

研究レポート集 2013

Report

第14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じて参りました。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15年目を迎えました。

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

公益財団法人 八雲環境科学振興財団
代表理事 小谷 裕 司

目次

1. 巻頭言	1
2. 財団の概要	2
3. 役員等名簿	3
4. 定款	4
5. 平成24年度事業実施状況	13
6. 年度別助成事業実施状況	16
7. 研究発表会実施状況	24
8. 平成24年度環境研究助成報告	28
9. 平成24年度国際研究交流助成報告	98
10. 平成24年度研究集会助成報告	103
11. 平成24年度その他の助成報告	106
12. 助成実施要項	115
13. ご寄附のお願い	121

1. 巻頭言

「環境の良い生活」をどのように構築するかを多くの人々に研究していただき、この成果を市民の方々に啓蒙するのが「八雲環境科学振興財団」の目的の1つである。啓蒙するというより知っていただくといい換えても良い。しかしこの「環境」という言葉はいい響きであるが、具体的に捉えにくい言葉である。

「環境の良い生活」となると、安全で安心して生活できる空間を創造するにはどうすれば良いかが課題になる。「安全」となると何に対して安全か？何かからの攻撃に対して安全であると言える。隣国からの攻撃？これに関しては今の日本の一般市民は何も考えていない。平和が大切である。自然からの攻撃？これは人間が勝手に考えているだけで、自然の中で人間が生かされていると考えると、地震や斜面崩壊は自然の営みで、そのメカニズムが分からないから、自然から攻撃されると考えてしまっているだけと考えられる。地球や太陽圏の重力や惑星間のエネルギーによって地球は時々刻々と変化している中で、人間がどのように安全に安心して生活するかを考える必要が生じる。自然災害が起こる中で、安全な生活を得るという課題は多くの分野に通じるものである。人間が良い環境で生活するには、良質の水、食料、そして空気が必要である。そして快適な気温や湿度もほしい。そして、人間が生活すれば廃棄物も出てきて、その処理、処分が必要になる。

2013年は関東大震災が起こって90年になる。死者・行方不明者が10万5千人と記録されている。9月1日には、色々な式典が各地で催された。この震災の教訓は、避災することがいかに難しいかである。震災後、台風の影響で強風が吹き、「陸軍本所被服廠跡地惨事」で4万人近い人が火災で他界されている。避難する時は何も持って行かないのが鉄則であるが、色々な大切な物を持って逃げたいのは人情であり、誰もそれを止めることができないと思う。

阪神淡路大震災は早朝であった。この時は電気機器による火災が生じたと言われている。福井地震の時は、震災後、豪雨が降って、河川堤防が決壊して洪水が生じている。複合災害の怖さが分かっているが、市民にシステムティックに伝わっていないし、教訓にもなっていないのが現状である。2011年3月11日の東日本大震災も、地震と津波の複合災害である。

したがって、マルチの自然の営み（これによって何かが起こると複合自然災害と言っている）に対して、人間はどのように生きていくかを考える必要がある。

2020年にオリンピックが日本で開催されることになった。世界中の人々が日本に安心してきていただけるように、国土基盤を構築していきたい。そのために、これからは皆でよく議論して、この難問に取り組みたい。

評議員 西 垣 誠
(岡山大学大学院 教授)

2. 財団の概要

名 称	公益財団法人 八雲環境科学振興財団
所 在 地	岡山県岡山市北区津島京町三丁目1番21号 (株式会社エイト日本技術開発内)
主務官庁	岡山県教育委員会
設立許可	平成10年7月29日 (平成14年8月26日 特定公益増進法人に認定) (平成24年10月1日 公益財団法人に移行)
出 捐 者	株式会社エイト日本技術開発 他
基本財産	2億5,273万円(平成25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	岡山大学名誉教授 (元学長)
	目瀬 守男	美作大学名誉学長
	赤木 靖春	学校法人加計学園専務理事
	山北 次郎	岡山県立大学名誉教授
	沖 陽子	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	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) 管理本部総務部長
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	岡山理科大学学長
	西垣 誠	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	阿部 宏史	岡山大学理事・副学長
	鳥越 良光	岡山商科大学大学院商学研究科教授
	岩田 正晴	ロック地域計画事務所 代表
	谷本 俊夫	E・Jホールディングス(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	岡山理科大学総合情報学部教授
	大久保賢治	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	熊澤 貴之	岡山県立大学デザイン学部准教授
	永井 泉治	(株)エイト日本技術開発 技術企画部長

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

(財産の種別)

第6条 この法人の財産は、基本財産及びその他の財産の2種とする。

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

3 その他の財産は、基本財産以外の財産とする。

(基本財産の維持及び処分)

第7条 基本財産については、適正な維持及び管理に努めるものとする。

2 この法人の公益目的事業遂行上やむを得ない理由があるときは、理事会の議決に加わることでできる理事の3分の2以上の議決を経て、評議員会において、議決に加わることでできる評議員の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って、当該評議員から受ける金銭その他の財産によって生計を維持しているもの

ホ ハ又はニに掲げる者の配偶者

ヘ ロからニまでに掲げる者の親族であって、これらの者と生計を一にするもの

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

の1を超えないものであること。

イ 理事

ロ 使用人

ハ 当該他の同一の団体の理事以外の役員（法人でない団体で代表者又は管理人の定めのあるものにあつては、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、その事項を評議員会に報告することを要しないことについて、評議員の全員が書面又は電磁的記録により同意の意思表示をしたときは、その事項の評議員会への報告があったものとみなす。

(議事録)

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

2 議長とその会議に出席した評議員2人は、前項の議事録に記名押印する。

第6章 役員等

(役員の設置)

第30条 この法人に、次の役員を置く。

(1) 理事 6名以上9名以内

(2) 監事 3名

2 理事のうち1名を理事長とし、この者をもって、一般社団法人及び一般財団法人に関する法律上の代表理事とする。

(役員を選任)

- 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、役員の実員の全員の同意があるときは、招集の手続きを経ることなく理事会を開催することができる。
- 5 理事長に事故があるとき又は理事長が欠けたときは、各理事が理事会を招集する。

(議長)

第45条 理事会の議長は、理事長がこれに当たる。

(定足数)

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

(決議)

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

(決議の省略)

第48条 理事が理事会の決議の目的である事項について提案した場合において、その提案について、議決に加わることのできる理事の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の処分を受けた場合又は合併により法人が消滅する場合(その権利義務を承継する法人が公益法人であるときを除く。)には、評議員会の決議を経て、公益目的取得財産残額に相当する額の財産を、当該公益認定の取消しの日又は当該合併の日から1ヶ月以内に、公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律第5条第17号に掲げる法人又は国若しくは地方公共団体に贈与するものとする。

(残余財産の帰属)

第58条 この法人が清算をする場合において有する残余財産は、評議員会の決議を経て、国若しくは地方公共団体又は公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律第5条第17号に掲げる法人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、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24年度事業実施状況

平成24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826万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に寄与するものとします。	平成24年度募集テーマ A. 災害と地域の環境に関する研究 B. 水資源・水環境の保全・再生に関する研究 C. 生物多様性に関する研究
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・・・300万円程度 1件あたり助成額・・・100万円以内 助成件数・・・3件程度
3. 助成対象となる期間	
平成25年3月31日まで	平成25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、携帯電話等）の購入費は助成対象外とします。

5. 助成対象者の義務等

下記の事項について財団所定の「合意書」を締結し、履行していただきます。

- 助成期間終了後3ヶ月以内に研究レポート（1頁2,000字、A4で6頁程度）の提出
- 平成25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 24 年 5 月 1 日から平成 25 年 4 月 30 日までに出発帰着する下記の派遣又は招聘

○国外で開催される環境科学に関する研究集会への国内研究者の出席。但し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。

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

2. 助成金額と件数

○総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 80 万円程度

○1 件当たり助成金 ・ ・ 20 万円以内

○助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 4 件程度

3. 助成対象となる費用

派遣又は招聘に必要な渡航費及び滞在費並びに参加費

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

Ⅲ. 研究集会助成

1. 助成対象

平成 24 年 10 月 1 日から平成 26 年 3 月 31 日までに岡山県内で開催される、環境科学に関する研究集会、学術講演会、シンポジウム等

2. 助成金額と件数

○総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 60 万円程度

○1 件当たり助成金 ・ ・ 30 万円以内

○助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 2 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」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

- 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 23 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 24 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、海外研究集会等での発表を目的とする場合、論文採択が予定の段階でも応募できますが、助成金の振込は、正式決定後とします。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 24 年 4 月 13 日（金）（必着）	平成 24 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			

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。

<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 管理本部内
(公財) 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	4件	800千円
研究集会助成事業	2件	2件	600千円
合計	38件	17件	8,290千円

○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	2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

累計（平成10年度～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	407件	175件	97,683千円
国際研究交流助成事業	127件	79件	15,466千円
研究集会助成事業	20件	18件	5,180千円
合計	554件	272件	118,329千円

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 (予定)

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



研究発表会の模様

平成 24 年度 環境研究助成報告

8. 平成24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
御 興 真 穂	岡山大学理学部 附属臨海実験所	ニホンウナギを指標とした河川生態系の健全性を評価する手法の開発と環境学習に関する研究	29
齊 藤 美 絵 子	岡山県立大学 デザイン学部	AR 技術を用いた防災意識ハザードマップの開発と評価	35

②一般研究

助成対象者	所 属	研究テーマ	ページ
大 杉 忠 則	倉敷芸術科学大学 生命科学部	ソフトバイオマス米糠を利用したセルラーゼおよび機能性物質の生産	41
畑 中 唯 史	岡山県農林水産総合センター 生物科学研究所	酸素による未利用バイオマス由来フェルラ酸製造法の研究開発	49
三 好 伸 一	岡山大学大学院 医師薬学総合研究科	ジクロロメタン汚染を改善できる環境微生物が保有する特異的遺伝子の解析	55
板 谷 篤 司	岡山大学大学院 自然科学研究科	高効率 CO ₂ 吸着・活性化材料の開発	61
岩 崎 真 之	岡山大学大学院 自然科学研究科	“廃棄物を出さない”触媒的な物質変換法の開発	68
西 戸 裕 嗣	岡山理科大学 生物地球学部	鉍物のカソードルミネッセンスを用いた被爆放射線量の定量評価	74
滝 澤 昇	岡山理科大学 工学部	新規な水質浄化システムの構築に向けて	80
細 谷 和 範	津山工業高等専門学校 電子制御工学科	流体関連振動を利用した小規模水路用発電機構に関する実験的研究	86
鳥 家 秀 昭	津山工業高等専門学校 電子制御工学科	環境調和型マイクロ水力発電の研究	92

※所属は、助成申請時

財団法人 八雲環境科学振興財団
平成24年度環境研究助成報告書

平成25年 6月27日

財団法人 八雲環境科学振興財団
理事長 小谷 裕司 殿

研究テーマ：ニホンウナギを指標とした河川生態系の健全性を評価する手法の開発と
環境学習に関する研究

岡山大学 理学部附属臨海実験所
御輿真穂（研究代表者）
東京大学 農学生命科学研究科
海部健三（共同研究者）
水産総合研究センター 増養殖研究所
矢田崇（共同研究者）

<本研究の背景>

河川・湖沼の生態系は、生物多様性の劣化が最も著しい系の一つである。日本では、河川を利用する魚類の約44%（400種中の175種）が環境省のレッドリストに記載されており、早急に保全対策を施す必要がある。有効な対策を策定するためには、適切な評価手法が必要であるが、現在のところ、河川生態系の健全性を評価するための、汎用的かつ簡易な手法は確立されていない。このような現状を鑑み、我々はニホンウナギを指標種として取り上げた。ウナギは外洋で生まれ、陸水域で成長する降河回遊魚であり、その成長期には沿岸域から河川上流域を含む幅広い生息域を利用する。このため、その分布様式を利用して、生息域の接続性を評価することが可能である。また、ウナギは高次捕食者であるため、その摂餌生態から、水域の食物網の健全性を評価することが可能である。

調査地として、比較的豊かな生物相が残されている、岡山県旭川水系を選定した。旭川は全国の河川の中でも三番目の魚類数を誇り、特に天然記念物や絶滅危惧種に指定されている特定種魚類については、アユモドキ、スナヤツメ、イチモンジタナゴなど、全国で二番目となる8種を記録している（平成17年 国土交通省）。開発が進みつつも、多様な魚種を有している岡山県旭川水系は、河川生態系の健全性を評価する手法の開発を目指す、本研究の調査地に適している。

ウナギは、その生態が河川生態系の健全性を評価するための指標種として優れているだけでなく、文化的にも環境保全・自然再生のシンボル種としてふさわしい。岡山県の天然ウナギは全国的にも知名度が高く、県内の河川流域にはウナギ漁を行う漁業者が多い。また、近年報道されている産卵場の発見やウナギ資源の急激な減少は、漁業者やウナギ業者以外の市民の関心をウナギに集めている。これらのことから、岡山県の水辺の生物多様性に関する環境学習を進めるうえで、ウナギは優れたシンボル種たりえる。

<本研究の目的>

1. ニホンウナギの分布様式と生理状態から、河川生態系における生息域の接続性を評価する手法を開発する。
2. ニホンウナギの摂餌生態と食物網を微小水域ごとに比較することにより、河川生態系における食物網の健全性を評価する手法を開発する。
3. 市民参加型調査を通じて、旭川水系の生物多様性の現状に関する理解の促進を図る。

<材料、方法と結果>

1. ニホンウナギを用いた接続性の評価手法の検討

分布様式を用いた評価手法：2012年7月より12月にかけて、岡山県四幡川および百間川（図1）で、ウナギ筒（内径50mm）を用いたニホンウナギのサンプリングを行った。四幡川で採集されたウナギ（ $n=24$ ）は、全長 448.1 ± 67.9 mm（平均±標準偏差）（図2）、年齢 4.1 ± 1.8 歳で

あった。百間川で採集されたウナギ (n = 47) は、全長 430.2 ± 61.3、年齢 3.3 ± 1.2 歳であった。

四幡川および百間川と同一の水源を有するが、河口堰を持たない旭川 (図 1) において、2007 年より 2010 年の間に、全く同一の漁具を用いてウナギが採集されている。四幡川と百間川でサンプリングを行った範囲、河口から約 10 km 上流までの範囲で採集された個体の体長と年齢を四幡川、百間川、旭川で比較した。旭川河口域で採集されたウナギ (n = 191) は全長 436.2 ± 111.3 mm、年齢 4.4 ± 1.8 歳であった。三河川間で全長に有意差は無かった (Kruskal Wallis test, p = 0.79)。年齢は三河川間で有意に異なり (p < 0.001)、旭川のウナギは百間川のウナギよりも有意に年齢が高かった (Sheffe's test, p < 0.001)。

旭川の最小個体は 204 mm で、300 mm 未満の個体は 26 個体 (13.6%) に上ったが、四幡川の最小個体は 328 mm で 300 mm 未満の個体は 0 個体 (0.0%)、百間川の最小個体は 260 mm で 300 mm 未満の個体は 1 個体 (2.1%) であった (図 2)。さらに、ウナギ筒では採集できない小サイズ個体が存在する可能性を考慮し、電気ショッカー、置き針、アナゴ筒、夜間灯火採集を行ったが、ウナギ筒よりも体長の小さい個体は捕獲されなかった。

異なる 4 業者から放流用個体 (n = 239) を入手し、放流時のウナギの全長を調べたところ、平均全長は 291.0 ± 63.8 mm であった。放流個体より小さい個体がほとんど存在しない四幡川および百間川に生息するウナギは、放流個体である可能性が高く、四幡川および百間川に設置されている河口堰は、沿岸からのシラスウナギの加入を阻害していると考えられた。

生理状態を用いた接続性の評価：外洋と河川とを回遊するウナギは、それぞれの環境に適応し異なる生理調節を行う。体液調節ホルモンの候補であるアドレノメデュリンに注目し、この遺伝子が生息域の接続性の評価に適するかどうかを検討した。旭川河口域 (n=6) および河川 (n=6) で採集されたウナギから浸透圧調節器官である腎臓を採取し、全 RNA を抽出しリアルタイム PCR 法によって遺伝子の発現量を測定した。その結果、ウナギにおいてアドレノメデュリン遺伝子は河口域 (汽水) と河川 (淡水) とで顕著な発現量の差を示さず、この遺伝子は接続性の評価マーカーとしては不適であると考えられる。沿岸から河川への移行時に機能するホルモンであれば、適応が完了した個体においては遺伝子の発現量が変化しない可能性がある。今後は異なるマーカーによる評価が必要である。

2. ニホンウナギを用いた食物網の評価手法の検討

安定同位体を利用して旭川に生息するニホンウナギの食性を検討するため、2012 年 8 月 20 日に開催した「旭川うなぎ探検隊」(次節参照) において採集された、ニホンウナギを含む 11 種を用いた。採集した動物から、同位体吸収速度が遅く、短期的な変動を受けにくい筋肉を試料として採取した (Gearing 1991)。

安定同位体比測定用試料は、オープンを用い 60° で 24 時間乾燥した後、粉状にすりつぶした。すりつぶした試料はクロロホルム・メタノール溶液 (体積比 1:1) に漬けた後、遠心分離を利用して脱脂した (Folch et al. 1957)。脱脂した試料は、さらにオープンを利用して乾燥され、0.5 から 1.0 mg をスズカプセルに入れた。元素分析機を利用して、炭素および窒素同位体比を測定した。試料の安定同位体比は、国際標準物質 (炭素: Vienna Pee Dee Belemnite, 窒素: 気体窒素 N₂) に対する千分率として、次式に基づいて表した。ここで、R = ¹³C/¹²C または ¹⁵N/¹⁴N である。

$$\delta^{13}\text{C} \text{ or } \delta^{15}\text{N} = (R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}} - 1) \times 1000$$

旭川で採集された魚類の炭素安定同位体比のばらつきは大きく、植物プランクトンに依存する一次消費者である二枚貝および、付着藻類やデトリタスに依存する巻貝の値のどちらか一方に偏ることはなかった。このことから、本水系に生息する魚類全体としては、植物プランクトン由来の炭素も、付着藻類およびデトリタス由来の炭素もともに利用していると考えられる。

ニホンウナギの窒素安定同位体比の濃縮計数 2.1 (Kaifu et al. 2013) から考えると、本水系に生息するニホンウナギの栄養段階はおよそ 2 から 3 であると推測される。本水系で捕獲されたニホンウナギの炭素安定同位体比および窒素安定同位体比は、ともに個体間のばらつきが大きく、旭

川に生息する本種が、多様な餌生物を捕食していることが示唆された。

3. 市民参加型調査

2012年8月20日、旭川と百間川の分岐点の近くの明星堰にて、市民参加型調査イベント「旭川うなぎ探検隊」を行った。このイベントは、岡山大学理学部附属臨海実験所の他、岡山県でウナギの生態調査を行っている東京大学・水産総合研究センター増養殖研究所と、岡山の漁業者、研究機関、行政機関、および環境保全団体との協力によって実現した。学術的な目的としては、①2011年に放流された標識を施したウナギを捕獲すること、②旭川の生物相と食物網をモニタリングすることの二つを掲げた。一方、環境学習としての位置づけも大きく、川や自然にふれあう場を提供することの他、市民の方々、漁業者、研究者がともに調査を行い、岡山の自然について考えることを目的とした。

当日は晴天のもと、児童から大学生、およびその保護者など、52名の参加者が集まった。スタッフは、漁業者、環境保全団体、岡山大学および岡山理科大学の学生、研究者、行政関係者など約35名であった。安全面に配慮するため、スタッフ1人あたりの参加者は2名以下とし、隅々まで目が届くようにした。スタッフ2名につき参加者4~6名、合計6から8名の班に分かれ、旭川明星堰周辺で生き物の採集を行った。タモ網を使った採集（ガサガサ）、投網、前日にあらかじめ仕掛けられていたアナゴ筒やカゴ罟によって、旭川の動植物を採集した。救命胴衣を着けた子供たちは、流れのない場所で泳いだり、流れの速い場所で流されてみたりと、魚採りだけにとどまらない「川遊び」を体験した。

採集された魚類はニホンウナギを含め、20種を数えた（表1）。この中には、2012年2月に絶滅危惧IB類に指定されたニホンウナギを筆頭に、絶滅危惧II類に指定されているオヤニラミ、準絶滅危惧種に指定されているヤリタナゴ、アブラボテ、スジシマドジョウ類といった希少種が含まれていた。また、採集された魚類のすべてが在来種であった。

本調査によって、旭川が魚類の種の多様性を保ち続けており、保全すべき価値のある河川であることが再確認された。また、次の世代を担う子供たちとその保護者が、地元の自然とふれあう機会を設けることができた。

<今後への展望>

ニホンウナギの分布様式は河口堰の影響を強く受けていると考えられ、このため、ニホンウナギの分布から水域の接続性を評価することは可能であると考えられる。一方、今回選んだ生理学的マーカーによってニホンウナギの体液調節の観点から水域の接続性を評価することは困難であったが、今後異なるマーカーを用いることで個体の生理状態と水域の接続性を関連づけられる可能性がある。

炭素・窒素安定同位体比について、その炭素源および栄養段階から、餌の多様性を推測することは可能であると考えられるが、今後、胃内容物調査を併用することによって、また、異なる水系間で安定同位体比を比較することによって、さらに正確な評価が可能になると考えられる。

市民参加型調査は、マンパワーを集中させることによって魚類相調査を容易に行えたとともに、参加者にとっては環境学習の機会となる。研究者と市民双方に取って、プラスの効果をもたらす企画であると言える。「旭川うなぎ探検隊」は、平成25年度以降も継続・発展させていく予定である。

本研究によって、ニホンウナギが環境指標生物として、また水域の自然再生のシンボルとして優れていることが確認された。

<引用文献>

- Gearing JN (1991) The study of diet and trophic relationships through natural abundance ^{13}C . In *Carbon Isotope Techniques* (Coleman, D. C. & Fry, B., eds), San Diego, CA: Academic Press, pp 201–218.
- Folch J, Lees M, Sloanestanley GH (1957) A simple method for isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry* 226, 497-509.
- Kaifu K, Miyazaki S, Aoyama J, Kimura S, Tsukamoto K (2013) Diet of Japanese eels *Anguilla japonica* in the Kojima Bay-Asahi River system, Japan. *Environmental Biology of Fishes* 96, 439-446



図1: 調査地域

旭川には河口堰がなく、その分流である百間川と四幡川には河口堰がある。旭川には可動堰が存在するが、およそ10月から4月までは流れを止めていない。また、5月から9月の間も、可動堰横の水路は開放されており、水生動物は可動堰の上下流間を自由に通行できる。

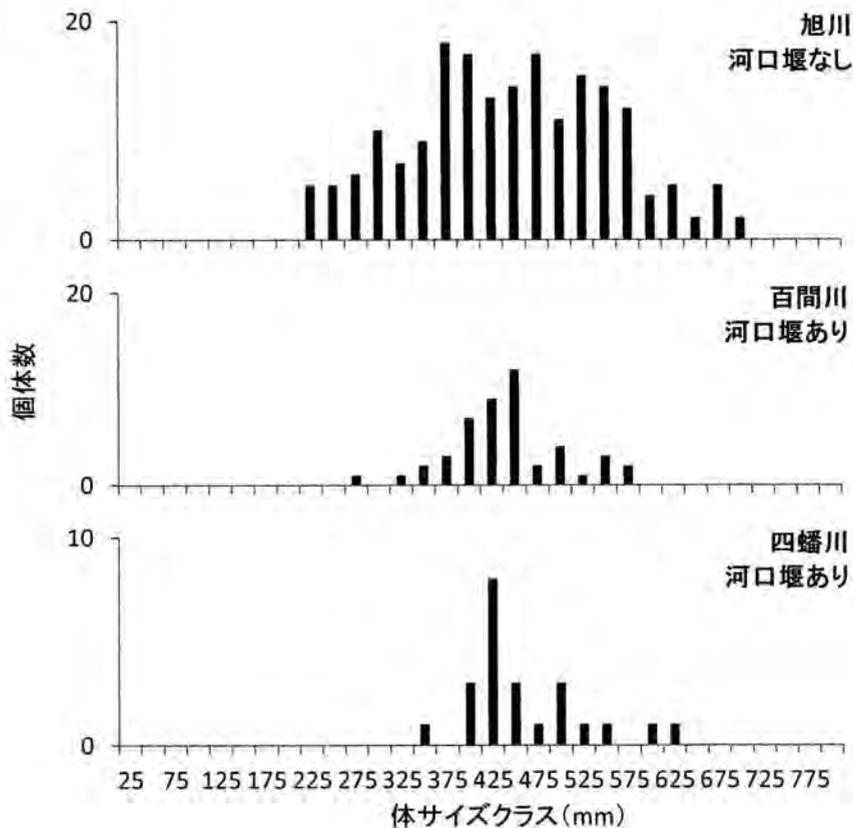


図2: 旭川、百間川、四幡川で採集されたニホンウナギの体サイズクラス

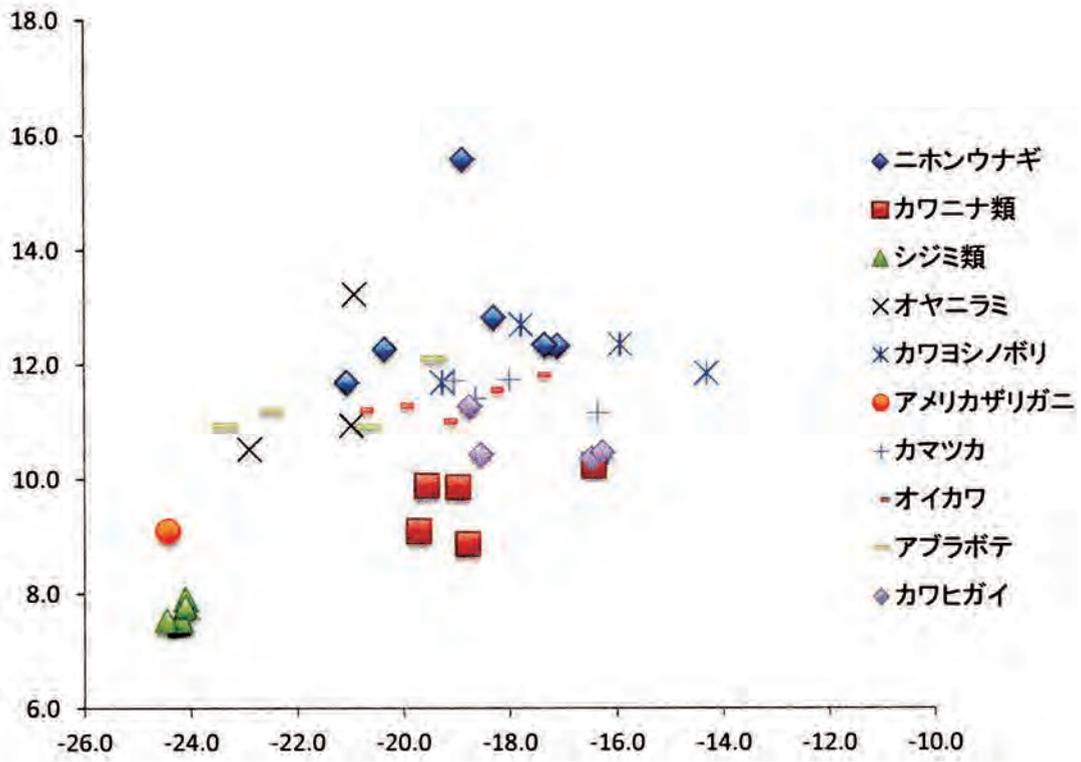


図3: 旭川で採集された動物の炭素・窒素安定同位体比

表1:「旭川うなぎ探検隊」で採集された動物

	目	科		岡山RDB	RDB	特定・要注外来生物
魚類	ウナギ	ウナギ	ニホンウナギ		情報不足	
	コイ	コイ	フナ類			
			ヤリタナゴ	準絶滅危惧	準絶滅危惧	
			アブラボテ	準絶滅危惧	準絶滅危惧	
			カネヒラ	準絶滅危惧		
			オイカワ			
			ヌマムツ			
			カワヒガイ			
			ムギツク			
			カマツカ			
			ニゴイ類			
			イトモロコ			
			コウライモロコ			
		ドジョウ	スジシマドジョウ類	準絶滅危惧	絶滅危惧Ⅱ類	
	ナマズ	ナマズ	ナマズ			
	カサゴ	カジカ	ウツセミカジカ			
	スズキ	ケツギョ	オヤニラミ	絶滅危惧Ⅱ類	絶滅危惧Ⅱ類	
		ドンコ	ドンコ			
		ハゼ	カワヨシノボリ			
	ヌマチチブ					
甲殻類			モクズガニ			
			アメリカザリガニ			要注意
			ヌマエビ類			
			スジエビ			
昆虫類			タイコウチ			
			コオニヤンマ(幼生)			
貝類			スクミリンゴガイ			要注意
			カワニナ類			
両生類			ウシガエル(幼生)			特定

AR 技術を用いた防災意識ハザードマップの開発と評価

岡山県立大学デザイン学部 齋藤美絵子

OKAYAMA PREFECTURAL UNIVERSITY Saito Mieko

Key words : Augmented Reality, Disaster Management, Education

1、はじめに

日本では全国で毎年のように洪水被害が発生している。一方、岡山県は“晴れの国”と呼ばれることから大雨とは無縁と思われていたり、地震観測回数が全都道府県の中で少ない方から3～4番目ということもあり「気象災害が少ない土地」というイメージが定着し、県民の防災意識が希薄である。平成23年9月、台風12号が岡山へ上陸した際も、岡山市は21万人以上に避難指示・勧告を出し、特に南区では全域の17万4617人に避難を勧告したが、南区によると、実際に避難したのは1475人と勧告対象の1%にも満たなかった。中には「避難勧告は大きさ、迷惑」などの声もあったほどである。日常時の防災意識の低さが、実際に避難が必要となるような気象災害に直面した時の岡山県民の言動に影響することは言うまでもない。近年ではゲリラ豪雨と呼ばれる局地豪雨が多発し気象の変化を肌で感じることも多くなってきているはずだが已然、岡山県民のあらゆる防災意識が向上しているとは言いがたい。

次に、平常時に使用することで防災意識を高めることのできる「防災ハザードマップ」は、日常時からの防災意識の啓発と災害時の円滑な避難行動の促進によって人的被害の最小化を図ることが主目的とされる情報提供ツールで、必要性が高まっている。しかし、従来のハザードマップは「河川浸水洪水」「土砂災害」「地震災害」「火山防災」「津波浸水・高潮」など、種類別に専門的知見から情報が提供されているが、わかりやすく伝えることを重視しているとは言えない。詳細な地図に専門的な表現で記述されているハザードマップは、リスク情報を読み解くための能力が必要であり、高齢者や子どもには解読できないものも多い(図1)。しかしそれでは、本来の目的は果たされない。



図1 洪水・土砂災害ハザードマップ(総社市)

2、研究の目的

本研究では、平常時に使用することで防災意識を高めることのできる「防災ハザードマップ」を実現するために、Augmented Reality(拡張現実感(以下ARと表記))という新しい情報提供技術を用いて、高齢者や子どもにも視覚的にわかりやすい表記へ改良することを目指す。Augmented Reality(拡張現実感とは、バーチャルリアリティのバリエーションの1つで、コンピュータなどの表示画面上で、現実の景色に付加情報がオーバーレイされ、知覚する現実環境が拡張される技術のことである。

3、研究の方法

「防災ハザードマップ」の現状から問題点を抽出し、改善すべき箇所をリストアップする。次に、AR技術を用いた防災啓発の現状を調査し、ARアプリとしての「防災ハザードマップ」ではどのような情報を可視化すべきであるかを明らかにする。その後、実際に3DCGオブジェクトを現実世界とオーバーレイ表示させることのできる

ARアプリを開発し、被験者実験によりその評価を得る。

4、防災ハザードマップの現状と問題点

現状の「防災ハザードマップ」にどのような問題があるのか、アンケート調査により抽出した。

被験者は、岡山県在住の18歳から42歳の男女240名で、質問に対してあらかじめ用意しておいた5段階の回答の中から最も近いものを選択するという回答方法とした。結果は以下のとおりである。

印刷物として自治体が提供している「防災ハザードマップ」の存在を知っていた、または、実際に見たことがあったかを問う質問では、防災ハザードマップの存在を知らない人が全体の約3分の1であった(図2)。

これまで、『防災ハザードマップ』を知っていた、または、見たことがありますか？

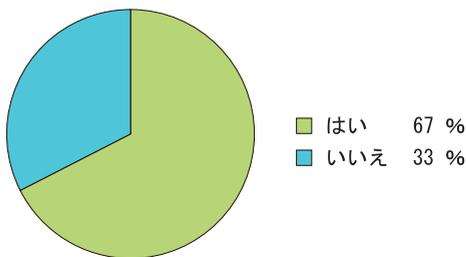


図2

別紙のハザードマップ(図1)から、直感的に情報を読み取ることはできるかを問う質問では、約半数の人が「ややできた」という結果であった。これは一見、問題ないようにも思えるが、被験者の年齢層(18歳~42歳)から判断すると半数以上が「わからない~全くできない」を占めているのは好ましい結果とは言えない(図3)。

別紙のハザードマップから、直感的に情報を読み取ることはできましたか？

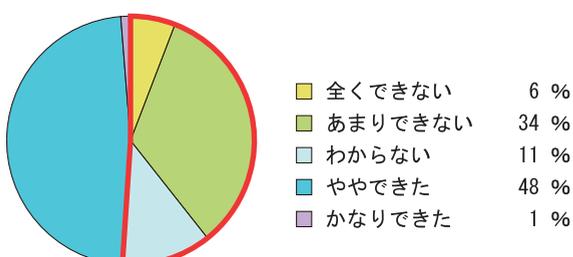


図3

別紙のハザードマップ(図1)から情報を読み取る気持ちになったかを確認する質問の結果が、問2の結果と分布が類似していることから「直感的に情報を読み取る」と「情報を読み取る気持ちになる」ことには相関関係があることが推測される(図4)。

係があることが推測される(図4)。

別紙のハザードマップから情報を読み取る気持ちになりましたか？

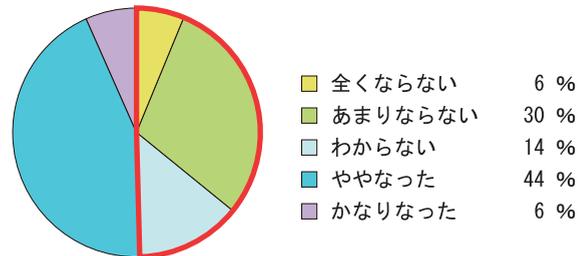


図4

別紙のハザードマップ(図1)を見ることで、普段から災害に備える気持ちが高まるかを問う質問では、このハザードマップにおける防災情報の提供が防災意識の向上にあまり寄与できていないことがわかる(図5)。

別紙のハザードマップを見て普段から災害に備える気持ちは高まりましたか？

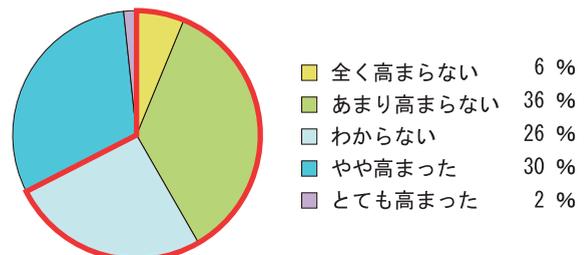


図5

別紙のハザードマップ(図1)を見ることで、普段から被災時の自身の行動について考えることに繋がるかを調べる質問では、このハザードマップからは被災時の行動指南に関する情報が読み取りにくいことが明らかになった(図6)。

別紙のハザードマップを見て被災時の自分の行動について考えてみようと思いましたか？

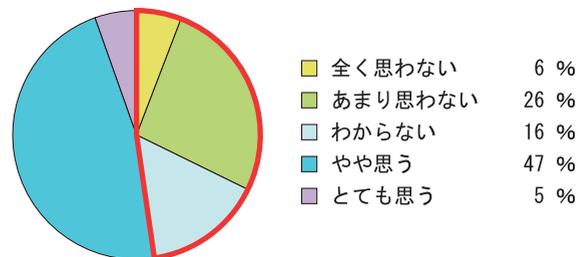


図6

別紙のハザードマップ(図1)に掲載されている想定情報などから被災状況が想像できるかを調べる質問の結果から、文字や記号情報から被災状況をイメージすることは困難であるということがわかった(図7)。

別紙のハザードマップを見て
被災時の自分の行動について考えてみようと思いませんか？

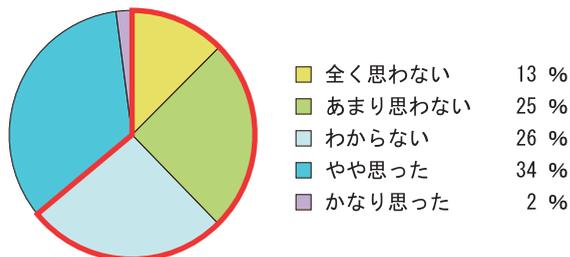


図 7

また、上記アンケートの他に、デザインを学ぶ学生 8 名（大学院生 3 名、学部 4 年生 5 名）とディスカッションを行い、アンケート結果から読み取れる考察を含め、現状のハザードマップにおける問題点をあげた。

問題 ① 避難場所の情報を抽出できない

まず、マップ上の数字と避難場所リストの番号が対応していると気付きにくい（図 8）という問題がすぐに指摘された。マップ上で避難場所を見つけるのが困難（図 9）であり、洪水時に使用できない避難場所が掲載されていたり、避難場所の外観がわからないので、実際に避難するときに当該の建物がわかりにくいという問題も指摘された。個々の避難場所の浸水に関する説明がわかりにくいことも問題である。（図 10）。

番号	避難予定場所	住所	建物
1	東中学校	東町 1-1-1	1F
2	東中学校	東町 1-1-1	2F
3	東中学校	東町 1-1-1	3F
4	東中学校	東町 1-1-1	4F
5	東中学校	東町 1-1-1	5F
6	東中学校	東町 1-1-1	6F
7	東中学校	東町 1-1-1	7F
8	東中学校	東町 1-1-1	8F
9	東中学校	東町 1-1-1	9F
10	東中学校	東町 1-1-1	10F
11	東中学校	東町 1-1-1	11F
12	東中学校	東町 1-1-1	12F
13	東中学校	東町 1-1-1	13F
14	東中学校	東町 1-1-1	14F
15	東中学校	東町 1-1-1	15F

図 8 避難場所リスト

避難場所	
	浸水なし(使用可)
	浸水あり(準備付きで使用可)
	浸水あり-危険な建物(使用不可)

図 10 避難場所の分類



図 9 マップ上の避難場所表示

問題 ② 水位や距離などのイメージがつかみにくい

次に、5 色の色で表現されている浸水深情報であるが、色と深さの関係がわかりにくく（図 11）浸水の深さが実感できない（図 12）という指摘があった。また、広域地図での情報提供は全体像を把握しやすいものの、距離感がつかみにくいという印象を受けた。

想定浸水区域	
	浸水が0.5m未満の区域
	浸水が0.5～1.0mの区域
	浸水が1.0～2.0mの区域
	浸水が2.0～5.0mの区域
	浸水が5.0m以上の区域

図 11 想定浸水区域の分類



図 12 マップ上の想定区域表示

問題 ③ 土砂災害エリア表示がわかりにくい

また、土砂災害想定区域を示す表示が面ではなくアウトラインで表示されているので、範囲がわかりにくく、道路の表記実線との区別が困難である（図 13. 14）。

土砂災害想定区域	
	土石流危険渓流安全対策
	急傾斜地崩壊危険箇所
	土石流警戒区域
	急傾斜地警戒区域
	地すべり危険箇所

図 13 土砂災害想定区域の分類



図 14 マップ上の想定区域表示

これまでにあげた問題の他にも、根本的な問題として、マップそのものの見方やルールがわかり辛いことや全体的に色が濃く情報を読み取りにくいことについて改善の必要が考えられる。また、洪水時に使えない「ヘリポート」の掲載は混乱を招くこと、交通とその他の表示が必ずしも必要とは考えられないこと、避難場所と消防署の記号が似ており混乱を招くことなど、数多くの問題を見つけ出すことができた。

以上の問題抽出により改善点については現状を「修正」する視点と、現状には無い情報を「追加」という視点の 2 点を別々に導き出した。

改善 ① 修正が必要な力所

現在のハザードマップを修正すべき点は、避難予定場所リストの番号と地図上の番号が対応していることをアプリの動きで示すこと（図 15）と、浸水の深さごとに個別表示できるようにすることである。また、「土砂災害想定区域」の説明を表示し、「土砂災害想定区域」の場所や範囲が地図上で目立つように表示する必要がある。さらに、浸水深の違いは、色相ではなく濃度で深さを表す方が直感的に理解しやすいと考える。

改善 ② 追加が必要な事項

現在のハザードマップには掲載されていない情報や機能であるが、追加の必要があると考えられるものは、避難予定場所の外観写真である。避難予定場所をクリック

すると、写真で建物が直感的にわかる図を表示する(図15)。また、浸水深について、大人・子供・家などが同じ水平面で並んだ図を用意し、想定される浸水深を数字と共に表示したり、距離表示に大人・子供による徒歩での目安時間表示を加えるなど、直感的に理解を促す仕組みを導入することで、子供から高齢者まで誰にでも分かりやすいハザードマップとなるのではないかと。



図15 マップ上の避難場所番号を見つけやすくし、避難場所の詳細は別ウィンドウで追加表示する改善案

5、AR技術を用いた防災啓発の現状

近年では、スマートフォン等の携帯端末で利用できるARサービスが開発されており、防災分野でも徐々に事例が確認されるようになってきた。茅ヶ崎市が導入したARアプリ『天サイ!まなぶくん 茅ヶ崎版』は非常に優れたアプリであり、実際の風景に津波ハザードマップで示されている浸水深を重ね合わせて表示することができる(図16)。浸水域、浸水深などを中心に想像しにくい災害状況をビジュアル化することは、災害をイメージしやすく、さらに、普段目にしていない景色に被災時の様子をオーバーレイして表示することで、より強度な現実感を感じることができる。

その他のアプリとしては、『全国避難所ガイド』『スマート防災』『アメミル3D/AR』『MISAWA HOMECLUB』など、いずれも防災情報をイメージで見せるものが増えてきている。



図16 天サイ!まなぶくん 茅ヶ崎版 画面(茅ヶ崎市HPより)

次に、現実の世界に付加情報がオーバーレイされるという点において、文字情報よりも優れているかどうか、被験者実験を行い確認した。被験者は、前項のアンケートの被験者と同じ岡山県在住の18歳から42歳の男女240名である。質問は以下の2点で、それぞれ5段階で回答させ、その差を評価した。

「浸水30cm」と聞いてどのように感じますか？
あなたが健康な状況であると仮定し、下記の中で最も近い印象を1つ選んでください。

- 1：安全性 80%以上：全く問題ない。安全に逃げられる。
- 2：安全性 60~80%：用心すれば無傷で逃げられる。
- 3：安全性 40~60%：避難中に負傷する可能性がある。なんとか逃げられる。
- 4：安全性 20~40%：避難中に負傷する可能性が高い。逃げることに困難を感じる。
- 5：安全性 20%以下：非常に危険。逃げることはできない。

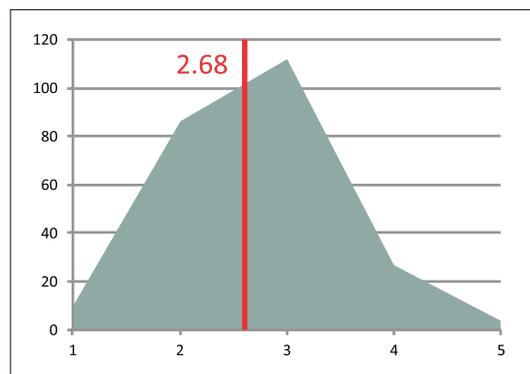


図17 浸水30cmの文字情報から感じる安全性の評価結果

アンケート結果(図17)から読み取れるのは、概ね安全に避難できるという印象をもった被験者が多いという結果である。評価の平均値は2.68であり、グラフも安全性が高い評価の分布が多いことが分かる。

次の図（図 18）を見てどのように感じますか？
避難者が健康な状況であると仮定し下記の中で最も近い印象を
1つ選んでください。（回答の選択肢はAと同じ）

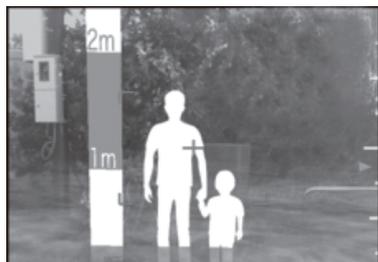


図 18 浸水 30cm を资格的に提示したもの
(AR ハザードスコープより引用)

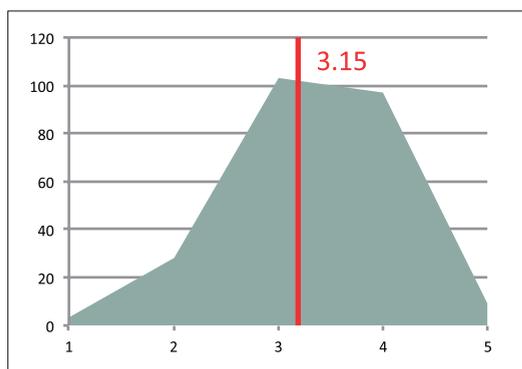


図 19 浸水 30cm の図から感じる安全性の評価結果

この結果から読み取れるのは、文字で表現した場合と比較すると、評価 3 を中心に対照的な結果となっていることである（図 19）。安全性が低い評価 4～5 へ多く分布している。平均値も 3.15 という結果で、安全に対する認識が低くなっている。同じ「浸水 30cm」という情報であっても、文字や言葉で認識するよりも、現実世界にオーバーレイされたビジュアルで認識する方が、安全に対する評価が下がることが分かる。

この実験により「災害情報を現実世界にオーバーレイで表示すること」は効果があるといえる。

6、防災意識啓発のための AR アプリ開発

AR 技術を用いてシミュレーションする際、水害時の浸水深や震災時の道路の陥没といった被災状況の他に、被災時に想定することが必要な情報とは何かを検討した。可能性の一つとして、平常時にはあまり目にする機会のない特殊な設備の様子や、避難所の混雑、ライフラインのシミュレーションがあげられるのではないかと仮説をたてた。そこで、岡山県総社市の防災公園であるときわ公園に備えられている「平常時にはあまり目にするのできない設備」を、AR 技術で紹介・解説することとした。

具体的には、以下の 4 つの設備である。1 つめは「非常用便槽と仮設トイレ」である。平常時はマンホールによく似た形状の蓋が地面を塞いでおり、それがトイレの機能をもっていることも気付かれにくい。また、その非常用便槽の上に設置される組み立て式の仮設トイレは、公園内の備蓄倉庫に収納されており、いつでも誰でも組み立てたものを見ることできない。そこで、3DCG で制作した仮設トイレのオブジェクトを表示させることとした（図 20.21）。



図 20 (左) 公園内の非常用便槽



図 21 (右) 非常用便槽の上に表示された仮設トイレの 3DCG

2 つめは「耐震性貯水槽」である。これは公園の施行時に地中に埋められ、ほぼ永久にその姿を目視することはできないため、このような災害援助設備の存在自体を認知されにくい。そこで、これも AR で表示することとした（図 22）。



図 22 耐震性貯水槽の 3DCG

3 つめの「かまどベンチ（図 23.24）」、4 つめの「かまどスツール（図 25.26）」は、平常時には腰掛けとして公園利用者に愛用されている設備であるが、被災時にはかまどとして使用することができる二面性をもった設備である。これらのように「普段目にするのできない設備を見ることできる」というのが AR 技術のメリットと言える。さらに、全ての 3DCG オブジェクトの表示に加えて文字による解説画面をレイヤーすることができるよう構築し、言葉による補足も行った（図 27）。

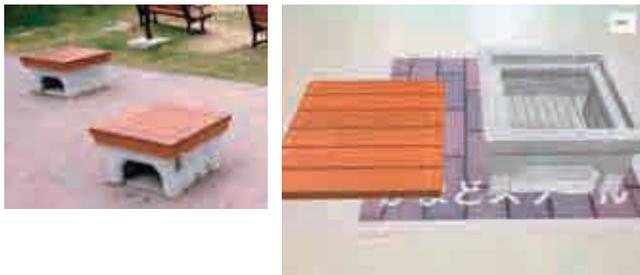


図 23 (左) 公園内のかまどスツール実物

図 24 (右) AR 表示されたかまどスツールの 3DCG



図 25 (左) 公園内のかまどベンチ実物

図 26 (右) AR 表示されたかまどベンチの 3DCG

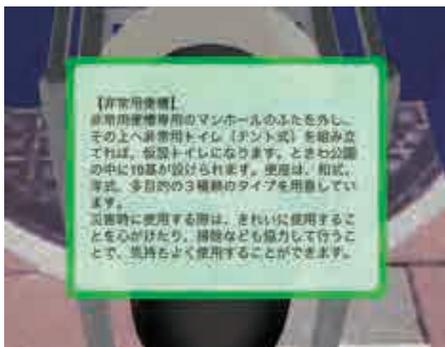


図 27 AR 画面の上に文字による解説を表示したところ

7、開発したアプリの評価

開発した AR アプリを 28 名の被験者に体験してもらいアンケートおよびヒアリングを行った。まず、AR アプリから情報を読み取る気持ちになったかという質問では、9 割の被験者が「読み取る気持ちになった」と回答している (図 28)。

AR アプリから情報を読み取る気持ちになりましたか？

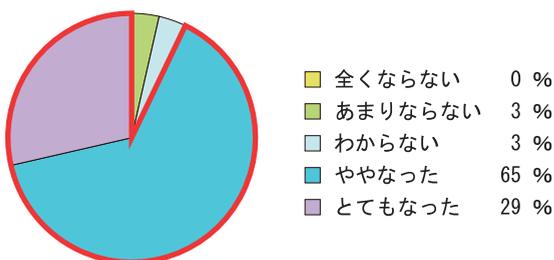


図 28

災害に対する現実感の変化を尋ねる質問では、7 割以上の方が以前より現実感を感じるようになったと回答している (図 29)。

AR アプリを見て災害に対する現実感に変化しましたか？

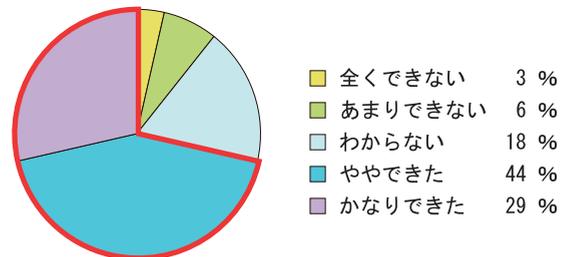


図 29

体験後のヒアリングからは、「パンフレットの写真では見ることができない設備の後ろまで見れることや、アングルを変えてみるができるので興味がわく」といった感想が複数確認され、これは興味・関心に対する評価が高く、情報を読み取る気持ちに効果があると考えられる。他には、「仮設トイレのテント内の狭さがよく伝わってきた」という感想を得ることができ、AR アプリで 3DCG を用いた施設情報の提供は空間把握に効果が期待される。また、「リアリティがある」「仮設トイレを使用する際の音や臭いを想像して心配になった」という感想が得られたことから、これらの設備を使用する状況をより具体的に想像し、リアリティをもってシミュレーションしていると推測された。

8、まとめ

AR 技術を用いて防災意識を啓発する際に必要なのは、被災状況をシミュレーションして見せるものに加えて、避難生活を行う際の個人の行動指南に結びつくような設備や機能を紹介するシミュレーション画像が有効だと考えられる。今後は開発した AR アプリの被験者実験を続け、さらに精度の高い評価を明らかにしたい。

参考文献

- 熊澤貴之、齋藤美絵子『住民参加の防災公園づくり-岡山県総社市ときわ公園-』日本デザイン学会・デザイン学研究作品集 Vol. 16
- T. Kumazawa, M. Saito, Development of A Practical Instructional Video for Sustainable Disaster Management, Design Principles and Practices: An International Journal, Volume 5, Issue 6, pp. 475-488, 2011
- T. Kumazawa, M. Saito, Influence of Videos with Computer-Animated Characters on Learning Disaster Management, The International Association for Technology, Education and Development (INTED), pp. 2759-2767, Valencia, Spain, 2010

謝辞：本研究を行うにあたり、多大な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。

研究レポート

ソフトバイオマス米糠を利用したセルラーゼおよび機能性物質の生産

倉敷芸術科学大学 生命科学部 生命科学科
大杉忠則

日本人の主食である米は、弥生時代より延々と生産されてきた。パンなどの外食化に伴い米の消費量は昭和 37 年をピークに減少してきたが、平成 20 年では一カ月一人当たり約 4.8kg の米を消費している。また近年では米粉の利用が拡大しておりパン、麺類に平成 22 年度には米粉用米の生産も 2 万 8 千トンに増加しており、今後米の消費は増えていくものと推測される。そこで今回取り上げたいのが糠の存在である。糠は玄米の精米過程で生じるものであり、賛否両論ある玄米食でない限り基本的に精米は欠かせない行程である。また、日本酒の製造過程でも当然多くの糠が生じる。以前は多くの家庭で糠を用いて糠漬けが行われていたが現在はほとんど行われなくなり個人での利用はほとんどない、また一部家畜の飼料にも使われているが全体量からみればわずかである。糠には約 20%油分が含まれておりコメ油を製造することができ、幾つかの企業が製造販売を行っているがそれに利用される糠は全体の 4 割程度である。また油分中にはγ-オリザノール、フェルラ酸といった生理活性物質が含まれており近年注目されている。油分を抽出した脱脂糠にもイノシトール、フィチンといった物質が含まれており一部利用されているが大部分が産業廃棄物となっている。米糠の組成を調べたところ炭素源 (C 源)、窒素源 (N 源) 共に微生物培養に適していると考えられる、これら糠および脱脂糠を利用して、微生物を培養し機能性物質を生産させると共に、近年バイオエタノール、バイオリファイナリとして注目されているバイオマスの糖化に働く酵素セルラーゼの生産を行い、米糠というソフトバイオマスの有効利用に続く木材チップを中心としたハードバイオマスの利用につなげたい。

化石資源を除いた生物が生産する再生可能な有機性資源であるバイオマスの有効利用が、ここ数年大きく注目されている。セルロースはその代表格であり、植物の炭酸固定により地球上で最も多く生産される高分子化合物である。セルロースの化学式は $(C_6H_{12}O_6)_n$ であり、グルコースが $\beta 1 \rightarrow 4$ 結合で重合したポリマーである。このように豊富な炭素源であるセルロースであるが、利用するためには利用しやすい単糖にまで分解することが要求される。しかし実際の植物繊維はセルロースのみならずリグニン、ヘミセルロースといった成分が加わって構成されており分解されにくいものとなっている。

納豆菌 (*Bacillus subtilis natto*) は稲ワラに生育する微生物であり、古来より蒸煮大豆を基質とした発酵で納豆を作るなど食用微生物として利用されてきた。1987 年その納豆菌が作り出すプロテアーゼであるナットウキナーゼ (NK) が発見され、血栓の原因タンパクであるフィブリンを分解する作用をもつことから血栓症予防素材として注目されている。また、「自然の鋤」と言われる土壌生物であるミミズは、漢方で乾燥させたものを「地龍」と呼び古くから解熱などに利用されてきた、近年赤ミミズ (*Lumbricus Rubellus*) には血栓溶解関連酵素であるルンプロキナーゼが存在することが知られており、作用機序は NK と異なるが血栓症予防素材として利用されている。ミミズには他にも、セルラーゼを持つ事が報告されており今回比較対象として使用した。

今回、米糠を利用して食用微生物である納豆菌を培養し、NK 生産を抑えた条件でセルラーゼを生産させることができた。さらに得られたセルラーゼを用いてセルロースを処理したセルロース分解物中に細胞内メラニン合成を抑制する作用を見いだしたので報告する。

材料及び方法

材料

CEN (Crude enzyme of Natto) は大豆ペプトンを基質とした納豆菌培養液より調整したものを、NK と一次構造の高い相同性を持つ CB (Carlsberg)、NG (Nagarse) は Sigma 社のものを購入した。CEL (Crude enzyme of *Lumbricus rubellus*) は有限会社ウェルストーン提供の粉末に Milli-Q で抽出後、遠心分離 (10,000g、15 分、4°C) により得た上清を用いた。セルラーゼはナカライテスク (株) の *Aspergillus niger* 由来のものを使用した。脱脂米糠タンパク PBP-55 は都野食品工業より購入し、脱脂米糠は研究室で糠を 30 倍量のヘキサンで処理して作成した。

酸処理セルロースの作製

セルロース粉末 (ナカライテスク (株)) 50g に 60% H_2SO_4 (氷冷) 270ml を加え、ガラス棒でダマが無くなるまで攪拌した。氷上で 1 時間放置後、アセトン (氷冷) 2L を加え攪拌し、生成した白沈をポリトロンホモジナイザーで液状になるまで懸濁した。グラスフィルター (G3) で白沈を回収し、アセトン (氷冷) 500ml を加えポリトロンホモジナイザーで再懸濁後、再びグラスフィルターで沈殿を回収した。回収物にイオン交換水を 300ml 加えポリトロンホモジナイザーで懸濁後、500ml にメスアップ (イオン交換水) した。1N NaOH で pH5-6 に調整後、グラスフィルター上で 75%アセトン 3L を加え洗浄し、99.5%エタノールで置換した。その後、ジエチルエーテルで置換を行い、室温で風乾したものを酸処理セルロースとした。

pNPC 分解活性

pNPC (*p*-Nitrophenyl- β -Cellobioside)、pNPG α (*p*-Nitrophenyl- α -D-gulcopyranoside)、pNPG β (*p*-Nitrophenyl- β -D-gulcopyranoside) はそれぞれエキソ-1,4- β -グルカナーゼ活性、 α -グルコシダーゼ活性、 β -グルコシダーゼ活性を測定するための基質として使用した。酵素反応により生成する *p*-ニトロフェノールを定量することにより測定した。

96 ウェルプレートに試料 20 μ l、5mM 基質 20 μ l 及び 10mM Tris-HCl 緩衝液 (pH7.0) 120 μ l を添加し、37°C でインキュベーション (0、2、4 時間) 後、各 well に 2M Na_2CO_3 40 μ l を添加し、遊離した *p*-ニトロフェノールを吸光度 405nm で測定した。

CMC 分解活性

0.5%カルボキシメチルセルロース (CMC) を含む寒天平板を作製した。平板上に Φ 5mm の穴を空け、試料を 30 μ l 添加し、37°C でインキュベーションを行った。インキュベーション終了後、0.1% Congo red を添加し、室温で 20 分染色、1M NaCl により脱色し、非染色領域を測定した。

細胞内メラニン量

マウス由来のメラニン産生細胞である B16 メラノーマ細胞は理化学研究所より購入し、10%FBS、L-グルタミン、炭酸水素ナトリウムを含むダルベッコ改変最少必須培地(D-MEM)を用いて、37°C、5% CO_2 条件下で培養した。

6 ウェル培養プレート(9.6 cm^2 /well)に細胞数を 1000 cells/ cm^2 で添加しコンフルエントまで培養後、培養液を吸い取り、新しい培養液を 1.8 ml、試料を 0.2 ml 添加し 48 時間培養を行った。

細胞内メラニン量の測定は、PBS(-) で洗浄後、0.25%トリプシン 0.2 ml で剥離後、培養液 0.2 ml と

PBS(-) 1.2 ml を加えて懸濁した。懸濁液 0.05 ml を用いて吸光度 600 nm を測定し、細胞数を算出した。残りの懸濁液の 1.4 ml を別チューブに移し、遠心分離(1,000 rpm, 3 分, 20°C)し上清を除去、1 M NaOH を 0.22 ml 加え、80°C で 30 分間加熱し細胞内メラニン抽出した。メラニン濃度は吸光度 490 nm を測定して求め、10 万細胞当たりのメラニン量(μg)に換算した。

細胞内チロシナーゼ活性

試料を含む培養液で 48 時間培養した B16 細胞を PBS(-) で洗浄後、0.5%デオキシコール酸ナトリウムを 1 ml 加え、セルスクレーパーで細胞を試験管に回収後、15 分間超音波処理を行い細胞を破壊、遠心分離(11,000 rpm, 20 分, 4°C)し、上清の細胞内チロシナーゼ分画 0.5 ml をチューブに移した、基質として 0.1 M リン酸緩衝液(pH6.8)で溶解した 0.05%L-DOPA を 1.0 ml 加えた。37°C でインキューベーションを行いながら、吸光度 490 nm で 10 分間 1 分ごとの吸光度を測定し、反応速度を算出した。

チロシナーゼ mRNA の発現

試料を含む培養液で培養した B16 細胞より AGPC 法で全 RNA を抽出し、全 RNA に逆転写酵素 Super Script II を加えて cDNA を合成し、半定量的 RT-PCR を用いて、チロシナーゼ mRNA の発現量を調べた。内部標準には GAPDH mRNA を用いた。

ノーザンブロットは全 RNA 30 μg を電気泳動し、Hybond-N⁺ に転写を行った。転写後 DIG High Prime DNA and Detection Starter Kit II を用いて、DIG ラベルしたプローブ(25 ng/ml)をメンブレン 100 cm² 当たり 3.5ml 加え 37 °C で一晩ハイブリダイゼーション後、常法通り洗浄しブロッキングを行った。続いて、1 ml の基質(CSPD)をメンブレンに加え発光反応させた後、FP3000B インスタントフィルムに露光しチロシナーゼ mRNA の発現を検出した。なお、内部標準には GAPDH mRNA を使用した。チロシナーゼ mRNA プライマー①は、ATG GGT CAA CAC TGT TT であり、チロシナーゼ mRNA プライマー②は、GGC AAA TCC TTC CAG TGT GT を使用した。GAPDH mRNA プライマー③は、ACT CCA CTC ACG GCA AAT TC、GAPDH mRNA プライマー④は、TGT GAG GGA GAT GCT CAG TG を使用した。

チロシナーゼ阻害

96 ウェルプレートに 0.1 M リン酸緩衝液(pH6.8)で調製したマッシュルーム由来チロシナーゼ (190U/ml)70 μl に 0.2 M リン酸緩衝液(pH6.8)0.35 ml と、試料を 0.35 ml 加え、37°C で 10 分プレインキューベーションした。その後、基質として 0.1M リン酸緩衝液(pH 6.8)で調製した 0.05% L-DOPA を 0.70 ml 加え 37°C で 10 分インキューベーションし、吸光度 450nm を測定した。

結果

粗酵素による *pNPC* 分解活性の測定

pNPC、*pNPG α* 及び *pNPG β* に対する各酵素の分解活性を測定した結果、CEN は *pNPC* に対し高い分解活性を示した。しかし、*pNPC* と同様にセルラーゼ活性の測定によく使用されている *pNPG β* には全く活性を示さなかった。一方、CEL においては *pNPC* より *pNPG β* において分解活性を持つ。表には示していないが、NK と高い相同性を持つ CB 及び NG にはどの基質においても分解活性が認められなかった。

表 1 各種酵素の *pNPC* 分解活性

Substrate	Cellulase	CEN	CEL
<i>pNPC</i>	476.52	619.88	52.63
<i>pNPGα</i>	13.10	5.43	75.04
<i>pNPGβ</i>	1380.35	0.00	463.83

各試料濃度は 10mg/ml、活性は試料 1ml 当たりの分解量を示す (nmole/ml) (n=3)

CMC 分解活性の測定

CEN 100mg/ml 及び CEL 50mg/ml において CMC 分解活性を認めた。溶解面積はそれぞれ 361mm²、151.29mm²であった。Cellulase 20mg/ml は溶解面積が 225 mm² だったことから CEN 100mg/ml 以上の Cellulase 様活性があることが分かった。また、NK と高い相同性を持つ CB 及び NG には活性が認められなかった。

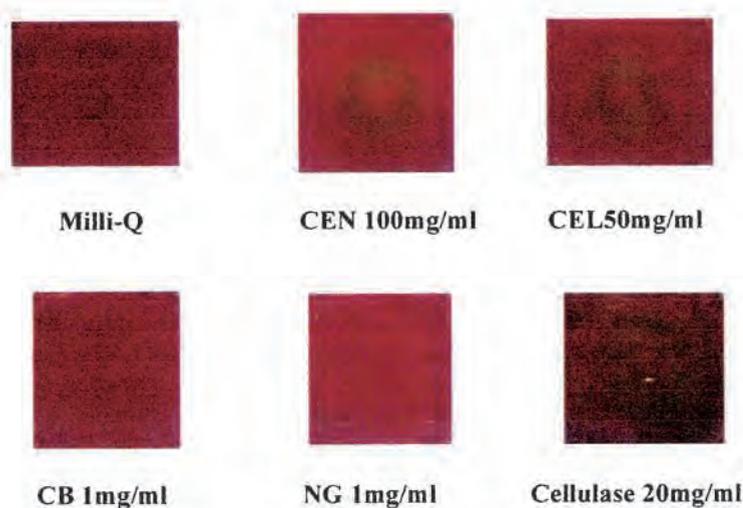


図 1. CMC 溶解活性

次に、酸処理セルロースを納豆菌由来の粗酵素(CEN)で処理した試料(Acid t.c CEN)を、B16 細胞に添加したところ、B16 細胞内メラニン量は平均で 19.6%減少し、その試料を 121℃で加熱処理した後、細胞に添加した場合のメラニン量の減少は 4.9%である(図 2)。

納豆が産生する代表的な酵素にナットウキナーゼ(NK)が知られている。NK のみを B16 細胞に添加すると 91.4%と見かけ上高い阻害率を示すが、プロテアーゼ活性が高く、細胞に障害が生じてしまうため培養条件の検討を行った。納豆菌の培養基質に脱脂ヌカと米ヌカたんぱくを用いたところ、培養液中のプロテアーゼ活性が抑えられていることを確認した。そこで、 α セルロースをこれらで処理した試料を、B16 細胞に添加すると、脱脂ヌカ由来粗酵素は平均で 28.9%、米ヌカたんぱく由来粗酵素は平均で 34.9%のメラニン産生の阻害率を示した(図 3)。

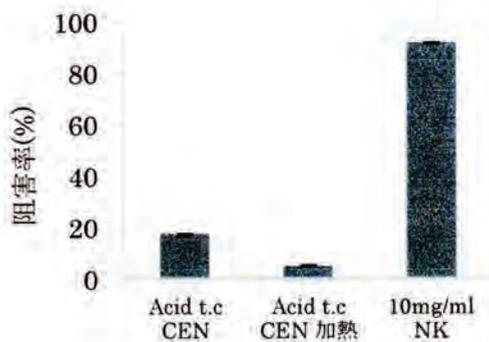


図 2. 酸処理セルロースを納豆菌由来粗酵素で処理した試料添加による、B16 細胞のメラニン産生の阻害

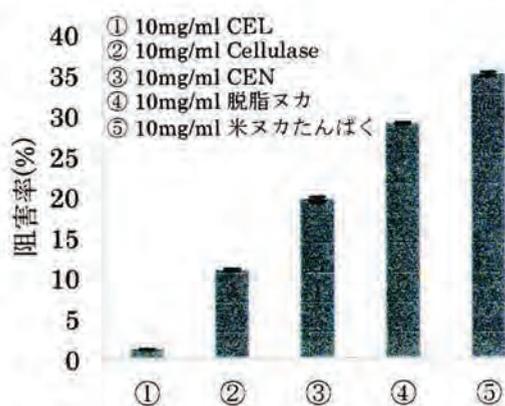


図 3. 酸処理セルロースを種々酵素で処理した試料添加による、B16 細胞のメラニン産生の阻害

次に、メラニン合成の律速酵素であるチロシナーゼによってメラニン量が増加したのではないかと考え、細胞内チロシナーゼ活性を計測した。吸光度 490 nm で 1 分ごとの吸光度を 10 分間計測し、そ

の吸光度の値から反応速度(mOD/min)を算出した(図 4-1,2)。差はあまり見られずコントロールとの違いは 18%以下であった。

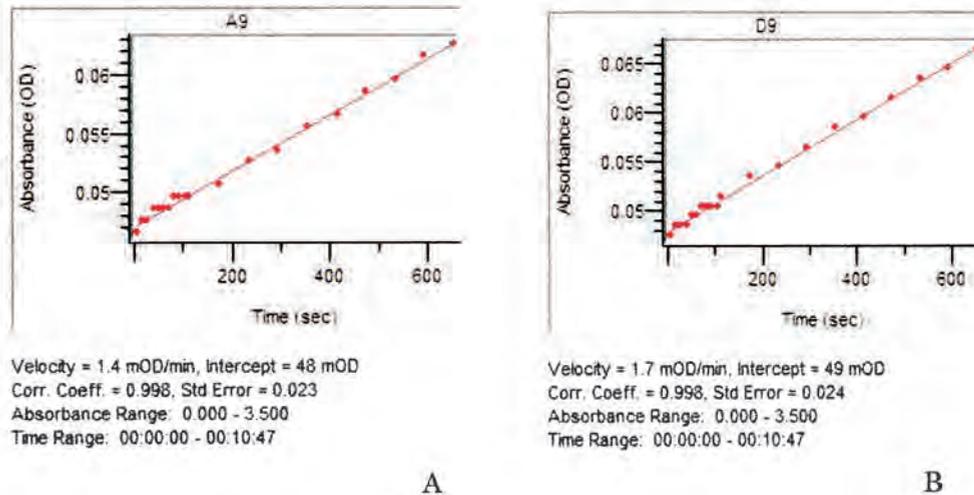


図 4. 細胞内チロシナーゼ活性

A: Acid t.c CEN 添加

B: コントロール (非添加)

チロシナーゼ mRNA 発現の解析として半定量的 PCR によって測定し、解析ソフト Quantity One を用いてバンド面積を比較したところ、Acid t.c CEN 添加細胞とコントロールの差は 9.9%と顕著な差が見られなかった(図 5)。また、ノーザンブロットにおいてもバンド面積を比較したが顕著な差が見られなかった。

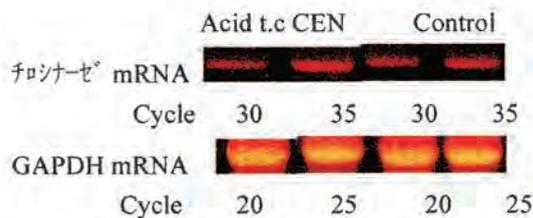


図 5. チロシナーゼ mRNA 発現に対する影響

半定量的 PCR による mRNA 発現量比較

続いて、チロシナーゼの阻害を調べるためによく使われるマッシュルームチロシナーゼを用いた実験を行い、マッシュルーム由来チロシナーゼと L-ドーパの混合溶液の吸光度を 450nm で測定したが、コントロールとの違いは 11%以下とあまり差が見られなかった (表 2)。

表2. マッシュルームチロシナーゼに対する阻害作用

試料	Abs450nm
Acid t.c CEN	0.320
Acid t.c CEL	0.307
Acid t.c 脱脂ヌカ	0.343
Acid t.c 米ヌカたんぱく	0.345
コントロール(水)	0.348

【考察】

以上の結果より、納豆菌由来粗酵素を用いて処理したセルロース分解物により細胞内メラニン産生を抑えることが確認できた。また、培養基質に米ヌカたんぱくと脱脂ヌカを用いたところ、プロテアーゼ活性が抑えられていることを確認した。 α セルロースにこれらを用いて作用させ、B16細胞に添加すると38%の阻害率を示し、 α セルロースにNKを用いて作用させた試料以上のメラニン産生阻害が見られた。このことから、NK以外のセルラーゼによって生成された、セルロース分解産物によりメラニン産生を阻害することが確認できた。

メラニン合成の律速酵素であるチロシナーゼによってメラニン量が増加したのではないかと考え、チロシナーゼ抑制を調べるため、細胞内チロシナーゼ活性の計測、チロシナーゼ mRNA 発現の解析、マッシュルームチロシナーゼを用いたチロシナーゼ阻害計測を行ったが、どれもコントロールと顕著な差が見られなかったため、メラニン産生の抑制が確認できたのはチロシナーゼ抑制によるものではないと考えられる。

ユーメラニン合成の酸化過程では、チロシナーゼ関与たんぱく質 2 (TRP 2) によるドーパキノンへの異性化の触媒、チロシナーゼ関与たんぱく質 1 (TRP 1) によるキノン誘導体の形成によりユーメラニンが合成される。これらの関与たんぱく質の抑制によってメラニン阻害がみられるのかどうか、阻害経路に関しては今後さらなる探索を行っていくとともに、阻害に働いているであろう糖質の同定、セルラーゼなど酵素の効率的生産、分離条件を確立していきたい。

酵素による未利用バイオマス由来フェルラ酸製造法の研究開発

岡山県農林水産総合センター生物科学研究所

畑中 唯史

1. はじめに

フェルラ酸は、主に米、小麦、とうもろこし、野菜類、柑橘類などの植物や種子の細胞壁にフェルラ酸エステルや配糖体として存在している。フェルラ酸は、現在香料（バニラ）の原料として使用されているが、酸化防止剤、紫外線吸収作用、抗ガン作用などが報告され、近年アルツハイマー型認知症を食い止める効果をもつことも見出され、注目されている。

フェルラ酸は、米油の精製工程から製造され、すでに一部利用が始まっているが、その回収率は低く、強塩基を使用するため、着色不純物の生成や、反応液の中和により生じる多量の塩が問題になると予想される。また、化学的にフェルラ酸を合成する方法もあるが、特にヨーロッパでは、バニラの原料に化学合成品の使用が禁じられたため、需要がひっ迫している。

米ぬか・小麦ふすま・トウモロコシ（＝コーンコブ）の細胞壁から、酵素を利用してフェルラ酸を量産出来れば、フェルラ酸の用途拡大が見込まれる。未利用資源の有効活用としても、またとない課題である。フェルラ酸の主な遊離経路は、まず細胞壁多糖にキシラナーゼが働いて、次いでアラビノフラノシダーゼが作用し、フェルロイルオリゴ糖が生成し、その後フェルラ酸エステラーゼがフェルロイルオリゴ糖に作用し、フェルラ酸を遊離させると考えられている。つまり複数の酵素が必要となるわけである。岡山県農林水産総合センター生物科学研究所では、酵素メーカーと共同し、放線菌由来酵素の大量発現系を確立した。その技術により、放線菌ストレプトマイセス属菌株由来の酵素は、放線菌ストレプトマイセス・リビダンスを宿主としたナチュラルオカレンス・セルフクローニングによる「非組み換え型」酵素を高純度・安価製造が可能である。本技術を用いて生産されたストレプトマイセス属由来酵素（キチナーゼ、グルカナーゼ）は、食品安全委員会遺伝子組み換え食品等専門調査会において、組み換え体としての取り扱い対象ではないと判断され、食品添加物としての販売が開始されている。本技術は、単一の「非組み換え型」酵素を、高純度・安価製造が可能とする。つまり目的・材料にあわせて、様々な酵素のブレンド・レシピをつくり、オンリーワンの酵素カクテルを製造できるのである。本課題は、この酵素カクテルにより、米ぬか・小麦ふすま・コーンコブ由来フェルラ酸製造法を確立することを目指すものである。

2. 実験材料及び方法

生米糠・脱脂米糠・小麦フスマ・コーンコブは、(株)サタケから頂いた。市販酵素については、アマノエンザイム、HBI、新日本化学工業、ナガセケムテックスより、供与していただいた。放線菌由来糖質加水分解酵素ライブラリーは、長瀬産業(株)より供与していただいた。

フェルラ酸エステラーゼについては、フェルラ酸エチルエステル加水分解活性を、HPLCで測定した。キシラナーゼについては、Azo-xylanの分解活性を、アラビノフラノシダーゼについては、*p*-ニトロアニリンアラビノフラノシド分解活性を指標とした。

バイオマスの酵素分解については、各種バイオマスを、あらかじめ99℃、5分加熱後、酵素反応(50mMクエン酸バッファーpH5.2)に供し、反応後生じるフェルラ酸をHPLCで定量した。

3. 結果及び考察

3. 1. フェルラ酸エステラーゼの探索

フェルラ酸エステラーゼについては、現在のところ放線菌由来のものは、活性は報告されているものの、遺伝子の同定には至っていない。そこで、活性が報告されているカビ由来の市販酵の中から、フェルラ酸エステラーゼ活性の強いものを選抜した。

表1に示すように、アスペルギルス(麹カビ)由来のものには、いずれも活性を認めた。また、従来から報告されているように、トリコデルマ由来のセルラーゼSSには、活性はみられなかった。これらの中で、最も活性の強い、セルロシンHC100(HBI社製)を、フェルラ酸エステラーゼ源として使用することとした。

Enzymes	Origin	Category	FAE activity (U/mg protein)
Denazyme AP	Aspergillus	Protease	0.008
Protease P			0.001
Umamizyme G			0.006
Cellulase Nagase		Cellulase	0.01
Cellulase XL-531			0.09
Sumizyme ACH			0.06
Cellulosin HC100	0.11		
Cellulase SS	Tricoderma		n. d.

表1. 市販酵素に含まれるフェルラ酸エステラーゼ(FAE)活性

図2に、セルロシン HC100 に含まれるフェルラ酸エステラーゼの至適 pH と至適温度を示す。カビ由来の酵素であるので、至適 pH は、5～6 と酸性側であることがわかる。

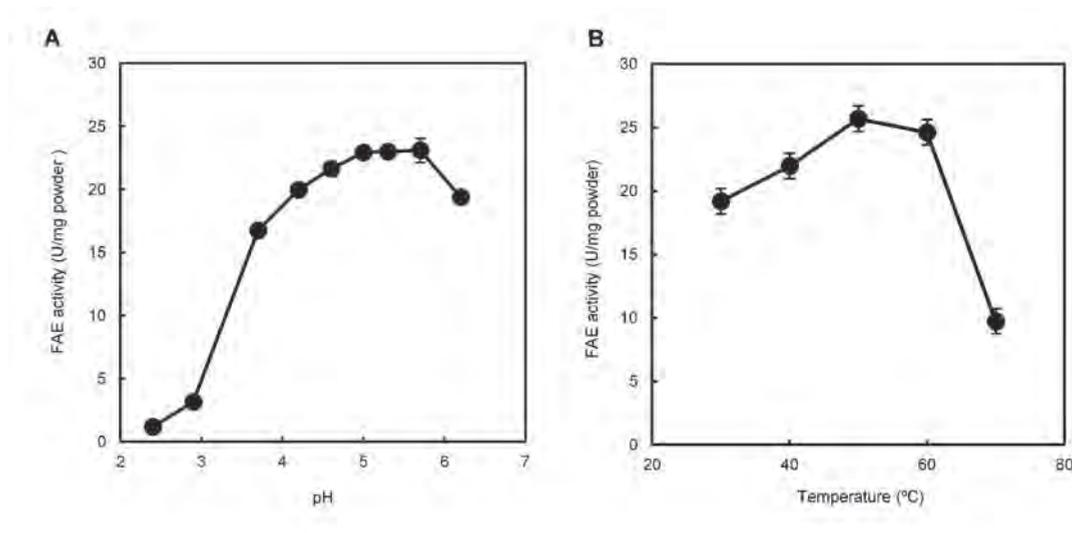


図2. セルロシン HC100 のフェルラ酸エステラーゼ活性至適 pH(A)と至適温度(B)

3. 2. 放線菌由来糖質加水分解酵素の探索

脱脂米糠を基質に、セルロシン HC100 と放線菌由来糖質加水分解酵素を1種類ずつ添加し、フェルラ酸遊離量への影響をみた。図3に放線菌由来糖質加水分解酵素ライブラリー（43種）の酵素内訳を示す。

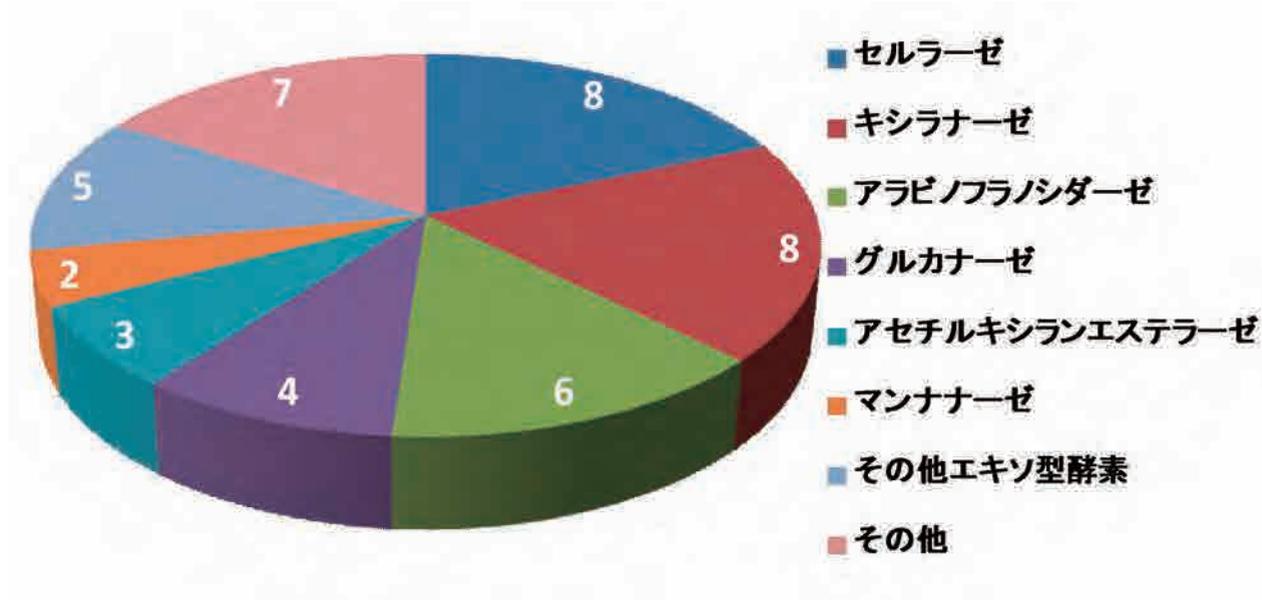


図3. 放線菌由来糖質加水分解酵素ライブラリーの酵素内訳

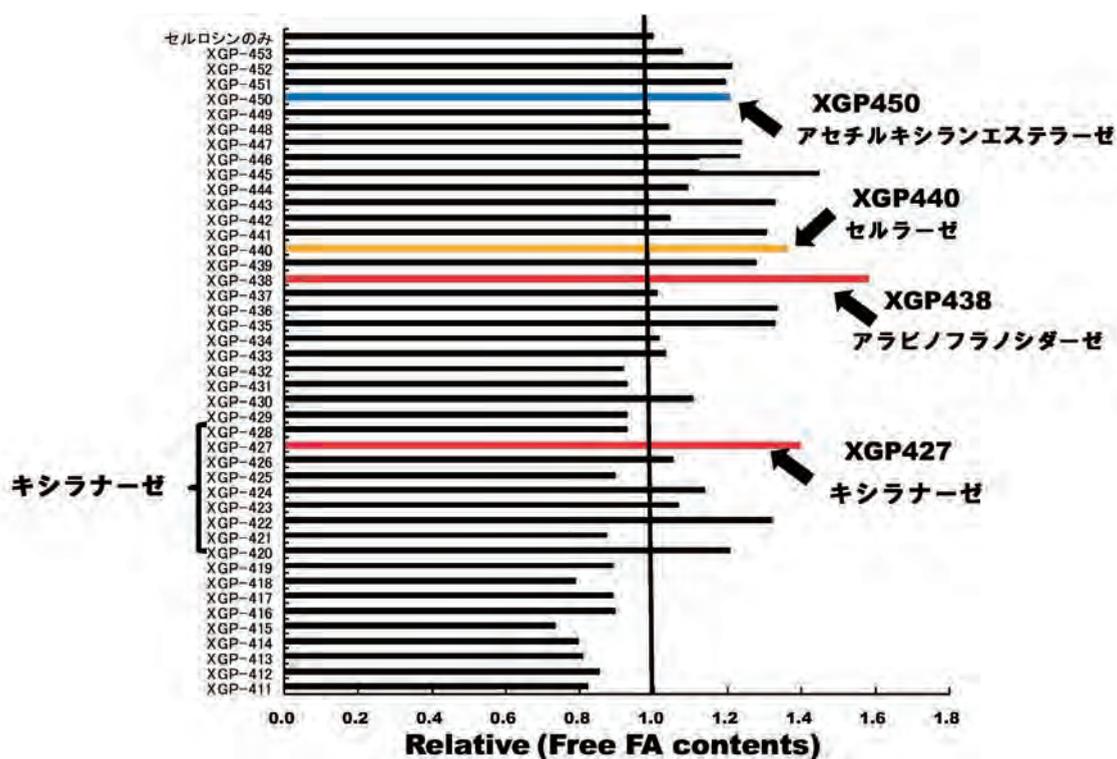


図 4. 放線菌由来糖質加水分解酵素の探索

図 4 に示すように、添加効果が著しいものは、アラビノフラノシダーゼ (XGP438) と、キシラーゼ (XGP427) であった。

3. 3. バイオマスへの応用

脱脂米糠、生米糠、コーンコブ、小麦フスマを基質に、酵素カクテルによる、フェルラ酸遊離への影響を検討した。セルロシン HC100 と、前項で効果を認めた 2 種の酵素 (XGP427、XGP438) の 3 種のカクテルだけでは、効果が低かったため (data not shown)、放線菌由来糖質加水分解酵素ライブラリーの中から、さらにキシラーゼ 2 種 (XGP420、XGP422) の 2 種と、セルラーゼ (XGP440)、アセチルキシランエステラーゼ (XGP450) を選抜し、比較した (図 5)。

その結果、脱脂米糠を例にあげると、酵素 mix1 (セルロシン HC100, XGP420, XGP422, XGP427, XGP438 and XGP450) の組み合わせで、アルカリ処理 (1.25N NaOH 終夜) で遊離するフェルラ酸の約 80% を、酵素処理によって遊離することができた。また、酵素 mix1 と 2 を比較すると、基質によっては、遊離量が異なる。つまり、材料に合わせた酵素レシピが必要であることが判明した。セルロシン HC100 にも、キシラーゼ活性は豊富に含まれているにも関わらず、放線菌由来のキシラーゼを 3 種用いることで、フェルラ酸遊離量が向上した。このことは、各キシラーゼの細胞壁分解に関わる特異性が異なることを示唆している。

アセチルキシランエステラーゼは、アラビノフラノシダーゼ、フェルラ酸エステラーゼ等とともに、ヘミセルロース分解酵素中では、主鎖を分解するキシラナーゼと対比して、側鎖分解を担うアクセサリー酵素として分類されているものである。別種のアセチルキシランエステラーゼをキシラナーゼに添加することによって、フェルラ酸遊離量が向上するという報告がすでにあり、我々の結果もこの報告の内容を支持する結果を得た。

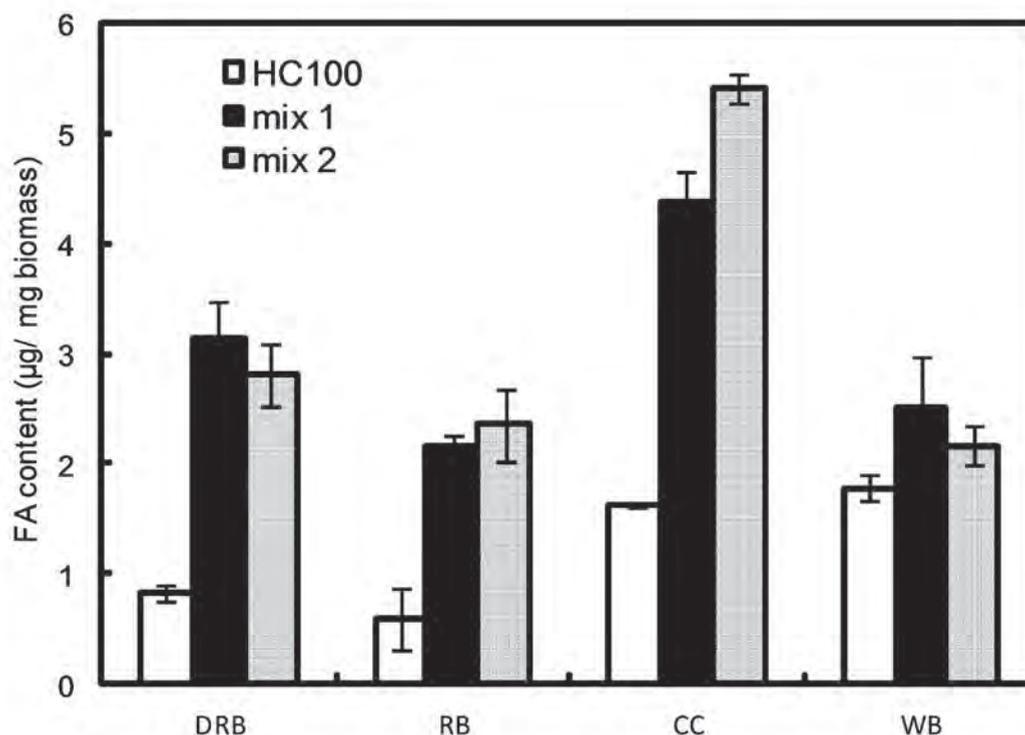


図5. バイオマスへの応用。DRB：脱脂米糠、RB：生米糠、CC：コーンコブ、WB：小麦フスマ。酵素 mix 1：セルロシン HC100, XGP420, XGP422, XGP427, XGP438 and XGP450。酵素 mix 2：セルロシン HC100, XGP420, XGP422, XGP427, XGP438 and XGP440。バイオマス（10 mg）に、各酵素粉末（5 mg）を添加し反応させた。

4. まとめ

放線菌由来糖質加水分解酵素群と、麹カビ由来市販酵素とを組み合わせることによって、化学的な手法に頼らず、植物バイオマスからフェルラ酸を遊離できることを示した。今回は、主たる酵素であるフェルラ酸エステラーゼについて、麹カビ由来のものを使用したため、反応を麹カビ由来酵素の至適 pH である 5 付近で行わざるを得なかった。放線菌由来のフェルラ酸エステラーゼについては、活性を有することはいくつかの文献で報告されているが、遺伝子は今のところ特定されておらず、今後の課題であり、現在のところ探索中である。

放線菌由来糖質加水分解酵素は、一般的に、弱酸性域 (pH6~7) に至適をもつ。今後は、放線菌由来酵素のみで、酵素カクテルを作成し、さらなる効率の向上を図ることが残された課題である。

5. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、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深く感謝申し上げます。本助成の研究内容の一部は *Appl. Biochem. Biotechnol.* に掲載予定であります。

6. 参考文献

- 1) Uraji M, et al., Enzymatic production of ferulic acid from defatted rice bran by combination of bacterial enzymes. *Appl. Biochem. Biotechnol.* In press
- 2) Huang Y-U, et al., Production of ferulic acid from lignocellulolytic agricultural biomass by *Thermobifida fusca* thermostable esterase produced in *Yarrowia lipolytica*. *Bioresour. Technol.* 102 (2011) 8117-8122.
- 3) Rose DJ, et al., Utilization of corn (*Zea mays*) bran and corn fiber in the production of food components. *J. Sci. Food Agric.* 90 (2010) 915-924.
- 4) Kheder F, et al., Production and biochemical characterization of a type B ferulic acid esterase from *Streptomyces ambofaciens*. *Can. J. Microbiol.* 55 (2009) 729-738.
- 5) Koseki T, et al., Occurrence, properties, and applications of feruloyl esterases. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 84 (2009) 803-810.
- 6) Hatanaka T, et al., pTONA5: a hyperexpression vector in streptomycetes. *Protein Expr. Purif.* 62 (2008) 244-248.
- 7) Ferreira P, et al., Release of ferulic acid and feruloylated oligosaccharides from sugar beet pulp by *Streptomyces tendae*. *Bioresour. Technol.* 98 (2007) 1522-1528.
- 8) Wong DWS, Feruloyl esterase a key enzyme in biomass degradation. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 133 (2006) 87-112

ジクロロメタン汚染を改善できる環境微生物が保有する特異的遺伝子の解析

岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 三好 伸一

1. はじめに

近代科学の発展とともに急速に拡大した産業の恩恵により、人類の生活は便利で豊かなものとなった。しかし、その一方では、工場からの排水やばい煙、事業所からの廃棄物などとともに、環境中に種々の有害な化学物質が放出され、人類を取り巻く生態系に多大な影響を及ぼしてきた。そして、地球環境や人類の健康に深刻な影響を与えてきた化学物質として、PCB やダイオキシン類に代表される有機塩素系化合物がある。

ジクロロメタン（塩化メチレン）は不燃性、揮発性の有機塩素系化合物であり、実験および研究用の溶媒、金属脱脂のための洗浄剤、溶剤、冷媒、エアゾール噴霧剤、インキ、ペイントリムーバなど多岐にわたって使用されている。しかしながら、わが国だけでも年間 13,000 トン以上が環境中に排出されており、土壌や水質などの汚染が危惧されている。ジクロロメタンは、急性毒性として神経系に対して悪影響を及ぼし、また皮膚や粘膜には刺激を与える。さらには肝臓や腎臓に対する障害性、変異原性や発がん性も指摘されている。事実、2012 年にはジクロロメタンを大量に使用していた印刷会社において、従業員に胆管がんが多発していることが報告された。

私達はジクロロメタンの生物学的処理システムを構築するために、岡山市内の排水溝からジクロロメタン分解菌 *Cupriavidus metallidurans* PD11 株を単離し、その有用性などに関して研究を行ってきた。しかし、ジクロロメタンを分解・資化する酵素が誘導型であるため、高い分解・資化能力を長期間安定に維持することが困難であり、本分解菌の応用はジクロロメタンを高純度かつ高濃度に含む汚染水に限定されることが明らかとなった。そこで、この課題を克服するため、ジクロロメタンによって誘導される酵素群を同定し、ジクロロメタン分解・資化経路の全体像を解明することとした。すなわち、誘導される一連の酵素群を同定することによって、それらの遺伝子のプロモーター領域を改変し、構成的にジクロロメタンを分解・資化できる細菌の作製が可能となる。その結果、生物学的処理システムをさまざまな汚染水に応用することが可能となる。

2. *C. metallidurans* PD11 株が獲得した遺伝子の同定

ゲノム情報が公開されている *C. metallidurans* CH34 株は、重金属耐性を示すグラム陰性桿菌である。しかし、PD11 株と同じ菌種の細菌でありながら、ジクロロメタンを分解・資化することができない。この事実は、PD11 株がジクロロメタンを分解・資化する際に必要となる一連の遺伝子を外部から獲得したことを示唆している。そこで、PD11 株が獲得した遺伝子を同定するため、CH34 株を対照とした DNA サブトラクション（DNA 差し引きハイブリッド）を行った。

表 1. PCR 産物と相同率の高い *Herminiimonas arsenicoxydans* の遺伝子

断片	遺伝子	タンパク質	相同率
1	HEAR2041	Putative nitrilase	94.5%
2	HEAR2045	UvrABC system protein B	94.5%
3	HEAR2048 (<i>fdhA</i>)	Formaldehyde dehydrogenase (<i>FdhA</i>)	99.1%

両菌を 1% ペプトン培地で培養したのち、対数増殖期中期に細胞を破碎し DNA を調製した。そして常法にしたがって、制限酵素処理ならびに一本鎖 DNA のハイブリダイゼーション

を行った。そして、CH34株のDNA断片と二本鎖を形成していない（ハイブリダイゼーションしていない）PD11株のDNA断片（つまり、PD11株が外部から獲得したDNAの断片）をpolymerase chain reaction (PCR) によって増幅した。その後、PCR増幅物の塩基配列を解析し、データベース（BLASTを使用）での相同検索を行った。その結果、*Herminiimonas arsenicoxydans*（亜硫酸塩を酸化する能力を有するグラム陰性桿菌）の遺伝子と高い相同性を示す3つのDNA断片（遺伝子の一部）が見出された（表1）。

ところで、DNAサブトラクションによって同定された3つの遺伝子（HEAR2041, HEAR2045, HEAR2048）は、*H. arsenicoxydans*においては、染色体上の非常に近い位置に存在している。さらに注目すべきこととして、HEAR2048 (*fdhA*) はホルムアルデヒドデヒドロゲナーゼ (FdhA) をコードしていた。この酵素は、ジクロロメタンの分解・資化経路における重要な中間代謝物であるホルムアルデヒドをギ酸に変換する反応を触媒する（図1）。このことから、ジクロロメタンの分解・資化に関与する一連の酵素が集中している特定の領域が、*H. arsenicoxydans* から *C. metallidurans* PD11株に水平伝播したと考えられた。そこで、HEAR2041-HEAR2048前後の遺伝子について、PD11株が保持しているか否かをPCR法で検討した。

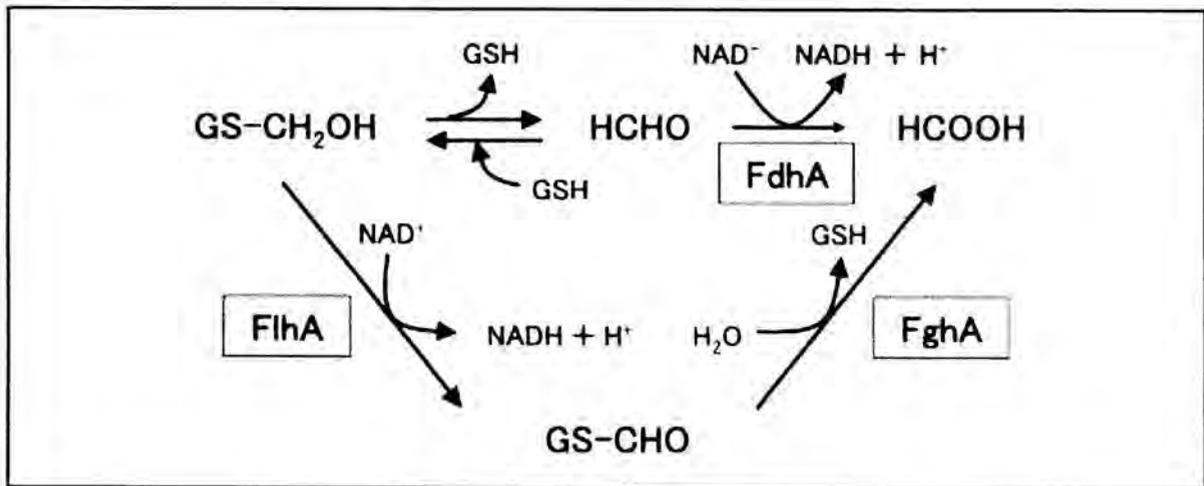


図1. 細菌の一般的なホルムアルデヒド代謝経路

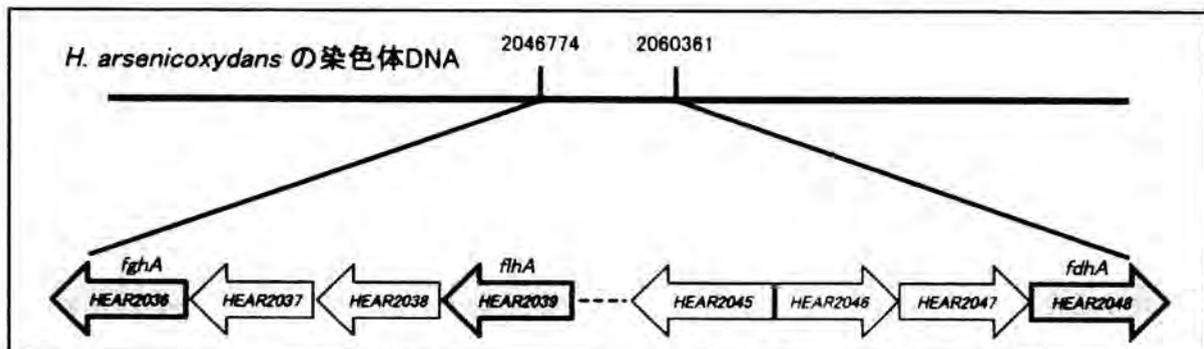


図2. *C. metallidurans* PD11株に移動したと考えられる *H. arsenicoxydans* の遺伝子

その結果、図2に示したように、HEAR2041の上流域に存在するHEAR2036-HEAR2039の4個の遺伝子が、PD11株から新たに検出された。したがって、少なくともHEAR2036-HEAR2048の13個の遺伝子（DNAサイズは13.6 kb以上）が、*C. metallidurans* PD11株に水平伝播されたと結論できる。さらには、これら4個の遺伝子のうち、HEAR2039 (*flhA*) はS-ヒドロキシメチルグルタチオンデヒドロゲナーゼ (FlhA)、HEAR2036 (*fghA*) はS-ホルミルグルタチオンヒドロラーゼ (FghA) の遺伝子であった。

以上のことから、*C. metallidurans* PD11 株は、HEAR2048 (*fdhA*), HEAR2039 (*flhA*), および HEAR2036 (*fghA*) の 3 個の遺伝子 (図 1) を *H. arsenicoxydans* から獲得したことにより、ホルムアルデヒドをギ酸に変換する能力を獲得したと推察される。

3. *C. metallidurans* PD11 株が獲得した遺伝子の発現

C. metallidurans PD11 株はメチロトロフ (メタンを除く, C1 化合物を分解・資化して増殖する細菌) であり、ジクロロメタンの他、メタノールも分解・資化できる。ところが、メタノール存在下での PD11 株の増殖は、ジクロロメタン存在下での増殖よりも遥かに優れていた (図 3)。このことは、PD11 株がジクロロメタンよりもメタノールを効率的に分解・資化できることを示唆している。つまり、メタノールを C1 化合物とする条件下で増殖した際には、ホルムアルデヒド代謝経路 (図 1) がより効率的に機能していることを示唆している。次に、この仮説を検証するため、ジクロロメタン存在下とメタノール存在下で増殖した PD11 株について、ホルムアルデヒドの代謝に関与する遺伝子 (*fdhA*, *flhA*, *fghA*) の発現量を比較した。

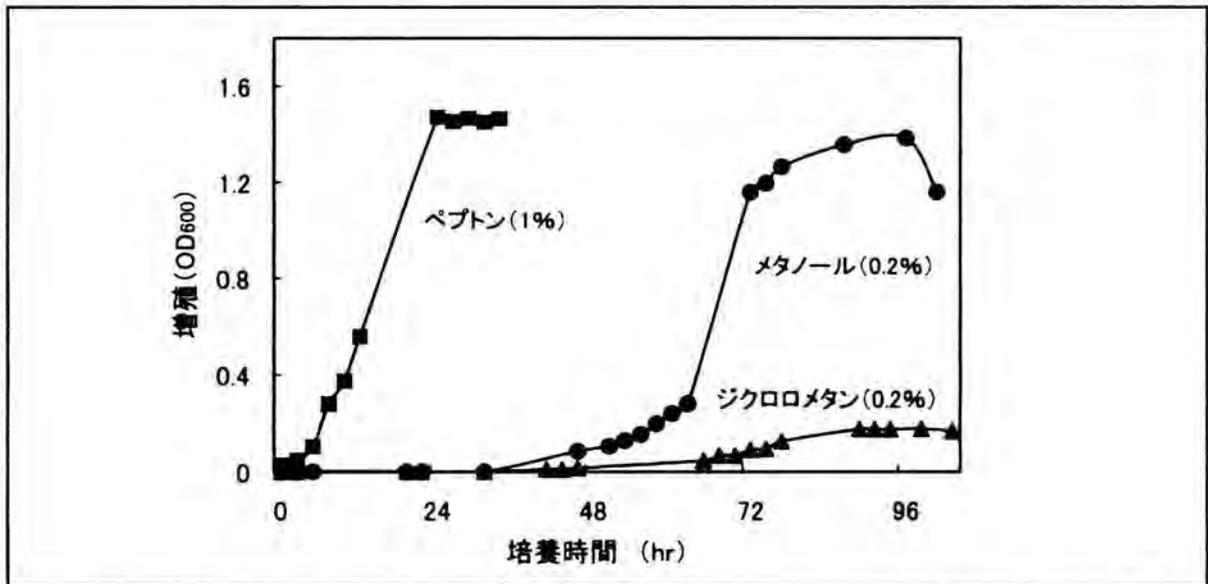


図 3. ペプトン, メタノール, あるいはジクロロメタン存在下での PD11 株の増殖

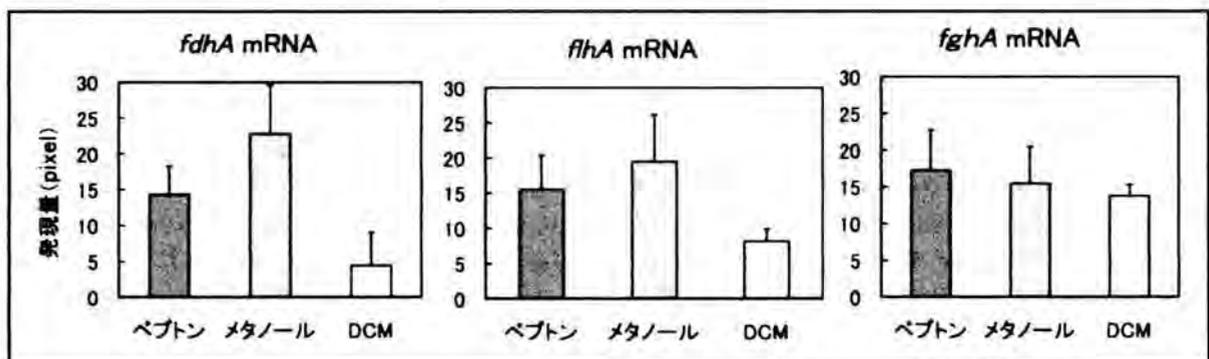


図 4. ホルムアルデヒド代謝に関与する遺伝子の発現比較 (DCM: ジクロロメタン)

PD11 株をペプトン (ミルクカゼインなどの酵素分解物であり, 多種類の炭素源を含んでいる), メタノール, あるいはジクロロメタンを添加した培地で培養したのち, 対数増殖期中期に細胞を破碎し RNA を調製した。そして, *fdhA* (HEAR2048), *flhA* (HEAR2039) および *fghA*

(HEAR2036) の発現量 (mRNA 量) を reverse transcription PCR (RT-PCR) によって比較した。

期待されたように、いずれの遺伝子においても、その有意な発現が確認された (図 4)。しかもメタノール存在下では、ジクロロメタン存在下と比べ、いずれの遺伝子も明らかに発現量が増加していた (図 4)。これらの結果は、メタノールの方が分解・資化されやすいことを強く示唆しており、図 3 の増殖に関する結果と矛盾していない。

4. 無細胞抽出液のプロテオーム解析

上述した研究結果は、*fdhA*, *flhA*, *fghA* を含む複数の遺伝子が、*H. arsenicoxydans* から *C. metallidurans* PD11 株に水平伝播されたことにより、PD11 株がホルムアルデヒドをギ酸に変換する能力を獲得したことを示唆している。しかしながら、ジクロロメタンからホルムアルデヒドを生成する酵素の遺伝子については、DNA サブトラクション法では同定できなかった。そこで、ホルムアルデヒドの生成に関与する酵素を検索するため、メタノールあるいはジクロロメタンの存在下において PD11 株を培養し、対数増殖期中期に細胞を採取した。そして、無細胞抽出液を調製し、これを SDS-ポリアクリルアミド電気泳動 (SDS-PAGE) で解析した。図 5 に示したように、メタノール存在下で培養した際には 40 kDa のタンパク質 (タンパク質 A)、ジクロロメタン存在下で培養した際には 30 kDa のタンパク質 (タンパク質 B) の産生量が増加していた。

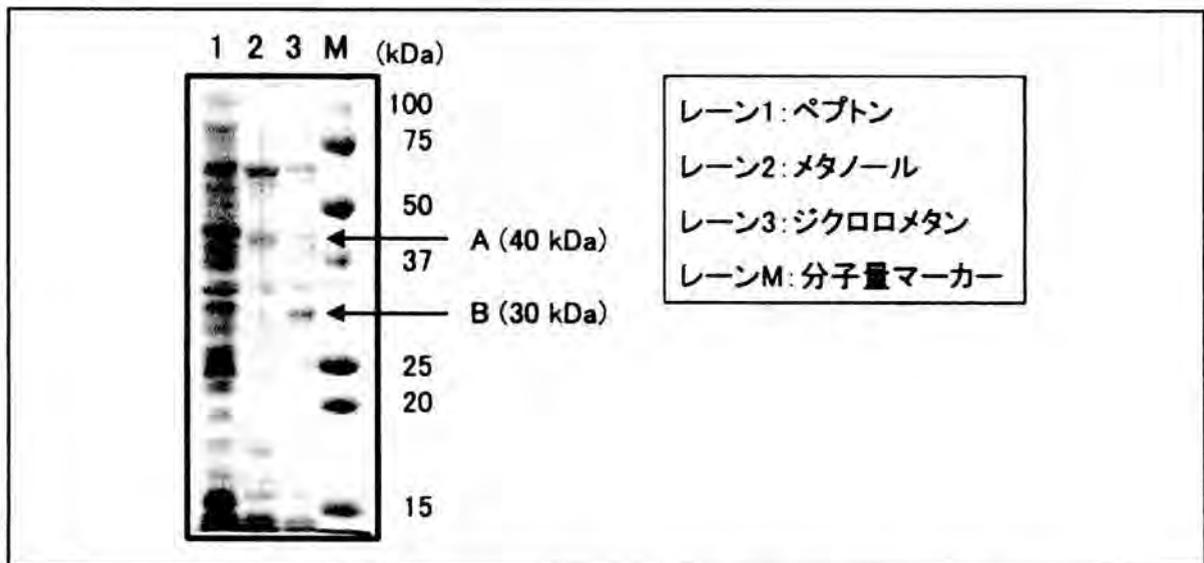


図 5. PD11 株から調製した無細胞抽出液の SDS-PAGE の泳動像

続いて、SDS-PAGE によって産生量の増加が認められたタンパク質 A および B を同定するため、ゲルから各々のタンパク質を切り出した。そして、液体クロマトグラフィ/タンデム質量分析装置 (LC/MS/MS) による解析を行った。その結果、タンパク質 A (40 kDa) については、DNA ハイブリダイゼーション法で見出された FdhA (ホルムアルデヒドデヒドロゲナーゼ) と同定された。しかしながら、タンパク質 B (30 kDa) については、データベースから相応なタンパク質を見つけ出すことができなかった。このことは、タンパク質 B が極めて特殊なタンパク質であること、ゲノム情報が公開されている *C. metallidurans* CH34 株はタンパク質 B の遺伝子を保有していないことを示唆している。したがって、タンパク質 B については、ホルムアルデヒド代謝に関与するタンパク質 (FdhA, FlhA, FghA など) と同じく、PD11 株が外部から遺伝子を獲得したと考えられる。

5. おわりに

有機塩素系化合物による環境汚染問題は世界各地で発生しており、効果的な汚染除去方法の開発などに関する基礎研究や応用研究の早急な実施が求められている。本研究において対象としたジクロロメタンは、環境中に排出された後は比較的安定であり、微生物による分解にも強い抵抗性を示す。しかしながら、適切な条件を模索することにより、効率的に微生物で分解させることが可能となる。ジクロロメタンの分解・資化に関わる遺伝子を調べることは、分解菌がどのような種類の酵素を用いてジクロロメタンを分解・資化しているのか、また、どのような分子機構によってジクロロメタンやその中間代謝物（例えば、ホルムアルデヒド）の毒性から、細胞を守っているのかなど、分解・資化細菌の性状を分子レベルで解明することにつながる。その結果、ジクロロメタンの分解・資化に関与する遺伝子を組み込みこんだ細菌、あるいは目的遺伝子を構成的に強く発現する細菌を作製し、それを用いたバイオリアクターの開発に大いに貢献できる。

本研究では、*C. metallidurans* PD11 株と CH34 株との DNA サブトラクションにより、ジクロロメタンの分解・資化経路における中間代謝物であるホルムアルデヒドをギ酸に変換する酵素の遺伝子として、*H. arsenicoxydans* から水平伝播した *fdhA*, *flhA*, *fghA* の 3 個を同定した。また、これら 3 つの遺伝子が PD11 株の細胞内で有意に発現していることも明らかにした。しかしながら、ホルムアルデヒドの生成に関与している酵素は同定できなかった。ところで、*C. metallidurans* CH34 株は、PD11 株と同じく、メタノールを分解・資化できるメチロトロフである。この CH34 株のゲノムを解析したところ、複数のアルコールデヒドロゲナーゼ遺伝子 (*adh*) の存在が明らかとなった。したがって、PD11 株はアルコールデヒドロゲナーゼを用いて、メタノールをホルムアルデヒドに変換し、これを分解・資化して増殖していると考えられる (図 6)。また CH34 株がメタノールを分解・資化できるという事実は、PD11 株が CH34 株と同じ、ホルムアルデヒドを分解・資化するための共通の経路を備えていることを示唆している (図 6)。

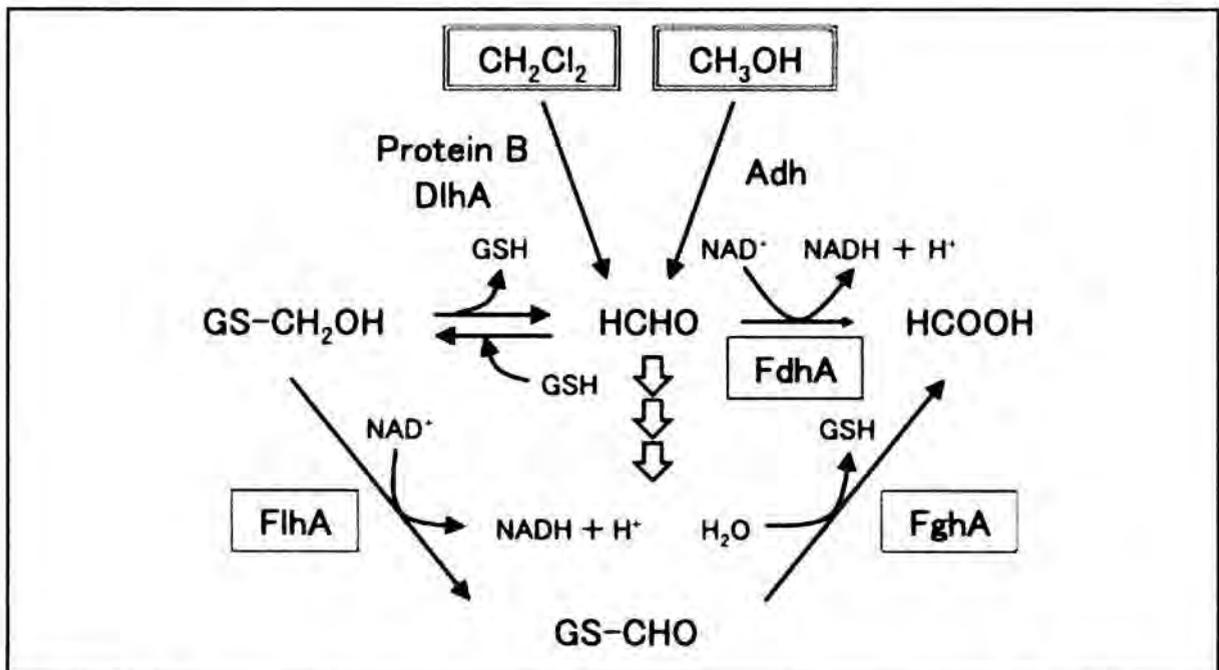


図 6. *C. metallidurans* PD11 株のジクロロメタンおよびメタノール分解・資化経路

一方のジクロロメタンに関しては、PD11 株は分解・資化できるが CH34 株はできない。つまり、PD11 株はジクロロメタンをホルムアルデヒドに変換する酵素の遺伝子を外部から獲得

したと推察される。図 5 に示したように、PD11 株をジクロロメタン存在下で培養した際には、30 kDa のタンパク質（タンパク質 B）が多く産生された。このタンパク質 B がジクロロメタンをホルムアルデヒドに変換する酵素であると期待される。今後、PD11 株をジクロロメタンあるいはメタノールの存在下で培養したのち、RNA を調製し、mRNA サブトラクションを行えば、ジクロロメタンをホルムアルデヒドに変換する酵素を明らかにすることができると思われる。ところで、*C. metallidurans* と同じ *Cupriavidus* 属である *C. necator* は、ジクロロメタンをホルムアルデヒドに変換する活性を有するハロアルカンデハロゲナーゼの遺伝子 (*dh1A*) を保有している。したがって、PD11 株が水平伝播により、*C. necator* から *dh1A* を獲得した可能性も考えられる (図 6)。

本研究によって、PD11 株は、*C. metallidurans* が元来保有しているメタノール/ホルムアルデヒドの分解・資化経路に加えて、少なくとも 3 つの遺伝子 (*fdhA*, *flhA*, *fghA*) を *H. arsenicoxydans* から獲得したことによって、効率的にホルムアルデヒドを分解・資化できる能力を獲得したこと、さらにジクロロメタンをホルムアルデヒドに変換する酵素の遺伝子も獲得したため、ジクロロメタンを分解・資化する能力も獲得したことが示された。しかし、本研究の当初の目的である構成的なジクロロメタン分解・資化細菌を作製するためには、PD11 株の全ゲノム解析を行い、ジクロロメタンの分解・資化に関与する全ての遺伝子を解析し、その機能を明らかにする必要がある。

謝 辞

本研究に対し、多大なるご支援を賜りました財団法人八雲環境科学振興財団に深く感謝いたします。

高効率 CO₂ 吸着・活性化材料の開発

岡山大学大学院自然科学研究科 特別契約職員 (助教) 板谷篤司

はじめに

化学的に安定で、しかも比較的反応性の低い二酸化炭素 (CO₂) は、地球温暖化の原因である温室効果ガスとしてよく知られている。それゆえ、大気中の CO₂ 削減を目的とした研究が世界規模で行われている。化学や工学分野では、ゼオライト、アモルファスシリカ、活性炭素のようなナノサイズあるいはメソサイズの細孔をもつ物質を利用した CO₂ の分離や固定化の検討が盛んに行われている。なかでも、ゼオライトを用いた CO₂ 吸着研究はこれまでに多くの報告がなされており、その理由として比較的安定な骨格構造をもっていること、さらに、試料中に存在する陽イオンを他の金属カチオンで置き換えるイオン交換が可能であり、様々な金属イオン—CO₂ 相互作用を容易に検討することが可能な点にある。特に、吸着サイトの状態解析が容易なアルカリ金属イオンなどでイオン交換したゼオライトへの CO₂ 吸着が行われており、得られた知見を基に、新規な CO₂ 吸着・固定化材料開発への試みがなされている。

本研究では、アルカリ土類金属でイオン交換したゼオライト試料の CO₂ 吸着特性を室温で調べた。さらに、試料中の活性サイトの状態を明らかにし、CO₂ の吸着モデルを提案した。

実験と計算

アルカリ土類金属イオン交換ゼオライトは、出発物質としてナトリウム型の MFI ゼオライト (NaMFI; Si/Al=11.9; 東ソー (株) 製) をアルカリ土類金属イオン (Ba²⁺, Sr²⁺あるいは Ca²⁺) を含む水溶液中、353 K で攪拌することにより調製した (BaMFI, SrMFI あるいは CaMFI と表記)。これらの試料中に交換されたアルカリ土類金属イオンの含有量は ICP 測定から決定した。アルカリ土類金属イオン (二価イオン) 1 個と原料中に含まれているナトリウムイオン (一価イオン) 2 個がイオン交換されたときを交換率 100% と定義した。BaMFI, SrMFI および CaMFI のイオン交換率は、149, 155 および 107% とそれぞれ見積もられた。ゼオライト試料は、873 K で 4 h, 1.3 mPa のもと真空加熱処理した後、以下の測定に用いられた。

ガスの吸着等温線は、容量法により、298 K で測定した。吸着熱は、断熱型熱量計を用いて直接測定した。赤外線吸収 (IR) スペクトルの測定は、*in situ*、室温で行った。吸着種構造の最適化は、密度汎関数理論 (DFT) 計算法を用いて行った。

結果と考察

298 K で測定した CO_2 の吸着等温線を図 1 に示す。ここで、873 K で前処理した試料について、298 K で測定した等温線を一次吸着等温線、一次吸着等温線測定後、298 K で真空排気し、再び、298 K で等温線を測定したものを二次吸着等温線とそれぞれ表記している。この図から明らかなように、アルカリ土類金属イオンで交換したゼオライト試料は、ごく低圧領域で吸着量の著しい増加がみられる。さらに、興味深いことに、一次吸着等温線と二次吸着等温線との間で吸着量に明瞭な差が観測されており、このことから、アルカリ土類金属イオンで交換したゼオライトは CO_2 を不可逆的に吸着することがわかった。このような現象は、アルカリ金属イオン交換ゼオライト、NaMFI や遷移金属イオン交換ゼオライトではみられない。したがって、アルカリ土類金属イオン交換ゼオライトは CO_2 と強く相互作用することが示された。

アルカリ土類金属イオン交換ゼオライト— CO_2 間の相互作用をエネルギー的な観点から考察した。図 2 は CO_2 の吸着熱曲線を示している。一次吸着の初期で $100\text{--}80\text{ kJ mol}^{-1}$ の値が観測されており、この値は、金属イオン— CO_2 相互作用エネルギーとしては高いほうである (例えば、NaMFI: 50 kJ mol^{-1} ; ¹⁾ 水素イオン(H^+)交換 MFI: 38 kJ mol^{-1} ; ¹⁾ 銅イオン交換 MFI: 60 kJ mol^{-1} ²⁾)。二次吸着では、初期熱 $85\text{--}60\text{ kJ mol}^{-1}$ の値が得られた。また、一次吸着熱曲線と二次吸着熱曲線との差から、 CO_2 との相互作用によって $100\text{--}80\text{ kJ mol}^{-1}$ の値を示すアルカリ土類金属イオンが、 CO_2 の不可逆吸着に寄与するサイトであると示唆された。

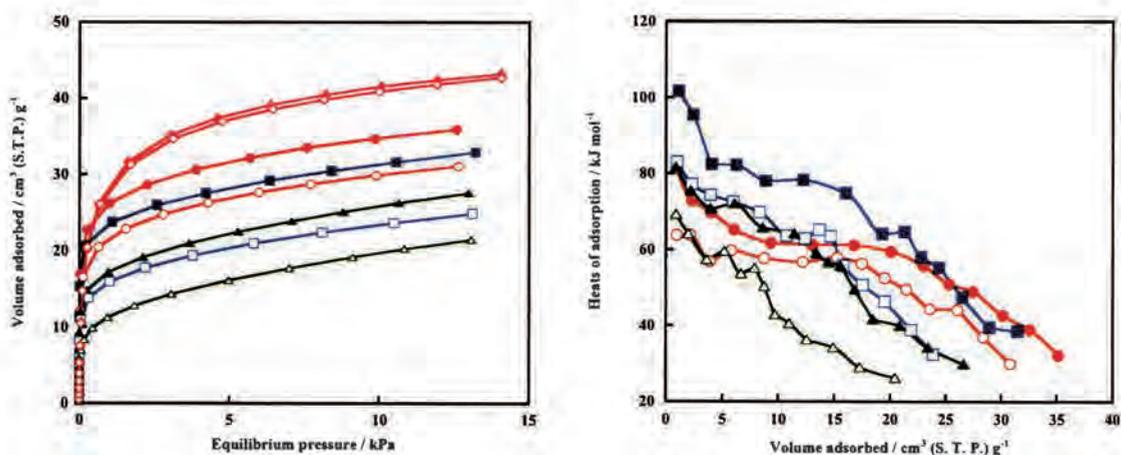


図 1(左) 298 K で測定した CO_2 吸着等温線：(赤) BaMFI；(青) SrMFI；(緑) CaMFI；(ピンク) NaMFI。塗りつぶしが一次吸着，塗りつぶしていないものが二次吸着をそれぞれ表す。

図 2(右) 298 K で測定した CO_2 吸着熱曲線：(赤) BaMFI；(青) SrMFI；(緑) CaMFI。塗りつぶしが一次吸着，塗りつぶしていないものが二次吸着をそれぞれ表す。

図3に、BaMFI上に室温で吸着したCO₂種のIRスペクトルを示す。気体のCO₂は、1333, 667および2349 cm⁻¹にν₁ (symmetric stretching), ν₂ (doubly degenerated bending) および ν₃ (asymmetric stretching) モードをそれぞれ示すことがよく知られている。BaMFIについてしてみると、2355 cm⁻¹, 1375 および 650 cm⁻¹を中心としたバンドが出現している。これらのバンドは、Ba²⁺に吸着したCO₂のν₃, ν₁およびν₂モードにそれぞれ帰属した。一方、NaMFIについても同様の実験を行ったところ、2356 cm⁻¹, 1382 および 656 cm⁻¹を中心としたバンドが観測され、吸着特性では明瞭な違いがみられたBaMFIについて出現したバンドの波数と比較してもそんなに大差がないことがわかった。

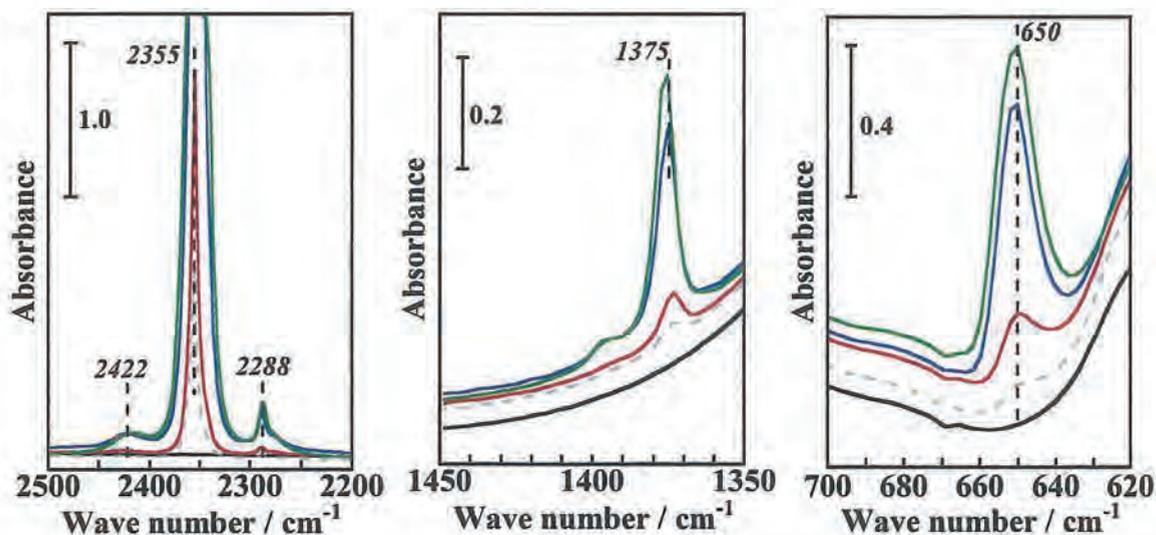
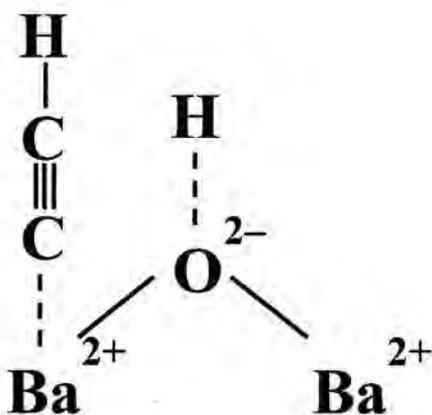


図3 BaMFIに吸着したCO₂のIRスペクトル:(-) 873 Kで真空加熱処理;(-) 1.06, (-) 11.84, (-) 131.94 PaのCO₂平衡圧;(-) 室温での再排気.

では、なぜ、アルカリ土類金属イオン交換ゼオライトがCO₂の吸着に有効なのか？という疑問が生じる。そこで、我々は、BaMFI中に存在するCO₂吸着サイトの状態をNaMFIについてのもと比較検討しながら明らかにしようと考えた。試料中の金属イオンの状態を明らかにするための手段として、ある種のガスをプローブとして利用したIRスペクトルの測定法がある。本研究では、ガスとしてアセチレン(C₂H₂)を選択した。図4は、BaMFIにC₂H₂ガスを室温で吸着させたときのIRスペクトルを示している。すべてのスペクトルは、BaMFIに所定の圧力のC₂H₂ガスを吸着させたときに得られたおのおののスペクトルからBaMFIを873 Kで2 h、1.3 mPaのもと真空加熱処理したときに得られたスペクトルを差し引いた差スペクトルとして表している。BaMFIを低圧のC₂H₂ガスに曝した時、C₂H₂のC-H伸縮振動が観測される波数領域で、3192 および 3150 cm⁻¹にIRバンドが出現している(図4Aの青線)。3192 cm⁻¹のバンドはC₂H₂の圧力の増加とともに3209 cm⁻¹を中心としたシャープなバンドとなり、3150 cm⁻¹のバンドは、ほとんどその形状を維持していることがわかる(緑, 黒および桃線)。観測されたこれらのバンドは、BaMFI上に吸着したC₂H₂のC-H伸縮振動に帰属でき

る。さらに、3370 および 3304 cm^{-1} にも小さな IR バンドが観測されている (緑, 黒および桃線)。同じ条件下で測定した NaMFI の場合, BaMFI で観測されたこれらの IR バンドはほとんどみられなかった (図 4A の挿入図)。

図 4B は, C_2H_2 の $\text{C}\equiv\text{C}$ 伸縮振動の観測が可能な波数領域を示している。1944 cm^{-1} に BaMFI 上に吸着した C_2H_2 の $\text{C}\equiv\text{C}$ 伸縮振動に帰属できる IR バンドが観測されている (図 4B の青線)。このバンドは C_2H_2 の圧力の増加とともに高波数側にシフトしている (緑, 黒および桃線)。 C_2H_2 は対称性のよい分子であるため, IR 不活性な $\text{C}\equiv\text{C}$ 伸縮振動によるバンドが明瞭に観測されたことは, BaMFI と C_2H_2 との間に強い相互作用が存在することを示している。注目すべきことは, 1920 cm^{-1} にも IR バンドが出現し, このバンドは, 図 4A で示した 3370 および 3304 cm^{-1} のバンドの出現と同時に観測されはじめていることである (緑, 黒および桃線)。同じ条件下で測定した NaMFI の場合, 3370 および 3304 cm^{-1} のバンドと同様に 1920 cm^{-1} のバンドはほとんど観測されなかった (図 4B の挿入図)。通常の金属酸化物について, $M\text{-O-M}$ (M : 金属イオン) サイトが試料中に存在すると, このようなサイトと C_2H_2 が反応し, アセチリド種が形成されると報告されている。³⁾ この文献では, 形成されたアセチリド種の C-H 振動が 3302–3245 cm^{-1} 付近に, また, $\text{C}\equiv\text{C}$ 振動が 2030–1890 cm^{-1} 付近に観測されると記述されている。このような報告を考慮すると, BaMFI について観測された特徴的な 3304 cm^{-1} および 1920 cm^{-1} の IR バンドは Ba–O–Ba サイトと C_2H_2 が反応することで形成されたアセチリド種によるものであると帰属できる (モデル 1)。また, 3370 cm^{-1} のバンドは, モデル 1 中の $\text{H-C}\equiv\text{C-Ba(OH)-Ba}$ 種の OH 伸縮振動に帰属した。これらの結果から, BaMFI ゼオライト中には Ba–O–Ba サイトが存在していることが明らかとなった。図 4A および B で示したスペクトルで見られた他の IR バンドは単独で存在する Ba^{2+} 等に吸着した C_2H_2 種に帰属できる。



モデル 1

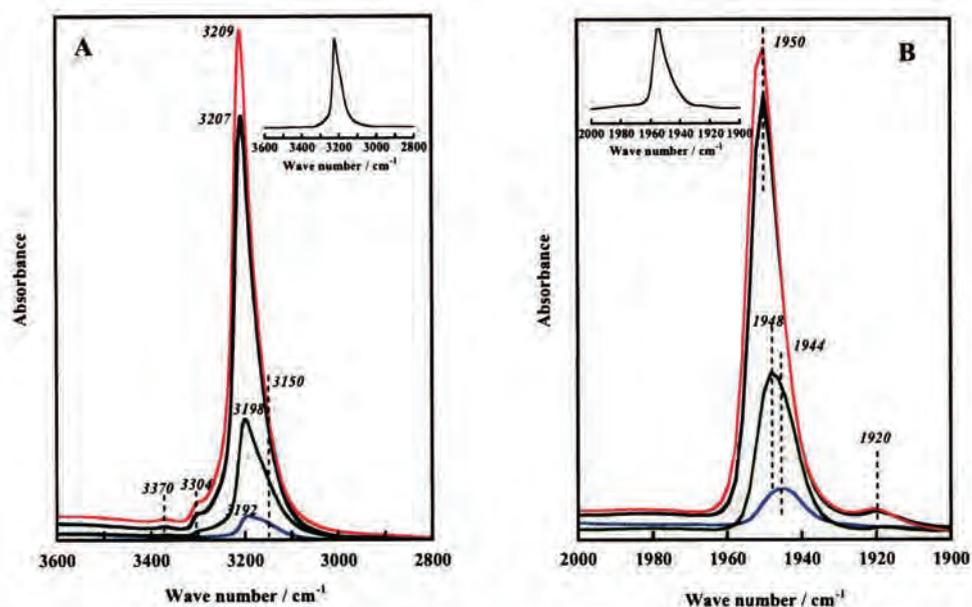


図4 BaMFIに吸着したC₂H₂のIRスペクトル：(—) 1.33, (—) 2.26, (—) 10.64, (—) 295.66 PaのC₂H₂平衡圧. 挿入図:NaMFIを13.3 PaのC₂H₂に曝した時のスペクトル.

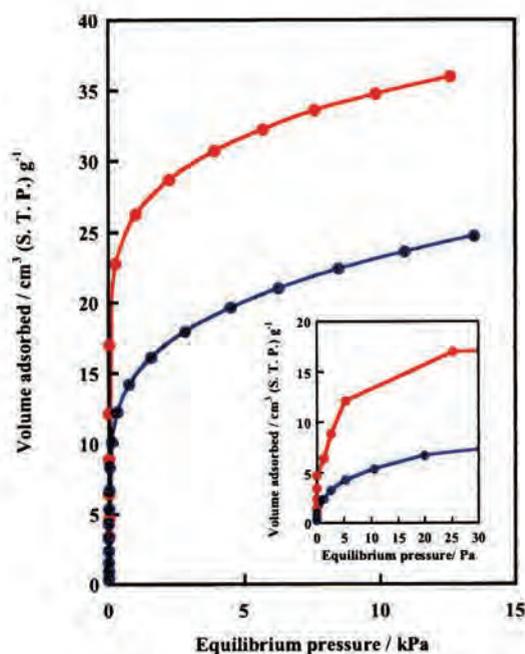
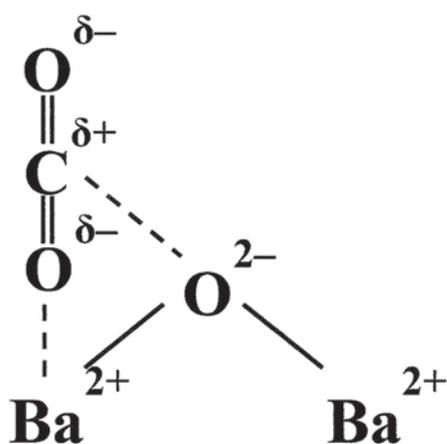


図5 298 Kで測定したBaMFIのCO₂吸着等温線：(赤) 873 Kで真空加熱処理した試料；(青) 873 Kでの真空加熱処理後、C₂H₂で処理した試料. 挿入図：低圧領域の拡大.

図5のCO₂吸着等温線は、BaMFI中に形成されたBa-O-BaサイトがCO₂の吸着に有効なサイトとして機能することを証明したものである。BaMFIにC₂H₂を不可逆吸着させることでBa-O-Baサイト上でアセチリド種を形成させた後(すなわち、Ba-O-BaサイトをC₂H₂で覆った後)、CO₂吸着等温線を測定した。C₂H₂で処理を施し

ていないときの CO₂ 吸着等温線の結果と比較したところ、低圧領域で吸着量に明瞭な差が見られた。このことは、CO₂ の吸着初期では BaMFI 中の Ba-O-Ba サイトが CO₂ に対してより有効な吸着サイトとして機能することを示したものである (モデル 2)。

最後に、BaMFI 上の CO₂ 吸着種について、DFT 計算法を用いて構造最適化 (吸着サイトとして、Ba-O-Ba および Ba²⁺) を行った。得られたモデルについて、振動数計算を行ったところ、Ba-O-Ba あるいは Ba²⁺ に吸着した CO₂ ではほとんど差がみられなかった (Ba-O-Ba: 2354 (ν₃), 1332 (ν₁) および 635 (ν₂) cm⁻¹; Ba²⁺: 2354 (ν₃), 1329 (ν₁) および 634 (ν₂) cm⁻¹)。これらの結果から、Ba-O-Ba あるいは Ba²⁺ サイト間では、実験および理論の両面から吸着した CO₂ 種の区別をすることは困難であることがわかった。すなわち、上述したアセチレンをプローブとして用いた実験結果はかなり重要な情報を提供するものである (BaMFI 中に形成された Ba-O-Ba と CO₂ との相互作用は、Ba²⁺ についてのそれと比べより有効であることを明らかにした)。



モデル 2

まとめ

本研究では、アルカリ土類金属イオンで交換した MFI 型ゼオライトの室温における CO₂ 吸着特性を室温で調べた。アルカリ土類金属イオン交換 MFI 型ゼオライトは、アルカリ金属イオンや遷移金属イオンで交換した試料よりも CO₂ に対して有効な吸着能を示すことがわかった。このようなアルカリ土類金属イオン交換 MFI 型ゼオライトの有する有効な CO₂ 吸着特性はエネルギー的な考察からも十分支持された。

アルカリ土類金属イオン交換 MFI 型ゼオライト中の CO₂ の吸着に有効な活性サイトを明らかにするため、本研究ではプローブ分子としてアセチレンガスを利用した実験を行った。その結果、CO₂ に対して特に有効に働くサイトとして試料中に形成された M-O-M (M: アルカリ土類金属イオン) 種であることを見出した。

参考文献

- 1) J. A. Dunne, M. Rao, S. Sircar, R. J. Gorte, and A. L. Myers, *Langmuir*, **1996**, *12*, 5896–5904.
- 2) A. Itadani, T. Yumura, T. Ohkubo, H. Kobayashi, and Y. Kuroda, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2010**, *12*, 6455-6465.
- 3) A. V. Ivanov, A. E. Koklin, E. B. Uvarova, and L. M. Kustov, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2003**, *5*, 4718-4723.

研究成果

○特許

湯淺明子, 黒田泰重, 板谷篤司

“二酸化炭素吸着材”

特願 2012-142209.

黒田泰重, 板谷篤司

“二酸化炭素の吸着方法及び真空断熱材”

特願 2012-119007.

○国内学会発表

板谷篤司, 鳥越裕恵, 織田晃, 大久保貴広, 湯村尚史, 小林久芳, 黒田泰重

“アルカリ土類金属イオン交換 MFI 型ゼオライトの二酸化炭素吸着特性”

第 26 回日本吸着学会研究発表会, (つくば) 2012 年 11 月.

○国際会議発表

A. Itadani, H. Torigoe, A. Oda, T. Ohkubo, T. Yumura, H. Kobayashi, and Y. Kuroda

“Effective Carbon Dioxide Adsorption on Alkaline Earth Metal-Ions Exchanged MFI-Type Zeolites at Room Temperature”

Calorimetry and Thermal Effects in Catalysis (CTEC 2012), Lyon, France June, 2012.

“廃棄物を出さない” 触媒的な物質変換法の開発

岡山大学 大学院自然科学研究科 助教 岩崎真之

1. はじめに

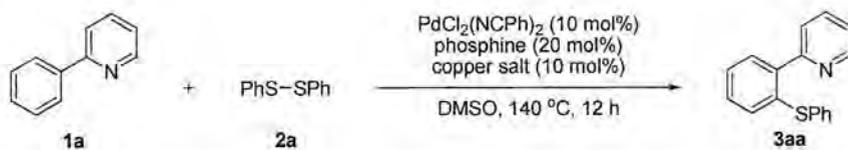
持続可能な社会の構築への取り組みは、我々人類にとって最も重要な課題の一つである。そのために、副生成物や廃棄物が出ない効率的な有機合成反応の開発が求められている。中でも、触媒反応は、少ない量で反応を進行させることから、グリーンケミストリーの観点から理想的な合成法であるといえる。2010 年のノーベル化学賞受賞対象研究である“クロスカップリング反応”もこの触媒的合成法の一つであり、合成化学者にとって現在必要不可欠な存在となっている。例えば、米国の大手製薬企業である Merck 社では、このクロスカップリング反応を使って、血圧降下剤であるロタルタンを年間約 1 トンという規模で生産し、3 千億円強の売り上げがある。しかしながら、クロスカップリング反応では、化学量論量の有機金属反応剤を用いるため、副生成物として大量の塩が生成する。また、出発物質である有機ハロゲン化物の調製にも手間がかかる。そこで、近年、クロスカップリング反応の代替法として、炭素-水素結合の直接変換反応が注目を集めている。炭素-水素結合を直接官能基化することができれば、ハロゲン化のような前処理を必要としないため、多段階の合成プロセスを劇的に短縮することができる。また、副生成物が生じないため、環境調和型の反応であるといえる。遷移金属触媒を用いる炭素-水素結合の直接官能基化に関する研究は、この 20 年間で飛躍的に進歩し、有機化合物の合成プロセスの単純化に大きく貢献している。しかしながら、そのほとんどの研究は炭素-炭素結合生成反応に関するものであり、炭素とハロゲン、酸素、または窒素との結合を生成するものが一部知られている程度である。本研究では、薬理活性を有する化合物や医薬上重要な天然物中によく見られる有機硫黄化合物を直接的に合成することを目的として、炭素-水素結合の直接硫黄化反応（炭素-硫黄結合生成反応）の開発をおこなった。

2. 結果と考察

2-1. 芳香環の炭素-水素結合の直接硫黄化反応の開発

まず、パラジウム触媒を用いて、2-フェニルピリジン (**1a**) の炭素-水素結合の直接硫黄化反応について検討することとした。反応は次のような手順でおこなった (Table 1)。アルゴン雰囲気下、触媒量の塩化パラジウム (ベンゾニトリル) 錯体、リン配位子、銅塩存在下、2-フェニルピリジン (**1a**) とジフェニルジスルフィド (**2a**) の混合物を DMSO 溶媒中 140 °C で 12 時間加熱した。硫黄化剤として用いているジスルフィドは、基質に対して 0.6 倍モル量で十分である。つまり、ジスルフィド中の硫黄部位は全て反応に使われている。まず、本反応におけるリン配位子と銅塩の効果について検討した。リン配位子を用いない場合にも反応は触媒的に進行し、硫黄化体 **3aa** を 58% の収率で得た (entry 1)。種々のトリアルキルホスフィンを検討した結果、立体的に嵩高い配位子を使うほど、高収率で目的化合物 **3aa** が得られることがわかった (entries 2-4)。トリメチルホスフィンを用いた場合には、目的硫黄化体 **3aa** を 90% の収率で得ることができた (entry 4)。同様の傾向はトリアルキルホスフィンを用いた場合にも観察された (entries 5 and 6)。また、銅塩を用いない場合には、収率が低下した (entry 7)。

Table 1. 反応条件の最適化

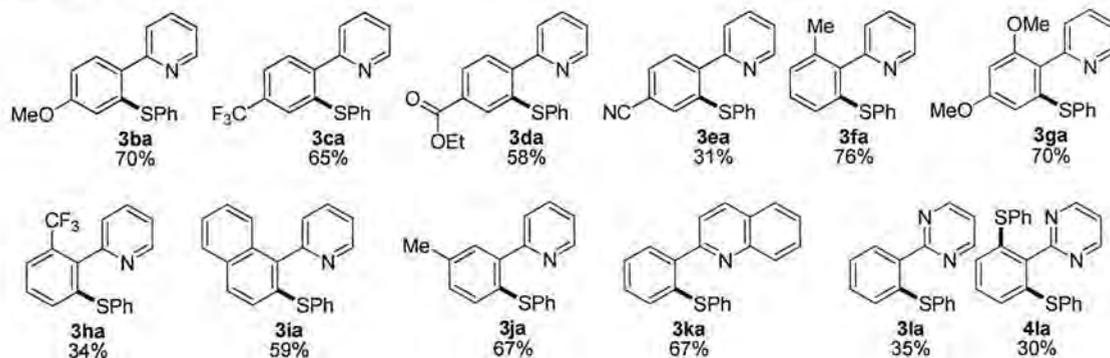


entry	phosphine	copper salt	NMR Yield (%)
1	none	CuCl ₂	58
2	PPh ₃		58
3	P(2-MeC ₆ H ₄) ₃		82
4	P(2,4,6-Me ₃ C ₆ H ₂) ₃		90
5	PEt ₃		44
6	P ^t Bu ₃		66
7	P(2,4,6-Me ₃ C ₆ H ₂) ₃	none	43

2-2. 反応の一般性に関する検討

次に、本反応の一般性について検討した (Scheme 1)。その結果、本反応は高い官能基許容性を有していることがわかった。例えば、メトキシ基のような電子供与性基やトリフルオロメチル基やエトキシカルボニル基、シアノ基のような電子求引性基の置換した基質を用いた場合にも、反応は効率的に進行し、対応する硫黄化物 **3ba-3ea** を良好な収率で得た。また、オルト位に官能基を有する基質も本反応に適用可能である (**3fa-3ia**)。さらに、本反応を利用すればナフタレン環の炭素-水素結合も硫黄化することができる (**3ja**)。興味深いことに、異なる二つの反応点を有する基質では、立体的に空いている炭素-水素結合が選択的に硫黄化されることがわかった (**3ja**)。さらに、配向基としてピリジル基の代わりにキノリル基やピリミジル基を用いることも可能である (**3ka, 3la**)。なお、ピリミジル基を用いた場合には一置換体 **3la** だけでなく、二置換体 **4la** も生成する。一方、五員環のピラゾリル基は本反応の配向基として用いることはできなかった。

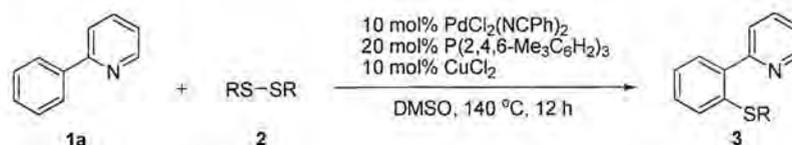
Scheme 1. 基質適用範囲



ジアリールジスルフィドに関して、本反応は広い基質一般性を有している。電子供与性のメトキシ基や電子求引性のトリフルオロメチル基を有する基質 **2b, 2c** を用いた場合にも反応は効率的に進行す

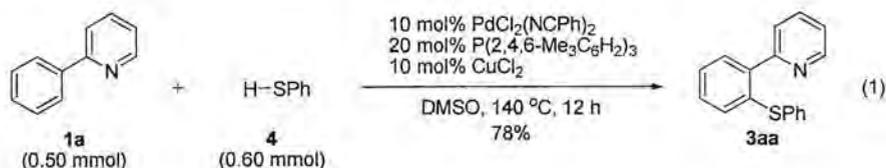
る (Table 2, entries 1 and 2)。また、ブロモ基、クロロ基や無保護の水酸基の置換したジフェニルジスルフィド **2d-2f** を用いた場合にも、目的の硫黄化体 **3ad-3af** を得ることができた (entries 3-5)。さらに、チエニル基や *o*-トリル基で置換したジスルフィドも本反応に適用可能である (entries 6 and 7)。一方で、ジアリールジスルフィドの代わりにジベンジルジスルフィドを用いた場合、目的の反応は全く進行せず、2-フェニルピリジン (**1a**) が定量的に回収された。

Table 2. ジスルフィドの適用範囲



entry	2	R	Product	Isolated Yield (%)
1	2b	<i>p</i> -MeOC ₆ H ₄	3ab	60
2	2c	<i>p</i> -CF ₃ C ₆ H ₄	3ac	53
3	2d	<i>p</i> -BrC ₆ H ₄	3ad	35
4	2e	<i>p</i> -ClC ₆ H ₄	3ae	29
5	2f	<i>p</i> -HOC ₆ H ₄	3af	56
6	2g	2-thienyl	3ag	45
7	2h	<i>o</i> -MeC ₆ H ₄	3ah	56

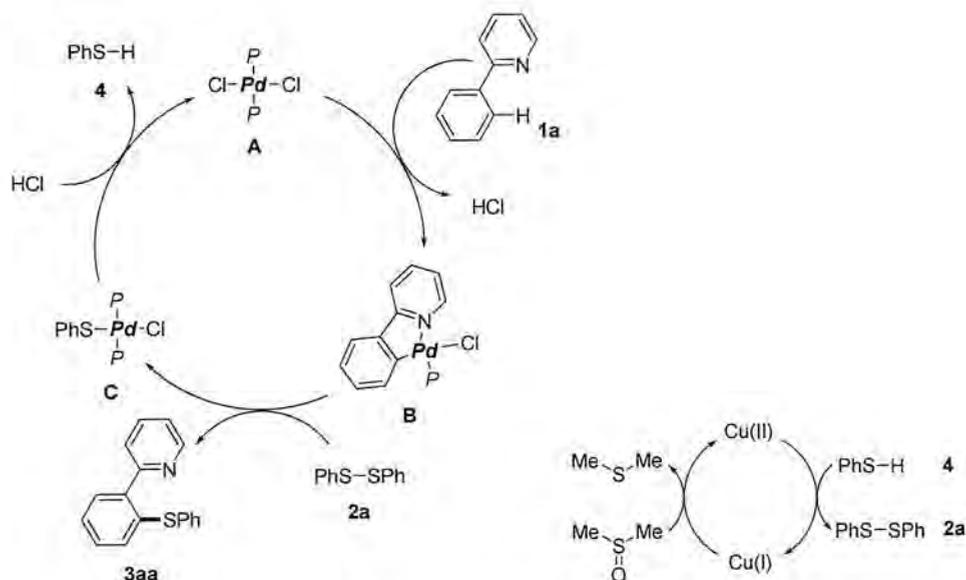
また、本反応には硫黄化剤としてジスルフィドだけでなくチオールを用いることも可能である。ジフェニルジスルフィド (**2a**) の代わりに 1.2 倍モル量のベンゼンチオール (**4**) を用いて反応をおこなったところ、ジスルフィドを用いた場合に比べると収率はやや低下するものの、目的の硫黄化体 **3aa** を 78% の収率で得ることができた (式 1)。



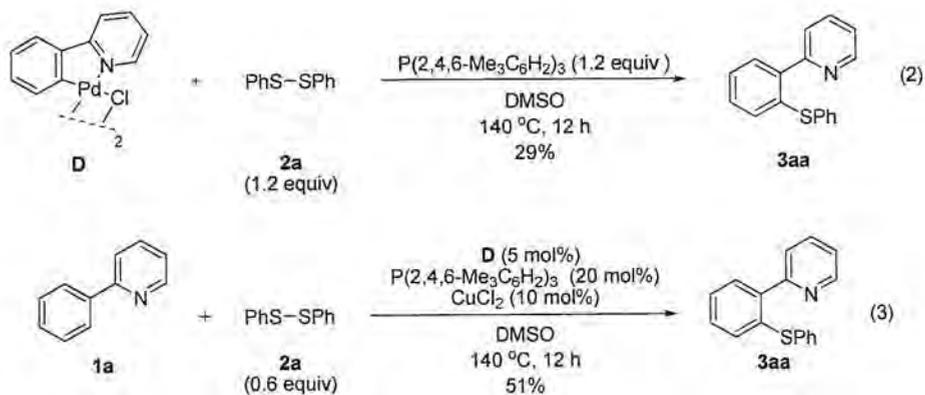
2-3. 反応機構に関する検討

パラジウム触媒を用いた炭素-水素結合の直接硫黄化の反応機構に関しては、現在のところ明らかになっていないが、一つの可能性として、Scheme 2 に示すように反応は進行していると考えている。まず、パラジウム(II) 錯体 **A** と 2-フェニルピリジン (**1a**) から、五員環のパラダサイクル **B** が生成する。次に、ジフェニルジスルフィド (**2a**) との反応により、硫黄化体 **3aa** を与え、中間体 **C** が生じる。最後に配位子交換が起こり、触媒が再生すると同時に、ベンゼンチオール (**4**) が生成する。なお、生じたベンゼンチオール (**4**) は銅塩を触媒として DMSO から酸化を受けジスルフィド **2a** となり、触媒系に再び組み込まれる。

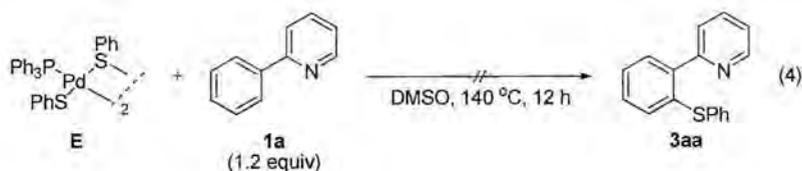
Scheme 2. 予想される反応機構



反応機構を確かめるために、次のような量論反応の検討をおこなった。既知法¹により、パラジウム/フェニルピリジン二核錯体 **D** を調製した後、ジフェニルジスルフィド (**2a**) と反応させたところ、目的の硫黄化物 **3aa** を収率 29% で得た (式 2)。また、別途調製したパラジウム/フェニルピリジン錯体 **D** を触媒として用いた場合にも反応は問題なく進行する (式 3)。以上のことから、本反応はパラジウム/フェニルピリジン錯体 **D** を経由して進行していると考えている。

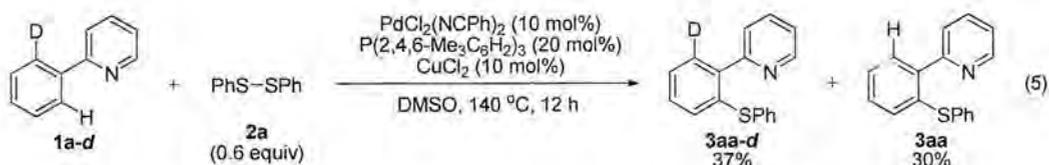


別の可能性として、Pd(0)/Pd(II) の機構が考えられる。パラジウム(0) 錯体に対してジフェニルジスルフィド (**2a**) が酸化的付加し、次に、2-フェニルピリジン (**1a**) と反応して、五員環のパラダサイクル中間体を形成する。最後に還元的脱離が起こり、目的生成物 **3aa** を得る。同様にして、反応機構に関する知見を得るために、量論反応に関する検討をおこなった。ジフェニルジスルフィド (**2a**) の酸化的付加体 **E** を既知法²により調製し、2-フェニルピリジン (**1a**) との反応をおこなったところ、目的生成物である **3aa** は全く得られず、2-フェニルピリジン (**1a**) が定量的に回収された (式 4)。以上のことから、ジフェニルジスルフィド (**2a**) の酸化的付加体 **E** を経由する Pd(0)/Pd(II) の機構は考えにくい。

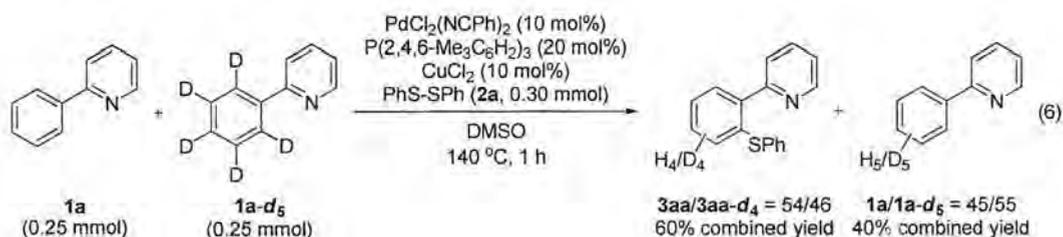


2-3. 反応の律速段階に関する検討

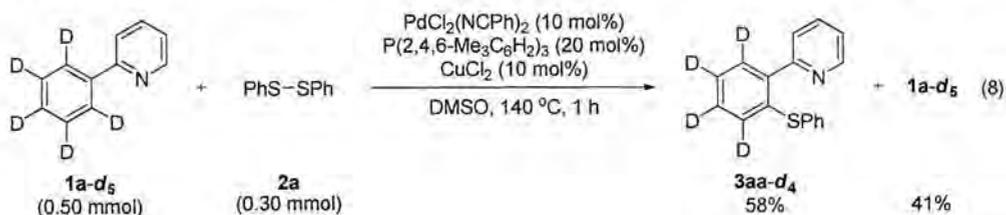
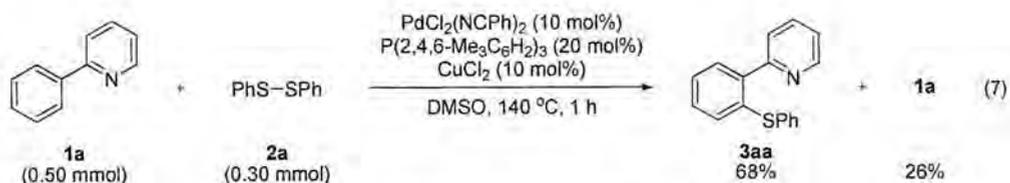
より詳細な反応機構に関する知見を得るために、重水素化された基質を用いて、速度論的同位体効果について検討した。まず、基質として **1a-d** を用いて分子内競争反応をおこなった (式 5)。その結果、速度論的同位体効果の差はほとんど観測されなかった。



この結果を確かめるため、次に、基質として等倍モル量の **1a** と **1a-d₅** を用いて分子間競争反応をおこなった (式 6)。この場合にも、生成物 **3aa** と **3aa-d₄** の収量はほぼ等しく、同位体効果は確認できなかった。



さらに、同様の実験を別々のフラスコを用いておこなった (式 7, 8)。その結果、生成速度に大きな違いは見られなかった。以上の結果から、本反応において、炭素-水素結合の活性化は、律速段階ではないということが明らかとなった。



3. まとめ

本研究において、パラジウム触媒を用いることで、芳香環の炭素-水素結合を直接的に硫黄化する反応を開発することに成功した。本手法は有機合成化学において有用な骨格であるアリールスルフィドの原子効率に優れた新規合成法であり、“廃棄物を出さない”触媒的な物質変換法の研究開発の基盤を確立することができた。今後も、環境負荷の少ない反応の開発を目指して研究を進め、自然環境の保全に貢献したい。

4. 謝辞

本研究に多大なるご支援をいただきました公益財団法人八雲環境科学振興財団に心より感謝申し上げます。本研究の遂行にあたり、岡山大学の西原康師教授に、終始有益な助言を頂きました。この場を借りて御礼申し上げます。

5. 参考文献

1. (a) Zanella, R.; Ros, R.; Grazian, M. *Inorg. Chem.* **1973**, *12*, 2736. (b) Ananikov, V. P.; Zalesskiy, S. S.; Kachala, V. V.; Beletskaya, I. P. *J. Organomet. Chem.* **2011**, *696*, 400.
2. (a) Craig, C. A.; Watts, R. J. *Inorg. Chem.* **1989**, *28*, 309. (b) Jolliet, P.; Gianini, M.; von Zelewsky, A.; Bernardinelli, G.; Stoeckli-Evans, H. *Inorg. Chem.* **1996**, *35*, 4883.

6. 研究業績

1. 岩崎真之, 彌永美樹, 土家裕大, 西村悠吾, 李文娟, 李治平, 西原康師 “Palladium-Catalyzed Direct Thiolation of Aryl C-H Bonds with Diaryl Disulfides” 投稿中
2. 岩崎真之 “芳香族炭素-水素結合の触媒的な直接官能基化反応” 第7回岡山理科大学グリーン元素科学シンポジウム, 岡山, 2012年3月, 招待講演
3. 彌永美樹, 西村悠吾, 岩崎真之, 西原康師 “パラジウム触媒によるジスルフィドを用いたアレーンの直接硫黄化反応” 日本化学会第92春季年会, 2K8-13, 神奈川, 2012年3月
4. 岩崎真之 “環境負荷の少ない触媒的硫黄化反応の開発” 第28回若手化学者のための化学道場, 島根, 2012年9月, 師範講演
5. 岩崎真之, 彌永美樹, 土家裕大, 西村悠吾, 李文娟, 西原康師 “パラジウム触媒によるジスルフィドを用いたアレーンの直接硫黄化反応” 第59回有機金属化学討論会, P2B-31, 大阪, 2012年9月
6. 岩崎真之, 彌永美樹, 土家裕大, 西村悠吾, 李文娟, 西原康師 “Palladium-Catalyzed C-H Thiolation of Arenes with Diaryl Disulfides” 12th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry, PC-061, 京都, 2012年11月
7. 岩崎真之 “New Catalytic Thiolation Reactions by Palladium Complexes” 3rd Symposium in Commemoration of International Exchange Agreement between Faculty of Science, University of Copenhagen, Denmark and Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, Japan, 岡山, 2012年11月22日, 招待講演
8. 岩崎真之 “Palladium-Catalyzed C-H Thiolation and Selenation of Arenes bearing Directing Groups” Reaxys PhD Club Meeting, 愛知, 2013年1月8日, 招待講演

鉍物のカソードルミネッセンスを用いた被曝放射線量の定量評価

岡山理科大学 生物地球学部 西戸裕嗣

【はじめに】

福島第一原発事故により環境中に大量放出された放射性物質は炉心近くの高濃度放射性廃棄物ばかりでなく、東日本大震災で発生した災害廃棄物も含め、莫大な低レベル放射性廃棄物を生み出した。これら放射性廃棄物を長期にわたり外界と隔離し保持管理する必要がある。最終処分に関しては「高レベル放射性廃棄物」は深地層への「地層処分」が計画され、「低レベル放射性廃棄物」ではそれらの物性により「浅地中処分」および「地層処分」の施策が提案されている。「地層処分」と「浅地中処分」はいずれも遮断型処分ではあるが、人工構造物(人工バリア)による完全な放射能の遮断を管理期間中継続させることは困難を極める。放射能の漏洩による影響を最小限にするために場所(地質・地層、水脈など)および地中深度などが考慮され処分基準をつくることになる。したがって、地中での放射性核種の移動やその線量を正確に評価することが重要な課題となるものの、未だ汎用できる精度の高い地質線量計が開発されていない現状にある。

本研究では、地殻を構成する主要な造岩鉍物(主に長石と石英)を対象として放射線損傷により形成される構造欠陥をカソードルミネッセンス(CL と略す)特性から定量評価し、これを線量モニターの指標として採用することにより地質線量計への応用を図ることを目的としている。特に長石は東北地方の地層中に普遍的に見出されることから、先ず長石に規定線量の放射線(α 線を模擬した He イオン、 ^{60}Co の γ 線および X 線)を照射し比較標準試料を作製する。CL スペクトル解析により生成した放射起源構造欠陥の濃度を定量し、線量応答を求めることにより地質線量計の妥当性を確認した。CL 分析はマイクロメートル・オーダーの空間分解能を有し、微小鉍物粒子の線量を定量できることから、断層岩の微小部年代測定による変形履歴(活断層)の解明および堆積岩構成鉍物の後背地推定など新たな地球科学分野への応用も期待される。

特に長石の CL は地質環境(生成温度や圧力)を鋭敏に反映することから地質線量計への活用が期待されるが、その発光中心は複雑なため多くの困難を伴う。CL による線量計測のために最も重要なことは、放射線損傷に関係する構造欠陥の関係する発光を特定し強度をいかに定量的に評価できるかに掛かっている。これまでに各種長石で実証してきた新たなスペクトル波形分離法により、重複するスペクトルピークから目的の発光ピークを取り出して CL 強度を定量化できる。さらに質の高いスペクトルデータを得るため低温度下での測定を行う必要があり、このため新たに開発した温度制御ステージを使用した。発光スペクトルの S/N 比向上と波形分離の精密化ならびに測定誤差の低減が図られ、これにより鉍物種ごとの線量応答の違いを明確にできた。また、結晶構造の評価はラマン分光法によった。

ここで研究対象とした長石は地核を構成する主要な造岩鉍物(60%を占める)であることから、長石の CL による地質線量計実現できれば、地球科学ならびに放射線物理学における様々な応用が期待される。例えば、核燃料の利用の際に生成する放射性廃棄物の処理として現在、地層処分が提案されているものの、廃棄物の漏洩を評価する手段が確立されていない。しかし、長石の CL による地質線量計測から廃棄場周辺の岩体における放射性漏れを評価することが可能である。また、長石の CL を年代測定法として確立することにより、今まで困難であった堆積年代を決定することができる。堆積岩中に産する微小長石結晶の CL 情報から、長石が希元素鉍物を包有もしくは接してからの年代を決定することができる。このように、長石の CL による地質線量計・年代測定の確立は広い分野における様々な応用が期待される。そのため、本研究では各種長石鉍物を対象として、自然界における α 線による放射性損傷生成メカニズムの解明ならびに、それに関係する構造欠陥の生成効率を定量的に評価した。

【 測定試料と方法 】

最も一般的な長石である斜長石系列の各種鉱物を測定試料に選定した。Minas Gerais, Brazil 産アルバイト ($\text{Or}_1\text{Ab}_{99}$)、愛知県稲武産オリゴクレーズ ($\text{Or}_2\text{Ab}_{82}\text{An}_{16}$)、Betroka, Madagascar 産アンデシン ($\text{Or}_1\text{Ab}_{53}\text{An}_{46}$) および東京都三宅島産アノーサイト ($\text{Or}_0\text{Ab}_5\text{An}_{95}$) を CL およびラマン分析に供した。また、比較試料として、新潟県糸魚川産のアルバイト ($\text{Or}_2\text{Ab}_{98}$) を用いた。日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所イオン照射研究施設のダンデム加速器を用いて各々10 試料に対して線量の異なる ($2.81 \times 10^{-6} \text{ C/cm}^2$ から $6.33 \times 10^{-4} \text{ C/cm}^2$) 4He^+ イオンを照射した。加速エネルギーは ^{238}U 核種による α 線を模擬し 4 MeV とした。

カラーCL 画像撮影には、光学顕微鏡に電子銃発生装置を組み込んだ冷陰極型の Nuclide 社製ルミノスコープ ELM-3R を使用した。加速電圧 15 kV、電流値 0.5 mA の電子線を側方から照射しカラーCL 画像を撮影した。CL スペクトル測定には、走査型電子顕微鏡カソードルミネセンス装置 (SEM-CL) を用いた。これは、走査型電子顕微鏡 (日本電子社製 JSM-5410) に回折格子分光器 (Oxford Instruments 社製 MonoCL2) を組み込んだシステムからなる。300 から 800 nm の波長範囲において得られた CL スペクトルデータは標準光源を用いて感度補正した。スペクトル測定条件は、各試料とも加速電圧 15 kV、照射電流 2.0 nA とした。なお、装置の構成・特性・操作法などの詳細については、池永ほか (2000) が、また感度補正については奥村 (2002) が報告している。高分解能の CL 像観察には、SEM-CL に組み込まれている MiniCL 画像撮影装置 (Gatan) を用いた。同装置には、浜松フォトリクス社製のマルチアルカリタイプ R1463 型光電子増倍管が使用されている。CL スペクトルデータを基に、バンドパスフィルターにより単色化した CL 像も併せて観察した。高分解能 CL 像観察は加速電圧 15 kV、照射電流 2.0 nA の条件で行った。MiniCL 画像システムの性能や操作方法については鹿山ほか (2005) に詳細な報告がある。Raman 分光分析には Ar レーザー (波長 514.5 nm) を励起光とした NRS-2100 (JASCO) を用いた。

【 結果と考察 】

カラーCL 画像撮影の結果、 He^+ イオン未照射のアルバイトにおいて白紫色の発光が認められる。照射線量の増加に伴い、CL 発光色は白紫色から黄色を経て赤色と変化する。CL スペクトルにおいて、 He^+ イオンを照射していないアルバイト (Ab00) は 300、380、560 および 740 nm 付近にスペクトルピークを有する (図 1 a)。300 nm のピークは Ce^{3+} 不純物中心、380 nm は Eu^{2+} 不純物中心、 Ti^{4+} 不純物中心および Al-O^- -Al 欠陥中心に、560 nm は Mn^{2+} 不純物中心に、740 nm は Fe^{3+} 不純物中心に帰属される (Götze et al., 2000)。 He^+ イオン照射線量を異にする各試料 ($6.33 \times 10^{-4} \text{ C/cm}^2$: Ab10, $1.49 \times 10^{-4} \text{ C/cm}^2$: Ab08, $1.19 \times 10^{-4} \text{ C/cm}^2$: Ab06) と同様の発光は認められるものの、照射試料においてのみ 700 から 750 nm にかけてブロードなスペクトルピークが検出される (図 1 b, c, d)。照射線量の増加に伴い、このピークの強度は増加する。ラマン分光分析の結果、照射線量の高い試料ほど 505 cm^{-1} 付近に存在するピーク強度は低いことから、 He^+ イオン照射により長石のフレーム構造の一部の結合が破断されたと推察される。このことから、700 から 750 nm にかけて認められるスペクトルピークは α 粒子による放射線損傷により生成された構造欠陥に帰属される。同様のスペクトルピークは He^+ イオンを照射したオリゴクレーズにおいても認められる。一方、アンデシンやアノーサイトなどの Ca に富む長石においては検出されず、この構造欠陥は Na に富む長石においてのみ発光中心として働くと推察される。

高分解能 CL 像観察の結果、Ab10 において、照射表面から深さ方向に 14 μm 付近まで帯状の発光の強い領域が認められた (図 2)。発光領域の幅は ^{238}U の壊変により放出される α 線粒子の飛程と一致することから、この発光領域は CL ハロであることがわかる。一方、Ab06 は、照射表面から深さ方向約 14 μm まで帯状の微弱な発光領域が認められた。Ab10 および Ab06 に対して 600 から 700 nm の波長範囲のバンドパスフィルターにより単色化した高分解能 CL 画像を撮影した。その結果、両試料とも照射表面から深さ方向に約 14 μm の幅をもつ発光強度の高い

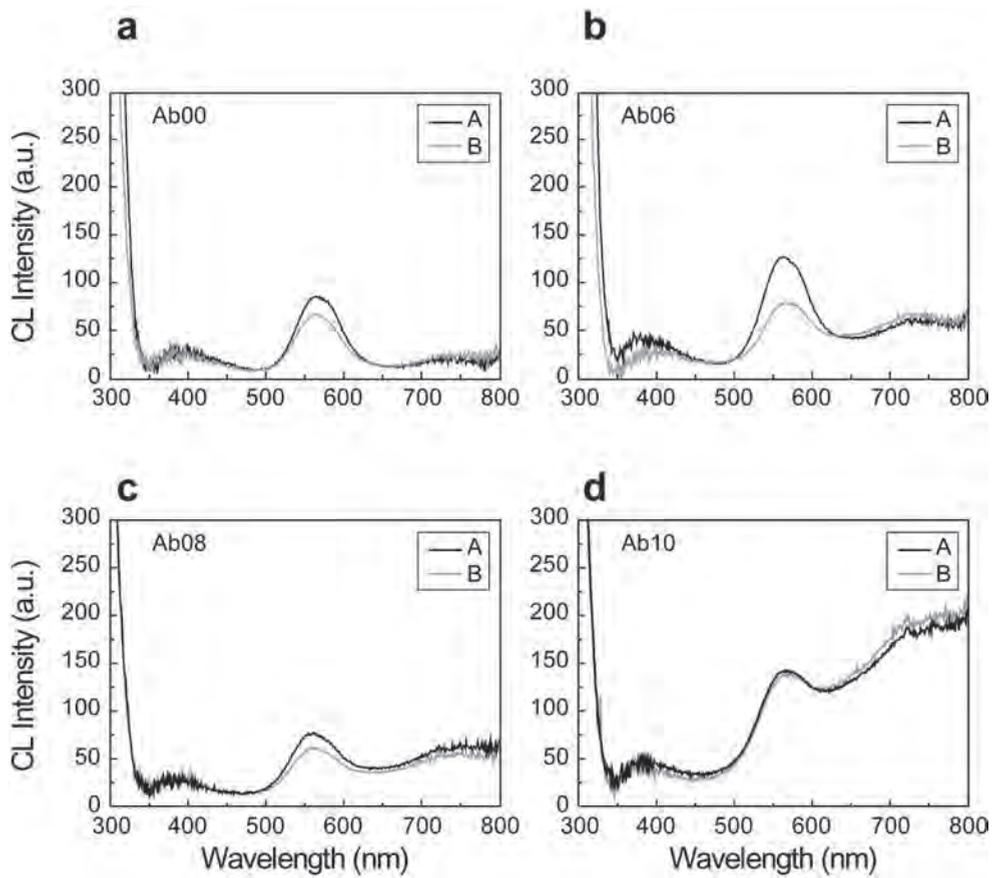


図1 CL スペクトル (a) Ab00, (b) Ab06, (c) Ab08, (d) Ab10

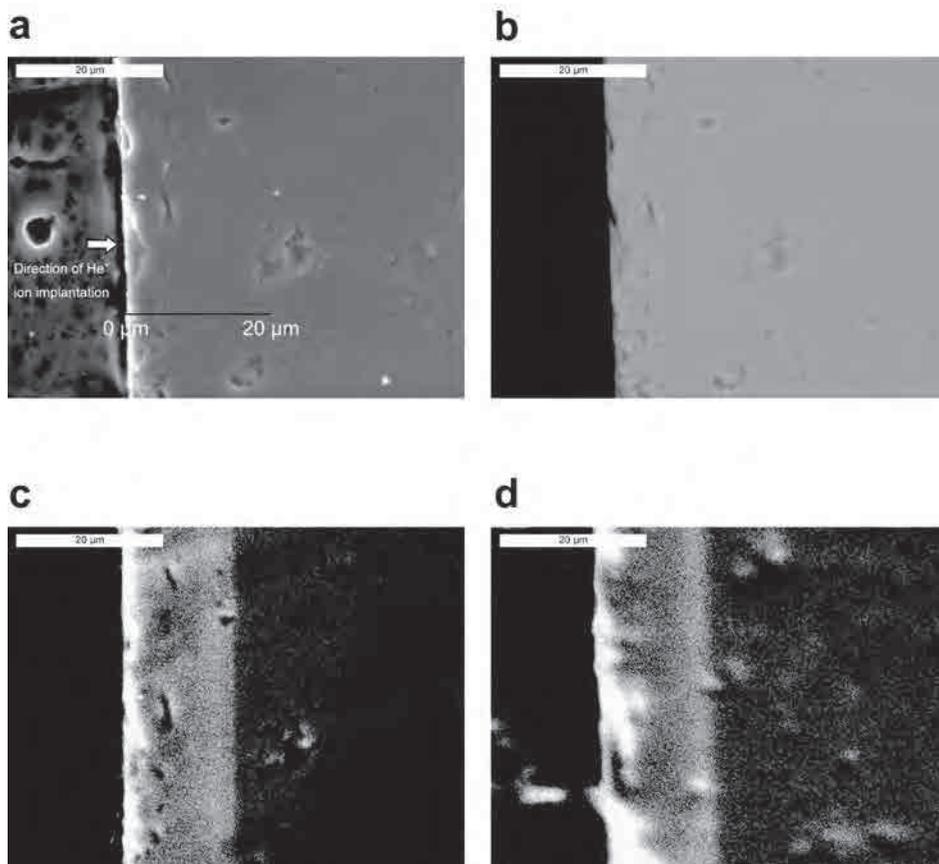


図2 Ab10 の照射断面試料 (a) 二次電子像、(b) 後方散乱電子像、(c)高分解能 CL 像、(d) 単色化した高分解能 CL 像

CL ハロが認められた。一方、UV、青色および黄色の発光領域において単色化した CL 像においては、両試料とも微弱な発光領域を有する。このことから、 He^+ イオン照射によりフレーム構造の一部が破断し、赤色発光に起因する構造欠陥が生成され、その結果、照射表面近傍に CL ハロが生じたと示唆される。一方、 Ce^{3+} 、 Eu^{2+} 、 Ti^{4+} 、 Al-O^- - Al 欠陥、 Mn^{2+} ならびに Fe^{3+} などは He^+ イオン照射により発光中心として働かなくなったと推察される。

Ab10 および Ab06 に対して、パングロマティックモードでの CL ライン分析した結果、照射表面から深さ方向に向かうにつれ発光強度は指数関数的に増加する。CL 強度は照射表面から約 $14\ \mu\text{m}$ の深さで最も高くなる。この結果は、600 から 700 nm の波長範囲のバンドパスフィルターにより単色化した高分解能 CL 画像観察結果と一致する。また、CL ライン分析における CL 強度の増加は、Bragg 曲線とよく対応し、荷電粒子の侵入に伴う比電離のエネルギー消失過程を反映している。

He^+ イオン照射により生成される構造欠陥の生成密度を定量的に評価すべく、照射したアルバイト試料の CL スペクトルに対して波形分離を試みた。エネルギー単位で表示した CL スペクトルにおいて、赤色領域のスペクトルピークは 1.861、1.644 および 1.557 eV 付近をピークエネルギーとするガウス曲線により近似される。このうち、1.644 および 1.557 eV の発光成分は、Kayama et al. (2010) により報告されている Balmaceda, Chile 産のアルカリ長石においても検出され、それぞれ T1 および T2 席に存在する Fe^{3+} 不純物中心に帰属される。一方、1.861 eV の発光成分は天然に産する長石鉱物の CL において一切報告されていない (Götze et al., 2000)。この発光成分の積分強度は He^+ イオンの照射線量と良い相関関係を有する。また、未照射試料においては認められず、照射したアルバイトやオリゴクレスなどの Na に富む長石試料においてのみ認められる。さらに、自然界に産するアルバイトの中でも、希元素鉱物を包有するものや、多色性ハロを有するものにおいても検出される。発光成分は He^+ イオンを照射した試料だけでなく、長時間にわたり高電流の電子線を照射した試料においても検出される。このことから、1.861 eV の発光成分は各種放射線により生成される構造欠陥に帰属される。

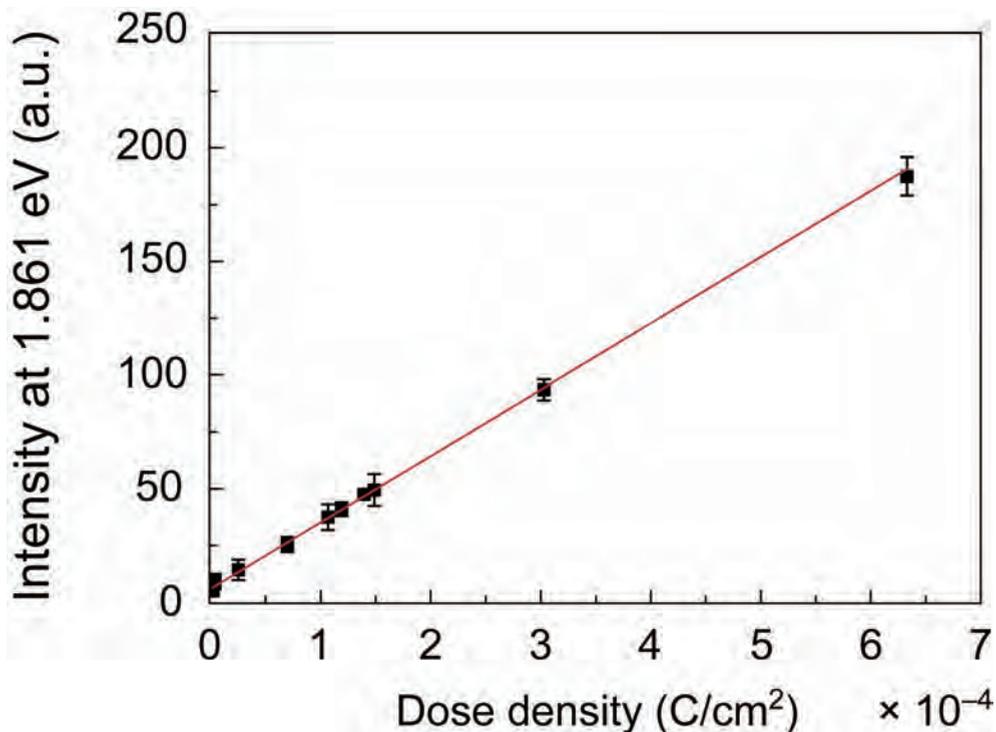


図3 He^+ イオン照射における 1.861 eV 発光成分の線量応答

アルバイトにおける 1.861 eV の積分強度と照射線量のプロットを図 3 に示す。照射線量の増加に伴い積分強度は増加する。プロットは線形近似することができ、各データセットの誤差は極めて少ない。石英においても同様に CL ハロの発光強度と照射線量に相関は認められるものの、その増加率は照射線量の増加に伴い低下し、約 1×10^{-4} C/cm² 以上の線量で発光強度は飽和する (Komuro et al., 2002; Okumura et al., 2008)。一方、アルバイトにおける 1.861 eV の積分強度は照射線量と直線関係にあることから、 6.33×10^{-4} C/cm² までの線量範囲において構造欠陥の生成効率は飽和しないことがわかる。よって、長石は石英と比べ、広い線量範囲にわたって地質線量計として応用することが可能である。また、石英の CL ハロにおける発光強度は照射線量だけでなく、不純物の含有量、構造欠陥密度、石英の生成条件ならびに He⁺イオンの照射条件にも依存する。一方、アルバイトの場合、産状を異にするアルバイト (新潟県糸魚川産) においても同様の感度直線を得ることができ、1.861 eV の積分強度は不純物の含有量、構造欠陥密度、オーダーリング、化学組成に依存しない。したがって、長石の CL を用いることにより、従来の方法より精度の高い、線量範囲の広い地質線量計への応用が期待される。

【 地質線量計への課題と今後の展開 】

1.861 eV の発光成分における積分強度から、照射線量に対する感度直線を得ることができる。これを基に、CL による地質線量計・年代測定法への応用をするためには、同発光成分に帰属する構造欠陥を特定する必要がある。1.861 eV の発光成分はアルバイトおよびオリゴクレースなどの Na に富む長石においてのみ検出されることから、それに関係する構造欠陥の生成に Na 原子が密接に関係することが分かる。Petrov et al. (1989) によると、電子スピン共鳴 (Electron Spin Resonance : ESR) 分析から X 線を照射したアルバイトにおいて種々の酸素欠損中心が検出される。そのうち、O¹⁻²⁷Al×²³Na 中心は二つの Na 原子に隣接し、T1 (o) 席の Si 四面体および T1 (m) 席の Al 四面体を結合する A1 席の酸素が欠損することにより生成される構造欠陥である。種々の酸素欠損中心の中で唯一、O¹⁻²⁷Al×²³Na 中心のみが Na 原子を必要とすることから、1.861 eV の発光成分に関係する可能性が高い。この酸素欠陥中心は ESR 分析により、その特性について詳細に解明されており、493 K のアニーリング実験で解消する。アニーリング後の X 線照射により信号が再度回復することも分かっている。長石の CL を地質線量計・年代測定へ応用するにあたり、閉鎖温度を検討する必要がある。そのため、今後の課題として He⁺イオンを照射した Na に富む長石試料に対して 493 K 前後のアニーリング実験を試み、処理後の試料に対する CL スペクトル測定ならびに ESR 分析から、同発光成分に関係する構造欠陥の消失温度を見積もる。実際の地質線量計・年代測定法への応用の際には、得られた消失温度を閉鎖温度とする。

1.861 eV の発光成分は He⁺イオンを照射した試料だけではなく、長時間にわたり高電流の電子線を照射したものにおいても認められる。α線を模擬した He⁺イオン照射と比べ極めてエネルギーの低い電子線照射によってもアルバイトにおいて同発光成分が認められることから、β線やγ線、X線などの各種放射線によっても関係する構造欠陥は生成すると考えられる。α線の飛程は 10 から数 10 μm であり、地質線量計・年代測定法への応用の際には極めて微小な領域の CL 測定を要求される。そのため、測定試料の前処理方法の確立、また測定条件、特に電流密度により発光強度が変化する可能性があることから、その補正をする定量的に評価する。そのため、実際に地質線量計および年代測定法への応用は可能ではあるものの、誤差が生じる要因を検討する必要がある。その際、β線やγ線の線量計測を対象とするのであれば、試料処理ならびに測定条件に関する問題は解決できる。そのため、今後の課題としてα線だけでなく、β線やγ線に対応する電子線や X 線を Na に富む長石試料に照射し、CL 測定から各種放射線が長石の CL に及ぼす影響を解明する。さらに、得られた CL スペクトルデータを波形分離し、1.861 eV の発光成分における積分強度を定量的に評価することでβ線やγ線の照射線量を計測することができる。得られたβ線およびγ線の効果とα線のものとを比べることにより、放射線ごとの構造欠陥の生成効率を推定することができる。これを基に、希元素鉱物を包有する長

石試料に対して CL 測定を試み、各種放射線の線量を推定することで長石の CL による地質線量計への利用を図る。また、希元素鉱物を放射化分析することにより、各種放射線の年間線量率を求め、それをもとに年代測定への応用を試みる。

長石は地核を構成する主要な造岩鉱物(60%を占める)であることから、長石の CL による地質線量計・年代測定が可能になれば、地球科学ならびに放射線物理学における様々な応用が期待される。例えば、核燃料の利用の際に生成放射性廃棄物の処理として現在、地層処分が提案されているものの、廃棄物の漏洩を評価する手段が確立されていない。しかし、長石の CL による地質線量計測から廃棄場周辺の岩体における放射性漏れを評価することが可能である。また、長石の CL を年代測定法として確立することにより、今まで困難であった堆積年代を決定することができる。堆積岩中に産する微小長石結晶の CL 情報から、長石が希元素鉱物を包有もしくは接してからの年代を決定することができる。このように、長石の CL による地質線量計・年代測定の確立は広い分野における様々な応用が期待される。

【 引用文献 】

- Finch, A. and Klein, J. (1999) The causes and petrological significance of cathodoluminescence emission from alkali feldspar, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 135, 234-243.
- G?tze, J., Krbetschek, M. R., Habermann, D. and Wold, D. (2000) High-resolution cathodoluminescence of feldspar minerals. In Pagel, M., Barbin, V., Blanc, P., and Ohnenstetter, D., Eds., *Cathodoluminescence*, Geosciences, Springer Verlag, Berlin, 245-270.
- 池永勝・西戸裕嗣・蜷川清隆 (2000) カソードルミネッセンス走査電顕微鏡(CL-SEM)の性能および分析条件、岡山理大自然科学研究所報告、26, 61-75.
- 鹿山雅裕奥村輔・西戸裕嗣・蜷川清隆 (2005) MiniCL カソードルミネッセンス画像システムの鉱物科学への応用、岡山理大自然科学研究所報告、31, 43-57.
- Kayama, M., Nakano, S. and Nishido, H. (2010) Characteristics of emission centers in alkali feldspar: A new approach by using cathodoluminescence spectral deconvolution, *American Mineralogist*, 95, 1783-1795.
- Komuro, K., Horikawa, Y. and Toyoda, S. (2002) Development of radiation-damage halos in low-quartz: cathodoluminescence measurement after He⁺ ion implantation, *Mineralogy and Petrology*, 76, 261-266.
- Okumura, T., Nishido, H., Toyoda, S., Kaneko, T., Kosugi, S. and Sawada, Y (2008) Evaluation of radiation-damage halos in quartz by cathodoluminescence as a geochronological tool, *Quaternary Geochronology*, 3, 342-345.
- 奥村輔・西戸裕嗣・蜷川清隆 (2002) 試料温度制御による鉱物のカソードルミネッセンス測定、岡山理大自然科学研究所報告、28, 11-18.
- Petrov, I., Agel, A. and Hafner, S. S. (1989) Distinct defect centers at oxygen positions in albite, *American Mineralogist*, 74, 1130-1141.

【 成果の公表 】

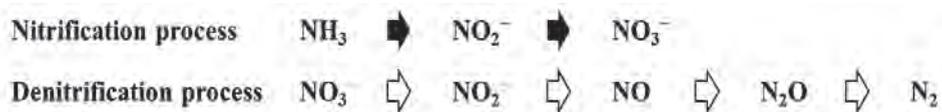
- Kayama, M., Nishido, H., Toyoda, S., Komuro, K., Finch, A., Lee, M. and Ninagawa, K.: Cathodoluminescence properties of radiation-induced alkali feldspars, *American Mineralogist*, (in review).
- Kayama, M., Nishido, H., Toyoda, S., Komuro, K., Finch, A., Lee, M. and Ninagawa, K. (2013) He⁺ ion implantation and electron irradiation effects on cathodoluminescence of plagioclase, *Physics and Chemistry of Minerals*, 17, 1-15.
- Toyoda, S., Sato, F., Nishido, H., Kayama, M. and Ishibashi, J. (2012) The alpha effectiveness of the dating ESR signal in barite, *Radiation Measurements*, 47, 900-902.

新規な水質浄化システムの構築に向けて

岡山理科大学 滝澤 昇、土肥 裕希

1. 諸言

脱窒（denitrification）は、微生物を利用した環境修復（バイオレメディエーション）において、水質浄化に利用されている。その働きは、嫌気条件下にて硝酸（ NO_3^- ）を亜硝酸（ NO_2^- ）、一酸化窒素（ NO ）、亜酸化窒素（ N_2O ）を経て、最終的に窒素（ N_2 ）に還元する作用であり、脱窒菌によって行われる⁽⁶⁾。



し尿から生ずるアンモニア（ NH_3 ）は、微生物の硝化作用（nitrification）により、 NO_2^- を経て生体に比較的無害な NO_3^- に変換された後、自然界に放流されていた⁽³⁾。しかし、 NO_3^- は様々な微生物が窒素源として利用できるため、この処理水が河川や湖沼に流れ込むと一部の微生物が爆発的に増殖し、それが引き金となって富栄養化等の深刻な環境問題を引き起こす⁽³⁾。そこで、硝化に脱窒を組み合わせることにより、 NO_3^- を介して NH_3 を N_2 にまで変換する浄化系が盛んに検討されてきた⁽²⁾。さらに近年では、この複合系（硝化細菌+脱窒菌）の浄化システムから、Anammox を用いた浄化系が主流になりつつある。Anammox とは、Anaerobic ammonia oxidation の略であり、嫌気条件下にて NH_3 と NO_2^- から N_2 を生じる反応を行う菌叢である⁽⁵⁾。従来、 NH_3 の酸化すなわち硝化には酸素が必須であり、好氣的条件が要求されたが、Anammox は嫌気条件下で NH_3 の酸化と NO_2^- の還元を行うため、同一の系内で行うことが可能である⁽⁴⁾。

当研究室では、2段階の複合系のさらなる効率化を狙い、硝化によって生じた NO_2^- を NO_3^- を経由せずに直接脱窒によって N_2 へ変換する技術の開発を目指した。*Achromobacter* sp. YD35 株は、その過程で単離された高度 NO_2^- 耐性脱窒菌である⁽¹⁾。 NO_2^- は脱窒の基質や窒素源として重要な物質であるが、強い細胞毒性を示す。本研究では、脱窒を「 NO_2^- の解毒」ととらえて、YD35 株の脱窒と（嫌気条件下での） NO_2^- 耐性に関する知見の獲得を目指した。Anammox は NH_3 の酸化に NO_2^- を用いることから、 NO_2^- の供給量の調節が必要とされる。したがって、細菌の NO_2^- 耐性に関する知見は、複合系のみならず Anammox を利用する新規な水質浄化系においても重要な知見となることが期待される。

2. 結果

2-1. YD35 株の脱窒能

YD35 株を NO_3^- あるいは NO_2^- を含む培地で嫌気培養すると、菌体の生育 (OD 600 nm の増加) に伴って NO_3^- 、 NO_2^- の濃度が低下した。培養開始から 36 時間後には、 NO_3^- 、 NO_2^- は検出されず、かわりに等モルの窒素 (N_2) 態-N が検出された。これは、YD35 株が NO_3^- および NO_2^- を全て N_2 に還元したことを示す (Fig. 1A, B)。

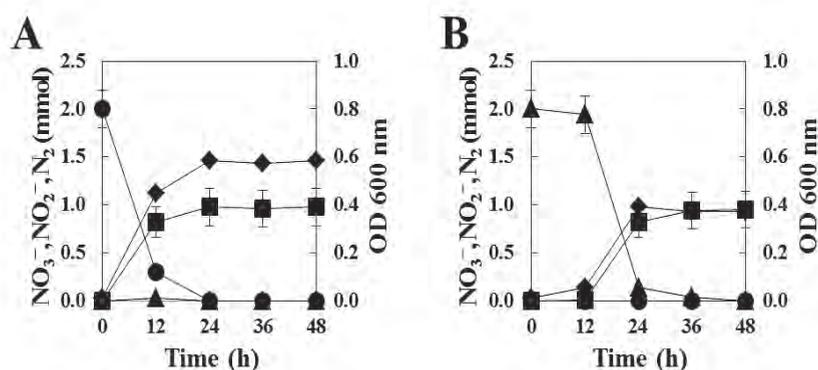


FIG. 1. Metabolism of nitrogen by *Achromobacter* sp. strain YD35 under anaerobic conditions. Denitrification by strain YD35 cultured in 200 mL of DM containing 10 mM NO_3^- (A) and NO_2^- (B). ●, NO_3^- ; ▲, NO_2^- ; ■, N_2 ; ◆, optical density (OD 600 nm). Less than 0.1 mmol of N_2O was detected in cultures. Results are typical of at least three experiments.

2-2. YD35 株の亜硝酸塩耐性

NO_2^- を脱窒の基質に用いた場合、 NO_2^- 濃度が高くなるにしたがって、多くの脱窒菌の生育が阻害された (data not shown)。しかし、YD35 株は高濃度の NO_2^- (40 mM) 存在下でも、10 mM NO_2^- 添加時と同様の生育速度を示した (Figs.1B and 2A)。また、YD35 株の NO_2^- 耐性度は、嫌気条件下に比べて好気条件下でより顕著であった (Fig. 2A, B)。これらは、YD35 株の NO_2^- 耐性が酸素の有無にかかわらず、優れていることを示す。

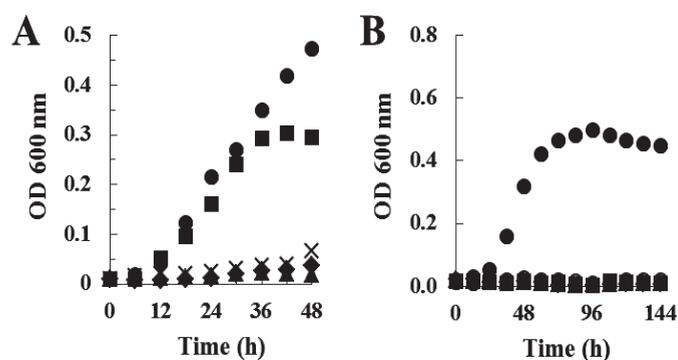


FIG. 2. Growth of various strains in the presence of NO_2^- . Strains were cultured in DM containing 40 mM NO_2^- under anaerobic condition (A) or DM containing 100 mM NO_2^- under aerobic condition (B). ●, *Achromobacter* sp. YD35; ▲, *Escherichia coli* JM109 (no denitrifier); ■, *Paracoccus denitrificans* NBRC 13301; ◆, *Pseudomonas aeruginosa* PAO1; ×, *Ralstonia eutropha* NBRC 102504.

2-3. 脱窒遺伝子の解析

脱窒は4段階の還元反応からなり、それらの反応は硝酸塩還元酵素 (Nar)、亜硝酸塩還元酵素 (Nir)、一酸化窒素還元酵素 (Nor)、そして亜酸化窒素還元酵素 (Nos) によってそれぞれ触媒される。YD35株のこれらの各酵素遺伝子構造の解析結果をFig. 3に示す。YD35株の *nar* 遺伝子および *nos* 遺伝子群は、近縁の脱窒菌とほぼ同様の構造であった。一方で、YD35株はゲノム内に Nir をコードした遺伝子を2つ、すなわち *nirK* 遺伝子と *nirS* 遺伝子を共有していたことが明らかになった。また、Nor をコードした遺伝子は、*nir* および *nor* 遺伝子の発現を誘導する転写因子をコードした遺伝子を挟んで、*nirK* 遺伝子の上流に配置されていた。

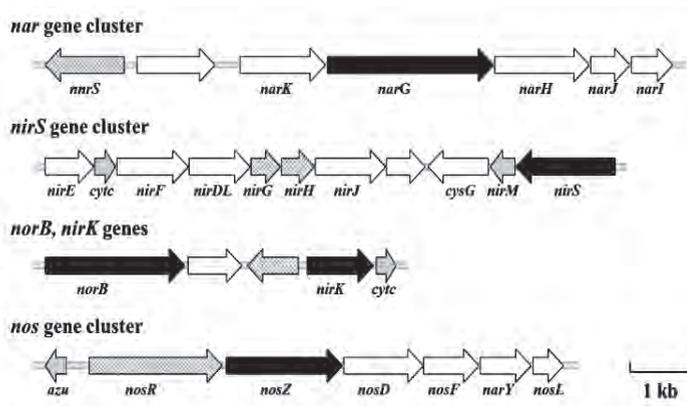
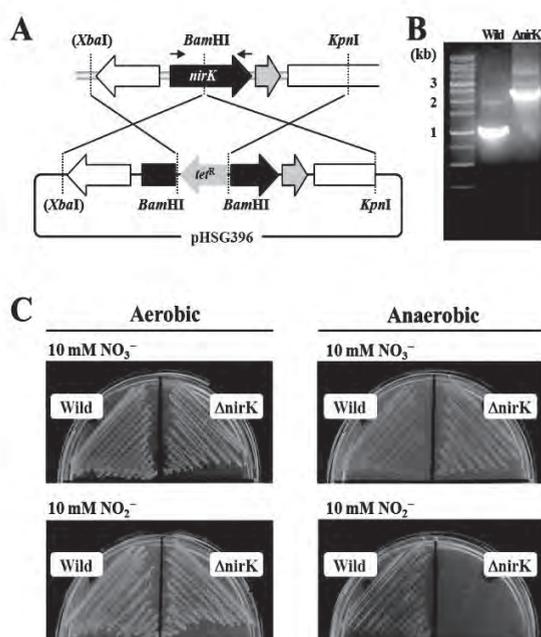


FIG. 3. Organization of denitrifying gene clusters of YD35. Arrows indicate predicted genes. Black arrows, structural genes encoding Nar, Nir, Nor, and Nos; gray arrows, structural genes encoding transcription regulator; lozenge arrows, structural genes encoding electron donor for denitrifying enzymes.

2-4. *nirK* 遺伝子破壊株の作製と解析



上記のように、YD35株は2種類の NO_2^- 還元酵素、NirK と NirS を有していた。相同組み換えを利用して作製された *nirK* 遺伝子破壊株 (ΔnirK 株) は、 NO_3^- を添加した培地で嫌氣的に生育したが、 NO_2^- を添加した培地では嫌氣的に生育できなかった (Fig. 4)。この結果から、YD35株の脱窒プロセスでは、 NO_2^- は NirK のみで還元されていることが示された。

FIG. 4. (A) Construction of suicide vector for *nirK* and strategy for truncating *nirK* gene. (B) Confirmation of *nirK* gene disruptant by using PCR. Primer design sites were indicated by small arrows in panel A. (C) Growth of YD35 wild and ΔnirK . Strains were cultured in DM containing either 10 mM NO_3^- or 10 mM NO_2^- under aerobic condition (left) and anaerobic condition (right).

2-5. Nir の電子供与体の強化が NO₂⁻の還元速度に与える影響

Fig. 1 で示されたように、YD35 株の脱窒による生育の開始は、NO₂⁻を用いた場合より、NO₃⁻を用いたほうが明らかに早かった。この傾向は、その他の脱窒菌にも共通して見られた (data not shown)。NO₂⁻は強い酸化力を有し、これは NO₂⁻が示す細胞毒性の主な原因のひとつである。我々は、高濃度の NO₂⁻が非酵素的に NirS の電子供与体 (NirM; Cyt c) を酸化および破壊することを見出している。よって、同様のことが NirK の補酵素 (電子供与体) に起こっている可能性を検証した。

YD35 株の NirK の電子供与体として、*nirK* 遺伝子の下流に位置するシトクロム *c* (Cyt *c*) と、*nos* 遺伝子群の上流に位置するアズリン (Azu) が挙げられた。YD35 株で使用可能な広宿主域発現ベクターにこれらの遺伝子を挿入し、YD35 株に導入した。NirK の電子供与体が強化されたこれらの組換え YD35 株は、NO₂⁻を基質とした脱窒による生育の開始速度に変化は見られなかった。したがって、脱窒の基質に NO₂⁻を用いた際の生育開始の遅延の原因は、NO₂⁻による電子供与体の強制酸化 (破壊) 以外に起因することが示唆された。

3. 考察

NO₂⁻および NO₃⁻を脱窒の基質とした嫌気培養において、YD35 株はいずれの基質も完全に N₂ へ還元した。脱窒の多くは、NO₃⁻を初発物質として利用する。これは、硝化によって NH₃ が NO₃⁻に変換 (酸化)、蓄積されることに加え、NO₂⁻が示す細胞毒性などに起因する。NO₃⁻から NO₂⁻へ還元する異化的な NO₃⁻還元酵素の所有および反応は、大腸菌のような通性嫌気性菌 (脱窒菌ではない) でも観察される。一方で、NO₂⁻以降の異化的な還元反応は、脱窒菌のみが行うことが出来る。ただし、いくつかの脱窒菌は脱窒反応を N₂O で止める。YD35 株を嫌気培養した気相中から N₂O は全く検出されなかったことから、YD35 株は N₂ まで還元反応を完遂する脱窒菌である。

NO₂⁻を基質とした脱窒による生育度は、系内の NO₂⁻濃度に顕著に影響された。10 mM NO₂⁻存在下では、検証した全ての脱窒菌が生育可能であったのに対し、NO₂⁻濃度が 40 mM を超えた場合、多くの脱窒菌の生育は阻害された。YD35 株は、40 mM NO₂⁻存在下でも脱窒で生育することが可能であり、その生育速度は低濃度 (10 mM) NO₂⁻存在下と同程度であった。興味深いことに、YD35 株の脱窒による生育は 60 mM 以上の NO₂⁻で完全に阻害されたのに対し (data not shown)、好気条件下では 100 mM NO₂⁻存在下でも生育が認められた。これらから、YD35 株の「好気条件下の NO₂⁻耐性機構」と「嫌気条件下での NO₂⁻耐性機構」は大きく異なると考えられる。

YD35 株は、異化型 NO₂⁻還元酵素 (Nir) をコードした遺伝子を 2 種類すなわち *nirS* と *nirK* を有していた。NirS であるシトクロム *cd*₁ は活性中心にヘム鉄を有し、NirK はポリペプチド内

に配位する銅 (Cu^{2+}) が活性中心である。YD35 株の *nirS* 遺伝子群は、NirS のヘム d_1 を構築する各遺伝子など、必要とされる遺伝子を全て含んでいたが、 ΔnirK 株が NO_2^- を基質として脱窒できなかったことから、Nir としての機能は認められなかった。しかしながら、これまでに NirS と NirK を共有している脱窒菌は報告されておらず、この特徴は新たな発見であった。

nirS 遺伝子はヘムの修飾等に必要の遺伝子と共に遺伝子群を形成する。その中には、NirS 専用の補酵素 (電子供与体) シトクロム *c* をコードした *nirM* 遺伝子も含まれる。したがって、NirS (*nirS* 遺伝子群) は NO_2^- から NO への還元、すなわち脱窒のために形成および獲得されたと考えられている。一方で、NirK の構造は NirS と比較して簡素であり、NirK にかかわる遺伝子は *nirK* 遺伝子のみである。その電子供与体もシトクロム *c*、アズリン、シュードアズリンなど様々であり、これらをコードした遺伝子は必ずしも *nirK* 遺伝子付近に存在するわけではない。NirK はもともと生体に有毒な金属 (Cu^{2+}) をトラップ (無毒化) するタンパク質であったものが、脱窒環境下へ適応する過程で、 NO_2^- を還元する機能を得たといわれている。脱窒反応は Nir のみで遂行することは不可能であるため、全ての脱窒菌は元来 NirS を有していたと考えられる。YD35 株の NirK のアミノ酸配列は近縁の属種の NirK と高い相同性を示したが、NirS のアミノ酸配列と高い相同性を示すタンパク質は存在しなかった (Table 1)。つまり、YD35 株の「① NirS と NirK を共有」、「② NirS が近縁の属種の NirS と相同性が低い」、「③ NirS は Nir として機能しない」、「④ NirK が Nir として機能する」という結果に加え、近縁種のほとんどが NirK のみを有することは、「NirK を獲得した脱窒菌は、多数の遺伝子からなる NirS を捨て、NirK を選択的に残した」という説を支持し、YD35 株がゲノム DNA 上から NirS が欠落する以前 (途中) の脱窒菌であることを示唆している。

TABLE 1. Amino acid sequence identities (%) of NirS and NirK of YD35.

Rank	NirS			NirK		
	Gene product	Strain	Identity	Gene product	Strain	Identity
1	cytochrome <i>c</i>	<i>Alcaligenes faecalis</i>	80	nitrite reductase (Cu)	<i>Achromobacter arsenitoxidans</i>	97
2	cytochrome d_1	<i>Cupriavidus</i> sp. HMR-1	76	nitrite reductase (Cu)	<i>Achromobacter xylosoxidans</i> A8	94
3	cytochrome d_1	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> PA7	60	nitrite reductase (Cu)	<i>Alcaligenes</i> sp. STC1	93
4	cytochrome d_1	<i>Pseudomonas denitrificans</i> ATCC 13867	58	nitrite reductase (Cu)	<i>Achromobacter piechaudii</i>	89
5	cytochrome <i>c</i>	<i>Methylobacter tundripaludum</i>	54	nitrite reductase (Cu)	<i>Pusillimonas</i> sp. T7-7	82
6	nitrite reductase	<i>Desulfotignum phosphitoxidans</i>	51	nitrite reductase (Cu)	<i>Pseudomonas mendocina</i> NK-01	80
7	cytochrome d_1	<i>Paracoccus denitrificans</i> PD1222	32	nitrite reductase (Cu)	<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	78
8	cytochrome CBB3	<i>Pseudomonas</i> sp. GM79	30	nitrite reductase (Cu)	<i>Pseudomonas stutzeri</i> DSM 10701	77
9	cytochrome <i>c</i>	<i>Hahella chejuensis</i> KCTC 2396	29	nitrite reductase (Cu)	<i>Pseudomonas protegens</i> Pf-5	76
10	nitrite reductase	<i>Roseobacter denitrificans</i> OCh 114	28	nitrite reductase (Cu)	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> CGA009	75

4. まとめ

YD35 株の生育は、酸素の有無にかかわらず NO_2^- に対して耐性を示したが、その耐性度は好気条件と嫌気条件で大きく異なっていた。また、YD35 株は2種類の *nir* 遺伝子 (*nirS* および *nirK*) を有するという新奇な特徴を持つ脱窒菌であったが、NirS は Nir として機能せず、この特徴が脱窒効率や嫌気条件下での NO_2^- 耐性に寄与しなかった一方で、脱窒遺伝子が進化の過程で取捨選択されていることを強く示唆した。

5. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大なるご支援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。

6. 参考文献

1. **Doi Y, Takaya N, Takizawa N.** 2009. Novel denitrifying bacterium *Ochrobactrum anthropi* YD50.2 tolerates high levels of reactive nitrogen oxides. *Appl. Environ. Microbiol.* **75**:5186-5194.
2. **Kuai L, Verstraete W.** 1998. Ammonium removal by the oxygen-limited autotrophic nitrification-denitrification system. *Appl. Environ. Microbiol.* **64**:4500-4506.
3. **Painter HA.** 1970. A review of literature on inorganic nitrogen metabolism in microorganisms. *Water Res.* **4**:393-450.
4. **Sliemers AO, Derwort N, Gomez JL, Strous M, Kuenen JG, Jetten MS.** 2002. Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite in one single reactor. *Water Res.* **36**:2475-2482.
5. **Strous M, Kuenen JG, Jetten MS.** 1999. Key physiology of anaerobic ammonium oxidation. *Appl. Environ. Microbiol.* **65**:3248-3250.
6. **Zumft WG.** 1997. Cell biology and molecular basis of denitrification. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* **61**:533-616.

流体関連振動を利用した小規模水路用発電機構に関する実験的研究

一円柱の渦励振と弾性支持はりとの共振を維持するための振動周波数制御機構の試作一

津山工業高等専門学校 細谷 和範

1. 緒 言

水資源が豊富な我が国には全国各地に農業用などの小規模水路が見られ、近年このような水路に設置可能な発電量が 10kW 未満のマイクロ水力発電が注目されている。しかしながら水路の流量は季節によって大きく異なるほか、ゴミ等が流下するため、発電機構には幅広い流速範囲への対応とメンテナンス性を考慮する必要がある。農業用水路など、陸域に存在する水路の流速の時間的変化は気象や人為的な操作により生じるため、分単位でみると定常な流れと見なすことができる。一方で、沿岸付近の波の影響を受ける水路では数秒単位で流れが摂動（脈動）するため、流れに応じた機構の設計や調整が難しい。このため沿岸に隣接する水路の流れによるエネルギー回収はあまりなされていない。コストの制限を伴うマイクロ発電においてメンテナンスが容易でシンプルな発電機構として、弾性支持された円柱等の柱状物体の渦励振やギャロッピングなどの流体関連振動 (FIV: Flow-Induced Vibration) を用いたものがある。最近では円柱の渦放出周波数と弾性支持体の共振を利用した VIVACE⁽¹⁾ など、実用に向けた研究がなされている。また幅広い流速範囲で大きな振動振幅を得るために高橋ら⁽²⁾ は十時交差円柱から発する縦渦に励起される振動を利用している。この他、比江島ら⁽³⁾ は固定円柱後方に倒立振り子円柱を組み合わせた発電装置を提案している。しかしながら単一円柱のみによる渦励振発電装置を幅広い流速範囲で利用するためには、円柱の渦放出周波数の変化に応じてバネなどの支持体の固有振動数の調整が必要となる。

本研究では、はじめに単一円柱を支持する板バネの長さを任意に変化させる可変剛性装置を試作し、30cm/s～60cm/s の流速範囲で共振を維持する条件の把握を試みた。つづいて、周期数秒で流速が正弦波状に変化する脈動流中に振動円柱を設置し、振動特性の把握を行った。

2. 二枚の板バネで支持された単一円柱の振動と可変剛性装置

2・1 板バネで支持された単一円柱の振動特性

渦励振される円柱と弾性支持体が共振するとき、系の振動数が弾性支持体の固有振動数 F に固定されるロックイン現象が発生する。Fig.1 に示すように、ひずみゲージを貼付けた二枚のアルミ板（幅 25mm，長さ 280mm，厚さ 2mm）で支持した単一円柱（直径 $D=25\text{mm}$ のアルミ製円管）を幅 30cm×水深 20cm の断面を持つ回流水槽内に設置し、 $U=30\text{m/s}\sim 60\text{m/s}$ の定常流を与えて振動させたところ、FFT 解析による振動のパワースペクトルは、Fig.2 に示すように、 $U=54\text{cm/s}$ 以上の流速範囲で大きな振幅を伴うロックインの発生を示した。

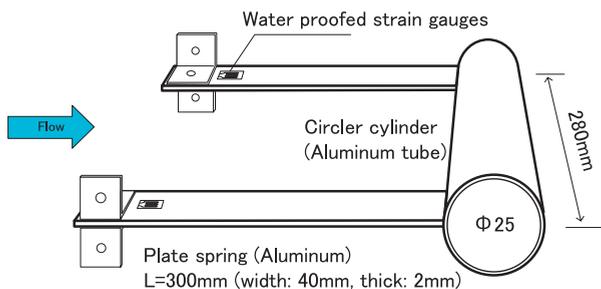


Fig.1 Elastically-supported circular cylinder

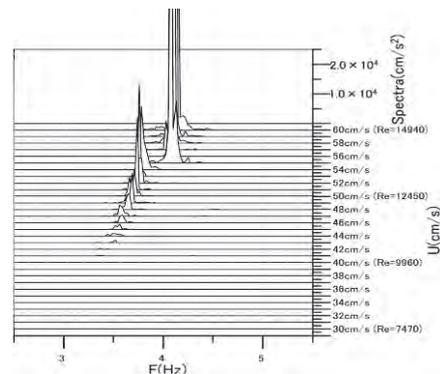


Fig.2 Power spectrum of the cylinder

2・2 ローラーにより板バネ長さを調整する可変剛性装置の開発

Fig.1 の共振円柱を幅広い流速範囲に適用するため、板バネをローラーで挟むことによって支点間長さを調整するシンプルな可変剛性機構を試作し、共振状態の維持を試みた。装置のメカニズムと試作した筐体の概観を Fig.3 と Fig.4 に示す。共振する条件の推定は次式の運動方程式に基づいて行う。

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + k(L)y = F_{fluid}(t) \quad (1)$$

左辺第1項は質量 m の円柱が鉛直運動する際の慣性力、第2項は流体中の板バネにかかる鉛直方向の流体抵抗力と発電機構を取り付けた際の構造減衰力 (c は減衰係数)、第3項はバネの復元力であり、バネ定数 k は板バネ長さ L に依存する。また右辺は励振力を示す。減衰係数 c が無視できるほど小さいと仮定すると、片持ちりの板バネの固有振動数 f (Hz) は解析的に解くことができ、以下ようになる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1.875}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (2)$$

ここで E は弾性係数、 I は断面二次モーメント ($I = bh^3/12$)、 b は板バネの幅、 h は板バネの厚さ、 A はバネの断面積、 ρ は密度である。実際には水中に設置された板バネに大きな減衰力がかかるため、周波数 f は上式と必ずしも一致しない。また円柱の渦放出周波数 F は St 数 ($=D/U \approx 0.2$) から求めることができるが、振動振幅が大きくなると主流よりも大きな鉛直方向の振動速度が加わり、発生渦の形態が変化することで渦放出周波数 F が変化するほか、発電機構が搭載されるとそれらは振動運動の粘性減衰として作用する。これらのことから上式はおおよその共振条件を推定することはできるが、最終的には水理実験や数値実験による確認が必要となる。

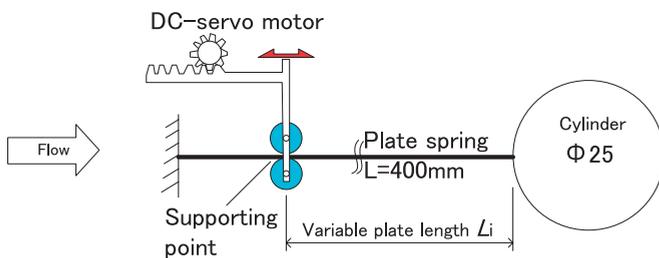


Fig.3 Variable stiffness control device

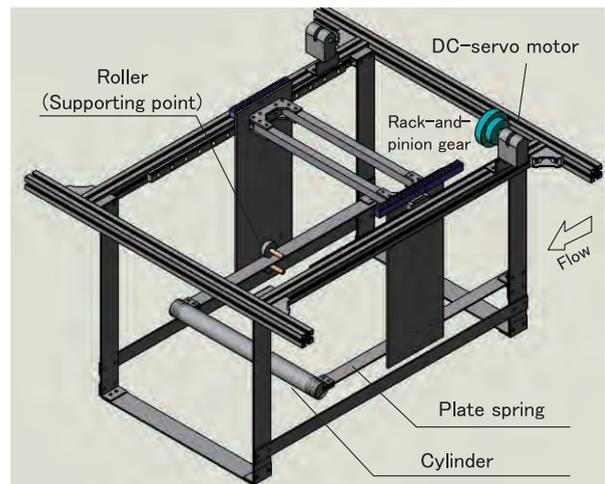


Fig.4 Experimental apparatus

3. 定常流中における板バネ長さと振幅の関係

二枚のアルミ板 (幅 20mm, 長さ 400mm, 厚さ 2mm) で支持された $\phi 25$ mm の円柱 (Fig.4) を回流水槽に設置し、流速 U と板バネ長さ L_i をそれぞれ $U=30\text{cm/s}$ ($Re=7470$) \sim 60cm/s ($Re=14940$), $L_i=230\text{mm} \sim 310\text{mm}$ に変化させたときの円柱の振動振幅の変化を 60fps で撮影された動画を用いて調べた。Fig.5 に例として $U=30\text{cm/s}$ と 60cm/s における変位の時系列を示す。 $U=30\text{cm/s}$ の場合、板バネ長さに比例して振幅が増大したのに対して $U=60\text{cm/s}$ の場合はいずれの条件とも 30mm の振幅を示した。また $U=60\text{cm/s}$ における振動周波数は板バネ長さ L_i が 255mm 以下のグループと 280mm 以上のグループとに分かれており、ロックイン現象の発生を示唆している。

各流速と板バネ長さに対する振幅及び周波数の分布を Fig.6 に、換算流速 $V_r (=U/D)$ を用いて振幅を整理した結果を Fig.7 にそれぞれ示す。Fig.6 より、 $U=40\text{cm/s}$ 以上の流速範囲では板バネ長さを調整することで約 35mm (1.4D) の振幅を維持できることがわかる。周波数の分布は流速に応じて周波数が増大する傾向にあるが、板バネ長さ $L_i = 250\text{mm}$ 以下の範囲において周波数が一定 (ロックイン現象) となっていると推測できる。約 1.4D の振幅は全て

共振の発生によるものと推測される。Fig.7を見ると各板バネ長とも $V_r=4.5$ 以上で振幅が大きくなっており、共振時の振動特性⁽⁴⁾と一致することから、Fig.6に見られる大きな振幅は共振による応答特性であると考えられる。

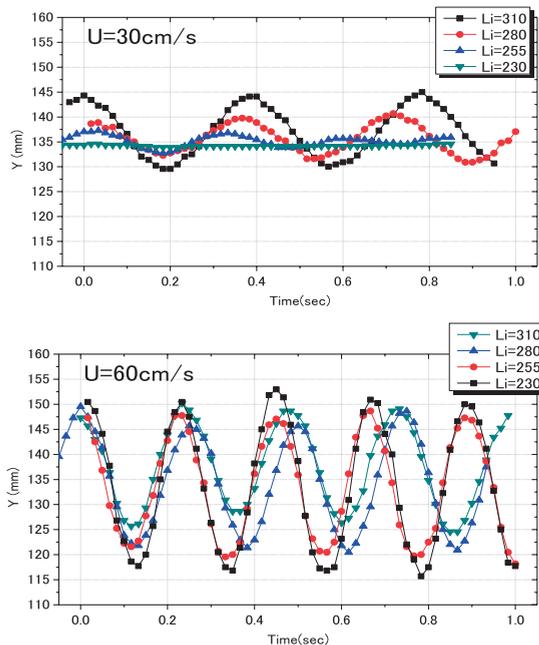


Fig.5 Time series of tip position of the cylinder

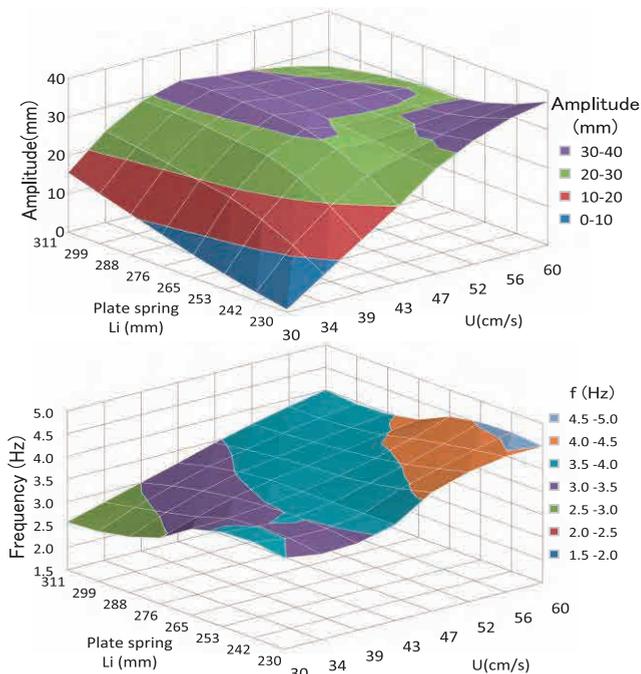


Fig.6 3-D surface plots of amplitude and frequency

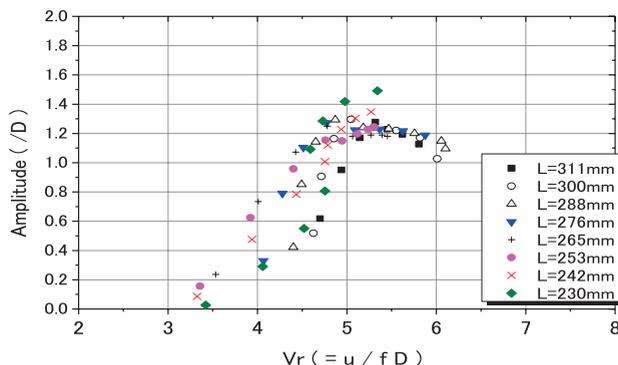


Fig.7 Response amplitude versus reduced velocity V_r

4. 脈動する流れ場での振動

農業用水路の流速変化は降雨などの天候や田畑への取水や放水のような人為的な流量調整のために変化するが、この変化は時間単位または日単位のスケールの緩やかな変化であるため、大雑把に定常流場と見なすことができる。従って農業用水路などの小規模水路に設置される弾性支持円柱の共振を維持するには Fig.6 に基づいて板バネ長さを調節すればよい。しかしながら、流れが短い時間スケールで変動する小規模水路も存在する。例えば沿岸付近のように、波の影響を受けて流速が数秒周期で脈動する流れ場内では、可変剛性装置を流速変動に合わせて制御することは困難である。このような場では平均流速等の代表流速に対して板バネ長さを制御することになるが、脈動流中における弾性支持円柱の挙動や St 数などの振動特性は定常流場内とは異なる⁽⁴⁾ため、定常流場で得られた流速と板バネ長さによる振動特性 (Fig.6) と大きく異なる可能性がある。

本章では、Fig.8 に示すように浅水域の波が遡上し、堤防を越流した水塊が静穏な港内に脈動を伴って流れる越流式海水交換工内の水路流れをモデルとし、流れ場内に設置された弾性支持円柱の挙動を調べた。越波が作り出す海水交換工内の流れについては多くの調査が行われており、水理模型実験において周期 2 秒の波を与えた、管

内流速が-15cm/s～35cm/s で正弦波状に変化する事例⁽⁵⁾や、実際の海水交換工の導水路内に電磁流速計を設置して管内流速を測定し、周期 8 秒で、0m/s～2m/s の正弦波状の流速変化が計測された事例⁽⁶⁾が報告されている。

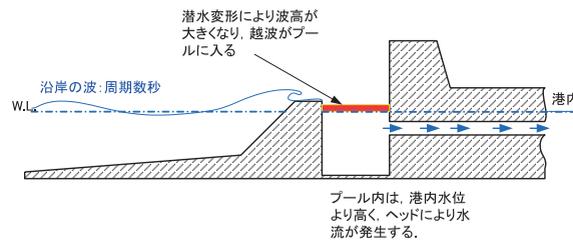


Fig.8 Inlet flow of the seawater exchange breakwaters

4・1 実験装置及び脈動条件

本研究では、幅 0.3m、水深 0.2m、長さ 0.7m の開水路状のテストセクションを有する小型回流水槽に PLC (Programmable Logic Controller) を追加して周期 2 秒から 6 秒の脈動流を発生させた。断面流速は中央部付近で一様であるが、流速変動に伴う水位勾配によって生じる重力流や跳水の発生に伴い、水面付近の断面流速は一様でない。このため、円柱は水面下 10cm の水深に設置した。脈動流の発生は回流水槽の回流水槽の駆動モーターの回転数を正弦波状に制御して発生する。定常流の場合は、駆動モーターの回転数と流速は比例するが、加速・減速に伴う脈動流の場合は水塊の慣性力により狙った通りの流速にならない。今回の実験では定常流用のモーター回転数と流速の関係式を用いて 20cm/s～60cm/s の脈動流を設定したが、実際に得られた流速範囲は Table 1 に示すようにやや異なる(脈動流を正確に設定できないことは問題であり、今後の課題としたい)。供試円柱と板バネは、2 章の Fig.1 に示される単一円柱(直径 $D=25\text{mm}$ のアルミ製円管)を用いた。板バネも同じものを使用し、ひずみゲージを貼付けた二枚のアルミ板(幅 25mm、長さ 280mm、厚さ 2mm)で円柱を支持している。流れと振動の測定にはプロペラ式流速計とひずみゲージを用い、それぞれのデータを 10ms 毎にサンプリングした。

Table 1 PLC settings of the pulsating flow vs. observed flow ranges and averaged velocity

PLC setting	$\lambda=2\text{sec}$	$\lambda=4\text{sec}$	$\lambda=6\text{sec}$
U=20cm/s - 60cm/s	40cm/s - 55cm/s	36cm/s - 56cm/s	30cm/s - 60cm/s
	U_{ave} : 約 48cm/s	U_{ave} : 約 46cm/s	U_{ave} : 約 45 cm/s
U=30cm/s - 60cm/s	45cm/s - 53cm/s	40cm/s - 58cm/s	38cm/s - 58cm/s
	U_{ave} : 約 49cm/s	U_{ave} : 約 49cm/s	U_{ave} : 約 48 cm/s
U=40cm/s - 60cm/s	50cm/s - 58cm/s	50cm/s - 60cm/s	45cm/s - 60cm/s
	U_{ave} : 約 54cm/s	U_{ave} : 約 55cm/s	U_{ave} : 約 53 cm/s
U=50cm/s - 60cm/s	55cm/s - 60cm/s	54cm/s - 60cm/s	53cm/s - 60cm/s
	U_{ave} : 約 58cm/s	U_{ave} : 約 57cm/s	U_{ave} : 約 57 cm/s

4・2 流れ及び振動の時系列と FFT 解析による周波数特性

Fig.9 に脈動周期 $\lambda=2$ 秒, 4 秒, 6 秒の流れを与えたケースにおける流速と円柱振動の時系列を示す。ここで、左図は回流水槽の流速帯を制御する PLC を定常流用の設定値を使って 30cm/s～60cm/s に設定したものであるが、実際はおよそ 40cm/s～60cm/s の流速範囲となっている。同様に、Fig.9 右図は 40cm/s～60cm/s の設定を与え、およそ 50cm/s～60cm/s の流速範囲が得られている。各図ともに加速する流速が 50cm/s 付近に達した時に円柱振動が大きくなり、最大で約 30mm の振幅が確認できる。流速と振動の変化を注意深く観察すると、各図とも減速時の流速が 50cm/s 以下になっても振動が 1 周期ほど継続する様子が見られた。

FFT 解析により抽出した脈動流中での振動円柱の卓越周波数の一例を Fig.10 に示す。約 30mm の振幅が得られた全てのケースにおいて卓越周波数は定常流場と同じ 4Hz 付近であった。定常流中では共振に伴って 4Hz 付近のロックイン周波数が卓越するが (Fig.2 参照)、脈動流のケースにより卓越する成分が複数のピークを持つものが (特に加減速の幅が大きいケースに) 見られた。脈動流の平均流速を用いて卓越周波数をプロットした結果を Fig.11 に示す。定常流では流速に比例して卓越周波数が大きくなり、ある流速で共振状態となって振動周波数が

弾性支持体の固有振動数に固定されるロックイン現象が発生するが、共振が発生したケースの脈動流の場合、平均流速に関わらず、卓越周波数は4.2Hz付近の共振周波数とほぼ一致していることがわかる。この結果は脈動流中における可変剛性機構の制御に重要な意味を持つといえる。

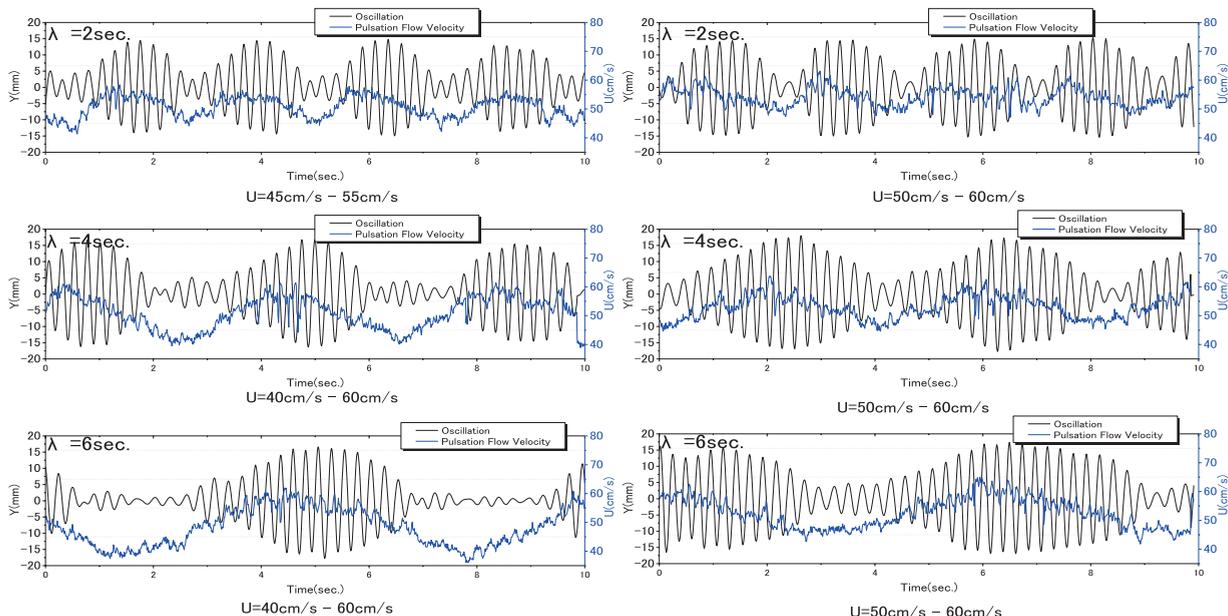


Fig.9 Time series of vertical displacement of the oscillating cylinder and pulsation flow velocity.

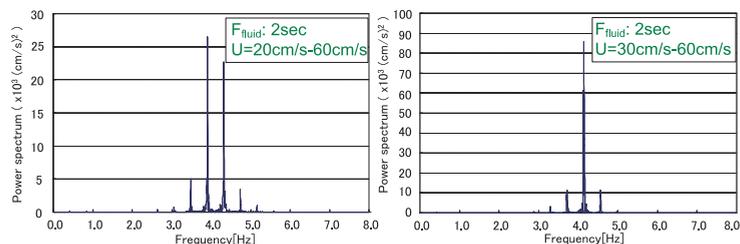


Fig.10 FFT analysis results

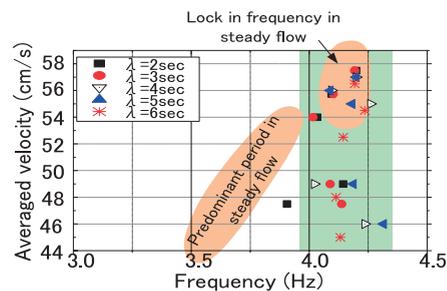
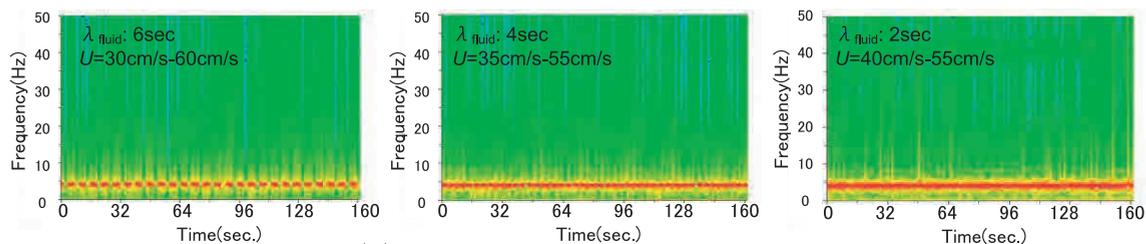


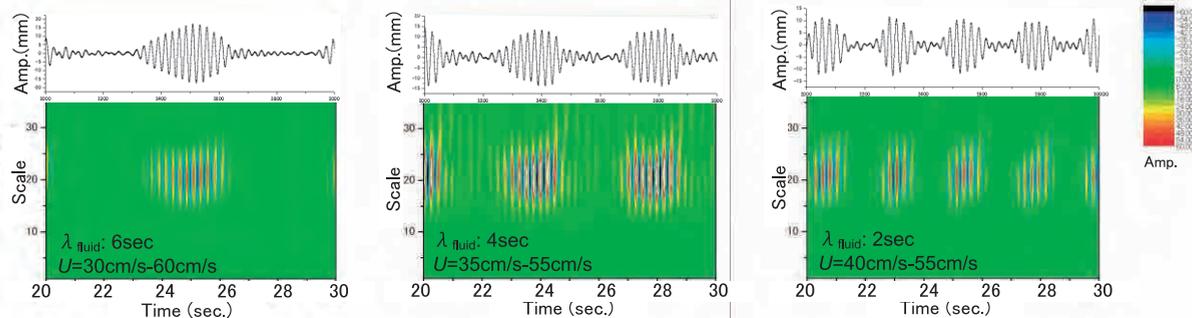
Fig.11 Predominant periods of FFT analysis

4・2 STFT 及び Wavelet 解析結果による振動特性

前節の FFT 解析の結果、振動の卓越周波数は平均脈動流の大きさに関わらず共振周波数にほぼ一致することが明らかとなった。さらに詳しく周波数特性を調べるため、本節でははじめに短時間フーリエ変換 (STFT: Short-Term Fourier Transform) を用いて周波数特性の時間変化を調べた。STFT 解析では切り出し時間窓とフーリエ変換の長さを別に設定することにより必要な周波数分解能を保ったまま時間分解能を確保する。Fig.12(a)に流速変化周期 2sec における条件で STFT 解析を行った結果を示す。色はパワースペクトルの大きさを示し、緑色から赤色にかけて値が大きくなる。赤色で示される卓越周波数の変化は経時的にほぼ一定で推移していることがわかる。しかしながらこの結果からは Fig.10 の FFT 解析結果に見られた複数のピークの発生が確認できない。そこで経時的な振動特性をより詳しく調べるためにウェーブレット解析を行った。Fig.12(b)に連続ウェーブレット変換によって得られた振動成分のスケール (卓越周波数帯に相当) の時系列を示す。マザーウェーブレットには信号処理で広く用いられている Gabor 型を用いた。Fig.12(b)を見ると、脈動周波数 $\lambda=6\text{sec}$ と 4sec において赤・青で示される大きな振動振幅を有する成分のスケール (振動周期に相当) が共振の開始時と終了時に大きくなる傾向を示した。一方で $\lambda=2\text{sec}$ のケースでは、共振の開始時から終了時にかけてスケール中心の値が徐々に増大する傾向を示した。これらの振動の前後半でスケールが変化することが Fig.10 の FFT 解析で複数のピークを得た原因と考えられる。但し、この現象が装置に固有のものなのか脈動流の持つ特性なのかは不明である。



(a) STFT analysis



(b) Wavelet analysis

Fig.12 Results of STFT analysis and wavelet analysis

5 結 語

本研究では、二枚の板バネにより弾性支持される円柱の渦励起振動を共振状態に維持するため、板バネ長さを調整する可変剛性機構を試作した。コイルなどの発電機構を搭載しない状態で板バネ長さと流速を変化させた結果、約 35mm (1.4D) の振幅を伴う共振状態を維持する条件を把握することができた。

流速が数秒周期で変動する脈動流場において、円柱振動は脈動流の平均流速の大小に関わらず、おおよそ 50cm/s を越えると共振状態となり、弾性支持体の固有振動数に固定されるロックイン現象のような現象が見られた。脈動流場での振動データを FFT 解析したところ複数の卓越周波数が見られ、Wavelet 解析の結果、固定されたように見える振動周期が流れの加減速に伴って若干変動していることが確認された。

以上の結果より、可変剛性装置の制御のための条件を把握することができた。今後は流速変化にあわせて自立的に板バネ長さを調整する回路と発電機構を取付けた試験を行う予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたっては財団法人八雲環境科学振興財団による支援を受けた。ここに記して謝意を表す。

文 献

- (1) J.H. Lee, M.M. Bernitsas, High-damping, high-Reynolds VIV tests for energy harnessing using the VIVACE converter, Ocean Engineering, Vol 38, Iss 16(2011), pp.1697-1860.
- (2) 高橋勉, 白樫正高, 木佐木麻央, 流体による振動発電装置, 特開 2008-011669.
- (3) 比江島慎二, 岡主人, 林健一, 井上浩男, 倒立振り子を用いた流力振動発電のためのエネルギー取得性能の検討, 第 22 回風工学シンポジウム論文集(2012), pp.425-430.
- (4) 日本機械学会編・事例に学ぶ流体関連振動(第 2 版), 技報堂(2008), 374pp.
- (5) 本田秀樹, 塩崎禎郎, 堀内博, 海水交換型防波堤の現地計測について, 土木学会年次学術講演会講演概要集(2003), pp.647-648.
- (6) 大村智宏, 中村孝幸, 大井邦昭, 中山哲巖, 榎木亨, 波による渦流れを利用する遊水室型海水交換防波堤の研究開発--波浪制御特性および海水交換特性について, 水工研技報 29(2007), pp.1-20.

1. まえがき

近年クリーンエネルギー源の一つである水力発電が注目されている。従来の水力発電は大規模発電と言われ、出力も5万～50万[kW]、あるいは100万[kW]近くまで大形化されている。これらの水力発電所は、大規模河川にダムを建設し、そこから得る水力エネルギーを利用するもので莫大な建設コストが必要である。よって生態系への悪影響、対環境性の悪さなどから今後はあまり普及しないと考えられる。

これに対して上記のような問題点が比較的小さく、低コストで建設できるマイクロ水力発電が注目されている。マイクロ水力発電は、出力が100[kW]以下の小水力発電であるが、これからの環境・エネルギー問題にとって重要である。

本研究では、下掛け水車を用いたマイクロ水力発電で、水車の羽根（回転する羽根車）が水面に浮かんだ状態で回転して発電するフロート水車式マイクロ水力発電に着目し、平成22（2010）年度に研究を開始した⁽¹⁾。この方式には流水の速度が速く、河川や用水路の上流から流れてくる大型ゴミ等の異物の影響が少ないという利点があり、環境調和型マイクロ水力発電である。

これまでの研究経緯は以下のとおりである。平成22（2010）年度は、小形実験機を製作して屋内で流水ポンプとプールで構成した原理実証試験を行った。平成23（2011）年度は、屋内試験と比べて流量、流速が大きい実際の河川の流水を利用して運転性能を検証することを目的として津山市内の横野川に小形実験機を運搬して発電実験を行った。この実験で得られた発電機の最大回転数は約360[rpm]で最大発電出力は約1.6[W]だった。これらの実験結果を屋内の試験結果と比べると、回転数は約1.7倍、発電出力は約1.4倍に増加した。以上の研究成果を平成23（2011）年9月の国際会議で発表した⁽²⁾。

一方、最初に製作した小形実験機は、回転羽根の動力をベルトで水車の外部に設置した発電機に伝達するベルト駆動型実験機であり、エネルギー損失が比較的大きい。そこで、平成24（2012）年度は水車本体の内部に発電機を収納した発電機内蔵型実験機を製作し発電効率を向上するとともに、水車羽根の構造を改良して発電出力の増大を狙って研究を行った。実験結果から、改良した回転羽根と従来の回転羽根および2種類の実験機の組合せについて運転性能の比較検討を行い、これよりフロート水車式水力発電の基本性能を検証した。

2. 本研究の特徴・利点

図1にフロート水車式マイクロ水力発電装置の概念図を示し、その特徴・利点を以下に列挙する。

(1) 浮力体と回転する羽根車（以下、回転羽根）の構造

回転羽根そのものが浮力体で出来ており、他の浮力体を必要としない。

(2) 発電原理（回転羽根と発電機・ローターの関係）

回転羽根と発電機のローターは機械的に連結されている。回転羽根が流水のエネルギーで回転することにより発電機のローターが回転する。水車本体は係留固定されており回転しない。

(3) 係留部材／腕部の陸側の構造／土台

水車本体が水に浮く構造であり、水車本体の大きな質量を支持する必要がない。このため大規模な基礎工事が不要である。陸側（係留先）に求められる強度と構造物は、流水中に浮かんでいる水車本体を係留して固定するだけの引張り強度が確保できればよい。

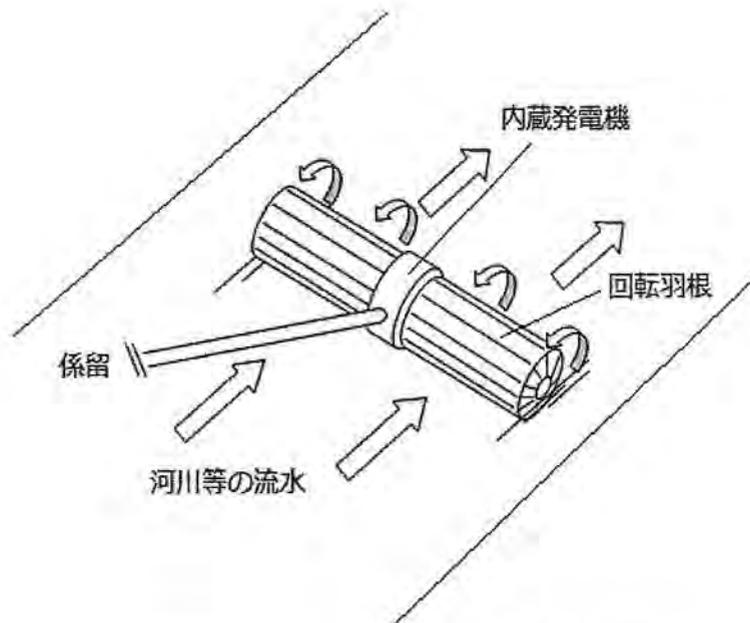


図1. フロート(浮遊)式水力発電装置の概念図

(4) 左右の回転羽根のバランス

左右の回転羽根は同軸固定されており左右の回転羽根間で回転差は生じない。また水車は流水に対して抵抗力であり、そのまま水車本体を流水になびかせるように設置するので自律的に姿勢が保たれて安定性を確保できる。

(5) 大型のごみ等の異物に対して安定、無事故

上流から流れてきた大型のゴミなどの異物が、発電装置を構成する回転羽根に衝突する場合でも、回転羽根全体が回転する構造であること、回転羽根の周囲にフロート等の固定端が無いことで、回転羽根と固定端との間で異物の挟み込みや巻き込み等による運転障害が発生しにくい。

3. 実験方法

3. 1 実験装置

主な実験装置として、図2 (a) にベルト駆動型小形実験機を、図2 (b) に動力伝達機構を示す。発電機は永久磁石型単相交流発電機 (6 極) で、最大回転数は 2,200 [rpm] である。

3. 2 発電実験の場所

発電実験は、実際の河川の流水を使用して行うこととした。そのためには、発電試験に適した実験環境を探索する必要があり、次の (1) ~ (3) の条件を設定して本校の近隣のいくつかの河川に行き、これらの条件を満たす津山市内の横野川を実験場所とした。

- (1) 小形実験機を設置できるポイントがある。
- (2) ある程度の流速が利用できる河川 (1 [m/s] 以上)
- (3) 小形実験機が安定に稼働できる。

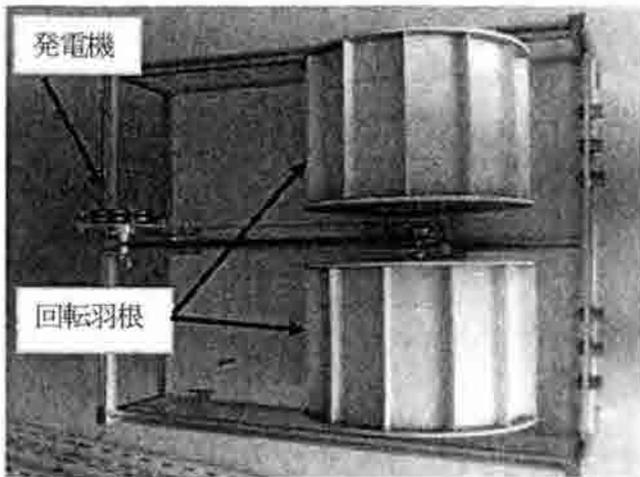


図2(a) 小形実験機

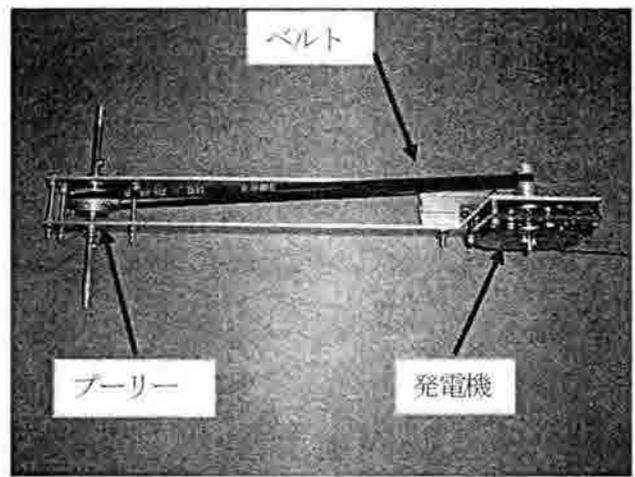


図2(b) 動力伝達機構 (増速比: 4倍)

図3 (a), (b) に実験場所として選定した横野川とその河川堰を示す。この河川堰にベルト駆動型と発電機内臓型の2種類の小形実験機を設置して発電実験を行った。横野川を実験場所とした理由を以下の(4)～(6)に列挙する。なお、実験を開始する前に、岡山県美作県民局建設課に使用願を提出し許可をいただいた。

- (4) 図3 (b) のように実験機の運搬・設置・稼働が容易である。
- (5) 梅雨の期間には比較的流量が多く、流速が速い。
- (6) 回転羽根に流水を作用させる際に設置する集水装置に対して、大きな障害物等がない。



図3(a) 横野川



図3(b) 発電実験の場所(堰)

3.3 集水装置

河川の流水を利用して小形実験機の運転性能の検証を行う際、河川に小形実験機を浮かべただけでは波や流量あるいは水深などの影響により実験が困難であると考えられる。そこで、回転羽根に有効に河川の流水を作用させることを目的として、新たに集水装置を製作した。

図4に2種類の集水装置と小形実験機を組合せた実験装置を示す。(a)は「平行形」集水装置、(b)は「ノズル形」集水装置を示す。



図4(a)「平行形」集水装置



図4(b)「ノズル形」集水装置

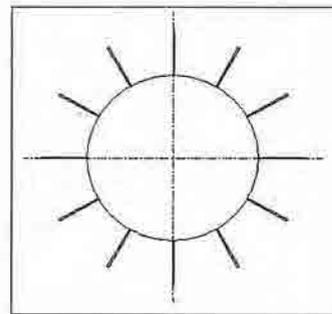
3.4 回転羽根の改良

河川で発電実験を行う上で、効率的に発電を行うために、回転羽根が安定かつ高速で回転できるような構造に改良することを検討した。その結果、図5(a)(b)に示すような「コの字形」と「山形」の回転羽根を設計・製作した。

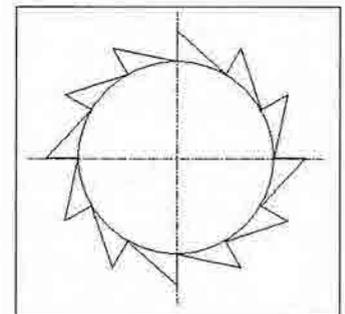
これらの改良した回転羽根の構造設計の狙いとしては、「コの字形」回転羽根は従来の回転羽根よりも羽根の長さを延長して、より多くの流水を受け入れる

ことができるように改善した。一方、「山形」回転羽根は、羽根の構造を変更して、水を受け入れてから排水するまでの動作がスムーズに行えるような構造に設計した。

図6(a),(b)に改良した回転羽根を小形実験機に取り付けた状態を示す。



(a)「コの字形」回転羽根

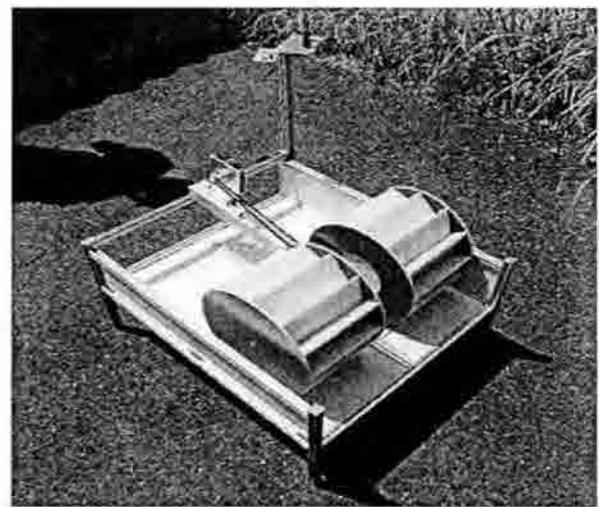


(b)「山形」回転羽根

図5 改良した回転羽根の概略図



(a)「コの字形」回転羽根



(b)「山形」回転羽根

図6 改良した回転羽根

3. 5 実験方法

実験方法を、ベルト駆動型実験機を使用した実験について述べる。図7 (a), (b)に「平行形」集水装置に2種類の改良した回転羽根を取付けた実験機で行った発電実験の様子を示す。これらの小形実験機の運転性能を「平行形」集水装置と小形実験機を組合せた実験により検証した。発電機の回転数はタコメータ ((株)エアアンド・デイ, AD-5172) で測定し、発電出力は負荷抵抗 ($R=10$ [Ω]) の端子電圧を測定して求めた。



(a) 「コの字形」回転羽根



(b) 「山形」回転羽根

図7 改良した回転羽根を取付けた実験機と「平行形」集水装置

3. 6 発電機内蔵型小形実験機

ベルト駆動型小形実験機は、回転羽根の質量を軽くするために、発電機と回転羽根を分離して設置し、流水のエネルギーにより発生した回転羽根の動力をベルトで発電機に伝達した。そこで、ベルト駆動により発生するエネルギー損失を減少して発電効率を向上することを狙って、回転羽根の内部に発電機を収納した発電機内蔵型実験機を製作した。図8に、「山形」回転羽根を取り付けた発電機内蔵型小形実験機を示す。

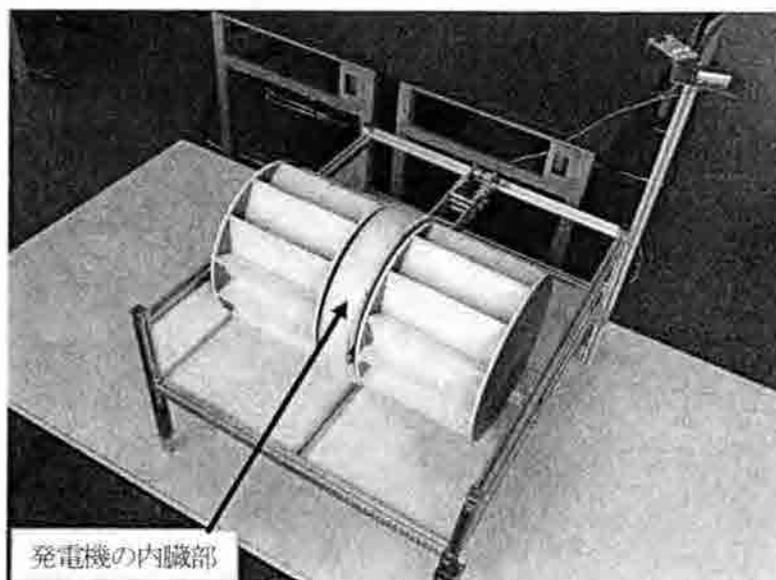


図8 「山形」回転羽根と発電機内蔵型実験機

4. 実験結果

表1に実験を行った回転羽根と小形実験機の組合せを示す。「山形」回転羽根の運転性能が良好だった。表2に実験結果を示す。(a)は回転羽根の構造による運転性能の比較を示し、(b)は発電機の駆動方法の比較を示す。発電機内蔵型の発電出力が小さい理由は不明であるが、浮力を得ることに流水エネルギーが消費されている可能性が考えられる。ベルト駆動型実験機については発電機の回転トルクを算出した。

表1 回転羽根と小形実験機の組合せ

	従来形	コの字形	山形
ベルト駆動型	○	○	○
発電機内蔵型		○	○

表2 実験結果

(a)回転羽根の比較

	従来形	改良形
発電出力[W]	1.4	3.6
回転速度[rpm]	240	550
トルク[N*m]	0.057	0.063

(b) 発電機の駆動方法の比較

	ベルト駆動型	発電機内蔵型
発電出力[W]	3.6	2.5
回転速度[rpm]	550	—
トルク[N*m]	0.063	—

5. まとめ

マイクロ水力発電の基礎研究として、環境調和型の特徴を有するフロート水車式水力発電について実験機を製作して運転性能を検証した。小形実験機は2種類、製作した。ベルト駆動型は、水車の外部に設置した発電機に回転羽根の動力をベルトで伝達する構造のためエネルギー損失が大きい。発電機内蔵型は、水車本体の内部に発電機を収納して発電効率の向上を狙った。河川の実験において両方とも正常に運転でき、最大発電出力は、ベルト駆動型が3.6 [W]、発電機内蔵型が2.5 [W] だった。今後は実用レベルの実験機を製作して、より大きな流量の河川で運転性能を検証する予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり研究経費を助成していただきました(財)八雲環境科学振興財団に深く感謝いたします。

参考文献

- (1) 鳥家秀昭, 日下部哲朗 「水力発電装置」(特開 2010-202605)
- (2) Y.Mori and H.Toya 「Fundamental Study on a Novel Float Type Micro Hydraulic Turbine」, Proc. of JTL-AEME2011, (Thailand)

平成 24 年度 国際研究交流助成報告

9. 平成 24 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
矢 納 陽	岡山大学大学院 自然科学研究科	2012 年高度知能メカトロニクスに関するアイ・トリプル・イー/アメリカ機械工学会国際会議	9 9
日 野 実	岡山県工業技術センター技術支援部	第 69 回世界マグネシウム会議	1 0 0
HARTWIG CLAUDIA	岡山大学大学院 環境学研究科	第 39 回国際水文学会	1 0 1
藤 田 貴 文	岡山大学大学院 環境学研究科	第 39 回国際水文学会	1 0 2

矢 納 陽

岡山大学大学院自然科学研究科

参加会議名	2012年高度知能メカトロニクスに関するアイ・トリプル・イー/アメリカ機械工学会 国際会議
主催団体名	IEEE (アイ・トリプル・イー), ASME (アメリカ機械工学会)
開催期間	平成24年7月11日~平成24年7月14日
開催地	高雄(台湾)

表 題 Analysis for Configuration Prediction of Redundant Manipulators based on AMSIP Distribution

<内容>

【本研究の概要】

Fig. 1 に示すようにロボットマニピュレータが自身の周囲環境情報しか得られない状況下で溶接やシーリング、削りだしなどの作業を行う場合、手先効果器が目標軌道追従を達成するだけでなく、マニピュレータのリンクと作業対象物、またはリンク同士の衝突をマニピュレータの冗長性を利用して回避(障害物回避)しなければならない。Fig. 2 に示すように、本研究ではマニピュレータが作業しやすい将来の理想形状をオンライン計算した仮想マニピュレータ(3の鎖線)、およびマニピュレータの現在の形状(1の実線)からオンライン計算した予測形状(2の点線)を利用して、マニピュレータが目標軌道追従を達成しつつ障害物回避性能(AMSIP)を最も高い状態に維持しつづける手法を提案している。そこで本発表では、任意の目標軌道に対して有効であるか検討していくため、直線および曲線の目標軌道追従時におけるAMSIPの計算機シミュレーションを行い、従来法と比較することで、本手法の有効性を確認する。

【得られた結果】

Fig. 3 や Fig. 4 に示すように、マニピュレータの予測形状を利用することで、従来から提案されていたマルチプレビュー制御よりもAMSIPを高い状態に維持し続けることが出来ることを確認した。今後の課題として、より複雑な作業対象物形状を扱うことや、マニピュレータのダイナミクスを考慮した形状制御法の検討があげられる。

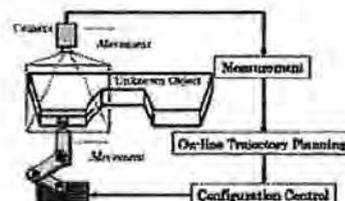


Fig. 1. Processing system for unknown object

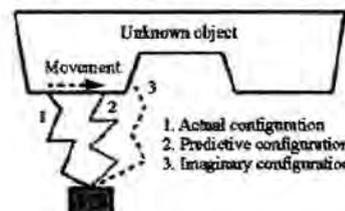


Fig. 2. Concept of predictive control

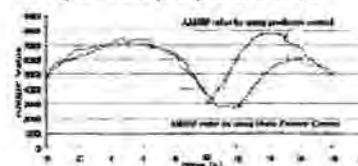


Fig. 3. AMSIP value (first-order prediction)

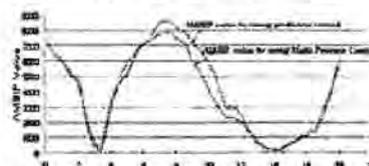


Fig. 4. AMSIP value (second-order prediction)

日 野 実

岡山県工業技術センター 技術支援部

参加会議名	69 Annual World Magnesium Conference(第 62 回世界マグネシウム会議)
主催団体名	International Magnesium Association (国際マグネシウム会議)
開催期間	平成 24 年 5 月 20 日～平成 24 年 5 月 22 日
開催地	サンフランシスコ (米国)

表 題 Anodization of Magnesium Alloys Using Phosphate Solution and Its Application (りん酸塩を用いたマグネシウム合金の陽極酸化処理とその適用)

<内容>

マグネシウムは、実用金属材料の中で最も軽量であるため、自動車などの輸送機器において、軽量化による燃費の向上とそれに伴う CO₂ ガスの排出量削減が可能な材料として期待されている。しかし、マグネシウムは化学的に活性なため、腐食しやすく、製品化に際し、表面処理が極めて重要なプロセスとなる。これまでマグネシウムに耐食性を付与させる表面処理法では、六価クロムやフッ化物などの有害物が用いられており、有害物を使用しない表面処理が強く望まれていた。

岡山県工業技術センターと堀金属表面処理工業は共同で、りん酸塩を用い、有害物を使用しない環境に調和した陽極酸化処理を世界に先駆け開発し、実用化した。これまで実用化されている陽極酸化皮膜がマグネシウム素材を腐食環境から遮断するバリアータイプの防食であるのに対して、本処理は、腐食環境下において、マグネシウム素材よりも陽極酸化皮膜が優先的に溶解し、マグネシウム素材を腐食させない、いわゆる犠牲防食作用を有することを見出した。また、皮膜に欠陥が存在しても腐食環境下では、陽極酸化皮膜が溶解し、欠陥部で防食性を有するりん酸塩化成皮膜を生成することで良好な耐食性が得られることを明らかにした。日本国内において、現在、本開発技術は、自動車部品をはじめ、自転車用品、釣具などに適用され、マグネシウム製品の品質向上に貢献している。

HARTWIG CLAUDIA (ハートヴィッグ クラウディア)

岡山大学大学院環境学研究科

参加会議名 2012 年国際水文地質学会議
主催団体名 国際水文地質学会
開催期間 平成 24 年 9 月 16 日～平成 24 年 9 月 21 日
開催地 ナイアガラフォールズ (カナダ)

表 題 地下水への人工涵養における物理的な目詰まり現象の解決方法に関する研究

<内容>

エネルギー問題が社会的に大きな課題になっている今日、本研究では地下水の熱が年中一定であることを利用して、夏は部屋の冷房に、冬は部屋の暖房に利用しようというものである。このシステムの中で、地下水を直接揚水して、その熱を利用して、再び地下に涵養する方法（オープンルーフシステム）は地下水の熱を伝達材に取り込んで利用するクローズドシステムより効率が良い。しかし、オープンルーフシステムでは、地下水への涵養時に涵養井の周囲で目詰まりが生じるのが、世界的な課題になっている。

本研究では、この目詰まりの中で、物理的な目詰まりを軽減する新しい手法について発表する。

藤 田 貴 文

岡山大学大学院環境学研究科

参加会議名 2012 年国際水文地質学会会議
主催団体名 国際水文地質学会
開催期間 平成 24 年 9 月 16 日～平成 24 年 9 月 21 日
開催地 ナイアガラフォールズ (カナダ)

表 題 不飽和領域における原位置透水試験についての 2, 3 の考察

ABSTRACT

In order to estimate the behavior of groundwater seepage in the ground, we need to measure the hydraulic conductivity in saturated and unsaturated conditions. In this regard, many methods have been developed and documented in pertinent literature.

Most of these methods only applied to shallow depths, but practically, we have to face more deep unsaturated conditions. In this context, very popular Zangar's method(1953) is applied mostly in shallow area. Firstly, we evaluated the possibility to apply the Zangar's method in deeper area as well as in various areas with different moisture contents using numerical method. We concluded that it is possible to apply this method in any depth and any initial soil moisture condition. This method can also be applied in different kinds of soils like sand, silt, and clay soils etc. Secondly, we applied this method practically in a laboratory test using sand compacted in a tank and it was concluded from the experiment that the observed permeability is dependent on the initial soil moisture content. Furthermore, we need to estimate permeability under fully saturated conditions e.g. to estimate the slope failure. If we want to know the permeability values, it depends on moisture content. On the basis of these observations, we injected CO₂ gas in surrounding bore hole before permeability test. By using this method, we obtained the results in any initial moisture condition; hence, we can estimate the same permeability values in the field.

平成 24 年度 研究集会助成報告

10. 平成 24 度 研究集会助成報告

助成対象者	所 属	集会名	ページ
豊 田 新	岡山理科大学 理学部	第 3 回アジア太平洋ルミネッセンスと ESR 年代測定国際会議	1 0 4
浅 田 伸 彦	岡山理科大学 理学部	日本比較免疫学会 第 25 回学術集会	1 0 5

豊 田 新

岡山理科大学理学部

研究集会名称	第3回アジア太平洋ルミネッセンスおよび ESR 年代測定国際会議
主催機関名	岡山理科大学
開催期間	2012年11月18日～2012年11月21日（4日間）
開催地	岡山理科大学 加計学園創立50周年記念館

<内容>

本国際会議において、ルミネッセンス年代測定法及び ESR 年代測定法の最近の進展と新しい応用について研究発表がなされ、活発な議論が行われた。これらの年代測定法は、最近100万年までの範囲の、人類がこの地球上で発生し、進化してきた時代の環境変動のイベントを測定する方法として世界的に注目されてきている測定法である。これらの年代測定法は、日本では放射性炭素法ほどは一般的に知られていないが、国際的には、放射性炭素年代の適用できない5万年より古い年代を求めるには必ずといっていいほど用いられている方法である。

この国際会議はアジア太平洋地域で3年ごとに開催されており、2009年にインドで開催された折に、2012年に岡山理科大学で開催することが承認され、今回開催をするに至ったものである。

浅田伸彦

岡山理科大学理学部

研究集会名称	日本比較免疫学会第25回学術集会
主催機関名	日本比較免疫学会
開催期間	平成25年8月26日～8月28日（3日間）
開催地	岡山理科大学 創立50周年記念館

<内容>

日本比較免疫学会は日本動物学会の一分科会として、以前から活発な活動を展開していた。その後学会として独立の機運が高まり、平成元年に日本比較免疫学会が発足して、東京で学会開催にあたる第一回学術集会が開催された。本年は第25回で、「日本比較免疫学会第25回学術集会」として、平成25年8月26日（月）から28日（水）の3日間、岡山市理大町に設置されている岡山理科大学創立50周年鬼面間を主会場として開催された。学術集会会長は浅田伸彦、学術集会事務局長は南善子氏であった。開催準備は1年前から講演者の募集、人員配置など本格的に準備を開始した。

8月26日（月）は受付と一般講演を実施した。8月27日（火）は朝から一般講演。午後は役員会、総会、学会賞（当学会は名誉会員の古田恵美子先生に因んで古田賞と称している）の授与と受賞講演、1名へ奨励賞の授与、1人の特別講演、参加者全員の記念写真を撮影後、当大学からチャーターバスで岡山市内の公立学校共済施設に移動して懇親会を実施した。

8月28日（水）は3名（1名は欠席）によるシンポジウムを実施した。

平成 24 年度 その他の助成報告

11. 平成 24 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	子どもの発想・物語—感性・発想・ 勇気に培う	107

子どもの発想・物語——感性・発想・勇気に培う

はじめに

発明クラブの活動に携わっていて、子どもの物づくりの発想のきっかけに、いくつかのタイプがあるように思い至った。

そこで、まず、子どもの活動を概観して、発想のタイプをさぐり、その結果から、発想力・創造性を伸ばすために試みた新しい指導を提案する。

クラブの活動

クラブの活動は、二本の柱で成り立っている。

1つは子どもが作ってみたいと思う物の工作を、素材・加工技術や仕組みの助言の両面から応援すること。作ってみたい工作物を決めるにあたっては、引率保護者と子どもとの話し合いのほか、これまでに書きためられているノートの内容を参考にすること。この活動をノートの呼び名に合わせて、宝箱活動と呼んでいる。

2つ目は、素材や仕組み、加工技術を指導者側から提供し、子どもの新しい体験や素材の知識を豊かにする活動である。この活動でも、プラモデルを組み立てるがごとく原型どおりに作ることを強く求めるのではなく、加工の途中で思いをもって異なる形にしたり、動作試験で作り直したりする余地のある提示の仕方を目指している。

これら、2種の活動で「発想のきっかけ」と思われる事柄と発展を事例的に記す。

A 物をいじっていて思いつく

事例A-1

10円硬貨ほどの円盤状で中心に小さい穴が開いたフェライト磁石2~3個を持って反発し合う手触りを繰り返し楽しんでた子どもがいた。しばらく<手慰み>のように磁石をいじっていた。

2枚の磁石なら2枚を指で挟むようにすれば繰り返し反発させることができる。3枚になると、片手ではほぼ実行不可能である。これを見た指導者が、磁石中央の小さい穴に着目してほかの目的に使うために準備していた自転

車のスポークを渡した。磁石をスポークで串刺しにして、複数の磁石がばねのような動きをすることを繰り返し試みていた。手慰みで反発力を体感しやすくなったのである。

ここから後、発想が急に収斂したようで、磁石→ばねのようだ→クッション→自動車の車軸に取り付ける、のように発想が変化していた。思考の途中に、バスの空気ばねが結びついていてのではないかと想像している。

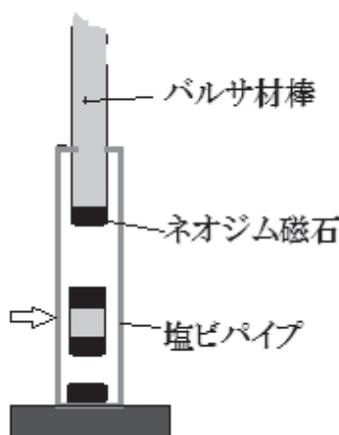
自動車を作るのなら、磁石ばねが4組は必要になる。縦に長い物を車軸と車体の間に取り付けるのは不安定だし、工作もどうしてよいかわからない。大きさがそろった磁石ばねを作るのは自信がない。工作の見通しが立たず、躊躇しているようにみえた。

指導者としては、「作れないかもしれない」と、マイナス思考にならないで、1組の「ばね」だけでも作ってみる勇気をもって挑戦を始めてもらいたかった。

指導者は、自動車は後程作るとして、ばね→はかりと連想し、上皿ばかりを提案した。

ここから後、助言担当者を決めることにより、助言内容がぶれない工夫をした。

磁石の中心に突き出すようになるスポークを処理することと素材の工夫になる。子供は、100円ショップのネオジム磁石を思いつき、指導者が磁石を納めるパイプを探すことになった。スポークの使用を止めたのである。



図の、⇒の部分は、パルサ材を磁石で挟んだ形になっている。磁石だけでは長さ不足で、パイプの中で磁石が裏返り、くっつき合ってしまう。何回か作り直し、次ページ左の図のようなものができた。制作を始める

と、磁石が裏返るといような想定外の事象に出会うことがあるが、乗り越えようという勇気（意欲というべきか）

があれば、なんとかなるようである。

助言した指導者は、パイプの中の動きが見えるようにしたいといていた。透明なパイプでネオジム磁石に合う内径の物を手分けして探したが見つけれなかった。子どもは満足で、1円硬貨と理科室の分銅を使って、目盛をつけ、右の写真のようなものになった。



どちらかというとなげな子どもにとって最大の収穫は、磁石の反発力を使った

構造や目盛のつけ方を学校で担任に話し、個人的に理科室備品を使いたいことを申し出た体験であろう。この間、担任の助力を受けたであろうし、「自信をもって作った物」があると説明が第三者に通じやすいことも体験したであろう。

事例A-2

次の写真は、モーターで回転する布製のベルトにアルミ板で作ったバケットを取り付け、左にある樋からバケット内に金属球を落とし、上の皿に運び上げる仕組みのゲーム機である。



ゲーム機と言っているのは、写真左の箱の中の樋転がり落とした鉄球と、動き続けているベルト上のバケットの位置が下方で揃うと、球を回収できる。いくつ回収できるかを競うゲームにしようということにして、ゲーム機が誕生した。

たまたま家族が持ち帰った鉄球を転がして遊んでいて、転がした球を手元に戻したくなったのが始まりのようである。

素材の木箱はそう麺の箱、中の樋は段ボール様プラスチック板で、どちらも家庭でたまたま「目の前にあった物」だったそうである。

ベルトは、手芸用品店にあるもので、引率していた母の

提案である。輪のようにするために、両端を重ねて縫い合わせようとしていたが、指導者の手で両端を突き合わせるようにゴム系接着剤で接着した。

減速モーターは子どもの体験から出たものである。ベルトを掛ける部分は、指導者が、模型自動車のタイヤが使えたと伝えた。

この子どもは、家に帰ってからも工作しなければ落ち着かないようで、これまでも、家庭で材料を探し出したり、変更したりして工作を続けていた。このゲーム機では、子どものジャンクボックスからスイッチ付き乾電池ボックスを、バケットは工作用紙程度の厚紙で、ベルトを張る塔の部分もベニア板で作って動かしていた。

しかし、バケットがじゃまになってタイヤのところでもまく回らない、ベルトが外れる、樋に入った球がこぼれ落ちる、という問題に突き当たったままクラブの日を迎えた。工作の前にイメージした素材や構造で不具合が起きると、対策を立てにくいのは、ヒントになる物が目前になかったり、素材を使った体験が無かったりすることが原因であろう。

つまり、不具合を克服する工夫は、素材や構造に関する経験を増やす絶好のチャンスになる。一方、助言する者は助言のタイミングを逃がさないようにしなければならない。

ベルトの駆動部分は、2本の回転軸を平行にすること、プーリーの位置、ベルトのテンション調節機構など家庭で随分苦勞をしたようである。明確なイメージをもっていると、試作し続ける勇気もまた持続し続けるものようだ。

プーリーの仕組みは子どもの技術では無理だと判断し、指導者が作ることにした。

組み立て後、動きには一応満足したようであるが、樋が急勾配すぎたり、バケットの幅や強度にゆとりが無かったりすることが原因で、球がこぼれることがある。苦勞して作ったバケットや樋をもう一度作り直すのは、一応満足しているだけに、子どもの負担になると判断して、作り直しの提案も子どもの思いを聞くこともしなかった。

指導者としては、子どもが満足しているのに作り直しを提案するのも、動きに満足していないのによくできたと褒めるのも避けたい。どうするか判断に迷う場面である。こ

のような時は、子どもの思いを必ず確かめ、学校の授業のような「制限時間」が無いクラブの特徴を生かすべきだったと反省している。

ゲーム機の作者は、ゲーム機の欠点を指導者が気づかなかった「ゲームに使う球をやや小さくて軽いプラスチック球に変える」ことでクリアしていた。子どもに救われた一幕ではある。

B 最初から使いたい物がある

乾電池 1～2 個で回る「モーター」を使いたいという程度の意志である。モーターを使うと、すばらしいものができそうだという期待感強いようであるが、どのように使うかは、これから考えるという。暮らしにどう役立てるかとか、より便利なものを創造するという発想は薄弱である。したがって、暮らしの中でモーターを使ったもののコピー（？）（似たもの）を作ることになる。

一般に子どもたちの使いたい物は、モーター、LED、太陽電池にほぼ集約される。

このタイプは、作る過程で使いたい物をより深く理解することになり、作りながら仕組みや使う材料、加工方法に新しい発想が加わる。

事例 B-1

宝箱活動では、最初に作りたい物のイメージ図を描く。この例では、引率した祖父が聞き出す役になって、一人用



机上扇風機を作ると決まった。3Vで使うマブチのモーターを4本足の台に載せた形が完成イメージである。工作してみると、足の長さを揃えてぐらぐらしない台を作ることは大変むづかしいことに気づいた。しかし、作り直す勇気さえあれば新しい工作方法にたどり着くものである。

完成が近くなってから、スイッチを自作しようとしていた。途中で思いついた設計変更である。これも「やってみて気づく仕組み」である。スイッチは、電

子回路で使うスライド式の物を提供した。これで、はんだづけを体験できた。

さらに、近頃しばしば見かけるプロペラのまわりを円筒で囲んだ小型扇風機のまねをしたら、もっと風を感じるかもしれないと提案した。家庭での工作で、円筒の中に扇風機を入れたついでに、芳香剤の瓶を置き、口がプロペラの近くに来るように改造してあった。液体では倒れた時が心配なので、粒状芳香剤を使ったけれど、香りが長続きしないので再び液体に替えた（写真：乾電池と筒の間にビンがある）とのことであった。ビンの口は開いたり閉じたりする仕掛けを作りたいかかったとのことであったが、未完成であった。

乾電池を固定した板はピンを支え、幅が不ぞろいな板で4本足を囲むようになっている。デザインや性能より取り付けた機能に満足する傾向がこの年代の子どもにありがちなように思える。

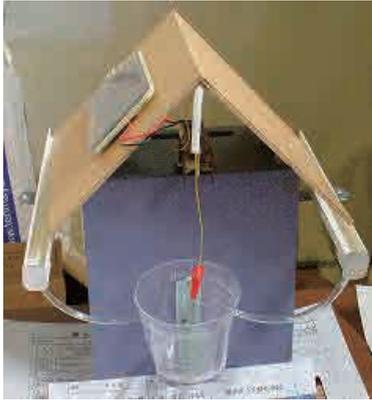
使ってみたい物で単純な物真似から始まって、工作している間に新しい発想が生まれることに価値があると思う。「やってみる勇氣」は、机上の学習には無い効果がある。

事例 B-2

「太陽電池を使う」が始まりで、引率した保護者と話していた。保護者は「太陽電池でなにをする？」程度の問いかけをしていたようである。「エコ水やり」がテーマに決まり、図を書いたり発砲スチロールなどを集めたりして過ごした。写真は、8月初めの撮影だ。楕円内に、分解した灯油ポンプと手に持ったポンプが写っている。テスター、空き箱に取り付けた太陽電池から、どのように使おうとしているか推測できよう。



ところが、8月の終わりには次ページ最初の写真のようになっていた。屋根に降った雨を樋に受けプラスチックのコップに貯める。コップの中に下がっているのは、水位センサーで屋根の太陽電池とモーターの間のスイッチであ



るが、機能していない。

2枚の写真で太陽電池の形が変わっていることに注目したい。前の写真には、太陽電池が5枚写っている。どのようにつないでも、石油ポンプのモーターはまわらな

かったのである。屋根に載っている太陽電池は、「太陽電池用モーターと組み合わせた模型のものである。これも、ポンプは動かない。(前者の方が、発電能力が大きい。モーターに使う太陽電池であることにすぎたのである。)

水位センサーをつけるという発想はしたもの、水



の流れと太陽との関係など、矛盾点を抱えたまま時間切れで、太陽電池を載せた家の中に、左の写真の物を作った。代償行動だと

思われる。

一方、太陽電池に比した乾電池の力強さや力のあるモーターにはそれなりにエネルギーが必要なことを「やってみて感覚的にわかった、あるいは、感じ取った」のである。今後、太陽電池の特性や電流と電圧の関係を学ぶ場面で、「やってみて感覚的にわかった、あるいは、感じ取った」ことが、真の理解につながることを期待している。

事例B-3

砲弾型のLEDを1つ持っていて「使いたい」ということであった。

LEDの数を増やす→道路工事現場の安全ロープという



連想から、光るたすきを作ることになった。指導者から、光源をすこしでも大きく見せるため

に、反射安全たすきにLEDを取り付けたらどうなるだろうと提案した。上の写真は完成品である。LEDの足元に黒色の物がついているは、LEDのリード線が短絡するのを防ぐビニルテープである。

乾電池1個では点灯しないこと、2個直列に使うと、LEDに電気が流れすぎるので、簡単には適当な抵抗器を併用することを伝えると同時に、LEDの寿命が短くなっても良ければ(電流制限)抵抗器が無くても点灯すること、LEDは極性があることを教えた。

C 暮らしを見つめて

このタイプの発想が最も「発明クラブ」らしい。ちょっとした思いつきが「役立つ発見」になる。半面、新しい素材や加工方法を学ぶようなことは、ない場合さえある。物の動きや構造、素材の性質を知っていることは、「発明」につながるという意味で、当クラブでは、上のA,B,ともに最初の思いつきとして大切にしている。

事例C-1

市街地で暮らす子供で、二階のベランダに洗濯物を干すと、①小さいものが風で飛んで落ちる ②まとめて干したい ③使わないとき物干しが小さくなる。という目標で作り始めた。

試作したのが梯子状に紐を結んだ写真1。



使ってみると、A, B方向ともイメージした長さを保つには、紐を強く張らねばならないことが分かった。ベランダには引っ張りに堪える適当な

物がない。

そこで、A, Bの長さを保つために、水道用のホースに紐を通していった。この方法でむつかしいのは、ホースの長さに合わせて紐を梯子状に結ぶことだ。ホースの曲り癖も



手伝ってスマートとは言えないものになっていた。思い付いたら勇気をもって取り組み、具合が悪かったらその時考えるというたくましさで実現するためにかなり努力していたが、写真2程度で妥協していた。

①について指導者は洗濯ばさみで留めるだろうと予想していたが、違っていた。写真2を水平に張った下へ網をハンモックのように吊るというのである。風で<飛ぶ>のではなく、<落ちる>イメージなのだ。子どものイメージをしっかりと聞いた上で、納得する提案をしなければ、子どもの発想を頭ごなしに否定してしまうことになる。

事例C-2

運動靴で子ども会などに参加した時、靴が履きやすいように体を折り曲げなくても使えるという発想である。

どのような仕組みにすればできそうか、図を描くか、工作紙で模型を作るかして考えたらどうかと提案した。

試作したのは、写真3の円内にある靴べら



に合わせて平らな柄が伸縮する機構ある。改良点として、①靴べらのそりがじゃまして、伸縮する柄の中に納まらない。②柄が抜けやすい。の2点が挙がった。

対策として、柄は携帯ラジオのアンテナを使う。へらの部分はアルミ板で作る。ことにした。



携帯ラジオのポールアンテナは入手困難。自動車の前端を示すポールが丈夫で種類も多いので、指導者が提供した。へらの部分は自作して、ポールの先端飾り（青色矢印で示す）を残し、黒色矢印のようにスライドする写真4の仕組みにした。

「宝箱」における新しい指導の提案

以上の例に共通しているのは、「物」にしる「人の行動」にしる、「現状をなんとかしたいと感じる、感性」と、解決に向けてのいくつかの筋道を描く、「創造性」「最も可能性があると思われる筋道を選んで行動に移る勇気」が見え隠れしている。

そこで、「**発明力**」を培うのは、**感性・創造性・勇気を求める場に繰り返し出合わせる**ことであるという仮説をたてた。

この仮説に効率的に出会わせる方法として、物語を創作する過程を取り入れ、全員（保護者・指導者を含む）で共通体験する次のような流れを考え、実践した。

評価の手法を使ってはいないが、一応の手ごたえは感じている。

- ①クラブ員に主眼を置きながら、その保護者と指導者（常に複数体制です）も加わって、写真（または絵）をきっかけにして物語づくりを自由に展開する。
- ②物語の中に「なんとかしたい」場面を作り出し、解決方法の概要を話し合い、その中の一つの方法を選んで作る。
- ③完成品を比べ合い、評価・反省する。

開の具体例

右の写真を示し、黒板の左に貼る。「のんびりした写真です。名前を付けようか。」「周りのようすはどうなっているでしょう。」などと質問し、子ども等の発言を絵や単語で書き足していく。



名前＝夢見。柵がある。仲間がいる。樹木がある。家がある。などの発言があった。

続いて左の写真を

黒板の右に掲示し、夢見豚の場合と同じように質問をし、子ども等の発言を言葉や絵で記録した。発言者が書き加える場面もあった。

名前＝クロ。住み家がある。畑がある。カラスが狙っている。花が咲いているなどと発言。

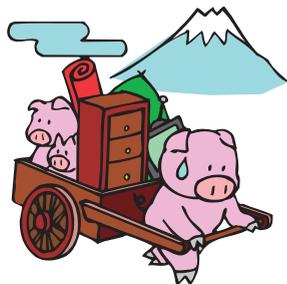
0251702272「寝ていた夢見は突然飛び上がりました。

大きな地震です。穴に住むクロ達のが心配になって、電話をかけました。(実践では2枚の絵)電話はつながりません。」



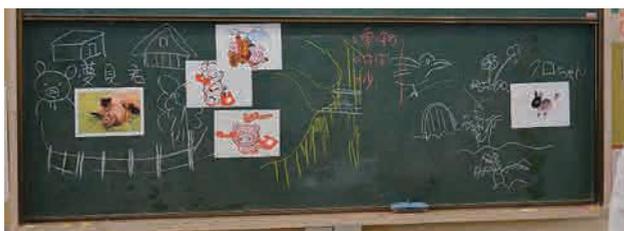
「優しい夢見は、救援物資をもってクロ達を助けに行きました。」

「ところが、途中で大きな地割れにぶつかって、これ以上近づけなくなりました。」



ここでウサギの写真と荷車の間に地割れの絵を描いた。

0251704320 豚の写真を貼ることから始めた物語は、下の板書のようにまとまった。



「さあどうしよう。」

食料と軽い子豚を投げて地割れの向こうに送り込む、飛び越えるなど、いくつかの案の中から、「橋を架ける」こととして、次のような条件を提示した。

- ・材料＝工作用紙1枚と接着剤。
- ・割れ目＝(煉瓦を2個対面するように立てて作った)。幅55cm。(工作用紙の長辺を乗せられる長さ。)
- ・割れ目に橋脚は作れない。
- ・橋を渡すものは乾電池を沢山。

・丈夫に作れたらさらに重い物を渡す。

工作に当たって、丈夫な構造例として断面がコ字型の段ボール箱の詰め物を提示した。

自転車の車体はまるパイプであることは話した。



トラス構造は、会場近くで行われている橋梁工事をまねないかと淡い期待をかけたことと、精密な加工が必要なことから触れなかった。

L型に折り曲げた構造が強くなるわけは、油粘土を使い右の

写真のようにして引きちぎられる



部分と押し縮められる部分があり、引きちぎれに対して抵抗することを示した。

作ったのは、次の5つのタイプである。



連続したW型を平面に貼り付けたり、サンドイッチ状

に平面で挟んだり（トラス構造）したもの、角パイプを二重構造にしたもの、背が高い欄干を取り付けたもの、路面と底面の間隔をより広くするために路面を柵状の柱で支えたもの。

最後の1つは、時間内には完成しないで、次の回に持参したものである。工作精度が強さを左右することに触れることができた。

余談になるが、次の3枚の写真は、工作用紙を切断し、目指す形にしようとしている場面である。



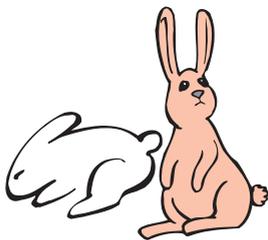
6年生と5年生であるが、いずれも物差しとヘラやカッターナイフの柄

で折り目を付ける方法を説明した。工作に先立って説明するより、一度失敗した後

の方が効果的のように感じる。

この日の展開は、事前に指導者へも話していない。指導者を加えて物語の展開がより広がることを期待したからである。子どもが工作にかかると、3名の指導者が大急ぎで工作に集中したのは、印象的であった。

発展した展開



0 クラブ後の後片づけをしているとき、「この話は、これで終わりか」という指導者がいた。私は何のことか理解できないでいると、「割れ目の底に兎が落ちている。生卵を割らないように届けるのはどうか」という提案であった。大学生が問題解決に当たっている放送を思い出し、実行しようと決めた。

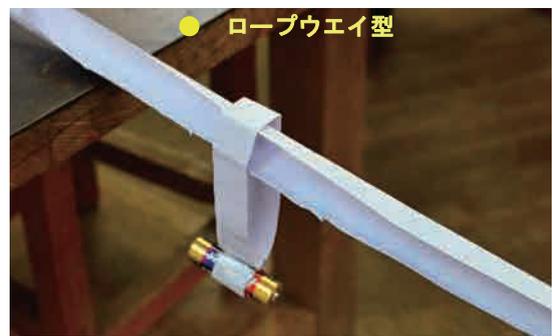
生卵では、試行で失敗したら、後がめんどう。袋か紙包みに入った菓子を探した。1m~2mほどの高さから落としし

て壊れるような菓子、壊れてからでも抵抗なく食べられる菓子を見つけることはできなかった。

そこで、足元から水平距離2m、深さ1mのところグッタリしている兎に、菓子を届ける仕組みを4ツ切り画用紙（薄手）1枚で作る、菓は、単3乾電池2個で代用するという課題にした。

乾電池を2個にした意味は、1個ずつ届けるには、装置を回収しなければならない。2個同時に届けるには、強度が課題になる。

発想した仕組みをタイプごとに（途中を含む）写真で紹介する。



上の写真で 転落防止付きというのは、長いV型では、重みでV型が開くように折れ曲がり傾いて乾電池が落下する。V型が開くのを防ぐ仕組みである。それでもアーチ形が横に引かれるので、改良の余地がある。

↓ のパイプは、ほぼ作業が終わったとき配布した。あらかじめ、テープ状の紙をねじるように巻いて作っていた

もの。



画用紙を紐状につないで先に乾電池を付け、成功するまで繰り返す。かなりの練習が必要であった。

終わりに

創造的思考のための方法論は、KJ法、NM法、等価変換法、ブレインストーミング、品質管理などがよく知られている。

本稿は、これら、学問的に研究され利用されているどれかを利用して展開を試みたものではない。だからと言って、これぞ新発想法だというつもりもない。クラブ構成員の目・顔・動き・言葉などから生まれた活動のある観点からまとめると、「このようになりました。」というレポートに過ぎない。

改めて、拙文を見直してみると、既知の発想法にある一つひとつの手段が見え隠れしていることに気づく。と同時に、具体物を手にして試行・思考することが核になってい

ることも見えてくる。

抽象度が高い「言語操作による思考」を、発達過程にある子どもの思考や発想に求めすぎるのは無理であろう。子どもの自由なものづくりを促すのは、言語操作による思考に加え、具体物を手にして具体的な行動（見て、触って、感じる）をする勇気や意欲であり、その結果得られる充実感であろう。

「物」を介して子どもや保護者と向き合い、稚拙な論を文字化する機会をお与えいただいた八雲環境科学財団に改めて感謝申し上げます。

(文責 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7月に設立され、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当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。

なお、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。

会員の種類及び特典

- **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 30,000円
- **特 典：**
 - ・財団の発行する研究レポート集の配布
 - ・財団が主催する研究発表会、その他事業企画等のご案内
 - ・その他代表理事が必要と認める資料の配布

◀ 税制上の優遇措置について ▶

本財団は、平成14年8月に岡山県教育委員会より「特定公益増進法人」として認定されており、このご寄附については、下記のとおり税法上の優遇措置を受けることができます。

法人様の場合（法人税法第37条・施行令第77条）

- ・・・ 特定公益増進法人に寄附をした法人は、確定申告によって法人税法上の損金算入限度額に損金算入限度額と同額が別枠で認められます。

個人様の場合（所得税法第78条・施行令第217条）

- ・・・ 所得の25%を上限として、ご寄附金額から1万円を差し引いた金額が所得控除の対象となります。

◀ 寄付金申込み手続き ▶

【事務局】 ご不明な点は事務局までお問い合わせください。

住所：岡山市北区津島京町3-1-21（㈱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

【申込書】

<http://www.ej-hds.co.jp/zaidan/> ダウンロード願います。

【お振込先】

銀行名 三井住友銀行岡山支店

口座番号 No. 6497055

口座名義 公益財団法人 八雲環境科学振興財団

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。

毎年のように更新される夏の最高気温。今年、四万十市で観測史上最高の 41 度を記録するなど全国 125 地点で次々と記録を塗り替えた。岡山県内では、高梁市が今夏 38.2 度を記録した（ちなみに同市の観測史上最高気温は平成 19 年 8 月 18 日の 39.0 度）。熱中症で搬送される人の数は急増し、地球温暖化の影響による異常気象で、気温ばかりでなくゲリラ豪雨や竜巻などの被害が相次ぐ。防災・減災対策をはじめとした国土強靱化へ向けた取り組みが急務となっている。

公益財団法人 八雲環境科学振興財団
研究レポート集 第 14 号

平成 25 年 10 月発行

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

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



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