

# 研究レポート集 2011

Report

第12号



仙台市若林区浜(2011年4月20日撮影)  
写真提供:磯山龍二

THE YAKUMO FOUNDATION FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

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れます。

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

このような中で、21世紀に向けた「環境」に関するテーマについて、産官学がより一体となった学術研究面での充実および地球環境保全を視野に入れた国際的な意識の醸成を奨励することが必要であると考えました。そして、環境科学に関する調査研究の推進や創造性豊かな研究者の養成を支援することにより、岡山県における学術および技術開発の進展並びに国際研究交流の増進に貢献していくことを目的として、平成10年7月29日、「財団法人 八雲環境科学振興財団」が設立され、おかげさまで13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。

財団法人 八雲環境科学振興財団  
理事長 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. 寄附行為	4
5. 平成22年度事業実施状況	9
6. 年度別助成事業実施状況	1 2
7. 研究発表会実施状況	1 9
8. 平成22年度環境研究助成報告	2 2
9. 平成22年度国際研究交流助成報告	1 1 9
10. 平成22年度研究集会助成報告	1 2 3
11. 平成22年度その他の助成報告	1 2 6
12. 助成実施要項	1 3 5
13. ご寄附のお願い	1 4 1



# 1. 巻頭言

2011年(平成23年)3月11日午後2時46分、宮城県沖の南北約500Km、東西約200Kmの海底を震源域とするマグニチュード9.0の巨大地震が発生しました。このマグニチュード9.0はわが国観測史上最大級の規模で、この地震により引き起こされた波高10m以上の大津波により、東北地方から関東地方の太平洋沿岸地域は壊滅的な被害を受けました。

さらに、地震による揺れや地盤の液状化、地盤沈下などにより広範囲にわたり電気、ガス、上下水道などのライフラインも甚大な被害を受けることになりました。これまでの死者、行方不明者は2万人以上、建物の被害は25万戸以上に、そして全体被災額は25兆円とも試算されています。あらためて犠牲者の御霊に深く哀悼の意を表すものであります。

また、この地震と津波により東京電力福島第一原子力発電所では電力供給などのバックアップ機能を全て喪失し、原子炉の冷却が不可能となり、炉心溶融や大量の放射性物質の放出という重大な原子力事故になりました。現在でもなお、周辺一帯の多くの住民が長期にわたる避難生活を余儀なくされ、一方、農畜産業、工業などの社会経済活動も停止された状態が続いています。そして、この原発事故ははまだ収束に向けた道筋が見えないところに、事態の深刻さが窺われます。これら東日本大震災の被害に対しましては早期の復旧・復興を願うものであります。

さて、今回の東北地方太平洋沖地震の発生とそれに伴う被災を「想定外の事象」として、しばしば語られています。しかし、本当に予期できなかった想定外の事象なのでしょう。想定外ということで全ての思考が停止されてしまったような感じがします。広く自然科学に携わる私たちは安易にこの「想定外」という言葉の使用を慎まなければならないと考えます。想定外のことにまで知識を求め、知恵をめぐらせ、深く考察する態度と能力が真剣に求められてなりません。

今から1100年以上前の平安時代にいわゆる貞観地震が、今回と同じような規模、範囲で発生しています。さらに、ごく最近の調査からはほぼ3000年に3回、すなわち約1000年に一度の頻度で巨大地震発生の痕跡がうかがわれています。古文書による知見、綿密な現地調査による裏づけなど、過去を今一度、じっくりと見つめ直し、そのなかから現代へ適用する方法を真剣に研究すべきであります。

我々は過去の最悪のシナリオから目をそむけるべきではありません。事実は事実として直視しながら科学的根拠に基づき、歴史を現代に生かすことが重要ではないでしょうか。

今回もまた、当財団が助成いたしました環境研究や国際研究交流事業などの成果をまとめた研究レポートを発刊する運びとなりました。環境科学に関し調査研究を進められている研究者へのご支援などを通じ、環境科学や学術及び技術開発の進展に大いに寄与されていることに厚く感謝申し上げます。

理事 伊丹文雄  
(E・Jホールディングス(株) 顧問)

## 2. 財団の概要

名 称	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)
出 捐 者	株式会社エイト日本技術開発 他
基本財産	2億5,461万円(平成23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
理事長	小谷 裕司	(株)エイト日本技術開発 代表取締役社長
理事	河野伊一郎	岡山大学名誉教授 (前学長)
	目瀬 守男	美作大学名誉学長
	赤木 靖春	学校法人加計学園専務理事
	山北 次郎	岡山県立大学名誉教授
	沖 陽子	岡山大学大学院環境学研究科教授
	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
	大橋 莊平	税理士
	小谷 浩治	E・Jホールディングス(株) 管理本部総務部長
評議員	本水 昌二	岡山大学名誉教授・特任教授
	杉尾 剛	岡山大学名誉教授・杉尾化学合成独立栄養細菌研究所所長
	波田 善夫	岡山理科大学学長
	西垣 誠	岡山大学大学院環境学研究科教授
	阿部 宏史	岡山大学理事・副学長
	岩田 正晴	ロック地域計画事務所 代表
	谷本 俊夫	E・Jホールディングス(株) 顧問
	高橋 尚城	(株)エイト日本技術開発 顧問
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学研究科教授
	星野 卓二	岡山理科大学総合情報学部教授
	大久保賢治	岡山大学大学院環境学研究科教授
	熊澤 貴之	岡山県立大学デザイン学部講師
	吉田 庄太	前E・Jホールディングス(株) 監査役
	永井 泉治	(株)エイト日本技術開発 技術企画部長

## 4. 寄附行為

### 第 1 章 総則

(名称)

第 1 条 この法人は、財団法人八雲環境科学振興財団という。

(事業所)

第 2 条 この法人は、事務所を岡山県岡山市津島京町三丁目 1 番 2 1 号に置く。

### 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) その他前条の目的を達成するために必要な事業

### 第 3 章 資産及び会計

(資産の構成)

第 5 条 この法人の資産は、次に掲げるものをもって構成する。

- (1) 設立当初の財産目録に記載された財産
- (2) 寄附金品
- (3) 財産から生ずる収入
- (4) その他の収入

(資産の種別)

第 6 条 この法人の資産は、基本財産と運用財産の 2 種とする。

- 2 基本財産は、次に掲げるものをもって構成する。
  - (1) 設立当初の財産目録中、基本財産の部に記載された財産
  - (2) 基本財産とすることを指定して寄附された財産
  - (3) 理事会で基本財産に繰り入れることを議決した財産
  - (4) 基本財産とされている株式にもとづく新株の発行により取得した株式
- 3 運用財産は、基本財産以外の資産とする。

(資産の管理)

第 7 条 この法人の資産は、理事長が管理し、その方法は、理事会の議決により定める。

- 2 基本財産のうち、現金は、郵便官署若しくは確実な金融機関に預け入れ、信託会社に信託し、又は国債、公債その他確実な有価証券に換えて、保管しなければならない。

(基本財産の処分の制限)

第 8 条 基本財産は、譲渡し、交換し、担保に供し、又は運用財産に繰り入れてはならない。ただし、この法人の事業遂行上やむを得ない理由があるときは、評議員会の同意を得た上、理事会において、理事現在数の 4 分の 3 以上の議決を経、かつ、岡山県教育委員会の承認を得て、その一部に限りこれを処分し、又は担保に供することができる。

(経費の支弁)

第 9 条 この法人の業務遂行に要する経費は、運用財産をもって支弁する。

(事業計画及び収支予算)

第 10 条 この法人の事業計画及びこれに伴う収支予算は、理事長が作成し、毎会計年度開始前に評議員会の同意を得た上、理事会において理事現在数の 3 分の 2 以上の議決を得なければならない。これらを変更する場合も同様とする。

- 2 理事長は、前項の議決があったときは、直ちにその事業計画書及び収支予算書を岡山県教育委員会に届け出なければならない。

(暫定予算)

第11条 前条の規定にかかわらず、やむを得ない理由により予算が成立しないときは、理事長は、理事会の議決を経て、予算成立の日まで前年度の予算に準じて収入支出することができる。

2 前項の収入支出は、新たに成立した予算の収入支出とみなす。

(事業報告及び収支決算)

第12条 この法人の事業報告及び収支決算は、毎会計年度終了後、理事長が事業報告書、収支計算書、正味財産増減計算書、貸借対照表及び財産目録等として作成し、監事の監査を受け、評議員会の同意を得た上、その会計年度終了後3か月以内に理事会において理事現在数の3分の2以上の議決を得なければならない。

2 理事長は、前項の議決があったときは、同項に規定する書類を、その会計年度終了後3か月以内に岡山県教育委員会に報告しなければならない。この場合において、資産の総額に変更があったときは、2週間以内に登記し、登記簿の謄本を添えるものとする。

(長期借入金)

第13条 この法人が資金の借入をしようとするときは、その会計年度の収入をもって償還する短期借入金を除き、理事会において理事現在数の3分の2以上の議決を経、評議員会の議決を得て、かつ岡山県教育委員会の承認を受けなければならない。

(新たな義務の負担等)

第14条 8条ただし書及び前項の規定に該当する場合並びに収支予算で定めるものを除くほか、この法人が新たな義務の負担又は権利の放棄のうち重要なものを行おうとするときは、評議員会の同意を得た上、理事会において理事現在数の3分の2以上の議決を経なければならない。

(会計年度)

第15条 この法人の会計年度は、毎年4月1日に始まり、翌年3月31日に終わる。

## 第4章 役員及び評議員

(役員の種別)

第16条 この法人に、次の役員を置く。

(1) 理事 6人以上9人以内(うち理事長1人とする。ほかに専務理事1人をおくことができる。)

(2) 監事 3人

(役員の選任)

第17条 役員は、評議員会において選任する。

2 理事は、互選により、理事長及び専務理事をおくときは専務理事を選任する。

3 理事のうちには、理事のいずれか1人及びその親族その他特殊の関係のある者の合計数が、理事現在数の3分の1を超えて含まれることにはならない。

4 監事のうちには、監事のいずれか1人及びその親族その他特殊の関係のある者の数、又は、理事のいずれか1人及びその親族その他特殊の関係のある者の数若しくは評議員の1人と親族その他特殊の関係がある者の数の合計数が監事総数(現在数)の3分の1を超えて含まれることにはならない。又監事には職員が含まれてはならない。

5 理事及び監事は、相互に兼ねることができない。

6 理事に異動があったときは、2週間以内に登記し、登記簿の謄本を添え、遅滞なくその旨を岡山県教育委員会に届け出なければならない。

7 監事に異動があったときは、遅滞なくその旨を岡山県教育委員会に届け出なければならない。

(理事の職務)

第18条 理事長は、この法人を代表し、業務を統括する。

2 理事長に事故があるとき又は理事長が欠けたときは、専務理事がその職務を代行する。専務理事なきときはあらかじめ理事長が指名した順序により、他の理事がその職務を代行する。

3 理事は、理事会を組織して、この寄附行為に定めるところにより、この法人の業務を議決し、執行する。

(監事の職務)

第19条 監事は、次に掲げる職務を行う。

(1) この法人の財産及び会計を監査すること。

(2) 理事の業務執行の状況を監査すること。

(3) 財産、会計及び業務の執行について、不正の事実を発見したときは、これを理事会及び評議員会並びに岡山県教育委員会に報告すること。

(4) 前号の報告をするため必要があるときは、理事会及び評議員会の招集を理事長に請求し、又は招集すること。

(役員任期)

第20条 役員任期は、2年とする。ただし、補欠又は増員により選任された役員任期は、それぞれ前任者又は現任者の残任期間とする。

2 役員は、再任されることができる。

3 役員は、辞任した場合又は任期終了の場合においても、後任者が就任するまでは、その職務を行わなければならない。

(役員解任)

第21条 役員が次のいずれかに該当するときは、理事会及び評議員会において、それぞれ理事現在数及び評議員現在数の3分の2以上の議決により、これを解任することができる。この場合、理事会及び評議員会において議決する前に、その役員に弁明の機会を与えなければならない。

(1) 心身の故障のため、職務の執行に堪えないと認められるとき。

(2) 職務上の義務違反その他役員としてふさわしくない行為があると認められるとき。

(評議員選出)

第22条 この法人に、評議員7人以上10人以内を置く。評議員現在数は、理事現在数以上であるものとする。

2 評議員は、理事会で選出し、理事長が任命する。

3 評議員及び役員は、相互に兼ねることができない。

4 前2条の規定は評議員にこれを準用する。この場合において、これらの条文中「役員」とあるのは「評議員」と読み替えるものとする。

5 評議員のうちには、役員のうち1人と親族その他特殊の関係のある者の数又は、評議員のうち1人及びその親族その他特殊の関係のある者の合計数が評議員現在数の3分の1を超えて含まれることにはならない。

(評議員職務)

第23条 評議員は、評議員会を組織して、この寄附行為に定める事項のほか、理事会の諮問に応じ、理事長に対し必要と認める事項について審議し、助言する。

(報酬等)

第24条 役員及び評議員は無給とする。

2 役員及び評議員には、費用を支弁することができる。

3 前2項に関し必要な事項は、理事会の議決を経て、理事長が別に定める。

## 第5章 会議

(機能)

第25条 理事会は、この寄附行為に別に規定するもののほか、この法人の運営に関する重要な事項を議決し、執行する。

2 次に掲げる事項については、理事会は、あらかじめ評議員会の同意を得なければならない。

(1) 事業計画及び収支予算の決定

(2) 事業報告及び収支決算の承認

(3) 不動産の買入れ又は基本財産の処分若しくは担保の提供

(4) 長期借入金についての事項

(5) 新たな義務の負担及び権利の放棄についての事項

(6) その他、この法人の業務に関する重要事項で理事会において必要と認めるもの

(7) その他理事長が付議した事項

(招集)

第26条 会議は、理事長が招集する。

2 理事長は、理事現在数の3分の1以上又は第19条4号の規定により監事から招集の請求があったときは、速やかに理事会又は評議員会を招集しなければならない。

3 会議を招集するときは、理事又は評議員に対し、会議の日時、場所、目的及び審議事項を記載した書面をもって、開会の日の7日前までに通知しなければならない。

(議長)

第27条 理事会の議長は、理事長がこれに当たる。

2 評議員会の議長は、その評議員会において、出席した評議員のうちから選出する。

(定足数)

第28条 会議は理事現在数又は評議員現在数の3分の2以上の者が出席しなければその議事を開き議決することができない。

(議決)

第29条 会議の議事は、この寄附行為に別に規定するもののほか、出席理事又は評議員の過半数をもって決し、可否同数のときは、議長の決するところによる。

(書面表決等)

第30条 やむを得ない理由のために会議に出席できない理事又は評議員は、あらかじめ通知された事項について、書面をもって表決することができる。この場合において、前2条の規定の適用については、出席したものとみなす。

(議事録)

第31条 会議の議事については、次の事項を記載した議事録を作成しなければならない。

- (1) 会議の日時及び場所
- (2) 理事又は評議員の現在数
- (3) 出席者及び出席者氏名(書面表決者及び表決委任者の場合にあつては、その旨を付記すること。)
- (4) 審議事項及び議決事項
- (5) 議事の経過の概要及びその結果
- (6) 議事録署名人の選任に関する事項

2 議事録には、議長及び出席した理事又は評議員の中からその会議において選任された議事録署名人2人以上が、署名押印しなければならない。

## 第 6 章 選考委員会

(選考委員会)

第32条 この法人には、第4条の事業の対象となるものを選考するため、選考委員会を置く。

(選考委員)

第33条 選考委員会は、6人以上9人以内の選考委員をもって組織する。

2 選考委員は、学識経験者のうちから、理事会で選出し、理事長が委嘱する。

3 選考委員の任期は2年とする。ただし、再任を妨げない。

4 第17条第3項の規定は選考委員について準用する。この場合において「理事」及び「理事現在数」とあるのは、それぞれ「選考委員」及び「選考委員現在数」と読み替えるものとする。

5 委員のうちには、この法人の役員及び評議員が2名を超えて含まれることになってはならない。

## 第 7 章 寄附行為の変更及び解散

(寄附行為の変更)

第34条 この寄附行為は、理事会及び評議員会において、それぞれ理事現在数及び評議員現在数の4分の3以上の議決を経、かつ、岡山県教育委員会の認可を受けなければ変更することができない。

(解散)

第35条 この法人は、民法第68条第1項第2号から第4号までの規定によるほか、理事会及び評議員会において、それぞれ理事現在数及び評議員現在数の4分の3以上の議決を経、かつ、岡山県教育委員会の承認があつたときに解散する。

(残余財産の処分)

第36条 この法人の解散に伴う残余財産は、理事会及び評議員会において、それぞれ理事現在数及び評議員現在数の4分の3以上の議決を経、かつ岡山県教育委員会の許可を得て、地方公共団体又はこの法人と類似する目的を有する公益法人に寄附するものとする。

## 第 8 章 事務局

(事務局及び職員)

第37条 この法人の事務を処理するために、事務局を設置する。

2 事務局には、必要な職員を置く。

3 職員は、理事長が任免する。

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、理事会の議決を経て、理事長が別に定める。

(書類及び帳簿の備え付け等)

第38条 この法人の事務所に、常に次の書類及び帳簿を備えなければならない。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) 寄附行為
- (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) 過去3年度の各年度末の財産目録および収支決算書
- (4) 資産台帳及び負債台帳
- (5) 収入支出に関する帳簿及び証拠書類
- (6) 寄附行為に定める議決機関の議事録
- (7) 許可、認可等の書類
- (8) 登記に関する書類
- (9) 官公署からの示達文書
- (10) 現年度の事業計画及び収支予算書
- (11) 過去3年度の監事が監査に関して作成した書類
- (12) その他必要な帳簿及び書類

## 第9章 補則

(株式の権利行使の制限)

第39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現在数の3分の2以上の同意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

(細則)

第40条 この寄附行為の施行について必要な事項は、理事会の議決を経て、理事長が別に定める。

## 附 則

- 1 この寄附行為は、岡山県教育委員会の設立許可があった日から施行する。
- 2 この法人の設立当初の役員及び評議員並びに選考委員は、第17条及び第22条並びに第33条の規定にかかわらず、別紙役員名簿及び評議員名簿並びに選考委員名簿のとおりとし、その任期は、第20条第1項の規定にかかわらず、平成11年3月31日までとする。
- 3 この法人の設立初年度の事業計画及び収支予算は、第12条の規定にかかわらず、設立者の定めるところによる。
- 4 この法人の設立当初の会計年度は、第15条の規定にかかわらず設立許可のあった日から平成11年3月31日までとする。
- 5 この寄附行為は、平成13年6月18日一部改正。

## 5. 平成 22 年度事業実施状況

平成 22 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 849 万円の助成を実施した。

当年度における公募の概要は次のとおりである。

### 募集の目的

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

### 1. 環境研究助成

一般研究	特定研究
1. 助成対象研究	
<p>テーマは設定しません 自然科学と社会科学の両分野の研究で自然環境の改善に寄与するものとします。</p>	<p>平成22年度募集テーマ A：地球温暖化に関する研究 B：都市・農村環境に関する研究 C：生物多様性に関する研究（新テーマ）</p>
2. 助成金額と件数	
<p>総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 400 万円程度 1 件あたり助成額 ・ ・ 50 万円以内 助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 8 件程度</p>	<p>総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 300 万円程度 1 件あたり助成額 ・ ・ 100 万円以内 助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 3 件程度</p>
3. 助成対象となる期間	
平成 23 年 3 月 31 日まで	平成 23 年 3 月 31 日まで

#### 4. 助成対象となる費用

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

#### 5. 助成対象者の義務等

下記の事項について財団所定の「合意書」を締結し、履行していただきます。

- 助成期間終了後 3 ヶ月以内に研究レポート（1 頁 2,000 字、A 4 で 6 頁程度）の提出
- 平成 23 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 22 年 5 月 1 日から平成 23 年 4 月 30 日までに出発帰着する下記の派遣又は招聘

- 国外で開催される環境科学に関する研究集会への国内研究者の出席。但し国際的に権威のある学会、学術団体又は学術研究機関等が主催するもの。
- 国内で開催される環境科学に関する研究集会での発表、又は共同研究を目的とした、海外研究者の招聘。

### **2. 助成金額と件数**

- 総 額 . . . . . 80 万円程度
- 1 件当たり助成金 . . . 20 万円以内
- 助成件数 . . . . . 4 件程度

### **3. 助成対象となる費用**

派遣又は招聘に必要な渡航費及び滞在費並びに参加費

### **4. 助成対象者の義務等**

- 公開講演会又は研究発表会にて発表をお願いする場合があります。この場合謝金はお支払できません。
- 派遣又は招聘完了後 1 ヶ月以内に財団所定「報告書」の提出
- 渡航又は招聘を中止若しくは延期した場合、その理由書の提出と助成金の精算

## **III. 研究集会助成**

### **1. 助成対象**

平成 22 年 10 月 1 日から平成 24 年 3 月 31 日までに岡山県内で開催される、環境科学に関する研究集会、学術講演会、シンポジウム等

### **2. 助成金額と件数**

- 総 額 . . . . . 60 万円程度
- 1 件当たり助成金 . . . 30 万円以内
- 助成件数 . . . . . 2 件程度

### **3. 助成対象となる費用**

研究集会等の開催に要する会場費、印刷費、通信運搬費等の費用

### **4. 助成対象者の義務等**

- 研究集会等の開催が、当財団の助成を受けている旨の明示
- 研究集会等終了後 1 ヶ月以内に財団所定「報告書」の提出
- 開催を中止又は延期した場合、その理由書の提出と助成金の精算



# 応募手続き

## 1. 応募資格

- 岡山県内の大学等の研究機関に所属する研究者（博士課程(後期)の大学院生を含む）。
- 研究機関の長又は学長若しくは学部長等の推薦を受け、申請書所定欄に記入して下さい。大学院生はそれに加えて、指導教官からの推薦状（様式自由）を添付して下さい。
- 環境研究助成、国際研究交流助成、研究集会助成に重複して応募はできますが、それぞれ1件までとします。また重複して応募された場合でも、助成対象となるのは1人又は1グループにつき最大1件とします。
- 平成21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22年度は同一の助成部門（「環境研究助成の特定研究部門」、「環境研究助成の一般研究部門」、「国際研究交流助成部門」、「研究集会助成部門」）に再応募することはできません。
- 国際研究交流助成において、海外研究集会等での発表を目的とする場合、論文採択が予定の段階でも応募できますが、助成金の振込は、正式決定後とします。申請時において決定している場合は、「論文採択通知」等の写しを申請書に添付して下さい。

## 2. 募集期間と選考手続

	応募締切	最終決定	結果通知
I. 環境研究助成	平成22年 4月16日（金）（必着）	平成22年 5月下旬	申請者及び推薦者に採否、助成金額及び交付期日と方法を通知いたします
II. 国際研究交流助成			
III. 研究集会助成			

## 3. 申請書類

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

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

応募申請書類は、下記の財団事務局にご送付下さい。

**応募申請書類送付先・問い合わせ先**

〒700-8617 岡山市北区津島京町3丁目1番21号  
 (株) エイト日本技術開発 経営企画部内  
 (財) 八雲環境科学振興財団 事務局 (担当：三宅)  
 TEL: 086-252-7670  
 FAX: 086-252-8918  
 Eメール: yakumo@ej-hds.co.jp

## 6. 年度別助成事業実施状況

### 平成 10 年度

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

平成 10 年度は、環境研究助成事業は実施いたしませんでした。

#### ○所属機関別助成実績

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

### 平成 11 年度

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

#### ○所属機関別助成実績

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

### 平成 12 年度

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

#### ○所属機関別助成実績

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

## 平成 13 年度

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

### ○所属機関別助成実績

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

## 平成 14 年度

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

### ○所属機関別助成実績

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

## 平成 15 年度

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

### ○所属機関別助成実績

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

## 平成 16 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	42件	12件	6,800千円
国際研究交流助成事業	12件	4件	800千円
研究集会助成事業	4件	4件	1,200千円
合計	58件	20件	8,800千円

※ 研究集会助成事業は平成 17 年度開催 採択 2 件を含む。

### ○所属機関別助成実績

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

## 平成 17 年度

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

### ○所属機関別助成実績

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

## 平成 18 年度

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

### ○所属機関別助成実績

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

## 平成 19 年度

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

### ○所属機関別助成実績

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

## 平成 20 年度

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

### ○所属機関別助成実績

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

平成 21 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 22 年度

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

○所属機関別助成実績

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

累計（平成 10 年度～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	350 件	152 件	83,876.3 千円
国際研究交流助成事業	115 件	71 件	13,922.2 千円
研究集会助成事業	16 件	14 件	3,980 千円
合計	481 件	237 件	101,778.5 千円



## 7. 研究発表会実施状況

### 平成12年度

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

### 平成13年度

開催日時	平成13年11月6日(火) 13時～
場 所	岡山ロイヤルホテル
発表者数	10名
協 賛	岡山教育委員会、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

## 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

## 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

## 平成 23 年度 (予定)

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



# 平成 22 年度 環境研究助成報告



## 8. 平成 22 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
佐 藤 伸	岡山大学 異分野融合 先端研究コア	四肢の起源を探る ～分子生物学で水生から陸生への 進化の変遷をたどる～	23
榎 本 秀 一	岡山大学大学院 医歯薬学総合研究科	都市、農村土壌における土壌汚染浄化植物の創生とフ ァイトレメディエーション	30
吉 川 賢	岡山大学大学院 環境学研究科	ゾド（雪害）がモンゴル草原の生態系の安定性に及ぼ す影響の解析	34

### ②一般研究

助成対象者	所 属	研究テーマ	ページ
佐々木 孝行	岡山大学 資源植物科学研究所	植物特異的なアルミニウム活性化型リンゴ酸輸送 体：ALMTタイプ蛋白質の機能多様性を応用した環 境ストレス耐性植物の作出	51
笹 川 英 夫	岡山大学大学院 自然科学研究科	環境ストレスの強い荒廃地を効率的に森林へと再生 させる植物・微生物共生系の構築	59
松 井 康 弘	岡山大学 廃棄物マネ ジメント研究センター	3R政策データベースの構築及びごみ・資源ごみの排 出予測モデルの開発	67
直 井 岳 人	岡山商科大学 経営学部	歴史的町並みにおける地元の生活文化への訪問客の まなざし：訪問客の知覚する様相とその価値の担保に ついて	74
西 尾 公 裕	津山工業高等専門学校 電気電子工学科	生体の視覚・聴覚・嗅覚機能に基づく超低消費電力対 象物追跡センサ	83
西 本 俊 介	岡山大学大学院 環境学研究科	太陽光を利用できるオゾン・光触媒複合水処理技術の 開発	90
橋 本 英 樹	岡山大学大学院 自然科学研究科	鉄酸化細菌が常温・中性 pH 水中で作るねじれ紐状酸 化鉄のキャラクタリゼーションとリチウムイオン充 放電挙動	97
内 田 哲 也	岡山大学大学院 自然科学研究科	バイオマス材料を用いた磁性ゲル繊維の作製と高機 能複合材料への応用	103
茅 野 功	川崎医療福祉大学 医療技術学部	中間周波磁界環境による植物の成長促進システムの 構築	111

※所属は、助成申請時

## 四肢の起源を探る～分子生物学で水生から陸生への進化の変遷をたどる～

佐藤 伸・蒔苗 亜紀

岡山大学 異分野融合先端研究コア

### はじめに

人は二足歩行し、腕をよく使用したことによって大脳の発達、ひいては今日の進化があるといっても過言ではないだろう。今日の人類の発展の原動力になったといえる四肢の進化についてはいまだ不明な点が多い。進化を研究するにあたって、タイムマシンがない現代では化石や現存する生物から進化の過程を考察すること以外に手段はない。しかし、近年の分子生物学等の科学技術の発展に伴って、進化研究の精密さは大きく進展した。現在、四肢の進化過程に対する研究は大きく進められようとしている。現に多くの論文が執筆されているが、その詳細をくどくど述べることをここでは避けたいと思う。まず、義務教育課程で目にした教科書の話に原点を見る。人の進化という項目を目にすれば、下記のような記述を見ることができるだろう。

魚類 → 両生類 → 爬虫類 → 鳥類・哺乳類

このような進化プロセスには大きな疑問をはさむ余地はないだろう。では、このフローに沿って四肢の進化過程を考えてみると下記のような状態がわかる（図1）。魚類から両生類に進化が進んだ過程で非常に大きなギャップがあることが分かる。この中間に位置できるような動物は現存

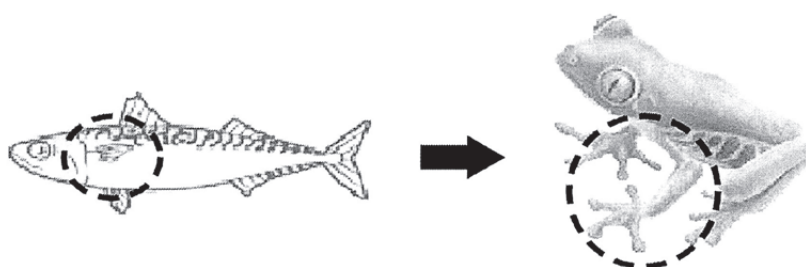


図1  
魚類と両生類の比較。鰭から四肢に劇的に構造変化が起こっている

する動物ではなかなか見つからず、四肢の進化研究はなかなか進んでいない。実際のところ、軟骨魚類等を用いた研究成果は出されてきてはいるが (Metscher et al., 2005; Cole and

Currie, 2007)、魚類と両生類の中間体としての実験材料かといえ、その骨格標本を見る限り疑問を呈せざるを得ない。また、シーラカンスはよい選択肢ではあるが、その希少性のため研究材料として使用することには大きな難点がある。そこで目を付けたのが、カエルアンコウ (*Antennarius sp.*) である。この魚は海底を這うようにして「歩行」する魚類として観賞用に日本ではペットショップなどでも見かける魚である。この魚に着目した大きな要因は図2にあるように「腕のような」構造があることである。この腕様の構造がどのような発生過程を経て形成されるのか研究し、四肢の発生学と進化的な考察を加えることを本研究の目的とする。





図2  
カエルアンコウ。腕様の構造がみられる

本研究はカエルアンコウの四肢発生過程を分子生物学的手法を用いて観察する事を目的としている。四肢の進化に関する考察を加える上で、我々は2つの点に着目して研究を行った。①HoxA11,13 遺伝子の発現パターン。②筋肉の形成過程。である。まず、①に関しては先行研究をまとめると図3のような遺伝子発現パターンが観察されている。進化の変遷に従ってHoxA11と13遺伝子は発現パターンを変遷させている。ゆえに、この発現パターンを解析する

ことで比較考察に一行を加えることができると考えられる。②については、四肢筋の発生もHoxA 遺伝子同様に四肢進化に応じてその発生様式を変化させているような事項が報告されているからである（議論の項参照）。これら二つの事項について解析を行い、他種のものと比較することで進化がどのように起こったのかの考察に役立てる

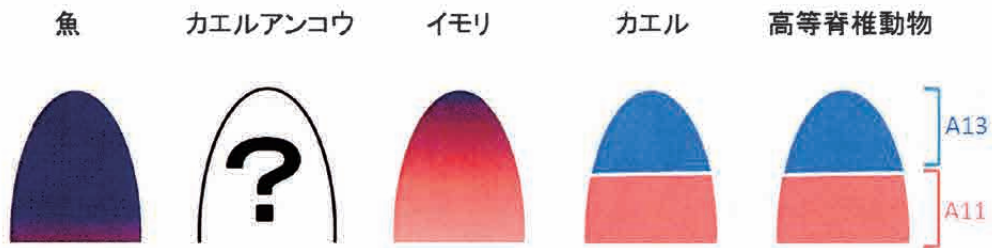


図3  
HoxA11 と HoxA13 遺伝子の肢芽/鰭芽における発現パターン。魚類は完全に両者が重なっている。有尾両生類（イモリなど）は HoxA13 は先端にあるものの、HoxA11 との発現が入れ子上になることはない。しかし、進化上上位の動物は A11 と A13 は入れ子上の発現様式を示す。

## 方法

### 1) 動物

カエルアンコウは東海大学海洋科学博物館の野口文隆先生にお願いし、採取していただいた。飼育は研究室内のインキュベーター（20-24度）で人工海水中または自然海水中、エアレーション条件下で飼育。サンプルはホルマリンもしくは4%パラホルムアルデヒドで固定した。

### 2) 骨格標本作成

一昼夜以上の固定処理ののちに、染色処理を行う。硬骨の染色はアリザリンレッドを使用した方法で行った。固定液を洗浄したのちに、内臓と外皮の除去を行う。その後4%水酸

化カリウム液で振盪し、十分にサンプル内を水酸化カリウムで置換した後アリザリンレッド粉末を微量入れ均一になるまでよく混ぜる。その状態で一昼夜振盪混和する。余分な染色液を除くため染色剤の入っていない4%水酸化カリウムで数回、数日間洗浄する。その後徐々にグリセロール液に置換して、最終的に100%グリセロール液に置換する。軟骨の染色にはアルシアンブルー液を用いた。固定液を洗浄後、70%エタノール液で数回洗浄する。その後、1%塩酸/70%エタノール液で置換する。そこに僅かに色づく程度のアルシアンブルー液を滴下し、一昼夜振盪培養する。その後、70%エタノール液で洗浄を数日間し、さらに4%水酸化カリウム液で透明化した。このサンプルも上記同様に徐々にグリセロール液に置換してゆく作業を行った。

### 3) 切片作成、in situ hybridization (ISH), 免疫染色

固定した後の標本を30%スクロース液に浸し、数時間静置する。その後、OCTコンパウンド (SAKURA) に包埋する。凍結させたのちに、クライオスタットにて凍結切片を作成する (サンプル厚 5-10 $\mu$ m)。切片はドライヤーで2時間以上乾燥させ、-80度で保存する。ISHは基本的に(Satoh et al.)のとおりに行った。免疫染色も同様に(Satoh et al. 2011)のとおりに行った。

## 結果

### 1) カエルアンコウ胚の発生

カエルアンコウについては、その発生等全く明らかではなかった。ゆえに、発生段階を観察し記録することから始めなければならなかった。受精卵を仕分けし、その発生段階を事件経過とともに観察した (図4)。両生類の卵囊のようなゼリーで包まれた卵塊であり、その初期胚は Embryonic Shield と呼ばれる発生様式を採るようである (図4C)。その後、4.5日目までに明瞭なヒレ構造が発達していることが観察できた。6.5日にはすでに遊泳する幼生が観察できた。これ以降のステージについての観察は飼育の問題で不可能であった。

これらのヒレの発生をより詳細に観察するために、鰭 (肢) 芽の切片を作成した (図5)。

比較的初期の段階では、単にドーム状の細胞塊として観察できる。しかし、3.5日に到達すると、内部構造に変化が見られた。内部は背側/腹側方向に3層に分かれていることが確認できた。後述するが、これはマーカー遺伝子の

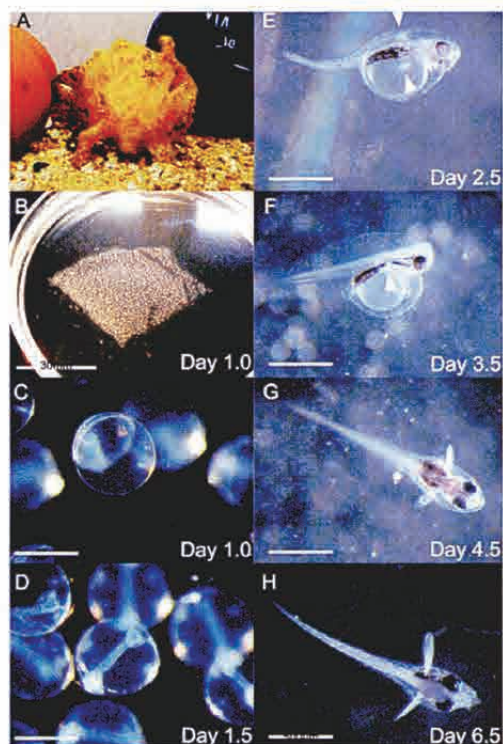


図4  
カエルアンコウの発生

観察できた。後述するが、これはマーカー遺伝子の

発現で筋肉・骨・筋肉であることが明らかである。このドーム状の構造は、これ以降のステージで実に劇的に基部先端部方向へ伸長する。6. 5日までには数ミリに達する大きさまで伸長した。

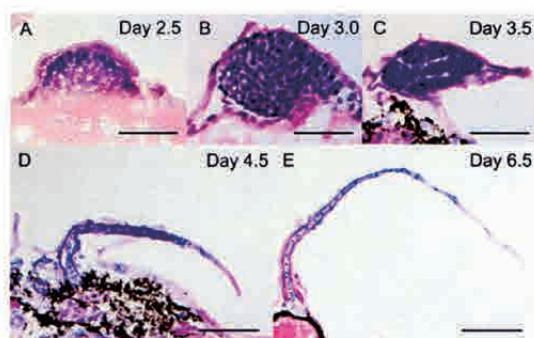


図5  
肢(鰭)芽の組織染色像

## 2) 骨格標本観察

成魚の胸鰭に注目し、骨格標本作製した。予想通り、成魚の胸鰭に「四肢様」の構造を見ることができた。鰭の基部側に明瞭な支持構造を観察することができる(図6)。軟骨で染色したところ、この指示構造と鰭の間に軟骨小片が多数存在していることが判明した(図6B)。さらに詳細な観察をするために、腕様の構造の切片を作成し組織像を観察した(図6D-G)。腕様の構造には大きく3本の骨が存在していた。骨の内部構造は未発達で、軟骨細胞によって占められている。その周囲をカルシウム構造が覆っている状態であることが観察される。また、非常に大きな筋組織を見ることができる。この非常に大きな筋組織は海底を這って歩くということと、腕としての機能を持っているという裏づけにもなるだろう。

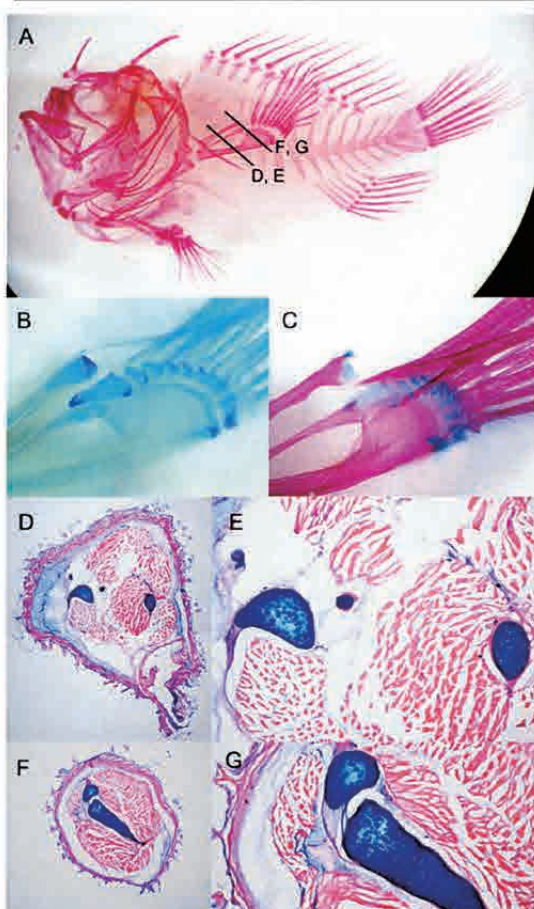
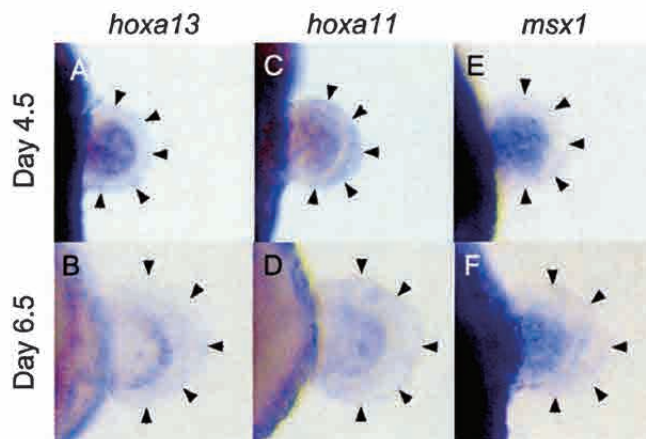


図6  
カエルアンコウの骨格標本と四肢様構造の切片の組織染色像。

## 3) HoxA11,13 の発現パターン

次に HoxA11,13 遺伝子の発現を観察した。カエルアンコウではこの遺伝子が単離されていないため、他種での遺伝子を参考に PCR によって単離した。この遺伝子情報は Genbank に登録予定である。HoxA13 遺伝子は初め肢(鰭)芽全体にわたって発現しているように観察できる(図7)。しかし、この発現は後期になるとより先端部側にシフトする。対して、HoxA11 は肢(鰭)芽全体にわたって発現し続けるパターンを示した。(Mx1 は染色のコントロール。)

より詳細な発現パターンを観察するため切片を作成し、遺伝子発現パターンを観察した。



残念ながら、肢(鰭)芽が非常に構造的に薄いため、ISH の染色像は明瞭ではないが、上記図 7 と同様の観察結果を得る事ができた (図省略)。

図 7  
肢(鰭)芽における HoxA11 と A13 の発現パターン。Msx1 は染色コントロール

#### 4) 筋肉の発生様式の解析

最後に筋肉の発生様式を観察した (図 8)。Alpha-Actin という筋肉の形成のごく初期から発現し始める遺伝子と、Myosin Heavy chain という筋形成後期からしか発現しない遺伝子の発現変遷を観察した。A-Actin は初め肢(鰭)芽全体にわたって発現を観察できるが、3.5 日までに図 5 で説明した筋肉層に発現が限局する。その後は筋肉層に発現し続ける。Myosin heavy chain に関しては A-Actin の発現よりもやや遅れて発現を見ることができる。この観察で大事なところは、図 8 の B,C にあるように筋肉細胞は基部側の構造と連続していないことである (理由・議論は後述)。

#### 考察

カエルアンコウは進化の「中間動物」して適当か? この問いに答えるにはさらなる解析が必要であることは言うを待たない。しかし、海底を這うようにして歩くこと、骨や筋肉など高等脊椎動物の四肢に存在する構造を有すること、四肢に発現する遺伝子が同様に発現していることを考えれば、適当であるといっても差支えないだろう。もちろん、収斂進化\*<sup>注</sup>という考え方も大いにありうるが、逆に、収斂進化であってもカエルアンコウが四肢様の構造を発達させた同じシステムで私たちの祖先生物は四肢を発達させたと考えることもできるだろう。いずれにせよ、カエルアンコウを用いた四肢の進化研究に論理的・技術的な難点は存在しないと考えている。

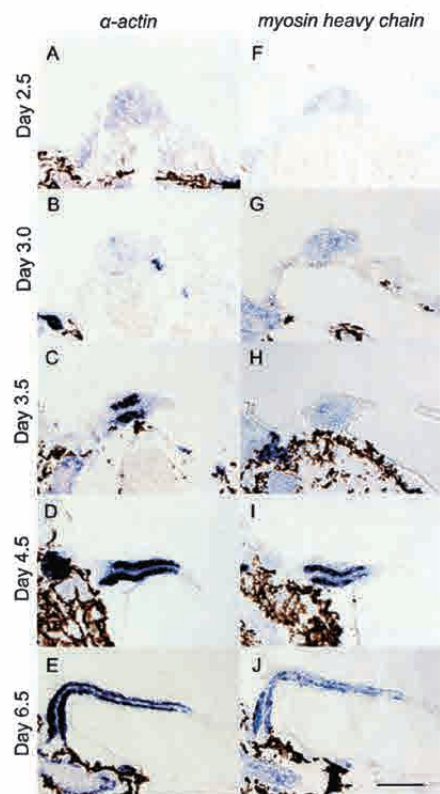


図 8  
筋肉の発生様式。左のカラムは Alpha-Actin の発現パターン。右のカラムは Myosin Heavy Chain の発現パターンを示す。

HoxA 遺伝子の発現パターンの意味するところはいったいどのようなものなのであろうか？  
 図9のようなまとめができるだろう。私たちの結果は HoxA13 は前側にシフトするものの、

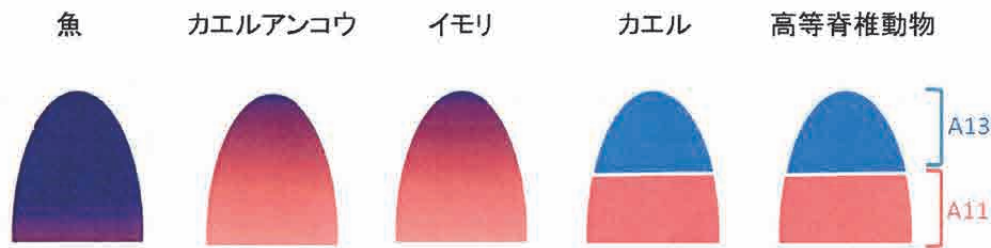


図9 HoxA11,13 の発現の模式図

HoxA11 と入れ子状の発現様式になることはなく、図のように両生類に近い発現様式を示した。このことは魚類～両生類の中間体としての位置づけが妥当であることを強く示唆するものとして考えている。骨格を比較すると、高等脊椎動物は主に、上腕に1本、前腕に2本の骨を有する。ところがカエルアノコウは3本の骨を持つ。これがどのような解剖学的な知見を与えるのかは専門家の意見を伺う必要があるだろう。現在私たちはこの3本の骨について新たな方向で検証を開始している。3本のうち一番小さい真ん中の骨は化石標本等の知見を比較して、太古の動物では散見される原始的な手根骨である *Intermedium* に相当するものではないかと仮説を立てて検証中である。適当なマーカー遺伝等があるかないかを含めて現在進行形の研究である。筋肉の形成過程の観察も、魚類と両生類の中間体としての妥当性を示すものであると考えることのできる結果であった。軟骨魚類は体幹部から筋肉組織が連続した構造として“伸びて”来る。この場合鰭芽には体幹部から連続した筋肉層の移入が観察できる(Hollway and Currie, 2003)。対して、高等脊椎動物では、肢芽に体幹部から“ばらばら”の筋細胞が、移動してくる。この場合、肢芽に移動した先で筋形成が始まるため、体幹部と連続した構造としては観察できない。カエルアノコウの観察結果はどうであったか？再度言うまでもなく、この中間的な形成様式であった。詳しく述べることをここでは避けたいと思うが、体幹部と連続した構造として肢(鰭)芽筋組織が観察されないこと、肢(鰭)芽伸長時には分化した筋肉が長く伸びてゆくことなどから魚類と両生類の筋発生様式の間期的な形成パターンを示すことが明らかになった。これらのことはカエルアノコウが魚類から両生類に進化するときにどのように四肢構造を発達させたのかを研究する上で非常に有用なモデル動物であることを示唆する結果である。

\*収斂進化…複数の異なるグループの生物が、同様の生態的地位についたときに、系統に関わらず身体的特徴が似通った姿に進化する現象

#### 謝辞

はじめに八雲環境科学研究財団様に置かれましては、研究室立ち上げの非常に厳しい環境をサポートしていただきまして感謝の言葉もございません。また、研究をするにあたりましてご協力いただきました東海大学水族館の野口文隆先生にはサンプルの分与等さまざまなご厚情を賜り

ました。紙面をお借りして御礼申し上げます。最後に研究推進の原動力でもありました研究室の諸氏に感謝します。

#### 参考文献

- Cole NJ, Currie PD. 2007. Insights from sharks: evolutionary and developmental models of fin development. *Dev Dyn* 236:2421-2431.
- Hollway GE, Currie PD. 2003. Myotome meanderings. Cellular morphogenesis and the making of muscle. *EMBO Rep* 4:855-860.
- Metscher BD, Takahashi K, Crow K, Amemiya C, Nonaka DF, Wagner GP. 2005. Expression of Hoxa-11 and Hoxa-13 in the pectoral fin of a basal ray-finned fish, *Polyodon spathula*: implications for the origin of tetrapod limbs. *Evol Dev* 7:186-195.
- Satoh A, Makanae A, Hirata A, Satou Y. Blastema induction in aneurogenic state and Prrx-1 regulation by MMPs and FGFs in *Ambystoma mexicanum* limb regeneration. *Dev Biol* 355:263-274.

都市、農村土壌における土壌汚染浄化植物の創生とファイトレメディエーション

マルチトレーサー法によるミヤコグサを利用した土壌浄化研究

榎本秀一

岡山大学大学院医歯薬学総合研究科

#### Summary

*Lotus japonicus* has been proposed as a model leguminous plant for molecular genetic study, and is a prospective toxic-metal hyperaccumulator. In the present study, the multitracer technique was applied to study on uptake, distribution, and accumulation of various elements in *Lotus japonicus* (Miyakojima MG-20 and Gifu B-129).

Forty seedlings of each variety (Miyakojima MG-20 and Gifu B-129) were grown on soil in a growth chamber for about two months. After blooming and the start of seed growth, the plants were cultivated in a nutrient solution containing a multitracer prepared using an Ag target. More specifically, five plants of each variety were transplanted to a 1000 mL plastic pot containing the multitracer solution.

The plant samples were in contact with the solution via their roots. After one week, the plants were removed from the solution and divided into roots, primary shoot (shoot apex; upper part; middle part; lower part), secondary shoots, flowers, pods and seeds. The radioactivities in these samples were determined by  $\gamma$ -ray spectrometry using high-purity Ge detectors.

The behaviors of Be, Na, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Zn, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Tc, Ru, and Rh were determined. In the whole plant, uptakes of all elements except Na were high. The uptakes of trace elements in the whole plant of Miyakojima MG-20 were the same as those of Gifu B-129. In the above-ground parts, Cr, Ru, Sc, and Zr were not detected, and Be, Fe, Rh, V, and Y were only slightly detected. On the other hand, uptakes of Tc, Sr, Rb, and Zn were high. Thus, while Cr, Ru, Sc, Zr, Be, Fe, Rh, V, and Y were not absorbed or absorbed only in small amounts by plants, Tc (22-33%), Sr (19-29%), Rb (46-52%), and Zn (47-53%) were confirmed to be absorbed. Although Fe is an essential element, the amount of Fe absorbed by plants was hardly detectable. The uptakes of Tc, Sr, Rb, and Zn in Miyakojima MG-20 were higher than those in Gifu B-129. Among the highly absorbed elements Tc, Sr, Rb, and Zn, Tc was found to be widely distributed among primary and secondary shoots. High Tc concentration was found in primary (shoot apex and upper part) and secondary shoots. Low Tc concentration was found in seeds, pods, and flowers. Strontium was found mainly in the primary shoot. Rubidium

was found to be widely distributed among all the above-ground parts except the flowers. Particularly, high Rb concentration was found in seeds. Zinc was found to be widely distributed among all the above-ground parts. Particularly, high Zn concentration was found in seeds and the primary shoot (lower part). The accumulation of Zn into seeds of Miyakojima MG-20 was the highest. These results suggest usefulness of *Lotus japonicus* for phytoremediation of pollution by Tc, Sr, Rb, and Zn.

## 序論

昨今、都市部においては宅地開発が進み、工場跡地の土壌汚染が問題視されることも多い。また、農村部においてもカドミウムなどの重金属汚染土壌の問題がしばしばクローズアップされ、土壌環境の浄化が急務になっている。また、茨城県等で飲用井戸ヒ素汚染により周辺住民に重篤なヒ素中毒症が認められる事件の発生も記憶に新しい。これまでわが国では、イタイイタイ病や水俣病など、産業発展に伴う土壌、地下水、河川が重金属類に汚染や鉱山開発による農村土壌環境汚染がしばしば、人体に重篤な中毒症状を起こし、大きな社会問題となってきた。

現在、汚染土壌の浄化には、主に封じ込め、掘削除去、土壌洗浄が実施されているが、重金属類は有機化合物のように分解できないため、従来手法で完全に撤去することは不可能である。これに対し、近年、植物の環境修復作用を利用したファイトレメディエーション (FR) による土壌浄化が注目されてきている。FRは、安全かつ低コスト、省エネルギーであるものの、浄化能力が従来手法に比べて低く、早急に重金属類を除去することが困難であるため、より浄化能力の高い植物の探索が望まれている。

現在、FR産業では、すでにモエジマシダ (*Pteris vittata*) がヒ素浄化対策として使用され始めている。モエジマシダは、生長がはやく、草丈100cmにも生長し、高濃度ヒ素汚染土壌のみならず、低濃度ヒ素暴露土壌においてもヒ素を高濃度に集積するため、FR植物としては極めて優れている。しかし、シダ植物のような多年草植物は、浄化後、植物の繁殖をストップするためには植物全体を回収する必要がある、根を含む土を掘削しなければならない。FR産業は今後益々拡大すると予測され、将来的に多量の使用済FR植物が重金属類廃棄物となり、その処理が問題になると考えられる。そのため、われわれは、より廃棄物の少ないFR植物として、多年草植物ではなく、一年草の種子植物で、かつ種子に高濃度の重金属類を集積する植物を探索した。また、草丈の小さい植物をFR植物として利用すれば、1個体あたりの重金属集積能力が多少劣っても、汚染した土壌での栽培のみならず、汚染の恐れがある土壌で農作物を作らざるを得ない場合に、農作物とその植物を並行して栽培することにより、農作物を重金属集積から保護することが可能である。

本研究では、重金属類の中でも、特にヒ素、カドミウム、希土類元素、さらに、水銀およびセレンに着目し、併せて、原子力災害におけるホールアウト放射性核種であるセシウムやヨウ素に関しても注目して検討した。

本研究は、草丈の小さい種子植物で種子に重金属類を特異的に高集積する植物として、現在、塩基配列が決定され、マメ科のモデル植物と期待されているミヤコグサ (*Lotus*



*japonicus*) のMiyakojima MG-20を用いた。塩基配列が同定されている植物は、将来的に重金属集積メカニズムを解明していく上で有用であり、Miyakojima MG-20は、ミヤコグサの系統の中でも特に世代時間が2-3ヶ月と短く、1個体から習熟する豆果及び種子が多いことから個体数を増やす上で本研究に最適である。Miyakojima MG-20野生株は重金属類を集積する能力が不足しているが、変異株には重金属類高集積株を見いだせることが期待できるため、我々は、理化学研究所仁科加速器研究センターにおいて、重イオンビーム照射により作成した多種類のMiyakojima MG-20変異株を用いて、重金属類（ヒ素、セレン、水銀、カドミウム、希土類元素、セシウム、ヨウ素等）各々すべての取組及び集積を自ら作成したマルチトレーサー法で調べた。特に集積能力の高い変異株については、その代謝過程を自ら開発している複数分子同時イメージング装置GREIを用いたリアルタイムイメージングを行い、併せて元素濃度をICP-MS、放射化分析法などで定量し、高濃度土壌での栽培により耐性も明らかにして、FR植物の有力候補を選抜した。

## 実験方法と結果

理化学研究所のリングサイクロトロンを用いた重イオンビーム照射により突然変異を誘発させたミヤコグサ (Miyakojima MG-20) の種子 (M1 種子) から育成した、Miyakojima MG-20 変異株群 (M2 植物群) を作成した。Miyakojima MG-20 変異株群 (M2 種子群) から、生長のはやい変異株を 15 株選抜した。これらの植物に理化学研究所のAVF サイクロトロンを用いて金属箔 (Ag, Au) にプロトン照射することにより、マルチトレーサー溶液を作成した。

製造したRI (As, Se, Cd, Hg, 希土類元素、セシウム、ヨウ素群) を、各々滅菌した培土に添加し、土壌の違いや土壌の酸性度を変えることによる吸着過程の変化を詳細に検討した (報告書の英文論文)。

RI含有培土を入れたポットに、各M2種子を播種し、人工気象器を用いて約5ヵ月間栽培した。種子成熟後、部位別 (種子、さや、根、茎、葉) に採取し測定試料とし、測定した。また、各測定試料は、2日間乾燥後、高純度Ge半導体検出器で $\alpha$ 線測定した。

変異株のスクリーニング実験により特定した、各元素の集積能力の高い変異株について、各元素の耐性を調べ、低濃度から規制値以上の高濃度まで、濃度の異なる重金属を含有する培土を入れたポットに、各元素の集積能力の高い変異株を播種し、スクリーニング用株と区別して栽培するため新たに人工気象器を用いて栽培して、高濃度重金属含有土における変異株生存率を調べた。また、生存した変異株を、約5ヵ月間栽培した後、部位別 (種子、さや、根、茎、葉) を採取した。採取した種子、ならびに各部位の元素濃度を、ICP-MS法で定量し、各元素の集積率を調べた。併せて、複数分子同時イメージング装置でリアルタイム元素イメージングを計画中である。現在も解析を進めているが、主な水耕、土耕栽培による核種元素の取り込みを表に示した。

表Ⅰ 水耕栽培によるミヤコグサ (*Lotus japonicus*) における  
各種微量元素の取り込み (%)

系統 : Gifu B-129 及び Miyakojima MG-20

エネルギー (keV)	核種名	ミヤコグサ(全体)の取り込み率(%)			ミヤコグサ(地上部)の取り込み率(%)		
		ギフ 1W	ミヤコジマ 1W	ミヤコジマ 2W	ギフ 1W	ミヤコジマ 1W	ミヤコジマ 2W
596	As- 74	53	43	43	1.7	4.2	3.7
478	Be- 7	68	64	69	0	0.3	0.2
811	Co- 58	82	88	87	6.8	8.1	9.8
320	Cr- 51	66	51	59	0	0	0
1099	Fe- 59	67	45	49	0.1	0.3	0.4
835	Mn- 54	85	92	89	12.4	19.1	16.1
1275	Na- 22	23	18	16	2.8	6.7	5.8
882	Rb- 84	70	68	71	46.2	51.9	49.8
353	Rh- 99	60	46	46	0.3	0.2	0.1
497	Ru- 103	69	48	52	0	0	0
889	Sc- 46	63	54	64	0	0	0
265	Se- 75	72	65	59	1.8	3.7	3.6
514	Sr- 85	39	32	37	19.3	24.8	28.3
204	Tc- 95m	50	46	48	22.5	33.0	32.6
1312	V- 48	65	67	78	0	0.3	0
1836	Y- 88	71	63	69	0.1	0.6	0.5
1116	Zn- 65	81	87	81	47.0	48.3	52.6
393	Zr- 88	61	44	53	0	0	0

根も含めた全体での取り込み率はミヤコジマとギフとで差は見られない。種による違いはない。

しかし、根を除いた地上部の取り込み率で比較すると、ギフよりミヤコジマの取り込みの方が高い。

表Ⅱ 土耕栽培によるミヤコグサ (*Lotus japonicus*) における  
各種微量元素の取り込み (%)

系統 : Gifu B-129 及び Miyakojima MG-20

エネルギー (keV)	核種名	ミヤコグサ(全体)の取り込み率(%)		ミヤコグサ(地上部)の取り込み率(%)	
		ギフ	ミヤコジマ	ギフ	ミヤコジマ
596	As- 74	1.29	0.78	0.12	0.10
478	Be- 7	0.62	0.22	0	0
811	Co- 58	2.61	1.06	0.16	0.15
320	Cr- 51	1.39	0.69	0	0
662	Cs- 137	3.79	2.02	2.43	1.39
1099	Fe- 59	1.85	1.03	0.29	0.23
835	Mn- 54	3.40	1.84	0.93	0.09
1275	Na- 22	9.76	9.90	0.75	1.87
882	Rb- 84	20.50	14.65	17.03	11.28
353	Rh- 99	2.20	1.38	0.11	0.41
497	Ru- 103	1.76	0.85	0	0
889	Sc- 46	1.35	0.70	0	0
265	Se- 75	6.36	4.29	3.26	2.34
514	Sr- 85	2.97	1.85	2.24	1.53
204	Tc- 95m	18.75	61.29	15.06	55.37
984	V- 48	1.00	0.54	0	0
898	Y- 88	0.86	0.30	0.014	0.01
1116	Zn- 65	17.50	10.99	15.33	8.84
393	Zr- 88	1.50	0.74	0.007	0

土耕で栽培したミヤコグサは、水耕で栽培したミヤコグサと比較して取り込みが低い。

しかし、Tcのみ極めて高い集積を示した。

研究テーマ：ゾド(雪害)がモンゴル草原の生態系の安定性に及ぼす影響の解析

吉川 賢（岡山大学大学院環境学研究科）

要旨

2009年から2010年にかけての冬は、異常低温と大降雪（ゾド）によりモンゴル草原で遊牧畜が甚大な被害を受けている。地球温暖化による平均気温の上昇と異常気象の影響と考えられており、草原生態系の持続的管理のための安定性解析は温暖化の影響緩和対策に欠かせない。本研究では冬営地を調査地として取り上げて、放牧圧が植物種の出現被度に与える影響を解析した。

1. はじめに

(1) モンゴル国とは

モンゴル国の国土面積は156万km<sup>2</sup>で、人口は290万人。人口密度は極めて低く、都市部で1.6人/km<sup>2</sup>、農村部では0.6人/km<sup>2</sup>に過ぎない。しかし、人口はここ80年間で4倍に増加している。その結果、社会の様々な部分に複雑なひずみが生じている。

牧畜、遊牧がモンゴルの最も重要な伝統的な農業生産であるが、全人口の40%しかそうした伝統的な牧畜生産に従事していない。しかも彼らの生活スタイルも伝統的なものから大きく変化しつつある。

モンゴルはユーラシア大陸の内部にあるため寒冷乾燥な大陸性気候下であり、長く低温乾燥な冬と短くわずかな雨が降る夏が特徴である。ゴビ砂漠の一部にはほとんど全く降雨のないところもある。モンゴル国のほとんどの地域で、1年間の内250日以上が晴天で、11月から3月までの平均気温は氷点下である。冬の最低気温は-40℃以下になり、夏の平均気温はゴビ砂漠では40℃以上、首都ウランバートルでも33℃になる。

モンゴル国の60カ所で調べたところ、最近60年間で年平均気温が1.8℃上昇し、特に冬の気温上昇が顕著であった。夏の高温期間は8～18日間長くなっている。北部の山地では15～18日間も長くなっている。一方、冬の低温期間は平均13日短くなっている。山地やゴビ砂漠では20日以上も短くなっている。年降雨量は変動が大きく、秋から冬にかけての降雨量が4～9%増加し、春から夏の降雨量が7～10%減少した。降雨の地理的分布も変化しており、中央部では年降雨量が30～90mm減少し、西部では20～60mm増加、南西部では30～70mm増加した。一方、可能蒸発散量は7～12%増加した。

以上のように厳しい環境条件のために、タイガ林、ステップ草原、乾燥ステップ、農地、牧草地のいずれも厳しい環境ストレスを受け、生態系は不安定なものとなっている。そのため、国土の80%以上

は気候変動の影響を極めて受けやすい状態ある。上述のように温暖化が進むことで干ばつの危険が増すとともに、ゾド(dzud)と呼ばれる雪害の影響が深刻なものとなってきている。元々寒冷で厳しい環境条件の下で暮らしている人々であり、遊牧はその厳しく、変動性の高い環境と共存するために編み出された牧畜生産システムであり、長く彼らはその生活スタイルによってモンゴルの生態系と共存してきた。しかし、温暖化による急速な環境変化がその生産方式に大きな影響を与えつつある。たとえば、モンゴル国では1999、2000、2001、2002年の夏に厳しい干ばつが襲ってきて、国土の50~70%がその影響を受け、干上がった680の川と760の池を含めて、3000の水源地が失われた(Vavaa, 2004)。

## (2) モンゴルの家畜

モンゴルにおいて40%の人々しか伝統的な遊牧に関わっていないが、その生産物で残りの人々が暮らしている。モンゴル国の発展はこの遊牧に大きく依存していると言っても過言ではないし、モンゴルの草原は遊牧生産を持続させることができるものである。

牧畜に利用されるのは山地から半砂漠までの広い地域である。牧畜業とその生産物(肉とミルク)はモンゴル経済にとって極めて重要な産業である。牧畜生産物はモンゴル国の総輸出量の25%を占めている。モンゴルの社会経済体制は1990年に計画経済から資本主義経済に代わったことで、家畜頭数は急激に増加し、2009年には4530万頭に達した。

表1 家畜頭数の推移 (National Statistical Office of Mongolia, 2009)

Year	Number
2004	28.027.900
2005	30.398.800
2006	34.802.900
2007	40.263.800
2008	43.288.400
2009	45.378.600

遊牧民は1年間に4回、季節の変化に合わせて移動(冬、春、夏、秋)を繰り返す。家畜は主に5種類(ラクダ、ウシ、ウマ、ヒツジ、ヤギ)を飼育している。ウマとラクダは移動手段として、乾燥した糞は調理や暖を取るための燃料として利用する。在来の家畜は比較的小型で外来品種よりも生産性は低い。

ヒツジはモンゴルのあらゆる環境に適応できるように小型で、尻尾に大量の脂肪を蓄え、頑健で、筋肉がよく発達し、骨も丈夫で足も強くなるように品種改良がされてきた。そのため、モンゴルのどこでもヒツジを飼育することができる。と殺時の平均体重は23.5kgで、その48.1%が利用される。羊毛は

雄ヒツジ(ram)で1頭あたり1.52kg、雌ヒツジ(ewe)で1.23kg、子羊で1.0kgがとれる。雌ヒツジは6月から7月に35～40日間、1頭で29.7kgのミルクを生産する。そのミルクは6.35%の脂肪を含んでいる。

ヤギはヒツジよりも広く多様な環境に適応し、鋭い爪と強い足によって急斜面や岩場も登ることができる。そのため、岩の割れ目などに生育している草まで食べてしまうので、他の家畜と比べて環境に与える影響が格段に大きい。従来はヒツジが最も重要な家畜であったが、ここ10年ほどでヤギの頭数が大きく増加した。理由としてはカシミヤ生産とミルクや肉、毛皮といった副産物の需要が高まったことが挙げられていて、モンゴル経済には極めて重要な家畜となっている。その結果、現在ではヒツジよりも頭数は多くなり、1年間にモンゴル国では約3000トンのカシミヤが生産されている。ヒツジと同様に、ヤギも夏だけミルクを生産する。そのミルクは15.44%の脂肪を含んでいる。

モンゴルのウシは小型で体長は短く、体幅が広く、足は短い。180日間で平均750～800kgのミルクを生産するが、ミルクの生産量は決して高くない。1年間に66900～113600トンの牛肉が生産されている。

モンゴルのウマはどこにでもいるが、主にはステップで飼育されている。小型で筋肉がよく発達している。粗食に耐え、騎馬用に品種改良がなされてきた。年間34500トンの肉と800万リットルのミルクが生産され、2700トンの肉が輸出されている。

ラクダは主にゴビ砂漠にいて、森林ステップと高山帯に6%ほどがいる。飼料の多い間に背中の中のコブに脂肪を蓄え、厳しい環境に備えることができる。

### (3) 牧草地の状態

表2に示すように、国土の80%以上は草原であり、そのうちの97%は牧畜用である。草原は4月下旬から成長を開始し、8月に地上部現存量は最大となる。

表2 モンゴル国の植生区分

Land use	Percent (%)	Area km <sup>2</sup>
Total area		1 500 000
Rangelands	80.7	1 210 000
Forest	10.1	150 000
Agriculture land	1.8	27 000
Others	7.4	113 000

牧草の生産力は北斜面か南斜面かなどの地形や気象条件によって大きく異なる。牧草地の地上部生産量は山地、森林ステップ、ステップ、ゴビステップでそれぞれ 1050~1500 kg/ha、1150~1940 kg/ha、650~1300 kg/ha、290~380 kg/ha である (Tserendashi, 2000)。

夏場は必要な飼料の 90% が供給されているが、冬場は乾燥し、飼料としての質も低下するので、必要量の 60% しか供給されず、家畜の飼料が大きく不足しているという報告がある (Jigjidsuren, 2003)。家畜の体重は環境条件によって大きく変動し、それは飼料植物の生長にも影響するので、草原生態系に対する摂食圧を評価する際に家畜の体重は重要な因子となる。家畜は本来進化や育種の過程で環境ストレスに強いものとなっているが、それでも多数の成獣や幼獣が厳しい環境条件の基で死亡している。草の質や量の関係で、家畜の体重は夏に増え始め、秋に最大となる。一方、冬と春の低温と積雪、強風によって体重は著しく減少し、牧畜産業においてはこの時期の体重減少がボトルネックとなっている。

草原の現存量は毎年の気象条件で大きく変動する。草原の夏の現存量は、山地、ステップ、ゴビステップでそれぞれ 0.5~0.8、0.3~0.4、0.1~0.3 tons/ha (Tserendashi, 2000) である。

モンゴル国の天然草地は 128.8 百万 ha で、2823 種の植物が生育している(662 属、128 科) (Gubanov, 1996)。種組成からモンゴル国の草原は 5 つの相観に区分できる。すなわち、タイガ林、森林ステップ、ステップ、ゴビステップ(砂漠ステップ)、砂漠であり、それぞれの面積比は 4.1%、25.1%、26.1%、27.2%、14.5%となる。ステップの割合が高いことがモンゴル国の特徴である。

#### (4) 伝統的な遊牧

伝統的に牧民は常により牧草を求めて移動している。ウマやラクダを飼育している牧民とヤギやヒツジを飼育している牧民に分けることができる。両者は多くの特別な伝統的な技術を使って、できるだけお互いが離れるようにしている。1 シーズンの内に何回か移動して、草原を回復させながら利用する場合、そうした移動を otor と呼ぶ。Otor では宿営地を移動させることはなく、数名の牧民によって宿営地から 15~20km ほど離れた場所まで比較的速い速度で家畜を移動させる。この移動によって家畜は太って、生産性が向上する。しかも、生態的には、草原の劣化を防ぎ、家畜の頭数を草原の可能飼育頭数に近いものにする効果がある。

#### (5) 近代的な遊牧

モンゴルに市場経済が導入されたことで、牧民の生活スタイルも影響を受けている。しかしウランバートルが大きく変化したのに対して、牧民はなおそこから遠く離れたところで生活しており、インフラ整備の遅れや、市場へのアクセスの悪さなどによって開発は極めて低い状態にとどまっている。そうした開発の跛行性が草原の持続性や遊牧の持続性に深刻な影響を与えている。

1 年中ほとんどの期間家畜は十分な飼料を摂食するために大変広い牧草地の中を移動し続ける。そうすることで摂食圧が特定の地域に偏ることを避けてもいる。したがって、たいていの草原はほぼ同じ摂

食圧を受けているが、冬営地の周りの草原だけはそうならない。すべての冬営地は冬から春先に吹く強く冷たい北西の季節風を避けるために、南東向きの山陰の緩やかな傾斜地に設営されている。最近ではほとんどの冬営地が電気が引ける場所や都市の周りに集中する傾向がある。春と夏を過ごす夏営地は標高の高い平地で水場のあるところとなるが、畜舎(pen)を建てることはない。

## (6) 草原の劣化

モンゴルの草原劣化の理由として次のものがあげられている (Tserendash and Tserendeleg, 2000)。家畜頭数の増加。中央部への集中。牧民数の増加。農地の増加と土地の耕作。道路網の集中。ソム政府の稚拙な管理によるよりよい牧草地への牧民の移動。動力井戸数の減少による中央への集中。土地や草原の保全に関する法整備の遅れ。草原管理技術の変化・劣化。牧民の移動性の減少。自然条件。砂漠化。

モンゴル国の草原全体での飼育可能な最大頭数は 6000~7000 万頭と推定されており (Jigjidsuren and Johnson, 2003)、現在の家畜頭数 4530 万頭と比べると、牧畜のためにはまだ頭数を増やすことが出来るように思われる。しかし、一方で 1990 年から経済体制が上述のように変化したため、遊牧民たちはウランバートルのような大都市の周辺や幹線道路の周辺に集まる傾向が高くなってきている。そうすることで家畜や生産物の販売が容易になり、社会的なサービスも受けやすくなる。そのため、そうした地域では家畜の摂食圧が高まって植生構造に大きな変化が起こっている。長期間にわたる過放牧によって地上部、地下部の生物量を利用し尽くすことになり、草原生態系は荒廃し、各地の飼育可能頭数は著しく減少している。摂食による植生構造の変化は植物の生活形とその植物の可食性によって異なっている (Stenberg et al. 2000)。

植物の機能タイプ(Plant functional type, (PFT))は、摂食圧など生物的、非生物的要因に対する反応による非系統学的な分類である(Lavorel et al 1997, Smith et al. 1997)。したがって、PFTは植物群落の環境変動に対する反応の定量的評価のために広く用いられている。植生劣化のプロセスは優占するPFTの変化によって確認できる。たとえば、過放牧によって1年生草本が増加し、同時に多年生植物が減少する (McIntyre and Lavorel, 2001; Pakeman, 2004; Diaz et al; 2007)。そうした変化についてモンゴル草原での研究がいくつか行われている(Fernandez-Gimenez and Allen Diaz, 1999, 2001; Sasaki et al., 2005, 2007)。

## 2. 本研究の目的

摂食圧に伴うPFTの変化パターンの類型化と環境条件の変化を示唆できる指標植物種の特定、それらの結果の北から南までの気候条件の違いによる変化を明らかにすることを目的とする。摂食圧が増加するほど可食性の多年生植物から被食性の1年生植物へとPFTは変化すると予測される。

### 3. 材料と方法

#### (1) 調査地

冬の間中、すべての家畜は、夜間は冬営地の中の家畜小屋に入れて乾いた草を与えられる。朝になれば冬営地の周りの草を食うために放される。しかし、冬営地にいる期間が長くなると周りの草が減るので、乾いた栄養豊かな飼料を食べるためには長距離を移動しなければならないので、冬営地の周りは過放牧となり、離れるほど放牧圧は低くなる(図 1)。つまり、放牧圧は冬営地からの距離によって定量化できる。

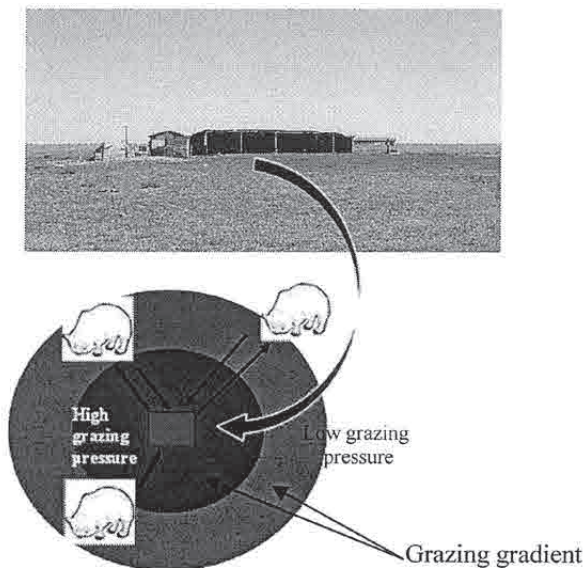


図1 冬営地とその周辺の草原における摂食圧

北 (Darkhan city, N 49 24.853; E 105 58.757)から南 (Mandalgobi, N 45 47.319; E 106 10.192)までに21の冬営地を選んだ(図2)。北と南の冬営地の気象条件を表3に示す。北は高温湿潤で、南は低温乾燥な気象条件となっている。それぞれの冬営地での家畜頭数、その種類の比率、冬営地利用の期間などについて牧民への聞き取りを行った。家畜頭数はヒツジの頭数に換算して求めた。ヒツジ頭数への換算率はモンゴル国国立統計局の基準 (7.0, 5.0, 6.0, 1.0, 0.9;ウマ、ラクダ、ウシ、ヒツジ、ヤギ) にしたがった。

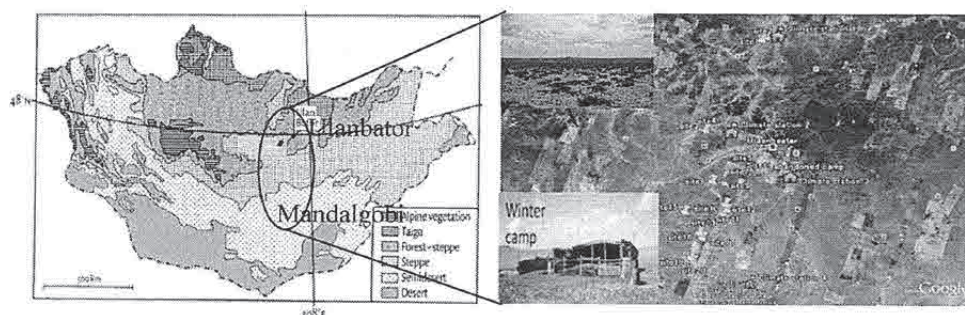


図2 冬営地の位置



表3 冬営地の気象条件

Place name	Air temperature, °C			Wind velocity, m/c		Relative humidity, %			Precipitation /mm/
	max	min	average	average	max	average	min	max	
Darkhan	36.2	-33.9	16.2	1.9	8.8	60.7	44.4	81.6	338.9
Hustai	31.0	-29.8	12.3	2.5	7.2	54.7	38.6	71.8	322.4
Zuunmod	30.5	-27.9	13.4	3.1	10.3	55.1	39.0	74.8	261.0
Mandalgobi	34.2	-24.3	19.7	5.3	12.2	44.0	27.5	66.0	84.6

Explanation: Darkhan station -Site 19-20; Hustai station- Site 16-18 Zuunmod station- Site 0-4; Mandalgobi station- Site 5-15

## (2) 調査方法

野外調査は2009年と2010年の7月から8月に実施した。それぞれの冬営地の中央から3本のラインを引き、それぞれのライン上で冬営地からの距離が25m、50m、100m、200m、400m、800m、1600mの位置にプロットを設置した。したがって、プロット総数は441個(3ライン×7プロット×21冬営地)となった。1つのプロットの中に4つのサブプロットを設置したので、サブプロット数は1764個となった(図3)。それぞれのサブプロットで植生調査(種毎の植被率、最大植物高)を実施した。

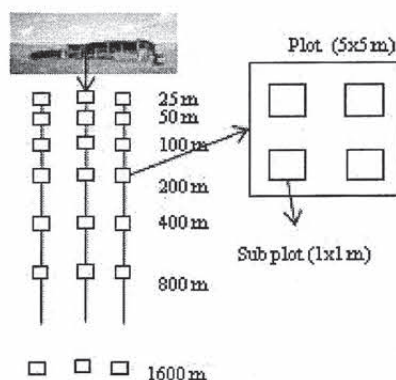


図3 各冬営地での調査プロットの配置

## (3) データ解析

摂食圧勾配に沿ったPFTの植被率の変化が家畜頭数や冬営地の利用期間と関係するかどうかを調べた。まずすべての植物は4つの生活形(1年生イネ科草本、1年生のイネ科以外の草本、多年生草本、多年生のイネ科以外の草本)に区分した。調査プロットは植被率と種組成を用いて要因分析をした。それぞれの植物の可食性は牧民への聞き取りと“*Forage Plants of Mongolia*” (Jigjidsuren and Johnson, 2003)によって判断した。

## 4. 結果と考察

### (1) それぞれの冬営地での種組成と出現頻度

全調査地で総計 82 種、53 属、24 科の植物が出現した(表 4)。そのうち、*Compositae* 科 (13 種、出現割合 15.9%)、*Poaceae* 科(11 種、13.4%)、*Fabaceae* 科(8 種、9.8%)が最も多く出現した科である。*Artemisia* 属では 8 種、*Potentilla* 属、*Caragana* 属、*Stipa* 属では 3 種かそれ以上が出現した。

表 4 出現した種とその平均被度 (pp. 48-50に掲載)

最も高い割合で出現した種(21 の冬営地すべてで出現)は *Chenopodium acminathum*, *Salsola collina*, *Agropyron cristatum*, *Stipa krylovii*, *Carex pediformis*, *Artemisia adamsii*, *Artemisia frigida*, *Caragana microphylla*, *Caragana stenophylla* であった。大変毒性の強い *Poaceae* 科と *Fabaceae* a 科の種もすべての 21 の冬営地に出現した。

## (2) 植物の嗜好性

それぞれの植物種が飼料として有用であるかどうかは植物の可食性(palatability)で決まる。可食性を 5 段階(preferred (P)、desirable (D)、consumed but undesirable(U)、not consumable(N)、toxic(T))に分類し、生活形との関係を表 5 に示す。82 種の内 26 種が P か D となり、35 種が U か N で、2 種が T となった。特に 1 年生草本はほとんどが嗜好性が低く、多年生草本の嗜好性が高かった。多年生のイネ科草本と灌木はともに、嗜好性の高いものもあれば、嗜好性の低いものもあった。

表 5 生活形と嗜好性

Plant palatability	Life form			
	Annual	Perennial		
		Grass	Herb	Shrub
Preferred		4	5	1
Desirable	1	5	8	2
Undesirable plant	5		13	3
Not consumable	5		7	2
Toxic			2	
No data			2	1
Unknown species	2	2	12	
Total (82)	13	11	49	9

## (3) 種構成による冬営地の区分

TWINSPAN を用いて、各冬営地の種組成と植被率と基にクラス分けを行ったところ、7つのグループに分けることができた(図 4)。それらは *Allium odorum* と *Cleistogenes squarrosa* を指標植物とするグループ(第 1 グループ)と *Heteropapus hispidus* と *Leymus chinensis* を指標植物とするグループ(第 2 グループ)の 2 つの大きなグループにまとめることができた。第 1 グループにはナンバー 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 の冬営地が含まれ、第 2 グループはナンバー 0, 1, 2, 3, 4, 16, 17, 18, 19, 20 の冬営地

が含まれていた。図 4 の右側の地図で示すように南(ゴビステップ)と北(ステップ)にある冬営地がそれぞれ別のグループに分かれた。北の冬営地では 59 種が出現し、南の冬営地での出現種数は 28 種にとどまり、北に行くほど生物多様性は高いことが分かった(表 6)。しかし、種組成やその嗜好性には大きな違いは認められなかった。つまり、どちらの地域においてもすべてのイネ科草本は高い嗜好性を示し、1 年生草本の嗜好性は低かった。

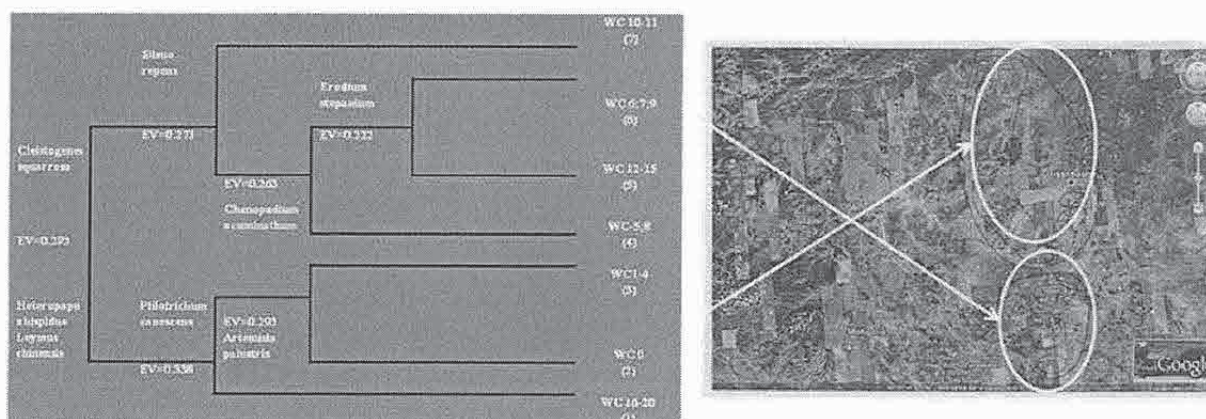


図 4 冬営地の区分

表 6 北と南の冬営地に出現した種数とその PFT と嗜好性

PFT	Plant palatability	Species number	
		North area	South area
Annual	P		
	D	1	
	U	4	1
	N	5	2
	T		
	No data		
Grass	P	4	2
	D	5	2
	U		
	N		
	T		
No data			
Herb	P	4	1
	D	6	3
	U	12	6
	N	6	3
	T	2	2
	No data	1	
Shrub	P	1	1
	D	2	2
	U	3	2
	N	2	1
	T		
No data	1		
<b>Total</b>		<b>59</b>	<b>28</b>

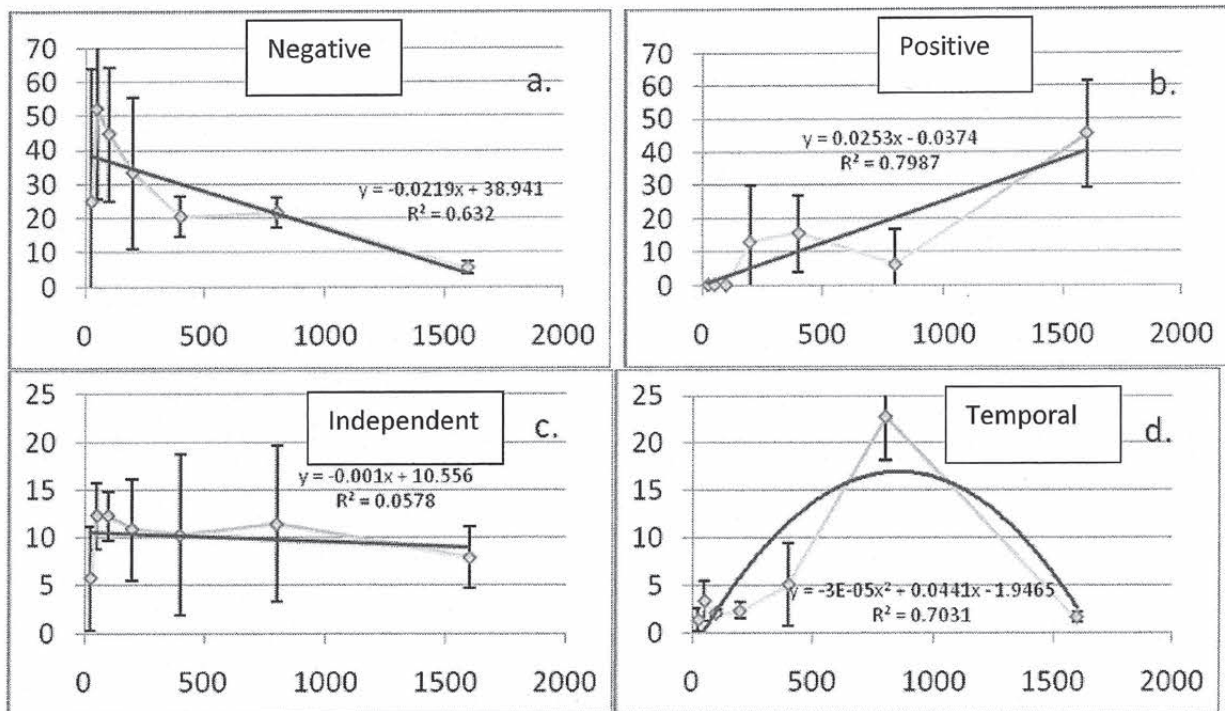
更に 7 つのグループについてその指標となる植物を挙げると表 7 のようになる。それぞれで指標となる植物は異なるが、その種の出現する位置は冬営地に近い部分(25~100m)と、冬営地から遠い場所(800~1600m)に分けることができた。すなわち、高い放牧圧を受けた場合に出現する種と放牧圧が極めて低い場合に出現する種の組み合わせがそれぞれの場所の種組成やその頻度の類似性を決めていることが明らかとなった。

表 7 7 つのグループの指標植物

Groups	Camps	Species	Distance(m)	PFT
1	16-20	<i>Artemisia macrocephala</i>	25-50	annual
		<i>Chenopodium acuminatum</i>	50-100	annual
		<i>Leymus shimensis</i>	50-100	grass
		<i>Artemisia frigida</i>	100-1600	shrub
		<i>Caragana stenophylla</i>	400-1600	shrub
2	0	<i>Chenopodium acuminatum</i>	25-50	annual
		<i>Urtica cannabina</i>	25-50	herb
		<i>Rheum undulatum</i>	25-50	herb
		<i>Artemisia adamsii</i>	50	shrub
		<i>Leymus chinensis</i>	200	grass
3	1-4	<i>Caragana microphylla</i>	200-1600	shrub
		<i>Chenopodium acuminatum</i>	25-1600	annual
		<i>Urtica cannabina</i>	25-50	herb
		<i>Leymus shimensis</i>	50-100	grass
4	5;8	<i>Caragana microphylla</i>	800-1600	shrub
		<i>Achnatherum splendens</i>	25-50	grass
5	12-15	<i>Achnatherum splendens</i>	25-50	grass
		<i>Chenopodium acuminatum</i>	50-200	annual
		<i>Salsola collina</i>	200-800	annual
		<i>Artemisia frigida</i>	200-400	shrub
6	6;7;9	<i>Caragana microphylla</i>	400-1600	shrub
		<i>Chenopodium acuminatum</i>	200-1600	annual
		<i>Salsola collina</i>	200-1600	annual
		<i>Allium Mongolicum</i>	200-1600	herb
7	10;11	<i>Caragana microphylla</i>	100-1600	shrub
		<i>Peganum nigelastrum</i>	25-50	herb
		<i>Achnatherum splendens</i>	50-200	grass
		<i>Caragana stenophylla</i>	200-1600	shrub

#### (4) 冬営地からの距離に伴う種組成の変化

摂食圧の変化による種組成の変化を調べるために、冬営地からの距離とそれぞれの種の植被率の関係を求めたところ、図5に示すような4つのタイプが認められた。すなわち、冬営地に近いほど植被率が高く、冬営地から離れるほど直線的に植被率が減少するもの(負の相関タイプ)。冬営地から離れるほど植被率が直線的に増加するもの(正の相関タイプ)。冬営地からの距離があるところで最大となり、それよりも近くても遠くても植被率が減少するもの(特定箇所タイプ)。冬営地からの距離は関係しないもの(無関係タイプ)。



Relationship types: a-negative; b-positive relationship; c-independent relationship; d-temporal relationship

図5 冬営地からの距離による植被率の変化

PFT とこの 4 つのタイプ(植被率の変化型)の関係を表⑧に示す。嗜好性の低い 1 年生草本は負の相関タイプや無関係タイプが多く、嗜好性の高いイネ科草本は正の相関タイプが多かった。イネ科以外の場合、嗜好性にかかわらず正の相関タイプが多く、負の相関タイプはごくわずかしか認められなかった。しかもそれは嗜好性の低いものであった。すなわち、嗜好性の高い植物は冬営地に近いほど高い摂食圧を受けて植被率が低くなり、摂食圧と反比例するように、冬営地から遠ざかるほど出現割合が多くなる。反対に、嗜好性の高い種が高い摂食圧の基で消失した後を、嗜好性の低い種が占めるようになるために、嗜好性の低い種は冬営地の近くに多く出現するようになっていることが明らかとなった。

表 8 PFT と植被率の変化型の関係

Relation	Annual		Perennial						
			Herb		Grass		Shrub		
	P	UP	P	UP	P	UP	P	UP	
Negative		2		1	1				
Positive			5	6	6		3	1	
Independent	1	7	20	10	3			4	
Temporal		2	2	4	2			2	
Total (82)	1	11	27	21	12		3	7	

Preferred and desirable- Palatable (P), Undesirable, not consumable and toxic-Unpalatable (UP).

北のグループと南のグループで比べると、表9に示すように、北では無関係タイプが多く、南では正の相関タイプが多くなっていた。南の方が放牧庄の影響で草原の劣化が進んでいる可能性を示唆するものである。

表9 北と南のグループでの植被率の変化型の出現割合

	Relative	Percent %
	North	Negative
Positive		13.3
Independent		65.4
Temporal		16.0
South		Negative
	Positive	57.1
	In dependent	14.3
	Temporal	14.3

次に表 10 にそれぞれの種について北と南での植被率の変化型を示す。*Achnatherum splendens* や *Artemisia scoparia* のように、北と南で同じ変化型を示すものと、*Caragana stenophylla* や *Chenopodium acuminatum* のように北と南で全く反対の変化型を示すものがあった。*Chenopodium acuminatum* はほとんどの冬営地に出現し、北ではすべての位置で、南では 50m 以遠に出現した。嗜好性は低く、冬営地で植被率 90% を超えるところもあった。

表10 北と南での植被率の変化型

		North area			
		Negative	Positive	Independent	Temporal
South area	Negative	<i>Achnatherum splendens</i>	<i>Caragana stenophylla</i>	<i>Heteropapus hispidus</i>	<i>Cleistogenes squarrosa</i>
	Positive	<i>Chenopodium acuminatum</i>	<i>Stipa krylovii</i> , <i>Caragana microphylla</i>		
	Independent	<i>Potentilla bifurca</i>	<i>Artemisia frigida</i>		<i>Artemisia adamsii</i> , <i>Leymus chinensis</i> , <i>Convolvulus ammanii</i> , <i>Carex pediformis</i>
	Tempora				<i>Artemisia scoparia</i> , <i>Salsola collina</i>

## 5. 結論

82 種という多数の植物が出現したが、どの場所にも出現する植物も多く、その中には毒性の強い植物も多くあったことは、モンゴルの草原はどこも強い摂食圧を受けていることを示唆するものであった。それぞれの植物の嗜好性は大きく異なるが、われわれが一般的に想像するのとは逆に、1 年生草本の嗜好性は低く、多年生の植物が好まれていた。特に多年生のイネ科草本は嗜好性が高く、モンゴルでの遊牧は多年生のイネ科草本が支えていると言える。

それぞれの冬営地における種組成を基に冬営地を分類したところ、北と南に 2 分されたことは、植物の種構成は降雨量のような気象条件と強い相関を持っていることを示唆するものである。出現種数は北に行くほど多くなり、生物多様性は南から北へと高くなっていったが、植物の嗜好性には北と南で違いは認められなかった。

それぞれの冬営地の特徴を表す植物種は放牧圧の強い冬営地に近い場所に出現する植物と、冬営地から遠いところに出現する植物の組み合わせであることが明らかとなったので、今後はその種の組み合わせの地域的な変化についての解析を進める予定である。

冬営地からの距離による植被率の変化を種毎に求めると 4 つのタイプに分類できた。それぞれ嗜好性と強い相関を示したが、北と南で全く違う反応を示す種も出現した。他種との関係が変化の仕方に影響しているものと考えられるので、今度はこうした北と南で変化型に違いのある種を取り出して、出現被度の変化と冬営地の利用期間などについての解析を進める予定である。

ゾドが起こる前と後で、冬営地の植生にどのような変化があったのかを明らかにするために、2010 年の夏にも前年と同様の調査を行い、そのデータの解析を進めている途中である。結果が出てくれば、ゾドによる家畜頭数の減少が 1 年生草本や多年生植物に与える影響、嗜好性の違う植物に与える影響などが明らかになると期待される。

## 6. 引用文献

1. Fernandez-Gimenez, M, and Allen-Diaz, B., (2001) Vegetation change along gradients from the water sources in free grazed Mongolian ecosystem. *Plant ecology* 157, 101-108
2. Gubanov, S. *The key book of Mongolia.*,(1996), Ulaanbaatar, Mongolia
3. Jigjidsuren,S. and Johnson, A. (2003) Forage plants in Mongolia, Ulaanbaatar
4. Lavorel, S. Sandra Dhaz., J. Hans, C. Plant functional types; Are we getting any closer to the Holy Grail, *Journal of Ecology* 45, 144-156
5. McIntyre, S. Lavorel.D, (2001), Livestock grazing in subtropical pastures: steps in the analysis of attribute response and plant functional types. *Journal of Ecology* 89, 209-226
6. National statistical office information, (2009)
7. Sasaki, T., Okayasu, T., Jamsran. U., Jadambaa, S., 2005. Quantifying the resilience of plant communities under different grazing intensities in degraded shrub land: a case study in Mandalgobi, in Mongolia. *Grassland science* 53,192-195
8. Stenberg, M. Gutman, M, et al Vegetation response to grazing management in Mediterranean herbaceous community: functional group approach. *Journal of Applied Ecology* 37, 224-237
9. Tserendashi, G. Pasture condition of Mongolia, 2000. research report , Mongolian National Scientific Academic journal, 25; 18-30
10. Tserendashi, S and Tserendeleg, J. (2000) Pasture condition, protection and use in Hustai Natianal Park and its bufferzone. Ulaanbaatar, Hustai National park adminisdration, MACNE.



表 4 出現した種とその平均被度

Life forum	Family name	#	Species name	Species average cover in each winter camp (%)																				
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
annual	Boraginaceae	1	Lappula sp	0		0	0																	
	Brassicaceae	2	Dontostemon integrifolius (L.) C.A.				0													0	0		0	
		3	Chenopodium acuminatum Will.	8	12	6	1	0	2	12	9	2	10		4	2	1	0	23	22	36	5	6	
	Chenopodiaceae	4	Chenopodium album L.									2												
		5	Chenopodium sp																	5				
		6	Salsola collina Pall.	1	0	0	0	0	2	0	1	1	1		0	1	0	0	1	0				
		7	Artemisia palustris L.	0																				
	Compositae	8	Artemisia pectinata Pall.																			0		
		9	Artemisia macrocephala Jacquem.																	1	0			
	Geraniaceae	10	Erodium stephanianum Willd.	0	0	0														0				
	Papaveraceae	11	Chiazospermum erectum L.			0																		
	Rosaceae	12	Chamaerhodos erecta (L.) Bge.	0		0	0															0		
	Ranunculaceae	13	Leptopyrum fumaroides (L.) Reichb.				0																	
		14	Achnatherum splendens (Trin.) Nevski.						5	2	2	8	0	0	1	1	0	1		1	0	0	0	
grass		15	Agropyron cristatum (L.) P.B.	1	1	2	0	0	0	0	0	0		0		0	0	0			3	3		
		16	Cleistogenes squarrosa (Trin.) Keng.	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0		0	0	3	0	0	
		17	Koeleria macrantha (Ldb.) Schult.	0		0																		
	Poaceae	18	Leymus chinensis (Trin.) Keng	0	2	0														2	0		1	
		19	Poaceae sp											0										
		20	Poa botryoides Trin.		0		0																	
		21	Poa sp	0		0									0	0		0					0	
		22	Stipa baicalensis Roshev.																	0	0			
		23	Stipa sibirica (L.) Lam.																				1	0
		24	Stipa krylovii Roshev.	0	0	0	1	0	0						0	1	0	1	0	1	1	1	4	
	Brassicaceae	25	Brassicaceae sp		0	0	0																	
		26	Ptilotrichum canescens C.A. Mey.	0	0	0	1	0							0	0		0						
		27	Arenaria capillaris Poir.															0						
	Caryophyllaceae	28	Silene repens Patr.																				0	
	29	Stellaria dichotoma L.																0						
Chenopodiaceae	30	Kochia prostrata (L.) Schrad.															0					0	3	
Compositae	31	Artemisia sp																				0		
herb		32	Heteropappus hispidus (Thunbg.) Less.		0	0	1	0	0	0	0	0		0	0	0		0	0	0	0	1	0	



Urticaceae	71	<i>Urtica cannabiana</i> L.	1								0					0			1			
Unknown	72	unknown	0			0		0		3										1		
	73	unknown1	0			0		0		0										1		
Compositaceae	74	<i>Artemisia adamsii</i> Bess.	1	8	4	26	1	1	0		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6	
	75	<i>Artemisia frigida</i> Willd.	0	0	1	1	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	14	9
	76	<i>Artemisia mongolica</i> Fisch. ex Nakai																			0	
	77	<i>Artemisia scoparia</i> Waldst. et Kit.	1	1	1	0	0				1								0	4	1	1
Fabaceae	78	<i>Caragana leucophylla</i> Pojark																		0	0	
	79	<i>Caragana microphylla</i> (Pall.) Lam.	11	3	5	0	2	6	2	4	4	3	0	8	5	1	4	11	1	4	5	3
	80	<i>Caragana stenophylla</i> Pojark.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Rutaceae	81	<i>Haplophyllum davuricum</i> (L.) G. Don.						0														
Scrophulariaceae	82	<i>Thymus gobicus</i> Tschern.			0																	

shrub

# 植物特異的なアルミニウム活性化型リンゴ酸輸送体

## ALMT タイプ蛋白質の機能多様性を応用した 環境ストレス耐性植物の作出

岡山大学 資源植物科学研究所

研究代表者 佐々木 孝行

共同研究者 森 泉

山本 洋子

### 1. はじめに

根の生育が阻害される土壌は不良土壌と呼ばれる。不良土壌は、土壌の化学性や物理性が根の生育に不適切なものであり、その代表的なものの一つが酸性土壌である。酸性土壌は、世界の農耕可能地の30%から40%を占める。酸性土壌は主に熱帯・亜熱帯に分布するが、日本もまた火山灰性の酸性土壌（黒ボク土とよばれる）が畑作地の半分を占める酸性土壌地帯である。酸性土壌での主要な阻害因子は土壌中のアルミニウム（Al）イオンである。Alは土壌鉱物を構成する最も多い金属元素であり、土壌の酸性化に伴ってAlイオンとして土壌水中に溶解し、根に吸着することによって生育を阻害する。その際、根の輸送体を介した養分吸収も阻害されてしまう。Alイオンの根の生育阻害効果は顕著であり、根の伸長はわずか数 $\mu\text{M}$ から数十 $\mu\text{M}$ のAl濃度で数時間以内に停止する。

また、温暖化によると考えられる干ばつ問題は、世界中各地で作物の生育に深刻な影響を与えている。乾燥ストレス下で適切な水分が補給されないと、細胞は水を失い植物はしおれる。

私たちが人口に見合うだけの食糧を確保し、さらに増産を望むならば、不良土壌や乾燥ストレス下での作物の成長を促進して、生産性を上げなければならない。そのためには、作物生育阻害因子を明らかにし、阻害因子に強い作物の創生が望まれる。

本研究課題では、酸性土壌耐性を克服するための遺伝子として単離されたALMT1 (aluminum-activated malate transporter 1, 「アルミニウム活性化型リンゴ酸輸送体」と、その相同遺伝子の様々な生理的な機能を明らかにし、さらなる遺伝子機能の改良と発現制御により、植物に環境ストレス耐性を付与することを目的としている。

本稿においては、酸性土壌における阻害因子である Al イオンへの耐性機構とそれに関わるイオン輸送体の研究とそれに基づく分子育種の例を紹介し、さらに ALMT 輸送体ファミリーが、Al 耐性だけではなく気孔閉口運動に関与することを明らかにした研究成果について述べる。

## 2. 植物のもつ Al 耐性

植物の Al 耐性機構の一つとして、根から有機酸を放出する機構が最も良く知られている。根圏に放出された有機酸は Al イオンとキレートをつくり無毒化するため、植物は Al 耐性を獲得する。これを Al の排除による耐性機構という。植物種によっては、細胞内で発生した活性酸素の消去による耐性、または植物体内に入った Al を有機酸やフェノール性の化合物等でキレートし無毒化する耐性もあるがここでは割愛する。

Al 排除機構である有機酸放出を中心に解説すると、Al に応答して放出される有機酸は植物種によって異なっている。コムギやシロイヌナズナは主にリンゴ酸、トウモロコシやダイズ、タバコはクエン酸、ソバはシュウ酸などの例が挙げられる。Al によりコムギの根からリンゴ酸が放出されることは、1986 年に日本の 2

つの研究グループによって初めて報告された(北川ら 1986, 小島ら 1986)。彼らは Al 感受性よりも Al 耐性のコムギの根からリンゴ酸の分泌量が多いことを報告し、これがコムギの Al 耐性と深く関わっていると推測していた。さらに、オーストラリアの研究者 Delhaize らが 1993 年に Al 耐性度の異なるコムギ準同質遺伝子系統(詳細は用語解説を参照)の ET (Al 耐性)

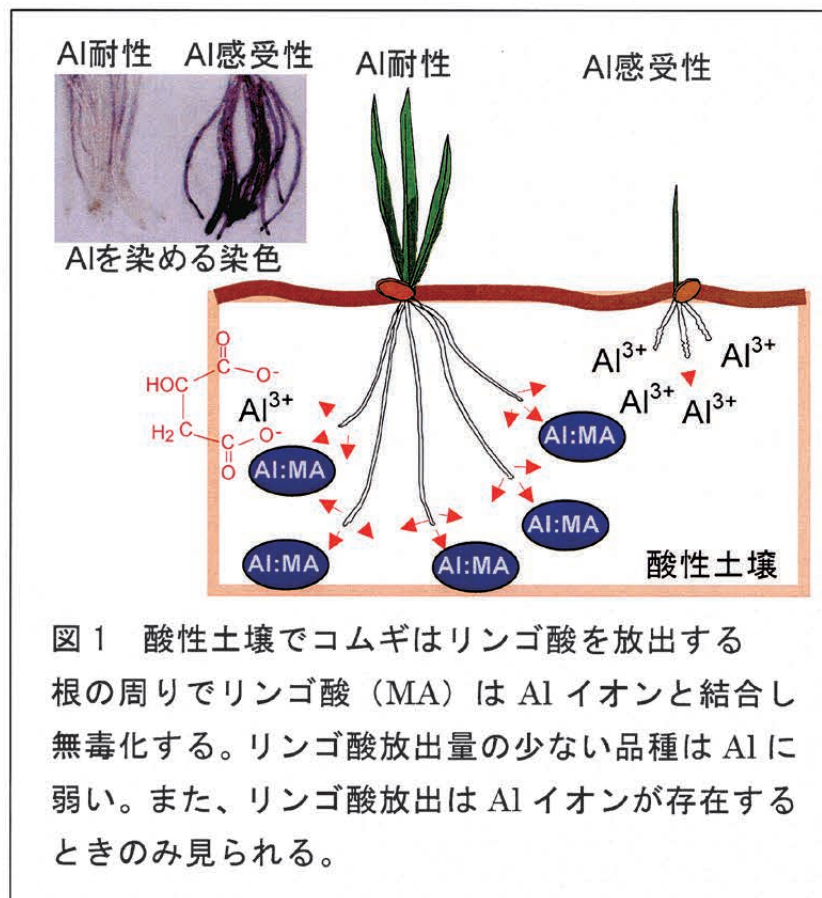


図1 酸性土壌でコムギはリンゴ酸を放出する根の周りでリンゴ酸 (MA) は Al イオンと結合し無毒化する。リンゴ酸放出量の少ない品種は Al に弱い。また、リンゴ酸放出は Al イオンが存在するときのみ見られる。

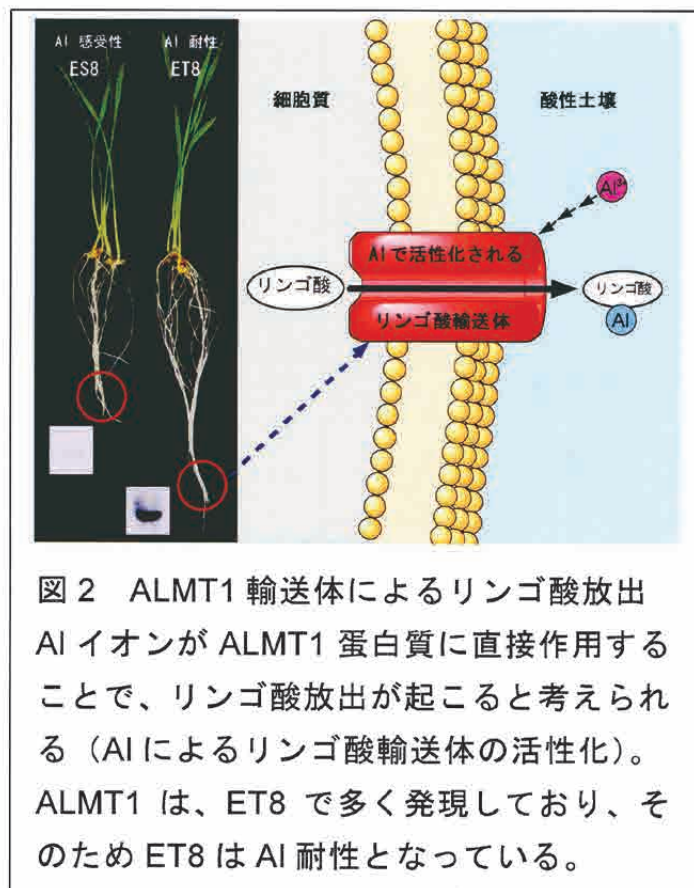
と ES (Al 感受性) を用い、根端特異的なリンゴ酸の放出の能力に違いがあることを初めて報告した (図 1) (Delhaize et al. 1993a, Delhaize et al. 1993b)。この準同質遺伝子系統を用いて、彼らはさらに詳細な解析を行い、リンゴ酸の放出が Al で活性化されるイオン輸送体を介して行われること明らかにした。そして、このコムギのリンゴ酸放出能を制御する遺伝子座 (染色体上の遺伝子のある場所) を *Alt1* と名付けた。しかし、*Alt1* 遺伝子の構造や機能、遺伝子座位 (実際にどの染色体のどの位置にあるか) については長い間不明であった。

### [用語解説]

ここで紹介した準同質遺伝子系統は、Al 耐性品種 (Carazinho) を供与親とし、感受性品種 (Egret) を反復親として数回の戻し交雑を行うことによって作られたもの。この Al 耐性度の異なる準同質遺伝子系統はこれ以降の Al の研究において極めて重要な研究材料となった。8 回の戻し交雑を行ったものを ET8 および ES8 と名付けている。

### 3. Al 耐性遺伝子の発見

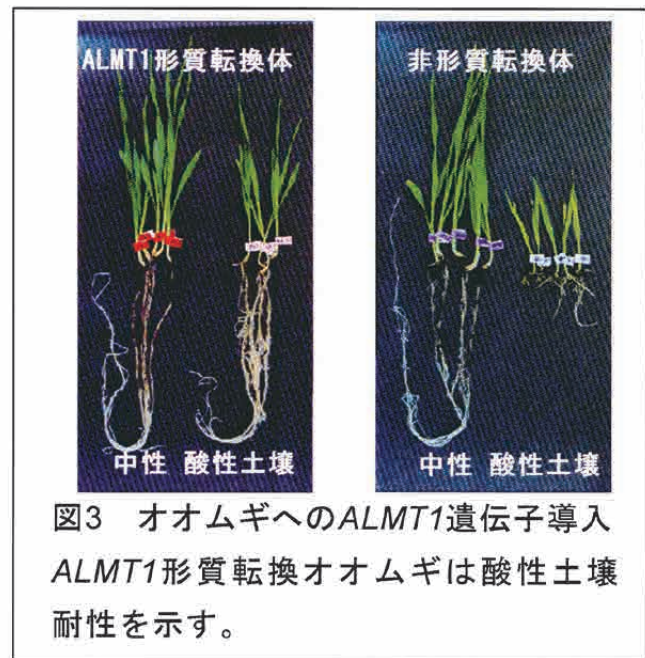
私たちは、前述の準同質遺伝子系統のコムギ ET8 (Al 耐性) と ES8 (Al 感受性) において「発現している遺伝子の差」を調べる方法により、ET8 に特異的に発現している遺伝子の単離に成功した。この遺伝子は、後述の機能解析の結果から、Al 活性化型リンゴ酸輸送体 (aluminum-activated malate transporter) であることが明らかとなり、*ALMT1* と名付けられた。*ALMT1* 遺伝子は Al 処理の有無とは関係なく、根端部分特異的に常に発現している遺伝子である (Sasaki et al. 2004)。



さらに解析を進めると、ALMT1 輸送体を介したリンゴ酸の放出は、Al により活性化されることが様々な実験で証明された (図 2) (Sasaki et al. 2004)。これは、

コムギの根で観察された現象と一致しており、*ALMT1* 遺伝子こそが、長い間不明であったがコムギの Al 耐性遺伝子 *Alt1* そのものであることが明らかとなった。

次に、コムギよりも Al 耐性度が低いオオムギに *ALMT1* 遺伝子を導入した。この形質転換体では、根端において Al に依存した高いリンゴ酸放出がみられ、Al 耐性を示すと共に、酸性土壌での生育が大きく向上することが解った (図 3)。これより、コムギの *ALMT1* 遺伝子がオオムギにおいても酸性土壌への耐性を付与できることが証明された (Delhaize et al. 2004)。



#### 4. *ALMT1* 輸送体の Al 活性化機構

前述のように、*ALMT1* 輸送体は Al イオンで輸送が活性化されることが分かっている。Al イオンで活性化される輸送体の例はこれまではなく、大変興味深い特徴である。

一般に、蛋白質を構成するアミノ酸は 20 あるが、そのうちの酸性アミノ酸 (アスパラギン酸、グルタミン酸) のカルボキシル基が Al イオンと結合しやすい性質を示すことから、*ALMT1* 蛋白質の細胞外にある C 末端側の親水性領域にある 15 箇所の酸性アミノ酸 (アスパラギン酸、グルタミン酸) を site-directed mutagenesis 法により各々アスパラギンとグルタミンに変異させた *ALMT1* 遺伝子を作製した。これらをアフリカツメガエル卵母細胞に発現させ、電気生理学的に解析を行った結果、3 箇所のアミノ酸変異 (E274Q, D275N, E284Q) により、Al で活性化されるリンゴ酸放出が完全に抑制されることが明らかとなった。*ALMT1* 輸送体では Al を添加しない条件でもわずかながら陰イオンの輸送が観察されるが、この輸送は上記の変異型輸送体でも観察された。従って、これらの変異は Al により活性化される陰イオン輸送のみを阻害すると考えられる。さらに、3 つの酸性アミノ酸以外の C 末端領域も Al 活性化に関与すると考えている (Furuichi et al. 2010)。

今後、*ALMT1* の C 末端の特定の酸性アミノ酸が Al イオンとの相互作用や Al

イオンにより輸送体が開く機構を解明するために、ALMT1 蛋白質の立体構造を明らかにしたいと考えている。現在、ALMT1 蛋白質の大量発現と精製を試みている。

#### 4. 気孔ではたらく ALMT 輸送体

コムギの ALMT1 はリンゴ酸イオンの輸送体であるが、実はリンゴ酸 ( $\text{malate}^{2-}$ ) だけでなく、塩素イオン ( $\text{Cl}^-$ )、硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ )、硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) も透過することが明らかになっている。このような、透過イオンの多様性は、この種の輸送体が様々なイオンを輸送することで多くの生理機能に関わっていることを示唆する。

また、コムギ以外にも、イネやシロイヌナズナなど、様々な植物に *ALMT1* とよく似た遺伝子 (相同遺伝子と呼ばれる) があることが分かってきた。シロイヌナズナで 13、イネで 8 つの相同遺伝子が存在し、その数の多さからも、これらは Al 耐性のみでなく、他の生理現象に関わる可能性が考えられた。このなかで、シロイヌナズナの *AtALMT1* はコムギと同様に、Al で活性化されるリンゴ酸輸送機能をもち、Al 耐性に関与することが明らかとなっている (Hoekenga et al. 2006)。

さて、植物のイオン輸送の重要性は、根からの取り込みや排出に関係するものだけではない。葉など植物の地上部においても、イオン輸送体は重要なはたらきをもつ。最も研究されているものの一つが気孔のイオン輸送体である。

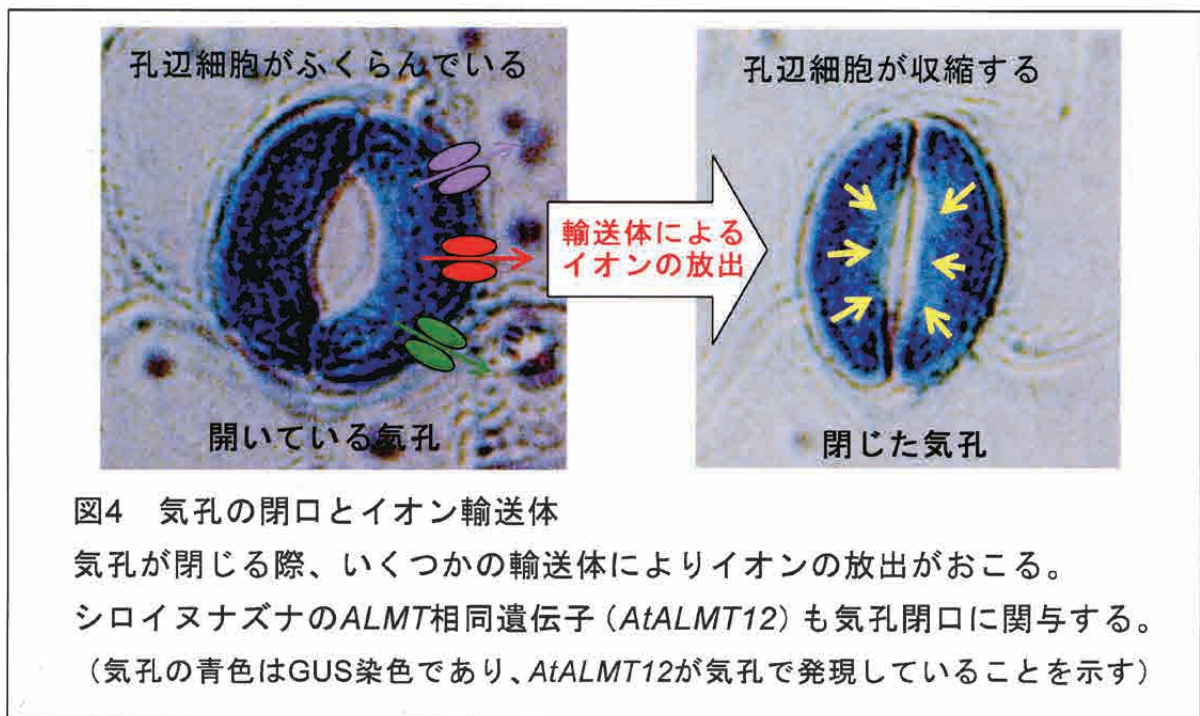
気孔は植物の葉や茎にあり、気孔を通じて空気中の二酸化炭素を吸収したり、酸素を放出したり、植物体内の水を蒸散させたりしている。気孔は「孔辺細胞」と呼ばれる 2 つの細胞からできており、孔辺細胞の細胞膜にある輸送体からイオンが外に出ることで、細胞の浸透圧が低下し、細胞がしぼみ、それにより気孔が閉じる。逆に気孔が開く際には、輸送体を介して細胞内にイオンが取り込まれ、水が細胞内に流入して細胞がふくらむ (図 4)。

気孔の開閉は様々な環境要因により支配されており、開口は光による調節、閉口は乾燥などの水分ストレスや、高い  $\text{CO}_2$  濃度による調節が知られている。また、気孔の閉口には、乾燥により上昇したアブシジン酸 (植物ホルモンの一種) が関与する。一般に、アブシジン酸の濃度上昇は  $\text{Ca}^{2+}$  の濃度変化を引き起こし、それにより陰イオン輸送体を活性化する。気孔の閉口に関わるイオン輸送体には数種類が知られていたが、実はその遺伝子については長い間不明であった。



近年になり、気孔の閉口に関与するカリウムイオン輸送体、そして陰イオン輸送体として SLAC1 (Slow-Anion Channel) が発見され話題になった(Negi et al. 2008, Vahisalu et al. 2008)。

一方で私たちは、シロイヌナズナの ALMT 相同遺伝子である *AtALMT12* が、気孔で特異的に発現する陰イオン輸送体であり、気孔閉口を制御することを見出した (Sasaki et al. 2010)。*SLAC1* と *AtALMT12* は、全く異なる構造をもつ蛋白質であるが、ともに孔辺細胞にある陰イオン輸送体であり、相互に環境による制御をうけることで、気孔閉口に至ると考えられる。



さらに私たちは、気孔で発現するシロイヌナズナの *AtALMT12* 遺伝子と *SLAC1* 遺伝子の発現抑制変異体の生理学的解析を行い、気孔閉口の初期には *SLAC1* が重要で、その後の継続的な閉口に *AtALMT12* が重要なはたらきをすることが示唆された。さらに、*AtALMT12* と *SLAC1* の二重欠損変異体では、全く気孔の閉口が見られなかったことから、*AtALMT12* と *SLAC1* は協調して、気孔の閉口を制御していると考えられた。また、アフリカツメガエル卵母細胞発現系を用いた電離生理学的解析の結果、細胞内にリンゴ酸があり、なおかつ細胞外に有機酸が存在するときに、*AtALMT12* は陰イオン放出活性を示した。さらに、C末端を他の ALMT1 と交換したキメラ *AtALMT* では、陰イオン輸送の特性が変化した。

以上の結果から *AtALMT12* は孔辺細胞において、気孔閉口に重要なリンゴ酸放

出陰イオン輸送体をコードし、その輸送特性はC末端の構造によって制御される可能性が示された。我々はさらに、*AtALMT12*の過剰発現トマトを作出しており、葉からの水分蒸散速度が有意に低下する結果が得られている。これはすなわち、形質転換トマトの気孔が乾燥などのストレスに、より敏感に応答して閉じる可能性を示す。今後さらに *AtALMT12* 発現トマトの改良を行い、気孔運動の生理現象を解析することで、植物に乾燥耐性を付与する技術の改善を進めていく予定である。

## 5. おわりに

AI 耐性と気孔運動について、主に ALMT と呼ばれる陰イオン輸送体の関与する機構を中心に紹介した。

私たちは、コムギのリンゴ酸輸送体遺伝子 *ALMT1* を用いて AI 耐性オオムギの作出に成功した。*ALMT1* は作物の遺伝子であり、これほど明瞭な AI 耐性を付与できる遺伝子はこれまでに報告がない。今後、ALMT1 蛋白質の機能特性を明らかにすることで、より強力な機能を持つ ALMT1 輸送体への機能改変が可能になるだろう。さらに、植物には多くの未知の *ALMT* 相同遺伝子があり、それらは植物に特異的な多様な機能に関わることが予想される。今後、*ALMT* 相同遺伝子に主眼を置いて研究を進めることで、様々な不良土壌や環境ストレス下での作物生産性の向上を目指すことも可能となるだろう。

イオン輸送体のような細胞レベルでの基礎的な研究は、それだけでは研究者の興味を満たすものでしかないと思われがちである。しかし、そこから得られた結果を作物の分子育種などの実践的な研究に応用することが重要であり、その必要性を実感している。今後も私たちの研究が、地球規模での環境悪化や土壌問題の解決に役に立てるように研究を行っていきたい。

最後に、本研究課題の遂行にあたり、八雲環境研究助成のサポートを頂きましたことに感謝申し上げます。

## 文献

Delhaize E., Craig S., Beaton CD, Bennet RJ, Jagadish VC, Randall PJ: *Plant Physiol* **103**, 685-693 (1993)a

- Delhaize E, Ryan PR, Randall PJ: *Plant Physiol* **103**, 695-702 (1993)b
- Delhaize E, Ryan PR, Hebb DM, Yamamoto Y, Sasaki T, Matsumoto H: *Proc Natl Acad Sci U S A* **101**, 15249-15254 (2004)
- Furuichi T, Sasaki T, Tsuchiya Y, Ryan PR, Delhaize E, Yamamoto Y: *Plant J.* **64**, 47-55 (2010)
- Hoekenga OA, Maron LG, Piner MA, Cancado GM, Shaff J, Kobayashi Y, Ryan PR, Dong B, Delhaize E, Sasaki T, Matsumoto H, Yamamoto Y, Koyama H, Kochian LV: *Proc Natl Acad Sci U S A* **103**, 9738-9743 (2006)
- Negi J, Matsuda O, Nagasawa T, Oba Y, Takahashi H, Kawai-Yamada M, Uchimiya H, Hashimoto M, Iba K: *Nature* **452**, 487-491 (2008)
- Sasaki T, Yamamoto Y, Ezaki B, Katsuhara M, Ahn SJ, Ryan PR, Delhaize E, Matsumoto H: *Plant J* **37**, 645-653 (2004)
- Sasaki T, Mori IC, Furuichi T, Munemasa S, Toyooka K, Matsuoka K, Murata Y, Yamamoto Y: *Plant Cell Physiol.* **51**, 354-365. (2010)
- Vahisalu T, Kollist H, Wang Y-F, Nishimura N, Chan W-Y, Valerio G, Lamminmaki A, Brosche M, Moldau H, Desikan R, Schroeder JI, Kangasjarvi J: *Nature* **452**: 483-486 (2008)
- 北川貴子, 森下豊昭, 橘泰憲, 生井兵治, 太田安定: *日本土壤肥料学会誌* **57**, 352-358 (1986)
- 小島邦彦, 佐々木瑞雄, 藤沢英司, 大平幸次: *無菌生物* **16**, 41-43 (1986)

# 環境ストレスの強い荒廃地を効率的に森林へと再生させる 植物-微生物共生系の構築

岡山大学大学院自然科学研究科バイオサイエンス専攻 笹川英夫

## 1. はじめに

火山や風水害等の自然災害、山火事、採石・採土など人為的攪乱によって植生が壊滅的に破壊され、早期の修復が望まれる場所は全国至る所に存在する。イネ科やマメ科の草本植物を導入して土砂の流出を抑えることは第一義的に重要であるが、可能な限り多様な植物種を導入して景観にも配慮した植生回復が求められる。放線菌フランキア (*Frankia*) と共生し窒素固定を行う非マメ科植物 (アクチノリザル植物) は 8 科 24 属にまたがり、地理的に熱帯の乾燥地から極寒のツンドラに至るまで広く分布する木本双子葉植物であり (笹川, 谷 2004)、灌木から高木まで多様な樹種が含まれる。また、窒素固定を行うことから、貧栄養の環境でも旺盛な生育を示すものが多く、多様な植物種の導入と早期植生回復・森林再生という両方の目的に合致した植物群である。荒廃地は、多くの場合ガレ場状態になり、水分の保持力が乏しく、かつ重金属などのストレスが強い環境にある。アクチノリザル植物-フランキア共生系はこのようなストレス環境に適合する共生系であり、われわれは長年にわたるこの共生系の研究の中で、モクマオウとフランキア Ceq1 株 (Tani and Sasakawa 2003; Tani and Sasakawa 2006) やマルバグミとフランキア Ema1 株 (Tani and Sasakawa 2000) との組み合わせは、高い耐塩性を示すことを明らかにしてきた。しかし、フランキア-アクチノリザル植物共生系が重金属などの環境ストレスに、どの程度の耐性を持つかについての基礎的研究データは著しく不足している。

そこで、本研究では環境ストレスとして重金属である Cu に焦点を当て、ストレス耐性の高いフランキア菌株の選抜、それらの耐性菌株を接種した場合のアクチノリザル植物のストレス耐性の増強程度を解析し、多様なストレス環境に耐え得るフランキア共生アクチノリザル植物を構築し、荒廃地の早期、効率的樹林化を促す方策の確立を目指した。

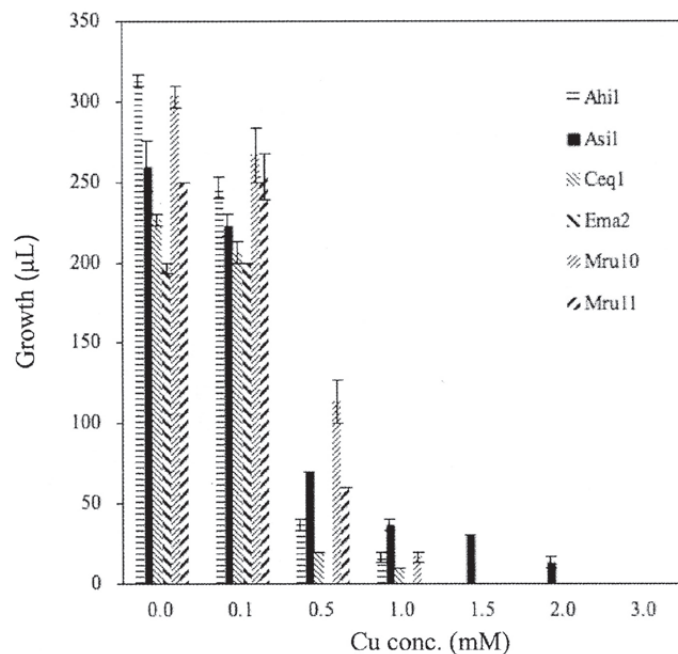


Fig. 1 フランキアの生育におよぼす銅濃度の影響

## 2. 実験方法および結果

### 2-1 フランキア菌株の銅耐性

銅耐性試験は Qmod 培地に塩化銅二水和物( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )を 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 mM の 7 段階で添加した培地、コントロールとして通常の Qmod 培地をそれぞれ 3 反復用意し、6 種の

フランキア菌株を培養後、菌体量の測定を行った。

銅処理フランキアの再増殖能力試験は、Asi1 株を Qmod 培地に塩化銅二水和物( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )を 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0 mM の 4 段階で添加した培地でそれぞれ 3, 6, 9 日間培養した後、遠心により集菌し、通常の Qmod 培地に移植して培養後、菌体量の測定を行った。

フランキアの生育に及ぼす銅の影響について調査した結果を Fig. 1 に示した。全ての菌株が 0.5 mM 以上の銅濃度で生育量が顕著に減少し、特に Ema2 株は 0.5 mM 以上では生育しなかった。Mru10 株は 0.5 mM で他の菌株よりも高い生育をみせたが、それ以上の銅濃度では急激に低下した。Asi1 株は 1.5 mM でも有意に生育し、2.0 mM でもわずかながら生育が可能であった。

銅溶液に暴露されたフランキアの再増殖能力を調べた結果を Fig. 2 に示した。供試した Asi1 株は生育可能な最大濃度である 2.0 mM の銅濃度であれば、9 日間の銅暴露後でも、コントロールである Qmod 培地で培養を行ったものと同等の生育能力を維持していた。2.5 mM では 3 日間の銅暴露であれば、コントロールと同等の生育能力を維持していたが、6 日間の暴露では生育能力はコントロールと比べ半減し、9 日間の暴露では生育能力を失った。また、3.0 mM 以上の銅処理では 3 日間の暴露であっても生育能力を失った。

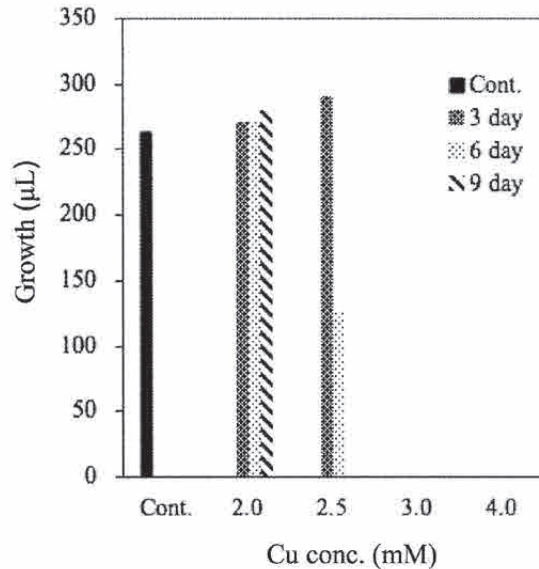


Fig. 2 銅溶液に暴露されたAsi1株の再増殖能力

## 2-2 宿主植物およびフランキアとの共生系構築に及ぼす銅の影響

### 2-2-1 オオバヤシャブシ

オオバヤシャブシは種子を有効塩素濃度 2%の次亜塩素酸ナトリウム溶液で7分間表面殺菌した後、流水に一晩さらし、オートクレーブ滅菌したバーミキュライトを詰めた 200 mL 容のディスプレイポットに 1 ポット当たり 10 粒播種した。その後 1 ヶ月間人

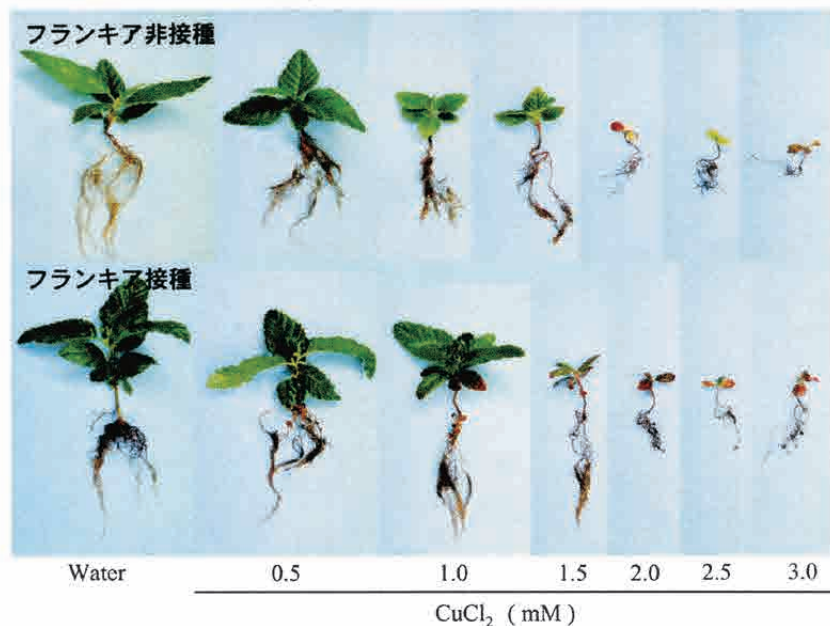


Fig. 3 フランキア接種、非接種オオバヤシャブシの生育におよぼす銅の影響

工気象器にて14時間日長, 昼夜温度 30°C/25°Cの条件で栽培した。栽培期間中は 0.16 mM の硝酸ナトリウムを含む Arnon & Hoagland 溶液を1回与えた。

栽培終了後の植物体の写真を Fig. 3 に, 地上部生育量は Fig. 4 に示した。非接種区では水処理区でも生育量が約 400 mg と低く, 銅濃度の上昇とともに生育量は減少した。フランキア接種区では水処理区で約 1200 mg と非接種区の約3倍の生育量をみせた。しかし, 銅処理によって生育量は減少

し, 1.5 mM では非接種区よりも低くなった。フランキア接種に関わらず, 2.0 mM 以上の銅濃度ではほとんど生育のみられない個体もあった。個体枯死

率は根粒着生の有無に関わらずフランキア接種区で低く, 3.0 mM 銅処理区では非接種区では60%と半数以上の個体が枯死したにもかかわらず, フランキア接種区では10%と非常に低い値を示した (Table 1)。

フランキア接種区の根粒着生の様子を Fig. 5 および Table 2 に示した。1.0 mM 銅処理区まではほぼ全ての個体で確認できたが, それを超える銅濃度では着生率が低

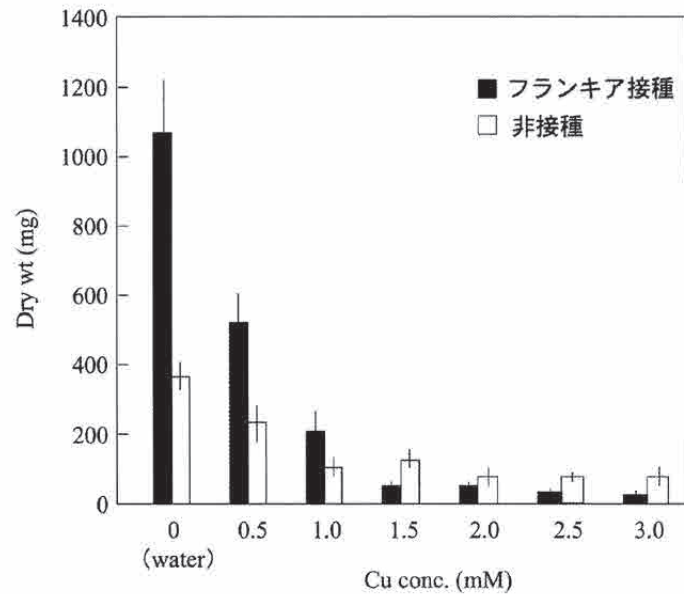


Fig. 4 オオバヤシャブシ地上部の生育におよぼす銅の影響

Table 1 オオバヤシャブシ個体枯死に対する銅の影響とフランキア接種の効果

	Cu conc. (mM)						
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
<i>Frankia</i>							
	Rate of died plants (%)						
Uninoculated	0	0	10	20	20	40	60
Inoculated	0	0	0	0	0	10	10

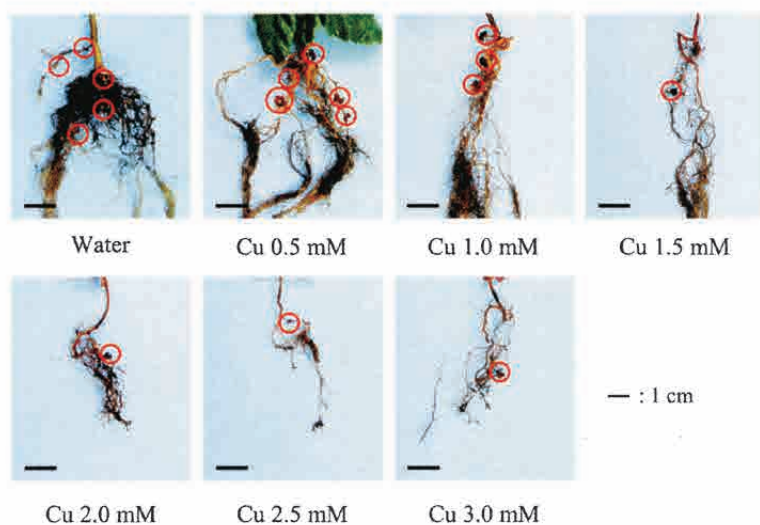


Fig. 5 オオバヤシャブシの根粒着生におよぼす銅の影響

下し、2.5 mM 銅処理区以上では10%の個体にしか根粒着生がみられなかった。根粒重量は、生育量と同様に水処理区をピークとして、銅濃度の上昇に伴って半減した。根粒重量に占める直径1 mm以上の根粒重量の割合は銅処理区ではほぼ100%だったのに対して、水処理区では73%であり、直径1 mm以下の根粒の占める割合が増加した。

根粒のアセチレン還元活性 (ARA)を Fig. 6 に示した。植物個体当たりの活性および根粒1g当たりの比活性は、いずれも銅処理によって顕著に低下し、1.5 mM以上の銅濃度ではほとんど検出されなかった。

Table 2 オオバヤシャブシの根粒着生におよぼす銅の影響

	Water	CuCl <sub>2</sub> solution ( mM )						
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	
nodulated plant (%)	10/10	10/10	9/10	6/10	2/10	1/9	1/9	
total plant (%)	(100)	(100)	(90)	(60)	(20)	(11)	(11)	
Nod. F.W. plant <sup>-1</sup> (mg)	> 1mm	90	70	28	7	6	2	3
	< 1mm	34	1	1	0	0	0	0
	total	124	70	28	7	6	2	3
> 1mm nodules (%)	73	99	98	100	100	100	100	

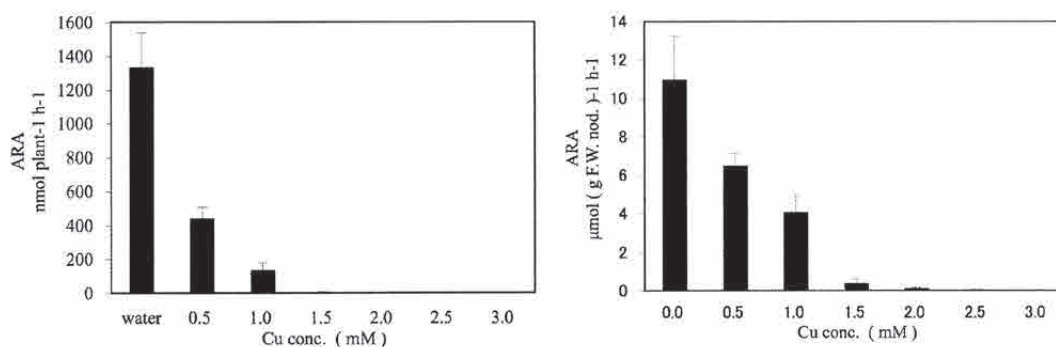


Fig. 6 窒素固定活性 (アセチレン還元活性 (ARA)) に対する銅の影響

## 2-2-2 ヤマモモ

ヤマモモは内果皮をニッパーで割り、種子を取り出した。種子はクリーンベンチ内で有効塩素濃度2%の次亜塩素酸ナトリウム溶液で7分間表面殺菌した後、滅菌蒸留水で5回以上洗浄したものを10<sup>-3</sup> Mのジベレリン溶液に3分間に浸漬し、0.6%の寒天培地上に静置したものを人工気象器にて14時間日長、昼夜温度30°C/25°Cの条件で発芽させた。発芽した種子は、オートクレーブ滅菌したバーミキュライトを詰めた200 mL容のディスポ

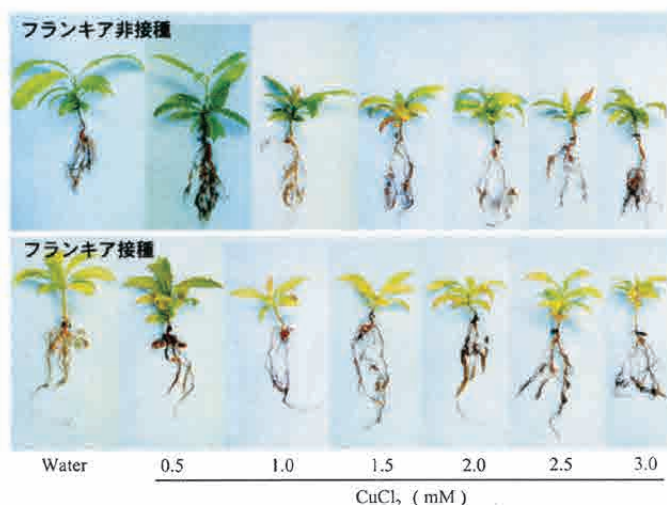


Fig. 7 フランキア接種、非接種ヤマモモの生育におよぼす銅の影響

ーザブルプラスチックポットに1ポット当たり1個体移植し、1ヶ月間発芽と同条件で栽培した。栽培期間中は0.16 mMの硝酸ナトリウムを含むArnon & Hoagland溶液を1回与えた。

栽培終了後の植物体の写真をFig. 7に、

地上部生育量をFig. 8に示した。非接種区の0.5 mM銅処理区で地上部重は減少し、その後2.0 mM銅処理区まで銅濃度が高まるにつれて生育量が増加する傾向がみられた。フランキア接種区では水処理区においても非接種区と比較して生育量は小さかった。処理銅濃度が高まるにつれて、地上部重は減少傾向を示したが、減少量が小さく有意な差ではなかった。個体の枯死は、フランキア接種の有無にかかわらず、銅濃度3.0 mMでも観察されなかった。

フランキア接種区の根粒着生の様子はFig. 9およびTable 3に示した。2.0 mM銅処理区以外のすべての処理区で確認することができた。しかし、全個体に占める根粒着生個体の割合は0.5 mM銅処理区でも60%と低かった。根粒のサイズもほぼ全ての根粒着生個体で直径1 mm以下の根粒しか着生しておらず、0.5 mM銅処理区の1個体のみに直径1 mm以上の根粒が着生していた。

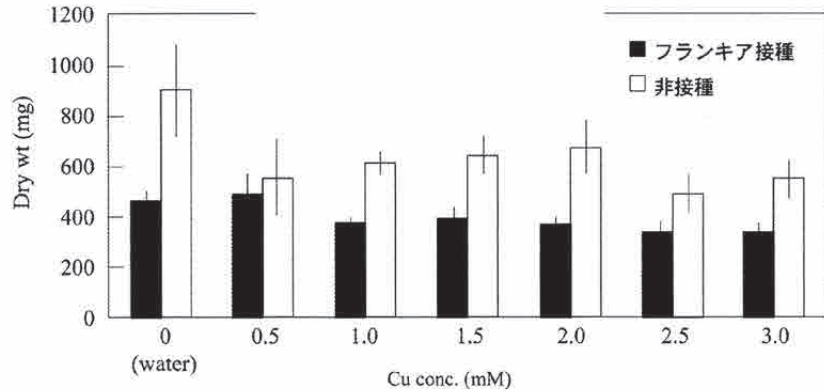


Fig. 8 ヤマモモ地上部の生育におよぼす銅の影響

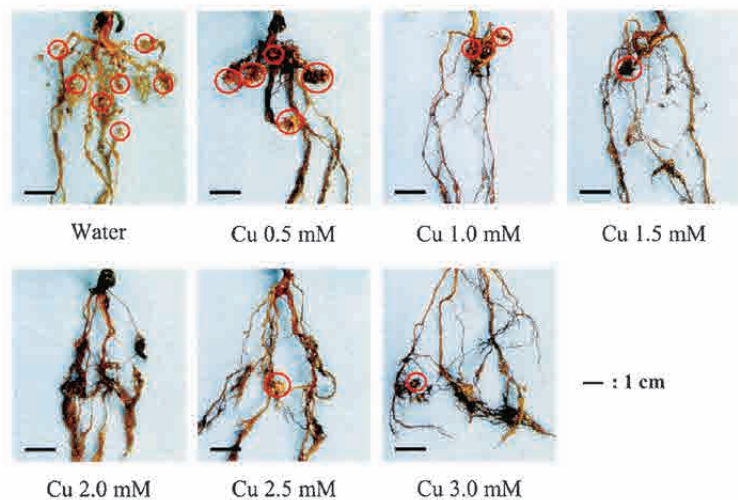


Fig. 9 ヤマモモの根粒着生におよぼす銅の影響

Table 3 ヤマモモの根粒着生に及ぼす銅の影響

	Water	CuCl <sub>2</sub> solution (mM)					
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
nodulated plant (%)	5/5 (100)	3/5 (60)	3/5 (60)	1/5 (20)	0/5 (0)	1/5 (20)	1/5 (20)
total plant							
> 1mm	0	51	0	0	0	0	0
nodule F.W. (mg)							
< 1mm	69	14	21	5	0	38	18
total	69	65	21	5	0	38	18
nodules (>1mm) (%)	0	79	0	0	0	0	0



### 3. 考 察

フランキアの生育におよぼす銅の影響を調べる試験において、5 菌株は 1.5 mM の銅濃度で全く生育が見られなかったのに対し、ハンノキ属のオオバヤシャブシからの分離菌である Asi1 株は 1.5 mM でも有意に生育し、2.0 mM でもわずかながら生育が認められた (Fig. 1)。この結果は、銅耐性の高いアクチノリザル植物-フランキア共生系を構築にとって、Asi1 株は有望な菌株であることを示している。Asi1 株を銅溶液に暴露し、再増殖試験を行った結果、2.0 mM の暴露では 9 日以上高いレベルで増殖能力を維持し、2.5 mM でも 6 日間は増殖能力を維持していた (Fig. 2)。フランキアが宿主植物に感染し、根粒原基となる細胞に到達するまでの時間は 6~9 日と報告されているので、2.5 mM までの銅濃度環境であれば、Asi1 株によって十分根粒形成が可能と考えられる。

今回の試験では現象を確認するにとどまり、Asi 株の銅耐性機構の解明には着手できなかった。しかし、同じハンノキ属からのケヤマハンノキからの分離株である Ahi1 株も Asi1 株に次いで、高い銅耐性を示すことから、ハンノキ属植物からの分離フランキア菌株は、比較的高い銅耐性機構を有していることが示唆される。フランキアの銅耐性機構の分子生物学的解明は、遺伝子組み換えを含めた銅耐性に優れたフランキア育種への道を拓き、さらに様々な重金属耐性フランキアの育種につながるものと期待される。

宿主植物の生育や根粒着生におよぼす銅の影響を調べる第 1 回目の試験では、クエン酸ナトリウムをキレート剤として使用し、高濃度の銅でも沈殿が起らないように工夫したが、オオバヤシャブシの生長はクエン酸ナトリウムによって著しく阻害された。この第 1 回目の栽培試験および Asi1 株の再増殖試験 (Fig. 2) の結果から、オオバヤシャブシ-Asi1 株共生系の銅耐性は 2.5 mM が限界と考えられたので、銅の最大濃度を 3.0 mM とし、キレート剤のクエン酸ナトリウムを使用せずに第 2 回目の栽培試験を行った。

オオバヤシャブシでは、水処理区においてフランキア接種区で窒素施肥を行った非接種区と比較して約 3 倍の生育量を示しており、Asi1 株のオオバヤシャブシに対しての高い接種効果が示された (Fig. 3, Fig. 4)。また、銅による生育量の減少はみられたが、1.0 mM までの銅濃度ではフランキア接種区の生育量は非接種区の約 2 倍であり、Asi1 株による接種効果が現れた (Fig. 3, Fig. 4)。しかし、1.5 mM の銅濃度では、窒素施肥を行った非接種区の生育量が勝った。3.0 mM の銅濃度でも根粒着生はみられた (Fig. 5, Table 2) が、1.5 mM 以上の銅濃度では有意な ARA を示さなかった (Fig. 6) ので、高濃度の銅環境下では窒素固定機能が阻害され、生育に結びつかないことが明らかになった。生育が有意に促進されるオオバヤシャブシ-Asi1 株共生系の構築が可能なのは、1.0 mM の銅濃度が限界であると考えられた。

また、フランキア接種区の高濃度の銅処理区において、根粒が形成されないにも関わらず植物個体枯死率が非接種区に比較して大幅に低下した (Table 1)。原因は不明であるが、窒素固定以外のフランキア接種効果と考えざるを得ない。現在考えられる可能性としては、①フランキアは単生でも窒素固定を行うことによる窒素栄養の供給 ②フランキアの分泌物 (生理活性物質) による植物の生育促進作用 ③完全な無菌状態ではなかったため、フランキアに誘引された他の植物生育促進微生物による作用 ④フランキア菌体そのものの養分や生理活性物質としての作用などが挙げられる。今回、フランキアを接種して根粒を十分に着生させた植物の銅耐性を調べる試験は行えなかった。スペキュレーションの域を脱しないが、フランキア感染植物の銅耐性は非感染植物のそれよりかなり高まると予想される。重金属ストレスの高い環境下で、フランキア接種が植物個体の枯死率低下をもたらすという今回の結果は、今後フランキアを利用して荒廃地の森林化を考えるにあたり、

大変示唆に富んだ課題を提供してくれている。

ヤマモモの生育量は、非接種区で 0.5 mM、フランキア接種区で 1.0 mM の銅処理で低下した。しかし、それ以上の銅濃度でも両処理区において有意な生育量の減少はみられなかった (Fig. 7, Fig. 8) ことから、ヤマモモは比較的銅に対して高い耐性を有する植物であると考えられた。フランキア接種区では根粒着生は確認されたものの、着生率や ARA は低く (Fig. 9, Table 3), 着生した根粒のほとんどが無効根粒であったことは、他属であるオオバヤシャブシを分離源とする Asi1 株のヤマモモに対する相性はそれほど高くなく、今後、感染性と銅耐性に優れたフランキアの確保が必要である。フランキアの接種の有無にかかわらず、3.0 mM の銅濃度においても個体枯死率は低いことは、銅耐性の強いヤマモモ由来のフランキア菌株が得られれば、銅耐性の高いアクチノリザル植物-フランキア共生系の構築が可能となることを示している。ヤマモモは管理が大変な植物であるが、重金属ストレス下の荒廃地を樹林化するには、欠くことにできない樹木であり、今後の研究の発展が期待される。

今回の調査では、重金属を銅に絞ったこと、植物もオオバヤシャブシとヤマモモの 2 種類しか行えなかったことなどから、得られた成果は限られている。時間のかかる研究ではあるが、今後銅以外の重金属ストレス耐性フランキア菌株を探索し、調査アクチノリザル植物も拡大すれば、種々の環境ストレスに適應できるアクチノリザル植物-フランキア共生系の構築が可能となる。今回の研究はそのための嚆矢となるものと言える。

#### 4. まとめ

本研究は、銅鉱山や精錬所跡地のような重金属濃度の高い土壌環境の植生回復に有効なアクチノリザル植物-フランキア共生系を構築するために、銅がアクチノリザル植物とフランキアの生育、共生系の成立、窒素固定活性発現に及ぼすかについて調査した。得られた成果は、以下のものであった。(1) 研究室保存 6 菌株について、銅耐性試験をしたところ、5 菌株は 1.5 mM 銅溶液で全く生育を示さなかったが、オオバヤシャブシからの分離菌である Asi1 株は 1.5 mM でも有意に生育し、2.0 mM でもわずかながら生育した。したがって、銅耐性の高いアクチノリザル植物-フランキア共生系を構築するには、Asi1 株は有望な菌株と判断された。(2) Asi1 株を用いて宿主側であるオオバヤシャブシの生育、共生系の成立に対する銅濃度の影響を調べたところ、オオバヤシャブシはフランキア接種の有無に関わらず、2.0mM 以上の銅濃度でほとんど生育がみられなかった。根粒形成は 2.0mM 以上で顕著に減少し、窒素固定活性 (アセチレン還元活性: ARA) もほとんど検出できなかった。(3) Asi1 株接種によってヤマモモに対する根粒着生はほとんど起こらなかったが、銅処理による生育量の低下は小さく、ヤマモモの銅耐性は高いと判断された。(4) 高濃度銅環境下でオオバヤシャブシにフランキアを接種しても根粒は形成されないが、個体の枯死率はフランキア非接種区に比べ明らかに低下した。これは、窒素固定以外のフランキア接種効果であり、その作用機構を解明することによって、さらに環境ストレスの高い苗木生産が可能になるものと期待される。

#### 5. 謝辞

本研究は、財団法人八雲環境科学振興財団の平成 22 年度環境研究助成事業一般研究により実施したものである。ご支援に対して、深く感謝申し上げます。

## 6. 文 献

- 増田宏之：岡山大学自然科学研究科（農学部）修士論文(2008)
- 長島由季：岡山大学大学院自然科学研究科（農学系）修士論文(2005)
- 長島由季：岡山大学大学院自然科学研究科（農学系）博士論文(2008)
- 大政良臣：岡山大学農学部卒業論文(2000)
- Sasakawa H, Kawai H, Takahashi N, Tanigawa S: *Microbes and Environ.*, 13, 143-148 (1998)
- 笹川英夫, 谷千春：農業技術, 59 : pp39 – 43 (2004)
- 清水皓未：岡山大学農学部卒業論文 (2009)
- Tani C, Sasakawa H: *Soil Sci. Plant Nutr.*, 46: 927-937 (2000)
- Tani C, Sasakawa H: *Soil Sci. Plant Nutr.*, 49: 215-222 (2003)
- Tani C, Sasakawa H: *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52: 21-25 (2006)
- Tani C, Sasakawa H, Takeout K, Abe M, Uchiumi T, Suzuki A, Higashi S: *Soil Sci. Plant Nutr.*, 49,:137-142 (2003)

財団法人 八雲環境科学振興財団  
平成 22 年度環境研究助成研究レポート

研究課題名：3R 政策データベースの構築及びごみ・資源ごみの排出予測モデル  
の開発

岡山大学廃棄物マネジメント研究センター・准教授 松井康弘

1. 研究の目的

循環型社会の構築に向けて、ごみの発生抑制・資源分別の推進が大きな課題となっている。ごみ行政を担当する市町村においては、さらなる 3R の推進に向けて、分別収集対象の拡大、ごみ有料化・レジ袋税の導入、事業系一般廃棄物の 3R 推進等、様々な取り組みが求められるところである。一方、市町村が実施する分別収集・有料化等の 3R 促進を目的とした政策は、その実施形態によって効果が異なることが予想される。例えば、分別収集の分別区分・収集頻度・収集箇所等のサービス水準、ごみ有料化の料金水準・徴収方法等は、住民のごみ発生抑制・資源分別の実施に大きく影響するものと考えられる。今後さらなる 3R の推進に向け、各種 3R 政策の政策効果とその影響要因を詳細に検討することが必要である。

本研究では、こうした検討を実施するための情報基盤を構築することを目的に、全国市町村を対象として 3R 政策動向調査を実施し、分別収集・有料化等の 3R 政策の導入履歴・実施状況・実施水準とその効果に関する最新データを収録した「3R 政策データベース」を構築した。また、整備したデータベースを用い、ごみ・資源ごみの排出量を表す諸変数と政策変数の関連性を分析し、市町村の 3R 推進を計画的に推進するための基礎資料を提供することを目的とした。

2. 研究の方法

本研究では、分別収集区分・有料化等の 3R 政策の導入履歴や分別区分別のごみの発生・排出の実態について情報を収集するために、各自治体の一般廃棄物の分別区分別の収集量、及び有料化・資源分別等の 3R

政策導入状況を把握することを目的として、アンケート調査を実施した。調査対象は全国 1,796 自治体とし、2011 年 2 月に調査票を郵送、回答は郵送または E-mail での返送を依頼し、2011 年 3 月を回収締め切りとした。回収数は、727 件（回収率 40.5%）であった。調査の概要を表 1 に示す。なお、調査の実施にあたっては平成 21 年度実績の記入を依頼した（項目によっては平成 21 年度の数値が把握されていない場合（ステーション数等）も想定されたため、適宜データ年度の記入欄を設けた）。

表 1 一般廃棄物の分別収集・有料化に関する自治体アンケート調査の概要

調査対象	全国 1796 自治体
回収数（率）	727 件（回収率 40.5%）
調査項目	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 市町村名・担当者の連絡先</li> <li>2. 市町村の人口</li> <li>3. ごみ（資源ごみ以外）の収集量および、収集方式、収集回数、プラスチック類の分別区分、違反ごみへの対応、ステーション数</li> <li>4. 資源ごみ（有害ごみ含む）の分別排出区分と導入年、収集方式、収集回数、ステーション数、拠点回収の箇所、当番制の有無等</li> <li>5. 資源ごみ（有害ごみ含む）の収集量・直接搬入量および集団回収量</li> <li>6. 家庭系ごみの有料化実施状況・実施予定</li> <li>7. 事業系ごみの自治体収集（直営・委託）への受け入れ、有料化実施状況・実施予定</li> </ol>

### 3. 研究の結果

本研究で整備した基礎データを用いて、可燃ごみ・不燃ごみ排出と政策特性の関連性を統計的に検討することとした。可燃ごみ・不燃ごみの 2 種類に焦点を当て、家庭系（直営・委託による収集量）・事業系（許可による収集量）の排出原単位（1 人 1 日あたりの排出量）を算出、政策カテゴリーごとの排出原単位の平均値の差を検定し、政策特性を表す質的変数との関連性を検討した。

政策特性としては、事業系ごみの自治体収集への受け入れ状況、分別ルール違反ごみへの対応、プラスチック類の可燃ごみ・不燃ごみへの分別区分、ごみ有料化の実施、ごみ料金の徴収方法、ごみの収集方式といった政策を取り上げ、政策カテゴリー別の排出原単位の平均値と平均値の差を検定した結果を以下順に示す。

### (1) 事業系ごみの自治体収集（直営・委託）への受け入れ

事業系ごみの自治体収集（直営・委託）への受け入れ状況については、原則収集なし、一部受け入れ、制限なく受け入れの3つに分類し、可燃ごみ・不燃ごみの排出原単位を比較した結果を表2に示した。

可燃ごみの原単位・不燃ごみの原単位共に事業系ごみの自治体収集（直営・委託）への受け入れ状況との関連性が認められなかったが、不燃ごみ（合計）原単位では、事業系ごみの自治体収集を「原則収集なし」と回答した自治体の平均が56.42g/人/日であったのに対して、「一部受け入れ」と回答した自治体で62.08g/人/日、「制限なく受け入れ」と回答した自治体で65.64g/人/日となり、受け入れている自治体の方がやや排出原単位が大きかった。

表2 事業系ごみの自治体収集への受け入れと排出原単位の関連性の検討結果

	原則収集なし		一部受け入れ		制限なく受け入れ		F値
可燃ごみ（合計）原単位（g/人/日）	665.5±272.4	N=394	661.0±359.1	N=88	661.8±263.6	N=105	0.013
可燃ごみ（生活系）原単位（g/人/日）	442.8±239.5	N=394	397.3±280.6	N=82	388.9±255.2	N=105	2.617 <sup>†</sup>
可燃ごみ（事業系）原単位（g/人/日）	181.5±134.0	N=394	162.7±177.0	N=82	157.1±145.4	N=105	1.524
不燃ごみ（合計）原単位（g/人/日）	56.42±85.17	N=388	62.08±64.27	N=62	65.64±85.65	N=86	0.496
不燃ごみ（生活系）原単位（g/人/日）	41.09±61.57	N=388	44.59±54.43	N=62	40.97±63.93	N=86	0.091
不燃ごみ（事業系）原単位（g/人/日）	12.55±40.67	N=388	8.54±20.15	N=62	14.47±30.80	N=86	0.466

<sup>†</sup> p<0.1, \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001

### (2) 違反ごみへの対応

自治体のごみ分別ルール違反ごみへの対応について、「特になし」、「取り残す」、「シール等で警告する」、「その他」、「併用」の5つに分類し、可燃ごみ・不燃ごみの排出原単位を比較した結果を表3に示した。

可燃ごみの原単位・不燃ごみの原単位共に違反ごみへの対応との関連

性は認められなかったものの、不燃ごみ（合計）原単位に関しては、違反ごみへの対応を「特になし」と回答した自治体の平均が 91.92 g/人/日であったのに対して、「取り残す」と回答した自治体の平均が 64.33 g/人/日、「シール等で警告」と回答した自治体の平均が 63.21 g/人/日、「併用」と回答した自治体の平均が 59.41 g/人/日となるなど、何らかの対応をしている自治体の方が排出原単位が小さかった。

表3 分別ルール違反ごみへの対応と排出原単位の関連性の検討結果

	特になし		取り残す		シール等で警告	
可燃ごみ（合計）原単位（g/人/日）	551.40±277.20	N=9	640.91±448.96	N=60	681.85±282.33	N=225
可燃ごみ（生活系）原単位（g/人/日）	373.31±219.09	N=9	452.48±421.48	N=60	448.46±215.30	N=225
可燃ごみ（事業系）原単位（g/人/日）	131.67±121.62	N=9	137.44±142.07	N=60	186.78±159.45	N=225
不燃ごみ（合計）原単位（g/人/日）	91.92±238.96	N=12	64.33±109.04	N=54	63.21±83.38	N=205
不燃ごみ（生活系）原単位（g/人/日）	82.91±148.43	N=12	37.34±43.99	N=54	45.41±71.27	N=205
不燃ごみ（事業系）原単位（g/人/日）	993.12±3437.5	N=13	52.88±133.38	N=56	281.41±994.11	N=223
	その他		併用		F値	
可燃ごみ（合計）原単位（g/人/日）	579.75	N=1	673.88±365.65	N=330	0.459	
可燃ごみ（生活系）原単位（g/人/日）	360	N=1	430.61±298.53	N=330	0.303	
可燃ごみ（事業系）原単位（g/人/日）	219.75	N=1	177.38±152.28	N=330	1.435	
不燃ごみ（合計）原単位（g/人/日）	10.41±12.18	N=4	59.41±75.86	N=308	0.778	
不燃ごみ（生活系）原単位（g/人/日）	9.65±11.16	N=4	41.32±49.19	N=308	1.861	
不燃ごみ（事業系）原単位（g/人/日）	2.60±5.81	N=4	519.53±2696.9	N=343	1.122	

† p<0.1, \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001

### (3) プラスチック類の分別区分

プラスチック類を可燃ごみ・不燃ごみのどちらに分別するか、その分別区分によって排出原単位を比較した結果を表4に示した。

可燃ごみの原単位は合計、生活系、事業系ともにプラスチック類の分別区分と関連性が認められ、可燃ごみにプラスチックを分別する場合の可燃ごみ（合計）原単位の平均が 700 g/人/日であったのに対して、不燃ごみにプラスチックを分別する場合の平均は 617 g/人/日となった。

また、不燃ごみの原単位についても合計、生活系において関連性が認められ、プラスチック類を可燃ごみとして分別する場合の不燃ごみ（合計）排出原単位が 51.04 g/人/日であったのに対して、不燃ごみに分別する場合の平均は 71.40g/人/日となり、プラスチックの分別区分が排出原単位に大きく影響することが明らかとなった。

表4 プラスチック類の分別区分と排出原単位の関連性の検討結果

	可燃ごみに含む		不燃ごみに含む		F値
		N		N	
可燃ごみ（合計）原単位（g/人/日）	700.87±369.56	N=399	617.36±308.38	N=195	0.281**
可燃ごみ（生活系）原単位（g/人/日）	456.43±290.51	N=399	409.12±286.27	N=195	0.333†
可燃ごみ（事業系）原単位（g/人/日）	188.75±166.40	N=399	150.39±128.39	N=195	3.304**
不燃ごみ（合計）原単位（g/人/日）	51.04±76.76	N=399	71.40±103.02	N=195	7.766*
不燃ごみ（生活系）原単位（g/人/日）	36.10±47.47	N=399	49.65±80.35	N=195	8.5*
不燃ごみ（事業系）原単位（g/人/日）	10.54±34.52	N=399	14.37±39.93	N=195	4.753

† p<0.1, \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001

#### (4) 有料化の実施

有料化の実施について、有料化の実施の有無と可燃ごみ・不燃ごみの排出原単位を比較した結果を表5に示した。可燃ごみの原単位については、有料化の実施状況との有意な関連性は認められなかったが、可燃ごみ（合計）の排出原単位では有料化を実施している自治体の平均が659.62g/人/日であったのに対して、実施していない自治体の平均が677.24 g/人/日となり、有料化実施自治体の方が原単位がやや小さかった。逆に不燃ごみの排出原単位については、有料化を実施している自治体の方が実施していない自治体より大きい傾向が見られ、この点については地域特性や他の政策変数の影響を含めてさらなる検討が必要である。

表5 有料化と排出原単位の関連性の検討結果

	実施あり		実施なし		F値
		N		N	
可燃ごみ（合計）原単位（g/人/日）	659.62±375.60	N=388	677.24±294.74	N=222	0.18
可燃ごみ（生活系）原単位（g/人/日）	431.21±322.16	N=388	430.02±220.20	N=222	0.61
可燃ごみ（事業系）原単位（g/人/日）	171.23±150.26	N=388	177.46±157.54	N=222	0.30
不燃ごみ合計原単位（g/人/日）	67.10±90.51	N=305	49.76±80.14	N=277	7.88*
不燃ごみ（生活系）原単位（g/人/日）	47.91±70.81	N=305	34.33±47.23	N=277	9.12**
不燃ごみ（事業系）原単位（g/人/日）	13.97±37.64	N=305	8.26±30.96	N=277	6.41†

† p<0.1, \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001



### (5) 有料化の料金徴収方法

有料化の料金徴収方法について、単純従量型、定額型、その他の3つに大別し、可燃ごみ・不燃ごみの排出原単位を比較した結果を表6に示した。

生活系不燃ごみの排出原単位については、徴収方法によって有意差が認められ、単純従量型を採用する自治体の平均が47.49g/人/日であったのに対して、定額型を採用する自治体の平均が65.50g/人/日となり、単純従量型の方が排出原単位が小さい傾向が認められた。

表6 有料化の料金徴収方法と排出原単位の関連性の検討結果

	単純従量型		定額型		その他		F値
可燃ごみ(合計)原単位(g/人/日)	664.74±384.45	N=300	579.69±283.96	N=28	685.50±162.95	N=40	0.821
可燃ごみ(生活系)原単位(g/人/日)	437.06±306.64	N=300	412.72±232.88	N=28	393.86±201.82	N=40	0.442
可燃ごみ(事業系)原単位(g/人/日)	180.32±159.76	N=300	131.69±126.71	N=28	186.81±130.36	N=40	1.351
不燃ごみ(合計)原単位(g/人/日)	68.24±83.88	N=229	62.67±63.70	N=23	47.46±43.54	N=38	1.157
不燃ごみ(生活系)原単位(g/人/日)	47.49±52.41	N=229	65.50±74.35	N=23	26.13±25.80	N=38	4.504*
不燃ごみ(事業系)原単位(g/人/日)	15.89±42.42	N=229	9.82±16.80	N=23	7.64±14.35	N=38	0.922

† p<0.1, \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001

### (6) 収集方式

ごみの収集形態について、ステーション、各戸収集、その他、併用の4つに分類し、可燃ごみ・不燃ごみの排出原単位を比較した結果を表7に示した。

収集方式による排出原単位の有意差は認められなかったが、可燃ごみの排出原単位は合計、生活系、事業系ともに各戸収集方式よりもステーション収集方式のほうがやや大きかった。不燃ごみの排出原単位は各戸収集方式よりもステーション収集方式とでほとんど差が認められなかった。

表7 収集方式と排出原単位の関連性の検討結果

	ステーション		各戸収集		その他		併用		F値
可燃ごみ(合計)原単位g/人/日	653.3±287.3	N=346	631.0±238.8	N=46	615.9±150.7	N=5	628.3±465.3	N=260	0.26
可燃ごみ(生活系)原単位g/人/日	429.1±254.3	N=346	399.8±235.0	N=46	433.5±266.2	N=5	408.5±346.1	N=260	0.32
可燃ごみ(事業系)原単位g/人/日	173.0±135.4	N=346	161.6±135.4	N=46	33.71±170.4	N=5	166.3±41.03	N=260	1.42
不燃ごみ(合計)原単位g/人/日	55.48±81.37	N=332	57.26±65.38	N=38	34.90±28.49	N=6	73.36±101.1	N=203	1.97
不燃ごみ(生活系)原単位g/人/日	40.23±63.96	N=332	38.08±35.41	N=38	17.16±22.94	N=6	49.66±59.91	N=203	1.48
不燃ごみ(事業系)原単位g/人/日	11.09±34.66	N=332	5.303±11.05	N=38		N=0	15.83±43.00	N=203	1.43

† p<0.1, \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001

#### 4. まとめ

- (1) 全国市町村を対象として 3R 政策動向調査を実施し、分別収集・有料化等の 3R 政策の導入履歴・実施状況・実施水準とその効果に関する最新データを収録した「3R 政策データベース」を構築した。
- (2) 可燃ごみ・不燃ごみの 2 種類に焦点を当て、家庭系・事業系の排出原単位（1 人 1 日あたりの排出量）を算出、政策カテゴリーごとの排出原単位の平均値の差を検定し、政策特性を表す質的変数との関連性を検討した。政策としては、事業系ごみの自治体収集への受け入れ状況、分別ルール違反ごみへの対応、プラスチック類の可燃ごみ・不燃ごみへの分別区分、ごみ有料化の実施、ごみ料金の徴収方法、ごみの収集方式といった政策を取り上げた。
- (3) 事業系ごみの自治体収集への受け入れ状況については、可燃ごみの排出原単位・不燃ごみの排出原単位との関連性が認められなかったが、不燃ごみの排出原単位では、事業系ごみの自治体収集を受け入れている自治体の方がやや排出原単位が大きかった。
- (4) 分別ルール違反ごみへの対応については、可燃ごみの排出原単位・不燃ごみの排出原単位との関連性は認められなかったが、不燃ごみの排出原単位に関しては、違反ごみに何らかの対応をしている自治体の方が排出原単位が小さかった。
- (5) プラスチック類の分別区分については、可燃ごみの排出原単位・不燃ごみの排出原単位ともに関連性が認められ、プラスチックの分別区分が排出原単位に大きく影響することが明らかとなった。
- (6) 有料化の実施状況については、可燃ごみの排出原単位との関連性は認められなかったが、有料化実施自治体の方が原単位がやや小さかった。逆に不燃ごみの排出原単位については、有料化を実施している自治体の方が実施していない自治体より大きい傾向が見られた。
- (7) 有料化の料金徴収方法については、生活系不燃ごみの排出原単位について関連性が認められ、単純従量型の方が定額型より排出原単位が小さい傾向が認められた。
- (8) 収集方式については、可燃ごみの排出原単位・不燃ごみの排出原単位との関連性は認められなかったが、可燃ごみの排出原単位は各戸収集方式よりもステーション収集方式のほうがやや大きかった。

## 観光地としての歴史的町並みにおける地元の生活文化

- 訪問客と住民の視点の比較 -

The local living culture in a historical district as a tourism destination

- Comparison between the perspectives of visitors and residents -

直井 岳人\*・十代田 朗\*\*・飯島 祥二\*\*\*・津々見 崇\*\*  
Taketo Naoi\*, Akira Soshiroda\*\*, Shoji Iijima\*\*\*, Takashi Tsutsumi\*\*

This study aims to extract the elements that visitors could focus on in a historical district as the aspects of the local lives by analyzing their open-ended responses about things that they thought attractive in the targeted districts and objects through which they sensed the lives of the locals. Furthermore, the elicited elements were rated by the residents in terms of the extent to which each element portrays the local lives and to which it depicts an intention to attract visitors. The results imply the importance of visitors' perception of the ways in which the districts are utilized. Comparison between the evaluations by visitors and residents further implies some agreements between them in terms of what to consider the aspects of the local lives, which sheds light on the discussion on the dichotomy of front and back regions, and on residents' recognition of their touristic daily environments.

*Keywords:* historical district, living culture, visitors, residents  
歴史的町並み, 生活文化, 訪問客, 住民

### 1. はじめに

観光は、人が日常生活圏を一時的に離れることで生じる現象であり、そのことにより、人々は「日常の生活状況では満たされない「快」欲求を、新奇な経験をすることによって満たそうとする」(佐々木, 2007, p.13) と考えられる。こうした非日常的な「快」経験を味わうため、観光者は、訪問先において「日常体験から区分されるような様相」(Urry, 1990) へとまなざしを向ける。歴史的な事物は、そうしたまなざしの対象となり得るものの一つであり、それが象徴する様相は、地理的のみならず時間的にも訪問客の日常との異質性を呈する可能性がある。

歴史的町並みは、このような訪問客のまなざしの対象となり得る様々な要素を内包した、複合的な事象である。こうした歴史的町並みにおいては、過去との物理的な繋がり、殊に建物や町並みの物理的魅力が、歴史的町並みが高く評価される要因の一つであり (Orbasli, 2000)、これらの要素が訪問客に提供する「過去を味わう機会」(Lynch, 1972; Millar, 1989; Moscardo, 2000) が歴史的町並みの主な魅力であると思われる。そして、そうした機会を提供する要素が複合的・重層的に存在することが、その魅力を高めていると考えられる。

しかし、松永、十代田、津々見 (2007) が指摘するように、歴史的町並みは、文化財、観光資源としてだけではなく、生活環境としての価値を有している。実際、歴史的町並みの多くは、元来、居住地あるいは商業地域として過去の世代の人々が生活していた地域である。そして、そのような歴史的町並みにおける現在の住民の生活文化もまた、訪問客にとっての魅力になる可能性がある (西村, 2000; Orbasli, 2000; 土田・十代田・津々見, 2008)。更に、西山 (2001) が述べるように、歴史的町並みは、歴史的固有性を有している一方、住民の生活空間と訪問客が訪れる空間が近い、あるいは重複しているという特徴を持つため、地元の生活の様相も訪問客の目に入り易いと思われる。

### 1-1. 訪問客がまなざしを向ける地元の生活文化

このような生活の様相について、Timothy と Boyd (2003) は、living culture という用語を用い、これを「伝統、暮らしぶり、儀式や礼拝式、ダンス、農作業や料理の習慣など、あまり実体的ではない対象や活動」(p.33)としている。彼らの考察は、heritage tourism 一般についてのものであり、living culture の意味するものは、明確に定義はされていないものの、特殊な無形文化財が主体となっているようである。一方、Ooi (2002) も cultural tourism に関する文献の中で living culture という用語を用いており、それを「日常の仕事、宗教的祭礼、ショッピングエリア、人が住んでいる遺産、伝統的かつ大衆的な工芸品や食事をする場所など、多くの地元の人々にとって重要かつ関係が深い要素がここに含まれ、商業的観光とは必ずしも関係しない形で地元の人々の日常生活の営みから生まれるものだ」(p. 157) と説明している。Ooi の定義も、living culture が含むものとその分類を明確に示したものではないが、彼が例示した要素の中には、日常の仕事、ショッピングや食事の場所など、歴史的な様相というよりは、現在の地元の人々の日常の様相を表すものが含まれることが分かる。

以上のように、「地元の生活文化」の定義づけやその整理、分類は充分に行われてきたとはいえないが、その様相には、独自性や希少性が顕著なものばかりではなく、住民の現在の暮らしが醸し出す、訪問客にとっての非日常性がそれほど強くない、顕著ではない様相が含まれると考えられる。ここでは、このような観光地の地元の生活文化の複合性に鑑み、「訪問客がまなざしを向ける地元の生活文化」について、以下の通り試験的な定義づけを行う：

「訪問客がまなざしを向ける地元の生活文化の様相」とは：  
・「その場所に過去から現在に至るまで住民が生活することにより、その場所に現存する」と訪問客が考える様相であり、  
・その場所に暮らさない訪問客が、関心を持ち、何かしら

個人的評価をする様相である。

### 1-2. 住民の視点の重要性

ここで考慮が必要なのは、訪問客が地元の生活の様相にまなざしを向けた場合、それは本当に現在の彼らの生活を反映しているのかということである。実際、MacCannell (1976) がフロントリージョンとバックリージョンの概念を用いて述べているように、「旅行者が本物性のあるバックリージョンだと思っけていても、実際は、旅行者向けに準備されたフロントあるいは演出されたバックリージョンだという場合がある」ことは観光研究においてしばしば指摘されている。また、訪問客が実際に求めているものも、歴史的町並みにおける実際の生活ではなく、訪問客が期待する歴史的セッティングにマッチした過去の生活である可能性もある。例えば、縄手 (2001) が岐阜県白川郷の住民と訪問客を対象に行った研究によると、訪問客が魅力的に感じる地元の生活は、過去の生活であり、地元住民が重視する現在の生活とは隔たりがあるとのことである。つまり、地元の生活に目を向けていると訪問客自身が考えている場合でも、彼らは、実際には、地元の現在の生活の様相とは言い難いものにまなざしを向けている可能性があるということである。従って、訪問客が注目する地元の生活文化の様相の特性を理解するためには、住民の立場から見たそれらの様相に関する評価についても明らかにすることが求められる。

### 1-3. 本研究の目的

本研究では、歴史的町並みにおけるこうした「地元の生活文化」の諸様相に関して、以下の2つの研究フェーズを通して研究する：

- ・訪問客が注目する対象となるものを、訪問客への質問票調査への自由記述回答内容を分析することで抽出する。
- ・抽出した要素を、地元の住民がどの程度「自身の生活を表したものである」、あるいは「訪問客誘致のためのものである」と考えているのかを、住民の質問票調査への回答を基に分析する。

## 2. フェーズ1：訪問客への質問票調査

### 2-1. 対象となる町並み

岐阜県高山市内の古い町並みが対象となったが、その選定理由は2つある。まず、高山市内の古い町並みの歴史遺産としての価値が挙げられる。高山市内には、現在、「三町」、「下二之町大新町 (以下 下二之町)」の2つの重要伝統的建造物群保存地区 (以下 伝建地区) があり、前者は1979年、後者は2004年に、いずれも商家町として指定されている (文化庁, n.d.)。また、岐阜県の観光統計 (岐阜県, 2010) によると、高山地区は、県内の観光地点毎の集客数では263万3000人で3番となっている。更に、訪問者の目的に関する高山市の調査 (高山市, 2010) では、平成21年度は「文化・歴史 (町並)」が、「温泉・保養」に次いで最も多い結果

になっており、町並みが高山市の重要な観光目的地となっていることが分かる。このように、高山市の古い町並みは、歴史遺産としての側面と観光地としての側面を併せ持つ典型的な町並みの一つだと考えられる。

### 2-2. 調査方法

#### 2-2-1. 手順

調査メンバー6名 (大学教員2名、大学院生4名) が、質問票と料金受取人郵便制度を利用した返信用封筒を訪問客に配布し、高山市訪問終了後に記入、投函するよう依頼した。その詳細は下記の通りである：

- 実施日と時間：2010年7月17,18日 (土曜日、日曜日) の2日間、計約8時間
- 質問票配布場所：
  - ・高山陣屋の出入り口付近及び休憩室内
  - ・JR高山駅前の観光案内所付近
  - ・まちなか観光案内所付近 (「三町」内)
- 配布質問票枚数：1,000部
- 配布物 (回答者一人当たり)：
  - ・質問票1枚
  - ・高山市「ぶらり散策マップ」のカラーコピー 1枚
  - ・返信用封筒1部

#### 2-2-2. 質問項目

質問票中の質問項目は以下の通りである：

- ・回答者のプロフィール (性別, 年齢, 国籍, 現在の居住地)
- ・回答者の過去の高山市内居住歴と訪問歴
- ・回答者の旅行形態 (訪問した伝建地区, 目的, ガイドツアーへの参加の有無, 高山市内滞在時間)
- ・高山市の古い町並みの魅力 (問7) と、そこに暮らす人々の生活を感じることができると (問8) について (それぞれ最大5つまで、自由回答方式)

また、問7,8においては、「何の」、「どんなところがそう感じられたのか」を書くようにという指示をしているが、これは、キャプション評価法における、写真の撮影理由を自由記述してもらう際の指示である：

- ・ 何の
- ・ どんなところが
- ・ どう感じられるのか

の内、最初の2つを参考にしている (古賀、高、宗方、小島、平手&安岡, 1999)。「何の」は環境評価の際に注目する「要素」、「どんなところが」はその要素の「特徴」の抽出を目的としたものである。3つ目の「どう感じられるのか」は、問7では「魅力的だと思ったこと」、問8では「高山市の古い町並みに住む人々の暮らしぶりが感じられたと思ったこと」と、既に既定されている。

### 2-3. 結果

回収率は 28.5% (285 名) で、そこから以下の条件のいずれかにあてはまる回答者を除いた 272 名を対象とした：

- ・国籍への回答が欠損値の回答者
- ・高山市内居住歴のある回答者
- ・訪問した町並みに関する回答が無い回答者

#### 2-3-1. 回答者の概要

回答者 272 名の概要は表 1 に示すとおりである。回答者には「女性」、「過去高山市訪問複数回経験者」、「宿泊客」が多く、出身地は「関東」、「中部」が多いが、「近畿」からの回答者も一定数見受けられた。また、「三町のみ」を訪問した回答者が多い一方で、「下二之町」を訪問した回答者も一定数見受けられた。また、ガイドの案内無しで散策をした回答者がほとんどであった。以上から、高山との繋がりが強く、個人旅行型でじっくり高山市を観光した、特に女性からの回答が多く寄せられたことが推測される。

#### 2-3-2. 自由記述回答の分析

次に、高山市の古い町並みの魅力 (問 7)、およびそこに暮らす人々の生活を感じることができること (問 8) に関する自由記述回答を分析し、「訪問客が、歴史的町並みで、魅力を持つものとしてまなざしを向ける対象」と「訪問客がまなざしを向ける、歴史的町並みにおける地元の生活文化の様相」の抽出を図った。その手順は以下の通りである：

- 使用ソフトウェア：

テキストマイニング・フリーウェア, KH Coder(Ver2, Beta23 樋口, n.d.)を利用した。

- 分析単位：

抽出語間の関係を分析する場合、どの単位で共起すれば共起したものを見なすのかを指定しなければならない。ここでは、一つの対象に関する記述 (問 7, 8 ごとに最大 5 つまで) を分析単位 (以下、テキスト) とする。

- 分析の流れ：

- ・頻出語の抽出：無回答者を除く全回答者数の 5% 以上の出現率を持つ語を分析対象とする
- ・抽出語間の関係性の抽出：  
テキスト中の語間の Jaccard 係数 (0.1 以上) を基に共起ネットワーク図を作成する。

#### 2-3-3. 結果

頻出語：

表 2, 3 に示す抽出語が得られた。ここでは名詞語を「対象」、それ以外を、それらが持つ「意味」として分類している。その結果、問 7 と問 8 への回答間で、以下の共通点と相違点が見られた：

表 1：回答者の概要 (訪問客)

項目	ラベル	人数	割合%
性別	男性	97	35.7
	女性	175	64.3
年齢	10代	2	0.7
	20代	35	12.9
	30代	66	24.3
	40代	55	20.2
	50代	76	27.9
	60代	29	10.7
	70代以上	8	2.9
	欠損値	1	0.4
国籍	日本人	272	100
出身地	北海道	3	1.1
	東北	1	0.4
	関東	102	37.5
	中部	104	38.2
	近畿	50	18.4
	中国	4	1.5
	四国	2	0.7
	九州	4	1.5
	沖縄	0	0
		欠損値	2
居住歴	無	272	100
訪問歴	有	178	65.4
	無	94	34.6
過去訪問回数	0回	94	34.6
	1回	36	13.2
	2-5回	102	37.5
	6-10回	26	9.6
	11回以上	14	5.1
宿泊	有	171	62.9
	無	101	37.1
訪問町並み	三町	158	58.1
	下二之町	6	2.2
	両方	108	39.7
目的 (複数回答可)	観光	254	93.4
	仕事	1	0.4
	親戚訪問	2	0.7
	友人訪問	2	0.7
町歩き方法 (複数回答可)	が <sup>イ</sup> 無	256	94.1
	ボ <sup>ラ</sup> テイ <sup>ガ</sup> が <sup>イ</sup>	1	0.4
	人力車	4	1.5
	その他 <sup>が</sup> が <sup>イ</sup>	7	2.6

- 問7,8 結果の共通点

- 古い町並みについて尋ねているので当然ではあるが、「町並み」、「古い」の出現頻度が高い。
  - 建築物に関する記述が目立つ。また、「店」（朝市を含む）の使用頻度も高く、商業に対するまなざしが伺える。
  - 人関連の語が目立つ
  - 水関連の語が見られる。町並み、建物以外にも目が向けられている。
- 問7,8 の結果の相違点
- 問8 ではNA（無記入）が目立ち、NONE（生活を感じるものは無い）も見受けられる。このことから、問8への回答が難しかったことが伺える。
  - 問7への回答では建築物に関わる要素がより目立つ。
  - 「保存」（「統一」「調和」を含む）は問7への回答のみで見られる。保存は生活文化の一面とはあまり意識されていないのかもしれない。
  - 問8への回答では「生活」が目立つ。また「打水」、「朝顔」などが問8への回答のみで見られる。
  - 問8への回答では、問7へのそれと比べ「観光」の頻度が高い。地元の生活における観光関連事物に対するまなざしが強いかもしれない。
  - 頻度が非常に高いとはいえないが、問8の結果に現代的な事物（例「車」）が見られる。

共起ネットワーク図：

図1,2に示す抽出語間の関係性が現れ、問7と問8への回答間で、以下の共通点と相違点が見られた：

- 問7,8 の結果の共通点

- 「古い」、「町並み」の関連が見られる。
- 人の暮らし（「人」、「暮らし」、「住む」など）を表す関係が見られる。
- 水関連の語の関係性が見られ、町並み、建物以外にも目が向けられている。

- 問7,8 の結果の相違点

- 「古い町並み」と「生活」及び「店」「観光」との関連は、問8への回答に現れている。古い町並みの現地での利用のされ方にまなざしが向けられているのかもしれない。
- 「家の前」と、「打水」などの水関連語、「朝顔」との関係が問8への回答に現れている。古い町並みでの暮らしの様相として注目されているのかもしれない。
- 町並み全体の保存に関する語の関連性（「保存」、「景観」、「全体」、「昔」、「残る」など）は問7への回答に見られる。これが問8で顕著でないということは、保存は生活文化の一面とはあまり意識されていないのかもしれない。
- 落ち着きや懐かしさに関する関係は問7への回答に見られる。

2-4. まとめ

- 地元の生活文化の様相としては、建物だけではなく、その活用（居住や商業・観光など）や、そこでの暮らしの

様相（打水、朝顔など）がまなざしの対象となっているようである。

- 古い家屋は観光の魅力と地元の生活文化の様相の双方として認識されているようである。
- 人の暮らしは、地元の生活文化の様相としてはもちろんだが、町並みの魅力としても捉えられているのかもしれない。
- 町並みの保存は、地元の生活とはあまり関連付けられていないのかもしれない。

表2：問7への回答中の頻出語

対象			意味		
語	頻度	%	語	頻度	%
町並み	118	49.2	古い	102	42.5
建物	74	30.8	有る	91	37.9
店	48	20.0	綺麗	40	16.7
水	39	16.3	良い	32	13.3
町	39	16.3	感じる	29	12.1
統一	38	15.8	落ち着く	25	10.4
雰囲気	26	10.8	無い	24	10.0
人	26	10.8	思う	23	9.6
保存	23	9.6	流れる	23	9.6
感じ	21	8.8	残る	22	9.2
川	21	8.8	昔	21	8.8
観光	20	8.3	出来る	21	8.8
朝市	19	7.9	多い	20	8.3
水路	18	7.5	全体	16	6.7
伝統	18	7.5	美しい	15	6.3
色	18	7.5	住む	13	5.4
塵	18	7.5	懐かしい	12	5.0
家	17	7.1	その他		
道	16	6.7	NA	32	13.3
家屋	14	5.8			
風情	14	5.8			
景観	12	5.0			
調和	12	5.0			
高山	12	5.0			

注) 表中の「%」は、各抽出語を述べた回答者の割合（問7への無回答者を除く）である。

3. フェーズ2：住民への質問票調査

3-1. 対象となる町並み

高山市内の「三町」、「下二之町」の2つの伝建地区の他、ここではその周辺地域も対象とする。具体的には、伝建地区を一部に含む、下記の行政区画を対象とした：

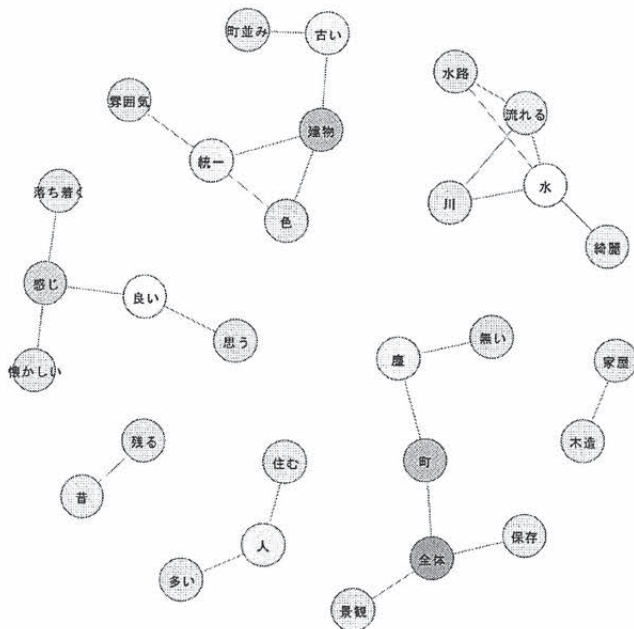
- 三町伝建地区：上三之町、上二之町、神明町4丁目、上一之町、片原町

表3：問8への回答中の頻出語

対象			意味		
語	頻度	%	語	頻度	%
町並み	48	25.4	有る	49	25.9
店	34	18.0	感じる	49	25.9
観光	31	16.4	古い	49	25.9
生活	30	15.9	前	18	9.5
家	27	14.3	見る	17	9.0
人	20	10.6	思う	17	9.0
町	20	10.6	無い	13	6.9
朝市	17	9.0	良い	13	6.9
地元	16	8.5	大切	10	5.3
水	18	9.5	綺麗	10	5.3
打水	12	6.4	その他		
客	12	6.4	NA	82	43.4
建物	11	5.8	NONE	16	8.5
玄関	11	5.8			
水路	11	5.8			
朝顔	11	5.8			
車	11	5.8			
暮らし	10	5.3			

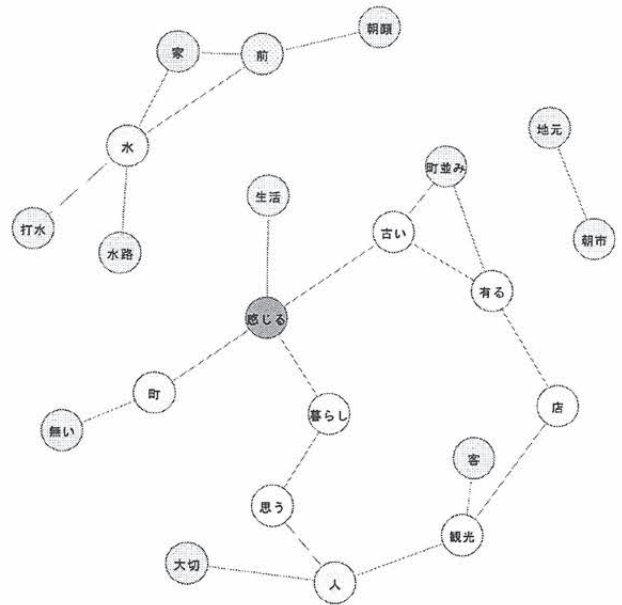
注) 表中の「%」は、各抽出語を述べた回答者の割合(問8への無回答者を除く)である。

図1：問7への回答中の頻出語間の関係



・下二之町伝建地区：下一之町、下二之町、下三之町  
 なお、「下二之町伝建地区」を含む行政区画には八幡町、大新町1, 2, 3, 4丁目もあるが：

図2：問8への回答中の頻出語間の関係



・「三町」、「下二之町」周辺の行政区画内の住民の人数のバランス(高山市, n.d.2)  
 ・高山市の「近隣商業地区」を含む他の行政区画と比べ、これらは「居住地区」であり(高山市, n.d.1)、訪問客向けのサービスを提供する空間としての色合いは薄いであろうことに鑑み、ここでは調査の対象外とした。

なお、「三町」、「下二之町」の2つの伝建地区の性質の違いも、分析の際の要因として考慮する。「三町」は伝建地区に指定されて30年以上が経ち、「まちなか観光案内所」も設置されているなど、著名な歴史的観光地となっている。一方、「下二之町」は伝建地区に指定されてから5年強しか経っておらず、「三町」と比べると、保存地区としても、観光地としても、知名度は低いと思われる。また、高山市の景観計画(高山市, 2009)でも、下二之町は「三町地区と比べ店舗として利用されている建物が少なく、住民生活に密着した生活感のある町並が残されている」(p.10)と紹介されている。従って、住民の観光地としての古い町並みに関する認識は、どちらの伝建地区、あるいはその周辺に居住しているかによって異なるかもしれないと考えた。

### 3-2. 調査方法

#### 3-2-1. 手順

大学教員2名が、2011年3月6,7日(日曜日、月曜日)の2日間、下記のもの、対象となる行政区画内の、郵便受けを確認することができた410棟に投函した：

- ・質問票1枚
- ・料金受取人郵便制度を利用した返信用封筒 1部
- ・調査目的を示し、一世帯あたり一人への、質問票への記入と返信を依頼する文書 1枚

### 3-2-2. 質問項目

質問票中の質問項目は以下の通りである：

- ・回答者の高山市の伝建地区内の居住の有無
- ・回答者の各行政区画内の居住の有無
- ・回答者のプロフィール（年齢、性別、国籍）
- ・フェーズ2の問7,8の結果で顕著だった、古い町並みで目にする可能性のある下記の9項目（表4参照）のそれぞれが、どの程度：

「現在、高山の古い町並みに住む人々の暮らしぶりを表している」

「訪問客向けのものである」

と思うかの2つの観点についての尺度評定（5段階尺度問6）

表4：住民向け質問票の評価項目

古い町並で古い建築物が保存されていること
古い町並で清掃がされていること
古い町並にある店で働く人々の姿
夏期の古い町並にある建物の前で打水がされていること
夏期の古い町並にある水路に水が流れていること
古い町並にある建物の前に草花が育てられていること
古い町並で自動車が見受けられること
宮川朝市
陣屋前朝市

### 3-3. 結果

回収率は44.4%（182名）で、そこから以下の条件のいずれかにあてはまる回答者を除いた154名を対象とした：

- ・居住している伝建地区と行政区画のどちらに関する回答もないもの
- ・居住している伝建地区と行政区画が相違しているもの
- ・問6への回答記入方法が間違っているもの
- ・問6への回答が全くないもの

なお、国籍を回答していない人が2名おり、残りは全て日本人であったが、国籍に関わらず分析対象とした。

#### 3-3-1. 回答者の概要

回答者154名の概要は表5に示すとおりである。男女のバランスはほぼ取れており、中高年層の回答者が多いことが分かる。また、「居住町並み」を見ると、「三町」居住者と「どちらもなし（伝建地区外居住者）」がほぼ同数で、合わせて全体の90%以上を占めているが、両伝建地区周辺地域までを含める（「居住行政区画」参照）と、「三町周辺」と「下二之町周辺」のバランスがほぼ取れていることが分かる。

表5：回答者の概要（住民）

項目	ラベル	人数	割合%
性別	男性	88	57.1
	女性	65	42.2
	欠損値	1	0.6
年齢	20代	2	1.3
	30代	14	9.1
	40代	18	11.7
	50代	28	18.2
	60代	29	31.2
	70代以上	44	28.6
居住町並み	三町	62	40.3
	下二之町	22	14.3
	どちらもなし	70	45.5
居住行政区画	三町周辺	87	56.5
	下二之町周辺	65	42.2
	欠損値	2	1.3

#### 3-3-2. 尺度評定値の分析

表4に示した9項目を、前述した2つの観点からの尺度評定値の平均値を基に二元配置したものが図3であり、縦軸の数値が高い程「現在、高山の古い町並みに住む人々の暮らしぶりを表して」おり、横軸の値が高い程「訪問客向けのものである」と評価されていることを表している。

また、上記の評定平均値を基に、9項目のクラスター分析（Ward法、平方ユークリッド距離、標準化Z得点を使用）を行ったところ、図3中の囲いで示す通りの2つのクラスターが確認された。なお、図4にはクラスター分析の結果を示すデンドログラムを、各項目の評定平均値と共に示している。

以上の分析の結果、上記の2タイプが、住民によって以下の通りに評価されていることが示唆される：

- 訪問客向けの地元の生活の様相：  
相対的に訪問客向けだと認識が強いが、「店で働く人」以外は、地元の生活の様相だともある程度は認識されている（含まれるもの：宮川朝市、陣屋前朝市、建築物保存、店で働く人）
- 訪問客向けでない地元の生活の様相：  
地元の生活の様相としての認識があり、訪問客向けだという認識が非常に低いもの（含まれるもの：打水、水路、清掃、草花、自動車）

また、生活文化の様相それぞれについて、2観点における評定値間のPearson相関係数（両側検定、欠損値はペアごと削除）を算出したところ、以下の2つの様相について、有意な相関関係が認められた：

- ・建物保存： $r=-.236$ ,  $p<.01$
- ・自動車： $r=-.248$ ,  $p<.01$

つまり、「建物保存」と「自動車」に関しては、「訪問客向けのものである」と認識されればされるほど、「現在、高山



の古い町並みに住む人々の暮らしぶりを表している」という認識が弱くなるという関係があることが分かった。

図3：生活文化の9様相の二元配置

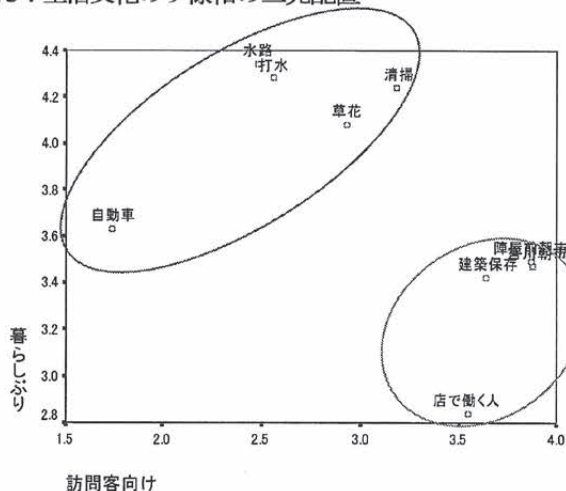
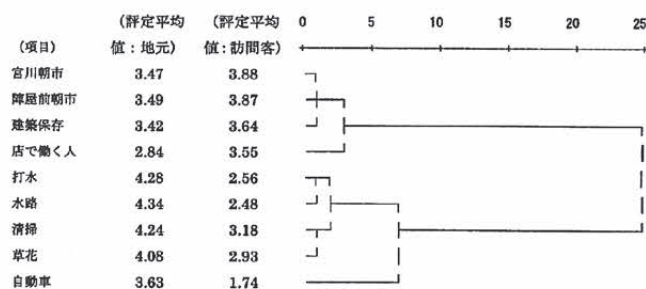


図4：デンドログラム（生活文化の9様相）



### 3-3-3. 住民の居住地区ごとの分析

続いて、「三町周辺か下二之町周辺か」、「伝建地区内か外か」という、住民の居住地区に関わる2要因を独立変数とし、生活文化の9様相の、「現在、高山の古い町並みに住む人々の暮らしぶりを表している」、「訪問客向けのものである」という2つの観点のそれぞれからの尺度評定値を従属変数とした分散分析を行った。その結果は以下の通りである：

- 従属変数：「生活文化の様相を表しているか」の評定値  
生活文化の9様相の、「現在、高山の古い町並みに住む人々の暮らしぶりを表しているか」の評定値を従属変数とした場合、表6に示す通り、

- ・「建築保存」において「伝建地区内か外か」の主効果
- ・「打水」における交互作用

が見られた。

つまり、建築物の保存は、伝建地区内では地元の生活文化の様相を表すものとしてより強く認識されている。また、打水是、三町周辺では伝建地区内の方が、伝建地区内では三町の方が、地元の生活文化の様相を表すものとしてより強く認識されている可能性が考えられる。

表6：「生活文化の様相を表しているか」の評定平均値 (SD) と分散分析

		建築保存 暮らしぶり		打水 暮らしぶり	
		三町	下二之町	三町	下二之町
伝建地区	内	3.66 (1.20)	3.59 (1.10)	4.59 (0.59)	3.91 (1.34)
	外	3.08 (0.97)	3.20 (1.25)	4.16 (0.75)	4.12 (0.79)

【主効果】

独立変数：「伝建地区内外」、従属変数：「建築保存」  
 $F(1,142)=5.43, p<.05$ 、伝建地区内>外

【交互作用】

独立変数：「伝建地区内外」×「三町/下二之町」  
従属変数：「打水」  
 $F(1,142)=5.43, p<.05$

単純主効果(信頼区間の調整：Sidak)：

三町：伝建地区内>外,  $F(1,147)=4.90, p<.05$   
伝建地区内：三町>下二之町,  $F(1,147)=11.21, p<.01$

- 従属変数：「訪問客向けか」の評定値

生活文化の9様相の、「訪問客向けかどうか」の評定値を従属変数とした場合、表7に示す通り、「宮川朝市」と「陣屋前朝市」において、「伝建地区内か外か」の主効果が見られた。

表7：「訪問客向けか」の評定平均値 (SD) と分散分析

		宮川朝市 訪問客向け		陣屋前朝市 訪問客向け	
		三町	下二之町	三町	下二之町
伝建地区	内	3.95 (1.19)	4.40 (0.68)	3.89 (1.25)	4.37 (0.68)
	外	3.65 (0.98)	3.67 (1.13)	3.71 (1.04)	3.70 (1.06)

【主効果】

独立変数：「伝建地区内外」、  
従属変数：「宮川朝市」  
 $F(1,139)=6.65, p<.05$ 、伝建地区内>外

独立変数：「伝建地区内外」、  
従属変数：「陣屋前朝市」  
 $F(1,139)=4.50, p<.05$ 、伝建地区内>外

つまり、両朝市ともに、伝建地区内の方が、訪問客を呼ぶためのものとして、より強く認識されていることが示唆されている。

### 3-4. まとめ

この質問票調査の結果、訪問客への調査で抽出された「高山市の歴史的町並みの魅力」及び「そこにおける生活文化の様相」は、「訪問客向けの地元の生活の様相」と「訪問客向けでない地元の生活の様相」に大別されることが示唆された。また、住民の居住地区が、このような諸様相に対する認識に影響を与える可能性も示された。

### 4. おわりに

ここでは、本研究の調査結果に関して、訪問客と住民の視点の共通点と相違点を観点として考察する。

まず、両者の視点の共通点としては、「朝市」や「店で働く人々」といった、町並みにおける商業的な営みが挙げられる。こうした様相は、訪問客の場合と同様、住民の視点からも、「地元の生活文化」としての性質をある程度帯びたものとして認識されていることが分かった。ただ、これらは、同時に「訪問客向けのもの」としても住民により強く認識されている。このことは、住民が、観光地化という現象を自らの暮らしの一側面として、それを好ましく感じているかどうかはともかく、認めていることを示唆している。特に朝市に関しては、伝建地区内の住民による、「訪問客向けの様相」としての意識が強く、保存の程度の強い地区に暮らす住民が、訪問客向けの要素としてより強く感じているのは興味深い。このことはまた、観光地における地元の生活文化の様相が、フロントリージョン対バックリージョン (MacCannell, 1976) という二項対立的な枠組みのみでは捉えきれず、フロント向けに変容したバックリージョンが、住民にそのように認識された上で生成されうること示していると思われる。

また、訪問客への調査結果において「生活文化の様相」として顕著に現れていた、「打水」、「水路」といった水関連の要素、「清掃」といった町並みにおける住民の営み、「草花」、「自動車」のような現代的要素は、住民の視点からも、「地元の生活文化」として強く認識されうることが示された。また、これらは、住民によって「訪問客向けではない」と強く意識される傾向も示されており、観光という文脈に依拠しない生活文化を表す様相として、住民と訪問客の双方から共有的に認識されうることが示唆されている。また、このことは、訪問客がいわゆるバックリージョンに位置する対象物について、まなざしを向けうる可能性を示していると思われる。

一方、訪問客と住民の評価の相違点に着目すると、「建物の保存」は、訪問客の視点からは「地元の生活文化の様相」とはそれほど強く認識されないかもしれないが、住民からはそのように認識される可能性が示された。また、このような傾向は、伝建地区内の住民の場合により顕著になる可能性も示唆された。Naoi (2004) は、実証研究を通じて、訪問客にとってあまりに顕著な歴史的町並みの物理的保存の様相は、その町並みに対して訪問客が感じる本物性を減じる可能性を示しており、このことは、本研究で示された

訪問客の保存に対する評価の理由となっている可能性がある。ただその一方で、保存された町並みに実際暮らす住民は、必ずしも訪問客誘致のためではなく、自分たちの暮らしの一部として保存を捉えているのかもしれない。

このように、本研究の結果は、訪問客と住民の双方から見た町並みにおける生活文化の様相についての示唆を提供し、更に、観光地におけるフロントリージョンおよびバックリージョンの枠組みや、訪問客と住民との認識の相違といった議論に対して、新たな視点を提供するものであった。

なお、本研究では、三町及び下二之町の2つの伝建地区に、観光地としての性質の違いがあるであろうと考えて分析をした。しかし、住民の評定に対する彼らの居住地区(三町、あるいは下二之町)の影響に関しては、伝建地区内外の居住を交えた相互作用が一要因(打水が「現在、高山の古い町並みに住む人々の暮らしぶりを表しているか」)に対して見られるに留まり、2つの地区の違いによる差異は、少なくとも住民の視点からは余り顕著には見られなかった。

最後に、本研究の制約としては、まず、季節的要因が挙げられる。特に、本研究における訪問客への調査は夏季に実施されており、そのことが、朝顔や、打水などの水関連の要素が顕著であった理由として考えられる。また、訪問客の回答率の低さも懸念すべき点であり、特に、地元の生活文化に関する問8への自由記述に関しては、質問票の返信があった場合でも、無回答や、「ない/分からない」という回答も少なくなかった。このことは、多くの訪問客にとって、自身と「地元の生活文化」といった顕著でない対象との接触やそれに対する評価を意識しにくく、それに関する見解を整理、言語化して表現することが難しいという可能性を示している。従って、今後は、旅行記等の二次データから訪問客の評価を読み取る手法や、行動追跡や観察といった、訪問客の評価を間接的に表すデータを収集する手法などを取り入れ、瞬時には言語化できない訪問客のまなざしの構造の分析を試みる必要があるかもしれない。

### 謝辞:

本研究の調査実施に当たっては、八雲環境科学振興財団(岡山県)から助成を頂いている。また、高山市観光課の職員の方々には、調査実施のための関係各所との連絡に奔走して頂き、更に調査計画の策定において、非常に有意義な助言を頂いた。訪問客への質問票調査においては、高山陣屋の皆さまには調査の実施を快く許可して頂き、調査当日には、質問票を配布した各所の皆さまから、調査員に対する温かい励ましのお声を頂いた。また、住民向けの質問票調査の実施においては、関係行政区画の町内会長の皆さまに、質問票配布に関する事前の周知をして頂いた。このような多大なご助力に対し、この場をお借りして、厚く御礼を申し上げます。最後に、調査への協力を頂いた東京工業大学及び岡山商科大学の学生の皆さん、訪問客向け、及び住民向けの質問票への回答と返信を頂いた皆さんに、厚く御礼を申し上げます。

引用文献：

- 文化庁 (n.d.) 重要伝統的建造物群保存地区一覧 (平成 21 年 6 月 30 日現在) . Retrieved November 13, 2010 from [http://www.bunka.go.jp/bunkazai/shurui/juudenken\\_ichiran.html](http://www.bunka.go.jp/bunkazai/shurui/juudenken_ichiran.html)
- 岐阜県 (2010) 平成 21 年岐阜県観光レクリエーション動態調査結果. Retrieved November 7, 2010 from <http://www.pref.gifu.lg.jp/kanko-bussan/shiru/kanko-tokei/21kekka.data/21kekka.pdf>
- 樋口耕一(n.d.). *KH Coder Index Page*. Retrieved July 5, 2010 from <http://khc.sourceforge.net/>
- 古賀誉章、高明彦、宗方淳、小島隆矢、平手小太郎、安岡正人(1999). キャプション評価法による市民参加型景観調査—都市景観の認知と評価の構造に関する研究 その 1. 日本建築学会計画系論文集, 第 517 号, 79-84.
- Lynch, K. (1972). *What time is this place?*, Cambridge, MA: MIT Press.
- MacCannell, D. (1976). *The tourist: a new theory of the leisure class*. Los Angeles: University of California Press.
- 松永和幸・十代田朗・津々見崇 (2007) 歴史的集落・町並みの類型化に関する基礎的研究. 日本観光研究学会第 22 回全国大会論文集, 165-168.
- 西村幸夫 (2000) 都市論ノート：景観・まちづくり・都市デザイン. 鹿島出版会
- 西山徳明 (2001) 自律的観光とヘリテージ・ツーリズム. 国立民族学博物館調査報告, 21, 21-36.
- Millar, S. (1989). Heritage management for heritage tourism. *Tourism Management*, 10(1), 9-14.
- Moscardo, G. (2000). Cultural and heritage tourism: the great debates. In B. Faulkner, G. Moscardo, & L. Eric (Eds.), *Tourism in the 21 century: lessons from experience* (pp. 3-17), London: Continuum.
- Naoui, T. (2004). Visitors' evaluation of a historical district: the roles of authenticity and manipulation. *Tourism and Hospitality Research*, 5(1), 45-63.
- 縄手亜矢 (2001) 白川郷萩町集落の歴史的町並みに対する観光者及び地域住民の認識. 日本観光研究学会全国大会第 16 回全国大会論文集, 57-60.
- Ooi, C.S. (2002). *Cultural tourism and tourism cultures: the business of mediating experiences in Copenhagen and Singapore*. Copenhagen, Denmark: Copenhagen Business School Press.
- Orbasli, A. (2000). *Tourists in historic towns: urban conservation and heritage management*. London: E & FN Spon.
- 佐々木土師二 (2007) . 観光旅行の心理学. 北大路書房
- 高山市 (2009) 高山都市計画図：都市計画決定状況 (平成 19 年 12 月現在) . Retrieved on November 13, 2010 from <http://www.city.takayama.lg.jp/toshiseibi/documents/tokeizuichi-manichi.pdf>
- 高山市 (2010) 平成 21 年度観光統計. Retrieved on November 7, 2010 from <http://www.city.takayama.lg.jp/kankou/documents/h21-kankoutoukei.hp.pdf.pdf>
- 高山市 (n.d.1) 高山市景観計画 (平成 18 年 12 月当初、平成 21 年 12 月変更) . Retrieved on November 13, 2010 from <http://www.city.takayama.lg.jp/toshiseibi/TOSI.HTM>
- 高山市 (n.d.2) 行政区画別人口 (平成 21 年) . Retrieved on November 16, 2010 from [http://www.city.takayama.lg.jp/shimin/jinkoukukaku\\_h21.htm](http://www.city.takayama.lg.jp/shimin/jinkoukukaku_h21.htm)
- Timothy, D.J., & Boyd, S.W. (2003). *Heritage tourism*. Harlow, UK: Prentice Hall.
- 土田夢子、十代田朗、津々見崇 (2008) 町並み観光地の発展過程と観光振興及び町並み保存をめぐる意見の関係に関する研究：倉敷・美観地区を対象として. (社) 日本都市計画学会 都市計画論文集, No.43-3, 601-606.
- Urry, J. (1990). *Tourist Gaze*, 2<sup>nd</sup> ed. London: Sage.

\*岡山商科大学経営学部商学科・Department of Business and Commerce, Faculty of Commerce, Okayama Shoka University.

\*\*東京工業大学情報理工学研究所・Department of Mechanical and Environmental Informatics, Graduate School of Information Science and Engineering. \*\*\*琉球大学観光産業科学部観光学科・The Department of Tourism Sciences, University of the Ryukyus

# 生体の視覚・聴覚・嗅覚機能に基づく超低消費電力対象物追跡センサ

津山工業高等専門学校 電気電子工学科 西尾 公裕

## 1. はじめに

センサは人の5感と対応させることができる。その中で、視覚、聴覚、嗅覚は物体を探し出し、それを追跡するために必要な機能であると考えられる。これまでに実現されている典型的なセンサの構造を図1に示す。視覚の入力部としては、Charge Coupled Device (CCD)カメラなどの撮像素子が用いられる。聴覚の入力部としてはマイクが用いられる。嗅覚では、においセンサなどが用いられる。各素子の信号はデジタルコンピュータによって処理される。特に視覚の画像情報は膨大であり、コンピュータはその情報を直列演算により処理するため、実時間処理が難しいと考えられている。このように直列演算によって処理される図1の構造のセンサでは、瞬時に対象物を探し出し、それを素早く追跡することは難しいと考えられる。また、占有面積も大きく、現在小型化されている応用システムの適用には難しいと考えられる。

脳では、個々の神経細胞が並列に処理することで高速に動作することができる。このような脳構造に学び、視覚、聴覚および嗅覚の機能を1チップで実現することができれば、図1の構造のセンサの問題点を解決することができる。

1980年代後半から生体の視覚系に学んで、実時間動画像処理を行う視覚センサ(集積回路)の構築に関する研究が行われてきた[1],[2]。多くの集積回路は、画素に相当する単位回路が一次元もしくは二次元に配列されている。各単位回路が並列に処理することで、実時間処理を可能にしている。申請者もこれまでに、素子数が少ない動き検出回路を考案してきた[3]。また、動き検出回路を前処理とする対象物を追跡するシステムが構築された[4],[5]。しかし、追跡システムには、よりシンプルでより正常に動作し、かつ低消費電力な回路が必要になることがわかった。

以上のような視覚機能の問題点を補うのが聴覚および嗅覚機能である。聴覚機能に関しては、これまでにL. A. Jeffress[6]により、簡単な構造でモデル化されている。このモデルでは、対象物の音の位置を瞬時に検出し、追跡することができる。嗅覚機能のモデル化に関しては、歴史的にも非常に新しいと考えられている[7]。特に、昆虫のフェロモンを探索する機能がモデル化されており、これがデジタル回路化されている[7]。このモデルを参考にすることで、対象物における位置を瞬時に検出することができる集積回路を実現することができると考えられる。また、アナログ回路技術を用いることで、素子数が少ない回路構成で低消費電力の実現が期待でき、世界

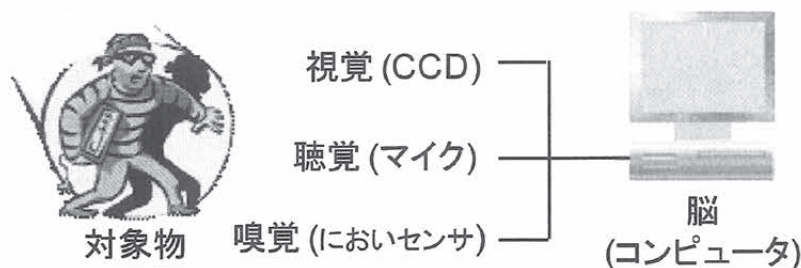


図1 典型的なセンサの構造.

的に見ても新しいセンサの実現が期待できる。

以上のような研究背景のもと、生体の視覚・聴覚・嗅覚に基づき、対象物の画像・音・においなどの情報から物体の位置を認識し、それを追跡するセンサを実現することを目的とした。このようなセンサは、ロボット、監視カメラ、防犯システムなど多岐にわたって利用できると考えている。センサにはCMOS電子回路技術を用い、将来、集積回路を実現できるように、素子数が少ないシンプルな回路を提案した。アナログおよびデジタルの両方の良い面をとって、混在型の電子回路を考案した。アナログ回路では、MOSトランジスタをサブスレッショルド領域で動作させることで、低消費電力化を目指した。デジタル回路設計では、素子数が多くなるため、可能な限り素子数を減らし、シンプルな構造の回路を提案した。

## 2. 視覚機能に基づく電子回路

図2に考案した電子回路を示す。本回路は単位回路である。本回路を一次元または二次元に配列することで、物体の移動方向や速度を検出することができる。本回路は、エッジ検出部と動き情報生成部とからなる。エッジ検出部はアナログ回路で実現されており、動き情報生成部はディ

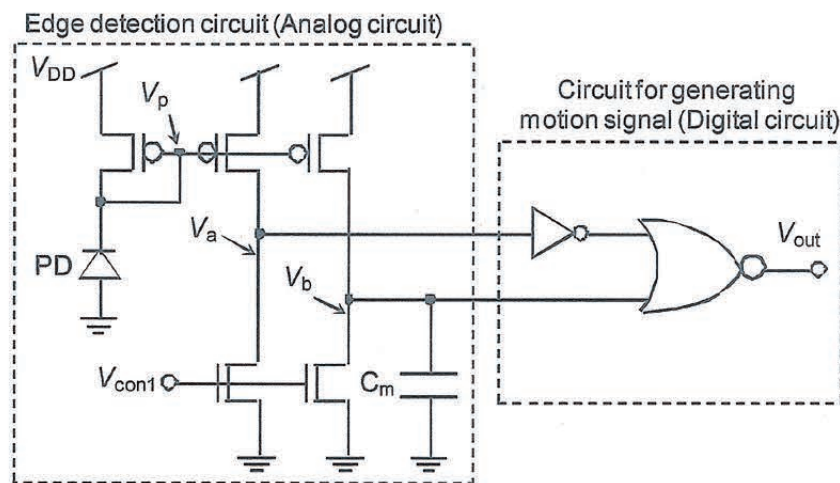


図2 視覚機能に基づく単位回路。

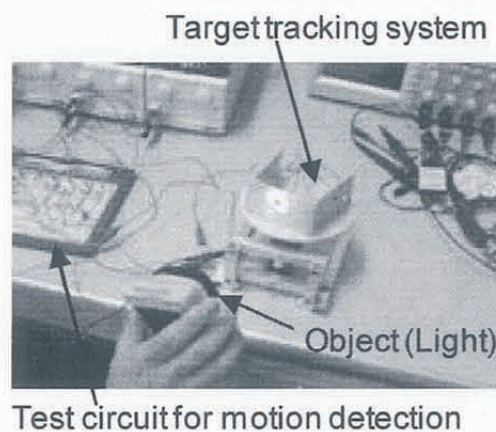


図3 視覚機能に基づく物体追跡システム。

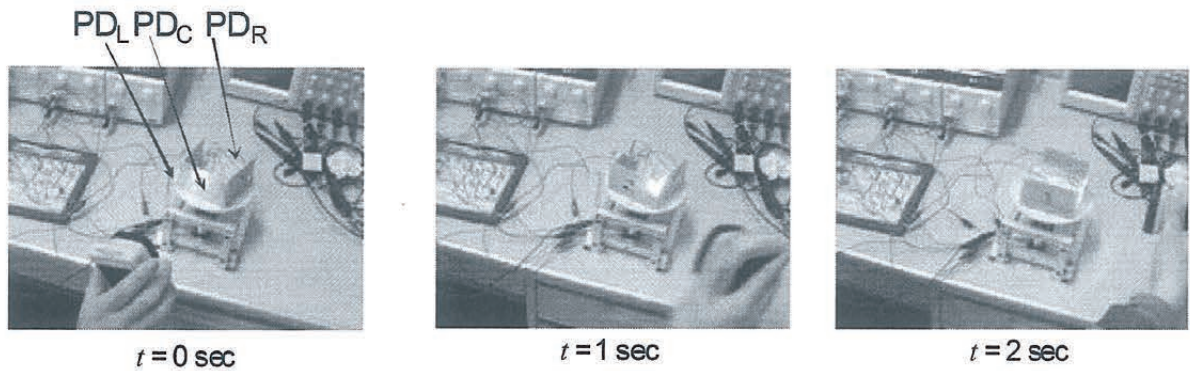


図4 物体追跡システムの測定結果.

デジタル回路で実現されている。特に動き情報生成部は、NOT 回路と NOR 回路のみで構成されており、比較的シンプルな構成になっている。この回路は 6 個の MOS トランジスタで構成することができる。

考案した電子回路を物体追跡システムの前処理に利用した。作製したテストシステムの様子を図 3 に示す。電子回路をブレッドボード上に作製した。電子回路の入力部にはフォトダイオードを用いた。電子回路の出力端子をモータに接続した。モータ上に基板を取り付け、基板に回路の入力部であるフォトダイオードを設置することで、物体が移動した方向にモータが回転するようにした。

作製した回路を応用した物体追跡システムの動作の検証を行うため、物体をフォトダイオード上に通過させた。図 4 に、物体を入力部の中央  $PD_C$  から右  $PD_R$  に移動させたときの物体追跡システムの様子を示す。物体が右に移動すると、モータが右回転し、物体が停止したとき、モータが停止した。以上より、考案した物体追跡システムは正常に動作することが確認できた。

### 3. 聴覚機能に基づく電子回路

生体の聴覚機能に学んでシンプルな音源方向を検出する電子回路を考案した。考案した回路の入力部にはマイクを用いた。人の耳と同様な位置にマイクを設置すると仮定して、2つのマイクを用いた。マイクから得られた音の情報は電気信号に変換され、この電気信号を入力とする電子回路を設計した。

考案した回路は、遅延線および比較器で構成された。遅延線に用いた基本回路を図 5 に示す。基本回路は、約 10 個の MOS トランジスタで構成された。この基本回路を一次元配列することで、遅延線を構成した。これにより、回路は非常にシンプルな構成になった。

また、比較器として、2入力 NOR 回路を用いた。NOR 回路は 4 つの MOS トランジスタで実現できるため、非常にシンプルな構成になった。NOR 回路は一次元に配列され、どの位置の NOR 回路から電圧が出力されるかで、音源の位置を検出するように回路を設計した。

構築した音源方向検出システムを図 6 に示す。音を捉えるマイクと、視野内に物体を捕獲したことを確認するフォトダイオードを搭載した人を模したマネキンをモータで構成された回転装置に設置した。回路は音源の方向を右、中央、左の 3 方向で検出する。音源の方向が右および左と

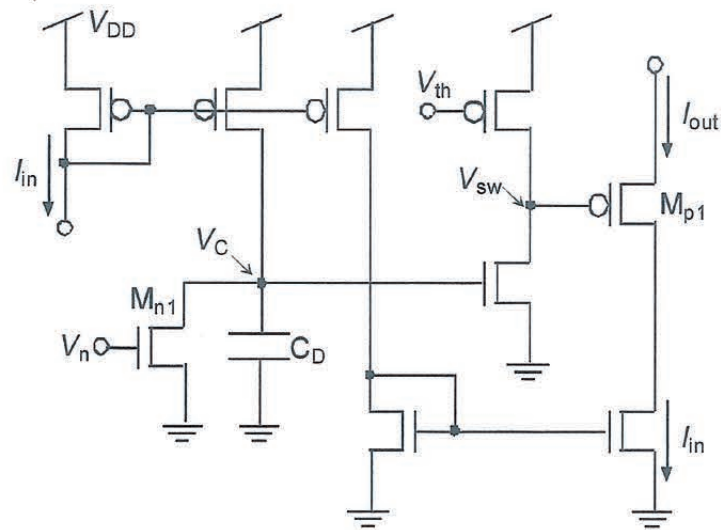


図5 遅延線の単位回路.

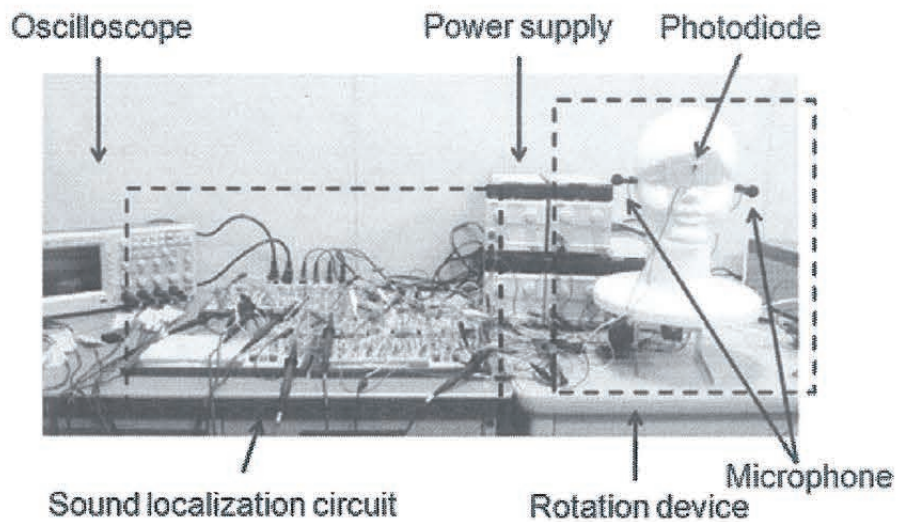


図6 聴覚機能に基づく音源方向検出システム.

検出されたとき、回路は信号をモータに出力し、回転装置を検出した方向に回転させる。音の位置が中央と検出されたときは、回転装置を回転させずに回路をリセットする信号が出力される。またフォトダイオードに物体（光）が照射されたときは、物体を視野内に捕獲したことになり、回路がリセットされる。

作製したシステムに音声による入力を与え実験を行った。図7にシステムから見て右方向から音声入力を行い動作した後のシステムを示す。システムから見て右方向から音声入力を行うと、回転装置は物体の方向に回転し、フォトダイオードに物体が照射された時点で停止した。また逆方向から音声入力を行った場合も、物体の方向に装置が回転し、フォトダイオードに物体が照射された時点で停止することも確認できた。また、中央から音声入力を行った場合に装置が回転し

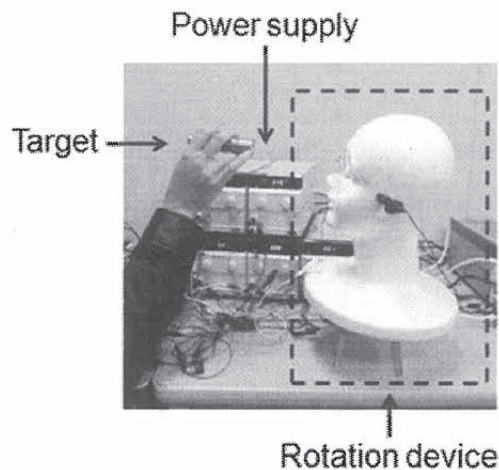


図7 音源方向検出システムの測定の様子。

ないことも確認できた。以上より、考案した音源の方向検出システムは良好に動作することが確認できた。

#### 4. 嗅覚機能に基づく電子回路

図8に蚕蛾のフェロモン源定位を示す。蚕蛾はにおい源を探知すると、そこに向かい直進し、ジグザグターンをしてその後におい源の周りを回転する。この蚕蛾の行動パターンを実現する電子回路を図9に示す。電子回路は、比較器のみで構成されており、非常にシンプルな構成である。本回路はにおいを検知すると、においセンサの出力 $V_2$ が大きくなる。 $V_3$ はしきい値処理のため一定に設定される。 $V_2$ と $V_3$ を比較して、 $V_2$ が $V_3$ より大きいとき $V_{out}$ は出力する。 $V_2$ が $V_3$ より小さいときは、 $V_{out}$ は0になる。以上より、本回路は、においを検出するとき一定値の電圧を出力する。

考案した回路をブレッドボード上に作製して、測定を行った。におい源にエタノールを用いた。測定した結果、におい源をセンサに近づけると出力 $V_{out}$ は図10のように出力した。以上より考案した回路は、良好に動作することが確認できた。本回路をロボットなど、移動体に使用することで、蚕蛾のフェロモン源定位と同等の行動をすることができると考えられる。

#### 5. まとめ

本研究では、生体の視覚・聴覚・嗅覚に基づき、対象物の画像・音・においなどの情報から物体の位置を認識し、それを追跡する基本的なアナログ・デジタル混在型電子回路を考案してきた。考案した回路のアナログ部において、回路を構成するMOSトランジスタをサブスレッショルド領域で動作させ、低消費電力を実現させた。サブスレッショルド領域でトランジスタを動作させると、回路は誤動作する可能性はあるが、誤動作が生じる前に、電気信号をデジタル化し、正常に動作する回路を実現することができた。特に視覚機能に基づく電子回路では、デジタル部の素子数を低減させることができおり、アナログ回路と同程度の素子数でデジタル回路を構築し、安定に動作する新しい電子回路・ネットワークを実現することができた。

以上より、本研究で考案してきた基本的な電子回路を基にして、より高度で低消費電力なセン



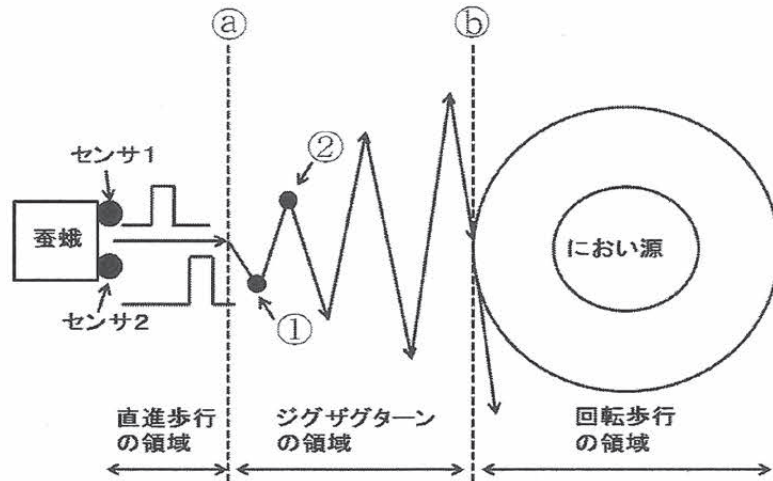


図8 蚕蛾のフェロモン源定位.

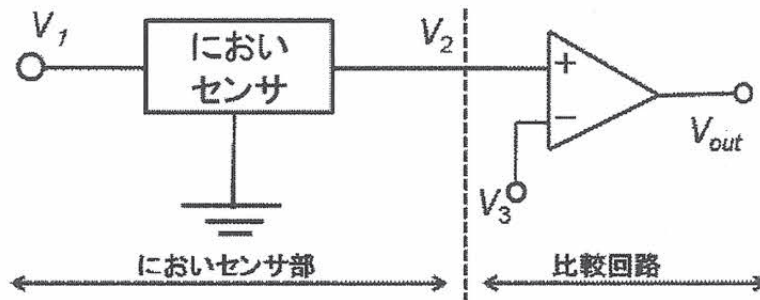


図9 蚕蛾の行動パターンを実現する電子回路.

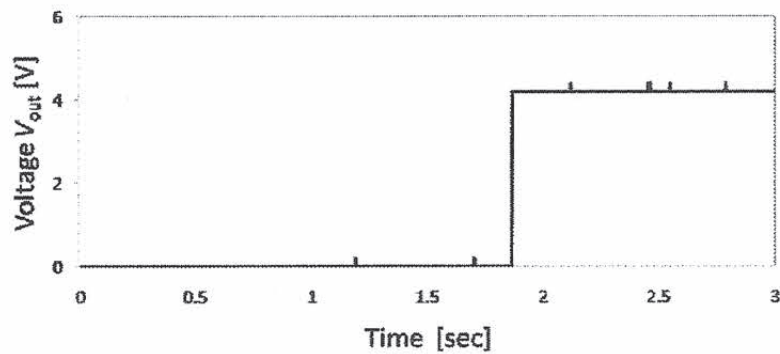


図10 電子回路の測定結果.

サの実現が将来期待できる。また、本研究では、低消費電力な新しく基本的な電子回路を実現しており、本研究では物体の追跡のように機能を特化しているが、提案してきた基本回路はいろいろな製品に使用できる可能性もある。例えば、提案される新しい基本回路を将来の電化製品などに適用することで、超低消費電力な製品の実現も可能になると考えられる。

参考文献

- [1] C. A. Mead, Analog VLSI and Neural Systems, Addison Wesley, Reading, MA, 1989.
- [2] A. Moini, Vision Chips, Kluwer Academic, Norwell, MA, 1999.
- [3] K. Nishio, K. Matsuzaka and H. Yonezu, “Simple Analog Complementary Metal Oxide Semiconductor Circuit for Generating Motion Signal”, *Optical Review*, vol. 14, pp. 282-289, 2007.
- [4] K. Nishio and K. Matsuzaka, “Target Tracking System Using Analog Circuit for Motion Detection”, *Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2008)*, TC3-5, 2008.
- [5] S. C. Liu and A. U. Viretta, “Fly-Like Visuomotor Responses of a Robot Using a VLSI Motion-Sensitive Chips”, *Biological Cybernetics*, vol. 85, pp. 449-457, 2001.
- [6] L. A. Jeffress, “A Place Theory of Sound Localization”, *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, vol. 41, pp. 35-39, 1948.
- [7] 神崎亮平, ロボットで探る昆虫の脳と匂いの世界, フレグランスジャーナル社, 2009.

## 太陽光を利用できるオゾン・光触媒複合水処理技術の開発

岡山大学大学院環境学研究科 西本俊介

### 【背景】

現在、安全な水資源の確保は深刻な問題となっている。例えば、高濃度産業汚染廃水による水質汚染や既存の廃水処理設備の重装備化によるエネルギー使用量の増加、難分解性有害化学物質による生態系への影響などが挙げられる。また、このような環境浄化のためには、環境に負荷のかからない手法で実施することが不可欠である。以上のことから、水処理技術の革新が強く求められている。

標準的な浄水場では、原水中の固形成分を除去するための凝集沈殿処理、砂ろ過処理に加え、殺菌・消毒等のための塩素処理が行われているが、塩素処理ではカビ臭の原因物質の除去が困難であることや発がん性物質として指摘されているトリハロメタンなど溶解性物質の生成が問題となっている。近年では、オゾンの強い酸化力を活用した高度浄水処理の導入により、上記問題の解決に向けた取り組みが行われている。しかしながら、深刻な水質汚染の世界規模での拡大等を考慮すると、高度浄水処理におけるオゾン発生のための消費電力の低減が強く求められている。また、難分解性有害有機物質などはオゾン処理だけでは十分に分解されないため、健全な生態系の確保の観点から、水処理方法のさらなる革新が求められている。一方、酸化チタンに代表される光触媒を用いた水処理が注目を集めている。光触媒はオゾンの酸化力を凌ぐ強力な酸化作用を紫外線照射により発揮し、ほとんどすべての有機物質を完全分解することが可能であり、難分解性有害有機物質対策として有効な方法である。また、オゾンとの併用により浄化効率も飛躍的に向上することが知られている。しかしながら、酸化チタンに代表される現在の光触媒のほとんどは、太陽光の僅か4 %である紫外光下でしか光触媒活性を示さない。そこで、活性の向上や用途の拡大という観点から、太陽光の大半を占める可視光を有効に利用できる光触媒の開発が強く求められている。これまでに、窒素ドーパド酸化チタンや白金等の貴金属助触媒を担持させた酸化タングステンなどが、可視光下で活性を示すことが報告されているが、その活性は十分なものではなく、貴金属などを使用するため高コストであり、開発されている光触媒の安定性にも問題がある。

光触媒が浄化機能を示すためには、光触媒内部で生じた励起電子および正孔が同時に消費される必要がある。一般的な使用条件下では、励起電子は大気中に存在する酸素の還元反応により消費され、正孔は有害有機物質の酸化反応によって消費される。従って、それらのエネルギーレベルは励起電子では大気中の酸素を還元する還元力、正孔では有害有機物質を酸化分解できる酸化力以上のレベルにある必要がある。すなわち、光触媒の伝導帯下端および価電子帯上端が上記酸化還元電位を挟

み込む必要がある。さらに、より長波長の可視光下で光触媒として作用するためには（太陽光を有効利用するためには）、そのバンドギャップが上記制限を満足するとともに、できるだけ狭いバンドギャップを有する物質が望まれる。しかしながら、このような物質は非常に限られるため、光触媒研究は比較的長期間の歴史を持つにもかかわらず、現在でも更なる新規材料開発が継続されている。

一方、本研究では、バンドギャップエネルギーレベルが上記制約を満たさないが、優れた可視光吸収特性を有する無機半導体に着目し、過酸化水素やオゾンなどの酸化剤共存下で優れた光触媒作用が可視光下で発現することに着目している。これまでの検討の結果、酸化タングステンに過酸化水素を添加することで、可視光照射下で効率よく色素が脱色することを見出している。この効果は、強力な酸化剤である過酸化水素が光照射によって生じた励起電子を速やかに消費するとともに、正孔が色素の分解に寄与したためと考えられる。すなわち、可視光照射下で光触媒作用が発現したためである。このような光触媒をオゾンによる水質浄化技術に組み合わせることで、酸化チタン系と同様な効率の良い浄化機能が太陽光の大部分を占める可視光下で発現し、その結果、オゾン発生のための消費電力の低減が可能になるとともに、難分解性有害有機物質も効果的に処理できるのではないかと期待できる。そこで、本研究では、モデル汚染物質にフェノールをモデル光触媒に酸化タングステンを用いて、太陽光を利用できる新しい光触媒水質浄化システムの有効性を実証する研究「太陽光を利用できるオゾン・光触媒複合水処理技術の開発」を実施した。

#### 【研究方法】

200 ppm に調整されたフェノール水溶液が模擬排水として用いられた。水処理実験は、ウォーターバスにセットされたパイレックス製ガラス反応容器内で、模擬排水 250 ml に酸化タングステン粉末（関東化学）0.6 g を懸濁させ、300 W Xe ランプで可視光照射( $\lambda > 420$  nm)するとともに、オゾンガスをバブリング（約 1 g/h）することにより行われた（図 1）。照射光強度は放射強度計により測定され、水質評価は、液クロマトグラフ、全有機体炭素(TOC)計、溶存オゾン濃度計により行われた。また、固体試料の評価は、X 線回折計(XRD)、走査電子顕微鏡(SEM)、UV-vis 分光光度計、窒素吸着装置により行われた。

#### 【結果と考察】

本実験に用いた酸化タングステン粉末は、単斜晶系および三斜晶系酸化タングステンの混合物であることが分かった。また、UV-vis 拡散反射スペクトルより、バンドギャップエネルギーは約 2.8 eV であると見積もられた。SEM 観察から、試料の粒子径は 0.2 ~ 2  $\mu\text{m}$  であることが分かり、窒素吸着量から見積もった試料の BET 比表面積は 3.6  $\text{m}^2\cdot\text{g}$  であった。

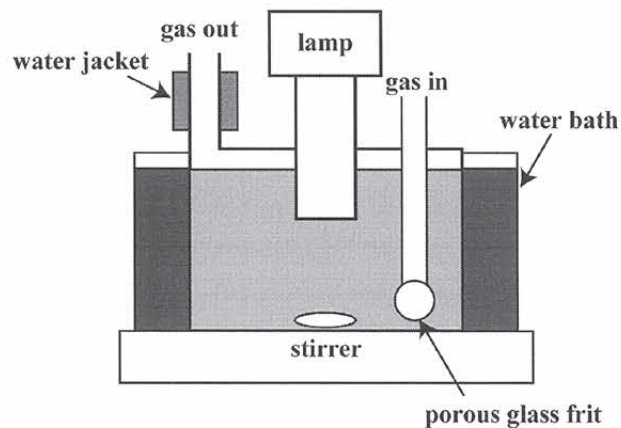


図1.フェノール模擬排水処理用反応容器

本実験は、以下に示す条件により、系統的に行われた。

(1) O<sub>2</sub>/vis/WO<sub>3</sub>:

可視光照射下で酸化タングステン粉末を添加したフェノール排水中にオゾンを含まない酸素ガスを供給。

(2) O<sub>3</sub>/dark/WO<sub>3</sub>:

暗所下で酸化タングステン粉末を添加したフェノール排水中にオゾンを供給。

(3) O<sub>3</sub>/vis/WO<sub>3</sub>:

可視光照射下で酸化タングステン粉末を添加したフェノール排水中にオゾンを供給。

(4) O<sub>3</sub>/vis:

可視光照射下で酸化タングステン粉末を含まないフェノール排水中にオゾンを供給。

図2に上記4条件下におけるTOC除去率および溶存オゾン濃度の経時変化を示す。オゾンを供給しない場合には、120 minの処理後においてもフェノールは分解しなかった。一方、オゾンを供給した系では、フェノールの分解が観測され、TOCが減少した。O<sub>3</sub>/vis条件では、最初の30-40 minの処理においてTOCが素早く減少し、その後、TOCの減少が緩やかになった。この結果に関しては、オゾン処理によるフェノール排水浄化を検討した過去の文献の結果とよく一致しており、フェノールの分解とともに生じたオゾン耐性を有する中間生成物（ピルビン酸、シュウ酸等）が蓄積することによって、処理途中からTOCの減少が緩やかになったと考えられた。O<sub>3</sub>/dark/WO<sub>3</sub>条件では、O<sub>3</sub>/vis条件と同様な挙動を示したが、わずかにO<sub>3</sub>/dark/WO<sub>3</sub>条件でのTOC除去率が上回った。このことから、酸化タングstenは二酸化マンガンなどで知られるような、オゾン分解触媒としても機能することが分かった。上記

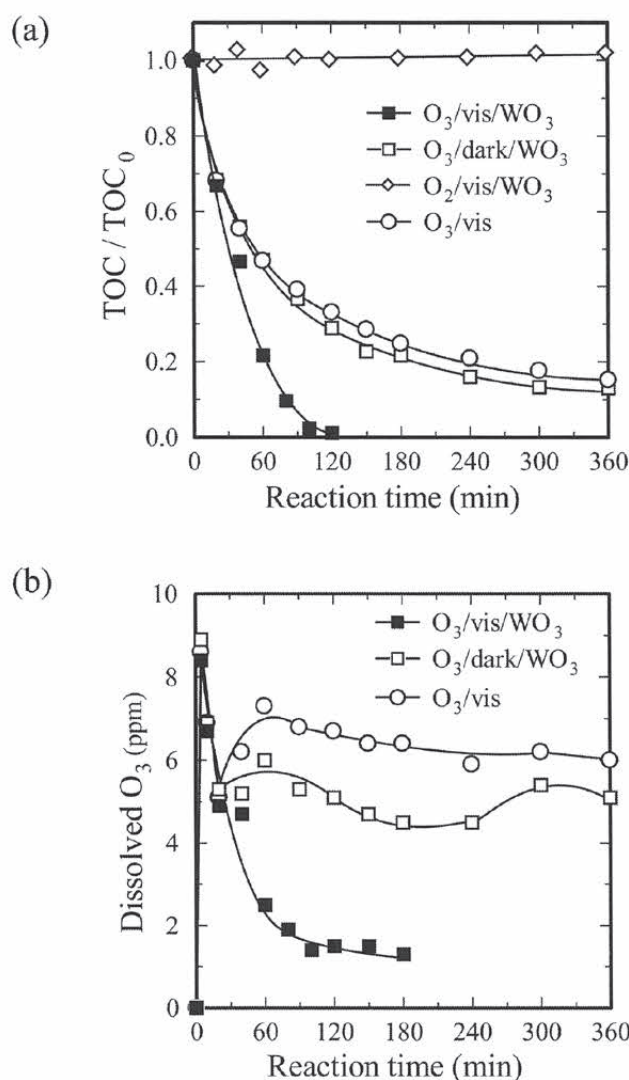


図2. オゾン+可視光照射+酸化タングステン系水処理によるフェノール模擬排水の (a) TOC経時変化、(b)溶存オゾン濃度経時変化 (TOC<sub>0</sub> = 130 ppm)

3条件とは異なり、O<sub>3</sub>/vis/WO<sub>3</sub>条件では、フェノール分解初期では他の条件と同様なTOC除去率ではあったが、処理40 min後から極めて効率のよいTOC除去が達成された。その結果、O<sub>3</sub>/vis条件およびO<sub>3</sub>/dark/WO<sub>3</sub>条件では360 minの処理後に15~20%のTOCが残存していたのに対して、O<sub>3</sub>/vis/WO<sub>3</sub>条件では120 minの処理においてTOCの完全除去を達成した。さらに、各条件での処理における溶存オゾン濃度を測定した結果から、O<sub>3</sub>/vis/WO<sub>3</sub>条件では処理開始後から溶存オゾン濃度が速やかに減少し、その濃度は他の条件と比べて低濃度に保たれていた。以上の実験結果から、図3に示すメカニズムによって効率のよい水質浄化が達成されたと考えられた。すなわち、

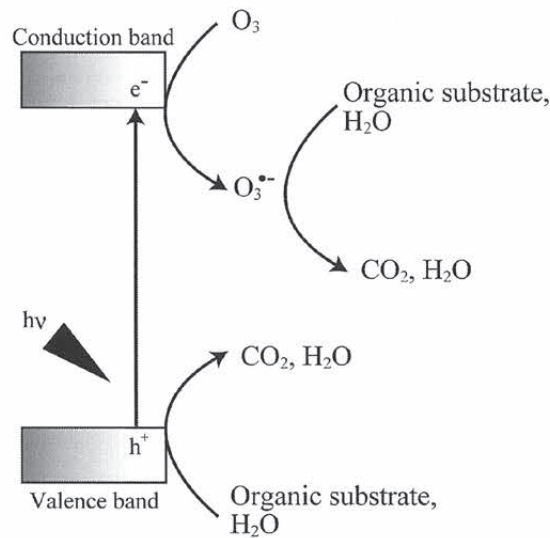


図3. オゾン+可視光照射+酸化タングステンの相互作用模式図

可視光を照射することで酸化タングステンの伝導帯に生じた励起電子がオゾンによって速やかに消費されるとともに、酸化タングステンの価電子帯中の正孔およびオゾンの還元によって生成したオゾニドラジカルが水分子を媒介してフェノールおよび反応中間体を酸化分解していると考えられた。また、実験開始直後におけるオゾンによるフェノールの分解は極めて効率がいため、実験初期 (~ 40 min) においては光触媒作用が観測されなかったと考えられた。一方、オゾン耐性を有する中間生成物（ピルビン酸、シュウ酸等）が蓄積することによって、オゾンによる有機物分解効率が低下することで、【酸化タングステン】+【可視光】+【オゾン】の相乗効果が観測可能なレベルに到達したと考えられた。

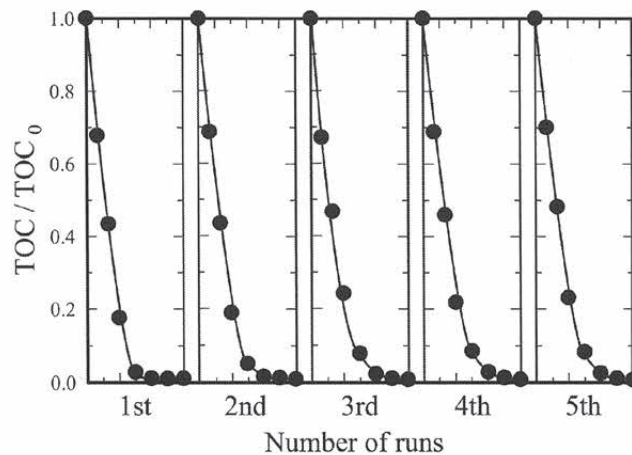


図4. オゾン+可視光照射+酸化タングステン系水処理によるフェノール模擬排水の繰り返し処理試験結果

図4にフェノール模擬排水の繰り返し処理試験の結果を示す。本実験では酸化タングステン粉末1.2 gを使用した。5回の繰り返し試験の全てにおいて、TOCの完全除去を達成しており、TOC除去効率の減少等の変化は見られなかった。また、5回の測定後の試料粉末のXRDパターンは、測定前のものと同一であった。以上のことから酸化タングstenはオゾン共存下で可視光応答型光触媒として機能することが明らかにされた。

本研究におけるオゾン共存下での酸化タングsten光触媒の活性を評価するために、光触媒として比較的高活性な可視光応答型光触媒として広く知られている窒素ドーピング酸化チタン(N-TiO<sub>2</sub>)を使用した系での水処理測定を行った。尚、実験には住友化学製窒素ドーピング酸化チタン粉末(比表面積 97.4m<sup>2</sup>・g)を用いた。得られた結果を酸化タングsten系における結果とともに図5に示す。フェノール濃度が高いため、窒素ドーピング酸化チタン単独での光触媒作用は、処理 360 min ではごくわずかしか観測されなかったが、窒素ドーピング酸化チタンのオゾン分解触媒作用および【窒素ドーピング酸化チタン】+【可視光】+【オゾン】の相乗効果が観測された。O<sub>3</sub>/vis/WO<sub>3</sub>条件の結果と O<sub>3</sub>/vis/N-TiO<sub>2</sub>条件の結果とを比較したところ、酸化タングsten粉末の比表面積は、窒素ドーピング酸化チタンの比表面積の5%未満であるにもかかわらず、O<sub>3</sub>/vis/WO<sub>3</sub>条件の方が効率よく TOC の完全除去を達成できることが明らかになった。以上の結果から、オゾン・酸化タングsten水処理システムは太陽光を有効利用できる新規水処理技術として有望であることが分かった。

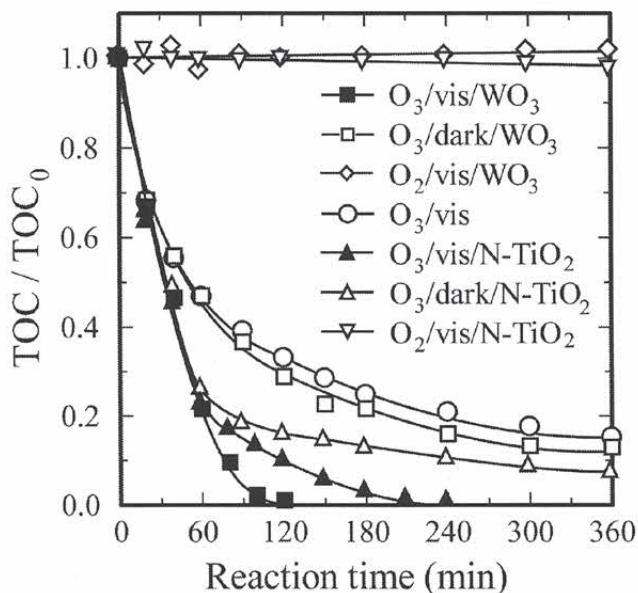


図5. オゾン+可視光照射+窒素ドーピング酸化チタン(N-TiO<sub>2</sub>)系水処理によるフェノール模擬排水のTOC経時変化(オゾン+可視光照射+酸化タングsten系水処理結果を含む)



## 【まとめ】

本研究では、オゾンと光触媒（粉末）と併用することで、水処理（フェノールモデル排水）に太陽エネルギーを有効に利用でき、既存の光触媒の1/30の比表面積の試料で同程度の活性を示すことを明らかにした。すなわち、オゾン・酸化タングステン水処理システムは太陽光を有効利用できる新規水処理技術として有望であることが分かった。また、本研究成果は、上水設備に限らず、工場廃液処理、農業廃液処理などにも応用が可能であると考えられ、さらに、空気浄化・土壌浄化分野などへも応用が期待できる。今後の展望としては、パイロットプラントでの実証実験や光触媒の安定性・安全性評価、空気浄化・土壌浄化などの水処理以外の光触媒特性評価などを実施し、環境問題の解決に貢献する新技術の確立を目指す予定である。

## 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。

## 鉄酸化細菌が常温・中性 pH 水中で作るねじれ紐状酸化鉄の キャラクターゼーションとリチウムイオン充放電挙動

研究代表者：岡山大学自然科学研究科 助教 橋本英樹  
共同研究者：岡山大学異分野融合先端研究コア 助教 仁科勇太  
岡山大学自然科学研究科 助教 鈴木智子  
岡山大学自然科学研究科 助教 笠井智成

### 緒言

酸化鉄は金属酸化物の中でも汎用性が高く、極めて重要な機能性材料の一つである。これまでに数多くの組成や構造の異なる酸化鉄が人工的に合成され、磁気記録媒体、触媒、顔料など、幅広い分野で産業的に利用されている。一方、自然界には水中の  $\text{Fe}^{2+}$  を酸化し  $\text{Fe}^{3+}$  の酸化鉄沈殿物を常温・常圧・中性 pH 水中で形成する鉄酸化細菌と呼ばれる微生物が存在する<sup>1,2</sup>。この細菌が作る酸化鉄はマイクロメートルオーダーのチューブ状やねじれ紐状といった特異な形状を有しており、その形状は細菌の種に依存することが知られている。本研究では、鉄酸化細菌の一種である *Gallionella ferruginea*<sup>1-3</sup> が作るねじれ紐状酸化鉄に注目した。

これまで、鉄酸化細菌やそれが作る酸化鉄に関するほとんどの報告は、その微生物学的、地球科学的性質に注目したものであった。微生物学的研究では、鉄酸化細菌の単離、培養条件、酸化鉄の生成メカニズムなどが注目されてきたが<sup>4-6</sup>、この細菌は自然環境中至る所に存在しているにも関わらず難培養性であるため<sup>7</sup>、詳細は未だ議論の最中である。地球科学的研究では、水性環境中の地球科学反応への細菌の関係性の研究が行われており<sup>8</sup>、その成果は  $\text{Fe}^{2+}$  イオンが多い地下水から金属イオンを除去し飲み水にすることに役立っている<sup>9</sup>。自然環境中の至る所に大量に存在する鉄酸化細菌由来酸化鉄は未利用生物資源であり、これまで材料科学の分野で研究されることは無かった。我々はこの酸化鉄の機能性材料、本研究ではリチウム (Li) イオン電池の正極材料、としての応用を模索することにした。

Li イオン電池は、携帯電話やノート PC 等のモバイル用電子機器に使用されており、近年では、ハイブリッド電気自動車 (HEV) やプラグイン HEV の電源としての開発が進められている極めて重要なエネルギーデバイスである<sup>10,11</sup>。今後、世界中で、特に発展途上国で、これらの電子機器や HEV などが普及するためには Li イオン電池は欠かせない電源であり、その大幅なコストダウンは最も重要で喫緊の課題である。現状では、Li イオン電池の性能の根幹を担う正極材料には、Co, Ni 等の希少資源が使用されており高価であると共に環境負荷が大きい。根本的に低コストで環境に優しい、世界中のどこにでもあるもので作製できる正極材料が必要とされる<sup>11</sup>。

そのような要望を満たす材料の候補として  $\text{LiFePO}_4$ <sup>12</sup> や酸化鉄系正極材料<sup>13-16</sup> が挙げられる。しかし、 $\text{LiFePO}_4$  は合成の際に不活性雰囲気が必要とすることで製造コストが高くなることから革新的なコストダウンには繋がらない。また、安価な酸化鉄を Li イオン電池の正極として利用する研究は多くなされているが、これまでの研究では、今までに知られている結晶性酸化鉄をナノサイズ化すること等を研究ターゲットにしており<sup>13-15</sup>、根本的に新しい高性能材料は提案されていない。我々は、これまで提案されてきた材料とは全く異なる“鉄酸化細菌由来酸化鉄”を Li イオン電池の正極材料として提案する。この材料は、低コストで環

境に優しく世界中の至る所で生産可能であり、資源面、コスト面、環境面で問題を抱える Li イオン電池の正極材料として最適な材料である。

本研究では、鉄酸化細菌の一種である *Gallionella ferruginea* を自然に近い環境で大量に培養し、得られたねじれ紐状酸化鉄の詳細なキャラクタリゼーションを行うと共に Li イオン電池正極材料としての評価を行った。

## 実験方法

岡山大学内農学部圃場に設置した鉄酸化細菌の集積培養槽に同敷地内の地下から汲み上げた地下水を流し込み、鉄酸化細菌を培養した。培養槽の底には常に通水できるような穴を空け、生成する沈殿物がトラップされるように砂利とアンスラサイト（無煙炭）を敷き詰めた。黄土色の沈殿物が大量に生成したところで、沈殿物を回収した。この沈殿物が *Gallionella ferruginea* が作ったねじれ紐状酸化鉄である。沈殿物に含まれる地下水由来の不純物イオンを除去するために蒸留水で数回洗浄し、濾過槽から混入する砂利やアンスラサイトを遠心分離機で除去した。これを室温真空下で乾燥し、実験サンプルとして用いた。得られたサンプルの形態観察を光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡（SEM, Hitachi S-4300）、微細構造観察を透過型電子顕微鏡（TEM, JEOL JEM-2100F）、比表面積および細孔径分布を窒素吸着法（BEL Japan Belsorp-mini II）、元素分析をエネルギー分散型 X 線分光法（EDS, EDAX Genesis 2000 および JEOL JED-2300T）、結晶構造解析を粉末 X 線回折法（XRD, Rigaku RINT-2000）および高分解能透過型電子顕微鏡観察（HRTEM, JEOL JEM-2100F）によって評価した。

ねじれ紐状酸化鉄の電気化学特性を以下に示す方法により評価した。上述の方法で乾燥したサンプルを正極活物質、アセチレンブラック（Denki Kagaku Kogyo）を導電助剤、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE, Du Pont-Mitsui Fluorochemicals）を形成剤として、重量比 2 : 6 : 2 で混合しペースト状にした。ペーストをガラス板の上で圧延しシート状に成型し、1 cm 角の正極シートを作製し、真空下 120°C で一晩乾燥した。アルゴン雰囲気グローブボックス内で、対極に Li 箔（Honjo metal）、電解液に 1M LiClO<sub>4</sub> in PC: DME = 1: 1 vol%（Kishida chemical corporation）を用いて電池を組み立てた。充放電試験（Nagano, BTS2004）は定電流モード、電流レート 300 mA/g で 30°C の恒温槽で行った。

充放電途中のサンプル中の鉄の価数変化を追跡するために自作のセルを用いて充放電測定を行いながら X 線吸収分光（*in-situ* XAFS）測定を行った。電極の作製方法と電池の組み立て方法は上述の通りである。自作の *in-situ* XAFS セルには X 線が透過するための 6 mm の穴が空いており、密封にはポリイミド箔を用いた。充放電レートは 300 mA/g として 1 分毎に XAFS のスペクトルを収集した。XAFS の吸収端エネルギー確認用の標準試料として  $\alpha$ -Fe 箔、FeO、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を測定した。

ねじれ紐状酸化鉄のレート特性（放電容量の電流レート依存性）を評価するためにコインセルを作製した。乾燥サンプルを正極活物質、ケッチェンブラック（ECP, Lion corporation）と気相成長カーボンファイバー（VGCF, Showa Denko K. K.）を重量比 7 : 3 で混合したものを導電助剤、ポリフッ化ビニリデン（PVDF, Kureha corporation）を形成剤として、重量比 85 : 10 : 5 で混合した。Al 箔上に 50  $\mu$ m の塗布膜を作製し乾燥したものを正極として用いた。アルゴン雰囲気グローブボックス中で、対極に Li 箔、電解液に 1M LiPF<sub>6</sub> in EC: DEC = 3: 7 vol%（Toyama chemical corporation）を用いてコインセルを組み立てた。充放電試験（Toyo system corporation, TOSCAT-3100）は定電流モード、電流レート 8.35, 83.5, 167, 835 mA/g, 25°C の恒温槽で行った。

## 結果と考察

Li イオン充放電特性を評価するに先立ち、本研究で得られたねじれ紐状酸化鉄の特徴を明らかとした。光学顕微鏡観察の結果から、得られたサンプルの大部分は螺旋状を呈していた。詳細な形態をSEMによって確認したところ、この螺旋形態は幅40~50 nm程度の細い紐が数十本束になり、それがねじれた結果であることが明らかとなった(図1)。また、紐の形態は長繊維状と短繊維状の2種類存在することが明らかとなった。このことから、一属一種といわれる *Gallionella* 属であるが、これらは形成する酸化鉄の形状で命名されていることから<sup>13</sup>、二種以上存在する可能性は十分に高いと考えられる。なお、この2種類は、形態は異なるものの組成、構造などは全く同じものであるためこれ以降の解析は代表的に長繊維状のものとする。

TEMによってこの紐の一部分を詳細に観察したところ、SEM観察では滑らかに見えた紐の表面には多数の凹凸があり、紐の最小構成粒子単位は3 nmという超微粒子であることが明らかとなった(図2)。窒素吸着法によって算出した比表面積は酸化鉄としては大きく370 m<sup>2</sup>/gであり、細孔半径10 nm以下の細孔が多数存在することが明らかとなった。超微粒子に起因する凹凸はこの材料の比表面積を効果的に大きくしていると考えられる。

EDSによる元素分析の結果から、ねじれ紐状酸化鉄の主構成元素はFe, O, Si, Pであり、無機元素の相対組成(at%)はFe:Si:P = 79:16:5であることが明らかとなった。我々は、SiやPを含むことが鉄酸化細菌由来酸化鉄の大きな特徴の一つであると考えている。STEMに付属のEDSによる元素分析の結果から、上述の元素はナノメートルレベルで均一に分布していることが明らかとなった。

この酸化鉄の結晶学的構造を解明するために、XRD測定を行った。XRDパターンにはブロードな2本のピークが確認され、低結晶性酸化鉄として良く知られている2-line ferrihydrite<sup>17</sup>に類似したパターンを示した。しかし、2-line ferrihydriteよりもピークの半価幅がブロードであることから、この酸化鉄は極めて結晶性が低いかもしくは規則的なイオンの配列が無い非晶質構造をとっていると考えられる。そこで、HRTEMによる観察を行った。HRTEM像には結晶に特有の規則的なイオンの配列に起因する格子縞が確認されず、その二次元フーリエ変換像(図2、挿入図)はハローパターンであることから、ねじれ紐状酸化鉄を構成している最小構成単位である3 nmの粒子は非晶質構造であることが明らかとなった。一般的に、酸化鉄は結晶であり、酸化鉄が非晶質構造をとるという報告はなされていないことから、本研究の鉄酸化細菌由来のねじれ紐状酸化鉄が非晶質構造をとることは極めて珍しい例である。この非晶質構造にはガラス形成物質であるSiやPが大きく寄与していると考えられる。

以上の結果から、本研究で用いたねじれ紐状酸化鉄の特徴は以下のようにまとめられる。ねじれ紐状酸化鉄は、最小構成粒子径3 nmであり、それらが凝集することで幅40-50 nmの紐を形作り、それらが束になり最終的にねじれることで、マイクロメートルオーダーのねじれ紐状を形作ったナノ階層構造を有する。その3 nmの最小粒子の主構成元素はFe, O, Si, Pであり、それらが均一に分布し、非晶質構造となっている。

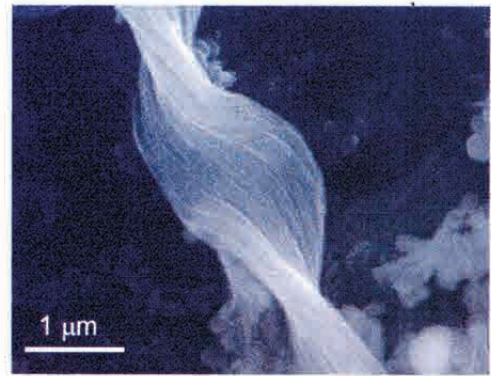


図1 ねじれ紐状酸化鉄のSEM像。紐が束になりねじれている様子がわかる。

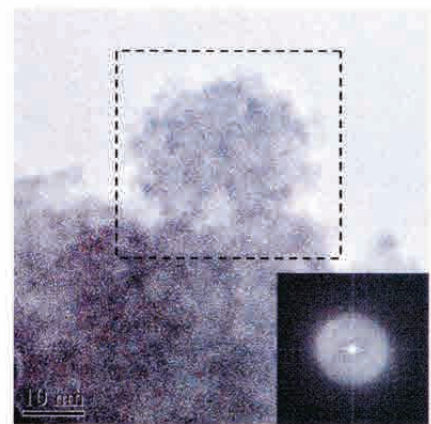


図2 紐の一部分のTEM像。挿入図は点線部分のフーリエ変換像。

微粒子であり非晶質であることはLiイオン電池の正極材料としての特性を良くすることが知られているため<sup>18</sup>, ねじれ紐状酸化鉄は正極材料として良い特性が得られると期待される。

ねじれ紐状酸化鉄の基本的な電極特性を調べるため、サンプル、アセチレンブラック、PTFEを2:6:2の重量比で混合した電極を作製し、カットオフ電位3.8-1.0 V、電流レート300 mA/gで充放電挙動を100サイクル測定した(図3a)。初期放電容量は1.0 Vにおいて500 mAh/gと非常に大きな値を示したが、サイクルを重ねるにつれて放電容量は減少し、100サイクルにおいて70 mAh/gとなった。放電曲線には1.5 V付近に変曲点を確認され、1.5 Vを境に電極内での反応が変化したと考えられる。この充放電挙動は一般的な酸化鉄系材料と同様の挙動であるが<sup>19</sup>, 300 mA/gという高い電流レートにおいて高容量が得られることは、この材料の大きな特徴の一つであり、このことから高出力特性を有すると期待される。

ねじれ紐状酸化鉄のLiイオン充放電機構を解明するために *in-situ* XAFS 測定を行った。充放電前のX線吸収端近傍構造(XANES)スペクトルは、 $\text{Fe}^{3+}$ の標準試料である $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ とほぼ同じ吸収端位置であることから、充放電前の状態ではサンプル中のFeの価数は3価であることが確認された。放電を行うとXANESスペクトルは連続的に形状を変えながら低エネルギー側にシフトし、1.5 Vにおいて $\text{Fe}^{2+}$ の標準試料であるFeOの吸収端位置とほぼ同じ位置にシフトし、1.0 Vまで放電すると $\text{Fe}^0$ の標準試料である $\alpha\text{-Fe}$ のXANESスペクトルに類似の形状となった。その後の充電において、XANESスペクトルの形状は連続的に変化すると共に、高エネルギー側にシフトし、満充電時には充放電測定前のスペクトル形状とほぼ同じ吸収端位置に戻った。このことから、ねじれ紐状酸化鉄の充放電機構は以下のように考えられる。即ち、1.5 Vまでの放電では $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ の反応が、続く1.5 Vから1.0 Vまでは $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{0+}$ の反応が起こり、充電において逆の反応が進行し、満充電時にほぼ元の状態に戻る。前述した通りカットオフ電位3.8-1.0 Vの充放電では、サイクルを重ねるにつれて容量が劣化する。即ち $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{0+}$ の反応は可逆性に乏しいが、 $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ の反応のみを利用できれば、サイクル特性の向上につながると考えられる。

そこで、実用電池の電極に近い状況で詳細な充放電特性を調べるために、正極:導電助剤:形成剤の重量比を85:10:5として塗布電極を作製し、コインセルによって充放電挙動を評価した。 $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ の反応をうまく利用するために、カットオフ電位を4.0-1.5 Vとした。また、出力特性を評価するために、4つのコインセルを作製し電流レートをそれぞれ8.35, 83.5, 167, 835 mA/gに固定し、充放電測定を行った。代表的に8.35 mA/gの充放電曲線を示す(図3b)。初期放電曲線には1.6 Vに変曲点が現れ、変曲点を以降で容量が徐々

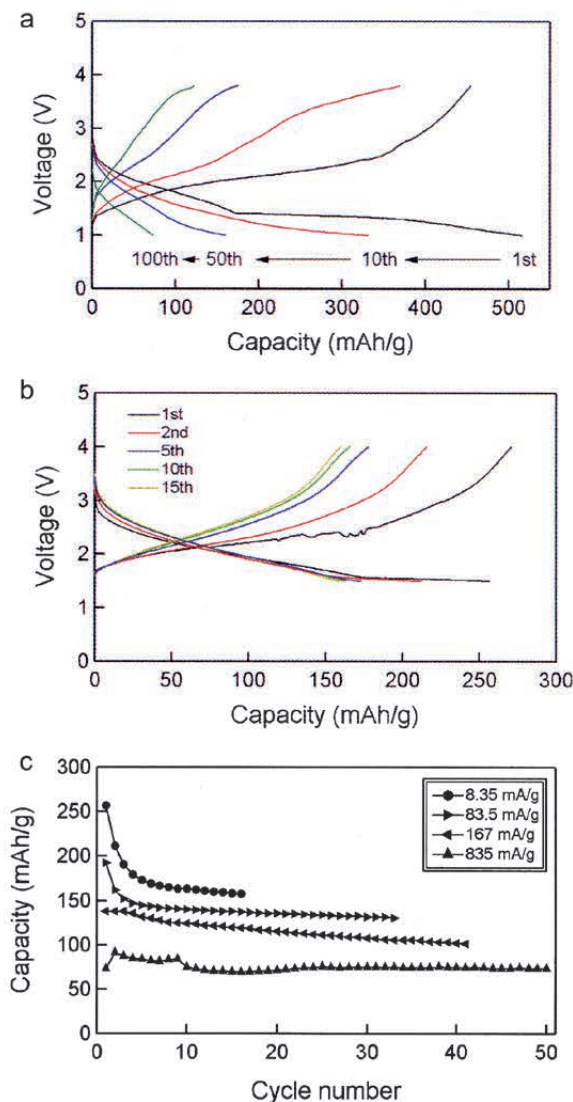


図3 ねじれ紐状酸化鉄の充放電特性. a, カットオフ電位3.8-1.0 V, 電流レート300 mA/gで測定. b, カットオフ電位4.0-1.5 V, 電流レート8.35 mA/gで測定. c, レート特性およびサイクル特性

に伸び 260 mAh/g の容量が得られた。サイクルを重ねると 1.6 V 以下の容量が徐々に劣化し、15 サイクルにおいて 160 mAh/g となりほぼ一定の可逆容量が得られた。1.6 V 以下では上述した  $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^0$  の不可逆反応が進行し、この反応が終了すると  $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$  で可逆的に反応が進行したと考えられる。それぞれの電流レートでサイクル数に対して放電容量をプロットした図を示す (図 3c)。この材料は 167, 835 mA/g という高い電流レートにおいて容量維持率 (それぞれ 74, 100%) が極めて高いことがわかる。この結果はこの材料が高出力電極として利用できることを示している。酸化鉄系電極材料の過去の報告<sup>13-16, 18</sup>と比較しても、高電流レートでの容量とサイクル特性はトップクラスであった。

## まとめ

*Gallionella ferruginea* が作るねじれ紐状酸化鉄の詳細なキャラクタリゼーションを行った結果、この材料の最小構成粒子は 3 nm、構成元素は Fe, O, Si, P、結晶学的構造は非晶質であることが明らかとなった。この材料は、高い電流レートにおいて良好なサイクル特性を示すと共に高い電気容量を示すことが明らかとなった。本研究の成果は、未利用資源である鉄酸化細菌が作る酸化鉄が高出力 Li イオン電池の正極材料として利用できることを示し、超低コスト型高出力 Li イオン電池の開発に繋がることを示した。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大なるご支援を頂きました財団法人八雲環境科学振興財団に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

1. Ghiorse, W. C. Biology of iron- and manganese-depositing bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* **38**, 515–550 (1984).
2. Emerson, E., Fleming, E. J., and McBeth, J. M. Iron-oxidizing bacteria: An environmental and genomic perspective. *Annu. Rev. Microbiol.* **64**, 561–583 (2010)
3. Hanert, H. H. ed. Dworkin, M. The genus *Gallionella*. “The prokaryotes”, Springer New York **7**, 990–995 (2006).
4. Emerson, D. and Moyer, C. Isolation and characterization of novel iron-oxidizing bacteria that grow at circumneutral pH. *Appl. Environ. Microbiol.* **63**, 4784–4792 (1997).
5. Banfield, J. F. et al. Aggregation-based crystal growth and microstructure development in natural iron oxyhydroxide biomineralization products. *Science* **289**, 751–754 (2000).
6. Chan, C. S. et al. Microbial polysaccharides template assembly of nanocrystal fibers. *Science* **303**, 1656–1658 (2004).
7. Van Veen, W. L., Mulder, E. G. and Deinema, M. H. The *Sphaerotilus-Leptothrix* group of bacteria. *Microbiol. Rev.* **42**, 329–356 (1978)
8. Ferris, F. G., Konhauser, K. O., Lyvén, B. and Pedersen, K. Accumulation of metals by bacteriogenic iron oxides in subterranean environment. *Geomicrobiol. J.* **16**, 181–192 (1999).
9. Mouchet, P. From conventional to biological removal of iron and manganese in France. *J. Am. Water Works Assoc.* **84**, 158–167 (1992).
10. Tarascon, J. M. and Armand, M. Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature* **414**, 359–367 (2001)
11. Goodenough, J. B. and Kim, Y. Challenges for rechargeable Li batteries. *Chem. Mater.* **22**, 587–603 (2010)
12. Padhi, A. K., Nanjundaswamy, K. S. and Goodenough, J. B. Phospho-olivines as positive-electrode materials for rechargeable lithium batteries. *J. Electrochem. Soc.* **144**, 1188–1194 (1997)

13. Komaba, S. et al. Electrochemical insertion of Li and Na ions into nanocrystalline  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  for rechargeable batteries. *J. Electrochem. Soc.* **157**, A60-A65 (2010)
14. Komaba, S., Mikumo, T. and Ogata, A. Electrochemical activity of nanocrystalline  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  in aprotic Li and Na salt electrolytes. *Electrochem. Commun.* **10**, 1276-1279 (2008)
15. Kanzaki, S. et al. Nano-sized  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  as lithium battery cathode. *J. Power Sources* **146**, 323-326 (2005)
16. Amine, K, Yasuda, H. and Yamachi, M.  $\beta\text{-FeOOH}$ , a new positive electrode material for lithium secondary batteries. *J. Power Sources* **81-82**, 221-223 (1999)
17. Eggleton, R. A. and Fitzpatrick, R. W. New data and a revised structural model for ferrihydrite. *Clays Clay Miner.* **36**, 111-124 (1988)
18. Jain, G, Capozzi, C. J., and Xu, J. J. Nanosized amorphous iron oxyhydroxide for reversible lithium intercalation. *J. Electrochem. Soc.* **150**, A806-A-810 (2003)
19. Larcher, D. et al. Combined XRD, EXAFS, and Mossbauer studies of the reduction by lithium of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  with various particle sizes. *J. Electrochem. Soc.* **150**, A1643-A1650 (2003)

要旨：天然多糖類と酸化鉄および鉄バクテリアがつくる鞘状酸化鉄（バイオ酸化鉄）を用い、有機無機複合体を作製し、バイオマス素材を用いた新規高性能・高機能複合体繊維を開発するため、以下の点を検討した。

- ①天然多糖類のゲル化過程の解明および構造制御
  - ・アルギン酸分子が繊維方向に高度に配向したアルギン酸カルシウムゲルを作製した。
- ②天然多糖類マトリックス中にバイオ酸化鉄を均一かつ効果的に分散させる技術の確立
  - ・繊維軸方向にバイオ酸化鉄が高度に配向したアルギン酸カルシウムゲルを作製した。
- ③酸化鉄とアルギン酸を用いて複合体を作製し、構造と物性を評価した。

## 1 研究の背景と目標

【背景】昆布などの海藻類に含まれる天然多糖類のアルギン酸はバイオマス材料として注目されている。海藻は成長が速く資源も豊富で、地球温暖化に影響をおよぼす二酸化炭素の吸収能も優れている。瀬戸内海に面する岡山県では、間引きコンブや沿岸の美化・整備などで多くの海藻が処分されている。この廃棄されている海藻類の有効利用は、持続的かつ発展的な社会を構築する上で重要である。バイオマス材料の高付加価値製品への利用は、その実用化に向けて欠かすことのできない条件である。

アルギン酸の構造は $\beta$ -D-マンヌロン酸 (M) と $\alpha$ -L-グルロン酸 (G) が1, 4結合してできるMM、GG、MGからなるブロック共重合体である(図1)。アルギン酸のNa塩は水溶性であり、その水溶液を $\text{Ca}^{2+}$ 等の金属イオンに接触させると、すぐに錯体を形成してゲル化する。その結合性はGブロックとの間で強いことが知られており、そのゲル化過程が検討されている[1]が、さらにその詳細を明らかにする必要がある。

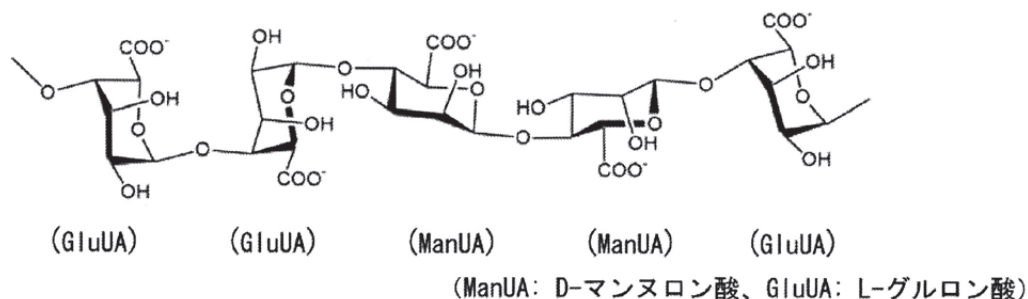


図1 アルギン酸の化学構造

また、ゲル化の際に磁性材料をポリマーマトリックス中に分散させれば、磁性ゲルが得られる。本研究では天然多糖類のアルギン酸と磁性酸化鉄を用いて有機無機複合体繊維（磁性ゲル繊維）を作製



し、新規高性能・高機能複合体を開発することを目的とする。磁性ゲルは磁場で位置や形態の制御ができることから、マイクロマシンやドラッグデリバリーシステムへの応用を見据えて注目されている。

本研究で作製する磁性ゲル繊維は高分子アクチュエーターへの利用を目指している。高分子ゲルアクチュエーターは外部刺激に応答し生体の筋肉のようなソフトな動作をする。しかし、刺激応答速度が低く、駆動力が小さいといった問題点がある。そこで本研究では、天然多糖類の構造制御と複合化技術を駆使して繊維状の磁性ゲルを作製し、検討を行う。また酸化鉄には通常の酸化鉄に加え、鉄バクテ

リアが水中の  $Fe^{2+}$  イオンを  $Fe^{3+}$  に酸化し、体外につくる鞘状酸化鉄（直径約  $1\mu m$ 、長さ数百  $\mu m$ 、図2）を用いて検討する。この鞘状酸化鉄は鉄バクテリアを用いた浄水場の沈殿物として大量に発生し、その有効利用法の開発が望まれているものである。

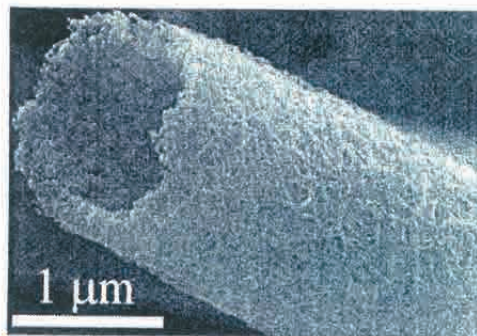


図2 鉄バクテリアが作る鞘状酸化鉄の走査型電子顕微鏡写真[2]

## [目標]

### ①天然多糖類のゲル化過程の解明および構造制御

・アルギン酸分子が繊維方向に高度に配向したアルギン酸カルシウムゲルを作製する。

### ②天然多糖類マトリックス中にバイオ酸化鉄を均一かつ効果的に分散させる技術の確立

・繊維軸方向にバイオ酸化鉄が高度に配向したアルギン酸カルシウムゲルを作製する。

### ③酸化鉄とアルギン酸を用いて複合体を作製し、物性を評価する。

## 2 実験

### 2-1. 種々の押し出し速度およびアルギン酸ナトリウム濃度での繊維状アルギン酸カルシウムゲルの作製

蒸留水 100ml にホモジナイザーで攪拌しながらアルギン酸ナトリウム（重合度 450, 500, 650）を徐々に添加し、所定の濃度（1-4 wt%）のアルギン酸ナトリウム水溶液を調製した。得られたゲル化溶液を自作した押し出し装置（図3）を用いて凝固浴（0.5 mol/L 塩化カルシウム水溶液）中に押し出し、ゲル化させた（ノズル径 2 mm、押し出し速度 12, 14, 30, 31, 35, 40, 46, 53 ml/min）。得られたゲルを蒸留水で水洗し、偏光顕微鏡を用いて配向性を評価した。

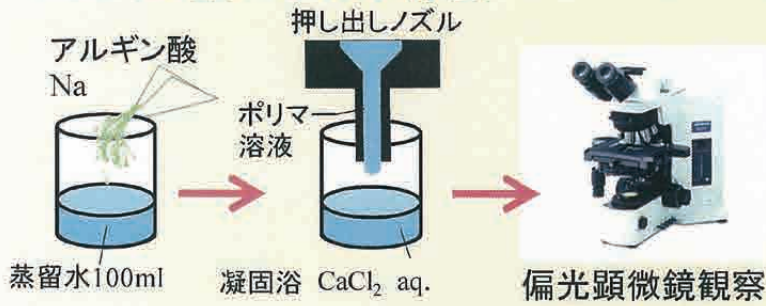


図3 自作押出装置

### 2-2. 磁性ゲルの作製

蒸留水 100ml に酸化鉄（ $\gamma-Fe_2O_3$ （マグヘマイト）、 $Fe_3O_4$ （マグネタイト）、バイオ酸化鉄）0.1g を加え超音波を 30 分間照射し、水中に分散させた。続いて 2-1 と同様の方法で酸化鉄が分散した、アルギン酸濃度 2 wt% の繊維状磁性ゲルを得た（押し出し径 2 mm、押し出し速度 30 ml/min）。得られた磁性ゲルの形態観察を、光学顕微鏡を用いて行った。

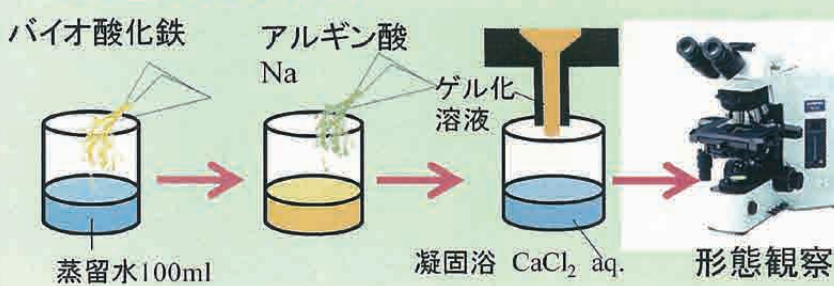
## アルギン酸Caゲルの作製



### 実験条件

- 1-4 wt%アルギン酸Na aq. (重合度450, 500, 650)
- 押し出し速度: 12, 14, 30, 31, 35, 40, 46, 53 ml/min
- 凝固液 0.5 mol/l CaCl<sub>2</sub> aq.

## 磁性ゲルの作製



### 実験条件

- 2wt%アルギン酸Na aq. (重合度450)
- 押し出し速度: 30ml/min
- 0.5wt%酸化鉄 (マグヘマイト、バイオ酸化鉄)
- 凝固液 0.5 mol/l CaCl<sub>2</sub> aq.

### 3 結果と考察

#### 3-1. 押し出し速度とアルギン酸ナトリウム水溶液濃度がゲルの形態と配向に及ぼす影響

1-4 wt%アルギン酸ナトリウム (重合度 450, 500, 650) 水溶液を用いて押し出し速度 12, 14, 30, 31, 35, 40, 46, 53 ml/min でアルギン酸カルシウムゲルを作製した (表 1, 表 2, 表 3)。重合度 450, 500, 650 とともにアルギン酸ナトリウム水溶液濃度、押し出し速度が増すにつれ繊維状になる。また、35 ml/min 以上の押し出し速度では得られたゲルはすべての濃度で繊維状になった。重合度 500 の 2wt% では押し出し速度が 12, 14 ml/min と低速の場合、部分的にしか繊維状のゲルが得られない。それ以上の速度になると繊維状のゲルが得られるようになる。また、重合度が 650 に増加しても濃度が 1wt% と比較的低いと粒子状の形態しか得られない場合がある。重合度 450 では 1-3wt%、重合度 500, 650 では 1-2wt% の条件で作製した繊維状ゲルは縮れているが 4 wt% の濃度になるとちぢれにくい傾向がみられた。

表 1 重合度約 450 の種々のアルギン酸ナトリウム水溶液濃度および押し出し速度でのゲルの形態

アルギン酸 Na の濃度 [wt%]	押し出し速度 [ml/min]							
	12	14	30	31	35	40	46	53
1	×	×	×	×	☆	☆	☆	☆
2	×	×	☆	☆	☆	☆	☆	☆
3	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
4	★	★	★	★	★	★	★	★

- ×: 粒子
- △: 粒子、一部繊維
- ☆: ちぢれた繊維
- ★: まっすぐ伸びた繊維

表 2 重合度約 500 の種々のアルギン酸ナトリウム水溶液濃度および押し出し速度でのゲルの形態

アルギン酸 Na の濃度 [wt%]	押し出し速度 [ml/min]							
	12	14	30	31	35	40	46	53
1	×	×	×	×	☆	☆	☆	☆
2	△	△	☆	☆	☆	☆	☆	☆
3	☆	★	★	★	★	★	★	★
4	★	★	★	★	★	★	★	★

表 3 重合度約 650 の種々のアルギン酸ナトリウム水溶液濃度および押し出し速度でのゲルの形態

アルギン酸 Na の濃度 [wt%]	押し出し速度 [ml/min]							
	12	14	30	31	35	40	46	53
1	×	×	×	×	☆	☆	☆	☆
2	△	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
3	★	★	★	★	★	★	★	★
4	★	★	★	★	★	★	★	★

### 3-2. アルギン酸カルシウムゲルの偏光顕微鏡観察

4wt%アルギン酸ナトリウム（重合度 650）水溶液、押し出し速度 53ml/min の条件で作製したアルギン酸カルシウムゲルの偏光顕微鏡写真を図 4 に示す。図中の(a) (b)は繊維状のゲルの繊維軸方向に切断した縦断面図、(c) (d)はゲルの断面図を示す。

この観察の場合は図中に示すように右斜め上に屈折率が大きい鋭敏色検板を挿入している。(b)に示す縦断面図をみるとゲルの外側が青く、内側が赤く呈色している。外側の部分は屈折率が右斜め上に大きいため、正の複屈折を与え青く呈色していると考えられる。一般に分子鎖の配向している方向の屈折率が大きいことから、この青に呈色している領域の中では繊維の長さ方向に分子鎖が配向していることがわかる。しかし、内側は赤く呈色しているため、分子鎖が繊維軸方向にうまく配向していないことがわかる。(d)に示す断面図をみると青く呈色している部分は、縦断面図と同様に右斜め上と同じ方向に屈折率が大きいため、正の複屈折である。反対に、黄色に呈色している部分は右斜め上に屈折率が小さいため、負の複屈折である。つまり、接線方向に屈折率が大きいことがわかる。前述の通り、分子鎖の向いている方向の屈折率が一般的に大きいことから、この断面図では円周上に分子鎖が配向していることがわかる。

以上の結果をまとめると、縦断面図では繊維状のゲルの外側において分子鎖が繊維軸方向に配向し、断面図では円周上に分子鎖が配向していることがわかった。縦断面図と断面図を合わせて考察すると、分子鎖は繊維軸方向に斜めに配向していると考えられる。これは、アルギン酸ナトリウム水溶液（ゲル化溶液）が凝固液に押し出される際に、渦を描いてねじれながら押し出され、そのままゲル化したため分子鎖が斜めに配向したと考える。

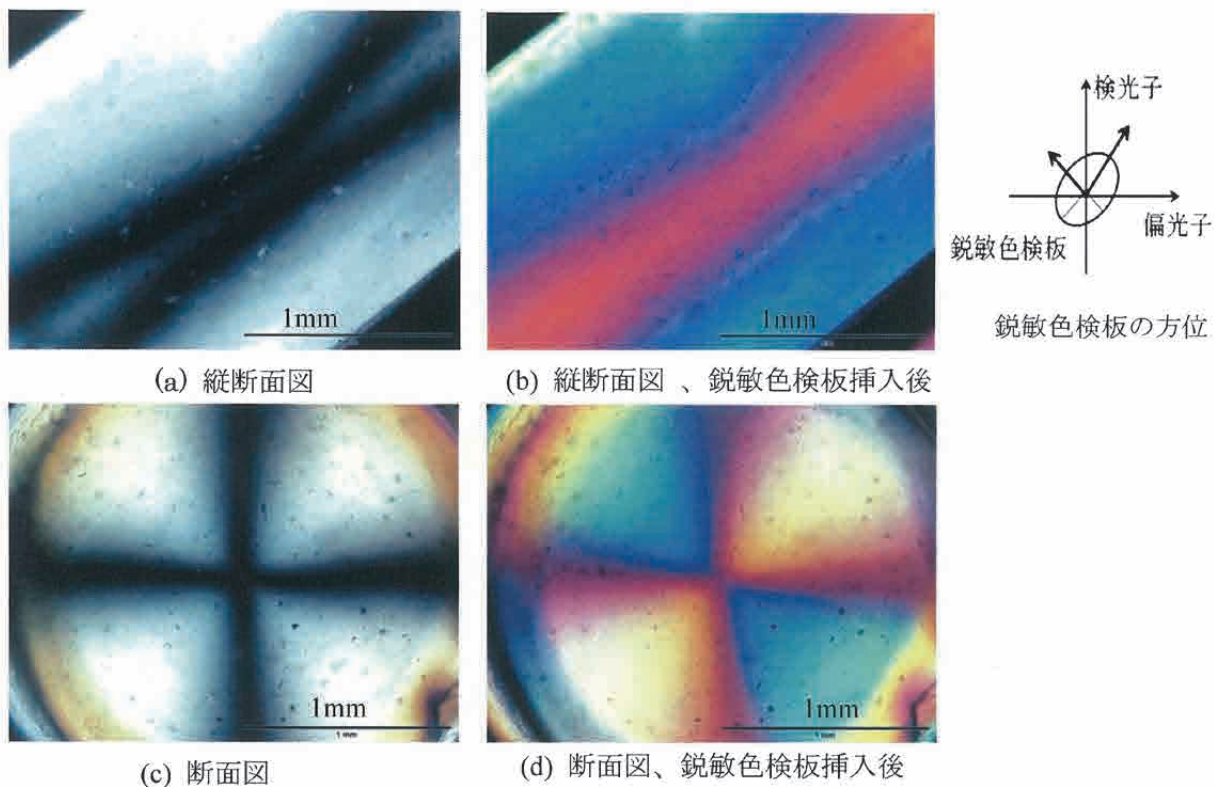
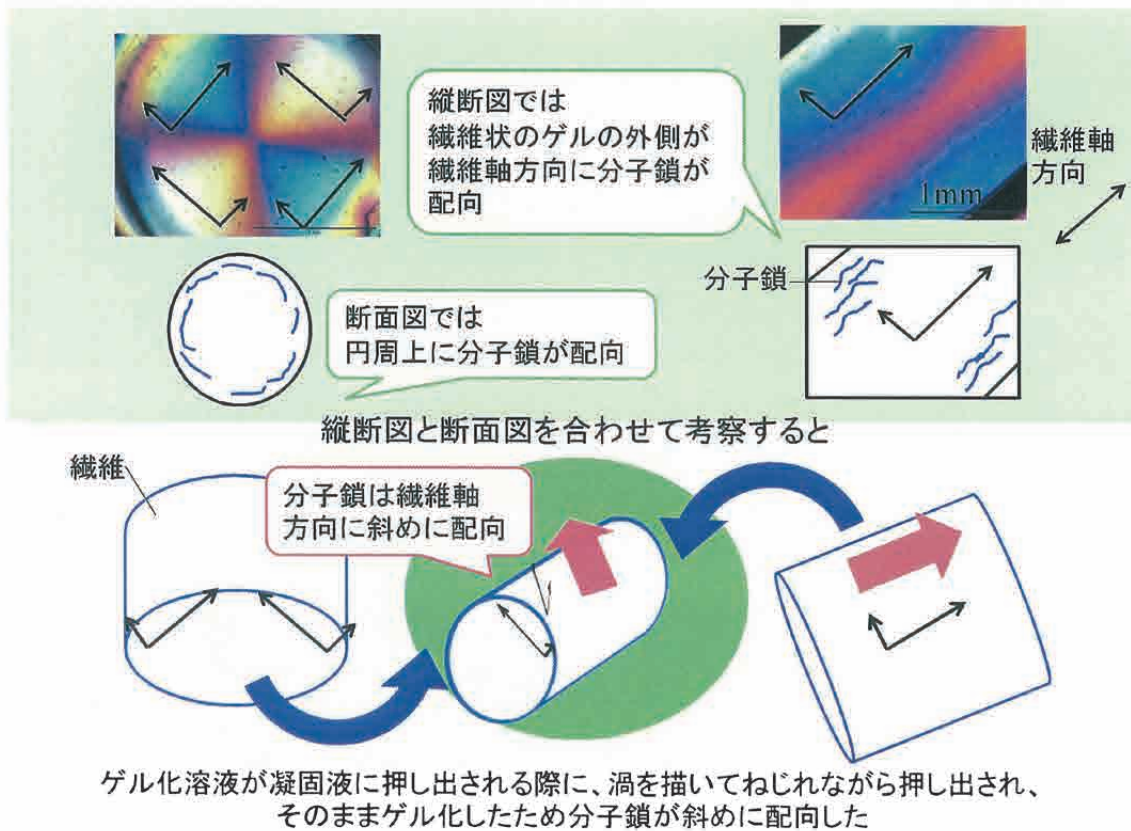


図 4 アルギン酸ナトリウム（重合度 650）水溶液濃度 4wt%、押し出し速度 53ml/min の条件で作製したアルギン酸カルシウムゲルの偏光顕微鏡写真



### 3-3. 天然多糖類マトリックス中への酸化鉄分散技術の確立

2 wt%アルギン酸ナトリウム水溶液を用いて押し出し速度 30 ml/min で作製した磁性ゲルの光学顕微鏡写真を図 5、6 に示す。アルギン酸ナトリウム溶液にマグヘマイトを添加し作製したゲル（図 5）は数  $\mu\text{m}$  程度のマグヘマイト凝集体が見られ分散性が悪いことがわかる。一方、マグヘマイトを超音波照射により水に分散させた後、アルギン酸ナトリウムを徐々に添加し作製したゲル（図 6）では、前述の凝集体は見られず分散性が向上したことがわかる。

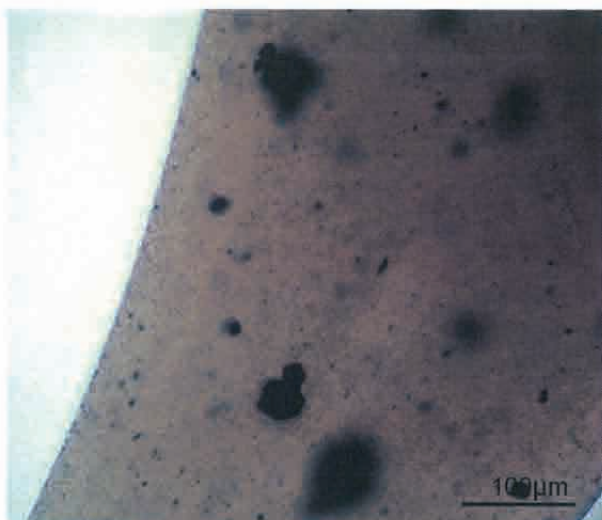


図 5 アルギン酸ナトリウム水溶液にマグヘマイトを添加し作製したゲルの光学顕微鏡写真

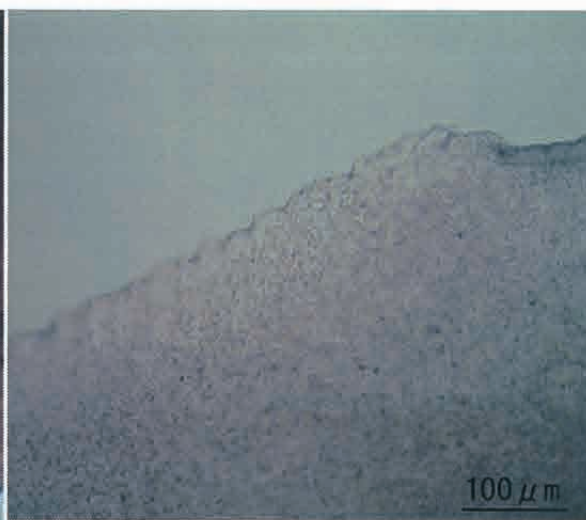


図 6 マグヘマイトを超音波照射により水に分散させた後にアルギン酸ナトリウムを徐々に添加し作製したゲルの光学顕微鏡写真

上記の検討により、アルギン酸マトリックス中に酸化鉄を均一に分散させるためには、超音波を用いて水中に酸化鉄を均一に分散させた後、アルギン酸を徐々に添加していく必要があることが分かった。そこで超音波照射した後も、バイオ酸化鉄が中空繊維状の形態を壊すことなく保持できるかどうかを確認した。

図 7 は超音波照射前の、図 8 は超音波を 15 分照射後のバイオ酸化鉄の光学顕微鏡写真である。

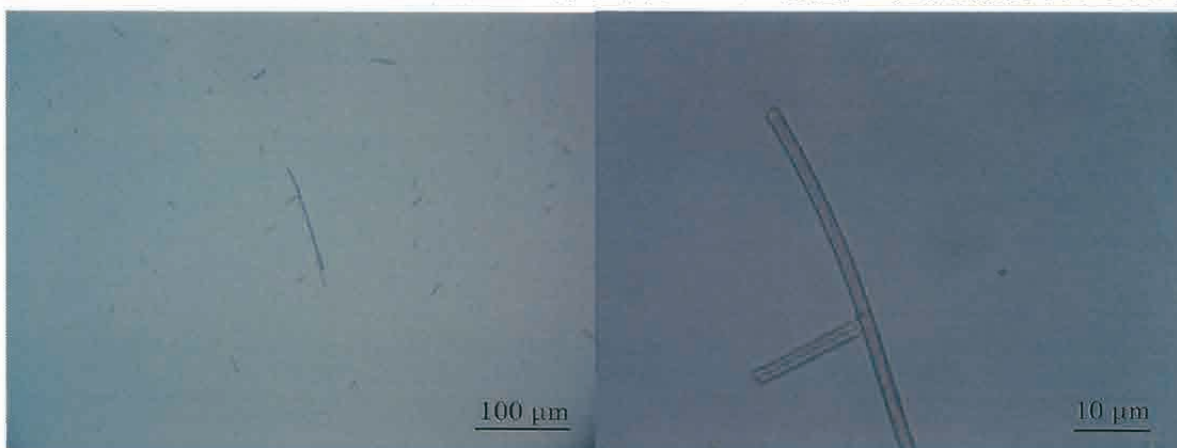


図 7 バイオ酸化鉄（乾燥物）の光学顕微鏡写真

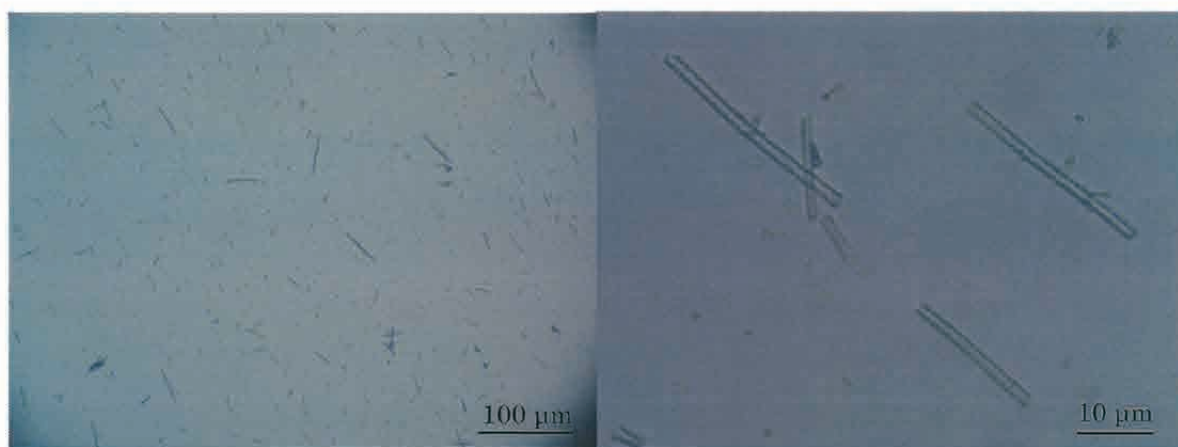


図 8 バイオ酸化鉄（乾燥物）に超音波 15 分照射後の光学顕微鏡写真

両者を比較しても形態に大差はなく、超音波照射で形態が破壊されることがないことが確認された。そこで超音波照射を利用した今回の方法でバイオ酸化鉄を用いた複合体を作製した。

まず初めに蒸留水にバイオ酸化鉄を超音波で分散させ、徐々にアルギン酸ナトリウムを添加し、バイオ酸化鉄が分散した 2 wt% アルギン酸ナトリウム（重合度 450）水溶液を調製した。その溶液を押し出し速度 30 ml/min でバイオ酸化鉄/アルギン酸カルシウムゲルを作製した。

図 9 にバイオ酸化鉄/アルギン酸カルシウムのゲルの光学顕微鏡写真を示す。

アルギン酸マトリックス中に均一にバイオ酸化鉄が分散しており、そのバイオ酸化鉄が繊維方向にきれいに配向していることがわかった。このことから今回の方法で本研究の目的とする構造制御が可能であり、繊維状のバイオ酸化鉄/アルギン酸複合体が得られ、その複合体中でバイオ酸化鉄が繊維軸方向に一軸配向していることが確認された。

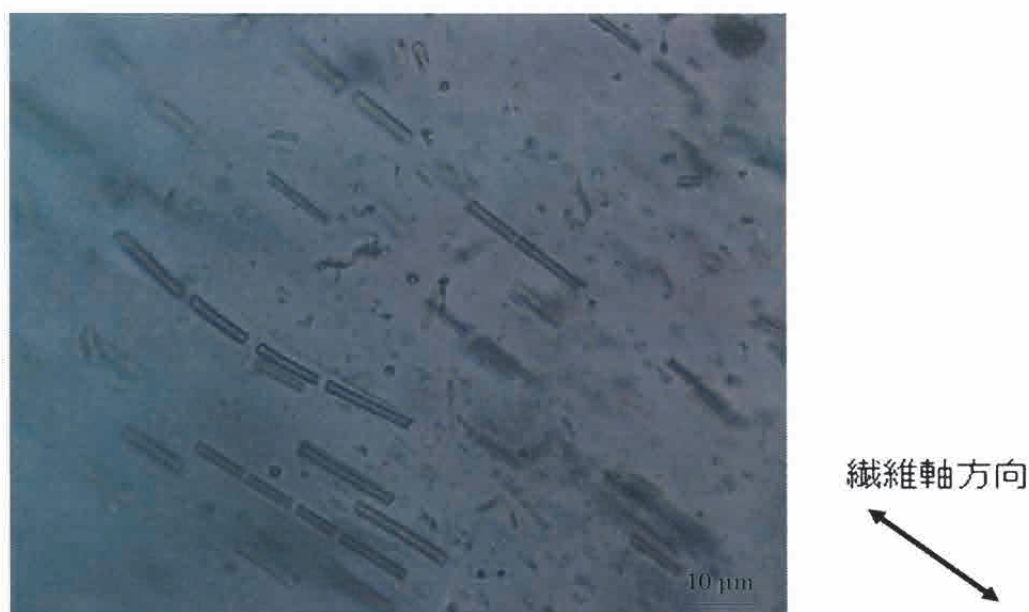


図 9 バイオ酸化鉄/アルギン酸 Ca ゲルの光学顕微鏡写真

次に、今回の方法で作製した磁性ゲルの磁化特性を検討するため、乾燥した磁性ゲル繊維を用いて VSM 測定を行った (図 10、表 4)。磁性酸化鉄にマグヘマイト、あるいはマグネタイトを用いた磁性ゲルを使用し、その作製方法の違いにより磁性酸化鉄の分散性が異なるものを測定した (従来法：分散性不良、新規法：分散性良好で磁性酸化鉄が繊維軸方向に配向)。

その結果、磁性酸化鉄の分散性の良い試料の方が、保磁力が高い特性を有することが分かった。今後はバイオ酸化鉄を用いた磁性ゲルを用いて検討していく。

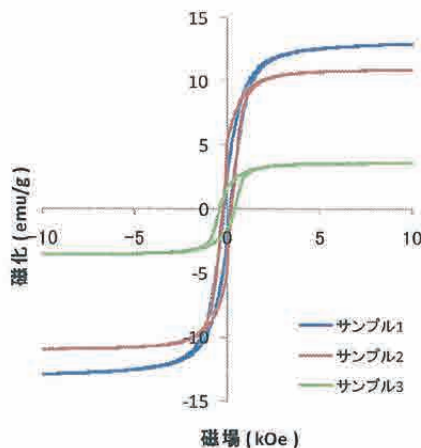


図 10 VSM 測定結果

表 4 VSM 測定結果

	酸化鉄種類	複合体作製法	飽和磁化(emu/g)	保磁力(Oe)
サンプル1	マグネタイト	従来法	64.5	160
サンプル2	マグヘマイト	従来法	52.5	233
サンプル3	マグヘマイト	新規法	70.8	389

#### 4 今後の発展性

磁性ゲルの作製とその構造制御は可能となった。次のステップとして、今後はアクチュエーターとしての機能を評価すべく、電圧印加による磁性ゲルの伸長や収縮に関する検討を進めていく予定である。また、バイオ酸化鉄は中空繊維状の形態である。バイオ酸化鉄の優れた性質を最大限活かすには、中空繊維状のバイオ酸化鉄を所定の方向に並べたデバイスを作製する必要がある。本研究ではバイオ酸化鉄をアルギン酸中に一軸方向 (繊維軸方向) に配向させる方法を確立した。この方法により中空繊維状の形態の特徴を持つバイオ酸化鉄を所定の方向に並べることができる。その繊維を揃えて束にすれば、多くのバイオ酸化鉄を所定の方向に並べることが可能である。アルギン酸はその後の処理で炭化することも可能であり、バイオ酸化鉄の優れた性質を引き出すための構造制御法としても本方法は有用である。

#### 謝 辞

本研究は、財団法人八雲環境科学振興財団の平成 22 年度環境研究助成により実施することができました。また、岡山大学大学院自然科学研究科 教授 高田 潤 先生にはバイオ酸化鉄の試料提供と VSM 測定および有益なご助言をいただきました。ここに記して、深く感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] F. Yokoyama, Achife E. Chukwura, M. Matsuoka, K. Shimamura, Y. Yamashita, K. Monobe, Polymer, 32, 2911-2916 (1991)
- [2] 橋本ら、日本化学会西日本大会講演要旨集、135p (2007)

平成 22 年度環境研究助成 研究レポート

研究区分：一般研究

研究テーマ：中間周波磁界環境による植物の成長促進システムの構築

川崎医療福祉大学 医療技術学部 臨床工学科 講師 茅野 功

## 1. はじめに

我々の身近にある家電製品は、生活の質（QOL）の向上に寄与する一方、自然界には存在しなかった電磁界を放射する要因にもなっている。この電磁界における生体への影響は、家電製品の普及に伴ってますます関心が高まっており、影響の有無やメカニズムの解明は社会的急務である。

電磁界環境による生体、特にヒトに対する影響を解明するため、世界保健機関（WHO）の環境保健基準計画の一環として、国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）が設立され、ヒトの非電離放射線の曝露限界に関する国際指針が作成された[1]。日本でも総務省から電波防護指針が公表され、電波利用の安全基準の指針が提供されている[2]。しかし、これらの防護指針のうち、中間周波帯[3]と呼ばれる低周波領域（300Hz 以下）と高周波領域（10MHz 以上）に挟まれた周波数帯の防護指針値は、低周波と高周波帯域の指針値より補完的に作成されているため、防護指針毎に指針値が大きく異なるという問題がある。

一方、近年電磁調理器（Induction Heating:以下 IH と記す）や Radio Frequency Identification（以下 RFID）と記す。等、中間周波帯域の電磁界を放射する機器が飛躍的に普及してきている。電磁調理器は、国の補助金制度による電化住宅が推進され[4]、地域によっては新築住宅の 50%以上が IH を導入する等[5]、日常生活環境への普及が進んでいる。また、RFID は万引き防止システムや Suica, Felica 等の非接触 IC カード等、タグに電池を内蔵することなく無線通信を行うことができる利点を生かした製品の普及が進んでいる。この通信周波数は、8.2~13.56MHz と中間周波帯域が用いられており、さらに 2009 年には 131kHz を用いる方式として IEEE1902.1 が策定され、数 m の遠距離通信や水中通信が行える等の利点を生かして日常生活への普及が始まっている[6]。このように、中間周波帯の磁界（以下、中間周波磁界と示す）を放出する機器が日常に急速に増えたことから、WHO においても中間周波磁界における生体影響の研究の重要性が訴えられている[7]が、この研究はアフリカツメガエルのオタマジャクシから成体への変態に対する影響[8]等で散見される程度であった。

我々は、中間周波磁界環境における生体影響について定量的に評価する試みを続けており、これまでにラットの小動脈血管径に対する影響[9]等について検討してきた。しかし、植物影響の検討は静磁界領域でいくつか報告されている[10]程度であり、中間周波磁界に対する報告は筆者等の知る限りない。

そこで本研究では、植物の中でも特に成長が速いカイワレダイコンを対象として、中間周波磁界環境における成長の影響について検討することを目的とした。また、その影響を顕著に受ける期間を検討するため、磁界の曝露期間を、1) 播種から発芽迄、2) 発芽後、の 2 通り設定し、播種から 76 及び 168 時間経過時のそれぞれの根及び茎（胚軸部）の全長を比較した。また、磁界曝露によって根内部で生じる誘導電流密度の推定、可食部（茎及び葉）に含まれる無機質成分の分析を行うことにより、カイワレダイコンの中間周波磁界環境による成長促進作用の機序の解明を目指した[11]。



## 2. 方法

### 2・1 測定対象種子

種子には、一般家庭に広く食用として用いられるカイワレダイコン（学術名称:Raphanus sativus L.var.longipinnatus L.H.Bailey, 製造元：株式会社大創産業, 生産地：イタリア）を用いた。なお、種子の公称発芽率は 85%以上（2009 年 11 月現在）であり、また  $20 \pm 2\text{mg}$  の種子を測定対象とした。

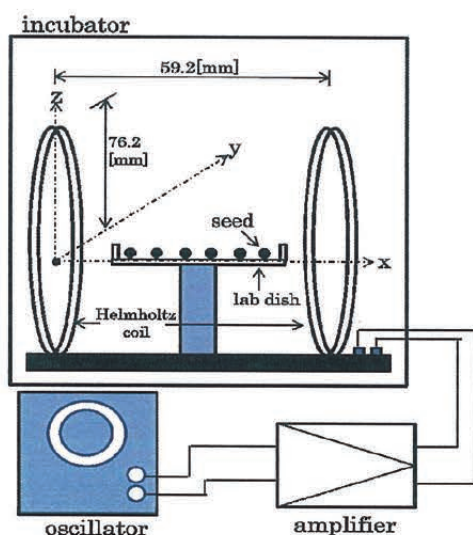


図 1：中間周波磁界曝露装置（[11]より一部抜粋）

### 2・2 中間周波磁界曝露装置

栽培中の中間周波磁界環境は、ヘルムホルツコイル（MH-6;LakeShore 社製（コイル直径 152mm））を用いて作成した。発信器から生成した交流電源を自作の中間周波増幅器で増幅を行い、これをヘルムホルツコイルに印加することによって内部に  $25\text{kHz}$ ,  $10\mu\text{T}(\text{rms})$  の磁界を作成した（以下、磁界環境と記す）。この磁界環境は、我々の生活において稼働中の IH から約  $220\text{mm}$  の距離に相当し[12]、日常的に曝露し得る磁界環境を想定している。なお、磁界は局所磁界測定器（ELT-400;Narda 社製）を用い、断面積  $100\text{cm}^2$  のループコイルを 3 軸直交配置された等方性プローブを使用して測定した。また、本装置の発信器及び増幅器の電源を遮断することにより、日常生活と同程度の中間周波磁界環境（以下、日常環境と記す）である  $0.14\mu\text{T}$ （ $10\sim 300\text{kHz}$  の複合磁界）の環境にすることが可能である。この中間周波磁界曝露装置の概略を図 1 に示す。図 1 中のヘルムホルツコイル内部について ELT-400 を用いて測定し、電源投入時の磁界がシャーレ上でほぼ均質であることを確認した。

### 2・3 栽培方法

1 日天日に放置した水道水を培養液とし、これを 70ml 含ませたガーゼを敷いたガラス製シャーレ（直径 100mm）に種子を等間隔に 20 個並べ、1 日 2ml の水を与えながら水耕栽培を行った。また栽培中、ノイズとなる中間周波磁界を放射しないペルチェ型インキュベータ（CN-40A;三菱電機エンジニアリング社製）内部にヘルムホルツコイルを置き、カイワレダイコンの発芽至適温度である  $23.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$  の温度環境下で、光の影響を受けないよう暗室状態（0lux）で栽培した。この栽培中の様子を図 2 に示す。



図 2：栽培の様子

#### 2・4 中間周波磁界曝露プロトコール

2・2による中間周波磁界曝露装置内において、以下の3通りの磁界環境により栽培を行った。播種の時間を0時間とした磁界曝露プロトコールを図3に示す。

##### 1) グループ1

日常環境に留置されていた種子を播種後から発芽まで磁界環境に曝露し、その後は日常環境で栽培した。ここで、発芽とは予備実験により日常環境に播種された種子が85%発芽した播種から48時間経過時をいう。

##### 2) グループ2

日常環境に留置した種子を播種後から測定終了まで168時間磁界環境に曝露した。

##### 3) コントロール群

播種前、発芽前及び発芽後のすべての期間において日常環境で栽培した。

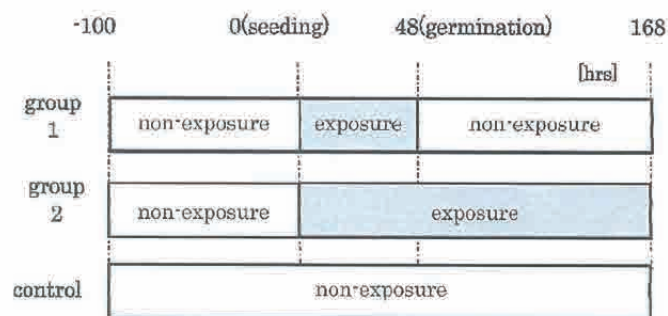


図 3：磁界曝露プロトコール

## 2・5 分析方法

### 2・5・1 測定方法

上記3対象群それぞれについて、種子の播種から76及び168時間経過における根と茎の長さを測定した。但し、播種から48時間経過時に発芽しなかった種子は測定の対象から除外した。また、グループ2の播種後78時間経過時は磁界曝露の継続中であるため測定していない。

根及び茎の長さは、対象を方眼紙上にピンで固定し、布状メジャーを対象に沿わせて測定した。カイワレダイコンは、胚軸部と根の境界から根毛が見られ、この根毛の生え始め部を目視により判断し、根と茎の境界とした。また、茎は胚軸部を対象とし、根は主根を対象とした。

中間周波磁界環境とカイワレダイコンの成長促進作用の関連性を検討するため、中間周波磁界を曝露した2群の根と茎の長さのcontrol群に対する有意差検定を行った。さらに、効率的な成長促進方法を検討するため、168時間経過時のグループ1に対するグループ2の根と茎の長さを有意差検定した。

### 2・5・2 無機質分析方法

カイワレダイコン可食部（茎及び葉部）の無機質分析には、播種から168時間経過時のすべての群について、財団法人岡山県健康づくり財団（厚生労働省登録食品検査機関：食品衛生法第26条第1項、第2項及び第3項）において、原子吸光光度法によりナトリウム、カリウム、カルシウム及びマグネシウムを、またモリブデンブルー比色法によりリン成分の重量分析を行った。

### 2・5・3 誘導電流密度の算出方法

カイワレダイコン種子中、及び根中に誘導される電流密度の推定のため、種子あるいは根部モデルを用いて有限要素解析を行った。この解析には、株式会社フoton製PHOTO-EDDYj $\omega$  Ver.7を用いた。モデルは、組織内部で生じる平均的な誘導電流密度を検討するため、植物種子の成分分布[13]や植物の含水率と導電率の関係[14]から、根の導電率を単一とし、根部モデルは、導電率0.01S/m、直径2mm、長さ100mmの円柱とした。尚、本モデルに曝露する磁界は25kHz、10 $\mu$ Tとした。また、シャーレ及びガ一ゼの比透磁率は1とし、根部モデルは円柱軸方向に対して垂直に磁界が入射するものとした。

### 2・5・4 データ解析方法

実験から得られたデータの解析は、播種から76時間および168時間経過時それぞれについて、すべての群間データをOne-way Factorial ANOVAにより有意水準 $p<0.05$ として分散分析した。さらに、この結果有意差が見られた群間に対してTukey-Kramer法による多重比較を行った。

## 3. 結果

### 3・1 根と茎の長さ

播種後78および168時間経過時の各グループの根と茎および全長を表1に示す。表中の\*印はcontrol群に対して有意差( $p<0.05$ )があることを示す。分散分析の結果、播種から76時間経過時、根・茎および全長すべてに対してすべての群間で有意差は見られなかった。一方、播種から168時間経過時は、根及び全長に対して有意差が見られた。そこで、播種から168時間経過時の根及び全長に対してTukey-Kramer法による多重比較の結果、根のデータではグループ1及びグループ2とcontrol群の間で

それぞれ  $p < 0.005$  となり有意差が見られた。発芽率はすべての群において播種後 48 時間で 85%以上の種子が発芽した。

次に、グループ 1、グループ 2 及び control 群に対する 168 時間経過時の根と茎の長さを図 4 に示す。図 4 中のエラーバーは標準偏差を示し、また\*\*印は control 群に対して有意差 ( $p < 0.01$ ) があることを示す。播種後 168 時間経過時の根の長さは、グループ 1 及びグループ 2 とともに control 群に対して有意に成長が促進された。

表 1：各群の根と茎の長さの時間変化 (\*：  $p < 0.05$  vs control)

average±SD[mm]					
	group 1 (n=52)		group 2 (n=39)	control (n=95)	
[hrs]	76	168	168	76	168
root	54.1±18.7	72.5±47.9*	68.0±26.8*	52.8±16.5	56.8±22.6
stalk	49.2±16.8	103.3±17.5	98.3±18.3	47.6±15.0	99.8±21.1
length	103.3±30.3	175.8±63.7*	166.3±29.4*	100.3±25.5	156.6±30.0

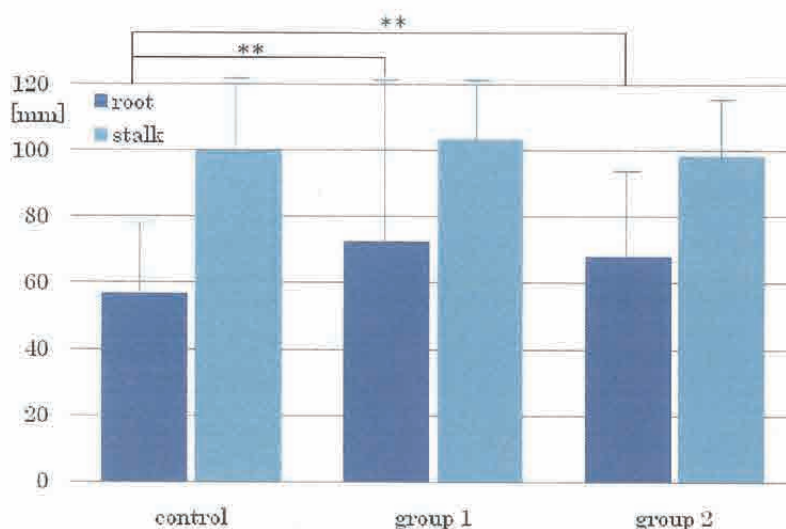


図 4：播種から 168 時間経過時の根及び茎長 (\*\*：  $p < 0.01$ )

### 3・2 無機成分量

すべての群におけるカイワレダイコン可食部 100g 当たりのナトリウム、カルシウム、マグネシウム、カリウム及びリンの無機質成分量を表 2 に示す。尚、表中の値は各群 20 本中の総量に対して 100g 相当に換算したものである。

表 2：播種後 168 時間経過時の可食部に含まれる無機成分量

[mg/100g]	sodium	calcium	magnesium	potassium	phosphorus
control	18	31	32	67	44
group 1	19	32	33	73	35
group 2	18	30	31	64	42

### 3・4 誘導電流密度

2・5・3 で述べた数値モデルによる中間周波磁界曝露によるカイワレダイコン根内部のシミュレーション結果を図 5 に示す。

図 5 は根モデルである円柱を 1/4 に切り取ったものであり、同様に矢印の長さが誘導電流の大きさに対応している。誘導電流密度は根断面付近で高くなり、その最大は約 0.55mA/m<sup>2</sup>であった。

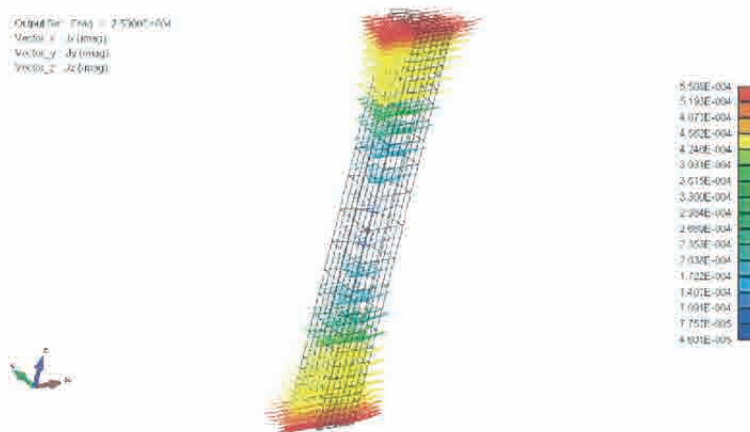


図 5：根内部の誘導電流密度

## 4. 考察

### 4・1 成長促進作用のメカニズム

播種後 168 時間経過時のグループ 1 とグループ 2 は、control 群に比べて根の長さに対して有意な促進作用が見られた。この詳細なメカニズムの解明にはさらに検討が必要となるが、いくつか可能性として中間周波磁界曝露による生体の熱的作用と刺激作用に着目し、その考察を以下に述べる。

#### 4・1・1 熱的吸収による影響

電磁界には菌の繁殖を抑制する効果が認められる周波数帯が存在することが報告されている[15]。電磁界の熱的吸収の割合を示す SAR[W/Kg] (Specific Absorption Rate) は、電磁界中の電界強度 E V/m と対象物の導電率  $\sigma$  S/m 及び密度  $\rho$  kg/m<sup>3</sup>により(1)式により導かれる。

$$SAR = \frac{\sigma \times E^2}{\rho} \quad (1)$$

本実験ではヘルムホルツコイルの 2 つのコイルに同位相の交流電流を印加したためコイル間の電位差

は極めて小さく、磁界の生成に起因して生じるコイル内部の電界強度はほぼ0となる。従って、SARはcontrol群と磁界を曝露した2つの群すべてで同じであると考えられ、磁界曝露による熱的影響で菌が死滅したとは考えにくい。また、磁界曝露中の培養液温度上昇が±0.1℃のレベルで見られなかったことから、中間周波磁界曝露に伴う熱的作用による殺菌が起因とした根の伸長促進は考えにくい。

#### 4・1・2 誘導電流による刺激作用による影響

本実験による中間周波磁界曝露に起因するカイワレダイコンの根中に誘導される電流密度は、結果3・4から0.55mA/m<sup>2</sup>であった。植物細胞は、水の輸送に関してアクアポリンによって受動的に浸透圧の高低差を利用して水は移動すると考えられている[16]。この細胞膜内外の浸透圧差は各種のイオン輸送によって作られるが、このイオン輸送にはカリウムイオンの平衡電位による膜電圧が大きく関与している[17]。

植物細胞におけるカリウムイオンチャネル電流は高々0.6nA程度であることが報告されているが[18]、結果3・4から本実験の中間周波磁界曝露によって植物の根に誘導される電流は根の直径から算出して約1.7nA程度と推定される。これらより、本実験によって生起された誘導電流は、細胞内のカリウムイオン平衡電位に影響し、膜電位の応答が活発化したことにより細胞への吸水性が向上し、吸水部である根が最も伸長の促進を受けたと推察する。

また、根の吸水性を向上させる植物内生のホルモンとしてオーキシシン[19]等があるが、これらのホルモン分泌を向上させた植物は外部栄養素等添加による栄養促進ではないことから、その植物及び果実に含まれる栄養素量にほとんど影響を与えないことが知られている[20]。本実験により成長が有意に促進されたグループ1及びグループ2の無機栄養成分が、control群と大きな違いが見られなかったことからカイワレダイコン内での細胞の吸水性の向上を裏付けていると考えた。

以上の結果より、中間周波磁界環境はカイワレダイコンに生じる誘導電流によりカリウムイオン電流が変化することで吸水性が向上する作用があるものと推測された。

#### 4・2 食用植物の成長促進方法としての応用

本実験結果により、カイワレダイコンの根の伸長には、細胞内イオン活動に影響させる誘導電流密度を生じさせる十分な磁界の曝露が必要であることが示された。考察4・1・1で述べたように、高周波領域の電磁界曝露では熱的吸収作用が生じ、栽培装置や植物が発熱し、栽培に最適な環境をコントロールすることが難しくなる。また、直流磁界では誘導電流を生じさせることが困難である。以上より、熱的作用の原因となる電界を生じないヘルムホルツコイルを用いた中間周波磁界環境による栽培は、根の成長促進をさせるために適する手法であると考えられる。

### 5. 結言

本研究では、カイワレダイコンを対象とした中間周波磁界環境による成長促進作用の検討と、この結果を応用した食用植物の成長促進手法の提案を行った。その結果、播種から48時間の限定的な25kHz、10μTの磁界曝露においても根の伸長を促進することが可能であった。

### 謝辞

本研究の一部は、財団法人八雲環境研究振興財団による平成 22 年度環境研究助成のもとに行われた。ここに感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300GHz). *Health Phys.* 74(4):494-522,1998.
- 2) 総務省：電波利用における人体の防護指針. 電波防護指針諮問第 38 号,1990,pp.494-522.
- 3) World Health Organization: Electromagnetic field and public health Intermediate Frequencies (IF). International EMF Project Information Sheet. 1-4,2005.
- 4) 日本エレクトロヒートセンター：平成 21 年度エコキュート導入補助金制度のご案内.2007,pp.1-16.
- 5) 赤林伸一：全電化住宅 今伝えたいトピックス. *建築雑誌.* 120(1528):34-35,2005.
- 6) 中村勝俊：RFID の新しい活用領域を切り開く通信規格--IEEE1902.1. *自動認識.*22(11):16-20,2009.
- 7) <<http://www.who.int/peh-emf/resarch/agenda/en/index.html>>(URL)[accessed July 1,2010]
- 8) 中村亜津沙, 塗木淳夫, 辻村誠一, 湯ノ口万友：電磁調理器の電磁界によるアフリカツメガエルへの作用に関する考察. *Journal of the Magnetics Society of Japan.* 31(3):263-267,2007.
- 9) 茅野功, 望月精一, 小笠原康夫：中間周波磁界曝露によるラット小動脈血管径への影響評価. *生体医工学.* 47(6):508-513,2009.
- 10) 山名昌男, 原島崇好, 山口剛史, 栗山昭：カイワレ栽培における成長とカオチン(Ca<sup>+2</sup>,Mg<sup>+2</sup>,K<sup>+</sup>)含有量に及ぼす磁場と音波の効果. *植物環境工学.* 20(2):106-110,2008.
- 11) 茅野功, 望月精一, 小笠原康夫：中間周波磁界環境下におけるカイワレダイコンの成長促進手法. *生体医工学.* 49(1):226-232, 2011.
- 12) 太良尾浩生, 林則行, 伊坂勝生：電磁調理器からの中間周波漏れ磁界による体内誘導電流の解析と平均化処理. *電気設備学会.* 26(2):142-151,2006.
- 13) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会：日本食品標準成分表. 国立印刷局, 東京, 2005,pp.82-83.
- 14) タバイエスペック株式会社：ESPEC 技術情報. 9:1-2,1997.
- 15) 小倉隆夫：特開 2001-352955,2001.
- 16) 須賀しのぶ, 石川文義, 村井麻理, 前島正義：植物における水の輸送とアクアポリン. *植物化学調節学会.* 38(2):220-228,2007.
- 17) 太田次郎, 石原勝敏, 黒岩澄雄, 清水, 高橋景一, 三浦謹一郎：植物の生理. 朝倉出版, 東京, 1991,pp.159-171.
- 18) Eiji Okuma, Yoshiyuki Murata: Plant Ion Channels as Potential Targets of Agro-Chemicals.*J.Pestic.Sci.* 29(4):304-307,2004.
- 19) 小柴恭一, 神谷勇治, 勝見允行：植物ホルモンの分子細胞生物学. 講談社サイエンティフィック, 東京, 2006,pp.165-169.
- 20) 倉田裕文, 東理恵, 下川敬之, 足立勝：ウンシュウミカン果実のエチレン誘導クロロフィル代謝に及ぼす 2,2'-ビピリジルの影響について. *園学雑.* 71(3):441-445,2002.





# 平成 22 年度 国際研究交流助成報告



## 9. 平成 22 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
尾坂 明義	岡山大学大学院 自然科学研究科	第 6 回高機能高分子材料国際シンポジウム	1 2 0
田中 俊行	岡山大学大学院 環境学研究科	2010 環太平洋国際化学会議	1 2 1
高村 浩由	岡山大学大学院 自然科学研究科	2010 環太平洋国際化学会議	1 2 2

## 尾 坂 明 義

岡山大学大学院自然科学研究科

---

参加会議名 第6回高機能高分子材料国際シンポジウム  
主催団体名 中国科学院・化学研究所  
開催期間 平成22年11月7日～平成22年11月11日  
開催地 アモイ市、福建省、中国

---

表 題 Chitosan hybrids for guided nerve tissue regeneration  
(キトサンハイブリッド材料が神経細胞再生に及ぼす影響)

### <内容>

脳神経系組織の修復と再生とは残された最後の領域である。アルツハイマー症候群をはじめとし、伝達系神経系は重篤な機能不全を引き起こす。申請者らは、材料の立場からこれまで医歯系の研究者と共同でゼラチンやシロキサン系ハイブリッド（業績4）等2, 3の神経系組織再生材料を提案してきた。

天然高分子のひとつであるキトサンと  $\gamma$ -グリシドキシトリメトキシシラン(GPTMS)とのハイブリッドを新規に提案する。キトサン成分で神経細胞周囲の組織の免疫力の増強や回復を促進し、GPTMSから導かれるシラノール基で神経細胞自体の再生を促進するという、設計指針に基づいて、生体内分解性キトサン-GPSM系多孔質膜あるいはチューブ型の神経軸索再生用材料を創成し、その分解性を制御し、実験室レベルでの骨髄細胞やNE-115神経細胞適合性を調べた。その結果、良好な細胞培養成績を得たので、これをWistar ratsを用いて動物実験に供した。その結果、このハイブリッドは妨害性線維芽細胞から神経細胞の成長を保護・促進することを明らかにした。この成果の一部は、既に雑誌・会議で発表した。

本国際会議では、これら神経系再生に関するこれまでの取り組みの全容を紹介するとともに、最新のデータを報告した。

## 田 中 俊 行

岡山大学大学院環境学研究科

---

参加会議名	2010 環太平洋国際化学会議
主催団体名	アメリカ、カナダ、日本、ニュージーランド、オーストラリア、韓国、 中国の7化学会
開催期間	平成 22 年 12 月 15 日～平成 22 年 12 月 20 日
開催地	アメリカ合衆国 ハワイ州 ホノルル市

---

表 題 Fabrication of LDH/photoresponsive dendron nanocomposite film through layer by layer method  
(レイヤーバイレイヤー法を用いた LDH/光応答性デンドロンナノ複合膜の作製)

### <内容>

無機化合物構造中に機能性有機化合物を固定化した無機有機ナノ複合膜は組み合わせにより種々の物性を設計できるため多くの可能性を秘めている。中でも、無機ナノシートを基本としたレイヤーバイレイヤー (Layer by layer: LbL) 膜が多くの注目を集めている。層状複水酸化物 (Layered Double Hydroxide: LDH) はマグネシウムやアルミニウムなどの軽元素から成る無害・低環境負荷な材料であると同時に、高い 2 次元異方性をもったコロイド状ナノシートへと剥離できることが知られている。一方、デンドリマーもしくはデンドロンと呼ばれる規則的な枝分かれ構造を有する樹木状多分岐高分子は分子をデザインすることで高次の機能の付与が可能である。LDH ナノシートとデンドロンのナノ複合膜の作製は新規機能性材料設計の視点から極めて魅力的である。本研究では、電荷が異なる化学種の組み合わせで静電的にモノレイヤー堆積を繰り返させて基板上で多層膜化する LbL 法を用い、正に帯電した LDH ナノシートと負に帯電した発光性デンドロンとの積層を検討した。その結果、高次配向・組織化制御されたナノサイズの発光性薄膜を基板上に形成することに成功した。本会議では、その詳細についてポスター形式にて報告した。講演資料として本講演の抄録のコピーと、発表したポスターの縮小コピーを別に添付した。

# 高 村 浩 由

岡山大学大学院自然科学研究科

---

参加会議名	2010 環太平洋国際化学会議
主催団体名	アメリカ、カナダ、日本、ニュージーランド、オーストラリア、韓国、 中国の7化学会
開催期間	平成22年12月15日～平成22年12月20日
開催地	アメリカ合衆国 ハワイ州 ホノルル市

---

表 題 Synthetic Study of the Polyol Marine Natural Product Symbiodinolide  
(ポリオール海洋天然物シンビオジノライドの合成研究)

## <内容>

海洋から得られる天然有機化合物、いわゆる海洋天然物は多様で強力な生物活性を有することから医薬シーズとして注目を集めている。しかしながら自然界においては微量成分であるため、広範囲な生物活性試験を行うことが困難であり、このためその有用性を十分に生かし切れていない。そこで安定に試料を供給できる化学合成の果たす役割は非常に大きい。

シンビオジノライドは渦鞭毛藻から単離された海洋産ポリオールマクロライドである。本化合物は抗 HIV 活性、COX-I 阻害活性、およびカルシウムイオンチャネル開口活性を有しているため、新たな医薬品および生化学用試薬としての利活用が期待されている。本化合物は分子量 2,860 を有する巨大分子であるため構造解析は困難を極め、立体構造は未解明のままである。過去3年間の研究により、考え得る全ての立体異性体を含む各フラグメントの合成を完了し、分子半分に相当する各フラグメントの立体構造を合成化学的に解明することができた。これらの研究成果は計8報の原著論文にて報告済みであり、2010 環太平洋国際化学会議においては今までの研究成果を総括した形で口頭発表した。

本発表に関する原著論文（本派遣者には下線を引いた。）

1. Takamura, H.; Ando, J.; Abe, T.; Murata, T.; Kadota, I.; Uemura, D. Stereocontrolled Synthesis of the C79–C96 Fragment of Symbiodinolide *Tetrahedron Lett.* **2008**, *49*, 4626–4629.
2. Takamura, H.; Kadonaga, Y.; Yamano, Y.; Han, C.; Aoyama, Y.; Kadota, I.; Uemura, D. Synthesis and Structural Determination of the C33–C42 Fragment of Symbiodinolide *Tetrahedron Lett.* **2009**, *50*, 863–866.
3. Murata, T.; Sano, M.; Takamura, H.; Kadota, I.; Uemura, D. Synthesis and Structural Revision of Symbiodinolide C23–C34 Fragment *J. Org. Chem.* **2009**, *74*, 4797–4803.
4. Takamura, H.; Kadonaga, Y.; Yamano, Y.; Han, C.; Kadota, I.; Uemura, D. Stereoselective Synthesis and Absolute Configuration of the C33–C42 Fragment of Symbiodinolide *Tetrahedron* **2009**, *65*, 7449–7456.
5. Han, C.; Yamano, Y.; Kita, M.; Takamura, H.; Uemura, D. Determination of Absolute Configuration of C14–C23 Fragment in Symbiodinolide *Tetrahedron Lett.* **2009**, *50*, 5280–5282.
6. Takamura, H.; Murata, T.; Asai, T.; Kadota, I.; Uemura, D. Stereoselective Synthesis and Absolute Configuration of the C17–C25 Fragment of Symbiodinolide *J. Org. Chem.* **2009**, *74*, 6658–6666.
7. Takamura, H.; Kadonaga, Y.; Kadota, I.; Uemura, D. Stereoselective Synthesis of the C14–C24 Degraded Fragment of Symbiodinolide *Tetrahedron Lett.* **2010**, *51*, 2603–2605.
8. Takamura, H.; Kadonaga, Y.; Kadota, I.; Uemura, D. Stereocontrolled Synthesis and Structural Confirmation of the C14–C24 Degraded Fragment of Symbiodinolide *Tetrahedron* **2010**, *66*, 7569–7576.

# 平成 22 年度 研究集会助成報告





## 10. 平成 22 度 研究集会助成報告

助成対象者	所 属	集会名	ページ
富田 栄二	岡山大学大学院 自然科学研究科	第 21 回内燃機関シンポジウム	1 2 4
若村 国夫	岡山理科大学 理学部	瀬戸内自然エネルギー研究会	1 2 5

# 富田 栄二

岡山大学大学院自然科学研究科

---

研究集会名称	第21回内燃機関シンポジウム
主催機関名	(社)日本機械学会
共催者・後援者等	(社)自動車技術会、日本燃焼学会、日本エネルギー学会、他9団体
開催期間	平成22年11月10日～平成22年11月12日
開催地	岡山大学

---

## <内容>

共催：社団法人 日本機械学会（幹事学会）、社団法人 自動車技術会  
協賛：(社) 可視化情報学会・(社) 石油学会・日本液体微粒化学会・(社) 日本エネルギー学会・  
(社) 日本ガス協会・(社) 日本ガスタービン学会・(社) 日本トライボロジー学会・日本内燃機関  
連合会・日本燃焼学会・(社) 日本マリンエンジニアリング学会・(社) 日本陸用内燃機関協会

### 開催趣旨：

内燃機関はその発明以来、自動車を始めとして、トラック・バス、二輪車、汎用、舶用など各種機械・装置の動力源として広く用いられ、近代文明の形成にとって欠くことのできないものになって来ました。その間、人類の飛躍的な発展をもたらし、新技術を生み出すことによって社会の発展を支え、進化を続けてきました。新たな世紀を迎えて、いわゆる持続可能な社会に向けた新動力システムの開発が模索されていますが、その普及には様々な課題があり、CO<sub>2</sub>とエネルギー消費の削減や環境改善に向けて内燃機関が果たす役割には依然として大きいものが有ります。エネルギーの多様化とハイブリッドシステムに象徴される動力システムの多様化は、幅広い技術分野の新たな進歩を必要としています。本シンポジウムは内燃機関に関する専門家が集まる国内唯一のシンポジウムとして、内燃機関とそのシステムに関わる全ての技術分野の最新の研究成果の発表と活発な討論を通じて、エンジンシステムが社会の発展にいかに関与し得るかを考え、内燃機関の未来を拓く革新的技術の方向と可能性を見極めたいと思います。

開催日：2010年11月10日（水）～12日（金）

会場：岡山大学創立50周年記念館 会場案内図は、下記ウェブページをご参照下さい。  
<http://www.okayama-u.ac.jp/50kinenkan/kinenkan-index.htm>

### 講演申込方法：

- 研究発表申込書（日本機械学会 ES 部門ホームページの第21回内燃機関シンポジウム URL (<http://www.jsme.or.jp/esd/ICES/21stICES.html>) より入手)に必要事項を記入の上、申込締切日までに電子メールに添付して、下記宛お申し込み下さい。

【[kidog@eco.tokushima-u.ac.jp](mailto:kidog@eco.tokushima-u.ac.jp)】

- 希望セッションの欄には、次の中からご希望の募集領域、募集分野を選択してご記入下さい。

【募集領域】募集分野／：

【エンジン燃焼】ガソリン燃焼、ガソリン噴霧、予混合圧縮着火、着火と燃焼、ノッキング、混合気形成、ディーゼル燃焼、ディーゼル噴霧／【排気・環境】排気、触媒、後処理、排熱回収、環境影響評価／【燃料】バイオ燃料、石油代替燃料、水素、燃料添加物／【潤滑油・トライボロジー】潤滑油、トライボロジー、摩擦・磨耗、低摩擦化／【振動・騒音】振動、騒音／【新機構・システム】可変機構、ガスエンジン、ロータリエンジン、ガスタービン、ハイブリッド技術／【要素技術】燃料噴射、過給、吸排気系、冷却・伝熱／【計測・制御】計測・診断法、レーザ計測、数値計算・シミュレーション、システム制御、最適化

- 講演者が日本機械学会の会員で、講演申し込み時に下記学会賞の候補資格に当てはまる場合には、申し込み用紙の所定欄に○印を記入して下さい。

F（フェロー賞）：学生員、准員および修士修了後1年目の正員

B（ES部門ベストプレゼンテーション賞）：35歳以下の研究者（学生を含む）、技術者

講演申込締切日：2010年4月30日（金）

講演採択通知：2010年6月下旬（E-mailにて通知致します）

原稿提出締切日：2010年8月20日（金）

使用言語：日本語あるいは英語

原稿用紙書式：詳細は学会ホームページ(<http://www.jsme.or.jp/conrule.htm>)

原稿枚数：A4版6枚

問合せ先：社団法人 日本機械学会エンジンシステム部門

担当職員 加藤佐知子

〒160-0016 東京都新宿区信濃町35番地信濃町煉瓦館5階

Tel. 03-5360-3503 Fax. 03-5360-3508 E-mail:kato@jsme.or.jp

## 若村国夫(岡山理科大学)

研究集会名称 地球温暖化軽減の技術「自然エネルギー活用アイデアと燃料電池」

主催機関名: 瀬戸内自然エネルギー研究会、共催者・後援者等: 後援・岡山理科大学

開催期間: 平成22年11月6日-11月7日、開催地: 岡山市北区理大町1-1・岡山理科大学

### 【内容】

岡山理科大学からも後援を受け、一般人や学生を対象とした講演会を岡山理科大学に会場を借りて下記のプログラムで開催した。講演要旨集を配布し、講師、聴講者が議論し易い休憩の場を設けた。

### 講演会 “地球温暖化軽減へ向け！”

#### 「自然エネルギー活用アイデア」と

#### 電池の技術(リチウム電池と燃料電池)

### プログラム

#### 【11月6日(土)】“伝統生活から学ぶ自然エネルギー活用アイデア”

- 13.30-13.40 はじめに (井上直樹・瀬戸内自然エネルギー研究会代表・愛媛大学名誉教授)
- 13.40-14.40 アジアの自然を活用する伝統生活 (藤原俊彦・滋賀県立琵琶湖博物館・館長)
- 15.00-16.00 日欧の伝統水車に見るエネルギー利用技術の差異 (若村国夫・岡山理科大学・教授)

#### 【11月7日(日)】“リチウム電池と燃料電池を学ぶ”

- 9.50-10.00 はじめに (井上直樹・瀬戸内自然エネルギー研究会代表・愛媛大学名誉教授)
- 10.00-10.55 リチウムイオン電池「概論と電極材料」(藤原俊彦・元三洋電機)
- 11.05-12.00 リチウムイオン導電体の材料と物性 (中村浩一・徳島大学工学部・講師)
- 12.00-13.00 昼食
- 13.00-13.55 燃料電池とは (三宅泰夫・サン企画)
- 14.05-15.00 燃料電池の材料と物性 (江坂享男・鳥取大学大学院工学研究科・教授)
- 15.15-16.15 パネル討論会「電池の必要性と問題点、その今後(物質科学の視点から)」  
パネラー: 藤原俊彦、中村浩一、三宅泰夫、江坂享男、若村国夫、進行役: 井上直樹
- 16.15-16.25 おわりに(藤原俊彦・徳島大学工学部・准教授)

場所: 岡山理科大学7号館20741教室(6日)、25号館22544教室(7日)  
参加者: どなたでも参加自由です(参加費は無料です)

連絡先: 〒700-0005 岡山市北区理大町1-1 岡山理科大学・若村研究室内  
瀬戸内自然エネルギー研究会・幹事・若村国夫 Fax: 086-256-8487, e-mail: wakamura@das.ous.ac.jp  
主催: 瀬戸内自然エネルギー研究会 後援: 八雲環境科学振興財団、岡山理科大学

### 1日目: 「伝統生活から学ぶ自然エネルギー活用アイデア」

大学の7号館にて学生を含めた聴衆約150名を集めて開催された。井上直樹研究会代表による講演会の趣旨と八雲環境科学振興財団及び岡山理科大学への謝辞の後、2題の講演が行われた。

藤原講師はこれ迄の調査結果と体験を基礎に、アジアの伝統生活で見られた道具、身体、自然の組み合わせによる生活技術を生態的技能、身体的技能、道具の革新の視点から捕らえ、現代生活が生態的技能と身体的技能を欠落させている事を示した。若村講師は、水車の構造や動力源の方式、使用部品等の和洋の差異から、自然の水流と重力による直線運動利用の日本と、高速回転、大容量を目指すヨーロッパとを示し、自然エネルギーの活用に日本の伝統的技術思考が有用である事を示した。伝統生活を余り知らない若い聴講者から幾つも質問が出された。講演会は山陽新聞全県版に報道された。



29 第1全県 2010年(平成22年)11

### 自然エネルギー活用探る

岡山 瀬戸内研究会が講演会

地域ごとの多様性を考えたエネルギー利用の必要性を語る藤原館長

環境に優しい自然エネルギーの活用方法を探る「瀬戸内自然エネルギー研究会」(代表・若村国夫)が6日、2日間の日程

で岡山市北区理大町の岡山理科大学で始まった。市民や学生約150人が参加。藤原館長もまたらず欧州型技術賀立琵琶湖博物館館長はエチオピアや中南部の少数民族の自然を上手に利用した暮らしを紹介し、「エネルギー利用のあり方は欧州的な価値観を当てはめるのではなく、地域性を考えていく必要がある」と話した。

若村国夫・岡山理科大学教授は日本と欧州の水車の構造を比較研究し、生態性重視のため

大量の水を必要とする欧州に比べ少ない水で動かす日本の利点を紹介。「自然破壊を招かずに欧州型技術ではなく、自然に倣う日本の伝統技術思考の転換が有効」と訴えた。

7日はエネルギー効率を良くするための電池をテーマに発表がある。同会は岡山、香川、愛媛、徳島県などの物理・化学研究者ら約20人で昨年発足した。(阿部光希)

### 11月7日「電池を学び知ろう」

岡山理大25号館にて、聴衆約30名を集めて開催された。井上研究会代表の本日の講演会の趣旨説明、八雲環境科学振興財団及び岡山理科大学への謝辞の後、講演に入った。斎藤俊彦講師はLi-Iオン電池の原理、電解質や電極材料の種類による電池の性能比較、実用上の注意事項などを、中村浩一講師はLi-電解質の構成遷移金属原子の種類による性能評価をそれぞれ話された。

午後は三宅泰夫講師が燃料電池の基礎、各種燃料電池の紹介と実際を、江坂享男講師は燃料電池と発電所製造電気のエネギー効率を比較し、発電所での排熱の有効利用、燃料電池の製造まで含んだエネルギー効率の考慮をそれぞれ指摘した。

後、斎藤、中村、三宅、江坂、若村の各氏をパネラーとし、井上代表を司会役として「電池の必要性と問題点、その今後(物質科学の視点から)」の題目で1時間のパネル討論会を開催した。専門家、市民の方々から多くの電池に関する質疑と、電池の情報のインターネット上での発信、この種の講演会の活性と揭示とを望む声が出された。



## 平成 22 年度 その他の助成報告



## 11. 平成 22 年度 その他の助成報告

助成対象名称	内容	ページ
岡山市少年少女発明クラブ	子どもの興味関心に培うクラブ活動	127

## 子どもの興味関心に培うクラブ活動

岡山市少年少女発明クラブ

### はじめに

クラブは、「子どもの豊かな発想によるものづくり活動」を支援することをねらって発足した。ものづくり活動を通して技術・技法を伝達・習得させ、科学的な興味・関心、創作意欲を育てることができると考えたのである。

クラブ活動を続けているうちに、子どものものづくり活動は興味関心が引き金になって始まり、活動することで「おもしろい、満足、よかった」などの心情が生まれると、活動が広がり深化することが見えてきた。では、具体的に、クラブを運営している我々はどうすれば「おもしろい、満足、よかった」などの心情をより大きく育てることができるのか。指導者グループが体験的にもっている感覚と、クラブで実践する一つひとつの事例を集積し、判断することでこの問題に取り組んでいる。

この取り組みは、八雲環境科学振興財団の研究レポート集第9号（2008）の、その他の助成でまとめさせて頂いたのがきっかけになって、少しずつではあるが、進化しつつ、標記の題を掲げるところまで歩んでこられた。財政的な支援に加えてまとめを公表する場を与えてくださった八雲環境科学振興財団にお礼申し上げます。

### 子どもの「おもしろい、満足、よかった」

当クラブの「宝箱」活動のときに作成し、岡山市児童生徒発明工夫展に出品した作品の中から抽出して、作品、感想、子どものようすや指導者の支援にかかわる考察などを記す。

### ① U君（4年生）の場合

作品名：プロペラ掃除機



素材・構造など：21のペットボトルの中に、三枚羽根プロペラを付けた直流モーターと乾電池ボックスを収め、ペットボトルの外にスイッチと持ち手になる粘着テープの芯とを取り付けてある。モーター等を挿入したペットボトルの切り口を排気口に仕立ててある。

U君の感想：スイッチを付けるのにととてもくろうした。ゴミが吸えたのでとてもうれしかった。ペットボトルのいらなところ（切つてはいけないところ）を切ってしまうと、やめなくなった。

活動の状況など：モーターを使った物を何か作りたいというのがきっかけである。モーターやスイッチを始め、材料は全て身近にある物で、体験ずみのものばかりである。クラブの時間以外でも製作を続けた。半田付けは初体験で、家庭での製作では、導線をねじ付けてすませている。「スイッチを付けるのにととてもくろうした。」のは、U君の手元にあったス



イッチの形とボトルの形が原因である。

「思いついたらじっとしておれない」ところがあるようで、「使えそうなものを探し出して」「とりあえず」「動いたら満足」「性能は、直ちに厳しく追求」することはない。

支援の要点は、クラブが「パーツ屋」と「工具屋」と「素材屋」の性格を持つことであろう。指導に当たっては、作品の性能より思いつきをほめることであろう。なぜなら、＜思いつきの数をいくつも組み合わせる操作＝考える・創造する＞と思うからである。

## ② Iさん（4年生）の場合

作品名：太陽光自動水やり機（模型）



素材・構造など：屋根に降った雨を樋に受け、貯水タンク（プラスチックカップ）に貯える。貯水の状況はタンクのセンサーで知り、モーターのスイッチにつながっている。タンクには散水用の配水栓があり、糸でモーターにつながっている。花壇に水が必要なのは、天気続きの時なのでモーターの電源は太陽電池で回るようにしておく。これで、エコ散水機ができた。

Iさんの感想：バッテリーやガソリンを使わないエコでクリーンな仕組みができた。

活動の状況など：板を切るなどの工作は保護者が手伝った。

上記の子どもの考え方で、好天で直ちに花壇に水が必要になるわけではないところまでは支援の中心的役割を果たした保護者も深く追求していない。土の乾燥とか、散水の量などに触れると、4年生の知識では解決不可能になる。この態度が子どもの充実感をさらに豊かなものにしたと、下の写真から想像している。写真は、左段の模型を裏側の様子である。



模型の中には、プラスチックチックブロックの花壇と果樹がある。成功しなかったが、余分の電力でLEDを点灯させようと試みている。楽しんで作り、充実感があればこそその付け足し工作であろう。

成功しなかった理由に気づくような活動を今後のクラブ活動に組み込みたいものである。

当クラブの目的の「アイデアの具現化を支援する」ために「宝箱」活動では「失敗すると予想されるような場合でも、怪我をしないのなら指導者は子どもの思いを優先する」という心構えは間違っていないことをIさんの保護者によって証明されたように思う。なお、この作品に似たIさんの作品クリーンポンプは、新エネルギー・産業技術総合開発機構が開催した新エネ・太陽電池工作コンクールで入選した。

### ③ O君（5年生）の場合

作品名：アンブレラ干し太郎

素材・構造など：マジックテープ、紐2種類（クリップ付き）、目玉クリップなど。ベランダに干すので、良く乾き、広い場所を取らず、風で飛ばないように干し方が簡単にできるといのがねらい。



O君の感想：かさの種類がジャンプがさや、その他のかさがあって、付け方が同じではなかったのが困った。

活動の状況など：マンション暮らしなので、雨傘を干しにくい。特に、風に飛ばされるのは絶対に避けなければならないというのが失敗から生まれたO君の課題である。

ベランダは風が強く、雨で使った後の傘を広げて乾かすことがむづかしい。たまたままでは傘の骨が錆びるのではないかと思い、仕組みを作ることにしたとのこと。O君は愛用しているジャンプ傘をクラブに持ち込んで設計を始めた。指導者の「ジャンプ傘だけなの？」の問いかけがO君を苦勞が多くあまりおもしろくない活動へ向かわせることになっ

た。合わせて、デザインや仕組みを工夫した多くの傘を知ることにもなった。

ジャンプ傘のバネの力と柄の形とを利用して、ベランダに広げても飛ばない構造を作りかけていた矢先の「ジャンプ傘だけなの？」である。家族が使う傘にはさまざまな大きさや形がある。汎用な傘干し用具を目指すのは、理にかなっているように見えるヒントではある。

O君はもともと、生活を便利にする実用性のある物を粘り強く工夫する子どもであることを踏まえた「ジャンプ傘だけなの？」であった。でき上がった作品や感想に触れるにつけ、「ジャンプ傘だけなの？」は、大きな誤りだったように思う。どうすればよかったか？傘のようにさまざまなデザインと仕組みがある物に対して、いきなり汎用な物をねらうのはむづかしすぎた。指導者は、最初、共に考えれば何とかなるかもしれないと思っていた。しかも、O君が納得するような知恵は指導者にも浮かばなかった。

この場合、O君の最初の思い通りにO君自身の傘を干す仕組みづくりを続けるのがよかったのではないかと思われる。汎用な仕組みづくりは、ジャンプ傘専用の仕組みが完成してからでも遅くはない。あるいは、ジャンプ傘専用を作っている途中で自ら方向転換していたかもしれない。発明クラブ会則の第二条（目的）に、「アイディアの具現化を支援する」とあり、そのために「宝箱」活動では「失敗すると予想されるような場合でも、怪我をしないのなら指導者は子どもの思いを優先する」心構えであったはず。O君には申し訳ないことをした。大きな失敗である。

### ④ S君（5年生）の場合

作品名：リサイクルクル回転

素材・構造など：大小のペットボトルの上部を切り捨て、中にプロペラ付モーターと豆電球、スイッチ、乾電池を組み込み、色紙の小片を入れた。プロペラで風を起し、不規則に動く紙片を眺めて遊ぼうというおもちゃ。



S君の感想：買った（新しい）電球がつかまませんでした。理由はわかりません。配線を間違えて、電池ボックスがとけました。配線を直したのでなおりました。

活動の状況など：小さなプロペラで起きる風は弱いことを知った上で、小さいおもちゃ程度なら動く物ができるだろうと作り始めたもの。サイクロン掃除機のゴミの動きを見て、この形を思いついた。飛び回る色紙に光を当てて更なる変化を迫及した。

ペットボトルは、身近にたくさんあり、子どもものづくりに使われやすい素材ではあるが、平らな部分がないので、何かを取り付けるには、それなりの苦勞がある。

配線するのに、半田ごてを使うのは興味を引くが、ペットボトルが熱で変形しやすく最初は相当苦勞していた。

豆電球は、紙片が動くようになった後に付

け加えたもの。

半田付けを除いて全ての工作から作品の命名まで指導者の支援なしで完成させた。仕上がりは不細工に見えるが、S君にとっては努力の結晶であり、充実感を味わった1品になった。

### ⑤ H君（6年生）の場合

作品名：階段安全杖



素材・構造など：散歩用杖、T型塩ビパイプジョイント、ゴムホースなど。T型ジョイントに杖を通し、杖を取り付けた。杖は滑り止めのゴムホースを被せてある。家族の怪我が引き金になって生まれた作品。

H君の感想：足が悪いおばあちゃんにも使ってもらいたい。

活動の状況など：杖に頼って階段を上り下りするのは、体験してみると想像以上に危なっかしい。杖に杖を付けるというアイディアは最初からあった。問題は杖を付ける方法であった。しかし、その方法は、保護者と素材を探しに行ったホームセンターで簡単に決まったそうだ。杖の太さ、塩ビパイプのT型ジョ

イント、ゴムホースの外径や内径がぴったり合う物があったそうだ。

枝にゴムホースを被せるのは困っていたが、枝に濡らした石鹼を薄く塗り付けることで、簡単に解決した。

杖は、枝を階段の面に乗せるようにして使う。だから、階段を上るときと下りるときでは枝の向きが進行方向に対して逆になるように杖を持ちかえる、と発明工夫展出品カードに下の写真付で説明してある。



くわしく生き生きした表現なので、おそらく作品を試験的に使っていて気づいたのではないだろうか。作品ができ上がった時は、指導者が作製を手伝ったりヒントを出したりしたとしても、作品を最初に試験するのは、作者自身に譲りたいものである。

⑥ Yさん（6年生）の場合  
作品名：砂さら（砂よさらば）



素材・構造など：スニーカーをはいた時、足首とスニーカーを一体的に覆い、小石や砂がスニーカーに入りにくくする仕組み。布、ゴムひも、ファスナーで作り、スニーカーのかかと部分に取り付けた。

Yさんの感想：最初の時は、（覆いを）内側に取り付けました。でも、それは失敗で困ってしまいました。外側ではどうなんだろうと考え、つけてみると成功しました。うれしかったです。

活動の状況など：アウトドアの活動で悩まされるのは、スニーカーに入ってくる砂や小石である。お気に入りのスニーカーで楽しく走り回れるようにしたかったのである。

足首を覆う脚絆やゲートルのような形を思いついた。お気に入りのスニーカーのデザインを重視して足首部分の内側に覆いを継ぎ足し（ブーツの形）を試みたが、継ぎ足しにくいし、継ぎ足す覆いをスニーカーに縫い付ける布の形も展開図になりにくい。よい形にならないので歩きにくい。

この時点で、（子どもから相談されたのではないが）指導員が「同じ目的のアウトドア用のスパッツを持っているので参考にしたらどうか」とスパッツを持参した。Yさんの感想にある「外側のほうではどうなのだろうと考え、・・・」は、この部分である。

すでに実在しているが、子どもは知らなかった砂や小石が靴に入るのを防ぐ商品を見えるほどと納得できたので、スニーカーと合う色の布やファスナーを求めたのであろう。もし、「困ってしまった」時に、特許とか知的所有物・実用新案等を保護する立場から、指導員が、「そのような物は、もう、製品になっていて販売されている」というのが正しいの

だと思う。また、どこかで見たことがある物のを作っている子どもを見つけたときに、「市販品があるね」といえば、子どもは、どうするだろうか。たちまち制作意欲を無くするのではないだろうか。

もの作り入門期の子どもたちの集まりであり、発明クラブと名乗り、発明工夫展に応募するかもしれない当クラブでは、この点を次のように考えている。

(A) 作る意欲を最も大切にしたい。

(B) 具体物に触れることにより仕組みや素材への理解が深まる。

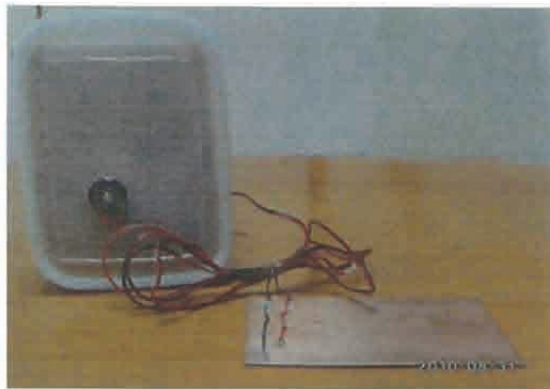
(C) 作る基礎力には、多く深く観察、体感することが大切である。

(D) 考えるとは、要求に応じて適切に事物を組み合わせる行為であり、考えた結果が「発明」になる。

(E) 同じ効果を生む物でも素材や構成に子どもなりの工夫を凝らすことを薦める。

#### ⑦ F君（6年生）の場合

作品名：雨降り探知機



素材・構造など：銅箔をベークライト版一面に貼ってある電子回路基盤作成用の10cm×15cm程度の板、食品保管用蓋付プラスチックケース、電子部品（後述）など。  
洗濯物を干している時、台所などにいても雨の降り始めを音と光で知る仕組み。

F君の感想：雨が降っていないのにブザーが鳴ったり線が切れたりしてむつかしかったけれど、できたらちゃんと動いてとてもうれしかった。

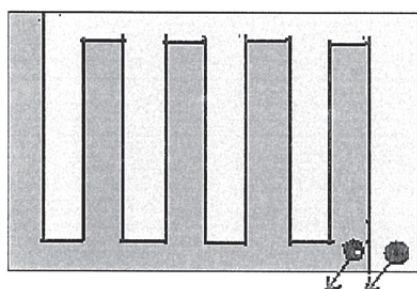
活動の状況など：「宝箱」活動の最初から、雨降り探知機と決めていた。発想の原点になっているのは、彼が持参した電子工作キットである。3cm×4cmほどのプリント基盤に2本の導線をプリントしてある雨粒センサーと、LED+IC+乾電池を収めたプラスチック製小箱とを被覆導線で結んである。導線の接続部分はもつれて切れかけており、電子回路も動作しなかった。

F君は、修理するつもりだったが、小箱部分は全くのブラックボックスである。作りたい物の目的も意欲もはっきりしているのに、Yさんの活動の状況で記した考え方(A)を持続させたい。しかし、ICを取り替え、切れかかった導線を半田づけしなおしただけでは、キットの域を出ないと判断した。そこで、キットの使用方法といつLEDが点灯するのかわかると説明させ、降り始めの雨粒の状況と合わせて考えた。雨粒センサーがあまりにも小さいことを子どもは意識していたが、キットであるがゆえに1つしかない。大きいものを作ることを提案した。センサーは特別な仕組みだと思い込んでいたようで「作れるのか」といった反応であった。

そこで、キットのセンサーを部分的に削ったり回路テスターで導通を調べたりして仕組みの理解に努めた。これは、Yさんの状況などの(B)(C)に当たる。

作れそうだとわかってから、銅箔をベークライト版一面に貼ってある電子回路基盤作成用の10cm×15cm程度の板を紹介した。センサー部の網目を細かくするため、下図の

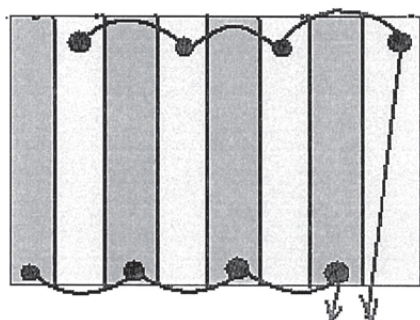
黒線のように銅箔部分に切れ目を入れて、銅を二分することを提案した。



(切れ目はカッターナイフで入れる)

切れ目は狭いほど1粒の雨での感度が良くなるので、細く切るのがむづかしく、切り離してしまったり、切れていなかったり、「雨が降っていないのにブザーが鳴ったり」という感想につながった。

対策として、下図のように短冊形に切り離し、一つ置きに導線でつなぐ方法に変えた。



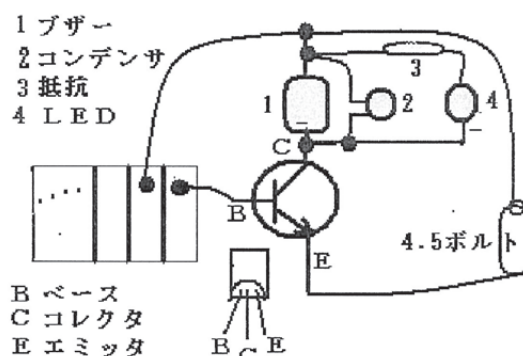
これは、多少の強引さをお許しいただくと、Yさんの状況などの(D)の一種になるといえるであろう。

同じようなことで、導線を曲げたり延ばしたりしていると、F君の感想にもあるように半田づけの部分で切れやすい。基板に穴を開け、導線をくぐらせることで解決した。

センサーの切れ目に水滴がつかると、弱い電流が流れることを回路テスターで示した上で、下図(右段)の電子回路を提供した。

F君は電子回路の部分も持参していたので、それを生かしてはどうかという意見があるかと思うが、Yさんの状況などの(E)を実行

した。



トランジスタは体験がなくても半田づけできる大きさで、回路もトランジスタの内部以外は電流の通り道が見える部分品数である。

なお、ブザーに並列につないであるコンデンサは、ブザーが音を出した時、トランジスタがこわれるかもしれないのを防ぐ働きをしているとだけ説明した。

#### ⑧ 上記以外の作品名

- ・ クル消し：消す円盤が3つ、回転する。
  - ・ キャンプ用物干し：運搬時小さくなる。
  - ・ 金魚の自動餌やり機：量、時刻とも正確。
  - ・ 階段昇降車輪：重量物を運ぶ。(未完)
  - ・ 硬貨仕分け貯金箱：メカが簡単。
  - ・ 振動モップ：偏心モーターを作った。
  - ・ お風呂掃除機：掃除用給水を制御する。
  - ・ どこでもコルクボード：可搬掲示板。
  - ・ ペットボトル洗い機：足力で水を加圧。
- つくば科学万博記念財団ジュニア発明展佳作。

#### 観察用具を作って観察する活動

指導者がリードする。自然への興味を刺激する目的で、昨年度から始めている。観察、実験、記録を目的にした用具を作る活動。昨年度は3D写真を写した。本年度は、低倍率の偏光顕微鏡を作って安山岩と花崗岩の薄片

を観察した。

この日は、指導者の関係から、岡山大学のCST養成プログラムを選択している学生がクラブに参加して、子どもたちの支援をしたり、活動のようすを記録したりした。

めったにないことで、参加した学生の一部から提案や感想を集めることができたので、そのようすを付記する。

- ① 岩石の切片を作る：写真 スライドガラスに貼り付けた岩石片をみがく↓



準備したもの＝メッシュの異なる水ペーパー2種類、1mm程度の厚さに切断した岩石辺、スライドガラス、薄片用接着剤、ホットプレート。

保護者または子どもが組になり、スライドを1種類ずつ作る。

- ② 偏光顕微鏡を作る：写真 完成した形↓

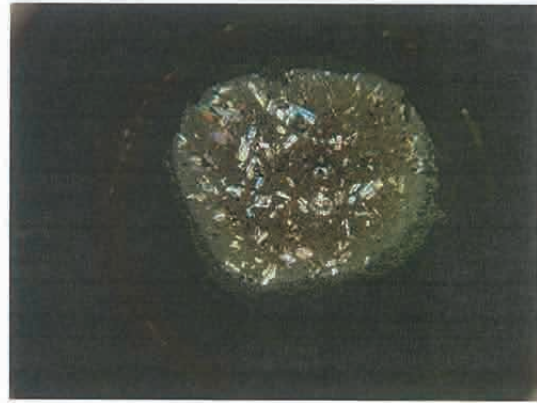


準備したもの＝100円ショップのルーペ、塩ビパイプで作った鏡筒兼スライド乗せ台、偏光板2枚、ルーペを分解す

るための卓上ドリル。

ルーペのちょうつがい部分の分解は、ほぼ全て、学生が援助した。

- ③ 岩石片を観察する：写真 安山岩の観察↓



- ④ 学生の提案（要点）

- ・ 生物の骨格標本を作ったらどうか。
- ・ ペットボトルロケットを作る。
- ・ 日本の伝統的なおもちゃを作り、科学的な観点から扱う。

- ⑤ 学生の感想（要点）

- ・ 自分でなぜと感じながら作ることは、現代の子どもに少ない体験でよい活動。
- ・ やりたいという気持ちを持っていて活気あふれる活動であった。
- ・ 体験的に活動できることはよいこと。
- ・ 原理を体験だけに終わらせないで、実験の重要な場面までたどり着く必要がある。

写真：

岡山市児童生徒発明工夫展会場で撮影  
岡山市少年少女発明クラブHPから転載  
文責：水田雅明





## 助成実施要項



## 12. 助成実施要項

### 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、財団法人八雲環境科学振興財団寄附行為（以下「寄附行為」という。）第4条第1号に基づき、財団法人八雲環境科学振興財団（以下「財団」という。）が行う、環境科学に関する研究助成の実施について定めるものとする。

#### (研究助成の対象)

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

#### (研究助成対象機関)

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

#### (推薦者)

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

#### (研究助成の種別)

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

二 特定研究

財団が毎年提示する基本テーマに関する研究課題を対象とする。

三 学術調査研究

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

(研究助成の期間)

第6 前項に規定する研究助成の期間は、原則として1年とする。

(助成研究の募集)

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

(助成研究の選考)

第8 研究助成金の交付は、寄附行為第32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10年9月1日から施行する。

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

### (国際研究交流助成の対象)

- 第2 この要項で対象とする国際研究交流助成は、次の条件を満たすものとする。

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

### (研究助成対象機関)

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

(推薦者)

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

(助成対象研究者の募集)

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

(助成対象研究者の選考)

第6 派遣又は招聘研究者の助成選考は、寄附行為第32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10年9月1日から施行する。

## 財団法人八雲環境科学振興財団 研究集会助成制度実施要項

### (趣旨)

- 第1 この要項は、財団法人八雲環境科学振興財団寄附行為（以下「寄附行為」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、財団法人八雲環境科学振興財団（以下「財団」という。）が行う助成の実施について定めるものとする。

### (助成対象研究集会)

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

### (助成条件)

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

### (推薦者)

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

### (助成研究集会の募集)

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

### (助成の選考)

- 第6 研究集会助成の決定は、寄附行為第32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14年2月21日から施行する。



## 13. ご寄附のお願い

財団法人八雲環境科学振興財団は、平成10年7月に設立され、これまでに、省資源・リサイクル、環境計測、生態系保全をはじめ環境科学に関する多くの助成事業を行ってまいりました。

今後、当財団の事業をより実りあるものにするため、広い分野の多くの方々に当財団設立の主旨をご理解いただくとともに、ご指導・ご支援をいただくことが必要と考えております。

なお、この寄附金は、事業目的の達成のために運用財産として使用させていただきます。

### 会員の種類及び特典

- ✚ 募集期間： 随時
- ✚ 対 象： 個人・法人
- ✚ 寄 付 金： 個人1口 5,000円、法人1口 30,000円
- ✚ 特 典： ・財団の発行する研究レポート集、財団ニュースの配布  
・財団が主催する研究発表会、その他事業企画等のご案内  
・その他理事長が必要と認める資料の配布

### 《 税制上の優遇措置について 》

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

法人様の場合（法人税法第37条・施行令第77条）

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

個人様の場合（所得税法第78条・施行令第217条）

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

### 《 寄付金申込み手続き 》

【事務局】 ご不明な点は事務局までお問い合わせください。

住所：岡山市北区津島京町3-1-21（株）エイト日本技術開発内）

TEL：086-252-7670 FAX：086-252-8918 E-mail：yakumo@ej-hds.co.jp

【申込書】

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

【お振込先】

銀行名 三井住友銀行岡山支店

口座番号 No.6497055

口座名義 財団法人 八雲環境科学振興財団

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

今年、3月11日に東日本大震災が発生した。地震の規模を示すマグニチュードは9.0であり、これは日本国内において観測史上最大であった。

地震によって大規模な津波が発生し、震源域に近い東北地方太平洋岸では高い津波が甚大な被害をもたらした。また、揺れの大きかった関東地方では液状化現象が発生した。

地震発生後、発電施設被害による大規模停電やサプライチェーンにより、日本全国および世界に経済的な二次被害をもたらした。一方、津波に端を発して福島第一原子力発電所において放射性物質漏れによる汚染が社会問題化しているほか、原子力発電所の再稼働問題、電力危機なども発生している。

このような中においても日本全体で被災地域の復旧・復興に向け、動き出している。

財団法人 八雲環境科学振興財団  
研究レポート集 第12号

平成23年10月発行

発行 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.8con.co.jp/zaidan/>

## 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