

2009

# 山梨県総合理工学研究機構 研究報告書 第4号



第  
4  
号

Y-CROST Research Report 2009

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 4 号

Y-CROST  
Research Report 2009



# 目 次

はじめに

研究テーマ及び研究体制

Index of Research Projects

研究成果報告

1	地域農産素材等の機能性解明と高付加価値製品の開発	
1)	牛乳中の機能性を高める飼料給与方法の確立	1
2)	山梨県産キノア種子に含まれる抗酸化性物質フラボノイド配糖体の調理に伴う変化	6
2	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	11
3	人工光利用による施設栽培ブドウの高品質化技術の開発	
	LEDによる夜間電照がブドウの果粒肥大に及ぼす影響	29
4	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
5	自然公園内における湖沼の水質の向上に関する研究	41
6	自然環境のもたらす保健休養上の効用に関する研究	51
7	野生動物による被害の防除に関する研究	57
8	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	63

資 料

(1)	平成20年度山梨県総合理工学研究機構の活動	71
	総合理工学研究機構運営委員会委員名簿	72
	総合理工学研究機構テーマ等調整会議メンバー名簿	72
(2)	平成20年度山梨県総合理工学研究機構組織図	73
	担当コーディネーター一覧	75



## 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研究設備、研究成果を横断的、有機的に結びつけ、個々の試験研究機関だけでは取り組み難い新技術の開発や学際領域の研究を推進し、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5年目を迎えました。

この間、発足初年度には、本県の産業や地域の特性を活かした生活関連及び環境・エネルギーの分野から、地域農産物の機能性の解明、農林産物のバイオマス利用、廃棄プラスチックのリサイクル技術、プラズマ光による水殺菌システム、甲州ワインの品質向上の5つの研究テーマを選定し、研究を開始しました。これらのなかで、廃棄プラスチックのリサイクル技術に関する研究とプラズマ光を用いた水殺菌技術に関する研究が平成18年度末に所期の成果を挙げて終了しました。残り3課題のうち2課題が平成19年度に終了し、さらに、平成20年度には地域農産素材等の機能性解明と高付加価値製品の開発が終了しました。

一方、新たな研究課題として、平成18年度から農林水産物の鳥獣類被害に対する防除対策の研究が始まり、県内の内水面漁業の懸案となっているカワウの被害防除対策等についての研究を始め、平成19年度からは、ブドウ搾り滓を活用した家畜排泄物の堆肥化および環境負荷低減化技術の開発など新たに3件の研究を、さらに平成20年度からは、自然公園内における湖沼の水質の向上に関する研究など新規4課題を開始しました。この研究報告書は、平成20年度に行った8課題の研究成果をとりまとめたものであり、「地域農産素材等の機能性解明と高付加価値製品の開発」の最終報告以外は中間報告ということであります。

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。ところが、これらの研究課題のほとんどが各試験研究機関から提案されたもので、行政からの施案に基づくものはほとんどありません。個々の試験研究機関だけでは取り組み難い新技術の開発や学際領域の研究テーマは、個々の専門をもった試験研究機関の研究者からは出難いのではないかと思います。これを考えられるのは、研究者としての素地をもち、行政上の課題を試験研究により解明し解決策を提言できる力をもった者でなくてはなりません。それが山梨県総合理工学研究機構におかれた3名のコーディネーターであり、その役割の一つは、行政の各本課との日常的な連携にあるのではないかと思います。

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、当機関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懐心よりお礼申し上げます。

平成21年7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 地域農産素材等の機能性解明と高付加価値製品の開発

- 1) 牛乳中の機能性を高める飼料給与方法の確立  
酪農試験場 伊藤 和彦、鈴木 希伊
- 2) 山梨県産キノア種子に含まれる抗酸化性物質フラボノイド配糖体の調理に伴う変化  
山梨大学教育人間科学部 廣瀬 裕子、堀込 知己  
山梨県総合農業技術センター 石井 利幸、上野 直也、○竹丘 守

### 2 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 高橋 照美  
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

### 3 人工光利用による施設栽培ブドウの高品質化技術の開発

LEDによる夜間電照がブドウの果粒肥大に及ぼす影響

山梨県果樹試験場  
○齋藤 典義、宇土 幸伸、三森真理子  
山梨県工業技術センター 阿部 治、河野 裕、平川 寛之  
萩原 茂

### 4 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 ○小林 浩  
山梨県環境科学研究所 輿水 達司  
山梨県工業技術センター 尾形 正岐

### 5 自然公園における湖の水質管理に関する総合研究

山梨県衛生公害研究所 ○吉澤 一家  
山梨県水産技術センター 高橋 一孝  
山梨県環境科学研究所 池口 仁、芹澤 (松山) 和世  
山梨大学 御園生 拓、平田 徹、森 一博  
宮崎 淳一、芹澤如比古  
金沢星陵大学 永坂 正夫

### 6 自然環境のもたらす保健休養上の効用に関する研究

山梨県環境科学研究所 石田 光男、齋藤 順子、○永井 正則  
山梨県工業技術センター 岩間 貴司、山田 博之

### 7 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 ○北原 正彦  
吉田 洋  
山梨県水産技術センター 坪井 潤一  
山梨県森林総合研究所 長池 卓男

### 8 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

○萩原 茂、河野 裕、木島 一広  
阿部 治、八代 浩二、石田 正文  
高尾 清利、小松 利安、佐野 正明  
寺澤 章裕、松本 俊、秋津 哲也  
鍋谷 暢一、村中 司、望月 英昭  
平木 哲、藤川雄一郎、深沢 明広  
下玉利 玲、古川 英明、清水 勝  
岡田 智視、塚原 文仁、三井 久夫



# Research Report Comprehensive Research Organization of Science and Technology, Yamanashi Prefecture (Y-CROST) 2009

## Index of Research Projects

### Assessment of Feeding Systems for the Enhancement of Functional Activities of the Cow Milk

Kazuhiko ITOH, Kii SUZUKI (Yamanashi Dairy Experiment Station)

### Influence of Cooking upon the Antioxidative Flavonoid Glycosides in Quinoa Seeds Cultivated in Yamanashi

Yuko HIROSE, Tomoki Horigome (University of Yamanashi), Toshiyuki ISHII, Naoya UENO, Mamoru TAKEOKA (Yamanashi Prefectural Agritechnology Center)

### Composting of Livestock Waste and Reduction of Environmental Load Using Wine Compression Residues (2)

Tatsuya HASEGAWA, Tomokazu MORI, Ken-ichi AGO (Institute of Environmental Sciences), Terumi TAKAHASHI (Livestock Experiment Station), Shuhei YAMASAKI (Agricultural Technology Center), Yoshinobu UEGAKI, Akihiro TERASAWA (Fuji Industrial Technology Center), Taku MISONOU, Hidehiro KANEKO, Masayuki HAYAKAWA (University of Yamanashi)

### The Influence of Irradiation of LED on Berry Weight of the Grape

Noriyoshi SAITO, Yukinobu UDO, Mariko MITSUMORI (Yamanashi Fruit Tree Experiment Station), Osamu ABE, Hiroshi KONO, Hiroyuki HIRAKAWA, Shigeru HAGIHARA (Yamanashi Industrial Technology Center Organization)

### Investigation of groundwater flow system in the Kofu Basin

Hiroshi KOBAYASHI (Yamanashi Institute for Public Health), Satoshi KOSHIMIZU (Yamanashi Institute of Environmental Sciences), Masaki OGATA (Yamanashi Pref. Industrial Technology Center)

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

Kazuya YOSHIKAWA (Yamanashi Institute for Public Health), Kazutaka TAKAHASHI (Fisheries Technology Center), Hitoshi IKAGUCHI, Kazuyo Matsuyama-Serisawa (Institute of Environmental Science), Taku MISONOU, Tetsu HIRATA, Kazuhiro MORI, Jun-ichi MIYAZAKI, Yukihiko SERISAWA (University of Yamanashi), Masao NAGASAKA (Kanazawa Seiryō University)

### Health Promoting Effects of Natural Resources Psychophysiological Studies on the Effects of Ultrasonic Sounds in Natural Environments

Mitsuo ISHIDA, Junko SAITOH, Masanori NAGAI (Institute of Environmental Sciences), Takashi IWAMA, Hiroyuki YAMADA (Industrial Technology Center)

### Wildlife Damage Management in Yamanashi Prefecture, Japan

Yutaka YOSHIDA (Yamanashi Institute of Environmental Sciences), Jun-ichi TSUBOI (Fisheries Technology Center), Takuo NAGAIKE (Yamanashi Forest Research Institute)

### Development of Deposition Process and Study on Effective Applications of Transparent Conductive Zinc Oxide Films (1st report)

Shigeru HAGIHARA, Hiroshi KONO, Kazuhiro KIJIMA, Osamu ABE, Koji YATSUSHIRO, Masafumi ISHIDA, Kiyotoshi TAKAO, Toshiyasu KOMATSU, Masaaki SANO, Akihiro TERASAWA (Yamanashi Industrial Technology Center Organization), Takashi MATSUMOTO, Tetsuya AKITSU, Yoichi NABETANI, Tsutomu MURANAKA (University of Yamanashi), Hideaki MOCHIZUKI, Satoshi HIRAKI, Yuichiro FUJIKAWA, Akihiro FUKASAWA, Akira SHIMOTAMARI, Hideaki FURUKAWA, Masaru SHIMIZU, Tomoji OKADA, Fumihito TSUKAHARA, Hisao MITSUI

# 地域農産素材等の機能性解明と 高付加価値製品の開発



# 牛乳中の機能性を高める飼料給与方法の確立

酪農試験場

伊藤 和彦・鈴木 希伊

## Assessment of Feeding Systems for the Enhancement of Functional Activities of the Cow Milk

Yamanashi Dairy Experiment Station

Kazuhiko ITOH and Kii SUZUKI

### 要 約

県内の地域未利用資源等を利用して、牛乳中の機能性成分向上と乳牛への飼料化を目的にブドウ搾り滓とウイスキー粕の混合給与及びグラスサイレージの多給による給与試験を実施し、生乳中の機能性成分の変動及び乳質に及ぼす影響等を検討した。その結果、ブドウ搾り滓では生乳中のビタミンA及びビタミンEが、ウイスキー粕ではポリフェノール、共役リノール酸及びビタミンEが有意に高まった。また、ビタミン含量が多いグラスサイレージを多給した飼料により飼養試験を行ったところ、ポリフェノール、ビタミンA及びビタミンEが有意に高まった。これら資源を利用した乳牛の飼養管理においては、一般乳成分及び血液成分には問題がなく、風味にも異常は認められなかった。このことから、特定地域未利用資源の活用により、「機能性牛乳」の生産が可能となることが示唆された。

### Abstract

Using area unused resources in the prefecture, I carried out a wine compression residue and a mixture salary of whiskey' s grains and a salary examination by the high glass silage for a purpose with functional ingredient improvement in milk and the feed of the milk cow and examined influence to give to the change of the functionality ingredient of the whole fresh milk and quality of milk. As a result, the vitamin A of fresh milk and vitamin E were whiskey' s grains, and polyphenol, conjugate linoleic acid and vitamin E rose with the wine compression residue significantly. In addition, glass silage with many vitamins contents many ; examined it, and polyphenol, vitamin A and vitamin E rose breeding by the feed which gave significantly. A general milk ingredient and a blood ingredient did not have a problem, and, in the breeding management of the milk cow which used these resources, the abnormality was not recognized in a flavor either. From this, by the inflection of particular area unused resources, production of " functional milk" was enabled.

### 1. 緒 言

近年、食の安全性や健康への意識の高まりにより、食品中の生体調整機能（病気の予防に働く等の機能）に対する関心が高まっている。このような消費者サイドの認識の変化に伴い、生産者サイドにおいても、畜産物の機能性について理解を深め、安全性や美味しさの追求に加え、機能性を有する高品質な畜産物を提供していくことが重要な課題となっている。

そこで、こうした機能性成分を多く含む農産物の検索や機能性成分を増加させる生産技術の検討、またそれらを用いた新たな機能性食品の開発への取り組みが畜産分野でも進められてきている。

酪農試験場では本研究において乳牛の放牧技術によ

り、生乳中のビタミンEと $\beta$ -カロテンの含量が向上することを確認するとともに、飼料中の粗飼料割合を乾草多給によって飼育した場合や未利用資源としての茶殻を給与した場合においても乳牛の健康を損ねることなく飼養管理が出来ることが分かった。そこで今回、県内で比較的大量に入荷できるブドウ搾り滓とウイスキー粕を高割合に調整した飼料と栄養価の高いグラスサイレージの多給による給与試験を実施し、これらの生乳中の機能性成分の変動及び乳質に及ぼす影響等について検討した。

## 2. 実験方法

### 2-1 供試牛, 試験区分及び実施期間

#### (1) 供試牛

泌乳中後期のホルスタイン種雌牛を各試験区に延べ8頭ずつを供試し, 反復試験を実施した。

#### (2) 試験区分

- ①ブドウ搾り滓給与区 (ブドウ区)
- ②ウイスキー粕給与区 (ウイスキー区)
- ③グラスサイレージ多給区 (グラス区)
- ④対照区

#### (3) 実施期間

試験は2008年1月から3月と2008年11月から2009年1月にかけて実施した。試験期間は馴致期間10日間, 本試験 (サンプル採材) 7日間の計17日間とし, 供試牛は図1のドアフィーダーにより個体管理された。期間中の飼料採食量を調査し, 試験開始時と終了時に乳汁, 血液を採材した。



図1. ドアフィーダーによる飼養試験

### 2-2 供試飼料

試験飼料は対象資源を混合するTMR (Total Mixed Ration: 完全混合飼料) とし, 給与試験を行った (表1)。試験飼料の成分等は日本標準飼料成分表<sup>1)</sup>により算出し, 給与量を設定した。

#### (1) ブドウ搾り滓給与試験

ワイン製造工場から排出されたブドウ搾り滓 (マスカットベリーA) を場内に搬入し, 水分を軽く圧搾し, シート内に密封した後, 約1ヶ月後から使用した (図2)。

混合量は場慣行TMR中の乾物で約20%となる量を, 飼料攪拌機で混合し供試飼料とした。攪拌は一日の給与量のみ行い, 1日2回給与した。

表1 供試飼料の配合割合と成分含量

項目/試験区	(乾物中%)			
	ブドウ区	ウイスキー区	グラス区	対照区
配合割合				
ブドウ搾り粕	19.9	—	—	—
ウイスキー粕	—	15.3	—	—
オーチャード (S) <sup>1)</sup>	—	—	19.7	—
リードカナリー乾草	24.5	31.5	23.1	36.6
大豆粕	5.4	4.2	4.8	4.6
加熱トウモロコシ	6.3	4.1	8.9	5.6
ビートパルプ	21.1	22.7	23.8	25.4
配合	21.3	20.7	17.9	26.1
その他	1.5	1.5	1.7	1.6
成分配合 <sup>2)</sup>				
TDN	67.0	68.6	68.1	68.7
CP	14.6	16.7	14.8	14.8
CPd <sup>3)</sup>	7.7	7.7	9.3	9.1
NDF <sup>4)</sup>	40.0	44.3	43.5	40.1
EE	4.1	3.5	3.0	2.6
NCWFE <sup>5)</sup>	24.4	23.7	26.3	29.0

1) サイレージ 2) 設計値 3) 分解性蛋白質 4) 中性デタージェント繊維 5) デンプン、糖、有機酸類から繊維を除いた炭水化物



図2. ブドウ搾り滓

#### (2) ウイスキー粕給与試験

近隣の飼料製造工場で購入されているウイスキー粕を購入し, 場慣行TMR中の乾物で約15%となる量を, 飼料攪拌機で混合し供試飼料とした。攪拌は一日の給与量のみ行い, 1日2回給与した。

#### (3) グラスサイレージ多給試験

近隣の酪農家で生産されたオーチャードグラスサイレージを場内に搬入し, カッターで切断後, 場慣行TMRと攪拌機で混合し供試飼料とした。乾草多給区の混合割合は乾物中約20%とした。攪拌は一日の給与量のみ行い, 1日2回給与した。

### 2-3 調査項目と測定方法

#### (1) 飼養成績

給与量と残飼量を給与ごとに計量し, 残飼は70℃48時間の熱風乾燥により乾物率を測定し, 乾物摂取量を算

出した。

### (2) 産乳成績

乳量は毎日計量した。一般成分は給与開始時と終了時の朝夕の搾乳分を採材、一日分とし生乳を乳成分分析装置（ミルコスキャンS50）で分析した。各成分率は朝夕の乳量比によって加重平均した。

### (3) 血液生化学検査

給与開始時と終了時に尾根静脈から採血し、遠心分離後（3000回転10分間）血清を凍結保存した。その後、乾式血液自動分析装置（ドライケム3000：富士フィルム）で総蛋白（TP）、グルコース（GLU）、総コレステロール（TCHO）、尿素窒素（BUN）、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ（AST）、アラニンアミノトランスフェラーゼ（GPT）、カルシウム（Ca）、無機リン（IP）、マグネシウム（Mg）を測定した。

### (4) 機能性成分

各試験区の飼料、供試牛の血液及び生乳をサンプリングし、冷凍または冷蔵に保存後、分析を行った。分析項目と方法はポリフェノール（カテキン）及び抗酸化能：比色法、共役リノール酸（9c, 11t）：ガスクロマトグラフ法、ラフィノース、ビタミンA（レチノール）およびビタミンE（総トコフェノール）：高速液体クロマトグラフ法により実施した。なお、分析は財団法人日本食品油脂検査協会に依頼した。

#### ①飼料

各試験区の供試飼料（TMR）をそれぞれ約2kgを採材し、冷蔵保存後、分析した。

#### ②生乳

個体毎に朝夕の搾乳分を採材し、乳量から加重平均したものを合乳（400ml）とし、凍結保存した後、分析を実施した。

### (5) 官能評価

各試験において、生乳の風味等を調べるため、試験終了時の生乳をサンプリングし、簡易な官能検査を実施した。検体は試験区及び対照区ごとに合乳とし、速やかに38℃に加温した。生乳内容を伏せたまま、場員等から無作為に15～36名を選定し試飲した。試飲後は速やかに官能10項目についてアンケート用紙に記入した。検査項目は甘み、うまみ、総合的なおいしさ等の両者間の比較と苦み、酸味、異常な味や臭いなどの有無について調べ、各試験について対照区生乳に対する試験区生乳の割合をパーセントで表した。

## 3. 結果

### 3-1 飼養試験

乾物摂取量、乳量、乳成分を表2に示した。各試験区による飼料効率や産乳成績に差は認められなかった。

表2 乾物摂取量、乳量、乳成分

試験区	乾物摂取量 (kg)	平均乳量 (kg)	乳脂肪率 (%)	乳蛋白質率 (%)
ブドウ区	16.4	19.3	4.76	3.36
ウイスキー区	16.8	21.3	4.65	3.25
グラス区	14.6	18.9	4.68	3.65
対照区	15.3	20.7	4.33	3.58

### 3-2 血液生化学性状

試験飼料給与開始時と給与終了時に採取した血液生化学性状を測定したところ、ウイスキー区で総蛋白質、グラス区でグルコースが高くなる傾向が見られたが差がなく、その他の測定項目にも差は認められなかった。

表3 血液生化学性状

項目/試験区	ブドウ区	ウイスキー区	グラス区	対照区
TP g/dl	6.7	7.5	6.7	6.4
BUN mg/dl	7.8	12.3	15.0	17.7
TCHO mg/dl	190.3	155.0	157.7	156.2
GLU mg/dl	65.0	63.0	67.3	63.9
AST IU/L	79.7	98.0	71.3	88.6
ALT IU/L	36.0	39.0	35.3	39.2
Ca mg/dl	8.2	7.8	8.3	8.2
IP mg/dl	6.1	7.9	6.6	6.7
Mg mg/dl	2.3	2.3	2.5	2.4

### 3-3 飼料中の機能性成分

飼料中の機能性成分を表4に示した。ポリフェノール及び抗酸化能はグラス区で高く、ビタミンAおよびビタミンEはブドウ区で高かった。なお、ラフィノース及び共役リノール酸は飼料からは検出されなかった。

表4 試験飼料の機能性成分（TMR中）

項目/試験区	ブドウ区	ウイスキー区	グラス区	対照区
ポリフェノール mg/g	2.8	2.9	4.6	2.1
ラフィノース g/100g	不検出	不検出	不検出	不検出
抗酸化能 $\mu\text{mol/g}$	29	30	59	49
共役リノール酸 %	不検出	不検出	不検出	不検出
ビタミンA $\mu\text{g}/100\text{g}$	100	不検出	不検出	不検出
ビタミンE mg/100g	3.6	0.8	1.1	0.9

### 3-4 生乳中の機能性成分

生乳中の機能性成分を表5に示した。

表5 生乳中の機能性成分

項目/試験区	ブドウ区	ウイスキー区	グラス区	対照区
ポリフェノール mg/L	155 <sup>d</sup>	170 <sup>a</sup>	183.8 <sup>Ac</sup>	141.3 <sup>Bb</sup>
ラフィノース g/100g	不検出	不検出	不検出	不検出
抗酸化能 mmol/L	0.57	0.77	0.80	0.56
共役リノール酸 %	0.5 <sup>B</sup>	1.0 <sup>A</sup>	0.5 <sup>B</sup>	0.6 <sup>B</sup>
ビタミンA $\mu\text{g}/100\text{g}$	92.5 <sup>A</sup>	46.6 <sup>B</sup>	101.7 <sup>A</sup>	43.8 <sup>B</sup>
ビタミンE mg/100g	0.09 <sup>A</sup>	0.1 <sup>A</sup>	0.09 <sup>A</sup>	0.01 <sup>B</sup>

異符号間に有意差あり (A : B p<0.01, a : b c : d p<0.05)

(1) ポリフェノール (カテキン)

ポリフェノールはグラス区>ウイスキー区>ブドウ区の順に高く、グラス区及びウイスキー区では対照区に比べ有意に高かった (図3)。

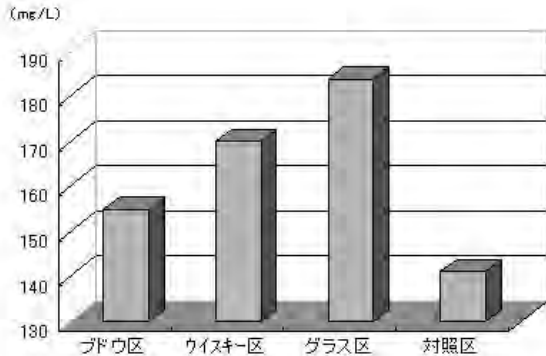


図3. 生乳中のポリフェノール (カテキン) 含量

(2) ラフィノース

全ての試験区において検出されなかった。

(3) 抗酸化能

全ての試験区において検出されたが、有意な差は認められなかった。

(4) 共役リノール酸

共役リノール酸はウイスキー区で他区に比べ極めて有意に高かった (図4)。

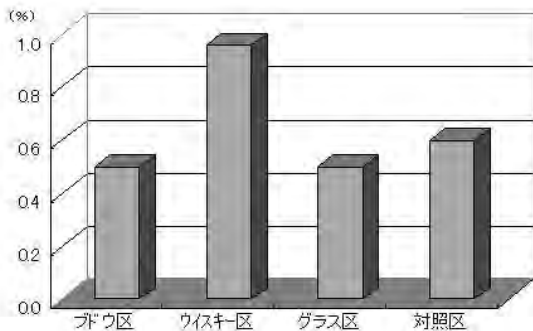


図4. 生乳中の共役リノール酸含量

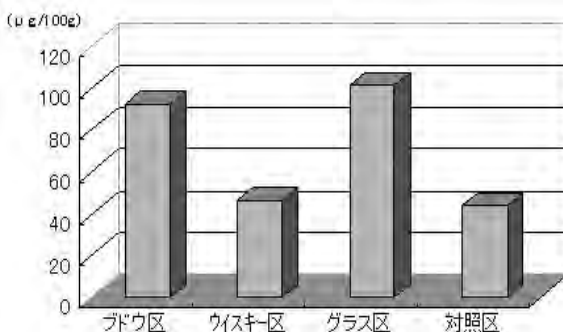


図5. 生乳中のビタミンA (レチノール) 含量

(5) ビタミンA (レチノール)

ビタミンAはブドウ区とグラス区で極めて有意に高かった (図5)。

(6) ビタミンE

全試験区で対照区に比べ、極めて有意に高かった (図6)。

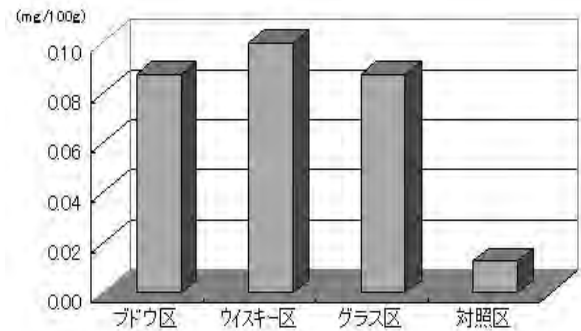


図6. 生乳中のビタミンE (総トコフェノール) 含量

3-5 官能評価

アンケートの10項目の中から、甘み、うまみ、風味、総合的なおいしさについて、試験生乳の回答率を表6に示した。これら項目は対照生乳に比べると、どの試験区においても高い回答率であった。また、パネラーの極少数に苦み、酸味、塩味を感じる回答が散在したが、全ての生乳において異常な味や臭いは認められていない。

表6 生乳の官能評価 (対照生乳との比較：%)

項目/試験区	ブドウ区 (n=36)	ウイスキー区 (n=15)	グラス区 (n=16)
甘み	66.7	80.0	75.0
うまみ	77.8	73.3	68.8
風味	75.0	80.0	68.8
総合的なおいしさ	66.7	80.0	68.8

(どちらともいえないも含める)

4. 考 察

現在、国内の食品製造業、食品流通業、外食産業等からは食品製造副産物、余剰食品、調理加工残さ等が大量に廃棄されている状況である。これらは、近年の飼料価格の高騰や地球環境問題の面から、食品残さを飼料化していくことが強く求められている。

そこで、当場では特定地域未利用資源に含まれる機能性成分を探索し、乳牛の生乳中に機能性成分を増加させる飼養管理技術の検討してきた。これまで放牧技術において、牛乳中のビタミンEとβ-カロテンの含量が向上することを確認し<sup>2)</sup>、また、飼料中の粗飼料割合を乾草多飼育した場合や茶殻を給与した場合においても飼養管

理が出来ることができた<sup>3)4)</sup>。

今回、県内で比較的大量に入荷できるブドウ搾り滓とウイスキー粕を高割合に調整した飼料と栄養価の高いグラスサイレージの多給による給与試験を実施し、生乳中の機能性成分の変動及び乳質に及ぼす影響等を検討したところ、乳牛の健康状態を維持した状態で、これら地域未利用資源を利用した飼養管理は十分可能であると考えられた。

牛乳中への機能性成分の移行はあらゆる成分において、確認されている<sup>5)6)</sup>。今回の研究で、生乳中の機能性成分ではポリフェノール（カテキン）、共役リノール酸、ビタミンA（レチノール）及びビタミンEで慣行飼料給与時に比べ、増加されることが判明された。機能性成分の作用としては抗癌作用、抗肥満効果、抗アレルギー、免疫賦活作用など様々な報告がなされている。

また、機能性飼料での乳牛の飼養管理は乳牛の健全性の増進により安心して安全な牛乳生産に期待できる。

さらに、官能評価においても、生乳中の風味等を損なわずに、甘み、うまみ、風味などを加増する可能性が示唆された。機能性成分が牛乳に移行することで、牛乳が爽やかな風味となり、牛乳を嫌う人にも好まれる牛乳となり得る。

## 5. 結 言

山梨県内で得られるブドウ搾り滓とウイスキー粕は乳牛の飼料化が可能であり、さらに生乳中には各種機能性成分を高める作用があることが判明した。また、栄養価の高いとされているグラスサイレージによってもポリフェノールやビタミンAなどが高まることが分かった。特に、本県においてはワイン生産量が全国一であることから、ブドウ搾り滓の利用は必須条件と考えられる。これら資源を利用した乳牛の飼養管理において、特定地域未利用資源を活用することにより、付加価値のある牛乳の販売が可能になると思われた。

もともと牛乳は完全栄養食品とされているが、近年、少子化や他の飲料物の兼ね合いなどから、牛乳の消費離れが進行している。地域特性を活かした牛乳生産を図ることにより、なお一層の牛乳消費拡大を推進していきたい。

## 参考文献

- 1) 日本標準飼料成分表（2001年版）：(社)中央畜産会
- 2) 横山紅子，保倉勝己：山梨県総合理工学研究機構研究報告書第1号，P.13-15. (2006)
- 3) 室伏淳一，大谷利之，深澤 修，秋本峻二：静岡県畜産試験場研究報告書第30号，P.30-33. (2004)
- 4) 横山紅子，保倉勝己：山梨県総合理工学研究機構

研究報告書第2号，P.14-16. (2007)

5) 塩谷 繁：畜産技術Vol.638，P.12-15. (2008)

6) 高田修他：近畿中国四国農業研究成果情報 (2003)



# 山梨県産キノア種子に含まれる抗酸化性物質 フラボノイド配糖体の調理に伴う変化

山梨大学教育人間科学部  
廣瀬 裕子・堀込 知己  
山梨県総合農業技術センター  
石井 利幸・上野 直也・竹丘 守

## Influence of Cooking upon the Antioxidative Flavonoid Glycosides in Quinoa Seeds Cultivated in Yamanashi

University of Yamanashi  
Yuko HIROSE, Tomoki HORIGOME  
Yamanashi Prefectural Agritechology Center  
Toshiyuki ISHII, Naoya UENO and Mamoru TAKEOKA

### 要 約

山梨県産新規作物“キノア”を栽培し、その加工特性を明らかにするため、種子中の機能性成分であるフラボノイド類の含有量、総フェノール量、DPPHラジカル捕捉活性を測定し、調理の影響を評価した。

### Abstract

Quinoa, a grain crop of Andean origin, was cultivated in Yamanashi. To evaluate the nutritional advantages of cooked quinoa seeds, the contents of flavonoids, total phenolic content, and DPPH radical scavenging ability of quinoa seeds were evaluated.

### 1. 緒 言

キノア (*Chenopodium quinoa* Willd.) は南米原産で、その栽培の歴史は紀元前5000年にさかのぼるといわれ、米や小麦のように主食として広く使用されていたが、スペインの統治以後は、もろこしなどが主食として利用されるようになったことに伴い、一部の地域だけで限定的に利用されていた<sup>1)</sup>。キノアは炭水化物 (67–74%)、たんぱく質 (8–22%)、脂質 (2–10%) を含むばかりでなく、ビタミン、ミネラル、食物繊維などに富む優れた食材であることから、1970年代から世界的に注目を集めるようになったが、日本ではこれまでにほとんど栽培されたことはなかった。

近年の生活習慣病の顕在化などにより、食品は栄養素の供給源としての機能ばかりでなく生体調節機能を持つことが重要視されている。「地域農産素材等の機能性解明と高付加価値製品の開発」の一環として、新規作物“キノア”を山梨県特産品として栽培し、これを用いた機能性食品を開発することを目標として、すでに、Sea level type NL-6が山梨県での栽培に適した品種であるこ

となど、キノアの栽培条件を確立することができた<sup>2)</sup>。

引き続き、キノア種子の機能性成分に関する検討を行ってきた。キノア種子は、汎用の穀類と比較して抗酸化性が高いことに着目して、抗酸化活性成分を検討したところ、クエルセチンあるいはケンフェロールをアグリコンとして3単位の糖が結合したquercetin 3-O-(2",6"-di-O- $\alpha$ -rhamnopyranosyl)- $\beta$ -galactopyranoside (1), quercetin 3-O-(2",6"-di-O- $\alpha$ -rhamnopyranosyl)- $\beta$ -glucopyranoside (2), quercetin 3-O-(2"-O- $\beta$ -apiofuranosyl-6"-O- $\alpha$ -rhamnopyranosyl)- $\beta$ -galactopyranoside (3), kaempferol 3-O-(2",6"-di-O- $\alpha$ -rhamnopyranosyl)- $\beta$ -galactopyranoside (4) を分離・同定することができた。これらの化合物は、他の穀類には検出されなかった。また、強い抗酸化性を有するクエルセチン配糖体1, 2, 3の含有量が、南米産のキノア種子に比べて山梨県産種子では高いことなど、山梨県産キノア種子は抗酸化性に優れた特徴ある食材であることを明らかにすることができた。

本研究では、山梨県産キノア種子の特徴である抗酸化性に注目して、基本的な調理加工によるフラボノイド類

の含有量および抗酸化性への影響について検討した。

## 2. 実験方法

### 2-1 試料

山梨県総合農業技術センターにより栽培されたSea level type NL-6系統キノア種子を使用した。

### 2-2 粗抽出液の調製

キノア種子粉末100 mgに、メタノール/水 (2 : 1 v/v) 5 mlを加え、50℃で60 min加熱し、メンブレンフィルターでろ過後、10 mlのメスフラスコで定容とした。

### 2-3 高速液体クロマトグラフィー (HPLC) によるフラボノイド類の分析

粗抽出液を減圧濃縮後、固相抽出用カートリッジ (InertSep C18, ジーエルサイエンス) でクリーンアップし、HPLCで分析した。HPLCによる分析条件は、固定相=ODS 4.6×250mm Inertsil ODS-SP, 移動相=W/MeCH/AcOH (A) =90 : 8 : 2 (v/v/v), (B) =50 : 48 : 2 (v/v/v), 溶出方法:(A) について、0 ~ 35 min 87%, 35~60 min 87-50%, 流速=1 ml/min, 検出=370 nm, カラム温度:40℃とした。

### 2-4 総フェノール量の定量<sup>3)</sup>

粗抽出液1 mlに、水3 mlと5倍希釈したフェノール試薬1 mlを加え攪拌後、10%炭酸ナトリウム水溶液1 mlを加え、室温で1 h放置後、760 nmにおける吸光度を測定した。没食子酸の各種濃度の溶液について同様の測定を行った結果を用いて、没食子酸相当量 (gallic acid mg E/100 g FW) として粗抽出液の総フェノール量を算出した。

### 2-5 1,1-ジフェニル-2-ピクリルヒドラジル (DPPH) ラジカル捕捉活性の測定<sup>4)</sup>

粗抽出液2 mlに150 $\mu$ M DPPHメタノール溶液2 mlを加え、よく振り混ぜた後、室温暗所に30 min放置後、517 nmにおける吸光度を測定し、次式からラジカル捕捉率を算出した。

$$\text{DPPHラジカル捕捉率 (\%)} = [(A-B) / A] \times 100$$

ただし、Bは測定試料を含む反応溶液の吸光度、Aは空試験溶液の吸光度とした。

各種濃度の6-ヒドロキシ-2,5,7,8-テトラメチルクロマン-2-カルボン酸 (Trolox) メタノール溶液のDPPHラジカル捕捉率を測定し、粗抽出液のラジカル捕捉率をTrolox相当量 (Trolox  $\mu$ mol E/100 g FW) として算出した。

### 2-6 フラボノイド配糖体から加水分解により遊離するアグリコンの定量

2-3で使用した抽出液1 mlに1.6 mgのアスコルビン酸メタノール溶液と1.6M塩酸水溶液2.0 mlを加え、内部標準であるモリンのメタノール溶液を加えた後、沸騰水中で1 h還流加熱した。加熱後メンブレンフィルターでろ過し、10 mlのメスフラスコで一定容積とし、HPLCに注入した。HPLCの分析条件は、固定相: ODS (6×150 mm, YMC), 移動相: 0.01M H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> aq. soln/EtOH (68 : 32 v/v), 流速: 1 ml/min, 検出: 350 nm, カラム温度: 40℃とした。

あらかじめ濃度既知のクエルセチンおよびケンフェロールの分析を行い、注入量とピーク面積の関係を求め、加水分解溶液中のクエルセチンおよびケンフェロールを定量した。

### 2-7 調理モデルによるキノア種子の加工

#### 2-7-1 水浸漬処理

キノア種子10 gに水50 mlを加え、室温で放置した。ろ過後、ろ液を50 mlの一定容積とし、メンブレンフィルターでろ過し、HPLCに注入した。

#### 2-7-2 水加熱処理

キノア種子5 gと水50 mlをビーカーに取り、シャーレでフタをして、ガスバーナーで加熱した。沸騰してからの時間を加熱時間とした。加熱終了後、ろ過し、100 mlの一定容積とし、メンブレンフィルターでろ過し、HPLCに注入した。

#### 2-7-3 高温加熱処理

粉碎したキノア種子をシャーレに取り、所定の温度 (140, 160, 180℃) にあらかじめ加熱してある電気定温乾燥機で一定時間 (10, 20, 30 min) 加熱した。

## 3. 結果

### 3-1 種子の脱皮処理によるフラボノイド含有量への影響

キノア種子を収穫後、天日乾燥し、試験用小型脱穀機 (白川農機具製作所 CR13) で脱穀、風力選別 (大屋式坪刈試験用小型唐蓑 B3M) をした後、山本スパイラル精米機で白度2~5の4段階で脱皮処理した4種のキノア種子を調製した。

脱皮未処理のキノア種子においては、フラボノイド **1** (65.1 $\pm$ 1.4 mg/100 g FW), **2** (12.21 $\pm$ 0.2 mg/100 g FW), **3** (37.9 $\pm$ 1.0 mg/100 g FW), **4** (46.0 $\pm$ 1.4 mg/100 g FW) が検出された。一方、脱皮処理した4種の試料においては、フラボノイド類は未処理試料の100-106%検出された。種子の外皮を若干取り除くことによ

って、含有量が100%以上になったことから、外皮はフラボノイド類の蓄積部位ではないこと、苦味除去などのために行う若干の脱皮処理は、フラボノイド類を含まない部位の除去につながり、抗酸化成分であるフラボノイド類の損失にはならないことが明らかとなった。

### 3-2 水浸漬処理によるフラボノイド含有量への影響

キノア種子外皮に含まれる苦味成分の除去のために、水浸漬処理を行うことが多い。キノア種子の水浸漬液をHPLCで分析し、水に溶出したフラボノイド類を定量した。その結果、水浸漬の時間が延長されるに従い検出されるフラボノイド類の量は増加したが、24時間の浸漬でも溶出量は種子中の含有量の1%以下であった。水浸漬処理により、フラボノイド類が損失することはほとんどないことが確認できた。

### 3-3 水加熱処理によるフラボノイド含有量への影響

キノア種子は茹でて、サラダなどのトッピングに使用する、あるいはさまざまな食材とともに煮込み、茹で汁と具材をあわせて摂取するスープなどに使用される。このような水とともに茹でる加工がフラボノイド含有量に及ぼす影響について検討した。

10, 20, 30 分間加熱した後の茹で汁に溶出したフラボノイド類を定量した結果を、図1に示す。

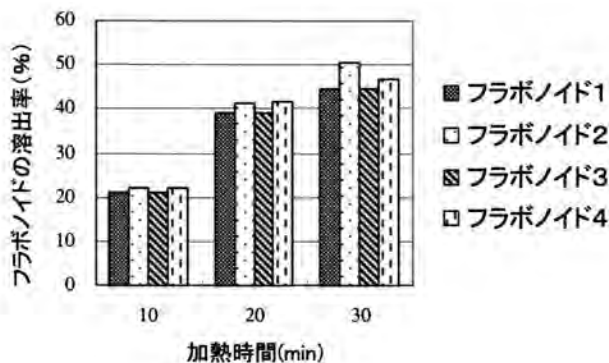


図1 水加熱処理により溶出したフラボノイド (n=3)

フラボノイド1-4の間で、溶出率に大きな相違はなかった。加熱時間の増加に伴い、茹で汁に溶出するフラボノイド量は増加し、キノア種子が食べやすい硬さになる20分の加熱では、約40%のフラボノイドが水へ溶出することが確認された。

### 3-4 高温加熱処理によるフラボノイド含有量と抗酸化性への影響

キノア種子を粉碎し、小麦粉と混合してクッキーやパンなどに加工する高温加熱処理によるフラボノイド類の含有量および抗酸化性への影響について検討した。

粉碎したキノア種子を高温加熱後、粗抽出液を調製

し、総フェノール量およびDPPHラジカル捕捉活性を測定した。また、粗抽出液をクリーンアップした後、HPLCに注入し、フラボノイドの定量を行ったのち、加水分解して遊離するケルセチンおよびケンフェロールを定量した。フラボノイド含有量および加水分解して遊離するケルセチン等の含有量、総フェノール量、DPPHラジカル捕捉活性は、未加熱試料の測定結果に対する変化率（フラボノイド類の場合は残存率）として算出した。なお、加熱により水分等が失われ重量が減少したため、それぞれの測定結果は、加熱前の試料に対する測定結果に換算して算出した。

フラボノイド類の加熱後の残存率を図2に示す。

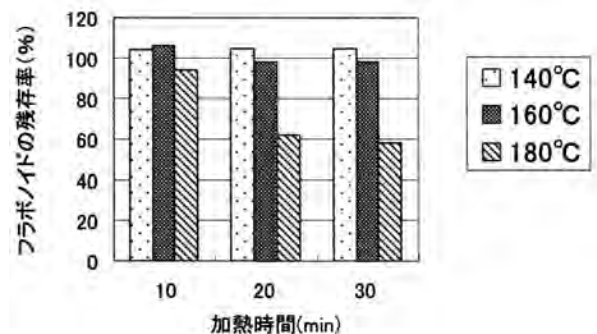


図2 高温加熱によるフラボノイド含有量の変化 (n=3)

フラボノイド配糖体の構造の違いによる残存率に対する相違はなかった。加熱温度140および160°Cでは、30分加熱した後もフラボノイド類はほとんど残存していたが、180°Cの加熱では加熱時間が20分以上になると、残存率は60%に低下し、加熱によるフラボノイド類の減少が大きかった。

加熱後の総フェノール量を、未加熱試料の結果と比較した結果を図3に示す。

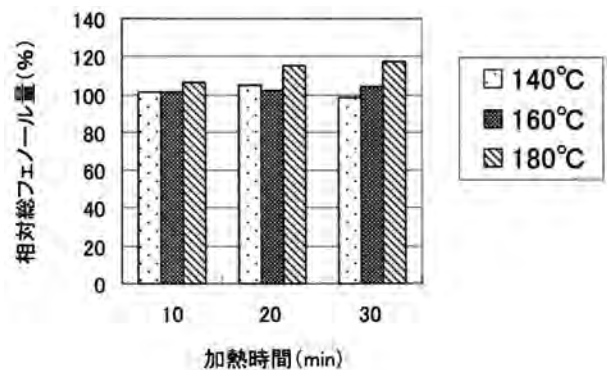


図3 高温加熱による総フェノール量の変化 (n=3)

すべての試料において未加熱試料の98%以上の総フェノール量が定量された。特に、フラボノイド類の含有量が減少した180°Cで、20あるいは30分加熱した試料に

においては、未加熱試料の105–117%に相当するフェノール量が検出され、総フェノール量の若干の増加が観察された。

次に、DPPHラジカル捕捉活性について未加熱試料の

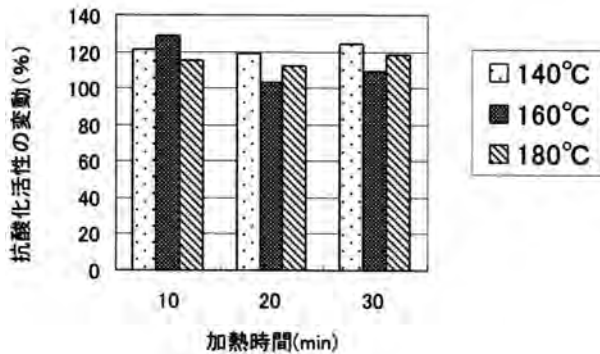


図4 高温加熱による抗酸化性の変化 (n=3)

活性と比較した結果を図4に示す。

未加熱試料の100–120%に相当する抗酸化性が確認できた。高温加熱によりフラボノイド含有量は減少したにもかかわらず、フェノール性物質の含有量および抗酸化活性は上昇する結果となった。高温加熱によりフラボノイド配糖体は分解するが、遊離生成したクエルセチン等のアグリコンは保持されたのではないかと推定された。そこで、酸による加水分解を行い、遊離するクエルセチンとケンフェロールを定量し、未加熱試料の結果と

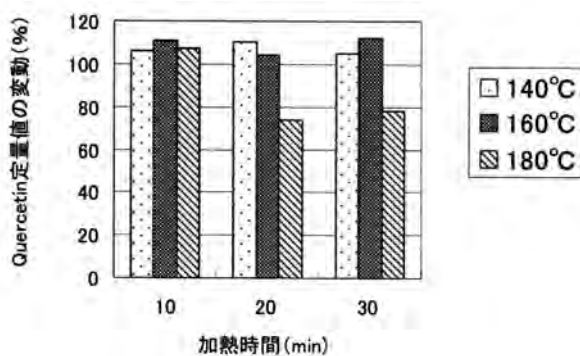


図5 加水分解により遊離するクエルセチンの定量結果の変化 (n=3)

比較した。その結果を図5に示す。

フラボノイド含有量の大きな減少が観察された180°Cで20または30分加熱した試料では、クエルセチンの定量結果も大きな減少を示した。しかし、フラボノイドの残存率の減少に比較してその減少率は若干低かった。ケンフェロールの定量についても、ほぼ同様な結果が得られた(詳細なデータは省略)。

配糖体が加熱により壊れた結果、アグリコンとして存在するクエルセチンが加水分解で生成したクエルセチンと合わせて定量されたため、フラボノイド類の残存率よ

りは高いクエルセチンの定量結果が得られたと推定された。クエルセチンはフラボノイド類の中で、最も強い抗酸化性を示す。一方、クエルセチンの水酸基に糖が結合した配糖体は、遊離のクエルセチンに比べて抗酸化性は低いことがよく知られている。高温加熱により遊離したクエルセチンが配糖体として存在していたときより強い抗酸化活性を示したことにより、加熱後の試料が未加熱試料より高い抗酸化性を示したと推定したが、加熱後の抗酸化活性の増大をクエルセチンの遊離量だけでは説明できない。クエルセチン配糖体以外の成分が加熱により変動し、抗酸化活性に大きく貢献している可能性もあると考えられた。詳細については、今後検討したい。

#### 4. 結 言

キノア種子の機能性成分であるフラボノイド類は

1. 苦味成分の除去の処理などのために行う脱皮あるいは水浸漬処理によって、損失することは少ない。
2. 水中で加熱すると水に溶出するため、スープのように煮汁ごと摂取する調理では問題ないが、茹でこぼす調理はフラボノイド類の有効活用には適さない。
3. 高温加熱により、フラボノイド類は壊れるが、生成するクエルセチン等が抗酸化活性を増強するので、高温加熱による調理は、キノア種子の食材としての機能を十分生かす調理法である。

植物に含まれるフラボノイド類は、抗酸化作用や各種酵素の活性阻害作用により心疾患の予防、高血圧低下作用、抗ガン作用、糖尿病の抑制、アルツハイマー病の予防などに役立つとして注目され<sup>5)</sup>、身近な食用植物におけるフラボノイド類の含有量がアメリカ農務省(USDA)によるデータベースとして公開されている<sup>6)</sup>。収録されている植物の中でクエルセチン含有量が高いものは、緑茶(乾燥葉, 662 mg/100 g)、ケーパー(ハーブ, 234 mg/100 g)、ソバ(23.1 mg/100 g)、タマネギ(21.4 mg/100 g)などをあげることができる。キノア種子のクエルセチン含有量(山梨産平均60.3 mg/100 g)は、これらに匹敵し、主食として日常的に利用可能な食品であることから、その機能性成分の健康への効果は大いに期待できる。

#### 参考文献

- 1) Colin Wrigley et al.: Encyclopedia of Grain Science, Elsevier Academic Press, P.1-8 (2004)
- 2) 石井利幸, 上野直也, 竹丘守, 磯部勝孝, 勝田真澄: 山梨県におけるキノアの優良系統とその発芽特性, 日作紀, 76 (別1), P.140-141 (2007)
- 3) V. L. Singleton and J. A. Rossi: American Journal

- of Enology and Viticulture, **16**, P.144-158 (1965)
- 4) 篠原和毅, 鈴木建夫, 上野川修一編著: 食品機能研究法, 光琳, P.218-220 (2000)
  - 5) C. A. Rice-Evans and L. Packer: Flavonoids in Health and Disease, Marcel Dekker, New York, P.437-481 (1997)
  - 6) USDA Database for the Flavonoid Content of Selected Foods, release 2.1 (2007). URL: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/Flav/Flav02-1.pdf>

## 成果発表状況

### 学会発表

- 1) 廣瀬裕子, 石井利幸, 竹丘守: 山梨県産擬穀類キノアに含まれるポリフェノール類の分離・構造解析, 第46回日本油化学会, 京都, 2007
- 2) 廣瀬裕子, 吉田綾子, 鈴木安由子, 石井利幸, 竹丘守: 山梨県産擬穀類キノア種子に含まれるポリフェノールの食品化学的評価, 第62回日本栄養・食糧学会, 埼玉, 2008
- 3) 廣瀬裕子, 鈴木安由子, 竹丘守, 石井利幸, 上野直也: 山梨県産擬穀類キノア種子に含まれる生理活性物質フラボノイド類の分析, やまなし産学官連携研究交流事業, 山梨, 2008
- 4) 鈴木安由子, 堀込知己, 廣瀬裕子, 藤田智之, 石井利幸, 竹丘守, 長沼孝文: 山梨県産擬穀類キノア種子と汎用穀類に含まれるフラボノイド類の分析, 第47回日本油化学会, 東京, 2008
- 5) 廣瀬裕子, 鈴木安由子, 堀込知己, 嶋津優弥, 清田広輝, 藤田智之, 石井利幸, 竹丘守, 長沼孝文: 山梨県産擬穀類キノア種子に含まれるフラボノイド類の分析と調理に伴う変化, 日本農芸化学会関東支部2008年度大会, 山梨, 2008
- 6) 廣瀬裕子, 鈴木安由子, 石井利幸, 竹丘守, 長沼孝文: 山梨県産キノアの機能性成分の分離・構造解析, 日本農芸化学会2009年度大会, 福岡, 2009
- 7) 石井利幸, 上野直也, 竹丘守: 山梨県平坦地におけるキノア (Sea-levelタイプ) の栽培特性, 第97回日本作物学会関東支部会, 栃木, 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)

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

## Composting of Livestock Waste and Reduction of Environmental Load Using Wine Compression Residues (2)

Institute of Environmental Sciences<sup>1</sup>, Livestock Experiment Station<sup>2</sup>, Agricultural Technology Center<sup>3</sup>,  
Fuji Industrial Technology Center<sup>4</sup>, University of Yamanashi<sup>5</sup>  
Tatsuya HASEGAWA<sup>1</sup>, Tomokazu MORI<sup>1</sup>, Ken-ichi AGO<sup>1</sup>, Terumi TAKAHASHI<sup>2</sup>, Shuhei YAMASAKI<sup>3</sup>,  
Yoshinobu UEGAKI<sup>4</sup>, Akihiro TERASAWA<sup>4</sup>, Taku MISONOU<sup>5</sup>, Hidehiro KANEKO<sup>5</sup> and Masayuki HAYAKAWA<sup>5</sup>

### 要 約

小型堆肥化実験装置を用いた検討により、豚ふんを原料とした堆肥作製において、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、豚ふん1に対して0.2加えることにより、発生するアンモニアを低減できることを明らかにした。また、加えるブドウ搾り滓は冷凍した物と発酵させた物で大きな差のないことが判明した。畜産試験場の堆肥舎における実用規模の検討を行った。豚ふん1,260kgを原料とした第1区、豚ふん（1,260kg）をブドウ搾り滓（250kg）で覆った第2区（1回目の切り返し後、ブドウ搾り滓は豚ふんに混ぜ込まれる）を設定し、二週間おきに切り返しを行った。堆肥発酵期間中、温度記録計で発酵温度を随時測定した。悪臭物質としてアンモニア、硫化水素、低級脂肪酸を測定した。その結果、二つの試験区とも発酵温度に大きな差はなく順調に発酵が進行し、悪臭物質の発生はブドウ搾り滓を添加した第2区の方が対照の第1区より低かった。さらに、官能試験やニオイセンサでもブドウ搾り滓の効果が実証された。これらの悪臭物質低減作用に悪臭分解微生物の関与が考えられた。そこで、ブドウ搾り滓を加えた堆肥中に増殖している放線菌を解析し、21種の菌株を同定した。そのうち2種類の菌株（*Thermobifida fusca* 5-1-1株、*Saccharomonospora viridis* 5-1-2株）はブドウ搾り滓抽出液を加えると顕著に増殖が促進することが明らかとなった。さらに、この二つの菌株は、*in vitro*の検討において、豚ふんから発生するアンモニアを低減する効果のあることが明らかとなった。一方、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可能性が示された。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。ナス栽培圃場の土壤中微生物相を解析した結果、豚ふん+ブドウ搾り滓堆肥を施肥した区画では、作物の栽培に有用とされる放線菌やバクテリアが増殖し、逆にカビの増殖が抑制される傾向が示された。堆肥成分の土壌および浸透水への影響を検討した結果、豚ふん+ブドウ搾り滓堆肥を施肥した区画の土壌でナスの栽培後、リン酸濃度が他の試験区に比べ高くなっていた。浸透水中の銅、亜鉛、硝酸態窒素を分析した結果、ブドウ搾り滓添加に起因すると考えられる大きな変動は認められなかった。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（二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素）に関してライフサイクルアセスメント（LCA）手法による評価を行った。ブドウ搾り滓を焼却処分する従来の方法と、ブドウ搾り滓を豚ふんに混ぜて堆肥を作製する場合を比較して解析した結果、ブドウ搾り滓を豚ふんに混ぜる方が地球温暖化に対する負荷が小さいと考えられた。従って、豚ふんを原料とした堆肥作りにブドウ搾り滓を加えると、堆肥発酵過程で発生する悪臭が低減でき、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。ブドウ搾り滓添加に由来する環境負荷も問題ないレベルであった。

### 1. 緒 言

山梨県はブドウ、モモ、スモモの生産量が全国で一位を誇る果樹王国であり、さらにブドウから作られるワイン生産量においてもそのシェアは日本一である。しか

し、ワイン製造過程で生じる多量のブドウ搾り滓（ワイン圧搾残渣）の処理が問題となっている。これらブドウ搾り滓の一部は飼料、滓とりブランドー製造あるいは堆肥に利用されているが、その多くは有用な利用法が無く処分されているのが現状である。その一方で、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，消臭作用は，昨今の健康食品ブームにおいて注目されている。一方，畜産農家では，周辺住民の混住化により悪臭を始めとする環境問題が重要な課題となっている。国や県において，これら問題の解決をめざしていくつかの対策が講じられているが，抜本的な解決には至っていない。

昨年度我々は，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<sup>1)</sup>。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化学肥料と同等以上であった。今年度は，ブドウ搾り滓添加割合の基礎的検討，消臭メカニズム（悪臭分解微生物，ポリフェノール類），実用規模での施肥効果，施肥における土壌や浸透水への影響および堆肥発酵過程における温暖化ガス発生に関してさらに検討を行ったので報告する。

## 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よりワイン製造過程で生じるワイン圧搾残渣（ブドウ搾り滓）を提供していただいた。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する形で一ヶ月間常温で発酵させたもの（発酵ブドウ搾り滓）を用いた。なお，対照として発酵させずに冷凍保存し，使用前日に解凍したもの（冷凍ブドウ搾り滓）も用いた。

豚ふん：山梨県畜産試験場の豚房より採取したものを用いた。



写真-1 豚（大ヨークシャー種）

### 2-2 小型堆肥化実験装置による検討

昨年と同様に小型堆肥化実験装置<sup>2)</sup>（かぐやひめ，富士平）を用い，豚ふんにブドウ搾り滓を加えた場合に発生する臭気量を検討した。



写真-2 集めた豚ふん



写真-3 小型堆肥化実験装置

#### 2-2-1(1) 豚ふんとブドウ滓添加の割合の検討

豚ふん（第1区）：豚ふん2kgにオカグズを混合し含水率64%程度に調整し，これに完熟堆肥0.2kgを加えて小型堆肥化実験装置に充填した。通気速度の設定は250mL/minにした。

豚ふん+冷凍ブドウ滓（第2区）：豚ふん2kgに，冷凍ブドウ搾り滓を0.4kg混ぜ（1:0.2），オカグズで含水量を64%に調整し，これに完熟堆肥0.2kgを加えて小型堆肥化実験装置に充填した。通気速度の設定は330mL/minにした。

豚ふん+冷凍ブドウ滓（第3区）：豚ふん2kgに，冷凍ブドウ搾り滓を2kg混ぜ（1:1），オカグズで含水量を64%に調整し，これに完熟堆肥0.2kgを加えて小型堆肥化実験装置に充填した。通気速度の設定は500mL/minにした。

堆肥化開始日を0日とし，7日，14日，21日目に充填した各試験区のサンプルを小型堆肥化実験装置から取り出して，均一に攪拌して切り返しを行い28日間発酵させた。堆肥化の発酵状況の目安として堆肥の内部温度をデータロガーで記録した。悪臭物質の指標としてアンモ

ニア濃度を検知管で測定した。

## 2-2-2) 冷凍ブドウ搾り滓と発酵ブドウ搾り滓の効果に関する検討

豚ふん (第1区) : 豚ふん 2 kgにオガクズを混合し含水率64%程度に調整し、これに完熟堆肥0.2kgを加えて小型堆肥化実験装置に充填した。通気速度の設定は250mL/minにした。

豚ふん+冷凍ブドウ滓 (第2区) : 豚ふん 2 kgに、冷凍ブドウ搾り滓を 2 kg混ぜ (1:1)、オガクズで含水量を64%に調整し、これに完熟堆肥0.2kgを加えて小型堆肥化実験装置に充填した。通気速度の設定は500mL/minにした。

豚ふん+発酵ブドウ滓 (第3区) : 豚ふん 2 kgに、発酵ブドウ搾り滓を 2 kg混ぜ (1:1)、オガクズで含水量を64%に調整し、これに完熟堆肥0.2kgを加えて小型堆肥化実験装置に充填した。通気速度の設定は500mL/minにした。

堆肥化開始日を0日とし、1週、2週、3週目に充填した各試験区のサンプルを小型堆肥化実験装置から取り出して、均一に攪拌して切り返しを行った。堆肥化の発酵状況の目安として堆肥の内部温度をデータロガーで記録した。悪臭物質の指標としてアンモニア濃度を検知管で測定した。



写真-4 発酵ブドウ搾り滓

## 2-3 堆肥作製

山梨県畜産試験場の堆肥舎で実験を行った。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1,260kgを原料とした。

第2区 : 豚ふん+発酵ブドウ滓Cover, 豚ふん1,260kgを発酵ブドウ搾り滓 (250kg) 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、二週間ごと (12日, 26日, 47日, 62日目) に重機 (ホイールローダー) で切り返しを行い、イオウ化合物ならびに低級脂肪酸の測定用サンプルをテドラバックおよびアルカリビーズ捕集管に採取した。また同時に発酵途中の堆肥の一部を採取し、発酵過程-堆肥サンプルとした。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。発酵期間中のアンモニア発生量をパッシブ・ドジチューブ法で測定した。

## 2-4 堆肥発酵過程における堆肥のpH

pHは発酵過程-堆肥サンプル30gをそれぞれ300 mLの蒸留水に懸濁させ、ガラス電極を用いて測定を行った。

## 2-5 アンモニアの分析

直接法 : 検知管を用いて直接測定した。

パッシブ・ドジチューブ法 : 三日おきに午前中 (9時から12時) の3時間、アンモニア測定用パッシブ・ドジチューブを発酵過程の堆肥にセットして測定を行



写真-5 発酵途中の堆肥



写真-6 重機による切り返し

い、単位時間あたりのアンモニア発生量を算出した。

## 2-6 イオウ化合物の分析

サンプルの採取：切り返し時に発生した臭気を試料採取用ポンプを用いてテドラバック (1,000mL) に直接採取した。

硫化水素 ( $H_2S$ ) の分析：キャピラリーカラム (Rtx-1, RESTEK) を装着したガスクロマトグラフィ (GC-2014, 島津) で分析を行った。なお検出器にはFPDを用い、検量線用の標準ガスはパーミエーター (ガステック) で調製した。

## 2-7 低級脂肪酸の分析

サンプルの採取：切り返し時に発生した臭気を試料採取用ポンプを用いてアルカリビーズ捕集管に直接採取した。

プロピオン酸, ノルマル酪酸, イソ吉草酸, ノルマル吉草酸：パックドカラム (Carbopack) および加熱気化試料導入装置を装着したガスクロマトグラフィ (GC-8A, 島津) で分析を行った<sup>5)</sup>。なお検出器にはFIDを用い、検量線は標準物質をアルカリビーズ捕集管に吸着させ、サンプルと同様に分析して算出した。



写真-7 臭気のサンプリング

## 2-8 官能試験 (三点比較式臭袋試験)

発酵過程-堆肥サンプル20gをそれぞれ500mLの密栓ガラスビンに入れ45℃で1時間静置し、その上部空間の気体を臭気試料とし、昨年と同様の方法で官能試験を行って臭気濃度を算出した<sup>1,4)</sup>。また、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。

## 2-9 ブドウ搾り滓を混ぜた豚ふん堆肥に増殖した放線菌の分離

昨年サンプリングした発酵過程-堆肥サンプル (切り返し5回目, 7回目) を風乾後, サンプル中の微生物

を滅菌精製水に懸濁させ, 放線菌選択培地Humic acid-vitamin agar (+Cycloheximide 50mg/L, Nalidixic acid 20mg/L) で培養して放線菌を分離した。なお, 培養温度は30℃と50℃の二つの条件で, それぞれ10日間培養した。分離した放線菌株について16S rDNA (およそ1,500bp) についてシーケンシングを行い, 系統樹を作製した。さらに, 16S rDNA塩基配列の相同性が98.5%以上の物を現既知株として同定した。

## 2-10 放線菌の増殖に対するブドウ搾り滓の影響

ブドウ搾り滓粉末10gを蒸留水100mLに混ぜ, 室温で6時間振とう抽出した後, 遠心分離してその上清をメンブランフィルターでろ過して, ブドウ搾り滓抽出液とした。このブドウ搾り滓抽出液50 $\mu$ Lをペーパーディスク (直径8mm) にしみ込ませた。放線菌をcmYC agerに塗りつけ, そのシャーレの中心に上記のペーパーディスクを置いて50℃で3日間培養した。対照として蒸留水をしみ込ませたペーパーディスクを用いた。

## 2-11 テドラバック法による放線菌の悪臭低減効果

豚ふん5gに放線菌分離株 (*Thermobifida* sp.5-1-1, および*Saccharomonospora* sp.5-12) の懸濁液をそれぞれ接種し, テドラバックに入れ1Lの空気で満たし密栓した (写真-8)。50℃で培養しアンモニアおよびメルカプタン類を経日的に検知管で測定した。



写真-8 テドラバック法

## 2-12 ポリフェノール類の測定

サンプルを乾燥重量で4~8%になるように, 50%エタノール溶液にて調整し, 全体で20mLとする。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。

### 2-13 堆肥の成分分析 (重金属を含む)

昨年と同様に発酵終了堆肥 (完熟堆肥) を自然乾燥させた後、マッフル炉で乾式灰化してリン酸、加里、マグネシウム、カルシウム、銅、亜鉛、全炭素 (TC) および全窒素 (TN) を測定した。また、含水率は堆肥等有機物分析法<sup>5)</sup>に従い測定した。

### 2-14 栽培試験 (ライシメーター)

ライシメーターを用いた栽培試験は、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。試験規模は一区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

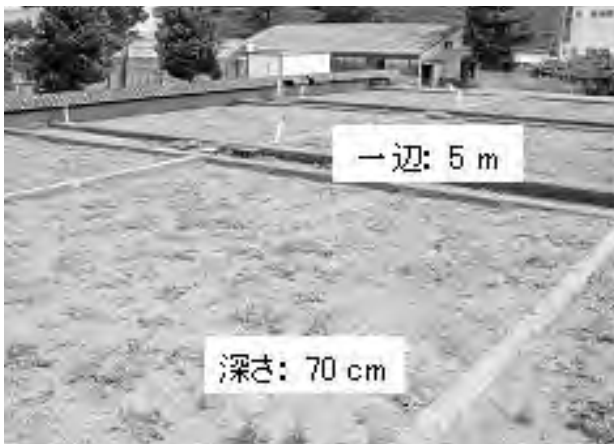


写真-9 作付け前のライシメーター



写真-10 播種44日後のスイートコーン

ートコーンの耕種概要は、施肥：2003年2月19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17日であった。



写真-11 ライシメーターの貯水槽

ナスの耕種概要は、施肥：6月24日、定植：7月7日、収穫開始：7月21日、収穫終了：11月17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。収穫物の生重量を測定するとともに、水分率を加熱減量法 (135℃で2時間乾燥) で求めて乾物収量を算出した。

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。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。

### 2-15 堆肥施用土壌中の微生物相の解析

堆肥を施用して作物を栽培した土壌を抜き取り、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寒天培地 (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。

ポット (コマツナ)：ワグネルポット (1/5000a) に市販細粒赤玉土を充填し、各種堆肥 (豚ふん堆肥、豚ふんブドウ滓Cover堆肥) を乾物として1t/10a相当量施用した。また、化学肥料をそれぞれN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O換算で10aあたり20kg相当量施肥した。播種後2週間目にサンプリングした土壌を実験に用いた。

ライシメーター (ナス)：実験方法2-13で示した栽培試験において、ナス定植後、0週、5週、9週、13週

目に採取した土壌を実験に用いた。なお、豚ふん+ブドウ滓堆肥はCoverを用いた。

### 2-16 浸透水中の金属元素の測定

金属元素の分析は、浸透水の一定量に硝酸を加え、ICP-MS (4500, 横川アナリティカルシステムズ) で銅、亜鉛の測定を行った。

### 2-17 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に関するライフサイクルアセスメント (LCA)

ブドウ搾り滓を添加して堆肥を作製した場合 (ブドウ滓添加シナリオ) と、ブドウ搾り滓を添加せずに従来の方法で堆肥を作製した場合 (従来シナリオ) の2つを想定し、JEMAI-LCA PRO Ver.2を用いてそれぞれの環境影響についてLCAを行った。

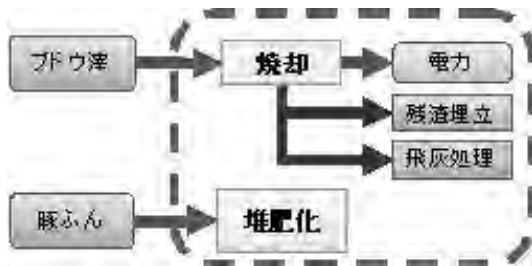


図-1 従来シナリオのプロセスフロー

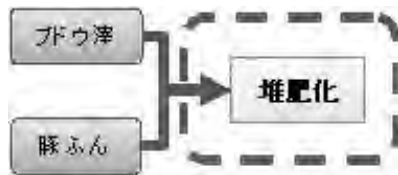


図-2 ブドウ滓添加シナリオのプロセスフロー

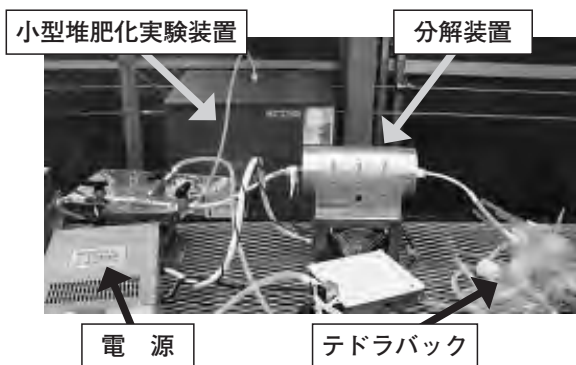


写真-12 小型堆肥化実験装置に連結した悪臭分解装置

小型堆肥化実験装置を用いた昨年度の研究から、この堆肥化処理システムの機能単位は、豚ふん 1 kgとブドウ搾り滓0.2kgを約30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った。ここで、従来シナリオでは0.2kg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。なお、本研究において評価する環境影響領域は地球温暖化とした。

小型堆肥化実験装置から発生するCO<sub>2</sub>はハンディCO<sub>2</sub>計 (GM70, Vaisala製) およびTCD検出器を装着したガスクロマトグラフィ (HP6890, Hewlett Packard製) を用いて実測し、焼却により発生するCO<sub>2</sub>は焼却場のデータから推算した。他の温暖化影響物質であるCH<sub>4</sub>やN<sub>2</sub>Oの発生量は文献<sup>6,7)</sup> および県内焼却場でのヒアリングを基に推定した。

### 2-18 工学的的手法による悪臭物質の分解試験

銅-クロム酸化物触媒 (N201, 日揮化学) を100g

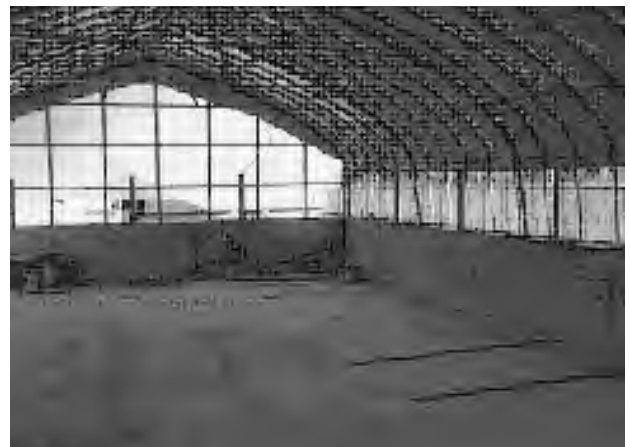


写真-13 吸引通気装置を備えた新堆肥舎と悪臭吸引用ブローワー

(10mL) 充填した石英管 (直径19mm, 全長300mm) を円筒型マイクロ波照射装置 (MG-200M, (株)SST) にセットして分解装置を構築した。小型堆肥化実験装置の臭気排気ダクトに, 分解装置をつなげ, 分解装置を通過した排気をテドラバック (5L) に捕集した。その臭気をニオイセンサ (OMX-SR, 日本シンテック) で測定した。なお, 排気流量は約600mL/minで, 空間速度 (SV) は約3,600/hであった。

### 2-19 吸引機能付き堆肥舎

吸引通気装置を備えた堆肥舎<sup>8,9)</sup>を畜産試験場の敷地内に建築した。堆肥舎の概要は, 縦幅20m×横幅7m, 壁の高さ0.9m (上にベニヤ板設置した高さ1.8m), 屋根の高さ4m, 床の吸引溝は2本セットの3カ所, 吸引溝は幅8cm×深さ10cm, セットの吸引溝の幅80cm, 吸引溝どうしの幅6m, ブローワーは昭和電気株U100B-26HTを設置した。

## 3. 結果および考察

### 3-1 小型堆肥化実験装置による基礎的検討

昨年度, 小型堆肥化実験装置を用いた実験で冷凍ブドウ搾り滓が堆肥発酵過程で発生するアンモニアの低減に効果を示すことを明らかにした<sup>1)</sup>。しかし, その実験で加えた冷凍ブドウ搾り滓の量は, 豚ふんと同じ量 (1:1) であった。この割合は実際の現場を想定した実用規模の堆肥作りには不向きである。そこで, 昨年の実用規模の検討では豚ふん: 冷凍ブドウ搾り滓の割合を1:0.2とした。今回, 小型堆肥化実験装置による検討においても, 豚ふん: 冷凍ブドウ搾り滓の割合を1:0.2として, 発生するアンモニアが低減できるか検討を行った。

小型堆肥化実験装置に豚ふんを充填した第1区と,

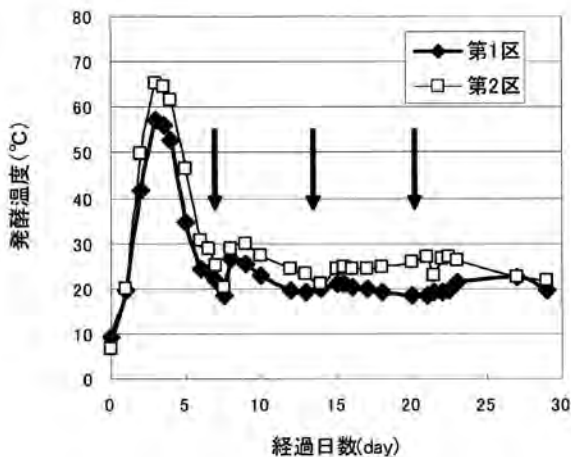


図-3 発酵温度の変化

第1区: 豚ふん, 第2区: 豚ふん+冷凍ブドウ滓 (1:0.2)

豚ふんと冷凍ブドウ搾り滓を1:0.2の割合で充填した第2区を設定した。それぞれの発酵温度および発生したアンモニアの経日変化を図-3と図-4に示す。そして, 堆肥発酵期間中の温度とアンモニア発生量を積算した結果をグラフ図-5に示した。

その結果, 第1区 (豚ふんのみ), 第2区 (豚ふん+冷凍ブドウ滓 (1:0.2))とも発酵温度の積算値には大きな差はないが, 発生したアンモニア量は第2区が第1区に比べ低くなっていることが認められた。

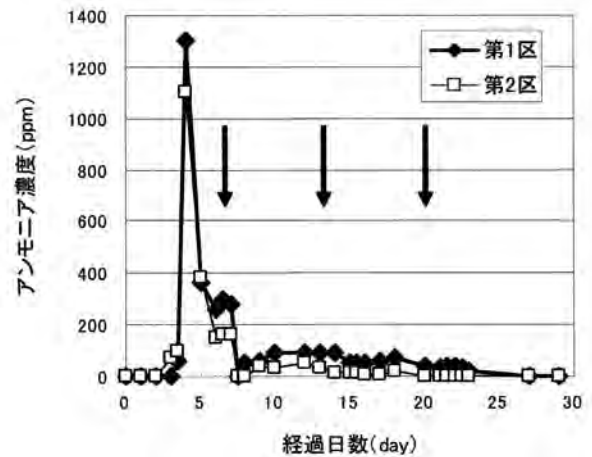


図-4 アンモニアの測定結果

第1区: 豚ふん, 第2区: 豚ふん+冷凍ブドウ滓 (1:0.2)

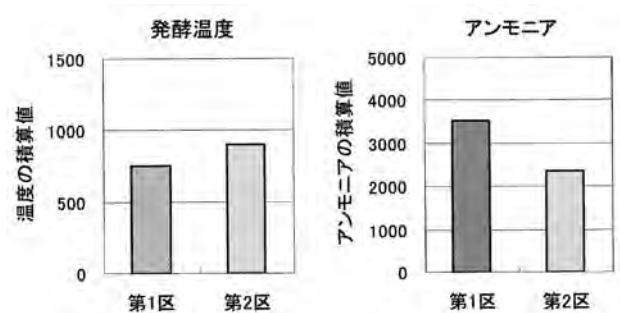


図-5 発酵温度とアンモニアの積算

第1区: 豚ふん, 第2区: 豚ふん+冷凍ブドウ滓 (1:0.2)

さらに, 同様の検討を3回おこなった実験の平均と標準誤差を算出した結果を図-6に示す。なお, 実験区は以下に示す三つの区とした。

第1区: 豚ふん

第2区: 豚ふん+冷凍ブドウ滓 (1:0.2)

第3区: 豚ふん+冷凍ブドウ滓 (1:1)

また, 3回の実験において発酵期間が異なるため, 積算値を発酵日数で割った値を縦軸に用いた。これらの結果から, 豚ふん1に対して0.2の冷凍ブドウ搾り滓でもアンモニアの発生を低減することが明らかとなった。

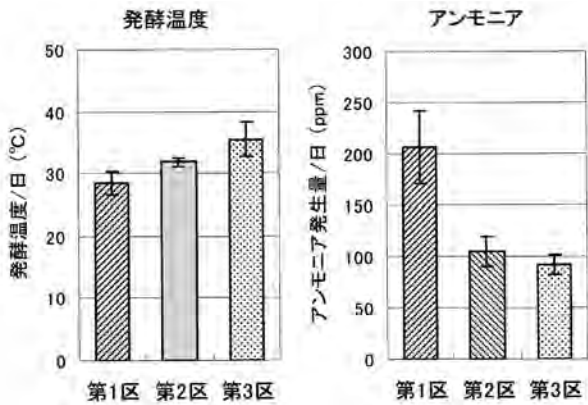


図-6 ブドウ搾り滓混合比の検討

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+冷凍ブドウ滓(1:0.2)、  
第3区：豚ふん+冷凍ブドウ滓(1:1)

実際の現場を想定した場合、ワイン工場からブドウ搾り滓を運搬し、豚ふんに混ぜるまで冷凍して保存することは困難である。そこで、ブドウ滓を野外でビニールシートを掛け大気との接触を少なくする形で発酵させて保存し、これを使用の方が実際的である(発酵ブドウ搾り滓)。そこで、冷凍ブドウ滓と同様の効果が発酵ブドウ搾り滓で得られるか検討を行った。その結果を図-7に示す。なお、実験区は以下に示す3つとし、5回検討を行った。

第1区：豚ふん

第2区：豚ふん+冷凍ブドウ滓(1:1)

第3区：豚ふん+発酵ブドウ滓(1:1)

その結果、発酵ブドウ滓でも冷凍ブドウ滓と同様にアンモニアの発生を低減できることが明らかとなった。

これらの結果から、小型堆肥化実験装置を用いた基礎的検討において、豚ふん1に対して0.2のブドウ搾り滓添加により発酵過程で発生するアンモニアが低減できることが示された。また、このとき用いるブドウ搾り滓は冷凍保存した物でも、発酵させた物でも同様の効果があ

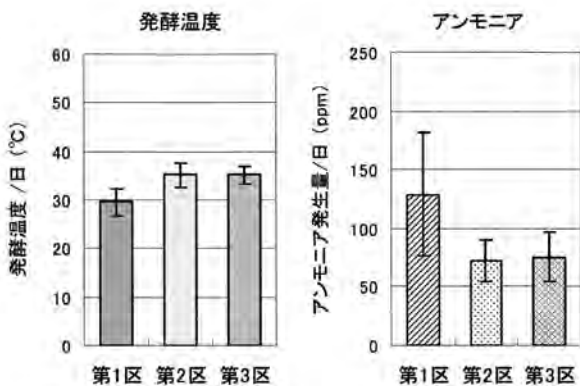


図-7 冷凍ブドウ滓と発酵ブドウ滓の比較

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+冷凍ブドウ滓(1:1)、  
第3区：豚ふん+発酵ブドウ滓(1:1)

ることが確かめられた。

### 3-2 畜産試験場堆肥舎による実用規模の検討

昨年度、豚ふん600kgを原料として、これに冷凍ブドウ搾り滓120kg(1:0.2)を混ぜ堆肥を作製した。その時、発酵過程で発生するアンモニアおよびイオウ化合物(硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル)を低減することができた。この実験では、ブドウ搾り滓の混ぜ方として、はじめから豚ふんにブドウ滓を混ぜ込む方法(Mix)と、はじめ豚ふんをブドウ滓で覆い、最初の切り返し以降に混ぜ込む方法(Cover)の二つの方法を検討し、どちらも効果のあることを明らかにした。今回は農家の作業を考え、混ぜる手間が簡素化できるCover方式を採用し、保存が簡易な発酵ブドウ滓を用いて検討を行った。なお、豚ふんと発酵ブドウ滓の割合は1:0.2とし、原料となる豚ふんの量を1,260kgに増やし、実際の農家での作業を想定してスケールアップした検討を行った。悪臭物質としてアンモニアおよび代表的なイオウ化合物として硫化水素を測定し、さらに、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)を測定した。

第1区：豚ふん

第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓(1:0.2) Cover

#### 3-2-(1) 発酵温度とpH

図-8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-9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。そして、二つの試験区で発酵温度の積算値に差のないことも示された。なお、3回目の切り返し(47日目)後、第1区で温度上昇が認められず、堆肥が乾燥状態であった。そこで、48日目に第1区に水を60L加え水分含量を調節した。その結果、4回目の

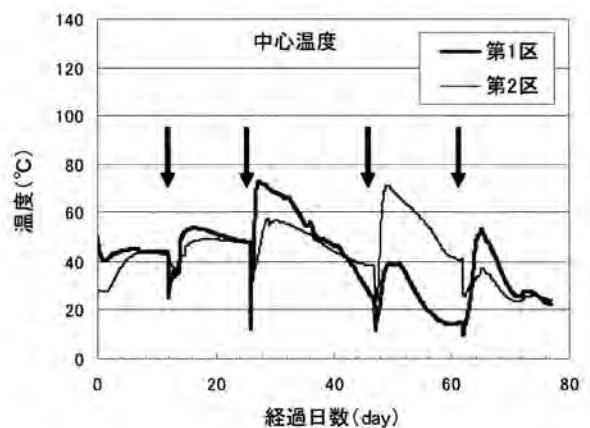


図-8 発酵温度の変化

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

切り返しにおいて、第1区で温度上昇が認められた。

図-10には切り返しごとに測定したpHの推移を示す。二つの試験区でpHに大きな違いのないことが示された。

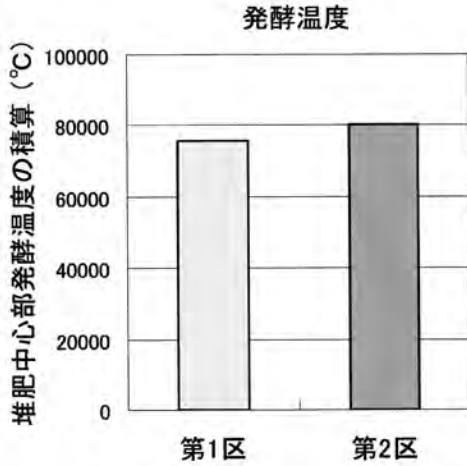


図-9 発酵温度の積算

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

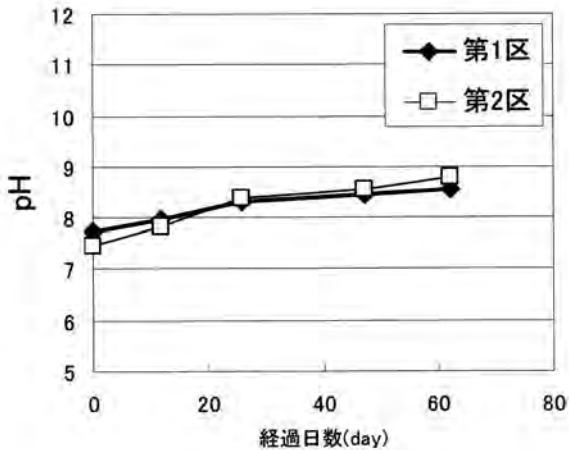


図-10 発酵過程におけるpHの推移

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

### 3-2-(2) 悪臭物質の測定

今回、堆肥化過程におけるアンモニアの発生をパンプ・ドジチューブで3日おきに測定し、そのデータを基にアンモニア発生量の推移(図-11)および積算値(図-12)を算出した。図-12の結果で明らかな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。

アンモニア以外の悪臭物質として、イオウ化合物および低級脂肪酸を毎回の切り返し時に測定した。イオウ化合物として硫化水素を測定した結果、硫化水素は1回目および2回目の切り返しで検出することができたが、3回目以降の切り返しでは検出できなかった。検出できた二回の硫化水素の測定結果の総量を図-13に示す。

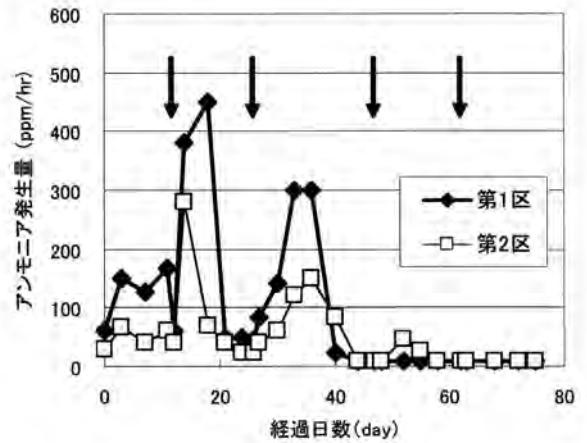


図-11 アンモニア発生量の推移

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

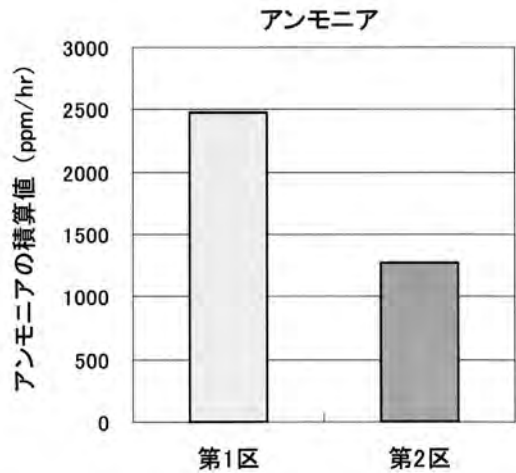


図-12 アンモニア発生量の積算値

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

一方、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)は1回目から3回目の切り返しまで検出することができた。検出できた三回の測定結果の総量を図-14に示す。これらの結果から、硫化水素はアンモニアと同様に発生量が約半分に低減され、低級脂肪酸ではプロピオン酸、ノルマル酪酸、イソ吉草酸の発生量が大幅に低減された。

### 3-3 官能試験

切り返し時に採取した発酵過程-堆肥サンプル(1回目の切り返しから3回目の切り返しまで)を用いて、三点比較式臭袋試験法による悪臭の官能試験を行った。その結果を図-15に示す。また、同じサンプルをニオイセンサーで測定した結果を図-16に示す。

これらの結果は、発酵ブドウ搾り滓添加の効果が官能試験でも証明されたことを示している。なお、図-17は図-15の臭気強度の結果と図-16の臭気レベルの結



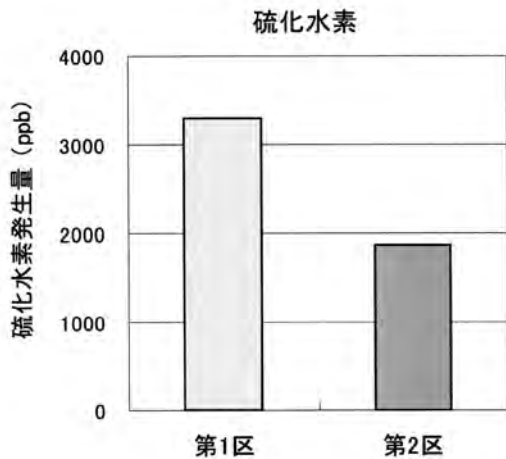


図-13 硫化水素の測定結果

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

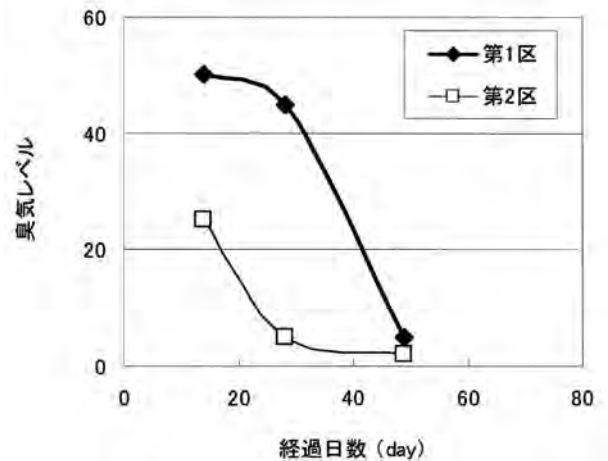


図-16 ニオイセンサでの測定結果

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

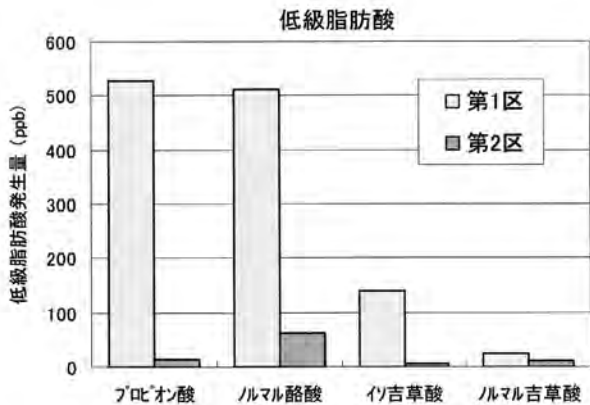


図-14 低級脂肪酸の測定結果

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

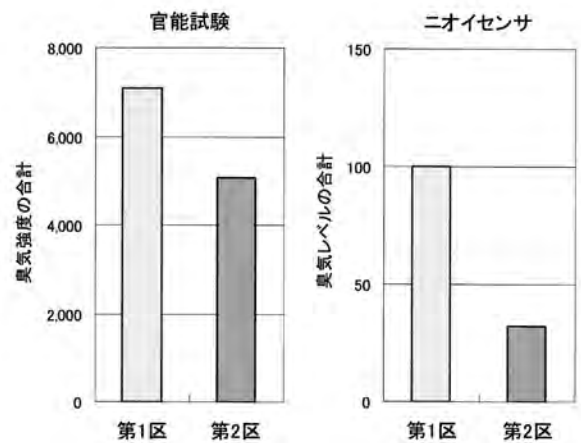


図-17 合計した臭気強度ならびに臭気レベル

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

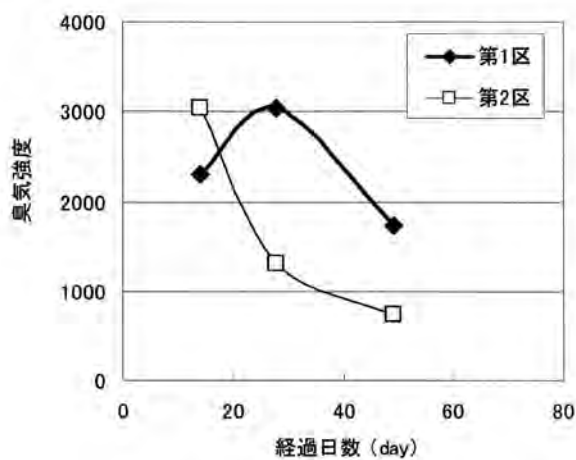


図-15 官能試験の結果

第1区：豚ふん、第2区：豚ふん+発酵ブドウ滓Cover

果をそれぞれ合計したグラフである。このように、官能試験とニオイセンサの測定結果は同様の傾向が認められ

た。

### 3-4 微生物相の解析

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<sup>10-14)</sup>。昨年度、ブドウ搾り滓を豚ふんに加えることにより、堆肥の発酵過程における微生物相が変化し、放線菌、バクテリア、カビが増殖することが認められた。そこで、今年度は放線菌に着目し、ブドウ搾り滓添加により増殖する放線菌の分離および消臭効果について検討を行った。

#### 3-4-(1) ブドウ搾り滓を混ぜた豚ふん堆肥に増殖した放線菌の分離

堆肥切り返し時に採取した発酵過程-堆肥サンプルから分離した放線菌について、16S rDNAのシーケンシングを行い系統樹を作製した。16S rDNA塩基配列の相

同性が98.5%以上の株を現既知株として同定した。その結果、表-1に示すように21株を既知株として同定した。

表1 ブドウ搾り滓添加豚ふん堆肥より分離した放線菌(21株)の同定結果

属 種	株数	培養温度(℃)
<i>Corynebacterium xerosis</i>	1	30
<i>Rhodococcus rhodochrous</i>	2	30
<i>Oerskovia enterophila</i>	1	30
<i>Saccharomonospora viridis</i>	7	50
<i>Thermobifida fusca</i>	7	50
<i>Actinomadura madurae</i>	1	50
<i>Thermocrispum sp.</i>	1	50
合計	21	

3-4-(2) 放線菌の増殖に対するブドウ搾り滓抽出液の影響

同定された放線菌株について、それぞれの放線菌株培養シャーレに、ブドウ搾り滓抽出液をしみ込ませたペー

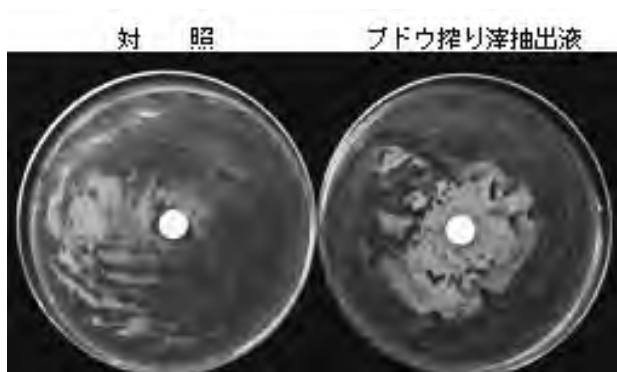


写真-14 ブドウ搾り滓抽出液が放線菌の生育におよぼす影響

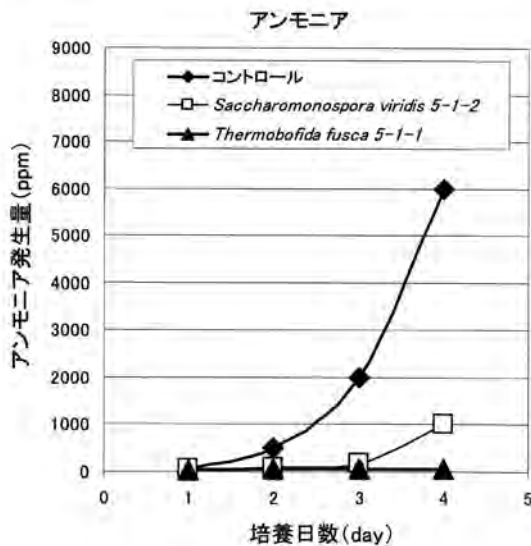


図-18 放線菌の悪臭低減効果

パーディスクを置き、放線菌株の増殖への影響を検討した(写真-14)。その結果、*Thermobifida fusca* 5-1-1株、および*Saccharomonospora viridis* 5-1-2株においてペーパーディスク周囲で、生育・気菌糸形成に顕著な促進効果が認められた。従って、これら二つの菌株はブドウ搾り滓添加により増殖が促進されることが考えられた。

3-4-(3) テドラバック法による放線菌の悪臭低減効果

豚ふんに*Thermobifida fusca* 5-1-1株あるいは*Saccharomonospora viridis* 5-1-2株を接種し、テドラバックに入れ、50℃で培養しアンモニアおよびメルカプタン類を経日的に測定した。その結果、図-18に示すごとく、アンモニアの発生は放線菌により低減することが示された。そして、その低減効果は*Thermobifida fusca* 5-1-1株の方が*Saccharomonospora viridis* 5-1-2株より強かった。なお、メルカプタン類は検出限界以下で測定ができなかった。

3-5 ポリフェノール類の分析

ポリフェノール類には消臭作用のあることが知られており、ブドウ搾り滓中にも多く含まれている。そこで、小型堆肥化実験装置での堆肥化実験における堆肥中のポリフェノール類の量の推移を検討した(図-19)。なお、図に示したポリフェノール類の量は、豚ふんのみを原料とした堆肥に含まれるポリフェノール類の量をそれぞれ差し引いている。図-19の経過日数0の値から明らかなように、ポリフェノール類の量はブドウ搾り滓の添加量に比例して増加することが示された。そして、このポリフェノール類が発酵開始初期に減少することが明らかとなった。この期間にもっとも発酵が進み、アンモニアも発生することから(図-3, 図-4)、ポリフェノール類がアンモニア発生の低減になんらかの作用をおよぼしていることが考えられる。

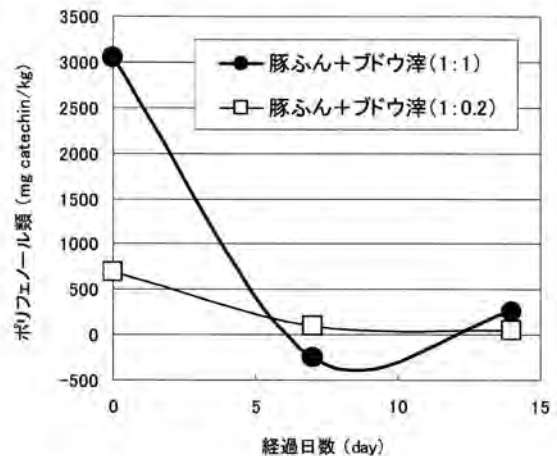


図-19 発酵過程におけるポリフェノール類の推移

### 3-6 堆肥の成分

3-2の示す実験で作製した第1区(豚ふん堆肥)と第2区(豚ふん+ブドウ滓堆肥)の堆肥について、堆肥成分の分析を行った結果を表-2に示す。どの成分とも、豚ふんを主原料とした堆肥として利用する上で、問題は無いと考えられた。

表2 完成堆肥の成分含量

	豚ふん堆肥	豚ふん+ブドウ滓堆肥
現物水分量 (%)	37.4	40.1
窒素全量 (%)	3.6	3.6
炭素全量 (%)	26.5	32.4
C/N比	7.4	9.0
リン酸全量 (%) (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	10.1	8.2
加里全量 (%) (K <sub>2</sub> O)	2.8	2.8
石灰全量 (%) (CaO)	3.5	2.9
苦土全量 (%) (MgO)	7.0	5.9

豚ふんとブドウ搾り滓の混合比は1:0.2 (Cover)



写真-15 豚ふん+ブドウ搾り滓堆肥

### 3-7 栽培試験

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)とナスの果実の収穫量を図-20および図-21に示す。なお、堆肥は昨年度に作製した物を用いた<sup>1)</sup>。

豚ふん+ブドウ滓Mix堆肥および豚ふん+ブドウ滓Cover堆肥で育てたスイートコーンとナスの収穫量は共に、原材料の異なる堆肥と比べ、ほとんど差が認められなかった。このことから、ブドウ搾り滓を加えても収穫量を減らすことはないことが示された。



写真-16 収穫したナス

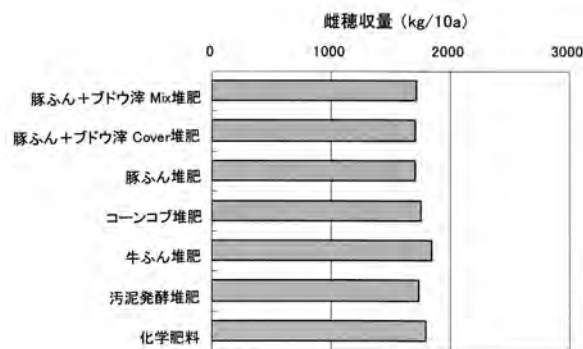


図-20 スイートコーンの収穫量  
豚ふんとブドウ滓の混合比は1:0.2

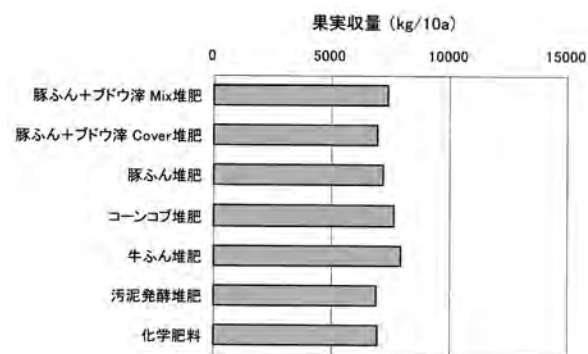


図-21 ナスの収穫量  
豚ふんとブドウ滓の混合比は1:0.2

### 3-8 肥料施用土壌の微生物相の解析

堆肥の違いによる土壌中の微生物相(放線菌, バクテリア, カビ)の検討を行った。ポットでコマツナを栽培し、土壌中の微生物相を解析した。肥料は豚ふん堆肥, 豚ふん+ブドウ滓堆肥および化学肥料をそれぞれ用いた。その結果を図-22に示す。放線菌, バクテリア, カビとも化学肥料を加えた土壌では増殖がほとんど認められなかった。これに対して、堆肥を加えた土壌では、放線菌およびバクテリアが増殖した。特に、豚ふん+

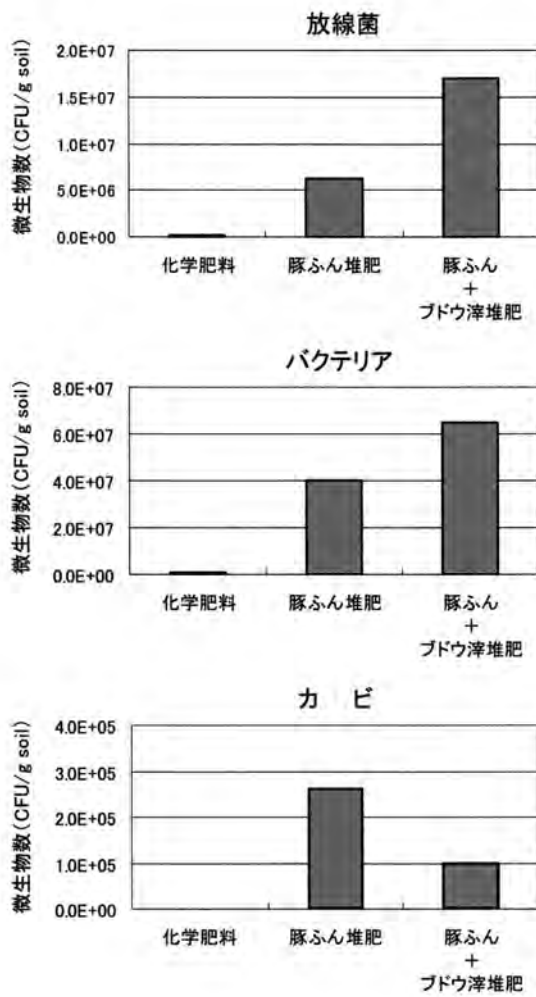


図-22 堆肥施用土壤中の微生物相 (ポット栽培)  
 コマツナ播種後2週間目の土壌を用い、培養は30℃

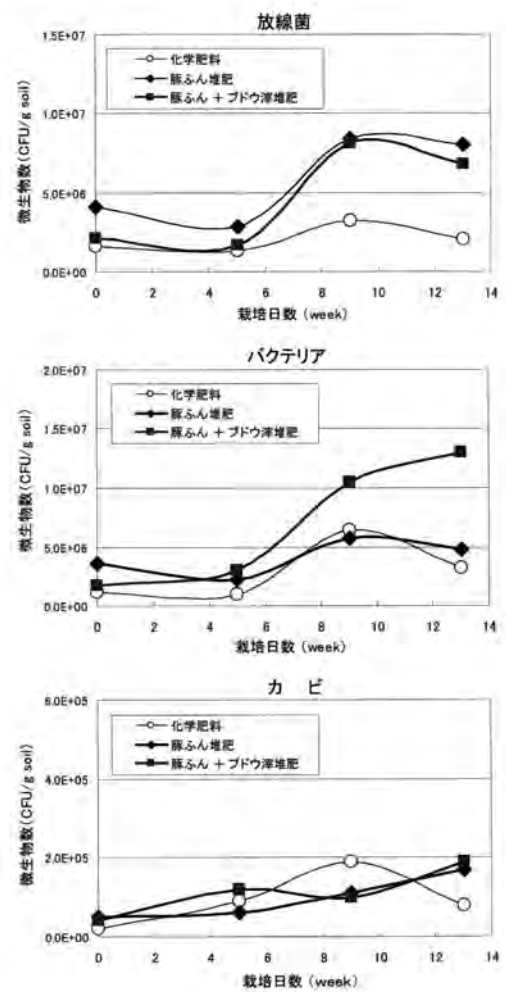


図-23 堆肥施用土壤中の微生物相 (ライシメーター)  
 ナスを栽培した土壌を用い、培養は30℃

表3 作付前後の土壌中無機成分の推移 (ライシメーター)

区画	堆肥の種類	pH			リン酸全量 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (mg/100g)			加里全量 (K <sub>2</sub> O) (mg/100g)			石灰全量 (CaO) (mg/100g)			苦土全量 (MgO) (mg/100g)		
		作前	コーン跡地	ナス跡地	作前	コーン跡地	ナス跡地	作前	コーン跡地	ナス跡地	作前	コーン跡地	ナス跡地	作前	コーン跡地	ナス跡地
第1区画	豚ふん+ブドウ滓 Mix堆肥	7.1	6.7	6.4	86	87	108	79	94	91	103	159	257	45	61	81
第2区画	豚ふん+ブドウ滓 Cover堆肥	7.0	6.8	6.5	92	100	148	85	101	87	98	177	278	45	65	84
第3区画	豚ふん堆肥	7.2	6.8	6.5	118	99	96	118	92	84	134	167	252	54	62	79
第4区画	コーンコブ堆肥	7.2	6.6	6.4	96	90	84	192	107	103	195	159	223	81	63	75
第5区画	牛ふん堆肥	7.0	6.7	6.2	82	80	75	74	109	90	102	156	216	47	59	67
第6区画	汚泥発酵堆肥	6.9	6.5	6.2	83	61	58	95	87	76	101	166	269	46	49	57
第7区画	化学堆肥	7.0	6.2	6.1	96	88	79	83	81	93	89	150	237	44	50	67

ドウ滓堆肥を加えた場合に多く増殖することが明らかとなった。一方、カビは豚ふん堆肥で多く増殖し、豚ふん+ブドウ滓堆肥では豚ふん堆肥の約40%に抑制されていた。

ライシメーターでナスを栽培し、土壌中の放線菌、バクテリア、カビの分析を行った。ポットの場合と同様に肥料として、豚ふん堆肥、豚ふん+ブドウ滓堆肥、および化学肥料を用いた。その結果を図-23に示す。放線

菌は豚ふん堆肥および豚ふん+ブドウ滓堆肥を加えた土壌で多く増殖した。バクテリアは豚ふん+ブドウ滓堆肥で多く増殖した。カビの増殖は変動が多く、ライシメーターを用いた今回の検討では一定の傾向が認められなかった。しかし、豚ふん+ブドウ滓堆肥により、カビの増殖するようなことは示されなかった。

ポット栽培の結果とライシメーターでの結果を総合して考えると、堆肥を加えた土壌では化学肥料のみの土壌よりも放線菌とバクテリアは増殖し、カビは減少する傾向があった。放線菌の中には植物の生長を促進する生理活性物質を生産する物が存在するのに対して、カビの中にはFusarium属など植物病原菌となるものが比較的多い<sup>15)</sup>。豚ふん+ブドウ滓堆肥を施用することで、特に放線菌やバクテリアを増やし、カビを抑制する効果が期待できる。

### 3-9 堆肥成分の土壌および浸透水への移行

表-3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した前後の各試験区画の土壌無機成分の推移を示す。豚ふん+ブドウ滓Cover堆肥を加えた第2区画の土壌でナスの収穫後、リン酸の蓄積が認められた。しかし、豚ふん+ブドウ滓Mix堆肥を加えた第1区画では豚ふん堆肥を加えた第3区画と同様のレベルであった。このリン酸の推移に関して来年度も監視を継続していきたい。また、全ての試験区画で石灰の量が作前に比べてコーン跡地、ナス跡地で増加している。これは、土壌のpHを適正状態(pH6.5)に保つために、石灰資材を施肥時に投入したためである。

表-4に硝酸態窒素の浸透水への溶脱量を算出した結果を示す。データは2月20日から6月20日までのスイートコーン栽培期間とした。3月から6月の合計を比べると、第4区画(コーンコブ堆肥)と第6区画(汚泥発酵堆肥)は他の五つの区画に比べやや少ない値であった。

図-24に浸透水中の銅および亜鉛の挙動を示す。なお、グラフのデータは2月20日から6月20日までのスイートコーン栽培期間の浸透水を分析した結果で、ライ

表4 浸透水への硝酸態窒素の溶脱量 (kg/10a)

区画	堆肥の種類	3月	4月	5月	6月	合計
第1区画	豚ふん+ブドウ滓 Mix堆肥	0.7	4.2	1.3	3.2	9.4
第2区画	豚ふん+ブドウ滓 Cover堆肥	0.7	3.1	1.3	3.9	9.0
第3区画	豚ふん堆肥	0.5	3.6	1.7	3.4	9.2
第4区画	コーンコブ堆肥	0.3	2.2	1.0	3.4	6.9
第5区画	牛ふん堆肥	0.3	4.1	1.2	3.4	9.0
第6区画	汚泥発酵堆肥	0.4	2.5	1.3	2.4	6.6
第7区画	化学堆肥	0.5	3.9	1.6	3.3	9.3

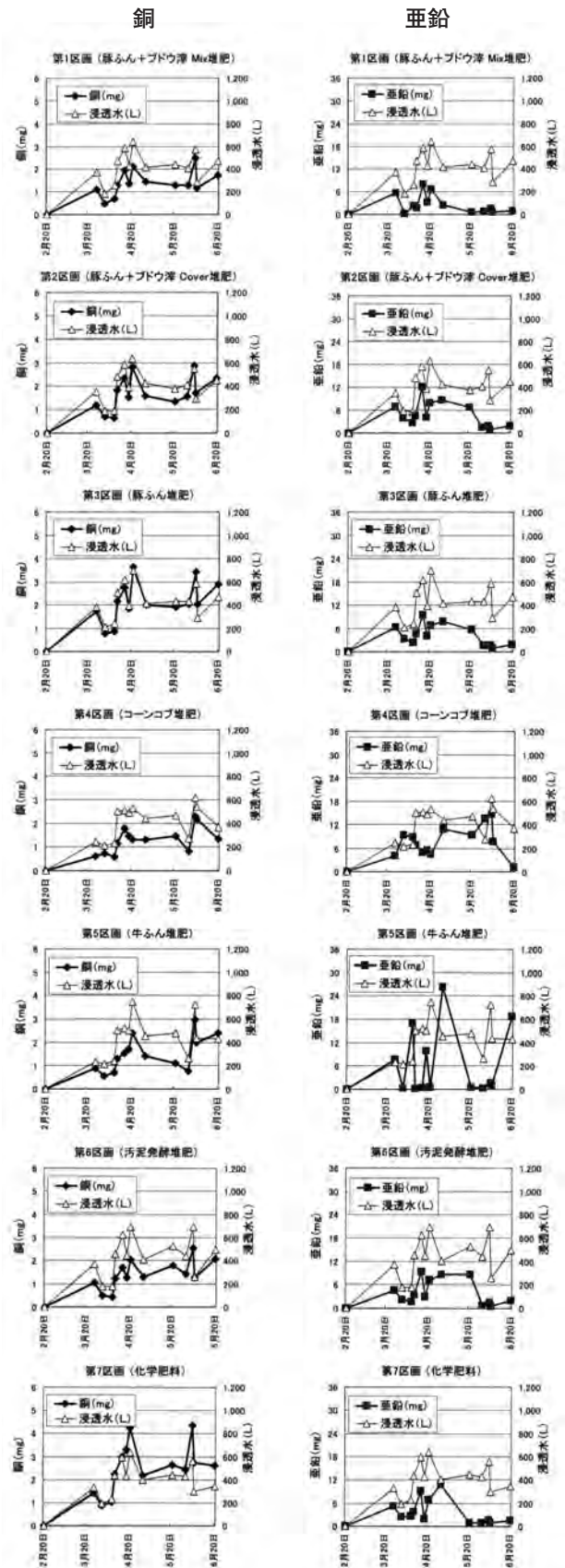


図-24 浸透水中の銅および亜鉛の挙動

2月20日から6月20日までのスイートコーン栽培期間の浸透水を分析した。

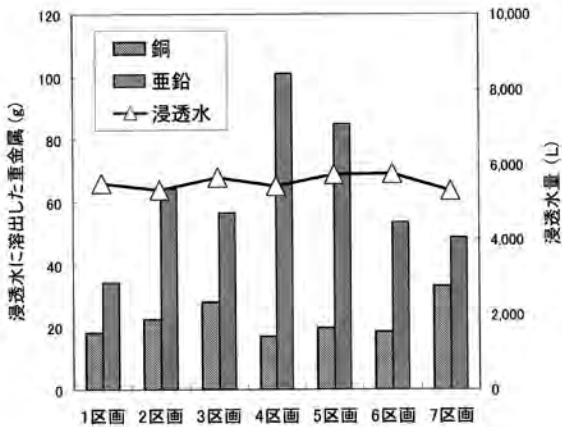


図-25 浸透水への銅および亜鉛の溶脱量

2月20日から6月20日までのスイートコーン栽培期間の浸透水のデータから算出した。

シメーターの一区画 (25㎡) 当たりの量である。その結果、銅・亜鉛とも浸透水の量 (L) に比例して溶脱していることがわかる。また、図-24に区画ごとの銅・亜鉛および浸透水の積算量を図-25に示す。

その結果、銅は第7区画 (化学肥料) で多く浸透水に溶脱していることが示された。亜鉛は第4区画 (コーンコブ堆肥)、第5区画 (牛ふん堆肥) で多く溶脱し、第1区画 (豚ふん+ブドウ滓Mix堆肥) では溶脱量が少なかった。しかし、第1区画と原料が同じ第2区画 (豚ふん+ブドウ滓Cover堆肥) とで差が認められた。このことは、さらに検討を行う必要があると考えている。

### 3-10 地球温暖化ガスに関するLCA

実験方法2-7に示した二つのシナリオに従って、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 (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) のインベントリ分析を行った (図-26)。その結果、従来シナリオに比べてブドウ滓添加シナリオの方が、CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>の排出量が少なくなっ

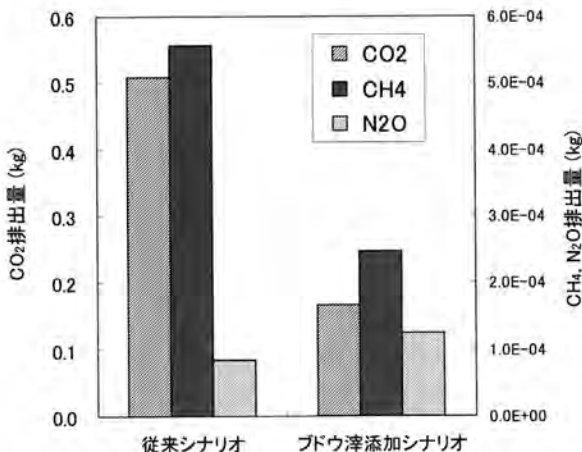


図-26 温暖化ガスのインベントリ分析

ており、N<sub>2</sub>Oについてはわずかながら増加しているという結果となった。

次に、得られた各温暖化ガスの排出量から、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)<sup>16</sup>に基づいて地球温暖化指数 (GWP<sub>100</sub>) を算定し、それぞれのシナリオについて地球温暖化への影響を比較した。図-27に示すごとく、従来シナリオのほうが地球温暖化への影響が大きいことが示された。堆肥化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方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CO<sub>2</sub>やCH<sub>4</sub>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。このことから、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を削減できると考えられる。

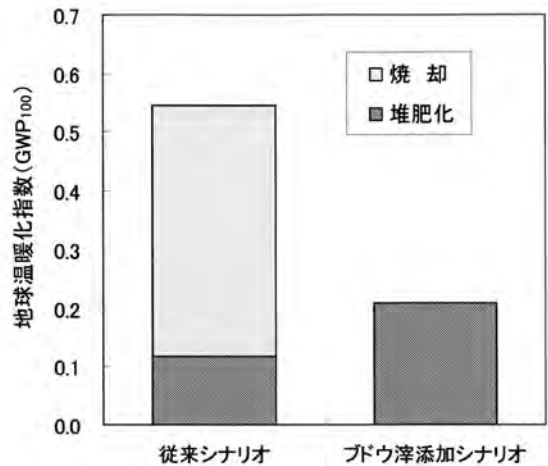


図-27 地球温暖化指数の比較

### 3-11 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。そこで昨年度は実験室レベルで、マイクロ波と金属触媒を用いた分解法の検討を行った。その結果、80ppmあったアンモニアを検出限界以下にまで分解することができた<sup>1)</sup>。今年度は、この分解装置を小型堆肥化実験装置に設置して、実際に豚ふんを発酵させた場合に発生する臭気の分解に使用した。その結果、図-28に示すごとく、マイクロ波の出力に依存して臭気が減少することが確かめられた。現在、新築した吸引通気装置付き堆肥舎での検証をするため準備を進めている (写真-17)。

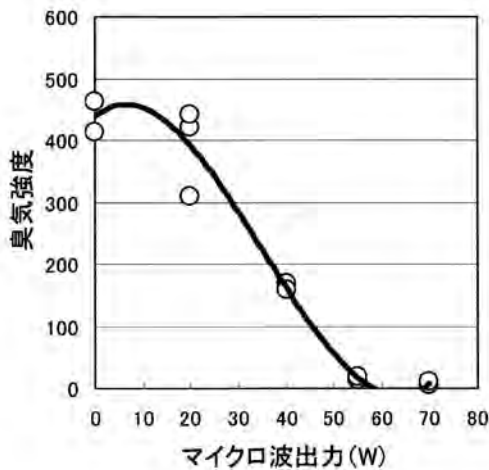


図-28 小型堆肥化実験装置から発生した臭気の分解



写真-17 悪臭分解装置を新堆肥舎に設置したところ

#### 4. 今後の課題

- 堆肥舎での堆肥作製は、初年度に比べスケールをアップして検討を行ったが、実際の農家が行っているレベルには達していない。来年度はより原料（豚ふんおよびブドウ搾り滓）を増やして検討を行いたい。
- 悪臭分解微生物（放線菌）がブドウ搾り滓を加えた堆肥中に存在すること、そしてシャーレにブドウ搾り滓抽出液を加えると、この放線菌の増殖が促進することを明らかにした。しかし、実際の堆肥発酵過程でブドウ搾り滓を加えた場合に、この放線菌の増殖が促進しているか確認する必要がある。
- ライシメーターを用いたスイートコーンとナスの栽培試験はそれぞれ一回しか行っていないため、再現性を調べる必要がある。
- 吸引通気装置を備えた堆肥舎が完成したので、悪臭分解装置を、この堆肥舎に設置して現場での実験を行う必要がある。
- 堆肥発酵過程で発生するCO<sub>2</sub>以外の温暖化ガスも実測し、データを増やしてより精度の高いライフサイクル

アセスメントを行う必要がある。

- 来年度が本プロジェクトの最終年度となる。従って、三年間の研究成果を実際の農家に普及できるようにまとめたい。

#### 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く、土壌・浸透水への負荷が増加することにはなかった。悪臭低減のメカニズムとして、悪臭分解微生物およびブドウ搾り滓中のポリフェノール類の関与が示唆された。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明らかとなった。

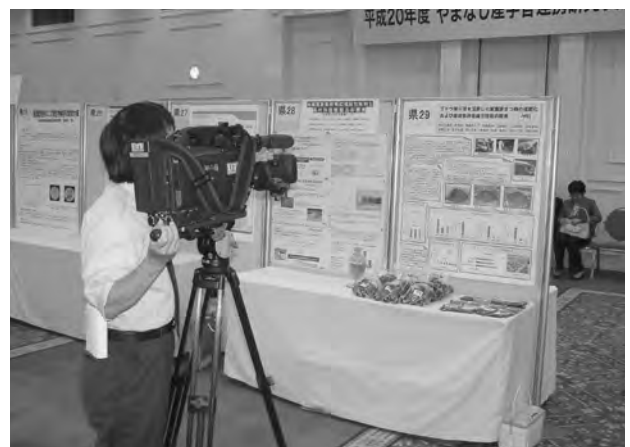


写真-19 平成20年度やまなし産学官連帯研究交流事業研究公開での発表

本研究のポスターをテレビ局が撮影している様子

#### 6. 謝辞

ブドウ搾り滓を快く提供してくださいました株式会社シャトレゼ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村上高山氏、中山三男氏、深沢豊氏、永井豊氏、宮川千加雄氏には大変お世話になりました。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。環境科学研究所の大森さお

りさん、外川雅子さん、内山聖子さんには小型堆肥化実験装置での切り返し、ならびに重金属およびポリフェノール類の分析においてそれぞれお世話になりました。悪臭成分の分析においては、山梨県ワインセンターの原川守研究管理幹、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栽培試験および堆肥の成分分析においては、総合農業技術センターの望月久美子研究員、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、功刀伸夫君にも御協力をしていただきました。ありがとうございました。

## 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) 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
- 3) 悪臭法令研究会編集: 四訂版ハンドブック悪臭防止法, ぎょうせい, 2001
- 4) 石黒辰吉: 臭気の測定と対策技術, オーム社, 2002
- 5) 日本土壌協会編: 堆肥等有機物質分析法, 2000
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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
- 14) 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
- 15) 松尾卓見, 駒田旦, 松田明 (編集): 作物のフザリウム病, 全国農村教育協会, 1980
- 16) 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

## 成果発表状況

### 学会発表

- 1) 長谷川達也, 瀬子義幸 (2008) ブドウ搾り滓と家畜排せつ物を利用した堆肥中の重金属の挙動. 第11回MTKO MICE研究会 (仙台)
- 2) 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 (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. 平成20年度やまなし産学官連帯研究交流事業研究公開 (甲府)
- 3) 川良香, 功刀伸夫, 佐藤祐紀, 山村英樹, 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 (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—堆肥発酵過程における主要微生物・放線菌相の解析—. 平成20年度やまなし産学官連帯研究交流事業研究公開 (甲府)
- 4) 森智和, 吾郷健一, 長谷川達也, 高橋照美, 山崎修平, 上垣良信, 高尾清利 (2008) ブドウ搾り滓を活用した家畜排せつ物の堆肥化技術に関する研究 (その1). 第40回化学工学会秋季大会 (仙台)
- 5) 山崎修平, 望月久美子, 長谷川達也, 森智和, 吾郷健一, 高橋照美, 上垣良信, 高尾清利, 御園生拓, 金子栄廣, 早川正幸 (2008) ブドウ搾り滓を用いた豚ふん堆肥の特性と肥効. 2008年度日本土壌肥料学会関東支部大会 (新潟)





人工光利用による  
施設栽培ブドウの高品質化技術の開発



# LEDによる夜間電照がブドウの果粒肥大に及ぼす影響

山梨県果樹試験場・山梨県工業技術センター<sup>1</sup>

齊藤 典義・宇土 幸伸・三森 真里子・阿部 治<sup>1</sup>・河野 裕<sup>1</sup>・平川 寛之<sup>1</sup>・萩原 茂<sup>1</sup>

## The Influence of Irradiation of LED on Berry Weight of the Grape

Yamanashi Fruit Tree Experiment Station

Yamanashi Industrial Technology Center Organization<sup>1</sup>

Noriyoshi SAITO, Yukinobu UDO, Mariko MITSUMORI,

Osamu ABE<sup>1</sup>, Hiroshi KONO<sup>1</sup>, Hiroyuki HIRAKAWA<sup>1</sup>, Shigeru HAGIHARA<sup>1</sup>

### 要 約

施設ブドウの夜間電照光源としてのLED利用の可能性を検討した。‘ピオーネ’を対象に、暗期中断を目的とした夜間3時間（23：00～2：00）の電照に赤色LEDを利用すると、十分な果粒肥大効果が得られた。肥大に必要な光子束密度は $1.0\sim 1.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、さらに強光を照射しても効果の増大はなかった。また、電照時間帯に15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す照射方法でも十分な果粒肥大効果が認められた。

### Abstract

We examined whether the LED was useful as a light source for light-culture greenhouse grape. Irradiation of red LED for 3 hours, 23:00-2:00, significantly increased berry weight of grape cultivar 'Pione. Quantum photon flux density (PPFD) of the light necessary to increase the berry weight was  $1.0\sim 1.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , and light strength greater than this PPFD level did not cause further increase in the berry weight. Repeating irradiation by 15 min-light and 15 min-dark cycle for 3 hours, 23:00-2:00 also increased berry weight significantly.

### 1. 緒 言

施設ブドウは、露地ブドウとの労力分散、早期出荷による収益向上の面から山梨県において重要な作目となっている。中でも12月に加温を始め、4～5月に収穫を行う超早期加温栽培と呼ばれる作型は、収益性がきわめて高いことから、これまで‘デラウエア’を中心に栽培が行われてきた。しかし、早期に加温する作型では生育期間が冬～早春にあたり、温度を十分に確保した条件下でも、日照や日長の不足が原因と考えられる生育や果粒肥大の不良が問題となる。近年‘巨峰’‘ピオーネ’といった大粒系ブドウでも超早期加温栽培が行われているが、これらの品種は果粒の大きさが商品価値を大きく左右することから、肥大の促進が重要な課題となっている。

ブドウの生育と日長について小林<sup>1)</sup>は、欧州種 (*Vitis vinifera*.L) では11時間、米国種 (*Vitis labrusca*.L) や欧米雑種 (*Vitis labruscana*) では14時間が限界日長としている。そのため、‘巨峰’‘ピオーネ’など欧米雑種で、日没後の補光による長日処理で生育を促進する方法

が検討されてきた<sup>2)</sup>。最近では、二期作栽培技術の開発過程において、電照による短日期の新梢生育や果粒肥大の促進、次作の花穂着生数の増加などの検討がなされている<sup>3)</sup>。また、小野<sup>4)</sup>は‘ピオーネ’の二期作栽培の1作目（秋冬期に加温開始）において、果実品質や収量性向上のため、電照を用いた暗期中断による長日処理が必須であるとしている。

施設栽培ブドウにおける電照の効果については、メタルハライドランプやナトリウムランプ、蛍光灯など、各種の光源で新梢生育の促進、果粒肥大の効果が認められているが、有効な波長域については未解明な部分が多い。そのため、栽培技術が体系化された‘ピオーネ’の超早期加温栽培では、果粒肥大を主目的に、広範な波長を含む植物育成ランプによる電照栽培が提案されている<sup>5)</sup>。しかし、植物育成ランプのような蛍光管の光源は、光源からの距離によって光量に大きな差があり、光源から離れた部分では効果が劣る欠点がある。

近年、新たな照明光源として発光ダイオード (Light Emitting Diode, 以下LED) の利用が増加し、農業分野

においても植物工場などの植物育成用光源として、その活用場面が増加しつつある<sup>6)</sup>。LEDは、消費電力が少ない、寿命が長いなど、物理的に優れた特性を有するだけでなく、単一波長を選択的に照射できる特性があり、植物生産においては、生育に有効な光を選択的に照射できる利点がある。また、LEDは小型の光源であり、照明装置を製作する上で多様な加工が可能なことから、ブドウ園内で均質な光を照射できる電照装置の開発が期待できる。

本研究は、既存の蛍光灯光源による夜間電照の代替光源としてLEDを活用する可能性について明らかにし、低コストで効果の高い光源を開発するための基礎知見を得ようとするものである。また、LED光源は単色光が得られることから、光質と生育の関係、また人工光を照射することによって光合成などの物質生産に積極的に寄与する可能性についても検討する。

## 2. 実験方法

### 2-1 試験圃場の耕種概要

2006年12月および2007年12月加温のいずれの試験も山梨県果樹試験場内の加温ハウスで実施した。品種は‘ピオーネ (*Vitis labruscana*)’ (2006年12月加温時、11年生) を供試し、慣行のジベレリン処理により無核栽培とした。試験ハウスの管理概況と‘ピオーネ’の生育ステージを図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 供試光源の分光特性および発光特性

LED光源は、赤色660nm、青色470nmに特異的に波長のピークを持つ光源である。蛍光灯光源は、植物育成ランプ (FL40SBR) が波長400~700nmに幅広くピークを持ち、特に400~500nm、600~700nm付近の光量が多い。赤色ランプ (FL40SR) は、600~700nm付近の光量が多く、赤色LEDと同様に660nm付近に発光のピークを有する光源である (図2)。

供試光源による電照の有効範囲を光量子束密度で比較すると、蛍光灯で光量子束密度が高い範囲が広い傾向にあった。LED光源は、光源の中心部では光量子束密度が高いものの、水平方向の光量が極端に小さかった (表1)。そのため、LEDを用いた電照実験における調査果房の採取地点は、肉眼観察により、棚面に照射された光が確認できる範囲とし、おおむね直線型光源では直線状

の発光部と平行する水平方向に30~50cm以内、長方形型光源では、光源中心から半径約50cm内に着生した果房とした。

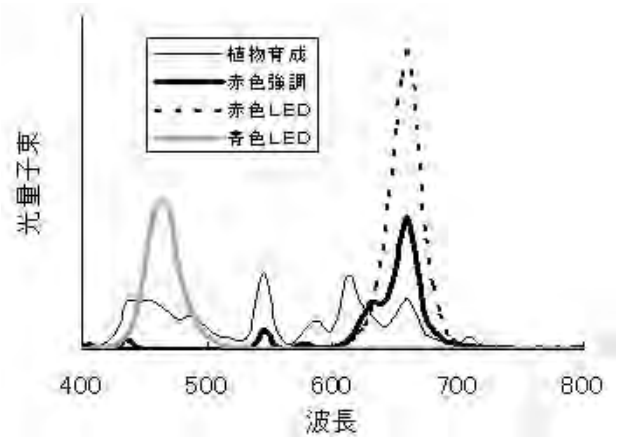


図2 各光源の分光特性

表1 照射部位の光量子束密度<sup>Z)</sup>の分布

光 源	照射中心部 <sup>Y)</sup> からの距離 (cm)				
	中心	30	50	100	150
植物育成ランプ	6.93	—	4.23	2.42	1.48
赤色ランプ	3.77	—	2.60	1.50	0.78
直線型LED <sup>X)</sup>					
赤 色	10.82	0.45	0.21	0.045	—
青 色	1.89	0.07	0.03	0.005	—
長方形型LED <sup>W)</sup>					
赤 色	5.26	0.50	0.06	0.005	—
青 色	2.33	0.84	0.09	0.011	—

Z) 光量子束密度:  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Y) 光源と照射中心部との距離は1m

X) 岩崎電気(株)製、LED: 高輝度反射型 (岩崎電気)

W) やまと興業(株)製、LED: 赤L-53 SRC-E (KingBright)、青NSPB510S (日亜化学)

### 2-3 LED照射がブドウの果粒肥大に及ぼす影響

#### 1) 蛍光源とLED光源の比較

試験は2006年12月加温、2007年4月収穫の作型で実施した。電照には、岩崎電気(株)が製作した直線型LED光源<sup>7)</sup>の赤色 (660nm) および青色 (470nm) を使用し、対照として市販の植物育成ランプ (FL40SBR)、赤色ランプ (FL40SR) を使用した。試験区として、赤色および青色の光源を1本照射する区、赤色光源を2本照射する区、赤色と青色を同時に照射する区を設けた。電照期間は、2007年2月5日 (第1回目ジベレリン処理中心日) ~ 3月16日 (着色始期) の40日間とし、夜間3時間 (23:00~2:00)、棚下1mの距離から、棚面に向けて照射した。

電照開始以降、各区および無照射区の新梢長、登熟長を経時的に調査した。収穫期に各区から果房を採取し、果実品質の調査を行った。

2) 赤色LEDと青色LEDの混合比の比較

試験は2007年12月加温, 2008年4月収穫の作型で実施した。電照には, やまと興業(株)製の赤色(660nm), 青色(470nm)の混合比が異なる長方形型LED光源<sup>7)</sup>を使用した。電照期間は, 2008年2月13日(第1回目ジベレリン処理後期)~3月23日(着色始期)の40日間とし, 夜間の3時間(23:00~2:00), 棚下1mの距離から, 棚面に向けて照射した。

生育, 果実品質調査は1)の方法に準じて行った。

2-4 赤色光の光量が果粒肥大に及ぼす影響

試験は2007年12月加温, 2008年4月収穫の作型で実施した。電照光源には, 赤色ランプ(FL40SR)を使用し, 電照期間は, 2008年2月8日(第1回目ジベレリン処理中心日)~3月17日(着色始期)の39日間とした。照射方法は2-3-1)に準じた。果房付近の光量子束密度は, 分光放射計(MS-720, 英弘精機, 開口角90°)で果房側部から光源方向に測光部を向けて測定した。

収穫期に光源からの距離別に果実を採取し, 果実品質調査を行った。

2-5 赤色LEDの照射方法が果粒肥大に及ぼす影響

試験は2007年12月加温, 2008年4月収穫の作型で実施した。光源は2-3-1)で使用した直線型赤色LED(660nm)を用い, 照射方法は2-3-1)に準じた。試験区として, 電照時間帯に連続して照射を行う連続照射区と15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射区を設けた。

2-6 人工光がブドウ葉の光合成速度に及ぼす影響

光源は2-3-2)で使用した赤と青の混合比が異なる長方形型LED光源を使用した。2008年12月22日に加温を開始したハウスで生育させた‘巨峰(Vitis labruscana)’の成葉(新梢の3~5節に着生した葉)を採取し, 光合成の測定に供試した。測定は暗室内に光合成蒸散測定装置(LI-6400, ライカ社製)を設置し, 測定チャンバー内の光量子束密度が $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となるように, LED光源とチャンバー受光部の距離を調整した。測定条件は, チャンバー内温度 $25^\circ\text{C}$ , 流量 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ , 炭酸ガス濃度350ppmとし, 葉の表裏でそれぞれ測定した。測定後, 葉緑素計(SPAD-502, コニカミノルタ製)で葉色(SPAD値)を測定した。また, 同様の測定条件で, 寒冷紗により光条件を変えた自然光下での光合成速度を測定した。

3. 結果

3-1 LED照射がブドウの果粒肥大に及ぼす影響

1) 蛍光光源とLED光源の比較

満開期から40日間, 各種光源を用いて夜間の電照を行い, 蛍光灯とLED照射が生育, 果粒肥大に及ぼす影響を比較した。その結果, LED光源による照射によって, 蛍光灯光源の植物育成ランプ, 赤色ランプ照射区と同様に果粒肥大が促進された(図3)。LEDの種類では, 赤色の効果が高く, 青色では果粒肥大の効果は認められなかった。また, 赤色LEDを2本照射した区(赤+赤),

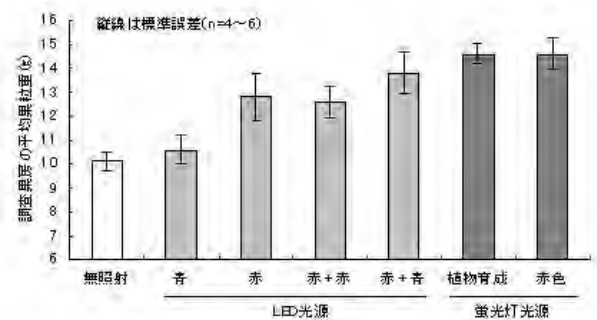


図3 夜間電照に用いた電照光源の違いが‘ピオーネ’の果粒重に及ぼす影響 (2007. 5. 7)

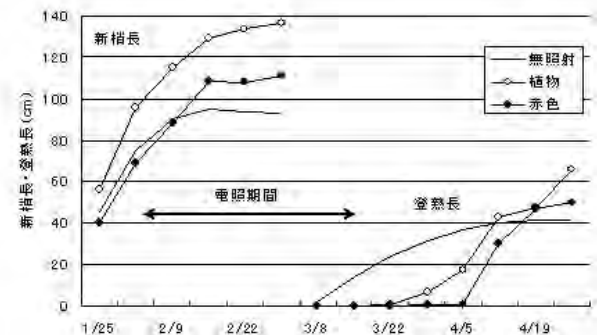


図4 夜間電照に用いた蛍光灯光源の違いが‘ピオーネ’の新梢長および登熟長に及ぼす影響 (2007)

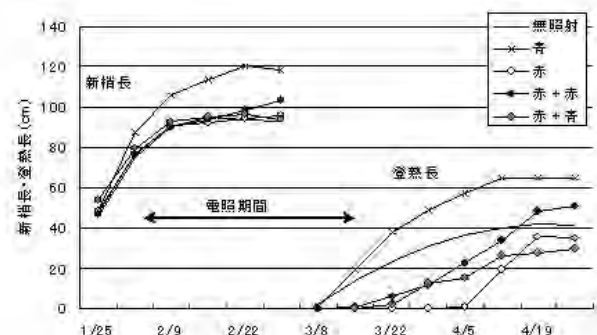


図5 夜間電照に用いたLED光源の違いが‘ピオーネ’の新梢長および登熟長に及ぼす影響 (2007)

赤色と青色を同時に照射した区(赤+青)の効果は、赤色LEDを1本照射した区と大きな差はなかった。照射期間中の新梢長と登熟(木質化)の長さの推移を見ると、蛍光灯では、植物育成ランプで新梢生育が旺盛になる傾向にあり、登熟の進行は植物育成ランプ、赤色ランプともに無照射より遅れる傾向が顕著であった(図4)。LED光源では、青色を照射した区で新梢の生育が旺盛であった。登熟の進行は赤色および赤色と青色を混合照射した区で遅れる傾向であった。青色光の単独照射は、無照射区と同様に登熟の進行が早かった(図5)。

2) 赤色LEDと青色LEDの混合比の比較

赤色、青色の混合比を変えて夜間電照を行った結果、最も果粒肥大が優れた光源は、赤色光の単独照射であり、赤色光に対して青色光の混合割合が大きくなるほど、果粒肥大の促進効果は小さくなる傾向が見られた(図6)。また、青色光の単独照射では、果粒肥大効果は認められなかった。新梢の登熟の進行は、赤色光単独、赤色:青色=4:1~1:1と赤色光の混合割合が高い光源で遅れ、青色単独、赤色:青色=1:4の青色光の混合割合が高い光源で進行が早かった(図7)。

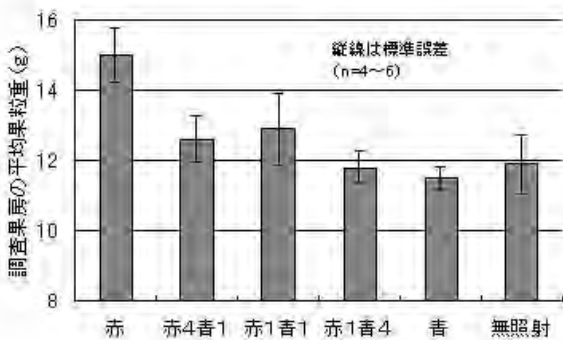


図6 LEDの赤色および青色の混合光源が‘ピオーネ’の果粒重に及ぼす影響 (2008. 5. 7)

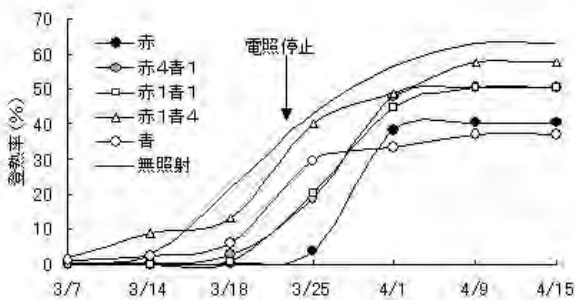


図7 LEDの赤色および青色の混合光源が‘ピオーネ’の新梢の登熟割合に及ぼす影響 (2008)

3-2 赤色光の光量が果粒肥大に及ぼす影響

赤色ランプを用い、光源から距離が異なる果房を採

取し、果房付近の光量と果粒肥大について調査した(図8)。なお、赤色ランプは、660nm付近に波長のピークがあり、赤色LEDと類似した分光特性を有している(図2)。果粒の肥大は果房付近での光量子束密度が高くなるほど良好になる傾向が見られ、1.0~1.5 μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>までは、ほぼ直線的に果粒重が増加した。しかし、光量子束密度が1.5 μmol・m<sup>-2</sup>・s<sup>-1</sup>以上になると果粒重の増加は頭打ちになった。

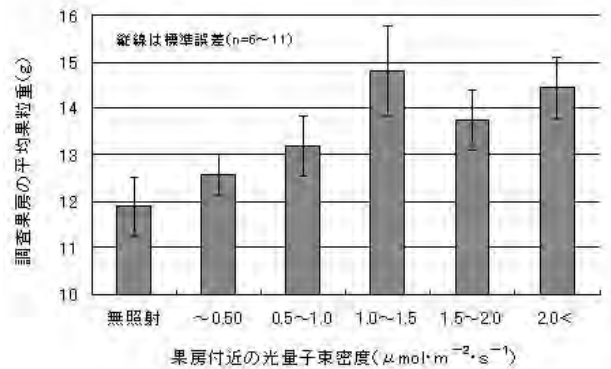


図8 赤色ランプの照射による果房付近の光量子束密度と‘ピオーネ’の果粒重の関係 (2008. 5. 7)

3-3 赤色LEDの照射方法が果粒肥大に及ぼす影響

夜間3時間(23:00~2:00)の電照期間中に、連続して赤色LEDを照射する区と、その間に15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射を行った区で果粒肥大効果を比較した。果房重は連続照射区が優れたが、果粒重は無照射区と比較して連続照射、間断照射ともに優れた(表2)。着色には差は認められなかった。

表2 赤色LEDの照射方法の違いが‘ピオーネ’の果実品質肥大に及ぼす影響

照射方法	果房重 (g)	果粒重 (g)	着色 (C.C.) <sup>Z</sup>
連続照射 <sup>Z</sup>	487.9a	14.7a	10.1ns
間断照射 <sup>Y</sup>	425.9b	14.1a	11.0ns
対照(無照射)	366.1b	10.9b	10.2ns

Z: 農水省カラーチャート  
 Y: 夜間(23:00~2:00)に連続して照射  
 X: 夜間(23:00~2:00)に15秒間隔で入切照射  
 異符号間にはTukey検定で有意差あり(p<0.01)

3-4 人工光がブドウ葉の光合成速度に及ぼす影響

光源の種類別の光合成速度と葉色の関係を図9に示した。測定に供試した葉の葉色は光源ごとに差がみられたが、青色光ではSPAD値が高いにもかかわらず、光合成速度が低い傾向であり、赤色光単独、赤色光の混合比が高い光源で光合成速度が大きい傾向にあった。また、いずれの光源を使用しても、葉の表に光を照射した場合に、わずかに光合成速度が大きい傾向がみられた。

自然光下での光合成速度は、曇天時とほぼ同じ光量と考えられる光量子束密度 $200\sim 300\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の光条件下で $5\sim 10\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。一方、自然条件下で薄曇り程度の $700\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の光量での光合成速度は $20\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度であり(図10)、LEDの $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の照射に比べて大きかった。

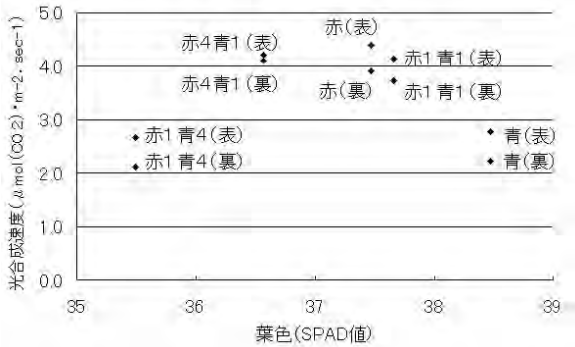


図9 LED光源の違いが‘巨峰’の光合成速度に及ぼす影響 (2008. 4. 22~23)

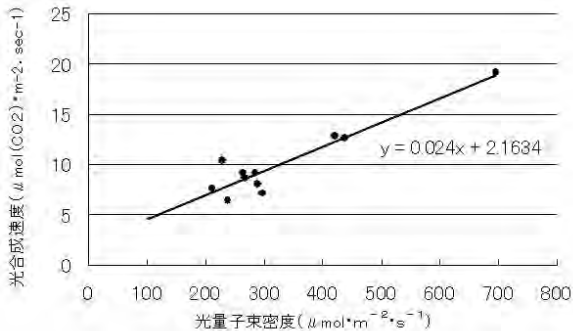


図10 自然光下での‘巨峰’の光合成速度と光量子束密度の関係 (2008. 4. 23)

#### 4. 考 察

これまで夜間電照 (23:00~2:00) による果粒肥大を目的に使用されてきた蛍光灯 (植物育成ランプ, 赤色ランプ) の代替光源として, LED利用の可能性を検討した。

3-1でLEDの赤色, 青色および両者の混合照射が果粒肥大に及ぼす影響を検討したところ, 赤色LEDの照射で蛍光灯と比較して十分な効果が得られた。一方, 赤色+青色, 赤色光の2倍量を照射しても効果の増大はなかった。同時に肥大に効果が認められる赤色LED光源では, 従来の植物育成ランプ, 赤色ランプで観察される新梢の登熟 (木質化) の遅れが同様に認められ, 暗期中断により長日条件が誘導された結果, 肥大が促進されたと考えられる。果粒肥大に効果のない青色LED光

源では, 無照射区とほぼ同時期から登熟が進行し, ブドウ樹の日長反応への影響はないものと推察された。また, 赤色光と青色光の混合比の異なる光源で照射を行ったところ, 赤色単独および赤色光の混合比が大きい光源で果粒肥大が優れる傾向にあり, 新梢の登熟の遅れも観察された。これらのことは, ブドウ樹において, 暗期中断により長日条件を誘導するには, 赤色光がきわめて重要であることを示している。一般に, 葉菜類など栄養生長を主体とする作物を人工光源下で生育させる場合, 赤色光に青色光を加えることが重要とされているが, 本試験のように日長のみの制御を目的とした場合には, 青色光が必ずしも必要がなく, 赤色光の受容体であるフィトクロムが, ブドウ樹の日長反応に大きく影響しているものと推察できる。

赤色光が長日条件の誘導に有効なことから, 3-2では660nm付近に極大波長を有する赤色蛍光ランプを用い, 必要な光量について検討した。光源からの距離が異なる果房を対象に, 果粒肥大と光量子束密度との関係を調査した結果, 光量子束密度 $1.0\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ までの低照度では, 光量子束密度の増加にともなって, 果粒肥大は良好になり,  $1.0\sim 1.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の光量を照射しても果粒肥大のさらなる増大はなかった。3-1の結果においても赤色光を2倍量で照射しても効果の増大が認められなかったことから, 暗期中断による長日条件への誘導には, 一定程度の光量があれば十分であることが示唆された。

3-3では, 電照時間帯に15秒間隔で点灯と消灯を繰り返す間断照射においても連続照射と同等の肥大効果が得られた。間断照射で樹体に供給される光エネルギーは, 連続照射の半分であるにもかかわらず, 一定の肥大効果が得られることは, 前述の強光を与えても効果が増大しなかった結果を支持するとともに, 日長制御を目的とした照射方法にさらに改良の余地があることを示している。

以上のことから, 果粒肥大を目的とした電照による夜間中断はきわめて低照度で効果があることが明らかになった。また, 強光を与えても果粒肥大効果が増加しないことから, 果粒肥大の主要因は, 光エネルギーの供給による直接的な物質生産の増加によるものではなく, 長日条件への誘導による樹体の生理的変化と考えられる。

一方, 光エネルギーの積極的な供給により, 光合成を増大させる方法についても検討した。3-4で日長制御による果粒肥大効果が認められる $1.0\sim 1.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の7~10倍程度に相当する $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の照射を行った結果, 青色光よりも赤色光の照射で光合成速度が大きかった。しかし, この時の光合成量は自然光条件下での光合成速度と比較するとかなり小さく, 実質的に物質生産を高める光量で照射を行うことは, コスト面を考慮すると実用的ではないと判断できる。



## 5. 結 言

LED赤色光 (660nm) による夜間電照は、比較的低照度で、ブドウ樹に長日条件を与え、生理的な変化の結果、果粒肥大が促進されることが明らかになった。日長制御に必要な光量も明らかになったことから、ブドウ園内で均質な効果が得られる電照装置の設計・製作に向けた基礎資料が得られた。しかし、長日条件が果粒肥大を促進する要因については未解明であり、今後も調査する必要がある。

さらに、電照装置の有効活用なども視野に、品質向上などに向けた有効波長域の探索、照射方法などについても検討を要する。

## 参考文献

- 1) 小林章：ブドウ園芸，養賢堂，P.130 (1970)
- 2) 遠藤久：電照・補光栽培の実用技術，(社)農業電化協会，P.183 (1996)
- 3) 施設有効利用によるブドウ二期作栽培技術の確立，平成7～11年度新技術地域実用化研究促進事業研究成果報告書，山梨県果樹試験場ほか，P.42-52 (2000)
- 4) 小野俊明：日本ブドウ学，養賢堂，P.416 (1996)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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－人工光源の開発－，山梨県工業技術センター報告，22，P.175 (2008)

## 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，園芸学会，東京，2009

**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**



# 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

○小林 浩 (山梨県衛生公害研究所),  
奥水 達司 (山梨県環境科学研究所), 尾形 正岐 (山梨県工業技術センター)

## Investigation of groundwater flow system in the Kofu Basin

Hiroshi KOBAYASHI<sup>1</sup>, Satoshi KOSHIMIZU<sup>2</sup> and Masaki OGATA<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup>Yamanashi Institute for Public Health, <sup>2</sup>Yamanashi Institute of  
Environmental Sciences, <sup>3</sup>Yamanashi pref. Industrial Technology Center)

### 要 約

甲府盆地飲用地下水中の時間軸による水質変化傾向を把握するため、水道水源に利用されている約170地点の地下水中の硝酸性窒素、蒸発残渣、硬度について変化傾向を解析した。その結果、硝酸性窒素は濃度の減少もしくは横ばいの変化傾向を示す地点が多く認められた。一方、蒸発残渣や硬度は減少傾向を示す地点は少なく、増加傾向を示す地点が多数認められた。地下水中の硝酸性窒素濃度の変化傾向は、果樹栽培面積と調和的な変化傾向にあり、面積の斬減とともに施肥量が低下し、地下水濃度が減少したものと考えられた。一方、蒸発残渣や硬度は増加傾向にあり、原因についてさらに検討が必要である。また、甲府盆地北部地域には、井戸の少ないことがこの研究から把握できた。そこで、北部地域において地下水探査を実施した。その結果、強ガンマ線帯が複数検出され、多量の地下水の流動している可能性の高いことが推察された。しかし、この調査は2側線のみの実施であり、さらに詳細な調査の必要があると考えられた。

### Summary

The chronological concentration of nitrate, residue and hardness were surveyed at 170 wells used to drinkable ground waters located in the Kofu Basin. In this study, the concentration of nitrate at the many surveyed points was recognized the tendency of decrease or same level. The other hand, at many surveyed points, the concentration of residue and hardness were recognized the tendency of increase. The chronological concentration of nitrate in the ground waters was harmonized the changing of orchard area. It was considered that the decreasing nitrate concentration in the ground waters was derived from decreasing of the load of fertilizer with decreasing orchard area. The other hand, There has been a tendency to increase the concentration of residue and hardness. It is necessary to investigate what increase concentration of residue and hardness in detail. Furthermore, in this study, it was recognized that there were a few wells in the northern part of the Kofu Basin. Gamma ray exploration was done in this area. It was showed that there might be a large quantity of ground water in this area from the detection of strong natural gamma ray. However, this exploration was done only two profile lines. It is necessary to investigate more profile lines.

## 1. 緒 言

甲府盆地は周辺部を山々に囲まれ扇状地の発達する地域である。山々の降雨・降雪は地下水となり流下し、本県では飲用水の約7割を地下水に依存している。扇状地は良好な農業生産地域であり、本県の果樹栽培は主要な産業の1つとなっている。

扇状地の地下水は、農業生産活動による様々な影響が指摘されている。特に、施肥による地下水への影響は多くの報告があり、水道水質基準や環境基準などにより人

への健康影響や環境保全に対策が講じられている。これらの法規制を基に現状の水質状況が観測され、現在の水質状況を把握することはきわめて重要である。しかし、将来の水質状況を把握するためには対象となる項目の時間軸を基とした変化傾向をとらえる必要がある。また、水試料への人為的影響を正確に把握するために、複数の項目について解析することが重要である。

昨年度(1年目)の検討から、飲用地下水の井戸分布は、概ね笛吹川や釜無川に沿って位置していた。井戸掘削の平均深度は、盆地西側(釜無川)で約160mであ

り、盆地東部（笛吹川）では約90mと差異のあることを明らかにした。また、水質性状を示す項目のうち、硝酸

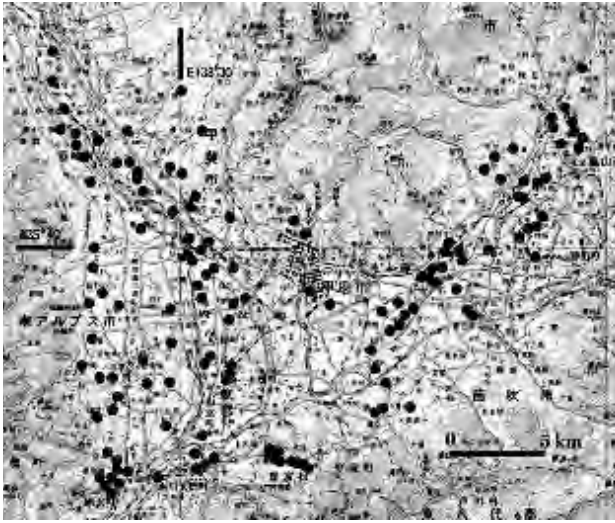


図1 甲府盆地飲用地下水の井戸分布

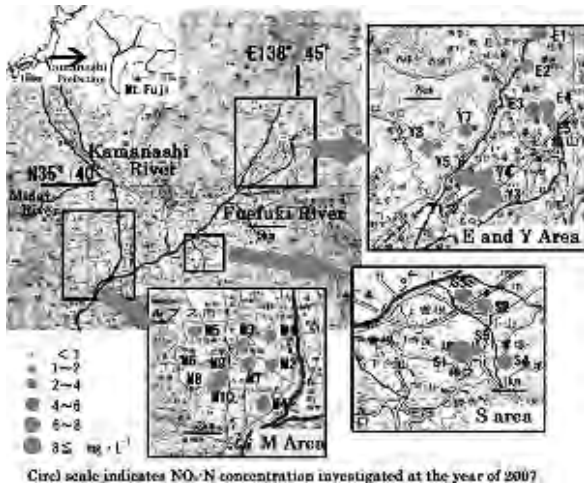


図2 詳細な変化傾向を観察した調査地点

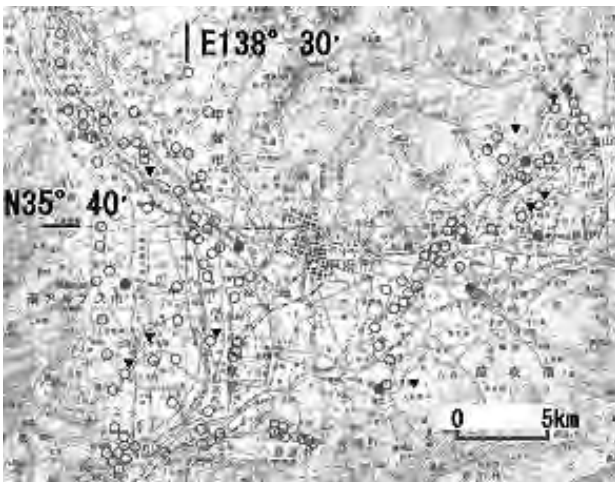


図3 硝酸性窒素濃度変化傾向  
(図注：▼減少 ●増加 ○変化傾向なし)

性窒素や蒸発残渣、硬度などのデータの集積を行ない、ほとんどの飲用井戸で水道水質基準を満たしていることが確認された<sup>1)</sup>。

本年度（2年目）は、約170地点の飲用地下水水道原水検査結果について、時間軸を基にした解析を行なった。水質状況の変化を示す硝酸性窒素、蒸発残渣、硬度について、時間軸を基とした変化傾向の解析を行なった。さらに、約10年間以上の継続したデータが集積できた4地域28地点について詳細な濃度変化傾向を解析し、変化傾向要因について検討を加えた。また、昨年度までの調査<sup>1)</sup>から甲府盆地の北部地域は井戸に乏しく、データ集積を行なうことができなかった。そこで、甲府盆地北部地域の地下水井戸分布の乏しい地域において、地下水有無の可能性を地下水探査により検討した。

## 2. 調査対象地域の概要と解析方法

### 2-1 甲府盆地飲用井戸分布と地形的特徴

甲府盆地および周辺地域における井戸分布をみると、南アルプスや韮崎市、また、釜無川筋など甲府盆地西縁の南-北方向のトレンドと、市川大門町や豊富・中道町など曾根丘陵地域から塩山市に至る盆地南東縁を南西-北東方向に走るトレンドが顕著に認められる（図1）。したがって、井戸分布の卓越するこれらの2つの方向は、甲府盆地がその周辺山地と境をなす地殻変動の活動域、すなわち糸魚川-静岡構造線および曾根丘陵断層（藤野木-愛川構造線）に概ね重なる分布特性として理解される。このため飲用を主目的とする井戸は概ね盆地西縁の南-北方向と南東縁における南西-北東方向に卓越する。これに対し、盆地北縁には山地と地形的ギャップが認められる地域を中心に飲用井戸は僅かに認められるのみである。甲府盆地内の北地域はその分布が相対的に乏しい状況である。

### 2-2 収集・解析したデータの概要

#### 1) 解析方法

解析対象としたデータは、各市町村が毎年ほぼ定期的に水道法に基づき実施している飲用地下水水源の定期検査データを利用した。4年間以上のデータの記載のあった166地点について、時間軸を基にした変化傾向を観察した。さらに、ほぼ10年間のデータが確認できた地点（後述）について、詳細な変化傾向を解析した。時間軸を基とした変化傾向の把握は、濃度変化量（傾き）を算出し、この値の絶対値を基に判断した。

#### 2) 詳細な解析を行なった調査地点の概要

先に触れた166地点のうち、概ね10年間以上のデータの得られた4地域28地点について詳細な変化傾向を観察した。調査地点の概要を図2に示した。4地域は、盆地東側に位置する山梨市地域（以下Y地域）塩山市地域

(以下E地域)、盆地南側の境川地域 (以下S地域)、盆地西側の南アルプス地域 (以下M地域) である。調査地点数は、Y地域 8 地点、E地域 5 地点、S地域 5 地点、M地域 10 地点の計 28 地点である。これら地域の井戸掘削深度は大きく異なる。井戸地点標高 (井戸掘削地点の地表部標高を言い表す) は盆地東側のY、E地域で高く、西側のM地域で低い。農耕地利用形態は、Y、E地域は果樹栽培が盛んであり、M地域は果樹栽培とともに地点標高の低い井戸周辺には水田が散在している。

### 3. 結果と考察

#### 3-1 硝酸性窒素濃度変化傾向

166地点の硝酸性窒素濃度の変化傾向を図3に示した。多くの地点で横ばいの濃度推移を示した。上昇傾向は7点であり、減少傾向は9地点で認められた。詳細解析を行なった4地域において、濃度上昇傾向を示した地点は、E2、Y8、S1、M5地点の4地点であり、他の地点は濃度変化傾向が認められないか、減少傾向が認められた (図4)。

水試料中の硝酸性窒素の起源は、農業生産活動に関連することが多数指摘されている。また、水試料中の窒素安定同位体比を測定した中村ら<sup>2)</sup>によれば、甲府盆地東部地域の水試料中の硝酸性窒素起源が施肥に由来すると報告している。これらの報告を基に、硝酸性窒素濃度減少の原因を探るため、各地域の農業耕地面積の推移と濃度推移を比較した。その結果、これらの地域では、果樹耕地面積が1990年ごろに農耕地面積が最大となったが、その後減少傾向が確認された。果樹作物に対する単位面積当たりの施肥量は概ね規定されている<sup>3)</sup>ことから、地下水中の硝酸性窒素濃度は、果樹耕地面積の減少とともに施肥量が低下し、地下水濃度が減少したものと考えられた。

#### 3-2 蒸発残渣および硬度の変化傾向

166地点の蒸発残渣の変化傾向を図5に示した。36地点で上昇傾向が、2地点で減少傾向が認められた。硬度の変化傾向を図6に示した。12地点で上昇傾向が、3地点で減少傾向が認められ、前述の硝酸性窒素濃度の変化傾向と異なり、値の上昇している地点が多く認められた。

これらの項目について、4地域28地点について検討した。蒸発残渣の経時変化を図7に、硬度の変化傾向を図8に示した。蒸発残渣の変化傾向を地域ごとに比較すると、盆地東側のY、E地域では上昇傾向を示した地点が多いが、M地域では減少傾向を示す地点があった (図7)。硬度について変化傾向を地域ごとに比較すると、蒸発残渣の場合より変化量は小さいが、減少傾向を

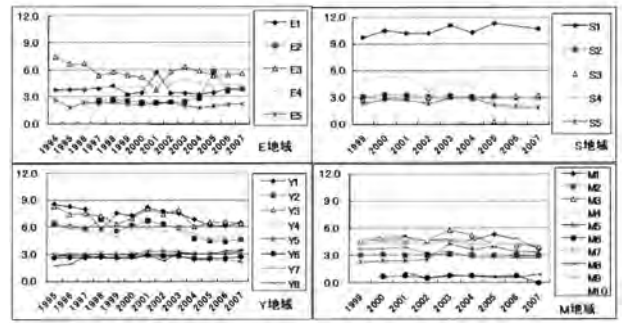


図4 4地域28地点の硝酸性窒素濃度推移 (単位: mg/L)

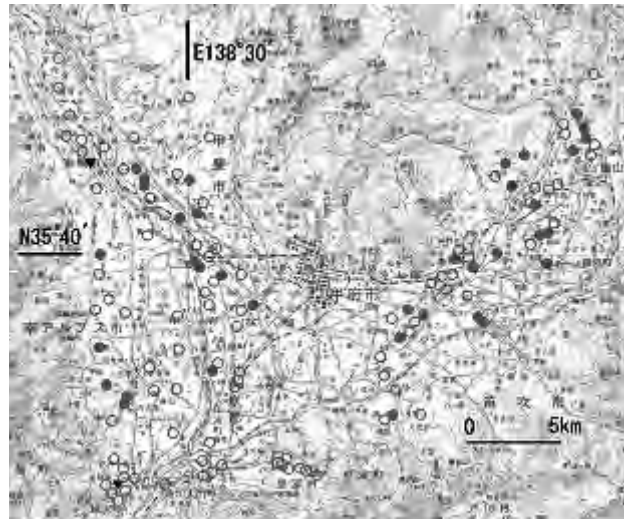


図5 蒸発残渣変化傾向

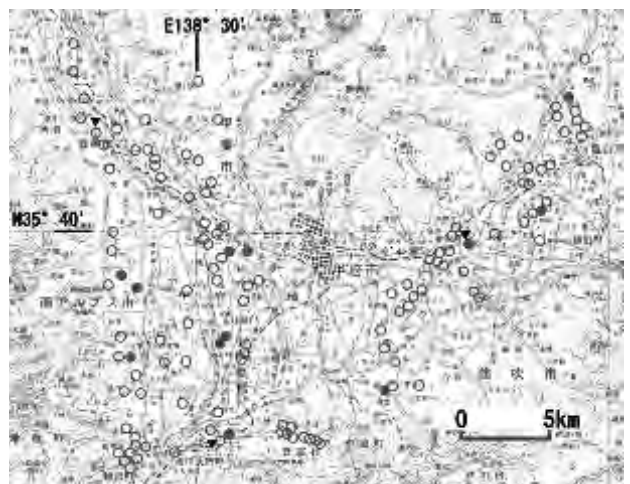


図6 硬度変化傾向

(図注: ▼減少 ●増加 ○変化傾向なし)

示す地点は少なかった (図8)。

蒸発残渣は水試料中の主要成分量を反映することから、蒸発残渣の増加傾向は水試料への負荷量が増加していると考えられることができる。M地域では、顕著な増加傾向を示した地点はM5地点を含む3地点である。M5地点は井戸標高が高く果樹栽培地域に近接している。ま

た、M地域はY、E地域と比較し農耕地利用形態が異なっていることから地下水量や地下水流動が他の地域と異なると考えられた。

一方、硬度はわずかに増加傾向にあったことから、地下水への負荷が続いていると考えることができる。地下水の無機汚染の問題点について指摘した永井<sup>4)</sup>の報告によれば、肥料に起因する無機汚染が指摘され、施肥によるCaなどの増加が指摘されている。Caは土壌のpH調整や肥料中に多く含まれ、降雨などにより地中に浸透し濃度が増加していると考えられる。

経時的变化傾向を検討した甲府盆地飲用地下水では、硝酸性窒素濃度の減少傾向や横ばい傾向は、施肥量の減少に由来すると考えられたが、硬度や蒸発残渣の増加傾向は、施肥に含まれる硝酸性窒素以外の成分や土壌改良剤などが関与している可能性が考えられた。また、変化傾向に地域的な隔たりがあることから、地下水の流動性や涵養量の違いが関係していると推定され、さらに検討の必要がある。

### 3-3 地下水探査

図1に示した井戸分布状況から、甲府盆地北部には井戸分布の少ないことが把握された。現在、この地域は荒川の表流水が飲料水として供給され、水需要は逼迫した状況には無い。しかし、地域防災や良質で安全な水供給を図るためには、複数の供給源を確保する必要があり、北部地域においても、地下水分布状況を把握することは重要である。

本研究では自然ガンマ線による地下水探査を行なった。この探査の基本原理は、地下水源となる地層破碎等の地下の亀裂に由来する自然ガンマ線を陸上部で連続移動測定し、そのガンマ線の強弱を明らかにする方法である。この探査法により、甲府市内の湯村温泉郷およびその西方において、概ね南北方向にルートが走る一般車道上の2側線で実施した。

測定結果の一例を図9に示した。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にもおよぶ。破碎帯としての幅は比較的大きいものと判断される。今回の調査の2側線においてこの種の強ガンマ線帯は9箇所において検出され、湯村温泉郷一带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。湯村温泉郷をはじめ、これらの強ガンマ線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この調査から理解された。この様な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ゾーンとしての把握といった理解のために、今回の調査地域周辺において引続き自然ガンマ線探査を行なうべきと思われる。

今回の放射能探査は、わずかに2側線のみの予察的なものであったが、甲府盆地北部とその北方山地の境界

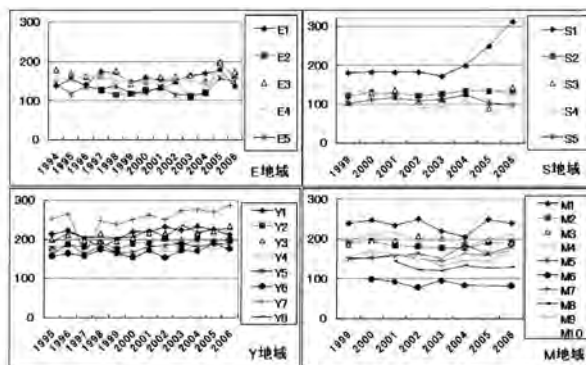


図7 4地域28地点の蒸発残渣濃度推移 (単位mg/L)

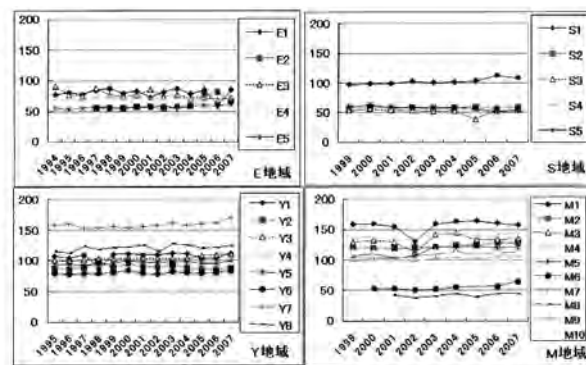


図8 4地域28地点の硬度濃度推移 (単位mg/L)

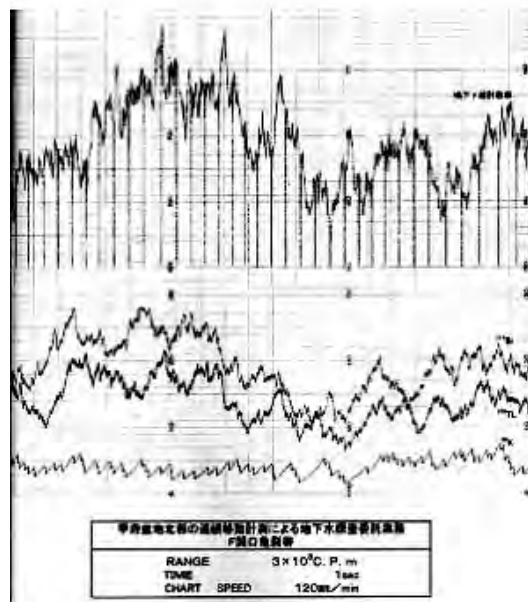


図9 地下探査調査結果の一例

域には破碎帯の存在が確認された。さらに、南北10km以下の側線の範囲内に2側線のいずれにおいても複数の破碎帯の存在を示す強放射能帯が確認された。このことから、甲府盆地北縁には西北西-東南東に複数の破碎帯が発達していると考えられる。今後は、地下に伏在するこの様な破碎帯が、周辺にどのような広がりを持って

分布しているのかを知ることにより、地下水の分布状況を知ることにつながる。そのために、この様な地下水探査は重要であると思われる。

#### 4. まとめと今後の課題

以上の内容をまとめると

1. 地下水中の硝酸性窒素濃度が減少傾向を示した理由を農業耕地面積との関連性に求めることができた。
2. 硝酸性窒素濃度が減少傾向を示した地点においても、蒸発残渣や硬度の上昇している地点が認められ、地下水への施肥の影響が考えられた。これらの項目の推移を観察する必要があると考えられた。
3. 硝酸性窒素、蒸発残渣、硬度の変化傾向には地域的な違いが認められ、地下水の涵養量や流動速度の違いが関係していると推定されたが今後の検討課題の1つである。
4. 甲府盆地北部の地下水探査から、検出地点の地下に地下水が流動している可能性の高いことが把握できた。しかし、調査地域や調査箇所は少なく、広範囲の検討が必要であると思われた。

#### 謝 辞

ここにまとめたデータは水道事業体（市町村）の協力により、水道原水検査結果を比較検討した。データを提供していただきました関係各位に深く感謝いたします。

#### 文 献

- 1) 総合理工学研究機構 研究報告書 第3号 (2008), P.65-68.
- 2) 中村高志, 長田淑美, 風間ふたば (2007) 水素・酸素および窒素安定同位体組成からみた甲府盆地東部地下水の涵養源と硝酸イオン濃度分布特性, 水環境学会誌, 31, 87~92.
- 3) 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.
- 4) 永井 茂 (1992) 地下水の無機汚染の実態と問題点, 451, 地質ニュース, 20~28.

#### 成果発表状況

##### 誌上発表

輿水達司, 北原 賢, 尾形正岐, 小林 浩, 内山 高 (2008) 甲府盆地北部の地下水の放射能探査, 第18回環境地質学シンポジウム論文集, 183-188.

##### 口頭発表

- 1) 輿水達司, 小林 浩, 内山 高 (2008年) 甲府盆地および富士山周辺域における地下水の地球化学特性と地質構造, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 千葉.
- 2) 輿水達司, 小林 浩, 内山 高 (2008年) 南部フォッサマグナ地域の地下水の地球化学特性と地質構造, 日本地質学会第115年学術大会, 秋田市.
- 3) 小林 浩, 輿水達司, 尾形正岐 (2008年) 甲府盆地の飲用地下水における水質経年変化の地域特性, 日本地下水学会, 福岡市.
- 4) 小林 浩, 輿水達司, 尾形正岐 (2009年) 甲府盆地飲用地下水の水質経年変化, 水環境学会, 山口市.





自然公園における  
湖の水質管理に関する総合研究



# 自然公園における湖の水質管理に関する総合研究

山梨県衛生公害研究所<sup>1</sup>・山梨県水産技術センター<sup>2</sup>・山梨県環境科学研究所<sup>3</sup>・山梨大学<sup>4</sup>、金沢星陵大学<sup>5</sup>  
吉澤 一家<sup>1</sup>、高橋 一孝<sup>2</sup>、池口 仁<sup>3</sup>、芹澤 (松山) 和世<sup>3</sup>、御園生 拓<sup>4</sup>、平田 徹<sup>4</sup>、  
森 一博<sup>4</sup>、宮崎 淳一<sup>4</sup>、芹澤 如比古<sup>4</sup>、永坂 正夫<sup>5</sup>

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

Yamanashi Institute for Public Health<sup>1</sup>, Fisheries Technology Center<sup>2</sup>, Institute of Environmental Science<sup>3</sup>,  
University of Yamanashi<sup>4</sup>, Kanazawa Seiryō University<sup>5</sup>  
Kazuya YOSHIZAWA<sup>1</sup>, Kazutaka TAKAHASHI<sup>2</sup>, Hitoshi IKAGUCHI<sup>3</sup>, Kazuyo MATSUYAMA-SERISAWA<sup>3</sup>,  
Taku MISONOU<sup>4</sup>, Tetsu HIRATA<sup>4</sup>, Kazuhiro MORI<sup>4</sup>, Jun-ichi MIYAZAKI<sup>4</sup>,  
Yukihiko SERISAWA<sup>4</sup> and Masao NAGASAKA<sup>5</sup>

### 要 約

特に生態系や景観の保全に配慮が必要な区域内にある、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に、富士五湖の1つである山中湖を対象水域として、水生植物及び貝類を用いた手法の検討を試みた。平成20年度は1年目にあたり、浄化システムを構成するために必要な、浄化能及び対照水域の生態系に関する基礎データの収集を行ない、次の諸点が明らかとなった。

- 1) 数種の水草で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。
- 2) 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。
- 3) 生態系の実態調査では、魚類：11分類群、水生昆虫・底生動物：6分類群、水生植物：20分類群が確認された。

### Abstract

We investigated the appropriate methods of improving the water quality of Lake Yamanaka located in nature reserves. To avoid the serious influence to ecosystem and landscape of the lake, we decided to use the ecological engineering techniques, such as vegetation of hydrophytes and cultivation of bivalves. In 2008, fundamental data about both the purification abilities of plants and bivalves, and the ecosystem of the lake were accumulated; i.e.

- 1) Simulation about the growth of several kinds of aquatic plants vegetated in experimental ponds corresponded to the actual growth.
- 2) Turbidity of the water with bivalves decreased while cultivating.
- 3) Eleven taxa of fishes, 6 taxa of benthic animals or insects, 20 taxa of hydrophytes were observed in this lake.

## 1. 緒 言

富士山を臨む富士五湖のひとつである山中湖の周辺は、古くから観光地化されてきたが、湖水の水質の悪化や、透明度の低下が報告されており、“湖”という優れた観光資源への影響が懸念されている。特に山中湖の平野ワンドと呼ばれる水域はこの傾向が顕著であり、周辺自治体の努力により、下水道の整備が急速に進められてきたが、湖水環境保全のためには、さらに積極的な水質浄化手法が求められている。

本研究では山中湖をモデルとして、自然公園内に立地

し、景観上あるいは生態系の保持の面から、大規模な人工的浄化装置を設置できない湖に対し、生物（水生植物及び底生動物）を利用した適用可能な水質管理方法を提言することを目的とした。

植物を利用した水質浄化法は太陽エネルギーを利用する低エネルギー消費型であり、近年、湖水等の直接浄化にも利用されてきている。本研究では山中湖の平野ワンド水域において様々な環境条件を想定し、浄化に最適な植物を選定するとともに、その維持管理方法までを検討する。また一方で、底生動物である二枚貝は捕食時のろ過機能により透明度を上げることが知られているが、そ

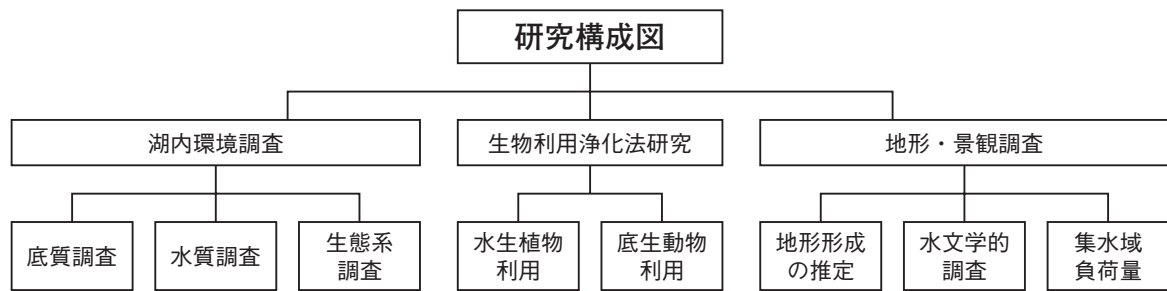


図1 研究構成図

の効果は自然水系では充分実証されていない。山中湖では以前は二枚貝が豊富に生息していたことがわかっており、水生植物に加えて二枚貝を併用した場合の水質浄化効果も検討する。

## 2. 調査・研究方法

本研究で調査対象とした山中湖の平野ワンドを図2に示す。本研究ではまず平野ワンド内や山中湖全域に生育する水生生物の現状把握調査を行い、次に生物を利用した浄化方法を室内実験で検証するとともに、本湖の景観や平野ワンドの集水域を解析し、平野ワンドにおける水質環境や湖内流の調査を行なった。

### 2-1 湖内生物調査

#### 2-1-1 水草・大型藻類の調査

山中湖全域における水草・大型藻類の水平・垂直分布の現状について明らかにすることを目的に、山中湖の平野ワンドに4定線、北岸に5線、南岸に6定線の計15定線を設け、2008年9月18-19日に船外機付き小型ボートで、各定線上で水深1m毎に採集物が得られなくなるまで船上よりロープを付けた採集器による水草・大型藻類の採集を行った。また、各定線で透明度の測定を行った。

山中湖における水生植物の水深別現存量の現状を明らかにするため、種類数が多く、最も深くまで水草・大型藻類が分布していた北岸の1地点で、2008年9月29日に潜水により採集物が得られなくなるまで水深1m毎に1辺50cmの方形枠3個の坪刈り採集を行った。

水生植物の生育に影響を与える環境要因について明らかにするため、平野ワンド内で2008年7~12月まで毎月、光量、pH、水温などの測定を行った。

#### 2-1-2 魚類相の調査

山中湖には、2003年の調査によるとコイ・フナをはじめとして12種の魚類が生息していることが明らかになっている。こうした調査は地曳網を使って主に南岸を中心に行われ、平野ワンドでは調査が殆どなされておらず、魚類の生態には不明な部分が多い。魚類の産卵の場

・稚仔魚の成育の場といわれる水草帯の魚類相を調査し水草との関係を明らかにすることを目的とした。

2008年7月22日(WT28.2℃)と10月28日(WT16.0℃)に、山中湖村平野地区のワンド内において調査した。魚類の採捕は、小型地曳網(目合10節;2.5m×8m,袋18節;直径4m)を用いて行った。地曳網は6名の採捕者により5~6回実施した。

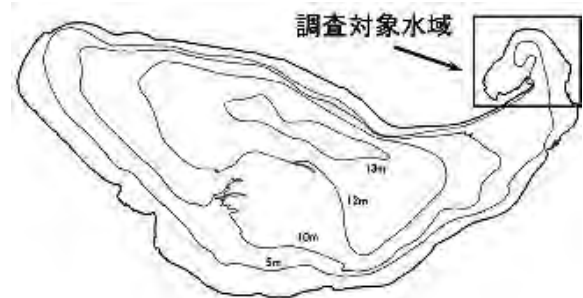


図2 調査対象水域 (山中湖 平野ワンド)

#### 2-1-3 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2008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調査区1から調査区5を設定した(調査区1:水際にヨシ生育せず;調査区2:水際に散在してヨシ生育;調査区3から調査区5:水際に密生してヨシ生育、湖面にヒメビシ生育)。モンドリを用いたトラップ採取法では、ゴルフボール大の練り餌(容積比、サナギ粉:パン粉:小麦粉:イワシ魚粉:アミコマセ=10:8:2:1:1)をモンドリに入れ、調査区ごとに1トラップを水深1mの湖底に設置し、1時間経過後にトラップを回収した。トラップ設置と回収は午前10時から正午12時にかけて行ない、設置時には時刻、気温、水温を記録した。トラップ採取法による調査が終了した後、タモ網採取法による調査を、調査区3から調査区5の湖岸部を中心にしなが

ら、3名で1時間実施した。

## 2-2 生物利用浄化法研究

### 2-2-1 植生モデルの構築

植物を活用した水・土壌浄化法は、低コスト・低エネルギー消費型の処理法として近年新たに注目されているが、年間の気候変化が大きい地域では植物の生育と物質吸収が大きく変化するため、バイオマス生産とこれに伴う浄化作用の予測や適正な維持管理が工学的に進めにくい。そこで、様々な環境要因を組み入れた水生植物生育基本モデルを構築し有効性検討を行った。

水生植物の生長モデルは、ロジスチックモデルに光(steel式)、温度(Yin and colleagues式)、栄養塩類濃度(Michaelis-Menten式)の各環境要因項並びに生育後期に見られる生育速度の低下項を各々乗じて作成した。必要なパラメータは、供試植物(ウキクサ、ヨシ、クロモ)をハトナー人工無機栽培液にて種々の条件で栽培することで算出した。さらに、野外池における栽培試験を継続的に行い、5月～9月までの5ヶ月間にわたるバイオマス湿重量を測定し、モデルによる予測結果と比較した。

### 2-2-2 二枚貝による水質改善法の検討

底生動物である二枚貝に注目し、捕食時のろ過機能により透明度を上げる手法の確立を目的とし水槽を用いた室内実験を行なった。

水質改善の基準として濁度に注目し、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。実験には6種の二枚貝を用いた。45cm水槽に24lの水と濁度が30FTU前後になるように粒径0.2 $\mu$ m、2 $\mu$ m、4 $\mu$ mの鉱物粒子であるカオリンを入れた。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、HANNA社の濁度計(HI93703-B)を用い、実験開始から24時間後まで3時間ごとに、また1.5日後の36時間後に行った。開始時、24時間後、36時間後にはデジタルカメラで水槽の撮影を行った。

## 2-3 地形・景観調査

### 2-3-1 平野ワンド部の概況調査による特性把握

平野ワンド部の水環境の変動をもたらしている要因と、平野ワンド部の山中湖湖岸における保全生物学的な位置づけを行うため、空中写真判読と地形図の分析、現地調査により、ワンドに水が流れ込む集水域の変化を調査した。

現行地形図DEM(デジタル標高地図)よりGISソフトウェアTNTMipsにより集水域を自動的に計算し、空中写真立体視および現地調査による補正を加え、1965年以前の集水域と現在の集水域を推定した。資料調査、

現地概況調査を行った。

山中湖は国立公園として保護される自然地域であり、その自然性は国民共有の財産とされている。従って、本研究のように植物群落への適切な介入によって良好な効果を得ようとする場合には、介入の対象となるワンド部分がどのような自然であり、どのような価値を持ち、どのような保全策を要求するかを知る事は非常に重要と考えた。

そこで、湖岸の植生について、現在、分布を拡散しつつある要注意外来種であるオオブタクサの山中湖全体での分布から平野ワンド部の状況について考察を加える事を試みた。そのため、山中湖湖岸のオオブタクサの結実期に当たる2008年10月～11月に、山中湖岸全域において種子をつけているオオブタクサ群落の位置と概ねのサイズを記録した。

### 2-3-2 平野ワンド部の湖流調査

平野ワンドでは、透明度やCODの値が他の水域と異なり、富栄養度が高いとされている。また夏季成層期に行なった、湖底直上水の分析でも他の水域とは異なる傾向を示していた。これは、この水域のみに存在する河川の流入負荷によるものが主因と考えられるが、湖水が滞留しやすいことも一因ではないかと考えられた。そこで、この水域の湖流を明らかにすることを目的として、湖流調査を実施した。

調査では、水深1m、に水流抵抗版を懸架した、GPS端末内蔵流動ブイ各4基を放流し、10分毎に位置情報を取得した。同時に砂嘴で、風向と風速を連続観測した。

#### 1) 使用機器

GPS通信端末：NTT FOMA CTG-001G

漂流ブイ：ZTB-P1-A(ゼニライトブイ)

ドップラー流向流速計(ADP)：River Surveyor

1.5MHz(YSIナノテック)

気象観測機：Weather Station(DAVIS)

水流抵抗版：52cm×80cm×4枚、3.3kg

#### 2) 調査年月日

平成20年10月8日12:00～15:30

## 3. 結果

### 3-1 湖内生物調査

#### 3-1-1 水草・大型藻類の調査

定線採集調査では水草類12種(うち1種は交雑種)、大型藻類7種が採集された。また非常に少ないながらもフジマリモが現存することを再確認した。さらに山中湖の新産種としてフタマタシオグサ、キヌフラスコモを確認した。出現頻度と現存量はセキショウモ、ホソバミズヒキモ、ホザキノフサモ、クロモの4種が高かった。また、平野ワンド内にはホザキノフサモが卓越した

群落を形成しており、コオニビシによる浮葉植物群落も認められた。透明度は平野ワンドで3.4-4.3m、北岸で5.4-6.1m、南岸で4.7-5.8mであり、採集量が大きかった水深帯は、平野ワンドで1-2m、北岸で3-4m、南岸で2-3mであった。また、平野ワンドでは4m以深、北岸と南岸では6m以深で水生植物は採集されなかった。

潜水坪刈り調査から北岸の現存量は水深3-4mが2.4kg生重/m<sup>2</sup>と最大であり、次いで水深2m(0.8kg/m<sup>2</sup>)、水深1m(0.6kg/m<sup>2</sup>)、水深5m(0.1kg/m<sup>2</sup>)であった。

相対光量は水深1mで25.6-57.6%、水深5mで0.9-8.1%であり、夏に高く、冬に低い傾向がみられた。また相対光量は調査期間中、同一水深では平野ワンドの湾奥に行くほど低下する傾向がみられた。pHは7.4-8.5で、調査期間中、平野ワンドの湾奥に行くほど上昇す

る傾向がみられた。水温は6.8-26.9℃であり、平野ワンドの湾奥に行くほど夏は高く、冬は低い傾向がみられた。

### 3-1-2 魚類相の調査

#### 1) 地曳網による採捕 (表1)

採捕魚はオオクチバス、ナマズ、モツゴ、オイカワ、ヌマチチブ、ワカサギ、フナ、タモロコ、ヨシノボリ、ニゴイ、コイの11種で、うち7月はモツゴ、オイカワ、ヌマチチブ、10月はオイカワ、オオクチバス、ニゴイの順に多かった。2007年と比較するとナマズ、ヨシノボリが新たに採捕されたこと、モツゴ、タモロコが減少し逆にオイカワが急増するという優占種の交代が見られたことが特徴として挙げられた。

オオクチバスは小型魚の採捕数が多く、放流サイズ

表1 地曳網による採捕

魚種名	2003.10.15		2007. 8.24		2008. 7.22		2008.10.28	
	尾数	%	尾数	%	尾数	%	尾数	%
オオクチバス	54	46.2	51	12.2	19	4.9	77	31.6
ブルーギル	4	3.4						
ナマズ					1	0.3		
モツゴ	4	3.4	117	28.0	149	38.5	5	2.0
オイカワ	18	15.4	1	0.2	60	15.5	129	52.9
ヌマチチブ	33	28.2	17	4.1	89	23.0	1	0.4
ワカサギ			1	0.2	33	8.5	12	4.9
フナ	2	1.7	22	5.3	3	0.8	1	0.4
タモロコ			142	34.0	26	6.7	6	2.5
ヨシノボリ					3	0.8		
ニゴイ			60	14.4	2	0.5	13	5.3
コイ	2	1.7	7	1.7	2	0.5		
合計	117	100.0	418	100.0	387	100.0	244	100.0

表2 捕食率

単位：%

	魚種	調査尾数	胃内容物組成							空胃個体率	
			魚類	ユスリカ	ミジンコ類	デトリタス	ケンミジンコ	コケムシ体芽	植物プランクトン		水生昆虫
2008. 7.22	オオクチバス	8	12.5		25.0		25.0				37.5
	ナマズ	1									100.0
	モツゴ	11		18.2	72.8	9.1					
	オイカワ	11			36.4	36.4		9.1			18.2
	ヌマチチブ	11		18.2	63.6		9.1			9.1	
	ワカサギ	14	7.1		85.7						7.1
	フナ	3							100.0		
	タモロコ	10				70.0		10.0		20.0	
2008.10.28	ヨシノボリ	1	100.0								
	ニゴイ	2				100.0					
	オオクチバス	18	11.1	11.1	5.6					5.6	66.7
	モツゴ	5			100.0						
	オイカワ	12				16.7		66.7		16.7	
	ヌマチチブ	1			100.0						
	ワカサギ	5			100.0						
	フナ	1							100.0		
タモロコ	6			83.3	16.7						
	ニゴイ	10		50.0	10.0	20.0		10.0			10.0

※捕食率；ある餌（優先種）を捕食した尾数/調査尾数

と異なることから湖内で再生産しているものと推察された。また、コいの稚魚は全く見られず、聞き取り調査結果とも併せるとワンド内では再生産していないものと推察された。また、国内各地で水草減少の一因になっているソウギョは採捕されず、過去の調査結果からみてもワンド内の水草減少の原因ではないものと判断された。

## 2) 胃内容物 (表2)

魚食性の強いオオクチバスは、成魚は魚類、小型魚はミジンコ類、ケンミジンコを捕食していた。雑食性のニゴイ、ヌマチチブ、タモロコ、ヨシノボリ、オイカワはデトリタスやユスリカ、水生昆虫 (カゲロウ)、ミジンコ類を捕食していた。プランクトン食性のモツゴ、ワカサギはミジンコ類を捕食していたが、ワカサギはゾウミジンコ、モツゴはシカクミジンコを優占して捕食していた。今回の調査魚の中には水草を食している個体は見られず、水草の減少に直接的な影響を与えている魚種はなかった。

### 3-1-3 トラップ及びタモ網採取法による水生生物調査

#### 1) トラップ採取結果

トラップ採取法では、魚類のみ、2科4種108個体を採取したが、5調査区中、調査区1では1個体も採取されなかった。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97.2%を占め、他の3種 (モツゴ、オイカワ、ヌマチチブ) においては1個体ずつを採取した。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2、調査区3、調査区4、調査区5では、それぞれ種数は、2種、2種、2種、1種、個体数は15個体、29個体、35個体、30個体を示し、種数の多い地点は調査区2から調査区4、個体数の多い地点は調査区4となった。したがって、種数、個体数がともに多い地点は調査区4であり、タモロコとオイカワがここに出現した。6月から11月の毎月のサンプリングでは、9月と11月には1個体も採取されなかったが、サンプリング月ごとにデータをプール化して比較した場合、6月、7月、8月、10月では、それぞれ種数は、2種、1種、3種、1種、個体数は36個体、2個体、39個体、31個体を示し、8月に最も多くの種数、個体数を示した。うち採取個体数の多い魚種タモロコの体長は6月から9月までは小サイズ個体出現のため減少傾向を示し、10月からは成長にともない増加した。

#### 2) タモ網採取結果

タモ網採取法では、魚類、エビ類、トンボ類ヤゴを採取した。魚類では4科7種228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ヌマチチブ、タモロコ、ギンブナで、それぞれ採取個体数全体の67.5%、16.7%、9.6%を占め、オオクチバスが3.1%と続き、他の3種のヨシノボリ、ドジョウ、ブ

ルーギルではそれぞれ3個体、3個体、1個体であった。出現頻度では、ヌマチチブ、タモロコがすべての月に出現し、ギンブナ、オオクチバスは、出現時期はまったく同じではないが3ヶ月間継続して出現し、ヨシノボリ、ドジョウは断続的に2回、ブルーギルは1回だけ出現した。毎月のデータを比較した場合、6月、7月、8月、9月、10月、11月では、それぞれ種数は、2種、5種、4種、4種、3種、5種、個体数は12個体、29個体、31個体、58個体、48個体、50個体を示し、採取種数は7月と11月に高く、採取個体数は6月から8月よりも9月から11月にかけて多くなった。最も多く採取したヌマチチブにおいては、採取個体数は9月から増加し、体長は小サイズ個体出現のため急激に減少した。

エビ類については、テナガエビのみ1種、計111個体を採取した。採取個体数は6月、7月は11個体以下、8月から10月は14個体以上、11月は12個体を示した。このうち最も多くの個体を採取した月は8月と10月、ともに34個体を示し、8月に抱卵個体は多く、体長は8月から9月にかけて減少した。

トンボ類ヤゴについては、5科5種50個体を採取した。種数は、6月から8月に2種から3種 (総計では4種)、9月に1種、10月、11月に3種 (総計では4種) を示した。このうち採取個体数が多い種はクロイトトンボの27個体で全体の54%を占めた。他の4種のホンサナエ、ギンヤンマ、コフキトンボ、オオヤマトンボにおいては、それぞれ9個体、7個体、6個体、1個体を採取した。

クロイトトンボは10月を除き、毎月1個体から11個体を採取し、6月は2個体、7月から9月にかけては5個体から11個体を採取したが、11月には1個体のみとなった。ホンサナエは7月から10月にかけて9月のみ採取されなかったが1個体または7個体の採取を示し、8月に7個体の採取がなされた。6月から9月にかけてまったく採取されなかったギンヤンマまた1個体のみしか採取されなかったコフキトンボの両種における採取個体数は、10月と11月に2個体から5個体を示した。オオヤマトンボの採取は7月に1個体のみであった。

### 3-2 生物利用浄化法研究

#### 3-2-1 植生モデルの構築

これまでに生育基本モデルは概ね生育量を再現することに成功したが、生長率が低下する生育後期における再現性と一部植物種で見られた各種定数値の信頼性に課題を有していた。そこで、各植物の計算結果を解析した結果、環境要因の中では、特に光の要因項が過度に影響していたため、これに関連する定数値を再考した。さらに生育後期の生育速度低下項についても、実測値に基づき修正を加えた。

その結果、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、日々の気象並びに水質データを入力し算出されたバイオマス生産のシミュレーション結果は、半年にわたる野外池での植物の生育を十分に再現していた。

### 3-2-2 二枚貝による水質改善法の検討

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ろ過作用によるものであると考えられた。

粒径 $2\mu\text{m}$ や $4\mu\text{m}$ のカオリン粒子を用いた実験では、高い濁度低下がみられたが、粒径 $0.2\mu\text{m}$ のカオリンを用いた実験では、可視的には明らかな差をみることができなかった。これは二枚貝の外套膜や鰓の構造に関係しており、懸濁粒子の中には、それらにとらえられやすい大きさがあると思われた。殻長が $50\text{mm}$ 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。

## 3-3 地形・景観調査

### 3-3-1 平野ワンド部の概況調査による特性把握

#### 1) 資料調査による平野ワンド部の水環境の変動要因の解明

ワンド最奥部はヘドロ様の堆積物が深くつもり、水深の変化が少ない事を確認した。2007年に実施した現地調査で、ヘドロの下に微小な谷地形が分布し、谷部分で最も堆積が深くなる事を確認した。この事は、平野ワンド最奥部の流況が比較的短期間で変化した事を示すと考えられた。

1950年代以降の空中写真にはワンド最奥部の水底に掃流の痕跡が写っており、現地調査でヘドロの堆積が激しい箇所一致した。ワンド内に水が流入する小流域は5つに区分され、砂嘴先端部より時計回りにNo.1からNo.5までの番号をつけた。ワンド最奥部の集水域はNo.2である。両年代の各集水域の面積を求めた。集水域面積の変化が、水量に与える効果を見積もるため、山中湖の平均降水量との積から集水量を求めた、また、活発に掃流があると考えられる集中豪雨時の連続降雨量 $400\text{mm}$ から $100\text{mm}$ を減じた $300\text{mm}$ を表流量と仮定して流入水量を推定した(表3)。

その結果、ワンド全体の集水量は10%強の減少となっていた。

ワンド最奥部を流入口とするNo.2の集水域は、現在は谷の痕跡が残るのみで、ほとんど水が流入していないが、過去には降雨時に大量の水が流れ込む箇所であったと考えられ、ワンド奥部の堆積の進行には集水域の変動が大きく関わっていると推定された。

#### 2) 山中湖岸の外来種分布から見た平野ワンドの植物群落の位置づけ(図3)。

平野ワンド部(図の平野B)は湖岸 $100\text{m}$ あたりの出現頻度では、長池A地区に次いで2位であるが、ワンド部においてオオブタクサの個体サイズ、群落のサイズが大きく、分布が連続しているため群落数は少ないが、オオブタクサの現存量、種子生産量では、山中湖岸で最も集中する地区であると言える。山中湖全体において湖岸の汀線が後退した痕跡にそって多くのオオブタクサ群落分布する事から、水流によって運ばれた種子が定着するケースが多い事がうかがわれた。現況はワンド部にオオブタクサが侵入、定着し、大規模群落として大量の種子を供給して山中湖全体にオオブタクサが広がりつつある段階と考えられた。

以上から、平野ワンド部は外来種の侵入を受けやすく、また外来種の定着が山中湖岸全体へとつながりうる区域であると考えられ、定期的な監視と適切な人為的な介入のもとで管理されるべきと結論づけられた。

表3 推定された1960年代と現況の集水域の面積と水量への換算

	元の集水域面積	水量換算(年降水量)	水量換算(300mm)
No.1	7549 $\text{m}^2$	16902t	5071t
No.2	42346 $\text{m}^2$	94768t	28430t
No.3	39136 $\text{m}^2$	87626t	26228t
No.4	14022 $\text{m}^2$	31396t	9414t
No.5	313227 $\text{m}^2$	701315t	210394t
計	416260 $\text{m}^2$	932006t	279602t

	現況の集水域面積	水量換算(年降水量)	水量換算(300mm)
No.1	7549 $\text{m}^2$	16902t	5071t
No.2	2999 $\text{m}^2$	6715t	2014t
No.3	39136 $\text{m}^2$	87626t	26288t
No.4	14022 $\text{m}^2$	31396t	9414t
No.5	313227 $\text{m}^2$	701315t	210394t
計	376933 $\text{m}^2$	843953t	253186t

### 3-3-2 平野ワンド部の湖流調査

#### 1) 風向・風速データ

湖流の形成要因として、本湖のように流量の大きな河川がなく、水深が浅く扁平な湖盆形態の湖沼では、湖上風の影響が強いことが、漂流ブイ調査により明らかとなってきた。

調査中の風向・風速を図4に示したが、13時45分を境界として、前半は北～北西風が卓越しており、風速も $1.5\text{m/s}$ 前後の緩やかな風であった。しかしその後は東～南東風に変わり、風速も $2\sim 4\text{m/s}$ と強まった。

#### 2) 漂流ブイの流向・流速

4基のブイの流跡図を図5に示した。流向は図中に矢印で示したように、期間の前半は南南東方向へ流動したが、後半は南西方向へと変化した。流速についても、前半は $1.6\sim 1.8\text{cm/s}$ であったが、後半は $2.3\sim 2.6\text{cm/s}$ へと約1.5倍速くなった。この流向・流速の変化は、湖上風の変化と一致しており、表層 $1\text{m}$ の水塊は湖上風によ

り強く影響を受けていることが明らかとなった。

### 3) ドップラー流向流速計 (ADP) 計測結果

ADPによる水深0.9m及び2.9mの流向・流速の測定結果からは、水深2.9mでは基本的に南方向に流れる傾向があると思われたが、0.9mでは傾向を掴むことができなかった。これは観測中に大きく風向が変化してしまったことにより、湖流も変化したことによるものと考えられた。その一方で漂流ブイによる測定は連続した変化を捉えることが可能なため、正確な湖流の観測には、両者を併用することが必要であると考えられた。

## 4. 考 察

### 4-1 山中湖の水草・大型藻類

本調査で山中湖から確認された水草類はコオニビシを含め13種、大型藻類は7種であり、現在の優占種はセキショウモ、ホソバミズヒキモ、ホザキノフサモ、クロモであることが明らかになった。また、過去の文献との比較により本湖における水草・大型藻類の種組成と優占度は数年といった短い期間でも大きく変遷していることがわかった。

本調査による水生植物の分布中心となる水深は、北岸で3-4m、南岸で3m、平野ワンドで1-2mであり、生育限界水深も北岸や南岸では水深5m、平野ワンドでは水深3mであることが明らかになった。透明度も概ね北岸、南岸、平野ワンドの順であり、透明度(光量)によって、生育限界水深が規定されていると考えられ、生育水深を調査することで、次年度以降の浄化実験による効果を検証できる可能性がある。

平野ワンドの水生植物を取り巻く環境要因については、湾の奥部に行くにしたがって、透明度、光量は低下し、pHは上昇し、水温は夏に高く、冬に低い傾向がみられることが分かった。また、平野ワンドでは湾奥に行くにしたがって浮泥が堆積しており、浮泥中には豊富な栄養塩が蓄積されていることが予想される。これらのことから、平野ワンドでは湾口部から湾奥部にかけて環境

勾配があり、現時点では生育している水生植物の種数は少ないが(表4)、今後、環境が改善されることにより、多様性が増すことが期待される。

### 4-2 平野ワンドの魚類

地元の漁業協同組合では、オオクチバス、ワカサギ、フナ、コイ、ウナギ、ウグイ、オイカワの7種を放流しているが、このほか不定期にシジミ(2004, 2005年)、モロコ(2003年)を放流している。コイは2003年以降魚病対策のため殆ど種苗放流していないという。また、聞き取り調査によると、最近ではワンド内でのコイ、フナの自然産卵が見られないという。この原因として産卵基質である水草の減少によるものと危惧する声もあるが、現時点では不明である。コイの場合水草の直接的な捕食というより、摂餌行動の際底泥の攪拌による水草への悪影響が報告されていることから、今後観察の容易な実験室レベルでの解明が必要である。

今回の野外調査により、ワンド内における魚類相が明らかになったが、魚類と水草の関係について、食物連鎖以外の観点からもさらに検討する必要がある。

### 4-3 平野ワンドの水生生物

本調査では、トラップ採取法で2科5種108個体、タモ網採取法で4科7種228個体を採取し、両採取法を合わせると4科9種336個体となった。富士北麓生態系調査会(2007)では山中湖役場前で地引き網調査が行われ、本調査で採取されなかったコイ、ニゴイを含む3科6種の生息が報告されており、その結果山中湖には4科11種が生息するが、放流記録があり現存を確認できるウナギ、ワカサギを含めると6科13種が生息していることになる。地引き網、潜水調査に基づく富士北麓生態系調査会(2007)の魚類調査結果では、最も多くの種が確認されたのは河口湖(14種)、次いで本栖湖(12種)、西湖(5種)、精進湖(3種)であり、よって種数のみから判断すると、山中湖ではオオクチバス、ブルーギル、ワカサギ、ウナギなどの放流経緯があるが、比較的多くの魚種が生息していることになる(オオクチバスについては2008年だけで約5000kg放流)。トラップ調査を行った調査域の両端と中間部の採取結果を比較すると中間部の調査区2から調査区4では種数、個体数は多かった。この中間部の湖岸には、ヨシ、イグサ、カヤツリグサが繁茂し、ヒメビシも分布しており、このような湖岸の生息環境が多種の生息とともに多くの個体の生息を可能にしているように思われ、ワンド部の水質改善の問題はあるが、ワンド部の湖岸に形成されているヨシを代表とする湖岸植生は、魚類の多様性維持にとり重要であることを示唆した。

採取した魚種のうちタモロコとヌマチチブではその体長の季節変化から繁殖がなされていることは明らかであ

表4 定線調査で採集された水草類と透明度

区域・定線・頻度 種名	平野ワンド				湖北岸					湖南岸						出現頻度 定線数 (%)	
	H1	H2	H3	H4	N1	N2	N3	N4	N5	S1	S2	S3	S4	S5	S6		
1 セキショウモ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	15	100
2 ホソバミズヒキモ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	15	100
3 ホザキノフサモ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	14	93
4 クロモ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13	87
5 セニンモ				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	11	73
6 オオササエビモ				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	9	60
7 コカナダモ						○			○		○			○	○	7	47
8 エゾヤナギモ	○			○		○		○			○					5	33
9 オオトリゲモ						○	○						○	○		4	27
10 エビモ		○														1	7
11 ヒロハノエビモ														○		1	7
12 エビモ×セニンモ																1	7
出現種数	5	5	3	7	6	8	8	9	6	4	8	7	7	7	6		
透明度 (m)	(2.0)	(3.0)	3.4	4.25	5.5	6.05	5.45	5.8	5.4	(5.0)	5.0	(5.0)	4.7	5.8	5.7		

( ) 内の数値は全透

り、他魚種でもそのサイズから繁殖は成立しているようである。よって、ワンド部での特有な湖岸植生は、オオクチバス、ブルーギルにおける繁殖成立の問題を含むが、稚仔魚にとっても重要な環境条件であると思われた。

エビ類についてはテナガエビの1種のみを確認した。富士北麓生態系調査会(2007)の調査結果では、山中湖、河口湖、精進湖ではテナガエビ属のみ、0西湖、本栖湖ではテナガエビ属の生息は確認されていないがスジエビとヌカエビの生息は確認されている。テナガエビにおいては抱卵個体の存在とともにその体長の季節変化から繁殖は成立しているようであり、魚類同様、ワンド部のヨシを代表とする湖岸植生は、テナガエビの生息に重要であることを示唆した。

トンボ類ヤゴについては、本調査では5種を認め、富士北麓生態系調査会(2007)の調査結果では8種を認め、総計では10種が生息していることになる。富士北麓生態系調査会(2007)が明らかにした他の4湖の6種と比べると、山中湖では多くの種が生息しており、トンボ類ヤゴにとっても、ワンド部のヨシを代表とする湖岸植生は多様性の維持にとり重要であることを示唆した。

4-4 植生モデルの構築

今後は、植物ごとの環境要因への応答特性を表すパラメータの信頼性向上に向けた栽培試験の継続と、より多様な植物での同様の検討を進め、これらの情報をデータベース化することが望まれる。これにより、地域特性と汚染条件を加味した植物浄化効果の推定に基づく植物選択による計画と設計、並びにバイオマスの維持管理手法の最適化が可能となり、植生浄化手法の工学的な汎用化を図ることができると期待される。

4-5 二枚貝による水質改善法の検討

山中湖へ貝類を移植する際は、より正確な種の同定が必要であり、特に二枚貝の同定は困難であるため、今後遺伝子解析により種の同定をすることが必要であると考えられた。また、ヌマガイ、ヨコハマシジラガイなどは広く分布するため移入には適していると考えられたが、移入方法としては二枚貝をそのまま湖水に放流するのではなく、網を使い、浄化終了後には、二枚貝を外に取り出す方法が望ましいと考えている。

5. 結 言

特に生態系、景観の保全に配慮が必要な区域内の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年度は1年目にあたり、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。来年

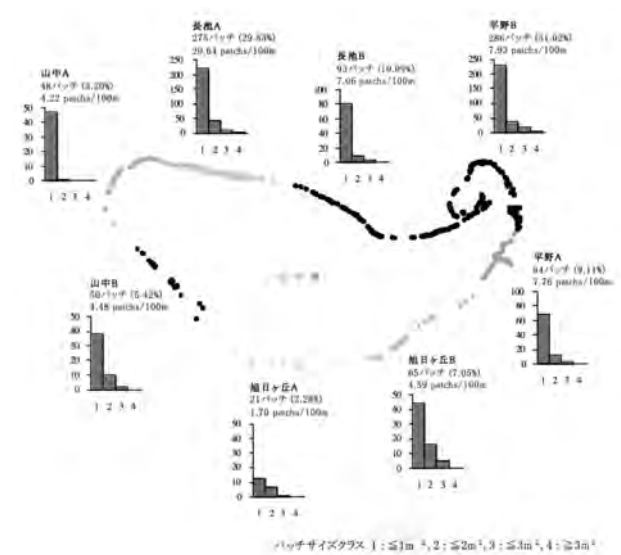


図3 オオバタクサ群落の位置と概ねのサイズ

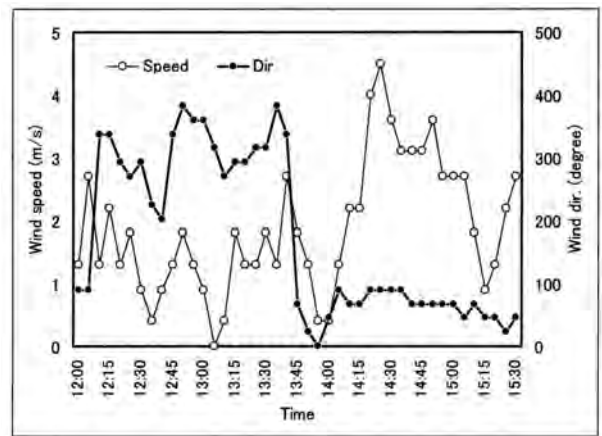


図4 湖上風の風向・風速の時系列変化(2008年10月9日)



図5 GPS搭載ブイの流跡図

度以降は平野ワンドあるいは気候が似た地域での野外実験を行い、水生植物の成長量の予測精度を上げていきたい。植物の成長に伴う水質変動に関するデータも蓄積する予定である。

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。今後は野外飼育実験を行い、生態系保持に配慮しつつ、平野ワンドに最も適した貝種の検討を行う予定である。

また、平野ワンドでの生態系の実態調査も併せて行い、魚類、底生動物、水生植物に関する多くのデータ収集を行なった。

魚類ではオオクチバス、ナマズ、モツゴ、オイカワ、ヌマチチブ、ワカサギ、フナ、タモロコ、ヨシノボリ、ニゴイ、コイの11種が確認され、モツゴ、タモロコが減少し逆にオイカワが急増するという優占種の交代が見られた。また捕食物の観察から水草を食している魚は見られず、平野ワンド内の水草減少の原因ではないものと判断された。

底生動物などはテナガエビ1種と、トンボ類ヤゴ5種が確認され、いずれもワンドのヨシを代表とする湖岸植生が重要な生息場所であることが明らかとなった。

水生植物については、山中湖全体で水草類13種（うち1種は交雑種）、大型藻類7種の生育を確認した。また平野ワンドの中ではホザキノフサモが優占種となっていた。水草の現存量と湖水環境、特に光量に大きくかわる透明度の関係を明らかにすることは、今後植栽を行なう上で重要であると考えられた。

また既存の空中写真などのデータとの比較の中で、平野ワンドに降雨などの流入口が一部失われ、その結果として集水量が10%強減少し、水の動きが弱くなった可能性が示唆された。このことにより、ワンド奥部の泥の堆積が加速した可能性があったことが明らかとなった。

来年度以降はこれらの成果をふまえ、平野ワンドでの植栽あるいは飼育実験を行い、水質管理に適した生物種の選定とその管理方法の検討を行なう予定である。

## 謝 辞

調査にあたり、ご協力を頂いた山中湖漁協及び(株)富士汽船の皆様に感謝の意を表します。

## 原著論文

- 1) 芹澤(松山)和世, 安田泰輔, 中野隆志, 芹澤如比古: 山中湖におけるフジマリモの再発見. 富士山研究3: (印刷中), 2009

## 学会発表

- 1) 芹澤(松山)和世, 中野隆志, 安田泰輔, 加藤将, 野崎久義, 吉澤一家, 芹澤如比古: 山中湖に生育する大型藻類の現状, 特にフジマリモとシャジクモ類について, 日本藻類学会第33回大会, 沖縄, 2009
- 2) 芹澤如比古, 夏目雄貴, 松野安純, 土屋佳菜, 吉澤一家, 芹澤(松山)和世: 山中湖の水草類の生態, 特に透明度と分布の関係—2008年—, 日本藻類学会第33回大会, 沖縄, 2009
- 3) 芹澤(松山)和世, 中野隆志, 安田泰輔, 加藤将, 野崎久義, 吉澤一家, 夏目雄貴, 松野安純, 土屋佳菜, 芹澤如比古: 富士五湖の水生植物植生—2008年の山中湖の水平・垂直分布—, 第10回富士山セミナー, 山梨, 2008
- 4) 芹澤如比古, 夏目雄貴, 松野安純, 土屋佳菜, 吉澤一家, 高橋一孝, 永坂正夫, 芹澤(松山)和世: 山中湖の水生植物・大型藻類の水平・垂直分布について—2008年—, 日本陸水学会甲信越支部会第34回研究発表会, 長野, 2008
- 5) 芹澤(松山)和世, 芹澤如比古, 中野隆志, 安田泰輔, 吉澤一家: 山中湖における水草・大型藻類—2007年—, 水草研究会第30回全国集会, 千葉, 2008
- 6) 芹澤(松山)和世, 芹澤如比古, 吉澤一家: 最近の山中湖における水草・大型藻類, 日本藻類学会第32回大会, 東京, 2008
- 7) 吉澤一家, 小田切幸次: 山中湖における漂流グイによる湖流調査, 第42回日本水環境学会年会, 名古屋, 2008
- 8) 吉澤一家, 小田切幸次: 山中湖の閉塞的な水域での湖流と湖上風, 日本陸水学会甲信越支部会第34回研究発表会, 長野, 2008



自環境境のもたらず  
保健休養上の効用に関する研究



# 自然環境の発する音（超高周波数音）が人に与える影響

<sup>1</sup>環境科学研究所・<sup>2</sup>工業技術センター

石田 光男<sup>1</sup>・齋藤 順子<sup>1</sup>・永井 正則<sup>1</sup>・岩間 貴司<sup>2</sup>・山田 博之<sup>1</sup>

## Health Promoting Effects of Natural Resources

### Psychophysiological Studies on the Effects of Ultrasonic Sounds in Natural Environments

<sup>1</sup>Institute of Environmental Sciences, <sup>2</sup>Industrial Technology Center

Mitsuo ISHIDA<sup>1</sup>, Junko SAITOH<sup>1</sup>, Masanori NAGAI<sup>1</sup>, Takashi IWAMA<sup>2</sup>, and Hiroyuki YAMADA<sup>2</sup>

#### 要 約

本研究の目的は、自然環境音に含まれる超音波成分が人に及ぼす生理的・心理的影響を明らかにすることである。本年度は、さまざまな環境下で採取した音に含まれる超高周波数成分（20kHz以上）を分析した。コンデンサーマイクロホン（MI-1531, 小野測器製）を用いて、森林環境音（溪流、葉擦れ音、鳥のさえずり等）と非森林環境音（市街地、室内等）を記録し、サンプリング周波数192kHzにて音響信号をデジタル変換した。高周波数音帯域の振幅スペクトルを評価するため、音響信号にFFTを施した。その結果、溪流、滝、枯葉の葉擦れ音に含まれる20～30kHzの周波数帯域スペクトルが、非森林環境よりも10dB以上大きいことがわかった。音源との距離が長くなると超高周波数音は減衰した。青葉の葉擦れや小鳥のさえずりなどのその他の森林環境音には高周波成分がほとんど含まれていなかった。今回の結果から、水流の周辺に滞在したり枯葉の上を散策したりする時に、人が超高周波数音に接していることがわかった。

#### Abstract

The aim of the study is to clarify the effects of ultrasonic sounds in natural environments on physiological and psychological functions in humans. We have identified the frequencies and intensities of the ultrasonic components, over 20 kHz, within acoustic data recorded at various environments. Environmental sounds in forests (streams, waterfalls, leaves fractioning, warbling of birds, etc.) and outside forests (urban area, office room, etc.) were collected by means of condenser microphones (MI-1531, Ono Sokki) and digitized at 192 k Hz sampling rate. Fast Fourier transform (FFT) analysis showed that the spectral power of 20 to 30 kHz in the sounds of streams, waterfalls, and fractioning of fallen leaves was greater than that of non-forest environments by 10 dB. The power of ultrasonic components decreased as the distance from the sound sources increased. In the forest environments, however, warbling of birds and fractioning of green leaves did not contain any detectable components of ultrasonic range. The present study revealed that humans are exposed to ultrasonic sounds as they are standing by water streams and walking on fallen leaves.

#### 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<sup>1)</sup>、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。本研究室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<sup>2)</sup>。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。

音響要因として、超高周波音（20kHz以上）の聴取はリラクゼーション作用をもたらすことが示唆されてき

た。例えば可聴域音に超高周波音を加えて呈示すると、 $\alpha$ 波の出現頻度が増加することが報告されている<sup>3)</sup>。このような超高周波数音は人に意識（知覚）されることはないが、骨伝導技術による呈示は、脳における聴覚処理活動に影響を与えることも報告されている<sup>4)</sup>。

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希である音源が存在する。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。そこで本サブテーマでは、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する。本年度は「森林環境中で発生する超高周波数成分を



測定・分析」を中心に実施する。

これらの研究成果は、保健o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。

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)	データ記号	
森林	環境科学研究所 晴天 小鳥のさえずりを含む	65	F1	
	環境科学研究所 降雨 小雨程度	64	F2	
	高遠青少年自然の家 (長野県伊那市)	青葉の葉擦れ (微風)	60	F3
		枯葉の葉擦れ (歩行)	65	F4
		静観	65	F5
森林 + 水流	鹿留川 (都留市) 川辺から3m付近	70	W1	
	本谷川 (増富町) 川辺から3m付近	71	W2	
	昇仙峡 仙娥滝 滝から40m付近	69	W3	
	板敷渓谷 大滝 滝から10m付近	72	W4	
非森林	環境科学研究所 通路 (室内)	57	I1	
	環境科学研究所 ホール	60	I2	
	富士パインズパーク 芝生	68	O1	
	富士吉田合同庁舎 駐車場	70	O2	



写真1 調査地の風景。上段がF4、下段がW2の風景である(表1参照)

### 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(小野測器, AU-2200)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(写真2)。デジタル騒音計(アズワン製: SM-325)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、



写真2 測定機器の設置

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。

### 3. 結果

#### 3-1 森林環境における周波数特性

調査地における音響データの周波数特性について検討するため、1k~96kHzまでの帯域の振幅スペクトルを図示した。なお縦軸は最大値を0 dBとしたときの相対値を表記した。横軸の周波数は対数表記である。そして20kHz以上の超高周波成分の振幅スペクトルについて要因ごとに比較した。

##### 3-1 (1) 晴天と雨天

同じ森林環境であっても、天候によって音環境は大きく変化する。図1に調査データF1とF2の振幅スペクトルを示した。小雨では、10kHz以上の周波数帯域が晴天時に比べて高い振幅を示している。20kHz以上の帯域では、晴天時に比べ10~15dBほど強い。降雨時には、水が地面に接地するときに衝撃音が発せられる。F1には小鳥のさえずり等も含んでいるが、超高周波成分は検出されなかった。

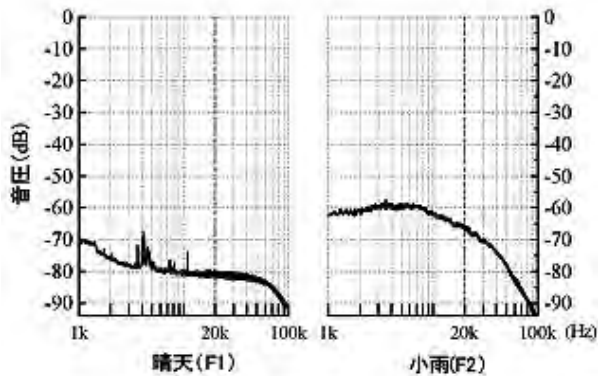


図1 天候による周波数特性の違い

##### 3-1 (2) 葉擦れ

森林散策中に存在する音源として、微風による青葉の葉擦れや歩行時の枯葉の葉擦れなどがある。図2に調査データF3, F4, F5の振幅スペクトルを図示し、静観と葉擦れ音の高周波帯域の周波数特性と比較した。静観と青葉の葉擦れ音は、-80dB前後を示していることに対し、歩行時に発する枯葉の葉擦れ音では、-66dBの程度の振幅が観測できる。

##### 3-1 (3) 水流

森林内は傾斜があるため、滝・溪流の水流音は平地の緩流くらべ音圧が大きくなる。図3に調査データW1, W2, W3, W4の振幅スペクトル密度を示し、森林環境における水流音について比較した。概ね-60dB~-75dB程度の振幅が確認できる。溪流と滝を比べると騒音レベルの差は小さいが、高周波帯域では滝の方が大きい振幅

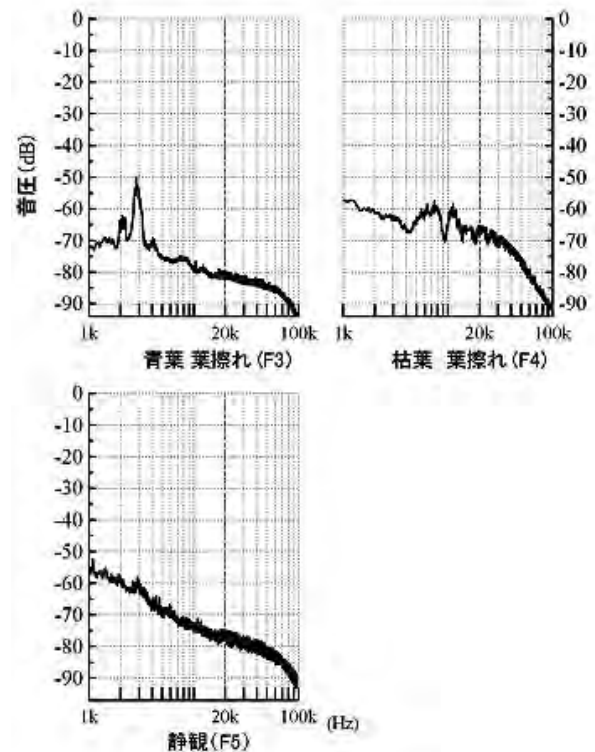


図2 葉擦れ音の周波数特性

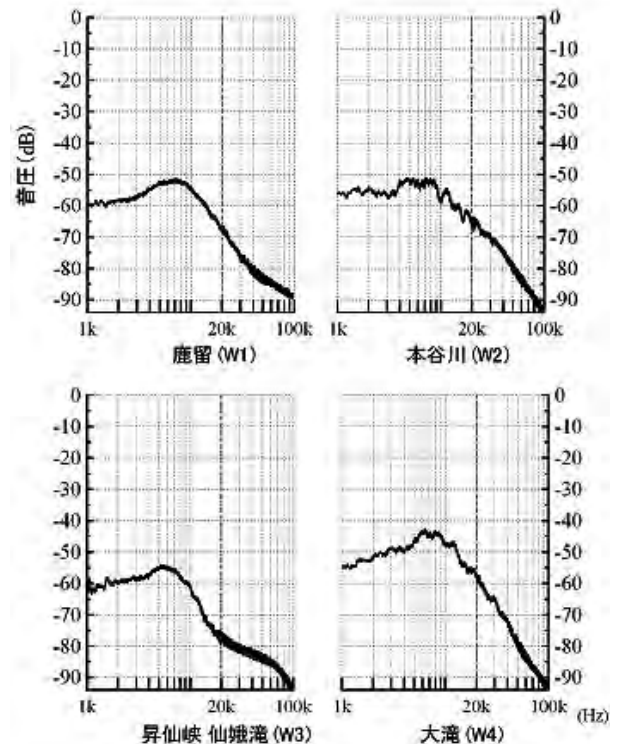


図3 水流による周波数特性

を示している。しかし音源から距離が離れている音響サンプル(W3)は、騒音レベルでは違いがないが、高周波成分では-80dB程度であった。後述するが、これは非

森林環境の高周波成分と同程度の振幅である。

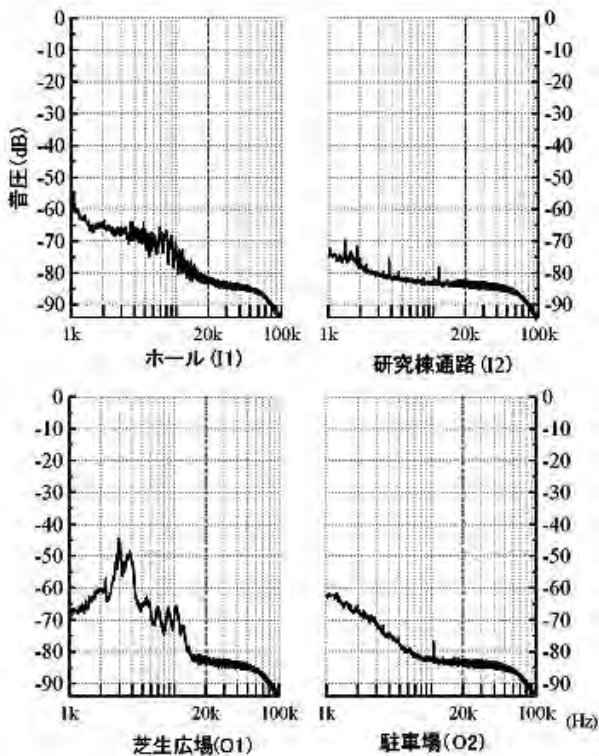


図4 非森林環境の周波数特性

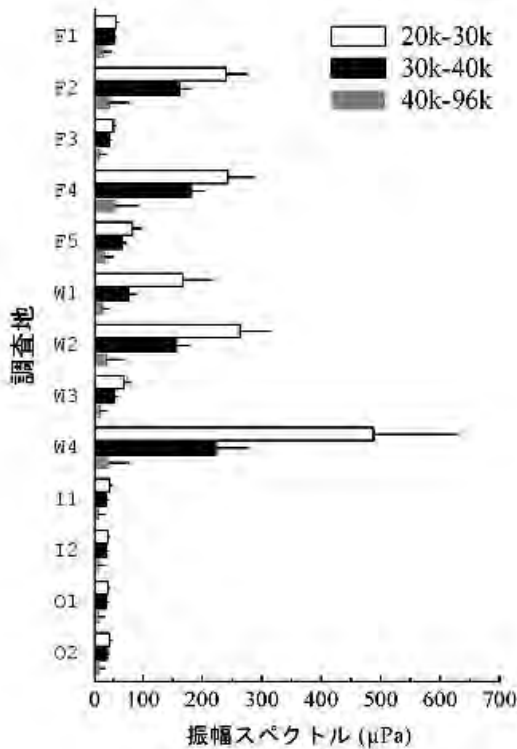


図5 超高周波音帯域の振幅スペクトルの比較。調査地記号の割り当ては表1参照のこと。

### 3-1 (4) 非森林環境

調査データI1, I2, O1, O2から、非森林環境における周波数特性を示した。高周波帯域においては概ね-85dB~-83dB程度の振幅が確認できる。この振幅は森林環境での超高周波成分の振幅に比べ低いといえる。

### 3-2 高周波成分の振幅スペクトル

超高周波数音の含有量を比較するため、20k以上30kHz未満(帯域1)、30k以上40kHz未満(帯域2)、および40kHz以上(帯域3)に分類し、各帯域の振幅スペクトルを平均した(図5)。その結果、帯域1と帯域2では調査地による振幅の違いが認められた。

帯域1において、森林の小雨(F2)、森林の歩行(F4)、溪流(W1, W2)に200 $\mu$ Pa前後の振幅が認められた。さらに滝(W4)では最も大きく400 $\mu$ Pa程度の振幅が確認できた。その他の調査地では、100 $\mu$ Pa以下であった。帯域2でも帯域1と同様の傾向にあるが、全体的に平均振幅は減少している。また帯域3については、全ての音響データに共通して振幅が小さく、調査地による差も殆どない。

## 4. 考察

超高周波数音は、歩行時の葉擦れ音、小雨、溪流、滝で多く観測され、その帯域は20k~40kHzの範囲であった。40kHz以上の超高周波数音は観測できなかった。溪流、滝周辺の音源は主に水流であるが、これらの音には超高周波数音を多く含んでいる。それに対して、非森林環境では超高周波数音を多く含む音は観測されなかった。すなわち森林環境における一部の音には、超高周波数音を含んでいることが特徴である。

可聴域音の騒音レベルが同程度であっても、高周波成分の振幅は条件によって増減する。例えば溪流よりも滝の方が高い振幅を示していた。これは滝の方が、着水する時の落下速度が速く衝撃も大きいことに由来すると予測できる。また同じ滝であっても、音源からの距離が離れることによって高周波成分は減衰してしまう。従って、水の落下速度や音源との距離の要因は、水流に含まれる超高周波数音の振幅に影響する。

森林歩行中の枯葉を踏みしめる葉擦れ音には、高周波成分が含まれていたが、風による青葉の葉擦れ音には含まれていない。枯葉の場合、地面とマイクロホンまでの測定距離が約1.5mとほぼ一定である。一方、青葉の場合、樹木の高さや枝の長さによって音源とマイクロホンとの測定距離が変わるため一定でない。そのため青葉は、枯葉に比べ高周波成分の距離減衰の影響を受けやすい。また青葉と枯葉では硬さも異なるため、硬さの違いが葉擦れ音の周波数特性にも影響する可能性がある。

## 5. 結 言

以前より森林を利用することによる健康維持効果が期待されており、現在その効果を支持する科学的データが提供されつつある。しかしながら、森林の音響環境に注目した研究は未だ行なわれていない。本研究では森林の音響・聴覚的要因の健康維持効果を検討することを目的とした。本年度は森林環境の音響特性を捉えるため、森林環境内の超高周波数音の有無について調査した。その結果、枯葉の葉擦れ、滝などいくつかの音に超高周波成分が含まれることが分かった。超高周波数音にはリラクゼーション作用があることが期待されており、今後は超高周波数音を含む森林環境音の心身の健康維持効果について検証をする予定である。

## 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) Oohashi T, et al. The role of biological system other than auditory air-conduction in the emergence of the hypersonic effect. *Brain Res.* 1073-1074, 339-347, 2006.
- 4) 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.



# 野生動物による被害の防除に関する研究



# 野生動物の被害管理に関する研究

山梨県環境科学研究所<sup>1</sup>・水産技術センター<sup>2</sup>・山梨県森林総合研究所<sup>3</sup>  
吉田 洋<sup>1</sup>・北原 正彦<sup>1</sup>・坪井 潤一<sup>2</sup>・長池 卓男<sup>3</sup>

## Wildlife Damage Management in Yamanashi Prefecture, Japan

Yamanashi Institute of Environmental Sciences<sup>1</sup>, Fisheries Technology Center<sup>2</sup>, Yamanashi Forest Research Institute<sup>3</sup>  
Yutaka YOSHIDA<sup>1</sup>, Masahiko KITAHARA<sup>1</sup>, Jun-ichi TSUBOI<sup>2</sup> and Takuo NAGAIKE<sup>3</sup>

### 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、2008年秋季には山梨県全域でブナ科堅果が不作であったこと、2008年の8月から9月までのツキノワグマの目撃情報が例年に比べ多かったことが、明らかになった。さらに、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137巣では雛の孵化を完全に抑制できた。一方、低木の10巣について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、7個体中5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、同コロニー内で滋賀県および愛知県で標識された3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 2008, 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, fagaceous nut harvests were poor, and from August to September 2008 there were many sightings of black bear throughout the prefecture. 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 137 nests in order to prevent the reproductive success. No hatching was observed in these nests. Besides these 137, 10 nests were left free from treatments and hatched chicks were banded with colored rings. Five out of 7 banded settled in the colony thereafter. Additionally, 3 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林にあるカワウ繁殖コロニー (下曾根コロニー) において、極少数の孵化した雛について移動分散を追跡し、併せて富士川水系外からの移入個体について調査した。

## 2. 調査方法

### 2-1 モンキーダッグ導入の効果測定

調査は2008年12月~2009年1月の2ヶ月間、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) をモンキーダッグ「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、かつモンキーダッグ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79.6mのサル用電気柵を設置した。柵の下部はワイヤーメッシュ (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ス法を用いて (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月に2回実施した。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。

### 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 (溝口ほか, 1996; 橋本・高槻, 1997)、豊凶を把握するために、北杜市 (2ヶ所・8個)、増穂町 (1ヶ所・4個)、鰍沢町 (2ヶ所・8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・4個) にプロットおよびシートトラップを設置し、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1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。

### 2-7 カワウの繁殖抑制

2008年4月2日から6月19日までの10日間、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、2008年は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。

### 2-8 孵化した雛の標識および追跡

ごく一部の巣（10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5月10日、6月19日、7月9日に標識を行った（図1）。標識を装着後、高倍率（50倍）のフィールドスコープ（Nikon社 ED82）を用いて、下曽根コロニーにおいて標識個体の探索を毎月1回行った。



図1 雛への標識装着

## 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の出動回数は7回で、調査時の体感気温は0℃～9.6℃、積雪はなかった。GPSの測位率は100%と大変高く、総ロケーションポイントは6,693点とれた。また、サル追払い時のモンキードッグ平均出動時間は1時間13分27秒、平均

走行距離は5.6km、平均標高差は70.6m、平均最高速度は32.2km/hrであった。

データを詳細にみると、12月までは出動時間が約45分と短かったが、1月になると約110分と長くなった。さらに、12月中旬までは、モンキードッグは斜面を低く1回登るだけであったが、12月下旬以降は、複数回斜面を登り、かつ1回目よりも最終回のほうが斜面を高く登る傾向があった。

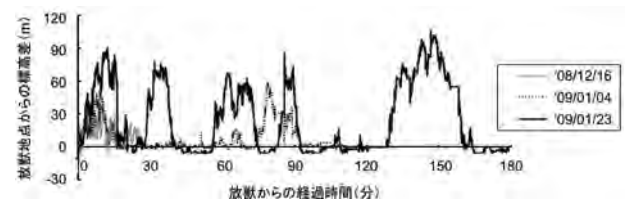


図2 サル追払い時におけるモンキードッグ「ラッキー」の標高移動（2008年12月～2009年1月）

表1 サル追払い時におけるモンキードッグ「ラッキー」の移動距離と追払い時間（2008年12月～2009年1月）

日付	標高差 m	時間	走行距離 km
2008年12月10日	30	44分10秒	3.1
2008年12月16日	45	28分15秒	2.7
2008年12月24日	103	1時間10分58秒	4.6
2008年12月25日	60	39分20秒	3.7
2009年1月4日	59	1時間57分00秒	8.1
2009年1月8日	91	1時間07分30秒	5.7
2009年1月23日	106	2時間26分56秒	11.3

### 3-2 サル用電気柵の効果測定

電気柵を設置してから10ヶ月を経た2月現在、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1.1頭/kmで、過去に同じルートで実施された調査結果と、ほぼ同水準であった。

### 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、本年度ミズナラ堅果およびイヌブナ堅果は、全体的に不作であったと推測する。しかしながら、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。

### 3-5 ツキノワグマの日撃情報の解析

2009年1月現在、クマの日撃は61件と、大量出没年であった2006年度ほどではないが、通常年に比べ多い

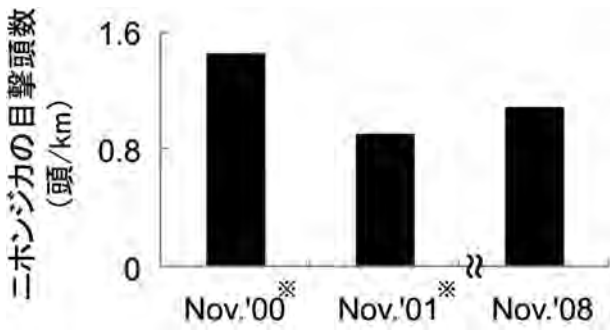


図3 ライトセンサスによるニホンジカの日撃頭数 (頭/km) の年変動 (2000年11月~2008年11月)  
※) 姜・北原 (2003) より作成

表2 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/m<sup>2</sup>)

観察年	地域	個/m <sup>2</sup>	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	増穂	10	本研究
2008	富士河口湖	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)
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 (2008)
2008	北杜	7	本研究
2008	増穂	2	本研究
2008	鯉沢	0.1	本研究
2008	山中湖	22	本研究
2008	富士河口湖	3	本研究

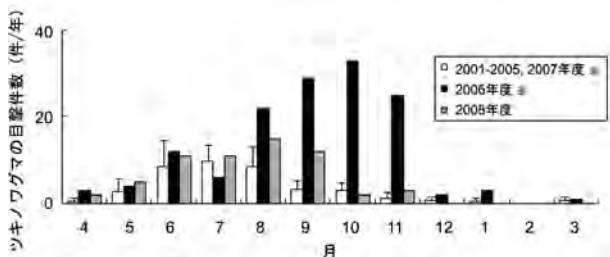


図4 山梨県内における月別ツキノワグマの日撃件数 (2001年4月~2009年1月)  
※) 吉田 (2007b) より作成

傾向がある (吉田, 2007b). なかでもとくに, 8月と9月の目撃件数が例年より多い.

### 3-6 カワウの繁殖抑制

2008年の繁殖期は短く, 擬卵置き換え後の産み足しがほとんどみられなかったため, 6巣でのみドライアイス処理を行った. その結果, 雛は全く孵らず, 繁殖を完全に抑制できた (表1). コロニー全体でも, 繁殖抑制を行った巣では雛が全く孵らなかった.

表3 2008年の下曽根コロニーにおける繁殖成績

処 理	巣数	雛が孵化した巣数	孵化雛数	巣立ち雛数
擬卵	131	0	0	0
ドライアイス	—	—	—	—
擬+ドライ <sup>1</sup>	6	0	0	0
未処理	10	10	26	8
計	147	10	26	8

<sup>1</sup> 初回に擬卵, 産み足し卵に対する処理ではドライアイスを用いた

### 3-7 孵化した雛の標識および追跡

10巣のうち7巣で, 孵化後15日目前後の大きさまで成長した雛を観察することができた. これら7巣のうち, 1巣については, 巣の位置が高すぎて雛を捕獲できなかったため, 6巣にいた11個体の雛に標識を装着した (図1, 表2).

その後の調査で, 11個体のうち7個体が巣立ち, うち5個体は巣立ち後 (9月以降) も下曽根コロニーで観察された (図2, 表2). また, 下曽根コロニーで標識された個体のほかに, 愛知県 (2個体) および滋賀県 (1個体) で標識された個体が観察された.



図5 巣立ち後に観察されたカワウ

表4 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.	右足 カラー	左足 メタル	左足 コイル リング	右足 カラー	直近の 観察記録
1	2008/5/10	E1	0T2	13B3911	黄色コイル	0T2 死亡
2	2008/5/10	E1	0T3	13B3912	黄色コイル	0T3 死亡
3	2008/5/10	F14		13B3913	黄色コイル	死亡
4	2008/6/19	F89	2T4	13B3914	黄色コイル	2T4 2008年 8月20日確認
5	2008/6/19	F90	2T5	13B3915	黄色コイル	2T5 2009年 3月23日確認
6	2008/7/9	F120	2T8	13B3916	黄色コイル	2T8 2008年 10月15日確認
7	2008/7/9	F120	2T6	13B3917	黄色コイル	2T6 2009年 3月23日確認
8	2008/7/9	F120	2T7	13B3918	黄色コイル	2T7 2008年 10月15日確認
9	2008/7/9	F111	2T2	13B3919	黄色コイル	2T2 死亡
10	2008/7/9	F111	2T9	13B3920	黄色コイル	2T9 2008年 8月27日確認
11	2008/7/9	F111	3T2	13C1961	黄色コイル	3T2 2008年 10月15日確認

## 4. 考 察

### 4-1 モンキードッグ導入の効果測定

移動追跡調査の結果は、モンキードッグに対して、サルに「慣れ」が生じたためと考える。つまり、追払いを始めた当初は、サルはモンキードッグに追いかけるられると、短時間で一気に集落から離れていたが、何度かモンキードッグに追いかけるられるうちに、モンキードッグの様子を見ながらと集落から離れるようになったためと考える。以上のことから、サルに「慣れ」が生じると、追払いにかかる時間および距離が長くなるが、サルが集落近くにとどまる限り、モンキードッグは何度でも追いかけるため、被害防除機能が発揮されているといえる。

### 4-2 サル用電気柵の効果測定

1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から、当時に比べシカの生息頭数に、大きな変化はないと推測する。しかしながら、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、本年度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。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、全県的な不作の要因は、不明なままである。

### 4-5 ツキノワグマの目撃情報の解析

本年度のクマの目撃件数は、大量出沒年ほどではないが、通常年に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沒しておらず(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、ミズナラ堅果が不作であった。また、クマの出沒が多かった8月~9月は、ミズナラ堅果が成熟する時期である。そのため、クマの目撃件数には、ミズナラの全県的な不作が、影響した可能性がある。

### 4-6 カワウによる被害の防除

本研究ではカワウの繁殖コロニーにおいて繁殖抑制を行い、処理を行った137巣全てで雛の孵化を阻止できた。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、11個体の標識個体のうち7個体が巣立ち、うち5個体は巣立ち後も下曽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。また、愛知県および滋賀県で標識された個体が3個体のみではあるが観察されたため、富士川水系以外からカワウが移入していることが示唆された。

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。

繁殖抑制実験を行っているコロニー周辺では、食害が顕著である魚類はアユのみ(天然遡上は皆無)である。繁殖抑制による放流アユの食害軽減額を算出したところ、166万円(孵化するはずだった雛249個体×雛の一日の捕食量0.386kg×孵化までの日数45日×富士川水系で捕獲されたカワウ胃内容物に占めるアユの割合10.95%×アユの放流種苗単価3500円/kg)と推定された。

## 5. 結 言

### 5-1 野生哺乳類による被害管理

すべての研究成果においていえることではあるが、初

年度ということもあり、研究期間が短く、サンプル数が少ないため、研究成果の傾向を示すには不十分である。科学的な知見を得るには、より長い期間での研究が必要である。

### 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、繁殖抑制処理を行った137巣では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。

### 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) Hiroki S. and T. Matsubara：Ecological Research Vol.10, P.161-169 (1995)
- 5) 姜 兆文, 北原正彦：山梨日日新聞, 7月19日連載記事 (2003)
- 6) Kanazawa W.：Japanese Journal of Ecological Research Vol.32, P.325-331 (1982)
- 7) 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)
- 8) 正木 隆, 柴田銃江：日本生態学会誌, Vol.55, P.359-369 (2005)
- 9) 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)
- 10) 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)
- 11) 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)
- 12) 長井真隆：富山の生物, Vol.37,P.17-22 (1998)
- 13) Sork VL., Bramble J. and Sexton O.：Ecology Vol.74, P.528-541 (1993)
- 14) Oka T., Miura, S., Masaki, T., Suzuki, W., Osumi,

K., Saitoh, S.：Journal of Wildlife Management Vol.68, P.979-986 (2004)

- 15) Platteeuw M., K. Koffijberg, and W. Dubbeldam：Ardea,Vol.83,P.235-245 (1995)
- 16) 坪井潤一, 桐生 透：日本鳥学会誌, Vol.56, No.1, 33-39 (2007)
- 17) 和田一雄, 今井一郎：野生生物保護, Vol.7, P.99-110 (2002)
- 18) 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)
- 19) 吉田 洋：山梨県環境科学研究所研究報告書, Vol.17, P.5-10 (2007a)
- 20) 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, 2009 (印刷中)

#### 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モンキーダッグの移動追跡, 応用動物行動学会2009年度春季研究発表大会, 神奈川県藤沢市, 2009

# 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



# 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1報)

工業技術センター・<sup>1</sup>富士工業技術センター・<sup>2</sup>国立大学法人 山梨大学・<sup>3</sup>株式会社 中家製作所  
<sup>4</sup>有限会社 塚原製作所  
萩原 茂・河野 裕・木島 一広・阿部 治・八代 浩二・石田 正文・高尾 清利・小松 利安  
佐野 正明<sup>1</sup>・寺澤 章裕<sup>1</sup>・松本 俊<sup>2</sup>・秋津 哲也<sup>2</sup>・鍋谷 暢一<sup>2</sup>・村中 司<sup>2</sup>・望月 英昭<sup>3</sup>  
平木 哲<sup>3</sup>・藤川雄一郎<sup>3</sup>・深沢 明広<sup>3</sup>・下玉利 玲<sup>3</sup>・古川 英明<sup>3</sup>・清水 勝<sup>3</sup>・岡田 智視<sup>3</sup>  
塚原 文仁<sup>4</sup>・三井 久夫<sup>4</sup>

## Development of Deposition Process and Study on Effective Applications of Transparent Conductive Zinc Oxide Films (1st report)

Yamanashi Prefectural Industrial Technology Center, <sup>1</sup>Fuji Industrial Technology Center, <sup>2</sup>University of Yamanashi, <sup>3</sup>Nakaya Ltd., <sup>4</sup>Tsukahara Ltd.

Shigeru HAGIHARA, Hiroshi KONO, Kazuhiro KIJIMA, Osamu ABE, Koji YATSUSHIRO, Masafumi ISHIDA, Kiyotoshi TAKAO, Toshiyasu KOMATSU, Masaaki SANO<sup>1</sup>, Akihiro TERASAWA<sup>1</sup>, Takashi MATSUMOTO<sup>2</sup>, Tetsuya AKITSU<sup>2</sup>, Yoichi NABETANI<sup>2</sup>, Tsutomu MURANAKA<sup>2</sup>, Hideaki MOCHIZUKI<sup>3</sup>, Satoshi HIRAKI<sup>3</sup>, Yuichiro FUJIKAWA<sup>3</sup>, Akihiro FUKASAWA<sup>3</sup>, Akira SHIMOTAMARI<sup>3</sup>, Hideaki FURUKAWA<sup>3</sup>, Masaru SHIMIZU<sup>3</sup>, Tomoji OKADA<sup>3</sup>, Fumihito TSUKAHARA<sup>4</sup> and Hisao MITSUI<sup>4</sup>

### 要 約

各種プラスチック素材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。またガラス基板上に成膜した酸化亜鉛膜の密着性および硬さを評価したところ、市販の酸化インジウムスズ膜と同等の性能を有していることがわかった。

### Abstract

We evaluated wettability of several plastic sheets cleaned with plasma, then we found that polyethylene naphthalate (PEN) sheets are most wettable. And we found that adhesion and hardness of zinc oxide films on glass substrates are equivalent to indium tin oxide films.

### 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<sup>1)2)</sup>。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<sup>3)4)</sup>。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。また応用製品としてフレキシブルシートを使用した液晶ディスプレイの試作を行う計画である。

平成19年度にプレ研究として、プラズマ洗浄装置の開発を行った。また平成20年度は、耐熱性プラスチック基板の選定、プラスチック基板表面の洗浄法の検討、膜質評価および液晶ディスプレイの試作について検討した。

## 2. 実験方法

### 2-1 プラズマ洗浄装置の開発

開発したプラズマ洗浄装置の概要、外観および主な仕様を、図1、図2および表1にそれぞれ示す。2枚の並行平板電極に、インピーダンス整合を行うマッチングボックスと直流阻止コンデンサを通して高周波電力を加えることで、プラズマを発生させる容量結合型プラズマ発生装置<sup>5)</sup>とした。RF電源には、周波数13.56MHz、定格出力500Wの株式会社アルバック製RFS-1305A3を使

用した。またRF電力を高効率で注入するためにインピーダンス整合を行うマッチングボックスには、株式会社アルバック製MBX-1305Aを使用した。真空容器はアルミニウム製とし、真空ポンプを接続するポート、ピラニ真空計を接続するポートおよびプロセスガスを導入するポートを設けた。真空ポンプは排気速度毎分50リットルの油回転ポンプを使用した。プロセスガスとして酸素とアルゴン使用し、ガス供給量を調整できるように接続ポートに流量計を接続した。

表1 開発したプラズマ洗浄装置の主な仕様

真空容器	材質	アルミニウム
	内部寸法	700mm×550mm×70mm
電極	材質	アルミニウム
	寸法	550mm×450mm×5mm
油回転ポンプ	排気速度	毎分50リットル
	到達圧力	$6.7 \times 10^{-2}$ Pa
RF電源	発振方式	水晶発振
	周波数	13.56MHz
	定格出力	500W
マッチングボックス	整合方式	可変コンデンサ (自動マッチング可)

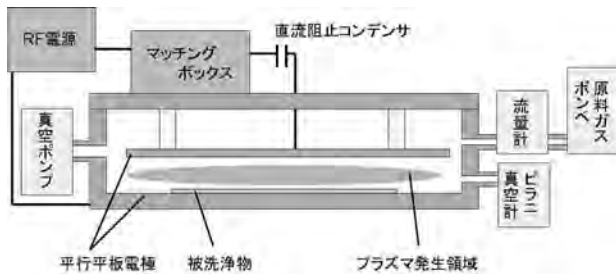


図1 開発したプラズマ洗浄装置の概要



図2 開発したプラズマ洗浄装置の外観

### 2-2 耐熱性プラスチック基板

耐熱性プラスチック基板の材料として、フレキシブルシートとして使用されているポリエチレンナフタレート (PEN)、ポリエチレンテレフタレート (PET) およびポリカーボネート (PC) のシートをプラズマ洗浄実験の対象とした。また比較のために耐熱性素材であるポリイミド (PI) のシートに対してもプラズマ洗浄実験を行った。各シートの仕様を表2に示す。

### 2-3 プラズマ洗浄実験

開発したプラズマ洗浄装置により、耐熱性プラスチック基板にプラズマ洗浄処理を行うことで、ぬれ性がどの

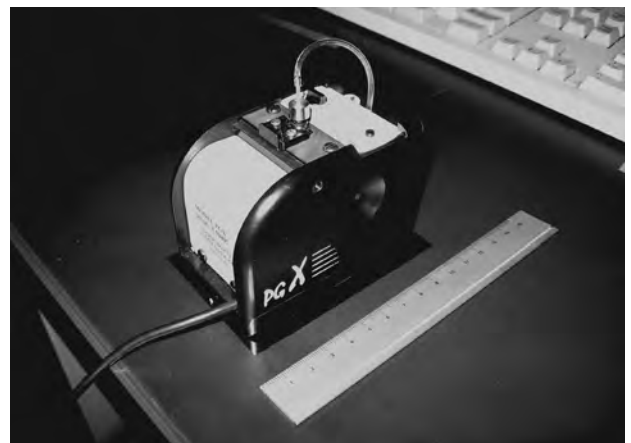


図3 接触角計

表2 フレキシブルシートの仕様

	製品名	メーカー名	連続使用温度	ガラス転移点	融点	絶縁破壊電圧 (kV/mm)	誘電率 (@1kHz)	厚さ ( $\mu\text{m}$ )
ポリエチレン ナフタレート (PEN)	テオネックス Q51	帝人デュボン フィルム	180℃ (電氣的) 160℃ (機械的)	155℃	269℃	300	2.9	100
ポリエチレン テレフタレート (PET)	メリネックスS	帝人デュボン フィルム	105℃	110℃	258℃	280	3.1	100
ポリカーボネート (PC)	ECG100	住友 バークライト	120℃ (条件による)	140℃ 前後	240℃	14.8	2.9	100
ポリアミド (PI)	カプトン300V	東レ・ デュボン	240℃ (電氣的) 200℃ (機械的)	—	—	339	3.4	75

ように変わるのか実験を行った。プロセスガスは、酸素およびアルゴンを用い、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、洗浄処理を行った。洗浄処理は0, 5, 10, 30または60秒間行い、処理直後および3時間大気中に放置した後のぬれ性の評価を行った。

ぬれ性の評価にはFIBRO System AB社製の接触角計 Model PGXを使用した。装置の外観を図3に示す。プラズマ洗浄処理を行ったプラスチック基板上に4 $\mu\text{l}$ の純水を静的に滴下し、その液滴の接触角を測定した。接触角が小さいほどぬれ性が良いということになる。

#### 2-4 膜質評価

透明導電膜は、液晶ディスプレイなどに使用されるが、機械的性能として導電膜と基板との密着度および導電膜の硬さが要求される。本研究では、ガラス基板上に成膜したZnO膜3サンプル(サンプル名GZO1, GZO2およびGZO3、膜厚はいずれも数百nm程度)について、基板と膜との密着性および膜表面の押し込み硬さを測定した。また比較のため、ガラス基板上に成膜したITO膜2サンプル(サンプル名ITO1およびITO2)についても測定を行った。ITO1およびITO2の膜厚は、それぞれ約200nmおよび約100nmである。

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3回測定を行い、その平均値を測定結果とした。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<sup>6)</sup>であり、測定方法はJIS R3255に規定されている<sup>7)</sup>。膜の剥離の検出は、スタイラスの振動を電気信号に変換するカートリッジからの出力信号(以下カートリッジ信号と記す。)を用いて行っている。剥離現象がはっきりと現れない膜の場合には、カートリッジ信号のフーリエ変換を応用した変換信号(以下フーリエ信号と記



図4 超薄膜スクラッチ試験機

表3 スクラッチ試験の条件

スクラッチ速度	10 $\mu\text{m/s}$
バネ定数	100g/mm
スタイラス径	5 $\mu\text{m}$
励振レベル	100 $\mu\text{m}$
測定終了荷重	100mN
測定終了時間	60秒

す。)をもとに剥離を判断する<sup>8)</sup>。試験機の外観を図4に、また試験条件を表3に示す。

膜表面の押し込み硬さの測定は、微小押し込み硬さ試験機(アジレント・テクノロジー株式会社製 ナノインデントーG200)を使用して16回測定を行い、その平均値を測定結果とした。この試験機は、膜表面にBerkovich型圧子を押し込んだときの最大荷重を圧子投影面積で除することにより、押し込み硬さを測定するものである。つまり、押し込み硬さは膜表面が支える平均圧力ということになり、単位はPaとなる。測定方法はISO14577に規定されている<sup>9)</sup>。本試験機のように圧子を押し込んで硬さを測定する場合、下地の基板の影響を受けないようにする必要がある。そのためには、膜と同程度の硬さの基板上に、押し込み深さに比べて十分に厚

い膜を成膜したサンプルを用いて測定するのが望ましいが、薄膜の場合には、圧子の押し込み量が膜厚の20%以下であれば下地の影響無しに硬さが測定できるという経験則が知られている<sup>10)</sup>。今回最も膜厚の薄いサンプルはITO2で約100nmである。そこで、押し込み量が膜厚の20%である20nm以下となるように、最大荷重を10mgfとして試験を行った。また比較のためスライドガラスでも試験を行った。試験機の外観を図5に、また試験条件を表4に示す。



図5 微小押し込み硬さ試験機(左：外観 右：測定部)

表4 押し込み硬さ試験の条件

最大荷重	10mgf
荷重印加時間	15秒
最大荷重保持時間	10秒
許容ドリフト速度	0.05nm/s
ポアソン比	0.25
除荷割合	90%

### 3. 結果と考察

#### 3-1 プラズマ洗浄実験

PENシートの接触角測定時の液滴の様子を図6に示す。プラズマ洗浄を行うことにより、接触角が小さくなり、大気中に3時間放置した後も、ぬれ性を維持していることがわかる。プラズマ洗浄後の接触角の測定結果を図7および図8に示す。図7は処理直後の測定結果であり、図8は3時間大気中に放置した後の測定結果である。凡例ではシート名とプロセスガスを表示しており、PENシートに酸素プラズマによる洗浄を行った場合にはPEN\_O2、PENシートにアルゴンプラズマによる洗浄を行った場合にはPEN\_Arと表記した。

プラズマ処理前のぬれ性は、PC<PET<PI<PENの順であり、プラズマ処理10秒後の濡れ性は、PC<PET<PEN<PIとなった。またプロセスガスには酸素を使用したほうがぬれ性が良くなること、処理時間は10秒

で十分でありそれ以上長くしてもぬれ性はあまり変わらないことがわかった。プラズマ洗浄直後はぬれ性が最も良く、その後大気中に放置している時間に応じて、徐々に悪化していく。しかし大気中に3時間放置した後も接触角は、未処理の状態と比較して、PENで約4割、PET、PCで約6割の値を維持している。成膜前にプラズマ洗浄を行うことにより、基板のぬれ性が向上し、成膜時間の短縮や密着性の向上などが期待される。実験の結果、ぬれ性が最も良いのはPENであり、耐熱温度もPET、PCよりも高いため、基盤材料としてはPENが最も適していると思われる。今後プラズマ処理の有無により、成膜時間や密着性に変化が現れるかを検証する。



図6 PENシートの接触角測定時の液滴の様子  
(左) 処理前 (中央) 酸素10秒処理 直後  
(右) 酸素10秒処理 3時間放置後

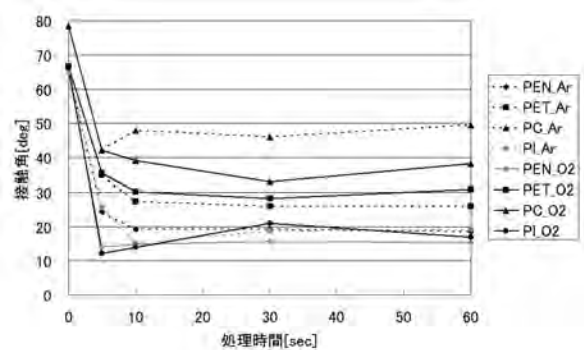


図7 接触角のプラズマ洗浄時間依存  
(大気中の放置時間0の場合)

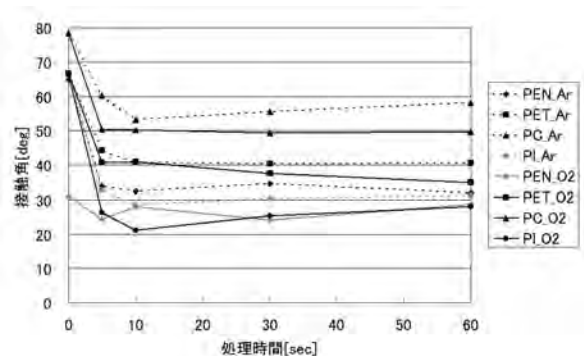


図8 接触角のプラズマ洗浄時間依存  
(大気中の放置時間3時間の場合)

### 3-2 密着性評価

図9にサンプルGZO2のカートリッジ信号、フーリエ信号および印加荷重値の時間変化を示す。剥離が発生した場所は、カートリッジ信号に加えて、膜面の様子を観察することで行う必要がある<sup>7)</sup>ため、膜面の様子もあわせて示す。カートリッジ出力信号の変化と膜の状態から、膜全体が剥離した場所(図9中の②)が特定でき、そのときの印加荷重値(図9中のa)を読み取ることができる。また、カートリッジ信号には特に変化は見られないが、フーリエ信号が急激に変化している点があり、このときの膜の状態を観察すると、膜面がわずかに変色し、剥離が始まっている様子がわかる(図9中の①)。このことから部分剥離が開始したときの印加荷重値(図9中のb)を求めることができる。このようにして求めた剥離時の印加荷重値を表5に示す。また、各サンプルの膜面の様子を図10に示す。

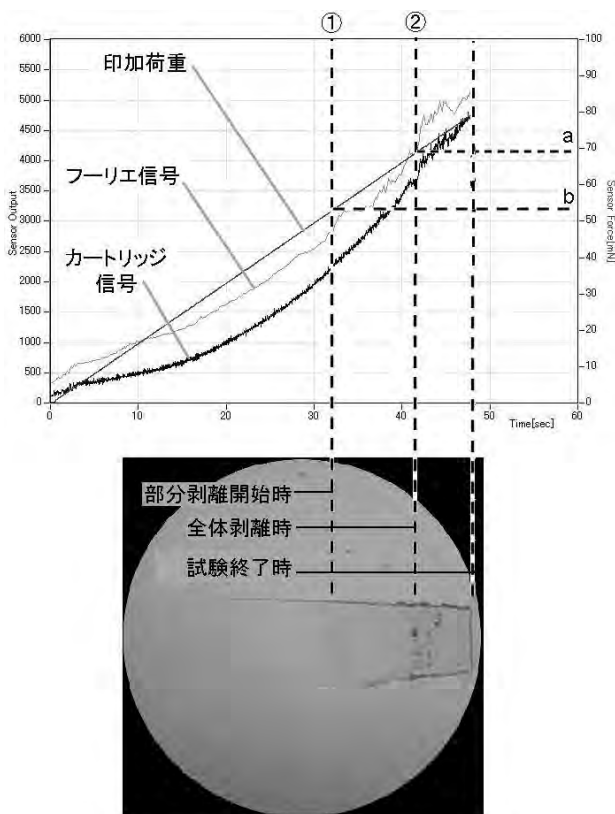


図9 GZO2のカートリッジ信号、フーリエ信号および印加荷重値の時間変化とそのときの膜面の様子

表5に示すように、GZO1およびGZO2の部分剥離開始時および全体剥離時の荷重値はITOと同等もしくはそれ以上であることがわかった。また本試験機メーカーのホームページに掲載されているITO膜の測定事例によると、全体剥離時の荷重値は43.0mNであり<sup>11)</sup>、GZO1およびGZO2の剥離時の荷重値はこの値よりも大きい。そのため、GZO1およびGZO2についてはITOと同等もしくは

はそれ以上の密着性を有していることがわかった。また図9および図10に示すように、GZO1、GZO2、ITO1およびITO2では、部分剥離が起きた後に、全体剥離が起きており、剥離の挙動も一致している。しかしGZO3は、全体剥離時の荷重値がGZO1およびGZO2の約1/3と小さい値であり、全体が一気に剥離している。今回のサンプルは成膜時にプラズマ洗浄を行っていないため、ガラス表面に汚れがあった場合には、ガラス基板とGZO膜の密着性が弱くなっている可能性がある。今後プラズマ処理の有無により、密着性に変化が現れるかを検証すること、およびプラスチック基板上に成膜したZnO膜の密着性を評価することが課題である。

表5 スクラッチ試験の結果

	剥離荷重 (mN)	
	部分剥離開始時	全体剥離時
GZO1	54.5	66.6
GZO2	53.5	69.0
GZO3	—	23.0
ITO1	43.9	59.9
ITO2	51.5	67.2

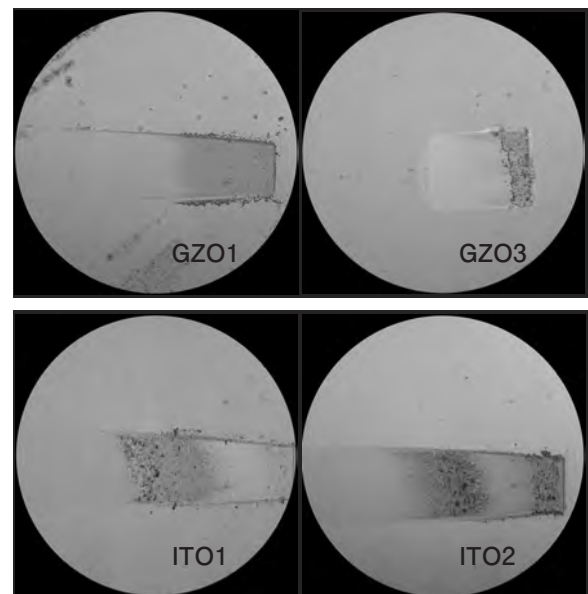


図10 スクラッチ試験を行った膜表面の様子

### 3-3 押し込み硬さ測定

図11および図12に、GZO1およびGZO3における、印加した荷重に対する押し込み深さの測定結果をそれぞれ示す。各測定において16回測定を行っているが、膜表面に凹凸がなく均質な膜であれば、図11に示すように安定した荷重-押し込み深さ曲線が得られる。しかし、膜表面に凹凸があったり、均質な膜が得られていない場合には、図12に示すように荷重-押し込み深さ曲線

にばらつきが見られる。押し込み硬さ測定を行った各サンプルの表面の様子を図13に示す。GZO3では膜が付いていない部分が多数あり、膜質が均一でないことがわかる。またスライドガラスの表面には無数の線状のくぼみがあることがわかる。

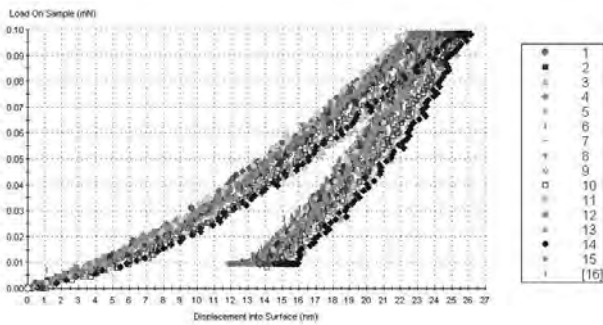


図11 GZO1における荷重-押し込み深さ曲線

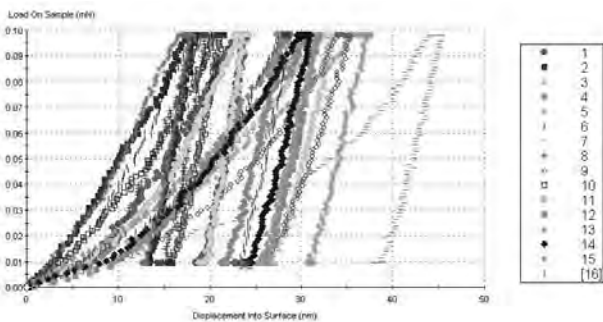


図12 GZO3における荷重-押し込み深さ曲線

これらサンプルの押し込み硬さの測定結果を図14に示す。押し込み硬さに加えてそのときの最大押し込み深さもプロットした。各サンプルで16回測定を行っており、その平均値を示してある。最大押し込み深さはいずれも膜厚の20%以下になっており、妥当な測定が行えている。酸化亜鉛膜の押し込み硬さは、ITOには若干劣るが、スライドガラスとほぼ同じ硬さを有していることが確認できた。また押し込み硬さについては平均値に加えてそのばらつきを示した。GZO3およびスライドガラスではばらつきが大きくなっているが、GZO1やITO2では、安定した結果が得られている。測定値のばらつきは、表面粗さに起因しているため、今後、表面ができるだけきれいなサンプルを作製し、引き続き測定を行う計画である。また、プラスチック基板上に成膜したZnO膜の硬さについても評価を行う。

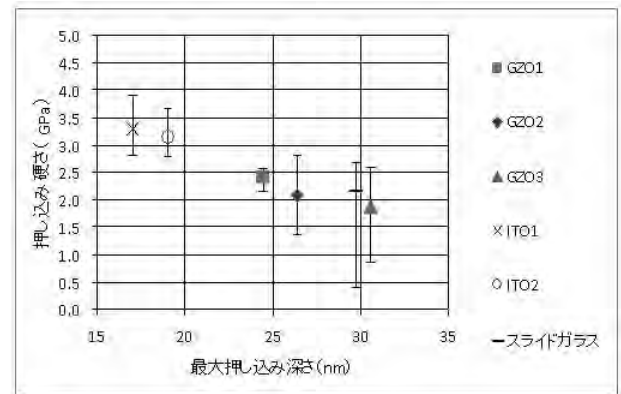


図14 押し込み硬さ測定の結果

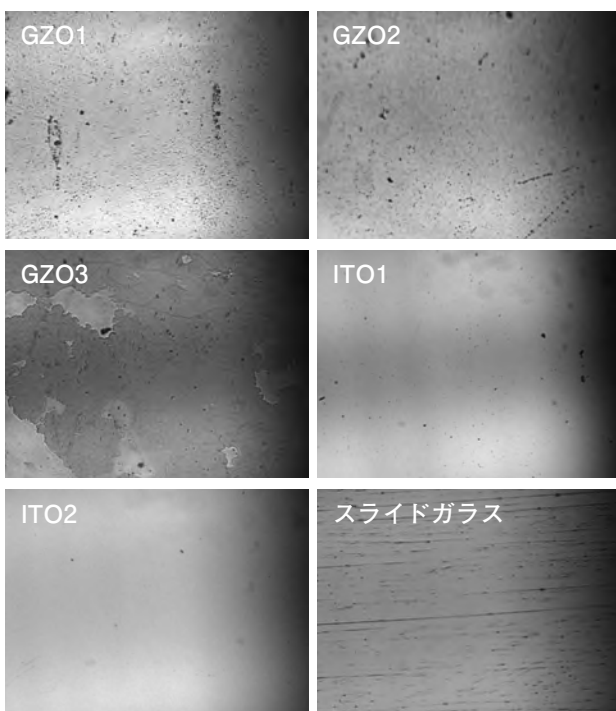


図13 押し込み硬さ測定を行った膜表面の様子

### 3-4 ZnO膜を使用した液晶ディスプレイの試作

本研究においてZnO膜を使用した応用製品として、フレキシブルな液晶ディスプレイの試作を検討している。平成20年度は、ZnO膜で回路パターンを形成するために、不要な部分をエッチングにより除去する方法について実験を行ったところ、36%の塩酸を水で10倍に希釈した溶液中に、約10秒浸すことでZnO膜が除去できることがわかった。今後、ZnO膜による回路パターンを形成したガラス基板を用いて、液晶ディスプレイの試作を行う計画である。

## 4. 結 言

プラズマ洗浄装置を開発し、耐熱性プラスチック基板に対するプラズマ洗浄を行ったところ、ぬれ性の向上が認められた。ぬれ性が最も良いのはポリエチレンテレフタレート (PEN) であることが明らかとなった。またガラス基板上に成膜した酸化亜鉛膜の密着性および硬さを評価したところ、市販の酸化インジウムスズ膜と同等の性能を有していることがわかった。

## 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) 菅井秀郎: プラズマエレクトロニクス, オーム社, P.106-116 (2000)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 興野登, 河底宏明, 新井大輔他: Symp Microjoining Assem Technol Electron, Vol.10, P.83-88 (2004)
- 9) 財団法人規格協会: ISO 14577 Metallic materials-Instrumented indentation test for hardness and materials parameters- (2002)
- 10) (株)東陽テクニカ分析システム部表面分析システムグループ: 押し込み法による機械特性試験, P.52-53 (2000)
- 11) (株)レスカホームページ ([http://www.rhesca.co.jp/lineup/csr/csr2000\\_measurement\\_03.html](http://www.rhesca.co.jp/lineup/csr/csr2000_measurement_03.html)) から



# 資 料





## (1) 平成20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20年6月13日 第1回運営委員会開催  
平成19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20年10月27日 第2回運営委員会開催  
平成21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20年6月3日 第1回会議開催  
平成20年度研究体制について  
平成20年度研究予算の配分について  
各研究テーマの進捗状況の報告
- ・平成20年10月14日 第2回会議開催  
平成21年度新規研究テーマ(案)の事前評価について  
平成20年度研究予算の第2次追加配分について  
平成21年度試験研究費について

### 研究報告書の出版

- ・平成19年6月30日 山梨県総合理工学研究機構研究報告書第2号を出版

### 研究成果の発表

- ・平成20年9月2日 やまなし産学官連携研究交流事業において研究発表

### 出願審査請求

- ・平成21年3月11日 「鳥類卵の孵化抑制方法及びその装置」(特願2007-139405)

平成20年

別表1 運営委員会委員名簿

氏名	役職
◎伊藤 洋	関東IT支援NPO連絡協議会代表幹事、元山梨大学副学長
○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
早川 正幸	山梨大学医学工学総合研究部教授
前田秀一郎	山梨大学大学院医学工学総合研究部長・医学部長・生化学教授
陽 捷行	北里大学副学長

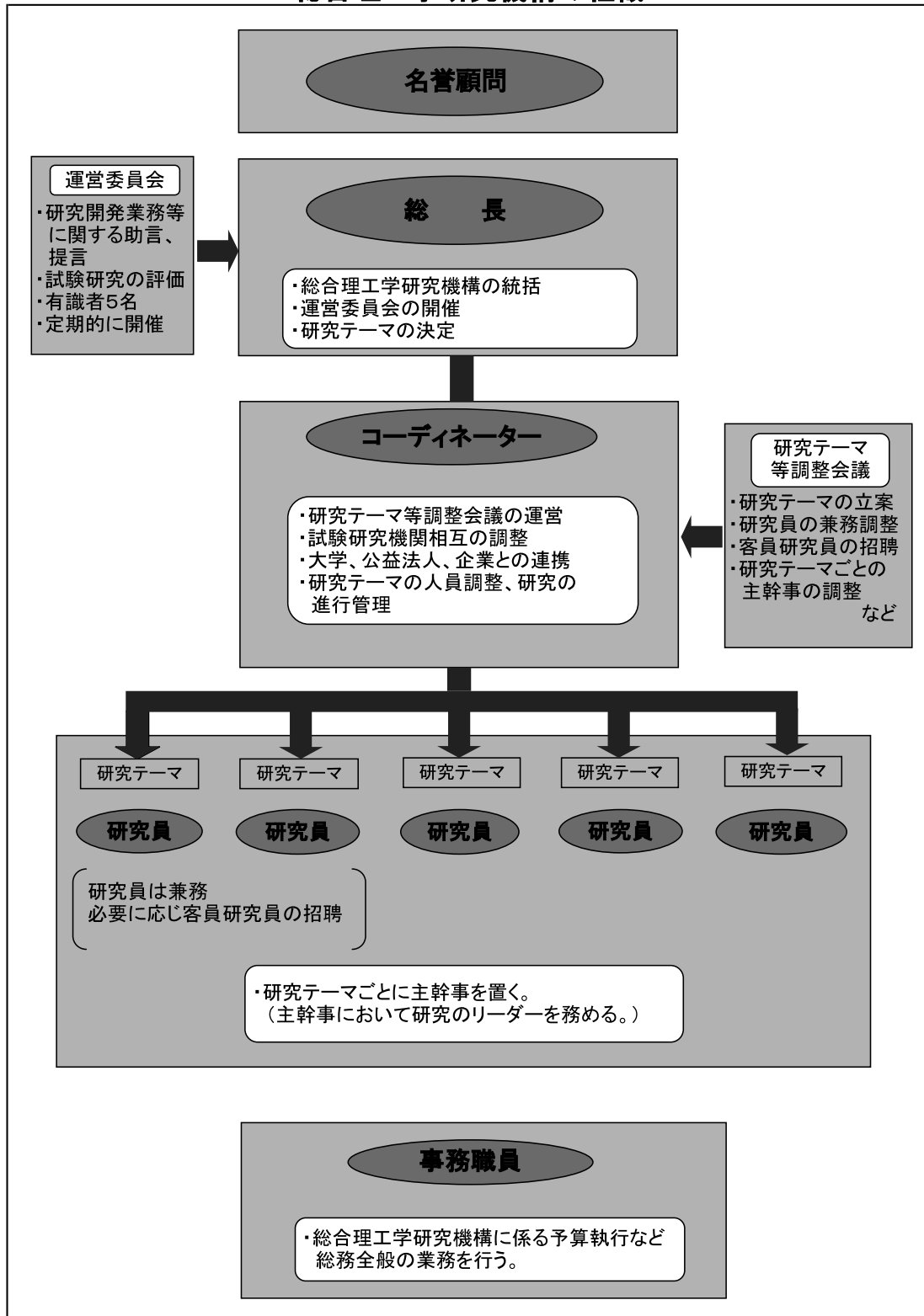
(五十音順、役職名は平成20年6月現在、◎：委員長、○：副委員長)

別表2 研究テーマ等調整会議メンバー名簿

氏名	役職
水谷 均	衛生公害研究所長
細田 久	環境科学研究所副所長
小俣 洋	森林総合研究所長
殿岡 日吉	工業技術センター所長
大森 大	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
山本 一	総合農業技術センター所長
櫻井 健雄	果樹試験場長
芳賀 庸訓	畜産試験場長
白砂 勇	酪農試験場長
林 政一	総合理工学研究機構事務局長
眞浦 正徳	総合理工学研究機構コーディネーター
上條 幹人	総合理工学研究機構コーディネーター
永井 正則	総合理工学研究機構コーディネーター

(2) 平成19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20年度組織図（附）

名 譽 顧 問	大 村 智
総 長	小 林 正彦

事務局長	林 政一
次 長（兼）	末木 健司

### （総務スタッフ）

主 査	北 村 徹
-----	-------

### （コーディネーター）

特別研究員	眞 浦 正徳
特別研究員	上 條 幹人
特別研究員	永 井 正則

### （研究スタッフ）

研究管理幹（兼）	輿 水 達司
研究管理幹（兼）	高 橋 一孝
研究管理幹（兼）	竹 丘 守
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）	荻 原 茂
主任研究員（兼）	小 林 浩
主任研究員（兼）	長 谷 川 達也
主任研究員（兼）	伊 藤 和彦
研 究 員（兼）	岩 間 貴司
研 究 員（兼）	齊 藤 典義
研 究 員（兼）	恩 田 匠
研 究 員（兼）	池 口 仁
研 究 員（兼）	長 池 卓男
研 究 員（兼）	佐 野 正明
研 究 員（兼）	山 崎 修平
研 究 員（兼）	高 橋 照美
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一覧

課 題 名	研究期間	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度
地域農産素材の機能性解明と高付加価値製品の開発	平17～20	功刀能文	眞浦正徳	眞浦正徳	眞浦正徳
未利用農林産物系バイオマスの利用技術の開発	平17～19	功刀能文	眞浦正徳	眞浦正徳	
廃棄プラスチックの熱分解とリサイクル技術の研究開発	平17～18	鮎沢信家	永井正則		
無電極放電プラズマ光による次世代水殺菌処理システムの研究開発	平17～18	鮎沢信家	乙黒親男		
栽培条件の異なるブドウ「甲州」を用いたワインの個性化醸造技術の確立に関する研究	平17～19	渡辺和裕	乙黒親男	乙黒親男	
農林水産物の鳥獣類被害に対する防除対策の研究	平18～19		永井正則	永井正則	
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
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
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及び新規地下水調査	平19～21			永井正則	永井正則
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
自然環境のもたらす保健休養上の効用に関する研究	平20～22				永井正則
野生動物による被害の防除に関する研究	平20～22				永井正則
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

山梨県総合理工学研究機構研究報告書  
第 4 号

Y-CROST Research Report 2009

---

2009年 7 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