

2010

山梨県総合理工学研究機構 研究報告書 第5号

山梨県
総合理
工学
研究
機構
研究
報告
書



第
5
号

Y-CROST Research Report 2010

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 5 号

Y-CROST
Research Report 2010

目 次

はじめに

研究テーマ及び研究体制

研究成果報告

1	ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発	1
2	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	
1)	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)	21
2)	ローブ状およびサーチライト型電照光源の開発	27
3)	ローブ状電照光源の改良	31
3	甲府盆地飲用地下水を中心とする水質特性の時系列解析および新規地下水調査	35
4	自然公園内における湖沼の水質の向上に関する研究	39
5	自然環境のもたらす保健休養上の効用に関する研究	
1)	自然環境の発する音(超高周波数音)が人に与える影響	55
2)	準高地の酸素条件が人に与える効果	59
6	野生動物による被害の防除に関する研究	63
7	酸化亜鉛透明導電膜の成膜プロセス開発と有効活用に関する研究	71
8	化合物半導体多層太陽電池の開発	77
9	酒造米および有色素米の栽培と利用に関する研究	
1)	山梨県における酒造米の品種選定ならびに「夢山水」の栽培特性と酒造適性に及ぼす窒素施肥量の影響	85
2)	有色素米の栽培特性と機能性評価	91
10	醗酵食品残渣の有効利用に関する研究	
1)	醗酵食品残渣の成分分析とブドウ搾り滓による酵母の培養	97
11	高効率太陽熱吸収技術に関する研究開発	103

資 料

(1)	平成21年度山梨県総合理工学研究機構の活動	109
	総合理工学研究機構運営委員会委員名簿	110
	総合理工学研究機構テーマ等調整会議メンバー名簿	110
(2)	平成21年度山梨県総合理工学研究機構組織図	111
	担当コーディネーター一覧	113

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、分野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、今年で満6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21年度に行った11課題の研究成果をとりまとめたものであります。このうち「ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発」「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」「甲府盆地飲用地下水を中心とする水質特性の時系列解析および新規地下水調査」「自然環境のもたらす保健休養上の効用に関する研究」「野性動物による被害の防除に関する研究」「酸化亜鉛透明導電膜の成膜プロセス開発と有効活用に関する研究」の6課題は昨年度で終了し、過日、本機構の運営委員会による事後評価を受けました。事後評価の成績は年々向上しており、特に「酸化亜鉛透明導電膜の成膜プロセス開発と有効活用に関する研究」は格段の高い評価をいただき、「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」および「ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発」がこれに次ぐ評価をいただきました。

これ以外の5課題は継続中の課題ですが、「化合物半導体多層太陽電池の開発」「自然公園内における湖沼の水質の向上に関する研究」のように今年度に最終年度を迎える研究と「酒造米および有色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」のように来年度も継続される研究があり、いずれも分野横断型研究としての成果が期待されております。

以上が、本機構に配分された資金による研究ですが、このほかに当機構の役割として、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、行政施策への貢献などの点を重視した採択と推進を行っています。

世界的な景気減速のなかで、県の試験研究費だけが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の還元を図っていかねばならないと自覚しております。また、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。

おわりに、当研究報告書のとりまとめに当たりご協力いただいた関係各位に衷心よりお礼申し上げます。

平成22年8月31日

山梨県総合理工学研究機構

総長 小林 正彦

研究テーマ及び研究体制

(○は主幹事を示す。)

1 ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発

環境科学研究所

○長谷川達也・森 智和・吾郷 健一
畜産試験場 菊嶋 敬子

総合農業技術センター 山崎 修平

富士工業技術センター

上垣 良信・寺澤 章裕

山梨大学

御園生 拓・金子 栄廣・早川 正幸

2 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

果樹試験場

○斉藤 典義・宇土 幸伸・里吉 友貴
三森真理子

工業技術センター

阿部 治・河野 裕・平川 寛之

萩原 茂

3 甲府盆地飲用地下水を中心とする水質特性の時系列解析および新規地下水調査

衛生公害研究所

環境科学研究所

工業技術センター

○小林 浩

興水 達司

尾形 正岐

4 自然公園内における湖沼の水質の向上に関する研究

衛生公害研究所

水産技術センター

環境科学研究所

池口 仁・芹沢 和世

山梨大学

御園生 拓・平田 徹・森 一博

宮崎 淳一・芹沢如比古

金沢星陵大学

○吉澤 一家
高橋 一孝

○吉澤 一家

高橋 一孝

5 自然環境のもたらす保健休養上の効用に関する研究

環境科学研究所

○永井 正則・石田 光男・斉藤 順子
工業技術センター

岩間 貴司・山田 博之

6 野生動物による被害の防除に関する研究

環境科学研究所

○北原 正彦・吉田 洋

森林総合研究所

水産技術センター

長池 卓男

坪井 潤一

7 酸化亜鉛透明導電膜の成膜プロセス開発と有効活用に関する研究

工業技術センター

○河野 裕・木島 一広・阿部 治

石田 正文・高尾 清利・小松 利安

富士工業技術センター

寺澤 章裕

山梨大学

松本 俊・秋津 哲也・鍋谷 暢一

村中 司

(株)中家製作所

望月 英昭・平木 哲・藤川雄一郎

深沢 昭広・下玉利 玲・古川 英明

清水 勝・岡田 智視

(有)塚原製作所

塚原 文仁・三井 久夫

8 化合物半導体多層太陽電池の開発

富士工業技術センター

○吉村 千秋・古屋 雅章

工業技術センター

山梨大学

早川 亮

加藤 孝正

9 酒造米および有色素米の栽培と利用に関する研究

総合農業技術センター

○上野 直也・石井 利幸・外川 高雄

工業技術センター

長沼 孝多・小嶋 匡人

山梨大学

廣瀬 裕子

株はくばく

内松 大介

10 醗酵食品残渣の有効利用に関する研究

工業技術センター

○齊藤 美貴・橋本 卓也・小嶋 匡人

長沼 孝多・木村 英生

環境科学研究所

吾郷 健一・森 智和

11 高効率太陽熱吸収技術に関する研究開発

工業技術センター

○早川 亮・芦沢 里樹・石田 正文

鈴木 大介

富士工業技術センター

吉村 千秋

Research Report Comprehensive Research Organization of Science and Technology, Yamanashi Prefecture (Y-CROST) 2010

Index of Research Projects

1 Composting of Livestock Waste and Reduction of Environmental Load Using Wine Compression Residues (3rd report)

Tatsuya HASEGAWA¹, Tomokazu MORI¹, Ken-ichi AGO¹, Noriko KIKUSHIMA², Shuhei YAMASAKI³, Yoshinobu UEGAKI⁴, Akihiro TERASAWA⁴, Taku MISONOU⁵, Hidehiro KANEKO⁵ and Masayuki HAYAKAWA⁵

¹Institute of Environmental Sciences,

²Livestock Experiment Station, ³Agricultural Technology Center, ⁴Fuji Industrial Technology Center, ⁵University of Yamanashi

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

Noriyoshi SAITO¹, Yukinobu UDO¹, Yuki SATOYOSHI¹, Mariko MITSUMORI¹, Osamu ABE², Hiroshi KONO², Hiroyuki HIRAKAWA², Shigeru HAGIHARA², Yamanashi Fruit Tree Experiment Station¹, Yamanashi Industrial Technology Center²

- 1) The Influence of LED Irradiation on the Berry Weight of Grape (2nd report)
- 2) Development of Artificial Light Sources which are rope- and searchlight-types
- 3) Improvement of Artificial Light Sources which are rope-types

3 Investigation of groundwater flow system in the Kofu Basin

Hiroshi KOBAYASHI¹, Satoshi KOSHIMIZU² and Masaki OGATA³

Yamanashi Institute for Public Health¹, Yamanashi Institute of Environmental Sciences², Yamanashi Industrial Technology Center³

4 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, Yukihiko SERISAWA⁵, Masao NAGASAKA⁵

Yamanashi Institute for Public Health¹, Fisheries Technology Center², Institute of Environmental Science³, University of Yamanashi⁴, Kanazawa Seiryō University⁵

5 Health Promoting Effects of Natural Resources

Mitsuo ISHIDA¹, Junko SAITOH¹, Masanori NAGAI¹, Takashi IWAMA², Hiroyuki YAMADA², Yamanashi Institute of Environmental Sciences¹, Yamanashi Industrial Technology Center

6 Wildlife Damage Management in Yamanashi Prefecture, Japan

Yutaka YOSHIDA¹, Masahiko KITAHARA¹, Takuo NAGAIKE², Junichi TSUBOI³, Yamanashi Institute of Environmental Sciences¹, Yamanashi Forest Research Institute², Yamanashi Fisheries Technology Center³

7 Development of Deposition Process and Study on Effective Applications of Transparent Conductive Zinc Oxide Films (2nd report)

Hiroshi KONO^{*1}, Kazuhiro KIJIMA^{*1}, Osamu ABE^{*1}, Masafumi ISHIDA^{*1}, Kiyotoshi TAKAO^{*1}, Toshiyasu KOMATSU^{*1}, Akihiro TERASAWA^{*2}, Takashi MATSUMOTO^{*3}, Tetsuya AKITSU^{*3}, Yoichi NABETANI^{*3}, Tsutomu MURANAKA^{*3}, Hideaki MOCHIZUKI^{*4}, Satoshi HIRAKI^{*4}, Yuichiro FUJIKAWA^{*4}, Akihiro FUKASAWA^{*4}, Akira SHIMOTAMARI^{*4}, Hideaki FURUKAWA^{*4}, Masaru SHIMIZU^{*4}, Tomoji OKADA^{*4}, Fumihito TSUKAHARA^{*5}, Hisao MITSUI^{*5}
Yamanashi Industrial Technology Center^{*1},
Fuji Industrial Technology Center^{*2}, University of Yamanashi^{*3}, Nakaya Ltd.^{*4},
Tsukahara Ltd.^{*5}

8 Development of Compound Semiconductor multilayer solar battery

Chiaki YOSHIMURA¹, Masaaki FURUYA¹, Ryo HAYAKAWA² and Takamasa KATOU³
Fuji Industrial Technology Center¹, Yamanashi Industrial Technology Center²,
University of Yamanashi³

9 Research on Cultivaion and Use of Rice for Sake Brewing and Rice Having Coloring Matter

Naoya UENO¹, Kota NAGANUMA², Toshiyuki ISHII¹, Hideo KIMURA², Masato KOJIMA², Takao TOGAWA¹
Yuko HIROSE³ Daisuke UCHIMATSU⁴
Yamanashi Agritechnology Center¹, Yamanashi Industrial Technology Center²
University of Yamanashi³, Hakubaku Co.Ltd⁴
1) Selection of Rice for Sake Brewing in Yamanashi Prefecture and Effect of Fertilizer Nitrogen on Cultivation Characteristic and Sake Making Properties of Cultivar “YUMESANSUI”
2) Cultivation Characteristics and Evaluation of Physiological Functionalities of Colored-grain Rice

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

Miki SAITO¹, Takuya HASHIMOTO¹, Masato KOJIMA¹, Kota NAGANUMA¹ and Hideo KIMURA¹
Ken-ichi AGO² and Tomokazu MORI²
Yamanashi Prefectural Industrial Technology Center¹, Yamanashi Institute of Environmental Sciences²

11 Research and Development of High Efficient Solar Absorbing Technology

Ryo HAYAKAWA¹, Satoki ASHIZAWA¹, Masahumi ISHIDA¹, Daisuke SUZUKI and Chiaki YOSHIMURA²
Yamanashi Industrial Technology Center¹, Fuji Industrial Technology Center²

ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の 堆肥化および環境負荷低減化技術の開発

Composting of Livestock Waste and Reduction of Environmental Load
Using Wine Compression Residues

ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化 および環境負荷低減化技術の開発 (その3)

¹環境科学研究所・²畜産試験場・³総合農業技術センター・⁴富士工業技術センター・⁵山梨大学
長谷川達也¹・森 智和¹・吾郷 健一¹・菊嶋 敬子²・山崎 修平³・上垣 良信⁴
寺澤 章裕⁴・御園生 拓⁵・金子 栄廣⁵・早川 正幸⁵

Composting of Livestock Waste and Reduction of Environmental Load Using Wine Compression Residues (3rd report)

¹Institute of Environmental Sciences, ²Livestock Experiment Station, ³Agricultural Technology Center,
⁴Fuji Industrial Technology Center, ⁵University of Yamanashi
Tatsuya HASEGAWA¹, Tomokazu MORI¹, Ken-ichi AGO¹, Noriko KIKUSHIMA², Shuhei YAMASAKI³,
Yoshinobu UEGAKI⁴, Akihiro TERASAWA⁴, Taku MISONOU⁵, Hidehiro KANEKO⁵ and Masayuki HAYAKAWA⁵

要 約

今年度は、堆肥の原料となる「豚ふん」を昨年度の2倍量(2,500kg)に増やし堆肥を作製した。このとき、ワイン製造にともなって生じるブドウ搾り滓(ワイン圧搾残渣)を嫌気発酵させ「発酵ブドウ搾り滓」を作製し、これを豚ふん1に対して0.2の割合で加えることにより、発生する悪臭物質を低減できることが再現できた。ブドウ搾り滓を嫌気発酵させることにより糖が分解され有機酸が合成されてpHが減少し、保存性に優れることが確認された。一方、発酵ブドウ搾り滓添加による悪臭物質低減作用に2種の放線菌(*Thermobifida fusca*, *Saccharomonospora viridis*)の関与が示唆されている。そこで、小型堆肥化実験装置を用いて、これら2種類の放線菌株を直接豚ふんに加え悪臭低減効果について検討した。その結果、これら放線菌の増殖により悪臭物質の発生が低減されることが示された。さらに、堆肥舎でこれら放線菌の増殖について検証した結果、発酵ブドウ搾り滓を豚ふんに加えて堆肥を作製すると、豚ふんのみで堆肥を作製した場合に比べ、これら放線菌の増殖が促進されることが明らかとなった。一方、発酵ブドウ搾り滓に含まれているポリフェノール類が堆肥発酵過程の初期において、悪臭物質発生の低減作用に関連していることが示唆された。スイートコーンとナスを豚ふん+ブドウ搾り滓堆肥を使って栽培した結果、この堆肥の施肥効果は他の堆肥と比べて劣ることはなかった。スイートコーンとナス栽培圃場の畦間土壌ならびにナス根圏土壌中の微生物相を解析した結果、豚ふん+ブドウ搾り滓堆肥を施用した区画では放線菌やバクテリアが多く、カビが少ない傾向が認められた。ライフサイクルアセスメント(LCA)手法を用いて、ブドウ搾り滓と豚ふんを処理する過程で発生する温暖化ガスと消費されるエネルギー、富栄養化に関する環境影響評価を行った。ブドウ搾り滓を産業廃棄物として焼却処分するシナリオと、ブドウ搾り滓を豚ふんに混ぜて堆肥を作製するシナリオを想定し、それぞれについて環境影響を解析・比較した結果、ブドウ搾り滓を豚ふんに混ぜる方が地球温暖化、エネルギー消費に関する負荷が小さくなると考えられた。また、発酵ブドウ搾り滓添加によっても低減しきれない悪臭は、セラミック電気管状炉を使用した金属酸化触媒式分解装置でほとんど完全に分解することができた。

1. 緒 言

山梨県は現在県内に約80社のワイナリーを有する日本一のワイン産地であり、その生産量は国内生産量の約4割を占める。特に最近では、この山梨県産ワイン(甲州ワイン)の輸出も積極的に進められている。しかしそれに伴って生じる大量のブドウ搾り滓の活用法はあまり開発されておらず、一部は滓とりブランデー製造や飼料、あるいは堆肥として使用されているものの、その大部分は有用な利用法もなく処分されているのが現状である。

しかし昨今の健康食品ブームにおいて、ブドウ搾り滓に含まれる機能性成分、特にポリフェノール類の抗菌作用や抗酸化作用、消臭作用への注目が集まり、その有用性を評価する動きが高まっている。

一方、畜産業においては、宅地開発などによって畜産農家と周辺住民との混住化が進み、悪臭を始めとする環境問題の解決が重要な課題となっている。これらの問題への対策は国や県によって講じられてはいるが、抜本的解決には至っていない。

このことから我々はブドウ搾り滓に着目し、これを豚ふんを原料として作られる堆肥の発酵過程に加えた^{1, 2)}。

その結果、発酵過程で発生する悪臭を低減することができ、さらにこの堆肥の施肥効果は化学肥料と同等であった。今年度は、昨年の研究で明らかとなった悪臭分解微生物の解析、ならびにこれら微生物の土壌への影響を検討した。また、昨年度と同様にブドウ搾り滓を加えた堆肥の施肥効果をスイートコーンとナスで検討した。今年度は昨年の堆肥発酵過程における温暖化ガス発生に加え、エネルギー消費量・富栄養化を基に環境影響評価を行った。さらに、ブドウ搾り滓添加によっても低減しきれない悪臭への対策として、新たに構築した悪臭分解装置を堆肥舎に設置して、その効果を検証した。

2. 実験方法

2-1 ブドウ搾り滓および豚ふん

ブドウ搾り滓：山梨県内のワインメーカー提供によるワイン製造過程で生じるブドウ搾り滓（ワイン圧搾残渣）を用いた。ブドウの品種には「甲州」を使用した。このブドウ搾り滓は、野外でビニールシートを掛け大気との接触を少なくし、46日間発酵させたもの（発酵ブドウ搾り滓）を用いた。なお、発酵過程のブドウ搾り滓



写真-1 収穫した甲州ブドウ



写真-2 ブドウ搾り滓の発酵



写真-3 46日間発酵させたブドウ搾り滓

の中心温度をデータロガーで記録し、糖度、有機酸量およびpHの測定を行った。

豚ふん：山梨県畜産試験場の豚房より採取したものをを用いた。

2-2 発酵ブドウ搾り滓の分析

糖度：試料25gに蒸留水75mLを加え粉碎後、その遠心上清をアタゴ式屈折計で測定して糖度を求めた。

有機酸：試料50gに50%エタノール400mLを加え粉碎した後、その遠心上清を4倍希釈（エタノールを12.5%に調整）して、高速液体クロマトグラフィー（ST3-R試薬を用いたポストカラム法）で有機酸（クエン酸、酒石酸、リンゴ酸、コハク酸、乳酸、酢酸）を分析した³⁾。

pH：試料25gに蒸留水75mLを加えてホモジナイズし、遠心して得られた上清をガラス電極法で測定した。

2-3 堆肥作製

昨年と同様に山梨県畜産試験場の堆肥舎で豚ふんに発酵ブドウ搾り滓を1:0.2の割合で加えて堆肥を作製し、発生する臭気の分析を行った²⁾。原料に使用した豚ふんはオガクズを加え、水分含量が70%になるように調整



写真-4 発酵ブドウ搾り滓で豚ふんを覆っている様子

した。実験には二つの試験区を設定し堆肥化を行った。

第1区：豚ふんのみ、豚ふん2,500kgを原料とした。

第2区：豚ふん＋発酵ブドウ滓Cover, 豚ふん2, 500kgを発酵ブドウ搾り滓(500kg)で覆った。ただし、最初の切り返し以降は豚ふんとブドウ搾り滓は混合される。

堆肥化開始日を0日として、定期的に(7日, 21日, 36日目)重機(ホイローダー)で切り返しを行い、50日間堆肥化を行った。切り返し時に、検知管でアンモニアを直接測定し、ニオイセンサ測定用サンプルをテドラバックに採取した。また同時に発酵途中の堆肥の一部を採取し、発酵過程一推肥サンプルとした。堆肥の発酵状況を把握するため堆肥中心部と表面の温度をデータロガーで記録した。

2-4 堆肥発酵過程における堆肥の発熱量

発酵過程一推肥サンプルを105℃で乾燥させた後、1gを熱量計(燃研式自動ボンベ熱量計 CA-4AJ, 島津)で測定し、高位発熱量を算出した。

2-5 アンモニアの測定

直接法：検知管を用いて直接測定した。

2-6 ニオイセンサによる測定

ニオイセンサ(XP-329ⅢR, 新コスモス電機)で臭気試料を直接測定し、臭気レベルを読み取った。

2-7 堆肥発酵過程における堆肥のpH

発酵過程一推肥サンプル30gをそれぞれ300mLの蒸留水に懸濁させ、ガラス電極を用いてpHを測定した。

2-8 *Thermobifida fusca*および*Saccharomonospora viridis*孢子懸濁液の作製

Thermobifida fusca 5-1-1および*Saccharomonospora viridis* 5-1-2をそれぞれCMYCプレートに画線接種して前培養を行った。前培養をおこなった2種の菌株をガラスビーズと滅菌蒸留水の入った試験管に白金耳でかきとり、十分に懸濁した。

作製した孢子懸濁液についてはヘマサイトメーターを使用して放線菌孢子数を計測し、2種の菌株のオーダーが等しくなるように滅菌蒸留水で希釈した。

2-9 小型堆肥化実験装置での放線菌の悪臭低減効果

豚ふん2kgを原料として、小型堆肥化実験装置⁴⁾(かぐやひめ)で堆肥を作製した。このとき、悪臭低減効果のあることが確認された2種類の放線菌分離株、*Thermobifida fusca* 5-1-1および*Saccharomonospora viridis* 5-1-2の孢子懸濁液50mLをそれぞれ豚ふんに加えて21日間堆肥化を行った。堆肥作製期間中毎日発生するアン

モニアを検知管で測定した。7日目、14日目に切り返しを行い、堆肥の一部をサンプリングして放線菌数を分離して計測した。

第1区：豚ふん

第2区：豚ふん＋*Thermobifida fusca* 孢子懸濁液

第3区：豚ふん＋*Saccharomonospora viridis* 孢子懸濁液

2-10 *Thermobifida fusca*および*Saccharomonospora viridis*の分離・計測

*Thermobifida fusca*および*Saccharomonospora viridis*の分離・計測は、シクロヘキシミドとナリジキシン酸を含むHV平板培地を用いて50℃で培養し、出現したコロニーを計測し、さらに肉版および光学顕微鏡で形態観察して属を暫定的に決定した。必要に応じてコロニーをCMYCスラントで純粋分離した。

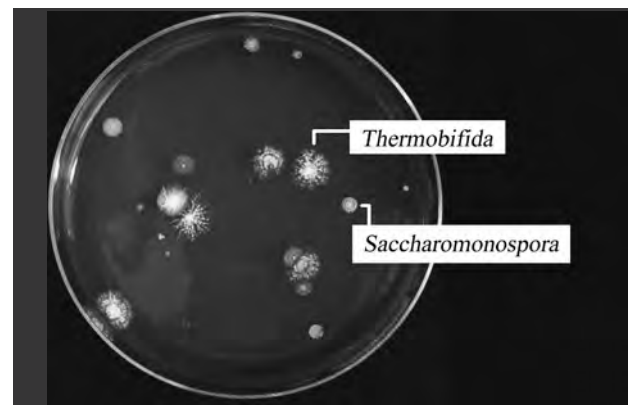


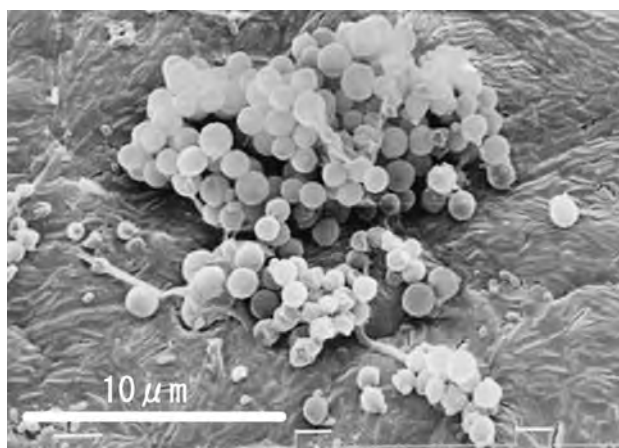
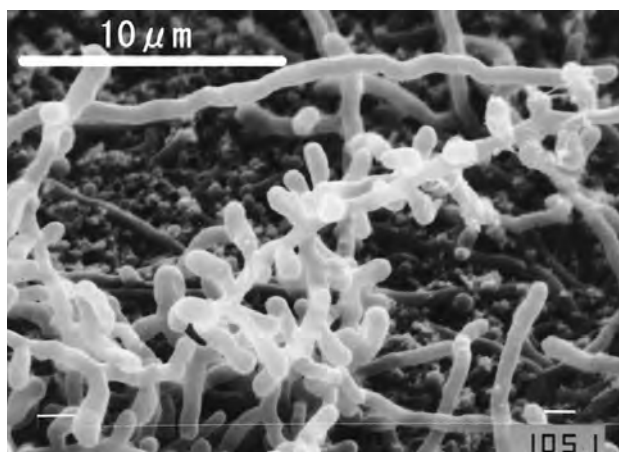
写真-5 放線菌の分離プレート

2-11 *Thermobifida fusca*および*Saccharomonospora viridis*の16S rDNAに特異的なプライマーの作製⁵⁾

*Thermobifida*属と*Saccharomonospora*属の標準株と対照となるそれぞれの近縁属の16S rDNAの塩基配列のデータを日本DNAデータバンクから収集し、当該2属の分離株の16S rDNAの塩基配列とあわせて、*Thermobifida fusca*と*Saccharomonospora viridis*に特異的な配列を基に、それぞれの種についてプライマーの検索を行った。検索されたプライマーの配列をDDBJのBLAST Searchで調査し、他属種に類似した塩基配列が存在しないことを確認した。このデータを基に*Thermobifida fusca*のプライマーをインビトロジェン社に、*Saccharomonospora viridis*のプライマーをOperon社に発注した。

2-12 発酵ブドウ搾り滓添加堆肥作製過程における*Thermobifida fusca*および*Saccharomonospora viridis*のDNA相対量⁵⁾

発酵過程一推肥サンプルから糞使用DNA抽出キットを用いて堆肥中のDNAを抽出した。必要に応じ

写真-6 *Thermobifida* sp.の走査型電子顕微鏡写真写真-7 *Saccharomonospora* sp.の走査型電子顕微鏡写真

てPCRでDNAを増幅させ、*Thermobifida fusca*および*Saccharomonospora viridis*の16S rDNAに特異的な塩基配列を持つプライマーを用い、二種類の放線菌のDNA量をリアルタイムPCRで測定した。

2-13 ポリフェノール類の悪臭低減効果

二次発酵済みコンポスト（ドッグフードと木くずの混合物を原料として、家庭用生ごみ処理機で一次発酵させたものを、さらに2年以上ポリバケツ内で保存したもの）に尿素3.3%を加え、含水率を60%に調整後、45℃で3日間培養してアンモニア臭気発生コンポストを作製した。

発酵ブドウ搾り滓は、昨年度、畜産試験場で発酵させた発酵ブドウ搾り滓を乾燥、破碎したものを使用した。茶殻は家庭から排出された緑茶殻を乾燥、破碎したものを使用した。

容量500mLのマヨネーズびんを用意し、それぞれにアンモニア臭気発生コンポスト15gを入れた後、発酵ブドウ搾り滓または茶殻を0, 0.5, 2.0, 4.0g添加して混合した。マヨネーズびんを密閉して45℃で3時間加温

し、気相中のアンモニアガス濃度（検知管法）を測定した。さらに三点比較式臭袋法による官能試験を行い臭気濃度を算出した⁶⁾。

2-14 ポリフェノール類の測定

サンプルを乾燥重量で2.5~10%になるように、50%エタノール溶液にて調整し全体で20mLとし、これを恒温震とう器（BW200, ヤマト）に設置し、60℃で100rpm震とうさせて約24時間抽出を行った。この抽出液中のポリフェノール類をペルオキシダーゼ・過酸化水素センサー法によるポリフェノール測定装置（PA20, 東洋紡エンジニアリング）で測定した。測定されたポリフェノール類の量はカテキン量に換算して示した。

2-15 栽培試験（ライシメーター）

昨年と同様にライシメーターを用いた栽培試験を総合農業技術センター（標高312m）で実施した。ライシメーターには灰色低地土を表層から70cmまで充填し、その下層には砂層と礫層を40cmずつ充填した。試験規模は1区25㎡、反復なしとした。春作として一重トンネルスイートコーン（甘々娘）、夏作として抑制ナス（千両2号）を作付けした。スイートコーンの耕種概要は、施肥：2009年2月16日、播種：3月3日、第1回追肥：4月23日、第2回追肥：5月13日、収穫調査：6月12日であった。ナスの耕種概要は、施肥：6月23日、定植：7月1日、収穫開始：7月21日、収穫終了：11月20日であった。ナスの収穫期間中は毎週月・水・金曜日に収穫調査を行った。

各作の施肥量は堆肥を乾物相当量で1t/10a施用し、堆肥から供給される養分量を考慮して県施肥基準量になるように化学肥料で加減した。

ライシメーターの浸透水は貯水槽に集水し、浸透水量を測定するとともに、一定量ごとにプラスチック製容器に保存した。硝酸態窒素濃度の測定は浸透水サンプルを定量ろ紙でろ過し、ECが0.1mS/cm以下になるよう脱イオン水で希釈し、さらに0.2μmのメンブランフィルターでろ過した後、イオンクロマトグラフィーを用いて測定した⁷⁾。硝酸態窒素溶脱量は、浸透水の硝酸態窒素濃度に浸透水量を乗じて求めた。

2-16 土壤中微生物相の解析⁸⁾

ライシメーターでスイートコーンおよびナスを栽培した畦間土壤（株と株の間）を採取し（スイートコーン栽培12週目、ナス栽培9週目）1週間日陰で風乾させ、放線菌、バクテリア、カビをそれぞれの選択培地（放線菌：0.1%SDS処理後HV培地、バクテリア：TS培地、カビ：PDA培地）で培養してコロニー数をカウントした。なお、培養は30℃で行った。

2-17 根圏土壌の微生物相の比較

ナス栽培12週目にナス根の周りの土を崩さないように抜き取った。つぎに、根を覆っている余分な土壌を除去し、ついで空中で緩やかに振とうしながら根と根の間に残存する非根圏土壌を除去した。根に大きな団粒が付着している場合はピンセットなどで取り除いた⁹⁾。3サンプル分の根圏土壌の付着した根をピーカーに入れた100mL滅菌水中に移し、10分間攪拌することにより第一次希釈懸濁液を得た。その懸濁液を、放線菌は 10^3 , 10^4 , 10^5 倍、バクテリアは 10^3 , 10^4 , 10^5 倍、カビは 10^2 , 10^3 , 10^4 倍に希釈しそれぞれHV寒天培地、TS寒天培地、PD寒天培地に10枚ずつにスプレッドした。30℃と50℃で培養を行い、バクテリア、カビに関しては菌数の確認、放線菌は肉眼によるコロニー観察と光学顕微鏡による大まかな属の同定により菌数の確認を行ってから分離を行った。

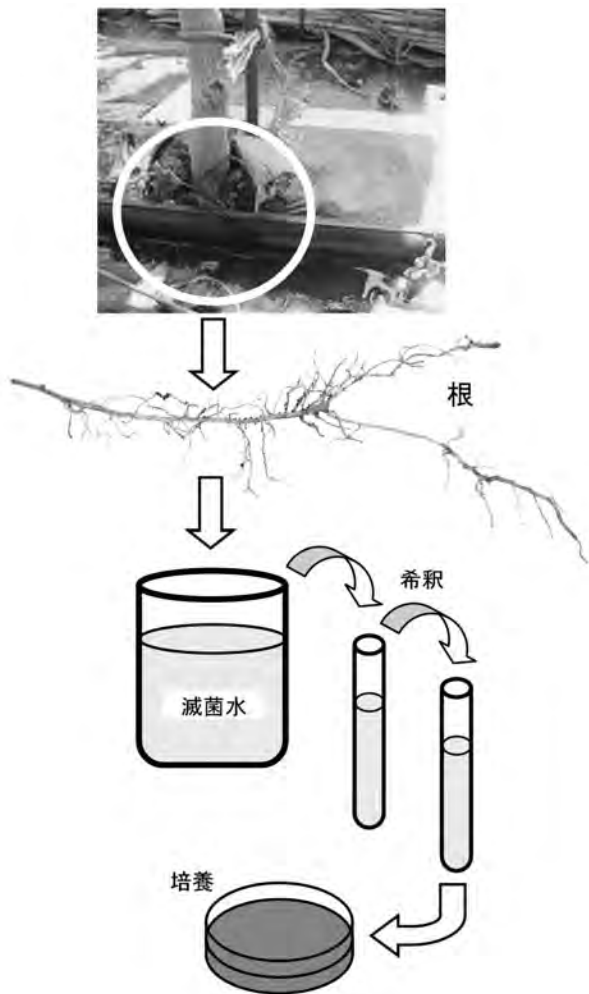


写真-8 根圏土壌微生物の分離・培養

2-18 根圏土壌の微生物相の同定⁸⁾

16S rDNA塩基配列に基づく系統解析により同定を行った。すなわち、分離した放線菌株からDNAを抽出

し、これを鋳型にしてユニバーサルプライマーを用いてPCRでそれぞれの分離株の16S rDNAを増幅した。増幅した16S rDNAは精製後、NITE（製品評価技術基盤機構）に委託し、ダイレクトシークエンスを行って塩基配列を決定した。分離株の16S rDNA塩基配列はDDBJ (BLAST) で相同性検索を行い、98.5%以上のものを既知種として同定した。

2-19 根圏土壌放線菌分離株の抗カビ活性試験¹⁰⁾

根圏土壌から分離した放線菌をISP2培地で充分生育させ、放線菌胞子懸濁液を作製した。その胞子懸濁液をNutrient培地 (CM0003) に一滴点接種し、30℃で5日間培養を行いコロニーを形成させた。非試験菌株である *Aspergillus niger* (黒カビ) はPDA培地で前培養後YEPD 0.7%寒天培地に接種した。 *Aspergillus niger* が均一に混ざった寒天培地をコロニーを形成させた放線菌株のプレート上に重層し、48時間培養後生育阻止帯の有無により抗菌活性の評価を行った。

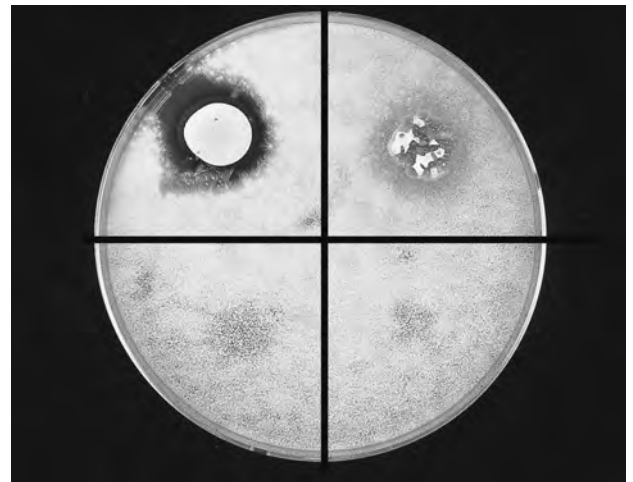


写真-9 抗カビ活性試験

左の上の菌株でカビの増殖が阻害されている

2-20 根圏土壌放線菌分離株のリン酸可溶性能試験^{11, 12)}

根圏土壌から分離した放線菌をISP2培地で充分生育させ、放線菌胞子懸濁液を作製した。その胞子懸濁液をPVK培地 (リン酸カルシウムが含まれている) 一滴点接種し、30℃で10日間培養を行い、コロニーの周りのハローの有無からリン酸可溶性能の評価を行った。

2-21 ブドウ搾り滓と豚ふんを処理する過程で発生する温暖化ガスと消費されるエネルギー、栄養化に関するライフサイクルアセスメント (LCA)

LCAによる検討は、畜産試験場の豚房より発生した豚ふんを堆肥化する際、ブドウ搾り滓を添加して堆肥化

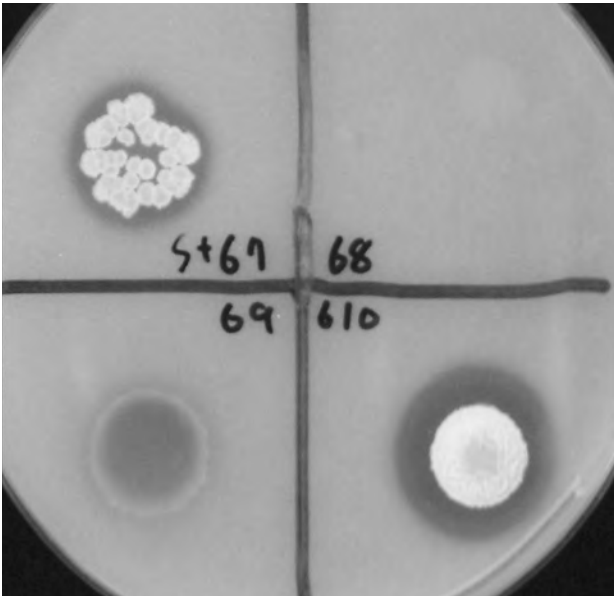


写真-10 リン酸可溶化能試験

白濁しているリン酸カルシウムの可溶化を評価する

した場合（ブドウ搾り滓添加シナリオ）と、ブドウ搾り滓を添加せずに従来の方で堆肥化した場合（従来シナリオ）の2つを想定して、それぞれの環境影響についてJEMAI-LCA PRO Ver.2を用いて検討を行った。

昨年の解析では、小型堆肥化実験装置での検討を基に計算を行った。今回は、堆肥舎での実験スケールである豚ふん2,500kg、ブドウ搾り滓500kgを基に、豚ふん1,000kgあたりに換算して計算を行った。従って、堆肥化処理システムの機能単位は、豚ふん1,000kg、ブドウ搾り滓200kg、50日間で処理するものとした。従来シナリオとブドウ搾り滓添加シナリオについて、評価の対象とするシステム境界をそれぞれ図-1 および図-2 に示した。図中の破線で囲った内部の各プロセスについて、環境影響評価を行う。ここで、従来シナリオでは200kgのブドウ搾り滓を焼却によって処理しているため、焼却処理プロセスを追加して環境負荷の評価を行った。

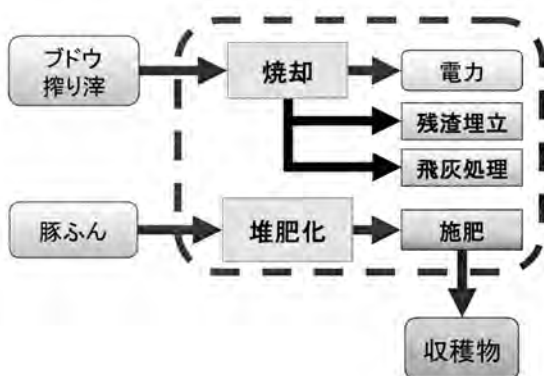


図-1 従来シナリオのプロセスフロー

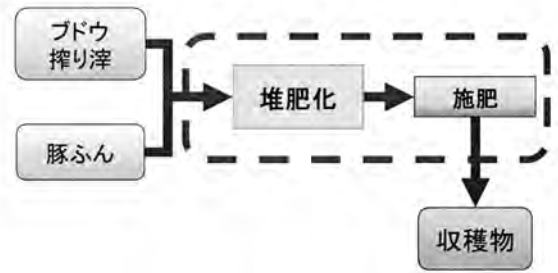


図-2 ブドウ搾り滓添加シナリオのプロセスフロー

評価する環境影響領域は地球温暖化、エネルギー消費、富栄養化とした。それぞれのインベントリデータは、堆肥化プロセス・施肥プロセスについては主に実測データを用い、得られなかった部分は文献^{13, 14)}、聞き取りから推算した値を用いた。また、焼却プロセスについては県内の焼却場への聞き取りや文献を基に推定した値を用いた。

2-22 工学的手法による悪臭物質の分解

銅-クロム酸化物触媒 (N201, 日揮化学) 270g (27mL) を充填した石英管 (直径33mm, 全長300mm) をセラミック電気管状炉 (ARF-30M, アサヒ理化製作所) にセットしてセラミック電気管状炉-金属酸化触媒式分解装置を構築した。

2-22-1) 小型堆肥化実験装置での検討

小型堆肥化実験装置 (かぐやひめ) の臭気排気ダクトに、セラミック電気管状炉-金属酸化触媒式分解装置をつなげた。分解装置の前後でのアンモニア濃度を検知管で測定した。なお、豚ふんは2kgを原料として、流量は2L/minに設定した。実験は悪臭が発生している9日目 (一回目の切り返しは7日目) に行った。



写真-11 セラミック電気管状炉-金属酸化触媒式分解装置

2-22-(2) 吸引機能付き堆肥舎での検討

畜産試験場の敷地内に建築した吸引通気装置を備えた堆肥舎^{15, 16)}にセラミック電気管状炉-金属酸化触媒式分解装置を3台並列に設置し、悪臭(アンモニア)の測定を行った。流量は分解装置一台あたり200L/minで、セラミック電気管状炉の出力を50V(触媒温度:500℃)にセットした。

また、市販の堆肥作製用上掛けシート(穴あきポリエチレンシート)で堆肥を被覆した場合についても同様の検討を行った。

3. 結果

3-1 発酵ブドウ搾り滓の分析

山梨県内のワインメーカーから供試されたワイン製造過程で生じるブドウ搾り滓を、畜産試験場内で発酵させた。図-3に発酵過程の温度変化を示す。発酵開始10日後まで直線的に温度が上昇し、34℃前後で一定となった。発酵開始30日以降緩やかな温度の減少が認めら

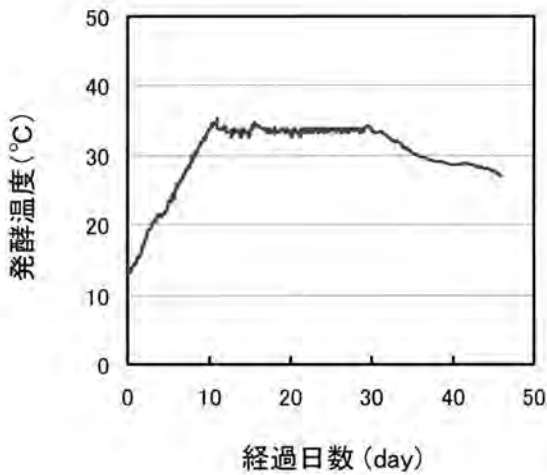


図-3 発酵過程における温度変化

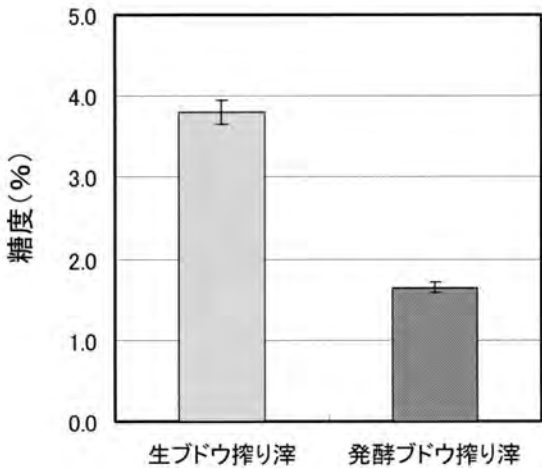


図-4 発酵ブドウ搾り滓中の糖度

れた。最高到達温度は35.5℃であった。発酵は46日で終了とした。この操作で作製した発酵ブドウ搾り滓の糖度、有機酸濃度およびpHを測定した(図-4, 図-5, 図-6)。

発酵により糖含量は3.8から1.7%に減少し、酢酸濃度が著しく上昇しpHは4.2から3.7に減少した。これらの結果から、発酵ブドウ搾り滓は発酵させていない生ブドウ搾り滓より保存性に優れていると考えられた。

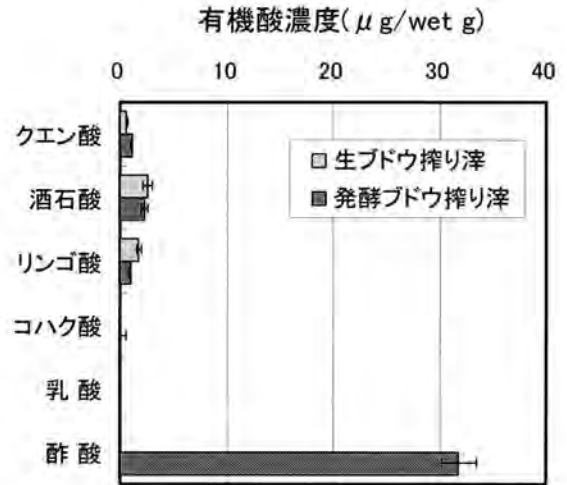


図-5 発酵ブドウ搾り滓中の有機酸分析

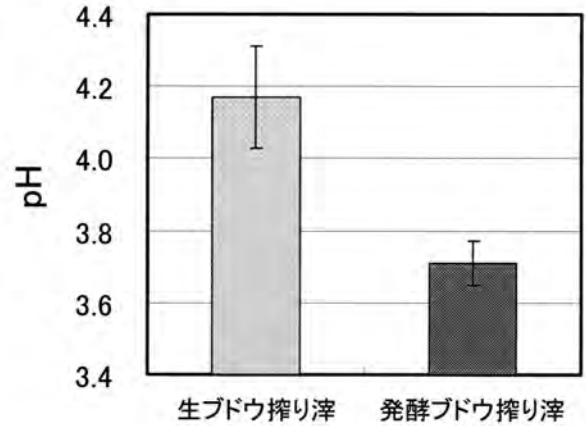


図-6 発酵ブドウ搾り滓のpH

3-2 畜産試験場堆肥舎による実用規模試験

昨年までの実験^{1, 2)}と同様に、豚ふん1に対して発酵ブドウ搾り滓0.2の割合で、豚ふんを発酵ブドウ搾り滓で覆うCover方式で実用規模の検討を行った。なお、豚ふんと発酵ブドウ搾り滓の量は昨年度より増量し、豚ふん2,500kg、発酵ブドウ搾り滓500kgとし、実際の農家でのスケールにより近い量とした。

第1区: 豚ふん

第2区: 豚ふん+発酵ブドウ搾り滓(1:0.2) Cover

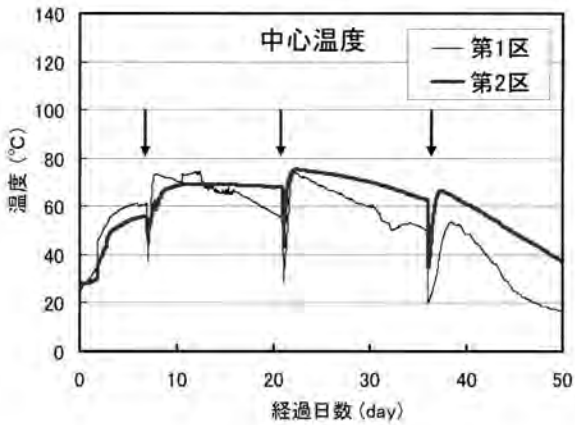


図-7 発酵温度の変化

第1区：豚ふん，第2区：豚ふん＋発酵ブドウ滓Cover

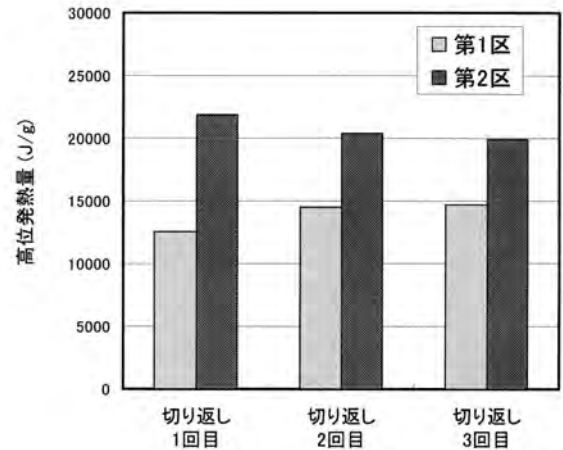


図-9 堆肥サンプルの熱量

第1区：豚ふん，第2区：豚ふん＋発酵ブドウ滓Cover

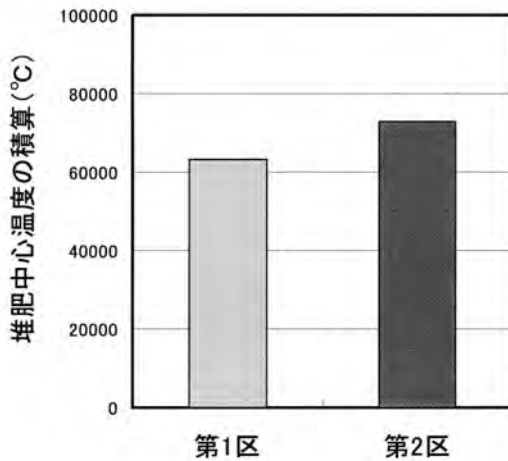


図-8 発酵温度の積算

第1区：豚ふん，第2区：豚ふん＋発酵ブドウ滓Cover

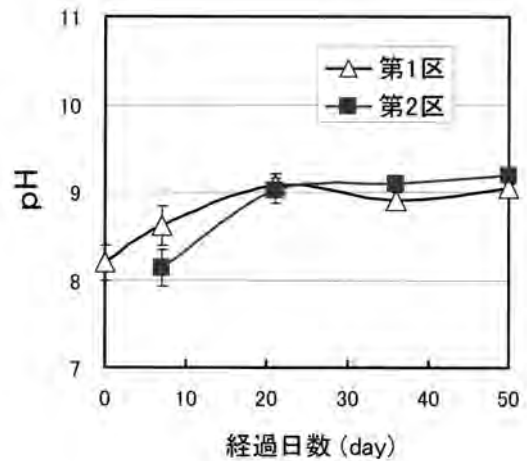


図-10 発酵過程におけるpHの推移

第1区：豚ふん，第2区：豚ふん＋発酵ブドウ滓Cover

3-2-1) 発酵温度とpH

図-7にデータロガーで記録した堆肥中心部の温度変化を示し、このデータを基に算出した堆肥発酵期間の温度の積算値を図-8に示す。その結果、どちらの試験区においても温度上昇が認められ、発酵が順調に進んだことが確認できた。

また、図-8に示すように、発酵ブドウ搾り滓を加えた第2区の方が発酵温度が高いことがわかった。この現象はこれまでも観察されている。そこで、発酵過程一堆肥サンプルの熱量（高位発熱量）を測定した。その結果を図-9に示す。高位発熱量は、発酵ブドウ搾り滓を加えた第2区の方が高いことが示された。この熱量の違いが発酵温度に影響していることが考えられた。

図-10には切り返しごとに測定したpHの推移を示す。切り返し1回目で第2区の方が第1区よりpHが若干低いのは、発酵ブドウ搾り滓添加区においては酢酸の生成の影響が考えられた。

3-2-2) 悪臭物質の測定

一昨年¹⁾および昨年²⁾の検討では、悪臭物質としてアンモニア以外にイオウ化合物（硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル）および低級脂肪酸（プロピオン酸、ノルマル酪酸、イソ吉草酸、ノルマル吉草酸）について分析を行い、これらの悪臭物質がアンモニアと同様の挙動を示すことを確認している。そこで、今年度はアンモニアのみの測定を行うことにした。官能試験においても、三点比較式臭袋試験とニオイセンサでの測定が同じ結果となることを確認しているので、操作が簡便なニオイセンサでの測定を行った。

堆肥発酵過程において、3回の切り返し時に発生するアンモニア濃度をそれぞれ測定した。その結果を図-11に示し、3回の合計（積算値）を図-12に示す。これらの結果で明らかのように発酵ブドウ搾り滓を混ぜた第2区は、豚ふんのみ第1区よりアンモニアの発生量が約半分に低減された。

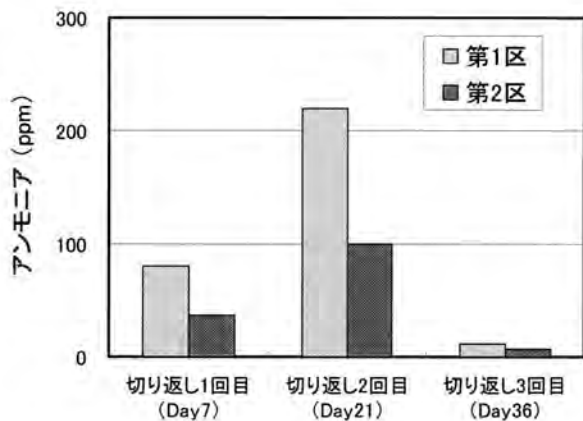


図-11 アンモニア発生量の推移

第1区：豚ふん，第2区：豚ふん＋発酵ブドウ滓Cover

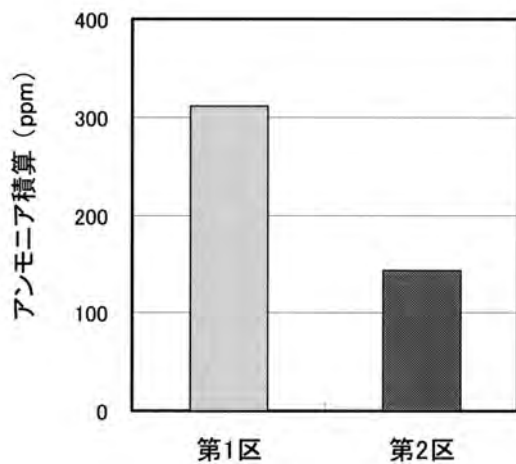


図-12 アンモニア発生量の積算

第1区：豚ふん，第2区：豚ふん＋発酵ブドウ滓Cover

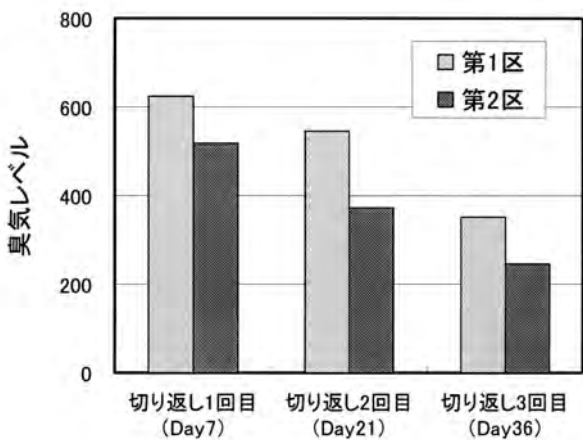


図-13 ニオイセンサでの測定結果

第1区：豚ふん，第2区：豚ふん＋発酵ブドウ滓Cover

ニオイセンサによる官能試験を行った結果を図-13に示す。ニオイセンサによる測定においても、発酵ブド

ウ搾り滓を加えた第2区において、臭気レベルは低い結果が得られた。なお、ニオイセンサは三点比較式臭袋試験と同様にアンモニア、イオウ化合物および低級脂肪酸のような悪臭物質のニオイ以外に発酵ブドウ搾り滓のニオイも検知してしまうことを確認している。そのため、全体的に臭気レベルが高い値を示したと考えられる。

3-3 小型堆肥化実験装置による放線菌の悪臭低減効果

ある種の微生物には悪臭成分を分解する能力があり、これを利用した消臭技術がこれまでに報告されている¹⁷⁻²¹⁾。昨年度、ブドウ搾り滓を豚ふんに加えることにより、いくつかの放線菌の増殖が促進すること、そして、増殖促進が認められた放線菌のうち、二種類 (*Thermobifida fusca*および*Saccharomonospora viridis*) に悪臭低減効果のあることを明らかにした。そこで、今年度は悪臭低減効果の認められたこの二種類の放線菌についてさらに検討を行った。

3-3-(1) 小型堆肥化実験装置での放線菌の悪臭低減効果

小型堆肥化実験装置を用い、豚ふんに直接 *Thermobifida fusca* 孢子懸濁液あるいは *Saccharomonospora viridis* 孢子懸濁液を加えた場合の悪臭低減効果について実験を行った。豚ふん区、豚ふん+*Thermobifida fusca* 区、豚ふん+*Saccharomonospora viridis* 区とも発酵温度には差が無く三つの試験区とも順調に発酵が進んだ (図-14)。

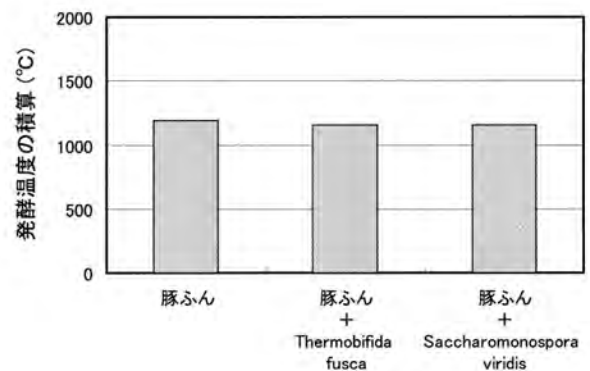


図-14 発酵温度の積算

アンモニアの発生量は、*Thermobifida fusca* 孢子懸濁液あるいは *Saccharomonospora viridis* 孢子懸濁液を加えた場合、豚ふんのみの対照区に比べて明らかに抑制された (図-15)。この結果は、昨年度テドラバックで行った実験の結果と同様であった。

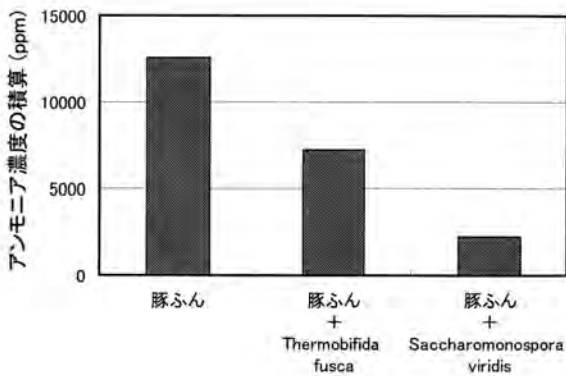


図-15 発生したアンモニアの積算

3-3-(2) 小型堆肥化実験装置での放線菌の増殖

3-3-(1)の実験において、アンモニアの発生が抑制された小型堆肥化実験装置内の放線菌の増殖を計測した。豚ふんのみ対照区に比べ、*Thermobifida fusca* 孢子懸濁液添加により *Thermobifida* が増殖したことが示された (図-16)。

一方、*Saccharomonospora* は豚ふんのみ対照区でも堆肥化初期にのみ増殖するが、*Saccharomonospora viridis* 胞

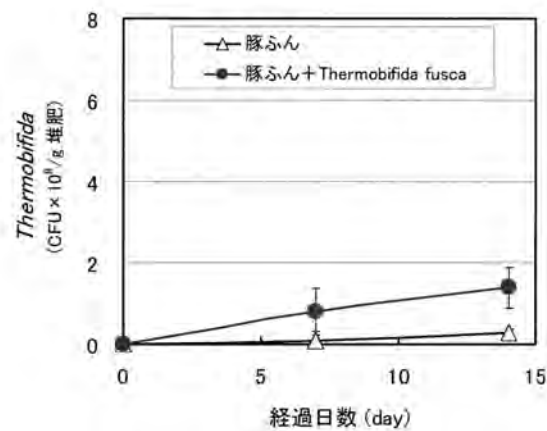


図-16 Thermobifidaの増殖

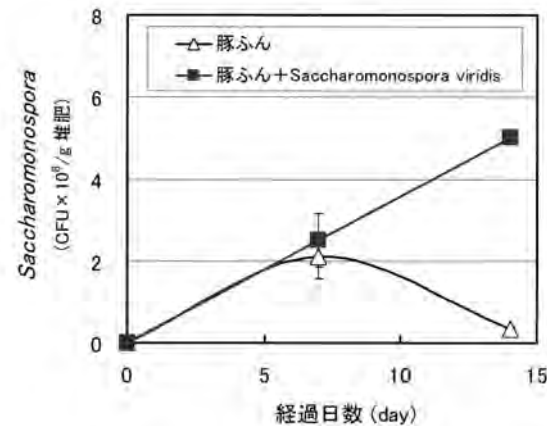


図-17 Saccharomonosporaの増殖

子懸濁液を添加することにより、堆肥化後半でも増殖が維持されることが明らかとなった (図-17)。

そして、この増殖度合いは *Thermobifida* より多かった。この増殖の違いが、アンモニアの低減効果 (図-15) と関連していることが考えられた。

3-4 発酵ブドウ搾り滓を添加した堆肥中の Thermobifida fusca および Saccharomonospora viridis の増殖

これまでに、シャーレにブドウ搾り滓抽出液を加えると、*Thermobifida fusca* および *Saccharomonospora viridis* の増殖が促進されることを明らかにした。そこで、畜産試験場での堆肥作りにおいて、発酵ブドウ搾り滓を加えた場合、*Thermobifida fusca* および *Saccharomonospora viridis* の増殖がシャーレの実験と同様に促進するか検証

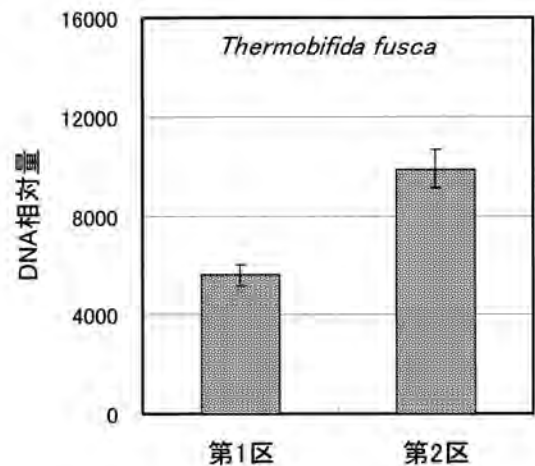


図-18 Thermobifida fuscaの増殖

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover
発酵開始0日目の豚ふん区のDNA量を1とした

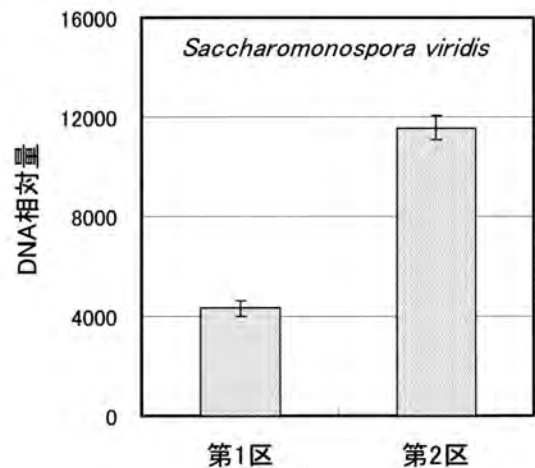


図-19 Saccharomonospora viridisの増殖

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover
発酵開始0日目の豚ふん区のDNA量を1とした

を行った。発酵過程一堆肥サンプルからDNAを抽出し、*Thermobifida fusca*および*Saccharomonospora viridis*のDNA量をリアルタイムPCRで測定した。放線菌の分離培養に比べ、リアルタイムPCRで測定することにより、属と種の同定が可能となる。その結果を図-18および図-19に示す。

発酵ブドウ搾り滓を添加した第2区において、*Thermobifida fusca*ならびに*Saccharomonospora viridis*のDNAが、発酵ブドウ搾り滓を添加していない第1区より多いことが明らかとなった。このことから、悪臭低減能を有する放線菌を加えることなく、発酵ブドウ搾り滓を豚ふんに添加することだけで、これらの菌が増殖し、その増殖が促進されることが明らかとなった。

3-5 悪臭低減効果におよぼすポリフェノール類の関与

堆肥発酵過程の初期（放線菌の増殖が高くなる前の段階）において、発酵ブドウ搾り滓中のポリフェノール類が悪臭低減効果に関与している可能性が、昨年度の検討において示された。そこで、堆肥化初期におけるポリフェノール類の直接的な悪臭低減作用に関して検討を行った。実験的に作製したアンモニア臭気発生コンポストに発酵ブドウ搾り滓および茶殻（対照）をそれぞれ加え、発生するアンモニアおよび臭気濃度を測定した（図-20、図-21）。また、発酵ブドウ搾り滓および茶殻に含まれるポリフェノール類の量を測定した（図-22）。

図-20に示すごとく、発酵初期（3時間加温）において、発酵ブドウ搾り滓をアンモニア臭気発生コンポストに2g添加することによって、ほとんどアンモニアの発生を抑えることができた。茶殻では0.5g添加で同様の効果が認められた。これは、茶殻に含まれるポリフェノール類の量が発酵ブドウ搾り滓より多いことによるためと考えられる（図-22）。一方、官能試験から算出し

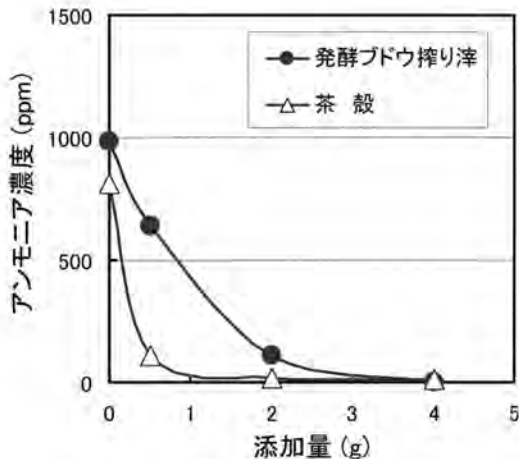


図-20 発酵ブドウ搾り滓のアンモニア発生への効果
アンモニアの測定は3時間加温後に行った

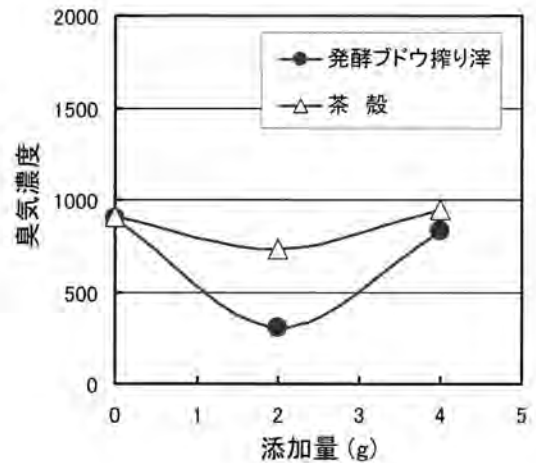


図-21 発酵ブドウ搾り滓の臭気濃度への効果
臭気濃度の測定は3時間加温後に行った

た臭気濃度のグラフを見ると、発酵ブドウ搾り滓2g添加は、茶殻2g添加より臭気濃度が低い値を示した（図-21）。この理由として、アンモニア以外の悪臭物質の低減にも、発酵ブドウ搾り滓中のポリフェノール類が効果を示すことが考えられた。また、発酵ブドウ搾り滓を4g添加すると臭気濃度の上昇が認められた。これは、発酵ブドウ搾り滓特有のニオイによるものと考えられる。これらの結果から、発酵ブドウ搾り滓に含まれるポリフェノール類は発酵の初期段階において悪臭低減に効果を示すと考えられた。

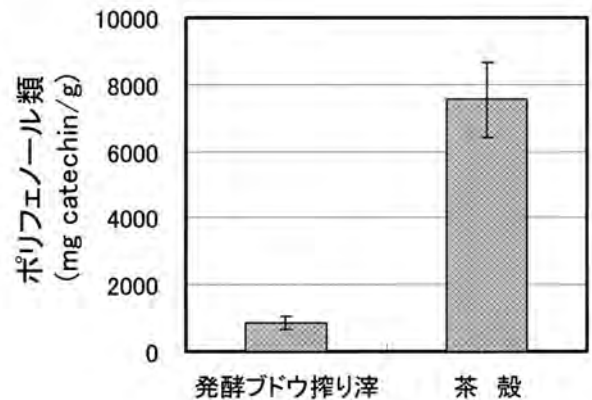


図-22 発酵ブドウ搾り滓および茶殻のポリフェノール類含量

3-6 栽培試験（ライシメーター）

スイートコーンとナスを各種堆肥を用いてライシメーターに作付けした。スイートコーンの雌穂（しすい）とナスの果実の各収穫量を図-23および図-24に示す。なお、堆肥は昨年度に作製した物を用いた²⁾。

豚ふん+ブドウ滓堆肥で育てたスイートコーンの収穫量の平均値は他の肥料で育てた収穫量の平均値より若干

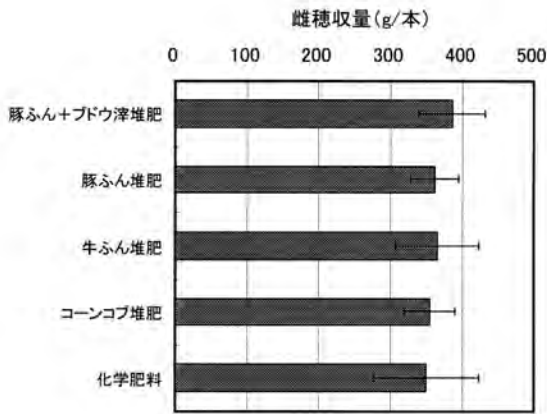


図-23 スイートコーンの収穫量

グラフの値は平均±標準偏差

多いが、有意な差は認められなかった (図-23)。

ナスの総収穫量は、化学肥料で育てた場合若干少なかったが、他の4種類の堆肥ではほとんど同じ収穫量であった (図-24)。従って、ブドウ搾り滓を加えた堆肥を用いても収穫量を減らすことはないと確認された。

図-25に、ライシメーターでスイートコーンとナス

の栽培試験を行った2008年3月から2009年11月までの浸透水への硝酸態窒素の溶脱量を測定した結果を示す。コーンコブ堆肥で28.8kg/10aと溶脱量は最も低く、次いで化学肥料 (32.2kg/10a)、牛ふん堆肥 (33.1kg/10a)、豚ふん堆肥 (37.6kg/10a)、豚ふん+ブドウ滓堆肥 (38.4kg/10a) の順に少なかった。しかし、豚ふん堆肥と豚ふん+ブドウ滓堆肥の値はほとんど等しかった。

3-7 スイートコーン・ナス栽培土壌中の微生物の解析

昨年度、ナス栽培土壌中の放線菌数を検討した。その結果化学肥料を施肥した区画に比べ、豚ふん堆肥や豚ふん+ブドウ滓堆肥を施肥した区画で放線菌やバクテリアが増殖していることが認められた。そこで昨年に引き続きナス栽培土壌の微生物相の解析を行うと同時に、スイートコーン栽培土壌においても同様の検討を行った。

すなわち、スイートコーンおよびナスを作付けしたライシメーターの畦間土壌 (株と株の間) を採取し、放線菌、バクテリア、カビについてその菌数を測定した。グラフには化学肥料施用区画で認められた菌数を100として、その相対量で示した。図-26に示すごとく、放線

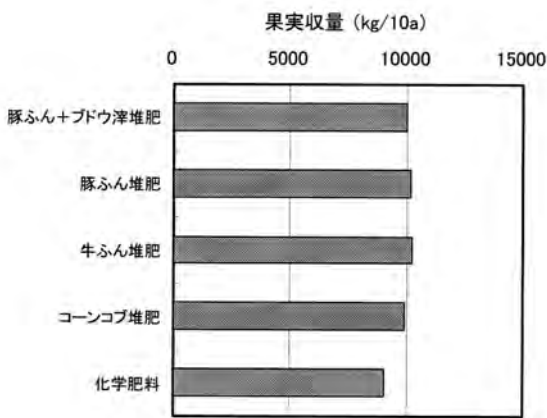


図-24 ナスの収穫量

グラフの値は総収穫量

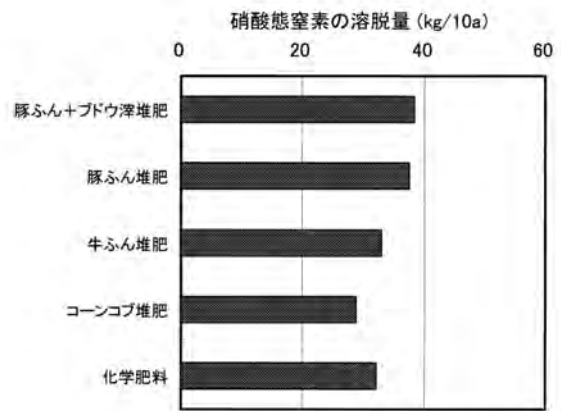


図-25 硝酸態窒素の溶脱量

グラフの値は総溶脱量

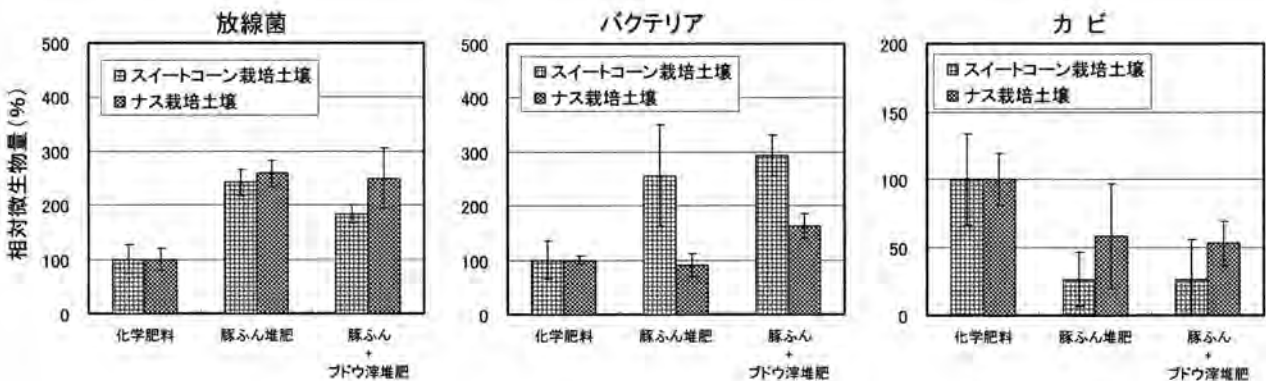


図-26 土壌中の微生物量

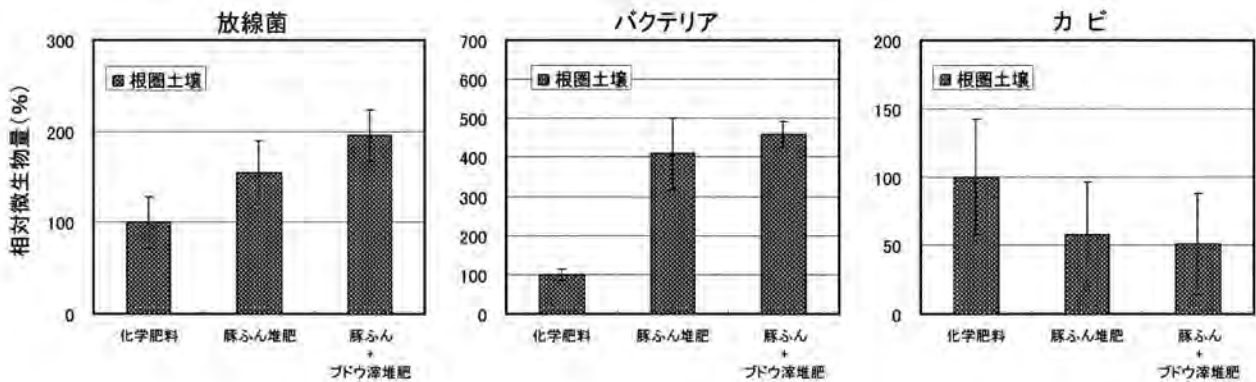


図-27 根圏土壤中の微生物量

菌は豚ふん堆肥区画と豚ふん+ブドウ滓堆肥区画で、化学肥料区画よりスイートコーン栽培土壌、ナス栽培土壌ともに多かった。細菌は豚ふん+ブドウ滓堆肥区画で、化学肥料区画よりスイートコーン栽培土壌、ナス栽培土壌ともに多かった。また、豚ふん堆肥区画でもスイートコーン栽培土壌で多かった。カビは豚ふん堆肥区画、豚ふん+ブドウ滓堆肥区画で少なかった。

植物の根の周りの土壌（根圏土壌）に生息する微生物は、根から離れた部分の土壌中の微生物と異なり、植物と微生物の相互間で物質のやりとりがなされたり、互いに助け合ったりしていると考えられている。そこで、根圏土壌中の微生物の解析が重要となる。図-27にはナスの根圏土壌中の微生物相の解析を行った結果を示す。根圏土壌中の放線菌は豚ふん+ブドウ滓堆肥区画で多かった。細菌は豚ふん堆肥区画および豚ふん+ブドウ滓堆肥区画で共に多かった。カビは豚ふん堆肥区画および豚ふん+ブドウ滓堆肥区画で共に少なかった。

3-8 ナス根圏土壌中放線菌の同定

ナス根圏土壌中の放線菌数は図-27に示すごとく化

表 1 根圏土壌中の放線菌の属の分類と種類

放線菌の属名	化学肥料	豚ふん堆肥	豚ふん+ブドウ滓堆肥
<i>Thermobifida</i>		1	1
<i>Saccharomonospora</i>		1	1
<i>Amycolatopsis</i>	1	1	2
<i>Glycomyces</i>	1	1	1
<i>Kitasatospora</i>	1	1	
<i>Kribbella</i>		1	2
<i>Microbispora</i>			1
<i>Nonomuraea</i>		1	1
<i>Streptomyces</i>	11	11	14
<i>Thermocrispum</i>		1	
合計	14	19	23

表の数値は、根圏土壌を30℃と50℃それぞれ培養した条件で認められた放線菌の種類合計（重複を除く）。

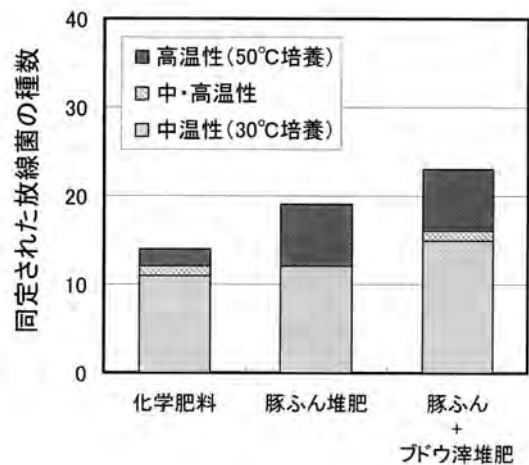


図-28 同定された放線菌の種類

学肥料施用区画に比べ、豚ふん堆肥区画、豚ふん+ブドウ滓堆肥区画の順に多いことが明らかとなった。そこで、ナス根圏土壌中の放線菌の属と種の同定を行った。その結果を表-1に示す。化学肥料区画では4属14種、豚ふん堆肥区画では9属19種、豚ふん+ブドウ滓堆肥区画では8属23種の放線菌が同定された。

図-28は表-1で示したデータを基に、放線菌の培

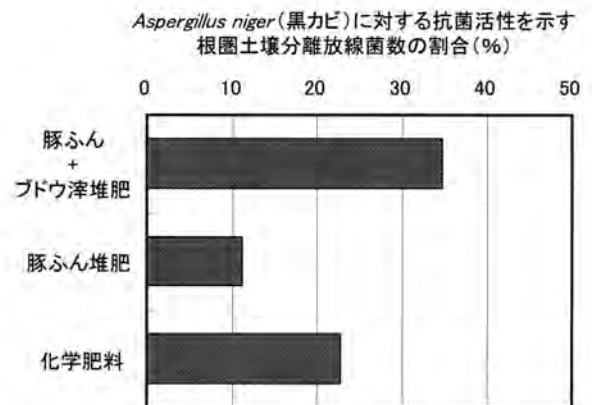


図-29 放線菌の抗カビ活性

養条件別に同定された菌数を示したグラフである。この結果から、豚ふん+ブドウ滓堆肥を施用すると根圏土壤中の放線菌の種類が多くなることが明らかとなった。

3-9 根圏土壌放線菌分離株の抗カビ活性

根圏土壌放線菌分離株の抗カビ活性を検討した結果、図-29に示すごとく、*Aspergillus niger* (黒カビ) に対して、豚ふん+ブドウ滓堆肥を施用した根圏土壌から分離した放線菌株の35%に抗カビ活性のあることが明らかとなった。さらに、抗カビ活性を示した35%の放線菌株の半数は豚ふん+ブドウ滓堆肥区画で特異的に認められた放線菌株であった。

3-10 根圏土壌放線菌分離株のリン酸可溶化能

植物は可溶性の物質しか吸収することができない。一方、一部の放線菌には土壌中のリンを可溶化して植物利用を助ける働きのあることが知られている。そこで、放線菌のリン酸可溶化能について検討を行った。図-30に示すごとく、豚ふん+ブドウ滓堆肥を施用した根圏土壌から分離された放線菌株の42%にリン酸可溶化能のあることが示された。さらに、リン酸可溶化能が陽性であった42%の放線菌株のうち70%が豚ふん+ブドウ滓堆肥区画で特異的に認められた放線菌株であった。

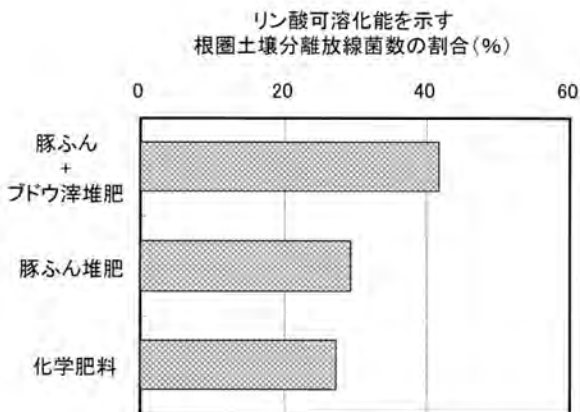


図-30 放線菌のリン酸可溶化能

3-11 ブドウ搾り滓と豚ふんを処理する過程で発生する温暖化ガスと消費されるエネルギー、富栄養化に関するLCA

実験方法2-21に示した二つのシナリオに従って、排出される温暖化ガス (CO₂, CH₄, N₂O)、消費されるエネルギー (石油、石炭、天然ガスなど)、富栄養化 (窒素、リンなど) についてそれぞれインベントリ分析を行った。得られた各物質の排出量や消費量から、産業総合技術研究所によって開発された被害算定型環境影響評価手法LIME (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling) に基づいて地球温暖化指

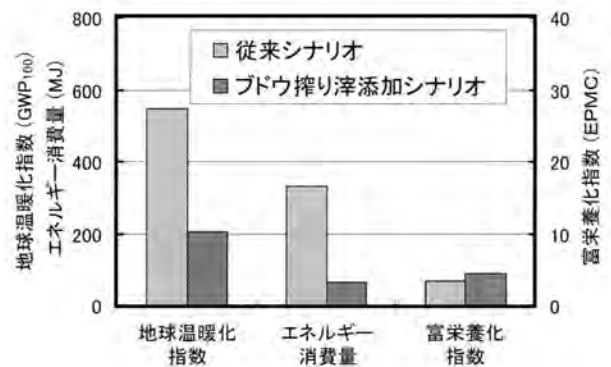


図-31 各環境領域のインパクト評価

数 (GWP₁₀₀)、エネルギー消費量 (MJ)、富栄養化指数 (EPMC) を算定し、各シナリオについてそれぞれの環境影響領域への負荷を比較した。その結果を図-31に示す。

地球温暖化・エネルギー消費に関しては従来シナリオの方が影響が大きくなり、富栄養化に関してはブドウ搾

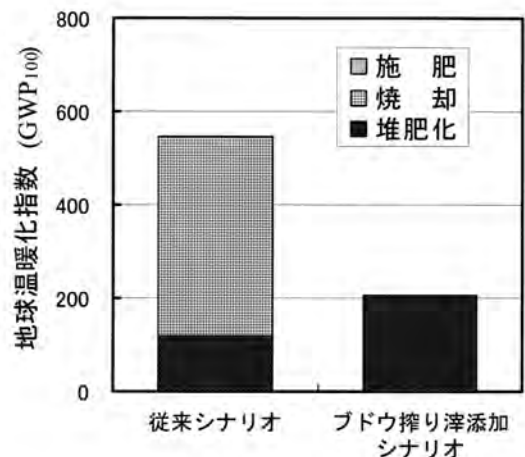


図-32 各シナリオの地球温暖化指数

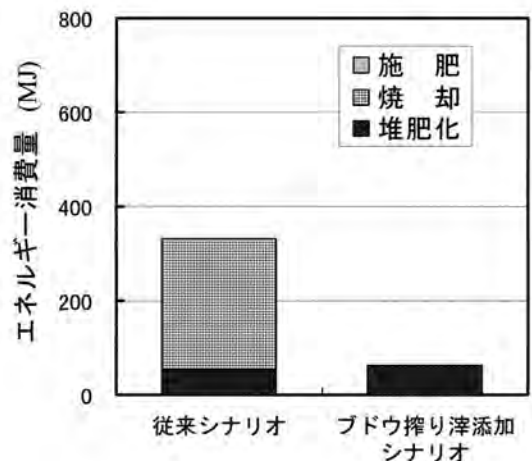


図-33 各シナリオのエネルギー消費量

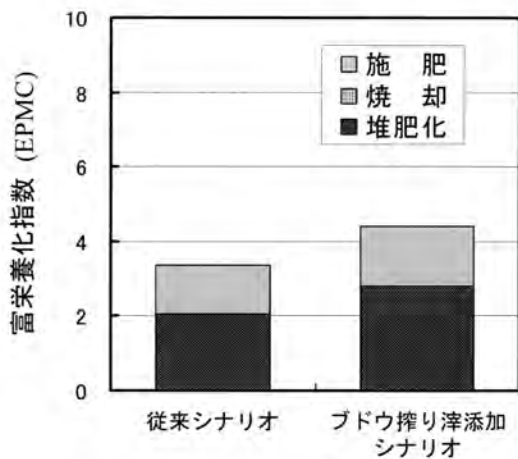


図-34 各シナリオの富栄養化指数

り滓添加シナリオの方が大きくなる事が示された。そこで、それぞれの環境影響領域への負荷について堆肥化・焼却・施肥のプロセスごとに分析をおこなった(図-32, 図-33, 図-34)。

地球温暖化指数とエネルギー消費に関しては、堆肥化プロセスのみを比較した場合、ブドウ搾り滓を添加した分従来シナリオよりもブドウ搾り滓添加シナリオのほうが温暖化への影響が大きい。従来シナリオではブドウ搾り滓を焼却によって処理するため、焼却プロセスで排出されるCO₂やCH₄が加算され、結果的に従来シナリオの温暖化への影響が大きくなっていることが示された。また、富栄養化に関しては、ブドウ搾り滓添加シナリオの堆肥化・施肥プロセス共に従来シナリオの負荷よりも大きくなっている。これは堆肥化プロセスでブドウ搾り滓を添加した分流出する汚水が多くなることと、施肥プロセスにおいて作物や土壌へ固定されずに浸透水へ溶脱する窒素量が多くなっていることが原因だと考えられる。

以上の結果から、ブドウ搾り滓を豚ふんに添加して堆肥化させた方が地球温暖化への影響とエネルギー資源の消費を低減できるが、水域への富栄養化を促進させることが示された。ブドウ搾り滓を豚ふんに添加して堆肥化するシステムをより環境負荷の低いものとするため、今後は堆肥化プロセスでの汚水軽減対策と、堆肥の効率的な施用を検討することが必要だと考えられた。

3-12 工学的手法による悪臭物質の分解

本研究では悪臭物質の分解の一つの手段として工学的手法の利用も視野に入れている。昨年まで、金属酸化触媒をマイクロ波照射装置で加熱して悪臭物質を分解する実験を行ってきた。マイクロ波照射装置を用いると、悪臭物質の分解に必要な触媒温度(約500℃)を得るのに約1分と短時間ですむが、構造的にスケールアップすることが難しい。実際の堆肥舎で発生する大量の悪臭物

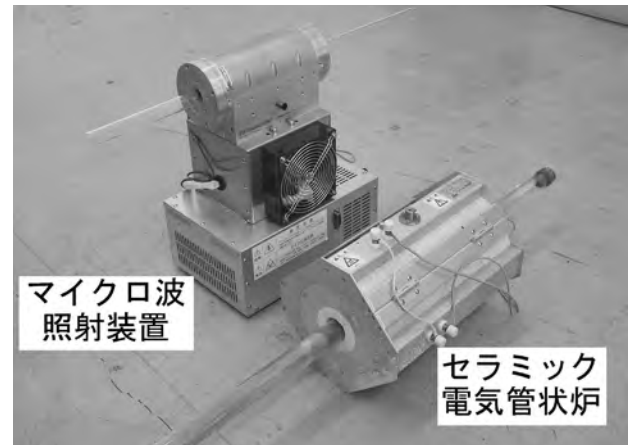


写真-12 マイクロ波照射装置とセラミック電気管状炉

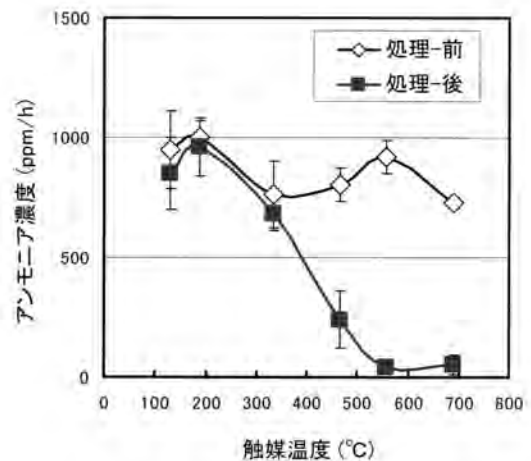


図-35 小型堆肥化実験装置から発生したアンモニアの分解

質の分解には、これまでに用いたマイクロ波照射装置一台では処理しきれない。また、マイクロ波照射装置は高価(約200万円)である。今回、比較的low価格(一台約8万円)で、スケールアップが容易なセラミック電気管状炉をマイクロ波照射装置の代わりに用いて検討を行った。

セラミック電気管状炉で金属酸化触媒を加熱し、小型堆肥化実験装置で発生する悪臭(アンモニア)の分解を検討した。セラミック電気管状炉を用いた場合、金属酸化触媒の温度上昇に約60分を要したが、約500℃以上の温度で小型堆肥化実験装置から発生する高濃度のアンモニア(約1,000ppm/h)を完全に分解できることが示された(図-35)。セラミック電気管状炉は温度が一旦上がると、安定して長時間使用することができた。

次に、この分解装置を実際の堆肥舎に設置して実験を行った。堆肥舎の吸引機能の容量から算出し、分解装置を3台並列に設置して検討を行った。その結果、図-36に示すごとく発酵ブドウ搾り滓の添加によっても除去しきれない悪臭(アンモニア)を完全に分解すること



写真-13 堆肥舎に設置した三連のセラミック電気管状炉-金属酸化触媒式分解装置

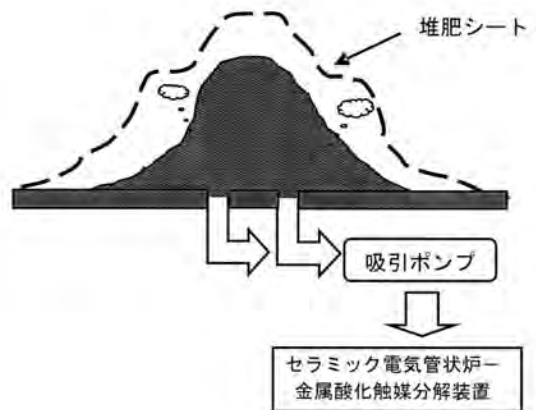


写真-14 堆肥シートで被覆した堆肥

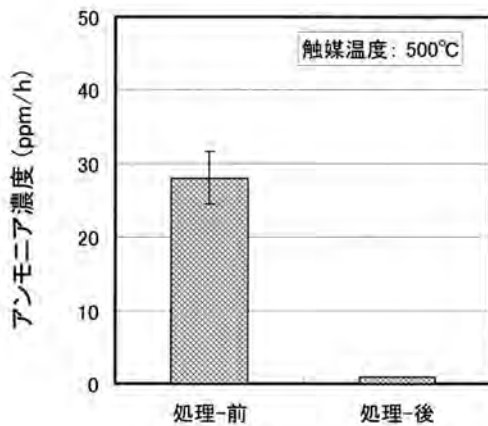


図-36 堆肥舎での堆肥発酵時に発生した臭気の分解

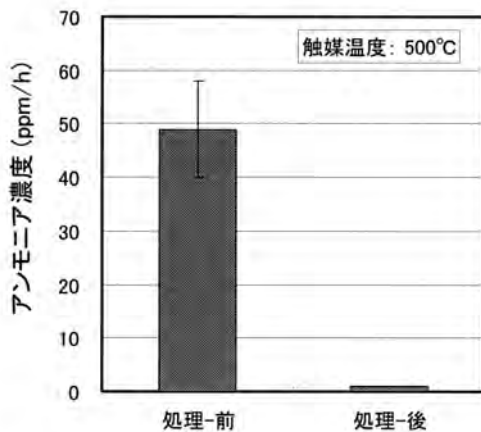


図-37 堆肥シートで被覆した条件での悪臭分解

ができた。

また、悪臭物質の吸引効率を上げるため、堆肥シートで堆肥を覆い、同様の検討を行った。図-37に示すごとく、この場合においても発生したアンモニアをほぼ完全に分解することができた。

4. 考察・今後の展望

今年度で本研究は終了となる。これまでに畜産農家で実際に使える技術を提案することを目的として本研究を行ってきた。ブドウ搾り滓を豚ふんに加えることによる悪臭低減効果は、再現性があり実用化できると考えられる。以下にこの研究の考察および今後の展望を記す。

○豚ふんは畜産農家から一年中コンスタントに発生する。一方、ブドウ搾り滓はワイン製造が行われる時期にしか発生しない。そこで、ブドウ搾り滓を低コストで一年中保存する技術が必要となる。昨年度、冷凍ブドウ搾り滓と発酵ブドウ搾り滓で悪臭低減効果に差のないことを明らかにした。今回、発酵ブドウ搾り滓を分析した結果、糖が分解して有機酸が合成されpHが減少していることが示された。このことにより、ブドウ搾り滓の保存性が高くなり、一年中ブドウ搾り滓の供給が可能になることが示された。この技術は、ブド



写真-15 压榨機から回収された甲州の搾り滓

ウ搾り滓を肉牛に飼料として与えている牧場でも使われている。

- ブドウ搾り滓には白ワインの製造過程で生じるものと赤ワインの製造過程で生じるものがある。我々は「甲州」ブドウを原料にして白ワインの作製過程で生じるブドウ搾り滓を用いて検討を行ってきた。残念ながら、三年間の研究でブドウ搾り滓の種類の違いを検討することはできなかった。今後、山梨県のワインの銘柄別生産量や悪臭低減放線菌の増殖促進効果、ポリフェノール類の含量等を総合的に検討して、最も適したブドウ搾り滓を検索することも必要となるかもしれない。
- 豚ふんにブドウ搾り滓を加え堆肥を発酵させると、豚ふんのみで発酵させた場合に比べ、悪臭低減作用が認められた二種類の放線菌 (*Thermobifida fusca* と *Saccharomonospora viridis*) の増殖が促進していることが明らかとなった。この二つの放線菌はブドウ搾り滓に含まれていないことを確認している。従って、ブドウ搾り滓中にはこれら二種類の放線菌の増殖を促進する化学物質が含まれている可能性が考えられた。
- Thermobifida fusca* と *Saccharomonospora viridis* の悪臭低減作用のメカニズムに関しては、今回の検討で明らかにすることはできなかった。推定できるメカニズムとして、これらの放線菌が豚ふんに含まれている尿素をアンモニアに変換する酵素（ウレアーゼ）の阻害作用を示す抗生物質を生産する可能性がある。将来、放線菌のメタボローム解析に関する研究によって明らかにされるに違いない。
- 豚ふんにブドウ搾り滓を加えなくても、直接 *Thermobifida fusca* 孢子懸濁液あるいは *Saccharomonospora viridis* 孢子懸濁液を加えることにより悪臭の発生を低減することができた。これらの放線菌を豚ふん中で確実に増殖させる技術の研究が進めば、これらの菌を堆肥作製時に加えるだけで悪臭を低減できる新技術となるかもしれない。

- 豚ふん + ブドウ滓堆肥中で確認された *Saccharomonospora viridis* と豚ふん + ブドウ滓堆肥を施用した土壌で認められた *Saccharomonospora viridis* が同一の菌株であるか rep-PCR で解析した結果、同一の菌株であることが確認された（データ省略）。従って、堆肥中の放線菌が土壌に定着することが明らかとなった。
- ブドウ搾り滓添加によっても低減しきれない悪臭を、セラミック電気管状炉を用いた金属酸化触媒式分解装置で完全に分解することができた。セラミック電気管状炉はマイクロ波発生装置よりコストを安く、かつ処理量を多くすることが容易で、実際の堆肥舎での成績も良好であった。今後、この分解装置を堆肥の発酵期間中に連続運転するのか、あるいは、切り返し前後に単発的に運転するのかなど、運転の仕方について現場で畜産農家の人を交えて検討する必要がある。
- 豚ふんとブドウ搾り滓で堆肥をいくら作っても、栽培農家が使ってくれなくては、何もならない。この堆肥におけるスイートコーンとナスへの施肥効果を検討し

ブドウかすで「エコ肥料」、 におい抑制効果

県環境研など発 開

山梨県環境科学研究所などが開発したブドウの搾りかすを使った堆肥と、堆肥で栽培したナス

ポリフェノール特性活用

ワイン醸造過程で発生する「ポリフェノール」は、果物の皮や種、葉などに多く含まれる。このポリフェノールは、果物の酸化防止や抗菌作用など、さまざまな効果を持つ。山梨県環境科学研究所は、ブドウの搾りかすに含まれるポリフェノールを有効に活用し、堆肥のにおいを抑制する効果を確認した。この堆肥は、ナスの生育に良い影響を与えることが確認された。

山梨県環境科学研究所は、ワイン生産に生じたブドウの搾りかすを豚のかんじんに混ぜ、においの発生を抑えられぬ堆肥作りを成功させた。ブドウに含まれるポリフェノール類の酒臭作用を利用した、大企業が廃棄処理していたブドウかすを資源として活用でき、環境にも優しい「エコ肥料」として商品化を目指している。

同研究所によると、開発した肥料は、果物産廃試験場の豚や鶏の飼料などに利用されていながら、におい問題に悩まされているもの、多くは焼却処分しているところから、ブドウかすを「ポリフェノール」から取り除き、ブドウかすを約1割減らして、ブドウかすを約1割減らした堆肥に比べて、ブドウかすのにおいを低減させる効果を確認した。この堆肥は、ナスの生育に良い影響を与えることが確認された。

同研究所は、環境試験場の豚や鶏の飼料などに利用されていながら、におい問題に悩まされているもの、多くは焼却処分しているところから、ブドウかすを「ポリフェノール」から取り除き、ブドウかすを約1割減らして、ブドウかすを約1割減らした堆肥に比べて、ブドウかすのにおいを低減させる効果を確認した。この堆肥は、ナスの生育に良い影響を与えることが確認された。

同研究所は、環境試験場の豚や鶏の飼料などに利用されていながら、におい問題に悩まされているもの、多くは焼却処分しているところから、ブドウかすを「ポリフェノール」から取り除き、ブドウかすを約1割減らして、ブドウかすを約1割減らした堆肥に比べて、ブドウかすのにおいを低減させる効果を確認した。この堆肥は、ナスの生育に良い影響を与えることが確認された。

写真-16 平成21年度やまなし産学官連帯研究交流事業研究公開での発表が山梨日日新聞で紹介された

た結果、スイートコーンとナスの生長に特に良いと言う結果は得られなかった。しかし、土壤中の放線菌やバクテリアの数と種類を増やすことは認められた。この特徴をアピールして栽培農家に使ってもらおうことが今後の課題である。また、「やまなしワイン堆肥」などのネーミングで、一般家庭菜園用の製品としてマーケットを開拓することも必要であろう。

- ブドウ搾り滓の悪臭低減効果を、豚ふん以外の牛ふんや鶏ふんについて検討することはできなかった。放線菌の悪臭低減メカニズムがはっきりしていないため、牛ふんや鶏ふんに対する効果を予想することはできない。もし、牛ふんや鶏ふん中に放線菌の悪臭低減効果を阻害する物質が含まれていなければ、その効果は十分に期待できると考えられる。ただし、原料となるそれぞれの動物のふんに対するブドウ搾り滓の添加割合の検討が必要であろう。
- これらの三年間の研究成果を基に、今後は行政と農業・畜産関連の普及センターとが連携して、畜産農家・栽培農家への普及活動を進めていくことが望まれる。

5. 結 言

山梨県ではワイン製造過程で生じる多量のブドウ搾り滓の処理が問題となっている。これらの一部は飼料、滓とりブランデー製造あるいは堆肥に利用されているが、多くは有用な利用法が無く処分されている。そこで、このブドウ搾り滓に着目し、これらを豚ふんを原料として作られる堆肥の発酵過程に加えた。その結果、発酵過程で発生する悪臭を低減することができた。そして、完成した堆肥の施肥効果は他の堆肥と比べ劣ることはなかった。ブドウ搾り滓を豚ふんに加えることにより悪臭低減作用のある放線菌 (*Thermobifida fusca* と *Saccharomonospora viridis*) が多く増殖し、悪臭の低減に寄与していることが明らかとなった。また、ブドウ搾り滓を焼却処理することと比較すると、ブドウ搾り滓を豚ふんに加え堆肥化することは、地球温暖化防止に役立つことが示された。

6. 謝 辞

ブドウ搾り滓を快く提供していただきました中央葡萄酒株式会社および小林牧場には厚く御礼申し上げます。堆肥発酵過程の切り返しにおいて、重機（ホイールローダー）の操作および臭気サンプルの輸送を担当していただきました畜産試験場の保坂幸次主任技能員、保坂和彦主任技能員ならびに中山三男氏、深沢 豊氏、宮川千加雄氏、永井 豊氏、平澤祥司氏には大変お世話になりました。片山 努研究員、赤尾友雪研究員には堆肥作製において適切なアドバイスをしていただきました。環境科学

研究所の半田さおりさん、外川雅子さんには小型堆肥化実験装置での切り返しならびにポリフェノール類の分析においてお世話になりました。ブドウ搾り滓中の有機酸分析においては、山梨県ワインセンターの原川 守特別研究員、恩田 匠研究員、小松正和研究員に御協力をしていただきました。心から感謝致します。また、ライシメーターでのスイートコーンとナスの栽培試験では、総合農業技術センターの長坂克彦研究員、望月久美子研究員、佐藤きよみさん、鈴木ゆかりさん、根津節子さんに御協力をしていただきました。御礼申し上げます。山梨大学大学院医学工学総合研究部の山村英樹助教、大学院生の落合知君、川良香さん、功刀伸夫君にも協力をしていただきました。ありがとうございました。

最後に、研究開始一年目・二年目において研究分担者として研究に従事してくれた環境科学研究所齊藤奈々子元研究員、富士工業技術センター高尾清利研究員（現在、工業技術センター主任研究員）、畜産試験場高橋照美研究員（現在、中北林務環境事務所主任）にも御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 長谷川達也, 森智和, 齊藤奈々子, 高橋照美, 山崎修平, 上垣良信, 高尾清利, 御園生拓, 金子栄廣, 早川正幸: ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発. 山梨県総合理工学研究機構研究報告書第3号, 53-64, 2008
- 2) 長谷川達也, 森智和, 吾郷健一, 高橋照美, 山崎修平, 上垣良信, 寺澤章裕, 御園生拓, 金子栄廣, 早川正幸: ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発 (その2). 山梨県総合理工学研究機構研究報告書第4号, 11-27, 2009
- 3) 小松正和, 中山忠博, 恩田匠, 上垣良信, 鈴木幾雄, 荘富盛, 久本雅嗣, 奥田徹, 前島善富: 甲州種ワインの高品質化に向けた栽培・醸造技術に関する研究, 平成20年度山梨県工業技術センター研究報告, 38-44, 2009
- 4) 羽賀清典, 長田隆, 田中康雄, 黒田和孝, 花島大: 堆肥化実験装置, 特許出願番号平成8年特許出願第235967号
- 5) 川良香: 家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術に関する研究, 山梨大学大学院医学工学総合教育部 (工学領域) 平成21年度修士論文, 2010
- 6) 石黒辰吉: 臭気の測定と対策技術, オーム社, 2002
- 7) 日本土壤協会編: 堆肥等有機物質分析法, 2000
- 8) 功刀伸夫: 圃場における豚ふん堆肥の施用効果お

- よび微生物の多様性に関する研究, 山梨大学大学院医学工学総合教育部 (工学領域) 平成21年度修士論文, 2010
- 9) 土壤微生物研究会編: 新編 土壤微生物実験法, 養賢堂, 1992,
 - 10) 日本生化学会編集: 新生化学実験講座 微生物実験法, 化学同人社, 1992
 - 11) El-Azouni, L.M.: Effect of phosphate solubilizing fungi on growth and nutrient uptake of Soybean (*Glycine max* L.) plants, *J. Appl. Scienc Res.*, 4: 592-598, 2008
 - 12) Zhu, P., Yang, X., Xu, Y., Ouyang, H. and Shen, Q.: High effective phosphate-solubilizing bacteria: Their isolation and promoting effect on corn seedling growth. *Yingyong Shengtai Xuebao*, 18: 107-112, 2007
 - 13) 長田隆: 家畜排泄物からの環境負荷ガスの発生について, *日本畜産学会報*, 72: 167-176, 2001
 - 14) 長田隆: 豚のふん尿処理に伴う環境負荷ガスの発生, 畜産草地研究所研究報告, 2: 15-62, 2002
 - 15) 坂井隆宏, 脇屋裕一郎, 則武圭輔, 四牟田修蔵, 式町秀明: 豚ふん堆肥化時に発生する臭気の活性汚泥曝気方法による脱臭, *日豚会誌*, 42: 157-164, 2005
 - 16) 開澤浩義: 豚ふんの吸引式通気堆肥化と簡易脱臭技術, *農業電化*, 59: 28-33, 2006
 - 17) 田中米実, 林田晋策, 本江元吉: 糸状菌による畜産排泄物の処理, *発酵工学*, 54: 333-339, 1976
 - 18) 田中米実, 林田晋策, 本江元吉: 真菌による鶏ふんの処理, *発酵工学*, 55: 134-140, 1977
 - 19) 田中米実, 田中稔篤, 南里信也, 林田晋策: 放線菌による畜産排出物の処理, *発酵工学*, 56: 788-793, 1978
 - 20) 太田欽幸, 池田貢: 微生物による豚ふんの急速無臭化法, *農芸化学*, 53: 277-284, 1979
 - 21) 黒田和孝: 家畜排せつ物の堆肥化における微生物を用いたアンモニア発生低減, *資源環境対策*, 40: 64-68, 2004
 - 22) 伊坪徳宏, 稲葉敦: ライフサイクル環境影響評価手法 LIME: LCA, 環境会計, 環境効率のための評価手法・データベース, (社)産業環境管理協会, 2005
 - 2) 川良香, 山村英樹, 御園生拓, 金子栄廣, 早川正幸, 長谷川達也, 森智和, 吾郷健一, 高橋照美, 菊嶋敬子, 山崎修平, 上垣良信, 寺澤章裕 (2010) ブドウ搾り滓を添加した豚ふんの堆肥化における放線菌相の解析. 日本農芸化学会2010年度大会 (東京)
 - 3) 功刀伸夫, 山村英樹, 御園生拓, 金子栄廣, 早川正幸, 長谷川達也, 森智和, 吾郷健一, 高橋照美, 菊嶋敬子, 山崎修平, 上垣良信, 寺澤章裕 (2010) ブドウ搾り滓添加堆肥の施用効果と土壤微生物相の解析. 日本農芸化学会2010年度大会 (東京)
 - 4) 吾郷健一, 森智和, 長谷川達也, 山崎修平, 川良香, 山村英樹, 御園生拓, 金子栄廣, 早川正幸 (2009) ブドウ搾り滓を用いた豚ふん堆肥化過程におけるアンモニア発生抑制. 第20回 廃棄物資源循環学会 (名古屋)
 - 5) 川良香, 山村英樹, 御園生拓, 金子栄廣, 早川正幸, 長谷川達也, 森智和, 吾郷健一, 高橋照美, 菊嶋敬子, 山崎修平, 上垣良信, 寺澤章裕 (2008) ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発—ブドウ搾り滓添加堆肥の発酵に関する放線菌相の解析と悪臭発生抑制作用の検証—. 平成21年度 やまなし産学官連携研究交流事業 研究公開 (甲府)
 - 6) 功刀伸夫, 山村英樹, 御園生拓, 金子栄廣, 早川正幸, 長谷川達也, 森智和, 吾郷健一, 高橋照美, 菊嶋敬子, 山崎修平, 上垣良信, 寺澤章裕 (2008) ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発—圃場におけるブドウ搾り滓添加堆肥の施用効果および微生物相の動態解析—. 平成21年度 やまなし産学官連携研究交流事業 研究公開 (甲府)

論文発表

- 1) Hayakawa, M., Yamamura, H., Nakagawa, Y., Kawa, Y., Hayashi, Y., Misonou, T., Kaneko, H., Kikushima, N., Takahashi, T., Yamasaki, S., Uegaki, Y., Terasawa, A., Takao, K., Mori, T., Ago, K., Saito, N. and Hasegawa, T. (2010) Taxonomic diversity of actinomycetes isolated from swine manure compost. *Actinomycetologica*, in press

成果発表状況

学会発表

- 1) 長谷川達也 (2008) ブドウ搾り滓を利用した堆肥の悪臭低減化技術と堆肥中の重金属の挙動. 第12回 MTKO MICE研究会 (熱海)

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2報)

山梨県果樹試験場・山梨県工業技術センター¹

齊藤典義・宇土幸伸・里吉友貴・三森真里子・阿部 治¹・河野 裕¹・平川寛之¹

The Influence of LED Irradiation on the Berry Weight of Grape (2nd report)

Yamanashi Fruit Tree Experiment Station

Yamanashi Industrial Technology Center Organization¹

Noriyoshi SAITO, Yukinobu UDO, Yuki SATOYOSHI,

Mariko MITSUMORI, Osamu ABE¹, Hiroshi KONO¹, Hiroyuki HIRAKAWA¹

要 約

施設ブドウの夜間電照光源として赤色LEDの利用方法を検討した。電照時間帯に果房を遮光し、新梢部のみに光が照射される条件においても果粒肥大は促進された。ロープ状の光源を平行整枝樹の主枝と主枝の中央部に、主枝と平行するように配置すると、多数の新梢に光が照射され、効率的に果粒肥大効果が得られた。

Abstract

We examined whether the red LED was useful as a light source for light-culture greenhouse grape. The berry weight of grape increased even if a bunch was shaded the light while light was irradiated for the vine. When the rope-type light source is arranged in the center part of the branch and the branch at a parallel training method, the light is irradiated many shoot and the berry weight of grape increased with effectively.

1. 緒 言

施設栽培ブドウは、早期出荷による収益の向上、露地ブドウとの労力分散などの面から、山梨県のブドウ経営にとって重要な作目の一つとなっている。筆者らは‘巨峰’や‘ピオーネ’などの大粒系ブドウを対象として、12月に加温を開始し、4～5月に収穫を行う超早期加温栽培の高品質、多収技術について検討している¹⁾。これまでの一連の研究において、夜間電照を利用した生育促進方法について検討を行い、落花期から40日間程度、深夜の23:00～2:00まで暗期中断を目的に電照を行うことで、果粒肥大が促進されることを明らかにした²⁾。

また、この電照において、従来から光源として使用されてきた植物育成用の蛍光灯などに替えて、発光ダイオード (Light Emitting Diode, 以下LED) を利用する方法を検討したところ、660nm付近に発光のピークを有する赤色LEDの電照効果が高く、また、必要な光量子束密度は、最低で $1.0\sim 1.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上と微量な光の照射によって果粒肥大効果が得られることを明らかにした^{3, 4)}。

照射光量が微量であるにもかかわらず、果粒の肥大現

象が生じることは、積極的に光エネルギーを植物体に供給し、物質生産を促進した結果ではなく、光の刺激によって植物体内に生理的な変化を誘導したものと考えることができる。そのため、ブドウの果粒肥大を目的とした電照では、樹体内に果粒肥大を促進する光の刺激を与えることができれば、照射部位は直接の効果を期待する果房 (果粒) でなくともよいことが推測される。そこで、赤色LEDを利用してブドウの果粒肥大を促進する実用的な電照装置を開発するため、効率的に効果が得られる電照方法について検討した。

本試験では、電照の照射部位に着目し、果房に限らず、電照効果が得られる部位を明らかにし、効率的に果粒肥大を実現する照射方法について試験を行った。また、光源装置の有効利用を目指し、果粒肥大効果だけでなく、着色促進などに効果があるとされる波長域の光源についても利用の可能性を検討した。

2. 実験方法

2-1 試験圃場の耕種概要

試験は2008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)’ (2008年12月加温時, 13年生) およびポット栽培した‘巨峰 (Vitis labruscana)’ (2008年12月加温時, 8年生) を供試した。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⁶⁾ に準じた。試験ハウスの管理概況と生育ステージを図1に示した。

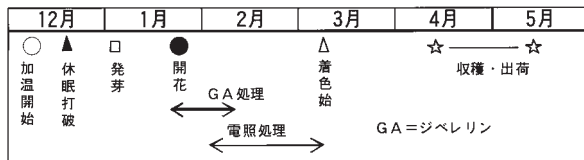


図1 ハウスの管理概況と‘ピオーネ’の生育ステージ

2-2 果房の遮光が果粒肥大に及ぼす影響

地植え‘ピオーネ’を供試し、電照光源として赤色蛍光灯 (FL40SR: 660nmに最大の発光のピークを持つ) を用いた。蛍光灯は防水ケースに装着し、棚下約1mに設置した。照射時間帯は23:00~2:00までの3時間、照射期間は満開期の2月13日から着色始め期の3月26日までの41日間とした。果房への照射の必要性を確認するため、電照期間の夕方~早朝の間、一部の果房に遮光袋 (KMP袋) をかけ、果房に照射される光を遮った。

電照時から果粒横径の推移を調査した。また、果粒軟化期直前に果粒を採取して果粒赤道面の徒手切片を作成した。顕微鏡下で果肉の細胞画像を撮影後、撮影画像の表皮直下から果粒中心部に引いた直線上にある果肉細胞数を計測した。さらに、収穫期には果実品質調査を行った。

2-3 赤色LEDの照射部位が果粒肥大に及ぼす影響

ポット植えの‘巨峰’を供試し、光源には赤色LED (L-53 SRC-E: KingBright) 108個を120×90mmのアルミ枠にシリコン樹脂で埋設したものをを用いた (やまと興業(株)製)。光源は、棚上区では棚上から下方に、棚下区では棚下から上方に向けて、それぞれ棚面から30cmの位置に斜めに設置した。照射時間帯は23:00~2:00までの3時間、照射期間は満開期の2月18日~着色始め期の3月31日までの50日間とした。電照開始時から、新梢の登熟長を経時的に調査し、収穫期には果実品質調査を行った。

2-4 ロープ状LED光源が果粒肥大に及ぼす影響

(1) ロープ状光源の配置方法が果粒肥大に及ぼす影響

地植え‘ピオーネ’の平行整枝および自然形整枝樹を供試した。光源には市販の装飾用ロープ状光源 (やまと興業(株)製Rattan 100b) に既設されたLED素子を660nmに発光ピークを持つ赤色LED (L-53 SRC-E:

KingBright) に交換したものをを使用した。LEDの配置間隔は6cmで、個々のLEDは不定方向を向いている。平行整枝樹では、この光源を図2のように、主枝間の中央部に主枝と平行に配置し、主枝間に誘引した新梢に交差させる交差配置区 (A)、主枝と直角方向に配置し、新梢と平行に配置する平行配置区 (B) を設けた。自然形整枝樹では、主枝や新梢の方向に関係なく、棚面に直線状に配置する自然形整枝区を設けた。光源はいずれも棚面に密着するように棚下に設置した。照射時間帯は23:00~2:00、照射期間は、平行整枝樹が2月13日~3月26日、自然形整枝樹が2月10日~3月23日とし、ともに満開期~着色始期の41日間である。

果粒肥大の効果を確認するため、収穫期に果粒重の調査を行った。なお、不定方向を向くロープ状光源を使用したことから、照射時間帯に必ずしも棚面方向を向かないLEDが存在する状況で試験を実施した。

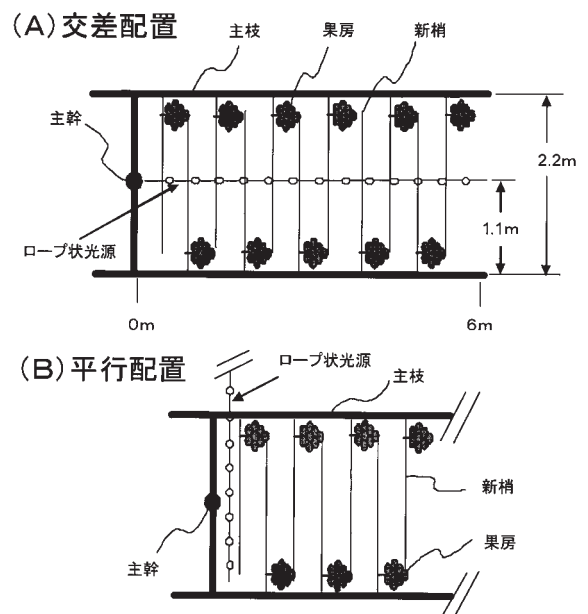


図2 試験2-3におけるロープ状光源の設置方法

(2) 赤色LEDの種類が果粒肥大に及ぼす影響

地植え‘ピオーネ’の平行整枝樹を供試した。光源として市販の635nmに発光のピークを持つ装飾用ロープ状光源 (やまと興業(株)製Rattan 100b) とこの光源のLED素子を前述の試験 (1) で使用した660nmに発光のピークを持つ赤色LED (L-53 SRC-E: KingBright) に交換したものをを用いた。両者の光源を前述の試験 (1) の交差配置区 (A) と同様の方法で設置し、照射条件も同様とした。なお、660nmの光源と635nmの光源では光出力が異なり、棚面で果粒肥大に最低限必要な光量子束密度 $1.0\sim 1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ を得られる距離は、660nmで約30cm、635nmで2cmである⁷⁾ が、いずれも棚面に密着するように設置した。

2-5 赤色LEDの间断照射が果粒肥大に及ぼす影響

地植えの‘ピオーネ’を供試し、光源には岩崎電気(株)製の直線型LED(赤色660nm, 高輝度反射型LED)を用いた。試験区として、電照時間帯に5秒点灯-10秒消灯, または5秒点灯-15秒消灯を繰り返す间断照射区, 対照区として電照時間帯に連続して照射を行う連続照射区と無照射区を設けた。電照開始時から、新梢の登熟率を調査するとともに、収穫期には果実品質調査を行った。

2-6 青色および紫外光が着色に及ぼす影響

地植えの‘ピオーネ’を供試し、光源には岩崎電気(株)製の直線型LED(青色430nm, 高輝度反射型)および紫外線蛍光灯(ブラックライト, 352nm)を用いた。紫外線蛍光灯では、光量を変えるため、1本または2本の設置区を設けた。光源は棚下約1mに設置し、上方に向けて照射した。照射期間は着色始期の3月31日~収穫までの約40日間とし、毎日18:00~22:00までの4時間照射した。

また、ブドウの着色に及ぼす光の影響を明らかにするため、山梨県果樹試験場内で露地栽培されている着色系のブドウ数品種について、着色始期から、遮光袋(KMP袋)および市販の紫外線遮断資材(農業用POフィルム:シーアイ化成, ストロング5UV)で製作した果実袋をかけ、着色に対する光の影響を調査した。

いずれの試験でも、収穫期に果実品質の調査およびアントシアニン含量の測定を行った。アントシアニン含量は、果皮を4℃, 暗黒下でエタノール抽出し、520nmでの吸光度から、Cyanidin-3-glucoside chloride換算とした。なお、果皮表面積は、果粒の縦径, 横径から算出した。

3. 結果

3-1 果房の遮光が果粒肥大に及ぼす影響

果房を含めた棚面全体に赤色光を照射した条件下で、照射時間帯に果房を遮光した区(遮光区)および遮光せずに果房に光が照射される区(照射区)を設け、対照として赤色光を照射しない無遮光区を設定した。これら3区の果粒横径の変化を図3に示した。照射開始から約3週後の3月上旬以降、無照射の果粒に比べ、照射区の果粒横径は大きくなった。また、遮光区の横径も照射区と同等であった。その後、両区とも無照射区よりも大きく推移し、収穫時の果粒横径は最終的に無処理区に比べ約10%大きくなった。

果粒軟化期直前の果肉の細胞数には明確な差は認められなかったが(表1)、収穫果房の果粒重は照射区と遮光区で明らかに増加した(表2)。

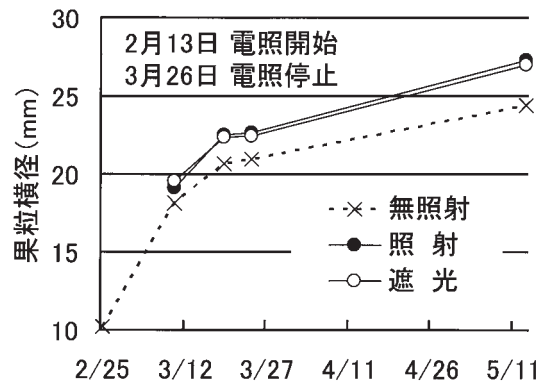


図3 電照照射時の果房の遮光と果粒横径の推移

表1 電照照射時の果房の遮光と果肉細胞

処理区	細胞数 (個)	果肉厚 (mm)	細胞径 (μm)
照射	47.5±1.33 ^Z	a ^Y	8.30±0.14
遮光	47.3±1.12	a	8.16±0.25
無照射	44.2±1.87	a	7.96±0.24

2009年3月24日調査

Z) 平均値±標準誤差,

Y) 異符号間にTukeyの多重検定で有意差あり(5%水準)

表2 電照照射時の果房の遮光と‘ピオーネ’の果実品質

処理区	果房重 (g)	着粒数 (粒/房)	1粒重 (g)	着色 (c.c.)	糖度 (Brix)	酸度 (g/100ml)
照射	446.5	31.9	13.8a ^Z	10.2	19.0	0.62
遮光	401.4	31.8	12.5a	10.8	19.6	0.62
無照射	287.7	32.8	9.3b	11.4	20.9	0.67

2009年5月13日調査

Z) 異符号間にTukeyの多重検定で有意差あり(5%水準)

3-2 赤色LEDの照射部位が果粒肥大に及ぼす影響

電照を行ったポット植え樹の棚面における光子束密度は、光源に最も近い棚面付近で約0.5 μmol・m⁻²・s⁻¹, 光源から2m棚面では計測できないレベルであった。

新梢の登熟は、棚上照射の光源から約2m離れたポットが無処理区と同様に進行が早く、他の区ではやや遅

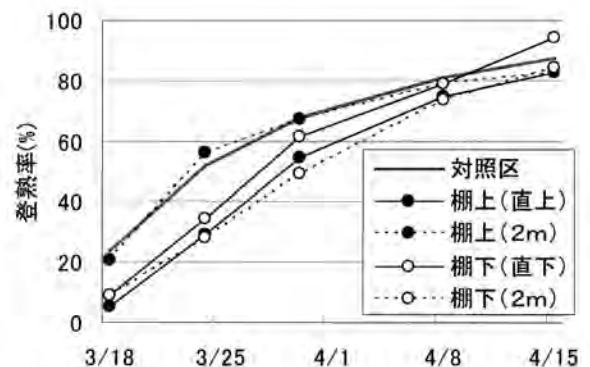


図4 棚上, 棚下照射と‘巨峰’の登熟率の推移

れた (図4)。果粒重の増加はいずれの照射方法でも認められ、棚上照射、棚下照射ともほぼ同じであった (表3)。

表3 棚上、棚下照射と‘巨峰’の果実品質

照射方法	距離	1粒重 (g)	糖度 (Brix)	酸度 (g/100ml)
棚上	直下	6.5 a ^Z	22.7	0.65
	2 m	6.3 a	22.3	0.64
棚下	直下	6.9 a	23.1	0.60
	2 m	6.2 a	22.9	0.58
無照射		5.2 b	23.1	0.71

2009年5月13日調査

Z) 異符号間にTukeyの多重検定で有意差あり (5%水準)

3-3 ロープ状LED光源が果粒肥大に及ぼす影響

(1) ロープ状光源の配置方法が果粒肥大に及ぼす影響

ロープ状の光源を新梢と交差させて配置した交差配置区では、主幹部から延長した光源6mまでの主枝に着生したすべての果房で明らかに果粒重の増加が確認された。一方で、光源を新梢と平行に配置した平行配置区では、光源を配置した主幹付近でやや果粒重が増加する傾向にあったものの、光源から0.5m以上離れた果房では、果粒重の増加は認められなかった。

また、自然形整枝樹では、光源から約1mの範囲に着生した果房で果粒重が増加する効果がみられたが、それ以上光源から離れた部分では効果が認められなかった (表4)。

(2) 光源の種類が果粒肥大に及ぼす影響

赤色LEDの波長635nmと660nmのロープ状光源の果粒

表4 ロープ状光源の配置と‘ピオーネ’の果粒重

主幹からの距離 ^Z	交差配置	平行配置	自然形整枝
0.0~0.5m	12.4 a ^Y	10.8 a	13.3 a
0.5~1.0m		9.5 a	11.0 a
1.0~1.5m		9.0 a	9.5 b
1.5~2.0m		9.3 a	10.0 b
2.0~4.0m	13.3 a	—	—
4.0~6.0m	13.4 a	—	—
無照射	9.8 b	9.8 a	—

2009年5月13日調査

Z) 主幹から主枝先端方向への距離 (図2参照)

Y) 異符号間にTukeyの多重検定で有意差あり (1%水準)

表5 赤色LEDの波長と‘ピオーネ’の果粒肥大

波長	果房重 (g)	着粒数 (粒/房)	1粒重 (g)	着色 (c.c.)	糖度 (Brix)	酸度 (g/100ml)
660nm	420.7	33.3	13.0 a ^Z	11.8	20.2	0.54
635nm	308.9	32.6	9.5 b	11.8	21.4	0.61
無照射	306.1	33.1	9.4 b	11.9	21.7	0.58

2009年5月13日調査

Z) 異符号間にTukeyの多重検定で有意差あり (5%水準)

肥大効果を比較したところ、660nmのLED光源を照射した区で果粒重の増加効果が高く、635nmの光源では効果が認められなかった (表5)。

3-4 間断照射が果粒肥大に及ぼす影響

照射時間帯に赤色光を連続照射する方法と5秒-10秒、5秒-15秒で点灯と消灯を繰り返す間断照射で果粒重を比較した。無照射区と比較して、連続照射区で明らかな果粒重の増加が認められた。間断照射における点灯-消灯時間の違いによる果粒重の増加効果は明確ではなかった (表6)。

表6 電照の照射間隔と‘ピオーネ’の果実品質

照射方法	1粒重 (g)	糖度 (Brix)	酸度 (g/100ml)	着色 (c.c.)
連続照射 ^Z	14.2 a ^W	19.6	0.58	11.3
間断照射 (5-10) ^Y	12.2 ab	20.3	0.56	11.6
間断照射 (5-15) ^X	12.0 ab	19.7	0.60	11.4
対照 (無照射)	10.3 b	20.6	0.56	11.5

Z) 23:00~2:00に連続して照射

Y) 23:00~2:00に5秒点灯, 10秒消灯の繰り返し照射

X) 23:00~2:00に5秒点灯, 15秒消灯の繰り返し照射

W) 異符号間にはTukey検定で有意差あり (5%水準)

3-5 青色および紫外光が着色に及ぼす影響

着色始期以降に青色光、紫外光による補光を行った果房の果粒重と着色指数の関係を図5に示した。着色指数と果粒重には負の相関が認められるが、無照射区も含めたいずれの試験区においても果粒重の増加にともなって、着色指数は低下することから、補光による着色向上の効果はみられなかった。また、アントシアニン含量への影響は判然としなかった (表7)。

露地栽培したブドウ数品種について、着色期以降に光透過性の異なる資材で被覆したところ、完全遮光によりいずれの品種もアントシアニン含量は低下した。紫外線の遮断により‘ゴルビー’‘赤嶺’でアントシアニン含量

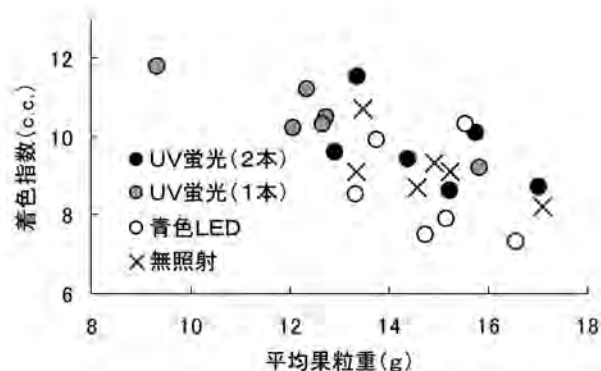


図5 青色光、紫外光の補光下における‘ピオーネ’の果粒重と着色の関係

表7 青色光、紫外光の補光が‘ピオーネ’の果実品質およびアントシアニン含量に及ぼす影響

電照機材	1粒重 (g)	糖度 (Brix)	着色 (c.c.)	アントシアニン ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)
青色LED ^Z	16.4	19.0	9.7	103.7
UV蛍光 ^Y (2本)	15.6	18.6	8.6	73.9
UV蛍光 (1本)	13.5	20.3	10.5	136.9
対照 (無照射)	15.2	19.2	9.2	104.7

Z) 波長430nm, 高輝度反射型LED (岩崎電気株)

Y) 中心波長352nm, 紫外線蛍光灯

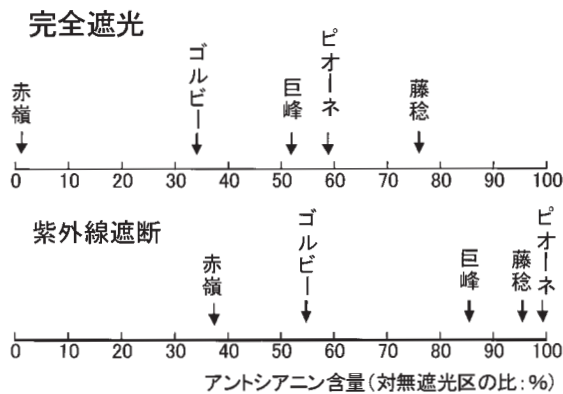


図6 着色期の果房への遮光がブドウ果皮のアントシアニン含量に及ぼす影響

の低下割合が大きかったが、‘巨峰’‘ピオーネ’ではほとんど低下しなかった (図6)。

4. 考察

これまでに暗期中断を目的とした夜間電照が、ブドウの果粒肥大に効果があり、赤色光を特異的に照射するLEDを用いても効果が得られることを明らかにしてきた^{3, 4)}。しかし、LED光源は小型で、個々の光源は照射範囲がきわめて狭く、光量も小さいことから、ブドウ棚全体のような広範囲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ためには、多数の光源を密に配置する必要がある、実用的ではないと考えられる。

一方で、LEDは消費電力が少なく、寿命が長いなど、低コス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⁵⁾。また、特定の波長のみを照射することが可能であり、植物生産に有効な波長域を選択して照射することで、さらに電力消費を抑えることもできる。また、小型のLED素子は加工が容易であることから、さまざまな形態の光源装置の製作が可能であると考えられる。

本試験は、省電力、長寿命など優れた特性を持つLEDを活用して、夜間電照に応用するための基礎的な知見を得ることを目的にした。

電照による果粒肥大の現象を、細胞分裂期の細胞数の増加によるものと考え、無照射区、電照区および電照時間帯に果房を遮光した区で細胞数を比較したが、明確な差は認められず、電照による果粒肥大の具体的な要因については明らかでなかった。しかし、最終的な果粒重は、果房を遮光した場合にも増加することから、果粒肥大を目的とした夜間電照においては、直接の効果を期待する果房に対して、必ずしも光の照射を必要とせず、果房以外のブドウ樹の特定部位に光が照射されることでも肥大効果が得られることが明らかになった。

また、主要な受光器官である葉に対する照射方法の違いが果粒肥大に及ぼす影響を検討した結果、棚上からの照射で葉の表面に照射した場合、棚下からの照射で葉の裏面に照射した場合とも同等な果粒肥大効果が得られた。特に棚上照射では、棚下に着房した果房には光が到達しない条件であるにもかかわらず果粒肥大効果が得られた。このことは、電照時間帯に果房を遮光した条件でも果粒肥大効果が得られる結果とあわせ、果粒肥大を促進する夜間の電照は、必ずしも果房に対して行う必要がないと考えられる。

ブドウ樹の仕立てを平行整枝として、主枝間に誘引、配置されるほとんどの新梢に対して、光が照射されるようなロープ状光源の配置では、光源と新梢が交差した新梢に着生した果房で果粒肥大効果が認められた。このとき、ロープ状光源から照射される光は、果房には到達せず、平行整枝樹の主枝と主枝の間部にある新梢の1~2枚の葉に限られており、照射部位がきわめて限定的になるにもかかわらず効果が得られた。

以上のように、赤色光による夜間電照で果粒肥大効果を得ようとする場合、必ずしも果房への光の照射は必要なく、新梢の一部に光を照射することで、効果が期待できると考えられた。特に平行整枝樹では主枝間に新梢が規則的に配置されることから、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。そのため、仕立て方法と電照の配置を適切に組み合わせることによって、効率的に光を照射することが可能で、LEDの設置個数を制限しながら果粒肥大効果を期待できることが示された。今後、平行整枝樹の主枝間の新梢に効率的に赤色光を照射できる照射装置を試作し、その効果を検討する必要がある。

一方、ロープ状の光源の配置は、自然形整枝樹では十分な効果が得られなかった。これは、自然形整枝樹では、棚面上の新梢の配列が不規則であり、ロープ状の光源を設置した場合、光が照射されない新梢が多数存在するためと考えられる。そのため、自然形整枝樹に対して電照を行う場合には、広範囲に照射可能な光源の開発が必要となる。一つの方法として、光源をサーチライト状に回転させながら照射する方法が考えられる。そこで、電照時間帯に一定時間ごとに照射と無照射を繰り返す間

断照射について検討したところ、5秒間の点灯、10～15秒間の消灯を繰り返す照射方法では、ある程度の果粒肥大は期待できるものの、電照時間帯に連続的に照射される場合と比較して、明らかに果粒肥大効果は劣った。前報³⁾では、15秒点灯と15秒消灯を繰り返す条件で、十分な果粒肥大効果が得られているが、本試験による効果の低下については以下のような要因が考えられる。一つには、照射時間が15秒から5秒に短縮され、ブドウ樹に光が照射される時間が短く、もう一つには、間断照射によって実質照射時間が短くなったこと、すなわち15秒間隔の点灯消灯が、連続照射に比較して実質照射時間が1/2であるのに対し、本試験での5秒点灯-10秒消灯では1/3、5秒点灯-15秒消灯では1/4となり、光エネルギーの供給量が少なくなったことが考えられる。このように、照射時間が短い場合、あるいは消灯時間が長い条件では、十分な果粒肥大効果は認められなかった。この要因については明らかではないが、今後、広範囲に照射可能なサーチライト状の光源を試作して、果粒肥大効果を検証する予定である。

青色光および紫外光による補光は、いずれの光質を用いても着色の促進効果は認められなかった。露地栽培樹で遮光資材を用いて果房に対する光の必要性を検討した結果、本試験で供試した‘ピオーネ’は自然光および紫外線を遮った条件においてもアントシアニンの蓄積に悪影響が少なかったことから、着色に対する青色光、紫外光の必要性が少なかったためと考えられる。そのため、着色向上を目的とした補光は、アントシアニンの蓄積に光の影響が大きい品種を対象にする必要がある。また、本試験では、入手が容易なUV-A領域(400～315nm)のブラックライト蛍光灯(352nm)を用いたが、さらに紫外域のUV-B(315～280nm)の利用についても検討の余地があると考えられる。

5. 結 言

赤色光の夜間電照は、果房に遮光処理した条件や平行整枝樹の主枝間にロープ状のLED光源を配置し、果房に直接光が照射されしない条件でもブドウの果粒肥大に効果が認められる。本試験において、LED赤色光(660nm)による夜間電照は、新梢のみに照射を行っても効果が期待できることから、新梢の配置が規則的な平行整枝樹を対象に、主枝間で交差する新梢部分に照射可能な光源を組み合わせることで、実用的な光源が開発できる可能性がある。今後、こうした照射方法に適した光源の製作と実証試験を進める予定である。

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：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
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 「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)
- 7) 阿部治、平川寛之、河野裕、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型電照光源の開発、山梨県総合理工学研究機構研究報告書、第5号、27-30 (2010)

成果発表状況

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)、89 (2009)

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

ロープ状およびサーチライト型電照光源の開発

山梨県工業技術センター・山梨県果樹試験場¹

阿部 治・河野 裕・平川 寛之・萩原 茂・齊藤 典義¹・宇土 幸伸¹・三森真里子¹

Development of Artificial Light Sources which are rope- and searchlight-types

Yamanashi Pref. Industrial Technology Center, ¹Yamanashi Pref. Fruit Tree Experiment Station
Osamu ABE, Hiroshi KONO, Hiroyuki HIRAKAWA, Shigeru HAGIHARA,
Noriyoshi SAITO¹, Yukinobu UDO¹ and Mariko MITSUMORI¹

要 約

ロープ状の人工光源およびタイマー機能付き電源装置を試作し、光出力特性を測定したところ、LEDからの距離が28cmまでであれば、果粒肥大の効果を得るために必要な光子束密度が得られることがわかった。また回転することにより、ブドウ柵面に対して間断照射することのできるサーチライト型電照光源を試作した。

Abstract

We developed artificial light sources of rope-type and power supply unit with timer function. And we tested optical output of these artificial light sources. Then, we found that it is enough for photon flux density to grow berry weight. And we developed artificial light sources of searchlight-type which could irradiate intermittently to grapes.

1. 緒 言

ブドウの施設栽培は、早期出荷による収益の向上、露地ブドウとの労力分散などから、山梨県のブドウ経営にとって重要な作物の一つである。しかし、早期出荷を目指す場合、日長や日射量などの光環境が不良なため、露地栽培に匹敵するような高品質な果実生産をすることが難しい。一方、山梨県産果実に対する市場の要求は高く、早期に出荷するブドウであっても高品質なものが求められる。そこで、本研究では、施設内で人工光を利用し、補光などによって日長制御し、光環境の改善を図り、早期出荷が可能で、かつ品質も高いブドウの生産技術について明らかにする。

これまでに、夜間電照により日長を制御することで果粒肥大が図られることが明らかになっている¹⁾。しかし、有効な波長域や効率的な照射方法は明らかになっていない。

そこで、光環境を改善して生育の促進を図ることを目的に、蛍光灯や近年利用が拡大している発光ダイオード(LED)などの人工光源を利用し、安定生産と果実品質を向上させる技術を開発する。すなわち、夜間電照による日長の制御および朝夕や曇雨天時の補光などの方法によるブドウの生育促進および果実品質の向上を実現する

栽培技術を確認する。

平成19年度、当センターでは、施設内使用を想定した耐水性や耐熱性を配慮した人工光源を製作するために、高輝度LEDの発光波長や光出力分布特性を調査し、最も適切なLEDを用いた光源の開発を行った²⁾。

これら光源を用いて果樹試験場の施設において、平成19年2月から3月にかけて照射実験を行った。12月加温4月出荷の超早期加温「種なしピオーネ」を対象に、開花～着色始期までの約40日間、暗期中断のため3時間(23:00～2:00)、下方から柵面に向けて光を照射する電照を行ったところ、赤色LED(波長660nm)の照射で顕著な果粒肥大効果が認められた。光強度と果粒肥大との関係について検討したところ、光子束密度が $1.0\sim 1.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ までは、光強度が強いほど果粒肥大が良好になったが、それを超えると頭打ちになった。また、赤色LEDを用い、連続照射と15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射を比較したところ、間断照射においても十分な果粒肥大効果が認められた。

以上のことから、電照方法として、低照度の光源を柵面に高密度で設置する方法(ロープ状電照光源)、高出力な光源で柵面をスキャンする方法(サーチライト型電照光源)が適していることがわかった。

これらの照射方法を実現するために、ロープ状電照光

源およびサーチライト型電照光源を試作したので報告する。

2. 実験方法

2-1 ロープ状電照光源

図1に示すように、砲弾型LEDをロープ状に接続し、その接続部をポリオレフィン樹脂製の熱収縮チューブで封止した防水型ロープ状電照光源を試作した。使用したLEDは、発光波長660nmの赤色であり、このLEDを60mm間隔で100個配置した。なお発光波長が660nmのLEDは市販されているものが少なく高価である。そこで、一般的に使用されている発光波長635nmの赤色LEDを使用したイルミネーション用のロープ状電照光源（やまと興業株式会社製LED Rattan 100bおよびLED Rope



図1 試作したロープ状電照光源

表1 ロープ状電照光源の発光波長、配置間隔および長さ

	発光波長	配置間隔	長さ
作製したロープ状電照光源	660nm	60mm	6m
市販のロープ状電照光源 LED Rattan 100b	635nm	60mm	6m
市販のロープ状電照光源 LED Rope 11mm	635nm	27.8mm	32m*

*ただし1.33m毎に切断可能

11mm)を購入し、波長による育成状況の確認を行うこととした。表1にこれらのロープ状電照光源の発光波長、LEDの配置間隔および長さを示す。また図2に、購入したロープ状電照光源を示す。

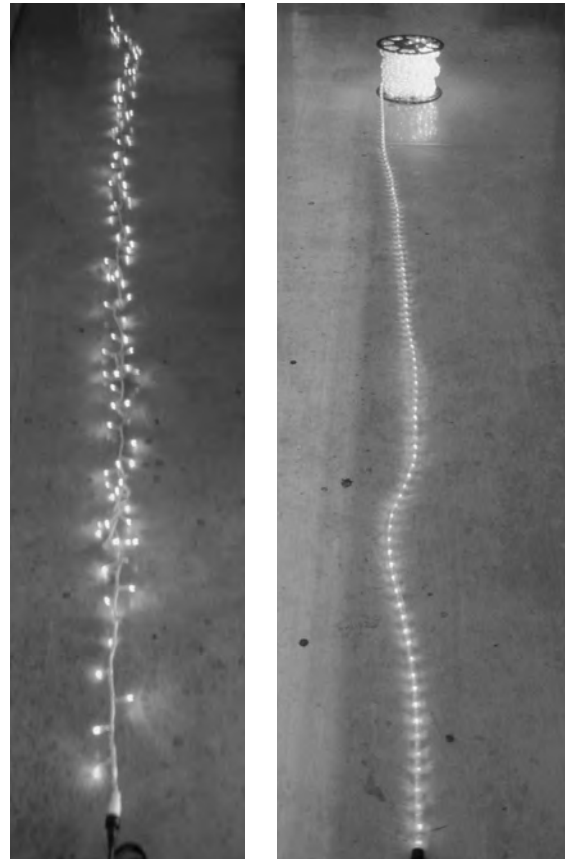


図2 購入したロープ状電照光源
(左: LED Rattan 100b 右: LED Rope 11mm)

また果樹試験場における照射実験から、15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射においても十分な果粒肥大効果が認められたため、ロープ状光源の点灯時間と消灯時間を0から60秒の間で1秒単位で設定可能なタイマー機能付き電源を作製した。図3にその外観と内部の様子



図3 タイマー機能付き電源の外観と内部の様子

の様子を示す。

この試作したロープ状電照光源の光出力が、LEDからの距離によりどのように変化するかを測定した。測定には光パワーメータTQ8215（株式会社アドバンテスト製）を使用した。

2-2 サーチライト型電照光源

高出力な光源で棚面をスキャンする方法として、サーチライト型電照光源を作製した。平成19年度に作製した電灯タイプ光源（長方形、直線型、高輝度の3種類²⁾を任意の角度で保持できるホルダー部と、ホルダー部を毎分0.5~7.8回転で回転させる機構を備えている。図4にホルダー部の設計図面を示す。ホルダー部は250mm×300mmのステンレス製パンチングパネルであり、パ

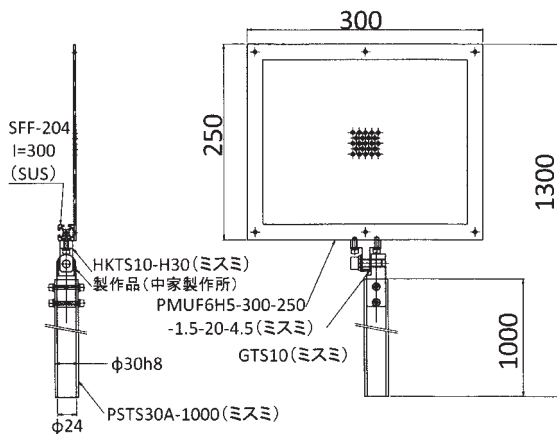


図4 サーチライト型電照光源ホルダー部の設計図面

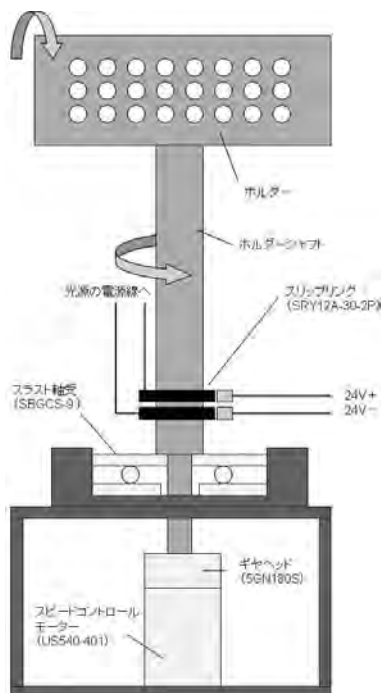


図5 サーチライト型電照光源回転機構の概略図

ンチ穴にタイラップなどで固定するため、様々な形状の光源に対応可能である。

また図5に回転機構の概略図を示す。回転機構は、可変速度範囲90~1400min⁻¹のスピードコントロールモーターUS540-401（オリエンタルモーター株式会社製）と減速比180のギヤヘッド5GN180S（オリエンタルモーター株式会社製）を使用した。光源への電源供給ケーブルが回転により絡まるのを防ぐために、スリッパリングSRV12A-30-2P（協栄電機株式会社製）を使用した。ホルダー部の重量がモータに直接かかることを避けるために、垂直荷重を受けるスラスト軸受（株式会社ミスミ製SBGCS-9）を使用した。

圃場での照射実験では、電灯タイプ直線型光源をホルダーに固定して使用した。

3. 結果および考察

3-1 ロープ状電照光源

図6、図7および図8に、試作したロープ状電照光源（発光波長660nm）、LED Rattan 100b（発光波長635nm）およびLED Rope 11mm（発光波長635nm）の光出力の測定結果をそれぞれ示す。果粒肥大の効果を得るためには、光子束密度が1.0~1.5 μmol・m⁻²・s⁻¹程度必要であり、光出力に換算すると、発光波長635nmの場合にはおよそ18.8~28.3 μW・cm⁻²、発光波長660nmの場合にはおよそ18.1~27.2 μW・cm⁻²の光出力が必要となる。試作したロープ状電照光源では、LEDからの距離が28cmまでであれば、光出力が18.6 μW・cm⁻²以上であることがわかった。LED Rattan 100b（発光波長635nm）およびLED Rope 11mm（発光波長635nm）では、LEDからの距離がともに2cmまでであれば、光出力が20 μW・cm⁻²以上であることがわかった。加温ハウス内に設置する場合には、試作したロープ状電照光源は高出力であるため、ブドウの葉から離れた位置であっても、効果が得られると考えられるが、市販のロープ状電

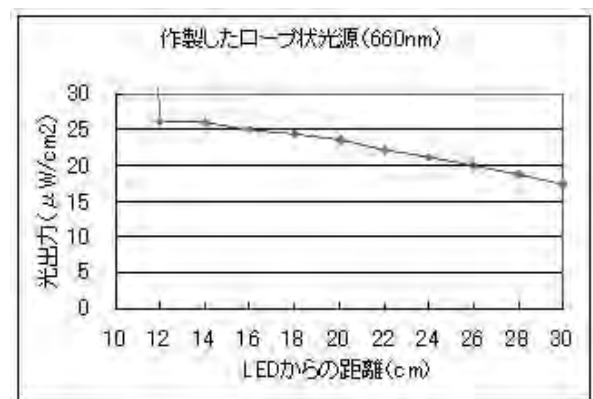


図6 試作したロープ状電照光源（発光波長660nm）の光出力

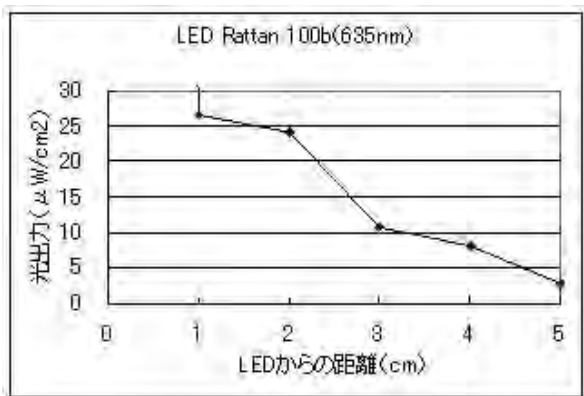


図7 LED Rattan 100b (発光波長635nm) の光出力

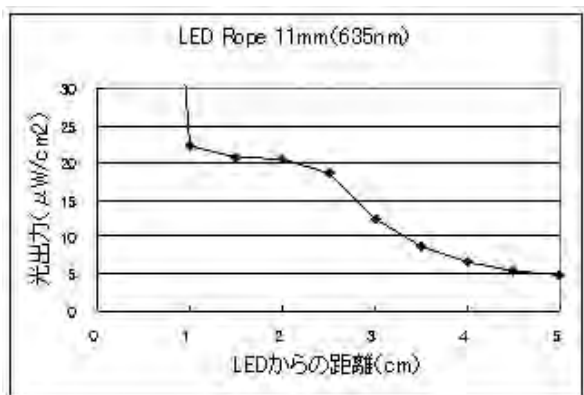


図8 LED Rope 11mm (発光波長635nm) の光出力

照光源の場合には、ブドウの葉のごく近傍に設置する必要があるため実用的ではないことがわかった。今後施設内での人工光照射について検討する。

3-2 サーチライト型電照光源

試作したサーチライト型電照光源では、平成19年度に作製した電灯タイプ直線型光源をホルダーに固定して使用した。この光源の光出力分布については前報にて報告しているが、LEDから2m離れた平面において、 $18.1 \mu W \cdot cm^{-2}$ 以上の光出力分布が得られている²⁾。これらの光源を一定速度で回転させることにより、ブドウ棚面に対して間断照射を行うことが可能となった。

実際の圃場では、図6に示すように、電灯タイプ直線型光源2個をホルダーに固定し、その角度は約5度として照射実験を行った。この状態で、毎分6回転で回転させて、10秒に1回光を照射するようにしている。光は約15m先まで到達することを確認した。

4. 結 言

ロープ状の人工光源およびタイマー機能付き電源装置を試作し、光出力特性を測定したところ、LEDからの距離が28cmまでであれば、果粒肥大の効果を得るため



図9 サーチライト型電照光源の照射の様子

に必要な光量子束密度が得られることがわかった。また回転することにより、ブドウ棚面に対して間断照射することのできるサーチライト型電照光源を試作し、15m先まで光が到達することを確認した。

参考文献

- 1) 武井和人他：平成13年度山梨県果樹試験場成果情報, p.194-195 (2002)
- 2) 萩原茂, 阿部治他：山梨県工業技術センター研究報告, No.22, P.175-178 (2008)

ロープ状電照光源の改良

山梨県工業技術センター・山梨県果樹試験場¹
阿部 治・河野 裕・平川 寛之・齊藤 典義¹・宇土 幸伸¹・里吉 友貴¹

Improvement of Artificial Light Sources which are rope-types

Yamanashi Pref. Industrial Technology Center, ¹Yamanashi Pref. Fruit Tree Experiment Station
Osamu ABE, Hiroshi KONO, Hiroyuki HIRAKAWA,
Noriyoshi SAITO¹, Yukinobu UDO¹ and Mariko MITSUMORI¹

要 約

昨年度作製したロープ状電照光源において、LEDの照射方向を揃えることにより効率的な照射が可能となるよう改良し、その光出力特性を調査したところ、果粒肥大の効果を得るために必要な光量子束密度が連続的に分布しており、ブドウ柵面に対して効率的な照射が可能となった。

Abstract

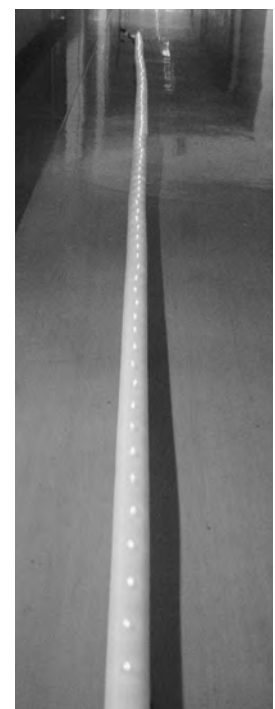
We improved artificial light sources of rope-type to irradiate effectively with same directions of LEDs, and we tested optical output of these artificial light sources. Then, we found that it is able to irradiate to grapes with continuous distribution of photon flux density enough to grow berry weight.

1. 緒 言

ブドウの施設栽培は、収益性が高く、経営安定を実現する上で有効な手段である。しかし、早期出荷を目指す場合、日長や日射量などの光環境が不良なため、露地栽培に匹敵するような高品質な果実生産をすることが難しい。一方、山梨県産果実に対する市場の要求は高く、早期に出荷するブドウであっても高品質なものが求められる。そこで、施設内で人工光を利用し、日長制御や補光などによって光環境の改善を図り、早期出荷が可能で、かつ品質も高いブドウの生産技術の開発を目指す。

これまでに当センターでは、砲弾型LEDをロープ状に接続し、その接続部をポリオレフィン樹脂製の熱収縮チューブで封止した防水型ロープ状電照光源を作製した¹⁾。使用したLEDは、発光波長660nmの赤色であり、このLEDを60mm間隔で100個配置した。しかし、各LEDの照射方向はランダムであり、ブドウの柵面以外の方向にも照射してしまうものであった(図1(左))。そこで、照射方向を揃えることにより効率的な照射が可能となるよう、ロープ状電照光源の改良を行ったので報告する。

照射方向を固定することのできるガイドが必要となる。照射方向の固定を考えると、ガイドはプラスチックなど



(左) 既試作品

(右) 改良試作品

図1 ロープ状電照光源

2. 実験方法

LEDの照射方向を揃えるためには、LEDを保持し、

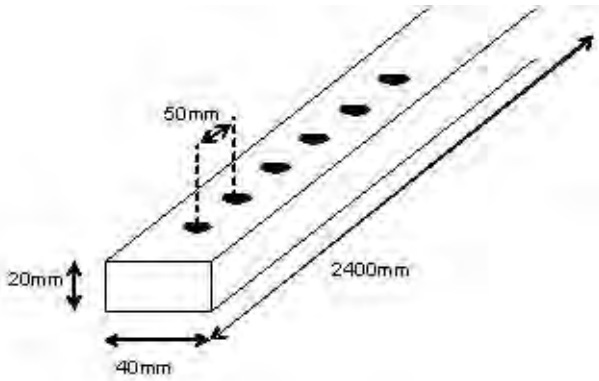


図2 発泡プラスチック製ガイド

の固い材質のものが望ましいが、圃場での設置および収納を考慮すると、折り曲げたり丸めたりすることのできる柔軟性を持つ素材が望ましい。そこで、ガイドにはある程度の弾性および柔軟性を持つ素材である発泡プラスチック材を選定した。発泡プラスチック材は無架橋高発泡ポリエチレン（積水化成工業株式会社製ライトロンボード#1540）を用いた。図2に示すように、発泡プラスチック材を細長い帯状に加工し、50mm間隔で穴を開け、この穴に、ロープ状電照光源のLEDを挿入し、すべてのLEDが同じ方向に照射するようにした。図1(右)に改良したロープ状電照光源を示す。

このロープ状電照光源の光出力分布の測定は、ロープ状電照光源のLEDから30cm離れた平面上で行った。また最適な光出力分布を調べるために、LEDの間隔を50mmおよび100mmにした場合の光出力分布についても測定した。測定には光パワーメータTQ8215（株式会社アドバンテスト製）を使用した。

3. 結果および考察

LEDの間隔を50mmおよび100mmにした場合の発光の様子を図3および図4に、測定した光出力分布を図5および図6に、それぞれ示した。LEDの間隔が100mmの場合には、各LEDそれぞれの光出力は $18.1 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 以上であるが、隣あうLEDとの間に暗い部分があり、光出力が点在してしまうことがわかる。一方、LEDの間隔が50mmの場合には、光出力は $18.1 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 以上の領域が連続した分布となっていることがわかる。すなわち、ブドウ棚面に効率的に照射するためには、LEDを50mm間隔に配置する方が実用的であることがわかった。

4. 結言

発泡プラスチック材を細長い帯状に加工し、50mm間隔で穴を開け、この穴にLEDを挿入し、すべてのLED

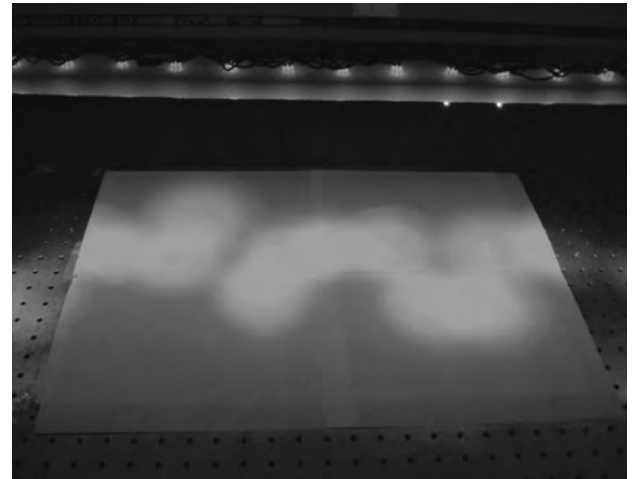


図3 改良したロープ状電照光源の発光の様子 (LED間隔50mmの場合)

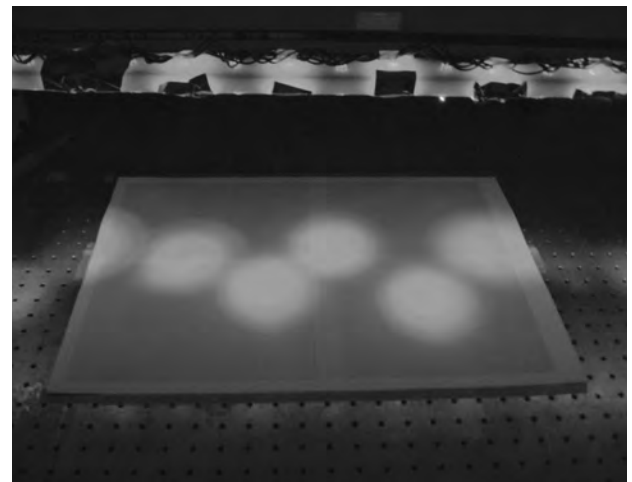


図4 改良したロープ状電照光源の発光の様子 (LED間隔100mmの場合)

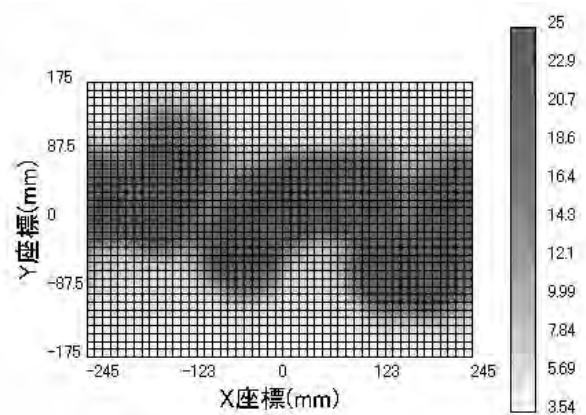


図5 LED間隔50mmの場合の改良したロープ状電照光源の光出力分布 (単位 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)

が同じ方向に照射するように改良したロープ状電照光源を作製した。この改良したロープ状電照光源の光出力特

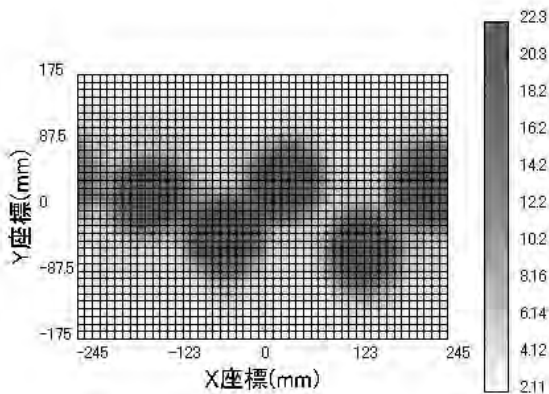


図6 LED間隔100mmの場合の改良したロープ状電照光源の光出力分布 (単位 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)

性を調査したところ、光源の形状にそって連続的に分布しており、効率的な照射が可能となった。

参考文献

- 1) 阿部治, 河野裕, 平川寛之他: 山梨県総合理工学研究機構研究報告書, No.5, 27-30 (2010)

成果発表状況

学会発表

- 1) 阿部治, 河野裕, 平川寛之, 齊藤典義, 宇土幸伸, 三森真里子: 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 (第3報) —ロープ状電照光源の改良—, 第24回山梨県工業技術センター研究成果発表会 (2010)
- 2) 萩原茂, 阿部治, 平川寛之, 齊藤典義, 宇土幸伸, 三森真里子, 中込一憲: 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 (第1報) —人工光源の開発—, やまなし産学官連携研究交流事業 (2008)

特許

- 1) 齊藤典義, 阿部治, 宇土幸伸, 三森真里子, 河野裕, 平川寛之, 萩原茂, 市川和規: ブドウ果房の生育方法と電照装置, 特願2010-062147

甲府盆地飲用地下水を中心とする水質特性 の時系列解析および新規地下水調査

Investigation of groundwater flow system in the Kofu Basin

甲府盆地飲用地下水を中心とする水質特性の時系列解析 および新規地下水調査

山梨県衛生公害研究所¹, 山梨県環境科学研究所², 山梨県工業技術センター³
小林 浩¹, 輿水 達司², 尾形 正岐³

Investigation of groundwater flow system in the Kofu Basin

Yamanashi Institute for Public Health¹, Yamanashi Institute of Environmental Sciences², Yamanashi Pref. Industrial Technology Center³
Hiroshi KOBAYASHI¹, Satoshi KOSHIMIZU² and Masaki OGATA³

要 約

甲府盆地内の飲用地下水の水質について、時間軸による濃度変化を解析した。硝酸性窒素濃度は、減少傾向もしくはほぼ横ばいの濃度推移を示す地点が多数観察されたが、硬度は増加傾向を示す地点が多かった。本年度は、これら地域の水質性状と地下水への負荷要因を検討した。また、甲府盆地北部地域では、昨年度に引き続き地下水探査を実施し、強ガンマ線地域の範囲や深さについて調査した。

その結果、地下水中の硬度は、農業生産活動の影響を受けている可能性が考えられた。また、地下水探査により、甲府盆地北部には多量の地下水の存在の可能性が示唆された。

Summary

The chronological concentration of nitrate nitrogen and hardness were investigated for drinkable ground waters located in the Kofu Basin. In this study, the concentration of nitrate nitrogen at the many surveyed points was recognized the tendency of decrease or same level. The other hand, at many surveyed points, the concentration of hardness were recognized the tendency of increase. In the current year, the water quality and the load factor were examined in the Kofu Basin. Moreover, Gamma ray exploration was done in the northern part of the Kofu Basin continuously last year. The extended area and depth of this strong gamma ray were surveyed.

In this result, it was consider that the hardness may be related to the influence of agricultural activity. Moreover, the possibility of the existence of a large amount of underground water was suggested in the northern part of Kofu Basin by the natural gamma ray.

1. 緒 言

山梨県甲府盆地では飲料水の約6割を地下水に依存している。飲用地下水の水質状況を把握することは、水質管理のために重要であり、時間軸を基にした水質変化状況を把握することにより、変化状況や変化速度を知り、将来の水質予測や対策に役立てることができる。

昨年度までの調査結果¹⁾から、水道水質基準となっている硝酸性窒素は、濃度の増加傾向を示す井戸が少なく、横ばいの濃度推移もしくは減少傾向が観察された。一方、硬度は、増加傾向を示す地点が多数認められたが、主要因については十分な検討ができなかった。

硬度として測定されるCaやMgは、岩石中に多量に含まれるため、自然要因に由来する可能性がある。しか

し、工場排水の混入や水道施設などの人為的要因も指摘され、人為的な要因と自然要因とを区別してとらえることは水質性状の把握や将来予測のために重要である。

そこで、本年度は、地下水に含まれるCa・Mgの起源について、自然的要因と人為的要因について検討を行い、濃度変動の要因を推定した。

2. 解析および調査方法

2-1 解析対象地点

継続した概ね約10年間のデータのある地点を解析対象地点とした。このデータは、各市町村が保存する水道水源に利用されている地下水水質測定結果である。解析対象地点は「詳細解析地点」として報告された4地域

28地点である。概要は既報¹⁾を参照されたい。また、深度ごとの濃度および濃度推移を観察するため、調査地点は、果樹栽培が盛んな笛吹市(旧一宮町)地内で実施した。

2-2 解析・測定方法

変化傾向は、測定年ごとの濃度変化率を求め増加・減少を判断した。また、深度別調査において、地下水中のCaおよびMgの測定は、島津製作所(株)イオンクロマトグラフ-HIC20A(ノンサプレッサー)を用いた。

3. 結果及び考察

3-1 硬度の経年変化

昨年までの調査結果¹⁾から、長期間の濃度推移が観察できた4地域28地点の地下水中の硬度(Ca, Mg濃度)の時間軸を基とした変化傾向を観察すると、増加傾向の観察される地点が多数あった。

M地域では、調査対象地点の10点中5地点において増加傾向が認められ、Y地域では、8地点中2地点において増加傾向が観察された。M地域とY地域では、減少傾向を示した地点は観察されなかった。E地域では増加・減少傾向がともに1地点ずつあり、S地域では増加傾向が1地点で、減少傾向が2地点で観察されている。

硬度の増加傾向を示した地点数は、硝酸性窒素濃度の増加傾向を示した地点より多くの地点で観察された。

3-2 地下水CaおよびMgと岩石・地質との関係

地下水のCaやMgが、岩石や地質に由来すると仮定し岩石中の含有量と比較した。標準岩石の含有量は、玄武岩では、MgOとして4.6~7.8%、CaOでは9.2~9.8%である。一方、安山岩や花崗岩の含有量は、MgOとして0.04~7.6%、CaOでは0.7~6.2%と報告²⁾されている。地下水のCaやMgが、岩石や地質に由来すると考えると、地下水の硬度は、地下水の胚胎する岩石や地質の性質を反映すると考えられる。富士山麓は玄武岩が分布し、甲府盆地やその周辺は、花崗岩や安山岩が分布する。このため、富士山麓周辺の地下水中のCaとMg濃度は、甲府盆地やその周辺の地下水中のCaとMg濃度より高いと考えられる。しかし、調査対象地域の地下水の硬度は、富士山麓の湧水の硬度より高かった^{3, 4)}。また、盆地内の地下水の硬度は広範囲に高く、甲府盆地内の地下水のCaやMgの起源を、岩石・地質のみに由来すると考えると説明が難しい。すなわち、地下水中のCaやMgは地質以外の要因により濃度の高い可能性が考えられる。

3-3 井戸深度の違いによる硬度, Ca, Mg, 硝酸性窒素濃度

地下水は、複数のストレーナにより採水が行われてい

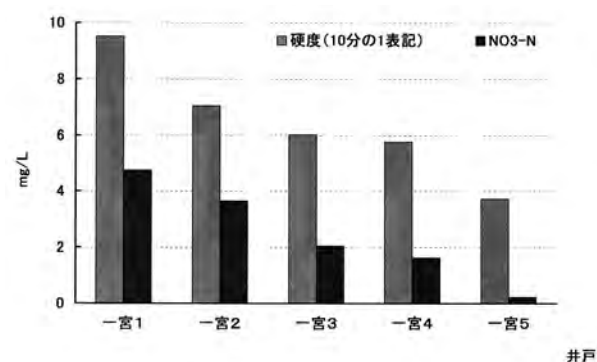


図1 硝酸性窒素および硬度の井戸ごとの平均値

るため、垂直方向の水質状況と時系列変化の把握が必要である。そこで、深度の異なる井戸の垂直方向の水質状況の把握を行った。実施時期は降雨が少なくなる秋期に実施した。調査対象井戸は、深度の異なる2m程度の井戸(一宮1)から約100mの井戸(一宮5)の5つの井戸で行った。

調査期間における硝酸性窒素濃度と硬度の井戸ごとの平均値を図1に示した。硬度の濃度推移を図2に、Ca濃度推移を図3に、Mg濃度推移を図4に、硝酸性窒素の濃度推移を図5に示した。

井戸ごとの濃度平均値は、井戸深度が深くなるに従い硬度及び硝酸性窒素濃度の低下が観察された(図1)。また、濃度推移では、表層に近い井戸では大きな濃度変化が観察された(図2~5)。

表層の影響を受けやすい浅井戸(一宮1)では硬度、Ca, Mgおよび硝酸性窒素濃度ともに他の井戸より高く、濃度推移に変化傾向が認められる。さらに井戸深度が深くなるに伴い、変化は小さくなるが、深度100m付近の井戸(一宮5)においても水質変動が観察された(図2~5)。また、CaとMgには濃度推移に連動性が観察され負荷要因の共通性が推定される。これらのことから、いずれの深度の井戸においても、表層の負荷要因の影響を受けていると考えられ、扇状地に位置する井戸の水質状況を、深度別に把握する必要性が示唆される結果となった。

3-4 農地面積推移と施肥散布量

増加傾向を示した地点は農地に近接していることから、農業生産活動の影響、特に施肥との関連性を検討した。

硬度に影響するCaやMgの主な形態は、石灰窒素や苦土石灰、消石灰や生石灰であり、基肥とともに散布される。山梨県施肥指導基準⁵⁾によれば、苦土石灰は窒素肥料に比較し散布量が多く、果樹栽培地域では窒素肥料の約5倍の660kg/ha、普通畑では窒素肥料の約6.6倍の1380kg/haが散布される。また、農耕地種類ごとの農地面積を比較すると、果樹耕地面積が最も広い⁶⁾。果樹耕

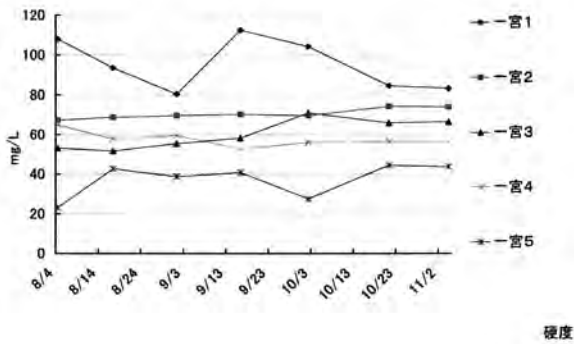


図2 硬度濃度推移

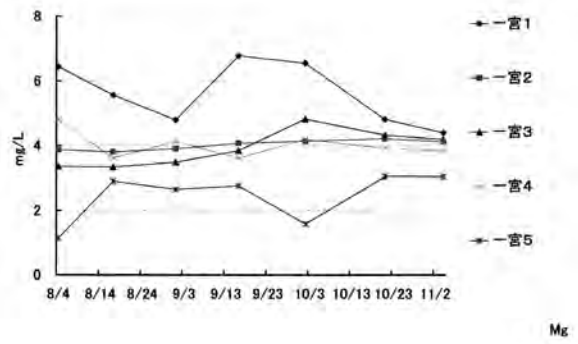


図4 Mg濃度推移

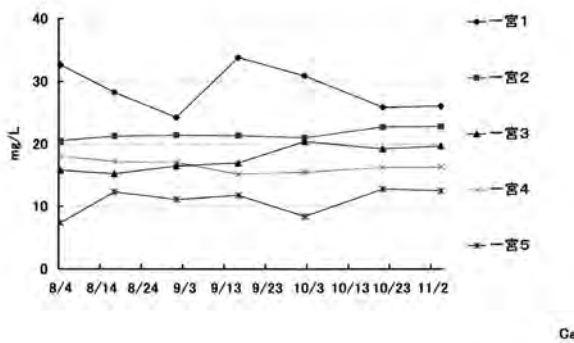


図3 Ca濃度推移

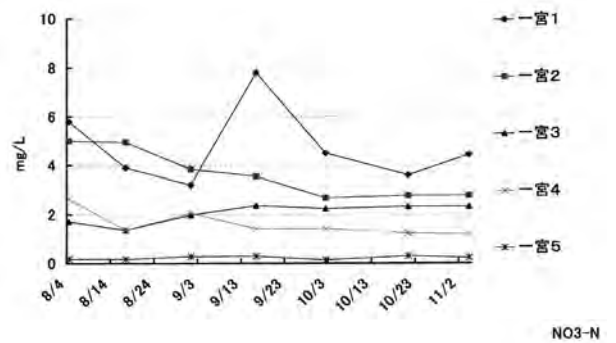


図5 硝酸性窒素濃度推移

地面積推移は、1980年半ばごろをピークに減少傾向を示し、近年、漸減傾向である。

解析対象とした地下水のCa・Mg濃度の増減変化傾向は同一ではなく、地域・地点ごとに差異が観察された。この差異の要因を知るために、地域・地点ごとに継続的な深度別水質状況の把握が必要である。

3-5 地下水探査による地下水貯存状況

昨年度に引き続き地下水探査を実施した。調査地域を甲府北部地域に着目した背景は、昨年度の報告書において触れているので、本報告では割愛する。昨年実施の調査内容については、甲府盆地北部域の湯村温泉周辺で、南北方向に2測線において自然放射能探査をおこなった。検出された強ガンマ線帯は地下の亀裂よりもたらされたものと推定され、その幅は130mに及ぶものも認められた。この種の強ガンマ線帯は、昨年度の調査で9箇所において検出され、湯村温泉郷一帯は、その周辺に比較し明瞭に強いガンマ線帯として把握された。以上から、湯村温泉郷をはじめ、これらの強ガンマ線帯検出地点の地下には多量の地下水が流動している可能性の高いことが示唆された。

その上に立ち、昨年度探査をおこなった湯村温泉地域の西側（敷島地域）および湯村温泉より東側（甲府市東部）において、本年度の地下水探査をおこなった。放射能探査の観測については、昨年度と同様な条件で、測線

も概ね南北方向において、実施した。その結果、これらの地域においても、昨年度の場合と同じように、ガンマ線の強い地域が認められた。以上の結果を、昨年の成果と融合させて、ガンマ線の強い地点の連続性を検討したところ、甲府盆地の北側地域においては、西北西-東南東方向に発達する複数の強ガンマ線ゾーンが発達していることが確認できた。

このことから、地下の亀裂やそれにともない流動する地下水の広域における把握、すなわち地下に伏在する断層の状況が把握され、甲府盆地北部地域において地下水の存在の可能性が示唆される。水質状況が確認されることにより新たな水資源として活用できる可能性が考えられる。

4. まとめと今後の課題

以上の検討結果から、

- 1) 甲府盆地の地下水の硬度は、富士山麓湧水より高く、岩石（自然的影響）に含まれるCa・Mg含有量による説明は難しく、人為的な影響を受けていると考えられた。
- 2) 硬度として測定されるCa、Mgの起源が、農地の影響を示唆する可能性が高い。
- 3) 地域・地点ごとの深度別Ca・Mg濃度の把握により、負荷影響および変化傾向を示す要因を知る必要が

ある。

- 4) 今回の調査では地域的な特徴をつかむことはできたが、垂直方向の特徴は十分得られなかった。この要因としては地下水のストレーナ位置の把握が十分でなく、地下水取水位置が不明であったためである。広範囲な地下水量の把握や、水質の垂直方向の特徴を把握するために、井戸深度やストレーナ位置の正確に把握できた井戸によるモニタリングが重要である。

周辺河川水の水温経年変化, 第15回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, 名古屋

- 2) 小林浩, 輿水達司, 尾形正岐 (2009年) 甲府盆地飲用井戸水中のMg・Ca濃度と起源, 日本地下水学会秋季講演会, 札幌市

5. 謝 辞

採水及びデータの提供に協力いただきました水道事業体の関係者の皆様に、この場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 総合理工学研究機構 研究報告書 第4号 (2009), 35~39
- 2) Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A. (1995): 1994 Compilation value for GSJ reference samples. "Igneous rock series". *Geochemical Journal*, 29, 91~95.
- 3) 小林浩・輿水達司 (2005): 地下水・湧水中のリン及びバナジウム濃度関係を基に推定された河川水における人為的影響によるリン濃度, 日本地下水学会誌, 47, 97~115
- 4) 高橋照美・清水源治・堤充紀 (1986): 県内「名水」の水質について, 山梨県衛生公害研究所年報, 30, 46~49.
- 5) 農作物施肥指導基準 (2005) 山梨県農政部農業技術課
- 6) 山梨県市町村別農林累年統計 (2007) 関東農政局山梨農政事務所統計部編集

研究発表状況

誌上発表

- 1) 輿水達司, 戸村健児, 小林浩, 尾形正岐, 内山高, 石原諭 (2009) 富士北麓の地下水循環と富士五湖の水の起源, 第19回環境地質学シンポジウム論文集, 153~158
- 2) 小林浩, 輿水達司, 尾形正岐 (2010), 甲府盆地飲用地下水中の硝酸性窒素濃度推移, 全国環境研会誌, 35, 59-66

口頭発表

- 1) 尾形正岐, 小林浩, 輿水達司 (2009年) 甲府盆地

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

自然公園内における湖沼の水質の向上に関する研究

山梨県衛生公害研究所¹・山梨県水産技術センター²・山梨県環境科学研究所³・山梨大学⁴・金沢星陵大学⁵
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

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

Yamanashi Institute for Public Health¹, Fisheries Technology Center², Institute of Environmental Science³
University of Yamanashi, Kanazawa Seiryo University
Kazuya YOSHIZAWA¹, Kazutaka TAKAHASHI², Hitoshi IKEGUCHI³, Kazuyo MATSUYAMA-SERISAWA³
Taku MISONOU⁴, Tetsu HIRATA⁴, Kazuhiro MORI⁴, Jun-ichi MIYAZAKI⁴
Yukihiko SERISAWA⁴ and Masao NAGASAKA⁵

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平成20年度から開始した。2年目になる本年度は、山中湖の通称平野ワンドにて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。
- 2) 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。
- 3) 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。

Abstract

We investigated the appropriate methods of improving the water quality of Lake Yamanaka located in nature reserves. In 2009, the second year of this project, in addition to the accumulation of the fundamental data about the ecosystem of the lake, vegetation of water-plants and cultivation of bivalves were carried out in Lake Yamanaka from July to November. Several facts were revealed from these experiments; i.e.

- 1) Twenty-four taxa of hydrophytes were observed in this lake. Biomass of those hydrophytes showed the maximum value on September.
- 2) Both *Vallisneria natans* and *Unio douglasiae biwae* were seemed to be available for the improving the water quality.
- 3) There was a possibility that water-plants were damaged by the feeding of the carp.

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。

平成20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。その中で、浮遊植物のウキクサ、抽水性のヨシ、沈水性のクロモについて、バイオマス生産のシミュレーション結果は、野外池での植物の生育を十分に再現していた。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。

プロジェクト2年目となる本年度は、対象水域の特性をより明らかにするための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。サブテーマのタイトルは次のとおりである。

・湖内調査

- 1) 山中湖の水草・大型藻類と湖内光量の周年変化
- 2) トラップ及びタモ網採取法による水生生物調査

- ・生物利用浄化法研究
 - 1) 植生モデルの構築
 - 2) 二枚貝による水質改善法の検討
 - 3) セキシウモの培養に及ぼすコイの影響
 - 4) 山中湖での植栽・飼育実験
- ・集水域調査
 - 1) 平野ワンド部の概況調査による特性把握
 - 2) 流入河川による負荷量調査
- ・バイオマスの有効利用方法の検討

2. 調査・研究方法

2-1 湖内調査

2-1-1 山中湖の水草・大型藻類と湖内光量の周年変化

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ことと、山中湖の水深別の光量とその周年変化を明らかにすることを目的として調査を行なった。

1) 水草・大型藻類の種組成と現存量の周年変化

2009年3月～12月まで毎月1回、山中湖の平野ワンドに3定点、南岸に3定点、北岸に3定点の計9定点を設け、胴長を着用して水深70cm程度まで入り、ロープを付けた自作の採集器2種類を陸側を背に5回ずつ投げ、岸まで10m程度湖底を引き摺る方法で沈水植物と大型藻類を採集した。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抽水植物や沈水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た後、一部は押し葉標本とした。その後、種類毎にまとめて風乾させた後、80℃で48時間以上乾燥させ、乾重量を測定した。

2) 山中湖の水深別の光量とその周年変化

山中湖の水深別の光量とその周年変化光量の測定は昨年度後半の2008年7～12月までに引き続き、2009年3～10月まで毎月1回、手漕ぎまたは船外機付きの小型船舶を用いて行った。平野ワンドの奥部より5定点を設け、2008年11月からは湖心にも新たに1定点を加え、Li-Cor社製ライトメーターLi-250・水中光量子センサー2台を用いて、湖面上(空中)と水中で同時に光量子速度の測定を行った。また、湖面上の光量に対する水中光量の相対値を算出し、相対光量を求めた。なお、水中光量の測定は水深約10cmと、水深1m、それ以深では1m毎に湖底付近までとし、各定点での最深部での測定水深はワンド最奥部では水深2m、湾口部にかけて漸次、水深3m、4m、5m、5m、湖心では水深10mとした。また、測定は午前9時半から午後2時半までの日が高い間に行った。また、その他の環境要因として各定点で気温、水温、pH、透明度を測定した。

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2009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の湖岸部を中心に行なうながら、1名で1時間実施した。

2-2 生物利用浄化法研究

2-2-1 植生モデルの構築

植物を用いた水質浄化は、植物による吸収と根圏微生物による分解の作用から無機と有機の広範な汚濁物質に対応する。エネルギーの投入が少なく高度な維持管理操作も必要ではない。さらに緑地空間の創造にも寄与できるなど、他の浄化技術にはない利点を有している。しかし、我が国のように年間の気象条件が大きく変化する地域では植物の生育と浄化効果の変動も大きく、浄化効果を推定しながらの合理的な植物選択や浄化系の計画や維持管理が難しいのが現状である。そこで本研究では、気象や水質条件を考慮した植物の生育と栄養塩吸収のモデルを検討した。本年度は、水生植物の長期に及ぶ野外生育に対する本モデルの有効性の評価を目的とした。

昨年度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)の各環境要因より構成)に、単位植物バイオマス中の栄養塩含有量を栽培液中の栄養塩濃度より予測するモデル(Michaelis-Menten式)を組み合わせて、栄養塩吸収モデルを作成した。供試植物(ウキクサ、ホテイアオイ)の野外池における2005～2007年の栽培試験結果をこれらの生育並びに栄養塩吸収モデルによる予測結果と比較し、本モデルの有効性を評価した。

2-2-2 二枚貝による水質改善法の検討

1) 二枚貝による水質改善実験

水質改善の基準として濁度に注目し、6種の二枚貝を用い、人工的に濁度を上げた水槽内に貝を入れた場合

と、貝を入れない場合を比較した。45cm水槽に24lの水と濁度が30FTU前後になるように粒径0.2 μ m, 2 μ m, 4 μ mの鉱物粒子であるカオリンを入れ、カオリンの沈澱を防ぐためにエアポンプで一定の空気を送った。濁度変化の測定は、OPTEX社の濁度チェッカーTC-100を使用して、実験開始から1時間ごとに計36回行った。開始時、24時間後にはデジタルカメラで水槽の撮影を行った。二枚貝による浄化効率を次のような式を用いて比較した。

$$\text{二枚貝の湿重量 1g 当たりの浄化効率 (\%/g)} = \frac{\{(A-B)/A\}}{G} \times 100$$

(ここで、A=開始時の濁度 (FTU), B=36時間後の濁度 (FTU), G=使用した貝の合計湿重量 (g) である)。

湖水の懸濁粒子の粒径分布をベックマン・コールターに依頼して調べた。湖水は山中湖平野ワンドの水深1m, 2m, 3mの3地点で、2009年7月14日, 9月9日, 11月18日, 1月25日にバンドン採水器を用いて採集した。

2) 二枚貝の遺伝子解析

本研究では将来的に山中湖に実際に貝を導入することを目的としている。他の生息地から生物を移入する際には種、さらには種内に明確に分けられる集団が存在する場合にはその集団を明確に記録しておく必要がある。そのため本研究で使用した貝のDNAによる同定を行った。貝の足からDNAを調製した。酵素としてKOD-DashあるいはTaqを用いてPCRによってミトコンドリアの16SリボソームRNA遺伝子 (16SrRNA) とミトコンドリアNADHデヒドロゲナーゼ・サブユニット1遺伝子 (ND1) の領域を増幅した。16SrRNA用のプライマーとして、センスプライマー-16S3L (5'-TGAGCGTGCTAAGGTAGG-3') とアンチセンスプライマー-16S4H (5'-AGCCAACATCGGGTCGC-3') を使用した。ND1用のプライマーとして、センスプライマー-Leu-uur (5'-TGGCAGAAAAGTGCATCAGATTAAAGC-3') とアンチセンスプライマー-NIJ-12073 (5'-TCGGAATTCTCCTTCTGCAAAGTC-3') を使用した。PCRは94 $^{\circ}$ C 2分, (94 $^{\circ}$ C 1分, 57 $^{\circ}$ C 30秒, 72 $^{\circ}$ C 1分) \times 35サイクル, 72 $^{\circ}$ C 8分の条件で行った。シーケンシングリアクションを行った後、377 DNA Sequencer (Applied Biosystems) を使用して塩基配列を決定した。得られた塩基配列のアライメントは、DNASIS (Hitachi Software Engineering) を用いて編集を行い、遺伝的距離は木村の2パラメーター法により算出し、NJ法により系統樹を構築した。樹形の信頼性を調べるために1000回の反復によりブートストラップ検定を行った。系統樹を作成する際、アウトグループとしてカワシンジュガイを用いた。

2-2-3 セキシウモの栽培に及ぼすコイの影響

昨年度は山中湖平野ワンド内の生息魚種や採捕魚の消化管内容物について調査した。この結果、11種類の魚種が採捕され、全国各地で水草減少の主因となった植物食性のソウギョは山中湖では出現せず、減少要因ではないことが明らかとなった。しかし、底生性雑食魚のコイについては、採捕数が少なく検討できなかった。

今年度は、ワンド内の主要沈水植物であるセキシウモを屋外水槽において培養し、葉体の大小、コイ放養の有無、給餌の有無による影響について、2種類の培養土 (市販の黒土, 山中湖の砂礫土) を用いて検討した。

実験期間は2009年6月29日から8月28日までの60日間で、270L容角型水槽 (G水槽) 4基に、セキシウモを30株 (平均葉長7.6cm) ずつ、直植えた (図1, 2, 表1)。水槽には黒土40kgと腐葉土500gを入れ、水深を30cmにしてエアリフトで水流をつけた。22日間培養した後、7月22日に平均全長22.0cm (大型魚) と11.0cm (小型魚) の2種類のコイをそれぞれ2尾、17尾水槽に投入した。また、別の実験で使用した大型のセキシウモ (平均葉長20数cm) も実験に加え、2区 (角1, 角2) 追加設定した。コイの投入は4日後の7月26日に行った。8月28日に取り上げし、コイの体重、尾数、消化管内容物、セキシウモの湿重量、株数について測定した。また、期間中定期的に水質を測定するとともに、浮上したセキシウモの測定も行った。コイの飼料はマス用を適量使用した。

さらに、野外 (平野ワンド) におけるセキシウモの成長等について、昨年度に引き続き観察した。

表1 試験区の設定

水槽	水草の大きさ	コイ放養の有無	給餌の有無
G1	小	○ 大型魚	×
G2	小	○ 大型魚	○
G3	小	○ 大型魚	○
G4	小	×	×
角1	大	×	×
角2	大	○ 大型魚	×



図1 植え付けたセキシウモ 図2 実験水槽の外観 (G水槽)

2-2-4 山中湖での植栽・飼育実験

これまでに沈水植物を植栽する手法の一つとして、該

当する水域の底泥を焼成した基物を用いる方法を報告した。本サブテーマではその応用実験として、現場水域での生育可能性を検討するために、山中湖において湖泥の焼成基物を用いて沈水植物の植栽を行うと共に、懸濁質のろ過効果が期待される二枚貝を飼育した。

1) 焼成基物の作成

湖泥は実験水域である山中湖の平野ワンドより、エックマンバージ採泥器により採取した。これを径5～6cmの饅頭型に成型し、電気炉で前報により最適温度と考えられた750℃で30分間焼成したものを基物として実験に用いた。

2) 沈水植物の栽培と二枚貝の飼育方法

水深1.2m～1.5mの実験水域に、ステンレスアングルで1.2m×1.2m×1.2mの立方枠を組立て、大型魚による食害防止のため2mm目のナイロンメッシュで四方を覆ったケージを3基設置した。この中に焼成基物で固定した植物を直接沈めた。さらに二枚貝を入れたプラスチック製かごを、アングル枠から約50cmの深さに懸架して飼育を行った(図3)。

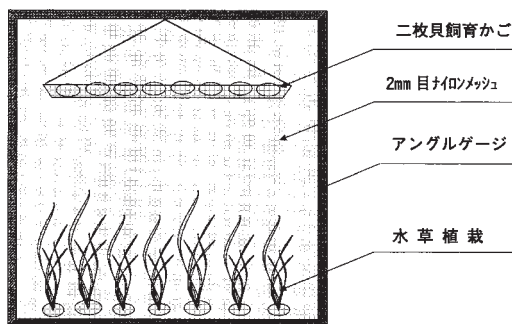


図3 栽培及び飼育施設

3) 供試生物と成長量測定

実験には現場水域で採取し、水槽内で栽培したセキショウモとクロモを各12株ずつ用いた。成長測定日ごとに3株ずつ採集し、最も長い葉または茎の長さ、湿重量を測定した。これと実験開始前のデータとの差を成長量とした。

二枚貝は、現場水域で生息が確認されている種であるシジミ520個体と、タテボシガイ(イシガイ)55個体を用いた。シジミは測定日ごとに生存個体数を計数し、タテボシガイについては、生存数に加えて各個体のサイズと湿重量を計測して成長量を算出した。

2-3 集水域調査

2-3-1 平野ワンド部の概況調査による特性把握

汚濁負荷の軽減ないし安定が期待できる事が前提とされる。そこで、このサブテーマにおいては、外部環境の資料および現地の概況調査をもとに、生物を用いた水質浄化を有効に実施するために必要な外部条件を整理する

ことを目的とした。

昨年度までに、空中写真記録の調査によって、対象区域(ワンド)の最奥部に1960年代までは水面下に掃流の痕跡を認められるが、1970年以降堆積が進行するようになったことを明らかにした。さらに、GIS上の地形分析により、1960年代から現在にいたるまでにワンド部分における表流水の流入量が最奥部を中心に約10%程度失われている事を明らかにした。流入する表流水の減少は汚濁負荷の相対的ボリュームを増す事になるため、本総合研究の成果を活用するためには少なくとも表流水の流入量を維持する必要がある事が示された。

一方、現地概況調査からはワンド地域を含む山中湖岸の多くの表流水流入地点は、景観的に外来種オオブタクサの繁茂で特徴づけられた。景観上大きな影響力を持ち、自然公園の質の維持のため管理を要すると思われるこの外来種の動向を調査し、「水質維持のための表流水の確保」と「景観維持のための外来種オオブタクサの制御」の整合的な解のあり方を平成21年度の目的とした。

2-3-2 流入河川による負荷量調査

本サブテーマでは、山中湖に流入する自然負荷量を明らかにすることを目的として、主な河川からの非降水時負荷量を調査した。

1) 調査地点

図4に示した主な7河川(R.1～R.7)の湖への流入部で採水等を行なった。

2) 調査年月日

平成20年4月から平成21年3月の間、非降水時に原則として毎月1回、計10回各河川で採水を行った。

3) 調査項目

採水した河川水を冷蔵保存で搬入した後、一部を孔径0.45μmのメンブランフィルター(ミリポアHAWP0045)でろ過した後、ろ過前の試料とともに凍結保存し、用事解凍したものを分析試料とした。ろ過前試料については次の各項目を分析した。

全窒素濃度(TN)：ペルオキソ二硫酸カリウム分解—紫外線吸光度法

全りん濃度(TP)：ペルオキソ二硫酸カリウム分解—モリブデン青吸光度法

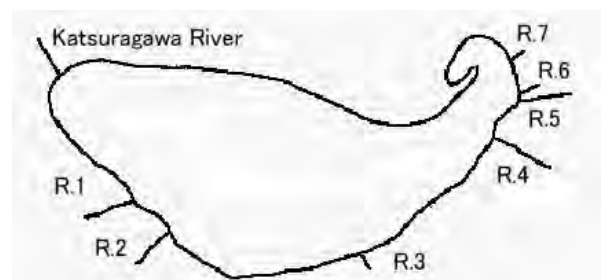


図4 水質測定地点

COD：酸性過マンガン酸カリウム分解法

また、ろ過試料についても窒素、りん、CODの各項目で分析を行い、溶存態濃度とした（溶存態窒素濃度：DTN、溶存態りん濃度：DTP、溶存態COD：DCODと表記）。さらにそれぞれの測定値から次式により懸濁態の濃度を求めた。

$$\text{懸濁態窒素 (PTN)} = \text{TN} - \text{DTN}$$

$$\text{懸濁態りん (PTP)} = \text{TP} - \text{DTP}$$

$$\text{懸濁態COD (PCOD)} = \text{COD} - \text{DCOD}$$

また採水時には流量を測定し、負荷量計算に用いた。

2-4 バイオマスの有効利用方法の検討

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検討した。

今回は、生物資源による水質浄化を図った結果として得られる水草等のバイオマスの処理に焦点を当てた。生産されたバイオマスを図5に示したような各種発酵資材として利用するためには乾燥処理を施さなければならない。そのための未利用熱源として、山中湖村クリーンセンターに着目し、現地調査を行った。

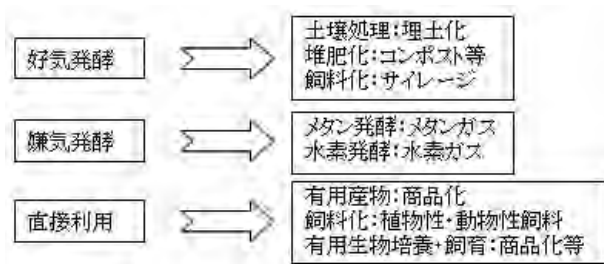


図5 生産バイオマス利用法

3. 結果

3-1 湖内調査

3-1-1 山中湖の水草・大型藻類と湖内光量の周年変化

1) 水草・大型藻類の種組成と現存量の周年変化

調査期間中にホザキノフサモ、セキショウモ、クロモ、ホソバミズヒキモなど沈水植物が11種（うち1種は交雑種）、浮遊植物が1種（コウキクサ）、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）、アオミドロ属の一種、オトメフラスコモ、シャジクモ、カタシャジクモ、アミミドロなど大型藻類が9種の計24種を確認することができた。また、水草・大型藻類の一投あたりの現存量は1.5mg（3月）～292.8mg（11月）で、出現種数は3種（3月）～20種（9月）で、いずれも3月から9月にかけて徐々に増加し、その後減少した（図6）。

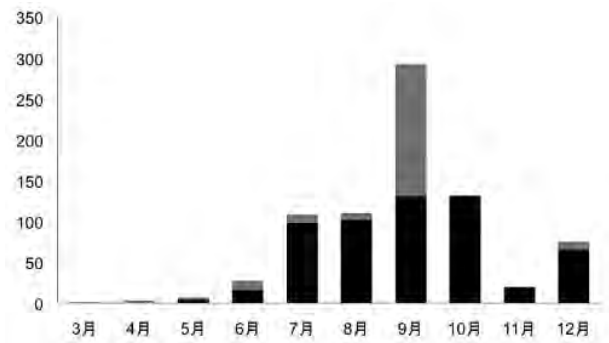


図6 山中湖で採集された水草・大型藻類の周年変化

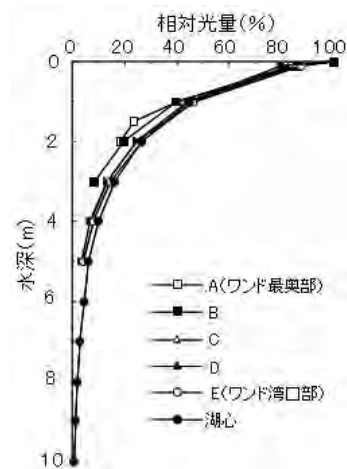


図7 調査期間中における山中湖の平均相対光量

2) 山中湖の水深別の光量とその周年変化

調査期間中の水深別の相対光量の全定点での平均値は1mが44.1%（±3.4）、2mが23.8%（±3.9）、3mが13.5%（±3.3）、4mが8.4%（±1.9）、5mが4.9%（±1.8）であり、湖心では6mが4.5%（±2.6）、7mが2.9%（±1.8）、8mが1.8%（±1.2）、9mが1.1%（±0.8）、10mが0.7%（±0.6）であった。平野ワンド内ではいずれの定点でも水深の増加に従って相対光量は大きく減少した。また、同一水深における相対光量は平野ワンド内では奥部ほど低く、湖心はワンド内より高い傾向が認められた。相対光量の季節変化は定点や水深によって異なっており、明確な傾向を把握することはできなかったが、3月に最大値を示した定点および水深が多かった。また、水深が深くなるに従い季節的な変動幅は小さくなっていった（図7）。

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4種850個体を採取した。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88.6%を占め、モツゴ、オイカワ、

表2 山中湖で確認された水草・大型藻類

	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	本年度	2007-2009
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			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
エビモ×センニンモ				○	○	○	○	○	○	○	○	○
クロモ					○	○	○	○	○	○	○	○
コカナダモ					○	○	○	○	○	○	○	○
オオササエビモ					○	○	○	○		○	○	○
トリゲモsp					○	○	○	○			○	○
ヒロハノエビモ					○	○	○	○			○	○
エビモ				○	○	○	○				○	○
コウキクサ							○	○	○	○	○	○
ヒルムシロ						○	○	○			○	○
コオニビシ	○ (種子)	○ (種子)	○ (種子)	○	○	○	○	○	○	○ (種子)	○ (種子)	○
ヘラオモダカ							○				○	○
エゾヤナギモ												○
アオミドロsp.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
オトメフラスコモ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
シャジクモ		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ヒメフラスコモ				○	○	○	○	○		○	○	○
カタシャジクモ						○	○	○	○		○	○
キヌフラスコモ										○	○	○
アミミドロ								○			○	○
サヤミドロの一種										○	○	○
フタマダシオグサ										○	○	○
フジマリモオ												○
ブルボケーテの一種												○
出現種数	3	4	7	11	16	18	20	19	13	17	24	27

表3 トラップ採取法による調査結果

		6月	7月	8月	9月	10月	11月	計	
タモロコ	調査区 1			93	5	17	20	135	
	調査区 2			69		111	1	181	
	調査区 3			66	41	51	2	160	
	調査区 4		14	54	6	59		133	
	調査区 5			66		73	5	144	
	計	0	14	348	52	311	28	753	
モツゴ	調査区 1				3	2	1	6	
	調査区 2			14	5			19	
	調査区 3			21	2			23	
	調査区 4	1	3	5		3		12	
	調査区 5			5		4	1	10	
	計	1	3	45	10	9	2	70	
オイカワ	調査区 1					5	2	7	
	調査区 2			1			7	8	
	調査区 4			4				4	
	調査区 5			1		3	2	6	
	計	0	0	6	0	8	11	25	
ヨシノボリ	調査区 3			1				1	
	調査区 4		1					1	
	計	0	1	1	0	0	0	2	
種数			1	3	4	2	3	3	4
個体数合計			1	18	400	62	328	41	850

表4 タモ網法による調査結果

	6月	7月	8月	9月	10月	11月	計
魚類							
モツゴ	1	12	16	1			30
ヌマチチブ	3	1	5	6			15
タモロコ			1	8			9
ギンブナ		8		1			9
ヨシノボリ	1	2		1			4
ドジョウ		1			1	0	2
個数合計	3	5	3	5	1	0	6
個体数合計	5	24	22	17	1		69
ヤゴ類							
クロイトトンボ	7	12	7				26
シオカラトンボ	2		1	2	4	8	17
オオキトンボ	3	4		10			17
ギンヤンマ				1	2		3
ウチワヤンマ				2			2
ホンサナエ		1					1
ヤマサナエ				1			1
コヤマトンボ				1			1
オオヤマトンボ		1		1			1
個数合計	3	3	2	7	2	1	9
個体数合計	12	18	8	18	6	8	70
エビ類							
テナガエビ	5	10	24	5	0	1	45

ヌマチチブはそれぞれ8.2%、2.9%、0.2%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、3種、3種、3種、4種、3種、個体数は148個体、208個体、184個体、150個体、160個体を示し、種数の多い地点は調査区4、個体数の多い地点は調査区2となった。毎月のサンプリングでは、8月と10月に多くの個体を採取できたが、サンプリングごとにデータをプール化して比較した場合、6月から11月では、それぞれ種数は、1種、3種、4種、2種、3種、3種、個体数は1個体、18個体、400個体、62個体、328個体、41個体を示し、8月に最も多くの種数、個体数を示した。

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。うち魚類では4科6種69個体を採取した。すべてのデータをプール化したとき、採取個体数の多い魚種はモツゴ、ヌマチチブで、それぞれ採取個体数全体の43.5%、21.7%を占め、タモロコ、ギンブナがともに13.0%と続き、他の3種のヨシノボリ、ドジョウはそれぞれ4個体、1個体であった。毎月のデータを比較した場合、採取個体のない11月を除く6月から10月では、それぞれ種数は、3種、5種、3種、5種、1種、個体数は5個体、24個体、22個体、17個体、1個体を示し、採取種数は7月と9月に高く、採取個体数は7月から9月に多かった。エビ類については、テナガエビのみ

1種、計45個体を採取し、採取個体数は7月と8月に多かった。トンボ類ヤゴについては、5科9種70個体を採取した。すべてのデータをプール化したとき、月毎の種数は1種から7種、9月に多くの種類を採取し、月毎の採取個体数は6個体から18個体であり、7月と9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26個体で全体の37%を占めた。

3-2 生物利用浄化法研究

3-2-1 植生モデルの構築

水耕栽培条件における水生植物の生育量並びに栄養塩吸収固定量の予測モデルを構築した。本生育モデルでは、温度、照度、栄養濃度の日平均値、並びに栽培時間を入力することで、1日平均バイオマス生産量を予測しこれを積算する。植物種に固有の各パラメータは、栽培試験より得られた値を用いた。これより5月～9月にかけて野外池にて長期間栽培している水生植物の生育をシミュレーションし、実測データと比較した。図8にウキクサ(2007年)とホテイアオイ(2005年)の野外栽培とそのシミュレーション結果を示した。いずれの植物でも野外池での生育を予測することが可能であった。ウキクサでは期間収量はほぼ一致し、ホテイアオイでは栽培後期にやや実測値との差が見られた。ホテイアオイにおいては開花後の生育抑制を、栽培時間より算出する項に修正の課題が残された。次に2008年の札幌、甲府、那覇の気象データと高度、中度、低度の仮定の富栄養化

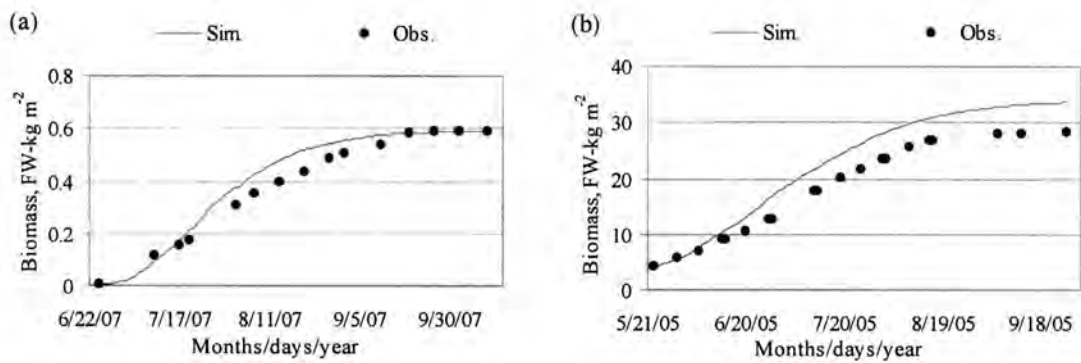


図8 ウキクサ (a) とホテイアオイ (b) の野外栽培結果とシミュレーション結果の比較

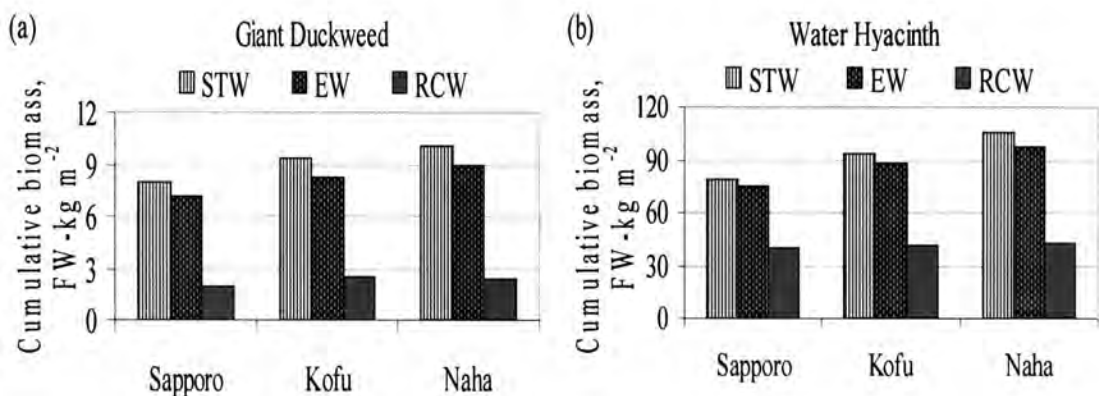


図9 異なる環境条件下でのウキクサ (a) とホテイアオイ (b) のバイオマス量のシミュレーション結果

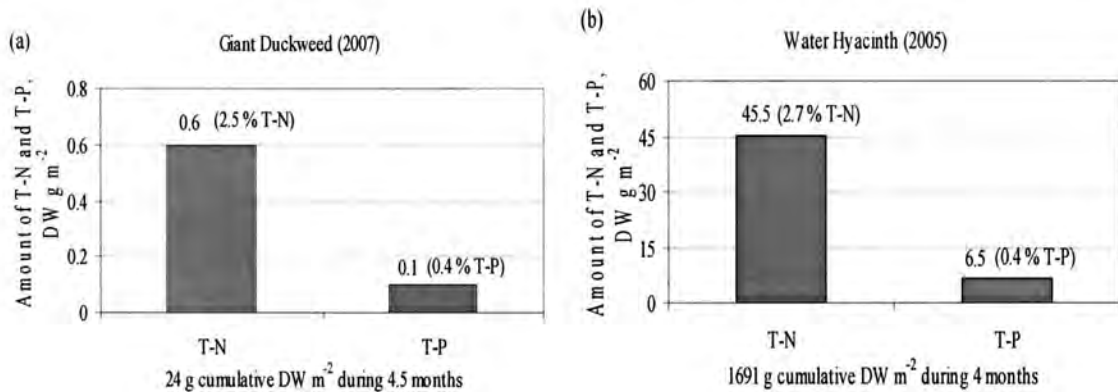


図10 ウキクサ (a) とホテイアオイ (b) での栄養塩取込量シミュレーション結果

条件で栽培シミュレーションを行った結果を図9に示した。これより、汚濁の低度と気象条件により植物の生育が大きく異なることが分かる。このようなシミュレーション手法は、植物選択と維持管理条件の選定に役立つことから植生浄化法の合理化において有効なツールといえる。続いて、図8と同じ栽培期間における両植物による栄養塩固定のシミュレーション結果を図10に示した。この栽培期間に収穫された全植物体に固定された窒素並びにリンの実測値に対するシミュレーション結果との誤差は0.5～3.8%となり、高い再現性が確認された。

3-2-2 二枚貝による水質改善法の検討

1) 二枚貝による水質改善実験

二枚貝を入れた水槽では、対照の水槽よりも濁度の低下率が高かった。これは二枚貝の捕食の濾過作用によるものと考えられる。粒径0.2 μ m, 2 μ m, 4 μ mのカオリンを用いた実験の平均から、ヨコハマシジラガイ、カワシンジュガイ、河口湖タテボシガイの順に浄化効率が高かった(表5)。これは昨年度の結果を追証しており、再現性を得ることができた。また、殻長が50mm前後のタテボシガイ、ヨコハマシジラガイ、ヌマガイ、カワシンジュガイの方が、殻長が大きいイケチ

ヨウガイやカラスガイより高い浄化効率を示した。浄化率が高かったものの中では、ヨコハマシジラガイは広く分布するため移入に適していると考えられる。

山中湖水の懸濁粒子の粒度分布は、月や深度によって総粒子数の相違はあったが、粒径 $4 \mu\text{m}$ 以下の懸濁粒子数が大多数を占めた。本研究で使用したカオリンの粒径は $4 \mu\text{m}$ 、 $2 \mu\text{m}$ 、 $0.2 \mu\text{m}$ であり、湖水の懸濁粒子の粒径を反映していることが明らかとなった。

表5 湿重量当たりの浄化効率 (%/g)

グループ/名前	合計湿重量	$4\mu\text{m}$	$2\mu\text{m}$	$0.2\mu\text{m}$	平均
①イケチョウガイ	575.3	0.17	0.14	0.08	0.13
②ヨコハマシジラガイ	104.5	0.88	0.80	0.74	0.81
③カワシンジュガイ	184.0	0.54	0.47	0.31	0.44
④ヌマガイ2	247.2	0.40	0.35	0.32	0.36
⑤ヌマガイ10	208.0	0.48	0.40	0.34	0.41
⑥山中湖カラスガイ	645.8	0.15	0.11	0.09	0.12
⑦山中湖タテボシガイ	247.7	0.40	0.39	0.32	0.37
⑧河口湖カラスガイ	422.2	0.22	0.20	0.14	0.19
⑨河口湖タテボシガイ	209.1	0.47	0.44	0.39	0.43

2) 二枚貝の遺伝子解析

16SrRNAとND1の塩基配列の解析の結果、本研究で使用した山中湖産のイシガイ科の小型二枚貝はタテボシガイであることが明らかとなった。山中湖にタテボシガイを移入したという記録はないが、形態学的にもタテボシガイと同定された。16SrRNAとND1を用いた解析が有効であることが示された (図11)。

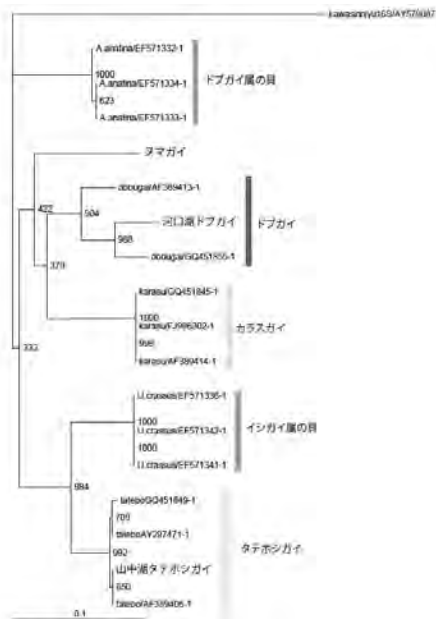


図11 16SrRNAによる二枚貝の遺伝子解析結果

3-2-3 セキショウモの栽培に及ぼすコイの影響

1) セキショウモの栽培による水質の変化

水温は期間中 20°C を超えており、セキショウモの成長は良好であった。コイの収容により水槽内が濁り、透視度は $2\sim 4\text{cm}$ と著しく低下した。収容しなかった水槽は 30cm 以上と高く透明であったが、角2水槽だけは植物プランクトンの繁殖により、最終日の透視度は 15.6cm と低下していた。G4水槽では、DO、pHは高く、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ は低く、光合成が活発に行われたと見られる。また、コイに給餌したG2、G3水槽では $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ とも高く、無給餌のG1水槽ではこれらの値は低かった。 $\text{PO}_4\text{-P}$ は両者に大きな差はなかった。

2) セキショウモの成長と生残

コイを収容した4つの水槽ではセキショウモは取り上げできず、生残率は 0% であった (表6)。これらの水槽ではセキショウモは早期に底床から脱着し浮上していたが、大型のセキショウモを植えた角2水槽の浮上率は 93.0% であったのに対し、小型のセキショウモを植えたG1、G2、G3水槽のそれは $13.3\sim 43.3\%$ と低く、この差については直接葉体を確認できなかったのが断定できないが、コイによる捕食の可能性が考えられる。すなわち、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を示唆している。また、給餌の有無の違いでは給餌したG2水槽の方がG1水槽より浮上率が 30% 高いため、無給餌の方がより多く捕食された可能性が高い。コイの大きさの違いでは、G2、G3水槽の浮上率に 13% 程度の違いがあるので、小型コイの方がより多く捕食したものと考えられる。

この他に、コイ収容区では、繁殖したヒメタニシの仔貝、外部から侵入した水生昆虫の捕食現象も見られた。

角1水槽のセキショウモの最大葉長は 60cm に達し、花茎や浮上した白い花粉が見られた。G4水槽では 33.6cm に達したが、これらは見られなかった。

3) コイの成長と生残

最終日のコイの生残率は各区とも 100% であった (表7)。無給餌の水槽ではコイの増重は見られず、日間成長率もマイナスであった。また、平均肥満度も給餌水槽のそれより劣り、魚体は痩せていた。一方、給餌した水槽ではコイの成長は日間成長率がそれぞれ 1.17% 、 0.95% と良好であったが、飼料効率は 69.4% 、 48.5% と低かった。水槽の濁りや餌による汚れがコイの摂餌活動に影響を与えた可能性がある。

3-2-4 山中湖での植栽・飼育実験

実験は平成21年6月30日から11月24日までの147日間行った。この間の現場水域の平均水質は全窒素： 0.25mg/L 、全リン： 0.019mg/L 、COD： 2.7mg/L であった ($n=3$)。

表6 セキショウモの測定

調査日	6月29日 (植え付け)				7月24日		
水槽No	G1	G2	G3	G4	角1	角2	G4
	コイ無給餌	コイ給餌	コイ給餌	対照1	対照2	コイ無給餌	対照1
測定数	30	30	30	30	30	30	26
平均値 (cm)	7.60	7.63	7.69	7.64	24.61	20.86	9.80
最大値 (cm)	13.0	15.0	15.0	14.5	44.8	32.0	16.5
最小値 (cm)	2.5	3.6	3.6	4.0	5.6	10.3	4.8
標準偏差 (cm)	2.68	2.79	2.99	3.04	9.94	5.45	3.13
総湿重量 (g)	12.6	13.1	13.8	13.1			
	8月28日 (最終取り上げ)						
測定数	0	0	0	44	77	0	
平均値 (cm)				18.6	33.6		
最大値 (cm)				33.6	60		
最小値 (cm)				8.7	10		
標準偏差 (cm)				4.96	13.13		
総湿重量 (g)	0	0.05	0.05	53.7	204.4	0.7	
葉長成長倍率				2.43	1.37	2	
ヒメタニシ数				4.1		11.4	
同重量 (g)					36	2	
水成昆虫数					18.9	11.4	
同重量 (g)					14		
					0.08		

表7 コイの収容と取り上げ

収容日	7月22日				7月26日	
水槽No	G1	G2	G3	G4	角1	角2
給餌の有無	無	有	有	無	無	無
放養尾数	2	2	17	0	0	2
総重量 (g)	269.4	284.1	275.1	0	0	276.6
平均体重 (g)	134.7	142.1	16.2			138.3
平均全長 (cm)	21.8	22.3	11.1			20.0
取上日	8月25日					
取上尾数	2	2	17	0	0	2
総重量 (g)	249.2	423.6	380.8	0	0	246.9
平均体重 (g)	124.6	211.8	22.4			123.5
平均全長 (cm)	22.3	25.5	12.1			21.4
給餌量 (g)	0	201	218	0	0	0
増重量 (g)	-20.2	139.5	105.7			-29.7
飼料効率 (%)		69.4	48.5			
成長倍率 (%)	92.5	149	138.3			89.3
日間成長率 (%/day)	-0.23	1.17	0.95			-0.33
日間給餌率 (%/day)		1.69	1.97			
平均肥満度	23.4	25.9	28.2			24.1
消化管内容物	陸上昆虫 (2/2)	配合飼料 (2/2)	配合飼料 (6/7) 空 (1/7)			デトリタス (2/2)

1) 沈水植物の成長量

どちらの植物も28日後では成長がほとんど見られなかったが、63日後には長さや重量がともに大きく成長していた (図14)。特にセキショウモは長さが65cm、重量が15gと良好な成長が認められた。この傾向は91日後まで続いたが、147日後には衰退が確認された。特にク

ロモは実験終了時の現存量が少なかった。

これは図16に示したように、現場水域の水温が低下したことや、二枚貝飼育用のかごに懸濁質が堆積し、光量が少なくなったことによるものと考えられた。

これらの結果から、現場水域ではセキショウモは植栽実験に用いることができる可能性が高いと考えられた。



図12 打ち上げられたセキショウモ



図13 コイの消化管内容物

2) 二枚貝の生存率と成長量

二枚貝の生存率を図15に示した。シジミは91日後には約半数となったが、その後は生存率が維持された。タテボシガイは実験終了時までほとんどが生存しており、この水域で飼育に用いることができる可能性が高いと考えられた。ただし平均重量が微増したが、各個体のサイズに有意な差は認められなかった。

3-3 集水域調査

3-3-1 平野ワンド部の概況調査による特性把握

今年度は平成20年度に引き続き、山中湖岸全周のオオブタクサ稔実個体の分布状況を調査し、オオブタクサがほぼ湖岸全体に広がりつつある事を明らかにし、さらに、その現存量には濃淡がある事をあきらかにした。また、稔実個体が湖水によって運搬されていることが観察された(図17)。このことは、前年までにオオブタクサが見られなかった領域に一塊のオオブタクサ群落が成立するプロセスが存在する事を示唆している。

ワンド区域については幹線道路との近接性から、表流水の直接流入がある限り、外来種の種子の侵入頻度は高くならざるを得ないと考えられ、湖岸、湖水における制御を考える場合は、侵入、定着した個体からの二次的な種子供給を断つ方策を講じる必要があり、その探索のための継続調査と対策の考案を次年度の課題としていきたい。

3-3-2 流入河川による負荷量調査

1) 流量調査結果

非降水時に流入が認められたのは、R.5(一砂川)とR.6の側溝の2河川のみであった(図18)。R.5は5~7月と9~10月の降水が多い期間に流入が認められたため、河川水は降水により供給されている可能性が高かった。毎回流入があったのはR.6のみであることから、常時表流水が供給されているのはR.6の側溝のみであると考えられた。

R.6の平均流量は21.1 (m³/h)で、降水による増加分を除けば、年間約18.5×10⁴ (m³)が流入していると推定された。この水量は山中湖の湖容積を64.8×10³ (km³)とすると、湖水の0.3%程度であった。

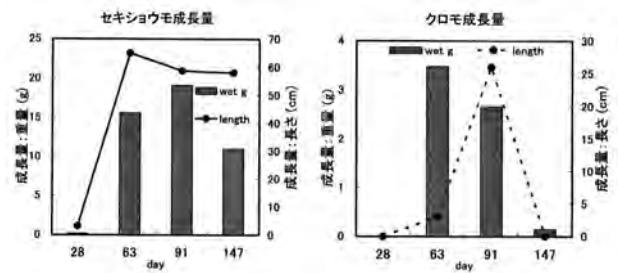


図14 沈水植物の成長量

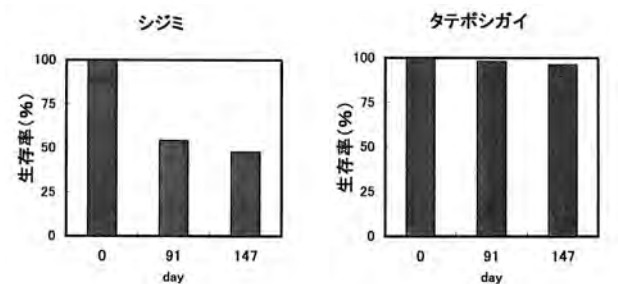


図15 二枚貝の生存率

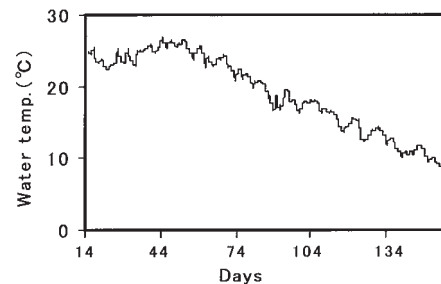


図16 実験水域の水温変化



図17 漂着したオオブタクサ

2) 窒素・りん負荷量調査結果

R.5とR.6から非降水時に流入する窒素、りんの負荷量を図19, 20に示した。両河川とも窒素、りんとともに溶

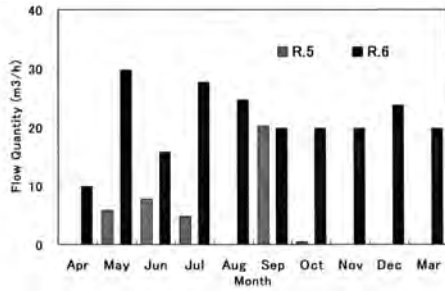


図18 R.5, R.6河川の流量 (2008.4~2009.3)

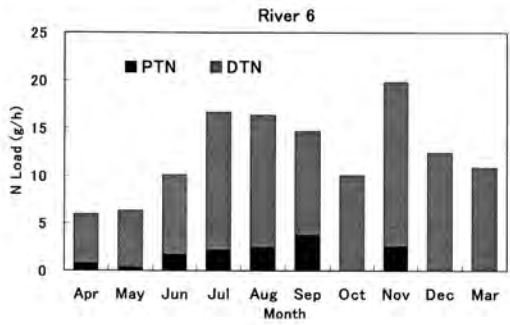
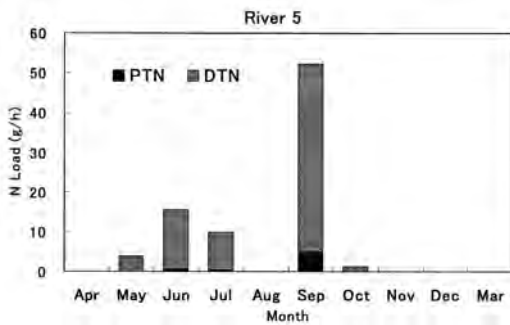


図19 R.5, R.6河川の窒素流入負荷量

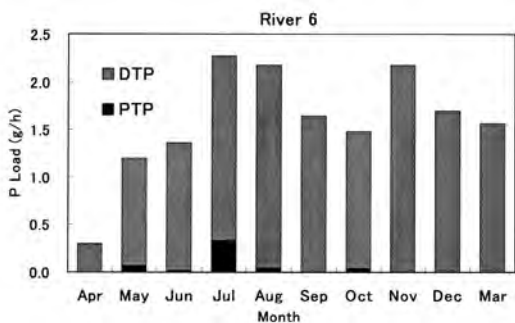
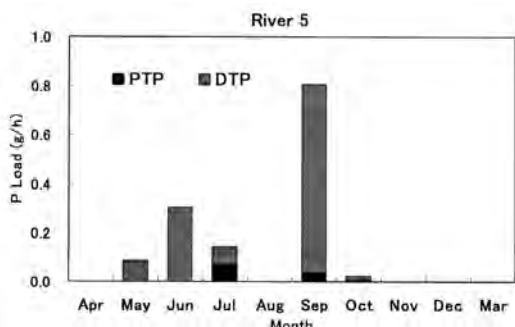


図20 R.5, R.6河川のりん流入負荷量

表8 R.6河川の流入負荷量

栄養塩	負荷量	
DTN	11.0 (g/h)	96.3 (kg/y)
PTN	1.4 (g/h)	12.1 (kg/y)
DTP	1.5 (g/h)	13.4 (kg/y)
PTP	0.05 (g/h)	0.44 (kg/h)

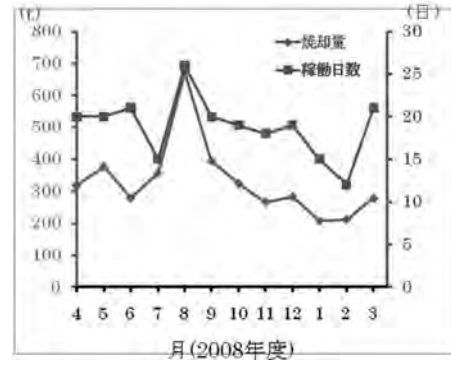


図21 山中湖クリーンセンター年間稼働状況

存態がほとんどで、懸濁態の割合は少なかった。表8には常時負荷があると考えられたR.6の負荷量平均値 (n = 10, DTN : 11.0 (g/h), PTN : 1.4 (g/h), DTP : 1.5 (g/h), PTP : 0.05 (g/h)) から算出した年間の負荷量を示した。平成19年度のTN平均濃度0.1 (mg/L) 及びTP平均濃度12 (μg/L) と湖容積から算出した、山中湖の窒素及びりん存在量に対するR.6の負荷寄与率はそれぞれ1.6%, 1.7%と、極めて小さかった。

3) COD負荷量の推定

CODは12月にR.6で1回測定できたのみであった。その測定値はCOD : 1.6 (mg/L) で、DCOD : 1.6 (mg/L) と全て溶存態であった。12月のTN・TPの測定値 (TN : 12.3 (g/h), TP : 1.6 (g/h)) は、年間平均値 (TN : 12.4 (g/h), TP : 1.7 (g/h)) とほぼ等しいため、COD値も年間平均値に近似していると仮定した。この値を用いてCOD年間負荷量330 (kg/y) を算出した。前項と同様に平成19年度のCOD平均濃度2.6 (mg/L) から算出した、山中湖のCOD存在量に対するR.6の負荷寄与率は0.2%と、窒素・りんと同様に小さかった。

以上から、山中湖では非降水時の河川による栄養塩などの流入負荷量寄与率は低いものと考えられた。本湖の集水域はほとんどが山林であるため、降水時には流入負荷量が急激に増加すると考えられ、今後は降水時調査を実施する必要がある。また湖水の大部分を涵養していると推定されている地下水からの負荷についても、精査する必要がある。

3-4 バイオマスの有効利用方法の検討

山中湖村クリーンセンターは、山中湖村の廃棄物処理を行っている施設で、可燃物を焼却していることから、

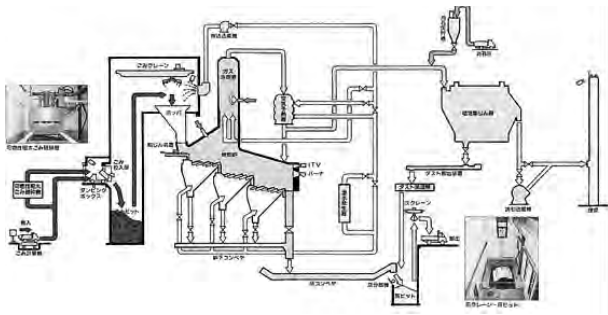


図22 焼却フローチャート
(矢印部の煙突基部の空間が利用可能)



図23 煙突室 (煙突基部空間)

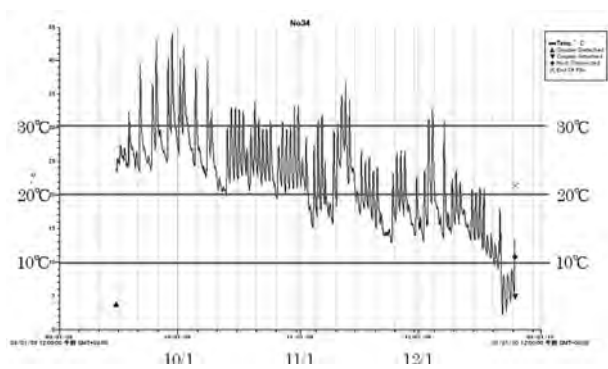


図24 煙突室温度 (2009.9.15~12.17)

バイオマス乾燥のための熱源として利用できるかどうかを検討した。この施設は2台の焼却炉によって、年平均4千tの可燃物を焼却している。焼却量および稼働日数は月ごとに変動するが、ほぼ年間を通して熱量を得ることができると考えられる (図21)。

実際に乾燥空間として利用しうるのは煙突の基部にある煙突室 (図22, 23) であるが、あるいはバイオマス量などによっては、この空間の暖まった空気をダクトで適当な場所に誘引することになるかもしれない。そこで、この部分の室温を測定した (図24)。期間は、水草バイオマス等の現存量が最大値を示す9月から12月までである。10月初頭まで40°Cを超える日が多く見られ

たが、気温が低下するとともに焼却量が減少する10月からは温度は低下傾向を示した。しかし、12月半ばまでは日最高温度が20°Cを超えており、熱源として十分に利用できるレベルであることが示された。今後は水草等バイオマス乾燥させるための試験を行い、適切な量と時間を調べることによってバイオマスの高度処理に向けた資材作りを進める予定である。また、同時に乾燥バイオマスの直接的な有効利用法としての家畜飼料化も図りたいと考えている。

4. 考察

4-1 山中湖の水草・大型藻類と湖内光量の周年変化

1) 本年度の調査では、1994年以降確認されていなかったカタシヤジクモ、1986年以降確認されていなかったヒルムシロ、これまで未確認であったコウキクサ、ヘラオモダカ、アミミドロを確認することができた。また、本湖で調査を開始した2007年8月から2009年12月までに確認された水草・大型藻類は、沈水植物が12種 (うち1種は交雑種)、浮遊植物が1種 (コウキクサ)、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)、大型藻類が11種の計27種となった。

2) 山中湖の沈水植物・大型藻における分布限界水深は約5mであることが昨年度の調査で明らかにされており、これまでの光量の測定結果から本湖における沈水植物・大型藻の相対補償光量は5%程度であると推定することができた。今後、平野ワンド内の浄化を行うことにより、水中光量が上昇し、分布限界水深が深くなることが予想される。

3) 本年度は昨年度に比べ水草・大型藻類の現存量や種数が増加していたが、その原因としては湖面の水位が本年度は約30cm昨年度より低かったことが影響したものと推察される。30cmの水位低下は、本研究の光量調査により得られた水深にしたがった相対光量の減衰曲線からの計算上、湖内の各水深で約20%の光量増大を引き起こすと推定できる。また、琵琶湖などでも湖面の水位低下による水草類の現存量増大が報告されており、湖面の水位をコントロールして水草類の現存量を増大させ、それを有効利用することができれば、本湖における湖水浄化の一方策として検討に値するかもしれない。

4-2 植生モデルの構築

本モデルでは、単位バイオマス中の栄養塩含有量を栽培水中の栄養塩濃度より予測しており、本手法の有効性が示された。今後、抽水並びに沈水植物においても同様の有効性評価を検討予定である。

4-3 平野ワンドの水生物

昨年度の調査と比較すると、本年度は湖の水位が大きく下がっていたため湖岸にヨシの根周り部分がない状況下でのサンプリングであったが、全体的にはエビ類では採取総個体数は111個体から45個体と減少し、魚類では採取総種数は9種から7種に減少したものの、採取総個体数はトラップ採取法では108個体から850個体に増加し、タモ網採取法では228個体から69個体に減少した。ヤゴ類では採取総個体数、総種数ともそれぞれ5種から9種、50個体から70個体に増加した。調査区1のトラップ採取法においては、昨年度まったく魚類の採取はなかったが、本年度は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のためか、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。

4-5 二枚貝による水質改善法の検討

今回の実験では、二枚貝の浄化効果を確認することができたが、山中湖は特に冬期に水温が低下することから、温度条件を変えて濁度変化の測定による浄化効率を検討する予定である。また、実際に餌として利用されると予想される、クロレラなどの藻類を用いて、追試を行う必要がある。さらに、実際に二枚貝類を導入する前に、大型水槽等を用い、規模を拡大して浄化効率の検討を行う必要があると思われる。DNAの解析についても、他の種類でも解析を進め、データを蓄積することが必要である。

5. 結 言

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。平成21年度は、対象水域の特性をより明らかにするための生態系調査を継続して行なうとともに、現地での植栽、飼育実験等、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た。また、水草・大型藻類の1投あたりの現存量は1.5mg（3月）～292.8mg（11月）で、出現種数は3種（3月）～20種（9月）で、いずれも3月から9月にかけて徐々に増加し、その後減少した。

植物の成長に関係が深い、水中の光量測定の結果、平野ワンド内ではいずれの定点でも水深の増加に従って相対光量は大きく減少した。また、同一水深における相対光量は平野ワンド内では奥部ほど低く、湖心はワンド内より高い傾向が認められた。

一方で、水耕栽培での、光量や水質条件と水生植物の

生育量並びに栄養塩吸収固定量の予測モデルの構築を継続して行い、汚濁の低度と気象条件により植物の生育が大きく異なることがシミュレートされた。今後はこのモデルに現地での光量などの測定値を組み入れ、山中湖でのバイオマス発生量を予測可能なものとしていく予定である。

トラップ採取法による水棲動物調査では、魚類のみ、2科4種850個体を採取した。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88.6%を占め、モツゴ、オイカワ、ヌマチチブはそれぞれ8.2%、2.9%、0.2%を占めた。

水質浄化が期待される二枚貝による水質改善実験では、対照の水槽よりも濁度の低下率が高かった。特に殻長が50mm前後のタテボシガイ、ヨコハマシジラガイ、ヌマガイ、カワシシユガイの方が、殻長が大きなイケチョウガイやカラスガイより高い浄化効率を示した。

また貝の遺伝子解析では、16SrRNAとND1の塩基配列の解析の結果、本研究で使用した山中湖産のイシガイ科の小型二枚貝はタテボシガイであることが明らかとなった。

実際にセキショウモを植栽した場合に、想定されるコイの影響を水槽で実験したところ、コイを収容した4つの水槽ではセキショウモは取り上げできず、生残率は0%であった。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。このことから、特に植栽直後の小型のセキショウモに対する食害を防ぐ措置が必要となる可能性がある。

こうしたことをふまえて、ネットで植栽株を保護しながら現場水域での植栽実験を行ったが、セキショウモの生育には問題なく、水質浄化用の植物として用いることができる可能性が高いと考えられた。一方、二枚貝のシジミは91日後には約半数となったが、タテボシガイは実験終了時までほとんどが生存しており、この水域で飼育に用いることができる可能性が高いと考えられた。

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、保田エンジニアリングの皆様に感謝の意を表します。

原著論文

- 1) 芹澤（松山）和世，吉澤一家，高橋一孝，中野隆志，安田泰輔，芹澤如比古．山中湖における水草・大型藻類－2007年－．水草研究会誌92：1-9．2009年12月．
- 2) 高橋一孝（2010）：セキショウモ培養試験－I，～培養土の比較～．平成20年度山梨県水産技術セン

- ター事業報告書, 37, 59-64.
- 3) 高橋一孝 (2010) : セキショウモ培養試験ーⅡ, ～培養方法の検討～. 平成20年度山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 65-68.
 - 4) 高橋一孝 (2010) : 山中湖で採取した水草の培養について. 平成20年度山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 52-55.
 - 5) 高橋一孝 (2010) : 湖泥からの水草の発芽について. 平成20年度山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 45-48.
 - 6) 高橋一孝 (2010) : 山中湖のセキショウモの成長調査. 平成20年度山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 56-58.
 - 7) 高橋一孝・加地弘一 (2010) : 山中湖平野ワンドにおける魚類調査ーⅡ. 平成20年度山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 22-27.
 - 8) 高橋一孝 (2010) : (2010) : コオニビシ種子の発芽について. 平成20年度山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 49-51.

学会発表

- 1) 芹澤 (松山) 和世, 安田泰輔, 中野隆志, 芹澤如比古. 富士北麓, 山中湖における水中の光環境と水草類・フジマリモの分布下限水深. 日本藻類学会第34回大会, 茨城, 2010年3月.
- 2) 芹澤如比古, 芹澤 (松山) 和世. 富士北麓, 山中湖における光量の季節変化. 日本陸水学会甲信越支部会第35回研究発表会, 山梨, 2009年11月.
- 3) 深代牧子, 渡邊友美, 芹澤如比古, 芹澤 (松山) 和世. 富士北麓, 山中湖に生育する水生植物の種組成と現存量ー2009ー. 日本陸水学会甲信越支部会第35回研究発表会, 山梨, 2009年11月.
- 4) 佐藤裕一, 深代牧子, 芹澤如比古, 芹澤 (松山) 和世. 公共用水域水質測定データの解析による山中湖の湖水環境の長期的変動. 日本陸水学会甲信越支部会第35回研究発表会, 山梨, 2009年11月.
- 5) 芹澤 (松山) 和世, 深代牧子, 渡邊友美, 土屋佳菜, 夏目雄貴, 松野安純, 芹澤如比古. 富士北麓, 山中湖に生育する水草類の季節変化. 水草研究会第31回全国集会, 山形, 2009年8月.
- 6) 吉澤一家 : 山中湖流入河川の, 日本陸水学会甲信越支部会第36回研究発表会, 山梨, 2009
- 7) 吉澤一家, 大石衛 : 焼成湖泥を用いた植栽実験～山中湖での栽培事例～, 第44回日本水環境学会年会, 福岡, 2010

自然環境のもたらす保健休養上の効用に関する研究

Health Promoting Effects of Natural Resources

自然環境の発する音（超高周波数音）が人に与える影響

環境科学研究所¹・工業技術センター²

石田光男¹・齋藤順子¹・永井正則¹・岩間貴司²・山田博之¹

Psychophysiological Studies on the Effects of Ultrasonic Sounds in Natural Environments

Institute of Environmental Sciences¹, Industrial Technology Center²

Mitsuo ISHIDA¹, Junko SAITOH¹, Masanori NAGAI¹, Takashi IWAMA², and Hiroyuki YAMADA²

要 約

20kHz以上の超高周波数音は、人には認識されないが聴覚中枢を活性化することが近年示された。本研究では、どのような自然環境中で超高周波数音が発生するかを検索し、さらに超高周波数音が人の生理機能に与える影響を明らかにすることを目的とした。さらに、超高周波数音の木質材透過性についても分析を行った。その結果、超高周波数音は、主に森林中や流水から発生することを明らかにした。人への生理作用としては、超高周波数音が後頭葉及び側頭葉において脳波の α 帯の周波数パワーを増加させることがわかった。超高周波数音の木質透過性は、ガラス材より優れていたが、和紙や布よりも劣っていた。しかし、木質材中に50mm以上の間隙があれば、阻害されることなく透過することがわかった。これらの結果から、保健休養の目的で森林や流水を利用する人に、超高周波数音が好ましい影響を与えることが明らかとなった。

Abstract

Ultrasonic sounds with frequencies higher than 20,000 Hz are not actually recognized by humans. However, activation of the auditory cortex by ultrasonic sounds has been recently shown in humans. The present study aimed to identify the source of ultrasonic sounds in natural environment and the effect of ultrasonic sounds on physiological functions of humans. Furthermore, investigation on permeation properties of ultrasonic sounds through wooden materials was carried out. In natural environment, ultrasonic sounds have been shown to generated intensively from the forests, streams and waterfalls. Exposure of humans to ultrasonic sounds increased the alpha-band power of EEG in occipital and temporal cortices. Wooden materials declined the energy of ultrasonic sounds greater than paper and cloth materials but less than glass materials. A slit of 5 mm and more in wooden materials did not disturb the permeation of ultrasonic sounds. Results showed that ultrasonic sounds are one of the components those bring about health promoting effects of natural resources.

1. 緒 言

森林は「森林浴により心身のリフレッシュをする」目的で利用されてきており¹⁾、その健康維持効果が期待されている。県土の78%を森林で占める本県は、このように健康維持機能を目的とした森林利用に適した環境である。環境科学研究所では樹木の香りや森林での散策や座観が生理的鎮静状態や免疫活性を促すことを報告してきた²⁾。今回は、森林環境における音響特性および聴覚的要因が人に及ぼす影響に着目した。

自然環境から発生する音には、超高周波音（20kHz以上）が含まれている。超高周波数音は人に意識（知覚）されることはないが、骨伝導によって人に与えると、脳

の聴覚処理活動に好ましい影響を与えることが報告されている³⁾。

森林環境には、葉擦れ、流水、小動物など、通常の居住環境には見られない音源が存在する。これらの音源には20kHz超高周波数音が含まれ、このような音響特性がリラクゼーション効果をもたらしている可能性がある。そこで、森林の音響特性を把握し、音響要因によってもたらされる健康維持機能について検討した。さらに、森林中や流水の近傍の家屋に居住する場合を想定し、超高周波数音の木質材透過性についても実験を行った。これらの研究成果は、保健・休養を目的とした森林の新たな利用価値を発掘し、「森林文化県やまなし」の実現に貢献することが期待される。

2. 実験方法

2-1 調査地と測定状況

調査地には、森林環境と非森林環境をそれぞれ複数箇所の選定をした(表1)。森林環境については、音源になりやすい降雨、水流、葉擦れの有無によって測定状況を選んだ。一方、非森林環境については、室内と野外それぞれ2カ所ずつを選定した。これらの調査地の測定状況については、騒音レベルと共に表1に記載した。

2-2 音響データの記録

20kHz以上の高周波数音を測定するため、広帯域(10~100kHz)の計測用コンデンサーマイクロホン(M-1531;小野測器製)とプリアンプ(MI-3140;小野測器製)を用いた。得られた音響信号は増幅器(AU-2200;小野測器製)を介して増幅された。このとき増幅器の感度を90dBに設定した。増幅された音響信号は、オンラインにてデジタル変換し、データレコーダー(HD-P2;TEAC製)に記録された。なおデジタル変換は、分解能16bit、サンプリング周波数192kHz、記録形式はWindows標準音声ファイルのWAVE形式とした。マイクロホンの設置は、三脚を用いて地上から1.5mの高さに固定した。デジタル騒音計(SM-325;アズワン製)を用いて、可聴域レベルの騒音レベルを測定した。また風切り音の影響を避けるため、風速1.0m以下の条件で録音した。

2-3 音響データの周波数解析

収録した音響データの周波数特性を分析するため、音響信号に高速フーリエ変換(FFT)を施した。FFTはデータ長を16384点、周波数分解能を11.7Hzとして96kHzまでの振幅スペクトルを求めた。

2-4 音響聴取中の脳波の記録と解析

工業技術センター内の音響実験室で、被験者に超高周波成分を含む自然音と、自然音から20kHzの超高周波成分をフィルターにより除去した音をそれぞれ2分間聴かせ、頭皮上から誘導した脳波に及ぼす影響を解析した(写真1)。記録した脳波は、高速フーリエ解析により α 1帯(8-10Hz)、 α 2帯(10-13Hz)、 β 帯(13-30Hz)に分けて、それぞれのパワー値を評価した。脳波は8カ所から誘導し、スプライン補完を行った後、各周波数帯の頭皮上での2次元マッピングを行った。

2-5 超高周波数音の透過特性の解析

工業技術センター内の音響実験室で、内径82mm、全長536mmの金属管の一端から超高周波成分を含む自然音を伝導させ、453mmの位置にスクリーン(網)、布、和紙、木板、ガラスを遮蔽物として置き、その後の音の減衰量を精密騒音計を用いて測定した。また、木板については、10-200mmの間隙を設け、間隙の大きさと透過



写真1 脳波の記録風景

表1 調査地と測定状況の一覧

調査地		測定状況	騒音レベル (dB)	高周波成分
森 林	環境科学研究所	晴天 小鳥のさえずりを含む	65	
		降雨 小雨程度	64	+
	高遠青少年自然の家 (長野県伊那市)	青葉の葉擦れ(微風)	60	
		枯葉の葉擦れ(歩行)	65	+
		静観	65	
森 林 +水流	鹿留川(都留市)	川辺から3m付近	70	+
	本谷川(増富町)	川辺から3m付近	71	+
	昇仙峡 仙娥滝	滝から40m付近	69	
	板敷溪谷 大滝	滝から10m付近	72	+
非森林	環境科学研究所(室内)	道路	57	
		ホール	60	
	富士パインズパーク	芝生 静観	68	
	富士吉田合同庁舎	駐車場 自動車走行	70	

特性についても分析した。

3. 結果

3-1 自然環境中での超高周波数音の発生

収録した音響中に超高周波数成分が含まれていた地点を、表1中に+マークで示した。超高周波数音は、降雨時の森林や枯葉が風で擦れる時、枯葉の上を人が歩行する際に検出された(図1)。また、流水の近くでは強い強度で検出された(図2)。一方、森林外の芝生上や駐車場、コンクリート造りの建造物内で収録した音には、20kHz以上の超高周波数音はほとんど含まれていなかった(図3)。

3-2 超高周波数音が脳波に及ぼす影響

超高周波成分を含む自然音と自然音から20kHz以上の成分を除去した音を被験者に聴かせた場合に、頭皮上の脳波成分のパワー値に現れる差を、2次元マッピングした。その結果、超高周波数成分を含む自然音を聴取した

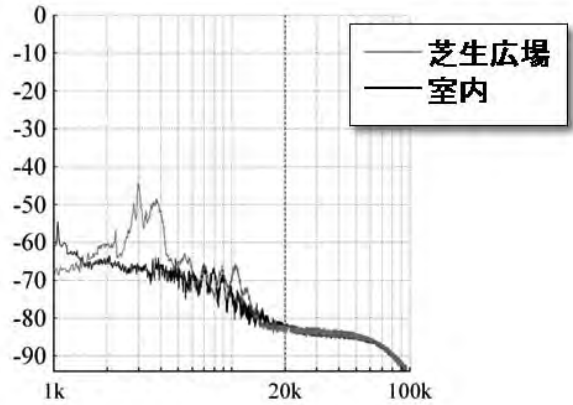


図3 非森林環境

場合の方が、 $\alpha 1$ 帯の周波数パワーがより大きいことがわかった。 $\alpha 1$ 帯の周波数パワーが大きくなる領域は、後頭葉と側頭葉であった(図4の色の濃い部分)。 $\alpha 2$ 帯のパワーには差は見られなかった。 β 帯のパワーは、超高周波数成分を含む音により前頭葉から頭頂葉にかけて減少していた。

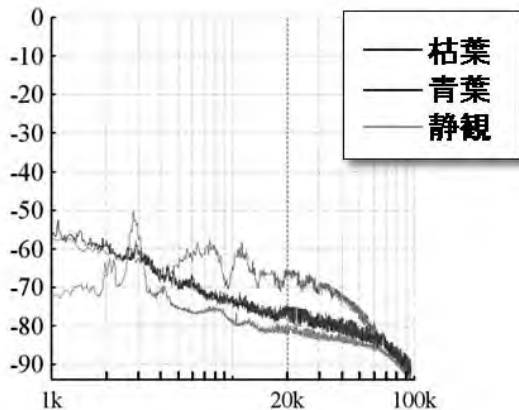


図1 葉擦れ音

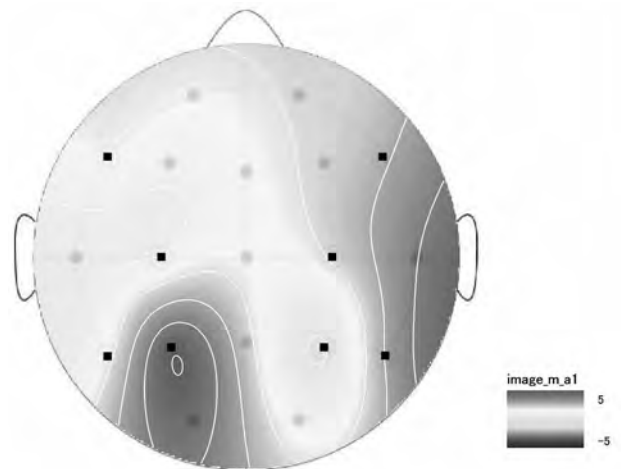


図4 超高周波数音によるアルファ1成分(8-10Hz)増加作用

頭部を上から見たところ、色の濃い部位がアルファ1成分のパワーが増加したことを示す。

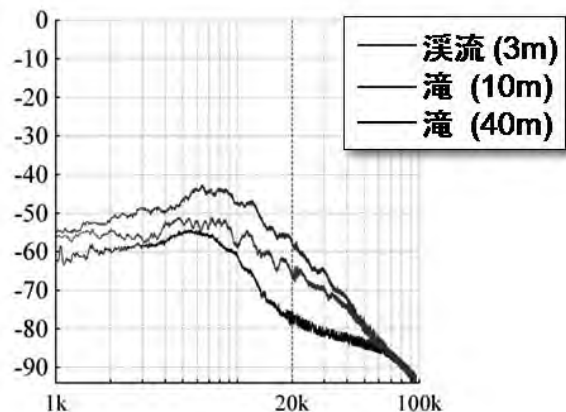


図2 水流

3-3 超高周波数音の透過特性

超高周波数音の透過量は、スクリーン(網状) > 布 > 和紙 > 木板 > ガラスの順で小さかった(図5)。木板で遮断された場合、超高周波数音は25-35dBの損失であった。木板に間隙を設けた場合、20mmの間隙では、間隙無しの場合と比べ超高周波数音の透過強度に10-20dBの利得が見られた(図6)。間隙が50mm以上では、遮断なしと同様の透過強度であった。

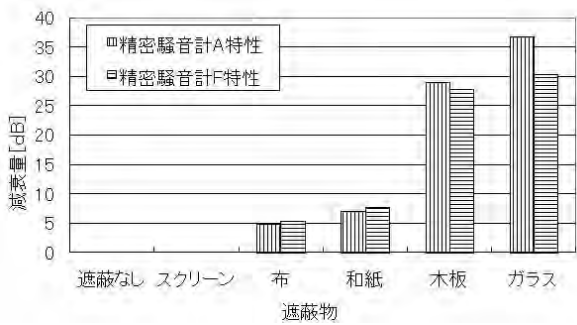


図5 超高周波数音の透過特性

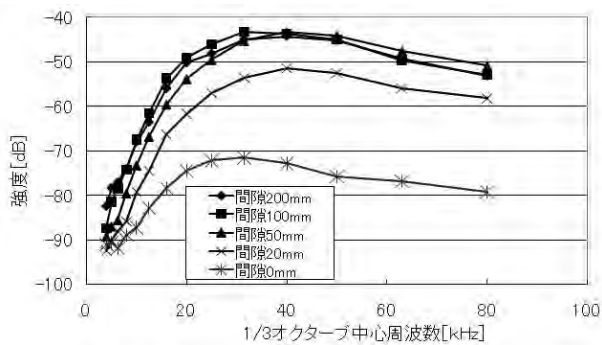


図6 超高周波数音の木質透過特性に及ぼす間隙の効果

4. 考察

森林中や流水から発生する自然音には、20kHz以上の超高周波数音が含まれることがわかった。これらの自然音と自然音から超高周波数成分を除去した音を被験者に聴かせ脳波の変化を比較した実験の結果、超高周波成分を含む自然音は、脳波の $\alpha 1$ 帯成分(8-10Hz)のパワー値を増大させることがわかった。 $\alpha 1$ 帯成分の増大は、後頭葉と側頭葉で顕著であった。脳波の α 成分は、人がリラックスした時によく出現するとされている。従って、超高周波成分を含む自然音にはリラックス効果があると考えられる。

近年、木造家屋への嗜好が高まっている。コンクリート造りの建物の中では、超高周波数音は採取できなかったことから、超高周波数音はコンクリートを透過しないことがわかった。一方、超高周波数音の木質透過性は、ガラス材より優れていることが今回の実験によって明らかとなった。さらに、木質材に50mmの間隙があれば、超高周波数音の伝導がほとんど阻害されず、20mmの間隙でも間隙なしと比べ10倍程度のエネルギー強度で超高周波数音が伝わるということがわかった。これらのことは、森林中や流水の近傍の木造家屋中にいる人にも、窓を開けたり網戸を使っていれば、超高周波数音が届くことを示している。

5. 結言

森林中や流水から発生する音には、20kHz以上の超高周波数音が含まれることがわかった。超高周波数音は、人には認知されないが、脳波の α 成分を増大させることがわかった。このことから、森林や流水の近傍で休んだり散歩したりすることで、リラックス効果が得られることを示している。森林中や流水の近傍の木造家屋内にも、超高周波数音が伝導することもわかった。従来、樹木の香りや散歩による軽い運動が、ストレス軽減作用を持つことが報告されていたが、今回の実験により自然環境から発生する音にもストレス軽減効果が期待できることが示された。保健休養を目的とした自然資源の新たな活用法につながることを期待できる。

参考文献

- 1) 内閣府 森林と生活に関する世論調査 世論調査報告書 (2003)
- 2) 永井正則 石田光男 齋藤順子：森林が人に与える快適性に関する研究 山梨県環境科学研究所報告書 第22号 (2008)
- 3) Nakagawa S, et al Development of a bone-conducted ultrasonic hearing aid for the profoundly sensorineural deaf. Trans Jpn Soc Med Biol Eng, 44, 184-189, 2006.

準高地の酸素条件が人に与える効果

山梨大学教育人間科学部¹・山梨県環境科学研究所²

小山勝弘¹・永井正則²

Effects of Oxygen Conditions at Moderate Altitudes

University of Yamanashi¹, Institute of Environmental Sciences²,

Katsuhiko KOYAMA¹, Masanori NAGAI²

要 約

海拔2,000m以下の高原地帯（準高地）の酸素条件が、人の体内で起こる活性酸素による傷害を軽減するかどうかを確かめる目的で実験を行なった。海拔2,000mの酸素環境に60分間滞在した翌日、海拔4,000mに相当する低酸素環境に30分間滞在した実験群が平地に戻った後の酸化ストレスの程度を、前日に海拔400mの酸素環境に滞在した対照群と比較した。活性酸素によって遺伝子が受ける傷害の指標となる8-OHdG（8-ヒドロキシデオキシグアノシン）の尿中への排泄は、対照群で32%増加したのに対し、実験群では18%減少していた。血液中の間接ビリルビン濃度は、対照群で6%減少したのに対し、実験群では29%の増加であった。この結果から、実験群ではビリルビンの抗酸化作用がより強く発現し、酸化ストレスの負荷によって遺伝子が受ける傷害が軽くなったと考えられる。準高地の酸素条件が、人の抗酸化能を高める可能性が示唆された。

Abstract

The aim of the experiment is to examine whether oxygen concentration at moderate altitudes (~2000m) ameliorates the harmful effects of reactive oxygen species (ROS) in humans. In experimental group, participants were preconditioned by staying at 16.4% oxygen, equivalent of the oxygen concentration at 2000 m high, for 60 min, and exposed to low oxygen, 12.7% equivalent at 4000 m high, for 30 min on the next day of precondition. In control group, participants remained at 20% oxygen before the exposure to low oxygen. The influence of oxidative stress after the exposure to low oxygen was compared between the groups. Urine excretion of 8-OHdG, an index of oxidative damage of the gene, increased in control group by 32% and decreased by 18% in experimental group. Blood bilirubin concentration decreased by 6% in control group and increased by 29% in experimental group. These results show that preconditioning by 16.4% oxygen enhances the anti-oxidative function of bilirubin. A possibility has been raised that oxygen concentration at moderate altitudes ameliorates the harmful effects of ROS.

1. 緒 言

現在まで、準高地（海拔2,000m以下）の環境条件がもたらす人体への影響に関しては、十分な基礎的検討が行われていない。高地での運動負荷を絡めた先行研究や、長期滞在（居住）の影響を検討した報告が散見されるが、高地を活用した保養等を想定した安静状態での影響評価はほとんどなされていない。

高地環境の特性の一つに「低酸素」が挙げられる。極度の低酸素曝露は生体に多くの負の作用をもたらすと考えられているが、適度な低酸素刺激は、細胞内の各種シグナル伝達や酵素活性の賦活、遺伝子発現の亢進など生体機能を活性化するトリガーとなる可能性がある。特

に近年、適度な低酸素曝露を先行させることで、後に生じる虚血-再灌流傷害が減弱され、いわゆるホルミーシス効果が得られるという仮説が注目を浴びている。この予め適度な低酸素刺激を与えておくことの有益性は、プレコンディショニングという概念で説明される場合も多い。いずれにしても、低酸素プレコンディショニングが虚血-再灌流傷害に対する保護効果を発揮することを示唆する先行研究が多数あり、その機序の一つとして抗酸化機能の向上が推定されている。すでに我々は、低酸素刺激がヘムオキシゲナーゼ-1 (HO-1) の活性化を介してビリルビン合成を促進し、ビリルビンの活性酸素種 (ROS: reactive oxygen species) 消去作用を高めることで抗酸化機能を向上させるという仮説を、ビリルビンと

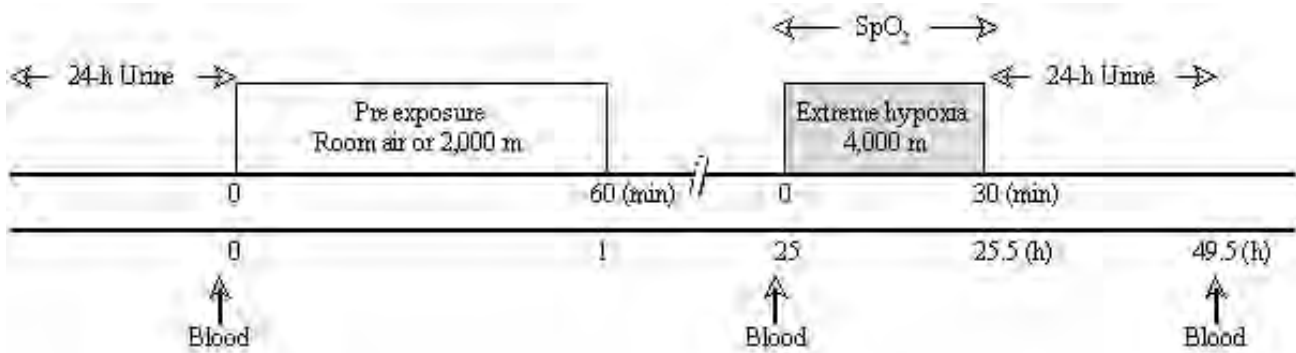


図1 実験デザイン

ROSの反応産物、バイオピリンの尿中排泄増大から指摘してきた。低酸素曝露によってHO-1-ビリルビン経路が刺激されると、各種酸化ストレスマーカーレベルが低減することが実際に観察されている。適度な低酸素曝露によるプレコンディショニングが生体保護効果を有することが確認されれば、準高地にエレベーションリゾートを多く擁する山梨県の自然環境活用がさらに推進されるものと考えられる。

そこで、低酸素プレコンディショニングの可能性を実験室レベルで検討することを目指した。そのため、準高地をシミュレートした低酸素環境に短時間曝露を行った24時間後、虚血-再灌流現象を惹起させ、DNA酸化バイオマーカーである8-OHdG (8-ヒドロキシデオキシグアノシン) レベルを評価することを目的とした。ヒトに対し虚血-再灌流現象を引き起こす実験的介入としては、海拔4,000 m相当の低酸素環境への急性曝露を採用した(プレコンディショニングと同一刺激)。

2. 実験方法

被験者は健康な成人男性(非喫煙者)14名(19~25歳)とし、事前に実験の趣旨、具体的な内容、中途離脱の自由などについて書面および口頭にて伝え、十分に理解してくれた者とした。被験者を無作為にControl群(n=7, 中途での実験中止により解析対象者はn=6)と、予め1時間の低酸素曝露を行うPreconditioning群(n=7)に分けた。両群に対し、低酸素装置によって生成された低酸素ガスを、マスクを介して直接吸入する曝露方法を採用した。実験前日、Control群には実験室(海拔400m)に相当する酸素濃度(20.0%)、Preconditioning群には準高地(海拔2,000m)に相当する酸素濃度(16.4%)に60分間、安静曝露させた。その24時間後、虚血-再灌流現象を意図的に惹起するための急性低酸素曝露(海拔4,000mに相当する酸素濃度12.7%×30分間)を、両群に対して同様の方法で実施した。

曝露中は安全のために常に生体情報をモニターで監

視し、異変が生じた場合には実験を中止する準備をした。血液サンプルは実験前日安静時、急性低酸素曝露の直前、および曝露終了24時間後に肘正中静脈から採取した。尿サンプルは実験前日の24時間尿、および急性低酸素曝露後24時間尿を回収した。血液はエリスロポエチン、間接ビリルビンの測定に充て、尿サンプルはDNA酸化マーカー(8-OHdG)の測定に用いた(図1)。なお、実験終了時には急性高山病スコア(レイク・ルイズスコア)を用い、急性低酸素曝露の相対的負担度に関して評価を行った。

3. 結果

3-1 動脈血酸素飽和度

海拔4,000mに相当する酸素濃度条件(12.7%)に30分間滞在した時の、動脈血酸素飽和度を図2に示す。前日に海拔2,000mに相当する酸素濃度条件(16.2%)に滞在した実験群(Preconditioning)と海拔400m条件(酸素濃度20.0%)に滞在した対照群(Control)との間に差は見られなかった。

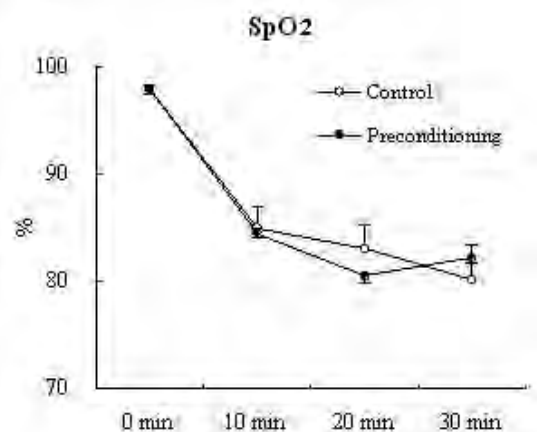


図2 動脈血酸素飽和度

3-2 エリスロポエチン濃度

海拔4,000mに相当する酸素濃度条件 (12.7%) に30分間滞在した後、24時間経過した時点の血液中の造血因子エリスロポエチンの濃度変化を図3に示す。前日に海拔2,000mに相当する酸素濃度条件 (16.2%) に滞在した実験群 (Preconditioning) と海拔400m条件 (酸素濃度20.0%) に滞在した対照群 (Control) との間に差は見られなかった。

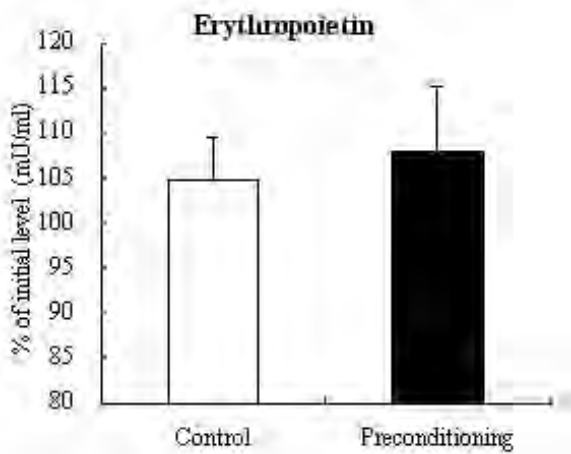


図3 エリスロポエチン濃度

3-3 間接ビリルビン濃度

海拔4,000mに相当する酸素濃度条件 (12.7%) に30分間滞在した後、24時間経過した時点の血液中の間接ビリルビンの濃度変化を図4に示す。前日に海拔2,000mに相当する酸素濃度条件 (16.2%) に滞在した実験群 (Preconditioning) では、間接ビリルビン濃度が29%増加していたのに対し、海拔400m条件 (酸素濃度20.0%) に滞在した対照群 (Control) では6%の濃度減少が観察された。

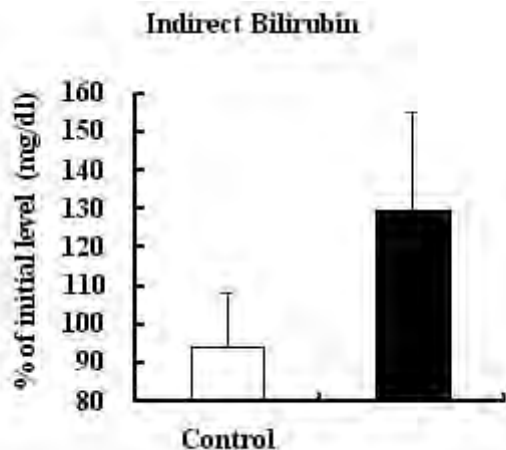


図4 間接ビリルビン濃度

3-4 尿中8-OHdG排泄量

海拔4,000mに相当する酸素濃度条件 (12.7%) に30分間滞在した後、24時間の尿中8OHdGの濃度変化を図5に示す。前日に海拔2,000mに相当する酸素濃度条件 (16.2%) に滞在した実験群 (Preconditioning) では、8OHdG濃度が18%減少していたのに対し、海拔400m条件 (酸素濃度20.0%) に滞在した対照群 (Control) では32%の濃度上昇が観察された。

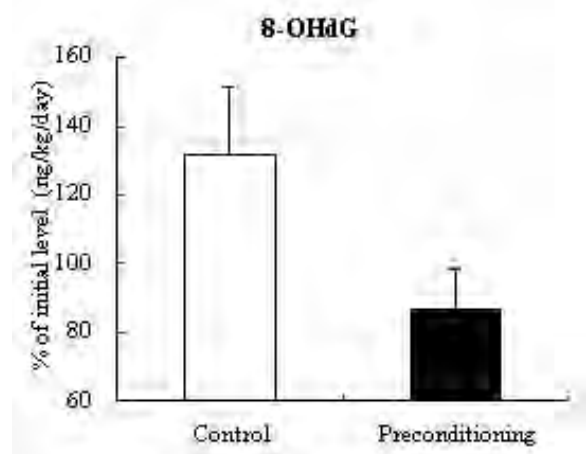


図5 尿中8-OHdG排泄量

4. 考察

4,000mレベルの低酸素環境に曝露した場合、虚血-再灌流現象によって酸化ストレスが増大することが知られている。今回の実験により、酸化ストレスに曝される前に海拔2,000mレベルの酸素環境に滞在することで、酸化ストレスによって遺伝子が受ける損傷が軽減することが分かった (図5)。

今回の結果から、大きな酸化ストレスを受ける前日に準高地に相当するマイルドな低酸素刺激を受けることで、ビリルビンを産生する酵素ヘムオキシダーゼ (HO-1) が活性化され、ビリルビン濃度が増加することで後に加わる大きな酸化ストレスを軽減できると考えられる。しかし、体内にはビリルビンの産生機構のみでなく複数の抗酸化機構が存在する。ビリルビンによる抗酸化機構と他の抗酸化機構とが協調的に作用した結果とも考えられる。

5. 結言

海拔2,000m以下の準高地の酸素条件が、体内でのビリルビンの産生を増やすことで、体内で発生する活性酸素が生体に与える傷害を軽減する可能性が示された。山梨県は、海拔800~1,500mの準高地にエレベーションリゾートを多く擁している。準高地のもつ健康上の資源と

してのメリットを明らかにすることは、ハケ岳南麓や富士北麓、南アルプスなどにおける保健休養活動の促進につながる。

野生動物による被害の防除に関する研究

Wildlife Damage Management in Yamanashi Prefecture, Japan

野生動物による被害の防除に関する研究

山梨県環境科学研究所¹ 山梨県森林総合研究所² 水産技術センター³
吉田洋¹・北原正彦¹・長池卓男¹・坪井潤一¹

Wildlife Damage Management in Yamanashi Prefecture, Japan

Yamanashi Institute of Environmental Sciences¹, Yamanashi Forest Research Institute², Yamanashi Fisheries Technology Center³

Yutaka YOSHIDA, Masahiko KITAHARA, Takuo NAGAIKE and Junichi TSUBOI

要 約

本研究では、モンキードッグおよびサル用電気柵の被害軽減効果の測定、ライトセンサスによるニホンジカの生息密度の増減の把握、ツキノワグマの秋季における主要な食物であるブナ科堅果の豊凶の把握、ツキノワグマの目撃情報の解析を行った。その結果、モンキードッグおよび電気柵にはサルによる被害の軽減効果があること、富士北麓地域ではニホンジカの生息密度に大きな変化がないこと、2009年秋季には山梨県全域でミズナラ種子が豊作であったこと、2009年のツキノワグマの目撃情報が例年に比べ少なかったことが、明らかになった。さらに本研究では、個体数が急増し全国各地で人間との軋轢が生じているカワウ (*Phalacrocorax carbo*) による被害を防除するための繁殖抑制が、集団繁殖地 (コロニー) における孵化雛数および巣立ち後の雛の移動分散におよぼす影響を評価した。甲府市にあるカワウの繁殖コロニーにおいて、従来から行われてきた擬卵とカワウ卵との置き換えに加え、新しく確立されたドライアイスを用いた冷却による手法を導入し、繁殖抑制実験を行った。その結果、繁殖抑制処理を行った巣では雛の孵化を完全に抑制できた。一方、ごく一部の巣では繁殖抑制を行わず、孵化した雛を捕獲し、足環を装着した後、再び巣に戻した。足環装着個体の追跡調査を行ったところ、17個体中14個体が巣立ち後も同コロニー内で観察され、定着していることが明らかになった。また、富士川水系では滋賀県および愛知県で標識された7個体が観察された。以上の結果から、繁殖抑制は孵化した雛への給餌量、すなわち魚類の食害量を軽減する効果は高く、また他地域からの移入があるため個体数を過度に減少させる心配の無い食害軽減手法であると結論づけられた。

Abstract

We assessed the state of various efforts to manage wildlife in Yamanashi Prefecture, Japan. We examined the effects of using a monkey dog (sex; male, weight; 18 kg, breed; *Kishu inu*), in Funatsu, Fujikawaguchiko-chou, Yamanashi, and an electric fence, in Asahi, Fujiyoshida-shi, Yamanashi, to prevent wild Japanese macaques from invading and damaging local crops. We also monitored the tendency of changes in the sika deer population in a northern area of Mt. Fuji (using a spotlight census). In addition, we measured a number of fagaceous nut yields (the main food source of Japanese black bear) throughout Yamanashi Prefecture in autumn 2009, and sightings of Japanese black bear throughout the prefecture. The dog/fence strategy effectively reduced crop damage by the macaques, the population density of sika deer remained stable, Japanese oak nut harvests were good, and there were few sightings of black bear throughout the prefecture in 2009. Furthermore, the aim of this study is to evaluate the effect of controlling hatching number on the colony of great cormorant (*Phalacrocorax carbo*) greatly increasing in number and damaging the fresh water fisheries. In a cormorant colony located in Kofu city, replacement of cormorant's eggs with fake ones and quick cooling of eggs with dry ice were carried out in order to prevent the reproductive success. No hatching was observed in treated nests. Besides these, some of nests were left free from treatments and hatched chicks were banded with colored rings. Fourteen out of 17 banded settled in the colony thereafter. Additionally, 7 marked individuals with their origins in Shiga and Aichi prefecture were observed. Results show that decreased number of hatching serves to decrease fisheries damage during reproduction period but the size of colony tended to be maintained by immigrants.

1. 緒言

近年、本県においては、イノシシ (*Sus scrofa leucomystax*)、ニホンザル (*Macaca fuscata fuscata*)、ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*)、ニホンジカ (*Cervus nippon centralis*) などの野生動物による人身・生活・農林業被害が深刻化している (吉田, 2007a)。これに対して、様々な被害対策が試みられているが、被害は現在も発生し続けており、より効果的な被害管理手法の確立が望まれている。そこで本研究は、生態学および社会学的研究を実施し、現在発生している野生動物による被害の発生要因や、被害対策実施の障壁を解明することにより、効果的な被害管理手法の確立に資することを目的とする。

さらに、日本のカワウ (*Phalacrocorax carbo*) 個体数は1970年代に激減したが、1980年代後半には増加に転じ、近年の報告では50,000~60,000羽とされている (福田ほか, 2002)。個体数の増加に伴いカワウによる被害が顕在化しており、魚類捕食による水産被害や排泄物による公園や森林の樹木枯死、それに伴う景観の悪化など、人との間に軋轢を生じさせている (環境省, 2004)。食害を受けている魚種ではアユ (*Plecoglossus altivelis*) が最も多く、食害の発生時期はアユの放流時期である3月から5月に顕著である (全国内水面漁業協同組合連合会, 2004)。3月から5月はカワウの繁殖期に含まれることが多く (福田, 2002)、繁殖期には産卵や雛を育てるために捕食量が増加することが知られている (Platteeuw et al., 1995)。そのため、繁殖を抑制し捕食量を減らすことは、食害軽減に効果的であることが筆者らによって確認されている (坪井・桐生, 2007)。

繁殖抑制は食害軽減の他に、個体数抑制効果も期待される。しかし、カワウの平均寿命は4~5年と長い上に、広範囲を移動することが知られている (福田ほか,

2002)。本研究では、繁殖抑制を継続して実施している笛吹川河畔にあるカワウ繁殖コロニー (下曾根コロニー, 図1) において、ごく少数の孵化した雛について移動分散を追跡し、併せて山梨県外からの移入個体について調査した。

2. 調査方法

2-1 モンキー犬導入の効果測定

調査は2008年12月~2009年8月に、山梨県南都留郡富士河口湖町船津地区で行った。集落や農地での野生ニホンザル群の目撃が通報されるとすぐに、5秒ごとに測位するように設定したGPSロガー (i-gotU GT100, Mobile Action Technology, Taiwan) をモンキー犬「ラッキー (4歳・紀州犬系雑種・オス)」に装着し、サルを目視できる地点で放した。なお調査は、サルのオトナメスに装着したVHF発信器 (ATS-M2950, Advanced Telemetry System, U.S.A.) の発信音が微弱になり、かつモンキー犬が飼育員に戻った時点まで行った。

2-2 サル用電気柵の効果測定

2008年4月に、富士吉田市旭地区内の遊休農地を耕作し、同時に総延長79.6mmのサル用電気柵を設置した。柵の下部はワイヤメッシュ (2m×1m, 目合い10cm, 径6mm)、上部は通電素材が編み込まれている高さ1mの通電ネットを、本体は約1.2秒間隔でパルス状に9,000Vで電気を流す電柵器 (AK-4300DC2-SL, タイガー, 日本) を使用した。

柵の設置時間は、熟練した作業員3名および不慣れた作業員5名で、約4時間費やした。さらに、柵の中では、トマト、カボチャ、インゲンマメ、ダイズ、ズッキーニ、ジャガイモなど、本地域に生息する野生ニホンザル群が好んで加害する農作物を (吉田ほか, 2006)、栽培し誘引餌とした。

2-3 ニホンジカの生息頭数指数の傾向

本研究では、ニホンジカの個体数動向の把握に有効であるライトセンサ法を用いて (Matsuda et al., 2002)、富士北麓における生息密度の増減を把握した。調査は、ルートに沿って車両を時速10~20kmで走行させながら、スポットライトにより両側を照射し、シカを確認した場合は、確認時の位置、時刻、シカの性別および年齢とその頭数などを記録した。

また、ルートは、2000年~2002年に姜・北原 (2003) が実施した調査と同じルートとし、2008年11月、2009年5月および同年11月に2回ずつ実施した。なお、本調査ルートは、南都留郡鳴沢村の富士山北斜面に位置し、標高は1,250m~1,780m、ルートの総延長は15.5kmである。



図1 調査を行ったカワウ繁殖地 (通称：下曾根コロニー, 山梨県甲府市下曾根町)



図2 ライトセンサスの調査ルート
国土地理院50000分1地形図を使用

2-4 堅果結実量の豊凶

ツキノワグマの秋季の重要な食物であるブナ科堅果の(橋本・高槻, 1997), 豊凶を把握するために, 北杜市(2ヶ所・18個), 増穂町(1ヶ所・9個), 鯉沢町(2ヶ所・9個), 山中湖村(1ヶ所・5個) および富士河口湖町(1ヶ所・5個) のミズナラ (*Quercus crispula*) 林, 富士河口湖町のイヌブナ (*Fagus japonica*) 林(1ヶ所・5個), 増穂町のミズナラ・イヌブナ混交林(1ヶ所・9個) にプロットおよびシードトラップを設置し, 種子落下密度の把握を行った。

2-5 ツキノワグマの目撃情報の解析

ツキノワグマの出没状況を明らかにするために, 2008年4月~2009年2月に, 県みどり自然課が収集した目撃情報を, 月別に集計した。本解析では目撃日, 目撃者もしくは目撃した動物が不明な情報, 直接ツキノワグマを目視していない痕跡だけの情報は除外した。

2-6 カワウの繁殖抑制

2008年および2009年の4月から6月にかけて, 従来の擬卵置き換えに加えて, 新しく確立されたドライアイスを用いた冷却による手法を導入し繁殖抑制を行った。

ドライアイスを用いた手法のみを用いると, およそ3週間後に巣内の状況を確認する際, 全ての卵が処理済みなのか, もしくは新たに産み足された卵が含まれるのかを識別することが非常に困難であった。そのため, ドライアイスのみによる処理区では, 繁殖期間を通して, 複数回の処理を行わなければならなかった。

上述の問題点を解消するため, 初回の処理で擬卵との

置き換えを行い, 後日, 産み足された卵(擬卵とカワウ卵との識別は可能)について, ドライアイス処理を行った。

2-7 甲府盆地におけるカワウの移出入

ごく一部の巣では繁殖抑制を行わず, 孵化した雛に足環を付けた。2008年に10個体, 2009年に13個体の孵化した雛に足環を装着した。

下曾根コロニーにおいて, 当コロニー生まれの個体および, 県外で標識された個体の探索を行うため, 高倍率(50倍)のフィールドスコープ(Nikon社ED82)を用いて毎月1回の観察を行った。さらに, 銃器などによって捕獲された標識個体の記録についても調査を行った。

3. 結果

3-1 モンキードッグ導入の効果測定

調査の結果, 調査期間中のモンキードッグ「ラッキー」の出動回数は13回で, GPSの測位率は100%と大変高かった。さらに, サル追払い時のモンキードッグ平均出動時間は65分, 平均走行距離は5.3km, 平均標高差は77m, 平均最高速度は26.5km/hrであった。



図3 サル追払い時におけるモンキードッグ「ラッキー」の移動軌跡(2008年12月~2009年8月)
国土地理院25000分1地形図を使用

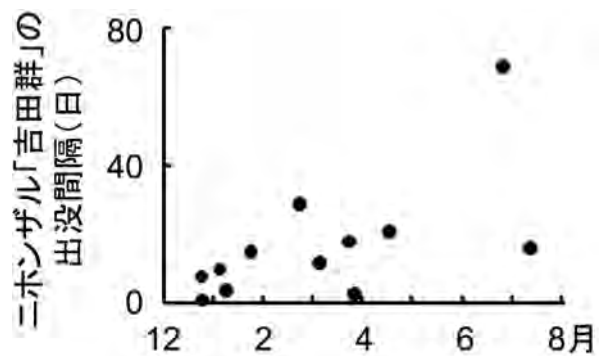


図4 富士河口湖町船津地区における野生ニホンザル「吉田群」の出没間隔(2008年12月~2009年8月)

ニホンザル追い払い時における「ラッキー」の移動軌跡をみると、放逐地点である集落から標高が約120m高い地点まで行って、サルを追いかけていた。さらに、集落への野生ニホンザル「吉田群」の出没間隔を見ると、追い払いを始めた当初の12月～1月には、ニホンザルは1～15日間隔で集落に出没していたが、4月以降には16～69日間隔と、追い払い期間が経るにつれ、集落への出没の間隔が長くなった。

3-2 サル用電気柵の効果測定

電気柵を設置してから22ヶ月を経た2月現在、毎年8月にカラスによるトウモロコシへの食害が確認されたものの、圃場内へのイノシシやニホンザルなどの野生哺乳類の侵入は、確認されなかった。

3-3 ニホンジカの生息頭数指数の傾向

ライトセンサスの結果、ニホンジカの日撃頭数は、2009年5月に2.7頭/km、同11月に1.6頭/kmと、過去に同じルートで実施された調査結果より、やや高い水準であった。

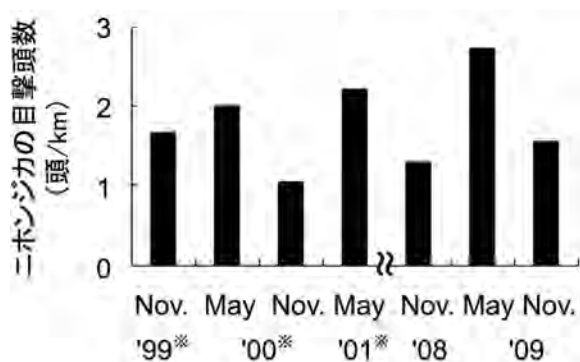


図5 ライトセンサスによるニホンジカの日撃頭数 (頭/km) の年変動 (2000年11月～2009年11月)

※) 姜・北原 (2003) より作成

3-4 堅果結実量の豊凶

他地域における調査結果との比較から、2008年にはミズナラ堅果およびイヌブナ堅果は、全県的に不作であったと推測する。さらに2009年には、ミズナラ堅果は全県的に豊作、イヌブナ堅果は不作であった。ただし、ブナ科堅果の豊凶を正確に把握するためには、より長い期間での調査が必要である。なお、2009年の北杜市におけるミズナラ堅果のデータは、測定中にイノシシによりシードトラップが破壊されたため、解析から除外した。

3-5 ツキノワグマの日撃情報の解析

2010年2月現在、クマの日撃は40件と、例年に比べ少ない傾向がある。なかでもとくに、秋季における日撃

表1 既存資料および本研究における豊作年と凶作年の種子落下密度 (個/m²)

観察年	地域	個/m ²	文献
ブナー豊作年			
1984	日光	415,467	水野・野崎 (1985)
1984,1990	会津磐梯山	229,237	Hiroki & Matsubara (1995)
1984,1990	穂高岳	179,247	Hiroki & Matsubara (1995)
1993	白川	236	溝口ほか (1996)
1990,1995	立山	148,272	長井 (1998)
ブナー凶作年			
1983	日光	0	水野・野崎 (1985)
1985,1987	会津磐梯山	0	Hiroki & Matsubara (1995)
1989,1991	穂高岳	0	Hiroki & Matsubara (1995)
1991,1994	白川	0	溝口ほか (1996)
1985ほか	立山	0	長井 (1998)
イヌブナー凶作年			
2008,2009	増穂・鯉沢	0,22	本研究
2008,2009	富士河口湖	0,0	本研究
ミズナラー豊作年			
1972,1976	日光	28,40	Kanazawa (1982)
1982	日光	62	水野・野崎 (1985)
1992	白川	15	溝口ほか (1996)
2008	鳴沢	9	山梨県環境科学研究所 (2009)
2009	増穂・鯉沢	13	本研究
2009	山中湖	104	本研究
2009	富士河口湖	25	本研究
ミズナラー凶作年			
1974	日光	0.3,0.4	Kanazawa (1982)
1981	日光	7	水野・野崎 (1985)
1991	白川	0.3	溝口ほか (1996)
2007	鳴沢	1	山梨県環境科学研究所 (2009)
2008	北杜	7	本研究
2008	増穂・鯉沢	0.9	本研究
2008	山中湖	22	本研究
2008	富士河口湖	3	本研究

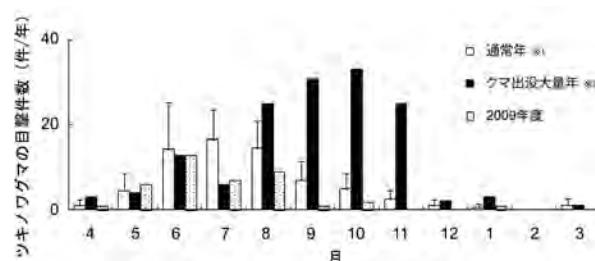


図6 山梨県内における月別ツキノワグマの日撃件数 (2001年4月～2010年2月)

※1) 2001～2005年度, 2007～2008年度

※2) 2006年度

件数が少ない。

3-6 カワウの繁殖抑制

2006年以降、ほとんどの巣で繁殖抑制を実施した結果、巣立った雛数は1シーズンで10羽程度であった(図7)。営巣数については、2006年がピークで196巣の営巣がみられたが、近年は150巣程度で推移した。また、生息数については、毎年10月に移入個体が多く見られるものの、営巣数と同様に近年は減少傾向がみられた(図8)。

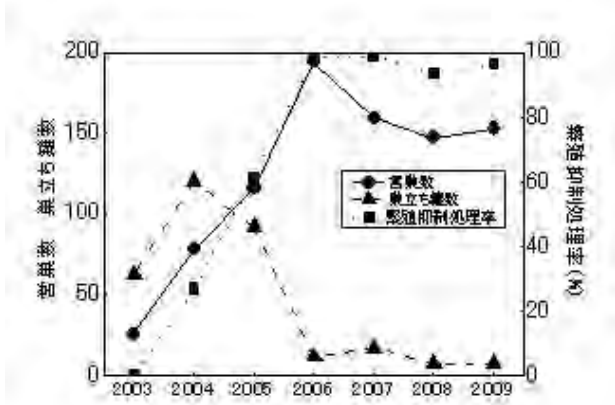


図7 2003年から2009年までの下曽根コロニーにおけるカワウの繁殖成績

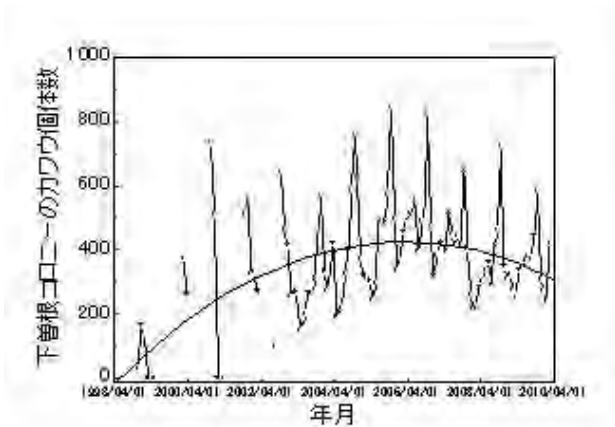


図8 下曽根コロニーにおけるカワウ個体数

3-7 甲府盆地におけるカワウの移出入

下曽根コロニーで生まれた23個体のうち、17個体が巣立ち、うち14個体は巣立ち後も下曽根コロニーで観察された(表2)。また、山梨県外で生まれ雛の段階で標識された個体が、2003年から2009年までに山梨県内で17個体観察された(表3)。標識された場所は、東京都、千葉県、愛知県、滋賀県であり、山梨県から最も離れた標識場所は滋賀県琵琶湖の竹生島であった(表3)。発見された水系別にみると、駿河湾に注ぐ富士川水系では、8個体中7個体が愛知県以西で標識された個体であった(表3)。一方、上流域が山梨県東部にあり相模湾、

表2 下曽根コロニーで生まれ標識されたカワウの観察記録

	標識日	巣No.	足環番号	最終確認年月日
1	2008/5/10	E1	0T2	巣立ち前に死亡
2	2008/5/10	E1	0T3	巣立ち前に死亡
3	2008/6/19	F89	2T4	2008/8/20
4	2008/6/19	F90	2T5	2009/10/9
5	2008/7/9	F120	2T8	2009/5/29
6	2008/7/9	F120	2T6	2009/10/20
7	2008/7/9	F120	2T7	2008/10/15
8	2008/7/9	F111	2T2	巣立ち前に死亡
9	2008/7/9	F111	2T9	2008/8/27
10	2008/7/9	F111	3T2	2009/7/1
11	2009/5/7	F53	2Z4	巣立ち前に死亡
12	2009/5/7	F53	2Z6	巣立ち前に死亡
13	2009/5/7	F53	2Z7	巣立ち前に死亡
14	2009/5/20	F78	0T8	2009/7/23
15	2009/5/20	F78	3T0	未確認
16	2009/5/20	F71	2Z9	2009/8/10
17	2009/5/20	F71	3Z0	2009/7/1
18	2009/5/20	F72	3Z2	2010/2/19
19	2009/6/3	F14	2T3	2009/7/1
20	2009/6/3	F73	3Z3	2009/7/1
21	2009/6/10	F103	3Z5	2009/7/20
22	2009/6/10	F103	3Z6	未確認
23	2009/6/10	F103	3Z7	未確認

表3 下曽根コロニーで生まれ標識されたカワウの観察記録

	発見年月日	発見水系	観察または捕獲された場所	カラーリング	標識場所	標識年月日	標識から再標識までの日数
1	2003/3/9	相模川	都留市田野倉	黄 H4/	第六台場	2002/3/16	358
2	2003/4/24	相模川	上野原	黄 K3	行徳	2001/3/3	782
3	2006/4/11	相模川	上野原	黄 K6	第六台場	1998/4/3	2930
4	2007/2/9	相模川	上野原	黄 P02	第六台場	2005/3/12	699
5	2007/3/1	多摩川	小菅川	黄 F82	第六台場	2004/3/6	1090
6	2007/6/8	富士川	天子湖コロニー	白 T/C	愛知県 田原市緑ヶ浜	2003/3/9	1552
7	2007/11/25	富士川	常葉川合流点	青 XU	琵琶湖竹生島	2006/7/6	507
8	2007/12/3	相模川	上野原	黄 7B2	第六台場	2007/3/17	261
9	2008/1/11	相模川	大月市御太刀	黄 W76	第六台場	2006/2/18	692
10	2008/3/21	相模川	明見東電取入	黄 OC3	第六台場	2007/3/17	370
11	2008/8/11	富士川	下曽根コロニー	白 U/H	愛知県 田原市緑ヶ浜	2003/3/9	1982

東京湾へと注ぐ相模川および多摩川では、9個体の標識されたカワウは、全て関東地方沿岸域で標識された個体であった。富士川と相模川、多摩川とで、カワウの標識された地域には明瞭な差異がみられた(Fisherの正確確率検定、両側、 $P < 0.0001$, 表4)。

表4 山梨県外で標識されたカワウが発見または捕獲された水系

	標識された地域	
	東海・近畿地方	関東地方
富士川	7	1
相模川, 多摩川	0	9

4. 考察

4-1 モンキードッグ導入の効果測定

モンキードッグによる追払いが始まる以前は、ニホンザルは人家や畑のすぐ裏にある森林において集落の様子をうかがい、安全が確認されると、集落に出没する行動様式をとっていた。これがモンキードッグによる追払いが始まると、集落に近い林縁にいるとイヌに追いかけるため、サルが集落の安全を十分に確認できなくなった。これによりニホンザルが、モンキードッグが活動する集落を徐々に忌避し始め、集落へ出没する頻度が減り、出没間隔が長くなったものと考えられる。

また、ニホンザル追払い時における「ラッキー」の移動軌跡をみると、放逐地点である集落から標高が約120m高い地点まで行って、サルを追いかけていた。これをサルが出没するたびに地域住民が行うのは、労力が多すぎ困難である。そのためモンキードッグは、追払いを省力化するツールであるといえる。

最後に、獣害問題を野生動物とヒトとのせめぎあいの視点からみると、前述のとおり、モンキードッグによる追払いが始まる以前には、サルとヒトの境界線は、人家や畑のすぐ裏の林縁であった。しかし、モンキードッグが導入されたことによりその境界線は、標高差にして120m上方に移動した。境界線が林縁にあったときは、サルは容易に集落に侵入できたが、境界線が上方に移動したことにより、サルが集落に侵入することが難しくなった。以上のことからモンキードッグは、サルの出没被害を減らす効果があるだけでなく、野生動物とヒトとのせめぎあいの構図を変える効果があるといえる。

4-2 サル用電気柵の効果測定

2年目における効果測定の結果から、電気柵は適切に設置し、適切に管理すれば、野生哺乳類による被害防除効果は高いといえる。この結果は、柵の形態は異なるものの、青森県西目屋村での結果と一致している(和田・今井, 2002)。しかしながら、電気柵の効果把握するためには、より長い期間での調査が必要である。

4-3 ニホンジカの生息頭数指数の傾向

ライトセンサスの結果、シカの日撃頭数が、当時に比べやや増加していた。これは測定誤差なのか、それともシカの生息頭数の増加を意味するのかわからない。そ

のため、シカの生息頭数の傾向を把握するためには、より長い期間での調査が必要である。

4-4 堅果結実量の豊凶

他地域における調査結果との比較から、2008年にはミズナラ堅果およびイヌブナ堅果は全県的に不作、2009年にはミズナラ堅果は全県的に豊作、イヌブナ堅果は不作であったと推測する。ナラ属に関しては、60km~190kmの範囲で豊凶が同調し(正木・柴田, 2005)、その要因として、結実前の気温が関係しているとの説はあるが(Sork et al., 1993)、明らかになっていない。本研究でも豊凶の要因は、不明なままである。

4-5 ツキノワグマの目撃情報の解析

本年度のクマの日撃件数は、大量出没年ほどではないが、通常年と比べ多い傾向があり、なかでも8月と9月の目撃件数が多い。東北地域では、ブナ堅果の凶作年に、クマの有害鳥獣捕獲数が増加することが知られているが(Oka et al., 2004)、本県では、ブナ凶作年だからといってクマは大量出没しておらず(吉田, 2007b)、ブナ以外の食物資源が関わっている可能性が高い。

本県では本年度、ミズナラ堅果が豊作であった。また、クマの出没が少なかった秋季は、ミズナラ堅果が成熟する時期である。そのため、クマの日撃件数が少なかったのは、ミズナラ堅果の全県的な豊作が、影響した可能性がある。

4-6 カワウの繁殖抑制と移動分散

本研究ではカワウの繁殖コロニーにおいてドライアイス処理などの方法を用いて繁殖抑制を行った結果、コロニー全体で雛の孵化を効率的に阻止できた。また、極少数の孵化した雛に標識を装着し、その後、観察により標識個体の追跡調査を行った。その結果、多くの雛が巣立ち後も下曾根コロニーで観察されたため、定着していたことが明らかになった。巣立ち直後は他のエリアに移動分散することが知られており(福田ほか, 2002)、調査を行った下曾根コロニーで生まれた雛は定着性が高いといえる。この原因として、繁殖抑制により生息密度が低く抑えられており、巣立ち直後の雛が密度効果によって移出しにくいことがあげられる。また、富士川水系のカワウは関東ではなく、おもに東海および近畿地方から移入することが示唆された。

本研究の結果から、繁殖抑制は孵化した雛への給餌量、すなわち繁殖期における魚類の食害量を軽減する効果は高く、また他地域からの移入があるため個体数を過度に減少させる心配の無い食害軽減手法であると結論づけられた。

5. 結 言

5-1 モンキードッグの導入に向けて

ここでは、モンキードッグを実際に運用した経験から、今後の運用に向けての提言をまとめる。

5-1-1 モンキードッグの選定

モンキードッグとして育成するイヌを選ぶ際には、
・調教の容易さ、経済性。
・運用する際の安全性。
を、考慮する必要がある。

まずは調教の容易さと経済性であるが、サルを追わないイヌを、追うように仕向けるのは困難である。そのため選定の際には、ネコのような中型哺乳類を追う習性を持つ個体を選ぶと、時間的にも費用的にも少なく、イヌを仕立てることができる。さらに調教は、できるだけ若い個体が望ましい。なぜなら、そのことにより、モンキードッグとして運用する期間が長くなるからである。とはいえ、あまりに若いイヌを、母親や兄弟から放して調教すると、同種に対する攻撃性が強くなるので好ましくない(堀, 2007)。そのため調教は、6ヶ月齢以上のできるだけ若い個体が好ましい。次に、運用時における周辺住民やその財産(飼い犬も含む)の安全性を考慮すると、ヒトやイヌに対する攻撃性がない個体を選ぶことが重要である。

5-1-2 訓練内容

モンキードッグの訓練として必要なのは、以下の3点である。

- ・ヒトに危害を与えない。
- ・サルを見たら、追い払う。
- ・追払い終了後は、戻ってくる。

5-1-3 モンキードッグの効果

今回の運用で明らかになったモンキードッグの効果は、以下の点である。

- ・サルの再出没の間隔が長くなる。
- ・農作物被害が減る。
- ・追払いの労力が減る。
- ・訓練を施したことにより、イヌの扱いが容易になる。

さらに、モンキードッグの導入により、農作物被害が減ることから、遊休荒廃農地の減少が期待される。

5-2 カワウによる被害の防除

カワウは急激な個体数増加により魚類捕食による水産被害が深刻化している。近年、繁殖期でありアユの放流時期でもある春季の食害軽減および個体数抑制を目指した繁殖抑制の試みが、全国各地で始まっている。

本研究では、甲府市にあるカワウの繁殖コロニーにお

いて、従来から行われてきた擬卵とカワウ卵との置き換えに加え、新しく確立されたドライアイスを用いた冷却による手法を導入し、繁殖抑制実験を行った。その結果、処理を行ったほぼ全ての巣において雛の孵化を完全に抑制できた。標識調査から繁殖抑制を行っているコロニーでの巣立った雛の定着性は高く、また、個体数は他地域からの移入により維持されると考えられた。

今後、他の繁殖コロニーにおいても繁殖抑制などにより、個体数を低位安定させる対策が導入されるべきである。

参考文献

- 1) 福田道雄：日本鳥学会誌, Vol.51, No.2, P.116-121 (2002)
- 2) 福田道雄, 成末雅恵, 加藤七枝：日本鳥学会誌, Vol.51, No.1, P.4-11 (2002)
- 3) 橋本幸彦, 高槻成紀：哺乳類科学, Vol.37, P.1-19 (1997)
- 4) 堀明：犬は「しつけ」で育てるな!, 筑紫書店, 東京, PP.220 (2007)
- 5) Hiroki S. and T. Matsubara: Ecological Research Vol.10, P.161-169 (1995)
- 6) 姜兆文, 北原正彦：山梨日日新聞, 7月19日連載記事 (2003)
- 7) Kanazawa W.: Japanese Journal of Ecological Research Vol.32, P.325-331 (1982)
- 8) 環境省：特定鳥獣保護管理計画技術マニュアル(カワウ編)。環境省 (2004)
- 9) 正木隆, 柴田銃江：日本生態学会誌, Vol.55, P.359-369 (2005)
- 10) Matsuda H., Uno H., Kaji K., Tamada K., Saitoh T., Hirakawa H., Kurumada T. and Fujimoto T.: Wildlife Society Bulletin Vol.3, P.1160-1171 (2002)
- 11) 水野昭憲, 野崎英吉：森林環境の変化と大型野生動物の生息動態に関する基礎的研究, 環境庁自然保護局, P.38-43 (1985)
- 12) 溝口紀泰, 片山敦司, 坪田敏男, 小宮山章：哺乳類科学, Vol.36, P.33-44 (1996)
- 13) 長井真隆：富山の生物, Vol.37, P.17-22 (1998)
- 14) Sork VL., Bramble J. and Sexton O.: Ecology Vol.74, P.528-541 (1993)
- 15) Oka T., Miura, S., Masaki, T., Suzuki, W., Osumi, K., Saitoh, S.: Journal of Wildlife Management Vol.68, P.979-986 (2004)
- 16) Platteeuw M., K. Koffijberg, and W. Dubbeldam: Ardea, Vol.83, P.235-245 (1995)
- 17) 坪井潤一, 桐生透：日本鳥学会誌, Vol.56, No.1, 33-39 (2007)

- 18) 和田一雄, 今井一郎: 野生生物保護, Vol.7, P.99-110 (2002)
- 19) 吉田洋, 林進, 北原正彦, 藤園藍: 農村計画学会誌, Vol.25, P.111-119 (2006)
- 20) 吉田洋: 山梨県環境科学研究所研究報告書, Vol.17, P.5-10 (2007a)
- 21) 吉田洋: 山梨県環境科学研究所研究報告書, Vol.17, P.51-56 (2007b)

成果発表状況

学術論文 (査読あり)

- 1) 坪井潤一, 福田道雄, 加藤七枝, 齊藤成人, 石田朗, 須藤明子: 標識されたカワウの本州内陸部への移入. 日本鳥学会誌, 58: 171-178, 2009.
- 2) Honda T., Yoshida Y. and Nagaike T.: Predictive risk model and map of human-Asiatic black bear contact in Yamanashi Prefecture, central Japan. Mammal Study, 34, 77-84. 2009.

学会発表

- 1) 吉田洋, 中村大輔, 林進, 小林亜由美, 藤園麻里, 杉田幹夫, 北原正彦: サル追払い時におけるニホンザルとモンキードッグの行動, 第25回日本霊長類学会大会, 岐阜県各務ヶ原市, 2009
- 2) Yoshida Y., D. Nakamura, S. Hayashi, A. Kobayashi, M. Fujisono, M. Sugita and M. Kitahara: Track of a monkey dog in attacking a wild Japanese macaque troop. 2009 Annual Meeting of the Mammalogical Society of Japan. Taipei. 2009
- 3) 坪井潤一: 繁殖抑制による個体数調整技術, 平成22年度日本水産学会春季大会, 神奈川県藤沢市, 2010

酸化亜鉛透明導電膜の成膜プロセス開発と 有効活用に関する研究

Development of Deposition Process and Study on Effective Applications
of Transparent Conductive Zinc Oxide Films (2nd report)

酸化亜鉛透明導電膜の成膜プロセス開発と 有効活用に関する研究 (第2報)

工業技術センター^{*1}・富士工業技術センター^{*2}・国立大学法人 山梨大学^{*3}・株式会社 中家製作所^{*4}・有限会社 塚原製作所^{*5}

河野 裕^{*1}・木島 一広^{*1}・阿部 治^{*1}・石田 正文^{*1}・高尾 清利^{*1}・小松 利安^{*1}
寺澤 章裕^{*2}・松本 俊^{*3}・秋津 哲也^{*3}・鍋谷 暢一^{*3}・村中 司^{*3}・望月 英昭^{*4}
平木 哲^{*4}・藤川雄一郎^{*4}・深沢 明広^{*4}・下玉利 玲^{*4}・古川 英明^{*4}・清水 勝^{*4}
岡田 智視^{*4}・塚原 文仁^{*5}・三井 久夫^{*5}

Development of Deposition Process and Study on Effective Applications of Transparent Conductive Zinc Oxide Films (2nd report)

Industrial Technology Center^{*1}, Fuji Industrial Technology Center^{*2}, University of Yamanashi^{*3}, Nakaya Ltd.^{*4}, Tsukahara Ltd.^{*5}

Hiroshi KONO^{*1}, Kazuhiro KIJIMA^{*1}, Osamu ABE^{*1}, Masafumi ISHIDA^{*1}, Kiyotoshi TAKAO^{*1}, Toshiyasu KOMATSU^{*1}, Akihiro TERASAWA^{*2}, Takashi MATSUMOTO^{*3}, Tetsuya AKITSU^{*3}, Yoichi NABETANI^{*3}, Tsutomu MURANAKA^{*3}, Hideaki MOCHIZUKI^{*4}, Satoshi HIRAKI^{*4}, Yuichiro FUJIKAWA^{*4}, Akihiro FUKASAWA^{*4}, Akira SHIMOTAMARI^{*4}, Hideaki FURUKAWA^{*4}, Masaru SHIMIZU^{*4}, Tomoji OKADA^{*4}, Fumihito TSUKAHARA^{*5} and Hisao MITSUI^{*5}

要 約

各種プラスチック基板上に成膜した酸化亜鉛膜の透明性および密着性を評価したところ、基板材料として最も適しているのはポリエチレンナフタレート (PEN) であることが明らかとなった。

1. 緒 言

新しいディスプレイとして、屈曲可能なフレキシブルディスプレイや電子ペーパーが提案されている。これらの商品を大量生産するためには、低温下で高品質かつ高速度での透明導電膜の成膜技術の開発が必要である。

現在、液晶ディスプレイやプラズマディスプレイの透明導電膜には、酸化インジウムスズ (ITO) 膜が使用されているが、インジウムは稀少金属であり、近年の過大需要により枯渇が懸念されている。このような中ITO膜に代わる透明導電膜として酸化亜鉛 (ZnO) 膜が注目されている。

平成16~17年度に実施した地域新生コンソーシアム研究開発事業では、100℃以下の低温において、実用に耐えうる電気伝導性および可視光透過率を持つZnO透明導電膜を成膜することに成功した^{1) 2)}。しかし、成膜範囲が100mm×100mmと狭く、成膜速度も100nm/hと遅いため、実用化技術としては不十分であった。その後、平成18~20年度に実施した戦略的基盤技術高度化支援事業において、フラットパネルディスプレイ (FPD) 用 ZnO透明導電膜の大型成膜装置の開発に取り組んだ^{3) 4)}

5). この事業では、50V型ガラス基板に高品質なZnO膜を成膜する装置開発を目標として、高品質かつ高速度での成膜技術を開発した。しかしガラス基板への成膜を目的としたため、成膜温度は100℃以上の高温であった。

フレキシブルディスプレイを量産するためには、上記の技術をもとにして、低温下で高品質かつ高速度にZnO透明導電膜を成膜する技術の開発が必要である。そこで、基板材料として耐熱性に優れたプラスチック素材を選定し、熱輻射を抑えた高速成膜プロセスを開発するとともに、基板にプラズマ洗浄を行うことによりZnO膜の成膜時間の短縮と密着性の向上を図ることを研究の目的とした。

昨年度の研究において、各種プラスチック基板にプラズマ洗浄を行い、そのぬれ性を評価したところ、ぬれ性が最も良いのはポリエチレンナフタレート (PEN) であることが明らかとなった⁶⁾。今年度は、各種プラスチック基板とZnO膜の密着性および透明性の評価を行い、フレキシブルディスプレイに適したプラスチック基板を選定した。また、応用製品として、ZnO膜を成膜したプラスチック基板を使用した表示装置を試作した。

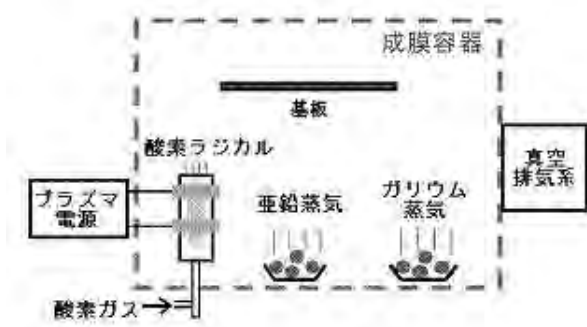


図1 GZO低温成膜装置の原理図

2. 実験方法

2-1 成膜方法

本研究で使用している成膜装置の原理図を図1に示す。亜鉛とガリウムの加熱蒸発装置および酸素原子ラジカル源となる酸素プラズマ発生装置が独立して成膜容器内に設置される構造となっている。酸素プラズマ発生装置では、外部から流量を精密に制御した酸素ガスを高周波 (RF) 電力またはマイクロ波電力により励起し、酸素原子ラジカルを発生させる。酸素原子ラジカルは細孔を通して成膜空間に均一に噴出され、基板に達する。亜鉛原料とガリウム原料は、それぞれ最適な蒸気圧で蒸発する温度に精密に加熱制御され、成膜空間に均一な亜鉛蒸気とガリウム蒸気を噴出する。その結果、基板表面で酸素原子ラジカル、亜鉛原子、ガリウム原子が反応しガリウム添加ZnO膜が堆積する。なおガリウムは膜の導電性を向上させるために添加している。各原料元素を独立して供給する⁷⁾ので、高精度な成膜が可能となる。本装置の実用化に向けた課題は、FPD用の大型基板に対して均一に高品質GZO膜を成膜する技術の開発である。

2-2 プラスチック基板

プラスチック基板の材料にはポリエチレンナフタレート (PEN, 帝人デュボンフィルム社製テオネックス Q65F-100), ポリエチレンテレフタレート (PET, 帝人デュボンフィルム社製メリネックスS-100) およびポリカーボネート (PC, 住友ベークライト社製ECG100) のシートを使用した。厚みはいずれも100 μ mである。

2-3 透明性評価

液晶ディスプレイや電子ペーパーなどで使用する透明導電膜では、可視光領域で透明であることが求められる。これまで我々がガラス基板上に成膜したZnO膜 (以下、ガラス基板上膜と記す。) において、可視光透過率は80%以上であった⁸⁾。プラスチック基板上に成膜したZnO膜 (以下、プラスチック基板上膜、もしくは個別にPEN, PETまたはPC基板上膜と記す。) において

も、同様の可視光透過率を達成しているかを検証するために紫外可視近赤外分光光度計 (日本分光株式会社製 V-570) を使用して、波長190nm~2500nmまでの光に対する透過率スペクトルを測定した。

2-4 密着性評価

基板と膜との密着性は、超薄膜スクラッチ試験機 (株式会社レスカ製CSR-2000) を使用して膜が剥離する荷重値を3回測定し、その平均値を求めた。この試験機は、一定の曲率半径を持つ硬いダイヤモンド製スタイラスを膜面に押付け、荷重を増加させながら膜面を引っ掻き、膜の剥離が発生する荷重値を測定することにより密着性を評価するもの⁹⁾であり、測定方法はJIS R3255に規定されている¹⁰⁾。試験条件を表1に示す。

基板の違いによる密着性の評価とともに、成膜前の基板にプラズマ洗浄処理を行った場合に密着性に変化が現れるかについても検討した。プロセスガスには酸素を用い、プロセスガス導入時の真空容器内圧力が40Paとなるように調整した後、RF電力100Wを投入し、平行平板電極間にプラズマを発生させ、プラズマ洗浄処理を5分間行った。この基板と未処理の基板に対して同時に成膜を行い、密着性を評価した。

表1 スクラッチ試験の条件

スクラッチ速度	10 μ m/s
バネ定数	0.98N/mm
スタイラス径	15 μ m
励振レベル	100 μ m
測定終了荷重	100mN
測定終了時間	300秒

3. 結果と考察

3-1 透明性評価

図2, 図3および図4に、PEN, PETおよびPCの基板と基板上膜の透過率スペクトルをそれぞれ示す。また各サンプルの膜厚と抵抗率を表2に示す。波長400~700nmの可視光領域において、PENおよびPC基板の透過率は80%以上であったが、PET基板の透過率は80%未満であった。

これらの基板上に透明膜を成膜した場合、可視光領域においては、透明膜の膜厚が増えるにつれて透過率は減少し、膜厚と表面状態に応じて、透過率スペクトルが波形となる¹¹⁾。この波形の振幅が大きいと光の干渉による縞の発生や、特定波長域の光が透過しにくくなるといった可能性がある。可視光領域において透過率スペクトルの波形の振幅が小さく、かつ透過率が80%以上ある膜が望ましいということになる。

また一般的に透明導電膜の特性として、可視光領域で

は透明であるが、プラズマ吸収波長を超えた赤外光領域では金属的な反射特性を示し、透過率は減少する^{9) 12)}。今回の測定においても、赤外光領域での透過率の減少が見られ、透明導電膜特有のスペクトルを示している。

図2に示すPEN1は、可視光領域において波形の振幅が大きく、透過率が80%未満となる波長域がある。一方PEN2は、波形の振幅が小さく可視光領域の透過率も80%以上である。波形の振幅の違いは膜厚の違いによるものと思われる。抵抗率を十分小さくできるのであれば、膜厚は小さい方が望ましいことがわかる。PEN2の抵抗率は $3.33 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ と十分に小さく、可視光領域の透過率も80%以上であり、波形の振幅も小さいため、透明導電膜として十分に活用できるとと思われる。

図3に示すPET1およびPET2、および図4に示すPC1およびPC2は膜厚と抵抗率がほぼ等しいサンプルであり、透過率スペクトルもほぼ同じである。PET1およびPET2は可視光領域の透過率は80%に満たないため、透明導電膜には適さないと思われる。なお膜厚は200nm以上あるため、可視光領域において波型の透過率スペクトルが現れてもおかしくないが、PET基板自体の透過率が低いためになだらかな変化となっている。PC1およびPC2は可視光領域において透過率スペクトルに振幅の大きな波形が現れているため、光の干渉による縞が発生する可能性があるが、可視光領域の透過率は80%以上と良好であった。

以上の透明性の評価から、フレキシブルディスプレイのプラスチック基板材料としてPENまたはPC基板が適していることがわかった。

3-2 密着性評価

図5、図6および図7にPEN、PETおよびPC基板上膜のスクラッチ試験の結果と、そのときの膜面の様子を示す。横軸は時間であり、左の縦軸がカートリッジ信号の出力値、右の縦軸が印加荷重値である。直線的に変化しているのが印加荷重の時間変化であり、もう一方の曲線がカートリッジ信号の時間変化である。剥離が発生すると、カートリッジ信号が急激に増加するので、そのときの印加荷重値を剥離荷重値として読み取った。また膜面の様子も同時に観察し、剥離が発生しているかどうかを確認した。

PEN基板上膜では印加荷重が増えるにつれて、カートリッジ信号が滑らかに増加し、37.2mNが印加されたときにカートリッジ信号が急激に増えているのがわかる。膜面の様子を見てもきれいに剥離していることがわかる。

一方、PET基板上膜では、カートリッジ信号は同様に増加していき、剥離の前にところどころ微少な増加が見られる。膜面の様子を見ると、膜の一部が剥離している部分(図6中の□囲み部分)や、表面の凹凸(図6

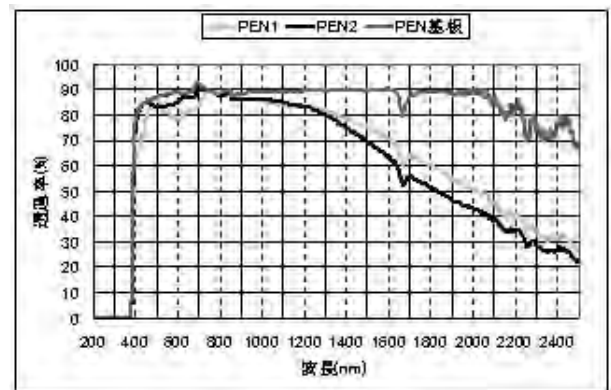


図2 PEN基板とPEN基板上膜の透過率スペクトル

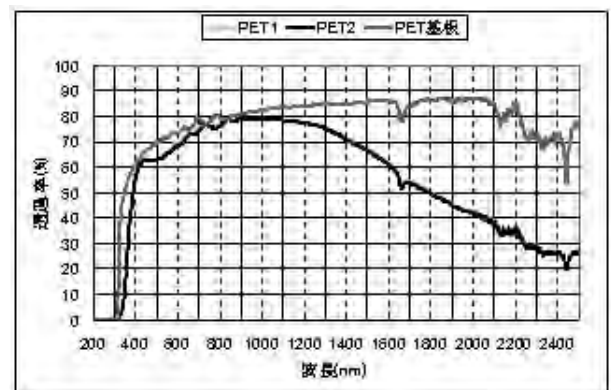


図3 PET基板とPET基板上膜の透過率スペクトル

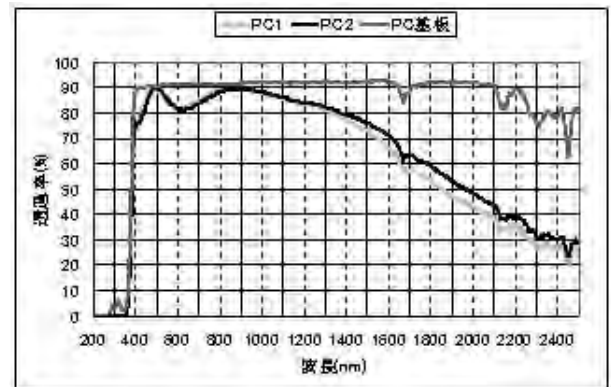


図4 PC基板とPC基板上膜の透過率スペクトル

表2 各サンプルの膜厚と抵抗率

サンプル名	膜厚 (nm)	抵抗率 (Ωcm)
PEN1	254	1.19×10^{-3}
PEN2	97	3.33×10^{-4}
PET1	218	1.02×10^{-3}
PET2	253	1.04×10^{-3}
PC1	274	1.10×10^{-3}
PC2	293	1.34×10^{-3}

中の○囲み部分)が見られる。これらの膜面の状態によってカートリッジ信号に変化が出ていると思われる。なお剥離荷重値は36.7mNであった。

PC基板上膜ではPEN基板上膜と同様にカートリッジ信号が滑らかに増加しているが、剥離荷重値は23.7mNとPENおよびPET基板上膜よりも小さい。また膜面の様子を見ると膜の一部に筋状の変化(図7中の□囲み

部分)があることがわかる。これは膜が剥離したため、もしくは膜の内部に不均一な部分があるためと思われる。

各サンプルのスクラッチ試験の結果を表3に示す。PEN基板上膜では全体が剥離する荷重値が最も高く、部分的な剥離、表面の凹凸および膜内部の不均一な部分などが少ないことがわかった。

次に、成膜前の基板にプラズマ洗浄処理を行った場合に密着性が変化するかを調べた。違いを明らかにするために、プラズマ洗浄処理を行った基板と、行っていない基板に対して、同時にZnOを成膜し、そのサンプルについてスクラッチ試験を行った。またガラス基板とプラスチック基板との比較のために、ガラス基板についても成膜を行い、スクラッチ試験を行った。表4に各サンプルについて3回測定した結果を示す。

ガラス基板上膜に関しては、プラズマ洗浄処理を行った場合に剥離荷重値が増加しており、密着性が向上することがわかった。プラスチック基板に関しては、プラズマ洗浄処理を行ったサンプルの方が剥離荷重値が小さくなっているが、PENおよびPC基板上膜ではその差は僅かなものであった。またPEN基板上膜では、プラズマ洗浄処理を行わないサンプルにおいて、僅かな部分的剥

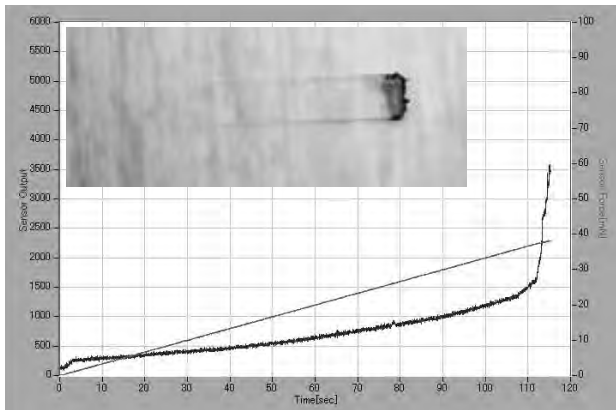


図5 PEN2のスクラッチ試験結果とそのときの膜面の様子

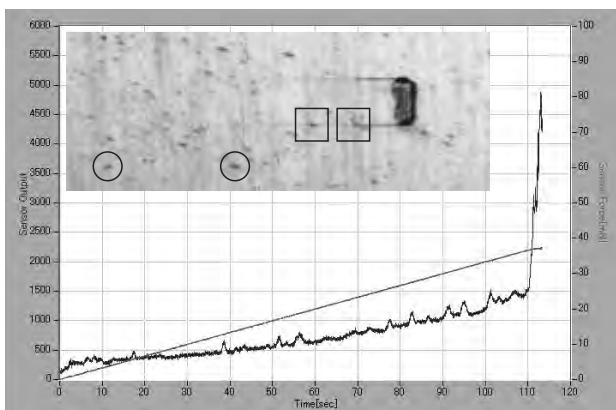


図6 PET1のスクラッチ試験結果とそのときの膜面の様子

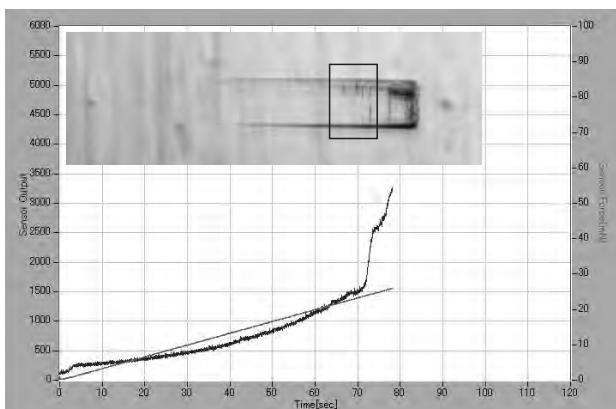


図7 PC1のスクラッチ試験結果とそのときの膜面の様子

表3 プラスチック基板上膜のスクラッチ試験の結果

サンプル名	No.	剥離荷重値 (mN)	剥離前の挙動
PEN1	1回目	38.8	特になし
	2回目	37.8	
	3回目	37.3	
	平均	38.0	
PEN2	1回目	37.2	特になし
	2回目	36.5	
	3回目	35.6	
	平均	36.4	
PET1	1回目	36.7	部分剥離、表面の凹凸あり
	2回目	33.7	表面の凹凸あり
	3回目	27.6	
	平均	32.7	
PET2	1回目	29.6	表面の凹凸あり
	2回目	30.3	
	3回目	37.3	部分剥離、表面の凹凸あり
	平均	32.4	
PC1	1回目	23.7	筋状の変化あり
	2回目	24.2	
	3回目	23.7	
	平均	23.9	
PC2	1回目	23.8	特になし
	2回目	22.4	筋状の変化あり
	3回目	23.6	
	平均	23.3	

表4 プラズマ洗浄処理の有無とスクラッチ試験の結果

サンプル名	No.	剥離荷重値 (mN)	剥離前の挙動
PEN プラズマ処理 なし	1回目	33.8	僅かな部分剥離あり
	2回目	33.5	特になし
	3回目	33.1	僅かな部分剥離あり
	平均	33.5	
PEN プラズマ処理 あり	1回目	30.3	特になし
	2回目	28.6	
	3回目	30.0	
	平均	29.6	
PET プラズマ処理 なし	1回目	30.4	部分剥離, 表面の凹凸あり
	2回目	33.6	
	3回目	30.7	
	平均	31.6	
PET プラズマ処理 あり	1回目	18.7	部分剥離, 表面の凹凸あり
	2回目	19.0	
	3回目	19.8	
	平均	19.2	
PC プラズマ処理 なし	1回目	21.1	筋状の変化あり
	2回目	21.1	特になし
	3回目	21.2	僅かな部分剥離あり
	平均	21.1	
PC プラズマ処理 あり	1回目	18.8	筋状の変化あり
	2回目	19.2	
	3回目	19.8	
	平均	19.3	
ガラス プラズマ処理 なし	1回目	29.5	部分剥離あり
	2回目	21.7	
	3回目	29.9	
	平均	27.0	
ガラス プラズマ処理 あり	1回目	31.8	部分剥離あり
	2回目	32.5	
	3回目	35.4	
	平均	33.2	

離が発生することがあったが、プラズマ洗浄処理を行ったサンプルではきれいに剥離していることがわかった。PET基板上膜では剥離荷重値の低下が著しく、プラズマ洗浄処理により密着性が低下してしまうことがわかった。プラズマ洗浄処理は基板表面の付着物を取り除くのに有効であり、PENおよびPC基板上膜では密着性の低下も僅かなものであるため、PEN、PCおよびガラス基板に対する成膜の前処理として、プラズマ洗浄処理を行うことは問題ないと思われる。

次に、ガラス基板上膜とプラスチック基板上膜の剥離荷重値を比較すると、プラズマ洗浄処理を行わなかった場合は、PEN>PET>ガラス>PCとなっており、プラズマ洗浄処理を行った場合は、ガラス \geq PEN>PC \geq PETとなっている。PEN基板上膜についてはガラス基

板上膜と同等の密着性があることが確認できた。

以上の密着性の評価から、フレキシブルディスプレイのプラスチック基板材料としてPEN基板が適しており、透明性および密着性の評価の両方において適しているのはPEN基板であることが明らかとなった。

3-3 プラスチック基板上膜を使用した表示装置の試作

本研究においてZnO膜を使用した応用製品として、プラスチック基板上膜を使用した表示装置を試作した。プラスチック基板にはPENを使用した。図8に試作した表示装置の外観を示す。



図8 試作したPEN基板上膜を使用した表示装置

4. 結言

各種プラスチック基板上に成膜した酸化亜鉛膜の透明性および密着性を評価したところ、最も適しているのはポリエチレンナフタレート (PEN) であることが明らかとなった。またPEN基板上に成膜したZnO膜を用いて、表示装置の試作を行った。

参考文献

- 1) 萩原茂, 木島一広, 阿部治他: 山梨県工業技術センター研究報告, No.19, P.120-123 (2005)
- 2) 萩原茂, 木島一広, 阿部治他: 山梨県工業技術センター研究報告, No.20, P.92-95 (2006)
- 3) 萩原茂, 木島一広, 阿部治他: 山梨県工業技術センター研究報告, No.21, P.64-67 (2007)
- 4) 萩原茂, 木島一広, 阿部治他: 山梨県工業技術セ

- ンター研究報告, No.22, P.40-43 (2008)
- 5) 萩原茂, 河野裕, 木島一広, 阿部治他: 山梨県工業技術センター研究報告, No.23, P.11-15 (2009)
 - 6) 萩原茂, 河野裕, 木島一広, 阿部治他: 山梨県総合理工学研究機構研究報告書, No.4, P.63-69 (2009)
 - 7) T.Matsumoto et al.: Plasma assisted MBE growth and characterization of hexagonal ZnO on GaAs (111) substrates, Proceedings of 1st Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors, P.153-156 (2003).
 - 8) 松本俊: 月刊ディスプレイ, Vol.14, No.5, P.68-73 (2008)
 - 9) 技術情報協会: 薄膜の機械的特性と評価・制御技術, 技術情報協会, P.219-220 (2001)
 - 10) 財団法人規格協会: JIS R 3255 ガラスを基板とした薄膜の付着性試験方法 (1997)
 - 11) 上條幹人, 有泉直子, 萩原義人, 日原正彦: 山梨県工業技術センター研究報告, No.9, P.95-99 (1995)
 - 12) 田畑三郎, 光機能材料マニュアル編集幹事会: 光機能材料マニュアル, オプトロニクス社, P.347-361 (1997)

成果発表状況

学会発表

- 1) 水口慶一, 秋山太幸, 原澤哲也, 榊原章剛, 村中司, 鍋谷暢一, 秋津哲也, 松本俊, 平木哲, 藤川雄一郎, 萩原茂, 河野裕, 木島一広, 阿部治, 八代浩二: プラズマ支援堆積法による大面積ZnO透明導電膜, 2008年応用物理学会多元系機能材料研究会年末講演会, 新潟, 2008
- 2) 水口慶一, 宮下祐司, 堀井貴大, 佐野志保, 榊原章剛, 村中司, 鍋谷暢一, 松本俊, 平木哲, 古川英明, 深沢明広, 阪本慎吾, 萩原茂, 河野裕, 木島一広, 阿部治, 八代浩二: プラズマ支援堆積法によるZnO透明導電膜の低温成長, 2009年応用物理学会多元系機能材料研究会年末講演会, 岡山, 2009
- 3) 萩原茂, 河野裕, 木島一広, 阿部治, 八代浩二, 松本俊, 他13名: FPD用ガリウム添加酸化亜鉛透明導電膜の低温成膜装置の開発, 産業技術連携推進会議 情報通信・エレクトロニクス部会 第5回電子技術分科会, 山梨, 2009

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

山梨県富士工業技術センター¹・山梨県工業技術センター²・山梨大学³
吉村千秋¹・古屋雅章¹・早川亮²・加藤孝正³

Development of Compound Semiconductor multilayer solar battery

Fuji Industrial Technology Center¹, Yamanashi Industrial Technology Center², University of Yamanashi³
Chiaki YOSHIMURA¹, Masaaki FURUYA¹, Ryo HAYAKAWA² and Takamasa KATOU³

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を目指した。また、太陽電池セルの試作を行った。ESD法で試作した膜はスライドガラス全体に均一に成膜されており、また、SEM写真から粒径が細かく、結晶性も良好であることが分かった。次に、太陽電池のセルを試作し、IV特性を測定した結果、一般的なpn接合ダイオードに見られる整流性を確認することができた。

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. Moreover, making also had the solar battery cell. As for the film made by ESD method, is uniformly coated by the entire slide glass, Moreover, it has been understood that the grain diameter is detailed, and crystalline is also excellent from the SEM photograph. The rectification seen in a general pn junction diode as a result of making the cell of the solar battery for trial purposes, and measuring the IV characteristic was able to be confirmed.

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。そのシリコン太陽電池を分類すると、変換効率が高いものから単結晶、多結晶、アモルファスシリコンであり、価格もその順となっている。

その中の単結晶シリコンは、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、種々の代替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Ⅲ－Ⅴ族、Ⅱ－Ⅵ族やⅠ－Ⅲ－Ⅵ族の化合物半導体であるInP, CuInSe₂, In₂Se₃, GaAs, CdTeなどの研究が進んでいる。また、汎用原料を用いたCu₂ZnSnS₄やCu₂Oなども注目されている。しかし、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、チャンバーを高真空に保つ必要があるため大面積化が難しい。そこで、代替技術として注目されているCIS膜に着目し、新しい成膜技術を応用して低コストで高効率な化合物半導体太陽電池を開発する。CISは1974年にベル研究所で発明され、その特徴として

- 1) 比較的低温でCIS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を吸収でき、屋根材としての意匠性に優れている。

等がある。¹⁾

そこで、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法を応用した薄膜形成技術、および太陽電池セルの作成技術を開発し、さらに積層した接合セルを作成することにより、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。

2. 実験方法

2-1 ESD法

ESD法とは、微粉末材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、さらにここから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。これを繰り返して、最終的に結晶を生成する方法である。²⁾ 図1にESD法の概念図を示す。

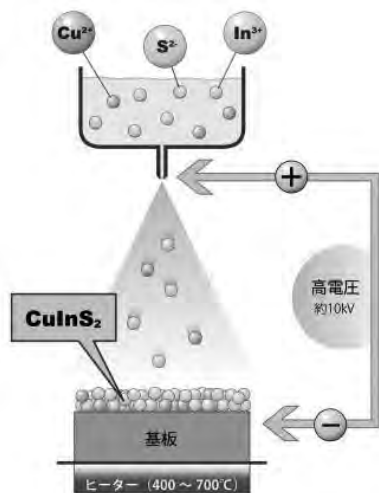


図1 ESD法の概念図

2-2 太陽電池の構造

本研究での太陽電池の構成は、基板としてコーニング社のガラス（コーニング#1737）を使用し、その表面にイオンプレATING法によりモリブデンをコーティングした。さらにその上に光吸収層としてCuInS₂（以下CIS）を成膜、窓層にZnOを成膜させる。図2に太陽電池の構造を示す。

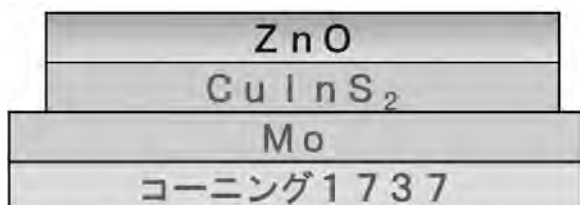


図2 太陽電池構造図

2-3 実験方法

基板ガラスは、52mm×76mm×1.1mm（コーニング#1737）を用い、CIS層について塩化インジウム（Ⅲ）InCl₃と塩化銅CuCl₂・2H₂O、チオ尿素（NH₂）₂CSを、ZnO膜については塩化亜鉛ZnCl₂を水とエタノールで溶解し、マグネチックスターラで攪拌して、溶液を作成した。溶液はシリンジポンプを用い、チューブを通し

て高電圧をかけた針先に供給する。この針先から溶液が噴射されて対向した電極のガラス基板に成膜される。図3にCIS用、図4にZnO用に試作した成膜装置を示す。シリンジポンプはCIS成膜装置ではHARVARD社インフュージョンポンプ model 11, ZnO成膜装置ではBAS MICRODIALYSYS社 KDSscientific IC3200を、CIS成膜装置用ホットプレートでは、アサヒ理化製作所社のAHS-500, ZnO成膜装置用ホットプレートでは、Fisher Scientific社 Isotemp Hotplatesを、高電圧用電源は松定プレジジョン社 HAR-30P1を使用した。

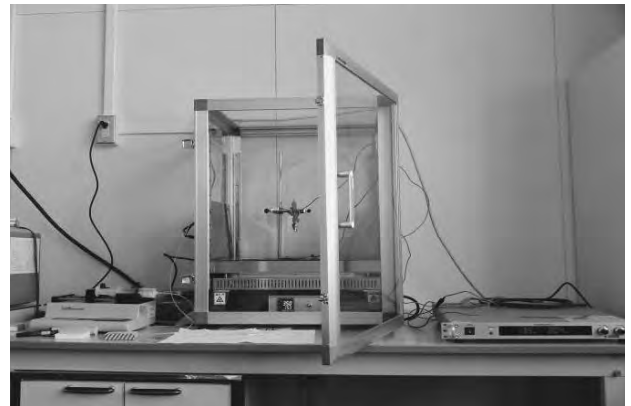


図3 CIS成膜装置

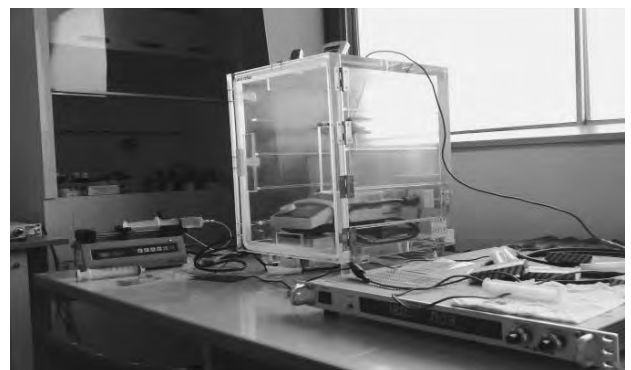


図4 ZnO成膜装置

3. 結果および考察

3-1 電極間距離とスプレー範囲、膜厚の評価

針先と基板間の電極間距離によるスプレー範囲を確認するためESD法によるCISの成膜実験を行った。CIS層となる溶液は、金属イオン総濃度0.0075mol/l（モル比CuCl₂・2H₂O：InCl₃：（NH₂）₂CS=0.0015 mol/l：0.0015 mol/l：0.0045mol/l）を溶媒（エタノール3：純水7）に溶解し、マグネチックスターラで攪拌して調整した。印加電圧は12kV、ヒータ温度は350℃、溶液は30ml、電極間距離は50mm, 100mm, 150mmとした。

図5にスプレー範囲の様子を示す。ほぼ円形に成膜されていることが分かる。

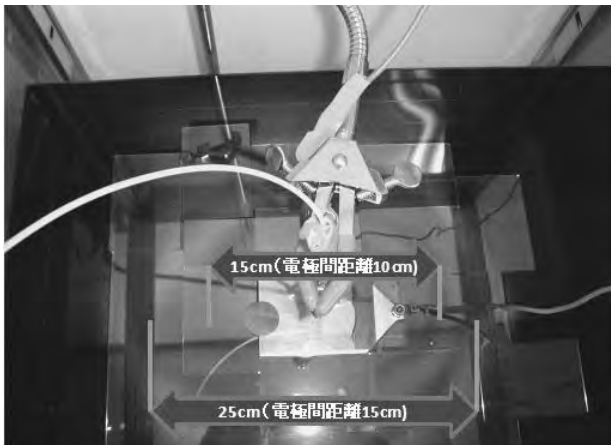


図5 スプレー範囲の様子

図6にESD法で成膜したCIS層を示す。図からスライドガラス全体に成膜されていることがわかる。なお両サイドは表面粗さ計で膜厚を測定するためにマスクした跡である。

図7に各電極間距離におけるスプレー範囲を示す。図から電極間距離とスプレー範囲は、ほぼ線形的に変化していることが分かった。

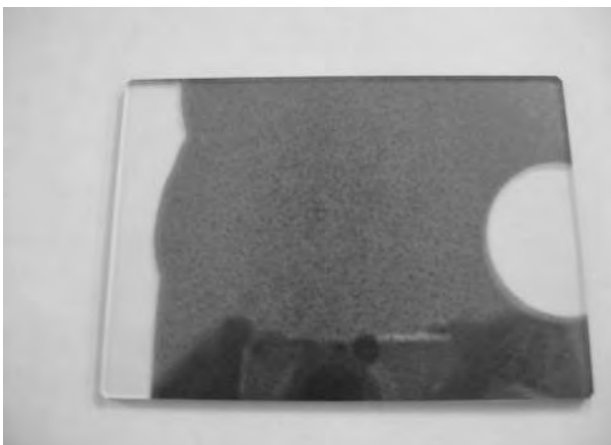


図6 成膜したCIS層の外観図

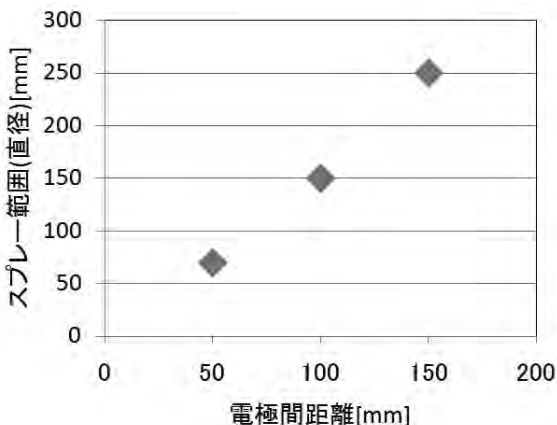


図7 各電極間距離におけるスプレー範囲

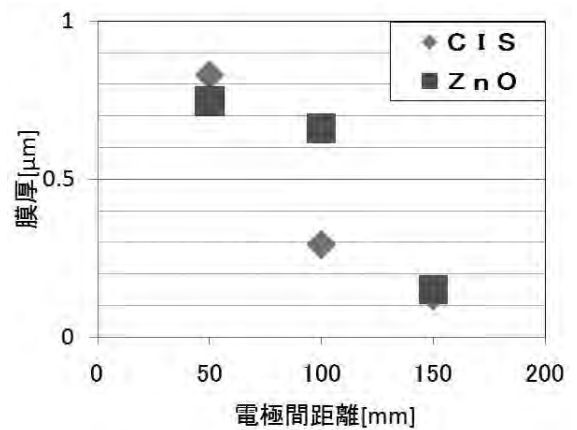


図8 各電極間距離における膜厚

次に、ZnO溶液（金属イオン濃度0.01mol/l）を溶媒（エタノール3：純水7）で溶解し、同様の実験を行い、電極間距離と膜厚の関係を確認した。なお膜厚はミットヨ製CS-H5000CNで測定を行い、図8にその結果を示す。図から電極間距離が短いほど、膜厚は厚くなっている。

以上の点から、電極間距離が長くなるほど、スプレー範囲は広く、膜厚は薄くなっており、今回実験を行った電極間距離の範囲では、針先端から円錐状にスプレーされていることが推定できる。

なお、以後の実験については、サンプルサイズを考慮して、全面に成膜できるように電極間距離70mmを基準に実験を行った。

3-2 CIS層評価

下記に示す各条件でCIS層を成膜した。これを日立製作所製の電子顕微鏡（SEM）S-2380Nを用いて観察した。電極間距離150mmとして成膜したCIS層のSEM写真を図9に、電極間距離を50mmとしたものを図10に示す。図から電極間距離が長い方が粒径は細かく、良好であることが分かった。

○CIS層成膜条件

金属イオン総濃度：0.0075mol/l

印加電圧：12kV

ヒータ温度：350℃

図11に電極間距離を70mmとした条件で成膜したCIS層のX線回折（XRD）プロファイルを示す。XRD評価にはリガク製UltimaIVを使用した。図から試料はCISのICSDパターンカードのXRDプロファイルと一致しており、試料はCIS層であることが分かった。

また、薄膜内部における化合物形成状態を把握するために、X線光電子分光法による深さ方向の分析を行った。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 Spectroscopy⁴⁾に記載されている値を用

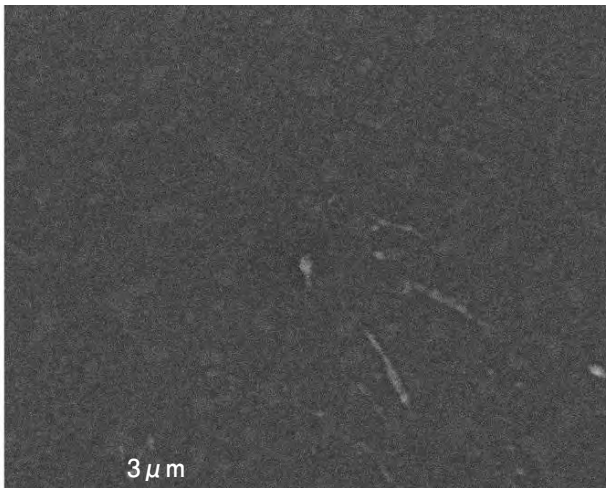


図9 成膜したCIS層の表面SEM写真
電極間距離150mm

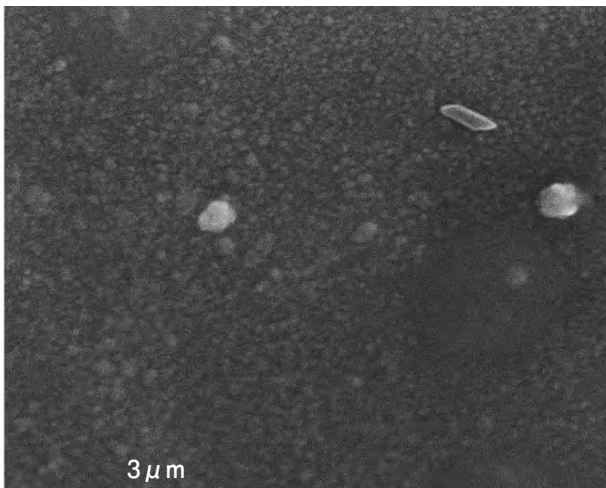


図10 成膜したCIS層の表面SEM写真
電極間距離50mm

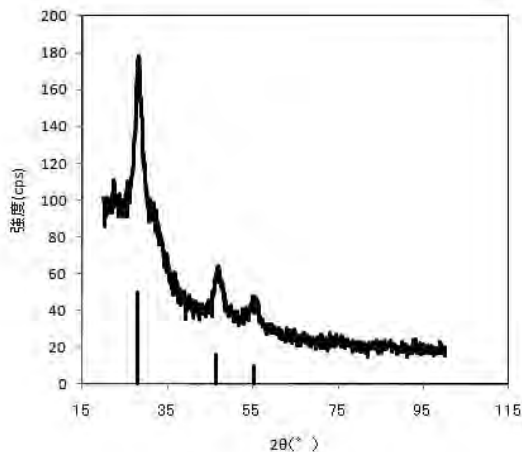


図11 CIS層のX線回折プロファイル³⁾

いた。

XPSによる表面分析を行う前に、試料表面の清浄化を目的として、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った。その際の条件は、Arの導入圧力を 3×10^{-2} Pa、加速電圧を500V、加速電流を8.6mA、エッチング時間を2secとした。

試料表面の清浄化後にXPSによる表面分析を行った。

X線源にはAl K α 線（1486.6eV）を用い、分析範囲は ϕ 8.0mm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3V、加速電流を4mAとした。

光電子スペクトルの測定は、エネルギー範囲0～1300eVのワイドレンジを測定した後、ナローレンジとして、CIS膜では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、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500V、加速電流を8.6mA、エッチング時間を30～180secとし、次の条件で成膜した試料を用いて深さ方向の分析を行った。その結果を図12に示す。

○CIS層成膜条件

金属イオン総濃度：0.0075mol/l

印加電圧：12kV

電極間距離：150mm

ヒータ温度：350℃

後処理：540℃で6時間加熱

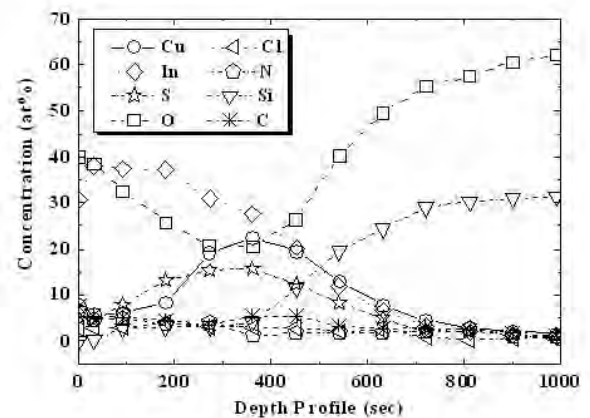


図12 CIS膜の深さ方向分析に伴う各成分の濃度変化
(基板温度350℃、電極間距離150mm、成膜後540℃で6時間加熱)

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は深さ方向において大きく変化しており、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1.4倍、インジウムは約8.6倍であった。酸素も20~40%の高濃度で存在していることが分かった。これらのことから、CIS膜はCuInS₂結晶以外に多くの酸化物から形成されていることが分かる。

また、今回作製したCIS膜は大気中で成膜しており、深さ方向分析の結果において高濃度の酸素が存在することが明らかになったことから、完全なCIS膜を作製するためには成膜時の雰囲気アルゴンなどの不活性ガスに調整する必要があると考えられる。

3-3 ZnO層評価

ZnO成膜を以下の条件で行った。

- 金属イオン濃度：0.01mol/l
- 印加電圧：12kV
- 電極間距離：150mm
- ヒータ温度：350℃, 540℃

ヒータ温度350℃, 540℃で成膜したときのSEM写真をそれぞれ図13, 図14に示す。図14から温度が高い540℃で成膜した試料は、粒径がほぼ均一の0.5μm以下と細かく、良好であることが分かった。一方、ヒータ温度が350℃での成膜条件では、粒径は不均一でありZnO成膜には、ヒータ温度は高い方が良好であることが分かった。

次に、添加物としてInCl₃を添加し、ヒータ温度を変化させながら実験を行い、その表面抵抗率の変化を調べた。成膜条件を以下に示す。

- 金属イオン濃度：0.01mol/l
- インジウム濃度：0 at.%, 5 at.%, 10 at.%
- 印加電圧：12kV
- 電極間距離：150mm
- ヒータ温度：350℃, 450℃, 540℃

図15に成膜したZnO層の表面抵抗率を示す。図からIn添加物は混入せず、さらにヒータ温度が高い方が低抵抗率を得られることが分かった。

図16に下記の条件で成膜したZnO層のXRDプロファイルを示す。図から試料はZnOのICSDパターンカードのXRDプロファイルと一致しており、試料はZnO層であることが分かった。

○ZnO層成膜条件

- 金属イオン濃度：0.01mol/l
- 印加電圧：12kV
- 電極間距離：70mm
- ヒータ温度：350℃

光電子スペクトルの測定は、エネルギー範囲0~1300eVのワイドレンジを測定した後、ナローレンジとしてZnO膜ではZn 2p_{3/2}電子, O 1s電子, C 1s電子およびSi 2p_{3/2}電子における光電子スペクトルを測定した。

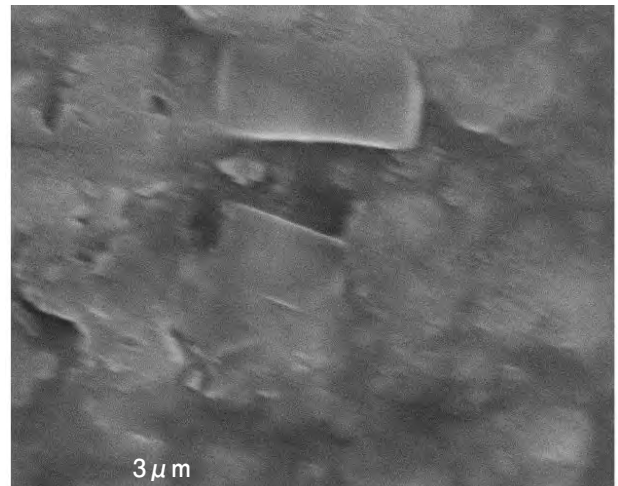


図13 成膜したZnO層の表面SEM写真
ヒータ温度350℃

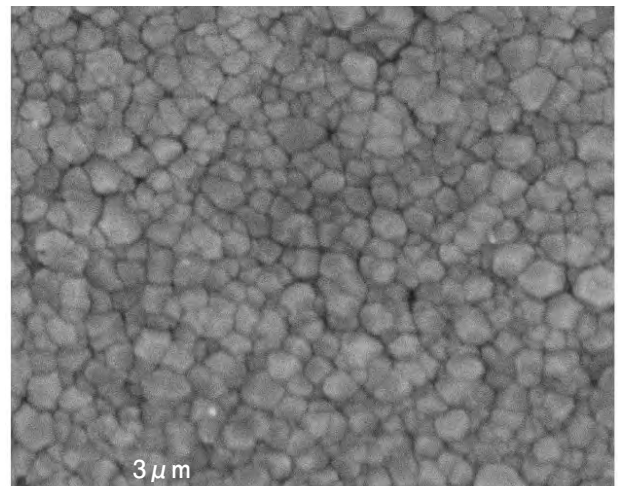


図14 成膜したZnO層の表面SEM写真
ヒータ温度540℃

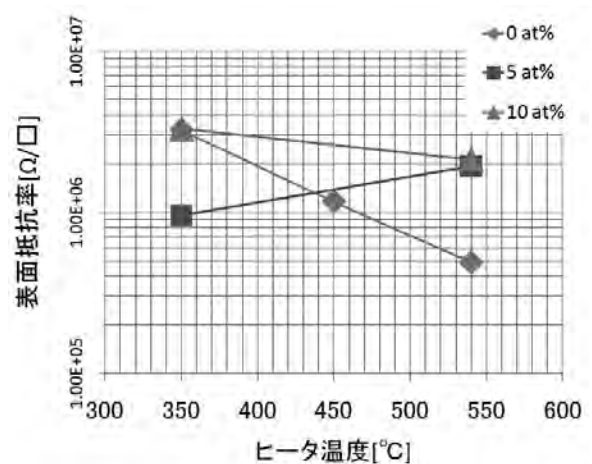


図15 表面抵抗率

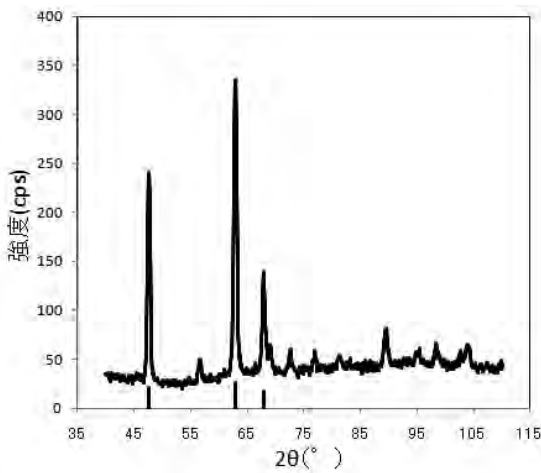


図16 ZnO層のX線回折プロファイル⁵⁾

基板温度540℃において成膜したZnO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、Zn 2p電子およびO 1s電子それぞれのピーク面積から亜鉛、酸素およびケイ素の深さ方向に伴う濃度変化を求めた。その結果を図17に示す。亜鉛は酸化物である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。

また、今回作製したZnO膜は大気中で成膜しており、深さ方向分析の結果において酸素の濃度不足が明らかになったことから、完全なZnO膜を作製するためには成膜時の雰囲気アルゴンなどの不活性ガスと酸素の混合ガスを用いることによって、より高濃度な酸素を含む雰囲気に調整する必要があると考えられる。

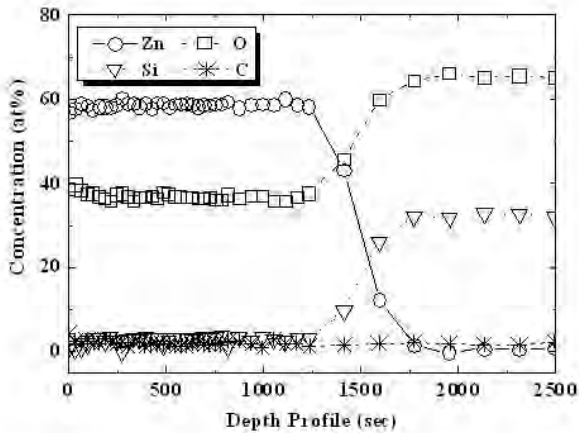


図17 ZnO膜の深さ方向分析に伴う各成分の濃度変化 (基板温度: 540℃)

3-4 太陽電池セル評価

基板としてコーニング製ガラスを使用し、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。

- CIS層
- 金属イオン総濃度: 0.0075mol/l
- 印加電圧: 12kV
- 電極間距離: 70mm
- ヒータ温度: 350℃
- 液量: 50ml
- ZnO層
- 金属イオン総濃度: 0.01mol/l
- 印加電圧: 12kV
- 電極間距離: 70mm
- ヒータ温度: 540℃
- 液量: 50ml

試作品の断面SEM写真を図19に示す。セル化した膜はそれぞれの膜毎に均一に成膜されており、この断面写真から各々の厚みはMo: 約1.2 μm, CIS約0.8 μm,

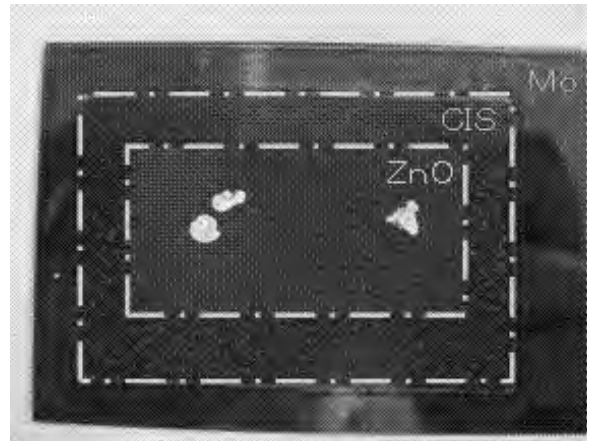


図18 試作したセルの外観図

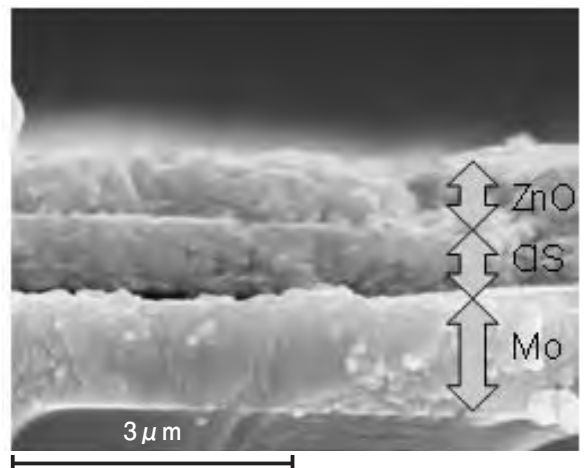


図19 試作セルの断面SEM

ZnO約0.6 μ mであった。また、CIS層とZnO層は、均一に密着しているが、モリブデン層とCIS層の間には密着性の不均一な部分も確認できた。

また、CIS層の金属イオン総濃度を0.0225mol/lとし、試作した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20に示す。試作品は一般的なpn接合ダイオードに見られる整流性を示しており、半導体としての機能を有することが確認できた。図21にその特性を示す。

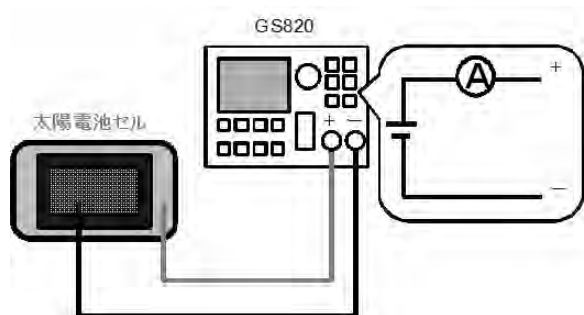


図20 測定システム概要図

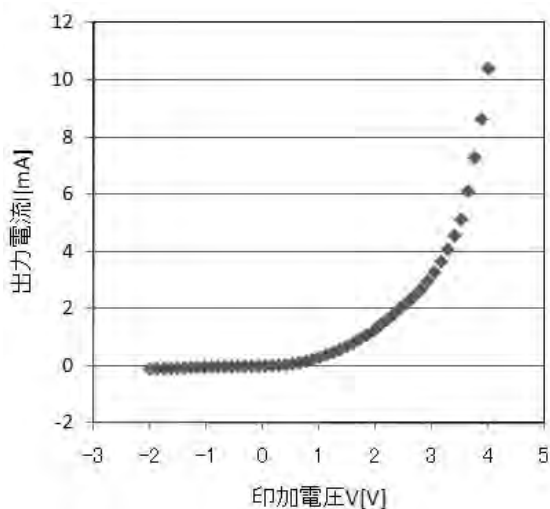


図21 試作セルの電圧掃引特性

4. 結 言

ESD法による成膜では、針先と基板間の電極間距離とスプレー範囲はほぼ線形的な関係にあり、電極間距離70mm程度で大型スライドガラス一枚分ができ、成膜の大面积化に対応できることが分かった。また、SEM写真、XRD評価でも結晶性が良好であることが分かった。セルを試作し、IV特性を測定した結果、一般的なpn接合ダイオードに見られる整流性を確認することができた。

今回成膜実験を行ったCIS層、ZnO層ともに均一に成

膜され、かつSEM写真、XRD評価からも結晶性も良好であることが分かった。

今後、光起電力効果の測定には、CIS層とZnO層の密着性を高めるため、両膜のバッファー層としてCdS、ZnS、Zn(O,S,OH)、InS系等の形成を検討し、太陽電池セルとしての実現に向け取り組む予定である。

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) Morozov, V. N. & Morozova, T. Y.: Electro spray deposition as a method to fabricate functionally active protein films. Anal. Chem..71 (1999) 1415.
- 3) Abrahams, S.C., Bernstein: J.L. J. Chem. Phys.59 (1973) 5415.
- 4) 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)
- 5) MCMurdie, H., Morris, M., Evans, E., Paretzkin, B., Wong-Ng, W., Ettliger, L., Hubbard,: C. Powder Diffraction 1 (1986) 76.
- 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）

酒造米および有色素米の栽培と利用に 関する研究

Research on Cultivaion and Use of Rice for Sake Brewing and Rice
Having Coloring Matter

山梨県における酒造米の品種選定ならびに 「夢山水」の栽培特性と酒造適性に及ぼす窒素施肥量の影響

総合農業技術センター¹・工業技術センター²

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・外川高雄¹

Selection of Rice for Sake Brewing in Yamanashi Prefecture and Effect of Fertilizer Nitrogen on Cultivation Characteristic and Sake Making Properties of Cultivar “YUMESANSUI”

Yamanashi Prefectural Agricultural Technology Center¹, Yamanashi Industrial Technology Center²

Naoya UENO¹, Kota NAGANUMA², Toshiyuki ISHII¹, Hideo KIMURA², Masato KOJIMA², Takao TOGAWA¹

要 約

山梨県における地域ごとの酒造米有望品種の選定を行った。平坦地では「吟のさと」および「改良雄町」が外観品質に優れ有望と考えられた。中間地では「夢山水」が収量性や点状心白を中心とした心白発現率が高いことから有望と考えられた。「夢山水」は、基肥窒素施肥量 5 kg/10a および穂肥窒素施肥量 2 kg/10a を施用することにより、生育が安定し多収になることが明らかになったが、施肥量が玄米タンパク質含有率に及ぼす影響は判然としなかった。

Abstract

We selected a promising kind of the brewing rice suitability rice in Yamanashi Prefecture. In flat region, cultivar ‘Ginnosato’ and cultivar ‘Kairyoomachi’ are promising cultivars for high grain quality. In hilly and mountainous region, cultivar ‘Yumesansui’ is promising cultivars for high yielding ability and high percentage of white core rice. Cultivar ‘Yumesansui’ showed the stable growth and higher yields under the conditions of 5kg/10a nitrogen basal fertilizer and 2kg/10a nitrogen fertilizer at the panicle formation stage. The effect of nitrogen fertilizer on content of brown-rice protein was not clearly.

1. 緒 言

日本酒醸造用原料米である酒造米は、県内中間地の北杜市、富士吉田市において「ひとごち」が、平坦地の南アルプス市や増穂町において「玉栄」が、併せて 23ha 生産されている。「ひとごち」や「玉栄」は短穂・多収で栽培特性に優れ、芳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おり、さらなる増産が期待されている。しかし、「ひとごち」は心白形状が「眼状」で、高度とう精に向かないため、吟醸酒原料用の高度とう精が可能で淡麗な酒質となる品種が求められている。一方、「玉栄」は胴割れ粒や腹白粒が多いため、玄米品質や精米特性の点でさらに優れる品種が求められている。

そこで、本研究では酒造米の品種比較試験を行い、栽培特性を明らかにするとともに、生産された酒造米の玄米特性、精米特性および酒造適性の評価を行い、より酒造適性の高い品種の選定を行う。さらに、醸造に適したより高品質な生産物を得るための生産技術の確立を目指

す。

ここでは、酒造米について晩生 5 品種、中生 3 品種の栽培特性や玄米特性、精米特性を把握するとともに、中生品種群において有望と考えられる「夢山水」について、施肥量が栽培特性や玄米品質に与える影響について明らかにしたので報告する。

2. 実験方法

2-1 酒造米の品種比較

(1) 晩生品種

試験は 2009 年に総合農業技術センター本所 1-4 号田（甲斐市、標高 315m、灰色低地土、前作：水稲）で行った。供試品種は、平坦地で栽培されている「玉栄」を対照に「山田錦」、「改良雄町」、「吟のさと」、「愛知酒 117 号」、「信交酒 541 号」の 5 品種を用いた。播種は 5 月 7 日、移植は 6 月 2 日、手植えにより行い、栽植密度は 22.2 株/m²（畝幅 30cm、株間 15cm）、試験規模は 1 区 10 m² の 2 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号で表面施用した。栽培管理や病害虫防除は、山梨県稲・麦・大豆生産指導指針¹⁾および山梨県病害虫防除基準²⁾に従った。各品種について生育ステージ、草丈、莖数、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段階で評価した。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。精玄米歩合は全粒数に対する精玄米粒数の割合として求めた。玄米外観品質の調査は山梨農政事務所に依頼し、特上、特等、1等、2等、3等、等外の6段階で評価を行った。玄米タンパク質含有率は静岡精機社製食味計(GS-2000)を用い測定した。

(2) 中生品種

試験は2007～2009年に総合農業技術センター岳麓試験地(富士吉田市、標高820m、黒ボク土、前作：水稻)で行った。供試品種は「夢山水」で、対照品種として吟醸酒用品種である「美山錦」と現地で栽培されている「ひとごち」を用いた。播種は4月5半旬、移植は5月5半旬に行い、基肥は、N-P₂O₅-K₂Oとして8-8-8kg/10aを化成8号で全層施用した、栽植密度や移植方法等の栽培条件および試料の調整方法、生育・収量や品質等の調査項目は2-1(1)に準じた。

2-2 玄米特性の評価

中生品種として有望と考えられる「夢山水」および対照品種「美山錦」、「ひとごち」について、岳麓試験地で栽培した2009年産試料の心白発現率、心白型比率を調査した。心白発現率は、整粒を穀粒判別器(サタケ社製RGQI20A)で一次分別後、200粒について目視により心白粒を計数して求めた。心白型は前述の試料を用い、玄米横断面の心白の形状を、高橋ら³⁾に準じて図1により分類した。



図1 玄米横断面の心白形状

2-3 酒造適性の評価

(1) 供試玄米の精米試験

酒造用原料米全国統一分析法⁴⁾に準じて行った。水分含有率を13.8%に調整した各品種試料150gを、テストミル(TM 05C, サタケ社製)を用いて見かけ精米歩合70%まで精米した。なお、テストミルの装てんロールは

#46とし、回転速度は1,000rpmとした。精米後、精白米から一定量を取り碎米を除いたものを整粒とした。真精米歩合、無効精米歩合、碎米率の算出は既報⁴⁾に従った。

(2) 供試米の水分および粗タンパク質含有率測定

酒造用原料米全国統一分析法⁴⁾に従った。水分は粉碎試料2gを精秤し、135℃で3時間乾燥後の重量から算出した。粗タンパク質含有率はケルダール法(セミマイクロ法)により求めた。

2-4 施肥試験(現地圃場)

試験は2009年に北杜市長坂町長坂下条圃場(標高640m、黒ボク土、前作：水稻)で行った。供試品種は中生品種として有望と考えられる「夢山水」を用いた。試験区は基肥窒素量として化成8号で0,2,5,8kg/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4月15日、移植期は5月23日で、機械移植により栽植密度は15.9株/m(畝幅30cm, 株間21cm)、試験規模は1区50m²で2反復とした。栽培管理や病害虫防除は、現地農家の慣行管理とした。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, 2-2に準じた。圃場管理の都合から、坪刈りは9月21日に一斉に行った。

なお、施肥量が「夢山水」の栽培特性や収量特性、玄米品質に及ぼす影響については、基肥施肥量および穂肥の有無ごとに解析を行った。

3. 結果

3-1 晩生品種

(1) 栽培特性および収量特性

酒造米晩生品種の栽培特性および収量特性を表1に示した。対照品種である「玉栄」と比較した特性を以下に述べる。出穂期および成熟期は「信交酒541号」は6日早熟だったものの、これ以外の品種・系統は1～7日晚熟であった。稈長は「吟のさと」、「信交酒541号」では同程度であったが、他の品種・系統では長く、倒伏程度は「山田錦」で高かった。穂数は「愛知酒117号」で少なく、「山田錦」で多い傾向が認められた。玄米収量は「愛知酒117号」で有意に少なく、「山田錦」で少ない傾向が認められ、他の品種・系統は同程度であった。千粒重は「吟のさと」が同程度で、他の品種・系統は小さかった。

(2) 玄米品質

酒造米晩生品種の玄米品質を表2に示した。対照品種「玉栄」の玄米外観品質が2等評価であったのに比較し、いずれの品種・系統も良好で、「改良雄町」は特上、「吟

表1 酒造米晩生品種における栽培特性および収量特性

品種・系統名	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)	玄米収量 (kg/10a)	千粒重 (g)
吟のさと	8.25	10.05	78.8	21.8	307	0.0	548 b ²⁾	29.5
改良雄町	8.20	9.29	94.5	21.7	307	0.5	517 b	26.2
山田錦	8.23	10.02	97.7	20.7	329	1.7	456 ab	27.8
愛知酒117号	8.25	10.03	85.5	21.1	282	0.0	397 a	28.0
信交酒541号	8.10	9.22	79.8	20.2	293	0.0	536 b	28.9
(対) 玉栄	8.16	9.28	75.0	20.9	302	0.3	521 b	30.2

- 1) 倒伏程度は0-無, 1-微, 2-少, 3-中, 4-大, 5-甚の目視による6段階評価
2) 異なる英文字間には多重比較検定 (Tukey 5%水準) で有意な差が認められる

表2 酒造米晩生品種における玄米品種

品種・系統名	外観品質 ¹⁾ (1-6)	玄米タンパク質含有率 (%)
吟のさと	2.0	7.1
改良雄町	1.0	6.4
山田錦	3.0	6.7
愛知酒117号	2.0	7.9
信交酒541号	3.5	6.5
(対) 玉栄	4.0	6.7

- 1) 外観品質は山梨農政事務所による
1-特上, 2-特等, 3-1等, 4-2等, 5-3等, 6-等外の6段階評価

のさと」, 「山田錦」は特等の評価であった。玄米タンパク質含有率は、「玉栄」の6.7%と比較し、「愛知酒117号」で高く、「吟のさと」でやや高い傾向が認められた。

3-2 中生品種

(1) 「夢山水」の栽培特性および収量特性

「夢山水」, 「美山錦」, 「ひとごち」の栽培特性および収量特性を表3に示した。「夢山水」の出穂期および成熟期は「美山錦」に比べ晩熟で「ひとごち」と同程度であった。稈長は「美山錦」と「ひとごち」の中間で、倒伏程度は「美山錦」と同程度で「ひとごち」よりも高かった。穂長は両品種より明らかに長く、穂数は「ひとごち」よりも少なく、「美山錦」よりやや多い傾向が認められた。玄米収量は「美山錦」より多く、千粒重は両者の中間程度であった。

(2) 「夢山水」の玄米品質および特性

「夢山水」, 「美山錦」, 「ひとごち」の玄米品質を表4に、玄米特性を表5に示した。「夢山水」の玄米外観

品質は「美山錦」よりもやや優れ、玄米タンパク質含有率は6.6%で、両品種との明確な差は認められなかった。

目視による玄米の心白発現率は「夢山水」で28.5%と「美山錦」の10.5%に比べ高く、「ひとごち」の34.5%と同程度であった。玄米横断面の心白型は、「夢山水」では点状心白の比率が56%と高く、線状心白や眼状心白は少なかった。「美山錦」は無心白粒の、「ひとごち」は眼状心白粒の比率が高かった。「夢山水」の腹白粒は14.5%と「ひとごち」よりは少なく、「美山錦」と同程度であった。なお、いずれの品種においても、横断面で観察された心白の比率は、外観の目視による心白発現率よりも高くなった。

(3) 「夢山水」の精米特性および粗タンパク質

「夢山水」, 「美山錦」および「ひとごち」の70%精米試験結果を表6に示した。碎米率は3品種ともほぼ同等だが、いずれも10%以上となった。無効精米歩合は「夢山水」が9.6%、「美山錦」が12.1%と高い割合であった。

粗タンパク質含有率は、「夢山水」で4.7%となり、「ひとごち」の4.4%、「美山錦」の5.0%の中間程度であった。

3-2 施肥量が「夢山水」の栽培特性と収量特性および玄米品質に及ぼす影響

窒素施肥量の違いが「夢山水」の生育に及ぼす影響を表7-1および表7-2に示した。「夢山水」の幼穂形成期における草丈および茎数は基肥量が多いほど高い値を示し、生育が旺盛であった。同様に、葉色は葉色計で38~45と基肥量が多いほど濃くなった。

表3 酒造米中生品種における栽培特性および収量特性

品種・系統名	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏程度 ²⁾ (0-5)	玄米収量 (kg/10a)	千粒重 (g)
夢山水	8.10	9.24	84.4	19.5	337	1.3	586 b ³⁾	26.8 b
美山錦	8.09	9.21	87.8	18.1	317	1.5	561 a	25.2 a
ひとごち	8.12	9.24	74.8	18.2	362	0.3	593 b	28.0 c

- 1) データは2007~2009年の平均値
2) 倒伏程度は0-無, 1-微, 2-少, 3-中, 4-大, 5-甚の目視による6段階評価
3) 異なる英文字間には多重比較検定 (Tukey 5%水準) で有意な差が認められる

表4 酒造米中生品種における玄米品質

品種・系統名	外観品質 ²⁾ (1-6)	玄米タンパク質含有率 (%)
夢山水	4.0 a ²⁾	6.6 n.s.
美山錦	4.7 b	6.7 n.s.
ひとごち	4.0 a	6.5 n.s.

- 1) データは2007~2009年の平均値
 2) 外観品質 1-特上, 2-特等, 3-1等, 4-2等, 5-3等, 6-等外
 3) 異なる英文字間には多重比較検定 (Tukey 5%水準) で有意な差が認められる

表5 酒造米中生品種における玄米特性

品種名	心白 発現率 (%)	玄米横断面の心白形状の比率 (%)				
		点状 心白	線状 心白	眼状 心白	無心白	腹白
夢山水	28.5	56.0	7.0	3.0	19.5	14.5
美山錦	10.5	20.5	2.0	1.0	61.5	15.0
ひとごち	34.5	23.0	1.5	33.5	22.5	19.5

- 1) 心白発現率は外観からの目視による心白の発現程度

表6 酒造米中生品種における精米特性

品種名	見かけ 精米 歩合 (%)	真 精米 歩合 (%)	無効精 米歩合 (%)	砕米率 (%)	精米 時間 (分)	粗タンパク 質含有率 (乾燥重量) (%)
美山錦	69.1	81.1	12.2	12.1	16	5.0
夢山水	69.7	79.2	9.6	13.3	18	4.7
ひとごち	70.0	76.5	6.4	10.1	19	4.4

- 1) 試験は70%精米として実施した

表7-1 「夢山水」の基肥量が生育に及ぼす影響

基肥量 (N: kg/10a)	幼穂形成期の生育			出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	成熟期の生育			倒伏程度 ²⁾ (0-5)
	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉色 (SPAD)			稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	
0	62.5 a ¹⁾	308	38.8 a	8.06	9.22	81.9 a	21.9	195	0.1
2	64.2 a	344	39.2 ab	8.06	9.22	86.5 ab	21.9	246	0.4
5	72.2 b	399	42.0 bc	8.06	9.24	91.9 bc	21.3	265	1.4
8	76.3 c	447	44.8 c	8.07	9.26	97.4 c	21.5	291	3.3

- 1) 異なる英文字間には多重比較検定 (Tukey 5%水準) で有意な差が認められる
 2) 倒伏程度は0-無, 1-微, 2-少, 3-中, 4-大, 5-甚の目視による6段階評価

表7-2 「夢山水」の穂肥量が生育に及ぼす影響

基肥量 (N: kg/10a)	幼穂形成期の生育			出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	成熟期の生育			倒伏程度 ²⁾ (0-5)
	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉色 (SPAD)			稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	
0	68.6	374	41.0	8.06	9.23	87.8	21.3	242	0.9
2	69.0	376	41.4	8.07	9.24	91.1	22.0	257	1.6
t検定							*		

- 1) *は検定5%水準で有意
 2) 倒伏程度は0-無, 1-微, 2-少, 3-中, 4-大, 5-甚の目視による6段階評価

成熟期における稈長は、基肥量が多いほど、また穂肥の施用により長くなり、倒伏程度も高くなる傾向が認められた。穂長は穂肥の施用により長くなる傾向が認められた。穂数は基肥量が多いほど増加したが、いずれの区においても300本/m²以下と、一般粳品種の同様の施肥レベルにおける穂数と比較しやや低い値を示した。

施肥量が収量特性と玄米品質に及ぼす影響を表8-1および表8-2に示した。玄米収量は、基肥量の増加および穂肥の施用にともない、全粒数が増加し多収となる傾向が認められた。基肥量の増加により千粒重は小さく、精玄米歩合や玄米外観品質は低くなる傾向が認められた。玄米外観品質の低下傾向は穂肥の施用によっても認められた。玄米タンパク質含有率は6.3~6.9%で、施肥の違いによる影響は判然としなかった。

4. 考察

4-1 晩生品種

「吟のさと」は「玉栄」と比べ、晩熟ではあるが、稈長・収量性は同程度で、外観品質は優れていた。また、「改良雄町」はやや長稈であるが、収量性は同程度で外観品質が特に優れていた。一般的に外観品質は心白発現率が高いほど向上し、心白発現率が高いと酒造適性は良好となる⁵⁾。この2品種は「玉栄」に比べ外観品質が優れ、酒造適性に優れることが示唆された。また、栽培特性や収量性においては「玉栄」に大きく劣る点がないことから、平坦地向け品種として有望であると考えられ

表8-1 「夢山水」の基肥量が収量特性と玄米品質に及ぼす影響

基肥量 (N: kg/10a)	玄米収量 (kg/10a)	千粒重 (g)	全粒数 (粒/m)	精玄米歩合 (%)	外観品質	玄米タンパク質含有率 (%)
0	454 a ¹⁾	28.4 b	18278	86.2 b	3.8	6.6
2	474 ab	28.4 ab	19594	85.5 b	4.0	6.7
5	550 bc	28.1 ab	23135	84.5 b	4.0	6.7
8	591 c	27.9 a	26912	79.0 a	4.8	6.9

1) 異なる英文字間には多重比較検定 (Tukey 5 % 水準) で有意な差が認められる

表8-2 「夢山水」の穂肥量が収量特性と玄米品質に及ぼす影響

基肥量 (N: kg/10a)	玄米収量 (kg/10a)	千粒重 (g)	全粒数 (粒/m)	精玄米歩合 (%)	外観品質	玄米タンパク質含有率 (%)
0	498	28.3	21345	83.2	3.8	6.8
2	537	28.1	22615	84.4	4.5	6.7
t検定	*		*		*	

1) *は検定 5 % 水準で有意

る。

4-2 中生品種

「夢山水」は本県では「中生の早」に分類され、中間地で一般的な5月下旬に移植すると、出穂期が8月上旬、成熟期が9月中旬～下旬となり、中間地での栽培に適すると考えられた。草型は、既報⁶⁾と同様に、穂長が長く、穂数がやや少ない「偏穂重型」と考えられた。葉色は「コシヒカリ」等の一般粳品種に比べ5ポイントほど高い値を示した。収量性は「ひとごち」と同程度で、酒造米としては比較的多収性の品種であることが確認できた。千粒重は26.8gで「酒造に適すると推定される範囲」⁵⁾に適合し、点状心白を中心に、心白の発現が良好なことから、本県中間地における酒造米としての適性は高いと考えられた。玄米横断面の観察では、点状心白が多くを占め、眼状心白の多い「ひとごち」とは明らかに違った形状を示した。心白の有無や形状の違いは、精米特性や酒造適性に影響があることが指摘されており⁵⁾、「夢山水」は日本酒醸造の過程で「ひとごち」と違う特性を示すことが推察された。また、「夢山水」は「ひとごち」と比較し、融けにくく、淡麗ですっきりとした酒質になることが醸造実需者により確認されている。

精米特性では「夢山水」、「美山錦」、「ひとごち」とともに、碎米率は10%以上、無効精米歩合は10%前後と高い値を示した。これらの要因として、精米試験前の供試玄米の水分含有率(調整前)が10%前後と過乾燥状態に

あったため、供試玄米の状態が精米試験に適さなかった可能性が考えられた。粗タンパク質含有率(70%精白米)は「夢山水」で4.7%と、既報⁷⁾とほぼ同程度の値であった。しかし、真精米歩合が既報⁷⁾に比べ高いため、真精米歩合が70%の精白米では粗タンパク質含有率はさらに低くなると推定された。

以上のことから「夢山水」は本県中間地において、栽培特性に優れかつ「ひとごち」とは違う酒造特性を持つ品種であると推察された。

4-3 施肥量が「夢山水」の栽培特性と収量特性および玄米品質に及ぼす影響

杉浦ら⁸⁾は「夢山水」では、窒素施肥量が多くなるほど生育が旺盛になり、倒伏が発生し、玄米収量・玄米タンパク質含有率が増加、登熟歩合、千粒重が低下するとしている。本試験において、生育の経過や収量性は同様の傾向が確認され、窒素成分で基肥に5kg、減数分裂期に穂肥2kg施用することで、安定した生育となり玄米収量が確保された。

一方、玄米タンパク質含有率に及ぼす施肥の影響は判然としなかった。本試験では既報⁸⁾よりも穂数および全粒数が少なく、登熟歩合が高く、千粒重が重かった。登熟が良好で千粒重が重いほど、玄米タンパク質含有率は低下すること⁹⁾から、本試験では玄米タンパク質含有率の値が全体的に低く、施肥量による変動も小さかったものと考えられた。

水稻の生育には圃場地力窒素の及ぼす影響が大きい。今後、圃場間による生育の違いを確認するとともに、生育の経過において、追肥施用の有無を判断するための生育指標を作成する必要がある。さらに、本試験は株間が21cmとやや疎植条件であり、適正な生育の経過を把握するためには、経年変化を含め栽植密度の検討が必要である。

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おり¹⁰⁾、本試験においても玄米外観品質は、基肥量が多く穂肥を施用した区では劣る傾向が認められた。今後、施肥の玄米品質に及ぼす影響については、刈り取り適期の把握とともに、さらに検討する必要がある。

5. 結 言

酒造米について、熟期ごとに品種の栽培特性、玄米品質特性の確認を行い、平坦地では「吟のさと」、「改良雄町」を、中間地では「夢山水」を有望品種として選定した。「夢山水」の酒造適性として、玄米特性と精米特性について明らかにしたが、引き続き試験を進め、各品種の評価を行いたい。なお、精米試験では、碎米率でやや高い傾向が認められたため、試験方法や試料の調整方法、水分管理方法を見直し、継続調査する。

「夢山水」では、施肥を窒素成分で基肥に5kg、減数分裂期に穂肥2kg施用することで、安定した生育となり玄米収量が確保された。施肥量が玄米タンパク質含有率や玄米品質、酒造適性に及ぼす影響については、今後引き続き検討する。

米の粒厚別食味評価, 日本作物学会九州支部会報, 60, 20-22 (1994)

10) 山根国男, 西田清数: 酒米と酒, 農業及び園芸, 54, 1222-1226 (1979)

成果発表状況

上野直也, 石井利幸, 外川高雄: 吟醸酒用の酒米「夢山水」, 総合農業技術センター成果発表会 (2010)

6. 謝 辞

長野県農業試験場, 愛知県農業総合試験場および山間農業研究所, 兵庫県立農林水産技術総合センター酒米試験地, 島根県農業技術センター, 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。北杜市の下条フロンティアの皆様には圃場を拝借するとともに、栽培管理をしていただいた。栽培試験や収穫・調整, 品質調査においては, 総合農業技術センターの飯島喜仁主任技能員, 小澤真樹主任技能員, 中嶋今朝子さん, 植松誠さん, 埴原直樹さん, 和地洋子さん, 鈴木典子さん, 渡邊好美さんにご協力いただいた。外観品質の調査では, 山梨農政事務所の皆様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) 山梨県: 稲・麦・大豆生産指導指針, 10~27 (2005)
- 2) 山梨県: 平成21年度病虫害防除基準・農薬適性使用指針 (2009)
- 3) 高橋仁, 廣島一郎, 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, 醸協, 94, 244-251 (1999)
- 4) 酒造用原料米全国統一分析法: 酒米研究会 (1996)
- 5) 前重道雅・小林信也編: 日本の酒米と酒造り, 養賢堂 (2000)
- 6) 井上正勝, 工藤悟, 加藤恭宏, 大竹敏也, 中嶋泰則, 坂紀邦, 伊藤幸司, 林元樹, 遠山孝道, 赤間芳洋: 山間地向き酒米品種「夢山水」, 愛知農総試験報, 30, 35-45 (1998)
- 7) 戸谷精一, 伊藤彰敏, 深谷伊和男, 細川信男: 酒造用原料についての研究 (第1報) 酒造好適米「夢山水」酒造米特性について, 愛知食工技年報, 39, 6-13 (1998)
- 8) 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, 愛知農総試験報, 33, 49-56 (2001)
- 9) 松江勇次, 比良松道一, 小田原孝治, 橋詰文男:

有色素米の栽培特性と機能性評価

総合農業技術センター¹・山梨大学²・株式会社はくばく³
石井利幸¹・廣瀬裕子²・内松大輔³・上野直也¹

Cultivation Characteristics and Evaluation of Physiological Functionalities of Colored-grain Rice

Yamanashi Prefectural Agricultural Technology Center¹, University of Yamanashi², Hakubaku Co.,Ltd³
Toshiyuki ISHII¹, Yuko HIROSE², Daisuke UCHIMATSU³, Naoya UENO¹

要 約

山梨県における有色素米の安定生産技術を確立するために、赤米、緑米、黄米について、それぞれの栽培特性と玄米外観品質から有望品種を選定し、赤米は、内容成分の抽出、定量分析から品種間差異を明らかにした。赤米は、「夕やけもち」が多収で、「西南赤糯137号」がプロアントシアニジン量を多含し、玄米外観品質に優れていた。緑米は、品種・系統の違いによって成熟期が異なり、「アクネモチ」は本県の早生種に相当し、「緑万葉」、「西海糯263号」、「緑米A」、「緑米B」が晩生種に相当することを明らかにした。玄米収量は、「緑万葉」が最も多く、次に「西海糯263号」が多収で、この2品種を有望とした。玄米外観品質は、品種・系統間に大きな違いは認められなかった。黄米は、系統により成熟期が異なり、「西海黄256号」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。

Abstract

We aimed to establish a stable production technology of colored-grain rice in Yamanashi prefecture. We selected several promising varieties by each cultivation characteristics and the appearance quality of brown rice at red rice, green rice and yellow rice. Farther more, the varietal difference at red rice was obtained by the extraction of component and the quantitative analysis.

At red rice, “Yuyakemochi” excelled in high yielding and “Seinan akamochi 137” excelled in the large amount of proanthocyanidins and the appearance quality of brown rice. At green rice, it recognized the difference of the mature stage in tested varieties and lines. “Akunemochi” was classified as early variety, “Midorimanyo”, “Saikaimochi 263”, “Midorimai A”, and “Midorimai B” as late varieties in Yamanashi prefecture.

The yield of brown rice was the highest on “Midorimanyo” and the following was “Saikaimochi 256”. It seemed that the both varieties had excellent yield. There was no difference in tested varieties on the appearance quality of brown rice at green rice. At yellow rice, it recognized the difference of the mature stage between “Saikaiki 256” and “Musashino 20”. Therefore, it seemed that “Saikaiki 256” was the promising variety for cultivation at the middle ground and “Musashino 20” for cultivation at the flat field in Yamanashi prefecture.

1. 緒 言

有色素米は、ポリフェノールなどの有用成分を多く含み¹⁾、その機能性と特徴的な外観から高い関心を集めている。

本県においても、紫黒米「朝紫」が平成19年に奨励品種に採用され²⁾、平成21年度の作付面積は、26haで増加傾向にある（総合農業技術センター調べ）。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、赤米や緑米等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、県内の水稻栽培農家の所得安定化に繋がるとともに、米流通産業の活性化が期待できる。

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³⁾。しかし、登熟期間の夜温が低く、気温の日較差が大きい本県の気象条件に適した品種や栽培技術に関

する知見は少ない。

そこで、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、玄米品質などから優良品種を選定するとともに、色の濃さなどが均一で玄米外観品質が優れる栽培方法を明らかにする。また、生産された有色素米の機能性の評価を行い、新たな高付加価値農産物の創出を目指す。

本年度は、赤米、緑米および胚乳黄化米（以下、黄米）について、生育、収量などの栽培特性と玄米品質から色素別に有望品種を選定する。また、実需者から要望の高い赤米については、プロアントシアニジン含有量および抗酸化活性を中心に機能性に関する評価も行う。

2. 実験方法

2-1 有色素米の品種比較試験

試験は総合農業技術センター内圃場（甲斐市下今井、標高312m、灰色低地土、前作：水稻、1-4・1-5号田）で行った。供試品種として、赤米は「夕やけもち」、「西南赤糯137号」、「関東赤234号」の1品種・2系統を、緑米は「アクネモチ」、「緑万葉」、「西海糯263号」、「緑米A」、「緑米B」の2品種・3系統を、黄米は「西海黄256号」、「むさしの20号」の2系統を用いた。各品種の育成地や来歴等は表1の通りである。対照品種は、本県で唯一有色素米奨励品種となっている紫黒米「朝紫」とした。試験規模は1区あたり9㎡として、各区2反復で行った。5月7日に播種し、6月2日に22.2株/㎡（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-P₂O₅-K₂O=5-5-5kg/10a、減数分裂期の追肥としてN-K₂O=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、収量構成要素および玄米外観品質を調査した。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。収穫は、2.7㎡を坪刈

りして、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。玄米外観品質は、赤米と緑米で実需者の観察による評価を実施した。赤米の評価基準は、色の均一性や発色の程度から、1（良好）、2（やや良好）、3（普通）、4（やや劣）、5（劣）の5段階とした。緑米は、一般の白い糯粒と混在している特性のため、緑色が強く、緑粒の混在割合の多さから、同様の5段階とした。また、赤米と黄米は、色彩差計（日本電飾工業株式会社製、ZE2000）による色差値（赤米は赤色度合を示すa値、黄米は黄色度合を示すb値）の評価を行った。なお、外観品質評価は、色素の強さなどで評価したため、同一色素米の中で相対的に比較した。

2-2 赤米の機能性評価

供試試料は、「夕やけもち」、「西南赤糯137号」、「関東赤234号」を用いた。抽出液は、試料粉末200mgに抽出溶媒 [EtOH/水 (8:2 v/v)] 5mlを加え、50℃で1時間加熱し、メンブレンフィルター（PTFE、孔径1.0μm）でろ過後、10mlメスフラスコで一定容積とした。この抽出液を用いて、総フェノール量、総フラボノイド量、プロアントシアニジン量、DPPHラジカル捕捉活性を測定した。

総フェノール量の定量は、水3mlに抽出液1ml、5倍希釈したフェノール試薬1ml、10% (w/v) 炭酸ナトリウム水溶液1mlを順に加え、室温で暗所に1時間放置したあと、コントロールを対照として760nmにおける吸光度を測定した。濃度既知の (+)-カテキンEtOH/水 (8:2 v/v) 溶液に対して同様の発色操作を行い、得られた (+)-カテキン濃度と吸光度の相関直線から、試料100g新鮮重に対する (+)-カテキン相当量 (mg) として総フェノール量を算出した。

総フラボノイド量の定量は、水5mlを入れた10mlメスフラスコに、抽出液1ml、5% (w/v) 亜硝酸ナトリウム水溶液0.3mlを加え、混合し、6分間放置した。その後、10% (w/v) 塩化アルミニウム水溶液0.3mlを加

表1 供試品種の来歴と特性

	品種・系統名	交配組み合わせ	育成地	備考
赤米	夕やけもち	たつこもち/羽系586	東北農業研究センター	糯種
	西南赤糯137号	中部糯113号/種子島赤米	鹿児島県農業開発総合センター	糯種
	関東赤234号	つ系942/和系77	作物研究所	低アミロース種
緑米	アクネモチ	不明	不明	糯種、民間種苗会社から購入
	緑万葉	不明	不明	糯種、民間種苗会社から購入
	西海糯263号	中国146号/あくねもち	九州沖縄農業研究センター	糯種
	緑米A	不明	不明	糯種、民間種苗会社から購入
	緑米B	不明	不明	糯種、民間種苗会社から購入
黄米	西海黄256号	キヌヒカリのガンマ線照射による突然変異	九州沖縄農業研究センター	粳種
	むさしの20号	「彩のかがやき」自然突然変異	埼玉県農業総合研究センター	粳種

え、5分間放置したのち、1m水酸化ナトリウム水溶液を2ml加え、15分放置後、510nmにおける吸光度を測定した。各種濃度の(+)-カテキン標準溶液を用いて同様な発色溶液を調製し、測定した結果から得られた(+)-カテキン濃度と吸光度の相関直線から、試料100g新鮮重に対する(+)-カテキン相当量(mg)として総フラボノイド量を算出した。

プロアントシアニジン量は菅原ら⁴⁾が開発した簡易定量法に準じた。共栓付試験管に試料粉末50mgを精秤し、MeOH 1ml、1% (w/v) パニリン/MeOH溶液 2ml、25% (v/v) 硫酸/MeOH溶液 2mlを加え、30℃で15分間振盪した後、MeOH 1mlを加え、遠心分離(3000rpm、10分間)を行い、上澄み液の500nmにおける吸光度を測定した。濃度既知の(+)-カテキン溶液 1mlに同様な操作を行い、(+)-カテキン濃度と吸光度の相関直線を作成し、試料100g新鮮重に対する(+)-カテキン相当量(mg)としてプロアントシアニジン量を算出した。

DPPHラジカル捕捉活性の測定には、200 μM DPPH/MeOH溶液 2mlと抽出液0.5mlと抽出溶媒1.5mlを混合し、室温で暗所に30分間放置した後、517nmにおける吸光度(A_{sample})を測定し、下記の式を用いてDPPHラジカル捕捉率(%)を算出した。

算出式： $\{(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}\} \times 100$

*： A_{control} ：抽出液無添加の溶液の517nmにおける吸光度

濃度既知のTrolox溶液に対して同様な操作を行い、得られた溶液濃度とDPPHラジカル捕捉率(%)の関係を表す相関直線から、試料100gあたりのTrolox相当量(μmol)としてDPPHラジカル捕捉活性を算出した。

3. 結果

3-1 有色素米の品種比較試験

各品種の生育、収量および収量構成要素に及ぼす影響を、赤米は表2-1、緑米は表2-2、黄米は表2-3に示した。また、赤米の色相と外観品質評価を第3表に示した。

(1)-1 赤米の栽培特性

1)「夕やけもち」：出穂期は2日、成熟期は4日早かった。稈長は短く、穂長は長かった。㎡あたりの穂数はやや少なかったが、千粒重は重く、玄米収量は6%多かった。総粒数、登熟歩合は同等だった。

2)「西南赤糯137号」：出穂期は3日、成熟期は1日遅かった。稈長は短く、穂長は長かった。㎡あたりの穂数は多く、登熟歩合も高かったが、千粒重は軽く、玄米収量に有意な差は認められなかった。総粒数は同等だった。

3)「関東赤234号」：出穂期は13日、成熟期15日遅かった。稈長は短く、穂長は長かった。㎡あたりの穂数はやや多く、千粒重は重かったが、総粒数が少なく、玄米収量に有意な差は認められなかった。登熟歩合は同等だった。

(1)-2 赤米の外観品質評価

「西南赤糯137号」は、色差値(a値)が最も高く、実需者による外観評価は、3で他の品種より優れていた。「夕やけもち」および「関東赤234号」は、色の均一性にばらつきがあり、外観評価は5だった。

(2)-1 緑米の栽培特性

1)「アクネモチ」：出穂期は2日遅く、成熟期は3日早かった。稈長は同等で、穂長は長かった。㎡あたりの穂数と総粒数は多く、千粒重も重かったが、登熟歩合がやや低く、玄米収量に有意な差は認められなかった。

2)「緑万葉」：出穂期は25日、成熟期は30日遅かった。稈長は長く、穂長は同等だった。㎡あたりの穂数と総粒数は多く、玄米収量は30%多かった。千粒重および登熟歩合は同等だった。

3)「西海糯263号」：出穂34日、成熟期は38日遅かった。稈長、穂長は同等だった。総粒数が多く、千粒重も重く、玄米収量は13%多かった。なお、千粒重は供試した緑米の中で最も重かった。登熟歩合は低かった。

4)「緑米A」：出穂期は26日、成熟期は31日遅かった。稈長はやや長く、穂長は同等だった。㎡あたりの穂数と総粒数は多かったが、千粒重は軽く、玄米収量に有意な差は認められなかった。

5)「緑米B」：出穂期は26日、成熟期は31日遅かった。稈長はやや長く、穂長は同等だった。㎡あたりの穂数と総粒数は多かったが、千粒重は軽く、玄米収量に有意な差は認められなかった。

(2)-2 緑米の外観品質評価

いずれの品種・系統においても、外観評価は3となり、品種・系統の違いによる差は認められなかった。

(3)-1 黄米の栽培特性

1)「西海黄256号」：出穂期は4日、成熟期は3日遅かった。稈長は短く、穂長は同等だった。㎡あたりの穂数と総粒数は多く、千粒重は重く、玄米収量は22%多かった。

2)「むさしの20号」：出穂期は14日、成熟期は24日遅かった。稈長は短く、穂長は長かった。㎡あたりの穂数は同等で、総粒数が少なかったが、千粒重が重く、玄米収量に有意な差は認められなかった。

(3)-2 黄米の外観品質評価

「西海黄256号」および「むさしの20号」の色差値(b値)は、19程度で、色の均一性に違いがなく、供試系統の違いによる差は小さかった。

表2-1 赤米品種・系統の違いが生育と収量および収量構成要素に及ぼす影響

品種・系統名	出穂期 月.日	成熟期 月.日	倒伏程度 0-5	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	玄米収量 kg/10a	千粒重 g	総粒数 千粒/m ²	登熟歩合 %
夕やけもち	8.03	9.09	0	66.2	20.0	243	445 ^b	22.7	22.3	88
西南赤糯137号	8.08	9.14	0	80.8	19.4	281	437 ^{ab}	20.2	22.5	96
関東赤234号	8.18	9.28	0	79.9	19.8	268	442 ^{ab}	24.1	21.3	86
(対照) 朝紫	8.05	9.13	0	86.6	18.5	259	419 ^a	21.4	22.3	88

玄米収量, 千粒重は含水率15%に補正した.

玄米収量における同一アルファベット間には5%水準で有意差がない (Tukey法).

表2-2 緑米品種・系統の違いが生育と収量および収量構成要素に及ぼす影響

品種・系統名	出穂期 月.日	成熟期 月.日	倒伏程度 0-5	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	玄米収量 kg/10a	千粒重 g	総粒数 千粒/m ²	登熟歩合 %
アクネモチ	8.07	9.10	0	87.0	20.1	301	437 ^{ab}	22.8	23.3	82
緑万葉	8.30	10.12	0	92.0	18.5	339	545 ^c	20.2	32.2	84
西海糯263号	9.07	10.19	0	87.6	18.3	241	472 ^b	25.6	24.6	75
緑米A	8.31	10.13	0	91.4	18.8	294	448 ^{ab}	20.3	25.7	85
緑米B	8.31	10.13	0	90.5	18.6	297	441 ^{ab}	20.4	26.5	82
(対照) 朝紫	8.05	9.13	0	86.6	18.5	259	419 ^a	21.4	22.3	88

玄米収量における同一アルファベット間には5%水準で有意差がない (Tukey法).

表2-3 黄米系統の違いが生育と収量および収量構成要素に及ぼす影響

品種・系統名	出穂期 月.日	成熟期 月.日	倒伏程度 0-5	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	玄米収量 kg/10a	千粒重 g	総粒数 千粒/m ²	登熟歩合 %
西海黄256号	8.09	9.16	0	73.7	18.0	300	511 ^b	25.6	23.9	84
むさしの20号	8.19	10.07	0	71.0	20.5	260	445 ^a	25.3	20.7	85
(対照) 朝紫	8.05	9.13	0	86.6	18.5	259	419 ^a	21.4	22.3	88

玄米収量における同一アルファベット間には5%水準で有意差がない (Tukey法).

表3 赤米品種の違いが色差値と外観評価に及ぼす影響

	色差値 (a 値)	外観評価
夕やけもち	9.3	5.0
西南赤糯137号	11.2	3.0
関東赤234号	8.4	5.0

色差値 (a 値) は数値が大きいほど赤色程度が大きいことを示す.

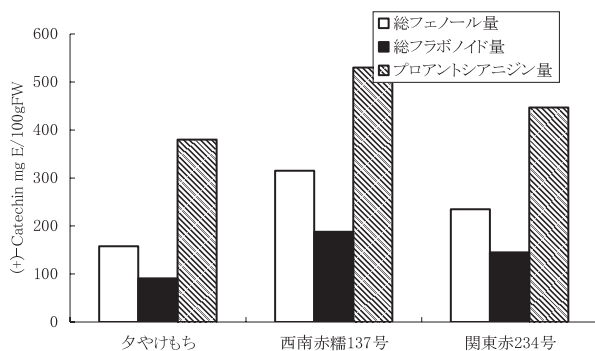


図1 赤米品種の違いが機能性成分含有量に及ぼす影響

3-2 赤米の機能性評価

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。「西南赤糯137

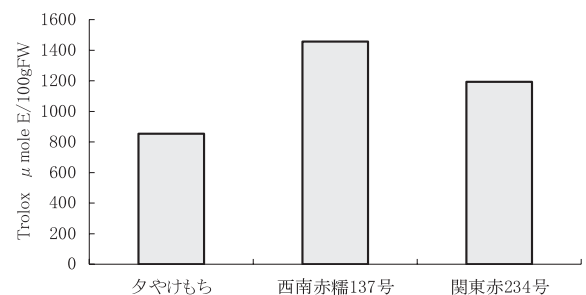


図2 赤米品種の違いが抗酸化活性 (DPPHラジカル捕捉活性) に及ぼす影響

号」が, いずれの項目も最も高く, 次に「関東赤234号」, 「夕やけもち」の順であった. また, 図2のようにDPPHラジカル捕捉活性も同様の傾向を示した.

4. 考察

赤米については, 「夕やけもち」の玄米収量が, 対照の「朝紫」より多収であった. 玄米外観品質では, 「西南赤糯137号」が赤色の度合いが強く, 実需者による評価は高かった. 一方, 「関東赤234号」の実需者評価は,

「夕やけもち」と同等であったが、消費者が食感などの面で糯種を好むことから、商品性の観点で「夕やけもち」, 「西南赤糯137号」より劣ると考えられる。機能性評価では「西南赤糯137号」が, 「夕やけもち」, 「関東赤234号」よりプロアントシアニン量などの成分が多く, DPPHラジカル捕捉活性が高かった。これらのことから, 「夕やけもち」「西南赤糯137号」が有望であると考えられた。今後は, 「夕やけもち」および「西南赤糯137号」について, 年次による変動の確認を行うとともに, 商業的観点において重要になる炊飯適性についても検討を行う。また, 登熟期間中の低温条件がラジカル消去活性を高めるといった研究報告があり⁵⁾, 移植時期を変えた作期試験を行い, 栽培環境の違いが, 生育, 収量, 玄米品質および機能性成分に及ぼす影響を明らかにしていく必要がある。

緑米については, 供試した品種・系統の違いによって, 成熟期が大きく異なった。すなわち, 「アクネモチ」は, 本県の早生種に相当し, 「緑万葉」, 「西海糯263号」, 「緑米A」, 「緑米B」が晩生種に相当することが明らかになった。これらの晩生種は, 成熟期が10月以降のため, 栽培可能地域が限定される可能性がある。玄米収量は, 「緑万葉」が最も多く, 次に「西海糯263号」が多収であった。玄米外観品質は, 供試した品種・系統間に大きな違いは認められなかった。これらのことから, 早熟の「アクネモチ」, 多収の「緑万葉」, 「西海糯263号」が有望であると考えられた。今後は, 年次による変動や作期の違いが栽培特性に及ぼす影響を明らかにする必要がある。また, 予備試験では収穫時期の違いによって外観品質が異なる可能性が認められたため, 収穫適期の解明も必要である。さらに, 緑米の色素であるクロロフィルなどの機能性評価についても栽培条件と関連づけて明らかにしたい。

黄米については, 供試した2系統の成熟期が異なったが, 玄米収量や外観(黄の色相)に大きな違いは認められなかったことから, 中生種の「西海黄256号」は中間地向け, 晩生種の「むさしの20号」は平坦地向けとして有望であると思われた。今後は, 機能性評価を詳細に評価し, 栽培条件と機能性成分の関係を明らかにしていく予定である。

5. 結 言

本県の水稲生産現場および県内有色米取扱業者から, 新たな有色米の生産が求められている。本研究では, 赤米, 緑米, 黄米の品種比較栽培試験を行い, それぞれの栽培特性と玄米品質を把握し, 有望品種を選定した。さらに, 赤米については, 内容成分の抽出, 定量分析を行い, 品種間差異を明らかにした。

今後は, 有望品種の年次変動の確認, 作期の違いや気

象条件の違いが生育, 収量, 玄米品質, 及び機能性成分含有量に及ぼす影響とともに, 本県での安定栽培法を明らかにする必要がある。

6. 謝 辞

本研究の実施にあたり, 種子を分譲して下さった各育成地には厚く御礼申し上げます。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善仁主任技能員, 中嶋今朝子さん, 植松誠さん, 植原直樹さんには大変お世話になりました。玄米の機能性成分の分析においては, 山梨大学の笠井明穂さんにご協力をしていただきました。御礼申し上げます。最後になりましたが, 総合理工学研究機構の市川和規研究管理幹には, 試験の遂行にあたりご指導, ご助言を賜りました。ありがとうございました。

参考文献

- 1) 猪谷富雄, 建本英樹, 岡本実剛, 藤井一範, 武藤徳男: 有色米の抗酸化活性とポリフェノール成分の品種間差, 日本食品科学工学会誌49, No.8, 540-543 (2002)
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 菅原晃美, 沖智之, 西場洋一, 須田郁夫, 小林美緒, 永井沙樹, 佐藤哲生: 赤米に含まれるプロアントシアニジンの簡易な測定法, 九州沖縄農業研究成果情報 (2004)
- 5) 小松清高, 玉置雅彦, 藤井一範, 武藤徳男, 猪谷富雄: 有色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)

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

醱酵食品残渣の成分分析とブドウ搾り滓による酵母の培養

山梨県工業技術センター

斎藤 美貴・橋本 卓也・小嶋 匡人・長沼 孝多・木村 英生

山梨県環境科学研究所

吾郷 健一・森 智和

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

Yamanashi Prefectural Industrial Technology Center

Miki SAITO, Takuya HASHIMOTO, Masato KOJIMA, Kota NAGANUMA and Hideo KIMURA

Yamanashi Institute of Environmental Sciences

Ken-ichi AGO and Tomokazu MORI

要 約

醱酵食品残渣の活用による乳酸を生成するために、醱酵食品残渣の成分分析を行った。ブドウ搾り滓は炭水化物が多く、タンパク質と脂質は少なかった。赤ワイン用品種より白ワイン用品種の搾り滓の方がブドウ糖および果糖を多く含み、酵母の生育に必要な糖の供給源として有効であった。醤油粕、酒粕はタンパク質の量が多く、培地に使用した場合に乳酸菌の窒素源として有効であると推察された。米糠は炭水化物が多く、乳酸菌の炭素源として有効であると推察された。

乳酸菌培地に使用する酵母エキス調製を目的に、甲州種ブドウ搾り滓で6種類の酵母の培養を行ったところ、*S. cerevisiae* W3と*S. cerevisiae* OC-2の増殖速度が速く、培養時の作業性も良かった。

Abstract

To obtain Lactic acid by utilizing of fermentation food processing wastes, the component of the wastes were analyzed. Lees of grape contained high carbohydrate and there were little protein and lipid. White wine lees contained glucose and fructose more than Red wine lees. White wine lees were effective resource of carbon of yeast culture medium. Lees of Soy sauce and Sake contained much protein. These wastes were effective resource of nitrogen for lactic acid bacteria. Rice bran contained so high carbohydrate that has possibility to use as resource of carbon for lactic acid bacteria.

Six varieties of yeast were cultivated in lees of grape to produce yeast extract used as media to lactic acid bacteria. *Saccharomyces cerevisiae* W3 and *S. cerevisiae* OC-2 were suitable for cultivation because these yeasts growth speed was fast and workability was agreeable.

1. 緒 言

山梨県の主要地場産業であるワイン業界では、年間約3,000tに及ぶブドウ搾り滓が排出されている。また、清酒業界では米糠、酒粕が約300t、醤油業界では醤油粕が約800t排出されている。これら、醱酵食品の残渣は栄養成分を多く含むため、有効活用が求められているが、飼料として一部利用されている他は、大部分が廃棄されている。

一方、植物に含まれる糖を乳酸醱酵することにより得られる乳酸の重合体であるポリ乳酸は、環境に配慮した

プラスチックとして注目を集め、その本格的な供給・製品化の重要性が急速に認知されてきている。しかし、原材料が食品やバイオ燃料と競合しており、原材料の確保が問題化すると考えられる。

また、乳酸菌は栄養要求性が高く、酵母エキスなどの培地の栄養源の質と添加量が生産量に大きく影響する¹⁾ため、安価で栄養源豊富な培地の開発が求められている。

そこで、本研究は醱酵食品残渣の乳酸菌による乳酸醱酵の培地および基質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

を目標とした。

本年度は各醗酵食品残渣を微生物の培地として使用するため、その成分を明らかにするとともに、ブドウ搾り滓で酵母を培養し、エキス化するための酵母の選択を行ったので、報告する。

2. 実験方法

2-1 実験材料

ブドウ搾り滓（アジロン、甲斐ノワール、カベルネーヴィニオン、ケルナー、甲州、シェーンブルガー、シャルドネ、シラー、ソーヴィニオンブランおよびマスカットベリーA）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た。醤油粕は県内醤油製造企業1社から入手した。酒粕は県内清酒醸造企業1社から購入した。米糠は酒造好適米（夢山水、美山錦、ひとごち、吟のさと、改良雄町、山田錦および玉栄が任意の割合で混合されたもの）をテストミルTM05C（㈱サタケ社製）を用いて、精米歩合70%までの糠を採集した。すべての試料は使用するまで、 -20°C で保存した。

2-2 分析方法

2-2-1 一般成分

醗酵残渣の一般成分（水分、タンパク質、脂質、および灰分）の分析は食品の一般成分分析に準じて行った²⁾。

2-2-2 無機成分

リン以外の無機成分については、2-2-1によって得られた灰分を0.1Nの塩酸に溶解し、セイコー電子工

表1 糖分析条件

ポンプ	: LC-10AD (㈱島津製作所社製)
検出器	: 示差屈折計検出器 RID-10A (㈱島津製作所社製)
カラム	: Shin-pack SCR-101C ϕ 7.9×300mm
カラム温度	: 80°C
溶離液	: 蒸留水
溶離液流速	: 0.8ml/min

表2 有機酸分析条件

ポンプ	: LC-10AD (㈱島津製作所社製) 2台
検出器	: 電気伝導度検出器 CCD-10A (㈱島津製作所社製)
カラム	: Shin-pack SCR-102C ϕ 8.0×300mm
溶離液	: 5mM p-トルエンスルホン酸
溶離液流速	: 0.6ml/min
反応液	: 5mM p-トルエンスルホン酸 20mM Bis-Tris 100mM EDTA
反応液流速	: 0.6ml/min

業㈱社製原子吸光分光光度計SAS7500で分析した。リンについては、バナドモリブデン酸法²⁾により分析した。

2-2-3 糖、有機酸および遊離アミノ酸

各試料約10gをエタノールの終濃度が80%となるように加えた10倍量のエタノール溶液中でホモジナイズし、15分間加熱還流抽出を行なった。冷却後濾紙（No.2）で濾過後、濾液を 40°C 以下で減圧濃縮した。糖および有機酸は、これを蒸留水で定容後、蒸留水で適当に希釈して、0.20mのメンブランフィルタで濾過したものを高速液体クロマトグラフで分析した。糖分析の分析条件を表1に示した。また、有機酸のポストカラムpH緩衝法³⁾による分析条件を表2に示した。

遊離アミノ酸は蒸留水で定容後の試料を0.01Nの塩酸で適当に希釈し、日本電子㈱社製のアミノ酸分析機（JLC-500/V2）で分析した。

2-3 ブドウ搾り滓での酵母の培養

2-3-1 供試菌株

独立行政法人製品評価技術基盤機構（NBRC）から譲られた子囊菌酵母*Saccharomyces cerevisiae* W3（NBRC 106611）、*Saccharomyces cerevisiae* OC-2（NBRC 2260）、*Pichia anomala*（NBRC 10213^T）、*Debaryomyces hansenii*（NBRC 0015^T）、不完全酵母*Cryptococcus aerius*（NBRC 0377^T）および担子菌酵母*Rhodsporidium toruloides*（NBRC 8766^T）を使用した。

なお、*S.cerevisiae* W3は白ワイン醸造用、*S.cerevisiae* OC-2は赤ワイン醸造用酵母である。*P.anomala*と*D.hansenii*は産膜酵母で、*P.anomala*はワインやビールに認められ、*D.hansenii*は漬物などに認められる。*C.aerius*は糖の醗酵性がないこと、*R.toruloides*は菌体内に脂肪を蓄積することが特徴である。

2-3-2 使用培地

前培養にはブドウ糖10.0g、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 5.0g、 KH_2PO_4 1.0g、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5g、 NaCl 0.1g、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.1g、酵母エキス1gを1Lの蒸留水に溶解した菌体増殖用の半合成培地⁴⁾を使用した。本培養にはブドウ搾り滓を培地として使用した。4醸造所から提供を受けた甲州ブドウ搾り滓を同量ずつ混合し、甲州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（4,730×g、20分間、 4°C ）して調製し、上澄とした。

2-3-3 培養方法

YM寒天培地⁵⁾上で保存しておいた菌を上述の半合成培地5mlに各菌を1白金耳で接種し、 25°C で往復振盪培養（130rpm、振幅幅2.5cm）を15～24時間おこなっ

た. 分光光度計 (U1500, 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、甲州ブドウ搾り滓培地 (100ml) にODが0.01となるように植継ぎ、前培養と同じ条件の往復振盪培養で本培養をおこなった。

2-3-4 生育測定

培養液のOD₆₆₀値を測定した。また、培養液を遠心分離 (4,583×g, 10分間, 4℃) し、得られた上澄中の糖濃度を表1に示した条件で測定した。

3. 結果および考察

3-1 醱酵食品残渣の一般成分

醱酵食品残渣の一般成分について分析した結果を表3に示した。ブドウ搾り滓は水分の次に炭水化物が多く、タンパク質と脂質は少なかった。白ワイン用品種の搾り滓 (甲州およびシェンブルガー) と赤ワイン用品種の搾り滓 (アジロンおよびマスカットベリーA) に大きな成分の違いは認められないが、赤ワイン用品種の搾り滓は酵母によるアルコール醱酵後に排出されるので、炭水化物に占める糖質の割合は低いと考えられた。

醤油粕、米糠および酒粕はブドウ搾り滓に比べ、タンパク質量が多く、培地に使用した場合に窒素源として、有効であると推察された。また、本研究で使用した酒造

表3 醱酵食品残渣の一般成分

醱酵残渣	水分 タンパク質 脂質 炭水化物 灰分 (g/100g)				
	ブドウ搾り滓				
甲州	75.0	2.9	0.8	19.2	2.1
シェンブルガー	75.9	1.8	0.8	19.7	1.8
アジロン	67.0	5.0	1.4	23.1	3.5
マスカットベリーA	73.2	3.3	1.4	20.1	2.1
醤油粕	37.6	7.8	7.2	38.9	8.5
米糠	13.2	9.2	7.5	66.4	3.7
酒粕	56.5	10.5	1.7	30.8	0.5

表4 醱酵食品残渣中の無機成分

醱酵残渣	Na Mg K Ca Mn Fe Cu Zn P (mg/100g)									
	ブドウ搾り滓									
甲州	0.6	14.6	342.0	55.1	0.2	0.8	0.2	0.2	0.2	35.4
シェンブルガー	1.5	22.0	608.6	92.8	1.0	1.6	1.1	0.5	0.5	72.8
アジロン	12.0	19.1	1174.8	154.3	0.4	2.6	0.8	0.5	0.5	88.3
マスカットベリーA	2.8	13.7	345.0	56.7	0.3	1.5	0.8	0.4	0.4	77.8
醤油粕	3911.0	31.7	168.1	460.6	1.0	5.4	3.3	4.2	4.2	98.1
米糠	3.0	45.7	359.7	18.1	6.0	2.5	0.5	3.5	3.5	1001.1
酒粕	1.2	6.7	21.5	4.0	0.2	0.1	0.4	1.6	1.6	52.1

米から排出される米糠は4訂日本食品標準成分表に記載される米糠と比べ、脂質が約1/2と少なく、炭水化物が1.4倍程度多かったため、炭素源として有効に利用できるものと考えられた。

3-2 醱酵食品残渣の無機成分含量

醱酵食品残渣の無機成分について分析した結果を表4に示した。ブドウ搾り滓の中で最も多い無機成分はカリウム (K) で、全体の約75%を占めていた。醤油粕はナトリウム (Na) が、米糠はカリウム (K) とリン (P) が豊富に含まれる特長が認められた。

3-3 醱酵食品残渣の遊離アミノ酸量

醱酵食品残渣に含まれる遊離アミノ酸について、主要7成分を表5に示した。ブドウ搾り滓は白ワイン用品種の搾り滓 (甲州) の方が、赤ワイン用品種の搾り滓 (アジロン) より遊離アミノ酸が約4倍多かった。乳酸菌は殆どの菌種でグルタミン酸 (Glu) とバリン (Val) を生育に要求する⁶⁾。醤油粕と酒粕は両方を豊富に含み、遊離アミノ酸量が最も多かったため、乳酸菌用培地に添加すると有効に働くと考えられた。

3-4 ブドウ搾り滓の糖含量

白ワイン用品種の搾り滓 (甲州, シェンブルガー, ケルナー, シャルドネおよびソーヴィニヨンブラン) と赤ワイン用品種のブドウ搾り滓 (アジロン, マスカットベリーA, 甲斐ノワール, カベルネソーヴィニヨンおよびシラー) 中の糖濃度を測定した結果を表6に示した。搾り滓に含まれる糖は主にブドウ糖および果糖で、スクロース量は僅かであった。炭水化物量は白ワイン用品種と赤ワイン用品種で大きな違いが認められなかったが (表3), 糖濃度は20倍以上白ワイン用品種の方が高く、白ワイン用品種の搾り滓が酵母生育の糖類の供給源として適していると判断した。

表5 醱酵食品残渣中の遊離アミノ酸

ブドウ搾り滓 (甲州)	ブドウ搾り滓 (アジロン)	醤油粕	米糠	酒粕
(mg/100g)				
Pro 50.8	Pro 5.4	Tyr 800.0	Glu 35.3	Ala 177.7
Arg 24.5	Ala 3.9	Glu 366.0	Asn 21.9	Glu 144.0
GABA 6.1	P-Ser 3.2	Phe 297.1	Asp 18.4	Asp 123.4
Ala 5.8	Glu 2.5	Leu 272.3	Ala 8.8	Leu 95.4
Glu 3.4	Asp 1.4	Asp 203.0	Ser 5.8	Lys 82.9
Ser 3.2	Leu 1.4	Ile 171.8	Gln 3.3	Val 81.9
Gln 2.5	Arg 1.3	Val 160.5	Arg 2.5	Arg 78.7
Others 11.9	Others 8.2	Others 1014.2	Others 20.6	Others 606.3
合計 108.2	27.3	3284.9	116.6	1390.3

表6 ブドウ搾り滓の糖量

ブドウ搾り滓	ショ糖	ブドウ糖	果糖	合計
	(g/100g)			
白ワイン用品種				
甲州	—	3.63	3.55	7.18
シェンブルガー	—	2.68	1.26	3.94
ケルナー	0.44	5.76	6.25	12.45
シャルドネ	0.43	3.64	5.54	9.61
ソーヴィニヨンブラン	0.23	2.75	2.44	5.41
赤ワイン用品種				
アジロン	—	0.42	0.4	0.82
マスカットベリーA	0.04	0.01	0.03	0.09
甲斐ノワール	0.06	0.27	0.31	0.64
カベルネソーヴィニヨン	0.13	0.02	0.05	0.19
シラー	0.03	—	0.05	0.08

3-5 ブドウ搾り滓の有機酸量

糖と同様に白ワイン用品種と赤ワイン用品種のブドウ搾り滓中の有機酸濃度を測定した結果を表7に示した。ブドウ搾り滓に主に含まれる有機酸は酒石酸とリンゴ酸で、生果の組成を反映したものと考えられた。白ワイン用品種と赤ワイン用品種のブドウ搾り滓の間に糖のような特筆すべき差異は認められなかった。

3-6 甲州搾り粕の成分比較

糖の含有量からブドウ搾り滓で酵母を培養するには、白ワイン用品種の搾り滓の利用が有効であることがわかった。また、山梨県内で醸造されるワインのうち約50%を甲州種が占めることから、甲州搾り粕を基本に酵母の培養を検討することとした。そこで、圃場や醸造所での圧搾方法などの違いによる成分の違いを確かめるために、異なる醸造所(A, B, C, D)から排出された甲州の搾り粕について成分分析した(Aは3-1~5で使

表7 ブドウ搾り滓の有機酸量

ブドウ搾り滓	クエン酸	酒石酸	リンゴ酸	乳酸	酢酸	合計
	(g/100g)					
白ワイン用品種						
甲州	—	0.28	0.12	—	—	0.40
シェンブルガー	—	0.24	0.03	0.06	0.11	0.44
ケルナー	—	0.16	0.59	—	—	0.32
シャルドネ	0.07	0.06	0.13	0.17	0.05	0.47
ソーヴィニヨンブラン	—	0.12	0.09	0.20	0.08	0.48
赤ワイン用品種						
アジロン	0.45	—	0.05	0.01	—	0.52
マスカットベリーA	0.03	0.01	0.04	0.16	—	0.33
甲斐ノワール	0.05	0.12	0.30	0.05	—	0.52
カベルネソーヴィニヨン	0.06	0.09	0.30	—	0.03	0.48
シラー	—	0.12	0.14	—	—	0.26

用した甲州である)。結果を表8, 9および10に示した。甲州搾り粕には100gあたりの平均として、水分76.0g, タンパク質1.9g, 脂質0.7g, 炭水化物18.5g, 灰分3.0gが含まれ、試料間のばらつきが大きかったのは灰分であった。

糖は100gあたり、ブドウ糖が4.19g, 果糖が4.45gで、ブドウ糖と果糖が合計で8.64g含まれており、醸造所間では大きな違いは認められなかった。

酵母の天然培地としてよく用いられるYM培地⁵⁾は、糖濃度が1%であるので、甲州ブドウ搾り滓の酵母培養用培地への使用は13% (w/v) 以上の使用で、必要な糖濃度を満たすことがわかった。

有機酸は酒石酸とリンゴ酸がそれぞれ0.17gと0.06g含まれていたが、試料間での差が大きかった。本研究では乳酸醗酵によって得た乳酸を精製することを目的としているので、乳酸以外の僅かな有機酸も除く必要がある。有機酸は酵母によって資化されないもので、酵母エキスとするブドウ搾り滓酵母培養液中の有機酸を取り除く方を検討する必要がある。

表8 甲州ブドウ搾り滓の一般成分

醸造所	水分	タンパク質	脂質	炭水化物	灰分
	(g/100g)				
A	75.0	2.9	0.8	19.2	2.1
B	76.6	1.5	0.6	17.5	3.8
C	72.6	2.0	0.7	19.7	5.0
D	79.6	1.3	0.7	17.4	1.0
平均±標準偏差	76.0±2.5	1.9±0.6	0.7±0.1	18.5±1.0	3.0±1.5

表9 甲州ブドウ搾り滓の糖含量

醸造所	ブドウ糖	果糖	合計
	(g/100g)		
A	3.63	3.55	7.18
B	4.41	4.59	9.00
C	3.73	4.29	8.02
D	4.98	5.38	10.36
平均±標準偏差	4.19±0.5	4.45±0.7	8.64±1.2

表10 甲州ブドウ搾り滓の有機酸含量

醸造所	酒石酸	リンゴ酸	合計
	(g/100g)		
A	0.28	0.12	0.40
B	0.09	0.01	0.10
C	0.08	0.01	0.09
D	0.21	0.10	0.31
平均±標準偏差	0.17±0.1	0.06±0.1	0.23±0.1

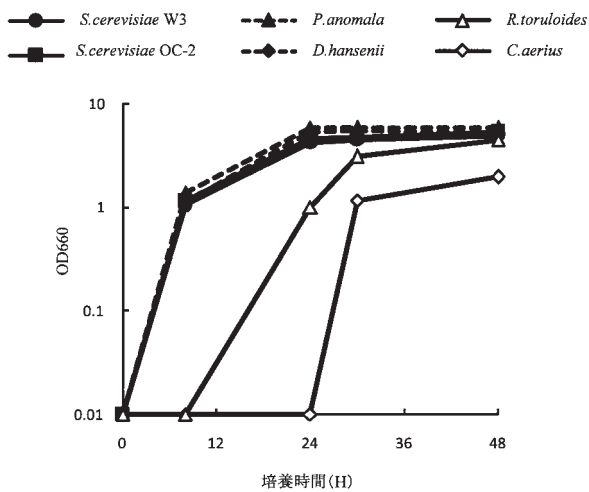


図1 酵母の増殖曲線

3-7 培養酵母の選択

甲州ブドウ搾り滓15% (w/v) で6種類の酵母を培養した増殖曲線を図1に示した。 *S. cerevisiae* W3, *S. cerevisiae* OC-2, *P. anomala*および*D. hansenii*は培養24時間後にはほぼ定常期に達した。 *C. aerius*と*R. toruloides*の増殖は他の酵母に比べると遅かった。

各酵母の培養液中のブドウ糖と果糖の濃度を測定した結果を図2-1および図2-2に示した。 *S. cerevisiae* W3, *S. cerevisiae* OC-2および*P. anomala*は培養24時間後にはブドウ糖および果糖を消費し尽くしていることが確認できた。産膜酵母である*D. hansenii*は培養48時間後もブドウ糖、果糖ともに残存し、OD₆₆₀の増加は産膜成分の分泌によるものと推察された。 *C. aerius*は若干ブドウ糖を消費するものの、果糖は全く消費しなかった。 *R. toruloides*は50%程度のブドウ糖を消費するが、果糖の消費は認められなかった。YM培地⁵⁾で*D. hansenii*, *C. aerius*および*R. toruloides*を培養した場合、培養48時間後には培地中のブドウ糖は全て消費し尽くされることから、甲州ブドウ搾り滓由来の成分が影響して培養を阻害しているものと考えられた。

S. cerevisiae W3, *S. cerevisiae* OC-2および*P. anomala*の増殖速度はほぼ同じであったが、*P. anomala*は培養液が腐敗臭を帯び、実験作業上問題があることから、甲州ブドウ搾り滓で培養する酵母はワイン醸造用酵母の *S. cerevisiae* W3および*S. cerevisiae* OC-2が適していると判断した。

4. 結言

醗酵食品残渣を微生物培養の天然培地と基質とすることを目的として、成分分析を行った。

ブドウ搾り滓には炭水化物が多く、タンパク質と脂質は少なかった。赤ワイン用品種より白ワイン用品種の搾

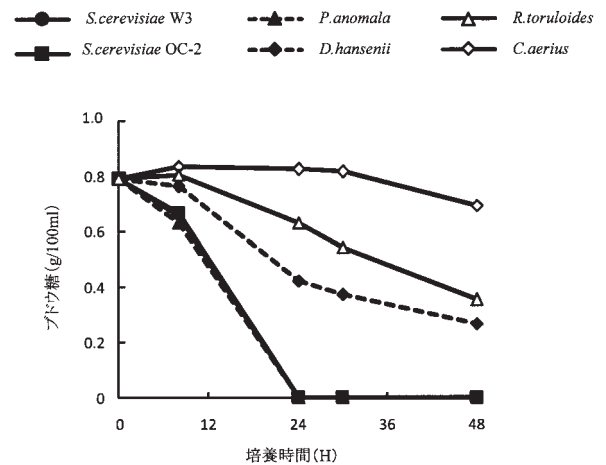


図2-1 ブドウ糖の培養液中の濃度

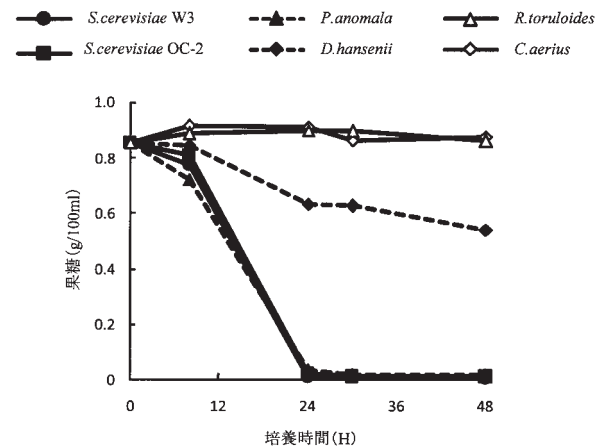


図2-2 果糖の培養液中の濃度

の方がブドウ糖および果糖を多く含み、酵母の生育に必要な糖の供給源として有効であった。

醤油粕は遊離アミノ酸が豊富に含まれ、窒素源として有効であると推察された。米糠は炭水化物が多く、炭素源としても有効であると推察された。酒粕は醤油粕と同様に遊離アミノ酸が多く、窒素源としての使用が見込まれた。

甲州ブドウ搾り滓で酵母を培養し、菌体のエキス化を検討するため、6種類の酵母を培養した。 *S. cerevisiae* W3, *S. cerevisiae* OC-2および*P. anomala*が旺盛に増殖したが、作業性の良さから*S. cerevisiae* W3および*S. cerevisiae* OC-2が適していると判断した。

今後はブドウ搾り滓で培養した酵母のエキス化について検討し、自作酵母エキスを用いた乳酸菌の培養を行う。また、醤油粕、米糠および酒粕を培地に利用した乳酸菌の培養についても検討する。

さらに、得られた乳酸醗酵液からの効率的な乳酸の分離・精製方法についても検討する。

謝 辞

醜酵食品残渣をご提供頂いた関係者各位に、厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 平田誠：生物工学, 86, p.337-339 (2008)
- 2) 日本食品科学工学会 新・食品分析法編集委員会編：新・食品分析法, 光琳, p.6-9, 39-40, 46-48, 100-101, 879 (1996)
- 3) 株式会社島津製作所 分析機器事業部：島津製作所液体クロマトグラフ 食品分析応用データ集, p.14-15 (1996)
- 4) 長沼孝文, 兎東保之, 田中健太郎, 古賀哲郎：農化, 49, p.335-340 (1975)
- 5) 飯塚廣, 後藤昭二：酵母の分類同定法 [第三版], 東京大学出版会, p.138 (1980)
- 6) 乳酸菌研究集談会編：乳酸菌の科学と技術, 学会出版センター, p.118 (1996)

成果発表状況

- 1) 斎藤美貴, 橋本卓也, 小嶋匡人, 木村英生, 長沼孝多, 吾郷健一, 森智和：醜酵食品残渣の有効活用に関する研究. 山梨県工業技術センター研究成果発表会 (2010)

高効率太陽熱吸収技術に関する研究

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

山梨県工業技術センター¹・山梨県富士工業技術センター²
早川亮¹・芦澤里樹¹・石田正文¹・鈴木大介¹・吉村千秋²

Research and Development of High Efficient Solar Absorbing Technology

Yamanashi Industrial Technology Center¹, Fuji Industrial Technology Center²
Ryo HAYAKAWA¹, Satoki ASHIZAWA¹, Masahumi ISHIDA¹, Daisuke SUZUKI¹ and Chiaki YOSHIMURA²

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、作製したアルマイト膜を染料への浸漬処理によって黒色の染色を行った。陽極酸化の電解条件は、電解液を15%硫酸、電解槽電圧を定電圧法で10V、浴温度を20℃、電解時間は5～120分間とした。その結果、アルマイト膜は約29.0 μmまで形成された。また、染色性をL*a*b*表色系により評価した結果、アルマイト膜が16 μm以上の厚さに達すると染色された色調に変化は見られなかった。

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 dip dyeing. We maintained a condition of anodizing of aluminum that electrolytic solution was 15 % sulfuric acid, bath voltage was DC 10 V, bath temperature was 20 °C and electrolytic times were 5 to 120 min. As a result of the anodization, the thickness of oxide film was formed about 29.0 μm at 120 min anodization. As a result of evaluation of dye-affinity by measuring L*a*b* color space, the color tone did not change over 16 μm of the oxide film's thickness.

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、各種方法の中で最も低コストな方法である、染料を用いた浸漬処理に着目し、アルマイト膜の膜厚と染色性の関係について調べた。

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、100×10×1 mm、純度99%の純アルミニ

ウム板 (株ニラコ製) 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10V、浴温度を20℃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100mm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 皮膜形成の確認

2-2-1 XPSによる表面分析

陽極酸化後、アルマイト膜の形成を確認するためにX線光電子分光法 (日本電子(株)製: JPS-9010TR XPS) を用いて、表面分析を行った。光電子スペクトルの解析にはHandbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy⁴⁾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、試料表面の清浄化を目的として、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った。その際の条件は、Arの導入圧力を 3×10^{-2} Pa、加速電圧を500V、加速電流を8.6mA、エッチング時間を4 secとした。

試料表面の清浄化後にXPSによる表面分析を行った。X線源にはAl K α 線 (1486.6eV) を用い、分析範囲は ϕ 8.0mmとした。また、試料のチャージアップ防止のために中和銃を用いた。その際、加速電圧を3V、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0～1300eVのワイドレンジを測定した後、ナローレンジとしてAl 2p電子、O 1s電子およびC 1s電子を測定した。

2-2-2 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10×10mm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 μ m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 染色および封孔処理

作製したアルマイト膜への染色として、染料による浸漬処理を行った。この処理は、染色方法の中で最も低コストであり、染色する色の制約が無いという利点があることから染色方法として選択した。染色する色は、色立体において色の違いが最も大きく表れる黒色とした。色の濃淡は染料濃度の影響を受けることから、常に一定の濃度を得る必要がある。そのため、染料にはプリンタ用

として市販されている黒色インク (エレコム(株)製, エプソンプリンタ用黒インク: THE-50BK3) を用いた。

浸漬処理には、各条件によりアルマイト膜を形成させた試料から10×10mmのサイズに切り出した試験片を用いた。これを60℃に加熱した染料中で10分間保持した。その後、封孔処理として沸騰した純水中で30分間保持した。

2-4 皮膜の評価

染色した試料の染色性については、色調の変化を基にして評価を行った。色調変化は、測色計 (クラボウ(株)製: COLOR-7e²) を用いて測定し、L*a*b*表色系で表した。さらに、陽極酸化処理を施していない試験片を未染色の基準試料として用い、染色試料とのL*a*b*表色系の差から各試料の色差 ΔE^*ab を算出した。

3. 結果および考察

3-1 XPSによる表面分析

陽極酸化処理を行う前の試料と5分間の処理を行った試料の表面をXPSにより分析し、光電子スペクトルを測定した。

ワイドレンジおよびC 1s電子について、試料表面の清浄化のために行ったエッチングの前後における光電子スペクトルの変化を、陽極酸化処理前の試料を例として、図1および図2にそれぞれ示す。

4秒間のエッチングを行った結果、図1の光電子スペクトルにおいてC 1s光電子スペクトルの強度は減少し、それに伴いAl 2pおよびO 1s光電子のスペクトルの強度が若干増大した。図2のC 1s光電子スペクトルのピーク位置が284.2 eVであることから、この炭素はグラファイトであり表面の汚れであることが分かる。

エッチング後、このピークが消失したことから、4秒間のエッチングによって試料表面が十分に清浄化されたことが確認された。

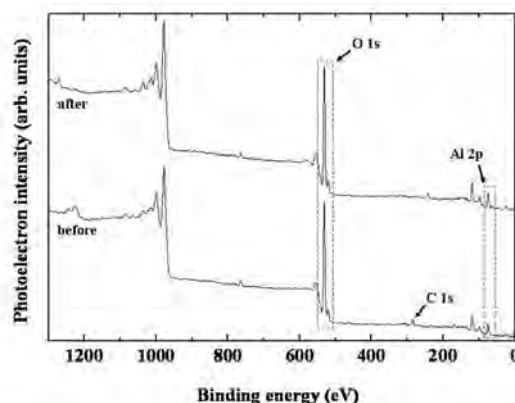


図1 陽極酸化処理 (5 min) 後の試料における光電子スペクトル (ワイド) のエッチングに伴う変化

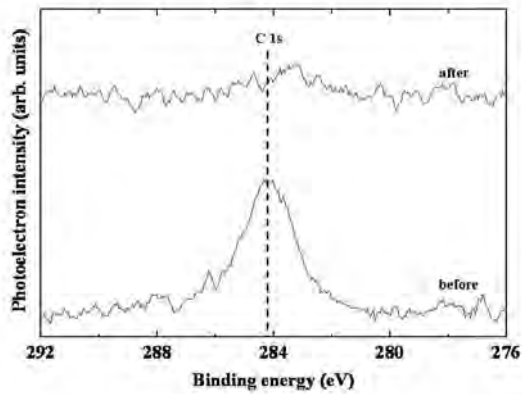


図2 陽極酸化処理（5 min）後の試料におけるC 1s光電子スペクトルのエッチングに伴う変化

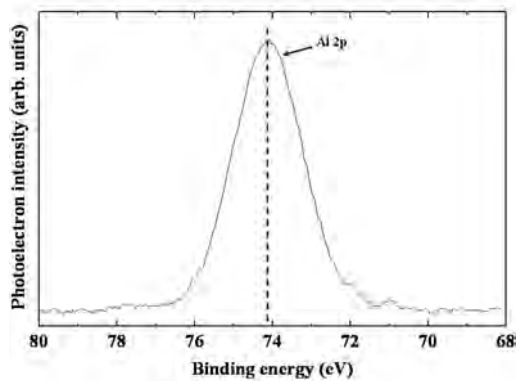


図3 陽極酸化処理（5 min）に伴うAl 2p光電子スペクトルの変化

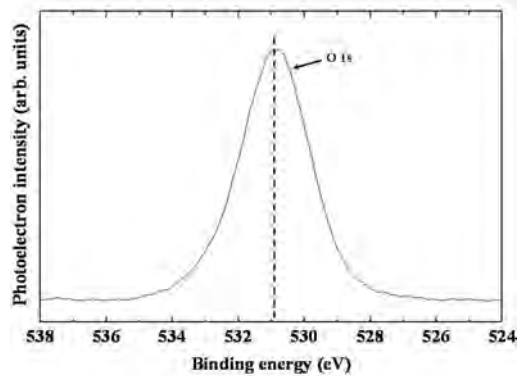


図4 陽極酸化処理（5 min）に伴うO 1s光電子スペクトルの変化

5分間の陽極酸化処理を行った試料におけるAl 2pおよびO 1s光電子スペクトルを図3および図4に示す。

Al 2p光電子スペクトルにおいて、ピークは酸化物状態である Al_2O_3 を示す74.1 eVに現れた。O 1s光電子スペクトルにおいては、530.9 eVにピークが現れており、このピーク位置は酸素が Al_2O_3 の結合状態にあることを示している。さらに、Al 2pとO 1sのピーク面積から両者

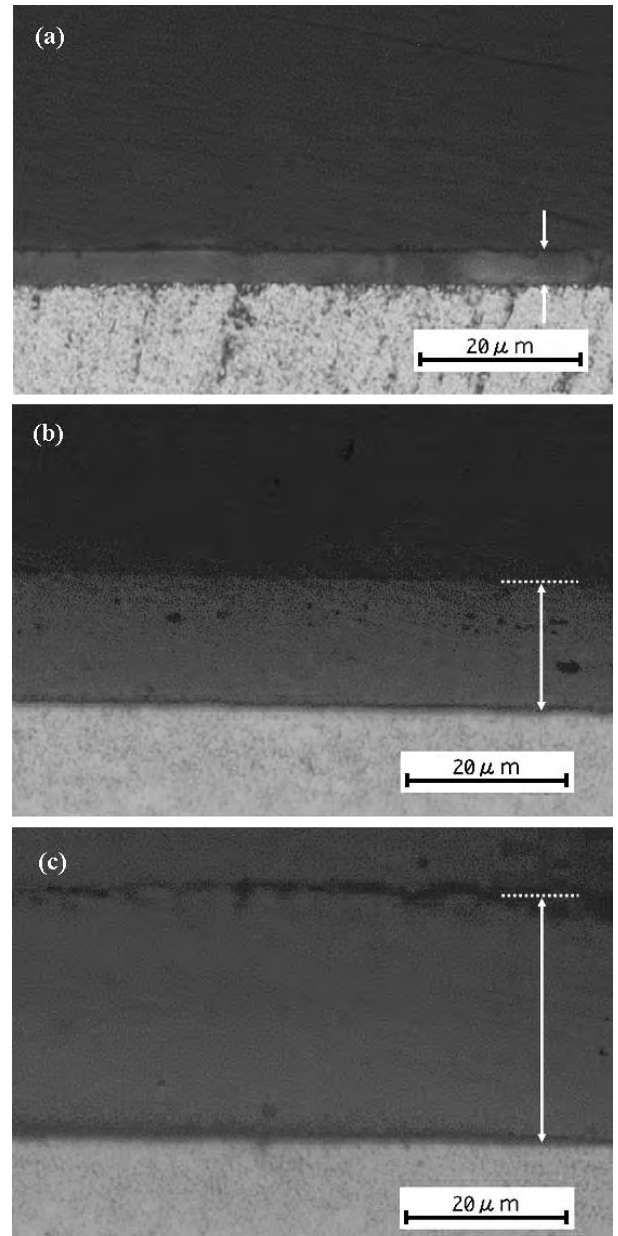


図5 陽極酸化処理を行った試料の断面観察写真
処理時間：(a) 15min, (b) 60min, (c) 120min

の割合を求めた結果、Al : Oは40.6 : 59.4であり、これは Al_2O_3 の組成比とほぼ同じである。これらのことから、陽極酸化処理によって、試料表面にアルマイト膜が形成されたことが分かった。

3-2 膜厚測定

陽極酸化した試料表面の断面写真を処理時間15、60および120分間の場合を例として図5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6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29.0 μm まで成長した。なお、今

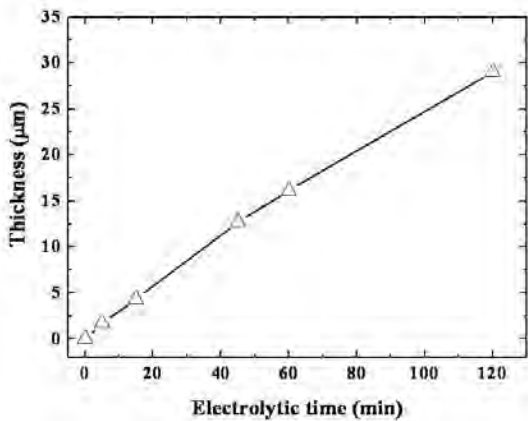


図6 電解時間に伴う膜厚の変化

回の処理時間範囲における成膜速度は0.24 μm/minであることが分かった。

3-3 皮膜の色調評価

アルマイト膜の染色性の評価基準として適用した皮膜の色調については、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。図7にL*a*b*表色系の立体図を示す。この図に示されるように、この表色系におけるL*は明度、a*およびb*は原点を無彩色としたときの色相を表しており、それらの値の絶対値が大きくなるに従って、より鮮やかな色調となることを示している。しかし、本研究では黒色に染色した試料の色調の変化から染色性の評価を行っている。そのため、L*, a*, b*の絶対値および、これらの値から次式で表される色差ΔE*abの値が小さくなるほど染色性に優れていると考えられる。

$$\Delta E^*_{ab} = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$$

それぞれの試料において、この表色系により求めた明

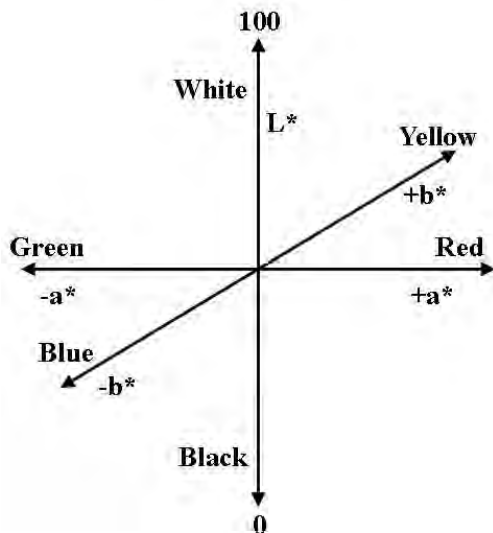


図7 L*a*b*表色系立体図

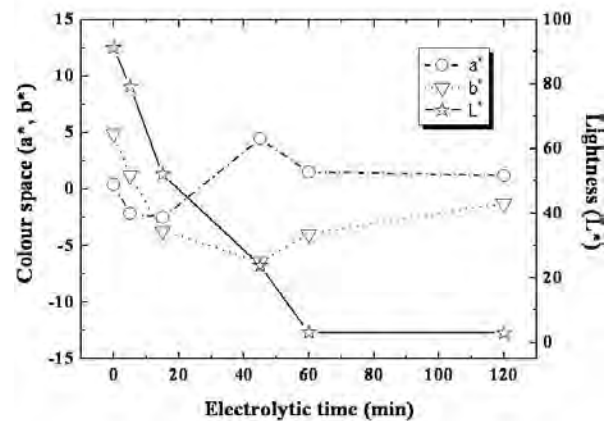


図8 電解時間に伴う色調変化

度L*および色座標値a*, b*をプロットした結果を図8に示す。電解時間が15分までの試料においてa*およびb*の絶対値は小さい値を示しているが、L*値が50以上であることから、これらの試料はほとんど染色されておらず、染色性が悪いことが分かる。45分の電解処理を行った試料ではa*およびb*の絶対値は急激に増大していることから、染料への浸漬による染色の効果が現れ始めていることが分かる。またL*値も約20であり、より黒に近い濃い色に染色されてきていることが分かる。電解時間が60分以上の試料においてはa*およびb*の絶対値は再び急激に減少していき、その値は約1であり無彩色を示す0に近づいた。また、L*値も約3であり完全な黒色を示す0に近づくと共に、60分から120分ではほとんど変化が見られなかった。これらのことから、60分以上の電解処理では染色性に与える影響が小さくなることが分かった。

図9に電解時間に伴う皮膜の膜厚および色差変化を示す。60分までの電解において、色差ΔE*abは処理時間の増大に伴い増加した。しかし、60分以上の電解処理を行った試料において、ΔE*abの値に変化は見られなかった。

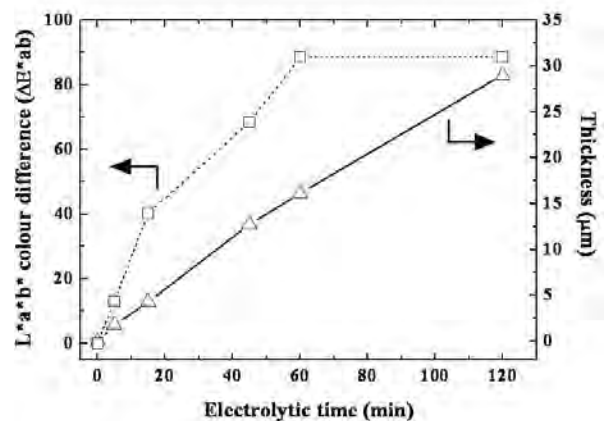


図9 電解時間に伴う膜厚および色差変化

一方、膜厚は先に述べたように電解時間と比例して増大している。なお60分間の電解処理によって形成された皮膜の厚さは約 $16\mu\text{m}$ であった。これらのことから、染料への浸漬によって着色する場合、 $15\sim 20\mu\text{m}$ 程度のアルマイト膜が形成されていれば十分な染色性が得られることが分かった。

Corporation, Physical Electronics Division, Eden Prairie, Minn. USA (1979)

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染料による浸漬処理による染色を行うとともに、断面観察による膜厚測定および測色計を用いて求めた $L^*a^*b^*$ 表色系の値から、アルマイト膜の膜厚と染色性の関係について定量的に評価した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 硫酸濃度を15%、電解電圧を定電圧10V、電解浴温度を 20°C とした条件において、純アルミニウム試料に対して5～120分間までの陽極酸化処理を行った結果、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 $29.0\mu\text{m}$ 、成膜速度は $0.24\mu\text{m}/\text{min}$ であった。
- (2) 染料への浸漬処理によって黒色に染色した試料における $L^*a^*b^*$ 表色系を求めた結果、電解処理時間が45分間の試料において a^* および b^* の絶対値が急激に増大し、60分以上の試料では再び急激に減少した。また、60分以上の試料では L^* 値は0に近づいた。
- (3) 電解処理時間に比例して皮膜の厚さは増大しているのに対して、 ΔE^*_{ab} は電解処理時間が60分以上の試料において一定となり、それ以上の増加は見られなかった。なお、60分間の電解処理によって形成された皮膜の厚さは約 $16\mu\text{m}$ であった。

以上の結果から、陽極酸化によって形成されたアルマイト膜を染料への浸漬によって染色する場合、十分な染色性を得るためには、膜厚が約 $15\sim 20\mu\text{m}$ のアルマイト膜が必要であると共、それ以上の膜厚は染色性に大きな影響を与えないことが分かった。

参考文献

- 1) 齊藤武雄：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) 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

資 料

(1) 平成21年度山梨県総合理工学研究機構の活動

「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21年6月29日 第1回運営委員会開催
平成20年度終了研究テーマの事後評価
実施中の研究テーマの成果報告
- ・平成21年10月9日 第2回運営委員会開催
平成20年度開始研究テーマの中間評価
平成22年度新規研究テーマ(案)の事前評価

「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21年5月29日 第1回会議開催
平成21年度研究体制について
平成21年度研究予算の配分について
平成20年度終了研究テーマの事後評価について
各研究テーマの進捗状況の報告
- ・平成21年9月17日 第2回会議開催
平成20年度開始研究テーマの中間評価について
平成22年度新規研究テーマ(案)の事前評価について

「山梨県総合理工学研究機構研究員研修会」の開催

- ・平成21年11月25日 森林総合研究所 参加人数 50名
講演「研究を経営として 共同研究のあり方」
講師 大村 智 先生
(北里大学名誉教授、日本学士院会員、総合理工学研究機構名誉顧問)

「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22年1月26日 平成21年度共同研究テーマ企画会議開催
総理研の研究テーマの取り組み状況
平成23年度の新規テーマの提案

研究報告書の出版

- ・平成21年7月31日 山梨県総合理工学研究機構研究報告書第4号を出版

研究成果の発表

- ・平成21年9月4日 やまなし産学官連携研究交流事業において研究発表

特許出願

- ・平成22年3月18日 「ブドウ果房の育成方法及び電照装置」(特願2010-062147)

平成21年度

別表1 運営委員会委員名簿

氏名	役職名
◎伊藤 洋	山梨県立大学大学長
○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

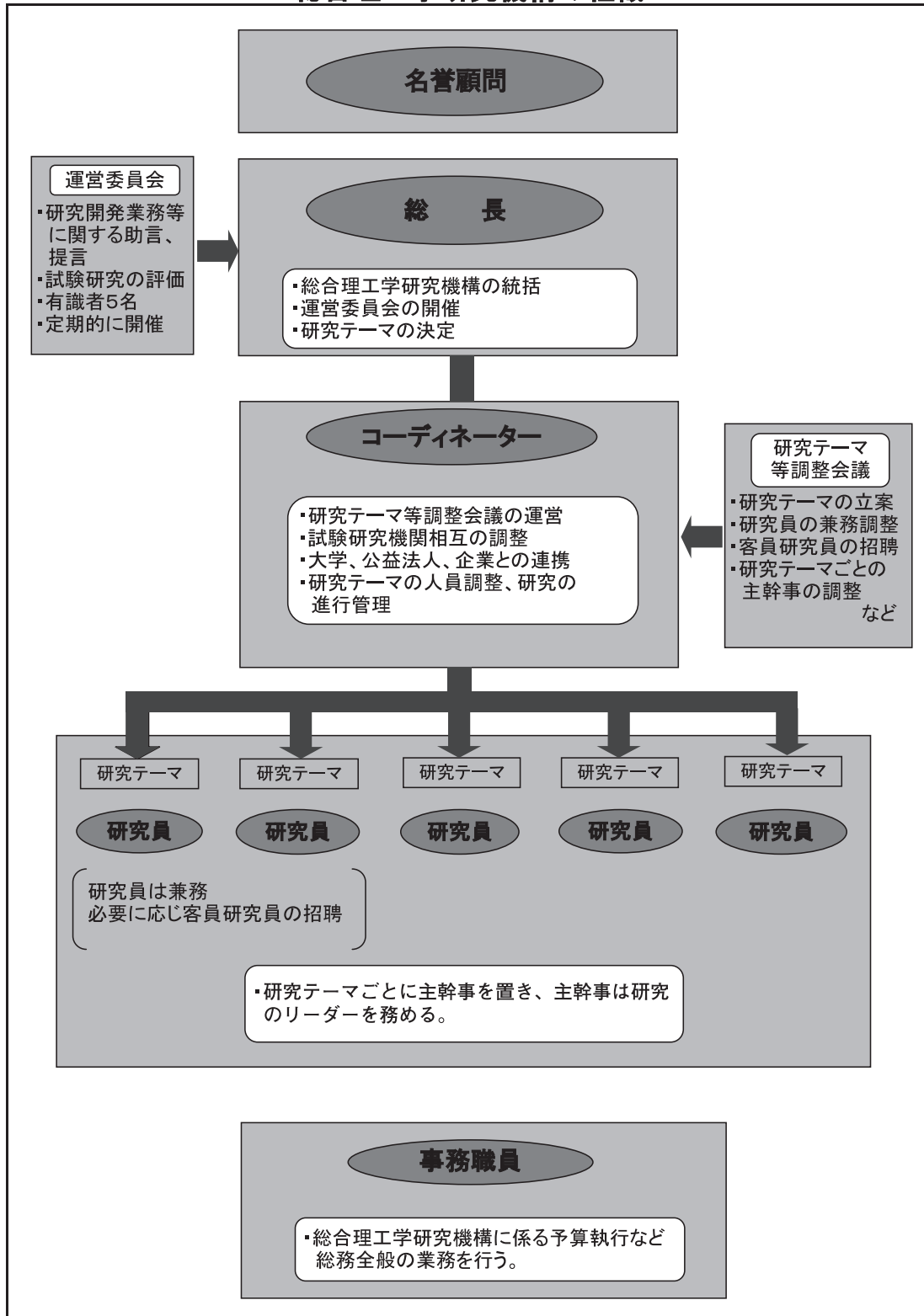
(五十音順、役職名は平成21年6月現在、◎：委員長、○：副委員長)

別表2 研究テーマ等調整会議メンバー

氏名	職名
大石 衛	衛生公害研究所長
橘田 和正	環境科学研究所副所長
苗村 仁	森林総合研究所長
秋山 貴司	工業技術センター所長
大森 大一	富士工業技術センター所長
三井 潔	水産技術センター所長
小森 照彦	総合農業技術センター所長
中込 一憲	果樹試験場長
渡辺 富好	畜産試験場長
平島 勝教	酪農試験場長
酒井 善明	総合理工学研究機構事務局長
上條 幹人	総合理工学研究機構コーディネーター
市川 和規	総合理工学研究機構コーディネーター
輿水 達司	総合理工学研究機構コーディネーター

(2) 平成21年度山梨県総合理工学研究機構組織図

総合理工学研究機構の組織



平成21年度組織図 (附)

名 譽 顧 問	大 村 智
総 長	小 林 正彦
事 務 局 長	酒 井 善明
次 長 (兼)	河 野 正元

(総務スタッフ)

主 査	北 村 徹
-----	-------

(コーディネーター)

特別研究員	上 條 幹人
研究管理幹	市 川 和規
研究管理幹	興 水 達司

(研究スタッフ)

特別研究員 (兼)	永 井 正則
研究管理幹 (兼)	高 橋 一孝
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)	長 谷 川 達也
主任研究員 (兼)	小 林 浩
研 究 員 (兼)	齊 藤 典義
研 究 員 (兼)	吉 村 千秋
研 究 員 (兼)	池 口 仁
研 究 員 (兼)	上 野 直也
研 究 員 (兼)	長 池 卓男
研 究 員 (兼)	佐 野 正明
研 究 員 (兼)	河 野 裕
研 究 員 (兼)	山 田 博之
研 究 員 (兼)	山 崎 修平
研 究 員 (兼)	阿 部 治
研 究 員 (兼)	菊 嶋 敬子
研 究 員 (兼)	早 川 亮
研 究 員 (兼)	長 沼 孝多
研 究 員 (兼)	斎 藤 美貴
研 究 員 (兼)	坪 井 潤一
研 究 員 (兼)	上 垣 良信
研 究 員 (兼)	尾 形 正岐

課題担当コーディネーターの一覧

課 題 名	研究期間	平成19年度	平成20年度	平成21年度
ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発	平19～21	乙黒親男	上條幹人	市川和規
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19～21	眞浦正徳	眞浦正徳	市川和規
甲府盆地飲用地下水を中心とする水質特性の時系列解析および新規地下水調査	平19～21	永井正則	永井正則	輿水達司
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
自然環境のもたらす保健休養上の効用に関する研究	平20～21		永井正則	輿水達司
野生動物による被害の防除に関する研究	平20～21		永井正則	輿水達司
酸化亜鉛透明導電膜の成膜プロセス開発と有効活用に関する研究	平20～21		上條幹人	上條幹人
化合物半導体多層太陽電池の開発	平21～22			上條幹人
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
醗酵食品残渣の有効利用に関する研究	平21～23			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

山梨県総合理工学研究機構研究報告書
第 5 号

Y-CROST Research Report 2010

2010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