

# 研究レポート集 2018

Report

第19号



THE YAKUMO FOUNDATION FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

公益財団法人 八雲環境科学振興財団

## 設立の趣旨



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

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

このような中で、21世紀に向けた「環境」に関するテーマについて、産官学がより一体となった学術研究面での充実および地球環境保全を視野に入れた国際的な意識の醸成を奨励することが必要であると考えました。そして、環境科学に関する調査研究の推進や創造性豊かな研究者の養成を支援することにより、岡山県における学術および技術開発の進展並びに国際研究交流の増進に貢献していくことを目的として、平成10年7月29日、「財団法人 八雲環境科学振興財団」が設立され、おかげさまで20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29年度事業実施状況	16
6. 年度別助成事業実施状況	19
7. 研究発表会実施状況	29
8. 平成29年度環境研究助成報告	33
9. 平成29年度国際研究交流助成報告	109
10. 平成28年度研究集会助成報告	115
11. 平成29年度研究集会助成報告	117
12. 平成29年度その他の助成報告	121
13. 助成実施要項	129
14. ご寄附のお願い	135

# 1. 巻頭言

岡山からさらなる環境科学の進展を期待して

皆さんはSDGsという言葉をご存知でしょうか？

外務省のHP (<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html>) には、SDGs について次のように記載されています。『持続可能な開発目標 (SDGs) とは、(中略) 国連サミットで採択された「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」にて記載された 2016 年から 2030 年までの国際目標です。持続可能な世界を実現するための 17 のゴール・169 のターゲットから構成され、地球上の誰一人として取り残さない (leave no one behind) ことを誓っています。(後略)』

また、環境省のHP (<http://www.env.go.jp/earth/sdgs/index.html>) では、『17 のゴールのうち、少なくとも 12 が環境に関連しています。環境省としてもアジェンダの実施に向け、気候変動、持続可能な消費と生産 (循環型社会形成の取組等) 等の分野において国内外における施策を積極的に展開していきます』と記されています。

岡山大学は昨年「第 1 回 ジャパン SDGs アワード特別賞」受賞の荣誉に浴し、代表事例 (36 例) をHP (<https://www.okayama-u.ac.jp/tp/profile/sdgs/index.html>) に掲載しており、私が所属する大学院環境生命科学研究科に関係する事例はそのうち 14 件にも及んでいます。環境省・環境生命科学研究科がSDGsに大きく着目していることは、環境科学がSDGsの進めていく上で一つの大きな役割をサイエンスの面から果たし得ることを示しています。また、これまで八雲環境科学振興財団がご支援してきた事業の多くがこのSDGsの方向性に合致していると私は思っております。

岡山には、八雲環境科学振興財団がご支援している環境科学研究を行っている大学・研究機関が多く存在しています。私を含めた研究者皆さんも、財団の皆さんもSDGsという言葉を特に意識せず事業に取り組んでこられたと思いますが、これまで実践してきたことがSDGsの概念に合致していることを、研究者と財団が共に理解し、今後もそれを発展させていくことを共通認識としてもつことができれば、【岡山がSDGsを念頭においた環境科学の先進地域】となり得ると思っております。

評議員 神 崎 浩  
(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	2億6,939万円(平成30年3月末現在)
事業概要	(1) 環境研究助成事業 環境科学に関する研究費用の助成(年間12件程度) ①特定研究(テーマ指定) 一件当たり100万円以内 ②一般研究(テーマ自由) 一件当たり 50万円以内 (2) 国際研究交流助成事業 環境科学に関わる海外渡航費用の助成及び海外研究者招聘費用の 助成(年間4件程度) 一件当たり 20万円以内 (3) 研究集会助成事業 環境科学に関する研究集会等の開催費用の助成(年間2件程度) 一件当たり 30万円以内
助成対象	岡山県内の大学等の研究機関に所属する研究者又は研究グループ

## 3. 役員等名簿

役職名	氏 名	現 職 等
代表理事	小谷 裕司	(株)エイト日本技術開発 代表取締役社長
理 事	河野伊一郎	倉敷芸術科学大学学長
	沖 陽子	岡山県立大学副学長
	辻 英明	岡山県立大学学長
	佐藤 豊信	岡山商科大学大学院経済学研究科教授
	波田 善夫	岡山理科大学生物地球学部教授
	阿部 宏史	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	(株)エイト日本技術開発 管理本部副本部長
評 議 員	本水 昌二	岡山大学名誉教授
	杉尾 剛	岡山大学名誉教授・杉尾化学合成独立栄養細菌研究所所長
	西垣 誠	岡山大学名誉教授
	鳥越 良光	岡山商科大学名誉教授
	星野 卓二	岡山理科大学生物地球学部特担教授
	神崎 浩	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	岩田 正晴	ロック地域計画事務所 代表
	谷本 俊夫	元E・Jホールディングス(株)取締役
藤井 勉	(株)エイト日本技術開発 専務取締役	
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
	大久保賢治	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	田村 隆	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	佐藤 文晴	岡山理科大学生物地球学部准教授
	永井 泉治	(株)エイト日本技術開発 取締役常務執行役員

## 4. 定款

### 公益財団法人 八雲環境科学振興財団 定款

#### 第1章 総則

(名称)

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

(事業所)

第2条 この法人は、主たる事務所を岡山県岡山市に置く。

#### 第2章 目的及び事業

(目的)

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

(事業)

第4条 この法人は、前条の目的を達成するため、次の事業を行う。

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

2 前項の事業については、岡山県において行うものとする。

(事業年度)

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

#### 第3章 財産及び会計

(財産の種類別)

第6条 この法人の財産は、基本財産及びその他の財産の2種とする。

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

3 その他の財産は、基本財産以外の財産とする。

(基本財産の維持及び処分)

第7条 基本財産については、適正な維持及び管理に努めるものとする。

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

(財産の管理・運用)

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

2 財産は、安全確実な方法で運用しなければならない。

(事業計画及び収支予算)

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

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

(事業報告及び決算)

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

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

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

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

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

(公益目的取得財産残額の算定)

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

(長期借入金及び重要な財産の処分又は譲受け)

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

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)であって、その代表者又は管理人)又は業務を執行する社員である者

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

① 国の機関

② 地方公共団体

③ 独立行政法人通則法第2条第1項に規定する独立行政法人

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

⑤ 地方独立行政法人法第2条第1項に規定する地方独立行政法人

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

3 評議員は、この法人の理事又は監事若しくは使用人を兼ねることができない。

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

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

(権限)

第16条 評議員は、評議員会を構成し、第20条に規定する事項を決議する。

(任期)

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

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

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

(報酬等)

第18条 評議員は無報酬とする。

2 評議員には、その職務を行うために要する費用の支払いをすることができる。

#### 第5章 評議員会

(構成)

第19条 評議員会は、すべての評議員をもって構成する。

(権限)

第20条 評議員会は、次の事項について決議する。

(1) 理事及び監事の選任及び解任

(2) 理事及び監事の報酬等の額

(3) 役員及び評議員に対する報酬等の支給の基準

(4) 定款の変更

(5) 事業計画及び収支予算の承認

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

(7) 残余財産の処分

(8) 基本財産の処分又は除外の承認

(9) その他評議員会で決議するものとして法令又はこの定款で定められた事項

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

(種類及び開催)

第21条 評議員会は、定時評議員会として毎年度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項の決議を行わなければならない。理事又は監事の候補者の合計数が第30条に定める定数を上回る場合には、過半数の賛成を得た候補者の中から得票数の多い順に定数の枠に達するまでの者を選任することとする。

(決議の省略)

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

(報告の省略)

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

(議事録)

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

2 議長とその会議に出席した評議員2人は、前項の議事録に記名押印する。

(役員の設置)

第30条 この法人に、次の役員を置く。

- (1) 理事 6名以上9名以内
- (2) 監事 3名

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

(役員の選任)

第31条 理事及び監事は、評議員会の決議によって選任する。

2 理事長は、理事会の決議によって理事の中から選定する。

3 監事は、この法人の理事又は使用人を兼ねることができない。

4 理事のうち、理事のいずれか1名とその配偶者又はその親族その他法令で定める特別の関係にある者の合計数は、理事総数の3分の1を超えてはならない。監事についても、同様とする。

5 他の同一の団体(公益法人を除く)の理事又は使用人である者その他これに準ずる相互に密接な関係にある者として法令で定める者である理事の合計数は、理事の総数の3分の1を超えてはならない。監事についても、同様とする。

6 この法人の理事のうちには、理事のいずれか1名及びその親族その他特殊の関係がある者の合計数が、理事総数(現在数)の3分の1を超えて含まれることとなってはならない。

7 この法人の監事には、この法人の理事及び評議員並びにこの法人の使用人が含まれてはならない。また、監事は、相互に親族その他特殊の関係があってはならない。

8 理事又は監事に異動があったときは、2週間以内に登記し、登記事項証明書等を添え、遅滞なくその旨を行政庁に届け出るものとする。

(理事の職務及び権限)

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

2 理事長は、法令及びこの定款で定めるところにより、この法人を代表し、その業務を執行する。

3 理事長は、毎事業年度に4ヶ月を超える間隔で2回以上、自己の職務の執行の状況を理事会に報告しなければならない。

(監事の職務及び権限)

第33条 監事は、次に掲げる職務を行う。

(1) 理事の職務執行を監査し、法令で定めるところにより、監査報告を作成する。

(2) 監事は、いつでも、理事及び使用人に対して事業の報告を求め、この法人の業務及び財産の状況の調査をすること、並びに各事業年度に係る計算書類及び事業報告書を監査すること。

(3) 評議員会及び理事会に出席し、必要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、役員の前全員の同意があるときは、招集の手続きを経ることなく理事会を開催することができる。

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

(議 長)

第45条 理事会の議長は、理事長がこれに当たる。

(定足数)

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

(決 議)

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

(決議の省略)

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

(報告の省略)

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

2 前項の規定は、第32条第3項の規定による報告には適用しない。

(議事録)

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

2 出席した理事長及び監事は、前項の議事録に記名押印する。

## 第8章 委員会

(委員会)

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

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

(選考委員会及び委員構成等)

第52条 この法人は、第4条第1項第1号から第3号に定める助成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号に掲げる法人であって租税特別措置法第40条第1項に規定する公益法人等に該当する法人に贈与するものとする。

## 第10章 事務局

(事務局及び職員)

第59条 この法人の事務を処理するため、事務局を設置する。

2 事務局には、必要の職員を置く。

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

(備え付け帳簿及び書類等)

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

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

## 第11章 情報公開及び個人情報の保護

(情報公開)

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

(個人情報の保護)

第62条 この法人は、業務上知り得た個人情報の保護に万全を期すものとする。

(公告の方法)

第63条 この法人の公告は、電子公告により行なう。

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

## 第12章 補則

(株式の権利行使の制限)

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

- (1) 配当の受領
- (2) 無償新株式の受領
- (3) 株主割当増資への応募

## (4) 株主宛配付書類の受領

(実施細則)

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

## 附 則

1 この定款は、一般社団法人及び一般財団法人に関する法律及び公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律の施行に伴う関係法律の整備等に関する法律第106条第1項に定める公益法人の設立の登記の日から施行する。

2 一般社団法人及び一般財団法人に関する法律及び公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律の施行に伴う関係法律の整備等に関する法律第106条第1項に定める特例民法法人の解散の登記と、公益法人の設立の登記を行なったときは、第5条の規定にかかわらず、解散の登記の日の前日を事業年度の末日とし、設立の登記の日を事業年度の開始日とする。

3 この法人の最初の理事長は、次に掲げる者とする。

理事長 小谷裕司 とする。

4 この法人の最初の評議員は、次に掲げる者とする。

本水 昌二 杉尾 剛 波田 善夫 西垣 誠 阿部 宏史  
鳥越 良光 岩田 正晴 谷本 俊夫 藤井 勉

5 この定款は、平成29年3月1日一部改正。

## 5. 平成 29 年度事業実施状況

平成 29 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 10,810 千円の助成を実施した。

当年度における公募の概要は次のとおりである。

### 募集の目的

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

#### I. 環境研究助成

一般研究	特定研究
<b>1. 助成対象研究</b> テーマは設定しません 自然科学と社会科学の両分野の研究で自然環境の改善（環境科学）に寄与するものとします。	平成 29 年度募集テーマ A 防災・減災に関する研究 B 生物多様性に関する研究（新テーマ） C 地球温暖化、低炭素社会に関する研究
<b>2. 助成金額と件数</b> 総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 300 万円程度 1 件あたり助成額 ・ ・ 50 万円以内 助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 6 件程度	総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 600 万円程度 1 件あたり助成額 ・ ・ 100 万円以内 助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 6 件程度
<b>3. 助成対象となる期間</b> 平成 30 年 3 月 31 日まで	平成 30 年 3 月 31 日まで

#### 4. 助成対象となる費用

研究に直接必要な経費を助成します。汎用性のある機器（パソコン、ファクシミリ、コピー機、携帯電話、カメラ等）の購入費は助成対象外とします。

#### 5. 助成対象者の義務等

- 下記の事項について財団所定の「合意書」を締結し、履行していただきます。
- 助成期間終了後 3 ヶ月以内に研究レポート（1 頁 2,000 字、A 4 で 6 頁程度）の提出
  - 平成 30 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 29 年 6 月 1 日から平成 30 年 5 月 31 日までに出発帰着する下記の派遣又は招聘

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

##### 2. 助成金額と件数

- 総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 80 万円程度
- 1 件あたり助成金 ・ ・ 20 万円以内
- 助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 4 件程度

##### 3. 助成対象となる費用

派遣又は招聘に必要な渡航費及び滞在費並びに研究集会参加費

##### 4. 助成対象者の義務等

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

#### III. 研究集会助成

##### 1. 助成対象

- 第 1 回募集（今回募集）：2 件程度  
平成 29 年 10 月 1 日から平成 31 年 3 月 31 日までに岡山県内で開催される、環境科学に関する研究集会、学術講演会、シンポジウム等
- 第 2 回募集（平成 29 年 10 月頃募集予定）：1 件程度  
平成 30 年 2 月 1 日から平成 31 年 3 月 31 日までに岡山県内で開催される、環境科学に関する研究集会、学術講演会、シンポジウム等

##### 2. 助成金額と件数

- 総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 90 万円程度
- 1 件あたり助成金 ・ ・ 30 万円以内
- 助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 3 件程度

##### 3. 助成対象となる費用

研究集会等の開催に要する会場費、印刷費、通信運搬費等の費用

##### 4. 助成対象者の義務等

- 研究集会等の開催が、当財団の助成を受けている旨の明示
- 研究集会等終了後 1 ヶ月以内に財団所定「報告書」および財団から助成を受けたことを示すもの（ポスター、HP、チラシ等）の提出。
- 開催を中止又は延期した場合、その理由書の提出と助成金の精算
- 開催を証明することのできる開催模様の写真等の提出。

## 応募手続き

### 1. 応募資格

- 環境科学との関連性がないものについての助成は認めません。申請書所定欄に環境科学との関連性について記述して下さい。
- 岡山県内の大学等の研究機関に所属する研究者（博士課程(後期)の大学院生を含む）。
- 研究機関の長又は学長若しくは学部長等の推薦を受け、申請書所定欄に記入して下さい。大学院生はそれに加えて、指導教官からの推薦状(様式自由)を添付して下さい。
- 環境研究助成、国際研究交流助成、研究集会助成に重複して応募はできますが、それぞれ1件までとします。また重複して応募された場合でも、助成対象となるのは1人又は1グループにつき最大1件とします。
- 平成28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29年度は同一の助成部門（「環境研究助成の特定研究部門」、「環境研究助成の一般研究部門」、「国際研究交流助成部門」、「研究集会助成部門」）に再応募することはできません。
- 国際研究交流助成において、研究集会等での発表を目的とする場合、応募者が発表者であることを要件とします。また、論文採択が予定の段階でも応募できますが、選定された場合の助成金の振込は、採択後とします。申請時において決定している場合は、「論文採択通知」等の写しを申請書に添付して下さい。
- 申請書について、白黒コピーの申請書によって審査いたします。

### 2. 募集期間と選考手続

	応募締切	最終決定	結果通知
I. 環境研究助成	平成29年 4月14(金)(必着)	平成29年 6月上旬	申請者及び推薦者に採否、助成金額及び交付期日と方法を通知いたします
II. 国際研究交流助成			
III. 研究集会助成			

※書類に不備があった場合、選定されない場合があります。

### 3. 申請書類

- 応募申請書様式は、各大学等の事務室等に配布しています。
- または、当財団のホームページからダウンロードして下さい。
- 申請書の様式は変更しないでください。

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

応募申請書類は、下記の財団事務局にご送付下さい。

<p><b>応募申請書類送付先・問い合わせ先</b></p> <p>〒700-8617 岡山市北区津島京町3丁目1番21号                  (株) エイト日本技術開発内                  公益財団法人 八雲環境科学振興財団 事務局                  TEL:086-252-7670                  FAX:086-252-8918                  Eメール: yakumo@ej-hds.co.jp</p>
---

## 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
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
国際研究交流助成事業	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
研究集会助成事業	岡山理科大学	1 件

平成 17 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	34件	13件	6,860千円
国際研究交流助成事業	10件	5件	1,000千円
研究集会助成事業	1件	1件	300千円
合計	45件	19件	8,160千円

○所属機関別助成実績

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

平成 18 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	37件	14件	8,250千円
国際研究交流助成事業	8件	4件	760千円
研究集会助成事業	1件	1件	300千円
合計	46件	19件	9,310千円

○所属機関別助成実績

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

平成 19 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	25件	14件	7,250千円
国際研究交流助成事業	3件	2件	400千円
研究集会助成事業	1件	1件	300千円
合計	29件	17件	7,950千円

○所属機関別助成実績

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

平成 20 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 21 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 22 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 23 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	29件	11件	6,890千円
国際研究交流助成事業	7件	5件	1,400千円
研究集会助成事業	2件	2件	600千円
合計	38件	18件	8,890千円

○所属機関別助成実績

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

平成 24 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	28件	12件	6,917千円
国際研究交流助成事業	5件	4件	744千円
研究集会助成事業	2件	2件	600千円
合計	35件	18件	8,261千円

○所属機関別助成実績

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



平成 25 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	19件	10件	4,738千円
国際研究交流助成事業	2件	2件	400千円
研究集会助成事業	2件	3件	800千円
合計	23件	15件	5,938千円

○所属機関別助成実績

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

平成 26 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	20件	10件	5,446千円
国際研究交流助成事業	5件	4件	775千円
研究集会助成事業	4件	3件	900千円
合計	29件	17件	7,121千円

○所属機関別助成実績

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

平成 27 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	28件	14件	8,323千円
国際研究交流助成事業	2件	2件	400千円
研究集会助成事業	1件	1件	300千円
合計	31件	17件	9,023千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	11件
	岡山理科大学	1件
	岡山県農林水産総合センター	1件
	就実大学	1件
国際研究交流助成事業	岡山大学	2件
研究集会助成事業	岡山大学	1件

平成 28 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	33件	14件	9,689千円
研究集会助成事業	6件	5件	1,500千円
合計	39件	19件	11,189千円

○所属機関別助成実績

	所属機関	助成件数
環境研究助成事業	岡山大学	10件
	岡山理科大学	2件
	岡山県農林水産総合センター	1件
	倉敷芸術大学	1件
研究集会助成事業	岡山大学	4件
	岡山理科大学	1件

## 7. 研究発表会実施状況

平成 29 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	35件	12件	8,924千円
国際研究交流助成事業	6件	5件	986千円
研究集会助成事業	4件	3件	900千円
合計	45件	20件	10,810千円

○所属機関別助成実績

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

累計（平成10年度～平成29年度）

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	509件	235件	134,806千円
国際研究交流助成事業	142件	93件	18,627千円
研究集会助成事業	28件	33件	9,580千円
合計	679件	361件	163,013千円

平成12年度

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

平成13年度

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

平成14年度

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

平成15年度

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

平成16年度

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

### 平成 17 年度

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

### 平成 18 年度

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

### 平成 19 年度

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

### 平成 20 年度

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

### 平成 21 年度

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

### 平成 22 年度

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

### 平成 23 年度

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

### 平成 24 年度

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

### 平成 25 年度

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

## 平成 26 年度

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

## 平成 27 年度

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

## 平成 28 年度

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

## 平成 29 年度

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

## 平成 30 年度

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

## 平成 29 年度 環境研究助成報告

## 8. 平成 29 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
根本理子	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	地球規模の炭素循環に関わる珪藻のシリコン貯蔵機構の解明	3 4
満身 稔	岡山理科大学 理学部	アクセプター集積多孔性亜鉛ポルフィリン錯体に 基づく光電荷分離システムの創製と光電変換特性 評価	4 0
珠玖隆行	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	岡山県の「防災教育」の実践に向けた研究	4 3
谷 明生	岡山大学資源植物科 科学研究所	植物根圏におけるランタノイド元素に依存する メタノール資化性細菌の多様性の解明	4 9
田中晃一	岡山県立大学 保健福祉学部	岡山県の自然環境中に生息する野生酵母の包括 的収集～桃太郎酵母コレクションの構築～	5 5
前田守弘	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	児島湖流入河川等の底質改善による生態系サー ビスの向上	6 2

### ② 一般研究

助成対象者	所 属	研究テーマ	ページ
高村浩由	岡山大学大学院 自然科学研究科	付着生物に対する環境低負荷型阻害剤の設計、 合成、および機能評価	7 1
三木直子	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	マングローブにおける通水特性を考慮した耐塩性 評価	7 8
中嶋佳貴	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	富栄養湖における生態系サービスに資する水生 植物相の再生及び創出	8 4
細谷和範	津山工業高等専門学校 総合理工学科	モーフィング技術を利用した流体関連振動装置の 試作	9 0
中野真人	岡山県農林水産総合 センター生物科学研 究所	植物免疫系を活用した環境低負荷型病害防除法の 開発	9 7
岩田 徹	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	備前市日生のカキ養殖生産に対する異常気象影響 の検証	1 0 3

# 地球規模の炭素循環に関わる珪藻のシリコン貯蔵機構の解明

岡山大学 大学院環境生命科学研究科

根本 理子

## 1. 目的

珪藻は光合成を行い増殖する微細藻類の一種であり、細胞外にシリカ ( $\text{SiO}_2$ ) でできた殻を形成する。地球全体の炭素固定の~20%を担っており、地球規模の炭素循環において重要な役割を果たしている。珪藻を始めとする海洋光合成微細藻類の増殖は、クロロフィルの生合成において必須の鉄が律速要因であることがわかっており、炭素固定量の増加を目的とした海洋への鉄散布実験が行われている。しかし、上記方法では海洋の鉄濃度の上昇に伴う生態系への影響が懸念される。珪藻の増殖を制御する他の因子として、殻の構成成分であるシリコン (Si) が挙げられる。最近の報告から、海水中のケイ酸 ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) 濃度と珪藻の存在量の間に関連が確認されている (*Biogeoscience* (2016) 13 4099-4109)。珪藻はシリカ殻形成のため、発達したシリコン取り込み能力及び貯蔵能力を有している。通常、海水中のケイ酸濃度は約  $70 \mu\text{M}$  程度である。珪藻はその 1000 倍以上、数百 mM の濃度のケイ酸を細胞内に取り込み、貯蔵できることが報告されている。溶液中のケイ酸は過飽和濃度である  $2 \text{ mM}$  を超えると重合し、沈殿してしまうことから、珪藻は有機物等を用いて高濃度のシリコンを溶解状態で細胞内に貯蔵するメカニズムを有していると考えられているが、その仕組みは明らかにされていない (*J. Phycol.* (2000) 36 821-840) (図 1)。

本研究の目的は、珪藻の増殖を左右するシリコンの貯蔵メカニズムを明らかにすることである。本研究により珪藻のシリコン貯蔵に関わる分子を明らかにすることができれば、地球の炭素固定の多くを担う珪藻の増殖を制御する新しい手法の開発につながる可能性がある。

申請者は、珪藻のシリコン代謝機構を明らかにするため、環境中から単離された様々な珪藻種を用いて、ケイ酸、及びケイ酸と共に珪藻内に取り込まれる酸性

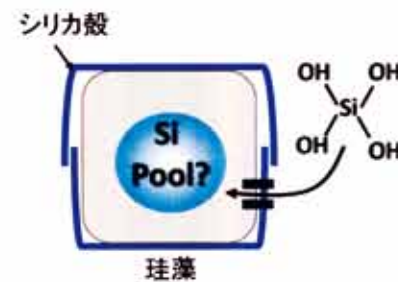


図 1 珪藻によるケイ酸の取り込みと貯蔵

の蛍光色素存在下で培養を行い、経時観察を行った。その結果、ケイ酸添加後、シリカ殻が形成されるまでの間に、珪藻内に蛍光を示す小胞が一過的に形成されることを初めて見出した (図 2)。この結果より、申請者は珪藻が細胞内にケイ酸を取り込んだ後、一時的に小胞内に蓄積し、殻形成に利用しているという仮説を立てた。本研究では、一過的に形成される小胞の微細構造学的解析、シリコン蓄積量変化のモニタリングを通して珪藻のシリコン貯蔵機構の解明を目指す。

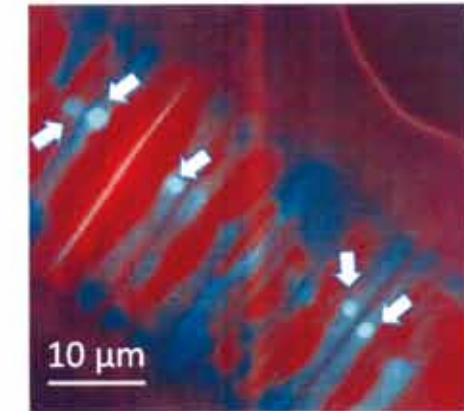


図 2 珪藻細胞内に一過的に形成された小胞(矢印)。赤く見えているのは葉緑体のクロロフィル蛍光

## 2. 方法

### 2-1. ケイ酸添加後、珪藻細胞内に形成される小胞の経時観察

対数増殖期まで培養した藻体を回収し、ケイ酸が入っていない培地に懸濁後、一定時間培養を行った。その後、ケイ酸および珪藻内に取り込まれる酸性の蛍光色素を添加し培養を行った。ケイ酸添加後、0h, 0.25h, 0.5h, 1h, 3h, 5h, 7h, 9h, 13h, 24h, 36h にサンプリングを行い、蛍光顕微鏡で観察を行った。撮影した蛍光顕微鏡画像から、画像解析ソフトを用いて、小胞サイズを計測した。

### 2-2. 珪藻細胞内に形成された小胞内容物の性状解析

珪藻細胞内に形成される小胞内容物の性状を解析するため、蛍光色素およびケイ酸添加後 9 時間の、小胞を形成した藻体を回収し、ガラスボトムディッシュに滴下した。滴下した藻体懸濁液を小さく切ったアガロースゲルでカバーした後、倒立型顕微鏡観察下で観察を行いながら、希釈したブリーチをアガロースゲル上に滴下し、0.5 秒毎に蛍光像を取得した。

### 2-3. 珪藻細胞内に形成された小胞の微細構造解析

蛍光色素およびケイ酸添加後 9 時間の、小胞を形成した藻体を回収し、buffer で調整したグルタルアルデヒド溶液に懸濁し、室温で固定を行った。その後、buffer で洗浄し、四酸化オスミウム中でさらに固定を行った後、再度 buffer で洗浄した。藻体のペレットをアガロースゲルに包埋後、細切した。その後、50%、70%、90%、95%、100%のエタノールを用いて脱水を行った。酸化プロピレンで置

換後、エポキシ樹脂を浸透させ、樹脂を重合させることで、サンプルを包埋した。ウルトラミクロトームを利用して、70-80 nm の超薄切片を作製後、グリッド上に採取した。酢酸ウラン溶液およびクエン酸鉛溶液を用いて電子染色を行った後、透過型電子顕微鏡を用いて観察を行った。

#### 2-4. エネルギー分散型 X 線分光装置 (EDX) を用いた小胞の元素分布解析

2-3 で作製した超薄切片を STEM-EDS を用いて解析し、小胞内部の元素分布を解析した。さらに、より感度を上げるため、2-3 と同じ包埋サンプルを用いて、1 μm の薄切片を作製し、同様に STEM-EDS を用いて解析した。

#### 2-5. 細胞内のシリコン蓄積量変化のモニタリング

2-1 と同じ方法を用いて、ケイ酸および珪藻内に取り込まれる酸性の蛍光色素を添加し培養を行った。ケイ酸添加後、0h, 0.25h, 0.5h, 1h 後にサンプルを回収し、遠心した上清を培地中のケイ素定量用として保存した。また、遠心後の沈殿を一回洗浄後、ミリ Q に懸濁し、100°C で一定時間加熱後、遠心した上清を細胞内の可溶性ケイ素画分として保存した。遠心後の沈殿に水酸化ナトリウムを添加し、再度加熱後、中和、遠心した上清をシリカ殻に取り込まれたケイ素画分として保存した。

上記で調整した各画分に含まれる Si 量を、モリブデンブルー法 (奥修 「吸光光度法ノウハウ」 参照) を用いて定量した。まず、検量線作成のため、ケイ酸標準液の希釈系列を作製した。サンプルに 酸性モリブデン溶液を添加後、混和し、インキュベーションした。その後、還元溶液を添加、混和しさらにインキュベーションを行った後、810 nm の吸光度を測定した。

### 3. 結果及び考察

#### 3-1. ケイ酸添加後、細胞内に形成される小胞の経時観察

ケイ酸添加後、小胞が形成されるまでの時間および小胞のサイズの経時変化を調べた結果、ケイ酸添加後 15 分後には新しく形成された被殻とともに小胞も観察された。また、時間とともに小胞の数およびサイズが増加していくことが示された。小胞のサイズはケイ酸

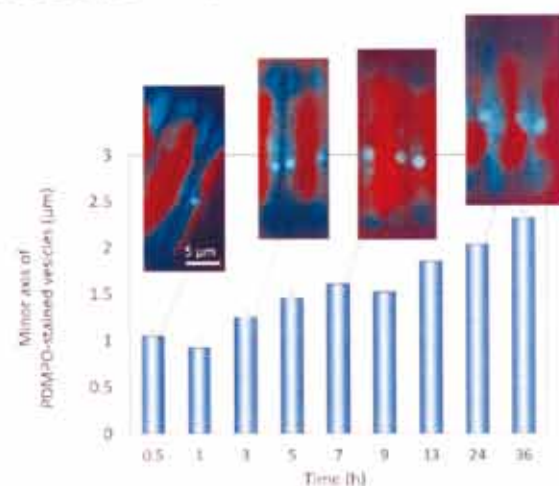


図3 細胞内に形成された小胞のサイズ変化

添加後 30 分に、平均短径 1 μm だったが、時間ごとにサイズが増大し、36 時間後には 2 倍以上のサイズになることが確認された (図 3)。また、小胞は細胞の中心付近に出現し細胞分裂前、もしくは分裂直後の細胞に観察される傾向にあった。

#### 3-2. 珪藻細胞内に形成された小胞内容物の性状解析

ケイ酸添加後珪藻細胞内に形成される小胞内容物の性状を調べるため、顕微鏡下で小胞を形成した細胞にブリーチを滴下し、小胞膜の破壊および観察を行った。その結果、ブリーチ滴下 15 秒後に小胞膜が破裂した後、小胞内容物はすぐになくならず、ゆっくり拡散していき、30 秒後には完全に蛍光が消失するのが確認された (図 4)。この結果より、小胞内容物は結晶化しておらず、コロイド状で存在していると推察された。また、ブリーチ処理後も既にシリカ殻内に取り込まれた蛍光は消失せずに残っているのが確認された。

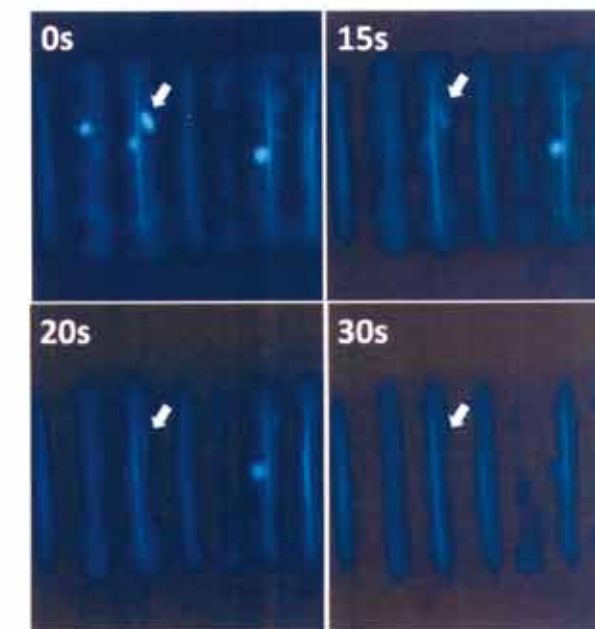


図4 ブリーチ滴下後、細胞内の小胞膜が破裂する様子を経時観察した結果

#### 3-3. 珪藻細胞内に形成された小胞の微細構造解析

小胞を形成した細胞から作製した超薄切片を電子染色後、透過型電子顕微鏡で観察したところ、小胞と考えられる構造物が形成過程にあるシリカ殻の近傍に観察された (図 5)。観察された構造物のサイズおよび細胞内局在から、蛍光顕微鏡下で観察された小胞と同じものであると考えられた。小胞のサイズは 0.9 μm-2.3 μm であり、小胞内部に電子密度の高い物質が確認された。

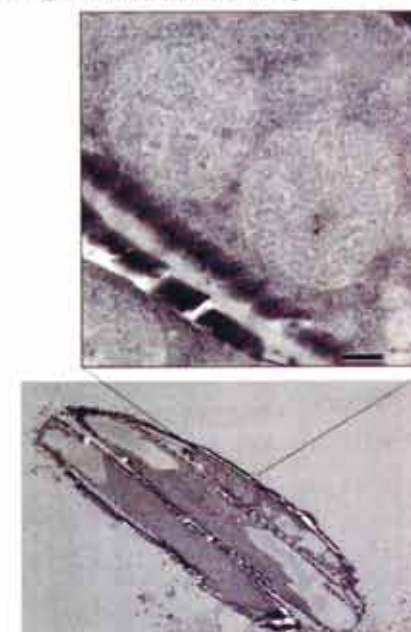


図5 小胞を形成した細胞の透過型電子顕微鏡像

### 3-4. エネルギー分散型 X 線分光装置 (EDX) を用いた小胞の元素分布解析

3-3で観察した超薄切片サンプルをSTEM-EDSを用いて解析し、小胞内の元素分布を調べた。その結果、小胞内にケイ素(Si)の蓄積は確認できなかった(図6)。直径約1 $\mu\text{m}$ の小胞内に蓄積した元素の量が少ないため、厚さ100nm以下の超薄切片では、うまく検出できていない可能性が考えられた。そこで、より元素を感度よく検出するため、1 $\mu\text{m}$ の厚さの薄切片を作製し、再度STEM-EDSを用いて解析した。その結果、やはりケイ素(Si)は検出されなかったが、小胞と思われる部分にリン(P)が蓄積していることが確認された(図7)。そこで、他の細胞についても解析したところ、同様に、シリカ殻に近接した小胞と思われる部分にリン(P)が蓄積していることが確認された(図8)。

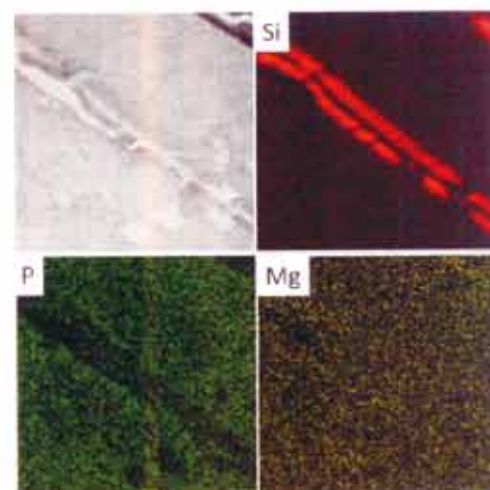


図6 超薄切片を用いた小胞および小胞周辺の元素分布解析結果

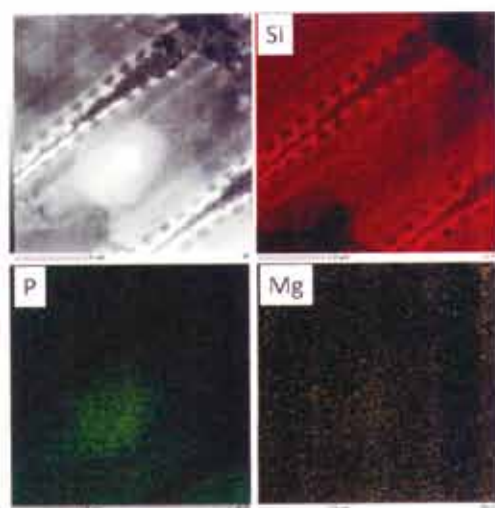


図7 薄切片を用いた小胞および小胞周辺の元素分布解析結果

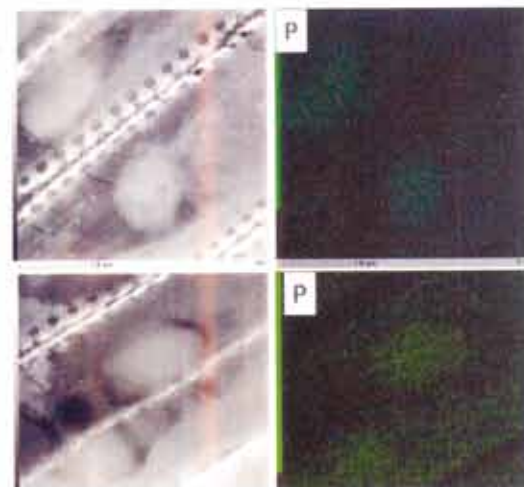


図8 シリカ殻近傍の小胞と思われる構造物中に濃縮されたリン(P)の元素分布図

### 3-5. 細胞内のシリコン蓄積量変化のモニタリング

細胞内の小胞形成とケイ素の蓄積量の関係を知るため、ケイ酸添加後、各時間にサンプリングを行い、培地中から細胞に吸収されたケイ素の量(Si uptake)、

細胞内の可溶性ケイ素の量(Soluble Si pool)、シリカ殻に取り込まれたケイ素の量(silica incorporated Si)を解析した結果を図9に示す。この結果より、ケイ酸添加後、15分後には培地中から細胞内へのケイ素取り込みは飽和し、細胞内に吸収されたケイ素の全てがシリカ画分に取り込まれていることが示された。また、細胞内の可溶性ケイ素の量は文献値(*J. Phycol.* (2007) 43 730-740)とほぼ同程度であり、ケイ酸添加後、0h、0.25h、0.5h、1hの間では大きく変動しないことが示された。ケイ酸添加後、0.25hよりも早い段階で、可溶性ケイ素の量が上昇している可能性も考えられる。細胞内のケイ素蓄積量と小胞形成の間に相関は見られなかった。

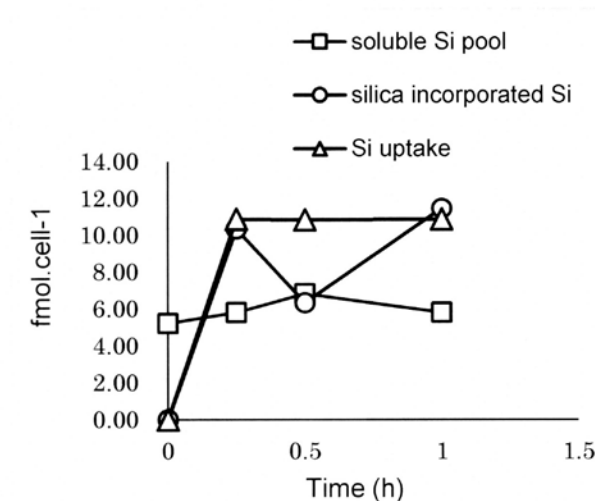


図9 ケイ酸添加後、各時間において、ケイ素の量(Si uptake)、細胞内の可溶性ケイ素の量(Soluble Si pool)、シリカ殻に取り込まれたケイ素の量(silica incorporated Si)を測定した結果

上記結果より、ケイ酸添加後、珪藻細胞内に観察される小胞にケイ素は蓄積していなかった。またケイ素の取り込みと小胞形成のタイミングにも相関が見られなかったことから、珪藻細胞内に一過的に形成される小胞はシリコンの貯蔵には関与していないことが示された。一方で、小胞内にリンが蓄積している可能性が示された。細胞内の小胞は必ず、細胞分裂後の形成過程にあるシリカ殻の近傍に観察されることから、シリカ殻の形成に必要なリン化合物の蓄積に関与している可能性が考えられた。

### 謝辞

本研究をご支援いただきました八雲環境科学振興財団に深く感謝致します。



## アクセプター集積多孔性亜鉛ポルフィリン錯体に基づく 光電荷分離システムの創製と光電変換特性評価

岡山理科大学理学部化学科 満身 稔

### 1. 背景と目的

化石燃料の枯渇によるエネルギー問題や地球温暖化による環境問題の解決策として、無尽蔵かつクリーンな太陽光エネルギーを電気エネルギーや化学エネルギーへ変換する太陽電池や人工光合成などが挙げられ、技術開発が緊急の科学技術である。このような状況下、金属-有機構造体(MOFs)や多孔性配位高分子(PCPs)とよばれる多孔性金属錯体は、光捕集を担う色素が高秩序で配列することによって高効率の光捕集と励起エネルギーの輸送が期待できることから、近年、新たな光捕集システムとして積極的に研究されている(H.-J. Son et al., *JACS*, 2013, 135, 862; C. A. Kent et al., *JACS*, 2010, 132, 12767)。しかしながら、光励起によって生じた励起子はすぐに失活するので、光エネルギーを効率良く電気エネルギーや化学エネルギーに変換するためには、特別な工夫が必要である。その工夫として、我々は光電荷分離状態の利用に着目した。光電荷分離によって電子を受容した状態は強力な還元剤として、電子を供与した状態は強力な酸化剤として機能する。この光電荷分離状態から、電気エネルギーを取り出せば太陽電池であり、化学エネルギーを取り出せば人工光合成や様々な電子移動触媒となり、光エネルギーを有効利用した多方面での科学技術の創成が期待できる。しかしながら、多孔性金属錯体に基づく光電荷分離システムに関する研究は、ほぼ未開拓の研究領域である。

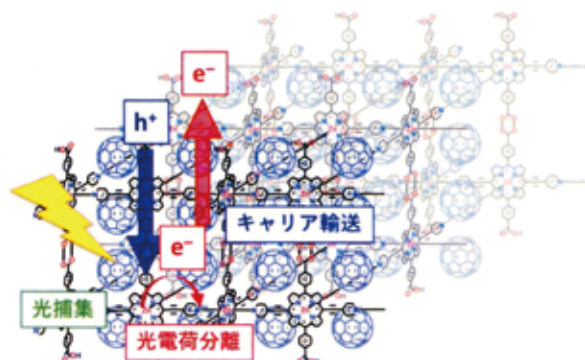
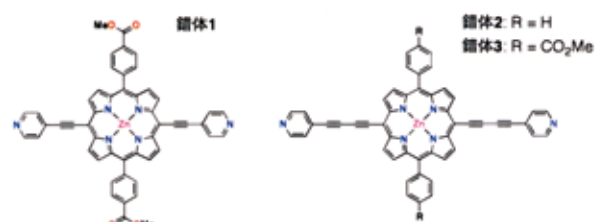


図1. 多孔性金属錯体に基づく光電荷分離システム

そこで我々は、図1に示す多孔性金属錯体に基



づく光電荷分離システムの創製を目指している。アクセプターとしてフラレンを細孔内に内包したフラレン内包多孔性亜鉛ポルフィリン錯体を開発するために、4-ethynylpyridyl基を導入した亜鉛ポルフィリン錯体1を合成し、この錯体が自己集合によって二次元四角格子を形成し、これらが積層した多孔性亜鉛ポルフィリン錯体の細孔内にC<sub>60</sub>分子の挿入を行った。その結果、フラレン内包多孔性亜鉛ポルフィリン錯体の初めての例となる錯体1-C<sub>60</sub>-1.5 $\alpha$ -DCB( $\alpha$ -DCB =  $\alpha$ -ジクロロベンゼン)の結晶化とX線結晶構造解析に成功した。さらに、レーザー過渡分光法により、光電荷分離状態の生成を確認し、その寿命が0.25 nsであることを明らかにした。この錯体では、van der Waals半径を考慮した四角格子の辺の長さが9.2 Åであり、C<sub>60</sub>分子のvan der Waals直径(約10.1 Å)に比べて小さく、C<sub>60</sub>分子は四角格子内に入れず二次元シート間だけに位置し、細孔内でC<sub>60</sub>が密に詰まった集積構造を構築できなかった。この結果より、電荷再結合を抑制するには、二次元四角格子の拡張によってフラレンが細孔内で密に詰まったネットワーク構造を形成させ、分子軌道ではなく、これによって生じるバンドで電子を比較的安定に受け取り、逆電子移動を遅くすることが重要であると考えられた。そこで、C<sub>60</sub>分子が収まるサイズの二次元四角格子の形成が可能な亜鉛ポルフィリン錯体として、5,15-位のメソ位に4-(4-pyridyl)-1,3-butadienyl基を導入した $\pi$ 拡張亜鉛ポルフィリン錯体2,3を新規に合成し、その結晶構造と吸収・発光スペクトルを調べたので報告する。

### 2. 実験

原料である5,15-dibromo-10,20-bis(4-carboxymethylphenyl)porphyrinatozinc(II)と4-

ethynylpyridineをPdCl<sub>2</sub>(PPh<sub>3</sub>)<sub>2</sub>とCuIを触媒に用いた菌頭カップリングによって反応させ、錯体1を群青色の微結晶として得た。フラレン内包多孔性亜鉛ポルフィリン錯体1-C<sub>60</sub>-1.5 $\alpha$ -DCBは、錯体1のDMSO溶液とC<sub>60</sub>の $\alpha$ -ジクロロベンゼン溶液を反応させ結晶を得た。錯体2と3の合成では、まず、原料となる5-phenyldipyrromethaneまたは5-(4-methoxyphenyl)dipyrromethaneと3-(triisopropylsilyl)-2-propynalを反応させ、MacDonald型縮合によりポルフィリン環を形成した後、亜鉛(II)イオンを挿入した。さらに、トリイソプロピルシリル基の脱保護を行った後、クロスカップリングを用いて4-ethynylpyridineと反応させ、錯体2と3の合成を行なった。

### 3. 結果と考察

錯体1-DMSOの93 Kにおける結晶構造を図2に示す。亜鉛原子周りの配位環境に着目すると、亜鉛(II)イオンの軸位に隣接する二つの亜鉛ポルフィリン分子のピリジル基が上下から配位して四角格子状に繋がり、期待どおりの二次元シート構造を形成していることが確認できた。

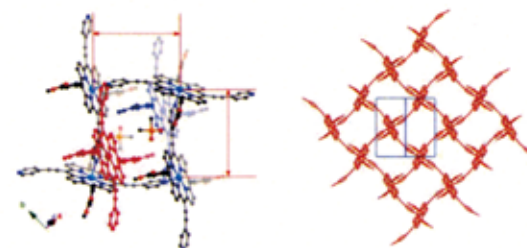


図2. 錯体1-DMSOの93 Kにおける結晶構造

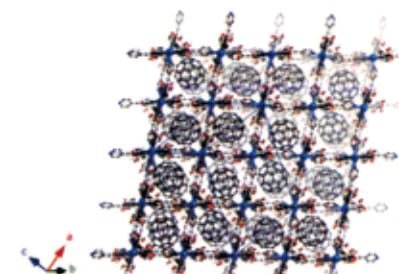


図3. 錯体1-C<sub>60</sub>-1.5 $\alpha$ -DCBの結晶構造

フラレン内包多孔性亜鉛ポルフィリン錯体1-C<sub>60</sub>の結晶構造を図3に示す。結晶構造解析から、この錯体は亜鉛ポルフィリンとC<sub>60</sub>の比が1対1で存在していることを明らかにした。亜鉛原子周りの配位環境に関しては、亜鉛(II)イオンの軸位に隣接する二つの亜鉛ポルフィリン分子のピリジル基が上下から配位して四角格子状に繋がり、錯体1と同様な二次元シート構造を形成している

ことが確認できた。結晶内に存在するC<sub>60</sub>分子は四角格子のサイズが小さいので、格子内に存在するのではなく、四角格子の上下のみに位置しており、二次元シートに挟まれる形で存在している。この錯体は、フラレン内包多孔性亜鉛(II)ポルフィリン錯体の初めての例である。

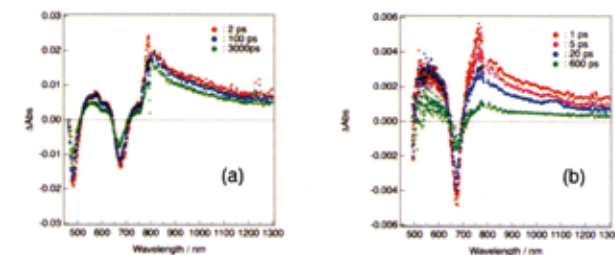


図4. 錯体1-DMSO(a)と1-C<sub>60</sub>-1.5 $\alpha$ -DCB(b)の過渡吸収スペクトル

錯体1-DMSOの過渡吸収スペクトルを図4(a)に示す。800 nm付近に吸収極大が観測され、これは一重項励起状態にある亜鉛ポルフィリン錯体<sup>1</sup>ZnP\*のsinglet-singlet吸収に帰属される。この吸収の強度は1 nsまでは変化しないので、<sup>1</sup>ZnP\*の寿命は1 nsより長いことがわかる。一方、680 nmと480 nm付近で符号が反転しているのはソーラー帯とQ帯の吸収の減少(ブリーチング)によるものである。次に、錯体1-C<sub>60</sub>-1.5 $\alpha$ -DCBの過渡吸収スペクトルを図4(b)に示す。励起1 ps後の吸収は<sup>1</sup>ZnP\*のsinglet-singlet吸収に帰属される。励起20 ps後では、1080 nmに新たな吸収が出現し、これはC<sub>60</sub>ラジカルによる吸収に帰属される。<sup>1</sup>ZnP\*からC<sub>60</sub>へ電子移動が起こり、電荷分離状態が生成していることを示している。この吸収の強度の時間依存性から、電荷分離寿命は0.25 nsと見積もられた。この錯体1-C<sub>60</sub>-1.5 $\alpha$ -DCBは結晶性試料であるため光起電力の実験を行うことができなかった。しかしながら、結晶試料に端子を取り付け、ソーラーシミュレーターを利用した照射下でのI-V特性の測定では、光伝導が観測された(図5)。

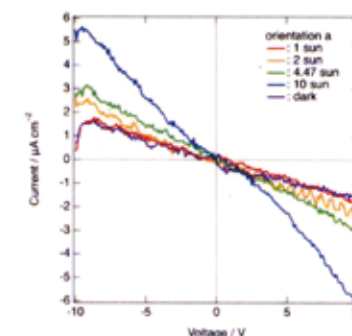


図5. 錯体1-C<sub>60</sub>-1.5 $\alpha$ -DCB照射下でのI-V特性

錯体 1-C<sub>60</sub>-1.5 $\theta$ -DCB では、電荷分離が観測されたが、電荷分離寿命は 0.25 ns と非常に短く、この寿命を伸ばすには、二次元四角格子の拡張によってフラレンが細孔内で密に詰まったネットワーク構造によりバンドを形成し、分子軌道ではなく、このバンドで電子を比較的安定に受け取り、逆電子移動を遅くすることが重要であると考えられた。そこで、C<sub>60</sub>分子が収まるサイズの二次元四角格子の形成が可能な亜鉛ポルフィリン錯体として、5,15-位のメソ位に 4-(4-pyridyl)-1,3-butadynyl 基を導入した  $\pi$  拡張亜鉛ポルフィリン錯体 2,3 を新規に合成した。錯体 2 と 3 は類似した結晶構造であるため、ここでは錯体 2 の結晶構造についてのみ説明する。錯体 2 の四角格子部分と結晶構造を図 6 にそれぞれ示す。結晶の空間群は P2<sub>1</sub>/c である。結晶構造から錯体 2 の構造を確認できた。図 6 (a) に示すように、平面 4 配位の亜鉛(II)イオンの上下の軸位に隣接するポルフィリン分子のピリジル基が配位することによって二次元四角格子を形成していた。図 6 (b) 示すように、単位格子内には 2 種類の層間距離があり、a と b, c と d の短い層間では対角方向に約半周期ずれており、さらにこれらのシート間では対角方向に約 1/4 周期ずつずれて積層していた。van der Waals 半径を考慮した格子の一辺の距離は、約 11.9 Å であり、C<sub>60</sub>分子はサイズの的に格子内に入ることができると考えられる。

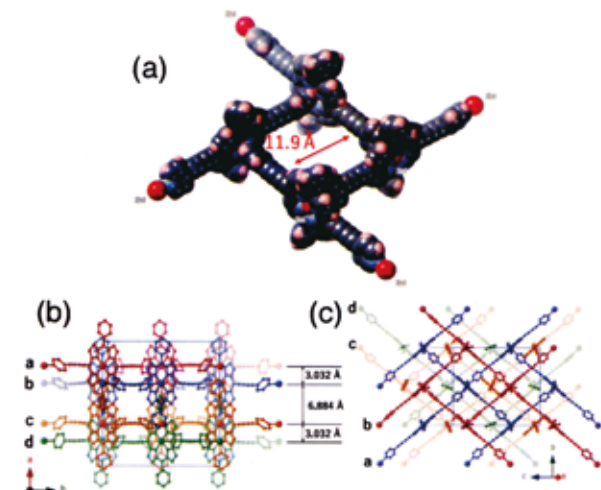


図 6. 錯体 2 の四角格子の構造(a)と結晶構造(b),(c)

図 7 に示す錯体 2 の DMF 溶液の紫外可視吸収スペクトルでは、ポルフィリン特有の吸収帯である Soret 帯 (453 nm) と Q 帯 (667 nm) が観測された。また、蛍光スペクトルでは 673 nm に発光極大が観測され、Q 帯の吸収と発光バンドの重な

りが見られた。錯体 1 の Soret 帯と Q 帯はそれぞれ 449 nm, 652 nm に、発光バンドが 656 nm に観測されており、錯体 2 の吸収、発光バンドはいずれも低波長側にシフトしていることが確認できた。この理由はポルフィリン環の共役系の拡大によると考えられる。吸収と発光バンドが重なっていることから、錯体 2 は蛍光共鳴エネルギー移動を示すと期待される。

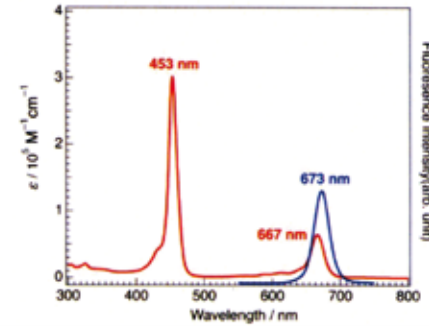


図 7. 錯体 2 の DMF 溶液の吸収・発光スペクトル

#### 4. まとめ

本研究では、錯体 1 を用いてフラレン内包多孔性亜鉛ポルフィリン錯体の初めての例となる 1-C<sub>60</sub>-1.5 $\theta$ -DCB の合成と結晶構造解析に成功した。この錯体では、期待している電荷分離が観測されたが、電荷分離寿命は 0.25 ns と非常に短く、この寿命を伸ばすには、二次元四角格子の拡張によってフラレンが細孔内で密に詰まったネットワーク構造形成が必要であると考えられた。そこで、5,15-位のメソ位に 4-(4-pyridyl)-1,3-butadynyl 基を導入した  $\pi$  拡張亜鉛ポルフィリン錯体 2,3 を新規に合成した。X 線結晶構造解析から、錯体 2,3 は C<sub>60</sub>分子が収まるサイズの二次元四角格子を形成することを明らかにした。今後は、これらの錯体の二次元四角格子が積層してできるチャンネル内にフラレン(C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub>)やコラニレンを導入し、長寿命の電荷分離システムを開発したいと考えている。また、光起電力測定に必要な薄膜の作製についても検討を行う予定である。

#### 謝辞

本研究の遂行にあたり多大なるご支援を頂きました八雲環境科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、過渡吸収スペクトルを測定していただいた阪大未来戦略機構、大久保敬招へい教授、名城大学、福住俊一教授、I-V 特性を評価していただいた分子科学研究所、伊澤誠一郎博士、平本昌宏教授に深く感謝申し上げます。

## 1. はじめに

自然災害の中で人命を失う数は過去よりはるかに少なくなっている。しかし、危険な所への社会整備が続けられている背景もあり、集中豪雨や台風等による災害の規模が拡大する傾向にあるため、災害後に「想定外」という言葉をしばしば耳にするようになった。

行政は、地域の災害に関して、分かる範囲の情報を出している。しかし、その主旨が住民には伝わっていないようだ。どうすれば住民に伝えられるかと考えると、防災に関する事前教育が一番大切であると結論付けられる。地盤に関する専門家が個々の場所に対して診断し、その地区にどんな危険性があるか(地盤リスク)を検討して、安価な対策やリスクからの回避方法を提示することが最良の方法と考える。

本研究では、岡山の地域特性と災害履歴を整理し、地震災害、豪雨(土砂)災害、河川(氾濫)災害と防災教育の情報発信をテーマとした検討を加え、災害形態ごとの防災教育のあり方を検討する。併せて、土石流災害に対するシミュレーション解析を行って、有益な土石流対策の提案を行う。

## 2. 岡山の災害事例と予測される災害

### 2.1 地震災害

1926 年以降(昭和・平成)における岡山地域の主な地震災害の事例について岡山地方気象台および岡山県の資料に基づいて取りまとめると表 2.1 のようである。

### 2.2 豪雨災害

岡山は災害の少ない県という認識があるが、豪雨による土砂災害事例を表 2.2 に示す。

### 2.3 河川災害

岡山県内においても、表 2.3 に示すように過去に台風、前線の接近がもたらす豪雨災害により、多くの被害が発生している。

表 2.1 岡山地域の主な地震災害

発生年	地震名(震央)	地震規模	震内最大震度	被害
1927	北丹後地震	M7.3	4	県南部にわずかな被害
1930	広島県北部	M5.9	5	大きな被害なし
1934	徳島県北部	M5.6	4	大きな被害なし
1943	鳥取地震	M7.2	5	県北東部で小規模な山崩れ、地割れ等
1946	南海地震	M8.0	4	県南部で大きな被害(液状化・建物倒壊)
1952	吉野地震	M6.7	4	大きな被害なし
1988	豊後水道	M6.6	4	大きな被害なし
1995	兵庫県南部地震	M7.3	4	負傷者1名
2000	鳥取県西部地震	M7.3	5強	県北西部および岡山市の軟弱地盤地域を中心に建物倒壊等の被害
2001	雲予地震	M6.7	4	建物一部破損等
2002	鳥取県中部	M5.5	4	大きな被害なし
2006	大分県西部	M6.2	4	大きな被害なし
2007	愛媛県東予	M5.3	4	大きな被害なし
2013	淡路島付近	M6.3	4	軽傷1名
2014	伊予灘	M6.2	4	負傷者あり
2016	鳥取県中部	M6.8	5強	建物一部破損等

#### 参考文献

- 岡山地方気象台 岡山県内で震度 4 以上を観測した地震(1926 年~2016 年)及び被害地震。  
<http://www.jma-net.go.jp/okayama/quake/sindo4.pdf>
- 岡山県 岡山県における地震・津波の記録。  
<http://kikikanri.pref.okayama.jp/gcon/bo33gnsaigai3.html>

表 2.2 岡山県で発生した主な土砂災害

発生年月	要因	主な被災地	主な被災地
昭和47年7月	集中豪雨	県北部から県中部	昭和四十七年七月災害誌
昭和51年9月	台風17号	県東部、県南西部、県南東部	昭和五十一年九月台風第十七号災害誌
平成2年9月	台風19号	県東部、県南東部	平成二年九月台風第十九号災害誌
平成10年10月	集中豪雨	県東部、県南東部	平成10年 台風第10号大災害の傷跡

※ 岡山県土木部防災砂防課ホームページ資料

表 2.3 過去の主な風水害

災害の原因	被害					
	死者	負傷者	全壊(流出)	半壊	床上浸水	床下浸水
明治26年10月 台風	423	不詳	12,920		50,209	
昭和9年9月 室戸台風	110	42	420	3,417	46,131	
昭和47年7月 梅雨	15	18	126	215	3,206	13,365
昭和51年9月 台風第17号	17	1	93	152	234	6,321
平成2年9月 台風第19号	10		10	36	1,615	8,316
平成10年10月 台風第10号	5	1	27	19	17	2,668
平成16年 台風第16号	1		16	17	48	5,729
平成16年 台風第23号	7		34	13	54	352
平成21年8月 台風第9号	1		4	14	114	204
平成23年9月 台風第12号			5	2	133	952

出典：岡山県国土強靱化地域計画

### 3. 地震災害（津波・液状化を含む）

地震災害を対象とした防災教育の検討にあたり、岡山県地域において想定すべき地震を検討する。通常、地震はプレート境界で発生する地震とプレート内部で発生する地震（活断層地震）とがある。岡山県において大きな被害をもたらすと考えられているのは、南海トラフで発生するプレート境界地震および近傍の活断層（山崎断層帯、那岐山断層帯、中央構造線活断層系、長者ヶ原-芳井断層）である（図 3.1）。

これらプレート境界および活断層によって引き起こされる地震の想定マグニチュードと発生確率は表 3.2 のように考えられている。

この表に基づき、想定すべき地震として南海トラフ巨大地震（M9 クラス）が適当と判断する。この地震は発生確率が今後 30 年で 70%と、他の地震に比べ格段に大きい。またこの地震による岡山県における想定震度は南部の平野部で震度 6 弱以上と考えられ、想定される被害についても他の地震に比べ大きくなるものと考えられている。南海トラフ巨大地震では強い揺れによる強震動災害に加え、県南部の広範囲で液状化災害が発生し、最大高 3~4m 程度の津波が襲来すると想定されている。



図 3.1 岡山県の地震災害の主な誘因  
産総研 活断層データベースに加筆

表 3.2 各誘因のマグニチュードと発生確率

地震のタイプ	震源	マグニチュード	発生確率（*1）
海溝型地震	南海トラフ	M8~M9	60~70%
活断層地震	山崎断層帯	M3.0	1~2%
活断層地震	中央構造線活断層系	M3.0	2%
活断層地震	那岐山断層帯	M7.5	0.20%
活断層地震	長者ヶ原-芳井断層	M7.4	0.10%

\*1: 今後 30 年以内

### 4. 豪雨災害（斜面崩壊、土石流）

豪雨による災害の形態としては、急傾斜地崩壊・土石流・地すべりが挙げられる。表 4.1 は、岡山県内のこれらの危険箇所について整理したものである。本表から読み取れる傾向として、絶対数としての危険箇所は、面積の広い岡山市と山間地の市町村（高梁市、新見市、真庭市など）が多い傾向にあるが、単位面積あたりの危険箇所数は玉野市、笠岡市、備前市、矢掛町などが上位となっている。また、単位人口あたりの危険箇所数は新庄村、西栗倉村、鏡野町などが上位となっている。このような状況を踏まえると、防災教育の実践における対象地の選定は、危険箇所の密度や住民への影響度なども考慮することが必要であろうと考える。

表 4.1 市町村別の豪雨災害危険箇所数

市町村	急傾斜地崩壊危険箇所		土石流危険箇所		地すべり危険箇所		計	面積 (km <sup>2</sup> )	人口 (人)	単位人口 (1/100)						
	内河川	内河川	内河川	内河川	内河川	内河川										
岡山市	794	1	126	2	888	2	890	1,482	1,789,888	11.721,949	0.206					
瀬戸内市	277	7	100	3	221	12	63	2	14	800	214,241	1.993	14	476,364	0.126	
津山市	244	19	45	8	291	6	38	8	3	641	2,306,206	1.268	22	501,348	0.622	
玉野市	125	16	80	11	228	11	18	13	2	375	102,461	3.819	1	58,641	0.629	
笠岡市	189	12	88	8	285	10	88	2	9	434	135,993	3.338	2	48,182	0.942	
高梁市	801	6	39	12	179	13	14	16	11	591	242,242	2.429	8	29,891	1.852	
新見市	169	12	45	5	218	14	38	5	2	388	14	212	1.825	17	87,585	0.576
真庭市	595	2	147	1	495	3	62	7	64	1,134	3,947,011	2.130	10	20,628	3.768	
備前市	439	5	86	4	545	4	73	2	29	813	4,782,271	1.277	20	29,048	2.487	
備前市	484	4	22	381	2	0	21	0	10	847	6,218,221	2.290	3	32,094	2.529	
備前市	87	18	0	22	33	27	0	21	0	120	20	125,511	0.936	25	26,210	0.221
赤松市	131	14	29	14	219	8	34	10	3	472	12	209,431	2.239	8	42,718	1.107
真庭市	490	2	26	5	840	1	169	1	23	1,090	2,828,431	1.681	11	44,191	3.152	
備前市	325	8	7	20	540	3	10	17	19	915	5,429,119	2.122	9	26,947	3.424	
備前市	10	20	86	2	112	2	72	4	0	172	18	66,481	2.588	3	32,388	0.515
加東市	190	17	32	12	441	19	20	13	0	243	17	144,221	1.747	15	12,909	1.812
早島町	11	26	10	19	0	0	21	0	10	11	27	1.93	1,443	19	12,349	0.089
備前市	10	27	7	20	10	31	6	20	0	20	28	12.23	1.635	17	10,980	0.182
美作市	83	19	20	18	134	18	7	19	0	227	18	90.82	2.613	4	13,686	1.734
新庄村	27	22	22	13	42	29	20	12	0	89	23	61.1	1.029	24	844	0.175
鏡野町	190	11	0	22	217	9	0	21	3	512	11	419.69	1.220	22	12,291	4.169
備前市	19	24	17	17	18	20	9	18	4	34	25	34.99	0.629	27	10,940	0.211
備前市	19	24	13	15	42	25	29	11	2	64	24	89.34	0.920	26	5,425	1.126
西栗倉村	21	22	0	22	75	20	0	21	0	96	22	37.93	1.637	18	1,426	8.722
西栗倉村	22	21	0	22	64	21	0	21	4	101	21	38.8	1.284	19	4,891	2.153
備前市	212	9	0	22	216	12	0	21	7	520	10	332.15	2.282	7	12,842	2.861
備前中央市	190	11	42	10	143	17	29	12	10	341	19	268.72	1.289	21	11,290	3.019
備前市	2833	1042	8743	803	187	0	12875									

### 5. 河川災害に関する岡山特有の事象

#### (1) 地盤高

岡山市街地が位置する岡山平野のゼロメートル地帯の面積は、東京、大阪の約 2 倍、濃尾平野に次いで 2 番目の広さを有している。このゼロメートル地帯内には人口・資産が集中しており、氾濫時には甚大な被害が発生することが懸念されている。

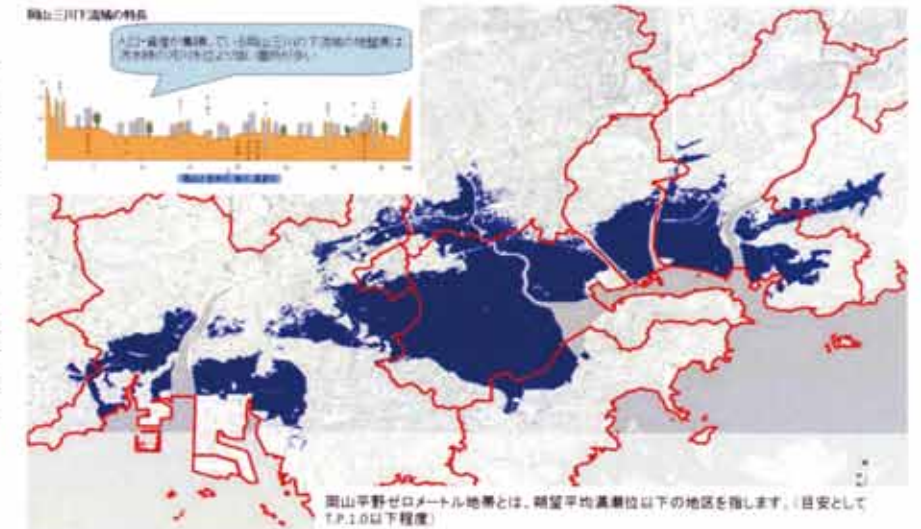


図 5.1 岡山地帯ゼロメートル地帯範囲

#### (2) 発達した水路

岡山平野は、古くから、農地開発を主な目的として、埋立・干拓により、農地として造成された歴史的経緯から、農業用水路が発達している。主に、岡山市内では、洪水時に水路が溢水した際に、道路と水路の境界が不明確と成り、避難行動に影響することが懸念される。なお、岡山市により水路へ転落防止柵の設置が進められており、今後、このような状況は解消するものと推察される。

こうした自助や共助の手段をより多く確保できるように手助けすることが、防災教育活動の主な目的である。そのためには、様々な災害の形態とその対策についての情報提供・情報発信が必要である。

防災教育活動の HP コンテンツ項目の計画としては、大項目として以下のように考えている。

- (a) 防災教育ワーキンググループ活動概要
- (b) 防災関連情報サイトリンク集
- (c) 防災 Q&A
- (d) 自主防災マップ等の構築

また、防災関連情報サイトリンクの組み込みや自主防災マップ等の構築も視野に入れた有益で実用的な情報発信サイトの構築が望ましい。

### 6. 防災教育活動の情報発信

身近な所に様々な危険が潜んでいることを日頃から認識し、また対策を考えておくことが防災上の心構えとして重要である。それらを周囲の人とも共有することで、災害が発生したときに自らの安全を確保でき、また周囲の人を助け、さらには周囲の人に助けってもらうことも期待できるようになる。

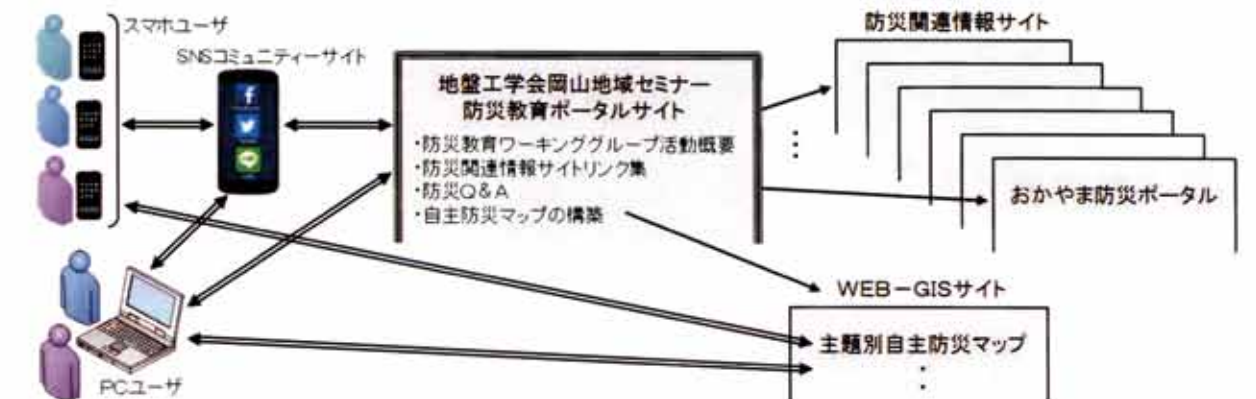


図 6.1 防災教育ポータルサイトを中心とする情報発信計画イメージ図

## 7. 岡山県知事部局・教育庁の取り組み

### ◎ 岡山県知事部局（危機管理課）

#### (1) 岡山県ホームページ

##### 「おかやま防災ポータル」



- (2) 新版「防災対策総合防災ガイド」
- (3) 「備えて安心 わが家の防災対策」
- (4) 「おかやま防災情報メール」



- (5) 新防災ガイド「ももたろうの防災」
- (6) 砂防教室



### ◎ 岡山県教育庁

#### (1) 防災教育の推進

- a) 岡山県実践的安全教育総合支援事業
- b) 高校生地域防災ボランティア  
リーダー育成研修
- c) 被災地における防災ボランティア研修

#### (2) 教職員研修の充実

- a) 学校保健安全研修会
- b) 防災教育推進講習会

#### (3) 学校防災マニュアル作成例および 防災教育実践事例集の提供

## 8. 継続性のある防災教育のあり方

### (1) 防災教育に求められるもの

防災教育において、教育の優先順位を考慮した場合、第一は命を守ることである。

次に優先すべきは、年齢の違いによる教育の在り方であろう。子供たちは社会生活の中で、法律や大人たちの保護によって大きく守られているが、津波や火災の炎が子供だからと言って避けて通ることは無いし、両親が助けてくれる保証もない。したがって、子供も自分で自分の命を守る行動ができるように教育する必要がある。

また、高齢者は自分の生きてきた経験から災害に遭わないと言う根拠のない過信から、命を守る行動が出来ない状況がある。

このように、防災教育は教育対象者ごとの方針・方法を検討する必要がある。

### (2) 防災教育システム（案）

上記を踏まえた形で、防災のスペシャリストである大学の先生や、行政の担当者、防災法人（NPO や公益法人）等の方たちが講座を開催しても、受講生には限りがある。

そこで、より多くの方が防災教育を受けられるために、下図に示すような防災教育を実施できる人材（仮称 防災教育士）を育てるシステムを提案する。



図 8.1 防災教育士の育成と教育の普及イメージ

## 9. 防災に関連したシミュレーション技術

### 9.1 研究の背景

土石流のようなマスマーブメントを数値シミュレーションによって再現する場合、地盤材料の強い非線形性や流体のように振舞う挙動にも適用可能な手法を選定する必要がある。

ここでは、粒子法の中でも MPS 法に着目し、MPS 法を土石流の数値シミュレーションに適用した結果を報告する。具体的には、MPS 法によって流体の挙動を表現する Navier-Stokes 方程式を離散化するとともに、簡易な侵食モデルを導入し、土石流による地山の侵食を考慮する。地山の侵食の有無が計算結果（流出土砂量）に及ぼす影響について検討し、今後有効と考えられる土石流対策について議論する。

なお、ここでは Moving Particle Semi-implicit (MPS) 法の理論に関しては割愛し、土石流のシミュレーション結果に絞って記載する。

### 9.2 数値実験

#### 9.2.1 計算条件

ここでは、図 4.3 に示す単純な斜面モデルを対象に、土石流の数値シミュレーションを実施した。計算に用いたパラメータを表 4.1 にまとめた。影響半径については、越塚(2005)により示されている値を使用した。具体的には、粒子密度の計算には、粒子直径の 2.1 倍の値を用い、ラプラシアンモデルの計算は、粒子直径の 4.0 倍の値を用いた。1 ステップあたりの解析時間増分は、計算が安定する値を試行錯誤的に求め、0.005 sec と設定した。

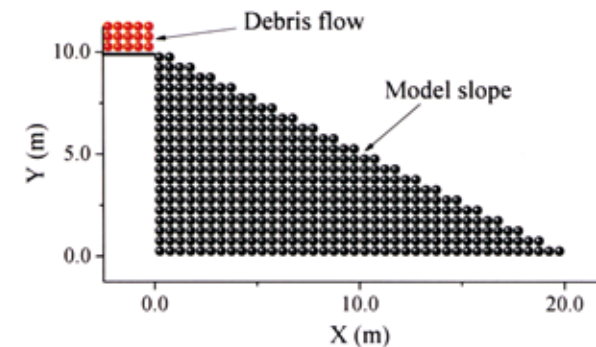


図 9.1 粒子配置図

表 9.1 計算に用いたパラメータ

Kinematic viscosity	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	0.001
Density of debris flow particles	$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	2,000
Porosity of soil bed	$\lambda$	0.395
Parameter for erosion rate (1)	$\alpha$ (m/(s·Pa <sup>1/2</sup> ))	0.1
Parameter for erosion rate (2)	$\gamma$	1.0
Threshold shear stress	$\tau_c$ (Pa)	0.001
Radiation of a particle	$l_0$ (m)	0.5
$r_p$ for particle number density	$r_{pn}$ (m)	2.1 $l_0$
$r_p$ for Laplacian model	$r_{lap}$ (m)	4.0 $l_0$
Time increment	$dt$ (s)	0.0005

#### 9.2.2 計算結果

図 9.2(a) は斜面の侵食を考慮しない場合の土石流の流下プロセスの計算結果を示している。図 9.2(b) は、斜面の侵食を考慮した場合の土石流の流下プロセスの計算結果を表している。この計算において、侵食された粒子には土石流と同じパラメータを与えた。侵食を考慮しない場合と比較して、土石流の到達によって斜面が削られる様子が再現できていることがわかる。また、土石流の厚さも、侵食を考慮しない場合と比較して、2~3 倍となっている。侵食を考慮しない計算では、計算開始 50 秒経過した段階でも、土砂が下流に到達していないが、侵食を考慮した場合は、おおよそ 35 秒で下流に到達している。これは、侵食された土砂がさらに次の侵食を引き起こし、流下する土砂量が加速度的に増加するためである。ここで示した計算は、経験的に設定したパラメータを用いており、実際の土石流を精度良く表現しているとは言えないものの、挙動の定性的な理解には有効な結果であると考えられる。

#### 9.2.3 土石流対策に関する考察

前節で示したように、土石流による地山・斜面の侵食により崩壊土砂量や土石流のスピードが速くなる可能性があることがわかった。このような結果から、土石流対策としての法面保護工も有効であることが示唆される。法面保護工は、原則として安定勾配で施工したのり面に実施するものであるが、自然斜面に対して適用することにより、土石流発生時の流下土砂量を低減できることが期待される。

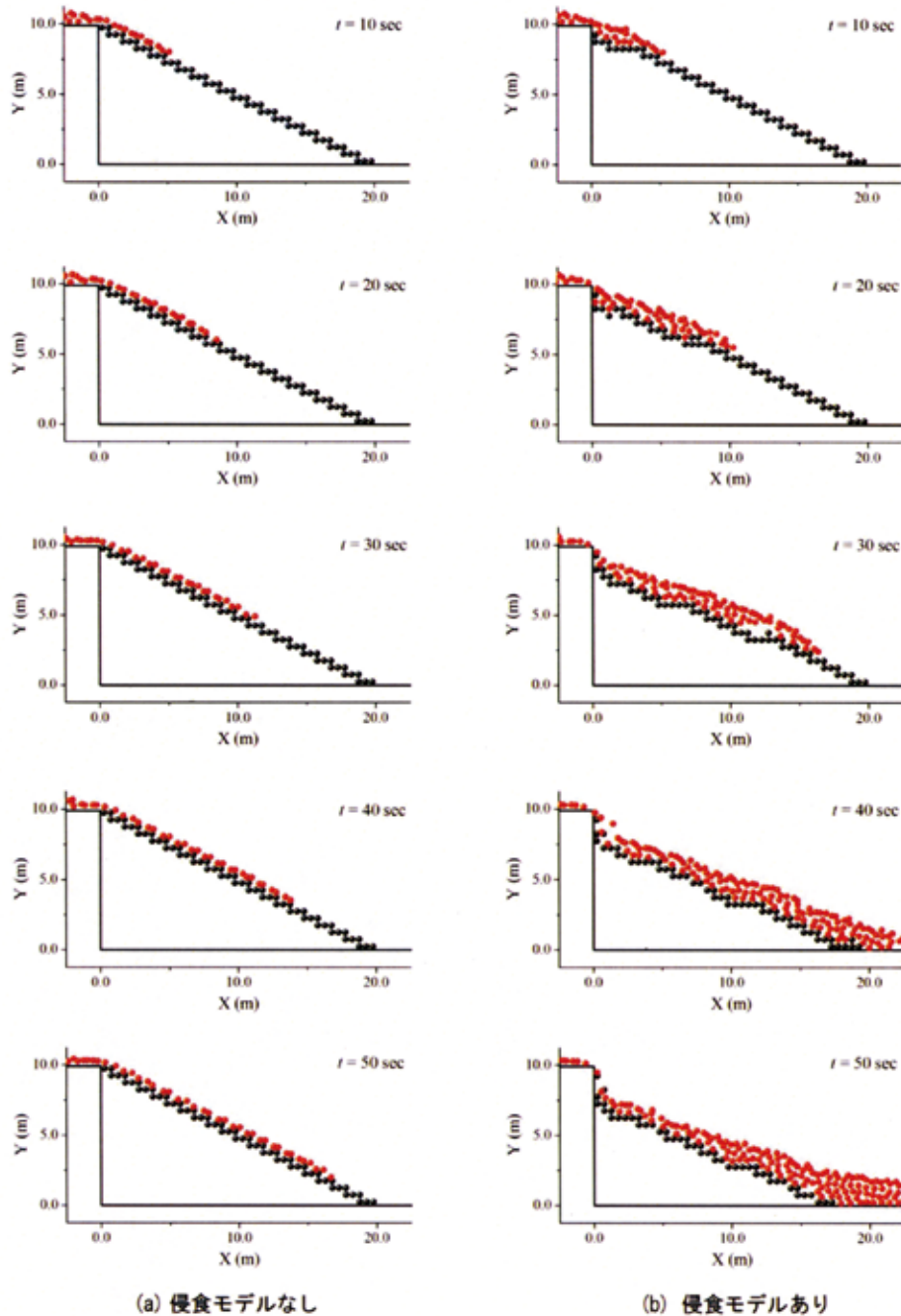


図 9.2 土石流の再現シミュレーション結果

これまで、種々の法面緑化工や構造物工が提案され実務に適用されており、それらオーソライズされた方法が自然斜面にも適用できる可能性がある。景観に配慮した工法として、植生工の適用が望ましく、近年では、降雨による侵食対策だけでなく、斜面を安定化させるための植生技術も提案されており、それらの技術の応用も、今後土石流対策として期待できる。

以上のように、数値シミュレーションの結果を参照することにより、有効な対策を議論

することができ、またここでは触れることができなかったが、対策工の効果を定量的に示すことが可能である。本章で示した解析手法による対策工の効果の検証については今後の検討課題としたい。

「岡山で防災の話をして人も集まらない」といった意見もあるが、以前企画した講演・討論会は、昨今の全国的な災害の多発傾向もあり、予想に反して大盛況であった。また、防災教育のツール、方法論は最近になり非常に充実してきている。しかし、それが実効性を持つか持たないかは、防災教育に関して本気に取組もうとする人間が何人いるか、にかかっている。本気の議論が自分の住んでいる地域レベルでできるような体制や環境作りが重要であろう。

「防災教育」は「(通常の)教育」よりもその効果が見えにくい。そのような難しいトピ

ックに対して、有益な結果を得るためには、多面的な視点による取り組みが重要である。本研究には、産官学のメンバーのそれぞれの立場による防災への考え方や知識を融合し、今後繋がる礎が構築できた。

## 10. まとめとして

本報告書では、2017年度に活動した内容を報告させていただいたが、研究活動自体は2018年度現在も継続しており、今後の活動や成果にも期待してほしい。

## 【緒言】

メタン・メタノールなど還元型の炭素を一つだけ持つ化合物を C1 化合物と呼び、これらは地球上での炭素循環に大きく寄与している。天然ガスの主成分であり、また噴火などの自然現象や水田での農業によって発生するメタンは合計 3 億トンに達し、地球温暖化に寄与している。あまり知られていないが、植物がペクチンのメチルエステルを切断することによって生じるメタノールは、地球上で年間 1 億トンと見積もられている。このような C1 化合物を単一炭素源・エネルギー源として利用できる微生物群を(広義の)メチロトロフと呼んでおり、メタンを利用するものをメタノトロフ、メタノールを利用できるものを(狭義の)メチロトロフと呼ぶ。

メタンを酸化するとメタノールが生成することから、メタノトロフ・メチロトロフではメタノールからの酸化経路は共通している。グラム陰性細菌ではメタノールの酸化にはメタノール脱水素酵素 (Methanol dehydrogenase, 以下 MDH) が関わっている。これまでグラム陰性のメチロトロフは、*Methylobacterium* 属細菌をモデルとして研究が 50 年以上なされてきており、そのメタノール代謝経路に関わる遺伝子・酵素はほぼ完全に理解されていた。MDH は補酵素としてピロロキノリンキノン (Pyrroloquinoline quinone, PQQ) とカルシウムイオンを活性中心に持ち、メタノール資化性細菌ゲノムに *mxoF* という遺伝子にコードされている。本属細菌のゲノムが明らかになったとき、*mxoF* とアミノ酸配列で 50% 程度の相同性を持つ *xoxF* 遺伝子が見つかった。*xoxF* 遺伝子は、その欠失株がメタノールに生育しないことから MDH であることが示唆されていたが、生化学的にその活性を測定することができず、謎の遺伝子とされていた(1,2)。

一方、ランタノイドは産業のビタミンとも呼ばれ様々なハイテク製品に用いられている。金属に混ぜると特異的に性質が変化したり強化されたりし、レーザーやモーターに使われる。その産出は世界で偏っていることから、資源の安定的な供給が見込まれていた。2011 年に、ランタノイド存在下で生育が促進される微生物の一つとして本属細菌が発見され、その MDH 活性が高いこと、ランタノイド存在下で MDH を精製すると、謎であった遺伝子産物 XoxF であることが報告された(3)。その後好酸性メタノトロフでもその生育がランタノイドに依存していること、その XoxF が精製され、X 線構造解析によってその活性中心にランタノイドが含まれることが報

告された(4)。以上のことから、XoxF は生物学的に初となるランタノイド依存酵素であることが分かった。さらに、XoxF はこれまでメチロトロフであるとされていなかった微生物のゲノムにも多くコードされている。自然界ではランタノイド存在下でメタノールを利用して生育できる微生物が多く存在すると考えられるが、我々の作製する微生物用培地には取って入れていないことから、これまで培養・分離されてこなかったのではないかと考えられる。

以上のことから、メチロトロフ研究はランタノイド依存酵素の発見で新たな局面を迎えている。*Methylobacterium* 属細菌においてはカルシウム型、ランタノイド型両方の MDH を持つことから、そのランタノイド濃度に応じた発現応答や、両者のメタノール代謝における違いについて私たちも研究を行っている(5)。また、ランタノイド存在下ではこれまで分離されていなかった新しい細菌が分離される可能性があることから、スクリーニングを行った結果、二つの新しい属に属する微生物を分離することができた。その一つ、イネの根圏から分離された *Novimethylophilus kurashikiensis* は *mxoF* を持たず、*xoxF* のみを持ち、ランタノイドの存在に依存してメタノールに生育する(6,7)。

*Methylobacterium* 属細菌は植物葉上の主要な共生細菌で植物の気孔から放出されるメタノールを利用している。一方、これまでのメタゲノム解析等により、植物根圏にもメチロトロフが含まれていることが分かっている。そのメチロトロフは、やはり土壌に存在するランタノイドに依存して植物由来のメタノールを利用しているのだろうか？そこで本研究では、植物根圏において植物由来のメタノールを利用し、かつ土壌のランタノイドを利用して生育する微生物にはどのような種類が存在するかを明らかにすることを目的とした。

#### 【方法】

##### (1) イネの根からのメタノール放出量の測定

図1に示すように、滅菌したイネの種子から発芽した幼苗(7日間、新鮮重量0.07g)を1/2キムラB培地溶液に浸し、培地溶液に浸出するメタノールをガスクロマトグラフィー(島津GC-2014、InterCap WAX カラム 0.53 mm, 30 m (GLサイエンス社)、FID 検出器、カラム温度 110-152 °C(6 °C/min)、キャリアガス窒素)で検出した。

##### (2) 圃場の土壌のランタノイド濃度測定

研究所の圃場の土を常温で乾燥させ、2 mm のふるいにかけて、1.0 g の土を 80 °C で 24 時間乾燥させ、再度重量測定した。この土を 5, 25, 125, 625 ml の水に懸濁し、2 時間攪拌した。遠心分離後、上清 1 ml を 1 ml の 60% 硝酸、10 ml の水と混合し、ICP-MS(Agilent 7500cx)で分析した。

##### (3) 土壌からの微生物群集の精製

研究所の圃場の土 10 g を 100 ml の 0.2%ピロリン酸ナトリウムに懸濁し、1.33 g/ml のシュクロース溶液 100 ml に重層した。5500 x g, 2 min 遠心し、上層を 1/3 vol の 0.8%塩化ナト

リウム溶液で薄め、20,000 x g, 10 min で遠心し細菌菌体を得た。細菌菌体を 20 ml の 0.8%塩化ナトリウムで懸濁し、1-0.2 g:1ml の Histodenz 溶液各 500  $\mu$ l に重層した。17,000 rpm, 1 h 超遠心し、上から 5 つのフラクションに分けた。中間層をとり、PBS 溶液で薄め遠心を繰り返し、菌体を洗浄した。最終的に 0.5 ml PBS 溶液に懸濁した菌体を得て、CFU(Colony forming Unit)を R2A 培地によって求めた。

##### (4) La, メタノール存在下での微生物群集の遷移

(3)で精製した微生物群集懸濁液 100  $\mu$ l を NMS 培地 100 ml に懸濁し、1  $\mu$ M LaCl<sub>3</sub>, 0.01% メタノール存在下・非存在下で 4 日間培養した。LaCl<sub>3</sub> と 0.01%メタノールは 1 日に 2 回加えた。培地をサンプリングし、GC によりメタノール濃度を測定した。また上清の La 濃度を ICP-MS により測定した。1,2 及び 4 日後に菌体を回収し、CTAB 法により DNA を精製した。常法に従い 16S rRNA の全長を PCR で増幅し、電気泳動で PCR 産物を確認した。サンプルは生物技研にて MiSeq による 2x300bp の条件での Amplicon Seq 解析に供した。

#### 【結果と考察】

##### (1) イネの根からのメタノール放出

図1に示すように、18 ml の培地において、8 時間後に最大 3.5 mM (~0.01%) のメタノールが検出された。その後濃度は下がっていったが、空気が交換される条件で行っていたためメタノールの蒸発が起こったか、無菌的に行っていたにもかかわらず残っていた細菌によって分解されたことが示唆された。イネを浸していない培地ではほとんどメタノールは検出されなかった。

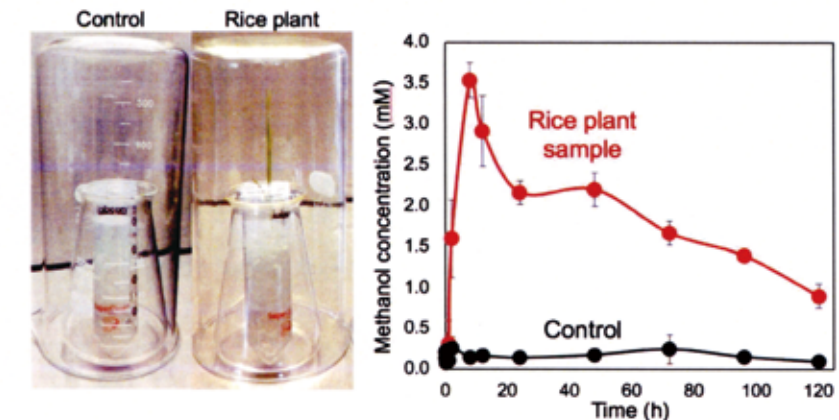


図1. イネの根からのメタノール放出

##### (2) 圃場の土壌のランタノイド濃度測定

研究所圃場の土壌は 1.57%の結合水を保持しており、pH は 6.45 であった。土から抽出された金属イオンを測定した結果、表1に示すとおり、濃度が高いランタノイドは La, Ce であり、これらは 10 nM 程度(土:水=1:5の時)であった。これら濃度は植物が土壌から吸収する微

量必須元素であるコバルト、モリブデン等と同程度であった。

### (3)メタノール存在下での微生物群集の遷移

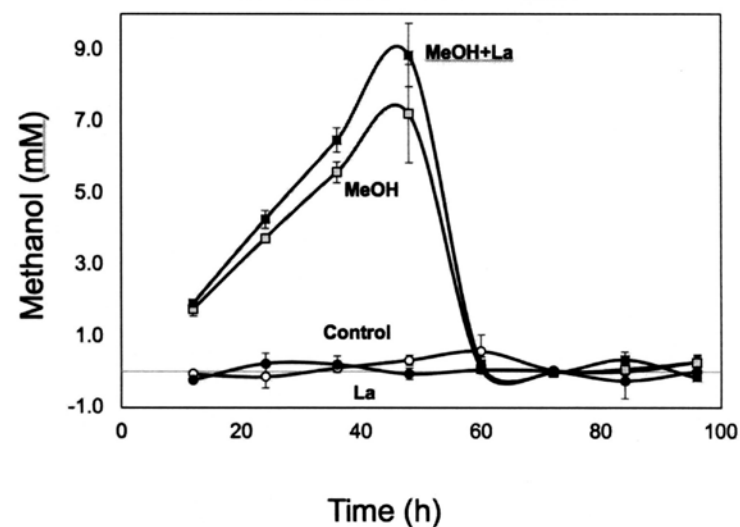
精製した微生物群集は  $3\sim 4 \times 10^7$ -cells/ml の濃度であった。上記4条件(3反復)でのメタノール濃度の推移は図2に示した。La<sup>3+</sup>の有無にかかわらず48時間後までは加えたメタノールに従って濃度が上昇し、60時間後には急激にほぼ消費されたことから、4日目のサンプリング時には微生物叢が形成されたと考えられる。La<sup>3+</sup>の濃度は、培地にリン酸が含まれているためリン酸ランタンとなって沈殿したと考えられ、遠心分離した沈殿にほぼ100%存在した。

微生物群集構造解析結果は図3に示したように、主成分分析によると1,2,4日で遷移が見られた。1日目にはメタノール、La<sup>3+</sup>の存在は群集構造に影響していないことが分かる。メタノールがないと、2日目と4日目にはほとんど差がない。4日目にはメタノールの存在がその構造に大きく影響していることが伺え、La<sup>3+</sup>の存在はそれほど影響していないことが見て取れる。各反復実験結果を細かく見ると、図4に示すように、ほとんどのサンプルで3反復での差がなく、似たような遷移をしたことがうかがえる。また、主成分分析でも分かるように、La<sup>3+</sup>の有無は群集構造に大きな影響は与えていないことが分かる。従って、La<sup>3+</sup>の存在に反応した細菌の存在はこの実験では検出されなかった。

表1. 圃場土壌のランタノイド濃度

REEs (nM)		Metals (nM)	
Sc	15	Ca	162000
Y	11.2	Si	106000
La	5.5	K	106000
Ce	11.4	Na	94400
Pr	1.4	Al	25500
Nd	5.5	Mg	25200
Sm	1.2	P	24000
Eu	0.3	Fe	10100
Gd	1.2	Mn	1800
Tb	0.2	Zn	781
Dy	1	Cu	651
Ho	0.4	B	455
Er	0.7	Ti	443
Tm	0.1	V	188
Yb	0.8	Li	184
Lu	0.1	Cr	172
		Ba	162
		Ni	83.8
		Co	19.4
		Pb	16.8
		Sb	11.1
		Cd	2.6
		Mo	1.5

図2. 培養液中のメタノール濃度



個別の OTU(Operational Taxonomic Unit)では、*Methylotenera mobilis* の存在比がメタノールに依存して高いことが分かる。この種はメタノール資化性で両方の金属に依存する MDH(MxaF, XoxF)を持つ(8)。この OTU が La<sup>3+</sup>に依存せず増加していることから、土壌から精製した細菌群集に含まれていた微量のランタノイドに依存して増加した可能性がある。La<sup>3+</sup>の存在により4日目に反復実験の中で異なる挙動を示すものがあり *M. mobilis* と同じ科の別属と考えられる OTU、*Methylobacteriaceae*に属する OTU が検出された。

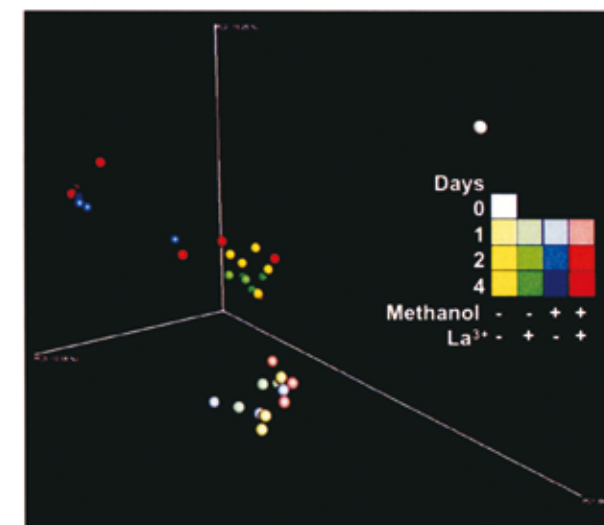


図3. 微生物群集構造のPCA解析結果

以上のことから、La<sup>3+</sup>の存在に関わらず *M. mobilis* が優占化し、この種は両方の MDH を持つため、La<sup>3+</sup>の存在に特異的に応答した微生物を検出することはできなかった。このことは精製した微生物群集に土壌から持ち込んだランタノイドが残存している可能性を示唆している。三反復の中で一反復だけ *M. mobilis* に近縁の OTU と *Methylobacteriaceae* の OTU が増加した。これらの解析で優占化が検出された微生物を実際に分離しゲノム配列を解析することで、これらが XoxF のみを持つ細菌かどうか、今後分かってくると考えられる。

### 【参考文献】

- Schmidt S, Christen P, Kiefer P, Vorholt JA. Functional investigation of methanol dehydrogenase-like protein XoxF in *Methylobacterium extorquens* AM1. *Microbiology* 156:2575–2586. (2010)
- Skovran E, Palmer AD, Rountree AM, Good NM, Lidstrom ME. XoxF is required for expression of methanol dehydrogenase in *Methylobacterium extorquens* AM1. *J Bacteriol* 193:6032–6038. (2011)
- Hibi Y, Asai K, Arafuka H, Hamajima M, Iwama T, Kawai K. Molecular structure of La<sup>3+</sup>-induced methanol dehydrogenase-like protein in *Methylobacterium radiotolerans*. *J Biosci Bioeng* 111:547–549. (2011)
- Pol A, Barends TRM, Dietl A, Khadem AF, Eygensteyn J, Jetten MSM, Op den Camp HJM. Rare earth metals are essential for methanotrophic life in volcanic mudpots. *Environ Microbiol* 16:255–264. (2014)
- Masuda S, Suzuki Y, Fujitani Y, Mitsui R, Nakagawa T, Shintani M, Tani A. Lanthanide-

## 岡山県の自然環境中に生息する野生酵母の包括的収集 ～桃太郎酵母コレクションの構築～

岡山県立大学 保健福祉学部 栄養学科  
教授 田中 晃一

dependent regulation of methylotrophy in *Methylobacterium aquaticum* strain 22A. *mSphere* 3:e00462-17 (2018)

6. Lv H, Sahin N, Tani A. Isolation and genomic characterization of *Novimethylophilus kurashikiensis* gen. nov. sp. nov., a new lanthanide-dependent methylotrophic species of *Methylophilaceae*. *Environ Microbiol* 20, 1204-1223 (2018)

7. Lv HX, Masuda S, Fujitani Y, Sahin N, Tani A. *Oharaeibacter diazotrophicus* gen. nov., sp. nov., a diazotrophic and facultatively methylotrophic bacterium, isolated from rice rhizosphere. *Int J Syst Evol Microbiol* 67, 576-582 (2016)

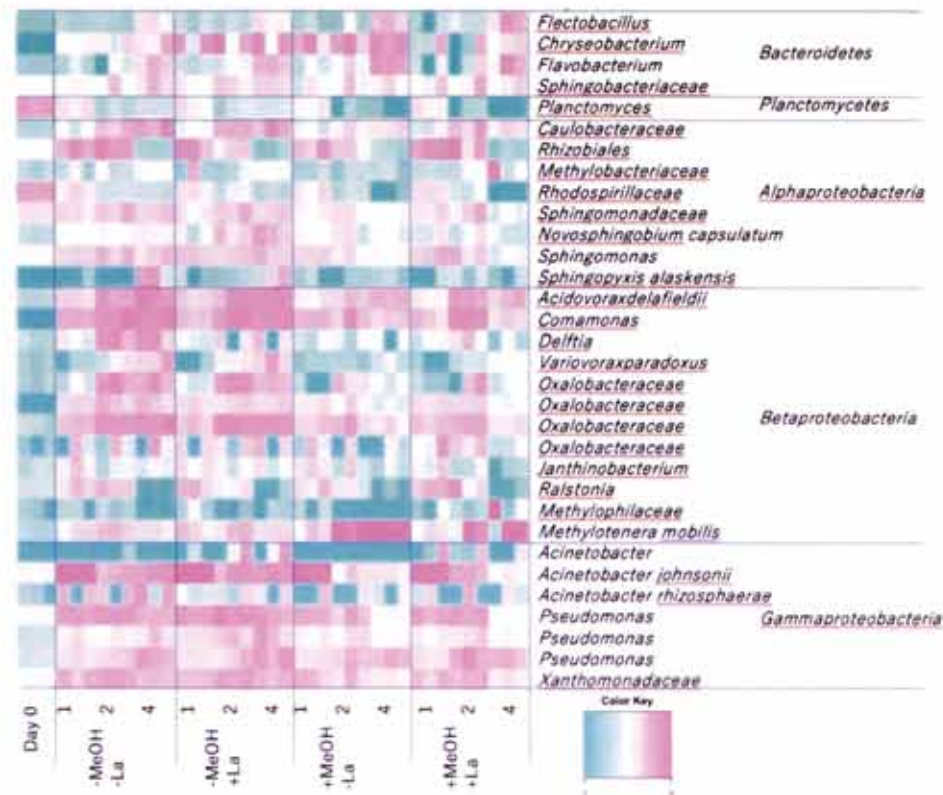
8. Huang J, Yu Z, Chistoserdova L. Lanthanide-dependent methanol dehydrogenases of XoxF4 and XoxF5 clades are differentially distributed among methylotrophic bacteria and they reveal different biochemical properties. *Front Microbiol*. 9:1366. (2018)

### 【謝辞】

本研究を遂行するに当たって、多大なるご支援を頂きました八雲環境科学振興財団に厚く感謝いたします。

### 図 4. 微生物群集構造の遷移

各サンプルでリードが 3000 以上の OTU のみ抽出し、対数表示した(底 10)。



### 1. はじめに

酵母は、単細胞性の増殖をおこなう真菌類の総称であり、古くからパンやアルコール飲料の製造に用いられるなど、人間との関わりが深い微生物である。自然界では、植物、土壌、昆虫体内など、様々な場所から見いだされる。南北に長い日本は、亜寒帯から亜熱帯までの気候帯を含み、四季折々および地域ごとに植生も変化するため、それぞれの環境に適応した多種多様な酵母が生息すると考えられている。しかし、自然界に生息する酵母種のうち、認識されているのは全体の5%程度といわれており、自然環境中での酵母の多様性や役割についてはまだほとんど明らかとなっていない。未知の95%には、これまで知られていない全く新しい特質や生理活性を有する酵母が多数含まれることが予想され、産業利用可能な新しい形質を有する酵母の発見が期待される。

その一方で、私たちの生活と密接に関わっている既知酵母においても、自然環境中では地域ごとに異なる遺伝的多様性を有し、地域の農業や食産業に影響を与えていることが明らかになってきた。例えば、別々の地域で醸造されたワインは味や香気が大きく異なることが知られており、テロワール (Terroir) という言葉で表される。これまでは、その地域の気候や土壌中の鉱物など、その土地の環境要因により違いが生じると信じられていた。しかしながら、2015年にニュージーランドの科学者たちにより、ワインの味や香気の違いは、それぞれの地域に生息するワイン酵母の遺伝的背景の違いにより生み出されていることが示された<sup>1)</sup>。この研究成果は、発酵食品や農業産物に見いだされる品質や特徴の地域差に、微生物の遺伝的多様性が大きく関与することを示した初めての例である。

自然環境の変化に富む日本は、酵母をはじめとする微生物資源が豊富だと考えられているものの、これまで包括的な調査はほとんどおこなわれていない。2012年に理化学研究所のグループにより、北海道の利尻島と沖縄県の西表島に生息する野生酵母の大規模な調査がおこなわれた。その結果、利尻島と西表島で共通して発見された酵母種はわずか10%以下で、両地域では生態系が大きく異なることが明らかとなった<sup>2)</sup>。この結果から推測すると、おそらく本州地域では、北海道と沖縄のどちらとも異なる生態系を示す可能性が高いと考えられる。

岡山県は中国山地と瀬戸内海に挟まれており、南部の平野部は温暖な瀬戸内海式気候を示す一方で、北部の山地高原地域は寒さの厳しい日本海式気候を示すことから、酵母の種多様性、遺伝的多様性も大きいことが予想される。そこで、県内の様々な地域において、分離源や季節を変えながら野生の酵母を包括的に収集し、野生酵母のコレクション(桃太郎酵母コレクション)を構築することを立案した。このコレクションには、属や種が異なる様々な野生酵母菌株が含まれていることが予想され、新規形質を有する酵母のスクリーニング基盤として極めて有用だと考えられる。また、収集した野生酵母の中から、パンや日本酒、ワインなどの製造に用いられる *Saccharomyces cerevisiae* を選別し、*S. cerevisiae* のコレクションの整備もおこなった。これらの *S. cerevisiae* は、採取した地域や環境ごとに異なる遺伝的背景を有していると考えられ、新しい味や香りを付与した日本酒や、風味が良く保存期間も長いパンなど、新たな地域ブランド商品の開発にも繋がる、新しい株を分離することができるのではないかと期待される。



## 2. 実験方法

### 1) 培地

酵母の液体培養および発酵能の測定には、YPD 液体培地 (1% 酵母エキス、2% ペプトン、2% グルコース) を用いた。また、野生酵母分離用の液体培地には、必要に応じてエタノール (5~8%) とクロラムフェニコール (0.01%) を添加した。また、*Saccharomyces cerevisiae* を優先的に分離するために、*S. cerevisiae* の分離に適することが報告されている RE8 培地<sup>3)</sup> (0.17% 酵母ニトロゲンベース、0.5% 硫酸アンモニウム、0.01% クロラムフェニコール、1% ラフィノース、8% エタノール) を使用した。クロラムフェニコールはオートクレーブ滅菌前に培地に添加し、エタノールは使用前に無菌的に混合した。野生酵母の単一コロニーの単離には、YPD (+CP) 寒天培地 (2% 寒天、2% プロピオン酸ナトリウム、0.01% クロラムフェニコールを含む YPD 培地) を用いた。製パン発酵試験に用いる *S. cerevisiae* 株の培養には、廃糖蜜培地 (10% 廃糖蜜 (糖度 30%)、0.046% リン酸二水素カリウム、0.193% 尿素) を用いた。

### 2) 野生酵母の分離

自然界から採取した分離源 (自然界に自生する草木や樹木の葉、樹皮、花、果実、周辺の土など) を滅菌した試験管に入れ、十分浸かる量の分離用液体培地を注ぎ、室温または 30°C で数日~一週間程度静置培養した。培地の濁りや菌体の沈殿が見られたサンプルについて、YPD (+CP) 寒天培地に塗り広げて 30°C で一日~数日間培養し、単一コロニーを得た。同一サンプルから得たコロニーでも、色合いや性状が異なるものについては、別種と判断した。

### 3) 発酵能測定

野生酵母を YPD 寒天培地で 30°C 一晩培養し、生育してきた細胞を 1 ml の YPD 培地に植菌して 30°C で一晩浸漬培養を行った。培養液の OD<sub>600</sub> を測定し、ダーラム管 (直径 5 mm、容量 0.57 ml) 入りの試験管に分注した YPD 培地 4 ml に OD<sub>600</sub>=0.1 になるよう植菌した。植菌した培地を 30°C に静置し、経時的にダーラム管内にたまったガス量を観察して、ダーラ

ム管内が完全にガスで満たされるまでの時間を計測して発酵完了時間とした。

### 4) *S. cerevisiae* の簡易同定

野生酵母を YPD 寒天培地に植菌し、30°C で 1 日~2 日培養した。増殖が良好な状態の株から Dr. GenTLE® (from Yeast) High Recovery (タカラバイオ株式会社) を用いてゲノム DNA を調製した。調製したゲノム DNA は *S. cerevisiae* の *HO* 遺伝子に特異的な ScHO-F (5'-GTTAGATCCCAGGCGTAGAACAG-3') 及び ScHO-R (5'-GCGAGTACTGGACCAATCTTTG-3') プライマーを用いて PCR に供した。PCR 酵素は KODFX Neo (東洋紡株式会社) を使用し、PCR 条件は、94°C で 2 分間を 1 サイクル、98°C で 10 秒間、55°C で 30 秒間、68°C で 30 秒間を 30 サイクル、68°C で 1 分間を 1 サイクルとした。PCR 産物をアガロースゲル電気泳動 (ゲル濃度 1.5%、TAE 緩衝液) にて解析し、約 400bp の特異的バンドの増幅が見られたものを *S. cerevisiae* と判定した。

### 5) 野生 *S. cerevisiae* のパン生地発酵特性の評価

パン生地発酵試験に用いる *S. cerevisiae* 株は、廃糖蜜培地を用いて 30°C で 48 時間培養した。遠心分離による集菌後、蒸留水で 2 回洗浄し、吸収板 (ニッカー) 上に 4°C で 60 分静置して余剰の水分を取り除き、圧搾状酵母とした。

低糖パン生地を用いた発酵試験では、50g 小麦粉、2.5g ショ糖、1g 食塩、2g 圧搾状酵母に 33ml の水を加え、ミキサーを使用して 3 分間ミキシングした。その後、生地を 40g ずつ切り分けて 2 本のボトルに入れ、30°C の温浴中で発酵させた。発酵の進行に伴い発生する炭酸ガス量を Fermograph II (アトー株式会社) を用いて 5 分毎に 10 時間測定し、積算した炭酸ガス量 (2 サンプルの平均値) を発酵能データとした。1 回の発酵試験で最大 4 株の野生 *S. cerevisiae* 株の解析をおこない、各回のデータを比較できるように全ての発酵試験に市販パン酵母 (製パン業界向けに市販されている生イースト (オリエンタルイースト; オリエンタル酵母株式会社) を培養したもの) をコントロールとして加えた。無糖パン生地における発酵試験は、

低糖生地の組成からショ糖を除いた配合にて同様におこった。高糖生地における発酵試験は、高糖パン生地 (50g 小麦粉、15g ショ糖、0.25g 食塩、3g 圧搾状酵母、27ml 水) を用いて同様におこった。

## 3. 結果と考察

### 1) 野生酵母の分離に適する培地組成の検討

野生酵母の分離は、自然環境から分離源 (樹木、草本、花、果実、土壌など) を採取し、液体培地に浸漬して、分離源に付着している酵母を集積培養することでおこった。分離源には酵母だけでなく、細菌類やカビ類 (糸状菌類) といった様々な微生物群が生息している。特にカビは、酵母と同じ真菌類に属し、増殖条件も良く似ている。加えて、カビは寒天培地上で菌糸を伸ばしながら急速に増殖範囲を広げるため、カビと酵母が混在する培養液から酵母のみを単離することは大きな労力を要する。従って、野生酵母を効率的に収集するには、集積培養時にカビの増殖を抑える条件設定が鍵となる。そこで、野生酵母の収集を始める前に、細菌やカビの増殖を抑え、酵母を効率よく分離できる培地組成の検討をおこった。

一般的な酵母の培養に用いられる YPD 液体培地に、細菌類の増殖を抑える抗生物質であるクロラムフェニコールを添加した培地を基本とし、カビの増殖を抑制する目的で様々な濃度でエタノールを添加して、条件検討をおこった。それぞれの培地に大学周辺の自然環境より採取した分離源を浸漬し、カビの発生率と酵母の分離率を調べたところ、エタノールを添加することによりカビの増殖は強く抑制され、酵母の分離率が向上した。しかし、終濃度 7% 以上のエタノールは、酵母の増殖にも影響を及ぼした。また、防カビ剤として用いられるプロピオン酸ナトリウムを添加した培地についても検討したが、プロピオン酸の有無で酵母の分離率に大きな差は生じなかった。

ラフィノースは、フルクトースとガラクトースとグルコースが 1 分子ずつ結合した三糖で、*Saccharomyces cerevisiae* は炭素源として利用することができるが、他種の酵母はほとんど利用できないことが知られて

いる。そこで、自然環境中から *S. cerevisiae* を優先的に分離することを目的として、ラフィノースを唯一の炭素源とする RE8 液体培地を用いた野生酵母の分離についても検討した。しかしながら、グルコースを炭素源とする YPD 液体培地と比較して、*S. cerevisiae* の分離率の顕著な向上は見られなかった。

以上の結果より、野生酵母の分離には、終濃度 5~6% のエタノールと 0.01% のクロラムフェニコールを添加した YPD 液体培地を用いることとした。

### 2) 岡山県内の自然界に生息する野生酵母の分離

平成 29 年 6 月から平成 30 年 3 月にかけて、岡山県内の 16 市町村の自然環境から分離源を採取し、それぞれの地域に生息する野生酵母の分離収集をおこった (図 1)。最終的に 2196 の分離源から、375 株の野生酵母を分離することができた (表 1)。

一般的な酵母は、単糖や二糖などの低分子炭水化物を炭素源として利用し、でんぷんなどの高分子炭水化物は利用できないものが多い。従って、野生酵母は糖分の多い分離源から培養されやすいと言われており、特に蜜を含む花を分離源として酵母を採取する試みが多くなされて



図 1 分離源採取地

平成 29 年 6 月から平成 30 年 3 月にかけて、地図に記載の地域で分離源の採取をおこった。

表1 分離源ごとの野生酵母分離率

分離源	培養数	分離酵母数	酵母分離率 (%)
花	789	72	9.1
野菜	217	75	34.6
果実	146	39	26.7
樹木	275	87	31.6
葉	537	41	7.6
その他	232	61	26.3
合計	2196	375	22.7

いる。そのような前例に従い、本研究においても分離源として様々な花を採取したが、実際の酵母分離率は9.1%と低かった。また、葉(木本と草本の両方を含む)からの分離率も同様に低かった(7.6%)。一方、野菜や果実、および樹木といった分離源からは、花や葉の3~4倍の確率で酵母を分離することができた。野菜や果実は、葉よりも糖分が多いことが一つの理由かもしれない。それに対し、樹木から高確率で酵母が分離される理由は、現時点ではまだ不明である。表1に示す樹木は、樹皮と小枝の両方を合わせた結果であるが、特に樹皮からは37.5%(72/192)という高率で野生酵母を得ることができた。

正確な分析はおこなっていないが、野生酵母の分離率の違いは、分離源の採取環境によっても異なる傾向が見られた。例えば、花や葉といった分離源で見ると、自然豊かな鬼城山(岡山県総社市)で採取したものからは、3kmしか離れていない岡山県立大学周辺(同)で採取したものよりも、はるかに高率で野生酵母が分離された。ただし、この傾向は花や葉において見られた現象で、樹皮からの酵母分離率は採取場所に依存しなかった。もしかすると、開けた場所では、降雨などの影響により花や葉に付着した酵母が除去されやすいのかもしれない。加えて、農薬や除草剤、排気ガスといった、人間の生活に関連した化学物質が酵母の生息に影響を与えている可能性も否定できない。

岡山県内の地域ごとの野生酵母の分離率を検討したところ、若干の差が見いだされた。しかしながら、今回の採取条件では、前述の採取環境による影響を排除することができないため、現段階では詳細は不明で

ある。また、季節による野生酵母の分離率については顕著な違いは見いだされなかった。

### 3) 分離した野生酵母のエタノール発酵能の測定

エタノール発酵は、グルコース、フルクトース、シユクロースなどの糖を代謝してエネルギーを獲得する過程で、エタノールと二酸化炭素を生成するプロセスである。この反応は、酸素を使わない嫌気条件において進行する。グルコースを基質としたときの反応式を以下に示す。



エタノール発酵をおこなう微生物は、細菌、酵母、糸状菌などが知られている。特に酵母は、エタノール発酵能を有するものが多く、その能力も非常に強い。この性質は、古くからパンやアルコール飲料などの発酵食品製造に利用されている。また、近年は、化石燃料の代替燃料として、酵母のエタノール発酵を利用して製造するバイオエタノールが注目されている。従って、優れた発酵特性を示す酵母を見出すことができれば、様々な目的に応じて実用化できる可能性がある。そこで、自然界から分離収集した野生酵母375株について、グルコースを基質としたときのエタノール発酵能を定性的に解析した。具体的には、ダーラム管を沈めたYPD液体培地に同一濃度で野生酵母を植菌し、静置状態で観察して、エタノール発酵で生じる二酸化炭素でダーラム管内が完全に満たされるまでの時間を発酵完了時間とした。従って、発酵完了時間が短い酵母ほどエタノール発酵能が強いということになる。図2は結果をまとめてグラフ化したものである。なお、収集した野生酵母375株のうち、前培養で増殖が遅い23株は実験から除外した。また、実験開始後162時間以内にダーラム管内のガス量が100%に達しなかった16株は微発酵株、全くガスを発生させなかった14株は無発酵株に分類した。

予想されたように、ほとんど(96%; 338/352)の野生酵母株はエタノール発酵能を示した。そのうちの34%(115/338)は実験開始後24時間以内にダーラム管内が完全にガスで満たされたため、非常に強いエタノール発酵能を有することが示唆された。また、後

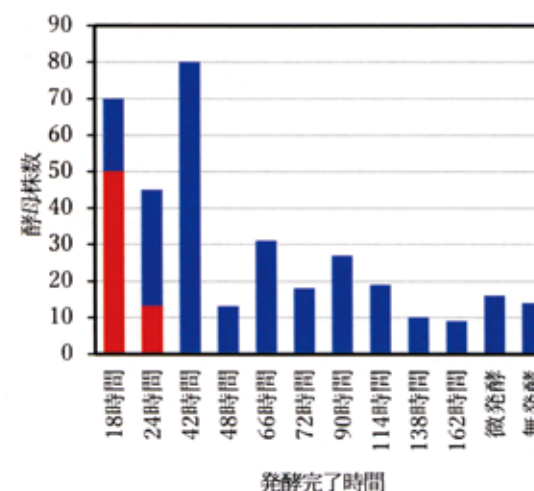


図2 分離した野生酵母の発酵能解析

それぞれの野生酵母にエタノール発酵をさせ、発生した二酸化炭素によりダーラム管が満たされるまでに必要な時間を計測した。横軸には発酵完了時間、縦軸にはその時間までに発酵を完了した酵母菌株の数を示す。赤は *S. cerevisiae* 株、青はそれ以外の野生酵母を示す。

に示すように、今回分離した375株の野生酵母の中には、パンやアルコール飲料の製造に用いられる *Saccharomyces cerevisiae* が63株見いだされたが、それらすべてが非常に強いエタノール発酵能を示した(図2において赤で示したもの)。

無発酵株の分離源を確認したところ、それらの株は全て花や野菜、果物から分離された酵母であった。そこで、分離源の違いにより、得られる野生酵母のエタノール発酵能に差が見られる可能性について検討した。先のエタノール発酵能の測定実験において、24時間以内にダーラム管内が完全にガスで満たされた株を高発酵能株とし、それぞれの分離源から単離された酵母の総数のうち、高発酵能株が占める割合を求めた(表2)。すると、興味深いことに、高発酵能株のほとんどは樹木と葉から得られた株であることが明らかとなった。一方、花や野菜、果実といった分離源から単離された酵母は、発酵能が弱いものが多かった。エタノール発酵では、得られるATP量が少ない代わりに、短時間で多量の糖分を代謝することができる。従って、樹木や葉といった糖分が少ない環境に生息する酵母は、周囲の微生物との競争に打ち勝つために、

表2 各々の分離源ごとの高発酵能株分離率

分離源	高発酵能株数	分離酵母数	高発酵能株率 (%)
花	5	64	7.8
野菜	7	71	9.9
果実	4	33	12.1
樹木	54	77	70.1
葉	32	39	82.1
その他	13	54	24.1
合計	115	338	34.0

強いエタノール発酵能を駆使して、限られた糖分を素早く消費している可能性が考えられる。一方、花や果物のように糖分が豊富な環境では、糖以外の養分が制限要因となっている可能性があり、よりエネルギー獲得効率の良い好気呼吸を優先的に利用しているのかもしれない。

これらの結果と、先の述べた野生酵母が分離されやすい分離源の結果を考え合わせると、エタノール発酵能の強い野生酵母を効率よく分離するには、樹皮が最も適した分離源であると考えられる。

### 4) 桃太郎酵母コレクションからの *Saccharomyces cerevisiae* の選別

*Saccharomyces cerevisiae* は、古くからパンや日本酒、ワインなどの製造に用いられる酵母で、日常生活で耳にする「酵母」はこの種を指すことが多い。今回、岡山県内の各地域から分離収集した375株の野生酵母のゲノムDNAの解析をおこなったところ、63株の野生 *S. cerevisiae* が選別された。表3にそれぞれの分離源ごとの *S. cerevisiae* の分離率を示す。 *S. cerevisiae* は、樹木や葉といった分離源から得られる頻度が非常に高く、逆に花や野菜、果実などからの分離率は非常に低かった。この傾向は、エタノール発酵能の強い酵母の分離率の傾向(表2)と非常によく似ている。実際、今回自然界より分離された63株の *S. cerevisiae* は、全て24時間以内にダーラム管内が二酸化炭素で満たされた「高発酵能株」に分類されていた。また、「その他」に分類した分離源のうち、土壌から分離された野生酵母の中からは、非常に高頻度で *S. cerevisiae* が見いだされた(9/24; 37.5%)。

表3 各々の分離源ごとの *S. cerevisiae* 分離率

分離源	<i>S. cerevisiae</i> 数	分離酵母数	<i>S. cerevisiae</i> 分離率 (%)
花	2	72	2.8
野菜	2	75	2.7
果実	0	39	0
樹木	24	87	27.6
葉	14	41	34.1
その他	21	61	34.4
合計	63	375	16.8

### 5) 製パン特性を有する野生 *S. cerevisiae* の探索

本研究の目的は、岡山県内の様々な地域から収集した野生酵母のコレクション (*S. cerevisiae* を含む) を、新規な機能性を有する酵母をスクリーニングするための基盤として用いることである。その一例として、収集した野生 *S. cerevisiae* の中から、製パンに適する株のスクリーニングをおこなった。

パンの発酵に用いられる酵母は、製パン過程において高糖、飢餓、乾燥等の様々な物理化学的なストレス (製パンストレス) に晒され、発酵能を低下させてしまう。近年、分子遺伝学的手法を用いて酵母にストレス耐性を付与する方法が模索されているものの、遺伝子組換え酵母は食品の製造には適さない。一方、厳しい環境下で選択と淘汰を繰り返している自然界には、様々なストレスに対して強い耐性を獲得した未知の野生酵母株が多数存在する可能性が高い。そこで、新しい産業用製パン酵母の育種開発や、新たな地域特産品の開発に繋げることを目標として、収集した野生 *S. cerevisiae* の中から、優れた製パン特性を有する株の探索をおこなった。その結果、ほとんどの野生 *S. cerevisiae* 株のパン生地に対する発酵能は、市販パン酵母よりも大きく劣っていた。しかしながら、32株と名付けた1株だけは、低糖生地において市販パン酵母と同等の発酵能を示すことが明らかとなった (図3、図4)。現在市販されているパン酵母は、長年にわたる育種を通して、小麦粉に対する発酵能が強く安定している *S. cerevisiae* 株を選抜したものであるが、自然界に生息していた野生株がそれとほぼ同等の能力を有していたことは非常に興味深い。

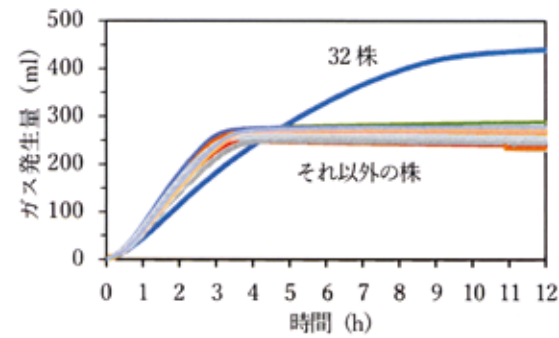


図3 野生 *S. cerevisiae* のパン生地発酵能

分離した野生 *S. cerevisiae* の低糖生地における発酵能を Farmograph II を使用して測定した。32株のみ、他の株と比べて強い発酵能を示す。

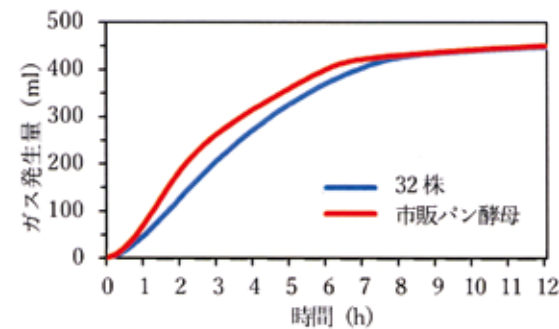


図4 32株の低糖生地発酵能

32株と市販パン酵母の低糖生地における発酵能を Farmograph II を使用して測定した。32株は市販パン酵母と同様の発酵能を示す。

次に、32株の製パン特性について更に詳しく知るために、菓子パンの製造に用いられる高糖生地 (図5)、フランスパンの製造に用いられる無糖生地 (図6) に対する発酵能についても調べた。その結果、高糖生地における32株の発酵能は市販パン酵母に及ばなかったものの、無糖生地においては、32株は市販パン酵母よりも素早く発酵することが明らかとなった。

32株は、リテールベーカリーや家庭における直捏法での製パンに適した製パン特性を有することが明らかとなった。そこで、実際に32株を使用してパンを焼成したところ、焼きあがったパンの外見や断面積においては、市販酵母のものとは違いは見られなかった (図7、8)。また、試食による官能評価をおこなったところ、32株を使用して焼いたパンは、市販パン酵母のものよりも、しっとりもちもちとした食感で甘みを強く感じるという、非常に高い評価が得られた。

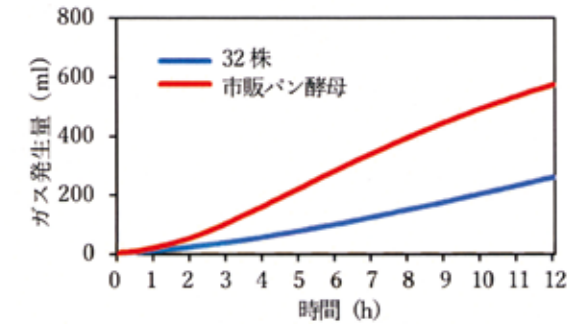


図5 32株の高糖生地発酵能

32株と市販パン酵母の低糖生地における発酵能を Farmograph II を使用して測定した。32株の発酵能は市販パン酵母より劣る。

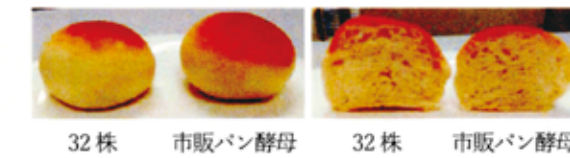


図7 32株の製パン試験1

低糖生地 (食パン生地) を32株または市販パン酵母を用いて発酵させ、パンを焼成した。

### 4. まとめ

本研究では、岡山県内の様々な地域より分離した375株の野生酵母を含む「桃太郎酵母コレクション」を構築した。新たな機能性を有する微生物の探索を試みる場合、菌株コレクションの中から目指す活性を示す株を探すことが多い。今後、この桃太郎酵母コレクションを、様々な機能性を有する酵母の探索に活用していきたい。我々は既に本コレクションの中から、極めて強い胆汁酸結合能を有する新規酵母を見いだしており、高LDLコレステロール血症の予防や改善に役立つ機能性食品の開発への応用を検討している。

更に、野生の *S. cerevisiae* のみを選抜したサブコレクションも作成した。 *S. cerevisiae* はパンや日本酒、ワインなどの発酵に用いられており、人間の生活に不可欠な酵母である。現在、パンの製造にはパン用酵母が、日本酒の醸造には醸造特性の高いきょうかい酵母が主に利用されているが、野生の *S. cerevisiae* は、それらとは異なる、新たな味や香りを生み出す可能性がある。今後は、地域の企業と連携して、野生 *S. cerevisiae* を利用した新商品の開発を目指したい。

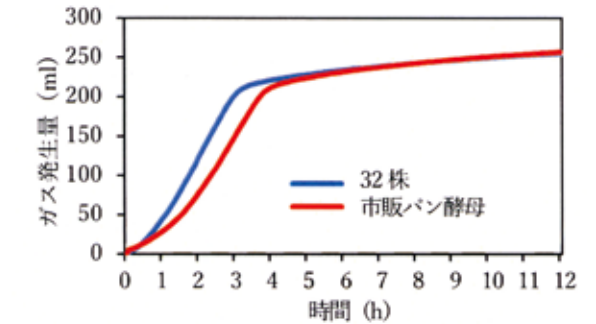


図6 32株の無糖生地発酵能

32株と市販パン酵母の低糖生地における発酵能を Farmograph II を使用して測定した。32株は市販パン酵母よりも早く発酵が進む。



図8 32株の製パン試験2

食パンとフランスパンを焼成した。

### 5. 謝辞

本研究を実施するにあたり、多大なるご支援を賜りました公益財団法人八雲環境科学振興財団に深く感謝の意を表します。また、本研究の遂行に協力を賜りました岡山県立大学保健福祉学部栄養学科の学生に心より御礼申し上げます。

### 6. 参考文献

- 1) Knight S, Klaere S, Fedrizzi B, Goddard MR. Regional microbial signatures positively correlate with differential wine phenotypes: evidence for a microbial aspect to terroir. *Sci Rep.* 2015 Sep 24; 5: 14233. doi: 10.1038
- 2) Takashima M, Sugita T, Van BH, Nakamura M, Endoh R, Ohkuma M. Taxonomic richness of yeasts in Japan within subtropical and cool temperate areas. *PLoS One.* 2012; 7 (11): e50784. doi: 10.1371
- 3) 安田 (吉野) 庄子, 北本則行: 花からの *Saccharomyces cerevisiae* の選択的分離と遺伝学的多様性, *日食科工誌*, 2011; 14: 433-438.

## 児島湖流入河川等の底質改善による生態系サービスの価値向上

岡山大学大学院環境生命科学研究科 前田守弘・九鬼康彰・星野宏太郎  
mun@cc.okayama-u.ac.jp

### 1. はじめに

児島湖では、下水道普及率の向上、農地への施肥改善等の対策にもかかわらず、全リン濃度は依然として高く、流入河川や湖沼底質からの溶出が一因と考えられている(岡山県, 2017)。流域人口が減少し、高齢化が進行するなか、児島湖を持続的に保全するには、底質改善等の効果をわかりやすく説明し、地域住民の協力を得る必要がある。底質改善により微生物や植生の生物多様性が向上すると生態系が安定化し、生態系サービスが向上する。その効果を数値で示すことは極めて有効である。

本研究では、これまでに評価されたことがない児島湖流域が有する生態系サービスに着目し、流入河川等の底質改善が生態系サービスの向上に及ぼす影響を明らかにすることを最終目的とする。このため、①生態系サービスの価値評価に関するこれまでの知見を整理し、児島湖流域に適用する際の問題点を明らかにした。また、②既存のモデルを用いて児島湖流域全体の生態系サービスを試行的に評価し、今後解決すべき課題を抽出した。

### 2. 生態系サービスの価値評価に関するレビュー

「生態系サービス」について、わが国で一般的に使われてきた「農業・農村の多面的機能」と比較しつつ整理した。また、生態系サービスの評価の適用事例について検討し、河川や水路における底質改善が生態系サービスに及ぼす影響を評価するために必要な検討事項を整理した。

#### 2.1 生態系サービスと農業・農村の多面的機能の相違点

生態系サービスという言葉が広く知られるようになったのは、国連の主導で 2001 年から 2005 年にかけて 95 ヶ国の 1,360 人の研究者らが参加して行われたミレニアム生態系評価 (Millennium Ecosystem Assessment, 2007, 以下 MA) がきっかけである。この中で、生物多様性や生態系などの自然資本が人間生活に与える影響 (人間が自然資本から享受する便益) が生態系サービスと定義され、食料・水等の供給サービス、栄養塩循環等の基盤サービス、レクリエーション等の文化サービス、気候・水質に影響する調整サービスに分類された (表 1)。またこれを可視化、主流化 (例えば、各国の政策やビジネスの意思決定に内部化させることを指す) するために、国際研究プロジェクト「生態系と生物多様性のための経済学 (The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 以下 TEEB)」が実施され、生物多様性版の IPCC と呼ばれる「生物多様性と生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 以下 IPBES)」が設立された。

一方、農業・農村の多面的機能とは「国土の保全、水源のかん養、自然環境の保全、良好な景観の形成、文化伝承等農村で農業生産活動が行われることにより生ずる食料その他の農

表 1 ミレニアム生態系評価で用いられた生態系サービスの分類

供給サービス	基盤サービス
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 食糧・繊維・燃料</li> <li>✓ 遺伝子資源</li> <li>✓ 生化学物質</li> <li>✓ 装飾品の素材</li> <li>✓ 淡水</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 土壌の形成と保持</li> <li>✓ 光合成</li> <li>✓ 一次生産</li> <li>✓ 栄養塩サイクル</li> <li>✓ 水サイクル</li> </ul>
文化的サービス	調整サービス
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 文化的多様性</li> <li>✓ 精神的・宗教的価値</li> <li>✓ 知識体系 (伝統的・慣習的)</li> <li>✓ 教育的価値</li> <li>✓ インスピレーション</li> <li>✓ 審美的価値</li> <li>✓ 社会的関係</li> <li>✓ センスオブプレイス (場所や土地、風景のもつ価値)</li> <li>✓ 文化的遺産価値</li> <li>✓ 娯楽とエコツーリズム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 大気質の調節</li> <li>✓ 気候の調節</li> <li>✓ 水の調節</li> <li>✓ 土壌浸食の抑制</li> <li>✓ 水の浄化と廃棄物の処理</li> <li>✓ 疾病の予防</li> <li>✓ 病害虫の抑制</li> <li>✓ 花粉の媒介</li> <li>✓ 自然災害の防護</li> </ul>

産物の供給の機能以外の多面にわたる機能」とわが国の食料・農業・農村基本法に定義されている。OECD をはじめ海外でも農業の多面的機能が同時期に議論され、外部性や公共財、市場の失敗等に焦点を当てた経済学的な概念が整理された (國井, 2016)。

生態系サービスと多面的機能の第一の違いは、多面的機能には生態系サービスの中の供給サービスが含まれていないことである (前出下線部参照)。また多面的機能の発揮で重要なのは、これらの機能を生み出す農業や農村の持続性であって、そこでの生物多様性の役割については十分に意識されていない (橋本・齊藤, 2014)。しかるに、生態系サービスは『生態系が有する多様な機能のうち人間が直接的・間接的に得ている便益に特化した概念であり、その安定的な供給には生物多様性が密接に関係すると考えられることから、その評価においては複数の生態系サービス間での相互作用 (トレードオフやシナジー) に焦点があてられることが多い』(橋本・齊藤, 2014)。生態系サービスの基盤となる生物多様性と気候変動にもトレードオフの関係が存在する (伊藤・山形, 2015) 点にも注意が必要である。さらに、國井 (2016) は、機能とは「特性、能力」を示すものであり、サービスは機能から発生する具体的な「用役」だと指摘した上で、TEEB が言及しているように『特性や能力である機能は、社会背景や文化の違いによって変化はしないが、用役である生態系サービスは受益者の社会背景や文化に強い影響を受ける。そのため、その評価結果も対象受益者によって変化する』ため、機能とサービスを分けて考えることの重要性を述べている。

#### 2.2 生態系サービスと多面的機能の評価手法

日本学術会議が 2001 年に公表したわが国の農業の多面的機能の評価を生態系サービスと対照させた結果を表 2 に示す。この表から、国レベルでは多面的機能の一部の発現機能しか評価されておらず、また評価方法も限定的な手法にとどまっていることがわかる。これを受けて國井 (2016) は、評価されていない機能に適用しうる手法を整理しつつ、今世紀以降の多面的機能や生態系サービスの評価研究を渉猟した。

評価方法は顕示選好法と表明選好法に大分され、表2で評価された機能のほとんどは顕示選好法の一つである代替法によるものである。顕示選好法とは人びとの経済活動データをもとに間接的に環境価値を評価する方法で、対象とする財に相当する市場財が存在する場合（代替法）や対象とする財の環境価値が旅行費用や土地価格、賃金などに反映されている場合（トラベルコスト法、ヘドニック法）に適用できる。一方、表明選好法は、その価値が社会的に定量化されていない非利用価値も含めて評価することを目的に開発され、人びとの非市場財に対する選好をそのサービスに対して支払う意思額（Willingness To Pay, 以下 WTP）によって計測する方法が主である。表明選好法には、仮想評価法（Contingent Valuation Method, 以下 CVM）とコンジョイント分析法（Conjoint Analysis, 以下 CA）があり、CVMが総体的な評価額の推定に用いられるのに対し、CAではいくつかの代替案を示して回答者の選好を分析するために使われる。これらの手法はTEEBをきっかけに開発が進んだ。

生態系サービスの評価はMAが公表された直後の2005年頃から急増傾向にある。一方、多面的機能に関する評価は2002年をピークに減少傾向にある。今後は、多面的機能に関するこれまでの蓄積を生かしつつ、国際的な生態系サービスの分類の統一基準が作成されつつある趨勢（たとえば国連統計局によるCommon International Classification for Ecosystem Services, CICESの策定など）に積極的に関与していく必要がある（國井, 2016）。

### 2.3 生態系サービスの評価事例

われわれは児島湖に流入する河川や水路における底質改善の効果を評価対象としており、水質浄化が含まれる「調整サービス」に着眼すべきである。そこで、水質浄化機能を評価対象とした研究事例を調査した。

橋本・齊藤（2014）は、サブグローバル評価（Sub-Global Assessment, 以下 SGA）のわが国での事例（「日本の里山・里海評価」, 以下 JSSA）を紹介し、その評価手法であるインベン

表2 日本学術会議答申による農業の多面的機能評価と生態系サービスの対応

農業の多面的機能による発現機能	評価額（億円）	TEEBによる分類
1 安全な食料を持続的に生産することにより、国民生活の現在及び未来を保証する		
2 農業的土地利用が物質循環系を補完することにより、環境という公共財に貢献する		
1) 農業が物質の循環系を形成している		
洪水防止	34,988	調整サービス（水量調節）
土砂崩壊防止	4,782	調整サービス（局所災害の緩和）
土壌侵食防止（土砂流出防止）	3,318	調整サービス（土壌侵食の抑制）
河川流況の安定	14,633	調整サービス（水量調節）
地下水かん養	537	調整サービス（水資源）
有機性廃棄物分解	123	調整サービス（廃棄物処理）
大気調節（大気浄化、気候緩和など）	87	調整サービス（気候調節、大気の質の調節）
3 生産空間と生活空間の一体性により、地域社会を形成・維持する		
2) 農村の存在が都市的緊張を緩和する		
保健休養	23,758	文化的サービス（レクリエーションや観光の場と機会）

注) 國井（2016）の第5表及び第6表をもとに筆者作成。評価方法は保健休養（トラベルコスト法）を除き、すべて代替法。

トリ分析を解説している。生態系サービス評価におけるインベントリ分析とは、「対象地域の生態系から得られるすべての生態系サービスの種類を特定し、各サービスのレベルを計測可能な指標を用いて分析することと定義される。JSSAでは、水質浄化機能のインベントリ（目録）として森林面積、化学肥料・農薬使用量、下水処理普及率が取り上げられた。

庄山・山形（2015）は生態系サービスとその代償のための総合評価ツールである InVEST（Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs）を用いて評価結果をGIS上で可視化した。ここでは調整サービスの評価に代替法が用いられており、具体的には窒素・リンの流出量を処理コストに置き換えて評価している。またCAを用い、生物多様性の保全シナリオ別にWTPがどのように変化し、また回答者のどのような特性がそれに影響しているかを検討した。さらにその結果から、WTPを調べる際には受益者の地理的、時間的範囲への配慮と、生物多様性や生態系サービスについて回答者が有する情報や認識の違いを考慮が必要であると指摘している。

琵琶湖を対象に住民の合意形成をテーマにした研究事例も参考になり得ると考えられる。山田ら（2005）は琵琶湖の水環境保全施策に関する情報をニューズレターによって住民に配布し、数回のアンケート調査からその有効性を示した。また施策に関する回答者の知識とWTPの関係についても考察した。平山ら（2011）は滋賀県政に対する世論調査結果を時系列に分析し、水環境保全施策に対する県民意識の向上について把握した。これらの調査手法は児島湖にも適用できる。さらに、萩原・萩原（1993）は、都市用水の利用として水質改善によって得られる便益を回避費用として算出する方法（代替法の一つ）で評価した。ここでは水質指標として化学的酸素要求量（COD）が用いられており、同じ水質を対象とする場合にも指標はさまざまである。対象とする児島湖へ流入する水質レベル、使用目的（飲用、レクリエーション、景観等）、価値の種類（利用価値、非利用価値、遺贈価値等）を明確にすることが重要である。

最近では、インターネット上のサイトで生態系サービスを評価できるサービスを提供している例もみられる。わが国では（株）富士通研究所（2018）がオープンデータを用いて市区町村別の経済価値を算出するプログラムEvaCvaのサイトを公開し、アクセスすれば利用者が希望する市区町村の具体的な生態系サービスの価値を知ることができる。ただし評価の対象は、オープンデータをソースとする制約から森林と農地だけにとどまる。このため、EvaCvaを本課題にそのまま適用することはできない。今後の改善に期待したい。

### 2.4 水路等の底質改善による生態系サービスの評価における留意点

以上のレビューから、生態系サービスの評価の際には次の点を考慮する必要がある。

- 1) 水路等の底質改善による水質の保全や向上を生態系サービスとして評価する場合、生物多様性に基づいた評価が必要である。一方、農業の多面的機能として評価する場合、必ずしも生物多様性を考慮する必要はないが、多面的機能において水質浄化を評価する手法を検討する必要がある。
- 2) 生態系サービスの評価にはインベントリ分析が有効である。ただしJSSAで用いられた評価指標の適用性や境界条件には検討が必要である。
- 3) InVESTでは水質浄化に関する評価プログラムが開発されており、対象地域での懸案物質

がリンであることから最も適用可能性は高いと思われる。

- 4) 水質の向上が対象地域の住民にもたらす便益が住民参加の鍵となるため、生態系サービスや多面的機能に対する住民の意識や理解度の把握が重要である。

### 3. 児島湖流域における生態系サービス評価の試み

#### 3.1 土壌・底質に関する生態系サービス評価

土壌は陸域生態系を支える基盤であり、作物供給や炭素貯留など多くの生態系サービスを供給している。農業用排水路は侵食防止機能を有し、上流で土壌侵食により流出した栄養塩豊富な土壌粒子を底質に捕捉することができる。しかし一方で、降雨時の巻上げや酸化還元電位の低下に伴って栄養塩が溶出し、水質汚濁や悪臭問題を起こす恐れがある。土壌および底質に係わる生態系サービスの概要を図 1 に示す。土壌・底質の有する生態系サービスは場や状況によって変化し、正のサービスだけでなく、負のサービスを提供する場合がある。生態系サービスの評価においては、これらの関係をできるだけ忠実にモデル化する必要がある。

#### 3.2 InVEST を用いた土壌侵食防止機能の評価

土壌侵食防止サービスを評価できる Sediment Delivery Ratio Model (SDR) を児島湖流域に適用した。SDR は InVEST に含まれるサブモデルであり、GIS を用いて陸域から河川等への土壌流出量や植生等による土壌保持量を算出し、結果を地図化できる。各ピクセルの土壌侵食量は次の USLE 式(吉川ほか, 1998)を用いて計算した。一方、土壌侵食防止機能としての土壌保持量は、流域全体を裸地と仮定した場合の土壌流出量と、実際の土地利用・土地被覆を持つ流域の土壌流出量の差として算出した。

$$E = R \times K \times L \times S \times P \times C \quad (1)$$

ここで、E は年間土壌侵食量 ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ )、R は降雨係数 ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ hour}^{-1}$ )、K は土壌係数 ( $t \text{ hour MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ )、L は斜面長係数 (-)、S は傾斜係数 (-)、P は保全管理係数 (-)、C は作物係数 (-) である。なお、解析対象は笹が瀬川流域、倉敷川流域、鴨川流域を合わせた範囲とし、国土交通省国土政策局国土情報課(2018)を基に流域を設定した(流域面積 50,904 ha)。また、降雨強度による土壌侵食エネルギーを表す R は、農林水産省構造改善局計画部(1992)における岡山県の代表値(183.8)を用い、土壌侵食の起こりやすさを示す K は農研機構(2018)が提供する日本土壌イ

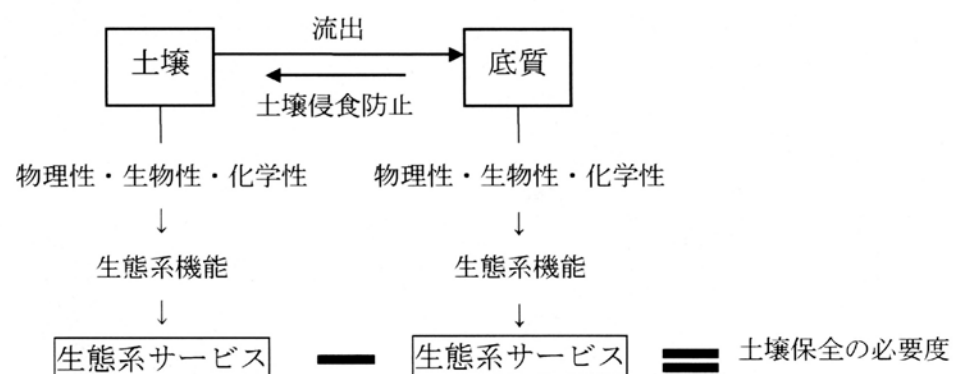


図 1 土壌・底質に関する生態系サービス評価枠組み

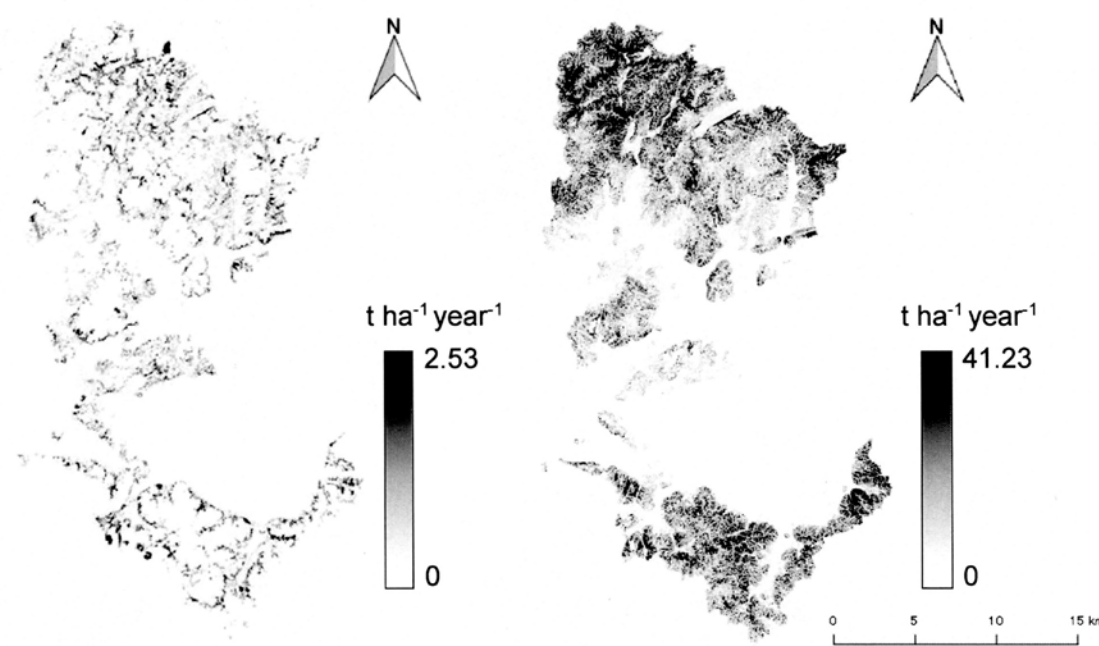


図 2 土壌流出量

図 3 土壌保持量

ンベントリー土壌図と今井・石渡(2007)を基に選定した。S は国土交通省国土地理院(2018)の基盤地図情報として提供されている標高データから求めた。土地利用・土地被覆については、環境省自然環境局生物多様性センター(2018)の自然環境保全基礎調査結果を用いた。

SDR を用いて算出した土壌流出量、土壌保持量の空間分布を図 2, 3 にそれぞれ示す。土壌流出量は  $17,261 t \text{ year}^{-1}$  (流域平均  $0.34 t \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ )、土壌保持量は  $347,977 t \text{ year}^{-1}$  (流域平均  $6.84 t \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) であった。算出された土壌保持量は、環境省(2016)で示された  $71.4 t \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  より小さかった。これは、本流域は平地の割合が大きく、年間降水量が少ないことが影響したと推察される。代替法を用いて土壌保持量の経済評価を行った。ただし、代替の対象として、建設省砂防部(1993)に示された計画貯砂量  $1 m^3$  あたりの砂防ダム建設費(5,354 円)を用いた。なお、土壌の比重を  $1 t m^{-3}$  と仮定した。その結果、流域全体の土壌侵食防止機能は 18 億 6,300 万円  $\text{year}^{-1}$  (流域平均  $37,000 \text{ 円 ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) と算定された。本解析における問題点として、平地における河道網が、現実の河川・水路と異なる点があげられる。この点について次節で検討した。

#### 3.3 地形図水域情報を用いた平地流水方向の算出と流域分割

流域からの水・物質の流出量を推定するには、降雨などの空間分布を考慮できる分布型流出モデルが有効である。しかし、3.2 節に示したように、既存の分布型流出モデルでは干拓地水田地帯などにみられる網目状水路を正しく表現できず、流域分割の結果も現実とは異なる。この状態では流出計算を正しくおこなうことはできない。そこで、網目状水路など複雑な水路を含む地形図(図 4)を利用した平地における地表水の流れ方向(流水方向)算出法を考案し、流域の分割法についても検討した。なお、ここでは流域分割後の領域を区画と呼ぶ。

流水方向は、格子状データを二次元配列として扱って算出する。そのため、地形図の水域を GIS

ソフトウェアにより格子状データに変換した。窪地内への流入を避けるため、対象格子点を周囲の標高の中で最も低い高さにかさ上げた。次いで、ある格子点とその周囲の格子点の標高を比較し、標高の低い格子点が周囲に存在する通常格子点と、それ以外の平地格子点に分類した。通常格子点の流水方向は、最急勾配のある向きとした。一方、平地格子点は、まず周囲に水域格子点が存在する場合、そこに流出するよう定義した。次に、流水方向が既に決まっており、かつ標高が等しい周辺格子点に流出するよう定義した。ただし、流出先の格子点が周囲に複数存在する場合、東、北、西、南、北東、北西、南西、南東の優先順位で流出先を決定した。平地格子点を含む領域の区画は既存の地図情報から判断した。なお、比較対象として SWAT (Soil Water Assessment Tool) モデルで採用されている方法を選んだ。この方法では、特定の流出先に流れるよう平地が連続する領域をかさ上げた。

SWAT で採用されている方法では、平地内の網目状水路への流出が表現できなかった(図 5 左)一方、本手法ではすべての水域格子点を流出先に指定するため、網目状水路への流出が表すことができた(図 5 右)。ただし、流出先の優先順位により、すべての平地格子点が水域格子点への最短経路方向に向くとは限らないため、改良の余地は残っている。流域分割に関して、SWAT では流水方向から算出した河道を基に区画を分けるため、平地では正しい区画が得られなかった(図 6 左)。一方、本手法では区画の基になる水域格子点を事前に指定した(図 6 右)。この手法は水利構造物によって河川に直接流出しない領域等の分割に適しており、平地や水利構造物が多い地域の流出計算に役立つと思われる。

### 3.4 気候緩和機能の評価

児島湖周辺の干拓地水田地帯(六区、七区)を対象に気候緩和機能の評価した。農業総合研究所農業農村の公益的機能の評価検討チーム(1998)に準じ、次式により、水田が近隣に存在することによる潜熱効果による外部気温低下を冷房料金の節減量として試算した。

$$\text{気候緩和機能(円)} = D \times F \times Y \times H \quad (2)$$

ここで、D:水田の潜熱効果による気温低下度(°C)、F:冷房で 1°C 下げるのにかかる電気料金(円 °C<sup>-1</sup>)、Y:年間冷房時間(hour)、H:恩恵を受ける世帯数(戸)である。具体的には、D=1.3°C、F=5.12 円 °C<sup>-1</sup>、Y=408 hour、H=1,300 戸を用いた。Hは干拓地水田地帯内の戸数を対象とした。

対象区域における気候緩和機能の経済価値は 353 万円・year<sup>-1</sup>と推定された。単位水田面積(2005 ha)あたりでは 1,760 円 ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>に相当する。実際に恩恵を受ける世帯数を過小評価している可能性があり、この値はさらに大きくなる可能性がある。

### 4. おわりに

児島湖流域を対象に、流入河川等の底質改善が生態系サービスの向上に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、文献調査を行うとともに、InVEST を用いて児島湖流域生態系サービスを試行的に評価した。児島湖流域の有する土壌侵食防止機能は 37,000 円 ha<sup>-1</sup>、干拓地水田の有する気候緩和機能は 1,760 円 ha<sup>-1</sup>と見積もられた。一方で、既存のモデルでは児島湖周辺の平地における水移動を適切に表現できないことがわかった。このため、水域情報から流水方向を算出する方法を考案した。今後はこの方法を用いることによって同流域の生態系サービスが算出できるとされる。また、水路等の底質改善による生態系サービスの評価には生物多様性の視

点が重要であること、インベントリ分析が有効であること、住民意識の把握方法に注意を払う必要があることなどがわかった。本研究を助成いただいた公益財団法人八雲環境科学振興財団に深く感謝いたします。

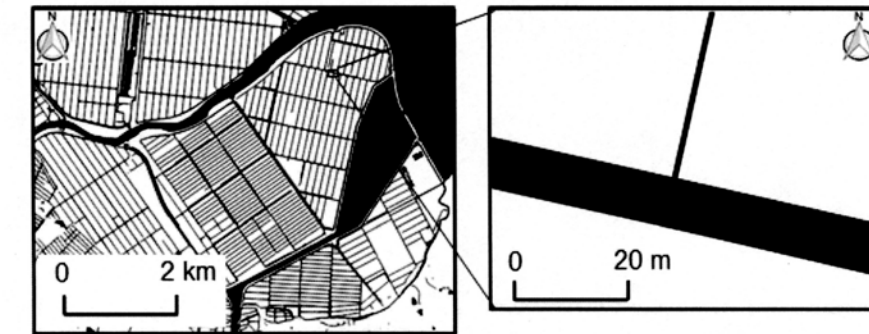


図 4 地形図の水域(左図)とその一部の平地領域内水路(右図)(基盤地図情報から作成) 注)対象地域は岡山市南区児島湖周辺の干拓地水田地帯。黒塗り部分は水域を表す。

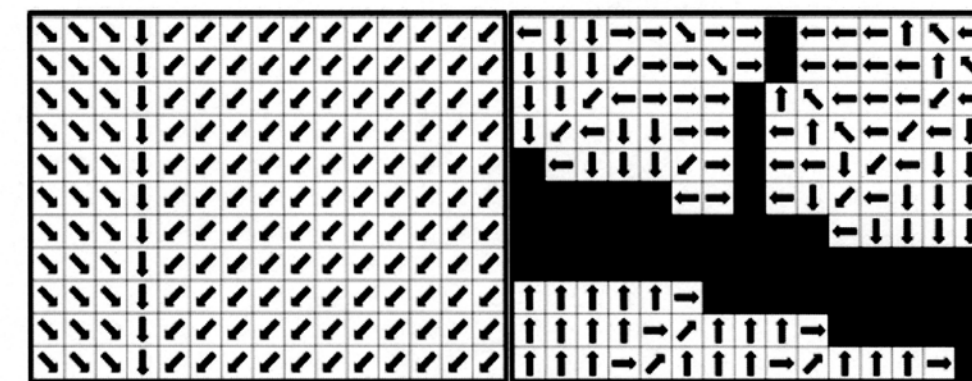


図 5 図 4 右の範囲における SWAT による流水方向の矢印(左)と本手法による流水方向の矢印(右) 注)黒塗り部分は水域格子点を表す。格子サイズは 5 m x 5 m



図 6 図 4 左の範囲における SWAT による分割区画(左)と本手法による分割区画(右)

参考文献

伊藤昭彦・山形与志樹 (2015) 生態系サービスの評価：気候変動対策と生物多様性保全のトレードオフ解消に向けて—趣旨説明—, 日本生態学会誌, 65, 109-113

今井啓・石渡輝夫 (2007) 統計資料等を用いて整理した都道府県別の土壌侵食因子の地域性について, 寒地土木研究所月報, 645, 49-54

岡山県 (2017) 児島湖に係る第7期湖沼水質保全計画, [https://www.env.go.jp/water/kosyou/keikaku/html/07\\_kogi-01.pdf](https://www.env.go.jp/water/kosyou/keikaku/html/07_kogi-01.pdf) (2018/09/20 確認)

萩原清子・萩原良巳 (1993) 水質の経済的価値, 環境科学会誌, 6(3), 201-213

環境省 (2016) 生物多様性と生態系サービスの総合評価報告書付属書

環境省自然環境局生物多様性センター (2018) 「Shape データダウンロード」サイト, <http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html> (2018/9/11 確認)

國井大輔 (2016) 農業・農村の多面的機能と生態系サービスの定義と評価手法に関する整理, 農林水産政策研究, 25, 35-55

建設省砂防部監修 (1993) 平成5年版砂防便覧, 全国治水砂防協会

国土交通省国土政策局国土情報課 (2018) 「国土数値情報ダウンロードサービス」サイト, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/> (2018/09/11 確認)

国土交通省国土地理院 (2018) 基盤地図情報サイト, <http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html> (2018/09/11 確認)

庄山紀久子・山形与志樹 (2015) 土地利用シナリオに基づいた生態系サービスの空間評価と社会的価値の定量化, 日本生態学会誌, 65, 145-153

農業総合研究所農業農村の公益的機能の評価検討チーム (1998) 代替法による農業・農村の公益的機能評価. 農業総合研究, 52 (4), 113-138

農研機構日本土壌インベントリー (2018) サイト, <https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/index.html> (2018/09/20 確認)

農林水産省構造改善局計画部資源課監修 (1992) 土地改良事業計画指針「農地開発(改良山成畑工)」, 158-178, 農業土木学会

橋本禪・齊藤修 (2014) 農村計画と生態系サービス, 農林統計出版

平山奈央子・川津優貴・井手慎司 (2011) 琵琶湖を含む滋賀県の水環境に対する世論の長期的変遷に関する研究, 水資源・環境研究, 24, 13-21

富士通研究所「持続可能な地域の豊かさを知ろう EvaCva - sustainable」サイト, <https://evacva.net/> (2018/9/18 確認)

Millennium Ecosystem Assessment 編 (2007) 国連ミレニアムエコシステム評価—生態系サービスと人類の将来, オーム社

山田淳・小野敦史・平井昭三 (2005) 琵琶湖水環境保全対策を対象とした住民意思決定プロセスの開発に関する基礎的研究, 環境システム研究論文集, 33, 423-430

吉川省子・山本博・石原暁・花野義雄 (1998) 四国地域における農地管理の粗放化に伴う土壌侵食の変動評価. 日本土壌肥科学雑誌, 69(3), 265-277.

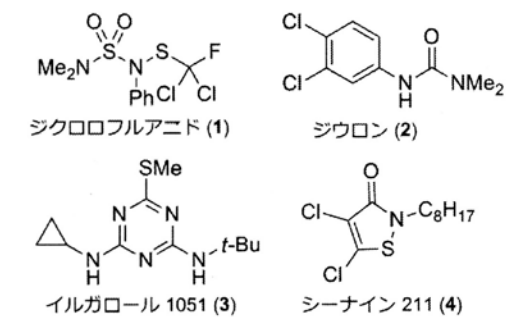
研究代表者 岡山大学大学院自然科学研究科 高村 浩由  
共同研究者 姫路エコテック株式会社 遠藤 紀之

【序論】

付着生物による被害の防止は急務の研究課題である。フジツボなどの付着生物は強力な固着力を持っており、一度付着すると除去するのに多大の労力と費用を要する。例えば、付着生物は船底に付着し、これにより海水との摩擦増加や船舶の重量増加が生じるため、推進効率が低下し燃費が格段に悪くなる。二酸化炭素排出削減が叫ばれている現在の状況下において、環境問題に直結する問題である。また、日本の臨海プラントの多くは、冷却水として海水を利用している。付着生物は取水および排水系統内に付着し、取水量や冷却効率の低下を引き起こし、発電効率に悪影響を及ぼしている。

1960年代以降、付着生物に対する防汚塗料として有機スズ化合物が多用されてきた。防汚剤であるトリブチルスズ基を持つ分子が自己研磨型塗料として働き、これが海水により加水分解を受け少しずつ溶出し、常に新たな塗料表面が海水に接することで機能を発揮した。しかし、有機スズ化合物は多くの生物に対し強い毒性を示す問題点を持っており、1970年代に入るとこれによる環境被害が報告され始めた。具体例としては、貝類の成長阻害や巻き貝イボニシのオス化などである。そのため1980年代に入ると、防汚剤としての有機スズ化合物の使用が各国により規制された。さらに2001年には、国際海事機関により「船舶についての有害な防汚方法の管理に関する国際条約」が採決され、有機スズ化合物の使用が禁止された。現在では有機スズ化合物の代替物として、亜酸化銅や亜鉛ピリチオン、またジクロロフルアニド (1)、ジウロン (2)、イルガロール 1051 (3)、シーナイン 211 (4) などの有機化合物が防汚剤として使用されているが (Figure 1)、これらもまた環境に対し悪影響を及ぼすことが示唆されている。そのため、効果的で安全、かつ毒性の無い環境に優しい付着阻害剤、いわゆる忌避物質の開発が強く求められている。

Figure 1. 既存防汚剤1-4



本研究では、天然に存在する有機化合物に着目し、これらを構造基盤として毒性を示さない環境低負荷型の付着阻害剤を開発することを目的として検討を行った。

【結果と考察】

1. サルコフィトノライド J

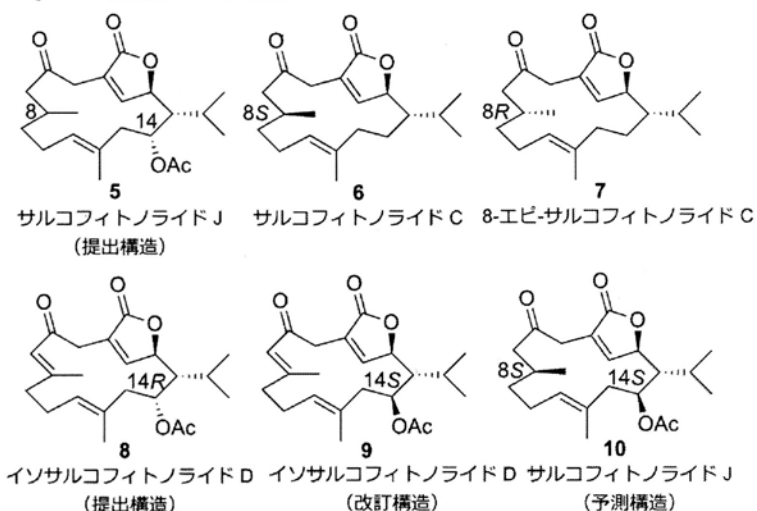
サンゴは多様な分子骨格と生物活性を有する二次代謝物を数多く生産する。センブラノライドは軟質サンゴから単離されるジテルペン的一种であり、付着阻害活性、抗菌活性、抗ウイルス活性、細胞毒性、および魚毒活性など多様な生物活性を有することが知られている。サルコフィトノライド J (5, 提出構造, Figure 2) は軟質サンゴ *Sarcophyton* sp. から単離された



センブラノライドジテルペンである<sup>1</sup>。本天然物はタテジマフジツボの幼生に対する付着阻害活性を有すると報告されている一方で<sup>2</sup>、興味深いことに、同じフジツボに対し不活性であると報告している論文もあり<sup>3</sup>、合成品による活性評価が望まれている。14員環炭素骨格とブテノライド部位に特徴を有する**5**の平面構造は、詳細な二次元NMR解析により決定されたが、**8**位の立体化学は不明であった。そこで合成に先立ち、サルコフィトノライド**J**の立体構造を予測することとした。まずは**8**位の立体化学について検証した。これまでに我々のグループでは、サルコフィトノライド**C**の研究において、**8**位に関する2つの立体異性体**6**および**7**の合成を完了している。そこで、天然物サルコフィトノライド**J**と**6**および**7**のNMRデータを詳細に比較したところ、天然物サルコフィトノライド**J**のNMRデータは**8S**体**6**のデータと比較的良好一致を示し、**8R**体**7**のデータとは大きな相違があることが観測された。以上の結果より、天然物サルコフィトノライド**J**の**8**位の立体化学は**S**であると予測した。次に**14**位の立体化学について検証した。天然物サルコフィトノライド**J**の**14**位の立体化学は**R**であると決定されていた。一方で我々はこれまでに、**14**位に酸素官能基を有するイソサルコフィトノライド**D**の提出構造**8**および改訂構造**9**の全合成を完了し、イソサルコフィトノライド**D**の真の構造は**9**に示すものであることを明らかにしている。この構造改訂はサルコフィトノライド**J**の**14**位の立体化学も再検証する必要があることを示す結果である。そこで、天然物サルコフィトノライド**J**と**8**および**9**のNMRデータを詳細に比較したところ、天然物サルコフィトノライド**J**のNMR

データは**14S**体**9**と比較的良好一致を示す一方で、**14R**体**8**とは大きな相違があることが確認された。以上の結果より、天然物サルコフィトノライド**J**の**14**位の立体化学は提唱された**R**ではなく、その逆の**S**であると予測した。そこで次に、**8S,14S**の立体化学を有するサルコフィトノライド**J**の予測構造**10**の全合成について検討することとした。

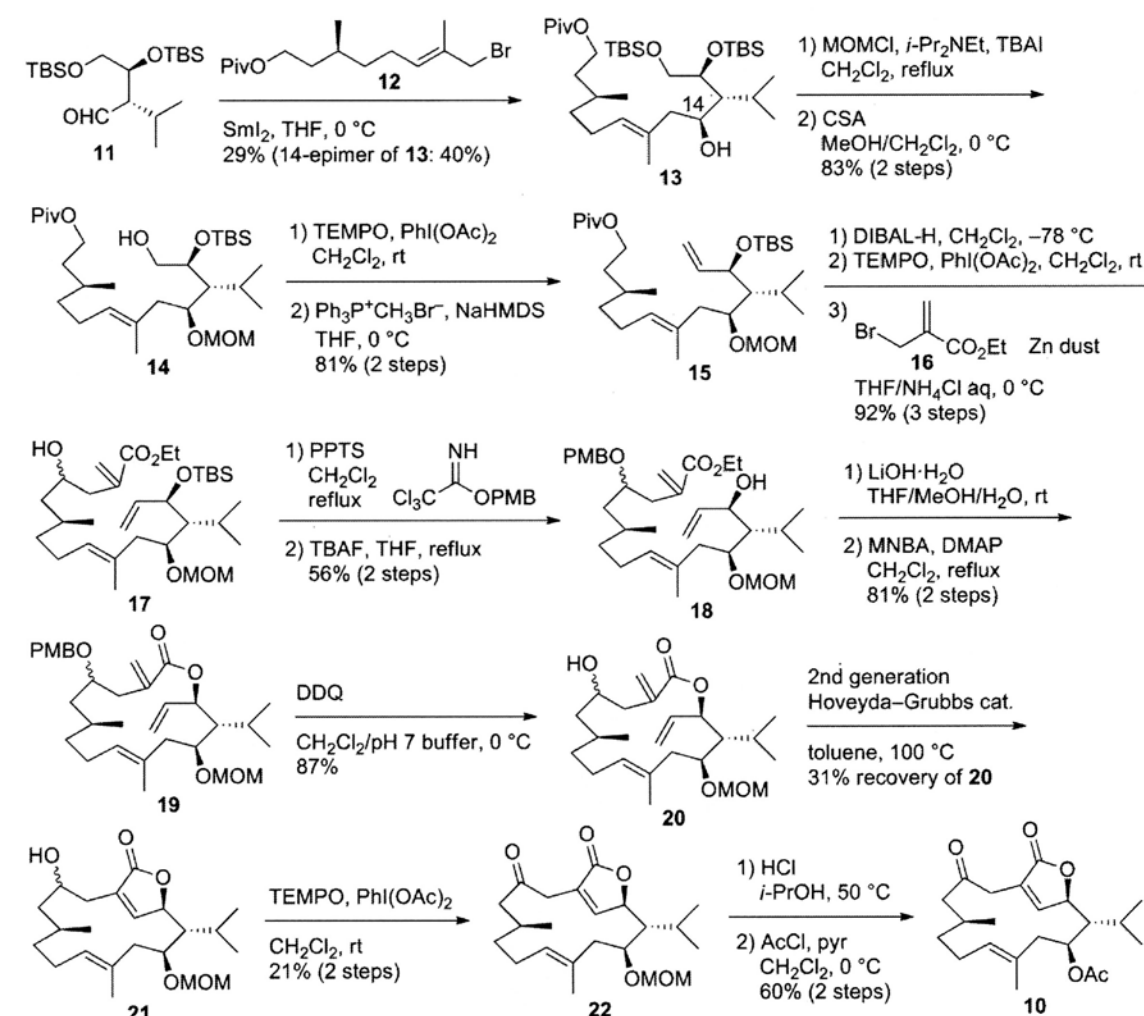
Figure 2. 化合物**5**–**10**の構造



まず、 $\text{SmI}_2$ を用いたアルデヒド**11**とアリルブロマイド**12**とのカップリングを行うことで、アルコール**13**を合成した (Scheme 1)。MOM保護と一級TBS基の選択的除去によりアルコール**14**とした後、2段階の操作によりアルケン**15**を合成した。**15**に対しピバロイル基の除去と続く酸化を行うことでアルデヒドとした後、 $\beta$ 位にエステル基を有するアリルブロマイド**16**を用いたアルコキシカルボニルアリル化を行うことで所望のアリル化生成物**17**を1:1のジアステレオマー混合物として得た。続いて、生じたヒドロキシ基のPMB保護とTBS基の除去を行いアルコール**18**とした後、エステル部位の加水分解と椎名マクロラクトン化を行い、15員環マクロライド**19**を合成した。PMB基を除去しアルコール**20**とした後、渡環型閉環メタセシスを施すことでブテノライド**21**を合成した。TEMPO酸化によりケトン**22**へと変

換した後、MOM基の除去と続くアセチル化を行い、サルコフィトノライド**J**の予測構造**10**の全合成を完了した。合成完了後、**10**と天然物サルコフィトノライド**J**とのデータの比較を行ったところ、 $^1\text{H}$ および $^{13}\text{C}$ NMRデータ、また比旋光度が良い一致を示したことから、天然物サルコフィトノライド**J**は予測したとおり**10**に示す絶対立体配置を有することを合成化学的に証明することができた。

Scheme 1. サルコフィトノライド**J**の予測構造**10**の全合成



次に合成したサルコフィトノライド**J**の改訂構造**10**およびその合成中間体を用いて、タテジマフジツボの幼生に対する活性評価を行った。評価方法は以下の通りである。まず、試料を最終濃度が0.1–50  $\mu\text{g}/\text{mL}$ になるようにメタノールまたはDMSOに溶解し、ポリスチレンプレートの各ウェルに添加した (Figure 2)。試料を添加した各ウェルに最終液量が1 mLになるように滅菌ろ過海水を加えた後、各ウェルにキプリス幼生約10個体を収容した。25  $^{\circ}\text{C}$ 、暗条件で96時間静置した後、幼生を顕微鏡で観察し付着個体数および死亡個体数をカウントし、半数付着阻害濃度 ( $\text{EC}_{50}$ ) および半数致死濃度 ( $\text{LC}_{50}$ ) を算出した。評価結果をTable 1に示す。サルコフィトノライド**J** (**10**) は1.50  $\mu\text{g}/\text{mL}$ の $\text{EC}_{50}$ にて付着阻害活性を有することが分かった。ブテノライド構築前駆体**21**、マクロラクトン化前駆体**18**、および構造単純化類縁体**23**も**10**とほぼ同程度の付着阻害活性を示すことが明らかとなった ( $\text{EC}_{50} = 0.95\text{--}2.36 \mu\text{g}/\text{mL}$ )。また、**10**は弱い毒性 ( $\text{LC}_{50} = 34.5 \mu\text{g}/\text{mL}$ ) を示す一方で、**21, 18, 23**は毒性を示さないことが

分かった。構造単純化類縁体 **23** が付着阻害活性を示し、かつ毒性を示さなかったことは興味深い結果であり、さらに構造が単純な活性分子の創製が期待される結果である。

Figure 2. タテジマフジツボの幼生に対する活性評価



Table 1. タテジマフジツボの幼生に対する付着阻害活性 (EC<sub>50</sub>) および毒性 (LC<sub>50</sub>)

Compound	EC <sub>50</sub> (µg/mL)	LC <sub>50</sub> (µg/mL)
<b>10</b>	1.50	34.5
<b>21</b>	0.95	>50
<b>18</b>	2.36	>50
<b>23</b>	1.74	>50

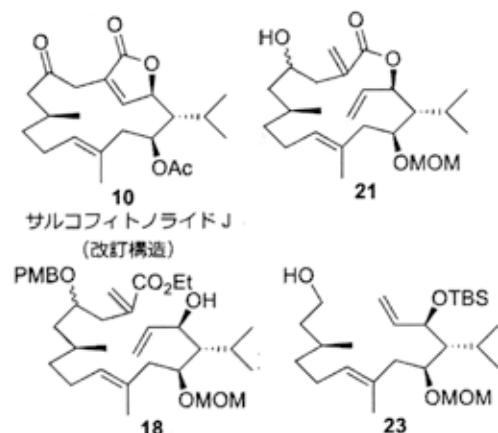
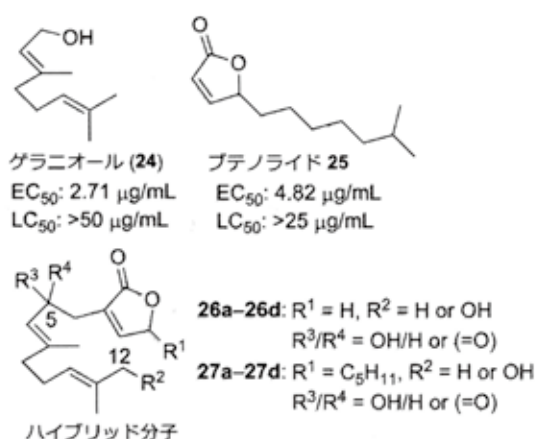


Figure 3. 化合物24-27の構造



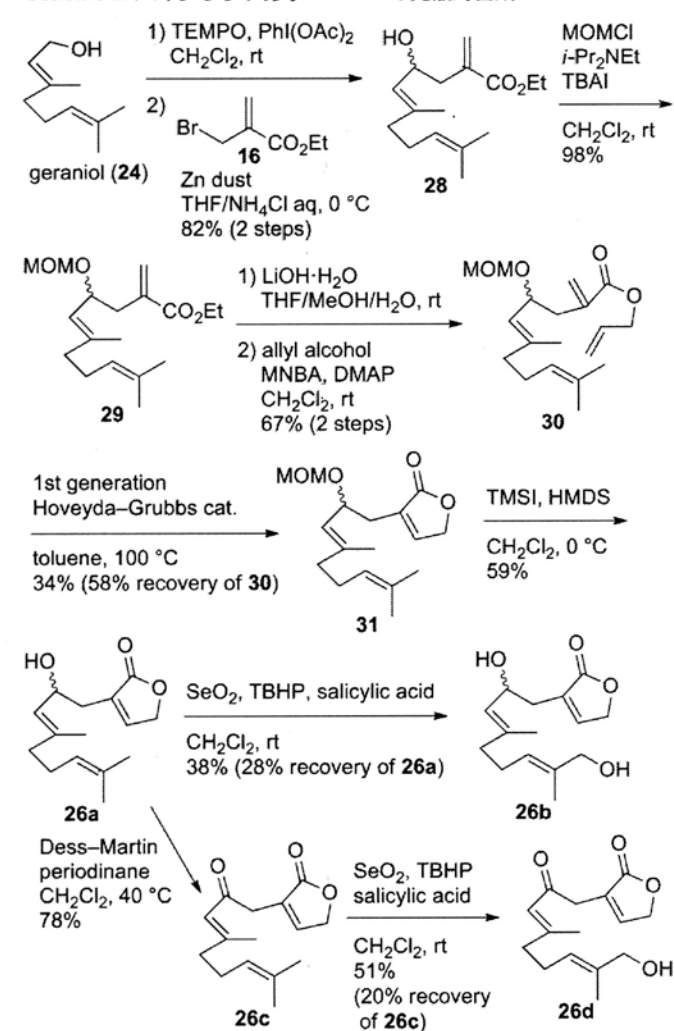
## 2. ハイブリッド分子 (発表論文 1)

環境に優しい付着阻害活性分子を開発および実用化することを念頭に置き、天然由来の有機化合物を構造基盤とした分子の設計を行うこととした。ゲラニオール誘導体は付着阻害活性を有することが報告されている。実際、我々のグループでゲラニオール (**24**, Figure 3) のタテジマフジツボの幼生に対する活性を評価したところ、付着阻害活性を有し (EC<sub>50</sub> = 2.71 µg/mL)、毒性を示さなかった (LC<sub>50</sub> = >50 µg/mL)。また一方で、ブテノライド構造を有する天然物 **25** は EC<sub>50</sub> が 4.82 µg/mL にて付着阻害活性を示し、毒性は示さない (LC<sub>50</sub> = >25 µg/mL) ことが報告されている<sup>4</sup>。我々は付着阻害活性を増強させることを目的として、活性な 2 つの構造モチーフを

連結することを計画した。すなわち、ゲラニオールとブテノライドのハイブリッド分子 **26a-26d** および **27a-27d** を設計した。これら設計分子の構造の違いは、ブテノライド部位の置換基 (**26a-26d**: R<sup>1</sup> = H, **27a-27d**: R<sup>1</sup> = C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>) および 5 位と 12 位の酸化段階である。次にこれら 8 つのハイブリッド分子を合成最終まで発散的に合成するルートの検討を行った。

ハイブリッド分子 **26a-26d** の発散的合成を Scheme 2 に示す。ゲラニオール (**24**) を酸化しアルデヒドとした後、エステル基を有するアリルブロマイド **16** と Zn dust を作用させることでアルコール **28** を得た。生じたヒドロキシ基に対する MOM 保護を行い **29** とした後、エステル部位の加水分解とアリルアルコールとのエステル化を行うことで、**30** を合成した。続いて、第一世代 Hoveyda-Grubbs 触媒を用いて閉環メタセシスを行ったところ、所望のブテノライド **31** を得ることができた。TMSI と HMDS を用いて脱保護を行いアルコール **26a** を合成した。続いて、**26a** に対し選択的なアリル位の酸化を行うことでジオール **26b** の合成を完了した。さらに、**26a** のヒドロキシ基を酸化することでケトン **26c** を、**26c** に対しアリル位の選択的酸化を行うことで **26d** を合成した。ブテノライド部位にペンチル基を有するハイブリッド分子 **27a-27d** も同様の合成手法にて合成した。

Scheme 2. ハイブリッド分子 **26a-26d** の発散的合成

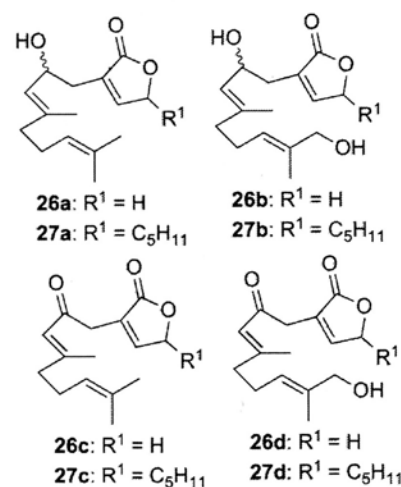


8 つのゲラニオール-ブテノライド ハイブリッド分子の合成が完了したので、次にタテジマフジツボの幼生に対する付着阻害活性及び毒性の評価試験を行った (Table 2)。ハイブリッド分子 **26a** は 1.18 µg/mL の EC<sub>50</sub> にて幼生の付着を阻害したことより、ゲラニオール (**24**, EC<sub>50</sub> = 2.71 µg/mL) およびブテノライド **25** (EC<sub>50</sub> = 4.82 µg/mL) よりも強い付着阻害活性を有することが明らかとなった。ハイブリッド分子 **26b-26d** は **26a** よりも強い付着阻害活性を示した (EC<sub>50</sub> = 0.30-0.74 µg/mL)。ブテノライド部位にペンチル基を有するハイブリッド分子 **27a-27d** も **26a-26d** と同等の付着阻害活性を有することが分かった (EC<sub>50</sub> = 0.58-1.31 µg/mL)。さらに毒性について評価したところ、**27a** は中程度の毒性 (LC<sub>50</sub> = 8.83 µg/mL) を示し、それ以外の分子は低毒性もしくは無毒であることが判明した。これらの結果は、ゲラニオールとブテノライドのハイブリッド化により付着阻害活性が増強されたことを示す結果である。従来、2 つの活性部位を同一分子内に組み込むことにより活性を向上させる、いわゆる複数標

的指向型リガンドとよばれる手法は創薬研究において用いられてきたが、生物付着研究に本手法を取り入れたのはこれが初めての例である。

**Table 2.** タテジマフジツボの幼生に対する付着阻害活性 (EC<sub>50</sub>) および毒性 (LC<sub>50</sub>)

Compound	EC <sub>50</sub> (μg/mL)	LC <sub>50</sub> (μg/mL)
<b>24</b>	2.71	>50
<b>25<sup>a</sup></b>	4.82	>25
<b>26a</b>	1.18	46.7
<b>26b</b>	0.44	>50
<b>26c</b>	0.30	37.0
<b>26d</b>	0.74	25.1
<b>27a</b>	0.81	8.83
<b>27b</b>	0.58	>50
<b>27c</b>	1.31	>50
<b>27d</b>	0.80	>50



<sup>a</sup>Data from ref. 4.

#### 【結論】

本研究では、天然由来の有機化合物に着眼し、毒性の無い環境低負荷型付着阻害剤の開発を検討した。サルコフィトノライド J の研究においては、SmI<sub>2</sub>を用いたフラグメントカップリング、アルコキシカルボニルアリル化、マクロラクトン化、および渡環型閉環メタセシスを鍵反応に用いることで、全合成を完遂した。合成完了後、活性評価を行うことで構造活性相関を明らかにした。さらに、2つの活性部位を連結させたゲラニオール-ブテノライドハイブリッド分子を設計および合成し、これらの分子はゲラニオールおよびブテノライドの各々よりも強い付着阻害活性を有することを見出した。今後は付着阻害剤の実用化に向けて検討を重ねる予定である。

#### 【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公益財団法人八雲環境科学振興財団に深く感謝申し上げます。

#### 【参考文献】

- (1) Yan, X.-H.; Li, Z.-Y.; Guo, Y.-W. *Helv. Chim. Acta* **2007**, *90*, 1574.
- (2) Wang, C.-Y.; Chen, A.-N.; Shao, C.-L.; Li, L.; Xu, Y.; Qian, P.-Y. *Biochem. Syst. Ecol.* **2011**, *39*, 853.
- (3) Li, Y.-X.; Wu, H.-X.; Xu, Y.; Shao, C.-L.; Wang, C.-Y.; Qian, P.-Y. *Mar. Biotechnol.* **2013**, *15*, 552.
- (4) Xu, Y.; He, H. Schulz, S.; Liu, X.; Fusetani, N.; Xiong, H.; Xiao, X.; Qian, P.-Y. *Bioresour. Technol.* **2010**, *101*, 1331.

#### 【発表論文】

- (1) “Late-Stage Divergent Synthesis and Antifouling Activity of Geraniol-Butenolide Hybrid Molecules” Takamura, H.; Ohashi, T.; Kikuchi, T.; Endo, N.; Fukuda, Y.; Kadota, I. *Org. Biomol.*

*Chem.* **2017**, *15*, 5549.

#### 【学会発表】

- (1) “サルコフィトノライド J の構造予測および全合成による構造決定” 大津泰知、高村浩由、門田功 第 111 回有機合成シンポジウム 岡山大学津島キャンパス 岡山 2017 年 6 月 8-9 日
- (2) “ゲラニオール-ブテノライドハイブリッド分子の発散的合成と付着阻害活性” 大橋拓実、高村浩由、菊地崇浩、遠藤紀之、福田祐司、門田功 第 33 回若手化学者のための化学道場 (鳥取 2017) レーク大樹 鳥取 2017 年 9 月 1-2 日
- (3) “ゲラニオール-ブテノライドハイブリッド分子の発散的合成と付着阻害活性” 高村浩由、大橋拓実、菊地崇浩、遠藤紀之、福田祐司、門田功 第 47 回複素環化学討論会 高知県立県民文化ホール 高知 2017 年 10 月 26-28 日
- (4) “ゲラニオール-ブテノライドハイブリッド分子の発散的合成と付着阻害活性” 大橋拓実、菊地崇浩、遠藤紀之、福田祐司、高村浩由、門田功 日本化学会第 98 春季年会 日本大学船橋キャンパス 船橋 2018 年 3 月 20-23 日

## 1. はじめに

マングローブは熱帯から亜熱帯の潮間帯に生育する樹木の総称である。マングローブ林は多くの生物の生息域であり(馬場 1994, Alongi 2001)、またその材は建材や燃料、家畜飼料として利用されるなど(加藤 1994)、様々な価値を有している。しかし、マングローブ林は他の森林の3~5倍の速さで減少し、すでに4分の1ほどの林分面積が失われている(UNEP 2014)。また、気候変動や人為的影響による更なる減少も危惧されている(Alongi 2001)。

過剰な  $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  は原形質内のイオンバランスを乱し酵素タンパク質と膜に対しイオン特有の影響を与え、光合成や呼吸によるエネルギー生産の停止や代謝の障害を引き起こす(Larcher 1999)。そのため、マングローブ林の保全において、耐塩性機構の理解が重要である。マングローブにおける耐塩性機構として、(1)根で塩をろ過し塩の取り込みを抑制する機構、(2)葉の塩類腺により塩を排出する機構、(3)葉や種子などの器官の中の液胞に塩を蓄積し、閾値に達するとその部位を落下させる機構の大きく3つがある(e.g. Ball 1988)。このうち、根のろ過と液胞への蓄積の機構はすべてのマングローブが持つ機構であるが、ろ過については程度が種により異なる(Ball 1988)。また、塩類腺の排出機構については葉に塩類腺を持つ種に限られる(Reef and Lovelock 2015)。塩類腺を持たず根のろ過により塩の取り込みを抑制する種では、根でろ過が顕著なため樹体内の塩分濃度が低く、塩類腺から塩を排出する種では、ろ過があまり行われず樹体内の塩濃度が高いと予想される。そのた

め、耐塩性機構の差がもたらす樹体内塩濃度への生理的な応答の理解が重要だと考えられる。

樹体内の塩濃度への生理的応答として通水特性や浸透調節が考えられる。幹における通水機能の損失は、樹木の分布や生存に深刻な影響を与える(Cochard et al. 2007)。道管を持つ樹木の水分通導度の損失は、これまで道管の空洞化により生じることが多数報告されてきた(e.g. Tyree and Sperry 1988)。その一方で、木部樹液のイオン濃度の影響による壁孔膜の透過性の変化によって生じることが指摘されている(Woodrum et al. 2003, Cochard et al. 2010)。空洞化は木部内にかかる大きな張力によって生じるとされているが(Tyree and Sperry 1988)、マングローブは潮間帯に生息することから、吸い上げる水のイオン濃度、特に  $\text{Na}^+$  の濃度が増加しやすく木部内の張力が大きくなる可能性や(Scholander et al. 1965)、イオン濃度の変化による膜透過性の影響が大きい可能性が考えられる。また、浸透調節は塩ストレスなどの様々なストレス下において、酵素活性を妨げることのない適合溶質を合成することで(Mokhamed et al. 2006)、浸透ポテンシャルを引き下げ膨圧を維持する機能である(Larcher 1999)。適合溶質には可溶性糖や可溶性糖アルコール、アミノ酸、第四級アンモニウム化合物などがあり、このうち第四級アンモニウム化合物のベタインは生体膜の保護機能を有し(Sakamoto and Murata 2002)、塩ストレス下での代謝等の維持に非常に重要であると考えられる。

以上から、本研究では塩のろ過および排出機構の異なるマングローブ2種をもちい

て通水特性および浸透調節について評価し、これらをふまえて耐塩性機構を理解することを目的とした。

## 2. 材料と方法

### 2.1 材料

材料には沖縄県うるま市洲崎において、1995年に植栽し成立したマングローブ林に生育するオヒルギ(*Bruguiera gymnorrhiza* (L) Lamk.)とヒルギダマシ(*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.)を用いた。オヒルギは根での塩分ろ過が顕著だが葉に塩類腺はなく、ヒルギダマシは根での塩分ろ過は顕著でないが、葉に塩類腺を持つ(Reef and Lovelock 2015)。また、この場所は埋め立て地であり、河川の流入はほとんどない。そのため、土壌の塩濃度の変動要因は、潮の満ち引き、日射、気温、降水が主だったものと考えられる。

### 2.2 自然条件下における測定

蒸散が盛んな夏期の日中(10:00~14:00)の干潮および満潮時に、オヒルギとヒルギダマシの2種から、それぞれ1個体につき50 cm以上の長さの力枝を1本採取し、枝と葉に分けた。葉と樹皮の表面は、湿らせたキムタオルで表面をふき取り、塩を取り除いた。枝は師部を含む樹皮(以下、師部)と木部(髓を除いたもの)に分けた。このうち、水ポテンシャル測定のサンプルは速やかにチャック付きのビニル袋に入れて実験室に持ち帰り、直ちに測定を行った。ベタイン濃度および可溶性糖・でんぷん含量の測定用のサンプルは80℃に設定した乾燥機(DO-600FA, アズワン)で48時間乾燥させ、ボールミル(MM400, Retsch)を用いて粉砕し粉末状にした。各樹種とも繰り返し個体数は干潮時、満潮時ともに3個体とした。

夏期の日中の葉( $\Psi_{\text{leaf}}$ )・木部( $\Psi_{\text{xylem}}$ )の水ポテンシャルをサイクロメーター(WP4-T, Decagon Devices Inc.)を用いて測定した。葉、

木部ともに、サンプリング後、速やかにカップに封入し、測定まで冷暗所で保管し外部環境の影響を受けないようにした。

ベタインの抽出は、粉末試料  $65 \pm 0.5 \text{ mg}$  に蒸留水  $1 \text{ mL}$  を加えてボルテックスで攪拌した後、ドライブロックバス(THB-2, 株式会社アズワン)を用いて加熱して行った。熱抽出したのち、遠心分離機(7780, 久保田商事株式会社)にかけ、上澄み液を採取し、フェナシルエステル化反応させ、キャピラリー電気泳動装置(CAPI-3300, 大塚電子株式会社)を用いてベタイン濃度を測定した。

可溶性糖およびでんぷん含量の分析のために、定量した各粉末試料(葉  $3 \text{ mg}$ 、師部  $3 \text{ mg}$ 、木部  $6 \text{ mg}$ )を80%エタノールを用いて攪拌した後、遠心分離機(FR200, KURABO)にかけ、上澄み液を採取した。採取した上澄み液は、ヒートブロックで完全に揮発させ、フェノール硫酸法で可溶性糖含量を分析した。上澄み液採取後の残渣は乾燥させ、酢酸で中性に戻した後、酵素を用いてでんぷんを可溶性糖に分解することででんぷん含量を分析した。

### 2.3 イオン濃度に対する水分通導度の変化曲線

木部水分通導度( $K_h: \text{kg m MPa}^{-1} \text{ s}^{-1}$ )の測定については現地において50 cm以上の長さの力枝を採取し、直ちに水切り後、袋掛けした状態で実験室内に持ち帰り、水中において20 cmの長さのサンプルを切り出し測定に用いた。最初にイオン交換水を用いて50 KPaの圧力で約1時間加圧を行い、空洞化による閉塞を取り除いた。その後直ちに水ポテンシャル値として0.0、-0.4、-0.8、-1.0、-1.2、-1.4、-1.6、-2.0、-2.2、-2.4、-2.8 MPaに該当する各NaCl濃度における水分通導度の値を測定した。先行研究(Lopez-Portillo and Ewers 2005)を参考にを行った予備実験結果を基に、15~20 kPaで36分間各塩濃度の溶液で加圧して木部内の

樹液の入替を行った。K<sub>h</sub> 測定時の静水圧はオヒルギは 50 cm (4.90 kPa)、ヒルギダマシは 30 cm (2.94 kPa)とした。測定に用いた 20 cm 長の試料の先端側の横断面をスキャナーでスキャンし、画像解析ソフト imageJ をもちいて木部面積を算出した。木部面積と K<sub>h</sub> から、木部面積当たりの水分通導度 (K<sub>s</sub>: kg m<sup>-1</sup> MPa<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) を算出した。また、各試料ごとに全 NaCl 濃度における K<sub>s</sub> の最大値に対する各 NaCl 濃度の K<sub>s</sub> の値(相対水分通導度)を求め、水ポテンシャルに対する相対水分通導度から、イオン濃度に対する水分通導度の変化曲線を作成した。各樹種における繰り返し個体数は 5 個体とした。

#### 2.4 統計解析

イオン濃度に対する水分通導度の変化曲線はカレイダグラフ(4.0J, Hulinks Inc.)を用いて、二次曲線で回帰した。葉・木部の水ポテンシャル、葉・師部・木部のベタイン濃度、可溶性糖含量およびでんぷん含量はそれぞれ t 検定を行い、各部位における樹種間の差を比較した。t 検定は R (var. 3.4.3, <https://cran.r-project.org/>)を用いて行った。

#### 3. 結果

相対水分通導度の値は水ポテンシャルの低下(NaCl 溶液濃度の上昇)に対して、オヒルギではゆるやかな一山型の変化を示した(図 1)。一方、ヒルギダマシでは水ポテンシャルの低下(NaCl 溶液濃度の上昇)に対して、明確な変化は示さなかった(図 1)。

日中の葉の水ポテンシャルを比較すると、干潮時および満潮時ともにヒルギダマシの葉で有意に低い値を示した(図 2a, b)。また日中の木部の水ポテンシャルについても干潮時においてヒルギダマシで有意に低い傾向がみられた(図 2a)。

ベタイン濃度については、オヒルギとヒルギダマシともにアラニンベタインとグリシンベタインが検出されたが、ブチロベ

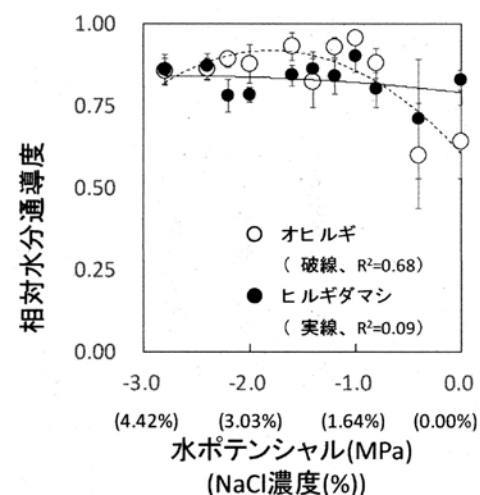


図 1 イオン濃度に対する水分通導度の変化

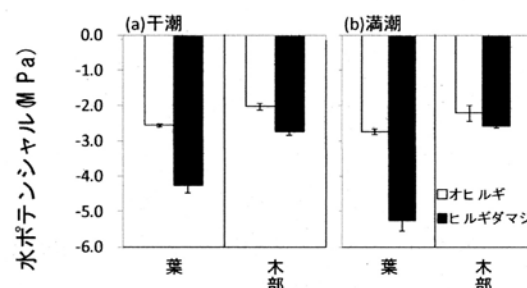


図 2 葉・木部の日中の水ポテンシャル

インは検出されなかった(図 3, ブチロベタインはデータ未掲載)。種間で比較をすると、干潮時、満潮時ともにアラニンベタイン濃度がヒルギダマシで極めて顕著に高かった(図 3a, b)。グリシンベタインについても満潮時に葉と木部でヒルギダマシが有意に高かった(図 3b)。有意差は見られなかったが、干潮時のグリシンベタイン濃度においても同様の傾向がみられた(図 3a)。

オヒルギとヒルギダマシについて可溶性糖およびでんぷん含量を比較した(図 4)。でんぷん含量は干潮時と満潮時ともに葉・師部・木部でオヒルギが高い傾向にあり、師部は干潮時、満潮時とも、葉は干潮時に有意に高かった(図 4a, b)。可溶性糖含量は木部では干潮時、満潮時ともにヒルギダマシが高い傾向を示し、満潮時には有意に高か

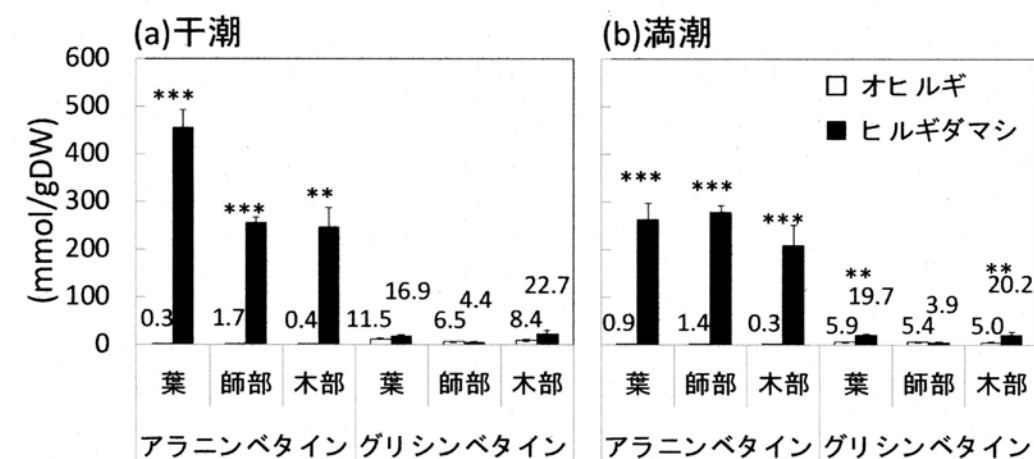


図 3 葉・師部・木部の日中のベタイン濃度

った(図 4b)。

#### 4. 考察

オヒルギでベタインや糖の検出が見られたがヒルギダマシほどではなかった(図 3, 4)。オヒルギは、根でのろ過機能が強く塩類腺を持たないため(Reef and Lovelock 2015)、樹体内塩濃度が低く、そのためオヒルギの浸透調節能はヒルギダマシほど高くない可能性がある。一方、ヒルギダマシではベタイン濃度が著しく高く、木部の可溶性糖含量が高かった(図 3, 4)。また、ヒルギダマシは葉と木部の水ポテンシャルも低かった(図 2)。ヒルギダマシは、根のろ過機能が低く塩類腺を持つため(Reef and Lovelock 2015)、樹体内塩濃度が高いが、浸透調節能が高いことにより、膨圧を維持していると考えられた。また、ベタインは生体膜の保護機能を持ち(Sakamoto and Murata 2002)、光化学系や Rubisco の塩失活を防ぐ役割をもつ(Papageorgiou and Murata 1995, Nawaz and Ashraf 2010)。このことからヒルギダマシは浸透調節によって膨圧の維持だけでなく、光合成や呼吸などの代謝を維持していると考えられた。更に、塩類腺の周辺組織ではミトコンドリアが密集しており(Oi et al. 2010, Yuan et al. 2016)、また塩類腺はミ

トコンドリアの呼吸由来の ATP を使って塩を排出している (e.g. Yuan et al. 2016)。そのため、ヒルギダマシの浸透調節は塩の排出にも寄与している可能性がある。

本研究における日中の木部の水ポテンシャルの値は、オヒルギでは-2.03 MPa~-2.22 MPa、ヒルギダマシでは-2.59 MPa~-2.73 MPaであった(図 2)。Jiang et al. (2017)で報告されている通水機能を 12% 損失するときの木部の水ポテンシャル( $\Psi_{12}$ )の値(オヒルギで-5.48 MPa、ヒルギダマシで-2.28 MPa)をふまえると、オヒルギは空洞化に対し猶予があり空洞化のリスクが低いのに対し、ヒルギダマシは日中に 10% 前後の空洞化を引き起こしており日常的な空洞化のリスクが高いと考えられた。空洞化の生じやすさは材密度などで表される木部の構造的(力学的)な強度が小さいほど大きくなる(e.g. Markesteijn et al. 2011)。本研究でも、オヒルギに比べヒルギダマシで材密度が低かった(データ未掲載)。そのためヒルギダマシは空洞化のリスクが木部構造的に高いと考えられた。本研究では、ヒルギダマシの木部においてベタインと、可溶性糖の高い蓄積を確認したことから(図 3, 4)、木部においても浸透調節を著しく行っていると考えられた。ヒルギダマシは、木部内に材内師部

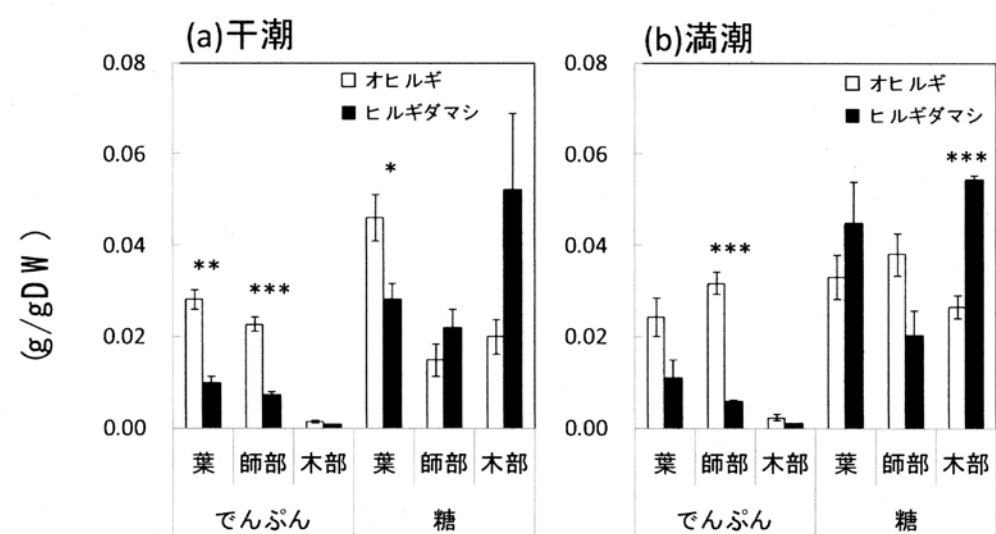


図4 葉・師部・木部の日中の可溶性糖およびでんぷん含量

と呼ばれる生細胞が存在している (Robert et al. 2011)。そのため、木部の浸透調節は材内師部の生細胞の膨圧や代謝の維持をもたらしているのだろう。また、空洞化した道管の回復は隣り合う生細胞からの糖が輸送されることで生じ (Salleo et al. 2004, Brodersen et al. 2010)、また、材内師部は道管内に糖を輸送し空洞化した道管の回復に寄与している可能性が指摘されていることから (Robert et al. 2011)、ヒルギダマシは空洞化による通水機能の損失リスクを木部における浸透調節能の高さに関連した回復性の高さで補償していると考えられた。

先行研究において、塩濃度条件の高い地域のマングローブ林ではヒルギダマシが優占しており (Tropical Coastal Ecosystem Portal 2015)、また、苗木の栽培実験において、ヒルギダマシはオヒルギよりも塩分濃度の高い条件下で成長率が維持され (Jayatissa et al. 2008)、枯死率が低いことが報告されている (Kirui et al. 2008)。本研究により、オヒルギは浸透調節もいくらか行うものの、ヒルギダマシほど顕著ではなく、根のろ過機能の高さと、通水機能損失リスクの低さによって生育を実現しており、一

方ヒルギダマシはろ過機能が低いものの、浸透調節により生細胞の膨圧や代謝の維持、通水機能の回復、さらに塩類腺による塩の排出が可能になり、生育を実現していることが明らかになった。ヒルギダマシは浸透調節能が著しく高いことにより樹体内の塩濃度の高さに対する対応力が高いためにより高塩濃度条件下での生育に有利である可能性がある。

#### 5. 謝辞

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

#### 6. 引用文献

Alongi DM (2001) *Environmental Conservation*, 29(3), 331-349  
 馬場 繁幸 (1994) *日本海水学会誌*, 48(5), 367-377  
 Ball MC (1988) *Trees*, 2, 129-142  
 Brodersen CR, McElrone AJ, Choat B, Matthews MA, Shackel KA (2010) *Plant Physiology*, 154, 1088-1095  
 Cochard H, Casella E, Mencuccini M (2007)

*Tree Physiology*, 27, 1761-1767  
 Jayatissa LP, Wickramasinghe WAADL, Dahdouh-Guebas F, Huxham M (2008) *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 93(6), 700-710  
 Jiang GF, Goodale UM, Liu YY, Hao GY, Cao KF (2017) *Tree Physiology*, 37, 389-401  
 加藤 茂 (1994) *日本海水学会誌*, 48(5), 378-386  
 Kirui BYK, Huxham M, Kairo J, Skov M (2008) *Hydrobiologia* 603, 171-181  
 Larcher W (1999) *植物生態生理学*, 佐伯敏郎 監訳, 291-301, シュプリンガー・フェアラーク東京, 東京  
 Lopez-Portillo J, Ewers FW, Angeles G (2005) *Plant Cell Environ*, 28, 1285-1292  
 Markesteijn L, Poorter L, Paz H, Sack L, Bongers F (2011) *Plant Cell Environ*, 34, 137-48  
 Mokhamed AM, Raldugina GN, Kholodova VP, Kuznetsov VIV (2006) *Russian Journal of Plant Physiology*, 53(5), 649-655  
 Nawaz K, Ashraf M, (2010) *J Agron Crop Sci.*, 196, 28-37  
 Oi T, Taniguchi M, Miyake H (2012) *International Journal of Plant Science*, 173(5), 454-463  
 Papageorgiou GC, Murata N (1995)

*Photosynthesis Res.*, 44, 243-252  
 Reef R, Lovelock CE (2015) *Annals of Botany*, 115, 385-395  
 Robert EMR, Schmitz N, Boeren I, Driessens T, Herremans K, Mey JD, Castele EV, Beeckman H, Koedam N (2011) *PLoS ONE*, 6(1), e16558  
 Sakamoto A, Murata N (2002) *Plant Cell Environ*, 25, 163-171  
 Salleo S, Lo Gullo MA, Trifilò P, Nardini A (2004) *Plant Cell Environ*, 27, 1065-1076  
 Scholander PF, Bradstreet ED, Hemmingsen EA, Hammel HT (1965) *Science*, 148(3668), 339-346  
 Tropical Coastal Ecosystem Portal (2015) *Distribution maps.* ([http://www.nies.go.jp/TroCEP/mangrove\\_distribution/index.html](http://www.nies.go.jp/TroCEP/mangrove_distribution/index.html))  
 Tyree MT, Sperry JS (1988) *Plant Physiology*, 88, 0574-0580  
 UNEP (2014) *UNEP Report* (<https://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/destruction-carbon-rich-mangroves-costs-us42-billion-economic>)  
 Yuan F, Lyu MJA, Leng BY, Zheng GY, Feng ZT, Li PH, Zhu XG, Wang BS (2016) *Plant Cell Environ*, 38, 1637-1657

## 富栄養湖における生態系サービスに資する水生植物相の再生及び創出

岡山大学大学院環境生命科学研究科 中嶋佳貴

### 【背景及び目的】

人類は生態系サービスによって様々な恩恵を享受しているが、近年の気候変動及び人間活動の変化に伴い、生態系サービスの衰退が憂慮されている<sup>6)</sup>。岡山県南部に位置する児島湖では、大規模なササバモ(*Potamogeton malaianus* Miq.)群落が消滅して約 20 年が経過し、再生の兆しは認められていない。平成 28 年には長年に渡って湖内に広く分布していたヒシ(*Trapa japonica* Flerov)群落及び長さ 100m 以上のヒメガマ(*Typha angustifolia* L.)群落が突如消失し、生態系サービスの衰退が危惧されている。

児島湖は農業用水の確保のため、昭和 34 年に児島湾を締め切って淡水化された人造湖である<sup>5)</sup>。淡水化以来、流域の都市化による生活排水等の流入に伴って、湖水の富栄養化が著しく進行した。そこで、水質改善を目的とした児島湖沿岸農地防災事業が平成 4 年度より着手され、栄養塩類を大量に含有する湖底に堆積したヘドロが浚渫された。この浚渫を境に湖内に広く群落を形成していたササバモ群落は激減し、群落の再生のためには水質及び底質環境との関連を把握する必要性が生じた。現在、水質は改善傾向にあるが、ササバモ群落の再生の兆しは認められていない。

児島湖における灌漑期(6月～10月)の水位は、非灌漑期(11月～5月)より人為的に 30 cm 高く管理され、流入河川により日々の水位も絶えず変動する。強風時は波浪も激しく、環境要因の変動が大きい。消失した水生植物相の自然に任せた再生を期待するのは難しい。

本研究で対象とするササバモ、ヒメガマ及びヒシは藻場をはじめとして生態系サービスに大きく寄与し、児島湖で群落を再生すれば地域貢献にも役立つとともに、貴重な保全事例となる。一方、児島湖内で過繁茂するヒシは、消長の把握など適切な管理策が望まれている。そこで、本研究では児島湖を対象に、富栄養湖における様々な水生植物相の消失した原因を探索し、生態系サービスに資する水生植物相の再生及び創出を試みる。

### テーマ① 児島湖八浜地区におけるヒメガマ群落再生のための耐冠水性の検討

写真 1 に示す通り、児島湖内八浜地区において、長年に渡って群落を維持してきたヒメガマ群落が平成 28 年に消失し、ヒシ群落も著しく衰退した。

ヒメガマは湖沼や池に群生する多年生植物で、地下茎が横走して広がり、全高は 1.3～2.5m に達する<sup>7)</sup>。ヒシは池や流れの緩やかな河川に発生する一年生の浮葉植物で、水底の果実から発芽し、水中茎を伸長して水面に浮葉を展開する<sup>7)</sup>。

水辺環境を水生植物によって修復する護岸方法として植生護岸がある。植生護岸は水生植物の機能を利用し、水質浄化や景観形成などの面で非常に有効である。植生護岸を創出するための水生植物の植栽手法としては、株移植、ブロック移植、播種及び実生移植等が挙げられる<sup>8)</sup>。株移植やブロック移植は植栽苗の運搬や植栽時の作業量が多いことに加え、苗の確保のためには既存の規模の大きな植物群落が必要であり、広範囲に渡る植栽の場合は有効な手法ではない。これに対し、実生移植は既存群落から種子のみを採取すればよく、生育ステージを揃えることも可能である。ただし、実生苗の準備には発芽の斉一性ならびに高発芽率が要求されるとともに、植栽後の水位条件、気象環境及び底質環境といった環境要因が植物体を与える影響も把握する必要がある。

そこで、本テーマでは、ヒメガマの既存群落地の環境要因の変動を調査するとともに、種子発芽に適した温度条件、休眠覚醒処理の有効性及び冠水条件下における発芽能力を検討した。さらに、冠水条件下における異なる土壌条件で株移植ならびに実生個体を植栽し、自然攪乱を想定した地上部の損傷処理を施して各々の耐冠水性を考察した。

### 【材料及び方法】

#### (1) 児島湖気象及び水位データ解析

岡山県より入手した児島湖内水位及び児島湖人工干潟内に設置された気象観測装置の気象観測データを解析して群落動態に関して検討した。



写真1 児島湖八浜地区のヒメガマ群落(2015年～2016年)

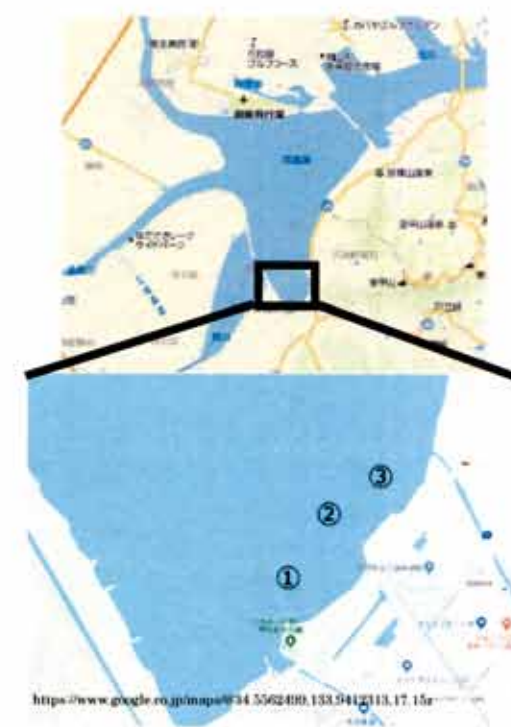


図1 児島湖八浜地区における現地調査地点

#### (2) 児島湖八浜地区の環境要因の変動

児島湖八浜地区の消失したヒメガマの既存群落地において、図 1 に示すように調査地点を設定し、2017 年 5 月 30 日、6 月 29 日、8 月 2 日、8 月 30 日、9 月 25 日、11 月 1 日及び 11 月 30 日に環境調査を実施した。水質は溶存酸素、pH、EC、水深、透明度、水温及び水中透過光量を測定し、採水後実験室に持ち帰り SS 濃度、無機態窒素濃度及び無機態リン濃度を分析した。底質は底泥から土壤溶液を作成して、pH、EC を測定した後、無機態窒素濃度及び無機態リン濃度を分析した。

#### (3) ヒメガマ種子の発芽に及ぼす温度条件及び休眠覚醒処理について

本実験に供試したヒメガマの種子は、2017 年 4 月 12 日に岡山大学学内水循環施設のピオトープ池内のヒメガマ群落において、前年度の枯死乾燥シュートから採取した。休眠状態を確認するため、異なる温度条件下における発芽試験を実施するとともに、5℃湿潤条件による休眠覚醒処理の有効性も調査した。

発芽試験①は、シャーレにろ紙を 2 枚重ね、水道水にて湿らせた後にヒメガマの種子を 50 粒置床し、各処理区 3 反復として実施した。処理区は温度条件として 10℃、20℃、30℃の恒温条件及び 20℃～30℃変温条件の 4 つの温度条件を設定した。光条件は 12 時間日長とし、植物インキュベーター(TOMI CF-405)内にシャーレを設置した。実験期間は 2017 年 4 月 20 日から 10 日間とし、毎日発芽数を計測した。

次に、発芽試験②として、発芽試験①と同時期に採取した種子を 5℃の冷蔵庫で水道水湛水下に 1 ヶ月貯蔵した。実験に使用した底泥は 2017 年 6 月 29 日に図 1 の 3 地点で採取した。100ml のプラスチックビーカーに、各地点の底泥を厚さ 1 cm 充填し、水道水を 1 cm 満たした後、ヒメガマ種子 50 粒を置床した。温度条件は 30℃恒温条件とし、3 反復として、2017 年 7 月 11 日から 5 日間、毎日発芽数を計測した。

#### (4) 損傷処理を施した移植個体及び実生個体の耐冠水性

株移植として、岡山大学学内水循環施設の泉工で自然発生した植物体を調整した移植個体(草丈 95.0±6.0cm)と、2017 年 5 月に種子より発芽させ栽培した実生個体(草丈 50.0±7.4cm)を、10 月 20 日に 1/10000a ワグネルポットに植栽した。葉身の損傷処理として、葉身を地際より 10cm の高さで

折った折り曲げ区, 10cm で刈取った刈取り区及び無処理の対照区を設定し, 土壌条件は水田土壌及び八浜底泥とし, 計 12 処理区 4 反復とした。損傷処理は植栽後同日に施した後, 直ちにワグネルポットを水槽(縦 45cm×横 90cm×高さ 50cm)に沈め, 水深は地際から 40cm とした。実験期間は 10 月 20 日から 9 週間とし, 実験終了時には部位別の新鮮重及び乾物重を計測した。

【結果及び考察】

(1) 児島湖気象及び水位データ解析

児島湖の 2008 年から 2017 年の月別積算降水量を図 2 に示す。データ解析から, 2011 年 9 月及び 2016 年 6 月の降水量が非常に多かった。2011 年 9 月については, ヒメガマ群落は消失せず, 群落が多分に発達していたため降水に伴う水位変化や波浪などによる環境要因の変動に耐性があったと推察される。一方, 2016 年 6 月は漁師への聞き取り調査による群落の衰退時期と一致したため, 6 月の児島湖内水位の変動を解析した。

2014 年から 2017 年の児島湖内水位の変動を図 3 に示す。児島湖では農業用水の利水目的で児島湾縮切堤防によって水位調整が行われており, 非灌漑期から灌漑期に移る 6 月上旬に管理水位を 30cm 上昇させる。2016 年 6 月は 1m 以上の水位変動が頻繁に発生しており, 灌漑期の水位上昇に加えて降雨に伴う激しい水位変動が確認された。ヒメガマ及びヒシは 6 月が群落形成期であり, 6 月の激しい水位変動がヒメガマ群落及びヒシ群落の生育を阻害した一因である可能性が高い。ただし, ヒシは 2017 年に再生し, 前年までの埋土種子からによって群落を再度形成したと考えられる。

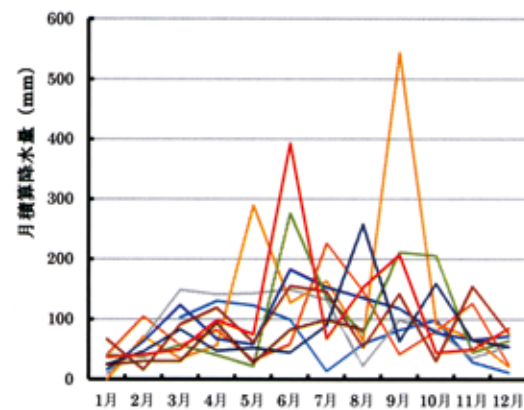


図 2 月別積算降水量の経年変化 (2008 年～2017 年)

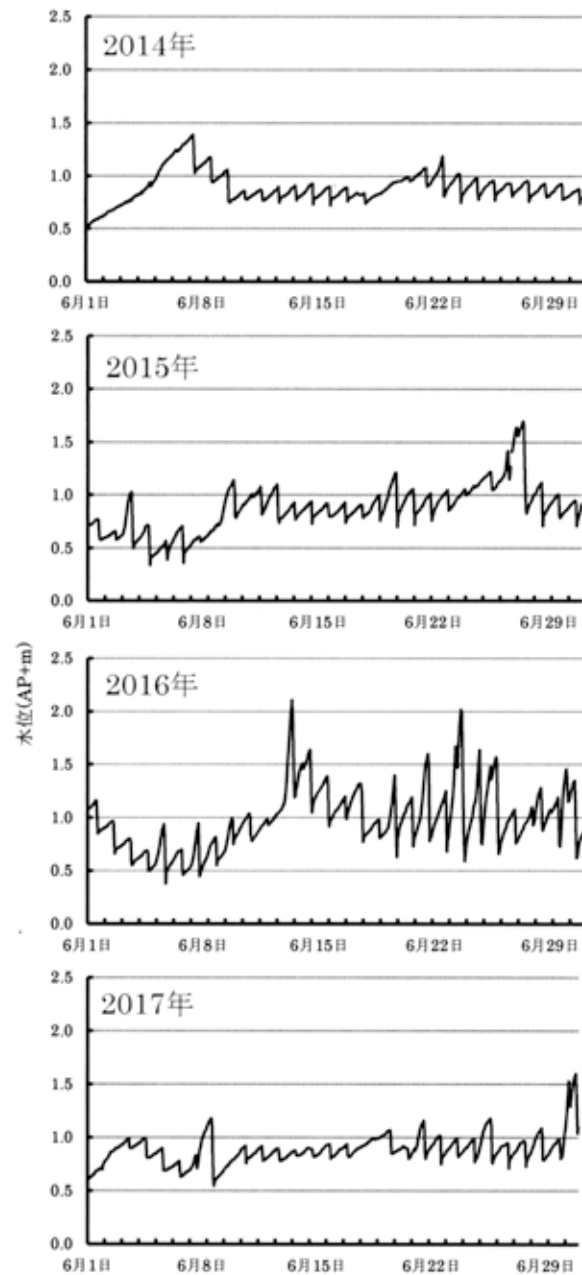


図 3 2014 年から 2017 年における 6 月の児島湖内水位の変動

一方, ヒメガマ群落は地下茎による栄養繁殖で群落を形成及び維持するが, 既存群落地において現地調査時に底泥内の地下茎を確認したところ, 枯死した地下茎しか確認できなかった。底泥内に埋土種子の存在は確認したものの, 再生には至らなかった。霞ヶ浦では埋土種子から発生した実生が, 水位上昇などの攪乱により定着せずに枯死することが報告されており<sup>6)</sup>, 児島湖八浜地区でもヒメガマ群落が埋土種子から自然に再生する可能性は低いと考えられた。

(2) 児島湖八浜地区の環境要因の変動

消失した既存群落地における水深は 60cm から 100cm で, 透明度は夏季には約 60 cm であった。湖水の無機態リン濃度は夏季に 0.28mg/l を示し, アンモニア態窒素濃度は夏季に高く, 硝酸態窒素濃度は夏季に低下し, 秋季に高かった。底泥の土壌溶液の無機態リン濃度は湖水と同様に夏季にやや高い傾向を示し, アンモニア態窒素濃度は地点及び季節の差は小さかった。硝酸態窒素濃度は 9 月 30 日に高い値を示した。

溶存酸素濃度の経時変化を図 4 に示した。盛夏期は低下傾向にあり, 特に 8 月 1 日の底層は非常に低く, 嫌気的な環境にあった。

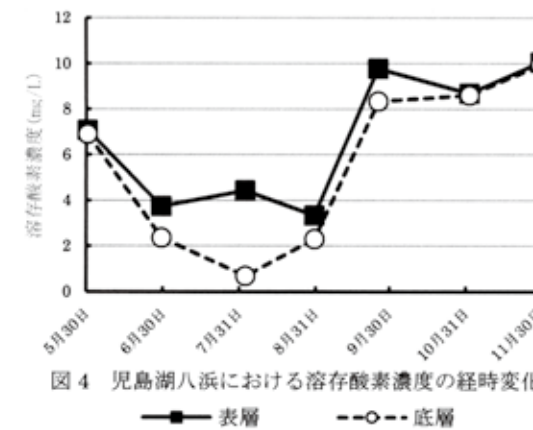


図 4 児島湖八浜における溶存酸素濃度の経時変化

(3) ヒメガマ種子の発芽に及ぼす温度条件及び休眠覚醒処理について

発芽試験①における累積発芽率の推移を図 5 に示した。20℃～30℃の変温条件の最終発芽率は 26.7%で, 次の 30℃恒温条件が 20.7%であり, 未発芽種子は休眠していると推定された。30℃恒温条件は 2 日目には発芽が確認され, 斉一性に優れていたため, 次の発芽試験②の温度条件は 30℃恒温条件で実施した。

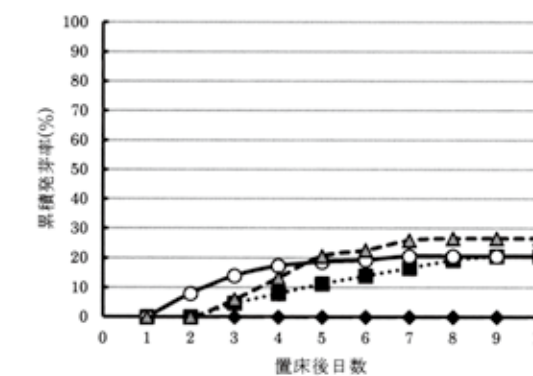


図 5 異なる温度条件下における累積発芽率(%)

発芽試験②では, いずれの地点の底泥においても置床後 1 日目から発芽を始め, 3 日目にはほぼ 100%の累積発芽率に達した。従って, ヒメガマ種子の休眠覚醒には 5℃湿潤条件下で 1 ヶ月間の処理が有効であるとともに, 冠水条件下でも発芽が可能であることを確認した。

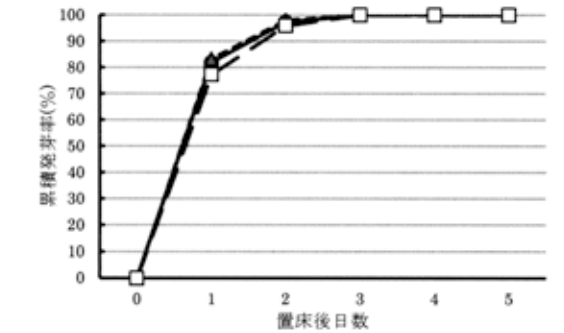


図 6 冠水条件下における累積発芽率(%)

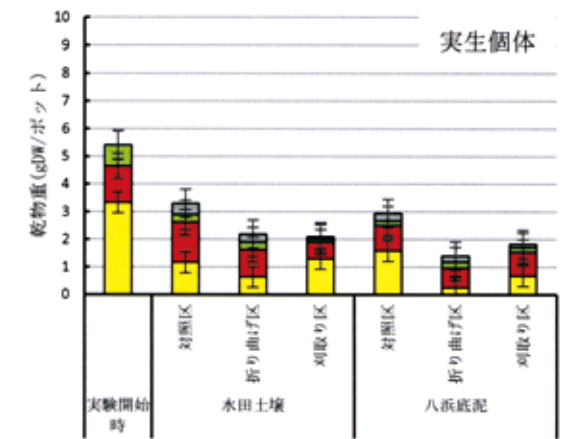
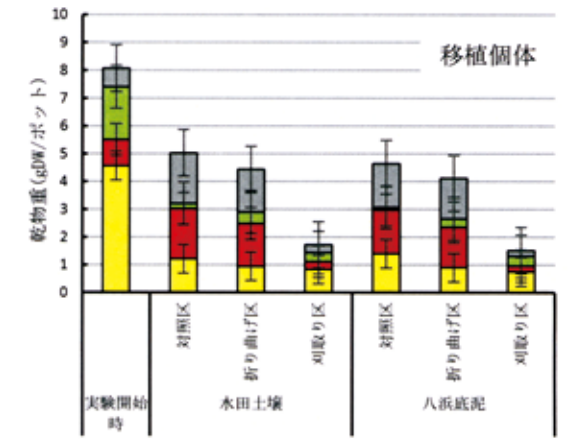


図 7 移植個体及び実生個体における部位別乾物重



(4) 損傷処理を施した移植個体及び実生個体の耐冠水性

図7に実験終了時における移植個体及び実生個体の部位別乾物重を示した。気温及び水温の低下に伴い、全ての処理区で緑葉部が減少し、枯死部が増加した。地下茎は特に移植個体の刈取り区において乾物重が小さかった。刈取り区は葉身を水面下で刈取ったため、地下部への酸素供給が困難になり、地下茎の生長が抑制されたのに対し、折り曲げ区では葉身が枯死しても枯死葉中の通気組織により、地下部への酸素供給が可能であったと考えられる。個体サイズが大きい移植個体は、実生個体より生育に大きなエネルギーが必要であるため、植栽時の地下茎の切断や、葉身の刈取りによるダメージが大きく、実生個体より生育が抑制されたと推察された。

テーマ② 異なる照度条件がササバモの生育に及ぼす影響

ササバモは湖沼、ため池及び河川に群生する沈水性まれに浮葉性の多年生植物で、生育地の底質は砂質から泥質を好み、種子または茎葉部のキレモによって発生及び分布・定着する<sup>1)</sup>。

児島湖に流入している岡山県南部の二級河川足守川下流域においては、南部の干拓地に農業用水を供給するために岡山南部農業水利事業として2012年から堰の改修工事が行われた。2013年に堰の撤去工事が終わり、2015年に新堰が設置・稼働された。この堰の設置により、水深や流量に変動が生じたため、沈水植物の分布、底質などの河川生態系の構成要素が変化し、堰設置以前に繁茂していたササバモ群落は消失した<sup>4)</sup>。

児島湖及び足守川のササバモ群落の消失は、国営事業の時期と一致しているため、いずれも濁水化がササバモ消失の一因と考えられている。一方で、ササバモの分布は切断された茎葉部のキレモの定着に寄与しているところが多い。そこで、本テーマではササバモのキレモの生育特性を検討するとともに、濁水化による消失は水中照度の低下に起因すると推定し、異なる水中照度条件がササバモの生育に及ぼす影響を調査した。

【材料及び方法】

岡山市北区観音寺用水において、2017年8月4日に採取したササバモの茎葉部を、頂芽の有無で区分した節数1(全長 14.7±3.9cm)及び節数2(全長 24.8±8.4cm)、頂芽の無い節数3(全長 43.5±11.4cm)の5タイプに切断して各33本を調整した。

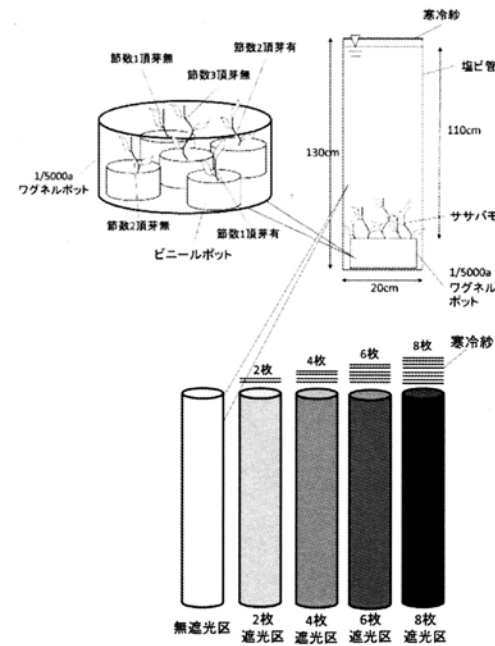


図8 ポットの設置方法及び塩ビ管の遮光処理方法

調整後、岡山大学圃場にて水田土壌を充填したコンテナ(縦 35cm×横 65cm×高さ 10cm)に植栽し水道水を満たして10日後に活着状況を調査した。

次に、活着が確認された植物体について、図8に示す通り、水田土壌を充填した内径7.5cmのビニールポットに1本ずつ移植し、各タイプ1反復を1/5000aワグネルポット内に設置した。さらにワグネルポットは高さ130cm×内径20cmの塩ビ管内に設置し、水道水で水位を110cmに設定した。光条件は塩ビ管の上部に寒冷紗2枚重ねの2枚遮光区、4枚重ねの4枚遮光区、6枚重ねの6枚遮光区及び8枚重ねの8枚遮光区に寒冷紗をかけない無遮光区の5処理区5反復とし、8月21日から4週間に渡って、ササバモの生育状況を調査した。実験終了後には部位別の乾物重を測定した。

一方、足守川において11月にササバモの分布を踏査し、上流域の合流点、中流域の黒住堰及び下流域の新堰の3地点の環境要因を調査した。

【結果及び考察】

切断茎葉部の活着率を調査した結果、節数1の頂芽有が91%、節数1の頂芽無が85%、節数2は頂芽の有無ともに97%、節数3は100%を示し、全ての処理区でササバモは高い活着率を示した。

塩ビ管内の相対照度は、茎葉部の位置する水深65cm～95cmにおいて、無遮光区が2.4～4.3%、2枚遮光区が0.8～1.5%、4枚遮光区が0.3～0.5%、6枚遮光区が0.1～0.2%、8枚遮光区が0.04～0.08%であった。

表1に実験終了時における各処理区の生存率を示した。頂芽の有無が生存率に及ぼす影響は認められず、節数1の生存率は遮光条件下では20%以下、節数2の生存率が4枚遮光区から8枚遮光区で40%以下であったが、節数3の生存率は無遮光区から6枚遮光区では100%、8枚遮光区でも80%で高い値を示した。

表1 実験終了時における各処理区の生存率

	無遮光区	2枚遮光区	4枚遮光区	6枚遮光区	8枚遮光区
節数1頂芽有	100%	0%	0%	0%	0%
節数1頂芽無	100%	0%	0%	0%	20%
節数2頂芽有	100%	80%	20%	0%	20%
節数2頂芽無	100%	60%	20%	40%	40%
節数3頂芽有	100%	100%	100%	100%	80%

図9に実験終了時における節数3の部位別乾物重を示した。茎部及び新葉部のいずれも無遮光区が全ての遮光区より多く、遮光区では遮光条件の違いによる差異は小さかった。

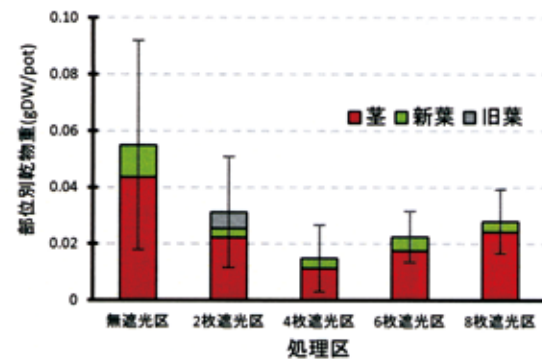


図9 実験終了時における節数3の部位別乾物重(注) 図中のエラーバーは標準偏差を示す。

一方、足守川のササバモ群落は黒住堰の50m下流が分布の下限であった。表2に示す通り、新堰堰は他の2地点と比較して底層の相対照度が半分程度であった。さらに、新堰堰は濁度も高く、流速については底層が特に速かったため、キレモの定着を妨げていると推定された。

表2 足守川3地点の環境要因について

地点名	水深 (cm)	底層相対照度 (%)	濁度 (度)	表層流速 (m/s)	底層流速 (m/s)
合流点	60	35.8	1.3	0.125	0.051
黒住堰	60	39.3	2.0	0.100	0.020
新堰堰	100	18.9	4.1	0.195	0.158

(注) いずれも川の中央付近で調査した。

以上の結果より、ヒシ群落は水位変動等により、ダメージを受けても、翌年には前年までの埋土種子集団から容易に群落を再生するため、経年的な群落動態の観点からは攪乱に対して高い耐性を示すことを確認した。

ヒメガマは春季から夏季にかけて葉身を水面下で刈取ると夏季に完全に枯死する事を確認している<sup>2)</sup>。児島湖では、2016年6月に激しい水位変動が観測されており、群落形成期に攪乱で葉身が損傷を受けて生育が抑制され、その後の溶存酸素の低下の影響も加わって枯死に至ったと推定された。

一方、種子を採取しておけば、1ヶ月程度の5℃湿潤貯蔵を施すことで実生個体を調整できる事を確認した。また、植栽の際に大型の個体を移植すると、波浪などの攪乱に伴って葉身の切断等の損傷が生じなければ、速やかな群落の回復が期待できる。ただし、定着までに攪乱が生じると生育が著しく抑制されるため、実生個体のような比較的小さい個体を移植することも有効である。

ササバモは夏季においては、頂芽の有無に関わらず非常に高い確率で活着することを明らかにした。さらに、節数が3以上で全長が40cm程度であれば、夏季の止水状態における相対照度が0.04%～0.08%でも8割が生存可能であった。群落再生を望む地点の底面上の光環境を予め把握した上で植栽することが群落再生の第1歩に繋がる。

【謝辞】

本研究に多大なるご支援を賜りました財団法人八雲環境科学財団に心より感謝申し上げます。

【引用文献】

- 1) 児島湖流域エコウェブ編 2012.「児島湖グリーンガイド」
- 2) 中嶋佳貴・沖陽子 2016. 都市型ビオトープに発生するヒメガマ及びヨシの適正管理に関する刈取り方法の検討. 日本緑化工学会誌 42(1), 236-239.
- 3) 西廣淳 2011. 湖の水位操作が湖岸の植物の更新に及ぼす影響. 保全生態学研究 16, 139-148.
- 4) 岡山大学環境理工学部環境管理工学科 2014. 岡山南部農業水利事業 地域水環境と生態系の保全に関する検討委託業務平成26年度報告書
- 5) 岡山県環境文化部環境管理課 2015. 「児島湖ハンドブック」
- 6) 桜井善雄 1989. 11 沿岸帯水域の緑化. 亀山章他編「最先端の緑化技術」. ソフトサイエンス社, pp. 197-212.

## モーフィング技術を利用した流体関連振動装置の試作

津山工業高等専門学校 細谷 和範

### 1. 緒 言

農業用の水路などの落差が少ない小規模水路に設置できる小出力のマイクロ水力発電機が数多く提案されているが、マイクロ水力発電機は流量や水位が大きく変化する水路の流れに対応することが難しい他、ごみの巻き込みに弱い欠点がある。これらの課題を克服するために最近では流下する紐状物質のブレード通過時の挙動解析や枯葉を堆積させない構造でかつ幅広い流速に対応した水車タービンの研究がなされている<sup>(1,2)</sup>。しかしながら市街地を流れる小水路には植物由来のゴミの他、空き缶やビニール袋、生物の遺骸など様々な異物が流れマイクロ水力発電機の運用には頻繁なメンテナンスが必要になる。また水車にはある程度の水位が必要であるが、市街地を流れる水路の多くは水位が低く、10 cmにも満たない時期がある一方で降雨時には大量の水が濁流となって水路を流下する。このように小水路は必ずしも有望な電源とはいえないがマイクロ水力発電は商用電源が使用できない場所での環境モニタリングや誘導灯の電源となり得る。

筆者らはこれまでに水深が浅い水路で運用可能なマイクロ水力発電機として弾性支持された鈍頭物体による流体関連振動(FIV: Flow Induced Vibration)に注目し、流速が変化する水路において Fig. 1 に示す板ばね支持円柱からの渦放出周波数と板ばねの固有振動数を一致させるための可変弾性機構を備えた VIV (Vortex Induced Vibration) 装置を試作した<sup>(3)</sup>。この手法は図の板ばね上に支持点を設け、長さの調整による固有振動数の制御を行うもので、幅広い流速帯に対応することができる。しかしながらこの FIV 装置は機構部や円柱にゴミが堆積しやすく、運用には頻繁なメンテナンスが必要になる。そこで本研究ではさらにシンプルな FIV 装置として板ばねの剛性は調整せずに鈍頭物体の形や大きさを変化させて渦励振を調整し共振を実現する手法を検討した。弾性支持物体の形状を変えるアイデア自体はすでにいくつかの方法が提案されており、例えば Fig. 2 の例<sup>(4)</sup>では円柱周囲に取り付けられた半円筒状の傘が開くように展開し、物体後方の渦励振から揚力を用いた共振(ギャロッピング)に移行する。このほかにも円筒内に風船状の構造体を入れて形状を変化させる手法も提案されている。しかしながらこれらの手法の振動特性は発表されておらず、実際に共振が維持可能かどうかは不明である。

本報告では任意の形状に連続的に変化(モーフィング)する弾性支持物体による VIV とギャロッピングによる FIV の両方の特徴を併せ持つモーフィング FIV 装置の振動特性を定量的に評価するため、任意の高さに調整できる角柱を用いた FIV 装置を試作し、形状の変化に伴う振動の変化を実験的に評価した。本稿でははじめに回流水槽内において、角柱の形状が変化する過程(渦励振からギャロッピングに移行)における周波数変調と振幅の変化を調べたのち、流れに乱れのある屋外水路において実施した実証試験の結果について述べる。

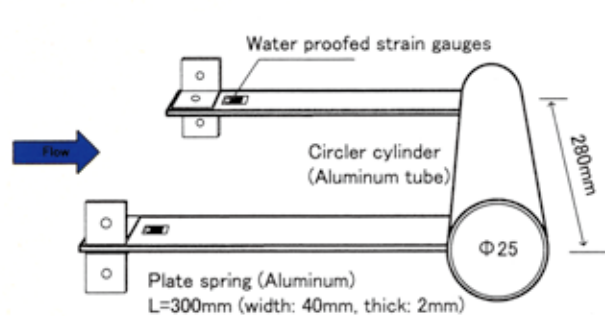


Fig. 1 Elastically supported FIV equipment

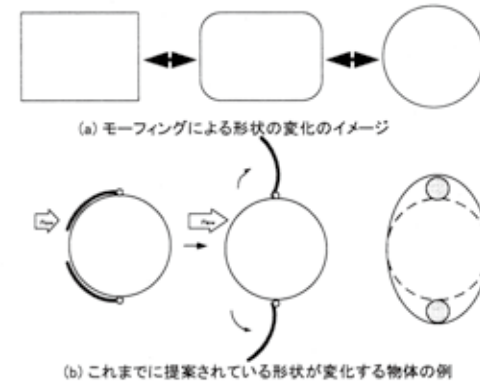


Fig. 2 Ideas of transforming bluff body<sup>(4)</sup>

## 2. 角柱を用いたモーフィング FIV 装置の試作

### 2.1 流体関連振動

角柱の渦励振についてはこれまでに多くの知見があり<sup>(5)</sup>、 $St$  数(ストローハル数)による周波数の推定が可能である。一様な流れに置かれた角柱後流に放出されるカルマン渦の発生周波数と支持板ばねの持つ固有振動数が近づくと共振が発生するが、この際、振動周波数が弾性支持体の固有振動数付近で固定されるロックイン現象が生じる。カルマン渦の渦放出周波数は角柱の  $St$  数を用いて次式のように表される。

$$f = U / (d St) \quad (1)$$

ここで  $St$  はストローハル数、 $f$  はカルマン渦の渦放出周波数、 $d$  は角柱の厚み(高さ)、 $U$  は流速であり、角柱の縦横辺長比が  $e/d < 0.5$  ( $e$  は角柱の幅) のとき  $St = 0.15$  であることが実験的にわかっている。このように渦放出周波数  $f$  は角柱高さ  $d$  または流速  $U$  によって決定される。さらに角柱高さ  $d$  が大きくなり上下方向への運動が加わると流入角の変化によって角柱上に揚力が発生し、渦励振よりも大きな振幅の振動を伴うギャロッピングを誘発する (Fig. 3)。

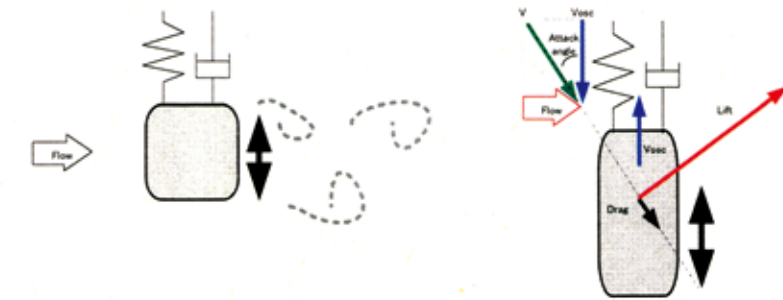


Fig. 3 Vibration induced vibration and galloping vibration

### 2.2 水中における板ばねの固有振動数

渦放出に伴う励振と弾性体との共振条件の推定は次式の運動方程式に基づいて行う。

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + k(L)y = F_{fluid}(t) \quad (2)$$

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 項は流体中の板ばね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 項はばねの復元力であり、ばね定数  $k$  は板ばね長さ  $L$  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、片持ちりの板ばねの固有振動数  $f$  (Hz) は解析的に解くことができ、以下ようになる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{1.875}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (3)$$

ここで  $E$  は弾性係数、 $I$  は断面二次モーメント ( $I = bh^3/12$ )、 $b$  は板ばねの幅、 $h$  は板ばねの厚さ、 $A$  はばねの断面積、 $\rho$  は密度である。実際には水中に設置された板ばねに大きな流体力がかかり、周波数  $f$  は上式と必ずしも一致せず、解析的に求められた円柱構造物の例<sup>(6)</sup>では空中の数分の一になるようである。本実験で使用したアルミ製板ばねについては簡単な予備実験から上式の三分の一から五分の一になると推測される。

### 2.3 高さを調節できるモーフィング FIV 装置

試作したモーフィング FIV 装置を Fig. 4 に示す。この装置では二枚の板ばねに支持された角柱の内部にアクチュエータを組み込まれ、角柱の高さ(赤色部)を変更できる構造になっている。角柱内部の構造と仕様を Fig. 5 および Table 1 にそれぞれ示す。板ばねは長さ 350 mm、厚さ 2 mm、幅 20 mm のアルミ製であり、式(3)による板ばねの固有振動数は 13.5 Hz であった。角柱装置は幅が 15 mm、長さ 232 mm のアクリル製である。角柱高さは外部から送液される液体(水)によって角柱内部に収められた注射筒のピストンが駆動され、楔状のプレートが角柱上

下端板を広げる（閉じる）ことで調整され、30 mm～40 mm の任意の高さに設定可能である。この装置には発電は取り付けられていないが、発電時は角柱の振動を用いて圧電素子を弾く機構<sup>9)</sup>が取り付けられる。

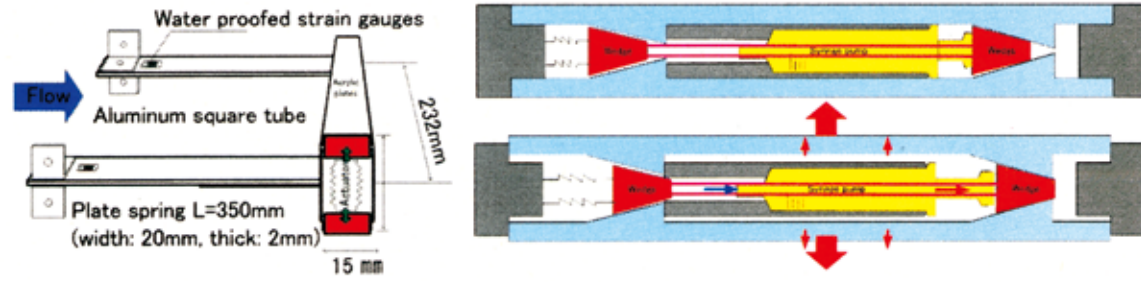


Fig. 4 Developed morphing FIV equipment

Table 1 Specification of the tested FIV equipment

部品名	材質等	寸法
角柱	アクリル	長さ : 232 mm, 横幅: 15 mm, 高さ : 30 mm-40 mm(可変)
アクチュエータ	樹脂製注射シリンジ	6 ml 用 (外径: 14 mm, 長さ: 61 mm)
板ばね	アルミニウム	長さ: 350 mm, 幅: 20 mm, 厚さ: 2 mm

### 3. 実験方法

#### 3.1 回流水槽内におけるモーフィングFIV装置の振動特性

供試FIV装置を幅30cm、水深25cm、長さ100cmの開水路状のテストセクションを有する回流水槽内に設置し、一様な流れの中で角柱高さを変化させながら振動周波数および振幅の変化を調べた。測定条件をTable 2に示す。実験でははじめに角柱高さを30mm、35mm及び40mmに固定した状態で $U=0.25\text{ m/s} \sim 0.5\text{ m/s}$ の流速に対する振動周波数と振幅を板ばねに貼り付けたひずみゲージにより測定した。つづいて角柱内部のアクチュエータに外部から送液し、角柱高さを30mm～40mmに変化させながら振動の変化を測定した。

Table 2 Experimental condition

流速(角柱高さ30mm時のRe数)	0.25 m/s (Re=10,000) ~ 0.5 m/s (Re=20,000)
計測時間	25 秒間
計測インターバル	1/100 ms

#### 3.2 小水路におけるFIV装置の振動確認試験

供試FIV装置を津山市内の小水路に設置し、角柱高さの変化に伴う振動の様子を水中から撮影した。水路はコンクリート製の開水路で1mの幅を有している。なお水路の流量は上流部の水門の開閉によって水位が頻繁に変わる。実験を行った2018年2月26日の水深は20cm程度であった。

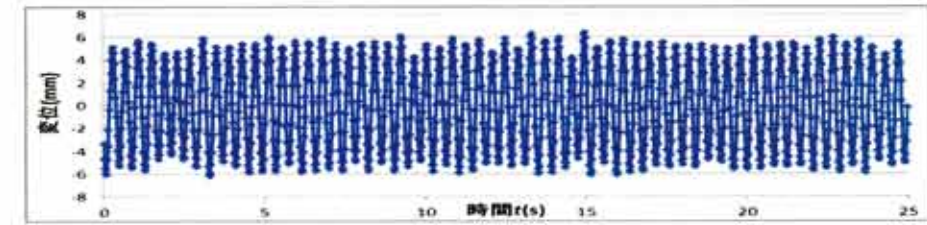
## 4. 実験結果

#### 4.1 回流水槽内におけるモーフィングFIV装置の振動特性

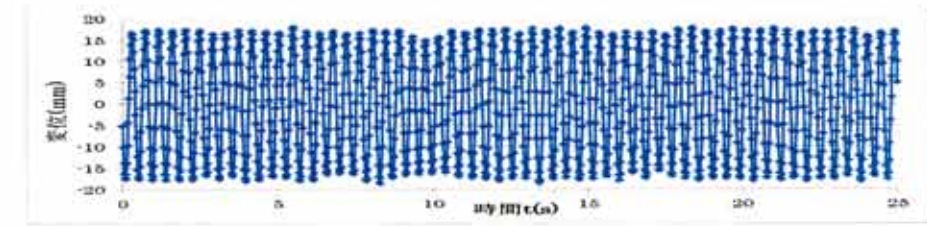
##### 4.1.1 供試FIV装置の角柱高さとの関係

供試装置は一定長さの板ばねを有しており、共振は板ばねの固有振動数付近で発生すると推測される。Fig.5に流速0.5m/sにおける振動角柱の変位の時系列を示す。角柱高さ30mmおよび40mmのケースとも類似した周期の正弦波を示しているが、角柱の高さが10mm異なるだけで振幅が二倍程度異なることがわかる。流速と振動数の関係を示したFig.6を見ると、角柱高さが30mmのケースの振動数は2.45HzでSt数1.47 (St数の逆数で示

される換算流速は $U_r=6.8$ ) だったのに対して、角柱高さが40mmのケースでは振動数が2.35HzでSt数は1.88 ( $U_r=5.3$ ) であった。長い角柱のSt数は1.5付近であることから、角柱高さが短い30mmのケースでは渦励振に伴う共振が生じているものと推測されるのに対して、角柱高さが40mmのケースは揚力発生に伴うギャロピングによる励振と推測される。



(a)  $d=30\text{ mm}, U=50\text{ cm/s}$



(b)  $d=40\text{ mm}, U=50\text{ cm/s}$

Fig. 5 Time series of vibration

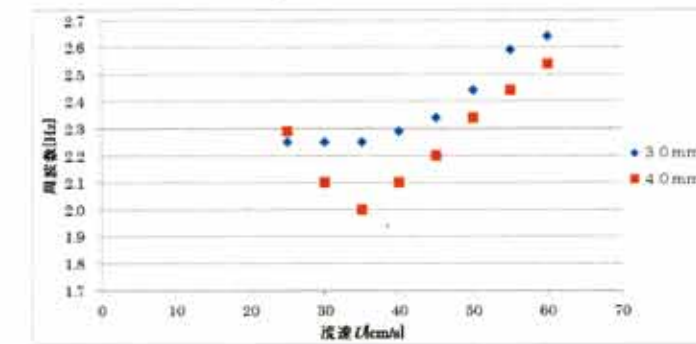
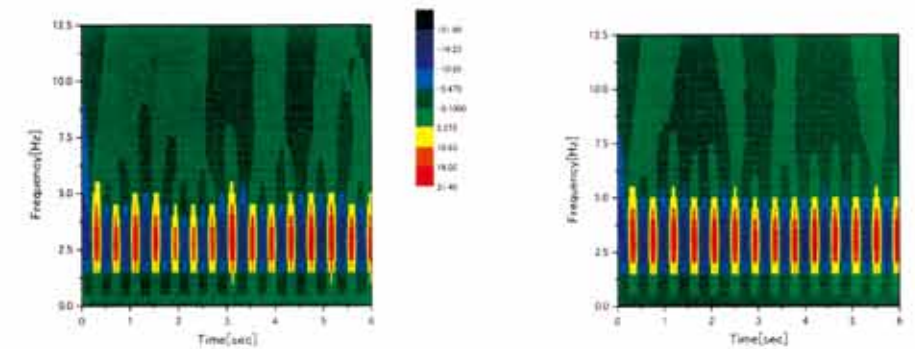


Fig. 6 FFT analysis result ( $d=30\text{ mm}$  and  $40\text{ mm}$ )

Fig.7に流速 $U=60\text{ cm/s}$ において計測された角柱高さ30mmおよび40mmにおける振動のWavelet解析結果を示す。ここでマザーWaveletにはGabor型を用いた。いずれのケースとも周期的な振動を示す赤青の濃淡パターンが交互に連なっており、いずれのケースも大きな周波数の変動はみられないが、角柱高さが小さいケースでは濃淡パターンの変動が確認できる。



(a)  $d=30\text{ mm}, U=60\text{ cm/s}$

(b)  $d=40\text{ mm}, U=60\text{ cm/s}$

Fig.7 Wavelet analysis result ( $d=30\text{ mm}$  and  $40\text{ mm}$ )

#### 4.1.2 変形中の角柱の振動特性

回流水槽内に供試 FIV 装置を固定し、一様な流れの中で角柱高さを 30 mm から 40 mm に変化させながら振動の様子を計測し、振幅の変化や卓越周波数の変調について調べた。

##### (1) 振動の時系列

Fig. 8 に振動する角柱変位の時系列を示す。角柱の高さが 30mm から 40mm に変化している間、振動振幅はやや小さくなるが、角柱高さが 40 mm になってからの振幅はほぼ一定の大きさになっており、初期状態の 2 倍程度を示した。ここで変形時の振幅の減少の原因は送液チューブによるものか、渦放形態の変化（渦励振からギャロッピングへの遷移に伴う流れ構造の変化）によるものなのかはわからない。

##### (2) 振動周波数の変調

角柱高さの変化に伴う振動周波数の変化について、ウェーブレット解析結果を Fig. 9 に、FFT 解析結果を Fig. 10 にそれぞれ示す。Wavelet 解析結果を見ると、角柱高さが変化する前と後とは赤青の濃淡パターンの中心周波数がやや減じており、FFT 解析にみられる 2 つの卓越周波数のピークはこの変調によるものと推測される。

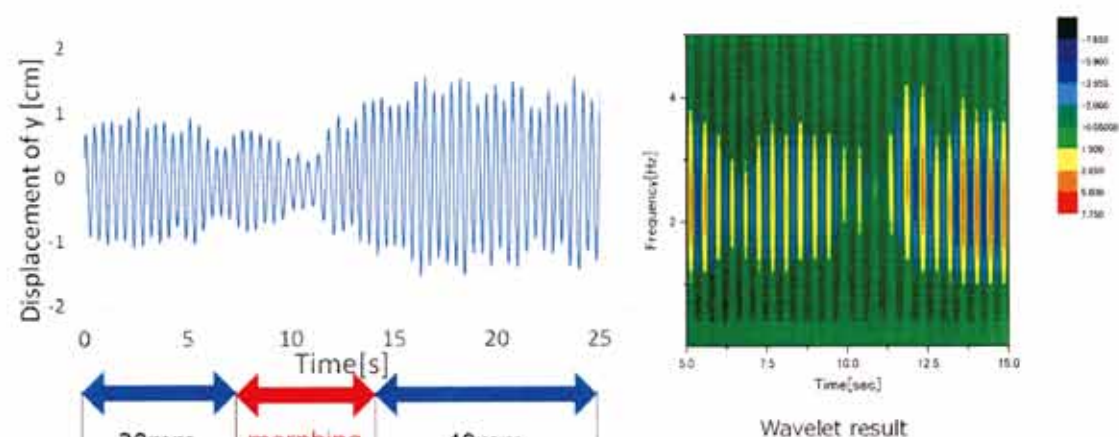


Fig. 8 Time series of vibration during transforming

Fig. 9 Wavelet analysis result

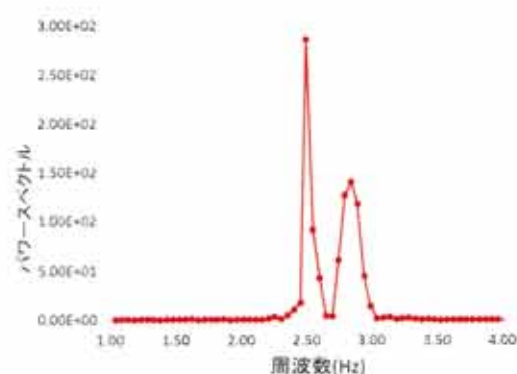


Fig. 10 FFT result

#### 4.2 屋外水路における振動確認試験

供試 FIV 装置を津山市内の小水路に設置し、変形に伴う振動の変化を撮影した様子を Fig. 11 に示す。現地試験ではモーフィング FIV 装置を 30 分程度設置し、装置の動作状況と振動の様子を水中カメラにより撮影した。ここで試験当日の水位は 20 cm で大雑把に見積もられた流速はおよそ 50 cm/s であった。また水路にはこの FIV 装置の他に、板ばね支持円柱に囲いをつけて入口開口部高さを 20 cm に制限して大きな枝葉等が進入できないようにした装置を 24 時間設置し、ゴミの堆積の程度を調べた。

動作試験の結果、モーフィング FIV 装置は、水深が 20 cm 程度と浅い環境でも回流水槽での実験と同様に角柱高さの変化に伴い振幅の変化が確認された。また囲いを付けた振動円柱装置は 1 日放置しただけで空き缶やビニール袋、小動物の遺骸が引っかかっていた。なお装置の破損などは見られなかった。このような漂流するゴミへの対策がマイクロ水車の大きな課題といえるが、FIV によるマイクロ水力発電機は簡素な作りでゴミに対しても破損の心配が小さいといえる。さらに形状変化を行うアクチュエータを利用して付着ゴミの除去機能を付与することができれば、メンテナンス性の良いマイクロ水車になりうる。



Fig. 11 Snapshots of a field experiment (Feb. 26, 2018)

#### 5 結 言

本研究では小水路用に適応可能なマイクロ水力発電装置の水車部として、弾性支持物体の形状を変化させてカルマン渦による渦励振とギャロッピングによる流体関連振動を発生させるモーフィング FIV を試作し、回流水槽内及び屋外の小水路において振動特性を調べた。

板ばねにより支持される角柱の高さが変化する FIV 装置の振動特性を調べた結果、角柱高さの変化に伴って振動振幅が大きく変化する様子が確認された。今後は流体力の発生源となる後流渦の可視化により、渦励振と揚力を伴うギャロッピングに寄与する流れ構造を把握し、流れの変化に応じた振動制御を試みる予定である。

屋外水路におけるモーフィング FIV 装置の動作試験から供試 FIV 装置は浅い水路でも十分に機能することが確認されたが、その一方で水路を下流するゴミの堆積は依然として大きな課題であることがわかった。今後はモーフィングに用いたアクチュエータを用いた付着ゴミの除去機構を試作し、メンテナンス性を向上させた FIV 装置の実現を目指したい。

#### 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。また屋外水路試験は津山市ならびに水利組合ほか関係各所の協力を得て実施した。ここに記して謝意を表す。

## 文 献

- (1) 小堀智之, 西泰行, 小林泰, 稲垣照美, 菊池伯, 超小型軸流水車内の異物の挙動の可視化, 可視化情報, Vol. 36, No.2, C103, 2016.
- (2) 内山知実, 井手由紀雄, 本田悟士, 出川智啓, 岡山朋子, 異物通過性に優れたマイクロ水車の開発, 可視化情報, Vol. 36, No.2, C104, 2016.
- (3) 細谷和範, 平尾瑞樹, 変動流速場に置かれた弾性支持円柱が圧電バイモルフ素子を弾く渦励振発電機構の試作, 海洋開発シンポジウム, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol. 72 (2016) No. 2 (2016), I820-I825.
- (4) 特開 2012-143109, 流体振動発電装置, 2012.
- (5) 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.
- (6) 巻幡敏秋, 有馬健次, 円柱構造物の水中振動に伴う付加水質量について, 土木学会論文報告集 1979 巻, 291号, 63-71, 1979.

## 植物免疫系を活用した環境低負荷型病害防除法の開発

岡山県農林水産総合センター生物科学研究所

中野真人

### 1. はじめに

青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*) は, ナス科作物を中心に様々な植物に病気を引き起こす土壌伝染性の植物病原細菌である. 青枯病菌の宿主範囲は非常に広く, トマト, ナス, ジャガイモなどの経済作物をはじめ, 200 種類以上の植物を加害することが知られている. 本菌は土壌深部や水中で生存しており, 根の自然開口部や傷口から植物内に侵入すると維管束内で増殖しながら全身に広がり, 最終的に粘性の多糖類を大量に分泌することで導管閉塞を引き起こし, 植物を枯死させる. 青枯病の防除においては農薬を用いた化学的防除や輪作による耕種的防除の効果が限定的であることから, 病害抵抗性品種が農業現場で広く利用されてきた. ところが, 青枯病菌は病原性や宿主域が変異しやすく, 遺伝的に同一な抵抗性品種の連続使用により, 新たな病原性を獲得した菌株が出現し, 甚大な被害をもたらしている.

植物は病原微生物の感染から身を守るために高度な免疫系を発達させてきた. 植物は細胞膜上の受容体により微生物の構成成分 (MAMP) を感知し, 活性酸素種 (ROS) の生成, MAPキナーゼの活性化, カロースの蓄積などの一連の防御応答を誘導する (Couto and Zipfel, 2016). 一方, 病原菌は宿主の防御反応を乗り越えて感染を成立させるために, 特殊な分泌装置により自身のタンパク質を宿主の細胞内に注入する. このような分泌タンパク質はエフェクターと総称されており, 病原細菌の主要な病原性因子として機能する. 日本で分離された青枯病菌 RS1000 株は約 70 種類のエフェクターを植物細胞内に注入することが報告されている (Mukaihara *et al.*, 2010). 青枯病菌のエフェクターは Rip (*Ralstonia*-injected protein) と呼ばれており, 様々な方法で植物の免疫応答を攪乱することが近年の分子生物学的解析によって明らかになってきた. RipP2 エフェクターは WRKY 転写因子の DNA 結合ドメインをアセチル化することにより, WRKY 転写因子によって制御されている免疫応答を転写レベルで阻害する (Le Roux *et al.*, 2015). RipAY エフェクターは植物細胞内に豊富に存在するチオレドキシンを活性化因子として利用し, 免疫応答の誘導に必須なグルタチオンを特異的に分解する (Mukaihara *et al.*, 2016). RipAW と RipAR エフェクターは E3 ユビキチンリガーゼ活性を有しており, 植物のプロテアソーム経路を攪乱することで MAMP 誘導性免疫を抑制する (Nakano *et al.*, 2017). この様にいくつかのエフェクターについては植物細胞内における役割が明らかにされている一方, 残りの大部分のエフェクターに関してはその多くが既知の機能ドメインをもたないことから, 病原性における役割や植物免疫に及ぼす影響は不明である.

エフェクターは宿主植物において病原菌の病原性因子として機能するだけでなく, 非宿

主植物では非病原因子 (Avr) としても機能する。非宿主植物は病害抵抗性タンパク質と呼ばれる細胞内受容体により Avr エフェクターを感知し、非常に強い防御反応 (過敏感反応) を誘導する (Martin *et al.*, 2003)。この反応は抵抗性遺伝子の存在を示す指標となるため、Avr エフェクターを利用して抵抗性育種選抜を実施できると考えられる。これまでに、ナス科植物が認識する Avr エフェクターとして、RipAA, RipP1, および RipAX2 エフェクターが同定されている (Poueymiro *et al.*, 2009; Nahar *et al.* 2014)。しかしながら、これらの Avr エフェクターを認識する抵抗性タンパク質は特定されておらず、Avr エフェクターの認識に関わる分子機構は依然として未解明である。そこで本研究では、青枯病菌に対する植物の免疫機構を明らかにするために、ナス科のモデル植物であるベンサミアナタバコを用いて、青枯病菌の新規 Avr エフェクターの探索を行うとともに、このエフェクターを認識する抵抗性遺伝子を同定することを目的とした。

## 2. 方法

### 植物生育条件と細菌培養条件

ベンサミアナタバコ (*Nicotiana benthamiana*) は、植物培養室 (室温 25°C, 湿度 50%, 光量子束密度  $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) 内で育てた。播種後 5~6 週齢の植物を実験に使用した。青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*) は BG 培地を用いて 28°C で培養した。アグロバクテリウム (*Agrobacterium tumefaciens*) は YEB 培地を用いて 30°C で培養した。

### リアルタイム PCR

植物葉を液体窒素下で凍結粉砕した後、RNeasy Plant Mini kit (Qiagen) を用いて mRNA を精製し、High Capacity cDNA reverse transcription kit (Applied Biosystems) を用いて cDNA を合成した。目的遺伝子の発現は Power SYBR Green PCR master mix (Applied Biosystems) を用いてリアルタイム PCR システム (7900HT, Applied Biosystems) 下で解析した。

### 活性酸素種の測定

アグロバクテリウムをベンサミアナタバコに接種し、一晩静置した。0.5 mM L-012 溶液 (10 mM MOPS-KOH, pH 7.4) を処理し、L-012 由来の化学発光をイメージングシステム (ChemiDoc MP, Bio-Rad) 下で測定した。

## 3. 結果と考察

### Avr エフェクターの探索

ベンサミアナタバコの青枯病抵抗性メカニズムを明らかにするために、青枯病菌の非病原性株 (RS1002) と病原性株 (BK1002) を接種したベンサミアナタバコ葉から継時的に mRNA を単離し、リアルタイム PCR により防御関連遺伝子の発現パターンを解析した。サリチル

酸情報伝達経路のマーカー遺伝子 *NbPRI* の発現は、非病原性株接種 12 時間後から顕著に誘導され、その後緩やかに減少した (図 1)。一方、病原性株を接種したベンサミアナタバコ葉では、*NbPRI* の発現は誘導されることなく一定の値で推移し、その発現量はいずれの時間帯においても非病原性株接種葉と比較して極めて低かった。非病原性株は病原性株よりも強く防御関連遺伝子の発現を誘導することから、ベンサミアナタバコに認識される Avr エフェクターを有していると考えられた。

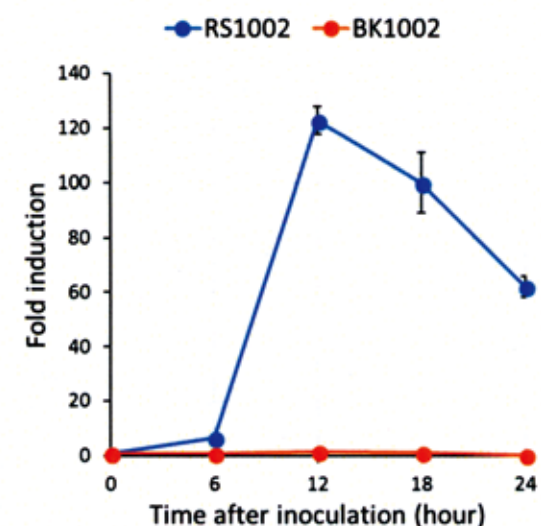


図1. 防御関連遺伝子の発現パターン  
青枯病菌の非病原性株 (RS1002) と病原性株 (BK1002) をベンサミアナタバコに接種し、防御関連遺伝子 *NbPRI* の発現量を継時的に測定した。

ベンサミアナタバコは青枯病菌の RipAA と RipP1 エフェクターを Avr として認識することが知られている (Poueymiro *et al.*, 2009)。これらエフェクターが認識されると過敏感細胞死の形成に先立ち、NADPH オキシダーゼを介して ROS の生成が誘導される (Nakano *et al.*, 2015)。このような ROS の生成は、青枯病菌だけでなく糸状菌やウイルスなど、様々な病原体由来の Avr エフェクターを認識した植物で観察されている。そこで、青枯病菌の新規 Avr エフェクターを同定するために、ROS の生成を指標とした Avr エフェクターのスクリーニングを行った。アグロバクテリウム法により青枯病菌のエフェクターをベンサミアナタバコ葉で一過的に発現させ、ROS の化学発光プローブ L-012 を用いて ROS の生成が誘導されるかどうかを調べた。非病原性株が有する約 70 種類のエフェクターについて調べたところ、ROS の生成を顕著に誘導するエフェクターとして ROI1 (ROS inducer 1) を見出した。ROS の生成は ROI1 エフェクターの発現により顕著に誘導され、その生成量はポジティブコントロールとして用いた既知の Avr エフェクター RipP1 と比較して約 2 倍増加した (図 2)。なお、ネガティブコントロールとして用いた GFP の発現は、ROS の生成を誘導しなかった。

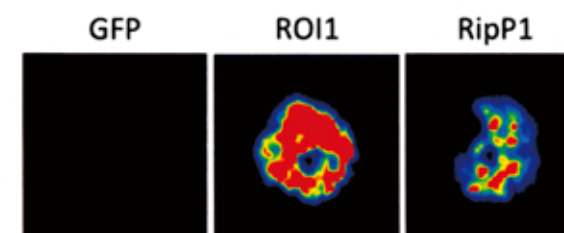


図2. エフェクター発現による ROS の生成  
アグロバクテリウム法により GFP, RipP1, および ROI1 をベンサミアナタバコ葉で一過的に発現させ、ROS の生成を検出した。

次に、アグロバクテリウムを介して ROI1 エフェクターを一過的に発現させたペンサミアナタバコ葉から mRNA を単離し、リアルタイム PCR により防御関連遺伝子の発現を解析した。ROI1 エフェクターの発現は、サリチル酸情報伝達経路のマーカージン遺伝子 *NbPR1* と過敏反応のマーカージン遺伝子 (*NbHIN1*, *Nb203J*) の発現量を顕著に誘導した (図 3)。これらの結果から、Avr エフェクター候補として同定した ROI1 エフェクターは、ペンサミアナタバコにおいて ROS の生成や防御関連遺伝子の発現といった免疫応答を誘導することが明らかになった。

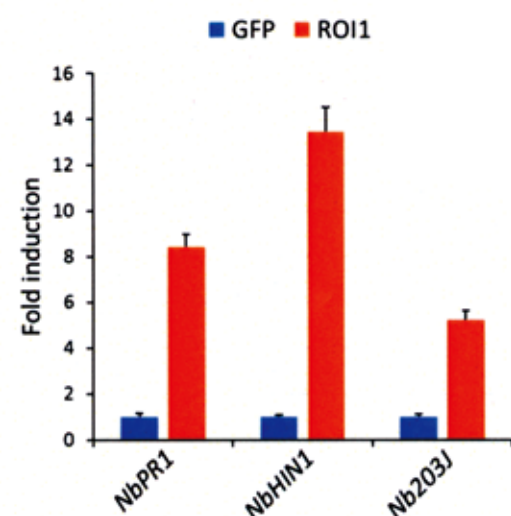


図3. ROI1による防御関連遺伝子の発現誘導  
アグロバクテリウム法によりROI1とGFPをペンサミアナタバコ葉で一過的に発現させ、防御関連遺伝子の発現量を測定した。

#### Avr エフェクターの機能解析

ROI1 エフェクターがペンサミアナタバコに認識される Avr エフェクターかどうかを明らかにするために、非病原性青枯病菌 RS1002 株の *roi1* 遺伝子を欠損させた  $\Delta roi1$  変異株を作出した。 $\Delta roi1$  変異株を接種したペンサミアナタバコ葉から mRNA を単離し、リアルタイム PCR により防御関連遺伝子の発現を解析した。 $\Delta roi1$  変異株を接種したペンサミアナタバコ葉では、解析した全ての防御関連遺伝子の発現量が野生株接種葉と比較して顕著に減少した (図 4)。

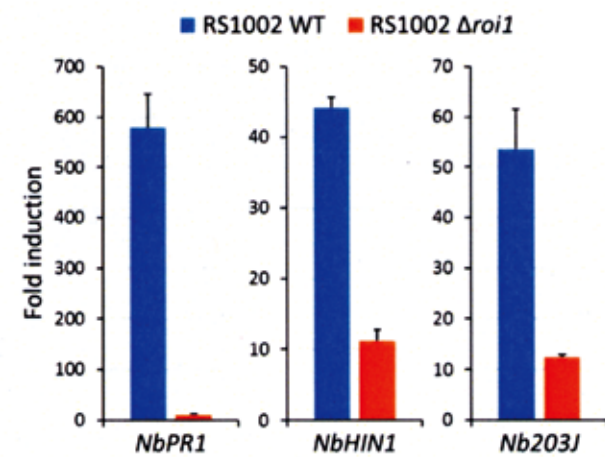


図4. *roi1*変異株接種葉における防御関連遺伝子の発現  
非病原性青枯病菌株 (WT) と *roi1*変異株 ( $\Delta roi1$ ) をペンサミアナタバコに接種し、防御関連遺伝子の発現量を測定した。

次に、作出した  $\Delta roi1$  変異株についてペンサミアナタバコにおける表現型を観察した。野生株 (WT) を接種したペンサミアナタバコは接種 21 日後まで健全に生育し、萎凋症状は認められなかった。一方、 $\Delta roi1$  変異株を接種したペンサミアナタバコは接種 10 日後から萎凋症状が認められ、接種 21 日後には全ての接種個体が枯死した。なお、既知の Avr エフェクターである *ripAA* と *ripPI* を欠損させた  $\Delta ripAA \Delta ripPI$  変異株を作出し、ペンサミアナタバコに接種したが、接種 21 日後まで萎凋症状は認められなかった。これらの結果から、日本で分離された非病原性青枯病菌株の Avr エフェクターは ROI1 であり、RipAA と RipPI ではないことが明らかになった。

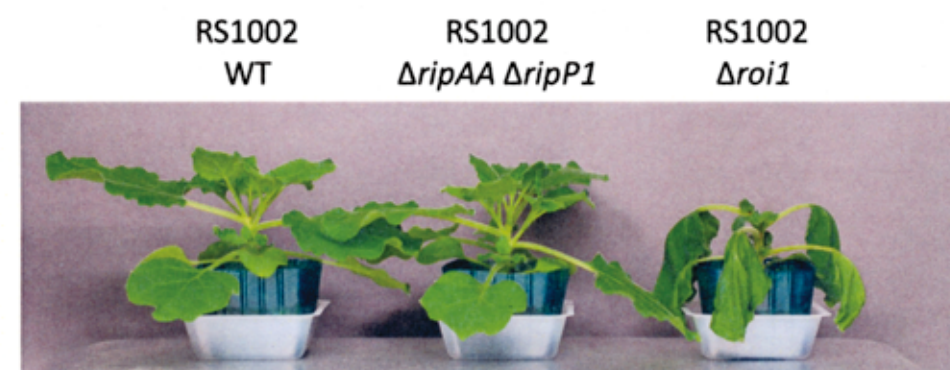


図5. 変異株接種植物における萎凋症状  
非病原性青枯病菌株 (WT), *ripAA ripPI*変異株 ( $\Delta ripAA \Delta ripPI$ ), および *roi1*変異株 ( $\Delta roi1$ ) をペンサミアナタバコに接種した。接種 21 日後に写真を撮影した。

#### 4. まとめ

本研究では、ナス科のモデル植物であるペンサミアナタバコにおいて、青枯病菌の Avr エフェクターの探索とその認識機構の解析を行った。ペンサミアナタバコを含むニコチアナ属植物は、青枯病菌の RipAA と RipPI エフェクターを認識すると従来考えられてきた。しかしながら、これら Avr エフェクターの認識に関わる分子機構は一切明らかにされていない。そこで、次世代シーケンサーにより青枯病菌株のゲノム解析を行い、本菌が約 70 種類のエフェクターを植物細胞内に分泌することを明らかにした (データ不掲載)。また、植物免疫応答を指標とした Avr エフェクターの網羅的スクリーニングを実施し、免疫応答を顕著に誘導する新規 Avr エフェクターとして ROI1 を見出した。本エフェクターは、RipAA や RipPI よりも強く植物に認識されることが明らかとなり、この発見は従来の定説に対して再考を促す新知見といえる。さらに、抵抗性遺伝子群のノックダウン植物を用いた解析から、当該エフェクターを特異的に認識する青枯病抵抗性遺伝子を特定した (データ不掲載)。ナス科植物の青枯病抵抗性遺伝子は、有史以来多くの研究者が特定を目指してきたが、今日まで単離・同定されていなかった。従って本研究は、ナス科植物の青枯病抵抗性遺伝子を単離・同定した世界で初めての成功例といえる。今後は、本抵抗性遺伝子が病害防除上有用かどうか

かを検証するとともに、本抵抗性遺伝子を活用した防除方法を構築する予定である。現在、青枯病抵抗性遺伝子を導入した実用農作物において青枯病抵抗性の評価を検討している。将来的には、本抵抗性遺伝子と相同性を示す遺伝子をナスやトマト等の実用作物において探索し、これを検出可能な DNA マーカーを開発することで抵抗性品種の育種効率の向上に寄与できると考える。

## 5. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大なるご支援を賜りました公益財団法人八雲環境科学振興財団に感謝の意を表します。

## 6. 引用文献

- Couto and Zipfel (2016) *Nat Rev Immunol.* 16(9):537-552.  
 Le Roux *et al.* (2015) *Cell.* 161(5):1074-1088.  
 Martin *et al.* (2003) *Annu Rev Plant Biol.* 54:23-61.  
 Mukaihara *et al.* (2010) *Mol Plant Microbe Interact.* 23(3):251-262.  
 Mukaihara *et al.* (2016) *MBio.* 7(2):e00359-16.  
 Nahar *et al.* (2014) *Mol Plant Pathol.* 15(3):297-303.  
 Nakano *et al.* (2015) *J Plant Physiol.* 184:15-19.  
 Nakano *et al.* (2017) *Microbiology.* 163(7): 992-1002.  
 Poueymiro *et al.* (2009) *Mol Plant Microbe Interact.* 22(5):538-550.

## 備前市日生のカキ養殖生産に対する異常気象影響の検証

岩田 徹 (岡山大学大学院環境生命科学研究科)・寺尾 徹 (香川大学教育学部)・  
 大橋唯太 (岡山理科大学生物地球学部)・野沢 徹 (岡山大学工学部)・  
 末永慶寛 (香川大学創造工学部)・田中丈裕 (NPO 法人里海づくり研究会)

### 1 はじめに

備前市日生沿岸域では、カキ養殖とアマモ場再生を通じて人手を加えることにより生物多様性と生産性が高くなっている海域 = 「里海」の典型実例と考えられる(柳 2006)。アマモの再生に代表される日生沿岸域の里海再生において、カキ養殖は重要な契機となった(田中 2014)。

しかし、カキ養殖には大きな不漁も見られ、不漁の様相も年によって異なる。カキ養殖の安定的発展により、自然環境と人間の里海における持続的共存を実現するためには、それらの深刻な不漁の原因について明らかにする必要がある。

過去の聞き取りの中でも、カキの不漁につながる気象条件として、繁殖期となる夏

季の日照や陸域を含めた降水、気温等の気象条件などが関係しているのではないかと、どの地元漁師らによる推測がある。河川からの栄養塩の供給は、カキの生育に重要な影響を与えているものと考えられる。日生



写真 1 研究対象地域の海域の写真。鹿久居島の南側等にカキ養殖筏が白く小さい点として見られる。



図 1 研究対象地域の地図。(c)には観測した 2 つの地点およびデータを活用した気象庁虫明アメダスの地点を示した。各地点の観測した物理量の概要を示した。GoogleMap の地図をもとに、一部改変して作成した。



の東側にある千種川の河口から流れ出てくる河川水は重要と考えられており、その河口周辺が一つのよいカキの漁場となっている。一方、大量の降水に伴う河川からの淡水の供給は、日生沿岸域の表層に塩分濃度の低い海水が供給されることも意味し、カキの生育条件に影響を与える。日生の西に位置する片上湾には流域の広い伊里川が流れ込んでおり、河川を通じた降水の影響という観点からは、伊里川からの流出に着目する必要がある。

本研究は、こうした地元の漁師の実感に依拠しつつ、最新の気象データを用いた不漁事例の多様な気象要素の特徴を明らかにするとともに、地元の漁師に実感の聞き取りに基づいて海洋の環境変化を記録することを目的とした。

第2節以降に詳細に述べるように、2017年9月17日に近海を台風が通過し、日生付近も大量の降水を記録し、鹿久居島および頭島においてもデータが得られた。そこで、台風接近時の現象に着目することとした。特に、漁師からの聞き取りに基づき、台風に関連してしばしば見られる現象として河川から流れ出す塩分濃度の少ない海水がカキいかに影響を与え、カキの斃死につながると考えられる現象の影響に着目した。この現象は「水潮（みずしお）」と呼ばれて

いる。どのような気象条件が水潮の深刻化につながりうるかに特に注意して解析を行った。

なお、本研究は、多くの学生が意義の明確な地元瀬戸内域の環境課題に接し、主体的に研究活動に参加する中で学修効果を得ることも重要な目的として実施した。

## 2 観測と手法

日生町のカキ漁にかかわる地域の気象海洋観測を実施した。日生町周辺の海域は、写真1や図1b, cに見られるように、極めて複雑で水路上の幅の狭い海域が接続した水路状の構造をしている。鹿久居島と本州の日生との間に挟まれるようにして、幅200m程度の水路上の海域がある。鹿久居島および頭島・大多府島の西側の海域もまたその西側の曾島・鴻島（こしま）およびに挟まれた水路上の海域となっており、ここを通じて瀬戸内海播磨灘に接続している。

鹿久居島南側の入江における海水温・塩分濃度観測と、頭島西端付近にあるフィールドゴルフ場における自動気象観測装置（気温・湿度・全天日射量・風向・風速）および雨量計観測を行い、2017年9月8日以降年度末まで、継続的にデータを取得することができた。なお、上記観測データの妥当性の検証と、観測機器設置以前の現象



写真2 頭島の自動気象観測装置の設置風景。  
(撮影者：寺尾徹)



写真3 鹿久居島の塩分濃度・水温計の設置準備。  
(撮影者：寺尾徹)



写真4 鹿久居島の塩分濃度・水温計の設置状況。  
(撮影者：寺尾徹)

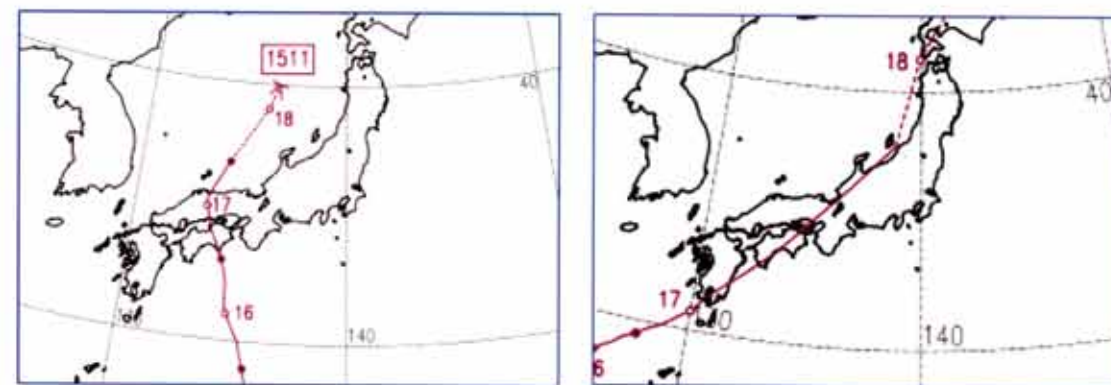


図2 (a)2015年台風11号(2015年7月16日前後に日生付近を通過)および、(b)2017年台風18号(2017年9月16日前後に日生付近を通過)の経路図。それぞれ気象庁(2015)および気象庁(2017)より。

との比較を目的として、10kmほど西にある気象庁のアメダス観測点虫明の時間降水量および、風向・風速野路別値を合わせて解析した。観測地点の詳細については、図1a-cと、写真2-4を参照のこと。観測装置にはいずれもOnset Computer Corporationのセンサーまたはデータロガーを用いた。

また、漁師からの聞き取りを複数回実施した。特に、台風の通過時等にみられる水潮について、水潮による影響があった2015年7月17日前後の台風事例と、影響が見られなかったとみられる2017年9月17日前後の台風事例があることを見出し、これらの2つの事例がなぜ水潮の発生の有無につながったかに着目して条件の違いを検討した。

また、これらの事例について島嶼域の微地形の影響を検討するため、メソ気象モデルによる数値実験を実施した。

これらの聞き取り活動や観測活動は、2017年7月20日から2018年3月20日まで8回にわたって実施され、岡山理科大学や香川大学の学生も参加した。

## 3 水潮に係わる台風事例の観測と解析

観測データとメソ気象モデルの解析により、水潮と台風の通過に伴うピーク影響時前後の降水量と風向変化との関係に対応がみられるかどうか検討した。

図2a, bに2015年と2017年のケースについての台風の経路図をそれぞれ示す。水潮がみられた2015年の場合、台風は日生の

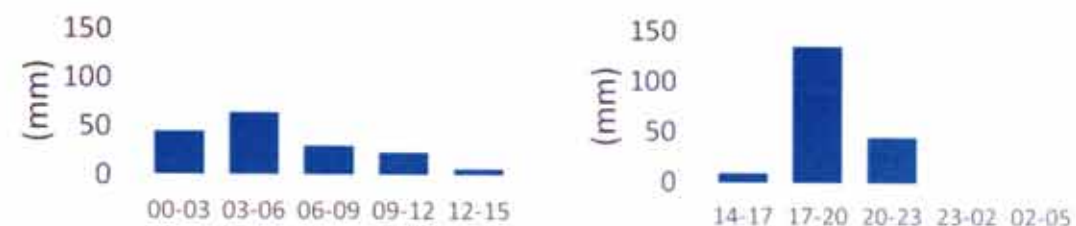


図3 (a)2015年7月17日00時～15時(日本時間)の虫明アメダスおよび、(b)2017年9月17日14時～18日05時(日本時間)の頭島の自動気象観測装置における3時間降水量のグラフ。

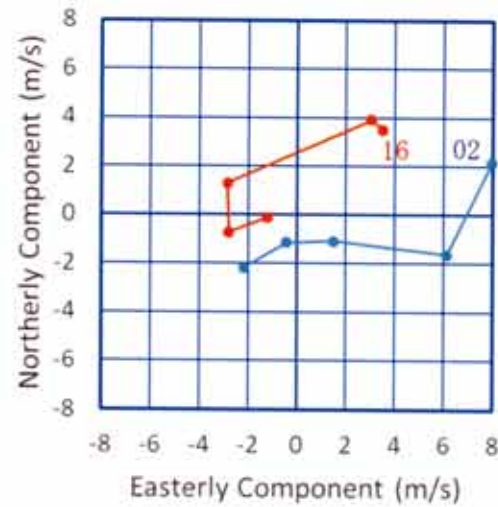


図4 日生付近(虫明アメダス)の風向風速変化を表すホドグラフ。2015年事例を青、2017年事例をオレンジ色で示した。2015年は数字02で示した2015年7月17日02時前後3時間平均から順に、2017年は数字16で示した2017年9月17日16時前後3時間平均から順にそれぞれ3時間ごと12時間の期間の変動を示している。

西側を、それに対して2017年の場合、南側を通過していることがわかる。

図3a, bにそれぞれのケースについてのh日生付近における降水量変動を示す。2015年のケースについては、頭島の観測は行われていないので、虫明アメダスのデータを代わりに示した。降水量ピークが2015年のケースでは03-06時に、2017年のケースでは17-20時頃に現れていることがわかる。これらの事例はいずれも日生付近に総降水量で150mmを超える多量の降水がもたらされていることから、伊里川から日生周辺海域への多量の流出があったものと推測される。

図4に、これら2つのケースの日生付近の風向風速変化の様子を明らかにするため



図5 日生付近(頭島)の風向風速変化を表すホドグラフ。2017年事例を示した。数字16で示した9月17日16時前後3時間平均から12時間の期間の変動を示している。

に、2015年から既に観測が行われていた虫明アメダスの風向風速の特別値データを用いて平均風の変動をホドグラフとして示した。図中各点が、2015年事例(青)の9月17日02~14時と、2017年事例(オレンジ色)の7月17日16時~18日04時の、それぞれ12時間の風向風速変化を3時間ごとの前後3時間平均の値により示す。これらの風向風速値は特別値から計算した。アメダスの各正時の風向は16方位で示されているので、22.5度刻みの方位に変換し、各正時の風向と組み合わせてベクトル風速を求める。更に、前後の正時時刻のデータとベクトル平均を求めることにより、3時間平均の風向風速を定義した。

風向の大きな変化から、2015年のケースでは9月17日05時~08時の間に、2017年のケースでは7月17日の19時~22時の間にそれぞれ台風が最接近、通過したものと考えられる。風向は、2015年のケースでは

東北東から南東を経て南西に時計回りに変化しているのに対して、2017年のケースでは北東から北、西を経て西南西に反時計回りに変化していることがわかる。2015年のケースでは、風は東風から南風成分を伴って岸に向かって吹き付けていたのに対して、2017年のケースでは、北東から北、西へと変化して沖に向かう風が卓越していた。

2017年に行われた頭島の対応する観測結果を図5に示す。1分間ごとの観測データを用いて結果を得た。図4のオレンジ色のホドグラフと同様に、北東から北西成分へと反時計回りに風向風速が変化しており、沖に向かう風が圧倒的に卓越していた。21:20頃に北風成分の最大値を観測しており、台風の最接近時刻に対応しているものと考えられる。図4の虫明アメダスで観測された風向風速変化とよく対応しているが、風速が全体として強い。

#### 4 水潮に係わる台風事例の数値実験

上記の観測結果から、台風に伴う日生付近の海域での風向風速変化を解析することができたが、島嶼域の微細地形の影響をより詳細に明らかにするためわれわれは、メソ気象モデル Weather Research and Forecasting Model (WRF Model)による数値実験を実施した。5kmメッシュの気象庁メソ客観解析を3時間ごとに取り込むことにより一般場の変動を反映させ、水平格子間隔1000mの親ドメインに200mの子ドメインをネストさせ、微細な変動を再現した。顕著な水潮の報告されている2015年のケースについて、7月16日03時~18日06時までの計算を行った。

数値モデルは観測された風向風速変化を

良く再現した。複雑な地形の効果はあるものの、風向は一貫して東または南風が卓越しており、岸に向かって風が吹き付ける条件が続いたことが示された。

#### 5 考察とまとめ

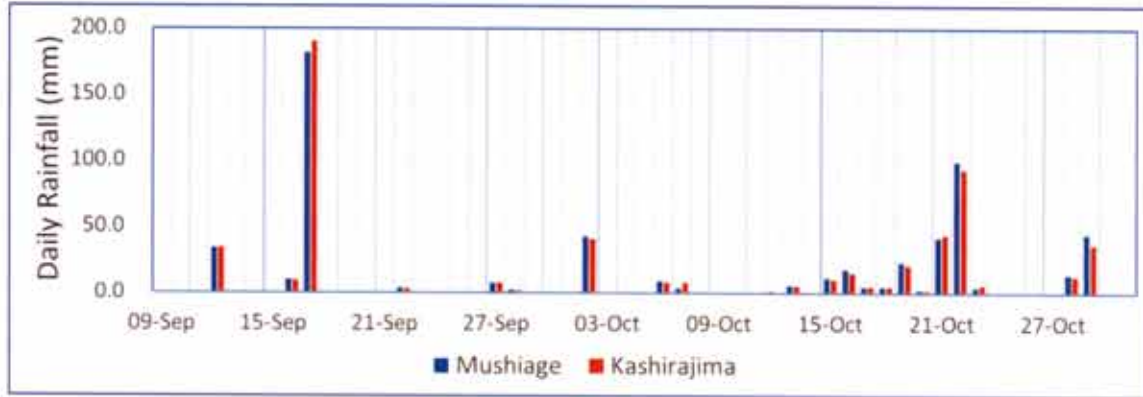
上記の結果から、水潮が見られた2015年7月17日前後のケースと、水潮が見られなかった2017年9月17日前後のケースについて比較する。

いずれのケースについても、台風に伴う強い降水が台風通過の数時間前をピークとして見られ、河川を通じた淡水の供給に整合的であることがわかる。

一方、その前後の風向変化については、台風の進路に規定されて、両者のケースの間に顕著な違いが見られた。水潮が見られた2015年のケースでは、風向変化は時計回りとなり、東より又は南寄りの風が長時間にわたり卓越して表層付近の淡水を内湾にとどめやすい条件にあることが示唆された。一方、水潮がみられなかった2017年のケースでは、台風は日生の南を通過しており、その後の風向変化は反時計回りとなり、北よりの風が長時間に卓越する傾向があった。こうして、水潮と台風経路との関係についての重要な仮説を得ることができた。

なお、本研究では更に、鹿久居島南側の入江の海水の塩分濃度と雨量との関係を検討したが、鹿久居島の内湾では、多量の降水に対応した塩分濃度の低下は必ずしも明瞭に見られなかった。観測する深さの再検討や、測器の増設等の課題が残る。

研究をより深化させる上での課題として、水潮の影響等気象海洋観測データと結合させてカキへの影響を解析できるように、カキ



図付1 頭島(オレンジ色)および虫明アメダス(青)の日降水量。2017年9月9日～10月31日までの時系列。

## 平成29年度 国際研究交流助成報告

の日産量データを合わせて活用してカキ養殖への気候影響を評価することが重要となる。

### 謝辞

本研究の実施に当たっては、岡山県備前市にご後援を頂くなど、多大な支援を頂きました。備前市の橋本誠二様、日生町漁協の天倉辰巳専務には、観測地点の選定等で多大な協力を頂きました。観測地点を提供して頂きました、「ロジまほろば」および「頭島グラウンドゴルフコース」のみなさまに深く感謝いたします。

### 付録1 自動気象観測装置の検証

われわれは、自動気象観測装置を日生地区の離島頭島に設置した。ここでは、自動気象観測装置の記録のうち、雨量計の観測結果に関する検証を行う。

頭島における観測には、Onset Computer Corporationの0.2mmの解像度の転倒ます式雨量計を用いた。比較に用いる近隣の雨量計観測として、頭島から西南西に約10km離れた位置にある虫明アメダスを選定した。これらの両者について、頭島で観測を開始し

た9月8日の翌日9日から、10月31日までの期間についての日降水量をそれぞれ計算し(日界は日本時間の00時)、図付1に示した。

図に明らかなように、頭島における降水量観測結果は虫明アメダスとほぼ対応しており、この期間において、頭島の雨量計は十分な精度を持って観測を実施できていると判断できる。

### 参考文献

- 柳哲雄(2006): 里海論. 恒星社厚生閣, pp. 102.
- 田中丈裕(2014): 持続可能な循環型地域社会を考える～アマモとカキの里海(岡山県日生町)から～. 調査研究情報誌 ECP, 34, 21-16.
- 気象庁(2015): 日々の天気図. No. 162, 気象庁予報部予報課, p. 2.
- 気象庁(2017): 日々の天気図. No. 188, 気象庁予報部予報課, p. 2.

## 9. 平成 29 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
村井征史	岡山大学大学院 自然科学研究科	International Symposium on Pure & Applied Chemistry	110
矢野興一	岡山理科大学 生物地球学部	第 19 回国際植物科学会議	111
金 秉洙	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	第 6 回国際若手地盤工学会「iYGEC6」, 第 19 回国際地盤工学会「19th ICSMGE」	112
金田 隆	岡山大学大学院 自然科学研究科	環境中の有害物質の分離・濃縮試剤の合成と高感度測定法の開発に関する共同研究	113
佐藤治夫	岡山大学大学院 自然科学研究科	第 16 回地中でのアクチニド及び核分裂生成物の化学及び移行挙動に関する国際会議	114

## 村井 征史

岡山大学大学院自然科学研究科

---

参加会議名	International Symposium on Pure & Applied Chemistry (ISPAC)
主催団体名	The Chemical Society of Vietnam, Institut Kimia Malaysia, Asia Chemical Corporation
開催期間	平成 29 年 6 月 8 日～平成 29 年 6 月 10 日
開催地	ホーチミン (ベトナム)

---

### 表 題 レニウム触媒による末端アルキンへの炭素求核剤の位置選択的付加

会期中、アジアや欧米を中心とする 8 つの国から、300 人以上の化学者がホーチミンの Hotel Continental Saigon に集まり、9 時から 19 時まで有機化学、物理化学、無機化学、分析化学、高分子化学を始め、様々な分野の最新の研究成果に関する発表がなされた。その中には、各分野をリードする著名な教授や将来有望な若手研究者による講演も含まれ、発表後には質疑応答が盛んに行われていた。本申請者は The Chemical Society of Vietnam (ベトナム化学会) と Institut Kimia Malaysia (マレーシア科学院) からの招待を受け、学会会期中の 6 月 10 日の 15 時 15 分から講演会を開催した。発表内容を以下に簡単にまとめる。

アルキンへの求核剤の付加は、反応の過程で構成元素を一切失わずに複雑な分子骨格を構築できる、原子効率性に優れた環境調和的な変換反応である。遷移金属錯体を用いることで付加反応が加速されることが知られているが、一般に末端アルキンへの求核剤の付加はアルキンの内部の炭素原子上で起こり、その付加の位置選択性を逆転させることは難しい。これに対し、本申請者は、レニウム触媒を用いることで付加の選択性を逆転させ、アルキンの末端の炭素原子上で求核剤との結合形成を起こすことに成功した。また、アルキンとして 1,n-ジインを用いると、中間に生じるアルケニルレニウム種がもう一方のアルキニル基に求核攻撃することで連続的な環化が起こり、インデノン骨格を有する多縮環炭化水素が一段階で得られた。求核剤を適切に選ぶことで、スピロ化合物を得ることもできた。これらの反応では、アルキンの末端炭素上で二つの炭素-炭素結合が形成されるが、類似の形式の二官能基化反応(geminal-difunctionalization) は非常に珍しい。比較実験により、周期表において 7 族に位置し、hard と soft な Lewis 酸性を併せ持つレニウムカルボニル錯体は、極性官能基と非極性官能基の両方を効率よく活性化でき、今回の新規反応を促進させる重要な役割を担っていたことが分かった。

## 矢野 興一

岡山理科大学生物地球学部

---

参加会議名	第 19 回国際植物科学会議
主催団体名	国際生物科学連合 (IUBS)、国際植物学・菌類学連合 (IABMS)
開催期間	平成 29 年 7 月 23 日～平成 29 年 7 月 29 日
開催地	深圳 (中国)

---

### 表 題 カヤツリグサ科植物ノグサ類の系統と染色体進化: 複数回の倍数性に対する証拠

日本、オーストラリア、ニュージーランドに分布する多年生草本であるカヤツリグサ科ノグサ属植物ノグサ類には、これまでに、ノグサ *Schoenus apogon*, *S. caespitans*, *S. centralis*, *S. pygmaeus*, *S. yarrabensis* が含まれることがわかっている。また、染色体数  $2n=8$  (ニュージーランド) と  $2n=18$  (西日本) があることが知られている。

しかしながら、これらの詳細な系統関係や染色体変異については未だに明らかになっていない。そこで本研究では、日本、オーストラリア、ニュージーランドから採集したカヤツリグサ科ノグサ属植物ノグサ類 (*S. apogon*, *S. caespitans*, and *S. yarrabensis*) 58 個体について、核 DNA の ITS 領域および葉緑体 DNA の *trnL-F* IGS 領域と *rbcL* 領域の塩基配列データを用いて、系統関係を明らかにした。また、そのうち 35 個体の染色体解析もおこない、核型を明らかにした。

染色体解析の結果、ノグサ類は、染色体数  $2n=8$  (東日本、オーストラリア、ニュージーランド)、 $2n=10$  (オーストラリア)、 $2n=16-18$  (西日本)、 $2n=20$  (オーストラリア) を持っており、倍数性変異と異数性変異の両方があることがわかった。

分子系統解析の結果から、 $2n=10$  をもつオーストラリア産のノグサが他のノグサ類と遺伝的に大きく異なることがわかった。また、 $2n=16-18$  をもつ西日本産のノグサとオーストラリアの *S. yarrabensis* は遺伝的に同一であり、同じ外部形態をしていることから、同種である可能性が高いことがわかった。また、染色体数  $2n=8$  (東日本、オーストラリア、ニュージーランド) は遺伝的にほとんど同じであることがわかった。さらに、 $2n=16-18$  (西日本) と  $2n=20$  (オーストラリア) は、それぞれ独立して  $2n=8$  から生じたことが明らかになった。

以上のことから、絶滅の危機に瀕している日本産ノグサについて、詳細な系統関係とその染色体進化について明らかになった。

## 金 秉洙

岡山大学大学院環境生命科学研究科

---

参加会議名 第6回国際若手地盤工学会「iYGEC6」、第19回国際地盤工学会「19th ICSMGE」  
主催団体名 国際地盤工学会 (ISSMGE)  
開催期間 平成29年9月16日～平成29年9月22日  
開催地 「ソウル大学, ソウル」「COEX コンベンション・センター, ソウル」

---

表 題 DEMシミュレーションを用いた一面せん断試験でのスレスホルドラインの検証

<2017.09.16 ~ 2017.09.17>

第6回国際若手地盤工学者学会「6th International Young Geotechnical Engineers' Conference (iYGEC6)」に座長として参加した。

<2017.09.18 ~ 2017.09.22>

第19回国際地盤工学会「19th ICSMGE」に参加し、座長の担当や発表(ポスター)を行った。研究発表の内容は、以下のようである。

本研究は、一面せん断試験での隙間幅に関する研究であり、得られた過去の実験結果に対してDEMシミュレーションを用いてその結果を検証することを目指す。過去二つのDEMシミュレーションを用いた研究では、平均粒径(D<sub>50</sub>) 0.8mmより大きい土粒子を用いて一面せん断試験での隙間幅に関する研究が行われたが、そのより小さい平均粒径についてスレスホルドラインを検討する必要がある。よって、本研究では、0.8mmより小さい平均粒径について隙間幅の基準になるスレスホルドライン(Threshold Line: TL)を検討する。

本研究は、二つの部分に分かれる。まず、せん断箱を小さくするので、その影響を調べるため、せん断箱のスケール効果について検討した。平均粒径が小さくなるほど、DEMシミュレーションでの粒子は、増えてしまう。もし粒子が30万個以上になると、現在のパソコン能力ではDEM解析が不可能であるためである。よって、本研究では、せん断箱のスケール効果がないことを確認でき、せん断箱のサイズは、縮小された。また、平均粒径とせん断箱サイズを変化させてDEMシミュレーションを行い、その結果によりTLが検討された。その結果、TLは、一面せん断試験でのせん断箱の隙間幅の基準として有効であることが分かった。

## 金田 隆

岡山大学大学院自然科学研究科

---

参加会議名 環境中の有害物質の分離・濃縮試剤の合成と高感度測定法の開発に関する共同研究  
主催団体名 岡山大学理学部化学科分析化学研究室  
開催期間 平成29年11月29日～平成29年12月5日  
開催地 岡山

---

表 題 環境中の有害物質の分離・濃縮試剤の合成と高感度測定法の開発に関する共同研究

現在発展途上にあるインドネシアでは、過去に日本が経験した環境汚染問題や健康問題が顕在化している。そこでBrawijaya大学と岡山大学の理学部分析化学グループが共同して、有害物質関連の環境問題や人々の健康管理の問題を解決するために必要な化学的測定法を開発し、インドネシアの科学技術発展に貢献することを目指した共同研究実施の可能性について検討した。また、現在までのアハマド サバルディン氏の研究内容の紹介を通じて、研究交流を行った(資料1参照)。

まず、インドネシアにおける環境問題、健康問題に関する現状について情報を収集し、具体的な問題点を把握した。環境問題に関しては、農業の問題が重要な課題の一つであり、現場で簡便に計測する手法の開発が望まれていることがわかった。一方、健康問題に関しては、糖尿病が大きな問題になりつつあり、自宅や簡易医療機関で簡便に血液内の糖濃度を決定できる手法が要求されているとの説明を受けた。

これらの背景から、金田研究室が得意とする安価で迅速な測定法であるペーパー分析デバイスが、インドネシアで要求されている分析への応用に極めて有望であるとの合意に至った。ペーパー分析デバイスは作製が容易で持ち運びが可能、操作が簡便で使い捨て使用ができるため、技術者のいない環境下でも、目的とする化学物質を計測することができる。

そこで実際に、滞在期間中にペーパー分析デバイスの原理、作製法を指導し、実際の研究の進め方に関して指導を行った(資料2参照)。その結果を踏まえ、ペーパー分析デバイスの研究をどのように今後の共同研究に進展させていくかについて検討した。当面は、日本でデバイスを作製してインドネシアに郵送し、実際に遠隔地で測定した結果をメールで送付してフィードバックする遠隔地計測の検証実験を行っていくこととした。

## 佐藤 治夫

岡山大学大学院自然科学研究科

---

参加会議名 第16回地中でのアクチニド及び核分裂生成物の化学及び移行挙動に関する国際会議  
主催団体名 AMPHS21  
開催期間 平成29年9月10日～平成29年9月15日  
開催地 スペイン（バルセロナ）

---

表題 福島原子力事故によって汚染された土壌中の放射性セシウムの深度分布の変化からの収着と整合的な拡散係数の導出と深度分布の将来予測

<内容>

平成23年（2011年）3月11日の東日本大震災に端を発し発生した福島第一原子力発電所事故について、事故によって汚染した土壌中の放射性セシウム（Cs：Cs-134とCs-137）の深度方向の濃度分布に関する2回（事故から約3ヶ月後と約1年後）のフィールド調査結果に基づいて、土壌への収着分配係数と整合した見掛けの拡散係数を解析するための理論を導出すると共に、導出した見掛けの拡散係数を用いて、事故から30年後までの放射性Cs（Cs-134とCs-137）の深度方向への濃度分布の変化について解析した。

その結果、二本松市、川俣町、浪江町の11の調査地点のうち、解析することができた9地点の殆どで、見掛けの拡散係数（ $D_a$ ）は  $D_a = 10^{-14}$ （ $m^2/s$ ）オーダーであり、拡散係数との関係から計算された収着分配係数（ $K_D$ ）は  $K_D = 10^3 \sim 10^5$ （ $ml/g$ ）と、バッチ法による収着分配実験からのデータ（ $K_D = 2,030 \sim 61,000$ （ $ml/g$ ））と良く一致した。これまでに報告された見掛けの拡散係数の殆どは  $D_a = 10^{-12} \sim 10^{-10}$ （ $m^2/s$ ）の範囲であり、収着分配係数から予見される見掛けの拡散係数と2～3桁程度乖離していた。この原因は、地表面近傍は不飽和であることから、雨が降った際に、地表面に沈着した放射性Csが深度方向の流れ（移流）により分散したためと考えられた。これまでに報告されている見掛けの拡散係数は、この分散の影響を受けた濃度分布を直接解析することで取得されていた。一方、本研究で検討した手法は、これらの影響を含まないように、深度方向への濃度分布の変遷に基づいた。この手法により導出した見掛けの拡散係数は収着分配係数とも整合しており、事故から30年間の深度分布の変化についても、半減期による減衰以外、殆ど見られなかった。このことは、事故から6年以上経過した今尚も、多くの割合の放射性Csが地表面付近に分布している事実と整合する。国際会議では、これらの研究成果について報告し議論した。

添付資料：論文要旨、講演ポスター、投稿論文原稿（現在査読中、アクセプトされた場合、Applied Geochemistry から公表）

平成28年度 研究集会助成報告

## 10. 平成 28 度 研究集会助成報告

助成対象者	所 属	集会名	ページ
能美洋介	岡山理科大学 生物地球学部	日本応用地質学会 平成 29 年度研究 発表会	1 1 6



## 能 美 洋 介

岡山理科大学 生物地球学部

---

研究集会名称	日本応用地質学会 平成 29 年度研究発表会
主催機関名	日本応用地質学会中国四国支部
開催期間	平成 29 年 10 月 12 日～平成 29 年 10 月 14 日
開催地	岡山

---

<内容>

【日程】

2017 年 10 月 12～14 日（12 日～13 日が研究発表会、12 日意見交換会、14 日は現地検討会）

【内容】

日本応用地質学会全国大会（岡山大会）では、以下の行事を実施した。

- 研究発表** : 産官学の日本応用地質学や、環境地質学、水文環境学などに関連する技術者・研究者が、研究成果を発表し議論した。口頭発表 94 編、ポスター発表 63 編の 157 編の研究発表があった。発表会は AM9:30～PM5:20 までで、口頭発表 2 会場 2 日間、ポスター発表 1 会場 2 日間で実施した。参加者は岡山理科大学学生 150 人を含むと 483 人となった。
- 企業技術展示** : 賛助会員の企業の技術力を PR する場として、ポスター展示、資料配布の会場とし、企業技術の説明コアタイムを設け、参加者の交流の場とした。参加企業は 13 社。
- 意見交換会** : 参加者が意見交換する交流の場として、意見交流会を企画した。岡山理科大 A1 棟の 11 階のスカイラウンジで、参加者は 222 名であった。
- 現地検討会** : 岡山大学鈴木教授案内による A コースは、吉備高原面の形成と、山砂利層の形成過程などについて、現地解説し、検討会を行った。参加者 29 名。  
岡山理科大能美教授による花崗岩をめぐる地形形成と性状について、現地解説し、検討会を行った。参加者 42 名。
- 特別講演会** : 岡村真, 高知大学客員教授「津波堆積物から見える南海トラフ巨大地震」

## 平成 29 年度 研究集会助成報告



## 11. 平成 29 度 研究集会助成報告

助成対象者	所 属	集会名	ページ
横山 崇	岡山理科大学 理学部	第 54 回フローインジェクション分析 講演会 —FIA 及び関連技術による 環境化学分析の新展開—	1 1 8
前野詩朗	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	土木学会第 62 回水工学講演会	1 1 9
山下広美	岡山県立大学 保健福祉学部	第 72 回日本栄養・食糧学会大会	1 2 0

## 横山 崇

岡山理科大学 理学部

---

研究集会名称	第54回フローインジェクション分析講演会
主催機関名	公益社団法人日本分析化学会フローインジェクション分析研究懇談会
開催期間	平成29年11月30日～平成29年12月1日
開催地	岡山

---

### <内容>

11月30日(木)(1日目)10:00-17:00に、フローを用いる環境化学分析というテーマで、①JIS等公定法による化学分析の現状と課題、②FIA及び関連流れ分析測定法の現状と課題、③JIS:FIA及び関連技術による環境分析実技(FIA、SIA、固相抽出前処理、蒸留法など)のサブジェクトによるワークショップを行った。中村栄子 横浜国立大学名誉教授による特別講義1件、樋口慶郎 高知特任教授及び本水昌二 岡山大学名誉教授による講義計2件、フローを用いる環境化学分析の実習概要説明5件、同実習実技5件と相談交流会で、参加者48名(講師8名、一般22名、学生18名)であった。(資料 ワークショップテキスト)

12月1日(金)(2日目)9:00-19:35に、①流れを利用する分析法及びその応用、②FIA及び関連技術による環境化学分析の新展開というテーマで講演会を行った。Akhmad Sabarudin Brawijaya 大学准教授、酒井 誠 岡山理科大学教授、小熊幸一 千葉大学名誉教授、金田 隆 岡山大学教授による招待講演計4件、坂江広基 岡山理科大学助教による依頼講演1件、一般講演30件(口頭11件、ポスター19件)、企業展示8件及び情報交換会で、講演会の参加者95名(招待5名、一般59名、学生31名)で内外国人は6名、情報交換会の参加者75名であった。(資料 講演会講演要旨集)



## 前野 詩朗

岡山大学大学院環境生命科学研究科

---

研究集会名称	土木学会 第62回水工学講演会
主催機関名	土木学会
開催期間	平成30年3月5日～平成30年3月7日
開催地	岡山

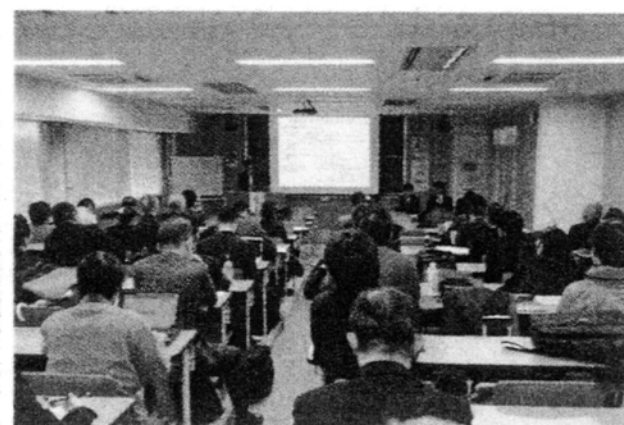
---

### <内容>

土木学会水工学講演会は公益社団法人土木学会の水工学委員会が行っている最も重要な研究発表会であり、原則として各地方の大学が持ち回りで開催している。本発表会には水工学・海岸工学関連の研究者、技術者および行政担当者などが一堂に会し、主として、学術・工学技術の進展および社会への貢献を目的として、学術講演会、特別講演会、河川災害シンポジウム、アゲールシンポジウムおよび交流会を開催した。※本講演会の公式プログラムを添付します。

学術講演会に関しては、土木学会第II分野(水工学)を構成する学術内容(水理学、水文学、河川工学、水資源工学、港湾工学、海岸工学、海洋工学、環境水理、等)について、258件の研究発表がなされた。

河川災害シンポジウムでは昨年、国内で生じた水災害に関する報告が3件発表された。また、アゲールシンポジウムでは水文に関わる国内外の最新の話題提供が2件なされた。さらに、特別講演では、金田義行氏より南海トラフ巨大地震への対応策について、小嶋光信氏より岡山・備前藩の土木巧者・津田永忠の技術と心について、また、福岡捷二先生より、日米の工学研究の架け橋としてご活躍された中藤達昭博士の追悼講演がなされた。



## 山下 広美

岡山県立大学 保健福祉学部

---

研究集会名称	第72回日本栄養・食糧学会大会
主催機関名	公益社団法人日本栄養・食糧学会
開催期間	平成30年5月11日～平成30年5月13日
開催地	岡山

---

### <内容>

#### 第72回日本栄養・食糧学会大会プログラム予定

第1日目 (5月11日 (金)) 会場：岡山コンベンションセンター	第2日目続き
8:00～受付	12:20～13:20 ランチョンセミナー1～8
9:00～9:50 社員総会	13:40～15:40 シンポジウム1～6
10:00～10:20 ICN2021のビデオ放映	15:50～17:50 シンポジウム7～9
10:20～10:30 新役員の紹介と挨拶	医学系学会との合同シンポジウム
10:35～11:20 各賞等授与式	13:40～17:30 一般演題
11:20～12:05 奨励賞受賞講演	17:30～18:30 学生優秀賞 ポスター審査投票
13:00～14:30 学会賞・技術賞受賞者講演	18:00～20:00 関連学術集会1～5
14:40～15:30 特別講演1	第3日目 (5月13日 (日)) 会場：岡山県立大学
15:30～16:20 特別講演2	8:00～受付
16:20～16:40 教育講演1	9:00～12:00 一般演題
16:40～18:10 国際シンポジウム	9:30～11:30 シンポジウム10～14
18:40～懇親会 (ANAクラウンプラザホテル曲水)	11:40～12:15 学生優秀発表賞表彰式
第2日目 (5月12日 (土)) 会場：岡山県立大学	12:20～13:20 ランチョンセミナー9～14
8:00～受付	13:30～15:30 市民公開講座
8:30～9:20 学生優秀発表賞 ポスター貼り付け	13:40～14:40 教育講演4～6
9:00～10:50 特別講演3	13:40～16:40 一般演題
11:00～11:50 教育講演2,3	14:40～16:40 シンポジウム15～18
11:00～12:00 教育講演4	

## 平成29年度 その他の助成報告



## 12. 平成 29 年度 その他の助成報告

助成対象名称	内容	ページ
岡山市少年少女発明クラブ 上田 達伸	IoT の活用能力の伸長を目指した「MESH」を利用したアルゴリズム学習活動	122
岡山市立西大寺公民館 石垣 真由美	ジャコウアゲハの生態学習と環境整備	125

## IoT の活用能力の伸長を目指した

### 「MESH」を利用したアルゴリズム学習活動

#### 1 はじめに

最近パソコンやタブレットが子どもにとっても身近な物になり、日常生活の中で活用するようになってきている。ゲームやネット検索、SNS等の利用、ビデオ閲覧などの利用が多い。よりコンピュータを活用するためには、コンピュータ内部での情報処理の方法を知り、問題解決の流れや方法を身につける必要がある。学校でも中学校でのアプリの利用やプログラミングの学習が、次回の学習指導要領の改訂により小学校で行うようになってきている。民間のパソコン塾なども始まっているが、ほとんどはScratchなどのプログラミングにより画面上でキャラクターを動かすなどの手軽なアニメ制作によりアルゴリズム（情報の流れ）を学習する形が多い。しかし、生活の中で多く使用されているIoT（色々な機器をコンピュータと接続し、制御する）の学習例は少ない。

私たちの「岡山市少年少女発明クラブ」では元々創造的なものづくり、製作活動をメインとしている。発明工夫として色々な部品やモーターなど組み合わせで動く発明品を考え、製作する子どもたちも多い。しかし、機械的な組み合わせだけでは目的とする動きを作ることが難しいこともあり、コンピュータと接続することで可能になる発明工夫品もある。

そこで、今回はSonyが開発・市販している「Mesh」を使用することとした。この「Mesh」は各種センサーとLEDやモーターを制御する部品とタブレット（iPad）をBluetooth（微弱電波による接続）でつなぎ、プログラム言語ではなく直感的に分かりやすいタ

グ（画面上の絵）を線で結び動作させるものである。



Mesh タグのセット

（ボタン、LED、動き、人感、明るさ、温度湿度、モーター制御）

#### 2 活動の形態と導入（1日目）

参加している子どもは10数名である。iPadも5組用意して、Mesh一組で示範し、子どもたちは4組に分かれ、共同でプログラム作りをすることとした。

まず最近市販された「自動カーテン開閉器」を紹介し、その仕組みを説明した。そして、ブラレールの機関車を「押しボタンスイッチ」と「人感センサー」でモーターを下記のように制御する見本を紹介した。

- ・ボタンを1回押すと走り出す
- ・ボタンを2回押すとゆっくり走る
- ・ボタンを長押しすると停止する



説明書を配布し、まずタグの説明をした。

その後、各自でどのセンサーを使い、どのような動きをさせたいかを考えさせ、いくつかのアイデアにまとめさせ、発表させた。



アイデアをいくつも記入中

#### 3 プログラムの仕方（2日目）

まず、タブレット画面をテレビに表示して、「ボタンタグ」で「LEDタグ」を点滅させるプログラムの作り方を説明した。



そして、練習課題として簡単なプログラムを班毎に作成させた。操作には慣れている子どもが多く、画面にタッチしながらタグを並べ、線で結んでプログラムしては動作させて確認していた。すぐには思った動作をしないので線をつなぎ直したり、タグの設定を変えたりと試行錯誤を繰り返していた。指導者も助言に入ったがほとんど必要がなかった。



ボタンを押すと音楽を奏でるプログラムを作成中

LEDの点滅よりモーターの制御に興味があり、自動車を走らせようとする班もあった。



モーター制御を実験中

実質1時間ちょっとであったがどの班もとりあえず動作させることができた。

#### 4 本格的なプログラミング（3日目）

1人の指導員のアイデアの「ボタンの押し方でかぎ」を作る見本を提示して、班毎に始めさせた。

音のタグをたくさん並べて二重奏させる班、モーターの歯車に車輪を取り付けて自動車を作る班、ドアにセンサーをつけて鍵を本格的に作る班など色々な工

夫をしていたので、時間の終わりに他の班の人にも分かるように発表させた。



ドアを開けるとカメラ撮影するようにしている

#### 5 プログラミング (4～5日目)

まず、エスカレーターの簡単なプログラムを紹介してから班ごとにプログラムさせたら、それを完成させようと挑戦し、ほぼ完成した班もあった。継続して前回の課題に取り組み、ほぼ完成させる班もあった。



エスカレーターを完成させようと挑戦中

#### 6 プログラミング (6日目)

まず4つの課題を提示してから各班で取り組ませてみた。

- ・腹筋運動のカウンター
- ・スマホの使いすぎを防ぐツール
- ・一人暮らしの高齢者の見守り
- ・ゲーム

多くの班は前回の続きをしていた。今まで欠席していた今回初めて参加したクラブ員も友達に教えてもらいながらすぐにプログラミングに取り組んでいた。試行錯誤しやすい仕組みで、しかもすぐに動作が確認できるタグのため、容易に取り組むことができることを実感した。

#### 7 プログラミング (7日目)

交差点の信号機の点滅プログラムを紹介してから、各班のプログラミングをさせた。4班のうち3つの班が新しい信号機のプログラミングに挑戦していた。



横断用信号機に挑戦中

中には廊下の壁にLEDタグを貼り付けて、人感タグで自動的に点滅させるプログラミングに取り組んだ班もあった。今回は閉講式もあったため、時間が少なかったが新規の課題にも十分に取り組み、完成させていた。

#### 8 まとめ

IoTの活用能力の伸長を目指したが、思ったよりスムーズに取り組むことができ、短時間にプログラムの流れ(アルゴリズム)を身につけることができた。今後は発明品にも利用してもらいたいと思う。

## 岡山市立西大寺公民館主催講座「ジャコウアゲハ見守り隊」報告

岡山市立西大寺公民館 事務嘱託職員 石垣真由美

### 1. 講座実施までの経緯と目的

本講座は、20年以上続く西大寺公民館の主催講座「自然探検」で当時の講師より提案があり、少しずつ活動を広げ、平成25年度に開設した。

全国的にジャコウアゲハが希少種であること、そのジャコウアゲハが西大寺公民館横に流れる吉井川の土手沿いに生息していること、地域の子どもたちに西大寺に生息する生き物のことを学んでほしいという講師の願いが、公民館が進めている「青少年育成」「環境」分野の事業促進とマッチングして講座実施に至った。

地域の子どもたちを中心に、希少種であるジャコウアゲハの生態を学びながら生育環境を整え、自然の中での「共生」という視点を育むことを目的とする。

### 2. 講座の内容

年に2回程度の開催。土手の草が伸びる初夏と秋ごろ。

(助成対象の講座実施日は平成29年9月30日(土)10時～12時)

初めに座学形式でジャコウアゲハについて話を聞き、その後土手の草刈りをしながらジャコウアゲハの卵・幼虫・サナギ・成虫や食草のウマノズクサの観察をする。

草刈りが終わった後、観察して気づいたことなどを皆で共有する。

※草刈りをする理由：土手に生息するウマノズクサが他の草に負けてしまうため、年二回程度刈りこむ。また、刈りこむことにより、ジャコウアゲハの幼虫が移動する道をつくることにもなる。

### 3. ジャコウアゲハの生態について

(参考文献：保育社「原色日本蝶類図鑑」、山と溪谷社「ヤマケイポケットガイド⑨チョウ・ガ」、山と溪谷社「山溪フィールドボックス5蝶」、緑書房「昆虫好きの生態観察図鑑Iチョウ・ガ」)

チョウ目アゲハチョウ科 学名：Atrophaneura alcinous alcinous

別名：ヤマジョロウ(山女郎) 蛹態：「お菊虫」と呼ばれている

時期：本州の暖地では年3～4回発生。南西諸島ではほぼ1年中

生息地：河川堤防などの草地から深い樹林まで広く生息

成虫の見られる場所：生息地周辺のツツジ類、アザミ類で吸蜜

分布：本州～南西諸島

開張：春型100mm前後、夏型120mm前後

雌雄：オスは地色が黒色、メスは灰褐色

※メスは南下するほど黒くなるが、宮古諸島産は例外

食草：ウマノズクサ科のウマノズクサ、オオバウマノズクサ



↑ジャコウアゲハ(♀)      ↑ウマノスズクサ      ↑ヘクソカズラ(左)とウマノスズクサ(右)

雄を捕えると、ジャコウ(麝香)のような香りを出すことからこの名がついた。  
 飛行力が弱く、低空をゆるやかに飛ぶ。有毒成分のあるウマノスズクサ類を食草とするため、毒のあるチョウとして鳥に襲われることが少ない。

本種の数近年全国的に減少傾向にあり、その原因のひとつとして、外来生物法の要注外来生物に指定されているホソオチョウ(アゲハチョウ科)との競合が指摘されているが、この地域ではホソオチョウは確認していない。

また、河川管理において、草刈りの形態が変わり、食草が根こそぎ刈り取られるようになった。  
 本講座では、国土交通省中国地方整備局岡山河川事務所西大寺出張所に生息地の一部は草を刈らないようお願いし、講座生がウマノスズクサを刈らないように気をつけながら草刈りを行っている。

#### ■ジャコウアゲハの一年の様子

- 4月上旬ごろ～ 冬越しの蛹が羽化をはじめ。
- 交尾、産卵、発生、幼虫、蛹、成虫化…を3～4回程度繰り返す。
- 秋頃から冬越しの蛹が見られ始める。

#### ■西大寺公民館横の吉井川土手沿いにおける幼虫・成虫の確認

- 今年初めの成虫確認日 4月10日(月)
- 今年最後の幼虫確認日 11月13日(月)

#### 4. 参加者の様子、変容

近年連続して参加している子どもや大人は、ウマノスズクサの様子を確認し、草の生える場所や蛹のつく場所が少しずつ移動している事などを共有している。

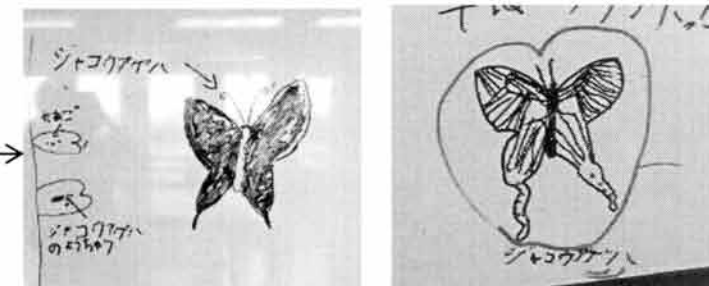
また、今年の蛹が例年より1ヵ月も早く越冬蛹になったことを講師が指摘し、厳冬である予測を立てた。実際に、今年は大寒波が訪れている。

近年参加している親子は、ジャコウアゲハを観察することにより、詳細にイラストを描いてみるなど、生き物への観察力が増した様子が見られた。

ジャコウアゲハ以外にも、草刈り地に生息する他の虫や鳥などの生き物について子どもたちが詳しく語る様子が見られており、少しずつ生き物に対する知識や観察する意識がついている。

参加者の中には生まれた時から地元に住んでいる大人もいるが、子どもたちとの交流も含め講座に参加することを楽しみにしている。

小学1年生の参加者がジャコウアゲハのイラストを描いた。左は5月、右は9月のイラスト。右がより細部まで描かれており、観察力が高くなったことがうかがえる。



#### 5. 今後の展望や課題

講座の参加者ではない地域住民の取り組みにより、西大寺地域にある4小学校のうち3小学校にウマノスズクサを植え、総合学習でジャコウアゲハの生態を観察するようになっている。

西大寺公民館の「自然だより」でジャコウアゲハの記事を出すこともあり、地域の中で「ジャコウアゲハ」の存在は少しずつ認知されているように思われる。

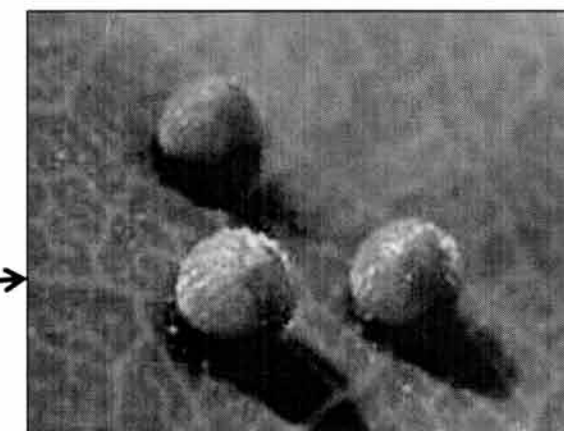
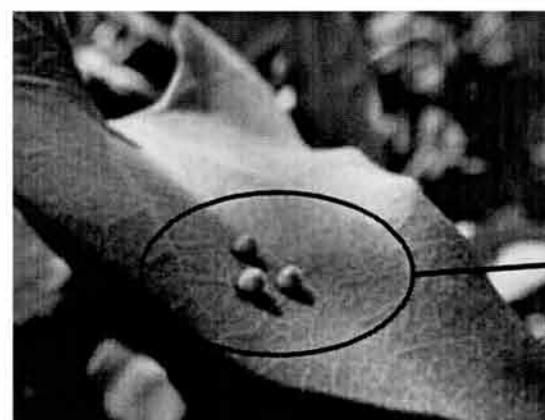
大切なのは、希少種を保護する活動を通して、子どもたちが自然との「共生」に気づき、学ぶことである。そのために、活動の継続と、関わる地域住民を増やしていくことが課題だと感じている。



↑土手の草刈りをする参加者



←ウマノスズクサを食べているジャコウアゲハの幼虫

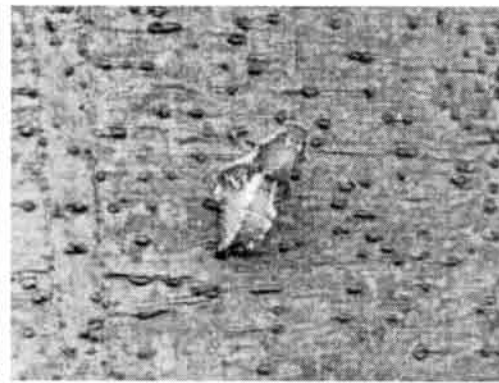


↑ジャコウアゲハの卵。直径は1.5mm程度。赤い色をしており、縦に顆粒列が見られる。





↑ジャコウアゲハ（♀）がウマノスズクサに卵を産みつけている。



↑越冬蛹。白っぽい色をしている。  
夏型は橙黄色をしている。

## 助成実施要項

セイタカアワダチソウなどの背が高い草にウマノスズクサが巻き付いているので、刈り取らず残している。



## 13. 助成実施要項

### 公益財団法人八雲環境科学振興財団 研究助成制度実施要項

#### (趣旨)

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

#### (研究助成の対象)

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

#### (研究助成対象機関)

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

#### (推薦者)

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

#### (研究助成の種別)

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

- 二 特定研究  
財団が毎年提示する基本テーマに関する研究課題を対象とする。
- 三 学術調査研究  
国の内外で行われる環境科学に関する学術調査研究で、当財団において適当と認められ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。

## 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

### (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。

### (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、財団において相当と認めるもの。

### (推薦者)

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

### (助成研究集会の募集)

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

### (助成の選考)

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

(選考基準)

- 第7 助成の対象となる研究集会は、次の基準により審査する。
- 一 明確に限定された研究主題であり、新しい知識又は概念の展開の可能性が大きいこと
  - 二 研究法などの点で学術的価値が高いこと
  - 三 岡山県において開催する意義が明らかであること
  - 四 研究集会を開催するための組織と運営が明確であること

(財団名表示の義務)

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

(助成額の基準)

- 第9 研究集会への助成額の交付基準は別に定める。

(報告書の提出)

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

(雑則)

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

(実施細則)

- 第12 この要項に定めるもののほか、必要な事項は別に定める。

附 則

この要項は、平成24年10月1日から施行する。

## 14. ご寄附のお願い

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

この寄附金は、事業目的の達成のために運用財産として使用させていただきます。

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

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

上記の主旨をご理解いただき、ご寄付にご協力をお願い致します。

### 1. 募集の内容及び特典

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

### 2. 税制上の優遇措置について

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

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

### 3. 寄附金申込み手続き

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

#### 4. お振込先

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

☆ご不明な点は事務局までお問い合わせ下さい。

公益財団法人 八雲環境科学振興財団

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

TEL : 086-252-7670

FAX : 086-252-8918

e-mail : [yakumo@ej-hds.co.jp](mailto:yakumo@ej-hds.co.jp)

当財団は、本年7月をもちまして設立20周年を迎え、本研究レポート集についても第19号を発行することとなりました。

また、設立20周年記念事業といたしまして、祝賀会およびシンポジウムの開催ならびに記念誌を発行する予定です。

公益財団法人 八雲環境科学振興財団  
研究レポート集 第19号

平成30年10月発行

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

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



THE YAKUMO FOUNDATION FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

telephone: 086-252-7670

facsimile: 086-252-8918

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

## 公益財団法人 八雲環境科学振興財団

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