

2011

山梨県総合理工学研究機構 研究報告書 第6号



第
6
号

Y-CROST Research Report No.6 (2011)

Y-CROST
Comprehensive Research Organization for Science and Technology
Yamanashi Prefectural Government



環境にやさしい植物性大豆インキを
使用しています。

山梨県総合理工学研究機構研究報告書

第 6 号

Y-CROST
Research Report No. 6 (2011)

目 次

はじめに

研究課題及び研究体制

研究成果報告

1	自然公園内における湖沼の水質の向上に関する研究	
	自然公園における湖の水質の向上に関する研究	1
2	化合物半導体多層太陽電池の開発	
	1) 化合物半導体多層太陽電池の開発 (第2報)	21
	2) 化合物半導体多層太陽電池の成膜特性	27
3	酒造米および有色素米の栽培と利用に関する研究	
	1) 山梨県の平坦地に適した酒造米品種の選定	33
	2) 山梨県における有色素米の有望品種	41
4	醗酵食品残渣の有効利用に関する研究	
	自己調製酵母エキスでの乳酸菌培養	47
5	高効率太陽熱吸収技術に関する研究開発	
	高効率太陽熱吸収技術に関する研究開発	51
6	マイクロ金型による微細転写加工技術に関する研究	
	マイクロ金型による微細転写加工技術に関する研究 (第1報)	55
7	南アルプスにおけるニホンジカによる高山植物への影響と保護対策および個体数管理に関する研究	
	1) 北岳亜高山帯におけるニホンジカによる摂食状況、ミヤマハナシノブの遺伝解析・繁殖および開花状況、並びにニホンジカの個体数管理に関する研究	61
	2) 北岳周辺地域におけるGPS測位データによるニホンジカ生息状況と植生との関係	65
	3) 北岳に生育するミヤマハナシノブの遺伝的多様性および遺伝構造の解析	69
8	人工光利用による施設栽培ブドウの高品質化技術の開発	
	LEDによる夜間電照がブドウの果粒肥大に及ぼす影響(第3報)	77

資料

1	平成22年度山梨県総合理工学研究機構の活動	83
	別表1 山梨県総合理工学学研究機構運営委員会委員名簿	84
	別表2 山梨県総合理工学研究機構テーマ等調整会議構成員名簿	84
2	平成22年度山梨県総合理工学研究機構組織図	85
3	平成22年度職員名簿	86
4	担当コーディネーター一覧	87

Index

Preface

Index of Research Projects

Research Project and Title of Report

1. Studies on the Managements of Water Quality of the Lake Located in Nature Reserves	
Studies on the Managements of Water Quality of the Lake Located in Nature Reserves	1
2. Development of Compound Semiconductor Multilayer Solar Battery	
Development of Compound Semiconductor multilayer solar battery (2nd report)	21
Deposition Characteristic of Compound Semiconductor multilayer solar battery	27
3. Research on Cultivation and Use of Rice for Sake Brewing and Rice Having Coloring Matter	
Selection of Rice for Sake Brewing in flatland of Yamanashi Prefecture	33
Promising Kinds of Colored-grain Rice in Yamanashi Prefecture	41
4. Component Analysis of Utilization of Fermentation Food Processing Waste and Fermentation of Yeast on Lees of Grape	
Cultivation of Lactic Acid Bacteria by Self-making Yeast Extract	47
5. Research and Development of High Efficient Solar Absorbing Technology	
Research and Development of High Efficient Solar Absorbing Technology	51
6. Study on Transcription Molding of Micro-pattern using Microdie	
Study on Transcription Molding of Micro-pattern using Microdie (1st Report)	55
7. Effects of sika deer (<i>Cervus nippon</i>) on Alpine and Subalpine Vegetation and Their Management at South Alps, Yamanashi Prefecture	
Studies for effects of sika deer (<i>Cervus nippon</i>) on alpine and subalpine vegetation and their management at South Alps, Yamanashi Prefecture	61
GPS-measured distribution of sika deer (<i>Cervus nippon</i>) and corresponding vegetation around Mt. Kitadake	65
Genetic diversity and genetic structure of <i>Polemonium caeruleum</i> ssp. <i>yezoense</i> var. <i>nipponicum</i> in Mount Kita	69
8. Development of Technology of Making to High Quality of Greenhouse Grape by Use of Artificial Light	
The Influence of LED Irradiation on the Berry Weight of Grape (3rd report)	77

Appendix

1. Activity Record of Y-CROST 2010	83
Appendix 1 Administration Committee Member of Y-CROST	84
Appendix 2 Member for Liaison Committee	84
2. Diagram of Y-CROST Structure	85
3. List of Y-CROST Staff	86
4. List of Research Projects and Their Coordinator	87

はじめに

山梨県総合理工学研究機構は、県立10試験研究機関が有する人的資源や設備を有機的に結びつけ、領域横断的な研究開発を推進し、その成果を本県の産業の発展や県民生活の質の向上に役立てる目的で、平成17年4月に設立され、今年で7年目を迎えております。

この研究報告書は、山梨県総合理工学研究機構が平成22年度に行った7課題の研究成果をとりまとめたものです。このうち「自然公園内における湖沼の水質の向上に関する研究」と「化合物半導体多層太陽電池の開発」の2課題は最終年度の研究で、6月末に開催された運営委員会で厳しい事後評価を受けました。

これ以外の5課題は継続中の課題ですが、「酒造米および有色素米の栽培と利用に関する研究」、「醗酵食品残渣の有効利用に関する研究」、「高効率太陽熱吸収技術に関する研究開発」のように23年度に最終年度を迎える研究と「マイクロ金型による微細転写加工技術に関する研究」、「南アルプスにおけるニホンジカによる高山植物への影響と保護対策及び個体数管理に関する研究」のように22年度から始まった研究があり、いずれも領域横断型研究としての成果が期待されております。研究は必ずしも年度始めに開始し年度末に終了できるものではなく、良い成果は継続して出されるものです。最後に載せた「LEDによる夜間電照がブドウの顆粒肥大に及ぼす影響」は、事後に研究が深化された成果の一つと言えます。

以上が、本機構に配分された資金による研究ですが、このほかに本機構の役割として、重点研究の採択と推進を行っています。重点研究は、県の研究資金を重点的に投資する研究として採り上げるもので、政策的研究と言えるかもしれません。本来、行政の出先機関として存在する試験研究機関は行政上のニーズに応じた研究をすべきで、行政上に生じた県民的課題に対して解決策を提言できるものでなくてはなりません。そこで、機構としては重点研究についても事前評価・中間評価・事後評価を行うことにし、昨年10月に全30課題（新規11継続19）について1週間にわたるヒアリングを行いました。

昨年開催された本機構の研究員研修会の講話でも述べたことですが、研究は失敗を積み重ねてようやく成果が望めるものです。『二番煎じの成功例より新しい失敗例の方が役に立つ』と私は思っています。来年からは役に立つ新しい失敗例が沢山報告されることを希望してやみません。

世界的な景気減速と大震災に見舞われた中で、県の試験研究費だけが財政の聖域であって良いはずはありません。コーディネーターと研究者の綿密な計画と実施努力によって研究費の節減を図りつつ、これまで以上の成果を県民に還元して行かねばならないと自覚しております。特に逼塞した現下の厳しい経済環境の中では、新たな時代を拓く技術開発が強く希求されており、県の活力を維持し、県民生活の質の向上を図るうえで、試験研究機関、大学、企業が連携して、持てる力を最大限に発揮するように仕向けることが本機構の重要な使命になっています。このため当機関は、産官学の連携を通じての異分野間の人的交流による知的触発や研究者同士の切磋琢磨を促し、潜在能力を引き出すとともに俯瞰的視野に立てる研究者の育成にも努めたいと思います。どうかこれからも、当機構へのご理解とご支援をお願い申し上げます。

平成23年8月31日

山梨県総合理工学研究機構

総長 小林 正彦

研究課題及び研究体制

(◎は主幹事を示す)

1 自然公園内における湖沼の水質の向上に関する研究

山梨県衛生環境研究所 ◎吉澤一家
山梨県水産技術センター 高橋一孝
山梨県環境科学研究所 池口仁
芹澤和世
山梨大学 御園生拓
平田徹
森一博
宮崎淳一
芹澤如比古
金沢星陵大学 永坂正夫

2 化合物半導体多層太陽電池の開発

山梨県富士工業技術センター ◎吉村千秋
古屋雅章
阿部治
山梨県工業技術センター 早川亮
山梨大学 加藤孝正

3 酒造米および有色素米の栽培と利用に関する研究

山梨県総合農業技術センター ◎上野直也
石井利幸
山梨県工業技術センター 長沼孝多
木村英生
小嶋匡人
山梨大学 廣瀬裕子
岩間巧
株式会社はくばく 内松大輔

4 醗酵食品残渣の有効利用に関する研究

山梨県工業技術センター ◎斎藤美貴
長沼孝多
橋本卓也
小嶋匡人
木村英生
山梨県環境科学研究所 上野良平
森智和

5 高効率太陽熱吸収技術に関する研究開発

山梨県工業技術センター ◎早川亮
芦澤里樹
山梨県富士工業技術センター 吉村千秋

6 マイクロ金型による微細転写加工技術に関する研究

山梨県工業技術センター ◎小松利安
萩原義人
石黒輝雄
宮川和幸
勝又信行
佐野正明
山梨県富士工業技術センター 山田博之
西村通喜
東洋大学 吉田善一
寺田信幸

7 南アルプスにおけるニホンジカによる高山植物への影響と保護対策および個体数管理に関する研究

山梨県森林総合研究所 ◎長池卓男
西川浩己
飯島勇人
山梨県環境科学研究所 北原正彦
杉田幹夫
中野隆志
山梨県酪農試験場 伊藤和彦
山梨県立笛吹高等学校 亀井忠文
京都大学 横川昌史
井鷲裕司
東京都農林総合研究センター 中村健一
田村哲生
信州大学 竹田謙一

8 人工光利用による施設栽培ブドウの高品質化技術の開発

山梨県果樹試験場 ◎斉藤典義
宇土幸伸
里吉友貴
山梨県富士工業技術センター 阿部治
山梨県工業技術センター 河野裕
平川寛之

Y-CROST Research Report No.6 (2011)

Research Report of Comprehensive Research Organization for Science and Technology, Yamanashi Prefectural Government (Y-CROST) No.6 (2011)

Index of Research Projects

- 1. Studies on the Managements of Water Quality of the Lake Located in Nature Reserves**
Yamanashi Institute for Public Health
Kazuya YOSHIZAWA
Yamanashi Fisheries Technology Center
Kazutaka TAKAHASHI
Yamanashi Institute of Environmental Sciences
Hitoshi Ikeguchi
Kazuyo MATSUYAMA-SERISAWA
University of Yamanashi
Taku MISONOU
Tetsu HIRATA
Kazuhiro MORI
Jun-ichi MIYAZAKI
Yukihiko SERISAWA
Kanazawa Seiryō University
Masao NAGASAKA
- 2. Development of Compound Semiconductor Multilayer Solar Battery**
Yamanashi Industrial Technology Center
Chiaki YOSHIMURA
Masaaki FURUYA
Osamu ABE
Yamanashi Industrial Technology Center
Ryo HAYAKAWA
University of Yamanashi
Takamasa KATOU
- 3. Research on Cultivation and Use of Rice for Sake Brewing and Rice Having Coloring Matter**
Yamanashi Prefectural Agritech Center
Naoya UENO
Toshiyuki ISHII
Yamanashi Industrial Technology Center
Kota NAGANUMA
Hideo KIMURA
Masato KOJIMA
University of Yamanashi
Yuko HIROSE
Takumi IWAMA
Hakubaku Co., Ltd
Daisuke UCHIMATSU
- 4. Component Analysis of Utilization of Fermentation Food Processing Waste and Fermentation of Yeast on Lees of Grape**
Yamanashi Industrial Technology Center
Miki SAITO
Kota NAGANUMA
Takuya HASHIMOTO
Masato KOJIMA
Hideo KIMURA
Yamanashi Institute of Environmental Sciences
Tomokazu MORI
Ryouhei UENO
- 5. Research and Development of High Efficient Solar Absorbing Technology**
Yamanashi Industrial Technology Center
Ryo HAYAKAWA
Satoki ASHIZAWA
Yamanashi Fuji Industrial Technology Center
Chiaki YOSHIMURA
- 6. Study on Transcription Molding of Micro-pattern using Microdie**
Yamanashi Industrial Technology Center
Toshiyasu KOMATSU
Yoshihito HAGIHARA
Teruo ISHIGURO
Wako MIYAGAWA
Nobuyuki KATSUMATA
Masaaki SANO
Yamanashi Fuji Industrial Technology Center
Hiroyuki YAMADA
Michiyoshi NISHIMURA
University of Toyo
Yoshikazu YOSHIDA
Nobuyuki TERADA
- 7. Effects of sika deer (Cervus nippon) on Alpine and Subalpine Vegetation and Their Management at South Alps, Yamanashi Prefecture**
Yamanashi Forest Research Institute
Takuo NAGAIKE
Hiroki NISHIKAWA
Hayato IJIMA
Yamanashi Institute of Environmental Sciences
Masahiko KITAHARA
Mikio SUGITA
Takashi NAKANO
Yamanashi Dairy Experiment Station
Kazuhiko ITOU
Fuefuki High School
Tadafumi KAMEI
Kyoto University
Masashi YOKOGAWA
Yuji ISAGI
Tokyo Metropolitan Agriculture and Forestry Research Center
Ken'ichi NAKAMURA
Tetsuo TAMURA
Shinshu University
Ken'ichi TAKEDA
- 8. Development of Technology of Making to High Quality of Greenhouse Grape by Use of Artificial Light**
Yamanashi Fruit Tree Experiment Station
Noriyoshi SAITO
Yukinobu UDO
Yuki SATOYOSHI
Yamanashi Fuji Industrial Technology Center
Osamu ABE
Yamanashi Industrial Technology Center
Hirosi KONO
Hiroyuki HIRAKAWA

自然公園内における湖沼の水質の向上に
関する研究

**Studies on the Managements of Water Quality of the
Lake Located in Nature Reserves**

自然公園における湖の水質の向上に関する研究

吉澤一家¹, 高橋一孝², 池口仁³, 芹澤 (松山) 和世³, 御園生拓⁴, 平田徹⁴, 森一博⁴,
宮崎淳一⁴, 芹澤如比古⁴, 永坂正夫⁵

(¹山梨県衛生環境研究所, ²山梨県水産技術センター, ³山梨県環境科学研究所, ⁴山梨大学,
⁵金沢星陵大学)

要約 自然湖沼での水質管理に適した浄化システムを構築するための、水生植物及び貝類を用いた水質管理手法の検討を2008年度から開始した。最終年である2010年度は、山中湖の通称平野ワンドにて広範囲な現地植栽及び飼育実験などを行い、次の諸点が明らかとなった。

- 1) 水生植物調査により2010年には新たに水草1種、大型藻2種が確認され、本プロジェクトによる調査期間（2007年7月～2011年1月）に確認された水生植物は30種（水草17種、大型藻13種）となった。2010年の水生植物の現存量や種数は9月に最大となる季節変化を示し、年間の現存量は2009年には水位低下により増大し、2010年にも水位が上昇したにもかかわらず増加した。
- 2) 植栽実験水域での沈水植物現存量を推定したところ、自生種であるホザキノフサモが湿重量で見えた場合、植物量の50%を超えていた。このため植栽種であるセキシヨウモ、クロモのみの水質浄化効果は推定できなかったが、草体の50%を刈取った場合、実験水域では窒素を1.0g/m²、りんは0.3g/m²を系外に取り出すことができるものと試算された。
- 3) タテボシガイを用いて、貝の飼育実験を10ヶ月行った結果、生存率は約70%であった。またほとんどの個体で重量増加が認められ、重量成長率は4～10%の個体が多かった。

Studies on the Managements of Water Quality of the Lake Located in Nature Reserves.

Kazuya YOSHIKAWA¹, Kazutaka TAKAHASHI², Hitoshi IKEGUCHI³, Kazuyo MATSUYAMA-SERISAWA³, Taku MISONOU⁴, Tetsu HIRATA⁴, Kazuhiro MORI⁴, Jun-ichi MIYAZAKI⁴, Yukihiro SERISAWA⁴ and Masao NAGASAKA⁵ (¹Yamanashi Institute for Public Health, ²Yamanashi Fisheries Technology Center, ³Yamanashi Institute of Environmental Sciences, ⁴University of Yamanashi, ⁵Kanazawa Seiryō University).

Abstract We investigated the appropriate methods of improving the water quality of Lake Yamanaka located in nature reserves. In 2010, the last year of this project, vegetation of water-plants and cultivation of bivalves were carried out in Lake Yamanaka from May, 2010 to March, 2011. Several facts were revealed from these experiments; i.e.

- 1) In 2010, one waterweed and two macroalgae were newly found. Therefore 30 hydrophytes (17 waterweeds and 13 macroalgae) were observed in this project survey period from July 2007 to January 2011. The biomass and the number of species for hydrophytes in 2010 showed the maximum in September. The annual biomass of hydrophytes was increased in 2009 due to decrease of water level, and in 2010 also increased in spite of increase in water level. As an environmental factor, monthly turbidity measurements clarified that turbidity of Hirano Wando was higher than northern coast and southern coast through the year in 2010. The water temperature was high in 2010 than in 2009.
- 2) In vegetation area for experiments, biomass of *Myriophyllum spicatum* which grew naturally was more than 50% of whole water-plants. Therefore we could not estimate the effect of vegetated water-plants, such as *Vallisneria spiralis* and *Hydrilla verticillata*, for water purification.
- 3) Approximately 70% of *Unio douglasiae* bivalves survived during an experiment period in the lake. The weight of most survived bivalves increased 4-10%.

1. 緒言

特に生態系、景観の保全に配慮が必要な自然公園内の湖沼での水質管理に適した浄化システムを構築するために、水生植物及び貝類を用いた手法の検討を試みた。

2008年度には、浄化システムを構成するために必要な基礎データの収集を行なった。また湖底泥を焼成した基物を用いることで、水生植物を簡単に植栽できることを室内実験で確認し、焼成条件を確立した。一方、貝類を用いた水

質浄化能の室内実験では、二枚貝のろ過作用により濁度が低下することが確認された。

2009年度には、対象水域の特性をより明らかにするために生態系調査を継続して行なうとともに、現地での植栽、飼育実験を行なうなど、現地での応用を視野に入れた各実験を行なった。

水生植物調査では、沈水植物が11種（うち1種は交雑種）浮遊植物が1種、浮葉植物が2種、抽水植物が1種、アオミドロ属の一種、大型藻類が9種の計24種を確認するこ

とができ、9月に現存量が最大となった。コイを用いた食害実験からは、大型より小型のセキショウモの方が捕食されやすいことが示唆された。また現地植栽・飼育実験からセキショウモ及びタテボシガイを利用できる可能性が高いことが明らかとなった

本年度は山中湖での植栽及び飼育実験を中心に、次のサブテーマについて研究を実施した。

- ・湖内調査
 - 1) 水草・大型藻類とその生育環境の周年変化
 - 2) トラップ採取法およびタモ網採取法による水生生物調査
 - 3) 山中湖における貝類の生息分布調査
 - 4) 水草造成帯内外における生息生物調査
 - 5) 山中湖平野ワンド湖岸の漂着水草調査
- ・生物利用浄化法研究
 - 1) 山中湖での沈水植物の植栽及び二枚貝の飼育実験
 - 2) 植栽水域での水質浄化評価方法の検討
 - 3) 沈水植物の管理方法の検討
 - 4) セキショウモの栽培に及ぼすコイの影響
 - 5) 植生浄化モデルの構築
- ・バイオマスの有効利用方法の検討
 - 1) 生産バイオマス利用方法の検討

2. 調査・研究方法

2-1 湖内調査

2-1-1 水草・大型藻類とその生育環境の周年変化

山中湖に生育する水草・大型藻類の種組成と現存量の周年変化を明らかにするとともに、湖水環境、特に濁度と水温の周年変化を明らかにすることを目的として現地調査を行なった。

1) 山中湖に生育する水草・大型藻類の調査

2010年2月～2011年1月まで毎月1回(2月17日, 3月15日, 4月7日, 5月18日, 6月28日, 7月23日, 8月24日, 9月22日, 10月20日, 11月10日, 12月7日, 1月14日)行った。山中湖の3区域(北岸, 平野ワンド, 南岸)にそれぞれ3, 3, 5ヶ所の定点を設け, その計11定点で胴長を着用して水深70cm程度まで湖内に入り, ロープを付けた自作の採集器3種類を陸側を背に3回ずつ投げ入れ, 2種類の採集器は10m程度, 1種類の採集器は20m程度岸まで湖底を引き摺る方法で沈水植物と大型藻を採集した。また, 目視確認による徒手採集も随時行い, 採集器では得られない浮遊植物や浮葉植物なども採集した。採集物は定点毎に種類別に分けて湿重量を測定し, 2日程度室内で扇風機の風を当て予備乾燥させた後に紙に包んで乾燥機に入れ80°Cで48時間以上乾燥させ, 乾重量を測定した。また, 採集した植物の押し葉標本を作成した。

2) 山中湖の湖水環境調査

濁度, pHについては1)と同様に毎月1回, 湖内に設け

た11定点で胴長を着用して水深70cm程度まで湖内に入った所での表層水において行った。なお, 計器の都合により2月の濁度データが, また結氷により1月の一部の測点のデータが欠測である。水温については2008年9月に平野ワンドに設置した浮子(ブイ)と沈子(建材ブロック)に水温ロガーを取り付け, 数ヶ月毎にロガーを交換してデータを回収した。今回は2009年1月から2010年12月までの2年間のデータ解析を行った。なお, 浮子に付けたロガーは水深約30cmの表層の水温を, 沈子に付けたロガーは水深約2mの底層の水温を1時間間隔で測定した。さらに, 水生植物の分布に大きな影響を与えらるる山中湖の水位については山梨県県土整備部治水課がHP上で公開している過去の水位データ(http://www.pref.yamanashi.jp/chisui/113_006.html)を, 水位に関係する降水量については気象庁がHP上で公開している気象統計情報の過去の気象データ検索(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)による山中の降水量データを用いて解析した。

2-1-2 トラップ及びタモ網採取法による水生生物調査

平野ワンド部の水生生物の生息状況把握のため, トラップ採取法, タモ網採取法による魚類, エビ類, トンボ類ヤゴの生息調査を2010年6月から11月の6ヶ月にかけて毎月1回, 各月の中旬に行なった。

調査地としてワンド部北西岸のヨシ密生地を主要な調査地とし, 湖岸東から西のワンド奥部にかけて5調査区(調査区1から調査区5)を設定した。モンドリを用いたトラップ採取法では, ゴルフボール大の練り餌(容積比, サナギ粉:パン粉:小麦粉:イワシ魚粉:アミコマセ=10:8:2:1:1)をモンドリに入れ, 調査区ごとに1トラップを水深40cmの湖底に設置し, 1時間経過後にトラップを回収した。トラップ設置と回収は午前10時から正午12時にかけて行ない, 設置時には時刻, 気温, 水温を記録した。トラップ採取法による調査が終了した後, タモ網採取法による調査を, 調査区3から調査区5の湖岸部を中心にしながら, 3名で1時間実施した。

2-1-3 山中湖における貝類の生息分布調査

1998年夏期に発生したドブガイの大量斃死後の状況を明らかにすることを目的に, 貝桁網と採泥器を用いて貝類の生息分布調査を行った。

調査は2010(H22)年7月31日と10月28日に調査船を用いて, 湖岸9～11地点で貝桁網を実施した(図1)。採集時間は原則3分間とし, 船の速度は毎秒1mを目安とした。採集物は地点毎にビニール袋に入れて持ち帰り, 貝類の種類と湿重量, 殻長(カワニナ類は殻高)を測定した。また, 11月4日にはエクマンバージ採泥器を用いて, 湖岸13地点で底生生物を採集した。1地点あたり2回採集し, 目合い5mmのふるいで濾した後, 採集物の湿重量と個体数を計数した。また, 5mm以下のサンプルも全量あるいは一部, ローゼンガル入り10%ホルマリン液で固定した後,

実態顕微鏡下で観察した。

2-1-4 水草造成帯内外における生息生物調査

平野ワンドの水質浄化策として、セキショウモとクロモを使った水草帯の造成を行ったが、この造成した水域の内外における生息種の違いについて、異なった4種の漁具を用いて採捕し検討した。

調査は2010 (H22) 年9月8～10日, 10月18～19日の2

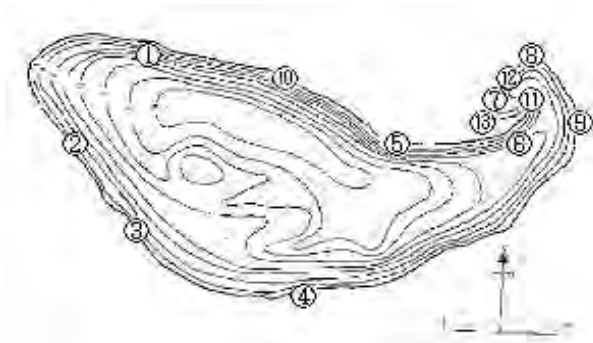


図1 位置図 (数字は採集地点を示す)

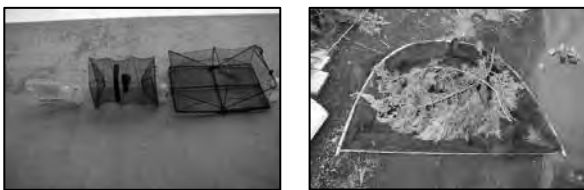


図2 漁具 (左からビンドウ, かご, エビカゴ, すくい網)

表1 設置漁具 (9/8, 9)

漁具	沖側 (区域外)	中央 (区域内)	岸側 (区域外)	合計
水深 (m)	1.5~2.2	0.9~1.3	0.5~1.2	
ビンドウ	2	3	3	8
かご	2	2	3	7
エビカゴ	5	5		10
計	9	10	6	25

表2 設置漁具 (10/19, 20)

漁具	沖側 (区域外)	中央 (区域内)	岸側 (区域外)	栈橋下 (区域外)	合計
水深 (m)	2.1~2.4	0.7~1.8	~1.2	~1.0	
ビンドウ	2	3	3	2	10
かご	3	3	3	2	11
エビカゴ	5	5			10
計	10	11	6	4	31



図3 St. 7の湖岸と栈橋

回, ワンド内St.7 (わかさぎや前) 付近において実施した。生息種の採捕は, ビンドウ, かご, エビカゴ, すくい網の4種の漁具を用いて行った (図2)。漁具の設置場所及びその数は表1, 2に示した。造成した水草帯の面積は30×30m (900m², 水深1.1~2.3m)で, 5月21日から9月6日までの間に8回, セキショウモ399株 (葉長20~70cm) とクロモ72株 (葉長20~30cm) を移植した。その外の沖側と内の岸側, 栈橋下の4か所に調査区域を設けた。移植前の水域の水草はホザキノフサモが優占種で, セキショウモとクロモがわずかに混じる程度であった。漁具は船を用いて夕方湖底に設置し, 翌朝取り上げた。餌は魚の切身, マス用配合飼料, コイ釣り用配合飼料を用いた。採捕した生物は10%ホルマリンで固定した後, 後日一括して魚体測定した。

2-1-5 山中湖平野ワンド湖岸の漂着水草調査

前報では, コイの繁殖や摂餌行動に起因すると考えられるセキショウモの湖岸への打ち上げ現象について報告したが, 今年度はワンド内において水草の打ち上げ量の季節変化について調査した。

2010年4月23日から2011年1月17日まで, 10日に1回の頻度でSt.7の湖岸50m区間に打ち上げられた水草の種類, 数量について調べた (図3)。このうち, セキショウモは根のある株の割合と最大葉長も併せて調べた。また, 栈橋の先端 (水深1m) に自記水温計を設置して4月23日から12月1日まで1時間毎に連続測定した。

2-2 生物利用浄化法研究

2-2-1 山中湖での沈水植物植栽実験

沈水植物による物理的および化学的水質浄化効果を測定するために, 平野ワンド内の西岸付近に30m×30mの範囲に沈水植物の植栽を行なった (図4)。昨年度の実験結果から植栽にはセキショウモとクロモを用い, 湖の底泥を焼成した基物を用いて植栽した。

2-2-2 二枚貝の飼育による水質浄化実験

山中湖に適した水質管理法を提言することを目的とし, 二枚貝の濾過摂食活動により, 自然水系において透明度を上げる手法の確立を目指す。二枚貝は入水管から水中の微粒子を取り入れ, それを濾し取って食べる濾過摂食を行う。これを利用する方法は水質改善の手段とし

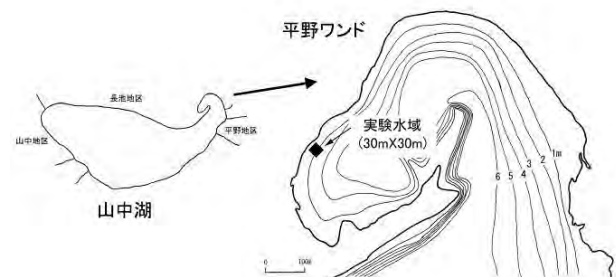


図4 植栽実験水域

て注目されているが、淡水二枚貝の浄化効率を科学的に検討した研究はこれまでにない。

これまでに室温条件で二枚貝の浄化効率を測定してきた。しかし、山中湖は冬季に凍結するほど寒冷であるため、本年度は低水温での水質浄化能力を水槽実験によって調べ、どの二枚貝が山中湖に適しているか検討した。また、水槽実験で使用した鮎物粒子カオリンの粒径が妥当であることを確認するため、湖水の懸濁粒子の粒径を調べた。さらに、水質浄化の指標としてカオリンに代わりクロレラを用いた実験を行った。生物を移入する際には種や、種内に明確に分けられる集団が存在する場合にはそれを記録しておく必要がある。そのため本研究で使った二枚貝のDNA解析による同定を行った。今回は、山中湖と河口湖のイシガイ様の小型二枚貝、山中湖の大型二枚貝の同定を行った。また、琵琶湖の二枚貝を試験的に山中湖に移入した際に、タテボシガイと形態学的に異なる二枚貝が混入しており、これらの個体についてもDNA解析による同定を行った。

その一方で、平野ワンド内の植栽実験水域内にメッシュパネルを用いた飼育網を設置し、昨年度の飼育実験で生存率が高かったタテボシガイを用いて水質浄化実験を行なった。

2-2-3 植栽水域での巻上げ抑制による水質浄化評価

水生植物利用の水質浄化実験ではメソコスム（水域の一部をシートで仕切った隔離水域）を用いて浄化効果を評価する方法が一般的であるが、本研究では湖を隔離せずに植栽を行い、透明度を浄化効果の主な指標として実験を行なっている。この方法はより自然に近い状態での浄化実験ができる反面、メソコスム実験に比して非植栽水域との差が明確に出ないことが予想されたため、測定頻度を高めるとともに、風による巻上げの影響を把握するために、照度測定ロガーを用いて水中照度の連続測定を行ない、浄化効果の評価への適用可能性を検討した。

照度ロガーの設置方法を図5に示した。水面のブイから50cmの水深に上部ロガーを懸架し、それよりさらに100cm下に下部ロガーを懸架した。次式により算出される上下の照度測定値の比を照度透過率とし、湖水の透明度（または透視度）に代わる指標として用いた。

$$\frac{\text{下部照度 (lux)} / \text{上部照度 (lux)} \times 100}{=} \text{照度透過率 (\%)}$$

水草の繁茂が認められた10月中旬から10分間隔で測定を開始し、設置後1～2週間でデータを回収するとともに、ロガー表面の付着物を取除き、再度測定を繰り返した。

2-2-4 沈水植物の刈取りによる水質浄化効果の検証

沈水植物には底泥の巻上げ抑制による、透明度の改善という物理的浄化効果のみならず、湖水からの栄養塩吸収による化学的浄化効果も期待される。

これらを検証するために、次の各実験を行なった。

1) 沈水植物体に含まれる窒素、りん含有量の測定

2) 沈水植物の刈取方法に関する検討

3) 沈水植物の刈取量の推定と窒素、りん除去量の推定

1) 沈水植物体に含まれる窒素、りん含有量の測定

山中湖で栽培したセキショウモとクロモを試験に供した。分析に先立ち、各水草を60℃にて十分に乾燥し、水分含有率を求めた。

a) 窒素含有率の測定

二村の迅速分析法に従い、乾燥した草体を適量分取し、ペルオキシ二硫酸カリウム分解－紫外線吸光度法を用いて測定を行なった。測定の詳細は工場排水試験方法 (K0102) によって行なった。

b) リン含有率の測定

衛生試験方法により、乾燥した草体を白金るつぼに入れて550℃で24時間灰化し、3N塩酸にて溶解したものの適量を、ペルオキシ二硫酸カリウム分解－吸光度法を用いて測定を行なった。測定の詳細は工場排水試験方法 (K0102) によって行なった。

2) 沈水植物の刈取り方法に関する検討

植物体を湖水の系外に取り出すことにより、窒素、りん等の富栄養化原因物質を除去することができるが、多年草である水草を根から完全に抜き取ってしまうと、再び植栽する必要があり、水草利用の効率が悪くなる。そこで成長した葉のみを刈取る方法を試みた。市販のエンジン刈払い機の先端に、大型バリカンを取り付け、水面から50cm程度の深さで刈取りを試みた。使用した機器を次に示した。

マキタ エンジン刈払い機 MEM427

ニシガキ工業 L型バリカン500

3) 沈水植物の刈取量の推定と窒素、りん除去量の推定

植栽したセキショウモとクロモの現存量を調べるために、植栽区域内外で自作アンカーによる掻き取り試験を行なった。さらに、エクマンバジ採泥器（口径15cm×15cm）で10回引抜き試験を行い、採取量から水草の現存

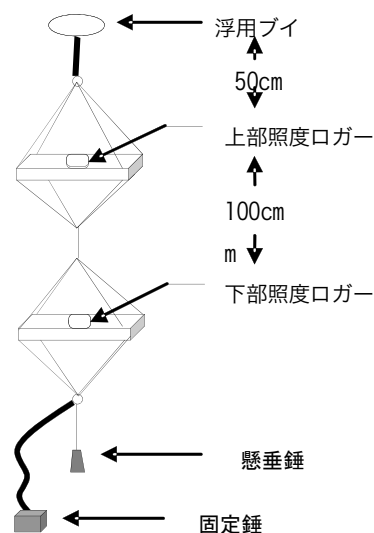


図5 照度ロガーの設置方法

量を推定した。また刈取りにより除去される窒素、リン量の推定を行なった。

2-2-5 セキショウモの栽培に及ぼすコイの影響

野外での水草の移植を前提に、直植え方式に代わり、吉澤らが開発した付着基材（焼成土）を用いて、昨年度に引き続きセキショウモの培養に及ぼすコイの影響について検討した。

実験期間は2010年5月31日から6月10日までの10日間で、山中湖産セキショウモを、屋外のFRP製角型水槽（270L）4基に、8株（平均葉長5.83cm）ずつ焼成土（但し4区は直植え）を用いて植えた（表3、図6）。焼成土は山中湖から採取した底泥を整形しマッフル炉で焼いたもので、平均の大きさは直径5.5cm、27.4gであった。中央部に直径1cmの穴を開け、ドーナツ状にしてあり、1株のセキショウモを穴に通して使用した（図7）。水槽には予め山中湖産砂礫土と黒土1袋（10kg）を入れ、地下水を注水し、水深を30cmにしてエアリフトで水槽内に水流をつけた。また、全長13.1cm（小型魚）と31.0cm（大型魚）の2種類のコイをそれぞれ10尾、1尾水槽に投入した。6月10日に取り上げし、コイの体重、尾数、消化管内容物、セキショウモの湿重量、株数について測定した。また、期間中2回、水質を測定するとともに、浮上したセキショウモの測定も行った。なお、コイは無給餌とした。

2-2-6 植生浄化モデルの構築

表3 試験区の設定

試験区	植栽方法	コイの収容
1	焼成土	なし
2	焼成土	小
3	焼成土	大
4	直植え	あなし

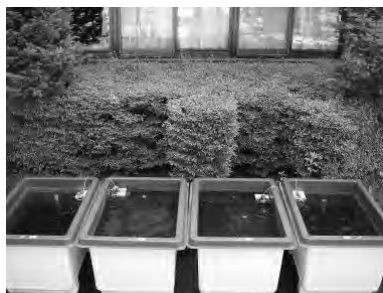


図6 屋外水槽の外観



図7 水中の水草と植栽基材の様子

植物を用いた水質浄化は、太陽エネルギーにより稼働し、植物による栄養塩吸収と根圏部に生息する微生物による酸化還元作用から、広く無機と有機の汚濁物質の除去に効果を示す手法である。植物の生育に伴いバイオマスの回収が必要となるが、バイオエタノールをはじめとする利用技術が急速に向上していることから、近年改めて注目されている。しかし、植物利用の浄化施設の計画、施設設計、維持管理を合理的に行うための知見が乏しく、現状では試行錯誤による経験に依存しており、このことが広く用いるための障壁の一つとなっている。そこで、本研究では浄化対象

水域の温度、光、水質などの環境条件から各種の植物が示す浄化効果を予測するためのモデルの構築を試みた。本年度は、昨年度までに構築した生育モデルに組み合わせて栄養塩吸収量を把握するための単位バイオマス中の栄養塩含有量推定モデルを、抽水植物について検討した。

各種栄養塩濃度条件下で供試植物（ヨシ、マコモ）を人工気象器を用いて栽培し、得られた植物バイオマスを分析することで水質濃度と単位バイオマス中の栄養塩含有量との関係を検討しモデル化した。これを昨年度までに検討した水生植物の生長モデル（ロジスティックモデルに光（steel式）、温度（Yin and colleagues式）、栄養塩類濃度（Michaelis-Menten式）の各環境要因項より構成）に組み合わせて、栄養塩吸収モデルを作成した。このモデルと気象並びに水質データから求めた栄養塩吸収固定量を、野外池で栽培した時の実測値と比較することで本モデルの有効性を評価した。

2-3 バイオマスの有効利用方法の検討

2-3-1 バイオマスの有効利用方法の検討

水質改善に用いる生物としては水草および二枚貝が想定されているが、そこで生産されるバイオマスをそのまま水中に放置しておいたのでは、さらなる水質汚染がもたらされてしまう。そこで、これらのバイオマスを適正に処理するために、生物を用いた水質浄化過程で生産されるバイオマスの有効利用法についての検討を継続した。本テーマでは、バイオマスの処理法として好気性発酵による堆肥化の可能性を探った（図8）。

3. 結果

3-1 湖内調査

3-1-1 水草・大型藻類とその生育環境の周年変化

1) 山中湖に生育する水草・大型藻類の調査



図8 バイオマス堆肥化フロー

表4. 山中湖で本調査期間中に確認された水草・大型藻類と月別の種数と、昨年までの本プロジェクト期間で確認された水草・大型藻類.

	2010年											2011年		本研究	2007年7月～ 2009年12月
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月			
ホザキノフサモ	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
クロモ				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
セキショウモ				○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
センニンモ					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
オオササエビモ						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ホソバミズヒキモ					○		○	○	○	○	○	○	○	○	○
エビモ×センニンモ						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
コカナダモ					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ヒロハノエビモ						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
コオニビシ					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
エビモ						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
イトトリゲモ						○		○			○				
コウキクサ							○	○	○			○			
エゾヤナギモ								○			○				
イチョウウキゴケ												○	○	◎	
ヒルムシロ															○
ヘラオモダカ															○
オトメフラスコモ	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
アオミドロsp.	○			○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ヒメフラスコモ				○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○
シャジクモ						○		○	○	○	○	○	○	○	○
キヌフラスコモ								○	○	○	○	○	○	○	○
ヒビミドロsp.				○	○		○						○	◎	
アミミドロ								○	○		○		○	○	○
サヤミドロsp.		○			○								○	○	○
ツルギミドロ				○										◎	
カタシャジクモ															○
フタマタシオグサ															○
フジマリモ															○
ブルボケーテsp.															○
水草出現種数	1	1	0	3	6	10	12	13	10	11	10	5	15	16	
大型藻出現種数	2	1	0	4	4	2	5	6	6	5	5	5	9	11	
合計出現種数	3	2	0	7	10	12	17	19	16	16	15	10	24	27	

○は生育が確認されたもの、◎は今回はじめて生育が確認されたもの

調査期間中にクロモ、ホザキノフサモ、ホソバミズヒキモ、センニンモ、セキショウモなど沈水植物を12種（うち1種は交雑種）、浮葉植物を1種（コオニビシ）、浮遊植物を2種（コウキクサ、イチョウウキゴケ）、オトメフラスコモ、シャジクモ、キヌフラスコモなど大型藻を9種の計24種を確認した（表4）。現存量（採集器による湖底1m当たりの採集量，乾重）は0 mg（4月）～315mg（9月）であり（図9），出現種数は0種（4月）～19種（水草13種，大型藻6種）（9月）で（表4），いずれも4月から9月にかけて徐々に増加し，その後減少した。調査期間中の毎月の現存量（湿重）を合計した年間の総現存量に占める優占種の割合はクロモが36%，ホザキノフサモ31%，ホソバミズヒキモ15%で，この3種で8割を超えた。

2) 山中湖の湖水環境調査

定点調査による調査期間中の濁度とpHの月平均値は2.43NTU（12月）～4.66NTU（4月），7.2（3月）～8.6（8月）であった。区域別で比較すると，午前10時までに測

定を終える北岸でpHはやや低い傾向を示し，濁度は平野ワンドで多くの月で最も高い値を示した（図10）。水温ロガーで測定した月平均水温は2009年には表層で2.4℃（1月）～25.2℃（8月），底層で3.6℃（1月）～24.4℃（8月），2010年には表層で3.2℃（2月）～26.9℃（8月），底層で4.1℃（2月）～25.7℃（8月）で，最高，最低は表層，底層ともに2010年の方が2009年より高かった

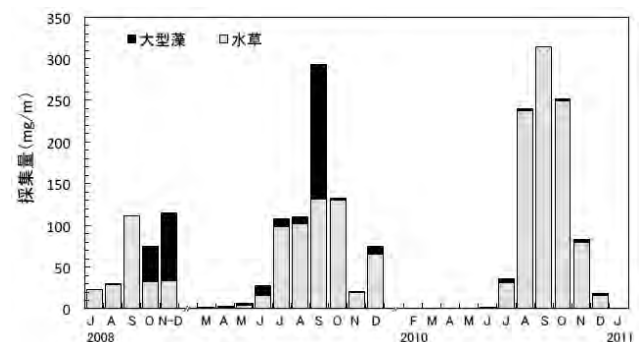


図9 山中湖における2008年7月～2011年1月までの水草・大型藻類の月別採集量の変化.

表5 山中湖平野ワンドにおける表層と底層の月平均水

	2009年												2010年											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
表層の月平均水温	2.4	5	7	12.2	16.5	20.4	23.1	25.2	22.1	17.1	12.1	6.9	3.5	3.2	7.1	10.2	15.6	20.6	25.2	26.9	24.8	18.3	12.2	7.7
標準偏差	1.3	1	1.5	2	1.8	1.9	1	1.1	1.4	1.8	1.5	2.1	0.6	1.4	1.7	1.4	1.6	2	2.1	1.3	2.7	1.9	1.5	1.7
1) 日最高水温の月平均	3.4	5.7	7.9	13.6	17.8	21.5	23.9	26.2	23	17.8	12.7	7.3	4.1	4	9.1	11.4	16.8	21.7	26.3	27.9	25.8	18.9	12.6	8.2
2) 日最低水温の月平均	1.6	4.4	6.2	11.1	15.4	19.4	22.4	24.3	21.3	16.4	11.6	6.5	2.9	2.4	5.8	9.2	14.7	19.6	24.2	26.1	24	17.8	11.9	7.4
1) -2)	1.8	1.3	1.6	2.5	2.4	2.1	1.5	1.8	1.7	1.4	1.1	0.9	1.1	1.5	3.3	2.2	2.1	2.2	2.1	1.8	1.7	1.1	0.8	0.9
底層の月平均水温	3.6	4.9	6.7	11.4	15.4	19.5	22.5	24.4	21.7	16.9	12	6.9	4.2	4.1	7.1	9.7	14.5	19.1	23.5	25.7	24.4	18.4	12.9	8.7
標準偏差	0.4	0.8	1.4	1.7	1.4	1.6	0.7	0.9	1.1	1.8	1.4	2	0.5	1.2	1.3	1.1	1.4	1.7	1.6	1	2.2	1.5	1.3	1.4
1) 日最高温度の月平均	4	5.3	7.3	12.1	16.1	20.1	22.9	25	22.1	17.3	12.4	7.3	4.7	4.8	8.1	10.4	15.1	19.6	24.1	26.1	24.8	18.6	13	8.8
2) 日最低温度の月平均	3.4	4.5	6.3	10.7	14.8	18.9	22.1	23.9	21.2	16.5	11.6	6.7	3.9	3.6	6.1	9	14.1	18.7	23	25.4	24	18.3	12.8	8.6
1) -2)	0.6	0.9	1	1.4	1.3	1.2	0.8	1	0.9	0.9	0.8	0.6	0.8	1.3	2.1	1.4	0.9	0.9	1.1	0.6	0.7	0.3	0.2	0.3

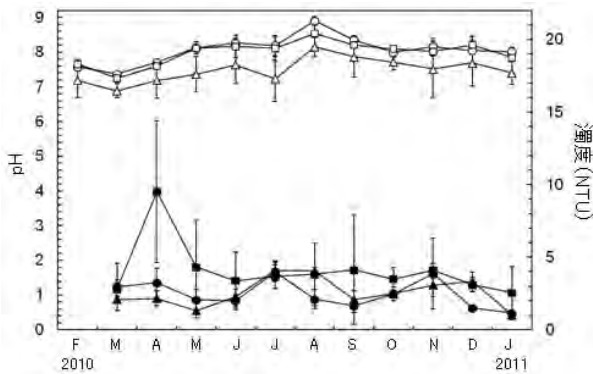


図10 山中湖における区域別の濁度とpHの周年変化。(四角は平野ワンド、三角は北岸、丸は南岸、中実は濁度、中空はpH)

表6 トラップ採取法による魚類の月別採取個体数

		6月	7月	8月	9月	10月	11月	計
タモロコ	調査区1			18	3		1	22
	調査区2		7	5	57			69
	調査区3				31			31
	調査区4		6		7			13
	調査区5		4	1				7
計		0	17	24	98	2	1	142
モツゴ	調査区3	2						2
	調査区4		1					1
	調査区5		1					1
計		2	2	0	0	0	0	4
ヌマチチ	調査区1			1				1
	計	0	0	1	0	0	0	1
種数		1	2	2	1	1	1	3
個体数合計		2	19	25	98	3	1	147

採取は毎月調査区1から調査区5までなされたが、採取があった調査区のみを示す。

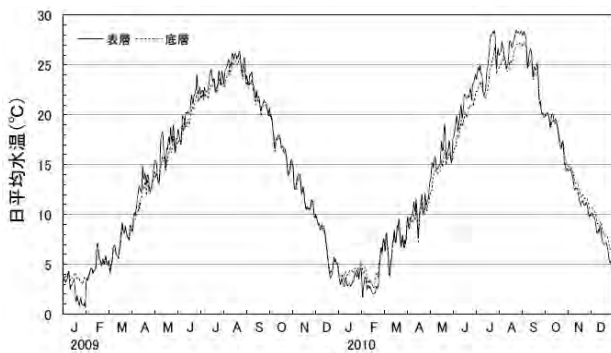


図11 山中湖平野ワンドにおける2009～2010年の日平均水温の変化

(表5) . また、特に夏季の日平均水温は2010年の方が表層、底層ともに顕著に高かった(図11) . いずれの年も底層では表層に比べ1日の水温変化が少なく、したがって底層水温の日平均値、月平均値はともに表層のそれよりも冬季ではやや高く、夏季にはやや低いという様に温度変化の幅が小さかった(表5) . 水位は2008年から2009年にかけては徐々に減少したが、2010年には11月にかけて大きく上昇した(図12) . また降水量も2010年は2008～2009年に比べ増大していた。

3-1-2 トラップ及びタモ網採取法による水生生物調査

1) トラップ採取法による調査結果

トラップ採取法では、魚類のみ、2科3種147個体を採取した(表6) . このうち採取個体数の多い魚種はタモロコで、採取個体数全体の96.6%を占め、モツゴ、ヌマチチブはそれぞれ2.7%、0.6%を占めた . 調査区ごとにデータをプール化して比較した場合、調査区1、調査区2、調査区3、調査区4、調査区5では、それぞれ種数は、1種、1種、2種、2種、2種、個体数は23個体、69個体、33個体、14個体、8個体を示し、種数の多い調査区は特定できず、個体数の多い地点は調査区2となった . 月ごとにデータをプール化した場合、種数は6月から11月にかけて1種、2種、2種、1種、1種、1種と大きな相違はなく、個体数は2個体、19個体、25個体、98個体、3個体、1個体を示し、最も多くの個体を9月に採取した。

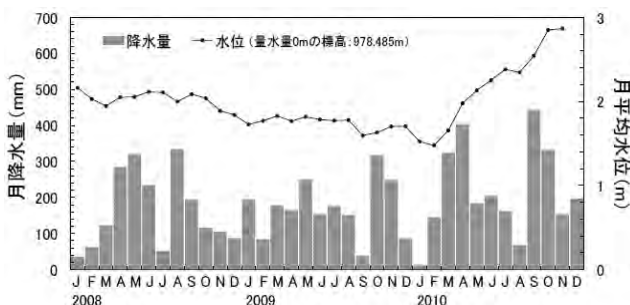


図12 山中湖における2008年1月～2010年11月までの水位と降水量の変動

表7 タモ網採取法による魚類、ヤゴ類とエビ類の月別採取個体数

	6月	7月	8月	9月	10月	11月	計
魚類							
ヌマチチブ	2	8	14	7	35	37	103
ギンブナ		55	11				66
ドジョウ	1	3	2	2	3	2	13
タモロコ	1	4	3		1	1	10
オオクチバス		2	4	3			9
モツゴ	3			1		2	6
ヨシノボリ	1	2		1			4
ブルーギル				1		1	2
コイ					1		1
種数合計	5	6	5	6	4	5	9
個体数合計	8	74	34	15	40	43	214
ヤゴ類							
クロイトトンボ	4	11	72		9	53	149
コフキトンボ	6	6	3	27	30		72
ギンヤンマ			11	7	8	29	55
シオカラトンボ		1	2	19	3	12	36
オオヤマトンボ			2		1	1	4
ウチワヤンマ			1	1			2
ホンサナエ		1					1
種数合計	2	4	6	4	4	3	7
個体数合計	10	19	91	54	51	95	319
エビ類							
テナガエビ	25	11	2	0	24	28	90

2) タモ網採取法による調査結果

タモ網採取法では、魚類、エビ類、トンボ類ヤゴを採取した(表7)。うち魚類では4科9種214個体を採取した。全体では、採取個体数の多い魚種はヌマチチブ、ギンブナで、それぞれ採取個体数全体の48.1%、30.8%を占

め、ドジョウ、タモロコ、オオクチバスが6.1%、4.7%、4.2%と続き、他の4種(モツゴ、ヨシノボリ、ブルーギル、コイ)は9個体以下であった。毎月のデータを比較した場合、6月から11月では、種数は、5種、6種、5種、6種、4種、5種、個体数は8個体、74個体、34個体、15個体、40個体、43個体を示し、採取種数は4種から6種であったが7月と9月に高く、採取個体数は7月、11月に多かった。エビ類については、テナガエビのみ1種、計90個体を採取し、採取個体数は6月、10月と11月に多かった。トンボ類ヤゴについては、5科7種90個体を採取した。データをプール化したとき、月毎の種数は1種から6種、8月に多くの種類を採取し、月毎の採取個体数は8月と11月に多くの個体を採取した。このうち採取個体数が多い種はクロイトトンボの149個体で全体の47%を占めた。

3-1-3 山中湖における貝類の生息分布調査

1) 7月31日の調査

貝桁網は、底質が砂礫の場合3分間の設定時間どおり曳けたが、泥質の場合はうまく曳けず、途中で中止した。生貝が採集された地点はSt.3,5の2地点で、他地点では採集されなかった。生貝はカワニナ類3個体とタテボシガイ6個体の2種9個体で、その大きさは、カワニナは3cm前後、タテボシガイは5~6cmであった(表8)。タテボシガイは南岸のSt.3のみで、カワニナ類は北岸のSt.5のみで

表8 貝類の採集結果(7月) 単位:g

	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.3②	St.3③	合計	割合(%)
地先	長池	一ノ橋	二ノ橋	京王の浜	ママの森	岬キャンプ場	わかさぎや前	赤芝荘前	東電沖	二ノ橋	二ノ橋		
水深(m)	11.4	4.5	4.8	10.6	3.8	7.3	3.8	5.2	4.8	1.8	3.8		
曳航方向(岸に)	垂直	平行	平行	平行	平行	平行	平行	平行	平行	平行	平行		
離岸距離(m)	240	135	300	160	120	72	40	132	108	132	177		
採集時間(分)	3	3	3	3	3	1	1	2	3	3	7.5		
貝類採集	無	無	有	無	有	有	無	無	無	無	有		
底質	泥	砂礫	砂礫	砂礫	砂礫	泥	泥	泥	砂礫	砂礫	砂礫		
水草の混獲	無	多	少	少	少	多	無	無	無	少	多		
カワニナ生貝					8.6							8.6	1.5
イシガイ生貝			130.2									130.2	22.9
シジミ死貝(殻)			72.4		279.6	6.0					23.0	381.0	67.0
カラスガイ死貝(殻)			7.4		30.1							37.5	6.6
カワニナ類死貝(殻)			3.2		8.3							11.5	2.0
合計			213.2		326.6	6.0					23.0	568.8	100.0
コケムシ類			○										

表9 貝類の採集結果(10月) 単位:g または個体

	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6-1	St.6-2	St.9	St.10	St.11	合計	割合(%)
地先	長池	一ノ橋	二ノ橋	京王の浜	ママの森	岬(南)	岬(南)	東電沖	親水公園	岬(北)		
水深(m)	3.7	6	4.2	11	2	7.3	3.1	10.7	3.8	4.5		
曳航方向(岸に)	平行	平行	平行	平行	平行	平行	平行	平行	平行	平行		
採集時間(分)	3	3	3	3	3	3	1.5	0.5	3	3		
貝類採集	有	有	有	有	有	有	有	有	有	無		
底質	砂礫	砂礫	砂礫	砂礫	砂礫	砂礫	砂礫	砂礫	砂礫	砂礫		
水草の混獲	多	多	多	少	多	少	少	無	多	少		
カワニナ生貝					12.6						12.6	0.9
イシガイ生貝	1.2										1.2	0.1
カラスガイ生貝	418.9							513.8			932.7	66.5
シジミ死貝(殻)	3.4	128.8	0.8	29.5	2.0	3.6			127.2		295.3	21.0
カラスガイ死貝(殻)			2.9								2.9	0.2
ドブガイ死貝(殻)	95.2	23.2		26.2		8.9	4.2				157.7	11.2
カワニナ類死貝(殻)				1.2							1.2	0.1
合計	518.7	152.0	3.7	56.9	14.6	12.5	4.2	513.8	127.2	0	1,403.6	100.0
テナガエビ	1				1						2	
ヌマチチブ					4						4	
淡水カイメン		○	○									
コケムシ類						1			2		3	

※貝類以外は個体数を示す。○印は有無を示す。

表10 貝類の採集結果 (11月) 単位: g または個体

	St. 1	St. 1	St. 2	St. 2	St. 3	St. 3	St. 4	St. 4	St. 5	St. 5	St. 6	St. 6	St. 7
地先名	長池	長池	一ノ橋	一ノ橋	二ノ橋	二ノ橋	京王の浜	京王の浜	ママの森	ママの森	岬 (南)	岬 (南)	わかさぎや前
採集水深 (m)	2	6	2	5	2	5	2	5.7	2.5	6	2	6.7	2
底質	細砂	細砂	細砂	中礫	細礫	中礫	細砂	中礫	中礫	粗礫	中礫	中礫	シルト
水草の混獲	有	無	無	有	無	無	無	無	有	無	無	無	無
タイワンシジミ生貝													0.1
モノアラガイ生貝													
シジミ死貝 (殻)				2.5		2.3			0.3		0.3	5.5	
カワナナ類死貝 (殻)								0.5				0.1	
合計	0	0	0	2.5	0	2.3	0	0.5	0.3	0	0.3	5.7	0
ヒラマキガイ生貝													
二枚貝仔貝						1個							

	St. 7	St. 8	St. 8	St. 9	St. 9	St. 10	St. 10	St. 11	St. 11	St. 12	St. 13	St. 13	合計	割合 (%)
わかさぎや前	4	2	5	2	5	2	5.2	2	5	わかさぎや東	2	1.5	0.1	0.4
シルト	有	無	無	有	無	無	有	無	無	無	有	無	0.1	0.4
			1.1				4.2						16.2	63.0
			1.0		1.4		0.1			3.0	3.2		9.3	36.2
0	0	2.1	0	1.4	0	4.4	0	0	3.0	3.2	0	25.7	100.0	
	1個							2個					3個体	
													1個体	

表11 採捕した生物 (9/8, 10)

種名	沖側 (区域外)	中央 (区域内)	岸側 (区域外)	合計 (尾)
タモロコ	26	56	40	122
コイ	3	1	1	5
モツゴ			1	1
ヌマチチブ			1	1
テナガエビ	3	2	1	6
合計	32	59	44	135
比率 (%)	23.7	43.7	32.6	100.0

表12 採捕した生物 (10/19, 20)

漁具	沖側 (区域外)	中央 (区域外)	岸側 (区域外)	棧橋下 (区域外)	合計
タモロコ			1		1
モツゴ			2		2
ヌマチチブ				1	1
ブルーギル		1			1
テナガエビ	1				1
合計	1	1	3	1	6

採集された。生貝・死貝を合わせた湿重量では、セタシジミ死貝が67%と最も多かった。

2) 10月28日の調査

生貝が採集された地点はSt. 1, 5, 9の3地点で、他地点では採集されなかった。生貝はタテボシガイ1個体、カワナナ類6個体、カラスガイ2個体の3種9個体で、その大きさは、タテボシガイは1.8cm、カワナナ類は2~3.6cm、カラスガイは16~19cmであった (表9)。タテボシガイはSt. 1のみで、カワナナ類はSt. 5のみで、カラスガイはSt. 1, 9で採集された。生貝・死貝を合わせた湿重量では、カラスガイ生貝が67%と最も多かった。

3) 11月4日の調査

5mm以上の大型サンプルでは、生貝が採集された地点はSt. 6, 10の2地点で、他地点では採集されなかった。生貝はタイワンシジミ1個体とモノアラガイ1個体の計2種2個

体であった (表10)。その大きさはタイワンシジミ9.6mm、モノアラガイ3.8mmであった。タイワンシジミは北岸のSt. 6で、モノアラガイは北岸のSt. 10で採集された。生貝・死貝を合わせた湿重量では、セタシジミ死貝が63%と最も多かった。5mm以下の小型サンプルでは、ワンド内のSt. 8, 11でヒラマキガイ、南岸のSt. 3で二枚貝仔貝 (種不明) が採集された。

4) その他の貝類

平野ワンド (St. 7) において貝採りジョレンでタテボシガイ、マルタニシ、ドブガイが採集された。採集は行わなかったが、ワンド内奥部の湖岸にはヒメタニシが広く分布していた。

3-1-4 水草造成帯内外における生息生物調査

1) 1回目採捕

9月8, 10日の採捕種は、タモロコ、コイ、モツゴ、ヌマチチブとテナガエビの計5種135尾であった (表11)。優占種はいずれの区域でもタモロコであった。沖側で採捕されたタモロコは、区域内や岸側の個体より有意に大きかった。

2) 2回目採捕

10月19, 20日の採捕種は、タモロコ、モツゴ、ヌマチチブ、ブルーギルとテナガエビの計5種6尾であった (表12)。優占種は採捕尾数が少なく判断できなかった。入網した漁具はビンドウのみで、カゴ、エビカゴには入らなかった。前回の採捕以降降水量が多かったため、水位が60cm以上上昇し、陸上の面積が著しく減少していた。

3-1-5 山中湖平野ワンド湖岸の漂着水草調査

50m区間の湖岸に打ち上げられた水草の年間総湿重量は118kgであった。種類はホザキノフサモ、セキシウモ、ホソバミズヒキモ、オオササエビモ、クロモ、センニン

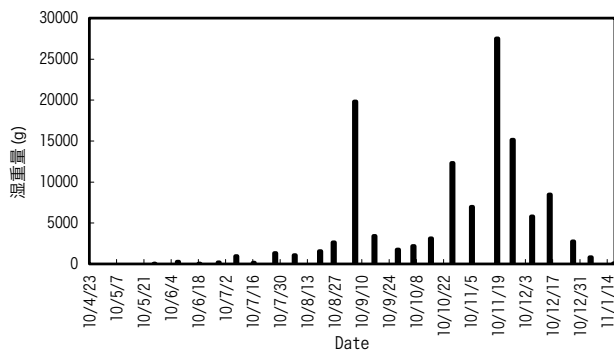


図13 漂着水草の重量の経日変化



図14 セキショウモ優占(11/18)

表13 漂着水草調査結果

調査日	4月23日	5月6日	5月15日	5月26日	6月7日	6月18日	6月28日	7月7日	7月16日	7月27日
天候	小雨	晴れ	晴れ	曇り	晴れ	曇り	晴れ	雨	晴れ	曇り
水温(°C)	10.4	19.8	15.3	18.8	21.3	23.2	25.6	25.0	23.8	29.5
ホザキノフサモ	1.6	0.15	3.2	4.4	167.0	20.1	164.9	653.9	132.3	800.4
セキショウモ			0.2	0.55	47.9	0.14	17.0	89.3	3.0	97.8
ホソバミズヒキモ							4.5	64.6	0.9	289.9
クロモ							0.8	25.8	0.5	22.7
オオササエビモ								92.2		45.4
センニンモ										
コオニビシ				8.5	39.3		7.2	15.3	1.1	40.4
合計	1.6	0.15	3.4	13.45	254.2	20.24	194.4	941.1	137.8	1,296.6
セキショウモ根割合(%)			100	100	100	100	64.1	100	100	31.8

8月6日	8月19日	8月26日	9月6日	9月16日	9月28日	10月6日	10月15日	10月26日	11月5日
晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	雨	曇り	晴れ	曇り	曇り	曇り
29.5	27.2	28.7	29.1	24.0	20.4	20.5	19.8	17.3	15.6
815.2	1,286.6	1,964.8	15,770.0	2,066.5	1,385.3	1,622.5	1,839.8	5,416.0	3,065.3
95.8	110.5	318.4	1,344.0	1,177.0	296.0	423.0	1,129.8	2,166.5	310.5
106	74.3	268.7	2,209.0	32.0	47.5	43.8	35.8	4,548.5	0.3
8.4	9.9	27.7	135.5	47.3	5.3	47.8	53.3	142.5	3,540.5
19.5	29.2	16.9	288.0	29.3	8.0	28.3	39.8	0.5	48.5
		8.3	30.5				10.5	32.0	1.8
7.3	38.5	16.5	42.5	60.8	0.3				
1,052.2	1,549.0	2,621.3	19,819.5	3,412.9	1,742.3	2,165.3	3,108.8	12,306.0	6,966.8
38.0	15.3	12.5	4.0	1.6	1.4	1.3	0.0	0.6	5.7

11月18日	11月26日	12月6日	12月15日	12月27日	1月5日	1月17日	合計	出現頻度
曇り	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ		
11.3	11.3	10	9.2	6.6	4.3	3.2		
8,910.0	4,355.0	3511.8	4,793.5	2,677.0	664.0	49.5	62,140.6	52.6
18,530.0	10,777.0	2265.3	3,634.0	55.0	124.4	1	43,014.1	36.4
							7,725.7	6.5
47.0	1.0		20.5				4,136.4	3.5
	21.0	4.8	6.8			3.5	681.6	0.6
5.0		1.5	1.5	11.3	10.2		112.6	0.1
		4.8					282.5	0.2
27,492.0	15,154.0	5,788.2	8,456.3	2,743.3	798.6	54.0	118,093.2	100.0
0.5	1.2	0.4	1.2	0.0	0.0	0.0		

モ, コオニビシの7種で, 優占種はホザキノフサモ(52%), 次いでセキショウモ(36%)であった(表13)。吉澤らはワンド内の水草調査で8種の生息を確認しているが, 本調査の7種とは一致していた。打ち上げ量は年間を通して11月18日が最も多かった(図13, 14)。

3-2 生物利用浄化法研究

3-2-1 山中湖での沈水植物植栽実験

沈水植物の植栽は, 2010年5月21日から9月6日までの間で8回に分けて行い, セキショウモを399株, クロモを83

株植えた。9月中旬には, 水面からの目視及び水中カメラの映像から, 植栽水域内でセキショウモのパッチ状の群落をいくつか確認することができた(図15), クロモについては視認することができなかった。

植栽による水質浄化効果を測定するために, 植栽水域外に水深の異なる2地点(St.1, St.2)を, 水域内に1地点(St.3)を設定し, 透明度や栄養塩類の測定を行なった(図16)。

透明度の測定結果を表14に示したが, 7月16日のSt.1を除き, 全て湖底まで透明度板が見える全透の状態にな

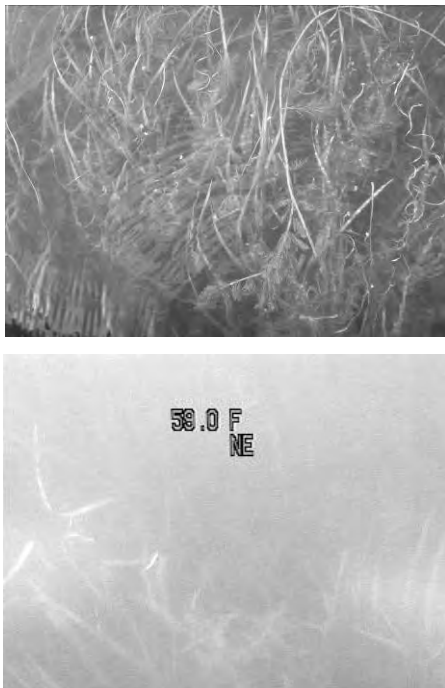


図15 植栽水域内沈水植物群落
(上：湖水面, 下：湖底面)

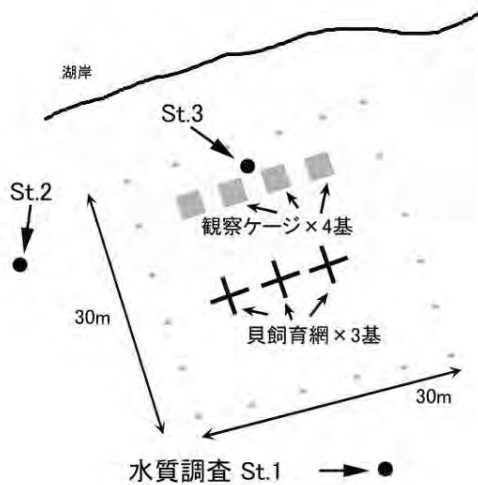


図16 植栽水域での水質調査地点図
(植栽水域外：St. 1, 2 植栽水域内St. 3)

表14 植栽実験水域内外での透明度測定結果 単位：m

	H22.6.22	H22.7.6	H22.7.16	H22.9.30	H22.12.17	H23.1.6
St. 1	2.3(全透)	2.3(全透)	1.8	3.1(全透)	3.0(全透)	3.5(全透)
St. 2	1.1(全透)	1.0(全透)	1.5(全透)	2.2(全透)	1.5(全透)	1.7(全透)
St. 3	1.3(全透)	1.2(全透)	1.4(全透)	2.3(全透)	1.8(全透)	1.7(全透)

り、測定地点差の比較ができなかった。

また同時に全窒素、全りん濃度と、CODを測定した。その結果を図17～19に示した。これらの図から各測定値に地点間の差は認められず、水質浄化効果を確認することはできなかった。

3-2-2 二枚貝の飼育による水質浄化実験

水槽実験：低水温条件下（10℃）での結果から、河口湖タテボシガイが水質浄化に最も有効であることがわかった。しかし、湖水の懸濁粒子の粒径の分布や二枚貝の外套膜、鰓の構造の違いから、実際に山中湖に移入する際は数種の二枚貝を用いた方がよいと考える。山中湖では水深1～3mにおいて年間を通して粒径4μm以下の懸濁粒子が大多数を占めており、本研究で使用したカオリンの粒径は湖水の懸濁粒子の粒径を反映していた。カオリンの代わりにクロレラを用いた場合、湿重量当たりの浄化効率、ヨコハマシジラガイ、河口湖タテボシガイが高かった。

二枚貝類の同定：山中湖、河口湖の小型二枚貝はイシガイに近縁だが独立した単系統群を形成した。山中湖の

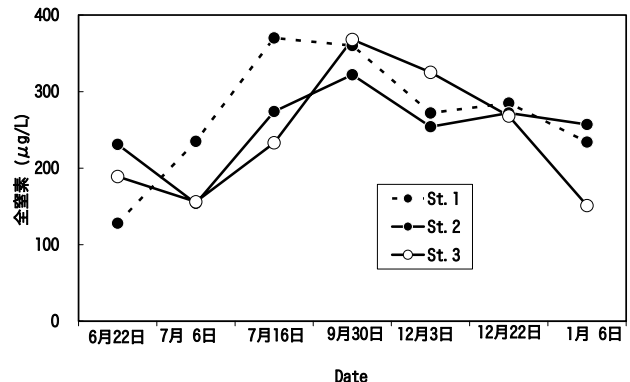


図17 植栽水域内外での水質測定結果（全窒素）

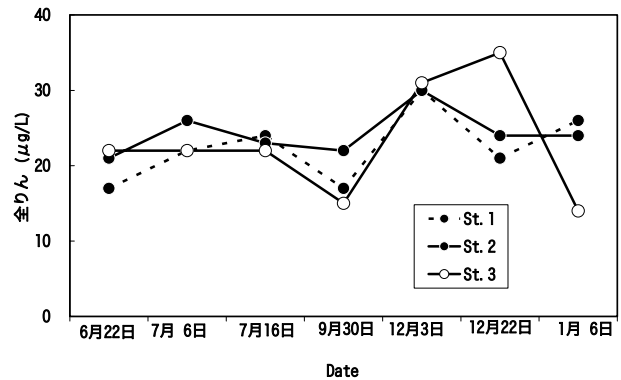


図18 植栽水域内外での水質測定結果（全りん）

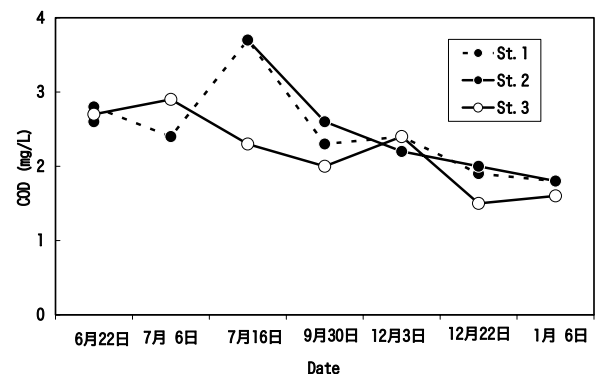


図19 植栽水域内外での水質測定結果（COD）



図20 二枚貝飼育用メッシュ

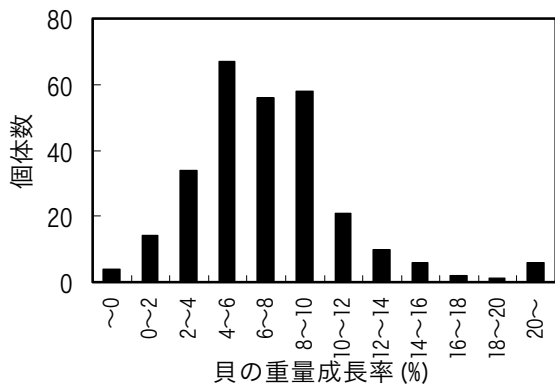


図21 飼育実験での貝の重量成長率のヒストグラム

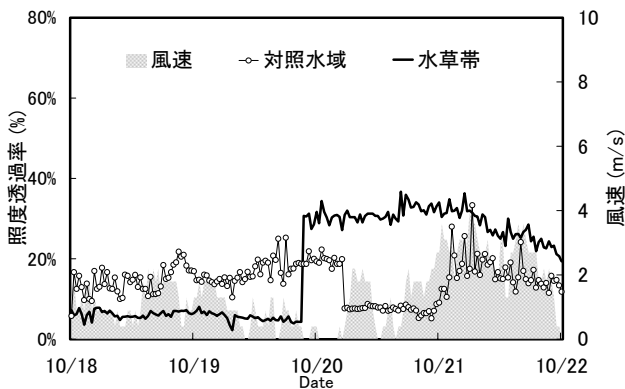


図22 水草繁茂期の照度透過率

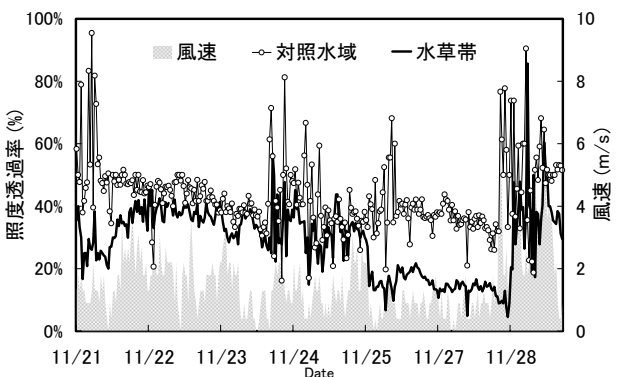


図23 水草衰退期の照度透過率

大型二枚貝はカラスガイであることがわかった。山中湖に試験的に二枚貝を移入した際にみられた、タテボシガイと形態学的に異なる二枚貝は、トンガリササノハガイと近縁な単系統群を形成した。

一方、山中湖での飼育実験は2010年5月10日から2011年3月10日の10ヶ月間行なった。図20に示したとおり、十字型に組んだメッシュポケットの中にタテボシガイ402個体を数個体ずつ入れ、浮ブイに垂直懸架して飼育を行なった。

実験期間中のタテボシガイの生存率は約70%であり、そのほとんどで重量増加が認められた。重量の増加率を図21に示したが、4~10%の成長率を示した貝が多かった。

3-2-3 植栽水域での巻上げ抑制による水質浄化評価

ロガーへの付着物による影響を避けるため、設置後1週間の照度データのみ用いるとともに、太陽光の入射角度が低くなる朝夕のデータを除外し、9時から16時までの数値を比較に用いた。水草の繁茂期と衰退期の水草帯と外部（対照水域と表記）のそれぞれの透過率を風速とともに図22、23に示した。

繁茂期では水草帯の透過率が対照水域より高かったが、前半（10/18~10/20）では水草帯の透過率が非常に低かった。これは繁茂する水草により光が遮られたものと考えられた。今後ロガーの周囲のみ水草を刈り取るか、メッシュ等で囲うなどして水草の影響を排除できれば、安定したデータ収集が可能と考えられ、水質（透明度）の比較に用いることができると思われた。一方、水草衰退期では両測定点での差が見られず、外部の透過率が高い期間もあった（11/25~11/28）。ただし風速が高くなると透過率の振幅が大きくなった。これは底泥の巻上げなどによる攪乱も考えられたが、特に上部ロガー面の角度が風波により乱れた影響が大きかったとも考えられ、懸垂錘の重量を増すなどして、測定面の安定性を改良する必要があった。

3-2-4 沈水植物の刈取りによる水質浄化効果の検証

1) 沈水植物体に含まれる窒素、りん含有率の測定

セキショウモ及びクロモの含水率は、それぞれ96%、93%であった。

a) 窒素含有率の測定

セキショウモを1.8mg-dry, 5.4mg-dry, クロモは3.0mg-dry, 6.0mg-dryを分析に供した。その結果セキショウモについては窒素含有率が3.1~3.8%, クロモについては3.3~3.4%となった。大阪大学の資料によれば沈水植物のフサモで4.8%, コカナダモで4.4%となっており、それらよりはやや低い値であったが、抽水植物のセリや浮葉植物のホテイアオイでは3.3%とされており、本測定値を用いても問題ないと思われた。

b) りん含有率の測定

セキショウモを201mg-dry, クロモは151mg-dryを分析

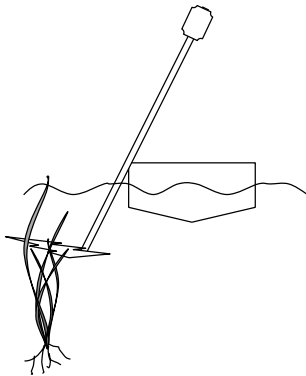


図24 沈水植物刈取り方法

に供した。その結果セキショウモについてはりん含有率が1.0～1.1%、クロモについては1.2%となった。大阪大学の資料によれば沈水植物のフサモで2.0%、コカナダモで1.1%となっており、概ね一致すると思われた。

2) 沈水植物の刈取り方法に関する検討

2010年11月9日に実験水域で刈取り試験を行なった。すでに沈水植物の繁茂期は終了していたため、抽水植物であるヨシを刈取り対象とした。船の側面から水面下にバリカンを入れて刈取ったが、問題なく作業を行なうことができ、刈取った葉はタモ網などですくい取ることで回収すれば、実際に使用できると考えられた(図24)。

3) 沈水植物の刈取量の推定と窒素、リン除去量の推定

エクマンバージ採泥器を用いた定量的な沈水植物の採取を2010年11月9日に行った。10回採取した結果を表15に示した。湿重量の割合では、実験水域に自生したホザキノフサモが50%以上を占め、ついでセキショウモが30%程度となっていた。採取面積と植栽水域の面積比から、水域内の沈水植物量を求めると、850kg程度と推定された。

田中からは沈水植物の刈取り法として、草体の50% (根元から50%を残す)、および90%での刈取りによる植物体への影響を検討している。その中では50%を刈取っても、その後の成長に支障がないと報告している。

仮に50%の長さで刈取りを行なった場合、先に求めた窒素含有率(3.3% dry weight)とりん含有率(1.1% dry weight)を用いると、実験水域内でおよそ0.9kgの窒素と0.3kgのりんを系外に取り出すことができると試算された(表16)。

これとは別に実験水域の内側2地点、外側3地点で各3回ずつ自作アンカーで採取実験を行なったところ、表17に示したとおり、外側では自生種のホザキノフサモのみ採取されたが、実験水域内では湿重量で約10%の割合でセキショウモが採取され、植栽の効果がある程度認められた。

3-2-5 セキショウモの栽培に及ぼすコイの影響

期間中の水温は11.6～19.3℃(平均13.1)であった。水質測定結果によると、コイを収容した水槽(2区、3区)では、直後から粒子の細かい黒土の影響により水槽内が濁り、透視度は4～8cmと著しく低下した。一方、収容しなかった1区、4区は30cm以上と高く透明であった。全体的には、飼育期間が10日間と短く、コイも無給餌であったため、透視度以外の水質項目に大きな違いはなかった。

セキショウモの活着率は1,4区100%、2区0%、3区62.5%と、コイを収容しない区の方が高かった。小型コイを収容した2区では8株中6株が浮上し、2株が不明であった(表18)。浮上した5株は葉の先端が捕食された様相を呈していた。大型コイを収容した3区では浮上はなかったが、取り上げ時には3株が不明であり、葉も収容時の半分

表15 エクマンバージ採泥器による水草採取結果

沈水植物	湿重量(g)	乾重量(g)	現存割合(湿重量%)
ホザキノフサモ	116	7.9	54
セキショウモ	62.2	4.3	29
クロモ	3.8	0.27	1.8
エビモ	29.3	1.8	14
ホンバミズヒキモ	2.4	0.28	1.1

表16 実験水域内水草推定現存量と窒素・りん量

実験水域内の推定現存量(kg)	50%刈取り時の乾重量(kg)	窒素除去量(kg)	りん除去量(kg)
460	15.7	0.52	0.17
250	8.6	0.29	0.10
15	0.5	0.02	0.01
120	3.7	0.12	0.04
10	0.6	0.02	0.01

表17 実験水域内外の水草掻き取り量

採取地点		ホザキノフサモ(g)	セキショウモ(g)
実験水域外	St. 1	460	-
	St. 2	180	-
	St. 3	760	-
実験水域内	St. 1	1100	110
	St. 2	1000	99

表18 セキショウモの浮上数

調査日	経過日数	1区	2区	3区	4区
6月1日	1		1		
6月4日	4		1		
6月7日	7		4		
合計		0	6	0	0
取上数		8	0	5	8
不明数		0	2	3	0
活着率(%)		100	0	62.5	100

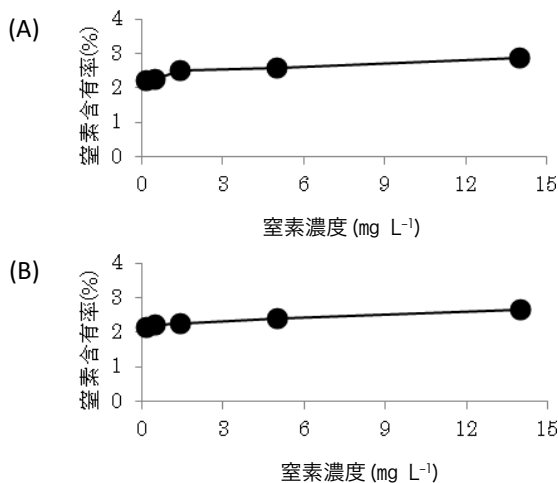


図25-a 全窒素濃度含有量の関係
(A) : ヨシ (B) : マコモ

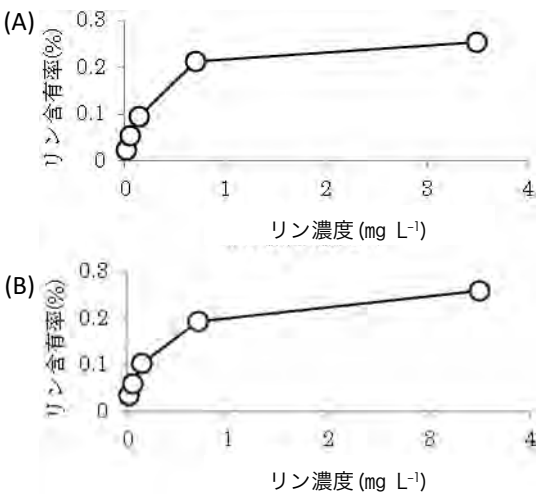


図25-b 全りん濃度含有量の関係
(A) : ヨシ (B) : マコモ

の大きさとなっていた。浮上は毎日確認したため、両区の不明株はいずれもコイの捕食によるものであり、浮上率の差から小型コイの方がより多く捕食したものと考えられた。1,4区のセキショウモは収容時より明らかに成長しており、両区の大きさには有意差がなかった。付着基材とした焼成土は、活着率や成長からみてセキショウモの培養に有効であることが判明した。

最終日のコイの生残率は各区とも100%であった。コイは無給餌のため両区とも平均体重はやや減少したが、平均肥満度は有意に低下していた。最終日のコイの消化管内容物は2区、4区とも空で、セキショウモは直接確認できなかった。

3-2-6 植生浄化モデルの構築

1) 植物体中栄養塩含有量と栽培液中濃度との関係

人工気象器内で栽培した際に得られたヨシとマコモ植物体の窒素及びリン含有量(乾燥重量比)と栽培水中の濃度との関係を図25-a・bに示した。いずれの植物においても栄養塩含有量は、栽培液中の栄養塩濃度に依存し、

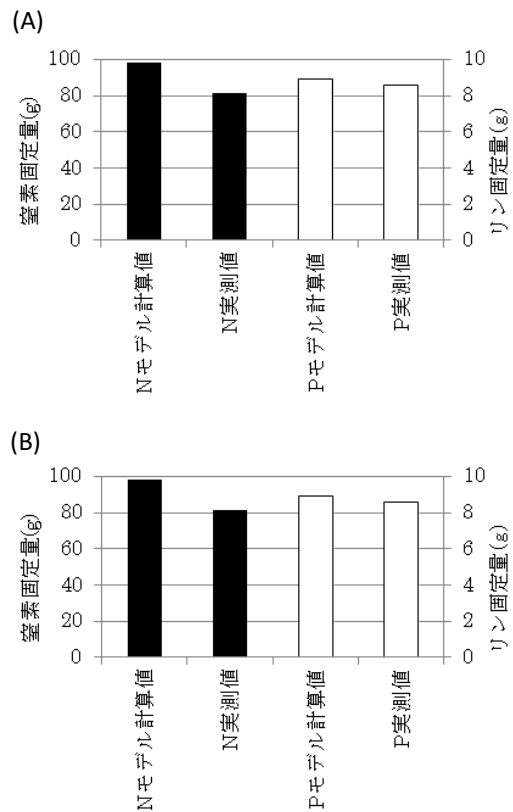


図26 野外池における栄養塩固定量モデル計算値と実測値の比較 (A) : ヨシ, (B) : マコモ

特にリン含有量は栽培液濃度により大きく変化していた。これより、両者の間にMichaelis-Menten型の関係を見だし、Lineweaver-Burkプロットによりヨシの窒素最大含有率2.65%、半飽和定数0.118 mg-N/L、リン最大含有率0.18%、半飽和定数0.094 mg-P/Lを、またマコモの窒素最大含有率2.41%、半飽和定数は0.020 mg-N/L、リン最大含有率0.16%、半飽和定数0.056 mg-P/Lを得た。

2) 栄養塩吸収モデルを用いた浄化作用の予測

栄養塩吸収モデルの有効性を検討するため、野外池に設置した植栽基盤ユニットにて経年栽培しているヨシとマコモに固定される窒素とリン量をモデルにより計算し実測値と比較した。この植栽基盤は基盤(0.51 m²)にヤシマットを用いており、4月頃発芽し10月には地上部の刈り

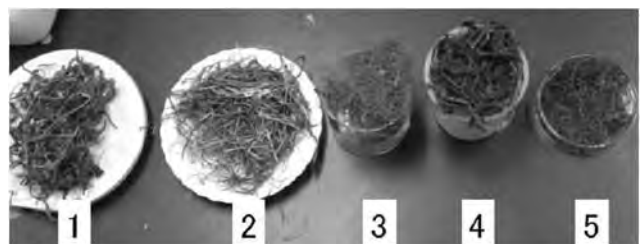


図27 堆肥化実験乾燥試料
1: オオササエビモ, 2: セキショウモ,
3: ホソバミズヒキモ, 4: ホザキノフサモ,
5: クロモ

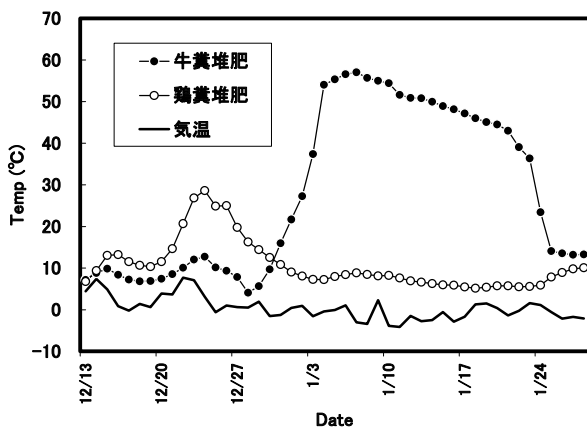


図28 水草堆肥の熟成過程

表19 水草試料の灰分含有量 (乾燥重量比%)

試料	灰分(%)
オオササエビモ	22.7
セキショウモ	8.7
ホソバミズヒキモ	9.4
ホザキノフサモ	23.0
クロモ	18.0

取りを行っている。モデル計算に用いる温度と光のデータは気象庁より公表されている日ごとの値を、水質データは実測値を用いた。本モデルでは、日ごとの生育並びに栄養塩固定量を計算し、これを日ごとに積算していくことで栽培期間中の総量を予測している。2010年4月～10月の計算値と実測値の比較を図26に示した。窒素固定量は実測値よりも17-19%程度過大な値を示したが、リン固定量はほぼ実測値に近い値を示しており、概ね本手法により野外環境で生育する抽水性の水生植物のバイオマス生産に伴う栄養塩固定量を予測できることが分かった。

3-3 バイオマスの有効利用方法の検討

3-3-1 バイオマスの有効利用方法の検討

昨年度は山中湖村クリーンセンターの排熱を利用したバイオマスの乾燥処理法について検討したが、今年度は水草バイオマスの堆肥化を試みた。すなわち、乾重量測定のために採取された水草試料を用いて実験を行った(図27)。

それぞれの水草乾燥試料について、まずその有機物含有量を調べるために、灰分量を測定した。試料を量りつつ後、マッフル炉にて500°C、20分間の処理を行い、有機物を完全に除去した。処理後の試料重量を測定し、灰分量とした(表19)。灰分含有量比は種によって異なり、8.7%から23%までの値をとった。いずれも有機物がかなり含まれていることが示されたが、このほとんどは多糖類等の糖質であることが考えられる。

次に、乾燥水草試料の堆肥化を試みた。水草単体では

発酵資材として有機物量が不十分であることから、北杜市の株式会社白州郷牧場において、鶏糞および牛糞の堆肥製造時に試料を加え、堆肥化の状態を調査した。その結果、水草バイオマスを加えても畜糞の堆肥化は順調に進行し、熟成した堆肥が作れることがわかった(図28)。水草バイオマス、あるいはさらに二枚貝バイオマスをどの程度まで負荷することができるか等については、今後の調査が必要である。

4. 考察

4-1 湖内調査

4-1-1 水草・大型藻類とその生育環境の周年変化

本年度の調査では、これまでに山中湖では未確認であったコケ植物門のイチョウウキゴケ(浮遊植物)、緑藻植物門のツルギミドロとヒビミドロ属の一種を確認することができた(表4)。本プロジェクトにより調査を開始した2007年7月から2011年1月までに確認された水草・大型藻類は、沈水植物が12種(クロモ、ホザキノフサモ、セキショウモ、ホソバミズヒキモ、センニンモなど)、浮遊植物が2種(コウキクサ、イチョウウキゴケ)、浮葉植物が2種(ヒルムシロ、コオニビシ)、抽水植物が1種(ヘラオモダカ)、大型藻が13種の計30種となった。水草・大型藻類の現存量は2009年には2008年に比べ増加しており、水草については2010年にもさらに増加したが、大型藻では2010年には減少していた(図9)。琵琶湖南湖などでは水位の低下後に水草の現存量が増大することが報告されており、山中湖の水位が2008年に比べ2009年には低下したため(図12)、光量増大などの影響で2009年には水草・大型藻類の現存量が増加したものと考えられる。また、大型藻の中で2008～2009年に現存量が大きかったアオミドロ属の一種は山中湖では水草帯よりも深い場所に多く生育しているため、2010年の水位上昇による光量不足で生育量が少なくなったものと推察される。2010年には突如としてクロモの現存量が2008年や2009年に比べ顕著に増加し、ホザキノフサモに代わって最優占種となったが、一般にクロモやコカナダモなどの多年生種では1年目に地下茎に養分を蓄えて2年目以降に大きく伸張生長することが知られている。クロモのような多年生種が水位低下のあった2009年に養分を蓄えたことで、2010年にも水草の現存量増加が生じたのかもしれない。

また、2010年は2009年に比べ水温も高かったことが本研究により明らかになった(図11、表5)が、発芽期や成長期の水生植物に水位上昇や水温上昇がどのように影響したのかは大変興味深い。今後、培養による生長実験により、光量や光質、温度の違いによる水生植物種それぞれの生長の違いなどを比較する必要がある。平野ワンドでは今回の濁度測定により濁度が周年高いことが明ら

かとなり (図10), 昨年度の調査から光量の減衰率が大きいことが分かっている。しかし平野ワンドは水深が浅いため湖底まで光量が到達していたのか, 水草の現存量は2008年, 2009年と3区域の中で最大であった。ところが2010年には南岸や北岸に比べ調査期間中の総現存量は大きく減少し, 3区域の中で最低となった。これは水位の上昇により光量が不足したために平野ワンドで卓越して生育していたホザキノフサモやアオミドロ属の一種の生育量が低下したためであろう。このように水生植物の生物量は水位に大きく影響されるので, もし水位のコントロールが可能となれば, 山中湖全体での水生植物の生物量管理も可能となり, そのバイオマスを有効利用する水質浄化の近道となり得るかもしれない。

4-1-2 トラップ及びタモ網採取法による水生生物調査

昨年度は湖面水位の下降のため湖岸にヨシの根周り部分がない状況があり, 本年度は一転し湖面水位の上昇のため湖岸にヨシの根周り部分が冠水した状況下でのサンプリングであったが, 昨年度までの調査結果と比較すると, 魚類では採取総種数は一昨年度の9種, 昨年度の7種から本年度の9種と推移し大きな変動はなく, 採取総個体数はトラップ採取法では一昨年度の108個体, 昨年度の850個体から本年度の147個体となり, 濁水状況の昨年度において5倍から8倍程度多く採取されたが, タモ網採取法では, 1名当たりの捕獲数として, 一昨年度の76個体, 昨年度の69個体から本年度の71個体に推移し, 大差はなかった。

エビ類では, 1名当たり捕獲数は, 一昨年度の37個体, 昨年度の45個体から本年度の30個体となり, 濁水状況の昨年度に若干多く採取された。ヤゴ類では, 採取総種数は一昨年度の5種, 昨年度の9種から本年度の7種となり, 1名当たりでの捕獲数は一昨年度の17個体, 昨年度の70個体から本年度の106個体に増加した。

トラップ採取法において, 調査区1では一昨年度に魚類をまったく採取できなかったが, 昨年度には7月に近辺の水表面に植栽構造体, 水中に貝類飼育構造体の設置を行ったためか, 8月以降に総計で148個体 (タモロコ135個体, モツゴ6個体, オイカワ2個体) を採取したが, 本年度は昨年度と同様に8月以降に総計で23個体 (タモロコ22個体, ヌマチチブ1個体) を採取した。調査区1でのこのような採取は8月以降にのみであることから, これらの人工構造体の設置が魚類の生息を恒常的にもたらしめているとはいえないが, 魚類の生息を季節的に高める効果があることを示唆させた。

4-1-3 山中湖における貝類の生息分布調査

セタシジミは過去に琵琶湖から移植されたもので, 地元漁協が不定期に放流を繰り返した結果, その後自然繁殖していたものである。本種は, 高橋らは1998年の貝桁網による採集で優占種であった報告している。また, 黒住は2004~2005年の調査で, St. 5のママの森でのみ本種

表20 貝類の生息密度

採集日	採集地点	種類	水深 (m)	生息密度 (g/m ²)	生息密度 (個体/m ²)
7月31日	St. 3	イシガイ	4.8	2.19	0.10
	St. 5	カワニナ類	3.8	0.14	0.05
10月28日	St. 1	イシガイ	3.7	0.02	0.02
	St. 1	カラスガイ	3.7	7.05	0.02
	St. 5	カワニナ類	2.0	0.21	0.10

表21 区域別採捕数

種名	沖側 (区域外)	中央 (区域内)	岸側 (区域外)	合計 (g)	割合 (%)
コイ	3	1	1	5	3.6
モツゴ			3	3	2.1
ヌマチチブ			1	1	0.7
タモロコ	26	56	41	123	87.9
ブルーギル		1		1	0.1
テナガエビ	4	2	1	7	5.0
合計 (g)	33	60	47.0	140	100
割合 (%)	23.6	42.9	33.6	100	

表22 区域別採捕重量

種名	沖側 (区域外)	中央 (区域内)	岸側 (区域外)	合計 (g)	割合 (%)
コイ	112.2	25.9	32.9	171	32.0
モツゴ			8	8	1.5
ヌマチチブ			0.15	0.15	0
タモロコ	86.4	146.2	96.1	328.7	61.6
ブルーギル		0.8		0.8	0.1
テナガエビ	20.1	2.2	2.8	25.1	4.7
合計 (g)	218.7	175.1	140.0	533.8	100
割合 (%)	41.0	32.8	26.2	100.0	

の生貝をわずかに採集している。しかし, 漁協関係者からの聞き取りによると, 2年前 (2008年頃) に主な生息場所であったSt. 2, 3, 5で採集を行ったが, 生貝は確認できなかったという。そして, 今回の調査でも生貝は全く採集されなかったことから, セタシジミは消滅した可能性が考えられた。代わりに外来種のタイワンシジミが1個体確認されているが, 黒住の調査によると2004~2005年の調査時には既に確認されていることから, 今後定着するかを含めてその動向を注目する必要がある。

船の速度 (1m/秒), 採集時間 (3分), 貝桁網の開口 (33cm) から採集面積 (59.6m²) を求め, 大まかな貝類の生息密度を推定すると, 表20のようになった。タテボシガイの生息密度は0.02~0.10個体/m² (0.02~2.19 g/m²), カワニナ類は0.05~0.10個体/m² (0.14~0.21 g/m²), カラスガイは0.02個体/m² (7.05g/m²) であった。琵琶湖では平均的なセタシジミの漁場では1~3個体/m²と報告されている。ちなみに前報から1998年の山中湖の状況を計算すると1.75個体/m²であったので, 当時の山中湖は琵琶湖並の生息密度であったといえる。

一方, 琵琶湖のタテボシガイ (タテボシガイ) の生息密度は0.01~1.14 (平均0.42) 個体/m², 諏訪湖のそれは0.05個体/m²であるので, 現在の山中湖の状況は琵琶湖より少なく, 諏訪湖と同じくらいの密度であることが判明した。前述した1998年の山中湖の場合は0.02~0.10個体/m²と, 現在の状況と大差なかった。

4-1-4 水草造成帯内外における生息生物調査

区域別に9月・10月の採捕魚の合計を表21, 22に示した。採捕数は中央(区域内)が、魚種数は区域外の岸側が多い傾向にあった。優占種はいずれの区域でもタモロコであった。採捕重量ではコイ採捕の影響を受け沖側が最も多く、中央及び岸側はタモロコが、沖側はコイが優占した。水草帯の造成効果については不明瞭であった。

4-1-5 山中湖平野ワンド湖岸の漂着水草調査

季節変化をみると5月上旬までは水草の打ち上げがほとんどなかった。6月7日に小さなピークが見られたものの少なく推移したが、7月上旬以降徐々に増えていった。コイの産卵は、聞き取りによると5月下旬から6月上旬にかけて見られたが、昨年度報告したセキシウモの大量の打ち上げ現象は、今年度は見られなかった。このため、6月7日のピークとの関連については不明であった。9月6日に大量の打ち上げが見られたが、人為的な影響(船による攪拌)によるものと考えられた。ピークの最大は11月18日で、うちセキシウモが2/3近く占めた。ホザキノフサモは周年を通して打ち上げられたが、9月6日が最も多く、次いで11月18日が多かった。ホソバミズヒキモは10月26日、クロモは11月5日、オオササエビモ・センニンモは9月6日、コオニビシは9月16日と、水草の種類によって打ち上げ時期に若干違いが見られた。

打ち上げられたセキシウモのうち、根のある株の重量割合の変化をみると、7月16日までは概ね100%を示し、底床から何らかの理由で抜け出て浮上し、その後岸へ流れ着いたものと思われる。以降漸減し、8月26日以後は10%以下と、むしろ葉の方が多かった。

4-2 生物利用浄化法研究

4-2-1 山中湖での沈水植物の植栽実験

今回の植栽実験では、植栽による透明度や栄養塩類濃度への効果を実測することができなかった。これは図12にも示したとおり、2010年4月以降山中湖の水位が1m以上急上昇し、透明度もそれに伴って上昇したことが一因と考えられた。また目視によるホザキノフサモの自生範囲の観察結果(図29)から明らかなように、植栽水域外にも沈水植物が広範囲で自生したために、実験水域の内外で差が見られなかった可能性があった。

さらに中村によれば、沈水植物が湖沼の透明度向上に効果を表すのは、容積百分率がある閾値を超える必要がある。およそ15~30%に閾値が存在するとされている。本研究の実験水域の平野ワンドに対する容積百分率は1%未満であったため、実験による浄化効果を明確に検証できなかったと考えられた。しかし一方で、自生したホザキノフサモの容積を考慮すると、閾値に達していた可能性があり、そのため透明度が上昇した可能性も考えられた。

またこの閾値を超えるためには、植栽する植物を多量に準備する必要がある。水草を用いた水質浄化を試みる



図29 ホザキノフサモの自生範囲

ためには、植物の供給体制を整える必要があり、コストのかからない栽培等の技術開発が必要と考えられた。

4-2-2 二枚貝の飼育による水質浄化実験

湖内実験でタテボシガイの生存率が70%であったこと、貝類の生息調査ではシジミ(セタシジミ)がほとんど採捕されなかったことから、この水域での水質浄化にはタテボシガイが最適であることが判明した。今後は1個体当たりの懸濁質ろ過能力を精査し、懸濁質除去率を推定していく予定である。

また実験に用いた貝は全て琵琶尾産の天然種であったが、水質浄化に用いる事例が増えれば貝を安定的に供給する必要が生じると思われるので、今後は貝の飼育と増殖に係る技術を開発していく必要がある。

4-2-3 植栽水域での巻上げ抑制による水質浄化評価

本研究の主題である、沈水植物の物理的効果による透明度を指標とした水質浄化効果の定量化を試みた。しかし前述のとおり、透明度が全透の状態が多かったことに加え、透視度も表層から水深1.5mにかけて100を越え、明確な有意差を観測できなかった。

そのため測定値を記憶できるロガー型照度センサーを用いて、多地点同時に連続測定する方法を考えた。この方法は特に水草による巻上げ抑制効果が顕著になると思われる、強風時のデータを採取できるという利点がある。本研究では、ホザキノフサモが多数自生していたため、水草の繁茂期と衰退期での測定値を比較した。両者の間には光の透過率に多少の差が見られ、水草による巻上げ抑制効果が定量化できた可能性もあるが、成長した水草の影響を受けないよう測定システムを改良して、データの蓄積を行なう予定である。

4-2-4 沈水植物の刈取りによる水質浄化効果の検証

水草が重要な肥料原料であった頃は、「モク採り」と称して、個人で沈水植物を掻き取っていた。最近では専用の刈取り船を用いて行なわれており、根から抜き取られてしまうので、本研究の主旨にはそぐわない。本研究では簡易に水草の葉だけを切り取る方法として、大型バリカンを用いて、一定の成果を得た。今後は水草の繁茂期に刈取り作業を行い、方法を確立する予定である。

表23 追加実験結果

項目	収容株		浮上株	
	葉長 (cm)	湿重量 (g)	葉長 (cm)	湿重量 (g)
平均 (cm)	15.61	0.46	3.27	0.14
標準偏差	2.63		1.31	
測定数	9		6	

※ 60cmのガラス水槽にコイ2尾収容。通気・無給餌。



図30 収容したセキショウモ 図31 水槽のコイ

また水草の現存量の推定に定面積から抜き取る方法を用いた。これと並行して超音波ソナーによる調査及び水中カメラの画像による調査も行なったが、十分な時間をかけられなかったため、推定の精度を上げるためにも引き続き調査方法の確立を目指す予定である。

4-2-5 セキショウモの栽培に及ぼすコイの影響

付着基材を用いても捕食が見られたことから、野外でのコイ影響の軽減策を考え、次の水槽実験を追加して行った(表23)。すなわち、水草を付着基材から抜けにくくするために、株の太いものを、株数を増やして付着基材にきつく埋め込んで使うことを試みた(図30)。その結果、セキショウモはコイ収容2日目に2株、3日目に4株浮上し、その後浮上することなく付着基材からなくなった。浮上した株は収容時の大きさと比べ有意に小さかった。直接、捕食する様子は確認できなかったが、水槽内にはちぎれた葉片が多数水中を漂っていたことから、捕食された可能性が示唆された(図31)。しかしながら、今回の狭い水槽実験の結果が開放系の自然界(天然湖沼)でもそのまま生じているかどうかについては多少疑問があるので、今後野外調査でも確認する必要がある。場合によっては木崎湖のホシツリモの保護例にあるように、造成した水域を網で囲うことや、コイの駆除の検討も必要となつてこよう。

4-2-6 植生浄化モデルの構築

昨年度までにウキクサの様な浮遊性の水生植物で本手法の有効性が示されたが、新たに抽水性の植物にも応用が可能なことから、広く水生植物を用いた浄化手法の効果を環境条件を考慮して予め把握することが可能であるといえる。今後、水質浄化への応用が期待される他の植物種についても生育モデル並びに栄養塩含有量推定モデルの各種パラメータを明らかにすることや、ここでは考慮していない根圏部に生息する微生物に由来する硝化や脱窒の効果についても検討することで、植生浄化施設の計画を合理的に行えるものと期待される。

5. 結語

工作物の設置制限など規制が多い自然公園内でも利用可能な、景観や生態系にも負荷の少ない水質浄化方法を提言することを目的に、2009年度から3年間山中湖を実験地として研究を進めてきた。その中で主に次の事項が明らかになった。

- 1) 水生植物調査により2010年には新たに水草1種、大型藻2種が確認され、本プロジェクトによる調査期間(2007年7月～2011年1月)に確認された水生植物は30種(水草17種、大型藻13種)となった。2010年の水生植物の現存量や種数は9月に最大となる季節変化を示し、年間の現存量は2009年には水位低下により増大し、2010年にも水位が上昇したにもかかわらず増加した。
- 2) 底生動物調査では、2009年度から2010年度にかけての大幅な水位変動があつたにもかかわらず、魚類種数、エビ類種数、ヤゴ類種数に大きな変動は見られなかった。また植栽実験による底生動物群への影響については、夏季に抽水植物を植栽した浮島や、二枚貝の飼育網付近で魚類捕獲数が増加し、生息場所を創り出した可能性が認められた。
- 3) 植栽実験水域での沈水植物現存量を推定したところ、自生種であるホザキノフサモが、湿重量で見た場合、植物量の50%を超えていた。このため植栽種であるセキショウモ、クロモのみの水質浄化効果は推定できなかったが、草体の50%を刈取った場合、実験水域では窒素を1.0g/m³、りんは0.3g/m³を系外に取り出すことができるものと試算された。
- 4) 本研究の主題である、沈水植物の物理的効果による透明度を指標とした水質浄化効果の定量化の試みでは、透明度の上昇が観察されたため、ほとんど透明度が全透(底まで見える状態)となり、比較検討することができなかった。この透明度の上昇は
 - ①実験実施年度に水位が急激に上昇した
 - ②沈水植物であるホザキノフサモが平野ワンド内で予想外に広範囲で自生したことによると考えられた。そのためロガー型照度センサーを用いて、多地点同時に水中の光透過率を連続測定する方法を考案した。ホザキノフサモが広範囲に自生したため、植栽実験水域の内外での比較が難しく、沈水植物の繁茂期と衰退期での測定値を比較した。両者の間には光の透過率に多少の差が見られ、水草による巻上げ抑制効果が定量化できた可能性もあった。
- 5) 琵琶湖産のタテボシガイを用いて、ワンド内での貝の飼育実験を10ヶ月行った結果、生存率は約70%であった。またほとんどの個体で重量増加が認められ、重量成長率は4～10%の個体が多かった。尚、移入したタテボシガイについては遺伝子解析を行い、山中湖に生

息しているものと同じ種であることを事前に確認した。

- 6) ロジスチックモデルを用いた植物成長予測式を用いたバイオマス発生量の推定に関しては、栄養塩類濃度と水温などの気象データを用いることにより、抽水植物については満足できる方法を確立することができた。しかし沈水植物については予測精度に問題が残った。

における湖の水質管理に関する総合研究～二枚貝による水質改善とDNA解析～. 第52回魚類自然史研究, 2011, 琵琶湖博物館.

- 4) 吉澤一家, 堀内雅人: 照度ロガーを用いた水草植栽浄化効果の測定, 日本水環境学会第45回大会, 2011, 誌上発表.

謝 辞

調査にあたりご協力を頂いた, 山中湖漁協及びわかさぎ屋, (株)富士急リゾートアメニティの皆様には感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 二村和視: 簡便かつ迅速なサガラメ藻体の窒素含有量の測定, 静岡水試研報, 42, 35~37, 2007
- 2) 日本規格協会: 工場排水試験方法 JIS K0102, 168~170, 2008
- 3) 日本薬学会: 衛生試験法・注解, 169-170, 2005
- 4) 日本規格協会: 工場排水試験方法 JIS K0102, 168~170, 2008
- 5) 田中仁志ら: 沈水植物管理のための実験水槽を用いた刈り取り方法の検討, 日本水処理生物学会誌, 別巻30, 90, 2010
- 6) 中村圭吾: 河川・湖沼の水質浄化, ベース設計資料, 139, 53~56, 2009

原著論文

- 1) 高橋一孝 (2011): セキショウモとコイの関係について平成21年度山梨県水産技術センター事業報告書, 38, 60-72.
- 2) 高橋一孝 (2011): セキショウモとコイの関係について. 日本陸水学会甲信越支部会報, 36, 49-50.
- 3) 吉澤一家 (2011): 照度ロガーを用いた湖沼透視度の連続測定. 山梨県衛生環境研究所年報, 54.

学会発表

- 1) 佐藤裕一, 芹澤如比古, 芹澤 (松山) 和世: 富士北麓, 山中湖における水草・大型藻類の種組成と現存量-2008~2010-. 日本藻類学会第35回大会, 富山, 2011.
- 2) 渡邊広樹, 芹澤如比古, 芹澤 (松山) 和世: 富士北麓, 西湖における水生植物とその環境の既往資料解析. 日本藻類学会第35回大会, 富山, 2011.
- 3) 中沢公士, 三森勇太, 吉澤一家, 宮崎淳一: 自然公園

化合物半導体多層太陽電池の開発

**Development of Compound Semiconductor
Multilayer Solar Battery**

化合物半導体多層太陽電池の開発 (第2報)

吉村千秋¹, 古屋雅章¹, 阿部治¹, 早川亮², 加藤孝正³

(¹山梨県富士工業技術センター, ²山梨県工業技術センター, ³山梨大学)

要約 安価な装置構成, 大面積化および積層化が期待できる質量分析法の1つであるエレクトロスプレーデポジション(以下ESD法)を適用し, 光吸収層, 窓層の成膜条件の最適化, 及び太陽電池セルの試作を行った. 光吸収層(CuInS₂)成膜装置を改良することにより, XRD評価から前年度よりも良好な結晶性を得られ, ホール測定を行った結果から光吸収層はp型であることを確認した. また, 太陽電池のセルを試作し, IV特性を測定した結果, スーパーストレート構造において, 微弱ではあるが光起電力を確認することが出来た.

Development of Compound Semiconductor multilayer solar battery (2nd report).

Chiaki YOSHIMURA¹, Masaaki FURUYA¹, Osamu ABE¹, Ryo HAYAKAWA², Takamasa KATOU³ (¹Yamanashi Fuji Industrial Technology Center, ²Yamanashi Industrial Technology Center, ³University of Yamanashi).

Abstract The electro static spray deposition (the following ESD method) that was one of the material analysis methods to be able to expect a low device configuration, making to a large area, and accumulating was applied, and it aimed at the optimization of the condition in the photoabsorption layer and the window layer. By attempting the optimization of photoabsorption layer (CuInS₂) device ESD method apparatus, excellent crystalline is obtained from the XRD profile in the previous year. And it was confirmed that the photoabsorption layer was p type from the result of doing Hall measurement. Moreover, the superstrate solar cells fabricated by ESD method presented photovoltaic characteristics, though the power was slight.

1. 緒言

従来の光起電力シリコン太陽電池は成熟しており, 量産品では15~20%程度の変換効率が得られている. その中で単結晶シリコンは, 結晶を成長させるための制御が難しく高額な結晶成長装置を必要とし, さらにスライスしたシリコン板にレーザなどによる微細加工を要する. それに伴い製造コストが高くなるため, 太陽電池に要求されるバンドギャップを有するIII-V族, II-VI族やI-III-VI族の化合物半導体であるInP, In₂Se₃, GaAs, CdTe, CuInSe₂などの新しい材質による代替技術の研究が進められている.

しかしながらこれらの化合物半導体の薄膜製造方法はMBE法, MOCVD法, CVD法が主流であり製造装置の価格が高く, また, チャンバー内を高真空にする必要があるため大面積化が難しい.

そこで光吸収層の代替材料として

- 1) 比較的低温で薄膜を作成できる.
- 2) 多結晶薄膜太陽電池の中では変換効率が最も高い.
- 3) 長時間の使用に対して安定している.
- 4) 黒色で, 可視光のほとんどの波長領域で吸収でき, 屋根材としての意匠性に優れている.

等¹⁾の特徴を有するCuInS₂に着目し, 安価な装置構成, 大面積化および積層化が期待できる質量分析法の1つであるESD法を適用した薄膜形成技術, および太陽電池セルを検討し, 前報で²⁾, 光吸収層, 窓層共に均一で良好な成膜を得たことを報告した.

本研究では, 光吸収層であるCuInS₂を中心に装置構成, 成膜条件の最適化を図り, 成膜プロセスの開発と, 太陽電

池セルの光起電力の実現を目指した.

2. 実験方法

2-1 ESD法

ESD法³⁾とは, 試料を溶媒に溶かして高電圧をかけたキャピラリに導入・噴霧し耐電液滴を形成させ, さらに溶媒分子を蒸発させることで液滴表面の電荷が表面張力に打ち勝ち液滴が分裂する. これを繰り返すことにより, 最終的に結晶を生成する方法である. 図1にESD法の概要図を示す.

2-2 太陽電池の構造

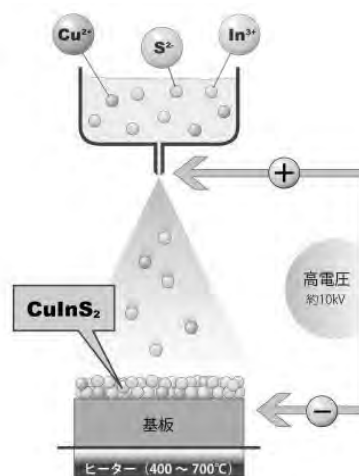


図1 ESD法の概要図



図2 サブストレート構造



図3 スーパーストレート構造

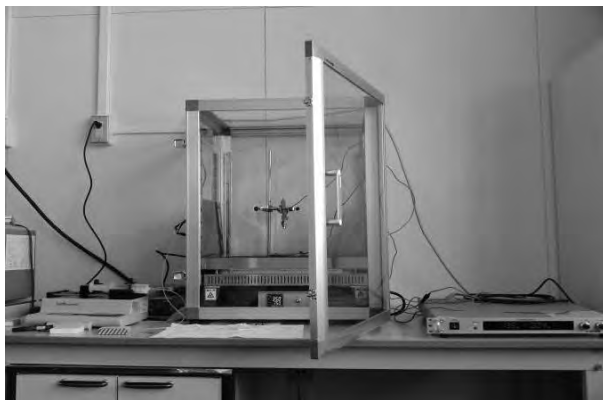


図4 CIS成膜装置

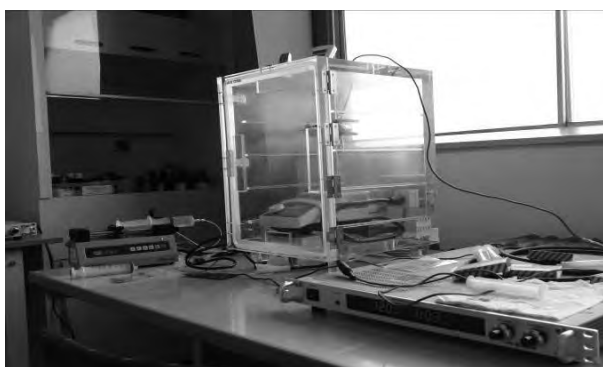


図5 ZnO成膜装置

本研究では、図2に示すとおりコーニング社製スライドガラス（コーニング#1737）表面にイオンプレーティング法によりモリブデン（Mo）をコーティングし、その上に光吸収層としてCuInS₂（以下CIS）を成膜、窓層にZnOを成膜させたサブストレート構造と、図3に示す透明導電膜（酸化インジウム錫以下ITO）基板の上にZnO層、CIS層を成膜させたスーパーストレート構造の2種類の太陽電池セルを検討した。

2-3 実験方法

CIS層については塩化インジウム（III）InCl₃と塩化銅（II）二水和物CuCl₂・2H₂O、チオ尿素（NH₂）₂CSを、ZnO膜については塩化亜鉛ZnCl₂を溶媒（純水8：エタノール2）で溶解し、マグネチックスターラで攪拌し溶液を作成した。成膜は一定量の溶液をシリンジポンプでノズルに供給し、高電圧をかけることにより噴射しスプレーを行った。また、基板をホットプレートにより一定温度に保ち薄膜を形成した。図4にCIS用、図5にZnO用の成膜装置を示す。シリンジポンプはCIS成膜装置ではHARVARD社製インフュージョンポンプ（model 11）、ZnO成膜装置ではBAS MICRODIALYSYS社製KDSscientific（IC3200）を、ホットプレートは、CIS成膜装置ではコーニング社製PC-400D、ZnO成膜装置ではFisher Scientific社製Isotemp Hot-platesを、高電圧用電源は松定プレジジョン社製HAR-30P1を使用した。

3. 結果および考察

3-1 CIS層の最適化

成膜速度の向上のためにCIS成膜用溶液の濃度を高くすると、沈殿物が生成する問題があったため、この問題を解決するため図6に示すように溶液をCu、InとS₂に分け、スプレーノズルの直前で混合する方式とした。

図6の方式にすることにより、沈殿物の抑制が可能となり高モル濃度の溶液にも対応できることを確認した。また、この構成においてヒータ温度と溶液のモル濃度の関係を確認するため、下記の条件A～Dにおいて成膜を行った。

■各条件共通

- ・印加電圧 13kV
- ・電極間距離70mm
- ・液供給速度12ml/h
- ・液量 50ml

■条件A

- ・モル濃度比 [mol/l]

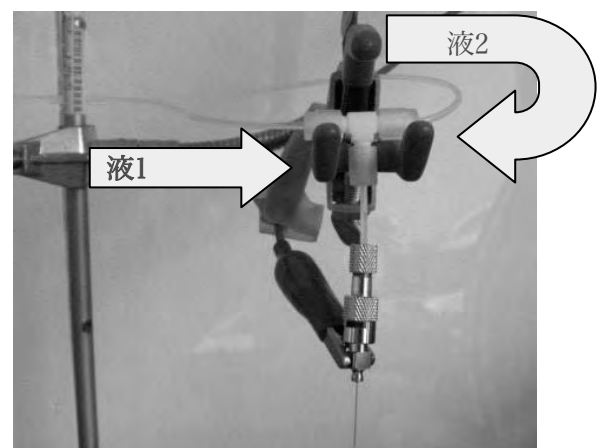


図6 検討したCIS成膜装置

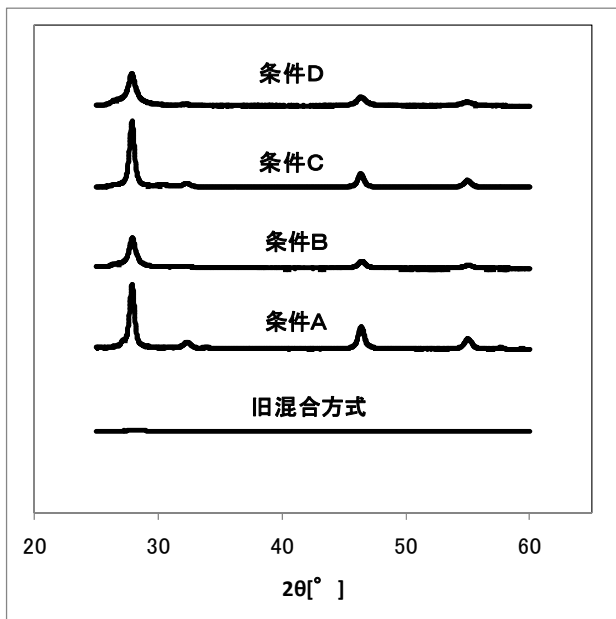
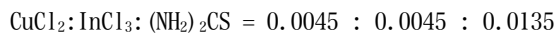


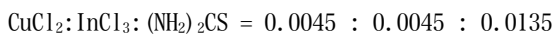
図7 CIS層のX線回折プロファイル⁴⁾



- ・総モル濃度 0.0225mol/l
- ・ヒータ温度 450°C

■条件B

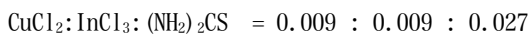
- ・モル濃度比 [mol/l]



- ・総モル濃度 0.0225mol/l
- ・ヒータ温度 350°C

■条件C

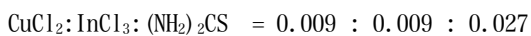
- ・モル濃度比 [mol/l]



- ・総モル濃度 0.045mol/l
- ・ヒータ温度 450°C

■条件D

- ・モル濃度比 [mol/l]



- ・総モル濃度 0.045mol/l
- ・ヒータ温度 350°C

各条件により成膜した薄膜をXRDにより評価した結果を図7に示す。XRD評価にはリガク製UltimaIVを使用した。図から、ヒータ温度が高くなると3強線は強くなることが確認できた(条件A, C)。このことから、結晶性向上を目指すために、ヒータ温度を450°Cでセル化を行った。

また、図7から新しい構成による薄膜は、前報と比較してXRDの波形がシャープになっており良好な結晶性を示すことが確認できた。これは新しい構成により、溶液の混合による沈殿物が抑制され、各イオンが均一に溶解された溶液が供給され、濃度が安定した状態で成膜されるため、良好な結晶性を得ることができたと推察される。

また、条件C, DにおけるEPMAによる定量分析結果を表

表1(a) EPMAによる定量分析(条件C)

元素	N	O	S	Cu	In
原子数	8.02	18.78	32.83	17.96	16.49
濃度 [%]					

表1(b) EPMAによる定量分析(条件D)

元素	N	O	S	Cu	In
原子数	8.02	18.78	32.83	17.96	16.49
濃度 [%]					

表2 ホール測定結果 (ホール電圧)

	mV <0でp型	総モル濃度 [mol/l]	
		0.0225	0.045
ヒーター	350°C	7.4	
温度	450°C	1.7	8.0

1に示す。分析は堀場製作所製Emax Energyにより行った。この結果より、Cu:In:Sの比率は1:1:2であることが確認できた。また、高温で成膜した場合、酸化が進行して薄膜中の酸素濃度が高いこと、逆に低温で成膜した場合には塩素が気化せずに成膜されることが確認できた。今後、大気中ではなく窒素雰囲気中等で成膜することにより、酸化を抑制したCIS膜の生成を検討する必要がある。

次に、CIS層の半導体特性を確認するために条件A-Cにおいて成膜したサンプルのホール測定を行った結果を表2に示す。測定は磁力発生装置を利用して100回行い、安定してデータが得られた91回~100回の平均値を示した。表2から、上記の条件で成膜したサンプルはp型を得られていなかったため、安定したp型を得るため5)、条件Cに塩化銅のモル濃度を1.2倍として成膜し、ホール測定を行った結果、安定したp型を得ることが出来た。

膜厚を厚くするために高濃度である総モル濃度を0.0675mol/lにして成膜したサンプルを同様にホール測定で測定した結果、半導体ではなく金属の特性が得られた。これは溶液の送り出される速度がCIS結晶として成膜速度より速く、それよりも先にCuが抽出しているのではないかと考えられる。従って、溶液の総モル濃度は0.045mol/lを超えて成膜すると、光吸収層として適していないことがわかった。

ホール測定の結果から、安定したp型を得るために、 $\text{CuCl}_2:\text{InCl}_3:(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ のモル濃度比率をそれぞれ1.2:1:3で成膜したときのCIS層を太陽電池セルの光吸収層とした。

3-2 サブストレート構造太陽電池セルの試作評価

基板としてガラス（コーニング#1737）を使用し，その表面にイオンプレーティングにより，モリブデンを成膜し下部電極とした．これを用いて下記に示す条件で太陽電池セルを試作した．

■太陽電池セル作成用 成膜条件*

CIS層

モル濃度 [mol/l]

Cu:In:S= 0.0054 : 0.0045 : 0.0135

液量 [ml]= 100

液供給速度 [ml/h]=12

電圧 [kV]= 12

電極間距離 [mm]= 70

基板温度 [°C]= 450

ZnO層

モル濃度 [mol/l]

Zn= 0.015

液量 [ml]= 50

液供給速度 [ml/h]=8

電圧 [V]= 12

電極間距離 [mm]= 70

基板温度 [°C]= 540

試作した太陽電池セルについてカーブトレーサ（横河電機製GS820 マルチチャンネルソースメジャーユニット）を用いて電圧掃引特性を測定した．測定システムの概要を図8に示す．

この測定システムにより，試作した太陽電池セルの電圧掃引特性を測定した結果を図9に示す．試作したセルは一般的なpn接合ダイオードに見られる整流性を示しているが，光起電力を確認することはできなかった．サブストレート構造ではCIS層を成膜した後，ZnO層を成膜する構造であるため，CIS層で最適なヒータ温度（450°C）で成膜しても，その後のZnO成膜のための加熱（540°C）によりCIS層が酸化，劣化している可能性が考えられる．この点から，下部電極にITO基板を用いて，その上にZnO層，CIS層の順で構成されるスーパーストレート構造を検討した．

3-3 スーパーストレート構造太陽電池セルの試作評価

前項で述べたとおり，サブストレート構造ではCIS層の劣化の可能性があるため，下部電極にITO基板を用いたスーパーストレート構造において，前項の「太陽電池セル作成用 成膜条件*」から，光の透過率を優先するためにZnO層を薄くする必要があり，Znのみモル濃度を0.015mol/lから0.006mol/lに変えた条件で太陽電池セルを試作した．

図10に試作した太陽電池セルの電圧掃引特性を示す．

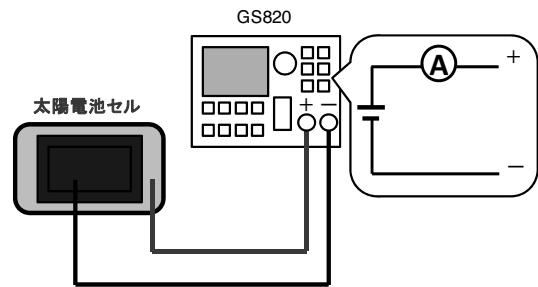


図8 測定システム概要図

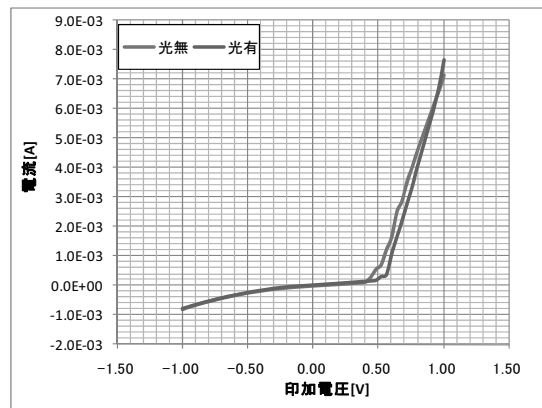


図9 (a) 試作セルの電圧掃引特性 ($-1 \leq V [V] \leq 1$)

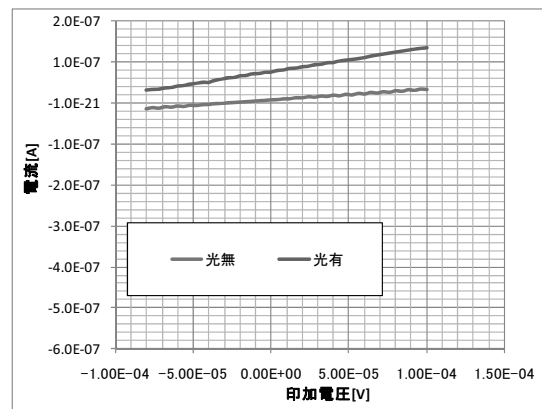
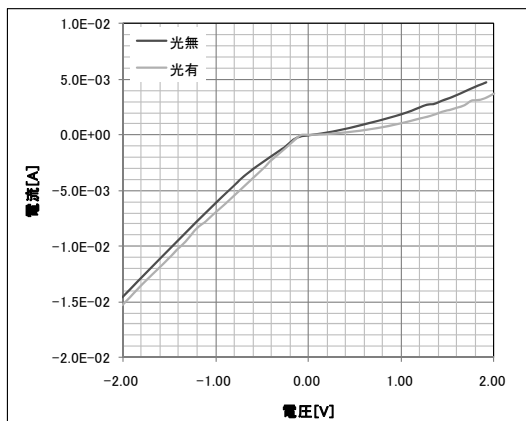
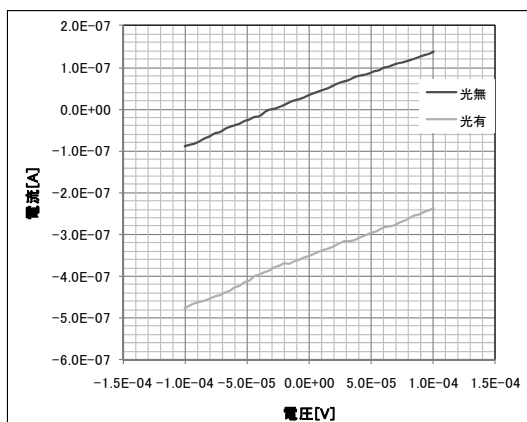


図9 (b) 試作セルの電圧掃引特性 ($-100 \leq V [\mu V] \leq 100$)

図からサブストレート構造に対して，整流特性は劣るが，微弱ながら光起電力を確認することができた．標準光源を使い，効率を求めた結果，効率は $2.45 \times 10^{-7}\%$ であった．以上の点から，CIS層，ZnO層ともに太陽電池セルとして機能はしているが，サブストレート構造のように，CIS層を成膜した後，さらに高温でZnO層を成膜させると，CIS層が酸化して劣化することが考えられる．従って，現状のESD法による成膜ではサブストレート構造ではなく，スーパーストレート構造が有効であると考えられる．

しかし，一般的にスーパーストレート構造は，光照射はスライドガラス，ITO膜をとおしてZnO窓層，CIS光吸収層へと当たるため，光の吸収により光起電力の効率はサ

図10(a) 試作セルの電圧掃引特性 ($-1 \leq V [V] \leq 1$)図10(b) 試作セルの電圧掃引特性 ($-100 \leq V [\mu V] \leq 100$)

ブストレート構造より悪くなる。サブストレート構造において、光起電力を発生できるように、各層および接合部の最適化を図る事が今後の課題である。

また、効率は $2.45 \times 10^{-7}\%$ と低く、図10(a)から逆方向特性において、低い印加電圧でも降伏が起きていること、順方向特性においては、印加電圧に対して出力電流が小さい(抵抗値が大きい)等、整流特性が良好ではない。この要因として光吸収層、窓層の各層に内部欠陥が存在し、層間の接合状態が光電効果により得られたキャリアがトラップにより再結合が起きていることが考えられる。

光吸収層、窓層において、成膜条件の最適化を図り、層自体の平坦性を向上させて内部欠陥を減らすこと、また、各層の接合状態の改善を図るために、層間にあるバッファ層⁶⁾の検討を行い、効率を向上させていくことが今後の課題である。

4. 結 言

本報では光吸収層であるCIS層に主眼を置き、その最適化を図り、光起電力の実現を図った。前報では、CIS層成膜のための溶液の濃度を高くすると、沈殿物が発生する問題があり、これを解決するため、溶液を2つに分け、ス

プレーノズルの直前で混合する方式にすることにより、溶液のモル濃度を高めた場合でも、沈殿物の発生を抑制できることを確認した。この方法により成膜した光吸収層は、XRD評価により良好な結晶性が得られ、また、EPMA評価により理想的な原子数比を得ることが出来た。

しかし、ホール測定結果から、p型特性が安定して得られなかったため、Cu濃度を1.2倍とし、成膜を行った結果、良好な結晶を示し、ホール測定により、安定してp型特性を得ることが出来た。

太陽電池のセル化については、サブストレート構造では、整流特性は得られたが光起電力を確認することは出来なかった。

ITO基板を用いたスーパーストレート構造では効率 $2.45 \times 10^{-7}\%$ と微弱ではあるが光起電力を確認することができた。

今後は、スーパーストレート構造セルでは光吸収層、窓層において、成膜条件の最適化を図り層自体の平坦性を向上させて内部欠陥の減少、また、各層の接合状態の改善をするために、層間のバッファ層の検討を行い、効率の向上を図る必要がある。また、サブストレート構造についても光起電力を実現する必要がある。

参考文献

- 1) 和田隆博：化合物薄膜太陽電池の最新技術，シーエムシー出版， P.9 (2007)
- 2) 吉村千秋・古屋雅章・早川亮・加藤孝正：化合物半導体多層太陽電池の開発．山梨県総合理工学研究機構研究報告書第5号P.77-83 (2010)
- 3) Morozov, V. N. & Morozova, T. Y. : Electro spray deposition as a method to fabricate functionally active protein films. Anal. Chem. .71 (1999) 1415.
- 4) Abrahams, S.C., Bernstein : J.L. J. Chem. Phys.59 (1973) 5415.
- 5) 和田隆博：化合物薄膜太陽電池の最新技術，シーエムシー出版， P.23-24 (2007)
- 6) 中田時夫：太陽エネルギー有効利用最前線，エヌ・ティー・エス， P.143-144 (2008)

化合物半導体多層太陽電池の成膜特性

早川亮¹・吉村千秋², 古屋雅章², 阿部治², 加藤孝正³

(¹山梨県工業技術センター, ²山梨県富士工業技術センター, ³山梨大学)

要約 化合物半導体の製造法として従来用いられているCVD法などの真空技術とは異なり, エレクトロスプレーデポジション (ESD) 法は, 安価な装置で構成することができ, 半導体の大面積化および積層化が期待できる技術である. そこで, この技術を用いて光吸収層 (CuInS₂) を成膜するとともに, サブストレート構造およびスーパーストレート構造の太陽電池セルを作製し, XRDおよびXPSを用いて結晶性評価および深さ方向分析を行った. XRDから目的としている化合物が成膜されていることが確認された. しかし, XPSの結果からサブストレート構造セルはスーパーストレート構造セルに比べて, 成膜が不完全であることが分かった.

Deposition Characteristic of Compound Semiconductor multilayer solar battery.

Ryo HAYAKAWA¹, Chiaki YOSHIMURA², Masaaki FURUYA², Osamu ABE², Takamasa KATOU³ (¹Yamanashi Industrial Technology Center, ²Yamanashi Fuji Industrial Technology Center, ³University of Yamanashi).

Abstract Usually, the compound semiconductor is manufactured by using vacuum technologies, for example, the chemical vapor deposition (CVD). The electro static spray deposition (ESD) is the expected method for making the semiconductor, because we can make a large and multilayered semiconductor by this method with low price devices. By this method, we deposited photoabsorption layer (CuInS₂) and made the substrate and superstrate solar cells. As a result of measuring the crystalline of the photoabsorption layer XRD, we confirmed forming a compound of CuInS₂. However, as a result of measuring the depth profiling of these sells by XPS analysis, the depositing condition of substrate cell was more detective than the superstrate cell.

1. 緒言

近年, 地球温暖化などグローバルヒーティングの問題が顕在化しており¹⁾, このような危機的状況から脱するには, 現在の化石燃料主体の社会を抜本的に改革する必要がある. そのため太陽エネルギーの利用技術は, CO₂ 削減の面において重要であり, 脱化石燃料に向けた再生可能なエネルギー開発という点でも大きな役割が期待されている. 現在, 太陽エネルギーの利用技術の中で, 最も普及しているのが太陽光発電である. その中でも光起電力シリコン太陽電池の技術は, ほぼ完成されており単結晶, 多結晶およびアモルファスシリコンの電池が開発されている. 変換効率は, 順に24.7%, 20.3% および15% となっている.

しかし, 最も変換効率が高い単結晶シリコンは, 結晶を成長させる際に高額な装置を必要とするばかりでなく, 結晶育成の制御が難しい. さらに, スライスしたシリコン板にレーザなどによる微細加工が必要となる. これらの技術的な制約および, 昨今の原料シリコン価格の高騰によって製造コストは高くなっている. そのため, シリコン太陽電池に代わる技術が研究されている. 代替技術としては, 太陽電池に要求されるバンドギャップを有する I-III-VI 族, III-V 族および II-VI 族の化合物半導体である Cu(InGa)Se₂, Cu(InGa)(SSe)₂, CuInSe₂, InP, GaAs, CdTe などの研究が進んでいる.

しかし, これらの化合物半導体の薄膜製造方法には主に MBE法, MOCVD法, CVD法が用いられている. これらの手法は, 真空技術を利用しているため, 高価で複雑な製造装置を必要としており, 薄膜の大面積化が難しい.

そこで, 本研究では従来の製造方法と比べて装置構成が安価であり, 薄膜の大面積化および積層化が可能であると考えられるエレクトロスプレーデポジション (ESD) 法に注目した. この技術を適用した薄膜形成技術および積層技術による太陽電池の作製を目的とし, 変換効率の高い多層太陽電池製造プロセスの実用化を目指した. 化合物半導体としては, 化合物成分が少なく比較的低温においても成膜が可能とされているCuInS₂を採用した²⁾.

なお, 本研究は山梨県富士工業技術センターと共同で行っており, ESD法による成膜と電気特性の評価を富士工業技術センターが担当し, 当センターではX線回折分析 (XRD) による結晶性の評価およびX線光電子分光法 (XPS) による深さ方向分析を担当した.

2. 実験方法

2-1 エレクトロスプレーデポジション (ESD) 法

図1にESD法の概略図を示す. ESD法とは, 成膜する化合物の成分を含む試薬を溶媒に溶かした原料溶液を, 基板との間に高電圧をかけたキャピラリに導入・帯電液滴をスプレーする. スプレーされた液滴の表面電荷が表面張力に打ち勝ち液滴が分裂する. 溶媒分子は短時間のうちに蒸発し, 微細な粒子が基板上に堆積する. これを繰り返していき, 最終的に結晶を生成する方法である³⁾.

2-2 化合物半導体多層太陽電池の構造

本研究では, 化合物半導体多層太陽電池としてサブストレート構造およびスーパーストレート構造の2種類について

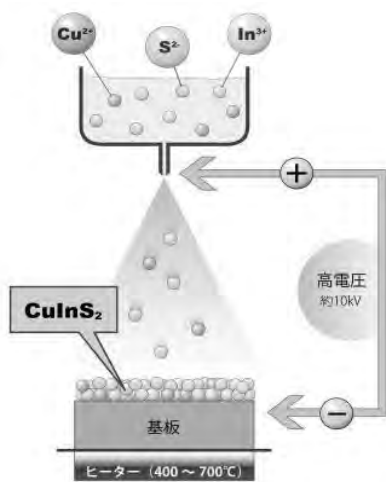


図1 ESD法の概略図

て、作製および特性の評価を行った。各構造の概略は以下に示すとおりである。

まず、図2にサブストレート構造を示す。基板にはコーニング社製のガラス（コーニング#1737）を使用している。その表面にイオンプレーティング法によりモリブデンをコーティングし、陽極として用いた。その上に光吸収層としてCuInS₂層（以下CIS層と呼ぶ）を成膜した。さらに、CIS層の上に窓層としてZnO層を成膜し、これを陰極として用いた。

次に、スーパーストレート構造を図3に示す。基板にはサブストレート構造と同様にコーニング社製のガラス（コーニング#1737）を使用している。その表面にスパッタリング法により透明導電膜である酸化インジウムスズ（以下ITO層と呼ぶ）を成膜し、陽極として用いた。スーパーストレート構造では、太陽光の入射方向がサブストレート構造と反対方向であり、基板側からである。そのため、透明導電膜の上に窓層であるZnO層を成膜し、さらにその上に光吸収層であるCIS層を成膜した。また、CIS層は陰極としても用いた。

2-3 ESD法によるCIS単層膜の作製

CIS膜の原料には、塩化銅CuCl₂・2H₂O、塩化インジウム(III) InCl₃およびチオ尿素(NH₂)₂CSをエタノールと純水の混合溶媒（エタノール：純水 = 3：7）に溶解させた溶液を用いた。これまでは、これらの溶液をマグネチックスターラーで十分に攪拌した後、基板との間に高電圧（12 kV）をかけた針にシリンジポンプで押し出すことによってスプレーを行い、CIS膜を作製した成膜を行っていた。しかし、この方法では、CIS成膜用溶液の濃度を高めた場合に、沈殿物が生成される問題が生じた。この問題を解決するために、成膜用溶液を塩化銅CuCl₂・2H₂Oおよび塩化インジウム(III) InCl₃を主成分とする溶液と、チオ尿素(NH₂)₂CSを主成分とする溶液の2系統に分け、スプレーノズルの直前で混合する方式を適用した。その

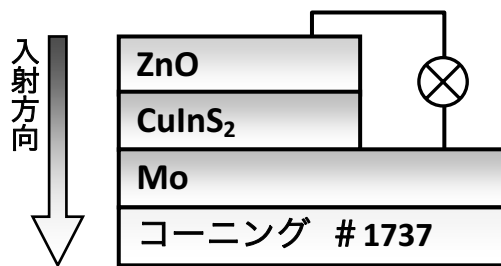


図2 サブストレート構造の概略図および太陽光の入射方向

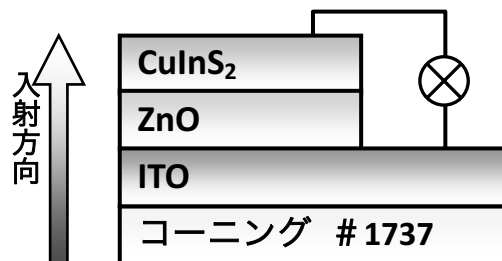


図3 スーパーストレート構造の概略図および太陽光の入射方向

結果、沈殿物の生成が抑制され、高モル濃度の溶液の利用が可能となった。そこでCIS膜の原料濃度をそれぞれ、塩化銅CuCl₂・2H₂O（金属イオン濃度：0.0045 mol/lおよび0.0054 mol/l）、塩化インジウム(III) InCl₃（金属イオン濃度：0.0045 mol/l）およびチオ尿素(NH₂)₂CS（金属イオン濃度：0.0135 mol/l）として成膜を行った。なお、これまで成膜時の基板温度は350℃としていたが、より結晶性に優れたCIS膜を得るために、基板温度を以前よりも高温の450℃とした。電極間距離は70 mmとした⁴⁾。また、シリンジポンプ、基板加熱用ホットプレートおよび高電圧用電源にはそれぞれ、HARVARD社製インフュージョンポンプ model 11、アサヒ理化製作所社製AHS-500および松定プレジジョン社製 HAR-30P1を用いた。

2-4 XRDによるCIS単層膜の結晶性評価

CIS膜の原料濃度をそれぞれ、塩化銅CuCl₂・2H₂O（金属イオン濃度：0.0045 mol/l）、塩化インジウム(III) InCl₃（金属イオン濃度：0.0045 mol/l）およびチオ尿素(NH₂)₂CS（金属イオン濃度：0.0135 mol/l）として成膜したCIS膜について、結晶性の評価を行うためにX線回折分析を行った。分析には（株）リガク製のXRD：UltimaIVを用いており、X線源はCu Kα線（波長：1.54059 Å）とした。また、得られたX線回折パターンの解析にはPDFカードを用いた。

2-5 XPSによるCIS単層膜の深さ方向分析

CIS膜の原料濃度をそれぞれ、塩化銅CuCl₂・2H₂O（金属

イオン濃度：0.0054 mol/l)，塩化インジウム (III) InCl_3 (金属イオン濃度：0.0045 mol/l) およびチオ尿素 $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ (金属イオン濃度：0.0135 mol/l) として成膜したCIS膜について、薄膜内部における化合物形成状態を評価するために、X線光電子分光法による深さ方向分析を行った。分析には日本電子 (株) 製のXPS：JPS-9010TRを用いた。光電子スペクトルの解析には Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy⁵⁾に記載されている値を用いた。

まず、XPSによる表面分析を行う前に、熱陰極電子衝撃型 (カウフマン型) イオン銃を用いてArイオンによるエッチングを行い、試料表面の清浄化を行った。エッチング条件は、Arの導入圧力を 3×10^{-2} Pa、加速電圧を500 V、加速電流を8.6 mA、エッチング時間を2 secとした。

試料表面の清浄化を行った後にXPSによる表面分析を行った。X線源にはAl K α 線 (1486.6 eV) を用い、分析範囲は $\phi 8.0$ mmとした。また、試料のチャージアップを防止するために中和銃を用いた。その際、加速電圧を3 V、加速電流を4 mAとした。

光電子スペクトルの測定は、エネルギー範囲0~1300 eVのワイドレンジを測定した後、ナローレンジとしてCu 2p_{3/2}電子、In 3d_{5/2}電子、S 2p電子、Si 2p_{3/2}電子、O 1s電子、C 1s電子、N 1s電子およびCl 2p_{3/2}電子における光電子スペクトルを測定した。次に得られたピークの面積から測定元素の深さ方向に伴う濃度変化を求めた。なお、深さ方向分析の際のエッチングは、Arを 3×10^{-2} Paの圧力で導入しながら熱陰極電子衝撃型 (カウフマン型) イオン銃を用いて行い、加速電圧を500 V、加速電流を8.6 mA、エッチング時間を30 ~ 90 secとした。

2-6 太陽電池セルの作製

2-6-1 サブストレート構造セル

基板には、イオンプレーティング法によりモリブデンをコーティングした $52 \times 76 \times 1.1$ mmの大きさのガラス (コーニング #1737) を用い、図2に示した構造に従って最初にCIS層を、次にZnO層を成膜した。

CIS膜の原料には、塩化銅 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (金属イオン濃度：0.0054 mol/l)、塩化インジウム (III) InCl_3 (金属イオン濃度：0.0045 mol/l) およびチオ尿素 $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ (金属イオン濃度：0.0135 mol/l) をエタノールと純水の混合溶媒 (エタノール：純水 = 3 : 7) に溶解させた溶液を用いた。この溶液をマグネチックスターラーで十分に攪拌した後、シリンジポンプで押し出すことによって、基板との間に高電圧 (12 kV) をかけた針からスプレーを行い、CIS膜を作製した。この際の基板温度は450 °Cとし、電極間距離は70 mmとした。

ZnO膜の原料には塩化亜鉛 ZnCl_2 をエタノールと純水の混合溶媒 (エタノール：純水 = 3 : 7) に溶解させた溶液 (金属イオン濃度：0.01 mol/l) を用いた。この溶液を

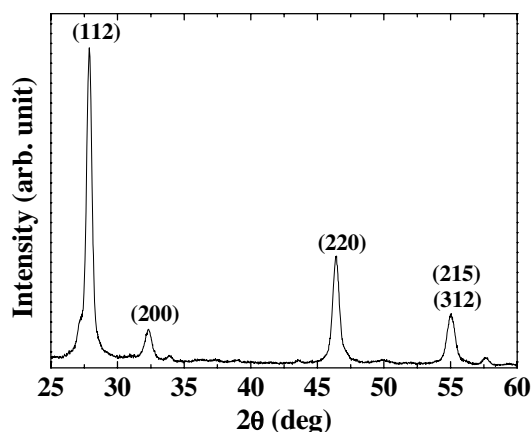


図4 基板温度450 °Cで成膜したCIS単層膜のX線回折パターン

マグネチックスターラーで十分に攪拌した後、シリンジポンプで押し出すことによって、基板との間に高電圧 (12 kV) をかけた針からスプレーを行い、ZnO膜を作製した。この時の成膜条件は、これまでに得られた結果から、基板温度を540 °C、電極間距離を70 mmとした⁴⁾。

2-6-2 スーパーストレート構造セル

基板には、スパッタリング法によりITO層を成膜した $52 \times 76 \times 1.1$ mmの大きさのガラス (コーニング #1737) を用い、図3に示した構造に従って最初にZnO層を、次にCIS層を成膜した。

このセル構造の場合、光の透過率を保持するために、ZnO膜の膜厚を薄くする必要がある。そのため、ZnO膜の原料には金属イオン濃度を0.006 mol/lまで低下させた塩化亜鉛 ZnCl_2 をエタノールと純水の混合溶媒 (エタノール：純水 = 3 : 7) に溶解させた溶液を用い、ESD法によりZnO層を成膜した。この時の成膜条件は、これまでに得られた結果から、基板温度を540 °C、電極間距離を70 mmとした⁴⁾。

CIS膜の原料には、塩化銅 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (金属イオン濃度：0.0054 mol/l)、塩化インジウム (III) InCl_3 (金属イオン濃度：0.0045 mol/l) およびチオ尿素 $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ (金属イオン濃度：0.0135 mol/l) をエタノールと純水の混合溶媒 (エタノール：純水 = 3 : 7) に溶解させた溶液を用い、ESD法によりCIS層を成膜した。この時、基板温度および電極間距離はそれぞれ450 °Cおよび70 mmとした。

2-7 XPSによる太陽電池セルの深さ方向分析

サブストレート構造セル、スーパーストレート構造セル共に、X線光電子分光法による深さ方向分析を行った。なお、その際の測定条件は同一である。

まず、XPSによる表面分析を行う前に、熱陰極電子衝撃型 (カウフマン型) イオン銃を用いてArイオンによる

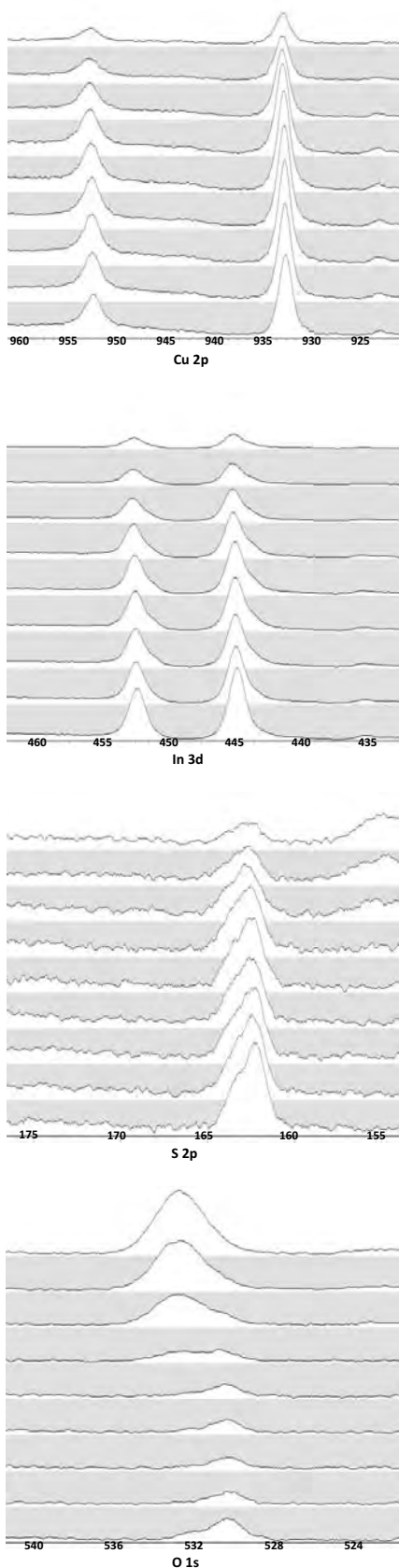


図5 CIS膜の深さ方向分析に伴うCu 2p, In 3d, S 2p およびO 1s光電子スペクトルの変化

エッチングを行い、試料表面の清浄化を行った。エッチング条件は、Arの導入圧力を 3×10^{-2} Pa, 加速電圧を500 V, 加速電流を8.6 mA, エッチング時間を2 secとした。

試料表面の清浄化を行った後にXPSによる表面分析を行った。X線源にはAl K α 線 (1486.6 eV) を用い、分析範囲は ϕ 8.0 mmとした。また、試料のチャージアップを防止するために中和銃を用いた。その際、加速電圧を3 V, 加速電流を4 mAとした。

光電子スペクトルの測定は、エネルギー範囲0~1300 eVのワイドレンジを測定した後、ナローレンジとしてCu 2p $_{3/2}$ 電子, In 3d $_{5/2}$ 電子, S 2p電子, Zn 2p $_{3/2}$ 電子, Si 2p $_{3/2}$ 電子, O 1s電子, C 1s電子, N 1s電子およびCl 2p $_{3/2}$ 電子における光電子スペクトルを測定した。次に得られたピークの面積から測定元素の深さ方向に伴う濃度変化を求めた。なお、深さ方向分析の際のエッチングは、Arを 3×10^{-2} Paの圧力で導入しながら熱陰極電子衝撃型(カウフマン型)イオン銃を用いて行い、加速電圧を500 V, 加速電流を8.6 mA, エッチング時間を30 ~ 90 secとした。

3. 結果および考察

3-1 XRDによるCIS単層膜の結晶性評価

図4に、CIS膜の原料である塩化銅CuCl $_2 \cdot 2H_2O$, 塩化インジウム(III) InCl $_3$ およびチオ尿素(NH $_2$) $_2$ CSの金属イオン濃度をそれぞれ、0.0045 mol/l, 0.0045 mol/lおよび0.0135 mol/lとし、基板温度450 °Cにおいて成膜したCIS単層膜のX線回折パターンを示す。

この回折パターンにおけるピークは、 2θ が27.9°, 32.3°, 46.4° および55.0° の位置に現れている。これらのピークは、PDFカード(#00-038-0777)に示されているCuInS $_2$ の回折パターンとほぼ一致し、面指数はそれぞれ(112), (200), (220) および(215)と(312)である。また、ピーク形状がシャープであり、ピーク強度も大きいことから、結晶性は良好であると考えられ

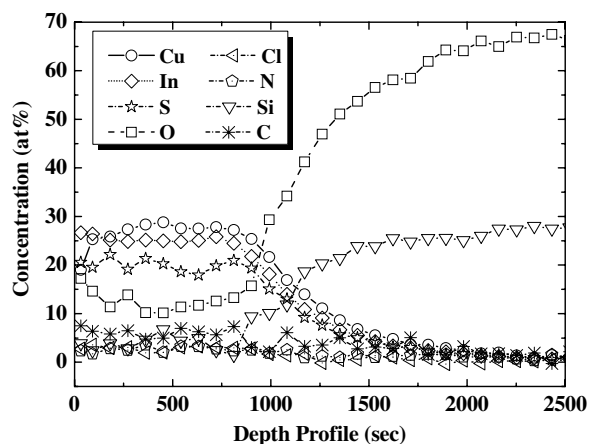


図6 CIS膜の深さ方向分析に伴う各成分の濃度変化

る。これらのことから、基板を450°Cに加熱すると共に、高濃度の原料溶液を用いることによって、ESD法により良好な結晶性を持つCIS膜の作製が可能であることが分かった。

3-2 XPSによるCIS膜の深さ方向分析

CIS膜の原料である塩化銅 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、塩化インジウム(III) InCl_3 およびチオ尿素 $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$ の金属イオン濃度をそれぞれ、0.0054 mol/l、0.0045 mol/lおよび0.0135 mol/lとし、基板温度450 °Cにおいて成膜したCIS単層膜の深さ方向分析を行った。その際の光電子スペクトルの変化について、Cu 2p電子、In 3d電子、S 2p電子および0 1s電子の場合を例として図5に示す。図に示されているスペクトルは、下から上方向に従って膜表面から深い位置における結合状態を表している。Cu 2p_{3/2}電子のピーク位置は深さ方向に対して933.1 eVから933.4 eVのエネルギー範囲において現われており、これまでに作製したCIS膜に比べ結合状態に大きな変化は確認されなかった⁴⁾。なお、このエネルギー値に相当する結合状態としては、 Cu_2S (932.5 eV)、CuS (932.6 eV)、 Cu_2O (932.6 eV)、金属に近い状態のCu (932.8 eV)、CuO (933.8 eV) が当てはまる。また、ピーク強度においても大きな変化は確認されなかった。これらのことから、深さ方向に対する銅の結合状態は、ほぼ均一であると考えられる。In 3d_{5/2}電子のピーク位置は深さ方向に対して445.3 eVから445.6 eVのエネルギー範囲において現われており、444.1 eV周辺にショルダーが見られるものの、これまでに作製したCIS膜に比べ結合状態に大きな変化は確認されなかった⁴⁾。なお、このエネルギー値に相当する結合状態としては、金属に近い状態のIn (443.8 eV)、 In_2O (444.3 eV)、 In_2O_3 (444.3 eV)、InS (444.5 eV) および In_2S_3 (444.7 eV) が当てはまる。また、ピーク強度においても大きな変化は確認されなかった。これらのことから、深さ方向に対するインジウムの結合状態は、ほぼ均一であると考えられる。S 2p電子においても、ピーク位置とピーク強度に大きな変化は確認されず、深さ方向に対する硫黄の結合状態は、ほぼ均一であると考えられる。なお、0 1s電子において表面から最も深い位置にあるスペクトルのピークシフトは、ガラス基板の SiO_2 から検出された光電子によるものである。これらの光電子スペクトルのピーク面積から銅、インジウム、硫黄、酸素および珪素など原料に含まれる元素の深さ方向に伴う濃度変化を求めた。その結果を図6に示す。

XRDを用いた結晶性の評価において、CIS膜は図4に示した様に良好な結晶性を示しており、 CuInS_2 を形成していることが確認された。しかし、深さ方向における濃度変化を求めた結果、銅、インジウム、硫黄および酸素の濃度に大きな変化は確認されなかったが、硫黄に対する銅およびインジウムの比率が CuInS_2 の化学量論比よりも高い値

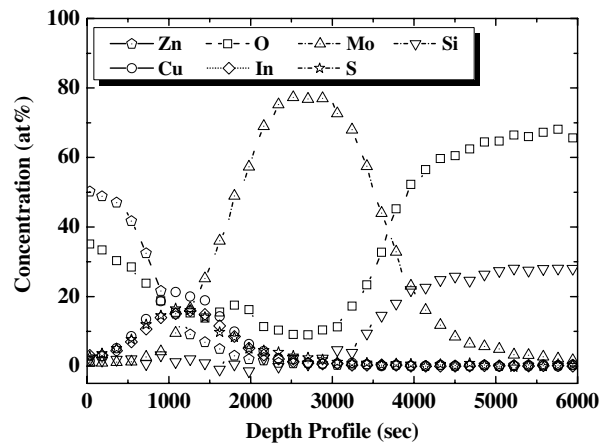


図7 サブストレートセルの深さ方向分析に伴う各成分の濃度変化

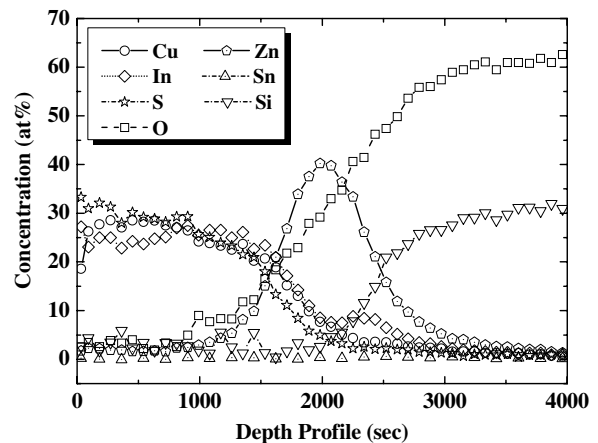


図8 スーパーストレートセルの深さ方向分析に伴う各成分の濃度変化

を示す部分が多く存在していた。その値は、最大で銅が約1.5倍、インジウムは約1.4倍であった。酸素も10~15 at%の濃度で存在していることが分かった。これらのことから、 CuInS_2 結晶以外のCIS膜成分は、金属に近い状態の銅およびインジウムを主成分とすると共に、わずかな酸化物から形成されていることが分かる。

3-3 XPSによる太陽電池セルの深さ方向分析

3-3-1 サブストレート構造セル

図2に示した構造に従って最初にCIS層(基板温度: 450 °C)、次にZnO層(基板温度: 540 °C)を成膜した太陽電池セルの深さ方向分析を行った。その際に得られた光電子スペクトルのピーク面積から求めた、銅、インジウム、硫黄、亜鉛、酸素、モリブデンおよび珪素の深さ方向に伴う濃度変化を図7に示す。

Zn 2p_{3/2}電子のピークは、これまでに得られた結果と同様に、金属状態に近いZnおよび酸化物であるZnOを示す1021.9 eV付近に現れていた⁴⁾。また、0 1s電子のピークも存在していたことから、亜鉛は酸化物であるZnOを形成していることが確認されている。しかし、濃度変化を求

めた結果から亜鉛と酸素の濃度比は約3:2であり、膜中における約1/3の亜鉛が酸化物を形成せずに金属に近い状態で存在していることが分かった。なお、亜鉛と酸素の濃度が一定であり、Zn 2p_{3/2}ピークの結合エネルギーに大きな変化は確認されなかったことから、これらの組成の深さ方向における分布は、均一であると考えられる。

銅、インジウム、硫黄および酸素の深さ方向における濃度変化を求めた結果、深さ方向に対して大きな変化は確認されなかったが、硫黄に対する銅およびインジウムの比率がCuInS₂の化学量論比よりも高い値を示す部分が多く存在していた。その値は、最大で銅が約1.5倍、インジウムは約1.2倍であった。酸素も15~20 at%の濃度で存在していることが分かった。これらのことから、CuInS₂結晶以外のCIS膜成分は、金属に近い状態の銅およびインジウムと共に、酸化物から形成されていることが分かる。

なお、酸素がCIS層に高い濃度で存在する原因として、CIS層とZnO層を成膜する際の基板温度の違いが考えられる。すなわち、CIS層を成膜した後にZnO層をより高い基板温度で成膜したことによって、ZnOからCISへ酸素の拡散が生じたと思われ、その結果、図6に見られたCIS単層膜よりも高濃度の酸素が存在したと考えられる。

3-3-2 スーパーストレート構造セル

図3に示した構造に従って最初にZnO層（基板温度：540℃）、次にCIS層（基板温度：450℃）を成膜した太陽電池セルの深さ方向分析を行った。その際に得られた光電子スペクトルのピーク面積から求めた、銅、インジウム、硫黄、亜鉛、酸素、モリブデンおよび珪素の深さ方向に伴う濃度変化を図8に示す。

銅、インジウム、硫黄および酸素の濃度における深さ方向における濃度変化を求めた結果、深さ方向に対して大きな変化は確認されなかったが、硫黄に対する銅およびインジウムの比率がCuInS₂の化学量論比よりも高い値を示す部分が多く存在していた。その値は、最大で銅が約1.2倍、インジウムは約1.3倍であった。酸素は5~10 at%の濃度で存在していることが分かった。これらのことから、CuInS₂結晶以外のCIS膜成分は、金属に近い状態の銅およびインジウムと共に、わずかな酸化物から形成されていることが分かる。

なお、図7に示したサブストレート構造セルと比べ、CIS層における酸素濃度が低かったことから、成膜時における基板温度の差が、CIS層とZnO層間で酸素の拡散を引き起こし、成膜状態の不良を発生させる原因となることが分かった。そのため、ESD法により、多層膜を形成させる際には、基板温度と各層の成膜順序を熟慮する必要があることが分かった。

亜鉛と酸素においても深さ方向に伴う濃度変化を求めた結果、酸素に対する亜鉛の比率は酸化物であるZnOを形成していることは確認されたが、濃度変化を求めた結果

から亜鉛と酸素の濃度比は1~1.4倍であり、膜中における約1/3の亜鉛が酸化物を形成せずに金属に近い状態で存在している部分もみられるが、ほぼZnOの状態に成膜されていると考えられる。

4. 結 言

エレクトロスプレーデポジション (ESD) 法による太陽電池の作製を目的として、変換効率の高い多層太陽電池製造プロセスの実用化を目指した。そこで、ESD法により、CuInS₂単層膜、サブストレート構造およびスーパーストレート構造の太陽電池セル2種類を作製すると共に、X線回折分析 (XRD) による結晶性の評価およびX線光電子分光法 (XPS) による深さ方向分析を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) CIS層の原料をスプレーノズルの直前で混合することによって溶液中での沈殿物発生を抑制し、良好な結晶性を持つCIS層を成膜することが可能となることが分かった。
- (2) ESD法により、サブストレート構造の太陽電池セルを作成する場合、CIS層とZnO層の成膜温度の違いから、ZnOからCISへ酸素が拡散し、成膜状態の不良が発生することが分かった。
- (3) ESD法によって作製されたスーパーストレート構造の太陽電池セルは、サブストレート構造の場合に比べ、良好な成膜状態が得られることが分かった。

参考文献

- 1) 斉藤 武雄：ヒートアイランド，講談社，P.417 (1997)
- 2) 和田隆博：化合物薄膜太陽電池の最新技術，シーエムシー出版，P.9 (2007)
- 3) Morozov, V. N. & Morozova, T. Y. : Electro spray deposition as a method to fabricate functionally active protein films. Anal. Chem. 71 (1999) 1415.
- 4) 早川亮他：山梨県工業技術センター研究報告，No.24, p.153 (2010)
- 5) C. D. Wagner, W. M. Riggs, L. E. Davis and J. F. Moulder : Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy (Ed. G. E. Muilenberg), Perkin-Elmer Corporation, Physical Electronics Division, Eden Prairie, Minn. USA (1979)

酒造米および有色素米の栽培と利用に
関する研究

**Researches on Cultivation and Use of Rice for Sake
Brewing and Rice Having Coloring Matter**

山梨県の平坦地に適した酒造米品種の選定

上野直也¹, 長沼孝多², 石井利幸¹, 木村英生², 小嶋匡人²
(¹総合農業技術センター, ²工業技術センター)

要約 山梨県の平坦地に適する酒造米有望品種の選定を「吟のさと」「改良雄町」「山田錦」「玉栄」を対象として行った。作期試験, 醸造試験, 施肥試験から「吟のさと」を選定した。「吟のさと」は栽培特性や収量性, 酒造適性に優れ, その移植適期は6月中旬と考えられた。蔵元による「吟のさと」試醸酒の官能評価は良好で, 醸造工程においても問題が認められないことから, 本県で生産された「吟のさと」は吟醸酒用の原料米として十分な適性があることが明らかになった。「吟のさと」は増肥により容易に収量が確保でき, 収量, 品質および適正な玄米タンパク含有率を得るには, 窒素成分で基肥6~8kg, 穂肥2kgの施肥体系が適当であった。

Selection of Rice for Sake Brewing in flatland of Yamanashi Prefecture.

Naoya UENO¹, Kota NAGANUMA², Toshiyuki ISHII¹, Hideo KIMURA², Masato KOJIMA² (¹Yamanashi Prefectural Agritechology Center, ²Yamanashi Industrial Technology Center).

Abstract We selected a rice for sake brewing promising cultivar for flatland in Yamanashi Prefecture, on cultivar 'Ginnosato', cultivar 'Kairyō-omachi', cultivar 'Yamadanishiki' and cultivar 'Tamasakae'. Cultivar 'Ginnosato' was excellent to the cultivation characteristic, the yield performance and brewing propriety. We thought the transplanting suitable period of cultivar 'Ginnosato' to be the middle of June.

Cultivar 'Ginnosato' produced in Yamanashi Prefecture had an enough aptitude as raw material rice for 'Ginjo-syu', because of the sensory rating of the sake of the examination is excellent and the occurrence of problem in the brewing process was not admitted. Cultivar 'Ginnosato' increases amount easily by increasing the number of fertilizers. And the amount, the quality and proper protein content of brown rice can be obtained with the fertilization system of 6-8kg/10a nitrogen basal fertilizer and 2kg/10a nitrogen fertilizer.

1. 緒言

日本酒醸造用原料米である酒造米は, 2008年山梨県の平坦地において, 南アルプス市や富士川町を中心に「玉栄」が28t生産されている¹⁾。「玉栄」は短稈・多収で栽培特性に優れ, 濃醇な酒質となることから, 生産者や醸造業者から一定の評価を得ている。しかし, 山梨県における熟期が「中生の晩」で²⁾平坦地では熟期がやや早いこと, さらに近年の夏期の高温により, 胴割れ粒や腹白粒が発生し玄米品質が低下すること¹⁾から, 玄米品質や精米特性の点で優れる「晩生」の品種が求められている。

そこで, 本研究では本県平坦地に適した晩生の酒造米品種について移植期の違いによる生育特性や玄米品質, 酒造適性を把握するとともに, 昨年度の試験で有望と考えられた「吟のさと」「改良雄町」について, 施肥量が生育特性や玄米品質に与える影響を明らかにした。さらにこの2品種について蔵元での実規模の醸造試験を行い, 仕込み過程の経過や, 仕込み酒の成分, 官能評価について明らかにしたので報告する。

2. 実験方法

2-1 作期試験

(1) 生育特性および収量特性

試験は2010年に総合農業技術センター本所2-2号田(甲斐市, 標高315m, 灰色低地土, 前作:水稻)で行った。供試品

種は, 昨年度有望と考えられた「吟のさと」「改良雄町」, 酒造米の代表品種である「山田錦」および現在平坦地で栽培されている「玉栄」の4品種を用いた。移植は手植えにより4月30日, 5月20日, 6月4日, 6月18日の4時期, 栽植密度は22.2株/m²(畝幅30cm, 株間15cm), 試験規模は1区12m²の3反復とした。基肥は, N-P₂O₅-K₂Oとして5-5-5kg/10aを化成8号で全層施用し, 穂肥は, N-K₂Oとして2-2kg/10aをNK化成4号で減数分裂期(幼穂長2cmの時期)表面施用した。栽培管理や病虫害防除は, 山梨県稲・麦・大豆生産指導指針³⁾および山梨県病虫害防除基準⁴⁾に従った。各品種について生育ステージ, 草丈, 茎数, 倒伏程度の生育調査を行った。倒伏程度はその度合いにより0:無, 1:微, 2:少, 3:中, 4:大, 5:甚の6段階とした。坪刈り試料は乾燥後, 脱穀・調整を行い, 玄米収量および収量構成要素, 玄米品質の調査を行った。調整時のグレーダーの網目は2.0mmを用い, 調整後の精玄米を玄米収量とした。精玄米歩合は全籾数に対する精玄米の重量割合として求めた。

(2) 玄米品質

2-1-(1)で得られた各品種の玄米試料について調査を行った。外観品質は穀粒判別器(サタケ社製RGQ120A)の酒米モードで心白整粒と無心白整粒, 未熟粒, 胴割れ粒, その他被害粒に分別し重量割合を求めた。なお, 碎粒は胴割れ粒に含めた。玄米タンパク質含有率は食味分析計(サタケ社製RLTA10L)を用い, 乾物換算値として測定した。心白型は6月18日移植の心白整粒試料を用い, 玄米横断面



図1 玄米横断面の心白形状

の心白の形状を、高橋ら⁵⁾に準じて図1により分類した。

(3) 酒造適性の評価

酒造適性の評価は、酒造用原料米全国統一分析法⁶⁾に従い、精米試験、精白米の粗タンパク質含有率、吸水性試験および消化性試験を行った。

精米試験は、既報⁶⁾の装てんロールと目標とする見かけ精米歩合を変更した。すなわち、水分含有量を13.8%に調整した各供試玄米150gを、テストミル(サタケ社製TM 05C)を用いて見かけ精米歩合60%まで精米した。テストミルの装てんロールは#60、回転速度は1,000rpmとした。装てんロールは、既報⁶⁾では#46であるが、予備試験で碎米が多く発生したため、より粒度の細かい#60とした。また、見かけ精米歩合は、酒造米の吟醸酒など高級酒への使用を考え、70%から60%に変更した。

精米後、精白米から碎米を除いたものを整粒とした。無効精米歩合、碎米率の算出、粗タンパク質含有率、吸水性および消化性は既報⁶⁾と同様に行った。

2-2 醸造試験および官能評価

実用レベルかつ商品化を見すえた試験醸造は、県酒造組合に委託し、谷櫻酒造有限会社(北杜市)で実施した。供試米は、総合農業技術センターで栽培された「吟のさと」および南アルプス市で栽培された「改良雄町」とした。仕込みは、総米300kg、精米歩合58%、純米の吟醸仕込みとし、麴米、掛米ともにそれぞれの供試米を用いた。酵母は、きょうかい酵母1001号を使用し、酒母はつくらなかった。

生成した試験醸造酒(以下、試醸酒と称す)は、アルコール度、日本酒度および酸度を定法により測定した。また、遊離アミノ酸含有量を全自動アミノ酸分析機(日本電子社製 JLC-500/V2)で測定した。

また、試醸酒の対照酒として、同社の純米生原酒「北の杜」を使用した。「北の杜」は、県内産「玉栄」を精米歩合65%で使用し、試醸酒とほぼ同様の条件で製造されたものである。

試醸酒の官能評価は、県工業技術センター研究員など12名により行い酒質の総合評価を「良好」「標準」「難」の3段階で、対照酒の「北の杜」と比較した味の相対評価を「濃醇」「やや濃醇」「標準」「やや淡麗」「淡麗」の5段階で行った。また、味および香りに特徴がある場合は、チェックマークに記入した。

2-3 施肥試験

試験は2010年に総合農業技術センター本所2-1号田(甲斐市、標高315m、灰色低地土、前作:水稻)で行った。供試品種は、昨年度有望と考えられた「吟のさと」、「改良雄町」を用いた。試験区は基肥窒素量として化成8号で2, 4, 6, 8kg/10aを全層施用した区を、さらにそれぞれの区に穂肥施肥量としてNK化成4号で0, 2kg/10aを、減数分裂期(幼穂長2cmの時期)に表面施用した区を設けた。播種期は5月10日、移植期は6月8日で、機械移植により栽植密度は18.5株/m(畝幅30cm, 株間18cm)、試験規模は1区20m²で3反復とした。栽培管理や病虫害防除は、山梨県稲・麦・大豆生産指導指針³⁾および山梨県病虫害防除基準⁴⁾に従った。幼穂形成期(幼穂長2mmの時期)に生育調査を行った。成熟期の生育や収量、品質等の調査項目は2-1-(1), (2)に準じた。

3. 結果

3-1 作期試験

(1) 酒造米晩生品種の生育特性と収量特性

移植時期の違いによる供試4品種の生育特性と収量特性を表1に示した。出穂期、成熟期ともに「吟のさと」が最も遅く、出穂期は8月14~27日で「玉栄」よりも6~17日遅かった。稈長は「玉栄」が最も短かったが、倒伏程度はいずれの移植時期でも「吟のさと」が最も低く、倒伏はほとんど観察されなかった。穂数は「吟のさと」が最も少なく、どの品種も移植時期が遅いほど少なくなる傾向が認められた。

全籾数は「吟のさと」が最も多く、「玉栄」が少なかった。精玄米歩合は「吟のさと」「玉栄」が70~80%台であったのに対し、「山田錦」「改良雄町」は50~60%台と低かった。千粒重は「吟のさと」「改良雄町」「山田錦」とともに「玉栄」よりも小粒であったが、移植時期が遅いほど大きくなる傾向が認められた。「吟のさと」の玄米収量は5月19日移植を除き「玉栄」と同程度であったが、「山田錦」「改良雄町」ではいずれの移植時期でも少収であった。

以上より、「吟のさと」は供試した晩生品種の中で、出穂期、成熟期が最も遅く、耐倒伏性に優れ、6月移植における収量性は「玉栄」と同等で、玄米収量は多収となることが明らかになった。

(2) 酒造米晩生品種の玄米品質

玄米品質を図2に示した。心白整粒比率(心白発現率)は「吟のさと」が45.4~63.8%と最も高く、「改良雄町」「山田錦」が続ぎ、「玉栄」は最も低かった。「吟のさと」では移植時期が遅くなるほど心白整粒比率が高くなる傾向が認められたが、他の品種は移植時期による心白整粒比率に差は認められなかった。胴割れ粒比率は、「吟のさと」が0.4~1.5%とどの移植時期において

表1 移植時期の違いが酒造米晩生種の生育特性と収穫特性に及ぼす影響

品種	移植日	出穂期	成熟期	稈長	穂数	倒伏 ^{a)} 程度	全粒数	精玄米歩合	千粒重	玄米収量
	月.日	月.日	月.日	cm	本/m ²	0-5	粒/m ²	%	g	kg/10a
吟のさと	4.30	8.14	9.23	78.1	332	0.0	26731	72.7	25.4	494
	5.19	8.21	10.02	84.1	347	1.0	27145	65.0	26.5	467
	6.04	8.25	10.08	82.6	281	0.0	26674	73.9	27.6	544
	6.18	8.27	10.13	82.7	301	0.0	24213	76.9	28.7	534
改良雄町	4.30	8.03	9.08	98.2	347	1.5	24516	67.1	25.1	413
	5.19	8.12	9.20	101.0	361	2.5	26027	66.6	25.3	438
	6.04	8.18	9.27	93.7	304	1.5	24877	66.3	25.7	424
	6.18	8.24	10.07	89.2	329	0.8	20316	63.1	26.4	338
山田錦	4.30	8.10	9.19	100.2	376	2.3	24735	65.4	24.5	397
	5.19	8.18	9.27	107.9	376	3.5	26985	54.9	25.7	381
	6.04	8.21	10.03	104.9	323	2.5	25708	70.6	27.2	493
	6.18	8.26	10.10	104.3	326	2.5	23179	74.1	27.8	478
玉栄	4.30	7.28	9.04	74.7	350	1.8	23473	82.0	30.0	577
	5.19	8.05	9.14	81.5	356	1.0	23227	87.4	29.0	589
	6.04	8.14	9.24	77.3	357	1.5	22123	86.5	29.1	558
	6.18	8.21	10.02	75.5	330	0.5	22112	76.5	29.0	491

a) 倒伏程度:0(無)~5(甚)の6段階評価(観察)

も低かった。他の品種は移植時期によっては10%前後となり、発生率が高かった。また、玄米タンパク質含有率は、6.3~7.6%と品種による明確な差は認められなかったが、移植期では6月4日移植で高くなる傾向が認められた。

6月18日移植区における玄米横断面の心白形状を図3に示した。「吟のさと」「山田錦」では精米の際に砕けやすいとされる眼状心白の比率が20~24%と低かった。一方、「改良雄町」および「玉栄」では眼状白粒の比率が40~45%と高かった。

以上より、「吟のさと」は心白整粒比率が高く、胴割れ粒比率および眼状心白比率が低いことから、玄米品質に優れた品種と考えられ、6月中旬移植でその特性がより顕著になることが明らかになった。

(3) 酒造適性の評価

精米試験、精白米の粗タンパク質含有率、吸水性試験および消化性試験の結果を表2に示した。精米試験のうち、無効精米歩合は、「改良雄町」の4月30日移植を除き10%以下で品種や移植時期による大きな違いは見られなかった。「吟のさと」の碎米率は、移植日によらず8.0~12.4%であり、他の品種と比較して低い傾向であった。

「吟のさと」の精白米粗タンパク質含有率は、すべての移植期で4%以下と低く、「山田錦」と同等であった。

吸水性は、20分吸水率が吸水速度を、120分吸水率が最

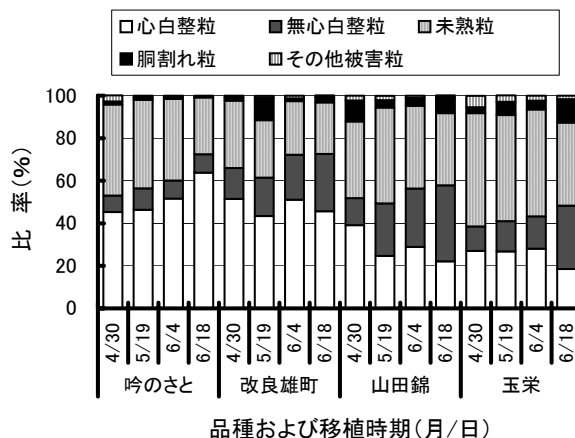


図2 移植時期の違いが酒造米晩生種の玄米品質に及ぼす影響

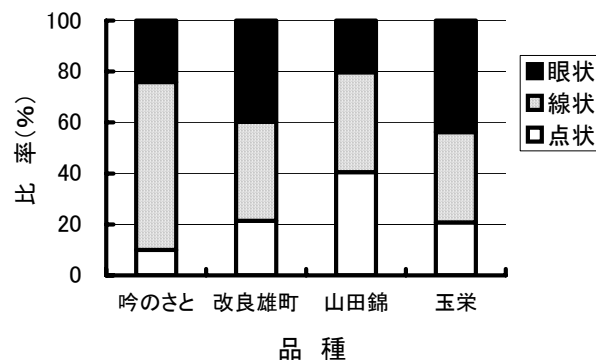


図3 品種の違いが玄米横断面の心白形状に及ぼす影響

表2 品種および移植時期の違いが酒造米晩生種の精米特性、精白米の粗タンパク質含有量、吸水性および消化性に及ぼす影響

品種	移植日	精米		精白米 粗タンパク 質含有率 (乾物 %)	吸水性		消化性		
		無効精米 歩合 ^{a)} (%)	砕米率 (%)		20分 吸水率 (%)	120分 吸水率 (%)	蒸米 吸水率 (%)	Brix	F-N ^{b)}
吟のさと	4月30日	6.8	12.4	4.0	32.6	32.9	37.2	9.2	0.8
	5月19日	4.4	8.0	3.6	31.6	31.9	35.1	9.6	0.9
	6月4日	6.3	10.7	3.9	31.1	31.2	34.9	10.2	0.9
	6月18日	6.9	11.3	3.7	31.2	31.6	36.5	10.6	0.8
改良雄町	4月30日	12.9	19.8	4.4	30.7	31.1	35.7	9.4	1.0
	5月19日	8.4	14.5	4.5	30.9	31.2	34.9	9.6	1.0
	6月4日	5.9	8.8	4.8	31.8	32.4	35.3	9.4	1.0
	6月18日	5.9	10.1	4.6	31.6	32.4	35.6	10.0	1.0
山田錦	4月30日	7.1	29.4	3.9	31.8	32.1	36.0	8.6	0.9
	5月19日	5.4	15.8	3.7	31.8	32.1	35.9	8.6	0.8
	6月4日	3.7	8.8	4.0	32.0	32.7	36.2	9.4	1.0
	6月18日	5.7	13.7	3.8	30.1	31.4	35.2	10.0	0.8
玉栄	4月30日	7.7	20.7	4.0	28.0	29.0	31.9	8.0	0.8
	5月19日	4.9	16.8	4.3	27.4	28.8	31.2	7.7	1.0
	6月4日	5.2	13.3	4.5	28.3	29.7	33.0	8.1	0.9
	6月18日	4.6	12.8	4.2	28.4	29.2	33.1	8.3	0.9

a) 無効精米歩合(%) = 真精米歩合 - 見かけ精米歩合

b) F-N = フォルモール態窒素

大吸水量を表すとされ、特に吸水速度には品種間差異がある⁶⁾。「吟のさと」の20分吸水率および120分吸水率は、それぞれ31.1~32.6%および31.2~32.9%であり、「改良雄町」「山田錦」とほぼ同等であった。「玉栄」は他の3品種より低かった。同一品種内では、移植日によらずほぼ同等であった。また、いずれの試験区においても、20分吸水率と120分吸水率との間に大きな差はなく、吸水速度が極端に遅いものはなかった。

蒸米吸水率は、吸水率と同様の傾向を示し、「吟のさと」と「改良雄町」「山田錦」が34.9~37.2%とほぼ同等で、「玉栄」の31.2~33.1%を上回った。なお、Brixも同様の傾向であったが、各品種ともに、移植時期が遅くなるほどBrixが高まる傾向が認められた。フォルモール態窒素は、「改良雄町」がやや高い値となった。

以上より、「吟のさと」は精米特性において「改良雄町」「山田錦」および「玉栄」に対して優れ、精白米の粗タンパク質含有量は「山田錦」と同等であり、他の酒造適性についても特に劣る点が見られなかったことから、「山田錦」と同等以上の適性があることが示唆された。

3-2 醸造試験および官能評価

「吟のさと」試験酒および「改良雄町」試験酒の、アルコール度、日本酒度および酸度を表3に示した。両試験

表3 「吟のさと」及び「改良雄町」試験醸造酒の成分

品 種	試験醸造酒の成分		
	アルコール度 (%)	日本酒度 (度)	酸度 (度)
吟のさと	17.8	+3.0	2.1
改良雄町	17.8	+2.5	2.1

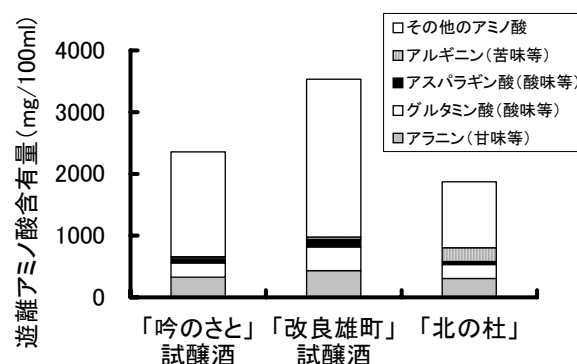


図4 試験醸造酒の遊離アミノ酸含有量

酒の成分に大きな違いは見られなかった。試験酒は原酒であるため、清酒のエタノール含有量を示すアルコール度は17.8、有機酸の総量を示す酸度は2.1とやや高い値であった。清酒の比重を示す日本酒度は、両試験酒ともプラス方向でやや辛口を示した。

表4 試験醸造酒の酒質評価

品種名	良好	標準	難
吟のさと	10 ^{a)}	2	0
改良雄町	7	5	0

a)被験者数

表5 試験醸造酒の「北の杜」と比較した味の相対評価

品種名	濃醇	やや濃醇	標準	やや淡麗	淡麗
吟のさと	0 ^{a)}	7	0	4	1
改良雄町	0	3	1	8	0

a)被験者数

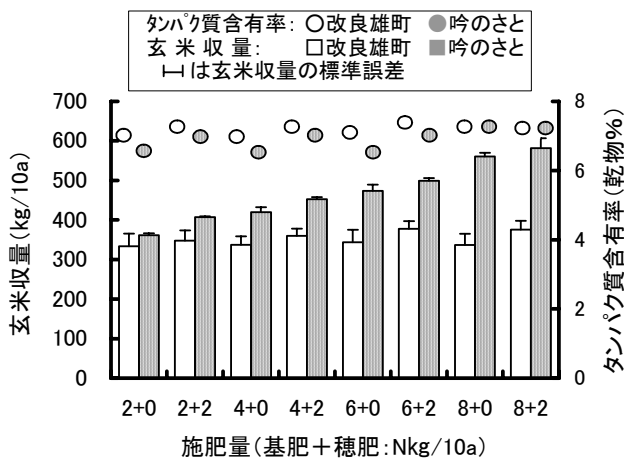


図5 施肥の違いが酒造米の収穫量および玄米タンパク質含有率に及ぼす影響

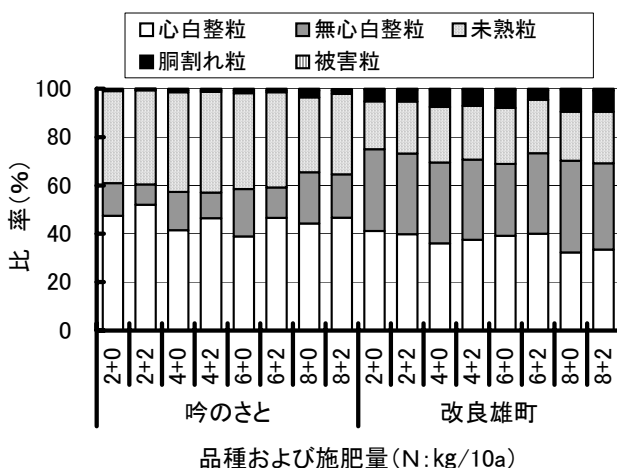


図6 施肥の違いが酒造米の玄米品質に及ぼす影響

また、試験醸酒および対照酒「北の杜」の遊離アミノ酸の総含有量および清酒の呈味に關与するとされる遊離アミノ酸（アラニン、グルタミン酸、アスパラギン酸およびアルギニン）¹²⁾の含有量を図4に示した。遊離アミノ酸

の総含有量は、「吟のさと」試験醸酒が約2,400 (mg/100 ml)、「改良雄町」試験醸酒が約3,500 (mg/100ml)、「北の杜」が約1,900 (mg/100ml)で、試験醸酒は「北の杜」と比較して高かった。

試験醸酒の官能評価結果において、酒質の評価を表4に示した。試験醸酒はともに“良好”あるいは“標準”と評価された。なお“良好”と評価した人数は、「吟のさと」試験醸酒は10名、「改良雄町」試験醸酒は7名であり、「吟のさと」試験醸酒は「改良雄町」試験醸酒と比較してより良好な酒質と考えられた。味および香りの個別評価では、試験醸酒はともに「さわやか」「上品」「まとまりがある」と評価された一方で、「改良雄町」試験醸酒には苦味や雑味の指摘があった。

「北の杜」と比較した味の相対評価を表5に示した。

「吟のさと」試験醸酒はやや濃醇、「改良雄町」試験醸酒はやや淡麗と評価された。これは、遊離アミノ酸総含有量から予想される味の傾向とは逆であった。

3-3 施肥試験

「吟のさと」と「改良雄町」の生育特性は、施肥量の増加に伴い、出穂期・成熟期が遅れ、稈長が長く、倒伏程度が大きくなり、穂数が増加する傾向が認められた。

「吟のさと」と「改良雄町」の全粒数は、基肥量の増加および穂肥の施用に伴い増加し、基肥8kg穂肥2kg区でそれぞれ28,900粒/m²、22,664粒/m²となった。千粒重は、基肥量の増加により小さくなり、穂肥の施用により大きくなる傾向が認められた。精玄米歩合は施肥量が多くなるほど低くなり、「改良雄町」でこの傾向が顕著であった。

「吟のさと」の玄米収量は、基肥量の増加および穂肥の施用に伴い多収となり、基肥8kg穂肥2kg区で582kg/10aとなった。しかし、「改良雄町」の玄米収量は穂肥の施用により増収する傾向が認められたものの、基肥の増加による増収効果は認められず、350kg/10a前後と全体的に低い収量レベルであった(図5)。

玄米タンパク質含有率は、両品種とも穂肥の施用により高くなる傾向が認められたが、基肥8kg穂肥2kg区でも7.1%とほぼ適正な範囲内であった(図5)。

心白整粒比率は、穂肥の施用により高まる傾向が認められ、玄米品質が向上した。一方、胴割れ粒比率は「吟のさと」ではどの試験区でも少なかったが、「改良雄町」では基肥量が多くなるほど増加する傾向が認められた(図6)。

以上のことから、「吟のさと」は「改良雄町」に比べ増肥により容易に収量が確保でき、玄米品質は穂肥の施用により向上することが明らかとなった。

4. 考察

4-1 作期試験

本県平坦地の普通期栽培である、6月4日移植における「吟のさと」の出穂期および成熟期は、「玉栄」と比較しそれぞれ9日間および14日間遅くなった。このため、「吟のさと」の山梨県における早晩性は、「玉栄」が“中生の晩”とされることから“晩生の晩”と考えられた。「吟のさと」は育成地の福岡県では「山田錦」と同熟期であるが⁷⁾、本県の普通期栽培（6月上旬移植）では4日晩熟であった。

石井ら⁸⁾は「山田錦」を用いた気温勾配試験において、出穂後15日間の日平均気温が26.8℃以上で登熟歩合や千粒重、完全米や心白米の割合および心白の質が低下することを報告している。また、粳米においても出穂後20日の平均気温が26～28℃以上になると、白未熟粒や胴割れ粒により玄米品質が低下することが知られている^{9,10)}。本年は夏期に高温が続き、いずれの移植期でも出穂後20日間の日平均気温が27℃以上と非常に高い登熟気温の条件下での試験であったため、各品種の精玄米歩合や整粒比率は例年よりも低い値を示した。しかし「吟のさと」および「山田錦」の精米タンパク質含有率は低く、酒造米として好適であると考えられた。

日本の夏季の気温は1980年頃から異常高温が頻発する傾向にあり、今後もこのような気象変動の大きい状況が続くとされる¹¹⁾。そこで、今回供試した品種の生育特性から、山梨県における酒造米の出穂の適期を考察してみた。

アメダス甲府地点の直近20年間の日平均気温データから、8月から9月において20日間の日平均気温が26℃以下になる起日を年ごとに求めた。20年間における出現割合が、暦日に沿って50%、80%、100%となる日を算出すると、それぞれ8月19日、8月27日、9月4日となった。

すなわち、近年の気象条件を考慮すると、本県平坦地において、酒造米を安定的な品質を確保しつつ栽培するためには、8月6半旬～9月1半旬に出穂するように品種や移植時期を選択しなければならない。このためには、「吟のさと」「山田錦」は6月4半旬に、「改良雄町」「玉栄」はそれ以降に移植する必要がある。しかし、本年の作期試験から「改良雄町」「玉栄」は6月下旬に移植すると収量が低下する危険がある。また「山田錦」は倒伏に弱いこと、整粒比率が低く、かつ胴割れ粒比率がやや高いことから、「吟のさと」と比較すると、栽培特性や玄米品質の面で不利な形質が認められた。

以上より、山梨県の平坦地において酒造適性に優れ安定的に栽培が可能な品種は「吟のさと」であると推察され、その移植適期は6月中旬と考えられた。

4-2 醸造試験および官能評価

「吟のさと」試醸酒と「改良雄町」試醸酒は、ほぼ同等の経過を経て生成されており、前者は留後25日で、後

者は留後26日で上槽された。これら試醸酒のアルコール度、日本酒度および酸度はほぼ同等であることから、「吟のさと」試醸酒と「改良雄町」試醸酒の違いは、酒造米の違いが生成酒に及ぼす影響を端的に示すものと考えられた。

一般に、清酒の呈味に影響を与える要素として、遊離アミノ酸が挙げられる。「改良雄町」試醸酒は「吟のさと」試醸酒と比較して約1.5倍の遊離アミノ酸含有量であったが、これは粗タンパク質含有量およびフォルモール態窒素の傾向と一致するものと考えられた。また、遊離アミノ酸のうち、アラニンが甘味アミノ酸として清酒中の含有量が多いと良いと評価され、同様にグルタミン酸とアスパラギン酸は酸味等を、アルギニンは苦味等を示すアミノ酸として悪いと評価される¹²⁾が、「改良雄町」試醸酒のアルギニン含有量は「吟のさと」試醸酒に対し1.7倍であり、全体の遊離アミノ酸含有量の1.5倍より相対的に多かった。アルギニンは、増殖期のきょうかい酵母1001号により取り込まれるアミノ酸¹³⁾であるが、発酵経過は「吟のさと」試醸酒と「改良雄町」試醸酒とでほぼ同等であったことから、試醸酒のアルギニン含有率の違いは、原料である酒造米の違いが原因であると考えられた。またこれは、官能評価において「改良雄町」試醸酒に指摘された苦味や雑味の一因と考えられた。

「吟のさと」は、醸造試験において問題なく、十分な実用性があるものと推察された。

4-3 施肥試験

杉浦ら¹⁴⁾は「夢山水」で、窒素施肥量が多くなるほど生育が旺盛になり、成熟期が遅れ、倒伏が発生し、籾数・収量・玄米タンパク質含有率が増加し、登熟歩合（精玄米歩合）、千粒重、玄米品質が低下するとしている。一方、中村ら¹⁵⁾は酒造米において、施肥条件の違いが収量性や品質におよぼす影響には品種間差があることを指摘している。本試験において「吟のさと」は施肥量の増加に伴い、成熟期は遅れ、稈長は長くなった。しかし、倒伏が軽微であったことから、着粒籾数は増加し、かつ精玄米歩合が高まるとともに、千粒重が重くなり、玄米収量は増加した。一方、「改良雄町」は施肥量の増加に伴い、倒伏が助長されたことから、着粒籾数は増加したものの精玄米歩合が低下し少収となった。「吟のさと」は「改良雄町」に比べ、増肥により容易に収量が確保できる酒造米品種であること、穂肥の施用により玄米品質が良好になることが明らかになった。

また、「吟のさと」の玄米タンパク質含有率は「改良雄町」と同等以下で、穂肥の施用により高まる傾向が認められたが、最大でも7.1%とほぼ適正な範囲内であった。「吟のさと」において収量および品質、適正な玄米タンパク質含有率を得るためには、窒素成分で基肥6～8kg/10a、穂肥2kg/10aの施肥体系が適当と考えられた。

窒素の多施用は心白の発現が減少することが報告されているが¹⁶⁾、本試験においては基肥の施用量と心白の発現には一定の傾向は認められず、「吟のさと」の穂肥を施用した区でむしろ心白整粒の比率が高くなる傾向が認められた。一方、胴割れ米比率は穂肥の施用により低くなる傾向が認められ、川口ら¹⁷⁾の粳品種を用いた報告と一致した。

5. 結 言

酒造米品種「吟のさと」は晩生で、耐倒伏性などの栽培特性に優れ、特に6月中旬移植における収量性や玄米品質が高かった。また、精米特性や消化性等の酒造適性、試醸酒の官能評価が優れた。さらに、増肥により容易に収量が確保でき、収量および品質、適正な玄米タンパク含有率を得るには、窒素成分で基肥6~8kg、穂肥2kgの施肥体系が適当であった。以上より、「吟のさと」は本県平坦地における適用性が高い晩生種であることが明らかになった。

6. 謝 辞

九州沖縄農業研究センターには酒造米の種子を提供いただいた。谷桜酒造有限会社の皆様には仕込み試験に、NPO法人チーム南アルプスの皆様には仕込み試験に供する原料米の生産にご協力いただいた。栽培試験や収穫・調整、品質調査には、総合農業技術センターの飯島喜仁主任技能員、中嶋今朝子さん、植松誠さん、埴原直樹さんにご協力いただいた。各位に御礼申し上げます。

最後に、本試験のコーディネータとして、試験の進行やとりまとめに際し適切な御助言をいただいた、総合理工学研究機構の市川和規研究管理幹に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 平成22年産米の検査結果：http://www.maff.go.jp/j/soushoku/syoryu/kensa/kome/pdf/20kome_2011.pdf
- 2) 農林水産省：年度水稲・麦類・大豆奨励品種特性表、78~79 (2008)
- 3) 山梨県：稲・麦・大豆生産指導指針、10~27 (2005)
- 4) 山梨県：平成21年度病害虫防除基準・農薬適性使用指針 (2009)
- 5) 高橋仁、廣島一朗、中田健美、斎藤久一、椎木敏：酒造好適米「吟の精」の潜在的な心白について、日本醸造協会誌、94、244-251 (1999)
- 6) 酒造用原料米全国統一分析法：酒米研究会 (1996)
- 7) 九州沖縄農業研究センター筑後研究拠点低コスト稲育苗サプチーム：水稲「西海酒255号」、新品種決定に

- 関する参考成績書、pp26 (2007)
- 8) 石井健太郎、大場和彦、丸山篤志、片野學：TGCによる登熟期間の高温処理が水稲酒米品種「山田錦」の粒質に及ぼす影響、日本作物学会九州支部会報、74、24-26 (2008)
 - 9) 若松謙一、田中明男、佐々木修：水稲登熟期間の時期別高温処理が玄米外観品質に及ぼす影響、日本作物学会九州支部会報、76、12-14 (2010)
 - 10) 長田健二、滝田正、吉永悟志、寺島一男、福田あかり：登熟初期の気温が米粒の胴割れ発生におよぼす影響、日本作物學會紀事、73、336-342 (2004)
 - 11) 気象庁：気候変動監視レポート2009 (2009)
 - 12) 岩野君夫、高橋和弘、伊藤俊彦、中澤信重：清酒の呈味性に影響を及ぼすアミノ酸の探索、日本醸造協会誌、99、659-664 (2004)
 - 13) 伊藤俊彦、渡辺沙織、渡辺誠衛、中沢伸重、岩野君夫：呈味性アミノ酸の取込み及び放出による酵母菌株の比較、日本醸造協会誌、101、879-885、(2006)
 - 14) 杉浦和彦、大竹敏也、林元樹、工藤悟：酒造好適米「夢山水」の高品質・安定生産技術、愛知農総試研報、33、49-56 (2001)
 - 15) 中村承禎、上田一好、楠谷彰人、浅沼興一郎、豊田正範：香川県における酒米品種の栽培および育種に関する基礎研究—第3報 収量と品質に及ぼす施肥量の影響、日本作物学会四国支部紀報、33、1-10 (1996)
 - 16) 山根国男、西田清数：酒米と酒、農業及び園芸、54、1222-1226 (1979)
 - 17) 川口祐男、北條綾乃：穂肥の施用条件が籾水分と胴割れ米の発生に及ぼす影響、北陸作物学会報、45、15-18 (2010)

山梨県における有色素米の有望品種

石井利幸¹, 廣瀬裕子², 岩間巧², 内松大輔³, 上野直也¹

(¹総合農業技術センター, ²山梨大学, ³株式会社はくばく)

要約 赤米, 緑米, 黄米について山梨県における有望品種の選定を行った。赤米は機能性成分含量, 抗酸化活性及び玄米外観品質において「西南赤糯137号」が優れていた。緑米は「緑万葉」が「西海糯263号」より早熟で, 収量性はやや優れていた。黄米は収量性, 機能性成分含量, 玄米外観品質において「初山吹」と「むさしの20号」の間に差はなく, 本県で栽培する場合, 「初山吹」は中間地向け, 「むさしの20号」が平坦地向けとして有望であることを確認した。

Promising Kinds of Colored-grain Rice in Yamanashi Prefecture.

Toshiyuki ISHII¹, Yuko HIROSE², Takumi Iwama², Daisuke UCHIMATSU³, Naoyo UENO¹ (¹Yamanashi Prefectural Agritech Center, ²University of Yamanashi, ³Hakubaku Co.,Ltd).

Abstract We selected a promising cultivar of colored-grain rice in Yamanashi prefecture. 'Seinan akamochi 137' of red rice was excellent in the functionality element content, the antioxidative activity, and the appearance quality of brown rice. "Midorimanyo" of green rice was more precocious than "Saikaimochi 263", and a little excellent in the character concerning amount. Yellow rice did not have the difference between "Hatsuyamabuki" and "Musashino 20" in the yield performance, the functionality element content, and the brown rice externals quality. In Yamanashi prefecture, "Hatsuyamabuki" was promising as the cultivar for the middle land, and "Musashino 20" was promising as the cultivar for flat land.

1. 緒言

山梨県の水稲は, 峡北地域を中心に良食味米生産地として一定の評価をうけている。しかし, 近年は米価が低下傾向にあり, 地域のオリジナル性を高めるために特徴ある品種の導入が望まれてきた。そこで, 紫黒米「朝紫」が2007年に奨励品種として採用された¹⁾。「朝紫」はポリフェノールを多く含み²⁾³⁾, その機能性と特徴的な外観から高い関心を集めている。紫黒米を含む有色素米は, 主に白米と混合して炊飯するブレンド雑穀の素材として利用されており, 有色素米取扱業者(以下, 実需者)からは, 「朝紫」の増産とともに赤米や緑米などの他の有色素米の生産が求められている。そのため, これら有色素米の安定生産は, 県内の水稲栽培農家の所得安定化とともに県産米を利用した新商材の開発に繋がることが期待できる。

有色素米は丈が長く倒れやすかったり, 穂から籾が落ちやすいなど, 栽培に適さない特徴が多くあったが, 最近では品種改良が進み, 栽培しやすい品種が育成されている⁴⁾。しかし, 本県のように気温の日較差が大きい内陸性の気象条件に適した品種や栽培技術に関する知見はない。

本研究では赤米, 緑米などについて, 本県における栽培特性を明らかにし, 早晚性, 収量性, 玄米品質, 機能性成分含量などから有望品種を選定する。有望品種については, 収量性を向上させ, 色の濃さや均一性および機能性に優れた栽培方法を明らかにし, 新たな高付加価値農産物の創出を目指す。

昨年度の試験では, 赤米3品種, 緑米5品種, 胚乳黄化米(以下, 黄米)2品種を供試し, 品種比較試験を実施した。その結果, 赤米は「夕やけもち」が収量性, 「西南赤糯137号」が機能性成分含量および玄米外観品質において優

れていた。緑米は品種の違いによって成熟期が異なった。収量性では「緑万葉」, 「西海糯263号」が優れていて, 玄米外観品質は, 品種間に明確な違いはなかった。黄米は品種により成熟期が異なり, 「西海黄256号(初山吹)」が中間地向け, 「むさしの20号」が平坦地向けとして有望であった⁴⁾。

本年度は, これらの品種特性について年次変動を確認するとともに, 色米ごとに本県の有望品種を明らかにする。

2. 実験方法

2-1 赤米

試験は総合農業技術センター内圃場(甲斐市下今井, 標高315m, 灰色低地土, 前作:水稲)で行った。供試品種は「夕やけもち」, 「西南赤糯137号」を用いて, 本県奨励品種の紫黒米「朝紫」を対照品種とした。試験規模は1区あたり9m²として, 各区2反復で行った。5月7日に播種し, 6月4日に22.2株/m²(条間30cm, 株間15cm)の栽植密度で, 1株あたり3本を手植えた。施肥量は基肥としてN-P205-K20 = 5-5-5kg/10a, 減数分裂期の追肥としてN-K20 = 2-2kg/10a相当量を化学肥料で施した。雑草および病害虫防除, 水管理等は所内慣行の方法で行った。生育期間中に生育ステージ, 倒伏程度, 収穫後に玄米収量, 収量構成要素を調査した。倒伏程度の基準は, 観察により, 0(無), 1(微), 2(小), 3(中), 4(大), 5(甚)の6段階とした。坪刈り試料は1週間程度の乾燥後, 脱穀, 脱芒, 風力選別, 籾すり, 1.8mmのグレーダー選別を行った玄米を調査試料とした。機能性成分含量は, 玄米を粉碎し, 総フェノール量, 総フラボノイド量, プロアントシアニン量および抗酸化活性(DPPHラジカル捕捉活性)を測定した。抽出及び分析方

法は昨年度と同様に行った⁹⁾。玄米外観品質は、色彩色差計(日本電飾工業株式会社製, ZE2000)による色差値測定および実需者の肉眼による外観評価を実施した。色差値はa*値(高い値ほど赤系色を呈する)で評価した。実需者による外観評価の基準は、色の均一性や発色の程度から、5(良好), 4(やや良好), 3(普通), 2(やや劣), 1(劣)の5段階とした。

2-2 緑米

試験場所, 対照品種, 試験方法, 耕種概要, 収穫後の調整方法, 調査項目などは試験2-1と同様とし, 「緑万葉」, 「西海糯263号」を供試した。玄米外観品質は色差値測定および実需者による外観評価を実施した。色差値はa*値(低いほど緑系色を呈する)で評価した。外観評価の基準は、緑粒の混入割合や発色程度などから、5(良好), 4(やや良好), 3(普通), 2(やや劣), 1(劣)の5段階とした。機能性成分含量は昨年度の試験に供試した「緑万葉」, 「西海糯263号」, 「朝紫(対照品種)」, 「コシヒカリ(参考品種)」の玄米を用いた。

2-3 黄米

試験場所, 対照品種, 試験方法, 耕種概要, 収穫後の調整方法, 調査項目などは試験2-1と同様とし, 「初山吹(西海黄256号)」, 「むさしの20号」を供試した。玄米外観品質は色差値測定を実施した。色差値はb*値(高い値ほど黄系色を呈する)で評価した。機能性成分含量については昨年度の試験に供試した「初山吹」, 「むさしの20号」

「朝紫(対照品種)」, 「コシヒカリ(参考品種)」の玄米を用いた。

3. 結果

3-1 赤米

(1) 栽培特性

各品種の生育, 収量および収量構成要素に及ぼす影響を表1に示した。対照品種の「朝紫」と比較した特性を以下に述べる。「夕やけもち」は出穂期が2日, 成熟期が1日早く, 「西南赤糯137号」は出穂期, 成熟期ともに3日遅かった。稈長は両品種とも短く, 倒伏はなかった。穂数と千粒重は「西南赤糯137号」が同程度だったのに対して, 「夕やけもち」は穂数が少なく, 千粒重がやや重かった。総粒数と登熟歩合は「夕やけもち」が同程度で, 「西南赤糯137号」は総粒数が少なく, 登熟歩合が高かった。玄米収量は「夕やけもち」が480kg/10a, 「西南赤糯137号」が467kg/10aで, 両品種間に有意な差は認められず, 「朝紫」と同程度だった。

(2) 機能性成分含量

総フェノール量, 総フラボノイド量, プロアントシアニン量の測定結果を図1に示した。いずれの機能性成分含量においても「西南赤糯137号」は, 「夕やけもち」, 「朝紫」および「コシヒカリ」より高かった。また, 図2のようにDPPHラジカル捕捉活性においても同様の傾向であった。

(3) 玄米外観品質

表1 赤米品種の違いが生育収量および収量構成要素に及ぼす影響

品種	出穂期	成熟期	倒伏多少 0-5	稈長 cm	穂数 本/m ²	千粒重 g/1000粒	総粒数 千粒/m ²	登熟歩合 %	玄米収量 kg/10a
	月.日	月.日							
夕やけもち	8.01	9.06	0	67.1	260	21.7	27.7	80.0	480 ^a
西南赤糯137号	8.06	9.10	0	78.0	306	20.0	25.6	91.1	467 ^a
朝紫(対照)	8.03	9.07	0	80.5	300	20.4	28.3	78.4	453 ^a

倒伏程度は0(無)~5(甚)の6段階評価(観察)

玄米収量, 千粒重は含水率15%に補正した。

玄米収量右上の同一アルファベット間には有意差がないことを示す(Tukey法, 5%)

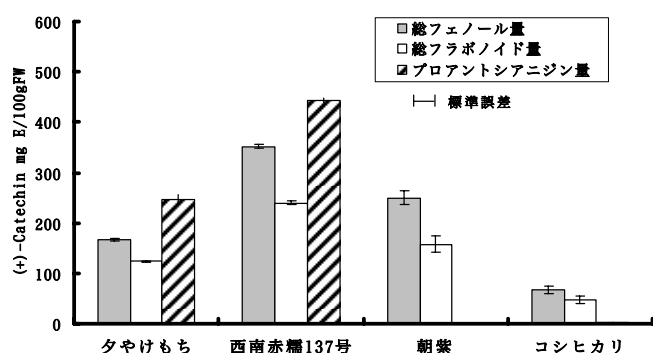


図1 赤米品種と機能性成分含量

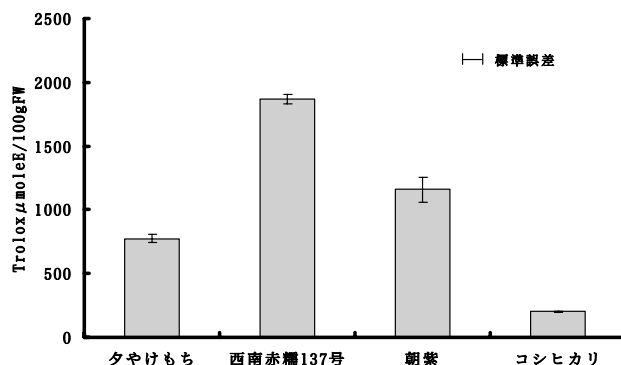


図2 赤米品種と抗酸化活性 (DPPHラジカル捕捉活性)

色差値 (a*値) の測定結果および実需者による外観評価結果を表2に示した。色差値 (a*値) は「西南赤糯137号」が「夕やけもち」より高い値で赤みが強かった。実需者の評価は「西南赤糯137号」が色鮮やかで「夕やけもち」より優れていた。

3-2 緑米

(1) 栽培特性

各品種の生育、収量および収量構成要素に及ぼす影響を表3に示した。対照品種の「朝紫」と比較した特性を以下に述べる。

「緑万葉」は出穂期が26日、成熟期が25日、「西海糯263号」は出穂期、成熟期ともに33日遅かった。稈長は「朝紫」より長かったが、倒伏はなかった。穂数と総粒数は「緑万葉」が多く、「西海糯263号」は少なかった。千粒重は「西海糯263号」が重かった。登熟歩合は「西海糯263号」が低かった。玄米収量は、「緑万葉」が468kg/10a、「西海糯263号」が444kg/10aで、両品種間に有意な差は認められなかった。

(2) 機能性成分含量

総フェノール量、総フラボノイド量の測定結果を図3、DPPHラジカル捕捉活性を図4に示した。総フェノール量、

抗酸化活性 (DPPHラジカル捕捉活性) は「緑万葉」、「西海糯263号」とともに「朝紫」より低く、「コシヒカリ」と同程度だった。総フラボノイド量は「緑万葉」が「西海糯263号」よりやや高かった。

(3) 玄米外観品質

色差値 (a*値) の測定結果および実需者による外観評価結果を表4に示した。色差値 (a*値) は「西海糯263号」が「緑万葉」より低く緑色が濃かったが、実需者の評価はともに3で同程度だった。

3-3 黄米

(1) 栽培特性

各品種の生育、収量および収量構成要素に及ぼす影響を表5に示した。対照品種の「朝紫」と比較した特性を以下に述べる。「初山吹」は出穂期が同程度、成熟期が3日遅く、「むさしの20号」は出穂期が12日、成熟期が23日遅かった。稈長は両品種とも短く、倒伏はなかった。穂数は「初山吹」が同程度だったのに対して、「むさしの20号」は少なかった。千粒重は両品種とも重く、総粒数は少なかった。登熟歩合は「初山吹」がやや低かった。玄米収量は両品種とも420kg/10a程度で「朝紫」よりやや少なかったが、有意な差は認められなかった。

表2 赤米品種と玄米外観品質

	夕やけもち	西南赤糯137号
色差値 (a*値) ¹⁾	12.7±0.41	15.3±0.29
実需者評価 ²⁾	2	3

1) 色差値は平均値±標準誤差

2) 実需者評価は5(良好)~1(劣)の5段階評価で行った

表4 緑米品種と玄米外観品質

	緑万葉	西海糯263号
色差値 (a*値) ¹⁾	3.38±0.67	2.28±0.18
実需者評価 ²⁾	3	3

1) 色差値は平均値±標準誤差

2) 実需者評価は5(良好)~1(劣)の5段階評価で行った

表3 緑米品種の違いが生育収量および収量構成要素に及ぼす影響

品種	出穂期	成熟期	倒伏多少	稈長	穂数	千粒重	総粒数	登熟歩合	玄米収量
	月.日	月.日	0-5	cm	本/m ²	g/1000粒	千粒/m ²	%	kg/10a
緑万葉	8.29	10.02	0	89.9	366	18.2	33.1	77.8	468 ^a
西海糯263号	9.05	10.10	0	92.8	280	25.2	24.6	72.0	444 ^a
朝紫(対照)	8.03	9.07	0	80.5	300	20.4	28.3	78.4	453 ^a

倒伏程度は0(無)~5(甚)の6段階評価(観察)

玄米収量、千粒重は含水率15%に補正した。

玄米収量右上の同一アルファベット間には有意差がないことを示す(Tukey法, 5%)

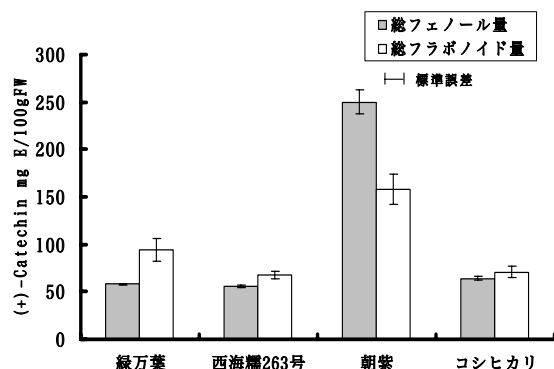


図3 緑米品種と機能性成分含量

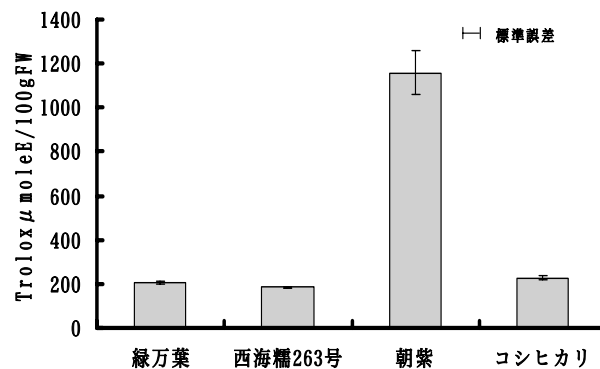


図4 緑米品種と抗参加活性 (DPPHラジカル捕捉活性)

表5 黄米品種の違いが生育収量および収量構成要素に及ぼす影響

品種	出穂期 月.日	成熟期 月.日	倒伏多少 0-5	稈長 cm	穂数 本/m ²	千粒重 g/1000粒	総粒数 千粒/m ²	登熟歩合 %	玄米収量 kg/10a
初山吹	8.03	9.10	0	70.9	301	22.5	25.4	73.7	420 ^a
むさしの20号	8.15	9.30	0	67.1	277	22.3	23.9	79.7	424 ^a
朝紫(対照)	8.03	9.07	0	80.5	300	20.4	28.3	78.4	453 ^a

倒伏程度は0(無)～5(甚)の6段階評価(観察)

玄米収量, 千粒重は含水率15%に補正した

玄米収量右上の同一アルファベット間には有意差がないことを示す(Tukey法, 5%)

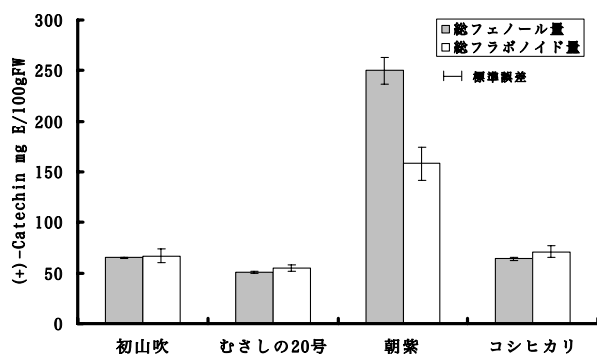


図5 黄米品種と機能性成分含量

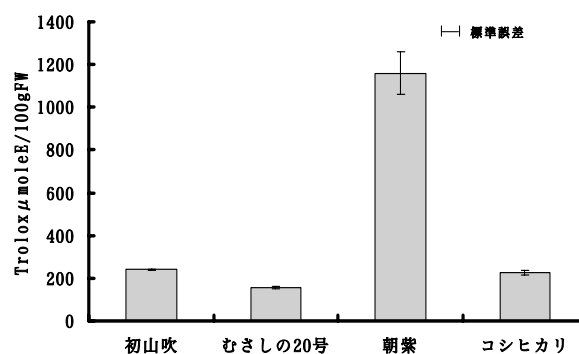


図6 黄米品種と抗参加活性 (DPPHラジカル捕捉活性)

表6 黄米品種と玄米外観品質

	初山吹	むさしの20号
色差値(a*値) ¹⁾	28.4±0.19	26.2±0.10

1) 色差値は平均値±標準誤差

(2) 機能性成分含量

総フェノール量, 総フラボノイド量の測定結果を図5, DPPHラジカル捕捉活性を図6に示した。いずれの機能性成分含量においても「初山吹」と「むさしの20号」は「コシヒカリ」と同程度で, 「朝紫」より低かった。

(3) 玄米外観品質

色差値(a*値)の測定結果を表6に示した。「初山吹」が「むさしの20号」よりやや高く黄色を呈していた。

4. 考 察

4-1 赤米

「夕やけもち」は「朝紫」と比べてほぼ同熟で, 「西南赤糯137号」はやや晩熟であり, 熟期の面では両品種とも本県の中間地以下で栽培が可能と考えられる。収量構成要素が異なるものの玄米収量に有意な差は認められず, 機能性成分含量や玄米外観品質は, 「西南赤糯137号」が「夕やけもち」より優れていた。このことから, 本県の赤米有望品種は機能性成分含量や玄米外観品質に優れる「西南赤糯137号」であると推察された。今後は「西南赤糯137号」の高品質安定生産技術の確立を目指して, 機能性成分含量, 玄米外観品質及び収量性を高める栽培法の確立が必要である。赤米は登熟期の気温により

抗酸化活性や色素の発現程度が異なること^{6,7)}が知られている。そのため, 来年度は気象条件の違いが機能性成分含量や玄米外観品質に及ぼす影響について検討を行い, 栽培適地や移植適期を明らかにする予定である。また, 収量性の向上については, 最適施肥量について検討する。

4-2 緑米

「緑万葉」, 「西海糯263号」は本県において「極晩生」に分類され, 本県の平坦地で栽培が可能であると推察された。

ただし, 「緑万葉」は「西海糯263号」より8日程度早熟であることから, 「緑万葉」の方が栽培可能地域は広いと考えられた。穂数, 総粒数, 登熟歩合は「緑万葉」が優れ, 千粒重は「西海糯263号」が重く, 収量性は同程度であった。昨年度は「緑万葉」が「西海糯263号」より多収であったことから, 「緑万葉」は「西海糯263号」と比較して同程度以上の玄米収量が得られると考えられた。機能性成分含量は, 「緑万葉」, 「西海糯263号」ともに, 一般の粳米品種「コシヒカリ」と同程度で品種間に違いは認められなかった。色差値調査における玄米外観品質は, 「西海糯263号」が「緑万葉」よりやや優れていたが, 実需者による評価は同程度だった。このことから, 熟期が「西海糯263号」より早く, 収量性の高い「緑万葉」が本県の緑米有望品種であると推察された。緑米は機能性成分含量について一般の粳米と同程度であったが, 実需者からは赤米同様, 現在取り扱っている他県産を県内産に切り替えたいとの要望がある。そのため, 県

内での安定生産技術について更なる検討が必要であると考えられる。来年度は「緑万葉」について、施肥量や登熟期の気象条件の違いが玄米収量、機能性成分含量および玄米外観品質に及ぼす影響を明らかにする予定である。また、一般的に緑米品種は早刈りの方が緑米の混入割合が多いといわれており、刈取適期についても検討する。

4-3 黄米

本県において「初山吹」は「朝紫」や「コシヒカリ」と同じ「中生」に、「むさしの20号」は「晩生」に分類されると推察された。収量性は昨年度と同様に2品種の間に有意な差は認められず、本県では2品種間に収量性の違いはないと考えられた。また、機能性成分含量は「コシヒカリ」と同程度で品種間に違いは認められなかった。玄米外観品質についても2品種の間に有意な差は認められなかった。この傾向は昨年度と同様であった。このことから、本県で黄米を栽培する場合、中間地では「初山吹」、平坦地では「むさしの20号」が適していることを確認できた。なお、黄米は胚乳が黄色を呈する極めて珍しい品種であるが、機能性成分含量は一般の粳米品種と同程度であること、実需者からの生産要望が赤米や緑米より大きくないことから、黄米品種に関する試験は今年度で完了する。

5. 結 言

本県の水稲生産現場および県内有色素米取扱業者から、新たな有色素米の生産が求められている。本研究では、赤米、緑米、黄米について、それぞれの栽培特性、機能性成分含量、玄米外観品質を明らかにし、有望品種を選定した。

来年度は、赤米、緑米の有望品種について登熟期の気象条件の違いが生育、収量、玄米品質、及び機能性成分含量に及ぼす影響を明らかにするとともに、施肥量や刈取適期などの安定栽培法について検討する。

6. 謝 辞

本研究の実施にあたり、東北農業研究センター、埼玉県農林総合研究センター、九州沖縄農業研究センター、鹿児島県農業開発総合センターには種子を分譲していただきました。栽培管理、収量や玄米品質などの調査補助を担当していただきました飯島喜仁主任技能員、中嶋今朝子さん、植松誠さん、埴原直樹さんには大変お世話になりました。各位に厚く御礼申し上げます。

最後に試験の遂行にあたりご指導、ご助言を賜りました総合理工学研究機構の市川和規研究管理幹に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 農林水産省生産局：水稲稲・麦類・大豆奨励品種特性表，78-79 (2008)
- 2) 上野直也，小林真理，石井利幸，外川高雄，加藤知美，長坂克彦：有色素米の特性と機能性成分に関する研究 第1報：紫黒糯水稲「朝紫」の特徴と機能性成分の評価，山梨県総合農業技術センター研究報告1, 1-8 (2007)
- 3) 猪谷富雄，岡本実剛，藤井一範，武藤徳男，建本秀樹：有色素米の抗酸化活性とポリフェノール成分の品種間差異，日本食品科学工学会誌49 (8)，540-543 (2002)
- 4) 猪谷富雄，小川正巳：わが国における赤米栽培の歴史と最近の研究情勢，日作紀73 (2)，137-147 (2004)
- 5) 石井利幸，廣瀬裕子，内松大輔，上野直也：有色素米の栽培特性と機能性評価，山梨県総合理工学機構研究報告書第5号，91-95 (2010)
- 6) 小松清高，玉置雅彦，藤井一範，武藤徳男，猪谷富雄：有色素米の抗酸化能に関する研究－品種間差異と栽培条件の影響－，日作紀72 (別2)，108-109 (2003)
- 7) 猪谷富雄，杉戸政之，玉置雅彦：赤米および紫黒米における色素発現の推移と温度の影響，日作紀67 (別2)，32-33 (1998)

成果発表状況

学会発表

- 1) 石井利幸，上野直也，廣瀬裕子・笠井明穂・岩間巧・内松大輔：山梨県における水稲赤米品種の栽培特性と機能性および炊飯評価，日本作物学会関東支部第99回講演会，神奈川県藤沢市，2010。

醗酵食品残渣の有効利用に関する研究

**Component Analysis of Utilization of Fermentation
Food Processing Waste and Fermentation of Yeast on
Lees of Grape**

自己調製酵母エキスでの乳酸菌培養

斎藤美貴, 長沼孝多, 橋本卓也, 小嶋匡人, 木村英生
(山梨県工業技術センター)

要約 醗酵食品残渣を乳酸菌の培地として活用し, 乳酸を生成するために, ブドウ搾り滓で酵母を培養し, 酵母エキスを自己調製することを試みた. 酵母菌体のエキス化方法として, 物理的破碎方法や自己消化法を検討したところ, 溶菌効率や作業性の面から自己消化法が優れていた. 得られた酵母エキスで乳酸菌を培養し, 乳酸菌用培地としての有用性を調査したところ, 自己調製酵母エキスは窒素源として有効であることがわかった.

Cultivation of Lactic Acid Bacteria by Self-making Yeast Extract

Miki SAITO, Kota NAGANUMA, Takuya HASHIMOTO, Masato KOJIMA and Hideo KIMURA (Yamanashi Industrial Technology Center).

Abstract To produce lactic acid by using of fermentation food processing residue as medium of lactic acid bacteria, we cultivated yeast on lees of Koshu grape and tried making yeast extract. The yeast extract was made by physical fracturing methods or autolysis method. From bacteriolysis rate and working efficiency, autolysis method was adequate. Utility as the lactic acid bacteria medium was investigated by culturing the lactic acid bacteria by the self-making yeast extract. And self-making yeast extract was effective as nitrogen source.

1. 緒言

本研究は山梨県内の発酵食品業界で排出される醗酵食品残渣について乳酸菌による乳酸醗酵の培地としての利用を検討し, ポリ乳酸の原料である乳酸の低コストでの生産, 回収および精製を目的としている.

昨年度は各種醗酵食品残渣を微生物の培地として使用するため, その栄養成分の分析を行った. その結果, 甲州種に代表される白ワイン用品種のブドウ搾り滓には約7~8%の単糖が残存しており, 酵母生育のための糖の供給源(炭素源)として有効であることがわかった. そこで, 乳酸菌培地成分のなかで, 最もコストが高い成分のひとつである酵母エキスを自己調製するために, 甲州種のブドウ搾り滓で酵母の培養を行ったところ, *Saccharomyces cerevisiae* W3, *Saccharomyces cerevisiae* OC-2および*Pichia anomala*が良好に増殖することがわかった¹⁾. 即ち, ブドウ搾り滓が, 酵母の増殖培地として活用できることを明らかにした.

そこで, 本年度は, 甲州種のブドウ搾り滓で培養した酵母のエキス化方法を検討した. さらに, 自己調製した酵母エキスが, 乳酸菌の窒素供給源になっているか調査した.

2. 実験方法

2-1 実験材料

ブドウ搾り粕(甲州)は山梨県内のワイン醸造企業3社および山梨県ワインセンターから入手し, 使用するまで, -20°Cで保存した.

2-2 ブドウ搾り粕での酵母の培養

2-2-1 酵母菌株

独立行政法人製品評価技術基盤機構・生物遺伝資源部門から分譲された*Saccharomyces cerevisiae* W3 (NBRC 106611)を使用した.

2-2-2 酵母増殖培地

前培養には既報²⁾と同様の半合成培地を使用した. 本培養にはブドウ搾り滓培地を使用した. ブドウ搾り滓培地はブドウ搾り滓濃度が15% (w/v) となるように蒸留水を加え, 家庭用ジューサーミキサーで1分間攪拌後, 遠心分離(4,730g, 20分間, 4°C)して調製し, 上澄を使用した.

2-2-3 酵母の培養方法

前培養は半合成培地5mlに各菌株を保存用斜面培地から1白金耳接種し, 130rpm, 25°Cで15~24時間振盪培養した. 分光光度計(U-1500, HITACHI社製)を用いて, 波長660nmの光学密度(以下OD₆₆₀と略す)が0.5を越えたら, ブドウ搾り滓培地にOD₆₆₀が0.01となるように接種し, 130rpm, 25°Cで24時間振とう培養した.

2-3 酵母のエキス化

培養液を遠心分離(4,730g, 20分間, 4°C)し, 上澄液を除き, 菌体濃度が湿重量で20% (w/v) となるように蒸留水を加え, 懸濁した. この20%菌体液を使用して, 以下の溶菌または破碎方法で酵母をエキス化した.

2-3-1 ガラスビーズ破碎

菌体液1mlをワッセルマン試験管に採取し, ガラスビーズ(φ1mm)を2.5g加え, 試験管振盪装置(CUTE-MIXER CM-1000, 東京理化学器械株式会社製)で2,000rpm, 20分間振とうした. 破碎液をマイクロテストチューブに採取し, 遠心分離(4583×g, 10分間, 4°C)した. 得られた上澄液分中の可溶性タンパク質量をBCA法(PierceR BCA Protein Assay Kit, サーマフィッシュャーサイエンティフィック株式会社製)で定量し, 酵母のエキス化程度を調べた.

2-3-2 オートクレーブ

菌体液を高圧蒸気滅菌器（オートクレーブ）で121°C、20分間の条件で処理した。以下はガラスビーズ方と同様に可溶性タンパク質を定量した。

2-3-3 超音波破碎

プラスチック容器に菌体液を入れ、氷冷しながら、超音波発生機（UD-201, 株式会社トミー精工社製）で出力：3, インターバルタイマー：50の条件で20分間処理した。以下はガラスビーズ方と同様に可溶性タンパク質を定量した。

2-3-4 自己消化

公知の方法に基づき²⁾, 酢酸エチルを菌体液中の菌体湿重量に対して2%加え, 45°Cで40時間保温した。以下はガラスビーズ方と同様に可溶性タンパク質を定量した。

2-4 自己調製酵母エキスの乳酸菌用培地としての評価

2-4-1 乳酸菌株

乳酸菌はホモ乳酸発酵を行い, 生成される乳酸のうち, L-乳酸生成率が98%以上³⁾の(独)製品評価技術基盤機構・生物遺伝資源部門から分譲された*Lactobacillus casei* (NBRC 15883)と(独)理化学研究所微生物系統保存施設から分譲された*Lactobacillus delbrueckii subsp.* (JCM1105)を使用した。

2-4-2 自己調製酵母エキス培地の調整

前培養にはMRS培地⁴⁾を使用した。本培養は, 自己調製酵母エキスが, 乳酸菌の窒素源や増殖因子の供給源として有効であるかを確かめるために表1に示した1/4MRS, ペプトン, 肉エキス, 酵母エキス, Tween 80, 無機成分(無機50%), 無機75%および無機100%の8種類の培地で行った。1/4MRS培地は溶媒に蒸留水-自己調製酵母エキス液(1:1, v/v)混液を使用し, グルコース濃度を2%として, その他のMRS成分は通常使用量の1/4とした培地である。ペプトン, 肉エキス, 酵母エキス, Tween80および無機成分培地は, 1/4MRS培地に各成分のみを1/4MRS培地

の2倍量(通常使用濃度の1/2量)になるように増強した培地である。また, 無機75%および無機100%は無機成分のみ1/4MRS培地の3倍量および4倍量(通常使用濃度の3/4量または等量)にした培地である。

2-4-3 乳酸菌の培養方法

高層培地で保存しておいた*L. casei* および*L. delbrueckii*をMRS培地に1白金線接種し, 37°Cで15~24時間静置して前培養した。分光光度を用いてOD₆₆₀を測定し, 本培養用培地にOD₆₆₀が0.05となるように植えつき, 37°Cで静置培養した。

2-4-4 培養液中の乳酸およびグルコースの測定

培養液を遠心分離(4,583g, 10分間, 4°C)し, 得られた上澄中の乳酸濃度を既報²⁾と同様に高速液体クロマトグラフで測定した。また, グルコース濃度を臨床検査用グルコース測定キット(グルコースCIIテストワコー, 和光純薬株式会社製)で測定した。

3. 結果および考察

3-1 酵母エキス化方法の比較

これまでに, *S. cerevisiae*および*P. anomala*が甲州種のブドウ搾り滓で良好に増殖することを確認したが, 産膜酵母である*P. anomala*は食品製造現場では変敗菌の1つで, 培養時に腐敗臭があり, 難点が多いため本実験では白ワイン用酵母*S. cerevisiae* W3を使用した。

微生物菌体は菌体が壊れると, 菌体内にあったタンパク質などが溶出される⁵⁾ので, 20%菌体液中に溶出されたタンパク質量を測定することにより, 酵母のエキス化方法の比較を行った。表2に示すように, 最もタンパク質溶出量が多かったのはガラスビーズ破碎であった。しかしながら, ガラスビーズ破碎は実験室レベルでは有効な方法であるが, 一度に少量(1ml程度)の試料しか処理できず, 実用化には不向きであった。次にタンパク質溶出量が多かった自己消化は時間を要するものの, 酢酸エチル

表1 培地組成

	MRS	1/4MRS	ペプトン	肉エキス	酵母エキス	Tween80	無機成分(無機50%)	無機75%	無機100%
グルコース	20g	20g	20g	20g	20g	20g	20g	20g	20g
ペプトン	10g	2.5g	5g	2.5g	2.5g	2.5g	2.5g	2.5g	2.5g
肉エキス	10g	2.5g	2.5g	5g	2.5g	2.5g	2.5g	2.5g	2.5g
酵母エキス	5g	1.25g	1.25g	1.25g	2.5g	1.25g	1.25g	1.25g	1.25g
Tween80	1g	0.25g	0.25g	0.25g	0.25g	0.5g	0.25g	0.25g	0.25g
クエン酸二アンモニウム	2g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	1.0g	1.5g	2g
酢酸ナトリウム	5g	1.25g	1.25g	1.25g	1.25g	1.25g	2.5g	3.75g	5g
硫酸マグネシウム7水和物	0.1g	0.025g	0.025g	0.025g	0.025g	0.025g	0.05g	0.075g	0.1g
リン酸水素二カリウム	2g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g	1.0g	1.5g	2.0g
硫酸マンガン(II)5水和物	50mg	12.5mg	12.5mg	12.5mg	12.5mg	12.5mg	25mg	37.5mg	50mg
自己調製酵母エキス液		0.5L	0.5L	0.5L	0.5L	0.5L	0.5L	0.5L	0.5L
蒸留水	1.0L	0.5L	0.5L	0.5L	0.5L	0.5L	0.5L	0.5L	0.5L

注) 1/4MRS培地に比べ, 増量した部分を□で囲んだ

を添加するのみであるので、作業は簡便であった。オートクレーブも作業は簡便ではあるものの、溶出されるタンパク質量は自己消化時の1/2程度で少なかった。超音波破碎は大腸菌などの破碎に一般的に用いられる方法であるが、発熱するため水冷する必要あり、また処理時間が長くなるとタンパク質が変性して不溶化したので、酵母の破碎には適さないと判断した。以上の結果から、自己消化によって酵母エキスを調製することにした。

3-2 自己調製酵母エキスでの乳酸菌の培養

自己消化法によって得られた酵母エキスを用いた培地 (1/4MRS, ペプトン, 肉エキス, 酵母エキス, Tween80および無機成分) で乳酸菌 *L. casei* および *L. delbrueckii* の培養を行い、自己調製酵母エキスの乳酸菌増殖培地の窒素源としての有効性について調査した。

1/4MRS培地において、自己調製酵母エキスから窒素源が供給されなかった場合、ペプトン、肉エキスまたは酵母エキスが増強されると、乳酸の生成量が向上し、糖の消費が増加する。しかしながら、*L. casei*の場合、それらを増強しても1/4MRS培地での乳酸生成量やグルコースの消費量との間に大きな違いは認められなかった。一方、無機成分を増強した培地では乳酸生成量が向上し、グルコースの消費量も多くなった。このことから、自己調製酵母エキスから窒素源は十分供給されていたものと考えられた。Tween80培地においても1/4MRS培地との間に有意な差は認められず、自己調製酵母エキスを使用した場合は、Tween80は不要であると考えられた (図1-1, 1-2)。

*L. delbrueckii*においても、ペプトン、肉エキス、酵母エキスまたはTween80を増強した培地では、乳酸生成量および、糖の消費量に有意な差はなかった。一方、無機成分培地では、培養48時間後にはグルコースを消費し尽くし、乳酸の生成もピークに達したことから、自己調製酵母エキスから窒素源が供給されていると考えられた。また、*L. delbrueckii*は乳酸発酵で広く工業的に用いられている乳酸菌の1つであり、*L. casei*に比べ、全体的に乳酸の生成および糖の消費速度が速く、培養72時間後には、

その他の培地でも無機成分培地と匹敵する乳酸の生成が認められた (図2-1, 2-2)。

さらに、*L. casei*について、無機成分添加量をMRS通常使用濃度の75%または等量 (100%) にした培地を用いて培養を行ったところ、無機成分濃度に依存して乳酸生成量が向上し、培養72時間後において、培地のグルコース量に対する乳酸の生成比率は90%以上となり、乳酸菌の生育が非常に良好であった (表3)。このことから、自己調製酵母エキスから培地窒素源の供給が十分行われているものと考えられた。

4. 結 言

甲州種ブドウ搾り滓で酵母を培養し、酵母のエキス化方法を検討した。ガラスビーズ破碎、オートクレーブ、超音波破碎および自己消化のなかでは、作業の簡便さやエキス化効率から自己消化法が適していると判断した。

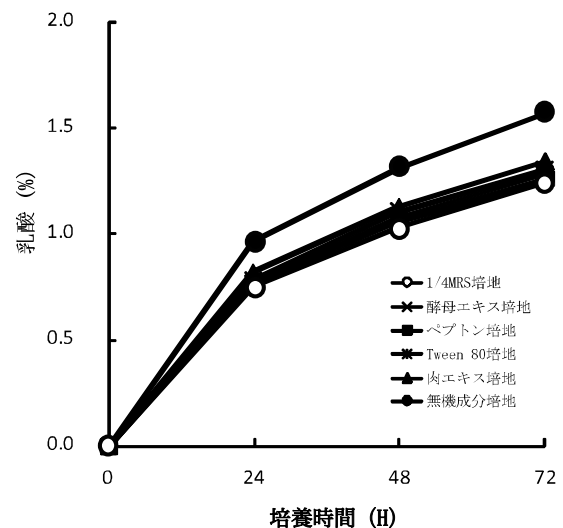


図1-1 *L. casei*の乳酸生成と培地成分

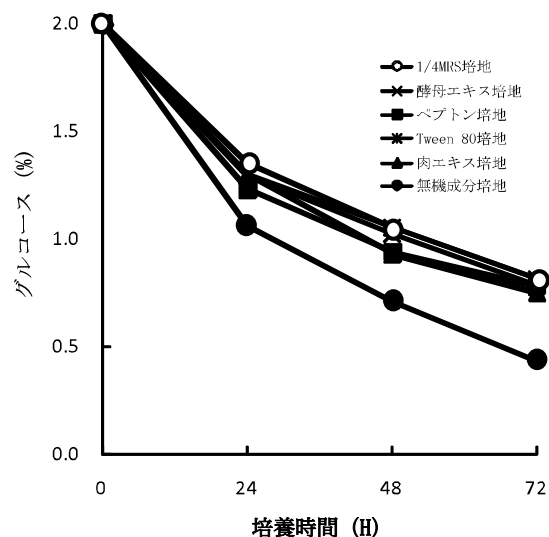


図1-2 *L. casei*のグルコース消費と培地成分

表2 エキス化方法の比較

エキス化方法	タンパク質濃度 (g/100ml)
ガラスビーズ破碎	8.7
オートクレーブ	2.8
超音波破碎	2.8
自己消化	5.6

表3 培地グルコース量投入量と *L. casei* 培養72時間後の残グルコース量および乳酸生成量

培地	グルコース		生成乳酸量	乳酸生成率
	投入量	残量		
無機100%	20g	0.0g	19.6g	98.0%
無機75%	20g	0.5g	18.9g	94.5%
無機50%	20g	3.0g	15.7g	78.5%

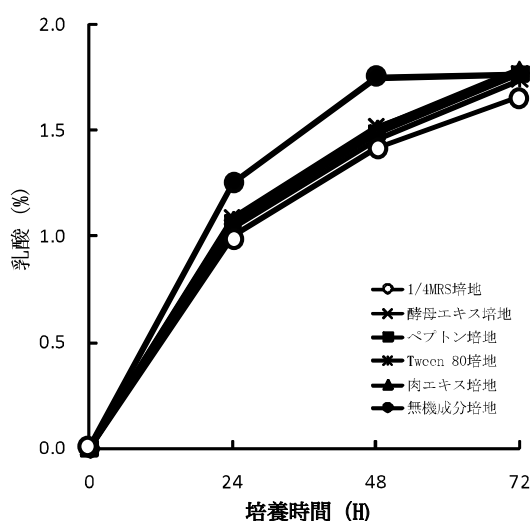


図2-1 *L. delbruekii* の乳酸生成と培地成分

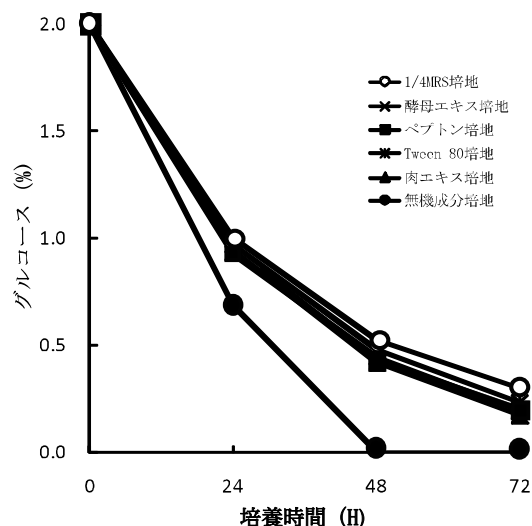


図2-2 *L. delbruekii* のグルコース消費と培地成分

自己消化によって調製した酵母エキス液を使用して、乳酸菌を培養した結果、自己調製酵母エキスは乳酸菌の窒素源として利用可能であることがわかった。

5. 謝 辞

ブドウ搾り滓をご提供いただいた関係各位に、厚く御礼申し上げます。

また、本研究のコーディネーターとして、試験の進行や取りまとめの際に適切なお助言を頂いた、総合理工学研究機構の市川和規研究管理幹に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 斎藤美貴, 橋本卓也, 小嶋匡人, 長沼孝多, 木村英生, 吾郷健一, 森智和: 山梨県総合理工学研究機構研究報告, **5**, p.97-102 (2010)

- 2) 秋山裕一監修: 酵母のニューバイオテクノロジー, 医学出版センター, p.16-17 (1990)
- 3) 高分子学会編集: 天然素材プラスチック, 共立出版, p.18-20 (2006)
- 4) Ronald M. Atlas: HANDBOOK OF Microbiological Media, CRC PRESS, p892 (2004)
- 5) Takafumi Naganuma, Yasuyuki Uzuka, and Kentaro Tanaka: *Anal. Biochem.*, **141**, p.74-78 (1984)

成果発表状況

- 1) 斎藤美貴, 橋本卓也, 小嶋匡人, 長沼孝多, 吾郷健一, 森智和: 発酵食品残渣の有効活用に関する研究. 平成22年度食品関係技術研究会ポスターセッション (茨城)
- 2) 斎藤美貴, 長沼孝多, 橋本卓也, 小嶋匡人, 木村英生, 上野良平, 森智和: 発酵食品残渣の有効活用に関する研究 (第2報). 第25回山梨県工業技術センター研究発表会 (2011)

高効率太陽熱吸収技術に関する研究開発

**Research and Development of High Efficient
Solar Absorbing Technology**

高効率太陽熱吸収技術に関する研究開発

早川亮¹, 芦澤里樹¹, 吉村千秋²

(¹山梨県工業技術センター, ²山梨県富士工業技術センター)

要約 高効率太陽熱選択吸収膜の開発を目的として、陽極酸化法を用いてアルマイト膜を形成すると共に、アルマイト孔中に金属スズを電解析出させることによって皮膜を黒色に着色した。電解析出の条件は、電解液には硫酸スズを主成分とする水溶液を用い、電解電圧を定電圧法でAC 10 V、浴温度を20°C、電解析出時間を2~15分とした。その結果、試験片は黒色に着色された。また、これらの試験片において日射吸収率を測定した結果、約95 %の吸収率が得られた。

Research and Development of High Efficient Solar Absorbing Technology.

Ryo HAYAKAWA¹, Satoki ASHIZAWA¹, Chiaki YOSHIMURA² (¹Yamanashi Industrial Technology Center, ²Yamanashi Fuji Industrial Technology Center).

Abstract In order to development of high efficient solar selective absorbing films, we formed aluminum oxide films by anodizing and colored the anodic oxide films black by depositing metallic Tin into the pores of that films. We maintained a condition of electrolytic depositing that electrolytic solution was mainly a sulfuric Tin solution, bath voltage was AC 10 V, bath temperature was 20 °C and electrolytic times were 2 to 15 min, and these oxide films were colored black. As a result of measuring the absorptance of solar radiation by the colored films, we got about 95 % absorption rate.

1. 緒言

近年、地球温暖化などグローバルヒーティングの問題が顕在化しており¹⁾、このような危機的状況から脱するには、現在の化石燃料主体の社会を抜本的に改革する必要がある。そのため太陽エネルギーの利用技術はCO₂削減の面において重要であり、脱化石燃料に向けた再生可能なエネルギー開発という点でも大きな役割が期待されている。実際、アメリカやスペインなどのサンベルトにおいて大規模な太陽熱発電の商業プラントの運転が開始されており、太陽熱発電技術は電力市場に参入できるところにまで近づいて来ている²⁾。

しかし実用化する際には、光エネルギーを高効率に吸収すると共に、吸収した熱の放射を高度に抑制することが重要である。このように高効率な太陽熱利用を行うためには、可視~近赤外の波長で高い吸収率を持ち、赤外域の波長で低い放射率を持つ選択吸収膜が必要となる。

これらの特性を備えた集光システムは、これまでに種々の材料で開発されている。しかし、高効率な選択吸収膜の製法は真空技術を応用したスパッタリング法を用いており、製造設備がきわめて高価である。

そのため選択吸収膜の製法は、より安価な製造プロセスで実現することが課題となっている。

そこで本研究では、陽極酸化法を用いたアルマイト膜形成を中心に、高効率で低コストな選択吸収膜の開発を行うことを目的とした。また、アルマイト膜の染色方法には、アルマイト孔中の底部に金属を析出させる電解着色法を用い、析出金属にはスズを選択した。また、染色した試験片について染色性を調べるとともに、日射吸収率を測定した。

2. 実験方法

2-1 試料および陽極酸化によるアルマイト膜作製

アルマイト膜の作製には、希硫酸中で処理を行う硫酸陽極酸化を用いた。この方法はコストが安く、皮膜が無色透明であり、着色仕上げに向いていることから、現在の陽極酸化の主流になっている³⁾。

試料には、50×67×0.3 mm、純度99 %の純アルミニウム板（株）山本鍍金試験器）を用いた。前処理として、アセトン中での超音波洗浄により脱脂を行った。陽極酸化処理には一般的に用いられている条件を適用し、電解液を15 %硫酸、電解槽電圧を定電圧法でDC 15 V、浴温度を20 °Cとした。その際、陰極には陽極と同質の脱脂処理を施したアルミニウム板（100×50×1 mm）を用い、電極間距離を100 mmとして電解時間5 ~ 120 分で処理を行った。なお、電解処理中は電解液の攪拌を十分に行った。

2-2 アルマイト膜の膜厚測定

陽極酸化後、形成されたアルマイト膜の膜厚を測定するために、金属顕微鏡（株）ニコン製：EPI PHOTO）を用いて断面観察を行った。

試験片は、各条件によりアルマイト膜を形成させた試料から10×10 mmのサイズに切り出し、エポキシ樹脂中に埋没後、エメリー紙および粒径0.3 μmのアルミナ粉末により断面を鏡面状態に研磨した。これを金属顕微鏡により断面観察し、皮膜の厚さを実測した。

2-3 電解着色法による皮膜のカラー化

作製したアルマイト膜への着色として、電解着色法を用いた。この方法は、アルマイト孔中に金属を電解析出させ、析出した金属コロイド粒子が光を散乱することにより

皮膜が着色されるものである⁴⁾。本研究では、可視から近赤外の波長領域において高い吸収率を得ることを目的としているため、黒色への着色が望まれる。そのため、アルマイト孔中に析出させる金属として、欧米においてアルマイトのブラック処理として一般的に用いられているスズを選択した⁵⁾。電解溶液には、硫酸スズ、硫酸、酒石酸および硫酸アンモニウムをそれぞれ15 g/L、15 g/L、20 g/Lおよび50 g/Lを混合した水溶液を用いた。電解析出条件は、電解槽電圧を定電圧法でAC 10 V、浴温度を20 °Cとした。陽極にはカーボン板(100×90×1.0 mm)を用い、電極間距離を100 mmとして電解析出時間2～15分で処理を行った。なお、電解処理中は電解液の攪拌を十分に行った。

2-4 皮膜の評価

2-4-1 色調の評価

電解着色法により着色した試料の着色性については、色調の変化を基にして評価を行った。色調変化は、紫外可視分光光度計(日本分光(株)製:V-570)を用いて測定し、 $L^*a^*b^*$ 表色系で表した。さらに、陽極酸化処理のみを施した試験片を未着色の基準試料として用い、着色後の試料との $L^*a^*b^*$ 表色系の差から各試料の色差 ΔE^*ab を算出した。

2-4-2 日射吸収率の測定

電解着色法により着色した試料の日射吸収率を測定するために、まず、紫外可視分光光度計(日本分光(株)製:V-570)を用いて分光反射率 ρ を測定した。測定位置は、着色された領域の中心近傍にける3ヶ所とし、その際の波長範囲は300～2100 nmとした。また、測定領域は10×10 mmとした。次に、得られた反射率から、JIS R3106に基づいて日射吸収率 α_e を求めた。

3. 結果および考察

3-1 アルマイト膜の膜厚測定

陽極酸化した試料表面の断面写真を処理時間5、30および120分間の場合を例として図1に示す。

この断面から、アルマイト膜が電解処理時間の増加に伴い成長しているのが分かる。これらの試料における被膜の厚さを測定した結果を図2に示す。

膜厚は電解時間に比例して増大しており、120分間の処理において膜厚は約60.9 μm まで成長した。なお、今回の処理時間範囲における成膜速度は0.51 $\mu\text{m}/\text{min}$ であることが分かった。

3-2-1 皮膜の色調評価

着色を行う際の試験片には、30分間のアルマイト処理

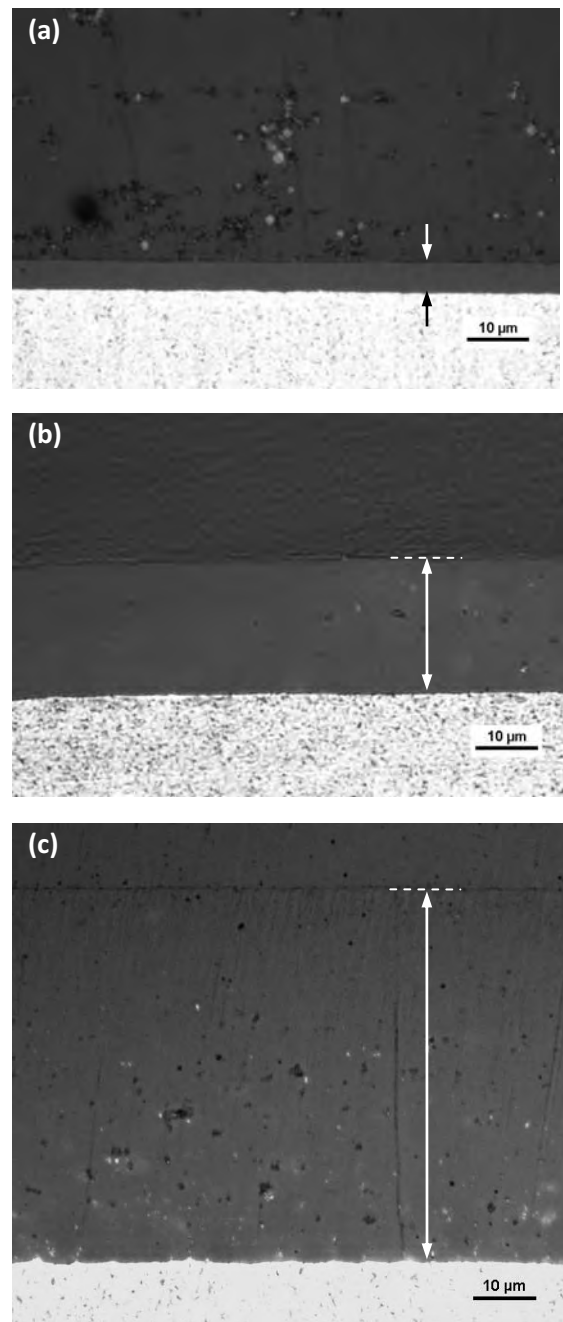


図1 陽極酸化処理を行った試料の断面観察写真
処理時間：(a) 5 min, (b) 30 min, (c) 120 min

を施し、約20.9 μm の皮膜を形成させた試料を用いた。この膜厚は、これまでの研究で得られた結果において、染料への浸漬による染色を行った場合に十分な染色性を得るために必要な膜厚とされた値である⁶⁾。この試料を用いて電解着色法により着色したアルマイト膜の色調の評価は、紫外可視分光光度計を用いて測定した $L^*a^*b^*$ 表色系で表示する方法によって定量的に検討した。それぞれの試験片において、この表色系により求めた明度 L^* および色座標値 a^* 、 b^* をプロットした結果を図3に示す。

アルマイト処理のみ(電解析出時間:0 min)の場合と比

べ、2分間の電解析出時間により a^* および b^* の値は赤-黄系色の傾向に大きく変化し、明度は約39まで急激に減少した。このことから、2分間の電解析出により電解着色の効果が現れ始めていることが分かる。その後、電解析出時間の増加に伴い a^* 、 b^* および L^* の値は減少し続けた。15分間の電解析出を行った結果、 a^* および b^* の値はそれぞれ-2.4および-1.5であり、わずかに緑-青系色を示しているが、無彩色を示す0に近づいた。 L^* の値は約20まで減少し、黒に近い濃い色に着色されたことが分かる。

次に、紫外可視分光光度計による測定で得られた a^* 、 b^* および L^* の値から、アルマイト処理のみ（電解析出時間：0 min）の試験片を基準として次式 (1) で表される色差 ΔE^*_{ab} の値を求めた。なお、この値が大きくなるほど着色が進行していると考えられる。

このようにして求めた色差 ΔE^*_{ab} の電解析出時間に伴う変化を図4に示す。

アルマイト処理のみ（電解析出時間：0 min）の場合と比べ、2分間の電解析出時間により ΔE^*_{ab} は約60まで急激に増大した。その後も ΔE^*_{ab} の値は電解析出時間の変化に伴い増大していき、15分間の電解析出処理を行った試験片における値は約76まで増大した。しかし、その変化量

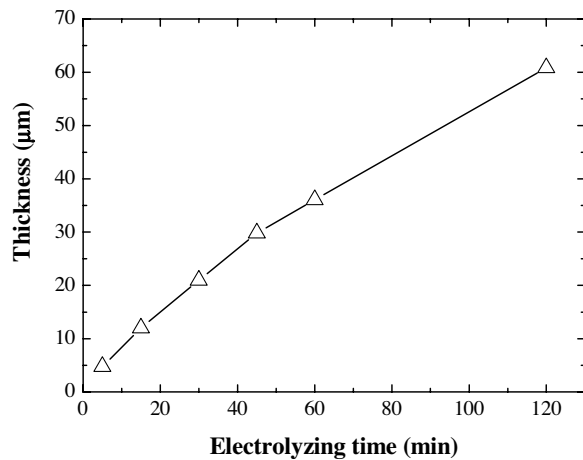


図2 電解時間に伴う膜厚の変化

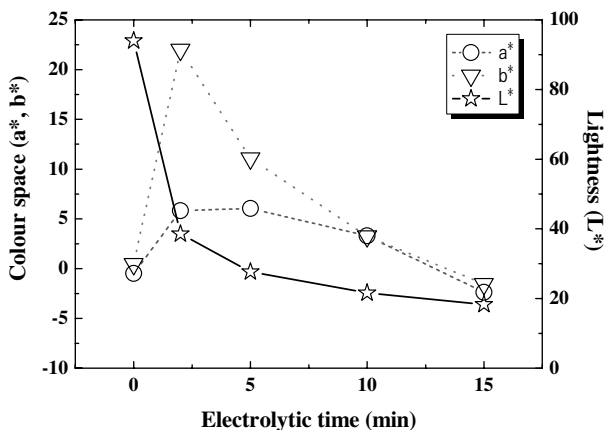


図3 電解析出時間に伴う色調変化

は処理時間と共に緩やかになっており、これ以上の電解析出処理を行った場合においても、 ΔE^*_{ab} の値に急激な変化は現れず、平衡状態になると考えられる。

3-2-2 日射吸収率の測定

紫外可視分光光度計により測定した分光反射率 ρ の電解析出時間に伴う変化を、着色された領域の中心近傍

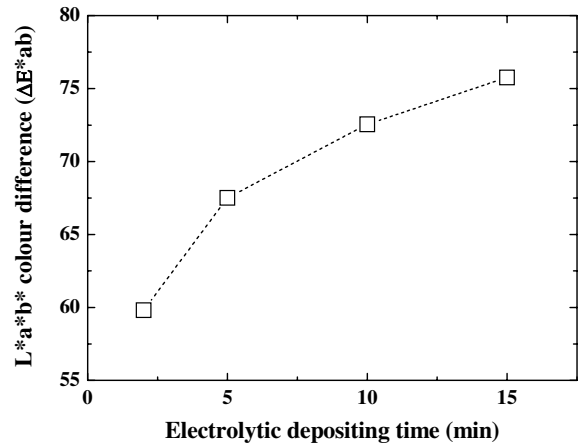


図4 電解析出時間に伴う色差変化

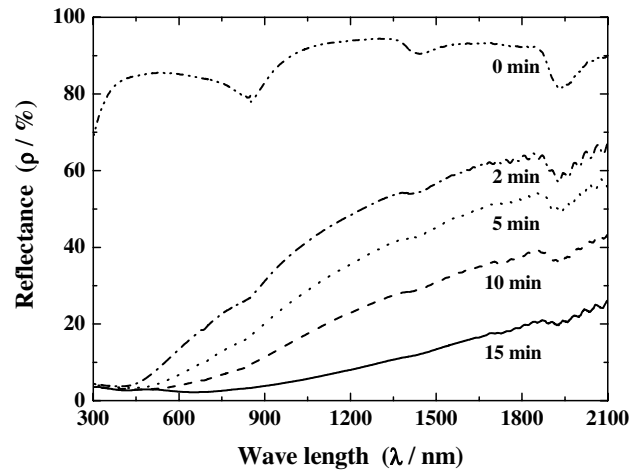


図5 電解析出時間に伴う分光反射率 ρ の変化

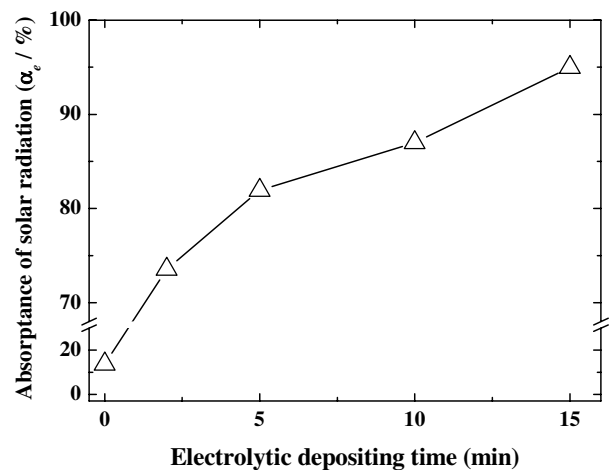


図6 電解析出時間に伴う日射吸収率 α_e の変化

における1ヶ所について測定した結果の場合を例として、図5に示す。

2分間の電解析出処理を行った試験片における ρ の波形は、アルマイト処理のみ(電解析出時間:0 min)の試験片について得られた結果と比べて減少傾向に大きく変化した。その後も ρ の値は電解析出時間の増大に伴いさらに減少し、15分間の電解析出処理を行った試験片において最も減少した。その際、 ρ の最低値は波長660 nmで約2.2%を示し、波長2100 nmにおける約26.0%が最高値であった。

次に式(2)に従って、紫外可視分光光度計による測定で得られた分光反射率 ρ の値に日射の標準スペクトル分布を示す重係数 $E\lambda \cdot \Delta\lambda$ を乗じて加重平均し、日射

$$\rho_e = \frac{\sum_{\lambda} E\lambda \cdot \Delta\lambda \cdot \rho(\lambda)}{\sum_{\lambda} E\lambda \cdot \Delta\lambda} \quad \text{----- (2)}$$

$$\alpha_e = 1 - \rho_e \quad \text{----- (3)}$$

反射率 ρ_e を算出した。さらに、この日射反射率 ρ_e および式(3)を用いて日射吸収率 α_e を求めた。

以上の方法により求めた日射吸収率 α_e の電解析出時間に伴う変化を図6に示す。なお、ここに示した値は、着色領域の中心近傍において測定した3ヶ所について得られた結果の平均値である。

2分間の電解析出処理によって着色した試験片の α_e は、アルマイト処理のみの試験片(電解析出時間:0 min)の場合と比べ、約13.7%から約73.6%にまで急激に増加した。2分以上の電解析出処理において、 α_e の値は処理時間の増加に比例して増加した。15分間の電解析出処理によって着色した試験片の α_e は約95.0%の値を示し、高い確率で日射を吸収できる皮膜が形成されていることが分かった。

また、 α_e の値が電解析出時間に比例して増加しているのに対して、図4に示した色差 ΔE^*ab の変化量は緩やかであり、両者に相関関係は見られなかった。そこで、図3に示した電解析出時間に伴う色調変化に着目した場合、L*a*b*表色系の中でも色座標値b*のみが電解析出時間に比例して変化しているのが分かる。その際、b*は黄色系から青色系に変化している。これらの事から色座標値b*が、日射吸収率 α_e の変化に最も影響を与える因子である可能性が高いと考えられる。

4. 結 言

陽極酸化法を用いたアルマイト膜形成を中心に、高効率で低コストな選択吸収膜の開発を行うことを目的として、アルマイト膜の形成と電解着色法による着色を行った。そして、着色したアルマイト膜の特性評価として、

断面観察による膜厚測定、紫外可視分光光度計を用いてL*a*b*表色系の値および日射吸収率を求めた。その結果、以下の知見が得られた。

硫酸濃度を15%、電解電圧を定電圧15 V、電解浴温度を20℃とした条件において、純アルミニウム試験片に対して5~120分間までの陽極酸化処理を行った。その結果、いずれの試料においてもアルマイト膜が形成された。皮膜の厚さは処理時間の増加に比例して増大していき、120分間の処理における膜厚は60.9 μm 、成膜速度は0.51 $\mu\text{m}/\text{min}$ であった。

電解着色法によって黒色に着色した試験片におけるL*a*b*表色系を求めた結果、電解析出時間が2分間の試験片において色座標値a*およびb*の値は急激に増大し、電解析出時間が5分以上の試験片では再び急激に減少した。また、15分間の電解析出処理によって、a*およびb*の絶対値はほぼ0に近づき、わずかに緑-青色系を示す黒色に着色されることが分かった。

紫外可視分光光度計によって測定した分光反射率 ρ から日射吸収率 α_e を求めた結果、電解析出時間に伴い α_e の値は増大した。15分間の電解析出処理によって約95.0%の日射吸収率 α_e が得られた。

以上の結果から、アルマイト孔中にスズを析出させる電解着色法によってアルマイト膜は黒色に着色され、その皮膜は約95.0%の高い効率で太陽光を吸収できることが分かった。

参考文献

- 1) 斉藤 武雄：ヒートアイランド，講談社，P.417 (1997)
- 2) 玉浦 裕：太陽エネルギー 有効利用最前線，P.3 (2008)
- 3) 山口 裕：軽金属，Vol.59, No.4, P.204 (2009)
- 4) 佐藤 敏彦，神長 京子：新・アルマイト理論，カルロス出版株式会社，P.148 (1997)
- 5) 川合 慧：Alの機能的アノード処理，槇書店，P.150 (2005)
- 6) 早川 亮，他：山梨県工業技術センター研究報告，No.24, P.148 (2010)

マイクロ金型による微細転写加工技術に
関する研究

**Study on Transcription Molding of Micro-pattern
using Microdie**

マイクロ金型による微細転写加工技術に関する研究 (第1報)

小松利安¹, 萩原義人¹, 石黒輝雄¹, 宮川和幸¹, 勝又信行¹, 佐野正明¹
山田博之², 西村通喜², 吉田善一³, 寺田信幸³

(¹山梨県工業技術センター, ²富士工業技術センター, ³東洋大学理工学部)

要約 マイクロ関連部品は、材料への直接加工により小ロット製造されていることが多く、この場合、製造コストが高くなるため、今後は微細転写加工のような量産化技術が必要になる。しかし、実用化には、転写加工用マイクロ金型の加工技術や転写加工条件の最適化等、まだ多くの課題が残っている。そこで、本研究では、グラッシーカーボンを用いたマイクロ金型の作製、および金属製薄板を積層させた転写加工実験用マイクロ金型を作製し、樹脂フィルムへの転写加工を行った。その結果、アノード酸化処理によるアルミニウム薄膜をレーザー加工用ハーフトーンマスクとして用いて、複数の20~30 μm の立体的な微細形状をグラッシーカーボンに加工できた。さらに、薄板積層金型を用いて樹脂フィルムに転写性実験を行い、基本的な加工条件を確認した。

Study on Transcription Molding of Micro-pattern using Microdie (1st Report).

Toshiyasu KOMATSU¹, Yoshihito HAGIHARA¹, Teruo ISHIGURO¹, Wako MIYAGAWA¹, Nobuyuki KATSUMATA¹, Masaaki SANO¹, Hiroyuki YAMADA², Michiyoshi NISHIMURA², Yoshikazu YOSHIDA³ and Nobuyuki TERADA³

(¹Yamanashi Industrial Technology Center, ²Yamanashi Fuji Industrial Technology Center, ³University of Toyo).

Abstract A machining of micro parts is often produced in a small lot performed through directly from the material. Therefore, production cost become higher and it is a reason why mass production technology such as transcription molding is needed. However, there are still many problems to be solved. In this study, transcription molding method using glassy carbon and laminated metal sheet were considered. The tininess shape of three-dimensional solids of 20-30 μm was processed using an aluminum film by the anode oxidation processing a half tone mask for laser processing. The basic conditions in order to transcript to plastic film using thin laminated metal mold were presented.

1. 緒言

近年、マイクロテクノロジーは様々な分野への応用が期待されている。しかし、多くのマイクロ部品は、各種微細加工機を用いた小ロット加工によって製造されている場合が多く、材料を直接除去加工するため製造コストが高くなってしまふ。このため、今後は微細転写加工のような量産化技術の必要性が高まることが予想される。現在、半導体製造技術を応用したマイクロ金型の作製技術に関する研究、ホットエンボス法およびインプリント法などの転写加工技術に関する研究が盛んに行われている¹⁾⁻³⁾。しかし、実用化にはまだ多くの課題が残されている。例えば、転写加工用マイクロ金型の作製に適した加工技術と材料の選定、マイクロ金型の品質(耐久性、離型性等)の向上、材料に応じた転写加工条件の最適化とタクトタイムの向上等があり、これらの課題を解決する必要がある。

本研究では、数十 μm から数百 μm の微細形状を有するマイクロ流体デバイスや光学フィルタ等のようなマイクロ部品の加工を主な目的とした。マイクロ金型の材料として、耐熱性や耐薬品性に優れているが、一般的に切削などの機械加工が難しいグラッシーカーボン(ガラス状炭素材料)を選択した。これまでも、エキシマレーザーによるグラッシーカーボンへの微細加工を試み、基本的な加工条件の検討を行った^{4),5)}。今後、マイクロ金型にグ

ラッシーカーボンを用いた場合、転写加工時に熱や圧力が加わるため、レーザー加工による変質が存在するとマイクロ金型が破損する可能性がある。そこで本研究では、エキシマレーザー加工面の加工変質層について評価を行った。また、フォトリソグラフィとアノード酸化処理によるアルミニウム薄膜をハーフトーンマスクとしてレーザー加工に用い、立体的な微細形状の形成を行った。さらに、試作したマイクロ金型を用いて樹脂フィルムへの転写加工を試みた。一方、リブや溝などの微細形状と転写加工性との関係について、金属製薄板を積層させることにより、複数の微小リブと微小溝を形成できる転写実験用簡易マイクロ金型を作製し、樹脂フィルムへの転写加工実験を試みたので報告する。

2. グラッシーカーボン製マイクロ金型の作製

2-1 実験方法

型材料であるグラッシーカーボンには、東海カーボン(株)製GC-20SSを用い、表面を鏡面研磨加工した材料を用いてレーザー加工実験を行った。使用した加工用レーザーは、一般的にマイクロ加工に適しているエキシマレーザーを用いた。ビームは光学系にアパーチャマスクを挿入して整形し、縮小光学系レンズで集光した。マイクロ金型には転写加工時に熱や圧力が加わるため、グラッシーカーボンにレーザー加工を行った加工表面について加工変質層の有無を

確認した。表1に示すレーザ加工条件で、グラッシーカーボンに穴をあけ、穴底面をラマン分光分析 (RENISHAW (株)製: inVia Microscope), X線回折分析 ((株)リガク製: Ultima IV), 押し込み硬さ試験 (Agilent Technologies (株)製: Nano Indenter G200) により分析・評価を行った。押し込み硬さの測定ではISO-14577規格に準拠し、最大荷重50mNで測定を行った。

次に、立体的な微細形状の作製を目的として、フォト

表1 グラッシーカーボンへの穴加工条件

エキシマレーザ加工機	Exitech社製: PS2000
波長	248 nm
繰り返し周波数	50 Hz
フルエンス	1, 2, 3, 4, 5, 6 J/cm ²
照射パルス数	10, 20, 50, 100, 500 pulses

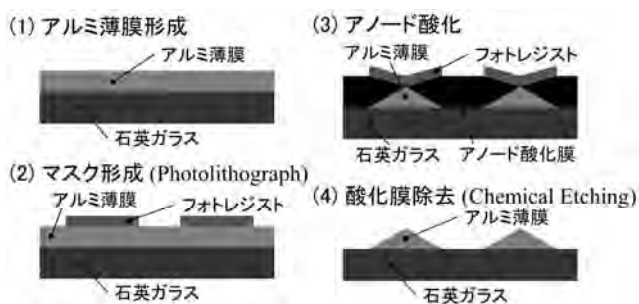
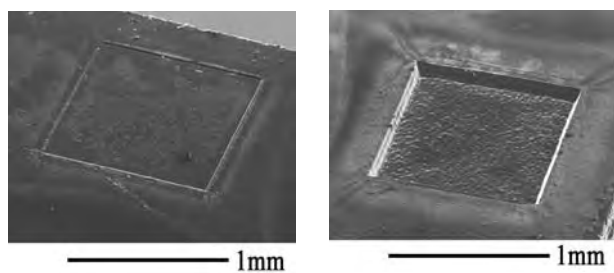


図1 アルミ薄膜形成プロセス

表2 ハーフトーンマスクによるレーザ加工条件

基板	光学石英ガラス
マスク材質	アルミ薄膜
マスク形状	四角錐 (幅:200 μm, 高:約12nm)
縮小光学系倍率	×10 (縮小倍率: 1/10)
フルエンス	5.0 J/cm ²
照射パルス数	10, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 300, 400, 500 pulses



(a) 20 pulses

(b) 500 pulses

図2 レーザによるグラッシーカーボンへの穴加工

リソグラフィとアノード酸化処理によるアルミニウム薄膜^{6),7)}をレーザ加工用ハーフトーンマスクに応用することを試みた。フォトリソグラフィとアノード酸化, 化学エッチングを組み合わせたアルミ薄膜形成プロセスを図1に示す。四角形一辺約200 μm, 高さ約12 nmの四角錐に近い形状のアルミニウム薄膜を光学石英ガラス板上に成膜したマスクを作製し, そのマスクを用いてエキシマレーザの強度変化を利用して, グラッシーカーボンに立体的な微細形状を加工した。表2にレーザ加工条件を示す。

2-2 結果

図2は, エキシマレーザでグラッシーカーボンに1mm×1mmの穴を加工したサンプルの電子顕微鏡観察写真であり, 図2(a)はレーザ照射回数が20pulsesの場合, 図2(b)

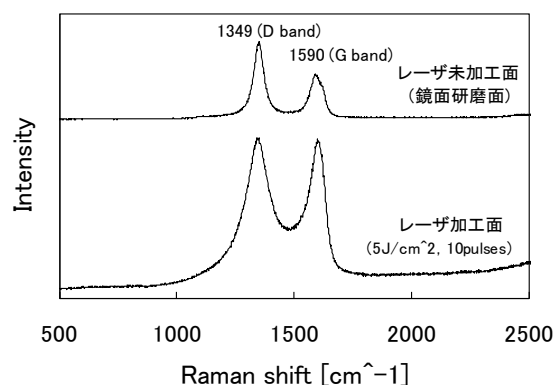


図3 ラマン分光法によるレーザ加工面の測定結果

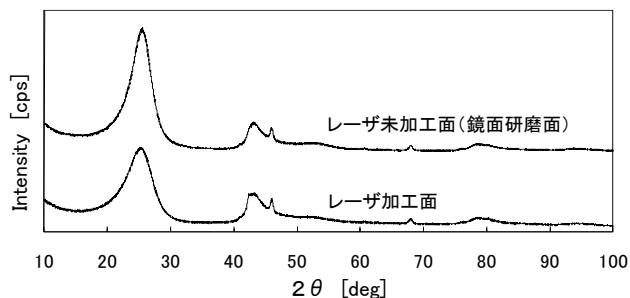


図4 X線回折法によるレーザ加工面の測定結果

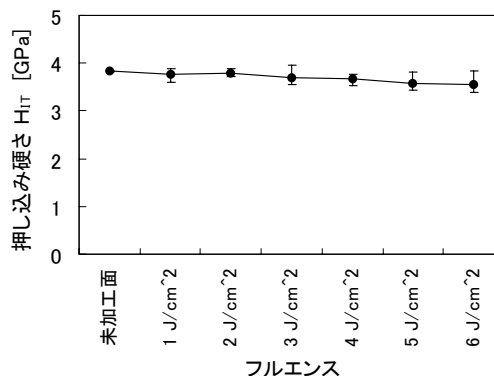


図5 押し込み硬さ試験によるレーザ加工面の測定結果

は500pulsesの場合であり、フルエンスは5.0 J/cm²である。次に、穴底面であるレーザ加工面について、ラマン分光法、X線回折法によって加工表面を測定した結果を図3、図4にそれぞれ示す。未加工面である鏡面研磨面と比較した結果、加工による構造の乱れが多少起こるが、グラッシーカーボン本来の特性を示しており、加工によって大きく変質することはないと考えられる。また、押込硬さ試験により加工表面を測定した結果を図5に示す。最大荷重を50mNとした場合、表面からの押込深さは1μm前後であった。未加工面およびレーザ加工面ともに押込硬さはHIT 3.5~4 GPaであり、測定のばらつきを考慮すると、加工により変質し、表面付近の硬さが大きく変化することはないと考えられる。これらの結果から、エキシマレーザで加工したグラッシーカーボンは、微細転写加工用のマイクロ金型として適用可能と判断した。

次に、図1に示すプロセスで成膜したアルミニウム薄膜をエキシマレーザ加工用のハーフトーンマスクとし、立体微細形状のレーザ加工を試みた。フルエンスを5 J/cm²とした場合のレーザ照射パルス数と加工部高さとの関係を図6に示す。照射パルス数と加工部高さとの関係は400pulsesまでは比例関係となるため、高さ制御が可能であると考えられる。しかし、400pulses以上では加工底面が形成されなくなり加工除去量が低下し、立体形状の先端部が加工されるため、微細形状の高さが最大値50μmになったと推測される。レーザ照射パルス数が30、100pulsesの場合の加工部を電子顕微鏡で観察した結果を図7(a)、(b)に示す。幅20~30μm、高さ50μm以下の複数の立体微細形状をグラッシーカーボンに加工することが

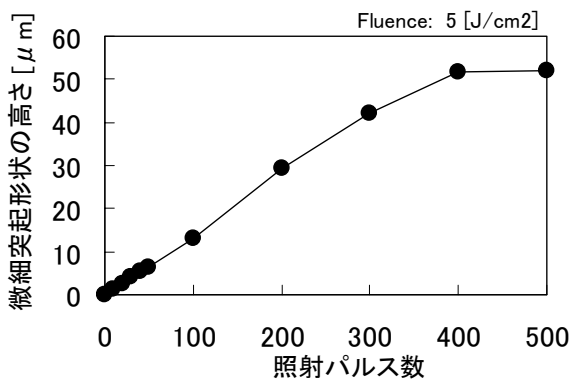
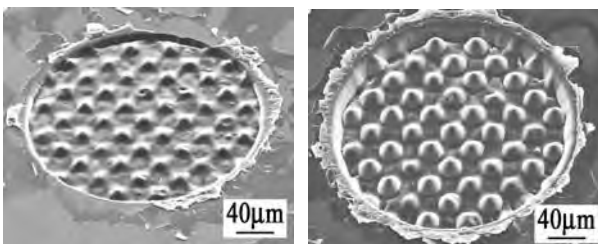


図6 微細突起形状の高さとレーザ照射パルス数との関係



(a) 30 pulses (b) 100 pulses

図7 ハーフトーンマスクを用いたレーザ加工例

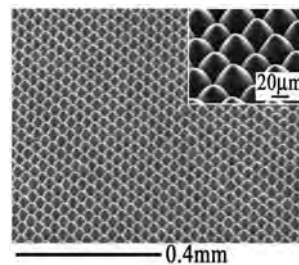
できた。また、ハーフトーンマスクのレーザ照射方向の投影パターンは四角形であるが、パルス数が多い100pulsesでの加工形状は円錐状になることが分かった。

次に、ビーム形状を1mm×1mm、照射パルス数を300pulsesとして、より広範囲に複数の立体微細形状を加工した例を図8(a)に示す。立体微細形状の転写性を調べるために、精密ホットプレス装置（新東工業(株)製：CYPT-L）を用いて熱転写加工を試みた。厚さ200μmのポリスチレンフィルムに、ステージ温度を105℃、圧力を2.5MPaとして転写加工を行った例を図8(b)に示す。型の形状を転写できた部分とそうでない部分があり、圧力等の加工条件が面内で均等ではないことが推測されるため、均一な転写加工が今後の課題である。

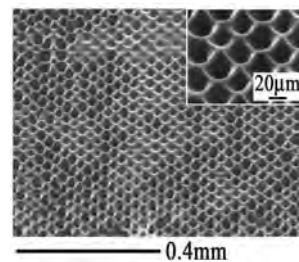
3. 簡易マイクロ金型による転写加工

3-1 実験方法

複雑な微細形状に転写加工実験を行う前に、基礎的な形状を有した金型を準備し、加熱温度を変化させて、樹脂フィルムに対する転写性について検討を行った。転写加工実験には、前述した精密ホットプレス装置を使用した。転写加工条件を表3に示す。樹脂フィルムは、PC（ポリカーボネート）とPA（ポリアセタール）の2種類で、寸法は30mm×15mm×0.3mmとした。図9に示すよう



(a) グラッシーカーボン製マイクロ金型



(b) 樹脂フィルムへの熱転写加工結果

図8 広範囲への立体微細形状の加工例

表3 転写加工条件

加工装置	新東工業(株)製 精密ホットプレス装置 CYPT-L
転写圧力	1st STEP : 0.33 MPa 2nd STEP : 0.44 MPa
保持時間	1st STEP : 240 sec 2nd STEP : 300 sec
冷却時間	300 sec

に、金属ブロックの間に金属製薄板を1枚挟み、高さ100 μm の微小リブを形成させた簡易マイクロ金型を使用した。金属製薄板の厚さは100 μm 、材質はSUS304Hを用いた。転写加工した微小溝は、非接触で表面形状を測定することが可能なコンフォーカル顕微鏡（レーザーテック(株)製：OPTELCIS H1200）を用いて形状測定を行った。微小溝を転写加工した場合、加工条件によって、図11に示すような微小溝の端部にだれが発生する。その角度を測定することにより、転写加工性の評価を行った。

3-2 結果

加熱温度条件を把握するために、PCとPAの熱特性について分析を行った。7mm×7mm×0.3mmの樹脂フィルムを、7mm×7mm×3mmのアルミナブロックで挟み、0.3Nの荷重をかけながら加熱し、熱軟化特性を測定した。使用した分析装置は、熱機械的分析装置（TA instruments製：TMA 2940）である。実験結果は図12に示すとおり、PCの熱軟化点は約200°C、PAは約170°Cであった。

次に、簡易マイクロ金型を用いた、PCおよびPAの微細転写加工実験の結果を 図13に示す。PCの場合は約170°C、PAの場合は約158°Cになると、端部だれ角度は

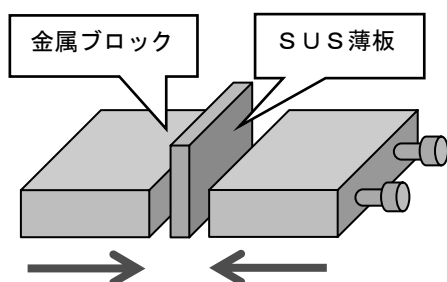


図9 簡易マイクロ金型の概念図



図10 コンフォーカル顕微鏡

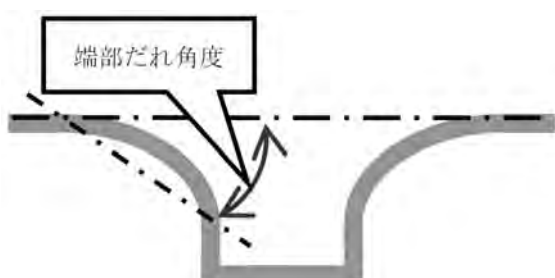


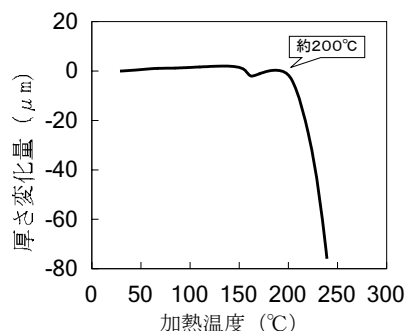
図11 微小溝形状の概念図

大幅に減少し、転写性は著しく向上することが分かった。PCおよびPAともに、この温度より低い場合は、端部だれ角度はほとんど変化せず、逆に高い場合は、樹脂フィルムが軟化しすぎて微小溝が形成されず、前述した樹脂フィルムの熱軟化点近傍では、加熱しすぎであることが分かった。なお、PAの場合、加熱温度140°C以下では材料が硬く、微小リブ形状そのものが転写されなかった。

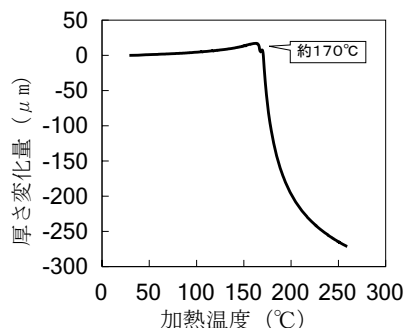
4. 金属製薄板積層金型による微細転写加工

4-1 実験方法

本節では、リブや溝などの微細形状と転写加工性との関係を求めることを目的として、転写加工実験用マイク



(a) PC (ポリカーボネート) の場合



(b) PA (ポリアセタール) の場合

図12 樹脂フィルムの熱特性

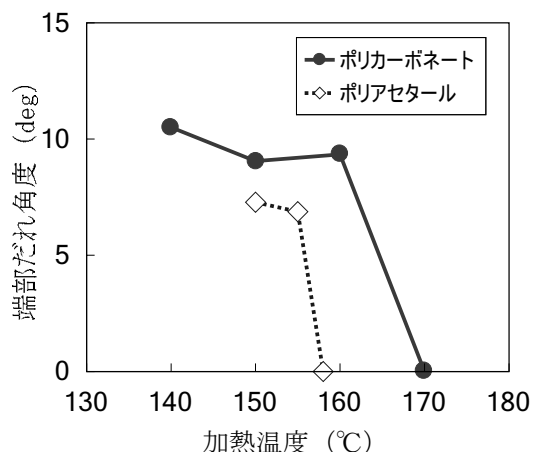


図13 端部だれ角度に対する加熱温度の影響

ロ金型を試作した。図14に示すように、金属製薄板を積層させることにより、複数の微小リブと微小溝を形成する方法とした。薄板の材質はSUS304Hで、厚さは20, 50, 100 μm の3種類を用いた。薄板はワイヤー放電加工機で切断し、その加工条件を表4に示す。また、放電加工面の表面粗さが転写加工に影響することを想定して、薄板の切断面を研磨加工した。本研究では、核(コア径: 0.2~0.5mm)となる弾性体表面に、研磨微粉を付着させた研磨材を吹き付け、擦過現象により研磨加工するブラスト加工機を用いた。その時のブラスト加工条件を表5に示す。また、微細転写加工についても、表6に示す加工条件で実験を行い、電子顕微鏡とコンフォーカル顕微鏡を用いて形状測定を行った。

4-2 結果

高さを一定の100 μm とし、幅100 μm , 50 μm , 20 μm の微小リブを加工し、9枚の薄板をリブ間隔100 μm , 50 μm , 20 μm となるように積層して、転写加工実験用マイクロ金型を作製した。その電子顕微鏡写真を図15に示す。リブ端部において、放電加工ワイヤ径に起因するR50 μm の形状ができるが、角RやスミRは小さく、また表面粗

表4 ワイヤ放電加工条件

加工装置	(株) 牧野フライス製作所製 ワイヤー放電加工機 UPH-1
ワイヤー材質	高張力ピアノ線 (表面処理: 黄銅メッキ)
ワイヤー径	0.1 mm
工程数 (電気条件数)	4 工程 (荒) 1st→2nd→3rd→4th (仕上)

表5 ブラスト加工条件

加工装置	東洋研磨材工業(株)製 鏡面ブラスト加工機SMAP-II
砥粒	仕上加工メディア SP-F100D (#10000 ^{ダイヤモンド} 砥粒)
インバータ周波数	50 Hz
加工送り	手動
加工時間	4 min

表6 微細転写加工条件

加工装置	新東工業(株)製 精密ホットプレス CYPT-L
ステージ温度	185°C (離型時温度100°C)
転写圧力	1st STEP : 0.30 MPa 2nd STEP : 0.44 MPa
保持時間	1st STEP : 240 sec 2nd STEP : 300 sec
冷却時間	300 sec
サンプル材質	ポリカーボネート
サンプル厚さ	300 μm

さもリブの寸法に対して微細なので、転写性を検討する転写加工実験用マイクロ金型として利用可能と考えた。

この作製した金型を用いて、樹脂フィルムへの熱転写加工を試みた。厚さ300 μm のPCに、加熱温度185°Cで、転写加工を行った結果を図16に示す。図15(a)に示す金型形状を転写した結果が図16(a)であり、図15(b)に示す金型形状を転写した結果が図16(b)である。また、コンフォーカル顕微鏡で断面形状を測定した結果を図17に示す。測定データに多少ノイズが生じているが、厚さ300 μm のフィルムに、リブ高さ100 μm の金型形状が転写でき、金型の表面状態も転写できることが確認できた。また、幅100 μm , 深さ100 μm の溝と、幅20 μm , 深さ100 μm , ピッチ20 μm の複数溝が同時に転写できている。しかし、薄板積層の隙間に生じたバリが転写加工サンプルに発生している。これらの原因として、加工温度や圧力が高いことなどが推測されるが、温度や圧力が低くなると型形状が正確に転写されないことも考えられ、今後は材質、形状、寸法に対する最適加工条件を検討することが必要である。

5. 結 言

グラッシーカーボンを用いたマイクロ金型、および金属製薄板を積層させた転写加工実験用マイクロ金型を作製し、樹脂フィルムへの転写加工を試みた。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) エキシマレーザでグラッシーカーボンを加工しても、加工変質層は確認できなかった。また、レーザ加工用ハーフトーンマスクとして、アノード酸化処理によるアルミニウム薄膜を用いて、複数の立体的な微細形状をグラッシーカーボンに加工した。その結果、最大50 μm までの高さが制御可能であった。
- (2) 薄板積層金型を作製し、熱転写加工実験を行った結果、幅100 μm , 深さ100 μm の溝と、幅20 μm , 深さ100 μm , ピッチ20 μm の複数溝が同時に転写可能であった。

今後は、微細金型に忠実に転写できる、最適加工条件の検討が必要である。

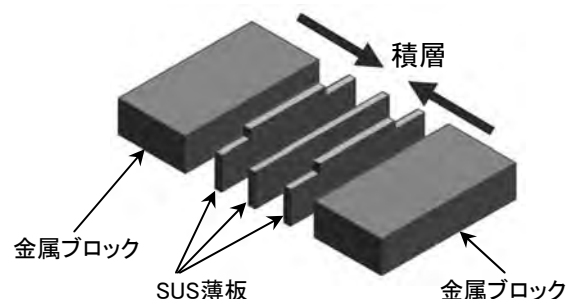
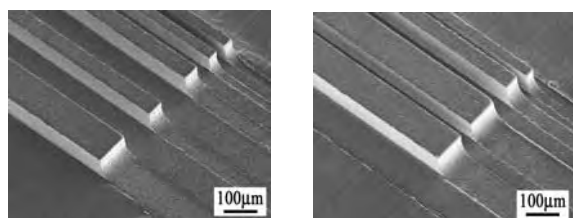


図14 金属製薄板の積層によるマイクロ金型の概念図

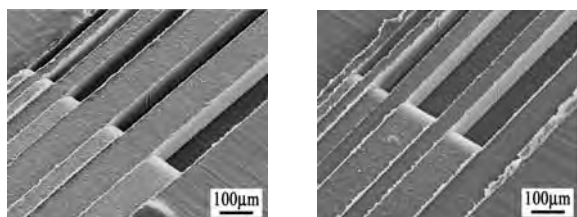
参考文献

- 1) (社)高分子学会編：微細加工技術 [応用編]，(株)エヌ・ティー・エス，P.147 (2003)
- 2) 早乙女康典：マイクロ塑性加工-マイクロ塑性加工技術の現状と展望-，精密工学会誌，Vol.69，No.9，P.1221 (2003)
- 3) 前田龍太郎ら：ナノインプリントのはなし，日刊工業新聞社，(2005)
- 4) 山田博之，小松利安，岩間貴司，勝又信行，宮川和幸，萩原 茂，木島一広，吉田善一：金型加工技術・微細転写加工技術とその応用に関する研究(第1報)，山梨県工業技術センター研究報告(2009)，No.23，P.113 (2009)
- 5) 山田博之，小松利安，岩間貴司，勝又信行，宮川和幸，萩原 茂，木島一広，吉田善一：金型加工技術・微細転写加工技術とその応用に関する研究(第2報)，山梨県工業技術センター研究報告(2009)，No.23，P.113 (2009)
- 6) 勝又信行，石田正文，斎藤 修：フォトリソグラフィとアノード酸化を利用したAl薄膜の表面加工，表面技術，Vol.59，No.5，P.333 (2008)
- 7) 勝又信行，石田正文：3次元立体アルミニウムマスクを用いたシリコン基板の反応性イオンエッチング加工，J. Vac. Soc. Jpn.，Vol.52，No.8，P.29 (2009)



(a) 金型作製例1 (b) 金型作製例2

図15 薄板積層による転写加工実験用マイクロ金型

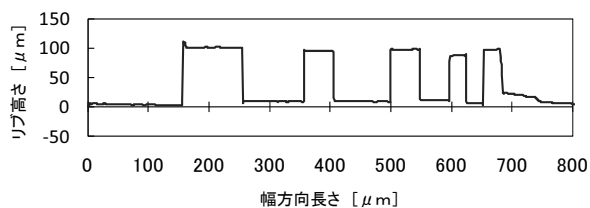


(a) 金型例1の転写結果 (b) 加工例2の転写結果

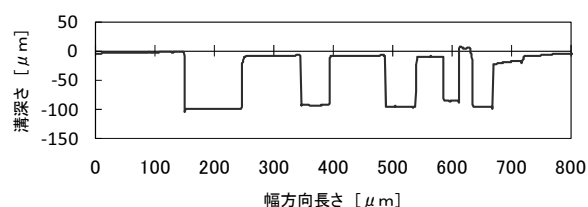
図16 樹脂フィルムへ熱転写加工を行った結果

(a) 金型例1とその転写加工サンプル

(α) 金型例1

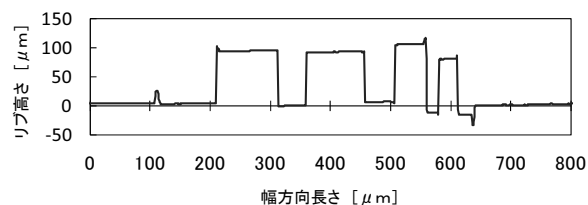


(β) 転写加工サンプル



(b) 金型例2とその転写加工サンプル

(α) 金型例2



(β) 転写加工サンプル

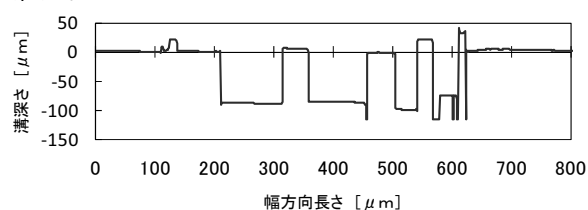


図17 微小リブと微小溝の断面形状

成果発表状況

学会発表

- 1) 山田博之，西村通喜，吉田善一，勝又信行，宮川和幸：エキシマレーザによる高効率・高精度マイクロ金型作製，2011年度精密工学会春季大会学術講演会，東京，2011

南アルプスにおけるニホンジカによる高山
植物への影響と保護対策および個体数管理
に関する研究

**Effects of sika deer (*Cervus nippon*) on Alpine and
Subalpine Vegetation and Their Management at
South Alps, Yamanashi Prefecture**

北岳亜高山帯におけるニホンジカによる摂食状況、ミヤマハナシノブの遺伝解析・繁殖および開花状況、並びにニホンジカの個体数管理に関する研究

長池卓男¹, 西川浩己¹, 飯島勇人¹, 北原正彦², 杉田幹夫², 中野隆志², 伊藤和彦³, 亀井忠文⁴, 横川昌史⁵, 井鷲裕司⁵, 中村健一⁶, 田村哲生⁶, 竹田謙一⁷

(¹山梨県森林総合研究所, ²山梨県環境科学研究所, ³山梨県酪農試験場, ⁴山梨県立笛吹高校, ⁵京都大学, ⁶東京都農林総合研究センター, ⁷信州大学)

要約 本研究課題は、南アルプスの高山帯・亜高山帯にこれまで進出していなかったニホンジカの影響と対策を考えるために、①高山・亜高山帯における植生影響対策を目的とした研究、②大きな影響が危惧される植物種の保護のための増殖技術確立と遺伝的特性の研究、③ニホンジカの個体数管理のための調査および効率的な捕獲方法の研究、④捕獲したニホンジカの行動調査と飼育管理技術の研究を行う。今年度は、北岳亜高山帯におけるニホンジカによる摂食状況と衛星データによる植生解析、北岳周辺と北アルプスの白馬岳周辺にのみ生育するとされニホンジカによる摂食が危惧されているミヤマハナシノブの遺伝解析・繁殖および開花状況の解析、ニホンジカの飼育を目指した生体捕獲に関して調査研究を行った。ニホンジカによる植生への摂食の影響をダケカンバ林と高茎草原で比較したところ、ダケカンバ林で影響が大きく、摂食の選好性が示された種の種数および出現頻度がダケカンバ林で有意に高かったことが影響していると思われた。また、摂食率の高いダケカンバ林で植生の均質化が生じていることが示唆された。ミヤマハナシノブの無菌実生は約4cmに成長し、頂芽の伸長する個体が観察された。頂芽、地上茎上部を培養することにより、シュートの伸長、マルチプルシュートの誘導が可能ではないかと示唆された。ミヤマハナシノブの開花状況の解析の結果、直立して、個体サイズが大きい個体ほど繁殖していることが明らかとなった。ダケカンバ林ではサイズも小さくほとんど繁殖していなかったが、ニホンジカの摂食の影響もダケカンバ林で生じているので、このままの傾向が継続されれば生息地減少が顕在化するであろう。有識者によるニホンジカの捕獲に関する検討の結果、本課題でのニホンジカの捕獲は、生体捕獲に限定することとし、その捕獲および飼育技術に関して試験研究を行うこととした。酪農試験場篠尾圃場に設置された生体捕獲用囲いわなでは、餌による誘因やその効果検証、捕獲の試行を行った。

Studies for effects of sika deer (*Cervus nippon*) on alpine and subalpine vegetation and their management at South Alps, Yamanashi Prefecture.

Takuo NAGAIKE¹, Hiroki NISHIKAWA¹, Hayato IJIMA¹, Masahiko KITAHARA², Mikio SUGITA², Takashi NAKANO², Kazuhiko ITOU³, Tadafumi KAMEI⁴, Masashi YOKOGAWA⁵, Yuji ISAGI⁵, Ken'ichi NAKAMURA⁶, Tetsuo TAMURA⁶, and Ken'ichi TAKEDA⁷

(¹Yamanashi Forest Research Institute, ²Yamanashi Institute of Environmental Sciences, ³Yamanashi Prefectural Dairy Experiment Station, ⁴Fuefuki High School, ⁵Kyoto University, ⁶Tokyo Metropolitan Agriculture and Forestry Research Center, ⁷Shinshu University).

Abstract We studied effects of sika deer (*Cervus nippon*) and their management at South Alps, Yamanashi Prefecture. We focused on effects of sika deer on vegetation in alpine and subalpine vegetation, tissue culture and genetically analysis for plants which predicted the effects of sika deer, and population management and breeding for bushmeat of sika deer. Pathogen-free seedlings of *Polemonium caeruleum* ssp. *yezoense* var. *nipponicum*, which designated to vulnerable species and restricted their habitat, were successfully grown to development for multiple shoots. Individuals with erected and having tall shoot of *P. caeruleum* ssp. *yezoense* var. *nipponicum* were successfully reproduced. In the farm field in Yamanashi Prefectural Dairy Experiment Station, we were trying to capture for living individual of sika deer and consequently ecological monitoring.

1. 緒言

ニホンジカによる農林業および自然生態系への影響が各地で報告されている。山梨県でも農林業被害が増加傾向にあり、これまで生息していなかった南アルプスの高山帯にもニホンジカが進出している。その結果、キタダケソウをはじめとする貴重な高山植物やそれらを含む生態系への影響が危惧されており、早急な対策が迫られている。しかしながら、その状況把握や対策はほとんど手が付けられてい

ない。そのために本研究課題では、①高山・亜高山帯における植生影響対策を目的とした研究、②大きな影響が危惧される植物種の保護のための増殖技術確立と遺伝的特性の研究、③ニホンジカの個体数管理のための調査および効率的な捕獲方法の研究、④捕獲したニホンジカの行動調査と飼育管理技術の研究を行う。

今年度は、北岳亜高山帯におけるニホンジカによる摂食状況と衛星データによる植生解析、北岳周辺と北アルプスの白馬岳周辺にのみ生育するとされニホンジカによる摂食

が危惧されているミヤマハナシノブの遺伝解析・繁殖および開花状況の解析、ニホンジカの飼育を目指した生体捕獲に関して調査研究を行った。このうち、ニホンジカの行動域における衛星データに基づく植生解析、ミヤマハナシノブの遺伝解析については別稿に報告し、ここでは、ニホンジカによる摂食状況、ミヤマハナシノブの繁殖および開花状況の解析、ニホンジカの生体捕獲に関して報告する。

ミヤマハナシノブは、個体数が少なく生育地が限定されていることから環境省レッドデータブックでは絶滅危惧II類 (VU) に指定されている。ハナシノブ属は世界的にも希少であり1)、アメリカ合衆国でもシカによる摂食が報告されている2)。ミヤマハナシノブについては有効な増殖方法が確立されていない。そこでミヤマハナシノブの保護・増殖のために、組織培養による増殖法を検討し、無菌播種による植物体の育成について検討した。また、現状での開花の状況とそれに及ぼす要因について解析を行った。

ニホンジカによる影響対策のためには、個体数管理を行うことが必要であり、そのための捕獲方法を検討することが必要である。また、生体で捕獲された場合にはニホンジカの食肉資源としての有効な利活用を視野に入れた飼育方法の確立が求められる。そのために、ニホンジカの飼育時の行動生理を調査し、その飼養管理技術の実証研究を行う。

2. 調査方法

2-1 ニホンジカによる摂食状況

調査は、標高2200~2800mまでの通称右俣および草すべりの登山道沿いでダケカンバ林および高茎草原を対象とした。登山道沿いの約30mおきに長さ20mの調査区を設定し(ダケカンバ林16調査区、高茎草原26調査区)、登山道の両側に5m間隔で1×1mの植生調査区を設置した(1調査区あたり10植生調査区。合計420植生調査区)。各植生調査区に出現した植生高2m以下の維管束植物種を記録し、ニホンジカによる摂食の有無も記録した。

ニホンジカの摂食の嗜好性は、Ivlev指数3)によって判定した。また、草食動物による摂食の結果、植生は、摂食に対して耐性のない種は減少し、耐性のある種および不嗜好性種が増加し、その結果均質化が生じることが指摘されている4)。本稿では、均質化を示す指標として種多様性に関する指数(H'、J'、単位面積あたりの種数)を用いて評価した。

2-2 ミヤマハナシノブの繁殖および開花状況の解析

実験には、北岳の標高2,200 m付近で結実している6個体より種子を採取した。種子採取場所は南アルプス国立公園内の保護地域内であり、山梨県みどり自然課による

採取許可を得た。採取した種子は、供試まで4℃で保存した。

種子は、中性洗剤で10分間洗浄後、水道の流水で15分間すすいだ。その後、70%エタノール中で1分間、ついで有効塩素量1%の次亜塩素酸ナトリウム水溶液中で15分間、さらに3%過酸化水素水溶液中で3分間浸漬して表面殺菌を行った(それぞれマグネチクスクーラーで連続的に攪拌)。表面殺菌した種子は、クリーンベンチ内で風乾し、シヨ糖無添加のMS培地5)の成分を1/4に調整し、寒天10g/lを加え、pHを5.6に調整した培地上に置床した。培養条件はすべての実験について20±2℃、昼光蛍光灯で照度5,000lux、16時間/日照明とした。培地置床40日後に発芽した実生から発芽率を計測した。

ミヤマハナシノブの開花状況の解析に関しては、北岳でのミヤマハナシノブの生育する東向き斜面において、生育地内で約10mおきにミヤマハナシノブを調査した(高茎草原81個体、ダケカンバ林37個体の計118個体)。標高は1760-2586mである。各個体について、繁殖の有無(つぼみ・花を有しているか否か)、生育型(ロゼットまたは直立)、最大植生高、最大シュート長、対象個体直上の林冠の有無、対象個体から半径50cm以内の植生高・被度を記録した。繁殖の有無に及ぼすこれらの要因の影響を一般化線形モデルで解析した。

2-3 ニホンジカの効率的な捕獲方法や飼育管理技術

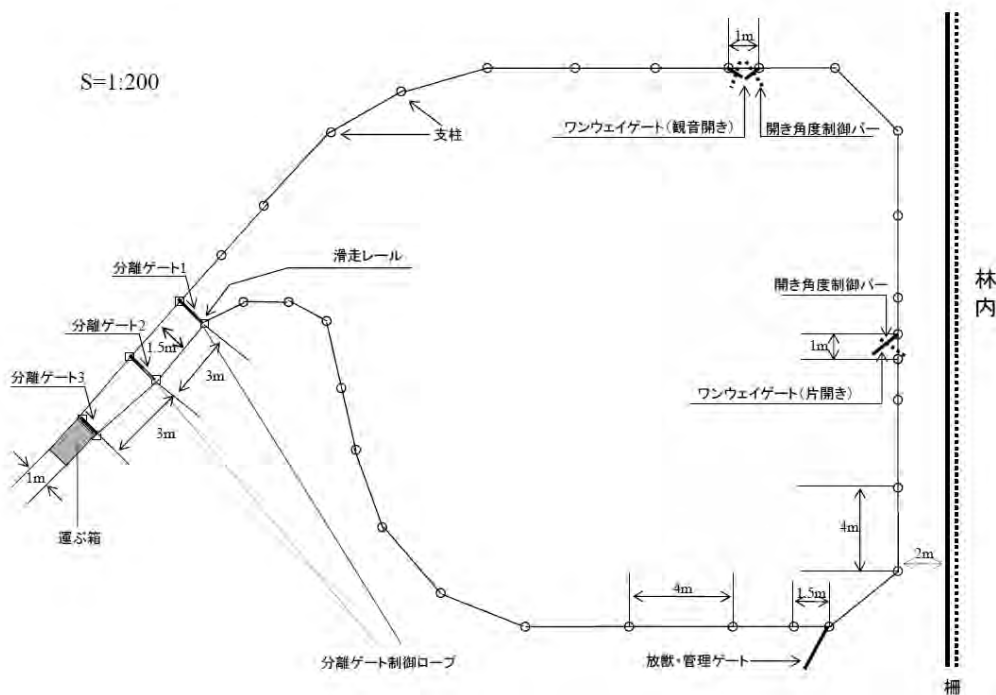
今年度は、ニホンジカに関する有識者(表1)からの意見収集の機会をもち、今後の方向性についてご検討頂いた。この会(山梨県南アルプス地域のニホンジカ対策に関する意見交換会。以下、意見交換会)は、2010年7月5日(月)に甲府市内で開催した。

その結果を基に、野生動物管理の専門家の指導を受けながら、効率性の良い捕獲に関して技術習得を試みた。場所は、酪農試験場篠尾圃場であり、生体捕獲用の囲いわなの模式図を図1に示した。この生体捕獲にあたっては、株式会社野生動物保護管理事務所にわな設置と捕獲を委託し、作業等に関して随時協力して技術習得を行った。

3. 結果および考察

表1 山梨県南アルプス地域のニホンジカ対策に関する意見交換会有識者(敬称略、五十音順)

所 属	氏 名
信州大学農学部教授	泉山 茂之
独立行政法人森林総合研究所野生動物研究領域長	小泉 透
野生動物保護管理事務所上席研究員	姜 兆文
信州大学農学部准教授	竹田 謙一
野生動物保護管理事務所関西分室分室長	濱崎 伸一郎



飼育するためのシカ捕獲用囲いワナ平面図(分離ゲートレール滑走式)

図1 ニホンジカ生体捕獲用囲いわな (模式図)

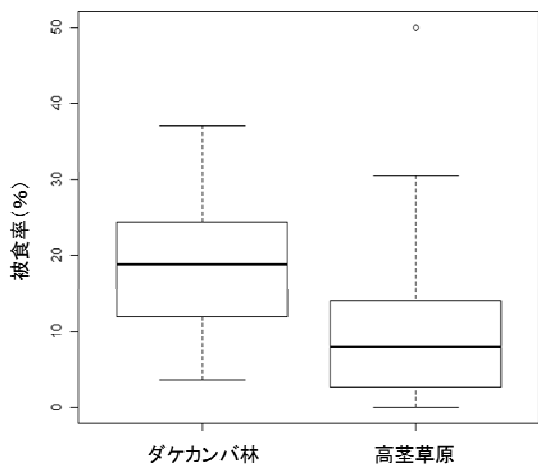


図2 摂食率の比較

3-1 ニホンジカによる摂食状況

ダケカンバ林および高茎草原間での種組成には有意な相違がみられたが、種多様度には有意差がみられなかった。摂食率（各調査区の全出現種の出現頻度に占める摂食されていた種の出現頻度の割合）はダケカンバ林で有意に高かった（図2、Mann-Whitney U-test, $p=0.01$ ）。それは、Ivlev指数によって摂食の選好性が示された種の種数および出現頻度がダケカンバ林で有意に高かったことが影響していると思われる（図3、Mann-Whitney U-test, 出現頻度: $p=0.00$, 種数: $p=0.02$ ）。種多様度と摂食率の関係は、ダケカンバ林では有意な負の相関がみ

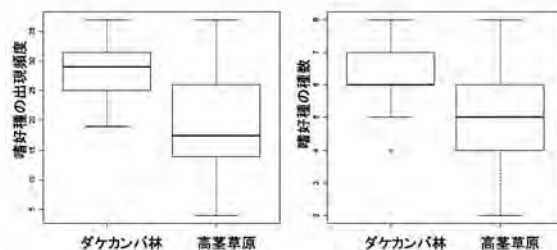


図3 Ivlev指数によって判定されたニホンジカによる摂食嗜好種の出現頻度と種数の比較

られたが、高茎草原ではみられなかった。このことは、摂食率の高いダケカンバ林では植生の均質化が生じていることを示唆している。Indicator Species Analysis⁶⁾によってダケカンバ林または高茎草原での出現頻度の偏りが示された種についての摂食は、多く出現していたハビタットで必ずしも高いわけではなかった。たとえば、ミヤマハナシノブ（国・山梨県ともに絶滅危惧Ⅱ類[VU]）は、出現頻度は高茎草原で高かったが、摂食はダケカンバ林で顕著であった。このように、出現頻度が少ないハビタットで摂食が顕著である種では、出現頻度が少ないハビタットでの消失が危惧され、摂食の初期段階ではこのことがハビタット間での植生の差異化を促進することが示唆された。

3-2 ミヤマハナシノブの繁殖および開花状況の解析

6個体とも種子の雑菌汚染は少なく、全体の約10%しか



図4 発芽しなかった種子



図5 育成中の無菌発芽した実生

表2 採取個体毎の種子の発芽率（無菌条件）

個体No.	発芽率(%)
1	22.0
2	44.5
3	0
4	0
5	20.6
6	18.8

汚染されなかった。汚染を免れた個体の調査結果を表2に示した。個体No. 3、4では、培地置床40日後でも発芽する個体は観察されなかった（図4）。個体No. 1、2、5、6では、培地置床約10日後頃から発芽する個体が観察され、その数は徐々に増加し、30日後頃まで継続した。個体No. 1、5、6では、培地置床40日後の発芽率は、20%程度であったが、個体No. 2では44.5%と最も良い発芽を示した。これらのことから種子親個体により種子の状態には差があり、現地での種子からの繁殖についても調査の必要があると考えられた。

この実験で得られた無菌実生は継続して培養しており、最長で約70日間育成している（図5）。実生は約4cmに成長し、頂芽の伸長する個体が観察された。これらのことからタカネマンテマ同様に頂芽、地上茎上部を培養することにより、シュートの伸長、マルチプルシュートの誘導が可能ではないかと思われた。得られた実生の一

部は培地から抜き取り、根を洗浄してパーミキュライトに移植し、順化を行っている。

ミヤマハナシノブの開花状況の解析の結果、直立して、個体最大高が大きい個体ほど繁殖可能であることが明らかとなった。また、直立個体が占める割合は高茎草原で高かった。ダケカンバ林ではサイズも小さくほとんど繁殖していなかったが、別章で示されるようにニホンジカの摂食の影響もダケカンバ林で生じているので、このままの傾向が継続されれば生息地減少が顕在化するであろう。

3-3 ニホンジカの効率的な捕獲方法や飼育管理技術

意見交換会での主な意見は以下の通りである：

- ・「捕獲」の目的は、生体捕獲と個体数管理のための大量捕獲・利用に分けられ、両者を区別して考える必要がある。食肉として利活用するには、加工施設が近くにないと不可能。
- ・越冬地で捕獲しても高山に行くシカを皆無にすることはできないだろう。高山で直接捕獲する方法も検討すべき。
- ・くくりワナは錯誤捕獲（ツキノワグマ、カモシカなど）があり、管理が大変になる。
- ・ニホンジカを生体のまま捕獲することは、危険を伴うことから専門的な技術を有している技術者によって行うべきである。

これらのご意見を踏まえ、本課題でのニホンジカの捕獲に関しては、生体捕獲に限定することとし、その捕獲および飼育技術に関して試験研究を行うこととした。

酪農試験場篠尾圃場に設置された生体捕獲用囲いわなでは、餌による誘因やその効果検証、捕獲の試行を行った。

参考文献

- Hill L. M., Brody A. K. and C. L. Tedesco: *Acta Oecologica* Vol 33, 314-323 (2008)
- Birmingham L. H.: *Plant Ecology* Vol 210, 359-378 (2010)
- Ivlev VS: *Experimental ecology of the feeding of fishes*. Yale University Press (1961)
- Takatsuki S: *Biological Conservation*, Vol, 142, 1922-1929 (2009)
- Murashige T and F. Skoog: *Physiologia Plantarum* Vol, 15, No, 3 473-497 (1962)
- Dufrène M, Legendre P: *Ecol Monog* Vol. 67, 345-366 (1997)

成果発表状況

学会発表

- 1) 長池卓男：南アルプス北岳亜高山帯の植生に対するニホンジカの影響、第58回日本生態学会大会、札幌、2011。

北岳周辺地域におけるGPS測位データによるニホンジカ生息状況と植生との関係

杉田幹夫

(山梨県環境科学研究所)

要約 南アルプス、北岳周辺におけるニホンジカ生息分布の基礎情報を得るため、GPS受信機を装着して得た生息位置データを用いて、ニホンジカが高頻度、高密度で利用する場所を、通年および季節別に特定した。2000年から2008年の間に観測された衛星画像データを用いて、常緑樹、落葉樹の分布の現況を把握し、ニホンジカの生息分布域との対応関係を調べた。

GPS-measured distribution of sika deer (*Cervus nippon*) and corresponding vegetation around Mt. Kitadake.

Mikio SUGITA (Yamanashi Institute of Environmental Sciences).

Abstract Location and distribution of Sika deer around Mt. Kitadake in South Japanese Alps are taken by GPS receiver attached to individual deer. The distribution has determined for the whole term of GPS location and also each 3 months terms to study its seasonality. Current vegetation is classified into evergreen forests and deciduous forests in the study region, using remotely sensed image from satellites, to analyze vegetation preference by Sika deer.

1. 緒言

衛星データを用いて調査対象地周辺の植生分類を行い、この結果とニホンジカのGPS測位データから得られる生息場所との比較を行った。

2. 実験方法

2-1 使用データ

南アルプスに生息するニホンジカの生息場所情報として、山梨県みどり自然課が2008～2010年に捕獲した5個体のニホンジカにGPS受信機を装着して得られた緯経度データを使用した。

現在の大きな区分による植生分布をマクロに得るため、人工衛星が観測した画像データを使用した(表1)。

衛星データ1および2は、比較的最近に上記GPS位置データを網羅する範囲を観測した衛星画像であり、10月観測のデータ1では落葉樹はまだ葉をつけており、3月観測のデータ2では落葉樹が落葉している。このため、データ1および2の使用により、常緑樹と落葉樹を容易に区分できると期待できる。また、中間赤外波長帯の観測バンドを有するLandsat/ETM+の観測データを用いることで、カラマツと広葉樹の区分が可能となるので、データ3を植生分類に援用した。

また、既存の土地被覆図のなかから、環境省作成の現存植生図、宇宙航空開発機構(JAXA)で作成が進行中の「だいち」(ALOS)データを用いた高解像度土地被覆図(解像度50m相当)を、衛星データによる土地被覆分類の補助データとして利用した。

2-2 衛星データを用いた植生分類

表1 使用衛星データ

番号	データ1	データ2	データ3
観測日	2007年	2008年	2000年
	10月22日	3月8日	5月23日
衛星	ALOS	ALOS	Landsat
	(だいち)	(だいち)	7号
センサ	AVNIR-2	AVNIR-2	ETM+
解像度	10m	10m	30m
観測波長帯	可視域	可視域	可視域
	近赤外	近赤外	近赤外
			中間赤外

はじめに、衛星データからニホンジカGPS測位データを網羅する範囲を切り出す。その後、衛星データ1および2から、それぞれ植生指標を計算し、両者で値が高くなる場所を常緑樹と判定し、データ1で高くデータ2で低い値となる場所を落葉樹(広葉樹、カラマツ)と判定する。このとき、同一の場所が常緑樹と落葉樹の両方と判定された場合は、落葉樹の方を採用した。表1の衛星データ3(Landsat衛星データ)は個別に最尤法による植生分類を行い、カラマツの分布を決定する。2シーンのALOSデータから決定された落葉樹のうち、カラマツ分布と一致する場所を落葉樹2(カラマツ)とし、残りを落葉樹1(広葉樹)とした。最後に、ALOSデータによる分類では、急峻地形による影の部分が未分類となるため、前述のALOSデータを用いた高解像度土地被覆図データで補った。

2-3 ニホンジカ生息場所と植生の関係

ニホンジカのGPS測位データは、5個体分のデータであるが、これをひとつに併合し、半径500mを単位とした密度計算を行って、密度が高くなる場所をニホンジカの高密度生

息場所として決定した。

高密度生息場所の範囲で、2-2で得られた土地被覆を集計した。この集計は、GPSデータの測定時期で3か月ごとに区切ったデータに対しても行い、季節との関係性を調べた。

3. 結果と考察

3-1 解析範囲

GPSデータをカバーする範囲として、東経138度5分11秒から138度27分29秒、北緯35度34分57秒から35度48分24秒で、東西33km、南北24kmの範囲を設定した(図1)。

3-2 植生分類

植生解析のための土地被覆分類項目として、常緑樹、落葉樹1(広葉樹)、落葉樹2(カラマツ)、その他(草地、裸地を含む)の4カテゴリーを設定して行った植生



図1 解析範囲

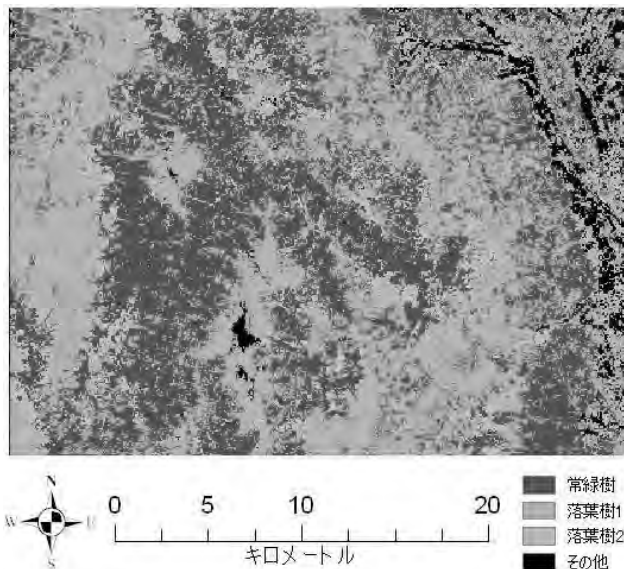


図2 解析範囲の植生分類

分類の結果を図2に示す。

3-3 ニホンジカ生息場所と植生の関係

ニホンジカ5個体分のGPS測位データを用いて、集中して分布する範囲を計算した結果を図3に示す。GPS測位データ全点を使用した結果に加え、季節による生息場所の季節変化を調べる目的で、三ヶ月ごとに期間を区切って求めた集中分布域も求めた。

表2から、現存植生図から集約して作成した植生構成と比べ、衛星データによる植生分類結果では落葉樹1(広葉樹)の構成比がとりわけ高いことがわかった。ただし、衛星データ分類では、草地や針葉樹の伐採跡地、まばらな針葉樹林が広葉樹に誤分類されていることも否定できない。

表3は、季節と生息場所の関係性を調べるため、3か月ごとに期間を区切って求めた集中分布域ごとに、植生構成を求めた結果である。

表3より、12月~2月と3月~5月、および6月~8月と9月~11月では、それぞれに同様な植生構成となっている。12月~5月の構成に比べると、6月~11月の構成では広葉樹の面積比率が特に大きい結果となった。ただし、上記の結果でも述べたとおり、広葉樹と分類されている場所には草地が含まれている可能性があり、ニホンジカが草地を 선호した結果が現れていることも考えられる。

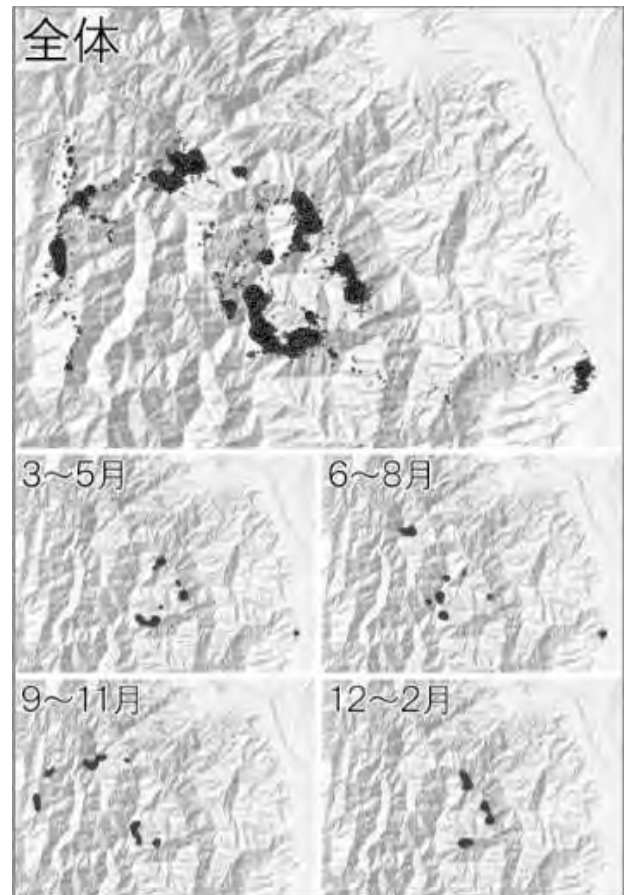


図3 GPS測位データの集中分布域

表2 GPS測位地点集中分布域における植生面積 (km²)

	衛星データ分類	現存植生図
常緑樹	5.6	7.6
落葉樹1(広葉樹)	13.9	8.6
落葉樹2(カラマツ)	0.9	1.4
その他 (草地、裸地を含む)	0.7	3.5

表3. 3ヶ月ごとの測位地点集中分布域と衛星データ分類による植生面積 (km²)

	3月～5月	6月～8月	9月～11月	12月～2月
常緑樹	2.7	0.9	1.0	2.6
落葉樹1(広葉樹)	3.2	5.1	6.6	3.3
落葉樹2(カラマツ)	0.5	0.2	0.4	0.4
その他 (草地、裸地を含む)	0.1	0.4	0.3	0.0
合計	6.6	6.6	8.3	6.3

表4. 3か月ごとの測位地点集中分布域と現存植生図の区分集約による植生面積 (km²)

	3月～5月	6月～8月	9月～11月	12月～2月
常緑樹	2.7	2.4	2.4	2.3
落葉樹1(広葉樹)	2.7	2.3	3.2	3.3
落葉樹2(カラマツ)	0.2	0.0	1.1	0.2
その他 (草地、裸地を含む)	1.0	1.9	1.6	0.5
合計	6.6	6.6	8.4	6.3

表5 3か月ごとの測位地点集中分布域の各標高階面積 (km²)

標高(m)	3月～5月	6月～8月	9月～11月	12月～2月
0 ~ 500	0.3	0.5	0.0	0.0
500 ~ 1000	0.1	0.2	0.0	0.0
1000 ~ 1500	1.4	0.4	2.4	2.1
1500 ~ 2000	3.6	0.1	1.1	4.1
2000 ~ 2500	1.0	1.0	1.1	0.1
2500 ~ 3000	0.2	4.3	3.8	0.0
3000 ~ 3500	0.0	0.1	0.0	0.0
合計	6.6	6.6	8.4	6.3

表4は、現存植生図の植生区分を集約したものを入力として、表3と同様の植生構成を集計した結果である。

表4では、表3に見られたような6月から11月における広葉樹への著しい集中はない。これに対し、表4からは、6月から11月の期間はその他の期間と比べ、「その他(草地、裸地を含む)」の面積の増大が表3よりも顕著である。このことは、図3からもわかる通り、標高が高い場所に積雪が無い時期には、北岳周辺の高標高の場所にもニホンジカが高頻度で存在していることと対応する。

積雪の有無とニホンジカの分布域との関係をより直接的に調べるため、500m間隔の標高階ごとにGPS測位地点集中分布域の面積を求めた結果を表5に示す。

1984年以降2010年までに観測された185シーンのランドサット衛星画像を目視観察したところ、本研究の解析範囲において、12月から4月にかけては標高2000mより高い場所に積雪域が広く分布し、6月から10月の衛星画像にはほとんど積雪域が認められなかった。この積雪状況を表5に反映すると、12月～2月および3月～5月は積雪期に、6月～8月および9月～11月は非積雪期におおむね対応する。表5の標高2500m以上の面積に着目すると、積雪期にはニホンジカがほとんど存在しないのに対し、非積雪期には全体の4割を超えて集中して存在していることがわかる。このことは、雪の無い時期には2500mを超す高標高の場所にも高頻度でニホンジカが存在することを如実に示している。

北岳に生育するミヤマハナシノブの遺伝的多様性および 遺伝構造の解析

横川昌史¹, 長池卓男², 西川浩己², 井鷲裕司¹

(1)京都大学農学研究科, (2)山梨県森林総合研究所)

要約 山梨県北岳に生育するミヤマハナシノブの遺伝的多様性および遺伝構造を評価した。北岳に分布するミヤマハナシノブの集団のうち、大樺沢、草すべり、大樺沢下流で遺伝解析用のサンプルを採取した。近縁種であるハナシノブで開発された21遺伝子座のマイクロサテライトマーカーをミヤマハナシノブに転用したところ、6遺伝子座で多型が確認されたため、この6遺伝子座を用いて遺伝的多様性および遺伝構造を評価した。遺伝的多様性は大樺沢下流で低い傾向にあったが、大樺沢と草すべりでは大きな違いはなかった。遺伝的分化の指標であるFST, RSTの値はともに小さかったが、FSTはそれぞれの個体群間で有意に0より大きかった。主座標分析およびSTRUCTURE解析を用いて、遺伝構造の評価を行ったところ、3つの集団間には遺伝的な分化は認められなかった。今後はまだサンプルを採取していない個体群でも同様の調査を行い、北岳全体のミヤマハナシノブの遺伝的多様性および遺伝構造の評価を行う必要がある。

Genetic diversity and genetic structure of *Polemonium caeruleum* ssp. *yezoense* var. *nipponicum* in Mount Kita.

Masashi YOKOGAWA¹, Takuo NAGAIKE², Hiroki NISHIKAWA², and Yuji ISAGI¹ (¹Kyoto University, ²Yamanashi Forest Research Institute).

Abstract *Polemonium caeruleum* ssp. *yezoense* var. *nipponicum* (Polemoniaceae) is an endangered perennial herb that occurs in Mount Kita, central Japan. We investigated genetic diversity and genetic structure of three populations (Okanbasawa, Kusasuberi, and lower Okanbasawa) of *P. caeruleum* ssp. *yezoense* var. *nipponicum* using six microsatellite markers to inform future conservation management strategies for the species. For initial marker screening, we used a total of 21 microsatellite loci isolated from *Polemonium kiushianum*. Six of these 21 loci were used in subsequent analysis because they showed polymorphism. Levels of genetic diversity between Okanbasawa and Kusasuberi were similar to each other. However, genetic diversity in lower Okanbasawa was much lower than that in Okanbasawa and Kusasuberi. F_{ST} value and R_{ST} values among the three populations were very low. The results of principal coordinate analysis and STRUCTURE analysis indicated that there was no genetic divergence among the three populations. From now, exhaustive genetic analysis of distribution range of *P. caeruleum* ssp. *yezoense* var. *nipponicum* will be required.

1. 緒言

ミヤマハナシノブ *Polemonium caeruleum* L. subsp. *yezoense* Hara var. *nipponicum* Koji Ito (ハナシノブ科) は山梨県および富山県に分布する日本固有の多年草であり、明るく湿った山地に生育する¹⁾。文献上の記録によると、山梨県の北岳・櫛形山・鳳凰山御室・北荒川岳、富山県の白馬岳に分布している^{2, 3)}。しかし、近年は北岳以外では生育が確認されておらず、北岳の集団がほぼ唯一の自生地となっている。園芸用の採取や登山客の踏み付けによって個体数が減少しており、環境庁レッドデータブックでは絶滅危惧II類(VU)に指定されている⁴⁾。

一般的に個体数の減少した集団では、近親交配や遺伝的浮動の影響によって遺伝的多様性が失われやすいことが知られている⁵⁾。遺伝的多様性の消失は、環境変動に対する適応可能性を低下させる可能性がある。また、集団の縮小・分断化は集団間の遺伝子流動を低下させ、近親交配や遺伝的浮動の効果を大きくする⁵⁾。よって、絶滅危惧種のより効果的な保全を行うためには、集団内の遺伝的多様性や近親交配の程度、集団間の遺伝的分化や遺伝構造を詳細に把握したうえで保全策を立案・実施することが望ましい。野生生物の遺伝解析を行う際には、共優性で高い多型

性を持ち、淘汰に対して中立なマイクロサテライトマーカーの使用が有効である⁶⁾。ミヤマハナシノブの遺伝的多様性の現状を理解した上で保全策を構築するため、マイクロサテライトマーカーを用いた遺伝解析を行った。

2. 方法

2-1 調査地とサンプリング

調査地は山梨県南アルプス市の北岳のミヤマハナシノブが生育する大樺沢、草すべり、大樺沢下流の3カ所である(図1)。2010年10月に登山道沿いを歩きながらDNA解析用のサンプルを採取した。大樺沢から41個体、草すべりから38個体、大樺沢下流から8個体、合計87個体を対象に少量の葉を採取した。採取した葉は、DNA抽出まで-30℃で保存した。採取場所は南アルプス国立公園内の保護地域内であり、山梨県みどり自然課による採取許可を得た。

2-2 DNAの抽出およびマイクロサテライトマーカーによる遺伝子型の決定

改良CTAB法⁷⁾を用いて、ゲノムDNAの抽出を行った。抽出後、近縁種であるハナシノブ *P. kiushianum* Kitam. (ハナシノブ科)のマイクロサテライト遺伝子座、

21座 (Pkiu006, Pkiu059, Pkiu129, Pkiu135, Pkiu208, Pkiu212, Pkiu227, Pkiu239⁸⁾; Pkiu228, Pkiu237, Pkiu314, Pkiu577, Pkiu627, Pkiu765_3, Pkiu776_3, Pkiu853_3, Pkiu953_3, Pkiu961, Pkiu963_3, Pkiu965_3, Pkiu1052_3, Yokogawa et al. unpublished data) のスクリーニングを行い、ミヤマハナシノブの解析に使用できるマーカーを検討した (表1)。その結果、多型が確認された遺伝子座を用いて遺伝的多様性および遺伝構造の解析を行った。

Qiagen Multiplex PCR kit (Qiagen) を用いて、標準のプロトコルに従い、PCR による各遺伝子座の増幅を行った (最終液量10 μ L中に5 ngの抽出 DNA, 2 \times Multiplex PCR Master Mix 5 μ L, 各プライマーペア0.2 μ Mを含むように調整)。GeneAmp PCR System 2700 thermal cycler (Applied Biosystems) を用いてPCR 反応を行い、初期熱変性95 $^{\circ}$ C 15分の後、熱変性94 $^{\circ}$ C 30秒、アニーリング1分30秒 (アニーリング温度は遺伝子座ごとに最適温度を用いた, Table 1 参照), 伸長反応72 $^{\circ}$ C 1分を28 サイクル行った後、最終伸長を60 $^{\circ}$ C 30分を行った。ABI PRISM 3100 Genetic Analyzer (Applied Biosystems) および GENESCANTM analysis software (Applied Biosystems) を用いて PCR 産物の断片長の計測を行い遺伝子型を決定した。

2-3 データ解析

集団内の遺伝的多様性を評価するために、遺伝子座あたりの対立遺伝子数 (M_n : number of alleles per locus), 特定の集団にしか出現しない固有対立遺伝子 (Private allele), ヘテロ接合度の観察値 (H_o : observed heterozygosity), ヘテロ接合度の期待値 (H_e : expected heterozygosity) を算出した。対立遺伝子数はサンプル数に依存して増加するため、サンプル数で補正した対立遺伝子の期待値である対立遺伝子多様度 (A_r : allelic richness)⁹⁾ を算出した。また、各遺伝子座におけるハーディ・ワインベルグ平衡からのずれ、および連鎖不平衡をFSTAT¹⁰⁾ を用いて検定した。

個体群間の遺伝的分化を評価するため、GenAlEx¹¹⁾ を用いてペアワイズの F_{ST} 値および R_{ST} 値を算出し、それぞれの0からのずれの有意性を検定した。また、個体の遺伝子型間の距離を調べるために、すべての組み合わせについて共有対立遺伝子距離 D_{AS} ¹²⁾ を算出した。この遺伝距離 D_{AS} に基づきGenAlExを用いて主座標分析 (PCo: Principal coordinate analysis) を行った。また、集団遺伝構造を評価するため、STRUCTURE¹³⁾ (以後、STRUCTURE 解析と呼ぶ) を用いた解析を行った。STRUCTURE ver. 2.3を用いて、admixture model, allele frequencies model¹⁴⁾, LOCPRIOR model¹⁵⁾ に基づき、 K 個のクラスターに各個体を配分した。10⁵ の burn-in を行った後、MCMCによるシミュレーションを10⁶ 回行った。これらの設定を用いて

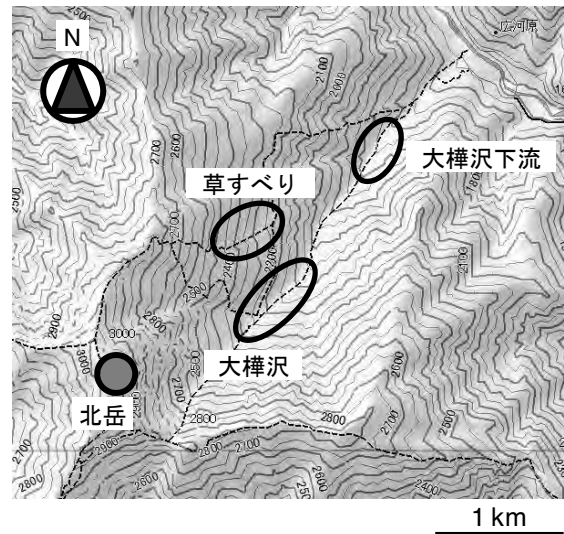


図1 調査した集団の位置関係。
それぞれの集団は樹林帯で分断されている。

= 1~5 について20回の繰り返しで計算した。

3. 結果

ハナシノブで開発された21遺伝子座のマイクロサテライトマーカーをミヤマハナシノブに転用したところ、9遺伝子座で増幅が確認された。増幅が確認された9遺伝子座について、全87個体の遺伝子型を決定した (表2) ところ6遺伝子座で多型が確認された (表1)。以後の解析は多型が確認された6遺伝子座を用いて行った。ミヤマハナシノブの集団レベルの遺伝的多様性の指数は遺伝子座あたりの対立遺伝子数 (NA) が2.17~3.33, 対立遺伝子多様度 (AR) が2.08~2.52, ヘテロ接合度の観察値 (H_o) が0.21~0.30, ヘテロ接合度の期待値 (HE) が0.23~0.38であった (表3)。固有対立遺伝子は大樺沢においてのみ検出された (表3)。また、各遺伝子座におけるハーディ・ワインベルグ平衡からのずれおよび遺伝子座間の連鎖不平衡は検出されなかった。

遺伝的分化の指標である集団間のFSTおよびRST はいずれも大きな値は示さなかった (表4)。FST に関してはそれぞれの集団間で有意に0よりも大きかったが、RST では有意差はなかった (表4)。個体の遺伝子型間の遺伝距離に基づく主座標分析では、各個体が拡散してプロットされ、明瞭な構造は認められなかった (図2)。集団遺伝構造の解析であるSTRUCTURE解析では任意交配集団を1つと仮定した場合にもっとも対数尤度 ($\ln P(X/K)$) が大きく、シミュレーションごとの対数尤度のばらつきが小さかった (図3)。

4. 考察

4-1 マイクロサテライトマーカーの有効性

表1 解析に用いたプライマーとハナシノブおよびミヤマハナシノブで検出された対立遺伝子数.

遺伝子座	プライマーの配列 (5'-3')	T_a (°C)	対立遺伝子数	
			<i>P. kiu.</i>	<i>P. cae.</i>
Pkiu006	TCTCTCTCTCACACACACAC AACAGTAACACCAAGTCCTCCT	57	4	8
Pkiu059	AGAGAGAGAGAGACACACACAC GAATCTAGTTGTGCTTGAATGG	57	5	_ ^a
Pkiu129	TCTCTCTCTCACACACACAC TGAACTCAAGTGTTTCAGGTTG	57	2	3
Pkiu135	AGAGAGAGAGAGACACACACAC GAATATGCTCGTAGGCTCGT	57	10	_ ^a
Pkiu208	AGAGAGAGAGAGACACACACAC GGGTAAGTGTTCACAGCCAAA	57	2	1
Pkiu212	AGAGAGAGAGAGACACACACAC GTCTTGTCCACTTTCCAACAC	57	12	_ ^b
Pkiu227	AGAGAGAGAGAGACACACACAC TCCACTCTGTTGTTAGGACAAA	57	2	2
Pkiu228	AGAGAGAGAGAGACACACACAC GGACCTTTAGTCACGAACCTTG	57	1	_ ^a
Pkiu237	AGAGAGAGAGAGACACACACAC AACTTCCGATAAGTTTCTGCAT	57	1	_ ^a
Pkiu239	AGAGAGAGAGAGACACACACAC ATTGCCAATCACATGTAACGTA	57	4	_ ^a
Pkiu314	AGAGAGAGAGAGACACACACAC CTAGAATTGGACATGTTTGAA	57	2	1
Pkiu577	AGAGAGAGAGAGACACACACAC ATAATTAGCCCTTCAAATACGC	57	1	_ ^a
Pkiu627	ACACACACACACTCTCTCTCTC GAGGGACAGAGAGATCAAGAAC	57	4	_ ^a
Pkiu765_3	AGAGAGAGAGAGACACAC GGATTTAATTCAAGAGTGTA	45	1	_ ^a
Pkiu776_3	AGAGAGAGAGAGACACAC ATAGGATAAAGTTGTCATAGTA	45	_ ^a	_ ^a
Pkiu853_3	AGAGAGAGAGAGACACAC TACAAATCATATAAAACCTACT	45	1	3
Pkiu953_3	AGAGAGAGAGAGACACAC GATTATAAGAATTGCATTAGT	45	1	_ ^a
Pkiu961	AGAGAGAGAGAGACACACACAC TTTATTTGGGTTGATTTGGACT	57	1	3
Pkiu963_3	AGAGAGAGAGAGACACAC ATACAATATGTTCAAAATTC	45	1	_ ^b
Pkiu965_3	AGAGAGAGAGAGACACAC TAATAGTCATAAAATAAGAGGT	45	8	1
Pkiu1052_3	AGAGAGAGAGAGACACAC GTCTCGATAGGATACATCT	45	1	2

T_a , アニール温度; *P. kiu.*, ハナシノブ; *P. cae.*, ミヤマハナシノブ

^a クリアなピークが検出されなかった遺伝子座

^b 3つ以上のピークが検出されたため、解析から除外した遺伝子座

ミヤマハナシノブのマイクロサテライトマーカーは開発されてないため、本研究ではハナシノブで開発されたマイクロサテライトマーカー⁸⁾を用いた。他種で開発されたマイクロサテライトマーカーを用いた場合、多型性が低くなることが知られている¹⁶⁾が、今回は21遺伝子座のうち6遺伝子座で多型が得られた。多型が確認された遺

伝子座のうち、近縁種であるハナシノブの遺伝的多様性が報告されている3遺伝子座 (Pkiu006, Pkiu129, Pkiu227)⁸⁾について対立遺伝子数を種間比較してみると、Pkiu006ではミヤマハナシノブで対立遺伝子数が多く、Pkiu129とPkiu227では同じであった。このことから、ハナシノブのマイクロサテライトマーカーを転用し

表2 ミヤマハナシノブの個体の位置情報と遺伝子型.

サンプル	ID	集団	遺伝子型																	
			Pkiu006		Pkiu129		Pkiu227		Pkiu853		Pkiu961		Pkiu1052		Pkiu208		Pkiu314		Pkiu965	
	1	大樺沢	89	103	100	100	196	196	300	302	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
	2	大樺沢	103	103	100	100	196	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	3	大樺沢	89	103	98	100	196	196	300	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	4	大樺沢	103	103	98	100	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	5	大樺沢	103	103	102	102	196	196	302	302	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
	6	大樺沢	103	103	98	100	196	196	300	302	88	90	130	130	97	97	217	217	146	146
	7	大樺沢	103	103	98	98	196	196	300	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	8	大樺沢	103	103	98	100	196	196	302	302	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
	9	大樺沢	103	103	100	102	196	196	302	302	86	88	130	132	97	97	217	217	146	146
	10	大樺沢	103	103	98	100	196	196	302	310	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	11	大樺沢	103	105	100	100	196	196	300	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	12	大樺沢	103	103	102	102	196	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	13	大樺沢	103	103	100	100	196	196	300	302	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
	14	大樺沢	103	103	100	100	194	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	15	大樺沢	103	105	100	100	196	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	16	大樺沢	103	103	98	100	196	196	302	302	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
	17	大樺沢	103	103	100	100	194	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	18	大樺沢	99	103	100	102	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	19	大樺沢	99	103	100	102	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	20	大樺沢	103	105	98	100	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	21	大樺沢	99	103	98	100	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	22	大樺沢	101	103	100	100	194	196	302	310	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	23	大樺沢	103	105	100	100	196	196	300	302	88	88	130	130	97	97	217	217	---	---
	24	大樺沢	103	107	98	100	196	196	302	302	88	90	130	130	97	97	217	217	146	146
	25	大樺沢	103	103	100	100	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	26	大樺沢	103	103	100	100	196	196	300	302	88	90	130	130	97	97	217	217	146	146
	27	大樺沢	103	103	100	100	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	28	大樺沢	103	107	98	100	196	196	300	300	88	90	130	130	97	97	217	217	146	146
	29	大樺沢	103	107	98	100	194	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	30	大樺沢	103	103	100	100	196	196	302	302	88	88	130	132	97	97	217	217	146	146
	31	大樺沢	101	101	100	100	196	196	302	310	88	88	130	132	97	97	217	217	146	146
	32	大樺沢	103	103	100	100	196	196	302	302	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
	33	大樺沢	101	103	98	100	194	196	300	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	34	大樺沢	103	103	98	100	194	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	35	大樺沢	101	103	100	100	194	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	36	大樺沢	99	101	100	100	196	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	37	大樺沢	103	105	100	100	196	196	302	302	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
	38	大樺沢	103	103	100	100	196	196	302	310	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
	39	大樺沢	103	107	100	100	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	40	大樺沢	93	93	100	100	194	196	302	302	88	88	130	132	97	97	217	217	146	146
	41	大樺沢	103	103	100	100	196	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	---	---
	42	草すべり	101	103	100	102	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	43	草すべり	101	103	100	100	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	44	草すべり	101	103	98	100	196	196	302	302	88	90	130	130	97	97	217	217	146	146
	45	草すべり	99	105	98	98	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	46	草すべり	103	103	98	100	194	196	300	300	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	47	草すべり	101	103	100	100	194	196	302	302	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
	48	草すべり	99	101	98	100	194	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	49	草すべり	103	103	100	100	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	50	草すべり	103	103	100	100	196	196	300	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	51	草すべり	103	103	100	100	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	52	草すべり	103	103	98	98	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
	53	草すべり	99	103	98	100	194	196	302	302	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
	54	草すべり	103	105	100	100	196	196	302	302	88	90	130	130	97	97	217	217	146	146

--- は欠測データを表す

表2(続き). ミヤマハナシノブの個体の位置情報と遺伝子型.

サンプル ID	集団	遺伝子型																	
		Pkiu006		Pkiu129		Pkiu227		Pkiu853		Pkiu961		Pkiu1052		Pkiu208		Pkiu314		Pkiu965	
55	草すべり	103	103	100	100	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
56	草すべり	103	103	98	100	196	196	302	302	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
57	草すべり	103	105	98	100	196	196	300	310	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
58	草すべり	103	103	100	100	196	196	302	310	88	88	130	132	97	97	217	217	146	146
59	草すべり	105	105	98	98	196	196	300	302	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
60	草すべり	99	105	98	102	196	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
61	草すべり	103	103	98	100	196	196	302	310	88	88	130	132	97	97	217	217	146	146
62	草すべり	103	103	100	100	196	196	300	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
63	草すべり	101	103	98	98	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
64	草すべり	101	101	98	98	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
65	草すべり	103	103	100	100	196	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
66	草すべり	103	105	98	100	196	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
67	草すべり	101	103	98	98	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
68	草すべり	105	105	98	100	196	196	302	302	86	88	130	132	97	97	217	217	146	146
69	草すべり	103	103	100	100	194	196	302	310	86	86	130	130	97	97	217	217	146	146
77	草すべり	105	105	98	100	196	196	302	302	86	88	130	132	97	97	217	217	146	146
78	草すべり	103	105	100	100	196	196	302	310	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
79	草すべり	101	103	102	102	196	196	300	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
80	大樺沢下流	103	105	98	98	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
81	大樺沢下流	91	107	98	100	196	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
82	大樺沢下流	103	103	98	102	196	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
83	大樺沢下流	103	103	98	98	196	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
84	大樺沢下流	103	103	100	102	196	196	302	302	86	88	130	130	97	97	217	217	146	146
85	大樺沢下流	103	103	98	98	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
86	大樺沢下流	103	103	98	98	196	196	302	302	88	88	130	130	97	97	217	217	146	146
87	大樺沢下流	103	103	100	100	196	196	302	302	88	88	130	132	97	97	217	217	---	---

--- は欠測データを表す

表3. ミヤマハナシノブの遺伝的多様性.

遺伝子座	大樺沢 (n = 41)					草すべり (n = 38)					大樺沢下流 (n = 8)				
	N_A	A_R	Pr	H_O	H_E	N_A	A_R	Pr	H_O	H_E	N_A	A_R	Pr	H_O	H_E
Pkiu006	7	4.0	2	0.44	0.47	5	4.1	0	0.45	0.62	4	3.6	0	0.25	0.33
Pkiu129	3	2.7	0	0.39	0.42	3	2.6	0	0.34	0.54	3	3.0	0	0.38	0.53
Pkiu227	2	1.8	0	0.20	0.18	2	1.7	0	0.13	0.12	1	1.0	0	0.00	0.00
Pkiu853	3	2.4	0	0.32	0.31	3	2.7	0	0.30	0.36	1	1.0	0	0.00	0.00
Pkiu961	3	2.5	0	0.37	0.50	3	2.5	0	0.39	0.50	2	2.0	0	0.50	0.38
Pkiu1052	2	1.5	0	0.10	0.09	2	1.7	0	0.16	0.15	2	1.9	0	0.13	0.12
平均	3.33	2.50	0.33	0.30	0.33	3.00	2.52	0.00	0.30	0.38	2.17	2.08	0.00	0.21	0.23

 N_A , 対立遺伝子数; A_R , 対立遺伝子多様度; Pr , 固有対立遺伝子数; H_O , ヘテロ接合度の観察値; H_E , ヘテロ接合度の期待値

たことによる遺伝的多様性の過小評価の影響は小さかったと考えられる。また、すべての遺伝子座においてハーディ・ワインベルグ平衡からのずれや連鎖不平衡は検出されなかった。これらのことから、今回用いた6遺伝子座のマイクロサテライトマーカーはミヤマハナシノブの遺伝解析において有用だと考えられる。

4-2 ミヤマハナシノブの遺伝的多様性

本研究で解析した3集団で比較すると遺伝子座あたりの対立遺伝子数(N_A), ヘテロ接合度の観察値(H_O), ヘテロ接合度の期待値(H_E), サンプル数の違いを補正した指標である対立遺伝子多様度(A_R)のいずれの値も、大樺沢と草すべりよりも大樺沢下流で低い傾向にあった(表3)。大樺沢および草すべりは明るい高茎草本群落の中にミヤマハ

表4 ペアワイズ F_{ST} (左下) およびペアワイズ R_{ST} (右上)

	大樺沢	草すべり	大樺沢下流
大樺沢	0	0.000	0.000
草すべり	0.036 *	0	0.000
大樺沢下	0.153 **	0.053 *	0

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

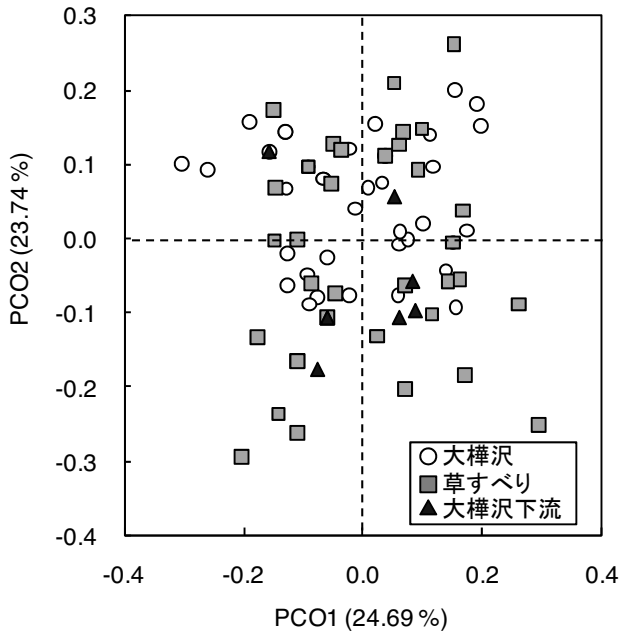


図2 ミヤマハナシノブの個体の遺伝子型の距離にもとづくPCOプロット

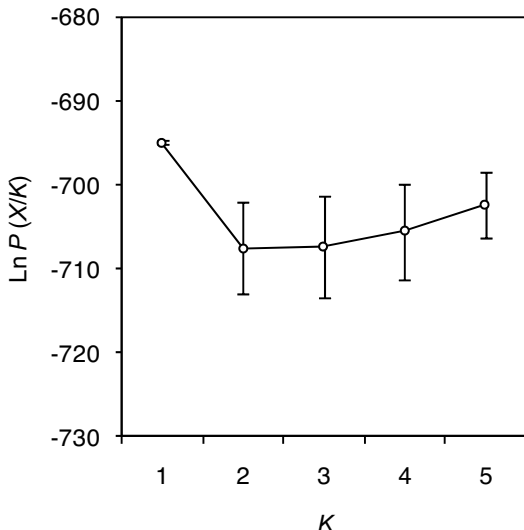


図3 STRUCTURE解析における $K=1$ から $K=5$ の場合の $\text{Ln}P(X/K)$. エラーバーは20回のランのそれぞれの $\text{Ln}P(X/K)$ の標準偏差を示す.

ナシノブが多数群生しているのに対して、大樺沢下流集団は樹林帯の中に位置し、ミヤマハナシノブの個体数は少なく、開花個体はほとんど生育していなかった。このように大樺沢下流では個体数が少ないため、遺伝的多様性が低かった可能性がある。一方、大樺沢と草すべりで

は遺伝的多様性に明瞭な違いはなかった。これら2つの集団は大樺沢の方が開花個体数は多いものの、それぞれ良く似た環境で大きな集団が維持されているため遺伝的多様性に差がでなかったと考えられる。

4-3 ミヤマハナシノブの集団間の遺伝的分化および集団遺伝構造

本研究で解析した3集団間では、 F_{ST} の値は有意に0より大きかったものの、値は極めて小さく、 R_{ST} は有意に0と異ならなかった(表4)。また、主座標分析の結果では解析した個体は各個体が拡散してプロットされ、集団ごとにクラスターを形成するようなことはなかった(図2)。STRUCTURE解析では、3つの集団を一つの遺伝子プールとして認識した場合に最も対数尤度が高くなった(図3)。このように、調査を行った3集団は樹林帯で分断されているにも関わらず、遺伝的な分化がなかった理由としては、比較的最近まで大きな一つの集団だった可能性、集団間で花粉や種子の移動がある可能性、調査していない樹林帯内に遺伝子流動の飛び石となるパッチ状の集団がある可能性の3つが考えられた。今後、北岳周辺の植生の変遷や送粉者の動態、登山道沿い以外でのミヤマハナシノブの分布が明らかになることで、これらの背景の特定が可能になるかもしれない。

4-4 保全上の留意点と今後の展望

今回の解析の結果では、大樺沢と草すべりで遺伝的多様性に明瞭な違いはなく、集団間の遺伝的な分化は認められなかった。これらの結果からは今回調査したミヤマハナシノブの集団は大きな一つの管理単位と考えることができる。しかしながら、今回使用したマイクロサテライトマーカーはハナシノブで開発されたものであり、6遺伝子座のうち5遺伝子座は対立遺伝子数が2~3と少なく(表3)、情報量が十分でない可能性がある。より高解像度の解析を行うならば、ミヤマハナシノブのマイクロサテライトマーカーを開発する必要がある。また、集団間で遺伝子流動を起こしつつも標高傾度によって表現型が異なり集団ごとに局所適応している例も知られている¹⁷⁾。局所適応を考慮せずに個体を移動させると、異系交配弱勢など集団の存続に悪影響が出る可能性がある。これらのことから安易に個体の移動などは行わず、現状を維持していくことが重要だと考えられる。また、生育地外保全を行う場合は、なるべく多くの個体から種子を採り、由来する集団ごとに分けて管理することが望ましい。

本研究では、現在知られているミヤマハナシノブの自生地のうち特に集団サイズが大きい大樺沢と草すべりについて調査を行った。しかし、今回のサンプルセットはミヤマハナシノブの分布範囲を網羅できていない。左俣沢方面や大仙丈沢方面など高い稜線を挟んだ別の集水域

でも生育情報が得られている。これらの集団からもサンプルを採取し、大樺沢や草すべりと遺伝的多様性を比較する必要がある。山岳の高い稜線が障壁となって遺伝子流動が制限されている例は、北米に生息するアライグマ *Procyon lotor*¹⁸⁾、北米に生息するアカガエル属の一種 *Rana luteiventris*¹⁹⁾、新熱帯に生育する木本であるセドロ *Cedrela odorata*²⁰⁾、ウダイカンバ *Betula maximowicziana*²¹⁾ などと報告されている。ミヤマハナシノブの生育する北岳は、日本でも有数の高標高の山岳地帯であり、高い稜線が遺伝子流動の障壁として機能している可能性がある。今後は別の集水域のミヤマハナシノブを採取し、遺伝子流動の有無を検証する必要がある。また、現在は生育情報が得られていない山梨県の榎形山・鳳凰山御室・北荒川岳、富山県の白馬岳などの情報も収集し、生育が確認できれば解析に加えることでより広域スケールでのミヤマハナシノブの遺伝構造が明らかになると考えられる。

5. 結 言

マイクロサテライトマーカーによる解析の結果から、ミヤマハナシノブの主な自生地である大樺沢と草すべりの間では遺伝的多様性の大きさは同程度で遺伝的な分化は生じていないことが明らかになった。これらのことからこの二つの集団は大きな一つの管理単位と考えられた。一方で、マーカーの情報量が不足している可能性があること、表現型の違いや適応的な遺伝子の違いは今回の調査ではわからなかったことから、今後さらなる研究の余地がある。

参考文献

- 1) Yamazaki T : Flora of Japan Vol. IIIa, Kodansha 242-243. (1993)
- 2) 植松春雄 : 南アルプスの植物, 井上書店 (1967)
- 3) 植松春雄 : 山梨の植物誌, 井上書店 (1981)
- 4) 環境庁 : 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物 8 [植物 I (維管束植物)], 自然環境研究センター (2000)
- 5) Flankham R, Ballou JD, Briscoe DA : Introduction to Conservation Genetics, Cambridge University Press (2010)
- 6) Schwartz MK, Luikart G, Waples RS : Trends in Ecology and Evolution, 22, 1, 25-33. (2007)
- 7) Milligan B : Molecular genetic analysis of populations: a practical approach, IRL Press, 59-88. (1992)
- 8) Yokogawa M, Kaneko S, Isagi Y : Conservation Genetics, 10, 5, 1445-1447. (2009)
- 9) El Mousadik A, Petit RJ : TAG Theoretical and Applied Genetics, 92, 7, 832-839. (1996)
- 10) Goudet J : Journal of Heredity, 86, 6, 485-486. (1995)
- 11) Peakall ROD, Smouse PE : Molecular Ecology Notes, 6, 1, 288-295. (2006)
- 12) Bowcock AM, Rulz-Linares A, Tomfohrde J, Mich E, Kidd JR, Cavalli-Sforza LL : Nature, 368, 455-457. (1994)
- 13) Pritchard JK, Stephens M, Donnelly P : Genetics, 155, 2, 945-959. (2000)
- 14) Falush D, Stephens M, Pritchard JK : Genetics, 164, 4, 1567-1587. (2003)
- 15) Hubisz M, Falush D, Stephens M, Pritchard JK : Molecular Ecology Resources, 9, 5, 1322-1332. (2009)
- 16) Wright TF, Johns PM, Walters JR, Lerner AP, Swallow JG, Wilkinson GS : Genetic Research, 84, 27-40. (2004)
- 17) Ikeda H, Setoguchi H, Morinaga SI : Acta phytotaxonomica et geobotanica, 61, 1, 21-26. (2010)
- 18) Root JJ, Puskas RB, Fisher JW, Swope CB, Neubaum MA, Reeder SA, Piaggio AJ : Vector-borne and Zoonotic Diseases, 9, 6, 583-588. (2009)
- 19) Funk WC, Blouin MS, Corn PS, Maxell BA, Pilliod DS, Amish S, Allendorf FW : Molecular Ecology, 14, 1, 483-496. (2005)
- 20) Cavers S, Navarro C, Lowe AJ : Conservation Genetics, 4, 5, 571-580. (2003)
- 21) Tsuda Y, Sawada H, Ohsawa T, Nakao K, Nishikawa H, Ide : Tree Genetics & Genomes, 6, 3, 377-387. (2010)

人工光利用による施設栽培ブドウの
高品質化技術の開発

**Development of Technology of Making to High
Quality of Greenhouse Grape by Use of Artificial
Light**

LEDによる夜間電照がブドウの果粒肥大に及ぼす影響(第3報)

齊藤典義¹, 宇土幸伸¹, 里吉友貴¹, 阿部治², 河野裕³, 平川寛之³

(¹山梨県果樹試験場, ²山梨県富士工業技術センター, ³山梨県工業技術センター)

要約 早期加温栽培のブドウ‘ピオーネ’の果粒肥大を促進するため、夜間電照光源として赤色LED(波長660nm)の利用方法を検討した。平行整枝において、帯状の支持体に5cm間隔でLEDを固定した光源を主枝と主枝の中央部の棚下30cmに設置し、棚面の新梢に向けて照射したところ、照射が葉1枚に限定されても果粒肥大効果が得られた。一方、自然形整枝樹において、サーチライト型光源を用いて棚面に赤色光を照射したが、十分な果粒肥大効果が得られる範囲は狭かった。

The Influence of LED Irradiation on the Berry Weight of Grape(3rd report).

Noriyoshi SAITO¹, Yukinobu UDO¹, Yuki SATOYOSHI¹, Osamu ABE², Hiroshi KONO³, Hiroyuki HIRAKAWA³ (¹Yamanashi Fruit Tree Experiment Station, ²Yamanashi Fuji Industrial Technology Center, ³Yamanashi Industrial Technology Center).

Abstract We examined whether the red LED (660nm) was useful as a light source of light-culture greenhouse for dilation of berry of grape ‘Pione’. The source of light that installed LED in the belt-type foamed plastic at intervals of 5cm was used on parallel training method. The light was set up in center part of the branch and the branch in 30cm under the grapevine trellis and irradiated aiming at a shoot. The berry weight of grape increased even if light was irradiated (50days, 23:00~2:00) on one leaf. And on "X-shaped training method" the searchlight-type LED source was irradiated to the grapevine trellis. However, the range where berry was able to increase was narrow.

1. 緒言

12月~1月の早期に加温を始める施設栽培ブドウの中でも‘巨峰’や‘ピオーネ’といった巨峰系4倍体の品種は、果粒肥大が不足しやすい。この原因としては、温度不足になりやすい、日射量が少ないなどの影響に加え、果粒肥大期にあたる1~2月が短日条件であることも影響している。これまでに、果粒肥大を促進する目的で、夜間の電照により短日条件を解消する電照技術が実用化されている。落花期から40日間程度、暗期中断を目的に深夜(23:00~2:00)に蛍光灯やメタルハライドランプ、ナトリウムランプなどの光源で電照を行うと果粒肥大が促進される^{1, 2)}。

筆者らは、この電照において波長660nm付近に発光のピークを有する発光ダイオード(Light Emitting Diode, 以下LED)を光源として、ブドウ棚の棚面において1.0~1.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度の光量子束密度を確保することで、果粒肥大に効果があることを明らかにした^{3, 4)}。また、電照時間帯に果房を遮光しても効果があり、電照において果房への光の照射は必須ではないことも明らかになった⁵⁾。さらに、ブドウの平行整枝樹を用い、平行する主枝間で新梢が交差する部位に部分的に照射を行うことでも十分な果粒肥大効果が得られる可能性が高いことを明らかにした⁵⁾。

そこで、平行整枝樹での部分照射に適する電照装置として、帯状の発泡プラスチックに砲弾型LED光源を一定間隔で埋設し、棚下から上方の棚面に向けて光を照射するこ

とが可能な電照装置を試作した⁶⁾。本研究では、この電照装置による夜間電照処理が果粒肥大に及ぼす影響、装置の設置位置や照射時間帯に点灯と消灯を繰り返す間断照射の影響を明らかにすることを目的にした。

また、山梨県内の施設ブドウで一般的な整枝方法である自然形整枝樹で、帯状の光源を用いる場合、相当密に光源を設置しなければ、効果が不安定になると考えられた⁵⁾。少ない光源で広範囲に照射を行う方法としては、棚面にサーチライト状に光を照射する方法が考えられることから、高輝度の反射型LEDを装着した回転式の照射装置⁷⁾を製作し、その実用性についても検討した。

2. 実験方法

2-1 試験圃場の耕種概要

試験は2009年12月加温の山梨県果樹試験場加温ハウスで実施した。品種はハウス内に地植えした‘ピオーネ’(*Vitis labruscana*) (2009年12月加温時、14年生)を供試し、栽培管理は山梨県果樹試験場で作成した超早期加温栽培マニュアル⁸⁾に準じた。試験ハウスの管理と生育ステージの概況を図1に示した。

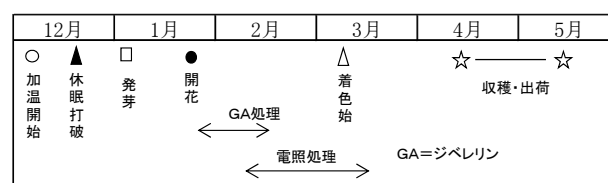


図1 ハウスの管理概況と‘ピオーネ’の生育ステージ

2-2 短梢剪定樹における帯状光源の実用性評価

光源は幅約4cmの帯状の発泡プラスチック材に、砲弾型赤色LED素子（波長660nm, L-53 SRC-E: KingBright製）を5cm間隔で固定し、一定方向に照射可能な帯状光源装置（試作品⁶⁾）を使用した。この装置を平行整枝樹の主枝と主枝の中間部の棚下30cmまたは50cmに固定し、発光部を棚面に向けて照射した（図2）。また、棚下30cmからの照射試験では、15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射区を設けた。照射期間は2月5日～3月26日まで50日間とし、照射時間帯は23:00～2:00とした。

2-3 LEDの照射部位が果粒肥大に及ぼす影響

LED光源（波長660nm, L-53 SRC-E: KingBright製）を葉裏から約10cmの距離で新梢の第5～7葉の1枚または3枚に1素子ずつ照射する区を設けた。照射期間は2月18日

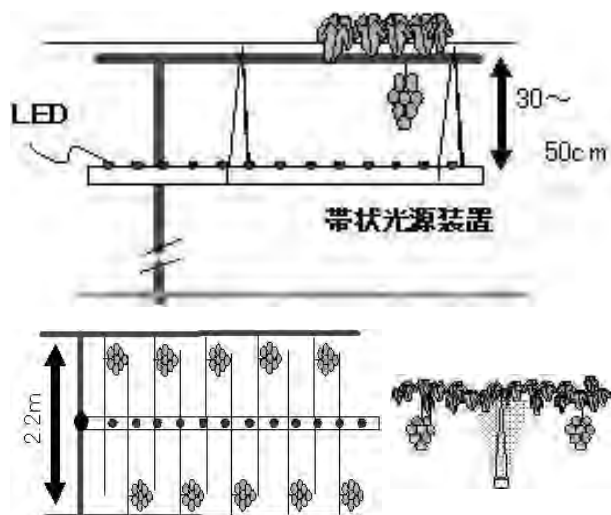


図2 試作した帯状光源の設置方法（模式図）



図3 ハウス内に設置したサーチライト型光源

～4月8日までの49日間とし、電照時間帯は23:00～2:00とした。対照区は無照射とした。

2-4 自然形整枝樹におけるサーチライト光源の実用性評価

サーチライト型の電照光源は電照光源を保持できる回転式の架台⁷⁾を利用し、ホルダ部に棒状LED光源（波長660nm, 高輝度反射型LED, 岩崎電気製）を取り付けた。このサーチライト型光源をハウス内に設置し、光源部を約80°の角度で上方に向け、水平方向に360°回転させた（図3）。回転数は10秒間に1回転とした。照射期間は2月13日～4月1日までの47日間とし、電照時間帯は23:00～2:00とした。

2-5 赤色LED光源の波長の違いが果粒肥大に及ぼす影響

電照光源は、2-2で使用した波長660nmの帯状光源装置および装飾用に市販されている波長635nmのLED（Rattan 100b, やまと興業製）を同様に帯状に加工した光源を使用した。これらの電照装置を試験2-2と同様に、平行整枝樹の主枝と主枝の中間部の棚下30cmに固定し、棚面に向けて照射した。なお、635nmのLED素子は1素子あたりの光量子束密度が小さいため、660nmの4倍の素子数で照射した。照射期間は2月16日～4月6日までの49日間とし、照射時間帯は23:00～2:00とした。

3. 結果

3-1 短梢剪定樹における帯状光源の実用性評価

電照装置の設置位置と棚面での光量子束密度の測定結果を表1に示した。電照装置を棚下30cmに設置した場合、光源直上の棚面での光量子束密度は約 $1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、これまでの試験から、果粒肥大に有効であった $1.0 \sim 1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ を確保していた。棚下50cmに設置した場合は、光源直上で約 $0.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ と棚下30cmに設置したときの50%以下であった。また、装置直上から水平方向に30cm, 50cm離れた棚面の光量子束密度は、いずれの距離から照射しても $0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度であり、帯状光源において、比較的強い光が照射される部分は、光源直上のきわめて限定された範囲であった。

短日条件が解消されると、新梢の登熟が遅れることから、新梢の登熟割合を継時的に調査した結果を図4に示した。無照射区では電照停止（3月26日）前から新梢の登熟

表1 帯状光源照射時の棚面の光量子束密度

設置位置	棚面の光量子束密度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		
	光源直上	横30cm	横31cm
棚下30cm	1.46	0.12	0.08
棚下50cm	0.71	0.11	0.08

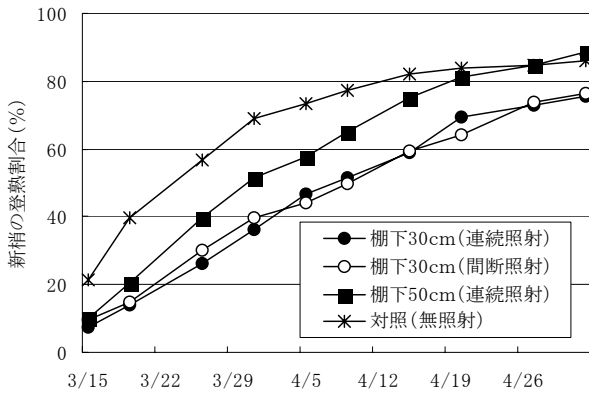


図4 帯状光源の照射方法の違いと新梢の登熟割合



図6 サーチライト型光源の光子束密度の測定部位

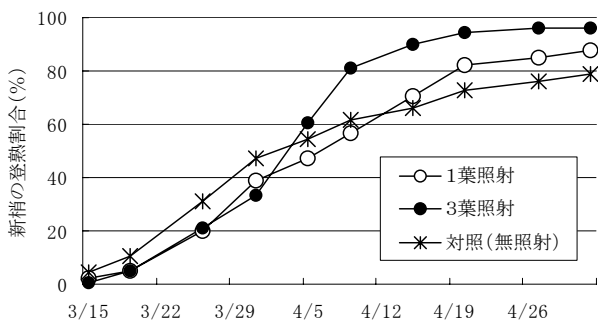


図5 電照の照射部分の限定が新梢の登熟に及ぼす影響

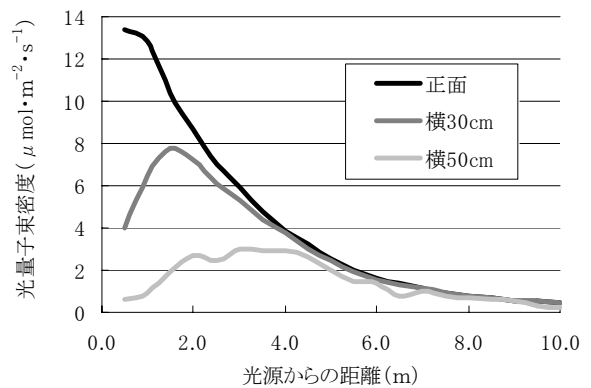


図7 サーチライト型光源からの距離と光子束密度

が進んだが、電照区では登熟が遅れた。棚下30cmから照射した区では、電照時間帯に連続して照射した区、15秒間隔の間断照射とした区とも登熟は遅れ、棚下50cmに設置した場合は、やや登熟が早かった。

果粒肥大は電照区で優れた。電照装置の棚面からの距離、照射方法による差は明確ではなかった(表2)。

3-2 LEDの照射部位が果粒肥大に及ぼす影響

新梢の登熟は、1枚または3枚照射でやや遅れて進んだが、電照停止直前の4月上中旬以降は、無照射より登熟が進んだ(図5)。果粒重は、1枚または3枚のみ照射でも無照射より優れ、照射部位を葉1枚に限定しても果粒肥大効果が認められた(表3)。

3-3 自然形整枝樹におけるサーチライト光源の実用性評価

サーチライト型光源照射時の距離別の光子束密度の

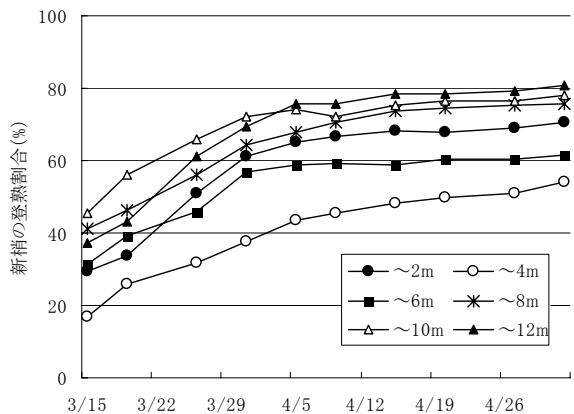


図8. サーチライト型光源からの距離別の新梢の登熟割合

表2 帯状光源の照射方法の違いが果実品質に及ぼす影響

電照設置位置と照射方法	果房長 cm	果房重 g	着粒数 粒/房	果粒重 g	糖度 Brix	酸度 g/100ml	着色 c.c.
棚下30cm(連続照射)	13.2 a	301.8 a	31.9 a	10.3 a	21.7 a	0.57 a	11.9 a
棚下30cm(間断照射)	13.0 a	256.4 ab	29.9 a	9.3 a	21.2 a	0.61 a	11.9 a
棚下50cm(連続照射)	13.5 a	258.9 ab	28.3 a	9.6 a	21.6 a	0.64 a	11.9 a
対照区(無照射)	11.8 b	197.7 b	29.7 b	7.3 b	23.2 b	0.63 a	12.0 a

表中の異なる英小文字間にはTukeyの多重検定で異符号間に有意水準5%で有意差あり

表3. 電照の照射部分の限定が果実品質に及ぼす影響

処理区	果房長 cm	果房重 g	着粒数 粒	果粒重 g	糖度 Brix	酸度 g/100ml	着色 c.c.
1枚照射	12.9 a	255.7 a	30.2 a	8.2 a	20.8 a	0.68 a	12.0 a
3枚照射	13.0 a	262.0 a	30.8 a	8.3 a	21.3 a	0.64 a	12.0 a
無照射	12.9 a	196.2 a	30.8 a	6.1 b	21.1 a	0.79 a	11.9 a

表中の異なる英小文字間にはTukeyの多重検定で異符号間に有意水準5%で有意差あり

表4 サーチライト型光源からの距離と果実品質

光源からの距離	果房長 cm	果房重 g	着粒数 粒/房	果粒重 g	糖度 Brix	酸度 g/100ml	着色 c.c.
~2m	14.2 a	341.7 a	34.5 a	10.2 a	19.6 c	0.64 a	10.9 a
~4m	13.0 ab	260.5 ab	28.6 b	10.1 a	21.3 b	0.66 a	11.7 a
~6m	11.5 b	171.6 b	26.8 b	7.5 b	23.8 a	0.65 a	11.9 a
~8m	11.8 b	182.4 b	28.2 b	7.8 b	22.7 ab	0.63 a	12.0 a
~10m	11.7 b	183.0 b	26.7 b	7.7 b	23.6 a	0.64 a	12.0 a
~12m	12.7 b	217.6 b	28.8 b	8.1 b	23.0 a	0.59 a	12.0 a

表中の異なる英小文字間にはTukeyの多重検定で異符号間に有意水準5%で有意差あり

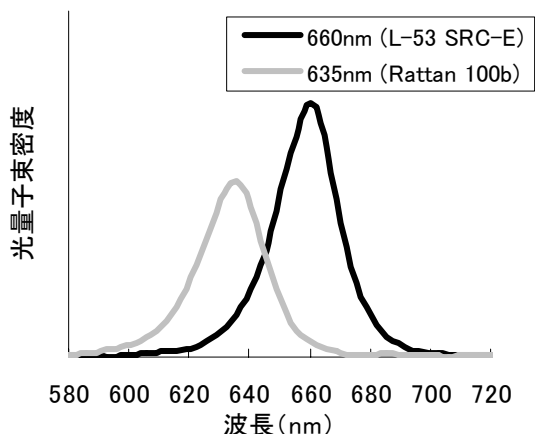


図9 異なる赤色LEDの発光特性

表5 異なる赤色LEDの棚面の光量子束密度

設置位置	棚面の光量子束密度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	
	光源直上	横30cm
660nm	0.94	0.11
635nm	0.49	0.28

棚下30cmに設置した時の棚面で測定

測定位置を図6, 測定結果を図7に示した. 光源正面の延長上の光量子束密度は, 光源からの距離が近いほど高かったが, 正面から30cm横の部分では約2m, 50cm横の部分では2~4m付近で光量子束密度が最大であった. 7~8mまでの距離では, 実用的な果粒肥大効果が得られる $1.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度の光量子束密度が得られた. 光源からの距離と新梢の登熟割合を図3に示した. 登熟が遅れ, 日長反応がはっきりと変化していると考えられる範囲は光源から4~6mの範囲であった. また, 果粒肥大効果が得られる範囲は, 光源から2~4mまでであり, 登熟の遅れが観察される6mまでの範囲よりも限定された(表

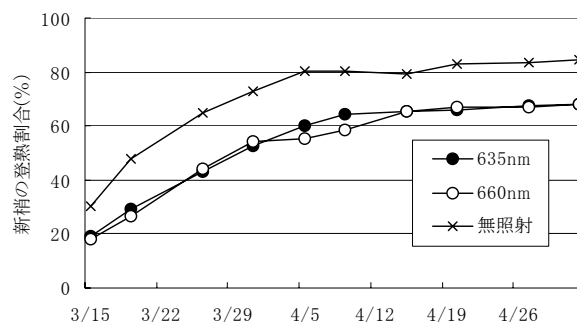


図10 赤色LEDの波長の違いが新梢の登熟に及ぼす影響

4) .

3-4 赤色LED光源の波長の違いが果粒肥大に及ぼす影響

図9に供試した2種のLED素子の発光分布, 表5に棚面でのそれぞれの光源の光量子束密度を示した. 660nmの素子は, 砲弾型で照射角が小さいことから, 光源直上での光量子束密度は高く, 635nmの素子は出力が小さく, 4倍の素子数で照射を行っても, 棚面直上での光量子束密度は小さかった. しかし, 拡散型の素子であることから, 光源正面から横30cmでは660nmの素子よりも光量子束密度は大きかった.

新梢の登熟は, いずれの素子を利用しても無照射より明らかに遅く, 635nmのLED素子を用いた場合でも, 660nmの素子と同様であった(図10). 果粒肥大は, 無照射に比べ, 635nm, 660nmのいずれの素子でも良好になり, 果粒肥大効果が認められ, その効果は635nmの方が大きい傾向が認められた(表6).

3. 考察

LEDは消費電力が少なく, 寿命が長いなど, 低コス

表6 異なる波長の赤色LEDの照射が果実品質に及ぼす影響

素子の波長	果房長 cm	果房重 g	着粒数 粒/房	果粒重 g	糖度 Brix	酸度 g/100ml	着色 c.c.
635nm	14.0 b	338.0 b	32.1 ab	11.0 b	20.5 a	0.65 a	11.7 a
660nm	14.0 b	305.9 b	33.0 b	9.7 ab	21.6 b	0.64 a	12.0 b
無照射	12.5 a	217.0 a	29.0 a	8.2 a	23.0 c	0.68 a	12.0 b

表中の異なる英小文字間にはTukeyの多重検定で異符号間に有意水準5%で有意差あり

トな光源として農業場面でも植物工場などを中心に利用が拡大しつつある。また、特定の波長のみを照射することが可能で、生育に有効な波長域を選択すること等で、さらに電力消費量を抑制できるだけでなく、光質によっては成長の制御も可能である。また、LED素子はさまざまな形状に加工できることから、照射対象物にあわせて光源装置を製作できるなどの利点もある⁹⁾。

筆者らは、優れた特性を持つLEDを活用する方法として、ブドウの果粒肥大を目的にした夜間電照への応用を検討してきた。これまでに、長日条件を誘導する暗期中断電照には、波長660nmの赤色LEDに効果があり、ブドウ棚面において $1.0 \sim 1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度の光量子束密度が必要なことを明らかにした^{3, 4)}。しかし、LED素子は小型で、個々の素子は照射範囲が狭く、光量も小さいことから、広範囲のブドウ棚全体に光を照射する光源としては適していない。そのため、果粒肥大に必要な光量が微量であっても、棚面に均一に照射するには、多数の光源を密に設置する必要がある、実用的ではないと考えられた。そこで、照射時に果房を遮光する電照実験を行い、果房への照射の必要性を検討したところ、夜間電照において、果房への光の照射は必須でなく、果房以外のブドウ樹の部位に光を照射することでも果粒肥大効果が得られることを明らかにした⁵⁾。

本試験ではこれらの成果をもとに、新梢の配置が規則的で、棚面全体に照射することなく、ほぼすべての新梢に光を照射できる平行整枝樹での照射方法を中心に検討した。

帯状の支持体に赤色LEDを5cm間隔で固定し、棚面方向に照射できる装置の実用性を検討したところ、棚下約30cmに装置を設置し、落花期から夜間(23:00~2:00)、50日の照射によって、果粒肥大効果が認められた。夜間電照において長日効果の目安となる新梢の登熟の遅れは、装置の直上で光量子束密度が約 $1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となる棚下30cmで顕著で、電照時間帯に15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射においても同様の効果が得られた。光量子束密度が約50%となる棚下50cmに設置した場合の新梢の登熟は、棚下30cm区より進んだが、無照射よりは遅れ、一定の長日効果が得られたと考えられる。いずれの照射方法においても、無照射に比べ、果粒は肥大したが、棚下30cmに設置し、電照時間帯に連続照射した区が最も果粒肥大が優れた。

帯状の電照光源は、照射範囲がきわめて限定されるこ

とから、新梢の葉1枚あるいは3枚に赤色LEDを照射して、肥大効果を確認した。その結果、いずれの場合も無照射区に対して有意に果粒重が増加し、新梢あたり葉1枚のみの照射でも十分な肥大効果が得られることが明らかになった。

一方、山梨県内において一般的な仕立て方法である自然形整枝・長梢剪定は、新梢の配置が不規則であり、帯状光源では均一な果粒肥大効果が期待できない。そこで、高輝度のLED光源を用いて、棚面をサーチライト状に照射する方法について検討した。試作装置では光源部から7~8mまでの範囲で、実用的な肥大効果が期待できる光量子束密度 $1.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ が確保されたが、明確な肥大効果は、光源から2~4mの範囲であり、実用性は低いと判断される。これまでに電照時間帯に15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射によっても効果が得られることを明らかにしたが、点灯と消灯の間隔を5秒-10秒、5秒-15秒とし、照射時間が短くなると肥大効果が小さくなった^{4, 5)}。本試験における電照では、光源部を10秒に1回転させたことから、棚面では10秒に1回しか光が照射されない条件であった。そのため、電照時間帯における実質的な照射時間も1/10程度と考えられ、十分な照射時間が確保できないことが原因と考えられる。

一連の試験から、短日期の施設ブドウ栽培において、長日条件を誘導する夜間電照は、部分的かつ低照度で実用性があることを明らかにした。また、赤色光は長日条件の誘導に効果が高く、単色でも十分な効果があった。単色光が得られる赤色LEDの利用は、これまで電照の光源として利用されてきた蛍光灯やメタルハライドランプ、ナトリウムランプなどと比較すると消費電力が少なく、より効率的な光源として期待される。今後、LED素子の低価格化、高輝度化によって、実用化が進むことを期待したい。

4. 結 言

近年は農作物の安定供給、安心、安全な作物生産を目的に、植物工場が注目されている。とくに完全閉鎖型の植物工場では、赤色光や青色光が積極的に利用されているが、植物の成長に必要な光を人工光のみに依存するため、照射量は相当に多い。そのため、採算性の面から、施設の稼働率が高い葉菜類を対象としたものを中心に、果樹のような永年作物の生産には向かない。しか

し、本研究例のように、永年作物においても単色光を利用した日長制御によって、植物に生理的変化をもたらす、品質や生産性を向上させることが可能である。今後、赤色や青色などの単色光、あるいは混合光の利用は、さまざまな場面で、成長を制御できる可能性が高く、作物の品質、生産性を向上させる効果が期待できる。また、成長制御のメカニズムを明らかにする過程で、植物の光に対する生理学的な新知見が得られる可能性が高く、新たな研究手法としても活用場面が広がると期待される。

参考文献

- 1) 齊藤典義：ブドウ超早期加温栽培における生産安定・多収技術の開発，平成17年度落葉果樹研究会資料，P. 69-72 (2005)
- 2) 齊藤典義：すぐに役立つハウス栽培新技術，(社)農業電化協会，P. 44 (2008)
- 3) 齊藤典義，宇土幸伸，三森真里子，萩原茂，阿部治，平川寛之：LEDによる夜間電照がブドウの果粒肥大に及ぼす影響，山梨県総合理工学研究機構研究報告書，第4号P. 29-34 (2009)
- 4) 齊藤典義，宇土幸伸，三森真里子，萩原茂，阿部治，平川寛之：赤色LED光源による夜間電照処理がブドウ「ピオーネ」の果粒肥大に及ぼす影響，園芸学雑誌. 8 (別1) P. 89, 2009.
- 5) 齊藤典義，宇土幸伸，里吉友貴，阿部治，河野裕，平川寛之：LEDによる夜間電照がブドウの果粒肥大に及ぼす影響 (第2報)，山梨県総合理工学研究機構研究報告書，第5号P. 21-26 (2010)
- 6) 阿部治，河野裕，平川寛之，齊藤典義，宇土幸伸，里吉友貴：ロープ状電照光源の改良，山梨県総合理工学研究機構研究報告書，第5号P. 31-33 (2010)
- 7) 阿部治，河野裕，平川寛之，萩原茂，齊藤典義，宇土幸伸，三森真里子：ロープ状およびサーチライト電照光源の開発，山梨県総合理工学研究機構研究報告書，第5号P. 27-33 (2010)
- 8) 「種なしピオーネ」の超早期加温栽培マニュアル，山梨県果樹試験場 (未発表)，(2005)
- 9) 後藤英司：LEDの農林水産分野への応用，(社)農業電化協会，P. 35 (2006)

学会発表

- 1) 齊藤典義，宇土幸伸，三森真里子，萩原茂，阿部治，平川寛之：赤色LED光源による夜間電照処理がブドウ「ピオーネ」の果粒肥大に及ぼす影響，園芸学雑誌. 8 (別1) P. 89, 2009.
- 2) 齊藤典義，宇土幸伸，里吉友貴，阿部治，河野裕，平

川寛之，市川和規：ブドウ「ピオーネ」の果粒肥大を目的とした赤色LEDの夜間電照方法の開発，2010. 園学研. 9 (別2) p. 129.

特許出願

ブドウ果房の育成方法及び電照装置 (特願2010-062147)

その他

- 1) 人工光利用による施設栽培ブドウの高品質化技術の開発，平成20年度やまなし産学官連携研究交流事業研究発表会.
- 2) 施設ブドウの果粒肥大を目的とした赤色LEDの照射方法，平成20年度山梨県試験研究成果情報，20果4.
- 3) 人工光利用による施設栽培ブドウの高品質化技術の開発，平成22年度やまなし産学官連携研究交流事業研究発表会.
- 4) 平行整枝と帯状LED光源を組み合わせた早期加温「ピオーネ」の果粒肥大促進方法の開発，平成22年度山梨県試験研究成果情報，22果6.
- 6) 赤色LED照射によるハウスブドウの果粒肥大，農業電化，農業電化協会，2011年1月.

資 料

1 平成22年度山梨県総合理工学研究機構の活動

(1) 「山梨県総合理工学研究機構運営委員会」の開催

(委員名簿は別表1)

- ・平成22年6月18日 第1回運営委員会開催
平成21年度終了研究テーマの事後評価
実施中の研究テーマの取組状況
- ・平成22年10月8日 第2回運営委員会開催
平成21年度開始研究テーマの中間評価
平成23年度新規研究テーマ(案)の事前評価

(2) 「山梨県総合理工学研究機構テーマ等調整会議」の開催

(構成員名簿は別表2)

- ・平成22年6月1日 第1回会議開催
平成22年度研究体制について
平成22年度研究予算の配分について
平成21年度終了研究テーマの運営委員会における事後評価について
実施中の研究テーマの取組状況について
- ・平成22年9月9日 第2回会議開催
平成21年度開始研究テーマの運営委員会における中間評価について
平成23年度新規研究テーマ(案)の運営委員会における事前評価について
試験研究重点化事業の評価・選定について
- ・平成23年3月8日 第3回会議開催
平成24年度新規研究テーマの提案状況について

(3) 「山梨県総合理工学研究機構研究員研修会」の開催

- ・平成22年7月20日 第1回研修会開催 山梨県環境科学研究所 参加人数 41名
研究発表、情報交換、研究所視察
- ・平成22年9月10日 第2回研修会開催 山梨県工業技術センター 参加人数 39名
講演「役に立つ研究とは??」
講師 山梨県総合理工学研究機構 総長 小林 正彦
総理研研究テーマの中間検討会

(4) 「山梨県総合理工学研究機構共同研究テーマ企画会議」の開催

- ・平成23年1月25日開催
各試験研究機関からの平成24年度新規研究テーマの提案
総理研からの平成24年度新規研究テーマの提案

(5) 平成23年度試験研究重点化事業に係る事前評価・中間評価の実施

- ・平成22年10月25日～29日(5日間)
新規課題(事前評価)：6機関11課題の提案中10課題を採択
継続課題(中間評価)：7機関19課題の提案中18課題を採択

(6) 研究報告書の出版

- ・平成22年8月30日 山梨県総合理工学研究機構研究報告書第5号を出版

(7) 研究成果の発表

- ・平成22年9月3日 やまなし産学官連携研究交流事業において研究発表

別表1 山梨県総合理工学研究機構運営委員会委員名簿

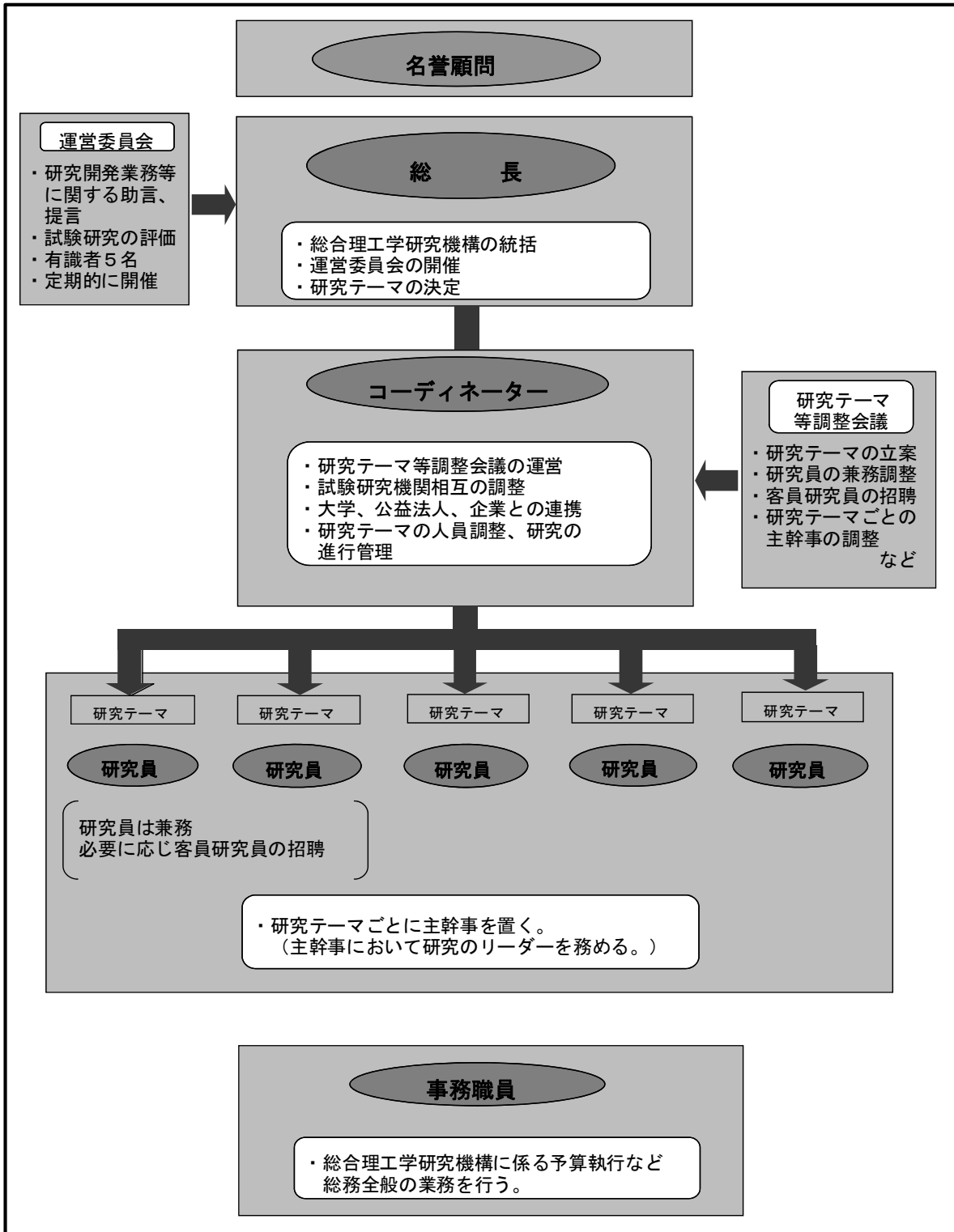
氏 名	役 職 名
◎伊 藤 洋	山梨県立大学学長
○風 間 善 樹	産業活性化研究所所長、山梨県機械電子工業会名誉会長
有 田 順	山梨大学大学院医学工学総合研究部長・医学部長・生理学教授
早 川 正 幸	山梨大学工学部教授
陽 捷 行	北里大学副学長

(五十音順、役職名は平成22年6月現在、◎：委員長、○：副委員長)

別表2 山梨県総合理工学研究機構研究テーマ等調整会議構成員名簿

氏 名	職 名
渡 邊 伊 正	山梨県衛生環境研究所長
永 井 正 則	山梨県環境科学研究所副所長
杉 村 直 英	山梨県森林総合研究所長
宮 島 茂	山梨県工業技術センター所長
大 森 大 一	山梨県富士工業技術センター所長
三 井 潔	山梨県水産技術センター所長
赤 池 栄 夫	山梨県総合農業技術センター所長
中 込 一 憲	山梨県果樹試験場長
條 々 和 実	山梨県畜産試験場長
平 島 勝 教	山梨県酪農試験場長
田 中 宏	山梨県総合理工学研究機構事務局長
中 山 信 一	山梨県総合理工学研究機構コーディネーター
興 水 達 司	山梨県総合理工学研究機構コーディネーター
市 川 和 規	山梨県総合理工学研究機構コーディネーター

2 平成22年度山梨県総合理工学研究機構組織図



3 平成22年度職員名簿

名誉顧問	大村智	研究員(兼)	萩原義人
総長	小林正彦	研究員(兼)	勝又信行
事務局長	田中宏	研究員(兼)	石黒輝雄
次長(兼)	河野正元	研究員(兼)	阿部治
		研究員(兼)	石井利幸
(総務スタッフ)		研究員(兼)	早川亮
主査	古屋登士匡	研究員(兼)	長沼孝多
		研究員(兼)	斎藤美貴
(コーディネーター)		研究員(兼)	鈴木大介
特別研究員	中山信一	研究員(兼)	橋本卓也
特別研究員	輿水達司	研究員(兼)	飯島勇人
研究管理幹	市川和規	研究員(兼)	佐々木裕也
		研究員(兼)	芦澤里樹
(研究スタッフ)		研究員(兼)	古屋雅章
研究管理幹(兼)	高橋一孝	研究員(兼)	小嶋匡人
主幹研究員(兼)	本郷哲郎		
主幹研究員(兼)	北原正彦		
主幹研究員(兼)	吉澤一家		
主任研究員(兼)	伊藤和彦		
主任研究員(兼)	中野隆志		
主任研究員(兼)	杉田幹夫		
主任研究員(兼)	吉村千秋		
主任研究員(兼)	西川浩己		
主任研究員(兼)	宮川和幸		
主任研究員(兼)	池口仁		
主任研究員(兼)	上野直也		
主任研究員(兼)	長池卓男		
主任研究員(兼)	佐野正明		
主任研究員(兼)	木村英生		
主任研究員(兼)	小松利安		
主任研究員(兼)	堀内雅人		
研究員(兼)	山田博之		
研究員(兼)	西村通喜		

4 担当コーディネーター一覧

課 題 名	研究期間	平成20年度	平成21年度	平成22年度
自然公園内における湖沼の水質の向上に関する研究	平20～22	永井正則	輿水達司	輿水達司
化合物半導体多層太陽電池の開発	平21～22		上條幹人	中山信一
酒造米および有色素米の栽培と利用に関する研究	平21～23		市川和規	市川和規
醗酵食品残渣の有効利用に関する研究	平21～23		市川和規	市川和規
高効率太陽熱吸収技術に関する研究開発	平21～23		上條幹人	中山信一
マイクロ金型による微細転写加工技術に関する研究	平22～24			中山信一
南アルプスにおけるニホンジカによる高山植物への影響と保護対策および個体数管理に関する研究	平22～24			輿水達司

総合理工学研究機構研究報告書
第 6 号

Y-CROST Research Report No. 6 (2011)

2011年8月発行

編集・発行
山梨県総合理工学研究機構

〒400-0055 甲府市大津町2094
電話 : 055-243-6046
Fax : 055-243-6047
e-mail : s-rikouken@pref.yamanashi.lg.jp

印刷 株式会社ヨネヤ
表紙デザイン : 山梨県工業技術センター デザイン技術部