接的に摂取している事例もある。しかしながら、日本国内では、安全性が担保出来ないことから合成メラトニンは食品としては利用されず、一部不眠症治療薬としてのみ販売されている。

生物は広く地球の自転周期に適応するため、約24時間周期の生物リズム(概日リズム)をもっている。概日リズムは、睡眠・覚醒だけでなく自律神経や代謝系といった全身の生理活動に影響を与え、生物が1日の昼夜リズムに伴って効率よく快適に生活していく上で重要なシステムである。このリズムを生み出す生物時計は、単細胞生物からヒトに至るまで広く存在しており、様々な活動や代謝の日内変動を制御している。哺乳類において、生物時計は視床下部の「視交叉上核」と呼ばれる神経細胞集団に存在している。この視交叉上核は、本来約25時間の自律的な内因性のリズムをもっているが、網膜で光刺激を受け、網膜視床下部神経経路を介して時間をリセットする事で、約24時間周期の外界リズムに同調させている。視交叉上核で形成された概日リズムは、上頸部交感神経節の交感神経を介して松果体と呼ばれる内分泌器官に伝えられる。松果体は、概日リズムに応答してメラトニンを合成している。すなわち、松果体のメラトニン量は昼間は非常に低レベル(ほとんど0)に抑えられているが、夜間に劇的に上昇して真夜

中頃にピークとなり、その後急速に減じ、朝方には消失する。メラトニンは合成後直ちに血中に放出され、体中を循環し、メラトニン受容体を介して時間情報を全身に伝える。メラトニンは時間情報ホルモンであり、松果体は時間情報を液性情報に変換する装置である。

メラトニンは、必須アミノ酸のひとつであるトリプトファンを出発材料に、セロトニン *N*-アセチルトランスフェラーゼ (NAT) を律速酵素として、脳内の松果体で合成される睡眠ホルモンである。NAT はいわゆる概日リズムを刻む酵素であり、太陽の光の刺激を目から受け活性がオフになり、夜になるとともに活性がオンとなり睡眠ホルモンを作り出す (図1)。NAT は、アセチル CoA とセロトニンとを基質とするが、その触媒反応はアセチル CoA が NAT に結合してできる疎水性ポケットの形成が重要とされてきた。

生体時計による NAT 活性の制御機構の研究は、転写調節制御とタンパク質レベルでの活性制御の両方向から進められてきた。転写調節による制御については、時間情報により夜間に交感神経末端より放出されたノルアドレナリンは、松果体細胞上の β 受容体に結合し、Gs タンパク質を介してアデニル酸シクラーゼを活性化し細胞内の cAMP 濃度を上昇させる。その結果、A キナーゼが活性化され、転写因子 CREB がリン酸化される。リン酸化 CREB は NAT 遺伝子の転写量を増加させ、その結果、NAT 活性が

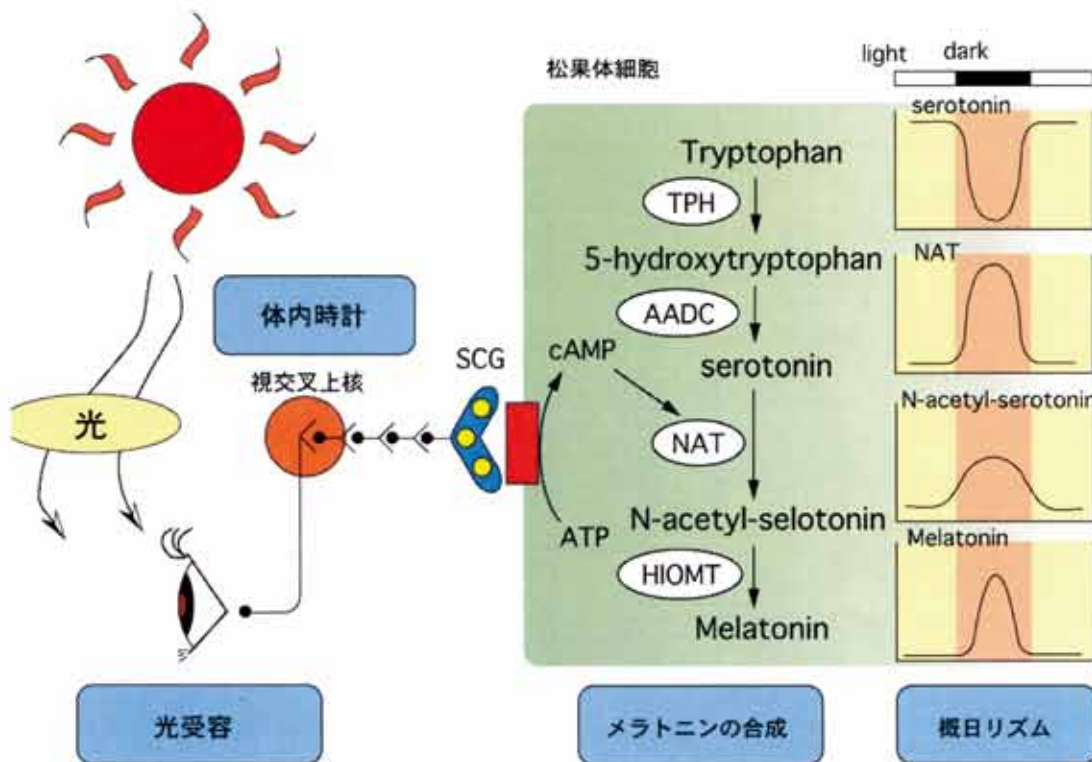


図1 睡眠ホルモン メラトニンの生合成

上昇しメラトニン出力が増加する。また、タンパク質レベルでの制御は次のように理解されている。すなわち、ノルアドレナリン刺激により活性化されたAキナーゼは NAT タンパク質自体をもリン酸化する。NAT タンパク質は、昼間はプロテアソームにおいて分解されているため検出できないが、夜間、リン酸化された NAT にはシャペロンである 14-3-3 タンパク質が結合する。そのためこの複合体はプロテアソームで分解されず活性を維持していることが明らかとなっている (図2)。

著者らはこのメカニズムに加え、NAT のふたつのシステイン残基の間で形成される分子内 $-SS-$ 結合が、活性に重要な働きをしていることを明らかにした⁴⁾。このふたつのシステイン残基の間で $-SH/-S-S-$ の交換反応が起こり、還元型 (SH 型) で 100% の活性 (夜型) を示す一方、酸化型 ($-SS-$ 型) では活性がゼロ (昼型) になる。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、最もレスポンスの早い活性制御メカニズムはレドックス (酸化還元反応) 制御によるオン・オフである。さらに、このオン・オフは細胞内のトリペプチドであるグルタチオン量に依存していることも明らかとした。

また、著者らは、乳酸菌による発酵乳ホエーに内因性メラトニン分泌リズムの位相調整又は振幅増強作用があることを見出している^{5,6)}。この作用は、発酵乳ホエー成分が細胞内グルタチオンレベルを上昇させ、メラトニン合成の律速酵素である NAT 活性を増強させていることによっていると考えている。さらに、この発酵乳ホエーの快眠誘導

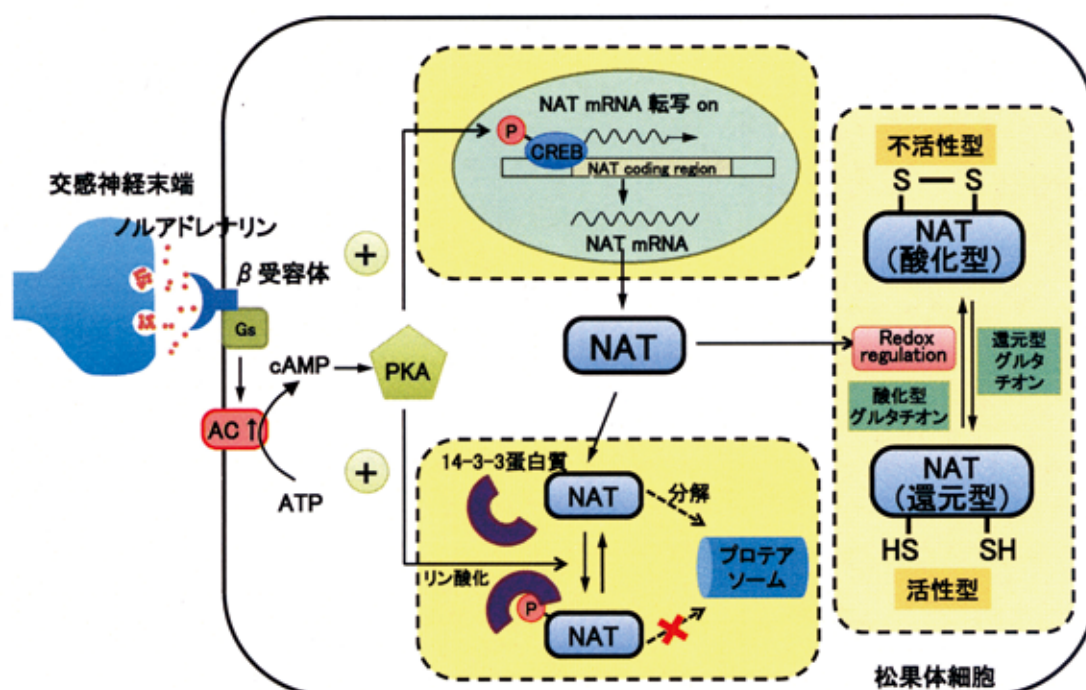


図2 セロトニン N-アセチルトランスフェラーゼ (NAT) の活性制御機構

効果は、杉田教授（大阪大学・医学研究科）らによって健康な高齢者 30 名を対象としたダブルブラインド・クロスオーバー試験の結果、寝覚めの回数減少及び寝とぼけ行動・足のむずむず感の減少が確認されている。

上記の発酵性ホエーの情報を基に、NAT 発現 COS7 細胞（COS 7/NAT 細胞）を用いて、様々なバイオマス由来成分について NAT を活性化する成分の探索を行い、快眠を導くことが可能で安心・安全な材料を見出し、機能性食材の開発につながる研究を開始した。

2. NAT 活性化バイオマスの探索

米糠タンパクを麴カビ由来酵素（アmanoエンザイム社製ウマミザイム G）消化したものを用いた。対照サンプルとして、市販大豆タンパク（不二精油社製）を同じくウマミザイム G で消化したもの、及びあらかじめ酵素で消化された形の市販コラーゲンペプチド（ニッピ社製）を用いた。これらを COS 7/NAT 細胞の培地に添加し、NAT 活性に与える影響を検討した。その結果、米糠タンパク消化物の中に、NAT 活性化能があることを見出した（図 3）。そこで、次に細胞内グルタチオンへの影響を検討した。

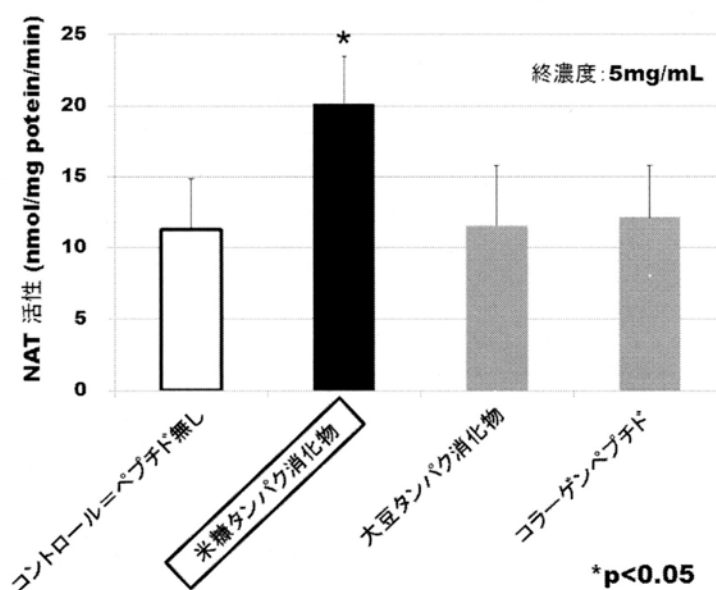


図 3 各種ペプチドの NAT 活性に及ぼす影響

3. 細胞内グルタチオンレベルへの影響

細胞内に豊富に存在する天然の酸化・還元物質であるグルタチオンは、グルタミン酸、システイン、グリシンの 3 つのアミノ酸からなるトリペプチドであり、主に肝臓で生合

成される。そこで、ヒト肝癌由来細胞 HepG2 を用いて、細胞内グルタチオン量に対する影響を検討した。NAT 活性同様に、大豆タンパクのウマミザイム G 消化物、及びコラーゲンペプチドを対照として、米糠タンパクのウマミザイム G 消化物を用いた。その結果、NAT 活性と同様に米糠タンパク消化物のみにグルタチオン上昇効果を認めた (図 4)。

ここまでの結果から、米糠タンパク消化物は細胞内の還元型グルタチオン量を増加させることによって NAT に存在する分子内 -SS- 結合を開裂させ、NAT を活性化していることが示唆された。グルタチオン生合成の律速段階は、グルタミン酸の γ 位にシステインを結合させる酵素 (γ -グルタミルシステイン合成酵素: γ -GCS) であることが知られており、次にこの酵素の遺伝子発現に対する影響を検討した。

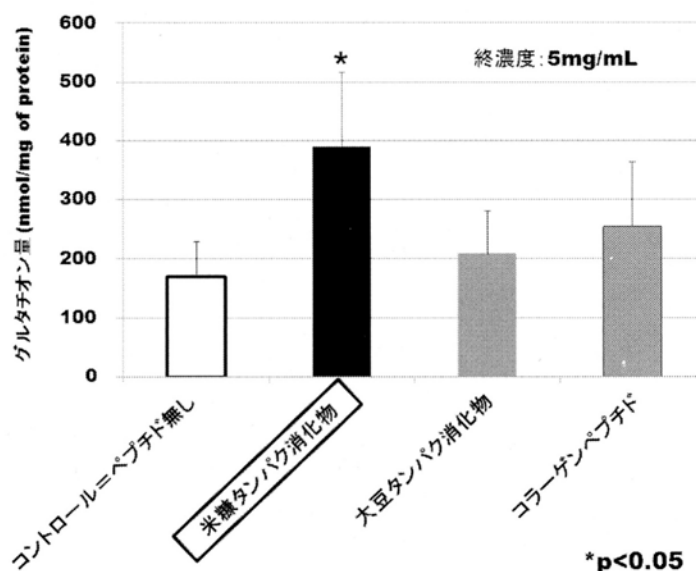


図 4 各種ペプチドの細胞内グルタチオン量に対する影響

4. 米糠タンパク消化物の遺伝子発現への影響

前項と同じく、HepG2 細胞の培地に米糠タンパクのウマミザイム G 消化物を添加し、リアルタイム PCR によって γ -GCS の遺伝子発現の経時的な変動を追った (図 5)。 γ -GCS は、ライト鎖及びヘビー鎖からなるヘテロダイマーである。図 5 に示すように、どちらの遺伝子も米糠タンパク消化物添加後 8 時間で有意に発現量が上昇していることが示された。

グルタチオンの生体内での役割は、細胞内で発生した活性酸素種や過酸化物質と反応してこれを還元し消去する抗酸化ストレスの役割、及びグルタチオン抱合による薬物解毒

の役割の主に2つが上げられる。前者の酸化ストレスに対し細胞はすみやかに応答する。この生体応答の制御機構において重要な機能を担っているのが Keap1-Nrf2 システムであり⁷⁾、このシステムによって γ -GCS の発現が支配されていることが明らかにされている。また、ヘムオキシゲナーゼ1 (HO-1) は酸化ストレスを始めとする種々の急性ストレスにより誘導されることが知られており、転写因子 Nrf2 の標的遺伝子の1つでもある。そこで、米糠タンパク消化物の HO-1、Nrf2 の遺伝子発現に対する影響についても同様に検討した (図6)。図6に示すように、予想したとおり米糠タンパク消化物を培地に添加することによって、HO-1、Nrf2 の遺伝子発現が上昇することが確認された。

以上の結果から、米糠タンパク消化物が Keap1-Nrf2 システムを作動させグルタチオン合成を活性化するメカニズムの存在が示唆された。

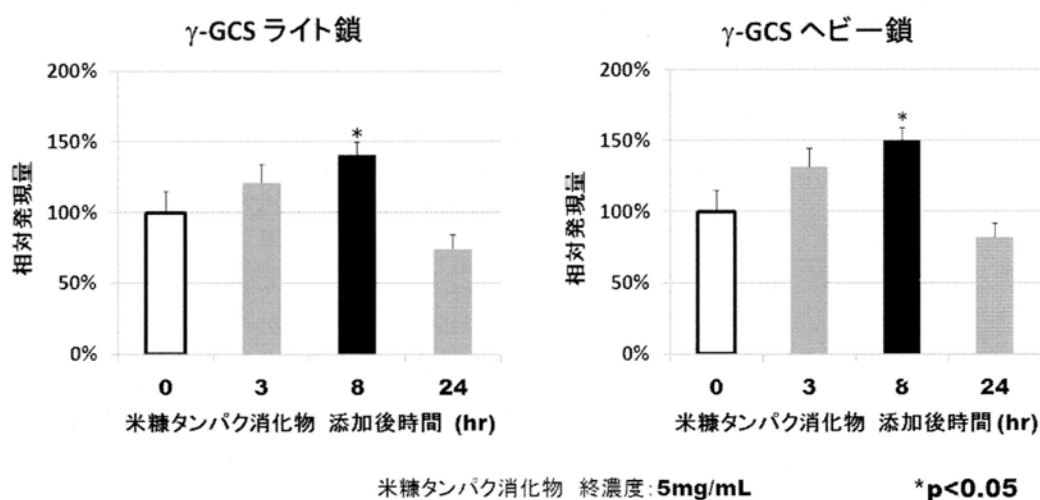


図5 γ -グルタミルシステイン合成酵素 (γ -GCS) 遺伝子発現に対する影響

5. 今後の展望

本研究では、米糠タンパク消化物について得た結果を紹介した。米糠タンパク消化物に含まれる NAT 活性化因子あるいはグルタチオン上昇因子について精製を試みたが、残念ながら現在のところ同定には至っていない。分離精製工程を経るに従い活性が低下する傾向があるため、複数の因子が協同して機能を発揮している可能性が示唆される結果にとどまっている。加えて、米糠タンパクの製造コストも高価なものになることも供給先の試算から明らかとなってきた。

平成27年度から、食品の新たな機能性表示制度が始まった。その中で重要な項目は、安全性の確保、科学的根拠、機能性表示、対象成分の4項目である。対象成分とは、作

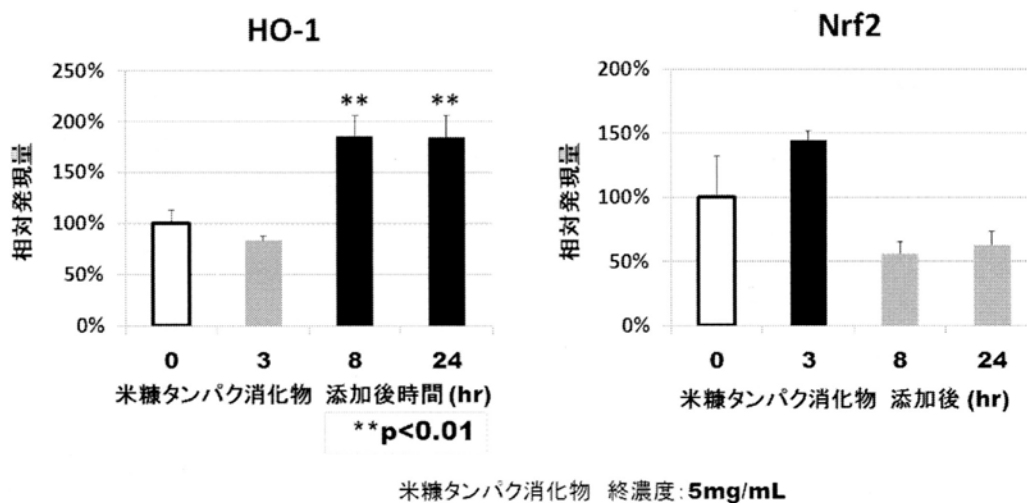


図6 ヘムオキシゲナーゼ1 (HO-1) 及び転写因子 Nrf2 遺伝子発現に対する影響

用機序が考察され、直接的あるいは間接的に定量可能な成分と定義されている。つまり活性化因子の同定が必須項目となる。そこで、現在は安価に入手可能な白米由来タンパクの消化物に材料を変更し研究を進めており、米糠タンパク消化物と同様な機能を有することを確認できている。さらに機能性分子の単離・精製についても成功し、現在特許出願の作業中である。知的財産の確保を行った後、学会・論文等で公表する予定にしている。

金沢医科大学の米山智子氏らは 1,848 人の日本人の男女のデータを分析し睡眠の質をはかると共に、健康に関する生活習慣（食生活や喫煙、運動習慣など）についての聞き取り調査を行った。その結果、麺類・パン製品と比較し、米飯は睡眠の質を高める効果を認めた⁸⁾。米飯はグリセミック指数が高く、脳に運ばれるトリプトファンの量が増えることによりトリプトファンから睡眠ホルモンであるメラトニンが作られ、良質な睡眠につながる。これに加えて、白米タンパク消化物が、グルタチオン増強および NAT の活性化機能を発揮していることも充分考えられることである。

これまでの機能性食品は、高血圧、糖尿病、痛風といったいわゆる生活習慣病予防に関するものばかりであった。しかし、次世代型の機能性食品は、脳機能活性化・身体ロコモーション機能維持などがターゲットになると考えられ、日常の食事から快眠へと導くことが可能になれば非常に魅力的だと考えている。本内容の研究は緒に就いたばかりであるが、ヒト介入試験による実証などを経て、将来的には米由来タンパク消化物による快眠誘導機能性食品の開発につなげることを夢見る次第である。

6. 謝 辞

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

また、材料に用いた米糠タンパクは株式会社サタケから提供いただいたものであり、この場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Hatanaka, T., Inoue, Y., Arima, J., Kumagai, Y., Usuki, H., Kawakami, K., Kimura, M., and Mukaiharu, M., : *Food Chem.*, **134**, 797-802 (2012)
- 2) Hatanaka, T., Uraji, M., Fujita, A., and Kawakami, K., : *Int. J. Pep. Res. Ther.*, **21**, 479-485 (2015)
- 3) 裏出良博 : *化学と生物*, **51** (11), 574-762 (2013)
- 4) Tsuboi, S., Kotani, Y., Ogawa, K., Hatanaka, T., Yatsushiro, S., Otsuka, M., and Moriyama, Y., : *J. Biol. Chem.*, **277** (46), 44229-44235 (2002)
- 5) 坪井誠二, 森山芳則 : *化学と生物*, **43** (4), 251-256 (2005)
- 6) 特許 WO2005/094849
- 7) Kobayashi, A., Kang, M. I., Watai, Y., Tong, K. I., Shibata, T., Uchida, K., and Yamamoto, M., : *Mol. Cell Biol.*, **26** (1), 221-229 (2006)
- 8) Yoneyama, S., Sakurai, M., Nakamura, K., Morikawa, Y., Miura, K., Nakashima, M., Yoshita, K., Ishizaki, M., Kido, T., Naruse, Y., Nogawa, K., Suwazono, Y., Sasaki, S., and Nakagawa, H. : *PLoS One.*, **9** (8), e105198 (2014)

放線菌フェルラ酸エステラーゼによる未利用バイオマス細胞壁分解法の確立

岡山県農林水産総合センター生物科学研究所

裏地美杉

1. はじめに

フェルラ酸エステラーゼ (FAE) は、イネ科植物細胞壁分解において、フェルラ酸をはじめとする桂皮酸エステル結合を加水分解し、リグニンの架橋構造を緩めることによって、セルラーゼ、キシラナーゼ等の反応を促進する重要な鍵酵素である。FAE によって植物細胞壁から遊離するフェルラ酸は、主にイネ科植物細胞壁成分ヘミセルロースに存在し、抗酸化活性および紫外線吸収作用を有する多機能物質であり、食品や化粧品の添加物として利用されている。近年では、アルツハイマー性認知症に抑制効果を示すことが明らかにされ (1)、フェルラ酸を用いた機能性食品の開発が期待されている。フェルラ酸の生産方法としては、米油搾取後の米糠に含まれるフェルラ酸のステロールエステルを加水分解する方法が一般的であるが、米の生産量減少に伴う米糠不足で、フェルラ酸供給は不足している。それに代わる生産方法として、FAE などの微生物酵素を用い、未利用となっている植物バイオマスからフェルラ酸を抽出する方法が研究されている (2, 3)。また一方でフェルラ酸は、ヘミセルロースで二量体 (ジフェルラ酸) となって糖質ポリマー間の架橋を形成し (図1)、植物細胞壁の構造維持に重要な働きをしている。そのため、バイオエタノール生産の原料となる植物バイオマスの細胞壁分解にも、FAE によるフェルラ酸、ジフェルラ酸および桂皮酸類などリグニンの除去が有効であることが報告されているが (4)、植物細胞壁は複雑な構造を有しており、バイオマス種によっては利用が困難なものがある。

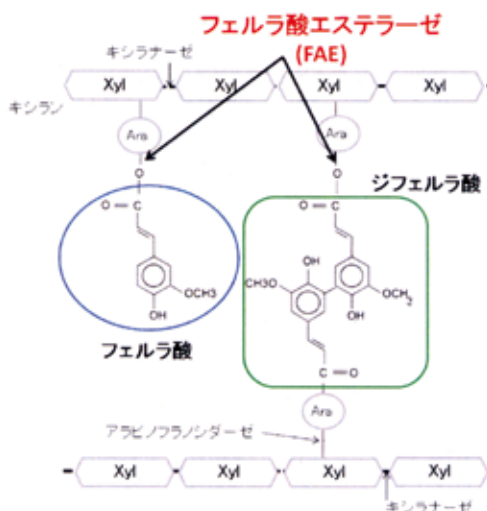


図1 イネ科植物細胞壁ヘミセルロース中のフェルラ酸 (矢印は各酵素による切断部位を示す)
フェルラ酸エステラーゼ(FAE): アラビノフラノシドに結合した、フェルラ酸を分離する酵素
キシラナーゼ: キシランをキシロース(Xyl)に分解する酵素
アラビノフラノシダーゼ: キシランに結合したアラビノフラノシド(Ara)を分離する酵素

これまで我々は、特に酵素法が難しいとされてきた米糠からのフェルラ酸抽出酵素法の確立に取り組み、FAE活性を有する市販麹カビ由来酵素と、放線菌由来の糖加水分解酵素(キシラナーゼ、アラビノフラノシダーゼ)を混合する(図1)ことで、効率よくフェルラ酸を抽出することができた(2)。また、同じ酵素ブレンドを用いて他バイオマスを利用したところ、フェルラ酸抽出効率に差が認められた。また、米糠においては、フェルラ酸抽出に FAE と糖加水分解酵素との相乗効果も見られた(2)。そこで、バイオエタノール生産における植物細胞壁糖化においてもフェルラ酸エステラーゼと糖加水分解酵素とのブレンドが有効であると考えた。本申請研究においては、我々が新たに同定した新奇放線菌 FAE を用い(5)、植物細胞

壁構造分解への有用性を、オリゴ糖類生産およびグルコースの生産で評価を行った。

2. 実験材料および方法

2. 1. 実験試料

実験試料にはイネ科バイオマスとして、脱脂米ぬか、トウモロコシ穂軸、サトウキビバガスを粉砕し、使用した。放線菌酵素は、R18 と R43 の二種類のフェルラ酸エステラーゼ (R18 および R43)、キシラナーゼ、 α -L-アラビノフラノシダーゼを用いた。また、糖化反応用酵素として糸状菌由来市販酵素、セルラーゼ SS(Nagase ChemteX)を用いた。

2. 2. 酵素反応

10 mg の粉砕バイオマスに、400 μ l の 0.1M トリスマレイン酸バッファー (pH 7.0)を添加し、99 度で 5 分加熱後冷却した。バイオマスサンプルに 20 mg の FAE、5mg キシラナーゼおよび α -L-アラビノフラノシダーゼの各酵素粉末を添加、総量 800 μ l とし、反応液は 50 度で 24 時間振とうした。反応後、遠心分離して上清を回収し、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) 分析を行った。

桂皮酸類の分析と定量

桂皮酸類の分析は C18 カラム (Symmetry C18 3.5 μ m 2.1 \times 50 mm, Waters) を用いた。HPLC 条件として、カラム温度 40 $^{\circ}$ C、0.1%ギ酸水溶液と 0.1%ギ酸含有アセトニトリルによるグラジエントで有機溶媒比を 10%から 60%までを流速 0.3 ml/min、322 nm の UV 吸収で分析した。質量分析には LCMS-2020 (Shimadzu) を使用した。

糖類の分析

オリゴ糖類の分析にはアミドカラム (X Bridge Amide 3.5 μ m 2.1 \times 50 mm, Waters)を用いた。LC-MS 条件として、カラム温度 40 $^{\circ}$ C、0.2% トリエチルアミン含有 80%アセトニトリルと 0.2% トリエチルアミン含有 30%アセトニトリルによるグラジエントで有機溶媒比を 0%から 60%までを流速 0.5 ml/min、190 nm の UV 吸収で分析し、さらにネガティブモードにて質量分析を行った。質量分析には LCMS-2020 (Shimadzu) を使用した。グルコースの定量には、グルコース CII-テスト (Wako)を用いた。

3. 結果と考察

3.1. バイオマスからのオリゴ糖類の生成への FAE 添加効果

R18 もしくは R43 の放線菌 FAE、および放線菌キシラナーゼと放線菌 α -L-アラビノフラノシダーゼの糖加水分解酵素の3酵素共処理による脱脂米糠、トウモロコシ穂軸、トウモロコシフスマ、サトウキビバガスからの生成糖類を解析した。使用した放線菌キシラナーゼは、セルラーゼ活性を併せ持っており、生成糖として、セルロースの主成分であるグルコース等の六炭糖、およびヘミセルロースの主成分であるキシロース、アラビノース等の五炭糖の両方が検出されることが予想された。

脱脂米糠、サトウキビバガス、トウモロコシ穂軸、トウモロコシフスマを材料としたとき、いずれのバイオマスにおいても FAE の添加によって六炭糖から組成される3糖から6糖のオリゴ糖生成量が増加していた(図2)。特に、脱脂米糠、サトウキビバガス、トウモロコシフスマでは4糖および6糖の生成量が顕著に増加しており、トウモロコシ穂軸では他のバイオマスに比較して5糖の生成量の増加が見られた。また、脱脂米糠、トウモロコシフスマでは五炭糖の生成がほとんど見られず、サトウキビバガスではキシラナーゼおよびアラビノフラノシダーゼを添加することによって、五炭糖で構成される2糖の生成量が増加していたが、その増加にFAEの添加効果は見られなかった。一方、トウモロコシ穂軸を材料とした場合、FAE添加によって、六炭糖で構成されるオリゴ糖の増加はわずかであったが、五炭糖で構成される2糖の生産量が明らかに増加していた。以上の結果から、脱脂米糠、サトウキビバガス、トウモロコシフスマにおいては、放線菌FAEの添加によって、セルロースの分解がヘミセルロースの分解よりも促進されたと考えられる。イネ科植物細胞壁内では、セルロースはヘミセルロースの倍以上含まれており(6)、さらに細胞壁構造はイネ科植物種間においても多様な構造をとっている(7)。今回材料として用いた、脱脂米糠、サトウキビバガス、トウモロコシフスマは、使用したキシラナーゼの基質としてヘミセルロースよりもセルロースが多く、そのためにセルロース由来オリゴ糖の生成が促進されたと考えられる。また、ヘミセルロースのみならず、セルロースの分解にも放線菌FAEが寄与できることが明らかになった。

今回、放線菌FAEの添加によって増加したオリゴ糖類は、セルロースおよびヘミセルロースなどの植物細胞壁構造を原料としていることから、デンプンを原料とするオリゴ糖と異なり、 β , 1-4結合で構成されている。また、放線菌FAEの添加によって、トウモロコシ穂軸から生成した五炭糖で構成される2糖は、キシロピオースであると考えられた。キシロピオースを含めた β , 1-4結合されたオリゴ糖類は、乳酸菌増殖に影響を与え、整腸作用があると報告されている(8)。本申請研究により、放線菌FAEは、機能性オリゴ糖の生産に資する可能性が示唆された。

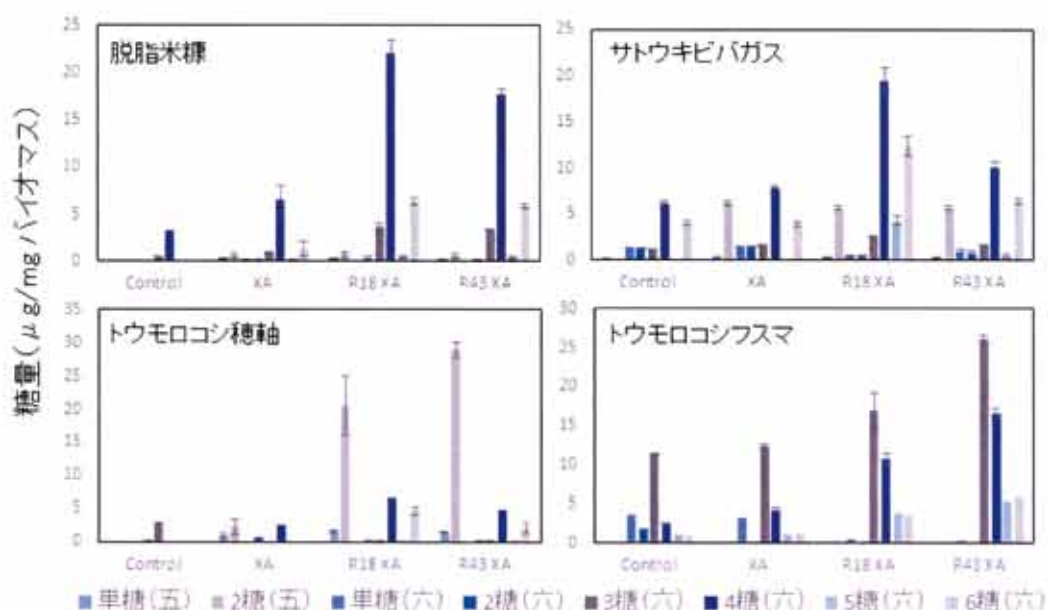


図2 バイオマスからのオリゴ糖生成と放線菌FAE添加効果
 X 放線菌キシラナーゼ; A 放線菌 α -L-アラビノフラノシダーゼ

3. 2. サトウキビバガスにおける桂皮酸類の遊離

これまで脱脂米糠、トウモロコシフスマについては、FAE および糖加水分解酵素(キシラナーゼおよびアラビノフラノシダーゼ)によるフェルラ酸の遊離を確認している(6)。そのなかでも、脱脂米糠を材料とした場合に、FAE と糖加水分解酵素の共処理が、フェルラ酸の遊離に相乗効果を示すという結果を得ており、今回の解析においても同様の結果が示された(図3A)。本申請研究において新たに解析したトウモロコシ穂軸でも FAE と糖加水分解酵素の共処理の効果は見られ、トウモロコシフスマと同程度であった。また、新たに解析したサトウキビバガスについては、各酵素処理における遊離フェルラ酸量、さらに遊離 *p*-クマル酸量を詳しく解析した(図3B)。フェルラ酸の遊離は、R18 もしくは R43 それぞれの単独処理および糖加水分解酵素のみの処理でわずかに見られた。また、R18 もしくは R43 と糖加水分解酵素を共処理した場合、遊離するフェルラ酸量が10倍以上増加することが明らかとなった。このことは、放線菌 FAE がサトウキビバガス細胞壁からのフェルラ酸抽出に効果を持つことを示しており、また脱脂米糠への効果と同様に、糖加水分解酵素との相乗効果が大きいことが示唆された(図3)。また、桂皮酸類で、フェルラ酸とともにイネ科植物細胞壁に多く含まれる *p*-クマル酸も、フェルラ酸と同様に遊離されており、FAE の共処理によって生成する *p*-クマル酸量は未処理および糖加水分解酵素処理の2~3倍程度であることが分かった。これまでに、放線菌 FAE は人工基質の桂皮酸エステル類のなかで、フェルラ酸に最も高い基質特異性を示す酵素であるという解析結果を得ており(5)、バイオマスからの遊離においても同様の結果であったといえる。それに加えて、バイオマス上のフェルラ酸に対しては、糖加水分解酵素と協調的に働くことでその能力を発揮できたと考えられる。

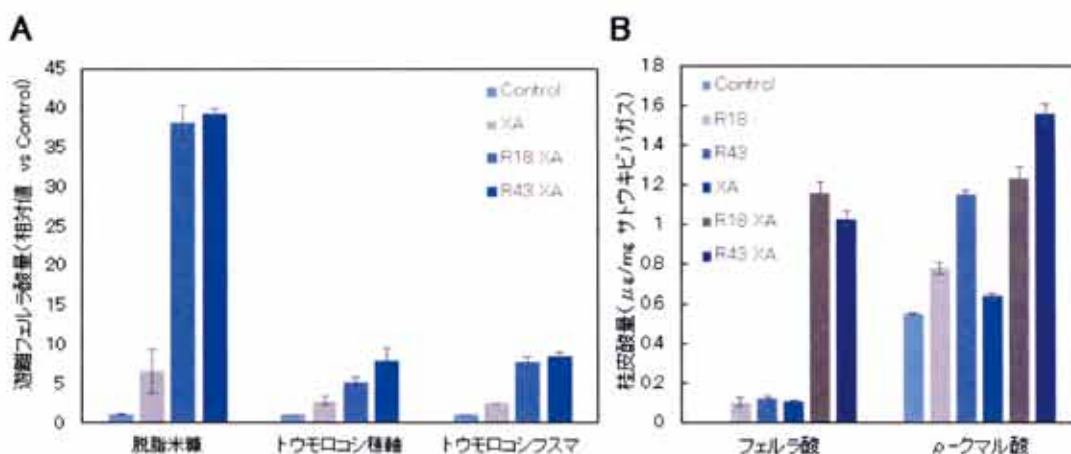


図3 放線菌FAEによるバイオマスからの桂皮酸類の遊離と糖加水分解酵素との相乗効果

3. 3 糖化反応における放線菌 FAE 添加効果

一般的に植物細胞壁の分解および糖化には、糸状菌由来のセルラーゼ類が使用されており、細胞壁からグルコースなど単糖が生産される。そこで、本申請研究において、市販セルラーゼ(セルラーゼ SS)を用いた糖化反応への放線菌 FAE の添加効果を調べた(図4)。脱脂米糠、サトウキ

ピバガスを材料とした場合には、ほとんど FAE による糖化の増加は見られず、反対にセルラーゼを単独処理したものによるグルコース生産量が多かった。一方で、トウモロコシフスマ、トウモロコシ穂軸を材料とした場合にはFAEの添加によってグルコース生産量が増加した。脱脂米糠およびサトウキビバガスにおいて、期待した結果とは異なった原因は、米糠やサトウキビバガスの細胞壁構造が複雑なために、セルラーゼが単糖を生成する反応を妨げた可能性が考えられる。それに対して、トウモロコシ穂軸やフスマでは、脱脂米糠などに比較してヘミセルロースにおける修飾が単純であり、フェルラ酸が取り除かれることでヘミセルロースが増加してもセルラーゼの反応を妨げなかったのではないかと推測した。

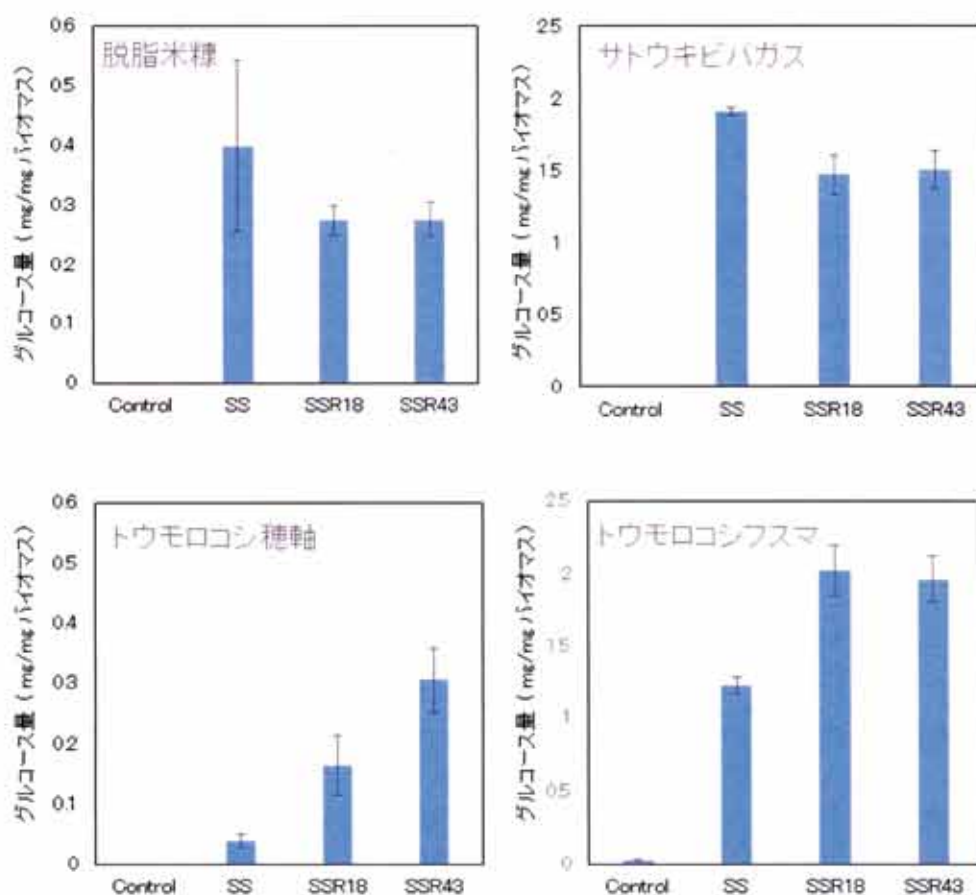


図4 バイオマス糖化における放線菌FAEの添加効果

4. まとめ

放線菌 FAE は植物種間の多様な細胞壁構造に対応し、糖加水分解酵素の働きを補助し細胞壁分解を促進させる酵素であるといえる。さらに、今回の解析で見出したバイオマス由来オリゴ糖は、バイオ燃料用糖として供給できるだけでなく、生理活性をもつ機能性オリゴ糖である可能性がある。今後はこれらのオリゴ糖の機能性評価を行い、放線菌酵素を用いたバイオマス利用への付

加価値を示していきたい。

5. 謝辞

本研究に多大なるご支援を頂きました、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。

参考文献

1. Sultana R, Ravagna A, Mohmmad-Abdul H, Calabrese V & Butterfield DA (2005) Ferulic acid ethyl ester protects neurons against amyloid beta-peptide (1-42)-induced oxidative stress and neurotoxicity: relationship to antioxidant activity. *J Neurochem* 92, 749–758.
2. Uraji M, Kimura M, Inoue Y, Kawakami K, Kumagai Y, Harazono K, Hatanaka T (2013) Enzymatic production of ferulic acid from defatted rice bran by using a combination of bacterial enzymes. *Appl Biochem Biotechnol* 171: 1085-1093.
3. Huang YC, Chen YF, Chen CY, Chen WL, Ciou YP, et al. (2011) Production of ferulic acid from lignocellulolytic agricultural biomass by *Thermobifida fusca* thermostable esterase produced in *Yarrowia lipolytica* transformant. *Bioresour Technol* 102: 8117-8122.
4. Agger J, Viksø-Nielsen A, Meyer AS (2010) Enzymatic xylose release from pretreated corn bran arabinoxylan: differential effects of deacetylation and deferuloylation on insoluble and soluble substrate fractions. *J Agric Food Chem* 58: 6141-6148.
5. Uraji M, Arima J, Inoue Y, Harazono K, Hatanaka T (2014) Application of two newly identified and characterized feruloyl esterases from *Streptomyces* sp. in the enzymatic production of ferulic acid from agricultural biomass. *PLoS One*, 9(8):e104584
6. 農研機構 <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nics/2010/nics10-22.html>
7. Yokoyama R & Nishitani K (2014) Structural and Functional Diversity of Plant Cell Wall. *BSJ-Review* 5: 46
8. van Zanten GC, Knudsen A, Röytiö H, Forssten S, Lawther M, Blennow A, Lahtinen SJ, Jakobsen M, Svensson B & Jespersen L (2012) The effect of selected synbiotics on microbial composition and short-chain fatty acid production in a model system of the human colon. *PLoS One* 7:e47212.

廃棄物最終処分場における多成分多相流数値シミュレーション手法の構築

岡山大学大学院環境生命科学研究科 鈴木和将

1. はじめに

廃棄物最終処分場は、廃棄物の衛生的な管理と環境保全にとって極めて重要な社会基盤施設であるにもかかわらず、地域住民にとって迷惑施設であり、新しく処分場を設けることが非常に困難な状況にある。地域住民が安心できない理由として、種々雑多な廃棄物が埋め立てられ、そこから有害物質が環境中へ放出されるのではないかという懸念がある。現在、その懸念を払拭するほど、処分場内部の有害物質の変化や挙動を予測して、有害な形で処分場から環境中へ放出しないという戦略が十分とられているわけではない。廃棄物を処分場に埋め立てた場合、どのような浸出水やガスが、どのような時系列で生じるかを知るために、実験室レベルでのバッチ実験や埋立地を模擬したカラム実験、ライシメーターやテストセル等の大規模埋立実験が行われている。しかし、このような実験系で埋立処分場の予測するには限界があり、処分場内部の埋立物の安定化に必要な期間数十年～数百年の実験を行うことは不可能である。また、どのように埋立をすれば効果的な埋立ができるかを検討する際、廃棄物の種類や量、前処理方法（破碎、埋立物の混合等）、埋立地構造（浸出水集排水管、ガス抜き管の配置等）、埋立操作（埋立順序、覆土の種類、厚密の程度等）、埋立地規模等パラメーターが非常に多く、さらにこれらの組み合わせを考えるとカラム実験や大規模埋立実験でこれら全ての検討を行うことはできない。このような実験で現象を模擬することが困難な場合、数値シミュレーション技術が非常に有用なツールとなる。これまで埋立シミュレーターが、コンパートメントモデルを基礎にして開発されてきた。埋立地内で起こっている諸現象、微生物反応、ガスの溶解、水相及び固相での化学種の平衡反応等の化学反応、さらに、水、ガス及び熱の移動現象も定式化し、埋立地内での有害物質の長期挙動シミュレーションが実施されている。コンパートメントモデルは、1つのコンパート内は均質であるとして計算が行われているが、実際の埋立処分場内部構造は不均質であり、焼却灰の固結による通気性/通水性の低下、極端な水みちの形成、それによる埋立層の安定化の遅延等の問題が顕在化している。コンパートメントモデルを基礎とした数値シミュレーションでは、このような水やガスの偏り流れを評価することができず、埋立処分場内部の有害物質の長期挙動シミュレーションも精度良く行うことができない。このような偏り流れによる有害物質の挙動予測を行うためには、埋立内部構造を考慮した数値流体力学（CFD）シミュレーションを実施し、これらの式と埋立内部の化学種の反応を表す化学平衡や反応式等の非線形連立方程式を連成、解析する必要がある。そこで、本研究では、埋立処分場内部のような不均質な場において有害物質の長期挙動を精度良く予測することができる多成分多相流の数値解析手法を開発することを目的として、最新数値シミュレーション技術である CIP-CUP 法を用いて間隙中を流れる気液固の多相流数値シミュレーションを行う。さらに、これらの結果と内部の化学反応を表す非線形連立方程式を連成解析する。

2. 廃棄物間隙モデル形状の作成及び飽和流数値シミュレーション

2.1 研究方法

(1) マイクロフォーカス X 線 CT スキャナによる処分場内部構造の可視化

試料には、ポーリングコア試料を用いて、アクリル製のモールドに試料を数回に分けて締め固めながら供試体を作成した。この供試体を試料テーブルに載せてマイクロフォーカス X 線 CT スキャナ装置（TOSCANER-32251 μ hd）を用いて撮影を行った。撮影した 3 次元の CT 画像を STL 形式のファイルに変換を行った（図 1）。この STL 形式のファイルを画像処理ソフトウェア ScanIP に読み込み、マスクの作成を行った。さらに、+FE Module ソフトウェアを用いて、このマスクを六面体に

メッシュに分割した (図 2)。これらのデータでノードデータのみを抽出して、csv 形式に保存し、このデータを独自に作成した特性関数のプログラムに読み込んだ。

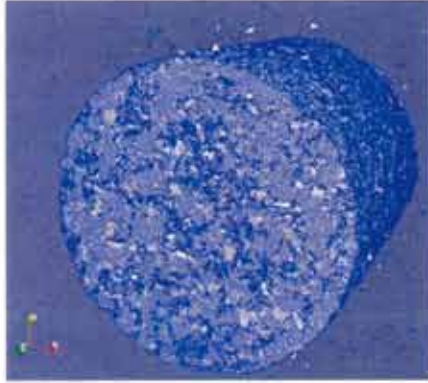


図1 コアサンプル (STL形式)

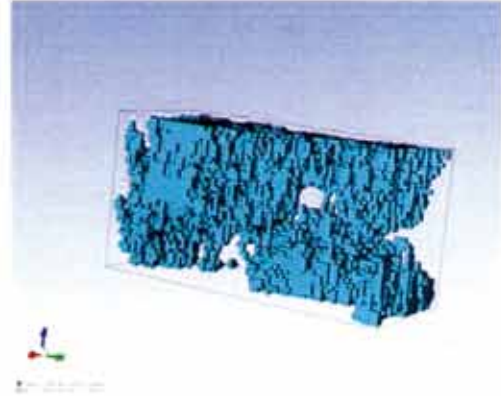


図2 六面体メッシュの作成

(2) 特性関数の設定

本研究では、デカルト座標 (x, y, z) を採用し、その中で、最終処分場内部のモデル形状を作成するために、特性関数 χ_f を用いる。

$$\chi_f(x, y, z) = \begin{cases} 1 & (x, y, z) \in \Omega_f \\ 0 & (x, y, z) \notin \Omega_f \end{cases}$$

ただし、 Ω_f は固相を表している。この特性関数の分布が空間的に不連続であると計算が不安定になる可能性があるため、下記方程式を用いて、分布を計算領域内で滑らかにする。

$$\frac{\partial \chi_f}{\partial \tau} = \kappa \left(\frac{\partial^2 \chi_f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \chi_f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \chi_f}{\partial z^2} \right)$$

ここで、左辺の τ は、仮想的な時間であり、右辺の κ は、仮想的な伝導率である。

(3) 支配方程式

土壌のような多孔性媒質内の流れの解析については、古くから多くの研究が行われており、支配方程式として飽和・不飽和浸透流方程式と呼ばれるものが用いられていることが多い。これは、より一般的に流れの解析で用いられている Navier-Stokes 方程式を簡略化したものと考えることができ、土質中のように流速が非常に遅いところでは妥当なモデルだと考えられている。しかしながら、この解析法の問題点として、Navier-Stokes 方程式の中で重要な役割を果たしている移流項 (非線形項) が無視された形になっている等、問題設定によっては対象とする現象を正しく記述していないと思われる状況もあり、処分場内部の流体の流れを解析するにあたり、Navier-Stokes 方程式を用いてより信頼性の高い解析手法の構築を目指した。

そこで、本研究では、支配方程式に、連続の式及び非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を用いた。

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{u} &= 0 \\ \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} &= -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} - a \chi_f \mathbf{u} \end{aligned}$$

ただし、 \mathbf{u} は流速、 p は圧力、 ν は動粘性係数である。

Navier-Stokes 方程式の右辺第三項は、速度 \mathbf{u} に比例する抵抗（抵抗定数 a ）を与える項である。これらの方程式を差分法によって離散化し、初期条件と適切な境界条件の下、SMAC 法で計算を行った。また、圧力 Poisson 方程式は GP-BiCG 法を用いて解いた。

2.2 結果および考察

埋立処分場内部保有水の移動をシミュレーション解析した。図3に、埋立層上部の境界条件として一定の流速を与えた場合の数値シミュレーション結果（流線図）を示す。流線の色や太さは、流れの速さを表している。また、図の茶色の透明な部分は、コアサンプルの固体部分を表している。図3を見てみると、間隙中の保有水は、間隙に沿って流れが複雑に変化し、局所的にいくつかの箇所でも渦が発生していた。この渦の発生は、間隙形状によって大きな違いがみられ、保有水流れと間隙形状は密接な関係があった。

本研究では、マイクロフォーカス X 線 CT スキャナと画像処理ソフトウェアを用いて、埋立処分場の複雑な内部構造を表現する作業手順を構築した。今後、その複雑な間隙形状と流れの特性がどのような関係にあるのかを明らかにする必要がある。



図3 間隙内流線図（左図：側面から見た流れの様相、右図：下面から見た流れの様相）

3. 埋立層間隙内の気液二相流数値解析

3.1 研究方法

(1) CIP 法

気液界面を有する自由表面流れは、非常に身近な現象であるものの、自由表面が複雑に変形し、非線形性が強いため、数値的に解析するのは、極めて困難な課題の一つである。近年、自由表面を伴う流動解析は、盛んに研究が行われており、様々な計算手法が提案されている。Yabe と Aoki は、移流方程式に対して精度の高い数値解法スキームとして CIP (Cubic Interpolated Profile) 法を開発し、物理量とその空間一階微分の両方の値を時間発展する解として求め、数値拡散の極めて少ない界面輸送を実現した²³⁾。

CIP 法の計算手順を説明するために、1次元の移流方程式の場合を考える。

$$\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = 0$$

ここで、 f は物理量を表し、 u は物理量の伝播速度を表している。また、この式を微分して、物理量の空間一階微分に関する方程式を導く。

$$\frac{\partial(f_x)}{\partial t} + u \frac{\partial(f_x)}{\partial x} = 0$$

ここで、 $f_x = \partial f / \partial x$ を表している。これは、上の式と同様に移流方程式に従うことを示している。

移流方程式は、3次関数補間を用い、物理量とその空間1階微分を使用して以下のように解く。

$$f_i^{n+1} = a_i \xi^3 + b_i \xi^2 + (f_x)_i^n \xi + f_i^n$$

$$(f_x)_i^{n+1} = 3a_i \xi^2 + b_i \xi + (f_x)_i^n$$

ここで、

$$a_i = \frac{2(f_i^n - f_{iup}^n)}{D^3} + \frac{(f_x)_i^n + (f_x)_{iup}^n}{D^2}$$

$$b_i = \frac{-3(f_i^n - f_{iup}^n)}{D^2} - \frac{2(f_x)_i^n + (f_x)_{iup}^n}{D}$$

$$\xi = -u\Delta t, D = -\Delta x$$

ただし、下添字 i, iup はインデックスを表し、 iup は流れの向きに応じて以下のように取り扱う。

$$\begin{cases} iup = i-1 & u \geq 0 \\ iup = i+1 & u < 0 \end{cases}$$

CIP法は、物理量のプロファイルを移動する時、このように物理量だけでなく、その空間一階微分も含めて移流させることにより、移動前のプロファイルを保持する方法である。本研究では、この1次元のものを3次元に拡張した。作成したコードが、正常に機能するかどうかを確認するために、CIP法により移流方程式を計算した。計算条件は、 x, y, z 方向のメッシュサイズを $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.01\text{m}$ とし、初期の物理形状を $0.3\text{m} \times 0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$ の立方体とした。また、伝播速度は -0.1m/s (左方向) で、物理量が移流するものとする。数値シミュレーション結果を図4に示す。図4より、初期の立方体の形状を維持しながら、左側へ移動しており、3次元のCIP法が正常に機能することが確認できた。

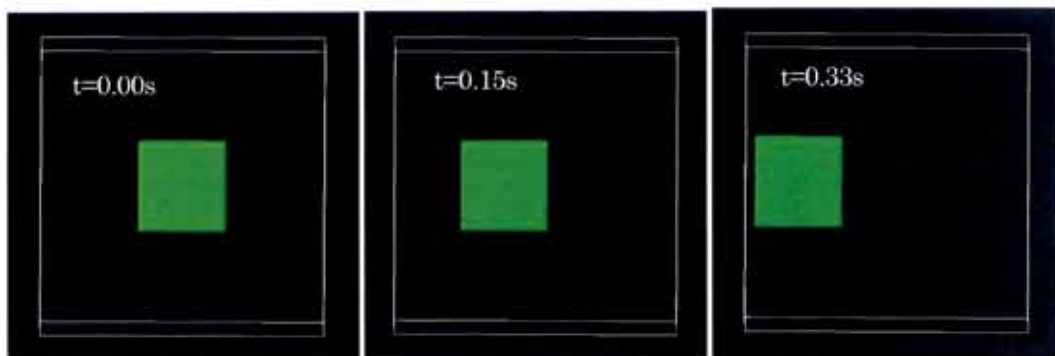


図4 CIP法による移流テスト計算 (T=0 sec, T=0.15 sec, T=0.33 sec)

(2) 表面張力

間隙内での気液二相流の特徴として、表面張力が駆動力として働き、液相の移動に重要な役割を果たす。このため、より現実に即した自由表面流の数値シミュレーションを行うためには、表面張力を考慮する必要がある。

本研究では、Brackbill らによる CSF (Continuum Surface Force) モデル⁴⁾を採用した。CSF モデルは、界面に働く表面張力を体積力 \mathbf{F}_{sv} で表現するモデルである。

$$\mathbf{F}_{sv} = \sigma \kappa \delta_D \mathbf{n}$$

ここで、 σ は表面張力係数、 κ は曲率、 \mathbf{n} は法線ベクトル、 δ_D はデルタ関数である。法線ベクトル \mathbf{n} と曲率 κ は次式により計算することができる。

$$\mathbf{n} = \frac{\nabla \theta}{|\nabla \theta|}$$

$$\kappa = -\nabla \cdot \mathbf{n}$$

表面張力を模擬する CSF モデルが正常に機能しているかを確認するために、空気中に立方体の水塊が存在する場合の表面張力による変形シミュレーションを実施した。水と空気の密度を 1.0 kg/m^3 、 1000.0 kg/m^3 とし、表面張力係数を $7.2 \times 10^{-2} \text{ N/m}$ 、重力加速度を 0.0 m/s^2 とした。また、計算格子数は $100 \times 100 \times 100$ 、メッシュサイズを $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.02 \text{ m}$ として、水塊の大きさを $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ に設定した。図 5 に数値シミュレーション結果を示す。 $t=0.5 \text{ s}$ で立方体の角に界面の曲率に応じた表面張力が働き、各頂点が丸くなっていく様子がわかる。さらに、 $t=0.8 \text{ s}$ で、曲率が 0 であった各面の中央部に流体が集中し始めて、 $t=1.0 \text{ s}$ で、表面張力の作用により、水塊はほぼ球体となった。このことにより、CSF モデルが正常に機能していることが確認できた。

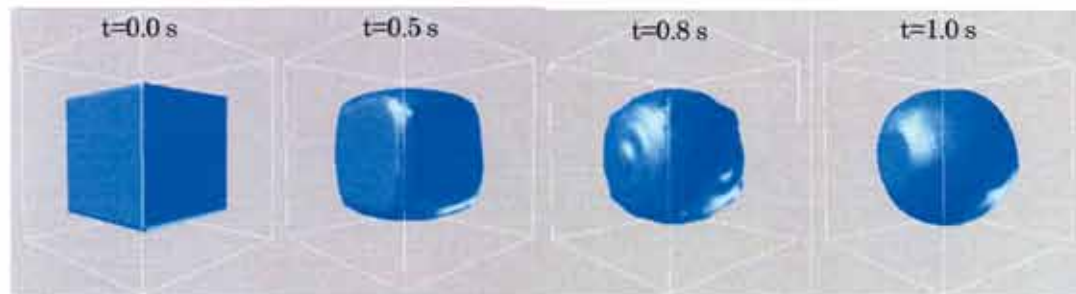


図 5 水塊形状の時間変化

(3) 気液二相流数値シミュレーション

支配方程式には、連続の式、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式、水分量の移動の式を用いた。

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} - \mathbf{g} + \frac{1}{\rho} \mathbf{F}_{sv} - a \chi_f \mathbf{u}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \theta = 0$$

ただし、 \mathbf{u} は流速、 p は圧力、 ν は動粘性係数、 \mathbf{g} は重力、 \mathbf{F}_{sv} は表面張力、 θ は水分量である。

Navier-Stokes 方程式の右辺第五項は、速度 \mathbf{u} に比例する抵抗 (抵抗定数 a) を与える項である。

これらの方程式を差分法によって離散化し、初期条件と適切な境界条件の下、SMAC (Simplified Maker And Cell) 法を用いて非圧縮性流体方程式の計算を行った。また、圧力 Poisson 方程式は GP-BiCG 法を用いて解いた。さらに、水分量の移流方程式の離散化には、高い精度を満たすことができる CIP 法を適用した。

3.2 結果及び考察

埋立処分場内部保有水の移動をシミュレーション解析した。図6に、初期条件として上部に水分量を与えた場合の間隙中気液二相流数値解析例を示す。図の茶色の部分が廃棄物、固相部分を表し、透明な青色部分は、水分量の等値面を表している。複雑な形状の間隙内部を上部から内部保有水が、流れ落ち、固相部分を避けながら、気液界面が移動していく様子がわかる。

本研究では、運動方程式に表面張力項を導入すると併せて移流項の離散化に精度の高い CIP 法を適用した気液二相流数値シミュレーション手法を構築し、埋立層間隙中の気液界面の変動の様子を捉えることができた。今後、このような気液界面の効果がマクロな流れにどのように影響を及ぼすのかを明らかにするとともに、さらに、間隙の幾何構造と流れの関係についても検討していく。

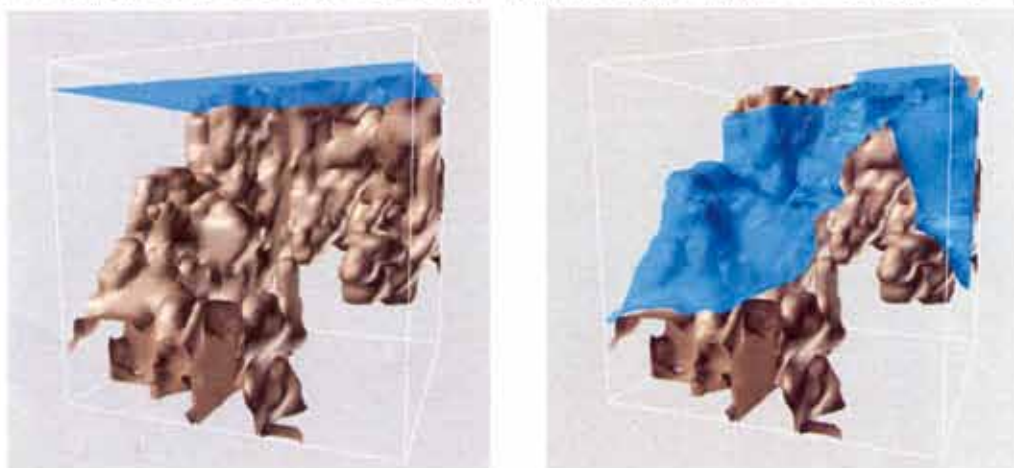


図6 埋立層間隙内の気液二相流数値シミュレーション結果

4. まとめ

本研究では、当初予定していた処分場内部反応のモデル化まで手がつけられなかったものの、汚染評価のベースとなる、より高品質に処分場内部現象を表すことができる多相流数値シミュレーション手法を構築することができた。

謝辞

本研究は、八雲環境科学振興財団の環境研究助成により行った。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 田中信壽, 数値埋立処分工学の開発 -計算プロトタイプの構築、平成 12, 13, 14 年度科学研究費補助金基盤研究(c) (2) (課題番号 12650538) (2003)
- 2) Yabe, T. and Aoki, T.: A universal solver for hyperbolic equations by cubic-polynomial interpolation, I. One-dimensional solver, *Comp. Phys. Com.*, Vol.66, 219-232(1991)
- 3) Yabe, T., Ishikawa, T. and Wang, P. Y.: A universal solver for hyperbolic equations by cubic-polynomial interpolation II. Two- and three-dimensional solvers, *Comp. Phys. Com.*, Vol.66, 233-242 (1991)
- 4) Brackbill, J. U., Kothe, D. B. and Zemach, C.: A Continuum Method for Modeling Surface Tension, *J. Comp. Phys.*, 335-354 (1992)

シカの食害による林床環境の改変が テンナンショウ属の性転換と個体群動態に与える影響

岡山大学大学院環境生命科学研究科 宮崎祐子

【背景と目的】

近年、シカ類による森林および林床の食害が著しいが、不嗜好性植物として林床に残る植物が存在する。なかでもサトイモ科テンナンショウ属はニホンジカの不嗜好性の強い植物である(橋本・藤木 2014)。シカの食害が進むと、不嗜好性植物は他の植物との光や土壌栄養といった植物の生育に欠かせない資源の獲得競争が排除された、それまでとは著しく異なる環境に生育することになる。こうした生育環境の改変は、個体サイズや繁殖様式に影響をおよぼすことが予想される。

テンナンショウ属は雌花と雄花を異なる株(個体)に産する雌雄異株であるうえに、同じ個体であっても年によって性表現が転換する。テンナンショウ属の性転換には個体サイズが関係していると言われており、サイズが大きいと雌に、小さいと雄になる傾向がある(Kinoshita 1987)。一方、雌雄の各個体がそれぞれの遺伝子を次世代に残して存続していくためには、雌雄個体間で確実に交配する必要がある、個体群内の雌雄の性比が非常に重要である。しかしながら、前述のような生育環境の変化により、個体サイズの変化を介した雌雄の性比に偏りが生じ、交配様式が変化した結果、有性生殖が制限され、個体群の遺伝的多様性が低下するおそれがある。テンナンショウ属には希少種や絶滅危惧種が含まれるため、それらの種の保全の観点からも、「生育環境—個体サイズ—性表現—有性繁殖—個体群動態」の関係を明らかにすることが必要である。

アシウテンナンショウ(*Arisaema ovale* Nakai)は京都府のレッドデータブックでは絶滅危惧種に指定されている。本種のタイプ産地である京都大学芦生研究林では、近年ニホンジカの急増による過採食が進んでいるが、アシウテンナンショウの食害は認められていない(藤井 2010)。また、本種は有性繁殖のほか、分球によって栄養繁殖する。個体サイズの変化は、分球数にも影響を及ぼしていることが考えられるため、栄養繁殖がどの程度個体群形成に寄与しているかを評価することも、環境改変後の個体群動態を把握する上で重要である。

そこで本研究では、シカ食害による環境改変が不嗜好性植物であるアシウテンナンショウの(1)個体サイズおよび性表現に影響を与える環境要因、および(2)個体群動態に与える影響を明らかにすることを目的とする。

【材料と方法】

調査地

調査地は京都府の北東部に位置する、京都大学フィールド科学教育研究センター森林ステーション芦生研究林 (35° 16' 51"~21' 20" N, 135° 42' 04"~47' 53" E) である。標高は 355~959 m、年平均気温は 12.1 °C、年降水量は 2257 mm、積雪深は 2 m である (芦生研究林 2003)。当研究林はシカの食害により林床植生が激減している (図 1; Kato and Okuyama, 2004; 阪口ら 2012)。一方、一部の不嗜好性植物は顕著に増加していることが報告されており (藤井 2010)、アシウテンナンショウもその一つである。アシウテンナンショウのほか、林床にはバイケイソウ (シュロソウ科)、サンヨウブシ (キンポウゲ科)、イワヒメワラビ (コバノイシカグマ科) などが生育している。



図 1 調査区付近の林床の様子

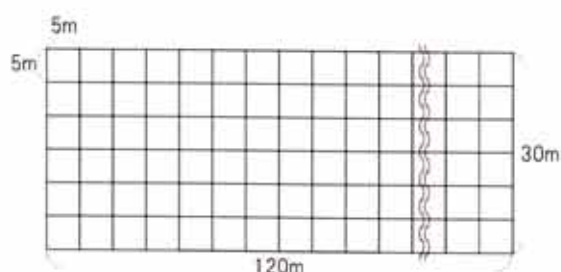


図 2 調査区の概要

調査区の設置と調査項目

2015年5月に 120 m × 30 m (0.36 ha) の調査区を設けた (図 2)。調査区内に生育するアシウテンナンショウ全個体をマーキングし、同年5月から7月にかけて性表現、個体サイズ (地際の偽茎直径)、調査区内における個体位置について記録した。性表現は花序の形態から識別した。

調査区をさらに 5 m 四方に区切り、各格子点上の光環境 (相対光合成有効光量子束密度; rPPFD) の測定を行った。rPPFD は7月の早朝に地表から約 50 cm の高さで光量子計を用いて測定し、裸地においても同時に測定し、相対値として表した。土壌体積含水率は 5、8、10 月に土壌水分計を用いて各格子点上で測定し、平均値を算出した。比高はレーザー距離計を用いて各格子点上の値を測定した。シダ類の被覆度については 5 m × 5 m の各区画内にて測定を行った。

また、同調査区内に自生するコウライテンナンショウ (*Arisaema peninsulae* Nakai) についても、性表現、個体サイズ、個体位置について調査した。

遺伝解析

アシウテンナンショウの各個体から、マイクロサテライトマーカーによる個体識別を行うための葉サンプルを採取した。サンプルは低温下で実験室に持ち帰り、 -20°C で保存した。葉から CTAB 法 (Murray and Thompson 1980) で DNA 抽出を行った。アシウテンナンショウはヒロハテンナンショウの亜種であるとされるため、Nishizawa et al. (2011) によりヒロハテンナンショウで増幅が確認されたものを使用した。Nishizawa et al. (2011) に記載された情報を元に蛍光プライマーを設計し、各プライマーの条件に沿って PCR を行った。使用したプライマーの遺伝子座名は、As2AB07, As2AC09, As2AH09, As2CA01, As2CE06, As4AD08, As4BF03, As4BF05, As4CC01, As4CG09, As3171F02, As3204H03 (Nishizawa et al. 2011) の 12 種類である。

解析方法

アシウテンナンショウの個体数と環境条件の関係、個体の開花の有無と環境条件の関係、および個体サイズと環境条件の関係については平滑化スプラインを用いた一般化加法モデルおよび一般化加法混合モデルと用いて解析を行った。モデル選択には赤池情報量基準 (AIC) を用いた。アシウテンナンショウおよびコウライテンナンショウの空間分布解析には L 関数を用いた。解析には全て統計パッケージ R (R Development Core Team 2015) を用いた。

【結果】

調査区内に認められたアシウテンナンショウの全個体数は 1095 個体で、そのうち無性個体が 1053 個体、オスが 42 個体、メスは 0 個体であった。平均偽茎直径は無性 (1.49 ± 0.66 mm) よりオス (4.71 ± 1.26 mm) の方が大きい値を示した。個体数と環境条件の解析の結果 (表 1)、全個体数と無性個体数への環境条件の明確な影響は検出されなかったが、オスの個体数には光条件が影響していることが示された。

表 1 個体数と環境条件の関係

応答変数	説明変数			応答変数の分布	リンク関数
	光量子束密度	土壌含水率	比高		
全個体数				0.86	負の二項分布
オス個体数	10.70	0.39			負の二項分布
無性個体数				0.66	負の二項分布

性表現と環境条件の関係について解析結果を表2に示す。個体の開花の有無には、個体サイズが強く影響していた。また、個体サイズと環境条件の関係についての解析結果を表3に示す。個体サイズには、光・土壌水分・比高・シダ被覆度の全てが影響していた。

表2 性表現と環境条件の関係

応答変数	説明変数					応答変数の分布	リンク関数	ランダム効果
	個体サイズ	光量子束密度	土壌含水率	比高	シダ被度			
開花の有無	187.71	4.60	13.77	3.05	1.85	二項分布	ロジット	方形区

表3 個体サイズと環境条件の関係

応答変数	説明変数				応答変数の分布	リンク関数	ランダム効果
	光量子束密度	土壌含水率	比高	シダ被度			
全個体	58.03	9.54	18.60	17.20	ガンマ分布	対数	方形区

アシウテンナンショウおよびコウライテンナンショウ個体群の空間分布について図3に示す。コウライテンナンショウについても非開花個体が大半を占め、メスが存在しなかった。しかし、開花個体の比率が種間で異なり、アシウテンナンショウでは3.8%であったのに対し、コウライテンナンショウでは11.8%であった。

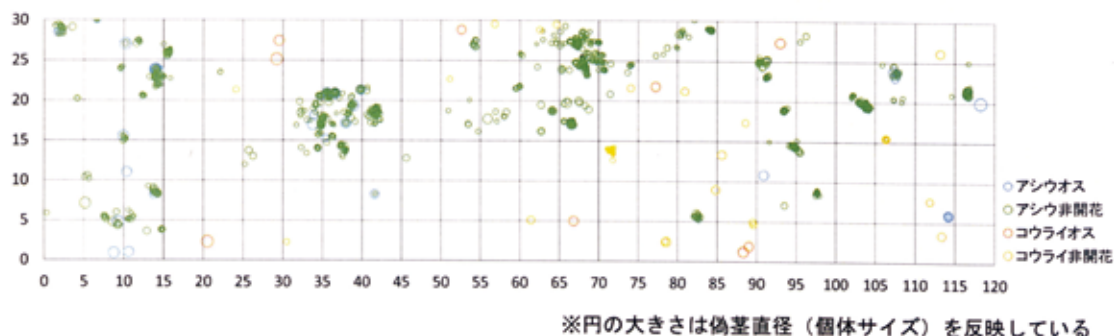


図3 アシウテンナンショウおよびコウライテンナンショウの空間分布

L関数による空間解析の結果を図4に示す。アシウテンナンショウ（図4a）では、非開花個体およびオス個体共に集中分布を示した。非開花とオスの分布相関は、小スケールでは同所的分布を示し、大スケールでは独立分布を示した。コウライテンナンショウ（図4b）では、非開花個体は集中分布を示し、オス個体は小スケールでは集中分布を示すが、大スケールでは一様分布を示した。非開花とオスの分布相関は、小スケールでは排他的分布を示すが、大スケールでは独立分布を示した。種間の分布相関（図4c）は、各種の個体群全体では集中分布を示した。種間では小スケールでは排他的分布を示すが、大スケールでは同所的分布を示した。

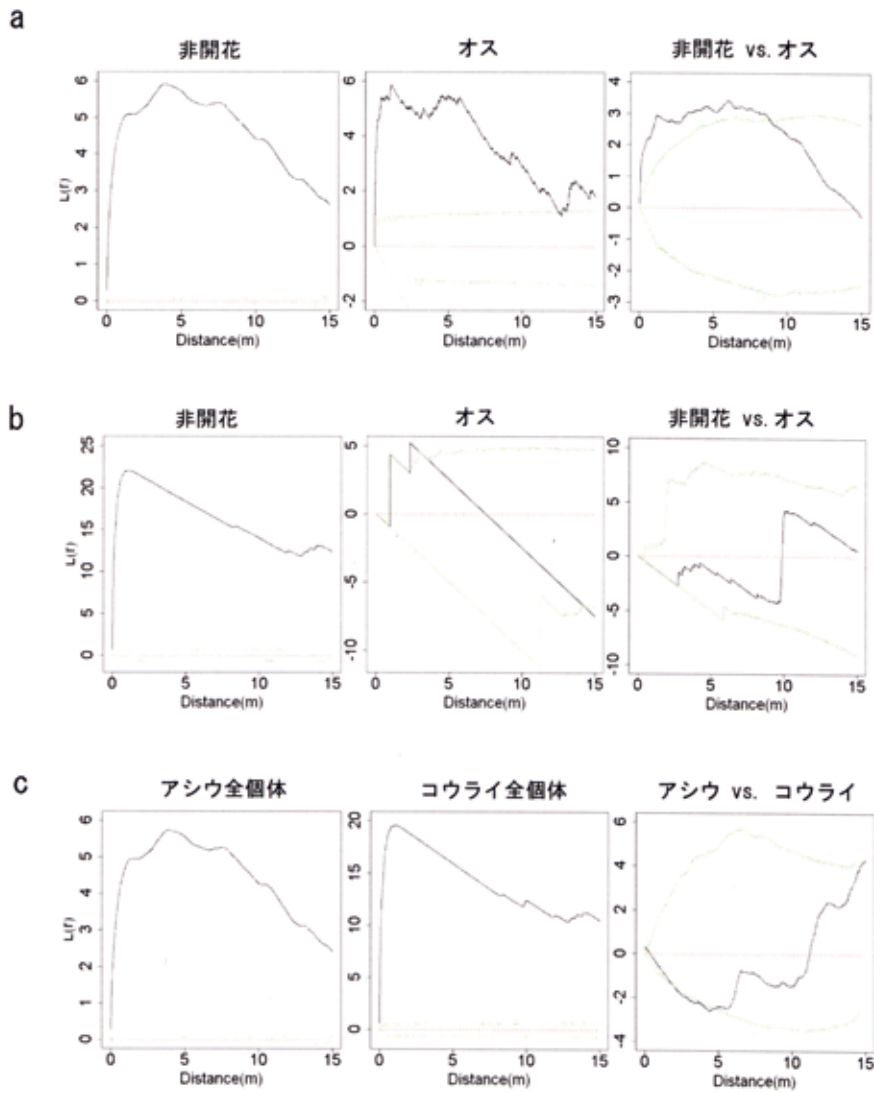
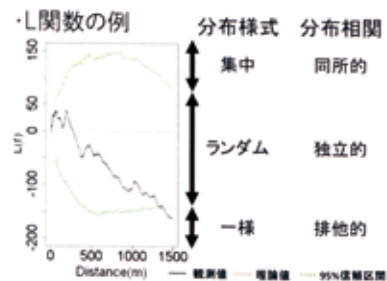


図4 アシウテンナンショウおよびコウライテンナンショウの分布様式と分布相関

a: アシウテンナンショウ、b: コウライテンナンショウ、c: 種間の分布相関

L関数の解析結果の例を右図に示した。



アシウテンナンショウの遺伝構造を把握するために、マイクロサテライトマーカーによる個体識別を試みた。しかし、文献に記載された 12 遺伝子座を用いての PCR では

目的とする領域がいずれもうまく増幅されず、解析を行うことができなかった。

【考察】

調査区のアシウテンナンショウ個体群の性比はオスに偏っていた。テンナンショウのオス比率は既往の文献によると平均値が63.7%とされており (Richardson and Clay 2001)、食害強度が高いほどオスに偏ることが報告されている (Heckel et al. 2010)。このことから、調査地では強度のシカ食害が有性生殖を阻害している可能性が示唆される。また、子葉が一枚という特徴から判別できる (邑田 2011) 当年生実生およびメス個体が調査年は存在しなかった。このことから、少なくとも2年間は調査区内では有性生殖が行われていないことが推測される。有性生殖の頻度が低いと考えられることについて、シカ食害との因果関係を考察するためには、今後、食害度の異なる個体群と比較し、検討を重ねる必要があると考えられる。

環境条件がアシウテンナンショウの個体数に与える影響を一般化加法モデルで解析した結果、いずれの環境条件からも明確な影響は認められなかった。テンナンショウ属の種子散布は主に鳥類によって行なわれており (邑田 2011; Suzuki and Maeda 2014)、またしばしば散布されずに花序が落下した場所で実生が発生する (松本 私見)。これらのことから、個体数を規定するのは環境要因ではなく、種子の供給過程の影響が強いことが考えられる。一方、環境条件が性表現に与える影響について一般化加法混合モデルで解析した結果、開花には個体サイズが強く影響しており、個体サイズには光環境、比高、シダの被覆度が影響していた。このことから、環境条件が個体サイズを介して性表現に影響を及ぼしていることが示唆される。しかしながら、この解析には個体の齢が個体サイズに及ぼす影響について考慮できていないため、さらなる検討が必要であると考えられる。

アシウテンナンショウおよびコウライテンナンショウの空間分布相関解析の結果、小さな空間スケールでは排他的な、大きな空間スケールでは同所的な関係を示していた。このことから、両種は同所的に分布するが、小さな空間スケールにおいては環境の選好性が異なる可能性が示唆された。また、性表現型間 (オスと無性) の分布相関解析の結果、オス個体と非開花個体の分布相関が両種で異なることがわかった。アシウテンナンショウは地下部にある球茎が分球によって無性生殖を行う (邑田 1996)。このことから、アシウテンナンショウは分球由来のクローンが多く生存している可能性がある。今後、新たにマイクロサテライトマーカールの開発を行うか、あるいは Restriction Site Associated DNA Sequence (RAD-seq) 法などを用いて個体群の遺伝構造を明らかにし、強度のシカ食害下にある本調査地におけるアシウテンナンショウの個体群構造について明らかに

していく必要があると考えられる。

【謝辞】

本研究は、公益財団法人八雲環境科学財団による平成 27 年度環境研究助成の支援を受けて実施した。京都大学フィールド科学教育研究センター森林ステーション芦生研究林には調査の許可および調査に対してご尽力いただいた。本研究の内容の一部は、岡山大学大学院環境生命科学研究科生命環境学専攻環境生態学講座森林生態学分野の松本哲也氏の修士論文の一部として行われた。ここに記して謝意を表する。

【引用文献】

- 芦生研究林 (2003) 京都大学フィールド科学教育研究センター森林ステーション芦生研究林概要.
- 藤井伸二 (2010) 芦生研究林枕谷におけるシカ摂食にともなう林床開花植物相の変化. 保全生態学研究 15: 3-15.
- 橋本佳延・藤木大介 (2014) 日本におけるニホンジカの採食植物・不嗜好性植物リスト. 人と自然 25: 133-160.
- Heckel CD, Bourg NA, McShea WJ, Kalisz S (2010) Nonconsumptive effects of a generalist ungulate herbivore drive decline of unpalatable forest herbs. Ecology 91: 319-326.
- Kato M, Okuyama Y (2004) Changes in the biodiversity of a deciduous forest ecosystem caused by an increase in the Sika deer population at Ashiu, Japan. Contributions from the Biological Laboratory, Kyoto University 29 (4): 437-448.
- Kinoshita E (1987) Sex change and population dynamics in *Arisaema* (Araceae) I. *Arisaema serratum* (Thumb.) Schott. Plant Species Biology 2: 15-28.
- 邑田 仁 (1996) 福井県の貴重種 アシウテンナンショウ. 福井県朝日町立福井総合植物園紀要 1: 13-17.
- 邑田 仁 (2011) 日本のテンナンショウ—原色植物分類図鑑. 北隆館, 東京.
- Murray MG, Thompson WF (1980) Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. Nucleic Acids Research 8: 4321-4325.
- Nishizawa T, Watano Y, Kinoshita E, Kawahara T, Nakajima N (2011) Development and characterization of a novel set of microsatellite markers for *Arisaema serratum* (Araceae). AJB Primer Notes & Protocols in the Plant Sciences e378-e381.
- R Core Team (2015) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Richardson CR, Clay K (2001) Sex-ratio variation among *Arisaema* species with different patterns of gender diphasy. Plant Species Biology 16: 139-149.
- 阪口翔太・藤木大介・井上みずき・山崎理正・福島慶太郎・高柳 敦 (2012) 日本海側冷温帯性針広混交林におけるニホンジカの植物嗜好性. 森林研究 78: 71-80.
- Suzuki T, Maeda N (2014) Frugivores foraging on a Japanese species of the Jack-in-the-Pulpit, *Arisaema angustatum* (Araceae), with reference to the general framework of the links between *Arisaema* and its major frugivore groups in Japan. Biogeography 16: 79-85.

本邦の稀少ラン科植物に発生するウイルスの性状解明と遺伝子診断技術の開発

岡山大学資源植物科学研究所 近藤秀樹

1. はじめに

ラン科植物は 700 属、25000 種以上が存在し、その華麗な花々は観賞用として多くの人を魅了してきた。洋ランは熱帯起源で、主に欧米経由で日本に導入されたランの総称であり、シンビジウム、デンドロビウム、カトレア、コチョウランなどは重要な花き園芸作物である。わが国では、さらに東洋ラン（主にシュンラン属）、エビネ、セッコク、フウランなど多くの自生ランも古典園芸作物として珍重されてきた。しかし、野生ランの多くは乱獲が繰り返され、近年の自生地環境破壊や里山の荒廃により、その多くが絶滅の危険に瀕しているとされている（環境省・レッドリスト, 2015）。このような稀少なランについては、系統維持や人工繁殖技術の確立が進められてきた。さらにサギソウなどでは、人工的に増殖した苗を自生地に植え戻す活動も行われている。しかし、国際自然保護連合（IUCN）日本支部のラン専門部会は、この植え戻しにより地域集団（個体群）が攪乱される危険性やウイルスやその他の病原体を自生地に持ち込む可能性を指摘している（IUCN ランの植え戻しのガイドライン）。

一般的にウイルス病の制御はランを栽培する上で重要な課題の一つである。稀少なランの系統維持や植え戻しを目的とした人工増殖過程でもウイルス病が発生し問題となる場合がある。しかし、本邦の稀少ランに発生するウイルス病に関しては、どのようなタイプの病原ウイルスが存在するか情報が限定的であり、ウイルス感染に対するリスク管理が不十分な状態である。ラン科植物の園芸品種で問題となる主要な病原ウイルスは、シンビジウムモザイクウイルス（CymMV）、オドントグロッサムリングスポットウイルス（ORSV）、ランえそ斑紋ウイルス（OFV）の 3 種が知られている。これらは世界のラン栽培地域に広く分布すると考えられるが、わが国の洋ラン栽培では ORSV や CymMV が長らく問題とされてきた（井上、2001）。また、これらのウイルスは多くのラン科植物に感染することから、稀少ランの増殖や保全においても注意を要するウイルスと考えられる。OFV に関しては、海外では塩基配列レベルで 2 系統（サブグループ I と II）の存在が知られているが（Kubo et al., 2009）、わが国の栽培ランでの両者の発生状況はよくわかっていない。そこで本研究では、OFV を中心として、2 系統の網羅的遺伝子診断が可能な PCR プライマーを開発し、わが国のラン科植物に発生する OFV 系統を明らかにすることを目的とした。さらに、今回見出された本邦未報告の OFV 系統（サブグループ I）については、そのゲノム配列を明らかにすることで両系統間の比較を試みた。

2. 材料及び方法

2-1. 供試した罹病植物試料とウイルス系統

本研究室でこれまで採集・保存してきたラン栽培株の罹病葉サンプル（冷凍保存）および 2007～2010 年に徳島県下で入手したシンビジウムおよびオンシジウムの試料についてウイルス遺伝子の部分配列決定を行った。また、シンビジウムから分離した徳島株（Cym07）は単一病斑分離を行い、ウイルス学的な性状解析と既知系統との比較研究に供試した。

2-2. OFV の RT-PCR による網羅的遺伝子診断

罹病植物葉試料からフェノール・クロロホルム法で全 RNA 画分を抽出後、逆転写酵素 (M-MLV Reverse Transcriptase) による逆転写反応の鋳型とした。得られた cDNA を用い、OFV RNA1 のヌクレオキャプシド蛋白質・*N* 遺伝子の 719 塩基断片 (RNA1 ゲノムの 941-1560 塩基領域, 図 1A) を、OF1N2F (5'-CKCACACACCAAYAGGAAGAGGCA-3', Y = C or T) と OF1N3R (5'-TCAYTGYTCAKGGCATCCAG-3', K = G or T) のプライマーはセットを用い RT-PCR (Quick Taq™ HS DyeMix または KOD FX DNA Polymerase, Toyobo を使用) により増幅した。また一部のウイルス系統では、RNA1 glycoprotein・*G* 遺伝子の 948 塩基断片 (RNA1 ゲノムの 5269-6216 塩基領域, 図 1A) を OF1GuniF (5'-GGAGGACTGTGGAGTCATCATA-3') と OF1GuniR (5'-TGACCTTGYTAATCCATCTT-3')、RNA2 *L* 遺伝子 (複製酵素) の 537 塩基断片 (RNA2 ゲノムの 2058-2594 塩基領域, 図 1A) を OF2Lcore2F (5'-AGGACACATGAGATTTTCA-3') と OF2LR (5'-CACAGTGGCTGCCATGTTG-3') プライマーはセット用い増幅した。増幅された RT-PCR 産物は、反応液から Wizard SV Gel and PCR Clean-Up System で精製し、ダイレクトシーケンシング法 (PRISM Dye Dideoxi Terminator Cycle Sequencing kit) により ABI PRISM 3100、ABI 3130xl ジェネティックアナライザー (Applied Biosystems) を用いて塩基配列を解読した。

2-3. OFV 徳島株のゲノム配列解析

OFV 徳島株 (Cym07) のゲノムは、他の系統と同様 2 成分の RNA (RNA1 と RNA2) により構成された (図 1 a 参照)。徳島株 (Cym07) の RNA1 配列解析は、ランダムプライマー (5'-GCCGGAGCTCTGCAGAATTCNNNNN-3') を用いた genome walking method で行った。得られた断片は、pZer0-2 vector (Invitrogen) にクローニングした。徳島株 (Cym07) の RNA2 配列については、OFV 標準株 So 分離株と配列類似性が高いことが判明したことから、So 株の塩基配列を元にした PCR プライマーを用い RNA2 の全領域の配列を決定した。なお、ゲノム末端の配列は RACE (rapid amplification of cDNA ends) によって行った。得られた配列は、AutoAssembler プログラム (PE Applied Biosystems) で連結化した。ウイルス配列の相同性検索は NCBI の BLAST サイトにて行った。ウイルスの分子系統解析は、MAFFT ver 6 (mafft.cbrc.jp/alignment/software/) で塩基配列の多重整列後、PhyML 3.0 (<http://www.atgc-montpellier.fr/phyml/>) により最尤法 (maximum likelihood) に基づく系統樹を作成した。

3. 結果

3-1. 新規 OFV 遺伝子診断用プライマーの構築

OFV には塩基配列が 15-16% 程度異なる 2 種のサブグループが存在する (サブグループ I とサブグループ II)。そこで本研究では、両サブグループを網羅的に検出できると期待される RT-PCR 用のプライマー (*N* 遺伝子を標的とする) を複数デザインした。そして、すでにその全ゲノム塩基配列が決定されている標準株 (So 株、サブグループ II) (Kondo et al., 2006) を用いてその有効性について評価を行った。その結果、図 1A の N1 領域に設定したプライマー (OF1N2F/ OF1N3R) について、RT-PCR による増幅効率やその再現性が良好であ

ることが判明した（データ省略）。

3-2. 本邦 OFV 分離株の N 遺伝子配列の解析

我々のこれまでの研究により、本邦の自生ラン（希少種が含まれる）であるエビネ属植物の栽培株に OFV が発生することが確認されている（井上ら、1996）。そこで、エビネ分離株である Cal92.7, Cal94.16, Cal94.17 分離株（山口県、宮崎県で採集）ならびに、その他、研究室でこれまでに保存している洋ラン系シンビジウム（Cy88.9, Cy50）などのサンプルを用い OFV の N 遺伝子配列を決定した。その結果、東洋ラン系シンビジウムで分離されている OFV の So 分離株（サブグループ II とする）と 98% 以上の高い塩基配列相同性を示した。一方、2007～2010 年、徳島県下でシンビジウム及びオンシジウムに発生が確認された OFV 分離株についても、それらの保存サンプルの N 遺伝子を解析した。その結果、海陽町で得られたオンシジウム分離株（Onc09.2）は So 分離株と近縁であった。一方、異なる地域（徳島市、阿波市、勝浦町）から取得されたシンビジウム分離株（Cym07, Cym08, Cym09）は、So 分離株と 84% 程度の相同性を示し、さらに海外で知られる OFV 系統（サブグループ I とされている）と 98% 以上の相同性を示した。このことから、我が国で栽培されているラン科植物ではサブグループ II に属す OFV が主に発生していると考えられた。さらに、サブグループ I 系統が本邦で初めて見いだされ、少なくとも徳島県下の栽培ランに存在することが確認された。

3-3. OFV N 遺伝子を用いた分子系統解析

OFV 分離株の系統関係を明確にするために、RNA1 に座する N 遺伝子の部分領域

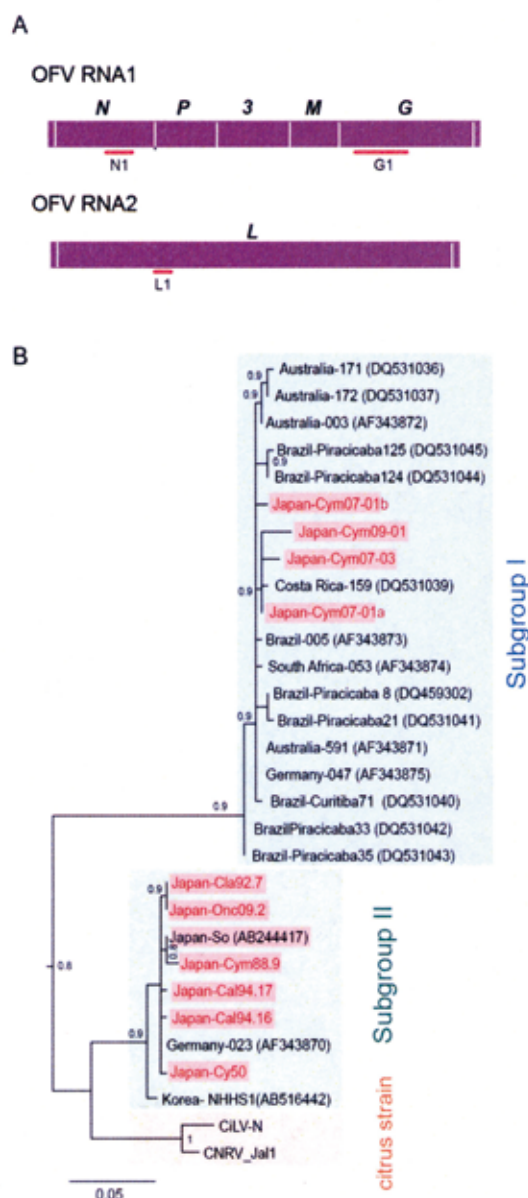


図 1. A. OFV は二分節型のマイナス鎖 RNA をゲノムとして持つ。なお、遺伝子診断に用いたゲノム領域は下線で示した (N1, G1, L1)。B. OFV N 遺伝子の部分塩基配列を用いた分子系統樹。本系統樹は、本邦の OFV 分離株を 11 株と海外の 19 分離株 (OFV カンキツ系を含む) の N 遺伝子断片の配列情報をもとに作成した。赤ハイライトは本邦の OFV 分離株で赤字が本研究により決定した配列である。なお、青のハイライトはサブグループ II、緑はサブグループ I を示す。

(326 塩基) を用いた分子系統解析を行った。本研究で取得した OFV 分離株の *N* 遺伝子配列ならびに、NCBI データベースで入手可能な外国産 OFV 分離株の塩基配列情報を用い、最尤法を用いた分子系統樹を作成した (図 1)。その結果、徳島産のシンビジウム分離株 (Cym07、Cym08、Cym09) は、オーストラリア、ブラジルを中心とした海外産 OFV 分離株の大多数とグループを形成した (サブグループ I)。一方、本邦の他の OFV 分離株は、So 分離株、ドイツ株 023 と韓国株 NHHS1 とともに別クレードを形成した (サブグループ II)。さらに、サブグループ II は近年発見された OFV カンキツ系統 (CiLV-N_M2345、CNRV_Jal1) と近縁であり姉妹クレード関係にあることが判明した。

3-4. OFV 徳島株のゲノム構造の解明

本研究では徳島株 (Cym07) を用いて、サブグループ I の全ゲノム塩基配列をはじめて解読した。その結果、Cym07 の RNA1 が 6431 塩基、RNA2 が 6003 塩基であった。RNA1 には 5 種 (5'-*N-P-P3-M-G*-3')、RNA2 には 1 種の遺伝子 (5'-*L*-3') が座上し、その遺伝子構造遺は So 系統 (サブグループ II) と同様であった。Cym07 RNA1 の塩基配列レベルでの相同性は、So 株やカンキツ系統と 82-83% であった (図 1A)。一方、Cym07 RNA2 はカンキツ系統と 89-90% であるのに対して So 系統とは 99% 以上の相同性を示した。ゲノム配列を用いた分子系統解析の結果、RNA1 では Cym07 (サブグループ I) はサブグループ II ならびにカンキツ系統とは異なるクレードであったのに対し、RNA2 では Cym07 (サブグループ I) はサブグループ II のメンバーとクレードを形成したが、カンキツ系統とは異なった (図 2)。サブグループ I の他の徳島株 (Cym08、Cym09) について、*G* 遺伝子 (RNA1) ならびに *L* 遺伝子 (RNA2) の部分配列を決定したところ、いずれの領域も Cym07 の配列に近似であったことから、Cym08、Cym09 は Cym07 と共通の遺伝子構造を持つと推測された。以上より、サブグループ II のウイルスは、RNA1 はカンキツ系に近縁であり、RNA2 はサブグループ I と同一であることがわかった。

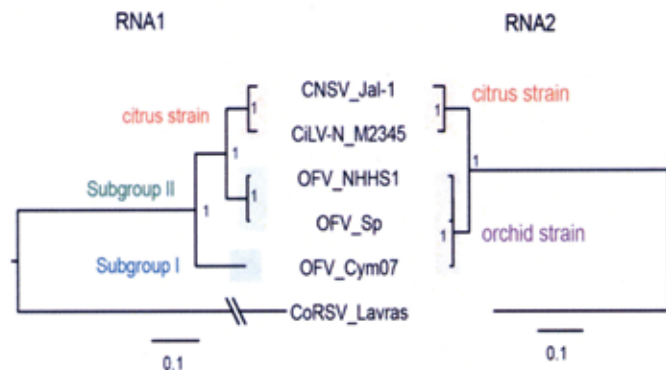


図 2. OFV のゲノム塩基配列を用いた分子系統樹。左側は RNA1、右側が RNA2 の配列を基に作成した ML 系統樹。サブグループ I と II の RNA2 は近似であったことから、あわせて orchid strain と標記した。なお、別種のウイルス (CoRSV) を out group として用いた。

4. 考察

稀少ランの栽培で問題となる病原ウイルスは、多くの園芸品種に発生する ORSV、CymMV、OFV が候補として考えられる。実際に、稀少ランを含む東洋ランやエピネ属植物には ORSV、CymMV や OFV が発生することが知られている (井上, 2001)。そこで、本研究では、野生ランの脅威となりうるこれらのウイルス病のうち、ORSV や CymMV に比べ研究が遅れている OFV

を中心にウイルス学的な解析進めた。OFV にはすでに述べたように塩基配列レベルで二系統が存在するが、本研究では、まず両系統を網羅的に検出できる遺伝子診断用プライマーをデザインした。このプライマーは二系統を効率よく検出することが可能であったことから、今後 OFV の発生状況の調査を進める上で有効なツールになると期待される。

OFV のサブグループ II は我が国の複数の地域の比較的多様なランに検出され、少なくとも 25 以上年前のサンプルにも存在することから日本では優占的な集団であると推定された。さらに、近隣国（韓国・中国）からも検出されていることから、サブグループ II はアジア地域限定の系統と考えられた。一方、サブグループ I はブラジル・オーストラリアなど世界的に分布する系統であるが、これまで我が国での発生は知られていなかった。本研究により、2007-2009 年に徳島地域のシンビジウムにこのサブグループ I の発生がはじめて確認されたことから（図 1）、今後ランの栽培を進める上でその発生動向に留意する必要がある。

本研究では、新たに OFV サブグループ I のゲノムが判明し、その分子系統解析からサブグループ II のゲノムが RNA1 はカンキツ系に近縁であり、RNA2 はサブグループ I とほぼ同一であることが示唆された（図 2）。このことは、OFV の系統が確立される過程で、サブグループ I とカンキツ系（あるいは近縁祖先種）との間でゲノム分節の組換え（リアソータント）が生じ、その結果サブグループ II が誕生した可能性を示唆している。しかし、サブグループとカンキツ系の間で、その病原性や伝搬性（ヒメハダニというダニが媒介）などの病原学的な特性に差異があるかは不明である。このような OFV 分節の組換えが、サブグループ II（あるいはサブグループ I）の生物学的・生態学的な性状にどのような影響を及ぼしたのかは、OFV の感染戦略を理解する上で興味深い課題であり、今後の解明が待たれる。

5. 今後の展望

稀少ランを含むラン科植物のグループでは、ORSV、CymMV や OFV 以外にも、たとえば、エビネ属植物ではキュウリモザイクウイルス (CMV) や複数種のポティウイルスなどが発生する。その他、シュンラン、サギソウ、ウチョウランさらにセッコクなどにもポティウイルスやソベモウイルスの発生が報告されている (近藤ら, 2015 ; Kondo et al., 2014; 2015 など)。野生ラン (特に稀少種) の繁殖や植え戻しを進めるにあたり、これらのウイルスが将来発生し問題が顕在化する可能性が想定される (実際、植え戻し活動が行われているサギソウでは、市販の個体や植え戻し用に繁殖した株でポティウイルスが発生する場合は知られている)。今後、OFV 以外の他のウイルス (未知のウイルスを含む) についても本邦での発生実態や系統の詳細を明らかにし、その上での確かつ迅速なウイルス遺伝子診断技術を順次構築すること必要である。あわせて、抗体を利用するイムノクロマト法 (ORSV や CymMV ではすでに市販されている) (Tsuda et al., 1992) や最近開発された二本鎖 RNA 網羅的検出技術 (DECS 法) (Yanagisawa et al., 2016) も併用することで、多段的な診断体制の構築も大切である。さらに、稀少ランの保全や自生地の回復を進める上でウイルス病リスクの実態は未だ不明な部分も多いため、今後さらなる研究の積み重ねが必要である。

謝辞

本研究を遂行にあたりご支援を賜りました公益財団法人八雲環境科学振興財団に心よりお礼申し上げます。なお、本研究は鈴木信弘博士との共同研究で行われました。

参考文献

- 井上成信. 2001. 原色 ランのウイルス病—診断・検定・防除. 農山漁村文化協会. 近藤秀樹. 2013. 分節型ゲノムを持つラブドウイルス. ウイルス 63, 143-154
- IUCN ラン部会日本委員会. 2006. IUCN ランの植え戻しのガイドライン. <http://www.trunkroom.co.jp/hana/guide/index.html>
- 環境省レッドリスト. 2015. 別添資料 4 【植物 I (維管束植物)】
<http://www.env.go.jp/press/101457.html>
- 近藤秀樹. 2015. デンドロビウムモザイクウイルス (植物ウイルス 107). 植物ウイルス大辞典. 監修, 日比忠明・大木 理. 朝倉書店. p370.
- Kondo, H., Maeda, T., Shirako, Y., and Tamada, T. 2006. Orchid fleck virus is a rhabdovirus with an unusual bipartite genome. *Journal of General Virology* 87, 2413-2421.
- Kondo, H., Takemoto, S., Maruyama, K., Chiba, S., Andika, I.B. and Suzuki, N. 2015. Cymbidium chlorotic mosaic virus, a new sobemovirus isolated from the spring orchid (*Cymbidium goeringii*) in Japan. *Archives of Virology* 160:2099-2104
- Kondo, H. (corresponding author), Maeda, T., Gara, I.W., Chiba, S., Maruyama, K., Tamada, T. and Suzuki, N. 2014. Complete genome sequence of Habenaria mosaic virus, a new potyvirus species infecting a terrestrial orchid (*Habenaria radiata*) in Japan (Annotated Sequence Record). *Archives of Virology* 159:163-166
- Kubo, K.S., Stuart, R.M., Freitas-Astua, J., Antonioli-Luizon, R., Locali-Fabris, E.C., Coletta, H.D., Machado, M.A., Kitajima, E.W., 2009. Evaluation of the genetic variability of orchid fleck virus by single-strand conformational polymorphism analysis and nucleotide sequencing of a fragment from the nucleocapsid gene. *Archives of Virology* 154, 1009-1014.
- Tsuda, S., Kameya-Iwaki, M., Hanada, K., Kouda, Y., Hikata, M. and Tomaru, K. 1992. A novel detection and identification technique for plant viruses: Rapid immunofilter paper assay (RIPA). *Plant Disease* 76, 466-469.
- Yanagisawa, H., Tomita, R., Katsu, K., Uehara, T., Atsumi, G., Tateda, C., Kobayashi, K. and Sekine, K. T. 2016. Combined DECS analysis and next-generation sequencing enable efficient detection of novel plant RNA viruses. *Viruses* 8, 70(doi:10.3390/v8030070).

平成 27 年度環境研究助成報告書 (研究レポート)

研究テーマ：AvSAMS1 遺伝子を介したエピジェネティックな遺伝子発現制御とアルミニウム (Al) ストレス耐性機構との関わりについて

岡山大 資植研 准教授 江崎 文一

1. 研究の背景・目的



Fig. 1 メリケンカルカヤ (*Andropogon virginicus* L.)

野生植物には幅広く環境ストレスに対して耐性を示すものが多く、劣悪環境を生き抜くための耐性遺伝子や耐性機構を解析する上で大変魅力的である。現在、世界の耕地の約 40% は、土壌の酸性化の問題に直面している。この様な酸性条件下では、土壌鉱物からのアルミニウム (Al) の溶出が常時起こっており、それに起因する根の成長阻害、更には植物体全体の生育阻害を発生させている。Al ストレスに対しても、高い耐性を示す野生植物の発見が問題解決のために期待された。江崎らは、野生植物群約 50 種からの Al 耐性植物選抜を行い、イネ科野生植物のメリケンカルカヤ (*Andropogon virginicus* L.) を見出した (Fig. 1)。さらにその Al 耐性機構の解析を進め、少なくとも 5 つの機構を組み合わせて非常に高い耐性を示すことを見出した (Ezaki et al., 2013)。この様に 1 つの植物で複数の耐性機構が見つかった報告例はない。またこれら

の耐性機構の多くが Al ストレス誘導性であることから、統括的な制御システムで起動される可能性が示唆された。さらに江崎らはメリケンカルカヤから Al 耐性遺伝子として S-adenosyl methionine synthetase (SAMS) 遺伝子 (*AvSAMS1*) を単離した。L-メチオニンを出発物質として、SAMS により合成される SAM (別名、S-AdoMet) はポリアミン合成やエチレン合成などの重要な中間産物であることが報告されている (Fig.

SAMS (S-アデノシルメチオニン合成酵素) 遺伝子

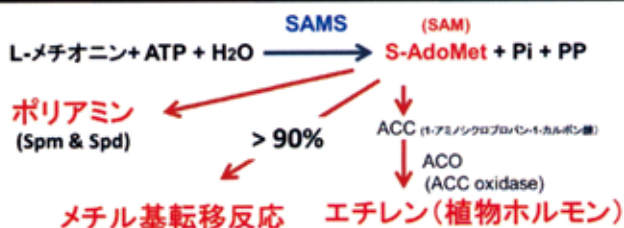
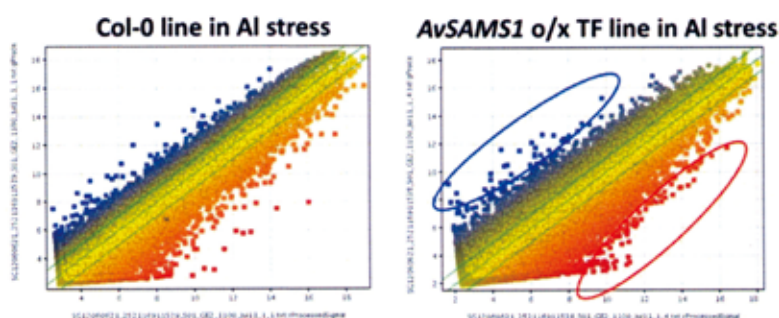


Fig. 2 SAMSにより合成されるSAMが関連する代謝経路

2)。その一方で、多くの植物で SAM は生体内でのメチル化反応 (DNA、RNA、蛋白質等のメチル化) における主要なメチル基供与体である。特に最近 DNA とヒストン蛋白質のメチル化反応は



(金沢大学 学際科学実験センター 西内 巧 先生との共同研究)

Fig. 3 マイクロアレイによるA1ストレス時のAvSAMS1株(右)とCol-0株(左)の全ゲノムレベルでの発現パターン比較
AvSAMS1株の方がより多くの遺伝子の誘導(赤丸で示した遺伝子群の部分)や抑制(青丸で示した遺伝子群の部分)が見られ、AvSAMS1遺伝子依存のエピジェネティック制御機構の存在の可能性が示唆された。

遺伝子のエピジェネティック制御(塩基配列の変更を伴わぬ後天的な修飾での発現制御)の根幹を成すものであることが知られており、ストレス下でSAMにより多数の遺伝子の発現が総括的に制御される可能性がある。大変興味を持たれる

点だが、SAMと環境ストレス耐性についての解析はまだ少ない。これらのことを基にして、江崎らは、最近シロイヌナズナにおいてA1ストレス下でゲノムDNA全体がエピジェネティック様の発現制御を受けること、また導入したAvSAMS1遺伝子がこの制御機構に関与することを示す実験結果を得た(Fig. 3)。

このエピジェネティック様の発現制御は、生育環境の変化にตอบสนองするための遺伝子発現のオン・オフや、更にはiPS細胞に代表される細胞分化に関連する制御機構として注目されている。このような機構は特定のストレスにตอบสนองして誘導される耐性機構のオン・オフにも強く関連することが予想されるが、その関連性についての報告例はまだ少ない。本研究課題はその関連性についてA1ストレスを環境ストレスのモデルとして解明する基礎研究の一環として行ったものである。

2. 研究の方法

(1) 植物材料と生育条件

本研究では、シロイヌナズナ(*Arabidopsis thaliana*) Col-0株及び、この株にメリケンカルカヤ由来のAvSAMS1遺伝子(cDNA)を導入した形質転換株(以後、AvSAMS1 TFという)を用いた。これらの植物は25°Cで明期16時間、暗期8時間の照明条件で土耕栽培または水耕栽培された。なお水耕栽培にはMurashige-Skoog培地を6倍希釈し、pHを5.7に調整して用いた。

(2) ストレスの処理方法

A1ストレスには、培養土から根を痛めないように静かに分離した植物体(発芽後約3週目)を用いた。これらの根を十分量のストレス負荷用培養液(前述の水耕用培地と同じ組成でpH4.2に調整)に2日間、浸漬した。処理した植物体は核面分(ヒスト

ン/ゲノム DNA 複合体) 抽出に用いるまで、 -80°C で保存した。

(3) ChIP (Chromatin immune-precipitation) assay と DNA 含有量測定

AI 処理した植物体からの核画分(ヒストン/ゲノム DNA 複合体)の抽出には、Villar と Köhler の方法 (2010) を用いた。ヒストン/ゲノム DNA 複合体の免疫沈降には、一次抗体として Rabbit anti-H3K4me3 antibody と anti-H3K9me3 antibody (Active Motif 社製)を用いた。回収した複合体中の目的遺伝子の含有量は qRT-PCR 法 (quantitative real time-PCR, LightCycler 1.5, Roche 社製)で定量した。

(4) Western Blotting

AI ストレスによるヒストン (特に H3) のメチル化の状況変化をゲノム全体について検討するために、(3)の方法で調製したヒストン/ゲノム DNA 複合体を SDS-ポリアクリルアミドゲル(13%濃度)にて電気泳動した。泳動後、セミドライプロッターで PVDF nylon 膜に転写した。さらに転写された H3K4 や H3K9 のトリメチル体を特異的に定量するために Rabbit anti-H3K4me3 antibody や anti-H3K9me3 antibody (Active Motif 社製)で抗体反応を行った。なおコントロール実験として PVDF nylon 膜に転写された全ヒストン H3 を Rabbit anti-H3 antibody と一次抗体反応させた。これらの反応した抗体は、さらに Alkali Phosphatase conjugated anti-rabbit antibody (2次抗体)と反応させた後、CSPD (Roche 社製)による化学発光反応を経て、イメージアナライザー LAS 4000 (GE Healthcare 社製)で各々の発光量を検出定量した。

3. 結果及び考察

(1) 個々の遺伝子レベルでの AI ストレス下のヒストン蛋白質のメチル化の状況解析

生育環境の急激な変化に伴い、一般に生物はゲノム DNA 上に存在する数多くの遺伝子の発現量を短期間内に変化させる必要性から、ヒストン蛋白質の特定のアミノ酸部位を、メチル化、アセチル化、リン酸化等の修飾を行うことが予想される (Fig. 4)。

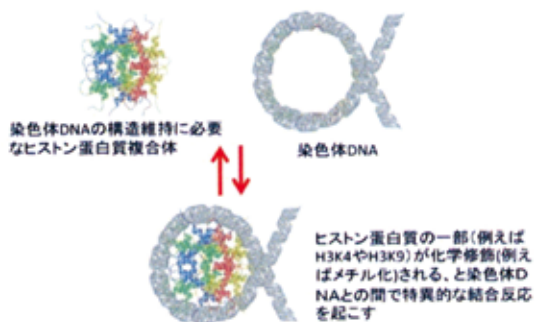


Fig. 4 ヒストン蛋白質の色々な化学修飾による染色体DNAとの相互作用

そしてこのような可逆的な化学変化こそが、エピジェネティック様の発現制御の根幹であるが、AI ストレスでもこのような化学修飾の変化とそれに伴うヒストン/ゲノム DNA の結合の変化の2つが起こっているのだろうか?この点を明らかにするために今回は、まず個々の遺伝子レベルでのメチル

化状況の変化を ChIP 法で検討した。ChIP 法では、ヒストン 3 蛋白質の N 末から 4 番目や 9 番目のリジン残基がトリメチル化された構造体（以後、H3K4me3 や H3K9me3 という）を免疫沈降法により特異的に分別沈降させることができる。さらにこれらの構造体からその部位に強く結合した DNA を回収し、定量できれば、それらの量の変動により、逆に H3K4 や H3K9 部位のメチル化の状況を把握できる。

今回、前述のアレイ解析 (Fig. 3) で特徴的な発現を示した遺伝子群 (Col-0 株よりも *AvSAMS1* 発現株で A1 ストレス時にその発現量が大きく誘導 (induce) された遺伝子群 (赤丸で示した一群で、以下 I 群とする) または抑制 (repress) された遺伝子群 (青丸で示した一群で、以下 R 群とする) について検討を進めた。I 群と R 群から選んだ計 28 個について、上記の 2 種類のメチル化ヒストンとの結合状況を ChIP 法と qRT-PCR 法を併用して検討した。さらに A1 ストレスに依存してメチル化ヒストンに対

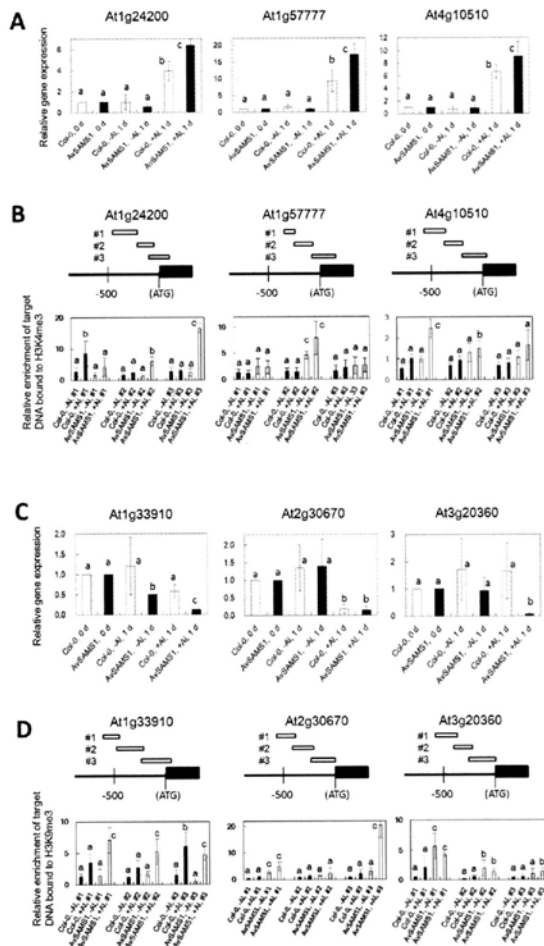


Fig. 5 A1 ストレス下でのメチル化ヒストン(H3K4me3やH3K9me3)と特異的に結合する遺伝子領域の検討 (A)と(B)は、I群 (A1誘導型) についての解析結果。(C)(D)は、R群 (A1抑制型) についての解析結果。また(A)と(C)は各々の遺伝子の発現様式の確認結果。(B)と(D)は、メチル化ヒストン(H3K4me3やH3K9me3)と各遺伝子毎の3つの領域(#1、#2、#3)との相対的な結合量を示している。(B)と(D)中の異なる文字は、有意差を示す (p,0.05)。

して結合量に変動が出た遺伝子に関しては、プロモーター領域がその結合に関与する場合は多いと考え、150 ~350 bp の3つの連続断片に分けて詳細に各断片の結合量を解析した。その結果、I 群の中には H3K4me3 との結合量が A1 ストレス依存的に増加する DNA 領域をプロモーター部位に持つもの (At1g24200, At1g5777, At4g10510 など) が見られた (Fig. 5 AB)。また II 群中にも H3K9me3 との結合量が同様に増える遺伝子群 (At1g33910, At2g30670, At3g20360 など) が見られた (Fig. 5 CD)。しかもそれらの結合量は、Col-0 株よりも *AvSAMS1* 発現株において高く、その特異的な結合様式に *AvSAMS1* 遺伝子が関与することが示唆された。

一般にヒストン H3K4 がトリメチル化されたコアヒストンと結合する

DNA 部位は、その発現が誘導されやすく、一方 H3K9 や H3K27 がトリメチル化されたコアヒストンと結合する DNA 部位は、その発現が抑制される傾向にあることが知られている (Henderson and Jacobsen, 2007 の総説を参照のこと)。上記の 6 個の遺伝子は、何れもこの傾向と一致していた。今回の検討では、この様に理論と一致したものは全体の 30% 程度であったが、メチル化ヒストンとの特異的な結合でエピジェネティック様の発現制御を受ける遺伝子群が確かに AI ストレス下で存在することが初めて明らか

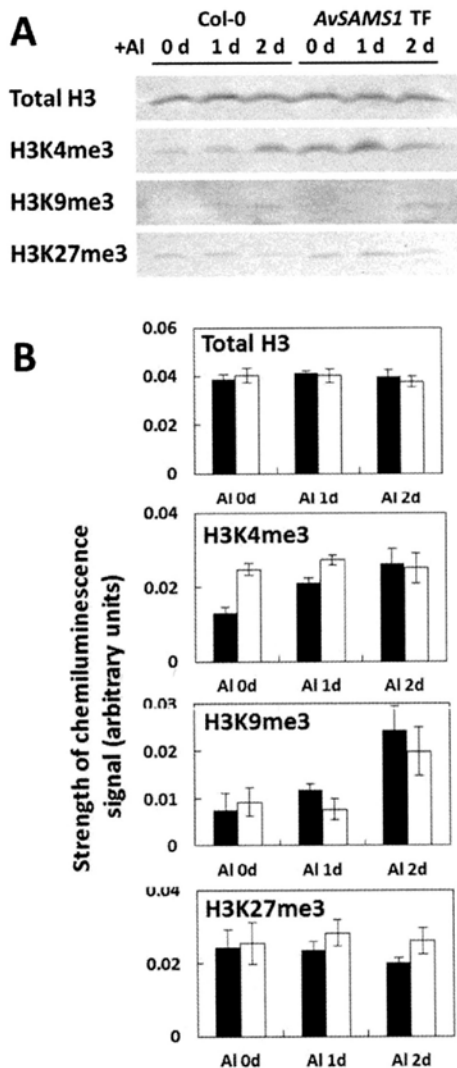


Fig. 6 ゲノム全体でのAIストレス下のヒストン蛋白質のメチル化の状況 (A) ポリアクリルアミドゲル電気泳動で確認した各メチル化ヒストンのAIストレス下での存在量。Total H3は、ヒストンH3全体量を示す。(B)3回の電気泳動のイメージ結果を数値化したもの。

となった。残りの 70% の遺伝子については、その発現調節に *AvSAMS1* 遺伝子は関与すると思われるものの、H3K4me3 や H3K9me3 との結合が、発現の増減の直接的な理由ではなかった。そこには DNA のメチル化やヒストン蛋白質の他のアミノ酸残基 (例えば H3K14, H3K27, H4K20, H2BK5 等) の化学修飾 (モノメチル化、ジメチル化、アセチル化等) など、多様な変動が関与している可能性が考えられ、今後の検討が必要である。(2)ゲノム全体での AI ストレス下のヒストン蛋白質のメチル化の状況

AI ストレス下での H3K4me3、H3K9me3、H3K27me3 の 3 タイプのトリメチル化ヒストン 3 の量的変化を western blotting 法により検討を行った。その結果、*AvSAMS1TF* 株と Col-0 株の間でこれら修飾ヒストン量の変動に差が見られた (Fig. 6 AB: 黒バーが Col-0、白バーが *AvSAMS1TF* 株)。特に Col-0 株では、H3K4me3 や H3K9me3 の AI ストレス依存的な増加が見られた。一方 *AvSAMS1TF* 株では、H3K9me3 でのみ増加が見られた。このことは、*AvSAMS1TF* 株では、常時多くの H3 がメチル化されていることを示唆している。これらのメチル化の変動が何を意味するものはまだ

不明であるが、少なくとも本結果もまた、*AvSAMS1* 遺伝子とエピジェネティックな制御機構との関連性を示すものであろう。

4. 本研究の意義と社会貢献との関連性について

地球環境の改善や食糧問題の解決のために、環境の劣悪化から生じた広大な問題土壌を農業面で有効利用することは重要である。それには金属ストレスや酸化ストレス等に耐性を示す植物を創生できるかが、鍵となるし、その耐性機構を十分に発揮させるための耐性遺伝子発現機構を十分に解明することも重要であろう。エピジェネティックな制御機構は、ストレスに応答して、ゲノム全体の遺伝子群の発現をコントロールできる優れた機構として注目されているが、本研究を通して *AvSAMS1* 遺伝子がこのエピジェネティック制御機構に強く関連することが明らかになってきた。*AvSAMS1* 遺伝子の様なゲノム全体の発現量を制御する系の導入が耐性を示す植物の創生において、より有効な方法として期待されるだろう。また今後、Al ストレスを環境ストレスのモデル系と捉え、エピジェネティック制御系を耐性機構の 1 つの戦略として、遺伝子レベルでの応用研究を展開することができると思われる。さらに *AvSAMS1* 遺伝子を多種の環境ストレスに耐性を示す機構（所謂、Cross-resistant mechanism）の発動に応用しようとする点も実用化の可能性が見えてきた。これにより酸性土壌だけでなく、重金属汚染土壌、乾燥土壌などの「問題土壌」での生育障害を克服でき、地球規模でそれら地域の高度利用化や環境問題・食糧問題の解決などに繋がる可能性が期待される。

引用文献

Ezaki, B., Jayaram, K., Higashi, A., Takahashi, K., (2013). A combination of five mechanisms confers a high tolerance for aluminum to a wild species of Poaceae, *Andropogon virginicus* L. *Environmental and Experimental Botany* 93, 35–44.

Henderson, I.R., Jacobsen, S.E., (2007). Epigenetic inheritance in plants. *Nature* 447, 418–424. doi:10.1038/nature05917.

Villar, C.B.R., Köhler, C., (2010). “Chapter 27 Plant Chromatin Immunoprecipitation”, in *Plant Developmental Biology (Methods in molecular biology)*, eds. L. Henning, C. Köhler, (Springer Science and Business Media), 401-411. DOI 10.1007/978-1-60761-765-5_27, ISBN 978-1-60761-765-5.

1. 緒言

バラは我が国において、キク、カーネーションに次ぐ主要な切り花である。現在、バラの切り花生産において、玄武岩やスラグ由来のロックウールを培地としてたえず培養液を給液する養液栽培の比率が、バラの全栽培面積中約 50%にも達している。ロックウール栽培は、連作による生産力低下からの解放や、改植労力の低減に加えて、マニュアル化された栽培方法によって企業的経営が可能であるなどの利点がある。しかし、使用済みのロックウールの廃棄処理の困難さや、かけ流し栽培に伴う多量の排水による環境汚染の問題が指摘されるようになり、この栽培法にかわる新しい栽培法の開発が急務となっている。

本研究室では、ロックウールの代わりに廃棄可能な培地を利用し、かけ流しの代わりに減少した養水分量のみを補充する養水分管理法を行う非循環閉鎖型ベンチ栽培システムの開発に取り組んできた。その中で、本財団の平成 18 年度助成「環境汚染を回避するバラの閉鎖式養液栽培システムにおける簡易でかつ合理的な養水分管理技術の開発」に採択されるなど、一連の研究で得られた結果から、適切な液肥組成とその給液方法、ロックウールに変わる培地組成を提案した。このうち養水分管理システムは、培地内の養分濃度を年間を通し適性に維持できるうえに、肥料コストを 30%以上削減できるため実際に生産者に利用されている。しかし、ロックウールの代替培地としてマサ土を用いる方法は、重量が数倍重い上に、成形されていないため作業性が劣り、ほとんど普及していなかった。

代替培地の候補としては、以前より、安価で軽量で大量に入手可能なピートモスやコイア（ココヤシ殻の繊維）などの有機物が検討されてきたが、成形されていないため作業性に劣ることが問題であった。申請者らは、熱融着性繊維を用いればどんな培地組成でも固化できることを見出している（後藤、2008）。この固化手法でピートモスやコイアを固化すればバラの培地として利用できると考えられ、今までに、コイアを固めた培地でロックウール培地以上の収量が得られることを明らかにした（梶原ら、2009）。コイアはコストが安いですが、次第に分解するため耐久性に問題がある。これに対し、ピートモスは分解しにくいですがコストはコイアより高い。さらに、有機物培地は乾燥すると撥水性を示し、定植後の活着が劣ることが多い。特に、ピートモス主体の培地は乾燥すると撥水性を示す。申請者らは、ミソイルと呼ばれるこの撥水性を防止する物質を天然物から見出し、これを添加することで、撥水性をほぼ解消することを見出した（後藤ら、2007）。しかし、この粘土鉱物は P を吸着するため、バラの生育に影響を及ぼすかもしれない。そこで、コイアとピートモスの培地における粘土鉱物の添加が収量に及ぼす影響を調査したところ、コイア単体培地のみで収量が少なかった。

たことやピートモス 100 区では無機濃度高かったため、ピートモスとコイアを 1 : 3 ~ 1 : 1 の割合で混合した培地を利用するのが適切と考えられた。粘土鉱物添加培地で収量が多かったのは、撥水性を防ぐ粘土鉱物により、培地内での水分変動が少なかったうえに、培地内の養分濃度が適正範囲に保たれたためではないかと考えられた。(後藤ら, 2009)。しかしながら、バラは多年生作物であり一旦定植すると数年以上に渡って収穫するため、長期間にわたる調査が必要である。さらに、有機物の種類による経年劣化の違いについても調査する必要がある。申請者らは、これらの培地が切り花生産に及ぼす影響を長期間にわたり調査した。本報告では、補助していただいた 2015 年の結果を、定植 1 年後の結果(後藤ら, 2009)と比較することとした。

2. 材料および方法

赤色系品種‘ローテローゼ’を供試した。‘ローテローゼ’を 2008 年 6 月 7 日に栽培ベンチ(内のり幅 60 cm×150 cm×12 cm)に 6 株ずつ定植した。仕立て方はハイラック方式とした。マットの培地の組成を、ピートのみ、コイアのみ、混合(1 : 1)とし、それぞれの培地に、撥水性防止剤(ミソイル)を 6%添加した。以後それぞれの処理区を、ピート区、ピートミソ区、1 : 1 区、1 : 1 ミソ区、コイア区、コイアミソ区と略す。

液肥には、大塚 A 処方培養液を 1/2 濃度で季節に応じて給液回数を変えた。2009 年 1 月より切り花調査(切り花長, 切り花重, 節数)を開始し、本実験では 2009 年 1 月から 12 月まで(定植 1 年後)と 2015 年 1 月から 12 月まで(定植 7 年後)のデータを比較解析した。栽培条件は日最低温度 15 °C 以上とし、自然日長で管理した。2015 年 6 月 15 日から 9 月 15 日まで遮光率 50%の寒冷紗で被覆した。土壤溶液を継時的に採取し、pH, EC, NO₃-N, P, K, Ca, Mg の濃度を測定した。

3. 結果および考察

梶原ら(2009)は、コイアを固めた培地でロックウール培地以上の収量が得られること、後藤ら(2009)はピートモスとコイアを 1 : 3 ~ 1 : 1 の割合で混合した培地にミソイル添加して利用するのが適切であることを明らかにしている。ミソイル添加培地で収量が多かったのは、撥水性を防ぐ粘土鉱物により、培地内での水分変動が少なかったうえに、培地内の養分濃度が適正範囲に保たれたためではないかと考えられている。本実験において、その特性が定植 7 年後にも維持されているかを調査した。

定植 7 年後の枯死率は、ピート区、ピートミソ区、1 : 1 区、1 : 1 ミソ区、コイア区、コイアミソ区でそれぞれ、17%, 8.3%, 8.3%, 17%, 17%, 17%であり、培地による差は認められなかった。

土壤溶液の pH は、定植 1 年後は、すべての処理区で酸性(3.6 ~ 5.6)であった。定植 7 年目には、コイアミソ区がほぼ 7 前後で推移し、中性を示したが、それ以外の

処理区では酸性 (3.4~6.6) のままであった (第1図)。ECについては、定植1年後では、ピート区で4dS/mと著しく高くなったが、他の処理区では2dS/m以下であった。定植7年目も同様にピート区のみ高く、季節によって大きく変動し、8dS/mを超える時期もあった (第2図)。土壌中の多量無機要素濃度を第1表に示した。定植1年後のNO₃-N濃度は、ピート区で著しく高く、ついで1:1ミソ区、コイアミソ区の順であった。定植7年目には、処理区間の差は小さくなった。定植1年後のP濃度は、ピート区で著しく高く、ついで1:1区、コイア区の順であり、粘土鉱物を添加することにより著しく低くなったが、コイア区では差は小さかった。定植7年後のP濃度は、処理区間による差は小さく、ミソイルの影響もほとんど見られなかった。K、Ca、Mgに関しては、定植1年目では、ピート区を除いて、ミソイルを添加することにより、無機濃度は高くなった。栽培期間中、無機要素欠乏や過剰症は認められなかった。定植7年目には、無機濃度はピート区で高かったが、その差は小さかった。

1年間の収量を見ると、定植1年後では、コイア区で収量が少なく、約18本/株であったのに対し、その他の培地では23本/株程度であった。ミソイルを添加することにより、ピート区を除いて収量が増加し、26~28本/株であった。定植7年後では、17~22本/株であり、1年目より少なかったが、処理区間による差は小さく、ミソイルの影響もほとんど見られなかった。

切り花形質に関しては、定植1年後と7年後とも、切り花長、切り花重および節数には、処理による有意な差は認められなかった。切り花形質は、定植1年後より7年後で優れていた。規格別の切り花本数をみると、定植1年後と7年後とも、Aランクである60cm以上の切り花の割合が両区とも40%以上あり、処理によって有意な差が認められなかった (データ省略)。

土壌溶液を総括すると、定植1年目では、ピート区で著しく高く、ピート区を除いて、ミソイルを添加することにより、値は高くなった。定植7年目になっても依然ピート区で高かったが、その差は小さくなった。栽培期間中、無機要素欠乏や過剰症は認められなかったことから、土壌溶液に関してはミソイル添加による悪影響はなかったものと考えられる。

切り花に関しては、1年目は、コイア単体培地のみで収量が少なかったことやピートモス100区では無機濃度高かったが、7年目には、処理区による有意な差は見れなかった。形質に関しては、処理区による差は認められなかった。これらのことから、ミソイル添加による悪影響はなかったものと考えられる。

4. 結論

廃棄可能有機物固化培地でバラを8年間にわたり栽培し調査をしてきたが、粘土鉱物添加培地で収量が多かったことや、ピートモス単体培地では、生育初期の無機養分が以上に高かったことから、ピートモスとコイアを1:3~1:1の割合で混合した

培地に撥水性を防ぐ粘土鉱物を添加した培地を利用するのが適切と考えられた。

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、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いたします。

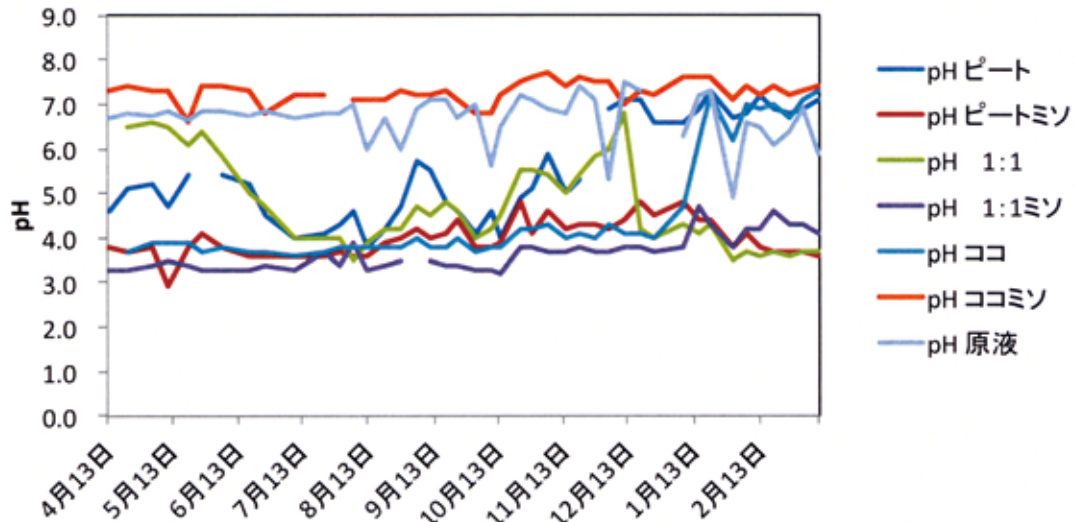
6. 参考文献

- 艾鳳宝・大塩悟司・後藤丹十郎：バラの非循環閉鎖型ベンチ栽培における給液方法および培地量が切り花生産に及ぼす影響，園芸学会平成 19 年度秋季大会農林水産省生産統計，花卉編，2007 年度版
- 白井仁司．温室バラの少量培地の視点．施設園芸．42. 54-57
- 大川清．バラの生産技術と流通．養賢堂．東京．1999
- 加藤俊博．花卉の養液土工栽培の実際（バラ）．野菜・花卉の養液土耕．農山漁村文化協会．東京．pp 187-191．2004
- 梶原真二・延安弘行・勝谷範敏・後藤丹十郎：熱融着性ポリエステル繊維で固化した培地の種類が閉鎖型養液栽培におけるバラの切り花収量，品質および培養液組成の変動に及ぼす影響．園芸学研究，8，61-66（2009）
- 後藤丹十郎：熱融着性ポリエステル繊維固化培地を用いたポットレス花壇苗生産，農業技術．63. 479-483（2008）
- 後藤丹十郎・八里修平・景山詳弘：バラの閉鎖型ベンチ栽培における品種および液肥濃度が切り花生産に及ぼす影響．園芸学会平成 17 年度秋季大会
- 後藤丹十郎・永田貴久・森下照久・藤井一徳・石川順也・島浩二：ピートモス固化培地への混和物の種類および添加量が撥水性防止に及ぼす影響，園芸学会平成 19 年度秋季大会
- 後藤丹十郎・永田貴久・森下照久・藤井一徳：熱融着性ポリエステル繊維固化培地がバラの発根に及ぼす影響．園芸学会中四国支部平成 19 年度大会
- 後藤丹十郎・山本祐佳・大橋佑司・藤井一徳：熱融着性ポリエステル繊維固化培地におけるピートモスとコイアの比率および粘土鉱物の添加がバラの切り花収量に及ぼす影響，園芸学会平成 22 年度春季大会
- 佐藤展之．養液栽培の動向と課題．農業技術体系花卉編 7．カーネーション・バラ．農山漁村文化協会．東京．pp 409-412．2004
- 寺島彊二・西沢良一．施設バラの生育，収量ならびに体内成分に及ぼす施肥量の影響．滋賀農試研報．18. 45-54．1976
- 寺田幹彦．バラの養水分管理法に悪寒する基礎的並びに応用的研究．岡山大学大学院博士論文．1997
- 林勇．温室バラの隔離ベンチ栽培に関する研究．神奈川園試研報．27. 52-63. 1980

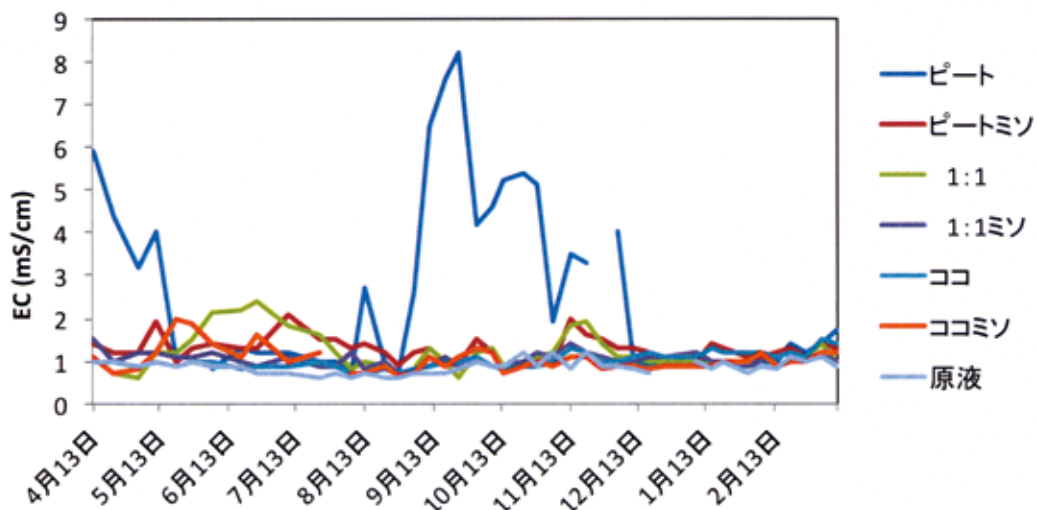
林勇・川島千恵・水野信義・山田裕. 温室バラの土壌検定・施肥のための土壌吸引の利用. 神奈川園試研報. 42. 21-27. 1992

三好学. 土壌検定・栄養診断. 農業技術体系花卉編 2. 土・施肥・水管理. 農山漁村文化協会. 東京. pp 411-416. 1993

山田裕. 切り花の土壌溶液検定. 農業技術体系花卉編 2. 土・施肥・水管理. 農山漁村文化協会. 東京. pp 429-432. 1993



第1図. pHの推移



第2図. ECの推移

第1表. 培地の種類およびミソイルが土壌中の養分濃度に及ぼす影響

処理区	培地	ミソイル	NO ₃ -N ppm	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm
5月11日							
ピート	ピートモス	無	72.3	81.5	416.0	74.0	29.5
ピートミソ		有	92.7	97.8	226.0	49.5	18.5
1:1	混合	無	76.8	91.3	207.5	21.0	9.5
1:1ミソ		有	88.1	150.0	98.5	42.0	13.5
ココ	ココヤシ	無	70.1	130.4	106.5	46.5	13.0
ココミソ		有	36.2	101.1	200.5	39.0	15.0
8月11日							
ピート	ピートモス	無	167.2	45.6	320.0	135.0	63.0
ピートミソ		有	49.7	71.7	189.0	37.5	27.5
1:1	混合	無	72.3	65.2	135.0	34.5	24.5
1:1ミソ		有	56.5	81.5	74.5	24.5	14.0
ココ	ココヤシ	無	38.4	78.2	83.0	17.5	13.5
ココミソ		有	22.6	97.8	114.0	26.5	18.5
11月5日							
ピート	ピートモス	無	97.2	81.5	350.0	25.0	27.5
ピートミソ		有	70.1	75.0	205.0	13.5	16.0
1:1	混合	無	27.1	75.0	200.0	8.0	15.0
1:1ミソ		有	94.9	114.1	134.0	21.5	24.5
ココ	ココヤシ	無	74.6	117.4	133.5	30.5	20.0
ココミソ		有	29.4	39.1	143.0	19.5	17.5

第2表. 培地の種類が切り花形質に及ぼす影響

処理区	培地	ミソイル	切り花本数 (本/株)	長さ (cm)	重さ (g)	節数
ピート	ピートモス	無	22.2	71.9	43.0	13.6
ピートミソ		有	17.1	69.4	42.6	13.4
1:1	混合	無	19.0	71.8	45.3	13.5
1:1ミソ		有	20.4	71.0	45.6	13.5
ココ	ココヤシ	無	17.7	70.2	42.3	13.5
ココミソ		有	18.8	71.8	42.3	13.5
有意差						
培地			NS	NS	NS	NS
ミソイル			NS	NS	NS	NS
培地×ミソイル			NS	NS	NS	NS

NSは二元配置分散分析で有意差無(5%)を示す

平成 27 年度 国際研究交流助成報告

9. 平成 27 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
吉田圭介	岡山大学大学院環境 生命科学研究科	第 36 回 国際水理学会 全世界会議	1 2 9
浅子壮美	岡山大学大学院自然 科学研究科	2015 環太平洋国際化学会議	1 3 0

吉 田 圭 介

岡山大学大学院環境生命科学研究科

参加会議名	第 36 回国際水理学会 全世界会議
主催団体名	国際水理学会
開催期間	平成 27 年 6 月 29 日～平成 27 年 7 月 3 日
開催地	オランダ国ハーグ

表 題

NUMERICAL PREDICTION OF HYDRODYNAMIC FORCE ACTING ON A NATURAL
STONE IN OPENCHANNEL FLOWS

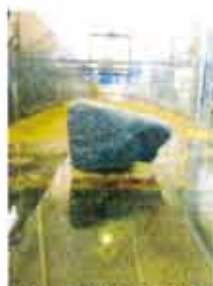
<内容>

近年、河川のインフラ整備では構造物の堅牢さに加えて自然環境への調和が要求されており、現地で調達した石や木などの自然素材を用いた構造物が河道に設置される場合がある。こうした構造物は川の流れに多様性をもたせて河川景観を創造したり、水生生物の生息環境を保全するといった効果がある。一方、従前のコンクリート構造物とは異なり、自然石を用いた工法では材料の要素は必ずしも画一的ではなく、洪水時の治水機能を検討することは一般に困難である。現在、実務では技術者の経験や模型実験などに基づいて構造物の安全度を照査するのが通例であるが、労力や費用が多くかかる上、射流などの急変流場では計測そのものが困難であるため、設計の信頼性は必ずしも十分ではない。

そこで、本研究では近年、確立されつつある高精度な数値解析技術を利用して、自然石に作用する流体力を評価することとした。本研究では特に、抗力や揚力等の経験的な係数を用いずに高精度に流体力を計算する手法を提示しており、河川実務の課題を大きく克服する可能性を示唆している。



自然石を用いた河川構造物



実験水路と模型石



数値計算による模型石周辺の流体挙動の再現

浅子 壮美

岡山大学大学院自然科学研究科

参加会議名	2015 環太平洋国際化学会議
主催団体名	日本、アメリカ、カナダ、ニュージーランド、オーストラリア、韓国、 中国の7化学会
開催期間	平成27年12月15日～平成27年12月20日
開催地	アメリカ合衆国 ハワイ州 ホノルル市

表 題

Molybdenum-Catalyzed Stereospecific Deoxygenation of Epoxides

<内容>

オレフィンのエポキシ化反応はこれまで多数の研究者による改良を経て、2001年にはその不斉反応がノーベル化学賞を受賞するまでに成熟し、医薬品や生物活性物質の合成に欠かせない合成ツールとなっている。しかしながら、その逆反応にあたるエポキシドの脱酸素反応は、ほとんど注目を集めていない。触媒的かつ立体選択的なエポキシド脱酸素反応としてはレニウム触媒を用いた報告例が数例あるが、反応の適用範囲が狭い、特殊な配位子を用いる必要があるといった合成面での課題があった。また、さらに深刻なことに、希少金属であるレニウムはコストが高く、長期にわたる安定供給が見込めないというサステナビリティ一面での問題が、実際の工業化の足かせとなっている。今回我々は、モリブデン触媒を用いるとエポキシドの脱酸素反応が温和な条件下進行し、対応する多置換オレフィンが高立体選択的に得られることを見出した。本反応は、モリブデンが地球上に比較的豊富に存在し、価格がレニウムの約100分の1と安価であり、毒性も低いことから環境調和型反応といえる。特殊な配位子を用いる必要のない、オキシモリブデン錯体と還元剤としてのホスフィンを加えるだけの簡便な合成法であることも実用化へ向けての大きな強みである。さらに、用いるホスフィンを適切に選択することにより、脱酸素反応の立体選択性(立体保持 vs 立体反転)を制御できるという前例の無い反応性を示すことが明らかになった。本会議では、その詳細について口頭発表にて報告した。

平成 26 年度 研究集会助成報告

10. 平成 26 度 研究集会助成報告

助成対象者	所 属	集会名	ページ
前野詩朗	岡山大学大学院 生命環境科学研究科	土木学会平成 27 年度全国大学	1 3 2
氏原岳人	岡山大学大学院 生命環境科学研究科	日本地域学会第 52 回年次大会	1 3 3

前 野 詩 朗

岡山大学大学院環境生命科学研究科

研究集会名称	土木学会平成 27 年度全国大会
主催機関名	土木学会平成 27 年度全国大会実行委員会
開催期間	平成 27 年 9 月 16 日～平成 27 年 9 月 18 日
開催地	岡山

<内容>

土木学会平成 27 年度全国大会では岡山大学津島キャンパスを主会場として、大会テーマ「地域とともに確かな未来を築く土木技術 ～新たなる第一歩へ～」の下で、大会スタッフ（実行委員 90 名、社会人スタッフ 59 名、学生スタッフ 226 名）の協力を得て、下記の 9 つの行事を滞りなく実施した。

(1) 第 70 回学術講演会：第 I 部門～第 VII 部門及び共通セッションを含めて合計 567 セッション、3,286 篇の発表があり、延べ 16391 名が参加した。(2) 研究討論会：合計 30 件開催され、延べ 1758 名が参加した。(3) 国際関連行事：特別講演会（「元留学生が語る、日本土木への注文」）、国際円卓会議（「ビッグデータ時代の社会資本の整備－持続可能な社会を目指して」）、国際サマースイミングシンポジウム（56 篇の発表）、国際若手技術者ワークショップ（“Why did You come to Japan?”）、ネットワークングレセプション（岡山城天守閣にて開催）、テクニカルツアー（瀬戸大橋記念館、与島 PA、倉敷美観地区）が開催された。延べ 224 名が参加した。(4) 基調講演会（廣瀬典昭氏：次代に繋ぐ土木技術者の「志」と「熱意」）、特別講演会（小嶋光信氏：土木工学と土木技術者の使命－津田永忠の偉業と地方交通再生に学ぶ）、全体討論会（阿部宏史、池内幸司、後藤千恵、須田久美子、太田昇、桑子敏雄、加藤せい子）：延べ 800 名が参加した。(5) アンサンブルシヴィル演奏、交流会：625 名が参加した。(6) 見学会：①瀬戸大橋の吊橋主塔の塔頂体験、②高梁川の歴史探訪と水島港水島地区臨海道路、③百聞川分流堰と河口水門の 3 コースを設け、103 名が参加した。(7) 映画会（「岡山&瀬戸大橋特集」、「北陸を祝って新幹線特集&海外プロジェクト」）：261 名が来場した。(8) 土木コレクション 2015 「HANDS+EYES」：758 名が来場した。(9) 支部特別企画（「地域の安全・安心に向けた新たなる第一歩～広島土砂災害を教訓に～」）：70 名が参加した。

氏原 岳人

岡山大学大学院環境生命科学研究科

研究集会名称	日本地域学会 第52回年次大会
主催機関名	日本地域学会
開催期間	平成27年10月10日～平成27年10月12日
開催地	岡山

<内容>

日本地域学会第52回年次大会は、2015年10月10日(土)～10月12日(月)の3日間にわたり、岡山大学津島キャンパス一般教育棟において開催された。開催期間中は天候に恵まれ、約200人の参加者があった。

年次大会では、7つのセッション会場において、3日間で合計29の研究報告セッションが設けられた。これらは、タイムスケジュールに沿って、セッションA(10日午後)、セッションB(13日午前)、セッションC(12日午前)、セッションD(12日午後)で構成され、このうち、13セッションが通常の研究報告セッション、8セッションがアーリーバードセッションであり、それに加えて8つの特別セッションも組み込まれた。

各セッションでは、地域が抱える課題や将来の地域づくりに関する多様で幅広いテーマについて、理論的、実証的な研究報告とそれに対する活発な意見交換が行われた。10月11日(日)の午後には「地方創生と地方中核都市のまちづくり」をテーマとするシンポジウムが開催され、基調講演とパネルディスカッションが行われた。シンポジウムは学会員以外も参加可能な公開行事であり、行政関係者、市民団体、一般市民、学生など、約70人が来場して活発な議論が展開された。

平成 27 年度 その他の助成報告

11. 平成 27 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	問題意識をもって取り組む水素燃料電池と環境	135

問題意識をもって取り組む水素燃料電池と環境。

問題意識をもちやすい素材の提示例 岡山市少女発明クラブ

1 はじめに

子どもがもつ「発明」のイメージは、自分で創り出した作りたい物の工作や指導者が提案した材料や構造物に自分らしい工夫を加えて作ることであろう。当クラブはこのイメージを「宝箱」と「指導者が提案して制作し、新しい現象の体験や素材の知識を豊かにする」、言い換えると、「ガイドを受けて制作」の2本の制作活動で受け止め、大切にしてきたし、今後も守るつもりである。

2本柱の活動の外に、年間を通して水素燃料電池関連の実験を組み入れた。素材が特殊なだけに制作活動は入れにくい。にもかかわらず、あえて挑戦したのは次のような理由がある。

おもちゃのモーターがやっと回るほどの水素燃料電池が3台入手できそうなことを保護者に話し、希望する活動のアンケートを取った。

その中に、環境のこと、水素燃料というだけで安心できないことなどの理解をさせてほしいというのがあった。一方、子どもは、エコ、環境、エネルギーなど、どこかで聞いたことはあるけれど、家庭で親子の話題になることはほとんどないとのこと。自動車好きの父との話も、日本の技術の話やエコ・環境よりも「カッコよさ」として話題になる傾向が強いようである。

そこで、クラブは、2本柱で進行しながら表題関連で実践したことを子どもの姿と共に報告する。

2 水素燃料電池 2つのタイプ

小学校理科カタログで見つけた。Aタイプと呼ぶことにする。精製水を電気分解し、できた水素と酸素を別々に貯える。乾電池に代えてモーターをつなぐと、電気分解した水素と酸素を

使って発電する。

写真の説明

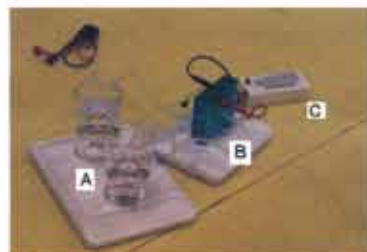
A 2重構造になっていてAの内側のドーム状のタンクに水素と酸素を別々に貯える。

B 水素燃料電池本体。

電解質幕を網状電極で挟んであり電極間を精製水で満たす。電気分解槽にもなる

C 単3乾電池 (3V)

他には太陽電池、プロペラ付きモーターがセットになっている。



岡山大学CSTで借りた。



B タイプと呼ぶことにする。シリコンゴムチューブから水素を送り込む。

裏がわ側壁は空気を取り入れる窓。酸素を強制的に送り込む穴あき側壁とも取り換えられる。黒色の電解質幕を穴あき極盤で抑えたサンドイッチ形になっている。保管中電解質幕が乾燥しないようにという注意書きがある。この2つの燃料電池をどのように組み合わせて使えば初期の目的を達成できるのか、物と子どもを見ながら考えよう。

3 水素を調べる

子どもが作りたいものの構想をしている中に(宝箱) 割り込む形で水素燃料電池関連の活動

を初めた。

水素燃料電池で使う水素を調べること、水素は殺虫剤の缶入りのように売っている店があること、危険なので間違いを防ぐため缶の色や文字の色は決められていることを話した後、対話形式で子どもの知っていることを引き出しながら、空気より軽いこと・空気中で燃えやすいことを指導者の実験で示した。



(シャボン玉・ストローを斜め下に向けて膨らますのがコツで

す。)

(コップの中の石鹼水、沢山作ると、混じりこむ空気量を少なくしやすい)



6年生は、酸素の実験はしているので、ボンベには馴染みがある。

水素が軽いことも燃えやすいこともよく知っているが、燃えやすいことは体験していない。

(学校では水素に点火することは、文部科学省によって禁止されている)。

ここで行った点火実験は、70mlほどの、上に広がったガラスの器で、器の上に一瞬フワッと青い炎が広がる。

水素は怖いと教えられている。大切なことではあるが、扱いを間違えなければ大きさに恐れることはないことを示すため手のひらに取った石鹼水でも同じようになることを指導者の手で示した。そして、必要なだけ少量、開いた空間で扱うことを強調した。

気体が水素であることの証明をする場面がや

がて出てくると思われるので、短時間で印象付けるこの方法を編み出した先輩方に感謝する。

この後の時間を延ばすと子どもは個別に実験にトライすることが予想され、小さい泡のまま点火しようとしてライターで熱い思いをするかもしれない。

以上 20 分程度で終わり、作りたい物づくりに移行した。

4 ポンベの工夫

水素点火の実験は、ボンベをおとなしく制御することが肝要である。今回、その仕組みを簡単に作れることや扱いが容易になることを、近所の小学校の先生方に体験してもらった。新しいボンベで水上置換をすると、いくら慎重にしている、水をガバッと吹き出して無駄遣いをしたと悲しい気持ちになる。この装置は、その心配がない。好評だったので、画像で紹介する。



写真左 (左・新品 右・加工済)

写真右 (A・蝶ねじ B・内側に蝶ねじのナットを固定する C・水道ホースの継手バンド 殺虫剤のボタンを使うのなら、Cの部分がボンベにぴったり合うのでCは不要。代わりに蝶ねじの取り付けに手間がかかる。)

5 Bタイプを使う。

使わせていただいている生涯学習センターの教室は、個別の机を4つの島に分けてある。指導者の動線が経済的に確保されている。

岡山大学CSTは8セットある。教室の島との関係もよい。こどもが珍しいものを使う時には、まず、肌で触れる時間を十分とることだ。どんな色か、形か、大きさは、でこぼこは、な

ど取り入れたい情報は多い。Bタイプはいじくりまわすのに十分な丈夫さと単純さを持っていると判断した。

説明は、「水素燃料電池」「水素は上の穴から静かに注射器で送り込む」「酸素は反対側の窓から自然に空気を取り込む」とどめ、プロペラのついたモーターとシリコンチューブのついた注射器を渡しておけば間違いなく準備できる。

水素の供給は、他の指導者に任せた。



指導者は水上置換で、プラスチック容器を仲介して配るようなことを想定して準備していたが、その必要はなかった。ポンペの吹き出し口の外径と注射器につけたシリコンチューブの内径がぴったりで、ポンペの制御ネジが役だった。

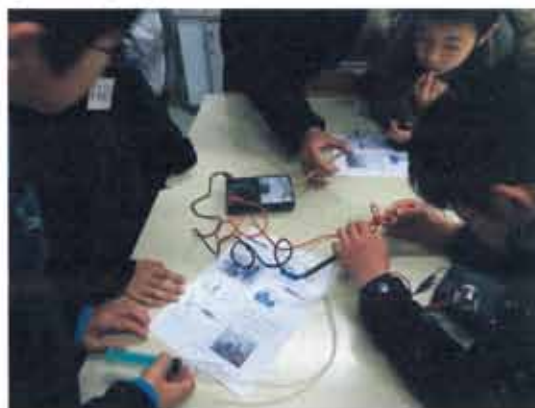
このような場面で、子どもたちは、指導者から言われたことだけをスツツと済ませてハイ終わりということにはならない。もともと、モーターは自分たちの手でつないだものである。

下の写真で、遠くから手を伸ばしているのは、



自分の筋肉をセンサーにして水素の流量を変えたいのであろう。

左の女の子の操作を見ているだけでは、わからないのである。



上の写真で、左手前の子どもは酸素を送るのを止めている。止めてもしばらくは発電するが視線はモーターの方へは向いていない。右手前の子どもはテスターを燃料電池に当てている。右奥の子どもは、指の位置から「？」の雰囲気を感じる。鉛筆を構えた手は、保護者で、テスターの読み方を教えている。この後、右奥の子どもの指が唇から離れたと想像する。



上の写真で、左の子どもの所にモーター、中央の子どもは、モーターに負荷をかけている(プロペラを抑えている)左の子どもの口元にあるのが、燃料電池。空気取り入れ窓を吹いている。注射器の位置から燃料電池に注ぐ気体の量を一手にコントロールしていることになる。

テスターのリード線から見て、直列つなぎに

している。(小学校理科では、電流しか扱わない)

三人にはそれぞれの思いがあり、それぞれの問題解決に3人が同時に当たっていたようである。

何を調べるか整理して一つ一つ協力するように助言できていたら、異なった展開になっていたと思われる。こういうチャンスが気づかれないうちに消えていると思う。とはいえ、自分の意志で他の力も使いながら操作しているときの子どもの充実感と楽しさを前4枚の写真から読み取ることはできないだろうか。

6 水の電気分解をする

この次にAタイプを使えば、すんなり、太陽電池と結びつき、「発明クラブの思考回路」が薄れるような気がして、指導者は「科学的ではなく霊感的?と言われようとも(5で気づいた問題解決のきっかけを見逃した罪よりは軽いだらうという言い訳を見つけて)電気分解に挑戦してみることにした。

活動の展覧会はやや強引なきらいはあるが、「水素は、店から買って来たが、その店はどこから持ってきたのだろうと、問いかける。水素を取る(集める)場所を汚したのでは水素燃料電池を使わないほうが良いし、・・・ぶつぶつ言いあっていると突然下の写真のような子どもが出て説明を始めた。



Bタイプの水素燃料電池は、水素と酸素で電気が出てきて水ができた。だから、反対に水に電気を入れると酸素と水素ができるはず。という主張だ。

ぼかんとしていた子どももあったが、「とにかく確かめる」ために下の写真のような自作カーボン電極の電解槽を使った。出力が0V~20Vを超えるまで可変の電源装置をつないだ。水に

著しい変化はなく、電源装置の電流計(最小目盛り100mA)は振れない。電気は、水があると危ないと、聞き慣れている事実と矛盾する。海水浴=雷はすぐ連想され、塩水で調べることにした。



思うような結果にならない。それより、なんだかくさい。匂いはプールで体験した臭い似ていることを確認して、子どもが思いついた条件の実験は中止。

セスキ炭酸ソーダを教えて、実験再開。

水上置換しているコップの中が白く泡立っている。このグループは電源装置の指示から見て、セスキ炭酸ソーダをもう少し濃くしても良さそう。



なお、集気コップは重いものを使う方が浮き上がらなくてよい。気体は短時間で捕集できる。

電気分解でできた気体の一方が水素であることを証明する実験をした。次のページの写真で、右奥の矢印の所では、すでに実験が始まってい



る。炎を使うことから、手のひら上の実験をまず演示した。手前の子どものうち直ちに行動に移ったのはどの子どもでしょうか。表情から判断できませんか。自然現象は、何らかの数値

を処理して客観的な評価が可能ですが、人の場合、ペーパーテストの結果だけでは判断を誤るといふ証拠写真になったかもしれません。

7 水素は火がなくても燃える



左の写真は水素が燃えやすいことを示す実験であると同時に、保護者の

アンケートから読み取った環境保全・エコに対する人の工夫（触媒）の働きでも扱おうと計画したトピック的位置づけである。白金箔に水素が触れると燃え、閉じたケースのふたが飛ぶことを演示しようとしている。

8 Aタイプを使う

水素燃料電池には、もう一つ別のタイプの電池があること。発明クラブは4台しかもっていないこと、箱入り

新品であること、水は、精製水という大変きれいな水を使うことを伝



え、箱に入ったまま渡した。使い方の説明書などが入っている。グループで力を合わせて組み立てようと、始めた。

箱の仕組みが複雑で開けづらかったが、開けかけると、躊躇しないで開けることに軽く驚いた。

日本語版は、読めない文字を含む大人向けの説明書。あらかじめ指導者が読んで子どもに伝えるようにできている。ただ、絵はしっかりしている。箱、横文字の小冊子、CDは役立たない。Bタイプを扱った体験が頼り。以上のような条件の下、精製水は組み立中に70mlばかり配った。

精製水を満たすのは、目盛りのついた水上置換のような気体を集めるドーム型タンク部分と、水素燃料電池本体である。本体の電極で挟まれた電解質部分が水没するまで注水する。気体貯蔵タンクの内外は精製水で満たされ、水上置換のような形になる。燃料電池本体から水素が集まる



マイナス極側の穴と水素貯蔵タンクの上部の穴、酸素が集まるプラス極の穴と酸素貯蔵タンクの上部の穴はシリコンチューブでつなぐ。燃料電池へ注水するときに使った穴もすべて閉じる。燃料電池と気体貯蔵タンクとをつないだシリコンチューブ内の空気を無視すれば、精製水で密閉したことになる。

文字情報ではややこしい組立てが、説明書の絵と指導者グループのちょっとした援助、隣のグループへの問い合わせとで組み立てられた。

高価な仕組みでも物怖じすることなくいじりまわす子ども達ならばこそ成しえたことであろう。燃料電池には(-) H₂ (+) O₂ の書き込みが、気体貯蔵タンクにはH₂ O₂ の書き込みと目盛りがあつて、電気分解で2:1の体積比がよくわかる。電池をつなげば気体が増え、

負荷（モーター）をつなげば気体が減る。タンクと燃料電池をつ



ないだチューブの中には、なにも見えるわけではないが、タンクの水面を見ていてモーターの回転を感じ、決まり正しい変化から不思議なものに触れた感じに襲われる。子どもたちは、飽くこともなく何を見ているのだろう。

8 自動車と水素

水素燃料電池を自分たちの暮らしの中に関係づけようとする意図でAタイプの水素燃料電池を組み込んだ写真のような自動車を買った。



予想とはずれたのは、子どもたちには「おもちゃの水素燃料電池自動車」としての興味はないことであった。台から落ちない仕組み、物にぶつかると、方向を変える仕組みに興味に向く。水素燃料電池の学習に役立てようとしたのに、高い買い物をした思いである。

9 環境を守る地球に負担をかけない生活

歩みながら、迷いながらここまで来た。閉講式外の時間を使って、保護者のアンケートから読み取った環境（地球に負担をかけない）・エコといったテーマにあと一押し迫るべく行動を開始した。発明クラブの2本柱に当たる適当な活動は思いつかない。そこで、これまでの子どもの体験に寄り添いつつ画像を使って対話形式で進めることにした。いわば、発明クラブに保護者から課せられた本年度最大の課題である。

つぎは、その時に使ったパワーポイントの映像と言葉の要旨である。



△ 大人になって自然

やエコで困らないようにみんなで考えよう。



△ 2つの画像を比べて映っているものの特徴で大きな違いがあるのに気づきますか。星印の中で思い出してみよう。

△再利用 できる。 できない。 人の工夫
△ゴミにならない、ゴミになる。



△大型の水素燃料電池を作れば、環境は安心か。 △水素の作りかたが問題。 太陽光電池。



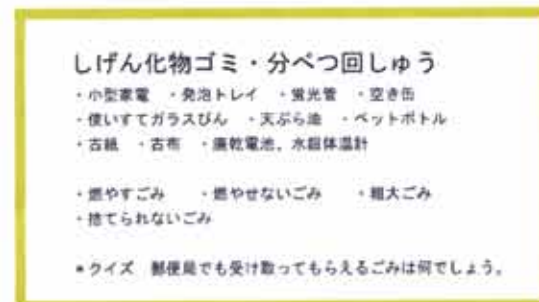
△ マフラーには水素を燃やした白金のような働きをするものが入っている。マフラーは再利用(触媒)。



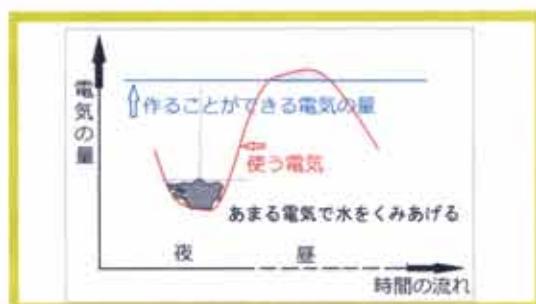
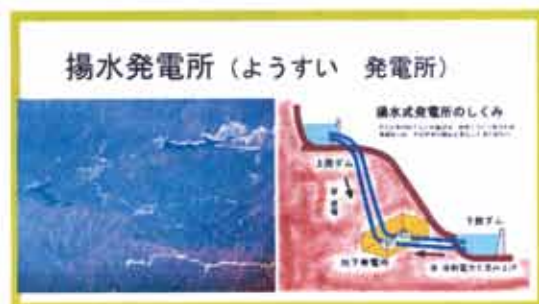
△ これも人の工夫。 △緑を守る。 △神の樹は切られない。



△物やエネルギーを使わない生活。△病気になるかもしれない。 △不便。



△今できること。岡山市がしていること。△アルミ缶を集めた。 △新聞を集めた。△子どもでもできること。△無駄な電力。ゴミ分別。



△中国電力のしていること。 △電気が一瞬でも足りなくなることはない。発電所の作りすぎを防ぐ。

10 うごくしくみ・さまざま

前項までは「水素社会」を頭の隅に置きながら、「水素エネルギー」と「電気エネルギー」とを取り持つ「水素燃料電池」を感動的に学び取っていく様子を記述してきた。

私どものクラブの「ガイドを受けて制作」する活動で子どもたちに提示した物も、提示の仕方によって、物づくりのガイドの役目を果たすだけではなく、水素燃料電池で子どもたちが見せた自ら見つけた疑問・問題を解決しつつ物づくりに挑戦させることができるのではないかと気づいたので、具体物について提案する。

A スターリングエンジン

「面白いもの
を購入したから紹介する」
程度の始まり
で、写真のよ
うなスターリ
ングエンジン



を示した。瞬間湯沸かし器の湯で連続して動くはずのところ、少し動いて止まる。何回か繰り返したが、同じこと。指導者はあわて、そのうち、保護者や子どもがエンジンを囲んで代わってつづいた。指導者は手を出さない。次の予定

に移りかけていたが、そのうち、給湯室から湯を取っていた人がいて連続運転を始めた。子ども



もたちの数人は、スターリングエンジンにとりついている。

日を改めて提示したとき動きにくかったら、湯を高い温度に変えようというに違いない。この時、シリンダーの低温側に氷を置いたら子どもは何というか。熱機関で低温部も働いていることには気づきにくいし、説明されてもすっきりした気持ちになりにくい。失敗でスターリングエンジンの新しい利用法を見つけた思いである。温度変化に敏感に応じるサーミスタ温度計が必要か？

B 発電機

中国電力の出前講座、商売の中心は、液化天然ガスや重油を買ってきて電気売る商売と、わかりやすい表現。火が使いにくい部屋でタービンの運転を短時間実行した。次の写真のような装置で、プロパンガス（カセットコンロの炎）→水を加熱して高圧蒸気（圧力釜で）→



タービン（回転）→発電機（電気）→（電球）が示された。エネルギー変換の状態がほぼ裸で見えるように作られている。子ども

たちは遠巻きに観察した。



そのあと、数十ワットの電球1個をON/OFFできるようにした手

直し発電機を回してみた子どもは、電気を作るのに大変な力が要ることを実感したことであろう。このような筋肉に訴える体験は、女子が消極的になりやすいように見受けられる。



発電所の無駄を少なくする工夫の一つとして、揚水発電所（水の量と高さが商品のもと）の説明があった。

「商品」に言い換えた表現は、エネルギーの姿を理屈っぽくなく子どもに伝えた。

C シャカシャカライト

電磁誘導を利用したものは、子どもたちの身の回りにもたくさんあるが、それによる現象を特に不思議に思うことは無であろう。そこで、まず、右の写真の現象を実験した。レールのように平行におい



た2本のアルミパイプの間に磁石を置き、その

上にアルミパイプを橋のように渡し、2本のパイプに電流を流している様子である。電流を流すと上のアルミパイプは転がる。パイプが転がる



ることを見た子どもたちは、レールが上り坂になるように

傾斜を付け、乾電池の数を増やして転がる力がどうなるかを確かめていた。

続いてシャカシャカライトのキットを組み立てた。

次の段の写真の上部は完成品。袋の中は材料。完成品はフォルマル線を巻きつけたボビン（フ



ォルマル線の巻き始めがきれやすい)の穴にストローを通し、コイルと並列にLEDをつなぐ。ボビンの中にネオジム磁石を入れ、ネオジム磁石が飛び出さないように2B弾でストローの両端を閉じ、シャカシャカ振るとLEDが光るといふもの。

最初のアルミパイプの実験で飛び出したアルミパイプを子どもはシャカシャカライトのどこと(何と)対応させたのか対応させなかったのか、確かめてはいないが、それぞれが面白い現象ではあった。

それはそれとして、シャカシャカライトのキットは、物づくりを楽しんでいる子どもや我々はこれまでもそうであったし、おそらく今後もそうであり続けるような材料選びを見事に実現

しているので、紹介する。

その1 ネオジム磁石とストロー

100円ショップの小さいほうのネオジム磁石の外径とストローの内径の相性がまことによい。磁石が1個ではストローの中で縦方向に回転してよくないが磁石を4~5個くっつけるとガッチリした棒状になる。キットは5個使っていた。

その2 ストローとボビンの相性。

ボビンはプラスチック製ミシンの下糸用。ストローの外径よりボビンの内径が紙1枚分大きい。なんとも微妙な差で、ネオジム磁石の動きから見てストローを締め付けない太さではある。

その3 ストローと2B弾

ストローに入れたネオジム磁石が飛び出さないようにする栓になる。球が丸いので少々固くても圧入できる。ただ、ストローが延びるので、安心は禁物。

その4 シャカシャカライトの発展性

もともと別々の商品として生産されたもののサイズや材質が都合よくできていることに着目すると、子どもの活動が変化・発展し、エネルギーをより深く体感することができそうである。

ネオジム磁石を買い足すのは簡単で、あと、5個も加えると、急に子どもの活動が増えると思う。振り動かす磁石の数を変えた結果はともかくとして、電気を生み出した「おおもと」は何だったのか、事実をもとにして子どもに議論を仕掛けたら、応えてくるか、面倒がられるか。

ここまでは、ネオジム磁石の数を増減しても、シャカシャカ動く磁石は1本の磁石としてはたらいている。

もうひとサイズ細いストローを1~2cmに切って磁石ストロー磁石ストロー磁石……のように交互に並べると、多極シャカシャカになるので活動がまた変化することが予想される。キットは、しばしば1つの目的を最低の材料で達するように工夫されているが、バラバラに作

られた材料のサイズが寄せ集めに適しておれば、キットにサイズの合うものを加えることで、材料を無駄に購入することなく、エネルギーと、変換するものの仕組みの面白さにはまり込む可能性がある。

D 墜落しない錘

下の写真の仕組みを最初に提示して、左手を



放すと、錘（乾電池代用）が糸を引いて墜落すると予想する。

そこで、指導者は、自らを実験台にした実験をした。

指導者「もし、落ちたら痛いので、乾電池を小さいものに変えます。Aは高いほど「コブ」を大きくします。このくらいで、よろしいか。」

子ども「……………」

この演示の後、子どもは錘を選んで実験した。

指導者「落ちないようにはたらいっているブレーキのはたらきが隠れているからで、高校生でも正確に示すのはむつかしいことなのですが……………」

ブレーキその1

糸が滑らないように押さえておいて、小さい



錘の手を放すと、小さい錘の振り子は反対まで振れてほぼ元の高さまで上がります。乾電池が滑り落ちると小さい錘の振り子は短くなるので、……………」

その2 棒に紐が巻き付くと滑りにくくなるので、どのくらい滑りにくくなるか計算する方法を見つけた人がいて、……………オイラーのペルト理論といいます。高等学校で勉強してください。」

これらの実験や工作、話で子どもたちが電磁誘導や、運動エネルギーが電気エネルギーに変わる仕組みがあること、高さにだってエネルギーがあることに興味が向き、物づくりのヒントにしてくれることを望んでいる。

お礼

小さい実践とその記録でしかない本稿を資金面とともにまとめた紙面まで頂いた八雲環境科学振興財団にお礼申し上げます。

（文責・井本 実、水田 雅明）

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

(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、企業等から寄附を受ける場合、あるいは研究者個人またはグループを指定し、企業から寄附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、ご寄附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

公益財団法人 八雲環境科学振興財団は、その年の自然環境の状況を残していきたいという思いから、毎年、発行する研究レポート集の表紙にその年の自然環境のイメージを画像で現しております。

今年、4月に気象庁震度階級では最も大きい震度7を2回観測される地震が熊本地区を中心に発生した。余震の回数についても内陸型地震では過去20年間で最多となった。また、この地震は、本震と余震が入れ替わる事態となり、大規模な斜面崩壊や地滑りが発生するとともに、熊本城や阿蘇神社などの文化財の倒壊など多くの被害をもたらした。

表紙写真：「熊本地震 阿蘇大橋を飲み込んだ地すべり」（2016年4月）

撮影者：磯山龍二

公益財団法人 八雲環境科学振興財団
研究レポート集 第17号

平成28年10月発行

発行 公益財団法人八雲環境科学振興財団
岡山市北区津島京町3丁目1-21
(株)エイト日本技術開発内)
TEL (086)252-7670

印刷 吉備サプライ株式会社
岡山市北区野田4丁目2-20
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