

研究レポート集 2010

Report

第11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まます。

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

このような中で、21世紀に向けた「環境」に関するテーマについて、産官学がより一体となった学術研究面での充実および地球環境保全を視野に入れた国際的な意識の醸成を奨励することが必要であると考えました。そして、環境科学に関する調査研究の推進や創造性豊かな研究者の養成を支援することにより、岡山県における学術および技術開発の進展並びに国際研究交流の増進に貢献していくことを目的として、平成10年7月29日、「財団法人 八雲環境科学振興財団」が設立され、おかげさまで12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21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	18
8. 平成21年度環境研究助成報告	21
9. 平成21年度国際研究交流助成報告	114
10. 平成21年度研究集会助成報告	117
11. 平成21年度その他の助成報告	119
12. 助成実施要項	127
13. ご寄附のお願い	133

1. 巻頭言

昨年9月、首相の座に着いたばかりの鳩山総理は、ニューヨークで開かれた国連気候変動サミットにおいて、前提条件があるものの「温室効果ガス排出量を2020年までに1990年比で25%削減する」ことを世界に表明しました。10年間で何を根拠にそのようなことが可能なのか、正直言って我が耳を疑いました。具体的な方法論が知りたくて環境白書を取り寄せ、ネットを検索してみました。確たる論拠を見つけることは出来ませんでした。しかし、少しばかり地球温暖化対策に関する知見を得ることが出来たので、そのことに触れてみたいと思います。

雑誌や環境白書等に取り上げられている主な地球温暖化の影響を挙げてみますと、海水の熱膨張や氷河の融解による海面上昇、絶滅の危機にある生物種の加速、熱帯性伝染病発生の広範囲化、気候変動に伴う自然災害の多発、病害虫多発による穀物生産の減少等あらゆる分野に及んでいます。このため、地球温暖化への対策も実に多様な制度やオプションが考えられ、その方向性により温暖化を抑制する「緩和」と温暖化への「適応」に大別されています。

緩和策にはエネルギー転換、産業施設や民生の省エネ化、運輸の省燃費化など、広い分野にわたる対策により温室効果ガスの排出が少ない低炭素社会の構築が求められ、今後10年～30年間の努力が決定的に大きな影響を持つとされています。

一方、適応策としては増加する降水量、海面上昇等の脅威に対する災害適応型社会の構築、緊急的な水資源の確保、農作物の高温障害対策、自然生態系への影響対策、熱中症予防対策等が掲げられています。

この様に地球温暖化対策を並べてみると、気になることがあります。前者の緩和策には数値目標があり、温室効果ガスの排出量取引制度や減税、エコ制度等の具体的な取り組みが示され、内容も理解しやすい。しかし、後者の適応策には何の目標も示されておらず、具体的な中身もよく解からない。

削減対策で排出が抑制されたとしても、すでに排出された温室効果ガスの影響は、今後長期にわたり様々な形で現れてくることが予測されており、適応策に対しても理解しやすい目標を定め、長期的な視野で取り組む必要があると思われます。

地球温暖化の影響をモニタリングして予測し、そのリスクを評価して適応策としての目標を設定することは簡単なことではありませんが、この地球温暖化対策という極めて重要な政策課題に対して、政策、技術を駆使し、緩和と適応を関連付け、融合させ、相互にバランスのとれた取り組みが肝要であると思うからであります。

評議員 高橋 尚城
((株)エイト日本技術開発 顧問)

2. 財団の概要

名 称	財団法人 八雲環境科学振興財団
所 在 地	岡山県岡山市北区津島京町三丁目1番21号 (株式会社エイト日本技術開発内)
主務官庁	岡山県教育委員会
設立許可	平成10年7月29日 (平成14年8月26日 特定公益増進法人に認定)
出 捐 者	株式会社エイト日本技術開発 他
基本財産	2億5,197万円(平成22年3月末現在)
事業概要	(1) 環境研究助成事業 環境科学に関する研究費用の助成(年間12件程度) ①特定研究(テーマ指定) 一件当たり100万円以内 ②一般研究(テーマ自由) 一件当たり 50万円以内 (2) 国際研究交流助成事業 環境科学に関わる海外渡航費用の助成及び海外研究者招聘費用の 助成(年間4件程度) 一件当たり 20万円以内 (3) 研究集会助成事業 環境科学に関する研究集会等の開催費用の助成(年間2件程度) 一件当たり 30万円以内
助成対象	岡山県内の大学等の研究機関に所属する研究者又は研究グループ

3. 役員等名簿

役職名	氏 名	現 職 等
理 事 長	小谷 裕司	(株)エイト日本技術開発 代表取締役社長
理 事	河野伊一郎	岡山大学特別顧問 (前岡山大学学長)
	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	岡山県立大学情報工学部教授
	沖 陽子	岡山大学大学院環境学研究科教授
	伊丹 文雄	財団法人倉敷スポーツ公園理事長
	小谷 敏幸	(株)エイト日本技術開発 相談役
監 事	西田 秀史	弁護士
	大橋 莊平	税理士
	小谷 浩治	(株)エイト日本技術開発 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	岡山大学大学院自然科学研究科教授
	波田 善夫	岡山理科大学学長
	西垣 誠	岡山大学大学院環境学研究科教授
	飯島 祥二	岡山商科大学大学院商学研究科教授
	阿部 宏史	岡山大学大学院環境学研究科長
	岩田 正晴	ロック地域計画事務所 代表
	谷本 俊夫	(株)エイト日本技術開発 顧問
高橋 尚城	(株)エイト日本技術開発 顧問	
選考委員	稲井 寛	岡山県立大学情報工学部教授
	坂本 圭児	岡山大学大学院環境学研究科教授
	星野 卓二	岡山理科大学総合情報学部教授
	大久保賢治	岡山大学大学院環境学研究科教授
	熊澤 貴之	岡山県立大学デザイン学部講師
	吉田 庄太	(株)エイト日本技術開発 監査役
	永井 泉治	(株)エイト日本技術開発 技術企画部長

4. 寄附行為

第 1 章 総則

(名称)

第1条 この法人は、財団法人八雲環境科学振興財団という。

(事業所)

第2条 この法人は、事務所を岡山県岡山市津島京町三丁目1番21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

(資産の種類)

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

(役員の種類)

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

(役員を選任)

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なってはならない。

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なってはならない。又監事には職員が含まれてはならない。

5 理事及び監事は、相互に兼ねることができない。

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

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

(理事の職務)

第18条 理事長は、この法人を代表し、業務を統括する。

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

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

(監事の職務)

第19条 監事は、次に掲げる職務を行う。

(1) この法人の財産及び会計を監査すること。

(2) 理事の業務執行の状況を監査すること。

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

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

(役員任期)

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

2 役員は、再任されることができる。

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

(役員解任)

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

(1) 心身の故障のため、職務の執行に堪えないと認められるとき。

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

(評議員選出)

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

2 評議員は、理事会で選出し、理事長が任命する。

3 評議員及び役員は、相互に兼ねることができない。

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

5 評議員のうちには、役員のうちいずれか1人と親族その他特殊の関係のある者の数又は、評議員のうちいずれか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。

(評議員職務)

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

(報酬等)

第24条 役員及び評議員は無給とする。

2 役員及び評議員には、費用を支弁することができる。

3 前2項に関し必要な事項は、理事会の議決を経て、理事長が別に定める。

第5章 会議

(機能)

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

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

(1) 事業計画及び収支予算の決定

(2) 事業報告及び収支決算の承認

(3) 不動産の買入れ又は基本財産の処分若しくは担保の提供

(4) 長期借入金についての事項

(5) 新たな義務の負担及び権利の放棄についての事項

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

(7) その他理事長が付議した事項

(招集)

第26条 会議は、理事長が招集する。

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

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

(議長)

第27条 理事会の議長は、理事長がこれに当たる。

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

(定足数)

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

(議決)

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

(書面表決等)

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

(議事録)

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

- (1) 会議の日時及び場所
 - (2) 理事又は評議員の現在数
 - (3) 出席者及び出席者氏名(書面表決者及び表決委任者の場合にあつては、その旨を付記すること。)
 - (4) 審議事項及び議決事項
 - (5) 議事の経過の概要及びその結果
 - (6) 議事録署名人の選任に関する事項
- 2 議事録には、議長及び出席した理事又は評議員の中からその会議において選任された議事録署名人2人以上が、署名押印しなければならない。

第 6 章 選考委員会

(選考委員会)

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

(選考委員)

第33条 選考委員会は、6人以上9人以内の選考委員をもって組織する。

2 選考委員は、学識経験者のうちから、理事会で選出し、理事長が委嘱する。

3 選考委員の任期は2年とする。ただし、再任を妨げない。

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

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

第 7 章 寄附行為の変更及び解散

(寄附行為の変更)

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

(解散)

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

(残余財産の処分)

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

第 8 章 事務局

(事務局及び職員)

第37条 この法人の事務を処理するために、事務局を設置する。

2 事務局には、必要な職員を置く。

3 職員は、理事長が任免する。

4 職員は有給とすることができる。

5 事務局の組織及び運営に関し必要な事項は、理事会の議決を経て、理事長が別に定める。

(書類及び帳簿の備え付け等)

第38条 この法人の事務所に、常に次の書類及び帳簿を備えなければならない。ただし、他の法令によりこれらに代わる書類及び帳簿を備えたときは、この限りではない。

- (1) 寄附行為
- (2) 役員、評議員及びその他の職員の名簿、役員の就任承諾書並びに履歴書
- (3) 過去3年度の各年度末の財産目録および収支決算書
- (4) 資産台帳及び負債台帳
- (5) 収入支出に関する帳簿及び証拠書類
- (6) 寄附行為に定める議決機関の議事録
- (7) 許可、認可等の書類
- (8) 登記に関する書類
- (9) 官公署からの示達文書
- (10) 現年度の事業計画及び収支予算書
- (11) 過去3年度の監事が監査に関して作成した書類
- (12) その他必要な帳簿及び書類

第9章 補則

(株式の権利行使の制限)

第39条 この法人が保有する株式について、その株式の発行会社に対して株主としての権利を行使する場合には、下記の事項を除き、あらかじめ理事会において理事現在数の3分の2以上の同意を得なければならない。

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

(細則)

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

附 則

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

5. 平成 21 年度事業実施状況

平成 21 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 764 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。

I. 環境研究助成

一般研究	特定研究
1. 助成対象研究	
テーマは設定しません 自然科学と社会科学の両分野の研究で 自然環境の改善に寄与するものとします。	平成21年度募集テーマ A：地球温暖化に関する研究（新テーマ） B：都市・農村環境に関する研究 C：地域未利用資源活用に関する研究
2. 助成金額と件数	
総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 400 万円程度 1 件あたり助成額 ・ ・ 50 万円以内 助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 8 件程度	総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 300 万円程度 1 件あたり助成額 ・ ・ 100 万円以内 助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 3 件程度
3. 助成対象となる期間	
平成 22 年 3 月 31 日まで	平成 22 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 22 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 21 年 5 月 1 日から平成 22 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 21 年 10 月 1 日から平成 23 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20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21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21年 4月17日（金）（必着）	平成21年 5月	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.8con.co.jp/zaidan/>

応募申請書類は下記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）エイトコンサルタント経営企画部内
 （財）八雲環境科学振興財団 事務局（担当：三宅）
 TEL: 086-252-7670
 FAX: 086-252-8918
 Eメール: yakumo@8con.co.jp

6. 年度別助成事業実施状況

平成 10 年度

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

平成 10 年度は、環境研究助成事業は実施いたしませんでした。

○所属機関別助成実績

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

平成 11 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 12 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 13 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 14 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 15 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 16 年度

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

※ 研究集会助成事業は平成 17 年度開催 採択 2 件を含む。

○所属機関別助成実績

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

平成 17 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 18 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 19 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 20 年度

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

○所属機関別助成実績

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

平成 21 年度

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

○所属機関別助成実績

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

累計（平成 10 年度～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	311件	140件	76,516.3千円
国際研究交流助成事業	112件	68件	13,322.2千円
研究集会助成事業	13件	12件	3,450千円
合計	436件	220件	93,288.5千円

7. 研究発表会実施状況

平成12年度

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

平成13年度

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

平成14年度

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

平成15年度

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

平成16年度

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

平成 17 年度

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

平成 18 年度

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

平成 19 年度

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

平成 20 年度

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

平成 21 年度

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

平成 22 年度（予定）

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

平成 21 年度 環境研究助成報告

8. 平成 21 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
待井 健仁	岡山理科大学	地方自治体における住宅用太陽光発電システム設置に係る補助金の有効活用のための社会的システムの構築に関する研究	2 2
高橋 一男	岡山大学異分野融合先端研究コア	ゲノム網羅的な高温耐性責任領域の新規探索法 －地球温暖化の生物マーカー開発の基礎として－	2 8
若村 国夫	岡山理科大学 理学部	大気中からの水素イオン抽出を可能にする光誘起イオン伝導現象の観測	3 7

②一般研究

助成対象者	所 属	研究テーマ	ページ
津田 敏秀	岡山大学大学院 環境学研究科	室内大気汚染と貧困の影響も考慮に入れたアジアにおける大気汚染の健康影響に関する研究	4 4
諸岡 浩子	くらしき作陽大学 食文化学部	高等教育における持続可能性教育の在り方 －ドイツの大学の環境カリキュラム研究－	5 0
中村 重之	津山工業高等専門学校	太陽電池のための禁制帯幅が制御された鉄シリサイド薄膜の高抵抗化	5 6
大下 浩司	吉備国際大学 文化財学部	文化財の劣化・風化の度合いを定量化するための簡易分析システムの開発	6 2
兵藤 不二夫	岡山大学異分野融合先端研究コア	森林伐採が窒素循環に与える影響 －窒素安定同位体比に着目して－	6 8
谷口 浩成	津山工業高等専門学校	流体制御デバイスを集積した環境汚染物質微量簡易分析装置の基礎研究	8 7
西原 康師	岡山大学大学院 自然科学研究科	リチウムイオン二次電池の大型化を指向した有機－無機ハイブリッド電解質の開発	9 5
小椋 清孝	岡山県立大学 情報工学部	動的再構成技術を用いた可変長符復号処理回路の開発	1 0 1
鶴 理恵子	吉備国際大学 社会学部	都市－農村交流の先駆的事例としての棚田オーナー制度の現状と展望 －鳥取県岩美町「いがみ田を守る会」の事例を中心に－	1 0 7

※所属は、助成申請時

地方自治体における住宅用太陽光発電システム設置に係る補助金の有効活用 のための社会的システムの構築に関する研究

岡山理科大学 待井健仁

1. はじめに

現在、地球温暖化対策は先進国のみならず全世界において大きな課題となっている。

2009年12月に、コペンハーゲンで開催された気候変動枠組条約第15回締約国会議(COP15)において「コペンハーゲン合意」が作成され、同合意に留意すると決定された。これを受けて、日本政府は2010年1月に、「コペンハーゲン合意」に賛同する意思を表明し、すべての主要国による公平かつ実効性のある国際枠組の構築及び意欲的な目標の合意を前提としながらも、1990年比で25%削減という2020年の排出削減目標を気候変動枠組条約事務局に提出した¹。さらに、2010年4月からは東京都において「排出権取引制度」が開始されている。2010年3月には「地球温暖化対策基本法案」が閣議決定された後、提案されたが参議院で審議中に国会が閉会となり廃案となった。廃案となったが政府与党の新しい基本法の枠組みが明確となった。

温室効果ガス排出抑制のために大きな役割を担う施策の一つとして太陽光発電システムの導入の促進があり、国レベル及び地方自治体レベルにおいても住宅用太陽光発電システム設置に関する補助制度による施策が行われている。

本稿では、国及び岡山県における温室効果ガス排出抑制の取組及び住宅用太陽光発電システム設置に係る補助制度を整理するとともに、地方自治体において補助金が有効に活用されるための社会的なシステムについて検討を行った。

2. 国の温室効果ガス排出抑制の取組

1997年12月に京都で開催されたCOP3において採択され、2005年2月に発効した京都議定書によって、日本は2008年～2012年の第一約束期間における温室効果ガス排出量について、1990年比で6%削減することを義務付けられた。1997年に京都議定書が採択されたことを受けて、1998年6月には、地球温暖化対策推進本部において、2010年に向けて緊急に推進すべき地球温暖化対策をとりまとめた「地球温暖化対策推進大綱」が決定された。

さらに、1998年10月には「地球温暖化対策推進法」が制定、公布され、1999年4月から施行された。この法律では、京都議定書の目標を達成するために、国、地方公共団体、事業者及び国民の責務、役割が明確にされた。施行後、6回の改正を経ているが、2002年改正では政府に「京都議定書目標達成計画」の策定を義務付け、最新の2008年改正では、都道府県及び指定都市等における地方公共団体実行計画(区域施策編)の策定等に関する規定が追加された²。

2005年4月には、京都議定書が発効したこととともない、京都議定書で義務付けられた温室効果ガスの6%削減と長期的かつ持続的な排出削減を目的として「京都議定書目標達成計画」が閣議決定された。同計画は、2006年に一部改定され、さらに2008年には全面的に改定されている。

2009年12月には、中長期目標達成のため、専門的、技術的観点からの具体的な提案を行うことを目的として環境省に「地球温暖化対

¹ 環境省「コペンハーゲン合意への賛同・排出削減目標の提出について」<<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12036>> 2010年5月6日参照

² 環境省「地球温暖化対策の推進に関する法律の一部を改正する法律案の閣議決定について」<<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=9435>> 2010年5月6日参照

策に係る中長期ロードマップ検討会」³が設置され、2010年3月には「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ(議論のたたき台)」がまとめられた。また、3月には、温室効果ガス排出量を2020年までに1990年比で25%削減、さらには2050年までに80%削減するという中長期目標達成のため「地球温暖化対策基本法案」が閣議決定された⁴。この法案は結局廃案となったが、政府与党の考え方が明確となった。

住宅用太陽光発電システム設置に関する補助制度については、経済産業省が2008年度より「京都議定書目標達成計画等で示されている太陽光発電の導入目標を達成するため及びその後の太陽光発電の大量導入を可能とするため、住宅用太陽光発電システムの価格低下を促しつつ市場の拡大を図ること」を目的とした補助制度を始めている。補助金額としては、1kWあたり7万円(最大10kW)としている。

2009年11月からは「太陽光発電の余剰電力買取制度」が始まり、買取価格は住宅用(10kW未満)で48円/kWh、2010年度の太陽光発電促進賦課金は0円/kWhとされた。さらに、2009年10月には再生可能エネルギーの全量買取制度に関するプロジェクトチームが経済産業省内に設置され、買取対象、買取価格、買取期間、買取費用の負担の在り方等が検討されている。

3 岡山県の温室効果ガス排出抑制の取組

岡山県では、1998年3月に「岡山県環境基本条例」(1996年10月制定)の基本理念に沿って「岡山県環境基本計画・エコビジョン2010」(以下、「旧エコビジョン」)が策定された。旧エコビジョンでは、重点プロジェクトの一つとして、目標年次を2010年とした地球温暖化防止プロジェクトが掲げられており、具体的な削減目標については、「今後策定する岡山県地球温暖化防止行動計画において明らかにす

る」とされた。(岡山県、1998)

2002年3月には、日本全体で果たすべき目標の達成に向けて、体系的・継続的に地球温暖化対策を推進していくための地域レベルでの具体的な指針として「岡山県地球温暖化防止行動計画」が策定された。目標年次及び計画目標については、「2010年度の温室効果ガス排出量を1990年度比で6.5%削減すること」とされた。この目標を達成するためには7,547千t-CO₂の温室効果ガスの削減が必要であるとし、各主体別の目標削減量及び目標達成のための取組について定めた。(岡山県、2002)

旧エコビジョンは、2003年3月に改正された(以下、「新エコビジョン」)。新エコビジョンでは、温室効果ガス排出量の削減目標は、岡山県地球温暖化防止行動計画を踏襲し6.5%削減とされた。地球温暖化防止プロジェクトについては、太陽光発電の推進、新エネルギーの活用等が追加された。(岡山県、2003)

2006年には、岡山県地球温暖化防止行動計画における省エネルギー分野の実施計画として「岡山県省エネルギービジョン」が策定された。目標については、エネルギー消費量を2010年度において1990年度比で3.1%増のレベルまで、2015年度において0.8%増のレベルまで削減するとされた。(岡山県、2006)

2008年には、新エコビジョンを全面的に見直し、2020年度を展望した新たな総合的かつ長期的な目標、施策の大綱として「新岡山県環境基本計画・エコビジョン2020」が策定された。計画期間は、2008年度から2020年度までとされ、2012年度を目標年次とする重点プログラムが盛り込まれた。重点プログラムの一つである地球温暖化対策については、省エネルギーの推進、フロン類対策、新エネルギーの導入促進、吸収源対策が掲げられ、具体的な目標値も設定された。(岡山県、2008)

住宅用太陽光発電システム設置に関する補助制度については、2009年度から補助金額を1kWあたり7万円(最大4kW)とする「晴

³ 環境省「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会の設置について」<<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=11917>> 2010年5月7日参照

⁴ 環境省「地球温暖化対策基本法案の閣議決定について」<<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12257>> 2010年5月7日参照

れの国おかもやま太陽光導入促進補助事業」を実施している。2010年度からは、住宅用太陽光発電システムと併せて、県が定める省エネルギー設備を設置する場合に経費の一部を補助する制度を実施している。補助金額は、太陽光発電システムについて1kWあたり3万円(最大4kW)とし、省エネルギー設備については、CO2冷媒ヒートポンプ給湯器が5万円、潜熱回収型給湯器、複層ガラス、LED照明機器がそれぞれ3万円としている。なお、この制度では、太陽光発電設備の設置だけでは補助対象とはならず、省エネルギー設備のうち1種類を併せて新たに設置することが条件となっている。

4 補助金の有効活用のための社会的システムの概要

岡山県の補助を得た住宅用太陽光発電システムに伴う余剰電力を個人が電力事業者に売却することができるものの、太陽光発電によって削減される二酸化炭素の排出の取り扱いに関しては、自治体としては明確に取り扱いを定めていない。そこで、補助対象住宅の太陽光発電による二酸化炭素削減分を無償で提

供を受けたうえで、地方自治体、あるいは自治体の関与する組織がとりまとめて管理し、国内クレジット制度(あるいは「グリーン電力証書」)によって売却すること、それにより得られた利益を広く市民に還元する社会的なシステムの構築を検討した。

システムの概要であるが、国内クレジット制度においては、地方自治体が直接窓口となることはできないため、自治体、住民代表、関係機関等からなる「温暖化対策推進機構(仮称)」のような機関を新たに設置する。自治体からの補助決定時には、機構が補助対象住宅から二酸化炭素削減分を無償で提供を受け、管理する旨の契約を機構と一般家庭の間で締結する。また、「地球温暖化推進機構(仮称)」が行う一般家庭との間の契約の適正な運用、二酸化炭素削減分の国内クレジット等による適正な売却についての監査を行う機関として「運用監査委員会(仮称)」を設置する。

補助対象としては、一般家庭のみとし、太陽光発電システムの設置に伴う二酸化炭素削減分は「温暖化対策推進機構(仮称)」に譲渡し、余剰電力に関しては、一般家庭が各自電力会社に売電することができるものとする。

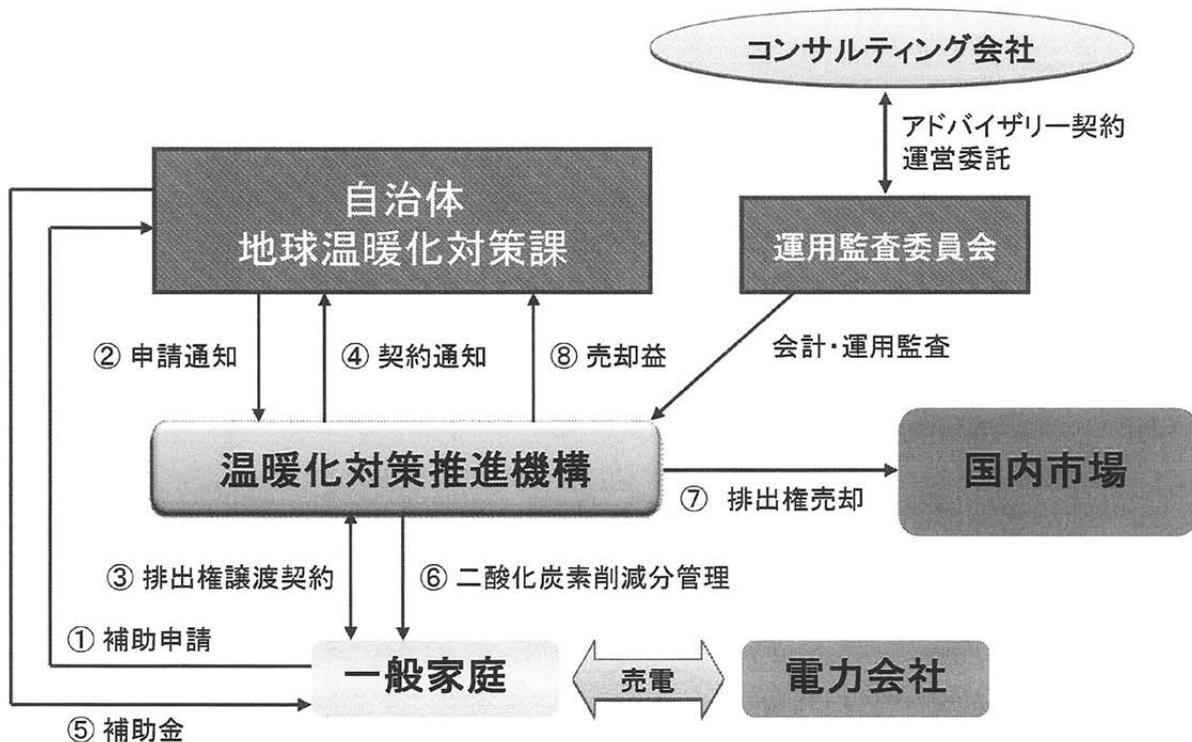


図 システムの概要

5 岡山県の温室効果ガス排出量の推移

岡山県における 1990 年度の温室効果ガス排出量は、合計で約 5,000 万 t-CO₂であった。2006 年度には、1990 年度比で 11.5%増加し、約 5,600 万 t-CO₂となった。県全体の温室効果ガス排出量の内訳を見ると、二酸化炭素が 98.3%を占めており、メタン、一酸化二窒素及び代替フロンが残りの 1.7%であった。2006 年度の二酸化炭素排出量について、産業部門が約 4,240 万 t-CO₂で全体の 76.3%を占め、民生部門が約 540 万 t-CO₂ (9.7%)、運輸部門が約 490 万 t-CO₂(8.9%)であり、いずれの部門についても 1990 年度と比べると増加している⁵。

一方、日本全体の温室効果ガス排出量は、2008 年度に 12 億 8,600 万 t-CO₂であり、内訳としては産業部門が 34%、業務部門が 19%、家庭部門が 14%、運輸部門が 19%であった⁶。

6 岡山県における温室効果ガス排出量の削減ポテンシャル

ここでは、岡山県における 2020 年の温室効果ガス排出量の削減ポテンシャルを産業部門、民生部門、運輸部門の 3 部門について試算してみる。試算するにあたっては、中長期ロードマップ検討会が 2010 年 3 月にまとめた「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ(議論のたたき台)」に挙げられている対策項目及び削減効果を参考とした⁷。

6.1 産業部門

産業部門については、ロードマップに挙げられている対策のうち、鉄鋼(次世代コークス炉など)、化学(熱併給発電の高効率化など)及び業種横断的技術(高性能工業炉、高性能ボイラ、産業用ヒートポンプ、インバータ制御など)を対象とした。なお、次世代コークス炉に

表 1 岡山県の温室効果ガス排出量

区分		1990年度 (基準年度)	2006年度	基準年比 増減率	構成割合
二 酸 化 炭 素	産業部門	38,875	42,410	9.1%	76.3%
	民生部門	3,959	5,405	36.5%	9.7%
	運輸部門	3,815	4,926	29.1%	8.9%
	エネルギー転換部門	619	555	-10.3%	1.0%
	廃棄物部門	467	673	44.1%	1.2%
	工業プロセス	864	685	-20.7%	1.2%
計		48,599	54,654	12.5%	98.3%
メタン		616	411	-33.3%	0.7%
一酸化二窒素		329	306	-7.0%	0.6%
代替フロン		322	219	-32.0%	0.4%
合計		49,866	55,590	11.5%	100%
全国		1,261	1,342	6.4%	

単位：千 t-CO₂(全国については百万 t-CO₂)

については、ロードマップでは 6 基導入とされているうち、1 基導入とし、その他については、製造品出荷額の岡山県が全国に占める割合(2.6%)⁸をもとに按分し算出した。

試算結果としては、鉄鋼で 78 万 3,000 t-CO₂、化学で 10 万 6,600 t-CO₂、業種横断的技術で 15 万 8,600~24 万 7,000 t-CO₂、合計 104 万 8,200~113 万 6,600 t-CO₂が削減可能である。

岡山県では、2006 年度に産業部門の温室効果ガス排出量は約 4,240 万 t-CO₂であり、約 2.5%の削減ポテンシャルがあると考えられる。

6.2 民生部門

民生部門については、ロードマップに挙げられている住宅(建築物)の環境性能(断熱水準等)の向上、住宅における高効率給湯器の普及、住宅における空調の高効率化、建築物における空調の高効率化、住宅・建築物における照明の高効率化、計測・制御システム(HEMS, BEMS 等)、その他家電の効率改善、その他電気機器の効率改善、太陽光発電の設置を対象とした。なお、住宅及び建築物につ

⁵ 岡山県「岡山県内の平成 18 年度温室効果ガス排出量の状況について」<http://www.pref.okayama.jp/file/open/1274986258_326722_4492_184986_misc.pdf> 2010 年 5 月 10 日参照

⁶ 環境省「2008 年度の温室効果ガス排出量(速報値)について」<<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2008sokuho.pdf>> 2010 年 5 月 20 日参照

⁷ 環境省「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ(議論のたたき台)」<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mlt_roadmap/comm/201003/main.ppt> 2010 年 5 月 25 日参照

⁸ 岡山県「平成 20 年工業統計調査結果」<http://www.pref.okayama.jp/file/open/1274995496_733642_29802_151491_misc.pdf> 2010 年 5 月 25 日参照

表 2 2020 年における岡山県の温室効果ガス排出量の削減ポテンシャル

	主要な対策	岡山県における削減量	岡山県における削減率
産業部門	既存の温暖化対策技術の更なる導入		2.5%
	鉄鋼：次世代コークス炉 など	78万3,000	
	化学： 熱供給発電の高効率化 など	10万6,600	
	業種横断的技術(高性能工業炉, 高性能ボイラ, 産業用ヒートポンプ, インバータ制御等)	15万8,600～24万7,000	
	合計	104万8,200～113万6,600	
民生部門	住宅(建築物)の環境性能(断熱水準等)の向上	7万3,500～12万6,000	35～45%
	住宅における高効率給湯器の普及	15万～21万	
	住宅における空調の高効率化	6万6,000～11万7,000	
	建築物における空調の高効率化	16万5,000～27万	
	住宅・建築物における照明の高効率化	24万～25万5,000	
	計測・制御システム(HEMS, BEMS等)	16万5,000～27万	
	その他家電の効率改善	25万5,000	
	その他電気機器の効率改善	43万5,000	
	太陽光発電の設置	34万5,000～48万	
	合計	189万4,500～241万8,000	
運輸部門	燃費改善乗用車	44万4,600	15%
	電気自動車	5万3,200	
	ハイブリッド自動車(マイクロハイブリッドを含む)	12万5,400	
	プラグインハイブリッド自動車	2万8,500	
	一般ドライバーのエコドライブ実施	9万5,000	
	合計	74万6,700	

単位：t-CO₂

いては、世帯数及び製造業を除いた事業所数の岡山県が全国に占める割合(1.5%)⁹、太陽光発電については、住宅用太陽光発電システムの導入容量の岡山県が全国に占める割合(2.6%)¹⁰をもとに算出した。

結果としては、住宅(建築物)の環境性能の向上で7万3,500～12万6,000 t-CO₂、住宅・建築物における照明の高効率化で24万～25万5,000 t-CO₂、太陽光発電で34万5,000～48万 t-CO₂など、合計189万4,500～241万8,000 t-CO₂が削減可能である。

岡山県では、2006年度に民生部門の温室効果ガス排出量は約540万 t-CO₂であるので、約35～45%の削減ポテンシャルがあると考えられる。

6.3 運輸部門

運輸部門については、ロードマップに挙げられている乗用車の燃費改善、電気自動車やハイブリッド自動車の導入、プラグインハイブリッド自動車の導入、一般ドライバーのエコドライブ実施を対象とした。なお、算出にあたっては自動車保有台数の岡山県が全国に

占める割合(1.9%)⁹をもとにした。

結果として、乗用車の燃費改善で44万4,600 t-CO₂、電気自動車の導入で5万3,200 t-CO₂、ハイブリッド自動車の導入で12万5,400 t-CO₂、一般ドライバーのエコドライブ実施で9万5,000 t-CO₂など、合計74万6,700 t-CO₂が削減可能である。

岡山県では、2006年度に運輸部門の温室効果ガス排出量は約490万 t-CO₂であり、約15%の削減ポテンシャルがあると考えられる。

7 考察

7.1 補助金の有効活用のための社会的システムの検討課題

本稿において、住宅用太陽光発電システム設置に係る補助金の有効活用のための社会的システムを検討したが、さまざまな検討すべき課題がある。

太陽光発電システムによる排出権を考えるにあたって、排出量の算定及び認証について自治体が行う場合に技術的、経済的に難しいと考えられる。また、複数の自治体からの補

⁹ 岡山県「平成20年版岡山県統計年報」<<http://www.pref.okayama.jp/kikaku/toukei/tounen/H20data/H20top.htm>> 2010年5月25日参照

¹⁰ 新エネルギー導入促進協議会「平成20年度住宅用太陽光発電システム導入状況に関する調査」<<http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/0900817.pdf>> 2010年5月25日参照

助金を受けている場合には、排出権に関して補助を行っている自治体間での調整が必要となる。

環境保全上の価値、寄与に関しては、太陽光発電システムを設置している一般家庭について、二重の利益になると考えることもできる。つまり、排出権による経済的利益と、「エコ」のイメージによる道義的利益が重複して発生するのではないかということである。また、排出権の譲渡について、環境保全上の価値、寄与を、どの程度の期間において認めるのかなど、明確な考え方と見通しを検討しておく必要があると考える。

現在、検討が行われている再生可能エネルギーの全量買取制度についても、国の動向を踏まえながら、自治体の太陽光発電システム設置に関する補助制度、温室効果ガス排出抑制の取組をさらに発展させ、実施していく必要がある。

7.2 温室効果ガス排出量の削減ポテンシャルの試算結果に関する評価

2020年における岡山県の温室効果ガス排出量の削減ポテンシャルについて、本稿では「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ(議論のたたき台)」での前提条件、対策項目及び削減効果をもとに試算を行った。試算を行った産業、民生及び運輸部門については、各部門において対策項目をより詳細に抽出し、削減を期待できる量を積み上げることによって、より確からしい削減ポテンシャルを算出することができるものとする。また、削減量については、全国の削減量に対して、岡山県が全国に占める割合をもとに算出したが、これについても岡山県における各部門の動向を正確に把握して算出することで、岡山県の社会的な実情をより反映した削減ポテンシャルを得ることができるものとする。

7.3 低炭素化に向けた今後の課題

産業部門における温室効果ガス排出量の比率が高い岡山県の特性を踏まえ、温室効果ガス排出量を削減し、低炭素地域を構築していくためには、産業、民生及び運輸部門の各部門に対する個別の施策が必要である

とともに、行政、住民、事業者さらには教育機関等を含めた地域全体での連携した取組を行っていくことが特に重要であると考えられる。

具体的には、農水産物やエネルギーの地産地消の推進、大企業と中小企業間での域内技術・資金協力といった各主体間が連携できる取組を行い、エネルギー自給型の都市づくりを目指していくことが、地域の低炭素化に向けた今後の重要な課題であると考えられる。

謝辞

本研究は、財団法人八雲環境科学振興財団の平成19年度環境研究助成によって行うことができました。また、株式会社スマートエナジーの根岸博生氏には貴重な助言をいただきました。ここに記して、深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 岡山県 (1998) 「岡山県環境基本計画エコビジョン2010」
- [2] 岡山県 (2002) 「岡山県地球温暖化防止王道計画」
- [3] 岡山県 (2003) 「岡山県環境基本計画エコビジョン2010」
- [4] 岡山県 (2006) 「岡山県省エネルギービジョン」
- [5] 岡山県 (2008) 「新岡山県環境基本計画エコビジョン2020」

財団法人 八雲環境科学振興財団
平成 21 年度環境研究助成研究レポート

ゲノム網羅的な高温耐性責任領域の新規探索法 —地球温暖化の生物マーカー開発の基礎として—

岡山大学異分野融合先端研究コア 高橋一男

背景

キイロショウジョウバエは、熱ショックたんぱく質が最初に発見された生物であり、その熱耐性研究の歴史は長い。実際に、ショウジョウバエ種の分布を決定する要因として、温度適応が重要であることは多くの研究によって示されており(Hoffmann *et al.*)、高温耐性はショウジョウバエの生態的な特性を決める主要な要因である。実際に複数の研究で、気象変動に対してショウジョウバエ個体群の遺伝構造が変化する例が示されており、比較的短い期間にも急速な局所的応が起きている可能性が示されている(Balanya *et al.*; Umina *et al.* 2005)。このような局所的応に寄与する遺伝子はまだ完全には解明されていないが、ストレスタンパク質遺伝子はその有力な候補である(Feder& Krebs 1998; McColl *et al.* 1996)。しかし、これらの遺伝子の発現プロファイルと、個体レベルでの温度耐性が一致しない例も多数知られており(Dahlgaard *et al.*; Sorensen *et al.* 2003)、未知の温度耐性遺伝子の存在が示唆されている。

近年、高温耐性遺伝子の探索を目的として、quantitative trait loci (QTL)マッピングや、遺伝子発現プロファイリングなどのアプローチで研究が行われてきている。Norry *et al.* (Norry *et al.*)は、knockdown resistance to high temperature (KRHT)に関する QTL を探索し、キイロショウジョウバエの 2 つの主要な常染色体と X 染色体を調べた。その結果、第 2 染色体上に 1 つの QTL を、第 3 染色体上に 3 つの QTL を発見し、X 染色体上にも有意な寄与をする遺伝子が存在する可能性が示唆された。この結果は、熱ショックタンパク質などのストレスタンパク質が密集して分布する第 3 染色体上以外にも、高温耐性に影響する遺伝子が存在する可能性を強く示唆している。また、熱ショックに反応する遺伝子の発現プロファイリングが、胚期には Leemans *et al.* (2000)に、成虫期には Sorensen *et al.* (2005)によって行われている。Leemans *et al.* (2000)では、調べた 1519 個の遺伝子の内、74 個の遺伝子において、熱ショック後に有意に発現レベルが変化しており、その中にはストレスタンパク質遺伝子以外のものも多数含まれた。Sorensen *et al.* (2005)では、キイロショウジョウバエゲノム上の遺伝子の 13000 個の遺伝子を対象にマイクロアレイを行い、1222 個の遺伝子が、熱耐性を上げる方向に選抜された系統と、対照系統の間で異なる発現をすることを発見した。これらの遺伝子の中には、やはりストレスタンパク質遺伝子以外の遺伝子が多数含まれていた。

熱耐性の責任遺伝子を探索するこれまでの試みは、生物の高温耐性の理解に大きな寄与をしてきたが、さらに候補遺伝子を絞り込んでいく必要がある。Norry et al. (2004)の QTL マッピングの解像度は、個別の遺伝子の効果を議論するにはまだ十分では無い。また、遺伝子発現プロファイリングによって特定された、熱ショック誘導遺伝子の中には、熱耐性に寄与するものだけではなく、熱ショックによって誘導される他の遺伝子に追隨して発現が変化したものも多数含まれていると考えられている。

本研究では、これらの問題点を解決して高温耐性責任 QTL の探索を行うために、ゲノムワイド欠失マッピングを行った。DrosDel プロジェクト(Ryder et al. 2007; Ryder et al. 2004)によって作成された欠失系統コレクションは、遺伝的背景が統一されており、高解像度な欠失マッピングを行う上で、理想的なツールである。本研究では、436 系統の欠失系統を用いて、ゲノム全体の 65.6%をカバーして、高温耐性 QTL を探索した。

方法

高温耐性 QTL 領域の発見を目的として、欠失マッピングを行った。欠失系統は、DrosDel プロジェクト (Ryder et al. 2004) によって作成された、欠失系統コレクションを用いて行った。これらの欠失系統は、RS 因子-FLP システムによって構築されており、欠失領域が、1 塩基単位の解像度で特定されているため、高精度の欠失マッピングが可能なツールである(Ryder et al. 2004)。また、系統作成の基となった対照系統 (DSK001) も利用可能であるため、理想的な比較解析が可能な系といえる。本研究では、第 2、第 3、X 染色体に及ぶ、計 436 系統の欠失系統を用いて、全ゲノム領域の約 67%の領域をカバーした。欠失系統に関するより詳細な情報は、DrosDel プロジェクトのウェブページで参照可能である(<http://www.drosdel.org.uk/>)。

実験条件

実験に用いたほぼ全ての欠失が、ホモ接合で致死となったため、欠失/対照のヘテロ個体を用いて熱耐性試験を行った。対照系統と欠失系統の交配から、100 卵を採集し、餌の入ったプラスチックバイアルに導入した。餌の組成は以下の通りである：water (1000ml), dried yeast (35g), soy flour (20g), cornmeal (73g), agar (30g), malt extract (46.25g), and dextrose (75g)。これらの卵を 23°C もしくは 28°C、明条件下で飼育し、24 時間ごとに、遺伝子型別に羽化個体数を記録した(ターゲットの遺伝子型: 欠失/+、非ターゲットの遺伝子型: バランサー染色体/+)。各欠失系統、各温度に対して、5つの反復をとった。また、対照個体 (+/+) を得るために、DSK001 同士の交配から 100 卵を採集し、同様に飼育、羽化個体数の計数を行った。

熱耐性の評価

熱耐性の評価は、23°C と 28°C における、胚期から羽化までの生前率の比較に基づいて行った。それぞれの欠失+/+、+/+のデータをペアにし、ロジットリンク、二項分布を仮定した一般化線型モデル (GLM) を用いて、各欠失系統の熱耐性を評価した。この一般化線型モデルでは、生存個体数と死亡個体数を目的変量、遺伝子型 (欠失+/+もしくは+/+)、温度 (23°C もしくは 28°C) とそれらの交互作用項を説明変量として用いた。欠失系統の熱耐性は、このモデルの交互作用項の符号と有意性で評価した。対照系統 (DSK001) の生存率は、28°C において 23°C の場合よりも低いが、欠失系統がこれと同様の生存率の低下を示した場合には、交互作用項の係数はゼロとなり (Fig. 1a)、熱耐性に影響は無いと解釈される。もし、欠失系統が、対照系統よりも急激な生存率の低下を示した場合、交互作用項の係数は正の値となり (Fig. 1b)、欠失系統が高温感受的であることを意味する。逆に、欠失系統において、生存率の低下がより少ない場合、交互作用項の係数は負となり (Fig. 1c)、欠失系統が高温耐性的であることを意味する。本研究では、436 個の GLM を構築して、すべての欠失系統の高温耐性を評価したため、交互作用項の有意性検定に多重性の問題が生じている。この検定の多重性を補正するため、Benjamini-Hochberg (BH)法を用いて、false discovery rate (FDR) を算出した(Benjamini& Hochberg 1995)。本研究では、この FDR p 値 (q 値) が 0.05 以下で、交互作用項の係数が正であった欠失領域を、高温耐性 QTL と定義した。これら全ての統計解析は統計ソフトウェア R (version 2.8.1)を用いて行った。

結果と考察

それぞれの欠失領域に含まれる遺伝子数は領域により大きく異なったため (0 から 196 個)、まず、欠失遺伝子数と高温感受性の関係を調べた。その結果、欠失遺伝子数と高温感受性の相関は雌雄ともに非常に低かった (雌: 相関係数 0.005、 $P>0.91$ 、雄: 相関係数 0.019、 $P>0.68$) (Fig. 2)。これは、単に欠失遺伝子の数が多ければ、高温耐性が低下するといった一般的な関係が見られないことを意味しており、有意な効果が見られた欠失領域には、単独でも有意な効果を持つ遺伝子が含まれる可能性が高いことを示唆している。

一般化線型モデルによる評価の結果、19 系統の欠失系統において高温感受性が検出された。有意な効果を持った欠失領域は、第 2、第 3 染色体上のみ分布し、X 染色体上の欠失領域は、有意な効果を示さなかった (Fig. 3)。第 2 染色体上にある有意な効果を示した欠失は、染色体全域に広がっていたのに対し、第 3 染色体上の欠失は、動原体を中心として分布していた (Fig. 3)。これらの欠失系統のうち、8 つの欠失系統において、雌雄両方に有意な効果が検出され、それ以外の 11 の欠失系統では、性特異的な効果が検出された (Fig. 3, Table 1)。合計 1037 個の遺伝子がこれらの欠失領域に含まれた。本研究で発見された 19 個の高温耐性 QTL のうち、16 個が、Norry et al. (Norry *et al.*)によって発見されている、4 つの高温耐性 QTL (KRHT-1-4) のうち、3 つに含まれた (Fig. 3, Table 1)。既知の QTL に含まれず、既知の候補遺伝子も含まない高温耐性 QTL が 2 つ発見され、新規の高温耐性遺伝子が見つかる可能性が示唆された。Leemans et al. (2000) によって高温で発現が誘導されることが確認された遺伝子は、今回発見された高温耐性

QTLには含まれなかったが、Sorensen et al. (2005)によって特定された高温誘導遺伝子の内、16個が今回発見された高温耐性 QTL に含まれた。また、遺伝子情報データベースである、*EnsemblMetazoa* でストレス応答遺伝子として記録されている遺伝子の内、4つの遺伝子が、本研究で発見された高温耐性 QTL に含まれていた。これら、これら、高温耐性 QTL に含まれる、高温応答遺伝子は、高温耐性責任遺伝子の有力な候補であり、今後これらの遺伝子について個別に検討を進めていくことで、生物の高温耐性の理解にさらに近付くことが可能になると考えられる。

参考文献

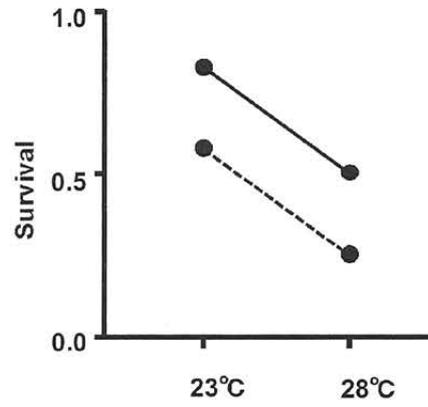
- Balanya J, Huey RB, Gilchrist GW, Serra L (2009) The chromosomal polymorphism of *Drosophila subobscura*: a microevolutionary weapon to monitor global change. *Heredity* **103**, 364-367.
- Benjamini Y, Hochberg Y (1995) Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B* **57**, 289-300.
- Dahlgaard J, Loeschcke V, Michalak P, Justesen J (1998) Induced thermotolerance and associated expression of the heat-shock protein *Hsp70* in adult *Drosophila melanogaster*. *Functional Ecology* **12**, 786-793.
- Feder ME, Krebs RA (1998) Natural and genetic engineering of the heat-shock protein *Hsp70* in *Drosophila melanogaster*: consequences for thermotolerance. *American Zoologist* **38**, 503-517.
- Hoffmann AA, Sorensen JG, Loeschcke V (2003) Adaptation of *Drosophila* to temperature extremes: bringing together quantitative and molecular approaches *Journal of Thermal Biology* **28**, 175-216.
- Leemans R, Egger B, Loop T, et al. (2000) Quantitative transcript imaging in normal and heat-shocked *Drosophila* embryos by using high-density oligonucleotide arrays. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* **97**, 12138-12143.
- McCull G, Hoffmann AA, McKechnie SW (1996) Response of two heat shock genes to selection for knockdown heat resistance in *Drosophila melanogaster*. *Genetics* **143**, 1615-1627.
- Norry FM, Dahlgaard J, Loeschcke V (2004) Quantitative trait loci affecting knockdown resistance to high temperature in *Drosophila melanogaster*. *Molecular Ecology* **13**, 3585-3594.
- Ryder E, Ashburner M, Bautista-Llacer R, et al. (2007) The DrosDel deletion collection: a *Drosophila* genomewide chromosomal deficiency resource. *Genetics* **177**, 615-629.
- Ryder E, Fiona B, Michael A, et al. (2004) The DrosDel collection: a set of *P*-element

- insertions for generating custom chromosomal aberrations in *Drosophila melanogaster*. *Genetics* **167**, 797-813.
- Sorensen JG, Kristensen TN, Loeschcke V (2003) The evolutionary and ecological role of heat shock proteins. *Ecology Letters* **6**, 1025-1037.
- Sorensen JG, Nielsen MM, Kruhoffer M, Justesen J, Loeschcke V (2005) Full genome gene expression analysis of the heat stress response in *Drosophila melanogaster*. *Cell Stress & Chaperones* **10**, 312-328.
- Umina PA, Weeks AR, Kearney MR, McKechnie SW, Hoffmann AA (2005) A rapid shift in a classic clinal pattern in *Drosophila* reflecting climate change. *Science* **308**, 691-693.

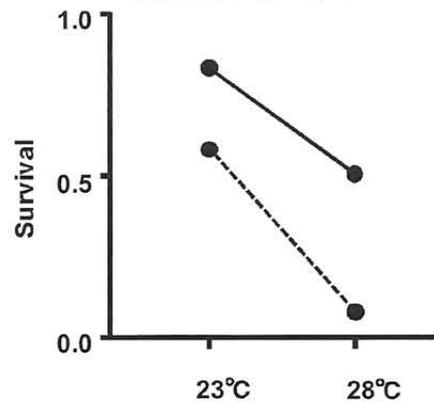
Table 1 有意な効果を示した欠失領域、そのゲノム上の位置、サイズ、性特異的効果、既知の QTL 領域や、候補遺伝子との対応

Chromosome	Deletion ID	Region	No. of genes deleted	Sex-specificity	QTLs from Norry <i>et al.</i> (2004)	Heat responsive genes from Sorensen <i>et al.</i> (2005)	Stress responsive genes from <i>EnsemblMetazoa</i>
2L	<i>Df(2L)ED746</i>	31F4 - 32A5	34	Female & male	KRHT-1	CG7300, CG17124	CG17107
	<i>Df(2L)ED748</i>	31B1 - 32A5	116	Female & male	KRHT-1	CG5390, CG17108	CG17107
	<i>Df(2L)ED775</i>	33B8 - 34A3	80	Male	KRHT-1		
	<i>Df(2L)ED7762</i>	22A6 - 22D3	70	Male	KRHT-1		
	<i>Df(2L)ED12487</i>	25C3 - 25F2	70	Male	KRHT-1	<i>Cyp4ac2</i>	
2R	<i>Df(2R)ED1612</i>	42A13 - 42E6	87	Female & male	KRHT-1	CG3270	
	<i>Df(2R)ED2457</i>	52D11 - 52E7	24	Male			
	<i>Df(2R)ED4071</i>	60C8 - 60E8	101	Female & male		<i>Ance-5</i>	CG3650
3L	<i>Df(3L)ED230</i>	79C2 - 80A4	51	Female & male	KRHT-3		
3R	<i>Df(3R)ED5021</i>	82A1 - 82B1	35	Female & male	KRHT-3		
	<i>Df(3R)ED5147</i>	82E8 - 83A1	27	Female & male	KRHT-3		
	<i>Df(3R)ED5196</i>	83B9 - 83D2	39	Female & male	KRHT-3		<i>kat-60L1</i> , CG10979
	<i>Df(3R)ED5339</i>	85D1 - 85D11	21	Female	KRHT-3	CG16749	
	<i>Df(3R)ED5577</i>	86F9 - 87B13	114	Female & male	KRHT-3	<i>GstD2</i> , <i>GstD5</i> , CG32919	
	<i>Df(3R)ED5610</i>	87B11 - 87D7	63	Male	KRHT-3	<i>Hsp70Bbb</i> , <i>Hsp70Bc</i>	
	<i>Df(3R)ED5664</i>	88D1 - 88E3	54	Female	KRHT-3	CG3984	
	<i>Df(3R)ED6025</i>	92A11 - 92E2	76	Male	KRHT-4	CG5023, CG3301	
	<i>Df(3R)ED6310</i>	98F12 - 99B2	36	Male			
	<i>Df(3R)ED10838</i>	93C1 - 93D4	21	Male	KRHT-4		

a. 対照と欠失ヘテロで高温耐性が等しい場合



b. 対照くらべて欠失ヘテロで高温耐性が低い場合



c. 対照くらべて欠失ヘテロで高温耐性が高い場合

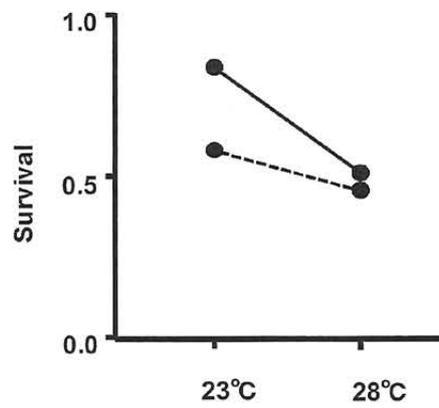


Fig. 1

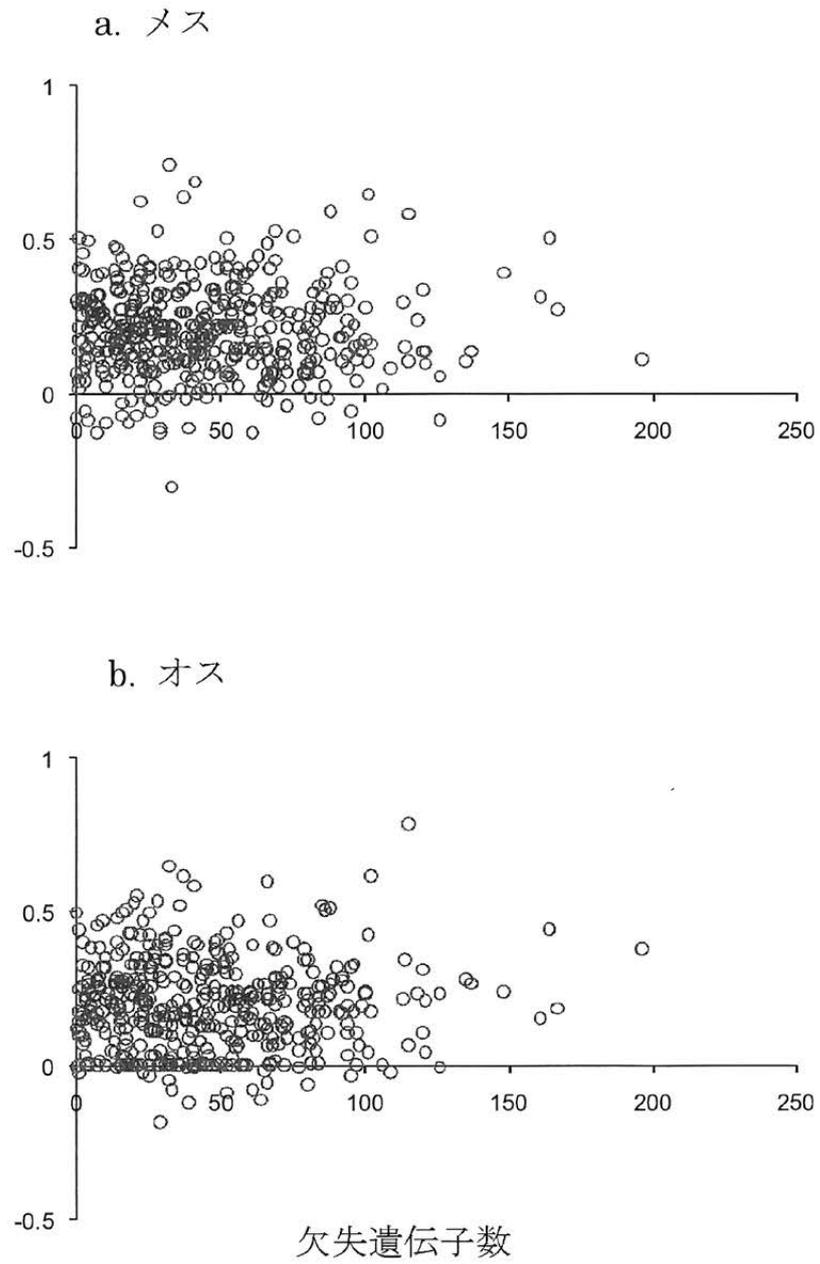


Fig.2 欠失遺伝子数と温度変化に伴う平均生存率の差

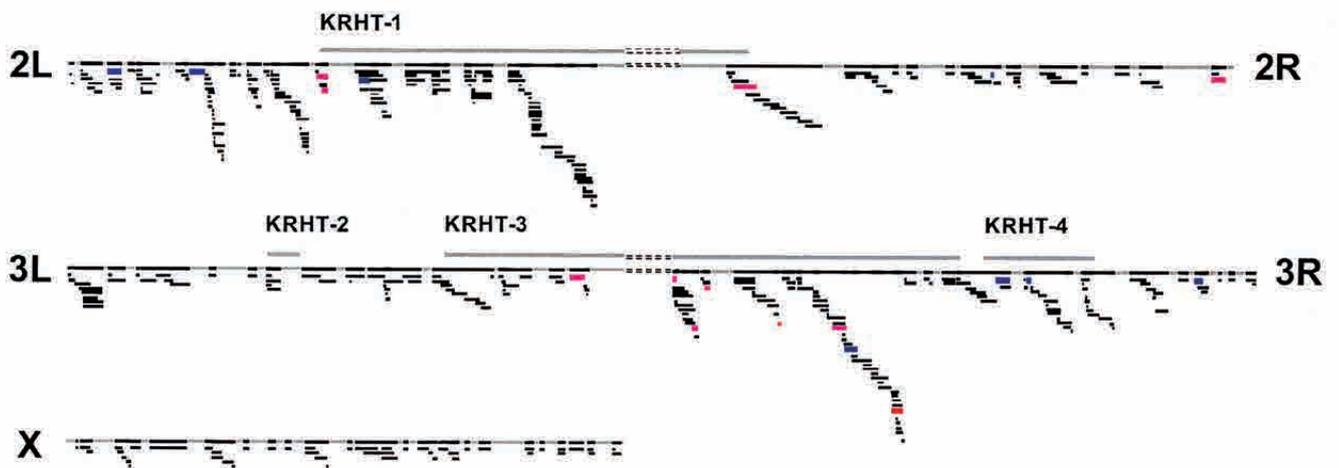


Fig.3 実験に用いた欠失領域の分布と、Norry et al. (2004)で同定された高温耐性 QTL の分布。オスでのみ有意な効果を示した領域は青で、メスでのみ有意な効果を示した領域は赤、雌雄両方で有意な効果をしめした領域は紫で示している。

助成研究題目：大気中からの水素イオン抽出を可能にする光誘起イオン伝導現象の観測

1 研究の主旨

水素ガスを原料とする固体燃料電池は炭酸ガスを放出せず、排熱も少ない。これらを併せると90%近くの効率となる[1]。排出物は水だけなので、地球温暖化軽減のみならず環境汚染防止にも極めて有用である。しかし現在、原料の水素の供給には火力や原子力の発電で得られた電力を用いる水の電気分解や石油、石炭の改質による方法が考えられている。これでは上記の利点は失われてしまう。もし、太陽光を用いて大気中の水分から水素ガスを抽出する事が可能であれば、固体燃料電池は真の意味で地球温暖化に貢献できる。本研究ではこれを可能にする現象の観測を試みる。

太陽光を利用して水素を得る原理には、図1の本多藤島効果が知られている[2]。この現象では水中に白金と酸化チタンを入れ、酸化チタンに太陽光をあけると白金から水素ガスが発生する。しかし、反応は白金表面での液体反応のため水素ガスの発生量は極めて少ない。本研究では水素イオン密度の高い固体電解質を用い、可視光の照射で水素イオンの移動を直接誘発する。固体電解質中の水素は試料の焼成中に大気から侵入するので、太陽光照射により、低温度で H^+ イオンが動くと、この時、大気中から固体電解質への多量の水素の侵入が期待できる。

本研究の目的は可視光照射下でのイオン伝導度増幅の様子を調べる事にある。イオン伝導度は通常交流電気測定で求められるが、本研究では高振動数[テラ・ヘルツ($10^{12}Hz=THz$)領域]電界下での値(遠赤外伝導度と云う)を測定する。この領域のイオン伝導度は図2に示されるように交流周波数に比し2ケタ程度高く[3]、高温ではさらに高まる。従って、高温でのTHz領域反射率を測定することで現象を容易に観測できると考える。

また、光は固体試料の表面に照射されるので、生ずるイオン伝導変化も表面で顕著に現れると予想される。表面反射率を測定することで現象の敏感な観測が可能になる。

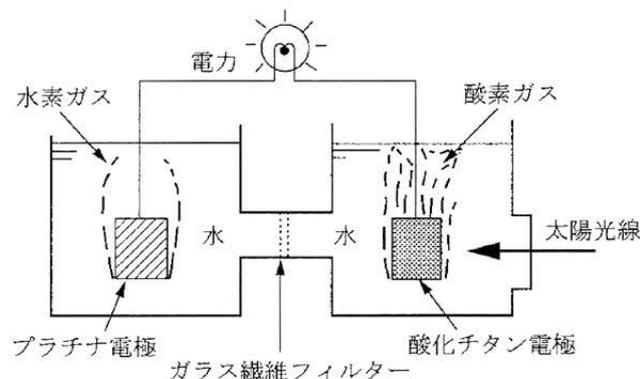


図1 本多藤島効果原理図[2]

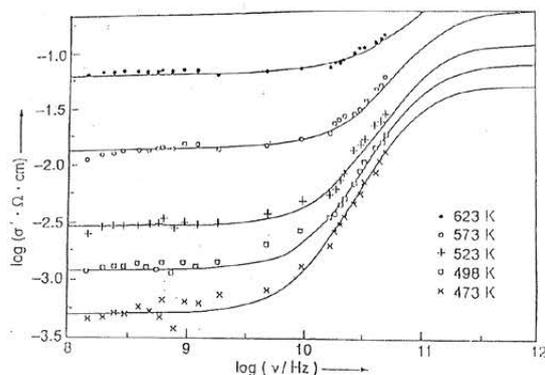


図2 AgBrの高温イオン伝導度の印加電圧振動数依存性[3]

2 研究の進展経過

上記の実験研究を行うため、図3の装置システムを用いる。この装置では、電子励起用レーザー光とイオン伝導度測定用THz領域干渉光の2光束を試料表面に集光させる。図4には試料部の光路の平面図を示す。円内が試料室である。点線は分光器本体からのTHz領域干渉光、実線は測定部容器の外から試料に照射されるレーザー光である。本助成金で、レーザー光を試料表面に照射する光束位置調整装置を作製した。

テラ・ヘルツ領域の光は空気中の水分による吸収が強いので、測定は真空中で行う。レーザー光は図5の配置で容器外部から照射される。図6の下部のカメラ用レンズの設置でビーム径が広げられ、試料面全体に光が照射される。

図4,5,6から分かるように、ビーム位置を試料面に合わせるには3次元的調節が必要であり、今回の装置改造で一番重要な部分となった。

研究は実験装置最終調整、レーザー照射下での試験的測定、AgCl 及び AgBr に対しての高温レーザー照射下での反射率測定の順で行われ、装置のルーチンワーク化を実現した。

しかし、装置の故障で当初目的の試料の測定は今回の報告時に間に合わなかった。この後、予定通りに研究を進める。本報告では現在までの経過を記述する。

第4章の現象観測の原理に従う測定を実現するため、装置の改造を下記の①、②のように行った。これにより、図3の装置で、イオン伝導を測定するTHz領域の干渉光と、電子励起を生じさせる可視光レーザー光とを同時に試料面に照射し、且つ、試料を高温にする事を可能とした。

- ① レーザー照射の光束位置を試料面に合わせるために微少調整器具を作製した。図5にその光路を、図6に実物をそれぞれ示す。
- ② 使用レーザーに合わせたレーザー台および、レーザー光束を90度2回曲げて試料面に照射するプリズム台を設計作製した(図5, 図6参照)。試料表面での試験結果を図7に示す。青色レーザービームと分光用赤色光が同一面に照射されており、目的の装置が完成された。これらの機構を有するテラ・ヘルツ分光装置は世界で初めてと思われる。

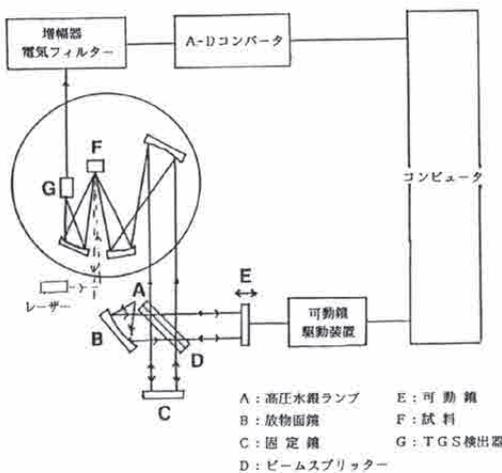


図3 テラ・ヘルツ領域温度可変反射率測定システム

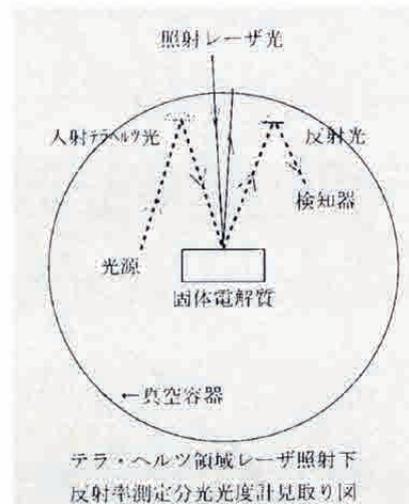


図4 試料部の照射レーザー光と分光用光束路平面図

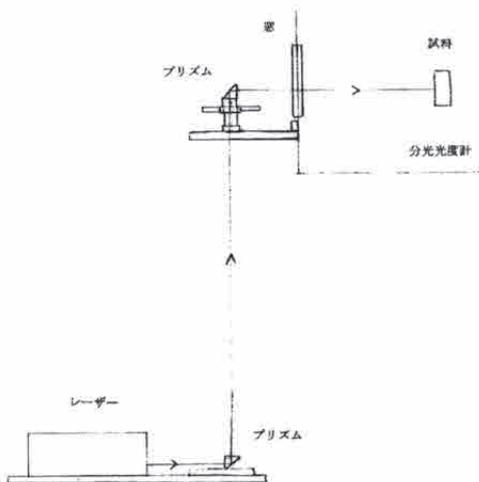


図5 照射用レーザービーム光路側面図

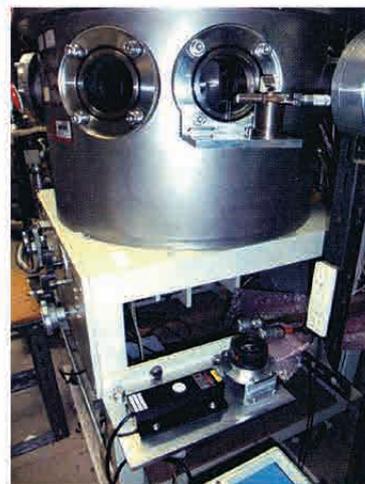


図6 照射用レーザーとビーム導入装置の配置

3. 装置の検証と反射率測定

テラ・ヘルツ領域光強度は微弱であるので、試料面照射用レーザー光が装置内で散乱し、検知器に影響が出ると反射率の正確な値は得られない。そこで、この影響のないことを調べる必要がある。このため、高温用デュワの試料設置位置へ金板を取り付けて、レーザー照射前と照射

中のスペクトルを測定した。図 8 に結果を示す。照射前と照射中とで、スペクトル曲線がノイズの範囲内で重なっており、信号強度が照射光に依存していないことがわかった。散乱光が検知器に入らないことが確認されたので、信頼できる反射率の値を得られる装置が完成した。

高イオン導電体の AgCl と AgBr 単結晶に対し、レーザー照射前と照射下での反射光強度を高温で測定した。3 段階の照射レーザー光強度ごとに測定を繰り返した。結果の一部を図 9, 10 に示す。レーザー照射前と照射下でのスペクトル曲線はいずれもノイズ範囲内で重なっており、レーザー照射の影響は出ていない。しかし、レーザー照射下でのテラ・ヘルツ領域反射率の測定は世界初である。

助成金使用主品目

ロータリ真空ポンプ：26.6 万円、KBr 窓板（直径 80mm, 両面光学研磨）：18.7 万円、アルミ蒸着ミラー（100mmx120mm の角形）：6.3 万円、解析用パーソナルコンピュータ+ソフト+外付けドライブ：9.0 万円、ピラニ真空計測定端子：4.1 万円、測定データ記録紙：3.7 万円、装置修理費：9.1 万円、発表旅費：9.2 万円（援助総額 94 万円）

装置・測定条件：使用レーザー：476nm, 発振最大強度 20mW

反射光強度参照試料：金板

温度測定用熱電対：クロメル+アルメル

高温度用デュー窓材：ポリエチレン

装置内真空度： 10^{-4} 以下

ビーム・スプリッター：50 ミクロン・マイラー

分解能： 1cm^{-1}

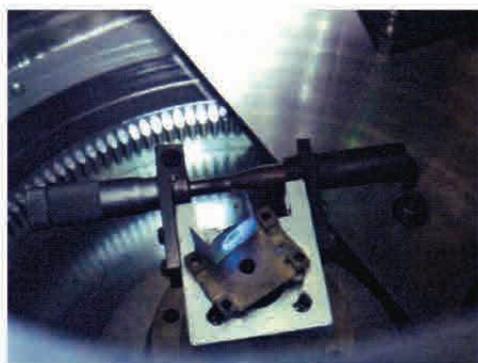


図 7 試料面に集光する2光束

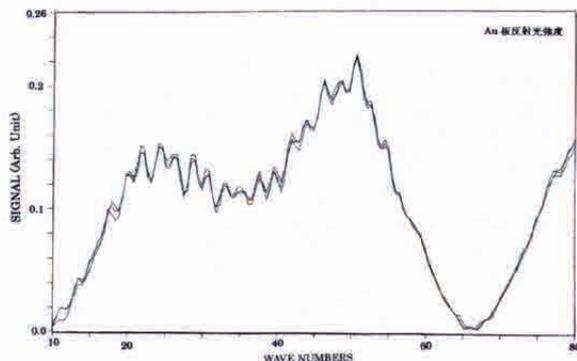


図 8 レーザ照射前及び照射中の金板反射光強度波数依存性

4. 成果要約

1. レーザ照射下テラ・ヘルツ領域高温反射スペクトル測定をルーチン・ワーク的に行える装置システムを世界で最初に完成した。
2. レーザ照射下テラ・ヘルツ領域高温反射スペクトルを世界で最初に測定した。
3. 高イオン導電体 AgCl および AgBr の測定結果により、目的の現象の観測には使用レーザーエネルギーと測定試料のバンドギャップエネルギーの相対値が重要であることを具体的に明らかにし、今後の現象観測の試料選択に有用な知見を得た。
4. 高温デュー試料取り付け部への可視光検知器の設置で、本装置がより定量性、利便性の高い装置となり得ることを具体的にはっきりさせた。

現時点では、目的の現象を観測する迄には至っていないが、上記の成果により、目的の現象を観測できる確信を持つに至った。特に測定試料の選択に有効な情報を得た。当初の予定では、報告時までに酸化ペロブスカイトの測定を行う計画であったが、実験の遂行中に、使用歴 25 年の分光光度計の出力電圧が低下し、これを直すのに約 3 ヶ月の期間を必要とした。また、真空中での測定と装置中の空気バネの使用とで、排気容量の大きい真空ポンプを使用していたが、これも使用歴 25 年のポンプが故障し、受注生産品の買い換えとなり、3 ヶ月余りを要した。これらの結果、当初の予定を変更せざるを得なかった。助成金を装置の修理と真空ポンプの購

入にもあて、上記の使用内容とした。また、試料の測定計画も遅れた。

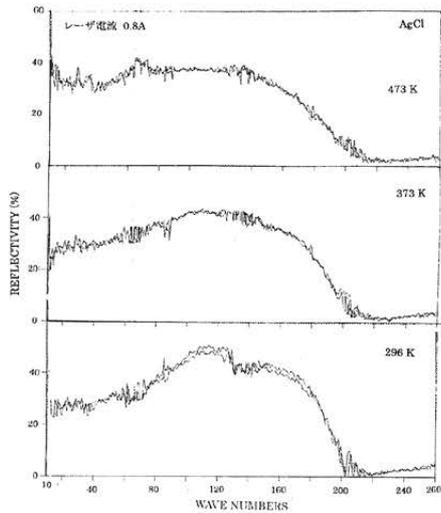


図 9 AgCl の各温度に於けるレーザー照射前と照射中の反射率スペクトル(レーザー-電流 0.8A)

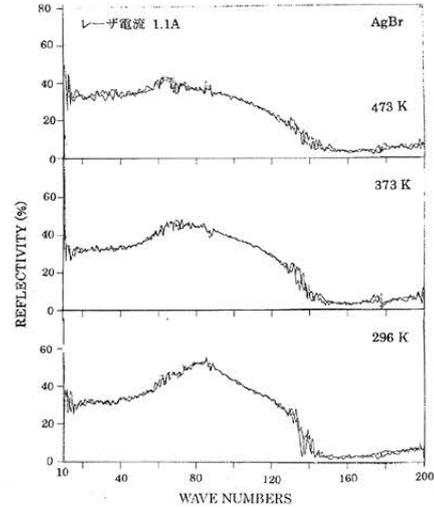


図 10 AgBr の各温度に於けるレーザー照射前と照射中の反射率スペクトル(レーザー-電流 1.1A)

【発表業績】

貴財団の助成を受けている旨を付記した助成研究テーマに関係した発表を列記します。

1. K. Wakamura and H. Uemori, Proc. 3rd Int. Conf. Phys. of Solid State Ionics (J. Phys. Soc. Jpn. 79 (2010) suppl. A 37.
2. K. Wakamura & N. Inoue, 17th Int. Conf. on Solid State Ionics, (2009) Tront, Canada.
3. 若村国夫, 日本物理学会第 65 回年次大会、2010 年, 岡山大学.

5. 現象観測の原理

5.1 可視光レーザー-照射の必要性

申請者はこれ迄、図 11 のような平均的電子状態を表す光学誘電率 ϵ_{∞} とイオンの動き易さを決める活性化エネルギー E_{ac} との相関を見つけてきた[5]。図 11 は ϵ_{∞} の値の増加が E_{ac} の低下に直結する事を示している。不純物型水素イオン導電体の結果を国際会議で発表し、研究者との意見交換を行った[発表 1]。

対象としている酸化物ペロブスカイトには水素イオンは母体構成原子には入っていないが、通常、温度 1300~1500C で作製するとき、空気中の水分から水素が侵入し、図 12 に示すように 600C~700C でよく動く。低い温度で水素イオンが移動を始めれば、その温度で大気中から水素

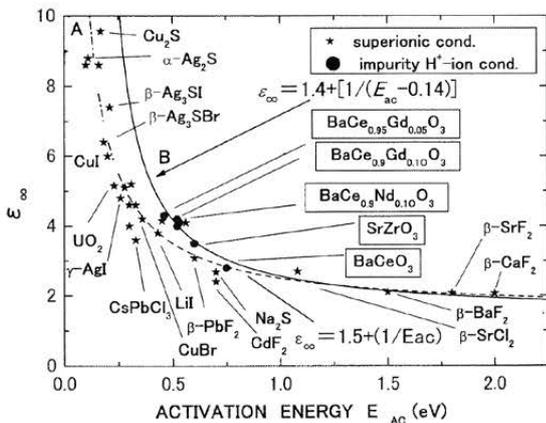


図 11 ϵ_{∞} と E_{ac} の相関図

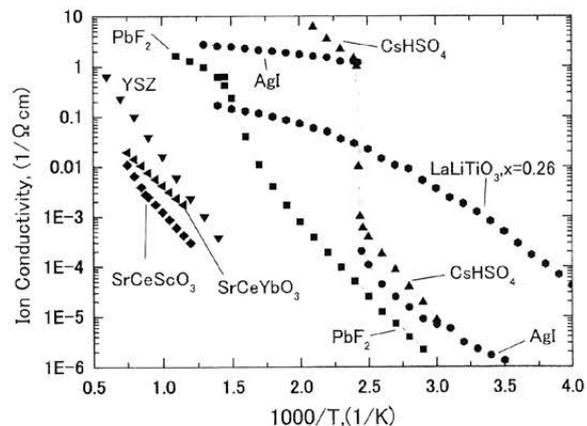


図 12 各種イオン導電体のイオン伝導度

が侵入することが予想される。従って、可視光照射により、 ϵ_{∞} の値を増し、イオンの越えるポテンシャルの高さを下げれば、この予想が実現できる。

5.2 高温でのテラ・ヘルツ領域分光の必要性

ϵ_∞ は真空の誘電率を ϵ_0 、電子分極による双極子モーメント q^*x 、電子の低、高エネルギーをそれぞれ E_i, E_j とすると、(1)式で表される。

$$\epsilon_\infty = \epsilon_0 + A \sum_j |q^*x| i \rangle^2 / (E_j - E_i)^2 \quad (1)$$

右辺第2項は電子の状態 i から状態 j への光による遷移で、 ϵ_∞ の値が増すことを表している。

一方、反射率 R は屈折率の実数部 N 、虚数部 K 及び誘電率の実数部 ϵ_1 及び虚数部 ϵ_2 と次の関係にある。

$$R = [(N+1)^2 - K^2] / [(N-1)^2 + K^2] \quad (2)$$

$$\epsilon_1 = N^2 - K^2, \quad \epsilon_2 = 2NK \quad (3)$$

また、誘電率は平均的電子状態、格子振動、可動イオンにより次式で与えられる[6]。

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + \sum_j S_j / (\omega_j^2 - \omega^2 - i\omega\gamma) + S_p / (\omega^2 - i\omega\gamma_p) \quad (4)$$

ここで、右辺第一項は光学誘電率で、平均的電子状態を表す。第2項は赤外活性の格子振動モードによる項であり、第三項は可動イオンによる項である。この項のため、イオン移動の出現により ϵ の値が大きくなり、(2)式より R の値が増えることになる。これらの事から、この領域の反射率を可視光照射前と照射中とで測定すると、可動イオンの出現あるいは増加が判定できる。

温度が上昇すると酸化物の E_g の値は減少し、 ϵ_∞ の増加が予想される。図2に示されるように伝導度の値は温度と共に上昇し、イオンは動きやすくなるので、高温での測定は現象の観測を容易にする。

5.3 照射エネルギーと固体電解質の関係

図13に示すバンドギャップ $E_g [= (E_i - E_j)]$ に近いエネルギーの光が物質に入射すると、価電子帯 (Valence band) 付近の電子は伝導帯 (Conduction band) へ励起され、 ϵ_∞ の値を増すことになる。申請者はこの事から、可視光照射による電子励起で ϵ_∞ の値を増加させることを考えた。

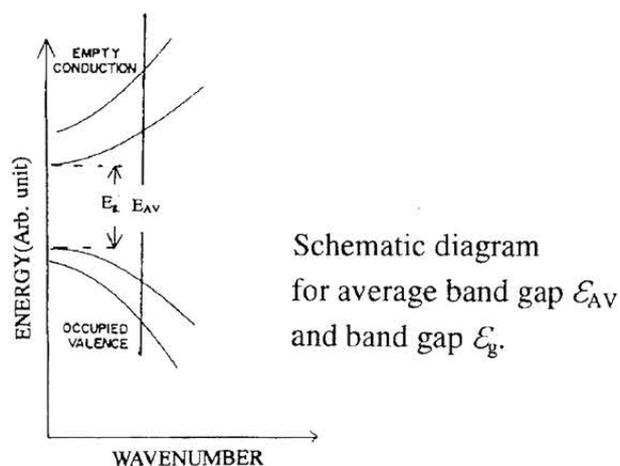


図13 バンドギャップ模式図

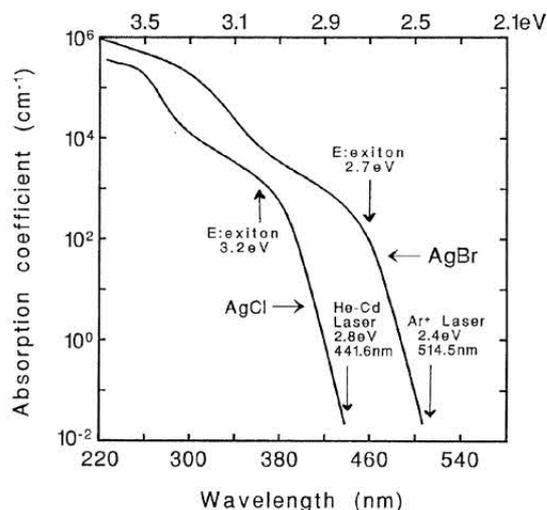


図14 AgCl, AgBr の可視領域吸収係数スペクトル

図14にAgCl, AgBrの報告されている吸収端近くのスペクトルを示す[4]。このスペクトルにより E_g に近いエネルギーの照射光は吸収される割合が大きくなることがわかる。目的の現象も容易に生じると予想されるが、 E_g より大きい場合は、結晶が黒化し、結晶の状態が変化して

しまう可能性がある。照射光エネルギーは E_g に近いが、 E_g を越えない、あるいはこの相対関係を満たす物質を選ぶ事で現象が観測されると予想できる。 ϵ_∞ の値の増加は格子間クーロン力の遮蔽を意味しており、結合の強さを弱めるので、これがイオン伝導の増幅を与えると考えられる。

6. 実験手順

今回、現象観測の試験的データを得るため、以前に測定した「AgCl および AgBr の、レーザー照射後の可動イオンおよび格子振動スペクトル」[7]との比較を行った。このため、高イオン導電体 AgCl, AgBr に対して、光照射前と照射中の高温での THz～赤外領域の反射スペクトルを測定した。測定手順は次のようである。

手順 1：反射率の参照光の測定

参照光としての金板を、高温測定用デュワに取り付け、24° C, 100° C, 200° C, 300° C, 400° C, 500° C の各温度で、赤外から THz 領域の反射光強度を測定した。この値は各温度の反射率 $R=I/I_0$ を求めるときの I_0 とする。

手順 2 AgCl 単結晶の測定

- ① 高温デュワの試料取り付け部の金板を高イオン導電体の AgCl 単結晶に置き替え、レーザー照射無しの状態で、反射光強度を 24° C で測定した。
- ② 次にレーザー照射下で、THz 領域の反射光強度を測定した。レーザー光発振強度を 2 段階(レーザー電流 0.5A および 0.8A)変えて、それぞれの場合に THz 領域の反射光強度を測定した。
- ③ 試料の温度を 100° C に上げ、レーザー照射無しの状態で、THz 領域の反射光強度を測定した。
- ④ 試料の温度は 100° C のまま、レーザー光(レーザー電流：0.8A)を照射し、THz 領域の反射光強度を測定した。
- ⑤ 次に③、④の過程を 200° C で行った。
- ⑥ 300° C ではレーザー照射無しの状態で測定を始めたところ、反射光強度が激減し、表面の軟化が観測された。
- ⑦ 試料を取り出し、表面の熔融と試料の色調を確認した。

手順 3 AgBr 単結晶の測定

- ① 高温デュワの試料取り付け部に高イオン導電体の AgBr 単結晶を取り付け、レーザー照射無しで、反射光強度を室温で測定した。
- ② 次にレーザー光を照射しながら、THz 領域の反射光強度を測定した。照射レーザー光強度はレーザー電流 0.8A とした。
- ③ AgBr 試料の温度を 100° C に上昇させ、レーザー照射無しの状態で、THz 領域の反射光強度を測定した。
- ④ 次に試料の温度を 100° C にしたまま、電流 0.8A のレーザー光強度で照射を行い、THz 領域の反射光強度を測定した。
- ⑤ 次に③、④の過程を 200° C および 260° C で行った。
- ⑥ よりはっきりした現象の観測のため、レーザー光強度をさらに二倍(レーザー強度 1.1A)にして、①～⑤までの過程を行った。

7. 結果と考察

7.1 AgCl

図 9 に AgCl 単結晶の照射前と照射下での各温度でのスペクトルを示す。100 cm^{-1} ～180 cm^{-1} 領域に格子振動によるバンドが現れている。バンドは温度上昇と共に大きくつぶれているが、レーザー照射による変化は見られない。以前の測定結果はレーザー照射後の室温の反射スペクトルだが、変化が観測された[7]。この違いの理由は図 14 より次のように考えられる。今回使用したレーザー光波長は 473nm であり、以前は 442nm であった。図 14 より、473nm 光の吸収率は 2 桁ほど少ないので、励起される電子が少なかったからと思われる。

高温でのレーザー照射前と照射中のスペクトルを図 9 に示す。473K では低エネルギー領域の反射率上昇にイオン伝導増加が見られる。今回、照射前と照射中の両スペクトルには差はほとんど見られない。このことから、照射レーザー光のエネルギーが吸収端よりかなり低い場合は、イオンが移動状態にあっても電子遷移の影響の弱いことがわかった。励起されている電子数が問題だと思われる。

7.2 AgBr

AgBr の同様なスペクトルを図 10 に示す。60 cm^{-1} から 140 cm^{-1} の範囲にあるバンドは格子振動による。温度が上昇するとバンドは大きく減衰しているが、照射前と照射中のスペクトル曲線はほとんど重なっており、照射光による影響は見られない。照射レーザー光のエネルギーは図 14 より吸収端の少し上である。AgCl とは異なり、光による電子励起が生じていると期待されるが、変化が見られないことから、より大きな吸収係数の波長の光が必要と思われる。

また、高温でのスペクトルにイオン伝導の影響は見られない。従って、レーザー照射の寄与も小さいと判定できる。以前のレーザー照射後の室温での反射スペクトルには変化が見られた[7]ので、吸収係数の値が現象の観測に重要なことが AgBr でも示された。

8. まとめと今後の展開

今回、AgCl, AgBr 共に観測されなかったが、以前の研究結果[7]との比較から、観測の可能性を次のように云うことができる。前回変化の現れた測定では 442nm の波長のレーザー光を照射した。今回は 473nm の波長のレーザー光である。本現象の発生は 3 章に述べたように、電子励起に起因するので、図 14 より 473nm の波長は AgCl では吸収係数が 442nm の光に比べ 2 桁小さい。また、AgBr では吸収係数はかなりの値だが、442nm とはやはり 2 桁の違いが見られる。これらの結果から、照射レーザー光波長とバンドギャップ E_g の値を近づけることで、励起される電子密度が増え、現象を容易に観測できると考えている。今後は、これを満たす試料、即ち、 E_g の値が、使用照射レーザーのエネルギーに近いイオン導電体での実験を行う。

本助成により、ルーチンワークでの測定が可能となったので、上記の化合物や関係の物質を対象を拡張し、当初の目的と新たな発見を目指す予定です。その第一として図 12 に見られるように低温度でイオン伝導度の大きい Li-イオン導電体への適用を行う。現象の可能性を見るため図 11 の相関が成り立つかを Li-イオン導電体の測定結果から調べた。結果は図 11 と同様な相関を得た。これは国際会議[発表 2]と国内学会[発表 3]で発表した。

これらの経緯から、この一連の研究の当初の目的の成果が得られるまでにはまだ少し時間が必要です。一連の実験研究が集結するまで、貴振興財団の助成を受けた研究であることを発表論文や学会発表に付記させていただきます。

謝辞：

本研究に助成を頂き、深謝致します。貴振興財団の援助により、世界で最初の測定を可能にした装置の完成と試験実験によるデータ収集が果たせました。目的の現象の観測への前進と、今後の大きな成果を上げられると確信しています。

参考文献

1. “燃料電池材料”、日本セラミックス協会編、日刊工業(2007)。
2. 例えば、竹内、村澤、指宿、“光触媒の世界”(1998)工業調査会。
3. K. Funke, Zeit. Phys. Chem., 188 (1995) 243.
4. J. F. Hamilton, Adv. in Phys. 37 (1988) 359.
5. K. Wakamura, Solid State Ionics 180 (2009) 1343.
6. 例えば、K. Wakamura, “Notes on analysis of optical spectra in far-infrared and visible regions in superionic conductors”, Physics of Solid State Ionics, pub. by Research Signpost (INDIA, 2006).
7. K. Wakamura, M. Sugioka, K. Kawakami, and M. Kurita, Physica B 219&220 (1996) 457.

室内大気汚染と貧困の影響も考慮に入れたアジアにおける 大気汚染の健康影響に関する研究

岡山大学大学院環境学研究科環境疫学分野 津田 敏秀
岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 疫学・衛生学分野 頼藤 貴志

1. 背景

WHO（世界保健機構）によると大気汚染の影響により、年間 80 万人が死亡していると言われており(WHO, 2002)、我々の研究でも東京都のみで年間約 6000 人の死亡が生じているという推定されている(Yorifuji et al., 2005)。またアジア特に、南・東南アジアでは急性呼吸器疾患による死亡が多く(HEI, 2004)、その原因の一つとして大気汚染が考えられている。このような状況を踏まえ、無鉛化ガソリンの導入、大気汚染対策によりアジアにおける様々な都市で、大気汚染濃度の改善が見られているが、都市への人口の流入、自動車の増加によりアジアの都市部では今後も大気汚染による健康影響が懸念されている(AMPA, 2002; WHO Regional Office for Europe, 2006)。

しかしながら、欧米諸国と比べ、アジア独自の大気汚染の健康影響に関する研究は未だ少ない。大気汚染の性状、疾病状況、気候、人口構造、社会経済状態、調理時の室内大気汚染の存在により、大気汚染の健康への影響が欧米とは異なることが予想されており、欧米の研究をそのまま応用できないのが現状である。

そもそもアジアの多くの国では、①人口・大気汚染データの不備、②室内大気汚染の存在、③貧困層・スラムなどの問題が特徴的であり、それらの要因が海外の知見を応用できなくさせており、アジア独自の研究が必要とされている。

そこで、これらを鑑み、アジア・アフリカなどの発展途上国 75 カ国で行われている Demographic and Health Survey の情報を利用し、インドネシアにおける室外大気汚染による 5 歳以下の児の呼吸器系疾患、乳児死亡、新生児死亡、そして流産・死産への影響評価を行った。さらに、室内大気汚染の影響を考慮時の室外大気汚染の影響もまた評価を行った。

2. 方法

研究対象地域と対象者

本研究は、2002-2003 年に行われた Indonesia Demographic and Health Survey (IDHS) から、79,791 人の出生レコードをベースとした。IDHS は、2002 年から 2003 年に Badan Pusat Statistik-Statistics Indonesia によって行われた国レベルの cross-sectional sample

survey である。IDHS は、2002 年 10 月から 2003 年 4 月に、インドネシアの 20 の地域 (province) のうち 26 地域を対象とし実施された (Figure1)。治安上の問題があり、Nanggroe Aceh Darussalam、Maluku、North Maluku、そして Papua 地区は調査対象から除外されている。IDHS のサンプリングは、stratified two-stage デザインを利用し選別されている。まず、26 地域から 1592 の census block において、それぞれ約 80 世帯の選択を行う。都市部以外 (rural) 地域では、census block を選定前に、補助地域を (subdistrict) を世帯数によって選択を行う。そして、第 2 ステージで、選択された census block のから、ランダムに 25 世帯を抽出する。そして、それぞれの世帯に調査が実施された。

IDHS では、人口情報、社会経済状況 (SES)、そして健康情報がそれぞれの世帯から、世帯質問票と女性への質問票を用いて 15 歳から 49 歳の結婚している女性から収集された。トータルで、29,996 人の女性が対象とされ、29,483 人 (98%) から結果を得た。そして本研究においては、女性への質問票よりえた、79,791 の出生レコードを利用した。

本研究では、インドネシアに居住し 1998 年から 2003 年に出生した児で単体出生児 15,240 人を対象とした。また、曝露指標を得るために利用する Global positioning system (GPS) 情報が欠損している 784 レコードは解析から除外した。それゆえ、最終的に、15,242 人を対象とした。

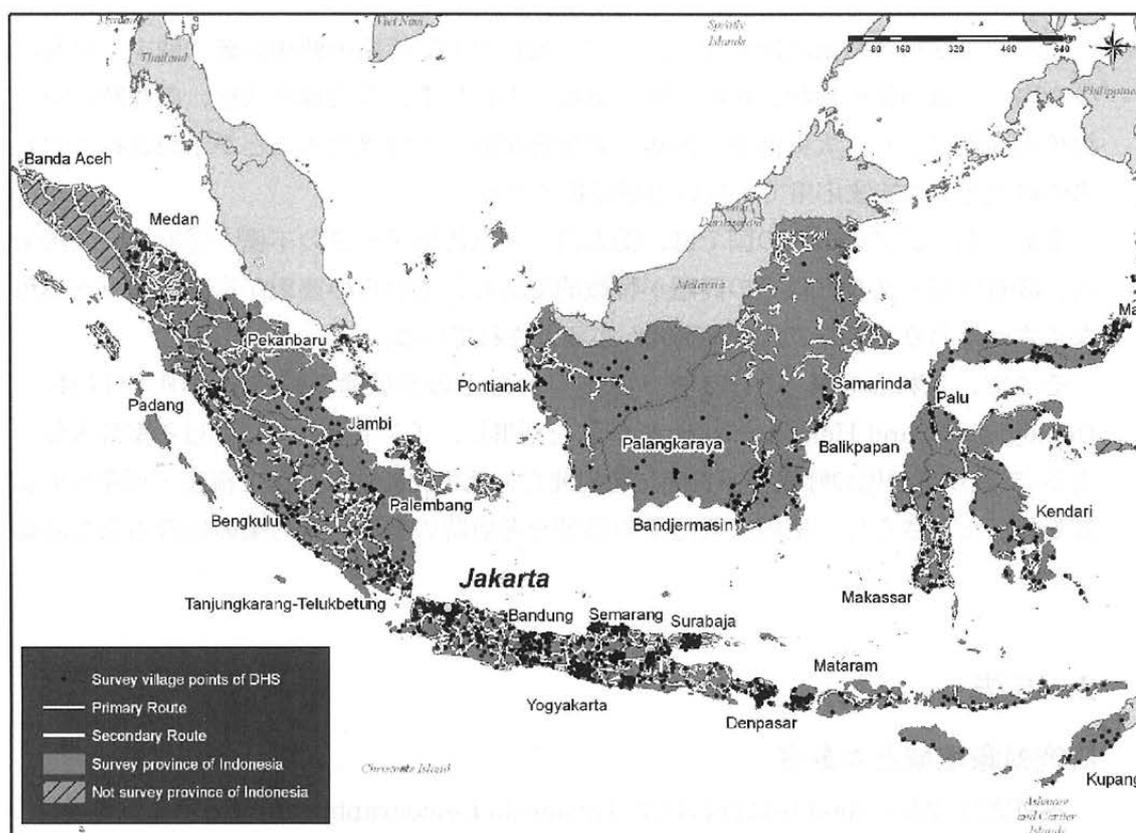


Figure1. 研究対象地域であるインドネシア

曝露指標の測定

室外大気汚染の指標として、それぞれの世帯から、メジャー道路までの距離を測定し利用を行った。本研究においては、調査対象者が取得したそれぞれの村落もしくは集落のGPS情報を利用した。IDHSでは、1516 GPSポイントが利用可能であり、そのうち、研究対象者へ利用可能なポイントは、1315ポイントであった。ひとつのGPSポイントは、平均で12世帯(最小：1、最大：34)を代表している。また、GPSポイントは、プライバシーを考慮し、都市部では0から2km、都市部以外では、0から5km offsetしている。それゆえ、本研究では、メジャー道路までの距離を測定時に、2km単位での測定を利用した。

メジャー道路の情報は、International Steering Committee for Global Mapping (ISCGM) of Indonesia を利用した。ISCGMは、70カ国の地理情報を含む道路情報を公開しており、本研究においては、ISCGMの定義するメジャー道路を利用した。その定義は、Global Roads Data Projectに基づき、プライマリー道路は、主要都市を結ぶ道路、セカンダリー道路は、その他重要な町を結ぶ道路として定義されている。

健康指標の測定

室外大気汚染による、5歳以下の児の呼吸器系疾患と、乳児・新生児死亡への影響評価を行うため、5つの健康指標を質問票より入手し利用する：1) Acute Upper Respiratory Illness (AURI)、2) Acute Lower Respiratory Illness (ALRI)、3) 乳児死亡、4) 新生児死亡、5) 死産(流産を含む)。

供変数の測定

供変数は過去の研究をベースとして、選定した。供変数は次の通りである：室内大気汚染、児の性別、母親の年齢、母親の喫煙状況、そして社会経済状況の指標としての母親の教育を受けた年数。すべての値は、自己記入式の質問票より情報を得た。

また、室内大気汚染としては、調理時の燃料タイプを利用した。過去の研究をもとに(HEI, 2004; Mishra et al., 2005; Smith et al., 2000)、我々は、調理時の燃料タイプを高い大気汚染グループと低いグループにわけた。高いグループは、coal/lignite、charcoal、firewood/straw、そして dung を含み、低いグループは electricity、liquid petroleum gas/natural gas、biogas と kerosene を含む。

解析

室外と室内大気汚染のレベル、社会経済状況が都市部と、都市部以外では異なるため、それぞれに分けて解析を実施。

まず、参加者の記述を行い、次に、generalized estimating equation (GEE)モデルを利用し、メジャー道路までの距離と、それぞれの健康指標の関係を評価した。そして、オッズ比(ORs)と、95%信頼区間を計算した。GEEモデルでは、village間の相関を考慮し解析

を実施した。

また、室内大気汚染の影響を評価するため、室内大気汚染が高いグループと低いグループに分けて、層別解析を実施した。次に、室外と室内大気汚染の交互作用の検討するため、屋外と室内の大気汚染指標を multiplicative terms で投入し評価を行った。

解析ソフトは、SPSS version 17.0J、地理情報の取得には、ESRI 社の ArcGIS 9.3 を利用した。また、衛生画像の利用においては、同社の ERDAS Imagine9 を利用した。

3. 結果

研究対象者の記述情報は、table1 に示す。平均の対象者年齢は、都市部では 2 歳であり、都市部以外では 1.9 歳であっ

た。室外大気汚染の指標であるメジャー道路までの距離は、都市部では、都市部以外に比べて、より近いところに居住している対象者が多い傾向がみられた。また、室内大気汚染は、都市部以外の地域では高い室内大気汚染グループが 71%であり、その一方で都市部では 13%であり、都市部以外で高い傾向があった。また、都市部以外の ALRI と乳児死亡は、都市部に比べて高い傾向が示された。

都市部の粗オッズ比と、調整オッズ比を table2 に示す。メジャー道路までの距離が 2km 近づくことにより、AURI (OR=1.012, 95% CI=1.005–1.019)、ALRI (OR=1.007, 95% CI=0.997–1.018)、新生児死亡 (OR=1.007, 95% CI=0.993–1.020)、そして流産・死産 (OR=1.006, 95% CI=0.993–1.020) のリスクの増加傾向がみられた。

また、都市部以外の結果は table3 に示す。メジャー道路までの距離が 2km 近づくと、AURI (OR=1.004, 95% CI=0.999–1.009)、ALRI (OR=1.007, 95% CI=1.001–1.012)、そして流産・死産 (OR=1.006, 95% CI=1.000–1.012) においてリスクの増加がみられた。

Table1. 研究対象者と両親の特徴

	Urban	Rural
Demographic characteristics		
Single birth [no.]	6136	9106
Mean age of participants [year (SD)]	2.0 (1.4)	1.9 (1.4)
Child sex [no. (%)] [*]		
male	3149 (51)	4723 (52)
female	2987 (49)	4383 (48)
Estimated mean distance [km (SD)]	5.6 (21.7)	17.3 (40.2)
Type of cooking fuel [no. (%)] [*]		
High group (coal/lignite, charcoal, firewood/straw)	774 (13)	6265 (71)
Low group (electricity, LPG/natural gas, kerosene)	5217 (87)	2616 (29)
Mean age of mothers [year (SD)]	29.5 (6.0)	28.8 (6.4)
Mother's smoking [no. (%)] [*]		
Nonsmoker	6041 (99)	9098 (99)
Current smoker	89 (1)	123 (1)
Mean of mother's education [year (SD)]	9.5 (4)	6.7 (4)
Partner's occupation [no.(%)] [*]		
Did not work	169 (3)	146 (2)
Professional, technical workers	789 (13)	485 (5)
Clerical workers	499 (8)	196 (2)
Sales workers	1217 (20)	683 (7)
Agricultural workers	593 (10)	5483 (60)
Services workers	959 (16)	607 (7)
Skilled manual workers	696 (11)	500 (6)
Unskilled manual workers	1193 (20)	994 (11)
Don't know	10 (0)	3 (0)
Health outcome		
Coughing in the last two weeks [no.(%)] [*]		
Yes	1563 (27)	2227 (26)
No	4275 (70)	6308 (74)
Short or rapid breathing in the last two weeks [no.(%)] [*]		
Yes	462 (8)	801 (9)
No	5343 (87)	7684 (91)
Neonatal mortality [no.(%)] [*]	103 (2)	182 (2)
Infant mortality [no.(%)] [*]	153 (3)	382 (4)
Miscarriage and stillbirth [no.(%)] [*]	728 (12)	855 (9)

no.: number; SD: Standard deviation

* The total number of subjects and percentages may not sum correctly owing to rounding and missing data.

The percentage is obtained by dividing the number of participants by the total number of births, separating for urban and rural areas.

室内大気汚染の高いグループと低いグループの2つに層別した結果を Figure3 に示す。ALRI の ORs ($p=0.05$)と、新生児死亡の ORs ($p=0.01$)が、室内大気汚染が高いグループにおいて、屋外大気汚染の影響が有意に高くリスクの増加がみられた。

4. 考察

本研究では、大規模な国レベルのデータセットを利用し、そして室外大気汚染の健康への影響評価を、室内大気汚染を考慮に行った。そして我々は、交通を起因とする大気汚染が、都市部と都市部以外の両方で、

Table2. 室外と室内大気汚染の相対危険度 都市部

Health outcome		Outdoor air pollution		Indoor air pollution	
		Proximity to a major road		Type of cooking fuel	
		OR *	(95% CIs)	OR **	(95% CIs)
AURI	Crude	1.012	(1.005 - 1.020)	0.791	(0.638 - 0.979)
	Adjusted	1.012 †	(1.005 - 1.019)	0.739 ‡	(0.593 - 0.921)
ALRI	Crude	1.007	(0.996 - 1.018)	1.048	(0.758 - 1.447)
	Adjusted	1.007 †	(0.997 - 1.018)	0.933 ‡	(0.667 - 1.304)
Neonatal mortality	Crude	0.998	(0.985 - 1.011)	1.495	(0.910 - 2.455)
	Adjusted	1.000 †	(0.986 - 1.013)	1.291 ‡	(0.746 - 2.235)
Infant mortality	Crude	1.004	(0.991 - 1.017)	1.739	(1.129 - 2.677)
	Adjusted	1.007 †	(0.993 - 1.020)	1.465 ‡	(0.920 - 2.331)
Stillbirth	Crude	1.007	(0.996 - 1.019)	0.612	(0.445 - 0.842)
	Adjusted	1.006 †	(0.993 - 1.020)	0.555 ‡	(0.398 - 0.774)

Table3. 室外と室内大気汚染の相対危険度 都市部以外

Health outcome		Outdoor air pollution		Indoor air pollution	
		Proximity to a major road		Type of cooking fuel	
		OR *	(95% CIs)	OR **	(95% CIs)
AURI	Crude	1.004	(0.999 - 1.009)	1.075	(0.946 - 1.222)
	Adjusted	1.004 †	(0.999 - 1.009)	1.080 ‡	(0.944 - 1.236)
ALRI	Crude	1.007	(1.000 - 1.013)	1.130	(0.936 - 1.365)
	Adjusted	1.007 †	(1.001 - 1.014)	1.094 ‡	(0.895 - 1.338)
Neonatal mortality	Crude	1.000	(0.989 - 1.010)	1.188	(0.829 - 1.701)
	Adjusted	1.000 †	(0.989 - 1.011)	1.054 ‡	(0.723 - 1.535)
Infant mortality	Crude	0.999	(0.993 - 1.005)	1.508	(1.174 - 1.936)
	Adjusted	1.000 †	(0.994 - 1.007)	1.305 ‡	(1.003 - 1.698)
Stillbirth	Crude	1.006	(1.001 - 1.012)	0.903	(0.751 - 1.085)
	Adjusted	1.006 †	(1.000 - 1.012)	0.897 ‡	(0.738 - 1.092)

OR, odds ratio; CI, confidential interval; AURI, acute under respiratory infection; ALRI, acute lower respiratory infection
 * Proximity to major road was treated as a continuous variable and ORs were estimated per 2 km proximity to a major road.
 ** ORs for high indoor air pollution group were estimated by comparing with the low indoor air pollution group.
 † Adjusted for indoor air pollution (type of cooking fuel), mother's age, mother's smoking, baby's sex, and mother's education.
 ‡ Adjusted for outdoor air pollution (proximity to a major road), mother's age, mother's smoking, baby's sex, and mother's education.

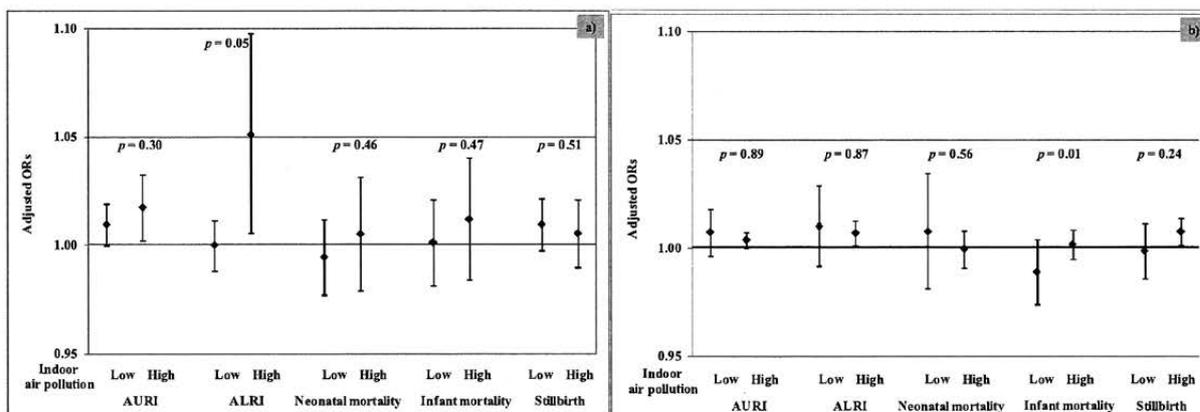


Figure3. 室内大気汚染の高いグループと低いグループで層別した、調整オッズ比。A) 都市部、b) 都市部以外。P-value は、メジャー道路までの距離と室内大気汚染の交互作用を評価。

呼吸器系疾患の中でも特に AURI と ALRI、そして早産・死産への影響を示した。加えて、室内大気汚染が新生児死亡への影響があることが示された。さらに、我々の結果では、ALRI と新生児死亡の室外大気汚染によるリスクを室内大気汚染がさらに増加させることを示した。

過去の研究においても、室外大気汚染と子供の呼吸器系疾患の影響は示されているが、これら研究においては室内大気汚染の影響を考慮していない(HEI, 2004)。本研究では、室内大気汚染を考慮しても、室外大気汚染の影響が示された。

本研究における limitation として、曝露情報として、メジャー道路までの距離を室外大気汚染の指標として利用したが、IDHS の GPS ポイントが、HIV/AIDS 調査結果のプライバシー保護のため offset されている。しかし、この誤分類は non-differential であり、その影響は、null 方向である。また、IDHS の調査が 2002 年 10 月から 2003 年 4 月に実施されており、疾病の誤分類が起きている可能性もあるが、これも同様に non-differential であり、その影響は null 方向である。本研究において、メジャー道路までの距離による影響が示されたが、個人曝露予測はさらに曝露誤分類を少なくした Land use regression model など利用した研究があり、今後、曝露誤分類をさらに減少させた研究が必要である。

結論

室内大気汚染の影響を考慮しても、屋外大気汚染による、5 歳以下の児の呼吸器系疾患と、死産への影響があることが示唆された。また、室内大気汚染が、屋外大気汚染の健康影響リスクを増加させることが示された。今回利用した情報は、大気汚染研究の不足する、アジアの他の地域でも入手可能なデータであり、今後のアジア全体の大気汚染研究促進に貢献できると考える。

謝辞

本研究を行うにあたり、多大なるご支援をいただきました、(財)八雲環境振興財団「環境研究助成」に感謝申し上げます。

掲載論文

Saori Kashima, Takashi Yorifuji, Toshihide Tsuda, Juliani Ibrahim, Hiroyuki Doi: "Effects of traffic-related outdoor air pollution on respiratory illness and mortality in children, taking into account indoor air pollution, in Indonesia", *J Occup Environ Med.* 2010; 52:340-345.

Reference

- AMPA, Benchmarking Urban Air Quality Management and Practice in Major and Mega Cities of Asia. Air Pollution in the Megacities of Asia Project, Seoul, Korea, 2002.
- HEI, 2004. Health Effects of Outdoor Air Pollution in Developing Countries of Asia: A Literature Review. Special Report 15. Health Effects Institute, Boston MA USA.
- Mishra, V., et al., 2005. Cooking smoke and tobacco smoke as risk factors for stillbirth. *Int J Environ Health Res.* 15, 397-410.
- Smith, K. R., et al., 2000. Indoor air pollution in developing countries and acute lower respiratory infections in children. *Thorax.* 55, 518-32.
- WHO, 2002. The world health report 2002 : Reducing risks, promoting healthy life. World Health Organization, Geneva.
- WHO Regional Office for Europe, 2006. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO Regional Office for Europe.
- Yorifuji, T., et al., 2005. Health impact assessment of particulate matter in Tokyo, Japan. *Arch Environ Occup Health.* 60, 179-85.

高等教育における持続可能性教育の在り方 ードイツの大学の環境カリキュラム研究ー

くらしき作陽大学 諸岡浩子

1. はじめに

ブルントラント委員会の「Our Common Future (邦題：我ら共有の未来)」¹⁾ が出されてから 20 年以上が経過した現在、持続可能な社会の構築に向けては、国家・政府レベルでの政策の提言から、研究者レベルでの理念形成、市民レベルでの実践的取り組みへと拡がりを見せている。持続可能な社会の構築に向けては、個人の意識改革を目指した市民性を養うことが重要であり、その中心に大学を中心とした学びの地域拠点づくりが求められている。そのため、大学生の基礎教養と専門教養を結び付けたカリキュラムをどのように充実させていくか、新しい大学の在り方を追求していくことが、高等教育の大きな課題である。

特に EU 諸国においては、統合の拡大が、金融・経済面における深化だけでなく、教育の面においても大きな変革をもたらしており、高等教育制度改革に拍車をかけている。1998 年 5 月に出されたソルボンヌ宣言 Sorbonne Declaration ” Joint Declaration on Harmonization of the Architecture of the European Higher Education System” は高等教育機関が中心となり、欧州全体で、学術的な国境の壁を取り除くことを急務の課題とし、欧州全体における高等教育システムを同一化し、世界に通用する高等教育制度を確立することを目標に掲げ、ドイツを含む 29 カ国の欧州の国々が、ボローニャ宣言 Bologna Declaration “The European Higher Education Area” に署名した。この宣言の具体的な目標は、①他国と比較可能な学位制度の確立、②学部、大学院の 2 段階構造の構築、③他国間同士の単位互換制度の導入、④学生、教員・研究者の移動障害の排除、⑤ 比較可能な評価基準の確立、⑥ 高等教育におけるヨーロッパ次元 European Dimension の促進である。

ドイツの高等教育制度では、卒業後に与えられる資格として、ディプローム Diplom や、マギスター Magister という、ドイツ語圏固有の称号が一般的である。これは、学士 Bachelor に比べて、さらに高度な学問を修めた称号として、これまで位置づけられていた。したがって、国際的な高等教育の基準に合わせた、学士 Bachelor と修士 Master の称号を、卒業資格として与える大学が増えてきた。^{註1)}

本研究では、大きな大学改革の中で持続可能性教育のカリキュラム導入が進んでいるドイツのリュウネブルク・ロイファナ大学の現状を把握し、日本の大学・大学院教育のこれからの在り方を示唆することを目的とする。研究手順としては、まず、基礎教養科目を中心としたカリキュラム研究から、大学全体としての持続可能性教育の在り方について明らかにする。次に、環境系学部を中心とした大学関係者への聞き取り調査および事例研究から、専門教育・研究と持続可能性教育の関連性について明らかにする。聞き取り調査は、2009 年 11 月にリュウネブルク・ロイファナ大学を視察し、同大学の教育改革において、当時、

副学長として改革に深く携わり、現在も同大学の教育改革で、中心人的役割を果たしているミヒャエルゼン教授 Prof. Gerd Michelsen と他 3 名の大学関係者に対して行った。

2. リューネブルク・ロイファナ大学

リューネブルク (Lüneburg) は、ハンブルクの南東約 45km に位置する、ニーダーザクセン州の都市で、昔は岩塩の採掘で栄えていたが、現在の人口は 71,000 人程度である。そのうち学生人口は一割を占めており、大学都市として、リューネブルク大学の市における役割は大きい。近年のドイツ国内の大学改組の中、リューネブルク大学も 2005 年 4 月から周辺の単科大学が総合大学のリューネブルク大学に併合する形で、新しいリューネブルク大学が誕生した。2009/2010 年冬期の学生数は、約 7,140 名、職員数約 690 名（うち教員・研究者約 390 名）であり、ドイツの大学としては中規模の地方都市大学である。さらに、大学の名前も「Leuphana Universität Lüneburg（以下、リューネブルク・ロイファナ大学とする。）」に改名された。

リューネブルク・ロイファナ大学は、ボローニヤ宣言を受け、2005 年にいち早く大学改変のモデル大学として指定を受けた。これまでの学部は、オートメーション科学術学部、土木工学部、社会学部、経済学部、経済法学部、経済心理学部、教育学部、経済社会学部、文化学部、環境学部の 10 学部 38 学科に分れていたが、大学改変に伴い、Ⅰ教育・文化・社会系学部、Ⅱ法学・経済・行動科学系学部、Ⅲ環境・工学系学部の 3 学部にまとめられた。これらの大枠の学部において、特に大学が重点を置いている研究分野は、文化研究、持続可能性研究、マネジメントと経営手法、教育研究の 4 分野である。

また、ドイツの大学では、一般的に大学卒業後に与えられる資格として、ディプローム (Diplom)、マギスター (Magister) のドイツ語圏固有の称号を取得するのが一般的であり、学生の在籍年数も平均で 5 年から 6 年と国際的に見ても非常に長い。今回の大学改変に伴いリューネブルク・ロイファナ大学では、これまでのディプロームやマギスターの卒業資格にかわつて、学士 (Bachelor) 3 年、修士 (Master) 2 年の取得課程が導入された。そのため、この大学改変において、大幅なカリキュラムの見直しが行われている。

リューネブルク・ロイファナ大学は、学生に大きなチャンスを与える大学として、ドイツ大学ランキングにおいて、2005 年に最も優れた大学に選ばれ、2009 年には学びの機会を与える最も優れた大学として、企業、学生から一位の評価を得ている。さらに 2010 年 2 月には、革新的な学士課程カリキュラムや教授法研究に対して、総額およそ 1000 万ユーロ (約 12 億円) の助成を行うフォルクスワーゲン財団とメルカトル財団の新しい共同イニシアチブ「ボローニヤ 大学教育の未来」から、リューネブルク・ロイファナ大学は「全人教育モデルのさらなる展開」という研究テーマで 9 件を助成対象の一つに選ばれた。^{註2)} このような大学改変に伴う教育活動と研究活動を通して、リューネブルク・ロイファナ大学は、新しい大学の在り方を示すことを期待された大学として、ドイツ全土から注目されている。

3. カリキュラム改変

リューネブルク・ロイファナ大学の新カリキュラムは、2007/2008年冬期から本格的に導入されている。学士課程3年間（6学期）の新カリキュラムモデルを図1に示す。

学士課程のの新カリキュラムは、ロイファナ・ゼメスター(Leuphana Semester)、メジャー(Major)、マイナー (Minor)、コンプリメントスタディー(Komplementärstudium)の四つの大きな枠組みに分かれている。新入生は、入学した始めの一学期にロイファナ・ゼメスターと呼ばれる導入段階のカリキュラムを学部に関係なく受講する。また、二学期目から学生は、メジャー(Major)、マイナー (Minor)、コンプリメントスタディー(Komplementärstudium)の三つを同時に受講するカリキュラムがとられている。

1) ロイファナ・ゼメスター(Leuphana Semester)

このカリキュラムのねらいは、学生として勉学に臨むための姿勢を身につけることである。ここで示す勉学に臨むための姿勢とは、知識だけでなく、チームワークによる社会性や責任感、自律した学習活動も意味する。学生は、専攻学部を超えた科目横断的テーマについての基礎的知識を学ぶほか、演習を通して、自然科学・社会科学の様々な研究・調査法、統計学的分析方法などの手法を習得する。

2) メジャー(Major)とマイナー (Minor)

メジャーは、これまでの主専攻(Hauptfach)に当たるもので、入学前にすでに学生が決定している。主な専攻分野は、「ビジネス管理」、「工学」、「文化学」、「環境科学」、「経済学」、「情報管理学」、「ビジネス心理学」、「経済法学」などである。それ以外にも教員養成課程がある。

マイナーは、副専攻(Nebenfach)に当たるもので、入学後に学生の興味と関心に応じて選択することができる。開講されている専攻科目は、「労働法とパーソナルマネジメント」、「オートメーション技術」、「教育学」、「生物学」、「ビジネス学」、「化学」、「デジタルメディア」、「E-ビジネス (E-Business)」、「金融サービス」、「産業技術」、「情報学」、「持続可能な開発」、「政治学」、「生産技術」、「税金と監査 (Steuern und Revision)」、「環境プロジェクト研究」、「経済」、「ビジネス」、「ビジネス心理」、「経済法」、「経済」などがある。

学問の柱となるメジャーとそれに付随したマイナーの専攻により、様々コンビネーションが可能となり、学生個人の興味と進路に結びついた教育が可能となる。

3) コンプリメントスタディー(Komplementärstudium)

コンプリメントスタディーは、専門の学問領域を超えた知識と技術の習得を目指している。この点においては、先に述べたロイファナ・ゼメスターと性質上は似ているが、ここでは、さらに深い教育内容と演習やプロジェクトを通しての高度な教育手法が準備されている。このコンプリメントスタディーでの目標は、①学問横断的研究手法の提供、②質的・量的研究手法における能力開発、③理論と現状の分析である。学生は、「理解と変化 (Verstehen und Verändern)」、「プロジェクトとプラクシス (Projekte und Praxis)」、「芸術と美学 (Kunst und Ästhetik)」、「言語と文化 (Sprache und Kultur)」、「自然と技術 (Natur

und Technik)」、「方法とモデル (Methoden und Modelle)」 6つのモジュールから興味のあるカリキュラムを自由に選択する。コンプリメントスタディーは、6つのモジュールのうち少なくとも三つのモジュールを選択する必要があり、一つのモジュールについては、最高三つの科目を選択することができる。また、「言語と文化 (Sprache und Kultur)」のモジュールは、少なくとも一つ以上の科目を受講することが義務付けられている。

6ゼメスター			マイナー (Minor)
5ゼメスター	コンプリメント スタディー (Komplementärstudium)	メジャー (Major)	労働法とパーソナルマネジメント、オートメーション技術、教育学、生物学、ビジネス、化学、デジタルメディア、E-ビジネス、金融サービス、産業技術、情報、持続可能な開発、政治学、生産技術、税金と監査、環境プロジェクト研究、経済、ビジネス心理、経済法、経済など
4ゼメスター	6つのモジュール	「ビジネス管理」、「工学」、「文化学」、「環境科学」、	
3ゼメスター	理解と変化、プロジェクトとプラクシス、芸術と美学、言語と文化、自然と技術、方法とモデル	「経済学」、「情報管理学」、「ビジネス心理学」、「経済法学」など	
2ゼメスター			
1ゼメスター		ロイファナ・ゼメスター (Leuphana Semester)	

図 1. 学士課程のカリキュラム概要

4. 持続可能性とカリキュラム

2005年に北ドイツのリューベックで出された「リューベック宣言」²⁾に、高等教育における持続可能性の概念を取り入れた教育の必要性が述べられている。科学技術の進展と、情報化・グローバル化により多様化した現代社会において、人間性・社会性の価値観や、職業において期待される能力が変化している。そのため、高等教育機関として、学問による陶冶 Bildung を目指し、教育や研究を主体としてきたドイツの大学も、全人類の課題と

いえる持続可能性な社会の構築にむけての教育に焦点を合わせ、大学変革に力を注いでいる。2007年に行われた調査では、ドイツ全土の高等教育機関のうち300以上の機関で、持続可能性について学ぶことができ、そのうちの3分の1の機関で、持続可能性が専攻として位置付けられている。³⁾

リューネブルク・ロイファナ大学では、ミヒャエルゼン教授が主宰を務める環境コミュニケーション研究所 (Institut für Umweltkommunikation) が中心となって、持続可能性に関するカリキュラムの開発を手掛けている。持続可能な社会の構築に向けては、人間の生活活動である経済、社会、環境システムの視点から、人と環境との関わりについて理解を深め、社会が持続していくための望ましい行動がとられるよう、地域、家庭、学校、企業といった様々な場を通じ、人々の生涯にわたる教育と学習が求められている。特に、学際的な学問のアプローチは、学生が複雑な実社会の問題や世界の動向を考え、将来を想像するうえで、特に実践に即した内容となる。そのため、リューネブルク大学で導入されているマイナー (Minor) カリキュラムでの「持続可能な開発」科目は、社会構造の未来を考える上で社会システムのあらゆる課題について分析を行い、問題解決策を探るという点において、環境領域の専門性を必要としない一般学生にとっても必要不可欠な科目であるといえる。

5. おわりに

本研究では、ドイツの持続可能性教育からの高等教育変革と持続可能性教育の現状について調べた。現在のヨーロッパ諸国は、EU 統合を背景に教育においてもヨーロッパ全体での連携教育プログラムが多数見られ、研究や教育の共同活動が盛んである。したがって、ドイツという国を通して、ヨーロッパ全体における持続可能性教育の動向と高等教育機関における国際的役割の実態把握が得られたと考えられる。筆者は、本研究で紹介したリューネブルク大学を2005年から数回に渡り訪問し、リューネブルク大学の持続可能性教育の大学全体への導入と大学改変の動きを見てきた。⁴⁾ 今回の調査を通して、持続可能性教育の実践的取り組みが、リューネブルク大学のカリキュラムに位置づけられていることがはっきりと分った。リューネブルク大学のこの取り組みは、高等教育の変革を目指すドイツにとって、先進的なモデル事例として取り上げられているが、日本の高等教育にも大変参考となるものである。したがって、このリューネブルク大学の取り組みをさらに分析し、日本でも紹介していくことが本研究の今後の課題として挙げられる。

謝辞

本研究は、財団法人八雲環境科学振興財団の平成21年度環境研究助成事業一般研究により実施できたものです。ここに記して、深く感謝の意を示します。

註

註¹⁾ 2009年-2010年冬学期の時点で、ドイツには合計410の大学が存在し、このうち総合大学 (Universität) が105校、専門大学 (Fachhochschule) が203校、芸術大学 (Kunsthochschule) が51校、神学大学 (Theologische Hochschule) が16校、教育大学 (Pädagogische Hochschule) が6校、そして行政大学校 (Verwaltungsfachhochschule, 上級公務員養成のための大学) が29校である。また、学生数は約2,119,500人で、そのうち私学に通う学生の数は、約96,100人である。私学学生の割合で見ると4.5%となり、2000年-2001年の1.4%から上昇している。

<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Statistiken/BildungForschungKultur/Hochschulen/Hochschulen.psm1>

註²⁾ このコンペには、応募資格のあるドイツの大学350校のうち、105校から180件の応募があった。

「ボローニャ - 大学教育の未来」助成イニシアチブ関連情報

<http://www.stiftung-mercator.de/kompetenzzentren/wissenschaft/bologna-zukunft-der-lehre.html>

参考文献

¹⁾ World Commission On Employment , Our Common Future, Oxford Paperback Reference, 1987

²⁾ Institut für Umweltkommunikation Universität Lüneburg, Lübecker Erklärung „Hochschulen und Nachhaltigkeit“, verabschiedet im Rahmen der Konferenz der Norddeutschen Partnerschaft zur Unterstützung der UN-Dekade Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE), 2005

³⁾ Gerhard de Haan(Hg.), Studium und Forschung zur Nachhaltigkeit, Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2007

⁴⁾ 諸岡浩子、ドイツ高等教育改革における「総合的研究」の在り方 - リューネブルク大学・持続可能性教育の例、くらしき作陽大学紀要40巻 第1号、2007年

太陽電池のための禁制帯幅が制御された鉄シリサイド薄膜の高抵抗化

津山工業高等専門学校 電気電子工学科 中村重之

岡山理科大学 理学部 基礎理学科 財部健一

要 旨

本研究の目的は、次世代薄膜太陽電池材料 β -FeSi₂の薄膜作製法を確立し、その電気的特性を向上させることである。この目的の達成のため、まず組成比を変化させることによる抵抗率向上を期待して、組成比制御が可能な β -FeSi₂薄膜の作製手法を提案し、Fe:Si比が1:1.905~2.202の試料を作製することができ、かつFe:Si=1:2の試料を作製に成功した。さらに、太陽電池に応用するにはいささか狭い0.875eVという β -FeSi₂のバンドギャップを改善するため、未だ試みられたことのない β -FeSi₂のワイドギャップ化を図り、薄膜に酸素を含ませることによって、禁制帯幅制御に成功した。作製した薄膜はアモルファスであったが、熱処理により多結晶 β -FeSi₂を得ることができ、その結果、抵抗率の向上に成功した。

1. はじめに

現在、私たちの消費するエネルギーのほとんどが、原子力発電や火力発電といった化石燃料に頼ったものである。しかし、化石燃料には限りがあり、このままのペースで消費していくと石油、天然ガスは40年、石炭は200年ほどで、使い果たしてしまう。そういった中で注目されているのが、クリーンで安全な太陽電池である。この発電方法では無尽蔵な太陽光をエネルギー源とし、半永久的に発電できる。しかし、太陽電池は他の発電に比べて発電原価が高く、一般に広く普及させるためには、大幅なコストの削減、高効率化といった課題がある。そのため、シリコン系太陽電池に変わる安価で高効率の太陽電池が求められている。そのコスト削減の方法の1つとして使用する材料を減らすことが考えられ、薄膜太陽電池の研究がなされている。現在、実用化されている薄膜太陽電池は非晶質シリコン(a-Si)太陽電池と2セレン化銅インジウムガリウム(Cu(InGa)Se₂:CIGS)太陽電池である。前者は変換効率が10%程度にとどまっております、後者は、希少金属のインジウムやガリウムを含み、また、有毒なセレンを用いる。本研究で光吸収層材料としてとりあげた β -FeSi₂はシリコン系太陽電池に代わる光エレクトロニクス新材料として最近関心が高まり、基礎研究が活発になってきた。 β -FeSi₂は資源存在量が豊富であり、シリコンよりも2桁ほど高い光吸収係数を持つという特徴を持つ。その結晶構造を図1に示す。単位胞に鉄原子を16個、シリコン原子を32個含

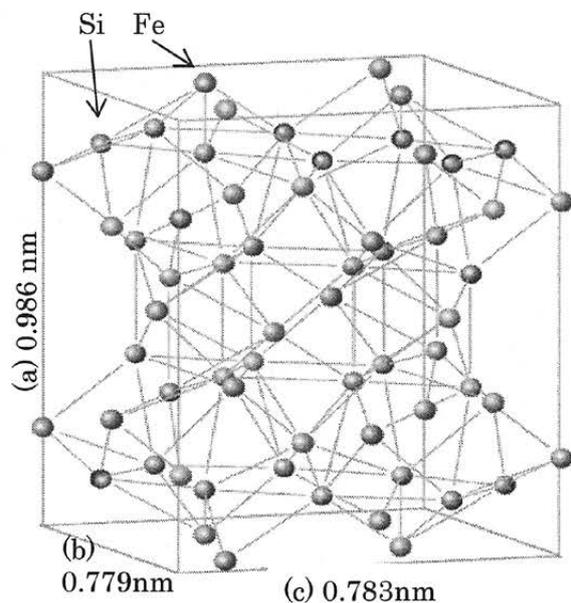


図1 β -FeSi₂の結晶構造

む斜方晶系の複雑な結晶構造をしている。

β -FeSi₂の作成は様々な研究が多面的に行われており、イオン注入法[1]や分子線エピタキシー法[2]、イオンビームアシスト蒸着法[3]、RFスパッタ法[4]、対向ターゲット式スパッタ法[5]、化学気相輸送法[6]、溶媒溶液法[7]等で、バルク試料や薄膜試料の作成と種々の物性の評価が行われている。しかしながら、 β -FeSi₂を使って現在までに開発された太陽電池の変換効率は高々数%程度と非常に低い値にとどまっている。このことは β -FeSi₂を太陽電池に応用する際に、膜物性制御による高効率化を目指す広大な研究領域が残されていることを示している。

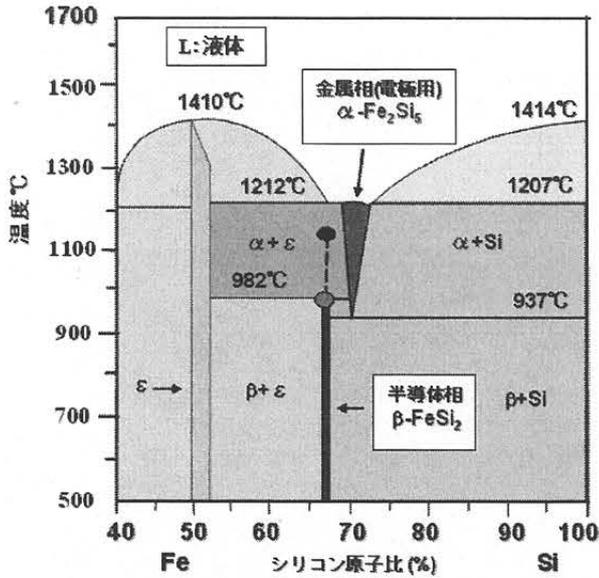


図2 Fe-Si 状態図

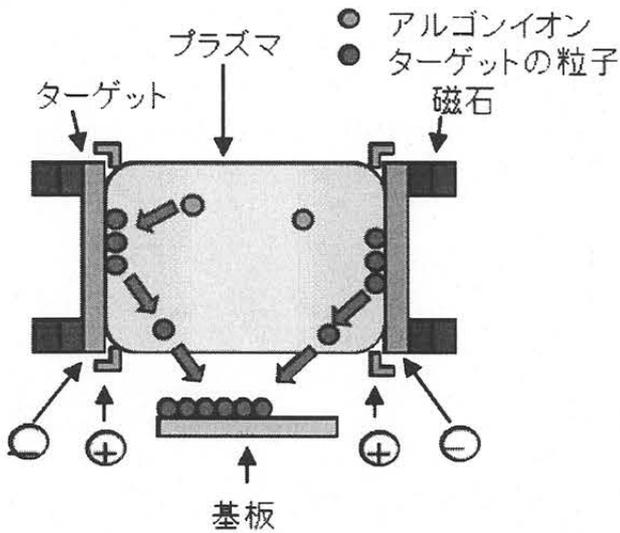


図3 対向ターゲット式スパッタ法の原理図

図2に示すように $\text{Fe}:\text{Si}=1:2$ の点は共晶点ではないので熱平衡状態では結晶を作製することができない。そこで本研究では、非平衡状態で薄膜を作製することができるスパッタ法を用いることにした。スパッタ法の中でも高品質な薄膜の作製が可能な対向ターゲット式スパッタ (FTS) 法で $\beta\text{-FeSi}_2$ 薄膜を作製することとした。これまでの研究で、薄膜の作製は可能であることが分かったが、 $\text{Fe}:\text{Si}=1:2$ のターゲットを用いて作製した薄膜の組成比は $1:2$ からややずれてしまい、その抵抗率も太陽電池に応用するにはいささか小さすぎるということが分かった。そこで、組成比制御が可能となる製膜方法を提案し、そのことによって化学量論組成の薄膜を得られ、抵抗率が向上することを期待した。

また、as-deposited 膜は非晶質であったので、熱処理によって結晶化させることによる抵抗率の向上を目指した。さらに、太陽電池に応用するにはいささか狭い 0.875eV という $\beta\text{-FeSi}_2$ のバンドギャップを改善するため、未だ試みられたことのない $\beta\text{-FeSi}_2$ のワイドギャップ化を図った。

2. 実験

Fe-Si 薄膜の作製には対向ターゲット式スパッタ法を用いた。これは、通常のスパッタ法がターゲットと基板が対抗するのに対し、図3に示すように2つのターゲットが対向しており、基板はそれらがはさむ空間から少し離れた位置に置かれる。このようなジオメトリにすることによって基板がプラズマに曝されることがなくなり、プラズマダメージを受けずに薄膜の堆積が可能となる。我々は、図4に示すように2つのターゲットの組成比を一つは鉄リッチ ($\text{Fe}:\text{Si}=1:1.74$) に、もうひとつをシリコンリッチ ($\text{Fe}:\text{Si}=1:2.4$) とし、

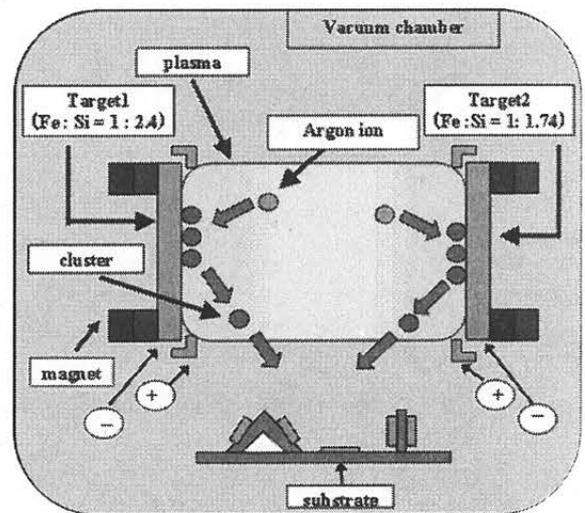


図4 改良した対向ターゲット式スパッタ法

図5に示すように基板ホルダーに角度をつけることによって薄膜の組成比制御を試みた。薄膜作製の条件は表1の通りである。酸素量は、背圧を $9.0 \times 10^{-4}\text{Pa}$ 、製膜時のアルゴンガス圧を 0.5Pa と一定にしておき、投入電力と製膜速度で制御した。各試料の製膜条件を表1に示す。膜厚をほぼ 100nm でそろえるために投入電力と製膜時間の積を一定にして製膜を行った。膜厚の測定には触針式形状測定器 Dektak3ST を使用し

た。これは針で試料表面をなぞりその段差から膜厚を求めるといものである。酸素量、組成比はラザフォード後方散乱法を用いて測定した。これは数 MeV まで加速したヘリウムイオンを試料に入射し、後方に弾性散乱されたもののエネルギーを測定し、元素の同定を行い、信号強度比から定量を行うものである。成膜後の試料を結晶化させるため、熱処理を行った。熱処理は窒素-水素混合ガス雰囲気(窒素:90%, 水素:10%, 流量 0.50/min)中にて、500~800°Cで 0.5~2 時間行った。

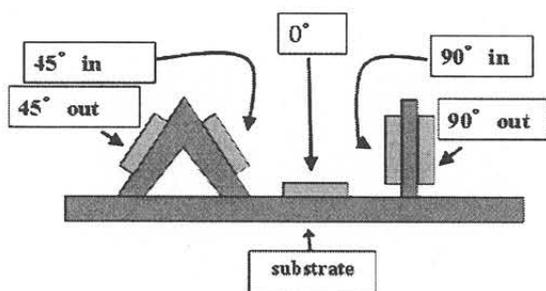


図5 基板フォルダーの詳細

表1 製膜条件

試料番号	投入電力 (kW)
1	0.20
2	0.20
3	0.20
4	0.10
5	0.10
6	0.10
7	0.05
8	0.05
9	0.05

が約2である試料を作製することが出来たことがわかる。また、抵抗率はいずれの値も $10^{-3}[\Omega \cdot \text{cm}]$ オーダーであり、太陽電池として求められる $10^0[\Omega \cdot \text{cm}]$ という値に対して3桁ほど低いものであった。詳しくは次で述べるが、試料はアモルファス $\beta\text{-FeSi}_2$ であることが確認されたため、この結晶性の悪さが抵抗率が低い原因ではないかと考えられる。

表2 組成比と抵抗率

基板位置	基板	膜厚 [nm]	組成比 (Si/Fe)	抵抗率 [$\times 10^{-3} \Omega \text{cm}$]
0°	Si	490	1.905	2.55
45° in	石ガ*	455	1.958	4.70
45° out	石ガ*	218	2.023	3.29
90° in	Si	484	1.966	8.69
90° out	Si	239	2.202	7.24

*石英ガラス

表3 膜厚と組成比

試料番号	膜厚(Å)	組成比 1 : FeSi_xO_y		組成比 2 (FeSi_2) $_{1-x}\text{O}_x$
		x	y	
1	935	1.90	0.48	0.14
2	942	2.00	0.53	0.15
3	559	2.17	1.09	0.26
4	1011	1.91	0.55	0.16
5	1116	1.99	0.74	0.20
6	616	2.19	1.54	0.33
7	924	1.88	0.95	0.25
8	918	2.01	0.97	0.24
9	589	2.20	1.98	0.38

表3に各試料の組成比および膜厚の測定結果を示す。これから、ほぼ所望の膜厚が得られていることが分かる。鉄のモル比を1としたときのシリコンと酸素の組成比は、同表の組成比1のようになった。これを鉄、シリコン、酸素の三元相図にプロットすると図6のようになり、(FeSi_2) $_{1-x}\text{O}_x$ のラインに載ることが分かる。すなわち、鉄とシリコンの比(Si/Fe)はいずれも2(化学量論組成)になっており、同表の組成比2のように、あたかも FeSi_2 と酸素の混晶のように書ける。

3. 結果と考察

改善を施した FTS 装置により、背圧を $8 \times 10^{-4} \text{ Pa}$, Ar ガス流量を 40 ml/min, Ar ガス圧を 0.5Pa, 投入電力を 0.2 kW, 成膜時間を 300[min]として作成した試料の膜厚、基板およびラザフォード後方散乱法による組成比の測定結果と、4 探針法による抵抗率の測定結果を表2に示す。表から、組成比制御により組成比

同表には $(\text{FeSi}_2)_{1-x}\text{O}_x$ と書いたときの x の値もまとめてある。これから本装置を用いた場合、酸素は少なくとも 14% から 38% まで入れることができることが分かる。

β のフィッティング結果をまとめる。膜中の酸素量の増加とともに、吸収端が高エネルギー側にシフトした。作製した薄膜の中では最大で約 1.8eV の吸収端をもつものがあることがわかった。ただし、高エネルギーの吸収端を持つものは吸収係数が 1 桁程度落ちるが、GaAs と同程度である。

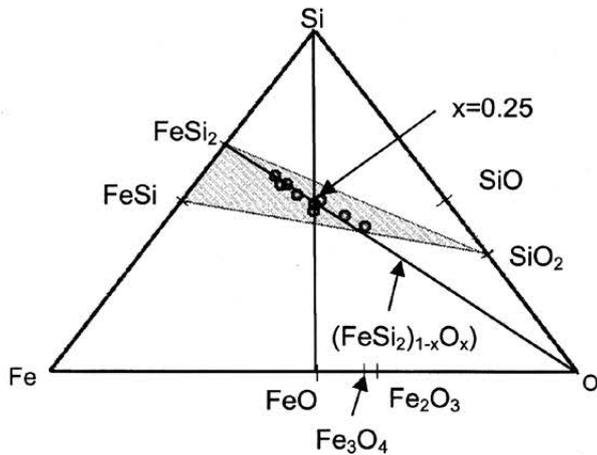


図6 鉄, シリコン, 酸素の三元相図

表4 フィッティング結果

試料番号	A	Eg	β
1	170000	0.95	1.15
2	170000	0.95	1.17
3	33000	1.27	1.13
4	122000	1.05	1.07
5	119000	1.08	1.13
6	54000	1.42	0.96
7	79000	0.99	1.53
8	100000	1.09	1.37
9	54000	1.76	1.35

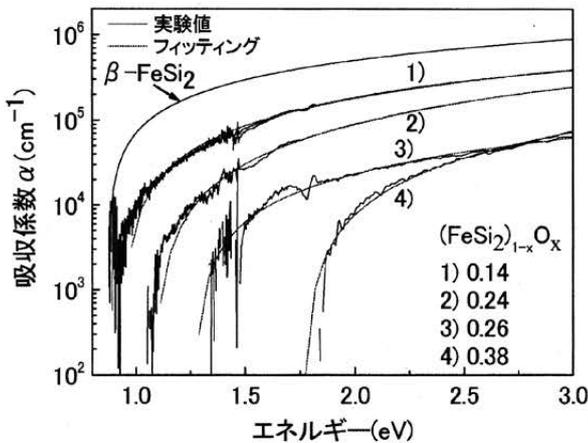


図7 酸素組成比 x による光学吸収の変化

図7, 8には光学吸収係数フィッティング結果の A , E_g と酸素量 x の相関関係を示した。 A は $x < 0.25$ で $A(x) = (2.9 - 8.9x) \times 10^5 \text{ eV} (1 - \beta) \text{ cm}^{-1}$ となり単調に減少する。 $x > 0.25$ では変化は見られい。逆に E_g では $x < 0.25$ ではあまり変化は見られず, $x > 0.25$ で $E_g(x) = 4.72x - 0.07 \text{ eV}$ で大きくなり, 最大で約 1.8eV となった。図9に示すように β に明瞭な相関関係は見られなかった。光学吸収端は、酸素量 $x > 0.25$ で E_g が大きく変化した。 $x = 0.25$ の点を図6に示すと FeSi_2 と O を結ぶ線と Si と FeO を結ぶ線の交点となる。 $x = 0.25$ で変化の様子がわかるが、その組成比では、 $(\text{FeSi})_{0.5}(\text{SiO})_{0.5}$ あるいは $(\text{FeO})_{0.5}\text{Si}_{0.5}$ と書くことができる。 $x = 0.3$ 程度で太陽電池に最適な 1.4eV 程度の吸収端を示す。

表2に示すように、as-deposited 膜は抵抗率が低く、太陽電池として適さないため、抵抗率の向上をめざして熱処理により結晶化を図ることにした。なお、試料は表2に示したものと同一のものである。図10に熱処理による抵抗率の変化を示す。図に示されているように抵抗率は熱処理によって2桁ほど改善された。これは結晶化によって試料中の欠陥が少なくなり、そこ

吸収端評価には、試料がアモルファスであることを考慮し、次式、

$$\alpha = \frac{A}{\hbar\omega} (\hbar\omega - E_g)^\beta$$

を用いてフィッティングを行った。ここで α は吸収係数, A は定数, $\hbar\omega$ は光子エネルギー, E_g は吸収端, β は結合状態密度に関するパラメータである。

図7に吸収係数の分光特性を、表3に吸収係数 α , 比例定数 A , 吸収端 E_g , 結合状態密度のパラメータ

からのキャリアの供給が減少したためと考えられる。また、組成比が 2.2 の試料だけ抵抗率に改善が見られない理由としては、試料の組成比が β -FeSi₂ となる条件である 2 という値から離れすぎているためと考えられる。

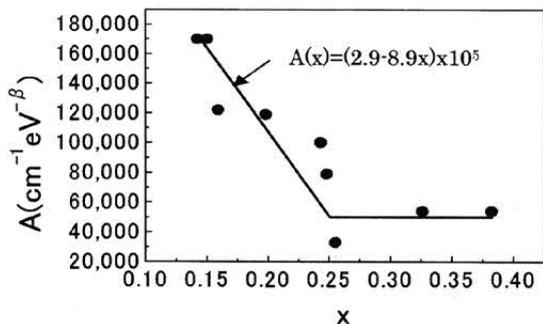


図 7 比例定数 A の酸素組成比 x 依存性

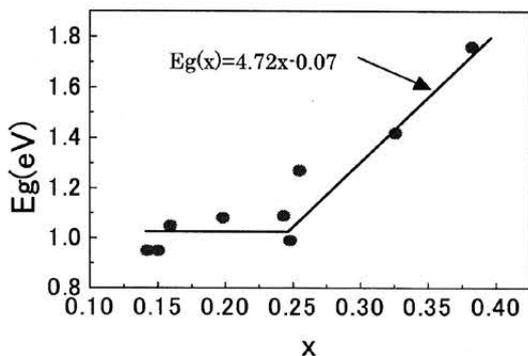


図 8 禁制帯幅 Eg の酸素組成比 x 依存性

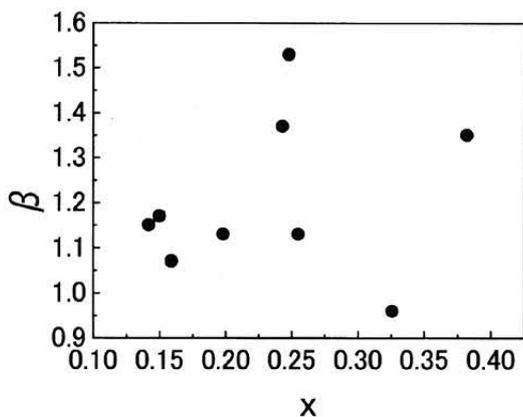


図 9 結合のパラメータ β の酸素組成比 x

図 1 1 に Si(111) 基板上に膜厚 1 [μm] となるように成長させた FeSi 薄膜の XRD 回折パターンを示す。ま

た、図 1 2 に同一試料を 800°C で 2 時間熱処理した後の XRD 回折パターンを示す。図に示されているように熱処理前の試料 Si 基板以外に特にナローなピークは見られず、45 度のあたりにブロードなピークが見られ、このことから試料はアモルファス FeSi₂ であることが確認された。熱処理を行った後の回折パターンを見てみると、いくつかのナローなピークが見られた。同定の結果すべて β -FeSi₂ のピークと考えられ、試料は熱処理によってアモルファス β -FeSi₂ から多結晶 β -FeSi₂ へと変化したことが確認された。

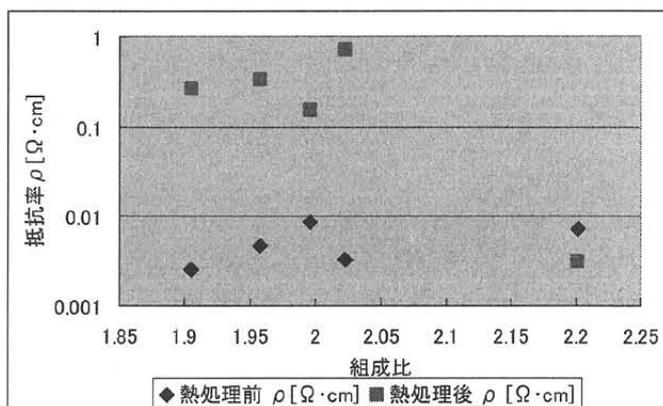


図 1 0 熱処理による抵抗率の変化

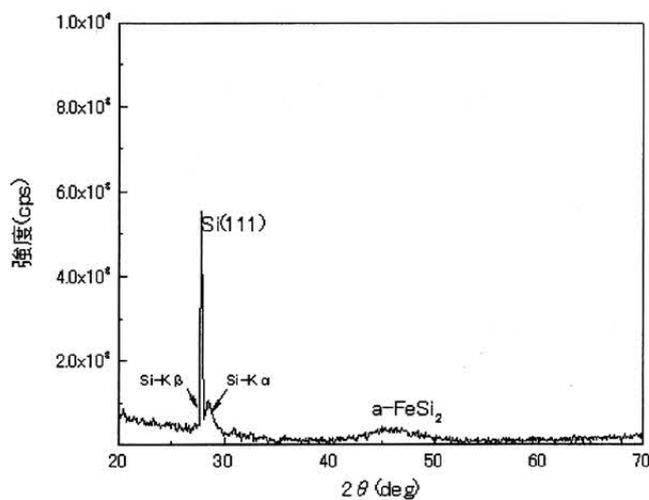


図 1 1 熱処理前の XRD パターン

4. 結言

対向ターゲット式スパッタ装置に工夫を施し、組成の異なるターゲットを用い基板ホルダーに角度をつけて成膜を行った結果、Fe:Si 比が 1:1.905~2.202 の試料を作製することが出来、かつ 1:2.0 の試料を作

製できる手法を確立した。また、作製した試料の結晶構造をXRDにより調べたところ、アモルファス FeSi_2 であることが確認された。さらに、窒素-水素混合ガス中で 800°C で2時間熱処理を行い、薄膜の結晶化を図ったところ多結晶 $\beta\text{-FeSi}_2$ を得ることが出来た。

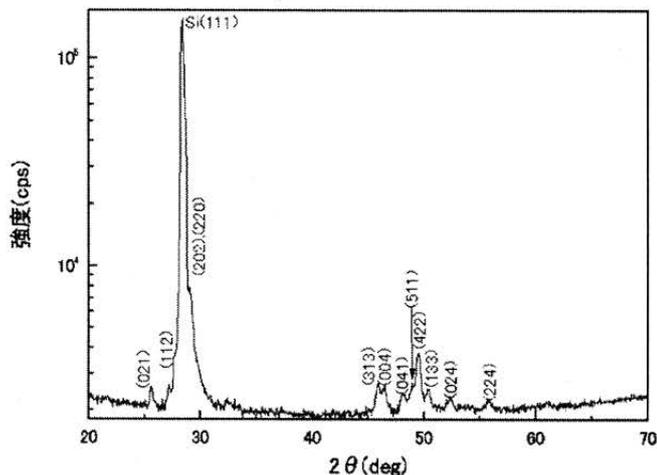


図12 熱処理後のXRDパターン

太陽電池に利用することを考えると $\beta\text{-FeSi}_2$ の 0.875eV というバンドギャップは少々狭い。そこで酸素を導入することによりバンドギャップを広げを試みた。結果、 FeSi_2 に対して酸素を30%程度導入することにより太陽電池に最適な 1.4eV のバンドギャップを得られることがわかった。

参考文献

- [1] D.Leong et al., Nature **387**, 686(1997)
- [2] H.C.Schoefer *et al.*, Appl. Phys. Lett. **62**, 2271(1993)
- [3] M. Milosavljevic *et al.*, J. Appl. Phys. **98**, 123506(2005)
- [4] V.Kh. Kudoyarova *et al.*, Physica B **340-342** 939(2003)
- [5] Y.Makita *et al.*, J. Appl. Phys **95**, 4019(2004)
- [6] T. Ootsuka, T. Suemasu, J. Chen and T. Sekiguchi, Appl. Phys. Lett. **92**, 042117(2008)
- [7] H. Udono and I. Kikuma, thin solid films **461**, 188(2004)

文化財の劣化・風化の度合いを定量化するための簡易分析システムの開発

大下 浩司

吉備国際大学 文化財学部 文化財修復国際協力学科
〒716-8508 岡山県高梁市伊賀町8 E-mail: oshita@kiui.ac.jp

本研究の目的は、先人たちの遺した、油彩画、日本画、彫刻、建造物、埋蔵物、染織物等の文化財に使用される顔料および染料等の色材の劣化や風化の度合いを定量化できる、客観的な診断のための最適な分析方法の探索と、色材の劣化や風化の度合いを測定できる簡易分析システムの開発である。各種分析方法を探索した結果、色材の化学構造に由来する反射スペクトルを厳密に計測することによって、文化財に使用される色材の劣化や風化の度合いを定量化できることが示唆された。赤色系、黄色系、緑色系、青色系、白色系の顔料あるいは染料等の各色材の反射スペクトル測定した結果、各色の反射スペクトルが相互に異なることに加え、同色の色材間でも色材の種類によって、相互に特徴的な反射スペクトル特性を示すことが明らかになった。すなわち、反射スペクトル分析法は、肉眼では識別できない色材の劣化を定量的に診断できるだけでなく、色相（極大反射波長）から色材の種類を半別することができ、色彩（光の反射率）から色材の粒子径もある程度推定できることが示唆された。その結果、反射スペクトル特性に基づき、色材の化学構造を解析可能であることがわかった。さらに、文化財に使用される色材の劣化や風化の度合いを診断できる、反射スペクトル測定用 簡易分析システムの開発を行った。本簡易分析システムに備える光源と検出器を一体化させることによる光ファイバーレス化と、発光ダイオードから順次色材に単一波長毎の光を照射し、色材表面で反射した光をフォトダイオードで検出する仕組みによる分光器レス化を達成し、反射スペクトル測定用 簡易分析システムの開発、試作に挑んだ。

1. 緒言

文化財は、展示環境、收藏環境、輸送環境、自然環境等の周辺環境から、化学的あるいは物理的な作用を受けて、文化財を構成する無機物や有機物は劣化し風化する。そのような劣化や風化の要因として、① 屋外あるいは屋内環境の温度や湿度、② 屋外環境の太陽光や屋内環境の蛍光灯や白熱灯、③ 屋外および屋内の大気環境に含まれる酸化・還元物質等、④ 文化財内部や文化財周辺環境に潜む微生物等が挙げられる。貴重な文化財を未来へ継承するためには、文化財の劣化や風化の現状を具現化し、文化財の周辺環境に由来する、劣化や風化の要因を追究し、その問題を解決することが肝要である。また、それらの要因が、文化財の劣化や風化に対して、どの程度の悪影響を与えているかを数値化・定量化して、文化財の現状を適切かつ客観的に診断することは、文化財の保存・修復にとって大切である。

文化財の劣化や風化の影響は、文化財の表面に、描写あるいは塗布された色材が最も影響を受けやすく、色材は剥落、亀裂、退色、変色する。剥落や亀裂については人間の視覚で認識できるが、退色や変色については色の変化を視覚的に認めることはできても、その退色や変色等による文化財の劣化の度合いは、具体的な数値として、どの程度劣化しているかを、人は客観的に判断できない。従来、色材の劣化や風化の度合いを正確に診断するためには、核磁気共鳴分光法、赤外分光法、ラマン分析法など、厳密な構造解析のできる化学分析が行われていた。しかしながら、それらの化学分析法は、分析化学の専門的な知識と技術を要し、文化、芸術、歴史など、文化系の研究者らが活躍する文化財研究の分野への普及の足枷になっていた。そこで、本研究の第一の課題として、従来法より簡便に、文化財に使用される染料および顔料等の色材の劣化や風化の度合いを、分析化学的に診断する方法論の探索に取り組んだ。その結果、ひとつの方法として、反射スペクトル分析法により、染料や顔料等の色材を、非破壊で診断できることが明らかになった。色材に照射する、紫外から近赤外領域の光の強度をベースにして、色材表面で反射した各波長の光の反射率（反射スペクトル）をもとに、色材の劣化の度合いを定量化できる。また、色材の劣化や風化の度合いの診断のみならず、色材の種類によって反射スペクトル特性が異なることも明らかになり、染料や顔料の種類の識別法として活用できることもわかった。

さらに、本研究では、色材の反射スペクトルを計測できる簡易分析システムの開発を目指した。市販されている反射スペクトル分析装置は高価であり、芸術、文化、歴史等々の文化財研究の現場での普及はなかなか見込まれない。そのような課題を解決するために、本研究では第二の課題として、色材を簡易に計測できる、低価格な分析システムの開発にも取り組んだ。市販の分析装置

は、光強度の大きい光源、分光するためのプリズムや回折格子、光の送光と受光を担う光ファイバーの利用が、コストダウンのボトルネックとなっていた。そこで本研究では、そのような課題を解決するために、光源に各波長の発光ダイオード (LED) をシステムに備え、各波長の LED の光を色材に順次照射し、色材からの反射光を計測することによって、光源のコストダウンと分光器レス化を試みた。さらに、光源として用いる LED と光検出に用いたフォトダイオードを一体化することによって、光ファイバーレス化にも試みた。その結果、本簡易分析システムに備える光源と検出器を一体化させることによる光ファイバーレス化と、発光ダイオードから順次色材に単一波長毎の光を照射し、色材表面で反射した光をフォトダイオードで検出する仕組みによる分光器レス化を達成し、反射スペクトル測定用 簡易分析システムの試作機の開発に成功した。本課題はゼロからのスタートであったが、本研究期間1年間に、本分析システムを試作するところまで辿り着くことができた。

2. 実験

2.1 反射スペクトルの測定に供した文化財に使用される主な色材

反射スペクトルの測定に供した色材は、赤色系、黄色系、緑色系、青色系、白色系の染料および顔料の色材である。赤色系の色材として、紅、黄丹 光明丹、珊瑚末 炭酸カルシウム、珊瑚末、朱砂 辰砂、光明朱 (銀朱)、赭石 岱赭、赭石細粉 岱赭、傍葛刺 弁柄、紫土、黄色系の色材として、鬱金、黄蘗、藤黄1、藤黄2、石黄 三硫化砒素、雌黄 三硫化砒素、梔、黄土 含水酸化鉄、緑色系の色材として、白緑青 三青・油子、二番緑青 二青・好青、一番緑青 頭青・石緑、青色系の色材として、露草、藍 (アメ出し法)、藍 (沈殿法)、ペロ藍、浅青 白青・群青、花紺青・群青 新岩群青、天然群青 (上松)、大青 紺青、ウルトラマリンブルー、ジスルホン酸ナトリウムインジゴチン+蛤粉・胡粉、ジスルホン酸ナトリウムインジゴチン化粧品用タール系色素「青色2号」、白色系の色材として、雲母1、雲母2、鉛白 胡粉、蛤粉 胡粉、白亜 白土を、反射スペクトル測定のための試料として用いた。また、参考のために、白色の和紙についても計測した。

2.2 文化財に使用される色材の反射スペクトルの測定

色材の反射スペクトルは、OceanOptics 製 (USA) の LS-1 型タングステン・ハロゲン光源、R400-7-VIS-NIR 二分岐型光ファイバー、RPH-1 型遮光ホルダー、USB2000-VIS-NIR マルチチャンネル型分光器、WS-1 型波長校正用標準白色板、OOIBase32 解析ソフト、コンピュータからなる反射スペクトル分析装置を用いて測定した。測定前に、標準白色板を用いて、波長校正を行い、光ファイバー先端部 (照射・受光部) と色材面との距離が 5mm 程度になるように固定し、反射スペクトルを測定した。各色材に、380nm~950nm の可視-近赤外領域の光を照射し、その反射スペクトルを測定した。

2.3 文化財に使用される色材の反射スペクトルを計測できる簡易分析システムの開発

色材の反射スペクトル特性に基づいた、色材の劣化や風化の度合いの定量と、色材の種類定性のために、色材の反射スペクトルを計測できる簡易分析システムの開発を試みた。文化財研究分野への本簡易分析システムの実用と普及を視野にいれ、従来の反射スペクトル分析装置に比べ、格段に低価格な、文化財の劣化や風化の度合いを定量化できる、反射スペクトル測定用 簡易分析システムの開発に挑んだ。本システムの概略を図1に示す。光源に各波長の発光ダイオード (LED)、検出器にフォトダイオードを用い、発光ダイオード (単一波長の光を照射できる光源) から順次色材に光を照射し、色材表面で反射した光をフォトダイオードで検出することによる分光器レス化、光源と検出器を一体化することにより光ファイバーレス化を試み、反射スペクトル測定用 簡易分析システムを試作した。

3. 結果と考察

先人たちの遺した、油彩画、日本画、彫刻、建造物、埋蔵物、染織物等の貴重な文化財の状態を、客観的に診断するために、文化財、特に文化財に使用されている顔料や染料等の色材の劣化や風化の度合いを測定できる分析法を探索した結果、色材の反射スペクトル特性に基づき、その劣化や風化の度合いを定量化できることが明らかになった。さらに、色材の反射スペクトルを測定できる、新しい簡易分析システムの開発、試作に成功した。

人は、網膜内にある三種類の錐体細胞で、物体の色を認識する。短波長の青色光、中波長の緑色光、長波長の赤色光を、三種類の各錐体細胞が捉え、その刺激のバランスによって、人は物体の色を識別する。そのとき、物体は、可視光領域の光の一部を吸収すると同時に物体表面で光を反射し、反射された光が、網膜内になる三種類の錐体物体を刺激し、人は物体の色を認識している。それは、色材についても同様であり、顔料あるいは染料等の材質を問わず、そのような光の吸収と反射は、色材の化学構造に由来

しているといえる。しかしながら、人は色材の色をある程度見分けることはできるが、それは数値化・定量化された客観的なデータではないため、色に対する印象は、人によって個人差も生じる。そのため、文化財に使用されている色材の劣化や風化の度合いを、退色や変色に基づき診断すれば、人の経験に頼った主観的な判断になりやすい。

色材の劣化や風化の度合いを正確に見積るためには、従来は、厳密な構造解析のできる、核磁気共鳴分光法、赤外分光法、ラマン分析法など、分析化学の専門的な知識と技術を要する化学分析法が活用されていた。しかしながら、文化、芸術、歴史など、文化系の研究者らが活躍する文化財研究の分野では、より簡便に、文化財に使用される色材の劣化や風化の度合いを診断する方法が必要である。本研究では、文化財に使用される顔料や染料等を簡易に定性でき、それらの劣化や風化の度合いを簡易に定量できる分析法を探索した。その結果、色材に照射され色材表面で反射された光を、反射スペクトル分析法により厳密に計測することによって、文化財の劣化や風化の度合いを定量化できることがわかった。図2に、赤色系、黄色系、緑色系、青色系、白色系の順に、顔料および染料等の各色材の反射スペクトルの測定データを示す。各色材の吸収スペクトルが異なるのは自明のことであるが、反射スペクトルも同様に、色材の種類によって、すなわち、色材の化学構造の違いによって、異なる反射スペクトル特性を示すことが明らかになった。この結果から、肉眼では判断できない、文化財に使用される色材の化学的あるいは物理的な劣化や風化は、反射スペクトルの形状変化から定量化することができると判断できる。また、反射スペクトルの形状、特に反射率の高い波長領域に着目すれば、赤色系、黄色系、緑色系、青色系、白色系の各色材別々に特徴があり、赤色系、黄色系、緑色系、青色系の色材の順に、反射率の高い波長領域は、長波長から短波長へとシフトしていることがわかる。さらに、同色系の色材間を比べても、各反射スペクトル特性に違いがある。それらの結果から、肉眼では区別のつかない同色の色材でも、色材の反射スペクトルを測定すれば、色材の種類も同定できることも、本実験で明らかになった。その結果、反射スペクトル分析法が、色材の簡易分析に適していることが明らかになった。反射スペクトル分析法によれば、紫外～近赤外領域の光を色材に照射し、色材表面で反射された光を検出することによって、反射スペクトルを測定することができた。その反射スペクトル特性は、色材の光吸収に由来し、色材に含有する物質の化学構造に起因するため、色材の定性および色材の劣化や風化の度合いの定量に適していた。

色材の反射スペクトルの測定結果によれば、色材の分析は、① 色相（極大反射波長）、② 色彩（光の反射率）、③ 劣化（反射スペクトルの形状）を、正確に計測することが肝要であるといえる。そのような分析を行うためには、現在は、市販されている反射スペクトル分析装置を使用する必要がある。従来の反射スペクトル分析装置は、色材に光を送光し受光するための光ファイバーや光を波長毎に分別するための分光器等を備えており、その価格は高価であったため、文化財研究の分野における、その普及と活用が十分ではなかった。そのため、文化財の劣化や風化の度合いの診断は、肉眼観察と経験に頼った、研究者個人の主観に左右されやすかった。そこで、本研究では、文化財研究分野での実用と普及を視野にいれ、従来の反射スペクトル分析装置に比べ、格段に低価格な、文化財の劣化や風化の度合いを定量化できる、反射スペクトル測定用 簡易分析システムの開発、試作した。その概要図を、図1に示す。文化財研究分野への反射スペクトル分析法の普及を視野にいれ、光ファイバーレス化のために簡易分析システムに備える光源と検出器を一体化した構造を考案し、試作した。さらに、分光器レス化のために発光ダイオード（LED、単一波長の光を照射できる光源）から順次色材に紫外～近赤外領域の光を照射し、色材表面で反射した光をフォトダイオードで検出する仕組みを備えたシステムを構築するために、それらの動作を制御できる電子回路を設計、開発した。そして、研究の最終段階では、そのようなシステムの特徴をもった反射スペクトル測定用 簡易分析システムの試作機の開発に成功した。今後、分析実用性に耐え得るよう、波長分解能を改善し、検出感度を向上させる必要がある。

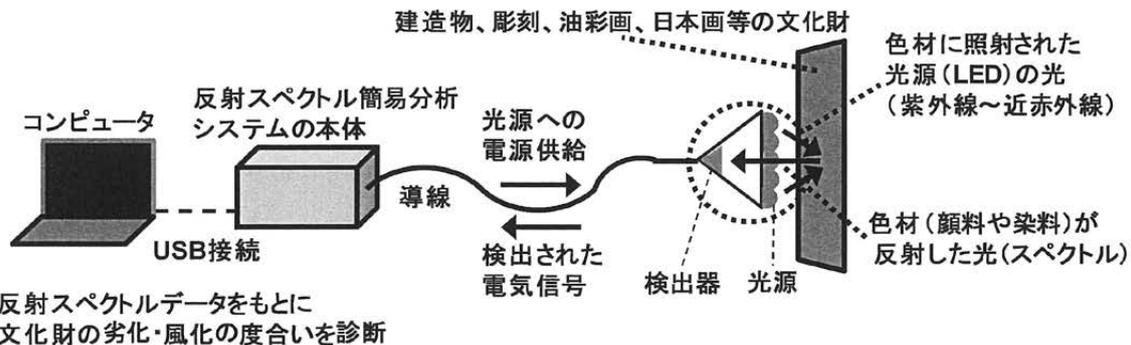


図1 文化財に使用される色材の反射スペクトルを計測できる簡易分析システム

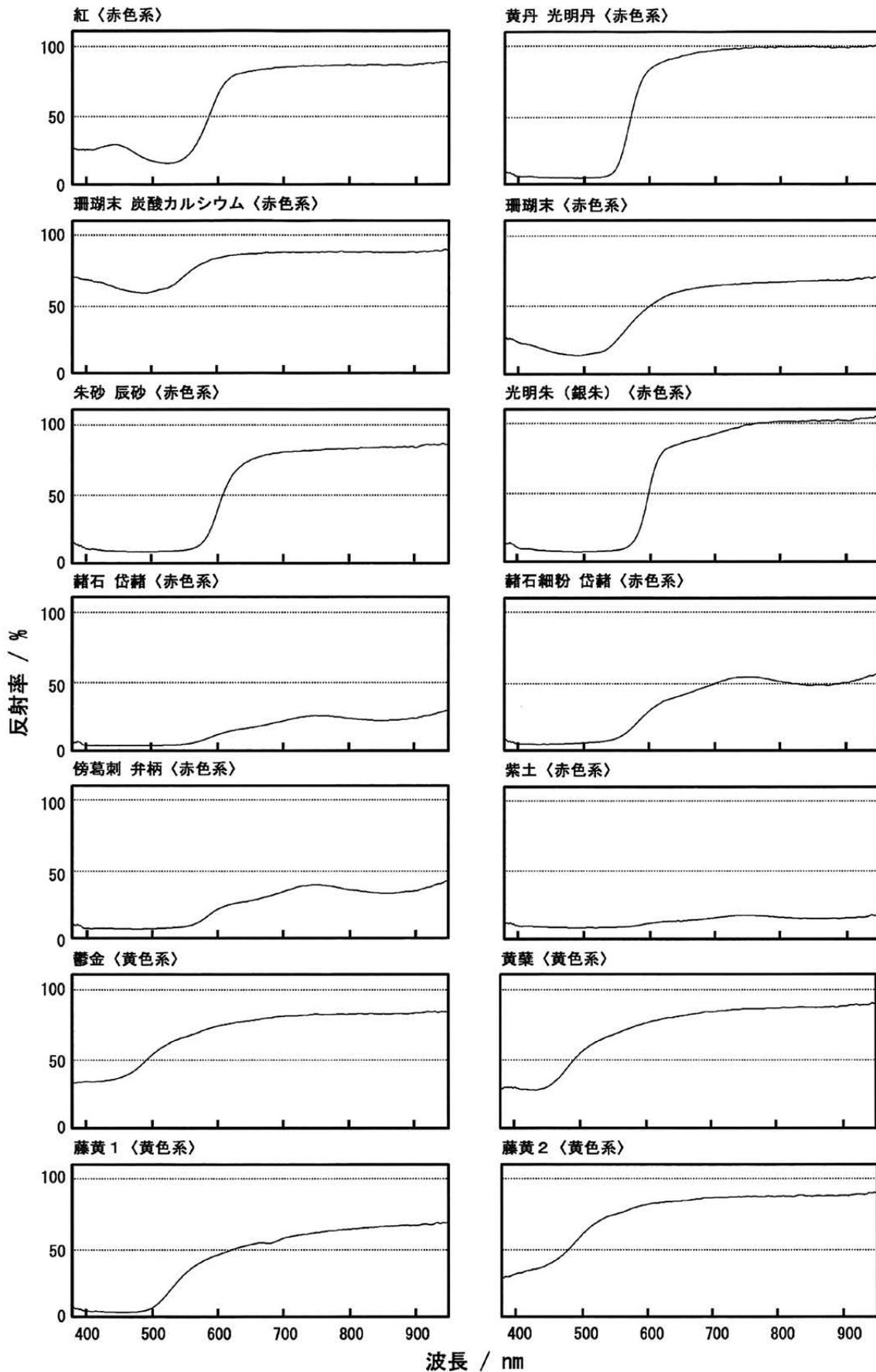


図2 文化財に使用される主な色材の反射スペクトル特性

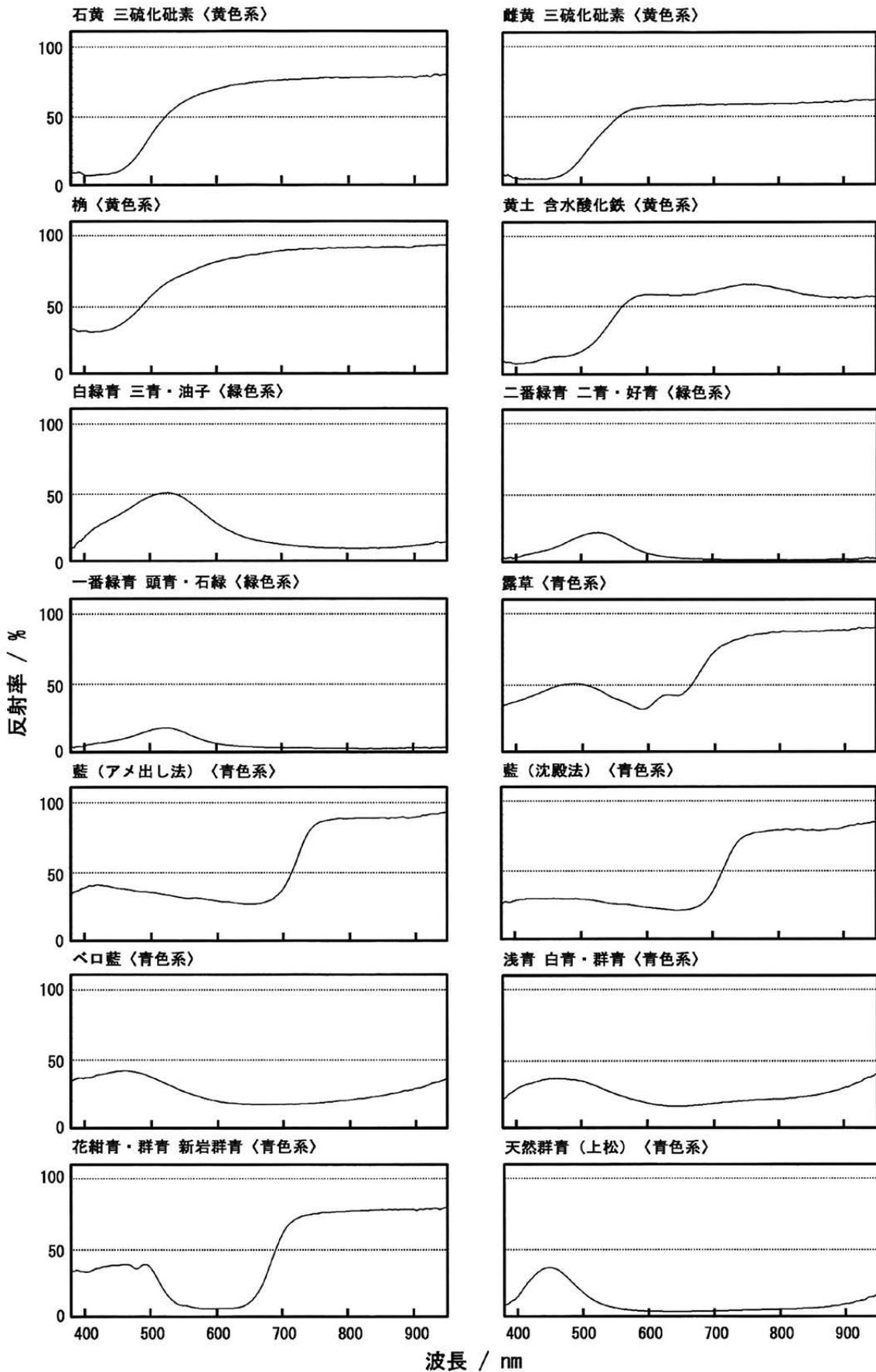


図2 文化財に使用される主な色材の反射スペクトル特性 (前頁の続き)

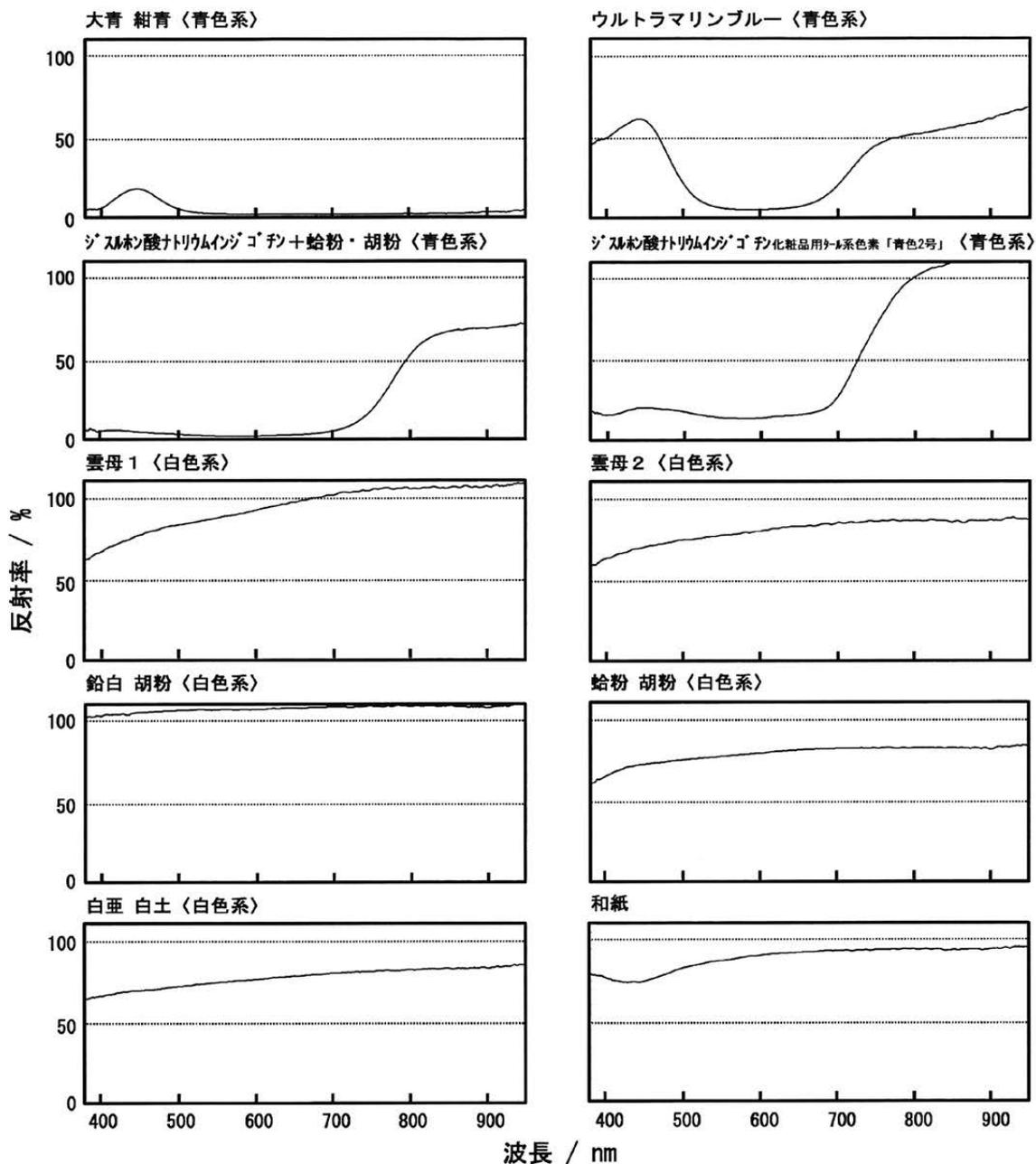


図2 文化財に使用される主な色材の反射スペクトル特性 (前頁の続き)

4. 結言

本研究は、反射スペクトル分析法が、文化財に使用される色材の劣化や風化の度合いの識別に有用であることを明らかにした。さらに、新たに開発した、色材の反射スペクトルを計測できる簡易分析システムは、非接触かつ非破壊で、迅速かつ簡便に色材を分析できる。本研究成果は、文化、芸術、歴史等の文化系の研究者が主に活躍している文化財研究分野での活用が期待できる。また、文化財研究分野のみならず、工場等における、色材に関する品質管理や簡易検査等の現場への普及も見込める。

謝辞

本研究は、八雲環境科学振興財団 環境研究助成を受けて実施しました。心より感謝申し上げます。

財団法人 八雲環境科学振興財団
平成21年度環境研究助成報告書研究レポート

研究区分：一般研究

研究テーマ：森林伐採が窒素循環に与える影響 — 窒素安定同位体比に着目して —

岡山大学異分野融合先端研究コア 助教 兵藤 不二夫

はじめに

森林は多様な生物を育む生物多様性保全や炭素貯蔵の場であると同時に、木材資源を供給する場でもある。森林の伐採からの回復過程を理解することは、森林の持続的利用の観点からも重要である。一般に、森林の発達過程において、バイオマスは攪乱後一定期間増加した後、上限に達することが昔から知られている(Kira & Shidei, 1967; Odum, 1969)。しかし、どのようなメカニズムによって、その成長が制限されているのかについては不明な点が多い(Ryan et al., 1997)。

窒素は、多くの陸上生態系において、植物の成長を制限する元素である(Aber & Melillo, 2001; Schimel & Bennett, 2004)。このため、地上部の植物の生産性を規定する土壌（地下部）の窒素無機化特性や硝化活性について、これまで多くの研究がなされてきた。しかしながら、伐採からの森林の回復過程に伴う土壌窒素の変化については、森林伐採直後のものと古い森林のような林齢の大きく異なる2つの林分を対象にしたものが多く(Inagaki et al., 2004)、森林の発達段階に沿って土壌中の窒素無機化特性を詳細に調べた研究は少ない(Tateno et al., 2009; Trap et al., 2009)。これまでの研究では、若い林分のほうが古い林分に比べて、窒素無機化速度は低い硝化速度は高いという報告例がある(Idol et al., 2003)。

植物が利用する窒素源を明らかにするため、窒素安定同位体手法がしばしば用いられてきた。一般にアンモニア態窒素に比べて、硝酸態窒素のほうが硝化過程に生じる同位体分別により、窒素同位体比 ($^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$) が低くなることが知られている(Koba et al., 1998; Nadelhoffer & Fry, 1994)。したがって、窒素同位体比を調べることで、植物がどちらの形態の窒素を利用しているのかに関する情報を得ることができる(Garten, 1993)。

本研究では、森林の発達に伴う地上部と地下部の変化を明らかにする

ために、伐採後1年から105年と経過時間の異なる冷温帯林を対象に、地上部の種組成やバイオマスの発達過程、そして地下部の窒素無機化特性や微生物呼吸活性を測定した。さらに、土壌及び植物の代表としてリターの窒素同位体比を測定した。本研究では、伐採からの経過時間と共に地下部の窒素無機化速度が減少する際に、地上部のバイオマスが増加し頭打ちとなるという仮説を立てた。

材料と方法

調査地

調査地は、茨城県北茨城市関本町小川字定波にある小川試験地(200m×300m、6ha)及びその周辺の二次林であり、国有林(関東森林管理局東京分局茨城森林管理署管轄)である。年平均気温は10.7℃、年平均降水量は1910mmである。小川試験地及び周辺二次林は、原生林ではなく、放牧や炭焼き、炭焼きなど古くから人為攪乱を受けてきた森である。森林管理局による林分帳簿にしたがって、伐採後1年から105年(小川試験地)まで林齢が異なる9つの林分を対象に調査を行った。各調査地には、30m×30mのプロットを設置した。

毎木調査

2010年6月に各プロット内において、2×10m(1年及び7年)、10×15m(11年)、10×20m(24年及び51、59年、95年、105年)のサブプロットを設置し毎木調査を行い、林分構成樹種や胸高直径を測定した。

リター供給量の評価

2009年11月の落葉時期に、プロット内から10地点のリター層(20cm×20cm)を採集した。リター層は室温にて乾燥した後、秤量した。

土壌採集と分析

各調査地において、2009年6月及び9月にプロット内から合計10点の土壌(0-5cm)を採集したのち、冷蔵庫において保存した。冷蔵したまま大学に持ち帰った後、2mmの篩に通し、根は取り除いた。各調査地について、これら

10 地点のサンプルをまとめて一つのサンプルとした。

土壌 20g に 450℃ で 4 時間焼いた KCl 溶液 (2mol/L) 200ml を洗浄済みのボトルにに入れて、1 時間振盪した後ガラスフィルター(whatman GF/B)を通して濾過して抽出液を得た。抽出液を以下の窒素分析に供した。

アンモニア態窒素濃度 (NH_4^+) は、インドフェノール法によって求めた。また、硝酸態窒素濃度 (NO_3^-) は亜鉛粉末によって亜硝酸に還元した後、チフチルエチレンジアミン法によって定量した。溶存態有機窒素濃度はペルオキシ二硫酸カリウム分解によって、総窒素を硝酸に酸化したのち、上記方法で定量し、総窒素からアンモニア態窒素と硝酸態窒素の差分として求めた。窒素無機化速度は、土壌を 60% 圃場含水量にて 25℃ で 28 日間培養し、その間増加したアンモニア態窒素と硝酸態窒素の合計とした。硝化速度は、その間の硝酸態窒素の増加とした。この二つから、無機化速度に対する硝化速度の割合を求めた(Hirobe et al., 1998)。

土壌の pH は、室温で乾燥した土壌 10g とイオン交換水 25ml を 50ml バイアルにいれ、30 分振盪した後、pH を測定した。また、乾燥した土壌 1g に 50% エタノール 20ml 入れ、一晩振盪した後、ガラスフィルターで濾過し、Folin-Ciocalteu 試薬によって定量した。

土壌微生物活性

2010 年 6 月に採集した土壌について、土壌微生物活性を測定した。基礎呼吸 (basal respiration:BR) は冷蔵保存していた土壌 3g をセプトラム付きの 50ml バイアルに入れた後、22℃ で培養した。1 時間と 4 時間後、ヘッドスペースから 1ml ガスを採取し、ガスクロマトグラフィー (Shimazu-8A) によって、その間の二酸化炭素の増加を測定した。基質誘導呼吸量(substrate-induced respiration:SIR)は、45mg のグルコースを培養直前に加えて、基礎呼吸と同様に培養した。SIR は微生物バイオマスの指標として用いた。BR/SIR を微生物代謝商として、微生物群集の資源利用効率の指標とした(Anderson & Domsch, 1978; Wardle, 1993)。

窒素安定同位体分析

篩に通した土壌を 60℃ で乾燥した後、乳鉢で粉碎した。また、各調査地の植物の代表するサンプルとしてリター層を用いた。リターは、60℃ にて 1

晩乾燥後、粉碎した。これらサンプルをスズカップに詰めて同位体比質量分析計によって分析を行った。窒素安定同位体比は元素分析計 (FlashEA 1112) に接続した質量分析計 (Delta plus XP, Germany) を用いて分析を行い、その測定時の標準偏差は±0.2%であった。¹⁵N 同位体の自然存在比は標準物質からのズレとして次のように表される。 $\delta^{15}\text{N} = (R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1) \times 1000$, ここで R は ¹⁵N/¹⁴N を表す。大気中窒素が窒素の国際的標準物質である。なお、2009年9月採集の土壌について、土壌炭素、窒素濃度は元素分析計を用いてその含有量を求めた。

統計解析

伐採からの経過時間と上記測定項目との関係を見るために、経過時間を対数変換した後に、単回帰分析を行った。これらの解析には JMP(version 8 for Macintosh, SAS Institute, USA)を用いた。

結果

毎木調査

種組成は林齢が増加するにつれて、遷移初期種 (クマイチゴやタラノキ) などから遷移後期種 (コナラ、ミズナラなど) が優占するパターンが見られた(Appendix 1)。樹木の種数は、伐採から 50 年で最大となり、その後減少した。また、林分密度は林齢と有意な関係は見られなかったものの、平均胸高直径や胸高断面積合計は林齢と共に増加し、60 年あたりから一定の値を取るようになった(Fig.2)。

リター供給量の評価

リター供給量は、林齢の増加と共に増加し、60 年あたりで 5t/ha と一定の値を示すようになった(Fig.3)。

土壌の化学性及び窒素

土壌炭素含量や土壌窒素含量、pH やフェノール含量は伐採からの経過時間に対して、明瞭なパターンは示さなかった(Table 1)。一方で、pH はフェノー

ル含量と有意な相関を示した(data not shown)。

6月、9月採集の土壌窒素は共に同様の特徴を示した。硝酸態窒素、アンモニア態窒素共に伐採からの経過時間と明瞭なパターンは示さなかった (Table 1)。しかしながら、溶存態有機窒素は、林齢と共に増加し、60年頃に一定になる傾向を示した (Fig.3)。また、溶存態有機窒素は9月のほうが濃度が低かった。さらに、窒素無機化速度は、伐採からの経過時間と共に増加する傾向があった。6月採集の土壌については、51年の林分で極大値を示した。硝化速度は明瞭な傾向は示さなかったが、窒素無機化に対する硝化の割合は、林齢とともに減少していく傾向が見られた。

土壌微生物呼吸

基礎呼吸、基質誘導呼吸、微生物代謝商は伐採からの経過時間に対して、明瞭なパターンを示さなかった (Fig.4)。しかしながら、代謝商は土壌炭素：窒素比と有意な正の相関を示した($n=5$, $r^2=0.6772$, $P=0.043$, data not shown)。

土壌及びリターの窒素同位体比

土壌及びリターの窒素同位体比は、伐採からの経過時間と明瞭な関係を示さなかった。また、植物と土壌の窒素同位体比の差（濃縮係数）も同様に明瞭なパターンを示さなかった。

考察

一般の森林の発達で見られるように、地上部の胸高断面積合計は、伐採からの経過時間と共に増加し、60年頃に頭打ちになる傾向が見られた (Ryan et al., 1997; Tatenno et al., 2009)。また、樹種も遷移初期種から遷移後期種への移行や遷移中期において種数が多くなるパターンが見られた。

一方、地下部について、伐採からの経過時間とともに、アンモニア態窒素や硝酸態窒素濃度については、明瞭な傾向を示さなかった。しかし、溶存態有機窒素や窒素無機化速度、無機化に対する硝化の割合などは、経過時間に沿ったパターンを示した。溶存態有機窒素が増加していくのは、元となる有機物の供給の増加によるものであろう。実際に、リターの供給は、50年まで増加し続け、その後頭打ちになっている。興味深いことに、9月の土壌のほうで溶存

態有機窒素の濃度が減少していた。これはおそらく、6月から9月の間、窒素無機化による有機物の分解のためであろう。

溶存態有機窒素と同様に、窒素無機化速度は伐採からの経過時間と共に増加し、50年あたりで頭打ちとなった。これは、本研究の仮説と一致し、地上部バイオマスやその生産（リター供給）が上限となる時期とほぼ一致していた。窒素無機化速度が頭打ちになる要因の一つとして、硝化速度の低下が挙げられる。硝化は、アンモニア態窒素を硝酸態窒素に酸化する反応で、主に独立栄養の硝化細菌によって行われる(Aber & Melillo, 2001)。硝化反応は一般に、アンモニア態窒素を巡る従属栄養の微生物との競争に弱く、アンモニア態窒素の供給量や、土壌 pH によって影響を受けることが知られている。本研究で、微生物バイオマス (SIR) や微生物呼吸量や土壌 pH はこれらの要因では説明できない。また、微生物群集の資源利用効率を表す微生物代謝商は、生態系一次遷移にそって減少することが知られている(Insam & Haselwandter, 1989)。しかし、本研究では明瞭なパターンは示されず、土壌 C/N 比と有意な正の相関を示すのみであった。これは本研究が対象としているのが二次遷移であり、既に多くの資源が土壌中に蓄積されていることと関係しているのであろう。

植物が利用している窒素源が伐採からの経過時間が進むにつれて、よりアンモニア態窒素に依存しているならば、その窒素源の違いは植物の窒素同位体比に反映されることが考えられる。先行研究では、硝化速度が高い森林ほど、アンモニア態窒素に比べて硝酸態窒素の窒素同位体比が低いため、植物と土壌の窒素同位体比の差は大きくなることが知られている(Garten, 1993; Takebayashi et al., 2010)。しかしながら、本研究では植物（リター）の窒素同位体比は土壌の値と対応しており、林齢にそった明瞭なパターンは見られなかった。これは、本研究で対象とした植物サンプルがリターであり、多様な樹種を含むためであろう。そのため、土壌中のアンモニア態窒素、硝酸態窒素、溶存態有機窒素それぞれの窒素同位体比、そして樹種ごとの窒素同位体比の林齢に沿った変化を明らかにしていく必要がある。

本研究では、硝化速度が低下するメカニズムはよく分からなかった。しかしながら、このことは森林管理において重要な知見を与えている。硝酸態窒素は負に帯電しているため、アンモニア態窒素に比べて、系外に流出しやすい窒素形態である(Fukushima & Tokuchi, 2009)。したがって、本研究の結果は、伐採から時間が経過するにつれて、窒素を系外に流出しにくい森林になっ

ていくことを示している。一般に陸上植物の成長、すなわち炭素固定能が窒素によって制限を受けていることを考えると、窒素の流失を防ぐような森林施業や管理方法も将来的には必要であろう。また、陸上生態系のプロセスは、地上部と地下部の相互作用に強く依存していることが近年広く認識されている(Wardle, 2002)。今後は、伐採からの経過時間にそって土壌の窒素無機化特性に影響を与えるであろう樹種ごとのリターの質(フェノール濃度)(Hättenschwiler & Vitousek, 2000)など、地上部、地下部の林齢に沿った生態特性を詳細に調べることで、森林の発達のメカニズムや森林管理に関する新たな知見を得ることができるものと考えられる。

引用文献

- Aber, J.D. and Melillo, J.M. 2001. *Terrestrial Ecosystems*. 2nd edn. Brooks/Cole Publishing, Pacific Grove, CA.
- Anderson, J.P.E. and Domsch, K.H. 1978. Physiological method for quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10. 215-221
- Fukushima, K. and Tokuchi, N. 2009. Factors controlling the acid-neutralizing capacity of Japanese cedar forest watersheds in stands of various ages and topographic characteristics. *Hydrological Processes* 23. 259-271
- Garten, C.T. 1993. Variation in foliar ^{15}N abundance and the availability of soil-nitrogen on Walker Branch watershed. *Ecology* 74. 2098-2113
- Hättenschwiler, S. and Vitousek, P.M. 2000. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. *Trends Ecol. Evol.* 15. 238-243
- Hirobe, M., Tokuchi, N., and Iwatsubo, G. 1998. Spatial variability of soil nitrogen transformation patterns along a forest slope in a *Cryptomeria japonica* D. Don plantation. *Eur. J. Soil. Biol.* 34. 123-131
- Idol, T.W., Pope, P.E., and Ponder, F. 2003. N mineralization, nitrification, and N uptake across a 100-year chronosequence of upland hardwood forests. *Forest Ecol. Manag.* 176. 509-518
- Inagaki, Y., Miura, S., and Kohzu, A. 2004. Effects of forest type and stand age on litterfall quality and soil N dynamics in Shikoku district, southern Japan. *Forest Ecol. Manag.* 202. 107-117
- Insam, H. and Haselwandter, K. 1989. METABOLIC QUOTIENT OF THE SOIL MICROFLORA IN RELATION TO PLANT SUCCESSION. *Oecologia* 79. 174-178
- Kira, T. and Shidei, T. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western pacific. *Jap. J. Ecol.* 17. 70-87
- Koba, K., Tokuchi, N., Yoshioka, T., Hobbie, E.A., and Iwatsubo, G. 1998. Natural abundance of nitrogen- 15 in a forest soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62. 778-781

- Nadelhoffer, K. and Fry, B. 1994. Nitrogen isotope studies in forest ecosystems. In *Stable isotopes in ecology and environmental science* (ed. by K. Lajtha and R.H. Michener), pp. 22-44. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Odum, E.P. 1969. Strategy of ecosystem development. *Science* 164. 262-270
- Ryan, M.G., Binkley, D., and Fownes, J.H. 1997. Age-related decline in forest productivity: Pattern and process. In *Advances in Ecological Research*, Vol 27, Vol. 27, pp. 213-262.
- Schimel, J.P. and Bennett, J. 2004. Nitrogen mineralization: Challenges of a changing paradigm. *Ecology* 85. 591-602
- Takebayashi, Y., Koba, K., Sasaki, Y., Fang, Y.T., and Yoh, M. 2010. The natural abundance of N-15 in plant and soil-available N indicates a shift of main plant N resources to NO₃⁻ from NH₄⁺ along the N leaching gradient. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 24. 1001-1008
- Tateno, R., Fukushima, K., Fujimaki, R., Shimamura, T., Ohgi, M., Arai, H., Ohte, N., Tokuchi, N., and Yoshioka, T. 2009. Biomass allocation and nitrogen limitation in a *Cryptomeria japonica* plantation chronosequence. *Journal of Forest Research* 14. 276-285
- Trap, J., Bureau, F., Vincelas-Akpa, M., Chevalier, R., and Aubert, M. 2009. Changes in soil N mineralization and nitrification pathways along a mixed forest chronosequence. *Forest Ecol. Manag.* 258. 1284-1292
- Wardle, D.A. 1993. Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf-litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystems. *Funct. Ecol.* 7. 346-355
- Wardle, D.A. 2002. *Communities and Ecosystems: Linking the aboveground and belowground components*. Princeton University Press, Oxford. 392

Table.1. Chemical characteristics of the top soil (0 to 5cm) of the study sites in the Ogawa Experimental Forest and the surrounding secondary forests in June and September, 2009.

Study sites	TOC (%)	TN (%)	pH	Total phenols (mg/g)	NH ₄ ⁺ (June) (mg N/kg dry wt)	NH ₄ ⁺ (September) (mg N/kg dry wt)	NO ₃ ⁻ (June) (mg N/ kg dry wt)	NO ₃ ⁻ (September) (mg N/ kg dry wt)
1year	0.7	10.8	5.59	0.12	6.6	5.9	1.4	0.96
7year	1.1	22.8	4.72	0.26	4.7	1.6	0.3	0.00
11year	1.3	20.2	4.87	0.15	16.1	15.8	3.3	1.26
24year	0.8	10.0	4.16	0.19	2.0	1.0	7.8	7.46
29year	N.D.	N.D.	5.17	0.16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
50year	1.9	30.2	4.20	0.27	7.4	9.2	0.3	1.37
59year	N.D.	N.D.	4.88	0.22	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
95year	N.D.	N.D.	4.64	0.20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
105yr	1.2	22.5	4.90	0.19	13.0	5.3	0.2	0.00

TOC: Total organic carbon

TN: Total nitrogen

N.D.: not determined

図の説明

Fig.1. 本研究の対象である小川試験地の位置

Fig.2. 伐採からの経過時間と林分密度(本/ha)、平均胸高直径、胸高断面積合計、リター層重量の関係

Fig.3. 樹木種数の伐採後の変化

Fig.4. 伐採からの経過時間と溶存態有機窒素濃度、無機化速度、アンモニア生成速度、硝化活性、及び無機化に硝化の割合(%)の関係

Fig.5. 伐採からの経過時間と土壌、リターの窒素安定同位体比及び、その差との関係

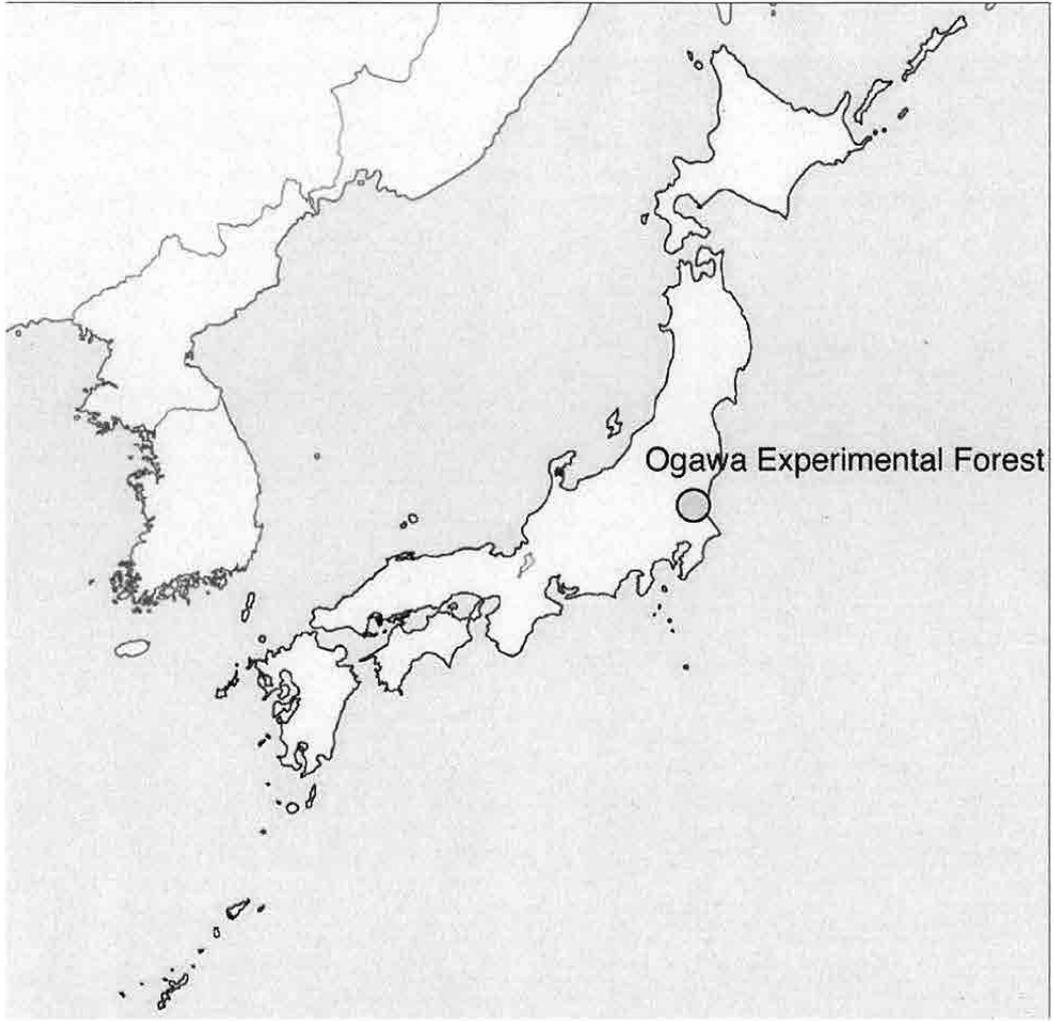


Fig.1

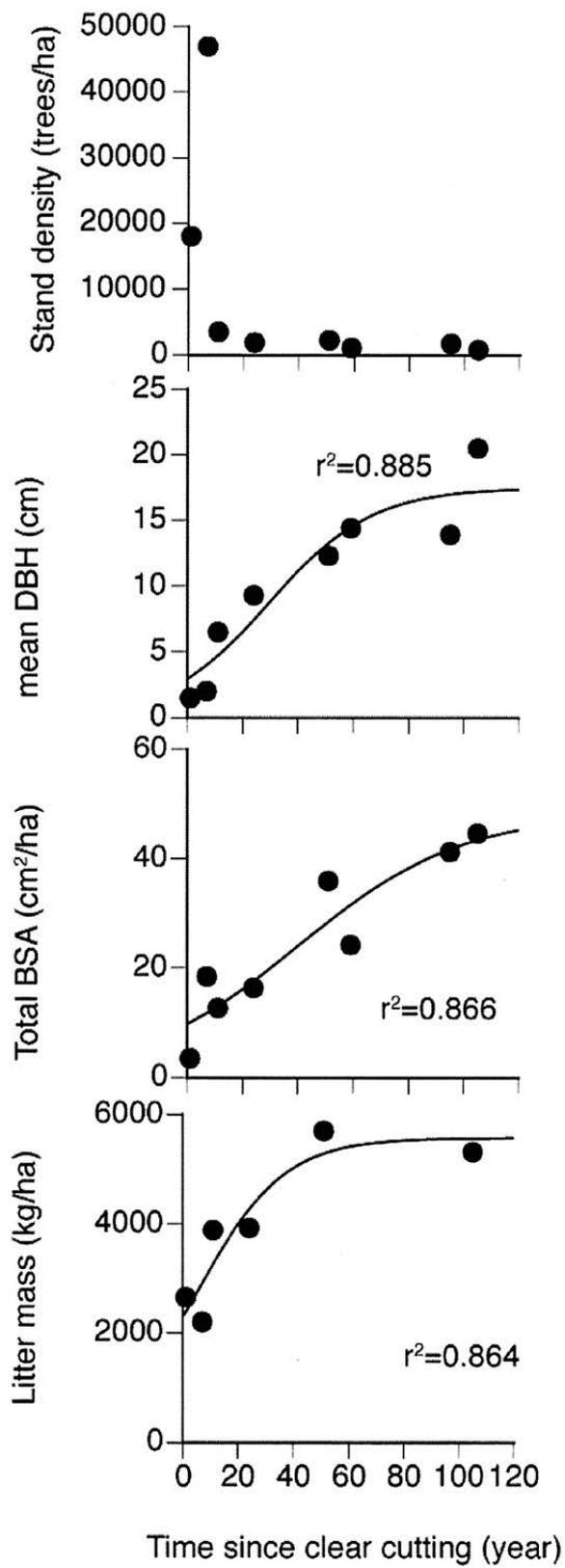


Fig.2.

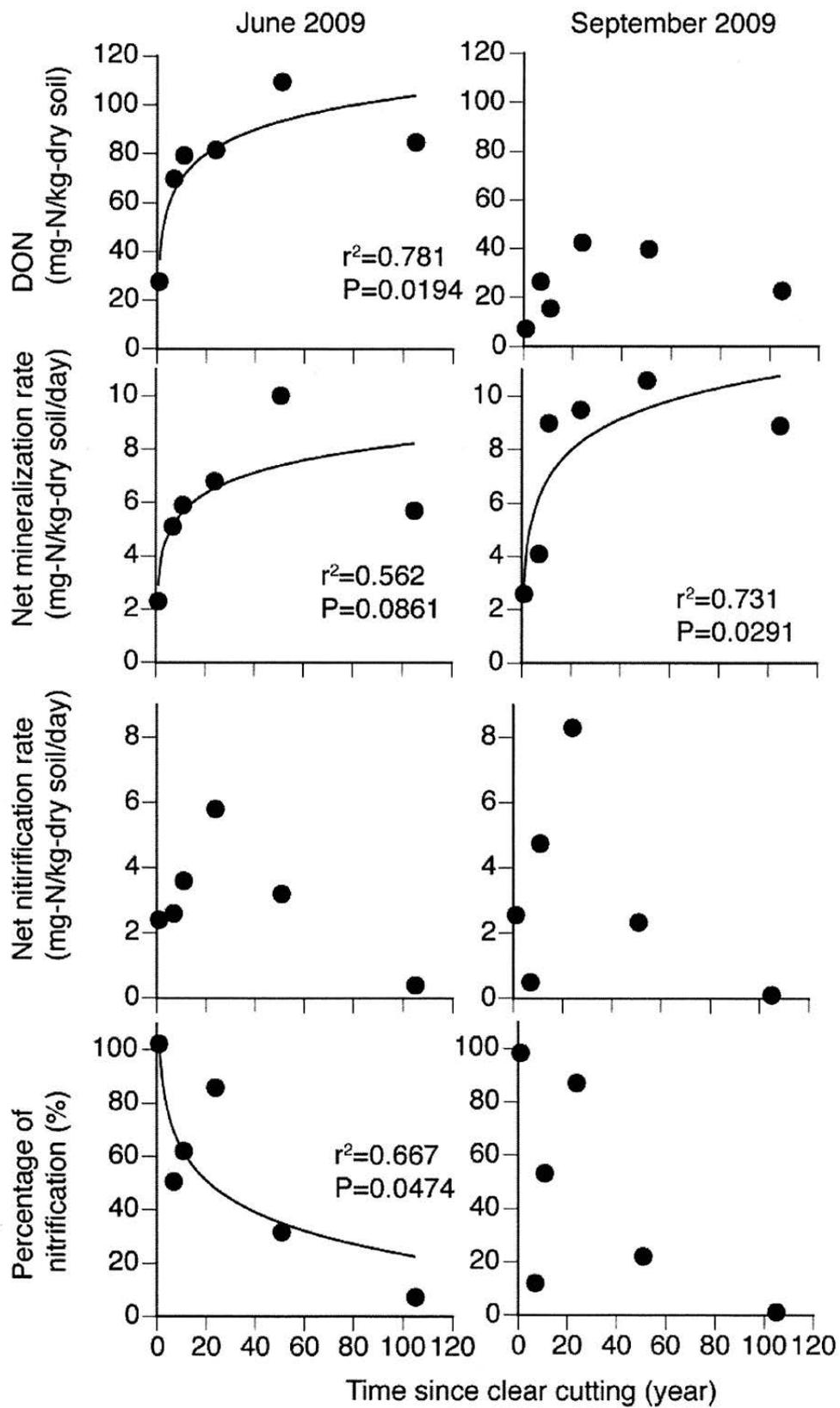


Fig.3.

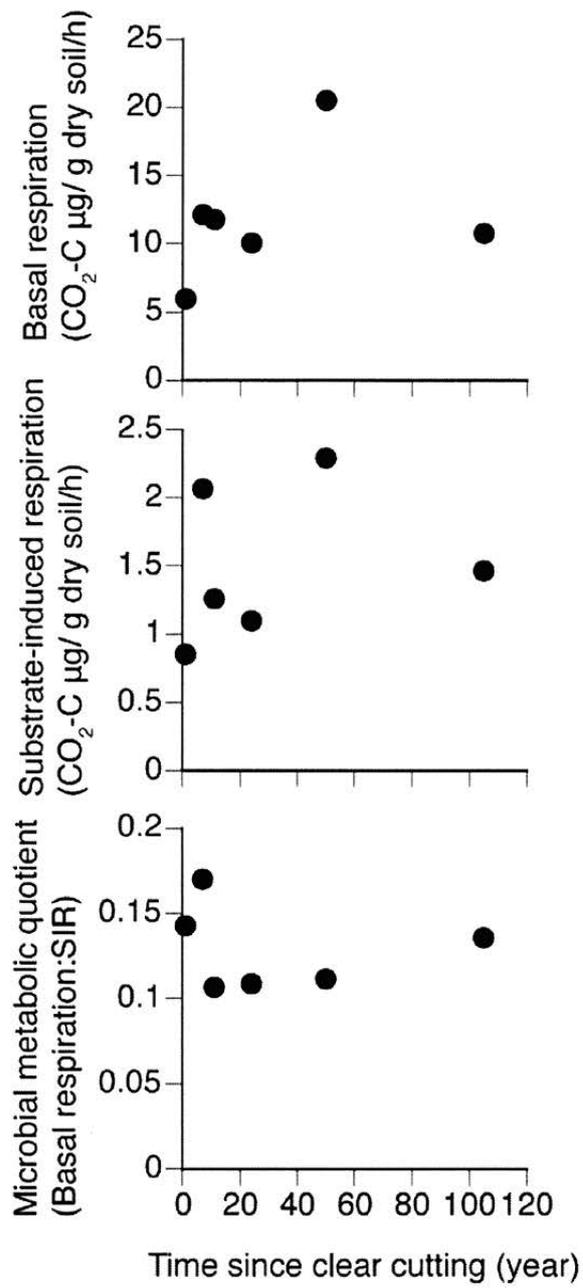


Fig.4.

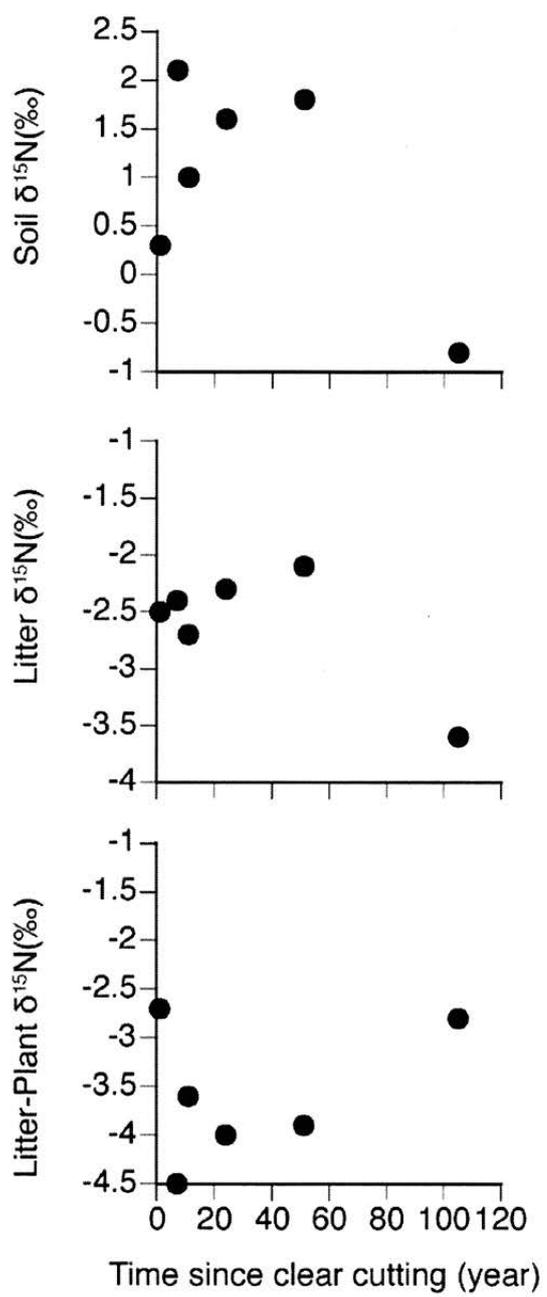


Fig.5.

Appendix 1. Tree species composition and the contribution to the total basal area in the study sites

Common name	Scientific name	Relative contribution to total basal area (%)								
		1 year	7 year	11 year	24 year	51 year	59 year	95 year	105 year	
アオダモ	<i>Fraxinus lanuginosa</i>			0.3						
アオハダ	<i>Ilex macropoda</i>			4.5	1.6	2.5	0.4	1.3		
アカシデ	<i>Carpinus laxiflora</i>			5.5	3.6	3.4	16.7	6		
アズキナシ	<i>Aria alnifolia</i>							0.1		
イタヤカエデ	<i>Acer mono</i>					0.4	0.3			
イヌシデ	<i>Carpinus tschonoskii</i>			9.6	29.9					
ウラジロノキ	<i>Sorbus japonica</i>		10.3						2.2	
ウリハダカエデ	<i>Acer rufimerve</i>				6.9				2.3	
ウワミズザクラ	<i>Padus grayana</i>		2.3	1.9	22.7	0.5	3.4			
エゴノキ	<i>Styrax japonica</i>		1.8							
オオカメノキ	<i>Viburnum furcatum</i>				0.5					
クマイチゴ	<i>Rubus crataegifolius</i>	5.3								
クリ	<i>Castanea crenata</i>			20.4	17.3	19.2	6.2			
	<i>Chengiopanax</i>									
コシアブラ	<i>sciadophylloides</i>				0.6		9.1			
コナラ	<i>Quercus serrata</i>	23.7		6.5		17.4	79.9	82.8		
コハウチワカエデ	<i>Acer sieboldianum</i>								2.7	

サワシバ	<i>Carpinus cordata</i>			1.9	1.7	5	
タラノキ	<i>Aralia elata</i>	18.6	0.8				
ニワトコ	<i>Sambucus racemosa</i>	5.3					
ヌルデ	<i>Rhus javanica</i> L. var. <i>roxburghii</i>		2				
ノイバラ	<i>Rosa multiflora</i>	11.8					
ハクウンボク	<i>Styrax obassia</i>		0.9		2.3	1.7	3.2
ブナ	<i>Fagus crenata</i>						0.4
ホオノキ	<i>Magnolia obovata</i>			4	0.6		
マンサク	<i>Hamamelis japonica</i>					2.3	
ミズキ	<i>Swida controversa</i>	9.5	1.5			11.9	1.1
ミズナラ	<i>Quercus crispula</i>			4.6	27.3	28.5	
ミズメ	<i>Betula grossa</i>						0.5
ミヤマガマズミ	<i>Viburnum wrightii</i>	4					
	<i>Cerasus</i>						
ミヤマザクラ	<i>maximowiczii</i>					15.8	
モミ	<i>Abies firma</i>				3.5	0.2	
ヤマアジサイ	<i>Hydrangea serrata</i>		25.2				
	<i>Toxicodendron</i>						
ヤマウルシ	<i>trichocarpum</i>						0.9
ヤマグルワ	<i>Morus australis</i>	8.4					

ヤマザクラ	<i>Cerasus jamasakura</i>	5.8	4.2	40.6	5.3	13.8	6
ヤマツツジ	<i>Rhododendron kaempferi</i>	17.9					
ヤマフジ	<i>Wisteria brachybotrys</i>	7.7					1.1
ヤマボウシ	<i>Benthameidia japonica</i>					0.3	
ヤマモミジ	<i>Acer amoenum</i>				0.6	5.2	
リヨウブ	<i>Clethra barbinervis</i>		37.5		1.1	9.1	
Total		100	100	100	100	100	100

流体制御デバイスを集積した環境汚染物質微量簡易分析装置の基礎研究

津山工業高等専門学校 電子制御工学科 谷口浩成

岡山大学大学院 自然科学研究科 鈴森康一

1. はじめに

近年の大気汚染、環境汚染の深化に伴い、人や野生生物の内分泌作用をかく乱する化学物質（いわゆる環境ホルモン）が、どの程度環境中に存在するのか把握することは、今後の研究や対策を進めていく上で非常に重要になっている。現在、ダイオキシン類など極微量有害物質の分析に使用されるガスクロマトグラフィー質量分析計は、作業が煩雑で結果が出るまで1ヵ月近く必要となる。環境ホルモンに対する研究や対策を瞬時に進めていくことが急務な上で、非常に長期の時間を有しているのが現状である。このような背景から、短時間で簡易的に分析できるモニタリング装置の必要性が叫ばれている。

そこで本研究の目的は、環境中に存在する環境ホルモンを短時間かつ低コストで分析できる微量簡易分析装置の開発である。我々はこれまでにマイクロポンプ、マイクロバルブおよび温度制御装置を集積したマイクロリアクターシステムを開発している^[1]。本年度は微量簡易分析装置の基礎研究として、マイクロリアクター技術を開発技術として用いることで有効性を発揮する環境汚染物質の特定および、マイクロポンプ及びマイクロミキサの高性能化の検討を実施した。以下、これらの研究結果について報告する。

2. 環境分析対象の特定とマイクロリアクター技術の適応についての検討

2. 1 環境分析の対象調査

本研究では、環境分析にマイクロリアクター技術を適用することで、微量簡易分析装置の開発を試みている。しかしながら、環境分析と一口言っても、その対象は水質、大気質、土壌、騒音、産業廃棄物と幅広い。従って、マイクロリアクター技術を活用できる環境分析対象を選定にすることが、装置の開発を進める上で重要である。そこで我々は、環境分析の対象と従来の分析手法について、書籍およびインターネットによる調査、環境分析センターへの聞き込み調査、社団法人日本環境測定分析協会が作成している環境計測工程資料^[2]による調査を実施した。これらの調査結果と、マイクロリアクターの、高速で混合、化学反応、熱交換などを一連の流れで行うことができるという利点を照らし合わせ、環境分析対象として水質分析に着目した。

一般に水質分析とは、対象とする降水、河川水、地下水などを現地から採水し、室内で分析することを云う。水質分析の目的は、大きく分けて利用目的（飲用、工業用など）に対して適否を判断することと広域の地下水流動系を把握することの2つがある。前者は各地の水域に含まれる成分の調査で、後者は地下水の流動状況の把握や供給源の推定、年代の推定などの調査となる。水質分析の主な対象は、水質汚濁防止法の規制項目である健康項目、生活環境項目などで、少なくとも60以上の成分がある。しかし、分析するための装置は約10種類と多くなく、主に使用する装置は原子吸光光度計、ガスクロマトグラフ、ガスクロマトグラフ質量分析計などの4種類程度しかない。次に、水質の分析手順は大まかにわけて採取、前処理、測定（分析）の3つである。まず、対象の水域へ赴き水を採取する。次に、その採取した水（試水）を持ち帰り、測定装置で使用できる試料にするために前処理を行う。水質だけでなく大気や土壌の分析でもこの前処理が一番時間のかかる作業となっており、短いもので1時間、長いものは100時間を超える。また、分析する成分によって前処理の手順が変わってしまうため、バッチ方式で作業工程を1つずつ行っている。これらの工程を経てできた試料は、装置を使い測定する。測定に必

要な時間は数分から10分程度で、長くても30分である。

2. 2 水質分析の前処理工程におけるマイクロリアクター技術の適応

調査結果から、水質分析の工程において、その分析時間の8割以上は前処理工程において発生していることがわかった。そこで我々は、マイクロリアクターの迅速な反応処理能力に着目し、水質分析の前処理工程にマイクロリアクターを適用することで、前処理にかかる大幅な時間短縮化、人的作業の簡便化を図ることができるのではないかとこの着想を得た。次に前処理工程の作業項目の詳細を調査した。前処理は基本的に試水を酢酸や硝酸などと混合させ、加熱、冷却、濃縮、抽出などの作業を行い、試水を測定できる状態の試料へ変えていく処理である。比較的使われている手順は混合、加熱、冷却の順で行われている工程であり、化学反応を行う工程として混合、加熱、冷却が1セットとして見られることが多い。ここで、日本環境測定分析協会の環境計測工程資料^[2]にある水質の重金属の分析工程を見てみると、分析時間は285分のうち前処理が260分、測定が25分となっている。図1はその手順を示したものである。

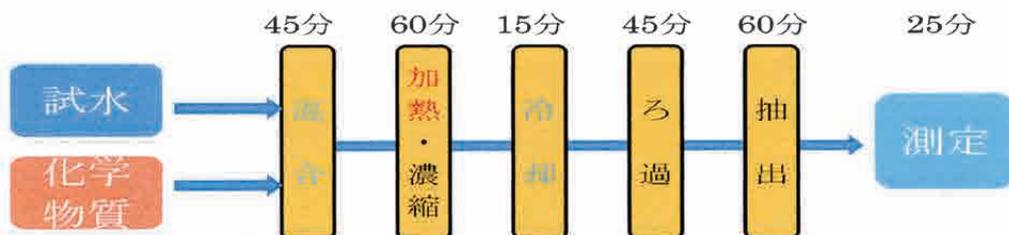


図1 重金属における分析工程

この前処理工程からわかるように、混合、加熱・濃縮、冷却、ろ過、抽出と言った作業に多くの時間が必要であることがわかる。この理由として、人的作業と試水の量が関係していると思われる。すなわち、測定で用いる試水は μl オーダーにも関わらず、前処理工程を手作業で行うために、 ml オーダーの試水を利用しなければならず、その結果分析に必要な試料を調整するために多くの時間を要している。そこで、マイクロリアクターを前処理工程に適用した場合を検討してみた。マイクロリアクターの利点は高速熱交換、高速拡散、フロー精密制御であることから、前処理工程において、混合・加熱・冷却の処理をマイクロリアクターで置き換えることができると考えられる(図2)。このことにより、試水の量を従来の ml オーダーから μl オーダーに変えることが可能となる。そのため、1つ1つの作業が短くなり、前処理全体の時間が短縮できる。



図2 水質分析の前処理工程にマイクロリアクターを用いる場合

また、マイクロリアクターはフロー方式なので、作業を自動で行うことができる。そのため、従来のバッチ方式での作業と比べ、作業間の移動を一連の流れで行うことが可能となる。さらに、生成物の質の違いによって作業の効率が変わってくるが、従来法での生成物の生成率は50~60%程度、低い物だと30%しかできない。そのため、

従来の前処理工程では、作業の途中でその不必要な成分を廃棄する作業を行っている。しかし、マイクロリアクターでは生成率が90~95%以上となる可能性もあり、不必要な成分をほぼ生成しないので、廃棄作業を省くことができると考えられる。以上のことから、マイクロリアクターを水質分析の前処理工程に適用することで、自動化による作業の短縮と作業数の減少、 μl オーダーの試水を用いた高効率生成により、分析時間の短縮と省力化が可能であると思われる。

3. 電磁駆動方式分離型マイクロポンプの開発

本節では、微量簡易分析装置に集積されるマイクロポンプの高性能化の検討について述べる。マイクロポンプは、対象となる試水を送液するために必要不可欠な流体制御デバイスであり、これまでに電磁アクチュエータを基盤とした分離型マイクロポンプの開発を行ってきた。本研究では、有限要素法3次元静磁場解析により、小型かつ形状最適化を試み、マイクロ流体システムの実装に適したマイクロポンプの開発を行った。

3. 1 電磁駆動方式分離型マイクロポンプの構造

図3にマイクロポンプの構造を示す。電磁駆動方式とすることで、ポンプ母材、チェックバルブ、ダイヤフラム、永久磁石からなる送液部と、駆動源である磁気回路部を分離可能な構造とした。これにより、使用試薬によって送液部の選択的使用が可能である。またチェックバルブ、ダイヤフラムは、ディスポーザブルな用途を想定しシリコーンゴムにより製作を行った。両者はポンプ母材から分離可能であることから、駆動による劣化やコンタミネーションの発生に際し、迅速な交換が可能である。チェックバルブには、図4に示す弁体、弁座を含む直径2.0 mm、厚さ0.2 mm、硬さ(デュロメータA)28のカンチレバー型バルブを用いた。ダイヤフラムは最適な形状、材料条件を決定するために、シリコーンゴムの膜厚を0.5、1.0 mm、硬さを28、45とする4タイプを設計した。また、ダイヤフラムを駆動させるために、厚み方向に着磁した円柱形永久磁石(2×3 mm)を内蔵した。成型用金型により、円柱形永久磁石を内包する円筒形部分の成形を行い、永久磁石を挿入後、ダイヤフラム部分の成形を行った。

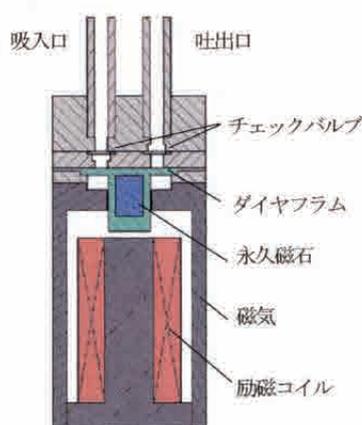


図3 マイクロポンプの断面図

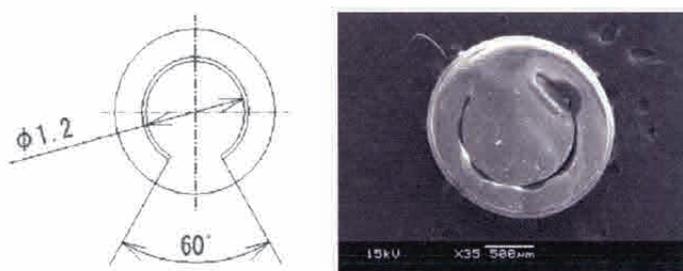


図4 チェックバルブのサイズとSEM画像

3. 2 有限要素法3次元静磁場解析による磁気回路設計

有限要素法3次元静磁場解析により、マイクロポンプの磁気回路設計を行った。解析モデルは、幅、奥行きをそれぞれ11 mmとし、高さを20 mm程度となるように設計を行った。コイル部には ± 0.08 Aの電流値を定義し、永久磁石は軸方向に可動変位を設けた。このときの磁性体内部の磁束密度および、永久磁石に発生する吸引力の算出を行った。磁性体内部の磁束密度が最大値を示すのは、永久磁石とコイルコアの空隙が最小かつ、電磁石に

より永久磁石が吸引されている条件のときである。なお、永久磁石とコイルコアの最小の空隙は、実際にはシリコンゴムで満たされている。図5に、磁路形状を変化させた各解析モデルの磁束密度解析結果を示す。各解析モデルは、コイルコアの径と軸方向長さを変更し、磁性体内部の最大磁束密度が1.0 T程度となるように設計を行った。解析結果より、ソレノイド下部の磁束密度が高い値を示すのは、永久磁石と空隙からなるソレノイド上部の磁気抵抗が高いため、またコイルコアから側面磁路への漏れ磁束が発生しているためである。

図6に各解析モデルの電磁力特性を示す。この結果では、図5の解析モデルにおいて、永久磁石がコイルコアに対して反発する方向にかかる電磁力を正、吸引する方向にかかる電磁力を負としている。最小の空隙を0.7 mm以下とした場合では、永久磁石が電磁石に常に吸引される状態となった。これは、永久磁石の磁性により磁性体であるコイルコアを引きつけるためである。空隙を1.6 mmとしたときに、各解析モデルの反発方向の電磁力はピーク値を示した。電磁力のピーク前後ではモデル2の電磁力特性が最も優れていることから、製作モデルとして採用した。また、永久磁石の可動範囲は、反発方向の電磁力ピークとなる空隙1.6 mmまでを最大変位とする0.5 mmの範囲（図6中の破線部）とした。

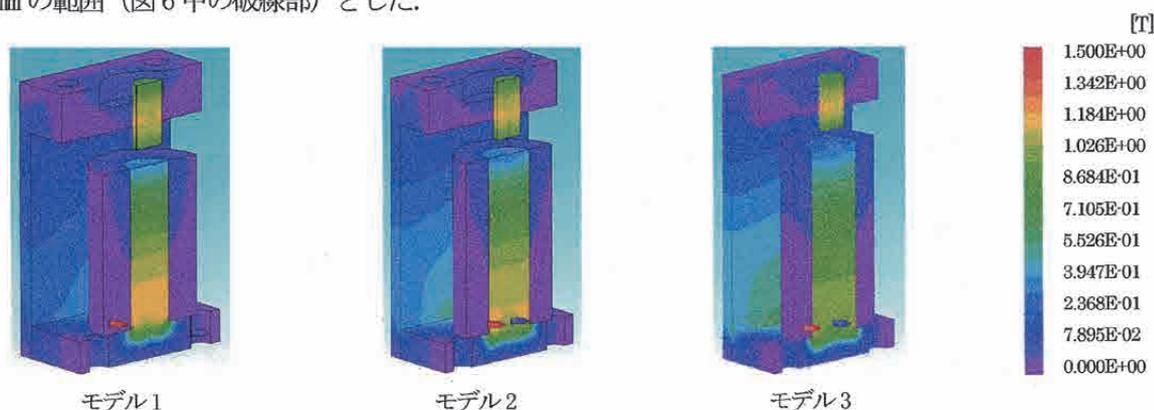


図5 解析モデルの磁束密度解析結果（磁石とコイルコア間のギャップ：1.1mm）

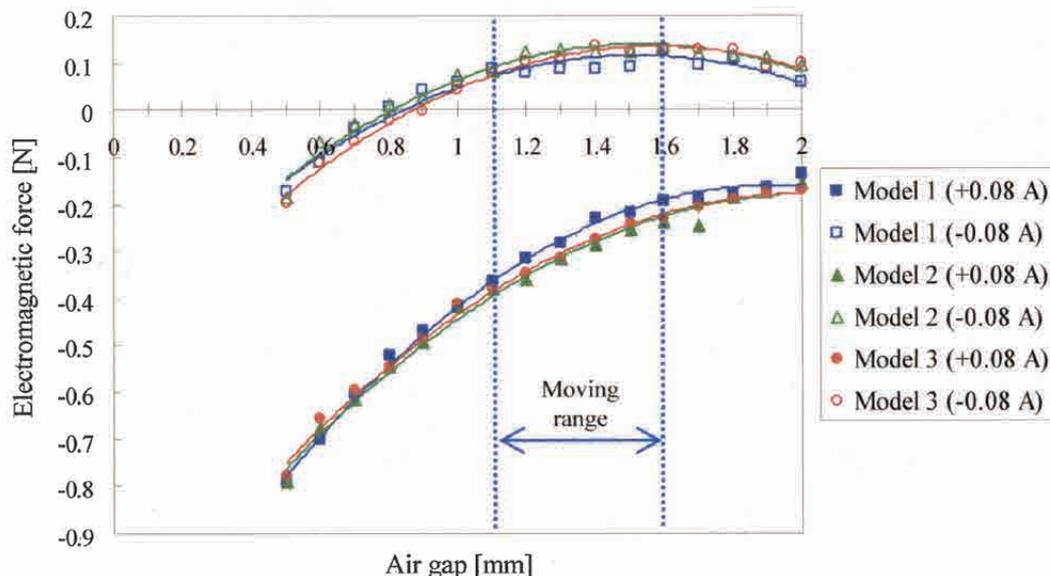


図6 解析モデルの電磁力特性

3. 3 他のマイクロポンプとの特性比較

図7に有限要素法3次元静磁場解析の解析結果を踏まえて製作したマイクロポンプを示す。磁気回路部は簡易防錆として四三酸化鉄被膜を施している。コイルのターン数は2100、ダイヤフラムの膜厚を0.5 mmとしたとき

のマイクロポンプ全体のサイズは11×11×24.3 mmである。

表1に開発したマイクロポンプと、前報および他で実用化されているマイクロポンプ^{[3][4]}の特性についてまとめる。文献[3][4]のマイクロポンプは、本研究で開発したマイクロポンプと違い、アクチュエータ一体構造とすることで小型化を実現している。一般に、駆動源を含むポンプ体積を小さくしていくことで流量特性は低下する。マイクロ流体システムはどちらの条件も考慮すべき要素であるため、高い流量/ポンプ体積比を示すマイクロポンプが望ましいと言える。本研究で開発したダイヤフラム type 3を適用したマイクロポンプは、前報のマイクロポンプと比べ、ポンプ体積が約25%減少し、かつ約60%の流量特性が向上した。また、市販のマイクロポンプ^{[3][4]}と比較すると、流量/ポンプ体積比が同程度の値を示していることがわかる。これより、送液部のみ分離可能な構造を持つという構造的特徴を有する点で、市販のアクチュエータ一体型マイクロポンプに比べ、優位性があると言える。



図7 開発したマイクロポンプ

表1 他のマイクロポンプとの特性比較

マイクロポンプ	最大吐出圧 [kPa]	最大流量 [ml/min]	ポンプ体積 [mm ³]	流量/ポンプ体積比 (x10 ⁻⁵)
開発したマイクロポンプ (ダイヤフラム type 3)	7.41	4.61	2940	157
開発したマイクロポンプ (ダイヤフラム type 4)	10.71	2.96	3001	99
MDP1304 ^[3]	35	7	3800	184
SDMP302 ^[4]	40	3	3000	100

4. 金属薄膜の振動を利用したアクティブマイクロミキサの開発

本節では、微量簡易分析装置に集積されるマイクロミキサの高性能化の検討について述べる。マイクロミキサは2種類以上の流体の混合・攪拌をマイクロ反応場にて行うマイクロリアクターである。我々は、アクチュエータを用いて流体の混合・攪拌を能動的に制御できるアクティブマイクロミキサの開発を行っている。これまでに、ミキサチャンパー内に設置された金属薄膜を、磁気アクチュエータ用いて振動させることにより、流体の混合を行うアクティブマイクロミキサを開発した。基本特性の評価として、周波数追従特性試験と2液混合特性試験を行い、アクティブマイクロミキサの有効性を確認している^[5]。本研究では、さまざまな粘度の流体を用いて、実験的に明らかにした本マイクロミキサの粘度特性について述べる。

4. 1 アクティブマイクロミキサの構造と駆動原理

金属薄膜振動型アクティブマイクロミキサの外観を図8に示す。駆動ユニットは、磁性体、励磁コイル、磁気シールドプラスチックケース、小型冷却ファンから構成されている。励磁コイルは、限られた印加電圧において高い起磁力を得るために、エナメル線を並列に巻いている。並列に巻くとは、コイルの軸にエナメル線を巻いた上から、さらにエナメル線を巻き、それぞれの巻き始めと巻き終わりをつなぐ巻き方である。並列に巻いた場合の二層のコイルの合成抵抗は、単純に巻いた場合に比べ小さくなるので、同じ電圧を印加した場合と比較すると多く電流を流せる。これにより低い印加電圧においても高い起磁力を得ることができる。実際にはそれぞれのコ

イルに2500回ずつ、計5000回の並列巻きを行った。また、小型冷却ファンによって、励磁コイルから発生する熱を放熱する。次に、図9にミキシングユニットの平面図および側面図を示す。ミキシングユニットは上面から保護プレート、観察プレート、シールプレート、流路プレートおよびOリングプレートの5層で構成されている。これらの部材には、非磁性体を用いている。流路プレートには流路が形成されており、このプレートを交換することで、様々な流路でのミキシングが可能となる。図10に今回使用した流路の拡大図を示す。流路の形状は、流路深さ3.0mm、流路長12.0mm、流路幅の両端が1.6mm、中央部が0.6mmのくさび形である。流路内には、図11に示す金属薄膜が配置される。この穴あき型金属薄膜は強磁性体で作られており、左右2極に着磁され、直径0.3mmの穴が、表面に36個空いている。このように穴を金属薄膜の表面に形成することで、この間を流体がすり抜け、複雑な流体の流れを生じさせることができる。また、この薄膜の表面にはフッ素樹脂がコーティングされている。



図8 アクティブマイクロミキサの外観

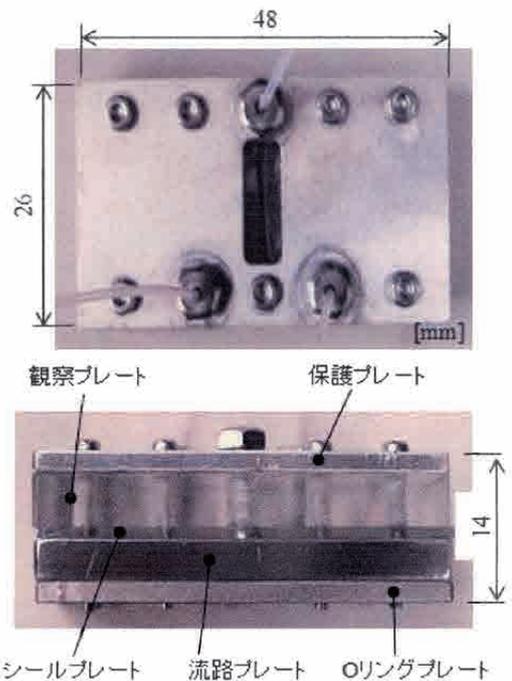


図9 ミキシングユニットの平面図と側面図

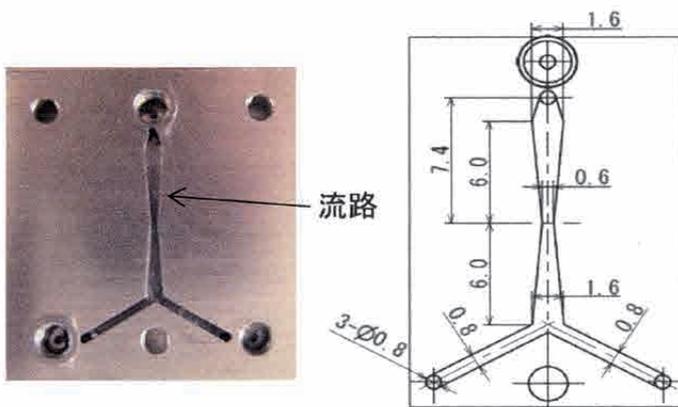


図10 流路プレートの平面図 (くさび型流路)

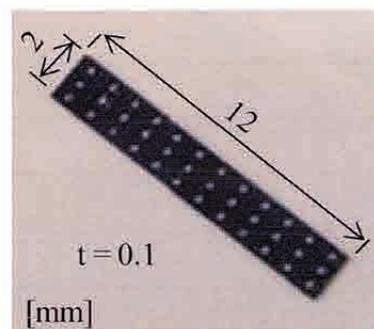


図11 穴あき型金属薄膜

次に、図12に金属薄膜振動型アクティブマイクロミキサの駆動原理を示す。マイクロミキサの流路は2つの磁性体の間に水平に設置される。磁化されている強磁性体の金属薄膜は、流路内に配置されるが固定されないため、中央にとどまることはできず、混合室内の左右壁面のどちらかに傾いている状態である。2つの磁性体の極が異

極になるように交流電圧を印加する。このとき、金属薄膜の磁極と磁性体の磁極の異極同士が引き合うことにより、金属薄膜が移動する。そして、交流電圧を切り替え磁性体の磁極状態を変えることで、金属薄膜に反発力と吸引力が作用し、金属薄膜は反対側の磁性体へと移動する。これを周期的に行うことで、金属薄膜を駆動させることができる。金属薄膜の両端左右2極が着磁されていることにより、金属薄膜は薄膜の中央を支点として、回転運動を実現する。

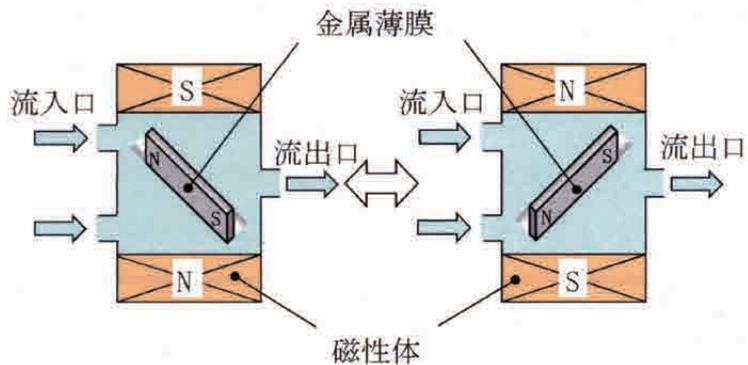


図12 アクティブマイクロミキサの駆動原理

4. 2 粘度特性試験

これまでに我々は、金属薄膜振動型アクティブマイクロミキサの駆動評価として、周波数追従試験と2液混合特性評価を実施している。本節では、マイクロミキサの粘度特性について述べる。試験には、図10に示すくさび型流路および図11に示す穴あき型金属薄膜を用いた。

粘度特性試験は、各粘度において金属薄膜の駆動時における振幅を算出することで評価する。実験には、アクティブマイクロミキサ本体、コントローラ、チュービングポンプ、顕微鏡 (OLYMPU 社製 SZX7-TR300)、光源、高速度カメラ (Vision RESEARCH 社製) を用いた。まず、粘度の異なる作動流体 A から I まで9種類を作成した。これらの作動流体は、水道水に増粘剤 (アルギン酸ナトリウム) を調合することで、粘度調整をして作られる。流体の粘度は、粘度計 (エー・アンド・デイ社製 SV-10) を用いて測定した。表2に作動流体 A から I の粘度を示す。次に、実験方法について説明する。表2に示す作動流体 A から I を、チュービングポンプによってマイクロミキサに流入する。作動流体の流量は 1.2 [ml/min] で送液した。一定時間、マイクロミキサを駆動させ、その時の金属薄膜の動作を顕微鏡に取り付けた高速度カメラによって録画した。そして、録画した動画を静止画像へと変換し、画像解析することにより金属薄膜の振幅を測定した。測定によって得られた駆動周波数と振幅、粘度の関係を図13に示す。横軸は金属薄膜の駆動周波数、縦軸は振幅である。

表2 粘度特性試験に用いた作動流体

サンプル	粘度 [mP]
作動流体 A (水道水)	9
作動流体 B	28
作動流体 C	58
作動流体 D	75
作動流体 E	104
作動流体 F	121
作動流体 G	160
作動流体 H	185
作動流体 I	213

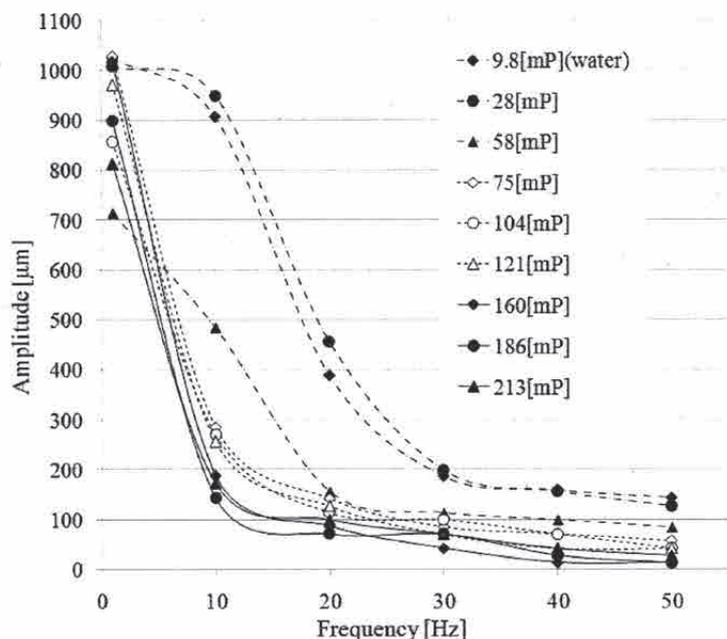


図13 粘度特性

作動流体 I (粘度 213[mP]) において、周波数 50[Hz]時に、振幅は 29 μ m であることを確認した。この結果より、高粘度においても金属薄膜が駆動していることがわかった。また、作動流体 B (粘度 28[mP]) では、金属薄膜の動作が作動流体 A (水道水) の場合と同等であることを確認した。作動流体 D から作動流体 I では、駆動周波数が 10[Hz]以上で振幅は著しく減少した。これは、流体の粘度が大きくなると金属薄膜と流体との間の抵抗が増加し、高い周波数では金属薄膜の動く速さが遅くなったからだと考えられる。また、実験結果によっては振幅が低粘度の作動流体より、高粘度の作動流体の方が大きくなっている原因として、金属薄膜の位置や、金属薄膜に気泡がつくことにより本来の駆動力が低下していることが考えられる。また、高粘度になると金属薄膜の駆動により混合室内に気泡が発生し金属薄膜が正常に動作しなくなる事を確認した。

5. まとめ

本研究では、環境中に存在する環境ホルモンを短時間かつ低コストで分析できる微量簡易分析装置の開発を目的に、本年度は微量簡易分析装置の基礎研究として、マイクロリアクター技術を用いた環境汚染物質の特定および提案と、マイクロポンプ及びマイクロミキサの高性能化について検討した。

その結果、マイクロリアクター技術を水質分析の前処理工程に適用することにより、前処理にかかる大幅な時間の短縮化および人的作業の簡便化が実現でき、短時間で環境汚染物質の分析が可能となることを見出した。マイクロポンプの高性能化の検討では、有限要素法 3 次元静磁場解析を用いることで、更なる小型化と形状最適化を行った。これにより開発したマイクロポンプは、前報のものと比較してポンプ体積が約 25%減少し、かつ約 60%の流量特性の向上を実現した。また、市販のアクチュエーター一体型マイクロポンプと同程度の流量/ポンプ体積比を示すことから、送液部のみ分離可能な構造を持つという構造的特徴を有する点で、マイクロ流体システムへの実装において優位性があることを示した。マイクロミキサの高性能化の検討では、粘度の異なる 9 種類の流体を用いて粘度特性を評価した。水の粘度の約 20 倍の作動流体においても駆動を確認でき、比較的高粘度の流体に対しても混合できる可能性を示した。さらに、駆動時に発生する気泡の問題や、構造的な問題も明らかになった。

謝 辞

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

参 考 文 献

- [1] H. Taniguchi, K. Suzumori and S. Nakatani: An Active Micro Reactor System with Integrated Fluid Control Devices for Chemical Synthetic Process, 2008 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 43-48(2008).
- [2] 社団法人日本環境測定分析協会：環境計測工程資料 平成 20 年度版 第 2 章 第 1 節 第 1 項 重金属 (2-1-5)
- [3] thinXXS Microtechnology AG, "MDP1304", available from< <http://www.thinxxs.com/>>, (accessed 2010-03-8).
- [4] 高砂電気工業株式会社, "SDMP302", available from< <http://www.takasago-elec.co.jp/>>, (accessed 2010-03-8).
- [5] 谷口浩成, 中谷信太郎, 鈴木康一, "金属薄膜振動型アクティブマイクロミキサの開発", 第 8 回日本機械学会機素潤滑設計部門講演会講演論文集, pp. 113-116, (2008)

リチウムイオン二次電池の大型化を指向した 有機-無機ハイブリッド電解質の開発

Development of Organic-Inorganic Hybrid Electrolytes toward towards Large-sized Lithium Ion Secondary Battery

研究代表者 岡山大学大学院自然科学研究科 教授 西原 康師

共同研究者 静岡大学工学部 准教授 富田 靖正

1. はじめに

近年、燃料電池自動車やハイブリッド電気自動車は、高性能二次電池の搭載が不可欠であり、電気自動車用リチウム二次電池の高性能化、大型化、低コスト化が求められている。特に、リチウム二次電池の重要な構成要素である電解質の改良は、安全な電池開発にとっては必要不可欠であるが、電解質の改善への対応はこれまでにほとんどなされていない。現在、小型電池に用いられている炭酸エステル系有機液体電解質は、その引火性のため、短絡時における発火の危険性が重大となり、電池の安全性にとって新規な固体型電解質の開発が必要とされている。そのためには、液漏れの心配もなく引火性も低い全固体電解質が最も望ましい。全固体型高分子電解質は、柔軟性、弾性、易加工性などの特長を有し、電池の高エネルギー密度化、薄膜化、形状自由化も可能であることが期待されており、有機高分子と熱的に安定な無機分子を同時に含むハイブリッドな固体電解質の開発が待たれているのが現状である。

2. テトラアリアルペンタボラートの合成

最近われわれは、全く別の反応に関する研究をおこなう過程で全く予期しなかった生成物である「テトラアリアルペンタボラート」を得ることに成功した（図1）⁽³⁾。

このテトラアリアルペンタボラートは、これまでに報告例の無い全く新規な化合物であり、分子内に分子変換可能なアリアル基をもつ有機部分とボロキシン環からなる非常に強固な無機部分を同時に有する極めて大きなアニオンである。このアニオンは、熱的にも安定であるため、固体電解質の基本骨格として利用できるのではないかと考えた。そこでわれわれは、このテトラアリアルペンタボラートを含む高分子を合成し、リチウムイオン二次電池の全固体電解質として利用することを立案し研究に着手した。

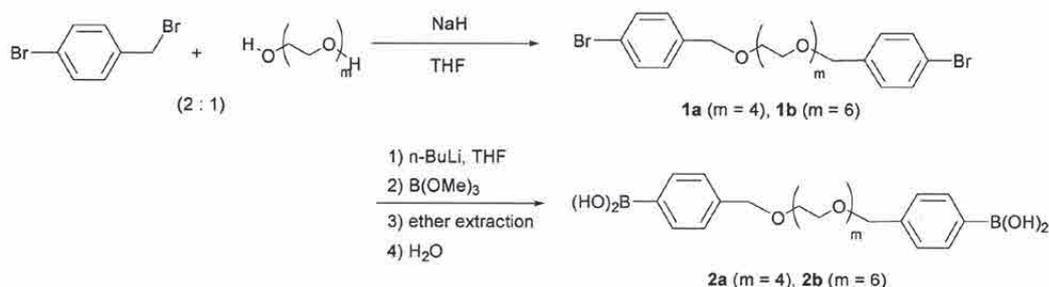
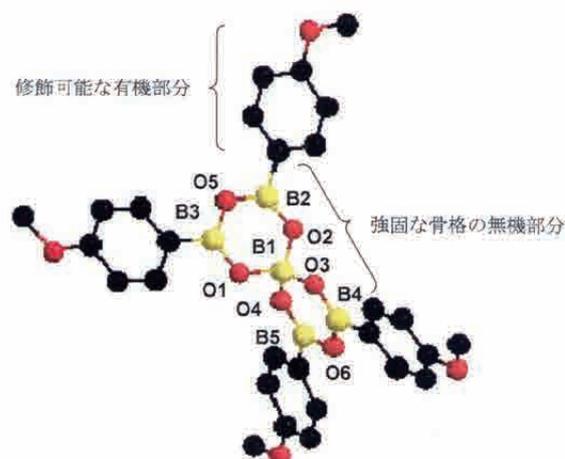


図2 モノマーの合成スキーム

3. 含ホウ素有機-無機複合ポリマーの合成

3. 1. ポリエチレンオキシド (PEO) 部位で架橋したモノマーの合成

研究を開始するにあたり、どのようなモノマーを合成するか詳細に検討した結果、イオン導電性ポリマーにおけるリチウムイオンは、エーテル鎖のセグメント運動によって移動するということが明らかになっているため⁽⁴⁾、ポリエチレンオキシド (以下、PEO) によりアリール基のパラ位を架橋した2官能性のアリールボロン酸をデザインした。PEO の長さ (m) は、生成したポリマーの高い結晶性がイオン導電率の低下を招くことを避けるために、4 または 6 とした。

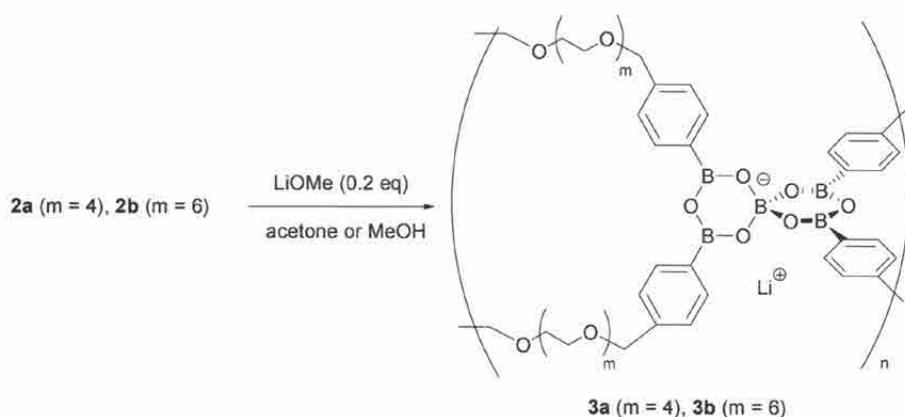


図3 ポリマーの合成

モノマーの合成スキームを図2に示す。臭化4プロモベンジルからWilliamson エーテル合成により PEO で架橋した **1a** (m=4), **1b** (m=6) を合成し、さらに、常法により2官能性アリールボロン酸に誘導して、目的モノマーである **2a** (m=4), **2b** (m=6) を合成した。

3. 2. ポリマーの合成

3. 1. で合成したモノマーを用いて高分子合成をおこなった (図3)。アセトン中、モノマーに対し 20 mol% のリチウムメトキシドを室温で作用させ、30 分後に反応系内が透明な均一溶液になったところで溶媒を除去し、メタノール/テトラヒドロフラン (THF) から再沈殿をおこなうことで白色のポリマー **3a** (m=4), **3b** (m=6) を得た。

4. 合成ポリマーの物性評価

4. 1. 交流電気伝導度の測定

ポリマーの電気伝導度を測定するために、複素インピーダンス測定をおこなった。その結果を図4に示す。測定温度範囲は、室温から 100 °C までとした。測定前に、サンプルに圧力をかけながら 100 °C で 1 時間程度、静置することで、厚さ 100~200 μm の薄膜とした。さらに、その薄膜をステンレス電極で挟んで複素インピーダンス測定をおこなった。いずれのポリマーに対しても、温度の上昇とともにイオン伝導度が著しく増加した。残念ながらポリマー **3a** の伝導度は、非常に低く、室温では測定可能な値が得られなかったが、温度を上げることで測定可能な値を示した。一方、PEO 鎖を二つ長くしたポリ

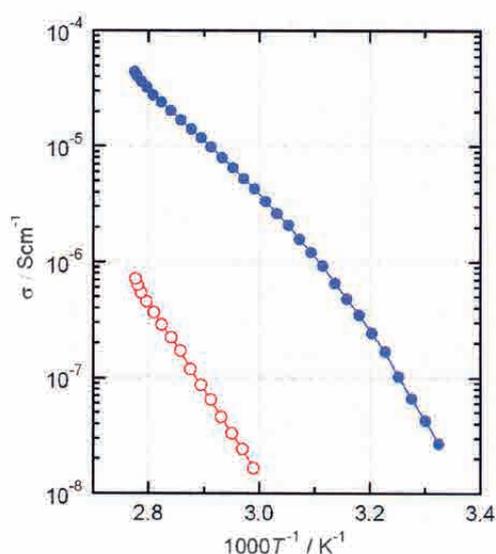


図4 合成したポリマーの交流伝導度の温度変化

マー **3b** については、室温でも伝導度を測定することができ、60℃ では、ポリマー **3a** の 100 倍の値を示した。PEO 系のポリマー電解質では、通常、PEO 鎖のセグメント運動を介してリチウムイオンが伝導しており、これらのポリマーでも同様であるとする、PEO 鎖を長くすることで、そのセグメント運動の頻度がより低温で大きくなり、その結果、リチウムイオン伝導度が増加したものと考えている。

また、リチウムイオンの対イオンに相当するアニオン部が、ポリマー鎖に固定されていることから、伝導性やリチウムイオン以外の他のイオンによる電気伝導性は、ほとんど観測されないことが分かった。

一般に、ポリマー電解質において、リチウムイオンのイオン伝導に関する活性化エネルギーを E_a としたとき、伝導度の温度変化は、以下に示す Vogel-Tammann-Fulcher (VTF) の式 (1) に従う⁶⁾。

$$\sigma(T) = AT^{-\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{-E_a}{T-T_0}\right) \quad (1)$$

ここで、 $\sigma(T)$ は伝導度の値、 A は電荷キャリアとなっているリチウムイオンの数、 T_0 は、 $T_g - 50$ (K) で与えられる (T_g はガラス転移温度)。しかし、これらのポリマーでは、ガラス転移温度が正確に求めることができないので、図4のグラフの傾きから活性化エネルギー (E_a) を算出した。その結果を表1に示す。

表1 交流伝導度測定から求めた E_a 値

3a (m=4)	3b (m=6)
148 kJ/mol	85 kJ/mol
—	120 kJ/mol

ポリマー **3b** に対しては図4において傾きが 320 K 付近で変化しているため、その上下でそれぞれ活性化エネルギーを求めた。活性化エネルギーの値を比較すると、ポリマー **3a** に比べて、ポリマー **3b** の方が低い値となっており、ポリマー中のリチウムイオンが動きやすいため、イオン伝導度が大きくなったと考えることができる。

ポリマー **3b** において、値が二つあるのは、図4におけるプロットの傾きが 320 K 付近で変化しているため、その上下でそれぞれ活性化エネルギーを求めた結果である。活性化エネルギーの値を比較すると、どちらも大きな値であるが、ポリマー **3a** では特に大きな値であった。これら二つのポリマーでは、ポリマー **3a** に比べて、ポリマー **3b** の方がポリマー中のリチウムイオンが動きやすくなっており、そのため、イオン伝導度が大きくなったと考えることができる。

4. 2. ^7Li NMR スペクトルの測定

伝導度の測定から、リチウムイオンの拡散が起きていることが予想されたため、それを確認するために、 ^7Li NMR の測定をおこなった。 ^7Li 核は、核スピン 1/2 であり、化学シフトも小さいため、通常の測定では、1種類の核から核四極相互作用による最大 3 本のピークが観測される。本測定では、その真ん中のスペクトルに対して測定をおこなった。その測定結果を図5に示す。室温においては、ポリマー **3a** のスペクトル幅が若干広い。この幅は、ポリマー中における Li イオンの周りの原子核の配置によって決まるものであり、それぞれのポリマー中での Li イオンの環境が明らかに違うことを示している。PEO 鎖の長さが違っていても、第1および第2隣接イオンの配置が大きく変わらなければ得られるスペクトルに大きな差が存在しないことが推察できる。

さらに、両ポリマーにおいて、温度の上昇と共に、スペクトルの先鋭化が観測できた。高温側での線幅は、ほぼ一

定であり、およそ 0.3~0.5 kHz 程度であった。この線幅はリチウムイオンが拡散していることを示しており、前述の交流伝導度の値は、リチウムイオンの拡散によるものであることが確認できた。

また、ポリマー 3b において、330 K および 350 K のスペクトルでは、真ん中のピークの両端にショルダーピークが観測された。これは、Li と周りの電場勾配による核四極相互作用の結果であり、ショルダーが変化していることから、この相互作用が温度変化していることがわかった。

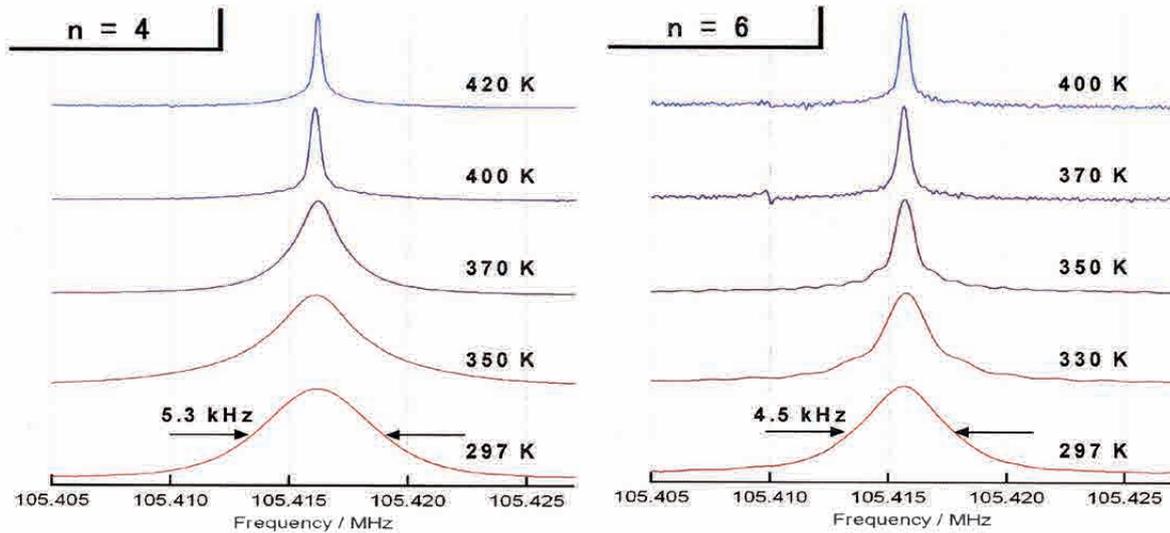


図5. 合成したポリマーにおける⁷Li NMRスペクトルの温度変化

4. 3. サイクリックボルタンメトリー (CV) の測定

次に、このポリマーの電気化学的物性を調べるために、サイクリックボルタンメトリー (CV) の測定をおこなった。参照電極と対電極をリチウム金属とし、作用電極をステンレスとした。電圧範囲は -2.5 V から +5.0 V、セルの温度は室温から 170 °C まで変化させ、それぞれのポリマーについて測定した。

ポリマー 3a の CV を室温で測定したが、電圧を掃引してもほとんど電流が観測できなかった。そこで、温度を上げて測定したところ、150 °C まで上げたことで、ようやく電流が流れるのが確認できた。同様にポリマー 3b に対するサイクリックボルタンメトリーを測定した。このポリマーに関しても、室温では大きな電流を観測できなかったが、150 °C でプレスしながら保持した後に、室温で測定すると、図6のように大きな電流を観測することができ、その電流密度は、100 mA/cm² という大きな値を示した。ポリマーの膜が非常に薄くなり、さらに高温にて圧縮した効果により、リチウムの酸化還元がスムーズにおこなわれた結果と考えている。また、この電流の大きさに比べ、バックグラウンドに流れている電流は小さく、さらに、ポリマーの両面をステンレス電極で挟んだセルの測定では、+5 V の電圧を印加してもポリマーの分解に相当するような電流は観測されておらず、この電圧範囲で、このポリマーが電気化学的に安定であることが示された。

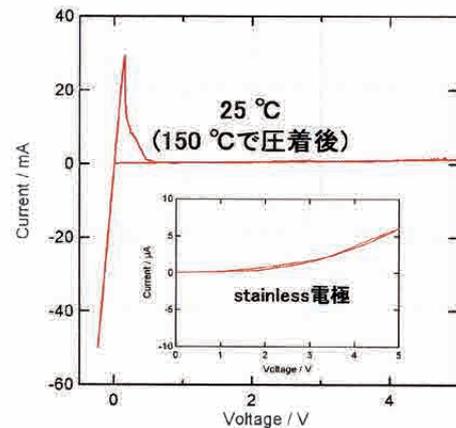


図6 ポリマー 3b のサイクリックボルタンメトリー

このように、ポリマー界面でリチウムの酸化還元(脱離挿入)が起き、電気化学的にも安定であることから、これらのポリマーがリチウムイオン二次電池の電解質として使用できるだけの物性を備えていると言える。

4. 4. SEM 観察

サイクリックボルタンメトリーの測定後に、ポリマーと Li 金属をセルから取り出し、SEM 観察をおこなった。その結果を 図 7 に示す。150 °C でプレスした際には、ポリマー側から Li 金属の光沢面が観測でき、接合面において、Li 金属は清浄表面であることが分かった。また、Li 金属とポリマーの界面がはっきり分からないような接合面を形成している。これに対して、60 °C でプレスして測定した試料では、Li 金属とポリマーの接合面が離れており、測定時の荷重で物理的に接触していただけと考えられる。また、170 °C でプレスした際には、ただれたような状態になっており、試料も一部黒色化していた。よって、適切な温度でプレスすることによって、金属とポリマーの界面の接合状態が改善されたため、サイクリックボルタンメトリーの結果に示されるような大電流が流れるようになったと考えている。

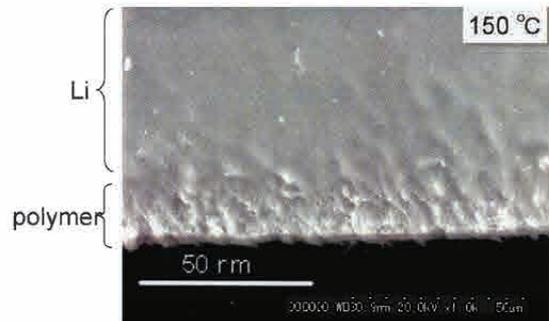


図7 サイクリックボルタンメトリー測定後の SEM 画像

サイクリックボルタンメトリーで観測された電流の値から考えると、通常の携帯電話の電池であれば、30 秒程度で、充放電が完了してしまうような電池の作製が可能となる。これは、このポリマーが電気自動車の電源といった高出力が必要な装置への使用に十分耐えうる物性を有していることを示している。

4. 5. ポリマー二次電池の作製と充放電測定

合成したポリマーを用いてポリマー二次電池を作製した。正極には市販のLiCoO₂シートを用い、負極にはLi金属シートを用いた。この構成で電流を流したところ、ポリマー **3b** を用いた電池では、内部抵抗が大きく、充放電の測定ができなかった。サイクリックボルタンメトリー測定によって、負極と電解質との間では大きな電流が流れることが確認できていることから、正極とポリマーの界面抵抗が大きく充放電に至らなかったのではないかと考えられる。一方、ポリマー **3a** に関しては、電流が流れることは確認できたが、その値が小さかったため、10 μA/cm² の低電流密度で充放電測定をおこなった。また、充放電の終止電圧はそれぞれ、4.0 V、3.0 Vとした。その結果を、図 8 に示す。

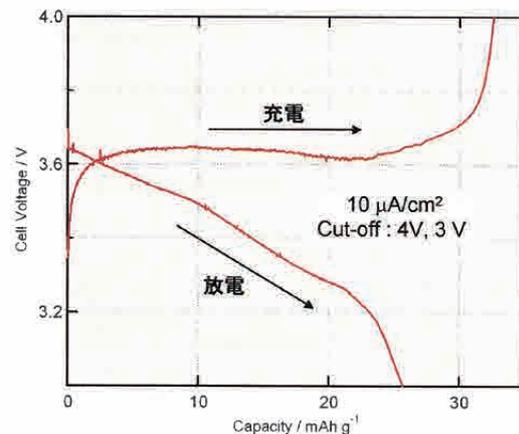


図8 ポリマー **3a** を用いて作成したリチウム二次電池の充放電特性

電池の開回路起電力 (OCV) は、約 3.8V であり、1st サイクルの放電容量は、正極の重量換算値で 25.7mAh/g であった。測定の結果、放電容量は期待したより小さいものの、このポリマーがリチウムイオン二次電池の固体電解質として機能することが確認できた。この場合の理論容量は、135.5 mAh/g であるが、充電容量が 30mAh/g しかない

ことを考慮すると、正極と電解質の接合が不十分なため、 LiCoO_2 からの Li 脱離が部分的にしか進んでいないことが示唆される。

5. まとめ

本研究では、新規な有機-無機複合体であるテトラアリアルペンタボラートアニオンを PEO 鎖で架橋したポリマーの主鎖部分に導入したポリマー **3a** および **3b** を合成することに成功した。また、合成したこれらのポリマーのイオン伝導度測定やリチウムイオンが移動することによりイオン伝導性が発現しているシングルイオン伝導体であることがわかった。

本研究で合成した含ホウ素有機-無機複合ポリマーは、当初の期待通り、耐熱性・耐電圧性が高く、リチウムイオン伝導性を持つことが分かった。また、そのリチウムイオン伝導性に起因して、リチウム金属との間で、リチウムの酸化還元が可能であり、リチウムイオン二次電池の電解質材料として使用できることが明らかとなった。負極との間に大きな電流が流れていることから、この研究の発展により、急速充放電可能であり、安全性の高いリチウムイオン二次電池が可能となる。サイクリックボルタンメトリーで観測された電流の値から考えると、通常の携帯電話の電池であれば、30 秒程度で、充放電が完了してしまうような電池の作製が可能となる。これは、このポリマーが電気自動車の電源といった高出力が必要な装置への使用に十分耐えうる物性を有していることを示している。

6. 今後の課題と展望

ポリマー自身の低抵抗化、正極とポリマーの接合界面を最適化することが今後の課題である。将来的には、高出力が必要な電気自動車や高い安全性が必要とされる発電用蓄電池への応用が期待される。

参考文献

- (1) ポリホスファゼン: H. R. Allcock J. Inorg. Organomet. Polym. Mater., 15, 57 (2005).
- (2) ポリシロキサンおよびポリシラン: R. D. Miller and J. Michl, Chem. Rev., 89, 1359 (1989); R. Petersen, D. A. Foucher, B. Z. Tang, A. Lough, N. P. Raju, J. E. Greedan, and I. Manners, Chem. Mater. 7, 2045 (1995); Z. C. Zhang, J. J. Jin, F. Bautista, L. J. Lyons, N. Shariatzadeh, D. Sherlock, K. Amine, and R. West, Solid State Ionics, 170, 233 (2004).
- (3) Y. Nishihara, K. Nara, and K. Osakada, Inorg. Chem., 41, 4090 (2002); Y. Nishihara, K. Nara, Y. Nishide, and K. Osakada, Dalton Trans., 1366 (2004).
- (4) D. E. Fenton, J. M. Parker, and P. V. Wright, Polymer, 14, 589 (1973); P. V. Wright, Electrochim. Acta, 43, 1137 (1998).
- (5) H. Vogel, Phys. Z., 22, 645 (1921); G. S. Fulcher, J. Am. Ceram. Soc., 8, 339 (1925); G. Tamman and W. Z. Hesse, Anorg. Allg. Chem., 156, 245 (1926).

動的再構成技術を用いた 可変長符復号処理回路の開発

小椋 清孝 情報工学部情報通信工学科 助教

1. はじめに

可変長符号は多くの動画・音声等のデジタルメディア処理において広く用いられている基幹技術である。その復号では、最初の符号の復号処理が終了しないと次の符号の開始位置が確定しない。従って、処理が逐次的となってしまう、量子化処理や DCT 処理のような並列処理による高速化が基本的に適用できない。このような性質を持つ可変長符号の復号処理の高速化について、ソフトウェア的、およびハードウェア的な手法についてこれまでに多くの研究がなされてきた。

可変長復号を効率よく行うハードウェアのアーキテクチャとして、我々は動的再構成技術を取り入れた可変長復号回路の検討を行ってきた。本研究では、MPEG-2 の DCT 係数用 2 次元ハフマン符号の復号向けに改良した回路を検討し、その復号性能について評価を行った。性能評価では、復号回路のモデルに基づいたソフトウェアシミュレーションを作成し、いくつかのテストデータにおける復号速度等を求め性能の見積もりを行った。

2. 動的再構成型可変長復号回路

2.1. 構成

提案する動的再構成型可変長復号回路の構成例を図 1 に示す[1]。制御部、ビットストリーム供給部、Leading Zero 復号部、複数の比較器(図 1 では 8 個)からなる再構成型符号比較部(CMP)、およびその結果を出力する出力ネットワーク部から構成される。

Leading Zero 復号部は内部でさらに大きく 2 つの部分に分かれる。第 1 ステージでの Leading Zero 検出部(図 1 中の Leading-Zero Length Counter : LZ)および第 2 ステージでの復号部(Address Generator, Decode Memory : AG/DMA)である。Leading Zero 検出部は、符号の先行 0 数をカウントするものであり、最初の 1 の数を

含めた Leading Zero 数+1 の値を出力する。この出力は後段の Address Generator およびビットストリーム供給部のシフトユニットを制御する制御部中の SFT/CONFIG CONTROL 回路へ送られる。後段の Decode Memory には復号データが格納されているが、これらは Leading Zero の値によって分類されている。次のクロックで、入力のビットストリームは Leading Zero 数+1 だけシフトされ、Address Generator が Leading Zero 数から決定されるビット数のデータを入力から取り込み、これと Leading Zero 数とから、Decode Memory への適切なアドレスを生成してアクセスし、復号データを取り出す。

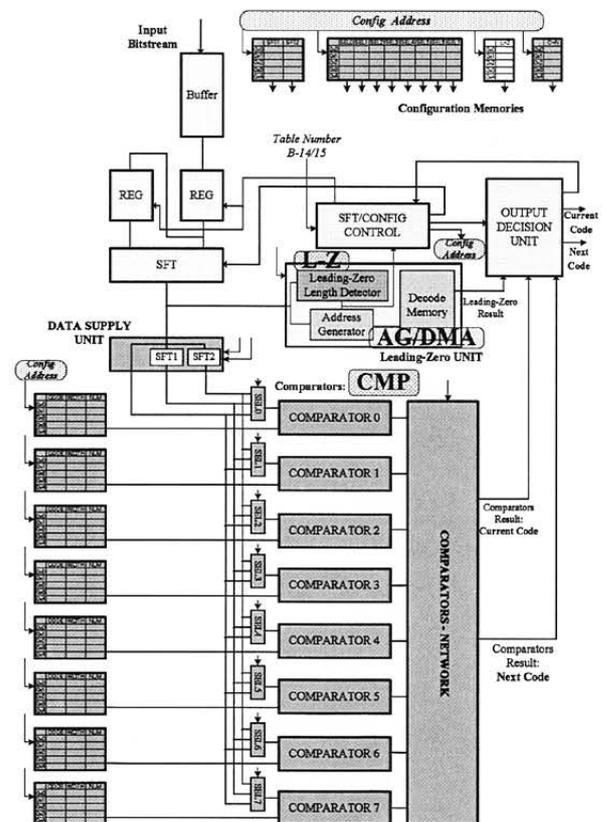


図 1 DCT 係数用 2 次元ハフマン符号復号用動的再構成型可変長復号回路

再構成型符号比較部では、ビットストリームにおける比較開始位置や出力用ネットワークの構成などが変更可能であり、これは構成データの入力変更で行われるため、回路実行中の動的な変更が可能である。これにより、入力ビットストリームの同じ部分に対してすべての比較器を用いて並列比較を行ったり、いくつかの比較器へ数ビットずらした位置からのビットストリームを渡して比較を行わせる次符号の投機的な比較を行わせたりといった各種の構成を任意のタイミングで形成することができる。これをうまく利用することで、単に並列比較にすべての演算器を使用するよりも、比較効率を向上することができる。

2.2. 動作概要

提案回路の基本的なコンセプトは、入力ストリームに応じて適切な復号構成をとりうる再構成型可変長復号回路である[1]。小規模(4bit)の比較器を多数搭載し、入力の与え方や出力構成等を様々な形に構成できるようにする(動的再構成可能部)ことで、符号の並列比較や次の符号の投機的比較などに割り当てる比較器の数を可変にすることにより、比較器の有効利用や、効率的な投機比較(期待度が高い位置からの比較など)を可能にしようというものである。ただし、MPEG-2のDCT係数用のハフマン符号においては、比較的長いビット長の符号も多く、また、これらの長い符号では符号先頭に複数の0が先行する構成をとるという特徴がある。コンセプトどおりに比較器で符号を逐一比較する方法(長い符号の場合は複数の符号器を結合して使用する)では、非常に多くの符号器の数が必要になり、復号処理もかえって非効率的になる。

そこで、先頭位置の長い符号の復号には、先行する0の数を検出し、それに続く符号を取得して復号処理を行うLeading Zero復号手法を用い、比較器群は短めの符号および投機比較に用いることとした。Leading Zero復号方法は、MPEG2の符号の特徴を利用したハードウェア復号方法である[2]。まず、符号先頭の連続する0(Leading Zero)の数の検出を行う。MPEG2の符号では、この数から残りの符号の長さを求めることができるので、次のステージでLeading Zeroの数だけ入力をシフトさせた後、必要な大きさのビット列を取得し、Leading Zeroの値と

あわせてデコードを行う。

2.3. 2つの復号部による復号処理

本提案回路では、Leading Zero復号部と動的再構成可能な比較器群とのハイブリッド構成にしている。この組み合わせにより以下のような2つの利点が生ずる。

1つ目の利点は、短い符号について1クロックで復号可能としたことである。通常のLeading Zero復号方法では、Leading Zero数の検出および残りの符号取得という2ステージが復号に必要であるが、本提案回路では、短い符号について、Leading Zero検出と平行して動的再構成部で検出を行うようにしている。従って、短い符号については1ステージ(1クロック)で復号可能である(図2)。

もうひとつの利点は、投機比較をより効率的にすることができる点である。復号対象が長い符号の場合、第1ステージでLeading Zero数を検出し、次のクロックサイクルで第2ステージの処理に入る。対象とする符号ではLeading Zeroを除いた残りの符号の長さはほぼ一定となる特徴があるため、第1ステージを行った時点で残りの符号長がほぼ確定する。つまり、この時点でその次の符号の開始位置がほぼ確定するため、次符号の投機比較の成功率が向上することになる。

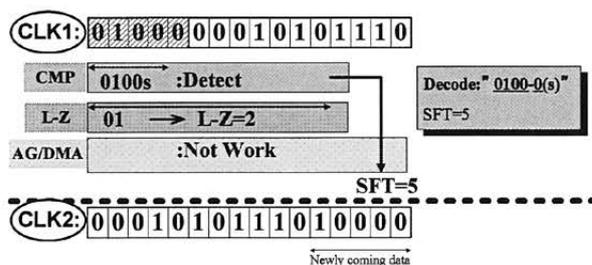


図2 短符号一致時の動作

CLK1 のとき、入力ビットストリームに対してCMP部、LZ部で同時に判定動作をする。この例では、CMP部で一致と判定(セットされている短符号のうち"0100"との一致)し、かつLZ部で"01" (LeadingZero:L-Z=2)と判定されているが、CMP部の一致判定が優先されるため、このビットストリームの先頭は0100s(s:正負用符号)であると決定される。CLK2では、ビットストリーム格納バッファがこのビット長(5)だけシフトされ、同様に符号判定が続けられる。

本提案回路において、第2ステージでは、この確からしい次符号の開始位置に対して、動的再構成部および Leading Zero 検出部により短符号および長符号について投機比較を行う。通常、第2ステージでは Leading Zero 検出部は使われないため、本提案回路では、このような形で利用できるようにした。ただし、第2ステージでの比較結果により、投機比較が間違った位置からの比較であった場合には、投機比較結果は無効になる。

投機比較により Leading Zero 検出部で長符号を検出した場合、次のクロックサイクルでも第2ステージの処理が行われることになり、同様に並行して投機比較も行われる(図4)。一方、動的再構成部で短い符号を検出した場合(図3)、および投機比較に失敗した場合、次は第1ステージの処理から行われることとなる。

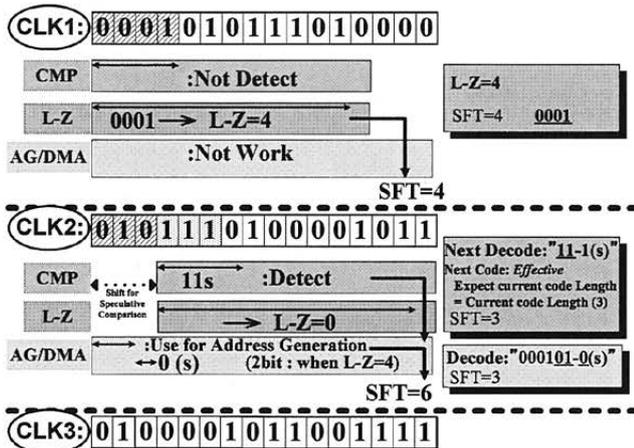


図3 長符号一致(投機:短符号一致)

CLK1 のとき、CMP 部は一致判定がなかったため、LZ 部での L-Z=4 が有効になる。判定済みの符号長は4であり、これが次の CLK でのシフト量(SFT)になる。CLK2 では、ビットストリーム格納バッファは4ビットシフトされる。L-Z=4 の場合、AG/DMA 部は3ビット分をデコードメモリに取り込み先頭符号を決定する。一方、CMP 部と L-Z 部は4ビット目から先頭とみなして投機的に判定動作を行う。この例では CMP 部により"11s"が一致判定されている。AG/DMA 部の判定により、先頭符号の残りのビット長が3ビットであれば、この投機比較による判定は有効になる。この例では投機が成功しており、CLK3 では、先頭符号の残りの3ビットと投機比較で判定した3ビットとの計6ビットだけバッファの内容がシフトされている。

3. ソフトウェアシミュレータによる性能評価

提案回路の性能評価のために、実際の MPEG-2 符号データを用いて復号にかかるクロックサイクル数の評価が可能なソフトウェアシミュレータを作成した。

再構成部内の比較器について、図1と同じ4bit比較器を8個搭載した構成としてシミュレーションを行った。MPEG-2 DCT 係数符号用としては、B-14,B-15 の2種類の可変長符号表が規定されているが、今回の検討では、再構成部の8個の比較器には各表の短い方から7個分の符号を割り当て、これらの比較を行わせることとした。投機比較時も同じくこれらの符号を比較検出する(探索符号の入れ替えは行わない)。Leading Zero 部についても両符号表を実装した。

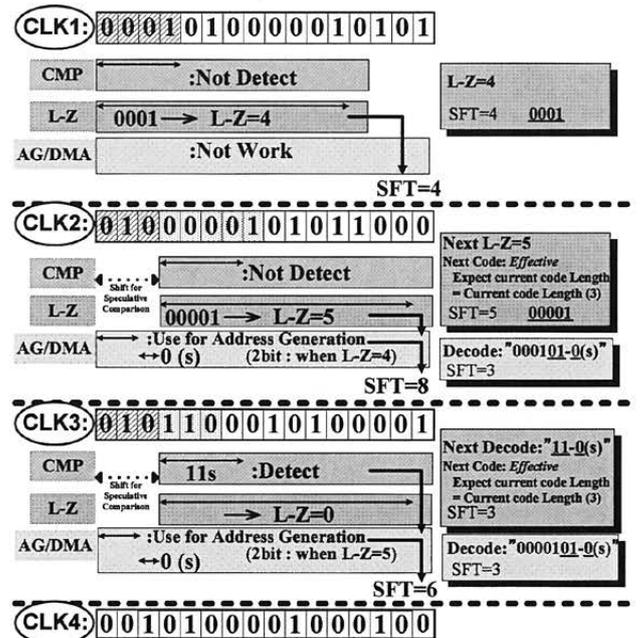


図4 長符号一致(投機:長符号一致)

CLK1 から2までは図3と同様であるが、この例では投機比較で LZ 部の判定が有効になっている。CLK3 では、先頭符号の残りビット長+L-Z 数だけシフトしたバッファのデータに対して、再び(CLK2と同様に)AG/DMA 部によるデコードと、CMP 部、LZ 部による投機判定が行われる。つまり、投機判定で LZ 部の判定が有効になる限り、投機比較が連続して行われることになる。

機が行われていないためにこのような低い値になっていると思われる。“投機による復号数”と“Mem アクセス”(=第2ステージ数)の値を比較すると少なくとも6割以上の有効率がある。100b_015.m2v,100b_040.m2v 以外では8割程度になる。

従って、復号速度を向上させるためには、第1ステージでも投機を行う構成を検討する必要がある。これは動的再構成部の比較器を第1ステージでいくつか投機比較に割り振るという方法で可能であるが、現在これらの比較器で処理している7つの符号は1~6bit長と長さがまちまちであることから、投機比較の戦略(もっとも短い符号にあわせ、その位置を重点的に比較する、もしくはいくつかの位置を満遍なく比較するなど)の検討が必要になると思われる。また、この際に長い符号についても投機比較するのであれば、Leading Zero 数検出部を追加する必要がある。

5. まとめ

MPEG-2のDCT係数用2次元 Huffman符号向けの、動的再構成回路を用いた可変長復号回路について提案し、ソフトウェアシミュレータを構築して性能評価を行った。現在の構成では、投機比較の機会が限られたため復号速度は大きくならなかったが、投機比較の有効率は6~8割という良好な結果を得た。

今後は第1ステージでの投機を可能にする構成等、より高性能な回路構成について検討を行っていく予定である。

6. 謝辞

本研究を行うにあたり、ご支援を賜りました財団法人八雲環境科学振興財団に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] K. Komoku, T. Miyake, T. Morishita and N. Sasaki “Dynamically Reconfigurable VLD Circuit”, ISCE2009, May 2009
- [2] T. Onoye, T. Masaki, Y. Morimoto, Y. Sato, I. Shirakawa, and K. Matsumura, “Single Chip Implementation of MPEG2 Decoder for HDTV Level Pictures,” IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E79 A, No.3, pp.330-338, March 1996.
- [3] ftp://ftp.tek.com/tv/test/streams/Element/MPEG-Video/525/

表 1 100b_015.m2v の実行結果

	Total	mode 0	mode 1	mode 2
NORMAL-HIT-CMPR	461274	0	309450	151824
NORMAL-HIT-OLEN	308214	0	205710	102504
SPECULATION-HIT-CMPR	36355	0	4290	32065
SPECULATION-HIT-OLEN	97251	0	36750	60501
SPECULATION-OUT	82049	0	30540	51509
Memアクセス	215655	0	71580	144075
ESC ("000001"+固定長6+12bit)	189810	0	170880	18930
VLC Num	903094	0	556200	346894
CLK CYCLES	1174953			
Check				
CMPR(MPRM,SPECU)+MeM+ESC=VLCnum	903094	0	556200	346894
SUM(SPECU)=Mem	215655	0	71580	144075
Analysis				
復号速度 1符号/CLK (VLC_num/CLK)	0.768621			
比較器ブロック担当符号量 (sum(CMPR))	497629	0	313740	183889
同 総符号数中の割合	0.551027	0	0.564078	0.530101
Leading-Zeroブロック担当符号量(sum(OLEN))	405465	0	242460	163005
同 総符号数中の割合	0.448973	0	0.435922	0.469899
投機による復号数 (*ESC除く)	133606	0	41040	92566
同 総符号数中の割合	0.147943	0	0.073786	0.266842
同 比較器ブロックの総符号数中の割合	0.040256	0	0.007713	0.092435
同 Leading-Zeroブロックの総符号数	0.107686	0	0.066073	0.174408

表 2 100b_040.m2v の実行結果

	Total	mode 0	mode 1	mode 2
NORMAL-HIT-CMPR	441760	0	308070	133690
NORMAL-HIT-OLEN	309510	0	211800	97710
SPECULATION-HIT-CMPR	30844	0	3990	26854
SPECULATION-HIT-OLEN	98820	0	37230	61590
SPECULATION-OUT	78026	0	30540	47486
Memアクセス	207690	0	71760	135930
ESC ("000001"+固定長6+12bit)	200640	0	177270	23370
VLC Num	880934	0	561090	319844
CLK CYCLES	1159600			
Check				
CMPR(MPRM,SPECU)+MeM+ESC=VLCnum	880934	0	561090	319844
SUM(SPECU)=Mem	207690	0	71760	135930
Analysis				
復号速度 1符号/CLK (VLC_num/CLK)	0.759688			
比較器ブロック担当符号量 (sum(CMPR))	472604	0	312060	160544
同 総符号数中の割合	0.536481	0	0.556167	0.501945
Leading-Zeroブロック担当符号量(sum(OLEN))	408330	0	249030	159300
同 総符号数中の割合	0.463519	0	0.443833	0.498055
投機による復号数 (*ESC除く)	129664	0	41220	88444
同 総符号数中の割合	0.147189	0	0.073460	0.276522
同 比較器ブロックの総符号数中の割合	0.035013	0	0.007111	0.08396
同 Leading-Zeroブロックの総符号数	0.112176	0	0.066353	0.192563

表 3 100b_060.m2v の実行結果

	Total	mode 0	mode 1	mode 2
NORMAL-HIT-CMPR	292005	0	291867	138
NORMAL-HIT-OLEN	220206	0	219986	220
SPECULATION-HIT-CMPR	19445	0	19368	77
SPECULATION-HIT-OLEN	33415	0	33073	342
SPECULATION-OUT	8091	0	8009	82
Memアクセス	60951	0	60450	501
ESC ("000001"+固定長6+12bit)	192670	0	192609	61
VLC Num	565071	0	564294	777
CLK CYCLES	765832			
Check				
CMPR(MPRM,SPECU)+MeM+ESC=VLCnum	565071	0	564294	777
SUM(SPECU)=Mem	60951	0	60450	501
Analysis				
復号速度 1符号/CLK (VLC_num/CLK)	0.737852			
比較器ブロック担当符号量 (sum(CMPR))	311450	0	311235	215
同 総符号数中の割合	0.55117	0	0.551548	0.276705
Leading-Zeroブロック担当符号量(sum(OLEN))	253621	0	253059	562
同 総符号数中の割合	0.44883	0	0.448452	0.723295
投機による復号数 (*ESC除く)	52860	0	52441	419
同 総符号数中の割合	0.093546	0	0.092932	0.539254
同 比較器ブロックの総符号数中の割合	0.034412	0	0.034323	0.099099
同 Leading-Zeroブロックの総符号数	0.059134	0	0.05861	0.440154

表 4 bbc3_015.m2v の実行結果

	Total	mode 0	mode 1	mode 2
NORMAL-HIT-CMPR	1550452	854995	0	695457
NORMAL-HIT-OLEN	773345	443580	0	329765
SPECULATION-HIT-CMPR	449968	251620	0	198348
SPECULATION-HIT-OLEN	481643	387848	0	93795
SPECULATION-OUT	236728	153631	0	83097
Memアクセス	1168339	793099	0	375240
ESC ("000001"+固定長6+12bit)	86649	38329	0	48320
VLC Num	3255408	1938043	0	1317365
CLK CYCLES	3578785			
Check				
CMPR(MPRM,SPECU)+MeM+ESC=VLCnum	3255408	1938043	0	1317365
SUM(SPECU)=Mem	1168339	793099	0	375240
Analysis				
復号速度 1符号/CLK (VLC_num/CLK)	0.909641			
比較器ブロック担当符号量 (sum(CMPR))	2000420	1106615	0	893805
同 総符号数中の割合	0.614491	0.570996	0	0.678479
Leading-Zeroブロック担当符号量(sum(OLEN))	1254988	831428	0	423560
同 総符号数中の割合	0.385509	0.429004	0	0.321521
投機による復号数 (*ESC除く)	931611	639468	0	292143
同 総符号数中の割合	0.286173	0.329956	0	0.221763
同 比較器ブロックの総符号数中の割合	0.138222	0.129832	0	0.150564
同 Leading-Zeroブロックの総符号数	0.147952	0.200124	0	0.071199

表 5 bbc3_040.m2v の実行結果

	Total	mode 0	mode 1	mode 2
NORMAL-HIT-CMPR	3603851	0	2552369	1051482
NORMAL-HIT-OLEN	2201311	0	1593394	607917
SPECULATION-HIT-CMPR	1324398	0	960584	363814
SPECULATION-HIT-OLEN	1074395	0	881510	192885
SPECULATION-OUT	561943	0	421205	140738
Memアクセス	2960736	0	2263299	697437
ESC ("000001"+固定長6+12bit)	314970	0	211605	103365
VLC Num	8203955	0	5987857	2216098
CLK CYCLES	9080868			
Check				
CMPR(MPRM,SPECU)+MeM+ESC=VLCnum	8203955	0	5987857	2216098
SUM(SPECU)=Mem	2960736	0	2263299	697437
Analysis				
復号速度 1符号/CLK (VLC_num/CLK)	0.903433			
比較器ブロック担当符号量 (sum(CMPR))	4928249	0	3512953	1415296
同 総符号数中の割合	0.600716	0	0.586668	0.638643
Leading-Zeroブロック担当符号量(sum(OLEN))	3275706	0	2474904	800802
同 総符号数中の割合	0.399284	0	0.41332	0.361357
投機による復号数 (*ESC除く)	2398793	0	1842094	556699
同 総符号数中の割合	0.292395	0	0.307638	0.251207
同 比較器ブロックの総符号数中の割合	0.161434	0	0.160422	0.164169
同 Leading-Zeroブロックの総符号数	0.130961	0	0.147216	0.087038

表 6 bbc3_060.m2v の実行結果

	Total	mode 0	mode 1	mode 2
NORMAL-HIT-CMPR	5757369	0	3117893	2639476
NORMAL-HIT-OLEN	3380334	0	1988551	1391783
SPECULATION-HIT-CMPR	1982027	0	1098470	883557
SPECULATION-HIT-OLEN	1575112	0	1131027	444085
SPECULATION-OUT	859485	0	514599	344886
Memアクセス	4416624	0	2744096	1672528
ESC ("000001"+固定長6+12bit)	538822	0	375482	163340
VLC Num	12694842	0	7335941	5358901
CLK CYCLES	14093149			
Check				
CMPR(MPRM,SPECU)+MeM+ESC=VLCnum	12694842	0	7335941	5358901
SUM(SPECU)=Mem	4416624	0	2744096	1672528
Analysis				
復号速度 1符号/CLK (VLC_num/CLK)	0.900781			
比較器ブロック担当符号量 (sum(CMPR))	7739396	0	4216363	3523033
同 総符号数中の割合	0.609649	0	0.574754	0.657417
Leading-Zeroブロック担当符号量(sum(OLEN))	4955446	0	3119578	1835868
同 総符号数中の割合	0.390351	0	0.425246	0.342583
投機による復号数 (*ESC除く)	3557139	0	2229497	1327642
同 総符号数中の割合	0.280203	0	0.303914	0.247745
同 比較器ブロックの総符号数中の割合	0.156129	0	0.149738	0.164877
同 Leading-Zeroブロックの総符号数	0.124075	0	0.154176	0.082869

表 7 flwr_015.m2v の実行結果

	Total	mode 0	mode 1	mode 2
NORMAL-HIT-CMPR	1835389	700222	0	1135167
NORMAL-HIT-OLEN	831973	259331	0	572642
SPECULATION-HIT-CMPR	593667	185566	0	408101
SPECULATION-HIT-OLEN	277430	109329	0	168101
SPECULATION-OUT	216667	70432	0	146235
Memアクセス	1087764	365327	0	722437
ESC ("000001"+固定長6+12bit)	21639	3333	0	18306
VLC Num	3538459	1254448	0	2284011
CLK CYCLES	3776765			
Check				
CMPR(MPRM,SPECU)+MeM+ESC=VLCnum	3538459	1254448	0	2284011
SUM(SPECU)=Mem	1087764	365327	0	722437
Analysis				
復号速度 1符号/CLK (VLC_num/CLK)	0.936902			
比較器ブロック担当符号量 (sum(CMPR))	2429056	885788	0	1543268
同 総符号数中の割合	0.686473	0.706118	0	0.675683
Leading-Zeroブロック担当符号量(sum(OLEN))	1109403	368660	0	740743
同 総符号数中の割合	0.313527	0.293882	0	0.324317
投機による復号数 (*ESC除く)	871097	294895	0	576202
同 総符号数中の割合	0.24618	0.235079	0	0.252276
同 比較器ブロックの総符号数中の割合	0.167776	0.147926	0	0.178677
同 Leading-Zeroブロックの総符号数	0.078404	0.087153	0	0.073599

表 8 flwr_040.m2v の実行結果

	Total	mode 0	mode 1	mode 2
NORMAL-HIT-CMPR	4758476	0	1923318	2835158
NORMAL-HIT-OLEN	1857298	0	689362	1167936
SPECULATION-HIT-CMPR	1429505	0	557351	872154
SPECULATION-HIT-OLEN	496996	0	225425	271571
SPECULATION-OUT	396172	0	120682	275490
Memアクセス	2322673	0	903458	1419215
ESC ("000001"+固定長6+12bit)	31621	0	11329	20292
VLC Num	8542275	0	3395456	5146819
CLK CYCLES	8970068			
Check				
CMPR(MPRM,SPECU)+MeM+ESC=VLCnum	8542275	0	3395456	5146819
SUM(SPECU)=Mem	2322673	0	903458	1419215
Analysis				
復号速度 1符号/CLK (VLC_num/CLK)	0.952309			
比較器ブロック担当符号量 (sum(CMPR))	6187981	0	2480669	3707312
同 総符号数中の割合	0.724395	0	0.730585	0.720311
Leading-Zeroブロック担当符号量(sum(OLEN))	2354294	0	914787	1439507
同 総符号数中の割合	0.275605	0	0.269415	0.279689
投機による復号数 (*ESC除く)	1926501	0	782776	1143725
同 総符号数中の割合	0.225526	0	0.230536	0.22222
同 比較器ブロックの総符号数中の割合	0.167345	0	0.164146	0.169455
同 Leading-Zeroブロックの総符号数	0.058181	0	0.066639	0.052765

表 9 flwr_060.m2v の実行結果

	Total	mode 0	mode 1	mode 2
NORMAL-HIT-CMPR	7777830	0	2603237	5174593
NORMAL-HIT-OLEN	3107775	0	967973	2139802
SPECULATION-HIT-CMPR	2342301	0	759570	1582731
SPECULATION-HIT-OLEN	953864	0	368603	585261
SPECULATION-OUT	703830	0	190415	513415
Memアクセス	3999995	0	1318588	2681407
ESC ("000001"+固定長6+12bit)	61644	0	17988	43656
VLC Num	14181770	0	4699383	9482387
CLK CYCLES	14947244			
Check				
CMPR(MPRM,SPECU)+MeM+ESC=VLCnum	14181770	0	4699383	9482387
SUM(SPECU)=Mem	3999995	0	1318588	2681407
Analysis				
復号速度 1符号/CLK (VLC_num/CLK)	0.948788			
比較器ブロック担当符号量 (sum(CMPR))	10120131	0	3362807	6757324
同 総符号数中の割合	0.713601	0	0.715585	0.712618
Leading-Zeroブロック担当符号量(sum(OLEN))	4061639	0	1336576	2725063
同 総符号数中の割合	0.286399	0	0.284415	0.287382
投機による復号数 (*ESC除く)	3296165	0	1128173	2167992
同 総符号数中の割合	0.232423	0	0.240068	0.228634
同 比較器ブロックの総符号数中の割合	0.165163	0	0.161632	0.166913
同 Leading-Zeroブロックの総符号数	0.06726	0	0.078436	0.061721

都市—農村交流の先駆的事例としての棚田オーナー制度の現状と展望

—鳥取県岩美町「いがみ田を守る会」の事例を中心に—

靄 理恵子（吉備国際大学）

1 問題の所在

棚田への着目

棚田は山地や丘陵地などの斜面に階段状に拓かれている水田で、早くから景観の美しさが知られていたものを除けば、大多数の山間地の棚田は特に何の注目も集めない地味な存在であった。そこに光が当たったのは、1995年6月、新潟県頸城地方の松之山町で開かれた「たんぼシンポジウム」が契機である。9月には高知県梶原町で「第1回全国棚田サミット」が開催され、以後毎年場所を変えて現在に至る。農水省の環境保全の観点からの助成事業の展開等もこうした動きに勢いをつけ、この15年ほどの間に棚田はかなりの社会的認知を得たと言えよう。2010年現在、棚田の歴史的文化遺産としての価値、日本の原風景と言われ郷愁を誘う美しい景観、中山間地域を守るシンボリックな意味づけ、防災や水資源保全の機能などが高く評価されている。

さて、棚田保全の具体的な方法として、最も注目され、取り組まれてきたのが、本研究で取り上げる棚田オーナー制度である。棚田オーナー制度は、1990年代半ば以降、全国各地で農山村活性化の切り札の1つとして大きな期待が寄せられ、実際に取り組む地域が広がっていった⁽¹⁾。しかし、それから十数年が経過する中、制度を立ち上げ運営してきた地域の多くが今、存続の危機あるいは活動の方向性について大きな転機を迎えている。

先行研究の整理と問題の所在

棚田に関する研究の多くは、農学、地理学などにおいてその作業効率、棚田の分類や分布、景観の特徴などが明らかにされてきた。1995年の第1回棚田サミット以降、都市農村交流、環境保全、景観保全等の観点からの研究が始まっていく⁽²⁾。社会学からの研究はほとんどなく、わずかに徳野貞雄が棚田オーナー制や農産物直販所をベースに行われてきた都市農村交流の事例を取り上げ、その実態と集落活性化効果の分析を通して、都市農村交流やグリーンツーリズムといった政策の問題点を指摘しているのみである⁽³⁾。

研究書ではないが景観の美しさを捉えた写真集が数多く出版されているのも、棚田問題を考える上では興味深い⁽⁴⁾。棚田の持つ景観的魅力を端的に表しているからであろう。

本研究の目的および方法

本研究では地域活性化や集落維持、耕作放棄地の解消、農村景観の保全などの課題に対する打開策として、都市—農村交流という視点から1990年代半ばより始まった棚田オーナー制度に焦点を当て、その成果と現状および課題を整理すると共に制度が持つ可能性について明らかにする。このことを通して、内発的発展論をベースとする地域再生のあり方および都市的生活様式の持つ限界とその改編についての理論的考察を行うことが、本研究の目的である。

2 事例の紹介

(1) 事例1： 島根県鹿足郡吉賀町大井谷地区

島根県吉賀町は、島根県西南端部に位置、県境で山口県と接している。大井谷地区は、旧柿木村中心部より約5キロ、国道187号線からは3キロほど入った標高400~450mにある集落である。棚田の水田面積は、江戸初期には8ha、江戸後期には12ha、最大時には17ha、約1000枚が耕作されていたとされる。1971年からの減反政策の影響下、谷あいや山裾など条件の悪い水田から杉、檜などの植林がなされ、さらに農家の高齢化、後継者不足、米価の低迷、栗や梅林へ

の転換、自家用野菜のための畑作転換などにより、作付面積は約 6ha となっていた。

1998 年から棚田オーナー制度を開始、1999 年に農水省「日本の棚田百選」認定、現在に至る。2009 年 7 月現在、集落の総戸数 20 戸、人口 70 人弱。水田耕作の農家は 14 戸、うち 13 戸は兼業農家。8.2 ヘク、639 枚（平均 1.28 a）、平均勾配 1/5 の田んぼが耕作されている。中心になっているのは、1998 年結成された「助（たすけ）はんどうの会」と吉賀町役場産業課。「助はんどうの会」は全戸加入で個人加入ではない。1 軒から 2 人、男性と女性が出る。

基盤整備から棚田保全への転換

大井谷地区では 1995 年頃、棚田の圃場整備による耕作の維持を目的とした集会が始まる。しかし、基盤整備のシミュレーションを行った結果、水田面積が 1/3～1/2 に減少すること、膨大な事業費（反当 300 万円以上）がかかることが分かり、県からは棚田保全に取り組みば畦畔・水路・農道を中心に基盤整備ができるという、棚田保全と地域づくりをセットにしたアイデアが提案された。全くの方針転換である。そして、先進地視察や講演会、説明会、話し合いが短期間で進められ、住民合意が形成された。その中心となったのは、地区内の住民 2 人（40～50 代の男性）と町の行政担当者であった。1996 年度の高知県梶原町の視察から 98 年 4 月に「助はんどうの会」発足に至る 2 年間に棚田保全の機運が醸成されていった。

大井谷の棚田の概要（2009 年 3 月現在）

棚田オーナー制度と棚田トラスト制度は、1998 年度から始まった。オーナー制度の募集数は 30 区画前後で、基本料金は 36000 円、面積により料金が変わる。基本面積は約 100 m²、条件は年 3 回の農作業（田植え、草取り、収穫）に参加すること。特典は、収穫米の持ち帰り（約 30kg）、農産物の宅配（年 1 回）、イベントへの参加である。棚田トラスト制度は、募集数は無制限。料金は 1 口 1 万円。特典は、棚田新米 5kg（1 口当たり）など。資金は、草取り経費や花木の植栽、石積みの補修費など、棚田の保全活動に活用されている。問い合わせ先は吉賀町産業課である。

棚田への意識の変化

農地を荒らすことに対する抵抗感はとても強いものの、次第に荒れてきていた現実があった。地区の人々にとって田んぼは、作業効率が悪い、生産効率が悪い、恵まれない土地条件といった「やっかいもの」としての見方が強かったからでもあった。しかし、オーナー制度によるオーナーたちとの交流、マスコミ等からの注目などを通して棚田の景観美や歴史の重み（営々と続けてきた先人たちの努力や苦勞への思い）、米のおいしさ、水源涵養の機能、都市にはない農村の豊かさなどが高く評価されるようになると、棚田へのまなざしは「地域の宝」、「地域の誇り」へと大きく転換していった。

献身的な努力

大井谷地区における棚田保全の取り組みは、成功事例として評価されてきた。その要因として、3 人のキーパーソンが存在があげられる。「助はんどうの会」の初代会長、事務局長、役場職員 T さんである。初代会長と事務局長に対しては「よう心配されちゃった（よく世話をしてくれた）」、「自分のことより部落のために」などの感謝や尊敬の言葉が多く聞かれた。また、「昔からここにおる人は外を見んけん、井の中の蛙。よそから来た人は違う。この人でも外を知っている人は、見る目が違う。人との交流もいろいろあるし、色んな人とつきおうて。世間話とは違う内容のものを知っている人たちが、新しいことを言ったりしたりしてきた」という。長い間受け手のなかった会長を受けた、2 代目会長 T さんの姿勢をほめる意見も多い。

役場職員 T さんに対しては「この住人のようにしょっちゅう来てくれて、真剣に考えてくれた」、「役場の人が一生涯懸命に動いてくれて、そういう気持ちがあれば、住民の中にもそれに合う

ように動いていく人ができていく」、現在の担当者に対しても「よう上がってきてくれる」、「一生懸命考えてくれる」とその評価は高い。

外からの風と内側の変化

棚田のオーナー、アマチュアカメラマン、その他集落外から人がやってくることで地区の人々はさまざまな影響を受けてきた。1つは、棚田の景観という視点の獲得である。住民の中には外部のまなざしを通して自己のまなざしを変えてきた人も多い。「この田んぼは確かにきれいだ」、「田んぼだけでなく部落全体の景色もきれい。展望台に上がって見ると、箱庭のよう」と言う。

2つめは、にぎわいや活気、親しみである。田植え、草取り、稲刈り、棚田祭りなどでオーナーが楽しむ様子を見たり、話をしたりすることが楽しい、おたまじゃくしがいると子どもは騒ぎまわって喜ぶし、そういう姿を見て私たちもうれしい、などの声は多い。また「オーナーさんは1年きりでないけえ、4年も5年も続けてきんさるオーナーさんとは自然に親しくなる」と言う。

3つめは、農業・農村や農的暮らしへの肯定的価値に触れること。「米がおいしいとか、色々ほめてくれる。自分らにははかりしれんようなものがあるのでしょうか、お金払って遠くから時間かけてやってきて、田んぼ仕事手伝って。田の草取りに来て楽しかった、と聞いて、それは正直わからん。田植えの日は決まっとるので、天気の悪い中、田植えをすることもある。それでもオーナーさんたちは楽しそうにしている、何かええところがあるんじゃないかと思う」と話す。

4つめは、自分自身や農業・農村に対する自信である。「田んぼ仕事をするとき、食べてくれる人の顔が浮かぶようになった」、「何か張り合いが出てきたのかなあと思う」。

5つめは、農村女性起業の誕生である。イベントの炊き出しなどのために、「助はんどうの会」の女性部として発足、2001年4月、棚田工房ということで再出発し現在に至る。メンバー7人の女性たちはかき餅、炊き込みご飯、こんにゃく、弁当、梅干、そうめん瓜の粕漬けなどを作って販売している。活動によるささやかな儲けに加え、仲間同士の語らいが大きな楽しみや生きがいとなり、またメンバー同士の社会関係を強固なものにしている。

今後の展望

中心メンバーからは、今後の棚田保全方法について現行のオーナー制度に加え、集落営農か農事組合法人の道を考えようという提案がなされた。しかし、一部の人に負担が集中する現状では新たな仕組みへ踏み出すことができず、動きは止まったままである。「外から大井谷を見てもらう、そして意見を述べてもらう。養子、嫁さんたちの声が聞き入れられない地域、それじゃいけないのじゃないかと思っていた。養子も嫁さんたちも地域の人なのに。オーナーさんたちの意見が届いて、理解も進んできたから続いてきたのだと思う」、「女性のパワーには感心した。特に、田んぼがない方が頑張ってくれとる。大井谷がよくなっても直接自分の家の収入には関係ないのに、すごいと思う、そういう考えの人がもっと増えてくることが大井谷には必要」などの声がある。一人ひとりの意見が地域運営に反映されること、みんなのために動ける住民が増えていくことの中に展望がある。

(2) 事例2：鳥取県岩美郡岩美町横尾地区

大字洗井は、洗井（28個、78人、高齢化率41%）、横尾（7戸、18人、50%）、蕪島（14戸、42人、26%）の3集落より成る。消防組織もこの範囲である。1971年に減反政策が始まり、ソラ（山の上の方）の棚田へ造林、植林をした。標高200～280mに広がる棚田をはじめ、平坦地の水田でも高齢化、担い手不足の問題は深刻である。特に棚田では農業機械が効率的に活用できず、耕作放棄が進み、周辺圃場への悪影響も発生しやすくなった。そこで、県内の大学生と地元の高校生が「棚田保全ボランティア隊」を結成し、山間水路を清掃。また、地区農産物直売所「ふれあい市」の会員が栽培指導にあたり、オーナーの作業に協力している。

棚田オーナー制度のきっかけ

1994年、「日本の棚田百選」に選定。それをきっかけに棚田の美しさと地域の農業を守るため、棚田オーナー制度を役場と地元農家が一体となって推進してきた。1994年は全国的に棚田保全の動きが始まりかけた時で、農水省から県の耕地課課長としてきていた人の肝いりで、水路の清掃作業を主に手がけた。ちょうど水路の清掃作業が大変になりかけていた頃。その課長は2年ほどで農水省へ帰ったが、その間にオーナー制度のことも聞いた。その後、1997年、「いがみ田を守る会」結成、オーナー制度を開始した。会員は、横尾（3軒）、燕島（2軒）、洗井（3軒）、合計8軒14人が世話をしている。約200筆（4.5ha）の棚田に2009年度は29名の応募。3～4反をオーナー田にする。オーナー制度は、2009年度で12年目になる。

組織上の特徴

「いがみ田を守る会」を作るとき、「家にいる人」、「地元で百姓しとる人」、「話しやすい人」、「気心の分かった人」などに声をかけ、「酒飲んでケンカするような者」は誘っていない。3集落の全世帯に声をかけたわけではなく、最初から有志による組織で出発した。

また、会には会則がなく大変緩やかな組織である。「皆がしてくれればそれで動くから」と言う。気の合った者が内輪で集まって話をしてきた。会の名前をつけるときも、「『何ちゅう名前がええだ』と問いかけて、ここらへんの方言で畦が曲がるとのをいがみ田というので、それにした」と話す。

総会は3月中頃、決算をして報告、酒を飲みながらどこに行こうかと相談。慰労会を兼ねて兵庫県の温泉に行く。これがとても大きな楽しみ。会員の年齢は46～79歳。オーナー制度でカバーしている面積はわずかだが、この制度がなかったら絶対に荒れていくという確信を会の人々は抱いており、オーナー制度が地域の人々に元気を与えていることは明らかである⁽⁵⁾。

オーナー制度の概要

当初、2反ほどの田んぼを使い、10数組で始めた。人数は15～16人。一時期減って10人くらいになり、また徐々に増えて今は25～30人。オーナーの募集・連絡等は役場が担当し、予定表は地元で作って運営してきた。現在、1口が1aで、年会費3万円。当初は3.5万円で玄米30キロ。その後、少し安くしてオーナー数を増やそうと考え、3万円で全収穫配布に変更した。去年は48～50kgあった。

毎年2月末～3月にかけて募集する。5月の田植え、9月の稲刈り、11月の収穫祭に連絡をして作業等に来てもらう。2009年度からは4月と7月の2回水路清掃も加えた。全体を通して、農業・農村を知ってもらうことが目指されている。また、「いがみ田を守る会」会員が栽培・生産したものを、夏はメロン、秋に白ネギ、年末に餅を送る。サツマイモを2畝植えているので、稲刈りの時に掘って、ほしい人は持って帰る。マコモダケは、9月の終わりから10月にかけて収穫できるので、少しずつでも送っている。

オーナー制度を支える外部の力

NPO法人学生人材バンク（以下、人材バンク）と一番強いつながりを持つ⁽⁶⁾。横尾の棚田オーナー制度との関連では、人材バンクは鳥取県農林水産部耕地課委託事業で鳥取県農山村ボランティア事務局を運営している。その中で「農村16きっぷ」の発行、年間行事の運営・企画などを行っている。主に人材バンクを通じてやってくる学生たちのボランティアの動機はさまざまであるが、活動を通して多くのことに気づいたり学んだりしている。農業・農村が直面している諸問題と共に豊かな暮らしのありよう、頼りにされることの喜び、自分の力の限界や可能性など、様々である。そして、農村側でも学生たちの若さやひたむきさに助けられ、励まされている。そ

うした相互作用の積み重ねを通して、自分の孫、祖父母のようにお互いに思い合うつながりが生まれることもある。

棚田保全とつながる他の動き

横尾、洗井、蕪島の3集落も含めた近隣の11集落を蒲生地区と呼ぶ。「ふれあい市」は、蒲生地区の農家に呼びかけて始まった野菜などの直売所である。60人以上の登録者で出発。多い人は年間100万以上売り上げるなど、中高年の農家女性を中心に大きな励みになってきた。それと関連して、すぐ横に加工施設を補助事業で建設、その後の管理運営を行っている。

会の活動の特徴

会の設立経緯で見た通り、あえてムラの総意を求めないというやり方を取ってきている。これは、おそらく総意形成が難しいという判断からだと思われる。「いがみ田を守る会」のキーパーソンは、会長のHさん、右腕的存在のIさん、Mさんの3人である。HさんとIさんは地域運営でも農業者としてもリーダー的存在で、周りからの人望も厚い。Mさんは、2人よりも20歳ほど若い50代半ばで、後継者として期待されている。3人は、洗井、横尾、蕪島の集落在住で、それぞれの集落での世話役であると同時に、集落より広い範囲の大字洗井、あるいはさらに広い蒲生地区の活性化に関わる中心的役割を果たしている。

そのため、近隣の集落鳥越の農村食堂「鳥越どんづまりハウス」との連携は、必然的なものである。棚田オーナー制度での行事の際のお昼ご飯は、どんづまりハウスに頼み、オーナーやボランティアも含め、棚田保全の他にも集落の維持といった課題があること、地域資源をフルに活用した農村女性たちの起業活動を知ってもらうという狙いもある。また、イベント時のお昼ご飯を請け負うことで、どんづまりハウスの女性たちも経済的・社会的メリットを享受する良い機会となっている。

3 棚田オーナー制度の成果と課題

吉賀町大井谷地区の事例

「助はんどうの会」という全戸加入の会を立ち上げ、それを核に棚田保全に取り組んできた。ムラを上げてと言いつつも、個々人、個々の家の都合、言い分と集落の総意には当然のことながらズレがあった。その中で住民と役場のキーパーソンたちがムラの論理を意識しながら、何とか総意を形成してきた。オーナー制度の成果として、地域に対する愛着や誇り、自分たちに対する自信、人と人とのつながりの生成・強化も見られた。また、地域活性化に向けた自発的な取り組みとして、女性たちによる加工品作りが注目された。

しかし、一方で、みんなのために協力するという雰囲気がなかなか広がらないこと、中心メンバーに最初の立ち上げから現在まで多大な負担がかかり続けてきたことも分かった。棚田保全を契機に地域づくりをとの強い思いから約10年、オーナー制度の維持・運営、オーナーとの交流、HPの作成・更新管理による情報発信、ブランド米作りに献身的な努力がなされてきたが、今、転機を迎えている。オーナー田以外の残った田をどうするかが実は大きな問題で、新たな提案がリーダーからは出されているにもかかわらず、住民の反応は鈍い。今後、集落としてどのような方向へ向かうのかが問われている。

岩美町横尾地区の事例

大井谷地区とは逆に、あえてムラの総意を求めない方向での制度の運用をしてきた。つまり、有志のみによる制度の運営である。そして、外部のNPO法人やボランティアの力を借りながら、安定した形で棚田保全を続けてきた。当初のキーパーソンたちは後継者を育成しており、大井谷の事例と比較すればストレスも少なく、将来的な展望もある。

ムラの論理

2つの地区の組織は全く異なるが、そうした組織形成や運営へと人々を動かしているのは同じムラの論理である。いくら良いことであっても、総意形成できなければ通らない。都市―農村交流は、農村側から見れば地域活性化の1つの方法としてムラの外からの様々な刺激を積極的に求めるものだが、農村側は外からの刺激を決して無条件、無制限に受け入れてきたわけではない。ムラのフィルターを通して、取捨選択してきた。そこには、ムラの論理が貫かれている。ムラは表面的には、都市と農村との交流を始めて、開かれた農村へと大きく変わっているように見える。が、実はもっと複雑である。外から人が入ってくることにはまだまだ消極的である。行事の時に来てくれることは歓迎するが、移住にはあまり期待をしていない、そんなに簡単にムラになじめるものではない、と考えているからである。

大井谷の場合、無意識にコモンズ（共有地、共有財産）を作り出すという方法を選択した。棚田が実際には個々の家の所有であるにもかかわらず、ムラを上げて保全に取り組むという姿勢を打ち出すことで、私的所有の上にムラの総有の網をかぶせたのである。これは、ムラのまとまりや地域アイデンティティの源泉となるモノとして、大いに機能してきた。しかし、その重さに耐えかねている家や個人もある。コモンズ化は、諸刃の刃である。守るべきは人々の暮らしであって棚田ではないと多くの方は分かっていると思うが、本末転倒のようなことが起きかけている。

4 まとめ

本研究の調査地2カ所では棚田オーナー制度が10年以上前から行われてきており、それが契機となり様々な影響を地元にもたらしていた。都市―農村交流による外からの刺激を通して農村内部の価値を再発見してきたこと、その過程でいくつかの農村起業活動が生まれたこと、近隣の集落や活動グループとの連携の活発化などである。一方、協力的態度が広がらないために役職者に負担が集中する状況も見られた。農村内部のメンバーはほとんど変わらないため高齢化は進む一方で、将来的な存続の危機が内包されている。

2つの事例は、集落全体の取り組みとして半ば強制的に活動してきたものとあえて有志に限って活動してきたものという違いがあった。それぞれの特徴はその集落のもつ歴史的社会的諸条件に大きく規定されているが、どちらもムラの論理を知りつくした上での判断である。さまざまな問題はあっても、おおむね成功してきたと言えるのはそうしたムラの現実から遊離しない所での判断が大きく関係している。

本研究を通して、着実な都市―農村交流の先駆的事例として、棚田オーナー制度を位置づけることの妥当性は確認できたと思う。ただし、制度の持つ根本的課題として集落内に新規メンバーが現れない限り、その持続性は常に危うい。それでは、UターンやIターンの可能性もほとんどない中では展望はないのかというと、そうとも言えない。今そこに住む人々がお互いにどのような将来像を共有し、協力的態度で支え合えるか、そして自分の地域を心底良い所だと自慢できるように変わるか、ここに将来展望を見出すことができる。また、そうした住民たちの内発的取り組みに加え、棚田保全の担い手である農業従事者に対する何らかの所得補償、都市住民のボランティアなども視野に入れた担い手確保に関する政策立案も求められている。

注

- (1) オーナー制度の展開については、中島峰広（1999）。
- (2) 中島峰広（1999）、春山成子（2004）。
- (3) 徳野（2008）。
- (4) イリヤ／エミリア・カバコフ（2000）等。

(5) 棚田と呼ばれる区域は 4.5ha。オーナー田は 30a とイモとマコモダケで 10a、合計 40a。
(6) 鳥取大学学生が 2002 年 4 月に設立した任意団体で、NPO 法人化は 2008 年 5 月。「学生にキッカケを 地域に笑顔を」をキャッチコピーに、情報提供、企画運営、キャリア支援の 3 つの事業活動を行っている。

参考文献

アンソニー・ギデンズ著、佐和隆光訳『暴走する世界』ダイヤモンド社 2001 年
木村和弘『信州発棚田考 ―中山間地域の新たな動き―』ほおずき書籍 2004 年
木村和弘『続 信州発棚田考』ほおずき書籍 2009 年
立川雅司「ポスト生産主義への移行と『まなざし』の変容」日本村落研究学会編『年報 村落社会研究 特集 消費される農村―ポスト生産主義下の『新たな農村問題』―』第 41 集 2005 年 農山漁村文化協会
徳野貞雄「農山村振興における都市農村交流、グリーンツーリズムの限界と可能性」日本村落研究学会編『年報村落社会研究 特集 グリーンツーリズムの新展開』第 43 集 2008 年 4 月
中島峰広『日本の棚田 ―保全への取組み―』古今書院 1999 年
中島峰広『続・百選の棚田を歩く』古今書院 2006 年
イリヤ／エミリア・カバコフ 『棚田』現代企画室 2000 年
成田龍一『「故郷」という物語』吉川弘文館 1998 年 2600 円+税
春山成子編著『棚田の自然景観と文化景観』農林統計協会 2004 年
山本雅之『農ある暮らしで地域再生』学芸出版社 2005 年
結城登美雄『地域の再生 第 1 巻 地元学からの出発』農文協

参考資料

柿木村教育委員会『島根県柿木村 大井谷の棚田 大井谷の棚田歴史研究部会研究調査報告書』
2002 年 3 月
吉賀町産業経済課作成資料「大井谷棚田地域振興の取組み<棚田保全に向けて>健康と有機農業の里島根県柿木村」(2009 年入手)

* 本研究を遂行するにあたり、調査地の住民・役場担当者・関連機関の皆様にはたいへんお世話になりました。ありがとうございました。

平成 21 年度 国際研究交流助成報告

9. 平成 21 年度 国際研究交流助成報告

①派遣

助成対象者	所 属	参加会議	ページ
日 野 実	岡山県工業技術センター	先端材料のプロセスおよび製造に関する国際会議	115
小 松 満	岡山大学大学院環境学研究科	二酸化炭素地中貯留における技術開発の現状と課題 ～米国の最新研究から～	116

日 野 実

岡山県工業技術センター

参加会議名	先端材料のプロセスおよび製造に関する国際会議
主催団体名	米国鉱物、金属、材料学会の他 13 団体の共催
開催期間	平成 21 年 8 月 25 日～平成 21 年 8 月 29 日
開催地	ドイツ、ベルリン

表 題 Mechanism of Whisker Growth Suppression by Co-deposition on Electroplating Tin Film

<内容>

鉛 (Pb) を含有した Sn-Pb めっきは、その優れたはんだ接合性より、これまで電子デバイスでのコネクタなどの接合部位に適用されてきたが、EU 有害物質規制において、Pb の使用が厳しく規制され、Pb フリーめっき技術が切望されている。このような背景の下、安価ではんだ濡れ性に優れた Sn めっきが Pb フリーめっきとして有望視されている。しかし、Sn めっきはウイスカ発生の問題が知られており、成長したウイスカの長さは数ミリにも達し、ダウンサイジングが要求される電子デバイスでは、このウイスカが端子間での短絡の要因となることから、現在、コネクタ部位への適用に対して大きな障害となっている。

本発表では、最新の評価・分析機器を用い、様々な角度から Sn めっきのウイスカを調査し、これまで 40 年以上に渡り、その詳細なメカニズムが不明であった Sn めっきのウイスカについて、表面の酸化皮膜の影響や Sn 皮膜中への銅 (素材) の結晶粒界に沿った拡散による不均一な化合物の形成に伴う局所的な応力発生など、その発生メカニズムについて言及した。また、Pb によるウイスカ抑制メカニズムについて、Sn 皮膜中を Pb が応力誘起拡散によって皮膜最表面に高速移動し、皮膜に生成する酸化皮膜を薄く均一にすることでウイスカ成長が抑制されることを示した。

小 松 満

岡山大学大学院環境学研究科

参加会議名	二酸化炭素地中貯留における技術開発の現状と課題 ～米国の最新研究から～
主催団体名	岡山大学環境理工学部
開催期間	平成 21 年 5 月 27 日～平成 21 年 6 月 2 日
開催地	岡山大学

表 題 二酸化炭素の回収および貯留技術

<内容>

近年、地球温暖化問題を解決するために国際的な取り組みや技術対策が考案されている。しかし、技術革新を進め、エネルギーの効率化や省エネが実現されてきたが、温室効果ガスを減少させるのは困難である。特に、国際的に削減目標が決められている二酸化炭素の排出削減においてはその処分技術の開発が急務となっている。そこで、この問題の解決策の一つとして期待されているのが、二酸化炭素の地下深帯水層貯留技術である。

今回は米国からこれらの問題に精通した研究者を招聘し、貯留技術におけるメカニズムの基礎から最新の研究内容までを解説・紹介頂く国際ワークショップを開催した。

講演者のサリー ベンソン教授は、地下水流動と貯留層の専門家として、エネルギー・環境関連領域における研究を進めてきた。研究の関心は CO₂ の地下深部への貯留、将来の低炭素社会における技術やエネルギーシステム、絶滅危機にある生物の棲息地における気候変動の影響、セレン元素に関する生物地球科学、地下の特性解析とモニタリングのための地質工学的計測などである。CO₂ 地中貯留の世界的な権威と認められており、IPCC の二酸化炭素回収・貯留に関する特別報告書の統括執筆責任者であることから、材料科学や地質、地下水分野にも精通するアクティブな研究者であり、それぞれの研究成果についての講演が行われた。

平成 21 年度 研究集会助成報告

10. 平成 21 度 研究集会助成報告

助成対象者	所 属	集会名	ページ
米 田 稔	岡山理科大学	平成 21 年度応用物理学会 多元系機能材料研究会_年末講演会	1 1 8

米 田 稔

岡山理科大学

研究集会名称	平成 21 年度応用物理学会 多元系機能材料研究会_年末講演会
主催機関名	社団法人 応用物理学会 多元系機能材料研究会
共催者・後援者等	岡山理科大学、応用物理学会中国四国支部
開催期間	平成 21 年 12 月 11 日～平成 21 年 12 月 12 日
開催地	岡山県倉敷市

<内容>

平成 21 年度の多元系機能材料研究会末講演会を 12 月 11 日－12 日に瀬戸大橋が展望できる鷺羽ハイランドホテル（岡山県倉敷市）において開催した。本講演会では、3 件の招待講演、8 件の一般口頭講演、25 件のポスター講演（ショートプレゼンテーション 3 分付き）が行われた。全国から合計 67 名の参加者を迎え、その内訳は一般 35 名、学生 32 名であった。今回の講演会でも多数の学生参加者を迎えることができ、本研究会が設立以来目指してきた人材育成の精神が研究会メンバーに引継がれていることを実感することができた。

招待講演では、草野圭弘先生（倉敷芸術科学大学）より、岡山県名産の備前焼について結晶工学的視点から「備前焼模様の微構造および形成過程」の題名の講演があった。備前焼に特徴的な鮮やかな赤色のひだすき模様は、粘土と稲わらとの反応により生成する液相中にコランダムが生成し、この上にヘマタイトの結晶が成長することにより説明される。また、藤村紀文先生（大阪府立大学）から「ZnMgO/ZnO ヘテロ構造の作製とスピン依存伝導」の講演があった。希薄磁性半導体に関するわかりやすいチュートリアル講演からスタートし、ZnMgO/ZnO の 2 次元系において ZnO のチャンネルの磁場中でのサブバンドにおけるスピン分裂は ZnMgO のアップスピンとダウンスピンの侵入確率の差で説明された。また岡山県の工業界より、宮武直正講師（三井造船玉野技術開発センター）から「大面積 ALD 成膜技術の開発」の講演があり、ZnO や Al₂O₃ を面内均質性と段差被覆率良く大面積で成膜する技術の紹介や Ga ドーピングによる ZnO 膜の低抵抗化に関する講演をして戴いた。

一般講演では、生内俊光氏（日本大学）より、CaGa₂S₄ 中の Mn²⁺及び Eu²⁺の置換サイトの ERS 測定による考察が行われ、赤色発光中心として期待される Mn-希土類元素同時添加による増感効果メカニズムについて講演された。永尾 章氏（宮崎大学）は直接遷移型 I-III-VI₂ 化合物の中で基礎物性値が不十分な Ag-Ga-Se₂ 結晶の線膨張係数の評価を行い、70K を境に減少から増加に転じることを報告された。また、石川真人氏（横河電機）から第一原理計算による窒素ドーピング III-V 族半導体の解析から、間接遷移型半導体にて窒素原子の準位に局在したバンド構造になることを紹介された。その他、窒化ガリウム系、Cu 系カルコパライト系半導体に関する一般講演が 5 件あった。また、ポスター講演に先駆けてショートプレゼンテーションを実施し、各ポスター講演内容の概要が紹介された。

なお、本講演会では、招待講演、口頭講演およびポスター講演の概要（要旨）を講演要旨集として作成して、講演会参加者に配布した。

最後になりましたが、ご助成を戴きました八雲環境科学振興財団様に謹んでご報告申し上げますと共に、甚大なる謝意を表させていただきます。

平成 21 年度 その他の助成報告

11. 平成 21 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実践	120

子どもの興味関心に培う実践

岡山市少年少女発明クラブ

クラブの活動

幼い子どもたちは、顕著な現象や色、形に興味を引かれる。同時に、移り気でもある。例えば、石ころだらけの川原に出くわすと、石を拾ったり投げたりして遊び始める。やがて、「遠くまで投げる」「水面を滑らせる」などの「決まり」を作って遊ぶが、短時間で終わり、水際を走るなど他の遊びに移ってしまう。遊びの内容も場所も変幻自在である。運動欲求はあっても「目的意識」が定まっていないので、このようになるのであろう。

当クラブの子どもたちは、「ものづくり」をしてみたいという、緩やかな目的をもって集まってきている。また、「理解でき、興味が湧く目的」があれば、持続的に活動できる年齢になっている。同時に、活動中に興味の対象が変わるのも、通常の遊びと共通している。

以上を前提に当クラブでは、作りたい物を見つけて作る＝「宝箱活動」と、指導者側で計画する「科学・技術を体験的に伝える活動」とを柱にしている。

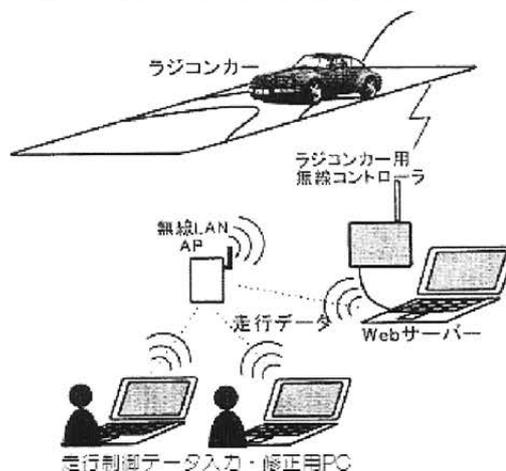
科学・技術を体験的に伝える活動例

「ラジコンカーをパソコンで走らせる」

2009年度で2回目の活動である。この活動で体験的に気づいて欲しいテーマは、「情報」と「伝達」。ついでに、ロッド、歯車、ばね、モーターなど「カ

を伝える仕組み」に触れることである。

A 「情報の伝達」で使うシステム
岡山商科大学小松原研究室が作製・構成した。クラブ員一人ひとりが、自分のラジコンカーにデータを送り、走行させた結果から、それぞれがデータを修正し、再走行を試みるという活動である。システム全体のイメージを1図に示す。

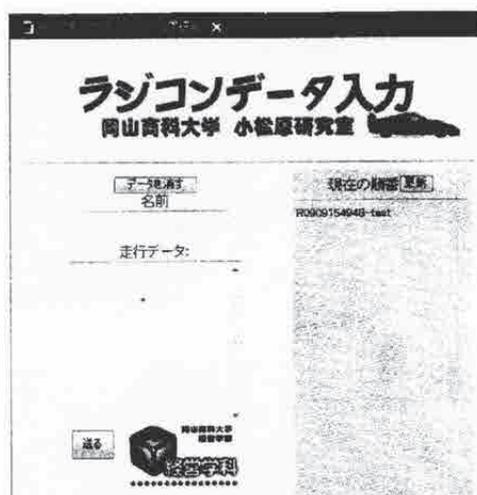


1図 制御システムのイメージ

クラブ員がラジコンカーに走行の仕方を指示する「走行制御データ入力・修正用パソコン」は、「Webサーバー兼制御用パソコン」と無線LANで結んでいる。このパソコンは「走行制御データ入力・修正用パソコン」から送られたデータを蓄積する。

ラジコンカーは27MHz帯を利用する物と40MHz帯を利用する物とがある。

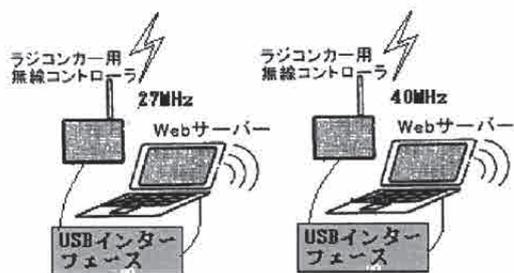
利用者は、まず、使用しているラジコンカーの周波数帯に対応した IP アドレスを入力してデータ入力ページを表示させる。2 図はその初期画面である。



2 図 「データ入力・修正初期画面」

つづいて利用者の名前と走行制御データを入力し、データを送信する。データは、前進、後進、右カーブ、左カーブを ON にする時間を 1/100 秒単位で制御する。更新画面に戻すと、コースを走る待ち順番が表示されるので、自分のラジコンカーを持ってコースに行く。

「Web サーバー兼制御用パソコンは、図に示すように 27MHz 帯用と 40MHz 帯用がある。



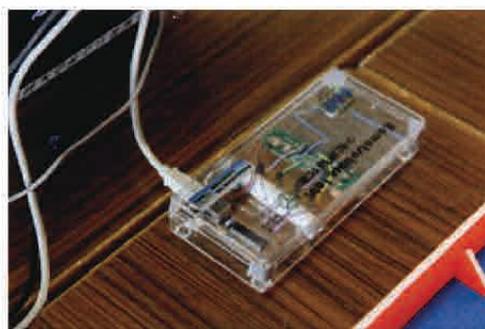
3 図 走行制御データ送信部

「走行制御データ入力・修正用パソコン

」から送ったデータは、周波数帯専用の制御パソコンに転送順に蓄積され、データに対応するラジコンカーをコースに置いた後、実行する。実行後はデータを消去し、次のデータに移る。

ラジコンカーの持ち主は、走行状態を見て、「走行制御データ入力・修正部」に戻ってデータを修正・再送信する。

3 図のラジコンカーに付属の無線コントローラーは、前進、後進、右カーブ、左カーブの 4 つのスイッチを手動で ON/OFF する仕組みになっている。



4 図 インターフェイスと制御データ送信装置

パソコンに接続された USB インターフェイスは無線コントローラーの前進、後進、右カーブ、左カーブの 4 つのスイッチ各スイッチを制御するようになっている。

コースの素材は発泡スチレンボードでコースアウトして車が台から墜落するのを防ぐ囲いをしてある。

コースは 27MHz 帯用と 40MHz 帯用の 2 面を使う。2 波使うと、1 つの室内で 2 台同時走行が可能になり能率がよい。

びのいいところである。この場面でも、「ゴールで停止ラインに止める」「全コースをバックする」「コースの途中で幅寄せをする」クラブ員が出てきた。

走行制御はスイッチをONにする時間の長さだけなので、スタート時の車の向き、電池の消耗、タイヤのスリップなど、走行に影響を与える制御できない条件がある。走行のコースを複雑にするほど想定どおりのコースをたどらなくなるが、クラブ員たちは、〈たどればよし〉〈たどらなくても前後左右命令したように動いて満足〉であった。この姿は、「情報の意味」と「情報の伝達」を体験的に理解した姿ととらえている。

D 反省

クラブ員の様子で、ステアリングにクラッチ機構を使っている意味に疑問を感じるクラブ員が少ないことや、変速ギアでトルクが変わることが疑問や問題にならないことをすでに述べた。

これらの問題点の解決方法として、クラッチの必要性では、無負荷で回り続けているモーターの電池と、負荷をかけて止めたモーターの電池とでは消耗に差が出るなどの事実を確かめるとか、モーターを分解してブラシと整流子との関係を観察する、モーターで発電できることを確かめた後推論するなどのことが考えられる。

この点については、身近な素材で2極モーターを作る活動を計画している次年度に実践できそうである。

トルクが変わることについては、減速比が極端に大きいギアボックスが入手

できれば簡単に体験させることができると考えている。

科学・技術を体験的に伝える製作物の例
 デイ作物の中か代表的なものを紹介する。

5図の100円ショップで買った防犯ブザーから部品を取り出して使った。

A 圧電素子で瞬間ライト

防犯ブザーで、けたたましい音をだす部分品として使っている。

簡単に取り出せるタイプと取り出しにくいタイプとがある。



5図 防犯ブザーと利用する部分品

リード線がちぎれやすいので、力が加からないように注意する。

6図のように圧電素子とLEDとをつなぎ、圧電素子の金属版の面が上にな



6図 配線



7図 瞬間ライト

るようにフィルムケースの底に格納する。金属版の面を下にすると、ビー玉が塗装面にぶつかるので圧電素子の寿命が極端に短くなる。

LED (7図の赤い円内) をケースの外に固定し、ケースの中にビー玉を入れてふたをする。

ケースごと上下に振ると、ビー玉が圧電素子を叩いてLEDが光る。

B リードスイッチとフェライト磁石でCDを回す

ケースの中のCDが回転する8図のような物で、CDモーターと命名した。



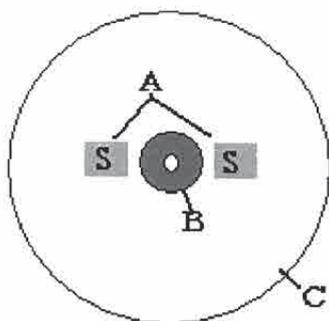
8図 CDモーター

その仕組みを9図～11図に示す。

①CDを9図のように加工する。

A: フェライト磁石。同極を上に向けてCDに粘着テープで接着する。軸に近いほうがよい。

B: プラモデル自動車等の車輪。車軸の穴がCDの中



9図 CDの加工

央になるように接着する。

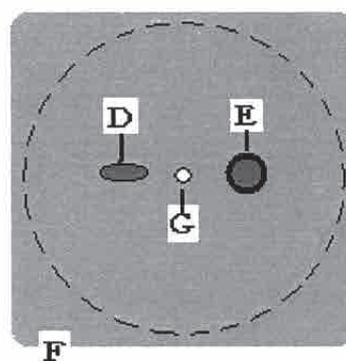
車軸の穴に竹串を通して、回転軸にする。

C: 不要になったCD

② CDを収めるケースを加工する。

8図のようなプラスチックケースを使った。深いと、竹串の軸が長くなり、安定した回転をしにくい。

硬質プラスチックのケースがあれば、ふた(CDの上になる板)がしっかりして8図より優る。



10図 天板の加工

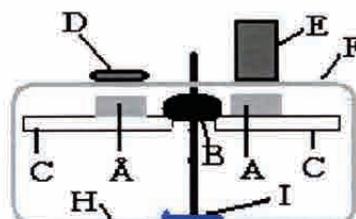
D: リードスイッチ。粘着テープで貼り付ける(接着して固定すると、後から調整できない)。

E: 電磁石。長さ3cmほどのボルトに直径0.4mmほどのフォルマル線を70～80回巻きつける。粘着テープで貼り付ける

F: ケースのふた

G: 竹串を通す穴。軸受けになる。

③下側のケースを加工する。



11図 下側のケースを加工する(側面図)

D：リードスイッチ E：電磁石

F：ふた

A：フェライト磁石 B：タイヤ

C：CD H：下側のケース

I：下側の軸受け。硬質プラスチックケースなら、ドリルで軽く削るぐらいでよい。軟質プラスチックはこの方法ではうまくいかないことがある。1cm四方ほどの薄い金属板をボール紙に載せ、中央を丸く削った竹串の先端で強く押して凹型を作る。これをケースの中央に接着する。

③配線、回転するように調整する。

電磁石、リードスイッチ、手動スイッチ(無くても



差し支えない)、乾電池を直列に接続する。

調整は回転するCDとともに回転するフェライト磁石(11図A)と、ふたに固定された電磁石(11図E)が、タイミングよく引き合うか、退け合うようにすればよい。

リードスイッチも電流が流れていない電磁石も、フェライト磁石をひきつけるので、フェライト磁石が電磁石を通過した瞬間にリードスイッチがONになり、両者が退け合う方向に電流が流れるようにすると、回りやすいようである。

したがって、リードスイッチの位置を移動してリードスイッチがONになるタイミングを変えるだけで、逆に回転するようにも調整できる。

また、両者が引き合うように電流を流して調整するのも、難しいことではない。

「品質むら」でモーターには使えないほど弱いフェライト磁石に出くわすことがある。

この場合は小粒のネオジウム磁石と交換すると、ネオジウム磁石がいかにか強いかを体験できる。

なお、滑らかに回転するようになると、リードスイッチの「ピン・ピン・・・」という小さな音が聞こえる。調整に慣れてくると、この音を頼りにリードスイッチの位置を決めるクラブ員が現れる。

「這い回る」「偶然に頼った」調整ではなく、磁石の極同士、電流の向きと極の関係をイメージしつつ調整するには、方位磁針を使わせるとよい。

C ケースで身に懐中電灯

リードスイッチを取り付けていた基板、圧電素子を取り除くと、スイッチが残る。

5図で、圧電素子と示した円盤状の場所を囲む溝にドライバーを差し込んでこじ開けると、円盤が簡単に外れて中央に穴が開いた部分が現れる。ここにLEDをはめ込み、スイッチを介してケースの電池ホルダーにつなぐとミニ懐中電灯になる。



ホルダーにはボタン電池が4つ入るので、2つ分は、ビスをダミーにする。

写真のLEDの周りには、アルミ箔を貼り付け、反射板の雰囲気演出してい

る。

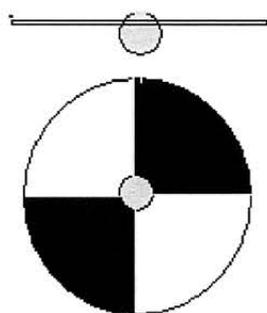
CD モーターの改良

リードスイッチをセンサーにするのは、リードスイッチが強い磁性体なので、回転を妨げるという欠点がある。

また、竹串とタイヤでは、僅かではあるが回転軸が傾いたり偏心したりする。

この欠点を改善する方法として、回転軸にビー玉を、センサーに反射型の光センサーを使う方法がある。

12 図上の側面図のように、ビー玉に CD の穴を乗せるようにして接着するだけでバランスの取れた回転軸ができる。軸受けは鏡のように滑らかな面であれば、不要である。



12図 改良CD回転子

光センサーは、IC の NAND 回路^{iv}と組み合わせる。CD を 12 図下のように白黒に塗り分け、反射光の有無によっ

て、電磁石を ON/OFF するようにする。

白い部分の角度を小さくしても回転するので、乾電池の消耗を少なくすることができる。

これらの活動で思うこと

ここに取り上げた活動例にはクラブ員の意識の面で共通点がある。

それは、作る手順や構造、材質を意識するだけでなく、より良く、または、意志どおりに動くように調整する過程

で物や現象が含む相互作用の法則・原理・仕組みに立ち返る意識である。学年により、個人的な体験の違いにより差があるのは当然の事ではあるが、見逃すことができない意識であろう。

ラジコンカーで意識に上るのは、「情報」「データ」の意味であり、伝える仕組みである。

防犯ブザーでは、使った部品一つひとつの動作や構造に加えて、より良く回るように調整する過程で磁石同士が作用しあう時の決まりに気づき、気づいた決まりを使って調整するようになることである。

ミニ懐中電灯では、電流に向きがあることを実感する。

当クラブでは、科学工作を単なる工作に終わらせることなく、科学の成果と工作（素材と部品の選択や加工技術）とを車の両輪のように扱いたい。

この気持ちを表現する意味で、科学工作等を「科学・工作」「科学・技術」のように表現しようと考えている。

(文責・水田雅明)

ⁱ Hp:<http://www.osu.ac/~komatsu/>

ⁱⁱ 「パソコンでラジコンを走らせよう」テキストから引用

ⁱⁱⁱ 製造中止で入手困難

^{iv} HD74HC00

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（株エイト日本技術開発内）

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

【申込書】

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

【お振込先】

銀行名 三井住友銀行岡山支店

口座番号 No.6497055

口座名義 財団法人 八雲環境科学振興財団

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

今年夏、日本列島は、記録的な猛暑に包まれました。各地で月平均気温や連続猛暑日の記録を次々と更新し、観測史上最高温度に達するほどでした。

この暑さの影響のため、連日、熱中症患者が急増したほか、農作物の収量不足や漁不漁などが懸念されております。

地球温暖化、都市化やエルニーニョ現象の影響などが生じた 2010 年夏だったのではないのでしょうか。

**財団法人 八雲環境科学振興財団
研究レポート集 第 11 号**

平成 22 年 11 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 - 2 1
(株)エイト日本技術開発内)
TEL (086) 252-7670

印刷 吉備サプライ有限公司
岡山市北区野田 4 丁目 2 - 2 0
TEL (086) 805-2111



THE YAKUMO FOUNDATION FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

telephone: 086-252-7670

facsimile: 086-252-8918

URL: <http://www.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