

研究レポート集 2007

Report

第8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18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	17
8. 平成18年度環境研究助成報告	19
9. 平成18年度国際研究交流助成報告	106
10. 平成18年度研究集会助成報告	111
11. 平成18年度その他の助成報告	113
12. 助成実施要項	126
13. ご寄附のお願い	132

1. 巻頭言

地球温暖化現象は、我々の身近な生活の各所各場面で生じており、加速度が増していると思わざるをえません。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の報告によれば、地球が温暖化していることには疑う余地がなく、その原因は人為起源の温室効果ガスの増加であるとほぼ断定されています。地球温暖化が進むと異常気象の頻発、気候システムの急激な転換のみならず、生態系への影響に加え、水不足の一層の悪化、農業への打撃、感染症の増加、災害の激化など私たちの経済・社会活動に様々な悪影響が複合的に生じる可能性が指摘されています。既に、それらの前兆が全世界で、そして岡山でも見え隠れし始めています。「晴れの国」が「真夏日の国」と揶揄される日が将来、やってくるかもしれません。

地球誕生から46億年、約40億年前に生命が誕生して以来、地球を取り巻く環境は大きな気候変動を繰り返してきました。それでも、自己調整をしながら生命感星「地球」は生きてきました。21世紀を迎えて、地球がかつて経験したことのない短期間でかつ急激な人間活動の高まりにより、自然環境に様々なインパクトを与えられました。その結果、急激な変化を安定化する機能が付加されていた地球環境も、その機能に衰退のかけりが見えてきたと考えざるを得ません。

「人間と自然との共生」はよく例示される標語です。人間は自然を必要としながらも、自然に脅威を与える存在です。自然への尊敬の念と畏怖感とを持ちつつ、人間活動を営むための最先端の科学技術を生み出すというバランス感覚が、悩める地球環境を救う「低炭素社会」、「循環型社会」、「自然共生社会」の構築に貢献するものと考えます。

平成19年6月に環境省が「21世紀環境立国戦略」を決定しました。地球環境の現状と課題に始まり、「環境立国・日本」の創造・発信、そして今後、重点的に着手すべき八つの戦略が提示されています。この戦略を実践するためには、八雲環境科学振興財団の設立趣旨に謳われている通り、地域社会における産官学がより一体となった学術研究面での充実、国際的な意識の醸成を奨励すること、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が必要不可欠となります。環境学は取り扱う範囲はすべての学問分野、国内外の境界がない学問です。そして、限界ある地球の上で、人間活動を適正に行うための科学と技術を究めるものです。さらに、市民社会の対応と認知が必要で、社会への貢献が必要な学問です。従って、八雲環境科学振興財団の活動が環境学の専門家、研究者のみならず、一般社会への貢献という視点からも高く評価されることを切に祈念致しております。

理事 沖 陽子
(岡山大学環境理工学部長)

2. 財団の概要

名 称	財団法人 八雲環境科学振興財団
所 在 地	岡山県岡山市津島京町三丁目1番21号 (株式会社エイトコンサルタント内)
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	株式会社エイトコンサルタント他
基本財産	2億5,000万円(平成18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)エイトコンサルタント代表取締役社長
理 事	河野伊一郎	独立行政法人 国立高等専門学校機構理事長 岡山大学特別顧問 (前岡山大学学長)
	目瀬 守男	美作大学学長
	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	岡山大学環境理工学部長
	小谷 敏幸	(株)エイトコンサルタント相談役
監 事	西田 秀史	弁護士
	大橋 荘平	税理士
	小谷 浩治	(株)エイトコンサルタント管理本部管理部長
評 議 員	本水 昌二	岡山大学大学院自然科学研究科教授
	杉尾 剛	岡山大学大学院自然科学研究科教授
	波田 善夫	岡山理科大学副学長
	西垣 誠	岡山大学大学院環境学研究科教授
	飯島 祥二	岡山商科大学商学部教授
	阿部 宏史	岡山大学大学院環境学研究科長
	谷本 俊夫	(株)エイトコンサルタント取締役
	高橋 尚城	(株)エイトコンサルタント取締役
選考委員	稲井 寛	岡山県立大学情報工学部教授
	坂本 圭児	岡山大学大学院環境学研究科教授
	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)エイトコンサルタント監査役
	永井 泉治	(株)エイトコンサルタント技術本部 部長

4. 寄附行為

第 1 章 総則

(名称)

第 1 条 この法人は、財団法人八雲環境科学振興財団という。

(事業所)

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

第 2 章 目的及び事業

(目的)

第 3 条 この法人は、環境科学に関する調査研究の推進や創造性豊かな研究者の養成を支援することによって、岡山県における学術及び技術開発の進展に寄与することを目的とする。

(事業)

第 4 条 この法人は、前条の目的を達成するため、次の事業を行う。

- (1) 環境科学に関する調査研究の助成及び研究者の養成援助
- (2) 環境科学に関する国際研究集会等への派遣並びに国際研究交流の助成
- (3) その他前条の目的を達成するために必要な事業

第 3 章 資産及び会計

(資産の構成)

第 5 条 この法人の資産は、次に掲げるものをもって構成する。

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

(資産の種別)

第 6 条 この法人の資産は、基本財産と運用財産の 2 種とする。

2 基本財産は、次に掲げるものをもって構成する。

- (1) 設立当初の財産目録中、基本財産の部に記載された財産
- (2) 基本財産とすることを指定して寄附された財産
- (3) 理事会で基本財産に繰り入れることを議決した財産
- (4) 基本財産とされている株式にもとづく新株の発行により取得した株式

3 運用財産は、基本財産以外の資産とする。

(資産の管理)

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

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

(基本財産の処分の制限)

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

(経費の支弁)

第 9 条 この法人の業務遂行に要する経費は、運用財産をもって支弁する。

(事業計画及び収支予算)

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

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

(暫定予算)

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

2 前項の収入支出は、新たに成立した予算の収入支出とみなす。

(事業報告及び収支決算)

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

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

(長期借入金)

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

(新たな義務の負担等)

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

(会計年度)

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

第4章 役員及び評議員

(役員の種類)

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はならない。

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

5 理事及び監事は、相互に兼ねることができない。

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

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

(理事の職務)

第18条 理事長は、この法人を代表し、業務を統括する。

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

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

(監事の職務)

第19条 監事は、次に掲げる職務を行う。

(1) この法人の財産及び会計を監査すること。

(2) 理事の業務執行の状況を監査すること。

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

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

(役員任期)

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

2 役員は、再任されることができる。

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

(役員解任)

第21条 役員が次のいずれかに該当するときは、理事会及び評議員会において、それぞれ理事現任数及び評議員現任数の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。評議員現任数は、理事現任数以上であるものとする。

2 評議員は、理事会で選出し、理事長が任命する。

3 評議員及び役員は、相互に兼ねることができない。

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

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

(評議員職務)

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

(報酬等)

第24条 役員及び評議員は無給とする。

2 役員及び評議員には、費用を支弁することができる。

3 前2項に関し必要な事項は、理事会の議決を経て、理事長が別に定める。

第5章 会議

(機能)

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

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

(1) 事業計画及び収支予算の決定

(2) 事業報告及び収支決算の承認

(3) 不動産の買入れ又は基本財産の処分若しくは担保の提供

(4) 長期借入金についての事項

(5) 新たな義務の負担及び権利の放棄についての事項

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

(7) その他理事長が付議した事項

(招集)

第26条 会議は、理事長が招集する。

2 理事長は、理事現任数の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 会議は理事現任数又は評議員現任数の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っては、その旨を付記すること。）
 - (4) 審議事項及び議決事項
 - (5) 議事の経過の概要及びその結果
 - (6) 議事録署名人の選任に関する事項
- 2 議事録には、議長及び出席した理事又は評議員の中からその会議において選任された議事録署名人2人以上が、署名押印しなければならない。

第 6 章 選考委員会

(選考委員会)

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

(選考委員)

第33条 選考委員会は、6人以上9人以内の選考委員をもって組織する。

- 2 選考委員は、学識経験者のうちから、理事会で選出し、理事長が委嘱する。
- 3 選考委員の任期は2年とする。ただし、再任を妨げない。
- 4 第17条第3項の規定は選考委員について準用する。この場合において「理事」及び「理事現在数」とあるのは、それぞれ「選考委員」及び「選考委員現在数」と読み替えるものとする。
- 5 委員のうちには、この法人の役員及び評議員が2名を超えて含まれることになってはならない。

第 7 章 寄附行為の変更及び解散

(寄附行為の変更)

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

(解散)

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

(残余財産の処分)

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

第 8 章 事務局

(事務局及び職員)

第37条 この法人の事務を処理するために、事務局を設置する。

- 2 事務局には、必要な職員を置く。
- 3 職員は、理事長が任免する。
- 4 職員は有給とすることができる。
- 5 事務局の組織及び運営に関し必要な事項は、理事会の議決を経て、理事長が別に定める。

(書類及び帳簿の備え付け等)

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

- (1) 寄附行為
- (2) 役員、評議員及びその他の職員の名簿、役員の就任承諾書並びに履歴書
- (3) 過去3年度の各年度末の財産日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 18 年度事業実施状況

平成 18 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 931 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。

1. 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18年度募集テーマ A. 環境保全・再生、創出に関する研究 B. 災害と地域の環境問題に関する研究 C. 自然エネルギー活用に関する研究
2. 助成金額と件数 総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 500 万円程度 1 件あたり助成額 ・ ・ 50 万円以内 助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 10 件程度	総 額 ・ ・ ・ ・ ・ 200 万円程度 1 件あたり助成額 ・ ・ 100 万円以内 助成件数 ・ ・ ・ ・ ・ 2 件程度
3. 助成対象となる期間 平成 19 年 3 月 31 日まで	平成 19 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 19 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 18 年 5 月 1 日から平成 19 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 18 年 10 月 1 日から平成 20 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17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18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18年 4月18日(火)(必着)	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	4 2 件	1 2 件	6,800 千円
国際研究交流助成事業	1 2 件	4 件	800 千円
研究集会助成事業	4 件	4 件	1,200 千円
合 計	5 8 件	2 0 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	3 4 件	1 3 件	6,860 千円
国際研究交流助成事業	1 0 件	5 件	1,000 千円
研究集会助成事業	1 件	1 件	300 千円
合 計	4 5 件	1 9 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
	吉備交際大学	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

累計 (平成 10 年度～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	226件	99件	54,886.3千円
国際研究交流助成事業	94件	60件	11,722.2千円
研究集会助成事業	10件	9件	2,700千円
合計	330件	168件	69,308.5千円

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 岡山古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 (予定)

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



▲平成 18 年度 研究発表会の模様

平成 18 年度 環境研究助成報告

8. 平成 18 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
森野 真理	吉備国際大学 政策マネジメント学部	森林利用の分布特性と管理主体に注目した森林管理放棄の要因分析	20
比江島 慎二	岡山大学大学院 環境学研究科	瀬戸内海コンビナートと連携した新しい風力発電事業モデルの構築	28

②一般研究

助成対象者	所 属	研究テーマ	ページ
浅田 伸彦	岡山理科大学 理学部	絶滅危惧種メダカの生息環境と遺伝的多様性との関連に関する研究	34
小松 満	岡山大学大学院 環境学研究科	豪雨時の土砂災害に対する警告システムの構築に関する研究	45
西村 伸一	岡山大学大学院環境学研究科	ため池のリスク評価と信頼性設計	51
仁戸田 照彦	岡山大学大学院 自然科学研究科	環境低負荷型の病害虫防除のためのキチン分解酵素阻害剤に関する研究	57
中島 伸佳	岡山県立大学 保健福祉学部	石油資化性を有する海洋性細菌の熱帯海域からの探索と、「重油漏れ事故」等による環境汚染の防止対策への実用的応用	63
佐藤 豊信	岡山大学大学院 環境学研究科	中国地域の中山間における農村環境保全を考慮した遊休農地資源の保全・管理対策	68
金原 和秀	岡山大学 資源生物科学研究所	好熱性細菌 <i>Geobacillus</i> sp. JF8 の広い芳香族化合物分解能の解析と土壌汚染処理への応用	74
曾利 仁	津山工業高等専門学校 情報工学科	インテリジェント技術を用いた風速予測法開発の基礎研究	80
高橋 和成	岡山理科大学大学院 総合情報研究科	変形菌の種多様性からみた里山の環境評価－都市近郊から自然林における変形菌相の比較－	85
後藤 丹十郎	岡山大学大学院 自然科学研究科	環境汚染を回避するバラの閉鎖式養液栽培システムにおける簡易でかつ合理的な養水分管理技術の開発	95
山崎 慎一	岡山大学大学院 環境学研究科	リサイクル性に優れたセルフコンポジット型高強度・高耐熱性プラスチック材料の開発	101

森林利用の分布特性と管理主体に注目した森林管理放棄の要因分析

森野真理

1. はじめに

1-1. 我が国の森林

森林には多様な機能がある。建築・家財・書籍などの材としての機能はもちろんのこと、大雨後の洪水を防ぎ乾燥期にも流域に水をもたらす水源として、CO₂を固定することで地球温暖化を抑止する機能もある（堀 2003）。また森林は動植物に生活の場を提供する。その環境は人間にとっても、心休まる場として、あるいは観光地として機能する。このような多様な機能を持つ森林を保全することには大きな意義がある。

現在、日本の国土の67%は森林によって覆われているが、古代から現代まで、森林が連綿と維持され続けてきたわけではない。もともと日本は高温多湿で森林の多い地形であった。しかし18世紀の初めごろに森林の大規模伐採が全国規模で始まった（筒井 1985）。各藩の築城造営の材として、また急激な人口増加にともなう農地開発、燃料供給のために、森林資源が過剰採取されたのである。また、当時の農業に不可欠であった肥料を採取するために、多くの土地が草地化されていた。

各地で植林が始まるのは19世紀の後半、江戸末期から明治期にかけてである。森林資源の過剰採取により、各地ではげ山が広がり、自然災害も頻発していたことから、水害防止・土壌流出防止のための植林が行われた（筒井 1985）。まず、植林化されたのは、草肥以外の肥料の普及に伴い不要となった採草地である。選ばれた樹種は、成長が早く、用材としても有用なスギ・ヒノキが多い。また、採草地を意図的に放棄して雑木林にし、炭として販売するところも増加した。炭の需要が高い時代であり、百姓にとって重要な現金収入であったためである。ところが、20世紀前半の大戦争（日中戦争、太平洋戦争）によって植林事業は中断された。食糧増産や軍需物資の調達を目的とした資源の過剰採取によって森林破壊が進んだ。

再び造林が活発になるのは1960年代のことである。戦後復興期になり、住宅資材の需要が急増し、用材価格は急騰した。外貨準備金も少なく木材の輸入も困難だったこの時期、森林破壊と用材価格の高騰を背景に、拡大造林政策がとられ、全国各地に針葉樹が造林された。また、石油など、薪炭に替わる代替エネルギーの使用が始まり、薪炭用の雑木林は針葉樹林へと転換していった。拡大造林政策は、環境保全（水源涵養機能）と用材確保を両立させる政策として、国有林だけでなく、民有林においても補助金をもって推奨された（堀 2000）。こうして、わが国における森林の約4割は、針葉樹を主体とした人工林で占められるようになった（農林水産省大臣官房統計情報部 2002）。

ところが1960年代後半、高度経済成長期に入った日本は、海外から安い外材を大量に輸入するようになった。当時は、国産材も値上がりが続けたため、国内林業に対する影響は少なかった。しかし1985年のプラザ合意以降、国産木材は値下がりし始め、管理・製材費用などを考えると、木材を切り出すことで赤字になってしまう状況になった（遠藤 2002）。また、都市部での労働力需要の高まりに応じて農山村では過疎高齢化が進展し、林業に携わり得る若い人材が少なくなってきた（堀 2000）。人工林は適度な間伐を行わないと、下層植物が乏しくなり、生物多様性は損なわれ、また土壌も流出しやすくなる（山本 2003）。都市化の中で村外に転出した者、また土地バブルのときに投機的に山林を購入した者など、いわゆる不在村所有者の森林については、とくに管理が困難である（志賀 2001）。皆伐したあと再造林されずに放置された森林は、必ずしも天然更新するとは限らず、なにより良好な

木材資源を失うという経済損失が無視できない(堺 2003)。近年、経済発展を続けている中国で大量の木材消費が始まり、同国の木材輸出に歯止めがかかり始めたものの、日本が安い外材を海外から輸入している状況に大きな変化はない。結局、将来の収益を見込んで大量に植林された針葉樹林の多くが、将来の活用が見込まれることなく、管理放棄されてしまっているのが現状である。

1-2. 小規模林家の森林管理

森林の管理放棄の問題については、1990年代から盛んに論じられはじめ、なかでも再造林放棄、不在村所有者の問題が注目されてきた。その要因は、安い外材の輸入によって国産材が低迷し、経済的に不利益だから管理しないことが定説となっている。一方、森林所有者にとって、精魂こめて植林、管理してきた森林は、ただ金額で換算できるような資産ではない。森林とは、人々が関わってきた経験、または郷土や村社会に対する意識など、そうした無形の思いが組みこまれた資産である。実際に森林の施業を行う森林組合などの構成員も、ただお金になるから仕事に従事しているわけではない。林業に携わってきた誇り、村を守ろうという意識が森林管理に影響を及ぼしていると考えられる。たとえば佐藤(1998; 2005)、林・野田(2005)は、森林所有者の家意識・村意識が、森林管理に正の影響を与えることを示している。近年の傾向として、都会からのUターン、Iターン者などが林業に従事するようになってきた。彼らは都会の生活では感じられない、自然と接した職業への親近感から林業に携わっている(堀 2000; 志賀 2001; 上久保 2004)。製材会社のなかには、日本の森林を守りたいという気持ちで国産材を使っているものもある(遠藤 2002)。また森野(準備中)は、鹿児島県屋久島において、森林管理状況の比較的良好な地区とそうでない地区を比較したところ、管理状況の良し悪しには、各地区の産業構造における山仕事への依存度(山仕事以外の生業の有無)や、森林所有者と山仕事を行える施業者との地縁関係の有無などが寄与している可能性を示した。

ただし、管理を継続するモチベーションは、所有面積によって異なる。たとえば、野田・林(2003)は、熊本県林家に伐採後の再造林の可能性に質問したところ、大規模林家は管理に経済的に見込みがあるかどうかという回答だったのに対し、小規模林家では、経費がない・高齢で不可能という回答であった。つまり、所有規模によって森林を管理する目的は異なっている可能性が大きい。2005年農林業センサスによると、保有山林20ha未満の林業経営体(以下、林家と称す)が、全体の8割を占める。本研究では、林家の大多数を占める小規模林家に注目し、どのような条件があれば、小規模林家で森林管理が行われるのか、その問題特性を明らかにする。

1-3. 研究課題

本研究では、上記の問題について、3つの課題を設定した。研究対象地は、岡山県北に位置する西栗倉村とした。

課題1：小規模林家の森林管理放棄に関する要因特性の分析

森林の所有規模によって、林家の管理モチベーションが異なることが先行研究で指摘されている。しかし、これまで分析されてきた管理放棄の要因は、大規模山林の経営面の問題として扱われ、所有規模別に議論されてきたわけではなかった。本研究では、小規模林家に注目し、森林管理放棄に関する要因特性を分析した。

課題2：森林管理の将来像にもたらす管理主体の“よそ者観”の影響

森林管理には、森林ボランティアやIターン者など、現在さまざまな地域外部者の参入が試みられている。こういった“よそ者”を地域が受け入れるかどうかによって、森林管理の将来像にも影響が及ぶと考えられる。そこで、次に、森林管理主体が“よそ者”をどのように認識しているのか、その受容可能性について考察した。

課題3：森林利用の分布特性が森林管理に及ぼす影響

管理放棄される森林には、所有形態の歴史や立地条件などから、空間的な分布特性があると予想される。放棄されやすい空間的な分布特性が明らかになれば、重点的な対策が立てやすい。そこで森林

管理放棄の分布特性を分析することとした。

これら3つの課題から、小規模林家の森林管理放棄の問題特性について考察することを目的とした。

2. 方法

2-1. 対象地の概要：岡山県英田郡西粟倉村

まず、岡山県の森林管理状況について紹介する。図1に示すのが、2000年における市町村の森林率である。岡山県北部、ならびに西部が森林率の高いことが分かる。図2が、同じく2000年における各市町村の森林間伐林家率である。森林間伐林家率を管理水準の指標とした場合、岡山県北部地域で、比較的管理されていることがわかる。

われわれは岡山県北東部にある西粟倉村に着目した。同村は、林業で盛んな鳥取県智頭町に隣接し、また兵庫県とも隣接する位置にある。他の多くの岡山県市町村が2005～2006年に合併をしたのに対し、同村では合併が起らなかった。そのため継続的な資料があり、過去にさかのぼった調査も行きやすいと考えられる。

西粟倉村郷土史(1984)によれば、同村で林業が始まったのは江戸時代の安永年間(1772～1781)のこと、隣接する智頭地域から伝わってきたとされる。明治初期には、郡内最大の製糸工場経営者、豊福泰造が熱心に植林を行った。同村は、岡山県下でも特に森林率が高い地域で、現在、土地利用の95%を山林が占め、そのうち84%が人工林である。人工林は、戦後植林されたものが多く、昭和30年代に植えられた現在40年生ほどの若齢林が全人工林の6割を占める。

表1は西粟倉村における保有山林規模別林家数である(1970年までは西粟倉郷土史、1990年以降は世界林業センサスのデータを用いた。1町=1haとして計算した)。1960年から70年にかけて森林所有者の数が増加していること、特に保有山林面積が10ha未満である小規模森林所有者の数が倍増していることが分かる。これは、現在の所有形態は、多様な過程を経て決まってきたことを示唆している。

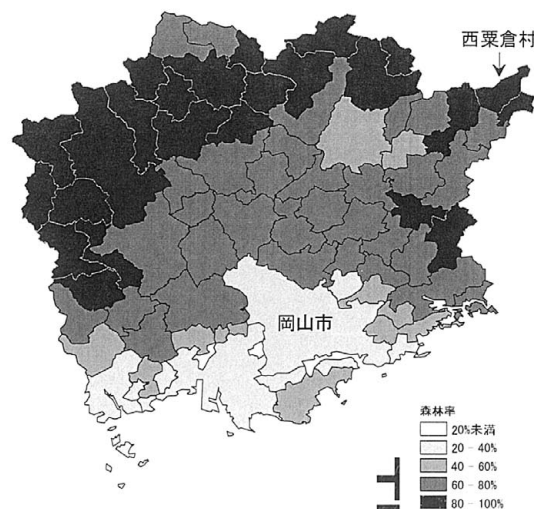


図1. 岡山県における森林率(%)
(農林水産省大臣官房統計情報部(2002)をもとに作成)

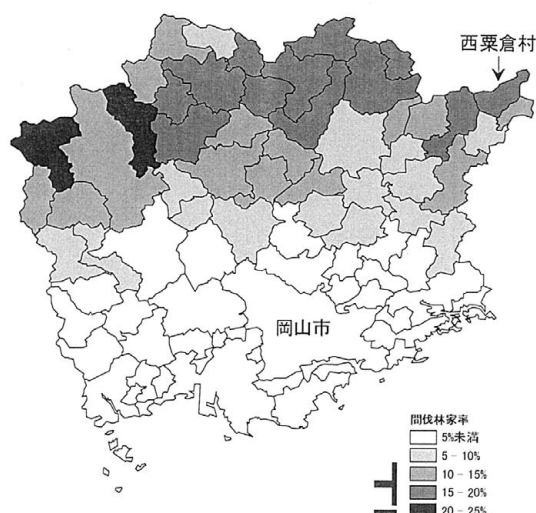


図2. 岡山県における森林間伐林家率(%)
(農林水産省大臣官房統計情報部(2002)をもとに作成)

表1. 西栗倉村の保有山林規模別林家数

調査年	1942	1960	1970	1990	2000
1-5 ha	151	134	255	210	190
5-10 ha	35	26	46	59	58
10-20 ha	18	18	28	24	21
20-30 ha	7	10	4	6	10
30-50 ha	3	6	7	5	3
50ha-	4	3	5	3	2
計	218	197	345	307	284

2-2. 調査方法

課題1および2については、現地での聞き取り調査を行った。まず、予備調査として、2006年8月22日、9月14~15日、10月24日に、西栗倉村役場、林業資料館、および木材加工業を営む木の里工房・木薫(もっくん)にて、林業関係者に同村の森林管理、林業の状況などについて聞き取りを行った。同村の林家が保有する山林規模は、全般的に小さい、2000年時点で10ha未満が9割弱を占める(表1)。そこで、本調査の聞き取り対象者を所有面積10ha未満の在村森林所有者とし、役場に依頼して48名を選出してもらった。なお、西栗倉村は12地区に分けられるため、地区の偏りがないうよう、各地区から無作為に4名が選出されている。2007年2月12日~2月24日に、選出された48名のうち調査の同意を得られた27名に、直接面談方式で聞き取りを行った。聞き取り内容は、所有林の元の土地利用形態、これまでの利用・管理状況、現在の森林管理における問題点、今後の森林管理に関する展望、などである。

課題3については、森林管理状況の変化をみるために、1950年代(1956, 1957年; 2.5倍伸, モノクロ)および2000年代(2004, 2005年; 2.0倍伸, カラー)に撮影された空中写真、森林計画図、および森林調査簿を利用した。空中写真については、林相、密度の判読によって、林相の変化、人工林の間伐状況の把握などを行うことを意図した。

3. 結果と考察

3-1. 研究課題1：小規模林家の森林管理放棄に関する要因特性の分析

(1) 森林の所有形態の変遷

西栗倉村の森林の所有形態は、近年大きく変化した。江戸時代は、津山藩主の支配下にあったが、明治維新後、部落林となる。1921年（T10）より部落林は村有の人会林となり、1960年（S40）代になると、化学肥料やLPガスなどの普及で採草地が不要になったため、人会林だった村有林は村民に払い下げられた。間取りにおいても、対象者の所有林のほとんどは、先祖から受け継いだ山林に加え、1960年代の採草地・薪炭備林の払い下げによって個人分割された山林であった。表1において、1970年以降林家数が急増した背景にはこのような理由があったといえる。

(2) 森林管理の現状と問題点

個人有林への植林は、1960年ごろから、現在の所有者またはその父親を主体に行われた。植林後の管理として、下刈り、つるきり、枝打ち、間伐が行われてきた。聞き取りを行った林家のうちほとんどが、自ら森林管理を行ってきたことがわかった。その一方、少数ではあるが、自らは山にはほとんど入らず、業者や森林組合に管理を委託してきた林家もいた。

ただ、これまで森林管理をしてきた林家の半数以上が、最近山に足が遠のいている現状を語った。また自らは所有山林の境界を知ってはいるものの、自分の子供は山の境界を知らない、子供は山に関心がない、という林家が多くを占めた。自ら森林管理を行ってきた林家のほうが、山への想いは強い。これまでの投資に見合わない現状に対し、悔しい思いを述べられた方が多数おられた。管理放棄のきっかけとなる主な要因は次の4点であった。

<木材価格の低迷>

林家が、最近になって山の管理をしなくなった理由として最も多く挙げられていたのは、木材価格の低迷である。昔は間伐材も、樹齢や生育状況に応じた多様な需要があり、子供の進学などで資金が必要になったときには、木を伐って工面することができた。また、所有林の木で家を改築・新築することができた。ところが現在では木材価格が低迷し、材の搬出まで行くと、かえって赤字になる。そのため、山に関わる甲斐がなく、放置しておくのが費用もかからず、水土保持にもなるという感想を、多くの方がもらしていた。木材価格の低迷には、安い外国産材の輸入がある。国産材がふたたび使われるようになることを、多くの林家が切望している。だが、国産材が再び使われる可能性については、悲観的な展望をもっている林家がほとんどであった。また、全般的な木材価格の低迷以外に、植林時の苗の不適性を指摘された林家も多かった。

<台風による風倒木被害>

2004年に岡山県をおそった台風による風倒木被害が、多くの林家に深刻な影響をもたらしている。それまでは森林管理をしていたものの、風倒木被害ですっかりやる気をなくした、という林家が多数いられた。行政の補助金で風倒木処理をするにしても、再造林をしなければならないなどの条件がある。だが、また新たに植林からはじめ、森林管理をする意欲がない、という林家も多数あった。

<獣害>

獣害が森林管理におよぼす深刻な影響について感想を述べられる林家が相当数いた。特に問題なのがクマとシカである。4、5年前から、山を歩いているとクマに出くわすかもしれない。恐ろしいので最近山には行かないという林家が、これまでの山仕事の経験が豊富か否かにかかわらず、多くおられた。また、岡山県の政策方針で、クマの有害駆除ができず、捕獲放獣をしている現状について不満

をもらす林家も多かった。

シカについては成木のヒノキの食害、植林後の苗木の食害がひどいようである。ヒノキの幹がシカに齧られて枯れてしまう、新たに植林しても実生を鹿に食べられてしまうと、鹿の害が林業に及ぼす影響を、多くの林家が述べていた。

〈後継者問題〉

企業体ではない小規模林家であるゆえに、跡継ぎ問題も深刻であった。聞き取りを行った多くの林家が、自分の山林を自ら管理するのは、自分の代までであると感じている。自分の子供は山に関心がない。そこで、森林組合や行政に、森林管理を委託する必要がある、あるいは、自分の山を行政に買い取ってもらいたいと言う林家も少なからずいた。と主張する林家もいた。植林してから主伐できるようになるには長い時間がかかり、そのためには世代を超えた森林管理が必要である。ところが今は、親の仕事を子が受け継ぐとは限らない。「子供は山に関心がない」という言説が、まさに小規模林家の構造的な問題を指し示している。

村の過疎高齢化も、現代の森林管理の難しさに結びついている。小規模林家で管理できない所有林は、組織や専門職に委託する必要がある。だが、森林管理にたずさわる人間も高齢化している。村が過疎高齢化することで、森林管理を含めた仕事が山村からなくなっていくことへの不安を、幾人かの方が述べられていた。

(3) 小規模林家の管理放棄に関する要因特性

対象地の個人有林で植林が始まったのは、ほとんどが1960年代以降であり、現在、人工林の樹齢は40～50年生である。そのため、大半がまだ主伐を行っていない。したがって、今回の対象地において管理放棄とは、再造林放棄ではなく、主に保育面の管理を続けなくなることである。今回の聞き取りから、経済的な価値の低迷は、小規模林家においても管理放棄の大きな要因となっていた。また、後継者不足、境界不明、管理主体の高齢化などの要因は、先行研究と共通する。

こういった理由に加え、台風の倒木被害や獣害を受けた場合、管理の継続が困難になるという特徴が示された。倒木被害や獣害については、小規模であるがゆえに、被害の処理や対策をとるだけの経済力が弱く、放置しておくことが最もコストがかからないという理由で、管理をやめてしまう場合が多かった。特に近年頻繁になってきたクマの出没は、森林管理に意欲的な林家にとっても脅威であり、管理放棄の大きな要因となっていた。これらの小規模林家の特性を考えると、大規模山林と同列の扱いでは、問題解決につながらないと予想される。管理が続けられるためには、単に植林・保育への助成をするだけでは不十分である。災害時、または災害予防のための公的な支援強化が必要であろう。

小規模林家では、山林の位置づけも、大規模林家とは異なっている。対象地では、不適切な苗が多くの場所で植えられていたことや、不適地への植林が多数あったことから、経済価値の高い用材生産としては、技術的に未熟であった面が否めない。小規模な森林所有者のほとんどが1960年代に山主になっており、森林管理についての技術は蓄積されていなかったこと、そして、農業から林業へ転換したわけではなく、森林管理はあくまでも農業の傍ら、あるいは仕事の休日にできる範囲であった。つまり、植林の際、成木時に換金できることは期待されていたが、林業として経営することはもともと想定されておらず、あくまでも臨時収入源として位置づけられていた。そのことが、大規模林家に比べ、容易に管理放棄される要因となっていると考えられる。聞き取りでは、「山頂まで植林をしすぎた」という感想をもらす林家が多数いた。スギ・ヒノキの植林は山の6～7合目ぐらいまでにして、そこから上は雑木林にしたほうが良いのではないか、という共通した見解がみられた。管理主体の高齢化と後継者難にともない、個人で管理可能な範囲が今後かなり限定されることを考えれば、管理が困難な森林については、行政による買取りや組織的な管理が求められるだろう。また、小規模林家の山林が基本的に家族で管理できる範囲の臨時収入源として位置づけられていることから、成木だけでなく、保育の各段階で何らかの収入が発生する、多様な用途の再開拓が必要であるだろう。

3-2. 研究課題2：森林管理の将来像にもたらす管理主体の“よそ者観”の影響

(1) 管理主体の”よそ者”に対する意識

今回の聞き取りより、小規模林家の森林管理の問題は、山村崩壊の問題でもあることが示唆された。管理の担い手や集落の維持に、村民の力だけで対応できない場合、よそ者の受け入れ可能性について考える必要がある。対象地では、農業をめざす若手のIターン者が何人か村内に住居している。また、同村出身者(30代)が中心となり、村内の森林を利用し、材の切り出しから製材、デザイン加工までを手がける木工加工所(もっくん)が2006年に立ち上げられている。この加工所には同村の若者や他府県からの技術者、デザイナー、林業への就業希望者などを社員として運営されている。そのほか、同村出身のUターン者を中心とする森林ボランティアのグループもある。このグループは、放置される植林地を雑木林に転換する活動をしており、構成員は、同村の出身者に加え、活動主旨に共感する他府県の一般市民である。こういったIターン者、新規参入者、ボランティアに対し、林家はどのような意見をもっているのか、聞き取りの内容から分析した。

(2) 森林管理における“よそ者”の位置づけ

小規模林家の中でも、森林管理を積極的に関わってきた人、村外で暮らした期間が長く森林管理をほとんど行ってこなかった人、または最近になって森林管理を始めた人など、様々な方がいた。だが、よそ者に対しては、以下のように否定的・悲観的・慎重な意見を持つ人が多かった。

「山仕事はいろんな作業をする。学校で少し習ったからって、そう簡単にできるものではない。」

「もっくんは、どこまで続くかな？」

「よほど経済的な基盤がしっかりしていないと、若い人は林業をやりたがらない。」

「いまの若い者は山仕事にまったく関心がない。」

一方、よそ者に対して、次のような肯定的・楽観的・積極的な意見もあった。

「よそから来て、百姓や畜産をして暮らしている人がいる。そういうのが10組もくれば万々歳だが。」

「もっくんの発想はすばらしいと思う。ああいう取組みを村でもっとバックアップしていくべきだ。」

「水源涵養林を作るための伐採ボランティアをやっている。行政にできないことはボランティアで補うしかない。」

「若い者が、長老に技術を学んで、いまでは立派な林業者になった。」

このように、よそ者に対する意見は林家間でさまざまであったが、否定的・肯定的な意見に二分すると、次のような特徴がみられた。まず、よそ者に否定的な意見は、若いころからずっと自分で森林管理を行ってきた人、村外で生活したことがほとんどない人に多い。山仕事・田舎暮らしの辛さや現実を細かい点まで知り尽くしていることから出てきた意見と考えられる。一方、よそ者に肯定的な意見は、最近になって農林業を始めた人、若いころは村外で生活(一次産業以外に就業)していた人に多かった。つまり、外から村を見る視野を持っていることから出てきた意見と考えられる。

(3) 村民の構成と開かれたコミュニティの可能性

以上の結果に基づき、村民は図3に示す3タイプに分類することが可能である。村民の中核を占めるのが、村でずっと暮らしてきた住民である。村の政治、また非公式の各部落における人間付き合いにおいて、主導的な役割を果たすのは、このタイプの住民である。その外延に居るのが、一旦村外で生活した後、村に戻って山仕事を開始したUターン者である。生まれた場所は西粟倉村であるため、全くのよそ者ではないが、村の政治で主導的な役割を果たすことは稀である。そして他府県から村に移住してきたIターン者や、時的にやってくるボランティアがその外部に位置する。彼らは、たとえ西粟倉村に住民票を移していたとしても、多くの村民からはよそ者と見られる。

Iターン者・ボランティアなどのよそ者に対して肯定的な意見を持つのは、ずっと村で暮らしてきた村民ではなく、Uターン者などの準住民とよべる村民だった。またUターン者などの準住民は、完全なよそ者であるIターン者・ボランティアに比較すれば、村でずっと暮らしてきた村民との人間付き合いが多く、村の政治に関わる可能性も高い。つまり、Uターン者などの準住民が、昔から村に暮らしてきた住民とよそ者をつなぐ、つまり準住民がよそ者の受容可能性の鍵を握っていると考えられるのである。

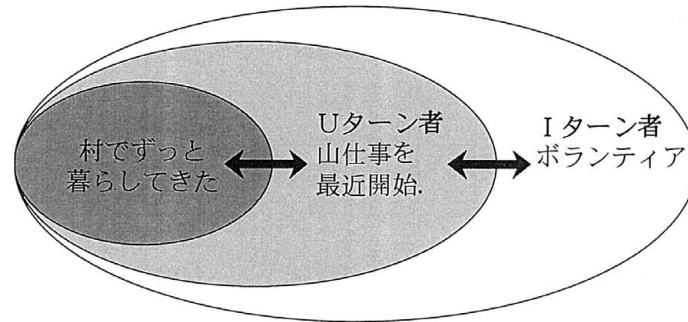


図3. 村民の構成

3-3. 研究課題3：森林利用の分布特性が森林管理におよぼす影響（今後の課題）

管理放棄される森林には、所有形態の歴史や立地条件などから、空間的な分布特性があると予想される。聞き取りより、小規模林家の所有林のほとんどが、1960年代以降、採草地や入会林の払い下げによるものであることが明らかになった。採草地や入会林は、基本的に各部落の居住地からアクセスしやすい場所にあるが、傾斜や水分・日照条件等については、必ずしもスギ・ヒノキの管理に適しているわけではない。本研究の課題3として、小規模林家の所有林の分布特性と管理状況との関連を分析することとしたが、現時点で、データの収集にとどまっており、今後の課題としたい。

引用文献

- 遠藤日雄 (2002) スギの行くべき道. 全国林業改良普及協会.
- 林雅秀, 野田巖 (2005) 森林所有者の施業意識とその形成要因について：熊本県におけるアンケート調査結果から. 林業経済研究 51: 1-9.
- 堀靖人 (2000) 山村の保続と森林・林業. 九州大学出版会.
- 西栗倉村史編纂委員会 編 (1984) 西栗倉村郷土史 前編. 西栗倉村.
- 野田巖, 林雅秀 (2003) 再造林放棄林分の発生要因に関する解析 (I)：森林の所有規模、立地条件に着目した考察. Kyushu Journal Forest Research 56: 36-41.
- 農林水産省大臣官房統計情報部 編 (2002) 2000年世界農林業センサス 第1巻 岡山県統計書 (林業編). 農林統計協会.
- 堺正紘 (編著) (2003) 森林資源管理の社会化. 九州大学出版会.
- 佐藤宣子 (1998) 宮崎県耳川流域における林家の存在形態と森林管理問題. 林業経済研究 44: 3-10.
- 佐藤宣子 (2005) 山村社会の持続と森林資源管理の相互関係についての考察. 林業経済研究 51: 3-14.
- 志賀和人 (編著) (2001) 21世紀の地域森林管理. 全国林業改良普及協会.
- 筒井迪夫 (1985) 木と森の文化史. 朝日新聞社.
- 上久保達夫 (2004) 農山村地域生活者の思想：事例による実証的研究. 御茶ノ水書房, 東京.

研究レポート

瀬戸内海コンビナートと連携した新しい風力発電事業モデルの構築

比江島 慎二
Shinji HIEJIMA^{*1}

^{*1} Associate Professor, Graduate School of Environmental Science, Okayama Univ., Tsushima-Naka 3-1-1, Okayama 700-8530, Japan, E-mail: hiejima@cc.okayama-u.ac.jp

Abstract

The Seto Inland Sea is an appropriate place for offshore wind power generation due to the features of its vast shallow waters, numerous islands, calm waves and so on. In this study, offshore wind power potential in the Seto Inland Sea is estimated based on the wind prediction data of LAWEPS, and most appropriate sea areas for offshore wind power generation are extracted considering the constrained conditions such as wind speed, water depth, national parks and ship lanes. Many industrial complexes are developed at the coastal areas in the Seto Inland Sea. If hydrogen gas is produced by wind power generation at offshore areas of the complexes, the gas can be utilized at the complexes and the irregularity of wind power generation due to weather conditions can be stabilized. This new wind power generation system could be more efficient than the conventional system based on the connection to the power grids. Then offshore wind power potentials around several complexes are also estimated by using LAWEPS system and GIS analysis.

キーワード：洋上風力，コンビナート，水素エネルギー，瀬戸内海，LAWEPS

Key Words: Offshore wind power, Industrial complex, Hydrogen energy, Seto Inland Sea, LAWEPS

1. はじめに

陸上に比べて風況が極めて良好な沖合洋上での風力発電（洋上発電）は膨大なエネルギー埋蔵量から注目され、ヨーロッパを中心に導入が進んでいる。洋上風力は、四方を海に囲まれ、ロシアにつぐ世界第2位の海岸線総延長を有するわが国においても、無尽蔵で純国産の石油代替エネルギーとして大いに期待されるが、洋上風車を設置可能な浅海域が少ないことなどから、その膨大な風力エネルギーが手つかずの状態にある。

ところで、瀬戸内海地域は風が弱く、風力発電には適さないと以前から考えられてきた。しかし、洋上に目を向ければ、平均30mの浅い水深、洋上と同等な風況が期待できる700以上の島々、穏やかな波、規則的な海陸風、台風や地震などの自然災害が少ないなど、わが国の中でも特に洋上風車の立地に適した環境を有している。われわれはこのような特長を生かして大規模な洋上発電基地を瀬戸内海に構築し、クリーンエネルギーの生産拠点にするとともに、その電力を利用した海の水質浄化や大規模養殖、風車基礎部での魚礁構

築や藻場の再生、海水の電気分解による水素製造、渇水時に備えた海水淡水化など、風力発電を二次的に利用することによって「里海」としての瀬戸内海の再生と沿岸地域の産業活性化を目指した「瀬戸内海洋上ウインドファーム構想」¹⁾を提唱している。

また、瀬戸内海沿岸には工業地帯やコンビナートが連なり、化石資源に依存する大量のエネルギー消費によって多量の二酸化炭素が排出されている。また、コンビナートは水素の大消費地でもあることから、洋上風力で海水の電気分解により水素を製造すれば、化石資源に代わるエネルギー源や工業原料としてコンビナートで利用でき、地球温暖化防止だけでなく、なかなか普及が進まない水素社会の実現も期待できる。同時に、水素を介することによって、気象条件による不安定な変動が弱点である風力エネルギーの安定的供給および効率的利用が可能になるとともに、隣接するコンビナートとの連携によるエネルギー地産地消システムの構築によって、従来の系統連系方式よりも効率的な、わが国独自の風力発電事業モデルになる可能性がある。

本研究では NEDO の公開する局所風況予測システム LAWEPS²⁾の風況データから瀬戸内海洋上の風力発電賦存量を試算するとともに、年平均風速、水深、国

^{*1} 岡山大学大学院環境学研究科准教授（〒700-8530）
E-mail: hiejima@cc.okayama-u.ac.jp

立公園、航路など、洋上風車設置に関わる様々な制約条件を考慮することによって、より現実的に洋上発電に適した海域やコスト面で有利な海域を明らかにする。さらに、コンビナートと連携した新しい風力発電事業方式の可能性を探るため、いくつかのコンビナート地域に特化して、風力発電賦存量や水素製造可能量などについてより詳細に検討する。

2. 瀬戸内海における風力発電賦存量と発電適地

瀬戸内海洋上における発電適地を明らかにするため、瀬戸内海洋上とその島嶼部、および海岸線から1km以内の本土側の陸地を対象として、NEDOが公開するLAWEPS風況データ(3次領域)を元に風力発電賦存量を試算する。具体的には、図1の出力特性を有する定格出力600kWの中型風車、および1500kW、2500kWの大型風車を想定して、LAWEPS風況マップの地上70m高さのワイプル係数 k 、 c を用いた風速出現率から風車1基あたりの年間発電量を算出する。520m間隔で風車を設置すると仮定し、その総和により瀬戸内海洋上の総発電量を求める。

さらに、水深、年平均風速、自然公園、航路などの風車設置に関わる制約条件を考慮し、GIS解析によって風力発電に適した海域を絞り込む。GIS解析において、水深は日本海洋データセンターの公開する500mメッシュ水深データ、自然公園は環境省自然環境局生物多様性センターの自然環境情報GIS第二版データ、航路は国土交通省の公開する国土数値情報をそれぞれ用いた。また、コスト採算性の観点から、設備利用率について検討するほか、洋上発電の導入コストで大きなウェイトを占める風車基礎構造の建設費から見た発電コストについて検討した。

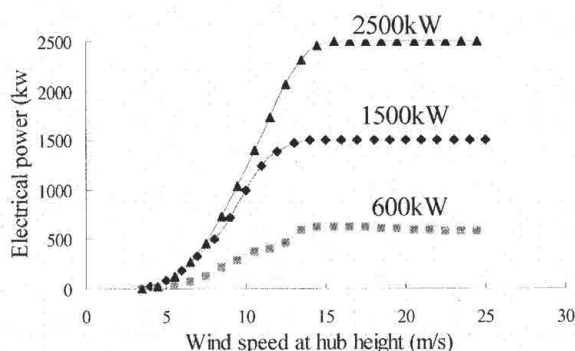


図1 想定した風車の出力曲線

2.1 発電量の試算

1500kW風車を想定したときの瀬戸内海全体の総発電量の試算結果、ならびに水深、年平均風速、自然公園、航路の各条件をもとに対象海域を絞り込んだとき

の発電量の試算結果を表1に示す。なお、水深については海中の風車基礎建設が比較的容易な水深として「20m以下」と「30m以下」の二つの条件、年平均風速は採算性の観点から「5m/s以上」と「6m/s以上」の二つの条件、風車設置に規制のある自然公園は「特別保護地区」、「第1,2,3種特別地域」および「普通地域」、航路は「法定航路」、「開発保全航路」、「推薦航路」を考慮した。また、表1には2003年度の中国電力の年間販売電力量55.4TWhに対する各ケースの発電量の比率も示している。図2には、表1の代表的なケースについて、瀬戸内海における年間発電量の分布を色の濃淡で示すとともに、制約条件を満たす海域だけを発電量の色を残して示している。

表1 年間の風力発電量の試算(1500kW風車)

No	水深(m)	風速(m/s)	自然公園	航路	発電量(TWh)	中電電力量比(%)
1	—	—	—	—	247	445.4
2	—	—	—	有	244	441.0
3	≤30	—	—	有	143	257.5
4	≤30	≥5	—	有	107	193.5
5	≤30	≥5	特保	有	107	193.4
6	≤30	≥5	特保,1種	有	107	193.4
7	≤30	≥5	特保,1,2種	有	105	190.9
8	≤30	≥5	特保,1,2,3種	有	105	190.0
9	≤30	≥5	特保,1,2,3種,普	有	70	127.4
10	≤30	≥6	—	有	47	84.3
11	≤30	≥6	特保	有	47	84.3
12	≤30	≥6	特保,1種	有	47	84.2
13	≤30	≥6	特保,1,2種	有	46	83.8
14	≤30	≥6	特保,1,2,3種	有	46	83.5
15	≤30	≥6	特保,1,2,3種,普	有	43	76.9
16	≤20	—	—	有	113	203.2
17	≤20	≥5	—	有	82	148.4
18	≤20	≥5	特保	有	82	148.4
19	≤20	≥5	特保,1種	有	82	148.3
20	≤20	≥5	特保,1,2種	有	81	145.8
21	≤20	≥5	特保,1,2,3種	有	80	145.0
22	≤20	≥5	特保,1,2,3種,普	有	56	100.3
23	≤20	≥6	—	有	35	63.5
24	≤20	≥6	特保	有	35	63.5
25	≤20	≥6	特保,1種	有	35	63.4
26	≤20	≥6	特保,1,2種	有	35	63.0
27	≤20	≥6	特保,1,2,3種	有	35	62.7
28	≤20	≥6	特保,1,2,3種,普	有	32	57.5
29	—	≥5	—	有	205	369.7
30	—	≥6	—	有	115	206.7

表1において、制約条件を全く課さないNo.1のケースでは年間発電量247TWhとなり、想定した風車のもとでは、瀬戸内海全体で中国電力の年間販売電力量の4倍を超える膨大な風力エネルギーが未利用エネルギーとして埋蔵されていることになる。No.1のケースを図2で見ると、瀬戸内海西部の関門海峡から豊予海峡に至る周防灘・伊予灘一帯や東部の淡路島・鳴門付近一帯に風況が良好で、発電量の多い海域が広がる。

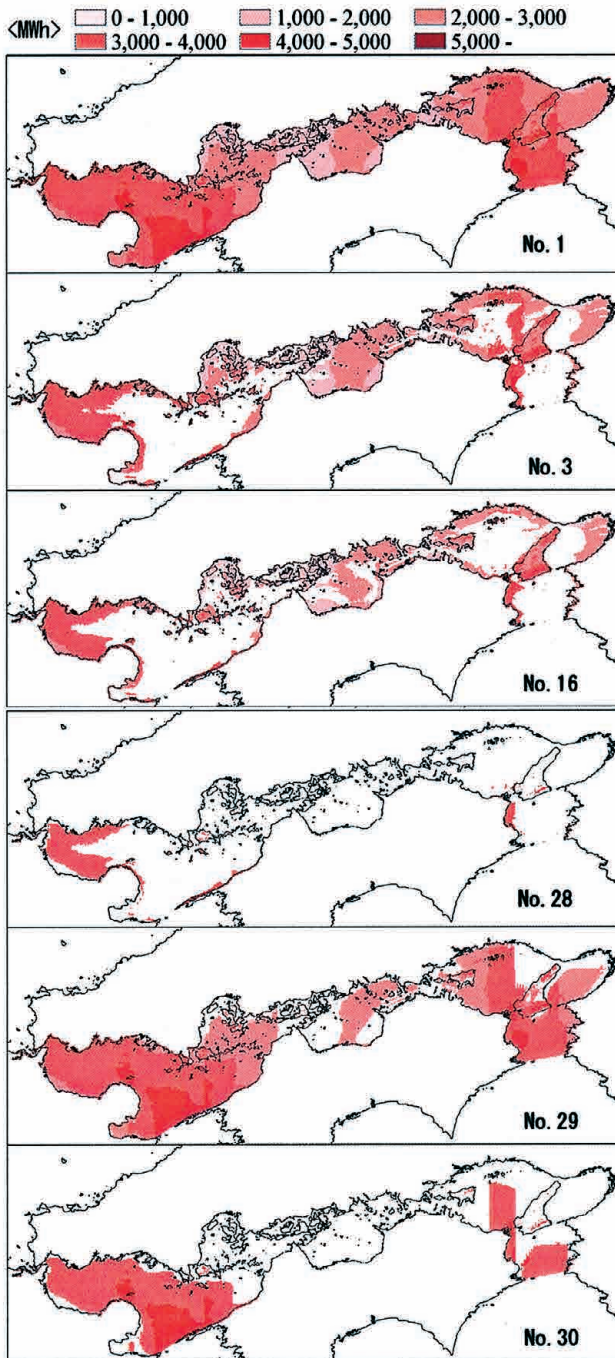


図2 制約条件から抽出した発電に適した海域

洋上風車の設置で重要条件となる水深の浅い海域については、No. 3 の水深 30m 以下および No. 16 の水深 20m 以下の条件下での発電量は、それぞれ No.1 のケースの 6 割および 4～5 割程度に減少する。しかし、いずれも中国電力の年間販売電力量の 2 倍を超えており、着底型の基礎構造の建設が容易な浅海域だけでもかなりの風力エネルギーが存在するのが分かる。

年平均風速の条件については、5m/s 以上の条件を満たす No.29 の海域は全海域の 7 割程度が該当するの

に対し、No.30 の 6m/s 以上の条件になると逆に 6～7 割程度の海域が対象外となる。表 1 の発電量では両条件の間で 1.8 倍近い差がある。図 2 ににおける No.29 と No.30 のそれぞれの該当海域の比較から、特に瀬戸内海の中央付近や大阪湾付近の海域に年平均風速 5m/s 台の海域が広く分布しているのが分かる。すなわち、瀬戸内海に広く分布するこれら 5m/s 台の風力エネルギーをいかに有効活用するかが重要なポイントになると言える。

ところで、瀬戸内海中央付近の海域には自然公園として瀬戸内海国立公園が広がり、特に年平均風速 5m/s 台の海域とは重なる部分も多く、十分に配慮しなければならない。しかし、これらの国立公園の大部分は風車設置の規制が比較的緩い普通地域であり、規制の強い特別保護地区、第 1, 2, 3 種特別地域はごくわずかである。また、航路は線状に分布するため、全体の発電量にはほとんど影響がない。

最も制約条件を厳しくした No. 28 のケースでは、図 2 に示すようにほとんどの海域が対象外になってしまうが、それでも表 1 に示すように中国電力の年間販売電力量の 6 割近くを賄える。総合的に見ると、瀬戸内海国立公園に属さず、低水深・高風速の広大な海域が広がる関門海峡近くの周防灘一帯が洋上発電に極めて有望である。

2.2 設備利用率および基礎構造に関する発電コスト

図 1 の定格出力 600kW, 1500kW, 2500kW の各風車を想定して試算した年間発電量と設備利用率の分布を図 3, 4 に示す。全体的に見ると、総発電量は 600kW, 1500kW, 2500kW の順で大きくなるが、設備利用率では 1500kW 風車が最も高く、次いで 600kW, そして 2500kW が最も低い傾向となる。これは、図 1 に示すように、定格出力に対する低風速域での出力性能において、1500kW 風車が他の風車よりも相対的に性能が高いのが要因である。風車の規模が大きいくほど発電量は大きくなる傾向があるが、規模が大きすぎると過大な設備投資となってしまうので十分注意する必要がある。その地域の風況特性に適した規模・性能の風車を採用することが重要である。

また、海域別に見ると、風況の良い周防灘・伊予灘や淡路島・鳴門付近に設備利用率 20～30% を超える海域が広がっている。一方、国立公園と重なる瀬戸内海中央部付近は風が弱いので 10% 未満の海域が多く見られる。

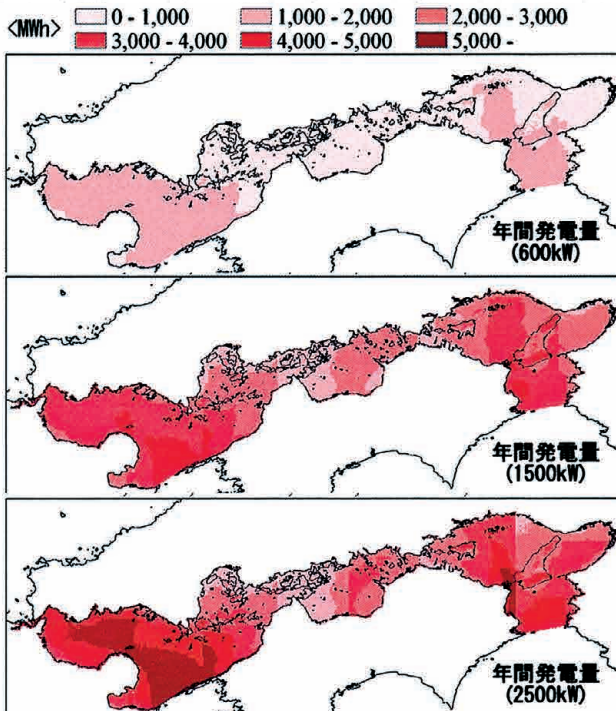


図3 風車規模による年間発電量の比較

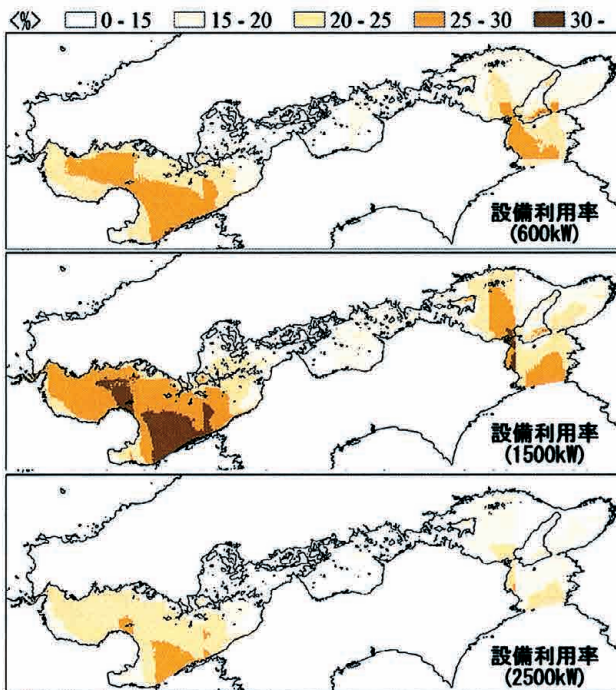


図4 風車規模による設備利用率の比較

次に、洋上発電の導入コストで大きなウェイトを占める風車基礎構造の建設費から見た発電コストについて検討した。まず、風車1基あたりの基礎構造の建設費を水深の関数として見積もり、各地点の水深をもとに基礎構造建設費を算出する。そのときの積算条件を表2に示す。得られた基礎構造建設費をその地点の風車1基あたりの年間発電量で除することによって基礎

構造に関する発電コストを求めた。なお、水深0m～30mの海域をコスト算定の対象とし、水深30mよりも深い海域は着底型基礎の建設が困難なため除外した。風車基礎の形式は水深や地盤の変化を選ばず最も安価で現実的な工法である組杭式を想定している。組杭式は海外における実績は乏しいが、国内初の洋上風力発電の基礎形式に採用された実績があり、杭本数の増加により比較的大水深・軟弱地盤に適用可能である。

表2 洋上風車基礎の積算条件

基礎形式	組杭式
風車	総重量 1677kN, ハブ高さ 60m
杭	鋼杭 9本
ブーティング	1辺長 10～12m, 厚さ 2m
設計波高, 周期	7m, 14sec
土質	砂質土
設計震度	風車基礎 0.16, 風車本体 0.13
暴風時設計風速	34m/s
海上運搬距離	5km
建設用船舶	起重機船(D35～45t吊), 揚揚船(D5t吊), 引船(D450, D500PS), 台船(300t, 700t積), 潜水士船(D70PS3～5tウインチ付), 杭打船(H-125)

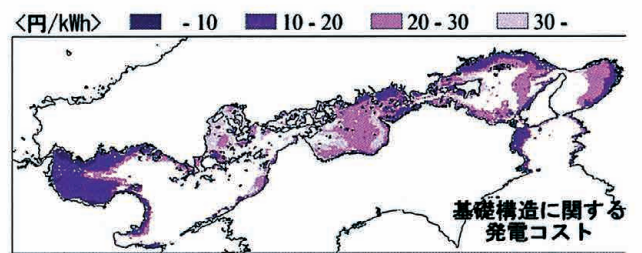


図5 基礎構造に関する発電コスト (1500kW 風車)

1500kW 風車を想定したときの瀬戸内海全域における基礎構造に関する発電コストの分布を図5に示す。やはり、風況が良く水深も浅い関門海峡近くの周防灘一帯のコストが低いのが分かる。特に、関門海峡付近から山口県宇部市に至る海岸線に沿った海域の発電コストが低いことが明らかになった。一方、四国西端の佐田岬北部に広がる伊予灘は隣り合う周防灘とともに風況の極めて良い海域であるが、水深が30mを超えるため対象外となっている。しかし、佐田岬の陸地の風況は極めて良く、すでに多数の風車が稼働している。また、やはり風況が良い四国東端の鳴門南部沿岸付近も発電コストが低い。さらに、風況がそれほど良いわけではないが水深の浅い海域が広がる兵庫県沿岸や大阪湾沿岸、岡山県水島コンビナートから広島県福山コンビナートにかけての海域とその対岸の四国沿岸付近において発電コストが低くなっており、適切な規模の風車を用いれば採算面で有利になる可能性がある。

3. コンビナートと連携した洋上発電の可能性

瀬戸内海沿岸には多くのコンビナートが連なるが、そのうち宇部、周南、水島（図 6）を対象として、コンビナート沖合の洋上を含む東西約 10km、南北約 30km の領域の風力発電賦存量を解析した。発電量試算には LAWEPS 工学モデル 4 次領域の地上 70m 高さにおける風況解析の結果を用いた。

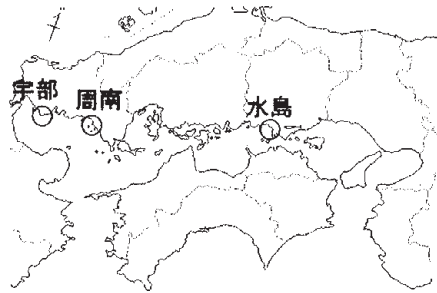


図 6 検討対象のコンビナート

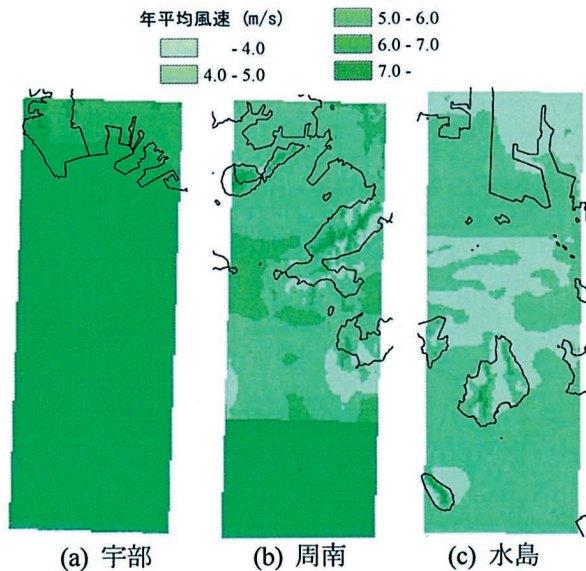


図 7 各コンビナート周辺の年平均風速

各コンビナート地域の地上 70m 高さの年平均風速の分布を図 7 に示す。宇部が最も風況が良く、全領域で 5m/s 以上、洋上ではおよそ 6~7m/s となっている。周南は比較的土地の起伏が激しいため、陸地付近では 4m/s 以下から 7m/s 以上の広い範囲で風速が分布し、沖合では 6~7m/s の地域が広がっている。水島はほとんど 5m/s 以下の低風速地域である。

次に、図 1 の 1500kW 風車を想定して年間発電量を試算した結果を図 8 に示す。年間発電量は風速分布の傾向と一致した分布性状が見られる。500m 間隔で風車を設置したと仮定し、沿岸から 15km 以内の島嶼部を含む洋上の年間総発電量を試算した結果が表 3 である。やはり風況の良好な宇部の発電量が多い。表 3 に

は発電電力を水素に変換したと仮定したときの水素製造可能量について、工業生産での水素副生能力が全国一である山口県の水素供給可能量（約 8.9 億 Nm³/年³⁾に対する比率も示している。実際には、水の電気分解による水素変換効率を考慮すればこれより低い値になるが、変換効率を 50% としても、宇部と周南だけで現在の山口県の水素供給可能量に匹敵する。なお周南では、図中で山頂付近の風況が良好な大島半島はこの試算に含めていないため、これを含めればさらに大きな発電量、水素量が得られることになる。

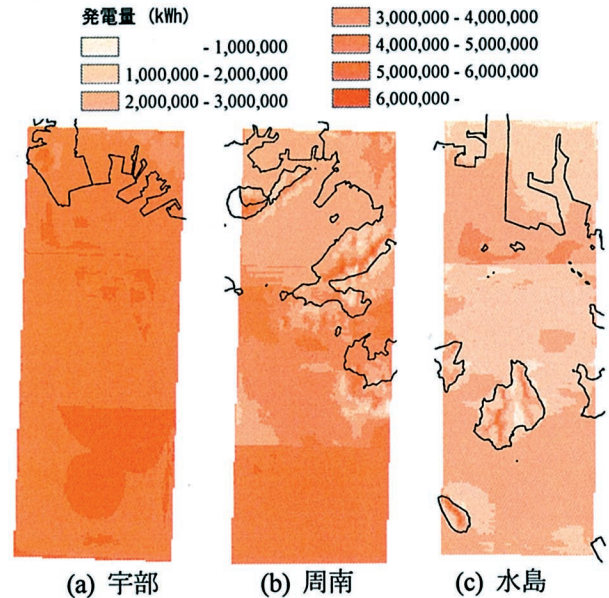


図 8 各コンビナート周辺の年間発電量(1500kW 風車)

表 3 沿岸 15km 以内の年間総発電量と水素換算量

	宇部	周南	水島
発電量 (GWh)	3140	2082	1429
水素換算量 (%)	118.1	78.3	53.7
風車台数	644	628	711

図 9 の設備利用率では、宇部は全域で 20% を超え、ほとんどが 30~40% を示し、一部で 40% を超える。周南は陸地の起伏の影響により半島の山頂付近に 30% を超える地域が連なり、その一部では 40% を超えるが、多くは 20~40% で、沖合では 30~40% となる。水島ではほとんどが 20% を下回り、10% 以下の場所も見られることから、低風速における発電効率がより高い風車を採用するのが望ましい。

洋上風車設置において重要条件となる水深の分布を図 10 で見ると、宇部はおよそ 30m 以下の水深が広く分布しており、沿岸から 5km 程度であれば 10m 以下の低水深の場所も広がっている。周南は沿岸で 20m 以下であるが、風況の良い沖合では大部分が 30m を超え

てしまい、風況と水深がトレードオフの関係にある。水島はほとんどが20m以下であり、3つのコンビナートの中では最も低水深の海域が多い。しかも島も多いため、洋上風車建設の面では有利な条件を備えている。

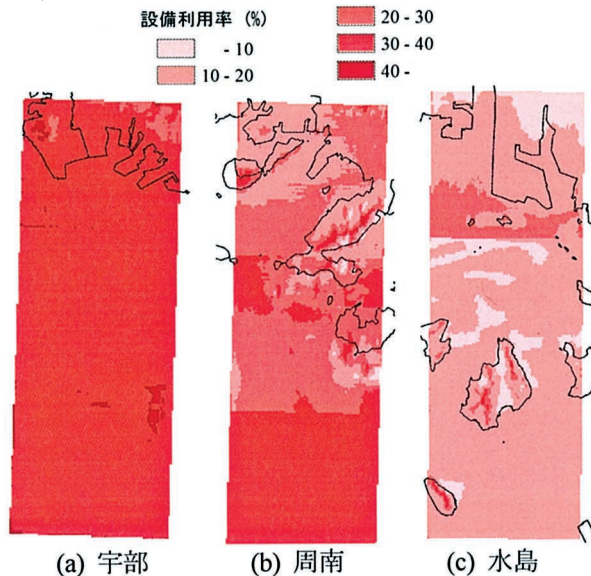


図9 各コンビナート周辺の設備利用率(1500kW 風車)

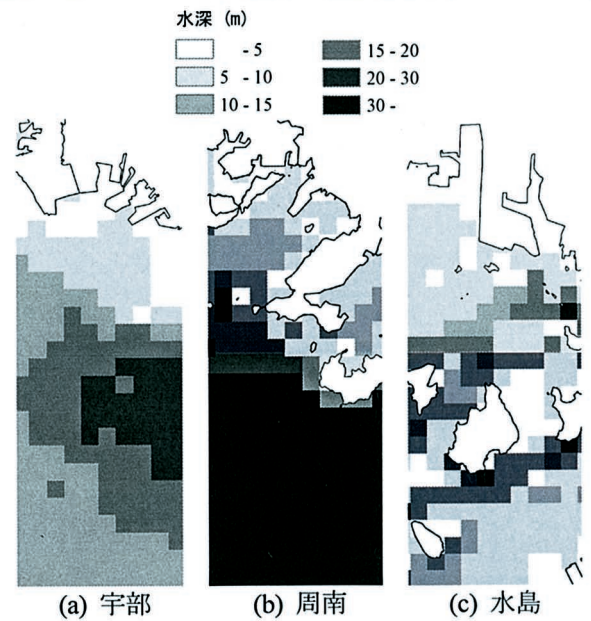


図10 各コンビナート沖の水深

4. まとめ

瀬戸内海洋上の風力エネルギー賦存量を試算するとともに、洋上風車設置に関わる制約条件や発電コストなどを考慮して、洋上発電に適した海域について検討した。また、宇部、周南、水島の各コンビナート周辺海域を対象にした風力エネルギー賦存量の試算から、コンビナートと連携した新しい風力発電事業モデルの可能性を検討した。その結果、以下の知見が得られた。

(1) 想定した定格出力 1500kW 風車では、瀬戸内海全

体で 247 TWh 程度の発電量が見込まれ、これは中国電力の 2003 年度の年間販売電力量 55.4TWh の 4 倍超の膨大なエネルギーに相当する。さらに年平均風速、水深、自然公園などの制約条件から洋上発電の適地を抽出した場合、最も厳しい条件の下でも 32 TWh が見込まれ、中国電力の年間販売電力量の約 6 割にも達する。これらの結果から、これまで風が弱いと考えられてきた瀬戸内海地域においても、洋上発電に適した瀬戸内海の特徴を活かして洋上風力を有効利用すれば、化石資源に代わるエネルギー源として有望である。

(2) 瀬戸内海は年平均風速 6m/s 以上の海域が全体の 3 ~ 4 割なのに対し、5m/s 以上の海域は 7 割にもなり、5m/s 台の風力エネルギーの有効活用が重要な課題である。

(3) 風車基礎構造の建設費と発電量の比率から見た発電コストからすると、必ずしも風況が良好でない海域にもコスト面で有利な海域が多く見られた。一方、風況が極めて良好な四国西部の伊予灘付近は水深が 30m を超えるため着底型基礎の建設には限界がある。

(4) 制約条件や採算性の面で総合的に判断すると、関門海峡に近い周防灘一帯の広大な海域や淡路島・鳴門付近の海域が洋上発電適地として極めて有望である。

(5) 宇部のコンビナート周辺は風況が良く、水深も浅いため洋上発電に適する。周南は風況と水深が地域的にトレードオフの関係にある。水島は風が弱いが高水深が浅く島も多いため、洋上風車建設には適している。また、風力により水素を製造した場合、宇部と周南のコンビナート沖だけでも現在の山口県の水素供給可能量に匹敵する風力エネルギーが見込まれる。

参考文献

- 1) 比江島：瀬戸内海ウインドファーム構想，風力エネルギー，Vol.28, No.1, pp.99-101, 2004.
- 2) 村上他：局所風況予測システム LAWEPS の開発と検証，日本流体力学会誌，第 22 巻，第 2 号，pp.375-386, 2003.
- 3) 山口県環境生活部環境政策課：水素フロンティア山口推進構想調査報告書，2004.

絶滅危惧種メダカの生息環境と遺伝的多様性との関連に関する研究

岡山理科大学 理学部 浅田 伸彦

I. はじめに

メダカ (killifish, *Oryzias latipes*, Temminck et Shlegel, 1850) は、東アジア地方が原産の1属1種で国内では北海道以外に生息する (図1右)。メダカは淡水魚では最も小型な魚類で、江戸時代の浮世絵にもメダカが描かれていることは、日本には古くから生息していることを示している (図1左)。日本で始めてメダカを使用したのは会田龍雄 (1921) で、現在は発生生物学や遺伝学の研究対象として広範に用いられている。学名はイネの *Oryza sativa* に由来し、野生メダカの主な生息場所は水田であることを彷彿とさせ、また、種小名の *latipes* は「広い足」という意味で大きな尻鰭に由来する。

しかし、近年、農薬の使用や生活廃水の流入などによる生息環境の悪化や、護岸工事、水路の整備などによる流れが緩やかな小川の減少、減反政策などによる廃田で生息地自体が消滅して個体数が急減して、1999年2月には旧環境庁により、絶滅危惧Ⅱ類 (The rank of Vulnerable II) に、2003年5月には環境省によりレッドリストデータブック (Red List, Red Data book) に記載された。また、2002年度にナショナルバイオリソース種に指定されてゲノムレベルでも研究が進められている。

メダカはアロザイム変異やミトコンドリア DNA (mtDNA) の解析から、南北の北日本集団と南日本集団に分けられ、さらに地域によって東日本型、山陰型、東瀬戸内型、西瀬戸内型、北部九州型、有明型、薩摩型、大隈型、琉球型に細分され、岡山県に生息する集団は東部では東瀬戸内型、西部は西瀬戸内型に分類されている (Takehana et al., 2003)。中国地方などの南北集団間、地域型間の境界は山脈や海などの地理的要素と密接に関係していることから、地理的な遺伝的多様性は地理的隔離によって維持されていると考えられ、分子レベルにおいても島根県西部などの山陰型と西瀬戸内型に共通する変異が検出されている。しかし、酒泉らによる瀬戸内地方の調査は調査地点が数箇所と稀少で調査地区別毎の個体数も数個体と少なく、大型河川やその支流の調査は行われていない上、山陰型については同様にほとんど調べられていない。また、大学などの高等教育機関における淡水魚の研究者数は稀少である。加えて、現在では放流など的人為的な移入が原因とみられる遺伝子流入が検出され、人為的遺伝子攪乱が生じつつあることから、自然集団の遺伝的多様性の保全が急務になっている。

そこで、本研究では岡山県南部矢掛地区の小田川などの河川でメダカを最少数採集して、尻鰭軟条数の計測と、mtDNAの部分塩基配列を推定する。それらの結果に基づいて、メダカ地域集団の遺伝的多様性の起源を推定する。また、メダカ種の保全のために人為的攪乱を防ぎ、地域固有の集団を保全することを目的とした。

II. 材料と方法

材料

メダカ自然系統の北日本集団の **T** 系統、南日本集団で西瀬戸内型の **I**、**K**、**Y** の各系統、山陰型の **HK**、**HM**、**HS** の各系統、突然変異系統のヒメダカ（系統は不詳）を実験に供した。

実験方法

1. 尻鰭軟条数の計測

- (1) チャック付きビニール袋に飼育している水を 3～5 ml 入れた。
- (2) メダカを 1 個体ビニール袋に入れて実体顕微鏡で数を計測した。

2. mtDNA の抽出

mtDNA のヘテロプラズミーは高等動物では極稀で、1 個体に含有される mtDNA は、同一のタイプであると推察される (Avise et al., 1983) ことなどをふまえて、メダカ mtDNA の抽出は田村 (1987) の方法を改変した方法で行った。

- (1) メダカ約 1～5 g を洗浄した後に湿重量を測定して供試個体とした。
- (2) **HOMO** 緩衝液で磨り潰した後に遠心分離して核分画を除去した。
- (3) 上清を遠心分離してミトコンドリア粗分画を沈殿させて核酸を回収した。
- (4) **Lysis** 緩衝液に懸濁させた後に **RNase** と反応させて RNA を分解した。
- (5) フェノール、フェノールクロロホルム抽出でタンパク質を分解させた。
- (6) エタノールを加えて冷凍庫で冷却した後に遠心分離して mtDNA を沈殿させた。
- (7) mtDNA を **Sample** 緩衝液に溶解させて続く実験に供した。

3. PCR 法による DNA の増幅

PCR に用いるプライマーは **Takehana et al. (2003)** を参考にして構築した。

- (1) シトクローム **b** の塩基の一部を増幅させた。
- (2) 増幅産物を回収して実験に供した。

4. アガロースゲル電気泳動

- (1) 濃度 0.7%～1.5% アガロースゲルを TBE 緩衝液によって調製した後にサブマリン法で mtDNA を電気泳動した。
- (2) 終了後の mtDNA は臭化エチジウムで染色した後に紫外線照射して確認し、写真撮影して記録した。

5. DNA 塩基配列の推定

PCR 法で増幅されたメダカ mtDNA は、スピンカラム法で精製した後に常法に準じて塩基配列を推定した。

- (1) アガロースゲルを調製した。
- (2) mtDNA を **Sequenase** と反応させた。
- (3) **Gene Rapid** を使用して mtDNA の塩基配列を推定した。

Ⅲ. 結果と考察

1. 尻鰭軟条数の変異

メダカの尻鰭軟条数は、調査した全ての系統で単峰性正規分布を示し、地域集団間の遺伝的変異はポリジーンによって支配される（江上、1953）ことが確認された。平均値は北日本集団 T 系統と南日本集団西瀬戸内型 K 系統は19本、山陰型 HK 系統と HM 系統では18本、HS 系統は16本であった。西瀬戸内型で岡山県西部の小田川で採集された I 系統は18本であった。また、突然変異系統のヒメダカは18本であった（図2）。ウスグロショウジョウバエの逆位に見られるクラインは明らかで無かった。

今回調査したメダカの自然系統間には遺伝的変異が検出され、t 検定の結果、HS 系統の16本は5%レベルで有為に少ないことが解った。HM 系統と HS 系統の採集地は約1 km 以内と近いながら、表現型に有為差が有る原因の解明が待たれる。岡山県内では江上信雄氏（1953）による調査は玉野市周辺のメダカに限られているので、西瀬戸内型と山陰型における調査結果によって、近接した自然集団における表現型変異についての比較検討が可能になり、遺伝的変異の起源と維持機構更なる検討が期待される。

2. mt DNA の遺伝的変異—PCR 増幅産物

メダカ mt DNA をシトクローム b DNA の塩基配列を参考にして構築されたプライマーを用いて PCR を行うと、地域集団特異的な増幅産物が検出された（河田ら、2006 a, b）。あるプライマー（仮に A とする）を用いると、西瀬戸内型 K 系統、山陰型 HK 系統の DNA は増幅しないが、別のプライマー（仮に B とする）を用いると K 系統、HK 系統共に DNA が増幅した。また、フォワードプライマーが異なる別のプライマー（仮に C とする）を用いると、西瀬戸内型 K 系統、山陰型 HK 系統共に DNA が増幅した。同じ西瀬戸内型に属する K 系統と小田川由来の I 系統では増幅した DNA の移動度が異なることも解った（図3）。

3. mt DNA の遺伝的変異—部分塩基配列

PCR 法で増幅された mt DNA のシトクローム b DNA について、精製した後に部分塩基配列を推定した。今後も塩基配列の推定を繰り返して確実性を高める必要があるので、本要旨では生データの一部を紹介するに留めることにする（図4）。少なくとも西瀬戸内型 K 系統 DNA の部分配列と山陰型 HS 系統 DNA の部分配列の FASTA ファイルを Clustal W でアラインメントとして比較すると、両者で共通する塩基を「*印」で示したように、定量分析には至っていないものの、必ずしも全てが共通では無いが、むしろ共通する相同配列の方が多いと思われる。西瀬戸内型で小田川由来の I 系統 DNA の塩基配列については現在解析を進めている。

メダカは江戸時代の浮世絵にも描かれているので (図1左)、少なくとも現在から200年~300年前には日本に生息していたと推察される。また、メダカの生息場所は水田や近接した水路が多いことや、日本での稲作の開始時期と密接な関係があると思われる。稲作は南西部から脊梁に沿って北西へと分布域を広げたとされている。中国地方では西瀬戸内地方と山陰地方には中国山地があり、中小河川は分水嶺を境に南北に流れる。西瀬戸内型と山陰型の、特に分子レベル、の共通点と相違点の存在の原因については、酒泉 満氏 (2000) は水系の変遷に伴う自然選択や機会的遺伝的浮動に由来するのではないかとしている (図5)。哺乳類ではシトクロームbDNAの進化速度に基くと、各地域型の分岐は約数万年と推定され、北日本集団と南日本集団で核DNA (ゲノムDNA) には約1600万個の変異があることも判明している (Kasahara et al., 2007) ので、地域集団間の山脈、山地、水系の変遷などの地理的隔離は長く維持されているとも推定される。岡山県内の西瀬戸内型のK系統とI系統の生息地は水系が異なっているが、遺伝的変異に及ぼすその他の要因もあり得ると予想される。

IV. 参考文献

Avise, J. C., and Lansman, R. A. (1983)

In Evolution of Genes and Proteins (ed. M. Nei and Koehn) 147-164. Sinauer, Sunderland, Mass.

江上信雄 (1953)

メダカの尻鰭軟条数の変異に関する研究I. 日本各地産メダカの軟条数の変異. 魚類額雑誌, 3: 33-35, 87-89.

Kasahara, M., et al. (2007)

The medaka draft genome and insights into vertebrate genome evolution. *Nature*, 447: 714-719.

河田尚子、山口佳秀、森山昭雄、竹内哲郎、浅田伸彦 (2006a)

メダカ南日本集団の遺伝的変異、日本動物学会中国四国支部会報, 58: 21.

河田尚子、山口佳秀、谷川晋一、竹内哲郎、浅田伸彦 (2006b)

実験動物メダカ自然集団の遺伝的変異、岡山実験動物研究会会報, 23: 49-50.

Takehana, Y., Nagai, N., Matsuda, M., Tsuchiya, K., and Sakaizumi, M. (2003)

Geographic variation and diversity of the cytochrome b gene in Japanese wild population of Medaka, *Oryzias latipes*. *Zool. Sci.*, 20: 1279-1291.

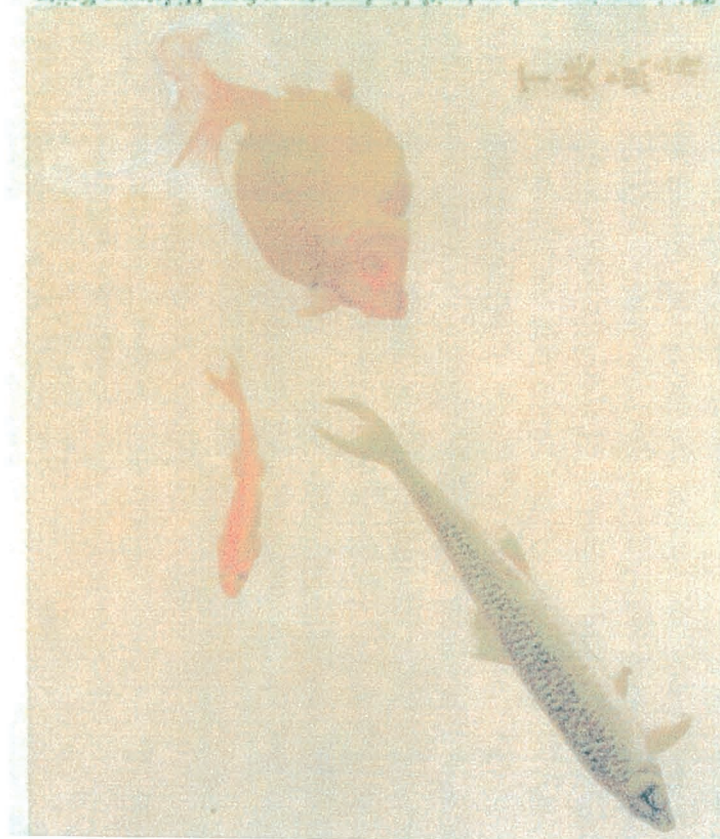
田村浩一郎 (1987) テングショウジョウバエ亜群のmtDNAに関する進化遺伝学的研究. 東京都立大学大学院理学研究科生物学専攻修士論文.

V. 謝辞

本研究を進めるにあたり元鳥根県浜田市教育委員会、森山昭雄氏、中国長春、東北師範大学、孫 輝氏、岡山理科大学理学部基礎理学科、河田尚子さん、山口佳秀君にはお世話になった。記して感謝したい。最後に貴重な基金を提供して頂いた、財団法人八雲環境科学振興財団には共同研究者を代表して深く感謝致します。

VI. 付録 (図1～5)

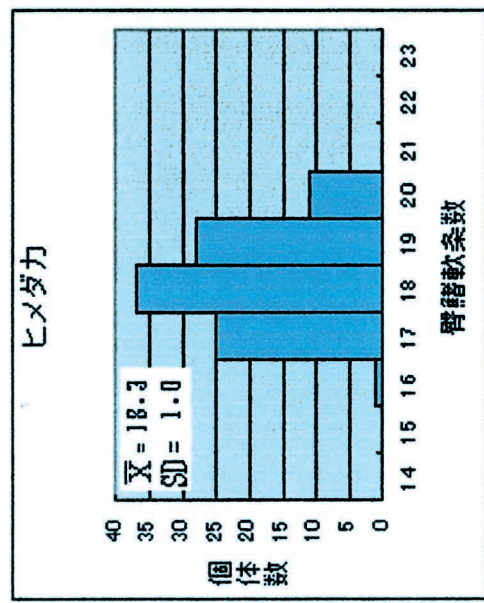
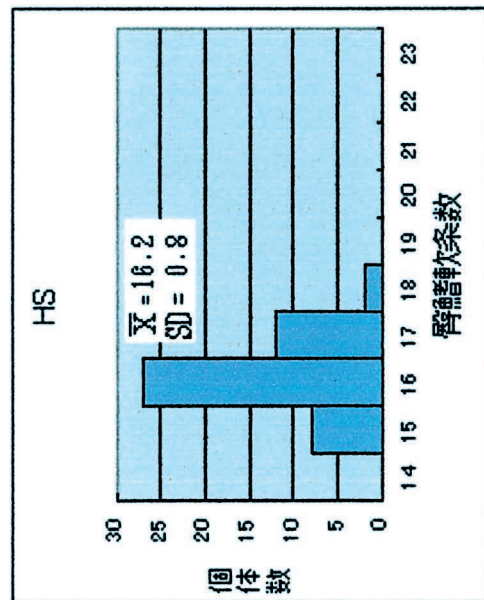
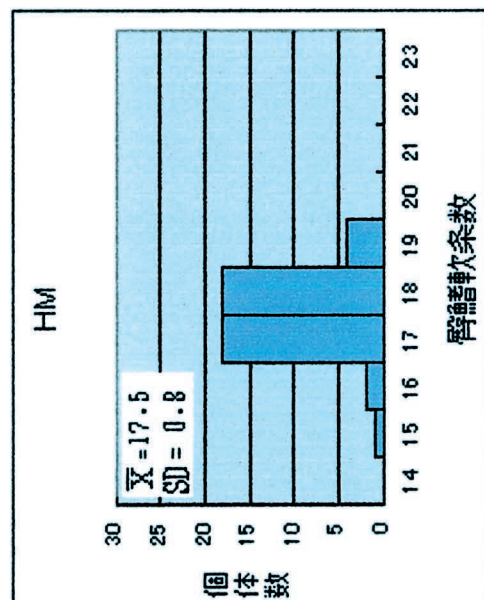
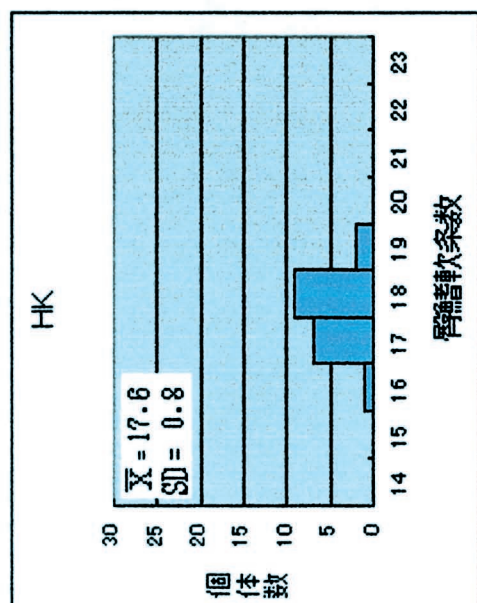
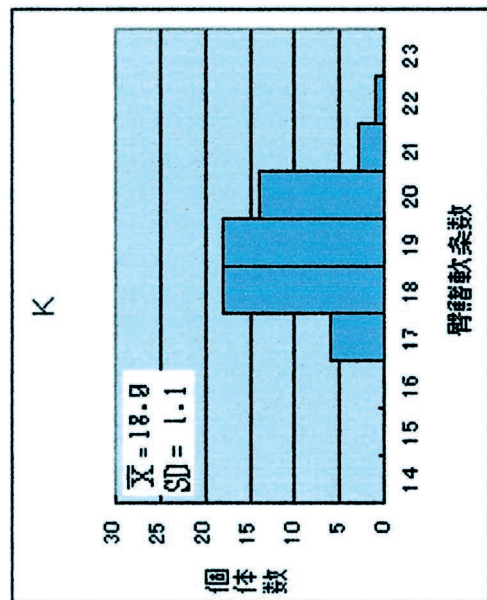
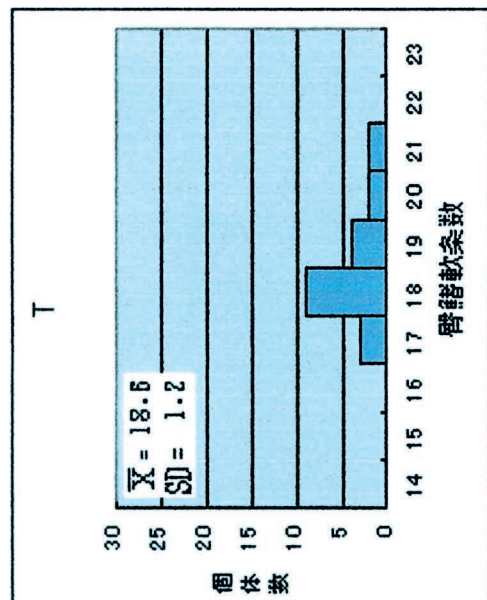
メダカ (*Oryzias latipes*) とは! ?



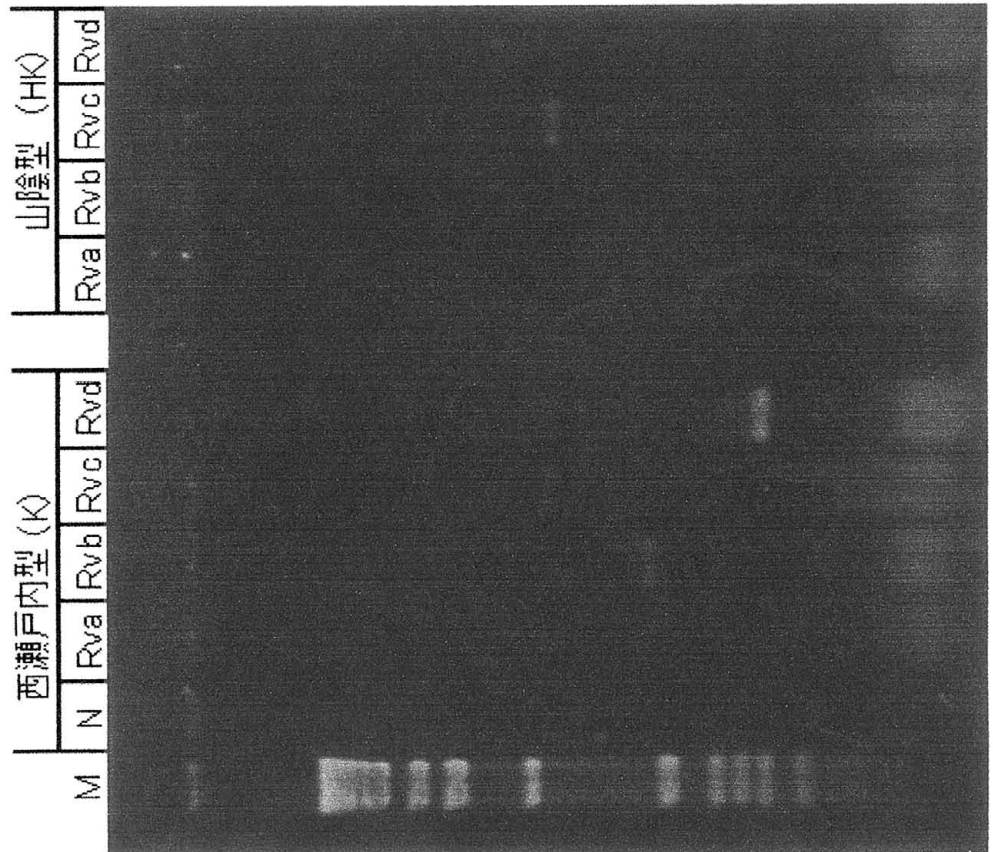
This image is reproduced with kind assistance from Hidetomo Kajita of the National Diet Library and Koichi Nakamura of Nature Japan.



腎臓軟条数



PCRの結果1



共通な塩基対

▪ Fa-RVc

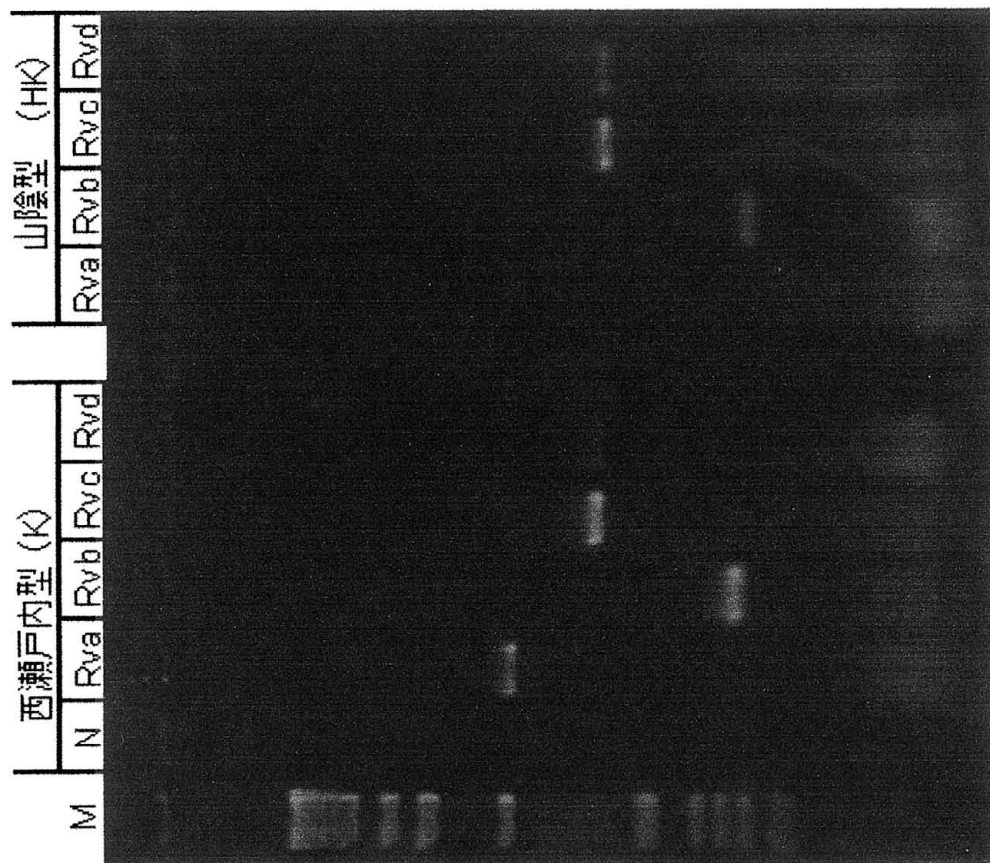
▪ Fa-RVd

非共通な塩基対

▪ Fa-RVb

西瀬戸内型のみで検出。

PCRの結果2



共通な塩基対

- Fe-RVb
- Fe-RVc
- Fe-RVd

非共通な塩基対

- Fe-RVa

西瀬戸内型のみで検出。

CLUSTAL X (1.83) multiple sequence alignment

```
HS/Fa      -----TGAATCTAGTCGCCCCACATTGCACAAAACACCCACTTGCCTTACAAAATTGCA
K-11/Fa    CTACAAGAACTTAATGGCCA-ACCTT---CGAAAAACCCACCC-CCTGTAAAAATTGCA
          ***  * * * **  * * *  * **  *****  ***  ***  *****

HS/Fa      AACGCATGCCTCTGGTCGACCCTCTCCCAGCCCCTTCAACACATTTTCAGTCTGATCGAA
K-11/Fa    AACG-ATGC-TCTGGTCGACCTT---CCAGCCCCTTCAA-ACATTTTCAGTT-TGAT-GAA
          ***  ***  ***** *  *****  *****  *****  ***  ***

HS/Fa      ACTCTTGGCTCTCTTCTCGGACTTCTCGTCTTAGCCGCCAGATCATCACGGGCCTTTCT
K-11/Fa    ACT-TTGGTTCTCTTCTCGGACTTTGT---TTAGCCGCCAAAATCATCACGGGCCTTT-T
          **  ***  *****  *****  *****  *****  *****  *

HS/Fa      TCTTGCCATCACATTATACATCCGCACATCGCCACAGGCATTCTCATCAGTTGCACACAT
K-11/Fa    TCTTGCCAT-ACATTATACATCCG-ACATCGCCACAG-CATTCTCGTCAGTTGCACACAT
          *****  *****  *****  *****  *****  *****

HS/Fa      CTGCCGGGATGTAACTACGGCTGACTAATCCGAAATATACATGCAAACGGCGCTTCTTT
K-11/Fa    CTGCCGGGATGTAACTACGGCTGACTAATCCGAAATATACATGCAAACGGCGCTTCTTT
          *****  *****  *****  *****  *****  *****

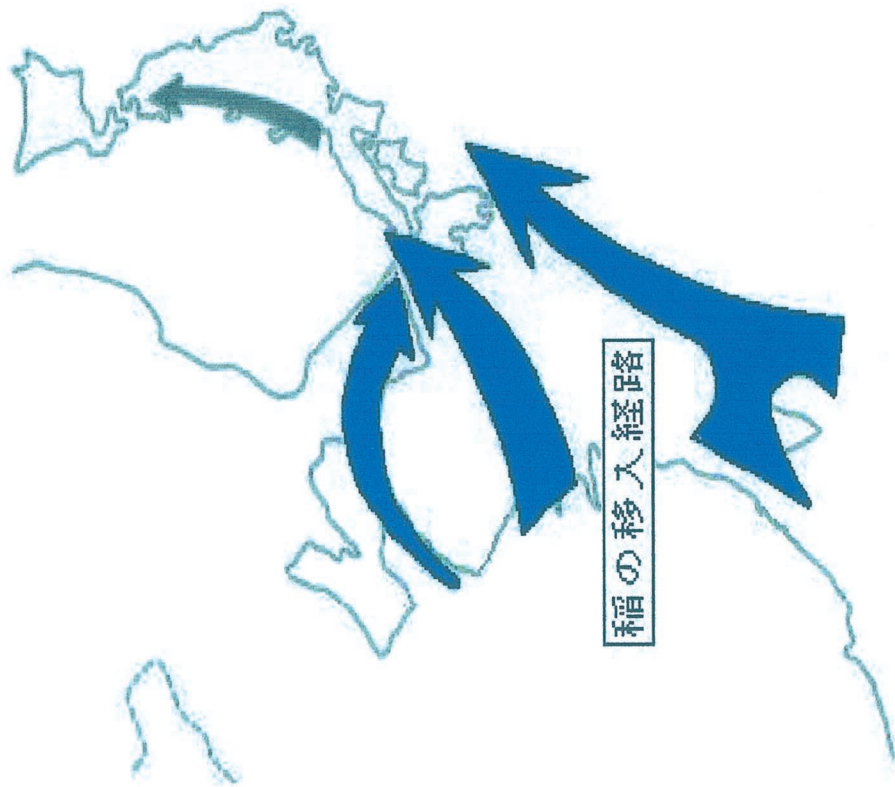
HS/Fa      TT-CTTCATCTGCATTT-ACCTTCACATT-GGGCGAGGCTTGACTACGGATCCTACTTA
K-11/Fa    TTTCTTCATCTGCATTTTACCTTCACATTTGGACGAGGCTTGACTACGGATCCTACTTG
          **  *****  *****  *  *****  *****  *****

HS/Fa      TACAA-GGAAACGTGAAATGTCGGTGTAATTCTTCTTCTACTAGTAATAATAACGGCTTT
K-11/Fa    TACAAAGGAAACATGAAATGTCGGTGTAATTCTTCTTCTACTAGTAATAATAACGGCTTT
          *****  *****  *****  *****  *****  *****

HS/Fa      CGTAGGTTACGTTTGGCCCTGAGG---CCAATATCATTCTGGGGGCCTACT-GCTATCAC
K-11/Fa    CGTAGGTTACGTTT-ACCTTGAGGGGCAAATATCATTTTTAGGGGGCCTTGTAAATCAC
          *****  **  *****  *  *****  *  ****  ***  *  *****

HS/Fa      ACCCTCCTATGCTGCCTTCCTTAGATTGCAATGCCCTCGTCCGATGAGTGTTAATGCGGT
```

メダカと稲の関わり



1. はじめに

我が国では昨今、毎年のように梅雨時期や台風襲来時期に局地的な集中豪雨が発生しており、その強度もこれまでの観測記録を更新するほどの激しいものとなっている。それに伴い斜面崩壊や土石流の発生によって、多くの人的被害や経済損失が生じている。このような状況の下、平成13年4月1日より「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止の推進に関する法律」(土砂災害防止法)が施行され、ソフト対策として、斜面崩壊予測システムの確立が急務な問題となっている。そこで本研究では、豪雨時における斜面崩壊に至る各過程を適切にモデル化し、時間によって変化する降雨量に応じた斜面安定性の変化を把握できるシステムを確立することを目的とし、その基礎的な研究として実際の斜面現場で降雨浸透挙動を観測した。

これまでに、室内でのモデル土槽を用いて、水分量の上昇過程が破壊メカニズムに至る指標となり得る可能性について確認している。そこで、豪雨時における斜面崩壊警戒システムとして、リアルタイムのデータ通信を行う水分量などの観測とともに、地盤調査から作成した地盤モデルをもとに浸透流解析および安定解析を実施し、浸潤前線(水分量が急激に増加する境界線)の降下挙動(主として地下水位面への到達)を指標とする手法を提案する。具体的には、近年、気象庁によって6時間後までの細密レーダ雨量予測が可能になっていることから、現地による地盤内水分量を初期条件として、事前に作成した対象斜面の地盤モデルに対して3次元浸透流解析を実施し、豪雨時の状況を予測して警告を発する。実際には、斜面の力学的な安全率と地盤内水分量の関係を明らかにし、現地での水分量計測にある危険レベルを設け、自動で警告の発生・解除を行う。図-1にこれらのシナリオを示す。この背景としては、近年の計測技術の発達によるリアルタイムのデータ転送技術と、解析実施の処理速度の向上が挙げられる。

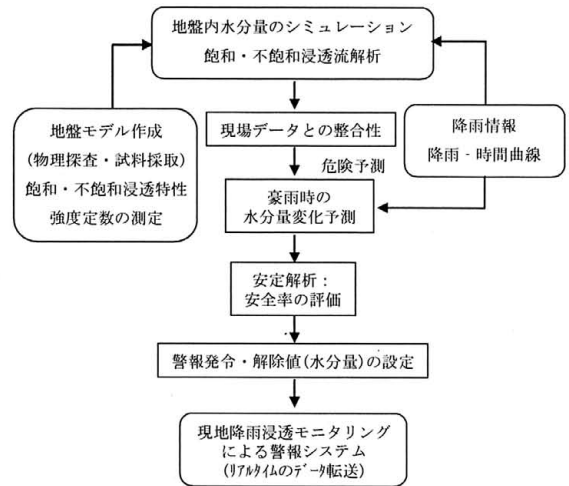


図-1 豪雨時斜面崩壊警戒システム概念

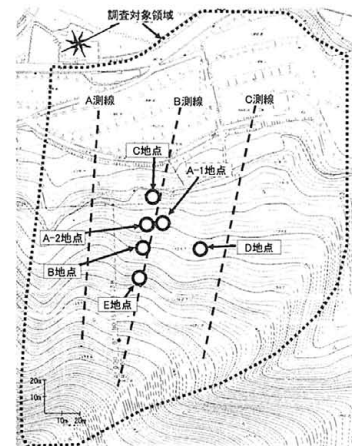


図-2 対象斜面および計測地点配置図(斜面1)

2. 現場モニタリング

2.1 対象斜面およびモニタリング概要

岡山県内の2箇所の現場斜面において、水分量の経時変化を中心に現場計測を実施した。さらに、斜面の安定性を評価する上で必要な地表踏査、物理探査、地下水観測および土質試験を実施した。

対象斜面(1)における地形概要として、対象斜面は山の末端部に位置する小尾根の一部であり、対象斜面付近には3水系が認められ、概ね平均斜面勾配30°程度のやや急峻な地形を呈している。観測は図-2のように、対象斜面内に3測線を設定し、主にB測線を中心に配置した。ここで、地盤調査より推定されたB測線の地質断面図を図-3に示す。また、モニタリング対象とした表層部分の粒度分布を図-4に示す。表層で風化が進行してい

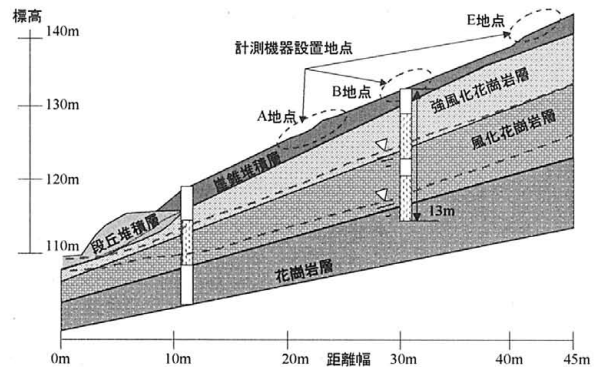


図-3 B測線の推定地層断面図(斜面1)

ることがわかる。一方、対象斜面(2)における観測機器設置状況と推定地質断面図を図-5および図-6に示す。切土斜面の中腹で観測を行った。

2.2 モニタリング結果

モニタリング結果として斜面(1)の降雨量の観測結果を図-7に、ADR法により計測した体積含水率の経時変化(A-2地点)を図-8に示す。また、別途実施したサンプリング結果より求めた間隙率を考慮して飽和度を求めたB地点の結果を図-9に示す。さらに、テンシオメーターによる圧力水頭の計測結果を図-10に示す。いずれも降雨に伴い敏感に変化していることがわかる。ただし飽和度の変化は深度が増すほど小さくなっている。また、その変化は表層で約60%~90%であり、体積含水率の変化量は最大約0.1程度である。テンシオメーターによる計測では図中の矢印に示すように1ヶ月に一度の頻度で脱気水の供給を行ったが、一部でデータが大きく変動する傾向が現れた。なお、データの欠損部分はデータ収集機器の故障によるものである。ここで、ある降雨に対する体積含水率とサクシヨンの経時変化を整理した一例を図-11に示す。降雨によりテンシオメーターによるサクシヨンと比べて飽和度はなだらかな上昇を示している。これらのことから、原位置モニタリング方法において、長期観測ならびに危険時の避難警報・解除という観点からは水分量の方が指標としては取り扱い易いと考えられる。また、図-12にA-1地点で実施したネールサンプリング(釘打ち法)をもとに水分計の計測精度を検証した結果を示す。同図より計測誤差はさほど認められなかった。

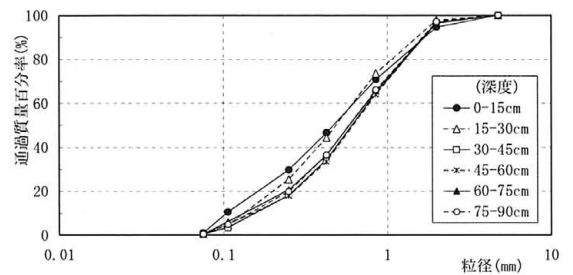


図-4 表層の粒度分布(斜面1)



図-5 観測機器設置状況(斜面2)

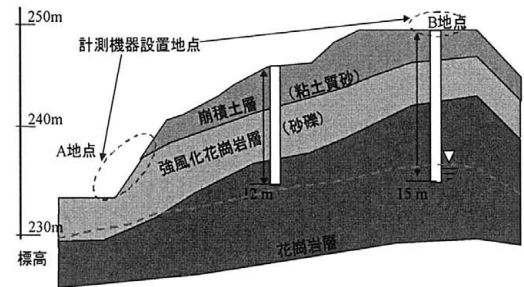


図-6 推定地層断面図(斜面2)

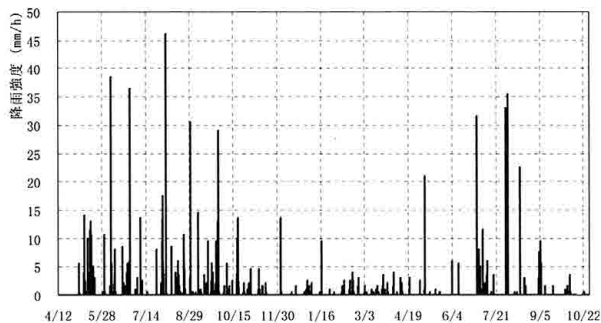


図-7 降雨量の観測結果(斜面1)

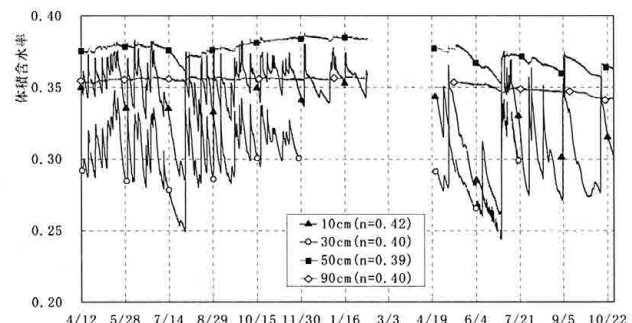


図-8 体積含水率の経時変化(斜面1:A-2地点)

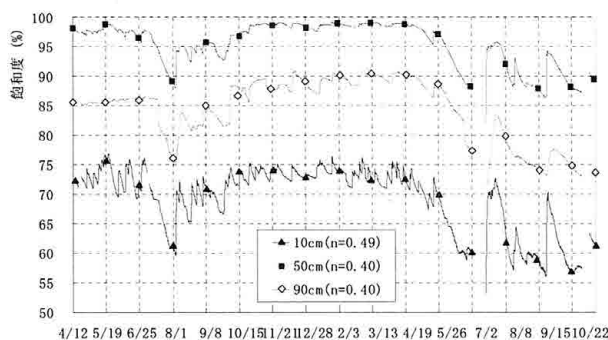


図-9 飽和度の経時変化(斜面1:B地点)

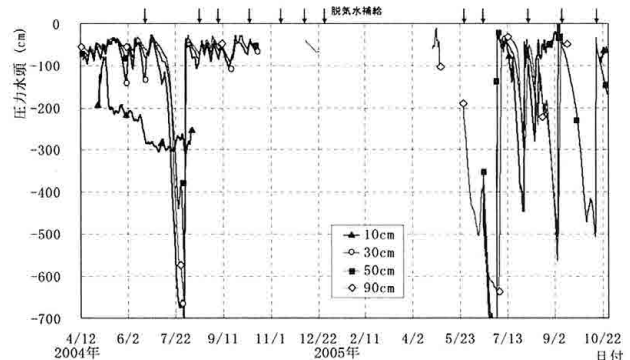


図-10 圧力水頭の経時変化(斜面1:B地点)

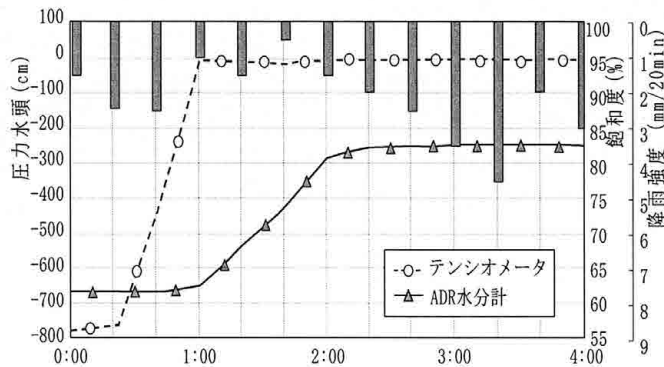


図-11 降雨時における計測値の挙動(斜面1: A-2地点)

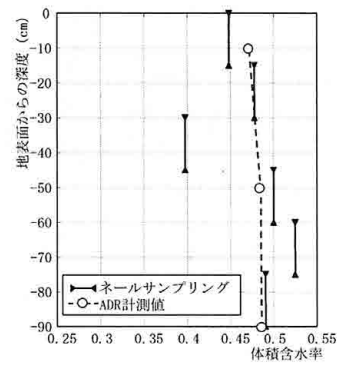


図-12 水分計の精度検証(斜面1: A-A1地点)

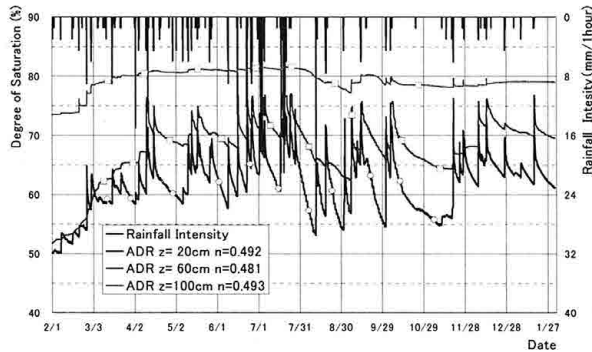


図-13 飽和度の経時変化(斜面2)

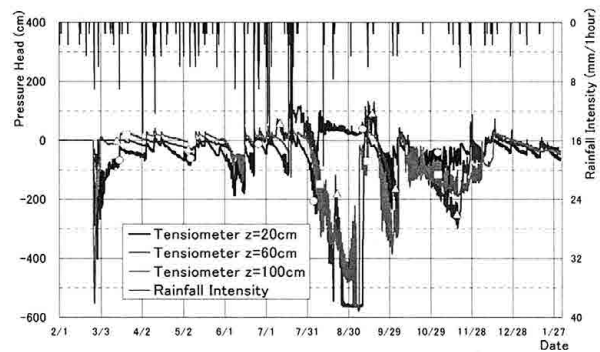


図-14 圧力水頭の経時変化(斜面2)

一方、斜面(2)の計測結果として、図-13に体積含水率から間隙率を用いて飽和度に変換したものと、図-14に圧力水頭の経時変化をそれぞれ示す。結果として、土壌水分計による計測では、飽和度が降雨に対して敏感に反応していることや、水分計がメンテナンスフリーであることから、測定方法として有効であると判断できる。一方、テンシオメーターによる計測では、先の結果と同様にメンテナンスとして1ヶ月に1度程度の間隔で脱気水を注入する必要があるが、降雨に対してサクシジョンの値が変化していることがわかる。また、テンシオメーターによる現地計測の有効性を検討するために水分量とサクシジョンの計測値について、それぞれの挙動や現地より採取した試料に対して測定した水分特性曲線を用いて比較した結果、サクシジョンの現地計測値と水分特性曲線による値との間に一致しない傾向を示す部分が見られた。

3. 浅層を対象とした乱れの少ない不飽和土のサンプリング方法

斜面における豪雨時の浸透挙動を精度良く解析するには、入力する物性値の精度に大きく左右される。その中で、最近では室内試験の精度も向上し、より乱れの少ない試料の採取が求められている。そこで、乱れの少ない試料の新しいサンプリング方法として従来の釘打ち込み法を改良した楔型サンプラーを提案し、その精度を実験によって検証した。考案した楔打ち込み法は、図-15、写真-1に示すように、従来の釘打ち込み法の釘を楔に替え、下部にわずかな拘束圧をかけることで試料の周りを掘削しないで採取できる仕組みとなっている。特徴としてはサンプリングの際、掘り出し作業がほとんど無いため、従来の方法と比べサンプリング時間が大幅に短いことが挙げられる。

この楔打ち込み法の有用性を大型土槽を用いて確認した。試料にまさ上を使用し、地盤工学会で標準化されているブロックサンプリング法と楔打ち込み法の比較を行ない、その結果より楔打ち込み法の精度の評価を行なった。サンプリング試験の結果を図-16に示す。楔打ち込み法で採取した試料の間隙率はブロックサンプリング法のもの比べて全体の95%が ± 0.042 の間に、100%が ± 0.056 の間に入っているため妥当な精度で採取できていると言える。さらに、楔打ち込み法による乱れの評価を行なうため透水試験を行なった。試験結果を図-17に示す。結果より両者の透水係数は最大1オーダー程度の誤差はあるが、ほぼ同様の傾向を示しており、実用性においては問題ないものと判断できる。

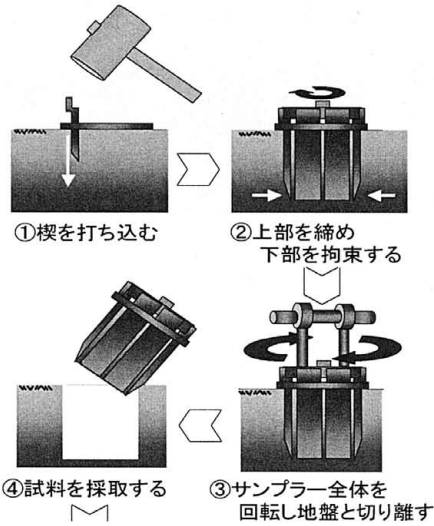


図-15 楔打ち込み法の概念図

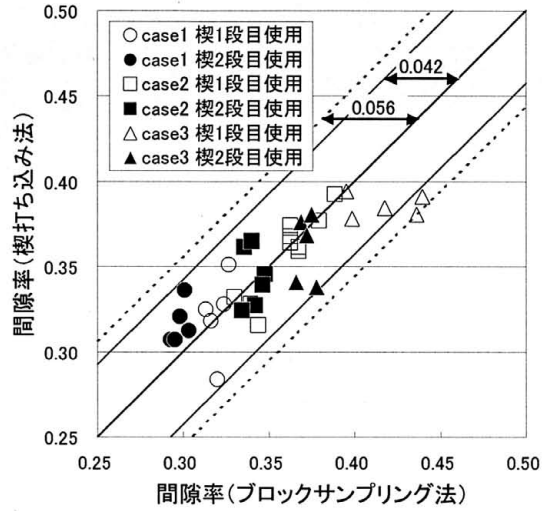


図-16 サンプリング試験結果

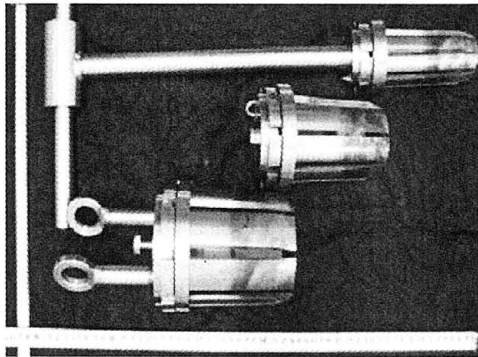


写真-1 楔打ち込みサンプラー

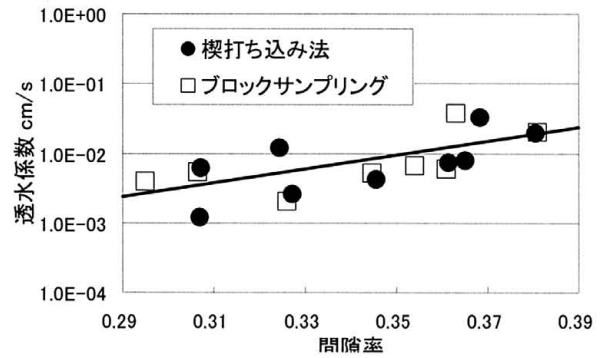


図-17 透水試験結果

4. 不飽和浸透特性の測定

現場から実際に楔打ち込み法による浅層サンプリングで採取した乱さない試料に対して浸透特性の測定を行った。図-18に浸透特性計測装置として、不飽和透水試験装置を示す。水分保持特性は加圧板法を、不飽和透水試験はRichard法をそれぞれ改良した方法を開発した。図-19に浸透特性の測定結果を示す。各飽和度において連続的な計測結果を収集することができ、簡便な方法で不飽和浸透特性を測定することが可能となった。

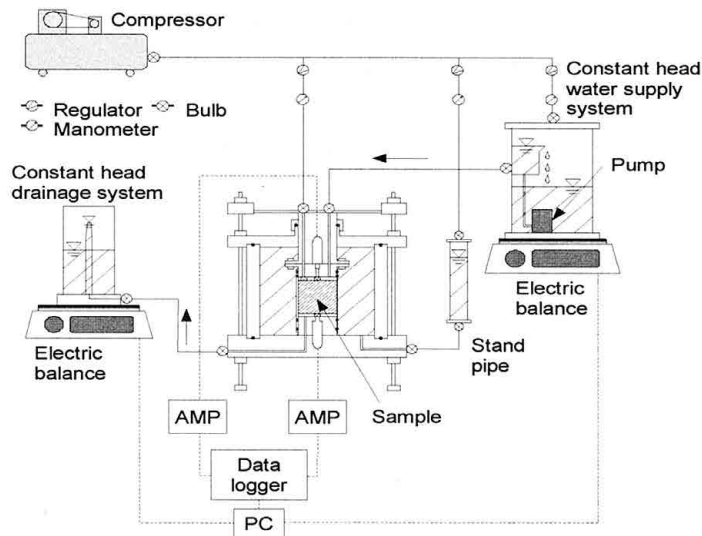


図-18 不飽和透水試験装置

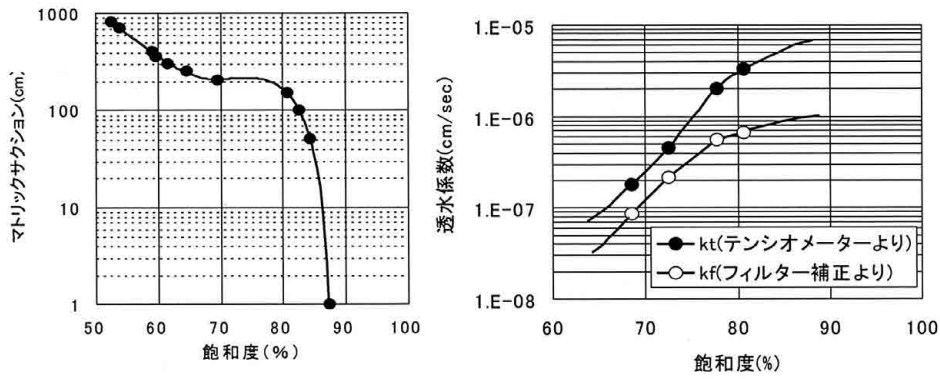


図-19 浸透特性測定結果

5. 間隙空気圧の影響に関する検討

先の斜面(2)におけるサクシジョンの現地計測値と水分特性曲線による値との間に一致しない傾向を示す部分が見られた要因の一つとして、間隙空気圧の影響が懸念されるため、別途、室内鉛直一次元浸透試験により間隙空気圧が計測結果に与える影響、ならびにその対策方法について検討した。試料として川砂(比重 2.67)を間隙比 0.4 で詰めて供試体を作成し、図-20 に示す試験装置を用いて浸透実験を行った。なお、空気圧の計測にはグラスフィルターを用いた。ここでは、①テンシオメーターに与える間隙空気圧の影響について上部より浸潤させた場合における計測値の比較、②間隙空気の除去によるサクシジョン計測方法の可能性の検討として、グラスフィルターと布製のメッシュを用いて間隙空気の除去によるテンシオメーター計測値の挙動、③間隙空気圧の影響を考慮した計測方法についての検討として差圧計に着目した。これらの結果として、上記項目①～③のそれぞれについての圧力水頭の経時変化を図-21～23 に示す。間隙空気圧が既存センサーに与える影響を確認するとともに、間隙空気を除去すれば、テンシオメーターでも正確なサクシジョンの計測は可能であること、さらに、現地計測機器として、差圧計を用いた場合、間隙空気圧を考慮したサクシジョンの測定が可能であるため有効であることが明らかとなった。

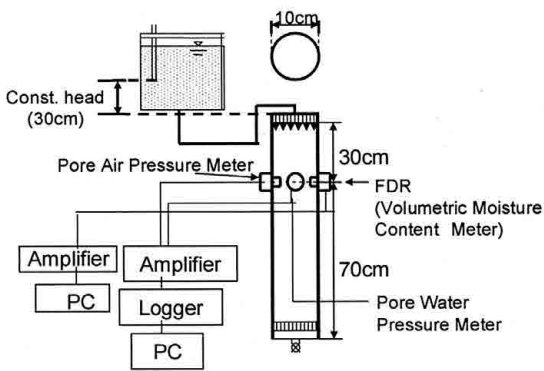


図-20 室内鉛直一次元浸透試験の実験装置

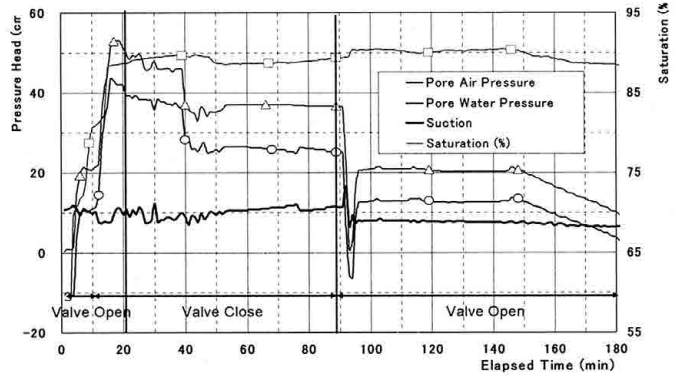


図-21 既存センサーによる圧力水頭の経時変化

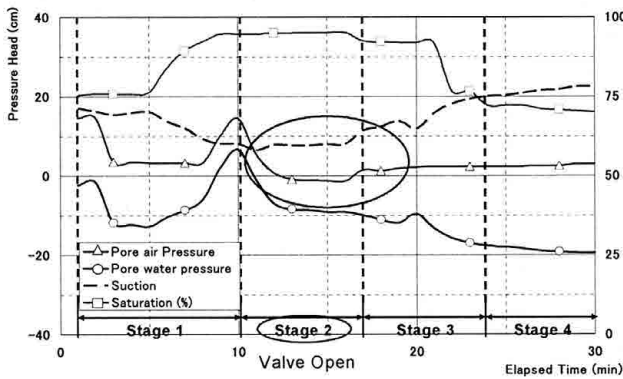


図-22 間隙空気圧除去時の圧力水頭の経時変化

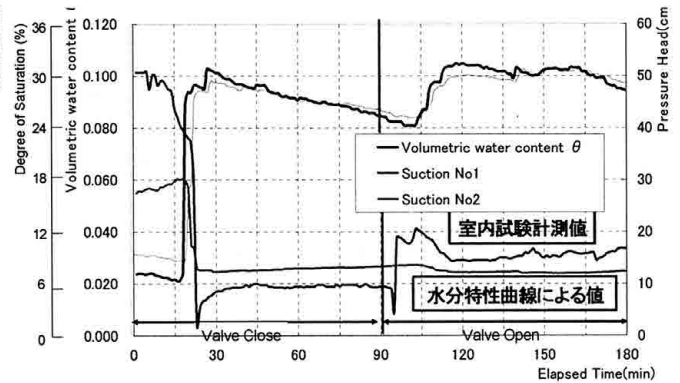


図-23 差圧計による圧力水頭の経時変化

6. 浸透流解析による検証

次に、降雨浸透挙動の再現性について、3次元飽和・不飽和浸透流解析(UNSAF-3D)を実施した。図-24に解析モデル図を示す。なお、節点数：約45,000節点、要素数：約43,000要素である。地層断面図中の最深部に分布する花崗岩層を難透水層とし、解析用地盤モデルはそれ以浅の地盤を対象とした。

結果の一例として図-25にA-2地点の深度10cmの変化を示す。解析結果も降雨に伴い上昇する傾向が見られるが、観測値の方が高い反応を示しており、予測に用いるためには、解析精度を向上させる必要がある。

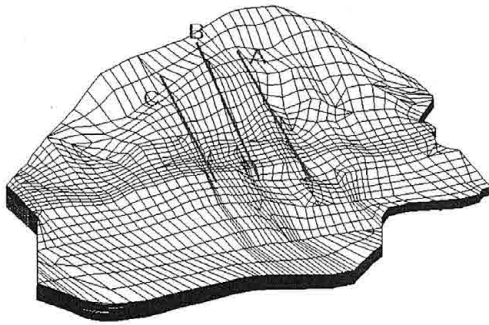


図-24 3次元浸透流解析モデルメッシュ図

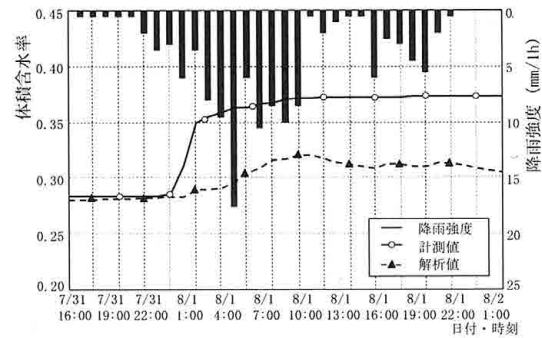


図-25 解析結果の一例(斜面1:A-2地点:深度10cm)

7. まとめ

豪雨時の斜面安定性評価システムを確立することを目的に、地盤内水分量を中心に各種の現場計測、数値解析を実施した。その結果として水分計による計測方法が長期的な計測法として有効であることがわかったが、予測システムの構築に対し、現場計測値と解析結果の整合性に問題が残った。なお、体積含水率の変化量を警報システムの指標に用いる上では、変化量に対する計測精度の向上が必要である。また、主にテンシオメーターによる計測における間隙空気圧作用時の計測誤差について指摘し、間隙空気を除去すれば正確なサクションの計測は可能であること、また、差圧計を用いると有効であることを示した。さらに、新たに考案した楔形サンプラーの有用性を示すためブロックサンプリング法と比較することでその精度を評価した。その結果、楔打ち込み法は十分な精度であることがわかった。また乱れの評価として行なった透水試験においても楔打ち込み法の実用上問題のない事を確認した。なお、実地盤への適用性を検討するため別途、実際の現場にてサンプリングを行ない、サンプリング時間が他の方法と比べて短いことが判明した。

今後の課題としては、各層の不飽和浸透特性の精度を検証し、初期条件を変化させて計測値と解析値を比較すること、様々な豪雨パターンに対して斜面内の水分量の変化とともに、安定性を評価することが挙げられる。また、間隙空気除去可能な計測方法と間隙空気の影響を考慮した計測機器による現地計測への適用性の検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 地盤工学会中国支部：まさ土地帯の風化及び降雨浸透特性と斜面災害に関する研究報告書，pp.1～2，2003.
- 2) 北村良介：降雨に伴う斜面安定性変化のリアルタイム評価手法の開発，土と基礎，Vol.54，No.10，pp.9～11，2006.
- 3) 地盤工学会：豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測，地盤工学・実務シリーズ23，pp.141-144，2006.
- 4) Nishigaki M, A.Tohari, M.Komatsu：Predicting rainfall- induced slope failures from moisture content measurement, Slope Stability Engineering, Yagi, Yamagami & Jiang , Balkema, Volume1, pp.465-469, 1999.
- 5) 中島誠・井上光弘・澤田和男・クリスニコル：ADR法による上層水分量の測定とキャリブレーション，地下水学会誌，第40巻第4号，509～519，1998.
- 6) 赤井浩一・大西有三・西垣誠：有限要素法による飽和-不飽和浸透解析，土木学会論文集，第264号，pp.87-96，1977.
- 7) 青山千影，中山義久，西田一彦：乱さないまさ土のサンプリングならびに三軸試験法，第18回土質工学研究発表会，pp.479-478，1983.
- 8) 西垣誠・竹下祐二・越智克夫・瀬尾昭治：不飽和土中の間隙空気圧の計測方法に関する研究，第27回土質工学研究発表会，pp.1971-1974，1992.

1. はじめに

日本各地には、特に瀬戸内地域には多くのため池が存在するが、その多くは老朽化している。毎年、そのうちの多くが損傷を受け、最悪の場合、決壊に至っている。その対策として各地で改修が進められつつある。近年、改修工事に際しては、低コスト化が望まれており、本研究は、最適改修計画決定手法の開発を最終目的とするものである。この目的を達成するために、ここでは、その第一段階として信頼性設計理論の適用を検討する。

ため池堤体の安定性を検討するために、本研究では、弾粘塑性有限要素法を用いている。有限要素法は、不均質な材料や複雑な境界条件を容易に取り扱えるため、地盤物性の不均質性を扱う研究では便利である。本研究においては、強度定数である、粘着力 c と内部摩擦角 ϕ を確率変数として取り扱っている。これらの確率変数にモンテカルロ法を適用し、堤体の損傷確率を算定する。最終的に損傷コストと破壊確率からリスクが算定されることになる。

有限要素法にモンテカルロ法を結合した手法を用いた研究は多く見られる。Fenton & Griffith (2002)¹⁾、Griffith & Fenton (2005)²⁾ ヤング率の確率場におけるフーチングの沈下を解析した。また、Griffith et al. (2002)³⁾は、非排水強度の確率場を考慮し、弾塑性有限要素法を用いて支持力問題の解析を行っている。また、Bakker (2005)⁴⁾は、非排水強度の確率場を考慮し、堤防の安定性を解析した。

本研究では、地震時のため池堤体の安定性に関して、堤体改修の効果を評価することを目的としている。改良方法としては、前刈金工法を検討している。本研究では、第一に、堤体盛土強度の空間的な分布や相関性について検討する。この目的のために、スウェーデン式サウンディングを用いて、いくつかのため池堤体の強度分布を調べた結果を示している。パラメータの空間的な相関構造の同定のために、情報量統計学と地盤統計学の手法を用いることとする。次に、弾粘塑性有限要素法とモンテカルロ法を結合した方法を用い、堤体盛土の損傷レベルの期待値を評価している。ここで、確率パラメータである粘着力 c と内部摩擦角 ϕ の空間的な相関性は、サウンディング試験結果を基に推定される。最終的に、改修前後の期待総費用を比較することによって、改修効果を評価している。

2. 数値解析手法

本研究では、ため池の安定性を評価する数値解析手法として、弾粘塑性有限要素法 (EV-FEM)⁵⁾を用いている。有限要素法を用いると、複雑な境界条件のみならず、不均質問題に対して有利である。今回は、土質定数の空間的な相関性を考慮しているため、不均質地盤の取り扱いが重要であるので本手法が採用されている。ここでは、支配方程式として弾完全塑性モデルを用いることとする。要素の破壊条件として式(1)のモールクーロンの破壊基準を用いることとする。また、本研究では非関連流れ則を用いており、塑性ポテンシャル関数 Q が式(2)で与えられる。

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \phi' = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (1) \quad Q = k + \sigma' \tan \psi \quad (2)$$

ここで、 τ_f はせん断強度、 c' は粘着力、 σ は垂直全応力、 σ' は垂直有効応力、 u は間隙水圧、 ϕ' は有効内部摩擦角、 k は塑性ポテンシャル関数の位置に関連する定数、 ψ はダイレイタンシー角はである。超過応力モデルに基づく、粘塑性ひずみ速度が式(3)で与えられる。

$$\dot{\epsilon}_{vp} = \gamma \langle \Phi(F) \rangle \frac{\partial Q}{\partial \sigma} \quad (3) \quad \langle \Phi(F) \rangle = 0 \quad (F < 0) \quad (4) \quad F = \tau - \tau_f \quad (5)$$

$$\langle \Phi(F) \rangle = \Phi(F) \quad (F \geq 0)$$

ここで、 γ は流動性パラメータ、 $\Phi(F)$ は流れ関数、 F は降伏関数、 τ はせん断応力、 σ は応力テンソルである。

EV-FEMによる堤体盛り土の破壊の判定は、式(6)で与える相当粘塑性ひずみ速度⁶⁾から判別することにする。式中、 n は解析のタイムステップ数、 $(\dot{\epsilon}_{ij})_{vp}^n$ は粘塑性ひずみ速度の i - j 成分である。さらに、式(7)で定義されるTSRという指標を導入する。A.G.Pは、すべての要素のガウス点、 $\bar{\epsilon}_{vp}^n$ はタイムステップ n における相当粘塑性ひずみ速度を表す。即ち、TSRはすべてのガウス点における $\bar{\epsilon}_{vp}^n$ の総和を意味する。ここで、 n はTSRの値が一定値になるまで十分大きな値を考える必要がある。堤体盛土の全体破壊は、式(8)で規定するものとする。TOLERはTSRの限界値であり、盛土構造物の場合は、円弧すべりの様な全体破壊に対応した値である。TOLERの具体的な概念は、5章の具体例で示される。さらに、損傷レベルRSRが式(9)において定義される。式(9)の上式は、局所破壊に対応しており、下式は全体破壊に対応している。

$$\bar{\epsilon}_{vp}^n = \sqrt{\frac{2}{3} \left\{ (\dot{\epsilon}_{ij})_{vp}^n (\dot{\epsilon}_{ij})_{vp}^n \right\}} \quad (6) \quad TSR = \sum_{A.G.P} \bar{\epsilon}_{vp}^n \quad (7) \quad TSR \geq TOLER \quad (8) \quad RSR = \begin{cases} TSR/TOLER & (TSR \leq TOLER) \\ 1 & (TSR > TOLER) \end{cases} \quad (9)$$

弾粘塑性解析では、時間領域が取り扱われるが、ここでの時間は仮想時間であり、時間ステップの進行は弾塑性解析の

収束計算に用いられる。

3 土の強度の統計モデル

3.1 モデルの決定

土質試験から得られた結果を $\Psi=(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_M)$ と定義する。ここで、 M はテスト箇所の個数である。ベクトル Ψ は、確率ベクトル $\psi=(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_M)$ の実現値である。もし変数 $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_M$ が M 次元正規分布を構成すると仮定すると、その確率密度関数は式(10)で与えられる。 $\mu=(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_M)$ は確率変数 $\psi=(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_M)$ の平均値関数であり、式(11)の座標値に関する多項式で与える。ここで、 (x_k, z_k) はパラメータ ψ_k に対応する座標を表し、 $(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$ は、平均値関数の回帰係数を表す。

$$f_{\Psi}(\Psi) = (2\pi)^{-M/2} |C|^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\Psi - \mu)' C^{-1} (\Psi - \mu)\right\} \quad (10) \quad \mu_k = a_0 + a_1 x_k + a_2 z_k + a_3 x_k^2 + a_4 z_k^2 + a_5 x_k z_k \quad (11)$$

C は $M \times M$ の共分散行列であるが、次に示す4タイプから選択される。ここで $[\]$ は、マトリックスを表し、 σ は標準偏差、 l_x, l_z は、 x, z 方向の相関距離、 N_c は、金塊効果を表現するための定数をそれぞれ表す。

$$C = [C_{ij}] = \begin{cases} \sigma^2 \exp\left\{-\frac{|x_i - x_j|}{l_x} - \frac{|z_i - z_j|}{l_z}\right\} & (a) \\ \sigma^2 \exp\left\{-\frac{(x_i - x_j)^2}{l_x^2} - \frac{(z_i - z_j)^2}{l_z^2}\right\} & (b) \\ \sigma^2 \exp\left\{-\sqrt{\frac{(x_i - x_j)^2}{l_x^2} + \frac{(z_i - z_j)^2}{l_z^2}}\right\} & (c) \\ N_c \sigma^2 \exp\left\{-\frac{|x_i - x_j|}{l_x} - \frac{|z_i - z_j|}{l_z}\right\} & (d) \end{cases} \quad (12) \quad \begin{cases} N_c = 1 & (j = k) \\ N_c \leq 1 & (j \neq k) \end{cases}$$

$i, j = 1, 2, \dots, M$

対数尤度を基に、情報量基準AICが式(13)で与えられる。式中、 L は、式(13)における回帰係数の数と共分散関数のパラメータ数の合計である。AICを最小化することによって(MAIC)、最適な平均値関数および共分散関数を決定することができる。

$$AIC = -2 \cdot \max\{\ln f_{\Psi}(\Psi)\} + 2L = M \ln 2\pi + \min\{\ln |C| + (\Psi - \mu)' C^{-1} (\Psi - \mu)\} + 2L \quad (13)$$

一般に、地盤物性値の空間的な相関性は小さく、それ故、相関距離を決定するのは難しい。MAICによって相関距離が決定されないということがしばしば起こる。そこで、本研究では、MAICによって、相関距離が同定されない場合、次のプロセスで相関モデルの決定を行うものとする。

第一に、MAICによって、平均値関数(トレンド関数)と標準偏差を決定する。第二段階として、これらの値に基づいて、パラメータが $N(0,1)$ に従うように基準化し、次いでこれに関する x, z 方向のセミバリオグラムをそれぞれ求めて、共分散マトリクス C_{ij} を決定するものとする。その際、各方向のバリオグラムは、式(14)で与える最も単純な指数型の関数を仮定し、相関距離を同定する。ここで、 γ_x, γ_z は、それぞれ、 x, z 方向におけるセミバリオグラムである。これから2点 i, j 間の共分散関数 C_{ij} は、式(15)のように導かれる。

$$\begin{aligned} \gamma_x(|x_i - x_j|) &= C_{0x} + C_{1x} \left\{1 - \exp\left(-\frac{|x_i - x_j|}{l_x}\right)\right\} & |x_i - x_j| > 0 \\ \gamma_z(|z_i - z_j|) &= C_{0z} + C_{1z} \left\{1 - \exp\left(-\frac{|z_i - z_j|}{l_z}\right)\right\} & |z_i - z_j| > 0 \\ \gamma_x(0) &= \gamma_z(0) = 0 \end{aligned} \quad (14) \quad \begin{aligned} C_{ij} &= \frac{C_{1x} C_{1z}}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{|x_i - x_j|}{l_x} - \frac{|z_i - z_j|}{l_z}\right) & i \neq j \\ C_{ij} &= \sigma^2 & i = j \end{aligned} \quad (15)$$

3.2 堤体強度の空間分布特性

地盤物性値の空間分布特性を同定するためには、高密度のサンプリングデータが必要である。しかしながら、通常はサンプリングデータは十分でないので、そのような場合、サウンディング試験結果を用いるのが便利である。ここでは、Fig.1 にスウェーデン式サウンディング試験の結果を示す。試験結果は、 N 値に換算されたものが示されているが、ため池堤軸方向に沿って実施された試験結果に基づいている。サウンディング結果は、次式を通して N 値に換算される。

$$N = 0.002W_{sw} + 0.067N_{sw} \quad (16) \quad N: N \text{ 値} \quad N_{sw}: \text{半回転数} \quad W_{sw}: \text{重錘の重さ}$$

図中、実線は平均値関数、破線は σ 限界値(平均値から標準偏差分だけ隔たった値)を表している。ここでは、堤軸直交方向には情報が無いため、二次元分布モデルが示されている。

地盤定数の空間的な相関性を得るためには、サウンディングが有効であり、ここで示す手法は有効である。Fig.1を含めて、複数のため池堤体において統計モデルを決定した例をTable 1に示している。Table 1(a), (b)は、それぞれ、MAICおよびバリオグラムから求めた共分散関数に対応している。バリオグラムを用いる場合、一方向の相関性を調べるため、MAICによるより相関距離が求まり易いのが特徴である。また、平均値関数は比較的単純な深さ方向に対する線形関数が選択され

易く、水平方向の相関距離は鉛直方向の20倍以上になっている。

4. 信頼性設計手法

通常、リスクは期待破壊コストとして、次式によって与えられる。

$$C_F = P_f C_f \quad (17)$$

ここで、 P_f は破壊確率、 C_f は堤体盛土が完全に崩壊した場合の破壊損失を表す。

一般に、土構造物は、安定と不安定状態の区分が明確でなく、破壊状態を規定するのが難しい。円弧すべり解析法を適用するときは全体破壊のみが規定される。一方、有限要素法では、局所破壊も規定することができるため、ここでは、損傷レベルを考慮し、以下に示す期待被害損失をリスクとして用いるものとする。

$$C_F = E[RSR]C_f \quad (18)$$

これに基づいて総コストは、次式で得られる。

$$C_T = C_i + C_F \quad (19)$$

ここで、 C_i は初期コストであるが、本研究の場合、堤体の更新費用を意味している。一般の信頼性設計において、総費用を最小化するように、最適設計案を決定することができる。しかしここでは、ため池の更新前後の総費用の比較を行い、ため池の改修効果を評価する。

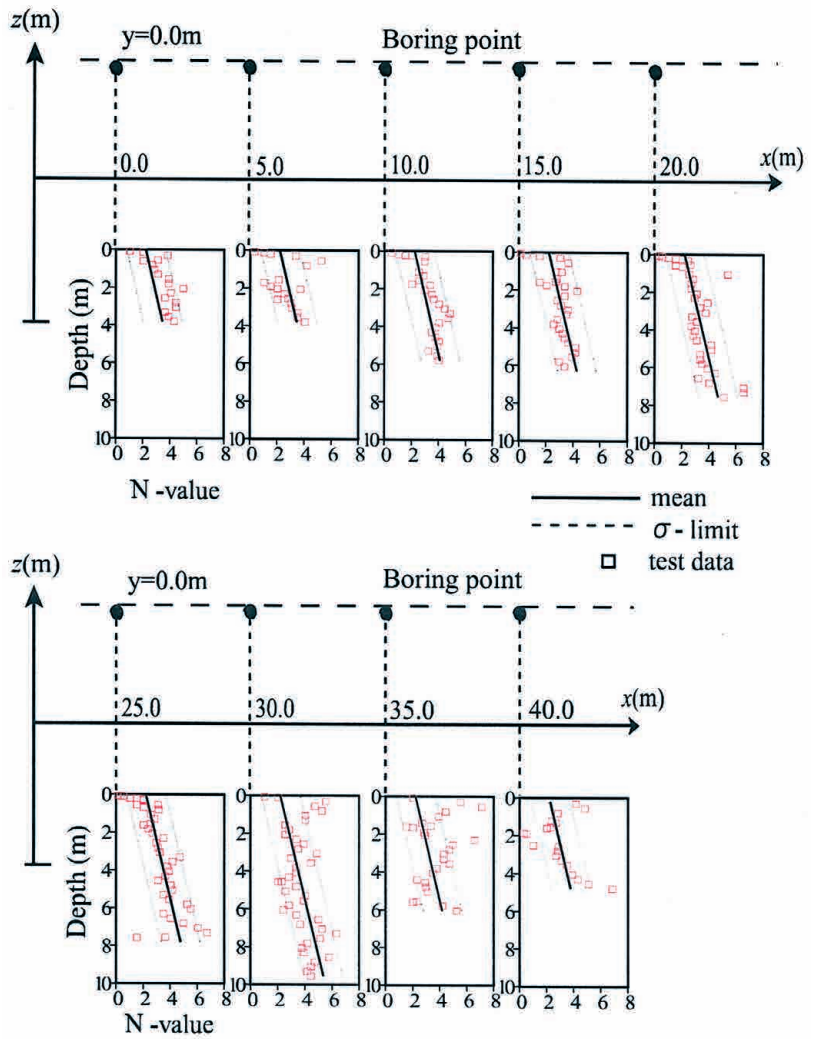


Fig.1 Example of N-values distribution based on Swedish weight sounding test.

5. ため池堤体の解析

5.1 ため池堤体のモデル

本研究では、ため池の更新前後の安定性を比較している。堤体盛土の断面図をFig.2に与えているが、Fig.2(a), (b)は、それぞれ改修前後の断面図を表しており、改修後は傾斜コアが加えられた断面となっている。堤体の材料定数をTable 2に与えており、表中の材料区分は、図中のゾーンに対応している。各材料定数は、N値サンプリングによる土質試験と現地透水試験結果による。内部摩擦角は、大崎の式： $\phi = \sqrt{20N + 15^2}$ を使用している。また、粘着力は土質試験結果を基に決定した。ここでは、有効粘着力 c' 、有効内部摩擦角 ϕ'

を確率変数として取り扱っているが、変動係数を0.2, 0.1と仮定している（例えば、Phoon et al.^{8),9)}。また、解析対象ため池は、Table 1で示したサイトAに対応しており、共分散関数として、式(12d)を使用している。3章ででの考察では、水平方向に堤軸方向を考えているが、ここでは、結果を拡大解釈し、水平方向の相関距離は等しい、即ち、 $l_x = l_y$ としている。

5.2 浸透流解析

本研究では、水土連成解法を用いているが、複雑な不飽和土の挙動評価を避けるため、飽和領域にのみ連成解法を適用している。従って、解析の第一段階として飽和・不飽和浸透流解析¹⁰⁾を行い、水面を同定し、安定解析ではこれを固定化している。解析で用いている不飽和浸透特性をFig.3に与えている。解析では、上流側は図に示した水位に従い、下流側は

Table 1 Examples of 2D-spatial distribution models of sounding results.

(a) MAIC

Site	Mean function	S.D.	Type	N_p	C. D. (m)
A ¹⁾	$2.44 - 0.315z$	1.26	d	0.77	$l_x = 9.3, l_z = 0.46$
B	$2.124 - 0.102z$	0.82	a	---	$l_x = 10.0, l_z = 0.0$
C	$2.41 + 0.001x - 0.32z$	1.17	a	---	$l_x = 4041, l_z = 0.0$

x: horizontal coordinates (m). (x=0 at the end of embankment.)

z: vertical coordinate (m). (z=0 at the embankment surface.)

S.D.= Standard deviation C. D. = Correlation distance.

1): case corresponding to Figure 1.

(b) Variogram

Site	C0	C1	C. D. (m)
A	$C_{0x}=0.51, C_{0z}=0.47$	$C_{1x}=0.49, C_{1z}=0.53$	$l_x = 15.4, l_z = 0.60$
B	$C_{0x}=0.22, C_{0z}=0.29$	$C_{1x}=0.78, C_{1z}=0.79$	$l_x = 62.5, l_z = 4.76$
C	$C_{0x}=0.37, C_{0z}=0.46$	$C_{1x}=0.63, C_{1z}=0.54$	$l_x = 20.9, l_z = 0.58$

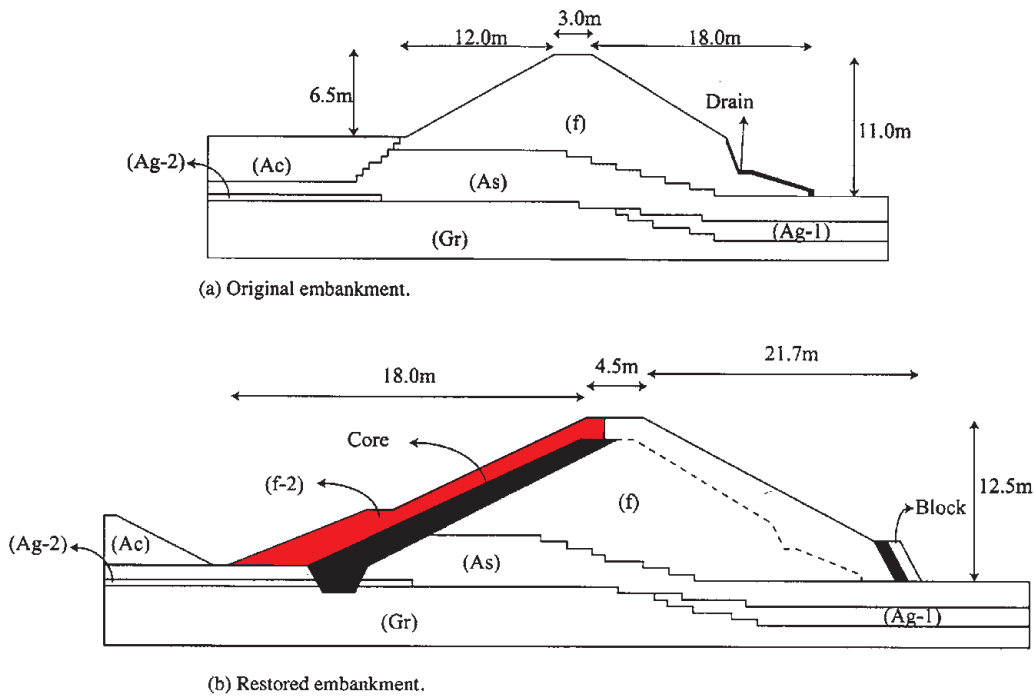


Fig.2 Cross sections of fill-embankments.

Table 2 Material properties of earth fill dam and ground.

Materials	Unit weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Internal friction angle (°)	Permeability (m/d)	Young's modulus (kPa)	Poisson's ratio	Dilatancy angle(°)
f	20.0	12.45	$\phi = \sqrt{20N} + 15$	2.88×10^{-1}	$2,800N$	0.3	0.0
As	18.0	38.2	24.4	1.18×10^{-1}	12.0×10^3	0.3	0.0
Ac	15.0	12.5	19.5	1.47×10^{-1}	28.0×10^2	0.3	0.0
Ag-1	18.0	177.5	36.4	9.50×10^{-2}	66.4×10^4	0.3	6.4
Ag-2	18.0	515.0	50.0	9.50×10^{-2}	19.0×10^4	0.3	20
Gr	18.0	755.0	50.0	2.88×10^{-1}	28.0×10^4	0.3	20
Core	17.6	20.0	27.0	1.00×10^{-4}	28.9×10^2	0.3	0.0
f-2	17.1	19.0	26.0	8.76×10^{-2}	28.9×10^2	0.3	0.0
Drain	19.0	20.0	27.0	8.0	10.0×10^6	0.3	0.0
Block	24.0	3.0×10^8	38.0	1.00×10^{-6}	22.6×10^6	0.2	8.0

堤体の法尻で圧力水頭が0mになるように固定した。Fig.4(a), Fig.4(b)は、それぞれ改修前後の堤体の水圧分布の予測値を表しているが、図によると、改修後はコアの設置によって劇的に水面が低下する。結果として、この水面の低下が解析上、堤体を安定化させることになる。

5.3 安定解析結果

安定解析は、弾粘塑性有限要素法EVP-FEMとモンテカルロ法を結合した解析法を用いている。モンテカルロ法は、確率変数である有効粘着力 c' と有効内部摩擦角 ϕ に対して適用される。計算は1,000回繰り返すものとする。

今回、地震力は、通常のパラメトリック解析に準拠し、設計震度0.15に基づく静的な荷重を載荷している。地震力は、堤体の自重×震度が、物体力として載荷される。また、今回の解析では、水土連成解法は、水面下の飽和部分のみ適用することとし、水面より上部における間隙水圧は0に固定している。これは、負圧と有効応力の関係は不明確な部分も多いため、安定計算では、安全側を考えているためである。

Fig.5は、安定解析結果で、解析された相当粘塑性ひずみ速度分布を示している。図は、確率的な解析ではなく、パラメータの平均値を用いた確定的な解析結果であり、Fig.5(a), (b)はそれぞれ改修前後の解析結果に対応している。解析では、せん断抵抗力低減法¹³⁾によって破壊モードが形成されており、円弧状の破壊面が見られる。これを全体破壊のモードと規定

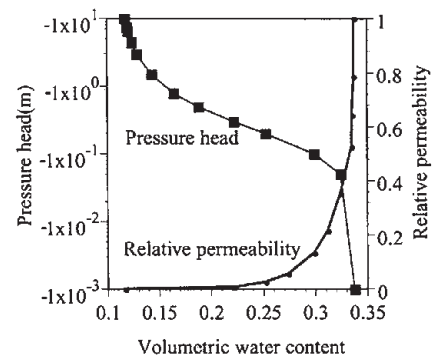


Fig.3 Unsaturated soil characteristics.

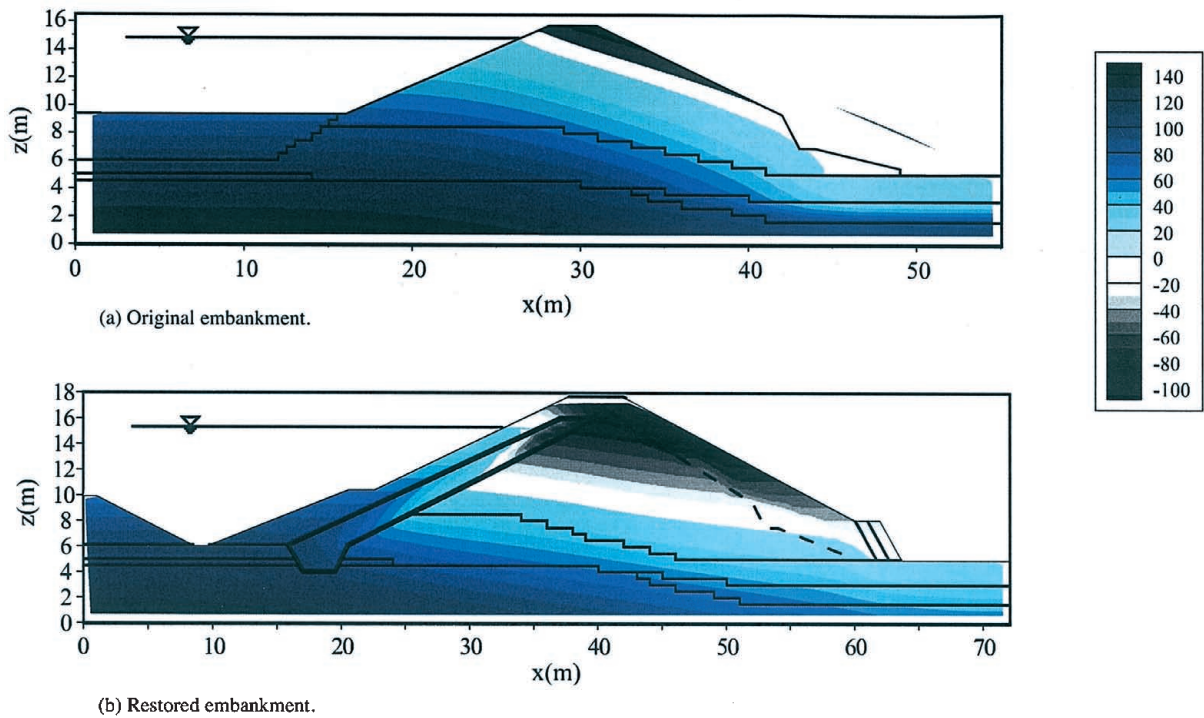


Fig.4 Distribution of pressure head for design flood water table. (unit: kPa)

し、この状態の TSR を全体破壊のための限界値 $TOLER$ と定義する。せん断抵抗力低減法は、式(20)において、力の釣合が保てなくなるまで安全率 F_s を増加させる、即ち、解析で用いる見かけのせん断抵抗力 τ_f' を低減させる方法である。ここでは、全体破壊モードが形成された状態の F_s を安全率として採用する。図には、求めた安全率を示しているが、改修によって、1.12 から 1.23 に上昇している。

$$\tau_f' = \tau_f / F_s \quad (20)$$

5.4 信頼性解析結果

本研究では、式(18)によって期待被害損失 C_p を計算し、初期建設コスト C_i として更新コストを考えている。総コストは式(19)から導かれるが、改修前後の値が Table 3 に示されている。破壊損失 C_f は、家屋、農業設備、農地の被害額を表している。

被害損失の期待値 $E[RSR]$ は、モンテカルロ法から求められる。Table 3 によると、この値が改修前後で劇的に減少しているのが分かる。これに伴い、総コストも改修の前後で大きく変化しているが、その減少額が改修の効果として評価される。総コストの減少額は次のように得られている。

$$111,603 - 105,550 = 6,053 \text{ (unit: 1,000 yen)}$$

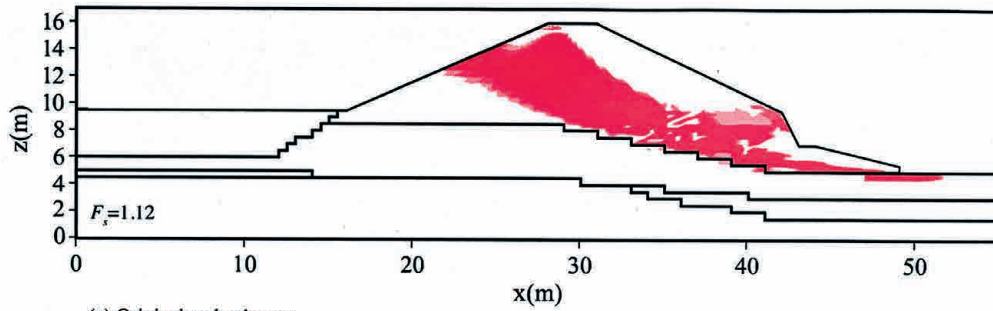
6. まとめ

(1) 堤体強度の空間分布モデルの決定法を示した。サウンディング試験結果を基に、MAIC手法とセミバリオグラムを利用する方法を示した。複数の堤体盛土に対して、手法を適用した結果、大凡、水平方向の相関距離は、鉛直方向に対して20倍以上である、という結果を得た。

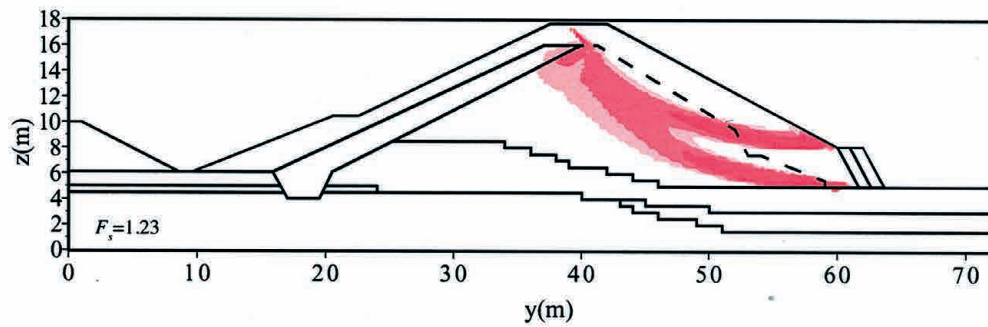
(2) 水土連成弾粘塑性有限要素法にモンテカルロ法を結合した手法を用いて信頼性解析を実施した。確率変数として、粘着力 c' 、内部摩擦角 ϕ' を考えた。解析結果として、期待被害損失 $E[RSR]$ を求めた。

(3) 期待被害損失に利用した総コストに基づく信頼性設計手法を示した。この手法を基に、ため池堤体の地震(設計震度0.15)に対する改修前後の総コストの比較を行った。このコスト差によって、改修効果を評価した。

謝辞：本研究の遂行に対しては、岡山県備前県民局技師・三文一弥氏に様々なご配慮を頂いた。記して謝意を表する。



(a) Original embankment.



(b) Restored embankment.

Figure 5. Distribution of viscoplastic strain rate for expected values of strength parameters and safety factors. (Design earthquake intensity = 0.15)

Table 3. Result of reliability analysis (Unit 1,000 yen).

Embankment	Initial cost C_i	Damage loss	Failure loss C_f	$E [RSR]$	Total cost C_T
Original	0	1,174,769	1,174,769	0.095	111,603
Restored	87,500	1,174,769	1,262,269	0.0143	105,550

参考文献

- 1) Fenton, G. A. and Griffiths, D. V. : Probabilistic foundation settlement on spatial random soil, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128(5), pp.381-391, 2002.
- 2) Griffiths, D. V. and Fenton, G. A. : Probabilistic settlement analysis of rectangular footings, *Proc. of 16th ICSMGE*, 1, pp.1845-1848, 2005.
- 3) Griffiths, D. V. , Fenton, G. A. and Manoharan N. : Bearing capacity of rough rigid strip footing on cohesive soil: probabilistic study, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128(9), pp.743-755, 2002.
- 4) Bakker, H. L.: Failure probability of river dikes strengthened with structural elements, *Proc. of 16th ICSMGE*, 1, pp.1845-1848, 2005.
- 5) Owen, D. R. J. and Hinton, E.: *Finite elements in plasticity: Theory and Practice*, Pineridge Press, U.K., 1980.
- 6) 稲田倍徳: スウェーデン式サンディング試験結果の使用について, *土と基礎*, 8(1), pp.13-18, 1960.
- 7) Hatanaka, M. and Uchida, A. 1996. Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy soils, *Soils and Foundations*, 36(4), pp.1-9, 1996.
- 8) Phoon, K-K. and Kulhawy F.H.: Characterization of geotechnical variability, *Can. Geotech. J.*, 36, pp.612-624, 1999.
- 9) Phoon, K-K. and Kulhawy F.H.: Evaluation of geotechnical property variability, *Can. Geotech. J.*, 36, pp.625-639, 1999.
- 10) 西垣 誠他: *AC-UNSAF3D ユーザーズマニュアル*, 2001.
- 11) 鵜飼恵三: 安定解析におけるせん断強度低減法の有用性, *土と基礎*, 38(1), pp.67-72, 1990.

1. はじめに

世界の人口は増加の一途をたどっており、それを支える食糧の安定供給は人類の最重要課題のひとつである。そのためには農薬は依然として不可欠であり、人畜や環境への悪影響のより低い農薬の開発が続けられている。また近年、抵抗性害虫や薬剤耐性病原菌の問題が深刻化している。そのため、常に新しい作用機構をもつ薬剤や抵抗性の発達しにくい薬剤の開発が求められている状況にある。つまり、環境低負荷型の害虫防除や植物病害防除を持続・発展させていくためには、環境残留性が低く、標的生物のみに作用し、しかも新しい作用点をもつ薬剤の開発が非常に重要といえる。

我々のグループでは新たな害虫防除剤開発のためのリード化合物を見いだすため、微生物由来の昆虫キチン分解酵素阻害剤の探索を行ってきた。脱皮は昆虫に特有の生理現象であり、昆虫の表皮の主成分であるキチンの分解酵素系は脱皮の過程に必須であることから、その阻害剤は昆虫のみに作用し、他の生物への影響のない選択性を有すると考えられ、「環境に優しい農薬」となることが期待される。しかもキチン合成系に作用する薬剤はすでに実用化されているが、キチン分解系酵素を作用点としたものは実用化には至っていない。

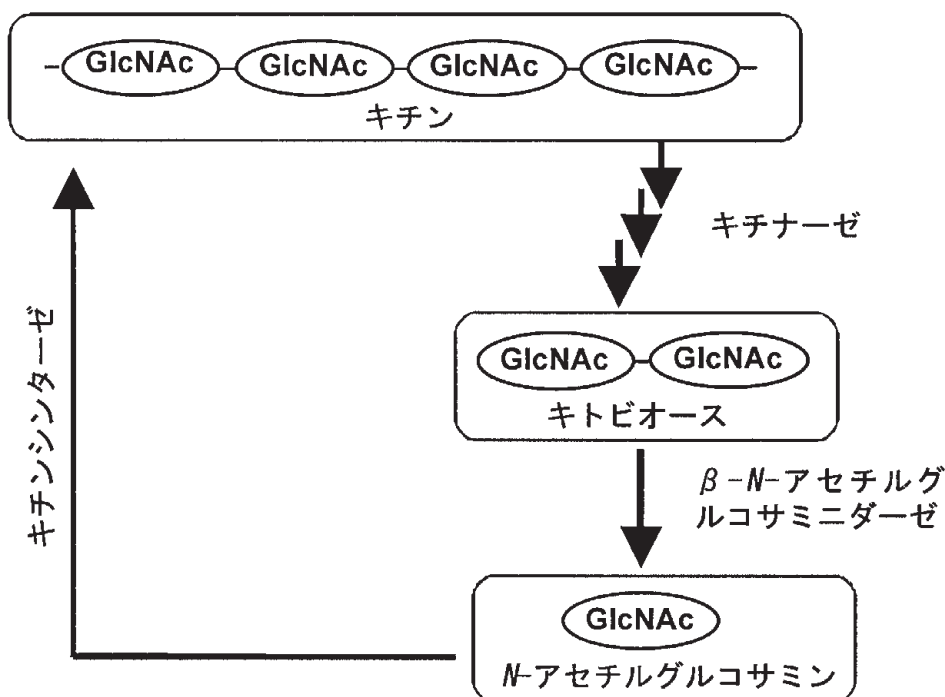


図1 昆虫におけるキチン代謝とそれに関与する主要な酵素

我々は、まずキチン分解酵素系の初発酵素であり、律速酵素でもあるキチナーゼをターゲットとして探索を行った。雑食性の作物害虫として知られるハスモンヨトウの粗酵素液を用いた簡便なバイオアッセイ (1, 2) を構築してスクリーニングを行った結果、強力な活性を有する活性菌株 5 菌株が得られた (3)。そのうち、最も強い活性を示した糸状菌株の培養液から活性物質の単離を試みたところ、新規多糖 FPS-1 が得られた (4)。FPS-1 は強力なキチナーゼ阻害活性と昆虫と一部の糸状菌の酵素のみを阻害し、ほ乳類や植物の酵素は阻害しないという非常に狭い阻害スペクトルを併せ持つ理想的な生理活性を示した。そこで、キチン分解酵素系において、キチナーゼの下流に位置する β -N-アセチルグルコサミニダーゼについても FPS-1 同様に昆虫酵素特異的な阻害剤が得られることを期待して微生物培養物からの探索を行ったところ、多くの β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害剤生産菌株が見いだされた。興味深いことに、これらの菌株は、FPS-1 同様に昆虫と一部の糸状菌の酵素のみを阻害し、ほ乳類や植物の酵素は阻害しないという非常に狭い阻害スペクトルを示す菌株のグループ (放線菌 4 菌株) と、これとは対照的に様々な生物種の酵素を阻害するという幅広い阻害スペクトルを有する菌株のグループ (糸状菌 4 菌株) とにはっきりと分類することができた (5)。このことから、これら 2 つのグループの阻害剤を単離し、それらの構造を比較することにより、また、既存の天然物由来および化学合成の β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害剤の構造および阻害特異性と比較することにより、 β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害剤の阻害特異性に関する分子構造についての知見が得られると考えられ、目的に応じた阻害スペクトルを有する β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害剤の分子設計の可能性を高め、環境低負荷型の新たな害虫防除剤、抗菌剤の開発に寄与するものと考えられる。

最近、我々は上記の 2 つのグループのうち、非常に狭い阻害スペクトルを示す菌株のグループに属する放線菌 *Streptomyces* 属の菌株の培養物について活性化合物の精製を行い、新規 β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害剤 HU-1 を単離・構造決定することに成功した。そこで、本研究では、幅広い阻害スペクトルを有する菌株のグループからの β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害剤の単離・構造解析を目的とした。

2. 実験方法

2.1. 活性化合物の単離源となる微生物培養物の選抜

糸状菌培養物抽出物は玉川大学学術研究所・奥田徹教授よりご供与いただいた。これまでの検討により、幅広い阻害スペクトルを有することが明らかとなっている糸状菌 4 菌株 *Paecilomyces* 属 F13 株, *Paecilomyces* 属 F30 株, *Paecilomyces carneus* F2281 株, *Verticillium* 属 F40 株をそれぞれの最適培地 (F13 株はソバ固体培地, 他の 3 菌株はオオムギ押し麦固体培地) で 25°C, 19 日間静置培養して得られた培養

物をブタノール抽出し、ハスモンヨトウ β -*N*-アセチルグルコサミニダーゼ阻害活性を比較して、培養の再現性の検討と活性物質の単離源となる菌株の選抜を行った。

2.2. 活性化化合物の精製

糸状菌 *Verticillium* 属 F40 株培養物（オオムギ押し麦固体培地で 25°C, 19 日間静置培養）のメタノール抽出物を有機溶媒分画・活性炭カラムクロマトグラフィー・陽イオン交換クロマトグラフィー・陽イオン交換高速液体クロマトグラフィーにより順次精製を行った。具体的には以下の通りである。

2.2.1. 有機溶媒分画による精製

メタノール抽出物を減圧濃縮してメタノールを留去し、水懸濁液とした。これに等量の酢酸エチルを加えて分液操作を行い、酢酸エチル層と水層を得た。酢酸エチル層については、約半量の水を添加して再度分液操作を行い、酢酸エチル層と水層を得た。これら 2 回の分液操作で得た 2 つの水層を合一して減圧濃縮により残留酢酸エチルを留去し、水可溶部とした。活性はほぼすべて水可溶部に得られた。

2.2.2. 活性炭カラムクロマトグラフィーによる精製

上記水可溶部をカラムクロマトグラフ用活性炭素（ナカライ）のカラムに供し、脱塩水、10%メタノールおよび 50%メタノールで溶出したところ、50%メタノール溶出画分に活性がみられた。

2.2.3. 陽イオン交換カラム及び活性炭カラム（脱塩）による精製

活性炭カラムにより得られた活性画分を減圧濃縮してメタノールを留去し、水溶液としたのち、陽イオン交換カラムクロマトグラフィーに供した。方法は以下の通りである。イオン交換樹脂（Amberlite[®] CG-50 NH₄⁺型）のカラムに、活性画分水溶液を供し、脱塩水と 0.05MNaCl 水溶液で溶出したところ、0.05MNaCl 水溶液溶出画分に活性がみられた。これをカラムクロマトグラフ用活性炭素（ナカライ）のカラムに供し、脱塩水、10%メタノールおよび 50%メタノールで溶出して脱塩を行った。これを減圧濃縮してメタノールを留去し、得られた水溶液を凍結乾燥に供して、淡黄色の粗活性物質を得た。

2.2.4. 高速液体クロマトグラフィー（HPLC）による精製

粗活性物質全量を陽イオン交換高速液体クロマトグラフィー（HPLC）による精製に供した。方法は以下の通りである。50 mM 酢酸アンモニウム水溶液で平衡化した HPLC カラム（Shodex, Asahipak ES 502C[®] 7C, 7.6 x 100 mm, 流速 0.6 mL/min）に、試料水溶液を供し、50 mM 酢酸アンモニウム水溶液で活性画分を溶出し、阻害活性を示す画分を凍結乾燥に供する事で、純粋な活性物質を白色粉末として得た。

2.3. 活性化化合物の構造解析

活性化化合物を各種 NMR 分析、質量分析に供して構造解析を行った。NMR 分析は INOVA AS600（バリアン）を用いて重メタノールを溶媒中、30°C で測定を行った。質量分析

は SX-102A (日本電子) を用いて高速原子衝突イオン化法により測定を行った。

2.4. β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害試験

昆虫酵素としてハスモンヨトウ蛹より調製した粗酵素液, 糸状菌酵素として *Penicillium oxalicum* 由来の β -N-アセチルヘキソサミニダーゼ (生化学工業) および *Aspergillus oryzae* 由来の β -N-アセチルヘキソサミニダーゼ (シグマ) を, 植物酵素としてタチナタマメ由来の β -N-アセチルヘキソサミニダーゼ (シグマ) を, ほ乳類酵素として仔牛腎臓 β -N-アセチルグルコサミニダーゼ (シグマ) およびヒト胎盤 β -N-アセチルグルコサミニダーゼ (シグマ) を用いた。基質として 5 mM *p*-ニトロフェニル-N-アセチル- β -D-グルコサミニドを用いた。酵素阻害試験は, 被検試料の存在下, 酵素と基質を各酵素の最適 pH で 37°C, 60 分間反応させて行った。反応終了後, 1.3M 水酸化ナトリウム水溶液を添加してアルカリ性としたのち, 直ちに分光光度計により 415 nm における吸光度 (a) を測定した。同時に, 試験試料を含まない対照区の吸光度 (b) を測定した。ここで, 対照区への酵素溶液の添加量は 415 nm における吸光度 (b) が 0.500 となるような量とした。酵素阻害率 (%) は, 次の式により求めた。

$$\text{酵素阻害率 (\%)} = [1 - (a)/(b)] \times 100$$

酵素阻害活性の対照としては, 天然由来で最強の β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害剤として知られるナグスタチン (6) を用いた。

3. 結果

3.1. 活性化化合物の単離源となる微生物培養物の選抜

糸状菌 4 菌株 *Paecilomyces* 属 F13 株, *Paecilomyces* 属 F30 株, *Paecilomyces carneus* F2281 株, *Verticillium* 属 F40 株の培養物のブタノール抽出物のハスモンヨトウ蛹 β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害活性を比較した結果, *Verticillium* 属 F40 株が 4 菌株中で最も強い活性を示し, 培養の再現性も高いことが明らかとなった。そこで, 本菌株の培養物を今回の活性物質単離源と決定した。なお, 本培養物の抽出溶媒としては, 抽出効率および操作性の面で, ブタノールよりメタノールが適していることが明らかとなったため, 活性化化合物の精製にはメタノール抽出物を用いることにした。

3.2. 活性化化合物の精製

ハスモンヨトウ蛹 β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害活性を指標として, 糸状菌 *Verticillium* 属 F40 株培養物のメタノール抽出物から活性化化合物の精製を行った。各種精製操作により, 活性物質 20 mg を得ることができた。これを MT-1 と命名した。MT-1 は精製過程における挙動から, 塩基性の水溶性低分子化合物であると考え

られた。

3.3. 活性化化合物の構造解析

¹H-NMR 分析において、MT-1 は δ 2.0 付近にシングレットを示し、アセチル基を有することが示唆された。また、 δ 3.4~4.0 にみられるシグナルの化学シフトとカップリングパターンから、糖に類似した環構造を有すると推測された。質量分析においては、高速原子衝突イオン化法により、MT-1 は分子量 260 を有することが明らかとなった。また、MT-1 は精製段階で塩基性の化合物であることが判明したため、窒素原子を含む可能性が示唆された。以上のことと各種 2 次元 NMR による解析、高分解能質量分析の結果から、詳細については現在検討中であるが、MT-1 はポリヒドロキシピロリジジン系アルカロイド類に分類される新規の化学構造を有することが明らかとなった。天然由来のポリヒドロキシピロリジジン系アルカロイド類としては、これまでにアレキシン類やヒアシンタシン類が植物から単離され、強力なグルコシダーゼ阻害活性を有することが知られているが (7)、N-アセチル基を有する天然化合物の報告はない。また、MT-1 は糸状菌由来のポリヒドロキシピロリジジン系アルカロイド類としても最初に単離された化合物と考えられることから、非常に興味深いと考えられる。

3.4. 活性化化合物の β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害活性

MT-1 は、今回使用した昆虫、糸状菌、哺乳類、植物由来の酵素すべてに対して阻害活性を示し、その 50%阻害濃度はいずれの酵素に対しても nM オーダーであり、非常に強力なものであった。この活性は対照として用いた最強の天然 β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害物質であるナグスタチンに匹敵するものであった。

4. おわりに

今回得られた化合物 MT-1 は新規の化学構造を有する化合物であり、新たな天然生理活性物質の発見として大変意義深い。また、本化合物が属するポリヒドロキシピロリジジン類は植物からの単離の報告はあるが、糸状菌を含む微生物からの単離の報告はないことから、その生理的意義と生合成経路について非常に興味もたれる。キチンは昆虫の表皮成分であると同時に糸状菌の細胞壁の構成成分でもあり、その代謝に必須である β -N-アセチルグルコサミニダーゼは抗菌剤のターゲットとしても注目されている (8)。MT-1 は天然の β -N-アセチルグルコサミニダーゼ阻害剤のなかでナグスタチンと並び最強の活性を有することから、環境に優しい害虫防除剤や抗菌剤への応用が期待される。

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、玉川大学学術研究所・奥田徹教授には、糸状菌培養物のご提供と数多くのご助言をいただきました。(財)微生物化学研究会にはナグスタチンをご提供していただきました。岡山大学自然科学研究科・神崎浩教授には研究全般にわたり、貴重なご助言をいただきました。NMR および質量分析においてはそれぞれ、岡山大学 SC-NMR 室、岡山大学農学部質量分析室の装置を利用させていただきました。本研究の一部は(財)八雲環境科学振興財団の補助を受けて実施しました。ここに記して深く感謝申し上げます。

6. 参考文献

1. Kawazu K., Ohnishi, S., Kanzaki, H. and Kobayashi, A. A stable crude chitinase solution from *Spodoptera litrua* pupae and a search for its inhibitor. *Zeitschrift fuer Naturforschung* 51c, 738-742 (1996).
2. Nitoda, T., Kurumatani, H., Kanzaki, H. and Kawazu, K. Improved bioassay method for *Spodoptera litura* chitinase inhibitors using a colloidal chitin powder with a uniform particle size as substrate. *Pesticide Science* 55, 563-565 (1999).
3. Nitoda, T., Usuki, H., Kurata, A. and Kanzaki, H. Macromolecular insect chitinase inhibitors produced by fungi: screening and partial characterization. *Journal of Pesticide Science* 28, 33-36 (2003).
4. Nitoda, T., Usuki, H. and Kanzaki, H. A potent insect chitinase inhibitor of fungal origin. *Zeitschrift fuer Naturforschung*, 58c, 891-894 (2003).
5. Usuki, H., Nitoda, T., Okuda, T. and Kanzaki, H. Screening and partial characterization of inhibitors of insect β -*N*-acetylglucosaminidase. *Journal of Pesticide Science* 31, 41-46 (2006).
6. Horiguchi, K., Hamada, M., and Takeuchi, T. Nagstatin, a new inhibitor of *N*-acetyl-beta-D-glucosaminidase, produced by *Streptomyces amakusaensis* MG846-fF3. *J. Antibiot.* 46, 1404-1408(1992).
7. Watson, A. A., Fleet, G. W., Asano, N., Molyneux, R. J., Nash, R. J. Polyhydroxylated alkaloids -- natural occurrence and therapeutic applications. 1. *Phytochemistry*. 56, 265-95 (2001).
8. Horsch, M., Mayer, C., Sennhauser, U., Rast, D. M. Beta-*N*-acetylhexosaminidase: a target for the design of antifungal agents. *Pharmacol Ther.* 76 187-218, (1997).

石油資化性を有する海洋性細菌の熱帯海域からの探索と、「重油漏れ事故」等による環境汚染の防止対策への実用的応用

岡山県立大学保健福祉学部栄養学科 中島 伸佳

(共同研究者：岡山県立大学大学院保健福祉学研究科 勝部 泰子)

(共同研究者：岡山理科大学理学部臨床生命科学科 石原 浩二)

はじめに

19世紀以降の重工業を始めとした各種の産業の発展は、人類の生活に多大な貢献をもたらしたが、その結果として、様々な環境汚染や自然破壊を引き起こし、近年、地球温暖化や異常気象に至る地球規模で大きな問題に至っている。

従って、今世紀は、「エネルギー源」として「化石燃料（石油など）」を燃焼させる「非持続的経済構造」を改め、農畜水産物や食品廃棄物、あるいは家畜排泄物などの「有機系バイオマス」を再利用し、持続的な「循環（リサイクル）型経済社会構造」を構築する必要性が求められている。

しかも、永続的な地球環境の保全のためには、ヒトの生存環境中に過剰に付加・蓄積された「バイオマス」は適切な手段により、再び地球環境中に効率的かつ安全に「分解（変換）と還元」がなされなければならない。

その一例として、石油は我々の生活に欠かせない「化石燃料」であるが、石油工業の発展とともに、タンカー事故による原油漏れや工業施設などからの廃油の流出などによる海洋汚染を招く結果となり、海洋環境への影響が懸念されている。

一方、石油の存在条件下にも微生物は生息しており、それらの中には石油成分を資化して生育しているものも存在し、環境浄化の観点から注目されている。

本研究では、「環境汚染の防止を生物、特に微生物の機能に求める研究」の一環として、石油由来の油脂関連化合物の資化・分解能力を有する海洋性細菌を、熱帯海域の海底土壌から新たに探索し、その資化性のメカニズムを科学的に解明した上で、特に、海洋、内海、河川などにおける水質汚染を防止するための「新規なバイオ技術（バイオレメディエーション法）」を開発し、究極的には「地球環境の保全と保護」に貢献することを最終目的としている。

研究方法と結果

熱帯海域の海底の岩および砂 (Fig. 1) を、無菌的に「海洋性微生物の給源」として採取し、それらを滅菌生理食塩水中で数日間浸漬することにより抽出液を調製した。



Fig. 1. 熱帯海域の海底から採取した岩と砂

その抽出液 (1 ml) を、石油の最終代謝物であるアルカン酸 (hexanoic acid) やアルケン酸 (*trans*-3-hexenoic acid) を添加 (各 3 ~ 5%) した「3%NaCl 含有ペプトン・ブイヨン培地 (PB 培地、pH 7.4)」中で、24 度での振盪培養 (100rpm) を繰り返し行うことにより、生育してきた微生物群の「集積培養」による「耐性化」を行った。

続いて、PB 培地中に重油や原油をそれぞれ直接添加して培養を継続することにより、石油資化性細菌の「スクリーニング」を試みた。

すなわち、PB 培地の濃度 (~ 1/20 まで減少) や移植率 (Inoculum size : ~ 0.03% まで減少) を減少させ、重油および原油などの石油成分の添加量を、随時増加 (~ 0.5%) させながら、それらの海洋性微生物の「継代培養 (10 日間おきに移植)」を実施した。

その結果、上記の培養液中で生育が可能であった「海洋性微生物」を、以下のように分類した。

- No. 1. ヘキサ酸耐性菌群を、0.5%重油添加 : 1/20PB 培地で培養したもの。
- No. 2. ヘキセン酸耐性菌群を、0.5%重油添加 : 1/20PB 培地で培養したもの。
- No. 3. ヘキサ酸耐性菌群を、0.5%原油添加 : 1/20PB 培地で培養したもの。
- No. 4. ヘキセン酸耐性菌群を、0.5%原油添加 : 1/20PB 培地で培養したもの。

それぞれの「海洋性微生物群」を、1/20PB 培地中で 10 日間培養し、「継代培養」を行った際の培養液の変化 (添加した石油成分の状態変化) を、以下の Fig.2 に示している。

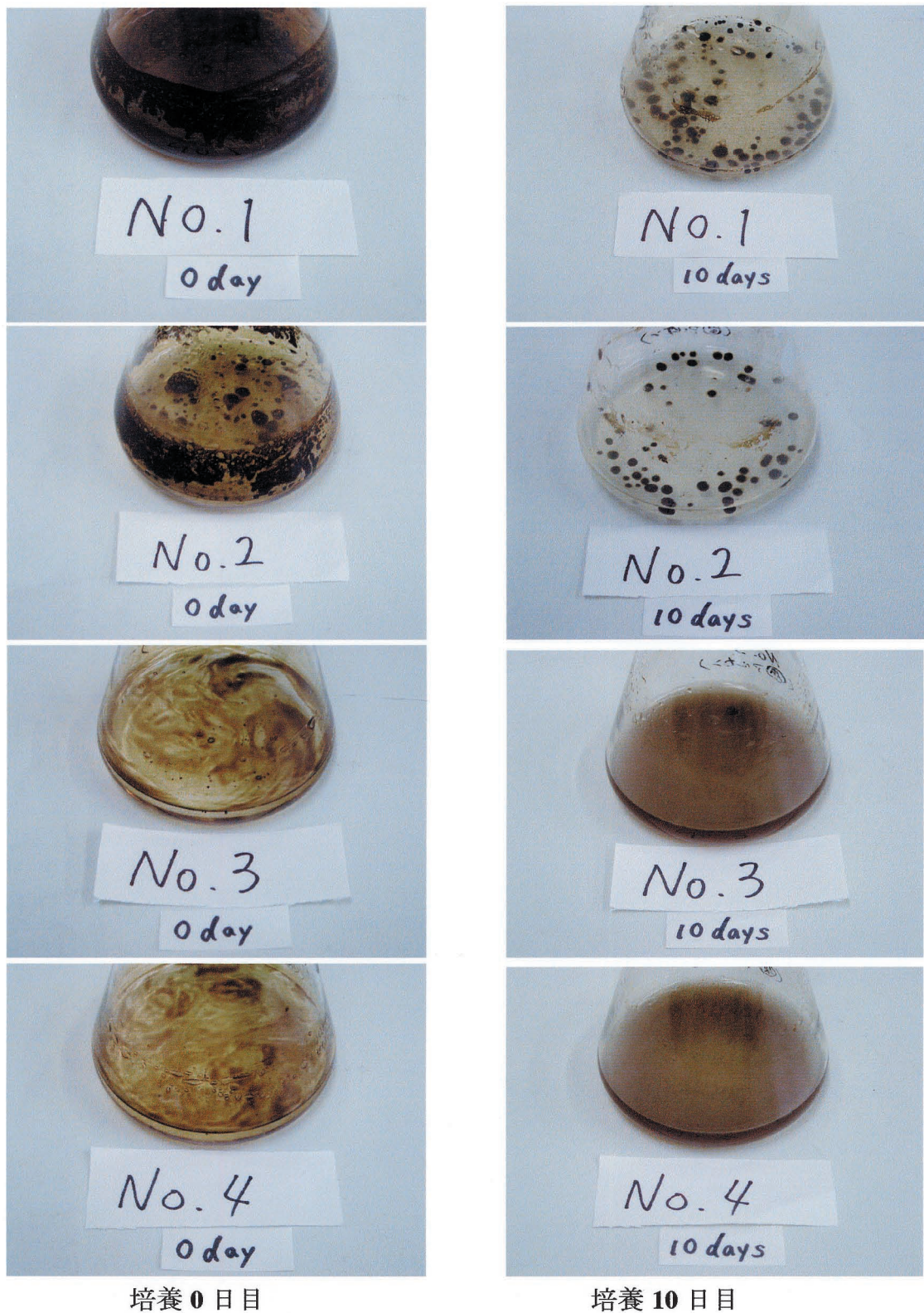


Fig. 2. 重油または原油を添加した 1/20 PB 培地による、海洋性微生物菌群 No. 1 ~ No. 4 の培養
 (No. 1 と No. 2 は、重油を添加した 1/20 PB 培地で、No. 3 と No. 4 は、原油を添加した 1/20 PB 培地でそれぞれ培養した)

さらに、これらの海洋性微生物を、重油や原油を直接塗抹した PB 寒天培地上で、それぞれの「コロニー」を単離する方法により、「石油資化の可能性を有する 4 株のグラム陽性杆菌」を分離した (Fig. 3)。

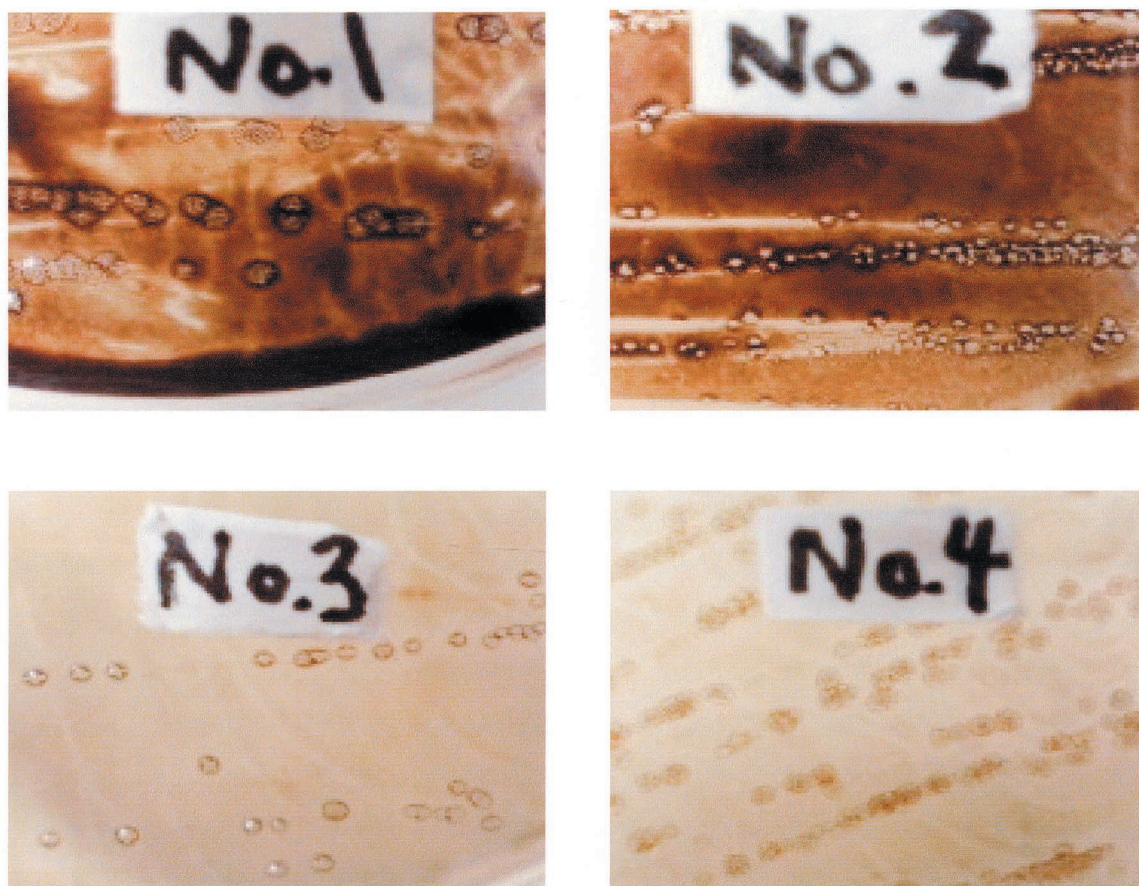
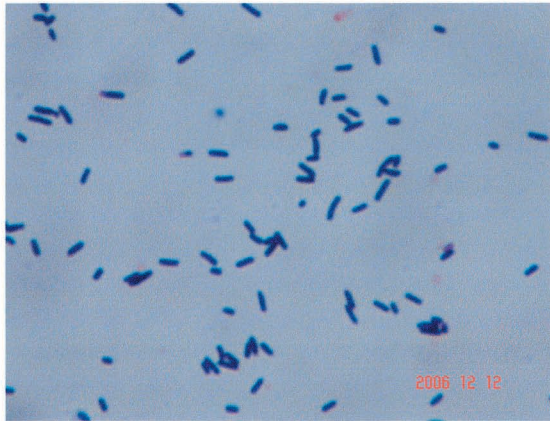


Fig. 3. ヘキサン酸耐性菌群とヘキセン酸耐性菌群の培養液より、それぞれ重油と原油の添加・継代培養を経て、プレート上で単離された海洋性細菌のコロニー
(No. 1 と No. 2 は、重油を塗布した 1/10 PB 寒天平板培地上で、No. 3 と No. 4 は、原油を塗布した 1/10 PB 寒天平板培地上で、それぞれのコロニーを単離した)

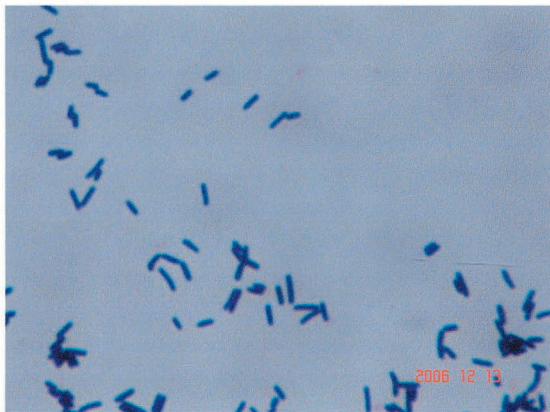
最後に、単離した「海洋性のグラム陽性桿菌」の「分類と同定」を行った結果、本海洋性細菌は、いずれも *Oceanobacillus iheyensis* であることが明らかになった (Fig. 4)。



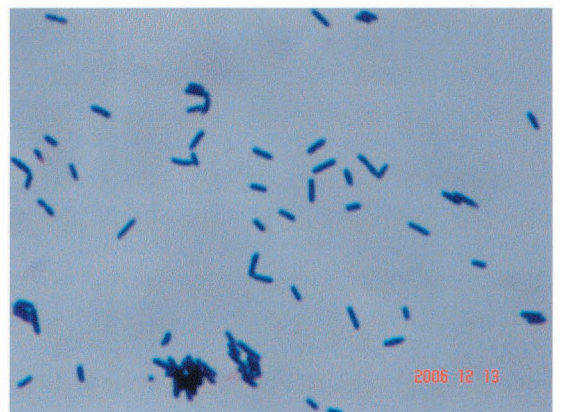
No. 1



No. 2



No. 3



No. 4

Fig. 4. 単離した海洋性細菌 (No. 1~No. 4) のグラム染色写真 (光学顕微鏡、油浸レンズ, ×1,000)

本海洋性細菌の作用によるものと考えられる培養液中での重油や原油の「物理的変化」が確認されたことから、この細菌が「バイオサーファクタント」などを分泌して石油成分を乳化 (可溶化) する作用を示している可能性が示唆された。

しかも、本菌は高度の耐塩性 (20% NaCl 存在下でも生育可能) を有する好アルカリ性 (pH 10 程度までのアルカリ条件下で生育可能) の海洋性細菌であるため、石油資化・分解能を有している可能性が高いと考えられる。

今後、本菌による石油成分の変換能力などを詳細に解析し、海洋環境保全を念頭においた「微生物機能の石油分解・変換への応用」へと研究を進展させる計画である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご支援をいただきました「(財) 八雲環境科学振興財団」に深謝いたします。

中国地域の中山間における農村環境保全を考慮した

遊休農地資源の保全・管理対策

佐藤豊信（岡山大学大学院環境学研究科）

駄田井久（岡山大学大学院環境学研究科）

I はじめに

1. 研究の背景

中山間地域とは、平野の外縁部から山間地域にわたる地域の総称である。我が国の中山間地域は、国土面積の約 70%を占めており、総人口の約 14%が居住している。また、農耕地面積・農業就業人口・農業総生産額のいずれにおいても、全国の約 4 割を占めており、農業分野における重要な役割を果たしている。

近年、中山間地域においては過疎化・高齢化が急激に進行し、農地管理に必要となる労働力の絶対的量が不足している。その結果、耕作放棄の発生が社会的な問題となっている¹（2005 年度の中山間地域の耕作放棄率：約 10%）。今後は、農業労働者の高齢化が進行し、耕作放棄地は増加していくと推測される。中山間地域の農地資源の確保には、労働力を補完する効率的な農業生産システムの構築が必要不可欠である。

2. 本研究の目的

中山間地域に属する岡山県高梁市有漢町（S 集落）をモデル対象地域として、研究を実施した²。本研究では、数理計画法を適用した農地管理シミュレーションモデルの構築を行った。構築されたモデルを利用し、対象集落における 10 年後・20 年後の農地利用状況の推測を行った。また、結果を踏まえて労働力を補完する効率的な農業生産システムの提案を行った。

なお、シミュレーションは、①個々の農家による農業経営が行われる場合（現状推移モデル）、②農家が協力して農業経営を行う場合（農家間協力モデル）、③非農家の労働資源を利用して農家が協力して農業経営を行う場合（非農家利用モデル）の 3 パターンで実施した。

II. 対象地域の概要

本研究の対象地域として取り上げた高梁市有漢町は、岡山県の中西部に位置し、人口約 2,700 人、農耕地面積約 1,300ha.であり、典型的な中山間地農業地域である。水田率は約 80%

¹ 耕作放棄の発生要因としては、他に様々なものが考えられる。しかし、平成 14 年に農業会議所が行った調査では、「高齢化・労働力不足（88%）」と最も高く、次いで「農産物価格の低迷（43%）」、「農地の借り手・受け手がいない（27%）」の順となっていた。

² 有漢町は、平成 16 年 10 月に、高梁市・成羽町・川上町・備中町と合併し、高梁市となった。

であり，昭和 40 年代に県営区画整備事業が行われ，基盤整備済みの水田が大半である。農家高齢化率は 35.6% であり，全国中山間地域（30.6%）・岡山県平均（31.2%）と比べ高い水準にある。

対象集落である S 集落は，農家 28 戸，非農家 24 戸の合計 52 戸が存在する。農家 28 戸中，60 歳以上の農家は 16 戸で，高齢農家が大部分を占めている。農家の平均所有農地は約 50a であり，零細な農家が大部分である。また，作業受委託や農地貸借は行われておらず，多くの農家は所有農地で自家労働のみで農業活動を行っている。

S 集落の農地利用状況は，表 1 に示すとおりである。本研究では，園芸作物・農業施設・かい廃・自己保全 6 年以上の農地を除いた 10.7ha を対象農地として分析を行った³。

表 1 S 集落の農地利用状況

	面積(a)	割合
水稲	846	59%
穀類	212	15%
野菜類	46	3%
果樹	37	3%
花卉類	22	2%
農業施設	35	2%
5年以内自己保全	13	1%
かい廃・6年以上自己保全	228	16%
計	1438	100%

資料：「平成15年度水稲共済および水田農業経営確立対策実施計画」より作成

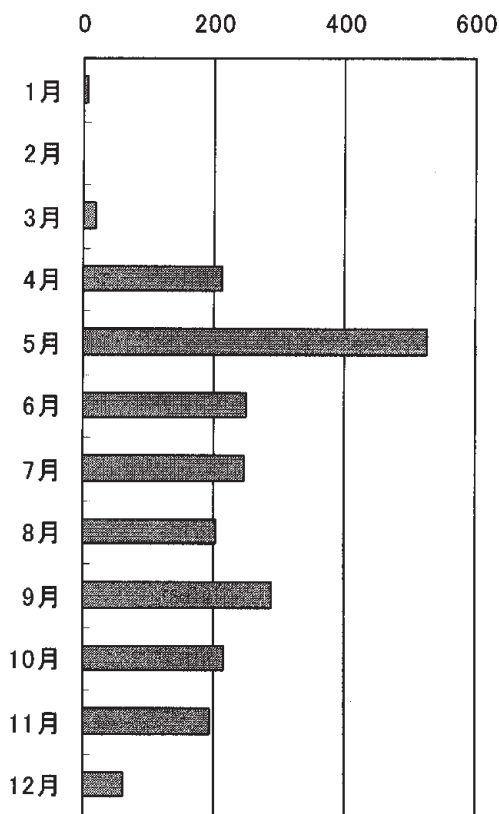


図 1. S 集落における月別労働資源投入量 (単位：時間)

Ⅲ. シミュレーションモデルの構築

数理計画法の適用によるシミュレーションモデルの構築には，①土地資源制約量の計測，②労働資源制約量の計測，③各作物の技術係数の計測が必要となる。①土地資源制約量に関しては，前述の 10.7ha を採用した。②労働資源制約量，③技術係数に関しては以下のように計測した。

従来の数理計画モデルでは，労働制約量は「農業従事者数×労働時間（一般的には 8 時間/日）」により設定されてきた。この労働制約量は，現在投入されている労働資源量から大きく乖離していると考えられる。本研究では，現在の作付け作物とその作目から，現在投入されている労働資源量を計測した（図 1）。この計測された労働資源量を労働資源制約として

³ 園芸作物は，施設園芸で行われており，他の作物への変換が困難である。6 年以上経過した自己保全農地の大半は，原野化が進行しており，農業生産に利用するには，復旧作業が必要となる。以上の利用により，これらを分析対象農地から除いた。

採用した⁴。

前述のように、中山間地域では高齢化が進行している。高齢化の進行は、労働投入時間の減少に加え、農業労働の質の低下をもたらす⁵。同じ1時間の作業時間であっても40歳代と70歳代では、作業量は異なると考えられる。従来の研究では、農業労働の質に関する定量的な計測が行われていない。現実を反映したモデルの構築には、このような労働の質の差を反映した技術係数の作成が必要となる。本研究では、ヒアリング及びアンケート調査を行い50歳代、60歳代、70歳代以上の3世代における実質的な労働力を計測した。その結果に基づき、労働力の質を考慮した技術係数を作成した⁶。これらを用いて以下の3つのモデルを構築した。

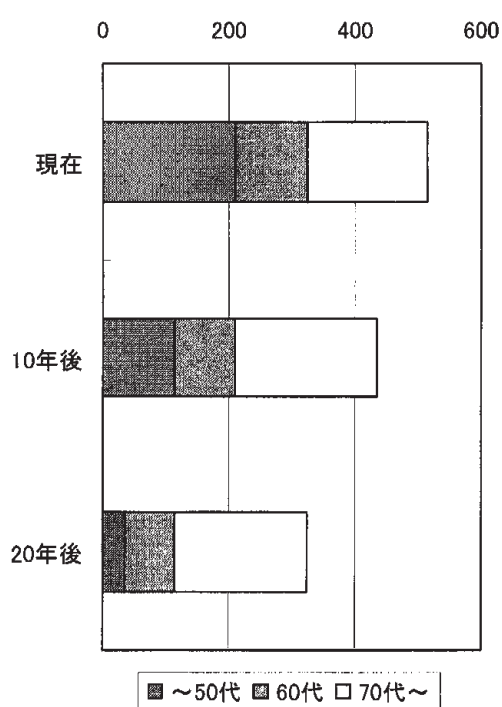


図 2. S 集落の労働力量の推移
(単位：時間/年)

1) 現状推移モデル

28戸の農家において、個別にモデルを構築し、将来における体力の低下・離農による集落全体の耕作放棄の増加、農業所得の減少を推測した。アンケート調査による対象地域の傾向から、10年後には現在の80代と70代の半数の農家が離農し、離農する農家の半数に50代の後継者がいるとした。将来的には、S集落内の労働資源量は絶対量の減少とともに、70代以上の農業労働者の割合が高くなると推測される(図2)。実質的な労働力量は、現在と比較すると、10年後には約85%、20年後には約65%の水準まで減少する。

なお、モデルの目的式には農業所得の最大化、制約式には土地制約として個々の農家の農地面積、労働制約として月間労働制約に現在の農繁期の労働時間、年間労働制約に現在の年間労働時間を設定した。

2) 農家間協力モデルの構築

農家が作業受委託により、労働資源を再配分し、集落全体が1つの農家のように行動した場合のモデルである。モデルの目的式には農業所得の最大化、制約式には、土地制約として集落全体の農地面積、労働制約として年代毎に月間労働制約、年間労働制約を設定した。

⁴ 実際のモデルでは、農繁期である5月を月別労働資源制約として採用した。更に、現在の総年間労働時間を年間の労働資源制約として追加した。

⁵ 例えば、水稲作では、50歳代と比較すると、70歳代では単位面積当たり約1.5倍の労働時間が必要となる。また、高齢化に伴い、従事できなく農作業(重量物の運搬等)も存在する。

⁶ 技術係数導出方法の詳細に関しては、文献[1]を参照。

3) 非農家労働力利用モデル

表 2 非農家の賃金率別供給可能労働資源量

	単位:時間								
	草刈り		田植え		稲刈り		一般的な農作業	平均	
	4月	10月	機械操作	補助作業	機械操作	補助作業			
時給500円	16	16	16	18	16	12	14	15	
時給1000円	38	38	28	38	30	34	34	34	
時給1500円	44	42	34	38	36	40	40	39	
時給2000円	54	52	38	40	46	44	42	45	

農家が協力しかつ非農家の労働資源を利用した場合のモデルである。モデルの構築は、農家間協力モデルに計測した非農家の労働資源を雇用プロセスとして追加することにより構築した。非農家の技術係数は、大半の非農家に農作業経験があることとプロセスに園芸作物を入れていないことから農家と同じ値を用いた。なお、利用可能な非農家の労働資源は、非農家を対象にアンケート調査に基づき計測を行った。対象とした非農家は 60 歳未満である。「4月の畦の草刈り」「10月の畦の草刈り」「田植えの機械操作」「田植えの補助作業」「稲刈りの機械操作」「稲刈りの補助作業」「一般的な農作業」の各作業に関して賃金率(円/h)別に供給可能な労働時間を計測した(表 2)。

IV. シミュレーション分析の結果

表 3 S 集落の将来予測
(現状推移モデル)

	現在	単位:10a	
		10年後	20年後
水稻	85	80	72
小豆	9	4	3
大豆	4	2	1
小麦	3	1	1
そば	5	0	0
保全管理	1	0	0
耕作放棄	0	19	30
計	107	107	107
農業所得	471万円	425万円	378万円

1. 現状推移モデルでの分析結果

集落の農業が現状のまま推移すると、現在と比較して、10年後には耕作放棄面積は 1.9ha 増加、農業所得は 90%(425 万円)に減少し、20年後には耕作放棄面積は 3.0ha 増加、農業所得は 80%(378 万円)に減少すると予測される(表 3)。

2. 農家間協力モデルの分析結果

農家間の協力により、現在においては、農業所得 8%(36 万円)増加、かつ総労働時間を減少させることが可能である。10年後には、現状のまま推移した場合と比較して耕作放棄 20%(0.4ha)抑制、農業所得 6%(25 万円)増加の効果がある。20年後には、同様に比較して耕作放棄 11%(0.3ha)抑制、農業所得 6%(21 万円)増加の効果がある(図 2)。

3. 非農家労働力利用モデルの分析結果

1) 畦の草刈のみ非農家の労働力を利用したケース

10年後には、時給 500 円で非農家の労働資源を利用するときに農業所得は最大となり、現状のまま推移した場合と比較して、耕作放棄 34%(0.7 ha) 抑制、農業所得 7%(29 万円)増加、集落全体の所得 8%(33 万円)増加の効果がある。

20年後には、時給 500 円で非農家の労働資源を利用するときに農業所得は最大となり、同

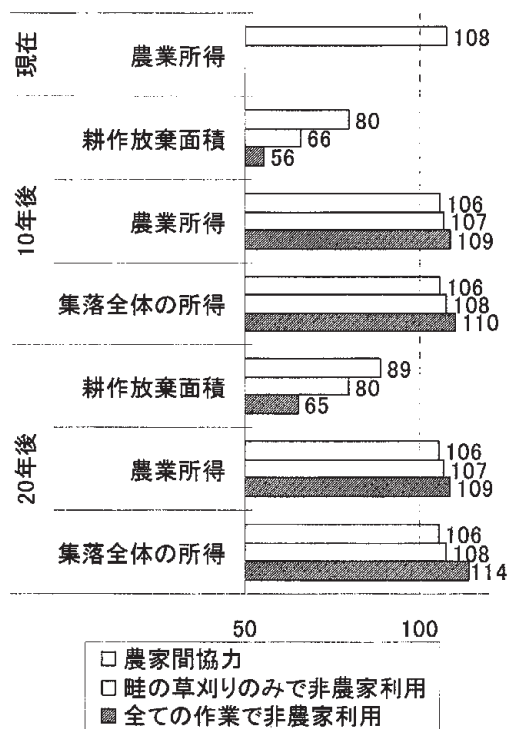


図 2. 各モデルの分析結果

注) 図の値は現状推移を 100 とした値

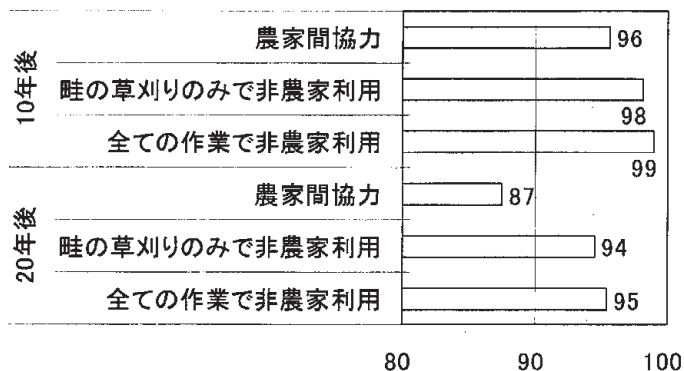


図 3. 耕作放棄ゼロ制約を加えたケースの分析結果

注) 図の値は耕作放棄ゼロ制約を加えない場合を 100 とした値

には、耕作放棄ゼロの制約を加えないときと比較して、農業所得は、農家間協力では 4% (20 万円) 減少し、畦の草刈りのみでの非農家利用では 2% (8 万円) 減少し、全ての作業での非農家利用では 1% (5 万円) 減少する。20 年後には、同様に比較して、農業所得は、農家間協力では 13% (50 万円) 減少し、畦の草刈りのみでの非農家利用では 6% (22 万円) 減少し、全ての作業での非農家利用では 5% (19 万円) 減少する。

様に比較して耕作放棄 20% (0.6ha) 抑制，農業所得 7% (26 万円) 増加，集落全体の所得 8% (29 万円) 増加の効果がある (図 2)。

2) 全農作業に非農家の労働力を利用したケース

10 年後には、時給 500 円で非農家の労働資源を利用するときに農業所得は最大となり、現状のまま推移した場合と比較して、耕作放棄 56% (0.9 ha) 抑制，農業所得 9% (37 万円) 増加，集落全体の所得 10% (44 万円) 増加の効果ある (図 2)。

20 年後には、時給 1000 円で非農家の労働資源を利用するときに農業所得は最大となり、同様に比較して耕作放棄 35% (1.0ha) 抑制，農業所得 9% (33 万円) 増加，集落全体の所得 14% (54 万円) 増加の効果がある (図 2)。

4. 耕作放棄の発生をゼロにするケースの分析

以上のように、農家間協力による労働資源の再配分及び非農家労働資源の利用により、農業所得・集落全体の所得の増加が可能となり、耕作放棄を大きく抑制することができる。しかしながら、耕作放棄の発生を完全に防ぐことは不可能である。

そこで、各ケースにおいて耕作放棄発生をゼロにするような制約を加えたモデルを構築し、分析を行った。

その結果、図 3 に示すように、10 年後

V. おわりに

本研究では、①中山間地域農業集落の営農モデルのモデル構築、②モデルを利用したシミュレーション分析を行った。特に、モデルの構築に関しては、「高齢化に伴う労働の質の低下」を定量的に計測し、パラメーターとして採用することにより、より現実的なものとした。その結果、中山間地域における農地保全には、個別農家レベルでの労働力有効活用だけでは、耕作放棄抑制が不可能であり、地域内農家の組織化が必要であることが明確となった。また、モデルを用いることにより、労働資源の効率的活用による、耕作放棄抑制効果と農業所得との関係を具体的な数値で示すことが可能となった。これは、農家の組織化に必要となる、労働資源及び便益の配分ルールの策定に貢献できるものである。更に、集落内の非農家の労働資源を農業に利用することで、耕作放棄の抑制、農業所得の増加に加え、非農家世帯に賃金が支払われることによる集落全体の所得の増加が可能となることを定量的に示すことが可能となった。

VI. 謝辞

本研究の一部は、(財)八雲環境科学振興財団の補助を受けて実施いたしました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 津國太郎・駄田井久・佐藤豊信「中山間地域における効率的農業生産システム構築に関する一考察－岡山县有漢町 S 集落を事例として－」『農林業問題研究』第 41 巻・第 1 号，2005 年，pp.72-76
- [2] 伏見多美雄・福川忠昭・山口俊和『経営の多目標計画』森北出版株式会社，1987 年
- [3] 樋口昭則『農業における多目標計画法』農林統計協会，

好熱性細菌 *Geobacillus* sp. JF8 の広い芳香族化合物分解能の解析と 土壌汚染処理への応用

岡山大学資源生物科学研究所 金原和秀

1. はじめに

これまで、様々な人為起源の環境汚染物質の微生物分解に関して、分解菌の単離とその代謝酵素ならびに関連酵素遺伝子群の解析が行われている。本研究で用いる好熱性細菌は、一般的には 55°C 以上で良好な生育をする微生物の総称で、生育上限温度が 55~75°C の中等度好熱菌、75~85°C の高度好熱菌、85°C 以上の超好熱菌に分類される。好熱性細菌が耐熱性を示すのは、菌を構成する生体成分の一つ一つがそれぞれ耐熱性を持っているためと理解されている。そのため、好熱性細菌の生体成分は耐熱性生体高分子としてさまざまな分野への応用が可能であり、単離菌のバイオテクノロジーへの応用も注目されている。

Geobacillus sp. JF8 (旧名 *Bacillus* sp. JF8) 株は、岡山市内のコンポストからビフェニルの分解菌として単離されたグラム陽性の桿菌で、ビフェニルのほかに *p*-クロルビフェニル、ナフタレン、安息香酸を生育基質として利用できる (2, 5, 6, 8)。35~75°C の温度範囲で生育可能であり、至適生育温度は 60°C である。本研究では、JF8 株のナフタレン代謝能に注目し、芳香族化合物汚染のバイオレメディエーションへの応用を目的とした基礎として、この菌の諸性質の検討を行うことを第一の目的として研究を行った。また、遺伝的育種を目的として、ナフタレン代謝に関与する遺伝子の単離と酵素機能の解析を行うことを第二の目的とした。好熱菌からは、これまでベンゼン環 1 つからなる化合物の代謝酵素遺伝子群が単離されているのみである。JF8 株がもつ 2 環芳香族化合物ナフタレンの代謝酵素群とその遺伝子群の単離・解析を行い、中温菌由来の代謝酵素・遺伝子との違いを明らかにすることにより、代謝酵素の熱安定性の機構と、芳香族化合物代謝酵素遺伝子群の進化に関する新たな知見を得られることが期待できる。また、基質である芳香族化合物が菌の生理活性に与える影響に関して、基礎的知見を得ることを目的とした研究を行った。ここでは、JF8 株の汚染環境中での挙動をモニタリングする基礎として、分解菌と基質との関係を、生理活性に着目して解析した。それらの結果から、微生物を用いたバイオレメディエーション技術の効率化と、安定化に必要な情報を得られるものと期待できる。

2. *Geobacillus* sp. JF8 株のナフタレン代謝経路の解明

JF8 株のナフタレン代謝に関する諸性質の検討を行った結果、ナフタレンを代謝させて得られた中間代謝産物は、中温菌で報告されている代謝経路の中間代謝産物と一致し、これより JF8 株は、中温菌と同様の経路でナフタレンを代謝することが示唆された (図 1)。そこで、ナフタレン代謝酵素の一つである *cis*-naphthalene dihydrodiol dehydrogenase

(NahB_JF8) の精製を行い、ナフタレン代謝の上流経路に関わる酵素遺伝子群のクローニングを行うことにした。精製した酵素の N 末端アミノ酸配列の情報をもとにプローブを作成し、NahB_JF8 をコードする DNA 断片を単離した。その結果、*nahB* の上流には、ナフタレン分解で最初にナフタレンに酸素を添加する酵素 naphthalene dioxygenase の terminal dioxygenase と相同性を有する *nahAc* と *nahAd* がコードされていた (図 2)。進化系統樹解析の結果、NahAc_JF8 は、グラム陽性菌から単離された ring-hydroxylating dioxygenase のグループに入ることが明らかになった (図 3)。また、相同性解析の結果、NahB_JF8 は、NAD⁺依存性脱水素酵素の活性を持つが、これまでに芳香族化合物分解オペロン中に見出された脱水素酵素とは異なる種類の脱水素酵素であることが明らかになった。RT-PCR 解析により、*nahAc* 遺伝子がナフタレンによって発現が誘導されることが明らかになった。

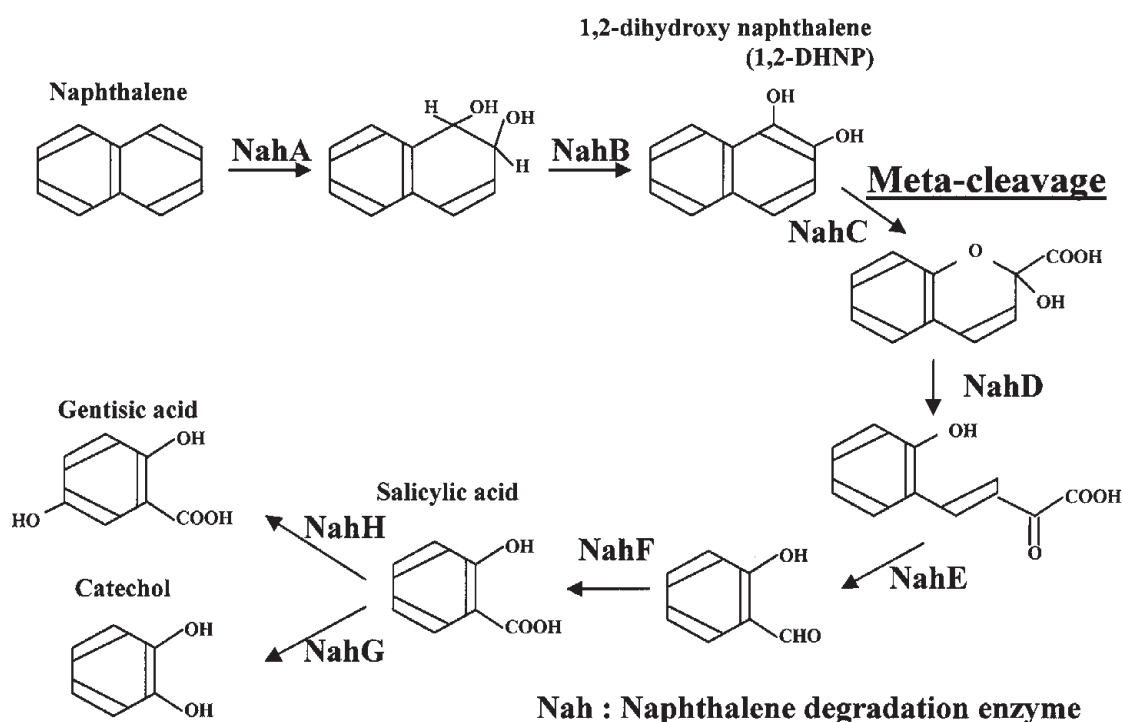


図 1 ナフタレン代謝経路及び酵素

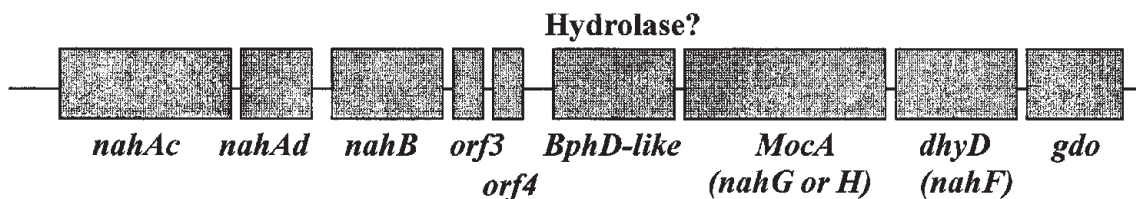


図 2 JF8 株のナフタレン代謝上流遺伝子群

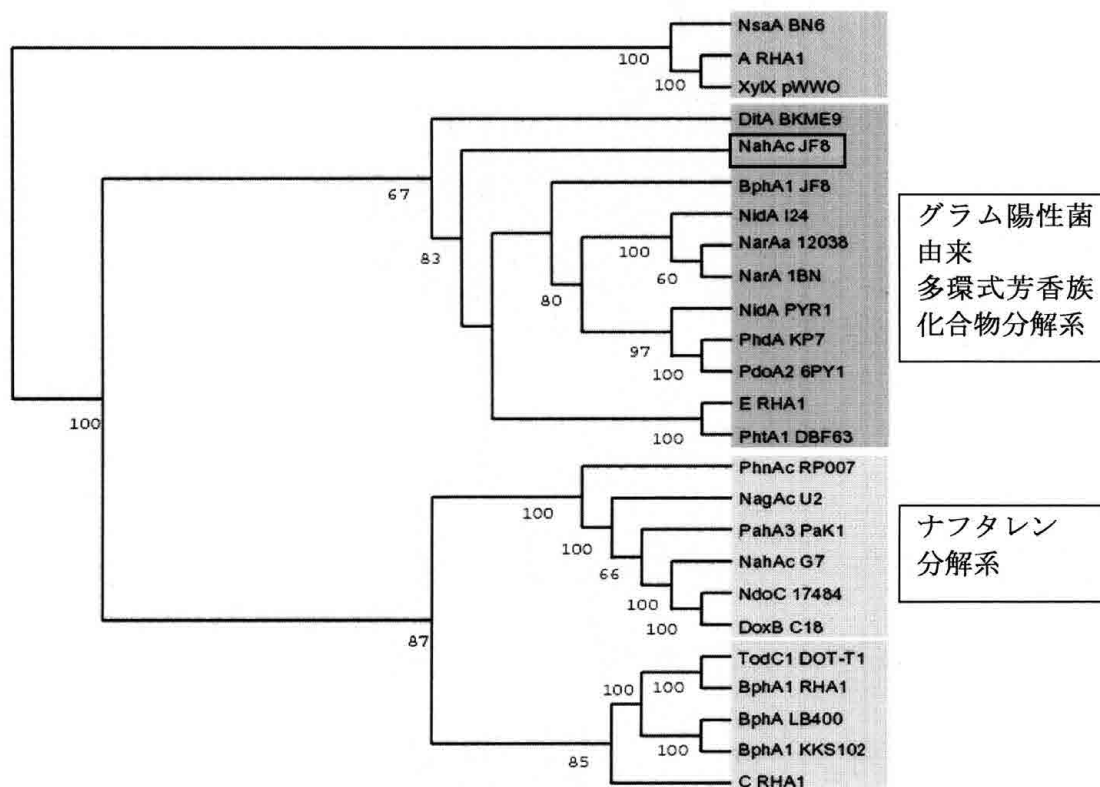


図3 NahAcの進化系統樹

好熱菌では、現在までに解明されている中温菌のナフタレン代謝経路とは異なる代謝系が存在することが報告されている(1)。JF8株では、*trans-o*-hydroxy benzylidene pyruvate からピルビン酸と salicylaldehyde への変換ステップを触媒するヒドラターゼアルドラーゼをコードする *nahE* 遺伝子が発見されておらず、相当する位置にヒドロラーゼをコードする遺伝子が存在している。このことから、ナフタレン代謝経路の一部が中温菌と異なる可能性が考えられた。そこで、現在までに単離されているナフタレン分解遺伝子群 *nahC*、*bphD*-like(*nahE*)、*dhyD*(*nahF*)、*mocA*(*nahH* or *nahG*)を大腸菌に導入し、ナフタレンの中間代謝産物 1,2-DHNP を用いて、その代謝産物を GC/MS 分析を用いて追跡した。しかし、中間代謝産物の検出には至らなかった。次に、ナフタレンを誘導基質として発現する酵素の網羅的解析を行うことで、酵素学的にナフタレン代謝経路の追跡を行うこととした。

二次元電気泳動を行って解析したところ、ナフタレンで発現誘導されるタンパク質のスポットを得ることが出来た(図4)。そのタンパク質を用いて MALDI TOF/MS 解析を行ったが、既にアミノ酸情報の得られている JF8 株の 1,2-dihydroxynaphthalene dioxygenase、catechol 2,3-dioxygenase の同定しか出来ず、他のスポットにおいては有意な情報を得ることが出来なかった。これは、得られたアミノ酸配列の情報が、既知の情報と異なるためであると考えられた。つまり、JF8 株のナフタレン関連酵素は、現在ま

で単離されている既知の酵素とはアミノ酸配列が異なり、新規の酵素である可能性が示唆された。

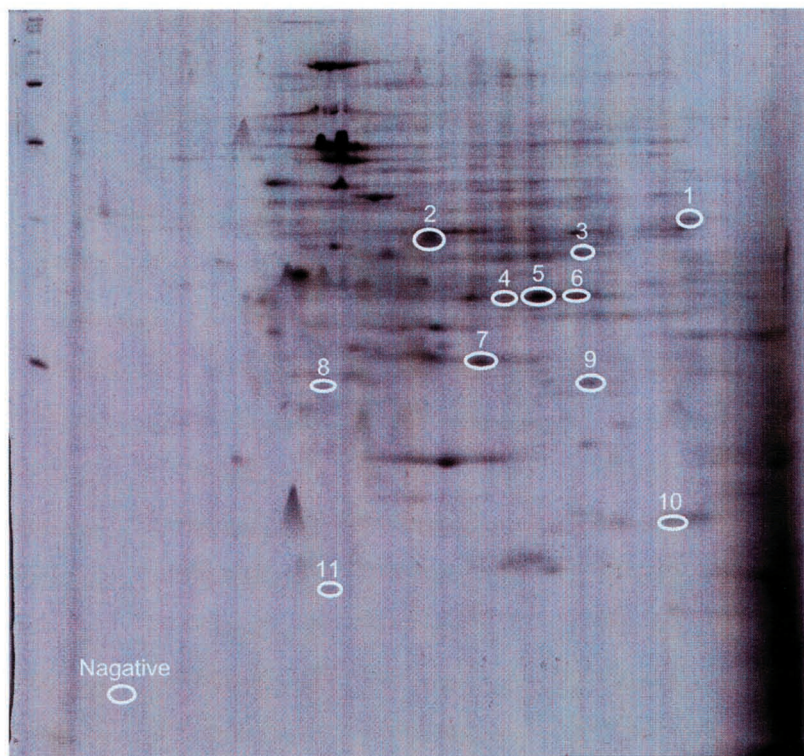


図4 二次元電気泳動結果(コントロールと異なるスポットを○で囲んだ)

3. 芳香族化合物とその代謝産物が *Geobacillus sp. JF8* 株に与える生理的影響

JF8株は、ナフタレンおよびビフェニルを唯一の炭素源として生育することができるが、これらの芳香族化合物を基質として与えることで、コロニーの生育速度の低下と、死細胞の増加が観察された(図5)。また、ビフェニルと比較して、ナフタレン存在下ではコロニーの生育速度が有意に低下した。ビフェニル/ナフタレンの中間代謝産物 2-hydroxybiphenyl、3-hydroxybiphenyl、2,3-dihydroxybiphenyl (2,3-DHBP)、1,2-dihydroxynaphthalene (1,2-DHNP) による生理影響を評価したところ、1,2-DHNP 存在下ではほとんど生育が確認されず、非常に小さなコロニーのみ出現した。この結果から、JF8株はナフタレンに対してより感受性を示し、その原因はナフタレン中間代謝産物 1,2-DHNP の影響であることが示唆された。また、JF8株の成長コロニーの周辺部に、死細胞が発する赤色蛍光を示す細胞が集合しているように観察された。*E.coli* DH5α株 (pEGFP) を用いて、コロニーの形成過程を観察した結果から、それらは死細胞ではなく、分裂が盛んな若い細胞であることが示唆された。また、JF8株は、これまで解析されている PCB 分解菌 *Comamonas testosteroni* TK102 株と異なり、ビフェニル暴露下及び、2,3-DHBP 添加、DNA ジャイレース阻害剤のナリジキシン酸添加において、フィラメント状の細胞を確認することが出来なかった(3, 4, 7, 9)。

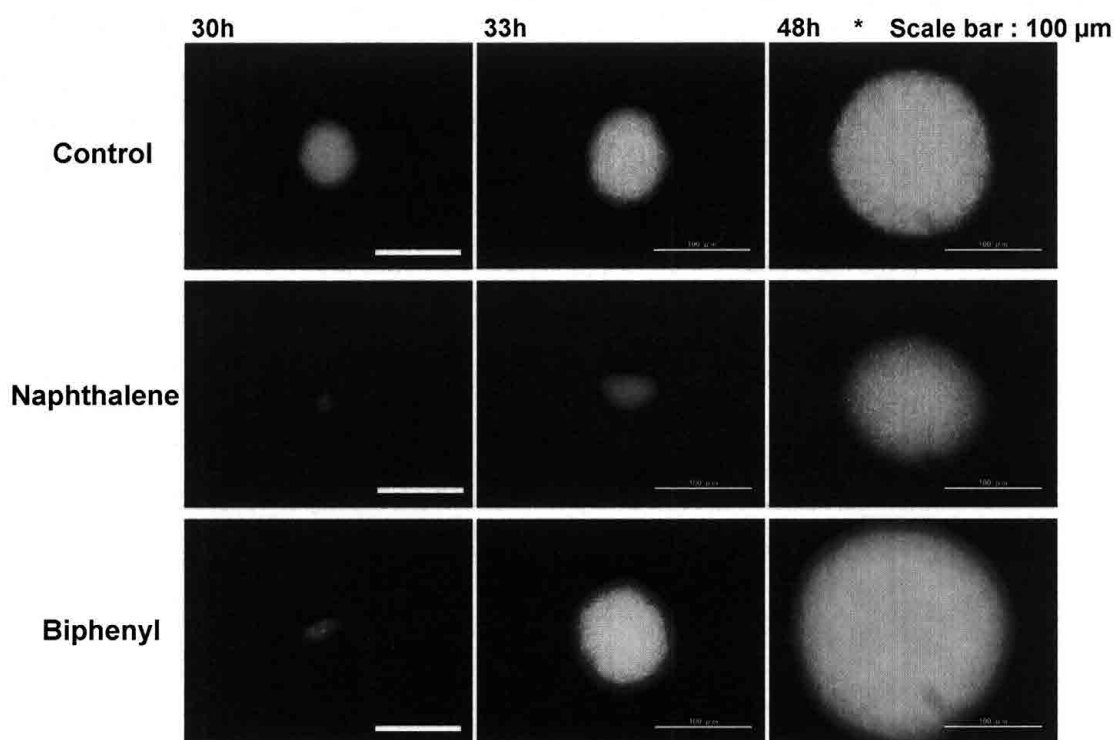


図5 JF8株のコロニー成長に対する基質の影響

4. まとめ

本研究で取得したナフタレン代謝関連酵素遺伝子群は、これまでに報告されているものに比べ、未整理の状態のように思われた。JF8株のナフタレン代謝酵素遺伝子群は、上流経路に必要な酵素遺伝子が全てそろっておらず (NahAc、NahAd、NahBのみ)、配置の未完成なところがあり、オペロン中の遺伝子の配置がまだ完了していない可能性が考えられた。不完全なメタ開裂経路オペロンと不完全な上流経路オペロンであるが、これらはナフタレンで発現が誘導されることが確認されたため、制御因子もすでに存在していると考えられた。また、ナフタレンを炭素源として生育することができることから、ナフタレン代謝に必要な遺伝子は菌体内には揃っていることが示唆された。以上のことから、JF8株のナフタレン代謝酵素遺伝子群は、これまで提唱されている代謝経路遺伝子群とは異なる進化の仕方をしてきた可能性が考えられた。

本研究によって、JF8株は基質の芳香族化合物そのものではなく、中間代謝産物の影響を受けやすく、それが原因で生理活性が低下することが示唆された。これまでの研究で、2,3-DHBPの影響で微生物が活性低下するメカニズムは、2,3-DHBPがDNAアダクトを形成してDNAに結合することで、遺伝子発現を阻害したためであると示唆されたが、1,2-DHNPの影響のメカニズムについては不明である。しかしながら、活性低下の原因物質は、何れも、基質の芳香族化合物が水酸化された中間代謝産物であることが明らかとなった。そのため、芳香族化合物の分解では、水酸化物を効率的に分解する微生物

物の添加や、除去システムの導入を行うことで、バイオレメディエーションの効率化が期待され、安定性も飛躍的に向上するものと考えられた。以上のことから、これらの情報は、活性モニタリングにおける有用な基礎情報であると考えられた。

本研究で得られた、好熱菌由来のナフタレン代謝酵素遺伝子群と生理活性に関する知見は、これまでに報告されていないものであり、芳香族化合物代謝酵素・遺伝子の高温適応や進化・伝播についての理解を大きく進めるとともに、JF8株を用いたバイオレメディエーション技術開発につながることを期待される。

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。また、NahBを精製するにあたりご協力をいただきました、岡山理科大学工学部八田貴教授に感謝いたします。

参考文献

1. Annweiler E, Richnow HH, Antranikian G, Hebenbrock S, Garms C, Franke S, Francke W, and Michaelis W. 2000. Naphthalene degradation and incorporation of naphthalene-derive carbon into biomass by the Thermophile *Bacillus thermoleovorans*. *Appl Environ Microbiol.* 66: 518-23.
2. Hatta, T., Mukerjee-Dhar, G., Damborsky, J., Kiyohara, H., and Kimbara, K. 2003. Characterization of a novel thermostable Mn(II)-dependent 2,3-dihydroxybiphenyl 1,2-dioxygenase from a polychlorinated biphenyl- and naphthalene-degrading *Bacillus* sp. JF8. *J Biol. Chem.*, 278: 21483-21492.
3. Hiraoka, Y., and Kimbara, K. 2002. Rapid assessment of the physiological status of the polychlorinated biphenyl degrader *Comamonas testosteroni* TK102 by flow cytometry. *Appl. Environ. Microbiol.*, 68: 2031-2035.
4. Hiraoka Y, Yamada T, Tone K, Futaesaku Y, Kimbara K. 2002. Flow cytometry analysis of changes in the DNA content of the polychlorinated biphenyl degrader *Comamonas testosteroni* TK102: effect of metabolites on cell-cell separation. *Appl Environ Microbiol.* 68: 5104-12.
5. Miyazawa D, Mukerjee-Dhar G, Shimura M, Hatta T, Kimbara K. 2004. Genes for Mn(II)-dependent NahC and Fe(II)-dependent NahH located in close proximity in the thermophilic naphthalene and PCB degrader, *Bacillus* sp. JF8: cloning and characterization. *Microbiology*, 150: 993-1004.
6. Mukerjee-Dhar, G. *et al.* 2005. *bph* genes of the thermophilic PCB degrader, *Bacillus* sp. JF8: characterization of the divergent ring-hydroxylating dioxygenase and hydrolase genes upstream of the Mn-dependent BphC. *Microbiology*, 151: 4139-4151.
7. Shimomura Y, Ohno R, Kawai F, Kimbara K. 2006. Method for assessment of viability and morphological changes of bacteria in the early stage of colony formation on a simulated natural environment. *Appl Environ Microbiol.* 72: 5037-42.
8. Shimura, M., Mukerjee-Dhar, G., Kimbara, K., Nagato, H., Kiyohara, H., and Hatta, T. 1999. Isolation and characterization of a thermophilic *Bacillus* sp. JF8 capable of degrading polychlorinated biphenyls and naphthalene. *FEMS Microbiol. Lett.*, 178: 87-93.
9. Yamada, T., Shimomura, Y., Hiraoka, Y., and Kimbara, K. 2006. Oxidative stress by biphenyl metabolites induces inhibition of bacterial cell separation. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 73: 452-457.

インテリジェント技術を用いた風速予測法開発の基礎研究

曾 利 仁

津山工業高等専門学校 情報工学科

1. まえがき

1990年以降、化石燃料の枯渇や地球温暖化問題などによって、無尽蔵でクリーンな自然エネルギーが注目されている。その中でも、我が国の風力発電の導入量は1990年代から急増し、2005年末で約100万kWに達しており、さらに、2010年までに300万kWにすることを政府目標として掲げられている⁽¹⁾。しかし、導入されている風力発電のほとんどが電力系統と連系されており、また、風力発電出力は風によって大きく変動するため、周波数変動問題による電力系統への影響が懸念されている⁽²⁾。そのため、一定期間先の風速を予測し未来の風力発電量を把握することで、電力系統の安定を保ったり、発電される電力を計画的に運用できることが考えられる。

これまでの予測手法の一つとして、スーパーコンピュータを用い数値予報モデルに基づく風速予測を行い、未来の風力発電量を予測する手法がある⁽³⁾。この予測法は、まずコンピュータで取り扱いやすいように、規則正しく並んだ格子で大気を細かく覆い、そのひとつひとつの格子点の気圧、気温、風などの値を世界中から送られてくるデータを使って求め、未来の風速推移をスーパーコンピュータで計算している。そのため、数値予報モデルによる風速予測では、多くの観測データや、地形の影響など考慮した流体力学や物理学の複雑な運動方程式を解析するため、高性能なコンピュータが必要となる。

この問題を解決するためには、低コストであり、予測精度も優れている予測手法が望まれる。気象データのみを用いて数式モデルに拘束されない予測手法としてニューラルネットワーク(NN: Neural Network)^(4, 5)を用いた手法がある。NNを用いることで風速データなどの気象データの入力のみで風速予測が可能となり、また、複雑な運動方程式の解析や計算などする必要がない。これまでに、NNを用いた風速予測法に関する研究^(6, 7, 8)も行われているが、いずれも予測精度に関しては十分定量的な検討が行われていない。

本研究も、NNを用いた風速予測法を提案しているが、1点の局地的気象データのみで一定期間先の風速が予測可能となる。提案した予測手法は、予測対象期間より5年前までの気象データを用いてNNに学習させている。さらに、学習したNNの適応能力を確認するために学習に利用していない気象データを用い風速予測を行い、提案する予測手法の有用性を検討している。

2. 風速予測システム

図1に、風速予測システムの構成図を示す。本研究では、気象データをNNに入力することで現時点から10分先までの平均風速を予測する。提案するNNは、階層型をしており中間層1層としている。また、各層のユニット数を次のように設定した。

- 入力層ユニット数：気象データ数
- 中間層ユニット数：入力層ユニット数と同数
- 出力層ユニット数：1

NNの学習は、逆誤差伝播法(BP: Back Propagation)により行った。学習システムは、図1において、点線で示す部分が追加される。BPは、気象データをNNに入力し、10分先の予測平均風速 $\hat{v}_a(x+1)$ を導出する。この値と教師信号である10分先の平均風速 $v_a(x+1)$ との二乗誤差が最小となるように、各層間における重み係数を調整する。

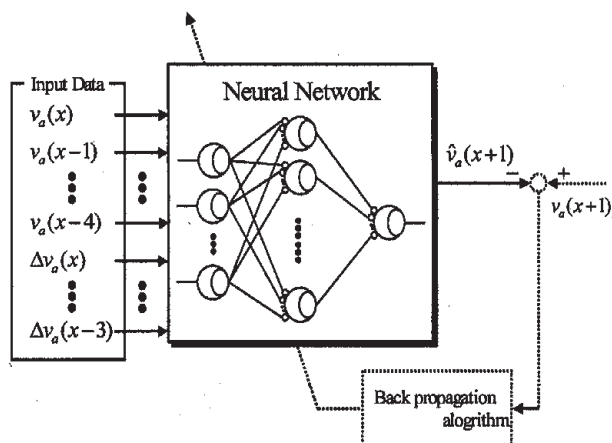


図1 風速予測システム

風速予測対象地点を、多くの風力発電機が設置され、風力発電の有望な導入地域である北海道留萌市を選定した。

3. 気象データ

風速予測に影響する気象データとして、風速、気圧および気温などが考えられるが、本研究では、風力発電機に設置されている風速風向計から得られる気象データ(風速、風速変化量)を使用することとした。提案するシステムでは、風速を予測する時刻までに得られる以下の9つの気象データを用い、10分先の平均風速を予測する。図2に入力データと予測時間帯を示す。例として、 x は12月31日23:50~1月1日0時00分の10分間を表し、 $x+1$ は、1月1日0時00分~1月1日0時10分までの10分間を表している。

- 現時点から50分前までの10分間平均風速

$$v_a(x-m) \quad (m=0\sim4) \quad (1)$$

- 現時点から50分前までの10分間平均風速変化量

$$\Delta v_a(x-m) = v_a(x-(m+1)) - v_a(x-m) \quad (m=0\sim3) \quad (2)$$

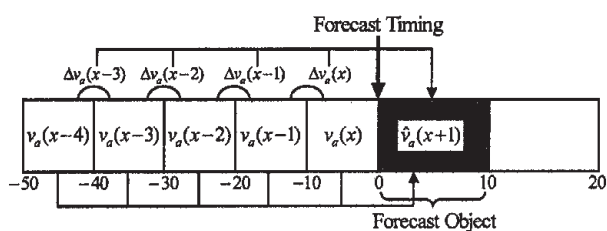


図2 入力データと予測時間帯

また、入力データ数によりどの程度予測精度に影響するか確認するために、以下の2つのデータの組み合わせを入力した。

- A: 現時点から50分前までの10分間平均風速(入力データ数:5)
- B: 現時点から50分前までの10分間平均風速・現時点から50分前までの10分間平均風速変化量(入力データ数:9)

本研究で使用した風速データは、北海道留萌市留萌測候所で測定された特別値データ(アメダスデータ)を使用している。

4. ニューラルネットワーク

<4.1> 神経細胞のモデル化 ニューラルネットワークは人間の脳が持つ情報処理方式を工学的

に模擬し、様々な情報処理を行うために構成された人工的なネットワークである。ニューロンと呼ばれる神経細胞の組み合わせた構造で構成されている人間の脳の構造をまねることで、人間の得意とするようなパターン認識や連想記憶などの処理を効率良く行うことができる。図3に神経系細胞の基本構成単位であるニューロンの機能を工学的にモデル化したものを示す。

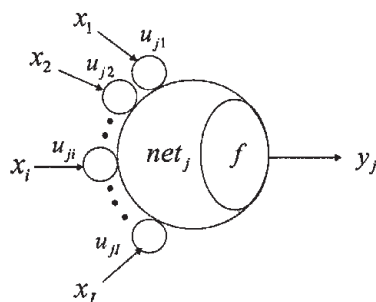


図3 ニューロンモデル

ニューロンの入力(3)式のように、前のニューロンの出力に、そのニューロンとの結合の強さを表す係数である重みを掛けたものの総和で表される。そして、ニューロンの出力は、入力の重み付きの和に対する関数として決まり、(4)式のような次のニューロンへの入力となる。入力と出力との関係には、閾値関数やシグモイド関数などの非線形なものが多く用いられ、本研究ではシグモイド関数を用いている。また、シグモイド関数を(5)式に示す。ここで、 net_j : ニューロン j への入力、 u_{ji} : 入力層ニューロン i と中間層ニューロン j の間の重み、 x_i : 入力層ニューロン i の出力、 y_j : 中間層ニューロン j の出力、 $f(net_j)$: シグモイド関数である。

$$net_j = \sum_{i=1}^I u_{ji} x_i \quad (3)$$

$$y_j = f(net_j) \quad (4)$$

$$f(net_j) = \frac{1}{1 + \exp(-net_j)} \quad (5)$$

<4.2> 逆誤差伝播法 BPは、基本的に階層構造をしたニューラルネットワークで用いられ、同じ層のニューロン間には結合がない。図4に本研究で使用したニューラルネットワークの構成を示す。以下では、図中の記号を用いてBPアルゴリズムを導出する。

入力信号がネットワークに入力され、中間層を経

て出力層に伝わる。出力層では、ニューロン出力と教師信号との二乗誤差を(6)式のように定義する。

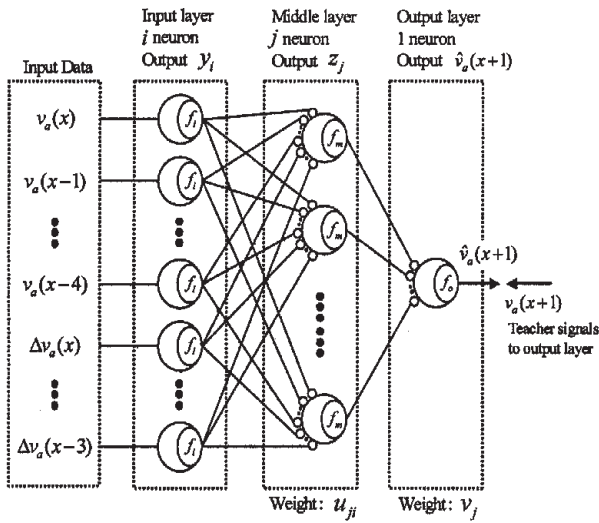


図4 ニューラルネットワーク

$$E = \frac{1}{2} \{v_a(x+1) - \hat{v}_a(x+1)\}^2 \quad (6)$$

出力層ニューロンの出力 $\hat{v}_a(x+1)$ 、出力層ニューロンへの入力 net_o は、それぞれ次式で表される。なお、 $f_o(net_o)$ は出力層ニューロンの入出力関数を表している。ここで、 v_j は出力層の重み、 z_j は中間層ニューロン j の出力である。

$$\hat{v}_a(x+1) = f_o(net_o) \quad (7)$$

$$net_o = \sum_{j=0}^J v_j z_j \quad (8)$$

次に、最小二乗平均の原理を利用して、 v_j の更新量 Δv_j を(9)式より求める。

$$\begin{aligned} \Delta v_j &= -\eta \frac{\partial E}{\partial v_j} \\ &= -\eta \frac{\partial E}{\partial \hat{v}_a(x+1)} \frac{\partial \hat{v}_a(x+1)}{\partial net_o} \frac{\partial net_o}{\partial v_j} \\ &= \eta \{(v_a(x+1) - \hat{v}_a(x+1))\} f'(net_o) z_j \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、 η は正の定数である。

中間層の重み u_{ji} の更新量 Δu_{ji} は、中間層ニューロン j の出力 z_j 、中間層ニューロン j への入力 net_{mj} がそれぞれ

$$z_j = f_m(net_{mj}) \quad (10)$$

$$net_{mj} = \sum_{i=1}^I u_{ji} y_i \quad (11)$$

と表されることを考慮すれば、同様にして

$$\begin{aligned} \Delta u_{ji} &= -\eta \frac{\partial E}{\partial u_{ji}} \\ &= -\eta \frac{\partial E}{\partial \hat{v}_a(x+1)} \frac{\partial \hat{v}_a(x+1)}{\partial net_o} \frac{\partial net_o}{\partial z_j} \frac{\partial z_j}{\partial net_{mj}} \frac{\partial net_{mj}}{\partial u_{ji}} \\ &= \eta \{(v_a(x+1) - \hat{v}_a(x+1))\} f'(net_o) v_j f'(net_{mj}) y_i \end{aligned} \quad (12)$$

と求めることができる。

5. 風速予測結果

入力データを A, B とした場合それぞれに対し、留萌測候所で 2000 年から 2004 年の各 1 月に測定された 10 分間平均風速を教師データとして用い、提案システムに入力し学習を行った。そして、学習後に獲得された重み係数を利用して、2005 年 1 月における 10 分ごとの平均風速の予測を行った。

<5.1> 予測評価方法 予測誤差は、(13)、(14)式に示す 2 つの方法により評価した。(13)式は、ME(Mean Error)：平均誤差を求める式であり、予測結果の系統的な偏りを示す指数として用いられている。平均誤差が 0 のとき、平均的に予測結果は正にも負にも偏っていないことを示している。

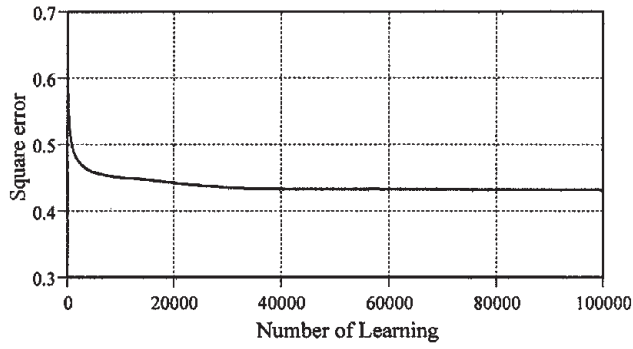
$$ME = \frac{1}{n} \sum_{x=0}^n \{v_a(x+1) - v_a(x+1)\} \quad (13)$$

また(14)式は、RMSE(Root Mean Square Error)：二乗平均平方根誤差を求める式であり、予測誤差の標準的な大きさを示す指数として用いられている。二乗平均平方根誤差が 0 に近いほど予測精度が高いことを示している。

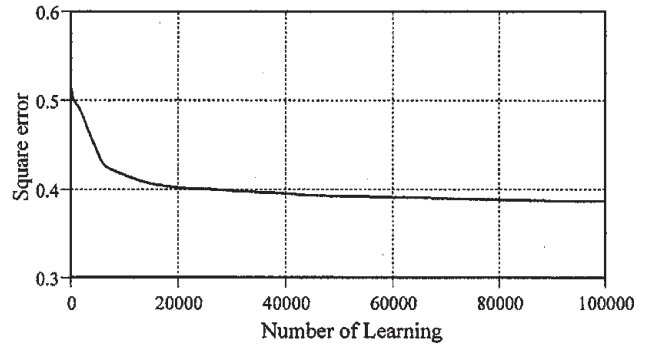
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{x=0}^n \{v_a(x+1) - v_a(x+1)\}^2} \quad (14)$$

ここで、 n ：データ数、 \hat{v}_a ：予測値、 v_a ：実測値、 x ：時間である。

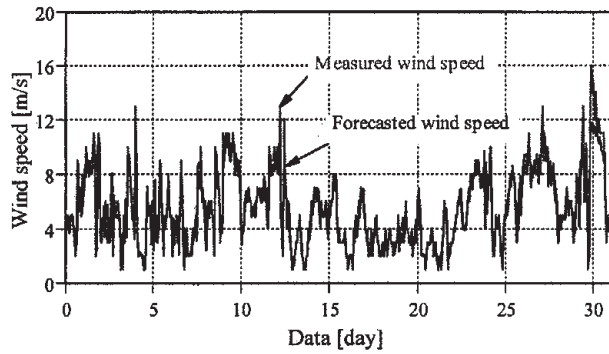
<5.2> 入力データ A の場合 図 5(a) に学習時における二乗誤差の推移を示す。学習回数を重ねるたびに、二乗誤差が減少していることが確認できた。学習 10 万回終了時には二乗誤差値は 0.433 となった。そして、図 5(b) に、獲得された重み係数を利用した、2005 年 1 月における 10 分ごとの平均風速の予測結果を示す。同図より、実測値と予測値がよく一致していることが確認できる。しかし、風速が急に増加したり減少したりする時、また風速が高速に変化するときに、予測誤差が顕著に現れていることが確認できる。図 5(c) は、(b) と同じデータによる実測値と予測値の誤差を示している。この図からもわかるように、風速が急激に変化する場合には予測誤差が大きくなる。図 5(d)



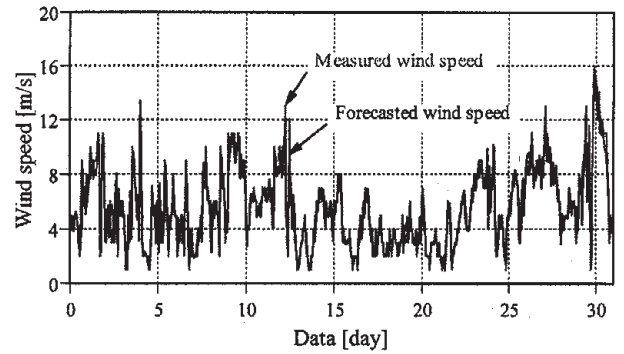
(a) 学習時における二乗誤差の推移



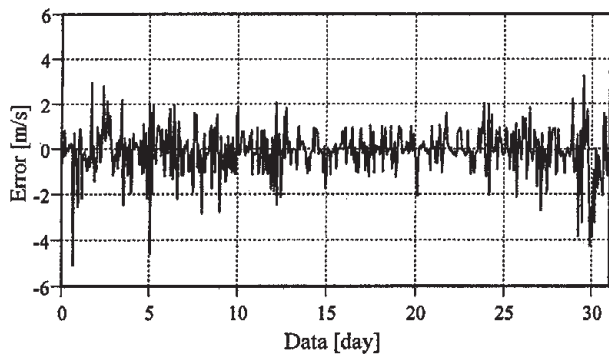
(a) 学習時における二乗誤差の推移



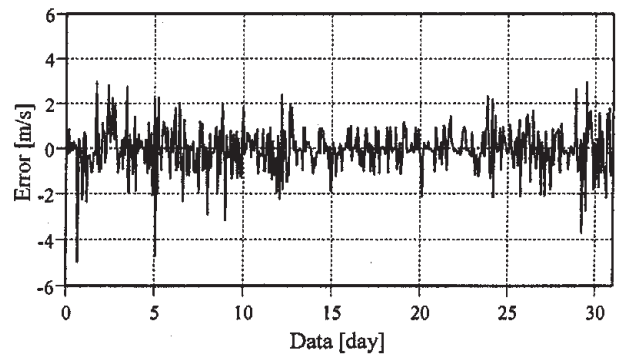
(b) 風速予測結果 (2005年1月)



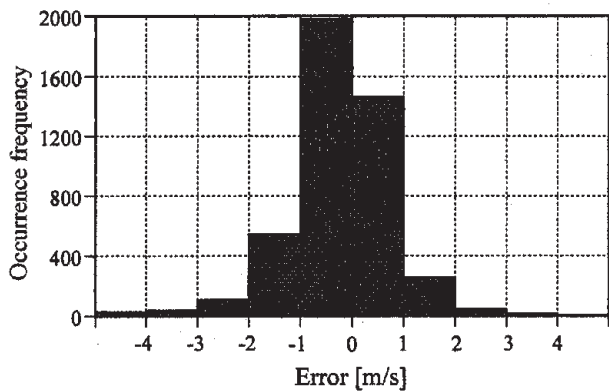
(b) 風速予測結果 (2005年1月)



(c) 予測誤差

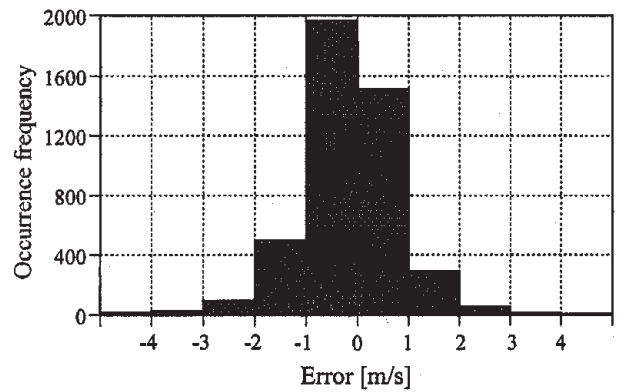


(c) 予測誤差



(d) 予測誤差の分布

図5 入力データ A



(d) 予測誤差の分布

図6 入力データ B

は、実測値と予測値の誤差の分布を示している。同図から、誤差 $-1\text{m/s}\sim 1\text{m/s}$ に収まる予測値が全体の約77%を占めることから、予測精度が十分高いと確認できる。

また、(13)式より求めた平均誤差は -0.165 、(14)式より求めた二乗平均平方根誤差は 1.003 となった。

<5.3> 入力データ B の場合 図6(a)に学習時における二乗誤差の推移を示す。こちらの場合でも、学習回数を重ねるたびに、二乗誤差が減少していることが確認できた。学習10万回終了時には二乗誤差値は 0.386 となった。そして、図6(b)に、獲得された重み係数を利用した、2005年1月における10分ごとの平均風速の予測結果を示す。図6(b)、(c)より、実測値と予測値がよく一致していることが確認できるが、入力データAの場合と同様に、風速が急に増加したり減少したりする時、また風速が高速に変化するときに、予測誤差が顕著に現れていることが確認できる。図6(d)より、誤差 $-1\text{m/s}\sim 1\text{m/s}$ に収まる予測値が全体の約78%を占めることから、入力データをBとした場合でも、予測精度が十分高いと確認できる。

また、(13)式より求めた平均誤差は -0.105 、(14)式より求めた二乗平均平方根誤差は 0.946 となった。

6. まとめ

本研究では、予測対象地点で測定できる気象データのみを用い、ニューラルネットワークを利用することで10分先の平均風速を予測する手法を提案した。また、予測誤差低減に有効な気象データの組み合わせについて、A:現時点から50分前までの10分間平均風速、B:現時点から50分前までの10分間平均風速・現時点から50分前までの10分間平均風速変化量について検討した。

まず、留萌測候所で2000年から2004年の各1月に測定された10分間平均風速を教師データとして用い、提案システムに入力し学習を行った。そして、学習後に獲得された重み係数を利用して、2005年1月における10分ごとの平均風速の予測を行った。その結果、Aの場合、平均誤差 -0.165 、二乗平均平方根誤差 1.003 となった。これに対して、Bの場合は、平均誤差 -0.105 、二乗平均平方根誤差 0.946 となった。このように、気象データに風速変化量を加えることで、若干予測精度が向上することがわかった。

今後、更なる予測精度向上のために、気象デー

タに新たなデータを加えることが考えられる。また本研究手法は、10分先予測を対象としているため、電力会社が行っている経済負荷配分制御に組み込むことは難しいと考える。そのため、この本手法を利用した1時間先～数日先までの風速予測システムの開発が望まれる。

謝辞

本研究は、八雲環境科学振興財団の平成18年度環境研究助成により実施できましたことを深く御礼申し上げます。

文 献

- (1) 安藤晴彦:「風力発電の現状と展望」, 第28回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.1-13, 2006
- (2) 甲斐隆章:「風力発電の系統連系について」, 電気学会誌, Vol.124, No.1, pp.27-31, 2004
- (3) 荒川忠一:「気象予測に基づく風力発電量予測システムの開発」, 第28回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.51-57, 2006
- (4) 萩原将文:ニューロ・ファジィ・遺伝的アルゴリズム, 産業図書, 1994
- (5) 電気学会:学習とそのアルゴリズム, 森北出版, 2002
- (6) 見目喜重, 石井弘樹, 滝川浩史, 河本映, 榊原建樹:「広域の気象データを利用した翌日の風速予測」, 太陽エネルギー学会, Vol.27, No.1, pp.85-91, 2001
- (7) Shuhui Li, Donald C. Wunsch, Edgar A. O'Hair, and Michael G. Giesselmann:「Using Neural Network to Estimate Wind Turbine Power Generation」, *IEEE*, Vol.16, No.3, pp.276-282, 2001
- (8) P.Flores, A.Tapia, and G.Tapia:「Application of a control algorithm for wind speed prediction and power generation」, *Renewable Energy*, Vol.30, No.5, pp.523-536, 2004

変形菌の種多様性からみた里山の環境評価

—都市近郊から自然林における変形菌相の比較—

岡山理科大学院総合情報研究科

数理・環境システム専攻 ^{たか}高 ^{はし}橋 ^{かず}和 ^{なり}成

はじめに

変形菌は、腐朽木などの有機物が分解される過程で生活する生物であり、生態系の物質循環において分解者である細菌などを捕食して生活している。そのため、森林における変形菌相の把握は分解系の活性度を知る手段のひとつと考える。今日の里山では、松枯れにより生じた腐朽木が豊富で、変形菌にとっては格好の生育適地となっている。しかし、変形菌の子実体は微小で消失しやすく目に付きにくい存在であるため、その生育状況を調査する定量的な方法は未だ確立されていない。ただし、変形菌は、夏季の梅雨明け時期をピークとして腐朽木上に多種多量が発生するという報告（浜島 1964, 高橋 1996）があることから、この集中発生時期を利用して変形菌相の情報を短期的に得ることが可能である。本研究では、変形菌子実体のコロニーを定量的に探索する方法(Takahashi 2004)に従い、都市近郊から山地に至る環境傾度に応じた里山の変形菌相を調査し、分解系に依存して生育する生物の種組成や種多様性から里山の自然の特性を捉えることを試みた。

方法

1. 調査地の概要

調査は、表1に示した里山のアカマツ林と針葉樹自然林で行った。まず、岡山県南部の岡山市の市街地に近接する里山から県北部に至る山間部の里山、及び鳥取県大山の山麓の伯耆町榑水高原の里山で調査した。さらに、他の地域の里山と比較するために滋賀県余呉町や長野県茅野市の里山を調査した。また、人為的攪乱のほとんどない自然林での調査は、宮崎県えびの高原のアカマツ自然林やモミ・ツガ自然林、長野県八ヶ岳の亜高山帯針葉樹林、及び北海道東部のアカエゾマツ林で行った。

表1. 調査地の概要と環境要因

県	地名	略号	立地 最観	標高(m)	暖かさの指 数WI(°C・月)	寒さの指数 CI(°C・月)	降水量 (mm)	降水量の 平年比	材の硬さ (mm深)
岡山県	倉敷市児島由加由加山	o1	3	250	116.2	-2.1	413	1.42	15.1
	岡山市大安寺矢坂山	o2	1	30	135.2	-0.4	528	1.53	14.8
	岡山市宿本町岡山理大生態システム園	o3	1	50	133.4	-0.5	528	1.53	12.1
	岡山市横井上岡山理大自然植物園	o4	2	70	122.7	-2.2	538	1.56	17.0
	岡山市日応寺	o5	3	220	114.8	-3.8	538	1.4	12.9
	高梁市榑井高梁美しい森	o6	4	410	99.6	-10.1	507	1.32	12.6
	新見市草間羅生門	o7	4	430	94.4	-11.8	491	1.16	11.2
鳥取県伯耆町榑水高原	dai	3	580	91.5	-10.3	637.5	1.03	14.9	
滋賀県	余呉町	sig	4	500	95.1	-12.6	458	1.21	17.3
宮崎県	えびの市えびの高原甌岳登山道	eb1	5	1100	84.2	-9.1	2502	1.47	18.6
鹿児島県	牧園町大浪池登山道	eb1	5	1200	81.8	-10.3	2502	1.47	16.4
長野県	茅野市豊平	ya1	3	1040	75.3	-23.6	539	1.67	23.1
	小海町白駒池	ya2	5	2120	34	-60	-	-	22.5
北海道	弟子屈町川湯温泉	hk	4	140	63.5	-51	111	0.7	17.7

注) 立地景観: 1=都市周辺地域、2=都市郊外地域、3=農村地域、4=山村地域、5=山岳・自然林地域、降水量は2006年6月~7月の降水量を示す。

2. 調査方法

本研究では7月~8月にかけて、里山のアカマツ枯死木や針葉樹自然林内の枯死木に発生

した変形菌の子実体のコロニーを目視とルーペにより探索した。調査では、林床に散在する直径 10cm 以上の長さ 1m 以上の丸太や倒木に発生した変形菌の子実体を 100 コロニー以上観察し、それらのコロニーの長径と短径の積をコロニー面積として求めた。単一の変形体から発生した子実体コロニーは 1 標本として評価した。

アカマツ枯死木に発生する変形菌は材の腐朽状態と関連して生育する(高橋 2001)ため、子実体が着生した部位の材の硬さを山中式土壤硬度計(計測範囲:0~40mm 貫入深)で計測し、腐朽状態を表す指標とした。

多くの種が野外での同定が困難なために、子実体コロニーの一部を標本として採取し、紙箱に貼り付けて研究室に持ち帰った。子実体の外部形態は実体顕微鏡で観察し、さらに胞子や細毛体の構造はプレパラートを作成して顕微鏡観察した。種名の同定は、図鑑(山本 1998)を参照して行った。標本は研究室で保存している。

3. 環境傾度

調査地の立地は地域の環境景観に応じて、都市近接の里山=1、都市郊外の里山=2、農村地域の里山=3、山村地域の里山=4、自然林=5 の 5 段階で数値化した。調査地の 2006 年の月平均気温、月降水量及びそれらの平年値は、気象庁の電子閲覧室(<http://www.data.kishou.go.jp.2006.6> 参照)に掲載されている調査地近隣のデータを代用した。ただし、調査地における気温は、標高による気温の減衰率を $-0.06^{\circ}\text{C}/\text{m}$ として、気象庁のデータから温度補正し、暖かさの指数 ($\text{WI}^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$) と寒さの指数 ($\text{CI}^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$) を求めた。調査地の降水量は、近隣の気象データの測定値を代用し、夏季に繁殖する変形菌の生育に影響する 2006 年の 6 月~7 月の降水量を平年値(1979 年~2000 年)と比較した。

4. 変形菌群集の解析

各調査地ごとに出現種のコロニー数、コロニー面積を整理し、種多様性指数として、シャノン指数 [$H' = -\sum (p_i \log(p_i))$] とシン普森指数 [$1-D = 1/\sum p_i^2$] を求めた。ただし、出現した種 i の相対優占度(p_i)は $p_i = n_i/N$ で、 N は全コロニー数、 n_i は i 番目の種のコロニー数として計算した。また、種 i のコロニー面積の相対優占度は、総コロニー面積に占める種 i の面積比とした。種 i の常在度(%)は、総調査地数に対する種 i が出現した調査地数の割合とした。

変形菌群集の解析は、調査地ごとの種組成とコロニー数の情報から DCA(除歪対応分析)による多変量解析により、調査地及び出現種を序列化した。使用した多変量ソフトは PAST(<http://folk.uio.no/ohammer/past/>, 2006.5)である。次に、DCA 第 1 軸及び第 2 軸と環境要因との相関を求め、種組成及び種の序列化に影響を与えた環境要因を解析した。

結果

1. 探索コロニー数と出現種数

調査地ごとに探索したコロニー数は、105 個~156 個の範囲で、平均して 120 個を観察した。これらのコロニーが着生した倒木数は 31 本~75 本の範囲で、調査地あたりの平均は 51 本であった。1 本の丸太あたりでは、平均して 2.5 個のコロニーが着生した。調査地ごとの出現種数は 16 種から 25 種の範囲で、平均出現種数は 20 種であった。

探索したコロニー数と累積出現種数との関係を調べた。図 1 は岡山市の市街地に近接する矢坂山の場合で、10 コロニーごとに出現した種数と累積種数を示す。110 コロニーから

19種が出現し、探索したコロニー数が100個を越えると出現種がほぼ一定数になり、新たな種が見られなくなった。また、図2の宮崎県えびの高原のアカマツ自然林でも、ほぼ100コロニーの探索で出現種が安定化した。しかし、さらに林域を移動して探索すると新たな種がわずかに出現した。こうしたことから、植生が同質な林域において100コロニーを越える探索により、大部分の変形菌の生育種を捕捉できたと考える。

2. 出現種と優占種

アカマツなどの針葉樹の腐朽木上で14地点の調査から1682個の変形菌子実体コロニーを観察し、5目8科16属61種を同定した。表2は、調査地を里山と自然林に区別し、さらにアカマツと他の針葉樹に分けて出現種のコロニー数（出現数）を示した。

出現数が多い種は、順にサビムラサキホコリ、ツノホコリ、マメホコリ、シロウツボホコリ、アオモジホコリ、タマツノホコリ、クモノスホコリ、タチフンホコリであった。属別では、出現数の相対優占度は、ムラサキホコリ属(0.20)、ツノホコリ属(0.17)、アミホコリ属(0.14)、モジホコリ属(0.12)の順番で、主としてムラサキホコリ属、ツノホコリ属、アミホコリ属が優占する傾向であった。属別の出現種数は、アミホコリ属で13種、ムラサキホコリ属で10種、モジホコリ属で8種、ウツボホコリ属で7種、コムラサキホコリ属で6種が出現した。次に、常在度が80%以上になる種は8種で、すべての調査地で出現したのはサビムラサキホコリ、マメホコリ、クモノスホコリの3種であった。こうしたことから、針葉樹の腐朽木で夏季には、ムラサキホコリ属やアミホコリ属、ツノホコリ属が優占して発生する傾向であった。

3. 種多様性と環境傾度との関係

各調査地の変形菌群集の種多様性指数を求め、6つの環境要因との相関を調べた。すると、多様性指数はWIとCIの温量指数との間だけで有意であった(表3)。シャノン指数は $H' = 2.11 \sim 2.84$ の範囲で、平均値と標準偏差は $H' = 2.45 \pm 0.21$ となった。また、シンプソン指数では $D-1 = 0.87 \pm 0.03$ であった。それぞれの多様性指数は、WIに正の相関を示し、CIに負の相関を示した。WIとシャノン指数の関係を図3に示した。WIに対してシャノン指数は相関係数 $r = 0.63$ ($p < 0.05$)で、これはシンプソン指数との相関係数 $r = 0.54$ ($p < 0.05$)よりも高い値であった。変形菌群集の多様性と環境傾度との関係は、シャノンの種多様性指数を指標としたほうが分散が大きく、WIとより高い相関関係が得られた。すなわち、変形菌の種多様性は温暖地で高く、寒冷地で低下する傾向であった。

表3. 種多様性指数と環境要因との相関係数(* $p < 0.05$ で有意)

種多様性指数	温量指数		立地景観	標高	材の硬さ	降水量
	WI	CI				
Shannon指数(H')	0.631 *	-0.638 *	-0.41	-0.41	-0.31	0.07
Simpson指数(1-D)	0.543 *	-0.590 *	-0.37	-0.37	-0.27	0.02

4. 環境傾度と変形菌群集

調査地ごとの出現種の種組成とコロニー数の情報から多変量解析(DCA)を行った(図4)。第1軸(固有値0.43)への調査地の配列は、岡山県南部から北部へ、さらに日本列島

の北方へむけて序列化された。また、第2軸（固有値 0.31）の要素から、亜高山帯針葉樹林と北海道のアカエゾマツ針葉樹林に分離された。調査地は、第1軸に対して岡山市大安寺の市街地の近接林から山間部の里山林、さらに長野県八ヶ岳の亜高山針葉樹林および北海道のアカエゾマツ林へと序列化された。宮崎県から鹿児島県境に位置するえびの高原のアカマツ林やモミ・ツガ林は自然林であるが、岡山県の里山の変形菌相と類似した関係であった。このことから、里山と自然林とでは夏季に出現する変形菌相に区別は認められないことが示された。しかし、同じアカマツ二次林でも岡山県と長野県茅野市豊平とでは遠い関係にあった。アカマツ腐朽木上の変形菌群集は、WIの80以上では里山と自然林の違いやアカマツとモミ・ツガの違いはあっても類似していた。しかし、WIが75に低下する里山ではWIの80以上の里山と変形菌群集の類似性が低下していた。

DCAの第1軸と第2軸の値に対して、6つの環境要因（立地環境、標高、暖かさの指数（WI）と寒さの指数の絶対値（-CI）、6月～7月の降水量、生育基物である材の硬さ）との相関を取った（表4）。まず、DCAの第1軸に対して、立地景観や標高、降水量は有意な相関を示さなかったが、WI（ $r=-0.830$, $p<0.01$ ）と-CI（ $r=0.895$, $p<0.01$ ）はそれぞれ有意で強い相関を示した。また、基物の硬さは弱い相関（ $r=0.63$, $p<0.05$ ）を示した。次に、第2軸に対して、標高が有意な相関（ $r=-0.733$, $p<0.01$ ）を示した。こうしたことから、変形菌群集は基物の腐朽度の影響を受けて生育しているが、主として温量指数と標高に関わる環境傾度に沿って分布する傾向にあることがわかった。

表4. DCA軸と環境要因との相関行列

	DCA第1軸	DCA第2軸
立地景観	0.446	-0.214
標高m	0.541	-0.733 **
暖かさの指数(WI)	-0.830 **	0.229
寒さの指数(-CI)	0.895 **	-0.132
降水量(6月～7月)	-0.119	-0.377
材硬さ(mm貫入深)	0.635 *	-0.408

5.環境傾度と出現種との関係

各種の生育状況を各調査地におけるコロニー数の相対優占度で表し、DCA第1軸との関係をみた。サビムラサキホコリとアオモジホコリは第1軸に対しそれぞれ有意な正の相関（ $r=0.69$, $r=0.74$, $p<0.01$ ）を示した。一方、ツノホコリは有意な負の相関（ $r=-0.71$, $p<0.01$ ）を示した。キカミモジホコリ、オオムラサキホコリも弱い相関を示した（ $r=-0.57$, $r=0.64$, $p<0.05$ ）。

次に、DCA第1軸はWIに対して強い相関をもつため、WIと各種の相対優占度との関係を調べた。WIに対して、出現数の優占度が正の相関を示したのはツノホコリ（ $r=0.64$, $p<0.05$ ）、サラナシヤミホコリ（ $r=0.56$, $p<0.05$ ）、フシアミホコリ（ $r=0.59$, $p<0.05$ ）で、負の相関を示したのは、アオモジホコリ（ $r=-0.70$, $p<0.01$ ）であった。一方、各種のコロニー面積の相対優占度とWIとの関係を見ると、フシアミホコリはWIに対して正の相関（ $r=0.60$, $p<0.05$ ）を示し、ケホコリは負の相関（ $r=-0.62$, $p<0.05$ ）を示した。

第1軸の環境傾度は主にWIであるが、材の硬さにも関係がある（相関係数 $r=0.63$, $p<0.05$ ）。調査木の腐朽状態は、標高の高い長野県茅野市の豊平と亜高山帯針葉樹林であ

まり進んでいなかった。木材の耐朽性は同一樹種でもかなり材質に幅があったり気候条件の影響を受けたりする(高橋 1989)といわれ、さらに腐朽菌などの微生物作用もあることから、寒冷地では温暖地よりも腐朽速度が遅いと考えられる。WI と材の硬さには負の相関 ($r=-0.26$, $p<0.01$) があり、出現種のうちの 2 種のみで材の硬さに相関が見られた。アオモジホコリは、材の硬さと正の相関 ($r=0.75$, $p<0.01$) があり、タチフンホコリは材の硬さと負の相関 ($r=-0.55$, $p<0.05$) があった。こうしたことから、腐朽の進んでいない硬い材を嗜好する種と腐朽した材を嗜好する種があることが示された。しかし、アオモジホコリは亜熱帯の調査ではまれにしか出現しないと報告されている(Yuri 2001) ことから、WI との関連性もあると考えられる。変形菌の生育は、基物の腐朽度に依存する種もあるが、広域的な種の分布は主に WI に関係して分布する傾向であった。

WI と各種の優占度との相関関係及び表 2 に示した調査地ごとの出現種の特徴から、温暖な地域に出現頻度の高い種群として、ツノホコリ、サラナシヤミホコリ、フシヤミホコリ、キウツボホコリがあげられ、逆に寒冷な地域に出現頻度の高い種群としてケホコリ、ワラベアミホコリ、オオアミオホコリ、オオクダホコリ、マメホコリ、サビムラサキホコリ、アオモジホコリがあげられる。

考察

森林の自然な状態において、変形菌の生活基物となる倒木の発生は少なく、しかも散発的である。そのため、調査面積や倒木数を一定にした調査方法では、変形菌の生育種を十分に捕捉できなかつたり、倒木数に限度があるため調査の実施が困難になつたりするであろう。本研究では森林植生が同質な林分において変形菌子実体の 100 コロニー以上を観察するという方法により、ほぼ十分に生育種の調査をすることができた。また、全国的な松枯れにより今日の里山には多くのアカマツ枯死木が存在することから、基物の種類を統一して広範囲な調査をすることができた。変形菌は多様な植物遺体に様々な種が発生する(Gray & Alexopoulos 1968)。そのため、基物の多様性による影響を排除した上で、変形菌群集と環境傾度との関係を調べる必要があるであった。アカマツは、本州に広く分布し、松枯れが全国的な規模で発生している。今日、里山のアカマツ枯死木に発生する変形菌群集を通して自然環境を評価することは、好適な時期を迎えている。

枯死木生変形菌は、材の腐朽状態と関連して生育する(Ing 1994)といわれ、アカマツ腐朽木の硬い部位と腐朽したやわらかい部位では出現種が異なっている(高橋 2001, Takahashi 2001, 2002)。また、コナラ属の倒木では、変形菌の発生に枯死後の経過年数が関係していると報告されている(Heilmann-Clausen 2001)。本研究においては、倒木の腐朽度が調査に影響することが考えられた。しかし、調査地間の材の腐朽度の違いは広域的な種の分布には大きく影響してはいなかった。本研究では、1 調査地点で変形菌が出現した丸太は平均 51 本になり、様々な腐朽状態の倒木が観察されている。さらに、1 本の倒木でも部位により様々な腐朽度の部位があることなどにより、腐朽状態に起因する環境要因が調査結果に大きく影響してはいないと考える。

変形菌の樹種選好性は、針葉樹と広葉樹の間では特定の種により選好性があることが指摘されている(Gray & Alexopoulos 1968)。しかし、針葉樹の樹種間での詳細な樹種選好性は研究されていない。アカマツの材は気乾比重が約 0.5 で、マツ属の中では硬松といわれる(佐伯 1993)。アカマツの耐朽・耐蟻性はスギよりも弱く、ツガと同じ程度に小さい。さらに、エゾマツは耐朽・耐蟻性は極小である(高橋 1989)。また、針葉樹材の区別

は樹脂道の有無や大きさにより行われる（佐伯 1993）。こうした針葉樹種間の違いが直接的に変形菌の生育に影響しているとは考えにくい。そのため、針葉樹種間の選好性の研究は従来から行われて来なかったと考えられる。

亜高山帯の針葉樹林と低地の針葉樹林の変形菌相の比較研究は日本では行われていない。北米では亜高山帯の針葉樹林における変形菌相を研究し、野外調査標本から少なくとも 89 種が生育すること、それらのうち数種は亜高山帯の針葉樹林に限られるか、低標高地では稀な種であったと報告している（Stephenson 2004）。その例として、ロウホコリ（*Elaeomyxa cerifera*）、タチケホコリ（*Trichia erecta*）などをあげている。本研究では、低地のアカマツ林との比較において、ロウホコリは亜高山帯のみで確認され、ケホコリは亜高山帯のみで多くが出現した。こうしたことから、日本においても亜高山帯針葉樹林に特徴的に生息する種群があると考えられる。

ヨーロッパの研究では、Lado(1993)が地中海性気候のスペインで標高に伴って変化する植生帯と変形菌相の関係を調べ、温帯域の変形菌相は植生タイプにより異なることを報告している。また、Ing(1994)は主たる植生が変形菌相に影響すると述べている。亜熱帯では変形菌の多様性は森林タイプで異なり（Schnittler et al. 2000, Yuri et al. 2001）、変形菌の種多様性は倒木や落葉、草本遺体、生木樹皮、花序などといった基物の種類の豊富さに関係するという報告（Stephenson et al. 2004）がある。

日本列島は、降水量に恵まれて湿潤であり、南北に長く起伏に富んだ地形をしているため、様々な植生が存在している。そして、日本列島の植生帯は、その境界が暖かさの指数によく一致するといわれている（Kira 1974）。本研究においては、変形菌群集が温量指数に応答していることや種によってはその生育量が WI と関係することが示された。こうしたことから、日本列島でも変形菌群集の分布は、植生に依存することが考えられる。しかし、多様な日本の植生タイプと変形菌群集との関係を明らかにするには今後の研究を待たなければならない。

森林で枯死木に発生する変形菌の種群と落葉に発生する種群は異なっている（Ing 1994）。枯死木生変形菌は、樹木の枯死や風倒などに起因する散発的な現象や長期的な林内環境及び基物の分解に反応している。それに対し、落葉生変形菌は毎年周期的に供給される落葉リターの分解過程で生育するため、短期的な周期性を持って環境に応答していると考えられる。今後は枯死木生変形菌に限らず落葉生変形菌も含めて、森林の倒木や落葉リターの分解過程に生育する変形菌のもつ特性を明らかにし、物質循環における分解系の活性度を評価する生物指標として変形菌の可能性を追求したい。

摘要

1. アカマツなどの針葉樹の腐朽木に発生する変形菌群集の種組成と発生量を夏季の集中的な調査と、子実体の 100 コロニー以上の観察という方法で調査した。
2. 全国的な調査から、針葉樹腐朽木で 61 種を確認し、里山のアカマツ腐朽木には 48 種が出現した。夏季に針葉樹腐朽木に発生する一般的な種群は、サビムラサキホコリ、クモノスホコリ、マメホコリであった。
3. 里山と自然林でアカマツ腐朽木に発生した変形菌群集に大きな違いは見られなかった。しかし、アカマツ林と亜高山帯針葉樹林及び寒帯針葉樹林では変形菌群集の類似性が低くなった。
4. 各地の変形菌群集の比較から、シャノンの種多様性指数は暖かさの指数（WI）に

負の相関を持つこと、冷涼な地域ではオオクダホコリ、オオアミホコリなどの特
定な種の生育が確認され、温暖な地域ではツノホコリ、サラナシアミホコリ、フ
シアミホコリなどの出現頻度が高くなる傾向があった。

謝辞

本研究を行うにあたり、多くのご助言と示唆を頂いた岡山理科大学総合情報学部生物地
球システム学科の波田善夫教授に深く感謝します。また、野外調査にあたりご協力くださ
った松岡憲吾氏、中田将人氏、山尾僚氏に御礼申し上げます。本研究は(財)八雲環境科
学振興財団の支援により実施できたものであり、貴財団に感謝の意を表します。

参考文献

- 加藤和弘 1995. 生物群集分析のための序列化法手法の比較研究. 環境科学会誌 8(4):
339-352.
- 佐伯 浩 1993. この木なんの木 海青社. 大津. p28-29.
- 高橋和成 1995. 岡山県南部の二次林における変形菌の生態的研究—基物嗜好性と結実季
節性について—. 岡山県自然保護センター研究報告(3): 23-31.
- 高橋和成 2001. アカマツ倒木の腐朽程度に関係した変形菌の発生. 岡山県自然保護セン
ター研究報告(9): 11-18.
- 高橋和成 2002. 羅生門のアカマツ倒木の腐朽程度に関係して発生する変形菌の動態(I).
岡山県自然保護センター研究報告(10): 25-34.
- 高橋旨象 1989. きのこと木材 築地書館. 東京. p73.
- 浜島繁隆 1964. シイタケほた木上の変形菌の季節的消長. 植物研究雑誌 39(6):189-
192.
- 山本幸憲 1996. 図説日本の変形菌 東洋書林. 東京.
- Gray, W. D. & Alexopoulos, C. J. 1968. Biology of the Myxomycetes. The Ronald Press,
Co., New York. p 237.
- Heilmann-Clausen, J. 2001. A gradient analysis of communities of macrofungi and
slime moulds on decaying beech logs. Mycol. Res. 105: 575-596.
- Ing, B. 1994. The phytosociology of myxomycetes. New Phytol. 126: 175-201.
- Kira, T. 1974. A Climatological interpretation of Japanese vegetation zones. Proc.
Intern. Excursion & Symp. on Vegetation Science, Maruzen Co., Ltd. Tokyo. p21-
30.
- Lado, C. 1993. Myxomycetes of Mediterranean woodlands. In D. N. Pegler, L. Boddy,
Ing & P. M. Kirk (Editors). Fungi of Europe: Investigation, Recording and
Conservation, PP. 93-114. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Schnittler, M. & Stephenson, S. L. 2000. Myxomycete biodiversity in four different
forest types in Costa Rica. Mycologia 92(4): 626-637.
- Stephenson, S. L. 2004. Distribution and ecology of myxomycetes in southern
Appalachian subalpine coniferous forests. Memoirs of The New York Botanical
Garden 89: 203-212.
- Stephenson, S. L., Schnittler, M. and Lado, C. 2004. Ecological characterization of a
tropical myxomycete assemblage —Maquipucuna Cloud Forest Rserve, Ecuador.

- Mycologia 96(3): 488–467.
- Takahashi, K. 1999. Occurrence of Myxomycetes in relation to the decaying state of *Pinus desiflora* and *Quercus acutissima*. Bull. Okayama Pref. Nature Conservation Center 7: 53–60.
- Takahashi, K. 2004. Distribution of myxomycetes on different decay states of deciduous broadleaf and coniferous wood in a natural temperate forest in the Southwest of Japan. Syst. Geogr. Pl. 74: 133–142.
- Yuri K. Novozhilov, Martin Schnittler, Adam W. Rollins & Steven L. Stephenson 2001. Myxomycetes from different forest types in Puerto Rico. Mycotaxon 52:285–299.

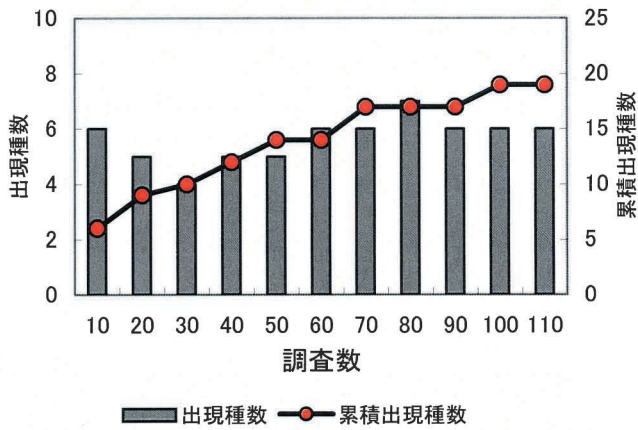


図1. 岡山市大安寺矢坂山(7月8日 2006年)

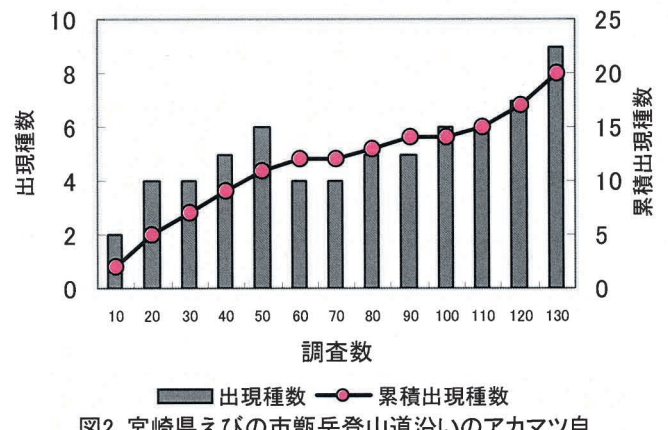


図2. 宮崎県えびの市甕岳登山道沿いのアカマツ自然林 (7月30日 2006年)

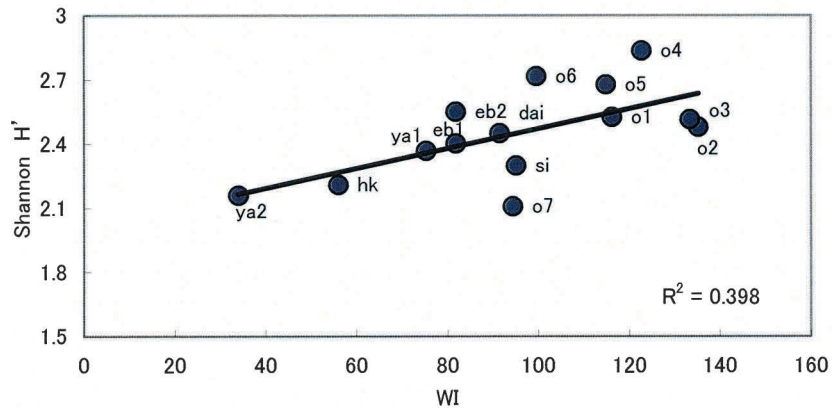


図3. 種多様性指数(Shannon H')と暖かさの指数WIとの相関(相関係数 $r=0.63$, $p<0.05$)

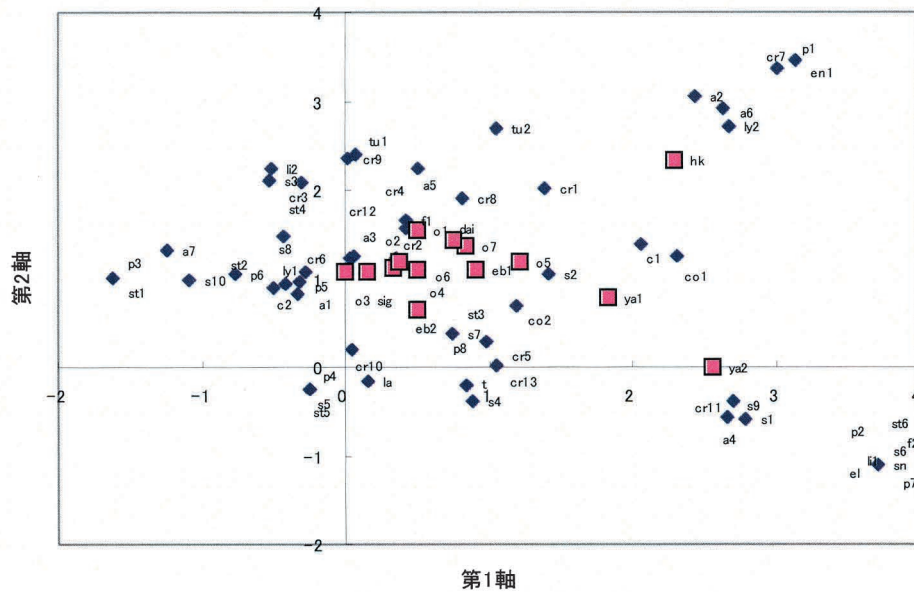


図4. 変形菌群集のDCA解析2軸プロット (固有値第1軸0.43 第2軸0.31、略号は表1と表2に従う)

環境汚染を回避するバラの閉鎖式養液栽培システムにおける簡易でかつ合理的な養水分管理技術の開発

岡山大学大学院自然科学研究科 後藤丹十郎

1. はじめに

バラは我が国において、キク、カーネーションに次ぐ主要な切り花である。現在、バラの切り花生産において、ロックウール栽培は、バラの全栽培面積に占める比率が 40 %にも達している。ロックウール栽培は、連作による生産力低下からの解放や、改植労力の低減に加えて、マニュアル化された栽培方法によって企業的経営が可能であるなどの利点がある。しかし、近年、栽培システム導入時の設備投資が大きいことや、使用済みのロックウールの廃棄処理の困難さや、かけ流し栽培に伴う多量の排液による環境汚染の問題が指摘されるようになり、この栽培法にかわる新しい栽培法の開発が急務となっている。かけ流しに伴う排液問題については、排液を循環利用する方法が検討されているが、排出成分が一定でないため養分組成の調整が困難なうえに、循環方式では病原菌が蔓延する可能性がある。また、循環における設備投資によりコストがかかることも問題となっている。

本研究室では、ロックウールの代わりに廃棄可能で緩衝能を持つ培地を利用し、かけ流しの代わりに閉鎖型ベンチ方式で過去完了形の養水分管理、すなわち減少した養水分量のみを補充する養水分管理法を行う非循環閉鎖型ベンチ栽培システムの開発に取り組んできた。また、この方式では循環しないため、設備投資に要するコストが削減できる。このシステムの一部はすでに生産者に利用され始めている。しかし、本システムは月毎に液肥濃度を変更するので、実際栽培上、管理が煩雑になっている。そのため、簡易な養水分管理法が望まれている。また、培地量が少ないほどコストが安くなるが、培地量が少ないと、培地中の養分濃度の変動が大きくなるので、この養水分管理システムに適した培地量を検討する必要がある。そこで、今年度は、閉鎖式養液栽培システムにおいて高品質の切り花生産するために必要な適正最小培地量の把握と、簡易な養水分管理技術を検討した。

2. 材料および方法

栽培概要

赤色系品種‘ローテローゼ’を供試した。‘ローテローゼ’を2005年3月21日に栽培ベンチ(内のり幅60 cm×150 cm×12 cm)に6株ずつ定植した。仕立て方はハイラック方式とした。培地はマサ土：パーライト＝7：3 (v/v)とした。液肥には岡山大学で開発したバラ処方液(N:P:K:Ca:Mg＝100:14:118:30:10, NO₃-N:NH₄-N＝78.4:21.6)を与えた。液肥は手灌水によりpF1.7で給液した。2005年10月より以下に述べる処理を開始し、2005年12月から2006年11月まで切り花調査(切り花長、切り花重、節数、SPAD値、品質、調整長、調整重、茎径、切除および落葉量)をおこなった。栽培条件は日最低温度15℃以上とし、自然日長で管理した。2006年6月15日から9月15日まで遮光率50%の寒冷紗で被覆した。

土壌溶液を1週間毎に採取し、pH、EC、NO₃-N、P、K、Ca、Mgの濃度を測定した。土壌水のECが8.0 mS/cmを超えたら、その月の標準濃度の1/2濃度の液肥を与え、その後4.0 mS/cm以下に低下して時点で標準濃度の液肥に戻した。2ヶ月毎に切り花の葉をサンプリングし、湿式灰

化後、無機養分濃度 (total N, P, K, Ca, Mg) を測定した。

2-1. 給液方法の検討

給液方法を第1図に示した、液肥濃度を月ごとに変動させる月ごと区(窒素濃度;1月:180、2月:150、3月:120、4月:100、5~6月:80、7月:70、8月:50、9月:80、10月:100、11月:150、12月:180 (ppm))と季節ごとに変動させる季節ごと区(窒素濃度;12-2月:180、3-6月:100、7-8月:60、9-11月:100 (ppm))の2処理区2反復設けた。

2-2. 根域容量の検討

処理区は1株当たり根域容量を6 (6L)、12 (12L)、18 (18L)、24 (24L) literとした。給液は6L区を除いてpF値を毎日8:30に1回調査し、pF1.7以上で手灌水によって行った。給液量は6L、12L、18L、24L区でそれぞれ3、5、8、10 literとした。6L区のみ毎日8:30に給液した。

3. 結果および考察

3-1. 給液方法の検討

土壌中のNO₃-N、EC (第2図)、Caは季節ごと区の1ベンチで年間を通して高い値を示したが、それ以外の処理区ではほぼ低い値を同様に推移した。また、pH、SPAD値、K、P、Mgは年間を通じて季節変動がほぼ同じ値であり、処理区による差は認められなかった。

切り花に関しては、総切り花重は季節ごと区で若干多くなる傾向が認められたが、有意な差は見られなかった(第1表)。切り花本数、切り花長、切り花重、SPAD値および節数には、処理による有意な差は認められなかった。7月25日に夏期剪定を行ったため、9月中旬まで収穫できず結果として収穫本数が少なくなった(第3図)。規格別の切り花本数をみると、Aランクである60cm以上の切り花の割合が両区とも40%以上あり、処理によって有意な差が認められなかった(第4図)。

以上の結果、液肥濃度を季節ごとに変動させても、切り花本数、切り花品質に影響は認められなかった。また、土壌中の土壌溶液の濃度も給液方法による差は認められなかった。ただし、バラの成長周期や環境条件によって、土壌溶液の濃度が大きく変動することがあるので定期的にモニタリングする必要があると考えられた。

実験2. 根域容量が切り花品質に及ぼす影響

土壌水のECは、24L区で2006年6月に上限である8.0mS/cmを超えた(第5図)。それと同時にNO₃-Nも800ppmを超えた。その後、その月の標準濃度(60ppm)の1/2濃度の液肥を与えたが、夏期の間は無機養分の吸収より水の吸収が多いため、ECはしばらく低下しなかったが、気温が低下し始めた9月になって、だんだん低下し始めた(第5図)。pHは、処理区によって大きな差は認められなかった。カリウム濃度は6L区で実験期間中たえず高かった。12L区では5月から高くなった。18L区と24L区ではカリウム濃度が実験期間中絶えず低かった。カルシウムは12L区で高かったが6L区では低くなった。24L区はカルシウムおよびマグネシウムとも高かった。リンは6L区では実験前半は高かったが、5月から低くなった。他の処理区には大きな変化が見られなかった。

切り花本数の総本数は処理区間で差があり、6L区で132本、12L区で131本、18L区で140本、

24L区で165本であり、根域容量が大きいほど多くなった(第2表)。1本あたりの平均切り花重は根域容量が大きいほど重くなった。総切り花重も根域容量が大きいほど重くなった。平均切り花重、切り花長、莖径を見ると根域容量が大きい処理区のほうが大きかった(第2表)。各処理区の切り花長も切り花重と同じ傾向であった。節数には処理区による差はほとんどなかった。SPAD値は各処理区とも6-9月までの高温時期に低く、他の月のSPADの値は、処理区に関わらずほぼ同じ値を示した。月ごとの切り花本数をみると、24L区で絶えず多かった(第6図)。規格別収穫割合をみると、Aランクである60cm以上の切り花の割合は、根域容量が大きいほど多くなった(第7図)。

植物体の葉中に含まれる窒素濃度は処理区による違いはなかった。リン濃度もほぼ同じだった。カリウム濃度は各処理区で同じ変動が見られた。6L区で高いとカルシウム含量が低くなった。マグネシウムも処理区で変動がなかった。

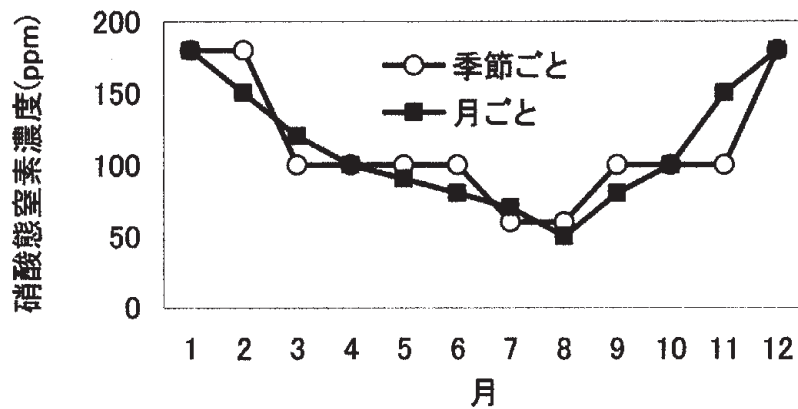
以上の結果から、根域容量が多いほど切り花生産量も切り花品質も高くなった。土壌中の溶液濃度には、根域容量による差が小さいことから、根域容量が小さいときの切り花生産量や切り花品質の低下は、水ストレスによるものと推察された。今後、この点に関して詳細に検討する必要がある。この養水分管理システムでは、1株あたり18literあれば、十分であると考えられた。

4. 謝辞

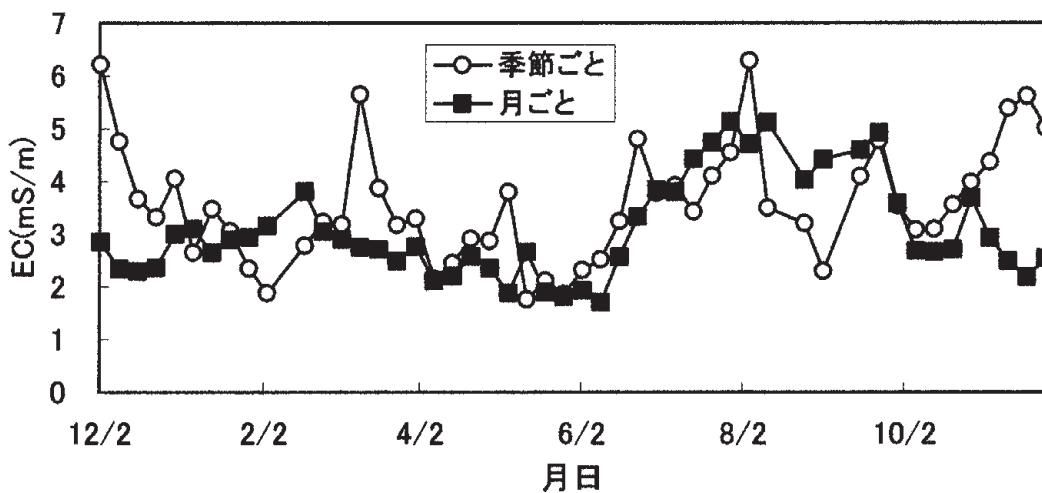
本研究を行うにあたり、ご支援を賜りました財団法人八雲環境科学振興財団に深く感謝いたします。

5. 参考文献

- 農林水産省生産統計。花卉編。2007年度版
- 白井仁司。温室バラの少量培地の視点。施設園芸。42。54-57
- 大川清。バラの生産技術と流通。養賢堂。東京。1999
- 加藤俊博。花卉の養液土工栽培の実際(バラ)。野菜・花卉の養液土耕。農山漁村文化協会。東京。pp 187-191。2004
- 小松鋭太郎・太田秀雄。温室バラ園土壌の実態。茨城園試研報。13。25-30。1986
- 佐藤展之。養液栽培の動向と課題。農業技術体系花卉編7。カーネーション・バラ。農山漁村文化協会。東京。pp 409-412。2004
- 寺島彊二・西沢良一。施設バラの生育、収量ならびに体内成分に及ぼす施肥量の影響。滋賀農試研報。18。45-54。1976
- 寺田幹彦。バラの養水分管理法に悪寒する基礎的並びに応用的研究。岡山大学大学院博士論文。1997
- 林勇。温室バラの隔離ベンチ栽培に関する研究。神奈川園試研報。27。52-63。1980
- 林勇・川島千恵・水野信義・山田裕。温室バラの土壌検定・施肥のための土壌吸引の利用。神奈川園試研報。42。21-27。1992
- 三好学。土壌検定・栄養診断。農業技術体系花卉編2。土・施肥・水管理。農山漁村文化協会。東京。pp 411-416。1993
- 山田裕。切り花の土壌溶液検定。農業技術体系花卉編2。土・施肥・水管理。農山漁村文化協会。東京。pp 429-432。1993



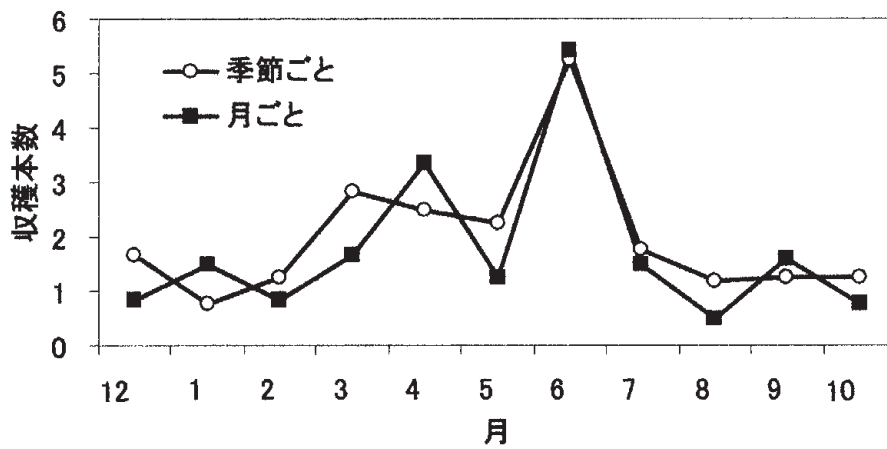
第1図. 給液方法による各月の硝酸態窒素濃度



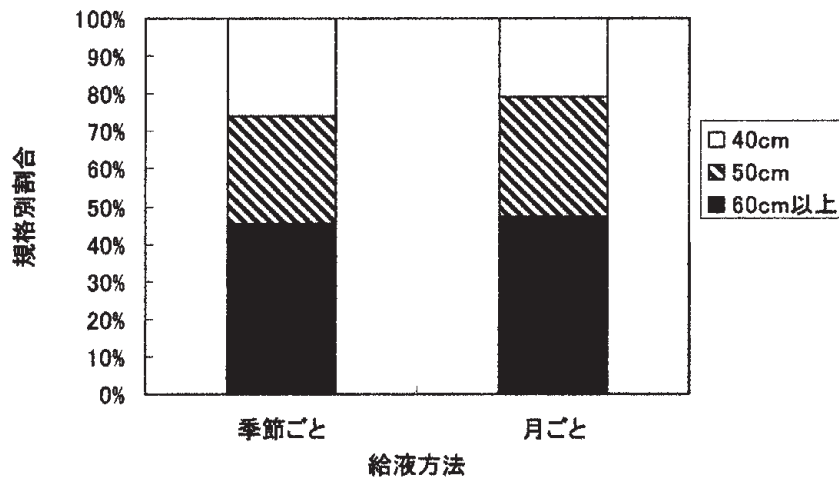
第2図. 給液方法が土壤水のECに及ぼす影響

第1表. 12ヶ月の切り花の生産量と形質(2005年12月～2006年11月)

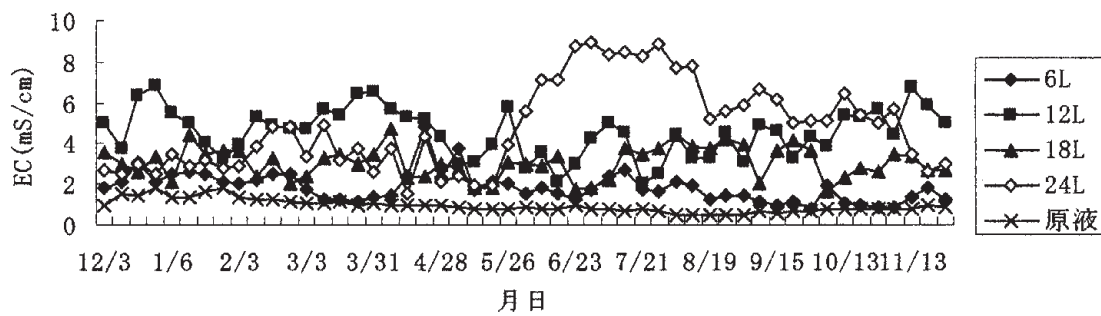
処理区	切り花本数 (株)	切り花形質(1本あたり)				SPAD値	節数
		総切り花重 (株)	切り花長 (cm)	切り花重 (g)			
季節ごと	22.4	767.3	53.7	31.2	50.2	13.1	
月ごと	19.3	729.0	54.5	32.7	50.9	13.0	
t検定	NS	NS	NS	NS	NS	NS	



第3図. 給液方法が月ごとの収穫本数に及ぼす影響



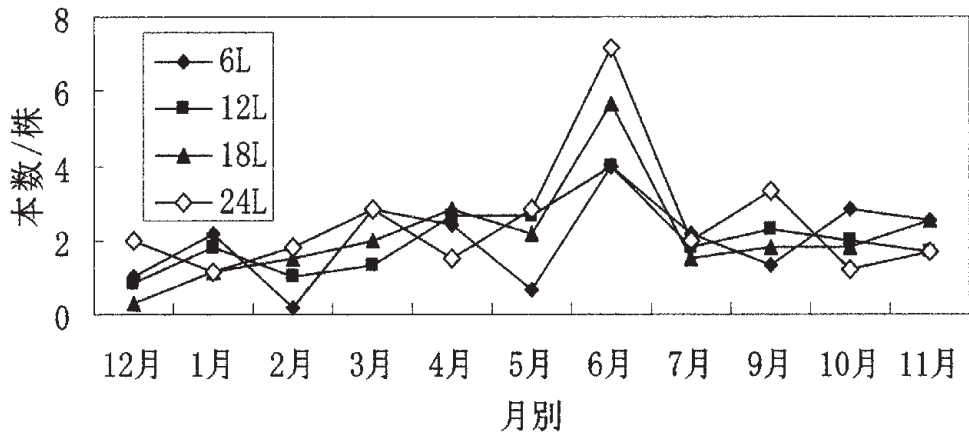
第4図. 給液方法が規格別割合に及ぼす影響



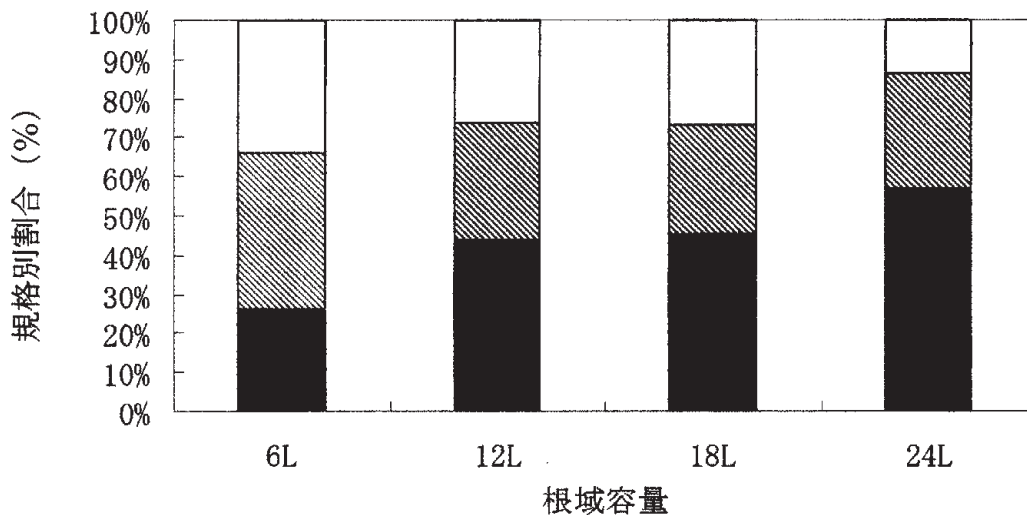
第5図. 根域容量が土壌水中のECに及ぼす影響

第2表. 根域容量が切り花生産と形質に及ぼす影響 (2005年12月—2006年11月)

根域容量 liter	総切り花重 (g)	切り花本数 (株)	切り花重 (g)	切り花長 (cm)	節数
6	3973.0	21.8	30.2	52.1	11.1
12	3907.7	23.8	29.8	53.8	11.3
18	4500.5	23.3	32.1	57.7	11.3
24	6029.1	27.5	36.5	61.7	11.2



第6図. 根域容量が月ごとの切り花本数に及ぼす影響



第7図. 根域容量が規格別割合に及ぼす影響

1. 緒言

現在、高分子は高性能・高機能で環境適合型の次世代材料として重要性を増している。高分子材料は通常、射出成形などに代表されるように流動場によって成形加工されて利用されている。結晶性高分子であるポリエチレン(PE)やポリプロピレン(PP)を流動場において結晶化させると、Fig. 1に見られるような流動方向に高度に配向したshishと呼ばれる繊維状結晶が生成することがよく知られている。shishは繊維軸方向に分子鎖が伸びきった結晶であり、高融点、高強度を示す。したがって、shishを成形加工品に高度に充填することができれば、材料の耐熱性や力学的強度などの諸物性を従来材よりも向上させることが可能である。

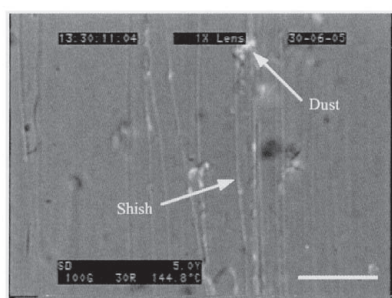


Fig. 1. Formation of shish from the dust under shear flow. Scale bar is 50 μm .

以前の研究で、低ずり流動下(ずり速度 $\dot{\gamma}=0.5\sim 5\text{s}^{-1}$)のPEやPP融液からのshish生成観察から、融液中の分子鎖の構造モデルを提案した^[1]。すなわち、融液中の分子鎖の大部分は流動によって変形した楕円体のランダムコイル鎖であり、融液中のゴミ等の異物や装置表面の突起物などによって分子鎖が引っ掛けられることにより伸長された鎖が部分的に存在している。この配向融液中の伸長鎖からbundle型の核生成を経てshishが生成することを明らかにした。これらのことを考慮すると、shishの高効率な生成のためには、いかに伸長鎖を融液中に数多く形成させるかが鍵となる。そこで本研究では、分子鎖の伸長を効率よく起こすことが期待できる異形微粒子をPPに添加して、低ずり速度下でのshish生成を観察することによって、低ずり速度下においても高効率なshishの生成方法を確立することを第一の目的とした。また、第二の目的として、化石燃料由来であるPPの代替を目指し、植物資源由来であるポリ乳酸(PLLA)の高性能化への試みの第一歩として、PLLAの微粒子非添加系での流動場結晶化におけるshish構造形成の可否を検討した。

2. 実験

試料にはサンアロマー株式会社よりご提供いただいたPP($M_w=25.0\times 10^4$, $M_w/M_n=3.6$)および当研究室で合成したPLLA($M_v=4.9\sim 20.4\times 10^4$)を用いた。添加異形微粒子にはポリイミド系(PI, 1種類)とポリオキシベンゾイル系(POB, 形状の異なるもの3種類、以下POB-I, II, IIIと略記)微粒子の計4種類を用いた。これらはともにポリマーに対し貧溶媒である流動パラフィン中で重合結晶化させ、様々な形態を持つ微粒子として調製した。

これら微粒子の形態観察は走査型電子顕微鏡(SEM, Hitachi製S-3500N)によって行った。微粒子のPPへの添加は、再沈澱法によってパウダー状にしたPPに、微粒子を分散させたアセトン懸濁液を加え攪拌後、アセトンを蒸発させることによって行った。添加微粒子濃度は1.0 wt%である。等温結晶化はホットステージ(Linkam製CSS-450)を用い、流動場($\dot{\gamma}=5\text{ s}^{-1}$)と静置場で行った。結晶化観察は $T_{\text{max}}=200\sim 230^\circ\text{C}$ で1-5分間融解後、目的の結晶化温度 T_c へ冷却し偏光顕微鏡(POM)下、アナログビデオ撮影によって行った。PLLAのshish構造観察については、SEM、小角・広角X線回折(SAXS, WAXD)測定を行った。

3. 結果と考察

3.1. PPの場合

異形微粒子のSEM観察結果をFig. 2に示す。PIは粒径(約1-2 μm)分布の小さい表面に多くの突起がある金平糖状の微粒子であった。一方、重合条件を変えながら調製したPOBでは、粒径に分布があるもののほぼ真球状のPOB-I、表面に凸凹があり一部の玉が連続的に繋がったPOB-II、表面の突起がPIほど鋭くない金平糖状のPOB-IIIの3種類の微粒子を得た。今回用いた添加法により、全ての試料に対し概ね良好な微粒子分散試料を得ることができた。

次に、微粒子を添加したことによる静置場におけるPPの核生成挙動の変化の有無を確認した。Fig. 3は異形微粒子非添加のPP融液およびPI微粒子を添加したPP融液からの静置場結晶化のPOM写真である。PIを添加した場合、同一結晶化温度で明らかにモルフォロジー変化が見られ、非常に微細な結晶が出現するようになった。一方、POBを添加した場合には核数は増えるものの顕著なモルフォロジー変化は見られなかった。すなわち、PI、POB微粒子ともにPPに対して増核作用を有するが、PI微粒子ではさらに、発生する結晶のモルフォロジーを変え結晶化を高度に加速する優れた核剤能を有していることがわかった。

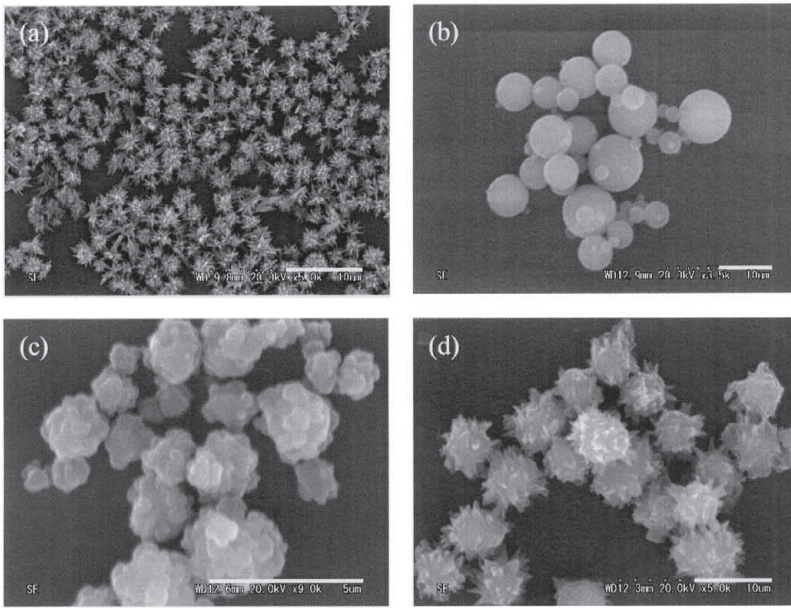


Fig. 2. Morphologies of added irregular shaped particles, (a) PI, (b) POB-I, (c) POB-II and (d) POB-III. Scale bar is 5 μm .

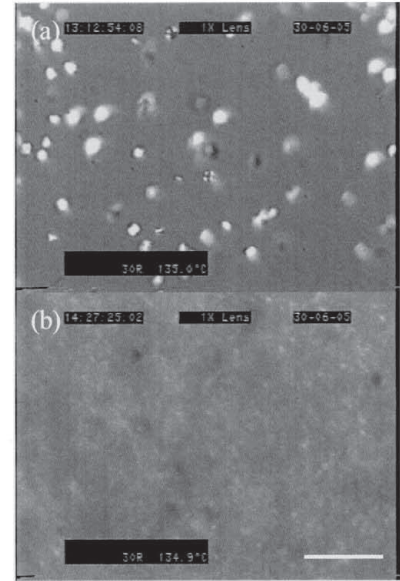


Fig. 3. POM photographs of the nucleation in quiescent state, (a) without particles, (b) with PI. Scale bar is 50 μm .

Fig. 4 に各異形微粒子を添加して流動場で結晶化させたときの様子を示す。PI 微粒子添加系では shish 的な結晶が発生するが、これは粒状の結晶が流動方向に配列しただけであり、その融点も低く shish ではなく、いわゆる row nucleation である。静置下で核剤的な働きを持つ微粒子は、shish 生成に対しほとんど効果がないばかりでなく shish 生成の抑制という負の働きをすることがわかった。一方、POB 微粒子添加系では shish 発生までの待ち時間が若干無添加系より長くなるものの、全てにおいて shish の生成が見られた。発生した shish は無添加系 (**Fig. 1**) に比べ各々のサイズが小さくなった。また、shish は孤立した微粒子からよりもいくつかの微粒子が合一した歪な形状のものからより多く発生した。すなわち、shish 生成の促進には、ある程度の大きさと非対称な形状の微粒子が効果的である。これらの結果を **Table 1** にまとめた。

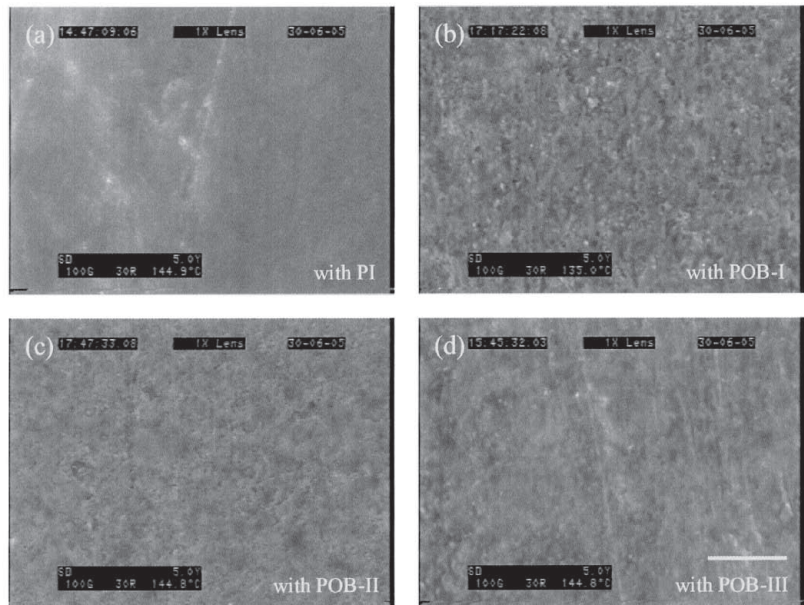


Fig. 4. Morphologies of iPP crystallized under shear flow with added irregular shaped particles, (a) PI, (b) POB-I, (c) POB-II and (d) POB-III. Scale bar is 50 μm .

Table 1 Results of shear-induced crystallization of PP

additive particles	morphology	density of shish	induction time / s
without	shish	low	~120
PI	row nucleation	not observed	~300
POB-I	shish	moderate	~180
POB-II	shish	moderate	~150
POB-III	shish	high	~200

いくつかの微粒子が合一した場合、shish の生成に有利なことは次の模式図 (**Fig. 5**) を用いて説明できる。

融液中のランダムコイル状の高分子鎖は、異形微粒子の突起に引っかけられることによって、微粒子近傍で局所的に配向し伸長鎖を形成する。この伸長鎖の部分から shish が bundle 状の核生成を経て生成する。微粒子が合一した場合は非合一の場合に比べて、流動場に存在する速度勾配によって合一微粒子が回転することによる微粒子近傍の局所ずり速度の増大が顕著になる。これが、微粒子の合一

が確認できる系において shish の生成数の増大が見られることの理由であり、速度勾配が存在する流動場においては、アスペクト比の大きな異形微粒子が shish 生成に対し効率的であることを示唆している。

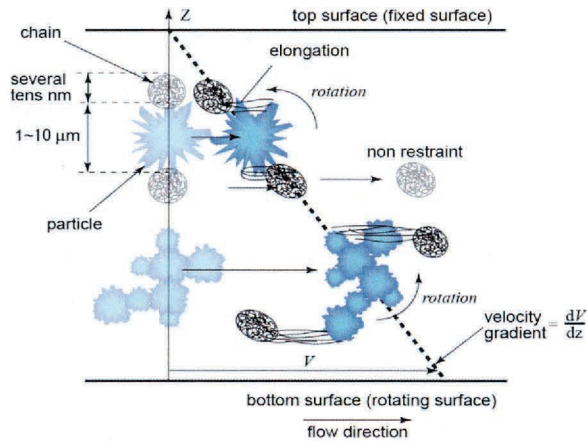


Fig. 5. Schematic illustration of formation of shish induced by irregular shaped particles under shear flow.

3.2. PLLA の場合

shish は繊維軸方向に分子鎖が伸びきった結晶であり、高融点、高強度を示す。したがって、shish を成形加工品に高度に充填することができれば、材料の耐熱性や力学的強度などの諸物性を従来材よりも向上させることが可能である。従来、ポリオレフィン類や PLLA では、層状ケイ酸塩などのタルクや結晶化核剤能を有するフィラーを添加することにより、結晶化速度や結晶化度の向上、力学的特性の改善が行われてきた。一方、生分解性プラスチックにおいては、植物由来のケナフ繊維を混合することで生分解性を維持したまま力学的特性を向上させたという報告もある。しかし、これらのような、マトリックス高分子に対して異種成分を添加する方法による高性能化では、プラスチックのリサイクル性が低減してしまう問題が少なからず存在する。添加成分がマトリックス高分子と同一成分であれば、リサイクル性には何ら問題がないはずである。そこで、プラスチックの成型加工の段階で補強材等としてはたらく特異な結晶 (shish 構造) を生成させ、マトリックス中に高度に充填するという“セルフコンポジット”化による高強度・高耐熱性材料の開発を PLLA では試みることにした。

PLLA をはじめとする生分解性ポリエステル類については、溶融紡糸やエレクトロスピンニングによる shish 類似構造形成の報告^[2,3]があるものの、shish 構造形成の報告は非常に限定されている。これは、PLLA が溶融状態において容易に加水分解を受けて、分子量の低下を引き起こすことと低い熱安定性^[4]に関連している。すなわち、shish 構造形成には、高分子鎖の絡み合い点を支点として、高分子鎖が流動によって伸長されることが非常に重要な過程であり、分子量が低下すると絡み合いネットワークを維持でき

ないからである。これらのことを考慮すると、PLLA の shish の高効率な生成のためには、十分に分子量の高い試料を用い、熱処理時間をできるだけ短くすることが肝要であるといえる。

Fig. 6.に PLLA の流動場結晶化の偏光顕微鏡観察の様子を示す。ある分子量以上のサンプルにおいて、ポリオレフィン類で生成が報告されているような shish の生成が観察された。また、ある温度領域においては球状の結晶 (球晶) が流動方向に配列した、いわゆる row nucleation が観察された。(Fig. 7.参照)

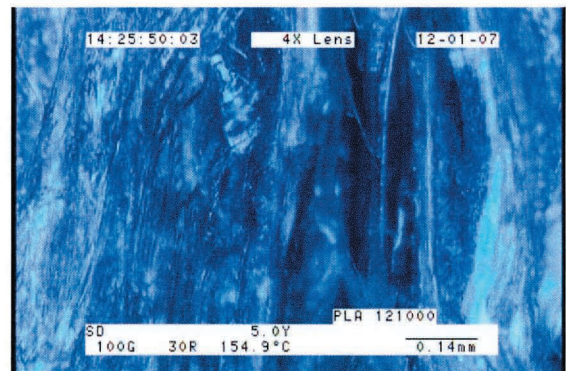


Fig. 6. POM photographs of PLLA (shish) crystallized under shear flow.

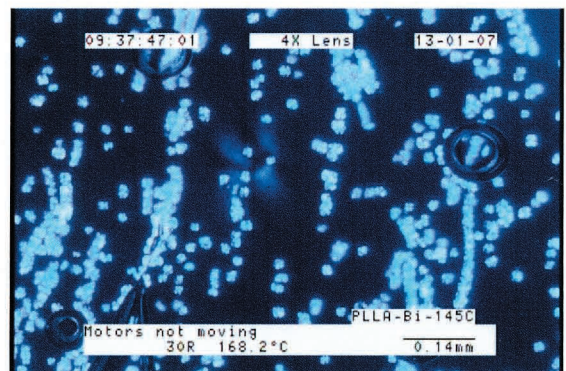


Fig. 7. POM photographs of PLLA (row nucleated structure) crystallized under shear flow.

Table 2 は、生成した shish の融点、球晶の融点と PLLA の平衡融点 T_m^0 を比較したものである。

この表から明らかなように、shish の融点は、通常の折りたたみ鎖結晶である球晶の融点よりもはるかに高く、理想的な伸びきり鎖結晶の融点である平衡融点の値^[5,6]に近いことがわかった。

Table 2 Melting temperature of PLLA

	球晶	shish	平衡融点
$T / ^\circ\text{C}$	179	185-207	187-207

Fig. 8.に生成した PLLA の shish の単位体積あたりの密度 (大・中・小・なし) を試料の粘度平均分子量 M_v と結

晶化温度 T_c に対してプロットした相図として示す。この相図から、PLLA の shish 生成における下限臨界分子量は、 $M_v \approx 8.0 \times 10^4$ とわかり、広い分子量範囲にわたって shish 生成が期待される最適結晶化温度は 150°C であった。

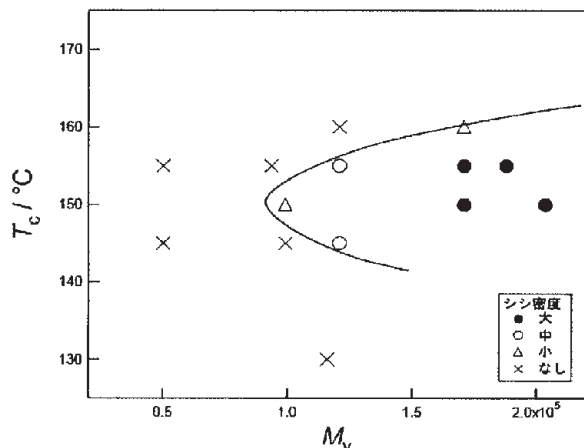


Fig. 8. M - T_c phase diagram of the formation of shish

PLLA の流動場結晶化では、1 回目の結晶化では shish が生成したにもかかわらず、同じサンプルを用いて融解・結晶化を 2 回、3 回と繰り返すと、shish が全く生成しなくなるという興味深い現象が見られた。この理由を精査するために、流動場結晶化を行った後の試料の GPC 測定を行い、融解・結晶化に伴う分子量変化を追跡した。Table 3 は、流動場結晶化によって出現した結晶形態 (shish または球晶) とそのときの分子量の関係を表したものである。

Table 3 Effect of sequential crystallization of PLLA

実験番号	結晶形態	M_v	M_w^{PS}
1	球晶	5.0×10^4	22.4×10^4
2	shish	9.9×10^4	42.3×10^4
3	shish (1 回目)	12.1×10^4	48.7×10^4
	球晶 (2 回目)	-	38.7×10^4
4	shish (1 回目)	17.1×10^4	74.6×10^4
	球晶 (2 回目)	-	-
	球晶 (3 回目)	-	37.4×10^4

注: M_w^{PS} は GPC による換算分子量である。

実験番号 2~4 の試料の初期分子量は shish 生成の下限臨界分子量よりも大きく、1 回目の流動場結晶化によって shish が生成した。一方、実験番号 3 および 4 の試料について、流動場結晶化をそれぞれ 2 回および 3 回繰り返したところ、shish は生成せず、球晶のみが形成された。複数回の流動場結晶化後の試料の GPC 測定から得られたポリスチレン換算重量平均分子量 M_w^{PS} は、shish 生成の下限臨界分子量近傍であった。従って、単に加水分解等によって分子量が低下したため shish が生成しなくなったのではなく、融液

中の高分子鎖の絡み合い量が減少したことが、この現象の理由の一つと考えられた。すなわち、流動を印加した際、絡み合い点に応力がかかりエステル交換反応が促進され、絡み合い点で高分子鎖の組み換え反応が起き、絡み合いの解消が起きた可能性が考えられる。

Fig. 9 は生成した shish の SEM 写真である。SEM 観察に先立ち、結晶の溶媒に対する溶解温度の違いを利用して、shish 結晶のみを試料から抽出した。(a) は shish 抽出前のフィルム状試料全体の写真である。流動方向に繊維状結晶 (shish 構造) が観察される。(b) および (c) は抽出した shish 表面の拡大写真である。(b) の写真から、偏光顕微鏡下で観察された太さ 10 μm の shish は、2~3 μm の微細な shish が束になっていることがわかった。また、(c) の写真から、shish の繊維軸に対して垂直方向に筋のようなものが存在していることがわかった。これは shish 以外の部分を選択的に溶解した時に溶け残ったケバブであると考えられる。

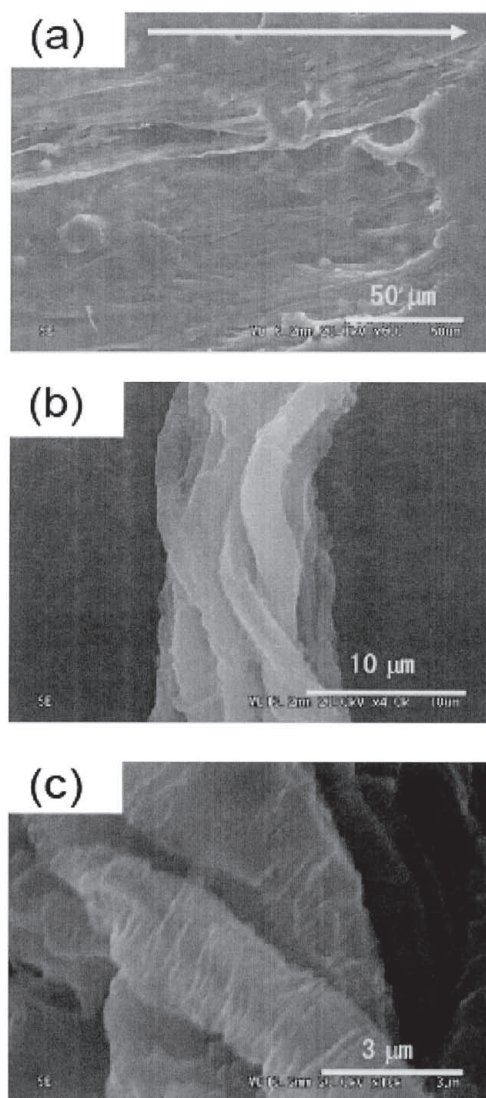


Fig. 9. SEM photographs of shish of PLLA. (a) Surface of bulk sample, (b) & (c) Extracted shish from the bulk sample.

Fig. 10.に生成した shish 含有フィルム試料の二次元 WAXD の回折パターンを示す。図の子午線方向が流動方向である。

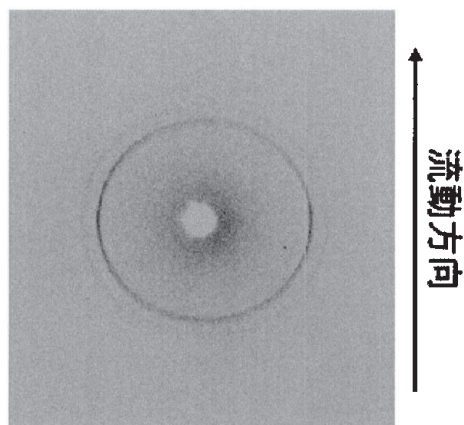


Fig. 10. WAXD pattern of sample including shish

等方性の同心円の回折パターンとともに、赤道方向に明瞭な異方性の回折パターンが強く現れている。等方性の同心円回折パターンは無配向の球晶構造によるものと考えられる。異方性回折パターンは、流動方向に配向した結晶によるものである。shish 含有フィルム試料の回折ピーク値はこれまでに報告されている球晶試料の回折ピーク値^[7]とよく一致した。よって、shish の結晶系 form の斜方晶系

4. 結論

異形微粒子を結晶性高分子である PP に添加して流動場結晶化を行うことで、高融点の shish 構造の生成を効果的に促進できることがわかった。生分解性ポリエステルであるポリ乳酸について、分子量が十分大きな試料を用い、熱処理時間を短くすることによって、ポリオレフィン類と同様な shish 構造を生成させることができることを示した。本研究の成果によって、shish 構造を高度に含有した「セルフコンポジット型」高強度・高耐熱性プラスチック材料の開発指針を示すことができた。

今後の課題として、射出成形レベルまでスケールアップした場合の本研究成果の適応可否の検討や、射出成形試作品の力学的強度の測定が必要であろう。

謝辞

本研究は、当研究室の伊藤学氏、岡卓也氏、守安政人氏、木村邦生教授との共同研究であり、協力に感謝いたします。

であり、延伸試料で観察される form ではないことがわかった。また、静置場で結晶化させた試料(球晶)と流動場結晶化をさせた shish 含有試料(shish)の SAXS 散乱曲線を比較した結果 (Fig. 11.)、長周期構造の存在に由来する回折ピークが shish 含有試料では観察されなかったため、生成した shish は伸びきり鎖結晶であることが確認できた。

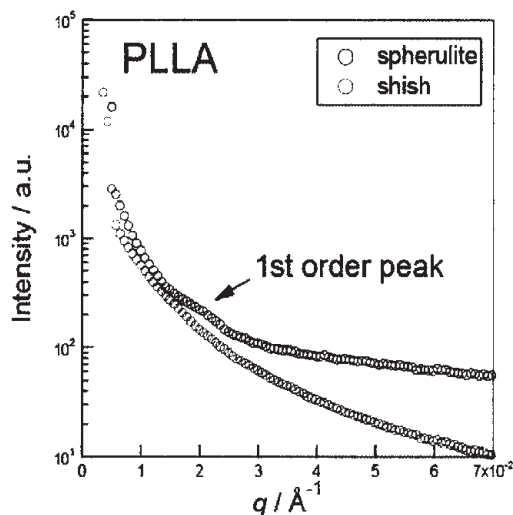


Fig. 11. SAXS profiles of sample including shish and spherulite

参考文献

- 1) S. Yamazaki, K. Watanabe, K. Okada, K. Yamada, K. Tagashira, A. Toda, M. Hikosaka, *Polymer* **46**, 1675 (2005).
- 2) Y. Xiaoyan, A. F. T. Mak, K. W. Kwok, B. K. O. Yung, K. Yao, *J. Appl. Polym. Sci.*, **81**, 251 (2001).
- 3) J. Zeng, X. Chen, X. Xu, Q. Liang, X. Bian, L. Yang, X. Jing, *J. Appl. Polym. Sci.*, **89**, 1085 (2003).
- 4) H. Tsuji, T. Ono, T. Saeki, H. Daimon, K. Fujie, *Polym. Degrad. Stab.*, **89**, 336 (2005).
- 5) T. Saeki, T. Tsukegi, H. Tsuji, H. Daimon, K. Fujie, *Polymer* **46**, 2157 (2005).
- 6) M. Takada, S. Hasegawa, M. Ohshima, *Polym. Eng. Sci.*, **44**, 186 (2004).
- 7) I. W. Hamley, V. Castelletto, R. V. Castillo, A. J. Müller, C. M. Martin, E. Pollet, Ph. Dubois, *Macromolecules* **38**, 463 (2005).

平成 18 年度 国際研究交流助成報告

9. 平成 18 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
モハマッド・ アズハ・ ウッディン	岡山大学大学院 環境学研究科	第 23 回ピッツバーグ国際石炭会議	107
アハマド・ サバルディン	岡山大学大学院 自然科学研究科	2006 年 環境分析化学に関する 中国 - 日本 - 韓国シンポジウム	108
滝本 貴弘	岡山大学大学院 環境学研究科	アジアの多様な陸域生態系における フラックス推定に関する国際会議	109

②招聘

助成対象者	所 属	招聘者	ページ
直井 岳人	岡山商科大学 商学部	イギリス・サリー大学 デビット・アイリー教授	110

MD. AZHAR UDDIN

岡山大学大学院環境学研究科

参加会議名	第 23 回ピッツバーグ国際石炭会議
主催団体名	ピッツバーグ石炭会議
開催期間	平成 18 年 9 月 11 日 ～ 平成 18 年 9 月 14 日
開催地	ピッツバーグ、アメリカ合衆国

表 題 EFFECT OF HYDROGEN CHLORIDE ON THE MERCURY REMOVAL PERFORMANCE OF ACTIVATED CARBON FROM COAL COMBUSTION FLUE GAS
(活性炭による石炭燃焼排ガス中の金属水銀除去に及ぼす塩化水素共存の影響)

<内容>

石炭燃焼に伴って石炭中に含まれる水銀が金属水銀となって大気中に放出されている。アメリカでは、昨年 3 月に規制が開始され、除去技術の開発も進み既に実用化段階にある。我が国でも、水銀除去技術の開発が進められているが、現状では米国に遅れているといわざるをえない状態にある。このままでは、将来我が国における水銀除去は米国の技術を移転しなければならない可能性がある。

我々もクリーン技術の中で、まだ実現されていない水銀除去技術の開発を進めてきた。すなわち、ガス中に含まれる水銀化合物の内、最も除去が困難とされる無機水銀蒸気をターゲットにし、その除去剤の開発を進めている。すでに、石炭燃焼排ガスと石炭のガス化生成ガス中に含まれる金属水銀蒸気に除去剤とともに硫化水素を利用することを提案し、燃焼排ガスでは活性炭、ガス化ガスに対しては酸化鉄が優れた脱水銀剤となることを報告してきた。これらの研究で、活性炭は反応条件によっては硫化水素無しで水銀を除去できることを見出した。

本研究は、高活性な脱水銀用活性炭の開発を目標とし、活性炭による SO_2 共存下の水銀除去に対する HCl 共存の影響を明らかにした。活性炭としては主に市販のヤシ殻系の活性炭を用い、石炭系または石油系フライアッシュを骨格剤とし石油ピッチを炭素源として調製した活性炭も用いた。

Akhmad Sabarudin

岡山大学大学院自然科学研究科

参加会議名	2006 China-Japan-Korea Symposium on Environmental Analytical Chemistry
主催団体名	中国国家自然科学基金委員会, 日本分析化学会, 韓国分析化学会
開催期間	平成 18 年 9 月 14 日 ~ 平成 18 年 9 月 18 日
開催地	重慶 (中国)

表 題 Sequential Injection On-line Preconcentration Using Chitosan Resin Functionalized With 2-Amino-5-Hydroxy Benzoic Acid for The Determination of Trace Elements in Environmental Water samples by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

<内容>

Chelating resins are often used in the preconcentration, separation, recovery, and hydrometallurgy of metal. The development of chelating resins for solid phase extraction (SPE) is very opportune because of its reliability, excellent metal loading capacity and adsorption ability. Pretreatment of aqueous samples with chelating resin as SPE provides some advantages, such as high enrichment factors, better separation of interferent ions, high efficiency and rate of process, and the possibility of combining with different determination methods.

In this work, chitosan resin functionalized with 2-amino-5-hydroxy benzoic acid moiety was synthesized (CCTS-AHBA resin). The resin was packed in a mini-column, which was installed to the sequential injection (SI) system coupled with inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (ICP-AES). The system allows on-line preconcentration and determination of trace elements. The sequential injection system was a laboratory-assembled, and the program was written using a LabVIEW software.

The whole procedures of the proposed method, involves 4 steps, during which the carrier (ultrapure water) is pumped continuously into the ICP-AES by a peristaltic pump fixed in the ICP-AES instrument. *In the first step*, SV is in load position, and SP is set up to aspirate buffer solution via the port 5 of SL, which is then dispensed through the port 1 for conditioning the column. *In the second step*, SV is in load position, and SP is set to aspirate the water samples into the holding coil via the port 4 of SL, followed by flowing it into the column via the port 1 for the preconcentration of trace elements and the separation of their matrix. *In the third step*, carrier solution (C_1) is aspirated into the syringe, and immediately afterwards dispensed to wash the column via the port 1 of SL, while SV is still in load position. *In the fourth step*, the syringe pump is set to aspirate small amounts of eluent into the holding coil via the port 3 of SL, followed by aspirating carrier solution (C_1) into syringe to fill the syringe up to the appropriate volume. Then, SL is switched to the port 1, while SV is switched to the inject position to permits reverse elution. Afterwards, the solution in the holding coil, which consist of eluent (in the front side) and carrier solution (in the back side), is dispensed to elute collected elements in the column, subsequently followed by their detection with ICP-AES.

Experimental variables considered as factors in improving sensitivity, such as eluent concentration, sample and eluent flow rate, pH of sample were carefully optimized. The proposed system provides excellent on-line collection efficiency as well as separation of the analytes from commonly existing matrices in the water samples, and the applicability was further demonstrated to the on-line collection/concentration of trace elements, such as Ag, Be, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, V, and REEs in water samples.

滝本 貴弘

岡山大学大学院環境学研究科

参加会議名	アジアの多様な陸域生態系におけるクラックス推定に関する国際会議
主催団体名	文部科学省、アジア太平洋地球変動研究ネットワーク
開催期間	平成18年11月29日～平成18年12月1日
開催地	タイ王国チェンマイ

表 題 日本の水稲耕作地における二酸化炭素フラックスの季節変化とバイオマス測定との比較

<内容>

Seasonal variation of CO₂ flux and its comparison with biomass measurement at a rice paddy field in Japan

T. Takimoto¹ T. Iwata¹ S. Yamamoto¹ and T. Miura¹

¹Graduate School of Environmental Science, Okayama University, Okayama, Japan

Rice paddy field is one of the most popular cultivation patterns in East Asia under a monsoon climate, which takes a great important role in CO₂ uptake. From this view, measurements of the Net Ecosystem Production (NEP=-NEE: Net Ecosystem Exchange) were conducted using eddy covariance method at several paddy fields. And the results were compared with Net Primary Production (NPP) estimated from biomass measurement.

In this study, measurements were conducted at the Hachihama experimental farm of Okayama University, Japan (34°32'16"N, 133°55'39"E, 2m a.s.l.) during growing season in 2005 and 2006. NEE was estimated after quality check and gap filling data obtained by eddy covariance method. Quality tests were applied in order to check the validity of the data and to eliminate erroneous data, and Gross Primary Production (GPP) and Respiration (Re) were separated by Non-Linear Regression Method. Nighttime Re (NEE in nighttime) was fitted by an exponential function of temperature and it was applied to the daytime Re, and also GPP was expressed as a rectangular hyperbolic function of incident PAR. Biomass was sampled on budding and at 2-weeks intervals until harvest in both years. Samples were clipped to above and below ground biomass from two 0.5m×0.6m plots randomly located in the field. Weights of samples were measured after dry process of 100°C at the first 2 hours and the next 48 hours by 80°C. Then, total biomass in carbon was estimated dry weight multiply by rate of carbon content. Rice paddy field, which has flat, relatively homogeneous canopy density and short canopy height, is suitable for applications with eddy covariance method, and biomass measurement in paddy fields is easier than that of forest ecosystems. Therefore, we can evaluate the integrated value of NEP in growing season through the comparison with NPP estimated from biomass measurement and heterotrophic respiration.

Using these data, we obtained the following results in 2005: (1) Rice paddy field was a source of CO₂ for the first 27 days of the growing period. NEE in 2005 was turned negative on 13 June, and decreased until maximum CO₂ uptake about 35 gCO₂ m⁻² d⁻¹ at 6 August as shown in Fig.1. Then, NEE was gradually increased and turned positive before harvest, (2) GPP, Re, and NEP integrated over the growing period in 2005 were 2979, 1385, and 1594 gCO₂ m⁻², respectively and (3) Total biomass increased gradually and reached 638 gC m⁻², and cumulative NEP before harvest was 483 gC m⁻² in 2005 as shown in Fig.2. In the lecture, we will explain about the results in 2006 and discuss about the differences in 2005 and 2006.

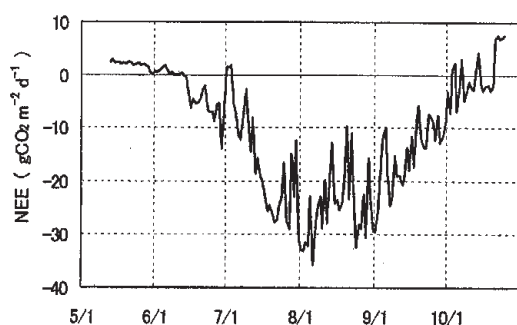


Fig.1 Temporal variation of NEE during growing season in 2005.

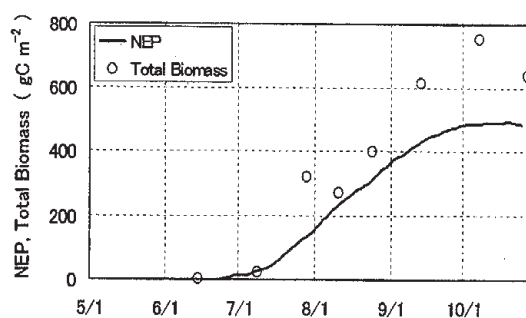


Fig.2 Comparison of integrated NEP with total biomass during growing season in 2005.

直井 岳人

岡山商科大学商学部

研究集会名称 岡山商科大学・観光学術講演会
主催機関名 岡山商科大学
共催者・後援者等 (後援) 財団法人八雲環境科学振興財団
(協賛) 総合観光学会, 岡山県, 岡山県観光連盟, 全日本空輸株式会社
開催期間 平成18年10月3日
開催地 岡山(岡山商科大学)

講師:

- ・デビット・アイリー (David Airey) 教授
所属: The University of Surrey (イギリス) Pro-Vice Chancellor (サリー大学副学長)
演題: The Changing World of Tourism Education (「変わりゆく観光教育の世界」)
- ・長谷 政弘 教授
所属: 観光総合学会会長、日本大学商学部教授
演題: 観光立国『日本』の実現に向けて

当日スケジュール:

開会の挨拶 (井尻昭夫 岡山商科大学学長)
David Airey 教授 講演 (約50分)
長谷 政弘 教授 講演 (約50分)
質疑応答
閉会の挨拶 (岡本輝代志 岡山商科大学商学部教授・商学部長)
司会進行: 飯島祥二 (岡山商科大学商学部教授)、通訳: 直井岳人 (岡山商科大学商学部准教授)

講演の概要:

Airey 教授は、ご自身の国連世界観光機関の第4回 Ulysses 賞の受賞講演の内容を基に、イギリスにおける大学観光教育の変遷と成長を、「規模」、「知識」、「カリキュラム」、「教授法の変化」をキーワードにして分析し、「観光学の学問としての体系化」、「持続可能性などの概念の導入による、リベラルアーツ分野の援用の必要性の高まり」など、大学観光教育の課題と可能性について議論された。長谷教授は、わが国のインバウンド観光の現状と将来の展望について講演をされ、「観光産業に期待されること」、「日本の魅力の再認識」、および「観光マーケティングのあり方」などについて、観光政策学、観光マーケティングおよび観光経営学の立場から、政策提言と今後の課題に触れながら分析された。

成果:

Airey 教授と長谷教授は、共に、イギリス、日本の各国における大学観光教育の黎明期を担われた研究者で、大学における観光教育や観光振興のあり方について、大変興味深い講演をして頂いた。両先生の講演を通して、観光学のもつ複合性・総合性や国際性に対する理解が深まり、観光学の研究分野としての市民権の獲得、研究応用面での有用性の確保などの展開が望まれることが示唆されたと考えている。

平成 18 年度 研究集会助成報告

10. 平成 18 年度 研究集会助成報告

助成対象者	所 属	集会名	ページ
竹下 祐二	岡山大学大学院 環境学研究科	日本地下水学会 2006 年秋季講演会 (岡山大会)	1 1 2

竹 下 祐 二

岡山大学大学院環境学研究科

研究集会名称	日本地下水学会 2006 年秋季講演会（岡山大会）
主催機関名	日本地下水学会
共催者・後援者等	共催：岡山大学環境理工学部 後援：多数
開催期間	平成 18 年 10 月 26 日～平成 18 年 10 月 28 日
開催地	岡山県倉敷市

<内容>

日本地下水学会では年次講演会（会員による研究発表）を春季および秋季の年 2 回開催している。特に秋季には「地下水」をテーマとした一般市民向けのシンポジウムを実施している。

今回の一般講演は、61 編の報告が行われ、「地域の地下水」「地下水と地盤」「浸透」「地下水と海水のインターラクシオン」「地下水汚染」「循環」「水質と測定技術」のそれぞれのセッションに分かれて活発な意見交換が行われた。

また、シンポジウムは「お酒と地下水」をテーマに地下水の恵みをもとに作られる上質のお酒を後世に残していくために資源としての地下水をいかに守っていくかについて議論した。

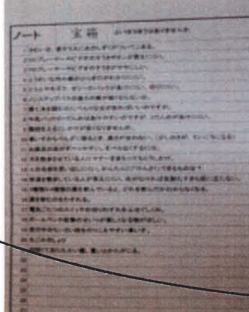
平成 18 年度 その他の助成報告

11. 平成 18 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	「子どもが発明をする」を支援する発明クラブ	114

当クラブ発・指導の方法

宝箱活動(創意工夫)



親子でいっしょに発明!



太陽電池扇風機の完成!



“太陽電池の発想すごいでしょー
涼しいなあー。”

「子どもが発明をする」を支援する 岡山市少年少女発明クラブ

- ・クラブ員の自己表現力と「聞く」指導法
- ・すべてを知っているわけではない「指導員の指導の姿勢」
- ・「物」にならない発想と絵画表現の活用
- ・引率した保護者の力

写真：上田・埴郷・水内・水田・保護者
文責・構成：水田
発表：鳥越

大人にも困難な「発明」を子どもに教えることができるのか？

- ・子どもの勇気を大切にし、「発明の心」を体験させること。
- ・指導法でいくつかの工夫をし、指導員も保護者も楽しんでいる姿を示すこと。
- ・「技術としての文化遺産」を伝えること。

「子どもが発明をする」を支援する 岡山市少年少女発明クラブ

第一章 クラブ設立の趣旨と指導法

岡山市少年少女発明クラブの
ホームページは

<http://www.t-ueda.jp/hatsumeii/>

毎回のクラブ実施後、活動を記録した写真にコメントをつけて載せている。

クラブは、毎月ほぼ、第2・第4土曜日。

クラブの目標

- ・学校週5日制・子ども・教師の理科離れの下で自由な発想によるものづくり活動→子ども文化の振興
- ・高度に加工・完成した品物＝受身・鵜呑みで取り入れる生活→少しでも主体性を取り戻す。
- ・指導者自信にも充実感をもたらす

・理科の時間が急減、学校の関心は新教科に移行。生活面の指導に力点が。

- ・興味、関心。有り余る物・「据え膳」に振り回されない子ども。
- ・ボランティアにもやりがいがあるクラブにしたい。

指導員の願い

- ・ 縦集団で、群れる……子ども文化の振興
- ・ 充実感を味わわせる・熱中、遊びこむ、入賞
- ・ 技術・技法(知的財産)の伝達……できた!
- ・ 科学的な興味・関心・創造体験に培う
- ・ 保護者・指導者とのふれあい、後姿に
- ・ 学校週5日制……ゆとり時間を健全に活用
- ・ 指導者自身子ども・保護者との知的活動に充実感
- ・ 高度に加工・完成した品物＝受身・鵜呑みで取り入れる生活→少しでも主体性を取り戻す。

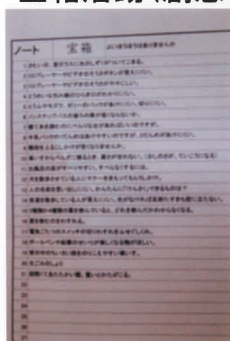
活動

- A 科学技術(の成果)を体験する
- B 作りたいものを作る
発想・創造を描く
- C 企業の実践的教室を利用する

- * 親子・家族・ふれあい
- * 科学研究への深まり

当クラブ発・指導の方法

- ・ 宝箱活動(創意工夫)



指導員が普通に(共通に)持っている願い。重点の置き方は、それぞれ。

- ・ 知的財産を基礎にして指導員の得意技を提供。
- ・ 入賞を目指す過程で、ものづくりの楽しさ奥深さを知る。態度が育つ。

自然の原理・法則＝実験・試作・作り直し。

- ・ 成功、未完成、自己責任。
- ・ 家庭、社会の応援。

発明の指導は難しい。

その後、他の地方でこの方法を取り入れたところがあるとのこと。

「宝箱」とは、クラブ員、指導者、保護者が思いついたく作りたいもの>を記録したクラブ員が共同使用するノート。図、文で表現している。

創造:「宝箱」は、最初、動きにくい

不便なこと
あれば便利だなあと思うもの
暮らしに役立つもの
生活を楽しむもの
→ **作りたいものを作る**
実物・模型・絵画

子どもの、もの作り活動

- 作りたいもの……思いつく
- 簡単な技術・素材・仕組みを体験的に知る
- 身近なものがより高性能になる(と思われる)ように工夫、加工する。
- 構造物の部分・全体・組み合わせて新しいものを作る
- 価値＝問題発見、分析、工夫、研究、改善…態度化

「子どもが発明をする」を支援する
岡山市少年少女発明クラブ

第二章 指導とクラブ員の活動

物があふれている今日、黒文字の呼びかけでは、子どもは動きにくい。

本、TV等の情報を活用することを含めて、赤字のような呼びかけがよい。

子どものものづくり……

・子どもの目当ては「自分の発想、失敗を恐れず物づくりに挑戦する」こと。その過程で体験する「問題発見」「工夫・研究・改善・より高度に」という充実した行動こそ、子どもの身につく発明活動の値打ちではないだろうか。

岡山市少年少女発明クラブのホームページは

<http://www.t-ueda.jp/hatsumeil/>

毎回のクラブ実施後、活動を記録した写真にコメントをつけて載せている。

クラブは、毎月ほぼ、第2・第4土曜日。

1 4月～8月
宝箱活動

2 9月から3月
科学技術・素材の体験的伝達
ラジオコントロール+パソコン)
未来の世界(宝箱活動)
企業公開教室活用

・8月までの活動：岡山県児童生徒発明展、そのほかの地域、団体の展示会応募作品作り。

・9月から3月までの活動：トランジスタの働き・実験・製作：ラジオコントロールのプログラミング：宝箱活動：企業の化学教室。



活動の動機付け：開講式後の導入：発明（技術）の恩恵。こんなものを作りたい。



指導者：聞く・たずねる
子ども：話す・説明する
だんだんとアイデアが
形になる

指導、助言、支援のスタートは聞きとることが大切。
指導員の「それは商品になっている」「作れそうにない」などは禁句。
クラブ員の「意思を伝えることばの訓練」でもある。



書く

思考の速度を落とし、思考の過程を視覚にうつたえようと、矛盾や未解決、アイデアを自覚できる。



思いつきや、作りたいものは図やことばに表わす。書きながら新しいこと、不備なことに気づく。

思いつきの記録（思いつきは忘れることがある）にもなる。

不成功までの記録としても大切。



保護者

偉大な力持ちです
方向付け、励まし、
発想の転換、リラクゼーション、共に困る...



保護者：

筑波の発明展で入賞した松本君の報告文を見る。

幼い子どもの「子守」をしながらクラブ員の話題に加わる。（雰囲気）

思い付きを物に結びつける資金の心強い提供者。

きっかけ



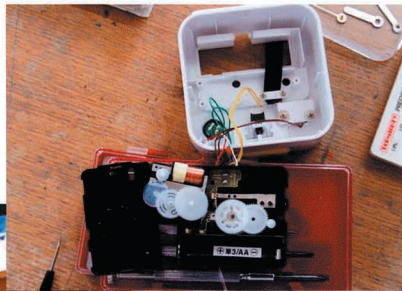
発想のきっかけ→具体化。

雑談、放言、アイディアの説明に指導者が行き詰まることもある。

形あるものの分解・もぎ取りは物から学ぶ最高の場。電子回路は？

↑指導者によりアイディアがあるわけではない
議論する姿が子どもを勇気付ける
←分解して理解できるほどの物がよしい

きっかけ



↑分析・アイデア
が組み込めそうか
←試作・形を追求

目覚まし時計の仕組みを探り、音が出る部分を探す。
身近な素材で、とりあえず形を作る。6角形になってまとまることを発見。
新しい機構・素材を求めるようになる。

きっかけ

作りたいもの部分品の性質、はたらきを体験する。
随時に組む部分品の数が十分にあると、発想が生まれやすい



太陽電池：とりあえずつついてみる。使いごこち、乾電池と比べて理解が進む。
通行中の車：、救急車の音をつかまえて、回避行動をしたい。
(難しい) ならば、とりあえず信号機を普通どおり切り替えるだけの仕組みを試作する。

きっかけ



工作(加工)やアイデアの壁にぶつかったら、身近にある「他のもの」に救いを求めることが多い

方向転換：ペットボトルは沢山あるし工作もできる。何かにならぬか。
レジャーシートが太陽を強く反射する。どうにかならぬか。
いずれも、作品つくりに行き詰まったときの代償行動。近くに「物」があることが大切



加工

知識、加工技術を学ぶ。
ベルトサンダーは城東台小学校の備品。
人と工具の安全。



加工

当然のことながら、物作りでは、
素材の知識、加工技術を学ぶ。
工作室のいすは使いようでエナメル線のリール支えになっている。
半田付けは子どもたちの憧れの技術。



加工

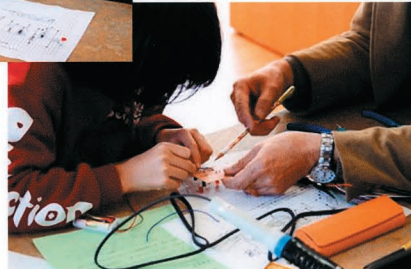
糸のこは城東台小学校の備品。
ドリルはこのくらいの大きさまでなら使いこなす。加工対象物を固定する指導が大切。使う場所の制約を受けるが、AC電源につなぐもののほうが軽く力があるので使わせやすい。

数個の電子部品の配線も最初は、
実体配線図からスタート。



電子部分品

半田付け



「子どもが発明をする」を支援する
岡山市少年少女発明クラブ

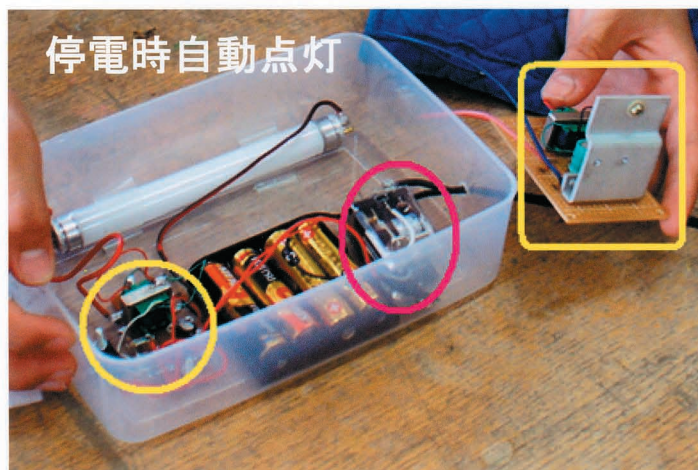
第三章 発明作品例

岡山市少年少女発明クラブの
ホームページは

<http://www.t-ueda.jp/hatsumeii/>

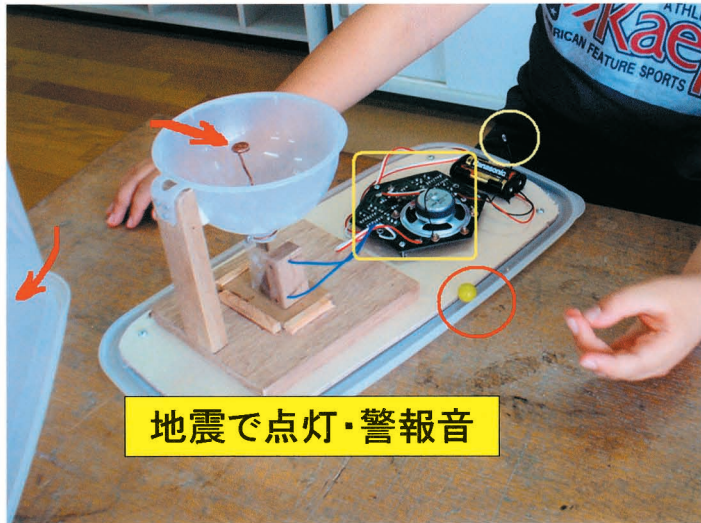
毎回のクラブ実施後、活動を記
録した写真にコメントをつけて
載せている。

クラブは、毎月ほぼ、第2・第4
土曜日。



クラブ員が雑誌で見つけ、作り
たかった。スイッチが入った瞬
間だけ点灯。子どもでは処置な
し。

黄色○の発信機が持続しない。
指定のトランスではロスが大き
い。トランジスタの動作点を
変えると暗いが点灯持続。黄
□のように部分品を大きくして
解決。ピンク○は AC100V リ
レー。停電検知用



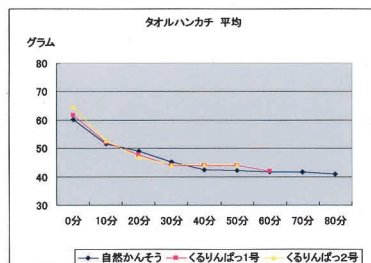
漏斗の中の矢印に赤○の玉をのせる。振動で落ちた玉が下のスイッチを閉じる。
 黄□はゲーム機イライラ棒の一部（棒が接触したとき発信音が出る。また、黄○の麦球が点灯する）。振動検知後、スイッチを切るまで音と光が持続する。全体をプラスチックケースに収める。麦球を明るいものに変えるには、容量不足。

後ろが見えるめがね



歯科医のデンタルミラーをメガネに取り付けようとして安全面を含めて話し合う。
 メガネに取り付ける可動式サングラスに思い当たり、これに取り付けたが、視界が狭い。
 小さい凸面鏡は市販されていない。
 父親が岡本硝子という会社を探し出し、試作していただいた。
 親子合作。

洗濯物半強制乾燥機



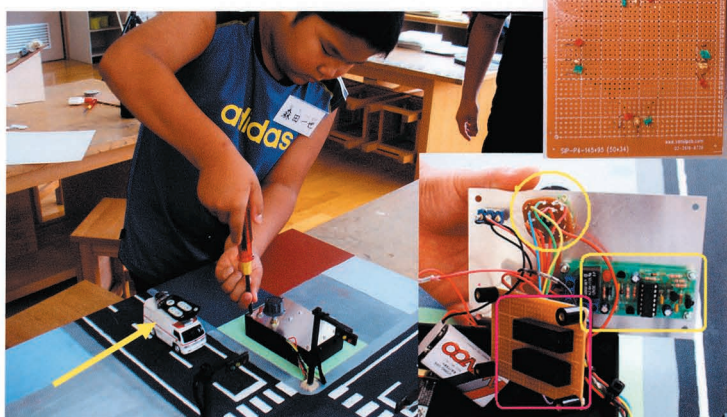
洗濯物を省エネルギーで速く乾かそうとするところみ。
 ハンガーを回転させる仕組みを工夫。
 ハンドドリルやマブチギヤーモーターを使用。回転するものの重心を定める難しさを体験。
 これは、グラフに研究の一部を示すような「児童生徒科学研究」に発展させた。

太陽電池扇風機



太陽電池メーカーが企画した子どもの行事に取り組んだ。太陽電池で小型扇風機を回す試み。試作過程で、クラブ員は、乾電池とは違う太陽電池の特性を体験的に知った。また、回路テスターや数種類の直流モーターなどクラブの持っているものが役立った。

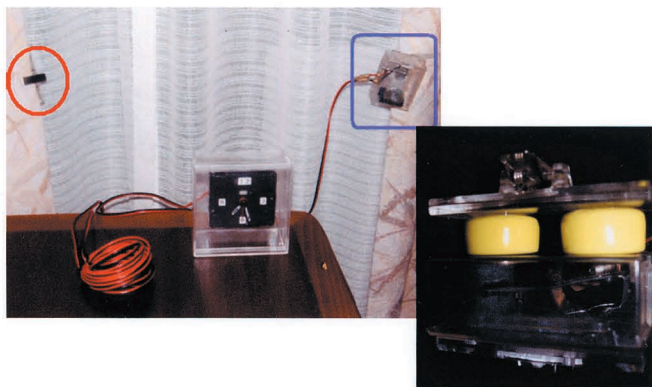
緊急自動車がスムーズに通れる交差点



緊急自動車の接近方向をドライブ中の車で検知し、速やかに道を安全に譲る仕組みを作るのがスタート。

緊急自動車からの指令で交差点の信号を全方向赤にする模型作りへと偏向。おもちゃの緊急自動車に赤外線リモコンを取り付け、普通に動いている信号が全方向赤になる模型を作った。

完全に目が覚めるまで 鳴りやまない目覚まし時計



ベッドで時計を押さえても鳴り止まない。カーテンを開けると鳴り止む時計。最初太陽電池をセンサーにした。冬の早朝のことを考え太陽電池をあきらめた。カーテンの合わせ目にスイッチをつけることを考えたが、リード線が長くなるのが気に入らなかった。

磁石で ON.OFF するスイッチを作って解決した。リードスイッチを教えて置き換えるのは簡単。

「子どもが発明をする」を支援する
岡山市少年少女発明クラブ

第四章 絵画作品例

岡山市少年少女発明クラブの
ホームページは

<http://www.t-ueda.jp/hatsumeil/>

毎回のクラブ実施後、活動を記録した写真にコメントをつけて載せている。

クラブは、毎月ほぼ、第2・第4土曜日。

雷の電気を蓄えて使う



絵画表現：雷を呼ぶ「龍」のようなもので電気を集め、いつでも利用できるように貯えておく。



絵画表現：何でもマシーン。

絵画表現：水中歩行ロボット



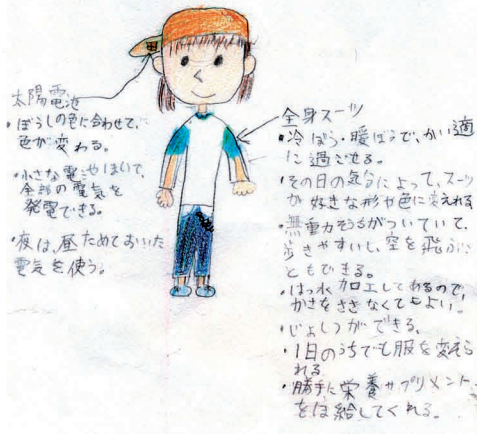
- ・自動走行ロボット (DGPS) (目的地まで自動で動いてくる)
- ・しよとつ防止そち (人や信号, 他の車に反のしてブレーキをかける)
- ・ヘッドランプ点灯調節そち (暗くなったら自動で点灯してロービームをせいせする)
- ・インターネットそち
- ・ハイブリッド車
- ・自動走行ロボット
- ・スピードせいせそち (スピードが上がるると法定速度まで減そくする)



素材・技術指導のきっかけになるスケッチ：新技術のはたらしき・動作がことばとともに子どもの世界に入り込んでいることがわかる。

この中から、「センサー」を抽出し、一つでも、入手を試みる。

すずしいあわらぼうしの50年後
→すずしい全身スーツ



- 太陽電池
- ・ぼうしの色に合わせて、色が変わる。
- ・小さな電池はいて、全部の電気を発電できる。
- ・夜は、昼ためてあいた電気を使う。
- 全身スーツ
- ・冷ばら・暖ばらで、かい適に過ごせる。
- ・その日の気合によって、スーツか好きな形や色に変えられる。
- ・無重カむるがついていて、歩きやすいし、空を飛ぶこともできる。
- ・は、水、カロエしてあるのを、かさをさきなくてよい。
- ・いよしが、かできる。
- ・1日のうちで、衣服を交換される。
- ・勝手に栄養カクメントをは給してくれる。

素材・技術指導のきっかけになるスケッチ：「太陽電池」がきっかけになって派生した「ほしい技術」。

この中から、前の絵と共通する「夜のセンサー」を抽出すれば、貯えた電気を夜使う技術ぐらいなら指導員で何とかなりそう。子どもが作る気になるかどうか。

助成実施要項

12. 助成実施要項

財団法人八雲環境科学振興財団 研究助成制度実施要項

(趣旨)

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

(研究助成の対象)

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

(研究助成対象機関)

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

(推薦者)

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

(研究助成の種別)

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

二 特定研究

財団が毎年提示する基本テーマに関する研究課題を対象とする。

三 学術調査研究

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

(研究助成の期間)

第6 前項に規定する研究助成の期間は、原則として1年とする。

(助成研究の募集)

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

(助成研究の選考)

第8 研究助成金の交付は、寄附行為第32条に定める選考委員会において選考し、理事会の議を経て決定する。

(選考基準)

第9 助成の対象となる研究は、次の基準により審査する。

- 一 研究目的に対する学術的・社会的要請が大きいこと
- 二 研究計画が十分に検討され研究目的の達成可能性が高いこと
- 三 独創性に優れ、新たな研究分野として広がる可能性が高いこと
- 四 政府及び企業等の補助、助成が得難い等、当財団が助成する必要性が高いこと

(助成経費)

第10 助成研究者には、別に定める助成経費を支給する。なお、研究助成金は、申請課題の研究以外の目的に使用することはできない。

(報告書の提出)

第11 研究助成金の交付を受けた者は、助成期間終了後6ヶ月以内に、別に定める様式の研究成果報告書を、財団に提出しなければならない。

(雑則)

第12 研究助成金の交付を受けた者が、国立学校設置法第2条第1項に規定する国立学校に勤務するときは、助成金の受入れは、奨学寄附金委任経理事務取扱規則（文部省令第14号、昭和39年4月23日）に基づき、処理するものとする。

附 則

この要項は、平成10年9月1日から施行する。

財団法人八雲環境科学振興財団 国際研究交流助成制度実施要項

(趣旨)

- 第1 この要項は、財団法人八雲環境科学振興財団寄附行為（以下「寄附行為」という。）第4条第2号に基づき、財団法人八雲環境科学振興財団（以下「財団」という。）が選出する国内外の研究者等を、国内外で開催される国際研究集会等に派遣又は招聘することを助成すること並びに国内外の研究者（又はグループ）が共同で研究を行うことを助成することの実施について定めるものとする。

(国際研究交流助成の対象)

- 第2 この要項で対象とする国際研究交流助成は、次の条件を満たすものとする。
- 一 下記に示す国際研究集会への国内研究者の派遣
 - イ 外国で開催される研究集会であること。
 - ロ 国際的に権威のある学会、学術団体又は学術研究機関等が主催するものであること。
 - 二 下記に示す国内研究集会への海外研究者の招聘
 - イ 国内で開催される国際研究集会であること。
 - ロ 国際的に権威のある学会、学術団体又は学術研究機関等が主催するものであること。
 - 三 下記に示す国際共同研究のための派遣及び招聘
 - イ 協定等に基づき、国内外の研究機関で一定期間組織的に研究（研究機関の代表者が認めたもの）することを目的とした、国内研究者の派遣又は国外研究者の招聘であること。
 - ロ 国際的な共同研究を目的とした、研究者の交流や情報資料交換のための、一時的な国内研究者の派遣又は国外研究者の招聘であり、財団において適当と認めるもの。

(研究助成対象機関)

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

(推薦者)

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

(助成対象研究者の募集)

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

(助成対象研究者の選考)

第6 派遣又は招聘研究者の助成選考は、寄附行為第32条に定める選考委員会の議を経て理事会で決定する。

(選考基準)

第7 派遣又は招聘の助成は、対象研究者の以下の基準の充足状況により選考する。

- 一 優れた研究活動の実績があること。
- 二 国際研究集会においては、講演若しくは研究発表を行うこと又は座長になること等重要な役割を果たすこと。
- 三 国際研究交流における活動に必要な語学力を有すること。
- 四 国際研究集会への参加あるいは国際共同研究により、研究の著しい向上が期待されること。

(助成経費)

第8 派遣又は招聘研究者には、別に定める助成経費を支給する。

(報告書の提出)

第9 派遣研究者は又は招聘助成を受けた研究者は研究集会等終了後1ヶ月以内に、別に定める報告書を財団に提出しなければならない。

(雑則)

第10 助成金の交付を受けた者が、国立学校設置法第2条第1項に規定する国立学校に勤務するときは、助成金の受入れは、奨学寄附金委任経理事務取扱規則（文部省令第14号、昭和39年4月23日）に基づき、処理するものとする。

附 則

この要項は、平成10年9月1日から施行する。

財団法人八雲環境科学振興財団 研究集会助成制度実施要項

(趣旨)

- 第1 この要項は、財団法人八雲環境科学振興財団寄附行為（以下「寄附行為」という。）第4条第1号に基づき、岡山県内で開催される環境科学に関する研究集会、学術講演会、シンポジウム等（以下「研究集会」という。）に対し、財団法人八雲環境科学振興財団（以下「財団」という。）が行う助成の実施について定めるものとする。

(助成対象研究集会)

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

(助成条件)

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

(推薦者)

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

(助成研究集会の募集)

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

(助成の選考)

- 第6 研究集会助成の決定は、寄附行為第32条に定める選考委員会において選考のうえ、理事会の議を経て決定する。

(選考基準)

第7 助成の対象となる研究集会は、次の基準により審査する。

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

(財団名表示の義務)

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

(助成額の基準)

第9 研究集会への助成額の交付基準は別に定める。

(報告書の提出)

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

(雑則)

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

(実施細則)

第12 この要項に定めるもののほか、必要な事項は別に定める。

附 則

この要項は、平成14年2月21日から施行する。

13. ご寄附のお願い

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

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

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

会員の種類及び特典

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

◀ 税制上の優遇措置について ▶

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

法人様の場合（法人税法第37条・施行令第77条）

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

個人様の場合（所得税法第78条・施行令第217条）

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

◀ 寄付金申込み手続き ▶

【事務局】 ご不明な点は事務局までお問い合わせください。

住所：岡山市津島京町3-1-21（株）エイトコンサルタント内）

TEL：086-252-7670 FAX：086-252-8918 E-mail：yakumo@8con.co.jp

【申込書】

URL：<http://www.8con.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。

今年は記録的な猛暑が続き、6月～8月の天候ではアメダスを含めた101観測地点で、それぞれ観測史上最高気温を更新し、国内最高気温 40.9℃（熊谷, 多治見）を記録するなど、地球温暖化の影響が顕著に現れた年でありました。

世界的にも、水不足による砂漠化・干ばつ問題や北極海における氷山の融解等が取り上げられるなど、地球温暖化の影響による自然崩壊が目立ち、その対策への意識が高まった年であ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8号

平成19年10月発行

発行 財団法人八雲環境科学振興財団
岡山市津島京町3丁目1-21
(株)エイトコンサルタント内)
TEL (086)252-7670

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



THE YAKUMO FOUNDATION FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

telephone: 086-252-7670

facsimile: 086-252-8918

URL: <http://www.8con.co.jp/zaidan/>

財団法人 八雲環境科学振興財団

〒700-8617 岡山市津島京町三丁目1番21号(株)エイトコンサルタント内