

研究レポート集 2012

Report

第13号



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14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23年度事業実施状況	9
6. 年度別助成事業実施状況	12
7. 研究発表会実施状況	19
8. 平成23年度環境研究助成報告	22
9. 平成23年度国際研究交流助成報告	94
10. 平成23年度研究集会助成報告	100
11. 平成23年度その他の助成報告	103
12. 助成実施要項	114
13. ご寄附のお願い	120

1. 巻頭言

今年は7月27日からロンドンオリンピックが開催され、日本選手の活躍に国内が沸きました。しかし一方で、今年6月にリオデジャネイロで開催された「国連持続可能な開発会議」は、10年に1度の国連サミットであるにもかかわらず、世間の大きな関心を集めるには至りませんでした。

今回の会議は「リオ+20」とも呼ばれるように、1992年にリオデジャネイロで開催された「環境と開発に関する国際連合会議」(地球サミット)から20年の節目に当たります。国連が主催する環境や開発をテーマとする首脳会議は、1972年にストックホルムで開催された「国連人間環境会議」から10年ごとに開かれており、今年の「リオ+20」はその5回目、「ストックホルム+40」とも言えます。

この間1987年には、国連の「環境と開発に関する世界委員会」が「Our Common Future (我ら共有の未来)」と題する報告書を発表し、「持続可能な開発 (Sustainable Development)」を提唱して、世界の幅広い支持を得ました。その後の国連サミットでは、「持続可能な開発」が基本理念となっており、2002年は「持続可能な開発に関する世界首脳会議」、2012年は「国連持続可能な開発会議」と呼ばれています。

このうち、2002年のヨハネスブルグ・サミットでは、日本政府とNGOが「持続可能な開発のための教育 (Education for Sustainable Development (ESD))」提案し、国連総会決議を経て2005年から「国連ESDの10年」が始まりました。ESDは、ユネスコを主導機関とする国際的な教育政策であり、環境に加えて経済、社会、文化等を総合的に考慮した持続可能社会のあり方を希求しています。また、2000年9月に採択された「国連ミレニアム開発目標 (MDGs)」への理解を深め、その達成を通じて開発途上国が抱える問題を解決することを目指しています。

地球環境問題の解決に向けては、技術開発だけでなく、それを普及させる制度の構築、そして私たちの意識改革を促す教育や啓発が不可欠です。今年の8月21日には、文部科学省から、2014年に日本で開催される「ESDに関するユネスコ世界会議」の概要が発表されました。岡山市は先進的なESD取組が高く評価され、愛知県・名古屋市とともに、世界会議の開催地に選定されています。この機会に、市民、企業、行政が協働して先進的な環境活動に取り組むとともに、グローバル化社会に対する意識を高め、世界に認知される「環境先進都市・岡山」を目指したいものです。

評議員 阿部 宏史
(岡山大学理事・副学長)

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, 4 1 6 万円 (平成 2 4 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 1 2 件程度) ①特定研究 (テーマ指定) 一件当たり 1 0 0 万円以内 ②一般研究 (テーマ自由) 一件当たり 5 0 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 2 0 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 3 0 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生命科学研究科教授
	伊丹 文雄	E・J ホールディングス(株)顧問
監 事	西田 秀史	弁護士
	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生命科学研究科教授
	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)共立エンジニア 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生命科学研究科教授
	星野 卓二	岡山理科大学総合情報学部教授
	大久保賢治	岡山大学大学院環境生命科学研究科教授
	熊澤 貴之	岡山県立大学デザイン学部講師
	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。

(役員の任期)

第20条 役員の任期は、2年とする。ただし、補欠又は増員により選任された役員の任期は、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。

(役員の解任)

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。

(評議員の選出)

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、役員のいずれか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評議員現在数の3分の1を超えて含まれることになってはならない。

(評議員の職務)

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ったときに解散する。

(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 23 年度事業実施状況

平成 23 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 829 万円の助成を実施した。

当年度における公募の概要は次のとおりである。

募集の目的

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

I. 環境研究助成

一般研究	特定研究
1. 助成対象研究	平成23年度募集テーマ A. 地球温暖化に関する研究 B. 水資源・水環境の保全・再生に関する研究 C. 生物多様性に関する研究
テーマは設定しません 自然科学と社会科学の両分野の研究で 自然環境の改善に寄与するものとします。	平成23年度募集テーマ A. 地球温暖化に関する研究 B. 水資源・水環境の保全・再生に関する研究 C. 生物多様性に関する研究
2. 助成金額と件数	総 額 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
総 額 400 万円程度 1 件あたり助成額 . . 50 万円以内 助成件数 8 件程度	総 額 300 万円程度 1 件あたり助成額 . . 100 万円以内 助成件数 3 件程度
3. 助成対象となる期間	平成 24 年 3 月 31 日まで
平成 24 年 3 月 31 日まで	平成 24 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 24 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 23 年 5 月 1 日から平成 24 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 23 年 10 月 1 日から平成 25 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 22 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 23 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 23 年 4 月 15 日（金）（必着）	平成 23 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 総合企画部内 （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	2 5 件	1 4 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	2 9 件	1 7 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	3 4 件	1 3 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	4 4 件	1 8 件	8,390 千円

○所属機関別助成実績

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

平成 21 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 22 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 23 年度

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	2 9 件	1 1 件	6,890 千円
国際研究交流助成事業	7 件	4 件	800 千円
研究集会助成事業	2 件	2 件	600 千円
合 計	3 8 件	1 7 件	8,290 千円

○所属機関別助成実績

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

累計（平成 10 年度～平成 23 年度）

	応募件数	助成件数	助成金額
環境研究助成事業	3 7 9 件	1 6 3 件	90,766.3 千円
国際研究交流助成事業	1 2 2 件	7 5 件	14,722.2 千円
研究集会助成事業	1 8 件	1 6 件	4,580 千円
合 計	5 1 9 件	2 5 4 件	110,068.5 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	岡山県教育委員会 株式会社エイトコンサルタント
出席者	約60名

平成 14 年度

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

平成 15 年度

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

平成 16 年度

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

平成 17 年度

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

平成 18 年度

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

平成 19 年度

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

平成 20 年度

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

平成 21 年度

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

平成 22 年度

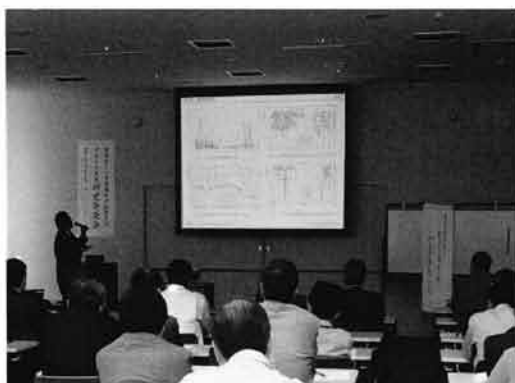
開催日時	平成 22 年 11 月 1 日（月） 12 時 50 分～
場 所	岡山大学創立五十周年記念館
発表者数	13 名
協 賛	岡山県教育委員会 株式会社エイト日本技術開発 岡山グリーンライオンズクラブ

平成 23 年度

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

平成 24 年度（予定）

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



研究発表会の模様

平成 23 年度 環境研究助成報告

8. 平成 23 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
大久保 貴広	岡山大学大学院 自然科学研究科	カーボンナノチューブの表面修飾による重金属イオン吸着材の開発とそのメカニズムの解明	23
片岡 洋行	就実大学薬学部	資源循環型環境浄化を指向した分子認識再生プラスチック吸着剤の開発	29
仁科 勇太	岡山大学異分野融合先端研究コア	炭化水素を酸化除去する複合金属触媒の開発	35

②一般研究

助成対象者	所 属	研究テーマ	ページ
桑原 敏典	岡山大学大学院 教育学研究科	身近な地域を通して生物多様性について学ぶ ESD 教材の開発研究 ―学校現場と大学の連携による環境学習実践を事例として―	41
大橋 唯太	岡山理科大学 総合情報学部	夏期における熱中症と人体熱ストレス・生理応答・温熱感の関連:屋外環境における実地計測からアプローチ	47
山口 大造	津山工業高等専門学校 機械工学科	磁性メソポーラス炭素および固体酸触媒の開発	54
曾利 仁	津山工業高等専門学校 情報工学科	除草ロボットに必要な基本技術の検討	61
熊谷 祐也	岡山県農林水産総合センター生物科学研究所	未利用ヒノキ間伐材から高付加価値の整腸オリゴ糖の効率的な調製法の開発	68
近藤 順治	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	乾燥程度の異なるモンゴル草原生態系において放牧が表層土壌の空間的不均質性に与える影響	75
鈴木 茂之	岡山大学大学院 自然科学研究科	岡山平野における過去数万年間の環境変遷	81
島崎 康弘	岡山県立大学 情報工学部	生活構成材料が人体温熱環境に及ぼす影響に関する研究	88

※所属は、助成申請時

カーボンナノチューブの表面修飾による 重金属イオン吸着材の開発とそのメカニズム

岡山大学大学院自然科学研究科 大久保貴広

1. はじめに

水資源の有効利用に関する研究は我々の生命維持に直結しており、これまでに広範囲に及ぶ研究が行われてきた。しかし、世界的規模で概観すると、水資源の有効活用に関するこれまでの基礎研究が必ずしも活かされているとは言えない。例えば、中国では河川の汚染が深刻な社会問題となっていることは周知のとおりであるが、我が国でも、かつての鉱山を源流とする河川では、鉄などの金属イオンを豊富に含む水が流出し、それらのイオンの除去に時間と経費が費やされている状況が続いている。そのような背景の中で、多くの研究者は、吸着材として粘土鉱物や樹脂といった安価で手に入りやすい材料を用い、重金属イオンの除去に適した吸着材、並びに温度、pH 等の溶液の最適条件を多数報告している。しかし、現象論に終始するだけの研究は限界に達しており、物理化学的な知見を背景とした材料開発が不可欠であると考えている。

我々は既に活性炭素繊維（ACF）のミクロ孔内で束縛されたナノオーダーの電解質水溶液（ナノ溶液；NSN）の水和構造に注目した研究を行っている[1-7]。これまでに ACF の細孔内に制約されたルビジウム、セシウム、およびストロンチウムイオンについて検討を行い、以下の点が明らかとなっている。

- ① 細孔内では水和水の数がバルク中よりも少なく、その傾向は、金属イオン－水和水間の相互作用の減少（イオンの価数の減少、イオン半径の増大）と共に顕著となる。
- ② 一価の金属イオン（ルビジウム、セシウム）では、金属イオン－第一水和水間の距離がバルクの水溶液の場合よりも短くなる。二価（ストロンチウム）の場合にはバルクの値とほぼ同じである。

このうち、水和水の減少は「脱溶媒和」という一言で片付けられてしまうことが多く、例えば、キャパシター材料の蓄電メカニズムを考える上では重要な概念である[8]。しかし、金属イオン－水分子間の相互作用は一般に強く、脱溶媒和（脱水和）という現象はエンタルピー的に相当不利な過程である。従前の実験結果は、熱力学的には不利な状態が炭素材料のミクロ孔内で自発的に形成されていることを示しており、その本質を探ることが次の課題として残されている。また、金属イオンの配位数が減少するとイオン半径も小さくなることは教科書的に知られている事実であるので、②に挙げた一価のイオンでみられた配位距離の減少は、水和水の減少が真であれば必ずしも驚くべき結果ではない。むしろ、配位数が減少しているにもかかわらず配位距離が変化しないストロンチウムの方が特異的であると言える。可能性の域を脱しないが、ストロンチウムイオンは、ミクロ孔内で歪んだ水和水構造を形成していることも考えられる。しかし、金属イオン近傍の異方性を s ブロック元素である 1 族、2 族の金属イオンで議論することは困難であった。

また、申請者らはこれまでに ACF による銅イオンの吸着能も検討してきた[9]。活性炭はイオン交換樹脂などとは異なり、細孔内に多量の金属イオンを物理的に吸着することが知られている。活性炭を適切な方法で酸化処理すると、酸素を主成分とする官能基が付与され、物理的な吸着に加えて化学的な吸着によっても金属イオンを回収できることになる。即ち、一般的に考えれば酸化処理を施した活性炭では、付与された官能基の量に比例して金属イオンの吸着量も増加する筈であるが、申請者らの研究では、官能基量の増加分以上に銅イオンの吸着量が増加するという結果になった[10]。このことは、炭素系の吸着材に対する金属イオンの吸着メカニズムを基本に立ち返って検討する必要があることを示しており、新たな視点から吸着材を設計できる可能性もあると考えている。

本研究では、申請者がこれまでに蓄積してきた固体ナノ空間中における金属イオンの水和構造の解析手法を活かし、多層カーボンナノチューブ(MWNT)のナノ空間を利用した水中の重金属イオンの吸着特性をナノチューブの表面状態の違いとイオンの水和構造という観点から詳細に検討した。

2. 実験

MWNTとしてCoMoCAT法により得られたSouthWest Nano Technologies製のMWNT(チューブの両端：閉孔、c-MWNTと表記)、およびUS research materials製のMWNT(チューブの両端：開孔、o-MWNTと表記)を用いた。また、MWNTの吸着特性を明らかにする目的で他の細孔性炭素材料((株)アドール製ACF(P7, P20)、CoMoCAT法により得られたSouthWest Nano Technologies製の単層カーボンナノチューブ(SWNT)(SG76; CoMoと表記))も用いた。このうち、SWNTのチューブの両端は閉じているので、適切な開孔処理を行う必要がある。本研究では、濃度10%の硝酸に室温下で分散させ酸化処理を行った後(この段階の試料をox-CoMoと表記)、表面官能基の除去のためにアルゴン気流下で1173 Kで加熱した試料(Ar-CoMoと表記)を得た。

本研究では金属イオンとして亜鉛イオンをプローブとし、そのための化合物として酢酸亜鉛($\text{Zn}(\text{OAc})_2$) (和光(株)製99.9%)を用いた。炭素材料のナノ空間内へ $\text{Zn}(\text{OAc})_2$ 分子を導入するために、0.5 Mの $\text{Zn}(\text{OAc})_2$ 水溶液50 cm³に200 mgの吸着材を分散させ24時間以上攪拌した。その後、ろ過と少量の蒸留水による洗浄を行った後にデシケーター中で乾燥させた試料を得た。以下、x-Zn(ただし、xは炭素材料の種類)と記載する。このようにして得られたx-Znに水蒸気を飽和蒸気圧まで吸着させることで、NSNのサンプルを調製し、次に示すX線吸収分光法による構造解析を行った。

各サンプルのキャラクタリゼーション、および細孔内で形成される亜鉛イオン近傍の構造は以下に示す実験データの解析から検討した。

- (1) 窒素吸着等温線(@77 K)
- (2) 亜鉛イオン液相吸着等温線
- (3) ラマンスペクトル
- (4) X線回折(XRD)
- (5) X線吸収微細構造(XAFS)

このうち、(4)の一部と(5)の実験は放射光施設(SPring-8および高エネルギー加速器研究機構)で行った。

3. 結果・考察

3.1 各炭素材料の細孔構造に関する検討

Fig. 1にMWNTに対する77 Kにおける窒素吸着・脱離等温線測定の結果を示す。広い圧力範囲にわたりo-MWNTの吸着量がc-MWNTの吸着量を上回っていることから、o-MWNTのチューブ内に窒素分子が吸着していることを定性的に示す結果が得られた。また、メーカーが提示しているチューブの内径が数nmであることから、高相対圧領域に吸着ヒステリシスが生じていることからo-MWNTの等温線はMWNTのチューブ内部のメソ孔(細孔径2~50 nm)への吸着を反映した結果であると考えられる。一方、c-MWNTについてはⅡ型の形状に近いことから、チューブ内への窒素分子の吸着が起こらず、外表面で多分子層吸着をしていると考えられる。

以上の実験と解析の結果から得られた各試料の細孔に関するパラメータをTable 1にまとめた。Table 1には本研究で比較として用いた他の細孔性炭素材料に関する結果も示している。MWNTについては、シリンダー型の細孔形状を仮定し、BET解析とBJH法[11]によるメソ孔分布解析から算出した。一方、ACFについてはスリット型、SWNTについてはシリンダー型の細孔形状を仮定し、 α_s プロット解析[12, 13]を行った。Table 1に示す解析結果のうち、o-MWNTの細孔径についてはメーカーから提示された値(内径：2-5 nm、

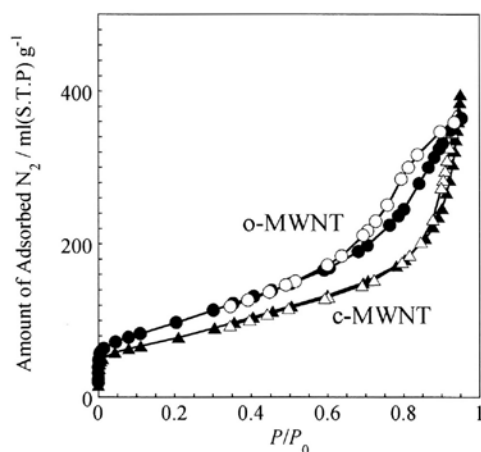


Fig. 1 c-MWNTとo-MWNTに対する窒素吸着等温線(77 K).

黒：吸着過程、白：脱離過程

Table 1 各サンプルの細孔パラメータ

Sample	a_{tot}	a_{ext}	W_{tot}	ミクロ孔		メソ孔		w	d_t
				a_{micro}	W_{micro}	a_{meso}	W_{meso}		
c-MWNT	278							n.a.	
o-MWNT	267		0.50					7.4	
P7	904	25		879	0.278			0.63	
P20	1780	73		1707	0.880			1.03	
CoMo	913		1.34	487	0.22	426	1.12	0.90	0.92
Ar-CoMo	1057		0.79	800	0.35	257	0.44	0.83	0.92

a_{tot} : 全表面積 / $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$, a_{ext} : 外表面積, W_{tot} : 全細孔容量 / mL g^{-1} , a_{micro} : ミクロ孔表面積 / $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$, W_{micro} : ミクロ孔容量 / mL g^{-1} , a_{meso} : メソ孔表面積 / $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$, W_{meso} : メソ孔容量 / mL g^{-1} , w : 平均細孔径 / nm, d_t : ラマンスペクトルの radial breathing mode (RBM) から求めたチューブ直径 / nm

外径: 7 nm 以下) と大きく異なるため、更に検討を行った。

Fig. 2 に MWNT の XRD パターンを示す。 $2\theta=25^\circ$ 付近のブロードな回折ピークは炭素の(002)面による反射であり、グラファイト面に対して垂直な方向の構造に起因する。グラファイトの層間距離を理想的な 0.3354 nm であると仮定し、式(1)に示す Scherrer の式から(002)面の平均結晶子サイズ (D) が求まると、MWNT を構成するチューブの平均総数を算出できる。

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

ただし、 K は Scherrer 定数 (0.9)、 λ は X 線の波長 (Cu $K\alpha$ 線: 0.154 nm)、 β は回折ピークの半値幅、 θ は Bragg 角である。解析の結果、o-MWNT を構成するチューブの平均総数は約 9~10 程度と求まった。そこで、実験から得られた o-MWNT の窒素吸着等温線を、内径 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 nm とし、10 層の MWNT をモデルとした GCMC シミュレーションから求まる窒素吸着等温線と比較した。

Fig. 3 に各チューブ径の計算から得られた理論窒素吸着等温線を示す。それぞれの結果で、 P/P_0 の値が 0.5 以上の領域におけ

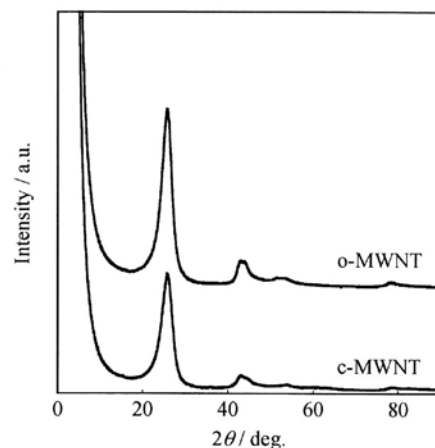


Fig. 2 c-MWNT および o-MWNT の XRD パターン.

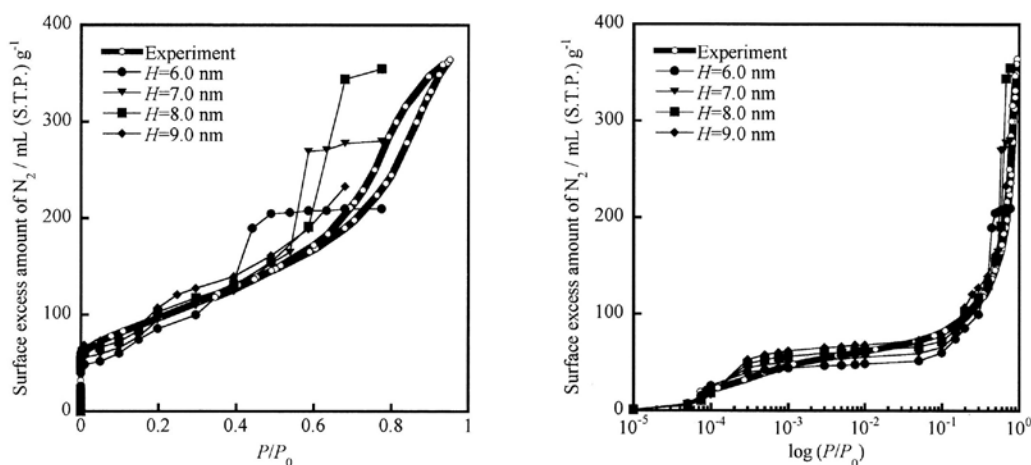


Fig. 3 GCMC シミュレーションから求まった異なる内径に対する o-MWNT への窒素吸着等温線と o-MWNT の実験データとの比較 (ただし、横軸は P/P_0 (左) と $\log(P/P_0)$ (右)) .

る吸着量の急激な立ち上がりは細孔内における毛管凝縮を示し、低圧領域における立ち上がりは主として MWNT の曲率に依存した吸着ポテンシャル場の違いを反映している。Fig. 3 の結果から、MWNT の内径が 7.0~8.0 nm 付近で実験データと良い一致が確認できた。ここで、シミュレーションで用いている「内径」には MWNT の骨格を形成する炭素原子の大きさも含まれているのに対し、窒素吸着等温線から得られる「平均細孔径」には炭素原子と吸着分子の大きさの情報は含まれていない。理論値である「内径」(H)と実験から得られる「平均細孔径」(w)との間には式 (2) のような関係がある[14]。

$$w = H + 2z_0 - \sigma_{ff} \quad (2)$$

ここで、 z_0 は吸着分子とグラファイト表面の凸凹を考慮した吸着分子-グラファイト間の距離に起因する長さ、 σ_{ff} は吸着分子のサイズに起因する Lennard-Jones パラメータである。グラファイトと窒素分子の場合、近似的に $w = H - 0.24 / \text{nm}$ となり、MWNT を仮定した GCMC シミュレーションで実験値と良い一致が見られた $H = 7.0 \sim 8.0 \text{ nm}$ は平均細孔径に換算すると、6.8~7.8 nm に対応する。つまり、窒素吸着等温線の解析から得られた平均細孔径 (7.4 nm) は理論計算からも支持された。

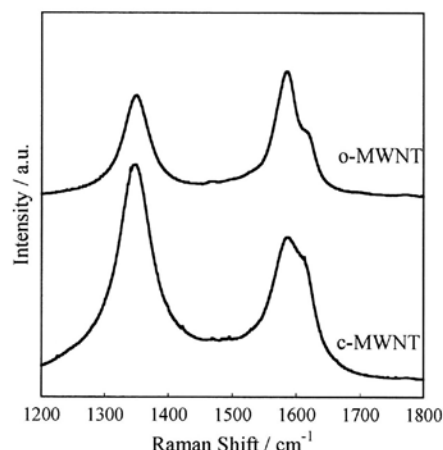


Fig. 4 c-MWNT および o-MWNT のラマンスペクトル。

3.2 MWNT の表面の状態に関する検討

Fig. 4 に c-MWNT と o-MWNT のラマンスペクトルを示す。1590 cm^{-1} 付近にみられる炭素六角網面に帰属されるバンド(G-band)と 1350 cm^{-1} 付近にみられる炭素の欠陥構造に帰属されるバンド(D-band)の面積比(G/D 比)を求めると、c-MWNT では 0.63 であったのに対し、o-MWNT では 1.44 となった。即ち、o-MWNT の方が欠陥に由来する構造が少ないことが明らかとなった。各メーカーの MWNT の精製条件が明らかとなっていない状況ではあるが、o-MWNT では試料に対して何らかの酸化処理が行われており、アモルファス状の炭素成分が十分に除去された結果が反映されていると考えられる。

一方、Boehm 法[15]により o-MWNT の表面官能基量 (酸性官能基量) を求めたところ 0.072 mmol/g となった。この表面官能基量は市販の活性炭の約 10 分の 1 程度であり、水中の金属イオンとのイオン交換サイトとして機能し得る化学吸着サイトは著しく少ないことがわかった。そこで、o-MWNT を乾燥空気気流下、400°C で焼成したところ、表面官能基量を o-MWNT の約 2.5 倍 (0.175 mmol/g) にまで増やすことができた。これ以上の酸化処理では o-MWNT の細孔構造が大きく変化してしまい、比較することが困難であると考え、以後の検討では o-MWNT を 400°C で焼成した試料についても考察する。

3.3 各炭素材料に対する亜鉛イオンの吸着量に関する検討

Fig. 5 に 303 K における各炭素材料に対する亜鉛イオンの吸着等温線を示す。Fig. 1 の場合と同様に、c-MWNT と o-MWNT とを比較すると o-MWNT の方が全濃度領域にわたって吸着量が多いことから、チューブの内部空間に亜鉛イオン

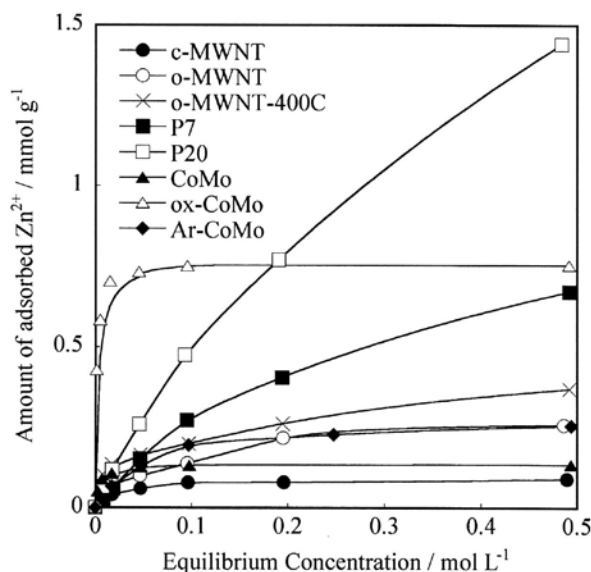


Fig. 5 各炭素材料に対する 303 K における亜鉛イオンの液相吸着等温線。

Table 2 水の飽和蒸気圧下における各炭素材料に吸着した亜鉛イオンの第1配位圏の構造

Sample	$N_{\text{Zn-O}}$	$r_{\text{Zn-O}} / 10^{-1} \text{ nm}$	$\sigma_{\text{Zn-O}}^2 / 10^{-5} \text{ nm}^2$
o-MWNT-Zn	5.5	2.02	9.23
P7-Zn	4.7	1.99	7.41
P20-Zn	5.1	1.99	8.71
Ar-CoMo-Zn	5.0	2.03	8.20
Zn(OAc) ₂ aq.	6	2.06	9.46

N : 配位数, r : 配位距離, σ : デバイーワラー因子

が有効に吸着していると考えられる。しかしながら、単位質量あたりの亜鉛イオンの吸着量は ACF や SWNT の場合に比べて少なく、細孔による吸着促進効果は弱いことが明らかとなった。焼成処理により表面官能基量を増やした o-MWNT に対する亜鉛の吸着量も焼成処理前と比べて著しく増加するという現象は見られなかった。一方、酸化処理後の SWNT については Fig. 5 に示すとおり亜鉛イオンの著しい吸着量の増加がみられた。炭素材料に対する水中の金属イオンの吸着現象を考えた場合、炭素材料の酸性官能基はイオン交換サイトとして機能すると考えられる。解析の結果、o-MWNT とその酸化処理後の亜鉛イオンの吸着量の差は、表面官能基の増加量にほぼ対応していることがわかった。一方、SWNT の結果は、酸性官能基がイオン交換サイトとして機能するだけでなく、SWNT の表面状態（表面の電荷状態）も著しく変化させ、細孔内への亜鉛イオンの物理吸着量も増加させる効果があることを示唆している。この特徴的な現象は次に示す XAFS の測定結果も併せて更に議論したい。

3.4 各炭素材料に吸着した亜鉛イオン近傍の水和構造解析

XAFS スペクトルの解析の結果得られた各炭素材料に吸着した亜鉛イオンの第1配位圏に関する構造パラメータを Table 2 に示す。o-MWNT-Zn の第1配位圏の配位数(水和数)が 5.5 と ACF や SWNT と比べると大きな値となっている。この結果は、Table 1 に示したとおり、o-MWNT のチューブ内径が 7 nm 以上と大きく、亜鉛イオンへの水分子の配位に関して細孔壁による障害が殆ど影響しないことが最も大きな要因であると考えられる。即ち、かなりの割合の亜鉛イオンが吸着した水分子により水和して溶解した状態であると考えられる。ACF や SWNT の細孔内における水和数はバルクの水溶液と比べても著しく少ない。熱力学的に考えると、イオンからの脱水和過程はエンタルピー的に不利であり、水和数の少ない亜鉛イオンは不安定な状態であると言える。それにもかかわらず ACF や SWNT の細孔内で特徴的な水和構造が安定的に形成されるのは、細孔壁からの相互作用が大きいためであると考えられる。3.3 で議論したとおり、細孔サイズが小さな SWNT の場合、炭素細孔壁表面の状態が亜鉛イオンの吸着量に与える影響が大きいとの実験結果が得られたが、このことは SWNT の細孔壁と吸着した亜鉛イオンとの相互作用が大きいことを反映した結果である。そのため、o-MWNT のように金属イオンに比べて細孔サイズが著しく大きな炭素材料を用いた場合、炭素材料の表面状態が金属イオンの吸着状態（物理吸着状態）に与える影響は限定的であり、吸着材の細孔容量が金属イオンの吸着量を決める因子となる。XAFS の結果は、細孔内に吸着した金属イオンと吸着材との相互作用を反映した結果となっており、炭素材料の表面修飾により金属イオンの吸着状態を制御するためにはミクロ孔領域の非常に小さな細孔の存在が不可欠であるとの結論に至った。

4. まとめ

本研究では炭素材料に対する亜鉛イオンの吸着量と炭素材料の細孔内における亜鉛水溶液の構造を手掛かりに、細孔性炭素材料の表面状態が金属イオンの吸着能に与える影響について検討した。細孔サイズが 1 nm 程度の領域では、炭素材料の表面状態が金属イオン近傍の水和構造に与える影響が大きく、表面状態を精密に制御することで金属イオンの吸着能を制御できる可能性があることがわかった。一方、数

nm 程度以上の大きな細孔を有する炭素材料の場合、その表面状態が金属イオンの吸着量に与える影響は限定的であり、MWNT のような安価なナノチューブを用いて金属イオンの吸着量を制御した材料を開発することは困難であるとの結論に至った。活性炭などの 1 nm 程度の空間が金属イオンの吸着にとって重要な役割を担うことを突き止めることができた。

5. 参考文献

- 1) T. Ohkubo, T. Konishi, Y. Hattori, H. Kanoh, T. Fujikawa, and K. Kaneko, *J. Am. Chem. Soc.*, **124**, 11860 (2002).
- 2) T. Ohkubo, H. Kanoh, Y. Hattori, T. Konishi, and K. Kaneko, *Stud. Surf. Sci. Catal.*, **146**, 61 (2003).
- 3) T. Ohkubo, H. Kanoh, and K. Kaneko, *Aust. J. Chem.*, **56**, 1013 (2003).
- 4) T. Ohkubo, Y. Hattori, H. Kanoh, T. Konishi, T. Fujikawa, and K. Kaneko, *J. Phys. Chem. B*, **107**, 13616 (2003).
- 5) T. Ohkubo, Y. Hattori, H. Kanoh, T. Konishi, H. Sakai, M. Abe, D. Kasuya, M. Yudasaka, S. Iijima, T. Fujikawa, and K. Kaneko, *Physica Scr.*, **T115**, 685 (2005).
- 6) D. Noguchi, Y. Hattori, C.-M. Yang, Y. Tao, T. Konishi, T. Fujikawa, T. Ohkubo, Y. Nobuhara, T. Ohba, H. Tanaka, H. Kanoh, M. Yudasaka, S. Iijima, H. Sakai, M. Abe, Y.-J. Kim, M. Endo, and K. Kaneko, *ECS Trans.*, **11**, 63 (2007).
- 7) T. Ohkubo, M. Nishi, and Y. Kuroda, *J. Phys. Chem. C*, **115**, 14954 (2011).
- 8) J. Chmiola, G. Yushin, Y. Gogotsi, C. Potet, P. Simon, and P. L. Taberna, *Science*, **313**, 1760 (2006).
- 9) T. Ohkubo, Y. Takehara, and Y. Kuroda, *Micropor. Mesopor. Mater.*, **154**, 82 (2012).
- 10) T. Ohkubo, R. Sakao, and Y. Kuroda, in preparation.
- 11) E. P. Barrett, L. G. Joyner, and P. H. Halenda, *J. Am. Chem. Soc.*, **73**, 373 (1951).
- 12) K. Kaneko and C. Ishii, *Colloids Surf.*, **67**, 203 (1992).
- 13) N. Setoyama, T. Suzuki, and K. Kaneko, *Carbon*, **36**, 1459 (1998).
- 14) K. Kaneko, R. F. Cracknell, and D. Nicholson, *Langmuir*, **10**, 4606 (1994).
- 15) H. P. Boehm, *Adv. Catal.*, **16**, 179 (1966).

6. 研究業績

大久保貴広, 炭素ナノ空間が形成する特異な電解質水溶液, 第 28 回九州コロイドコロキウム (霧島), 2011 年 8 月 (招待講演)。

大久保貴広, 西政康, 板谷篤司, 黒田泰重, 炭素細孔内における水和金属イオンの静的・動的構造, 第 63 回コロイドおよび界面化学討論会 (京都) 2011 年 9 月 (依頼講演)。

大久保貴広, ナノ制約遷移金属イオンの水和構造・ダイナミクス・反応, 「ナノ界面・空間の化学」セミナー (長崎) 2011 年 9 月 (依頼講演)。

T. Ohkubo, M. Ushio, M. Nishi, B. Ahmmad, A. Itadani, and Y. Kuroda, Ordering and Reaction of Hydrated Metal Ions Restricted in Carbon Nanospace, 14th International Association of Colloid and Interface Scientists, Conference (IACIS 2012) (仙台), 2012 年 5 月 (基調講演)。

T. Ohkubo, M. Nishi, K. Tsurusaki, B. Ahmmad, A. Itadani, and Y. Kuroda, Dehydration around a Zn^{2+} of Zinc Acetate Restricted in Micropore of Carbon, The 6th Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology (PBAST-6) (台北), 2012 年 5 月。

T. Ohkubo, T. Kusudo, M. Nishi, B. Ahmmad, A. Itadani, and Y. Kuroda, Nano-Restricted Hydration Structure around a Divalent Ion Formed in Carbon Nanospace, The 3rd Symposium on Future Challenges for Carbon-based Nanoporous Materials (CBNM-3) (長野), 2012 年 5 月 (依頼講演)。

大久保貴広, ナノ空間中で金属イオンが形成する特異な水和・配位構造, 神戸大学工学研究科界面科学研究センター第 1 回講演会「界面化学とナノサイエンスの接点」(神戸), 2012 年 7 月 (招待講演予定)。

資源循環型環境浄化を指向した分子認識再生プラスチック吸着剤の開発

就実大学薬学部 片岡洋行

Development of molecule recognition adsorbents reproduced from disposal plastic for zero emission

Hiroyuki Kataoka

School of Pharmacy, Shujitsu University

Abstract: The plastic disposal is very troublesome, and they also worry about the health effect by hazardous chemicals, which originate from the plastic additives. Therefore, the establishment of efficient plastic recovery and resource recycling method becomes an urgent problem. In this study, disposal plastic as pollution source was reproduced, and the method for recycling as adsorption scavenger of the organic compounds was developed. In examined plastic, the plastic base reproduced from the polyvinylidene chloride (PVDC) resin showed recognition properties and could efficiently adsorb plasticizers and polycyclic aromatic hydrocarbons. Reproduced PVDC was repeatedly used by the solvent washing and was applied for the adsorption of the organic compounds in river water and seawater. Reproduced PVDC is expected as an effective material for the environmental cleanup.

Keywords: adsorbents, disposal plastics, endocrine disruptors, molecule recognition, recycling, zero emission

1. はじめに

20 世紀後半から顕在化したグローバルな環境問題と天然資源の枯渇化という難問を克服するためには、環境との共生と循環型社会の確立が重要な課題となっている。特に、プラスチックは、大量生産、大量消費、大量廃棄の仕組みの上に成り立っている日常生活に便利で重宝なものであるが、廃棄プラスチックの処分は非常に厄介で、またプラスチックの添加剤に起因する健康影響も懸念されていることから、ゼロエミッションを目指した効率的なプラスチックの回収・再資源化法の確立が強く求められている。通常、廃プラスチックのリサイクル手法には、①商品などの素材を再び元の素材へ戻す、②素材を化学的処理によって原料物質へ戻す、③可燃性の廃プラスチックを燃料として利用する方法があり、①と③が主流となっている。しかし、プラスチック製品の多くがその素材高分子とそれに含まれる配合添加物とを完全に分離できない上、材質ごとの分別回収も難しいため、一部の素材製品を除き①の再利用では市場的な採算性が疑問視されている。そのため大部分が③により焼却あるいは埋立て処分されているのが現状である。しかし、埋立て処分地の確保にも限界があり、また熱焼却ではダイオキシンなどの有害物発生による環境汚染や炭酸ガス発生による地球温暖化などの問題があり、また技術面やコスト面でも今のところ有効な方策は確立されていない。

一方、我々は、内壁に吸着剤を塗布したキャピラリーカラムを抽出デバイスとして、微量有機化合物を効率よく抽出濃縮するインチューブ固相マイクロ抽出 (SPME) 法を開発し、生体、食品及び環境分析に応用してきた¹⁻¹⁰⁾。また、最近、分子インプリント (MI) 法により、エストロゲンを鋳型として環境ホルモン類を選択的に吸着できるインプリントポリマー (MIP) をキャピラリーカラム内に作成し、インチューブ SPME 法に応用した。MI 法を用いれば、認識対象である分子を鋳型として重合反応液中に共存させてポリマーを合成し、その後ポリマーから鋳型分子を除去することにより、その鋳型分子に対して選択性のある結合部位を高分子内に構築することができる。合成された MIP は人工受容体あるいは人工抗体とも呼ばれ、類似構造を持つ化合物の選択的な吸着剤や分離剤など、化合物を分子認識できる新しいインテリジェントマテリアルとして様々な分野での応用が期待されている¹¹⁻¹²⁾。

本研究では、環境ホルモン作用が疑われている可塑剤やその他の添加物がプラスチック中に大量に含まれ、大気や水質、食品などを汚染していることに着目し、Fig. 1に示すようにプラスチックから可塑剤を除去することで可塑剤を分子認識した型を持つ吸着剤が得られるのではないかと考え、その吸着特性や分子認識能を評価して、これを水環境中の可塑剤や他の有害化学物質の特異的吸着剤として再生利用する技術を開発した。また、これを河川などの水環境中の汚染物除去に適用して、ゼロエミッションを目指した資源循環型の環境浄化システムを構築することを目的とした。

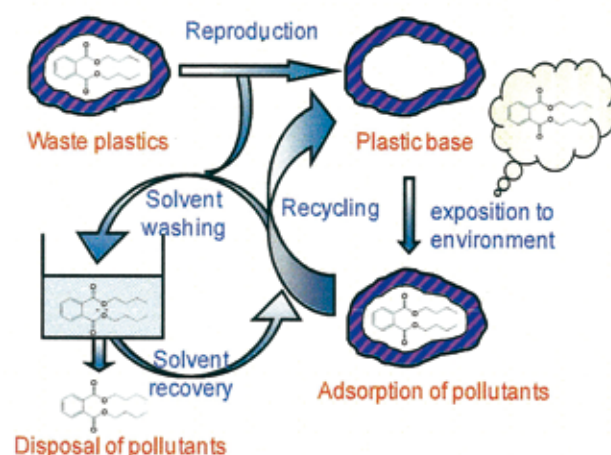


Fig.1 分子認識再生プラスチックによる資源循環型環境浄化

2. 実験方法

ポリ塩化ビニリデン (PVDC)、ポリエチレン (PE)、二軸延伸ポリスチレンシート (OPS) ポリスチレン (PS) 樹脂などの数種の食品容器包装用プラスチックをテトラヒドロフラン処理した後、エタノールを加えることにより添加剤を除去したプラスチック基材を沈殿、分離回収した。次に含有する可塑剤などの添加剤をアセトン及びメタノールで完全に洗浄除去し、乾燥後ブレンダーで粉砕したものを再生プラスチックとし、プラスチック再生化による表面構造変化を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した。

再生プラスチックの吸着特性と分子認識能を評価するために、バッチ吸着試験を行った。アジピン酸エステル、フタル酸エステル類、ビスフェノールA (BPA)、芳香族炭化水素類などの有害化学物質を分析対象化合物として、これらを含む標準水溶液に再生プラスチックを加えて振とう吸着させ、遠心分離後、水溶液中に残存する未吸着の化学物質濃度を水素炎イオン化検出ガスクロマトグラフィーまたは蛍光検出高速液体クロマトグラフィーにより定量し、吸着試験前の標準溶液の濃度と比較して吸着率を算出した。また、得られた再生プラスチックの安定性や再利用性、河川水などの環境中に含まれる有害化学物質の吸着除去剤としての有効性を検討し、環境水浄化への適用を検討した。

3. 実験結果及び考察

3.1. 様々な再生プラスチックの作製とその評価

様々な食品容器包装用プラスチックのテトラヒドロフランに対する溶解性を調べたところ、ポリカーボネートやポリアクリロニトリル製カップやPET製ボトルは溶解せず再生できなかったが、PVDC、PE、OPS、PS製品から上記の処理により白色粉末が得られた (Fig. 2)。プラスチック中の添加剤の含量によって若干異なるが、PVDC製ラップフィルムの場合、約40%の収率で再生プラスチックが得られた。

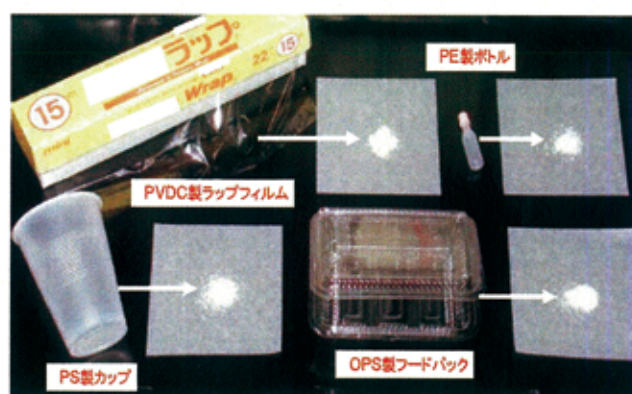


Fig.2 各種食品容器包装プラスチックから再生した吸着剤

プラスチックの表面構造変化を SEM 画像で解析したところ、再生前後で明らかに多孔性が增大していることから、比表面積が増加に伴い分子の浸透性や吸着効果の増大が期待された。

パッチ吸着試験の結果、Fig. 3 に示すように、検討したプラスチックの中で、可塑剤としてフタル酸エステルやアジピン酸エステルを含む PVDC 製のラップフィルムから再生したプラスチック基材では、BPA などの化合物に比べ、フタル酸エステル類やアジピン酸エステル類を効率よく吸着できることから、可塑剤を分子認識した再生プラスチック基材が得られることがわかった。なお、細切したプラスチックをアセトンおよびメタノールで洗浄したものでは吸着率が低いことから、一旦テトラヒドロフランに溶解し、エタノールで再析出させる時に可塑剤に対する鋳型が形成され、分子認識能を獲得するものと考えられる。一方、可塑剤を含まないポリエチレン製ボトルやポリスチレン樹脂カップなどから再生したプラスチック基材では、再生処理前のプラスチックに比べわずかに吸着率が上がったが、分子認識能は低いことがわかった。

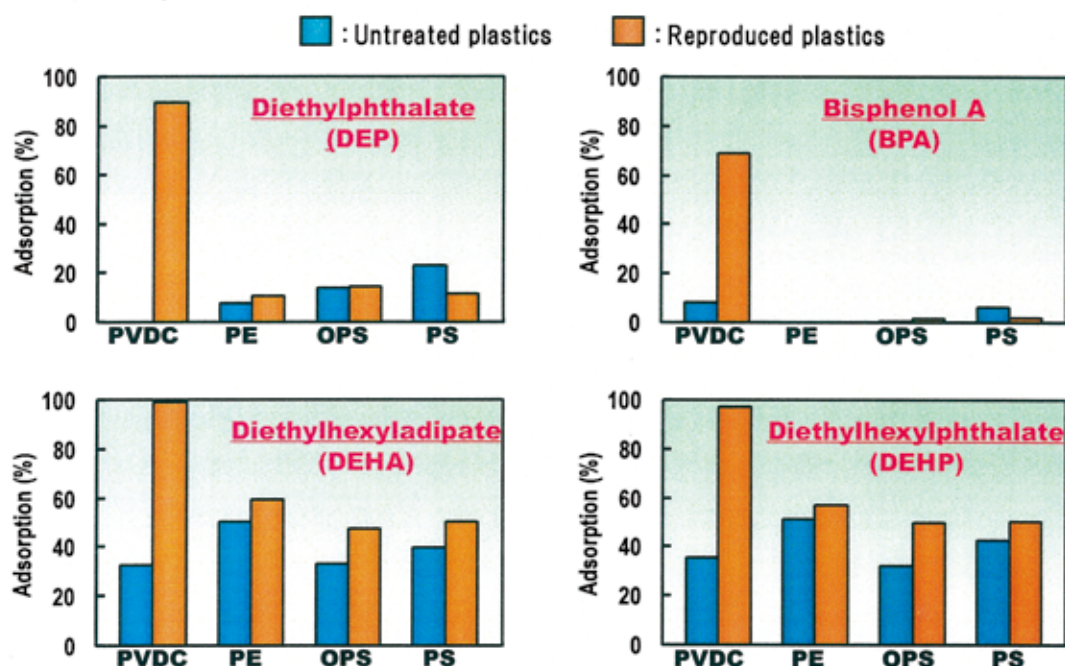


Fig.3 各種再生プラスチックに対する吸着効果

3.2. 再生 PVDC の吸着特性、安定性及び再利用性

再生 PVDC 吸着剤の量及び吸着時間について検討したところ量に依存してプラスチック可塑剤の吸着量も増加し、短時間に効率よく吸着できることがわかった。50 mg の再生 PVDC を用いて吸着効果の再現性を調べたところ、BPA を除きいずれも吸着率は 90% 以上であり、変動係数も 0.5% 以下と再現性よく吸着できることがわかった。また、再生 PVDC 1 mg 当たりの最大吸着量は、DEP 8.3 μg 、BPA 1.9 μg 、DEHA 19.2 μg 、DEHP 15.0 μg であり、特にサランラップには DEHA が多く含まれていることから、再生 PVDC が DEHA をうまく認識したポリマーであることがわかった。なお、他の化学物質についても検討したところ、Fig. 4 に示すように、再生 PVDC 1 mg 当たりの最大吸着量は Pyrene が 36.2 μg と最も高く、 β -Naphthol や α -Naphthylamine などの極性基をもつ化合物に比べ Naphthalene では 4 倍以上吸着されたことから、芳香族炭化水素類に対する吸着能も優れていることがわかった。また、他の一般の吸着剤と比較したところ、Fig. 5 に示すように、再生 PVDC は、活性炭に比べ吸着効果はやや劣るが、シリカゲルやアルミナなどに比べ効率よくこれらの化合物を吸着できた。

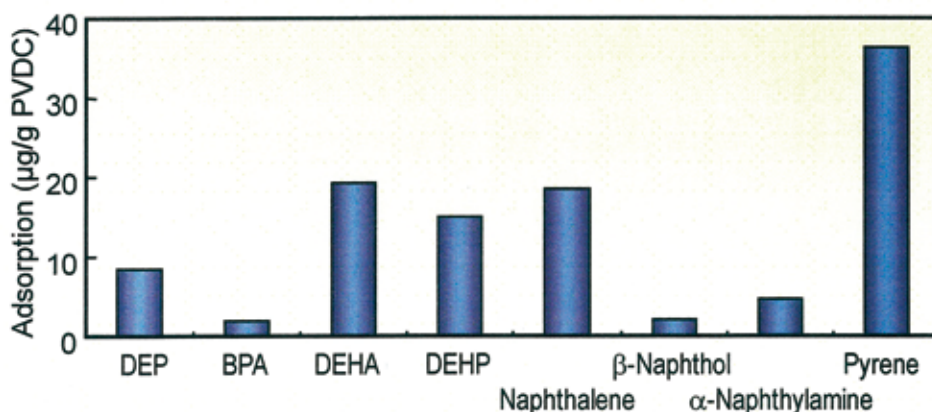


Fig.4 各種化合物に対する再生 PVDC の吸着効果の比較

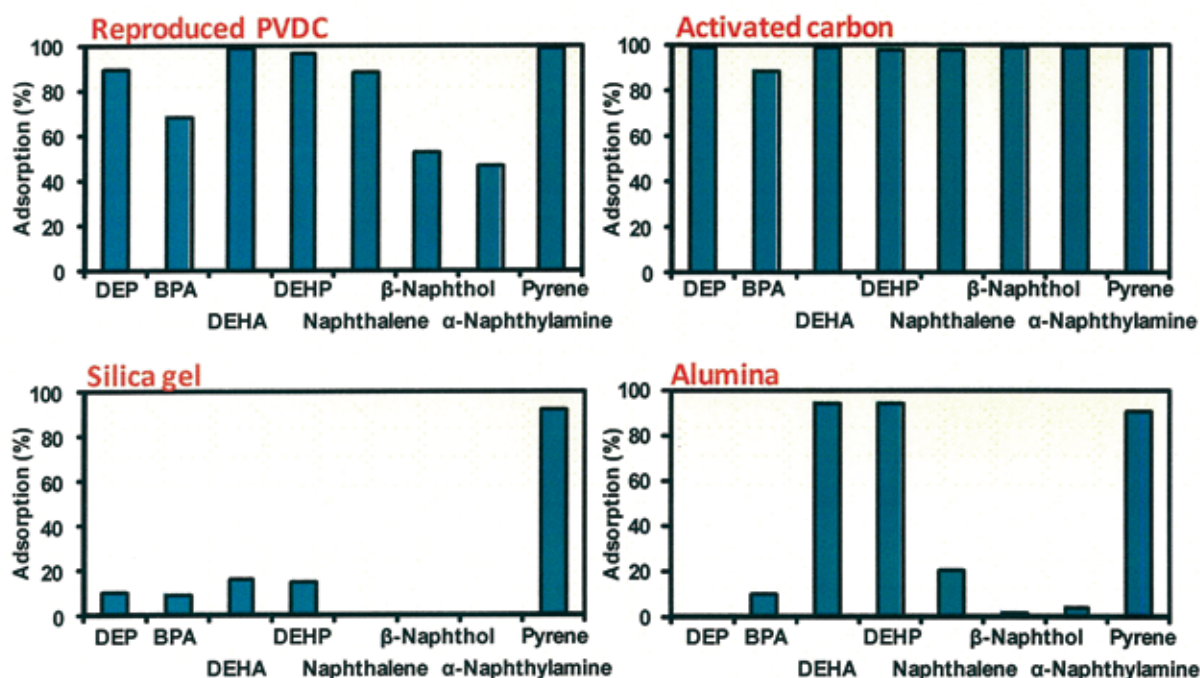


Fig.5 再生 PVDC と一般吸着剤の吸着効果の比較

一方、再生 PVDC を吸着剤として環境中で使用するためには、熱や光、水に対して安定でなければならない。そこで、再生 PVDC を室温、50℃、100℃、200℃、水中、UV 照射のそれぞれの条件下で 24 時間放置して安定性を検討した。Fig. 6 に示すように、温度や水に対してやや不安定で、特に、DEP や BPA の吸着能が減少するが、光に対してはいずれも比較的安全性がよいことがわかった。これらの結果から、高温では構造変化により分子認識能が低下し、また、長期間空气中に放置すると水分や他の化合物を吸着するため、吸着性能が落ちたものと考えられる。

再生 PVDC の再利用性を検討するために、吸着試験で用いたポリマーを再度アセトン・メタノールで洗浄・乾燥し、吸着能を調べたところ、BPA の吸着率は 1/3 に減少したが、DEP、DEHA、DEHP については 91% 以上吸着性能が回復したことから、充分再利用できることがわかった。なお、再生 PVDC の調製や再利用において、比較的多量の有機溶媒を必要とするが、蒸留して回収すれば繰り返し使用できることから、コストの削減に繋がると考えられる。

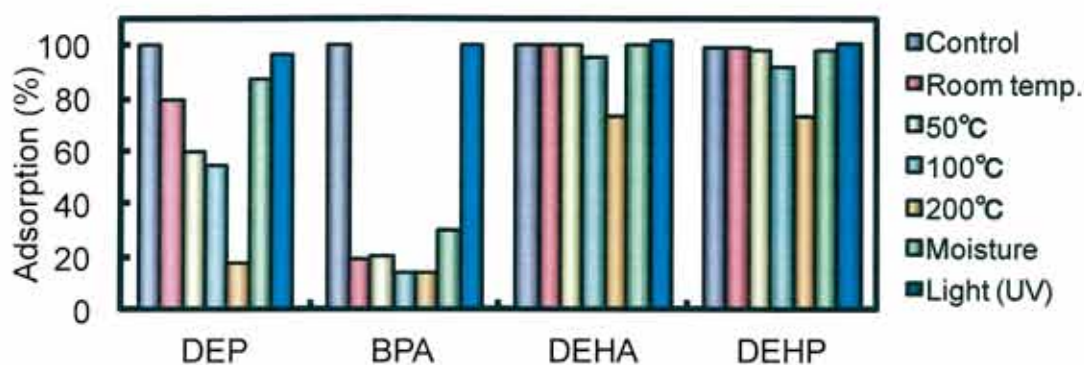


Fig.6 再生 PVDC の温度、水分、光に対する安定性

3.2. 再生 PVDC の環境浄化への応用

再生 PVDC を河川水や海水などの環境水中に含まれる可塑剤の吸着に適用したところ、Fig. 7 に示すようにほぼ 100% 吸着できたことから、環境浄化剤として有効利用できることがわかった。また、Fig. 8 に示すように、再生 PVDC は、環境水中の多環芳香族炭化水素類もほぼ完全に吸着除去できることから、猛毒のダイオキシンなど様々な有害化学物質の除去にも適用可能と考えられる。今後、実用化に向けて、実際に環境浄化能を評価するために、専用の吸着管や吸着バッグなどを試作し、河川中に懸垂してフタル酸エステル類などの汚染物質の吸着効果や吸着剤の安定性、耐久性を調べる予定である。また、環境水ばかりでなく、空気清浄のためのエアークリッターや室内有害化学物質除去剤、下水処理場での吸着除去剤などとして、環境浄化のための有効な材料になるものと期待される。

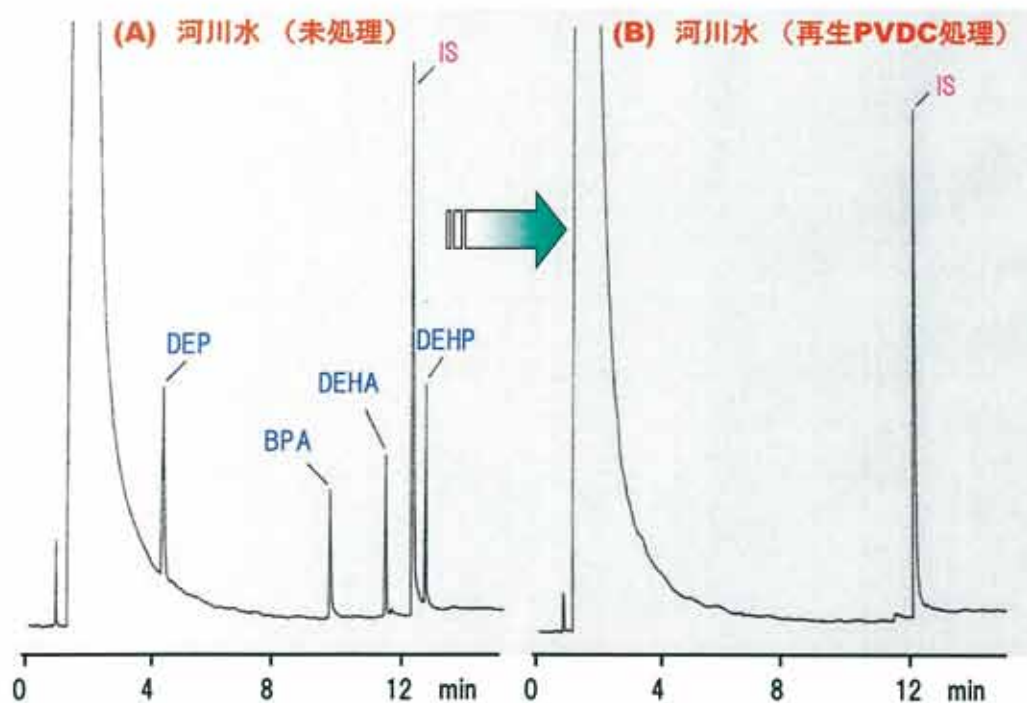


Fig.7 河川水中の可塑剤吸着除去に対する再生PVDC処理の効果

GC conditions: column, HP-5 (10 m × 0.53 mm i.d.); column temperature, 10°C/min from 150 to 280°C; injection & detector temperatures, 290°C; N₂ gas flow-rate, 1.0 mL/min; 2 µL injection.

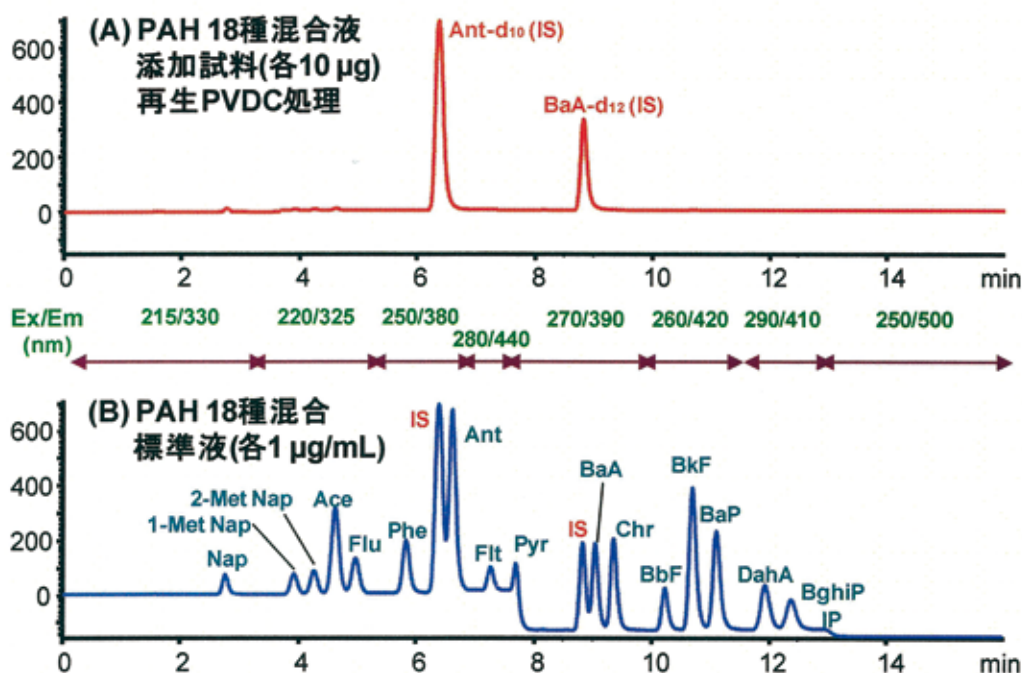


Fig.8 河川水中の多環芳香族炭化水素類吸着除去に対する再生PVDC処理の効果

HPLC conditions: column, Zorbax Hclipse PAH (100 × 2.1 mm i.d.), mobile phase, gradient program from 55 to 100% acetonitrile in water; flow-rate, 0.4 mL/min; fluorescence detection at optimum wavelength for each compound.

4. おわりに

本研究は、プラスチックの再資源化でもって環境保全にも役立てようとする安全・安心な社会の実現に貢献するゼロエミッションを目指した技術開発である。本研究で開発した分子認識能を有する再生PVDCは、吸着効果も高く簡単に調製できるが、溶媒処理のコスト削減が実用化の鍵となる。また、家庭や企業から出る様々なプラスチック素材の混合物や汚物が付着した廃プラスチックなどからの再生化についても、今後検討していく必要がある。これらの問題点が解決できれば、本技術開発は、プラスチック資源循環型の環境浄化に繋がる有効な方法になるものと期待される。

謝 辞

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

文 献

1. Kataoka, H. (2002) *Anal. Bioanal. Chem.*, 373: 31-45.
2. Kataoka H., Ise M., Narimatsu S. (2002) *J. Separation Sci.*, 25: 77-85.
3. Mitani K., Narimatsu S., Izushi F., Kataoka H. (2003) *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 32: 469-478.
4. Mitani K., Izushi F., Kataoka H. (2004) *J. Anal. Toxicol.*, 28: 575-580.
5. Mitani K., Fujioka M., Kataoka H. (2005) *J. Chromatogr. A*, 1081: 218-224.
6. Kataoka H., Ishizaki A., Nonaka, Y., Saito K. (2009) *Anal. Chim Acta.*, 655: 8-29.
7. Kataoka H. (2010) *Anal. Bioanal. Chem.*, 396: 339-364.
8. Kataoka H., Saito K. (2011) *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 54: 926-950.
9. Kataoka H. (2011) *Anal. Sci.*, 27 (9): 893-905.
10. Kataoka H., Saito K. (2012) *Bioanalysis*, 4 (7): 809-832.
11. Shen X, Zhu L, Wang N, Ye L, Tang H. (2012) *Chem. Commun.* 48 (6): 788-798.
12. Tóth B, Horvai G., (2012) *Top Curr Chem.*, 325: 267-306.

財団法人 八雲環境科学振興財団

平成 23 年度環境研究助成 研究報告書

炭化水素を酸化除去する複合金属触媒の開発

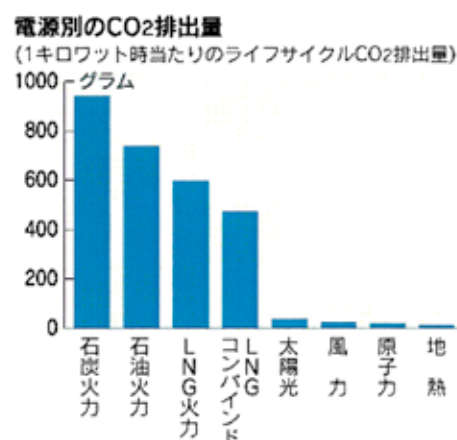
岡山大学異分野融合先端研究コア 助教 仁科勇太

1. 本研究の展望

原子力発電所事故で世界的に原子力発電の見直し機運が広がり、火力発電に使われる天然ガスの使用量が增大している。我が国は 2011 年に約 8,000 万トン（例年の 10%以上増）の天然ガスを輸入し、全電源の約 5 割を天然ガス発電に依存するようになった。石炭火力に比べコストはかさむが、二酸化炭素（CO₂）排出量が少ないため、当面の主力電力供給源に天然ガスが期待されており、本研究開発

期間終了以降もこの傾向は続くと考えられる。米国ではシェールガスの相次ぐ開発が進み、天然ガスの需給緩和につながっている。国内ではメタンハイドレートが 2018 年の商業化を目指して開発が進められていることも、天然ガス発電の後押しをしている。

1 年前に本研究助成に申請した際、“仮に”日本のすべての原子力発電が中止になった際に必要となる天然ガスを試算した。今となってはこれがほぼ現実のものとなり、不足する電力を賄うために、天然ガスの使用量増加は年間数千万トンに達する。太陽光・風力など再生可能エネルギーが当分コスト高であることを考えれば、少なくとも先進国ではガス発電需要が高まるのは間違いない。企業や病院の自家発電量も確実に増加しており、ガスエンジンの普及はより一般的なものになるであろう。そのガスエンジンから温暖化ガスであるメタンの排出を 1/10 以下に減らす技術として、本研究で開発される触媒は広く利用できる。触媒が開発できれば、実用化に至る道筋はそれほど困難ではない。なぜなら本触媒は、ガスエンジンの排気口に取り付けるだけであり、その他の技術革新をほとんど必要としないためである。ガス会社・エンジン製作会社・触媒調製（金属供給）会社との情報交換や共同研究を行い、バルクスケールでの供給を可能にする。



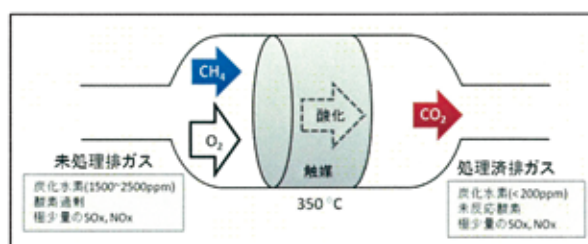
<脚注>

- 1) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）の試算では、福島原発の発電量を賄うだけでも年間 900 万トンの天然ガス供給が必要になるとみられている。

2. 取り組むべき課題

1. 触媒活性：比較的低温の 350℃で機能する触媒

一般的な希薄燃焼ガスエンジンの排ガス温度は 300～400℃である。この温度のまま触媒が機能すれば、触媒の加熱に必要なエネルギーを投入する必要がなく、さらに低炭素技術化が促進される。



なお、これまでに開発された白金－パラジウム－アルミナ系触媒¹⁾は、反応温度が 500℃必要であり、400℃では排ガス中の炭化水素は 40%程度しか除去されない。

本研究では、希薄燃焼ガスエンジンから排出される未燃炭化水素（1500～2500ppm）を、200ppm 以下（ディーゼルエンジンの排ガスレベル）にまで減らすことを課題とする。

2. 触媒組成：ごく少量の貴金属を担持した触媒

金属資源問題はエネルギー問題に続く懸案事項である。白金は資源枯渇性特性係数が最も高い金属であり、将来永続的に大量使用することは不可能である。白金・パラジウム・ロジウムは既に自動車排ガス用の三元触媒の最も重要な成分として高い需要があることから²⁾、これらの貴金属をこれから需要の増すガスエンジンの排ガス処理触媒として大量に使用することは避けたい。一方で、これらの貴金属は極めて高い触媒活性を示すことは疑いない。我々は担体のみでも炭化水素を酸化できる複合金属酸化物を開発しており、これにごく少量の貴金属を担持して従来の触媒を凌駕する活性の発現を試みる

3. 触媒耐性：酸素過剰雰囲気や SO_x 存在下でも長時間失活しない触媒

これまでに排ガス中の炭化水素を酸化し除去する手法としては、排ガス中の三成分（炭化水素・一酸化炭素・酸化窒素）を同一触媒で浄化するいわゆる三元触媒による処理法が開発されている。しかし三元触媒は酸素がほとんど存在しない排ガスに対してしか有効に適用することはできない。特に、反応性が乏しいメタンの酸化には有効に機能しないことが問題である。

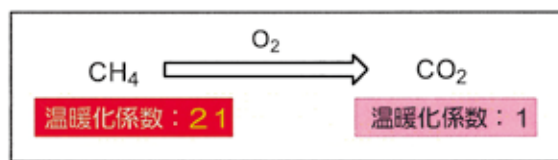
また、ガスの付臭剤に含まれる硫黄成分に由来する微量の SO_x は、触媒金属に強く配位し、触媒を失活させる。三元触媒では定期的に加熱することにより、 SO_x を活性点から熱脱離させて再賦活させている。ニッケル・鉄など貴金属以外のベースメタルを触媒成分として利用する場合、加熱による賦活は金属の硫化物への変質（不可逆的な失活）をもたらす懸念が大きい。長時間の連続運転にも耐えるためには、 SO_x との相互作用が小さい金属化合物を見いだす必要がある。

<参考文献>

- 1) 特開 2001-340758, 山本博道, 里川重夫, 排ガス中の未燃炭化水素酸化触媒及びその調製方法, 東京ガス株式会社, 2000 年 5 月 31 日
- 2) それぞれの金属総使用量に対して, 白金 55%, パラジウム 54%, ロジウム 86%が自動車用触媒として使用されている (Johnson-Matthey Platinum 2009 による)。

3. 研究開発の背景

地球温暖化防止のためには各種燃料起源の CO_2 削減が最重要である。その対策施策の一つとして、石油系燃料から天然ガス(主成分メタン)への燃料転換は、排ガスのクリーンさに加え、本質的に発熱量あたりの CO_2 の削減が見込めるため、今後ますます需要拡大が見込まれている。この天然ガスを燃料とする希薄燃焼ガソリンエンジンは、クリーンでしかも高い熱効率を有する機関として、近年、都市型発電用エンジンとして広く世界に普及してきた。昨年の夏には、「自家発電設備導入促進事業費補助金」制度により、ガソリンエンジンの導入に拍車がかかった。



雑誌“Diesel & Gas Turbine Worldwide”¹⁾によれば、世界全体で **2009 年**の単機出力 500kW 以上のガソリンエンジンは **1505 台**(探索ステージ申請時のデータ)であったのに対し、2010 年は 2780 台、さらに **2011 年は 3328 台と着実に増加**している。発電出力としては約 600 万 kW の受注があったとされる。これらのエンジンが、すべて天然ガスを使用して発電効率 40%で年間 4000 時間稼働したと仮定すると、1年間に約 1100 万²⁾の CO_2 がガソリンエンジンから排出されることになる。一方これらの機関の排ガス中には、機種により異なるが、一般的に 1500~2500ppm の未燃炭化水素が含まれている。たとえばメタンの温暖化係数は 21(100 年値)であるため、この未燃炭化水素の温暖化効果は、 CO_2 換算で 230~380 万²⁾/年³⁾(**日本の CO_2 総排出量の 20%に相当**)となり³⁾、無視することができない量である。炭化水素は極めて安定であるため、大気中に長期間滞在する。炭化水素を酸化し CO_2 に変換する触媒の開発は、地球温暖化を抑制するために、

将来にわたって必要な技術である。

本研究開発は、既存の触媒では対応できない低温領域におけるメタンの酸化に対する活性を有する触媒を開発するものであり、成功すればガスエンジンにとって画期的な触媒となる。また、未燃ガスの燃焼により上昇する排ガス温度は、単に排熱の回収増のみならず、排熱ボイラの効率向上にも寄与するため、コージェネレーションシステムを採用する企業等では省エネに対しても大きく寄与することになり燃料経済性からも開発の効果は非常に大きい。

近年、中大型のガスエンジンはほとんどすべてが“希薄燃焼(当量比約 0.5)”方式を採用しており、従来の当量比1の混合気を使用するガスエンジンに比べ排ガス温度がかなり低く、しかも、**残留酸素があるため、三元触媒では対応できない範疇**であり、エンジンメーカー、ガス会社、ガス協会、触媒メーカーの関心が高い技術といえる。

また、地球温暖化防止技術は、世界共通の課題であることから、特に、欧州やアメリカ、近年は中国、東南アジア等でもガスエンジンの普及が拡大しており、これら海外企業からの注目も集めるに違いない。

<参考文献・脚注>

- 1) Diesel & Gas Turbine Worldwide, May 2012.
- 2) 1100 万トンは、“新規”に設置されるガスエンジンが 1 年間に排出する CO₂ 相当量、これが毎年累積していく。未燃炭化水素は容易には分解されないため、影響が大きい。
- 3) National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan 2010, p.3.

4. 研究結果

下図に示す装置を作成し、本研究を行った。

	
従来型の触媒評価装置 1日2～3実験が限度	多連式試験管スクリーニング装置 1回に36本の反応を検討
<必要設備> ・ガスライン ・電気炉 ・専用GC ・標準ガス ・反応管 ・ドラフト占有 ・高温気相反応	<必要設備> ・加熱器 ・試験管 ・共用GC ・低温液相反応

1) スクリーニングによる触媒組成の最適化

反応系を簡略化し、網羅的な反応条件の検討を行った。本研究では、(低温条件で機能する触媒) = (非常に活性の高い触媒)と仮定し、試験管を用いる液相反応系モデルを採用し、120 °C で炭化水素(シクロオクタン)の酸化反応を検討した。 Li_2MnO_3 などの複合金属酸化物を種々合成して触媒能を比較した。

多連式加熱器と自動ガスクロマトグラフィーを用いるハイスループットスクリーニングを行った。一連の検討の中でペロブスカイト型構造を有する LaMnO_3 が高活性であることが判明したため、触媒構造をペロブスカイト型複合酸化物に限定し、さらに最適化を図った。

まず、ペロブスカイト型複合金属酸化物 ABO_3 の A サイトを La に固定し、B サイトの金属の種類と割合を検討した。B サイトには鉄、マンガン、コバルト、アルミニウムの種類と割合を変化させ、約 200 種類の触媒を作成した。その結果の一部を図1, 2に示した。なお、収率は 5%以下であるが、これは比較を行うための実験であるため、収率向上は目指していない。反応条件(温度、酸素の供給法)を最適化することで、生成物の収率は 30%まで向上可能である。

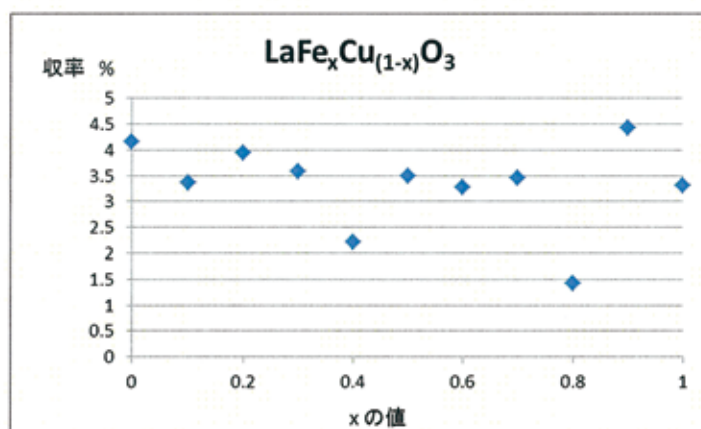


図1. BサイトにFeとCuを導入すると、全体的に高い収率で反応が進行した。しかし、複合化による触媒の高機能化にはつながっていない。

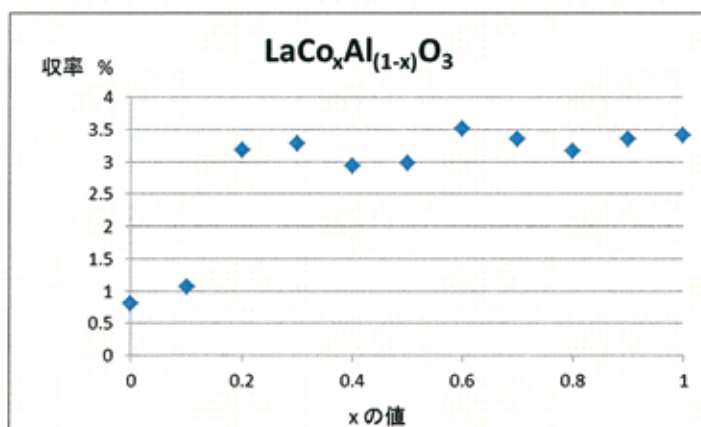


図2. BサイトにCoとAlを導入しても、Coのみ(x = 1)のときと大差がないことがわかり、安価なアルミで代替できることがわかった。ただしアルミの割合が増えると、触媒活性は急激に低下した。

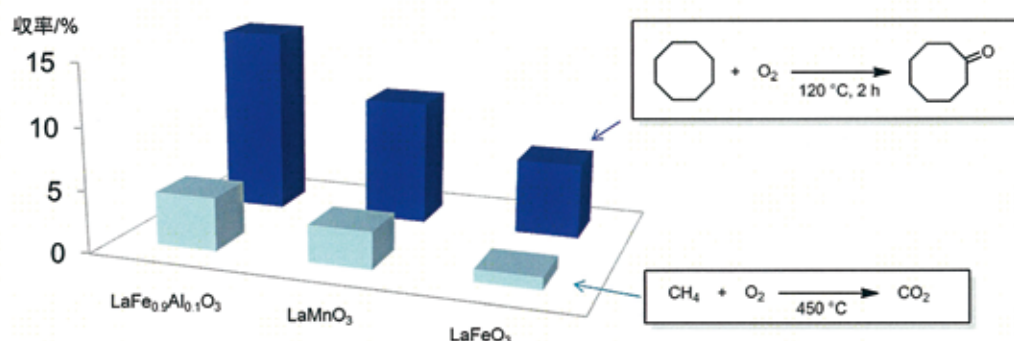
2) 排ガス温度レベルにおける検討

液相反応によって見いだした触媒候補化合物を用いて、実際の排ガスに近い温度 (350 °C) における炭化水素(シクロヘキサン)完全酸化反応の触媒能を評価した。今回開発した触媒は活性が高く、実際の排ガス温度レベルではほとんどのシクロヘキサンが酸化されてしまい、組成や割合による活性比較が困難であった。そのため、本研究ではこの項目は省略し、メタンの酸化を検討することにした。

3) 排ガス模倣系での触媒活性調査

希薄燃焼ガスエンジンの排ガス温度に近い 350～500 °C において、擬排ガス(メタン 1%)の完全酸化に関する試験研究を行った。

シクロオクタン酸化活性が高い $\text{LaFe}_{0.1}\text{Al}_{0.9}\text{O}_3$ は単純な組成の LaAlO_3 や LaMnO_3 に比べ、メタンの酸化に高い活性を示した。



シクロオクタン酸化能力が高い触媒はメタンの酸化能力も高い

5. まとめと今後の展望

本研究の遂行により、炭化水素を酸化する触媒のスクリーニング法を確立できた。この結果は、今後実用化に向けて触媒開発をするための重要な基盤となる。研究を助成いただいた財団法人八雲環境研究振興財団に感謝する。

さらに性能の高い触媒を開発するために、これまで開発したペロブスカイト複合酸化物に貴金属を担持して検討を進める。メタンの酸化に有効なペロブスカイト型酸化物に種々の貴金属類を 1% 程度担持し、触媒活性を評価する。Pt や Pd を担持すると著しくメタンの酸化活性が向上することが期待できる。引き続き研究を進め、自然環境の改善に貢献したい。

身近な地域を通して生物多様性について学ぶ ESD 教材の開発研究

—学校現場と大学の連携による環境学習実践を事例として—

岡山大学大学院教育学研究科 桑原敏典

I. はじめに—問題の所在—

本研究は、小学校における環境学習改善のため、生物多様性について身近な地域の自然を通して学ぶことができる教材を開発しようとするものである。教材開発にあたっては、生物多様性という概念の意味を理解させるだけではなく、それを保持することの大切さや、そのための社会のあり方について児童自身に考えさせ、持続可能な社会を形成するための判断力や行動力を育成することを目標とする。昨年、生物多様性条約第 10 回締約国会議（「COP10」）が名古屋で開催され、わが国においても生物多様性の重要性が一層注目されるようになった。一方、平成 20 年の学習指導要領改訂により ESD の理念が学校教育の中に取り入れられ、小学校においても環境学習として温暖化やゴミなどの問題が取り上げられているが、生物多様性については世間で話題になっているほどは教育現場に浸透していない。それは、この概念自体が難解であることに加えて、珍しい生物が棲息している遠い国の話であるかのように誤解されていることによる。このような誤解が、教師に生物多様性を授業で取り上げることが躊躇させていると考えられる。本研究は、このような課題を克服し得る汎用性の高い ESD 教材を開発し、小学校における環境学習の改善に寄与しようとするものである。

II. ESD の原理と方法

ESD は、特定の教育内容を持つ領域概念としてではなく、従来から取り上げられてきた教育内容を見直す視点であり、基準であると捉えるべきである。

ESD が必要とされるようになった背景としては、若者を取り巻く近年の社会の変化があるが、多田孝志は以下の三点を挙げている¹⁾。

- ① 地球的課題の顕在化
- ② 青少年の悲しむべき現状
- ③ 多文化共生社会の実現化

以上の三点のうち、ESD の性格を規定する最も重要な背景は、①の地球的課題の顕在化であろう。ESD の背景には、地球環境自体が崩壊し人間を含む全ての生命が存続し得ないかもしれないという強い危機感がある。そこで問題となっているのは、我々の受ける損害ではなく、この先生まれる将来の世代が受ける損害と受け取ることができなくなる福利である。ESD はこのような地球的課題の顕在化を背景に成立し、その解決のために②の状況を克服し、③の現実に適応できる人間を育てようとするものである。

ESD の目標については、「国連持続可能な開発のための教育の 10 年」関連省庁連絡会議が、平成 18 年 3 月に示した『実施計画』に次のように書かれている。

ESD の目標は、すべての人が質の高い教育の恩恵を享受し、また、持続可能な開発のために求められる原則、価値観及び行動が、あらゆる教育や学びの場に取り込まれ、環境、経済、社会の面において持続可能な将来が実現できるような行動の変革をもたらすことです。

また、日本ユネスコ国内委員会が 2010 年 12 月に示した『ユネスコスクールと持続発展教育（ESD）について』にも ESD の目標が示されているが、そこでは、この最後の目標に行動と並んで価値観が加えられている。以上のことから、ESD は、子どもの知的側面だけではなく、価値観や感情にまで関わり行動の変革を促すことを目標とする全人格にかかわる教育であると言える。

先にも引用した日本ユネスコ国内委員会の報告書には、ESD によって育みたい力と、学び方・教え方が示されている。

○育みたい力…体系的な思考力（問題が現象の背景の理解、多面的、総合的なものの見方）、持続可能な発展に関する価値観（人間の尊重、多様性の尊重、非排他性、機会均等、環境の尊重等を見出す力）、代替案の思考力（批判力）、情報収集・分析能力、コミュニケーション能力

○学び方・教え方…「関心の喚起→理解の深化→参加する態度や問題解決能力の育成」を通じて「具体的な行動」を促すという一連の流れの中に位置づけること、単に知識の伝達にとどまらず、体験、体感を重視して、探求や実践を重視する参加型アプローチをすること、活動の場で学習者の自発的な行動を上手に引き出すこと

これらは、平成 18 年の『実施計画』をほぼそのまま踏襲したものである。そして、育みたい力には、持続可能な発展に関する価値観として身につけさせるものが明確に示されている。

以上の考察から、ESD は、環境の尊重と人間の尊重という二つの価値観を核とする価値教育であり、環境教育、平和教育、人権教育など従来からなされてきた関連する領域を、その視点から捉えなおそうとするものであると言える。ただし、その方法は、価値の一方的な伝達ではなく、参加型の学習を基本とする問題解決型の学習となる。児童・生徒は、問題解決とその実現のための行動を通してこれまでの自身の価値観や行動を見直し変革していくことが求められるのである。

Ⅲ. ESD 教材の開発の経緯

本研究では、岡山大学大学院教育学研究科の社会科教育講座の院生である小山大輔と杉田直樹、NPO 法人グリーンパートナーおかやま、岡山市役所環境保全課の三者が連携をして ESD に取り組んだ。グリーンパートナーおかやまは瀬戸内海における海底ゴミ問題の啓発と改善を目的として活動している NPO 団体である。海底ゴミ問題を扱うだけでなく、それに関連した河川や山林の環境保全活動などもおこなっている。

三者の本格的な協力体制は 2011 年 2 月より始まり、2012 年 3 月まで事業は継続した。その間に、三者が連携した事業は以下の 3 つである。

- ① 海底ゴミ回収底曳き網体験学習「ワクワクキッズ 海底探検隊」（2011 年 7 月）
- ② 山林不法投棄ゴミの回収・体験学習（2011 年 10 月）
- ③ 海底ゴミ問題の啓発を目的としたクレイアニメ制作（2012 年 3 月）

事業①は、底引き網漁船によって海底ゴミを回収し、分別する体験活動であった。ここでは、小学生を対象とした海底ゴミ問題を扱った ESD 学習プログラムを実施した。事業②は、山林の不法投棄現場に行き、実際に廃棄物を除去する事業であった。ここでは、小学生を対象とした学習プログラム作成したが、実際には大学生、大人に対して実施した。事業③は、海底ゴミ問題をより多くの人にわかりやすく周知するために、小学生向けのクレイアニメを制作するというものである。

Ⅳ. 開発教材の概要

1. 事業展開のプロセス

海底ゴミ問題を扱った ESD 学習プログラムは、小山大輔・杉田直樹の二人の大学院生が主体となって開発した。プログラム開発にあたっては、定期的に検討会を開いて NPO、行政のそれぞれの代表の方と意見交換を行った。NPO からは、瀬戸内海の海底ゴミ問題に関する専門的な知識を、市役所からは ESD の視点導入に関する知識の提供を受け、大学院生は両者の要望を受け入れ、調整しながら学習プログラムを開発した。

市役所職員、NPO、大学院生の三者は、合計 5 回にわたって学習プログラムについての検討会を開いた。意見交換を重ねることで、学習プログラムを改善していった。市役所からは、過去・現在・未来のつながりを意識することや、将来の希望を持たせる終結など、ESD の観点を学習プログラムに組み入れるための工夫について指摘を受けた。NPO からは海底ゴミ問題の歴史的背景や原因と、現在どのようなことが問題になっているか、といった海底ゴミ問題に関する内容について知識の提供を受けた。大学院生は、市役所と NPO の要望を、授業目標や子どもの発達段階などと照らし合わせながら取り入れていった。検討会に参加した大学院生、市役所職員、

NPOはそれぞれ立場が異なっていたが、検討会を数回開き、意見交換を密にすることで積極的に意見を出し合える対等な関係を築くことができた。

連携においては、それぞれの異なった立場を活かして、相互にメリットのある互恵的な関係が構築できた。市役所にとっては、大学院生にESDの理念を知らせることができたこと、ESDの視点を取り入れた学習プログラムを実施したことといった利点があった。NPOにとっては、海底ゴミ問題を広く周知できたことと、小学生に適した「わかりやすい」学習を実施できたことが利点であった。大学院生にとっては、授業の理論や方法などの大学での学びを実証することができたこと、実際に授業を考え実施するといった教員養成に必要なトレーニングができたことが利点であった。

2. 開発したプログラムの実際

プログラムは、下記の原理に基づいて開発した。

- ① 社会の持続可能性に関する科学的・社会的認識形成を基盤とする。
- ② 持続可能な社会の形成という視点から、自らの価値観を見直させる。
- ③ 持続可能な社会の形成を促すための態度や行動について自分でできることを考えさせる。

第一の過程は、問題の原因の把握である。小豆島に向かう船内で、海底ゴミに関する知識を獲得させ、そのような問題が起きている原因を把握させる。これは、小豆島の現状を事例として、海底ゴミ全体に通じるような説明力の高い知識を獲得させることがねらいである。具体的には、海底ゴミが減らない理由として「川からゴミが流れてくる」「人間が捨てる」といったような知識を獲得させたい。

第二の過程は、自分の生活と問題のつながりの実感的把握である。船内で知識を獲得したのち、小豆島でゴミの引き揚げ・分別を行い、ゴミが日常生活でよく見かけるものであることを実感的に捉えさせ、「このままではいけない」と自身の価値観を見直す機会とする。実際の体験を通すことで、船内で学んだことを確認するとともに、実物を見ることで児童の価値観を揺さぶるのである。この点が、体験を核とした授業の特徴であり利点であると言える。

第三の過程は、態度や行動の見直しである。知識と体験をもとに、自分なりに行動の形を考えるのである。このことで、ESDの枠内ではあるが、事実をもとにした開かれた価値観の形成と、行動の決定を保障する。また、ワークシートで「ちょっと難しい」に分類したものは、「どうしてできないのか」を考えることで、あることを達成するためには別のことを我慢しなければならないなど、葛藤が存在するために解決が難しいということも理解できよう。

V. おわりに

本研究では、学校と学校外の諸機関が連携をしてESDに取り組むための効果的な方法を解明するための前段階として、大学がコーディネーターとなって行政とNPOを取り結び、ESDの学習プログラムを開発・実践するための方法を、具体的な事業の展開を通して明らかにした。本研究の成果は、岡山の学校現場におけるESDの普及・発展に大いに寄与し得るものと考えられる。

本稿においては、取り組んだ三つの事業のうち一つしか分析をし得なかったが、他の二事業も合わせて学校のエデュケーション改善と教員養成プログラムの改善という点からも今後考察していきたい。

[注]

- 1) 多田孝志・手島利夫・石田好広『日本標準ブックレットNo.9 未来をつくる教育ESDのすすめ—持続可能な未来を構築するために—』日本標準、2008年、pp.4-5.

[参考文献]

- ① 桑原敏典「持続可能な社会の形成を目指した社会科教材開発の原理と方法」日本社会科教育学会『社会科教育研究』第113号、2011年、pp.72-83.

②桑原敏典・杉田直樹・小山大輔「行政・NPO・大学の三者連携によるESD学習プログラムの開発研究—瀬戸内の身近な自然を題材として—」岡山大学大学院教育学研究科『研究集録』第150号、2012年（印刷中）。

【資料1】「開発教材の概要」

過 程	学 習 活 動	児 童 の 認 識 内 容
問題の原因の把握	・小豆島に向かう船内で、なぜ、海底ゴミが減らないのかを考える。	・川からゴミが流れてくるから、海底ゴミは減らない。 ・人間がゴミを好き勝手に捨てているから、海底ゴミが減らない。
自分の生活と問題のつながりの実感的把握	・底引き網で海底ゴミを引き揚げの様子を見る。 ・引き揚げられた海底ゴミを分別する。	・瀬戸内海の海底には多くのゴミがある。 ・ゴミは、自分たちの日常生活から出てくるものばかりである。 ・自分たちの生活が瀬戸内海の海底を汚している。
態度や行動の見直し	・学習したことや体験したことをふまえて自分たちができることは何かを考える。 ・学んだことや感じたことを絵日記に書く。	・自分たちに今できること、将来できることが何かある。一人でもできることもあれば、皆で協力すればできることもある。

【資料2】「開発教材の学習の展開」

学習活動	指導・支援と留意点	準備等
【導入】 1. 学習の体制を整える。	○今日のグループ学習について説明をする。 「今日は、海のゴミの問題について勉強します。勉強する時には、何人かでグループをつくって話し合いをします。知らない人とグループになることがいやだという人もいるかもしれませんが、今日はできるだけ新しい友達をつくって帰るということも、目標の一つですので、たくさん友だちをつくれるように頑張りましょう。」	・見知らぬ人とでも積極的に話し合いができるように意識づけをする。
【展開1】 2. グループ分けをする。	○グループ分けをし、リーダーを決め、自己紹介をさせる。 「今から、みんなで勉強するためにグループ分けをしたいと思います。中学生、5、6年生の人達は、前に出てきてください。中学生、5、6年生の人達にリーダーになってもらって、話し合いの時に司会をしてもらおうと思います。」 「次に1、2年生の人達は前に出てきてください。」 「最後に、3、4年生の人達は前に出てきてください。」 「いま分けたグループで勉強していきます。グループの人達と仲良くできるように、自己紹介をしておきましょう。名前と、学年と、どこから来たかということをみんなに教えてあげてください。他のグループとぶつからないように広がって、自己紹介が終わったら座ってください。」	・グループに分ける。 ・各グループに旗を持たせ、自分がどのグループに所属しているかが分かるようにする。 ・児童たちが自己紹介をしやすいように見て回る。
3. 瀬戸内海の漁業について知る。（全体での学習） 発問「昔話を知っていますか。」	○瀬戸内海は魚がたくさん獲れていたが、だんだん漁獲量が減っていることを確認する。 「今日は、瀬戸内海について勉強していきます。瀬戸内海は、いまわたしたちがいる海です。ところでみなさん、『タイやヒラメの舞い踊り』が出てくる昔話を知っていますか。魚が竜宮城で踊っている話です。」 「答えは浦島太郎です。僕たちが今いるこの海のことを瀬戸内海と言いますが、瀬戸内海は浦島太郎の舞台だったという説もあります。いま外を見ても、青くてきれいな海ですね。」 「瀬戸内海では色々な魚がとれます。この前、『秘密のケンミン show』を見ていたら、サワラという魚が紹介されていました。その時は、『岡山県民は、サワラを刺身	・現在も見たい目にはきれいな海が広がっていることを確認する。

4. 瀬戸内海の魚の数が減小した原因を考える。
(グループ学習)
発問「どうして魚が減ってしまったのでしょうか。」

5. 海底ゴミがどんなものかを知る。
(グループ学習)
発問「海の底に沈んでいるゴミはどれでしょうか。」

6. どうして海底ゴミが減らないかを考える。
(グループ学習)
発問「どこで捨てられたのでしょうか。」
発問「誰がすてたのでしょうか。」
発問「どうやって小豆島までやって来たのでしょうか。」
発問「なぜゴミを捨てるのでしょうか。」
発問「どうすればみんなの気持ちを変えることができるのでしょうか。」

で食べる』と紹介されており、他の県の人たちは驚いていました。岡山では新鮮なうちに食べられたから、刺身にできたんですね。しかし、その鱈も昔はたくさん取れていたのに、獲れる量が減ってしまっています。どれくらい減ったのか、少し見てみましょう。」

「かなり減ってしまっていますね。これはサワラだけでなく、他の魚にも言えることです。30年前には、イカも手づかみで獲れるほどたくさんいたそうです。」

○どうして瀬戸内海で魚のとれる量が減ってしまったのかをグループで予想し、発表する。

「どうして魚が減ってしまったのかを、グループで考えてみてください。」

「みんなの意見を聞いていると、二つのことが言えると思います。一つは、魚が住んでいた海の様子が変わってしまったこと、もう一つは、魚をたくさん獲ってしまったということです。」

「魚が住む海の様子が変わったのは、海の浅い部分である浅瀬や、砂浜、海水と土が混ざった干潟を埋め立てたことで、藻のひとつであるアマモが減少してしまったからです。アマモは、魚が産卵したり、かくれがにしたりする役割をもっていました。それがなくなったことで、魚は卵を産めなくなってしまい、数が減ってしまいました。」

「たくさん獲ってしまったのは、『魚はいくらとってもなくなる』、『自然は放っておけばもとに戻る』といったような、間違った考え方があったからです。」

○海底ゴミだと思うものを自分たちで予想することを通して、海底ゴミがどのようなものなのかを知る。

「海の様子が変わってしまったのは、海の底にゴミがたまってしまったことも一つの例として挙げられます。プリントに書いているもののうち、みんなが海の底に沈んでいるゴミだと思うものはいくつあるでしょうか。グループで考えてみましょう。」

「正解は全部です。これらのものは、全て海の底にたまっています。こういった海の底にたまっているゴミを海底ゴミといいます。海底ゴミは、空き缶やプラスチックなどの、くさらないもの、自然にかえらないものであることが多いです。」

○海底ゴミがどこから、どのようにやって来るかを考えることを通して、ゴミを捨てるのは、ゴミが自然にかえってなくなるとわかっているのに、知らないふりをしているからであるということを捉えさせる。

「今向かっている小豆島には、海底ゴミがたまっています。小豆島で捨てられたものではなく、どこからかやって来ています。このゴミは、どこで、誰が捨てて、どうやって小豆島まで来たのでしょうか。グループで考えてみましょう。」

「ゴミは、色々なところで捨てられています。そして、色々な所からやってきます。波や川の流れにのって小豆島までやってくるのです。」

(写真を提示しながら説明)

「そして、色々な場所で捨てられているということは、色々な人が捨てているということです。」

「みんなはこの『誰か』に入っていますか。そのあたりにゴミを捨てたことはないでしょうか。自分がゴミを捨てたときのことを思い出しながら、なんでゴミを捨てる

・意見を集約して、魚の住む環境が 変わったこと、魚の数自体が減ったという2点にまとめる。

・本来海にはない、人が作ったものが海の底にあることに気付かせる。

・自分の行動をふり返り、当事者意識が持てるようにする。
・二枚目のワークシートを配る。

	のか考えてみましょう。捨ててない人も、捨てる人達の気持ちを考えてみましょう。」 「ゴミを捨てるのは、ゴミが自然にかえってなくならないとわかっているのに、知らないふりをしているからです。」 「どうすればみんなの気持ちを変えることができるのか、グループで考えてみましょう。」 「いろいろな意見が出てきましたね。ゴミがたまっていることは知っていても、実際にどんな風になっているかは知らない人が多いです。そんな人たちにも、きちんと『ゴミを捨てることは悪いことだ』と伝えられるように、実際にゴミがどれくらい海の底にたまっているかを見てみましょう。」	・ゴミが減らないのは、人間の身勝手さによるものであることを気付かせる。
【展開2】 7. ゴミの回収・分別の作業を行う。		
【展開3】 8. 学習のふりかえりをする (全体の学習) 発問「海底ゴミを見て、どう思いましたか。」 発問「みんなが海底ゴミを減らすためにできることは何でしょうか。」 発問「プリントの取り組みはできそうですか、できそうなら誰とやりませんか。」	○海底ゴミを実際に見た後で、海底ゴミを減らすために自分には何ができるかを考え、学習のまとめをする。 「海底ゴミを実際に見て、どう思いましたか。」 「みなさんが海底ゴミを減らすためにできることは何でしょう。」 「海底ゴミを減らすための取り組みをプリントに挙げてみました。その取り組みを自分ができそうか、できるのなら誰と一緒にやるのかを考えてみましょう。」 (ワークシートに記入する。) 「どのようなことができそうですか。できそうだと思うものに手を上げてください。」 (手の上がり数が少なかった選択肢に言及する。) 「これはなんでできないと思ったのだろう。」 「ここに書いてあることは、大人でも、分かっているけどできない、やっていない人がたくさんいます。だから、みなさんができないと思うことも、間違いではありません。環境を守ろうと思ったら、たくさん働かなくてははいけません。お金もかかるでしょう。そのようなこととバランスをとって続けていくことが大切です。」	・環境のためにやさしい行動を全てできなくても、自分にできることから少しずつ取り組むことが大切であることを理解させる。
【終結】 8. 絵日記を書いて、本日の学習を振り返る。	「今日は色々な会社の人たち、グリーンパートナーおかやま、岡山大学、岡山市役所の人たち、そして、みなさんに協力してもらって出来ています。こんなにたくさんの人たちが集まって海底ゴミを引き揚げました。みなさんも、その一員としてやりとげました。だから、これからは瀬戸内海のきれいな海を守るために、協力してほしいのです。今日は、テレビがやってきますし、みなさんのやっていることは、環境を守る取り組みの一番新しくて大事なものとして、とても注目されています。だから、この今日勉強したことを忘れずに、これからは環境について考えてほしいと思います。」 「それでは、最後に今日のできごとの中で、一番心に残っていることを絵日記に描いてみましょう。」 ○絵日記を配る。	

夏期における熱中症と人体熱ストレス・生理応答・温熱感の関連 ：屋外環境における実地計測からのアプローチ

大橋唯太¹・疋田浩之²・亀卦川幸浩³・井原智彦⁴

1 岡山理科大学生物地球学部 2 岡山理科大学大学院総合情報研究科

3 明星大学理工学部 4 東京大学大学院新領域創成科学研究科

1. はじめに

近年、気温の上昇が日本各地で顕著化し、このことがヒートアイランド現象や地球温暖化の影響と結び付けられることが多い。日本は東日本大震災によってエネルギー転換を強く求められており、特に夏場の冷房電力をどれだけ抑えるかが毎年のように社会問題となりつつある。この解決には発電方式を見直す取り組みに留まらず、熱中症や睡眠障害などの深刻な夏の気象病を増やさないような快適に過ごせる都市屋外空間を広く形成する努力も必要である。

例えば成田ほか(2004)や関谷(2007)などでみられるように、市街地に緑地や水環境を形成することで気温上昇の抑制効果を検討する研究が多く存在する。しかし、人体が感じる暑さを評価する場合、気温だけでなく湿度や放射など複数の気象要因が複雑に影響することを考慮しなければならない。したがって緑地や水環境が豊富に存在する、気温の比較的低い屋外空間であっても、実際には人体に温熱的な不快感を生じさせることもあり得る。そこで本研究では、都市の屋外空間が形成する温熱快適性の実態を明らかにするため、土地利用形態が異なる複数の空間を対象とした温熱環境の観測調査と被験者の熱的主観申告のヒアリングを実施した。ここから、都市屋外でどのような空間が形成されると夏の屋外活動時の熱中症リスクを抑えられるか、具体的に提言する試みを考えている。

2. 研究方法

観測対象地域は、岡山県岡山市北区南方周辺の約 1km² 範囲である。土地利用形態が異なる幹線道路沿いや河川敷、街区公園など計 9 地点を選抜し、該当空間における温熱指標と被験者の温熱感覚・生理量変化を調査した。観測場所の位置関係を図 1 に、また観測風景の一例を図 2 に示す。

観測期間は 2011 年 7 月下旬から 8 月上旬のうちの晴天日計 9 日間を選択し、観測時間帯は 1 日のうちで屋外の暑熱化が最も予想される 13～15 時とした。複数名の観測者を 3 班に分け、1 班につき 3 地点で順次それぞれ測定をおこなった。

1 地点を 30 分間測定し、3 班で同時刻に測定を進めていった。

気象観測から温熱指標の WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature ; 和名は湿球黒球温度) と SET* (Standard New Effective Temperature ; 和名は標準新有効温度) を算出するため、気象要素として気温・相対湿度・黒球温度・風向風

表 1 使用測器の詳細。

観測項目	測定機器	サンプリング間隔
気象要素		
気温	白金抵抗式温度計	2秒
相対湿度	静電容量式湿度計	
黒球温度	ベルノン式黒球温度計	
風向風速	ベーン式風向風速計	10秒
気圧		
生理要素		
血圧	上腕式血圧計	2分
脈拍数		
体表部温度	サーミスタ温度計	2秒
体深部温度		
ストレス値	アミラーゼモニター	10分

速・現地気圧を測定した。また、屋外空間における人体の熱負荷と生理的影響を調べるため、血圧・脈拍数・体表部温度・体深部温度・唾液中アミラーゼ量の測定をおこなった。さらに各観測場所での



図1 観測対象地域（岡山県岡山市北区内）と観測屋外空間の位置（計9地点）。



図2 観測風景の一例。（左）幹線道路と（右）河川敷での観測。

地表面温度や建築物表面温度、被験者衣服・露出皮膚部の表面温度を測定するため熱赤外カメラを用いた撮影もおこなった。表1に、測定で使用する測器とデータ・サンプリング間隔などをまとめる。

実際に観測に従事する被験者が感じる、熱的主観申告についてもヒアリング調査した。「暑さ・涼しさ」、「風の強さ」、「発汗量」、「人工物からの排熱」、「歩行者の量」、「総合的な快適感」の6項目

表2 WBGTの数値と危険ランク・予防指針の対応。

WBGT	運動 (日本体育協会)		日常生活 (日本生気象学会)	
	ランク	注意事項	ランク	注意事項
31℃～	運動は原則中止	運動は中止	危険	すべての生活活動で発生する危険
28～31℃	厳重警戒	激しい運動は中止	厳重警戒	すべての生活活動で発生する危険
25～28℃	警戒	積極的に休養	警戒	中等度以上の生活活動で発生する危険
21～25℃	注意	積極的に水分補給	注意	強い生活活動で発生する危険
～21℃	ほぼ安全	適宜水分補給		

表3 SET*の数値と温冷感・快適感などの対応。

SET*	温冷感	快適感	生理状態	健康状態
>40.0	暑さ限界	許容できない	体温上昇、体温調節不良	血液循環不良
37.5-40.0	非常に暑い	不快	激しい発汗、血流によるストレス増加	熱中症の危険増加
35.0-37.5	暑い	やや不快		
30.0-35.0	暖かい			
26.0-30.0	やや暖かい	快適	発汗・血流変化による通常の体温調節	正常
23.0-26.0	中立		中立	
20.0-23.0	快適		血流変化による体温調節	

について、それぞれ6段階で評価してもらった。このヒアリングは、各観測地点で気象観測の終了後に実施した。このうち本稿では、「暑さ・涼しさ」の結果に着目してまとめる。

3. 結果と考察

3.1 暑熱環境

本観測では、WBGTとSET*を用いて屋外空間の暑熱快適性を評価した。WBGTは日本で熱中症リスク温度として広く用いられている指標であり、表2に示すような予防指針が学会などから公表されている。一方のSET*は、室内空間での快適性評価のためにもともと考案された指標であるが、木内(2001)などいくつかの先行研究では夏季屋外空間のSET*が人間の快適感覚ともよく対応しており、屋外空間での利用が可能であると報告されている。したがって本観測においても、屋外環境での快適性評価にSET*を使用した。Gagge(1972)が提唱したSET*と暑熱快適性の対応表(表3)を用いて、各空間における快適性を評価することにした。

なお、観測地域近くの岡山地方気象台で測定された上記3日間の観測時間帯(13～15時)における

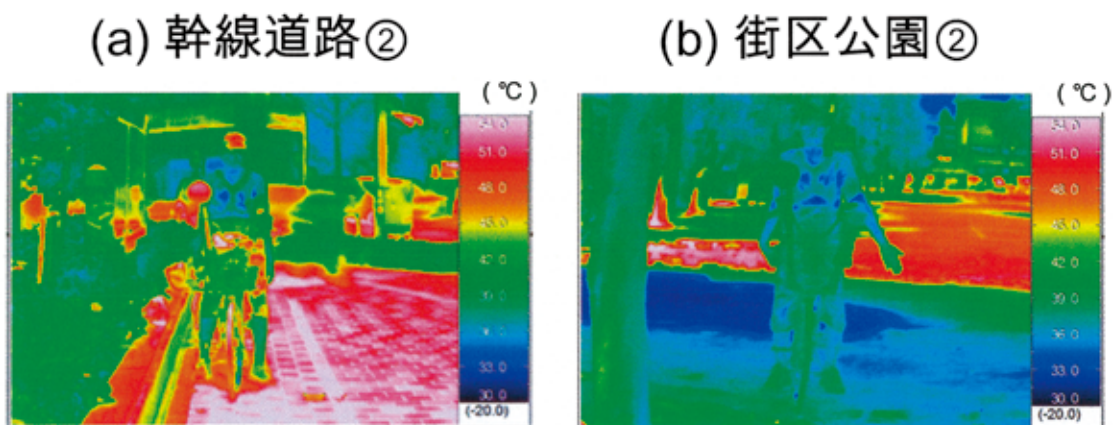


図3 熱赤外カメラによる人体表面温度撮影の一例。2011年8月10日13時30分頃における (a) 幹線道路② (日向空間) と (b) 街区公園② (日陰空間) での撮影結果。

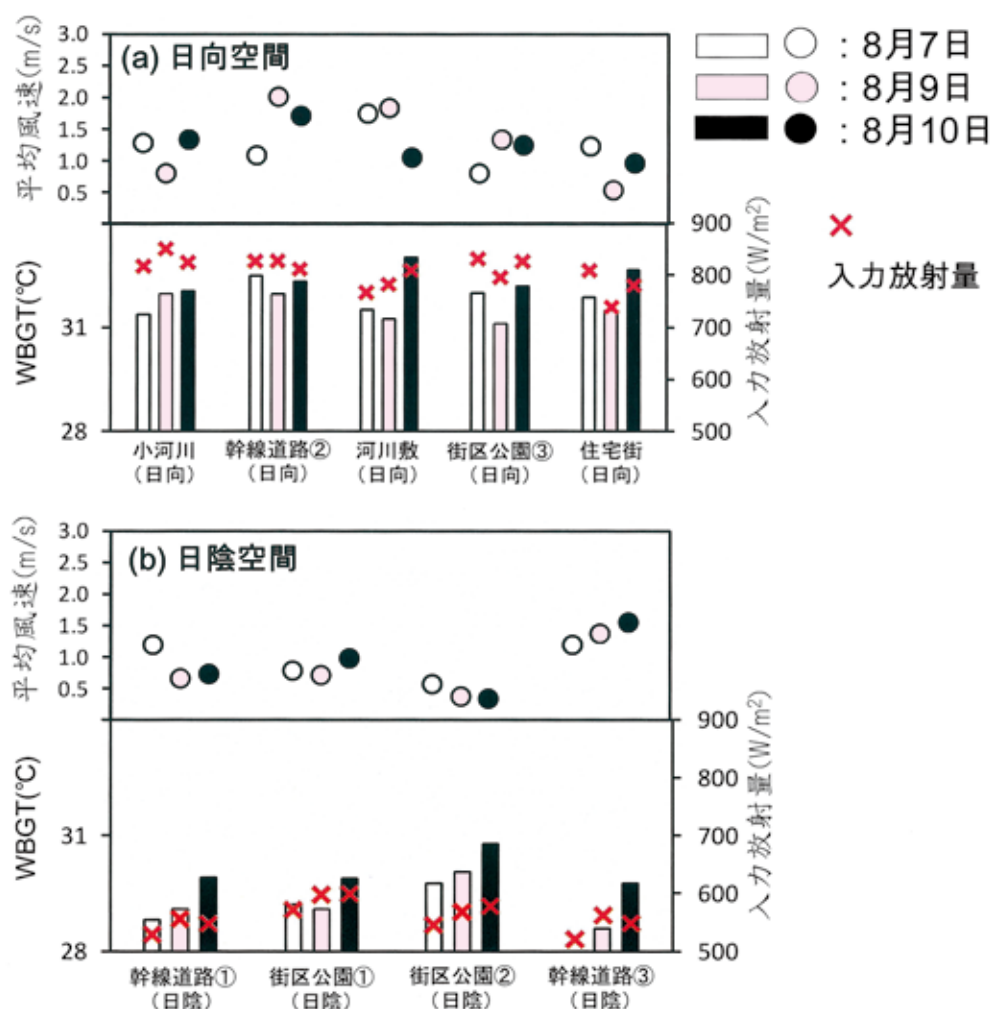


図4 2011年8月7日・9日・10日において各屋外空間で測定された WBGT(下側の棒グラフ)・平均風速(上側の丸印)・入力放射量(下側の×印)の20分平均値。屋外空間を(a)日向空間と(b)日陰空間に分けて並べている。

日照時間は、それぞれ 120 分、114 分、119 分であり、いずれも晴天条件であったことが伺える。

観測中に撮影した被験者の体表面温度と空間の表面温度の一例を図 3 に示す。日向空間と日陰空間には明らかな表面温度の差が見られており、特に地表面温度の違いは顕著である。また、人体のほうも日向空間では特に頭部や下肢の温度が比較的高い様子もうかがえる。画像からもわかるように、黒球温度が日向空間と日陰空間のあいだで顕著に違う様子も、注目すべき点としてあげられる。

2011 年 8 月 7 日・9 日・10 日の気象観測によって得た各地点での WBGT と風速、空間に入射する放射量（気温・黒球温度・風速から計算された推定値）の結果を図 4 に示す。日向空間（図 4 a）の全 15 地点で WBGT31℃以上の「運動禁止・危険」であった。一方の日陰環境（図 4 b）では、12 地点中「運動禁止・危険」は 0 地点で、全地点「厳重警戒」のランクとなっていた。また、各空間の風速を比較した結果、風速が大きな空間ほど観測される WBGT は低い傾向が認められる。入力放射量と WBGT の対応性も良く、入力放射量の大きな空間ほど WBGT は高くなっている。ただしこれらの特徴は日影空間で特に顕著であった。なお、SET*についても同様の結果が得られている。

3.2 被験者ヒアリング

各温熱空間で被験者が実際に体感する「暑さ・涼しさ」に関するヒアリング調査の結果（図 5），小河川と住宅街で「とても暑い」・「暑い」の回答が多数を占めていた。この 2 空間は日向環境であるが、WBGT の値は他の日向空間と比較して特に高い特徴は見られない。一方、日陰環境では被験者が涼しく感じる傾向が確認されたが、このうち幹線道路①と街区公園①は WBGT や SET*の値が他の日陰空間と

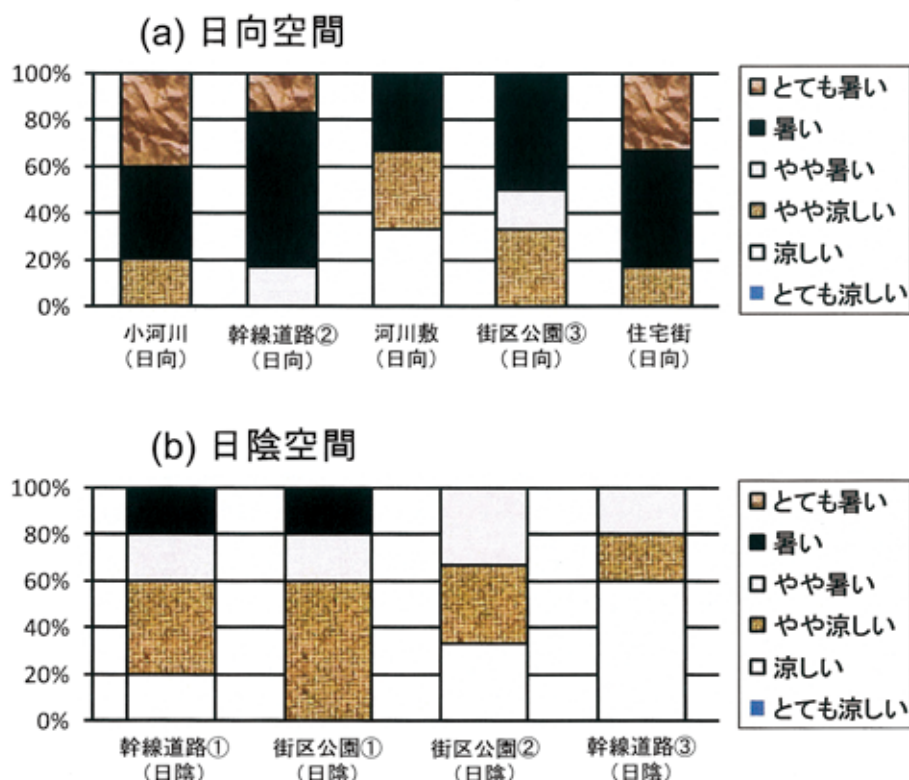


図 5 (a) 日向空間と (b) 日陰空間における「暑さ・涼しさ」に関する被験者ヒアリングの集計結果。

比べて高いわけではないにも関わらず、暑く感じたと答える被験者も認められた。このことから、温熱指標から評価される危険度と被験者が実際に申告する温熱感覚のあいだには、屋外空間によってずれの生じる可能性が考えられる。その中でも特に顕著に現われていたのが日陰の街区公園②であった。この空間の WBGT と SET* は 3 日間とも日陰空間のなかで最も高い値が観測された (図 4 b)。にもかかわらず、被験者の半数以上が「涼しい」や「やや涼しい」と感じていた。

このような差異を生じさせた原因として、移流の影響が考えられる。街区公園②は、風が最も弱い空間であった。移流は人体が感じる快適感を決定する重要な要素であるが、WBGT や SET* の温熱指標は移流の影響を強く受けやすい可能性が示唆される。このため、風が極端に弱いなど特異な空間では、温熱指標による快適性評価と被験者が屋外空間で体感する温熱感覚のあいだに差異が生じたと考えられる。

3.3 生理量変化

次に、温熱指標と実際の人体生理量変化について対応を分析してみた。日陰空間のなかで温熱指標が比較的高かった街区公園②は、先述のように熱的主観申告は「やや涼しい・涼しい」が半数以上を占める結果であった。実際に被験者の収縮期血圧と脈拍数は、他の日陰空間に比べても低値を示していたことから、被験者の熱的申告には現実味があると言える。これ以外、日陰空間を日向空間と比較しても、総じて収縮期血圧と脈拍数それぞれ 5~10mmHg, 5~10 回/分程度の減少が認められ、血圧の時間的変動も小さく安定していた。

4. まとめと今後の課題

2011 年 7 月下旬から 8 月上旬までの夏期に、土地利用形態が異なるいくつかの屋外空間で温熱指標・温熱生理量の観測と被験者ヒアリングを実施し、以下の点が明らかとなった。

1) WBGT や SET* による熱環境評価の結果、日陰空間では日向空間よりも温熱的に快適な屋外環境が全体的に形成されており、本研究については WBGT の熱中症危険度評価や SET* の快適性評価がいずれも 1 ランク異なるほどの差異が明らかとなった。

2) 日射環境にほとんど差のない空間のうち風速が大きな屋外空間では SET* が 1~2℃低下する特徴が認められたが、WBGT はそのような傾向は明瞭ではなかった。しかし、SET* が実際の人体熱収支・温熱生理変化モデルに沿った温熱指標であることを考慮すれば、日陰の形成に加え積極的に空間の通風を向上させることは快適な空間環境を形成するための有効な手段といえる。

3) 温熱評価と被験者の熱的主観申告は多くの地点でおおむね一致していたが、風が極端に弱い空間などでは一致しにくい傾向も認められた。

本研究結果を踏まえ、2012 年夏期においても引き続き観測を継続して、最終成果をまとめる予定である。

謝 辞

本研究に多大なるご支援をいただきました、(財)八雲環境科学振興財団「平成 23 年度環境研究助成」に心より感謝申し上げます。本研究の遂行にあたり、岡山理科大学総合情報学部並びに明星大学理工学部の学生方々に終始、観測を手伝って頂きました。また観測では、岡山大学理学部の塚本修教

授に熱赤外カメラをお借りしました。この場を借りて心より感謝申し上げます。

引用文献

- Gagge, A. P (1972) : A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment, ASHRAE, 709-731.
- 木内豪 (2001) : 屋外空間における温冷感指標に関する研究, 天気, 48-9, 15-21.
- 成田健一ほか (2004) : 新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみだし現象, 地理学評論, 77-6, 403-420.
- 関谷隼人ほか (2007) : 都市街路空間における緑・水環境が歩行者に及ぼす温冷感緩和効果に関する研究, 日本建築学会研究報告書, 157-160.

磁性メソポーラス炭素および固体酸触媒の開発

津山工業高等専門学校 機械工学科 山口大造

1. 諸言

ポーラスカーボンとは、その大きな比表面積と化学的・機械的安定性、熱的・電気的導電性、生物学的適合性などの特性から、触媒や生体分子の吸着材などへの応用が期待され大きな関心が寄せられている材料である。活性炭はその代表であるが、ミクロ孔 (2 nm 以下) を有すことから吸着分子の移動が制限されることや、その回収が困難であることが課題となっていた。これを解決するために、メソポーラスシリカ MCF、SBA-15 やトリブロック共重合体 F127 など様々な鋳型を用いて規則性多孔質炭素を得る方法や、それらを金属塩水溶液に炭素材料を浸漬後に再焼成する方法により、炭素表面に磁性を付与する方法が提案されている。^[1,2]

金属ナノ粒子は、磁性記憶媒体、磁性流体、触媒、核磁気共鳴映像法における造影剤、生物毒素除去、ドラッグデリバリーにおける磁性キャリアなどとして、その応用範囲の広さとユニークな物理的特性から基礎科学・技術分野において多くの研究者を魅了している。^[3] 炭素と金属ナノ粒子の複合体である、炭素マトリクス中に金属または化合物粒子を分散した複合材料は、炭素マトリクスと分散された微粒子の両方の特性を活かした新た

な特性を持つ材料となることが期待され、上記の例も含めその調整方法の検討から諸特性の評価に至るまで、これまで多くの研究が報告されている。その中でも、磁性材料としての磁性微粒子を分散した材料の研究が多く報告されている。^[4] これらの材料は、複雑な合成方法のなかで 600~2000℃程度の高温で焼成されるため、炭素はグラファイト構造となる。カーボン系固体酸触媒は、グルコースまたはセルロースなどを基材とし、発煙硫酸および濃硫酸中で熱処理 (スルホ化) することにより、カーボン系固体酸触媒を得る学術的背景・技術はすでに確立されている。^[5] この触媒は、アモルファスカーボンを基材として採用することによりスルホ基などの官能基をグラフェンシートに安定して結合させることに成功している。

単純な合成方法により、600℃以下の焼成温度で酸化鉄ナノ粒子を含むメソポーラスアモルファスカーボンの合成を達成することができれば、磁性固体酸触媒のような工業プロセス上大きなインパクトをもたらす材料の開拓につながるものと考えられる。また、岡山県北地域 (特に真庭市、日本有数のバイオマスタウン)

には、古くから木材工業が高度に発達しており木材加工企業が多数存在しているが、その高付加価値利用に至っていない。原子力発電において、その利用の縮小が予想されることから、さらにバイオマスを有効に利用したエネルギー開発、素材開発が求められている。これまでに、木質セルロースを基材としてカーボン中に数 nm～数十 nm の酸化鉄粒子を存在させることに成功している。この合成に成功した炭化物は、X 線分析等の様々な分析結果から、酸化鉄粒子を含む材料であって、不定形炭素が乱雑に集合した材料であることがわかっており、このことから様々な官能基を導入する事の出来る「触媒前駆体」であることが判明している。すなわち、スルホ化することにより、固体酸触媒化できる可能性が十分あることが分かっている。

2. 実験

前駆体となる炭化物 (GINC) は、硝酸鉄(III)水溶液中 ($1\text{ L}, 5\text{ g L}^{-1}$) に可溶性セルロース (10 g) を加えた後、得られた混合物を乾燥させた。得られた乾燥物をフラスコ中にて N_2 雰囲気中で炭化した (250°C , 1 h)。得られた炭化物 (3 g) を発煙硫酸 ($50\text{ mL}, 20\text{ wt\% SO}_3$) および濃硫酸中にてスルホ化した (80°C , 10 h , GINC-SA)。スルホ化後、硫酸イオンが検出されなくなるまで大量の水で洗浄した後、乾燥させ触媒化物を得た。

キャラクタリゼーションは、走査型電子顕微鏡 (SEM)、 N_2 吸着等温線、透過型電子顕微鏡 (TEM)、粉末 X 線回折 (XRD)、ラマン分光、 ^{57}Fe メスバウワー分光、X 線光電子分光分析 (XPS)、フーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR)、 ^{13}C

DD/MAS NMR、元素分析、試料振動式磁力計 (VSM) より行った。触媒活性は、セルロースの加水分解反応をテストリアクションとして高速液体クロマトグラフ (HPLC) により活性を評価した。

3. 結果および考察

SEM および TEM 観察結果から、炭化物および触媒化物粒子の大きさは数マイクロメートルから数百マイクロメートルであり、 $5\text{--}20\text{ nm}$ の金属微粒子が炭素中に存在していることが分かった (Fig.1)。また、 N_2 吸着測定により、比表面積と細孔分布を測定した結果、BET 比表面積が $65\text{--}110\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ 程度であり、BJH 法による解析から得られる、平均細孔直径が $4\text{--}6\text{ nm}$ 程度 (メソ孔: $2\text{--}50\text{ nm}$) であった (Fig.1)。鑄型を用いたり、活性炭処理を施していないため比表面積は比較的小さいが、簡易な合成プロセスによりメソ孔を有し、応用範囲の広い磁性炭素およびその酸触媒化物を得ることが出来る点は実用化の視点からもその優位性は高い。

粉末 X 線回折 (XRD) による分析から、不定形炭素が乱雑に集合した材料中に少なくともマグネタイト (Fe_3O_4) またはマグヘマイト ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) を含む材料であることが明らかになっている (Fig.2a)。ラマン分光法による分析から、ラマンスペクトルの G bond (1580 cm^{-1} 付近) に対する D bond (1350 cm^{-1} 付近) の比が 0.8 程度であることから、不定形炭素の平均的なグラフィンシートのサイズが約 1 nm であると推定できる (Fig.2b)。

Figure 2c にメスバウワー分光法 (室温、 78 K) により得たスペクトルを示す。室温での結果においては、炭化物および触媒化物いずれも、スペクトル中央付近に

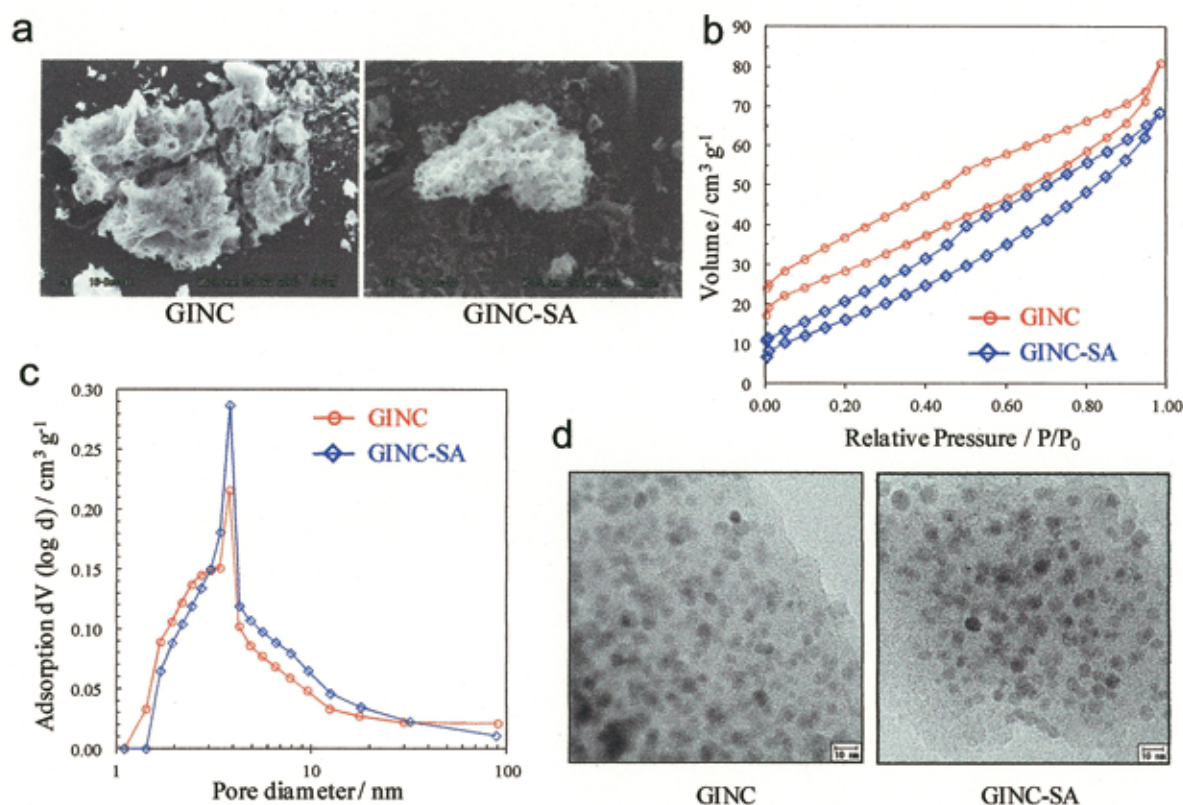


Figure 1. Morphologies of the materials. (a) SEM images of GINC (left) and GINC-SA (right). (b) Nitrogen adsorption-desorption isotherms of GINC (circles) and GINC-SA (diamonds). (c) Pore size distribution obtained from desorption isotherms calculated by BJH (Barret-Joyner-Halenda) method. (d) TEM images of GINC (left) and GINC-SA (right).

主要ピークとしてブロードな、見かけ上シングレットピークが観測され、炭化物においては、ブロードな磁気分裂ピークが観測された。触媒化物では、磁気分裂ピークは観測されなかったが、シングレットピークの裾が延びるかのように見える非常にブロードな吸収も観測された。いずれの材料とも、XRD 分析結果より含有が予想される成分 ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ もしくは Fe_3O_4) のスペクトルと大きく異なっており、常磁性成分が多くを占めている。このことは、Fig.1d に示す TEM 観察結果から示唆された、超常磁性体（粒径 10 nm 以下）がそれぞれの材料に存在していることと一致する。

磁気分裂ピークを観察するため、78 K

にて分析を行った。その結果、炭化物においては磁気分裂ピークが主要成分となった。触媒化物においては、常磁性成分は常磁性成分のままであるが、磁気分裂ピークがはっきりわかるようになった。炭化物の磁気分裂成分は、外側の 4 本のピークが内側に裾をひいているように見えることから、もともと同一成分であるが、緩和の影響により内部磁場がやや小さく観測される成分を伴っている、もしくは、磁場分布がある場合のスペクトルと考えられる。パラメータから $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の可能性が高いが、室温では $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ と Fe_3O_4 の A サイトのパラメータが非常に近く、共存した場合それらを区別することが難しい。また、低温の場合、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$

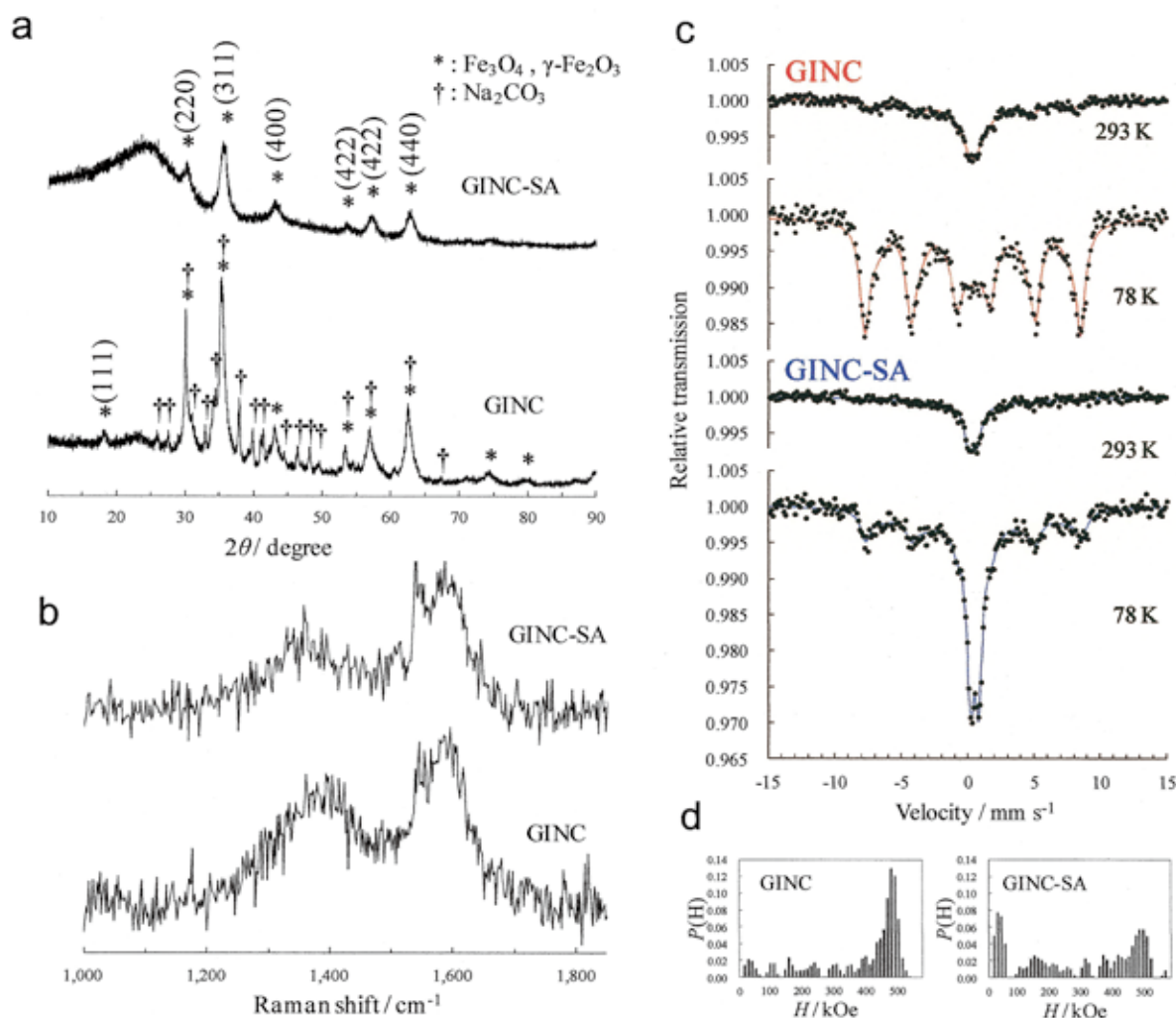


Figure 2. Structural phases of GINC and GINC-SA. (a) The XRD patterns of GINC and GINC-SA. (b) Raman spectra of GINC and GINC-SA. (c) Mössbauer spectra of GINC and GINC-SA at room temperature and 78 K. (d) The magnetic field distribution analysis for GINC at 78 K under the assumption that the tails of the peaks were entirely attributable to magnetic field distribution (left), and the magnetic field distribution analysis for GINC-SA at 78K under the assumption that the paramagnetic component is a quadrupole shift doublet (right).

のスペクトルは室温のスペクトルと大きく変わらないが、 Fe_3O_4 は 120 K 付近に Verwey 転移があり、ピーク位置等が室温と液体窒素温度で異なる。そこで、炭化物についてピークの裾が総て磁場分布によるものと仮定した解析を試みた。

内部磁場分布の最頻値(モード)は 502 kOe 付近であり、他に目立った磁場の極大値が認められない。また、常磁性成分と考えられた中央付近のピークも小さな

内部磁場を示す同一成分として含めることができている。以上のことから、炭化物のスペクトルはほぼ単一の磁性成分($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)と解釈できる。

これは、Fig.3 に示す XPS による分析結果と一致する。触媒化物については、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ に加え硫酸鉄(III) ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) が存在すると考えられる ($\text{Fe } 2p_{3/2}$, 713.4 eV)。 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ のメスbauerパラメータは室温で、 $\text{IS} = 0.39 \text{ mm s}^{-1}$, $\text{QS} = 0.60$

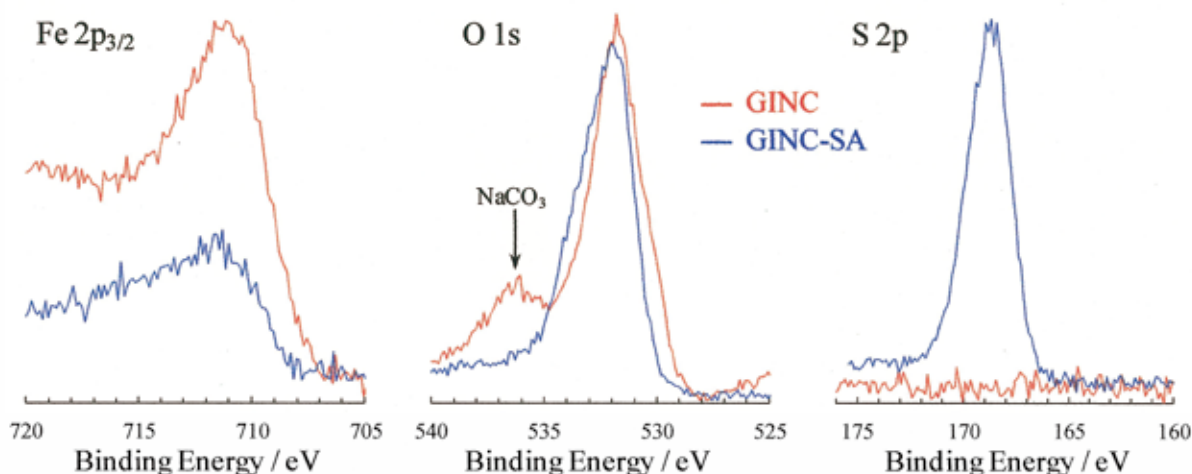


Figure 3. XPS spectra of GINC (red line) and GINC-SA (blue line). Fe 2p_{3/2} (left), O 1s (middle), and S 2p (right).

mm s⁻¹であり、1.8 K では 550 kOe の磁気分裂を示す。また、Fe₂(SO₄)₃ のネール点は 30 K であるため 78 K では常磁性であるので、本結果一致する。材料表面に存在し、硫酸による熱処理を受けることのできるすべての γ -Fe₂O₃ が Fe₂(SO₄)₃ になったと考えられる。

Fe 2p_{3/2} に関する分析により、鉄イオンの原子価の違いから γ -Fe₂O₃ と Fe₃O₄ の区別ができ、Fe₃O₄ は存在しないことを確認した。Fe₃O₄ は Fe²⁺ および Fe³⁺ 両方のイオンを有しており、オーバーラッピングコンポーネントとして Fe 2p_{3/2} スペクトルに現れる。Fe₃O₄ のピークは 710.4 eV で、Fe₂O₃ (710.8 eV) よりやや低エネルギー側に現れる。したがって、Fe₃O₄ は存在しないことを確認した。ピークトップにスプリットが確認できることから含有酸化鉄が α -Fe₂O₃ ではないこともわかる。

O 1s のスペクトルより、炭素骨格中に存在する酸素を含む不純物が存在することが、ピークが左右対称でないことから分かる。 α -Fe₂O₃ および Fe₃O₄ の結合エネルギーは 530.0 eV 以下に現れるため、

γ -Fe₂O₃ (530.6 eV) よりわずかに低い。得られたピークの値 (531.7 eV) は γ -Fe₂O₃ の値とよく一致しており、また、低エネルギー側にショルダーピークがないことから、Fe₃O₄ および α -Fe₂O₃ は存在しない。また、533.5 eV は Fe₂(SO₄)₃ である。次に、S 2p に関するスペクトルより、168.4 eV にスルホ基、169.6 eV に Fe₂(SO₄)₃ が存在することがわかった。

Fig.4 に、¹³C-DDMAS NMR による触媒化物の分析結果を示す。材料中に酸化鉄が含まれているため緩和が促進され信号をブロード化させた。128 ppm に多環式芳香族炭素、139 ppm にスルホ基、156 ppm に水酸基、185 ppm にカルボキシル基によるスペクトルが確認できた。また、0~100ppm に信号が現れないことから SP³ 炭素はほとんど含まれていない。

元素分析結果より、触媒化したものに S の存在が認められ、また、炭化物の約 5%程度が NaCO₃ であり、約 20%程度が γ -Fe₂O₃ であることが分かった。水酸化ナトリウムを用いたカチオン交換滴定を行った結果、全酸量は 3.69 mmol g⁻¹ であった。

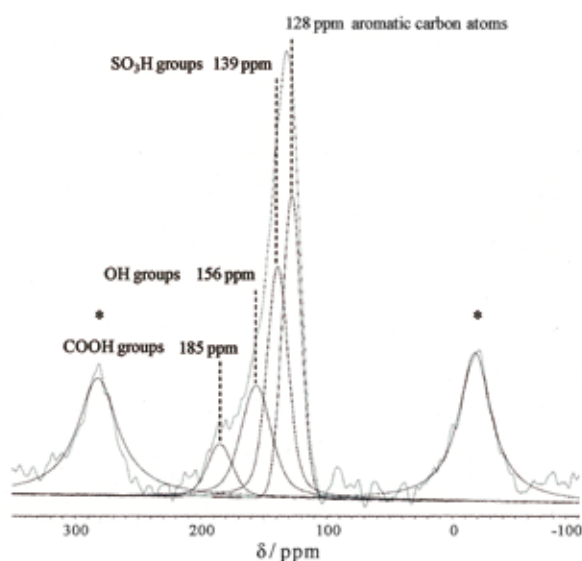


Figure 4. ^{13}C -DD/MAS NMR of GINC-SA.

* denotes spinning side bands. Background signal was confirmed using KBr under the same conditions.

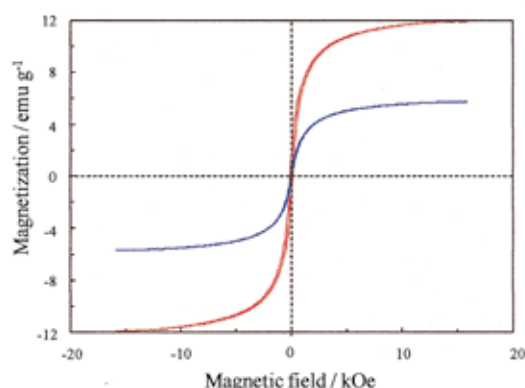


Figure 5. Hysteresis loops of GINC and GINC-SA at room temperature.

試料振動式磁力計 (VSM)により、磁化曲線 (M-H 曲線) を取得し分析した結果、飽和磁化は炭化物において 12 emu g^{-1} 程度であり、触媒化物では $5\text{--}6 \text{ emu g}^{-1}$ であり (Fig.5)、他の炭素複合体の研究事例に比べ同等～2 倍程度大きい。

Figure 6 に、酸触媒化物によるセルロースの糖化結果 (経時変化) を示す。糖化条件は、温度 120°C 、触媒量 30 mg、セルロース量 30 mg、水量 0.3mL、攪拌速度 800 rpm で行った。HPLC 分析より、グルコースおよびその過分解物質の生成

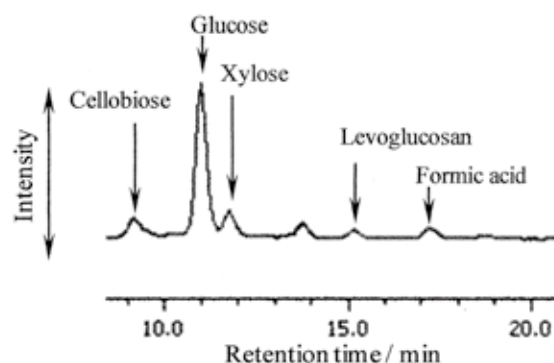


Figure 6. HPLC chromatogram for the reaction solution. Sulfonated material, 0.30 g; cellulose, 0.30 g; water, 0.5 g; reaction temperature, 120°C ; reaction time, 3 h.

が確認できた。この結果より、触媒化物は酸触媒としての能力有することが確認できた。

4. まとめ

木質バイオマス等に含まれるセルロースを原料として、5–20 nm の酸化鉄ナノ粒子を含むアモルファスメソポーラス炭素の創生と、それを基材として新たな酸触媒を開発することに成功した。磁性炭素および磁性固体酸触媒は、様々な分野での応用展開が期待でき、特に固体酸触媒は工業プロセス上大きなインパクトをもたらす材料の開拓につながるものと考えられる。技術移転も視野に入れ、①新規磁性メソポーラス炭素の吸着材としての展開、②酸触媒としての展開、③電磁気的応用展開 (電極、半導体など)、以上、3 点を中核課題と位置付け、実用化を目指す。長期的には、電源以外のエネルギー (石油代替化成品原料など) の再生可能原料による供給を目指し、酸触媒として、様々な周辺技術と融合させながら機能するシステムの開発を行う。

【参考文献】

1. Chun-hsien Huang, et al., Dual-template synthesis of magnetically-separable hierarchically-ordered porous carbons by catalytic graphitization, *CARBON*, **49**, 2011, 3055.
2. Yunpu Zhai, et al., Soft-template synthesis of ordered mesoporous carbon/nanoparticle nickel composites with a high surface area, *CARBON*, **49**, 2011, 545.
3. Aryn S. Teja, Pei-Yoong Koh, Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles, *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.***55**, 2009, 22.

4. Jinwoo Lee, et al., Simple synthesis of mesoporous carbon with magnetic nanoparticles embedded in carbon rods, *Carbon*, **43**, 2005, 2536.
5. Satoshi Suganuma, et al., Hydrolysis of Cellulose by Amorphous Carbon Bearing SO₃H, COOH, and OH Groups, *J. AM. CHEM. SOC.*, **130**, 2008, 12787.

【謝辞】

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

除草ロボットに必要な基本技術の検討

津山工業高等専門学校

研究代表者：曾利 仁

共同研究者：井上 浩行

1. はじめに

水田の除草は、省エネルギー化と除草効果が高いことから除草剤を用いた化学的防除法が主流となっている。しかし、近年では消費者ニーズの多様化、低農薬志向、環境への負荷低減などの理由から除草剤を用いない水稻栽培が要望されている。行政でも環境保全型農業のように化学農薬削減を推進する動きがある。

農薬を用いない除草法として、歩行型除草機に代表される機械的除草、紙マルチによる物理的除草、アイガモ農法に代表される生物的除草法などがある。しかし、機械的除草においては作業者が水田で作業を行うために重労働であり、アイガモ農法においても、飼育と手間とコストがかかるなどの問題がある。そこで、化学農薬の使用量を低減し、人による手間と労力を必要とせず、経済的な負担を軽減する新たな除草法⁽¹⁾が望まれている。

そこで、本研究では除草剤に代わる新たな除草手段として、水田用除草ロボットの開発を行う。除草作業は、雑草を物理的に抜くのではなく、ロボットの走行により雑草を踏みつぶし根から掻き出すとともに、水を攪拌させ日光を遮断することで雑草の生長を抑制する方法である。この提案する除草ロボットに必要な基本技術の検討として、稲苗を検出するセンシング機構の開発、および除草ロボットの移動軌跡の取得と未除草エリア推測アルゴリズムの開発を本研究の目的とする。

2. 除草ロボットシステム

<2.1> 除草ロボット 除草剤およびアイガモに変わる雑草対策の有力な手段としては機械を用いた除草がある。しかし、その主流は常用型の大型機械であるために高価であり、導入できるのは大規模農家に限られる。そのため、個人農家でも導入できる安価な除草手段として以下の要件を満足する除草ロボットを開発する。

(1) 安価

個人農家でも導入できるように目標価格を30万円前後する。

(2) 手間がかからない

水田に設置するだけでロボットが自律的に水田内の雑草を除草する。使用者は定期的にバッテリーの交換や充電のために水田に行くだけで良い。

(3) 安定した除草効果

水田全体の雑草を除草する。

(4) 人体と環境にやさしい

除草剤を使用しないので人体と環境に優しい。また、バッテリーを使用することにより排ガスや排オイルも出ない。

図1に、除草ロボットの概要図を示す。図1(a)は正面図、(b)は側面図である。移動機構としては対向2輪型である。また、除草ロボットは図2(a)に示すように、稲苗をまたいで走行することで除草作業を行う。さらに、除草ロボットには、図2(b)に示すように水田内を走行することにより雑草を踏み潰して抜き取る効果と、水を濁らせることによって日光を遮断し光合成を阻害することで雑草を枯れさせる効

果がある。また、車輪で泥を掻くことによって泥内の余分なガスを排出する効果もある。

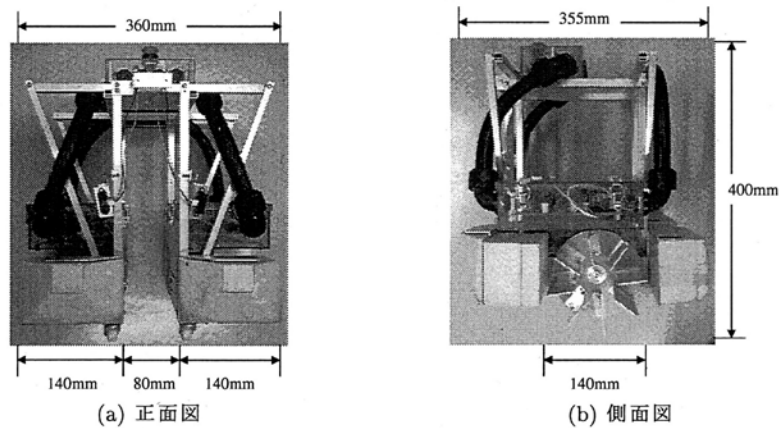


図1 除草ロボットの概要

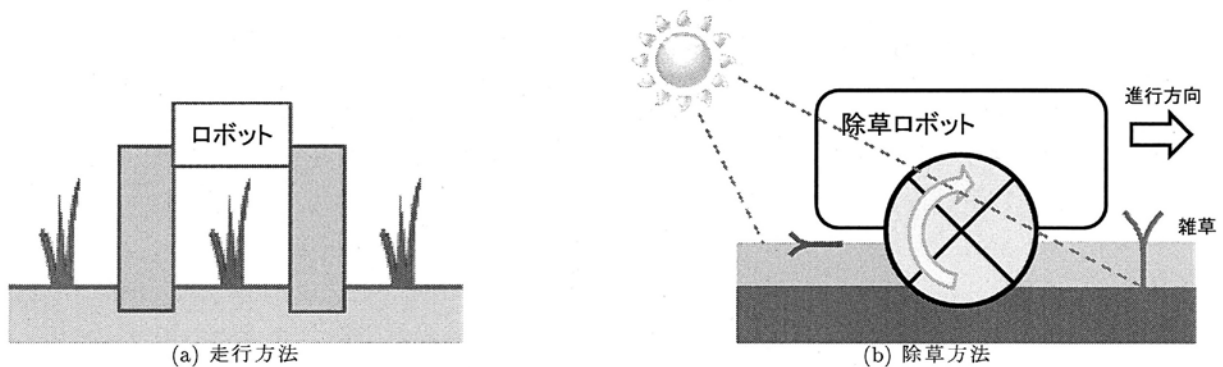


図2 除草ロボットの走行・除草方法

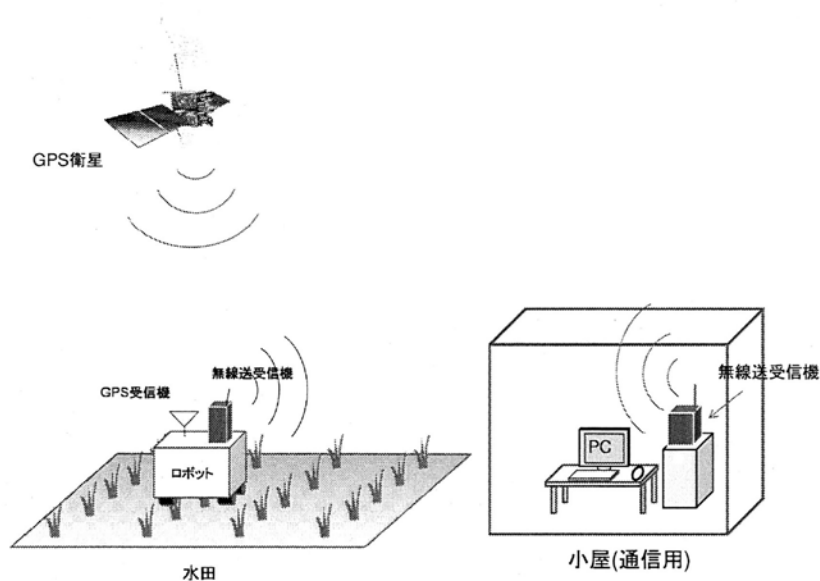


図3 除草ロボットシステムのモデル

<2.2> 将来的な除草ロボットシステム 図3に、本研究で将来的に開発予定である除草ロボットシステム図を示す。除草ロボットに必要な基本技術として、水田に移植されて間もない稲苗を検出して自律走行を行う除草ロボットのハードウェア開発と除草ロボットの移動軌跡取得と未除草エリア推測アルゴリズムのソフトウェア開発が必要であると考えている。

除草ロボットシステムの将来的な構想案として、実際に水田を自律走行する除草ロボットにはGPSを搭載させリアルタイムの位置情報を取得する。位置情報となる除草ロボットの座標は、除草ロボットに搭載された無線送信機を使って、水田付近にある小屋の中に設置された無線受信機を介して随時ホストコンピュータに送られる。水田を走行する除草ロボットは現在の位置を把握しながら、まだ走行(除草)

していないエリアを推測しながら除草を行う。この推測アルゴリズムはホストコンピュータ内で実行される予定であり、推測結果は無線機を介して除草ロボットに送信される。

3. センシング機構

本研究で試作したセンシング機構の概要を図4に示す。センシング機構は、ケンプの平行機構とフロートを組み合わせたものであり、ケンプの平行機構の最下部のリンク先端に静電タッチセンサのセンサ板を配置している。また、フロートの浮力とケンプの平行機構の上下運動によりセンサ板を常に水面から一定の距離に保持することができる。

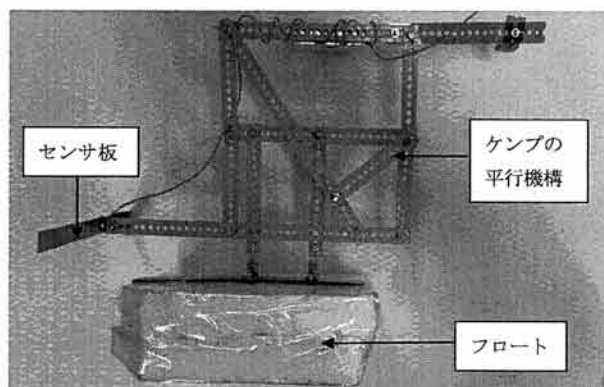
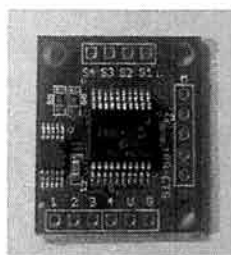
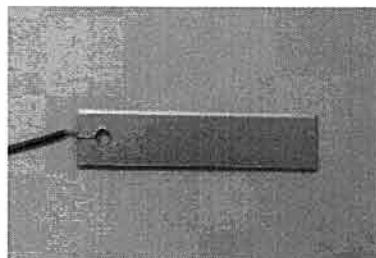


図4 センシング機能の概要

また、稲苗を検出するために図5に示す静電タッチセンサを用いる。図5(a)はセンサ本体、(b)はセンサ板のサンプルを示す。静電タッチセンサとは、センサ板をコンデンサの片側と考え、検出対象(静電的な導電性を持つもの)を反対側のコンデンサと考え、センサ板に検出対象が近づくとセンサ本体の静電容量が変化しそれを電圧の変化として出力する。本研究では、耐水性を考慮してセンサ板にはステンレス板を用いている。また、図6に示す2種類のセンサ板形状を用いて、除草ロボットの走行実験を行った。図6(a)をセンサ板1とし前方の稲苗を検出することができ、(b)をセンサ板2とし前方ならびに車輪に近い稲苗を検出することができる。

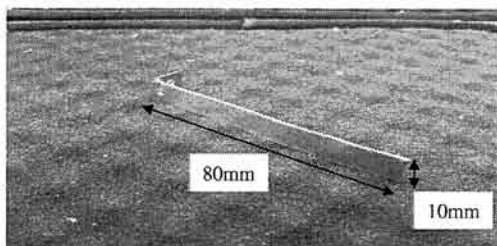


(a) センサ本体

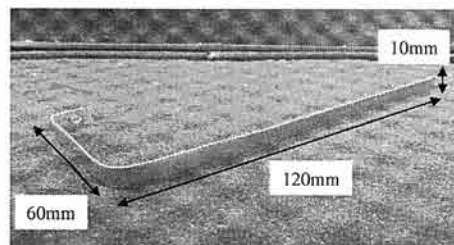


(b) センサ板のサンプル

図5 静電タッチセンサ



(a) センサ板1



(b) センサ板2

図6 センサ板の形状

このセンシング機構を用いることにより以下の性能を満たすことができる。

- (1) センサ板を稲苗の中央付近に接触させることができる。従来の研究⁽²⁾から、稲苗の中央付近にセ

ンサ板を接触させると静電タッチセンサで高出力が得られることがわかっている。そのため、ケンプの平行機構の上下運動とフロートの浮力により、センサ板を水面から一定距離を保つことで稲苗の中央付近に接触させることができる。

- (2) センサ板とロボット本体の距離が一定である。ケンプの平行機構を用いることにより、センサ板とロボット本体との距離が一定となるため回避プログラムを簡略化することができる。
- (3) 水にセンサ接触させない。センサ板が水と接触すると稲苗がセンサ板に接触した時と同じような出力が得られるため、稲苗を誤検出してしまう。そこで、ケンプの平行機構とフロートでセンサ板を組み合わすことで水面から一定距離を保つことで水との接触を回避することができる。

4. 走行実験

実験環境として砂場に作られた水田モデルを図7に示す。稲苗の間隔は、常用の水田の稲苗間隔が150～200mmであるため、その中間の175mmとした。稲苗の列は6株とし、1株は3～5本の稲苗で構成されており、高さは約130～160mmである。この水田モデルを基本として、稲苗の列の3番目が進行方向に対して右に40mmずれた場合でも走行実験を行った。なお、稲苗が列であることが確認しやすいように白線を引いている。

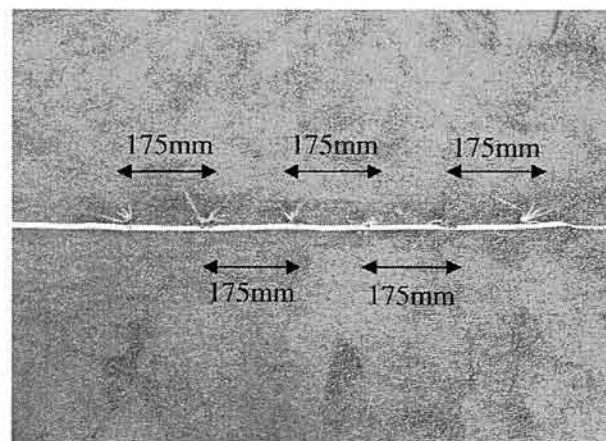


図7 水田モデル

<4.1> 稲苗が1列の場合 稲苗がきれいに1列に植えられている場合、センサ板1, 2を用いて走行実験を行った。実験結果を図8に示す。図より、両センサ板ともに稲苗を踏まずに走行可能であることがわかる。よって、稲苗がきれいに1列に植えられている場合には、センサ板1, 2ともに有効であることが確認できる。

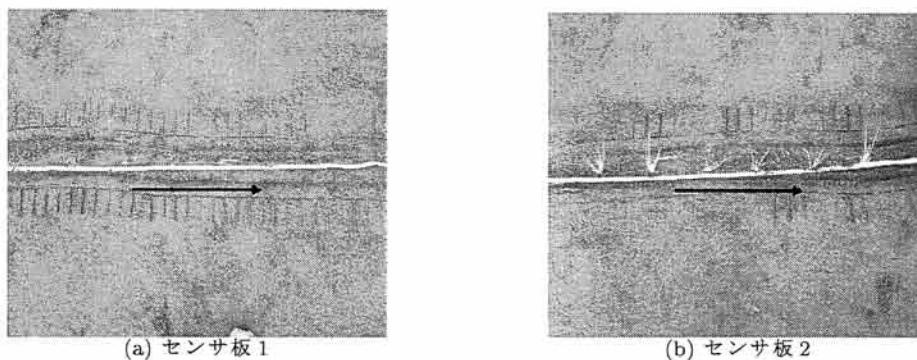


図8 稲苗が1列に植えられている場合

<4.2> 稲苗が列からずれた場合 図9(a)に、稲苗の列の3番目が進行方向に対して右に40mmずれた場合の水田モデルを示す。この水田モデルに対して、センサ板1, 2を用いて走行実験を行った。実

験結果を図9(b), (c)に示す。図より、センサ板1を用いた場合には3番目の稲苗を踏んでいることがわかる。しかし、センサ板2では稲苗を踏まずに走行していることがわかる。これは、図9(d)に示すように、センサ板2では前方だけではなく横の稲苗を検出でき、より車輪に近い稲苗を検出して回避することができるためである。

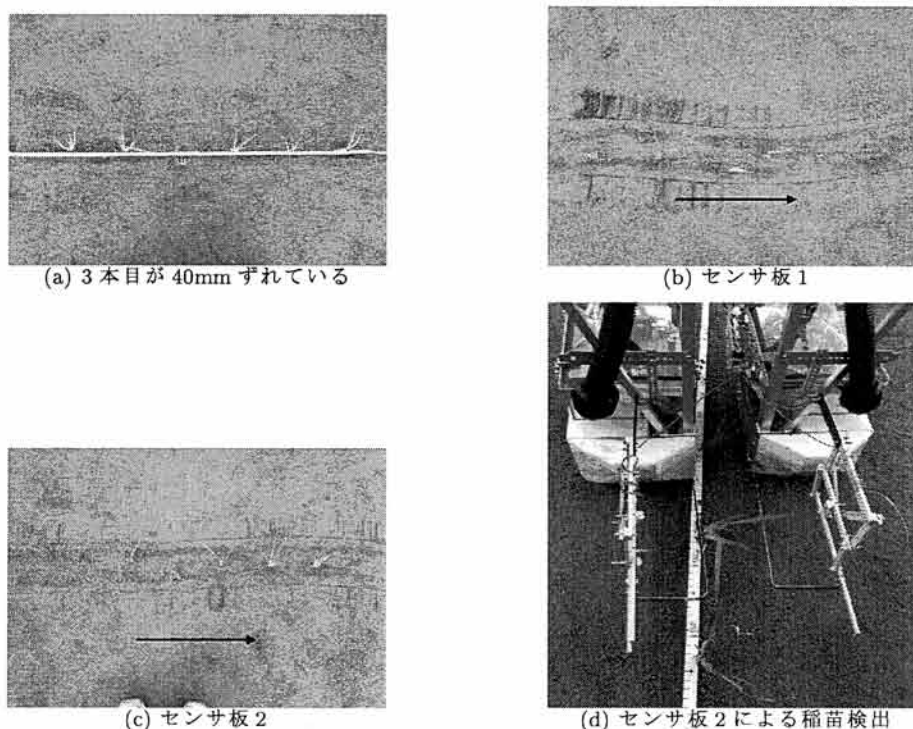


図9 稲苗の3本目が40mmずれた場合

5. 未除草エリア推測実験

<5.1> 実験システム 除草ロボットの位置情報を取得するためのGPSは、できるだけ誤差の少ない精度の良いものを用いることが理想である。しかし、精度の良いGPSは大変高価であり、また、逆に安価なものであると精度が悪いため誤差を多く含んでしまう。そこで、本研究ではGPSによる位置情報の取得の代替として、動画が撮影できるWebカメラを用いて撮影画像から位置情報を取得する。

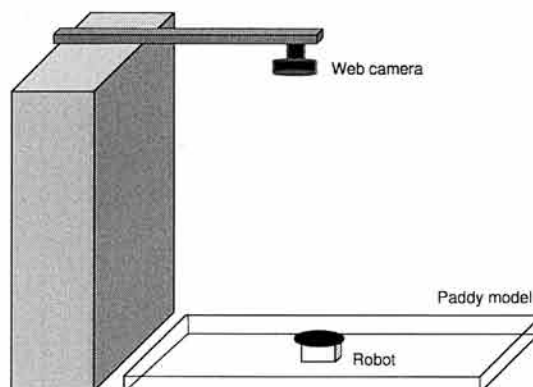


図10 未除草エリア推測実験システム

図10に、本研究で除草ロボットの位置情報取得のため提案するWebカメラを用いた除草ロボットシステム図を示す。使用するWebカメラは、屋内の限られた範囲で位置情報を正確に取得できるように動画が撮影可能なWebカメラを用いる。水田モデルとなる2m四方の白色の枠内に、H8マイコンを搭載した小型のロボットを放つ。このロボットにはC言語によるプログラムが実装されており、枠内を自由に走行することができる。このロボットは、位置情報取得のための画像処理を簡易にするために全体を黒色の紙で覆っている。

水田モデルの真上 2m30cm の高さに Web カメラを固定し、水田内を走行する除草ロボットの様子を 10 分間録画する。その後、動画データから 1 秒間隔で静止画像を取得し、二値化処理などの画像処理を行うことで除草ロボットの中心座標 (位置情報) を取得する。このようにして、GPS の代替として Web カメラを用いることで除草ロボットの位置情報を取得し、これらの位置情報により除草ロボットの移動軌跡取得と未除草エリアの推測を行う。

<5.2> 推測アルゴリズム 未除草エリアを推測するためには、除草エリアである水田の広さや形状の情報が必要となる。除草ロボットが実際に水田で除草を行う際には、予めコンピュータに水田の広さや形状の情報を入力しておく。そこで本研究では、まず水田の形状が四角形であることを前提とし、ロボットの移動軌跡より未除草エリアを推測する。ロボットの左右の幅は約 15cm であることから、この実験では、移動軌跡の左右 15cm を除草できた範囲と考えることができる。

ある時刻 $t[s]$ までに取得できた移動軌跡より、横方向 (x 軸) の最小座標 x_{min} と最大座標 x_{max} 、縦方向 (y 軸) の最小座標 y_{min} と最大座標 y_{max} を求める。これらの座標の組み合わせより得られる 4 点: $A(x_{min}, y_{min})$, $B(x_{min}, y_{max})$, $C(x_{max}, y_{min})$, $D(x_{max}, y_{max})$ を頂点とする四角形を、時刻 $t[s]$ までの最大移動エリアと考えることができる。そして、最大移動エリアとこれまでの除草ロボットの移動軌跡を比較することで、未除草エリアを推測できると考えられる。

<5.3> 推測実験結果 図 10 に示した実験環境下において、水田モデルとなる 2m 四方の枠内にロボットを放ち、10 分間の動画を撮影した。そして、画像処理を行った 1 秒間隔 (600 枚) の二値化画像よりロボットの移動軌跡を取得した。

図 11(a)~(d) に、取得した移動軌跡から水田の広さと未除草エリアを推測したものを示す。実験結果より、時間によってロボットの移動軌跡が拡大し、それに伴って最大移動エリアも拡大していくことを確認できた。また、移動軌跡によって枠の大きさを捉えた後は、時間が経つにつれて未除草エリアが縮小していくことも確認できた。このように、位置座標によって移動軌跡から未除草エリアを推測する方法は、原理的に言えば、GPS においても同じ方法を用いることができると考えられる。よって、水田の広さや形状の情報が予めわかっているならば、GPS によって未除草エリアを推測することができると考えられる。ただし、GPS を用いる際の課題としては、誤差によって正確な位置情報が取得できないことが考えられる。そこで、今後は GPS の誤差の補正方法を検討する必要がある。

6. まとめ

本研究では除草剤に代わる新たな除草手段として、水田用除草ロボットの開発を行った。提案する除草ロボットに必要な基本技術の検討として、稲苗を検出するセンシング機構の開発、および除草ロボットの移動軌跡の取得と未除草エリア推測アルゴリズムの開発を本研究の目的とした。

稲苗を検出するセンシング機構では、これまで問題点であった静電タッチセンサの特性 (センサ板の近くにある金属・水の影響を受ける) をケンプの平行機構とフロートを組み合わせることで解決することができた。また、稲苗に接触させるセンサ板として 2 種類の形状のものを用いて実験を行った結果、センサ板 2 を用いることにより稲苗をまたいで走行できることを確認した。

また、除草ロボットの移動軌跡取得と未除草エリア推測アルゴリズムでは、室内での実験に限定し、GPS の代替として除草ロボットの位置情報を室内天井に取り付けたカメラにより取得した。取得した位置情報を可視化するとことで、未除草エリアを推測するアルゴリズム開発の基礎研究が行えた。

今後の課題として、開発したセンシング機構を用いて水田で走行実験を行うことと、さらに GPS を用いて屋外で実験を行い、走行するロボットの移動軌跡を GPS によってリアルタイムの位置情報を取得し、そこから未除草エリアを推測できるシステムを考えていく必要がある。GPS を用いることに関しては、多くの誤差が生じることが予想されるため補正方法を含め検討し、除草ロボットを実用化するためのシステムを開発していきたいと考えている。

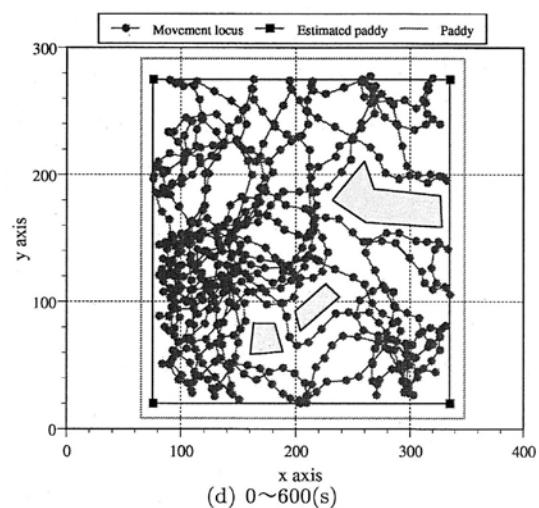
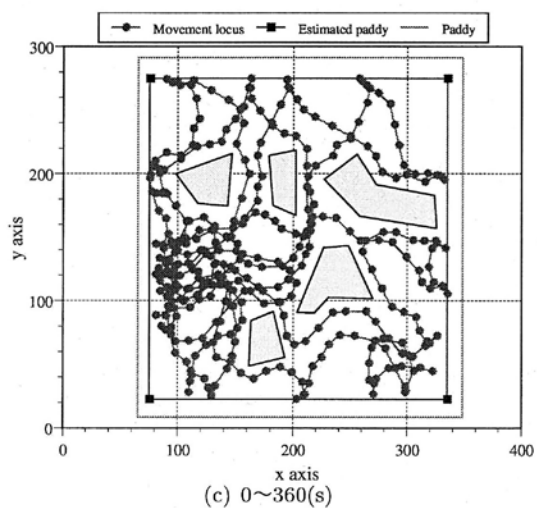
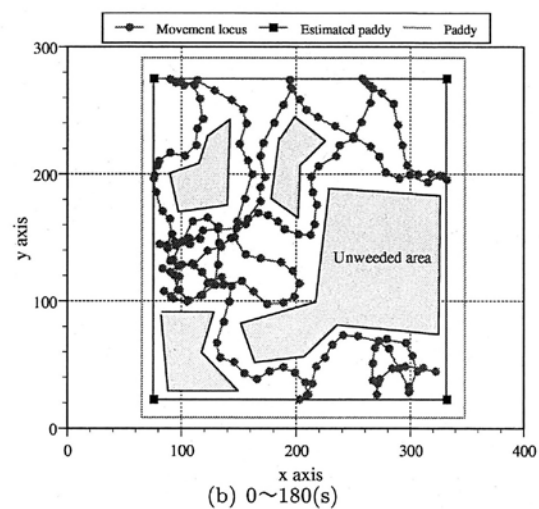
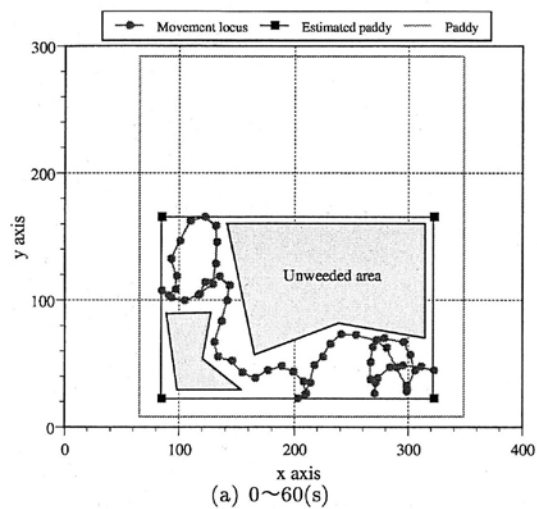


図 11 ロボットの移動軌跡と未除草エリアの推測結果

文 献

- (1) 光井輝彰, 田畑克彦, 平湯秀和, 田中等幸, 稲葉昭夫:「水田用小型除草ロボット(アイガモロボット)の開発—自律走行ロボットの開発—」, 岐阜県情報技術研究所研究報告, No.11, pp.45-48, 2010
- (2) 石井雄也, 井上浩行, 曾利仁, 安藤泰宏, 八田浩之, 生駒徹志:「除草ロボットのための静電タッチセンサを用いた稲苗検出について」, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'11 講演論文集, 1P1-B01, 2011

未利用ヒノキ間伐材から高付加価値の整腸オリゴ糖の効率的な調製法の開発

岡山県農林水産総合センター生物科学研究所

熊谷 祐也

1. はじめに

我が国は世界でも有数の森林大国である。森林は木材の供給のみならず、水源の確保、山地災害の防止等の様々な役割を果たしており、我々の生活に大きく関与しているものである。日本の国土の約3分の2は森林で覆われており、そのうち約4割がスギやヒノキなどの人工林である。これらの人工林は間伐等の施業を必要としているが、採算性の問題などにより十分な間伐等が行われていないこともある。このような状況は、森林の有する多面的な機能の損失につながることから、森林施業を適切に実施して健全な森林の整備や保全を図る必要がある¹⁾。

岡山県北部は、ヒノキなどの高級木材を有する地域であるが、大幅な材木価格の低下による間伐材の放置、それに伴う林地の荒廃が生じている。それを解決するためには、間伐材の高付加価値化による新たな利用法の開発が不可欠である。

木質バイオマスは主にセルロース、ヘミセルロース及びリグニンの3つの成分から構成される。セルロースはグルコースが β -1,4-結合で連なる多糖であり、ヘミセルロースはキシロースやアラビノースから成るアラビノキシラン又はマンノースやガラクトースから成るガラクトマンナンなどで構成される多糖である、最後にリグニンは高分子のフェノール性化合物から構成される。これらは複雑な複合体を形成することにより難分解性となり、酵素による分解を抑制している。ヒノキなどの双子葉類のヘミセルロース画分はマンノースを主とする多糖により構成されており、それは乾燥重量の2割~3割に相当する。木質バイオマスの利用方法として、セルロースは酵素などでグルコースへと分解されて発酵の原料となり、バイオエタノールとしての利用法が盛んに研究されている。また、リグニンは香料や接着剤として利用されている。一方、ヘミセルロースは有効な利用法が見出されておらず、セルロースと同様に単糖にまで分解されてバイオエタノールの原料として利用されている。しかしながら、これらのヘミセルロースを構成する糖質は様々な生理機能が報告されている。例えば、マンノース由来のオリゴ糖はニワトリなどに摂餌することで、栄養吸収の向上やサルモネラ菌に対する抵抗性を上げる作用といった有意な効果が報告されている²⁾。加えて、これらの抗菌作用は養鶏業からの需要も大きい。そのため、未利用バイオマスからこのような機能性を有するオリゴ糖の生産は、間伐材の新たな利用法の開発につながることを期待される。

これまでに我々はヒノキ・スラリーを原料として酵素分解によりヒノキ由来マンノースオリゴ糖の調製が可能であることを示した³⁾。予備実験的に岡山県農林水産総合センター畜産研究所にてニワトリのヒナを対象としたオリゴ糖の機能性について検討した。それによ

れば、オリゴ糖の給与によりヒナの飼料要求率の改善が推測される効果が見られた⁴⁾。このことからヒノキオリゴ糖は機能性を有することが期待され、その利用が期待されたが、現在の方法で得られるオリゴ糖の収率は全糖質の約 2 割程であり、残りは未分解のままであった。そのため、これらの収量を増加させる必要がある。オリゴ糖の低収量の原因として酵素反応を阻害する糖鎖へのエステル結合、またリグニン、タンパク質やペプチド等の混在や、それらを分解する酵素が酵素カクテル中に含まれていない可能性が考えられた。これらの物質を除去・分解することで酵素反応の促進、さらには収量の増加が期待される。本研究では、それらに特異的な酵素を用いて収量への影響を評価するのとともに、ヒノキオリゴ糖の新たな利用法を検討した。

2. 実験材料及び方法

ヒノキ・バイオマスは物理的に破砕してスラリー状のものを（株）モリマシナリーより頂いた。バイオマス中の全糖量、還元糖量及びグルコース量はフェノール硫酸法、3,5-dinitrosalicylic acid 法 (DNS)、及び CII テストワコー (Wako) の比色定量法により測定した。セルラーゼ SS はナガセバイオケムテックスより頂いた。添加酵素としてリパーゼ、ペクチナーゼ (Sigma-Aldrich)、マンナーゼ (Amano)、アセチルキシランエステラーゼ、ペプチダーゼ及びプロテアーゼ (ナガセバイオケムテックス) を用いた。乳酸菌 *Bifidobacterium longum* 及び *Lactobacillus gasseri* は岡山大学大学院医歯薬学総合研究科の伊東秀之先生より分譲して頂いた。酢酸及び乳酸の産生量は Acetic acid 及び Lactic acid 測定キット (Megazyme) により測定した。ブローラーへのオリゴ糖の評価は岡山県農林水産総合センター畜産研究所にて行った。また、オリゴ糖の機能性の評価は（株）免疫分析センターにて行った。

3. 結果及び考察

3. 1. 酵素添加がバイオマス分解率へ及ぼす影響

まず、酵素添加によるヒノキオリゴ糖の収量が変化するかについて検討した。ヒノキ・スラリーの除リグニンは 0.25 M $\text{Ca}(\text{OH})_2$ による希アルカリ処理を室温で 3 時間インキュベートすることにより行った。その後、ヒノキ・スラリーの pH は HCl で 5.0 に調整し、このサンプルは酵素反応用の基質として用いた。希アルカリ処理したスラリーは 0.25% (v/v) のセルラーゼ SS と 0.5% (v/v) 各添加酵素 (リパーゼ (Lip)、アセチルキシランエステラーゼ (AXE)、マンナーゼ (Man)、ウミザイム (Uma)、デナチーム (Dena)、及びペクチナーゼ (Pec)) で 50°C、24 時間反応させた。反応後、遠心分離により得られた上清中の全糖量、還元糖量及びグルコース量を測定した (図 1)。その結果、デナチーム及びペクチナーゼを同時添加したもので大きく糖の生産量の減少が見られた。これはデナチームの主成分であるプロテアーゼがセルラーゼ SS 中の糖質分解酵素を分解したためと考えられた。また、ペクチナーゼではグルコースの生成量が低いことからペクチナーゼ試薬中にグルコシダーゼ活

性を阻害する何らかの物質が含まれていることが推測された。その他の添加酵素においては顕著なオリゴ糖生成量の上昇は確認できなかった。

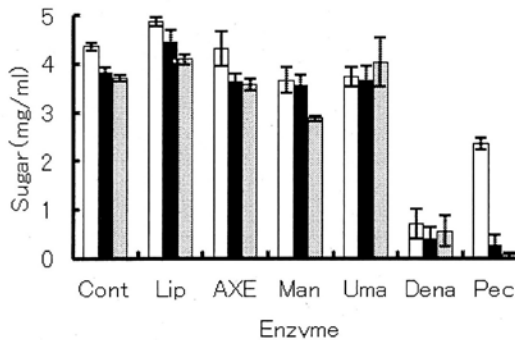


図 1. 同時添加によるヒノキ・スラリーの分解。
白バーは全糖量、黒バーは還元糖量、及び灰色バーはグルコース量を示している。コントロールはセルラーゼ SS で分解した値を示した。SD は n=3 で求めた。

同時添加では作用 pH 及び作用温度がセルラーゼ SS と異なるものがあるため、各添加酵素で前処理を行い、その後セルラーゼ SS 処理によるヒノキオリゴ糖への効果を検討した。0.05%及び 0.5% (v/v) の添加酵素で各酵素の至適 pH 及び温度にて 24 h インキュベート後、90℃で 10 分間失活処理をした。その後、0.25% (v/v) セルラーゼ SS 処理によって上清中に得られた糖量を測定した (図 2)。それによれば、同時添加では分解がされなかったデナチームはコントロールと同様の分解を示した。ペクチナーゼ添加での分解は同時添加よりもグルコース生成量の上昇が確認されたが、全糖量は同時添加のものとはほとんど違いがなかった。また、その他の添加酵素においても顕著なオリゴ糖量の増加は確認できなかった。これらの反応により生じた生成物の組成を LC-MS で分析したが、いずれも違いが見られなかった。

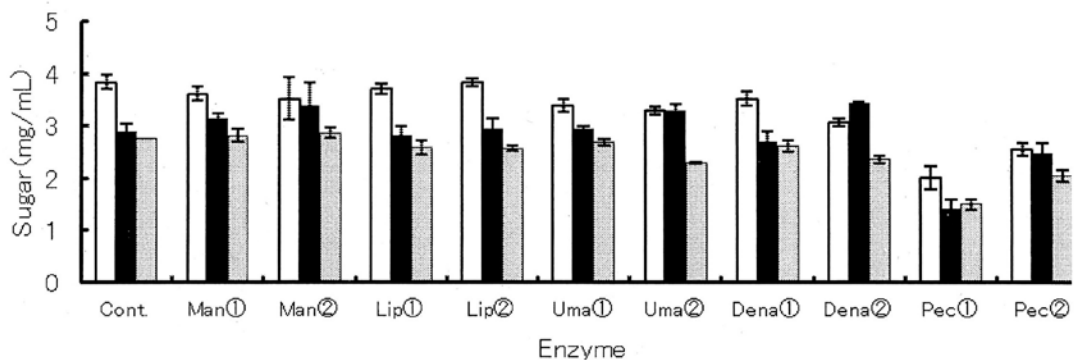


図 2. 添加酵素による前処理後を行い、セルラーゼ SS によるヒノキ・スラリーの分解
各①及び②はそれぞれ 0.05%及び 0.5%での前処理を示す。前処理後、0.25%セルラーゼ SS により遊離した糖量を測定した。白バーは全糖量、黒バーは還元糖量及び灰色バーはグルコース量を示している。SD は n=3 で求めた。

今回添加した酵素は全て木質中の成分を分解する酵素である。その中でもヒノキ・スラリーはマンノースを約 20%含んでおり、加えてセルラーゼ SS は低いマンナーゼ活性しか検出されないため、マンナーゼの添加はマンナンオリゴ糖の生成量の増加が期待できるものであった³⁾。酵素添加の効果は稲ワラ等のバイオマスの分解では大きく上昇することが確認されている⁵⁾。しかしながら、これらの添加酵素はオリゴ糖量の増加を促進することが

できなかった。今回用いた添加酵素はリグニンを分解する酵素は無かった。本研究での除リグニンは低濃度のアルカリにより行ったため、リグニン分解酵素の検討を行わなかった。リグニンの除去は高濃度のアルカリ中で熱処理を施すことで促進され、それにより酵素分解率の上昇が報告されている。しかしながら、このような方法は実際の利用においてコストやアルカリ処理・中和等の問題のため現実的な方法ではない。本研究は、実用性を考慮して穏やかな条件で除リグニン処理を行った。そのため、残存するリグニンが分解を抑制したと考えられた。以前の研究においてアルカリの濃度を 10 倍にして除リグニン処理を行ったが、得られるオリゴ糖の量はほとんど変わらなかった³⁾。そのため、温和な条件でリグニンを除去するためにはリグニン分解酵素等の添加が有効でないかと推測された。

3. 2. ヒノキオリゴ糖の機能性の評価

次にヒノキオリゴ糖の有用性を明らかにするために、その機能性について検討した。腸内細菌である *Bifidobacterium longum* 及び *Lactobacillus gasseri* への増殖効果及びそれらが産生する酢酸及び乳酸の産生能を評価した。また、ヒノキオリゴ糖の抗アレルギー及び抗炎症性の評価は（株）免疫分析センターにて行った。

まず、腸内細菌への増殖効果を検討した。*B. longum* 及び *L. gasseri* は MRS 培地により嫌氣的に増殖させた後、GAM 培地に 1% 添加して 12 時間後の増殖菌数を測定することにより増殖効果を検討した（図 3）。しかしながら、ヒノキオリゴ糖は腸内細菌の増殖に対して有意な差を与えなかった。

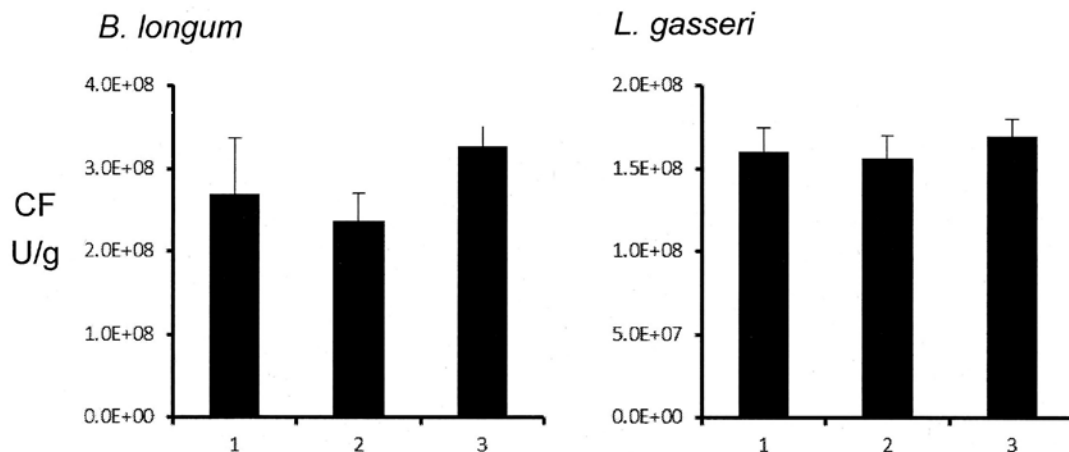


図 3. ヒノキオリゴ糖の乳酸菌の増殖効果の評価
添加後 12 時間後の増殖したコロニー数を数えることにより求めた。1, コントロール（水）；
2, グルコース（1%）；and 3, ヒノキオリゴ糖（1%）。SD は n=3 で求めた。

次に、ヒノキオリゴ糖の酢酸及び乳酸の産生量に与える効果を検討した。これらの有機酸の増加は腸内環境を酸性に保ち、善玉菌の増殖を促進する効果が期待される。これらの産生量の評価は GAM 培地に 1% のオリゴ糖及び 1% の腸内細菌を添加後、3, 6, 9, 及び 24 時間後の培地中に含まれる有機酸量を測定することにより求めた（図 4）。比較として、糖質

無添加、キシロース (Xyl)、及びグルコース (Glu) を用いた。それによれば、*L. gasseri* は *B. longum* よりも多くの酢酸及び乳酸を産生することが分かった。また、*L. gasseri* は培養の初期段階から乳酸を産生し、その後、酢酸を産生していることが分かった。しかしながら、これらにはヒノキオリゴ糖添加による顕著な産生量の差が見られなかった。*B. longum* はヒノキオリゴ糖の添加により 9 時間後及び 24 時間後の酢酸の産生量が増加した。*B. longum* の酢酸産生量は培養初期からほとんど変化が見られなかったが、乳酸の産生量は 24 時間後に大きく増加した。しかし、ヒノキオリゴ糖の添加でも *B. longum* の乳酸の産生量はほとんど変わらなかった。このことから、ヒノキオリゴ糖は腸内細菌の酢酸及び乳酸の産生量の増加にわずかに関与しているが、顕著な差は確認できなかった。

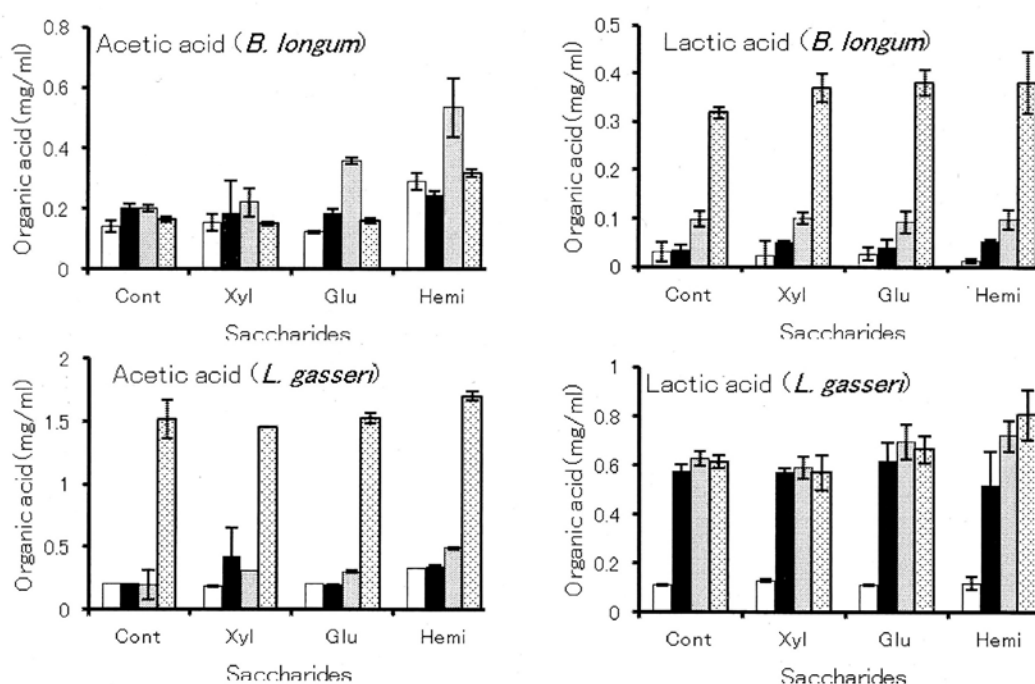


図 4. ヒノキオリゴ糖による腸内細菌の酢酸及び乳酸の産生量の評価。

GAM 培地に糖質添加後、経時的に産生した酢酸及び乳酸の量を測定した。白バー、黒バー、灰色バー、及び斑点バーはそれぞれ培養 3, 6, 9, 及び 24 時間後の値を示した。SD は $n=3$ で求めた。

最後に、ヒノキオリゴ糖の免疫機能を評価するために、ヒト由来細胞を用いたロイコトリエン遊離阻害作用及び細胞性免疫を亢進させる Th1 型サイトカイン (IFN- γ)、液性免疫を亢進させる Th2 型サイトカイン (IL-4) 産生への影響を検討した。

まず、ロイコトリエン遊離阻害作用は、DMSO 処理により分化させた HL-60 細胞にヒノキオリゴ糖を添加し 37 °C、15 分間プレインキュベート後、カルシウムイオノフォア (1 μ M A23187) を添加して 37 °C、15 分間インキュベートし、ロイコトリエンの産生を誘導し、上清中のロイコトリエン量を ELISA 法により測定した。本試験では、LTC₄, LTD₄, LTE₄ (システイニルロイコトリエン, CysLT) を測定する CAST® (cellular antigen stimulation test) -2000 ELISA (BÜHLMANN) を使用した。ロイコトリエンの遊離に対するヒノキオリゴ糖の影響を 0.001~100 μ g/ml で検討した。その結果、0.1 μ g/ml ヒノキオリゴ糖で 34%

の阻害が認められた (図 5)。

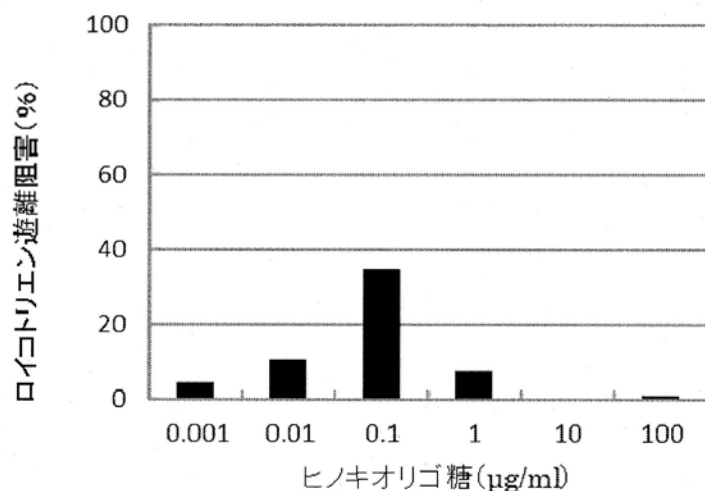


図 5. ヒノキオリゴ糖のロイコトリエン遊離阻害作用

次に、ヒト末梢血より単核球画分 (PBMC) を分離し、PBMC (1.0×10^6 cells/ml) に PHA-P $10 \mu\text{g/ml}$ およびヒノキオリゴ糖を添加し、 37°C 、5% CO_2 下で 24 時間培養し、上清中の IFN- γ および IL-4 を ELISA 法により測定した。細胞性免疫を亢進させる Th1 型サイトカインとして IFN- γ 、液性免疫を亢進させる Th2 型サイトカインとして IL-4 を測定し、IFN- γ と IL-4 の比を Th1/Th2 バランスとして算出した。サイトカイン測定結果は表 1 に示した。サイトカイン産生量の増減はコントロールを 100% とした相対値で示した (表 2)。その結果、IFN- γ 産生量は増加し、IL-4 産生量は減少し、IFN- γ と IL-4 の比 (Th1/Th2) では増加傾向が認められた。

表 1 IFN- γ 、IL-4 産生量

		IFN- γ (pg/ml)	IL-4 (pg/ml)	Th1/Th2
ヒノキ分解物 ($\mu\text{g/ml}$)	0	336.8 $\pm$ 260.0	79.5 $\pm$ 78.2	4.8 $\pm$ 3.1
	1	323.7 $\pm$ 253.9	71.5 $\pm$ 77.7	5.8 $\pm$ 3.3
	100	543.8 $\pm$ 474.9	39.6 $\pm$ 34.0	14.5 $\pm$ 3.2

n=4, mean $\pm$ SD

表 2 IFN- γ 、IL-4 の産生量 (% of control)

		IFN- γ	IL-4
ヒノキ分解物 ($\mu\text{g/ml}$)	0	100.0 $\pm$ 0.0	100.0 $\pm$ 0.0
	1	101.2 $\pm$ 15.8	81.0 $\pm$ 13.0
	100	193.5 $\pm$ 96.0	52.0 $\pm$ 12.8

n=4, mean $\pm$ SD

これらの結果から、炎症性メディエーターであるロイコトリエンの遊離阻害作用は約 30% であり、また、サイトカイン産生への影響については、IFN- γ 産生の増加及び IL-4 産生の

減少傾向がみられ、IFN- γ と IL-4 の比 (Th1/Th2 バランス) は増加傾向であった。このことから、以下の作用のある可能性が示唆された。

- ◇IFN- γ 産生の増加 → 免疫賦活
- ◇IL-4 産生の減少 → 抗炎症
- ◇Th1/Th2 の増大 → 抗アレルギー

4. まとめ

本報告では、岡山県の主要な高級木材であるヒノキ間伐材の有効利用を目的として、ヒノキより作出されるオリゴ糖の高生産方法の開発とその利用法について検討した。これまでにヒノキ・スラリーより約 2 割の収率でオリゴ糖が回収可能であった。そこに異なる酵素を添加することで収率の向上を目指したが、今回用いた酵素はどれも収率の上昇につながらなかった。これらの酵素にはリグニン分解酵素が含まれていなかった。脱リグニン処理は希アルカリで行っていたため、これに加えてリグニン分解酵素による処理が収量の上昇につながるのではないかと考えられた。また、ヒノキオリゴ糖の機能性では、腸内細菌の増殖の向上にはつながらなかったが、*B. longum*において酢酸の産生量の上昇が見られた。加えて、ヒノキオリゴ糖は免疫賦活、抗炎症、及び抗アレルギー作用のある可能性が示唆され、将来的な可能性として化粧品（敏感肌用）や機能性食品（免疫、アレルギー関連）素材としての可能性が期待された。

5. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大なるご支援を頂きました財団法人八雲環境科学振興財団に深く感謝申し上げます。本助成により、研究内容の一部は *Front. Chem. Sci. Eng.* 2012, 6: 224-231 に掲載されました。

6. 参考文献

- 1) 林野庁：平成 22 年度森林・林業白書
- 2) Ibuki M, Kovacs-Nolan J, Fukui K, Kanatanni H, Mine Y. Beta-1, 4-mannobiose enhances *Salmonella*-killing activity and activates innate immune responses in chicken macrophages. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 139 (2011) 289-295.
- 3) Kumagai Y, Usuki H, Yamamoto Y, Yamasato A, Mukaihara T, Hatanaka T. Preparation of hemicellulolitic oligosaccharides from *Chamaecyparis obtuse* (Hinoki) slurry using commercial enzymes. *Front. Chem. Sci. Eng.* 6 (2012) 224-231.
- 4) 岡山県農林水産総合センター：平成 23 年度畜産研究所研究報告書
- 5) Binod P, Sindhu R, Singhania RR, Vikram S, Devi L, Nagalakshmi S, Kurien N, Sukumaran RK, Pandey A. Bioethanol production from rice straw: An overview. *Bioresour. Technol.* 101 (2010) 4767-4774.

乾燥程度の異なるモンゴル草原生態系において放牧が表層土壌の空間的不均質性に与える影響

近藤順治・廣部 宗（岡山大学大学院 環境生命科学研究科）

はじめに

景観規模より小さな空間規模において、草原生態系における土壌養分の空間分布は、生態系過程に強く影響を及ぼす(e.g., Augustine and Frank 2001)。それゆえ、窒素などの植物成長を制限する養分が示す空間的不均質性は注目され、多くの研究によりその決定要因が明らかになってきた(e.g., Augustine and Frank, 2001, Schlesinger et al. 1996)。

例えば、気候の違いは植生タイプの変化を通して土壌養分の空間的不均質性に影響を及ぼす(e.g., Schlesinger et al. 1996)。自然生態系では土壌養分の主な供給源は植物リターであるため、比較的湿潤な地域の密で一様な草本植生下では土壌養分の空間的不均質性は小さいが、より乾燥した地域では植生は不連続に分布することが多く、養分は植生パッチ下の土壌に集中し易い(e.g., Garner and Steinberger 1989, Schlesinger et al. 1996)。

また、大型草食獣による排泄や採食（グレージング）も、土壌養分の空間的不均質性を変化させる(e.g., Augustine and Frank 2001, Day and Detling 1990)。例えば、大型草食獣の排泄物には高濃度の養分が含まれているため、排泄場所は高い土壌養分濃度を示す(e.g., Augustine and Frank 2001, Day and Detling 1990)。また、大型草食獣は特定の場所を繰り返し食べる習性があるため(e.g., Adler et al. 2001)、リターの供給量に空間な偏りが生じ、その結果として土壌養分の空間的不均質性も変化する。このように、大型草食獣による排泄や採食が土壌養分の空間的不均質性に及ぼす影響は植生タイプや大型草食獣の活動によって異なると考えられる。

モンゴル国では南北での乾燥の傾度に沿って植生構造も変化し、植生は比較的湿潤な北部の森林ステップ地域では密で一様に分布しているが、乾燥の強い中部のステップ地域では不連続なパッチ状に、より乾燥の強い南部のゴビステップ地域では乏しく疎らとなる。さらに、モンゴルの草原ではほぼ全域で放牧が行われているため、大型草食獣による土壌養分の空間的不均質性の改変が生じていると考えられる。そこで本研究ではモンゴルの乾燥程度の異なる草原生態系において、放牧が土壌養分の空間的不均質性に与える影響を明らかにすることを目的とした。なお、多くの生態系で窒素は植物の成長を制限する元素であり、窒素形態変化速度は養分循環速度の指標となるとともに、生物的な改変に対する感受性が高いため、本研究では窒素形態変化速度の空間的不均質性に注目した。

方法

乾燥程度の異なる草原生態系として、モンゴル国北部の森林ステップ、中部のステップ、

南部のゴビステップに調査地を設け、各調査地の柵内外に調査区を設けた。各調査区において 96 地点から土壌コアを用いて鉱質土壌表層(0-5cm)を採取した。採取した土壌は風乾状態まで乾燥させた後に、2mm の篩で篩別し供試試料とした。窒素形態変化速度は室内培養前後の無機態窒素濃度の差より求め、培養は圃場用水量の 60%の水分条件で行った。

統計解析

みかけの窒素形態変化速度の空間的不均質性を定量化するために、空間統計学的手法であるセミバリオグラムを用いた。セミバリアンスの算出およびセミバリオグラムへのモデルの当てはめには GS+ を用いた (Robertson 1998)。各特定の地点間距離に対するセミバリアンス $\gamma(h)$ は以下の計算により求めた。

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

ここで、 $N(h)$ は距離 h 離れた地点のペア数であり、 $z(x_i)$ は地点 x_i での変数 z の値、 $z(x_i+h)$ は地点 x_i から h 離れた地点での変数の値である。

得られた窒素形態変化速度のセミバリアンスに対するセミバリオグラムの当てはめは、まず球形モデルを当てはめ、球形モデルが当てはまらなかった場合は線形モデルを当てはめた (Schlesinger et al. 1996)。球形モデルおよび線形モデルのどちらも当てはまらなかった場合、土壌特性の空間パターンは距離に従った規則性を持たない“ランダム”として扱った。本研究では土壌採取地点間隔の最小距離 0.2m から 2m まで、0.2m 間隔の 10 距離階級で解析した。各距離階級のペア数の最小と最大はそれぞれ 15 (平均距離=1.73m)および 48 (平均距離=0.2m)であった。セミバリオグラムから得られたパラメーターは、各窒素形態変化速度の空間依存性の程度および空間的自己相関の規模を評価するために用いた (Robertson et al. 1988)。ナゲット(C_0)は $h=0$ の時の $\gamma(h)$ の値であり、空間依存性のない変動を表す (Isaaks and Srivastava 1989)。レンジは空間的自己相関の規模を示し、空間依存性の限界を示す。推定された全サンプル変動(シル, $C+C_0$)に対する構造的変動(C)の割合 ($C/(C+C_0)$)は空間的依存性の程度を評価するために算出した。

結果

セミバリオグラムによる解析の結果、森林ステップでは柵外における硝化速度のみが球形モデルに当てはまり ($P < 0.05$)、レンジは 1.52 m であった (表 1)。 $C/(C+C_0)$ は 0.60 であり、中程度の空間依存性を示した (表 1)。窒素無機化速度および柵内での硝化速度は、球形モデルおよび線形モデルのどちらも当てはまらず ($P > 0.05$)、観測された空間的なばらつきはランダムと見なした (表 1)。

ステップでは、柵内の窒素無機化速度および硝化速度はどちらも球形モデルが当てはまり ($P < 0.05$)、それぞれのレンジは 1.37m および 1.49m であり、 $C/(C+C_0)$ は 0.69 および 0.73 と中程度の空間依存性を示した (表 1)。柵外の窒素形態変化速度は球形および線形モ

デルのどちらも当てはまらず($P > 0.05$)、観測された空間的なばらつきはランダムと見なした (表 1)。また、柵外のセミバリアンスの値は柵内に比べ各距離階級において非常に小さかった (表 1)。

ゴビステップでは、柵の内外どちらも窒素形態変化速度は球形および線形モデルのどちらも当てはまらず($P > 0.05$)、観測された空間的なばらつきはランダムと見なした (表 1)。また、柵外のセミバリアンスの値は柵内に比べ各距離階級において極めて小さかった (表 1)。

考察

乾燥地・半乾燥地において植物の成長制限となる土壌養分の空間分布は、土壌からの吸収やリター供給といった植物の活動に最も強く影響される(e.g., Garner and Steinberger 1989, Schlesinger et al. 1996)。そのため、植生タイプによって見られるパターンが異なり、例えば一様に分布する草本と不連続に分布する木本パッチでは異なる(Gross et al. 1995, Schlesinger et al. 1996)。本研究で見られた柵内プロットにおける調査地間の違いも、植生タイプの違いによるものと考えられた。すなわち、森林ステップにおいて、空間構造がみられない窒素形態変化速度の分布パターンは、調査地の密で一様な植生被覆を反映していると考えられた(表 1)。一方、不連続なパッチ状の植生被覆が見られる地域では、植生の直下には養分が集中するため(e.g., Garner and Steinberger 1989, Schlesinger et al. 1996)、ステップでは窒素形態変化速度はパッチを形成し、中程度の空間依存性を示したと考えられる (表 1)。ゴビステップでは、窒素形態変化速度には空間構造が見られず、セミバリアンスの値は他の2つの調査地と比べて非常に低い値であった (表 1)。このような比較的均質な空間分布パターンは、極めて乾燥した気候における疎らな植生被覆の結果生じたと考えられる。

一方、グレージングは多くの草原生態系において、土壌養分の空間分布を直接的 (排泄)、または間接的 (採食) に変化させ(e.g., Afzal and Adams 1992, Augustine and Frank 2001)、小さな規模での空間的不均質性の発達を促進あるいは抑制させる(Augustine and Frank 2001, Lin et al. 2010)。例えば、Augustine and Frank (2001)はアメリカ合衆国のイエローストーン国立公園において、大型有蹄類の植食者による尿の排泄によって、小さな空間規模 (4×4-m) での無機態窒素の空間的不均質性が増大したことを報告している。一方、中国の半乾燥地において、強度のグレージングが 2-m 程度の空間規模での有機態炭素や全窒素濃度を空間的に均質化させた例も報告されている(e.g., Lin et al. 2010)。

本研究では、グレージングを受ける前の気候に伴う植生タイプが異なると、グレージングにより窒素形態変化速度の空間的不均質性が示す変化も異なっていた (表 1)。森林ステップでは、全ての植生は同程度に被食を受けており、グレージングによる植生被覆率の変化は見られなかった (近藤, 観察)。このため、植生の変化を介したグレージングの間接的影響と比較して (Adler et al. 2001)、排泄などの直接的影響が相対的に重要と考えられた。家畜の排泄の影響は糞と尿で異なり、糞に含まれる窒素は大部分が有機態で存在するため、

糞の供給は主に糞の直下での窒素無機化速度に影響しやすい(Afzal and Adams 1992)。一方、尿に含まれる窒素は尿素として存在し、尿素は土壌へ供給された後速やかにアンモニアへと加水分解されるとともに、土壌中での拡散速度が速いため、比較的広い範囲で硝化速度に影響する(e.g., Haynes and Williams 1993)。調査期間に確認された家畜はほとんどがウシであり、ウシの糞塊の分布には規則性がないことから、窒素無機化速度には空間構造がみられなかったと考えられた。一方、ウシの尿パッチの直径は本研究で確認された硝化速度のパッチサイズと同程度である(Augustine and Frank 2001, Haynes and Williams 1993, Pleasants et al. 2007)。これらのことから、森林ステップでは窒素無機化速度の空間的不均質性には放牧による変化がないが、硝化速度の空間構造は尿の供給によって発達した可能性が示された。

ステップではグレージングによって植生パッチサイズは非常に小さく(<20 cm)、疎らになっており、放牧による植生構造の変化が確認された(近藤, 観察)。大型草食獣の採食や踏みつけによる植生の劣化は、植食者の訪問頻度および滞在時間を低下させ、結果として排泄物の供給量も減少する(Auerswald 2010)。さらに、調査期間に確認された家畜は主にヒツジとヤギであり、これらの糞はウシと比較して乾燥しサイズが小さく、より分散して散布されるため、土壌への影響は現れにくい。また、風の強い地域において、植生被覆のない場所では風食により養分を含む表層土壌が失われ(Scholes and Archer 1997)、風食された土壌粒子は植生により捕捉され堆積する(Burke et al. 1999)。これらのことから、ステップではグレージングによる植生パッチの消失に加え(Adler et al. 2001, Lin et al. 2010)、植生劣化後の排泄物供給量の減少や風食の増大などの二次的な効果も重なり、窒素形態変化速度の空間構造が消失するとともに、空間的な均質化が生じてたと考えられた(表 1)。

ゴビステップでは、グレージングによって元来乏しい植生は極めて低いレベルまで減少していた(近藤, 観察)。劣化した植生のために家畜の訪問頻度と、滞在時間が低下し、排泄の影響もみられなかったと考えられる。さらに、主な家畜はヒツジであるため、影響があったとしても顕著に現れなかったのかもしれない。これらのことからゴビステップでは放牧によって窒素形態変化速度の空間的な均質化が生じていたと考えられた。

このように、小さな空間規模での表層土壌の窒素形態変化速度の空間的不均質性は植生タイプによって変化するとともに、放牧により比較的湿潤なモンゴル北部では硝化速度の空間構造が発達するが、乾燥の強い中南部では消失するとともに空間的に均質化することが明らかになった。ただし、土壌特性の空間的不均質性は時間的に変化するとともに、より大きなスケールで空間的にも無作為に変化する(Auerswald et al. 2010, Augustine and Frank 2001)。また、リターや排泄物の量はグレージングの強度に依存するため、それらを踏まえた更なる研究が必要と考えられた。

引用文献

Adler PB, Raff DA, Lauenroth WK (2001) The effect of grazing on the spatial

- heterogeneity of vegetation. *Oecologia* 128, 465–479.
- Afzal M, Adams WA (1992) Heterogeneity of soil mineral nitrogen in pasture grazed by cattle. *Soil Science Society America Journal* 56, 1160-166.
- Auerswald K, Mayer F, Schnyder H (2010) Coupling of spatial and temporal pattern of cattle excreta patches on a low intensity pasture. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 88, 275-288.
- Augustine DJ, Frank DA (2001) Effect of migratory grazers on spatial heterogeneity of soil nitrogen properties in a grassland ecosystem. *Ecology* 82, 3149-3162.
- Augustine DJ, McNaughton SJ, Frank DA (2003) Feedbacks between soil nutrients and large herbivores in a managed savanna ecosystem. *Ecological Applications* 13, 1325-1337.
- Burke IC, Lauenroth WK, Riggle R, Brannen P, Madigan B, Beard S (1999) Spatial variability of soil properties in the shortgrass steppe: The relative importance of topography, grazing, microsite, and plant species in controlling spatial patterns. *Ecosystems* 2, 422-438.
- Day TA, Detling JK (1990) Grassland patch dynamics and herbivore grazing preference following urine deposition. *Ecology* 71, 180-188.
- Garner W, Steinberger Y (1989) A proposed mechanism for the formation of 'Fertile Islands' in the desert ecosystem. *Journal of Arid Environments* 16, 257-262.
- Gross KL, Pregitzer KS, Burton AJ (1995) Spatial variation in nitrogen availability in three successional plant communities. *Journal of Ecology* 83, 357-367.
- Haynes RJ, Williams PH (1993) Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy* 49, 119-199.
- Isaaks EH, Srivastava RM (1989) Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York. 561pp.
- Lin Y, Hong M, Han GD, Zhao ML, Bai YF, Chang SX (2010) Grazing intensity affected spatial patterns of vegetation and soil fertility in a desert steppe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138, 282-292.
- Pleasants AB, Shorten PR, Wake GC (2007) The distribution of urine deposited on a pasture from grazing animals. *Journal of Agricultural Science* 145, 81–86.
- Robertson, G.P., Huston, M.A., Evans, F.C. 1988. Spatial variability in a successional plant community: patterns of nitrogen availability. *Ecology* 69, 1517-1524.
- Robertson GP (1998) GS+: Geostatistics for the environmental sciences. Gamma Design Software, Plainwell, MI, USA. 152p.
- Schlesinger WH, Raikes JA, Hartley AE, Cross AF (1996) On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology* 77, 364-374.

Scholes RJ, Archer SR (1997) Tree-grass interactions in Savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28, 517-544.

表 1. みかけの窒素形態変化速度に対するセミバリオグラムのモデル選択および各パラメーターの詳細

土壌特性	調査地	調査区	モデル	r^2	ナゲット (C_0)	シル ($C+C_0$)	レンジ (m)	$C/(C+C_0)$
みかけの窒素無機化速度 ($\text{mg}\cdot\text{N}\cdot\text{kg}\cdot\text{soil}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$)	森林ステップ	柵内	球形	0.15 ^{ns}	-	-	-	-
			線形	0.21 ^{ns}	-	-	-	-
	ステップ	柵外	球形	0.06 ^{ns}	-	-	-	-
			線形	0.00 ^{ns}	-	-	-	-
		柵内	球形	0.33 [*]	1.77	5.63	1.37	0.69
		柵外	球形	0.28 ^{ns}	-	-	-	-
	ゴビステップ	柵内	線形	0.00 ^{ns}	-	-	-	-
			球形	0.07 ^{ns}	-	-	-	-
		柵外	線形	0.00 ^{ns}	-	-	-	-
			球形	0.01 ^{ns}	-	-	-	-
		柵外	線形	0.00 ^{ns}	-	-	-	-
			球形	0.00 ^{ns}	-	-	-	-
みかけの硝化速度 ($\text{mg}\cdot\text{N}\cdot\text{kg}\cdot\text{soil}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$)	森林ステップ	柵内	球形	0.36 ^{ns}	-	-	-	-
			線形	0.00 ^{ns}	-	-	-	-
	ステップ	柵外	球形	0.56 [*]	10.29	25.51	1.52	0.60
			線形	0.11 ^{ns}	-	-	-	-
		柵内	球形	0.60 ^{**}	2.03	7.43	1.49	0.73
		柵外	球形	0.00 ^{ns}	-	-	-	-
	ゴビステップ	柵内	線形	0.00 ^{ns}	-	-	-	-
			球形	0.07 ^{ns}	-	-	-	-
		柵外	線形	0.00 ^{ns}	-	-	-	-
			球形	0.01 ^{ns}	-	-	-	-
		柵外	線形	0.00 ^{ns}	-	-	-	-
			球形	0.00 ^{ns}	-	-	-	-

球形モデル : $h \leq \text{レンジ}$ の場合, $y(h)=C_0+C\{1.5\langle h/\text{レンジ}\rangle-0.5\langle h/\text{レンジ}\rangle^3\}$; $h > \text{レンジ}$ の場合, $y(h)=C_0+C$

岡山平野における過去数万年間の古環境変遷

鈴木茂之（岡山大学大学院自然科学研究科）

小網晴男（岡山県立岡山朝日高等学校）

1. はじめに

2010年度の岡山県立岡山朝日高等学校における SPP（サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト）の取り組みにおいて（代表・小網晴男）、沖積層のボーリング調査が行われた。堆積層は予想を大きく超える厚さであったため、ボーリング掘削を担当した株式会社エイト日本技術開発のご厚意で、42mに達する予定の倍以上のコアを得ることが出来た。本研究は財団法人八雲環境科学振興財団の援助を得て、地層の炭素同位体年代測定などの検討を行ったものである。年代測定はこの経費によって株式会社パレオ・ラボが行った。

一般的なボーリング調査では、工学的基礎地盤である洪積層に達した時点で掘削を終えるため、洪積層そのものの研究は十分行われてこなかった。本研究で得られた洪積層のデータは、更新世後期の堆積環境などを検討する貴重なものであると考えられる。



図1 ボーリング位置図

2. ボーリング位置および周辺の地形と地質

岡山平野中央部に標高 169mの操山など 150～100m程度の山からなる、花崗岩の小規模な山地が、沖積層分布域の中に島のように存在する。掘削はその山の西麓の小規模な扇状地上にある、岡山朝日高等学校校内（岡山市中区国富町 127）北部の倉庫東で行われた。掘削地点は 2.5m 盛土され、標高は 7 mである。この小扇状地は分水界までの距離 1.5km程度の谷の下流にあたり、

西に約 500mほど沖積平野を隔てて現在の旭川がある。(図 1)

操山のほとんどは、中粒で等粒状をなし、カリ長石がピンク色を呈している花崗岩からなる。外観は万成石に似ている。一部で、細粒等粒状で白色の外観をなすものから、細粒で斑晶状の結晶を伴う花崗岩がある。等粒状であるが微粒でベージュ色の花崗岩質な岩石であるアブライトが、厚さ数 10cm から 1m 程度の岩脈として、しばしば花崗岩に貫入している。護国神社の南斜面には安山岩の岩脈が認められた。

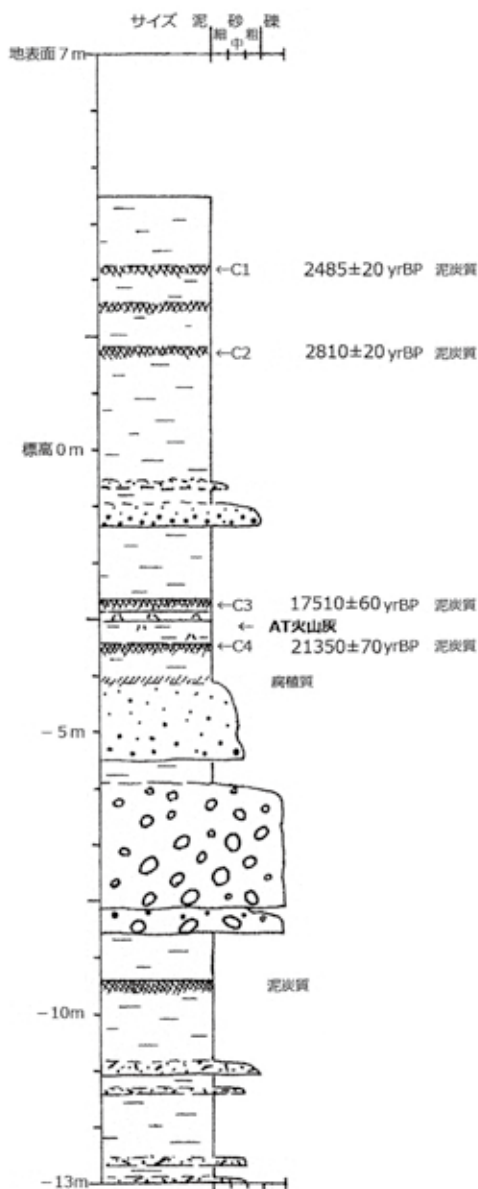


図 2 ポーリング柱状図 (標高 7 ~ -13m)

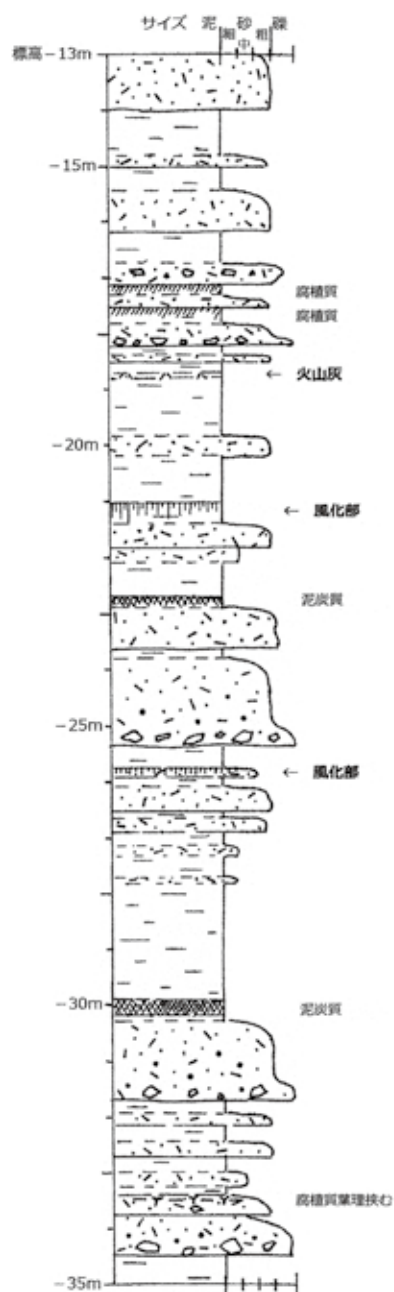


図 3 ポーリング柱状図 (-13 ~ -35m)

3. ボーリングで得られた堆積層

ボーリング掘削は地表から42mの深さまで、標高では-35mまで行われたが着岩しなかった。沖積層と厚い洪積層のコア試料が得られた。(図2, 3)

3.1. 洪積層: 標高-35m~-2.7m; 鈴木(2000)ではA層として詳しい検討はなされていないが、ここでは下位から支流性層ユニット、本流性層ユニット、泥炭質層ユニットに区分できる。泥炭質層ユニットは鈴木(2005)の洪積層最上部泥炭層に相当する。

支流性層ユニット; 標高-35m~-8.5m; 花崗岩由来の砂層と泥層および泥炭質層からなる。砂層と泥層はほぼ同じ割合である。砂層の厚さは10cmから1.5m程度である。ほとんどが塊状をなすが、-33.5mにおいて植物片を伴う葉理が認められる(図4)。砂粒は石英、長石および花崗岩片からなる。基質の泥は20%程度含まれると考えられ、砂層の淘汰はやや悪い。厚い層ほど粗粒になる傾向があり、厚さ数10cm以上のものは、粗粒砂からなり、単層の底に亜角礫を伴うことが多い。礫はアブライトのみからなる。泥層の厚さは10cmから2m程度である。一般に砂混じりであるが、砂粒がほとんど見られない単層もある。泥層には腐植質な部分を伴うものがある。厚さ10~20cm程度の泥炭層が認められる。-18.8mの泥層中には厚さ数cmの火山灰を含む層が認められた。砂層や泥層には、風化部と考えられる、厚さ10~20cm程度にわたって粘土化し淡色化した部分が2箇所認められた。



図4 -33.5mの植物片による葉理を挟む。砂は石英と長石からなる。横6cm

支流性層ユニットの堆積環境; 泥炭層は植生のある湿地で形成され则认为られている。風化部の存在は地表の状態があったことを示す。泥層が全般に認められることから、低地に堆積したものと考えられる。砂層の砂や礫は花崗岩由来の碎屑物や、花崗岩に伴われるアブライトのみからなるため、この低地には操山からの小河川がもたらした土砂や礫が堆積していたと推測される。

本流性層ユニット; 標高-8.5m~-4m; いわゆる玉砂利をなす礫と粗粒砂からなり、泥層を伴う。礫層は厚さ3m弱のまとまった塊状の層をなす。礫は亜円礫から円礫をなし、数cm程度の中礫サイズのものが多い。礫種は流紋岩が最も多く、ホルンフェルス化した主に古生代の泥岩や砂岩および片岩、およびまれに安山岩や石英脈岩である。粗粒砂層にも石英片や長石片のほかに多様な岩石片を伴う。これらの淘汰度は普通である。砂質な泥層は厚さ30cm程度と薄く挟まれているのみである。

本流性層ユニットの堆積環境; 多様な礫種からなる円磨された礫は、河川の流路に特徴的な堆積物である。礫径や礫種は現在の旭川

のものと同様であり、このような河川による河原が存在していたと考えられる。

泥炭層ユニット；標高 -4m ～ -2.7m ；泥炭層、泥層および火山灰層からなる。このユニットは厚さが 1.3m しかなく、泥炭層や腐植質な泥が特徴である。また火山灰層を伴う。火山灰層は泥と成層したり、泥に含まれて産する。クリーム色を呈し火山ガラスに富む。この火山灰は上下の泥炭層の年代や産状から AT 火山灰層と考えられる。本ユニット中部と最上部の泥炭層で炭素同位体年代が測定された。年代値は中部で $21350 \pm 70\text{yrBP}$ 、最上部で $17510 \pm 60\text{yrBP}$ ある。これから本ユニットが堆積したのは、最終氷期の最盛期にあたる。

泥炭層ユニットの堆積環境；砂や泥の堆積が乏しく、ほとんど植物遺骸や降下してきた火山灰からなることは、堆積作用が不活発な環境であったことがわかる。火山灰層は本体の降下火山灰層は侵食されたものの、操山に積もったものが、泥と共に運ばれて堆積したものと推測される。本ユニット最下部の泥層堆積時以外の時期は植生が被う地表であったと推測される。この時期は花粉分析などから寒冷で比較的乾燥していたと考えられている（安田，1990）。本ユニットの泥炭層は寒冷地性の腐植の分解が進みにくい草原で形成されたものではないかと推定される。本ユニットのような AT 火山灰と泥炭層が共に産する薄層は岡山平野のボーリング試料で多く認められ、鍵層として有効である。深度は本掘削地点で約 -3m 、藤田で約 -15m 、児島湖で約 -25m 、八浜で約 -15m （鈴木，2000）となることから、緩く起伏した地表面を覆っていたことがわかる。これまで岡山平野で知られている、本ユニットの泥炭層で最も古い年代値は八浜での $29000 \pm 720\text{yrBP}$ （三好，1994）で、最も新しい年代値は本研究による $17510 \pm 60\text{yrBP}$ であるので、およそ1万年余りの長い期間、この環境が継続したものと考えられる。

3.2. 沖積層：標高 -2.7m ～ 4.5m ；鈴木（2000）が児島湖周辺地下の、沖積層の最も厚い旧谷部に認めた B 層は、本地点には存在しない。得られた年代値と堆積層の特徴からおおよそ縄文時代のユニット、おおよそ弥生時代前期のユニット、おおよそ弥生時代中期以降のユニットが識別できた。時代の正確な検討は出来ていないが、便宜上ここでは、古いほうから縄文ユニット、弥生前期ユニット、弥生中期以降ユニットと呼ぶ。縄文ユニットと弥生前期ユニットは、縄文時代の海進期から弥生小海退期にかけての地層とした C 層（鈴木，2000）に、弥生中期以降ユニットはその後の人為的自然改変が堆積要因ではないかとした D 層（鈴木，2000）に対比できると考えられる。また弥生前期ユニットは鈴木（2005）の沖積層中部層最上部泥炭層に相当する。

縄文ユニット；標高 -2.7m ～ 1.6m ；主に泥層からなり、砂層を挟む。泥には海棲の貝化石や塩類の析出はない。砂層は数 10cm 程度のものと数 cm 程度のものがある。層理面は不明瞭であったり、不規則な形のものがある。粗粒から中粒で、泥岩のホルンフェルスなど多種類の岩片や鉱物の砂粒からなる（図5）。厚さ数 10cm の砂層には安山岩の亜円礫が含まれていた。最終氷期末期の泥炭層を被い、後述する弥生前期の年代を示す泥炭層の下位にあることから、縄文時代に堆積した地層であることがわかる。

縄文ユニットの堆積環境；縄文海進のあった時代の地層であるが、海成の要素はなく、この地点までは海が入っていなかったことがわかる。本ユニットは氾濫原に洪水で堆積したもので、砂層は破堤によってもたらされたと考えられる。特に厚い砂層は流路に近かったか、自然堤防のものの可能性がある。砂は多様な地質の後背地からもたらされた物であることから、本流からの土砂が堆積する平野だったと推測される。



図5 標高-0.7m 付近の砂層。泥岩ホルンフェルスなど多様な砂粒からなる。横 6cm



図6 弥生中期以降ユニットの泥と陶器片 (標高 3.7m)。横 6cm

弥生前期ユニット；標高 1.6m～3.3m；泥炭質層と泥層からなる。本ユニット最上部と最下部の泥炭質層で年代測定が行われ、最上部からは $2485 \pm 20\text{yrBP}$ 、最下部からは $2810 \pm 20\text{yrBP}$ の値が得られている。泥層には花崗岩質な砂粒を含む薄いシルト質層が 1 枚は含まれる。

弥生前期ユニットの堆積環境；この時期の泥炭質層は岡山平野（鈴木，2000）のほか全国的に分布し、冷涼で湿潤な環境であったと考えられている（安田，1973；Sakaguchi, 1982）。堆積物からは湿潤な環境における氾濫原の後背湿地の地層であると推測される。

弥生中期以降ユニット；標高 3.3m～4.5m；塊状の泥からなる。最上部では赤色に変色した砂が数 cm 程度の塊として含まれる。花崗岩細礫を含むことがある。標高 3.7m で陶器片が含まれていた（図6）。

弥生中期以降ユニットの堆積環境；標高が高いことから、河川の増水時に氾濫した泥が堆積したものと推測される。供給された土砂は操山からもたらされたものも多かったのではと想像される。

4. 炭素同位体年代測定結果

前述したように本研究において 4 試料の炭素同位体年代測定が行われた。得られた年代値は層序解析に不可欠であった。地層の観察と得られた年代値から、2 試料が洪積層最上部の泥炭層ユニットから、他の 2 試料は沖積層弥生前期ユニットのものであると判断された。試料番号 OA3.8(地表から 3.81～3.91m、標高約 3.2m)、試料番号 OA5.3(地表から 5.25～5.30m、標高約 2.7m)、試料番号 OA9.7(地表から 9.65～9.71m、標高約 -2.7m)、試料番号 OA10.4(地表から 10.42～10.48m、標高約 -3.4m) で前 2 試料が沖積層弥生前期ユニット、後 2 試料が洪積層泥炭層ユニットのものである。加速器質量分析法（AMS 法）による放射性炭素年代測定がパレオ・ラボ AMS 年

代測定グループによって行われた。試料は酸洗浄など調製がなされ、加速器質量分析計（パレオ・ラボ、コンパクト AMS：NEC 製 1.5SDH）によって測定された。得られた ^{14}C 濃度について同位体分別効果の補正が行われ、それらをもとに AD1950 年を基点にした ^{14}C 年代、暦年代が算出された。なお ^{14}C の半減期として Libby の半減期 5568 年が採用されている。また暦年較正には OxCal4.1（較正曲線データ：IntCal09）が使用されている。得られた結果は表 1 に示す。

表1 放射性炭素年代測定および暦年較正の結果

測定番号	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	暦年較正用年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代を暦年代に較正した年代範囲	
				1 σ 暦年代範囲	2 σ 暦年代範囲
PLD-19179 試料No. 0A3.8	-21.63 ± 0.12	2487 ± 22	2485 ± 20	756BC (11.3%) 732BC 691BC (2.8%) 684BC 669BC (3.6%) 661BC 651BC (50.5%) 545BC	766BC (95.4%) 520BC
PLD-19180 試料No. 0A9.7	-26.17 ± 0.11	17512 ± 55	17510 ± 60	19167BC (32.7%) 18917BC 18826BC (35.5%) 18587BC	19313BC (95.4%) 18530BC
PLD-19181 試料No. 0A10.4	-24.11 ± 0.12	21348 ± 66	21350 ± 70	23781BC (68.2%) 23326BC	23930BC (95.4%) 23156BC
PLD-19455 試料No. 0A5.3	-16.12 ± 0.11	2808 ± 22	2810 ± 20	995BC (68.2%) 926BC	1012BC (95.4%) 905BC

5. まとめ

岡山平野を構成する地層と環境変遷について以下のことが明らかになってきた。

- 1) 操山西部の山麓には、洪積層が標高-2.7m 以深に 32m 以上厚く存在している。
- 2) 洪積層は下位から、操山の扇状地に堆積した「支流性ユニット」、旧旭川の流路に堆積した「本流性ユニット」、緩い起伏の平原の地表部であった「泥炭層ユニット」に区分される。
- 3) 沖積層は下位から、縄文海進期に沖積平野の氾濫原で堆積した「縄文ユニット」、その後の海水準安定期の冷涼で湿潤な環境下の後背湿地で堆積した「弥生前期ユニット」、人間が環境改変を強めた時期の氾濫原に堆積した「弥生中期以降ユニット」に区分される。
- 4) 泥炭層ユニットの中部で $21350 \pm 70\text{yrBP}$ 、最上部で $17510 \pm 60\text{yrBP}$ の ^{14}C 年代が、弥生前期ユニットの最上部からは $2485 \pm 20\text{yrBP}$ 、最下部からは $2810 \pm 20\text{yrBP}$ の ^{14}C 年代が得られた。

謝辞

本研究は財団法人八雲環境科学振興財団の平成 24 年度環境研究助成によって推進することが出来た。産業技術総合研究所の植木岳雪博士には企画から調査にいたるまでお世話になった。岡山県総合教育センター指導主事 土田雅己氏、荏田直樹氏、岡山県高等学校教諭の元井友之氏、西谷知久氏、星加康昭氏、山本隆史氏、株式会社エイト日本技術開発の今田真治氏、磯野陽子氏、木村隆行氏には本研究にご協力していただいた。八雲環境科学振興財団ならびに以上の方々に厚くお礼申し上げる。

文献

- 三好教夫 (1994) 瀬戸内海沿岸低地における植生の変遷と気候の変動に関する花粉分析学的研究.
生物学に関する試験研究論輯, 9, 41-51
- Sakaguchi, Y. (1982) Climatic variability during the Holocene epoch in Japan and its cases.
Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo, 14, 1-27
- 鈴木茂之 (2000) 泥炭層に着目した岡山平野形成過程の解明. 八雲環境科学振興財団研究レポート集, 第 1 号, 104~109
- 鈴木茂之 (2005) 沖積層から推定される環境変遷及び洪水災害の要因. 八雲環境科学振興財団研究レポート集, 第 6 号, 89~95
- 安田喜憲 (1973) 東北地方における後氷期後半の気候変化. 地理学評論, 46, 107-115
- 安田喜憲 (1990) 気候と文明の盛衰. 朝倉書店, p358

生活構成材料が人体温熱環境に及ぼす影響に関する研究

岡山県立大学情報工学部 助教 島崎 康弘

1.はじめに

我々を取りまく環境の悪化が叫ばれて久しい。例えば、地球規模の温暖化に加えて、人口とエネルギーが集中する都市域ではヒートアイランド現象が観測されているなど様々弊害が生じている。いまでは、暑さが単に不快というだけでなく直接健康に及ぼす脅威として熱中症が広く認識され、その予防対策が課題となっている。生活の場における快適性向上という人類が持つ基本的欲求に加えて、安全性という観点からも温熱環境に関する注目が高まっているといえる。都市温熱環境悪化の主な要因を考えると、都市化に伴う地表面被覆の人工化（コンクリートの建物やアスファルト路面の増加など）や緑地の減少による都市表面のエネルギー収支の変化が挙げられる。対策技術として、都市表面材料の改変は有望でありこれまでも多くの提案がされている。しかし、初期性能の持続性や人体温熱環境に与える影響など問題点も多く指摘されており、導入に伴う弊害も懸念される。そこで、都市表面の構成材料について、材料の表面および内部の熱・物質輸送の観点から現象に着目することにする（材料に関わる物理現象は熱伝導、対流伝熱、ふく射伝熱、相変化が共存する伝熱現象である）。温熱環境が人体に及ぼす影響は建築素材によるものだけではなく、同時に着目したいのが人体の着用する衣服素材である。衣服は、人体温熱環境に影響の大きい 6 要素（気温、湿度、放射温度、気流（風速）、代謝量、着衣量）の一つとしてあげられ、クールビズやウォームビズとして空調負荷抑制に寄与することが期待されている。しかしながら、衣服性能の定量的な把握は進んでいないのが現状である。従来、衣服性能は熱抵抗値のみで表される傾向が強く、ふく射特性や対流熱伝達の影響を考慮した総合的な熱の流れに把握が必要である。今置かれた環境の現状を把握、またこの問題に対処するためには、適切に温熱環境を評価、つまり「環境を見える化」できるツールが不可欠であり、著者らはこれまでに温熱環境評価指標として、人体と環境の熱の授受に着目した人体熱モデルである人体熱負荷量を提案してきた。人体熱負荷量は 6 つの温熱環境要素全て含んでおり、十分な精度において人体熱負荷量の大小は温冷感の大小と同期することが分かっている。本研究では、この人体熱負荷量を基準として、「人体-衣服-環境」系について熱物性や熱の流れの評価を行なってゆく。

2.実験

2.1 素材の熱物性計測

(1)都市表面構成材料のふく射物性

屋外実空間において様々な表面のふく射物性の計測を行った。今回の測定空間は一般的な表面素材であり、図 1 に示す(a) 一般アスファルト舗装、(b) 芝生、(c) 高反射率タイル、(d) 木材、(e) 砂である。図 2 にふく射物性計測の概略図を記す。ふく射収支計 (EKO MR-50/60) を測定面に配置し、全天日射量 $S_{\downarrow}$ [W/m^2]および反射日射量 $S_{\uparrow}$ [W/m^2] を 1 分毎に測定した。それぞれの表面は十分広く一様であることを考慮すると日射反射率 ρ [N.D.]は以下の式(1)のように表すことができる。

$$\rho = \frac{S_{\uparrow}}{S_{\downarrow}} \quad (1)$$

(2)衣服素材の対流熱伝達率

衣服素材の対流熱伝達率を測定・評価するため簡易風洞を用いた装置を作成した。なお、実験装置の概略図は以下になる。測定風洞は透明の亚克力製である。また、測定部であるヒーターの風向きに対する角度を変更できるように設計してある。対流熱伝達率算出式は以下になる。



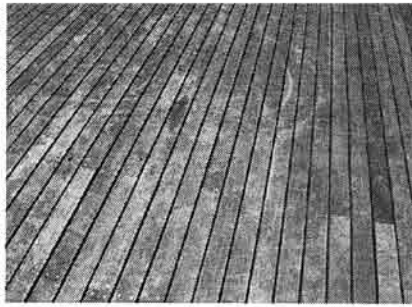
(a) Asphalt concrete



(b) Grass



(c) Highly reflective tile



(d) Wood



(e) Sand

Fig. 1 The measuring surface

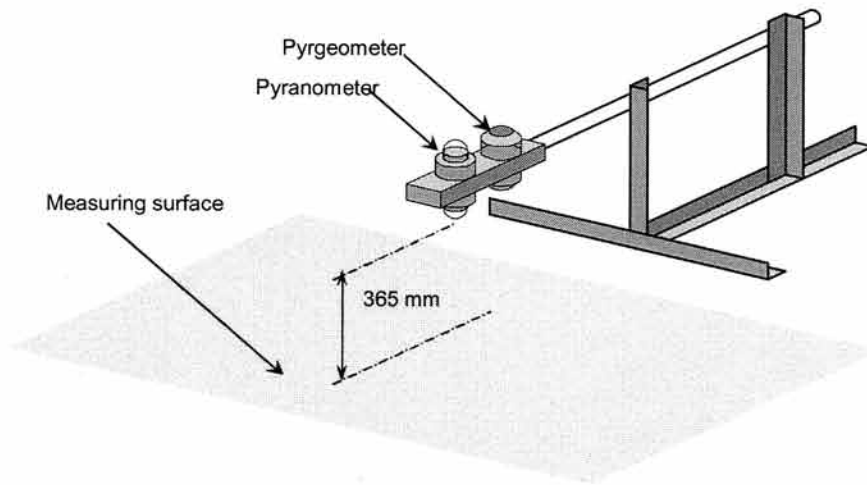


Fig. 2 Experimental setup for solar reflectance of ground surface

$$q - q_{\text{rad}} = h(T_{\text{clo}} - T_{\text{air}}) \quad (2)$$

$$q_{\text{rad}} = h_{\text{rad}}(T_{\text{clo}} - T_{\text{room}}) \quad (3)$$

ここで、 q は全熱流束[W/m²]、 q_{rad} は放射熱流束[W/m²]、 h は対流熱伝達率[W/m²/K]、 T_{clo} は衣服素材表面温度[K]、 T_{air} は空気温度[K]、 h_{rad} は放射熱伝達率[W/m²/K]、 T_{room} は平均放射温度[K]である。衣服素材表面温度は熱電対を用いて測定した。なお、衣服素材の複数箇所で温度を測定し、その平均値を衣服温度と定義した。衣服素材はヒーターに密着しており、ヒーターは上面・下面に均等かつ一様に発熱しているものとする。全熱流束はヒーターの電圧の値から算出できる。

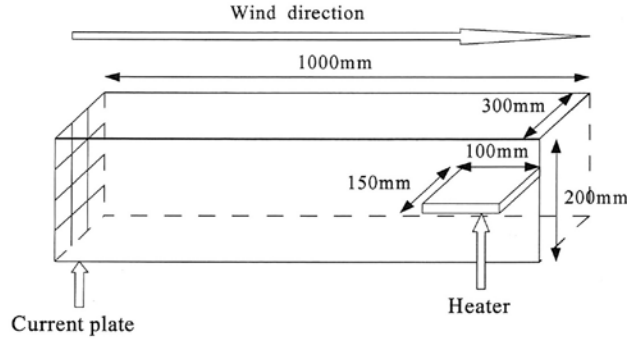


Fig. 3 View of wind tunnel for heat transfer coefficient measurement

(3)衣服素材のふく射物性

衣服素材の異なる色の衣服に関する日射特性測定実験を行った。実験装置の概略を図4に示すとおりであり、ふく射収支計 (EKO MR-50/60)および全天日射計 (EKO MS-620) により、全天日射量、赤外放射量を1分毎に測定した。測定場所がオープンスペースであり、多重反射がないことを考慮すると衣服素材の反射率算出式は以下のようになる。

$$\rho_{clo} = \frac{(\rho_{clo-obs} - (1 - \phi_{clo}) \times \rho_{other})}{\phi_{clo}} \quad (4)$$

ここで、 ρ_{clo} は衣服素材の真の反射率[N.D.], $\rho_{clo-obs}$ は衣服素材の見かけの反射率[N.D.], ϕ_{clo} は形態係数[N.D.], ρ_{other} は周辺表面被覆材の反射率[N.D.], である。なお、本実験において $\phi_{clo} = 0.70$ であった。

日射透過率 τ_{clo} は黒色 PVC 管内に全天日射計を置き、管の入り口に衣服素材を配置しない際の日射量 $S \downarrow$ と、衣服素材を配置した際の日射量 $S' \downarrow$ の比を同時刻に測定することで求めることができる。

$$\tau_{clo} = \frac{S' \downarrow}{S \downarrow} \quad (5)$$

また、日射吸収率 α_{clo} はエネルギー保存則より以下の式で求まる。

$$\alpha_{clo} = 1 - \rho_{clo} - \tau_{clo} \quad (6)$$

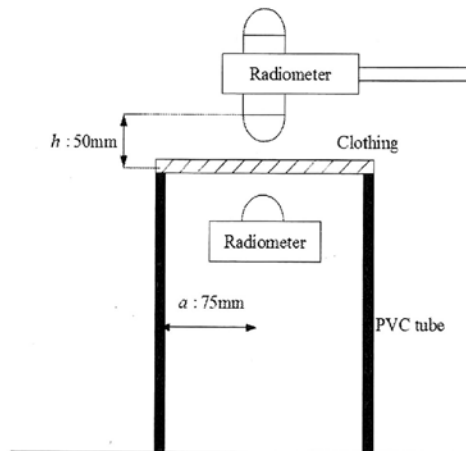


Fig. 4 Experimental setup for radiative properties of clothing material

2.2 被験者申告実験と人体熱負荷量

人体から熱が十分に放散されなければ人は暑く感じ、逆に過度に放散されると寒く感じる。つまり、熱的中立が保たれていない場合、人体に温・冷の負荷がかかることになる。この量を本研究では人体熱

負荷量 F_{load} [W/m^2]と呼ぶことにし、式(7)のように定義する.

$$F_{\text{load}} = M - W + R_{\text{net}} - C - E \quad (7)$$

ここで, M は代謝量 [W/m^2], W は機械的仕事量 [W/m^2], R_{net} は正味ふく射量 [W/m^2], C は顕熱損失量 [W/m^2], E は潜熱損失量 [W/m^2]である.

過去に被験者実験で得たデータから算出した人体熱負荷量 F_{load} と被験者の申告である温冷感との関係を図5に示す[1]. 人体熱負荷量と温冷感との相関関係は良く個人差の影響無く, 人体熱負荷量によって屋外環境における温冷感を予測することができると言える. 以上より, 温冷感は人体熱負荷量を用いて立式すると式(8)のようにかける.

$$(\text{Thermal sensation}) = 0.0146 \times (\text{Human thermal load}) - 0.748 \quad (8)$$

従って, 以下の議論において人体熱負荷量を用いて環境評価を行なっていくものとする. 今回は, 上述のように地表面の違いによる温冷感 (温熱快適性) の違いについて検討した.

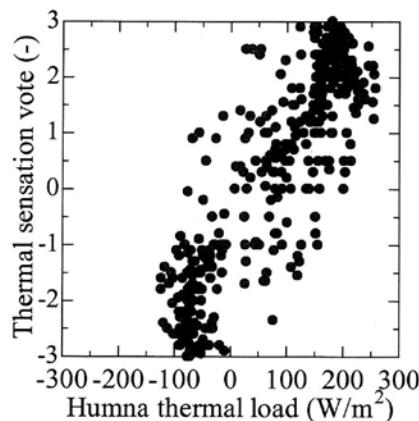


Fig. 5 Relationship between human thermal load and human thermal sensation

被験者申告実験は, 図1に示した同じ場所において夏期及び冬季に実施した. 実験時間は30分とし, 表1に示した計測項目に関して1分毎で測定を行った. 被験者は立位安静状態, 温冷感申告はASHRAEの7段階指標に基づき2分毎に記入してもらった. 被験者は健康な男子大学生・大学院生であった.

Table 1 Measuring items

Measured item	Instruments
Air temperature	Pt-100 resistance
Humidity	Capacitance hygrometer
Surface temperature	Thermocouple
Surface heat flux	Heat flux meter
Solar radiation	Radiometer
Wind speed	Anemometer
Radiation balance	Net radiometer
Skin/ deep temperature	Thermistor
Heart rate	Heart rate meter
Thermal sensation	Questionnaire
Comfort sensation	Questionnaire

3.実験結果

3.1 表面素材の反射率と人体熱負荷量

本研究で用いた測定場所は主に日射反射率の異なる地表面である。測定により表2のような特徴が得られた。また、図6に各測定場所における人体熱負荷量の各要素の割合を示す。この結果は各測定場所で行なった6回の実験の平均値である。人体熱負荷量において日射の影響は大きく、日射反射率の高い高反射タイル上で人体熱負荷量は大きな値を示し、日射反射率の低いアスファルト上では人体熱負荷量は小さくなる。グラフ上のマイナスの値は人体からの放熱を意味する。安静状態のため $W=0$ である。

Table 2 Results of surface reflectance

Surface	Wood	Tile	Grass	Asphalt	Sand
Reflectance (%)	14.5	39.4	17.1	12.3	22.1

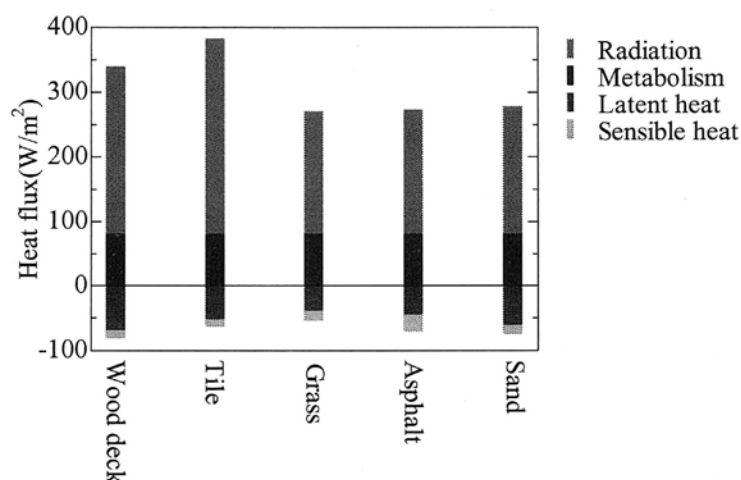


Fig. 6 Each term of human thermal load on different surfaces

3.2 衣服の熱物性

伝熱形態には伝導、対流、ふく射の3つがあるが、衣服素材を考えると非常に薄いため伝導の影響を考えないことも多い。そこで、今回は衣服素材に関して対流熱伝達率および日射反射率、透過率、吸収率を測定した。その結果を図7および表3に示す。

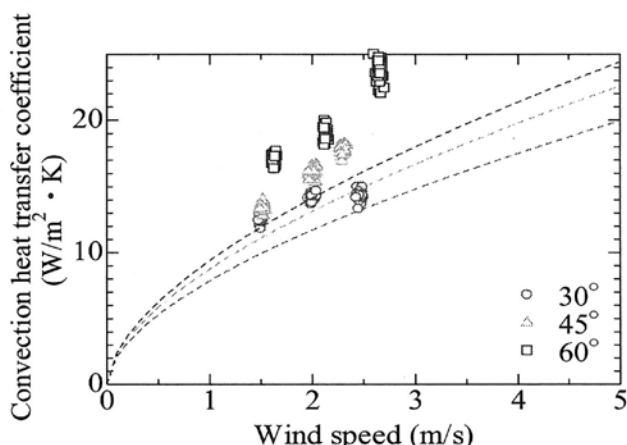


Fig. 7 Heat transfer coefficient in different angles

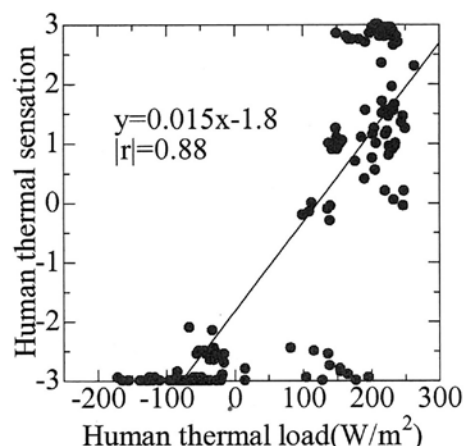


Fig. 8 Relationship between human thermal load and human thermal sensation on grass field

対流熱伝達率に関して、伝熱工学では、一般に対流熱伝達率は Nusselt 数と Reynolds 数を用いた無次元数で表現され、図7における点線は傾斜金属平板における実験式を参照に載せてある（式9）[2]。

$$Nu = 0.30Re^{1/2} + 0.083(\sin\alpha \cdot Re)^{2/3} \quad (9)$$

$$h = \frac{Nu k}{x} \quad (10)$$

ここで、 Nu は Nusselt 数[N.D.], Pr は Prandtl 数[N.D.], Re は Reynolds 数[N.D.], k は熱伝導率[W/(m・k)], x は代表長さ[m], α は傾斜角度[deg]である。結果を見ると、主流に対する角度が大きくなるにつれて対流熱伝達率の値が大きくなっていることが分かる。この傾向は強制対流における平板の式や、先行論文等でも同様の傾向が見られる。また、全体的に実験値は理論値よりも高い値を示している。これは実験資料の大きさが小さいことや、衣服素材表面の粗さ等の影響が考えられる。

ふく射物性に関して、一般に黒色素材は吸収率が高く、白色素材は反射率が高いといわれるとおりで、表 3 の結果を見ると、黒色生地は白色生地より約 1.8 倍多くエネルギーを吸収し、白色生地は黒色生地より約 3.3 倍多くエネルギーを反射する。その他、色により異なるふく射特性を示すことが示された。

Table 3 Result of radiative properties

	Reflectance	Transmittance	Absorption
White	49.4	9.2	41.6
Black	14.7	10.3	75.0
Red	31.9	20.7	47.4
Blue	23.1	12.2	64.7
Yellow	32.8	13.2	55.0
Green	20.1	6.6	73.3

3.3 人体温冷感と素材物性

図 8 に芝生上における人体熱負荷量と人体温冷感の関係を示す。概して、人体熱負荷量の増減と温冷感変化には高い相関関係があることが分かり、両者の間に見られる温熱感受性（近似直線の傾き）も既往研究（式(8)）と同程度であった。他の地表面に対しても同様の結果が得られ、表面の日射反射率に応じて人体熱負荷量が増減し、温冷感もそれに対応するということが確認できた。図 6 とあわせて考えると、屋外環境において支配的なのは正味ふく射量であり、実際に人体熱負荷量を基にこれら 5 つの地表面上にいる人体の温冷感を予測すると、高反射タイルが一番高く（暑く感じ）、アスファルトが一番涼しい結果となる。反射率の高い素材は地表への熱負荷を低減するが、反射日射（いわゆる照り返し）により温冷感を悪化させることが分かった。紙面の都合から図は省略するが、衣服の熱収支モデルにより色の違いが実際の人体への熱の授受で大きく違わなく温冷感も同等であるという結果にあり、衣服下の空気の断熱性能の影響を考慮すべきことを示唆する結果となった。

4.まとめ

温熱環境評価において、生活空間に存在する素材の熱物性を含めた、熱の流れを把握する試みをいった。都市に実在する地表面素材、衣服の熱物性を明らかにし、環境と人体のあいだの熱の授受を連成計算することで人の感じる温冷感を予測、またその要因を定量的に示した。

謝辞

本研究を遂行するに当たり、財団法人八雲環境科学振興財団の助成、また、多くの被験者の協力を頂いた。ここに記して心からの謝意を表す。

参考文献

- [1] Yasuhiro SHIMAZAKI *et al*, “Application of Human Thermal Load into Unsteady Condition for Improvement of Outdoor Thermal Comfort”, Building and Environment, Vol.46, Issue 8 (2011), pp.1716-1724.
- [2] 日本機械学会, 伝熱工学資料 改訂第 5 版 (2009), 丸善.

平成 23 年度 国際研究交流助成報告

9. 平成 23 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
西 本 俊 介	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	第 9 回多孔質固体材料解析国際会議	9 5
正 木 智 美	岡山理科大学 総合情報学部	第 18 回国際植物会議	9 6
西 村 伸 一	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	中国上海理工大学と岡山大学との環境に 関する研究者と若い学生との交流事業	9 7
金 科 哲	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	国際地理学連合会 持続的農村システム 委員会第 19 回会議	9 8
寒 川 匡 哉	岡山理科大学 理学部	高圧力の科学と技術に関する国際学会	9 9

西 本 俊 介

岡山大学大学院環境生命科学研究科

参加会議名	第9回多孔質固体材料解析国際会議
主催団体名	ドイツ化学工学・バイオテクノロジー協会
開催期間	平成23年6月5日～平成23年6月8日
開催地	ドイツ、ドレスデン市

表 題

水熱処理によって調整された多孔質酸化チタン薄膜の濡れ性評価
(Wettability conversion of porous TiO₂ films formed by hydrothermal treatment)

<内容>

酸化分解機能及び光誘起超親水性を示す酸化チタン薄膜へ、①疎水性自己組織化単分子膜(SAM)の形成、②位置選択的紫外光照射を行うことにより、撥水・超親水パターンが形成できることが知られている。特に、多孔質の酸化チタン薄膜を用いることで可能になる超撥水・超親水パターンは、マイクロ反応容器や印刷基盤等への応用が期待される興味深い材料である。近年、アルカリ水溶液を用いた水熱処理により、ナノチューブやナノワイヤーといった形態を有する多孔質酸化チタン薄膜が調整できることが注目されている。これまでに、分離フィルター、高比表面積電極、環境浄化用光触媒などへの応用を目的とした研究が報告されているが、得られた試料表面の水に対する濡れ性に関する検討は行われていない。そこで、本研究では、金属チタン板に対しアルカリ水熱処理を施すことで多孔質酸化チタン薄膜の調整を行い、得られた試料の疎水性 SAM 修飾による撥水化および紫外光照射による超親水化に関する検討を行い、その成果を報告した。

具体的な実験手順を以下に記す。400 °C, 1 h の熱処理が施された金属チタン板(10×50×0.25 mm)および 10 mol/L の NaOH 水溶液処理 45 mL をオートクレーブに入れ、80-140 °C, 6 h の水熱処理が行われた。処理後の試料に含まれる Na を除去するための 0.1 mol/L の塩酸洗浄処理の後、500 °C, 1 h の熱処理が施された。得られた試料は X 線回折(XRD)及び走査型電子顕微鏡(SEM)により評価された。また、0.5 mM の ODP (octadecyl phosphonic acid)を含む 2-プロパノール溶液中で試料を浸漬(20 h)した後、2-プロパノール溶液で洗浄し、熱処理(110 °C, 2 h)することにより、試料表面の撥水化が行われた。得られた試料の評価は、紫外光(強度: 1.5 mW cm⁻²)照射下における水接触角測定により行われた。

検討の結果、チタン板表面におけるナノチューブ状の酸化チタン層の形成に成功し、得られた試料の疎水性有機分子膜修飾により、表面を超撥水性に変換することができ、さらに、紫外線照射により位置選択的に照射部を超親水性に変換できることを見出した。また、フォトマスクを用いた位置選択的紫外光照射によって、超撥水・超親水パターンの作製に成功し、水接触角 170 度を超える水濡れ性のコントラストを達成したことを本研究の特筆すべき成果として報告した。

正 木 智 美

岡山理科大学

参加会議名	第 18 回国際植物会議
主催団体名	国際科学連合
開催期間	平成 23 年 7 月 23 日～平成 23 年 7 月 30 日
開催地	メルボルン（オーストラリア）

表 題	How many distributional patterns are found in Japanese <i>Carex</i> (Cyperaceae)? “日本産カヤツリグサ科スゲ属植物の分布パターン”
-----	---

<内容>

<分布図の簡易作成法の開発とその利用>

スゲ属植物は世界に約 2,000 種、日本に約 300 分類群が報告されており、その半数は日本固有種である。本研究は多様に分化したスゲ属植物の分布図を作成し、種の分布域と地域のフロラとの関わりを探ることを目的とした。なお、分布図に使用する標本データは、標本庫を有する日本各地の研究機関の協力を得た。

1. 分布図の簡易作成法と専用ファイルの開発

分布図は専門知識がなくても誰でも簡単に作成できることを目標とした。その結果、今回新たに作成した変換用ファイルで、短時間に分布図が作成できるようになった。作成できる分布図はスゲ属植物に限らず、緯度経度情報があれば他の動植物でも同じような分布図が作成できる。なお、この方法は「すげの会ホームページ」にアップして公開しており誰でも閲覧・利用できる。

今回得られた分布図から日本産スゲ属植物は次の 8 タイプに分類できた。

1) 北海道のみ、2) 北海道と本州中部、3) 北海道から本州中部まで、4) 北海道・本州・九州、5) 本州のみ、6) 本州・四国・九州、7) 北海道：本州から琉球まで、8) 数カ所のみ。このうち、北海道から九州まで分布するミノボロスゲ節は、北から南に移るにつれ地域ごとに分布する種が分かれていることが明らかとなった。今後も分布図を作成することで節ごとの特徴が明らかになると考えられる。

2. 利用

種の記載、分子系統学的解析に重要な分布データの提供が可能となる。種の記載における分布地の表記は県単位が多いが、これに分布図を加えることで植生や地形、地質のデータを重ね合わせて分布域や分布限界、種間の関連性がより明確になる。

西 村 伸 一

岡山大学大学院環境生命科学研究科

参加会議名	中国上海理工大学と岡山大学との環境に関する研究者と若い学生との交流事業
開催期間	平成 23 年 7 月 29 日～平成 23 年 8 月 3 日
開催地	岡山大学

表 題	上海理工大学の現状と将来像 －環境・建築学院の研究・教育活動を中心に－
-----	--

<内容>

講演の内容は三部に分かれており、まず上海理工大学の概況、とりわけ常飛氏の所属する環境・建築学院の教育研究活動の紹介があった。
続いて、常飛氏の専門分野（環境応用化学・触媒）と現在の研究テーマについて報告があった。（Titania-alumina の構造とペーマイトの活用、光触媒への応用など；詳しくは添付資料を参照）加えて、現在中国で進行中の環境問題の中から上海市の飲料水の問題を取り上げ、水源地や水道管、消毒剤など広範な課題について論じ、聴衆から様々な質疑応答があった。

金 科哲

岡山大学大学院環境生命科学研究科

参加会議名	国際地理学連合 持続的農村システム委員会第 19 回会議
主催団体名	国際地理学連合
開催期間	平成 23 年 8 月 1 日～平成 23 年 8 月 7 日
開催地	ゴールウェイ（アイルランド）

表 題

農村開発における民族間同化と隔離:ベトナムの林野土地配分政策をめぐる地元の対応

<内容>

今回の発表は、ベトナム中部のフエ省トゥンクアン村を事例に、ベトナム政府による森林配分政策への地元の対応を、民族間の同化と差別化の視点から考察したものであった。すなわち、森林配分政策という開発政策をめぐる利益の配分とインフォーマルな利害調整がどのように行われ、その結果が如何にフォーマルな行政機構と妥協され、地域住民の生活に反映されるかを検証したものであった。森林配分政策に対する類似した対応は、同じ地理的環境下に、長年にわたる民族間の経済活動の同化の結果であり、土地紛争に対する異なる対応は、問題を解決するインフォーマルな調整機構の有無に左右されることが主張できた。本報告は、ベトナムにおける開発政策と慣習法との関係の究明につながるものであり、ベトナムをはじめとする東南アジア諸国の森林管理の在り方に示唆を与えるものとして多くの注目を集めた。

寒 川 匡 哉

岡山理科大学 理学部

参加会議名 高圧力の科学と技術に関する国際会議
主催団体名 国際高圧力科学技術連合
開催期間 平成 23 年 9 月 25 日～平成 23 年 9 月 30 日
開催地 インド、ムンバイ

表 題 【英】 Bond strengths of New Carbon-Nitride-Related material $C_2N_2(CH_2)$
新規窒化炭素系化合物 $C_2N_2(CH_2)$ の C-N, C-C 単結合の圧縮率に関する研究成果の発表を行った。

<内容>

これまで、マイクロ波大気圧窒素プラズマ法により、グラファイト構造（層状構造）を示す $C_3N_4H_xO_y$ ナノ粒子の合成を行ってきた。この $C_3N_4H_xO_y$ ナノ粒子を出発物質に用いたレーザー加熱ダイヤモンドアンビルセル(LHDAC)による高温高圧処理実験（圧力 40GPa、温度 1200-2000K）を行うと、再現性良く出発物質が結晶化することを見出し、合成試料は斜方晶で、格子定数 $a=7.6253 \text{ \AA}$, $b=4.4899 \text{ \AA}$, $c=4.0471 \text{ \AA}$ 、空間群 $Cmc2_1$ 、化学式は $C_2N_2(CH_2)$ であることを XRD 測定、TEM/EDS 測定等により決定することに成功した。 $C_2N_2(CH_2)$ の結晶構造の特徴として、構造の一部に理論的に予測されている硬質窒化炭素 C_3N_4 で期待されている四面体構造を持つ（C 原子を中心とする 4 面体で、3 本の C-N 単結合と 1 本の C-C 単結合から成る）。この四面体の C-N 単結合距離は $1.444 \sim 1.503 \text{ \AA}$ であり、 $\beta\text{-}C_3N_4$ の C-N 結合距離 $1.447 \sim 1.456 \text{ \AA}$ に近い。C-C 単結合距離は $1.480 \text{ \AA}$ であり、ダイヤモンドの $1.540 \text{ \AA}$ よりも短い。この四面体構造の他に 2 つの四面体をつなぐブリッジングサイト C-C(H₂)-C が構造中に存在することもわかっている。この四面体は硬質窒化炭素 $\beta\text{-}C_3N_4$ の構成単位である四面体と類似構造であることから、その圧縮性に興味もたれる。

本国際会議では、高圧下の XRD 測定と擬ポテンシャル法による第一原理計算(CASTEP 使用)による $C_2N_2(CH_2)$ の C-N、C-C 単結合の圧縮率評価を行い、その解析結果について報告した。

$C_2N_2(CH_2)$ の C-N, C-C 単結合の圧縮率は硬質窒化炭素 C_3N_4 、ダイヤモンドの C-N、C-C 単結合の圧縮率とほぼ等しいことを第一原理計算により明らかとした。つまり、超硬質性が期待できる C-N、C-C 単結合が $C_2N_2(CH_2)$ 中には形成されている。また、 $C_2N_2(CH_2)$ の体積弾性率は高圧下 XRD 測定による精密測定の結果、 $B_0=258 \pm 3.4 \text{ GPa}$ であると決定している。高圧下において、 $C_2N_2(CH_2)$ 構造中のブリッジングサイト C-C(H₂)-C 結合は圧力に対して容易にベンディングし、ブリッジングサイトにリンクしている 2 つの四面体が互いに反対方向に回転する。これにより 3 次元的な圧縮（格子定数 a, b, c 軸の圧縮による体積減少）が起こる。このことが体積弾性率をダイヤモンドの 6 割程度に留めている大きな要因であることが分かってきた。

ブリッジングサイトは H により終端されている。H を含まない出発物質を用いて合成すれば CH_2 が CN_2 に置換し、また、CN 系理論相図を参考にすれば $\beta\text{-}C_3N_4$ 合成が可能になると考えられる。

平成 23 年度 研究集会助成報告

10. 平成 23 度 研究集会助成報告

助成対象者	所 属	集会名	ページ
大 槻 剛 巳	川崎医科大学 衛生学	第 11 回分子予防環境医学研究会	1 0 1
氏 原 岳 人	岡山大学大学院 環境生命科学研究科	日本計画行政学会第 35 回全国大会	1 0 2

大 槻 剛 巳

川崎医科大学 衛生学

研究集会名称	第11回分子予防環境医学研究会
主催機関名	川崎医科大学 衛生学
開催期間	平成24年1月27日～平成24年1月28日
開催地	倉敷市

<内容>

分子予防環境医学研究会は、環境などからの健康障害に対して、主に分子生物学的手法などを用いた最先端の科学技術によって、その予防対策あるいは疾病病態の把握に務める衛生・公衆衛生・予防医学・健康科学領域の研究者が会する研究会であり、これまでの成果として、本研究会編集刊行の「分子予防環境医学」(本の泉社、改訂版2010年12月1日発刊、ISBN978-4-7807-0901-7 C3047)として広く本邦の環境医学・予防医学領域の教育研究に利用され、大いなる貢献を果たしています。

今回は岡山大学泌尿器科学公文教授による特別講演(遺伝子治療について)、京都大学放射線生物研究センター高田教授・茨木大学理学部田内教授、国立がんセンター研究所河野分野長によるシンポジウム(DNA損傷への応答メカニズムと疾患)、さらに一般演題が30題が発表され、熱心な討議が行われました。一般演題では、ダイオキシンなどの作用・有機溶剤の神経系への影響・生活習慣病と遺伝子多型との関連・難病の責任遺伝子の追求・食品等による発癌予防の機序解明・環境中物質(アスベストやカーボンナノチューブ)による発癌の研究などが発表され、それぞれの研究は国際的にも価値のある内容であり、また本研究会では一般演題でも十分な発表と討議の時間を設けているため、それぞれに関して有用な討論を構築することが可能でした。

氏 原 岳 人

岡山大学大学院環境生命科学研究科

研 究 集 会 名 称	日本計画行政学会第 35 回全国大会
主 催 機 関 名	日本計画行政学会
開 催 期 間	平成 24 年 9 月 7 日～平成 24 年 9 月 9 日
開 催 地	岡山大学

<内容>

2012 年の日本計画行政学会第 35 回全国大会は、「ソーシャルイノベーションと地域再生」をテーマとして、岡山大学において開催した。今大会では、第 34 回全国大会で明らかにした「ソーシャルイノベーションと計画行政のフロンティア」に関する諸課題をふまえつつ、地域再生に焦点を当て、大都市圏および地方圏におけるソーシャルイノベーションを具体的にどのように促進していくかについて、様々な実践例をふまえた活発な議論が展開された。あわせて、国土・地域計画、防災・減災、環境・共生、地域経済などをテーマとした研究 71 件、ワークショップ 8 件が報告された。

平成 23 年度 その他の助成報告

11. 平成 23 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	104

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

I. はじめに

当クラブは、「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、創作意欲を育てようと考えたのである。

当クラブは、中高学年が対象である。クラブ活動をしている時の興味や熱心な態度を、クラブの時間外へもつなぐためには、家庭への啓蒙が大事であると考え。育ちつつある子どもたちの科学的思考を支え続けるには、「親の姿を見て子は育つ」と言われているように周りの環境が大事である。特に親・兄弟に、常に科学的な発想をしているものがいれば「なんで」「どうして」「どうしたら」「どうなっているの」などの問いに寄り添い考えたり話の相手になったりしてくれる可能性が大であると考え。

少年少女発明クラブは、大半の子どもが遠方の地から来ているという理由もあって、毎回2時間の講座に親子で参加をしている。こちらの願いとしては、このことを生かして、親が子どもの願いを知り、受け入れ、共感しながら過ごしてほしいと考えている。親にとってこの体験は家庭に返っても続くであろうし、子どもがクラブを退いても続くと考えている。

今年度スタート時に「本日来られている保護者の方は、興味をお持ちですか」と聞いてみた。その結果、「興味があるまたは少しはある」という答えだった。

そこで、本年度の保護者がどのように活動

に取り組んでいくかを中心にした記録を記す。

II. 活動

1. 「宝箱」活動

「宝箱」活動とは、子どもに「こんなものがあつたらいいな」というようなアイディアを考えさせ具現化させる活動である。この活動の中で、保護者は、子どもがこんなことを思っているのか、これを達成するにはどんな手助けがいるのか等、共に活動しながら気づき、手伝い、教え、共に考え、励まし、あるいは感心することは多いと思う。子どもは親の新しい側面に気づくかもしれない。

岡山市児童生徒発明工夫展に出品した作品から

① I さん（5年生）の場合

作品名：ハンガーボックス



↑子どもの「ハンガーを一緒にしていると、からまって取り出しにくい。スッと一つずつ取り出せたらいいな」という思いから始まった。

以下、コメントと写真で親子の概要を示す。



↑プラスチックパイプの弾力を利用した洗濯ハンガーと木製ハンガーを持ってきて親子で考えていた。



↑次の回では、洗濯かごとダンボールを持ってきて、どうにかならないかと考えはじめた。この親子の特徴は、ものづくりの基本になる「具体物を使って、現実には即して」考え、話し合うことを早い段階から実行することである。

なお、この子どもは三年生の時から兄（今年中学1年）について来て絵を描いたり兄やクラブの物で遊んだりしていた。

きれいに収納すれば手間がかかる。すばやく収納すればからまったりはみ出したりしてうまくできない。

保護者は子どもの考えを否定するようなことはほとんどしない。失敗しそうでも先回りした援助はほとんどしない。指導者にも名案があるはずも無く共に頭とダンボールをひねる状態が続き、さすがの保護者も口出しが多くなってこの日の活動は終了した。



↑次の回、コーナーラックを持ってきた。親子で、百元ショップやホームセンターに行き、現物をヒントに考えた末、コーナーラックを求めたとのことである。



↑コーナーラックも思うようにならず、子どもの意欲はやや減退。保護者が一案を提案するが気に入らない。



↑また、ダンボール箱で考え始めた。「困ったら原点に帰れ」を知っているのだろうか。



↑しかし、保護者の方はこれでよいかなと思っても、子どもの方が納得しない。保護者も指導者も終わらない戦いに長期戦の構え。子どもがあきらめてしまわなかったのはありがたかった。



↑この回は、ハンガーをそろえる補助棒を取り付けてきた。補助棒の視点をベニヤ板で補強するという指導者の提案で子どもは妥協した。大満足ではなかったが、どうにもならなかった自分とともに苦しんだ大人の限界に触れて、満足することにしたのだと思う。



↑子どもの「満足」の表現は、お気に入りの紙で表面を仕上げることであった。

たった一つの目標を見失うことなく4か月以上に渡り計画、実行、評価、改良・・・を繰り返し、家庭でも改良し続けた跡にはハンガー収納ラック以外に無形の宝箱が生まれていると確信する。時間を潤沢に使い、大人から見れば、たわいないものにこだわり、工夫し続けた子どもの活動を無意味だと否定する人はいないであろうと思う。

このような活動は、家庭だけでもクラブだけでも成立しない。同じようなことをしている仲間がいて、意欲を支える家族との日常があり、結果を表現できるクラブがあって持続のエネルギーが生まれるのではなかろうか。

いろいろと変遷の上、最初に紹介したハンガーボックスが完成した。子どもの思いをなんども聞き、話し合ってももの作りを進める保護者の姿が見られた。普段の家庭ではこういう場を作り出すのは難しいのではないだろうか。この経験がこれからも親子の間で続くものと考えている。

②Fさん（5年生）の場合

作品名：糸まきオセロ



↑ゲームを楽しみながら、指先の訓練(リハビリ)ができる。また、糸巻きの絵を組み合わせで自由に遊べる。「家にたくさんある糸まきを使ってなにかできないかな」という考えのもとにオセロを作ることにした。



↑ とりあえず型紙を使って幅や高さを決めている。子どもは適当な大きさでとやりはじめるが、保護者はちゃんとものさしを使ってと、ゆずらない。



↑ 台の大きさ、幅や高さが決まったので、台の製作を始める。

棒を垂直に立てたつもりでも、糸巻きを入れたり出したりすると傾いてしまう。

作業がすすんだ段階で、台も心棒も貧弱で不安定なことが問題になり始めた。



↑ 対策としてクラブが持っていた発砲スチロ

ールの両面を紙で補強したパネルをとりあえず使うことにした。



↑ 次の回には、パネルに木製丸棒を立てたオセロ板を作り上げたものを持参した。パネルの紙の部分に貫通する穴あけは、革に穴を空けるポンチが使えることがわかったとのこと。

台が丸棒に負ける状態なので、子どもは指導者の意見を素直に聞き入れてベニヤ板で作りなおすことにした。

ドリルは1年前から使っていて、興味をもっている。保護者は安全に配慮して補助をしている。



↑ この回は、棒をきれいに立ち並べて持ってきた。今度は保護者の発想で糸巻きに模様をつけている。

活動の目標を決めて参加したのだ。時間にゆとりが生まれると、その時間を利用して新しい活動を生む。



↑ニスで塗装もしてきれいな作品になった。子供の方は、めんどくさがり屋で、美しくする方には関心を示さなかったが、仕上がってみると喜んでいて。この作品は、動きに関係する機能が単純で試行する余地はほとんどない。しかし、材料の特性と工作の精度が作品の仕上がりに影響する。先を急いで粗雑になりがちな子どもにじっくり構えて正確に仕事をする事の大切さを体験させるには良い材料だと思う。

両作品とも仕上げるまで、クラブ参加 10 回、ひたすらよりよいものにと試行錯誤を繰り返し、発明工夫展に参加できる作品に仕上げた。

このほかの発明工夫展に参加し展示された作品と親子のかかわりについても簡単に紹介する。

作品名「サッカーフリーキックゲーム」



↑祖母が同伴していた男子の作品
サッカーが好き。「フリーキック」のことは

祖母が理解しないまま、じょうぶなダンボール箱探しを祖母が引き受けた。ピッチを組むまでは、段ボール箱が大きく、祖母が運搬の大役を果たした。ゴールキーパーは、ゴールの後ろ下から左右に動かせる。キックは輪ゴムの力を利用。キックと同時にキッカーが足を振る。ゲームに力が入っても壊れない構造と工作に苦心した。出来上がりに満足した子どもは、なでしこジャパンの選手を応援するメッセージを書き込んでいた。

作品名「風力計」



←母が同伴していた男子の作品
計画の段階から、風の力を使う仕組みにこだわっていた。

はじめ、

「揚水」の仕組みを作ろうとした。まず、水車小屋の水車を風で回そうと考えていた。風車と水車をつなぐ仕組みができそうになかったことと、流水で直接回すほうがよさそうだったので断念。

次に、ビニルパイプでアルキメデスのポンプに似た構造のものを作ろうとしたが、大きくなりそうで、風車で回せそうになく中止。この段階では、アイデアを絵に描いているだけであつた。

ハンガー収納箱を実物で試行している I さんを真似て、次の回は上の写真のプラスチックおたま、金網、三脚、木製丸棒を準備していた。風車になりそうなものを百円ショップで探したとのこと。

金網に穴を開けただけの軸受けでは、回らない。軸受けは指導者が作り、おたまの数を増やすことにしてこの日は終了。

次回、塩ビパイプに手芸用ビーズを組み込んだ軸受けを提供した。おたまは、売り切れで入手不能とのことであった。また、形の違うおたまに変更する努力はしなかった。指導者で、揚水ポンプの代わりに発電を提案した。直流モーターで発電できることは知る由もなく、驚きの感情で受け入れてくれた。

展示会が迫り、写真の後、指導者の工作でプーリーとベルトを使って発電機の回転を増やし、発電できることを確認した。風車はおたまの角度や数が適当ではなく、扇風機風の風ぐらいでは回らない。

保護者中心で部分品を購入していたが、思うようには動かず保護者のほうから先に意欲が減退したように感じている。

子どもの発想の後追いになる指導者の関わり方は時として、子ども等の発想を否定することになり、計画段階での関わり方について問題を残した。

「エコ照明風力計」



↑ 父親が同伴していた男子の作品

「太陽電池を使ったもの」を作りたい。太陽電池を緊急時の照明や動力、自動車に使うというのがクラブに入ったきっかけだそうだ。

とりあえず、クラブが持っていた写真の太

陽電池を2枚とモーターを提供した。しばらくいじくっていたが、日陰や夜も使いたいということなので、モーターがそのまま発電機になることを伝えた。照明にはLEDを提供した。

このあたりから、「自分でつくる電気」はささやかだということを強く意識するようになった。その結果、太陽電池は2枚並列つなぎにしたものを2組直列にするという回路をつくった。

学区の運動クラブにも属していて、対外試合でクラブの欠席も多く、パルサ材の家を作ったり、乾電池を追加したりして、状況に合わせて太陽電池・風力・切りかえてLEDを点灯する回路は家庭で作っていた。風力発電は、形だけにとどまっている。板やスナップスイッチなどの購入には保護者が同伴している（部品屋が遠い）が、組み立ては、ほぼ、子どもの独力である。

2. 「科学・技術を体験的に伝える」活動

「科学・技術を体験的に伝える」活動の中では、子どもや保護者が目を向けていないような物や現象を紹介し、楽しさを味わわせることができる物を作らせ、新しい視野を開くことができればと考え、指導者が材料から作り上げる作品まで準備している。

① ロボットの仕組みを作ってみよう I



↑ 指導者は、テオヤンセンという人の作った、

風を受けてスムーズに歩くロボットの動きを見せて、構造に目を向けさせ、仕組みの面白さを理解させたいと考えている。

リンク装置を作らせ、実際に動かしてみることによって、どんな動きになるか楽しく考えることができる。



↑動き方の様子を指導者に聞きに行っている。

保護者・子どもとも初体験で、動きの全体が見えているものを完成させる活動では、直接的に理解しやすく、競争と協力原理が働くのか、より積極的になれるようである。

②ロボットの仕組みを作ってみようⅡ



↑回転運動をショベルローダーのショベル部分の動きに変える構造を作る。

指導者の狙いは、上図赤い線の部分以外を紙で隠し、動き方を見せてから「隠れている部分はどんな構造かな」と発問し、予想を立てながら試行錯誤して目的に到達できることを体験させる。棒を精密に組み合わせるだけで、色々な動きを作り出せることを体験させる。親子や指導援助者との情報交換を深める。正確で丁寧な加工を体験させることである。



↑工作用紙を切って、たくさんの部品を作っていく。カッターナイフでまっすぐ切るのは大変。手を添えてもらっている。

③太陽電池ラジオの制作



↑一石トランジスタラジオに、太陽電池と電解二重層コンデンサーを組み合わせた作品である。ラジオの回路は、指導者の方であらかじめ作っている。

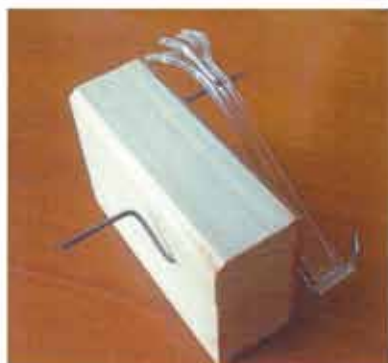
指導者は、スパイダーコイルで電波を受信できること、太陽電池だけでは暗いと使えないが、コンデンサーを使い太陽電池で充電しておく、暗くなってもラジオを聞くことができるという体験を味わわせることができると考えた。また、配線図と実物を関連付けることや、半田付け体験など経験できる。



↑保護者や子どもにとって普段見慣れない電子回路。現物を見ても、説明文を読んでもよくわからない。

保護者の方が積極的に理解しようと指導者に聞いている。

④おもしろ貯金箱を作ってみよう



←使用後は見捨てられることが多いプラスチック製フォーク、牛乳パック、針金、木片、

ストローを加工してフォークの手がユーモラスに動く貯金箱を紹介し、クランクや軸受けの動きと、長さに興味をもたせようとした。クランクを理解した後は、粗雑にならない程度の工作精度を要求し、保護者は自然に工作を子どもに任せるようになる。

手のユーモラスな動きは、保護者も感心を示し、手伝いが積極的になった。



↑牛乳パックに部品を組み込んでいく様子。狭い所に入れていくのはなかなか思うようにならない。

保護者は動かないようにそっと手を添えてやっている。

⑤電気振り子を作ってみよう



←磁石と電磁石をうまく組み合わせたものである。

これは、電磁石は電流が流れたときだけ、

磁石になるので、振り子が振れるということが実感できる。

指導者は電流と磁力という目に見えないものを、動きを通して実感させようとしている。

指導者の方で、適当な大きさに切ったプラスチック、ボルト、ナットなどは用意してある。



↑親子で協力してプラスチックに適当な穴を開けている。小さい穴を開けるのは難しい。

⑥ブザーを作ってみよう



↑指導者は、木片・クリップ・ブリキ・くぎ等と、できるだけ身の回りにあるものを使用して、電磁石の性質を実感させようとしている。

指導者の方で、ブリキ・木片を適当な大きさに切って用意している。

この活動には、家に帰っても、身の回りのものに目を向けて、いろいろと工夫して物づくりをがんばってほしいという指導者の願いが入っている。



↑親子協力してフオルマル線を巻いている。一人で巻くと線がよじれて困る。うまく巻く工夫の一つ。

⑦ししおどしを作ってみよう



↑ししおどしは、宣伝などで目にした子どももいるが、実物を動かした子どもは少ない。

指導者は、てこの原理を理解させようとこの作品を選んでいる。うまく水の性質を利用した、てこの原理を実感させる作品である。

子どもにとっては、動き続けること、気持ちよく響く音が魅力である。



↑親子協力してパイプを切っている。初めての経験である。

⑧ゴム動力車を作ってみよう



↑発砲スチロール・牛乳パック・串・輪ゴムと、身近なものを使った作品である。

指導者は、輪ゴムの長さを変えたり、車の形・車輪の大きさを変えたりといろいろと工夫して楽しんでもらいたいと願っている。

なお、発砲スチロールの車輪は、指導者の方で大・小いろいろと組み合わせることができるようになっている。子どもにとっては、走行距離が一番の関心の的になると考えている。



↑親子で協力して牛乳パックに印をつけ、切っている。パックを持ってもらわないときれいに切れない。

以上、科学・技術を体験的に伝える活動では、親子にとって、家にあるもの・新しい観点からアプローチできそうなものに目を向け生涯の生活において理科的な見方・考え方が根付くように願っている。

Ⅲ. おわりに

ここで、一年間の活動が終わって、当クラブの願い「親が子どもの願いを知り、受け入れ、共感しながら過ごしてほしい」と「親にとってこの体験は家庭に返っても続くであろうし、子どもがクラブを退いても続くという考え」が達成できているかを知るため、保護者に感想を聞いてみた。

問 1. 前半の宝箱活動はいかがでしたか。

- ・いろいろな考え方・工夫をすることの大切さがわかってよかった。
発想が出なくて困ったこともあった。
- ・宝箱活動にあたって、何をしたらいいかなかなか決まらず苦労しました。しかし、ここまで一つのことに試行錯誤しながら制作することは初めてで、とてもいい経験ができました。
アドバイスをいただき、そしてアイディアが浮かぶ。本当に楽しかったし、私もいい勉強になりました。
- ・宝箱は、何を作るかを決めるまでが大変でしたが、おもしろかったです。
- ・宝箱は、あまり手のかからない簡単なものを作りました。3 つ作り出展しました。身近な子供の発想から作り出すものが多く展示されていました。0 から考えて作り、説明文を書くという作業は大変でしたが、自信につながったようです。
- ・とても難しかったです。でも、材料も作り方も全部自分で考えて制作するということは、子どもにとって初めての経験で、とて

も良かったと思います。最後に仕上がった時は、本当に喜んでいました。

問 2. 後半の指導員の提案での制作活動は、いかがでしたか。

- ・普段使わない道具を使ったり、手軽な・身近なもので作ったりしたところがよいと思った。
- ・準備を万全にしてくださり、制作活動に専念でき感謝しています。身近なもので、いろいろ高度なものができるのだなと感心するばかり。動力の仕組みも、わかりやすく説明していただけたのもすごく良かったです。
- ・子どもが楽しめて、とてもよかったと思います。子どもはラジオともしおどしを作ったのが特におもしろかったようです。
- ・材料や道具を用意してくださり、いろいろと細かい指導をしてくださり、良かったです。ありがとうございました。
- ・作りながら、原理もわかりながらで、良かったです。子どももとても生き生き参加していました。
- ・実験し検証できる内容があればいいと思います。ありがとうございました。
全員ではないが、保護者よりこのような感想をいただきクラブの活動の方向性としては間違っていないと感ずることができた。

最後に：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る。
写真：岡山市青少年少女発明クラブHPから転載

文責：水内 福太郎

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

(推薦者)

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

(研究助成の種別)

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

二 特定研究

財団が毎年提示する基本テーマに関する研究課題を対象とする。

三 学術調査研究

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

(研究助成の期間)

第6 前項に規定する研究助成の期間は、原則として1年とする。

(助成研究の募集)

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

(助成研究の選考)

第8 研究助成金の交付は、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（㈱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。

今年も東日本大震災の復旧・復興が進む中、5月には茨城県つくば市において、竜巻が発生し、7月には九州北部で記録的な豪雨となり、甚大な被害をもたらした。

昨年の東日本大震災に引き続き、益々、自然の力の恐ろしさを実感したのではないだろうか。

また、原子力発所の稼働問題が行き詰る中、今年においても記録的な猛暑が続き、節電対策が迫られる年でもあった。

財団法人 八雲環境科学振興財団
研究レポート集 第13号

平成24年9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
(㈱エイト日本技術開発内)
TEL (086)252-7670

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



THE YAKUMO FOUNDATION FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

telephone: 086-252-7670

facsimile: 086-252-8918

URL: <http://www.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