

BULLETIN OF
NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No.14 March 2015

近畿中国四国農業研究センター 研究報告

第14号 平成27年3月



NARO

農研機構

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

近畿中国四国農業研究センター

NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

近畿中国四国農業研究センター研究報告 第14号

所長 尾 関 秀 樹

編集委員会

委員長	竹 中 重 仁	
委員	中 野 正 明	笹 倉 修 司
	松 村 修	亀 井 雅 浩
	佐 藤 隆 徳	篠 田 満
	尾 島 一 史	富 岡 啓 介
	猿 田 正 恭	細 川 雅 敏
	伊 藤 陽 子	山 本 直 幸
	濱 崎 洋 好	

BULLETIN OF
NARO WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
No. 14

Hideki OZEKI, Director General

EDITORIAL BOARD

Shigehito TAKENAKA, Chairman

Masaaki NAKANO

Shuji SASAKURA

Osamu MATSUMURA

Masahiro KAMEI

Takanori SATO

Mitsuru SHINODA

Kazushi OJIMA

Keisuke TOMIOKA

Masayasu SARUTA

Masatoshi HOSOKAWA

Yoko ITO

Naoyuki YAMAMOTO

Hiroshi HAMASAKI

(NARO: National Agriculture and Food Research Organization)

近畿中国四国農業研究センター研究報告

第14号

(平成27年3月)

目 次

水稻種子貯蔵タンパク質の組成，含有率に及ぼす栽培・環境条件の影響ならびに米粒内分布特性に関する研究 大平陽一	1
温暖地向けリポキシゲナーゼ全欠のダイズ新品種「こがねさやか」の育成とその特性 高田吉丈・猿田正恭・岡部昭典・菊池彰夫・小野貞芳	51
岩手県沿岸地域の震災復興に資する園芸施設の現地評価 —第1報 高保温・高強度パイプハウスと建設足場資材利用園芸ハウスの現地立地性の評価— 吉越 恆・長崎裕司・松田 周・川嶋浩樹・杉浦 誠	65
建設足場資材利用園芸ハウスの新規開発とその導入による野菜・花き生産システムの構築 川嶋浩樹	77

BULLETIN OF
NARO WESTERN REGION
AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

No. 14 March 2015

CONTENTS

Analyses on Composition, Content and Distribution of Seed Storage Proteins
in Rice Grain

Yoichi ODAIRA 1

A New Soybean Cultivar “Koganesayaka” for Temperate Regions,
with Lacking Three Lipoxygenase Isozymes

Yoshitake TAKADA, Masayasu SARUTA, Akinori OKABE, Akio KIKUCHI
and Sadayoshi ONO 51

Demonstrative Studies of Improved Greenhouse for Post-Disaster Restoration
in Coastal Iwate Area

—1. Climate Assessment for Environmental Applicability of New Pipe-Framed
Greenhouse for Saving Energy and Greenhouse Using Scaffold Materials.—

Hisashi YOSHIKOSHI, Yuji NAGASAKI, Shu MATSUDA, Hiroki KAWASHIMA
and Makoto SUGIURA 65

Studies on The Development of A Sloping Greenhouse Using Scaffold Materials
and A New Horticultural Production System on Sloping Lands with It

Hiroki KAWASHIMA 77

水稲種子貯蔵タンパク質の組成, 含有率に及ぼす栽培・環境条件の影響ならびに米粒内分布特性に関する研究

大平陽一¹

Key words : 水稲, 種子貯蔵タンパク質, タンパク質変異米, プロテインボディ I, プロテインボディ II, 登熟気温, 窒素施用, 搗精, 免疫蛍光顕微鏡観察

目 次

I 緒 論	1	2 窒素施用条件が生育・収量性に及ぼす影響と米粒のPB-I割合および総タンパク質含有率の変動要因	23
1 研究の背景, 既往の成果と課題	1	IV 種子貯蔵タンパク質の米粒内の分布特性	27
2 本研究の目的と構成	4	1 搗精した米粒のSDS-PAGE分析に基づく米粒内の種子貯蔵タンパク質の分布特性	27
II 作期が米粒のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響	5	2 免疫蛍光顕微鏡観察による米粒内における種子貯蔵タンパク質の分布の解析	31
1 登熟温度が米粒のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響	5	V 総合考察	37
2 作期が登熟期の気象条件ならびに米粒のタンパク質組成および総タンパク質含有率に及ぼす影響	11	1 本研究で得られた新規知見に係る考察	37
3 作期が生育・収量性に及ぼす影響と米粒のPB-I割合および総タンパク質含有率の変動要因	16	2 タンパク質含有率およびタンパク質組成の耕種的な制御技術と収穫後調製技術に係る考察	39
III 窒素施用条件が米粒のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響	19	摘 要	41
1 窒素施用条件が米粒のタンパク質組成および総タンパク質含有率に及ぼす影響	19	謝 辞	42
		引用文献	42
		Summary	48

I 緒 論

1 研究の背景, 既往の成果と課題

日本人の主食である米にはタンパク質が含まれ, 古くは米の栄養価を高める観点から, 米粒内の総タンパク質含有率の品種間差異^{8, 11)}, 窒素施用や気象条件と米粒の総タンパク質含有率との関係^{10, 11, 12, 30, 31, 69, 77)}が研究され, 総タンパク質含有率を高める試みがな

された. 近年になると, 米粒の総タンパク質含有率が高いほど炊飯米の食味は悪化することが知られるようになり^{21, 23, 42, 95)}, 良食味米の需要の高まりとともに米粒の総タンパク質含有率を高めない栽培技術が推奨されるようになっている. また, 良食味米の付加価値という点では, (財)日本穀物検定協会が実施・発表する食味ランキングが特定の産地・品種の米価に影響することなどから, 良食味米の生産意義は大きい. 従来, 炊飯米の食味は総タンパク質

含有率との関係で論じられることが多かったが、タンパク質組成の影響に関する知見が報告されるようになった。米の貯蔵タンパク質は主にデンプン性胚乳に蓄積され、デンプン性胚乳に存在するタンパク質顆粒（プロテインボディ）は、プロラミンを主要な構成要素とするプロテインボディタイプ I（PB-I）と、グルテリンやグロブリンを主要な構成要素とするプロテインボディタイプ II（PB-II）に分けられる^{59, 81)}。益重ら⁴¹⁾は、プロテインボディ全体に対する PB-I の比率が小さい米ほど食味評価が高いことを報告した。また、Furukawa ら⁷⁾は、米から抽出したタンパク質を加えて白米を炊飯し、物性を調査した結果、グルテリンを加えても炊飯米の堅さや粘りに影響は認められなかったが、プロラミンを加えた場合には堅さが増すとともに粘りが低下したことを報告し、タンパク質組成が食味に影響を及ぼすことが示唆された。

米粒のタンパク質組成は前述した食味への影響のほかに、酒米の酒造適性に対する関与が報告されている^{7, 25, 26, 32)}。また、米の新規用途として近年研究が進められている米粉パンの物性に米粒のタンパク質組成が影響することが報告されている⁷⁸⁾。このほかに、米粒のタンパク質組成を把握することは人体へのタンパク質吸収の面からも重要と考えられる。すなわち、PB-I は年輪構造を示すとともに^{59, 81)}、ペプシンによる消化に対して難消化性であり^{59, 80)}、人の排泄物中に存在する米由来のタンパク質は年輪構造を示す顆粒であることが電子顕微鏡観察によって明らかにされている⁸⁴⁾ ことから、PB-I は難消化性タンパク質とされているからである。

これらのことから、米粒の総タンパク質含有率およびタンパク質組成に及ぼす栽培・環境条件の影響を明らかにすることは重要と考えられる。これまでに、登熟気温などの気象条件、窒素施肥法が米粒の総タンパク質含有率に及ぼす影響については多くの検討がなされている。一方、米粒のタンパク質組成に及ぼす登熟気温^{83, 94)}、窒素施肥法^{5, 57, 66, 86, 95)}の影響については知見がわずかであり、圃場栽培条件における気象の影響については知見がごくわずかである⁵⁾。また、従来の知見の一部にはタンパク質組成の解析手法の問題があり、詳細は後述するが、現在妥当と考えられる手法を用いて解析することが

課題となっている。

米の新規需要の拡大を目的として、新形質米に関する農林水産省プロジェクト研究が1989年からスタートした。そのプロジェクトの中で、米粒のタンパク質組成を遺伝的に改変したタンパク質変異米水稻品種が育成された。一般食用水稻品種の PB-I は、胚乳における総タンパク質含有量のおよそ20%を占めている⁵⁹⁾ が、タンパク質変異米では、総タンパク質に占める PB-I の主構成要素のプロラミンの割合が高くなり、逆に PB-II の主構成要素グルテリンやグロブリンの割合が低下した品種がある。最初に育成されたのは、一般食用水稻品種「ニホンマサリ」²⁴⁾ にエチレンイミン処理を施して突然変異を誘導し、選抜された低グルテリン系統に「ニホンマサリ」を戻し交配した低グルテリン米水稻品種「エルジーシー1」である⁵⁵⁾。米の主要な貯蔵タンパク質の組成には品種間差異があるが^{3, 97)}、日本で育成された品種間では変異が小さかった³⁾。そうした中、日本育成品種の遺伝的背景を持ちながらタンパク質組成が異なる品種が育成されたことは画期的であった。次いで、低グルテリン米水稻品種「春陽」⁹⁰⁾、低グルテリン形質に低アミロース形質を付与した「LGCソフト」¹⁹⁾、低グルテリン形質に加えて26kDa グロブリンが欠失した「エルジーシー活」と「エルジーシー潤」も育成されている⁵⁶⁾。これらタンパク質変異米水稻品種は、主食用、酒造用および米粉用として利用されているが、米粒のタンパク質組成はもとより、収量性や米粒の総タンパク質含有率に及ぼす栽培・環境条件の影響について知見はわずか⁵⁷⁾ である。また、一般食用水稻品種だけでなく、タンパク質変異米水稻品種も合わせて調査・解析することで、米粒のタンパク質組成に及ぼす栽培・環境条件の影響の理解が深まり、食味・品質向上技術に資することが期待される。

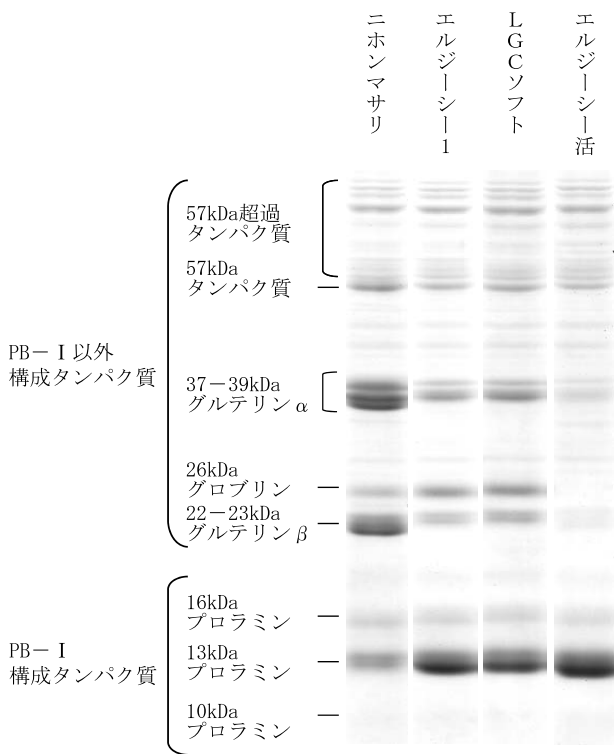
植物の種子貯蔵タンパク質は、古くは純水可溶性、アルコール可溶性、アルカリ可溶性などその溶解性によって分類された⁶⁷⁾。山下・藤本⁹⁵⁾は、この溶媒抽出法によって米粒のタンパク質組成に及ぼす窒素施肥条件の影響を検討し、施肥量の増加による米粒の総タンパク質含有率の増加はグルテリンの増加によることを報告している。また、折谷・葭田⁶⁶⁾も、出穂期の窒素追肥により米粒の総タンパク質に

占めるグルテリンの割合が増加したことを報告している。しかし、溶媒抽出法にはタンパク質の回収率や定量性に難点があり⁸⁶⁾、解析結果は実態を正確に反映しているとは考えにくい。1987年になると消化酵素ペプシンを用いた改良型の溶媒抽出法が報告され⁵⁹⁾、建部ら⁸⁶⁾は、この方法を用いて米粒のタンパク質組成と窒素施用条件および稲体の窒素栄養条件との関係を解析している。この方法においても、一般に日本稲ではプロラミンの割合が20%程度とされている⁵⁹⁾が、建部ら⁸⁶⁾は実験の結果プロラミンの割合が5~12%であったことから、プロラミン抽出の安定性に対する検討の必要性を論じている。平野⁹⁾は、一般食用水稲品種「コシヒカリ」と低グルテリン米水稲品種「エルジーシー1」の白米を供試して、建部ら⁸⁶⁾と同様のペプシンを用いた溶媒抽出法でタンパク質組成を解析するとともに、ドデシル硫酸ナトリウム (SDS) で抽出したタンパク質の電気泳動 (SDS-PAGE) (第1図; ここでは一般食用水稲品種「ニホンマサリ」と3つのタンパク質変異米水稲品種について示す) とデンストメーターを組み合わせた方法でも解析し、測定方法

の比較検討を行っている。その結果、ペプシンを用いた溶媒抽出法では、「コシヒカリ」と「エルジーシー1」のプロラミンの割合は、それぞれ12.3%と15.2%であり、その違いは2.9%にすぎなかった。一方、SDS-PAGEに基づく方法では、「コシヒカリ」のプロラミン (13kDa + 16kDa) の割合が25.6%であったのに対し、「エルジーシー1」では48.8%と大きな違いが認められた。なお、Furukawaら⁶⁾の蛍光標識抗体を用いた顕微鏡観察の報告から、プロラミンの含有量を低グルテリン米水稲品種と一般食用水稲品種とで比較するとその違いは歴然である。したがって、米粒のタンパク質組成に及ぼす窒素施用条件の影響を溶媒抽出法によって解析した既報^{66, 86, 95)}の結果を鵜呑みにすることは妥当でないと考えられる。また、現時点において米粒のタンパク質組成を定量的に明らかにする上で望ましい方法はSDS-PAGEに基づく方法であり、本方法によって米粒のタンパク質組成に及ぼす栽培・環境条件の影響を検討することが課題である。

一般食用水稲品種の種子貯蔵タンパク質は、米粒の外層部に多く分布することが古くから報告されている^{30, 48, 49, 54)}。しかし、タンパク質種に分類して米粒内の分布を検討した研究はわずかである。これまでに、静川ら⁷⁵⁾は、「コシヒカリ」について搗精によって削られた部分の米粉を回収し、SDS-PAGE分析による層別のタンパク質含有量を分析している。同様の方法で、タンパク質変異米水稲品種についても米粒内のタンパク質の分布が明らかになることが期待できる。また、搗精歩合に基づく米粒内のタンパク質の分布の解析は、用途に応じた搗精歩合の判断に有益となり得る。

前述した搗精歩合に基づく米粒内のタンパク質分布の解析では、実際の収穫後の調製方法に資する結果を得ることができる。しかし、学術的な米粒内のタンパク質分布の解析には不向きな点がある。すなわち、玄米は楕円形であるが、搗精にともなって米粒の基部側と頂端側が背側と腹側よりも多く削られて次第に円形に近づいたため、玄米の元の形に即したタンパク質の分布は分かり得ない。また、背側と腹側とのタンパク質の分布の差異も解析は不可能である。こうした米粒内のタンパク質分布を解析する手段として、米粒の切片を作成し、蛍光標識抗体を用



第1図 米粒から抽出したタンパク質のSDS-PAGEによる泳動像

いて貯蔵タンパク質の分布を観察する方法があげられる。Furukawaら⁶⁾は、一般食用水稲品種と酒造好適米水稲品種ならびに低グルテリン米水稲品種・系統の精玄米と70%搗精した白米について、蛍光標識抗体を用いて米粒内のプロラミンとグルテリンの分布を調査している。そして、低グルテリン米水稲品種・系統では、プロラミンが70%搗精した白米の内層部にも多く存在し、タンパク質の分布に品種間差異があることを示唆した。しかし、観察画像は米粒のごく一部であり、全体像を捉えていないことから、玄米の形に即したタンパク質の分布や背側と腹側とのタンパク質の分布の差異については課題として残されたままである。一般食用水稲品種とタンパク質変異米水稲品種について、上記課題を解決し、比較・解析することで、米粒のタンパク質蓄積について新規知見が得られることが期待される。

2 本研究の目的と構成

本研究は、一般食用水稲品種および米粒内のタンパク質組成が一般食用水稲品種とは遺伝的に異なるタンパク質変異米水稲品種を用いて、米粒の総タンパク質含有率とタンパク質組成に及ぼす栽培・環境条件の影響を明らかにすること、米粒内のタンパク質分布を明らかにすることを目的とした。本論文の内容は以下の構成とした。

「Ⅱ」において、作期が米粒のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響を明らかにする。登熟期の気象条件は、収量性と米粒の総タンパク質含有率に影響を及ぼすことが報告されているが、米粒のタンパク質組成に及ぼす影響については知見⁵⁾がわずかである。また、同一の栽培地でも作期が異なると登熟期だけでなく生育期全般の気象条件、稲体の生育、収量性が異なるが、作期が異なる条件でタンパク質変異米水稲品種の米粒の総タンパク質含有率およびその変動要因を検討した事例は見当たらない。そこで、「登熟温度が米粒のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響」では、穂ばらみ期まで同一の条件でポット栽培した稲を自然光型人工気象室内で気温が異なる条件で登熟させ、登熟温度がタンパク質組成とタンパク質含有率に及ぼす影響を検討する。「作期が登熟期の気象条件ならびに米粒のタンパク質組成および総タンパ

ク質含有率に及ぼす影響」では、作期の移動にともなう登熟期の気温および日射量の変化と米粒の総タンパク質含有率およびタンパク質組成との関係を検討する。そして、ポット試験で明らかになった米粒のタンパク質組成と登熟温度との関係を圃場栽培条件で確認する。「作期が生育・収量性に及ぼす影響と米粒のPB-I割合および総タンパク質含有率の変動要因」では、タンパク質組成の変動を把握する指標としてPB-I割合（総タンパク質に占める10～13kDaプロラミンの割合）を用い、生育特性および収量特性と米粒のPB-I割合および総タンパク質含有率との関係を検討する。

「Ⅲ」において、窒素施用条件が米粒のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響を明らかにする。窒素施用条件は、収量性と米粒の総タンパク質含有率に影響を及ぼすことが数多く報告されているが、米粒のタンパク質組成に及ぼす影響についての知見^{5, 57, 86, 95)}およびタンパク質変異米水稲品種の米粒の総タンパク質含有率に及ぼす影響についての知見⁵⁷⁾はわずかである。「窒素施用条件が米粒のタンパク質組成および総タンパク質含有率に及ぼす影響」では、窒素施用量と窒素追肥時期が米粒のタンパク質組成および総タンパク質含有率に及ぼす影響を明らかにする。「窒素施用条件が生育・収量性に及ぼす影響と米粒のPB-I割合および総タンパク質含有率の変動要因」では、窒素施用条件と生育・収量性との関連および米粒のPB-I割合と総タンパク質含有率の変動要因を検討する。

「Ⅳ」において、種子貯蔵タンパク質の米粒内の分布特性を検討する。「搗精した米粒のSDS-PAGE分析に基づく米粒内の種子貯蔵タンパク質の分布特性」において、搗精歩合の異なる米粒のタンパク質組成や各種タンパク質含有量を分析することで、搗精に基づく米粒内の層別のタンパク質分布を明らかにする。「免疫蛍光顕微鏡観察による米粒内における種子貯蔵タンパク質の分布の解析」では、Saitoら⁷²⁾の手法を用いて米粒の全体像を捉えた上で、蛍光標識抗体を用いて23kDaグルテリンと13kDaプロラミンの米粒内の分布を把握する。そして、米粒内のタンパク質の分布を米粒表面からの相対距離と蛍光強度により定量的に明らかにする。また、免疫蛍光顕微鏡観察において示唆された米粒の背側と腹

側とのタンパク質の局在に関する品種間差異を背側あるいは腹側を研削した米粒のSDS-PAGE分析によっても検討する。

「V」の総合考察では、過去の知見と本研究で得られた新規知見を整理し、今後の課題を抽出するとともに、良食味米生産などを見据えた耕種的技術、収穫後調製技術について言及する。

本論文は、タンパク質変異米水稲品種の特性解明と安定生産に関する一連の研究として2003年から2006年にかけて実施した結果に基づき、日本作物学会に発表した論文^{60, 61, 62, 63})と未発表のデータをもとに取りまとめた。

II 作期が米粒のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響

1 登熟温度が米粒のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響

これまでに、人工気象器を用いることで異なる気温を設定すると、一般食用水稲品種の米粒の総タンパク質含有率は登熟温度が高いほど増加すると報告されている^{11, 39, 74, 79, 96})。一方、米粒のタンパク質組成に及ぼす登熟温度の影響に関する報告は限られている。田中ら⁸³)は、登熟温度25℃と比較して35℃では、総タンパク質に占める13kDaプロラミンの割合が減少し、逆に60~70kDaのタンパク質画分の割合が増加したと報告している。また、Yamakawaら⁹⁴)は、開花後5日目から20日目まで登熟温度25/20℃と33/28℃処理を行い、33/28℃処理ではグルテリンは影響をほとんど受けなかったのに対して、タンパク質顆粒PB-Iの主構成要素である13kDaプロラミン含量が大きく減少したことを報告している。一方、タンパク質変異米水稲品種に関しては、米粒内の総タンパク質含有率とタンパク質組成に及ぼす登熟温度の影響の知見は無い。近年の日本では、登熟期の高温によって玄米の外観品質および玄米粒重が低下する高温障害が大きな問題となっている⁵²)。今後の地球温暖化の進行²²)も考慮すると、登熟温度が米粒の総タンパク質含有率およびタンパク質組成といった成分品質に及ぼす影響を明らかにすることは重要な課題といえる。また、前述した田中ら⁸³)の報告はタンパク質の電気泳動像から定性的に判断

した結果であり、Yamakawaら⁹⁴)の報告ではグルテリンと13kDaプロラミンとの比率について温度処理間の比較に留まっている。

そこで、一般食用水稲品種「ニホンマサリ」²⁴)とタンパク質変異米水稲品種「LGCソフト」¹⁹)を供試して、穂ばらみ期までは同一条件で栽培し、それ以降は異なる登熟温度で栽培することにより、米粒のタンパク質組成と総タンパク質含有率およびPB-I(10~13kDaプロラミンの総計)含有率に及ぼす登熟温度の影響を定量的に明らかにすることを目的とした。また、穂上の着生位置によって、登熟期間の穎果の窒素集積パターン¹)および米粒の総タンパク質含有率に及ぼす作期や窒素施用といった栽培条件の影響⁴⁵)は異なる。これらのことから、米粒のタンパク質組成と総タンパク質含有率に及ぼす登熟温度の影響は、穂上の着生位置によって異なる可能性がある。そこで、登熟温度の影響をより詳細に明らかにするために、1次枝梗粒と2次枝梗粒に分類して検討した。

1) 材料および方法

一般食用水稲品種「ニホンマサリ」²⁴)と低グルテリン米水稲品種「LGCソフト」¹⁹)を用いた。「LGCソフト」は、低グルテリン米水稲品種「エルジーシー1」⁵⁵)と「ニホンマサリ」の低アミロース突然変異系統NM391とを交配して育成された品種である。「LGCソフト」はタンパク質変異米遺伝子として低グルテリン遺伝子*Lgc1*^{16, 17})を持つ。

上記品種の栽培は、近畿中国四国農業研究センター(広島県福山市)で実施した。2005年5月31日に水稲育苗培土(みのる産業)を詰めた育苗箱(14×32穴、みのる産業)に催芽した種子を1穴あたり3粒播種した。播種後は、慣行法に準じて21日間育苗した。水田土壌(細粒質灰色低地土)を詰め、代かきを模して土壌を攪拌しておいた1/2,000 a プラスチックポットに育苗した苗(苗齢4.8~5.0)を1株3本植えて8株、円形に移植した。施肥は、代かき時にN, P₂O₅, K₂Oをそれぞれポットあたり0.3 g 施用し、追肥として移植後25日目にNをポットあたり0.3 g, 移植後35日目にN, P₂O₅, K₂Oをそれぞれポットあたり0.2 g 施用した。穂ばらみ期までは屋外で栽培し、分けつは適時除去して主稈の

みを育成した。穂ばらみ期以降は、室温を25℃/23℃:日平均24.0℃(L区), 30℃/26℃:日平均28.0℃(M区), 33℃/29℃:日平均30.6℃(H区)(6:30~17:30/18:30~5:30, 17:30~18:30と5:30~6:30は温度変化時間帯)とした自然光型ファイトトロンで栽培した。各温度処理には1品種あたり3ポットを供試した。出穂後積算気温1,000℃・日の期間の日平均日射量は、L区, M区, H区のそれぞれで15.4±5.3, 15.3±5.8, 15.6±5.9MJm⁻²d⁻¹(平均値±標準偏差)であった。出穂後の積算気温が約1,000℃・日に達した時、稲株を地際で刈り取り、風乾した後、1次枝梗粒と2次枝梗粒に分けて脱穀した。脱穀後に粉数を計測し、粉すりして得られた粗玄米を粒厚選別した。粒厚1.8mm以上を精玄米として、玄米千粒重と1穂あたりの精玄米重を測定した。登熟歩合は、1穂あたりの精玄米粒数の1穂粉数に占める割合とした。

各処理区のポット毎の精玄米5~6gを粉碎機(UDY社, サイクロンミル)で粉碎した。そして、SDS-PAGE分析によるタンパク質組成の解析および総タンパク質含有率の測定に供した。

SDS-PAGE分析およびタンパク質組成の解析は以下のように行った。約20mgの米粉末とSDS-Urea溶液(4% SDS, 8M Urea, 5% メルカプトエタノール, 125mM Tris-HCl (pH6.8), 20%グリセリン)700μLを2mL容のチューブ内で十分に混和し、チューブを横にして35℃で1日静置した。その後、チューブを立てて35℃で1日静置した後、上清をポリアクリルアミドゲル電気泳動して各タンパク質画分に分離した。電気泳動後のゲルを0.08%クマシーブリアントブルーR 250溶液中で1日振盪してタンパク質を染色した。上述したSDS-PAGE法は西尾⁵⁸⁾に準じて行った。次に、1次元電気泳動ゲル解析用ソフトウェア(コスモ・バイオ社, Phoretix 1D Advanced)を用いて、電気泳動後のゲルの画像(第1図)から57kDa超過タンパク質(分子量57kDaを超える複数のタンパク質画分の合計), 57kDaタンパク質(37-39kDaグルテリンαと22-23kDaグルテリンβの前駆体), 37-39kDaグルテリンα, 26kDaグロブリン, 22-23kDaグルテリンβ, 16kDaプロラミン, 13kDaプロラミン, 10kDaプロラミンを定量し、タンパク質組成を解析した。これらのタンパク

質画分の合計値を100%として各タンパク質画分の割合を算出した。本研究では、既報^{40, 59, 81)}に準じて、10kDaプロラミン, 13kDaプロラミンおよび16kDaプロラミンの合計をPB-Iとした。

精玄米の総タンパク質含有率は、80℃で3日以上乾燥した米粉末を供して、燃焼法(元素分析装置(エレメンタル社, rapidN III))によって測定した窒素含有率に米のタンパク質換算係数5.95⁵¹⁾を乗じて算出した。各タンパク質画分の含有率は、総タンパク質含有率に各タンパク質画分の割合を乗じて算出した。

2) 結果

(1) 収量構成要素と収量に及ぼす登熟温度の影響

精玄米の千粒重(以下千粒重)は、「ニホンマサリ」と「LGCソフト」のいずれにおいても、そして穂上位置にかかわらず登熟温度が高いほど低下した(第1表)。1次枝梗粒と2次枝梗粒を込みにしたすべての粒の千粒重をL区とH区とで比較すると、その差は「ニホンマサリ」で0.6g, 「LGCソフト」で0.8gであった。いずれの品種も、千粒重は1次枝梗粒の方が2次枝梗粒よりも3.6~3.8g重い特徴があった。1次枝梗粒, 2次枝梗粒ともに、千粒重は「ニホンマサリ」が「LGCソフト」よりも2.2~2.6g重かった。

1穂あたりのすべての粒の登熟歩合に対する登熟温度の影響は有意ではなかった(第1表)。しかし、「LGCソフト」の2次枝梗粒では、H区の登熟歩合は、M区とL区の登熟歩合に比較して13~17%低かった。2次枝梗粒の登熟歩合は1次枝梗粒の登熟歩合より低い傾向にあり、登熟温度が高いほどその傾向は顕著であった。また、1次枝梗粒と2次枝梗粒のいずれにおいても、「LGCソフト」の登熟歩合は「ニホンマサリ」よりも低く、H区でその差が顕著であった。

1穂あたりの精玄米重に対する登熟温度の影響は有意ではなかった(第1表)。1穂あたりの精玄米重は、「ニホンマサリ」では1.42~1.44gであったが、「LGCソフト」では1.05~1.19gであり、登熟温度の最も高かったH区で品種間差が大きかった。

(2) タンパク質組成に及ぼす登熟温度の影響

1次枝梗粒と2次枝梗粒を込みにしたすべての粒

第1表 収量と収量構成要素に及ぼす登熟温度の影響

穂上着生位置	品種	温度処理	1穂籾数	玄米千粒重 (g)	登熟歩合 (%)	精玄米重 (g)	
1次枝梗 (P)	ニホンマサリ	L	45.8 ± 0.5	25.1 ± 0.6	89.0 ± 1.8	1.02 ± 0.04	
		M	45.4 ± 0.8	24.5 ± 0.4	91.6 ± 1.5	1.02 ± 0.02	
		H	46.2 ± 1.5	24.5 ± 0.4	92.0 ± 0.8	1.04 ± 0.04	
	LGCソフト	L	43.6 ± 1.1	22.7 ± 0.2	79.0 ± 4.7	0.78 ± 0.07	
		M	44.5 ± 0.7	22.2 ± 0.3	82.5 ± 1.7	0.81 ± 0.03	
		H	43.9 ± 0.6	21.9 ± 0.3	76.9 ± 2.7	0.74 ± 0.04	
	分散分析		温度 (A)	ns	*	ns	ns
			品種 (B)	ns	**	*	**
			A×B	ns	ns	ns	ns
2次枝梗 (S)	ニホンマサリ	L	21.9 ± 1.2	21.3 ± 0.5	85.7 ± 3.3	0.40 ± 0.01	
		M	22.1 ± 1.3	20.8 ± 0.2	88.7 ± 3.4	0.41 ± 0.04	
		H	22.7 ± 2.7	20.7 ± 0.4	83.6 ± 0.8	0.39 ± 0.05	
	LGCソフト	L	26.9 ± 1.5	19.0 ± 0.1	80.9 ± 3.6	0.41 ± 0.02	
		M	26.3 ± 2.7	18.6 ± 0.2	76.7 ± 1.0	0.37 ± 0.04	
		H	26.3 ± 1.0	18.3 ± 0.2	64.2 ± 3.1	0.31 ± 0.03	
	分散分析		温度 (A)	ns	*	*	ns
			品種 (B)	*	***	***	ns
			A×B	ns	ns	*	ns
分散分析		温度 (A)	ns	*	*	ns	
		着生位置 (C)	***	***	**	***	
		A×C	ns	ns	*	ns	
P+S	ニホンマサリ	L	67.7 ± 1.2	23.9 ± 0.6	88.0 ± 1.7	1.42 ± 0.05	
		M	67.5 ± 1.2	23.3 ± 0.2	90.7 ± 2.0	1.43 ± 0.05	
		H	68.9 ± 1.2	23.3 ± 0.4	89.5 ± 0.4	1.44 ± 0.03	
	LGCソフト	L	70.4 ± 0.8	21.3 ± 0.2	79.6 ± 4.2	1.19 ± 0.08	
		M	70.7 ± 3.3	20.8 ± 0.2	80.6 ± 1.5	1.19 ± 0.06	
		H	70.2 ± 1.2	20.5 ± 0.3	72.7 ± 2.5	1.05 ± 0.06	
	分散分析		温度 (A)	ns	*	ns	ns
			品種 (B)	**	***	**	**
			A×B	ns	ns	ns	ns

数値は平均値 ± 標準偏差を示す。重量は水分15%換算値。*, **, ***はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意であることを示し、nsは5%水準で有意でないことを示す。

を対象とすると、「ニホンマサリ」の総タンパク質に占めるPB-I構成タンパク質の合計割合（以下PB-I割合）は18.7~25.7%であった（第2表）。また、PB-I構成タンパク質の中で大きな割合を占めているのは13kDaプロラミンであった。「LGCソフト」も13kDaプロラミンがPB-I構成タンパク質の中で最も大きな割合を占めたが、その割合は27.3~37.6%と「ニホンマサリ」の2.2~2.6倍であり、PB-I割合も「ニホンマサリ」の1.9~2.0倍であった。PB-I構成タンパク質以外のタンパク質は、「ニホンマサリ」では22-23kDaグルテリンβおよび37-39kDaグルテリンαがそれぞれ20.9~22.8%および28.2~31.6%と大きな割合を占め、両タンパク質画分の合計は約5割を占めた。一方、「LGCソフト」では、22-23kDaグルテリンβと37-39kDaグルテリ

ンαの割合の合計は21.8~26.2%であり、「ニホンマサリ」の1/2以下であった。

PB-I構成タンパク質の内、13kDaプロラミンと16kDaプロラミンの総タンパク質に占める割合は、登熟温度が高いほど低く、割合の変動が大きかったのは13kDaプロラミンであった（第2表）。1次枝梗粒と2次枝梗粒を込みにしたすべての粒について、13kDaプロラミンの割合をH区とL区で比較すると、「ニホンマサリ」では6.2%、「LGCソフト」では10.3%の差異があった。また、品種と登熟温度の間には5%水準で有意な交互作用が認められた。PB-I構成タンパク質以外のタンパク質では、「ニホンマサリ」と「LGCソフト」のいずれも、22-23kDaグルテリンβ、37-39kDaグルテリンα、57kDaタンパク質および57kDa超過タンパク質の総タンパク質

第2表 精玄米のタンパク質組成に及ぼす登熟温度の影響

穂上着生位置	品種	温度処理	PB-I 構成タンパク質の割合 (%)				PB-I 構成タンパク質以外のタンパク質の割合 (%)					
			10kDa プロラミン	13kDa プロラミン	16kDa プロラミン	合計	22-23kDa グルテリン β	26kDa グロブリン	37-39kDa グルテリン α	57kDa	>57kDa	
1次枝梗 (P)	ニホンマサリ	L	1.9 ± 0.4	17.5 ± 0.9	7.1 ± 0.6	26.5 ± 0.5	20.8 ± 0.4	6.0 ± 0.2	28.0 ± 0.4	7.9 ± 0.1	10.8 ± 0.8	
		M	1.7 ± 0.3	13.5 ± 0.5	7.0 ± 0.4	22.1 ± 1.1	21.6 ± 0.7	5.4 ± 0.4	29.7 ± 0.3	9.1 ± 0.4	12.0 ± 0.8	
		H	2.1 ± 0.1	11.3 ± 0.6	6.3 ± 0.2	19.7 ± 0.7	22.9 ± 0.1	4.4 ± 0.1	31.4 ± 0.5	9.9 ± 0.5	11.8 ± 0.2	
	LGCソフト	L	2.4 ± 0.3	39.2 ± 0.9	8.8 ± 0.5	50.4 ± 0.3	8.7 ± 0.3	9.9 ± 0.2	12.5 ± 0.3	6.8 ± 0.2	11.6 ± 0.2	
		M	2.2 ± 0.2	34.1 ± 0.8	8.2 ± 0.5	44.6 ± 1.1	8.7 ± 0.1	10.3 ± 0.2	14.2 ± 0.1	8.9 ± 0.5	13.3 ± 0.8	
		H	2.5 ± 0.3	29.1 ± 1.3	7.9 ± 0.4	39.5 ± 1.4	9.3 ± 0.4	10.0 ± 0.2	16.3 ± 0.7	10.4 ± 0.2	14.4 ± 0.4	
	分散分析		温度 (A)	ns	***	*	***	*	*	***	**	**
			品種 (B)	ns	***	**	***	***	***	***	ns	***
			A×B	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns
2次枝梗 (S)	ニホンマサリ	L	1.9 ± 0.3	15.6 ± 0.6	6.2 ± 0.2	23.7 ± 0.1	21.0 ± 0.5	5.4 ± 0.2	28.6 ± 0.3	9.9 ± 0.4	11.3 ± 0.7	
		M	1.9 ± 0.4	11.5 ± 0.5	5.6 ± 0.3	19.1 ± 0.9	21.4 ± 0.3	4.6 ± 0.2	30.5 ± 0.3	11.7 ± 0.7	12.7 ± 0.8	
		H	1.9 ± 0.1	9.1 ± 0.4	5.2 ± 0.3	16.2 ± 0.5	22.6 ± 0.3	4.0 ± 0.1	32.2 ± 0.4	12.3 ± 0.2	12.7 ± 0.5	
	LGCソフト	L	1.6 ± 0.3	34.7 ± 1.1	7.3 ± 0.5	43.6 ± 1.7	9.0 ± 0.7	9.7 ± 0.3	13.9 ± 0.1	8.9 ± 0.3	14.9 ± 0.3	
		M	2.1 ± 0.1	30.8 ± 0.8	7.4 ± 0.2	40.4 ± 0.9	8.7 ± 0.2	9.9 ± 0.3	14.6 ± 0.1	11.1 ± 0.4	15.4 ± 0.6	
		H	1.6 ± 0.2	22.9 ± 1.5	6.3 ± 0.3	30.8 ± 2.0	9.7 ± 0.1	10.2 ± 0.6	18.1 ± 0.5	12.8 ± 0.6	18.4 ± 1.9	
	分散分析		温度 (A)	ns	***	*	***	*	ns	**	***	*
			品種 (B)	ns	***	**	***	***	***	***	ns	*
			A×B	ns	*	*	*	ns	*	*	ns	ns
分散分析		温度 (A)	ns	***	*	***	*	*	***	***	**	
		着生位置 (C)	ns	***	*	***	ns	*	**	**	***	
		A×C	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
P+S	ニホンマサリ	L	1.9 ± 0.2	16.9 ± 0.8	6.8 ± 0.4	25.7 ± 0.4	20.9 ± 0.4	5.8 ± 0.2	28.2 ± 0.2	8.5 ± 0.1	10.9 ± 0.7	
		M	1.8 ± 0.1	12.9 ± 0.3	6.5 ± 0.2	21.2 ± 0.5	21.6 ± 0.5	5.2 ± 0.2	29.9 ± 0.2	9.9 ± 0.2	12.2 ± 0.3	
		H	2.0 ± 0.1	10.7 ± 0.5	6.0 ± 0.1	18.7 ± 0.5	22.8 ± 0.1	4.3 ± 0.1	31.6 ± 0.4	10.5 ± 0.3	12.1 ± 0.2	
	LGCソフト	L	2.1 ± 0.3	37.6 ± 0.6	8.3 ± 0.5	48.0 ± 0.8	8.8 ± 0.4	9.9 ± 0.1	13.0 ± 0.6	7.5 ± 0.2	12.8 ± 0.0	
		M	2.2 ± 0.1	33.1 ± 0.8	8.0 ± 0.4	43.2 ± 1.1	8.7 ± 0.1	10.1 ± 0.2	14.3 ± 0.1	9.6 ± 0.5	14.0 ± 0.7	
		H	2.2 ± 0.3	27.3 ± 1.2	7.4 ± 0.2	36.9 ± 1.4	9.4 ± 0.3	10.1 ± 0.1	16.8 ± 0.6	11.1 ± 0.3	15.6 ± 0.7	
	分散分析		温度 (A)	ns	***	*	***	*	*	***	***	**
			品種 (B)	ns	***	**	***	***	***	***	ns	**
			A×B	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns

数値は平均値±標準偏差を示す。*, **, ***はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意であることを示し、nsは5%水準で有意でないことを示す。

に占める割合は、登熟温度の高い処理ほど高かった。

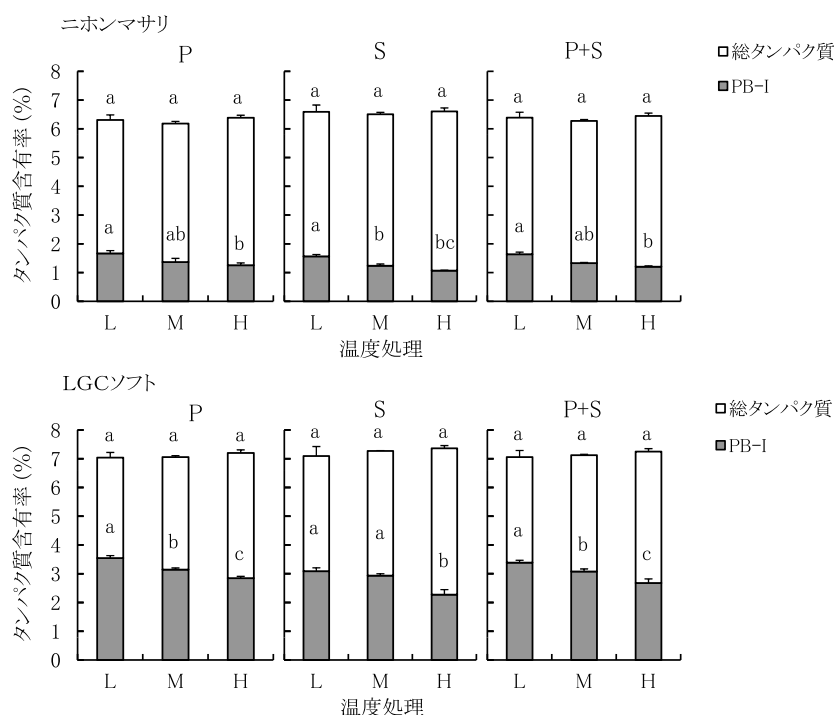
穂上位置によって米粒のタンパク質組成は異なり、「ニホンマサリ」と「LGCソフト」のいずれも、13kDaプロラミン、16kDaプロラミンおよびPB-I割合が1次枝梗粒より2次枝梗粒で低かった(第2表)。一方、37-39kDaグルテリン α 、57kDaタンパク質および57kDa超過タンパク質の割合は1次枝梗粒よりも2次枝梗粒で高かった。タンパク質組成に及ぼす登熟温度の影響は、1次枝梗粒と2次枝梗粒とで概ね類似し、いずれのタンパク質画分においても、着生位置と登熟温度との間に有意な交互作用は認められなかった。

(3) タンパク質含有率に及ぼす登熟温度の影響

1次枝梗粒と2次枝梗粒を込みにしたすべての粒を対象とすると、総タンパク質含有率は、「ニホンマサリ」では6.3~6.5%、「LGCソフト」では7.1~7.3%であり(第2図)、明瞭な品種間差異(P<

0.01)が認められる一方で、登熟温度の影響は判然としなかった(第2図、第3表)。穂上位置別の米粒の総タンパク質含有率にも、登熟温度による有意差は認められなかった。両品種とも、総タンパク質含有率は1次枝梗粒よりも2次枝梗粒の方が有意に高かった(P<0.01)。

総タンパク質含有率と前項で示したタンパク質組成に基づいて算出したPB-I含有率は、登熟温度が高い処理区ほど低下した(第2図)。1次枝梗粒と2次枝梗粒を込みにしたすべての粒のPB-I含有率についてL区とH区とを比較すると、その差は、「ニホンマサリ」では0.4ポイント、「LGCソフト」では0.7ポイントであった。PB-I含有率には、5%水準で有意な品種と登熟温度との交互作用が認められ(第3表)、登熟温度の高まりにともなうPB-I含有率の低下は「ニホンマサリ」より「LGCソフト」で顕著であった(第2図)。



第2図 精玄米の総タンパク質含有率およびPB-I含有率に及ぼす登熟温度の影響

P；1次枝梗，S；2次枝梗，L；平均24.0℃，M；平均28.0℃，H；平均30.6℃。垂線は標準偏差を示す。同一品種内の異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す(LSD法)。

第3表 精玄米の総タンパク質含有率とPB-I含有率に及ぼす登熟温度の影響の分散分析

穂上着生位置	要因	総タンパク質含有率	PB-I含有率
1次枝梗(P)	温度(A)	ns	***
	品種(B)	**	***
	A×B	ns	*
2次枝梗(S)	温度(A)	ns	***
	品種(B)	**	**
	A×B	ns	*
P+S	温度(A)	ns	**
	着生位置(C)	**	**
	A×C	ns	ns
P+S	温度(A)	ns	***
	品種(B)	**	**
	A×B	ns	*

*, **, ***はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意であることを示し, nsは5%水準で有意でないことを示す。

3) 考察

一般食用水稲品種「ニホンマサリ」とタンパク質変異米水稲品種「LGCソフト」のいずれも、米粒の総タンパク質に占める13kDaプロラミンおよびPB-

Iの割合は、登熟温度が高いほど低くなった(第2表)。本研究で得られた13kDaプロラミンに関する結果は、田中ら⁸³⁾が一般食用水稲品種「ユーカーラ」の穂培養実験により、登熟温度25℃と比較して35℃では13kDaプロラミンの割合が小さかったとする報告、およびYamakawaら⁹⁴⁾が複数の一般食用水稲品種を供試して、登熟温度33/28℃では25/20℃より13kDaプロラミン含量は大きく減少したとする報告と一致した。登熟期の高温条件は、貯蔵タンパク質に関連する遺伝子発現量を低下させ、中でも13kDaプロラミンの遺伝子発現量が顕著に低下する⁹⁴⁾。このことから、「ニホンマサリ」と「LGCソフト」においても、高い登熟温度条件下では13kDaプロラミンの遺伝子発現量が低下し、13kDaプロラミンおよびPB-Iの生成量が低下したと推測される。

26kDaグロブリンを除くPB-I構成タンパク質以外のタンパク質画分の割合は、登熟温度が高いほど高くなった。登熟期のイネ種子において、遊離アミノ酸含有量は登熟期間を通じて低く²⁷⁾、転流窒素は速やかにタンパク質に合成・貯蔵されると考えられ

ている。一般食用水稻品種の種子中のグルテリン含有量は、開花後5日目から急速に増加し、グロブリン含有量も開花後5日目から徐々に増加する⁸²⁾。一方、プロラミン含有量は開花後5~10日目まではほとんど増加せず、開花後10日目以降になって増加し始め、グルテリンなどと同様に開花後30日目頃に最大となる⁸²⁾。このような登熟期の種子中におけるタンパク質集積量の経時変化は、タンパク質変異米水稻品種「LGCソフト」の交配親であるタンパク質変異米水稻品種「エルジーシー1」でも確認されている(飯田 私信)。これらのことを踏まえると、登熟温度が高いほど13kDaプロラミンおよびPB-Iの生合成が低下し、余剰となった転流窒素が57kDaタンパク質やグルテリンなどのタンパク質画分の生合成に使われたと推測される。そのほかに、登熟温度が米粒の成熟速度を早め、比較的遅い時期に蓄積する13kDaプロラミンの割合が相対的に低くなったことも考えられるが、この点についてはさらなる検討が必要である。

本研究では、登熟温度によるPB-I割合の変動が「ニホンマサリ」よりも「LGCソフト」で大きかった(第2表)。前述したタンパク質組成に及ぼす登熟温度の機作を想定すると、登熟温度が高まった場合に、13kDaプロラミンの割合が「ニホンマサリ」よりも高い「LGCソフト」では、「ニホンマサリ」より顕著に13kDaプロラミンの生合成抑制の影響がタンパク質組成に現れたことが推測される。

「ニホンマサリ」と「LGCソフト」のいずれも、穂上位置によって米粒のタンパク質組成は異なり、1次枝梗粒よりも2次枝梗粒の方が13kDaプロラミンの割合は低く、57kDa超過タンパク質、57kDaタンパク質および37-39kDaグルテリン α の割合は高いことが明らかになった(第2表)。この結果は、(1)タンパク質の種類によって米粒内における経時的な蓄積のパターンが異なることと、(2)1次枝梗粒と2次枝梗粒では登熟期間が異なることに起因すると推察される。すなわち、プロラミンはグルテリンより遅れて蓄積を開始し、徐々に増加することが知られている⁸²⁾。そして、窒素の蓄積は強勢穎果が弱勢穎果に先行し、窒素の蓄積速度は、登熟期間全般を通して強勢穎果より弱勢穎果で低い¹⁾。したがって、2次枝梗粒では貯蔵タンパク質の形成が

不十分なうちに乾燥・完熟し、1次枝梗粒と比較して総タンパク質に占める13kDaプロラミンの割合が低くなった可能性がある。また、2次枝梗粒では、グルテリンの前駆体である57kDaタンパク質^{73, 93)}の割合が多かったことも、貯蔵タンパク質形成の途中で米粒の乾燥・成熟が完了した可能性を示唆するものである。

1次枝梗粒と2次枝梗粒とでタンパク質組成は異なったが、登熟温度の変化にともなう各タンパク画分の割合の変動は1次枝梗粒と2次枝梗粒とで類似し、米粒の着生位置と登熟温度との間に有意な相互作用は認められなかった。したがって、米粒内のタンパク質の生合成・蓄積に対する登熟温度の影響は、穂上の着生位置にかかわらず等しく受けると考えられた。

米粒の総タンパク質含有率は、登熟温度が高いほど増加したとの報告がある^{11, 39, 74, 79, 96)}。それは、米粒におけるタンパク質の蓄積量に対してデンプンの蓄積量が相対的に少なく、千粒重が低下したことによると考えられている^{39, 74, 96)}。本研究においても、穂上位置にかかわらず登熟温度が高いほど千粒重は低い傾向が認められた(第1表)。しかし、登熟温度と総タンパク質含有率との間に有意な相関関係は認められなかった。供試6品種系統の中で1品種のみ、明らかに米粒内の総タンパク質含有率が登熟温度の影響を受けなかったとする梁取⁹⁶⁾の報告を考慮すると、「ニホンマサリ」と「LGCソフト」は、総タンパク質含有率が登熟温度の影響を容易に受けない品種である可能性が考えられる。これまでに、松江ら⁴⁷⁾も、栽培年次や作期が異なるサンプルの分析の結果、登熟温度と総タンパク質含有率との関係は品種によって有意にならなかったことを報告している。そして、森田⁵²⁾は、松江ら⁴⁷⁾の結果について、高温による玄米1粒重の低下程度によって総タンパク質含有率の高温反応が変わることをその理由として推察している。これらのことから、米粒の総タンパク質含有率に及ぼす登熟温度の影響の品種間差異とその要因については、一層検討の余地があると考えられた。

2 作期が登熟期の気象条件ならびに米粒のタンパク質組成および総タンパク質含有率に及ぼす影響

一般食用水稲品種とタンパク質変異米水稲品種のいずれも、米粒内のPB-I割合は登熟温度が高いほど低くなり、一方で総タンパク質含有率に及ぼす登熟温度の影響は小さかった。本結果は、穂揃い期までを同一条件で栽培して生育を揃え、その後人工気象室において成熟期までの温度条件を複数設け、日々一定としたポット試験に基づくものである。一方、圃場栽培条件下では、気温は日々変化するだけでなく、年次あるいは移植時期の差異によって登熟期の前半と後半の気温が大きく異なる場合がある。また、年次や移植時期によって、出穂期の生育量や窒素栄養状態、登熟期の日射量、収量および収量構成要素が異なり、米粒の総タンパク質含有率とタンパク質組成に影響を及ぼす可能性がある。一般食用水稲品種では、米粒の総タンパク質含有率が出穂期前後の窒素栄養状態の影響を強く受けることが多数報告されている。さらに、米粒の総タンパク質含有率は登熟期の日射量^{20, 76)} および登熟歩合^{2, 38, 68, 88, 96)}とも関係することが知られている。また、千粒重および稈長と米粒のタンパク質組成との間には関連のあることが示唆されている⁸⁶⁾。一方、タンパク質変異米水稲品種では、米粒の総タンパク質含有率とタンパク質組成の変動要因について、生育特性、収量構成要素および登熟期の気象条件との関連が不明である。

そこで、「ニホンマサリ」と「LGCソフト」に加え、低グルテリン・26kDaグロブリン欠失米水稲品

種「エルジーシー潤」を供試した。そして、年次と移植時期を複数設けることによって圃場条件下で登熟期の気温が変わる条件を作出し、登熟気温と米粒のタンパク質組成との関係について、ポット試験の結果の確認を試みた。また、登熟期の気象条件と米粒の総タンパク質含有率およびタンパク質組成との関係を明らかにすることを目的とした。

1) 材料および方法

一般食用水稲品種「ニホンマサリ」、タンパク質変異米水稲品種「LGCソフト」および「エルジーシー潤」を供試した。「エルジーシー潤」は、「エルジーシー1」に一般食用水稲品種「コシヒカリ」の26kDaグロブリン欠失突然変異系統を交配して育成された低グルテリン・26kDaグロブリン欠失米水稲品種であり⁵⁶⁾、低グルテリン遺伝子 *Lgc1*^{16, 17)} と26kDaグロブリン欠失遺伝子 *glb1*¹⁸⁾ を共に持つ品種である。

供試品種は、2003年から2006年に近畿中国四国農業研究センターの水田圃場（広島県福山市、北緯34°30′・東経133°23′、標高2m、細粒灰色低地土）で栽培した。水稲用育苗培土（みのる産業）を詰めた育苗箱（14×32穴、みのる産業）に2003年は1穴あたり1粒、2004年～2006年は1穴あたり3粒の催芽した種子を播種し、葉齢3.4～5.0の苗を4月28日～6月29日に手植えした（第4表）。2004年6月11日は「LGCソフト」のみ移植した。2003年は条間30cm株間25cm、1株1本植え、2004年から2006年は条間30cm株間15cm、1株3本植えとした。試験区は11～19m²とし、2003年は「LGC

第4表 移植日と「LGCソフト」の出穂期および登熟期における気温と日射量

年次	移植日	出穂期	出穂後0～15日		出穂後16～30日		出穂後0～30日	
			気温 (°C)	日射量 (MJ m ⁻²)	気温 (°C)	日射量 (MJ m ⁻²)	気温 (°C)	日射量 (MJ m ⁻²)
2003	5月13日	8月4日	26.4	15.2	27.8	16.6	27.1	15.9
2004	5月13日	7月28日	27.8	18.1	27.0	15.7	27.4	16.9
		8月13日	26.9	15.1	25.5	13.1	26.2	14.1
2005	4月28日	7月18日	28.3	21.3	28.3	19.5	28.3	20.4
		8月2日	28.4	19.4	26.6	16.6	27.5	18.0
		8月9日	27.4	16.0	26.2	15.6	26.8	15.8
2006	5月16日	8月4日	29.6	20.2	27.6	17.8	28.6	19.0
		8月17日	26.5	16.6	25.9	14.4	26.2	15.5
		8月22日	26.6	16.6	23.2	12.6	24.9	14.6

「エルジーシー潤」と「ニホンマサリ」の出穂期は、「LGCソフト」と2日以内の差であった。

ソフト」と「ニホンマサリ」を3反復の乱塊法で配置し、「エルジーシー潤」は無反復とした。2004年は2反復の乱塊法で配置した。2005年と2006年は移植時期を主区、品種を副区として3反復(2005年)ないし2反復(2006年)の分割ブロック法で配置した。肥料は、いずれの年次・試験区とも基肥としてN, P₂O₅, K₂Oをそれぞれm²あたり4g施用し、追肥は、2003年は出穂前23~25日に、2004年から2006年は出穂前27~32日にNをm²あたり4g施用した。2006年6月29日移植は追肥量を2gとした。病虫害防除は慣行の方法にしたがった。

粒厚1.8mm以上の精玄米約25gを粉碎機(UDY社, サイクロンミル)で粉碎し、「II-1」に記載した方法に準じて総タンパク質含有率の測定とSDS-PAGE分析およびタンパク質組成の解析を行った。

圃場の気温と日射量は、近畿中国四国農業研究センターの気象観測データを用いた。

2) 結果

(1) 各年次の気象概況、出穂期および登熟期の気象条件

2003年は6月下旬から8月中下旬にかけて平年よりも低温寡照に経過した(図表省略)。対照的に、2004年は6月下旬から7月下旬が高温多照の傾向にあった。ただし、2004年8月第1半旬と8月第4~第5半旬は平年より低温寡照であった。2005年は6月の1ヶ月が平年より高温多照であり、7月第1~第2半旬に低温寡照となった後、7月中旬から7月下旬が再び高温多照であった。2005年は8月以降が平年に類似した気象条件であった。2006年は7月第4~第5半旬に低温寡照であったが、7月第6半旬から8月第6半旬まで平年より高温多照であり、その後9月中旬までは平年より低温寡照であった。

移植時期を4月28日から6月29日と広範に設けたことにより、「LGCソフト」の出穂期は7月18日から8月22日となった(第4表)。出穂後0~15日の日平均気温(以下気温)は26.4~29.6℃、出穂後16~30日の気温は23.2~28.3℃であった。ほとんどの作期で出穂後0~15日の気温は出穂後16~30日の気温よりも高かったが、2005年4月28日移植では両者に差が無く、2003年5月13日移植では出穂後16~30日の気温の方が出穂後0~15日の気温

よりも高かった。出穂後0~30日では、2006年6月29日移植の気温が24.9℃と最も低く、最も高かったのは同年5月16日移植であり、その差は3.7℃であった。また、4カ年設けた5月中旬移植における出穂後0~30日の気温は27.1~28.6℃で、年次間差は1.5℃であったが、出穂後0~15日の登熟期前半の気温には26.4~29.6℃の年次変動があり、年次間差は最大で3.2℃であった。

出穂後0~15日の日平均日射量(以下日射量)は15.1~21.3MJm⁻²、出穂後16~30日の日射量は12.6~19.5MJm⁻²であった(第4表)。同一年次では、5月中旬移植と比較して6月上旬~下旬移植の方が日射量は低かった。

「エルジーシー潤」と「ニホンマサリ」の出穂期は、「LGCソフト」と2日以内の差であったことから、両品種の登熟期の気温や日射量は「LGCソフト」と同様であった(第4表)。

(2) 米粒のタンパク質組成、総タンパク質含有率およびPB-I含有率

精玄米のタンパク質組成を第5表に示した。「LGCソフト」では、「ニホンマサリ」より22~23kDaグルテリンβと37~39kDaグルテリンαの割合が低く、13kDaプロラミンの割合が高いことでPB-I割合も高かった。また、「エルジーシー潤」では、22~23kDaグルテリンβと37~39kDaグルテリンαの割合が「LGCソフト」よりも低いことに加え、26kDaグロブリンが欠失し、13kDaプロラミンおよびPB-I割合が一層高かった。

「エルジーシー潤」の16kDaプロラミンと22~23kDaグルテリンβ、「ニホンマサリ」の10kDaプロラミンと22~23kDaグルテリンβは、その割合に年次および移植時期の差(P<0.05)は認められなかったが、それ以外のタンパク質画分では差が認められた(第5表)。PB-I割合は、「ニホンマサリ」では16.9~21.6%、「LGCソフト」では37.2~46.1%、「エルジーシー潤」では56.9~62.8%の変動を示した。

精玄米の総タンパク質含有率は、「ニホンマサリ」が6.6~8.1%、「LGCソフト」が6.9~8.9%、「エルジーシー潤」が6.9~8.2%であり、最小値と最大値との差は「ニホンマサリ」と「エルジーシー潤」が1.3~1.5ポイント、「LGCソフト」が2.0ポイントであった(第6表)。移植日を4時期設けた2005年で

第5表 精玄米におけるタンパク質画分の割合

品種	年次	移植日	PB-I 構成タンパク質の割合 (%)				PB-I 構成タンパク質以外のタンパク質の割合 (%)				
			10kDa プロラミン	13kDa プロラミン	16kDa プロラミン	合計	22-23kDa グルテリン β	26kDa グロブリン	37-39kDa グルテリン α	57kDa	>57kDa
ニホンマサリ	2003	5月13日	1.3 a	15.5 a	4.7 bc	21.6 a	21.7 a	6.4 a	32.0 ab	8.6 c	9.8 b
	2004	5月13日	1.3 a	13.5 bc	5.1 ab	19.8 bcd	21.8 a	6.4 ab	31.9 ab	9.2 abc	10.9 ab
	2005	4月28日	1.0 a	11.0 de	4.9 abc	16.9 e	21.6 a	5.5 b	32.7 ab	10.0 a	13.3 a
		5月17日	1.4 a	11.6 de	5.4 a	18.5 cd	21.7 a	6.3 ab	31.0 b	9.8 ab	12.8 a
	2006	6月2日	1.1 a	12.1 cd	5.1 ab	18.3 de	21.9 a	6.3 ab	31.0 b	9.8 a	12.8 a
		6月21日	0.8 a	14.9 ab	4.2 c	19.9 bc	21.4 a	6.2 ab	32.2 ab	8.9 bc	11.4 ab
	2006	5月16日	1.3 a	10.5 e	5.1 ab	16.9 e	21.8 a	6.1 ab	33.5 a	9.9 a	11.8 ab
		6月29日	1.2 a	14.1 ab	5.2 ab	20.5 ab	20.9 a	6.3 ab	31.6 ab	9.2 abc	11.4 ab
LGCソフト	2003	5月13日	0.8 b	38.5 a	5.7 b	45.0 a	8.0 b	11.5 ab	14.5 d	8.0 bcd	13.0 bc
	2004	5月13日	1.0 ab	34.3 bcd	6.2 ab	41.5 abc	8.5 ab	11.6 ab	15.1 bcd	8.4 abc	14.8 abc
		6月11日	1.1 ab	38.7 a	6.3 ab	46.1 a	8.7 ab	12.2 a	14.4 cd	6.7 d	11.9 c
	2005	4月28日	1.2 a	30.0 e	6.1 ab	37.2 c	8.9 ab	10.8 b	16.0 ab	9.7 a	17.4 a
		5月17日	1.0 ab	30.7 de	6.5 ab	38.1 bc	8.9 ab	10.7 b	15.6 b	9.3 a	17.3 a
	2006	6月2日	1.0 ab	31.9 cde	6.1 ab	39.0 bc	8.5 ab	11.1 ab	15.6 bc	9.3 ab	16.6 ab
		6月21日	1.0 ab	36.7 ab	5.8 b	43.4 a	8.4 b	11.5 ab	14.3 d	8.0 cd	14.4 abc
	2006	5月16日	1.1 ab	29.6 e	6.7 ab	37.4 c	9.7 a	12.2 a	16.9 a	8.9 abc	15.0 abc
6月29日		0.8 ab	34.4 bc	7.1 a	42.4 ab	9.2 ab	11.4 ab	15.1 bcd	7.8 cd	14.2 abc	
エルジーシー潤	2003	5月13日	1.7	54.0	7.1	62.8	5.7	—	8.7	7.8	14.9
	2004	5月13日	1.7 ab	52.4 ab	6.9 a	60.9 ab	6.3 a	—	9.0 b	8.4 ab	15.4 ab
	2005	4月28日	1.8 ab	47.9 b	7.1 a	56.9 b	6.8 a	—	9.2 b	8.7 a	18.5 a
		5月17日	1.8 ab	50.7 ab	7.1 a	59.6 ab	6.5 a	—	8.3 b	8.1 ab	17.5 ab
	2006	6月2日	1.9 a	50.1 ab	6.8 a	58.9 ab	6.7 a	—	8.6 b	8.2 ab	17.7 ab
		6月21日	1.7 ab	54.1 a	6.7 a	62.5 a	6.4 a	—	8.7 b	7.1 b	15.4 b
	2006	5月16日	1.8 ab	48.9 b	7.3 a	58.0 b	7.1 a	—	10.3 a	8.3 ab	16.4 ab
		6月29日	1.5 b	51.8 ab	7.2 a	60.5 ab	6.0 a	—	8.6 b	7.7 ab	17.2 ab

同一品種内の異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey-Kramer法)。なお、「エルジーシー潤」の2003年のデータは反復がないため、多重検定から除外した。

第6表 精玄米の総タンパク質含有率 (%)・PB-I 含有率 (%) と登熟期間の気温・日射量との相関係数

年次	移植日	ニホンマサリ		LGCソフト		エルジーシー潤	
		TP	PB-I	TP	PB-I	TP	PB-I
2003	5月13日	7.3 b	1.6 a	7.7 cd	3.5 bc	7.6	4.8
2004	5月13日	7.0 c	1.4 b	7.7 cd	3.2 bcd	7.3 bc	4.4 b
	6月11日	—	—	8.9 a	4.1 a	—	—
2005	4月28日	6.6 d	1.1 d	6.9 e	2.6 e	6.9 c	3.9 c
	5月17日	6.9 c	1.3 bc	7.4 cd	2.8 de	7.1 bc	4.2 bc
2006	6月2日	6.9 c	1.3 c	7.3 de	2.8 de	7.3 b	4.3 bc
	6月21日	8.1 a	1.6 a	8.3 b	3.6 b	8.2 a	5.1 a
2006	5月16日	7.4 b	1.3 c	7.8 bc	2.9 de	8.1 a	4.7 ab
	6月29日	6.9 c	1.4 b	7.4 cde	3.1 cd	7.2 bc	4.3 bc
気温との 相関係数	0~30DAH	-0.120	-0.561	-0.319	-0.517	-0.010	-0.258
	0~15DAH	-0.247	-0.751 *	-0.336	-0.625	-0.003	-0.342
	16~30DAH	-0.003	-0.295	-0.235	-0.325	-0.012	-0.132
日射量との 相関係数	0~30DAH	-0.312	-0.740 *	-0.607	-0.768 *	-0.244	-0.516
	0~15DAH	-0.354	-0.769 *	-0.549	-0.743 *	-0.291	-0.568
	16~30DAH	-0.218	-0.589	-0.590	-0.699	-0.168	-0.400

TPとPB-Iは、精玄米の総タンパク質含有率とPB-I含有率を示す。*は5%水準で有意であることを示す。同一品種内の異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey-Kramer法)。なお、「エルジーシー潤」の2003年のデータは反復がないため、多重検定から除外した。DAHは出穂後日数を示す。

は、いずれの品種も移植日が遅いほど総タンパク質含有率が高い傾向にあった。また、移植日を2時期設けた2004年の「LGCソフト」でも、総タンパク質含有率は5月13日移植より6月11日移植の方が高かった。6月29日移植のみ総窒素施用量を減じた2006年では、供試した3品種の総タンパク質含有率は5月16日移植より6月29日移植の方が低かった。いずれの年次にも共通して設けた5月中旬移植では、2005年の総タンパク質含有率が他年次より低い傾向にあった。

精玄米のPB-I含有率は、「ニホンマサリ」が1.1～1.6%、「LGCソフト」が2.6～4.1%、「エルジーシー潤」が3.9～5.1%であった(第6表)。総タンパク質含有率が高い年次や移植時期では、PB-I含有率も高い傾向にあった。しかし、例えば「LGCソフト」では、2003年5月13日移植と2006年5月16日移植とで総タンパク質含有率の差は0.1ポイントしかなかったが、PB-I含有率の差は0.6ポイントであり、PB-I含有率の差に総タンパク質含有率よりもPB-I割合が強く反映した場合が認められた。

(3) 登熟期の気象条件と米粒のタンパク質組成およびタンパク質含有率との関係

米粒のPB-I構成タンパク質画分の中で、13kDaプロラミンは、いずれの品種も出穂後0～15日の気温と負の相関を示し、出穂後0～30日および出穂後0～15日の日射量とも負の相関関係を示した(第7表)。一方、16kDaプロラミンおよび10kDaプロラミンの割合と登熟期の気温および日射量との間には有意な相関関係が認められなかった。PB-I割合は13kDaプロラミンの影響を反映して気温あるいは日射量との相関関係が類似した。

PB-I構成タンパク質以外のタンパク質画分は、「LGCソフト」では、37-39kDaグルテリン α および22-23kDaグルテリン β の割合が出穂後0～15日の気温と正の相関関係($r = 0.923^{***}$, 0.717^*)を示した(第7表)。また、「エルジーシー潤」でも類似した傾向にあった。一方、「ニホンマサリ」では、出穂後0～15日の気温と37-39kDaグルテリン α および22-23kDaグルテリン β との相関は認められず、57kDaタンパク質の割合と正の相関関係($r = 0.787^*$)を示した。日射量との関係では、PB-I割合は、出穂後0～30日および出穂後0～15日の日射

第7表 精玄米の各タンパク質画分の割合と登熟期間の気温および日射量との相関係数

品種	出穂後 日数 (日)	PB-I構成タンパク質				PB-I構成タンパク質以外のタンパク質				
		10kDa プロラミン	13kDa プロラミン	16kDa プロラミン	合計	22-23kDa グルテリン β	26kDa グロブリン	37-39kDa グルテリン α	57kDa	>57kDa
ニホンマサリ										
気温	0～30	0.279	-0.689	0.132	-0.699	0.774 *	-0.490	0.528	0.536	0.301
	0～15	0.395	-0.912 **	0.507	-0.849 **	0.515	-0.409	0.465	0.787 *	0.502
	16～30	0.132	-0.371	-0.163	-0.429	0.774 *	-0.431	0.448	0.233	0.089
日射量	0～30	0.180	-0.796 *	0.205	-0.813 *	0.449	-0.771 *	0.524	0.711 *	0.544
	0～15	0.135	-0.816 *	0.320	-0.816 *	0.204	-0.753 *	0.497	0.760 *	0.606
	16～30	0.199	-0.646	0.049	-0.679	0.642	-0.666	0.469	0.544	0.389
LGCソフト										
気温	0～30	0.506	-0.609	-0.203	-0.655	0.237	-0.108	0.694 *	0.652	0.485
	0～15	0.539	-0.849 *	0.367	-0.832 **	0.717 *	-0.027	0.923 ***	0.629	0.562
	16～30	0.369	-0.302	-0.559	-0.383	-0.156	-0.141	0.377	0.521	0.321
日射量	0～30	0.457	-0.805 **	0.014	-0.836 **	0.395	-0.394	0.783 *	0.818 **	0.722 *
	0～15	0.535	-0.850 **	0.267	-0.846 **	0.594	-0.342	0.796 *	0.732 *	0.714 *
	16～30	0.322	-0.661	-0.243	-0.722 *	0.145	-0.397	0.673 *	0.804 **	0.642
エルジーシー潤										
気温	0～30	0.612	-0.610	0.326	-0.583	0.656	—	0.624	0.715 *	0.150
	0～15	0.522	-0.792 *	0.442	-0.773 *	0.850 **	—	0.701	0.651	0.379
	16～30	0.522	-0.325	0.161	-0.299	0.350	—	0.410	0.580	-0.052
日射量	0～30	0.510	-0.805 *	0.439	-0.788 *	0.717 *	—	0.545	0.754 *	0.483
	0～15	0.386	-0.825 *	0.382	-0.824 *	0.760 *	—	0.492	0.680	0.579
	16～30	0.558	-0.679	0.434	-0.650	0.581	—	0.522	0.722 *	0.329

*, **および***は、それぞれ5%、1%および0.1%水準で有意であることを示す。

量と負の相関関係 ($r = -0.846^{**} \sim -0.788^*$) を示した。

さらに、登熟期間を5日間ずつに区切ってPB-I割合と気温および日射量との相関関係を検討した。「LGCソフト」と「エルジーシー潤」では、出穂後0～5日および6～10日の気温が、PB-I割合と負の相関関係 ($r = -0.857^{**} \sim -0.709^*$) を示した(第8表)。一方、「ニホンマサリ」では、出穂後6～10日および11～15日の気温がPB-I割合と負の相関関係 ($r = -0.788^*, -0.756^*$) を示した。日射量に関しては、「LGCソフト」では出穂後0～5日と6～10日、「エルジーシー潤」では出穂後0～5日の日射量がPB-I割合と負の相関関係 ($r = -0.783^* \sim -0.713^*$) を示したが、「ニホンマサリ」では出穂後0～5日、6～10日のいずれも5%水準で有意な相関関係が認められなかった。

米粒の総タンパク質含有率は、出穂後0～15日、16～30日、0～30日の期間のいずれの気温とも5%水準で有意な相関関係になく(第6表)、日射量とも同様であった(図表省略)。一方、PB-I含有率は、「ニホンマサリ」で出穂後0～15日の期間の気温と5%水準で有意な相関関係が認められたほか、「ニホンマサリ」と「LGCソフト」において出穂後0～15日、0～30日の期間の日射量と5%水準で有意な相関関係が認められた(第6表)。

3) 考察

「II-1」において、米粒のPB-I割合は、登熟期の温度が高いほど低くなることを述べた。これは、登熟温度を人工的に制御して調査した結果に基づくが、異なる年次・移植時期を設定した圃場栽培条件下でも同様の結果が確認された。さらに、本研究か

ら、タンパク質変異米水稲品種では出穂後0～10日の気温がPB-I割合に影響することが示唆された(第8表)。一方、一般食用水稲品種「ニホンマサリ」では、出穂後6～15日の気温がPB-I割合と高い相関を示したことから、貯蔵タンパク質の蓄積過程における品種間差異が示唆された。このような品種間差異を生じた要因を以下に考察する。

「II-1」の考察において、高温条件では13kDaプロラミンの遺伝子発現量が低下⁹⁴⁾し、13kDaプロラミンおよびPB-Iの生合成が低下した結果、余剰となった転流窒素が57kDaタンパク質やグルテリンなどのタンパク質画分の生合成に使われたことを述べた。したがって、一般食用水稲品種とタンパク質変異米水稲品種とでは13kDaプロラミン遺伝子の発現時期に差があることで気温の影響を受けやすい時期が異なっていたことが仮説としてあげられる。このほかに、PB-I割合が決定されるメカニズムを考える上では、PB-I構成タンパク質以外のタンパク質画分についても考察する必要がある。本研究の結果、「ニホンマサリ」では、37-39kDaグルテリン α および22-23kDaグルテリン β の前駆体である57kDaタンパク質^{73, 93)}が出穂後0～15日の気温と高い正の相関を示したのに対して、タンパク質変異米水稲品種では、37-39kDaグルテリン α や22-23kDaグルテリン β の割合が出穂後0～15日の気温と高い正の相関を示した(第7表)。そして、一般食用水稲品種では、グルテリンは開花後5日目から10日過ぎにかけて急速に米粒内に蓄積されることが知られている⁸²⁾。また、グルテリンの生合成にかかわる遺伝子には、その発現量が登熟気温の影響を受けるものとほとんど受けけないものがあることが報告されている⁹⁴⁾。さらに、タンパク質変異米水稲品種の低

第8表 気温および日射量と精玄米のPB-I割合との相関係数

品種	出穂後日数(日)						
	-5～0	0～5	6～10	11～15	16～20	21～25	26～30
気温							
ニホンマサリ	-0.140	-0.658	-0.788 *	-0.756 *	-0.408	-0.614	-0.080
LGCソフト	-0.165	-0.838 **	-0.851 **	-0.496	-0.332	-0.525	-0.118
エルジーシー潤	0.036	-0.857 **	-0.709 *	-0.300	-0.347	-0.434	0.019
日射量							
ニホンマサリ	0.028	-0.662	-0.597	-0.233	-0.460	-0.865 **	0.267
LGCソフト	0.190	-0.772 *	-0.783 *	0.153	-0.511	-0.832 **	0.139
エルジーシー潤	-0.131	-0.713 *	-0.663	0.315	-0.710 *	-0.589	0.189

*と**は、それぞれ5%と1%水準で有意であることを示す。

グルテリン形質は、RNA干渉によってグルテリンの多重遺伝子簇の発現が抑制されたことによる³⁶⁾。これらのことから、登熟初期の気温とグルテリンの遺伝子発現および生合成との関係がタンパク質変異米水稻品種と一般食用水稻品種とで異なり、それがPB-I割合と登熟気温との相関係数が高い時期に関する品種間差に反映したことが推測された。

次に、登熟気温と米粒の総タンパク質含有率との関係について考察する。本研究では、いずれの品種でも登熟気温は米粒の総タンパク質含有率と相関を示さなかった(第6表)。本研究における出穂後0～30日の平均気温は、24.9℃～28.6℃と高く、2006年6月29日移植を除くとすべて26℃以上の高温登熟条件であったことが特徴である(第4表)。一方、米粒の総タンパク質含有率は、登熟気温が高いほど高まるとする報告^{11, 39, 74, 79, 96)}では、人工気象室により登熟気温を17℃～29℃や20℃～27.5℃などと広範に設定している。また、登熟気温と米粒の総タンパク質含有率との関係を圃場試験によって調査した報告^{28, 33, 34, 65, 89)}を見ると、出穂後30日間あるいは出穂後40日間の平均気温が20～25℃以下となった試験区が多く含まれており、一方では登熟気温が高い試験区では28～30℃あるいは26～27℃であった。したがって、米粒の総タンパク質含有率に及ぼす登熟気温の影響については、登熟気温が25℃以下となる条件を設定してさらに検討する必要がある。ただし、圃場試験で登熟気温と米粒の総タンパク質含有率との関連を論じた既報では、移植時期を遅らせて登熟気温が低い条件で米粒の総タンパク質含有率が高まったとする報告が多い。本研究でも、窒素施用量を同一として移植時期を変えた2004年と2005年の試験では、移植時期を遅らせて登熟気温が低い条件で総タンパク質含有率が高い傾向にあった(第6表)。この結果は、登熟気温が低いことによって総タンパク質含有率が高くなったのか、移植時期を遅らせたことで稲体の窒素栄養状態が高まって総タンパク質含有率が高くなったのかが不明であり、この点については次項で言及する。

日射量とPB-I割合およびPB-I含有率との関係について述べる。本研究で供試した3品種ともに、PB-I割合は出穂後0～30日および出穂後0～15日の日射量と負の相関関係を示した(第7表)。これ

らの期間の日射量は、いずれも気温と密接に関連しており($r = 0.839^{**} \sim 0.925^{***}$, 図表省略)、登熟気温の影響を反映した可能性が高いと考えられる。「ニホンマサリ」と「LGCソフト」のPB-I含有率も出穂後0～30日および出穂後0～15日の日射量と負の相関関係を示し(第6表)、PB-I割合を反映したと推察された。今後は、遮光処理なども行って、登熟気温と日射量の影響を明らかにする必要がある。

3 作期が生育・収量性に及ぼす影響と米粒のPB-I割合および総タンパク質含有率の変動要因

前項で得られた知見を踏まえ、作期が生育や収量性に及ぼす影響を明らかにするとともに、生育・収量性と米粒の総タンパク質含有率およびPB-I割合との関係を検討する。

1) 材料および方法

供試品種および耕種概要は「II-2」と同じである。

出穂期に1試験区あたり7株の主稈の止葉の葉色を葉緑素計(コニカミノルタ社, SPAD-502)で測定した。「LGCソフト」については、出穂期に1試験区あたり8～10株を抜き取り、その内の中庸な2株を穂、葉身、稈・葉鞘、枯死部に分解した。また、分解時に葉面積を葉面積計(ライカ社, LI-3100)で測定した。分解に供しなかった6～8株の根を切り取った後、分解した部位も含めて80℃で3日以上乾燥し、重量を測定してm²あたりの部位毎の乾物重と葉面積(LAI)を算出した。分解した各部位は粉碎機(CMT社, TI-200)で粉碎し、80℃で3日以上乾燥した後、元素分析装置(エレメンタル社, rapidN III)で燃焼法によって窒素含有率を測定した。

成熟期には、1試験区あたり7株の最長稈長を調査した。出穂後の積算気温1,005～1,077℃・日に1試験区あたり2.2～3.2m²の稲株を刈り取り、収量と収量構成要素を楠田³⁷⁾に準じて調査した。粒厚1.8mm以上の玄米を精玄米とした。精玄米重と玄米千粒重は水分15%換算値として表示した。

2) 結果

(1) 生育と収量

「LGCソフト」の出穂期の全重は、2006年6月29日移植が730g^m⁻²と最も低く、それ以外では863～1,154g^m⁻²であった(第9表)。また、出穂期のLAIは4.24～6.41であった。止葉の葉色(SPAD値)は、34.3～39.9であり、その差は最大で5.6ポイントであった。「エルジーシー潤」と「ニホンマサリ」の出穂期の葉色はそれぞれ33.0～38.3と33.2～38.0であり(図表省略)、年次あるいは移植時期による数値の高低が「LGCソフト」に類似した。移植時期を4時期設けた2005年では、いずれの品種も4月28日移植と6月21日移植の葉色が5月17日移植と6月2日移植より高かった。追肥の窒素施用量を減じた2006年6月29日移植の葉色は、いずれの品種も2006年5月16日移植より低かった。出穂期の茎葉部窒素含有率は0.95～1.33%、茎葉部窒素含有量は7.62～11.32g^m⁻²であった。2004年では、茎葉部窒素含有率は移植日の遅い方が高かった。また、2005年では、最も遅い6月21日移植の茎葉部窒素含有率が最も高かった。一方、2006年では茎葉部窒素含有率に移植日による差異がなく、茎葉部窒素含有量は移植日の早い方が高かった。稈長は、いずれの品種も2006年6月29日移植が最も低く、最も高かったのは2005年6月2日移植であり、その差は11.4～12.8cmであった(第10表)。

精玄米重は、いずれの品種も2006年6月29日移植が最も低く、486～506g^m⁻²であった(第10表)。

それ以外では、「LGCソフト」が556～617g^m⁻²、「ニホンマサリ」と「エルジーシー潤」が541～667g^m⁻²であった。穂数は、2003年が325～337本^m⁻²といずれの品種でも最も少なく、最も多かったのは2005年4月28日移植あるいは2005年5月17日移植の535～556本^m⁻²であった。総粒数は、穂数の多少とは必ずしも一致せず、2006年6月29日移植が26.9～28.6千粒^m⁻²と最も少なく、2005年6月21日移植が36.5～38.5千粒^m⁻²と最も多かった。登熟歩合は、「ニホンマサリ」が71.0～91.3%、「LGCソフト」が80.8～88.9%、「エルジーシー潤」が68.2～85.9%であり、いずれの品種も総粒数が最も多かった2005年6月21日移植で登熟歩合が最も低かった。千粒重は、「ニホンマサリ」が21.7～23.7g、「LGCソフト」が19.7～21.6g、「エルジーシー潤」が20.2～22.5gであり、その差は最大で1.9～2.3gであった。

(2) 生育および収量に関する諸形質と米粒の総タンパク質含有率およびPB-I割合との関係

「LGCソフト」の出穂期の茎葉部窒素含有率と同窒素含有量は、精玄米の総タンパク質含有率と正の相関関係($r = 0.714^*$, 0.767^*)を示したが、PB-I割合とは相関が認められなかった(第9表)。また、出穂期の全重、LAIおよび止葉の葉色は、総タンパク質含有率やPB-I割合とも相関関係が認められなかった。「ニホンマサリ」と「エルジーシー潤」でも、止葉の葉色は総タンパク質含有率およびPB-I割合と相関を示さなかった(図表省略)。

収量構成要素では、登熟歩合と総タンパク質含有

第9表 「LGCソフト」の出穂期における生育と窒素栄養状態

年次	移植日	全重 (g m ⁻²)	LAI	止葉 葉色	窒素含有率 (%)	窒素含有量 (g m ⁻²)
2003	5月13日	939 def	5.03 bc	36.8 bc	1.16 bc	9.39 bcd
2004	5月13日	1154 a	6.06 ab	36.2 bcd	1.03 cd	10.28 abc
	6月11日	1022 bcd	6.17 a	37.1 b	1.31 a	11.32 a
2005	4月28日	920 ef	4.80 bc	37.1 b	1.07 cd	8.42 de
	5月17日	1090 ab	5.53 ab	34.3 d	0.95 d	8.81 cde
	6月2日	1057 bc	5.39 abc	34.4 d	1.00 d	8.91 cde
	6月21日	863 f	5.46 abc	39.9 a	1.33 a	9.54 bcd
2006	5月16日	971 cde	6.41 a	36.6 bc	1.24 ab	10.60 ab
	6月29日	730 g	4.24 c	34.9 cd	1.24 ab	7.62 e
相関係数 TP		0.046	0.554	0.544	0.714 *	0.767 *
PB-I/TP		-0.204	-0.024	0.395	0.587	0.327

窒素含有率と窒素含有量は、茎葉部における含有率と含有量を示す。TPとPB-Iは精玄米の総タンパク質含有率とPB-I含有率を示す。異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す(Tukey-Kramer法)。*は、5%水準で有意であることを示す。

第10表 稈長, 収量および収量構成要素

品種	年次	移植日	稈長 (cm)	精玄米重 (g m ⁻²)	穂数 (本 m ⁻²)	総粒数 (千粒 m ⁻²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
ニホンマサリ								
	2003	5月13日	80.3 b	606 bc	336 d	29.6 cd	86.4 b	23.7 a
	2004	5月13日	81.1 ab	655 ab	466 b	33.4 b	84.7 b	23.1 ab
	2005	4月28日	74.4 c	665 a	536 a	32.7 b	91.3 a	22.3 cd
		5月17日	81.4 ab	667 a	528 a	33.9 b	87.6 ab	22.4 c
	2006	6月2日	85.0 a	636 ab	429 b	32.1 bc	86.3 b	23.0 b
		6月21日	81.3 ab	580 c	489 b	36.5 a	71.0 c	22.4 c
		5月16日	81.3 ab	607 bc	489 b	32.9 b	84.9 b	21.7 d
	6月29日	73.6 c	504 d	378 c	26.9 d	82.8 b	22.6 bc	
相関 係数	TP		0.369	-0.309	-0.058	0.477	-0.856 **	-0.120
	PB-I / TP		-0.043	-0.493	-0.768 *	-0.388	-0.388	0.757 *
LGCソフト								
	2003	5月13日	75.1 ab	583 ab	325 d	30.6 c	88.0 a	21.6 a
	2004	5月13日	75.8 ab	610 ab	502 b	35.2 ab	83.1 ab	20.8 bc
		6月11日	75.6 ab	556 b	539 ab	33.8 b	83.4 ab	19.7 e
	2005	4月28日	68.3 c	603 ab	556 a	34.6 b	86.6 ab	20.1 de
		5月17日	75.8 ab	610 ab	537 a	33.9 b	88.9 a	20.3 cde
		6月2日	77.9 a	604 ab	427 c	32.9 bc	86.9 ab	21.2 ab
	2006	6月21日	72.4 b	617 a	487 b	37.3 a	80.8 b	20.5 cd
		5月16日	76.5 a	573 ab	505 b	34.4 b	83.4 ab	19.9 de
	6月29日	66.2 c	486 c	391 d	27.1 d	88.3 a	20.3 cde	
相関 係数	TP		0.305	-0.093	0.121	0.280	-0.666 *	-0.283
	PB-I / TP		-0.014	-0.299	-0.403	-0.196	-0.249	0.195
エルジーシー潤								
	2003	5月13日	81.4	615	337	31.7	85.9	22.5
	2004	5月13日	79.3 c	620 ab	511 b	37.0 ab	76.1 abc	22.0 a
	2005	4月28日	74.9 d	665 a	535 a	37.2 ab	84.3 a	21.2 cd
		5月17日	79.1 c	650 a	547 a	36.8 ab	83.7 a	21.1 d
		6月2日	86.8 a	608 ab	442 b	35.0 b	80.0 ab	21.7 ab
	2006	6月21日	85.0 ab	562 bc	480 b	38.5 a	68.2 c	21.4 bcd
		5月16日	82.4 bc	541 c	490 b	38.0 ab	70.6 bc	20.2 e
	6月29日	74.0 d	506 c	400 c	28.6 c	81.9 a	21.6 abc	
相関 係数	TP		0.643	-0.533	-0.188	0.316	-0.812 *	-0.254
	PB-I / TP		0.251	-0.242	-0.563	-0.307	-0.117	0.673

TPとPB-Iは、精玄米の総タンパク質含有率とPB-I含有率を示す。同一品種内の異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey-Kramer法)。なお、「エルジーシー潤」の2003年のデータは反復がないため、多重検定から除外した。*と**は、それぞれ5%と1%水準で有意であることを示す。

率との間に負の相関関係 ($r = -0.856^{**} \sim -0.666^{*}$) が3品種で認められた (第10表)。また、「ニホンマサリ」では、穂数および千粒重がPB-I割合と相関関係 ($r = -0.768^{*}$, $r = 0.757^{*}$) を示したが、「LGCソフト」と「エルジーシー潤」では、有意な相関関係は認められなかった。

3) 考察

「LGCソフト」の米粒のPB-I割合は、出穂期の生育量、茎葉部窒素含有率および同窒素含有量と有意な相関関係が認められず (第9表)、収量、収量構成要素、稈長などとも同様であった (第10表)。

また、「エルジーシー潤」のPB-I割合も出穂期の葉色、収量および収量構成要素と高い相関関係を示さなかった。これらのことから、タンパク質変異米水稻品種における米粒のPB-I割合は、作期を違えた場合の出穂期における窒素栄養状態、生育、さらには総粒数、千粒重および登熟歩合などとの関連性は低いと推察される。一方、一般食用水稻品種である「ニホンマサリ」では、千粒重がPB-I割合と正の相関関係を示した (第10表)。同様の傾向は「II-1」のポット試験でも認められている。さらに、1次枝梗に由来する精玄米は2次枝梗の精玄米よりも粒重が大きいことが一般的であり、本研究の「II-1」

における「ニホンマサリ」と「LGCソフト」を使った試験でも同様であるが、1次枝梗の精玄米は、2次枝梗の精玄米より13kDaプロラミンの割合が高く、PB-I割合が高かった（第2表）。建部ら⁸⁶⁾も粒厚の厚い玄米は、薄い玄米よりプロラミンの割合が高かったことを報告している。したがって、本研究の千粒重とPB-I割合との間に認められた正の相関関係は、既報と矛盾しないと考えられる。しかし、本研究では、タンパク質変異米水稲品種でもニホンマサリと同様に千粒重が変動したにもかかわらず、千粒重とPB-I割合との間に明瞭な関係が認められなかった。この点については、設定する条件を拡大するなどしてさらに検討する必要がある。

米粒の総タンパク質含有率は、供試した3品種ともに出穂期の葉色と5%水準で有意な相関関係になかった（第9表、一部図表省略）が、抜き取り調査を行った「LGCソフト」では、総タンパク質含有率は出穂期の茎葉部窒素含有率および茎葉部窒素含有量と正の相関関係にあった（第9表）。出穂期前後の稲体の窒素栄養状態は、米粒の総タンパク質含有率と密接な関係を示すことが数多く報告されており、タンパク質変異米水稲品種の作期が異なる条件においても、米粒の総タンパク質含有率に出穂期の窒素栄養状態が影響していると考えられた。また、窒素施用量が同一の場合、移植時期を遅らせると出穂期の稲体の窒素栄養状態が高まっていた（第9表）。このことから、「II-2」で認められた移植時期が遅いほど米粒の総タンパク質含有率が高まる現象は、登熟期間の気温の差異よりもむしろ、稲体の窒素栄養状態が高まることに起因すると考えられた。

米粒の総タンパク質含有率は、登熟歩合と負の相関関係を示すことが知られているが^{2, 38, 68, 88, 96)}、タンパク質変異米水稲品種においても同様の関係が本研究で認められた（第10表）。良食味米および酒造好適米の生産では、米粒の総タンパク質含有率を高めないことが求められることから、登熟歩合にも留意した作付け計画および栽培管理が重要になると考えられた。

Ⅲ 窒素施用条件が米粒のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響

1 窒素施用条件が米粒のタンパク質組成および総タンパク質含有率に及ぼす影響

施肥窒素は、貯蔵タンパク質の基質となるため、古くは米の栄養価を高める観点から、窒素施用量と米粒の総タンパク質含有率との関係が研究された^{10, 12, 30, 31, 69, 77)}。近年になると、米粒の総タンパク質含有率が高いほど炊飯米の食味は悪化することが知られるようになった^{21, 23, 42, 95)}。また、良食味米の需要の高まりとともに、稲体窒素吸収量あるいは葉色による栄養診断、土壌診断に基づいて窒素施用量を調節し、総タンパク質含有率を制御する肥培管理技術の研究が数多く行われた。一方、窒素施用条件が米粒のタンパク質組成に及ぼす影響についての報告は一般食用水稲品種でも数が少なく^{5, 66, 86, 95)}、タンパク質変異米水稲品種に関する知見はごくわずかである⁵⁷⁾。

そこで、一般食用水稲品種、低グルテリン米水稲品種および低グルテリン・26kDaグロブリン欠失米水稲品種を供試して、窒素施用量と窒素追肥時期が米粒のタンパク質組成と総タンパク質含有率に及ぼす影響を検討した。

1) 材料および方法

一般食用水稲品種「ニホンマサリ」、タンパク質変異米水稲品種「LGCソフト」（低グルテリン米水稲品種）および「エルジーシー潤」（低グルテリン・26kDaグロブリン欠失米水稲品種）を供試した。

試験は、2003年、2004年および2006年に近畿中国四国農業研究センター内の水田で行った。育苗にはポット育苗用育苗箱（14×32穴、みのる産業）を用い、育苗培土（みのる産業）を詰めた後、催芽した種子を播種した。播種粒数は、2003年は1穴あたり1粒、2004年と2006年は3粒とした。播種後は一般的な方法で育苗し、2003年と2004年は5月13日に、2006年は5月16日に同センター内の水田に手植えした。2003年は条間30cm株間25cm、1株1本植えとし、2004年と2006年は条間30cm株間15cm、1株3本植えとした。試験区は、面積を11～18m²

とし、窒素施用処理を主区、品種を副区とする分割区法により3反復(2003年)ないし2反復(2004年と2006年)で配置した。ただし、2003年の「エルジーシー潤」は反復を設けなかった。

つぎに、施肥窒素の条件について以下に示す。2003年は、無窒素区、少肥区および標肥区を設け、総窒素施用量は少肥区が 6 gm^{-2} (基肥 4 gm^{-2} , 分けつ盛期の追肥 2 gm^{-2})とし、標肥区は 10 gm^{-2} (基肥 4 gm^{-2} , 分けつ盛期 2 gm^{-2} , 幼穂形成期 4 gm^{-2})とした。2004年は、窒素を基肥に 4 gm^{-2} 施用し、分けつ盛期, 最高分けつ期, 穂首分化期, 幼穂形成期のいずれかに 4 gm^{-2} 施用する試験区(総窒素施用量 8 gm^{-2})を3品種に設けた。このほかに、「LGCソフト」については、分けつ盛期と幼穂形成期に窒素をそれぞれ 2 gm^{-2} と 4 gm^{-2} 追肥して合計 10 gm^{-2} とした試験区を設けた。さらに、異なる窒素供給条件を設定するために、速効性肥料で 4 gm^{-2} と肥効調節型被覆尿素(チッソ旭肥料, LP100) 3 gm^{-2} を基肥として施用し、穂首分化期に窒素を 4 gm^{-2} 施用する試験区(総窒素施用量 11 gm^{-2})を設けた。2006年は、基肥として 4 gm^{-2} の窒素を施用し、追肥しない試験区(総窒素施用量 4 gm^{-2})を設けた。また、5月中旬移植では基肥のほかに穂首分化期に 4 gm^{-2} の窒素を施用する試験区(総窒素施用量 8 gm^{-2})、6月下旬移植では基肥のほかに穂首分化期に 2 gm^{-2} の窒素を施用する試験区(総窒素施用量 6 gm^{-2})を設けた。なお、いずれの処理区も P_2O_5 と K_2O は基肥として

4 gm^{-2} 施用した。

成熟期には各試験区から42株(2003年), 54株(2004年), 48株(2006年)を刈り取り, 粒厚 1.8 mm 以上の玄米を精玄米とした。精玄米約 25 g を粉碎機(UDY社, サイクロンミル)で粉碎し, 「II-1」に準じて総タンパク質含有率の測定とSDS-PAGE分析およびタンパク質組成の解析を行った。

2) 結果

(1) 出穂期と登熟期間の気象条件

出穂期は, 「II-2」で記述したように, 作期が同一であれば品種間の差異は1~2日であった。また, いずれの品種も, 窒素施用条件による出穂期の差異は1日以内であった(図表省略)。したがって, 登熟期間の気象条件も, 作期が同一であれば品種間および窒素施用処理間に差異はほとんどなかった。

(2) 米粒のタンパク質組成に及ぼす窒素施用条件の影響

第11表から第14表に各年次の米粒のタンパク質組成を示した。総窒素施用量 0 gm^{-2} (無窒素区), 6 gm^{-2} (少肥区), 10 gm^{-2} (標肥区)の3処理を設けた2003年では, PB-I割合が, 「ニホンマサリ」では $19.9\sim 21.6\%$, 「LGCソフト」では $43.1\sim 45.0\%$, 「エルジーシー潤」では $60.7\sim 62.8\%$ であり, 総窒素施用量が最も多かった標肥区のPB-I割合がわずかに高い傾向にあった(第11表)。同様に, 総窒素施用量が多い条件でPB-I割合の高い傾向が, 2004

第11表 窒素施用条件が精玄米のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響 (2003年)

品種	窒素施用処理	タンパク質組成 (%)									タンパク質含有率 (%)	
		PB-I 構成タンパク質				PB-I 構成タンパク質以外のタンパク質					総タンパク質	PB-I
		10kDa プロラ ミン	13kDa プロラ ミン	16kDa プロラ ミン	合計	22-23kDa グルテ リンβ	26kDa グロブ リン	37-39kDa グルテ リンα	57kDa	>57kDa		
ニホンマサリ												
	無窒素	0.9 a	14.3 b	4.6 a	19.9 c	22.9 a	5.6 a	31.4 a	10.0 a	10.2 a	5.8 c	1.2 c
	少肥	1.0 a	14.4 b	5.4 a	20.8 b	22.2 a	6.4 a	31.1 a	9.2 ab	10.3 a	6.7 b	1.3 b
	標肥	1.3 a	15.5 a	4.7 a	21.6 a	21.7 a	6.4 a	32.0 a	8.6 b	9.8 a	7.3 a	1.6 a
LGCソフト												
	無窒素	0.5 a	37.9 ab	5.2 a	43.5 a	8.6 a	10.6 a	15.1 a	8.5 a	13.6 a	7.1 b	3.1 b
	少肥	0.5 a	37.0 b	5.6 a	43.1 a	8.5 ab	10.9 a	15.2 a	8.7 a	13.5 a	7.2 b	3.1 b
	標肥	0.8 a	38.5 a	5.7 a	45.0 b	8.0 b	11.5 a	14.5 b	8.0 a	13.0 a	7.7 a	3.5 a
エルジーシー潤												
	無窒素	1.0	53.3	6.5	60.8	5.9	—	9.1	8.8	15.4	6.5	4.0
	少肥	0.7	53.1	6.9	60.7	5.4	—	8.6	9.7	15.5	6.8	4.1
	標肥	1.7	54.0	7.1	62.8	5.7	—	8.7	7.8	14.9	7.6	4.8

「エルジーシー潤」は反復なし。「エルジーシー潤」には 26 kDa グロブリンが存在しないため「—」で示した。同一品種内の異なる英文字間には 5% 水準で有意差があることを示す(LSD法)。

年の「LGCソフト」(第13表), 2006年の5月中旬移植の供試全品種(第14表)で認められた。一方, 2006年の6月下旬移植では, 総窒素施用量が異なる条件でも「ニホンマサリ」と「エルジーシー潤」でPB-I割合に有意な処理間差は認められなかった(第14表)。また, 総窒素施用量を同一として追肥時期を変えた2004年の試験では, いずれの品種も追肥時期によるPB-I割合に差異は認められなかった(第12表)。

PB-I割合に窒素施用処理間の差異が認められる場合において, PB-I構成タンパク質画分の中で有意な差異が認められたのは13kDaプロラミンであった(第11, 14表)。PB-I構成タンパク質以外のタ

ンパク質画分の中で26kDaグロブリンのみは, その割合がPB-I割合が高くなる場合でも変化しない(第11, 13表)か高くなる(第14表)傾向にあった。

PB-I割合と総タンパク質含有率との単相関係数は0.088~0.453 ($P > 0.05$)であったが, 出穂後0~15日の気温の影響を取り除き(登熟気温固定), PB-I割合と総タンパク質含有率との偏相関を検討すると, 偏相関係数は0.831**~0.907***であり, いずれの品種も高い正の相関関係を示した(第15表)。

(3) 米粒の総タンパク質含有率およびPB-I含有率に及ぼす窒素施用条件の影響

米粒の総タンパク質含有率は, 作期が同一であれば総窒素施用量の多い条件で高まった(第11, 13,

第12表 窒素追肥時期が精玄米のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響 (2004年)

品種	窒素追肥時期	タンパク質組成 (%)									タンパク質含有率 (%)	
		PB-I 構成タンパク質				PB-I 構成タンパク質以外のタンパク質					総タンパク質	PB-I
		10kDa プロラ ミン	13kDa プロラ ミン	16kDa プロラ ミン	合計	22-23kDa グルテ リンβ	26kDa グロブ リン	37-39kDa グルテ リンα	57kDa	>57kDa		
ニホンマサリ												
	分けつ盛期	1.0 a	13.0 a	5.5 a	19.4 a	22.3 a	6.5 a	31.6 a	9.2 a	10.9 a	7.2 b	1.4 b
	最高分けつ期	0.8 a	13.0 a	5.6 a	19.4 a	21.9 a	6.4 a	31.8 a	9.3 a	11.2 a	7.1 b	1.4 b
	穂首分化期	1.3 a	13.5 a	5.1 a	19.8 a	21.8 a	6.4 a	31.9 a	9.2 a	10.9 a	7.0 b	1.4 b
	幼穂形成期	1.2 a	13.9 a	5.3 a	20.4 a	21.9 a	6.3 a	32.3 a	8.8 a	10.2 a	7.8 a	1.6 a
LGCソフト												
	分けつ盛期	0.9 a	33.1 a	6.6 a	40.7 a	9.1 a	11.5 a	15.2 a	8.5 a	15.0 a	7.8 b	3.2 a
	最高分けつ期	0.9 a	34.9 a	6.7 a	42.6 a	9.0 a	11.7 a	14.9 a	8.3 a	13.6 a	7.9 ab	3.4 a
	穂首分化期	1.0 a	34.3 a	6.2 a	41.5 a	8.5 a	11.6 a	15.1 a	8.4 a	14.8 a	7.7 b	3.2 a
	幼穂形成期	0.9 a	33.9 a	6.7 a	41.5 a	8.9 a	12.2 a	15.2 a	8.0 a	14.2 a	8.4 a	3.5 a
エルジーシー潤												
	分けつ盛期	1.3 a	51.3 a	7.3 a	59.9 a	7.0 a	—	9.6 a	8.4 a	15.1 a	7.3 b	4.4 a
	最高分けつ期	1.4 a	51.7 a	7.2 a	60.4 a	6.9 a	—	9.3 a	8.3 a	15.0 a	7.2 b	4.3 a
	穂首分化期	1.7 a	52.4 a	6.9 a	60.9 a	6.3 a	—	9.0 a	8.4 a	15.4 a	7.3 b	4.4 a
	幼穂形成期	1.5 a	51.9 a	7.2 a	60.6 a	6.5 a	—	9.6 a	8.2 a	15.1 a	7.6 a	4.6 a

「エルジーシー潤」は反復なし。「エルジーシー潤」には26kDaグロブリンが存在しないため「-」で示した。同一品種内の異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す(LSD法)。

第13表 窒素施用条件が「LGCソフト」の精玄米のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響 (2004年)

窒素施用処理	タンパク質組成 (%)									タンパク質含有率 (%)	
	PB-I 構成タンパク質				PB-I 構成タンパク質以外のタンパク質					総タンパク質	PB-I
	10kDa プロラ ミン	13kDa プロラ ミン	16kDa プロラ ミン	合計	22-23kDa グルテ リンβ	26kDa グロブ リン	37-39kDa グルテ リンα	57kDa	>57kDa		
基肥(速効性)+追肥1回	1.0 a	34.3 a	6.2 a	41.5 b	8.5 a	11.6 a	15.1 a	8.4 a	14.8 a	7.7 b	3.2 b
基肥(速効性)+追肥2回	0.8 a	37.3 a	6.8 a	44.9 a	8.8 a	12.7 a	14.6 a	7.0 a	12.0 b	9.1 a	4.1 a
基肥(速効性+緩効性)+追肥1回	1.0 a	36.3 a	6.6 a	43.8 ab	8.1 a	12.3 a	14.3 a	8.1 a	13.4 ab	8.9 a	3.9 a

「基肥(速効性)+追肥1回」は第13表の穂首分化期追肥と同一処理で総窒素施用量8 gm²であり, 「基肥(速効性)+追肥2回」は第12表の標肥と同様の窒素施用方法(総窒素施用量10 gm²)である。「基肥(速効性+緩効性)+追肥1回」の総窒素施用量は11 gm², 追肥時期は穂首分化期である。異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す(LSD法)。

第14表 窒素追肥が精玄米のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響 (2006年)

品種	移植時期	窒素追肥	タンパク質組成 (%)								タンパク質含有率 (%)		
			PB-I 構成タンパク質				PB-I 構成タンパク質以外のタンパク質				総タンパク質	PB-I	
			10kDa プロラ ミン	13kDa プロラ ミン	16kDa プロラ ミン	合計	22-23kDa グルテ リンβ	26kDa グロブ リン	37-39kDa グルテ リンα	57kDa			>57kDa
ニホンマサリ													
	5月中旬	無	1.1 a	9.0 d	4.8 a	14.9 c	21.9 a	5.5 b	33.7 a	10.4 a	13.6 a	6.6 c	1.0 c
		4gN	1.3 a	10.5 c	5.1 a	16.9 b	21.8 a	6.1 a	33.5 a	9.9 ab	11.8 b	7.4 a	1.3 b
	6月下旬	無	1.0 a	13.5 b	5.4 a	19.9 a	20.7 b	6.4 a	31.3 b	9.4 b	12.4 ab	6.4 c	1.3 b
		2gN	1.2 a	14.1 a	5.2 a	20.5 a	20.9 b	6.3 a	31.6 b	9.2 b	11.4 b	6.9 b	1.4 a
LGCソフト													
	5月中旬	無	1.0 a	27.7 d	6.3 a	35.0 d	9.9 a	11.6 b	17.5 a	10.0 a	16.0 a	7.0 c	2.5 c
		4gN	1.1 a	29.6 c	6.7 a	37.4 c	9.7 ab	12.2 a	16.9 a	8.9 b	15.0 a	7.8 a	2.9 b
	6月下旬	無	0.8 a	32.4 b	6.7 a	39.8 b	9.4 b	11.5 b	15.7 b	8.1 bc	15.6 a	7.0 c	2.8 b
		2gN	0.8 a	34.4 a	7.1 a	42.4 a	9.2 c	11.4 b	15.1 b	7.8 c	14.2 a	7.4 b	3.1 a
エルジーシー潤													
	5月中旬	無	2.1 a	43.5 b	6.8 a	52.4 b	7.5 a	—	10.3 a	10.3 a	19.6 a	6.8 c	3.5 b
		4gN	1.8 a	48.9 ab	7.3 a	58.0 a	7.1 a	—	10.3 a	8.3 b	16.4 a	8.1 a	4.7 a
	6月下旬	無	1.2 a	51.7 a	7.3 a	60.2 a	6.0 b	—	8.2 c	8.2 b	17.4 a	6.7 c	4.0 ab
		2gN	1.5 a	51.8 a	7.2 a	60.5 a	6.0 b	—	8.6 b	7.7 b	17.2 a	7.2 b	4.3 ab

「エルジーシー潤」には26kDaグロブリンが存在しないため「-」で示した。同一品種内の異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す (LSD法)。

第15表 精玄米の総タンパク質含有率および登熟気温とPB-I割合との相関係数

品種	単相関係数		偏相関係数	
	総タンパク質含有率	登熟気温	総タンパク質含有率 (登熟気温固定)	登熟気温 (総タンパク質固定)
ニホンマサリ	0.088	-0.879 ***	0.907 ***	-0.979 ***
LGCソフト	0.453	-0.732 **	0.905 ***	-0.945 ***
エルジーシー潤	0.154	-0.779 **	0.831 **	-0.935 ***

登熟気温は出穂後0～15日間の日平均気温を用いた。「LGCソフト」；n = 13, 「エルジーシー潤」と「ニホンマサリ」；n = 11. **, ***はそれぞれ1%, 0.1%水準で有意であることを示す。

14表)。総窒素施用量を同一として追肥時期を変えた2004年の試験では、いずれの品種も幼穂形成期の追肥が総タンパク質含有率を高めた (第12表)。

PB-I含有率はおおむね総タンパク質含有率と類似した処理間差を示したが、例えば第14表における「エルジーシー潤」の6月下旬移植の追肥処理間差のように、総タンパク質含有率で認められた有意な差がPB-I含有率では認められなくなる場合が散見された (第12, 14表)。

3) 考察

一般食用水稲品種に関する多くの知見と同様に、タンパク質変異米水稲品種でも窒素施用量が多い条件および窒素追肥時期が遅い条件で米粒の総タンパク質含有率は高まることが明らかになった。

本研究では、窒素施用量を高めて米粒の総タンパク質含有率が高まる条件でPB-I割合はわずかに高

くなることを示唆する結果が得られた。また、このことは、PB-I構成タンパク質である13kDaプロラミンの割合が高まり、PB-I構成タンパク質以外のタンパク質では、グロブリンを除く各種タンパク質の割合が低くなることによるものと推察された (第11, 13, 14表)。山下・藤本⁹⁵⁾ や折谷・葭田⁹⁶⁾、建部⁸⁶⁾ は、一般食用水稲品種について、窒素施用量を増すほど、また遅い時期の窒素追肥処理によって米粒の総タンパク質含有率は高くなったが、タンパク質組成に変化は認められない、もしくはグルテリンの割合が高まったことを報告している。西村ら⁵⁷⁾ は、低グルテリン米水稲品種と低グルテリン・26kDaグロブリン欠失系統を供試し、窒素施用量の違いによって総タンパク質含有率は変化するが、タンパク質組成はほとんど影響されないと報告している。これら既報は、本研究で示唆された窒素施用量の増加によって総タンパク質含有率が増加すると

PB-I 割合はわずかに高まる傾向とは異なるものである。以下では、既報と本研究とで矛盾が生じた理由を考察したい。

緒論でも触れたが、山下・藤本⁹⁵⁾や折谷・葭田⁶⁶⁾は、溶媒抽出によって貯蔵タンパク質を分画定量し、建部ら⁸⁶⁾は、Ogawaら⁵⁹⁾のペプシンを用いた抽出法で貯蔵タンパク質を分画定量した。溶媒抽出法の難点は、抽出効率、特にプロラミン抽出の不安定性にある。平野⁹⁾は、建部らと同様の方法でタンパク質組成を解析するとともに、著者と同様のSDS-PAGE法に基づく方法でも解析し、測定方法の比較検討を行っている。その結果を見ると測定方法によってタンパク質組成には大きな隔たりがあり、タンパク質の溶媒抽出・分画によるタンパク質組成の解析を行った既報は、実態を正確に反映していない可能性が高いと考えられた。

一方、西村ら⁵⁷⁾は、本研究と同様にSDS-PAGE法と画像解析による方法でタンパク質組成を解析している。しかし、本研究のように数十g単位の米粒を粉砕したサンプルではなく、1処理区の分析に精玄米10粒を用い、1粒ずつ測定した値の平均値を使って窒素施用条件との関係を検討している。何粒を測定すれば処理区全体を正確に反映する結果が得られるかは不明であるが、本研究の「II-1」において1次枝梗着生粒と2次枝梗着生粒とでタンパク質組成が大きく異なることが明らかになっていることから、10粒の測定では誤差が大きく、窒素施用量あるいは米粒の総タンパク質含有率とタンパク質組成との関係を捉え難くしていた可能性がある。

米粒の総タンパク質含有率の増加にともなう、どのようなメカニズムで13kDaプロラミンの割合が増加したのかは不明であるが、従来の知見から若干考察してみたい。Tanakaら⁸²⁾は、登熟期の米粒中のグルテリンとプロラミンの蓄積開始時期にはタイムラグがあり、プロラミンはグルテリンより5日以上遅れて蓄積することを報告している。また、グルテリン含有量は開花後5日目頃から急速に増加するのに対して、プロラミンは徐々に増加するとしている。そして、窒素施用量が多い場合や窒素追肥時期が遅い場合は、登熟後期まで米粒中に窒素の供給が続くことが推測される。これらのことから、総タンパク質含有率が高まる窒素施用条件および稲体窒素

栄養状態では、グルテリンと比較して遅い時期に蓄積するプロラミンの方がより形成されやすいことが推察された。

2 窒素施用条件が生育・収量性に及ぼす影響と米粒のPB-I割合および総タンパク質含有率の変動要因

さまざまな窒素施用条件における生育・収量性を把握し、米粒の総タンパク質含有率とPB-I割合の変動要因を明らかにすることを目的とした。

1) 材料および方法

供試品種と栽培概要は「III-1」と同様である。

出穂期の葉色、成熟期の稈長と倒伏程度を「II-3」と同様に調査した。また、「LGCソフト」については、2004年の肥効調節型肥料を用いた処理を除いてすべての処理で出穂期と成熟期に抜取調査を行い、葉面積、部位別の乾物重、窒素含有率の測定および部位別窒素含有量の検討を「II-3」に準じて行った。

収量と収量構成要素の調査は「II-3」に準じて行った。

2) 結果

(1) 生育と収量

2003年、2004年および2006年の試験を通して、「LGCソフト」の出穂期の全重は607~1,194g^m⁻²、LAIは2.5~7.2であり、同一の作期では、窒素施用量が多いほど高い場合が多かった(第16表)。出穂期の葉色(SPAD値)は31.2~38.7であった。2003年の試験では、出穂期の葉色は標肥区が最も高く、穂肥を施用しなかった少肥区と無窒素区が同程度であった。総窒素施用量を同一として追肥時期の処理を設けた2004年の試験では、出穂期の葉色は、追肥時期を分けず盛期あるいは最高分けつ期とした処理区で最も低く、穂首分化期、幼穂形成期と追肥時期を遅くするにしたがって高くなった。2006年の試験では、無追肥区よりも追肥区(穂首分化期)の方が出穂期の葉色は2.4~4.1ポイント高かった。出穂期の葉色に対する窒素施用条件の影響は、「ニホンマサリ」と「エルジーシー潤」でも類似した(データ省略)。「LGCソフト」の出穂期の茎葉部窒素含有

第16表 窒素施用条件が「LGCソフト」の出穂期の生育と窒素栄養状態に及ぼす影響

年次	窒素施用処理	総窒素施用量 (gN m ⁻²)	全重 (g m ⁻²)	LAI	止葉 葉色	窒素含有率 (%)	窒素含有量 (g m ⁻²)
2003	無窒素	0	607 b	2.5 b	31.2 b	0.78 c	4.2 c
	少肥	6	933 a	4.6 a	32.1 b	0.92 b	7.4 b
	標肥	10	939 a	5.0 a	36.8 a	1.16 a	9.4 a
2004	分けつ盛期追肥	8	1168 a	6.5 ab	33.9 c	1.02 b	10.2 a
	最高分けつ期追肥	8	1193 a	7.2 a	34.3 c	1.09 ab	11.3 a
	穂首分化期追肥	8	1154 a	6.1 b	36.2 b	1.03 b	10.3 a
	幼穂形成期追肥	8	1038 b	5.7 b	38.3 a	1.21 a	11.0 a
	基肥(速効性)+追肥2回	11	1194 a	6.9 a	38.7 a	1.27 a	13.2 a
2006	無追肥 (5月中旬移植)	4	893 a	4.9 b	32.5 c	0.95 b	7.3 b
	4gN追肥 (5月中旬移植)	8	971 a	6.4 a	36.6 a	1.24 a	10.6 a
	無追肥 (6月下旬移植)	4	668 b	3.6 c	32.5 c	0.95 b	5.5 c
	2gN追肥 (6月下旬移植)	6	730 b	4.2 bc	34.9 b	1.24 a	7.6 b
相関 係数	TP		0.714 **	0.723 **	0.888 ***	0.714 **	0.882 ***
	PB-I /TP		0.108	-0.025	0.322	0.137	0.166

窒素含有率と窒素含有量は、茎葉部における含有率と含有量を示す。TPとPB-Iは精玄米の総タンパク質含有率とPB-I含有率を示す。同一年次内の異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す(LSD法)。**、***はそれぞれ1%、0.1%水準で有意であることを示す。

率は0.78～1.27%、茎葉部窒素含有量は4.2～13.2g^m⁻²であり、同一の作期では、窒素施用量が多いほど高い場合が多かった(第16表)。稈長は、いずれの年次においても窒素施用量が多いほど長くなったが、2003年と2006年の試験では倒伏は全く生じなかった(第17表)。台風の影響が大きかった2004年の試験では、「LGCソフト」の倒伏程度は総窒素施用量を同一とした場合に追肥時期が早いほど高い傾向にあった。ただし、処理区全体の倒伏程度は0.5～2.0と軽微であった。「ニホンマサリ」と「エルジーシー潤」では、倒伏程度は0.5～1.5であり、追肥時期による差異は認められなかった。

精玄米重は、いずれの品種も2003年の試験における無窒素区が最も低く、362～401g^m⁻²であった(第17表)。それ以外では、「LGCソフト」が401～610g^m⁻²、「ニホンマサリ」と「エルジーシー潤」が448～655g^m⁻²であった。2003年と2006年の試験結果から、総窒素施用量が多いと穂数および総粒数が多くなり、精玄米重も高くなった。追肥時期の影響を検討した2004年の試験では、精玄米重は穂首分化期および幼穂形成期の追肥でやや高い傾向にあった。穂首分化期の追肥によっていずれの品種も総粒数は多くなったが、「LGCソフト」では登熟歩合の低下は認められず、「ニホンマサリ」と「エルジーシー潤」でも登熟歩合は幼穂形成期の追肥と比較して2～4ポイントの低下に留まった。2006年の試験における登熟歩合は、「LGCソフト」では窒素施用

処理間の有意差(P<0.05)が認められなかったが、「ニホンマサリ」では5月中旬移植および6月下旬移植において追肥処理区の方が無追肥区よりも8～9ポイント低く、「エルジーシー潤」では5月中旬移植において追肥処理区の方が無追肥区よりも19ポイント低かった。千粒重は、「ニホンマサリ」が21.7～24.3g、「LGCソフト」が19.9～22.1g、「エルジーシー潤」が20.2～23.3gであった。

(2) 生育および収量に関する諸形質と米粒の総タンパク質含有率およびPB-I割合との関係

「LGCソフト」の出穂期における全重、LAI、止葉の葉色、茎葉部窒素含有率および茎葉部窒素含有量は、精玄米の総タンパク質含有率と高い正の相関関係(r=0.714**～0.888***)を示したが、PB-I割合とは有意な相関関係を示さなかった(第16表)。「ニホンマサリ」と「エルジーシー潤」でも出穂期の葉色と総タンパク質含有率は正の相関関係(r=0.809**～0.842***)を示したが、出穂期の葉色とPB-I割合とは有意な相関関係を示さなかった(図表省略)。

登熟過程における稲体の窒素動態と精玄米の総タンパク質含有率およびPB-I割合との関係を検討するために、「LGCソフト」について、Δ茎葉部窒素含有量(出穂期の茎葉部窒素含有量-成熟期の茎葉部窒素含有量)と登熟期間の稲体窒素吸収量を算出し、総タンパク質含有率およびPB-I割合との相関係数を第18表に示した。Δ茎葉部窒素含有量は精

第17表 窒素施用条件が稈長、倒伏程度、収量および収量構成要素に及ぼす影響

品種	年次	窒素施用処理	稈長 (cm)	倒伏程度 (0無~5甚)	精玄米重 (g m ⁻²)	穂数 (本 m ⁻²)	総粒数 (千粒 m ⁻²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
ニホンマサリ									
2003		無窒素	66.0 c	0.0 a	401 b	232 c	18.6 b	91 a	23.7 a
		少肥	76.5 b	0.0 a	577 a	364 a	28.4 a	88 ab	23.0 b
		標肥	80.3 a	0.0 a	606 a	336 b	29.6 a	86 b	23.7 a
2004		分けつ盛期追肥	79.8 a	0.5 a	623 ab	514 a	30.0 b	89 a	23.5 b
		最高分けつ期追肥	80.1 a	1.0 a	596 b	509 a	28.7 b	88 ab	23.6 b
		穂首分化期追肥	81.1 a	1.0 a	655 a	466 ab	33.4 a	85 b	23.1 c
		幼穂形成期追肥	78.1 b	1.0 a	633 ab	427 b	29.9 b	87 ab	24.3 a
2006		無追肥 (5月中旬)	75.1 ab	0.0 a	544 ab	436 b	26.1 b	93 a	22.5 b
		4gN追肥 (5月中旬)	81.3 a	0.0 a	607 a	489 a	32.9 a	85 b	21.7 c
		無追肥 (6月下旬)	68.8 b	0.0 a	448 b	339 c	20.6 c	92 a	23.6 a
		2gN追肥 (6月下旬)	73.6 b	0.0 a	504 ab	378 c	26.9 b	83 b	22.6 b
相関係数TP			0.832 ***	0.489	0.844 **	0.655 *	0.816 **	-0.547	0.027
PB-I /TP			-0.057	0.164	0.002	-0.390	-0.052	-0.366	0.634 *
LGCソフト									
2003		無窒素	62.3 c	0.0 a	362 c	224 c	18.8 b	90 a	21.3 a
		少肥	71.6 b	0.0 a	547 b	358 a	29.5 a	89 a	20.7 b
		標肥	75.1 a	0.0 a	583 a	325 b	30.6 a	88 a	21.6 a
2004		分けつ盛期追肥	72.9 a	2.0 a	544 b	518 a	31.8 b	82 a	20.8 b
		最高分けつ期追肥	74.9 a	1.5 ab	575 ab	543 a	33.0 ab	83 a	21.0 b
		穂首分化期追肥	75.8 a	1.5 ab	610 a	502 ab	35.2 a	83 a	20.8 b
		幼穂形成期追肥	71.5 a	0.5 b	605 ab	441 b	33.8 ab	81 a	22.1 a
2006		無追肥 (5月中旬)	70.4 b	0.0 a	470 b	417 bc	25.9 bc	88 a	20.5 b
		4gN追肥 (5月中旬)	76.5 a	0.0 a	573 a	505 a	34.4 a	83 a	19.9 d
		無追肥 (6月下旬)	62.1 d	0.0 a	401 b	358 c	22.4 c	86 a	20.8 a
		2gN追肥 (6月下旬)	66.2 c	0.0 a	486 ab	391 b	27.1 b	88 a	20.3 c
相関係数TP			0.633 *	0.488	0.789 **	0.574	0.791 **	-0.801 **	0.431
PB-I /TP			-0.058	0.088	0.115	-0.372	-0.022	0.180	0.534
エルジーシー潤									
2003		無窒素	68.4	0.0	385	226	18.8	91	22.5
		少肥	77.3	0.0	545	361	29.1	87	21.6
		標肥	81.4	0.0	615	337	31.7	86	22.5
2004		分けつ盛期追肥	77.7 a	1.5 a	599 ab	532 b	32.9 b	83 a	22.1 b
		最高分けつ期追肥	77.9 a	1.5 a	591 b	577 a	32.1 b	83 a	22.2 b
		穂首分化期追肥	79.3 a	1.5 a	620 ab	511 b	37.0 a	76 b	22.0 b
		幼穂形成期追肥	78.5 a	1.5 a	636 a	430 c	34.2 ab	80 ab	23.3 a
2006		無追肥 (5月中旬)	74.4 b	0.0 a	541 a	453 ab	28.8 b	90 a	20.8 c
		4gN追肥 (5月中旬)	82.4 a	0.0 a	540 a	490 a	38.0 a	71 b	20.2 d
		無追肥 (6月下旬)	69.1 c	0.0 a	464 a	362 b	23.2 c	90 a	22.4 a
		2gN追肥 (6月下旬)	74.0 b	0.0 a	506 a	400 ab	28.6 b	82 a	21.6 b
相関係数TP			0.859 ***	0.278	0.636 *	0.451	0.843 **	-0.858 ***	-0.156
PB-I /TP			0.112	0.210	0.108	-0.252	-0.020	-0.116	0.638 *

2006年の窒素施用処理欄における括弧内は移植時期を示す。TPとPB-Iは、精玄米の総タンパク質含有率とPB-I含有率を示す。同一品種・同一年次内の異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す(LSD法)。*、**、***はそれぞれ5%、1%、0.1%水準で有意であることを示す。

玄米の総タンパク質含有率と高い正の相関関係 ($r = 0.892^{***}$) を示した。一方、登熟期間の稲体窒素吸収量と総タンパク質含有率とは相関係数が負の値を示し、5%水準で有意な相関関係は認められなかった。Δ茎葉部窒素含有量および登熟期間の稲体窒素吸収量はPB-I割合と有意な相関関係を示さなかった。

稈長は、精玄米の総タンパク質含有率と正の相関関係 ($r = 0.633^* \sim 0.859^{***}$) を示したが、PB-I割合とは相関関係を示さなかった(第17表)。いずれの品種も、精玄米重と総粒数は総タンパク質含有率と正の相関関係 ($r = 0.636^* \sim 0.844^{**}$) を示し、「ニホンマサリ」では穂数も総タンパク質含有率と正の

第18表 「LGCソフト」の登熟過程における窒素動態と精玄米の総タンパク質含有率およびPB-I割合との関係

	Δ茎葉部 窒素含有量	登熟期間の稲体 窒素吸収量
TP	0.892 ***	-0.535
PB-I /TP	0.204	0.073

数値は相関係数を示す。Δ茎葉部窒素含有量=出穂期の茎葉部窒素含有量-成熟期の茎葉部窒素含有量。TPとPB-Iは精玄米の総タンパク質含有率とPB-I含有率を示す。n = 12。***は0.1%水準で有意であることを示す。

相関関係 ($r = 0.655^*$) を示した(第17表)。「LGCソフト」と「エルジーシー潤」では、登熟歩合が総タンパク質含有率と負の相関関係 ($r = -0.858^{***} \sim$

-0.801**) を示した。収量および収量構成要素の中でPB-I割合と相関関係を示したのは千粒重であり、「エルジーシー潤」と「ニホンマサリ」で正の相関関係 ($r = 0.634^* \sim 0.638^*$) が認められた。

3) 考察

本研究では、出穂期の全重や成熟期の稈長など生育に関する形質と米粒のPB-I割合との間に相関関係は認められなかった。このことから、窒素施用条件が異なることで生育が大きく変わっても、米粒のタンパク質組成に直接影響することはないと考えられた。収量および収量構成要素の中では、「ニホンマサリ」と「エルジーシー潤」の玄米千粒重がPB-I割合と正の相関関係 ($P < 0.05$) を示し、「II-3」の「ニホンマサリ」の作期が異なる場合と同様の結果が得られた。また、「LGCソフト」では、相関係数が5%水準で有意ではなかったが、上記2品種と同様に相関係数は正の値 ($P < 0.1$) であった。このことから、栽培方法による千粒重の変化が米粒のPB-I割合の変化に関与することが推察された。

米粒の総タンパク質含有率は、「ニホンマサリ」のみならずタンパク質変異米水稻品種においても出穂期の葉色、茎葉部窒素含有率および同窒素含有量と高い正の相関関係にあった (第16表)。一般食用水稻品種では、米粒内の総タンパク質含有率が高いほど炊飯米の食味が低下することが知られ^{21, 23, 42, 95)}、良食味米生産の観点から、米粒内の総タンパク質含有率の変動に関与する要因については多数の検討がなされてきた。中でも、出穂前後および登熟初期における葉身・茎葉の窒素含有率、稲体窒素吸収量、葉色などの窒素栄養状態を示す測定値と米粒内の総タンパク質含有率とは密接な関係にあることを示す報告が数多い。本研究結果から、タンパク質変異米水稻品種においても、米粒の総タンパク質含有率は稲体の窒素栄養状態の影響を強く受けることが示された。さらに本研究では、出穂期の茎葉部窒素含有量から成熟期の茎葉部窒素含有量を差し引いた値が総タンパク質含有率と高い正の相関関係を示す一方、登熟期間の稲体窒素吸収量と総タンパク質含有率は有意な相関関係を示さなかった (第18表)。このことから、登熟期間に土壌から吸収する窒素量よりも、出穂期までに茎葉部に蓄積されて、その後、

米粒に転流する窒素量が米粒の総タンパク質含有率を決定する上で重要であると考えられた。

本研究では、米粒の総タンパク質含有率が総粒数および精玄米重と正の相関関係にあった (第17表) が、これは窒素施用量を高めて総粒数および精玄米重が高まる条件で総タンパク質含有率も高まったためと考えられた。作期の影響を検討した結果と同様に、「LGCソフト」と「エルジーシー潤」では総タンパク質含有率が登熟歩合と負の相関関係にあった (第17表) ことから、総タンパク質含有率の決定に、登熟歩合は重要な形質と考えられた。

総窒素施用量を同一として追肥時期の影響を検討した試験では、穂首分化期の窒素追肥で総粒数が多くなり、収量はほかの追肥時期と比較して同等もしくはそれ以上であった (第17表)。また、「III-1」で述べたように、穂首分化期の窒素追肥は幼穂形成期の追肥と比較して米粒の総タンパク質含有率が低かった (第12表)。これまでに、穂首分化期の窒素追肥は上位葉を著しく伸長ならびに下垂させ、登熟期間の受光体勢が悪化することで登熟歩合の低下および収量の低下を引き起こすとされてきた⁵⁰⁾。しかし、本研究で供試した「ニホンマサリ」、「LGCソフト」および「エルジーシー潤」では、観察の結果、受光体勢の悪化は認められなかった。また、従来、穂首分化期の窒素追肥は下位節間の伸長を促して倒伏しやすい草姿を形成するとされている⁵⁰⁾。登熟期間に倒伏が生じた場合には、その時期にもよるが、登熟歩合ひいては収量の低下を生じるとともに、米粒の総タンパク質含有率の増大を生じる場合がある⁴²⁾。本研究では、台風の影響を強く受けた2004年に追肥時期の試験を行っているが、倒伏程度は最も高い処理区でも2.0に留まった (第17表)。本研究では下位節間長の調査は行っていないが、穂首分化期の追肥処理が必ずしも他の追肥時期より稈長の著しい伸長を引き起こしていなかった (第17表)。「ニホンマサリ」、「LGCソフト」および「エルジーシー潤」は、短稈で耐倒伏性に優れる^{19, 24, 56)} ことを考え合わせると、これらの品種は穂首分化期の窒素追肥を行っても耐倒伏性および登熟歩合の大幅な低下を生じる可能性は低いと考えられた。また、穂首分化期の窒素追肥は収量を高めつつ、総タンパク質含有率を抑制する効果があると考えられた。

IV 種子貯蔵タンパク質の米粒内の分布特性

1 搗精した米粒のSDS-PAGE分析に基づく米粒内の種子貯蔵タンパク質の分布特性

日本人は、精玄米の外層10%程度を搗精した白米を炊飯して主に食している。この搗精の意味合いは、食したときに渋み・えぐみをもたらす糠層など米粒の外層部分を取り除くことにある。酒造においては、さらに高度に搗精した白米を利用する。このほかに、腎疾患患者の病態食には酒造用と同様に高度搗精した白米を用いることがある。米粒内のタンパク質の分布を明らかにすることは、学術面のみならず米のさまざまな利用場面において有用となる。一般食用水稲品種では、米粒のタンパク質は糠層にも存在し^{4, 30, 35, 48, 49, 54}、胚乳では外層部に多く含まれる^{72, 75, 82}ことが知られている。しかし、各種貯蔵タンパク質に分類して米粒内の分布を調査した研究は少なく^{72, 75}、タンパク質変異米水稲品種に関してはわずかである⁶。そこで、精米機を用いて玄米を高度に搗精し、搗精歩合の異なる米粒のSDS-PAGE分析に基づいて、一般食用水稲品種およびタンパク質変異米水稲品種の米粒内におけるタンパク質の分布特性を定量的に検討することを目的とした。

1) 材料および方法

(1) 供試品種と栽培概要および精玄米の調製

一般食用水稲品種「ニホンマサリ」、タンパク質変異米水稲品種「エルジーシー1」、[LGCソフト]および「エルジーシー活」を供試した。「エルジーシー活」は、「エルジーシー潤」と同様に、「エルジーシー1」に「コシヒカリ」の26kDaグロブリン欠失突然変異系統を交配して育成された低グルテリン・26kDaグロブリン欠失米水稲品種である⁵⁶。

2003年4月18日に水稲用育苗培土（みのる産業）を詰めた育苗箱（14×32穴、みのる産業）に催芽種子を1穴あたり1粒播種した。播種後は慣行法に準じて25日間育苗した。5月13日に苗（苗齢4.6～4.9）を近畿中国四国農業研究センター内の水田に条間30cm株間25cm、1株1本で手植えた。各品種の栽培面積は12m²とし、3反復の乱塊法で配置し

た。肥料は、基肥としてN、P₂O₅、K₂Oをそれぞれm²あたり4g施用し、移植後27日目には追肥としてNをm²あたり2g施用した。このほかに、「エルジーシー活」では移植後60日目に、「エルジーシー活」を除く品種では移植後63日目にNをm²あたり4g施用した。成熟期に稲株を地際で刈り取り、風乾後脱穀・籾すりして粒厚1.8mm以上の玄米を精玄米とした。

(2) 精玄米の搗精と米粒の粉碎

調製した精玄米は、精米機（山本製作所、RICEPAL31）で90%に搗精し、さらに研削型の精米機（サタケ、Grain Testing Mill TM-05）で80%、70%、60%および50%に搗精した。これら搗精した白米と精玄米のそれぞれ約25gを、粉碎機（UDY社、サイクロンミル）で粉碎した。

(3) 米粒内タンパク質のSDS-PAGE分析、総タンパク質含有率の測定および層別タンパク質の割合の算出

SDS-PAGE分析およびタンパク質組成の解析ならびに精玄米と搗精した白米の総タンパク質含有率の測定は「II-1」に準じた。精玄米および白米1粒あたりのタンパク質含有量は、1粒あたりの乾物重にタンパク質含有率を乗じて算出した。

各タンパク質画分の米粒内における層別の含有量と各画分の存在割合は、以下によって算出した。精玄米（搗精歩合100%）と搗精歩合90%の米粒内のタンパク質含有量の差を100～>90%層のタンパク質含有量とした。次に、100～>90%層のタンパク質含有量を精玄米のタンパク質含有量で除して100～>90%層におけるタンパク質の存在割合を算出した。同様に搗精歩合の異なる米粒内の各タンパク質含有量の差を算出し、精玄米のタンパク質含有量で除して、90～>80%層、80～>70%層、70～>60%層、60～>50%層、50～>0%層における各タンパク質の存在割合を算出した。

2) 結果

(1) 米粒内におけるタンパク質の層別含有量

精玄米のタンパク質含有量と搗精歩合の異なる米粒のタンパク質含有量の差から算出した層別のタンパク質含有量を第19表に示した。PB-I構成タンパク質の主要なタンパク質画分である13kDaプロラミ

ンは、いずれの品種でも90～>80%層で最も多く、この層より内層部では内側ほど低下した。各層における13kDaプロラミン含有量は、「エルジーシー1」と「LGCソフト」では「ニホンマサリ」よりも1.9～3.5倍多く、「エルジーシー活」では「ニホンマサリ」の3.1～4.3倍であった。16kDaプロラミンと10kDaプロラミンは、100～>90%層と90～>80%層で多かった。16kDaプロラミン含有量は、いずれの層でも「ニホンマサリ」よりタンパク質変異米水稻品種の方がやや多かったが、13kDaプロラミンと比較すると各層における含有量の品種間差は小さかった。これら3つのタンパク質画分の総量であるPB-I含有量は、13kDaプロラミンと同様に90～>80%層で最も多く、この層より内層部では内

側ほど少なかった。

22-23kDaグルテリンβ含有量は、いずれの品種とも90～>80%層で最も多く、80～>70%層よりも内側では徐々に低下した(第19表)。各層における22-23kDaグルテリンβ含有量は、「ニホンマサリ」よりも「エルジーシー1」および「LGCソフト」の方が明らかに少なく、「エルジーシー活」はこれら2品種よりもさらに少なかった。26kDaグロブリンは、「エルジーシー1」、「LGCソフト」および「ニホンマサリ」ともに90～>80%層で最も高い含有量を示し、それよりも内側では徐々に低下した。また、いずれの層においても、「ニホンマサリ」より「エルジーシー1」と「LGCソフト」の方が26kDaグロブリン含有量は多かった。37-39kDaグルテリ

第19表 精玄米と搗精各層におけるタンパク質含有量

品種	精玄米・搗精各層	PB-I 構成タンパク質含有量 (μg/粒)				PB-I 構成タンパク質以外のタンパク質含有量 (μg/粒)					総タンパク質含有量 (μg/粒)
		10kDa プロラミン	13kDa プロラミン	16kDa プロラミン	合計	22-23kDa グルテリンβ	26kDa グロブリン	37-39kDa グルテリンα	57kDa	>57kDa	
ニホンマサリ	精玄米	21.6	218.9	80.9	321.3	341.1	80.6	482.6	121.7	145.7	1493.0
	100～>90%層	4.9	33.1	15.0	53.1	46.0	13.1	86.7	54.8	44.2	297.8
	90～>80%層	4.1	66.0	17.0	87.1	100.1	19.5	132.7	24.8	14.8	379.0
	80～>70%層	2.6	28.2	6.8	37.6	46.8	8.7	66.1	8.6	8.6	176.5
	70～>60%層	2.6	20.3	7.7	30.6	34.1	8.6	48.0	7.4	14.0	142.6
	60～>50%層	1.9	16.2	5.7	23.8	29.9	6.6	36.0	4.8	9.7	110.8
	50～>0%層 (50～>0%層)	5.5 (1.1)	55.1 (11.0)	28.6 (5.7)	89.2 (17.8)	84.2 (16.8)	24.2 (4.8)	113.1 (22.6)	21.2 (4.2)	54.4 (10.9)	386.3 (77.3)
エルジーシー1	精玄米	27.1	613.1	118.2	758.4	110.9	160.8	181.2	99.5	174.1	1484.7
	100～>90%層	9.9	91.8	25.7	127.4	15.4	25.1	37.5	55.3	48.2	308.9
	90～>80%層	4.3	186.7	20.0	211.0	24.5	42.6	42.7	17.5	23.8	362.1
	80～>70%層	3.1	98.9	14.9	117.0	14.7	21.0	19.7	4.2	12.8	189.2
	70～>60%層	1.0	69.5	10.8	81.3	12.7	16.9	17.4	3.2	13.3	144.9
	60～>50%層	2.9	48.0	10.1	61.0	8.6	12.9	12.3	2.9	10.6	108.3
	50～>0%層 (50～>0%層)	5.8 (1.2)	118.1 (23.6)	36.7 (7.3)	160.6 (32.1)	35.1 (7.0)	42.4 (8.5)	51.6 (10.3)	16.3 (3.3)	65.3 (13.1)	371.4 (74.3)
LGCソフト	精玄米	20.6	525.3	100.1	641.0	120.0	165.1	212.0	106.9	191.1	1436.1
	100～>90%層	6.3	79.3	18.8	99.4	15.1	26.0	40.4	54.0	52.6	287.6
	90～>80%層	3.8	156.8	19.4	180.0	26.9	41.0	48.0	20.5	27.2	343.6
	80～>70%層	3.0	91.1	12.5	106.5	17.1	24.7	28.0	6.6	13.9	196.7
	70～>60%層	1.5	59.2	9.0	69.6	13.1	17.8	21.2	4.8	15.5	142.0
	60～>50%層	0.7	35.9	8.5	45.1	10.2	12.4	16.5	3.2	11.4	98.8
	50～>0%層 (50～>0%層)	5.4 (1.1)	103.1 (20.6)	31.9 (6.4)	140.4 (28.1)	37.6 (7.5)	43.2 (8.7)	57.9 (11.6)	17.8 (3.6)	70.4 (14.1)	367.4 (73.5)
エルジーシー活	精玄米	31.7	768.0	104.2	904.0	58.4	—	104.1	97.0	221.2	1384.6
	100～>90%層	7.9	116.6	18.8	143.2	5.4	—	29.6	54.8	72.1	305.1
	90～>80%層	6.3	211.7	21.6	239.5	11.8	—	16.5	14.7	26.9	309.5
	80～>70%層	3.6	118.8	11.1	133.5	4.9	—	9.4	3.9	13.3	165.0
	70～>60%層	2.6	82.0	10.4	94.9	6.2	—	9.7	4.6	17.7	133.3
	60～>50%層	2.7	68.7	8.9	80.4	4.9	—	6.5	2.1	13.4	107.3
	50～>0%層 (50～>0%層)	8.7 (1.7)	170.3 (34.1)	33.5 (6.7)	212.4 (42.5)	25.1 (5.0)	—	32.4 (6.5)	16.8 (3.4)	77.7 (15.5)	364.5 (72.9)
分散分析											
品種		ns	***	***	***	***	***	***	***	***	***
精玄米・搗精各層		***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
品種×精玄米・搗精各層		*	***	ns	***	***	***	***	ns	***	***

括弧内の数値は、50～0%層と他の層との比較のために1/5倍した値を示した。*、**、***はそれぞれ5%、1%、0.1%水準で有意、nsは5%水準で有意でないことを示す。26kDaグロブリンについては、「エルジーシー活」を除いて分散分析を行った。

ン α 含有量は、「ニホンマサリ」では90～>80%層で最も多く、80～>70%層よりも内側では徐々に低下した。一方、「エルジーシー1」と「LGCソフト」でも37-39kDaグルテリン α 含有量は90～>80%層で最も多かったが、100～>90%層との差異は小さく、「エルジーシー活」では、100～>90%層が最も多かった。そして、その含有量は米粒の内側ほど少なかった。各層における22-23kDaグルテリン β 含有量の品種間差は22-23kDaグルテリン β と類似した。57kDaタンパク質と57kDa超過タンパク質の含有量は、タンパク質変異米水稲品種、「ニホンマサリ」ともに100～>90%層が最も多く、90～>80%層がこれに続き、80～>70%層より内側では含有量が少なく、さらに内層部では内側ほど低下、あるいは一定であった。57kDaタンパク質含有量は、100～>90%層では品種間差がみられなかったが、それよりも内側では「ニホンマサリ」よりタンパク質変異米水稲品種の方がやや少なかった。57kDa超過タンパク質は、いずれの層でも「ニホンマサリ」よりタンパク質変異米水稲品種の方がやや多く、中でも「エルジーシー活」で多かった。

総タンパク質含有量は、いずれの品種も90～>80%層で最も多かったが、「エルジーシー活」では100～>90%層にもほぼ同量存在した(第19表)。そして、80～>70%層を含む内層部では内側ほど低下した。

(2) 米粒内におけるタンパク質の層別存在割合

米粒内におけるタンパク質の搗精に基づく層別分布を明らかにするために、各層に含まれるタンパク質含有量を精玄米のタンパク質含有量で除して層別のタンパク質の存在割合を算出し第3図に示した。50～0%層の存在割合は、他の層との比較を容易にするために1/5を乗じた値で示した。

PB-IおよびPB-Iの主構成要素である13kDaプロラミンの存在割合は、いずれの品種でも100～>90%層が15～17%であり、90～>80%層が27～30%と最も高かった(第3図a, b)。そして、80～>70%層が12～16%であり、それより内層部では内側ほど低かった。PB-Iおよび13kDaプロラミンの層別の存在割合に大きな品種間差はみられなかった。

22-23kDaグルテリン β 、26kDaグロブリンおよび

37-39kDaグルテリン α の存在割合は、「エルジーシー活」の37-39kDaグルテリン α を除いて、90～>80%層が22～29%と最も高く、80～>70%層が8～14%であり、それより内層部では内側ほど低かった(第3図c, d, e)。57kDaタンパク質の存在割合は100～>90%層が45～57%と最も高く、90～>80%層が15～20%、80～>70%層およびその内層部が2～7%であった(第3図f)。また、100～>90%層における57kDaタンパク質の存在割合はタンパク質変異米水稲品種で高かった。57kDa超過タンパク質の存在割合は100～>90%層が28～33%と最も高く、90～>80%層から内層部では6～14%であった(第3図g)。

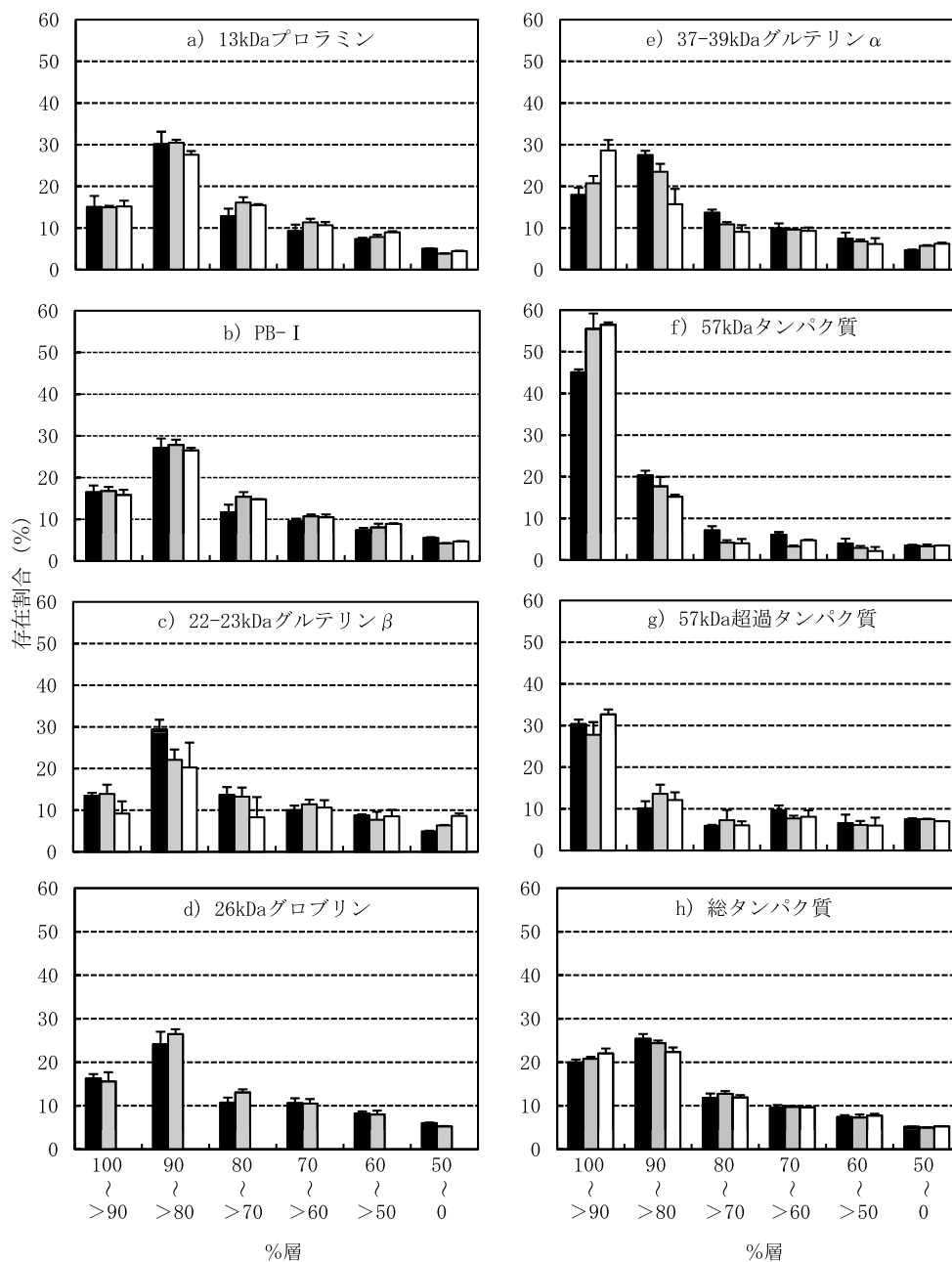
総タンパク質の存在割合は、100～>90%層が20～22%、90～>80%層が22～25%と高く、80～>70%層が12～13%、それより内層部では内側ほど低かった(第3図h)。各層の総タンパク質の存在割合に明瞭な品種間差はみられなかった。

3) 考察

一般食用水稲品種「ニホンマサリ」の総タンパク質は、その45%が100～>80%層に存在し、タンパク質変異米水稲品種「エルジーシー1」、「LGCソフト」および「エルジーシー活」においても、同様の割合で存在することが明らかになった(第3図h)。

タンパク質変異米水稲品種は、一般食用水稲品種と比較して総タンパク質に占めるPB-I、特に13kDaプロラミンの割合が高いことが知られており^{19, 55, 56, 90}、本研究でも同様の結果が得られた(第19表)。PB-Iおよび13kDaプロラミン含有量は、米粒内のいずれの層においても「エルジーシー活」が最も多く、「エルジーシー1」と「LGCソフト」がそれに続き、「ニホンマサリ」は最も少ないことが明らかになった(第19表)。また、総タンパク質と同様に、PB-Iおよび13kDaプロラミンは90～>80%層に最も多く存在し、内層部ほど少ないことが示された。

57kDaタンパク質と57kDa超過タンパク質は、いずれの品種も総タンパク質やPB-Iと異なり100～>90%層の最外層に最も多く存在し(第3図f, g)、特にタンパク質変異米水稲品種では57kDaタ



第3図 米粒内における層別のタンパク質の存在割合

■：「ニホンマサリ」，■：「エルジーシー1」，□：「エルジーシー活」．「LGCソフト」は，「エルジーシー1」と同様の傾向を示したためデータを省略した．50～0%層は，他の層との比較のために1/5倍した値を示した．垂線は標準偏差を示す．

ンパク質の最外層における局在の程度が大きかった．また，「エルジーシー活」のみ37-39kDaグルテリン α が100～>90%層に最も多く存在し（第3図e），タンパク質種によっては米粒内分布に品種間差のあることが明らかになった．

37-39kDaグルテリン α と22-23kDaグルテリン β は，57kDa前駆体タンパク質がPB-IIに輸送された

後に開裂して形成される^{73, 93)}．したがって，米粒内における37-39kDaグルテリン α と22-23kDaグルテリン β の分布は類似すると推測された．しかし，「エルジーシー活」における37-39kDaグルテリン α と22-23kDaグルテリン β の分布は異なっていた．供試したタンパク質変異米水稻品種は，いずれも低グルテリン遺伝子 *Lgc1*^{16, 17)} を持つが，37-39kDa

グルテリン α 含有量と22-23kDaグルテリン β 含有量は、「エルジーシー活」の方が「エルジーシー1」および「LGCソフト」よりも明らかに少なかった(第19表)。PB-IIには、37-39kDaグルテリン α と22-23kDaグルテリン β に加えて26kDaグロブリンも蓄積される⁴⁰⁾ことを考え合わせると、「エルジーシー活」の26kDaグロブリン欠失遺伝子 $glb1$ ¹⁸⁾が、37-39kDaグルテリン α と22-23kDaグルテリン β の生成、蓄積過程に何らかの影響を及ぼした可能性もある。

「エルジーシー活」は、低グルテリンと26kDaグロブリン欠失の二つの形質を持つ代わりに13kDaプロラミンの割合が総タンパク質のほぼ半分を占める品種である⁵⁶⁾。「エルジーシー活」だけでなく低グルテリン米水稲品種「エルジーシー1」と「LGCソフト」も持つ低グルテリン形質は、RNA干渉によって生じる³⁶⁾。しかし、「エルジーシー活」のように低グルテリン遺伝子 $Lgc1$ ^{16, 17)}に加えて26kDaグロブリン欠失遺伝子 $glb1$ ¹⁸⁾を持つと、何故低グルテリン形質が「エルジーシー1」と「LGCソフト」よりも強く現れる(第19表)のかは未解明である。また、26kDaグロブリンが欠失するメカニズムも不明である。タンパク質変異米水稲品種の13kDaプロラミンの割合が高い要因は、本来グルテリンとグロブリンの合成に利用される基質が余剰になり、その基質が13kDaプロラミンの合成に利用されたことによると推測されることから、タンパク質の分布に品種間差異を生じた要因を考察するにあたり、今後はこれら基礎的なメカニズムの解明が必要である。

2 免疫蛍光顕微鏡観察による米粒内における種子貯蔵タンパク質の分布の解析

前項では、精玄米および搗精した白米のSDS-PAGE分析に基づいて米粒内のタンパク質分布を論じた。しかし、玄米を搗精すると、その形状は楕円形から円形に近づくため、目的のタンパク質が玄米表面からどの程度の位置にどの程度の量が存在するかといった米粒内のタンパク質分布は把握できない。また、搗精には限界があることから、米粒のごく内層のタンパク質分布も把握が不可能である。こうした学術的な意味での米粒内のタンパク質分布を解析する手法として、米粒の切片を作成し、蛍光標

識抗体を用いて貯蔵タンパク質の分布を観察する方法があげられる。Furukawaら⁶⁾は、低グルテリン米水稲品種・系統についてPB-Iの主構成要素である13kDaプロラミンとPB-IIの主構成要素の一つである23kDaグルテリンを蛍光標識して顕微鏡観察を行っている。そして、一般食用水稲品種よりも13kDaプロラミンが玄米の外層部だけでなく、70%搗精した白米の外層部にも多量に存在することを明らかにしている。しかし、完熟した米粒は固く、観察に適した薄い切片の作成は困難であった。このことから、観察画像は玄米と70%搗精した白米の比較的外層の一部であり、タンパク質変異米水稲品種について米粒の全体像を捉えた上でプロラミンやグルテリンの分布はこれまで示されていなかった。

近年、Saitoら⁷²⁾は、凍結粘着フィルム法²⁹⁾を応用して米粒切片を作成し、抗体を用いてタンパク質を蛍光標識して観察する手法を開発した。本手法では、観察に適した良好な状態の薄い切片が得られ、米粒の全体像を捉えた上でタンパク質の分布を把握できる。そのため、「IV-1」では把握できなかった玄米表面からのタンパク質の存在位置、米粒のごく内層におけるタンパク質分布、さらに背側や腹側、頂端側、基部側のタンパク質分布の差異を明らかにできることが期待される。そこでこの手法を用いて、一般食用水稲品種、低グルテリン米水稲品種および低グルテリン・26kDaグロブリン欠失米水稲品種について、米粒内における13kDaプロラミンと23kDaグルテリンの分布を調査した。

また、蛍光顕微鏡観察では実験の煩雑さから供試できる米粒の数に限りがあったことから、米粒背部と腹部とのタンパク質の分布様式について、背側あるいは腹側を研削した米粒のSDS-PAGE分析によっても検討した。

1) 材料および方法

(1) 供試品種と栽培概要および精玄米の調製

「IV-1」と同様とした。

(2) 23kDaグルテリンと13kDaプロラミンの蛍光標識抗体を用いた顕微鏡観察

Saitoら⁷²⁾に準じて以下の方法で行った。

a 包埋・切片作成

調製した精玄米の中でも充実の良い粒を選び、1品種につき3粒を3%カルボキシメチルセルロース(CMC)中に沈めて24時間減圧処理した。Kawamoto・Shimizu²⁹⁾の方法に準じてプラスチック製包埋容器に減圧後の精玄米を入れ、3%CMCを充填し、液体窒素で冷却したヘキサン中で急速凍結させた。-25℃に設定したクリオスタット(Walldolf社, HM500M; MICROM)中で、クライオフィルムトランスファーキット(ライカ社)を用いて作成した粘着フィルムをトリミング後の試料面に貼り付け、厚さ約10μmの縦断凍結切片を作成した。切片はスライドガラスに固定し、室温で解冻して100%エタノールに浸漬した。

b 抗体反応

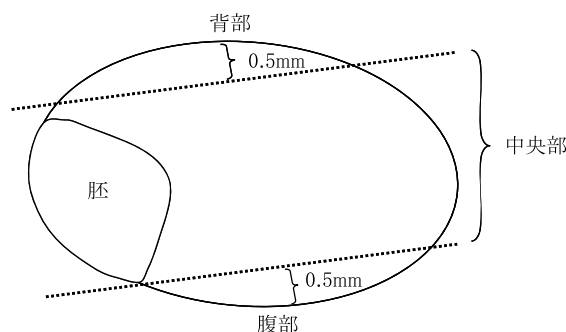
切片を4%パラフォルムアルデヒドで固定した後(10分, 室温), 5分毎にリン酸buffer (0.1M phosphate buffer (pH7.2))で3回洗浄した(室温)。TBST溶液(0.01M Tris-HCl (pH8.0), 0.15M NaCl, 0.05% Tween20)で希釈した1%BSA溶液でブロッキング反応を行った(60分, 室温)。蛍光色素Cy3標識抗13kDaプロラミン抗体と蛍光色素Cy5標識抗23kDaグルテリン抗体(Amersham Biosciences社)を用いて遮光下で抗体反応を行った(60分, 室温)。同時にネガティブコントロールとしてCy3標識抗ウサギIgG抗体(Amersham Biosciences社)を用いて遮光下で抗体反応を行った(60分, 室温)。反応後にTBST溶液で20分毎に3回洗浄した(室温)。その後, 30%グリセリンで試料を封入した。

c 蛍光顕微鏡観察

落射蛍光顕微鏡(オリンパス社, BX51)を用いて抗体反応を行った試料およびネガティブコントロールを観察した。

(3) 顕微鏡観察画像の蛍光強度の数値化

画像解析ソフトImageJ (<http://rsb.info.nih.gov/ij/index.html>)を用いて、精玄米の縦断切片蛍光画像の蛍光強度を数値化した。同一品種でも、縦断切片の横幅と縦幅の長さは玄米によって、また、切片作成時の玄米の切断位置によってわずかに異なったため、横幅あるいは縦幅の長さを100として、玄米表面からの相対距離の蛍光強度を検出した。米粒全体の蛍光強度は玄米によって異なったため、検出し



第4図 米粒の背側あるいは腹側の部分研削

た蛍光強度の合計を100として、相対距離における相対蛍光強度を示した。

(4) 米粒の背側あるいは腹側の研削と米粒のタンパク質組成・総タンパク質含有量の分析

精玄米の背側あるいは腹側を表面から0.5mm, デジタルノギスで計測しながら胚を残したままやすりで研削した(第4図)。1反復につき50粒を供試し, 3反復で試験した。

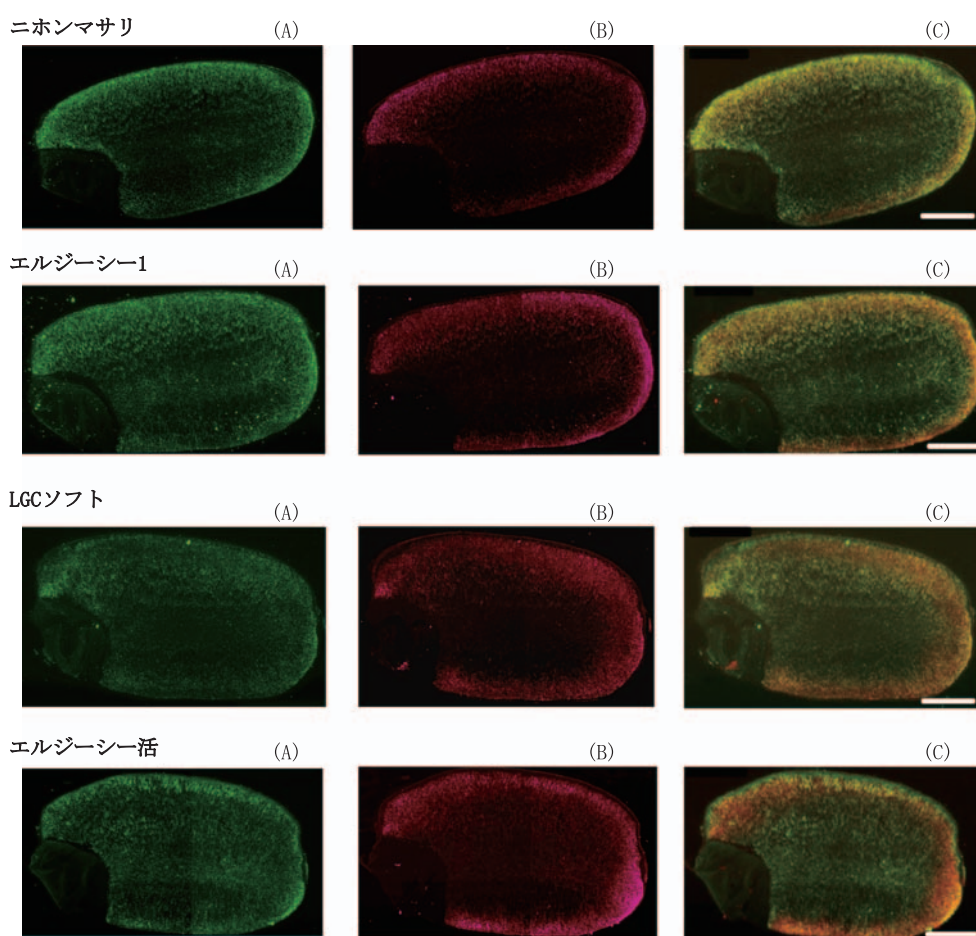
精玄米の背側あるいは腹側を研削した米粒それぞれ50粒を, 粉碎機(UDY社, サイクロンミル)で粉碎して総タンパク質含有率の測定およびSDS-PAGE分析に基づくタンパク質組成の解析を行った。米粒内のタンパク質含有量から背側あるいは腹側を研削した米粒のタンパク質含有量を差し引いて, 腹部あるいは背部の総タンパク質含有量および各タンパク質含有量を算出した。

2) 結果

(1) 蛍光顕微鏡観察と画像解析によるグルテリンとプロラミンの米粒内分布

精玄米(以下玄米)の縦断切片の蛍光顕微鏡観察画像を第5図に示した。同一品種の各画像は, 同一個体から得られたものである。23kDaグルテリンは, 蛍光色素Cy5標識抗23kDaグルテリン抗体を特異的に結合させて緑色で示し(第5図A), 13kDaプロラミンは, 蛍光色素Cy3標識抗13kDaプロラミン抗体を特異的に結合させて赤色で示した(第5図B)。13kDaプロラミンと23kDaグルテリンを検出した画像を重ね合わせた画像(第5図C)では, 両タンパク質が同部位に, あるいはごく近傍に存在する場合は黄色で示した。

13kDaプロラミンを示す蛍光の強度と領域の広さ



第5図 23kDaグルテリンと13kDaプロラミンの米粒内の分布

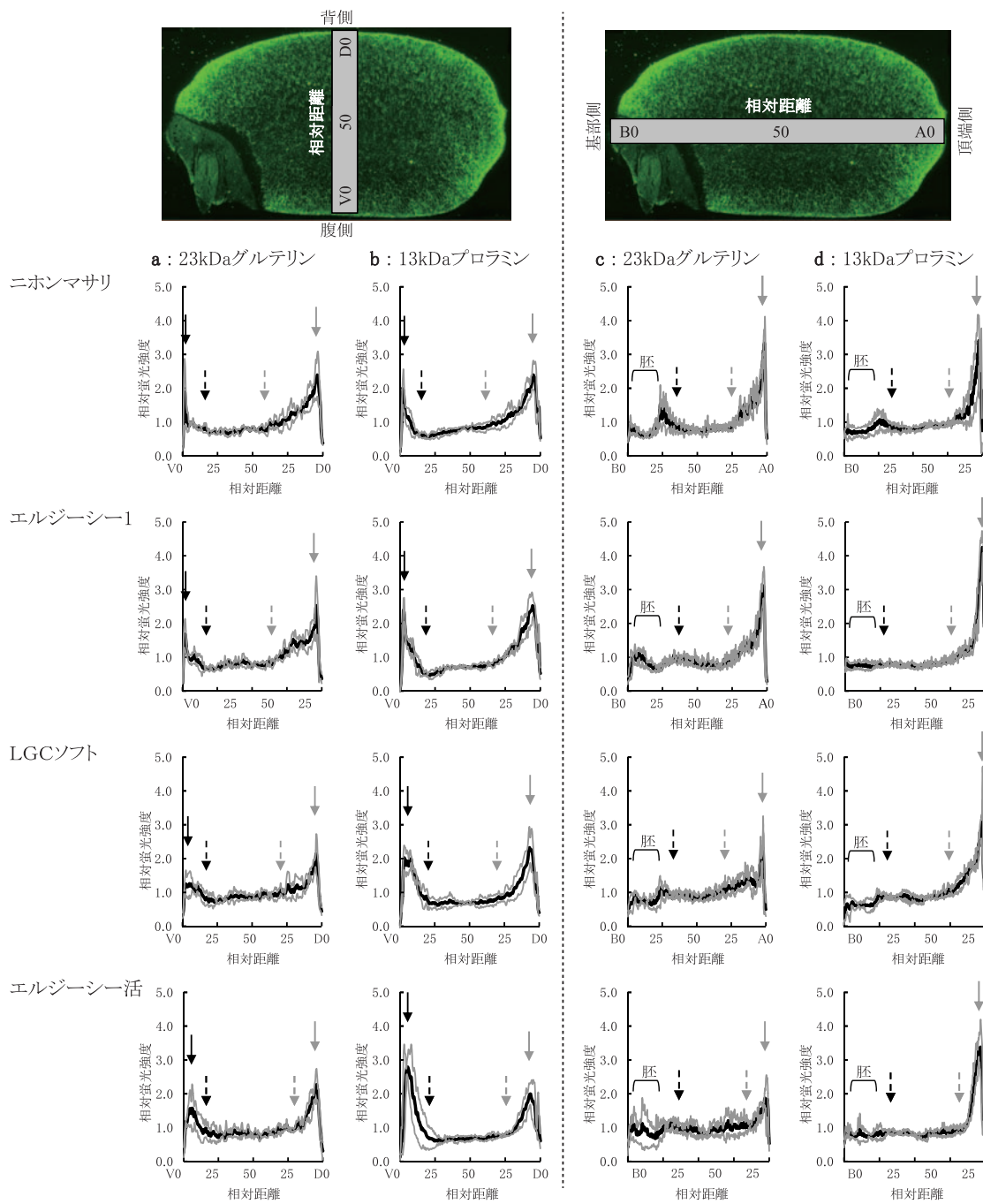
蛍光標識抗体を用いた精玄米の縦断切片の観察画像。(A) 抗23kDaグルテリン抗体, (B) 抗13kDaプロラミン抗体, (C) AとBの重ね合わせ画像。スケールバーは1mmを示す。

を品種間で比較すると、「ニホンマサリ」よりも低グルテリン米水稲品種「エルジーシー1」と「LGCソフト」、低グルテリン・26kDaグロブリン欠失米水稲品種「エルジーシー活」で赤色の濃い領域が多かった(第5図B)。また、重ね合わせた画像から、「ニホンマサリ」と比較して「エルジーシー1」と「LGCソフト」では23kDaグルテリンを示す緑色よりも13kDaプロラミンを示す赤色の程度が高く、「エルジーシー活」ではその傾向が一層顕著であった(第5図C)。

「ニホンマサリ」とタンパク質変異米水稲品種のいずれも、23kDaグルテリンの緑色(第5図A)と13kDaプロラミンの赤色(第5図B)は、米粒の外層部で濃く、米粒の中央部では薄く観察された。次に、23kDaグルテリンと13kDaプロラミンの分布を詳細に把握するために、画像解析によって米粒内の蛍光強度を数値化して第6図に示した。23kDaグル

テリンの相対蛍光強度は、玄米の腹側において、いずれの品種も玄米表面から相対距離2~6にピークとなり、相対距離約20の位置まで減少した。ピークの相対蛍光強度は1.3~1.9であった。一方、背側では、いずれの品種も玄米表面から相対距離4~5にピークとなり、「ニホンマサリ」では相対距離約40、「エルジーシー1」と「LGCソフト」では相対距離30~35、「エルジーシー活」では相対距離約20の位置まで減少した。背側のピークの相対蛍光強度は、いずれの品種も2.1~2.5と腹側より高かった。上記以外の米粒内層部における23kDaグルテリンの相対蛍光強度は0.6~0.9とほぼ一定であった。

13kDaプロラミンの相対蛍光強度は、玄米の腹側において、いずれの品種も玄米表面から相対距離3~6の位置にピークがあり、23kDaグルテリンと同様に相対距離約20まで減少した(第6図)。一方、背側では、いずれの品種も玄米表面から相対距離5



第6図 蛍光顕微鏡画像から数値化した米粒内の相対蛍光強度

写真の四角は画像解析した範囲を示す。四角の幅は0.5mm。黒色の線は平均値を示し、灰色の線は平均値±標準偏差を示す。実線の矢印は蛍光強度のピークを、点線の矢印は底を示す。

～7の位置にピークがあり、「ニホンマサリ」では相対距離約40,「エルジーシー1」と「LGCソフト」では相対距離約30,「エルジーシー活」では相対距離約20の位置まで減少した。上記以外の米粒内層部における13kDaプロラミンの相対蛍光強度は0.5～0.9とほぼ一定であった。「ニホンマサリ」,「エルジーシー1」および「LGCソフト」では、玄米背側

における13kDaプロラミンのピークの相対蛍光強度は2.3～2.5であり、腹側のピーク値である1.9～2.3より高い傾向にあった。一方、「エルジーシー活」では、玄米背側における13kDaプロラミンのピークの相対蛍光強度は2.0であり、腹側のピーク値2.8より低かった。

玄米の基部側では、胚部分で23kDaグルテリンと

13kDaプロラミンとともに相対蛍光強度が他の部位より低かった（第6図）。頂端側では、いずれの品種も23kDaグルテリンと13kDaプロラミンの相対蛍光強度は玄米表面から相対距離2～4の位置にピークがあり、相対距離20～30の位置まで減少した。頂端側の玄米表面から相対距離20～30の位置と基部側の玄米表面から相対距離約40の位置との間の米粒内層部では、23kDaグルテリンと13kDaプロラミンの相対蛍光強度はいずれの品種も0.6～1.1の範囲でほぼ一定であった。

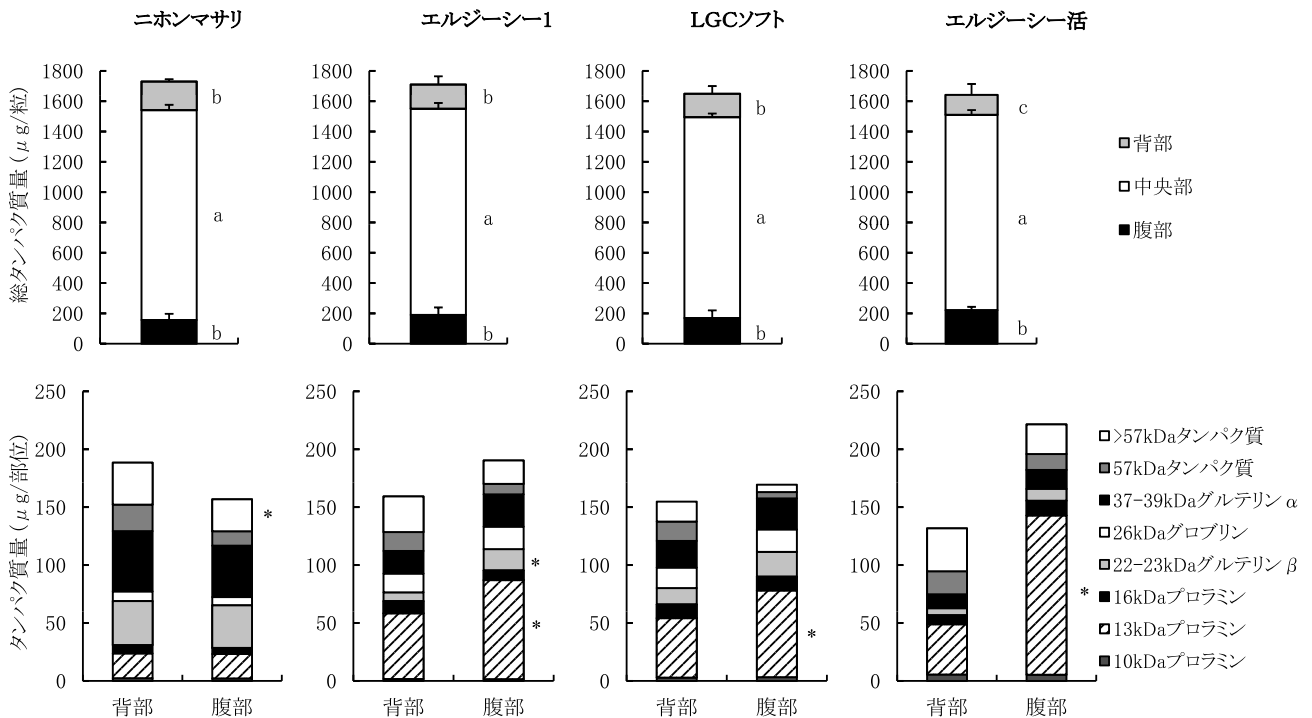
(2) 米粒背部と腹部のタンパク質の局在の差異

背側あるいは腹側を0.5mm研削した精玄米（第20表）を分析に供して、背部と腹部の各タンパク質含有量を算出し第7図に示した。「ニホンマサリ」、「エルジーシー1」および「LGCソフト」では、背部あるいは腹部の総タンパク質含有量は142～157μg/粒であり、背部と腹部とで有意な違い（ $P < 0.05$ ）はなかった。一方、「エルジーシー活」の腹部の総タンパク質含有量は221μg/粒と背部の132μg/粒より有意に（ $P < 0.05$ ）高かった（第7図）。その違いは腹部の総タンパク質含有率が高いこと（第20表）に起因した。「ニホンマサリ」では、13kDa

第20表 研削した米粒の特性

品種と研削処理	幅 (mm)	重量 (mg / 粒)	研削率 (%)	総タンパク質含有率 (%)
ニホンマサリ				
対照	2.96 a	24.4 a	—	7.1 a
背側研削	2.45 b	22.0 c	9.1 a	7.0 a
腹側研削	2.46 b	22.5 b	8.0 a	7.0 a
エルジーシー1				
対照	2.97 a	24.8 a	—	6.9 a
背側研削	2.47 b	22.5 c	9.1 a	6.9 a
腹側研削	2.49 b	23.0 b	7.7 a	6.6 a
LGCソフト				
対照	2.88 a	22.6 a	—	7.3 a
背側研削	2.38 b	20.8 b	8.4 a	7.2 ab
腹側研削	2.39 b	20.9 b	7.6 a	7.1 b
エルジーシー活				
対照	2.87 a	20.4 a	—	8.0 a
背側研削	2.38 b	18.8 b	7.9 a	8.0 a
腹側研削	2.38 b	18.8 b	8.2 a	7.6 b
分散分析				
品種	***	***	ns	***
研削処理	***	***	ns	**
品種×研削処理	ns	ns	ns	ns

研削率は研削後の粒重を研削前の粒重で除して算出した。*と**はそれぞれ1%および0.1%水準で有意であることを示す。nsは5%水準で有意でないことを示す。同一品種内の異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す（Tukey法）。



第7図 米粒の背部および腹部のタンパク質量

垂線は標準偏差を示す。異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す（Tukey法）。*は、背部と腹部の間に5%水準で有意差があることを示す（t検定）。

プロラミン含有量は背部と腹部とで有意な違い ($P < 0.05$) はなかった (第7図). 一方, タンパク質変異米水稻品種では, 13kDaプロラミン含有量が背部よりも腹部で有意に高かった ($P < 0.05$). その傾向は「エルジーシー活」で顕著であり, 13kDaプロラミン含有量の腹部と背部との差は倍以上であった.

3) 考察

本研究では, Saitoら⁷²⁾ が一般食用水稻品種を用いて実施した研究と同様に, 米粒の全体像を捉えた上でタンパク質変異米水稻品種の米粒内における13kDaプロラミンと23kDaグルテリンの分布を視覚的に把握することができ, 一般食用水稻品種と比較検討することができた. 13kDaプロラミンを示す蛍光の強度と領域の広さを品種間で比較すると, 一般食用水稻品種「ニホンマサリ」よりも低グルテリン米水稻品種「エルジーシー1」と「LGCソフト」では蛍光の強い領域が多く, 低グルテリン・26kDaグロブリン欠失米水稻品種「エルジーシー活」ではその傾向が一層顕著であった (第5, 6図). この結果は, 米粒から抽出したタンパク質のSDS-PAGE分析によって, タンパク質変異米水稻品種では総タンパク質に占める22-23kDaグルテリン β および37-39kDaグルテリン α の割合が低く, 13kDaプロラミンの割合が高いとするタンパク質変異米水稻品種の育成に関する報告^{19, 55, 56, 90)}, 本研究の「II~III」および「IV-1」の結果と合致した.

これまでに, 米粒切片中の総タンパク質を染色して観察する組織化学的手法により, 一般食用水稻品種の総タンパク質は, 米粒の内層部と比較して外層部の糊粉層およびサブアリュロン層に多く分布することが報告されている^{4, 30, 35, 48, 49, 54)}. しかし, プロラミンやグルテリンなどの種々タンパク質について, それらの米粒内の分布を定量的に報告した例はわずかである. 静川ら⁷⁵⁾ は, 一般食用水稻品種「コシヒカリ」の玄米を搗精し, 削られた米粉中のタンパク質組成をSDS-PAGE法によって分析することで層別の各タンパク質の分布を報告している. しかし, 玄米を搗精すると頂端側と基部側が背側と腹側に比較して多く削られ, 玄米の形状を保ったままの白米が得られないことから, 玄米表面からどの程

度の距離にタンパク質が多く分布するのかを正確に把握することは既報⁷⁵⁾ では不可能であった. また, 搗精には限界があることから, 米粒のごく内層における各タンパク質の分布もこれまでに明らかにされていなかった.

そこで本研究では, Saitoら⁷²⁾ に準じた方法で米粒の免疫蛍光顕微鏡観察を行うとともに画像解析を行った. その結果, いずれの品種にも共通することとして, PB-Iの主構成要素である13kDaプロラミンとPB-IIの主構成要素である23kDaグルテリンは, 玄米の背側, 腹側, 頂端側の玄米表面から相対距離2~7の位置に分布量のピークがあることが示された. また, 分布量の底は腹側では玄米表面から相対距離約20の位置, 頂端側では約20~30の位置であった. 一方, 背側では, 13kDaプロラミンと23kDaグルテリンの玄米表面から分布量の底までの相対距離が, 両タンパク質ともに「ニホンマサリ」 > 「エルジーシー1」 \approx 「LGCソフト」 > 「エルジーシー活」の関係にあり, 品種間差異のあることが明らかになった. このように米粒の外層部では13kDaプロラミンと23kDaグルテリンの分布量が顕著に変化していたのに対して, 内層部では, 両タンパク質が存在するものの, 少ない量でほぼ一定に分布することも明らかになった.

さらに, 本研究では, 蛍光顕微鏡観察の結果, 「エルジーシー活」の13kDaプロラミンの分布量のピークは玄米の背側よりも腹側で高く, 「ニホンマサリ」とは異なることを示唆する興味深い結果が得られた (第6図). 蛍光顕微鏡観察による画像解析の結果を詳細に検討すると, 「ニホンマサリ」では, 腹側と背側における13kDaプロラミンの相対蛍光強度のピーク値の差は0.45ポイントであったのに対して, 「エルジーシー1」と「LGCソフト」ではその差が0.14~0.29ポイントと小さかった (第6図). また, 背側における13kDaプロラミンの分布量の底は, 「ニホンマサリ」より「エルジーシー1」と「LGCソフト」の方がやや玄米表面に近い位置にあった. これらを考慮すると, 13kDaプロラミンの分布量が玄米の背側より腹側に多い傾向は, 「エルジーシー活」 > 「エルジーシー1」 \approx 「LGCソフト」 > 「ニホンマサリ」の関係にあると考えられる. したがって, タンパク質変異米水稻品種と一般食用

水稲品種とでは背側と腹側における13kDaプロラミンの分布様式が異なることが示唆された。

蛍光顕微鏡観察で認められた背部と腹部との13kDaプロラミンの分布様式の品種間差異は、部分切除した玄米のSDS-PAGE分析によっても確認された。このような品種間差異を生じた要因を考察することは、直接参考となる知見がないために困難である。しかし、これまでにタンパク質変異米水稲品種では、一般食用水稲品種よりも13kDaプロラミンの蓄積量が出穂後15日目の時点で多く、特に「エルジーシー活」のような低グルテリン・26kDaグロブリン欠失米水稲品種では、13kDaプロラミンが登熟後期まで増加し続けることが報告されている⁵⁷⁾。したがって、このような登熟過程における13kDaプロラミン合成量の推移の品種間差異も米粒内の分布の品種間差異の要因となっている可能性がある。

登熟過程における穎果への物質輸送は、背面通導組織を通じて背側から生じ¹⁵⁾、顕微鏡観察の結果から、開花後6～7日目にはタンパク質顆粒が穎果の背側で確認されている^{4, 14)}。一方、デンプン粒は、開花後4日目から胚乳の最も中心部においてその蓄積が確認されており¹³⁾、タンパク質顆粒の蓄積よりやや先んじている。このことから、胚乳中心部では13kDaプロラミンと23kDaグルテリンの分布量が少ない、もしくは無いことを当初予想したが、本研究の結果はこの予想に反するものであった。Tanakaら⁸²⁾は、登熟過程における経時的な米粒中の成分分析により、デンプンは開花後5～6日目から18日目頃まで、総タンパク質は開花後7日目頃から20日目頃まで急速に蓄積されることを報告している。このことから、開花後2週間弱の期間にデンプンおよび総タンパク質の90%以上が蓄積されていると考えられる。このように、デンプンとタンパク質は急速に蓄積される時期の多くが重なっているにもかかわらず、13kDaプロラミンと23kDaグルテリンの分布量は米粒外層部で顕著に高かった(第5, 6図)。これらのことは、デンプンが胚乳中心部から蓄積されるのに対して、タンパク質は何らかの制御のもとに米粒の内層部では少なく、外層部で多く蓄積され、蓄積過程が異なることを示唆している。しかし、登熟全般を通した米粒内の局所的なタンパク質蓄積過程については、タンパク質変異米水稲品種のみなら

ず一般食用水稲品種でも知見が見あたらない。したがって、登熟過程の経時的なタンパク質の蓄積を蛍光顕微鏡観察などによって明らかにすることが今後の課題と考えられた。

V 総合考察

1 本研究で得られた新規知見に係る考察

1) 栽培・環境条件とタンパク質組成

過去の研究^{66, 86, 95)}では、一般食用水稲品種の米粒のタンパク質組成および各種タンパク質含有率に及ぼす窒素施用条件の影響を米粒タンパク質の溶媒抽出による分析結果に基づいて論ずることが多かった。しかし、溶媒抽出法によって得られたデータの正確性については緒言で述べたとおりである。本研究では、SDS-PAGE分析に基づいて、登熟気温と窒素施用方法の影響を検討することで新規の知見を得ることができた。まず、登熟気温の影響としては、気温が高いほど総タンパク質に占める13kDaプロラミンの割合およびPB-I割合は低下し、26kDaグロブリンを除くPB-I構成タンパク質以外のタンパク質画分の割合は高まることが明らかになった。また登熟気温が米粒の13kDaプロラミンの割合に及ぼす影響は、一般食用水稲品種よりもタンパク質変異米水稲品種の方が強く受けることが示唆された。これまでに、登熟気温が米粒のタンパク質組成に及ぼす影響について論じた報告はわずかであり^{83, 94)}、しかも既報では定性的あるいは一部のタンパク質のみに関する結果が示されるのみであった。一方、本研究ではタンパク質変異米水稲品種も含めて定量的に登熟気温がタンパク質組成に及ぼす影響を明らかにできた点で意義は大きい。

米粒のタンパク質組成を溶媒抽出法に基づいて分析した既報では、窒素施用量を高めると、米粒のグルテリン含有率が顕著に高まることで総タンパク質含有率が高まるとされていた^{66, 95)}。一方、本研究では、米粒の総タンパク質含有率が高まる窒素施用条件では、各種タンパク質の含有率が増加しており、中でも13kDaプロラミン含有率が高まりやすい傾向がいくつかの試験で認められた。本研究で認められた総タンパク質含有率が高まる条件で13kDaプロラミンの割合が高まる傾向は、学術的に興味深い。こ

のような現象が生じた機作としては、莖葉部の窒素が登熟後期まで穎果に転流し続けることで、グルテリンなどより遅れて米粒内に蓄積されるプロラミン⁸²⁾の生合成量が高まったことが推測されるが、このことを裏付ける直接的なデータは得られていないことから今後の検討が必要である。

2) 栽培・環境条件と総タンパク質含有率

窒素施用条件の影響を検討した「Ⅲ-2」において、「ニホンマサリ」, 「LGCソフト」および「エルジーシー潤」のいずれの品種でも、出穂期の葉色は米粒の総タンパク質含有率と高い正の相関関係 ($r = 0.809^{**} \sim 0.888^{***}$, 第16表, 一部図表省略) を示すことを明らかにした。一方、作期の影響を検討した「Ⅱ-3」において、出穂期の葉色と米粒の総タンパク質含有率との相関係数は正の値だが、5%水準で有意とならない結果が得られた。これらのことから、作期が異なる条件では、出穂期の葉色以外に米粒の総タンパク質含有率に大きく影響を及ぼす要因があったことが推察された。これまでに、気象要因の解析結果から、登熟期間の日射量と米粒内の総タンパク質含有率とは負の相関関係を示すことが報告されている^{20, 76)}。また、登熟期間の遮光処理によって光合成量は低下し、米粒内のデンプン蓄積が不十分になることで総タンパク質含有率は増加する^{43, 91)}ことが報告されている。一方、本研究では、登熟期間の日射量は作期によって異なったにもかかわらず、米粒の総タンパク質含有率と一定の関係が見出されなかった(第6表)。これらを総合すると、作期が異なる条件では、出穂期の葉色と登熟期間の日射量とが互いに米粒の総タンパク質含有率に影響を及ぼした結果、それぞれの影響が不明瞭となった可能性が考えられた。そこで、出穂期の葉色を固定

して相関分析を行うと、米粒の総タンパク質含有率は登熟期間の日射量との偏相関係数が $-0.463 \sim -0.757^*$ であり、「LGCソフト」と「ニホンマサリ」では5%水準で有意な負の相関関係が認められた(第21表)。このことは、出穂期の稲体窒素栄養状態が同条件であれば、登熟期間の日射量が高いほど光合成が活発になることにより、穎果内で相対的にタンパク質よりも炭水化物の蓄積量が増加して米粒の総タンパク質含有率は低下することを示唆するものである。なお、登熟期間の日射量を固定すると出穂期の葉色値と総タンパク質含有率との偏相関係数は $0.504 \sim 0.803^*$ であり、一部5%水準で有意な正の相関関係が認められた(図表省略)。これらのことから、作期が異なる条件では、登熟期間の日射量と出穂期の窒素栄養状態の双方が米粒の総タンパク質含有率に影響を及ぼしたと推察された。

3) タンパク質の米粒内分布

これまでに、タンパク質変異米水稲品種の米粒内におけるタンパク質の分布に関しては、Furukawaら⁶⁾の低グルテリン米水稲品種を対象として蛍光顕微鏡観察を行った知見があるのみであった。また、Furukawaら⁶⁾の報告は、抗体反応を利用して米粒内のプロラミンとグルテリンの分布を一般食用水稲品種も含めて初めて可視化した点で極めて貴重であるが、米粒切片の作成が困難であったことから、米粒の全体像を捉えた解析はなされていなかった。一方、本研究では、新規に開発された米粒切片の作成手法⁷²⁾を用いることで、米粒の全体像を捉えた上でプロラミンとグルテリンの分布を可視化することができた。また、低グルテリン米水稲品種だけでなく低グルテリン・26kDaグロブリン欠失米水稲品種について、画像解析を加えることで定量的にタンパク質の局在を明らかにすることができた。

本研究から、一般食用水稲品種と比較してタンパク質変異米水稲品種の方がプロラミンとグルテリンは米粒の背側において外層部に局在する傾向のあることが示された。また、タンパク質変異米水稲品種は一般食用水稲品種と異なり、プロラミンが背側よりも腹側に相対的に多く分布する特性が示された。このプロラミンの分布特性の品種間差については、背側あるいは腹側を研削した米粒のSDS-PAGE分析

第21表 出穂期の葉色値を固定した条件における登熟期間の日射量と精玄米の総タンパク質含有率との偏相関係数

品種	偏相関係数
ニホンマサリ	$-0.757^* \sim -0.608$
LGCソフト	$-0.724^* \sim -0.701^*$
エルジーシー潤	$-0.503 \sim -0.463$

出穂期の葉色値は止葉と第2葉の両者に関するデータを用いて解析した。日射量は出穂後0~30日の数値を用いた。*は5%水準で有意であることを示す。

の結果からも追認された。こうしたタンパク質の分布が明らかになることにより、後述する搗精技術によって、用途に応じて米粒からタンパク質を除去することが可能になると考えられる。

搗精した米粒のSDS-PAGE分析に基づく米粒内のタンパク質の分布の解析から、総じていずれのタンパク質画分も外層に多く分布し内層ほど少ないが、57kDa 超過タンパク質と57kDa タンパク質および「エルジーシー活」の37-39kDa グルテリン α は100～>90%層に最も多く存在し、それ以外のタンパク質画分は90～>80%層に最も多く存在したことから、タンパク質の種類によって局在に差違のあることが明らかになった。また、タンパク質画分によっては、タンパク質変異米水稲品種と一般食用水稲品種「ニホンマサリ」とで分布が異なる場合があることも明らかになった。

本研究で得られたこれらの新規知見は、タンパク質の種類によって蓄積時期が異なること⁸²⁾、および、登熟過程におけるタンパク質組成の経時変化がタンパク質変異米水稲品種と一般食用水稲品種とで異なる⁵⁷⁾ ことと関連する可能性がある。登熟過程における米粒内の空間的な貯蔵タンパク質の遺伝子発現は未解明であり、米粒内のタンパク質蓄積メカニズムを解明する上で今後検討が必要である。

2 タンパク質含有率およびタンパク質組成の耕種的な制御技術と収穫後調製技術に係る考察

1) 移植時期と窒素施用法

本研究の圃場試験は広島県福山市で実施したことから、供試した品種は温暖地向けであることから、温暖地で一般食用水稲品種およびタンパク質変異米水稲品種を栽培することを前提として論じたい。炊飯米の食味向上および酒造適性の向上を目的とした場合、米粒の総タンパク質含有率は過度に高くないことが望ましい。移植時期を6月下旬に遅らせると、登熟期間の日射量が低下し、窒素施用量が同一の場合は出穂期の稲体窒素栄養条件が高まることで、米粒の総タンパク質含有率は高まる傾向にあった。また、遅い時期の移植では収量が低下しやすかった。一方、4月下旬や5月上中旬の移植では総タンパク質含有率は抑制しやすかったが、高温障害によって玄米の外観品質の低下を引き起こし始める登熟気温

とされる日平均気温26～27℃⁵²⁾を上回る傾向にあった。高温障害を受けると、米粒内のデンプン顆粒が十分に形成されないことによる背白米の増加にともなう炊飯米の食味への悪影響⁹²⁾、胴割れ米の増加⁵³⁾による搗精時の碎米の増加につながる。これらのことから、4月下旬や5月上中旬の移植は避け、6月中旬頃までの過度に遅くならない時期に移植時期を設定することが望ましいと考えられた。

従来の多くの知見と同様に、本研究においても窒素施用量は少ない方が米粒の総タンパク質含有率は低かった。また、一般食用水稲品種の施肥体系では、穂肥を幼穂形成期に施用することが一般的である。しかし、本研究結果から、「ニホンマサリ」のような短程の一般食用水稲品種および本研究で供試した耐倒伏性に優れるタンパク質変異米水稲品種では、幼穂形成期よりも10日ほど早い穂首分化期の窒素追肥を行い、それ以降の追肥を行わないことで、幼穂形成期の追肥並みの収量を確保しながら、米粒の総タンパク質含有率を低減できることが示唆された。従来、穂首分化期の追肥は稈の下位節間を著しく伸長させて倒伏を助長するとともに、上位の葉身を伸長させて下垂させることで受光体勢を悪化させ、登熟歩合の低下および収量の低下を引き起こすとされてきた⁵⁰⁾。しかし、本研究で供試した一般食用水稲品種「ニホンマサリ」およびタンパク質変異米水稲品種では、穂首分化期の窒素追肥を行ってもこうした悪影響は認められなかった。これは、供試した品種が、いずれも短程で葉身が直立しやすい性質を持つためと考えられた。

米粒の総タンパク質に占めるPB-Iやプロラミンの割合は低い方が、炊飯米の食味は優れ^{7, 41)}、酒造適性も良好である^{7, 32)}ことを示唆する報告がある。本研究から、PB-Iやプロラミンの割合を耕種的に低下させるためには、窒素施用量を抑制すること、登熟初期の気温を高める移植時期の設定が有効であることが示された。前述したように、窒素施用量を抑制することは米粒の総タンパク質含有率の抑制にもつながることから、タンパク質組成も含めた成分品質の向上という点で妥当な栽培方法と考えられた。一方、登熟気温に関しては、前述したように高温障害が生じると、炊飯米の食味の低下⁹²⁾、胴割れ米の増加⁵³⁾による搗精時の碎米の増加を助長し、

食味の面からも酒造の面からも好ましくないと考えられる。したがって、本研究で供試した品種と同等の早晩性の品種の場合、温暖地では登熟初期が著しく高温になる4月下旬や5月上中旬の移植時期は避け、なおかつ過度に移植時期が遅くならないことが望ましいと考えられた。

このほかに、登熟気温は、炊飯米の食味や酒造適性と関係するアミロース含有率にも影響を及ぼす^{46, 64, 65, 85, 87}。さらに、本研究では、1次枝梗に着生した千粒重が大きく充実の良い玄米の方が2次枝梗に着生した玄米よりもPB-I割合が高いことが明らかになった。1次枝梗に着生した玄米の方が2次枝梗に着生した玄米よりも食味は優れることが知られている⁴⁴。本研究では、食味試験を実施していないことから、耕種的にタンパク質組成を変動させた場合の炊飯米の食味については、アミロース含有率や総タンパク質含有率、玄米の外観品質が一定の条件を設定するなど、なお一層の検討を要する。

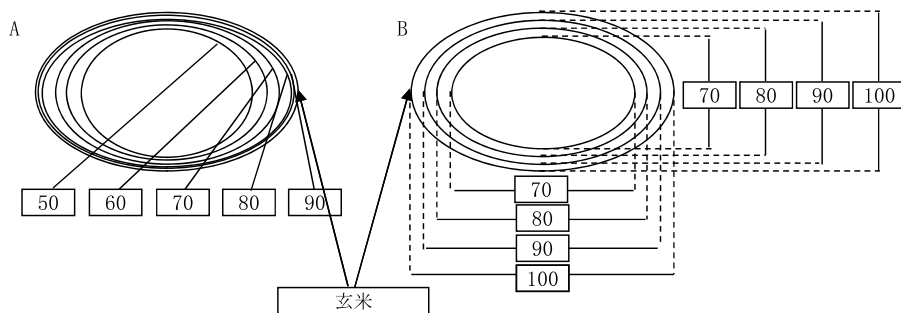
2) 搗精

通常、一般食用水稲品種を用いた主食用の米飯には外層約10%を取り除いた搗精歩合90%程度の白米が用いられている。一方、搗精に基づく米粒内のタンパク質分布の解析の結果から、13kDaプロラミンあるいはPB-Iは90~>80%層に最も多く分布していることが明らかになった。筆者は予備的な官能食味試験により、「LGCソフト」の搗精歩合80%の白米は、搗精歩合90%の白米よりも食味が優れることを示すデータを得ている。今後は、さまざまな品種について、搗精歩合80%と90%の白米の食味

を比較することにより、さらなる良食味米の可能性について検討する余地があると考えられた。

高度搗精では、本研究でも用いた普通精米が一般的である⁷⁰ことから、普通精米で得られたサンプルの分析結果は、玄米から特定のタンパク質を除去する搗精歩合を考察する上で実用に即したものである。しかし、普通搗精では米粒の頂端側と基部側が背側と腹側に比較して多く削られる(第8図)。蛍光顕微鏡観察の結果から、13kDaプロラミンは、米粒の頂端側において玄米表面から相対距離20~30の位置に多く分布しており、背側では玄米表面から相対距離20~40、腹側では玄米表面から相対距離20の位置に多く分布し、内層部では少なかった(第6図)。このことから、仮に13kDaプロラミンの除去を目的に普通精米して、頂端側が背側と腹側に比較して多く削られた場合、頂端側内層部の13kDaプロラミンの含有量が少ない部位も多く削られることになり、歩留まりの悪化につながる。玄米の形状を極力保ったまま搗精する手法としては原形精米と扁平精米^{70, 71}がある。これらの手法は、歩留まりを極力低下させずに、玄米から13kDaプロラミンなど特定のタンパク質を除去する上で有効な手段になり得ると考えられた。

本研究により一般食用水稲品種およびタンパク質変異米水稲品種の米粒内の各種タンパク質の分布が明らかになり、搗精歩合を高めるほど白米の各種タンパク質含有率は低下したことから、米粒内の特定のタンパク質含有率が何らかの栽培要因で高まっても、高度に搗精することで、用途に応じてタンパク質を除去することが可能と考えられた。ただし、高



第8図 搗精にともなう米粒形状の変化

(A) はⅣ-1で搗精歩合を変えて得られた米粒を用いて実測値に基づいた形状を示し、数値は玄米を100とした重量%を示す。(B)は玄米の形状を保ったまま削られることを想定した理論値に基づく米粒の形状を示し、数値は玄米の横あるいは縦の長さを100とした距離%を示す。

度搗精にかかるコストおよび歩留まりの点から、前述した窒素施用条件と移植時期に留意して栽培することで、あらかじめ目的とするタンパク質の含有率が低い米を生産することが重要と考えられた。

摘 要

一般食用水稲品種および一般食用水稲品種とは米粒内のタンパク質組成が遺伝的に異なるタンパク質変異米水稲品種を用いて、登熟気温、作期および窒素施用条件といった栽培・環境条件が米粒内のタンパク質組成に及ぼす影響をSDS-PAGE分析に基づいて定量的に検討するとともに、米粒内の総タンパク質含有率についても調査して、タンパク質組成および総タンパク質含有率の変動要因を解析した。また、米粒内の各種タンパク質の分布を、搗精した米粒のSDS-PAGE分析および蛍光標識抗体を用いた免疫蛍光顕微鏡観察と画像解析によって調査した。以下、研究成果を要約する。

1 作期が米粒のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響

穂ばらみ期以降、人工的に気温を24.0℃、28.0℃および30.6℃に制御したポット試験では、登熟温度が高いほど米粒内の総タンパクに占めるPB-I（10～13kDaプロラミンの合計）割合、特に13kDaプロラミンの割合が低下し、グロブリンを除くPB-I以外のタンパク質画分の割合は高まった。また、登熟温度がPB-I割合に及ぼす影響の程度は低グルテリン米水稲品種「LGCソフト」の方が一般食用水稲品種「ニホンマサリ」よりも大きかった。「ニホンマサリ」、「LGCソフト」ともに、千粒重の大きい1次枝梗粒の方が2次枝梗粒よりもPB-I割合が高い特徴を持つが、登熟温度がタンパク質組成に及ぼす影響は、穂上の着生位置によって異ならなかった。上記2品種に加え、低グルテリン・26kDaグロブリン欠失米水稲品種「エルジーシー潤」を供試して複数年実施した作期移動試験では、3品種ともに出穂後15日間の平均気温とPB-I割合が負の相関関係を示し、上述の人工的に気温を制御した試験による知見が確

認された。作期を違えた場合の窒素栄養状態や稈長などの生育特性と米粒のタンパク質組成とは関連が低いと考えられた。「ニホンマサリ」では、収量構成要素の中で、千粒重とPB-I割合とが正の相関関係を示した。複数年の作期移動試験に基づくと、登熟気温と総タンパク質含有率との間に相関関係は認められなかったが、同一年次では、移植時期を遅らせて登熟気温が低い条件で総タンパク質含有率は高まる傾向にあった。

2 窒素施用条件が米粒のタンパク質組成およびタンパク質含有率に及ぼす影響

「ニホンマサリ」、「LGCソフト」および「エルジーシー潤」を供試して窒素施用量と窒素追肥時期の影響を検討した。窒素施用量を高めて総タンパク質含有率が高まる条件でPB-I割合はわずかに高くなることが示唆された。「ニホンマサリ」と「エルジーシー潤」では千粒重とPB-I割合とが正の相関関係を示した。「ニホンマサリ」と同様に、タンパク質変異米水稲品種でも窒素施用量が多い条件および窒素追肥時期が遅い条件で出穂期の稲体の窒素栄養状態が高まり、それにもなって総タンパク質含有率は高まる傾向にあった。窒素追肥時期を慣行の幼穂形成期よりも約10日早い穂首分化期とすることにより、収量は慣行と同等ながら、総タンパク質含有率は抑制される傾向のあることが明らかになった。

3 種子貯蔵タンパク質の米粒内の分布特性

「ニホンマサリ」、「LGCソフト」に加え、低グルテリン米水稲品種「エルジーシー1」、低グルテリン・26kDaグロブリン欠失米水稲品種「エルジーシー活」について搗精歩合がさまざま異なる米粒を作出し、それらのSDS-PAGE分析を行って米粒内の層別のタンパク質分布を検討した。総じていずれのタンパク質画分も米粒の外層に多く分布し内層ほど少なかった。ただし、57kDa超過タンパク質と57kDaタンパク質および「エルジーシー活」の37-39kDaグルテリン α は100～>90%層に最も多く存在し、

それ以外のタンパク質画分は90～80%層に最も多く存在し、タンパク質の種類によって局在に差違のあることが明らかになった。また、タンパク質画分によっては、タンパク質変異米水稲品種と一般食用水稲品種「ニホンマサリ」とで分布が異なる場合があることも明らかになった。種子貯蔵タンパク質の米粒内の分布特性をより直接的に明らかにするために、13kDaプロラミンと23kDaグルテリンの蛍光標識抗体を用いてそれぞれの分布を解析した。搗精歩合の異なる米粒のSDS-PAGE分析に基づく結果と同様に、両タンパク質は米粒の外層部に多く存在した。米粒の背側では、13kDaプロラミンと23kDaグルテリンは「ニホンマサリ」と比較してタンパク質変異米水稲品種の方がより外層部に局在する傾向のあることが示された。また、タンパク質変異米水稲品種は「ニホンマサリ」と異なり、13kDaプロラミンが背側よりも腹側に相対的に多く分布する特性が示された。この13kDaプロラミンの分布特性の品種間差については、背側あるいは腹側を研削した米粒のSDS-PAGE分析の結果からも確認された。

4 総合考察

年次・作期が異なる条件において、米粒の総タンパク質含有率に大きく影響を及ぼすのは、登熟気温よりも登熟期間の日射量と出穂期の窒素栄養状態と推察された。炊飯米の食味や酒造適性を考慮して、温暖地において米粒内の総タンパク質含有率およびPB-I割合を抑制するためには、窒素施用量を抑制した上で、登熟期の高温障害を助長する4月下旬や5月上中旬の移植は避け、登熟期の日射量の低下と稲体の高窒素栄養状態を引き起こさないように6月中旬頃までの過度に遅くならない移植時期を設定することが望ましいと考えられた。本研究により一般食用水稲品種およびタンパク質変異米水稲品種の米粒内の各種タンパク質分布が明らかになり、搗精歩合を高めることで用途に応じて特定のタンパク質を米粒から除去できる可能性が示された。

謝 辞

本研究の取りまとめにあたっては、京都大学大学院農学研究科白岩立彦教授に懇切丁寧なご指導を賜りました。また、田中朋之准教授にデータおよびその解釈の信憑性についてご検討いただきました。近畿中国四国農業研究センターにおいて実施した試験および結果の取りまとめにあたっては、佐々木良治博士に常に温かいご指導、激励、ご協力をいただきました。飯田修一博士には、タンパク質変異米水稲品種の種子を提供していただくとともに、研究開始当初よりタンパク質組成の分析方法、結果の取りまとめについて貴重なご指導ご助言をいただきました。竹田博之氏には、研究を遂行する上で多大なご協力をいただきました。京都府立大学大学院生命環境科学研究科増村威宏博士には、研究の遂行や結果の取りまとめにあたって貴重なご指導ご助言をいただきました。また、斎藤雄飛博士、中塚信明氏、重光隆成氏には米粒内のタンパク質の蛍光顕微鏡観察においてご協力をいただきました。労の多い圃場試験では、近畿中国四国農業研究センターの小畑義宏氏、後藤昭仁氏、藤井良之氏、山下大朗氏ならびに業務第1科の諸氏に多大なご協力をいただきました。農業形質の調査や実験材料の調製、米粒のタンパク質の分析では、近畿中国四国農業研究センターの松浦和子氏、赤木富貴子氏にご協力をいただきました。本研究の一部は農林水産省委託プロ（『新鮮でおいしい「ブランド・ニッポン」農産物提供のための総合研究』）の研究予算で実施しました。記して厚く感謝を申し上げます。

引用文献

- 1) 荒井邦夫・河野恭広 1979. 水稲の穂の発育に関する研究第2報 穂上位置別穎果の窒素集積パターンに及ぼす出穂期窒素追肥の影響. 日作紀48: 335-342.
- 2) 辺 嘉賓・多田宏樹・劉 建・塩津文隆・諸隈正裕・豊田正範・楠谷彰人 2006. 水稲における収量および食味特性の日中品種間比較. 日作四国支報43: 13-22.

- 3) 陳 錦清・武田元吉・松崎昭夫 1989. 電気泳動によるイネ粒タンパク質の品種間差異Ⅱ. 育雑39 (別1): 448 - 449.
- 4) Del Rosario, A. R., V. P. Briones, A. J. Vidal and B. O. Juliano 1968. Composition and endosperm structure of developing and mature rice kernel. *Cereal Chem.* 45: 225 - 235.
- 5) 福田あかり・吉永悟志・長田健二・白土宏之 2006. 玄米タンパク質の組成割合と施肥, 気象条件との関係解析. 日作東北支部会報49: 7 - 8.
- 6) Furukawa, S., T. Mizuma, Y. Kiyokawa, T. Masumura, K. Tanaka and Y. Wakai 2003. Distribution of storage proteins in low-glutelin rice seed determined using a fluorescent antibody. *J. Biosci. Bioeng.* 96: 467 - 473.
- 7) ———, K. Tanaka, T. Masumura, Y. Ogihara, Y. Kiyokawa and Y. Wakai 2006. Influence of rice proteins on eating quality of cooked rice and on aroma and flavor of sake. *Cereal Chem.* 83: 439 - 446.
- 8) 東 正昭・櫛淵欽也・伊藤隆二 1974. 高蛋白米品種の育種に関する基礎的研究Ⅰ 玄米蛋白含有率の品種間差異および諸形質とくに収量との関係について. 育雑24: 88 - 96.
- 9) 平野泰志 2003. 米貯蔵タンパク質のペプシン分解特性. 埼玉農総研研報3: 13 - 16.
- 10) 本庄一雄・檀淵晴三郎・平野 貢 1966. 栄養的優良米の生産に関する研究—尿素の葉面撒布が水稲の収量並に玄米, 藁の窒素含有率に及ぼす影響—. 日作東北支部報8: 23 - 25.
- 11) ——— 1971 a. 米のタンパク含量に関する研究第1報 タンパク質含有率の品種間差異ならびにタンパク質含有率に及ぼす気象環境の影響. 日作紀40: 183 - 189.
- 12) ——— 1971 b. 米のタンパク含量に関する研究第2報 施肥条件のちがいが玄米のタンパク質含有率およびタンパク質総量に及ぼす影響. 日作紀40: 190 - 196.
- 13) 星川清親 1968. 米の胚乳発達に関する組織形態学的研究第11報 胚乳組織における澱粉粒の蓄積と発達について. 日作紀37: 207 - 216.
- 14) ——— 1970. 米の胚乳発達に関する組織形態学的研究第12報 蛋白顆粒の形態とその発達について. 日作紀39: 295 - 300.
- 15) Hoshikawa, K. 1989. *The growing rice plant.* Nobunkyo, Tokyo. 270 - 271.
- 16) 飯田修一・塔野岡卓司・西尾 剛 1993. イネのグルテリンを減少させる突然変異遺伝子のRFLPマッピング. 育雑43 (別2): 92.
- 17) Iida, S., E. Amano and T. Nishio 1993. A rice (*Oryza sativa* L.) mutant having a low content of glutelin and a high content of prolamine. *Theor. Appl. Genet.* 87: 374 - 378.
- 18) ———, K. Miyahara and T. Nishio 1998. Rice mutant lines lacking alpha-globulin. *Breed. Sci.* 48: 45 - 49.
- 19) 飯田修一・春原嘉弘・前田英郎・松下 景・根本 博・石井卓朗・吉田泰二・中川宣興・坂井真・西尾 剛 2004. 良食味低グルテリン米品種「LGCソフト」の育成. 近中四農研報3: 57 - 74.
- 20) 飯塚 清・前原 宏 1998. 米のタンパク質含量と気象要因. 日作関東支報13: 20 - 21.
- 21) 稲津 脩 2005. 高品質米 (低タンパク質米) の栽培技術. 農機誌67: 4 - 9.
- 22) IPCC 2007. *The AR4 synthesis report: Summary for policymakers.* http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf 2012年1月31日閲覧.
- 23) 石間紀男・平 宏和・平 春枝・御子柴穆・吉川誠次 1974. 米の食味に及ぼす窒素施肥および精米中のタンパク質含有率の影響. 食品総合研究所研究報告29: 9 - 15.
- 24) 伊藤隆二・櫛淵欽也・池橋 宏・中根 晃・東正昭・谷口 晋 1974. 水稲新品種「ニホンマサリ」について. 農事試験場研報21: 79 - 91.
- 25) 岩野君夫・中沢伸重・伊藤俊彦・高橋 仁・上原泰樹・松永隆司 2001. 清酒麴の酵素活性に及ぼす原料米タンパク質組成の影響. 醸協96: 857 - 862.
- 26) ——— . ——— . ——— . ——— . ——— .

- 2002. 並行複発酵及び製成酒成分に及ぼす原料米のタンパク質組成の影響. 醸協 97 : 552 - 558.
- 27) Juliano, B.O. 1985. Polysaccharides, proteins, and lipids. "Rice: Chemistry and technology 2nd ed.". Am. Assoc. Cereal Chem. Inc., St. Paul, Mn. 59 - 174.
- 28) 川口祐男・高橋 渉・南山 恵 1995. 水稻の移植時期と外観品質, 蛋白質含有率との関係. 日作紀64 (別号2) : 49 - 50.
- 29) Kawamoto, T. and M. Shimizu 2000. A method for preparing 2- to 50- μ m-thick fresh-frozen sections of large samples and undecalcified hard tissues. Histochem. Cell Biol. 113: 331 - 339.
- 30) 木戸三夫・梁取昭三 1965. 米粒蛋白質集積過程の組織化学的研究. 日作紀34 : 204 - 209.
- 31) ———・——— 1968. 栽培条件が米質, 特に米粒の蛋白質含有量に及ぼす影響に関する研究. 日作紀37 : 32 - 36.
- 32) 木崎康造・小原 昭・逸見彰則・荒巻 功・小林信也・岡崎直人 1993. 酒造原料米のプロテインボディの品種間差. 醸協88 : 326 - 331.
- 33) 小出俊則・伊藤和久・高松美智則 1995. 酒造米「若水」の品質安定に関する研究 (第1報) 移植時期, 施肥法の影響. 愛知農総試研報27 : 41 - 48.
- 34) 今野 周・一戸每子・山下 亨・梅津敏彦・芳賀静雄・栗野省三・武田正宏 1994. 水稻品種「はえぬき」「どまんなか」の栽培技術の確立第2報 品質及び食味評価に及ぼす単位面積当たり籾数と登熟期間の気温の影響. 山形県立農試研報28 : 21 - 38.
- 35) Krishnan, S., G. A. I. Ebeneze and P. Dayanandan 2001. Histochemical localization of storage components in caryopsis of rice (*Oryza sativa* L.). Current Sci. 80: 567 - 571.
- 36) Kusaba, M., K. Miyahara, S. Iida, H. Fukuoka, T. Takano, H. Sassa, M. Nishimura and T. Nishio 2003. Low glutelin content1: A dominant mutation that suppresses the glutelin multigene family via RNA silencing in rice. The Plant Cell 15: 1455 - 1467.
- 37) 楠田 宰 1995. 水稻の収量及び収量構成要素の調査方法について. 植調29 : 138 - 143.
- 38) 楠谷彰人・浅沼興一郎・木暮 秩・関 学・平田壮太郎・柳原哲司 1992. 暖地における早期栽培水稻品種キヌヒカリの収量および食味. 日作紀61 : 603 - 609.
- 39) 前重道雅 1981. 米の食味関与要因の変動に関する研究第3報 玄米タンパク質含量におよぼす登熟気温の影響. 広島農試報告44 : 39 - 44.
- 40) 増村威宏・田中國介 2007. コメの品質, 食味向上のための窒素管理技術3 イネ種子タンパク質の合成・集積と米粒内分布に関する分子機構. 農及園82 : 43 - 48.
- 41) 益重 博・平井信行・増村威宏・田中國介 1995. イネ種子プロテインボディの含量と米の食味との相関性. 日本農芸化学会誌69 (臨時増刊) : 155.
- 42) 松江勇次・水田一枝・古野久美・吉田智彦 1991. 北部九州産米の食味に関する研究第3報 移植時期, 倒伏の時期が米の食味および理化学的特性に及ぼす影響. 日作紀60 : 490 - 496.
- 43) ———・古野久美・吉田智彦 1992. 北部九州産米の食味に関する研究第1報 登熟中期以降の遮光処理が米の食味および理化学的特性に及ぼす影響. 日作紀61 : 218 - 222.
- 44) Matsue, Y., K. Odahara and M.Hiramatsu 1994. Differences in protein content, amylose content and palatability in relation to location of grains within rice panicle. Jpn. J. Crop Sci. 63: 271 - 277.
- 45) 松江勇次・尾形武文 1999. 栽培条件が穂上位置別の米粒のタンパク質含有率に与える影響. 日作紀68 : 370 - 374.
- 46) ———・佐藤大和・内村要介・尾形武文 2002. 低アミロース米品種における登熟温度が精米のアミロース含有率および玄米の白濁に及ぼす影響. 日作紀71 : 463 - 468.
- 47) ———・尾形武文・佐藤大和・浜地勇次 2003. 登熟期間中の気温と米の食味および理化学的特性との関係. 日作紀72 (別1) : 272 - 273.
- 48) 松本 和・岡崎正一 1971. 米粒の組織化学的

- 研究 (第 1 報) 米粒及び炊飯粒のたんぱく質、脂質の分布について. 高知学園短期大学紀要 2 : 35 - 40.
- 49) ———・山本文子・岡崎正一 1977. 米粒の組織化学的研究 (第 3 報) 品種によるたんぱく質の分布. 高知学園短期大学紀要 8 : 37 - 41.
- 50) 松島省三 1973. 稲作の改善と技術. 養賢堂 東京.
- 51) 文部科学省 2005. 五訂増補日本食品標準成分表.
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802.htm. 2012 年 1 月 31 日閲覧.
- 52) 森田 敏 2008. イネの高温登熟障害の克服に向けて. 日作紀 77 : 1 - 12.
- 53) 長田健二 2006. 高温登熟と米の胴割れ. 農及園 81 : 797 - 801.
- 54) 長戸一雄・江幡守衛・石川雅士 1972. 米粒の蛋白質含量に関する研究. 日作紀 41 : 472 - 479.
- 55) 西村 実 2002. 腎臓病患者への低グルテリン米の適用. 育種学研究 4 (別 2) : 28 - 31.
- 56) Nishimura, M., M. Kusaba, K. Miyahara, T. Nishio, S. Iida, T. Imbe and H. Sato 2005. New rice varieties with low levels of easy-to-digest protein, 'LGC-Katsu' and 'LGC-Jun'. *Breed. Sci.* 55: 103 - 105.
- 57) 西村 実・宮原研三・森田竜平 2007. 水稲の種子貯蔵タンパク質変異系統におけるタンパク質組成およびその集積過程に及ぼす施肥法の影響. 日作紀 76 : 562 - 568.
- 58) 西尾 剛 1996. イネ育種マニュアル. 養賢堂 東京. 50 - 53.
- 59) Ogawa, M., T. Kumamaru, H. Satoh, N. Iwata, T. Omura, Z. Kasai and K. Tnaka 1987. Purification of protein body-I of rice seed and its polypeptide composition. *Plant Cell Physiol.* 28: 1517 - 1527.
- 60) 大平陽一・竹田博之・佐々木良治 2009. タンパク質変異米水稲品種の米粒内における種子貯蔵タンパク質の分布. 日作紀 78 (1) : 58 - 65.
- 61) Ohdaira, Y., H. Takeda and R. Sasaki 2010. Effects of Temperature on the Digestible Protein Content of Grains during Ripening in a Seed-protein Mutant Rice Cultivar LGCsoft. *Plant Prod. Sci.* 13 (2): 132 - 140.
- 62) ———, T. Masumura, N. Nakatsuka, T. Shigemitsu, Y. Saito and R. Sasaki 2011. Analysis of Storage Protein Distribution in Rice Grain of Seed-Protein Mutant Cultivars by Immunofluorescence Microscopy. *Plant Prod. Sci.* 14 (3): 219 - 228.
- 63) 大平陽一・竹田博之・佐々木良治 2013. 作期が異なる圃場栽培条件におけるタンパク質変異米水稲品種の米粒のタンパク質組成とタンパク質含有率の変動要因. 日作紀 82 (1) : 18 - 27.
- 64) 奥田将生・橋爪克己・沼田美子代・上用みどり・後藤奈美・三上重明 2009. 気象データと原料米の酒造適性との関係. 醸協 104 : 699 - 711.
- 65) 大友孝憲・吉田茂敏・白石真貴夫・斉藤清男 1992. 水稲の登熟気温が米の窒素, アミロース含有率および食味に与える影響. 日作九支報 59 : 38 - 40.
- 66) 折谷隆志・葎田隆二 1984. 作物の窒素代謝に関する研究第 18 報 水稲の葉面生長, 蛋白合成及び sink 形成における追肥窒素の利用に関する研究. 日作紀 53 : 204 - 212.
- 67) Osborn, T. B. 1924. *The vegetable protein. Longmans Green & Co., New York.* P.154
- 68) 太田和也・小山 豊・在原克之 2010. 温暖地早期栽培における水稲品種「ひとめぼれ」の窒素施用条件並びに栽植密度が籾数及び登熟歩合に及ぼす影響—玄米品質低下要因の解明—. 日作紀 79 : 213 - 220.
- 69) 尾崎 清 1949. 水稲の窒素代謝に関する研究. 1 出穂開始期以降の窒素の供給が玄米の蛋白質の種類及びその含量に及ぼす影響について. 土肥誌 20 : 31 - 36.
- 70) 斎藤富男 1993. 酒造用白米の形状と精米効率. 醸協 88 : 170 - 177.
- 71) ———・手塚信也・近藤 修・岡田光司・坂本恭輝・久保克朗・杉山隆一・栗林直章・吉井忠 1994. 偏平精米を用いた清酒醸造試験. 醸

- 協89：489 - 491.
- 72) Saito, Y., N. Nakatsuka, T. Shigemitsu, K. Tanaka, S. Morita, S. Satoh and T. Masumura 2008. Thin frozen film method for visualization of storage proteins in mature rice grains. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 72: 2779 - 2781.
- 73) Sarker, S. C., M. Ogawa, M. Takahashi and K. Asada 1986. The Processing of a 57-Da precursor peptide to subunits of rice glutelin. *Plant Cell Physiol.* 27: 1579 - 1586.
- 74) 徐 錫元・茶村修吾 1980. 玄米の蛋白質・燐・カリウム含有率の品質間差異, およびそれらに及ぼす登熟期間の気温としゃ光の影響. *日作紀*49: 199 - 204.
- 75) 静川幸明・大橋善之・増村威宏・田中國介 2002. 酒造好適米および主食用米の玄米中貯蔵タンパク質顆粒 (Protein Body) を構成するプロラミン, グルテリン, グロブリンの含有量とその分布. *日作紀*71 (別1): 224 - 225.
- 76) 多田宏樹・劉 建・辺 嘉賓・塩津文隆・諸隈正裕・豊田正範・楠谷彰人 2006. 水稲における日中品種間交雑による後代系統の収量及び食味特性. *日作四国支報*43: 23 - 33.
- 77) 平 宏和・松島省三・松崎昭夫 1970. 水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究第92報 窒素施肥による米の蛋白質の収量およびその栄養価増大の可能性の栽培試験. *日作紀*39: 33 - 40.
- 78) 高橋 誠・本間紀之・諸橋敬子・中村幸一・鈴木保宏 2009. 米の品種特性が米粉パン品質に及ぼす影響. *食科工誌*56: 394 - 402.
- 79) Tamaki, M., M. Ebata, T. Tashiro and M. Ishikawa 1989. Physico-ecological studies on quality formation of rice kernel I. Effects of nitrogen top-dressed at full heading time and air temperature during ripening period on quality of rice kernel. *Jpn. J. Crop Sci.* 58: 653 - 658.
- 80) 田中國介・増村威宏 1988. イネ種実におけるタンパク質の集積機構. *化学と生物*26: 543 - 550.
- 81) Tanaka, K., T. Sugimoto, M. Ogawa and Z. Kasai 1980. Isolation and characterization of two types of protein bodies in the rice endosperm. *Agric. Biol. Chem.* 44: 1633 - 1639.
- 82) ———, Z. Kasai and M. Ogawa 1995. Accumulation of reserve substances and formation of subcellular organelles. In T. Matsuo, K. Kumazawa, R. Ishii, K. Ishihara and H. Hirata eds., *Science of the rice plant, Physiology. Food and agriculture policy research center, Tokyo.* 100 - 116.
- 83) 田中朋之・山口武視・中野淳一 2005. イネ穂培養法による高温・多窒素処理が玄米品質に及ぼす影響評価第二報: タンパク質組成の解析. *日作紀*74 (別1): 66 - 67.
- 84) Tanaka, Y., S. Hayashida and M. Hongo 1975. The relationship of the feces protein particles to rice protein bodies. *Agric. Biol. Chem.* 39: 515 - 518.
- 85) 丹野 久・本間 昭・宗形信也・吉村 徹・平山裕治・前川利彦・沼尾吉則・尾崎洋人・荒木和哉・菅原 彰 2010. 北海道産うるち米の精米蛋白質含有率とアミロース含有率における年次間および地域間差異と生育特性との関係. *日作紀*79: 440 - 449.
- 86) 建部雅子・及川 勉・松野宏治・清水恵美子・米山忠克 1996. 水稲白米のグルテリンおよびプロラミン含有率に対する窒素栄養条件の影響. *土肥誌*67: 139 - 146.
- 87) 館山元春・須藤 充・神田伸一郎・坂本聖子・坂井 真 2003. 水稲低アミロース品種の環境による食味の変動第3報 登熟気温の違いによるアミロース含有率変動の品種間差異. *日作東北支報*46: 53 - 55.
- 88) 内村要介・尾形武文・佐藤大和・松江勇次 2000. 水稲湛水直播栽培におけるケイ酸施用が倒伏, 収量, 食味および精米の理化学的特性に及ぼす影響. *日作紀*69: 487 - 492.
- 89) 上田一好・楠谷彰人・浅沼興一郎・一井眞比古 1998. 香川県における水稲品種キヌヒカリの移植時期に関する研究—収量および食味と気象要因との関係—. *日作紀*67: 289 - 296.
- 90) 上原泰樹・小林 陽・太田久稔・清水博之・福井清美・三浦清之・大槻 寛・小牧有三・笹原

- 英樹 2002. 水稲新品種「春陽」の育成. 中央農研研報 1 : 1 - 21.
- 91) 若松謙一・田中明男・上蘭一郎・佐々木修 2006. 水稲の暖地早期栽培における登熟期間の遮光処理が収量, 品質, 食味に及ぼす影響. 日作九支報 72 : 19 - 21.
- 92) —— 2010. 暖地水稲の登熟期間の高温が玄米外観品質に及ぼす影響. 鹿児島農総セ研報 (耕種) 4 : 9 - 125.
- 93) Yamagata, H., T. Sugimoto, K. Tanaka and Z. Kasai 1982. Biosynthesis of storage proteins in developing rice seeds. *Plant Physiol.* 70: 1094 - 1100.
- 94) Yamakawa, H., T. Hirose, M. Kuroda and T. Yamaguchi 2007. Comprehensive expression profiling of rice grain filling-related genes under high temperature using DNA microarray. *Plant Physiol.* 144: 258 - 277.
- 95) 山下鏡一・藤本堯夫 1974. 肥料と米の品質に関する研究 4 窒素肥料による精米のタンパク質の変化と食味との関係. 東北農試研報 48 : 91 - 96.
- 96) 梁取昭三 1975. 米粒構成物質の集積過程よりみた米質に関する研究. 新大農紀要 13 : 67 - 134.
- 97) Yupsnanis, T., M. Moustakas and S. Karakoli 1992. Seed protein electrophoresis for varietal identification in rice (*Oryza sativa* L.) *J. Agronomy Crop Sci.* 168: 95 - 99.

Analyses on Composition, Content and Distribution of Seed Storage Proteins in Rice Grain

Yoichi ODAIRA¹

Summary

Effects of temperatures during the ripening period, cropping seasons and nitrogen application conditions on seed protein composition in rice grains were analyzed quantitatively based on the SDS-PAGE technique using a normal-type rice cultivar and seed-protein mutant rice cultivars (SPMC) which have different genetic characteristics of protein composition in rice from normal-type rice cultivars. Also, the effects of the cultivation and environmental conditions on total protein contents (TP) in rice grains were investigated and factors affecting protein compositions and contents were analyzed. In addition, characteristics of the protein distribution in rice grains were analyzed by SDS-PAGE analysis of rice grains which had different milling percentages and immunofluorescence microscopic analysis.

A normal cultivar 'Nihonmasari' and a low-glutelin cultivar 'LGCsoft' were grown under a natural condition until the booting stage, and then in temperature-controlled greenhouses set at 24.0°C, 28.0°C, and 30.6°C (mean temperature). The ratio of the PB-I (sum of 10~13 kDa prolamin) to total protein (PB-I/TP) was lower and the ratio of another protein fraction excepting 26 kDa globulin was higher in high-temperature conditions in both cultivars. Also, the effect of temperature on PB-I/TP was larger in 'LGCsoft' than in 'Nihonmasari'. The grain weight and PB-I/TP in the grains on the primary branches were higher than those on the secondary branches in both cultivars. The patterns of change in the protein compositions with the temperature during the ripening period were similar for the primary and the secondary branches. In field experiments of 'Nihonmasari', 'LGCsoft' and a low-glutelin 26-kDa-globulin-deficient cultivar 'LGC-Jun' over several years and cropping seasons, a negative correlation ($r = -0.849^{**} \sim -0.773^*$) between PB-I/TP and air temperature from 0 to 15 days after heading was observed in all cultivars. This tendency was similar to the result of artificially controlled temperature. It was considered that there were no relations between protein compositions in rice grain to the shoot nitrogen status or growth characteristics (for example, culm length) under different cropping seasons and years. There was a positive correlation between PB-I/TP and 1000-grain weight in 'Nihonmasari'. Based on the field experiments over several years and cropping seasons, a significant correlation between TP and temperature during the ripening period was not observed. However, as limiting in the same year, TP tended to be high by delayed transplanting with lower temperature during the ripening period.

Effects of the amount of nitrogen application and the timing of nitrogen topdressing on protein composition and TP in 'Nihonmasari', 'LGCsoft' and 'LGC-Jun' were examined. PB-I/TP became higher slightly under elevated TP conditions by high amount of nitrogen application. Similar to 'Nihonmasari',

Lowland Crops Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

¹ NARO Tohoku Agricultural Research Center

TP of SPMCs tended to be high under high nitrogen status of shoot at heading stage when larger application of nitrogen fertilizer and delayed nitrogen topdressing. It is considered that nitrogen topdressing at the neck node differentiation stage, which was about 10 days earlier than the panicle formation stage, enable to suppress TP compared to that at the panicle formation stage. In addition, yield was equal between the timing of nitrogen topdressing at the neck node differentiation stage and the panicle formation stage.

Distribution of seed storage proteins in rice grain of 'Nihonmasari' and three SPMCs such as 'LGCsoft', a low-glutelin cultivar 'LGC-1' and a low-glutelin 26-kDa-globulin-deficient cultivar 'LGC-Katsu' was examined by SDS-PAGE analysis using rice with different milling percentage. All of the protein fractions tended to be higher in the outer layer of rice grain. However, 37-39 kDa glutelin α of 'LGC-Katsu', 57 kDa protein and 57 kDa excess protein of all cultivars were highest in the 100->90% layer, another protein fraction was highest in the 90->80% layer. It was revealed that localization patterns in rice grain were different depending on the type of protein and there were varietal differences of the protein localization. Characteristics of protein distribution in rice grain were examined directly by immunofluorescence microscopy using fluorescence-labeled antibodies of 13 kDa prolamin and 23 kDa glutelin. Abundant 13 kDa prolamin and 23 kDa glutelin was observed in the outer regions of rice grains. On the dorsal side of rice grain, 13 kDa prolamin and 23 kDa glutelin of SPMCs localized outer region than that of 'Nihonmasari'. Distribution patterns of 13 kDa prolamin of SPMCs differed from 'Nihonmasari'. A larger quantity of 13 kDa prolamin localized on the ventral than the dorsal side of rice grain in SPMCs. This result was confirmed by SDS-PAGE analysis of grains grinding the ventral side or the dorsal side.

It was suggested that the solar radiation during the ripening period and the nitrogen status in shoot at the heading stage had large effect on TP rather than the temperature during the ripening period under different cropping years and seasons. To suppress TP and PB-I/TP in rice grain considering eating quality of cooked rice and sake making properties, it is important to not adjust the excessively delayed transplanting and also adjust the planting season to avoid extremely high temperatures during the ripening period. The desirable transplanting timing is considered to be until about mid-June from late-May with the reduction of applied nitrogen amount in warm region. This study revealed characteristics of distribution of seed storage proteins in rice grain of normal-type rice cultivar and SPMCs. Therefore, these findings might be useful to remove specific seed storage proteins from rice grain by appropriate milling percentage for the various purposes.

温暖地向けリポキシゲナーゼ全欠のダイズ新品種 「こがねさやか」の育成とその特性

高田吉丈・猿田正恭・岡部昭典¹・菊池彰夫²・小野貞芳³

Key words : ダイズ, 新品種, リポキシゲナーゼ, 豆腐, 豆乳, 醤油

目 次

I 緒 言	51	2 栽培適地	62
II 来歴および育成経過	52	3 栽培上の留意点	62
III 特性の概要	53	V 考 察	62
1 形態的特性	54	1 期待される効果	62
2 生態的特性	55	2 今後の課題	62
3 品質特性	58	VI 摘 要	63
IV 適地および栽培上の留意点	60	引用文献	63
1 奨励品種決定調査における試験成績	60	Summary	64

I 緒 言

近年、世界的な大豆需要の高まりを受け、国内実需者が国産大豆に注目する一方、大豆作付面積は微減で推移しており、単収の年次変動が大きく、生産量が不安定な状況である。このため、実需者が国産大豆を継続的に使用するうえで、大豆の安定生産・安定供給・安定価格が強く求められている。

国産大豆の用途は主に食品用であり、そのうち約90%が豆腐、煮豆、納豆、味噌・醤油に利用されている。これらの伝統的な大豆製品に加えて、新たな需要を喚起するために、大豆子実中の成分を改良する育種が進められ、嗜好性を高めるために豆腐や豆乳の青臭みを無くした「エルスター」⁶⁾、「すずさやか」¹⁰⁾などのリポキシゲナーゼアイソザイム欠失大豆、青臭みに加えて不快味を軽減した「きぬさやか」²⁾が育成された。また、大豆貯蔵蛋白質の主要

成分を改変し、機能性蛋白質を増加した「ななほまれ」⁹⁾、アレルギーリスクの軽減が期待できる「なごみまる」¹⁾が育成された。これらの品種を利用した加工製品は、従来品と差別化可能な新規需要の創出、消費者の食生活の幅の広がりや健康増進効果などが期待される。このような新たな大豆需要を掘り起こし、大豆産地の形成・維持を進めることは、大豆生産体制の強化および安定供給に繋がると考えられる。

近畿中国四国地域では、主に豆腐向きの「サチユタカ」⁷⁾や「フクユタカ」⁴⁾が普及しており、本地域での栽培に向けた子実成分改良品種はこれまでなかった。今回育成した「こがねさやか」は、成熟期が「サチユタカ」並みの中生で、青立ちの発生が「サチユタカ」より少ない。生態型は中間型で、収量は多収である。また、子実は球形で裂皮が少なく、外観品質は良好である。子実中のリポキシゲナーゼアイソザイム (L-1, L-2, L-3の3種類) をすべて

(平成26年8月4日受付, 平成27年3月13日受理)
農研機構近畿中国四国農業研究センター
作物機能開発研究領域

¹ 現 農研機構近畿中国四国農業研究センター
水田作研究領域

² 現 東北農業研究センター

³ 元 近畿中国四国農業研究センター

欠失しており、その特性を利用して青臭みの無い豆乳や風味を活かした豆腐の製造が可能である。また、味噌や醤油の醸造にも適する。そこで、これらの優れた特性を有する「こがねさやか」を品種登録出願(2014年4月)し、近畿中国四国地域において普及を図ることとした。

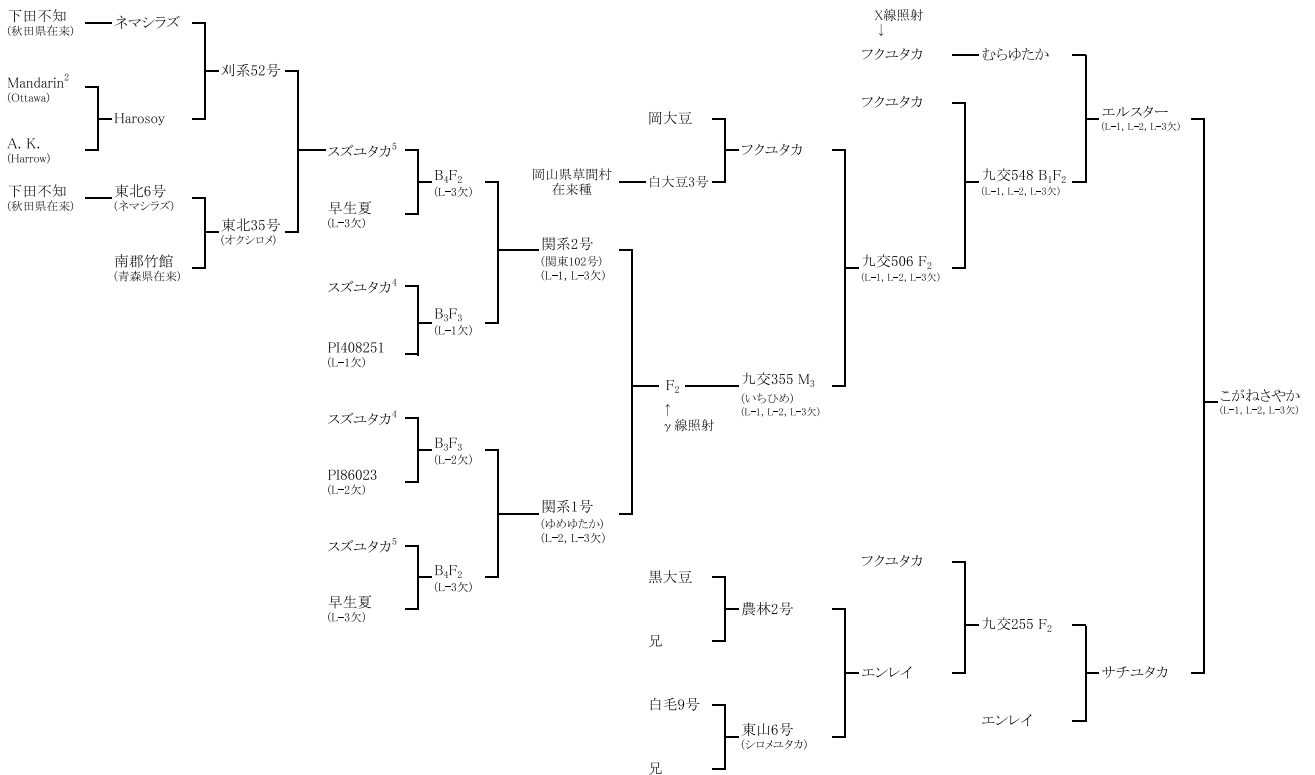
「こがねさやか」の育成に際し、奨励品種決定調査、系統適応性検定試験ならびに特性検定を担当された公立農業試験研究機関の各位には多大なご協力をいただいた。また、加工適性試験については国産大豆の品質評価に係る情報交換会ならびにメーカー各社には格段のご協力を賜った。さらに近畿中国四国農業研究センター四国研究センター業務第2科技術専門職員(大豆担当)の宮武正広、富永裕二、塩本知、上枝博樹、渡辺修一、萩原栄一、加賀宇昌宏、関浩二、岡信光、宮西克明、高尾二郎、大谷恭史、香川基の各氏には育種業務の遂行にご尽力いただいた。ここに記して各位に深く感謝する。

II 来歴および育成経過

「こがねさやか」は、2001年に近畿中国四国農業

研究センター作物開発部大豆育種研究室(現・近畿中国四国農業研究センター作物機能開発研究領域大豆育種研究グループ)において、温暖地向けのリポキシゲナーゼアイソザイム欠失品種の育成を目標に、リポキシゲナーゼアイソザイム(L-1, L-2, L-3)欠失の「エルスター」を母、耐倒伏性で多収の「サチユタカ」を父とした人工交配を行い、以後、選抜・固定を図り育成した(第1図, 第1表)。

2002年にF₁個体を養成後、2003~2004年に集団選抜を行い、2005年にF₄集団からリポキシゲナーゼアイソザイム全欠個体を選抜した。2006年にF₅系統選抜を行い、以後、系統育種法により選抜および固定を進めた。2008年に「善系37号」として生産力検定予備試験、系統適応性検定試験などに供試し、成績が良好であったことから2009年に「四国10号」の地方番号を付し、以後、生産力検定試験、奨励品種決定調査および特性検定試験などに供試した。その結果、青立ちが少なく多収で、リポキシゲナーゼ欠失大豆の特性を利用した豆腐や豆乳が製造でき、味噌加工適性に優れることが確認された。さらに醤油原料に適することも明らかとなった。醤油や豆乳原料として栽培の要望があがっていることか



第1図 「こがねさやか」の系譜

第1表 「こがねさやか」の選抜経過

年次	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
世代	交配	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀	F ₁₁	F ₁₂	
供試	系統群数	277花					10		2	1	1	1	1	1
	系統数	10莢					27		50	10	5	5	5	10
	個体数	18	1210	1440	1786	594	1100	220	110	110	110	110	220	
選抜	系統群数						2		1	1	1	1	1	1
	系統数						10		2	1	1	1	1	1
	個体数	18粒	15	3401	7113	27	50	10	5	5	5	5	10	
育成地における試験	生産力検定試験 予備試験B 予備試験A 本試験 (標準播・晩播)													
	備考	善系37号 四国10号												

第2表 形態的特性

品種名	胚軸のアントシアニン着色の有無	側小葉の形	花の色	茎の毛じの色	茎の長さ	茎の節数	分枝の数	最下着き節位の高さ	伸育型	熟さやの色の濃淡	子実の大きさ	子実の形	粒の光沢	種皮の地色	子実のへその色	子実の子葉の色
こがねさやか	有	鋭先卵形	紫	白	中	中	中	中	有限	淡	大	球	中	黄白	黄	黄
サチユタカ	有*	鋭先卵形	紫	白	短	中	中	やや低	有限*	中	大	球	中	黄白	黄	黄
タマホマレ	有*	鋭先卵形	紫*	白*	中*	中*	中*	中	有限*	中*	大	球*	中*	黄*	黄*	黄*
フクユタカ	有*	鋭先卵形*	紫*	白*	長	多*	中*	高	有限*	淡*	大*	球*	中*	黄白	淡褐*	黄

注1) 農林水産植物種類別審査基準(2012年4月)および品種登録審査基準(審査基準国際統一委託事業調査報告書, 2004年3月)による。原則として育成地での観察・調査に基づいて分類した。

注2) *印は当該形質について標準品種になっていることを示す。

注3) 下線の形質について当該品種は標準品種になっているが、育成地での調査結果を優先して記載したことを示す。

ら、本系統の速やかな普及を図るため、2014年4月に「こがねさやか」の名称で品種登録出願を行った。育成終了の世代はF₁₂である。

なお、「こがねさやか」(英語表記: Koganesayaka)の品種名は、リポキシゲナーゼ欠失大豆でさわやかな加工製品ができ、成熟期に淡褐のさやが黄金色に見えることから命名した。

Ⅲ 特性の概要

「こがねさやか」の形態的特性、生態的特性および品質特性を第2表、第3表および第4表に示した。

これら特性の分類は、主に特性検定試験ならびに育成地における生産力検定試験に基づき行った。生産力検定試験は水田転換畑標準播(6月播)(第5表)および水田転換畑晩播(7月播)(第6表)の2条件で実施したが、以下の特性に関する具体的数値は水田転換畑標準播(6月播)における数値を引用した。なお、育成地における生産力検定試験は、畦幅70cm, 株間13cm, 1株1本立てとし、栽植密度は約1,100株/aとした。2区制で、1区面積は8.4m²とした。肥料は大豆化成(3-10-10)10kg/a, 炭酸カルシウム10kg/a, 堆肥100kg/aを施用した。標準播の播種期は6月10日頃を目標としたが、年度

第3表 生態的特性

品種名	開花始期	成熟期	生態型	裂きよの難易	倒伏抵抗性	ダイズモザイクウイルス抵抗性						ダイズシストセンチュウ抵抗性(レース3)
						A	A ₂	B	C	D	E	
こがねさやか	やや晩	やや晩	中間型	やや易	中	R	S	R	S	S	S	弱
サチユタカ	やや晩	やや晩	中間型	易	強	R	S*	R	S*	S	S	弱
タマホマレ	やや晩	やや晩	中間型*	難*	中*	R	R*	R	S*	S	S	弱
フクユタカ	晩*	晩*	秋大豆型*	中*	弱*	R*	S*	R*	S*	S*	S*	弱*

注1) 農林水産植物種類別審査基準(2012年4月)および品種登録審査基準(審査基準国際統一委託事業調査報告書, 2004年3月)による。原則として育成地での観察・調査に基づいて分類した。

注2) *印は当該形質について標準品種になっていることを示す。

注3) 下線の形質について当該品種は標準品種になっているが、育成地での調査結果を優先して記載したことを示す。

注4) ダイズモザイクウイルス抵抗性の状態は、S:感受性, R:抵抗性で示す。

第4表 品質特性

品種名	粗タンパク含有率	粗脂肪含有率	リボキシゲナーゼ アイソザイムの有無	裂皮の難易	子実の品質
こがねさやか	やや高	中	全欠	やや易	中の中
サチユタカ	高*	中	全有	易	中の中
タマホマレ	低*	高*	全有	中	中の中*
フクユタカ	やや高*	中*	全有*	易	中の中*

注1) 農林水産植物種類別審査基準(2012年4月)および品種登録審査基準(審査基準国際統一委託事業調査報告書, 2004年3月)による。原則として育成地での観察・調査に基づいて分類した。

注2) *印は当該形質について標準品種になっていることを示す。

注3) 下線の形質について当該品種は標準品種になっているが、育成地での調査結果を優先して記載したことを示す。

第5表 水田転換畑標準播(6月播)の生育, 収穫物および品質調査成績(育成地)

品種名	開花始期 (月・日)	成熟期 (月・日)	茎の長さ (cm)	茎の節数 (節)	分枝の数 (本)	最下着きよの節位の高さ (cm)	生育中の障害			全実重 (kg/a)	子実重 (kg/a)	標準対比 (%)	百粒重 (g)	粒の障害			子実の品質		
							倒伏	立枯	青立					紫斑	褐斑	裂皮			
こがねさやか	8.03	10.31	59	14.5	5.4	13.4	中	無	無	微	82.0	43.1	111	32.0	微	無	少	無	中中
サチユタカ(標準)	8.01	10.29	53	14.1	4.7	13.0	微	無	無	中	78.5	38.8	100	33.1	微	無	多	微	中中
タマホマレ(比較)	7.29	11.04	59	14.5	4.9	12.4	少	無	無	中	84.0	42.5	110	31.4	微	無	中	無	中中
フクユタカ(参考)	8.08	11.09	85	18.8	5.5	15.5	多	無	無	少	96.1	42.4	109	34.3	微	無	多	無	中中

注1) 障害の程度は、無(0), 微(1), 少(2), 中(3), 多(4), 甚(5)の6段階評価。

注2) 品質は、上上(1), 上中(2), 上下(3), 中上(4), 中中(5), 中下(6), 下(7)の7段階評価。

注3) 2009年~2013年の5ヶ年平均。

により6月10日~30日となった。晩播の播種期は7月10日頃としたが、梅雨明け時期により遅れる場合もあり、7月9日~22日に播種した。標準品種を「サチユタカ」、比較品種を「タマホマレ」とした。

1 形態的特性

「こがねさやか」の茎の長さ(59cm)は標準品種「サチユタカ」より6cm長く、茎の節数(14.5節)はほぼ同じで、分枝の数は0.7本多く、茎の長さ、茎の節数および分枝の数は“中”に分類される(写

第6表 水田転換畑晩播（7月播）の生育，収穫物および品質調査成績（育成地）

品種名	開花始期 (月・日)	成熟期 (月・日)	茎の長さ (cm)	茎の節数 (節)	分枝の数 (本)	最下着きょう節位の高さ (cm)	生育中の障害				全実重 (kg/a)	子実重 (kg/a)	標準対比 (%)	百粒重 (g)	粒の障害			子実の品質	
							倒伏	ウイルス	立枯	青立					紫斑	褐斑	裂皮		しわ
こがねさやか	8.20	11.05	51	13.0	5.1	12.1	少	無	微	無	71.6	39.1	111	30.6	無	無	微	無	上下
サチユタカ(標準)	8.19	11.06	46	13.0	4.3	12.0	微	無	微	少	66.6	35.4	100	33.8	無	無	少	微	中上
タマホマレ(比較)	8.18	11.11	55	13.2	4.8	13.1	少	無	微	少	74.7	40.0	113	30.0	無	無	少	無	上下
フクユタカ(参考)	8.24	11.14	65	15.1	4.8	15.1	多	無	微	微	79.6	39.7	112	32.9	無	無	中	無	中上

注1) 障害の程度は，無（0），微（1），少（2），中（3），多（4），甚（5）の6段階評価。
 注2) 品質は，上上（1），上中（2），上下（3），中上（4），中中（5），中下（6），下（7）の7段階評価。
 注3) 2009年～2011，2013年の4ヶ年平均。2012年は発芽不良のため試験を中止した。



こがねさやか サチユタカ
写真1 草姿の比較

真1)。また，伸育型は“有限”で，側小葉の形は“鋭先卵形”，花の色は“紫”，茎の毛じの色は“白”である。熟さやの色の濃淡は「サチユタカ」の“中”に対して“淡”である。百粒重は32.0gで，子実の大きさは“大”である。種皮の地色は“黄白”，子実のへその色および子実の子葉の色は，それぞれ“黄”である。「こがねさやか」の子実の幅/長さおよび厚さ/幅の比は，それぞれ0.93，0.90であり，粒形は“球”に分類される（第7表，写真2）。

2 生態的特性

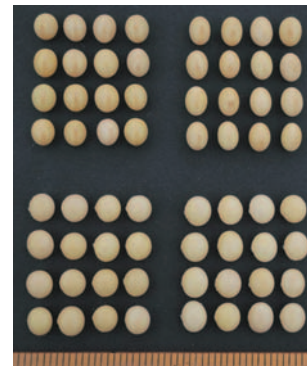
1) 早晚性および収量性

「こがねさやか」の開花始期は8月3日，成熟期

第7表 粒形調査成績（育成地）

品種名	栽培条件	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	幅/長さ	厚さ/幅	判定
こがねさやか	標準播	8.49	7.93	7.16	0.93	0.90	球
	晩播	8.18	7.74	7.09	0.95	0.92	球
サチユタカ	標準播	8.95	8.20	6.93	0.92	0.85	球
	晩播	8.98	8.12	6.98	0.91	0.86	球
フクユタカ	標準播	8.76	8.22	7.14	0.94	0.87	球
	晩播	8.68	8.04	7.05	0.93	0.88	球

注1) 標準播は2012年～2013年の2ヶ年平均，晩播は2013年。
 注2) 育成地産の50粒を調査した。
 注3) 粒形“球”の分類基準：幅/長さが0.85以上で厚さ/幅が0.85以上。



こがねさやか サチユタカ
写真2 子実の比較

は10月31日で，ともに「サチユタカ」とほぼ同じであることから，開花始期および成熟期は“やや晩”に分類される。生態型は「サチユタカ」と同じ“中間型”である。子実重は標準播において43.1kg/aで「サチユタカ」対比111%と多収で，晩播においても39.1kg/aで「サチユタカ」対比111%と多収である。

第8表 ダイズモザイクウイルス病原系統別抵抗性検定試験成績 (育成地)

品種名	ダイズモザイクウイルス病原系統					
	A	B	A ₂	C	D	E
こがねさやか	R (0)	R (0)	S (100)	S (90)	S (82)	S (80)
ヒュウガ	S (100)	S (100)	S (100)	S (90)	S (100)	S (100)
アキヨシ	R (0)	R (0)	S (82)	S (100)	S (100)	S (90)
アキセンゴク	R (0)	R (0)	R (0)	S (92)	S (100)	S (90)
Harosoy	R (0)	S (92)	R (0)	R (0)	R (0)	S (90)
白豆	R (0)	S (100)	R (0)	R (0)	S (100)	S (90)

注1) 試験年次は2008年。

注2) 検定法：病原系統別に人工接種し (各10個体)、個体毎に葉のモザイク症状の有無を調査した。

注3) 括弧内の数字は発病個体率。抵抗性は発病個体率から判定し、0～10%：R, 11～30%：(R), 31～50%：(S), 51～100%：S。

注4) 「ヒュウガ」、「アキヨシ」、「アキセンゴク」、「Harosoy」、「白豆」は指標品種。

2) 病虫害抵抗性

(1) ダイズモザイクウイルス抵抗性

育成地におけるダイズモザイクウイルスの病原系統別接種試験では、AおよびB系統に対する抵抗性が確認され、抵抗性は「サチユタカ」や「フクユタカ」と同じ“中”に分類される (第8表)。

(2) ラッカセイわい化ウイルス抵抗性

育成地におけるラッカセイわい化ウイルス接種試験では、発病個体が無く、抵抗性は「フクユタカ」と同じ“強”と判定される (第9表)。

(3) ダイズシストセンチュウ抵抗性

長野県野菜花き試験場におけるダイズシストセンチュウ抵抗性検定試験では、2ヶ年 (2008年、2013年) とともにシスト着生指数が100で、「こがねさや

第9表 ラッカセイわい化ウイルス抵抗性検定試験成績 (育成地)

品種名	接種個体数	罹病個体数	発病個体率(%)	判定	既往の評価	備考
こがねさやか	10	0	0.0	R		
サチユタカ	10	10	100.0		S	
フクユタカ	10	0	0.0		R	
つるの卵1号	10	0	0.0		R	
農林4号	10	2	2.0		N	低率でネクロシス

注1) 試験年次は2011年。

注2) 検定法：ウイルスを人工接種し、個体毎に葉のモザイク症状の有無を調査した。

注3) 抵抗性は発病個体率から判定し、0～10%：R, 11～30%：(R), 31～50%：(S), 51～100%：S。

ただし、ネクロシスを生じる場合を「N」とする。

注4) 「サチユタカ」、「フクユタカ」、「つるの卵1号」、「農林4号」は比較品種。

第10表 ダイズシストセンチュウ抵抗性検定試験成績 (長野県野菜花き試験場)

品種名	2008年		2013年		判定
	シスト着生指数	抵抗性	シスト着生指数	抵抗性	
こがねさやか	100	弱	100	弱	弱
ネマシラズ	100	弱	100	弱	弱
PI88788	50	強	50	強	強
Peking	0	極強	0	極強	極強

注1) 試験はダイズシストセンチュウ汚染土壌をプランターに充填して実施。

注2) 根の雌成虫の着生密度を、0 (無)～4 (甚) の階級値で表し、以下の式により、シスト着生指数を算出した。

$$\text{シスト着生指数} = \frac{\sum (\text{階級値} \times \text{該当個体数}) \times 100}{4 \times \text{個体数}}$$

注3) 抵抗性は標準品種のシスト着生指数との比較により判定した。

注4) 「ネマシラズ」は弱、「PI88788」は強、「Peking」は極強の標準品種である。

か」の抵抗性は“弱”と判定される（第10表）。

（4）紫斑病抵抗性

福島県農業総合センター会津地域研究所における紫斑病抵抗性検定試験では、指標品種の発病粒率と比較した結果から「こがねさやか」の抵抗性は“強”と判定される（第11表）。

（5）立枯性病害抵抗性

岩手県農業研究センターにおける立枯性病害抵抗性検定試験では、同一株内「Harosoy」対比に基づき設定した基準で判定した結果、「こがねさやか」の立枯性病害抵抗性は“中”と判定される（第12表）。

第11表 紫斑病抵抗性検定試験成績（福島県農業総合センター会津地域研究所）

品種名	発病粒率(%)			判定	既往の 評価
	標播	晩播	平均		
こがねさやか	9.6	16.1	12.9	強	
赤莢(長野)	0.5	3.6	2.1		強
タマヒカリ	14.5	11.9	13.2		やや強
スズユタカ	18.7	13.8	16.3		中
エンレイ	48.6	29.1	38.9		中

注1) 試験年次は2008年。

注2) 試験は標播では自然感染、晩播では発病種子の散布と撒水により発病を促した圃場で実施。

注3) 判定は任意に抽出した100gの子実について発病粒率を調査し、指標品種の発病粒率より判定の分類基準を設定した。判定基準は、0.0～2.1：極強、2.1～13.2：強、13.2～16.3：やや強、16.3～25.0：中、25.0～40.0：やや弱、40.0～：弱（単位：%）。

注4) 「赤莢(長野)」は“強”，「タマヒカリ」は“やや強”，「スズユタカ」と「エンレイ」は“中”の指標品種である。

第12表 立枯性病害抵抗性検定試験成績（岩手県農業研究センター）

品種名	発病株率 (%)	平均発病度	同一株内 Harosoy対比	判定	既往の 評価
こがねさやか	84.7	1.98	0.59	中	
シロセンナリ	73.1	1.88	0.58		強
スズカリ	77.3	1.88	0.58		やや強
ナンブシロメ	75.8	1.98	0.60		弱
Harosoy	100	3.29	0.99		弱

注1) 試験年次は2012年。

注2) 検定は連作により黒根腐病の発生を高めた圃場で実施した。

注3) 1株に供試品種・系統と「Harosoy」を混植し、「Harosoy」が罹病した株だけを調査対象とした。

注4) 発病度は、0：発病無し、1：地際部に褐変が認められる、2：褐変が地際部全体を取り巻いている、3：褐変が地際部を中心に長く伸びている、4：主根が腐朽、5：枯死とする階級値を個体毎に与え、次式によって算出した。発病度 = $\{ \sum (\text{階級値} \times \text{該当株数}) / (\text{全調査株数} \times 5) \} \times 100$ 。

注5) 同一株内「Harosoy」対比は、同一株内の「Harosoy」の発病度に対する供試系統の発病度として算出し、指標品種の同一株内「Harosoy」対比により判定基準を設定した。判定は以下の基準により行った。

強：同一株内「Harosoy」対比が「シロセンナリ」未満。

やや強：同一株内「Harosoy」対比が「シロセンナリ」以上、「スズカリ」未満。

中：同一株内「Harosoy」対比が「スズカリ」以上、「ナンブシロメ」未満。

やや弱：同一株内「Harosoy」対比が「ナンブシロメ」以上、「Harosoy」未満。

弱：同一株内「Harosoy」対比が「Harosoy」以上。

3) 機械化適性

「こがねさやか」の標準播および晩播での倒伏程度が、「サチユタカ」の“微”に対して、それぞれ“中”と“少”で「サチユタカ」より倒伏しやすく、「タマホマレ」と同程度であることから、倒伏抵抗性は“中”と判定される。最下着きょう節位の高さは、晩播では「サチユタカ」と同程度であるが、標準播では「サチユタカ」および「タマホマレ」よりやや高く、“中”に分類される。裂きょうの難易は、熱風乾燥処理⁸⁾による裂きょう率が「サチユタカ」と「フクユタカ」の間であったことから、「こがねさやか」は“やや易”に分類される(第13表)。

3 品質特性

1) 粒の外観品質, 粒度分布および子実成分

「こがねさやか」の粒の外観品質は、生産力検定試験(標準播)の障害粒発生程度などから「サチユタカ」と同じ“中の中”に分類される。第14表の粒度分布から「こがねさやか」は篩い目7.3mm以上に子実の70%以上が残り、大豆検査規格(農産物規格規程:平成13年農林水産省告示第244号)の中

粒大豆に区分される。粗タンパク含有率は標準播44.7%および晩播45.8%で、「タマホマレ」より約4%高く、「サチユタカ」より約1.5%低く、「フクユタカ」と同じ“やや高”に分類される(第15表)。粗脂肪含有率は「フクユタカ」並みで“中”に分類される。全糖含有率は「サチユタカ」と同程度で、「タマホマレ」より約1.5%低い。また、子実中のリ

第13表 熱風乾燥処理による裂きょう率の調査成績 (育成地)

品種名	裂きょう率 (%)	判定	既往の評価
こがねさやか	77.8	やや易	
タマホマレ	45.5	難	難
フクユタカ	67.8	中	中
サチユタカ	95.8	易	易

注1) 2013年6月播栽培で得られた二粒さやを400個調査。

注2) 熱風乾燥処理は60℃・2時間で行った。

注3) 判定は標準および比較品種の裂きょう率を基準として行った。

注4) 「タマホマレ」は“難”, 「フクユタカ」は“中”の標準品種。

第14表 粒度分布調査成績 (育成地)

品種名	篩い目の大きさ					百粒重 (g)
	6.0mm 以下	6.1mm ~6.6mm	6.7mm ~7.2mm	7.3mm ~7.8mm	7.9mm 以上	
こがねさやか	0.2	0.7	5.0	31.4	62.8	32.0
サチユタカ	0.0	0.2	1.5	13.8	84.5	33.8
フクユタカ	0.1	1.0	3.0	17.9	78.2	33.9

注1) 2012年~2013年の2ヶ年平均。

注2) 調査は水田転換畑標準播(6月播)産について各反復500g, 2反復行った。

注3) 粒度は重量比(%)。

第15表 子実成分調査成績 (育成地)

品種名	粗タンパク含有率(%)		粗脂肪含有率(%)		全糖含有率(%)	
	標準播 (6月播)	晩播 (7月播)	標準播 (6月播)	晩播 (7月播)	標準播 (6月播)	晩播 (7月播)
こがねさやか	44.7	45.8	20.0	19.0	20.6	21.4
サチユタカ	46.2	47.5	19.1	18.0	20.5	21.6
タマホマレ	41.0	41.5	20.4	19.7	22.4	22.9
フクユタカ	44.1	45.0	20.2	19.4	21.0	21.2

注1) 標準播, 晩播ともに水田転換畑において栽培した。

注2) 標準播は2009~2013年の5ヶ年平均, 晩播は2009~2011, 2013年の4ヶ年平均。

2012年は出芽不良のため試験を中止した。

注3) 近赤外分光分析法による(乾物あたり%)。窒素-蛋白質変換係数は6.25。

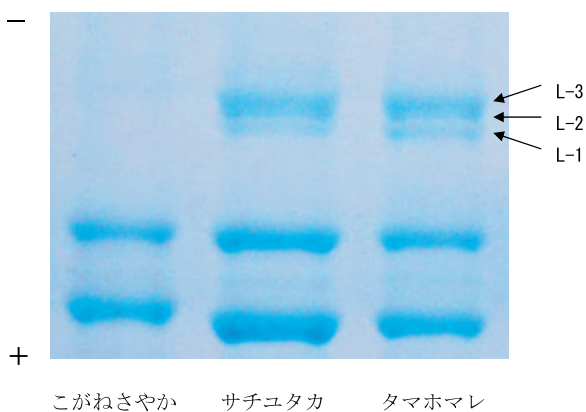
ポキシゲナーゼアイソザイムの3種類 (L-1, L-2, L-3) をすべて欠失している (写真3)。

2) 豆腐加工適性

「こがねさやか」の豆腐の物性について、豆乳粘度は「フクユタカ」より低く、加工上の問題はなく、豆腐破断強度は「サチユタカ」より高く、十分な硬さであった (第16表)。A社による官能評価では、食感は「フクユタカ」並の硬さで、不快味、こく味およびおいしさの項目で「フクユタカ」より評価が高かった (第17表)。豆腐の独特の風味に対する好みは分かれるが、おおむね良いとの評価を受けた。

3) 豆乳加工適性

第18表にM社において行った「こがねさやか」



こがねさやか サチユタカ タマホマレ

写真3 リポキシゲナーゼ電気泳動像

種子抽出物からSDS-PAGE電気泳動により検出

の豆乳官能評価成績を示した。M社標準豆乳と比較したところ、「こがねさやか」の豆乳はパネル14名中11名から同等以上の品質と判定され、豆乳原料大豆として使用可能との評価を受けた。

4) 醤油加工適性

醤油醸造試験はH社において行った (第19表)。圧搾生汁の全窒素は「タマホマレ」よりやや高く、色度は同じランクで淡口規格を満たした。醤油の官能評価は各項目とも「タマホマレ」と同等で、醤油醸造に適すると評価された。

5) 味噌加工適性

第20表にC社において行った味噌官能評価成績を示した。「こがねさやか」の淡色味噌は各項目ともに高い評価を受け、特に明るい色調が評価され、淡色味噌原料として好適と判定された。また、赤色

第16表 豆腐加工試験成績 (物性)

品種名	粗タンパク含有率(%)	豆乳粘度 (mPas)	豆乳Brix	豆腐破断強度 (g/cm ²)
こがねさやか	45.1	25.8	11.2	44.1
サチユタカ	46.4	23.0	11.7	40.0
フクユタカ	43.9	28.8	11.6	53.1

注1) 試験年次は2012年。

注2) 原料大豆は2011年育成地産。

注3) 豆腐の製造は九州沖縄農研・大豆育種グループにより、小谷野ら³⁾の電子レンジを用いた加熱搾り法 (7.25倍加水) で実施した。

注4) 分析値は九州沖縄農研・大豆育種グループによる測定。

第17表 豆腐加工試験成績 (官能評価)

品種名	官能評価					
	外観	甘味	こく味	不快味	食感	おいしさ
	(5:良)	(5:強)	(5:強)	(5:無)	(5:硬)	(5:おいしい)
	(1:悪)	(1:弱)	(1:弱)	(1:有)	(1:軟)	(1:まずい)
こがねさやか	2.6	3.0	3.2	3.4	2.8	3.4
サチユタカ	3.2	2.8	2.8	2.8	2.0	2.4
フクユタカ(標準)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

コメント:「こがねさやか」は、独特の風味があり、おいしいと感じる人と不快味と感じる人に分かれたが、おおむね良い評価であった。

注1) 本試験は国産大豆の品質評価に係る情報交換会において、A社により2010年に実施した。

注2) 原料大豆の「フクユタカ (標準)」は2009年福岡県産、その他は2009年育成地産。

注3) 豆腐の製造は九州沖縄農研・大豆育種グループにより、小谷野ら³⁾の電子レンジを用いた加熱搾り法 (6.25倍加水) で実施した。

注4) 官能評価はパネル5名で行い、標準サンプルの評価を「3」とした5段階評価。

味噌は目立った欠点は無く、各項目とも標準品と同程度と評価され、赤色味噌原料としても好適と判定された。

Ⅳ 適地および栽培上の留意点

1 奨励品種決定調査における試験成績

2009年から2013年の5ヶ年に14県、延べ39箇所
に供試し、有望が1箇所、やや有望が4箇所、中

(再検討)が18箇所、やや劣るが11箇所、劣るが5箇所であった(第21表)。このうち栽培が見込まれる兵庫県における奨励品種決定調査および現地試験(たつの市)では、「こがねさやか」の成熟期(7月播)は「サチユタカ」よりやや早熟(現地試験)～同程度(場内試験)、茎の長さはやや長く、青立ちは少なかった(第22表)。子実重は場内試験では「サチユタカ」対比でやや多収を示し、現地試験では5%低かったが、置き換え対象品種「タマホマレ」

第18表 豆乳官能評価成績

評価点	1	2	3	4	5	パネル数合計	評価点平均
パネル数	0	3	8	2	1	14	3.07
コメント	「こがねさやか」は標準大豆と味の傾向が似ており、若干コクがあった。風味、成分共に豆乳原料大豆として使用可能と判断された。						

注1) 原料大豆は2011年育成地産。

注2) 評価サンプルはM社の常法によりパイロットプラントで製造した豆乳とし、対照(M社標準大豆)と比較した「こがねさやか」の評価。

注3) 判定基準

5点: 対照より明らかに優れており、同等品として許容範囲を超える品質を有する。

4点: 対照より優れるが、なお同等の品質を有する。

3点: 対照と同等の品質を有する。

2点: 対照より劣るが、同等品として許容範囲にある品質を有する。

1点: 対照より明らかに劣っており、同等品として許容範囲を超える品質を有する。

第19表 醤油醸造試験成績

	圧搾生汁		官能評価					総合評価
	全窒素(%)	色度	醤油香	熟成香	重厚感	華やかさ	アルコール香	
こがねさやか	1.345	No.35	3.3	3.1	3.0	3.6	3.4	2.8
タマホマレ(標準)	1.302	No.35	3.0	3.5	3.3	3.6	3.3	2.8

注1) 2013年にH社の醤油醸造小規模仕込み試験方法により実施した。原料大豆は2012年兵庫県たつの市産。

注2) 色度はJAS規格「しょうゆ標準色」の番数。No.2(濃)～No.56(薄)。「淡口」規格はNo.18以上、「濃口」はNo.18未満。

注3) 官能評価はパネル8名で行い、総合評価は悪(1)～良(5)、その他は弱(1)～強(5)の5段階の絶対評価とした。

第20表 味噌官能評価成績

	淡色味噌					赤色味噌						
	色	香り	味	組成	総合	判定	色	香り	味	組成	総合	判定
合計	28	17	14	8	26	◎(好適)	-4	-3	0	3	-2	◎(好適)
コメント	色調が明るく、色の評価が特に高かった。香り、味、組成も標準品と比較して高い評価であった。						目立った欠点は無く、標準品と同程度の評価であった。					

注1) 本試験は国産大豆の品質評価に係る情報交換会において、C社により2013年に実施した。

注2) 原料大豆の「こがねさやか」は2012年兵庫県産、「トヨコマチ」は北海道、「エンレイ」は新潟県の2012年産。

注3) 味噌加工方法はC社の常法により行った。

注4) 官能評価はパネル28名で行い、淡色味噌では「トヨコマチ」、赤色味噌では「エンレイ」を標準として、良い(1点)、同じ(0点)、悪い(-1点)の3段階で評価し、合計値を示した。

と同等の収量水準であった。百粒重は「サチユタカ」よりやや軽く、粒の大きさもやや小さい。「こがねさやか」は裂皮などの障害が少なく、外観品質が優

れた。子実中の粗タンパク含有率は「サチユタカ」よりやや低い、「タマホマレ」に比べ約3%高かった。

第21表 奨励品種決定調査における試験成績概評一覧

県名 試験場所	2009年		2010年		2011年		2012年		2013年		標準品種
	収量 比(%)	概 評	収量 比(%)	概 評	収量 比(%)	概 評	収量 比(%)	概 評	収量 比(%)	概 評	
岐阜 農技セ			145	◇	185	◇	131	◇			アキシロメ
中山間飛騨	105	×									タチナガハ
愛知 農総試			87	△							フクユタカ
三重 農研	115	△	111	△	121	△					フクユタカ
伊賀	113	△									フクユタカ
滋賀 農技セ			85	◇	89	◇	91	△			タマホマレ
奈良 農技セ			114	○	99	◇	91	△			タマホマレ
兵庫 農技セ	102	△	123	◇	92	◇	117	○	94	◇	サチユタカ
鳥取 農試			83	×							サチユタカ
島根 農技セ	101	◇	114	◇	132	×					サチユタカ
岡山 農総セ			102	△	106	◇			91	△	トヨシロメ サチユタカ
広島 農技セ	92	◇	109	◇							サチユタカ
山口 農総技セ	127	○	103	◇	85	○	94	×			サチユタカ
香川 農試			114	△							フクユタカ
高知 農技セ			149	◇	130	◇					フクユタカ
佐賀 農研	113	◎	91	◇	90	×					フクユタカ

注1) 概評 ◎：有望，○：やや有望，◇：再検討，△：やや劣る，×：劣る。

注2) 数値は標準品種との収量比。

第22表 兵庫県の奨励品種決定調査における生育、収穫物および品質調査成績

調査地	兵庫県立農林水産技術総合センター				現地・たつの市		
	2009年～2013年		2011年～2013年		2011年～2013年		
	6月播		7月播		狭畦密播・7月播		
品種名	こがねさやか	サチユタカ (標準)	こがねさやか	サチユタカ (標準)	こがねさやか	サチユタカ (標準)	タマホマレ (比較)
成熟期(月.日)	11.03	10.31	11.15	11.14	11.16	11.21	11.22
茎の長さ(cm)	70	61	56	49	56	50	56
最下着きょう節位の高さ(cm)	16.7	15.9	14.7	13.4	14.2	11.9	14.9
生育中の障害 倒伏	微(0.8)	微(0.6)	少(2.3)	少(2.3)	少(1.7)	少(1.7)	少(1.6)
青立	無(0.4)	微(0.8)	微(1.0)	微(1.0)	無(0.0)	無(0.2)	無(0.2)
子実重(kg/a)	37.5	35.5	30.5	28.4	35.6	37.6	36.5
標準対比(%)	106	100	107	100	95	100	97
百粒重(g)	31.6	35.0	32.5	34.6	32.3	34.7	30.3
粒の障害 紫斑	無(0.4)	微(0.6)	微(0.7)	微(0.7)	無(0.3)	無(0.3)	無(0.3)
褐斑	微(0.8)	微(0.6)	少(1.7)	微(1.0)	無(0.1)	無(0.3)	無(0.0)
裂皮	微(1.4)	少(2.2)	微(1.0)	微(1.3)	微(1.1)	少(1.5)	微(0.9)
子実の品質	上下(3.2)	中上(4.0)	上下(3.0)	上下(3.0)	上下(3.3)	中上(3.8)	上下(2.9)
粗タンパク含有率(%)	44.8	46.1	46.0	47.0	44.4	45.9	41.2
粗脂肪含有率(%)	20.0	19.3	18.9	18.4	19.2	18.3	19.9

注1) 障害の程度は、無(0)，微(1)，少(2)，中(3)，多(4)，甚(5)の6段階評価。

注2) 品質は、上上(1)，上中(2)，上下(3)，中上(4)，中中(5)，中下(6)，下(7)の7段階評価。

注3) 子実成分は近赤外分光分析法による分析値。乾物あたり%。窒素-蛋白質変換係数は6.25。

注4) 兵庫県たつの市の試験成績は現地圃場延べ7カ所の平均値。

作業まで細心の注意を払い、混入リスクを極力抑えることが重要である。可能であれば産地を集中させ、使用する播種機、コンバインおよび乾燥施設などを「こがねさやか」専用にする方策をとり、品種特性の維持に努めることが肝要である。また、品種面からの対応として、普及地域の主要品種とは異なる外観形質（葉形、花色など）の導入を進め、識別性を高める必要がある。

VI 摘 要

「こがねさやか」は、2001年に近畿中国四国農業研究センター作物開発部大豆育種研究室（現・近畿中国四国農業研究センター作物機能開発研究領域大豆育種研究グループ）において、温暖地向けのリポキシゲナーゼアイソザイム欠失品種の育成を目標に、リポキシゲナーゼアイソザイム（L-1, L-2, L-3）欠失の「エルスター」を母、耐倒伏性で多収の「サチユタカ」を父とした人工交配を行い、以後、選抜・固定を図り育成した品種である。

本品種は生態型が中間型で、青立ちの発生が少なく、「サチユタカ」より多収である。子実の種皮色は“黄白”，へそ色は“黄”，粒の大きさ（百粒重による分類）は“大”であり、農産物規格規程（粒径による分類）において中粒大豆に区分される。外観品質は良好である。大豆の青臭みの原因となる子実中のリポキシゲナーゼアイソザイム（L-1, L-2, L-3の3種類）をすべて欠失しており、この特性を利用した豆腐や豆乳の製造が可能である。また、醤油や味噌の加工適性にも優れる。

2014年4月に「こがねさやか」の名称で品種登録出願を行った。栽培適地は近畿中国四国地域である。

引用文献

- 1) 羽鹿牧太・高橋浩司・山田哲也・小巻克巳・高田吉丈・島田尚典・境 哲文・島田信二・足立大山・田淵公清・菊池彰夫・湯本節三・中村茂樹・伊藤美環子. 2009. 豆乳用大豆新品種「なごみまる」の育成. 作物研究所研究報告10: 1 - 20.
- 2) 加藤 信・湯本節三・高田吉丈・河野雄飛・島田信二・境 哲文・島田尚典・高橋浩司・足立大山・田淵公清・菊池彰夫. 2007. リポキシゲナーゼとグループAアセチルサポニンを欠失した大豆新品種「きぬさやか」の育成. 東北農業研究センター研究報告107: 29 - 42.
- 3) 小谷野茂和・萩原誠司・大西志全・小宮山誠一・奥村理. 2010. 加熱絞り法による大豆の豆腐加工適性（豆腐硬さ，豆乳粘度）評価法. 研究成果情報 北海道農業 2009: 70 - 71.
- 4) 大庭虎雄・岩田岩保・竹崎 力・工藤洋男・異儀田和典・小代寛正・原正紀・池田 稔・高柳繁・下津盛昌・橋本篤一・志賀鑑昭・富田貞光. 1982. ダイズ新品種「フクユタカ」について. 九州農試報告22: 405 - 432.
- 5) Suzuki M., K. Fujino, Y. Nakamoto, M. Ishimoto and H. Funatsuki. 2010. Fine mapping and development of DNA markers for the qPDH1 locus associated with pod dehiscence in soybean. *Mol Breeding* 25: 407 - 418.
- 6) 高橋将一・松永亮一・小松邦彦・羽鹿牧太・酒井真次・異儀田和典・中澤芳則. 2003. ダイズ新品種「エルスター」の育成とその特性. 九州沖縄農業研究センター報告42: 46 - 65.
- 7) ———・—————・—————・中澤芳則・羽鹿牧太・酒井真次・異儀田和典. 2004. ダイズ新品種「サチユタカ」の育成とその特性. 九州沖縄農業研究センター報告45: 15 - 39.
- 8) 土屋武彦・砂田喜与志. 1978. 大豆の裂莢性に関する育種学的研究. II 裂莢性の検定方法と品種間差異. 北海道立農試集報39: 19 - 26.
- 9) 矢ヶ崎和弘・坂元秀彦・関 功介・山田直弘・高松光男・谷口岳志・高橋浩司. 2010. ダイズ新品種「ななほまれ」の育成. 北陸作物学会報45: 61 - 64.
- 10) 湯本節三・島田信二・高田吉丈・境 哲文・河野雄飛・島田尚典・高橋浩司・足立大山・田淵公清・菊池彰夫・村田吉平・酒井真次・喜多村啓介・石本政男・異儀田和典・中澤芳則・羽鹿牧太. 2006. 東北地域向きリポキシゲナーゼ欠失ダイズ新品種「すずさやか」の育成. 東北農業研究センター研究報告105: 35 - 48.

A New Soybean Cultivar “Koganesayaka” for Temperate Regions, with Lacking Three Lipoxygenase Isozymes

Yoshitake TAKADA, Masayasu SARUTA, Akinori OKABE¹, Akio KIKUCHI² and Sadayoshi ONO³

Summary

A new soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivar “Koganesayaka” was developed at NARO Western Region Agricultural Research Center in 2014. In order to develop a cultivar lacking three lipoxygenase isozymes (L-1, L-2, L-3) for temperate regions, plants were selected from a cross between “L-star” and “Sachiyutaka”. The date of maturity of “Koganesayaka” is almost same that of “Sachiyutaka” at Zentsuji, Kagawa (Latitude 34° 13′ 37″ N, Longitude 133° 46′ 39″ E). The cultivar was classified into group IV based on the date of maturity. “Koganesayaka” has purple flowers, gray pubescence, pointed ovate leaflets and light brown pods at maturity. It shows a determinate growth type. “Koganesayaka” has a medium plant height. There is little occurrence of delayed leaf senescence. Yields of “Koganesayaka” are higher than that of “Sachiyutaka”. The seed characteristics of “Koganesayaka” are yellowish white in ground color of seed coat, yellow in hilum color, large size seed and lacking three lipoxygenase isozymes. It is suitable for processing soy milk and tofu made from “Koganesayaka”, because of reducing a beany flavor by lipoxygenase isozymes deletion. Also, it is suitable for soy sauce and miso (soybean paste) production. Kinki, Chugoku and Shikoku district are compatible with cultivation of “Koganesayaka”.

Crop Breeding and Food Functional Components Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

¹ Lowland Crops Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

² NARO Tohoku Agricultural Research Center

³ Ex-NARO Western Region Agricultural Research Center

岩手県沿岸地域の震災復興に資する園芸施設の現地評価

—第1報 高保温・高強度パイプハウスと

建設足場資材利用園芸ハウスの現地立地性の評価—

吉越 恆・長崎裕司¹・松田 周・川嶋浩樹・杉浦 誠

Key words : 震災復興, 中山間地域, 寒冷地, 園芸用ハウス, 耐雪性, 強風対策

目 次

I 緒 言	65	2 温度環境と暖房コストの試算	69
II 材料および方法	66	3 積雪と耐雪性評価	71
1 実証試験地の概要	66	4 風況と風対策	72
2 実証試験地における気象環境の把握	66	1) 建設中の強風害対策	72
3 高保温・高強度パイプハウスと建設足場 資材利用園芸ハウス	67	2) 寒冷期の風対策	73
III 結果および考察	69	IV 摘 要	74
1 日射環境	69	引用文献	75
		Summary	76

I 緒 言

(独) 農研機構近畿中国四国農業研究センター(以下、近中四農研)では、西日本の中山間地域における中小の施設園芸の課題に対応する低投入型施設として、冬季の暖房燃料使用量半減を可能とする布団状の高断熱資材と、同資材を組み込んだ高保温・高強度パイプハウスを開発し、さらに狭あいでも不整形な傾斜畑や棚田においても自由な形状で展開可能な建設足場資材利用園芸ハウスの施工技術開発を行ってきた。暖房燃料価格が不安定な昨今、このような中小規模の園芸施設の省エネ化技術は、全国に共通する課題であり、中国四国地域の中山間地域(準高冷地)での実証実績から、冬季の気候が同等の東北地域南部までの展開が期待された。加えて、中山間地域の狭あいな地勢に対応する低コスト園芸施設は、東日本大震災からの農業復興の一助となり

うる技術である。

本実証研究が行われている岩手県沿岸地域は、リアス式海岸特有の山が海に迫る地形が多く、傾斜地や狭あいな立地で農業が営まれてきた。しかし、2011年3月11日の地震と直後の津波による農林水産業の被害は甚大で、岩手県内でも被害額は442,621百万円にのぼった¹⁾。これら被災地域の農業復興を加速し、新たな食料生産地域として再生するための研究事業「食料生産地域再生のための先端技術展開事業」が、2013年度から岩手県域でも開始されている。近中四農研においても、これまでの成果を震災復興に役立てるため、岩手県農業研究センターを代表機関とする「中山間地域における施設園芸技術の実証研究」に参画することとなった。

当該研究の目的は、中山間地域を含む東北沿岸地域の立地・気象特性に適用可能な施設園芸技術の実証・普及であり、具体的には、狭あい・不整形な立地や傾斜地に適応する耐候性ハウスの寒冷地におけ

(平成26年7月22日受付, 平成27年3月13日受理)
農研機構近畿中国四国農業研究センター
傾斜地園芸研究領域

¹ 現 農研機構近畿中国四国農業研究センター
企画管理部

る実証研究および蓄熱・高断熱資材の実用化による暖房コストの低減課題の現地実証である。本研究は、その第1報として、初年度(2013年度)に施工実証を行う試験研究用ハウスの耐候性について、寒冷地の気象環境条件の解析とこれに適応するための仕様検討結果について報じ、今後、効率的な保温技術を確立するための課題について考察する。

Ⅱ 材料および方法

1 実証試験地の概要

陸前高田市は岩手県沿岸地域の中でも比較的まとまった平野部を擁し、夏季は冷涼で冬季の積雪も少ないことから、同市内には岩手県農業研究センター南部園芸研究室が置かれ、気候資源を活かした園芸産地育成が行われてきた。陸前高田市米崎町浜田川地区の位置を第1図に示す。

実証試験地は、北緯39度0.9分、東経141度39.4分、標高8.4mに位置し、海岸からの距離は約1.3kmである。周囲を比高約30mの丘陵地に挟まれ、北東から南西に流れる小河川(浜田川)沿いの細長い平地(約36ha)となっている。当地区は、現在、岩手県沿岸地域における農業復興拠点地区の一つとして整備が進められており、2014年1月には津波で全壊した岩手県農業研究センター南部園芸研究室が再建された。隣接地では民間の植物工場の運営や、2014年6月現在、総合営農拠点施設、穀物乾燥貯蔵調製施設、果樹などの集出荷施設が建設中で、今後、



第1図 陸前高田市米崎町浜田川地区の位置(国土地理院地図より加筆)



写真1 実証試験地における試験研究用ハウスの外観
注) 左側が高保温・高強度パイプハウス, 右側が建設足場資材利用園芸ハウス

隔離養液栽培によるミニトマトや、高設養液栽培によるイチゴなどの大規模園芸施設(約1.5ha)整備も計画されている。

当地区には、近中四農研の「高保温・高強度パイプハウス」、「低コスト建設足場資材利用園芸ハウス」のほか、当該事業で共同研究機関である木楽創研株式会社による「木質製園芸用ハウス(以下、木骨ハウス)」が2棟設置されている。試験研究用ハウスの外観を写真1に示す。

2 実証試験地における気象環境の把握

園芸施設の立地計画には、季節毎の気温や降雪量などの設計の基準となる気象環境の把握が必要である。陸前高田市には、震災後の2011年6月から地域気象観測システム(AMeDAS)が設置されたが、観測期間が短いため、ここでは約6km北東の大船渡特別地域気象観測所(北緯39度3.8分、東経141度42.8分、標高37m、以下、大船渡)のデータを用いて解析を行った。大船渡では旧大船渡測候所(1963~2006年)において50年以上観測が行われ、日照時間や気温、積雪深などの平年値と極値が得られる。実証試験地に距離も近く、現地同様、海岸に近いので、日照や降雪などの比較的広域スケールの現象について、本データから実証施設の設計評価が可能と判断した。

一方、ハウスの保温性検証に必要な日最低気温や、突風害の評価では、局地性の高い気象要素も必要となるため、2013年10月にハウスに隣接して気象観測機器を設置した。本観測システムの外観と測定機器を写真2および第1表に示す。観測項目は、気象庁の観測所にほぼ準拠し、10分毎の平均風速・風向、

最大瞬間風速（同起時，同風向），気温，相対湿度，降水量，全天日射量，光合成有効放射束（PPF），下向長波放射量，また，日極値として，日最高気温（同起時），日最低気温（同起時），日最低相対湿度（同起時）を記録している。

この遠隔地で運用する観測システムでは，欠測の原因となりやすい電源とセンサからの雷サージ保護を行い，バッテリーで1週間程度の停電にも耐える仕様とした．データロガーは携帯電話回線網（3G/LTE）による無線ルータ経由でインターネットに常時接続され，近中四農研の端末から10分毎にデータ回収を行っている．また，同時にインターネット上のデータベースサーバにデータを転送しWeb

表示が可能である．これにWebカメラも併設することで，ハウスの側窓や内張り開閉状況の監視や，計測器の異常発見を遠隔で行うことができる．

3 高保温・高強度パイプハウスと建設足場資材利用園芸ハウス

本実証研究事業では，2013年秋に近中四農研の担当として「高保温・高強度パイプハウス」（面積1.0a），「低コスト建設足場資材利用園芸ハウス（以下，建設資材利用ハウス）」（同3.2a）を試験研究用ハウスとしてそれぞれ1棟設置した．高保温・高強度パイプハウスと建設資材利用ハウスは，前出の木骨ハウス（間口7.3m，奥行き45.5m）2棟と平行に約20aの敷地区画の長辺方向に設置され，すべて東西棟（区画の長辺方向は東北東-西南西）である．

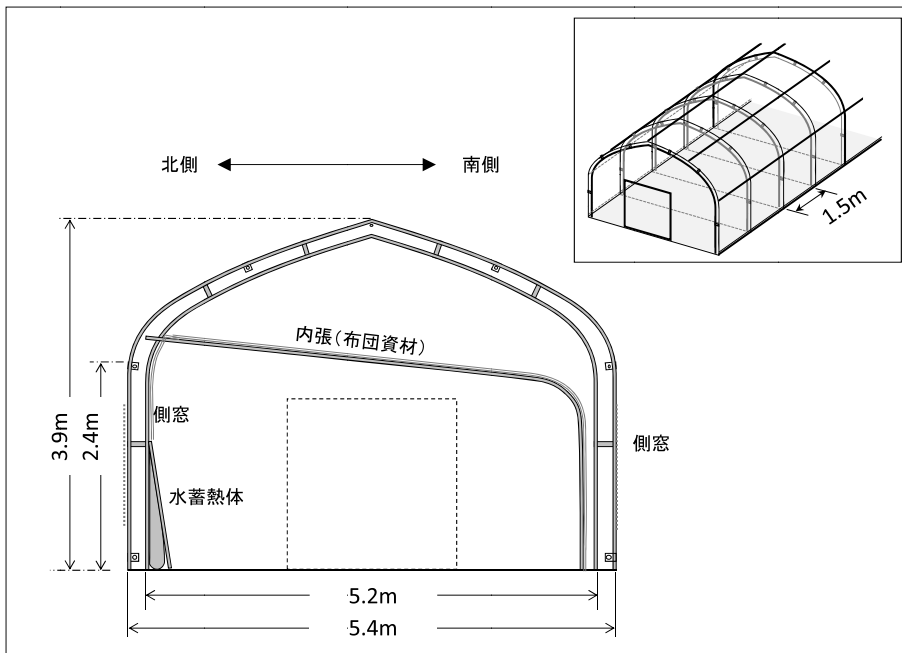
本実証試験地に建設した高保温・高強度パイプハウスの概観を第2図に示す．高保温・高強度パイプハウスは，間口5.4m，奥行18m，棟高3.9m（肩高2.4m），アーチピッチ1.5m，棟ジョイント角30°のダブルアーチ構造（パイプ径25.4mm）とし，寒冷地での保温性実証を目的として，近中四農研で進めている高保温性能の布団資材を内張材に用い，ハウス北側壁には水蓄熱体を備えている²⁾．また，強風時に作用する引き抜き力に抵抗するため，スパイラル基礎杭（全長700mm，スパイラル部：厚さ6mm，幅65mm，作用長さ300mm，接続用パイプ：長さ400mm，外径48.6mm鋼管）を3.6m間隔，埋設深さ50cm以上で打設し，それらの頭部を建設足場資材（一般構造用炭素鋼鋼管）で剛結した基礎フレーム構造に



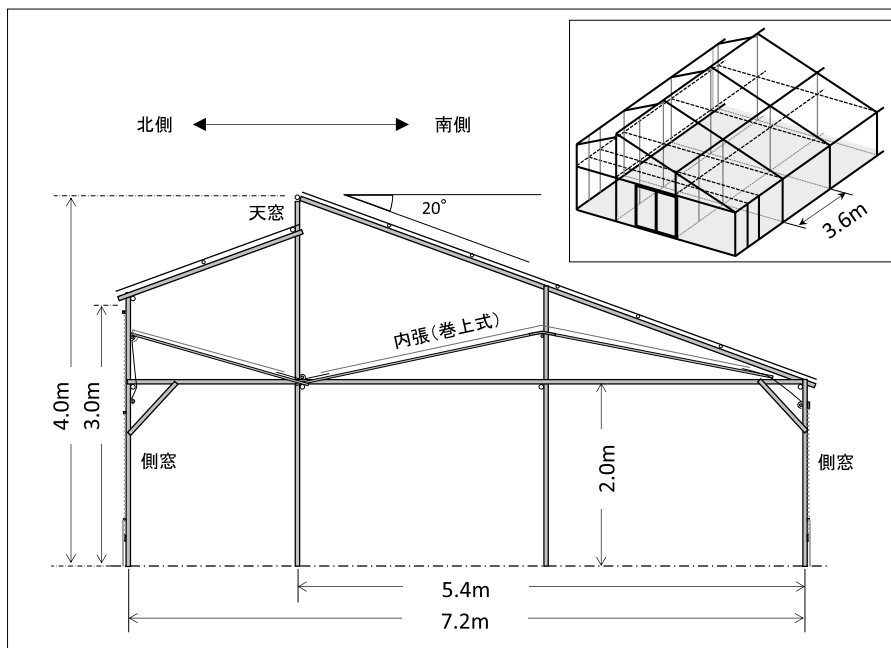
写真2 気象モニタリングシステムの外観

第1表 気象モニタリングシステムの構成機器

機 器	型 式	測定高度	備考
温湿度計	温度（厚膜抵抗センサPt100） 湿度（高分子薄膜フィルムセンサ） HMP-155, Vaisala	1.5m	強制通風型
風向風速計	Model05103, R. M. Young	5.0m	起動風速 1.0m/s
雨量計	RT-102, 小笠原計器製作所	1.0m	0.5mm 転倒ます
日射量	LP02, Hukseflux	2.5m	
下向長波放射量	IR-02, Hukseflux	2.5m	
光合成有効放射束密度 (PPF)	MIJ-14PAR Type2/K2, 日本環境計測	2.5m	
データロガー	CR1000, Campbell SCI.		
通信ユニット	NL115, Campbell SCI. H100, 研電子 (3G/FOMA)		



第2図 高保温・高強度パイプハウスの概観



第3図 建設資材利用ハウスの概観

ダブルアーチの地際を接合する構造を採用している。

一方、建設資材利用ハウスは、建設足場に使用される一般構造用炭素鋼鋼管（外径48.6mm）を構造材に使用し、農家が自家施工できる低コストな施設で、狭あいな不整形地でも形状を変えることで立地可能なため自由度が高いのが特長である⁸⁾。本実証試験

地に建設した建設資材利用ハウスの概観を第3図に示す。この建設資材利用ハウスは、寒冷地における耐雪性や保温性の実証と、建設方法のマニュアル化を目的に建設され、資材費は約4,000円/㎡と一般のパイプハウスの8割程度である。実証試験地は平坦地であるため、間口7.2m、奥行45m、棟高4.0mの天窗付きスリークオーター棟（棟部で北側屋根を約

50cm下げ段差部を天窓とした)としたが、これは従来開発された建設資材利用ハウスの中でも単棟としては最大規模である。設計強度は、耐風速35m/sを確保しながら、コストに配慮して基礎付支柱の設置間隔を従来の3mから3.6mに広げている。一方で、積雪に対する強度を確保するため、屋根の垂木パイプ間隔は3mを1.8mに狭めるとともに、側面には補助支柱(基礎無し)を1.8m間隔で追加している。屋根勾配は、本実証試験地で予想される積雪に対する落雪性を考慮し、従来モデルよりも大きく 20° とした。さらに、建設時に柱などの長ささまざまな構造材を6m規格の建設資材から切り出す際にも、割付けを簡素化し端材がほとんど出ないように、施工性と経済性に配慮した設計となっている。

Ⅲ 結果および考察

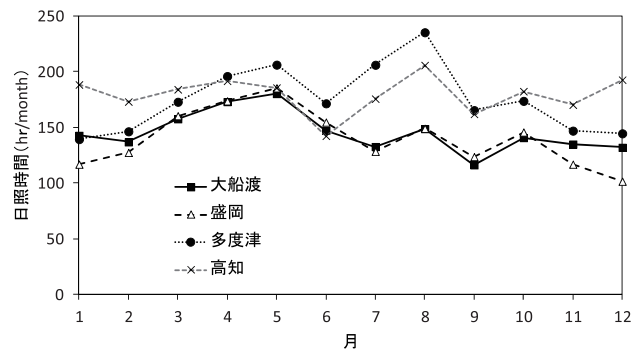
1 日射環境

大船渡における日照時間および日照率40%以上の月間日数の年間変化を第4図および第5図に示す。併せて岩手県内陸の盛岡市(盛岡地方気象台)、香川県の多度津町(多度津特別地域気象観測所、北緯34度16.5分、東経133度45.1分、標高4m)および全国有数の施設園芸産地である高知市(高知地方気象台)のデータを併記した。

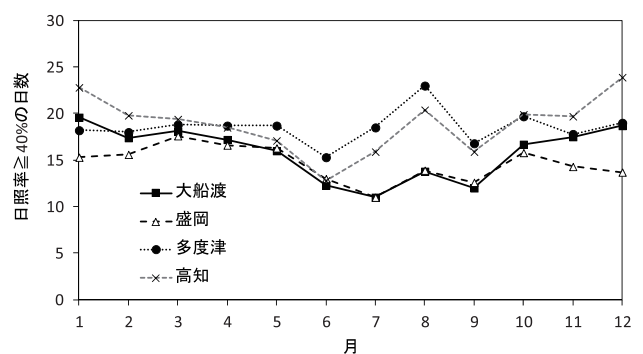
東北地域では、梅雨季から夏季に「やませ」と呼ばれる低温の北東風がみられる。平年でも15~30日程度は発現し、オホーツク海高気圧が優勢な年に顕著で、太平洋側に低温・寡照をもたらす³⁾。やませの影響が強い地域は、岩手県沿岸北部や仙台平野北部といわれ⁵⁾、7~8月の日照時間の平年値では、沿岸部の大船渡と内陸部の盛岡で差はみられない。ただし、極端な寡照年も時折みられ、2006年8月の月間日照時間は、盛岡が64.1時間に対し、大船渡は55.1時間と、沿岸部の寡照程度が大きい。

12~1月では、盛岡で日照時間が100~120時間/月程度で推移する一方、大船渡では140時間/月近く、内陸部に比較して30~40時間/月も多照である。すなわち、施設園芸産地である高知には及ばないものの、瀬戸内海沿岸の多度津と大差ない程度の日照があることがわかる。

このような日射環境を踏まえると、岩手県沿岸地



第4図 大船渡、盛岡、多度津、高知における日照時間の年間変化



第5図 大船渡、盛岡、多度津、高知における日照率40%以上の月間日数の年間変化

域に適した園芸施設の要件として以下のことがいえる。まず、夏季にはしばしば極端な寡照が起こるため、寒冷地の積雪対策として用いる支柱や補強施工は、ハウスの採光性の観点で最小限に抑える必要がある。また、この時期は、雲による散乱光が多いため、被覆材には梨地フィルムより全透過率の高い透明フィルムが望ましい。一方、冬季においても採光性が良好であれば、日射による昇温を期待しやすいと考えられる。実証試験地の冬季日射環境は比較的良好であるため、高保温・高強度パイプハウスと同様に、建設資材利用ハウスにおいても、温室内の入射エネルギーを蓄熱や保温に分配することも効果的と考えられる。

2 温度環境と暖房コストの試算

大船渡における年平均気温は 11.3°C で、中国地域山間部の庄原(12.4°C 、標高300m)、新見(12.1°C 、標高393m)より低温で、油木(11.2°C 、北緯34度45.8分、東経133度16.7分、標高510m)にほぼ等

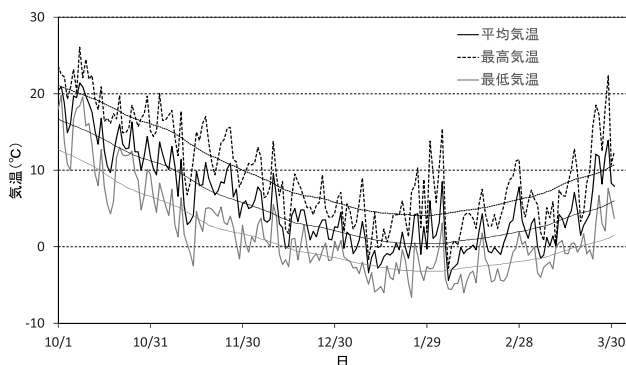
しい。岩手県沿岸地域のトマトの作型は、このような夏季の比較的冷涼な気候資源を活かした夏秋作が主である。しかし、2013年夏の真夏日（最高気温30℃以上）は年間11日（平年値10.6日）、猛暑日（同35℃以上）は0日（平年値0.3日）を観測しており、このような平年並みの年でも30℃以上の日が10日以上発現する。したがって、冬季の保温性のために開口部を少なく設計すると、夏季に高温障害が発生するおそれがあり、強制換気設備までは必要ないが、側窓や天窓による換気が十分に確保できるような設計にする必要がある。

一方、実証試験地では冬季の日射条件も比較的良好であり、夏秋作トマトの晩秋季延長や、冬季の促成イチゴとの複合栽培など、暖房が必要な期間に運用するニーズも増えているが、ほかの寒冷地同様、内張りを2層とし、燃油加温機による暖房が一般的である。そこで、本事業では、高保温（布団）資材を導入した高保温・高強度パイプハウスの比較実証研究も進められているが、これらについてはデータの蓄積を待って第2報で詳説することとし、本報では、実証試験地の気象から試算される暖房コストについて触れる。

大船渡における2013年10月～2014年3月の気温変化および平年値の経時変化を第6図に示す。11月上旬に最低気温が5℃未満となり、12月中旬から3月中旬まで0℃を下回る。冬日（最低気温0℃未満）の平年値は年間93.1日で、真冬日（最高気温0℃未満）は平年値26.5日に及ぶ。このような寒冷地の暖

房コストを把握するため、三原¹¹⁾に基づき、2014年の暖房デGREEアワーを試算した。設定温度を10℃、8℃、5℃で定温とした場合の暖房デGREEアワーはそれぞれ、10℃設定で88.55×10⁶℃・s、8℃設定では60.54×10⁶℃・s、5℃設定では34.65×10⁶℃・sとなった。次に、この暖房デGREEアワーおよび現地の建設資材利用ハウスの規模を条件として、高市⁶⁾の燃料費試算ツールを用いて暖房燃料計費を試算した。これらの暖房デGREEアワーおよび燃料計費の試算結果を第2表に示す。

建設資材利用ハウスの場合、内張一層（実証試験地に施工したプロトタイプ）、寒地条件で、それぞれ10℃、8℃、5℃設定で、329.2万円/10a、223.6万円/10a、126.0万円/10aとなった。試算では、A重油価格を100円/Lとしたが、例えばトマト栽培（10℃管理を想定）の暖房経費としては、経営的に厳しい数値である。燃料価格は、2014年5月



第6図 大船渡における2013年10月～2014年3月の気温変化および平年値

第2表 陸前高田実証試験地の気温気象モニタリングに基づいた暖房デGREEアワーと内張（一重）のみの建設資材利用ハウスの燃料経費試算

設定温度	10℃	8℃	5℃
暖房デGREEアワー (×10 ⁶ ℃・s)	88.55	60.54	34.65
燃料単価 (円/L)	100	100	100
内張1層※1			
燃料消費量 (kL/10a)	32.9	22.4	12.6
燃料経費 (万円/10a)	329.2	223.6	126.0
内張2層※2			
燃料消費量 (kL/10a)	25.8	17.5	9.8
燃料経費 (万円/10a)	257.9	174.9	98.1

注) 暖房デGREEアワーは現地実測値から計算。ただし、条件は、被覆資材：PO系、地中伝熱：寒地+10℃、風速補正：強風地・内張ありとした。

※1：内張1層（ポリ）、隙間換気：内張一層条件

※2：内張2層（ポリ+ポリ）、隙間換気：内張二層条件

時点で税込100円/Lを超え、その後低下傾向にあるものの、不安定な暖房経費による経営の不安定化を避けるためにも、寒冷地における施設保温性の向上と省エネルギー暖房技術の重要性がわかる。中国四国地域では近中四農研で進めている高保温性能の布団資材を用いることで、暖房費が半減された実績報告があるが、岩手県沿岸地域のような寒冷地では、年間の暖房期間が長期にわたるため、その効果が一層期待できると考えられる。

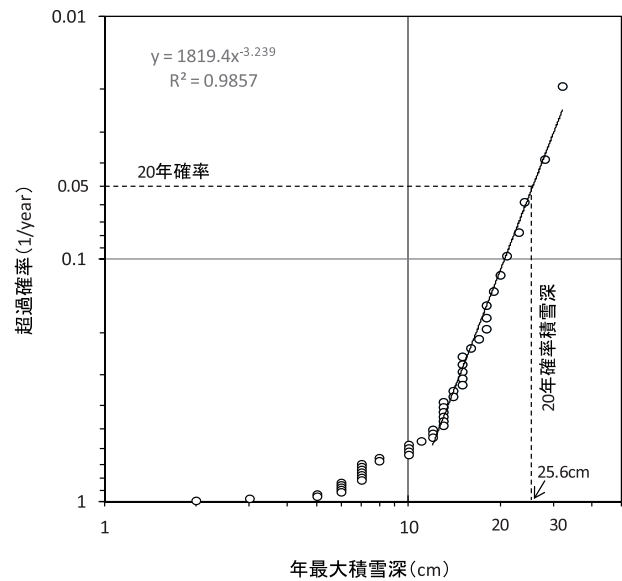
3 積雪と耐雪性評価

写真1は2014年1月23日の積雪時のものであるが、積雪は午前中で落雪し、屋根勾配を 20° にした効果がみられた。2014寒候年の最深積雪（大船渡）は18cm（2014/2/9：観測史上9位タイ）、降雪深合計値は78cm（観測史上4位）で、比較的多雪年であったが、実際に建設した建設資材利用ハウスの耐雪性を確認するため、想定される積雪と強度の評価を試みた。

園芸施設の積雪荷重は、耐用年数と安全度から、一定の再現期間に生起する最大積雪深に基づいて算定される⁷⁾。日本施設園芸協会の暫定基準においては、15～20年の耐用年数をもつ施設で、少なくとも20年以上の記録から再現期間と積雪量の関係を求め、設計用の積雪荷重を算出することとしている⁹⁾。そこで、実証試験地における設計基準積雪深とその積雪荷重を試算した。

第7図は、大船渡（観測年数は52年間）の年最大積雪深とその超過確率の関係である（ここでは対数正規確率分布を仮定した）。施工した建設資材利用ハウスについて、標準耐用年数を20年とすると、再現期間20年（ $T=20$ ）の超過確率（ $1/T$ ）は0.05であり、これに対応する20年確率積雪深は25.6cmであった。また、同様に計算すると、大船渡の過去の最深積雪32cmは41.2年に1度の降雪で、2014寒候年（2013年8月～2014年7月）は約6.4年確率に相当することがわかる。

設計基準（20年確率）積雪深25.6cmに基づき、積載荷重を求めたところ、 338.8 N/m^2 （ 34.6 kgf/m^2 ）となった。ここで、荷重計算は、雪の単位体積重量（ 1.0 kgf/cm^3 ）×落雪による荷重低減数値（0.9；勾配 20° ）×吹きだまり効果（1.5；風下側）とし、

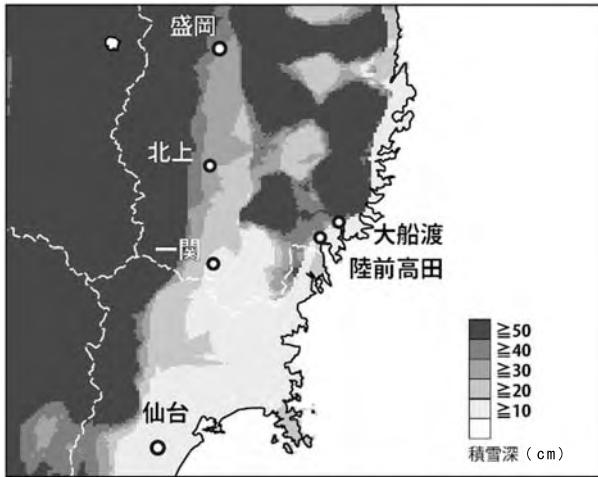


第7図 大船渡における年最大積雪深とその超過確率の関係

安全率50%とした。

建設資材利用ハウスが過去に積雪被害を受けたケースとして、屋根勾配 10° の平張ハウスにおいて、積雪深120cm（ $1,765 \text{ N/m}^2$ ）で屋根の垂木が損壊した例¹⁰⁾はあるが、そのほかの西日本の準高冷地（50cm程度の積雪地）では被害報告はない。さらに、本実証ハウスでは、屋根勾配 20° とし、南向屋根の垂木を倍密度とし、加えて中央部に3.6mピッチで中柱を設けるなど屋根荷重については十分な対策が取られている。一方、滑雪した雪によるハウス側方からの荷重は主に支持部に作用すると考えられる。長崎ら⁸⁾は、建設資材利用ハウスの支持部について強度計算を行い、50cmの積雪荷重（ 4.4 kN ）より十分大きいことを確認しており、さらに、耐風性のための水平梁と柱の方杖も側方変位に抗することから、積雪深25.6cmの荷重は十分許容範囲と考えられた。

ところで、本施設の普及展開を図るうえで、現地周辺の積雪状況を検討した。国土地理院国土数値情報をもとに作成した東北地域南部太平洋側の最大積雪深の平年値分布を第8図に示す。一般に施設園芸ハウスの耐雪設計は、最大積雪深を基準に積雪荷重を考えるが、東北太平洋沿岸は、比較的降雪が少なく、岩手県沿岸南部から仙台平野にかけて平年の最大積雪深20cm未満の地域である。しかし、南岸低気圧による大雪時には、仙台平野やさらに南の福島



第8図 東北地域南部太平洋側の最大積雪深の年平均値分布（国土地理院国土数値情報から作成）

において40 cmを超える積雪と園芸施設被害が報告されている¹²⁾。一方、海岸から5～10 km内陸の北上山地では平年の最大積雪深が50 cmを超える地域が多くみられる。降雪量が標高の一次関数で表されることはYamadaら¹⁵⁾ほか多数報告がある。すなわち東北太平洋沿岸では、海岸付近でまれに降る大雪への備えが必要で、さらに近隣地域への普及展開を計画する場合には、内陸数km地点の積雪状況が著しく異なることを十分考慮しなくてはならない。

本実証ハウスでは、耐風性の方杖などの改良も加えたため、積雪荷重は相当向上したと考えられるが、今後、より積雪が予想される地域への普及展開も想定されることから、棟木や接続部などの詳細な強度計算や、補強方法のマニュアル化などについても検討を行うことが望ましい。

4 風況と風対策

1) 建設中の強風害対策

東北地域における台風接近数の年平均値は2.6個であるが、2013年には合計3個の台風が接近・上陸し、陸前高田においても2013年9月16日に台風18号の直撃を受け、さらに1ヶ月後の10月16日に台風26号が三陸沿岸を通過した際の強風により、建設途中の建設資材利用ハウスに被害が生じた。第9図に実証試験地における試験研究用ハウスの配置と台風時の強風風向を、写真3に定点カメラで撮影した台風前後の建設資材利用ハウスの状況を示す。



第9図 実証試験地における試験研究用ハウスの配置と台風時の強風風向



写真3 台風18号の強風による変位（上写真：2013年9月14日11：17，下写真9月16日14：06）

注）画面左側の縦柱（ハウス南面）の部材に右側（北側）方向の変位が生じている。

建設資材利用ハウスは、屋根と妻面のみPOフィルムを張り終えた状態で、側面の被覆および補強用水平梁と方杖（いずれも3.6 mピッチ）は未施工であった。大船渡では、9月16日は朝から南南東の強風が観測され、正午前には最大瞬間風速が15 m/sを超えはじめ、その後20 m/sを超える状態が約3時間続いた。さらに、夕方からは吹き返しの北西～

北北西の強風が吹き、日最大瞬間風速25.2m/s(17:20)を記録した。

強風害は、強風継続時間が長いほど被害が拡大することが知られているが、建設資材利用ハウスは同区画で南寄りに建設されていたため、長時間継続した20m/s以上の南南東の強風の影響を最も強く受けたと考えられる。10分毎の連続写真(東側から南面を撮影)からも、正午前後からハウス全体が繰り返し揺動する様子が観察され、風速が最大となった14:00頃に全体が斜めに押されるように、すべての縦柱で北向きに変位が生じた。この傾斜は、ハウスの南側で10~15度、中央および北側で約7度に達したが、夕方の吹き返しの強風(北風)で南側にやや戻された。

一方、10月16日の台風26号の場合には、実証試験地に気象観測機器を設置していたため、現地風速の実測値の経時変化を第10図に示す。10月16日は台風が三陸沿岸海上を通過したため、6:00頃から正午過ぎにかけて北寄りの強風が観測された。大船渡の最大瞬間風速は北東の風35.0m/s(10:00)を記録し、台風18号時(25.2m/s)と比較して強風の程度は大きかったと考えられる。しかし、主風向では台風18号の場合と逆に北寄りで、この強風が建設資材利用ハウスを吹き抜け、内側から南側屋根面を押し上げる形となったと推測される。そのため、北側に7~10度ほど傾斜していた柱が、8時台から徐々に南側に戻され、10:00頃の強風でほぼ元の位置(垂直)に戻った。

この一連の被害のうち、特に9月16日に設計基準の35m/s未満で生じた理由は、まず、建設資材利

用ハウスが建設途中であり、水平梁や方杖などの補強が設置前であったことがあげられる。また、温室の風荷重は、密閉状態で計算されるが、開口部の存在によってはハウス内部が負圧となり、風圧力が増加することが指摘されている¹⁴⁾。さらに、隣接棟が近い場合、風上棟の前後で風圧係数が大きく変化するため¹³⁾、スリークオーター型ハウスの広くとられた南側屋根面に想定外の風圧が作用した可能性が高い。その結果、補強が十分でない構造部がモーメントを支持部全体に分散することができず、支柱が傾く被害を生じるに至ったと推測される。

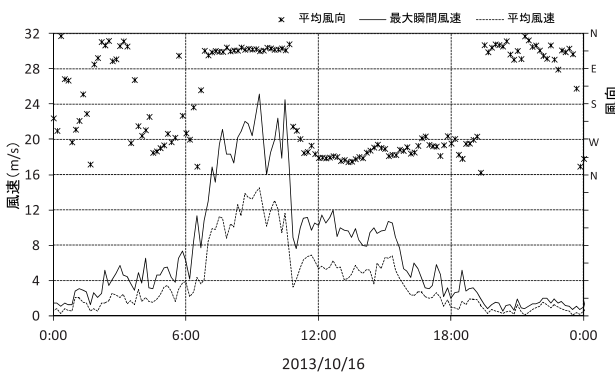
本来、施設の建設は短期間で終わるため、このような建設途中に被害を受けることは少ないが、建設資材利用ハウスは、農家が自家施工することを想定しているため、今回のように大規模なものでは、施工が長期にわたる可能性も十分考えられる。したがって、施工マニュアルでは、被覆資材の展張前に水平梁を施工し、これと柱をつなぐ方杖を施工するなどの補強手順を先行して行う必要がある。

2) 寒冷期の風対策

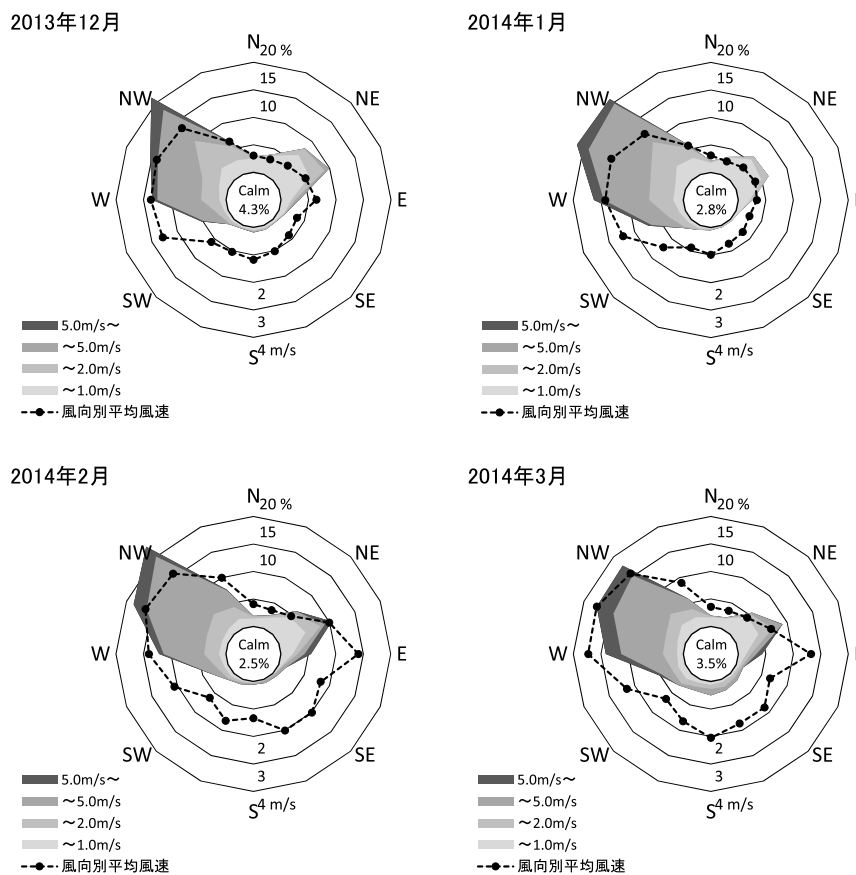
本研究における栽培実証は2014年夏秋作からであるが、これに先立ち、2013~2014年の冬季風況データから、栽培時の保温性について考察した。

実証試験地の2013年12月から2014年3月の風配図および風向別平均風速を第11図に示す。特に12月から3月は、西~北西の風向頻度が50%を超え、そのうち2m/s以上5m/s未満が半数以上を占める。実際に冬季は、最大瞬間風速10m/s以上の記録も多く、12~3月の西北西の風向別平均風速は2.9~3.5m/sと、特に北西風が強いことがわかる。これは季節風が現地北方の氷上山(874m、第1図参照)の南麓を回り込む縮流部にあたるためと考えられる。

寒冷地の施設園芸では、冬季に防風ネットを展開し、隙間風対策を施すことで、内部の保温性向上を図る技術があり、Kuroyanagiら⁴⁾は、防風ネットにより、風下のパイプハウスの換気率が6割程度に抑えられることをCFDシミュレーションで示している。このような隙間風による換気率低減は、ハウスの放熱係数(すなわち暖房効率)に直接かわるため、寒冷地の暖房コスト抑制に特に効果が期待で



第10図 陸前高田実証試験地における2013年10月16日(台風26号通過時)の風向・風速の経時変化



第11図 陸前高田実証試験地における2013年12月～2014年3月の風配図と風向別平均風速および風向別・風速階級別頻度分布

きると考えられる。さらに、現地では冬季の強風の卓越風向は狭く防風ネット施工範囲も限られるため、対策効果も狙いやすいといえる。

Ⅳ 摘 要

岩手県沿岸地域において、震災復興に資する実証研究の一環で建設した試験研究用ハウスについて、実証試験地の気象条件に基づき、仕様や施工手法の検証を行った。それらをまとめると以下のとおりである。

1. 夏季の寡照対策のため、採光性を高くする必要があり、全透過率の高い被覆資材が適する。一方、冬季の日照は140時間/月以上あり、日射の一部は蓄熱や保温に利用できる可能性がある。
2. 夏季は冷涼であるが、冬季の暖房コストが多くなるため、保温性向上と省エネルギー技術に

よる暖房コスト削減が不可欠である。

3. 2014年の最深積雪（18cm）程度では、落雪も良好で積雪の影響はなかった。
4. 20年確率積雪深（25.6cm）の積載荷重は338.8 N/m²（34.6kgf/m²）であったが、積雪深が50cmを超える中山間地域への普及展開を図るためには、より大きな積雪に対する強度計算と補強策の検討が望ましい。
5. 建設資材利用ハウスの施工中、構造的に弱い状況で台風害を受けたが、施工中の被災は想定されるので、マニュアルに反映させる必要がある。
6. 山の周縁に位置する実証試験地では、冬季を通じて季節風の縮流部にあたるため風が強いが、この一定風向の風に対しては、防風ネットによる保温性向上と暖房コスト削減が期待しやすいと考えられる。

本研究は、平成26年度食料生産地域再生のための先端技術展開事業委託研究費「中山間地域にお

る施設園芸技術の実証研究（網羅型研究）」の一部として実施された。

引用文献

- 1) 岩手県復興局 2011. 岩手県東日本大震災津波復興計画復興基本計画参考資料, p.2
- 2) 川嶋浩樹・古市崇雄・宮内樹代史・林真紀夫・直木武之介・長崎裕司 2013. 多層保温被覆資材と水蓄熱体の利用がパイプハウスの暖房負荷に及ぼす影響. 農業施設44(2): 73-82.
- 3) 川村 宏 1995. 局地風“ヤマセ”とやませ現象. 気象研究ノート183: 1-5.
- 4) Kuroyanagi, T., S. Matsuda, H. Kawashima, Y. Nagasaki 2013. Effect of Net-Covered Windbreak on Leakage Rate of a Greenhouse. *ISHS Acta Horticulturariae* 1037: 947-954.
- 5) 佐々木洋一・野上道男 2005. 2003年7月における東北地方の低温・寡照について. 日本地理学会発表要旨集67: 73.
- 6) 高市益行・川嶋浩樹・黒崎秀仁 2008. わが国各地における各種温室の暖房燃料消費量の試算ツール. 野菜茶業研究成果情報2007: 9-10.
- 7) 高橋久三郎・小林一雄・村松謙生・大沼匡之・鴨田福也 1981. 園芸施設に対する積雪荷重とその軽減法. 北陸農業試験場報告23: 197-234.
- 8) 長崎裕司・野中瑞生・川嶋浩樹・岡崎紘一朗・宮崎昌宏・的場和弘・田中宏明・角川 修 2005. 野菜生産における地域特性を考慮した農業機械・施設の開発・利用に関する研究—稲跡野菜策と平張型傾斜ハウス生産を中心に—. 近畿中国四国農業研究センター研究報告4: 130-171.
- 9) 羽倉弘人 1997. 施設園芸ハンドブック 第2章 施設の設計・施工と保守管理. 日本施設園芸協会, 東京. 62-92.
- 10) 松田 周・長崎裕司 2011. 久万高原町における平張型ハウスの今冬降雪被害状況. 2011年度農業施設学会大会講演要旨: 119-120.
- 11) 三原義秋 1978. 日照を考慮した温室暖房デグリアワーの算定式. 農業気象34(2): 83-85.
- 12) 森山英樹・豊田裕道 1999. 1998年1月の大雪時における東北地方南部太平洋側の園芸施設の被災特徴について. 農業施設30(2): 205-214.
- 13) H. Moriyama, S. Sase, Y. Uematsu, T. Yamaguchi 2010. Wind Tunnel Study of the Interaction of Two or Three Side-by-Side Pipe-Framed Greenhouses on Wind Pressure Coefficients. *Trans. ASABE*, 53(2): 585-592.
- 14) 森山英樹・佐瀬勘紀・小綿寿志・石井雅久 2003. 台風0221による千葉県・茨城県下の園芸施設構造の被災状況と考察. 農業施設34(3): 199-212.
- 15) Yamada, T., S. Suizu, H. Nishimura, G. Wakahama 1981. Relationships between snow distribution and climate in mountain areas. *Proceedings of Cambera Symposium, 1979*. IASH Publ. No. 131, 109-118.

Demonstrative Studies of Improved Greenhouse for Post-Disaster Restoration in Coastal Iwate Area

—1. Climate Assessment for Environmental Applicability of New Pipe-Framed Greenhouse for Saving Energy and Greenhouse Using Scaffold Materials.—

Hisashi YOSHIKOSHI, Yuji NAGASAKI¹, Shu MATSUDA, Hiroki KAWASHIMA and Makoto SUGIURA

Summary

In Rikuzen-Takata in Iwate pref., agriculture and horticulture was thriving by utilizing comparatively genial climate and abundant sunshine among the region. However, the huge tsunami on 11 March 2011 seriously damaged the agriculture and food industries of the region. Since 2013 we have been participating in the post-disaster restoration project in order to improve rural agricultural activities by means of technological innovation of the greenhouses. We have conducted substantive empirical research to introduce our thermal-enhanced and low-cost greenhouses that strengthen the weatherability to cold climate. This paper confirms the suitability of the greenhouses built in Rikuzen-Takata based on the climatological data.

In this region they experience temporary shortage of sunshine due to specific sea fog in summer. On the other hand they receive more than 140 hours/month of sunlight in winter. Therefore it is important to improve lighting of greenhouses to compensate the shortage of sunlight in summer by utilizing transparent covering materials instead of covering materials that diffuse sunlight in order to improve the overall transmissivity. Additionally, it is also essential to improve heat retention of the greenhouses in order to reduce the cost of heating in winter. Even under micro-thermal climate they have approximately 10 tropical days in summer. As average ice day in winter is more than 25 days improvement of thermal condition of the greenhouse and reduction of the cost of heating is essential under such cold condition.

The maximum snowfall of 18cm in 2014 did not cause any problems. The design load of 338.8N/m² (34.6kgf/m²) based on the twenty-year probability snow depth (25.6cm) gives sufficient margin for the actual designed load of 50cm snow depth. However, in order to introduce those greenhouses to the neighboring mountainous area it is necessary to take more snowy condition into consideration. Greenhouses under construction are more susceptible to wind pressure due to insufficient structural strength. Therefore it is necessary to draw up an implementation manual regarding the procedure for structural reinforcement during construction. Since strong seasonal wind with the constant wind direction in winter was observed, windbreak is expected to improve the heat retention of the greenhouses markedly and consequently reducing the cost of heating.

Hillside Horticulture Research Division, NARO Western Region Agricultural Research Center

¹ Department of Planning and General Administration, NARO Western Region Agricultural Research Center

建設足場資材利用園芸ハウスの新規開発と その導入による野菜・花き生産システムの構築

川嶋浩樹

Key words : 換気, 加温, 傾斜地農業, 傾斜ハウス, 温度分布, 施設園芸

目 次

I 緒 論	78	III 傾斜畑での野菜・花き生産のための新たな傾斜ハウスの開発	90
1 わが国における傾斜地農業と傾斜地園芸施設の現状	78	1 はじめに	90
2 傾斜地における施設園芸研究の現状と課題	80	2 傾斜畑での野菜・花き生産における簡易雨よけ施設の現状	91
3 本研究の目的および本論文の構成	81	1) 試験地の現状	91
II 野菜・花き生産用傾斜ハウスにおける温度分布特性	83	2) 簡易雨よけ施設の概要	91
1 はじめに	83	3 新たな野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発	91
2 実験方法	83	1) 新たな野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発に向けた要件	91
1) アーチ型傾斜ハウスにおける換気時の温度分布の解析	83	2) 新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの構造	95
2) アーチ型傾斜ハウスにおける換気位置が温度分布に及ぼす影響解析	84	3) 建設足場資材利用園芸ハウスの導入メリット	97
3) アーチ型傾斜ハウスにおける加温時の温度分布の解析	84	4 結論	98
4) 循環扇による送風が加温時のアーチ型傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響解析	84	IV 高温期における建設足場資材利用園芸ハウスの換気にもなう温度分布特性	99
3 結果と考察	84	1 はじめに	99
1) アーチ型傾斜ハウスにおける換気時の温度分布特性	84	2 実験方法	99
2) アーチ型傾斜ハウスにおける換気位置が温度分布に及ぼす影響	85	1) 建設足場資材利用園芸ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける側窓の開放による換気時の温度分布の解析	99
3) アーチ型傾斜ハウスにおける加温時の温度分布特性	86	2) 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける中央換気窓と側窓の開閉にもなう温度分布と風速分布の解析	100
4) 循環扇による送風が加温時のアーチ型傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響	88	3 結果と考察	101
4 結論	89	1) 建設足場資材利用園芸ハウスとアーチ	

(平成26年7月18日受付, 平成27年3月13日)

農研機構近畿中国四国農業研究センター
傾斜地園芸研究領域

型傾斜ハウスにおける側窓の開放による換気時の温度分布の比較101

2) 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの換気における中央換気窓の効果102

4 結論104

V 低温期における建設足場資材利用園芸ハウスの加温・送風にともなう温度分布特性105

1 はじめに105

2 実験方法105

1) 傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおける温風ダクトの配置と循環扇による送風方法および温度分布の解析105

2) 等高線方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおける温風ダクトの配置と温度分布の解析106

3) 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける温風ダクトの配置と温度分布の解析107

3 結果と考察108

1) 温風ダクトの配置と循環扇の有無が傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響108

2) 温風ダクトの配置が等高線方向に長い

建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響110

3) 温風ダクトの配置が傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響111

4 結論112

VI 建設足場資材利用園芸ハウスの導入による傾斜畑における新たな野菜・花き生産システムの構築113

1 はじめに113

2 実験方法113

1) 建設足場資材利用園芸ハウスの導入にともなう新たな作付体系による導入効果の解析113

3 結果と考察114

1) 建設足場資材利用園芸ハウスの導入による新たな作付体系の構築114

2) 建設足場資材利用園芸ハウスを導入した新たな野菜・花き生産システムの普及可能性116

4 結論118

VII 総合考察119

謝辞121

引用文献122

Summary127

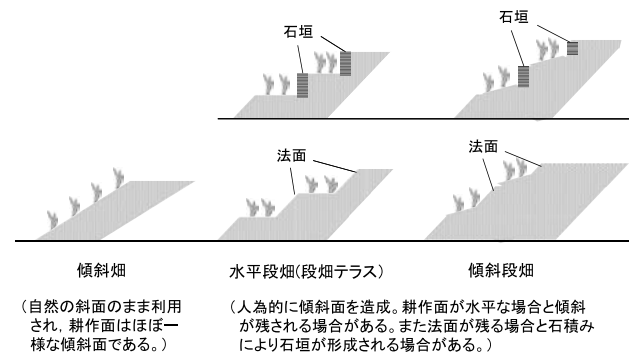
I 緒 論

1 わが国における傾斜地農業と傾斜地園芸施設の現状

わが国は、山地や丘陵地などの傾斜地が国土の7割を占め、古くから傾斜地を農耕利用する傾斜地農業が営まれてきた。傾斜地でも開墾可能な地形は棚田として造成され棚田地域となったが¹⁸⁾、水田化が困難な傾斜地では地形に応じて、畑面が水平なテラス状の水平段畑、畑面が傾斜する畑の間を階段状に区切る傾斜段畑、人為的な手を加えずに利用可能な傾斜地は傾斜畑、造成不能なところは焼畑として利用されてきた(第1図)。

わが国における全耕地面積の約40%は中山間地域に分布しているが、西日本ではその割合が大き

なっている^{18, 88)}。中山間地域を中心に展開される傾斜地農業は、不利な耕地条件のもとで規模の零細性や土地基盤条件の劣悪性を回避し、一定の農業所得を確保するために、集約的な品目での産地形成に努力が傾注されてきた^{26, 43, 68)}。このため、例えば



第1図 傾斜地における農耕利用の形態

高知県の中山間地域の生産者が拡大意向を持つ部門の上位は、野菜（露地、施設）、雑柑などの果樹となっている^{67, 83}。また、十和村（高知県）の例では、基幹品目が次々と衰退する中で唯一生産額を伸ばしているのは野菜だけである^{42, 85}。中山間地域の活性化に向けた戦略作物として野菜や花きをあげる市町村も多く、集約的な園芸作物が地域の持続的発展の要となっている⁴²。このため、中山間地域の市町村や農協などの機関は、野菜・花きによる集約的施設園芸を中心にさまざまな農家経営支援・育成方策を講じているなど⁷⁸、中山間地域においては新たに野菜・花きを導入した集約的施設園芸による産地形成の成否が、地域農業盛衰の大きな分かれ目となっているといえる^{42, 66}。

園芸施設は、植物工場のように高度に環境制御を発達させた施設から露地において地面や植物体を覆うだけのマルチやべたがけもその範疇に含まれるが¹⁹、施設園芸の中心的な施設は温室である。温室は、被覆資材によってガラス温室とプラスチックハウス（単にハウスとも呼ばれる）とに大別される。中でもハウスは、1955年頃に農業用プラスチックフィルムが実用化されたのを契機に急速に普及した。ハウスは、概して安価であり自家施工も可能なことから面積も増え、設置面積は48,451ha（全体の96%）⁵⁷と温室の中心的な施設となっている。その範囲も暖房装置、換気装置や灌水装置を備えて自動管理を行うものから無加温で巻き上げを開放して換気を行う簡易施設まで幅が広い^{59, 76}。

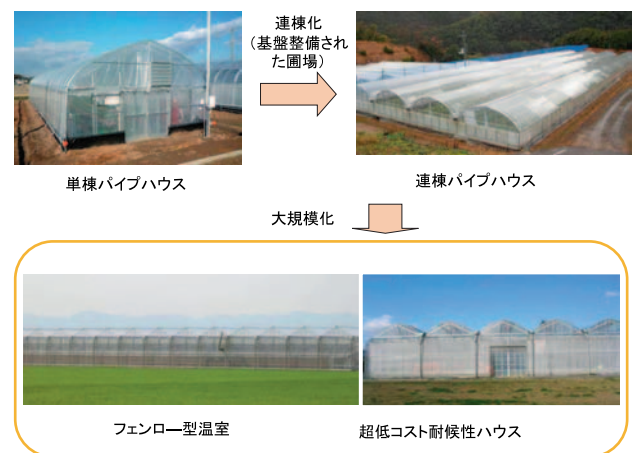
ハウスは、曲げパイプ（アーチパイプ）を用いた丸屋根（アーチ）型が主流であり、鉄骨と組み合わせた鉄骨補強型パイプハウスや基礎のない簡易な地中押し込み式パイプハウスがある⁷²。近年の傾向として、鉄骨補強型パイプハウスではガラス温室と同様に多連棟化・高軒高化とともに大規模化が進められ、ガラス温室を代替する施設として平坦地での導入が進みつつある^{72, 86, 92}。

一方、安価な農業用プラスチックフィルムが普及したことで、露地栽培における安定生産や品質向上などを目的とするマルチやトンネルが行われるようになった。中山間地域においてもダイコンやタマネギなどのマルチ栽培、適品目の選定、地域に応じた栽培体系が開発され、比較的涼やかな気候を活かして

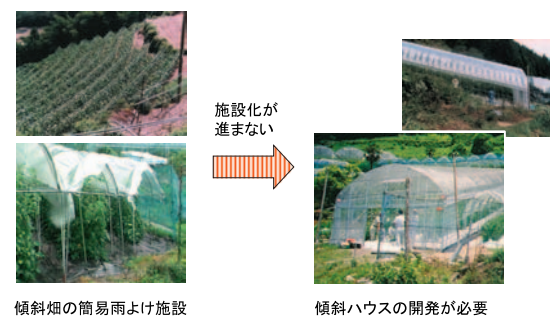
平坦地では栽培できない夏秋野菜の産地形成に取り組まれた¹⁸。1970年代には、人が入って作業ができる簡易な雨よけ施設が開発され、中山間地域における高温期のトマト生産（夏秋栽培）の安定化を目的に急速に普及した^{16, 59, 93}。雨よけ栽培は、露地栽培に比べて収穫期間の拡大や収量の増加が図られ、品質低下を軽減する効果があることから全国に広がり、その多くは中山間地域の傾斜畑で利用されている。

しかし、迫田⁶⁹が指摘するように、簡易な施設であるため風雨の遮断や病害虫対策が不十分で薬剤散布の効果も上がらない、品質向上にも改善の余地がある、台風などの強風時に作物と施設が壊滅的な被害を受けるなどの問題があるのに加えて、近年は農産物に対する消費者の安全志向の高まりから減農薬栽培への取り組みが進み、簡易雨よけ施設からの転換が迫られている。

中山間地域においても基盤整備が行われたような条件の良い圃場では大型パイプハウスの導入が図ら



(1)大規模化が進む平坦地の園芸施設



(2)傾斜地における園芸施設の現状

第2図 平坦地と傾斜地における園芸施設の現状

れている。例えば、高知県では県の通称「レンタルハウス整備事業」により施設園芸の振興が図られており、鉄骨補強パイプハウスの導入が進められている⁸³⁾。約40千haのパイプハウスのうち56%は加温設備がなく⁵⁷⁾、雨よけとして利用されていると推定されるが、このタイプのハウスは天井部だけを被覆して側面はフィルムを展張しないか常時巻き上げておく構造であり、押し込み式パイプハウスが最も多く中山間地域の施設園芸の中心的な施設である。その一方で、傾斜畑ではコスト面から基盤整備が進まず^{43, 53)}、狭小で不定形な圃場条件に対応できるパイプハウスがないことから、簡易雨よけ施設を用いた栽培から転換することが難しいのが現状である(第2図)。このため、傾斜畑において簡易雨よけ施設に替わる新たな施設の開発が産地における生産力の維持・強化のために必要となっている。

2 傾斜地における施設園芸研究の現状と課題

オランダ式の先端的な施設園芸では、野菜・花きを対象に温度制御や換気・気流制御を行う高度な環境制御が行われており⁶⁵⁾、わが国の平坦地に展開する大規模施設園芸のモデルとして研究・開発の目標となっている^{86, 92)}。その一方で、中山間地域の傾斜地では平坦地を補完する役割が期待されているにもかかわらず⁶⁶⁾、対応した施設園芸研究はほとんど行われていないのが現状である。

中山間地域の傾斜畑における野菜・花き生産は、現在のところ高温期が中心であり換気の確保が必要になる。傾斜畑に立地するハウスの利点として、ハウス内に高低差があること、地形条件によっては斜面風が存在することにより平坦地と比べて高温期における換気能力に優れる可能性^{75, 77)}などが指摘されている。このため、平坦地のハウスとは換気能力が異なると考えられるが、傾斜地と平坦地に立地するハウス内環境の違いを比較した既往の研究事例はない。

傾斜畑で栽培される場合が多い果樹では、樹高が高いことなどから傾斜面の地形をそのまま利用した大型施設が多くみられる²⁹⁾。原菌¹⁰⁾は、こうした大型傾斜ハウスの形状として、アーチ型傾斜ハウス、雛壇型パイプハウス、亀甲型傾斜ハウス、波状型ハウスおよび平張型傾斜ハウスをあげている。比較的

収益性の高いハウスミカンでは、鉄骨補強パイプハウスにより施設化が図られている事例もあるが、ブドウやオウトウでは、簡易な部材による雨よけを主とした簡易な構造の施設も多くみられる^{1, 59, 91)}。しかし、これらの施設では、高温期には被覆資材をはずして露地状態にすることが多く、換気には換気扇を用いた強制換気が用いられる場合もあるが、そのほとんどは被覆資材をずらす(隙間をあける)といった程度であり^{10, 28)}、環境調節機能が不十分である。

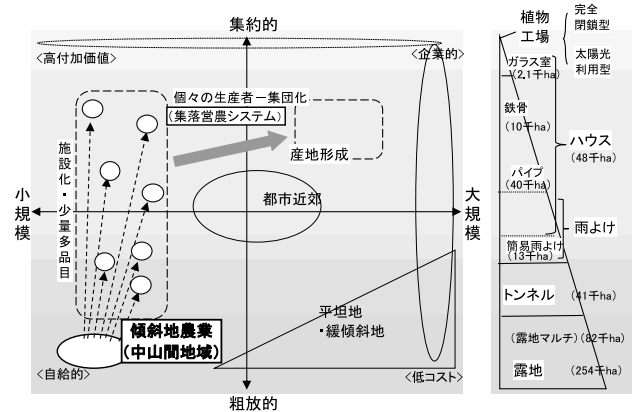
傾斜ハウスにおける野菜・花き生産において、温度制御は重要な技術であり、ハウス内の温度分布特性を把握する必要があるが、傾斜ハウスの内部環境に関する既往の研究事例は少ない。Zamirら⁹⁴⁾は、加温時における傾斜ハウスの放熱係数が平坦地ハウスと同様にハウス外の風速などの環境要因に影響されることを指摘しているものの、傾斜ハウス内の温度分布については言及していない。一方、原菌ら⁹⁾は、傾斜地における大規模ブドウハウスを対象にハウス内の温度分布特性を検討し、普及が進んでいる波状型傾斜ハウスは簡易で低コストであるが換気窓の設置が難しく、日中の気温変動が大きくなるため、換気窓の自動化が可能なアーチ型ハウスの方が環境調節の立場からは望ましいなどの改善点を述べている。さらに、傾斜地に立地するため換気窓の自動化が図られれば換気扇がなくても気温の調節が可能になると述べているが実証例はない。また、野菜・花き生産を目的とした傾斜ハウスにおける温度分布特性に関する研究事例があるものの、無植栽状態のアーチ型傾斜ハウスにおいて密閉時の温度分布を実測した例^{80, 81)}およびシミュレーションによって解析した例⁷⁴⁾がみられる程度である。

野菜・花き生産において傾斜ハウスが導入されると、高温期のみならず周年生産が可能になることから、換気や加温による温度制御が必要である。傾斜ハウス内では、例えば冬期において密閉された状態になると、斜面下方から上方へ向かって温度が高くなる温度勾配が生じるなど^{9, 80)}、平坦地に立地するハウス内とは内部環境が異なるものと予想される。関ら⁷⁴⁾は、無植栽状態でのアーチ型傾斜ハウスにおけるシミュレーションの結果、換気されず密閉された状態のハウス内では傾斜方向に沿って温度勾配

が生じることを報告している。このような特性の傾斜ハウスの利用法として、温度勾配チャンバー⁶¹⁾のように、定植時期を同一としても温度の違いで生育に遅速が生じることを利用して収穫期をずらしながら栽培する方法などが提案されている⁷⁹⁾。しかし、実際には日中は必要に応じて換気することなどによって温度上昇を抑える管理が必要であり、ハウス利用の効率化を考えると、ハウス内の温度差を小さくして温度の均一化を図りながら斉一に生育するように管理する方が現実的である。

一方、低温期において暖房を行う場合、平坦地に立地する一般のハウスでは暖房機の温風ダクトを適切に配置することによって温度分布を均一化している⁶²⁾。また、温度分布を均一化し加温時の省エネルギー化を図るために循環扇が利用される場合もある^{2, 44, 56)}。しかし、傾斜ハウスでは、密閉状態になると温度勾配の発生がみられるなど、平坦地ハウスとは異なる温度制御が必要になると考えられる。原菌ら⁹⁾は、ブドウ用大型傾斜ハウスにおいて加温時のハウス内温度を均一化する方法として、斜面の途中に仕切りカーテンを設置することが有効と指摘している。しかし、野菜・花き栽培では果樹栽培と異なり、特に果菜類では栽培期間中は収穫作業や管理作業が毎日、長時間行われるため^{51, 58, 63)}、仕切りカーテンが作業の障害になると考えられる。

中山間地域では、生産力の低下が進む一方で農業を軸とした地域の活性化が図られようとしており、水稲などの基幹品目に替わる収益性の高い部門として野菜・花きによる集約的な施設園芸が重要であることは前述したとおりであるが、中山間地域の狭い土地条件では、収益性の追求や大規模な農業経営展開を考えた場合には平坦地に比べて不利である⁶⁸⁾。しかしその一方で、立地する自然条件や地域資源の有効活用が他の地域にない経営的アドバンテージとなりうる^{43, 53, 85)}。中山間地域では、集約的施設園芸により付加価値の高い農産物を生産することで農家所得を向上させることが地域発展のひとつの方向であり⁸³⁾、施設化を進めることにより個々の生産者における生産性向上を図るとともに、集団化して競争力を高めることが地域の発展に貢献するものと考えられる(第3図)。中山間地域においても基盤整備が行われた条件の良い圃場では、補助事業による



第3図 施設園芸の技術発展と傾斜地農業における成長戦略

大型パイプハウスの導入が進むなど、施設園芸の振興が図られている。しかし、中山間地域の多くを占める傾斜畑では基盤整備が遅れており、簡易雨よけ施設を用いた野菜・花き生産が行われるようになったものの、こうした簡易施設は病虫害、強風被害などに対する対策が不十分である。このため、簡易雨よけ施設に替わる新たな園芸施設として、傾斜畑における野菜・花き生産に対応した傾斜ハウスの開発とともに、傾斜ハウスの導入による新たな野菜・花き生産システムの構築が求められている。

3 本研究の目的および本論文の構成

前節で述べたように、中山間地域では野菜・花きによる集約的施設園芸が地域活性化の中核を担う部門として期待されており、傾斜畑において広く利用されている簡易雨よけ施設に替わる施設として、生産力の向上や強風による施設への被害軽減が可能な野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発が求められている。さらに、中山間地域における野菜・花き生産は高温期における夏秋栽培が中心であることから、雨よけ機能を維持しながら十分な換気を行うとともに、狭小で不定形な傾斜畑に対応できる施設であることなどの要件に対応する野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発と同ハウスの導入による新たな生産システムの構築が急務となっている。また、施設化にともない従来の作付体系に加え、低温期において新たに野菜・花き生産を行う周年利用の可能性も考えられることから、傾斜ハウスの高温期における換気時および低温期における加温時の温度制御技術の確立

が必須である。しかし、温度制御の基礎となる傾斜ハウスにおける温度分布特性は不明な点が多く、その解明が不可欠である。

そこで本研究では、傾斜畑における野菜・花き生産に対応した傾斜ハウスの開発と傾斜ハウスにおける野菜・花き生産システムを構築するために、平坦地で一般的に利用されているアーチ型パイプハウスの傾斜畑への試験導入を端緒として、以下の検討を行った。すなわち、①傾斜ハウスにおける温度分布特性とその利用可能性、②傾斜畑における野菜・花き生産に対応した新たな傾斜ハウスの開発、③高温期における傾斜ハウスの換気にとまなう温度分布特性、④低温期における傾斜ハウスの加温・送風にとまなう温度分布特性、⑤傾斜ハウスの導入による新たな野菜・花き生産システム構築の可能性である。

本論文は7章で構成される。第I章では、傾斜地における園芸施設の現状ならびに施設園芸研究の現状と課題を総括して述べるとともに、本研究の目的について述べた。

第II章では、傾斜畑における野菜・花き生産に対応した新たな傾斜ハウスの開発に向け、これまで不明な点が多かった傾斜ハウスにおける温度分布の特徴と傾斜畑における野菜・花き生産用施設としての利用可能性を検討するために、その端緒として、平坦地で最も多く利用されているアーチ型パイプハウスを傾斜畑へ設置した傾斜ハウス（以下、アーチ型傾斜ハウス）において、①換気時の温度分布特性、②換気位置が温度分布に及ぼす影響、③加温時の温度分布特性、④循環扇による送風が加温時の温度分布に及ぼす影響を、平坦地に設置したアーチ型パイプハウス（以下、平坦地ハウス）と比較しながら解析し、傾斜ハウスにおける換気能力や温度分布特性を明らかにするとともに、傾斜畑における野菜・花き生産に対する傾斜ハウスの環境面からの利用可能性を検討した。

第III章では、傾斜畑における野菜・花き生産用施設として従来から利用されていた簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換を図るために必要な要件を抽出した。野菜・花き生産用傾斜ハウスはこれまで存在しなかったことから、まず平坦地で用いられているアーチ型パイプハウスを流用したアーチ型傾斜ハウスをトマト生産者の傾斜畑に試験導入することに

よって構造上の問題点を抽出するとともに、従来の簡易雨よけ施設に替わる野菜・花き生産用傾斜ハウスの構造要件を検討した。さらに同要件に基づいて建設足場資材利用園芸ハウスを新たに開発するとともに、同ハウスの不定形な傾斜畑への対応、低コスト化や強度などの構造上の特徴と導入メリットについて検討した。

第IV章では、新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの高温期における適用性を明らかにするために、中山間地域における野菜・花き生産の中心である夏秋栽培において、①アーチ型傾斜ハウスと比較した場合の開発した建設足場資材利用園芸ハウスにおける換気時の温度分布特性、②傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける換気窓の設置位置が温度分布に及ぼす影響を解析し、開発した建設足場資材利用園芸ハウスが高温期における野菜・花き生産に必要な換気能力の有無などを実証的研究により検討した。

第V章では、同じく建設足場資材利用園芸ハウスの低温期における適用性を明らかにするために、加温による建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布特性を解析した。中山間地域の傾斜畑は、圃場形状がさまざまであることから、傾斜畑の条件に応じて設置した形状が異なる3つの建設足場資材利用園芸ハウス、すなわち①傾斜方向に長い形状の場合、②等高線方向に長い形状の場合、③傾斜段畑に設置した場合を対象に、温風ダクトの配置や循環扇による送風の有無がハウス内温度分布に及ぼす影響を解析し、低温期における野菜・花き生産に必要な加温時の温度制御技術について実証的研究により検討した。

第VI章では、トマトの夏秋栽培を行う生産者圃場において、開発した建設足場資材利用園芸ハウスを設置して実証試験を行い、①トマトの夏秋栽培における生産性からみた建設足場資材利用園芸ハウスの適用性、②建設足場資材利用園芸ハウスにおいてトマト後作としてスイートピーを導入した新たな作付体系による導入効果を検討した。さらに、③建設足場資材利用園芸ハウスの導入による新たな野菜・花き生産システムの中山間地域における普及可能性を考察した。

第VII章では、本研究で得られた知見を総括しながら

ら、中山間地域の傾斜畑における集約的園芸生産を行うために開発した建設足場資材利用園芸ハウスと同ハウスの導入による新たな野菜・花き生産システムの有効性と今後の課題について考察した。

II 野菜・花き生産用傾斜ハウスにおける温度分布特性

1 はじめに

前章で述べたように、中山間地域では野菜・花きの集約的施設園芸が地域の農業の持続的発展の要となっている^{57, 66)}。このため、中山間地域の傾斜畑においては、簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換を図り、野菜・花きを安定生産するシステムの開発が求められている。環境調節が可能なハウスを用いた野菜・花き生産では、1日のうちで温度を変化させる変温管理が行われる場合もあるなど、温度制御は特に重要な技術である。傾斜ハウスの内部環境についての既往の研究はほとんどなく不明な点が多いが、無植栽の密閉された傾斜ハウス内では斜面下方から上方へ向かって温度が高くなる温度勾配が生じる⁸⁰⁾との報告がある。このため、傾斜ハウスでは平坦地ハウスと温度分布特性が異なり、温度制御についても異なる技術が必要になるなど、傾斜ハウスの普及には平坦地ハウスと異なる要件をクリアしなければならない。

中山間地域の傾斜畑において傾斜ハウスの導入を図るにあたっては、同傾斜畑における野菜・花き生産に対する傾斜ハウスの利用可能性の検討が求められる。この傾斜ハウスの利用可能性の見極めには、①高温期や低温期におけるハウス内温度制御の可否および②構造要件を明らかにする必要がある。

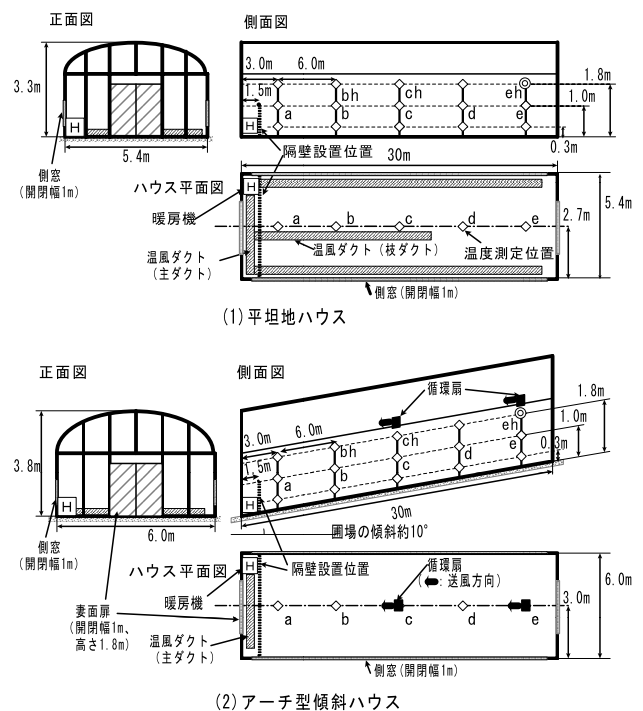
以上のような認識のもと、本章においては平坦地で最も多く利用されているアーチ型パイプハウスを傾斜畑へ試験導入したアーチ型傾斜ハウスと平坦地に設置した同型の平坦地ハウスにおける換気または加温にともなう温度分布を比較しながら解析し、傾斜ハウスにおける換気能力や温度分布特性を明らかにするとともに、傾斜畑における野菜・花き生産に対する傾斜ハウスの環境面からの利用可能性を検討した。

2 実験方法

1) アーチ型傾斜ハウスにおける換気時の温度分布の解析

供試ハウスの概要を第4図に示す。実験は、近畿中国四国農業研究センター（以下、近中四農研）（仙遊地区、北緯34°12′，東経133°46′，標高28m）内の平坦地に設置した平坦地ハウス（長さ30m，間口5.4m，軒高3.3m，南北棟）および近中四農研（生野地区、北緯34°13′，東経133°47′，標高106m）内の北面する傾斜畑（傾斜度約10°）に設置したアーチ型傾斜ハウス（傾斜方向へ長さ30m，間口6.0m，軒高3.8m，南北棟）を用いた。温度測定には、平坦地ハウスではサーモレコーダミニ（エスベックミック社製，RT-30S）を、アーチ型傾斜ハウスではT型熱電対およびデータロガー（ESD社製，GK101）をそれぞれ用いた。

上述の平坦地ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおいて、冬季夜間の無風時を選んで実施した。外気温より5℃程度高くなるように温度設定した温風式暖房機（ネポン社製，KA-203）を約2時間自動運転した後、暖房機の燃焼と送風を停止すると同時にハウスの側窓（長さ28m）を1m幅で巻き上げて換気



第4図 供試した平坦地ハウスとアーチ型傾斜ハウスの概要

した時の、ハウス内温度および外気温の変化を1分間隔で記録した。平坦地ハウスでは慣行にしたがって温風ダクト(枝ダクト)を3本配置し、アーチ型傾斜ハウスでは温風ダクトを設置せず加温した。温度の測定位置は、両側妻面を結ぶ中央線上とし、暖房機を設置した側の妻面からハウス長辺方向へ、3 m、9 m、21 mおよび27 m、地面から高さ1.0 mとした。なお、平坦地ハウスではナスを、アーチ型傾斜ハウスではスイートピーをそれぞれ栽培中であった。

2) アーチ型傾斜ハウスにおける換気位置が温度分布に及ぼす影響解析

実験は、上述のアーチ型傾斜ハウスを用いて日中の無風時を選んで実施した(第4図)。アーチ型傾斜ハウスの側窓の巻き上げならびに山側と谷側の妻面扉を閉め切り、山側の妻面から3 m、地面から高さ1.8 m(測定位置eh)における温度が40℃に達した後、①側窓(長さ28 m)を1 mの幅で巻き上げた場合、②両端の妻面扉(幅2.0 m、高さ1.8 m)を開放した場合、③②の状態を7分保持した後に側窓を開放した場合、について、上述の機材を用いてハウス内温度と外気温の変化を測定した。測定位置は、両方の妻面を結ぶ中央線上、谷側の妻面から傾斜方向へ3 m、9 m、15 m、21 mおよび27 m、地面から高さ0.3 m、1.0 mおよび1.8 mとした。なお、ハウス内ではトマトを栽培中であった。

換気によるアーチ型傾斜ハウス内の温度分布の変化を調査するために、まず地面から同じ高さで隣り合う測定点間の距離と温度から、距離との1次関数として任意の点の温度を計算し、さらに垂直方向についても同様に計算後、測定点間の温度を補完して温度分布図を作成した。

3) アーチ型傾斜ハウスにおける加温時の温度分布の解析

実験は、上述の平坦地ハウスとアーチ型傾斜ハウスを用い、設定温度6℃で加温して実施した(第4図)。加温には温風式の暖房機(ネボン社製、KA-203)を用いた。暖房機の温度センサは暖房機を設置した側の妻面から9 m、地面から高さ1.0 m(測定位置b)に設置した。両ハウスともに温風式暖房

機を設置した側の妻面に沿って設置した温風ダクト(主ダクト)に0.5 m間隔で開けた孔から、同じ妻面から1.5 mの位置に設置した高さ1 mの隔壁フィルムに向かって温風を吹き出した。測定位置は、両側妻面を結ぶ中央線上とし、暖房機を設置した側の妻面から長辺方向へ3 m、9 m、15 m、21 mおよび27 m地面から高さ1.0 mとした。また妻面から9 mおよび15 mの位置では地面から高さ1.8 mの位置でも測定した。ハウス内温度および外気温は上述の機材を用いて測定し1分間隔で記録した。なお、平坦地ハウスではナスを、アーチ型傾斜ハウスではスイートピーをそれぞれ栽培中であった。

4) 循環扇による送風が加温時のアーチ型傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響解析

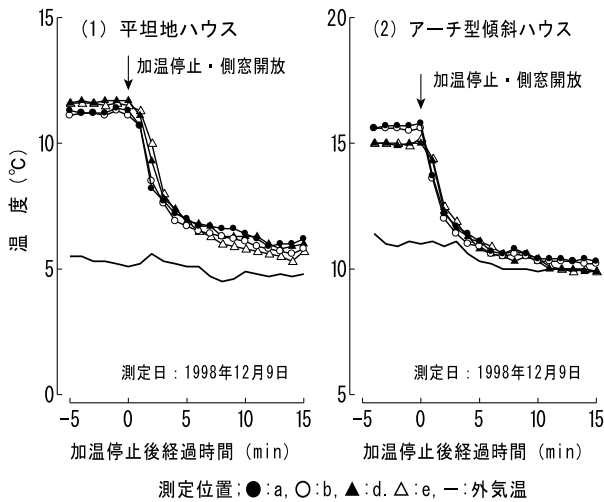
実験は、上述のアーチ型傾斜ハウスを用い、隔壁フィルムを除去した他は前項と同じ条件で行った(第4図)。斜面上方の妻面側から3 m(斜面上方)または15 m(斜面中央)地点の、地面から高さ2 mの位置に循環扇(VORNADO社製、280B、風量 $81 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)を設置し、斜面と平行に斜面下方へ向かって送風するように調整した。

3 結果と考察

1) アーチ型傾斜ハウスにおける換気時の温度分布特性

平坦地ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける換気時の温度変化を第5図に示す。平坦地ハウスでは、側窓が開放されて換気が始まるとハウス内の温度は緩やかに低下し、外気温近くで安定するまでに換気開始から10分以上を要した。また、換気されてハウス内温度が安定した後でもハウス内温度は外気温より1℃以上高かった。これに対してアーチ型傾斜ハウスでは、側窓が巻き上げられて換気が始まるとハウス内の温度は速やかに低下し、換気開始から5分程度でほぼ外気温まで低下した。

このように、ハウス内の温度は平坦地ハウスよりアーチ型傾斜ハウスの方が速やかに低下した。また、ハウス内温度と外気温との差は平坦地ハウスよりアーチ型傾斜ハウスの方が小さかった。このことから、平坦地ハウスよりアーチ型傾斜ハウスの方が換気能力に優れるものと考えられた。自然換気においては、



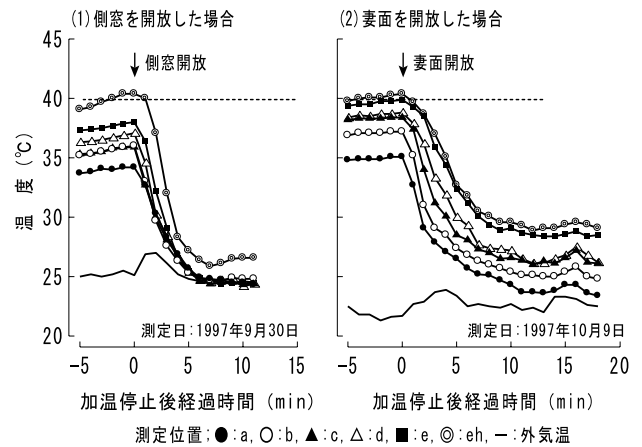
第5図 側窓の開放による換気時のハウス内の温度変化
ハウスを密閉し、外気温より5℃程度高い温度に設定した暖房機を約2時間運転した後、側窓を1m巻き上げて換気した時の温度変化を測定。加温機の温度センサーは測定位置bに設置した。測定位置は第4図を参照。

換気位置に高低差のある方が優位である^{35, 64, 71}との研究報告もあり、本研究結果はこれを追認している。

実験に用いたアーチ型傾斜ハウスでは、傾斜方向両端の高低差は約5.2m ($30\text{m} \times \sin(10/180\pi)$)となる。すなわち、本実験で用いた平坦地ハウスの開口部における高低差は、側窓の巻き上げ幅である1mが最大であるのに対して、アーチ型傾斜ハウスにおける側窓の両端では巻き上げ幅に加えて5.2mの高低差があることになる。自然換気のうち微風条件で卓越する温度差換気では、換気量は高さの異なる開口部間の垂直距離の平方根に比例するため空気が出入りする開口部に高低差があるほど換気量は多くなる^{3, 64}。本研究結果において、側窓の開放による換気によって平坦地ハウスよりアーチ型傾斜ハウスの温度が速やかに低下したのは、アーチ型傾斜ハウスの方が平坦地ハウスより換気位置の高低差が大きいことから換気量も多く、換気能力が優れるためと考えられた。これらのことから、傾斜地に設置される傾斜ハウスは高温期における野菜・花き生産に利用可能な換気能力を有していると推察された。

2) アーチ型傾斜ハウスにおける換気位置が温度分布に及ぼす影響

アーチ型傾斜ハウスを密閉してハウス内の温度を

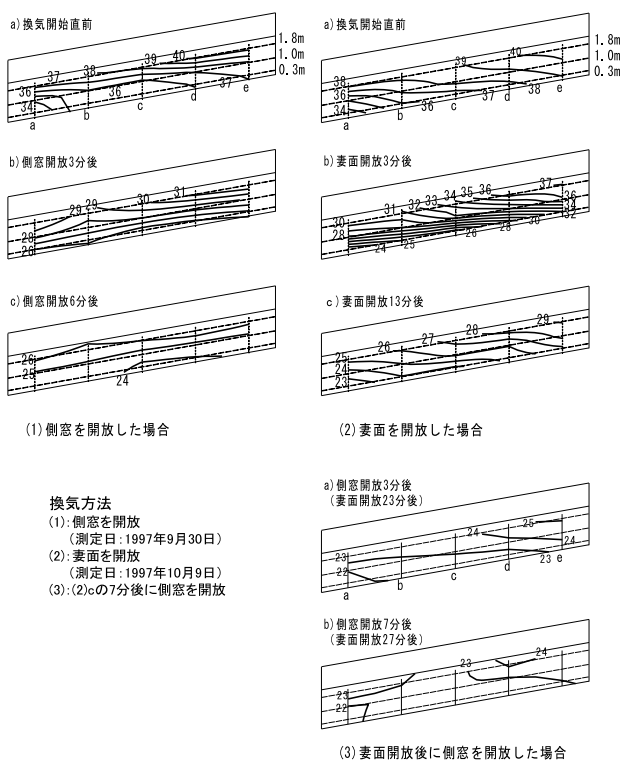


第6図 側窓または妻面の開放による換気時のアーチ型傾斜ハウス内の温度変化

地面から高さ1.0mにおける測定値。測定位置eh(地面から高さ1.8m)の温度が約40℃に達するまで密閉後、(1)は側窓(①)を、(2)では妻面(②)を開放した。測定位置は第4図を参照。

一定温度まで上昇させた後に、換気を行った時の地面から高さ1.0mにおけるハウス内の温度変化を第6図に示す。換気開始直前のアーチ型傾斜ハウス内の温度は斜面下方(測定位置a)より斜面上方(測定位置e)の方が高く、傾斜方向に温度勾配が生じていた。側窓を開放した場合(第6(1)図)には、側窓が巻き上げられて換気が始まると、ハウス内の温度は約6分で外気温近くまで低下するとともに傾斜方向に生じていた温度勾配はほぼ解消された。これに対して、ハウス両端の妻面扉を開放して換気した場合(第6(2)図)には、ハウス内の温度が低下してほぼ一定になるまでに約13分を要した。換気により温度が一定になった後もハウス内温度は外気温より1.6から7.0℃高く、傾斜方向の温度勾配は解消されなかった。

アーチ型傾斜ハウス内を側窓側からみた場合の温度分布の変化を第7図に示す。密閉時には傾斜方向に沿って温度勾配が生じていたが、その後側窓の巻き上げにより換気した場合(第7(1)図)、垂直方向の温度差はあるものの、換気開始から3分後には傾斜方向の温度勾配は認められなくなった。さらに換気開始から6分後にはハウス内の温度はほぼ均一になった。一方、妻面を開放して換気した場合(第7(2)図)、換気開始から3分後には換気開始前より傾斜方向の温度差が増大するとともに等温線の間隔は狭くなり、特に地表面近くで著しかった。



第7図 換気方法の違いがアーチ型傾斜ハウス内の温度分布に及ぼす影響

図中の数字は温度を表す。縦棒(点線)は測定位置(a~e)を、波線は地面からの高さ(m)を示す。ハウスを密閉後、測定位置ehが40℃に達した後、側窓または妻面を開放して換気を行った。測定位置は第4図を参照。

換気開始から13分後には温度はほぼ安定したものの、傾斜方向の温度勾配は解消されなかった。その後、さらに側窓を巻き上げて換気すると温度勾配は速やかに解消された(第7(3)図)。

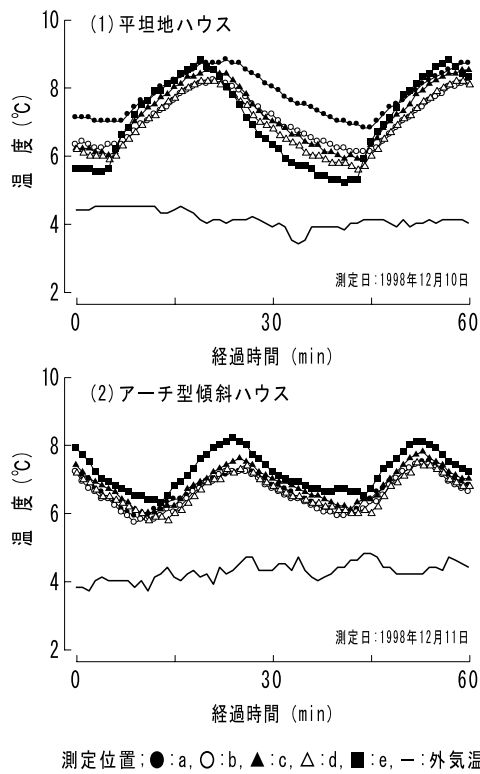
このように、側窓を巻き上げて換気した場合には、アーチ型傾斜ハウス内の温度は速やかに低下し、傾斜方向の温度勾配はほとんど認められなかった。これに対して、妻面を開放して換気した場合には、アーチ型傾斜ハウス内の温度は側窓の巻き上げにより換気した場合と比較して低下の程度は緩やかであり傾斜方向へ約5.4℃の温度勾配が生じていた。

傾斜ハウスの密閉時に発生する温度勾配の利用技術が検討されているものの⁷⁹⁾、通常の野菜・花きの栽培においては温度勾配による生育差の発生は栽培管理上の問題になる。また、日中に温度が上昇する場合には換気が行われることから、密閉時に発生する温度勾配を恒常的に保つことは難しい。高温期における換気を考えると、空気が出入りする開口部の

高低差が大きいほど換気量が多く^{3, 64)}、傾斜ハウスでは斜面上方と下方の妻面間の高低差にともなう煙突効果(温度差換気)によって高い換気能力を発揮することが期待される⁷⁹⁾。また、傾斜地では斜面上昇風が存在すること⁷⁷⁾など平坦地と異なる特性がある。こうしたことから、関ら⁷⁵⁾が推測するように、傾斜ハウスの妻面を開放するだけでも斜面上昇風の影響により換気が促進されると予想された。しかし、本実験の結果によると、妻面の開放だけではハウス内外温度差とハウス内の傾斜方向の温度勾配は解消されず、側窓を巻き上げて換気した方が換気能力は良好であった。換気のための開口面積が異なるため単純に比較することはできないものの、傾斜ハウスの温度特性を考えると、傾斜ハウス内における換気を促進するためには、傾斜方向の高低差による換気のみならず、側窓を巻き上げて換気を図ることも必要と推察された。また、傾斜ハウスのうち、アーチ型傾斜ハウスの場合には、側窓より上部のアーチ部分に換気窓がなく、斜面上方へ移動する暖気が滞留して換気能力を低下させている可能性がある。このため、傾斜方向への気流を妨げず、側窓も含めた換気の開口面積をできるだけ増やして換気を促進する構造になれば、さらに換気能力を向上させることができると考えられた。

3) アーチ型傾斜ハウスにおける加温時の温度分布特性

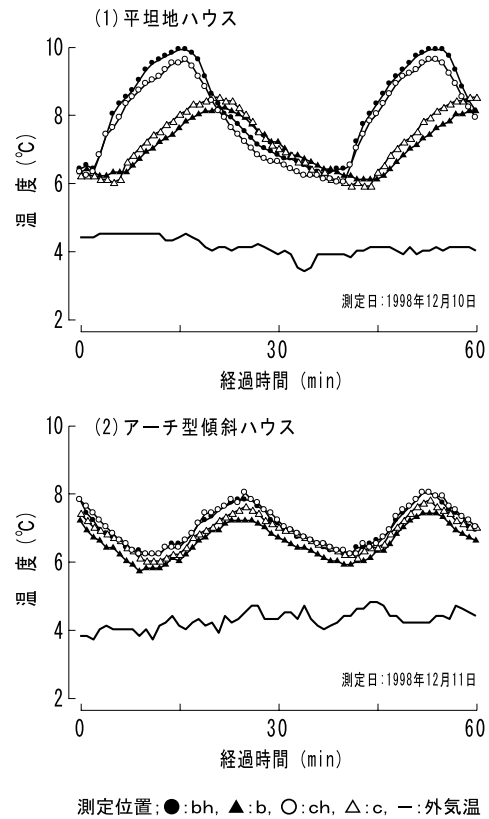
ハウスの一方の妻面(傾斜ハウスでは斜面下方)に暖房機を設置し、高さ1mの隔壁を設置した条件で温風を送った場合の温度変化を第8図に示す。平坦地ハウスでは暖房機付近(測定位置a)の温度が常に高く推移した。暖房機と反対側の妻面付近(測定位置e)では、暖房機の燃焼が始まると測定位置aの温度近くまで上昇するが、暖房機の燃焼が停止すると急激に低下して最も低くなり、暖房機から離れた位置ほど温度変化が大きくなった。一方、アーチ型傾斜ハウスでは暖房機と反対側の妻面付近、すなわち斜面上方(測定位置e)の温度が他の測定位置より高く推移したものの、各測定位置における温度の変動幅と測定位置間の温度差はそれぞれ最大で1.9℃と1.0℃であり、平坦地ハウス(それぞれ3.6℃と1.9℃)と比較して小さかった。



第8図 平地地ハウスとアーチ型傾斜ハウスの加温時における温度変化の比較
測定位置は第4図を参照。

次に、地面からの高さが違う位置での温度変化を第9図に示す。平地地ハウスでは、暖房機の燃焼開始と同時に測定位置bhおよびchの温度が順に上昇し、その後測定位置bおよびcの温度が順に上昇した。またbhおよびchではbおよびcより温度変化が大きかった。一方、アーチ型傾斜ハウスでは、地面から高い位置ほど温度は高くなる傾向があった。しかし、各測定位置における温度の変動幅と測定位置間の温度差はそれぞれ最大で1.8°Cと4.0°Cであり、平地地ハウス（それぞれ2.6°Cと5.9°C）と比較して温度変化が小さく、測定位置間の温度差も小さかった。

平地地ハウスでは、温度上昇中すなわち暖房機の燃焼中はハウスの妻面方向の温度差は小さく、地面からの高さが高い位置の温度が急激に上昇したのに続いて低い位置の温度が上昇した。このように、暖房機の燃焼中は暖房機で発生させた暖気が屋根面を伝って暖房機の反対側妻面へ到達する暖気の動きが示唆された。その後、暖房機の燃焼が停止し暖気の供給がなくなると、暖房機から遠い側で温度低下が



第9図 平地地ハウスとアーチ型傾斜ハウスの加温時における温度の垂直分布の比較
測定位置は第4図を参照。

早く始まるが、暖房機側の温度は高いため暖房機に向かって温度差が大きくなった。横木⁸⁹⁾は、ハウス外の冷風を受けると天井付近で放熱し冷却された空気が地面へ降下する気流が発生し温度が不均一になると述べている。本実験においても同様に、暖房機で発生した暖気は屋根面へ向かって上昇し、その暖気が屋根面に沿って反対側へ移動する間に放熱して温度が低下するため、暖房機から遠いほど温度が低くなるなどの温度差や空気の流動が観察されたものと考えられる。一方、Teitelら⁸⁷⁾は、加温時において暖房機が停止するとハウス内の温度差が小さくなったことを報告しているが、これは一般的に行われているように、温風ダクトを暖房機と反対の妻面方向へ伸ばして加温しており本実験の条件と異なる。本実験において妻面方向の温度差が大きくなったのは、暖房機付近からダクトで配風せずに対流させたためである。すなわち、平地地ハウスでは温風ダクトを延長して配風しなければ温度差が大きくなることを示している。

これに対して、アーチ型傾斜ハウスでは斜面上方ほど温度がやや高くなる温度勾配が認められたものの傾斜方向の温度差は小さく、平坦地ハウスと比較してハウス内の温度分布は均一であった。アーチ型傾斜ハウスにおいても平坦地ハウスと同様に、暖房機の燃焼中は暖房機側（斜面下方）から斜面上方へ向かって暖気が移動していると考えられた。しかし、暖房機の燃焼が停止した時の温度分布は平坦地ハウスと大きく異なった。これは斜面上方へ向かう暖気の移動が多少でも継続されているためと考えられる。関ら⁷⁴⁾は、無加温状態における密閉されたアーチ型傾斜ハウス内の温度および風速を予測するシミュレーションの結果、傾斜角が増すとアーチ型傾斜ハウス内の風速が増加することから浮力効果が増し、対流混合により温度差が緩和されると推定している。これらのことから、傾斜ハウスの温度特性を考えると、温風ダクトを設置した斜面下方の妻面側から温風を送風することにより、斜面上方へ暖気が移動するとともに対流混合によりハウス内に生じる温度差を緩和できると推察された。

平坦地ハウスでは通常、長短のダクトを適当に配置することにより温度分布の均一化が図られている^{11, 62)}。一方、傾斜地では、平坦地のように温風ダクトを設置すると、作業者がハウス内の傾斜畑を移動する際に温風ダクト上を歩行することになり、転倒事故を誘発する危険がある。しかし、本実験で得られた結果のように、傾斜ハウス内において斜面下方の妻面側のみに温風ダクトを設置する方法は、温度分布を均一化できるならば、転倒の危険回避のためにも有効であり、適切な温風ダクトの配置方法といえる。

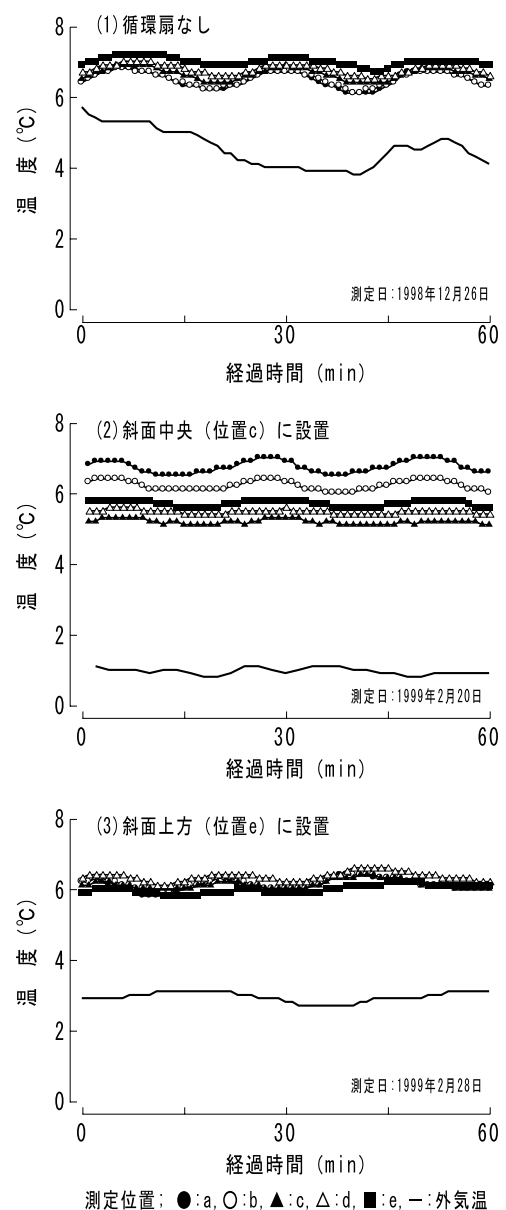
4) 循環扇による送風が加温時のアーチ型傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響

循環扇による送風が加温時のアーチ型傾斜ハウスの温度変化に及ぼす影響と傾斜方向の温度分布（温度差）に及ぼす影響をそれぞれ第10図と第11図に示す。

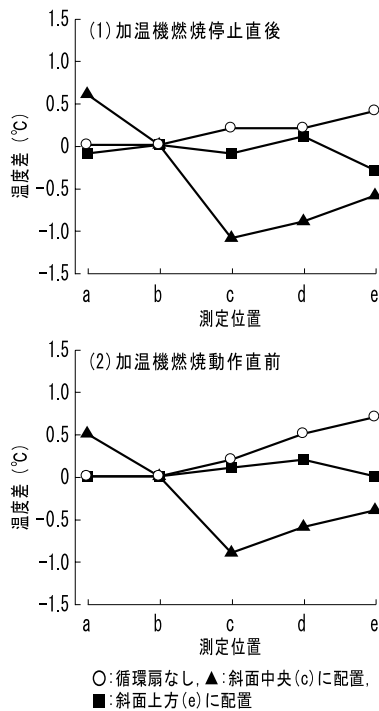
アーチ型傾斜ハウスにおいて温風ダクトを暖房機側（斜面下方）の妻面に沿って配置して加温すると、循環扇を使用しない場合の傾斜方向の温度差は約0.5℃であったが、斜面上方が最も高く斜面下方へ

向かって低くなる傾向が認められた。本項の3)で推察したように、暖房機で発生させた暖気は斜面下方から上方へ移動していると考えられた。

循環扇を設置して斜面上方から下方へ向かって送風するとアーチ型傾斜ハウス内の温度分布が変化し、また循環扇の設置位置によっても温度分布は異なった。すなわち、斜面中央に循環扇を設置すると、循環扇付近より斜面上方（測定位置c, dおよびe）では循環扇がない場合と比較して最大で約1℃低下した。循環扇より斜面下方（測定位置aおよびb）



第10図 循環扇の配置がアーチ型傾斜ハウスの加温時における温度変化に及ぼす影響
測定位置と循環扇の設置位置は第4図を参照。



第11図 循環扇の配置がアーチ型傾斜ハウスの加温時における傾斜方向の温度分布に及ぼす影響

a～eは測定位置。温度差は、センサー設置位置（測定位置b）と各測定位置における温度との差である。測定位置と循環扇の設置位置は第4図を参照。

の温度は循環扇がない場合より約0.5℃高くなった。

一方、斜面上方に循環扇を設置した場合、循環扇付近（測定位置e）の温度は低下し、循環扇がない場合と比較して傾斜方向の温度差は小さくなった。循環扇による気流は循環扇から遠ざかるに従い指数関数的に小さくなり、送風軸から離れ群落内に入るとさらに減衰する^{25, 41)}。また、循環扇の送風による気流の到達距離は20m程度とされるが、気流の直進性は5m程度で失われる⁴⁰⁾。本実験でも、温度分布に及ぼす影響がみられたのは循環扇から送風方向へ測定位置の間隔である6m未満の範囲とみられた。循環扇の位置によって温度分布に与える影響が異なったのは、斜面上方へ向かう暖気の移動が妨げられたことで循環扇より斜面上方の温度上昇が抑制されるため、斜面上方より中央に設置した場合に循環扇による送風の影響が大きく現れたと考えられる。

循環扇は、温度分布の均一化などハウス内環境の改善を目的に用いられ^{8, 73)}、隣り合う循環扇同士で気流方向を交互に変え、ハウス上面から俯瞰して循

環流ができるように配置されるのが一般的である²⁾。実験のように、傾斜ハウス内では、暖気が斜面上方へ向かう気流と循環扇による斜面下方への送風によって、平坦地における循環扇の交互配置と同様の効果が得られると考えられた。関ら⁷⁴⁾は、密閉したアーチ型傾斜ハウス内の気流を無加温、無植栽条件でシミュレーションした結果、対流に淀みのみられる傾斜度10°の場合よりも、風速が大きく傾斜ハウス内全体での対流がみられる傾斜度30°の方が温度差の発生が少なかったと述べている。すなわち、傾斜度が変わると傾斜ハウス内の対流に変化が生じ、温度分布へも影響することが予想される。いずれにしても、アーチ型傾斜ハウスにおいて斜面下方に暖房機を設置して加温した場合、斜面下方から上方へ向かう気流が発生することから、循環扇を斜面下方に向かって一方向へ送風するように設置すればよいと考えられた。このように、気流を考慮して温風ダクトあるいは循環扇を適切に配置することによって加温時における温度制御が可能であると考えられた。

4 結論

1. ハウスを密閉して温度を上昇させた後に側窓を開放して換気を行うと、ハウス内の温度が外気温近くに低下して安定するまでに、平坦地ハウスでは10分以上を要した上、外気温より1℃以上高かったのに対して、アーチ型傾斜ハウスでは5分程度で速やかにほぼ外気温まで低下した。すなわち、傾斜ハウスは平坦地ハウスと比べて換気能力に優れ、高温期における野菜・花き生産が可能であることを明らかにした。
2. アーチ型傾斜ハウスにおいて、密閉して温度を上昇させた後に換気を行った場合、換気口の高低差が大きい斜面上方と下方の妻面扉による換気だけでは十分に温度が低下せず温度勾配も解消されなかった。側窓を開放すると、妻面を開放した場合より速やかに換気が行われ、密閉時に生じていた温度勾配は換気開始から3分後に解消され、6分後にはほぼ均一になった。すなわち、傾斜ハウスにおいて換気能力を向上させるためには開口部に高低差を設けるだけでは不十分であり、側窓換気を併用して開口面積を大

大きくする必要があると考えられた。また、気流が滞留しにくく開口面積をできるだけ大きくして換気を促進する構造になれば、さらに換気能力が向上すると考えられた。

3. アーチ型傾斜ハウスと平坦地ハウスにおいて、それぞれのハウスの一方の妻面から温風を発生させた場合の温度変化を比較したところ、平坦地ハウスでは、暖房機の燃焼中は温度分布の差が小さいものの、燃焼が停止するとハウス内温度は暖房機側で高くその反対側で低くなる温度勾配が生じ、測定位置における温度の変動幅は最大3.6℃と大きかった。これに対して、斜面下方に暖房機を設置して加温したアーチ型傾斜ハウスでは、傾斜方向の温度差は小さく、測定位置における温度の変動幅は最大1.9℃と平坦地ハウスより小さかった。すなわち、平坦地ハウスと傾斜ハウスでは加温時の温度分布特性が異なり、傾斜ハウスにおける加温時の温風ダクトの配置は、斜面下方の妻面側のみで配置することで温度分布を均一化できると考えられた。
4. アーチ型傾斜ハウスにおいて、加温時に循環扇を設置して斜面下方向きへ送風した場合の温度分布を解析した結果、循環扇より斜面上方では温度が0.5～1.0℃低下した。循環扇の影響はその設置位置により異なり、斜面上方より斜面中央に設置した場合の方が、温度変化が大きく気流に与える影響も大きかった。傾斜ハウス内では暖気が斜面上方へ向かって移動することから、循環扇の配置は平坦地ハウスの場合と異なり、斜面下方へ向かって一方向へ送風することで温度を均一化する効果が得られるものと考えられた。しかし、傾斜ハウスにおける温風ダクトあるいは循環扇の適切な配置方法についてはさらに検討を要する。

Ⅲ 傾斜畑での野菜・花き生産のための新たな傾斜ハウスの開発

1 はじめに

前章では、中山間地域の傾斜畑への傾斜ハウスの導入に際して前提となる温度分布特性と温度制御の可能性を明らかにするために、平坦地で一般的に利

用されているアーチ型パイプハウスを傾斜地に設置し、平坦地に設置した同型ハウスとの比較により換気にもなう傾斜ハウスの温度分布特性を解析した。その結果、傾斜ハウスでは地形の傾斜にともない換気のための開口部の高低差が大きいことから平坦地ハウスより換気能力に優れること、換気を行う場合には側窓を巻き上げるなど換気のための開口面積を大きくすることで傾斜ハウス内の温度分布が均一化されるといった環境特性を明らかにした。すなわち、高温期における傾斜ハウスによる野菜・花き生産の可能性が認められたことから、傾斜畑における野菜・花き生産用施設として従来から利用されていた簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換が可能であることを明らかにした。

傾斜畑で栽培される場合が多いブドウやオウトウなどの果樹では、大型傾斜ハウスが利用されているものの、雨よけを主としているため簡易な構造の施設がほとんどである^{1, 59, 91)}。また、これらの施設では高温期には被覆資材をはずして露地状態にする場合が多く、換気が必要な場合にも被覆資材をずらす(隙間をあける)といった程度であり^{10, 28)}、環境調節機能が不十分であることなど、野菜・花き生産において果樹用の大型傾斜ハウスをそのまま利用することはできない。さらに、野菜・花きでは果樹のような大規模圃場は少なく、小規模でさまざまな形状の圃場が多くみられる。入口ら²⁴⁾は、南斜面に立地する水平段畑を利用した雛壇型パイプハウス(多日照・耐風ハウス)において、冬期の日射量が平地より1～2割多く切り花収量が増加したと報告している。しかし、傾斜畑を水平段畑に整備するには多大なコストを要するため傾斜畑に適用するのは現実的ではない。すなわち、狭小な傾斜畑を有効に利用できるような園芸施設が必要と考えられる。さらに、基盤整備された平坦地の矩形圃場で利用されている一般的なアーチ型パイプハウスを設置する場合にはその構造などにおいて不具合を生じることも予想される。

本章では、中山間地域の傾斜畑における野菜・花き生産用施設として従来から利用されていた簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換を図るため、傾斜畑でトマトの夏秋栽培を行う生産者の圃場と簡易雨よけ施設の現状を分析して野菜・花き生産用傾斜ハ

ウスの導入に必要な要件を抽出するとともに、アーチ型傾斜ハウスを生産者の傾斜畑へ試験導入して構造上の問題を検討し、野菜・花き生産用傾斜ハウスの構造要件を抽出した。さらに、抽出した要件に基づいて建設足場資材利用園芸ハウスを新規開発するとともに同ハウスの特徴を明らかにした。

2 傾斜畑での野菜・花き生産における簡易雨よけ施設の現状

1) 試験地の現状

実証試験で対象としたトマト生産者圃場では、地域の生産者と同様に簡易雨よけ施設によりトマトの夏秋栽培が行われていた。生産者圃場のある高知県土佐町は、吉野川上流域に位置し北、西および南の三方を1,000 m級の山に囲まれており、台風とともに豪雨や強風害が多い地域である。生産者圃場は、標高600～650 mの南斜面に位置する（第12図）。畑面が水平なテラス状の水平段畑では暖房機を備えたパイプハウスも設置されているが、その他を占める傾斜畑と傾斜段畑では簡易雨よけ施設が用いられていた。このように、中山間地域の傾斜畑における野菜・花き生産は、多くの場合、大きさや形状、方位、傾斜度がさまざまな傾斜畑が散在する中で生産が行われている⁵⁵⁾。

2) 簡易雨よけ施設の概要

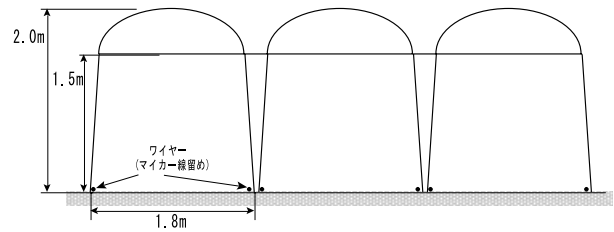
簡易雨よけ施設は、外径19.1mmの直管パイプを曲げたアーチパイプで、間口1.8m、高さ2.0m、軒高1.5mの骨組みを形成し、そのアーチパイプを直管パイプやワイヤーなどで補強して、屋根部分のみに



第12図 試験を実施したトマト生産者圃場の遠景



(1) 簡易雨よけ施設での栽培の状況



(2) 簡易雨よけ施設の概要



(3) アーチ型傾斜ハウス(左)と簡易雨よけ施設

第13図 生産者圃場の傾斜畑に設置されたアーチ型傾斜ハウスと慣行の簡易雨よけ施設

(3) のアーチ型傾斜ハウスは、簡易雨よけ施設3畝分を除去した場所に設置。

フィルムが張られた構造である（第13図）。栽培終了時には耕うんなどの作業のために撤去し、栽培開始前には再び設置する作業が生産者の手で行われる。畝ごとにアーチパイプの足の部分が通路に差し込まれ、フィルムの押さえひもを留めるワイヤーがパイプ沿いにひざ下の高さに張られている。このため、防除や管理作業時の空間が著しく狭い、雨天時には作業や収穫物がぬれる、雨後の作業では足元が滑るといった作業面の問題⁴⁸⁾のほか、病害発生の原因となる植物体の「ぬれ」を助長するような状況であった。

3 新たな野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発

1) 新たな野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発に向けた要件

前項で述べたように、簡易雨よけ施設が用いられている傾斜畑は、小区画で不定形である場合が多い

ことから、簡易雨よけ施設に替わる野菜・花き生産用傾斜ハウスの要件として、小区画で不定形な傾斜畑に対応できることが必要である。一方、基盤整備が行われた条件の良い圃場では、一般的なアーチ型パイプハウスを利用できることからハウス建設業者による施工が可能であり、補助事業を活用してパイプハウスの導入が可能であるのに対して、条件の悪い傾斜畑では小規模であるため補助事業の対象となることはなく、経営基盤も脆弱なことから傾斜ハウスの導入は資材コストの低減のほか、従来の簡易雨よけ施設のように自家施工できることなどが前提となる。また、簡易雨よけ施設は高温期を中心とする生産施設であるため、傾斜ハウスは高温期においても十分に換気できることが必要となる。さらに、簡易雨よけ施設は台風などの強風により壊滅的被害を受けることから^{14, 69)}、耐風強度についても考慮する必要がある。

すなわち、野菜・花き生産用傾斜ハウスに必要な基本要件は、①小区画で不定形な傾斜畑に対応して設置できること、②高温期において十分に換気ができること、③低コストで耐風強度のあること、④生産者自身の手で設置可能なことなどが考えられる。

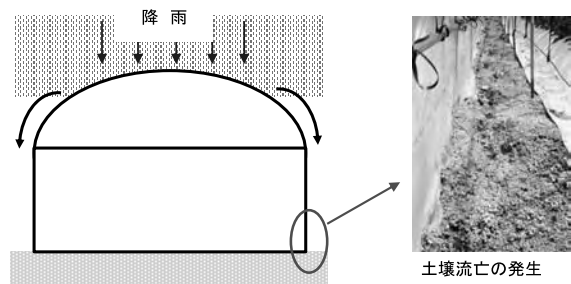
そこで、簡易雨よけ施設に替わる野菜・花き生産用傾斜ハウス導入の端緒として、平坦地において野菜・花き生産用に広く使用されているアーチ型パイプハウスを、傾斜地用の接合部材を使用して建設するアーチ型傾斜ハウスとして試験導入し、野菜・花き生産用傾斜ハウスの基本要件に対する適用性を検討した(第1表)。

第1表 基本要件に対するアーチ型傾斜ハウスの対応状況

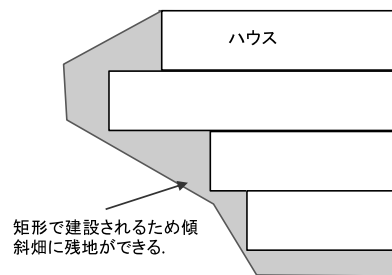
野菜・花き生産用傾斜ハウスの要件	アーチ型傾斜ハウスの対応状況
小区画で不定形な傾斜畑に対応して設置できる。	床面形状は矩形であり間口には規格があるため、小区画で不定形な傾斜畑に設置すると栽培できない面積(残地)が多く発生し、狭い圃場を有効に利用できない。
高温期において十分に換気ができる。	軒高は2m程度であり、ハウス両側の側面に巻き上げ幅約1mの側窓がある。アーチ部分が高温になりやすい(換気されにくい)構造。
耐風強度がある。	耐風速は $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下。
低コストである。 生産者自身による自家施工が可能。	傾斜地に対応した接合部材を用いることで、平坦地に設置した場合と比較して資材費が10~20%増加し、 3.3m^2 あたり約1.3万円 ⁴⁸⁾ 。傾斜地に対応した接合部材を用いるが、自家施工は可能。
その他	降雨時には、雨水がハウスの両側面に流下して排水が斜面に集中するため土壌流出が発生。作業空間が広がり雨に濡れない等、簡易雨よけ施設の場合と比較して作業環境が改善される効果 ⁴⁷⁾ 。

試験導入したアーチ型傾斜ハウスは、従来の簡易雨よけ施設による栽培では3畝だった傾斜畑(圃場の傾斜度約 17°)において、間口5.4mのアーチ型パイプハウスで覆うように設置した(第13(3)図)。なお、導入したアーチ型傾斜ハウスは、外径25.4mmのアーチパイプが0.5m間隔で設置され50mm角の角型鋼管による基礎付き柱と水平ばりが3m間隔で入れられた鉄骨補強パイプハウス⁷²⁾に相当する構造である。アーチ型傾斜ハウスの設置により、簡易雨よけ施設のパイプの差し込みや足元に張られていた補強用のワイヤーが不要なことから、作業空間が広がり作業環境を改善させる効果⁴⁷⁾が認められた。

しかし、アーチ型傾斜ハウスを導入する場合の問題点も明らかになった。一般的なアーチ型パイプハウスの床面形状は矩形が基本であり、傾斜畑に多くみられる不定形な小区画圃場では、残地が多く発生するため狭い圃場を有効に利用できなかった(第14図)。さらに、傾斜地に対応した接合部材を使用するため、同規模のアーチ型パイプハウスを平坦地に設置した場合と比較して、資材費は10~20%増加する⁴⁸⁾。また、降雨時にはハウスで覆った3畝分の雨水が屋根面を伝ってハウスの両側へ振り分けられ



(1)雨水の集中による土壌流出の発生



(2)不定形傾斜畑へのアーチ型傾斜ハウス設置

第14図 アーチ型傾斜ハウスを導入した場合の課題

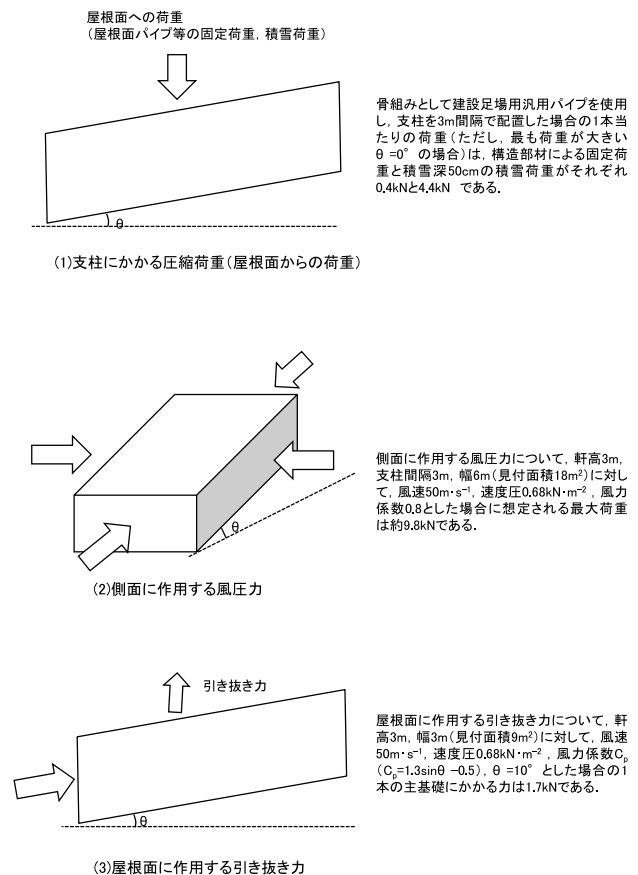
第2表 野菜・花き生産用傾斜ハウスの新規開発に向けた基本要件ならびに構造要件（設計指標）

基本要件	解決する手段	構造要件(設計指標)
小区画で不定形な傾斜畑に設置可能であること	<ul style="list-style-type: none"> 主基礎と支柱を格子状に配置する 圃場形状に合わせてハウス外周部に主基礎・支柱を配置 	<ul style="list-style-type: none"> 主基礎・支柱の間隔は3mを基本とし、最大5.4mとする 圃場の傾斜度20°までの傾斜に対応すること
耐風強度があること	<ul style="list-style-type: none"> 主基礎は引き抜き力に対抗するための基礎を用いる 	<ul style="list-style-type: none"> 台風等の強風(40~50m・s⁻¹)に耐えること 固定荷重、積雪荷重(50cm)に耐えられること ベース付きコンクリート基礎(立ち上がり外径125mmとベース外径250mmで構成)を使用
低コストであること 自家施工が可能であること	<ul style="list-style-type: none"> 入手が容易で強度の高い一般的な汎用鋼管(パイプ)と接合部材(クランプ)を用いる 	<ul style="list-style-type: none"> 資材費は3.3㎡あたり1.3万円以下とする 建設足場用汎用パイプ(外径48.6mmおよび42.7mm)を利用 建設足場用汎用クランプ(直交・自在)を利用
高温期において十分換気が可能であること	<ul style="list-style-type: none"> 軒高を高くする 換気のための開口面積を増やす 	<ul style="list-style-type: none"> 軒高3mを基本とし最大4mとする 側窓の巻き上げ幅を2m以上を確保し、4面に設置
その他 施工やフィルム展張等の作業がしやすいこと ハウス内の作業環境が改善されること 屋根面に降った雨水を適切に処理すること	<ul style="list-style-type: none"> 屋根面はシンプルな形状とする 	<ul style="list-style-type: none"> 屋根面は平屋根構造の平張型とする 止水シート等を敷設して雨水を集・排水する

て落下するため、ハウス両側面の斜面に排水が集中して土壌流亡を生じさせた。

このように、一般的なアーチ型パイプハウスを傾斜畑へ単に導入するだけでは解決が難しい構造上の問題のあることが、本実証試験の結果明らかとなり、傾斜畑における野菜・花き生産に対応するための傾斜ハウスを新たに開発する必要性が認められた。そこで、前述の基本要件を満たすとともに、新たに開発する野菜・花き生産用傾斜ハウスに必要な構造要件について検討した。

野菜・花き生産用傾斜ハウスとしての基本要件とその解決手段ならびに構造要件（設計指標）を第2表に示す。まず、小区画で傾斜畑を有効に利用するためには、栽培できない面積を少しでも減らすため、傾斜畑の形状に応じて基礎や柱を設置し、自由に設計できる構造であることに加え、生産者自身で施工することを考慮して、入手しやすく安価な汎用資材の利用を図ることが必要と考えられる。一方、果樹用大型傾斜ハウスの中で、亀甲型傾斜ハウスや波状型傾斜ハウスは屋根形状が複雑であり自家施工が難しいのに対して、平張型傾斜ハウスは屋根形状もシンプルであり施工も比較的容易なものと予想され要件に合致すると考えられる。さらに、ハウスの構造はできるだけ軒高の高い方が換気能力の面で有利になるが、屋根面フィルムの展張作業における安全性を考慮すると最大でも4m以内とすることが妥当で



第15図 建設足場資材利用園芸ハウスに作用する荷重長崎ら^{46, 50)}をもとに作成。

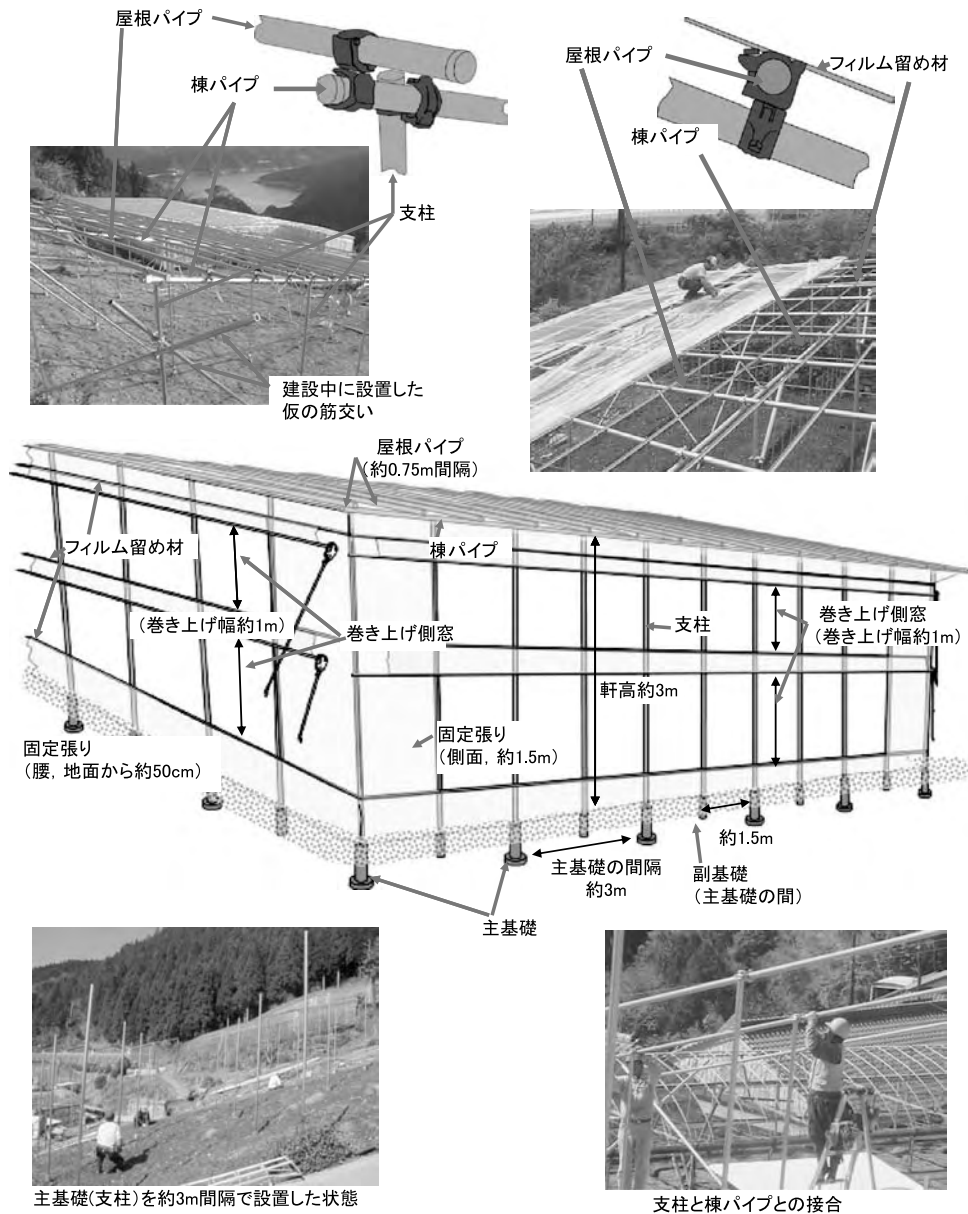
ある⁵⁰⁾。また、圃場の傾斜度への対応については、傾斜畑での野菜・花き栽培における作畦作業や誘引などの管理作業は傾斜度20°程度までが限界であ

り⁴⁹⁾、傾斜度20°程度までに対応できれば実用上問題ないと考えられる。

次に、低コスト化について考えるとアーチ型傾斜ハウスに要する資材費(3.3㎡あたり1.3万円)より抑えることが目標となる。低コスト化と強度を考慮すると、大量に流通しホームセンターなどでも簡単に購入できる建設足場用汎用パイプおよびクランプ類はこの条件を満たすとともに自家施工にも対応しやすいと考えられる。さらに、建設足場用汎用パイプの長さは6mで取り扱われていることが多いことから、棟パイプなどの骨組みや支柱の長さは6mま

たは3mを基本に構成することで材料の無駄も少なくできる。主基礎・支柱の間隔は3m以上にも設定できるが、建設足場用汎用パイプの長さが最大6mでありそれ以上は継ぎ足して使用することから、棟パイプに使用するにはパイプの変形(曲がり)を防止するため主基礎・支柱の間隔は5.4m以内にする必要がある⁵²⁾。

これらのことから新たに開発する野菜・花き生産用傾斜ハウスの構造要件をあげると、主な骨組みとして外径48.6mmと外径42.7mmの建設足場用汎用パイプと汎用クランプを用いる、主基礎と支柱は約3m



第16図 新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの構造と主な部材の配置

間隔を基本に配置する，ハウスの外周部の基礎と支柱は圃場の形状に合わせて設置する，屋根形状は平屋根構造の平張型とする，軒高すなわち支柱の長さは約3mを基本とすることなどである．以上に述べた要件に基づいて建設足場資材利用園芸ハウスを新規開発した．

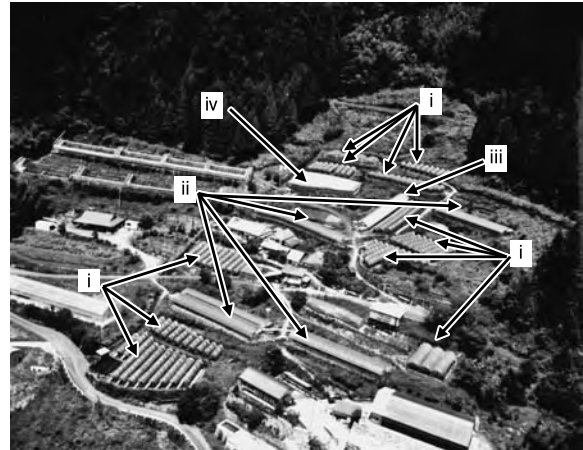
一方，傾斜ハウスの強度としては，台風などの強風（ $40\sim 50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ）に耐えるためには鉄骨補強パイプハウス相当（耐風速 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ）の強度が目安となる．ハウスの強度を考える場合，第15図に示すように，ハウス側面に作用する風圧力と屋根面に作用する引き抜き力および屋根面に対して下向きに作用する骨組みなどの固定荷重や積雪による積雪荷重などを考慮する必要がある．新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの構造の特徴と強度については次項で検証する．

2) 新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの構造

前項で述べた構造要件に基づいて新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの構造と主な部材の配置を第16図に，同ハウスの実施工例を第17図と第18図に示す．実際に建設足場資材利用園芸ハウスを施工する際の標準的な構造について述べる．主な骨組みに外径48.6mmの建設足場用汎用パイプを用いて汎用クランプ類を中心にパイプを接合して構造を形成する．主基礎はベース付きコンクリート基礎で，外径42.7mmの差し込みパイプにコンクリートの立ち上がり（外径125mm，高さ570mm）とベース（外径250mm，厚さ80mm）を巻き付けたものであり自作できる．副基礎は主基礎のベース部分がなく立ち上がりの高さを400mm程度としたものである．差し込みパイプは，立ち上がりの上部から400～450mmが出るように固定し，基礎を埋設した後に支柱（外径48.6mmの建設足場用汎用パイプ）を差し込んでビスで固定する．主基礎は，約3m間隔の格子状を基本に配置するが，支柱と棟パイプを接合するため，主基礎が傾斜方向へ直線に並ぶように設置する．主基礎に設置される支柱頭部に平キャップを被せ，その直下に自在クランプを固定して支柱を傾斜方向につなぐように棟パイプを接合する⁴⁸⁾．ハウスの外周部は，圃場の形状に合わせて主基礎を設置することに



(i)建設足場資材利用園芸ハウスの実施工例



(ii)傾斜畑に散在する生産者圃場における施設の配置

第17図 開発した建設足場資材利用園芸ハウスの実施工例と試験を実施したトマト生産者の圃場

試験開始2年目における試験地の状況。

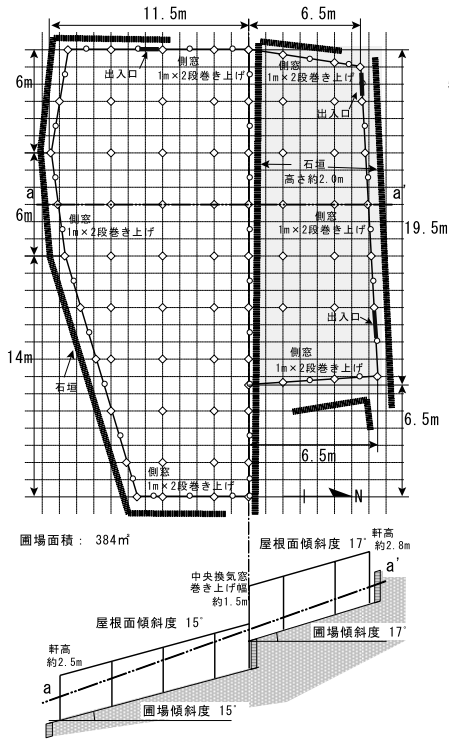
(2)において，i)は簡易雨よけ施設，ii)は水平棚田のハウス，iii)はアーチ型傾斜ハウス，iv)は建設足場資材利用園芸ハウス．第12図の遠景写真の四角内。

より，さまざまな形状の傾斜畑に対応して設置できる．ハウス外周部にはフィルム留め材などを取り付けるため，主基礎と主基礎の間に副基礎と支柱を設置する．屋根面は，直交クランプを用いて棟パイプ上に建設足場用汎用パイプを約0.75m間隔で等高線方向に固定して屋根パイプで形成する．さらにその上に屋根パイプと直交するように約0.5m間隔で傾斜方向にフィルム留め材をビスで固定する．ハウスの構造はできるだけ軒高の高い方が換気性能の面で有利になるものの，設置する支柱の長さは約3mを基本として4m以内とする．

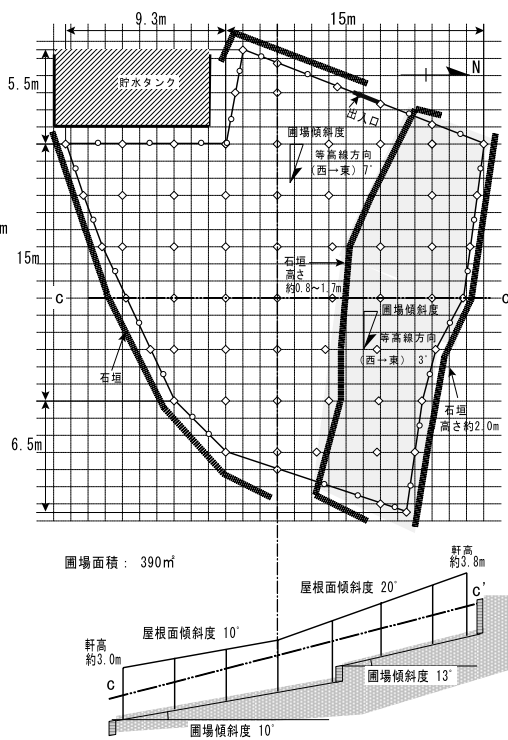
一方，コストについては，建設足場資材利用園芸ハウスの資材費は 3.3m^2 あたり0.8万円でありパイプハウスにおける資材費（ 3.3m^2 あたり1.3万円）に対して0.5万円安く⁴⁸⁾，低コストなハウスといえる．なお，資材費については2000年当時の数値である．

次に，開発した建設足場資材利用園芸ハウスの強

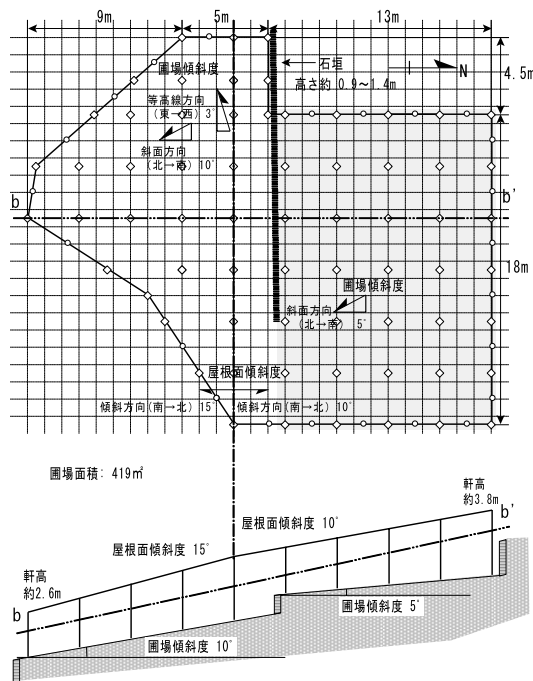
設置例(1)



設置例(2)



設置例(3)



第18図 生産者圃場において隣接する2区画の傾斜段畑を一体的に覆うように設置された建設足場資材利用園芸ハウスの設置例

2区画の傾斜段畑を、背景色を変えて表示している。平面図の長さとの高さの長さ比を1:2として表示している。

度について検証する（第15図）。まず屋根面からの荷重を想定すると、支柱の長さを4 mとした場合の外径48.6 mmの建設足場用汎用パイプの圧縮に対する許容荷重は11.2 kNである⁵⁰⁾。建設足場用汎用パイプを骨組みとして軒高3 m、支柱間隔3 mで構成した場合の強度を考えると、1本の支柱（中柱）で負担する屋根パイプなどの固定荷重と設計積雪深50 cmの積雪荷重はそれぞれ0.4 kNと4.4 kNであり⁵⁰⁾、支柱の長さを4 mとしても許容荷重以下であることから十分な強度を有するといえる。また、骨組みを支える主基礎（支柱）の設置間隔を骨組みとなる建設足場用汎用パイプの基本長（6 m）の半分の3 m程度とすることで強度を確保し、固定荷重に対しても変形制限以内に抑えられる強度が得られる。しかし、屋根面に使用する直交クランプのせん断力に対する許容荷重とねじりモーメントに対する許容モーメントはそれぞれ4.9 kNと0.6 kNであり、風圧などによって過大なねじり荷重が作用すると直交クランプが破断する恐れのあることから、その防止策として方づえによる補強が有効である⁴⁶⁾。

さらに、建設足場資材利用園芸ハウスに作用する側面からの風圧力について考えると、軒高3 m、支柱間隔3 m、幅6 m（見付面積18 m²）、風速50 m・s⁻¹、速度圧0.68 kN・m⁻²、風力係数0.8、とした場合の想定最大荷重は約9.8 kNである⁵⁰⁾。実大模型ハウスに対して当該荷重でけん引する加力試験の結果、斜面上方または下方からの加力に対して、支柱頭部位置での変位量が変形制限である30 mm（支柱長さ3 mの1/10）を下回ること⁵⁰⁾などから、十分な強度を有する構造であることが確認されている。一方、等高線方向からの加力に対しては変位量が許容変形制限を超える場合も認められたが、この場合でも部材の破損や回復不能な変形は生じない⁴⁶⁾。等高線方向からの風に対しては、側面の支柱に対して2本に1本の割合で筋交い補強を行うことで鉄骨補強パイプハウス（耐風速40 m・s⁻¹）以上の強度を確保できる⁵⁰⁾。さらに、屋根面に作用する引き抜き力（風圧力）は、軒高3 m、幅3 m（見付面積9 m²）、風速50 m・s⁻¹、速度圧0.68 kN・m⁻²、風力係数 C_p （ $C_p = 1.3 \sin \theta - 0.5$ ）、 $\theta = 10^\circ$ とした場合の1本の基礎に作用する想定最大荷重は1.7 kNとなるが、ベース付きコンクリート基礎はその3倍程度の耐力がある上、自作す

ることで市販の束石型コンクリート基礎に対して資材コストを約1/3に抑えられる⁵⁰⁾。これらのことから、長崎ら⁵⁰⁾は、建設足場資材利用園芸ハウスが40～50 m・s⁻¹の耐風強度を有すると結論している。

実証試験を行った高知県は台風の常襲地域であるが、建設足場資材利用園芸ハウスは設置から10年以上経過した現在でも台風などの強風による損壊被害は認められていない。また、徳島県における事例では、2004年に上陸した台風16号および18号の強風（最大瞬間風速はそれぞれ41.0 m・s⁻¹と36.4 m・s⁻¹）により周辺の簡易雨よけ施設が壊滅的な被害を受けたのに対して、建設足場資材利用園芸ハウスは被害を受けなかったこと¹⁴⁾が報告されている。伊吹²⁰⁾は、こうした実証試験結果およびシミュレーションによる解析結果から建設足場資材利用園芸ハウスの構造が40 m・s⁻¹前後の風圧力に耐えられる構造であると述べている。このように、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、少なくとも西日本以北の地域において実用上問題のない十分な強度を有しているといえる。

開発した建設足場資材利用園芸ハウスの軒高は約3 mを基本として、ハウス四方には巻き上げ幅約1 mの側窓を2段設置できることから、換気のための巻き上げ幅は約2 mと大きくなる。一般的なアーチ型パイプハウスは、軒高が2 m未満のものが大半であり、巻き上げ幅はその半分程度と小さい。前章で考察したように、換気のための開口面積は大きいほど換気能力が向上する。このことから、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、アーチ型傾斜ハウスと比較して換気能力に優れると考えられる。建設足場資材利用園芸ハウスにおける換気時の温度特性については次章において検証する。

3) 建設足場資材利用園芸ハウスの導入メリット

開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、基礎と支柱を圃場形状に合わせて設置して屋根形状を自由に決められるのが特徴のひとつである。実証試験を行った生産者圃場は、第12図でみられるような傾斜や形状がさまざまで条件が異なる傾斜畑や傾斜段畑が混在している⁵⁵⁾。傾斜段畑では、隣接する圃場を建設足場資材利用園芸ハウスで一体的に覆うよう

に設置することにより、例えば暖房機の設置台数を減じられる、雨天時にもぬれることなく圃場間の移動が可能になる、換気窓の開閉作業を少なくできる、といった多くの利点が認められた。また、第18図に示した例では、傾斜度が $5^{\circ} \sim 17^{\circ}$ の傾斜畑に設置したものであり、傾斜度に応じて設置できることも明らかにした。傾斜度 20° の傾斜畑において施工した例²⁰⁾も報告されており、傾斜度が 20° 程度までは適用可能である。

さらに、アーチ型傾斜ハウスであれば作付できない部分となる圃場の残地が減り、耕作可能な面積が増えることで圃場を有効に利用できるメリットがある。傾斜段畑において、隣接する傾斜畑へ建設足場資材利用園芸ハウスを導入した前後における施設面積を第3表に示す。同じ圃場で簡易雨よけ施設が設置されている場合と比べて、施設面積は3.4～12.6%増加した。長崎ら⁴⁸⁾は、栽培可能面積についても25～35%増加したと推定している。さらに、空間が広がったことにより作業性が改善された。また、軒高が高いことからつり下げ式レールも設置でき懸架式自動薬剤散布装置による薬剤散布の省力化技術⁴⁹⁾も開発されており、簡易雨よけ施設では難しい管理作業のさらなる省力化が可能である。

開発した建設足場資材利用園芸ハウスの屋根面は平屋根構造であることから、降雨時には大半の雨水は屋根面の傾斜にしたがって下端部へ集まり流下する。このため、斜面の下方をコンクリート舗装したり止水シートを敷設したりして適切に集・排水することで土壌流亡に対処するとともに、作業道舗装と集排水溝を組み合わせる²³⁾などの簡単な方法で排

水対策が可能な構造である。

4 結論

- 傾斜畑において、アーチ型傾斜ハウスを導入したところ、簡易雨よけ施設と比べて作業環境は改善されたものの、傾斜畑特有の問題が明らかとなった。すなわち、矩形な床面形状が基本のアーチ型パイプハウスを流用したアーチ型傾斜ハウスでは、不定形な傾斜圃場に設置した場合に多くの残地が生じること、平坦地と比べて10～20%のコスト高であること、降雨時には雨水がハウス両側面の斜面に集中するため土壌流亡が生じることなどである。
- 開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、外径48.6mmの建設足場用の汎用パイプと汎用クランプ類を中心に骨組みを形成する。3m間隔で格子状に設置した外径250mmのベース付きコンクリート基礎と支柱を、自在クランプを介して傾斜方向に棟パイプで接続し、その上に直交クランプを介して屋根パイプを0.75m間隔で固定して平屋根構造の屋根面を形成する。建設足場資材利用園芸ハウスは、圃場の傾斜が少なくとも 20° までの傾斜畑に対応可能であるとともに、建設足場資材利用園芸ハウスの外周部には圃場の形状に合わせて基礎と支柱を配置することで、不定形な傾斜畑の形状に応じて設置できる構造である。
- 大量生産され低コストな建設足場用の汎用パイプと汎用クランプ類を主な構造に用いることで、建設足場資材利用園芸ハウスの資材費は、アーチ型傾斜ハウス(3.3㎡あたりの資材費1.3万円)に対して、3.3㎡あたり0.5万円安価な0.8万円であり低コスト化できる。また、生産者自身で施工できることから、施工業者に依頼する場合と比べて設置コストの低減においても利点が認められる。
- 開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、軒高が3mと高く、四方に2段の巻き上げ換気窓(側窓)を設置することによって、アーチ型傾斜ハウスと比べて換気のための開口面積が大きく、加えて屋根面が平屋根構造であることから気流の滞留も少なく、高温期における換気能力

第3表 簡易雨よけ施設設置時と建設足場資材利用園芸ハウスの導入後の施設面積の比較

設置例 ¹⁾	(A)簡易雨よけ施設設置時の面積(m ²) ²⁾	(B)建設足場資材利用園芸ハウス転換後の面積(m ²)	(C)増加率(%) ³⁾
(1)	351	370	5.1
(2)	389	438	12.6
(3)	377	390	3.4

1) 設置例は第18図に対応している。

2) 簡易雨よけ施設的面積(A)は2区画の圃場の合計面積。

3) 増加率: $C = (A - B) / B \times 100$ で算出。

においても優位性があると考えられた。また、屋根面が平屋根構造とすることにより、降雨時にも斜面下方へ雨水を集水できることから、土壌流亡対策が容易となる。

5. 実大模型を使った加力試験の結果から、建設足場資材利用園芸ハウスは耐風速 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の強度を有することが示された。建設足場資材利用園芸ハウスは、台風の常襲地域に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいて台風などの強風による損壊被害は認められておらず、少なくとも西日本以北の地域において実用上問題のない十分な強度を有すると判断された。
6. 建設足場資材利用園芸ハウスは、圃場の形状に合わせて設置できるため、隣接する傾斜畑を一体的に覆うように設置することにより、暖房機設置台数の削減による設備費の低減、換気窓開閉作業や雨天において作業や収穫物がぬれることなく圃場間を移動できることなどの作業性向上や省力化が可能である。また、同じ圃場で簡易雨よけ施設が設置されている場合と比べて、残地が減り施設面積が3.4～12.6%増加することから、狭小な傾斜畑を有効利用できる効果がある。

IV 高温期における建設足場資材利用園芸ハウスの換気にもなう温度分布特性

1 はじめに

前章では、中山間地域の傾斜畑における野菜・花き生産用施設として従来から利用されていた簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換を図るため、野菜・花き生産用傾斜ハウスとして必要な構造などの要件を抽出するとともに、同要件に基づいて新規開発した建設足場資材利用園芸ハウスの特徴と導入メリットなどを明らかにした。開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、軒高が約3mと高く、その四方には2段の巻き上げ換気窓（側窓）を備えることから開口面積が大きいとともに屋根面が平屋根構造であることから、優れた換気能力を有すると考えられ、高温期における野菜・花き生産に適するものと期待される。

本章では、トマトの夏秋栽培を行う生産者圃場に

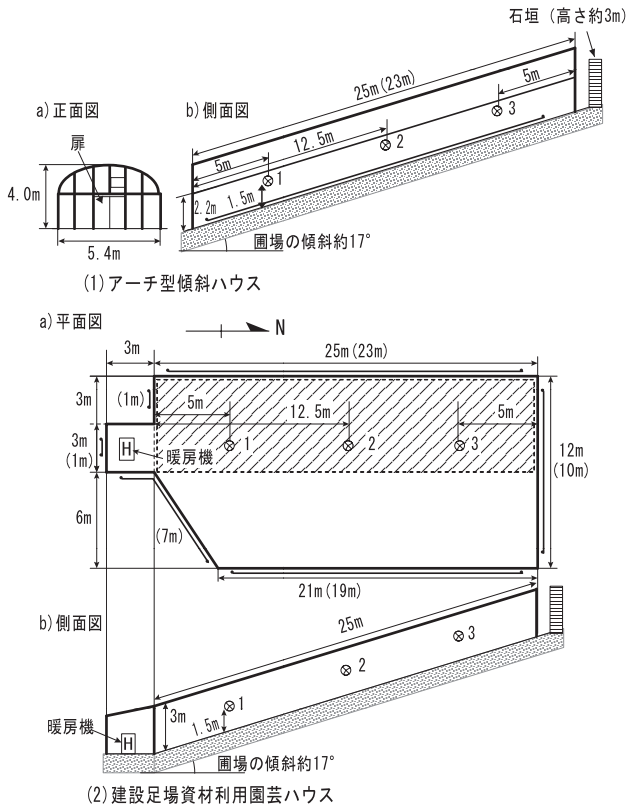
設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、アーチ型傾斜ハウスと比較した場合の側窓の開放による換気時の温度分布特性、傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける換気窓の設置位置が温度分布に及ぼす影響を解析することにより、開発した建設足場資材利用園芸ハウスの高温期における野菜・花き生産に対する適用性を明らかにする実証的研究を行った。

2 実験方法

1) 建設足場資材利用園芸ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける側窓の開放による換気時の温度分布の解析

トマトの夏秋栽培を行う生産者圃場（高知県土佐町、標高約600m）の傾斜度約 17° の傾斜畑に設置したアーチ型傾斜ハウスと建設足場資材利用園芸ハウスを用いて、それぞれ1997年と2000年に試験を実施した。供試ハウスの概要を第19図と第4表に示す。アーチ型傾斜ハウスは、長さ25m、間口5.4m、棟高4.0m（軒高2.2m）の単棟パイプハウスとし、巻き上げ幅約1.5m、長さ23mの側窓を設置した。一方、建設足場資材利用園芸ハウスは、前述のアーチ型傾斜ハウスを撤去した傾斜畑とその傾斜畑に隣接する傾斜畑とを1区画化して建設され、長さ25m、幅12m、軒高3mであった。建設足場資材利用園芸ハウスの四方には巻き上げ幅約1mの側窓を2段で取り付けた。ハウス内では傾斜方向畝でトマトを栽培中であった。

アーチ型傾斜ハウスと建設足場資材利用園芸ハウスとにおいて、すべての側窓を巻き上げて換気を行っている状態で、ハウス中央の谷側から斜面上方へ向かって5m、12.5mおよび20m、高さ1.5mの位置に設置したサーモレコーダミニ（エスベックミック社製、RT-30S）を用いて10分間隔で記録し1時間ごとの平均温度を計算した。測定年次の異なる両ハウスの温度を比較するために、同じ時期で外気温の変動が同じような晴天日（建設足場資材利用園芸ハウスは2000年8月5～6日、アーチ型パイプハウスは1997年7月30～31日）を抽出して両者を比較した。



第19図 アーチ型傾斜ハウスと建設足場資材利用園芸ハウスの概要

⊗は温度測定位置，—は巻き上げの位置，()の数字は巻き上げの長さを示す。アーチ型傾斜ハウスは建設足場資材利用園芸ハウスの西側(斜線部)に設置されていた(建設足場資材利用園芸ハウスの平面図参照)。

第4表 供試ハウスの概要と使用機器

項目	アーチ型傾斜ハウス	建設足場資材利用園芸ハウス	傾斜段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウス	
			下段ハウス	上段ハウス
奥行(傾斜方向への長さ・m)	25	25	6.5~11.5	6.5~8.5
間口(等高線方向への長さ・m)	5.4	12	26	19.5
棟高(m)	4.0	-	-	-
軒高(m)	2.2	3.0	3.0	3.0
巻き上げ(側窓)の大きさ	1.5m×23m	1.0m×23m	1.0m×24m	1.0m×17m
巻き上げ幅×長さ	-	(2段)	(2段)	(2段)
中央換気窓の大きさ	-	-	1.5m×17.5m	-
巻き上げ幅×長さ	-	-	-	-
圃場の傾斜度(°)	17	17	15	17
その他	-	アーチ型傾斜ハウスが設置されていた傾斜畑と隣接する傾斜畑とを1区画化して設置した。	高さ約2mの石垣がある傾斜畑に上段ハウスと下段ハウスを設置。両ハウスの間には段差を設け、中央換気窓を設置した。	-

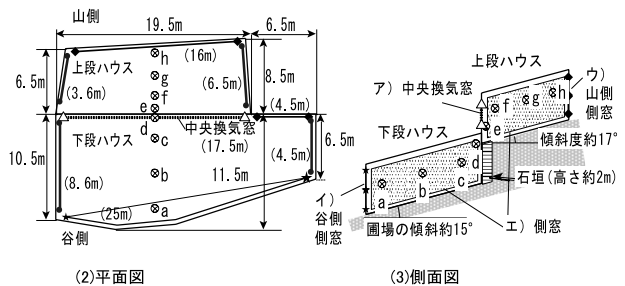
2) 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける中央換気窓と側窓の開閉にともなう温度分布と風速分布の解析

(1) 中央換気窓と側窓の開閉による換気にとともなう温度分布の解析

トマト生産者の傾斜段畑において、2区画の傾斜畑からなる傾斜段畑を1区画化するように設けた建設足場資材利用園芸ハウスで試験を実施した(第20図)。隣接する2区画の傾斜段畑のうち下段に設置した建設足場資材利用園芸ハウス(以下、下段ハウス)は奥行き6.5~11.5m、幅26m、軒高3.0m、圃場の傾斜度約15°、上段に設置した建設足場資材利用園芸ハウス(以下、上段ハウス)は奥行き6.5m~8.5m、幅19m、軒高3.0m、圃場の傾斜度約17°であり、下段ハウスと一体化して設置した。両圃場が隣接する位置には高さ約2mの石垣があったため、ハウス屋根面に段差を設けるとともに両ハウ



(1)傾斜段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウス



第20図 傾斜段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウス

⊗は測定位置。a~c, f~hは高さ1.5mで測定。dは下段ハウスと上段ハウスとの連結部分(高さ2.2m)。eは中央換気窓の内側(高さ1.0m)。△▽は中央換気窓(ア), ★★は谷側側窓(イ), ◆◆は山側側窓(ウ), ■■■と●●は側窓(エ)を示す。()の数字は巻き上げの長さを示す。

スが幅0.5 m～1 m程度の空間でつながるようにし、段差部分には巻き上げ幅約1.5 m、長さ17.5 mの巻き上げ式の中央換気窓を設置した。なお、この建設足場資材利用園芸ハウスには2段の巻き上げを四方に設置しており、ここでは斜面上方の巻き上げを山側側窓、下方の巻き上げを谷側側窓、その他の面（東側および西側の側面）の巻き上げを単に側窓と呼ぶことにする。ハウス内では等高線畝でトマトを栽培中であった。

四方の側窓ならびに中央換気窓の開閉が傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウス内の温度分布に及ぼす影響を明らかにするため、①四方の側窓を閉鎖→中央換気窓を閉鎖してハウス内温度を上昇させた後山側と谷側の側窓を開放→中央換気窓を開放した場合、②側窓を閉鎖した状態から→中央換気窓を閉鎖→中央換気窓を再び開放した場合、③すべての側窓を開放した状態から→中央換気窓を閉鎖→中央換気窓を再び開放した場合、について温度分布を測定した。

測定は、1999年8月13日に行い、第20図に示すように、傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの等高線方向における中央付近を谷側から山側へ向かってサーモレコーダミニ（エスベックミック社製、RT-30S）を地面から高さ1.5 mに設置して、1分間隔で温度変化を記録した。

(2) 中央換気窓の開閉による換気にもなう温度分布と風速分布の解析

前項で述べた傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの四方の側窓および中央換気窓を開放した状態で、ハウス内の斜面下方から上方へ向かう風速および等高線方向（西から東）へ向かう風速を、地面から高さ0.5 mの位置で熱式風速計（KANOMAX社製、Model6151）により、各測定位置を移動しながら測定した。各測定位置では10秒間隔で1分間測定した風速を記録した。

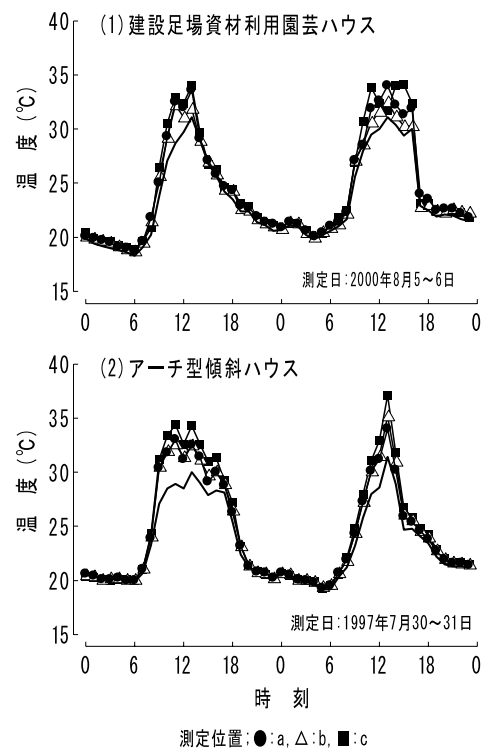
また、四方の側窓を開放した状態で中央換気窓を開放または閉鎖した時に、斜面下方から上方へ向かう風速を地面から高さ1.5 mの位置で熱式風速計（KANOMAX社製、Model6151）により、各測定位置を移動しながら測定した。各測定位置では10秒間隔で1分間測定した風速を記録した。風速の測定中には、サーモレコーダミニ（EM製、RT-30S）を

高さ1.5 mに設置して各測定点における温度変化を1分間隔で記録した。測定日は、1999年8月13日であった。

3 結果と考察

1) 建設足場資材利用園芸ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける側窓の開放による換気時の温度分布の比較

アーチ型傾斜ハウスと建設足場資材利用園芸ハウスにおける日中の温度変化を第21図に、日中（11：00～15：00）のそれぞれのハウスにおける内外温度差を第5表に示す。両ハウスともハウス内の温度は斜面下方より上方の方が高い傾向が認められたが、建設足場資材利用園芸ハウスでは中央付近の温度が低かった。日中の温度をみると、アーチ型傾斜ハウス内の温度は外気温より最大で3.9℃、平均で2.9℃高かった。これに対して、建設足場資材利用園芸ハウスでは最大で2.6℃、平均で1.9℃であり、アーチ型傾斜ハウスと比較して内外温度差は小さかった。



第21図 建設足場資材利用園芸ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける高温期のハウス内温度測定位置は第19図を参照。-は外気温。

開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、屋根面が平板であるとともに軒高が高く開口面積が大きいのが特徴である。実験で用いた両ハウスを同面積（間口5.4m×25m）で建設したとして窓比率（ハウス表面積に対する開口面積の比）¹⁵⁾を算出すると、アーチ型傾斜ハウスでは0.24（=76.8㎡/324.0㎡、両妻面の扉も開口面積に含む）、建設足場資材利用園芸ハウスでは0.33（=105.6㎡/317.4㎡）であり、建設足場資材利用園芸ハウスはアーチ型傾斜ハウスより約38%大きくなった。すなわち、アーチ型傾斜ハウスでは側窓の巻き上げ幅が小さい上、アーチ部分に空気が滞留するなどにより換気が制限されるのに対して、開発した建設足場資材利用園芸ハウスでは、屋根面が平板であり空気の滞留が少なく軒高が高い構造であるとともに、同ハウスの四方には2

段の巻き上げ式の側窓が設置され換気のための開口面積を大きくできることから、同面積のアーチ型傾斜ハウスと比べて換気量を増大させる効果のあることが確認された。

2) 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの換気における中央換気窓の効果

(1) 中央換気窓と側窓の開閉が傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響

傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスでは、すべての側窓（ア～エ）が閉鎖されると、中央換気窓付近の温度を除いてハウス内の温度は徐々に上昇した（第22（1）図）。上段ハウスの温度は内外温度差約2℃で上昇しなくなった。その後、中央換気窓を閉鎖するとハウス内の温度は上昇した。この状態から山側と谷側側窓を開放すると、下段ハウスの温度は低下したが上段ハウスの温度は上昇を続けた。その後、中央換気窓を開放すると上段ハウスの温度は下段ハウスと同程度まで低下した。

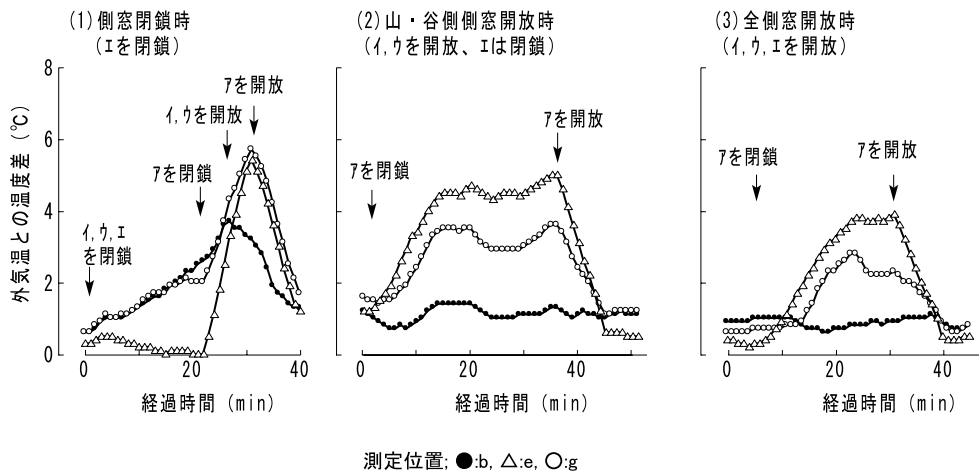
次に、側窓を閉鎖し、山側と谷側側窓を開放した状態から中央換気窓を閉鎖すると、下段ハウスの温度はほとんど変化しなかったのに対して、上段ハウスの温度は上昇した（第22（2）図）。この状態から中央換気窓を開放すると上段ハウスの温度は下段ハウスの温度と同程度まで低下した。一方、四方の側窓を開放した状態から中央換気窓を閉鎖・開放し

第5表 建設足場資材利用園芸ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける夏期高温時のハウス内外温度差¹⁾の比較(℃)

対象ハウス ²⁾	測定位置			ハウス内平均	外気温
	上方	中央	下方		
建設足場資材利用園芸ハウス	2.6	1.2	2.1	1.9	29.6
アーチ型傾斜ハウス	3.9	2.5	2.3	2.9	28.6
簡易雨よけ		3.6		3.6	28.6

1) 11～15時における平均値（第21図参照）。測定位置は第19図を参照。

2) 建設足場資材利用園芸ハウスは2000年8月5～6日、アーチ型傾斜ハウスと簡易雨よけは1997年7月30～31日の測定値。



第22図 中央換気窓の開閉が傾斜段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウスにおける温度変化に及ぼす影響

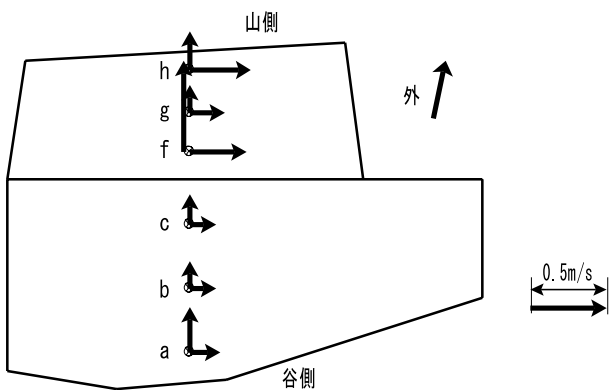
測定位置は第20図を参照。

た場合も同様に温度は変化したが、上段ハウスでは山側および谷側側窓のみを開放した場合（第22（2）図）よりハウス内温度は約1℃低かった（第22（3）図）。下段ハウスについては影響がみられなかった。

このように、中央換気窓の開閉は下段ハウスでは山側と谷側側窓が開鎖されていなければ影響はみられなかったが、上段ハウスでは中央換気窓の開鎖によりハウス内温度が上昇した。これは、傾斜段畑の段差部分の下段と上段ハウスとの連結部分のすき間が1m未満であったこと、山側にも軒高程度の高さの石垣があったことから、上段ハウスを流出入する空気の流れが妨げられ、上段ハウスで温度が上昇したと推察された。これらのことから、等高線方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスでは山側と谷側側窓が重要であるといえる。一方、中央換気窓を開放すると、上段ハウス内の温度は閉鎖時と比較して4℃以上低下させることができ、上段と下段ハウスとの温度差もなくなった。このように、段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウスにおいて換気能力を向上させるためには、圃場の段差にしたがって屋根面にも段差を設け、その段差部分への中央換気窓を設置する構造とすることが有効であると考えられた。

（2）傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける中央換気窓の開閉にともなう温度分布と風速分布の比較

傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、高さ0.5mにおける風速分布を第23図に



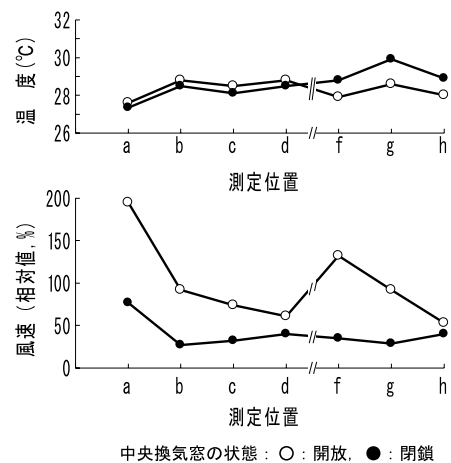
第23図 傾斜段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウスにおける風速分布

等高線畝の通路に対して直角および水平方向の風速を高さ0.5mで測定。図中のアルファベットは測定位置（第20図参照）。

示す。すべての側窓と中央換気窓を開放した場合、ハウス内では傾斜方向と等高線方向にそれぞれ0.1～0.6m・s⁻¹の風速が観測された。上段ハウスの風速は傾斜方向および等高線方向ともに下段ハウスと比較して大きかった。

傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける中央換気窓の開閉にともなうハウス内温度と風速の分布を第24図に示す。中央換気窓を閉鎖した場合、高さ1.5mにおける建設足場資材利用園芸ハウス内の風速分布は、下段ハウスの斜面最下方が最も大きく、ハウスの中ほどではその約半分の風速であった。また、建設足場資材利用園芸ハウス内の風速は、開放した場合と比較して全体に小さかった。一方、中央換気窓を開放した場合には、上段ハウスおよび下段ハウス内の風速は、それぞれ斜面下方の風の取り込み口で最も大きく、ハウス内部へ行くに従い小さくなった。中央換気窓を閉鎖した場合には、ハウス内の温度は下段ハウスより上段ハウスの方が高くなったのに対して、開放した場合には下段および上段ハウス内の温度はほぼ均一になった。

建設足場資材利用園芸ハウス内では、等高線畝でトマトを栽培中であったが、0.1～0.6m・s⁻¹の空気の流動が認められた。ハウス内における空気の流動は、光合成に伴う二酸化炭素濃度の低下を防止する効果によって植物体近傍の環境改善に寄与し、生育や収量に影響を及ぼす^{4, 27, 90)}。一般に、植物体近傍で



第24図 傾斜段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウスにおける温度分布と風速分布

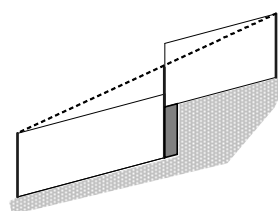
全側窓はすべて開放された状態。風速は屋外風速を100とした時の相対値。測定位置は第20図を参照。

は、 $0.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度の気流が好適と考えられているが通常の換気だけでその気流を維持することが難しい³⁷⁾。このため、空気を強制的に流動させるために循環扇が利用される場合がある^{2, 73)}。これに対して、建設足場資材利用園芸ハウスでは、通常の換気状態において光合成に適した空気の流動が得られることから、生育、収量の向上に寄与することも期待される。生育、収量に関する検討は第Ⅵ章において述べる。

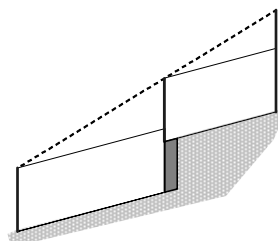
このように、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、屋根面を平面構造にすることで空気の滞留がほとんどなく、2段の巻き上げ式の側窓を四方に配置することによって同床面積のアーチ型傾斜ハウスと比して約38%大きい開口面積を確保できることから、高温期において効率の良い換気を実現し得ることが確認された。また、段差のある2区画の傾斜畑からなる傾斜段畑に建設足場資材利用園芸ハウスを設置する場合、中央換気窓を設置することによって十分な換気能力を付与することが可能である。

(3) 傾斜段畑に建設足場資材利用園芸ハウスを設置する場合の屋根面構造と換気における中央換気窓の効果

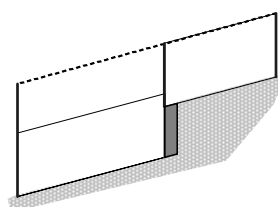
実験を行った建設足場資材利用園芸ハウスは、隣接する2区画の傾斜畑を一体化するように設置したが、設置前の計画段階においていくつかの問題を抱えていた。設置の前年には下段ハウスが既に設置されており、暖房機の設置コストや温度制御などの作業性を考慮すると、暖房機1台で2区画の傾斜畑を加温の対象として、傾斜段畑の下段に設置した既設の建設足場資材利用園芸ハウス（以下、下段ハウス）と連結する形で傾斜段畑の上段に建設足場資材利用園芸ハウス（以下、上段ハウス）を増築することとした。設置の際に検討した建設足場資材利用園芸ハウスの屋根面構造の比較を第25図に示す。対象となった傾斜段畑に対して、段差のない平面の屋根で覆うとすると、斜面上方と下方の軒高（柱長）をほぼ一定に保つ構造とする場合には、段差部分では地面と屋根面との間が小さくなる（第25（1）図）。このため、実験における中央換気窓を閉鎖した場合と同様に換気能力が劣るものと予想される。そこで、段差部分の軒高を確保しようとする場合と段差の分だけ上段ハウス部分が高くなる（第25（2）図）。これ



(1)斜面上下の軒高を同じにして平面とする場合



(2)段差部分と斜面下方の高さを同じにする場合



(3)段差部分と斜面上方の高さを同じにする場合

第25図 段差のある2区画から成る傾斜段畑で建設足場資材利用園芸ハウスを施工する時の問題点

—は供試した段畑用建設足場資材利用園芸ハウス、--はそれぞれの場合における屋根面、—は基準とする軒高（柱長）を示す。

にともない屋根面の傾斜も急になりフィルム交換作業が困難になる⁴⁸⁾。逆に、上段ハウスの軒高を抑えると下段ハウスの軒高が高くなり過ぎる（第25（3）図）。このため、傾斜段畑に建設足場資材利用園芸ハウスを設置する場合には、ハウスの維持管理の面からも屋根面に段差を設け中央換気窓を設置することが最も良いと考えられた。

4 結論

1. 開発した建設足場資材利用園芸ハウスにおける温度分布をアーチ型傾斜ハウスと比較しながら解析した結果、建設足場資材利用園芸ハウスでは、高温期のハウス内外の温度差がアーチ型傾斜ハウスより 1.0°C 以上小さいことから換気能力が高く、高温期の生産にも適していると考えられた。この理由として、建設足場資材利用園芸ハウスは軒高が高く幅の広い巻き上げ式の側窓が四方に配置されており、窓比率は同じ床面

積で設置した場合のアーチ型傾斜ハウスと比較して約38%大きいこと、屋根面が平板であるため気流が滞留することなく換気されていることなどが考えられた。

2. 隣接する傾斜畑間に段差のある2区画の傾斜段畑を一体化するように設置した建設足場資材利用園芸ハウスの場合、屋根面に段差を設けるとともに段差部分に中央換気窓を設置して換気を行うことにより、中央換気窓がない場合と比べてハウス内温度を4℃以上低下させる効果が認められた。すなわち、中央換気窓の設置により効率的に換気できると考えられた。
3. 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、屋根面の段差部分に設けた中央換気窓の開閉は、中央換気窓より上段のハウス内温度分布への影響が大きく、上段ハウスでは中央換気窓の閉鎖時より開放時の方が温度は低く風速は大きくなった。一方、下段ハウスでは中央換気窓の影響は認められず、谷側と山側の側窓の影響が大きいことが明らかとなった。建設足場資材利用園芸ハウス内では $0.1 \sim 0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の風速が観測され換気にもなう空気の流動があったことから、生育、収量の向上効果が期待された。
4. 隣接する2区画の傾斜段畑を一体化するように建設足場資材利用園芸ハウスを設置する場合、十分な換気を確保することに加えてハウスの維持管理の面から軒高を一定高さ以下になるようにするため、屋根面に段差を設けるとともに中央換気窓を設置する構造とすることが最も良いと考えられた。

V 低温期における建設足場資材利用園芸ハウスの加温・送風にもなう温度分布特性

1 はじめに

前章では、新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスが、アーチ型傾斜ハウスと比較して換気が良好であり、高温期の夏秋栽培において簡易雨よけ施設に替わる傾斜ハウスとして適していることなどを明らかにした。また、中山間地域では、さまざまな形状の傾斜畑において野菜・花きの生産が行われて

いる⁵⁵⁾が、傾斜方向に長い形状の建設足場資材利用園芸ハウスに加え、段差のある2区画の傾斜畑からなる傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいても十分な換気能力を付与できることなどを明らかにした。

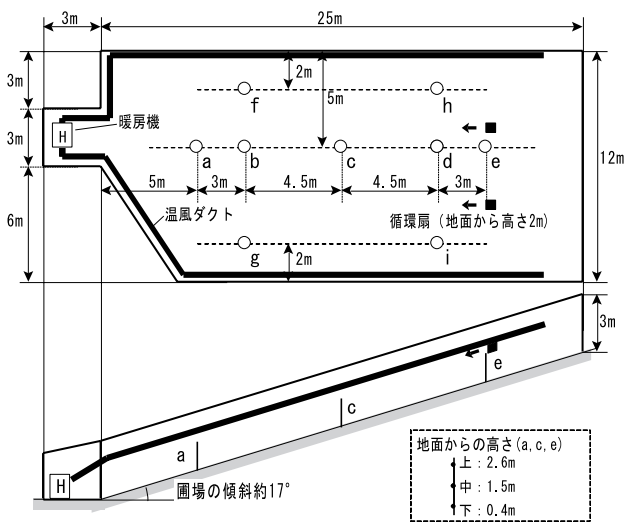
従来の簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへ転換が図られることで、従来行われていた高温期における生産だけではなく、低温期においても生産が期待できることから、生産者にとっては収益性の向上や経営の選択肢が広がることなどのメリットが期待される。一方、野菜・花き生産では温度分布をできるだけ均一に管理することが必要であるが、傾斜畑は、傾斜方向に長い形状や等高線方向に長い形状など、傾斜畑の形状はさまざまであり、加温時の温度分布についても傾斜畑の形状によって異なることが考えられる。

本章では、傾斜方向または等高線方向に長い傾斜畑および傾斜段畑に設置した3つの建設足場資材利用園芸ハウスを用いて、温風ダクトと循環扇の有無や温風ダクトの配置が加温時の温度分布に及ぼす影響を解析し、建設足場資材利用園芸ハウスの低温期における適用性を明らかにする実証的研究を行った。

2 実験方法

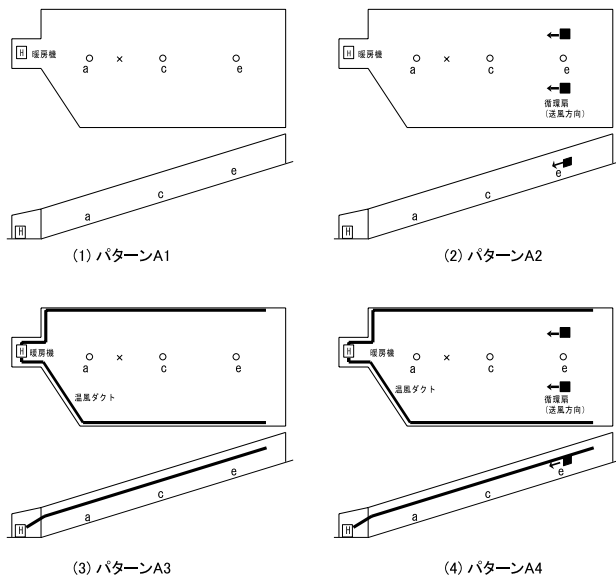
1) 傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおける温風ダクトの配置と循環扇による送風方法および温度分布の解析

トマト生産者圃場の傾斜度約 17° で傾斜方向に長い傾斜畑に設置した傾斜方向に長さ25m、最大幅12m、軒高3mの建設足場資材利用園芸ハウス(本章では、開発ハウスA)を供試した(第26図)。加温には、ハウス下端の張り出し部分に設置した温風式の暖房機(ネボン社製HK1520、出力44.2kW)を用いた。加温中は、屋根面から約30cm(地面から高さ約2.6m)とハウス側面の内側(それぞれ手動開閉式)にPO系フィルム(0.075mm厚)のカーテンと内張りを設置した。温風ダクトは折径65cmのポリダクトを用い、地面から高さ2mで暖房機から斜面上方の側面(山側面)から2mまで延長し、東側面と西側面に沿って配置した。温風ダクトには1.5m間隔で吹き出し穴を開け、ハウスの内側へ向



第26図 開発ハウスAの概略

アルファベットは測定位置。地面から高さ1.5mの位置で測定。測定位置a, cおよびeでの測定高さは右下点線線を参照。暖房機のセンサーは測定位置bに設置した。■は循環扇を、←は送風方向、太線は温風ダクトを示す。



第27図 開発ハウスAにおける温風ダクトの配置パターンの概略

■は循環扇, ←は送風方向, ×は暖房機のセンサー位置, 太線は温風ダクトを示す。

けて等高線方向へ温風を吹き出すようにした。循環扇はVORNADO社製280B(100V, 風量 $81\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$)を用い、地面から高さ約2m, 山側面から5m, 東側面と西側面からそれぞれ4mの位置に設置し、斜面と平行に斜面下方へ向かって送風した。

開発ハウスAにおける温風ダクトの配置パターン

を第27図に示す。①温風ダクトと循環扇を使用しない(パターンA1), ②温風ダクトを使用せず循環扇で常時送風する(パターンA2), ③温風ダクトを使用して循環扇を使用しない(パターンA3)および④温風ダクトを使用して循環扇で常時送風する(パターンA4), の4処理で、それぞれ暖房機の設定温度を 6°C として実施した。パターンA1についてはあらかじめ予備測定を行った。測定対象は地面から高さ1.5mについてのみとし、第26図のa~iで、そのうちbとdは斜面下方からそれぞれ8mと17m, またハウスの西および東の側面から2m, bおよびdと同じ等高線上にそれぞれfとgおよびhとiを設置した。

開発ハウスAにおける温度の測定は、第26図に示したようにハウスの斜面下方から5m(測定位置a), 12.5m(同c)および20m(同e), 西側面から5mでそれぞれ地面から高さ2.6m, 1.5mおよび0.4mの位置に自記温度計(エスペックミック社製, RT-30S)を設置して行い1分間隔で記録した。なお、ハウス内では等高線畝でスイートピーを栽培中であった。

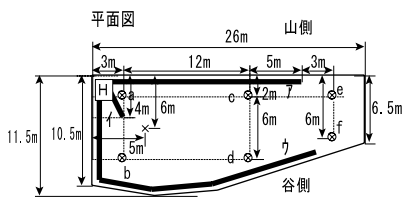
解析には、ハウス内の温度分布が明瞭に比較できるように、外気温がほぼ一定で測定日間で外気温の差ができるだけ小さい測定日と時間帯を任意に抽出して用いた。まず、地面から同じ高さで隣り合う測定点間の距離と温度から、距離との1次関数として任意の点の温度を計算後、さらに垂直方向についても同様に計算することで測定点間の温度を補完して温度分布図を作成した。

2) 等高線方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおける温風ダクトの配置と温度分布の解析

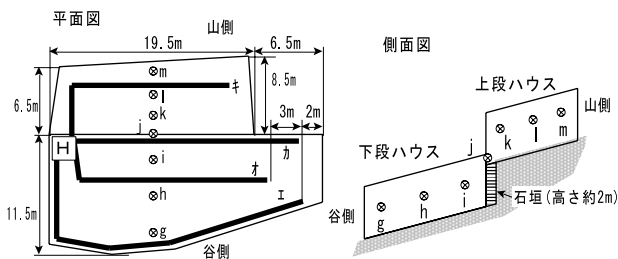
トマト生産者圃場の傾斜度約 15° で南面する等高線方向に長い傾斜畑に設置した奥行き6.5~11.5m, 幅26m, 軒高3.0mの建設足場資材利用園芸ハウス(本章では、開発ハウスB)を供試した(第28(1)図, 第6表)。加温には、ハウス西側の斜面上方に設置した温風式の暖房機(ネポン社製, HK1520)を用い、暖房機の設定温度を 6°C として加温した。加温中はPO系フィルム(0.075mm厚)の内張りを設置した。なお、ハウス内では等高線畝でスイートピーを栽培中であった。

開発ハウスBにおける温風ダクトの配置パターンを第29(1)図に示す。温風ダクトは折径65cmのポリダクトを、①斜面上方の側面(山側面)沿いおよび西側面から3m、山側面から2m、地上から高さ2mの頭上(パターンB1)、②斜面下方の側面(谷側面)沿い(パターンB2)、の2通りに配置して温度分布を測定した。パターンB1では山側の温風ダクトに、パターンB2では谷側の温風ダクトにそれぞれ2m間隔で吹き出し穴を設け、パターンB1では屋根面と平行に斜面下方へ向けて、パターンB2では地面へ向けて鉛直下向きに吹き出すようにした。なお、パターンB1は生産者の意向による配置法であった。

開発ハウスBにおける温度の測定は、第28(1)



(1)開発ハウスB



(2)開発ハウスC

第28図 開発ハウスBと開発ハウスCの概略

アルファベットは測定位置。a~iとk~mは地面から高さ1.0mで測定。jは下段ハウスと上段ハウスとの連結部分(下段ハウスの地面から高さ2.2m)。xは暖房機のセンサー位置、Hは暖房機、太線は温風ダクトを示す(A~K)。開発ハウスCの下段ハウスは開発ハウスBに相当し、上段ハウスは後から増設されたものである。

図に示すように、地面から高さ1.0mで6ヶ所に自記温度計(エスベックミック社製、RT-30S)を設置して行い1分間隔で記録した。ハウス内の温度分布を調査するため、前項と同様に任意に抽出したデータを解析に用い、まず等高線方向で隣り合う測定点間の距離と温度から、距離との1次関数として任意の点の温度を計算後、さらに傾斜方向についても同様に計算することで測定点間の温度を補完して温度分布図を作成した。

3) 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける温風ダクトの配置と温度分布の解析

隣接する2区画の傾斜畑からなる傾斜段畑を一体化するように設置した建設足場資材利用園芸ハウス(本章では、開発ハウスC)を供試した(第28(2)図)。なお、開発ハウスCにおいて、傾斜段畑の下段に設置された建設足場資材利用園芸ハウス(以下、下段ハウス)は開発ハウスBである。傾斜畑の上段に設置した建設足場資材利用園芸ハウス(以下、上段ハウス)は、奥行き6.5m~8.5m、幅19.5m、軒高3.0m、圃場の傾斜度約17°であった。両圃場の隣接部分には高さ約2mの石垣があったため、ハウス屋根面に段差を設けるとともに、その段差部分には巻き上げ式の中央換気窓を設置した。温風式の暖房機(ネボン社製、HK1520、出力44.2kW)を下段ハウスに設置した。なお、下段ハウスにおける暖房機の設置位置は、上述の開発ハウスBにおける実験と同じ位置とした。暖房機から折径65cmのポリダクトを中央換気窓直下の高さ約2mの位置に配置し、暖房機の設定温度を6℃として加温した。加温中はPO系フィルム(0.075mm厚)の内張りを設置した。なお、ハウス内では等高線畝でスイートピーを栽培中であった。

開発ハウスCにおける温度の測定は、第28(2)図に示すように、地面から高さ1.0mで設置した自

第6表 開発ハウスAの加温時における温度の比較(℃)

	測定位置cとの比較位置									測定位置bとの比較位置		測定位置dとの比較位置	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	f	g	h	i
温度差	0.5	0.0	0.0	-0.6	-0.6	0.1	0.1	-0.4	-0.3	0.2	0.2	0.2	0.3

温風ダクトなし、循環扇なし(パターンA1)の場合。任意の1時間における平均値。測定日は2000年11月25日。測定位置(アルファベット)は第26図を参照。

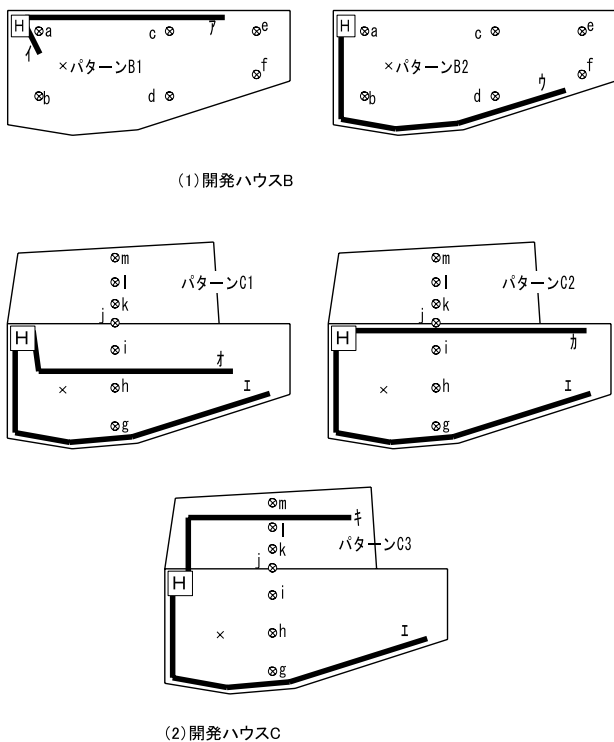
記温度計 (エスペックミック社製, RT-30S) を配置して行い1分間隔で記録した。

温風ダクトの配置は第29 (2) 図に示すように、①下段ハウスの谷側面と下段ハウスの中央部 (エとオ, パターンC 1), ②下段ハウスの谷側面と下段ハウスの山側面 (エとカ, パターンC 2), ③下段ハウスの谷側面と上段ハウスの山側面 (エとキ, パターンC 3), とした。温風ダクト (エ) は地面へ向けて鉛直下向きに、温風ダクト (オ), (カ) および (キ) はそれぞれ屋根面と平行に斜面下方へ向けて吹き出すように吹き出し穴を配置した。

3 結果と考察

1) 温風ダクトの配置と循環扇の有無が傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響

温風ダクトと循環扇を使用しない場合 (パターン



第29図 開発ハウスBと開発ハウスCにおける温風ダクトの配置パターンの概略

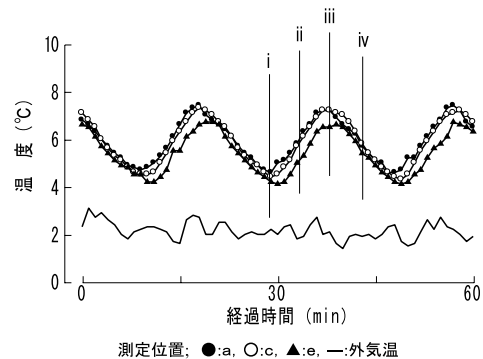
アルファベットは温度測定位置 (第28図参照)。温風ダクトの配置と組み合わせは、(1) では、パターンB 1がダクト (ア) と (イ), パターンB 2がダクト (ウ) である。(2) では、パターンC 1がダクト (エ) と (オ), パターンC 2がダクト (エ) と (カ), パターンC 3がダクト (エ) と (キ) である。×は暖房機のセンサー位置, Hは暖房機, 太線は温風ダクトを示す。

A 1) の開発ハウスA内の温度変化を第30図に示す。暖房機の燃焼が始まると、ハウス内の温度は斜面下方が高く上方へ向かって低くなる傾向が認められたものの、ハウス内温度が下降を始めると温度勾配はほぼ解消された。なお、傾斜ハウス内の温度に等高線 (東西) 方向の温度差はほとんど認められなかった (第6表)。

開発ハウスAにおける斜面上下方向の温度分布を第31図に示す。温風ダクトを使用しないパターンA 1 (第31 (1) 図) では、斜面下方における暖房機近くの温度が低く、屋根面へ向かって (鉛直方向に) 温度が高くなる温度分布を示し、等温線は斜面下方から中央付近にかけて密であった。また、屋根面付近では斜面下方から上方へ行くに従い温度が低下した。

一方、循環扇を使用したパターンA 2 (第31 (2) 図) の温度分布もパターンA 1 とほぼ同様であったが、温度上昇中は循環扇より斜面下方でパターンA 1 より温度が高かった。温風ダクトを使用したパターンA 3 (第31 (3) 図) とA 4 (第31 (4) 図) では循環扇の有無にかかわらず温風ダクトを使用しない場合に比べて斜面下方でみられたような鉛直方向の温度差はほとんどなかった。しかし、パターンA 4ではパターンA 3と比較して循環扇より斜面上方の温度が低かった。

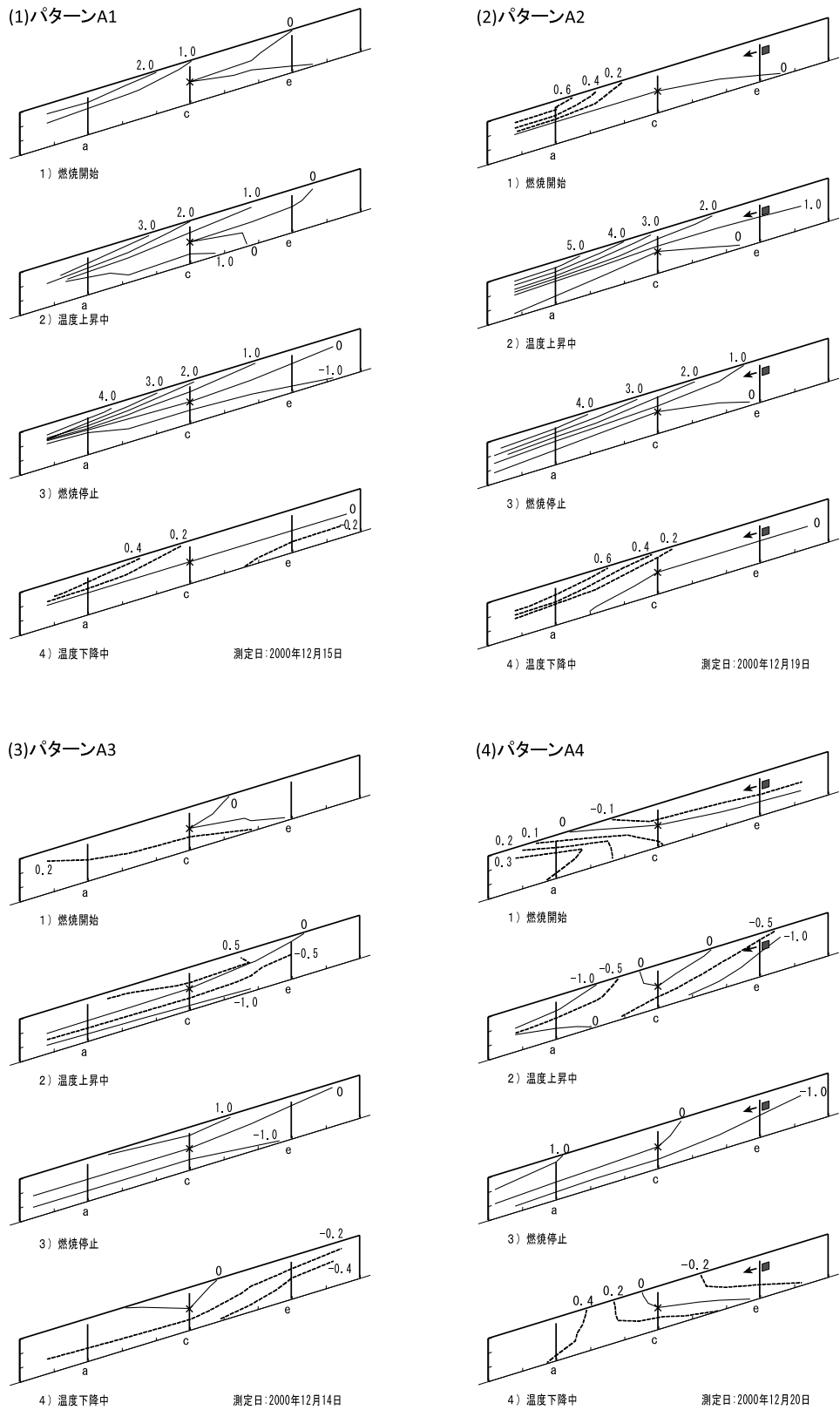
供試した開発ハウスAは、第26図に示したように傾斜方向に長く、斜面下方から上方へ向かって高くなる温度勾配が生じ易い形状⁹⁾であった。関ら⁷⁴⁾は傾斜方向に長いアーチ型傾斜ハウスにおいて、無



第30図 開発ハウスAにおける加温時の温度変化

測定位置は第26図を参照。

i) 燃焼開始, ii) 温度上昇中, iii) 燃焼停止, iv) 温度下降中。パターンA 1での測定例 (第27図を参照)。



第31図 温風ダクトと循環扇の有無が開発ハウスA内の温度分布に及ぼす影響

パターンA1：温風ダクトなし，循環扇なし，パターンA2：温風ダクトなし，循環扇あり，パターンA3：温風ダクトあり，循環扇なし，パターンA4：温風ダクトあり，循環扇あり。

図中の数字は測定位置cの地面から高さ1.5mの位置(×)との温度差を示す。測定位置は第26図を，温風ダクトの配置パターンは第27図を参照，■は循環扇を，←は循環扇による送風方向を示す。

加温で夜間に密閉された状態を対象とするモデルを作成し、温・湿度、風速をシミュレーションしている。その結果を第31図に対応させて傾斜方向の横断面での分布をみると、床面温度がピーク値を示した地点（測定位置d付近に相当）を境に、斜面下方では反時計回り、斜面上方では時計回りの大きな渦（対流）が生じていることになる。

しかし、本実験におけるパターンA1ではこの結果と異なり、斜面下方の妻面付近において床面から屋根面へ向かって（鉛直方向に）高くなる温度勾配が観測され、傾斜方向の横断面でみるとハウス全体に大きな時計回りの対流が生じていると推察された。この対流は、斜面下方に設置された暖房機の温度が周囲より高くなるために生じたと考えられた。また、対流により屋根面に沿って斜面下方から上方へ移動する空気が屋根面で冷やされるために斜面上方の温度がそれほど上昇しなかったものと推察された。横木⁸⁹⁾は、ハウスが外の冷風を受けると天井で冷却された空気が地面に向かって降下し温度分布が不均一になる、と述べている。本実験においても同様の現象により対流が生じているものと推察された。このため、ハウス内では斜面下方と比べて斜面上方では遅れて温度が上昇するものと考えられる。

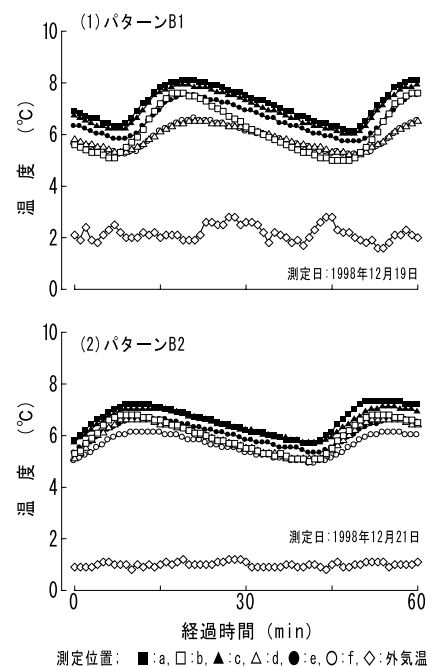
一方、温風ダクトを斜面上方まで延長したパターンA3では、パターンA1の温度分布と異なり、斜面下方における鉛直方向の温度勾配は発生しなかった。温風ダクトを使用しない場合、暖房機で発生させた暖気が斜面下方で鉛直方向（地面から屋根面方向）へ向かわず、温風ダクトによって適当に分配されたと考えられる。

パターンA1に循環扇を加えたパターンA2の温度分布はパターンA1とほぼ同様であったが、暖房機が燃焼運転中にはパターンA1と比べて循環扇より斜面下方でやや温度が高く、パターンA3に循環扇を加えたパターンA4では温度分布がパターンA3と比べて循環扇より斜面上方の温度が低い傾向が認められた。これらのことから、暖気が斜面上方へ向かって移動している状況で循環扇によって斜面下方へ送風すると、斜面上方へ移動する暖気が循環扇によって斜面下方へ向かって押し戻されるような気流の変化が生じ、循環扇より斜面上方における温度上昇を抑制する効果が得られると考えられた。平坦

地に立地するハウスで循環扇により温度分布の均一化を図る場合、ハウス上面から俯瞰して一定方向に渦を巻く対流が生じるように、隣り合う循環扇の気流方向が交互になるように配置するのが一般的である²⁾。これに対して、傾斜ハウスでは斜面上方へ向かう気流が卓越するため、平坦地のように送風方向が双方向になるように循環扇を配置すると温度分布の不均一化を助長すると考えられる。このため、本実験のように斜面下方へ向けて送風するように循環扇を配置することによって、平坦地ハウスにおける循環扇配置と同様の効果が得られると考えられた。

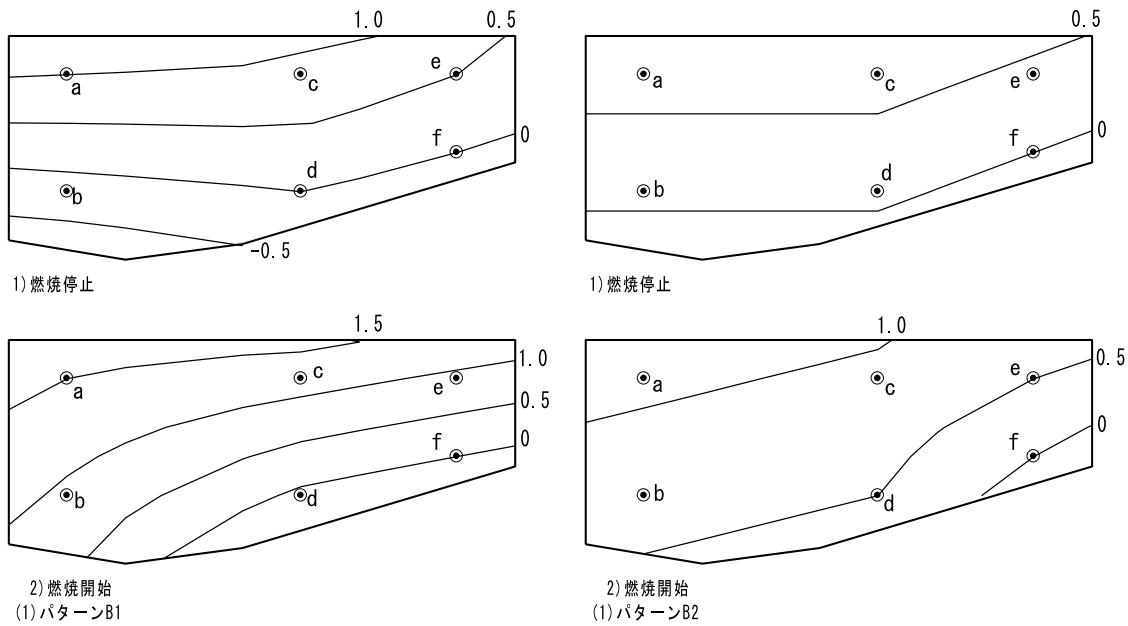
2) 温風ダクトの配置が等高線方向に長い建設足場 資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響

開発ハウスBにおける温度変化を第32図に示す。パターンB1とB2ではともに斜面上方と比較して下方の温度が低い傾向が認められた。パターンB1において、頭上に配置した温風ダクトの吹き出し口付近（測定位置b）では、暖房機動作中は温度が上昇するものの、暖房機が停止すると急激に低下した。一方、変動幅はパターンB1とB2でそれぞれ2.6℃と1.9℃であり、パターンB2ではパターンB



第32図 開発ハウスBにおける温風ダクトの配置が温度変化に及ぼす影響

測定位置と温風ダクトの配置パターンは第29図を参照。



第33図 温風ダクトの配置が開発ハウスB内の温度分布に及ぼす影響

図中の数字は測定位置 f を基準とする温度差を示す。測定位置と温風ダクトの配置パターンは第29図を参照。

1 より変動幅が小さかった。このときの開発ハウス B 内の温度分布を第33図に示す。パターン B 1 では暖房機から離れるほど、また斜面下方ほど低かった。測定位置間の温度較差はパターン B 1 と B 2 でそれぞれ 1.8°C と 1.4°C であり、パターン B 2 の方が小さかった。

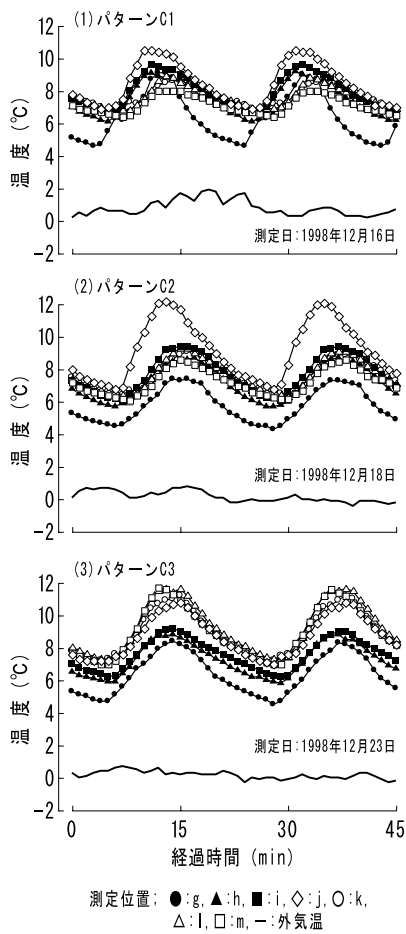
開発ハウス B は、傾斜方向に対して等高線方向に長い形状である。暖房機の設置位置は、圃場が狭く位置が限定される上、暖房機本体が作物の受光を妨げないように斜面の上方とした。パターン B 1 で加温したところ、暖房機から離れた斜面下方の部分が最も温度が低くなった。しかし、パターン B 2 のように、開発ハウス B の谷側の側面に沿って温風ダクトを配置することで温度分布のばらつきが改善された。

本研究で明らかにしたように、傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおいても同様の温度勾配が観測されたが、等高線方向に長い場合においても同様に斜面下方ほど温度が低い温度分布であった。すなわち、最も温度が低くなる斜面下方付近の温度低下に留意して温風ダクトを配置する必要があると考えられた。

3) 温風ダクトの配置が傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響

開発ハウス C における温度変化を第34図に示す。パターン C 1 では下段ハウスの斜面下方で温度の変動幅が大きかったものの上段と下段ハウス間の温度較差は比較的小さく地点間の温度較差は 2.7°C であった。パターン C 2 では上段と下段ハウスの連結部分で温度の変動幅が 5.8°C と大きかったものの地点間の温度較差は 2.5°C であった。パターン C 3 では上段と下段ハウスのそれぞれにおけるハウス内の温度差が小さかったが、地点間の温度較差は 4.3°C と最も大きかった。

開発ハウス C における傾斜方向の温度分布を第35図に示す。開発ハウス C 内の温度は、どのパターンも下段ハウスの斜面最下方が最も低かった。パターン C 1 では斜面最下方を除けば下段ハウスより上段ハウスの方が低くなった。パターン C 2 では、パターン C 1 と同じような分布を示したが、斜面最下方の温度はパターン C 1 より $0.5\sim 1.4^{\circ}\text{C}$ 低く推移した。パターン C 3 では、分布が C 1 と C 2 と異なり、下段ハウスより上段ハウスの方が高かった。下段ハウスはパターン間の差は小さかったが、上段ハウスではパターン C 1, C 2 よりパターン C 3 が高かった。

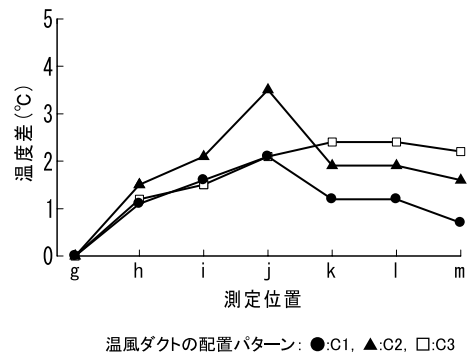


第34図 温風ダクトの配置が開発ハウスCの温度変化に及ぼす影響

測定位置と温風ダクトの配置パターンは第29図を参照。

開発ハウスCは、段差のある2区画の傾斜畑からなる傾斜段畑に設置されており、第IV章で述べたように、屋根面に設けた段差部分に中央換気窓を設置して換気を図る構造であり、高温期における夏秋栽培を行う上で十分な換気能力を有することが確認されている。一方、低温期において野菜・花き生産を行う上で、加温時においてハウス内の温度分布を均一化する温度制御技術が必要であり、傾斜畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける加温時の温度分布特性についても確認しておく必要がある。

本実験において、パターンC3のように温風ダクトを上段ハウスへ配置すると上段ハウスの温度が高くなるため、上段ハウスへの温風ダクトの配置は不要であると考えられた。下段ハウスは等高線方向に長い形状であることから、等高線方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおける上述の結果に準じて



第35図 温風ダクトの配置が開発ハウスC内の傾斜方向の温度分布に及ぼす影響

測定位置gを基準とした時の各測定位置との温度差。加温時の任意の2時間の平均値から算出。測定位置と温風ダクトの配置パターンは第29図を参照。

温風ダクトを設置して加温することにより、上段ハウスにおいても温度分布が均一になった。供試した上段ハウスと下段ハウスはそれぞれ大きさが違うものの、いずれも等高線方向に長い形状であり、下段ハウスでの温風ダクトの配置を前項に準じて行えば下段ハウスの温度分布も均一化されるとともに、連結部分を通して暖気がほぼ均一に移動することにより上段ハウスの温度分布も均一化されると考えられた。このように、暖房機を下段ハウスに設置した上で斜面下方の側窓に沿って温風ダクトを配置して加温することで下段ハウスと上段ハウスにおける温度分布の均一化が可能である。

4 結論

1. 傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、鉛直方向と傾斜方向の温度分布を解析することにより加温時の気流を推定した。温風ダクトを使用しない場合には斜面下方の暖房機付近から屋根面へ向かい、屋根面付近では斜面上方へ向かう対流が生じているが、温風ダクトを使用することによって気流を変化させることが可能であり、斜面下方の暖房機付近における鉛直方向の温度勾配が解消されるなど、加温時における温度制御が可能であると考えられた。
2. 傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、暖気が斜面下方から上方へ移動している条件で循環扇を設置して斜面上方から下方へ向かって送風することにより、斜面上方へ向か

う暖気の上昇を妨げる効果があることから、循環扇の設置位置より斜面上方の温度上昇を抑制することが可能である。

3. 等高線方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスの加温時における温度分布は、傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスと同様に斜面上方より斜面下方の温度が低く、斜面下方の側面付近の温度が最も低くなることから、斜面下方の側面沿いに温風ダクトを設置して暖気を配風することで温度分布をほぼ均一にできることを明らかにした。
4. 隣接する2区画の段差のある傾斜畑からなる傾斜段畑を一体化するように設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいて温風ダクトの配置を検討した。傾斜段畑の上段と下段におけるそれぞれのハウス形状は、いずれも等高線方向に長い形状であり、斜面下方の側面沿いに温風ダクトを設置して下段ハウス内の温度を均一化すれば、上段ハウス内の温度もほぼ均一にできることを示した。

VI 建設足場資材利用園芸ハウスの導入による傾斜畑における新たな野菜・花き生産システムの構築

1 はじめに

前章までに、開発した建設足場資材利用園芸ハウスが中山間地域の傾斜畑において優れた換気能力を有し、高温期における野菜・花き生産において利用されている簡易雨よけ施設に替わる施設として適用できること、さらに低温期において加温する場合には温風ダクトと循環扇を適切に配置することによって建設足場資材利用園芸ハウスの温度制御が可能なことなどを明らかにした。

簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへ転換されると、施設の周年利用が可能になることから、生産者にとっては経営の選択肢が広がることなどのメリットが期待できる。

本章では、建設足場資材利用園芸ハウスにおける新たな生産システムの構築を目的に、生産者圃場に設置した建設足場資材利用園芸ハウスを用いて、新規作物の導入による作付体系を構築するとともに、

トマトの夏秋栽培を中核とする生産者をモデルとしてその導入効果を検討した。さらに、建設足場資材利用園芸ハウスを導入した新たな野菜・花き生産システムの中山間地域における普及可能性について考察した。

2 実験方法

1) 建設足場資材利用園芸ハウスの導入にともなう新たな作付体系による導入効果の解析

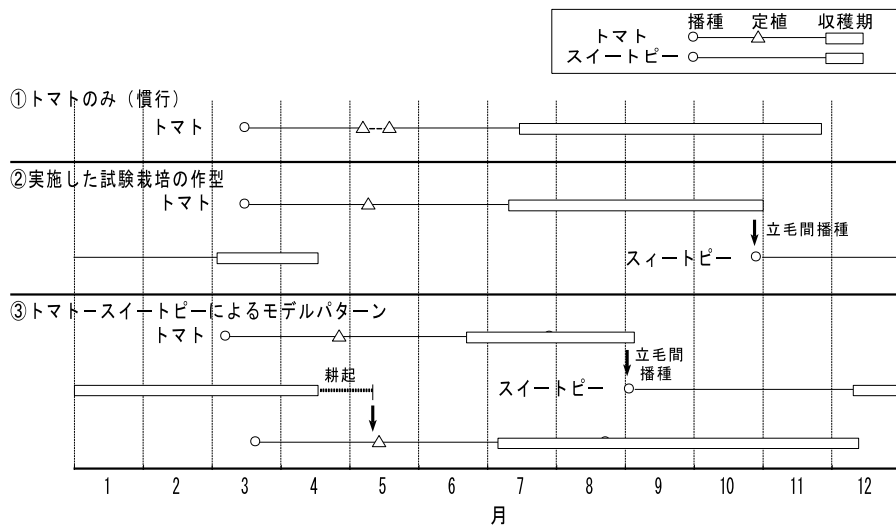
(1) 栽培概要

高知県土佐町の傾斜畑でトマトの夏秋栽培を行う生産者圃場において、傾斜畑に設置した簡易雨よけ施設、アーチ型傾斜ハウスおよび建設足場資材利用園芸ハウスを用いて実験を行った。簡易雨よけ施設とアーチ型傾斜ハウスでは1997年5月9日、建設足場資材利用園芸ハウスでは1999年5月8日に畦幅140cm、株間30cm（2条振り分け、2,381株・m⁻²）でそれぞれ定植し、生産者の慣行法により栽培したトマトを対象に収量と生育を調査した。試験地における作付体系を第36図に示す。

建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、トマトの後作としてスイートピーの導入を検討した。4週間種子冷蔵したスイートピーを1999年10月30日に、トマト栽培中の株元に播種した。スイートピーは、畦幅140cm、株間13cmで2条植え（約11,000株・m⁻²）、側枝1本仕立てとした。なお、トマトは10月30日に収穫を終了し、スイートピーが出芽するまでに株元から切除し地上部を片付けた。スイートピーの収量は、生産者が市場へ出荷した箱数（100本・箱⁻¹）を出荷伝票から算出した。

(2) 新たな作付体系による導入効果の検討

スイートピーの導入効果を検討するために、作型のモデルパターンを設定して販売額を試算した。市場へのお荷価格として、データが公表されている東京都中央卸売市場における2009～2011年の平均単価を用い、トマトとスイートピーでそれぞれ348円・kg⁻¹と30円・本⁻¹とした。生産規模を30aとし、そのうち8aにスイートピーを導入したと仮定した。出荷量は、生産者の出荷調査と試験実績からトマトとスイートピーでそれぞれ全収量の60%と40%、また、それぞれ全収量の20%と40%を産直



第36図 試験地における慣行のトマト夏秋栽培とスイートピーを新規導入した場合の作付体系の比較

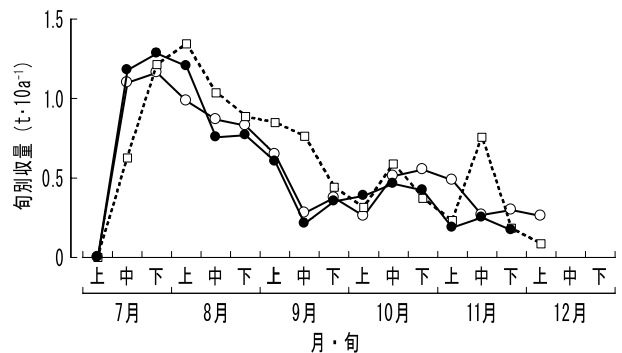
市で直売したと仮定した。直売価格はそれぞれ500円・kg⁻¹（トマト1個200gを100円）と20円・本⁻¹（スイートピー5本1束で100円）とした。なお、それぞれの品目で全収量の20%はロスとした。試算したパターンは第36図に示すように、①トマトのみ（慣行）、②トマトの後作にスイートピーを導入（実施した実験に準じたパターン）および③トマトの収穫を早めに完了し後作に導入したスイートピーを年内に収穫を始めるモデルパターン、の3通りとした。③のモデルパターンは、トマト収穫を8月下旬に完了し、8月中～下旬にトマト株元にスイートピーを立毛間播種し、12月上旬から収穫を開始すると仮定した。

3 結果と考察

1) 建設足場資材利用園芸ハウスの導入による新たな作付体系の構築

(1) トマトの夏秋栽培における建設足場資材利用園芸ハウスの適用性

簡易雨よけ施設、アーチ型傾斜ハウスおよび建設足場資材利用園芸ハウスにおける夏秋トマトの旬別収量を第37図に示す。傾斜ハウスの導入により、簡易雨よけ施設と比較して収穫期間が2週間程度延長された。収量は、簡易雨よけ施設、アーチ型傾斜ハウスおよび建設足場資材利用園芸ハウスで、それぞれ8.2、8.9および9.7 t・10 a⁻¹、株あたり収量は



●:簡易雨よけ施設, ○:アーチ型傾斜ハウス, □:建設足場資材利用園芸ハウス

第37図 簡易雨よけ施設、アーチ型傾斜ハウスおよび建設足場資材利用園芸ハウスにおける夏秋トマトの旬別収量の推移

簡易雨よけ施設とアーチ型傾斜ハウスは1997年、建設足場資材利用園芸ハウスは1999年における結果である。

それぞれ3.46, 3.73および4.07 kg・株⁻¹であった。建設足場資材利用園芸ハウスでは、8～9月の収量が多い傾向が認められた。第IV章で示したように、日中の内外温度差は建設足場資材利用園芸ハウスが最も小さく、建設足場資材利用園芸ハウスは高温期の栽培にも十分に対応できることが示された。また、換気時において建設足場資材利用園芸ハウス内では0.1～0.6 m・s⁻¹の風速が観測されていたことから、植物体近傍の二酸化炭素濃度の低下防止など植物体の周辺環境改善に寄与している^{4, 27, 90)}と考えられ、トマトの生育、収量向上にも貢献した可能性がある。

その結果、実証試験の対象とした生産者圃場では、従来使用していた簡易雨よけ施設は、自家施工により建設足場資材利用園芸ハウスへと順次更新され、現在ではすべての簡易雨よけ施設が建設足場資材利用園芸ハウスへ転換された（第38図）。さらに、新たに遊休地を開墾して建設足場資材利用園芸ハウスを新設するなど、トマトの夏秋栽培の主要施設となっている。また、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは換気能力に優れた施設であることから他の中山間地域の傾斜畑においても導入が進められている^{20, 21, 51, 60, 69}。さらに、傾斜畑のみならず中山間地域の平坦な圃場においても適用されている⁵²。

(2) 後作としてスイートピーを導入した新たな作付体系による導入効果

建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、トマトの後作としてスイートピーの導入を検討した。トマトの栽培を9月末で打ち切ったため、栽培期間中のトマトの収量は $7.2 \text{ t} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ であり慣行の作型より収量が少なかった。スイートピーは、収穫開始が遅く、またトマト作付けへの影響を考慮して栽培を打ち切ったことから、収穫期間は3月下旬から4月上旬と短くなった（第39図）。なお、株あたりの採花本数は約8本、栽培終了時における着花段数は約17段であった。既存産地の春咲き系品種の作型は、8月下旬に播種し11月上旬ごろから収穫となる促成栽培である⁵¹が、実験ではこれと比べて約3ヶ月短かった。杉田ら⁸²は、作業の簡略化のためスイートピーの不作畦栽培を検討し、生育、収量に影響は

なかったと報告している。このため、減収要因としては、作型の影響が大きいと考えられた。なお、翌年のトマト栽培への影響は認められなかった。

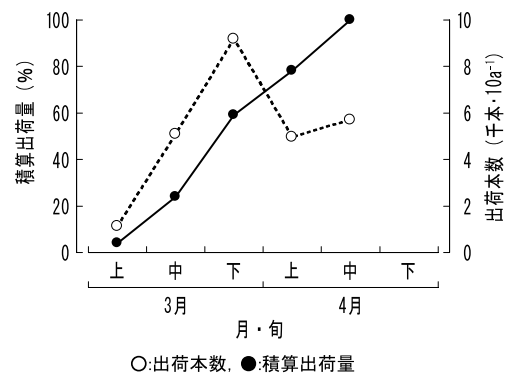
対象とした生産者のトマト栽培は、慣行では3月中旬にトマトを播種、5月上～中旬に定植し、7月中旬から収穫が始まる夏秋栽培である。スイートピーを本格的に導入する場合には、新規作型を合わせて導入する必要があると考えられる。すなわち、スイートピーを栽培予定のハウスでは、3月上旬にトマトを播種、4月下旬までに定植し、9月上旬までに6段程度の果房を収穫する比較的短期間の栽培とし、トマトの収穫終了間際の8月中～下旬にトマトの株元にスイートピーを立毛間播種する（第36図）。この方法により、12月上旬から慣行の促成栽培に近い作型でスイートピーの収穫を開始できると考えられる。前作でスイートピーを栽培した圃場では、スイートピー収穫終了後に圃場の準備をし、トマトの定植は5月中旬、収穫開始が7月上旬からとなる慣行の作型となるため、翌年は別の傾斜ハウスを利用する必要があるため圃場をローテーションすることになる。

トマトとスイートピーの作型の組み合わせによる販売額の違いを第40図に示す。スイートピーの導入により販売額は約30%増加すると予想された。作業者が夫婦2人とすると、スイートピーの栽培規模は10 aまでが限度とされている。今回の試験では、約8 aのハウスで試験栽培し、スイートピーの栽植密度は慣行の栽培の約2/3であり作業的には



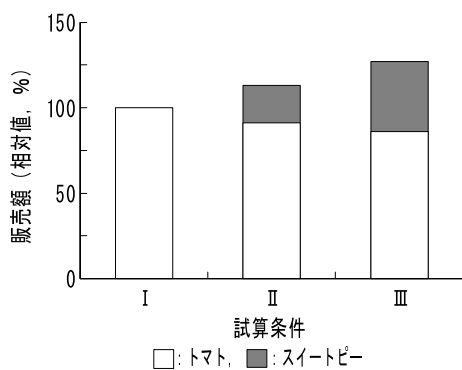
第38図 建設足場資材利用園芸ハウスを導入して整備された生産者圃場の現状

—で囲んだ部分は簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへ更新または新設された区画であることを示す。



第39図 建設足場資材利用園芸ハウスにおけるスイートピーの出荷量

出荷本数は、市場出荷用に箱詰めされた箱数（1箱あたり100本入り）から換算した。



第40図 スイートピー栽培の導入が販売額に及ぼす影響

I：トマトのみ（慣行，夏秋栽培）
 II：スイートピー導入（試験実績の収量から試算）
 III：スイートピー導入（モデルパターン）
 販売額はIの場合を100として計算。

本業であるトマト栽培への影響もなかった。本研究では経営分析が十分ではないものの、スイートピー導入のメリットはあると考えられた。スイートピーは低温での管理が可能であるものの⁵⁾、4～6℃程度で加温しながら栽培していることから燃料費の変動の影響も受ける。このため、導入にあたってはより詳細な経営分析が必要である。新規に導入する作物の選択においては、作業量、収益性や経営状態などのほかに、対象作物や栽培技術に対する生産者の嗜好性も関係する。こうした要因もあり、実証試験地においてスイートピーを本格的に導入するには至らなかったものの、その後も生産者において検討が重ねられた結果、スイートピーと同様にマメ科で低温性の作物であるスナップエンドウがトマトの後作に導入され、スイートピーの場合と同じ作付体系で生産が行われている。また、当該地域ではトマトの後作としてスナップエンドウの導入が始まったことから、スナップエンドウを選択することで組織的な販売が可能になるなどのメリットが得られる。

2) 建設足場資材利用園芸ハウスを導入した新たな野菜・花き生産システムの普及可能性

建設足場資材利用園芸ハウスを導入して行ったトマトの夏秋栽培による実験において、同ハウスが高温期における換気能力に優れることにより従来の栽培と比較して増収することを本項の1)で示した。さらに、建設足場資材利用園芸ハウスの導入により高温期に加えて保温ないしは加温によって作期延長

が図られ、増収に寄与することも可能である。また、建設足場資材利用園芸ハウスの導入によって、これまで栽培を行っていなかった低温期において新たな作物の導入が可能になる。本研究では、低温で管理できる作物であるスイートピーを選定し、トマトの後作として導入する実証試験を実施した結果、トマトとスイートピーの組み合わせによって、年間の販売額が約30%増加すると試算され経営的メリットが認められた。一方、スイートピーと同様の管理ができるマメ科の作物にスナップエンドウがある。スナップエンドウは、保温可能な施設におけるトマトなどの夏秋栽培の後作として当該地域において導入が進められている。地域的な取り組みが始まると共販ができるなどのメリットがあることなどを考慮して、実証試験で対象とした生産者は、現在、トマト・スナップエンドウによる作付体系を選択して生産を行っている。さらに、この生産者圃場では、従来使用していた簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへと自家施工によって順次更新し、現在ではすべての簡易雨よけ施設が建設足場資材利用園芸ハウスへ転換された上、新たに遊休地を開墾して建設足場資材利用園芸ハウスを新設して生産が行われている（第38図）。

また、建設足場資材利用園芸ハウスは、換気能力に優れた施設であることから他の中山間地域の傾斜畑においても導入が進められている^{20, 21, 51, 60, 69)}。さらに、傾斜畑のみならず中山間地域の平坦な圃場においても適用が進められている^{20, 52)}。第41図に示すように、2013年現在、西日本の中山間地域を中心に建設足場資材利用園芸ハウスの導入が進んでおり、トマトのほか、ナス、イチゴ、花き類などが生産されている事例がある。このうち、設置面積の約4割が従来の簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへ転換した事例であり、残りは建設足場資材利用園芸ハウスを新設して野菜・花き生産を開始した事例である。新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、施設化が困難であった傾斜畑において施設園芸を行うための重要なツールとなる。第41図に示すように、同ハウスの導入により、従来にない新たな作型や作付体系を構築することが可能になり、生産者にとっても収益性の向上とともに地域の活性化にも貢献するものと期待される。



第41図 建設足場資材利用園芸ハウスの都道府県別設置面積と分布

近畿中国四国農業研究センターが施工または技術指導または設計などで直接かかわった物件に限る。

徳島県において導入された事例では、簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへ転換した事例に関する調査結果が報告されている。生産者に対して行われた簡易雨よけ施設によるトマトの夏秋栽培が行われている現状の課題と建設足場資材利用園芸ハウスの導入で期待できる効果に関する聞き取り調査の結果によると⁶⁷⁾、簡易雨よけ施設によるトマト栽培における課題として、障害果の発生、病害虫の被害、出荷期間の制限、台風の強風による壊滅的な被害などが挙げられる一方、建設足場資材利用園芸ハウスの導入に期待する効果として、品質の向上、病虫害の軽減に伴う減農薬栽培の実施、収穫期間の延長、台風被害の軽減などがあげられている。東出ら¹⁴⁾は、建設足場資材利用園芸ハウスを核とした技術導入によるこれらの効果を検証し、収穫期間の延長や台風などによる壊滅的な被害を回避できたことなどにより収量が現状の10 aあたり8 tから14 tに増加し農家収入は180万円増加すると試算されること、従来の簡易雨よけ施設では設置が困難であった防虫ネットを設置できることにより虫害を抑制するとともに減農薬栽培に取り組めることなどの効果を報告している。

本研究で開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、中山間地域において取り組まれている野菜・花き生産において、これまで不可能であった新たな生産システムの構築にも寄与している（第42図）。例えば、実証試験を実施した高知県土佐町では、建設足場資材利用園芸ハウス内に地域資源である豊富な湧水を引き込み山野草や花き類の共同生産用施設としての利用^{45, 66)}、遊休棚田を利用してレタスを栽培することで、収益の確保と遊休地管理を両立させる技術³⁰⁾での育苗用ハウスなどに活用されている。このうち、共同育苗施設については、狭小で日陰であることなどにより放棄された水田に建設足場用汎用パイプで共同の冷房育苗施設を設置し、これまで出荷できなかった11月にトルコギキョウを出荷できるようになり有利販売が可能になっている^{45, 54, 66)}。また、レタスについてはトマトの夏秋栽培の後作として地域において取り組まれ、遊休棚田において夏から秋に定植する作型と合わせて、地域としてみればほぼ周年出荷が可能となるなど³¹⁾、新たな生産システムが構築されるに至っており、地域において取り組まれている野菜・花きの生産振興に寄与している。

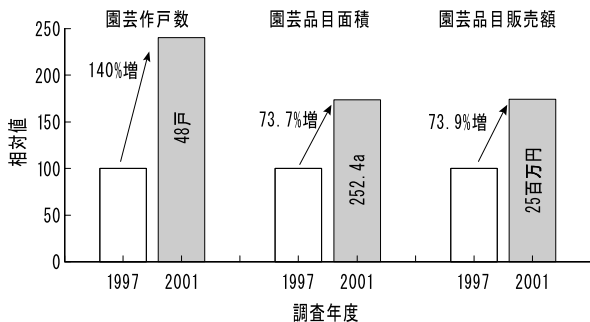
さらに、当該地域で積極的に行われている野菜・花き生産の振興は、生産者における農業収入を底上げする有効な手段であり⁶⁶⁾、建設足場資材利用園芸ハウスの導入は地域におけるこうした取り組みに貢献するものと考えられる。迫田ら⁶⁶⁾は、本研究を実施した対象地域において、研究を開始した1997年と開発技術の導入後（2001年）における地域の変化を解析し、対象地域では、建設足場資材利用園芸ハウスが開発されたことにより、上述のような花きの共同育苗や新たな園芸品目の共同生産組織（山野草研究会）が活動を始めるなどの波及効果を確認している。その概要を第43図に示す。迫田ら⁶⁶⁾の解析では、新たに園芸作物を取り入れた農家数、園芸生産面積および販売額は、それぞれ28戸（140%増）、107 a（73.7%増）および10,905千円（73.9%増）、販売額については1戸あたり530千円の増加であり、対象地域のある町域平均農業所得561千円（2000年）からみても軽視できない効果があったと指摘している。このように、開発した技術は対象地域において面的に広がり、都市のアンテナショップ

場所	品目(作型・体系)	月												備考
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
高知県 土佐町	トマト(慣行)	○ ————— △ —————												簡易雨よけ施設での夏秋栽培
	トマト	○ ————— △ —————												基幹品目
	→ スweetピー → トマト	耕起等 圃場準備												圃場をローテーションする
		立毛間播種 ○												
	→ スナップ → エンドウ → トマト	耕起等 圃場準備												圃場をローテーションする
		立毛間播種 ○												
→ トマト(慣行・ハウス)	○ ————— △ ————— ○ ~ △ ~												保温できるハウスでの慣行のトマトと冬・春どりレタスの組み合わせ	
レタス	—————													
徳島県 A町	トマト(慣行)	○ ————— △ —————												簡易雨よけ施設での夏秋栽培
	トマト	————— △ ————— ○												基幹品目
	→ チコリー	○ ————— △ —————												チコリー (コンテナ・伏せ込み) との組み合わせ
	→ セルリー	————— ○ ————— △												
	→ ブルーベリー	————— 収穫終了後露地へ搬出												ブルーベリー(促成) との組み合わせ
	ハウスへ搬入、加温													
広島県 B町	トマト(慣行)	○ ————— △ —————												簡易雨よけ施設での夏秋栽培
	→ トマト (1作目) → (2作目) → (3作目)	————— △ —————												インタークロッピング (株間定植)による 3作連続4段密植栽培
		————— ○ —————												
————— △ —————														
高知県 土佐町	トルコギキョウ 慣行	○ ————— △ —————												普通(無加温) 冬出し
	11月出し	○ ————— △ —————												湧水利用冷房育苗による 端境期の生産

第42図 建設足場資材利用園芸ハウスの導入による新たな作付体系の例

○：播種，△：定植，□：収穫，◇：その他管理。

高知県土佐町における事例は野中ら^{54, 55)}，川嶋ら³¹⁾，迫田ら⁶⁶⁾，徳島県A町における事例は東出ら^{19, 20)}，藤野ら⁶⁾，広島県B町における事例は岡田ら⁶⁰⁾をもとに作成。



第43図 対象地域に対する本研究の波及効果

対象地域における園芸作戸数，園芸品目面積および園芸品目販売額を，研究を開始した1997年を100として，2001年における増加率を示す。迫田ら⁶⁶⁾をもとに作成。

や道の駅での販売を通じて人との交流が図られるなど地域の活性化にも貢献した^{21, 66)}と評価されていることなどから，新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスを核とする生産システムは，中山間地域において普及性が高い技術であると考えられた。

4 結論

1. 開発した建設足場資材利用園芸ハウスをトマトの夏秋栽培に適用したところ，高温期における換気能力に優れること，収穫期間が延長されたことなどの効果により，従来の簡易雨よけ施設における収量(8.2 t・10 a⁻¹)と比較して9.7 t・10 a⁻¹であり約20%増収することを明らかにした。
2. 開発した建設足場資材利用園芸ハウスの周年利用を図るため，一例としてトマトの後作にスイートピーの導入を試みた。スイートピーを導入してトマトの夏秋栽培と組み合わせた新たな作付体系によって，販売額は約30%増加すると試算され，導入メリットが認められた。
3. 中山間地域の野菜・花き生産における建設足場資材利用園芸ハウスの普及可能性を検討した。建設足場資材利用園芸ハウスの導入によって新たに園芸作物を取り入れた農家数，園芸生産面積および販売額は，それぞれ140%，73.7%お

よび73.9%増加し、販売額については1戸あたり530千円の増加であった。中山間地域において建設足場資材利用園芸ハウスの利用が広がっていることから、普及性が高いものと考えられた。

Ⅶ 総合考察

中山間地域では、生産力の低下が進む一方で農業を軸とした地域の活性化が図られようとしており、野菜・花きによる集約的施設園芸が地域の活性化と持続的発展の要となっている^{42, 83)}。このため、簡易な雨よけ施設による生産が行われるようになり普及してきた^{16, 59, 93)}。しかし、さらなる増収や品質向上あるいは病虫害対策を目的に、中山間地域においても基盤整備が行われたような条件の良い圃場では、補助事業による大型パイプハウスの導入が進められている^{43, 83)}。これに対して、中山間地域の多くを占める傾斜畑では基盤整備が進まず^{43, 53)}、施設化も進んでいないのが現状である。

一方、平坦地における施設園芸は、大規模化が進みつつあり、環境制御の高度化が進みオランダ式の施設園芸を指向した研究開発が進められている^{86, 92)}。これに対して、中山間地域の傾斜地では平坦地を補完する役割が期待されている⁶⁶⁾にもかかわらず、傾斜地における野菜・花き生産に対応した施設園芸研究はほとんどなされていなかった。傾斜畑で栽培される場合が多い果樹では、傾斜面の地形をそのまま利用した大型傾斜ハウスもあり、その温度分布を測定した例⁹⁾がある。しかし、果樹の場合、高温期には被覆資材をはずして露地状態にするといった程度であり^{10, 28)}、野菜・花き生産と比べてそれほど精密な温度制御を必要とせず、環境制御の手法も野菜・花き生産とは異なる。このため、傾斜畑における野菜・花き生産に対応した施設の開発とともに、温度制御に関する技術開発も必要となっていた。しかし、傾斜ハウスにおける温度分布特性に関する研究は、無植栽で無制御状態での研究例^{74, 80, 81)}はあるものの、植栽状態での温度制御を前提とする研究はほとんど行われていなかった。

本研究において、第Ⅰ章ではこうしたわが国における傾斜地農業と傾斜地施設園芸ならびに傾斜地に

おける施設園芸研究の現状と課題を概説した。その上で、以下に掲げた課題、すなわち、①傾斜ハウスにおける温度分布特性とその利用可能性、②傾斜畑における野菜・花き生産に対応した新たな傾斜ハウスすなわち建設足場資材利用園芸ハウスの開発、③開発した同ハウスの高温期における換気にともなう温度分布特性、④開発した同ハウスの低温期におけるの加温・送風にともなう温度分布特性および⑤建設足場資材利用園芸ハウスの導入による新たな野菜・花き生産システム構築の可能性について、それぞれ第Ⅱ章、第Ⅲ章、第Ⅳ章、第Ⅴ章および第Ⅵ章で検討した。

第Ⅱ章では、平坦地における一般的な園芸施設であるアーチ型パイプハウスを傾斜畑へ試験導入し、平坦地に設置した同型ハウスとの比較により傾斜ハウスの温度分布特性を解析し、傾斜ハウスは、地形の傾斜にともない換気のための開口部の高低差が大きいことから平坦地ハウスより換気能力に優れること、換気を行う場合には側窓を巻き上げるなど換気のための開口面積を大きくすることで傾斜ハウス内の温度分布が均一化されるなどの環境特性を明らかにした。すなわち、高温期における傾斜ハウスによる野菜・花き生産が可能なることから、従来から利用されていた簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換が可能なることを明らかにした。一方、低温期において傾斜ハウス内を加温する場合にはハウスが密閉されるため、ハウス内は斜面下方ほど温度が低い温度勾配が生じるが^{9, 32, 33, 80)}、温風ダクトを斜面下方の妻面に配置することで温度分布を均一化できることなどを示し、傾斜ハウスの周年利用が可能であることを明らかにした。

第Ⅲ章では、簡易雨よけ施設に替わる野菜・花き生産用傾斜ハウスに必要な構造などの要件を抽出するとともに、同要件に基づいて新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの構造的特徴などを述べた。開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、平坦地で一般的に利用されているアーチ型パイプハウスを流用したアーチ型傾斜ハウスと比較して低コストであるとともに耐風速 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の強度を有する構造であること、小区画で不定形な傾斜畑に対応できることなど、野菜・花き生産用傾斜ハウスに必要な要件を満たすことを明らかにした。コストについ

ては2000年当時の数値であるが、その相対的優位性は現在も保たれている⁵²⁾。さらに、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、軒高が約3mと高く、その四方には2段の巻き上げ換気窓を設置することによってアーチ型傾斜ハウスより開口面積を大きくできることなどの特徴を述べるとともにその仕様にしたい生産者が自家施工できることを示した。

第IV章では、開発した建設足場資材利用園芸ハウスについて、高温期における換気にもなう温度分布特性を解析した。新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスは高軒高であり換気のための開口面積が大きく、アーチ型傾斜ハウスと比較して換気が良好であること、高温期の夏秋栽培において簡易雨よけ施設に替わる傾斜ハウスとして適していることなどを明らかにした。また、中山間地域では、さまざまな形状の傾斜畑において野菜・花きの生産が行われているが⁵⁴⁾、傾斜方向に長い形状の建設足場資材利用園芸ハウスに加え、段差のある2区画の傾斜畑からなる傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいても十分な換気能力を付与できること等を明らかにした。

さらに第V章では、開発した建設足場資材利用園芸ハウスの低温期における利用の可能性を検討した。従来の簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへの転換が図られると、高温期のみならず低温期における生産も可能になると期待され、生産者にとっては収益性の向上や経営の選択肢が広がること等のメリットが期待される。傾斜畑に設置される傾斜ハウスは、密閉されると斜面下方から上方へ向かって温度が高くなる温度勾配が生じるが^{9, 32, 33, 80)}、この特性は足場資材利用園芸ハウスにおいても同じであった。野菜・花き生産ではハウス内の温度分布をできるだけ均一に管理することが必要であるが、傾斜畑の形状はさまざまであり、加温時の温度分布についてもその形状によって異なることが考えられる。そこで、傾斜方向または等高線方向に長い傾斜畑および傾斜段畑に設置した3つの建設足場資材利用園芸ハウスを用いて実証的研究を行い、温風ダクトと循環扇の有無や温風ダクトの配置が加温時の温度分布に及ぼす影響を解析した結果、温風ダクトや循環扇を適切に配置することにより加温時の温度制御が可能であることなどを示した。

このように、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、加温時の温度制御が可能であり、低温期における野菜・花き生産に対応できることを明らかにした。しかし、生産者の圃場において実施した実験であり、生産物への影響が懸念されるような実験は難しく、生産者の意向を踏まえた限られたパターンでしか実験できていない。近年、ハウス内の温度環境を再現する手法として数値流体力学(CFD, Computational Fluid Dynamics)シミュレーションの開発が進められ、傾斜ハウスの自然換気設計への応用例³⁹⁾も報告されている。CFDシミュレーションは発展途上であるものの、施設園芸における利用が期待されている。こうしたシミュレーションによってあらかじめ温風ダクトや循環扇の配置による温度環境を予測し提示できれば、生産者が納得して利用できる技術になり得る。本研究は事例的な測定結果を解析したに過ぎず、多様な条件に対応する加温技術として一般化するには至っていない。しかし、本研究は傾斜ハウスにおける換気または加温時における温度分布特性の基礎的知見を提供するものであり、シミュレーションの構築など今後の傾斜ハウスにおける温度制御技術の開発に寄与すると考えられる。

第VI章では、新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの導入による新たな作付体系とその導入効果を検討した。建設足場資材利用園芸ハウスをトマト生産者圃場に導入して行った実証試験の結果、トマトの収量は簡易雨よけ施設(8.2 t・10 a⁻¹)と比べて建設足場資材利用園芸ハウス(9.7 t・10 a⁻¹)の方が多く、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、高温期の生産となる夏秋栽培において適用できると判断された。さらに、従来の夏秋トマト栽培に加えて低温期における新規作物としてスイートピーを導入した新たな作付体系で生産を行うことを想定し、実証試験の結果をもとに販売額を試算したところ、販売額が約30%増加する結果となった。本研究では経営分析が不十分ではあるものの、トマトの後作としてスイートピーを導入するメリットがあることを示した。

本研究では、新規導入作物としてスイートピーを選択したが、比較的低温性の作物であればトマトの後作として導入可能と考えられる。例えば、スイー

トピーと同様にマメ科で低温性作物であるスナップエンドウなども候補である。実証試験の対象とした生産者では、スイートピーの導入を一気に進めることはできず試験導入に終わった。しかし、実証試験の後、生産者においてさらに検討が重ねられ、現在はトマトスナップエンドウの作付体系で生産が行われている。当該地域においては、トマトの後作としてスナップエンドウの導入が勧められ地域的な取り組みが始まっており、共販ができるなどのメリットがあることも導入作物を選定する場合には考慮する必要がある。

中山間地域では、斜面の方位により日照時間などの日射条件や温度条件など気象環境はさまざまである^{22, 36, 38)}ことから、適品目の選定も重要である。本研究では適品目の検討は十分ではなかったが、建設足場資材利用園芸ハウスが導入された徳島県の中山間地域における事例では、トマトの夏秋栽培の後作としてセロリー、チコリーおよびロメインレタスなどの低温性野菜⁶⁾、クサソテツ、タラノメおよび山ふきのふかし栽培⁸⁴⁾、ブルーベリー栽培¹³⁾の導入が検討された。対象とする地域、圃場の気象条件を把握し適品目をスクリーニングするシステム^{7, 70)}も検討されており実用化が待たれる。

本研究は、中山間地域における集約的施設園芸技術開発の一端を述べたにすぎない。しかし、建設足場資材利用園芸ハウスを核として開発した本研究の成果を含む技術は、本研究において実証試験を実施したトマト生産者ととどまらず、同周辺地域においても新たな農業生産技術として活用されるに至った。例えば、建設足場資材利用園芸ハウス内に地域資源である豊富な湧水を引き込み山野草の共同生産用施設としての利用⁶⁶⁾、同様の仕組みで夏期高温期にトルコギキョウを共同で湧水を利用した冷房育苗技術による端境期出荷^{45, 54, 66)}などに活用された。遊休棚田を利用してレタスを栽培することで収益の確保と遊休地管理を両立させる技術では育苗用ハウスに活用され、地域としてみればほぼ周年出荷が可能となった^{30, 31)}。さらに、傾斜畑においても均一な灌水・施肥が可能な養液土耕システム³⁴⁾や養液栽培システム¹⁴⁾が開発されるなど、中山間地域における施設園芸の生産力向上に向けた技術開発が進められている。このように、建設足場資材利用園芸

ハウスはさまざまな野菜・花き生産に対応してさまざまな応用が図られていることから、普及性の高い技術であると考えられる。

本研究を実施した対象地域において、研究を開始した1997年と開発技術の導入後(2001年)における地域の変化が迫田ら⁶⁶⁾により示されている。対象地域では、新たに野菜・花きを取り入れた農家数、生産面積および販売額は、それぞれ28戸(140%増)、107 a(73.7%増)および10,905千円(73.9%増)、販売額については1戸あたり530千円増加した。迫田ら⁶⁶⁾は、対象地域のある町域平均農業所得561千円(2000年)からみても軽視できない効果があったと指摘している。さらに、開発した技術は対象地域において面的に広がり、都市のアンテナショップや道の駅での販売を通じて人との交流が図られるなど、地域の活性化にも貢献した^{21, 66)}と評価されている。また、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、当該研究で対象とした地域のみならず他の中山間地域においても導入が進んだ^{20, 21, 51, 60, 69)}。このように、建設足場資材利用園芸ハウスを核として進めた本研究は、中山間地域における農家所得の向上とそれにとまなう地域の活性化ならびに維持・発展を支える技術として意義があるものと考えられた。

謝 辞

本論文は、筑波大学学位審査論文(平成26年3月、博乙第2684号)である「平張型傾斜ハウスの新規開発とその導入による野菜・花き生産システムの構築」を基に編集、加筆したものである。

本研究にご理解いただき、論文として取りまとめるにあたり、懇切にご指導をいただきました筑波大学大学院生命環境科学研究科佐竹隆顕教授に深く感謝申し上げます。また、博士論文の審査に際し、ご校閲およびご指導いただいた筑波大学大学院生命環境科学研究科北村豊教授、同吉田滋樹准教授、同瀧川具弘教授、(独)農研機構畜産草地研究所畜産環境研究領域長澤村篤博士に心から感謝申し上げます。

本研究は、(独)農研機構近畿中国四国研究センター総合研究第3チーム(当時)が中心となって取り組んだ農林水産省のプロジェクト、地域先端技術総合研究「四国傾斜地に対応した野菜・花き等の集

約的生産技術の確立 (1997～2001)」における研究成果の一部を取りまとめたものである。本プロジェクトの推進責任者であった同研究チームの野中瑞生チーム長 (当時、元・同研究センター四国研究監、現・ちっご野菜クラブ代表) には、研究の推進をはじめ公私にわたり格別のご指導を賜った。また、長崎裕司博士 (現・同研究センター)、的場和弘主任研究員 (現・ (独) 農研機構畜産草地研究所) には同じ研究チームの上司として数々のご指導をいただいた。さらに、現地実証試験の実施にあたり、建設足場資材利用園芸ハウスの開発・施工をはじめとする数々の困難の克服にご尽力いただいた上枝博樹氏、宮武正広氏、樋笠啓智氏をはじめ、技術専門職員各位の協力が不可欠であった。ここに記して感謝の意を表する。

また、本研究は、トマト生産者の川村彰氏とご家族のご協力とご助言なしには成り立ちませんでした。ここに記して改めて感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 朝倉利員 2007. 施設果樹に対する期待と目指すもの. 施設と園芸. 39: 10 - 15.
- 2) 馬場 勝 2010. 循環扇. 農文協編, 最新農業技術花卉 vol. 2. 農山漁村文化協会, 東京. 288 - 291.
- 3) Boulard, T., Feuilloley, P. and Kittas, C. 1997. Natural ventilation performance of six greenhouse and tunnel types. *J. Agric. Engng. Res.* 67: 249 - 266.
- 4) Cotter, D. J., and R. T. Seay. 1960. The effect of circulating air on the environment and tomato growth response in a plastic greenhouse. *Amer. Soc. Hort. Sci.*, 77: 643 - 646.
- 5) 土井典秀 1995. スイートピー. 開花調節マニュアル編集委員会編著, 1～2年草の開花調節マニュアル. いしずえ, 東京. 47 - 50.
- 6) 藤野雅丈・木下貴文 2009. 低温性作物の冬春期への導入. 伊吹俊彦・家常高共著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 161 - 181.
- 7) 藤田晴啓・畑中健一郎・西原勝雄 1997. 農村地域の空間データ基盤整備と資源情報解析の事例研究. 地理情報システム学会講演論文集. 6: 233 - 237.
- 8) 福井淑子・玖波井邦昭・中村正男 2009. 施設園芸農家の新・省エネルギーシステムに対する意識と導入条件の検討. 高知農技セ研報. 76: 49 - 58.
- 9) 原藺芳信・矢吹万寿 1986. 傾斜地におけるブドウの大規模施設の内部微気象環境と施設が周辺環境に及ぼす影響に関する研究. 日本生命財団助成研究報告論文. 1 - 162.
- 10) ——— 1990. 傾斜地大型ハウス. 農業施設学会編, 農業施設ハンドブック, 東洋書店, 東京. 251 - 255.
- 11) 林真紀夫 1990. 暖・冷房設備. 農業施設学会編, 農業施設ハンドブック, 東洋書店, 東京. 194 - 201.
- 12) 東出忠桐・笠原賢明・伊吹俊彦・角川 修 2005. 傾斜地トマト栽培のための低コスト・閉鎖系養液栽培システムの開発. 園学研. 4 (1): 33 - 40.
- 13) ———・青木宣明・木下貴文・伊吹俊彦・笠原賢明 2006. 中山間傾斜地におけるブルーベリーのコンテナ養液栽培の実用化. 園学研. 5 (3): 303 - 308.
- 14) ———・伊吹俊彦・笠原賢明・角川 修・迫田登稔・木下貴文 2007. 傾斜ハウスおよび傾斜地対応型養液供給システムを用いた夏秋トマトの実証栽培. 園学研. 6 (1): 91 - 95.
- 15) 久富時雄・藤本幸平 1977. 換気による環境制御と複合環境制御. 位田藤久太郎編著, 施設園芸の環境と栽培. 誠文堂新光社, 東京. 109 - 140.
- 16) ニツ寺勉・小池法雄・羽賀 豊 1976. 冷涼地夏秋トマトの新作型設定に関する研究. 岐阜高冷地農試研報. 1: 1 - 63.
- 17) Hochmuth, G. J., E. E. Albregts, C. C. Chandler, J. Cornell, and J. Harrison 1996. Nitrogen fertigation requirements of drip-irrigated strawberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121: 660 - 665.

- 18) 堀江正樹 1988. わが国の傾斜地農業の実態と課題. 研究ジャーナル. 11 (11): 16 - 23.
- 19) 兵藤宗郎 2003. 施設園芸の現状と展望. (社)日本施設園芸協会編, 五訂版施設園芸ハンドブック. 園芸情報センター, 東京. 6 - 9.
- 20) 伊吹俊彦 2009. 平張型傾斜ハウスの構造および性能向上技術. 伊吹俊彦・家常高編著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 32 - 46.
- 21) 家常 高 2009. 傾斜地農業の新たな展開に向けた研究. 伊吹俊彦・家常高共著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 1 - 9.
- 22) 猪熊絵里奈・弓削こずえ・中野芳輔・舟越 保 2004. 傾斜地における圃場整備が生産因子に及ぼす影響. 九大農学芸誌. 59 (1): 43 - 48.
- 23) 井上久義 2009. 貯水型水路による雨水の安全な排水方法. 伊吹俊彦・家常高編著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 47 - 77.
- 24) 入口義春・原 英雄・西野敏勝・小島勝次郎 1995. 中山間傾斜地を活用した多日照・耐風構造ハウスの開発とガーベラの多収栽培. 長崎農林試研報 (農業部門). 22: 23 - 33.
- 25) 石井雅久・奥島里美・森山英樹・降幡泰永 2012. 循環扇が温室内の気流・温度分布に及ぼす影響. 植物環境工学. 24 (3): 193 - 200.
- 26) 伊藤健次 1958. 傾斜地農業. 地球出版社, 東京. 252.
- 27) 伊東 正 1972. そ菜の光合成特性とその栽培的意義 (第6報) 換気扇を利用した大型ビニールハウス内のトマトの生育, 収量, 品質. 園学雑. 41: 51 - 60.
- 28) 鴨田福也 1990. 施設設計・利用技術・果樹用施設. 農林水産研究文献解題16施設園芸編, 農林水産技術会議事務局編, 農林統計協会, 東京. 35 - 38.
- 29) ——— 1990. 施設栽培果樹の歩みと現状. 鴨田福也・岡野邦夫・荒木陽一編著, すぐに役立つハウス栽培新技術—高収益性と環境保全をめざして—. (社)農業電化協会, 東京. 4 - 10.
- 30) 川嶋浩樹・野中瑞生・長崎裕司 2001. 休耕棚田を利用した夏秋レタストンネル栽培技術の確立. 農業生産技術管理学会誌. 9 (別1): 13 - 14.
- 31) ———・——— 2003. 四国傾斜棚田地域における夏秋レタス栽培の導入. 近畿中国四国地域における新技術. 1: 154 - 156.
- 32) ———・———・長崎裕司 2007 a. 換気または加温による傾斜ハウス内の温度変化と温度分布の特徴. 農業生産技術管理学会誌. 14 (1): 55 - 60.
- 33) ———・———・——— 2011. 平張型傾斜ハウスにおける温風の送風条件が加温時の温度分布に及ぼす影響. 農業生産技術管理学会誌. 17 (4): 117 - 123.
- 34) Kawashima H. 2013. Development of a drip fertigation system for protected horticulture on sloping land. JARQ. 47 (2): 171 - 174.
- 35) Kittas, C., Boulard, T. and Papadokis, G. 1997. Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings: Sensitivity to temperature and wind effects. Transaction of the ASAE. 40 (2): 415 - 425.
- 36) 北村信弘・諸岡淳司・立石 博 1995. 中山間地の斜面方位と花き類の生育, 開花. 長崎農林試研報 (農業部門). 22: 9 - 22.
- 37) 北宅善昭 1992. 空気の流動. 古在豊樹 (代表著者), 新施設園芸学. 朝倉書店, 東京. 79 - 86.
- 38) 金野隆光 1990. 傾斜地 (中山間地) 利用農業. 研究ジャーナル. 13 (6): 21 - 31.
- 39) 畔柳武司 2009 a. シミュレーションによる自然換気設計. 伊吹俊彦・家常高共著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 102 - 112.
- 40) ——— 2009 b. 循環扇による空気攪拌範囲の機種間差の比較. 園学雑. 8 (1): 116.
- 41) ——— 2010. 作物群落の配置が循環扇の空気攪拌範囲に及ぼす影響. 園学雑. 9 (1): 145.
- 42) 増淵隆一 1996. 中山間地域における農業経営発展の可能性と経営政策. 農業経営研究. 33 (4): 17 - 24.
- 43) ——— 1997. 傾斜地農業の地域特性と再編課

- 題, 四国農試報, 61 : 135 - 147.
- 44) 松浦昇平・星野 滋・川口岳芳 2004. 循環扇を用いた送風処理が促成トマトの病害発生と生育・収量に及ぼす影響. 広島農技セ研報, 76 : 11 - 17.
- 45) Nagasaki, Y., M. Nonaka and H. Kawashima 2000. Development of shallow pool nursery system. Proc. Intl. Agric. Eng. Conf. 2000. 459 - 465.
- 46) 長崎裕司・川嶋浩樹・野中瑞生・的場和弘・田中宏明・猪之奥康治・角川 修・岡戸敦史 2001. 平張型傾斜ハウス構造の力学特性. 農業施設学会講要, 92 - 93.
- 47) ——— 2002. 中山間傾斜地農業における作業技術研究に関する一考察. 農業機械学会誌, 64 (5) : 14 - 18.
- 48) ———・野中瑞生・川嶋浩樹・的場和弘 2004. 傾斜畑簡易雨よけ栽培の現状と平張型傾斜ハウスによる栽培環境改善. 農作業研究, 39 (1) : 27 - 32.
- 49) ———・—————・—————・鶴崎 孝・的場和弘 2004. 平張型傾斜ハウス内管理作業の軽作業化—等高線畝栽培とレール式薬剤散布機の適用を中心として—. 農作業研究, 39 (1) : 1 - 7.
- 50) ———・—————・—————・岡崎紘一郎・宮崎昌宏・的場和弘・田中宏明・角川 修 2005. 野菜生産における地域特性を考慮した農業機械・施設の開発・利用に関する研究—稲跡野菜作と平張型傾斜ハウス生産を中心に—. 近中四農研報, 4 : 129 - 171.
- 51) ——— 2009. 中山間地における野菜作の施設・機械化技術. 農機学会誌, 71 (2) : 8 - 11.
- 52) ———・川嶋浩樹・畔柳武司・田中宏明・中元陽一 2010. 中山間棚田における建設足場資材利用園芸ハウスの施工技術の実証と改善方向. 近中四農研資料, 7 : 33 - 43.
- 53) Nakagawa, S. 1997. The current situation and future tasks in slopeland agriculture in Japan and Asia. Study Meeting on Sustainable Farming Systems in Upland Areas — Resource Papers Session in Takamatsu —, SRC, Zentsuji, 1 - 17.
- 54) 野中瑞生・川嶋浩樹・長崎裕司・遅澤省子 1998. 傾斜地ハウスにおける野菜・花き栽培技術の開発—第2報 営農試験地における花き栽培の現状と問題点—. 農作業研究, 33 (別1) : 93 - 94.
- 55) ———・—————・————— 1999. 四国傾斜地に対応した野菜・花き等の集約的生産技術の確立—営農試験地の現状と傾斜地ハウスの開発—. 農業生産技術管理学会誌, 6 (別1) : 47 - 48.
- 56) 野々下知 2007. 省エネと収量アップにつながる循環扇の多目的利用技術—温度ムラ改善・多湿病害抑制・光合成促進—. 施設と園芸, 138 : 31 - 33.
- 57) ——— 2009. 園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況. (社) 日本施設園芸協会, 東京, 197.
- 58) 農林水産省農業研究センター 2000. 県別・作目別収支データ・利益係数・技術係数データファイル, 1 - 371.
- 59) 小倉祐幸・岡 昌二 1990. 園芸施設. 農業施設, 20 (特別号) : 45 - 58.
- 60) 岡田牧恵・房尾一宏・川口岳芳・山本真之 2013. 夏秋トマト低段密植栽培における栽植密度, 作型, 収穫花房数および培地量が生育および収量に及ぼす影響. 広島総研農技セ研報, 89 : 9 - 17.
- 61) Okada, M., T. Hamasaki and T. Hayashi 1995. Temperature gradient chambers for research on global environment change (1) Thermal environment in a large chamber. Biotronics, 24: 85 - 97.
- 62) 岡田益己 1980. 暖房. 三原義秋編著, 温室設計の基礎と実際. 養賢堂, 東京, 182 - 204.
- 63) 大森弘美 2008. 日本型トマト多収生産に向けた研究開発のマイルストーン (8) 施設生産における省力化技術の開発展望. 農業及び園芸, 83 (8) : 924 - 928.
- 64) 小澤行雄・内藤文男 1993. 園芸施設学入門 (改訂増補版). 川島書店, 東京, 1 - 200.
- 65) 斉藤 章 2012. オランダの最新のトマトとその産業. エベ・フューヴェリンク編著 (中野明正他監訳), トマト—オランダの多収技術とそ

- の理論. 農文協, 東京. 3 - 20.
- 66) 迫田登稔・野中瑞生・関野幸二 2004. 四国傾斜棚田地域における営農面の技術的支援とその成果. 持田紀治編, 国際競争に打ち勝つ農業経営自立化戦略—新しい農業経営者能力の開発と活用—. 農林統計協会, 東京. 105 - 137.
- 67) ———・室岡順一・島 義史 2005. 四国傾斜畑地域における営農に対する新技術導入の効果と課題—徳島県M町K集落を事例に—. 農林業問題研究. 158 : 135 - 140.
- 68) ———・———・——— 2006. 四国傾斜畑地域における営農の現状と課題—徳島県山間地域の夏秋トマト産地を事例に—. 農業および園芸. 81 (8) : 863 - 876.
- 69) ——— 2009. 傾斜畑地域における園芸生産への新技術導入の意義. 伊吹俊彦・家常高共著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 10 - 31.
- 70) Sato, K., K. Hatanaka, K. Nishihara and H. Fujita 2000. Extraction of shaded farm lands by GIS and their climatic resource analyses. Proc. XIV CIGR World Cong. 2000: 1739 - 1743.
- 71) 佐瀬勘紀 1998. 園芸施設の高湿抑制と快適化のための環境制御. 農業工学研究所編, 環境時代に向けた次世代農業施設の課題と展望. 53 - 62.
- 72) ——— 2003 a. 施設の種類と形式. (社)日本施設園芸協会編, 五訂版施設園芸ハンドブック. 園芸情報センター, 東京. 26 - 37.
- 73) ——— 2003 b. 換気・気流制御. (社)日本施設園芸協会編, 五訂版施設園芸ハンドブック. 園芸情報センター, 東京. 182 - 195.
- 74) 関 平和・木村達郎・宮本暁人・菅谷 博・佐々木華織・猪之奥康治 2001. 閉鎖型傾斜ハウス内の温度および速度場のモデル化. 農業気象. 57 (1) : 29 - 40.
- 75) ———・和田健一郎・菅谷 博 2002. 中山間地域における温室環境とその有効利用の可能性. 農業環境工学関連4学会合同大会講演要. 251.
- 76) 関山哲雄 1997. 植物工場. (社)日本施設園芸協会編, 最新施設園芸の環境制御技術. 誠文堂新光社, 東京. 208 - 216.
- 77) 柴田昇平・菅谷 博 2002. 高知早明浦ダム周囲における斜面上昇風の成因. 農業環境工学関連4学会2002合同大会講演要旨 : 62.
- 78) 島 義史 2008. 新規参入者の支援—施設園芸作の創業を中心に—. 近中四農業経営研究. 12 : 1 - 12.
- 79) 菅谷 博 1998. 傾斜地におけるハウス研究. 中国・四国の農業気象. 11 : 108 - 111.
- 80) ———・佐々木華織・竹崎あかね 1997. 傾斜ハウス内の環境について (2) 傾斜ハウスの温度環境. 農業気象中四国支部会誌. 10 : 56 - 58.
- 81) ———・———・猪之奥康治 1998. 傾斜ハウス内の温・湿度環境. 農業気象1998年度大会講演要旨. 446 - 447.
- 82) 杉田浩一・黒木正晶・三浦猛夫 2000. スイートピー栽培の作畦栽培と不作畦栽培の比較. 九州農業研究. 62 : 60.
- 83) 高橋弘江・関野幸二 1999. 中山間棚田地域における地域農業の現状と展開方向—高知県土佐町の事例—. 農業経営研究. 37 (2) : 85 - 90.
- 84) 武内徹郎・小角順一・高木一文 2009. 山菜のふかし栽培技術. 伊吹俊彦・家常高共著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 182 - 195.
- 85) 立石 一 1989. 市場動向からみた中山間傾斜地における野菜の産地形成. 中山間傾斜地農業の活性化を目指して. 四国農業試験場, 33 - 58.
- 86) 寺島一男・中野明正・井原史雄 2005. 進化する施設栽培—大規模施設から植物工場まで—. 農林水産研究開発レポートNo.14. 農林水産技術会議事務局, 1 - 20.
- 87) Teitel, M., A. Shklyar, I. Segal and M. Barak 1997. The effect of the heating method on greenhouse microclimate. Acta Hort. 443: 11 - 21.
- 88) 上野福男 1953. 傾斜地利用の課題. 農技研報 (H経営土地利用). 8 : 1 - 17.
- 89) 横木清太郎 1970. ビニールハウスにおける換

- 気扇の適正利用法. 農業および園芸. 45 (2): 363 - 368.
- 90) 矢吹万寿・宮川秀夫 1970. 風速と光合成に関する研究 (第2報) 風速と光合成の関係. 農業気象. 26: 137 - 141.
- 91) 横田真一郎 2007. 果樹産業における施設栽培の役割と今後への期待. 施設と園芸. 139: 4 - 9.
- 92) 吉田建実 2008. 日本型トマト多収生産に向けた研究開発のマイルストーン (1) トマトの多収に向けた技術開発の展望. 農業及び園芸. 83 (1): 64 - 70.
- 93) 雪竹照信 1982. 中山間地域における夏秋トマトの簡易栽培法に関する研究. 佐賀農試研報. 22: 39 - 63.
- 94) Zamir, N., G. Medan, A. Arbel and N. Levav. 1984. The influence of climatic conditions on the heat losses from conventional and sloping greenhouses. *Acta Hort.* 148: 319 - 328.

Studies on The Development of A Sloping Greenhouse Using Scaffold Materials and A New Horticultural Production System on Sloping Lands with It

Hiroki KAWASHIMA

Summary

Sloping-land agriculture comprises about 40% of the total farming area in Japan. Japanese agriculture faces a number of serious problems, including depopulation, aging farmers, and increasing abandonment of farmland. These problems are rapidly intensifying, particularly in sloping-land agriculture, most of which occurs in hilly or mountainous areas. In contrast, sloping-land agriculture offers potential due to its more versatile characteristics compared with those of flatland agriculture. Intensive horticulture is expected to play an important role in the development of hilly and mountainous areas. It is necessary to improve the low productivity of conventional vegetable and flower cultivation with rain shelters. To promote the development of mountainous areas, a new horticulture production system for sloping-land agriculture is needed. Accordingly, to establish a new horticultural production system on sloping land, a sloping greenhouse has been developed to replace the simple covered rain shelter.

The objective of this thesis is to establish a new horticultural production system for the sustainable development of mountainous areas. Therefore, a sloping greenhouse, which is a greenhouse that can be constructed on a sloping field, was developed. The characteristics of the thermal environment in a sloping greenhouse were elucidated to establish techniques for its control. The adaptability of a sloping greenhouse for the horticultural production of vegetables and flowers was investigated and a production technique was developed.

This thesis consists of 7 chapters. Chapter I is the introduction, and chapter VII consists of an all-inclusive discussion. In the introductory chapter, the outline and the background of the problems of sloping land agriculture in a mountainous area and the objectives of the studies are described as mentioned above.

Chapter II describes the characteristics of the thermal environment in a sloping greenhouse, which was constructed as a high pipe tunnel on sloping land, in order to develop techniques for its control. The thermal environment in a sloping greenhouse was elucidated and internal temperature changes were investigated. The adaptability of a sloping greenhouse to vegetable and flower production in a sloping field was also investigated. At first, the changes in internal temperature were compared in high pipe tunnels on flat and sloping land. The ventilation of the sloping greenhouse was superior to that of a standard greenhouse constructed on flat land. When the sloping greenhouse was ventilated by opening both end walls, the internal temperature gradient along the slope was maintained. However, the internal temperature gradient was reasonably uniform in a sloping greenhouse ventilated with side openings. The

changes in internal temperatures were compared by sending hot air from one end to the other. Temperature gradients were observed in a standard greenhouse. However, the temperature distribution in the sloping greenhouse was uniform, that is, the temperature difference along the slope was below 1.0 degrees. It was also affected by the attached circulation fan. These studies showed that the thermal environment in a sloping greenhouse, constructed as a high pipe tunnel, could be controlled and that a sloping greenhouse was proper for vegetable and flower production in sloping fields.

However, some problems were found when the sloping greenhouse, constructed as a high pipe tunnel, was adapted to an actual sloping field where tomatoes were cultivated with a rain shelter. For example, unavailable space remained around the sloping greenhouse because its configuration was not fitted to the non-rectangular shape of the sloping field. Further, the surface of the field by the side of the sloping greenhouse was affected by rain shed from the roof. To solve these problems, a sloping greenhouse using scaffold materials was developed. Chapter III describes the characteristics of the developed sloping greenhouse. The developed sloping greenhouse was adaptable to various configurations of the sloping field because of its free construction. It could also be constructed at a low cost with mass-produced scaffold materials, which made a strong structure. The 3-m high eaves of the developed sloping greenhouse allowed ventilators to be placed on all sides for smooth ventilation. Its construction also increased the internal space for working and cultivation. The area usable for cultivation in the developed sloping greenhouse was about 30% greater than that in a conventional rain shelter. Rain drops on the roof were drained along the slope of the roof; therefore, surface erosion disappeared.

Chapter IV describes the thermal environment in a developed sloping greenhouse and the development of control techniques to establish a new horticultural production system on sloping land. The investigations were conducted in a farmer's sloping field, in which tomatoes had been cultivated with a conventional covered rain shelter. The differences between the internal and external temperatures of a developed sloping greenhouse were smaller than those of the sloping greenhouse constructed as a high pipe tunnel. This was because the eaves of the developed sloping greenhouse were higher than those of the high pipe tunnel, creating a larger ventilation area. A ventilator was attached between the roofs of 2 developed sloping greenhouses constructed on a terraced field; this connected the roofs like a step. When the ventilator between the roofs was closed, the internal temperature increased in the upper part of the developed sloping greenhouse, and a temperature gradient was observed. On the other hand, when the ventilator between the roofs was opened, the internal temperature decreased and became equivalent to the external temperature, even in summer. In other words, the temperature distribution was uniform.

Chapter V describes the development of heating techniques in a developed sloping greenhouse and the characteristics of the thermal environment of a few configuration patterns. At first, the internal temperature distribution in the developed sloping greenhouse whose length along the upward slope was greater than that along the contour was investigated. Hot air was generated by an air heater, with or without polyethylene tubes and circulation fans. When neither polyethylene tubes nor circulation fans were used, the hot air around the air heater at the lower part of the slope seemed to be moving in a vertical direction, and then upward along the roof. The directional pattern of hot airflow was changed by means of polyethylene tubes, and the downward airflow was made parallel to the slope using circulation fans. In the case of a developed sloping greenhouse whose length along the contour was greater than that along the upward slope, the internal temperature distribution was made reasonably uniform by using air heaters with polyethylene tubes set at the lower end of the slope.

Chapter VI reports on the availability and utility of a developed sloping greenhouse in sloping land horticulture. Farmers benefited by producing vegetables and/or flowers year-round with a developed sloping greenhouse, which was developed as an alternative to a simple rain shelter. An economic analysis was conducted using simple calculations of data from when the farmer cultivated tomatoes and a newly introduced crop, sweet peas, in a developed sloping greenhouse. An economic advantage was found with the new cropping system, which increased the total turnover by 30% compared to a conventional cropping system.

These studies were conducted based on regional production needs and undertaken in a project entitled 'Developing an intensive vegetable and flower production system using sloping-land resources in Shikoku'. In the region where these studies were conducted, the horticultural turnover and production area increased by 73.9% and 73.7%, respectively. The new production system with a developed sloping greenhouse, developed in these studies, has been extended to other mountainous areas. These studies contribute to the sustainable development of mountainous areas based on a new intensive horticultural production system.

近畿中国四国農業研究センター研究報告 第14号

平成27年 3月31日 印刷

平成27年 3月31日 発行

発行所 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
近畿中国四国農業研究センター

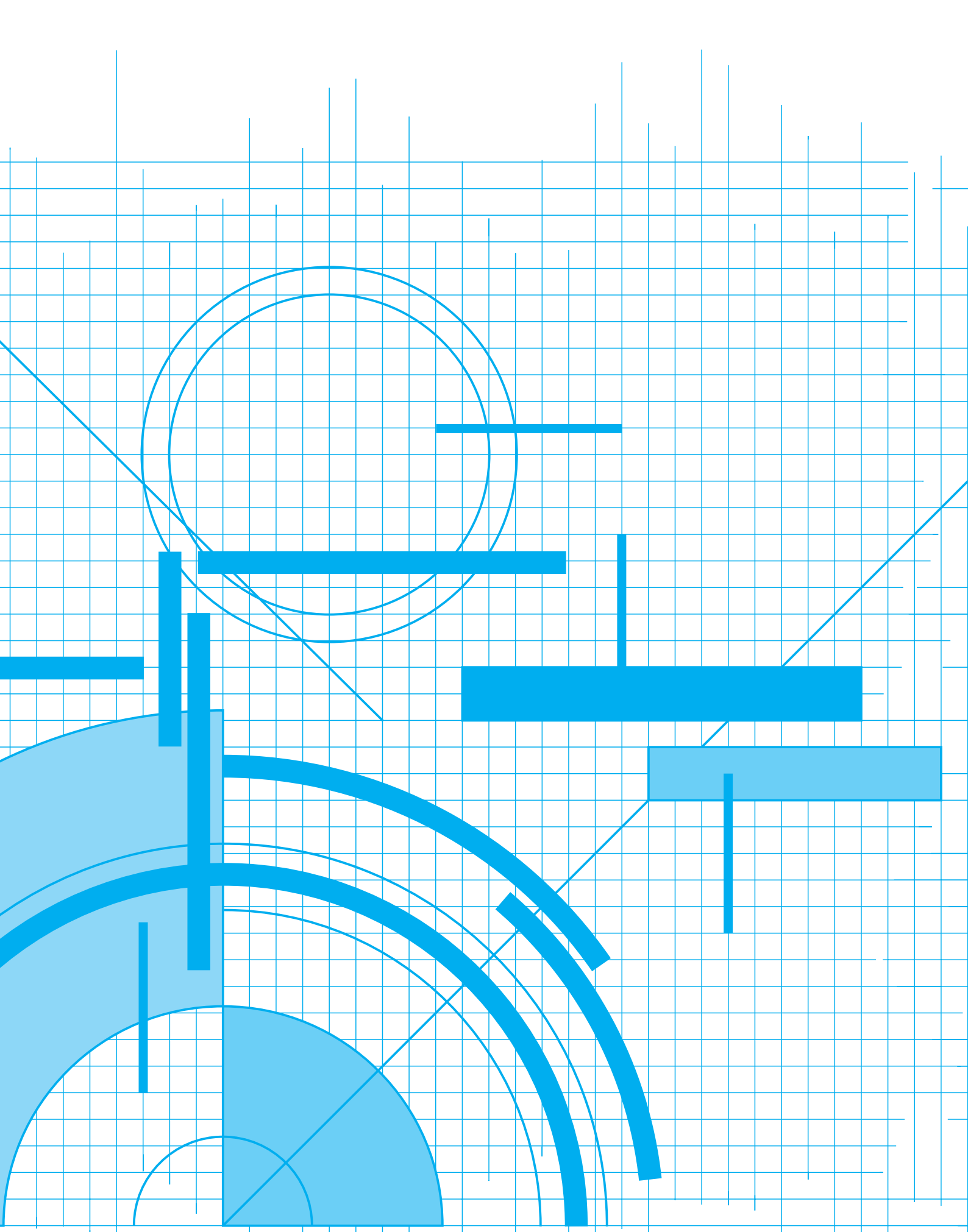
〒721-8514 広島県福山市西深津町6-12-1

発行者 尾 関 秀 樹

印刷所 株式会社 デルタプリント

〒732-0802 広島市南区大州2丁目12-15

本研究報告から転載・複製する場合は、近畿中国四国農業研究センターの許可を得て下さい。



農研機構は，独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネーム（通称）です。