

水稻葉枯症の要因解明に関する基礎的研究  
— 長崎県北部中山間水田を事例として —

平成 27 年 5 月

渡邊 大治

## 第 1 章 緒論

- 1.1 研究の背景
- 1.2 研究の目的
- 1.3 研究の調査対象地点

## 第 2 章 本研究までに筆者が取り組んだ関連成果

- 2.1 はじめに
- 2.2 硫黄成分関係調査の実験成果
  - 2.2.1 土壌鉍物
  - 2.2.2 未熟厩肥
- 2.3 排水性改善
- 2.4 防風対策
- 2.5 まとめ

## 第 3 章 水稻葉枯症の発生実態の分布図の作成

- 3.1 はじめに
- 3.2 調査年度の「水稻葉枯症」発生状況及と気象概況
- 3.3 調査地点，調査方法及び発症程度判断基準
- 3.4 結果および考察
- 3.5 結論
- 3.6 まとめ

## 第 4 章 発症地帯の土壌地力の変動に伴う水稻の生育特性

- 4.1 はじめに
- 4.2 調査方法
  - 4.2.1 発症地帯の土壌
  - 4.2.2 発症地帯の水稻生育
  - 4.2.3 遮光による品種別生育量差（2010 年）
- 4.3 結果および考察
  - 4.3.1 発症地帯の土壌

#### 4.3.2 発症地帯の水稻生育

#### 4.3.3 遮光による品種別生育量差（2010 年）

### 4.4 結論

#### 4.4.1 発症地帯の土壌

#### 4.4.2 発症地帯の水稻生育

#### 4.4.3 遮光による品種別生育量差（2010 年）

### 4.5 まとめ

#### 4.5.1 発症地帯の土壌

#### 4.5.2 発症地帯の水稻生育

#### 4.5.3 遮光による品種別生育量差（2010 年）

## 第 5 章 長崎県北部発症地帯の気象特性と水稻葉枯症の関連

### 5.1 はじめに

### 5.2 観測方法

#### 5.2.1 水稻葉枯症発症地点における日射量の測定法

#### 5.2.2 中山間地での高温・乾燥風の測定法

### 5.3 実験結果

#### 5.3.1 水稻葉枯症発症地点における日射量の特徴

#### 5.3.2 中山間地での高温・乾燥風の実態

#### 5.3.3 フェーンが発生する天気図と気象変化の関係

### 5.4 結論

#### 5.4.1 水稻葉枯症発症地点における日射量の特徴

#### 5.4.2 中山間地での高温・乾燥風の実態

#### 5.4.3 フェーンが発生する天気図と気象変化の関係

### 5.5 まとめ

#### 5.5.1 水稻葉枯症発症地点における日射量の特徴

#### 5.5.2 中山間地での高温・乾燥風の実態

#### 5.5.3 フェーンが発生する天気図と気象変化の関係

#### 5.5.4 水稻葉枯症の関連

## 第 6 章 現地における水稻葉枯症の再現実証試験

### 6.1 はじめに

### 6.2 実験方法

#### 6.2.1 開発センターにおける蒸散に関する試験

#### 6.2.2 現地における水稻葉枯症の再現実証試験

### 6.3 結果及び考察

#### 6.3.1 開発センターにおける蒸散に関する試験

#### 6.3.2 現地における水稻葉枯症の再現実証試験

### 6.4 結論

#### 6.4.1 開発センターにおける蒸散に関する試験

#### 6.4.2 現地における水稻葉枯症の再現実証試験

### 6.5 まとめ

## 第 7 章 総括

## 謝 辞

## 引用文献

# 第1章 緒 論

## 1.1 研究の背景

長崎県北部高標高中山間地域水田に発生する水稻葉縁部枯れ障害（以後、「水稻葉枯症」と略称）は、発症報告があった 1973 年頃から原因不明のまま 2015 年の現在までに 42 年が経過している。その特徴的な初期症状を（図 1-1）に示す。葉の長辺方向に沿って、灰白色に脱色したように幅数 cm が枯れる症状で光合成の低下から収量減と品質低下を伴う。このため、現在においても発症地帯の農業共済基準単位収量が同一標高の隣接地域に比べて約 10～20%低く、農家の収益にとって大きな問題となっている。

1993 年の「平成の大凶作」と言われる日射量不足に伴う全国的に水稻の不良年に、長崎県北部地域において「水稻葉枯症」が大発生し、県内において大きな問題となり、原因解明のため長崎県農林部プロジェクトチームが組織された。4 ヶ年間の調査で、正式な試験研究課題でなく予算外の対応のため報告書は無いが会議録では以下の内容が確認された。その取り組みの経過を（表 1-1）に示す。

病害虫関係では、類似の症状を呈する水稻白葉枯病、褐色葉枯病を含め検討したが、それらを発症させる病原細菌・糸状菌が検出されなかった。生育最盛期に葉縁から枯れ始め、水田一枚では円形に近い不整形の数 $\text{m}^2$ の面積が障害を受ける、いわゆる坪状に枯れる症状を呈するが病害虫被害は確認できなかった。

土壌関係では、発症する水田と発症していない水田土壌の一般的な物理性、化学性の調査では、両者間に大きな差異を認めることができない（表 1-2）。ただし、pH（ $\text{H}_2\text{O}_2$ ）の値が 3 程度を示したが原因については不明であった。

栽培関係では、ブドウ糖投与で土壌還元化を促進し、根の吸水能力低下を試みたが発症を誘発出来なかった。また、水稻株の草丈程度をビニールで囲う簡易な防風を行ったが発症を抑えることが出来なかった。しかし、水稻移植時期を慣行栽培から遅らせると発症が軽くなる傾向は確認した。また、発症地点 4 ヶ所で各水田どの程度の被害を受けているのかを示す資料が作成されていなかった。

植物栄養関係では、発症葉中の硫黄濃度が 130～170mg/100g と千葉県が公表し水稻に対する硫黄の大気汚染基準<sup>57)</sup>（120mg/100g）に近い高い数値で検出さ

れたことから、大気汚染（酸性霧）と土壤還元による硫化水素発生の影響が考えられた。長崎県環境部が実施した大気環境調査でも長崎県北部地域で pH3 程度の霧が確認されていた<sup>37)</sup>が、発症地点で採取した酸性霧の曝露試験では類似症状が再現できなかった<sup>49)</sup>。出穂前後から根の機能の衰弱と硫化水素等還元物質の体内侵入も多くなり吸収阻害を引き起こす<sup>3)</sup>とされるが、水田面での採取の結果硫化水素ガス濃度は低かった。また、硫黄以外の発症地点内及び発症地点と近い地点での葉の成分では、次の点で確認が必要な項目が 4 点認められた。（表 1-3）（表 1-4）

1 点目は窒素含有率が発症地点では未発症地点に比べて高い結果であった。2007 年の株全体調査では 30%，2008 年の上位 2 葉で 14%程度有意に高かった。また、発症地点内で採取した葉の分析では 2008，2009 年とも発症株が健全株を大きく上回る結果であった。この点は、安定同位体自然存在比を示す  $\delta^{15}\text{N}$  の存在比率で検討した結果、要因として水田に投入される厩肥に由来することが解った。

2 点目は鉄含有率が発症地点で高いのは強制的に地下部の 2 価鉄が吸収されている可能性が高い。高濃度の鉄溶液中に Sulfide が添加された場合、鉄が過剰吸収される<sup>1) 55)</sup>。このことから、未熟有機物投入による土壤中硫黄の増加と関連するものであると推察された。

3 点目 Si（珪酸）については株全体での分析では発症地点で 14%～17%含有量が少ない。低水温により吸収抑制されるのは一般的であり<sup>43)</sup> そのため高標高の発症地で値が低く未発症地で高い傾向である。（表 1-5）

4 点目ストレス成分では乾燥（水分ストレス）に関連して合成されるトレハロース、ソルビトール、セロトニンは健全葉中のレベルが極めて低く、葉枯れの発症時特異的に出現する成分である<sup>42)</sup>。ことが明らかとなった。

ストレス応答成分としてポリアミン、エチレンの前駆物質である ACC (1-aminocyclopropane - 1-carboxylic acid)，カタラーゼ (CAT)，アスコルビン酸ペルオキシターゼ (APX) が水分ストレスの指標になるとされる<sup>11)</sup>。このことから、水稻葉中の ACC 及びポリアミン含有量が葉枯障害に対するストレス指標として有効と考えられた<sup>47)</sup>。

植物生理・気象関係では、発症の契機は梅雨明け前後の強風が吹いた後である

こと、また、風当たりの激しい水田において発症程度が甚大となる傾向が高いことから、(独)九州沖縄農業研究センター及び(独)近畿中国四国研究センターの協力を得て発症地点での気象観測と、近隣アメダスポイントのデータからシミュレーションを実施した。その結果、発症前にフェーンが起きている可能性が示唆された。また、筆者が九州大学で実施した高温・乾燥風実験でもわずかに類似する症状も確認した<sup>31) 48) 61)</sup>。そのため、今回の症状に対し高温乾燥風の影響が示唆された。

筆者は、長崎県と類似する症例について、2006年日本海に面する佐賀県から富山県まで8県に聞き取りを行った。6県では該当する症状は無かったが、佐賀県の元専門技術員によると現在は早期水稻栽培に変わりみられないが、過去上場台地の普通期水稻栽培で同じような症例があったことを確認した。また、富山県の専門技術員を経験された方で農業技術体系のフェーンに関する著者によると、原因は解らないが長崎県と同様水稻生育中期にフェーンに遭遇した際、大型機械が旋回する水田の枕や堆肥を積んでいた場所に坪状に葉が枯れる症状を経験したとの回答であった。



図 1-1 特徴的な水稻葉枯症状



表 1-1 水稻葉枯症解明への取り組みの経過

西暦	和暦	特記事項	長崎県対応	関係機関	到達点
1993	平成5年	水稻葉枯症準平坦部(標高100前後)まで発症 佐世保普及所長名で原因究明要望	原因究明プロジェクト班結成 ・現地調査(発症範囲、発症地点等) ・農家聞き取り調査 ・病原菌の特定 ・防風対策、土壌調査、土壌還元促進	長崎県総合農林試験場 長崎県農業技術課専門技術員 長崎県病害虫防除所、農産園芸課	原因菌等特定出来ず 再現・発症防止不能
1994	平成6年	水稻葉枯症発症極少 梅雨期間が無し			
1995～ 1998	平成7年 ～平成10年	水稻葉枯症中山間地で発症継続 要因解明試験継続。原因特定出来ず 原因究明プロジェクト班解散	原因究明プロジェクト活動継続 ・病原菌の特定 ・防風対策、土壌調査、土壌還元促進		
1999～ 2003	平成11年 ～平成15年	専門技術員の調査継続(作物・土壌) ・酸性霧曝露 ・環境制御施設での再現試験 ・局地気象の観測  ・発症葉に硫黄蓄積高い	専門技術員の調査研究に移行  ・高温・低湿度・強風曝露 ・中山間地の気象観測  ・専門機関に分析依頼	長崎県農業技術課専門技術員  九州大学 (独)九州沖縄農業研究センター (独)中国・四国農業研究センター	発症再現出来ず 類似症状確認 フェーン風の可能性示唆  硫黄蓄積は土壌還元化による 硫化水素発生と吸収
2006～ 2010	平成18年 ～平成22年	大陸由来の酸性物質原因想定 プロジェクト(共同研究)    フェーン現象など局地気象原因想定 試験の実施(長崎県単独実施)	長崎県農林技術開発センター主体に移行 ・中山間地での酸性霧採取及び曝露 ・発症前後のストレス物質特定(共同)  ・中山間地と平坦地の気象観測 ・防風対策 ・酸性硫酸塩土壌の確認  ・遮光試験・土壌肥沃度調査 ・水稻株根切断による高温乾燥強風曝露 ・発症水田の地図化	(独)国立環境研究所 (独)中央農業研究センター 長崎県環境保健研究センター 長崎県農林技術開発センター  長崎県農林技術開発センター 長崎総合科学大学(協力) 長崎県窯業研究センター(協力)	採取酸性霧曝露で発症出来ず ストレス物質特定(乾燥ストレス)    フェーン風観測 四方からの風遮断出来ず 酸性硫酸塩土壌を起こす パイライト確認出来ず 高い土壌肥沃度は畜産由来 再現可能 発症には風当たりが大きく影響

## 1.2 研究の目的

「水稻葉枯症」発症地帯を含む長崎県北部地域は、長崎県全体の水稲栽培面積 14000ha の約 30%, 4300ha を占め、大半が中山間地水田である。この地域で生産される米は粘土質の玄武岩土壌に加え水稻出穂後の昼夜温の格差大きいことから玄米の充実に優れ、湧き水や小川から供給される灌漑水により育てられる良食味米生産地として県内米流通業界では評価が高い。

その中で、標高 200m 以上 450m 以下の水田で栽培される約 200ha の水稻にほぼ毎年「水稻葉枯症」が発症する。生育中期に発症し始め、続けて出穂後の上位葉にも被害をもたらすことから玄米充実に障害となり 10%~20%の収量減と品質低下を招く。試算では発症地全体に毎年 2000 万円以上の被害を与えている。「水稻葉枯症」の発症に至る原因を解明し発症を防止する対策を講じることが、安心・安全な食糧供給と中山間地水田で水稻生産が継続され豊かな生態系を維持することに繋がるものである。

「1.1 研究の背景」で述べたように、「水稻葉枯症」は以下の状況下で発症を招くか重篤になることが考えられた。

気象面では日射量不足と高温乾燥風の影響があるが、日射量及び気温、湿度、風速などについては海岸近隣にあるアメダスポイントの数値があるが観測項目でない項目もある。そこで、発症地帯の中山間地と平坦地に観測装置を設置して気象特性を明らかにし発症との関連を第 5 章で取り組んだ。

植物栄養面では厩肥投入による窒素過剰が水稻生育特性と水稻葉における硫黄量に影響をしていると考えられたため、発症地帯及び対比のために平坦地の可給態窒素量を調査した。また発症初期がサークル状に数㎡単位の坪状である要因を検討するため水田 1 枚を分割して約 20 点調査し、変動係数（ばらつき）を明らかにする。また、水稻生育特性では同一水田を 2 分割して移植時期を 2 週間空けた設定を発症地帯と対比のため平坦地で実施し、地上部・地下部の生育量差について第 4 章で取り組んだ。

土壌面では pH ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) の値が 3 程度になる要因については。産炭地で過去問題になった酸性硫酸塩土壌の原因とされた土壌鉱物のパイライトの検定、厩肥の投入に伴う要因として厩肥の成分分析、排水性不良に伴う水田内の蓄積改善のための本暗渠の設置を実施した内容について触れた。また過去簡易な防風

対策しか実施されていないことから、水田の南北 2 面を高さ 4m のネットで覆う防風対策を実施した内容について第 2 章で取り組んだ。

栽培面では過去実施していなかった各発症地点の水田毎に発症程度について主に地形の影響を明確にするため、発症実態の分布図の作成を第 3 章で実施した。最後に、これまで発症していない発症地帯に近隣の高標高地と平坦地で、遮光を行い発症地点の環境に近づける対策をとり再現を第 6 章で実施した。

### 1.3 研究の調査対象地点

長崎県内における発症地帯を含む玄武岩台地は大きくは佐世保地域と大村市北部の東彼杵地域に分かれる。佐世保地域では西に向かって流れる相浦川と佐々川によって削られた谷の流域や河岸段丘上に水田が存在する。その中で最も標高の高い佐世保市柚木町里美（標高450 m以下「里美」）、佐世保市吉井町草ノ尾（同280m以下「草ノ尾」）佐世保市菰田町（同200 m以下「菰田」）までの、標高200m以上に位置する水田に「水稻葉枯症」は発症する。東彼杵地域では東彼杵町中尾郷（標高380m以下「中尾」）に発症する。南北に流れる小さな河川沿いに20ha程度の水田が開かれている。

気象特性の日射量については、佐世保地域内で発症する地点と、発症しない地点の標高差による実態を明らかにするため、2008年は発症地点の「里美」と、直線距離2kmで極近い標高差360mの佐世保市心野（標高90m以下「心野」）を選定した。また、2009年は佐世保地域と東彼杵地域の標高差及び平坦地の県南地域と比較するため発症地点「草ノ尾」と農林技術開発センター茶業研究室がある「中尾」、農林技術開発センター果樹部門があり平坦地の大村市鬼橋町（標高70m 以下「大村」）以上3ヵ所を選定した。

日射量以外の気温、湿度、風速などは「草ノ尾」及び「草ノ尾」と直線距離3.9kmの松浦市志佐町（標高20m以下「松浦」）以上2ヵ所を選定した。

第3章発生実態の分布図作成では2007年「草ノ尾」と「中尾」を、2008年は「草ノ尾」で調査した。第4章発症地帯の土壌地力の変動に伴う水稻の生育特性に関する移植時期を変えた場合の水稻の地上部・地下部の生育量調査を「草ノ尾」と諫早市貝津町にある長崎県農林技術開発センター（標高1.4m、以下「諫早」）で実施した（図1-2）。



記号	地点名	標高m	気象観測年		葉枯症発症
▼	松浦	20		2009	無
△	草ノ尾	280		2009	有
◎	菰田	200	—	—	有
▽	里美	450	—	2008	有
▲	心野	90	—	2008	無
★	中尾	380	2008	2009	有
■	大村	70	2008	2009	無
☆	諫早	3	—	—	無

Google 地図転用加工

図1-2 発症地点及び観測・調査地点

表 1-2 発症圃場と発症歴のない圃場の土壌の化学性  
(資料提供:長崎県農林技術開発センター藤山 正史)

発症圃場と発症歴のない圃場の土壌の化学性

発症歴	地点名	層位	深さ (cm)	pH			CEC me	交換性陽イオン			培養pH (30°C28日)		易酸化 性S (mg)
				H <sub>2</sub> O	KCl	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	60%	30%	
				(mg)	(mg)	(mg)		(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	
毎年発症	里美M	1	0~15	6.0	4.8	4.5	26.7	451	119	40	5.2	5.4	62.8
		2	15~25	6.6	5.2	4.6	24.9	444	162	28	5.8	5.3	
		3	25~35	6.5	5.2	5.8	21.8	376	151	23	6.4	6.5	
	里美F	1	0~13	5.5	4.3	2.9	23.6	266	71	26	4.6	5.1	125.8
		2	13~20	5.8	4.4	3.5	19.2	200	63	38	5.2	5.6	
		3	20~27	6.2	5.1	5.5	16.7	263	73	47	6.0	5.9	
	草ノ尾	1	0~10	5.5	4.4	4.4	24.4	347	148	7	5.0	5.0	65.6
		2	10~21	6.0	4.8	4.6	23.4	360	194	15	5.4	5.4	
		3	21~35	6.5	5.0	5.6	39.8	600	386	23	6.1	6.2	
発症歴無	心野	1	0~14	5.4	4.2	5.4	16.8	177	38	18	4.2	4.2	59.2
		2	14~21	5.6	4.3	5.6	16.1	228	38	20	4.3	4.3	
		3	21~35	6.6	5.4	6.6	15.3	330	66	16	5.4	5.7	

注1) 2006年10月25日採土。乾土100g当り。培養PHは、圃場容水量の60%、30%水分で培養後測定。

表 1－3 発症株と未発症株及び過去に発症歴の無い圃場の稲株中無機成分  
(資料提供:長崎県農林技術開発センター藤山 正史)

発症歴	採取時		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na	Fe	Mn	Zn	SiO <sub>2</sub>	水溶性S
	の症状	項目	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	mg/100g
毎年発症	発症	平均	1.57	0.60	2.88	0.33	0.29	94	1005	653	45	8.8	35.3
	(n=5)	(標準偏差)	(0.10)	(0.07)	(0.57)	(0.02)	(0.02)	(27)	(317)	(86)	(4)	(1.8)	(11.4)
	未発症	平均	1.44	0.59	2.86	0.34	0.27	94	1080	603	46	8.5	35.3
	(n=5)	(標準偏差)	(0.31)	(0.07)	(0.55)	(0.04)	(0.01)	(31)	(768)	(183)	(8)	(2.0)	(14.9)
発症歴無	未発症	平均	1.21	0.58	3.19	0.42	0.25	204	1381	517	52	10.2	27.2
	(n=6)	(標準偏差)	(0.43)	(0.23)	(0.55)	(0.06)	(0.07)	(174)	(659)	(212)	(7)	(2.1)	(5.3)

注1)2007年9月6日稲株地上部全体を採取して分析

表 1-4 梅雨末期発症前の霧成分(2006)

資料提供：国立環境研究所

梅雨末期発症前の霧成分(2007)					
採取月日	pH		CL (ppm)	NO3 (ppm)	SO4 (ppm)
	最高・最低				
7月17日	最低	5.53	59.92	16.00	29.31
	最高	6.19	—	—	—
7月18日	最低	3.59	12.76	1.29	18.19
	最高	5.74	32.16	1.32	14.14
7月19日	最低	3.34	11.18	16.98	39.22
	最高	5.18	2.12	6.29	12.64
7月20日	最低	3.12	3.32	15.18	44.69
	最高	4.00	1.28	3.61	10.63
7月22日	最低	3.53	1.67	9.66	19.99
	最高	6.35	1.45	5.24	11.66
7月23日	最低	3.00	2.04	28.70	93.85
	最高	6.26	1.24	5.24	12.61
7月24日	最低	3.19	6.54	19.65	72.44
	最高	5.85	21.19	32.10	40.57

注1) 梅雨期間: 6/13～7/23

注2) 自動霧採取装置で1回/時間に採取し保冷装置内に保管後計測

表 1－5 稲第 2 葉の成分含有率（資料提供:長崎県農林技術開発センター藤山 正史）

採取時 の症状	項目	N (%)	CaO (%)	MgO (%)	k (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	SiO <sub>2</sub> (%)
発症	平均	2.01	0.539	0.137	1427	466	972	20.0	3.75	11.7
	(標準偏差)	(0.40)	(0.10)	(0.052)	(105)	(278)	(485)	(2.2)	(1.14)	(3.4)
未発症	平均	1.76	0.546	0.126	1514	218	956	17.1	3.58	11.5
	(標準偏差)	(0.36)	(0.146)	(0.027)	(96)	(52)	(393)	(3.8)	(0.69)	(3.0)

注1) 2008年9月5日、上位第2葉を株当り2枚×10株分採取

注2) 葉中Nについては、発症株と未発症株の平均値の間に5%水準で有意差あり



## 第2章 本研究までに筆者が取り組んだ関連成果

### 2.1 はじめに

「水稻葉枯症」への取り組みの中心は1993年の大発生を契機として、県内の農林部機関がプロジェクトチームを組んで解決を目指した1993年からの6年間及び環境省共同プロジェクトの2006年からの5年間であった。その両プロジェクトを繋ぐ期間を筆者が専門技術員として取り組んだ。それらの成果概要及び九州及び全国における類似症状について明らかにされた知見と今回の研究に繋がった関連性について、筆者が調査して明らかにした内容について述べる。

### 2.2 硫黄成分関係調査の実験成果

#### 2.2.1 土壌鉍物

2006年の調査からpH (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 3前後を数点の水田で確認した「里美」と2007年は発症程度が甚大な「草ノ尾」と、以上2地点の水田作土層の土壌及び礫や水田近くの露頭で採取した試料で黄鉄鉍(パイライト)の存在確認を実施した。石炭層には、その形成過程で黄鉄鉍(パイライト)が存在するため、露出して酸化作用を受けると硫黄が溶けて硫酸を形成し、土壌pHを著しく低下させ酸性に傾ける。時としてpH3以下になる場合があり、植物を枯死させる被害を出すとされる。そのような土壌は酸性硫酸塩土壌とされ、<sup>20) 46) 6)</sup>。そのため黄鉄鉍の分析を窯業試験場で蛍光X線分析(硫黄成分の確認)及び粉末X線回折(鉍物パイライトの確認)で実施した。2006, 2007年の2か年とも、原因物質のパイライト(黄鉄鉍)を確認できなかった。このことから、「水稻葉枯症」の原因として産炭地特有の酸性硫酸塩土壌ではないことを確認した。

その他発症葉で硫黄濃度が高くなる土壌関連要因としては、排水不良水田での未熟堆肥等有機物を投入した場合が考えられる。夏季の地温上昇に伴い有機物が分解され始め水田土壌の還元化が進むことによって土壌中では硫化水素が発生し酸素不足になりやすい。所謂秋落ちと呼ばれるこの現象で発生した硫化水素を水稻が過剰に吸収していることが示唆された<sup>39)</sup>。

#### 2.2.2 未熟厩肥

水田土壌分析 pH (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) で pH 3 前後の値が何故検出されるのかの原因を明らかにするために、発症地帯近隣で産出される厩肥成分の調査を 2008 年行なった。発症地点の「里美」で飼養されている肥育牛と繁殖牛舎から糞尿は稲藁等の敷料と混合され厩肥原料として排出される。堆肥化施設が狭く攪拌するスペース及び機械が無いため有機物の分解が進まず、完熟するまでには至らない事例が多い。飼育農家は処理に困るため水稻栽培農家との稲藁交換で、稲作農家水田に数年サイクルで施用されることが多い。

pH (H<sub>2</sub>O), pH (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 及びその他項目を 5 点について測定した結果を示す(表 2-1)。室温での測定では、pH (H<sub>2</sub>O) はアルカリ性、pH (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) は僅かに酸性を示した。しかし、加熱処理して厩肥に含まれる硫黄分と過酸化水素を反応させると硫酸が発生し、pH (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) が酸性となる。和牛肥育で 3.59, 和牛繁殖で 3.05 と数値が 3 程度のものが 5 点の試料中 2 点で確認された。

以上から未熟厩肥投入が水田を強酸性にしている一因と考えられた。NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N の数値が高いサンプルが 2 点あるが、これも未熟であることを表している。また、厩肥の硫黄成分が和牛肥育と繁殖で多い原因は、給与される濃厚飼料に含まれる硫黄成分割合が高いためと推察される。特に骨粉, 魚粉, 大豆粕, アルファルファなどは硫黄含有量が各々 2.51%, 1.00%, 0.57%, 0.72% と高く、このことが和牛関係の厩肥で硫黄分が高いとこに繋がっていると思われる<sup>38)</sup>。

発症している水田で pH 3 前後の値が記録されたのは分析のために土壌をサンプリングする際、完熟していない生の厩肥が混入したものと推察された。完熟でないため水分含有量が多く、水田に散布される時点から均一散布が行われないことが考えられた。そのことが地力のばらつきと水田肥沃化に繋がっていると考えられる。

## 2.3 排水性改善

寒冷地で有機物含有量が高い水田に発生する秋落ち現象は、梅雨明け後の急激な気温・水温上昇に伴い水田内の有機物分解が進み硫黄関係ガスの発生で水稻根の吸水能を阻害するために発生すると言われている<sup>52)</sup>。長崎県北部発症地帯は地理的には寒冷地の範疇ではないが、標高が高いために寒冷地特有の秋落ちになっている可能性が高いと考えられた。

筆者は 2008 年透水性、排水性などの水田地下環境改善と「水稻葉枯症」発症を抑制するために、発症地帯にはほとんど施工されていない本暗渠を設置した。夏季の高温で有機物が分解され水田土壌中が還元状態になること及び根に対する硫化水素害を本暗渠の流水による酸素供給で防止するのが目的であった。

発症を起こす水田地帯は灌漑用水不足から漏水を防止するため、地下 30cm 程度には大小の礫を投入し粘土で固めた鋤床を作っている。透水性、排水性などの水田地下環境改善により発症程度が低下することを目的とした。

本暗渠は、水田排水改良の施工目標に合わせ 10a の水田の縦方向に 2 本の本暗渠（幅 30cm，地表下 40cm）を設置した。一般的には本暗渠に交差して 4m 間隔で弾丸暗渠を設置するが、その水田では礫の多さから実施できず排水管からは水田を縦浸透してくる水を確認できたが十分な地下排水改善が行えなかった。本暗渠を施工した 2008 年の水稻栽培で、本暗渠が敷設されている直上地点の稲株や水田全体の株でも発症が継続したことから、本暗渠施工の効果は認められなかった。

## 2.4 防風対策

「水稻葉枯症」は風当りの強弱でも発症程度に差がでることが経験上知られている。2008 年 12 月～2009 年 3 月に掛けて筆者は強風が吹く方向として予想された水田（第 3 章 図 3-4 の発症程度 5 の圃場：赤色）の南側及び北側両方畦畔に風速低減率 50%の防風ネットを設置した。東西方向に高さ 4m，長さ 25m の防風ネットを 10a の水田の約 50%をカバーするように西側から設置して、2009 年稲作期間における発症軽減に繋がるかを試みた。

その結果、発症初期段階では防風ネットを設置した西側に移植された水稻株の症状が軽いことは確認した。しかし、水田を取り巻く複雑な地形から風の方向が南北方向のみと一定ではなく、丘等により跳ね返った東西方向から吹く風を抑制できず、初発から約 10 日程度を経過した発症盛期には水田全体に症状が拡大した。

## 2.5 まとめ

発症した葉の枯れた部位における硫黄含有量が大気汚染による影響が想定さ

れる数値であったことから、考えられる其他要因として産炭地で被害を出した土壌鉍物のパイライトの確認、未熟厩肥の分析、本暗渠施工による排水対策の実施及び発症を軽減させる防風対策を行った。

パイライトは確認出来ず、未熟厩肥分析でも全ての試料が pH3 程度を示した訳ではない。また水田地下作土層に酸素を供給し、還元状態で発生する硫化水素発生を抑える取り組みを行ったが発症を防げなかった。また、同じように防風対策は生育初期までは有効でも生育が進むと抑えきれなかった。以上の結果から今回の研究では以下の点に留意して 3～6 の各章で実証を行った。

防風対策が水稻生育初期では有効であったことから風の影響は強いと思われた。そこで発症地点全体の水田立地と地形から想定される風当たりを確認するため発症程度地図作成に第 3 章「水稻葉枯症の発生実態の分布図の作成」で取り組んだ。

坪状発症の要因として未熟厩肥の散布が 1 枚の水田において均一に実施されていないと考えられた。水田全体としては地力が高くなるがその状態で水稻が移植されると移植された地点によって生育状態に差があると考えられた。この点は第 4 章「発症地帯の土壌地力の変動に伴う水稻の生育特性」で取り組んだ。

フェーンの可能性は指摘乾燥ストレスによる成分が増加すると指摘されたことから、これまで発症している地点と平坦地の標高差による観測が行われてこなかった。その点について第 5 章「長崎県北部発症地帯の気象特性」で取り組んだ。

最後に第 6 章「現地における水稻葉枯症の再現実証試験」で「水稻葉枯症」を発症現地と環境条件を揃えることで平坦地及び発症現地と隣接する高標高地で再現させることで、発症に至るメカニズムを明らかにする。また、葉縁から枯れ始める要因を葉縁にある水孔からの蒸散であることを確認する。

表 2－1 堆肥の成分分析結果

供試堆肥			pH	pH	pH	EC	T-C	T-N	C/N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Zn	Cu	塩素
			H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (室温)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (加熱)	ms/cm	%	%		mg/100g	mg/100g	%	%	%	%	mg/Kg	mg/Kg	%
牛ふん堆肥1	里美	里村 肥育	9.60	6.04	4.59	4.44	38.73	1.81	21.44	5.43	40.74	1.47	2.58	1.66	3.20	345.94	75.06	1.11
牛ふん堆肥2	里美	里村 肥育	9.70	6.03	4.58	3.47	39.18	1.85	21.19	5.43	18.67	1.31	2.52	1.59	2.86	243.42	63.02	1.11
牛ふん堆肥3	里美	宮崎敦肥育	7.50	5.40	3.59	4.16	40.39	2.62	15.42	61.11	156.51	2.83	1.84	1.31	0.88	105.34	23.66	0.67
牛ふん堆肥4	里美	福田(奥)	7.60	5.86	4.20	4.55	37.83	2.80	13.51	103.55	4.07	3.71	2.13	1.46	1.30	171.86	17.00	0.97
牛ふん堆肥5	菰田	久原守繁殖	8.60	5.58	3.05	2.51	37.84	1.43	26.53	3.73	11.20	0.67	1.48	1.00	1.02	121.04	36.26	0.74

注1) pH, ECは風乾物を用い、サンプル水=1:10で測定

### 第 3 章 水稻葉枯症の発生実態の分布図の作成

#### 3.1 はじめに

主要な「水稻葉枯症」発症地帯は、長崎県と佐賀県の県境を南北15 kmに渡って連なり国見山（標高777m）を中心とする標高600～800m前後の山脈の西側に位置する国内有数の傾斜の緩やかな玄武岩台地である。九州では規模は小さいが多良岳、福江島、壱岐島、平戸島の一部及び中国地方には萩、島根県、鳥取県に点在している。規模が大きい台地はこの地域に特徴的に見られ、標高を下げながら北東側の伊万里湾を挟んで佐賀県松浦半島にまで広がっている。

上記の地形的影響を受けて発生する局地的な強風は、その多くが山超え気流に関連しており、そのひとつとしてフェーンが考えられる<sup>45)</sup>。発症地帯では、玄武岩台地であることから起伏が小さく一般的に風当たりが強い傾向にある。しかし、中には小高い丘に囲まれ背後に丘等があるなど、風を遮断されている水田などが混在している。風関係の条件が異なる中、同一地域内で発症する水田と発症しない水田、あるいは発症程度が重い水田と軽い水田が混在することから、水田の風当たりと「水稻葉枯症」の関係について検討することにした。独自に考案した発症程度別基準による分布図の作成を 2007、2008 年の 2 ヶ年について試みた。

#### 3.2 調査年度の「水稻葉枯症」発生状況及と気象概況

(1) 2007 年：九州北部の梅雨入りは 6 月 13 日梅雨明けが 7 月 23 日であり平年より梅雨入りで 8 日遅く、梅雨明けで 4 日遅かった。梅雨期間は平年 45 日間に比べて 41 日間と 4 日間短く、その間の降水量が 364.5mm と平年 419mm の 87%であった。また、日照時間は 74.3 時間と平年 157.3 時間の 47%であった。つまり、降水量は約 9 割確保されたが日照時間が 50%以上少ない年であった。

佐世保アメダスでは 7 月 17 日から 18 日に掛けて最大風速が 6m 前後、湿度が 60%前後となった。梅雨末期の低気圧を伴う前線が 7 月 20 日～22 日にかけて朝鮮半島中部にかかり 23 日には高気圧に覆われて梅雨明けとなった。「水稻葉枯症」の初発を「草ノ尾」で確認したのは、台風 4 号襲来（7 月 14 日）後の 7 月 18 日頃であり、その他発症地点で被害面積が拡大したのは台風 5 号襲来（8

月 2 日) 後であった。

(2) 2008 年：九州北部の梅雨入りは 5 月 28 日梅雨明けが 7 月 6 日であり平年より梅雨入りで 8 日早く梅雨明けで 13 日早かった。梅雨期間は平年 43 日間に比べて 39 日間と 4 日間短く、その間の降水量が 578.5mm と平年 419mm の 138 %であった。また、日照時間は 110.9 時間と平年 157.3 時間の 71%であった。つまり、降水量が約 4 割多く日照時間は 3 割少ない年であった。梅雨末期の低気圧を伴う前線が 7 月 4 日～6 日にかけて朝鮮半島中部にかかり、佐世保アメダスでは南寄りの風が最大で 7m/s 最大瞬間で 14m/s 前後を記録した。「水稻葉枯症」は 2 日後の 7 月 8 日に「草ノ尾」においてヒノヒカリで初発を確認した。その他地点の「里美」でも発症が報告されたが、「菰田」、「中尾」では発症を確認出来なかった。その後、7 月下旬頃から「草ノ尾」全域で散見され、毎年発症する水田については 8 月上旬までには確認できた。その後 8 月中旬から 8 月 25 日頃に掛けて「菰田」、「中尾」で順次発生した。2008 年は概して発症程度は軽い傾向であった。

### 3.3 調査地点、調査方法及び発症程度判断基準

#### (1) 調査地点、調査方法

この調査は、2007、2008 年の 2 ヶ年間県内 4 発症地点である「草ノ尾」、「菰田」、「里美」、「中尾」において梅雨明け後、地点ごと地域全体で「水稻葉枯症」が確認されたのを待ち実施した。2007 年は 4 地点全てにおいて発症が確認された 7 月下旬以降、8 月 9 日午前中に「草ノ尾」、午後「菰田」、「里美」の 3 地点を調査した。8 月 14 日には午前中未実施の「中尾」を実施し、全発症地点の調査を終えた。

2008 年は、2007 年の調査結果から 4 地区とも風当たりと発症程度に同じ傾向を認めたことから、4 地点全てにおいて発症が確認された 8 月下旬を待ち、「草ノ尾」のみ 9 月 1 日に調査した。発症程度と周辺環境には 4 地点とも同じ傾向であったため、2007 年は「草ノ尾」、「中尾」の 2 地点、2008 年は「草ノ尾」1 地点について述べる。

#### (2) 「草ノ尾」

水田が立地する地形的な特徴と発症程度に一定の傾向が見られたことから面

積の差はあるが大まか 4 つのゾーンに分けて地図上で A～D ゾーンと表現する。

A ゾーン：北東側から水田全体の中心部までの、北東から南西に流れる河川の周辺に立地する北東側水田。B ゾーン：地図上では北西側に位置し、北側及び東西両面を小高い丘で遮られた周辺に立地する水田。C ゾーン：地図上では南東に位置し、北及び南側を小高い丘で遮られた周辺に立地する水田。東側も遮られているため、ほとんど強風の影響を受けない。D ゾーン：地図上の南西側で、北東から南西に流れる河川の周辺に立地する水田である。

### (3) 「中尾」

水田が立地する地形的な特徴と発症程度に一定の傾向が見られたことから水田を大まかに 2 つのゾーンに分けて地図上で表現する。南北方向に伸びる主要道路及び河川の東西部で小高い丘に囲まれた幅 1.5km の谷部に広がる A ゾーンと、A ザーンの南南東に位置し、東西方向に向かって広がる B ゾーンに大きく分けられる。

### (4) 発症程度判断基準

水田全体が見渡せる場所から太陽を背にして立ち、2 名による目視観察を行ない水田 1 枚毎に発症傾向を把握した。続いて畦畔を歩きながら水稻株毎に観察し葉縁の枯れ状態から発症程度を記録した。1 水稻株で 1 枚の葉でも縁が枯れていれば、葉縁枯の面積に関係なく発症と判断した。各水田の発症程度を 1 枚の水田における発症株の割合で 0（無）～5（甚）の以下の基準で 6 段階に分類し、水田地図上に発症程度に応じ 6 色で分類した。発症程度の基準及び 6 色分類の詳細は次の通りである。発症程度 5：10 割の株で発症（赤色）、発症程度 4：7 割の株で発症（橙色）、発症程度 3：5 割の株で発症（黄色）、発症程度 2：3 割の株で発症（黄緑色）、発症程度 1：1 割の株で発症（水色）、発症程度 0：発症が確認できない（紺色）。

## 3.4 結果および考察

### (1) 発症程度と周辺環境の関係

#### 1) 2007 年

栽培品種は「ヒノヒカリ」が 9 割以上を占め、一部に早生品種の「あさひの夢」や「ひとめぼれ」などが作付されている。「水稻葉枯症」の初発を確認した



のは、台風 4 号襲来（7 月 14 日）後の 7 月 18 日頃であり、被害面積が拡大したのは台風 5 号襲来（8 月 2 日）後であった。台風 5 号が通過した 7 日後の 8 月 9 日に「草ノ尾」を、8 月 15 日に「中尾」の現地調査を行なった。発症程度別地図を示す（図 3-2）、（図 3-3）。

「草ノ尾」は地域の北側及び東西側の 3 方向は標高 350m 前後の山に囲まれている。南側は、地域を流れる河川が落差 20m の「潜流ノ滝」となり佐世保湾方向に向けて流れ落ちる。東側は地質学上有名な「福井断層」に繋がり、急激に標高を下げる。西側は丘陵地帯が続きゴルフ場が営業されている。台地上に存在しながら南側が開放されたすり鉢状の地形である。水田面積は約 20ha 程度であり、大きな溜池も無く、主な灌漑用水は背後の山から流れ出る小さな河川と湧水に頼っている天水依存農法地域である。また、一部の水田は灌漑水還流施設が整備され、河川を堰で仕切り動力ポンプによって汲み上げ、再度巡回させることで用水不足に対応している。風は、水田地帯を北東から南西に向けて流れる河川に沿って吹くことが多い。これは既述のように、この地区の東及び西側を南北に連なる稜線の影響を受けているものと推察される。

北東から南西に流れる河川の周辺に位置する A ゾーン水田において発症程度が重く、赤色、橙色、黄色などの水田が目立つ。一方、北側及び東西側を塞がれた B ゾーン、C ゾーンなどは水色、紺色で発症程度が軽いことが解る。

ゾーン別の「水稻葉枯症」の実態は以下のように整理することが出来る。周囲を小高い丘に囲まれ風当たりが弱くなるところに存在する B・C ゾーンの水田では概して発症が軽い傾向で発症程度は 0~1 指標である。面積は全体の約 10% で 2ha 程度である。

地形的に谷が狭くなり相対的に風の勢いが収束して強くなると考えられる A・D ゾーンの水田での発症程度が重くなる傾向を示すが、地域全体では谷沿いの水田を中心に発症程度 3~5 指標の水田が約 70% の 14ha を占め、残り 20% の 4ha が小高い丘の南西側に広がっている。また、風の勢いが強くなると考えられる場所に立地する水田であっても、比較的症状が軽い事例の水田は移植時期の早晚や作付け品種の違いと考える。移植時期が地区慣行の 5 月下旬より 7 日~10 日程度遅い 6 月 10 日前後の普通期栽培の水田であれば、発症程度が軽減される傾向がある。品種では草丈が高く偏穂重型で、栽培面積が広い「ヒノヒカリ」

に比べて、短稈・穂数型品種の「あさひの夢」では発症程度が低い傾向であった。  
また、1枚の水田内でも丘等によって風当たりが遮られる場所では発症程度が軽い傾向であった。

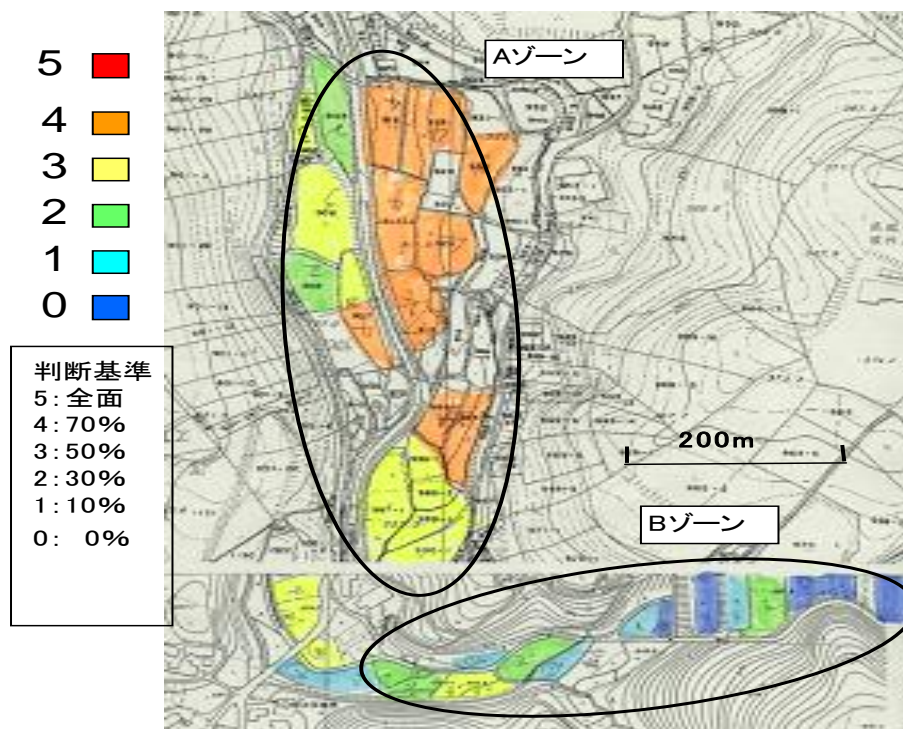
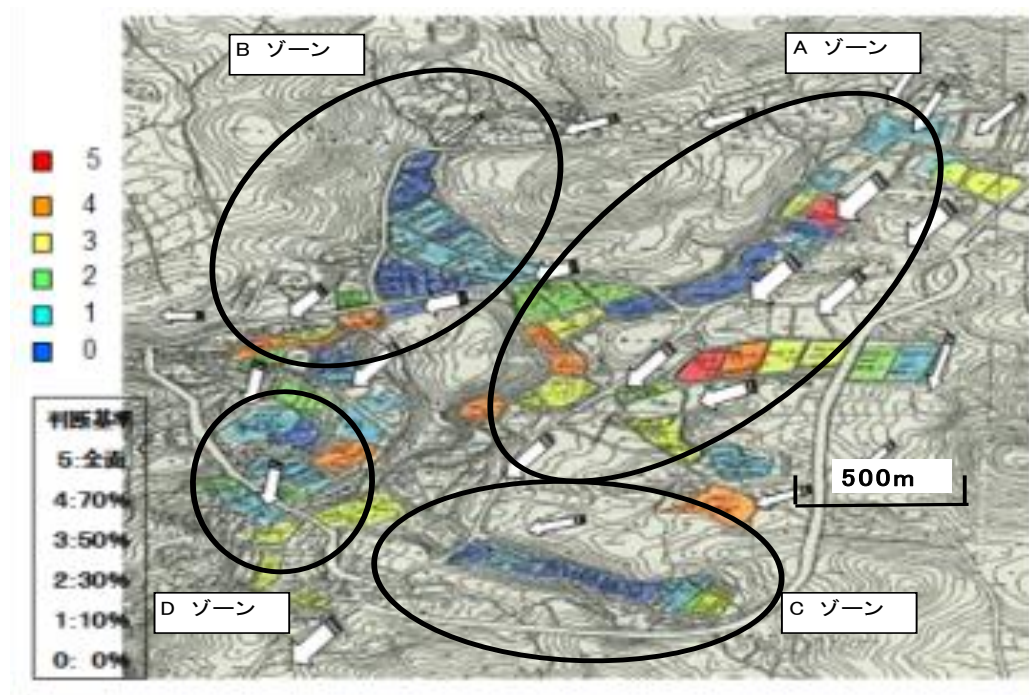


図 3-3 中尾における発症地図 2007 年

「中尾」地区の発症程度の分布を（図 3-3）に示す。この地区には約 20ha で水稻栽培が行われ、品種はほぼ「ヒノヒカリ」である。南北方向に流れる河川の周辺に位置する A ゾーン約 13ha 水田では発症程度が比較的強く、70%の株に発症が認められる橙色の面積が約 50%の 10ha、50%の株に発症が認められる黄色の面積が 40%の水田が目立つ。一方、北、南及び東の 3 方向を小高い丘で塞がれた B ゾーン約 7ha 水田では発症が無い紺色、発症が 10%程度の水色、発症が 30%の黄緑色で B ゾーンの約 75%を占め、発症程度が軽いことが解る。風は南北方向を優先して吹くことが多いと考える。また、B ゾーンは南北と東を高くして狭い丘に囲まれた谷筋に水田が広がるため、風の影響がほとんど見られないと考える。A ゾーンでの発症程度は 2~4 指標で 100%占められた。しかし、風当たりの少ない B ゾーンでは発症程度 0~2 指標までが約 75%を占める。B ゾーンでも西側の A ゾーンに近い、南北の風が多少当たり易い場所に立地する水田での発症が重くなる傾向である。尚、主要な栽培管理はほとんど変わらない。

## 2)2008 年

2008 年の発症は地区の範囲が広いため便宜上「草ノ尾」を 3 分割して発症程度別地図を（図 3-4）、（図 3-5）、（図 3-6）に示す。7 月 8 日、年度初めての発症を「ヒノヒカリ」で、発症程度 5 指標水田と、その水田の南北に隣接する発症程度 3 指標 2 枚の水田でも確認した（図 3-4）。その他にはまだ発症は確認出来なかった（図 3-5）、（図 3-6）。その他発生地点の「里美」でも発生が報告されたが「菰田」「中尾」では発生の確認が出来なかった。

その後、8 月上旬から 8 月 25 日頃に掛けて全地点で順次発生した。概して 2008 年は 2007 年に比べて発症程度は軽い年であった。被害が拡大した 8 月 26 日、発症程度別調査を 2007 年同様に実施した。

地図上中心部に位置する発症程度 5 指標（赤色）水田と、それに隣接する上下 2 枚の水田が発症程度 3 指標（黄色）で発症程度が重篤であった（図 3-4）。この 3 枚の水田は耕作者が同じで、2007 年及び過去からも同じく「草ノ尾」で最初に発症し、最も重篤な発症程度 5 指標が現れる水田である。発症程度 5 指標水田の北東側 3 枚が発症程度 1 指標（水色）であった。赤色及び黄色の水田の西側を小さな河川が流れ、更に西側は小高い丘という地形であるため北東からの風は河川沿いに南西に向かう強風が吹くことが多いと考える。発症程度 0 指

標（紺色）水田は南側や北側を小高い丘に囲まれていること、また南西側の水田は赤色や黄色の水田より 5m 程度標高を下げていること及び移植時期が地区慣行より 2 週間程度遅いこと、品種が早生品種「あさひの夢」であること等が関係していると思う。

この図は 2007 年調査した A ゾーンの中で南西側に広がる水田である（図 3-5）。河川は、中心に位置する水田から標高約 25m 高い丘の東側を南西側に向かって流れる。河川の東側に発症程度 2 指標（黄緑）と発症程度 1 指標（水色）、また道路を挟んで更に東側の風速が速くなると思われる地点に立地する数枚の水田で発症程度 3 指標（黄色）～発症程度 1 指標（水色）水田が点在する。中央に位置する小高い丘の西側水田では道路下の数枚で発症程度が 2～1 指標水田が存在する。ここは体感すると風の通りが良く風当たりが激しい。その南側の水田は標高を下げていることと、北東からの風が小高い丘に遮られ発症していないと考える。

この図は A ゾーンと B ゾーンから各々南西に位置する水田である。河川は発症程度 1 指標（水色）と発症程度 3 指標（黄色）の間を流れて南西側に向かう。ここでも他のゾーンと同じように風の当たりの強弱で当初の発症に差が出ている。発症程度 0 指標（青色）水田は周囲を丘に囲まれている点が共通している。特に C ゾーンは南北をほぼ完全に丘に遮られているため発症程度が軽い傾向である（図 3-6）。

総合的に 2008 年も発症程度は軽いが 2007 年と同じような傾向を示した。つまり河川の中心部に近い水田で発症程度が重く、小高い丘の背後や丘に挟まれた所に立地する水田では発症程度が軽い傾向は変わらなかった。







図 3-6 草ノ尾発症地図 2008 年 (2007 年の C・D ゾーン)

### 3.5 結論

2007 年、2008 年の 2 ヶ年間水稻葉枯症の発生実態の分布図の作成から以下のように整理される。まず、地形的な特徴からは水田の風当たりの強弱で発症の程度に差が出る傾向が強いことが示唆される。次に、狭い範囲の複雑な地形（小高い丘等が風を遮蔽する）が風当たりの強弱を作り出していると考ええる。

「草ノ尾」において 2 ヶ年の調査で解ったことは、各ゾーンとも年度間の発症程度に差があるが、2007 年発症程度が重篤な水田では 2008 年も相対的に重篤になり易い。また、2007 年と 2008 年の発症程度が異なる点は、3.2 調査年度の「水稻葉枯症」発生状況と気象概況で触れたように、梅雨期間における次の気象環境が異なった点にあると考える。2007 年の梅雨期間は 41 日間、2008 年の

梅雨期間は 39 日間と 2007 年が 2 日程度長いこと、日照時間は 2007 年が 74.3 時間と平年の 47%と大幅に短かったことに対し、2008 年は 110.9 時間と平年の 71%が確保されたためと考えられる。つまり、梅雨期間の長さの問題ではなく、日照時間に長いか短いかの差が発症程度に与える影響が大きいと思う。

### 3.6 まとめ

水稻葉枯症の発生実態の分布図の作成で解ったのは、年度の違いによって発症程度指標に差はあるものの、指標数値が大きくなりやすい水田の位置関係は 2 ヶ年ともほぼ変わらなかった。つまり、地形的特徴から谷が狭くなっている風当たりの強いと思われるところに位置する水田に栽培される水稻は、発症程度指標が大きくなる傾向であった。逆に周囲を丘等に囲まれた水田は発症程度も軽い傾向である。地形的特徴から風当たりが弱いことが考えられる。そのような水田では発症程度も軽い傾向である。

山岳地域ほど高度差がなく、土地の起伏も大きくない地域、いわゆる丘陵地帯や、あるいは山間のやや平坦な場所や、山地から平野部に移り変わるところは、地形による小気候差の最も複雑な地域である。谷が山地から平野にでた付近では所によってはなはだしい強風が吹く。わが国では清川ダシ、那須オロシ、広戸風、やまじ風についてよく研究されている<sup>64)</sup>。

風によって受ける力（空気抵抗力）は流体力学的には風速の 2 乗に比例するといわれる。「水稻葉枯症」発症地点は複雑な地形で、谷が狭くなっているところに存在する水田では風が収束するため風速が強くなり水稻株が受ける空気抵抗力は大きいことが推察される。

発生実態の分布図の作成の中で、農家からの栽培管理上の聞き取りで発症程度が軽くなる事例では 1) 移植時期が地区慣行（5 月 28 日頃）から 2 週間程度遅く 6 月 10 日前後に実施された場合。2) 中生・長稈品種「ヒノヒカリ」の発症程度が重篤で、早生・短稈品種「あさひの夢」で軽い傾向。

逆に発症程度が重篤となる事例では 1) 基肥として硫黄分を多く含む、硫酸塩が多い窒素肥料の使用。2) 畜産由来未熟有機物の多投入。3) ハロー（鋤）などによる深い耕起。等である。

## 第4章 発症地帯の土壌地力の変動に伴う水稻の生育特性

### 4.1 はじめに

発症地帯の土壌地力についての指標となる可給態窒素については、測定に要する人的・時間的に多大な労力を要することから「水稻葉枯症」要因解決の一環としてこれまで測定されることは無かった。土づくりのための厩肥施用や深耕は奨励されるべきものであるが、発症地帯では熱心に水田土づくりに励む農家ほど発症程度が重篤になる傾向が見られた。そのため水田地力とその水田に栽培される水稻の生育特性を調査した。

高標高地である発症地帯は、降雨等によって土壌中養分が流出する機会が多いため、耕作地では地力が劣るのが一般的である。長崎県内の農耕地土壌の経年変化を調査した報告書によると、発症地帯での調査点数は少ないが、母岩の性質上排水性が劣ることが記述されているが、その他物理性・化学性に問題を見つけれられない<sup>18)</sup>。としている。

発症地帯では近隣での畜産業から排出される厩肥は、厩肥と稲藁との交換で付近の水田へ投入され、それに伴い水田の可給態窒素量が多い傾向であることは4週間の過熱培養により確認していた<sup>5)</sup>。そのため、第2章の2.4まとめに述べたように「水稻葉枯症」の疑問点である、初期症状が坪状である理由については、水分含有量の多い未熟の厩肥を水田に散布する際に均一散布が出来ず、土壌中可給態窒素量のばらつき(変動係数)に繋がる可能性が高いことによるのではないかと考えた。

全国的に地力とばらつき(変動係数)が問題視されたのは、水田に基盤整備が導入された1960年代(昭和40年代)以降であるとされる<sup>56) 60)</sup>。富山県農試の事例では非表土扱い砂質水田では基盤整備後の水稻窒素吸収量の変動係数は20%であったが、均一施肥・ワラ持ち出し条件で10年後には標準水田並み(10%)以下となったとされる。一方基盤整備後7年目まで変動係数が20%であった事例でバラツキが解消しなかった原因として、水稻の地力窒素吸収量のムラは耕起土層の地力窒素ムラよりも下層の地力窒素ムラに類似した。幼穂形成期草丈、かん長、 $m^2$ 当籾数、精玄米重は耕起土層との相関は認められなかったが、下層の地力窒素供給量と有意な相関があった<sup>60)</sup>。表層土に比べて下層土に



各土壌養分の変動が大きく、特に TN（全窒素）で顕著に見られた<sup>8)</sup>。とされている。

この章では、長崎県北部中山間地域の水田における厩肥多投水田と、中山間水田であっても厩肥が投入されない水田及び平坦地水田の可給態窒素量と 1 枚の水田内でのばらつきを調査し、「水稻葉枯症」が発症当初は坪状に症状が現れることへの関連性を明らかにすることを目的とした。

水稻の生育特性については、発症地帯が高標高であるため水稻は日射量不足条件で生育し、平坦地に比べて地上部・地下部の生育量バランスを悪くし、特に地下部の生育が劣ると推定される。幼穂形成期から出穂期にかけての遮光が水稻根系生長を制限していることが報告されている<sup>25)</sup>。

地下部の生長が劣ると推定した根拠として筆者は次のような現象を確認した。水稻をコンバイン収穫する際、株刈部の機械作業に伴って地下部の根が収穫と同時に、コンバインの進行方向に水稻株全体が地上に抜け出る現象が散見された。このような現象を平坦地で確認した経験が無かった。以上から発症地帯の稲株は、日射量不足以外にも何らかの理由から根の生長が平坦地に比べて劣るのではないかと考えた。

この推定を確かめるため、発症地点の一つである佐世保市吉井町「草ノ尾」と比較のため平坦地として「諫早」の試験場水田の 2 か所で品種「ヒノヒカリ」を供して移植時期を 2 水準設定し地上部・地下部の生育量調査を実施しその要因を解析した。地下部の調査は、日射量と水稻生育の関連で成果情報がある福井県の調査要領<sup>25)</sup>に倣った。土壌中可給態窒素量のばらつき（変動係数）調査を同じく「草ノ尾」、「菰田」、「里美」、「中尾」の各発症地点と、比較のため平坦地水田等で行った。

## 4.2 調査方法

### 4.2.1 発症地帯の土壌

調査地点として、県北地域では、水稻移植前の 2009 年 2 月は県北地域中山間地で常時発症する「草ノ尾」、「菰田」及び「里美」の 3 地点と、これらの地点と比較対照するために近隣で発症が無く標高が低い「心野」（表層地質図は泥岩：3200 万年～2200 万年前 後期漸新世～前期中新世の海成または非海成堆積岩

類)、発症地点と標高が変わらず過去発症の事例がない潜木の 5 地点を調査対象地点とした。また、県北地域以外では、もう一つの発症地点である「中尾」近隣で低標高地の川棚地区の 1 地点、県央地区の干拓地に位置する水田で一般的に地力が高いとされてきた諫早市小野島から 2 地点、県央地域大村の低標高准平坦地 2 地点、合計 9 地点を対象として、12 個の水田を調査した。また、移植前と収穫後の数値を対比するため 2009 年 10 月、収穫後の土壌について県央地区の諫早干拓と大村准中山間地を除いた県北地域を中心に 6 地点と 13 個の水田を調査した。

土壌サンプリング方法は、約 10a 当たりの 1 個の水田から 20 ヶ所程度を等間隔で、1 ヶ所当たりの面積がほぼ同一となるように水稻株間から採取した。スコップで水田表層から 12cm 程度掘り下げ、表層から数センチ下の水稻根の生育範囲を 1 ヶ所当たり 1kg 程度採取した。その後、採取した試料の土を 2 週間程度風乾させた後乳鉢で砕き、2cm の篩いで調整して 200g を試料とした。可給態窒素の測定は標準分析法である 30℃、4 週間の保温静置培養法で得られた無機態窒素量を可給態窒素量とした。

#### 4.2.2 発症地帯の水稻生育

##### (1) 発症地帯における調査

2009 年に地上部と地下部の重量差が出る要因を検証するために「草ノ尾」で 1 個 1500 m<sup>2</sup>の水田を 2 分割して 5 月 28 日と 6 月 10 日の約 2 週間の移植時期の差がヒノヒカリの地上部・地下部の生育量に与える影響と発症程度を検討した。基肥は窒素 3kg/10a を代かき時に施用し穂肥は 1.8 kg/10a を出穂 20 日前頃の 8 月 10 日に両移植期とも施用した。出穂期は 5 月 28 日移植が 8 月 28 日、6 月 10 日移植が 2 日遅れの 8 月 30 日であった。穂揃い期の 9 月 4 日に直径 30 cm の円筒形鉄輪を水田に打ち込み、各移植時期別に 8 株を堀上げ根に対する茎葉の乾物重比(以下「T/R 比」)を計測した。上位 3 葉の面積は平均的な穂数である 3 株を調査した。また上位 3 葉長は 30 株を調査し平均値を算出した。

##### (2) 長崎県農林技術開発センターにおける調査

###### 1)移植時期変更による地上部・地下部の変化 (2009 年)

これまで「水稻葉枯症」が発生した事例が無く、日射量も多い県南平坦地の「諫早」にある長崎県農林技術開発センターの水田で発生地点の「草ノ尾」と同様にヒノヒカリを用い、T/R 比等を下記の要領で調査した。1 個 200 m<sup>2</sup> の試験水田を 2 分割し 5 月 28 日と 6 月 10 日に、両区とも 3 本/株で移植した。基肥は窒素 4 kg/10a を移植する 2 日前に施用した。穂肥は窒素 1.8 kg/10a を出穂 20 日前頃の 8 月 4 日に両移植期ともに施用し、水管理など肥培管理は慣行通りとした。各区とも出穂期に生育調査を行い、9 月 4 日に平均的な生育をしている各 9 株を直径 30cm の鉄輪を打ち込み鋤床層までを掘り上げて T/R 比調査に供した。また上位 3 葉長は 30 株の平均値である。

#### 4.2.3 遮光による地上部・地下部の変化 (2010 年)

長崎県農林技術開発センターの水田で、長崎県奨励品種である日本晴、あさひの夢、ヒノヒカリについて遮光栽培を行い品種毎の地上部・地下部の生育量差を確認した。第 3 章 3.7 結論で述べたように発症地帯農家の感想として、中生・長稈品種「ヒノヒカリ」の発症程度が重篤で、早生・短稈品種「あさひの夢」で軽い傾向であるという要因を確認するのが目的であった。移植を 6 月 8 日に行い基肥は 6 月 6 日に 3kgN/10a、穂肥は 7 月 28 日に 3kgN/10a 施用した。長崎県の平年梅雨期間に近い 6 月 16 日から 7 月 20 日までの 34 日間、遮光率 0%, 20%, 40% の処理を寒冷紗で実施した。株採取は各 3 品種 3~5 株を 7 月 28 日、9 月 10 日の 2 回、株を中心に横 30cm×縦 20cm 鉄枠を土壌に打ち込み、深さは根の伸長範囲を掘り取った。根については付着している土及び前年度等の稲藁等を水で洗浄した後、茎から切断し乾燥機で乾燥させた乾物重を計測した。また、葉については 7 月 28 日のみ茎と切断後パソコンソフトで面積を計測後、茎と共に乾燥機で乾燥させ乾物重量を計測した。

### 4.3 結果および考察

#### 4.3.1 発症地帯の土壌

水稻移植前 2009 年 2 月の結果を (表 4-1) に示す。「草ノ尾」, 「菰田」, 「里美」発症地 3 地点での可給態窒素量平均値は 10.6kg/10a と高い数値を示した。

「草ノ尾」の 3 点平均は 11.6kg/10a と数値が高い傾向があるが、その中での最大値は草ノ尾 C の 13.8kg/10a であった。ばらつきを示す変動係数は「草ノ尾」

平均で 13.8, 「菰田」で 20.5, 「里美」で 16.7 と「草ノ尾」に比べて「菰田」, 「里美」で高い傾向であった。また, 未発症地であり発症地点「里美」から直線距離 2 キロと近く表層地質も同じで, 標高も 380m と高い潜木では発症地平均と比較して 20%程度低い 7.7kg/10a である。また変動係数は 20.8 と発症地平均と比較して高い傾向であった。同じく未発症地で標高 90m と低く, 表層地質は発症地点とは異なる「心野」では発症地平均と同程度の 9.7 kg/10a である。変動係数については 22.7 と発症地平均と比較して高い傾向であった。

標高 50m 以下で平坦地から準平坦地の川棚, 大村, 小野島の 5 事例では, 水稻の裏作が行われない川棚・大村地区の可給態窒素量は潜木や「心野」に近い値である。また変動係数については高い傾向で, 特に大村 2 事例では発症地平均に比べて 2 倍以上の 33.7 と 44.1 であった。裏作麦類の作付けや転作で大豆栽培が行われる干拓地の諫早小野島の事例では可給態窒素量は 4.3kg 程度と数値が極端に低い。変動係数については発症地平均に比べて 1.5 倍以上の数値であった。

水稻収穫後 2009 年 10 月の可給態窒素量を (表 4-2) に示す。「草ノ尾」の 7 点は平均 17.6kg と「里美」以外の他地区と比べて値が高い傾向。変動係数はその他の発症地や無発症地とほぼ変わらない。厩肥施用が無い「菰田 A」と施用がある「菰田 B」の水田を比較すると, 「菰田 B」は, 「菰田 A」に比べて平均値で約 2 倍の 15.9 kg/10a である。また最高値は 136%, 最低値も 227%と高い数値。変動係数は「菰田 A」で高い。発症地である「里美」, 「中尾」でも可給態窒素量が高いが, 変動係数は高くない。また未発症地の「心野」, 潜木でも平均は 14.0kg/10a 程度と多少低いが, 変動係数は発症地と同程度か多少高い程度である。発症地可給態窒素量平均を水稻移植前の 2009 年 2 月と水稻収穫後の 2009 年 10 月を比べると収穫後の平均値が 1.5 倍と高い。これは水稻栽培で施肥した窒素分が水田に残っていることや施用した厩肥が栽培期間中に分解され, 水稻が吸収することが出来ない分が数値として現れているものと推察される。可給態窒素量は発症地域の平均値が高い傾向がある (表 4-1), (表 4-2)。

発症地帯では水稻移植前で変動係数が発症地平均 15.9%, 収穫後で 12.8% であった。水田で一般的な数値とされる 10%程度からすると高いことが明らかとなった。発症地帯では試料採取時期に関係なく 25%程度の増減が見られる程度

である。低標高地帯の測定結果は 2 月採取分しかないが、高標高地に比べて変動係数が大きい。その理由は今回の調査だけでは明らかでないが、発症地域や平坦地域、平坦地域の区別なく全体的に変動係数が 10%を超える水田が多数を占めている現状であることを確認した。

表 4-1 堆厩肥投入前の可給態窒素量

地区名	発症 (有無)	標高 m	平均値 (kg/10a)	最高値 (kg/10a)	最低値 (kg/10a)	標準偏差	変動係数 (%)
草ノ尾A	有	280	11.8	13.4	8.7	1.7	14.4
草ノ尾B	無	280	9.3	11.4	7.2	1.3	14.0
草ノ尾C	有	280	13.8	16.1	10.1	1.8	13.0
草ノ尾平均	無		11.6	13.6	8.7	1.6	13.8
菰田 A	有	220	8.8	12.6	5.7	1.8	20.5
里美	有	450	10.2	13.2	7.9	1.7	16.7
発症地平均			10.6	13.3	7.7	1.7	15.9
心野	無	90	9.7	13.7	5.7	2.2	22.7
潜木	無	350	7.7	11.6	5.3	1.6	20.8
川棚	無	20	8.9	11.8	6.2	1.5	16.9
大村寿古	無	5	8.3	14.5	5.3	2.8	33.7
大村荒瀬	無	50	5.9	12.3	3.7	2.6	44.1
小野島A	無	5	4.1	5.8	2.3	1.0	24.4
小野島B	無	5	4.6	5.8	3.2	1.3	28.3

表 4-2 堆厩肥投入後の可給態窒素量 (2009 年 10 月)

堆厩肥投入後の可給態窒素量 (2009 10採取)						
地区名 (移植時期)	発症有無 (程度)	平均値 (kg/10a)	最高値 (kg/10a)	最低値 (kg/10a)	標準 偏差	変動 係数
草ノ尾(6.10)	有(2)	18.5	25.2	15.5	2.2	11.9
草ノ尾(5.28)	有(4)	14.1	16.4	11.3	1.4	9.9
草ノ尾C	有	15.0	23.0	9.3	3.4	22.7
草ノ尾D	有	17.0	19.4	13.7	1.5	8.8
草ノ尾E	有	18.9	21.3	15.1	1.6	8.5
草ノ尾F	有	22.7	33.3	15.4	4.3	18.9
草ノ尾G	有	17.0	20.9	12.3	2.3	13.5
草ノ尾平均		17.6	22.8	13.2	2.4	13.6
菰田 A	有(1)	8.7	13.7	5.6	2.0	23.0
菰田 B	有(3)	15.9	18.6	12.7	1.7	10.7
里美	有	18.3	21.7	14.0	1.9	10.4
東彼杵	有	13.6	16.2	10.7	1.1	8.1
発症地平均		15.9	20.2	12.0	2.0	12.8
心野	無	14.5	19.4	11.9	2.0	13.8
潜木	無	13.7	19.2	10.0	2.3	16.8

注1) 発症(有無)に続く数値は発症程度を表す。1:10%株発症、2:30%株発症、3:50%株発症、4:70%株発症、5:100%株発症。

#### 4.3.2 発症地帯の水稻生育

##### (1) 発生地点における調査

「草ノ尾」の6月10日移植は、発症程度「2」であるのに対し5月28日移植の発症程度「4」より2ポイント軽くなった。つまり、ほぼ同一条件の1枚水田の中で、移植時期を約2週間遅らせるだけで発症株割合が7割から3割へと低下した。さらに、茎葉乾物重根乾物重はそれぞれ42%29%と有意に低下しT/R比も18%少なくなった。茎葉乾物重が根乾物重に対し相対的に小さくなる傾向がみられた。つまり、移植時期を2週間遅らせると地上部に対する地下部の相対的な生育量が増大することを確認した。止葉を含む上位3葉面積は有意では無いが、16%狭くなり上位3葉長は6%短くなった。

##### (2) 長崎県農林技術開発センターにおける調査

「諫早」の6月10日移植は5月28日移植より茎葉乾物重根乾物重がそれぞれ50%63%と有意に低下した。根乾物重の減少率が茎葉乾物重の減少率より大きいためにT/R比が(T/R比：地上部・地下部乾物重比 T:Top, R:Root)大きくなった。つまり、平坦地では移植時期を遅らせることによる地上部生育量の相対的減少率が発生地より以上に大きいのに対し地下部生育量の減少率がより一層大きいため、発生地のT/R比に近づく傾向が見られた。上位3葉長は有意では無いが15%短くなる傾向であった。

以上2カ所の調査結果から、移植を遅らせると茎葉乾物重根乾物重および上位3葉長は程度の差はあるが減少傾向を示した。T/R比は「草ノ尾」で低下し、「諫早」で上昇した(表4-3)。

表 4-3 移植時期の変更による水乾物重、T/R 比、葉面積、葉長の変化  
(2009 年)

地区名	農家名 組織名	移植時期	出穂期	発症 程度	茎葉		根		茎葉/根		上位		上位	
					乾物重 (g/株)	(g/株)	乾物重 (g/株)	(g/株)	重量比 (T/R比)	(T/R比)	3葉面積 (cm <sup>2</sup> /株)	(cm <sup>2</sup> /株)	3葉長 (cm)	(cm)
草ノ尾	A	5月28日	8月28日	4	51.2	(63)	4.1	(35)	12.5	(184)	1121.5	(100)	116.7	(91)
		6月10日	8月30日	2	29.9	(37)	2.9	(25)	10.2	(150)	940.5	(84)	109.8	(86)
				*		*		ns		ns		*		
諫早	開発センター	5月28日	8月22日	0	80.8	(100)	11.8	(100)	6.8	(100)	—		128.2	(100)
		6月10日	8月25日	0	40.1	(50)	4.4	(37)	9.1	(134)	—		109.0	(85)
				*		*		*		*		*		

注)1 発症程度 0:発症無、1:10%、2:30%、3:50%、4:70%、5:100% (水田全体に占める発症株割合)

注)2 穂揃期に直径30cmの円筒形鉄輪を水田に打ち込み鋤床までの根と茎葉を採取し乾燥させた。

注)3 草ノ尾Aの根乾物重、茎葉乾物重、T/R比調査は各区8株(n=8)の8反復の平均値

諫早は各区9株(n=9)9反復の平均値

注)4 上位3葉面積は1株に有る全ての穂に係る上位3葉全てを葉面積計で3株調査した平均値。

葉面積計:メイワフォーシスUF-3100C

注)5 上位3葉長は30株の平均値。

注)6各数値の()内割合については、上位3葉面積以外は開発センターの5月28日移植を100とした比率を示す。

\*は5%で有意。nsは有意差無し。(t検定)

#### 4.3.3 遮光による品種別生育量差 (2010 年)

遮光期間を終了した直後(7/28)では、遮光した 3 品種とも茎葉乾物重、根乾物重は無処理に対して明らかに減少する。「T/R 比」は日本晴の 20%遮光区と、無処理及び 40%処理区で有意差が認められた。また、20%、40%と遮光率が高まるに従い遮光処理以後の生育は処理の有無に拘わらず回復し、あさひの夢の無処理と 40%遮光区の「T/R 比」で有意差が認められ、根の成長に対して地上部成長が大きい。品種間では、各処理により日本晴、あさひの夢、ヒノヒカリの順に「T/R 比」が大きくなる傾向がある (図 4-1)。

遮光したイネの葉面積は、3 品種とも遮光に伴い明らかに減少する。また、遮光率が高まるとさらに減少する傾向がある。葉面積減少の程度は日本晴が大きく、次いであさひの夢、ヒノヒカリの順である。

日射量不足という不良環境に対して日本晴、あさひの夢は稲体乾物重に比例して葉面積を縮小する傾向があるが、ヒノヒカリは稲体の成長に対し葉面積を拡大する傾向が大きく、不良環境に耐える能力が日本晴、あさひの夢より高いことが示唆される (図 4-2)。

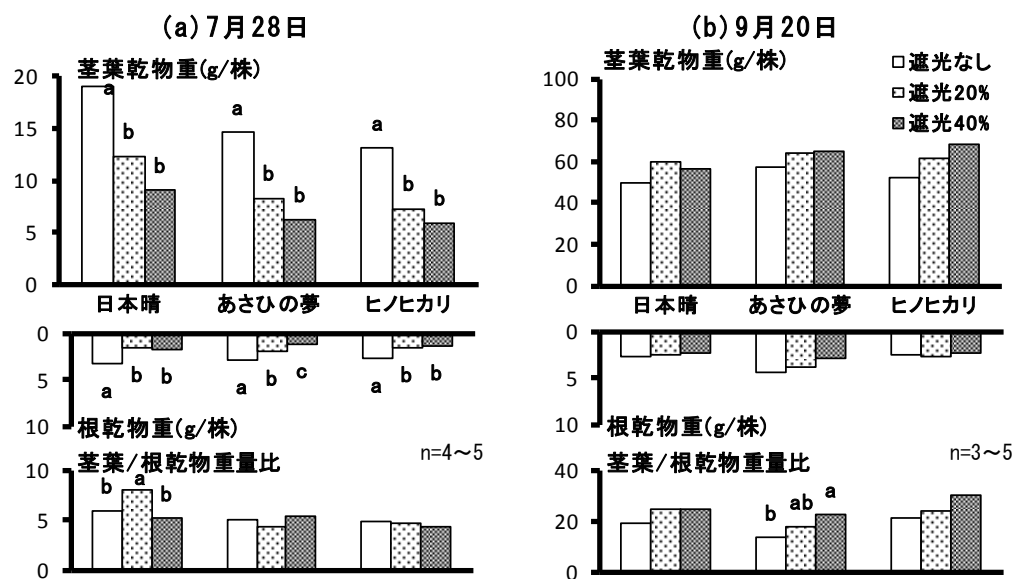


図4-1 7月28日 (a) と9月20日 (b) の品種別遮光による地上部、地下部の変化 (2010年)

注1) 試験場所：長崎県農林技術開発センター所内水田。移植日：6月8日。基肥：3kgN/10a、穂肥3kgN/10a。  
遮光期間：6/16~7/20。以下の図も同じ。

2) 図中記号a, b, cは、同一品種内の異記号間に有意水準5%で差があることを示す  
(Tukey-Kramerの方法による多重比較)。

3) 株採取方法：株を中心に横30cm×縦20cm鉄枠で土壌に打ち込み、深さは根の伸長範囲を掘り取り洗浄した。

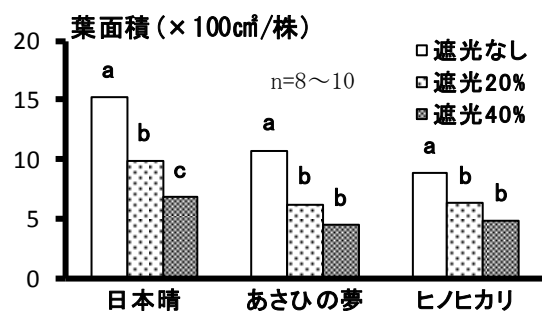


図4-2 品種別遮光による葉面積の変化 (2010年)

注1) 図中英文字a, b, cは同一品種内の異記号間に有意水準5%で差があることを示す (Tukey-Kramerの方法による多重比較)。

注2) 試料採取日：7月28日。



## 4.4 結論

### 4.4.1 発症地帯の土壌

地力のばらつきを今回の研究で課題とした背景には、ばらつきが水稻の生育量に影響し、発症初期における坪状の症状に繋がっていると考えたからである。

圃場整備後の地力のばらつきがどの程度の年数持続するのかの実態調査は全国的にほとんど無いとされる。その中で島根県の大区画水田では整備後 36 年を経過しても変動係数が高い事例報告がある<sup>8)</sup>。

基盤整備後の地力のばらつき（土壌肥沃度の不均一性）が、倒伏し易いコシヒカリ等を作付けた場合に地力が高い場所では倒伏、あるいは玄米たんぱく質含有量の増加等で品質を落とす結果となり、農業者の頭を悩ませているとされる。水稻生育及び収量構成要素との単相関では、幼穂形成期及び成熟期の草丈、窒素吸収量、精玄米重等は作土よりも下層土との相関が高かった<sup>60)</sup>。とされる。

土壌中への有機物の集積量は新鮮有機物及び腐植物質の分解率が小さいほど、また腐植化年数が短いほど多くなっている。湿田が乾田よりも、寒地水田が暖地水田よりも腐植含量が高いのは、有機物の施用量の違いよりも、むしろ土壌中の地温の違いが有機物の分解率の相違によるものと考えられる<sup>4)</sup>。また、大規模水田（50m×100m）の水田圃場（灰色沖積土）での事例では、4 月末あるいは 5 月上旬の基肥施用前の表層土調査で以下の知見が得られている。水稻の生育に大きく影響すると考えられる窒素に関連した特性値の変動係数は C/N 比（C 炭素，N 窒素）6%，全窒素 13%，可給態窒素 24%，可溶性窒素 31%の順に大きくなり、可給度あるいは可動性が高いほど変動が大きいという傾向がみられた<sup>62)</sup>。とされる。このことは、長期間の水稻栽培環境下にあってもばらつきの解消は難しいことを表している。つまり、「水稻葉枯症」発症地帯の水田においても窒素に関連した特性値の変動係数は大きいままであり、短期間に改善することが難しいことを表していると考えられる。

今回実施した調査から変動係数の高い水田が県下全域で多い傾向であることを確認した（表 4-1），（表 4-2）。不均一に厩肥が投入されてきた、「水稻葉枯症」発症地帯だけが変動係数が高いと予想していたが、調査対象の長崎県下の水田で一般的なものであった。

#### 4.4.2 発症地帯の水稻生育

長崎県中山間地「水稻葉枯症」発生地点での日射量不足期間は、ヒノヒカリ移植直後の6月上旬から平年梅雨明けの7月20日前後までの約50日間である。また日射量も平坦地の「大村」に比べて中山間地では約16%程度少ないことから、根重の減少程度は大きいと考える。根重は生育初期には小さいが有効分げつ決定期から次第に増加し出穂期に最大となる。T/R比は有効分げつ決定期には平均3程度と小さいが、次第に増加して出穂期には平均9程度となり成熟期には平均18程度と登熟期間に急速に大きくなると言われている<sup>19)</sup>。

今回の事例は根の相対生長量が小さいとされる栄養成長期における日射量不足状態での調査であるが、その後日射量不足が回復する梅雨明けから根重が最大を迎える出穂期までおよそ30日の期間があるものの根重の回復は難しいと考えられる。

移植時期を6月10日及び5月28日とした場合の坪刈調査結果を(表4-4)に示した。籾藁比(籾重/藁重:乾燥重量)は移植を2週間遅らせた6月10日移植が0.87となり、5月28日移植の0.75に対して12ポイント向上した。つまり、籾の生産効率が向上したことを意味した。また、10a当たり精玄米重も6月10日移植が5月28日移植に対して44kg程度増収した。

上位3葉長を移植時期別に発症地点の「草ノ尾」と「諫早」で比較した(表4-5)。「草ノ尾」における移植時期別の合計では有意な差がないが、5月28日移植で2葉と3葉が長い傾向が認められた。「諫早」では2葉と3葉が長くなり合計で5月28日移植が有意に長い。これは平坦地である「諫早」は気温が高く、早く移植した分だけ地上部の生育が優れることによると考える。

表4-4 移植時期別収量調査結果（2009年）

区名	全重	藁重A	籾重B	籾藁比	粗玄米重	精玄米重	屑米重	精玄米重10a
	kg	kg	kg	B/A	kg	kg	kg	kg
6月10日移植	1.37	0.73	0.63	0.87	0.49	0.38	0.11	367.8
5月28日移植	1.09	0.62	0.47	0.75	0.37	0.33	0.04	323.4
有意差検定	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注1) 栽植密度 29cm×17cm 21株/㎡。各区20株×3箇所

注2) 坪刈実施日:10月9日

注3) 精玄米重は1.8ミリの篩

注3) 有意差検定はt検定

表4-5 ヒノヒカリ上位3葉長 2009年 (単位:cm)

葉位・場所	草ノ尾5/28	草ノ尾6/10	開発センター5/28	開発センター6/10
止葉	29.9	29.3	30.4	30.2
2葉	41.2	38.1	47.6	39.7
3葉	45.6	42.4	50.2	39.1
合計	116.7	109.8	128.2	109.0
有意差	ab	a	b	ac

注1) 表中英文字a,b,c異文字間に有意水準1%で差があることを示す  
(Tukey-Kramerの方法による多重比較)

注2) n=30



図 4-3 未熟厩肥の散布状況（草ノ尾）

6月10日に移植した水稻を8葉期～10葉期までの10日間50%遮光すると、第9葉の出葉期に第6節からの発根が認められず一時停滞し、間隔が長くかかったことおよび5, 6, 7節位から出る根がいずれも導管断面積が小さく、標準区の60～70%である。遮光が地上部の生育とくに出葉への影響はさほど大きくないが、地下部の発育にはかなり明瞭に現れ、直接的には遮光期間中に発根する節位およびその1節位上位まで作用することが認められた<sup>29)</sup>。根1本当りの導管断面積を節位別に比較すると、普通期栽培稲では第8節位が最大で、これより上位および下位になるに従い次第に小さくなる<sup>28)</sup>。など、遮光によって根から地上部に水分を運ぶ導管が小さくなることが知られている。平年梅雨明け7月15日前後では発症地帯の普通期水稻は葉令で10葉期を迎える段階である。つまり根導管断面積が最大を迎える前までの根が遮光によって小さくなることが推察され、症状が出現する時期の根水分吸収が劣ることが考えられる。

「草ノ尾」の5月28日移植は6月10日移植に対して有意では無いが上位3葉面積が広く、上位3葉長は有意に長かった。「草ノ尾」では移植時期を遅らせる事で地下部の生長が地上部に対して相対的に増加したためT/R比が低下したが、「諫早」では上昇した。

T/R比に関する以上の結果は、5月下旬に移植を行った場合梅雨明けまでの日射量が2008年では「里美」は「心野」に対して81%2009年では「草ノ尾」が「大村」に対して71%であるように、2ヶ年平均で約25%少ないことが根の成長を抑制し、8月の高温で有機物分解とともに肥料分が吸収され葉面積拡大に繋がる中山間地と、日射量が確保出来ることで根の成長抑制が少ない平坦地の差によるものと推察される。

日射量が十分な平坦地で移植時期を早めると地上部・地下部とも有意に増加するのに対し、日射量不足条件下では地上部に対する地下部の生長量が劣りT/R比が大きかった。空気湿度が高く光の弱い条件で生育すると茎葉は徒長ぎみとなり根の発達が悪くなる<sup>9)</sup>ことや有機物分解に伴う地中窒素濃度の増加はその量が多くなるにしたがって根域が小さくなる傾向が認められることが知られている<sup>22)</sup>。また、有機物の多投入は有機酸などの発生等が伴うため、根の吸水能力を低下させる<sup>53)</sup>ことや根系の形態を根量と分布の2つの側面からは把握することが必要である<sup>32)33)</sup>など根域を制限する要因と吸水機能に関わる文献は多

い。

#### 4.4.3 遮光による品種別生育量差 (2010 年)

日本晴, あさひの夢の早生品種が中生品種ヒノヒカリに比べ, 遮光を終了した 7 月 28 日時点での T/R 比が大きい傾向。同時期に移植を行うと早生品種は生育ステージが中生品種に比べ 2 週間ほど早いため, 地上部及び地下部の生長が早く進んだと思われる。9 月 20 日時点の T/R 比は穂が登熟を開始し始めている段階であるため早生品種で有意差が認められ, 根の成長に対して地上部成長が大きい。品種間では各処理により日本晴, あさひの夢, ヒノヒカリの順に茎葉/根乾物重量比が大きくなる傾向がある。葉面積は, 供試した 3 品種とも遮光に伴い明らかに減少する。また遮光率が高まると, さらに減少する傾向がある。葉面積減少の程度は日本晴が大きく, 次いであさひの夢, ヒノヒカリの順である。日射量不足という不良環境に対して日本晴, あさひの夢は稲体乾物重に比例して葉面積を縮小する傾向があるが, ヒノヒカリは稲体の成長に対し葉面積を拡大する傾向が大きく, 不良環境に耐える能力が日本晴, あさひの夢より高いことが示唆される<sup>65)</sup>。

「水稻葉枯症」発症地帯周辺は和牛繁殖・肥育地帯でもあり畜産由来の厩肥が投入されてきた。さらに水稻栽培の灌漑用水が不足することから人為的に排水を悪くしている水稻単作地帯である。第 5 章で述べるが日射量不足で有機物が多投される排水不良環境下の水田に生育する水稻は, 一般的に地下部の生育が悪く吸水能力が劣るものと考えられる。T/R 比についての知見は, 根を掘り取る作業や土を洗い落とす作業が煩雑なためそのデータ少ない。その中でも T/R 比に触れた文献から以下のような知見が得られている。

移植期～止葉展開時まで無遮光と, 50%遮光区を設定し, 無機肥料及び有機肥料での根の生育を計測した。その結果根乾物重は, 何れの光条件下においても有機肥料の方が有意に重くなる。その結果, T/R 比は何れの光条件下においても無機肥料で高くなる。同じ有機肥料で生育させ, 無遮光区と 50%遮光区を比較すると, 止葉展開時の T/R 比は無遮光区 9.32, 50%遮光区 10.75 である。また無機肥料の無遮光区と 50%遮光区を比較すると, T/R 比は各々 11.52 と 13.76 となり何れの場合も遮光することで根の成長量は遮光しない場合に比べて 1/3 程

度に抑えられている<sup>54)</sup>。

根重当たり地上部総重・根重当たり葉面積のいずれも周辺区に相当する水稻の方が小さい。すなわち、周辺部に相当する水稻は相対的に地上部に比べて根の発達が著しく、よく発達した吸水器官によって支えられている<sup>17)</sup>。この知見によると幼穂形成期では T/R 比は、水田内部側で 3.03、周辺部側は 1.96 であり、また出穂期は水田内部側 3.16、周辺部側 1.97 であった。水稻葉枯症発症地帯の数値と比べて多少の開きがあるが、玉置らの事例及び石原の事例でも T/R 比が、遮光することや、水田の周辺部に生育する株と水田内部に生育する株での生育環境の違いで 2 ポイント程度低下している。水田周辺部と内部では光環境が異なり、内部では光が相対的に弱いことを示している。これは「水稻葉枯症」発症現地の数値と変わらない傾向を示している。つまり、高標高地であるため濃霧や雲海による遮光のために根の生育は劣り、T/R 比を大きくすることは間違いないと考える。

## 4.5 まとめ

### 4.5.1 発症地帯の土壌

土壌地力の変動は、長期間の水稻栽培環境下や水田が立地する標高に関係なく、ばらつきの解消は難しいと考える。つまり、「水稻葉枯症」発症地帯の水田においても窒素に関連した特性値の変動係数は大きいままであり、短期間に改善することが難しいことを表していると考ええる。発症程度を低く抑えるための対策として、表 4-2「菰田 A」の事例のように、可給態窒素量が 8kg 程度に低下すると発症株率は 10%程度に低下していることから、変動係数よりも地力の低下を図ることが必要と考える。

### 4.5.2 発症地帯の水稻生育

発症地帯の水稻生育：栽培管理から発症程度が軽くなる事例の要因として次のように考える。移植時期を遅くすることは地上部の生長に対する相対的な地下部の生長を促進し、T/R 比が改善されることにつながると考える。また、発症程度が重くなる事例で硫酸根肥料使用や未熟有機物の投入は一般的には硫化水素の発生を助長し、水稻根の水分吸収を抑えることに繋がると考えられる。水田

の鋤起こしは、土中において還元状態で存在した有機物が空気に触れることで酸化され、一部は可給態窒素に変化し、結果的に **T/R** 比が増加しているものと推察される。

#### 4.5.3 遮光による品種別生育量差（2010 年）

発症地帯の地力は厩肥投入量の適正化を図った場合でも、標準的な地力に低下するまで数年間を要すると考える。「水稻葉枯症」の被害を抑える観点から試験を行った 3 品種では早生品種の「あさひの夢」を選択するのが適当であると思う。それは、遮光した場合の **T/R** 比が大きくなる傾向が少なく、葉面積についても遮光によって縮小する傾向のため、発症地帯での風当たりを低下させることが可能と考える。

## 5 章 長崎県北部発症地帯の気象特性と水稻葉枯症の関連

### 5.1 はじめに

長崎県北部地域「水稻葉枯症」発症地帯に住む農家は、発症の始まる時期や被害程度について次のように表現してきた。つまり、「梅雨明け頃、山から風が吹き降ろす頃に発症し始め、梅雨期間が長く霧の多い年は被害が大きい」というものであった。そこで、2000 年、九州大学環境調節施設での高温・低湿度・強風試験の結果、湿度低下と強風負荷が不十分であったが、「水稻葉枯症」に類似する葉縁枯症状を僅かに確認することが出来た。九州地域でもフェーンが起こることは福岡管区気象台の発表から明らかであったが、農作物の具体的被害について報道されることはほとんど無い。

2002 年に発症地点の「里美」で、九州沖縄農業研究センターと共同で実施した気象観測（気温・湿度・風向・風速）に基づくデータから「水稻葉枯症」の発症にはフェーンの関連が示唆された<sup>31)</sup>。しかし、水稻生育期間中の一部観測記録が機材の不具合により欠落していたこと及び発症地点のみの観測であったため、フェーンが関係していることの確証が得られなかった。また、2003 年に中国・四国農業研究センターと共同で行った、長崎県内関係アメダス地点の気象データ記録と発症の時期との関係を領域シミュレーションモデルで計算した結果で、発症時期とフェーンの関連性が高いことが示唆された<sup>48)</sup>。しかし、長崎県内のアメダスデータ観測は一部を除いて平坦地で行われるため、高標高地でのデータが無い。発症地点の実測値に基づかない予測のため、今回の研究では移植から収穫までの全水稻生育期間において、フェーン風と「水稻葉枯症」の関係を発症地点の「草ノ尾」で確認することを目的とした。「草ノ尾」と小高い山を挟み北東方面に 3.9km 平坦地「松浦」に気象観測地を設定した。また、フェーン発生と天気図及び「水稻葉枯症」発症との関連についても検討した。

「水稻葉枯症」の発生地域の気象特性として想定される日射量不足は、梅雨期間の長さ、その期間の雲の高さ及び水田が位置する標高や発症地帯の地理的位置と対馬海流に関係すると推察される。雲の高さについては、佐世保測候所の 1994 年から 2000 年までの目視データから考察を加えた。日射量不足と水稻生育の特徴については第 4 章『発症地帯の土壌地力の変動に伴う水稻の生育特性』



で述べた。

## 5.2 観測方法

### 5.2.1 水稻葉枯症発症地点における日射量の測定法

#### (1) 2008 年

県北部地域の発症地点である標高 450m の「里美」に対し尾根を挟んだ東側に位置する「心野」に日射計を設置した。両地点は直線距離 2 km と極近く標高 90m（標高差 360m）傾斜度約 18 % の棚田地帯で周辺全体未発症地である。「心野」では水田近くの空き地で日当たりが良い場所に高さ 1m 程度に設置した。

「里美」では水田から 10m 程度標高を上げた平坦空き地に地上高 1m 程度に設置した。これにより、県北部地域の狭い範囲内で標高が異なる場合の日射量の違いを 6 月 10 日～10 月 5 日まで観測した。測器は「里美」と「心野」が（MS - 8 型英弘精機）を用いた。

県北部地域と県南部地域を対比するため「中尾」（N70-402 型日本エレクトリック・インスルメント）とそこから南西方向に直線距離で 8km の未発症地である平坦の「大村」で同じく日射量の計測（N70-03E 型日本エレクトリック・インスルメント）を行った。「中尾」、「大村」の日射計は各々建屋の屋上の裸地に地上高 1m に設置している。

#### (2) 2009 年

2008 年同様県北部地域と県南部地域を比較するため県南部地域「中尾」と「大村」での観測は継続した。県北部地域では観測場所を変更し、乾燥風の観測も兼ねて発症地点である「草ノ尾」に日射計（MS-8 型、英弘精機）を設置した（図 5-1）。設置場所は水田に隣接する耕作道路の脇に地上高 1m 程度に設置した。設置期間は 6 月 11 日～10 月 9 日の 121 日間とした。以上により県北部地域と県南部地域の発生地点および県南部地域の未発生地点の日射量の相違を検討した。

### 5.2.2 中山間地での高温・乾燥風の観測方法

#### (1) 2008 年

「里美」と「心野」に気象観測装置のデータロガー（CR23XCAMBELL）

を設置し、風向・風速（CYG-5305 クリマテック）、最高気温・最低気温（C-C 熱電対）、湿度（HMP45 型バイサラ）及び日射量（MS-8 型英弘精機）を用いて測定した。観測期間は 6 月 12 日から「里美」が 10 月 16 日まで、「心野」が 9 月 23 日までであった。但し「里美」では 7 月 10 日から 8 月 16 日までの期間において風速計故障のため風速の欠測期間がある。

## (2) 2009 年

「草ノ尾」と標高 350m の山を挟んで北東側に直線距離で 3.9km 離れた「松浦」に観測地点を設定した。「松浦」から発生地点「草ノ尾」までの傾斜度は 8 度 30 分と急激に標高を上昇する一方、「草ノ尾」から南西側の九十九島方面海域の傾斜度は 3 度 45 分と緩やかな傾斜である。「草ノ尾」と「松浦」での気象要因の特徴を明らかにすることを目的として、移植直後の 6 月 11 日から収穫期の 10 月 16 日までの 128 日間 2008 年と同様な気象観測装置を用いて気温、湿度、風向・風速、日射量を測定した。気象観測装置（データロガーは CAMELL 社製（型式：CR23X）を用い風向・風速・最高気温・最低気温（CC タイプ熱電対型）・湿度（バイサラ HMP45 型）日射量（英弘精機 MS8 型）である。



図 5-1 気象観測状況（2009 年草ノ尾）

## 5.3 実験結果

### 5.3.1 水稻葉枯症発症地点における日射量の特徴

#### (1) 2008 年の日射量

九州北部は平年より 8 日早く 5 月 28 日に入梅し、梅雨明けも平年より 13 日早く 7 月 6 日であった。平年の 45 日間に対し 40 日間の梅雨期間で 5 日間短かった。佐世保アメダスでは 6 月は梅雨前線の影響で日照時間は 86 時間と平年比 63%と少なく、一方、7 月は梅雨明けが早まった関係から日照時間は平年比 132%と多く、降水量は 22%と少なかった。

2008 年の結果を(図 5-2)に示す。発症地点「中尾」の月間別の日射量は標高差 310m の準平坦地「大村」に比べて移植時期の 6 月から葉枯症発生盛期となる 8 月末までの期間において 6 月 90 %7 月 94 %8 月 90 %であった。また、6 月から 8 月までの合計値である夏季期間合計では 8 %少ない値であった。

一方県北部地域の発症地点である「里美」は標高差 360m の準平坦地「心野」に比べて、6 月から 8 月の 3 ヶ月間の夏季期間で日射量が約 20 %少なかった。県南部地域と県北部地域を併せて比較するため夏季期間「大村」の日射量を 100 とすると「中尾」が 92, 「心野」が 92.5, 「里美」が 74.7 となる。標高 90m の県北部地域「心野」と標高 380m の県南地域「中尾」の日射量は、標高差が 290m あるにも関わらず「心野」が 92.5 「中尾」が 92 と同程度である。また、県北地域標高 450m の「里美」は 74.7, 県南地域標高 380m の「中尾」は 92 と「大村」100 に対して「里美」が「中尾」に比べて 25%も少ないなど、県北部地域は相対的に日射量が少ないことを明らかにした。

#### (2) 2009 年の日射量

2009 年の九州北部地域の梅雨は平年より 2 日早い 6 月 3 日に入梅し、梅雨明けが平年より 16 日遅い 8 月 4 日であった。平年の梅雨期間が 45 日間に対し 19 日間長い 64 日間の梅雨期間であった。佐世保アメダスでは 6 月の日照時間は 163 時間と平年比 119%と多く、一方、7 月は梅雨明けが遅れた関係から日照時間が平年比 57%と少なく、降水量が 156%と多かった。8 月以降は平年並みからやや多い日照時間であった。

2009 年は、前年度調査した県南部地域「中尾」、「大村」と新たに県北部地域の発生地点「草ノ尾」を加え合計 3 地点で稲作期間全体の日射量を比較検討した。その結果を（図 5-3）に示す。

県南部地域の「中尾」と「大村」の両観測地間で比較すると、水稻生育期間の 6 月から 10 月の合計では 2008 年の 6 月から 8 月までの傾向と同様に高標高地の「中尾」が 10 %程度少なかった。また、県北部地域の発生地点「草ノ尾」は県南部地域の「中尾」に比べて標高が 100m 程度低いが、日射量は稲作期間全体で「中尾」に対して約 20 %、「大村」に対して約 30 %少ない値である。梅雨期間の 6 月、7 月では「中尾」と「草ノ尾」はほぼ同程度の日射量であり、平坦地の「大村」に比較すると約 16 %少なかった。つまり水稻移植後から「水稻葉枯症」が平年現れ始める梅雨明けの 7 月に掛けて県南部地域の発生地点「中尾」と県北地域の発生地点の「草ノ尾」は標高差が 100m あるにもかかわらず日射量は同じ傾向で推移した。

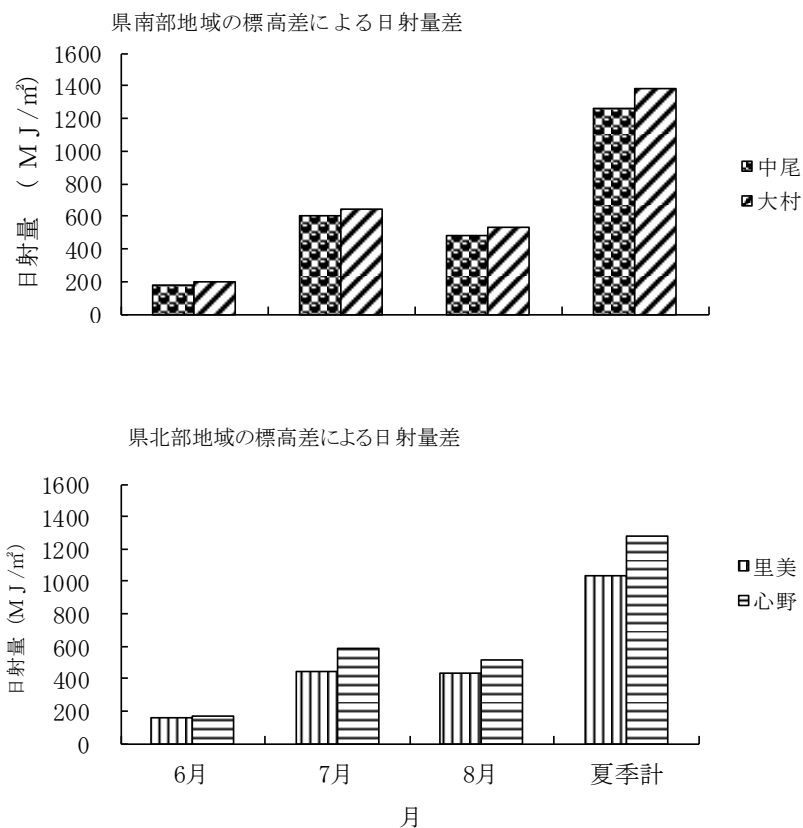


図5-2 水稻葉枯症発症期間における長崎県北部地域及び南部地域の標高差による日射量の差異(2008)

注1) 6月合計は6月12日以降の合計.

注2) 夏季計とは6/12～8月末までの合計.

注3) 標高: 中尾380m、大村70m、里美450m、心野90m。

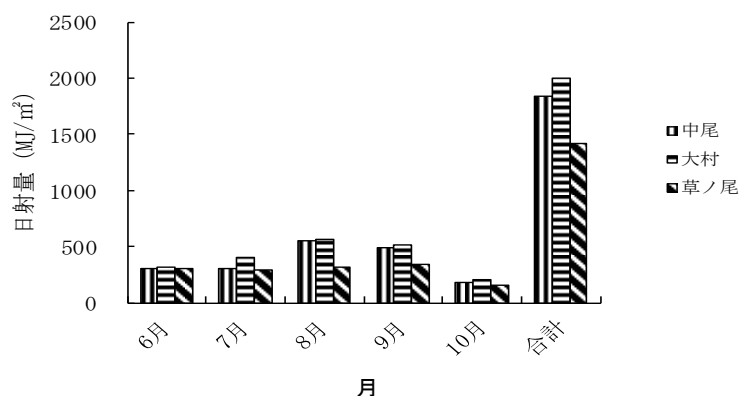


図5-3 長崎県北部地域と県南部地域の標高差による日射量の相違 (2009)

### 5.3.2 中山間地での高温・乾燥風の実態

#### (1) 2008 年

「里美」と「心野」の気温差，大気飽差および最大風速の変化を（図 5-4）に示した。梅雨明け（7 月 6 日）前の 7 月 4 日から 7 月 7 日 12 時くらいまでは標高の高い「里美」が標高の低い「心野」より気温が低く推移し大気飽差が小さい一般的な気象経過を示した。

一般的には，気温は標高が高くなるほど低下し湿度は高い。「里美」で気温が高く，湿度が低い期間と特徴は以下である。

気温では 7 月 8 日 18 時～7 月 9 日 8 時までの 15 時間において最大 2.3℃，平均 1.0℃高い。湿度では 7 月 7 日 17 時～7 月 8 日 11 時までの 19 時間における最大，平均の湿度差はそれぞれ最大 8 日午前 7 時の 12.5%，平均 4.6%であり，7 月 8 日 18 時～7 月 9 日 23 時の 29 時間の間では，湿度差は最大 33.9%，平均 12.9%であった。特に，7 月 8 日の午前 6 時から 7 時に掛けての 2 時間が最大の湿度差であった。また，大気飽差（式 5-1）はほぼ湿度と同じ傾向を示し 7 月 7 日 13 時～7 月 8 日 10 時までの 21 時間で，飽差最大は 7 月 7 日 17 時の 11.2 hPa，平均は 5.8 hPa。 7 月 8 日 18 時～7 月 9 日 18 時までの 24 時間では，その間の最大値は 7 月 9 日 16 時 24.7hPa で，平均は 15.0hPa であった。その期間中，7 月 7 日 13 時～7 月 9 日 18 時までの最大風速は，7 月 7 日 15 時の 4.4m/s，7 月 8 日 14 時の 5.1m/s，7 月 9 日 17 時の 5.6m/s であり，その間の平均風速は 3.6m/s であった。

大気飽差＝ $f(t) \cdot (1 - RH/100)$  単位：hPa・・・(5-1)

ここで， $f(t)$ は気温  $t$  の時の飽和水蒸気圧， $t$ は気温（℃） $RH$ は相対湿度(%)である。

強制蒸散力（式 5-2）の経過について示す（図 5-5）。7 月 4 日から 7 月 6 日までの 9 時までは 3～5 で推移しているが，日の出と共に上昇傾向が始まり 17 時までこの傾向は継続した特に 6 日 14 時には 21.43 と最大値を記録した。7 月 7 日は 9 時から上昇し 10 を超え，19 時までの 11 時間の期間においてこの傾向が継続した。特に，15 時から 17 時までの 3 時間は 20 を超え最大では 16 時

の 21.2 であった。7 月 8 日は 7 時位から上昇し始めて 8 時には 10 を超え、翌 9 日の 23 時位まで継続した。その内の最大値は 7 月 9 日 17 時の 54.6，平均は 28.7 であった。このように後半になるに従って強制蒸散力が増大する傾向にあった。その間において 7 月 8 日に「草ノ尾」で初発を確認した。また，「里美」でも極一部水田で発症したとの情報を得た。

$$\text{強制蒸散力} = F_{TP} = Da \sqrt{U} \quad \dots \dots (5-2)$$

ここで  $Da$  は大気飽差 (hPa)， $U$  は風速(m/s) である。

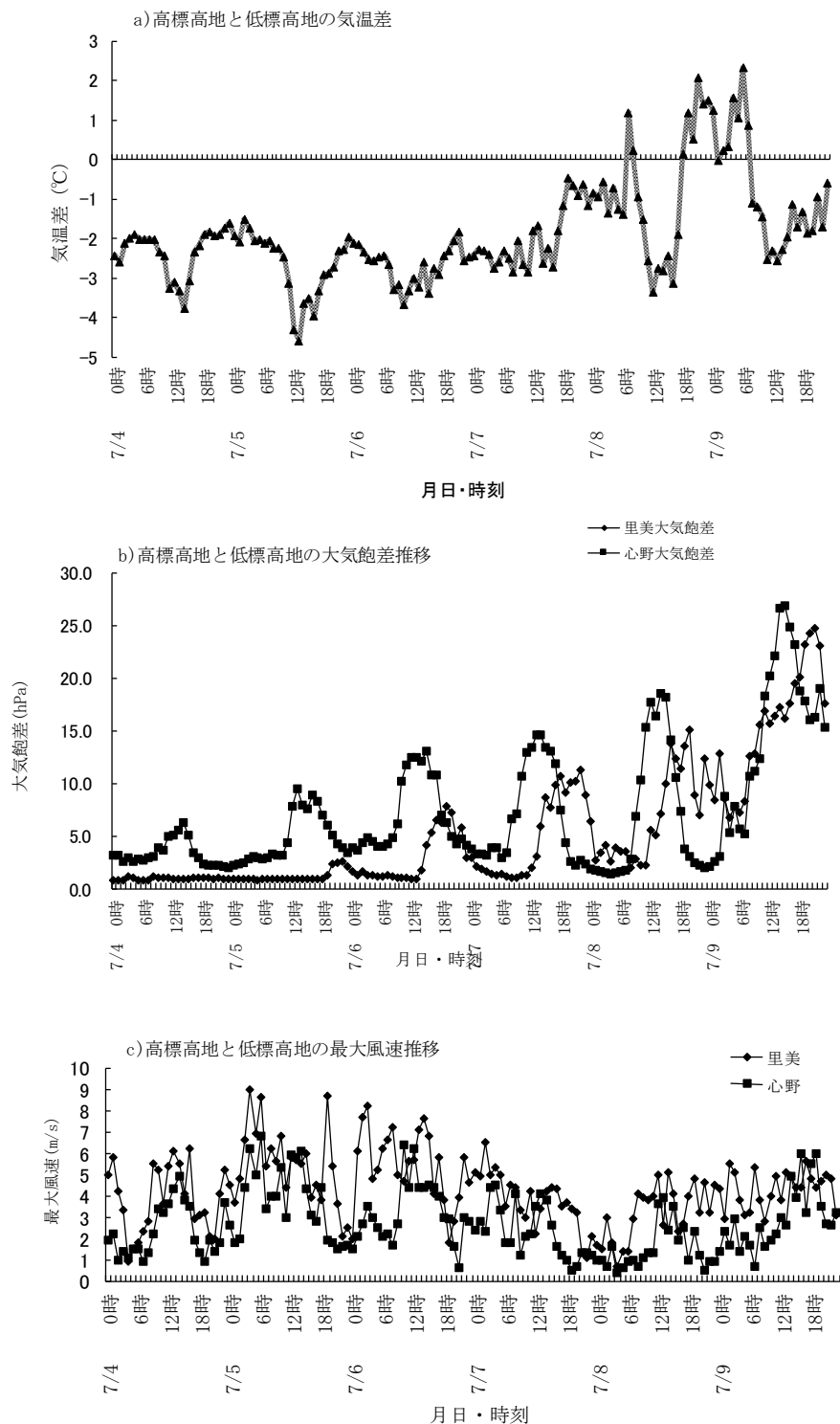


図5-4 発症時期前後の発症地点及び隣接する未発症地点の気象経過 (2008)

- 注1) a) 気温差は高標高の里美 (450m) の観測値から低標高の心野 (90m) の観測値を引いた値
- 注2) b) 大気飽差算出方法: 相対湿度とセットで測定した気温に基づき、その気温における飽和水蒸気圧を求め、それに相対湿度を掛けて大気蒸気圧を得て、その値を飽和水蒸気圧から引く。



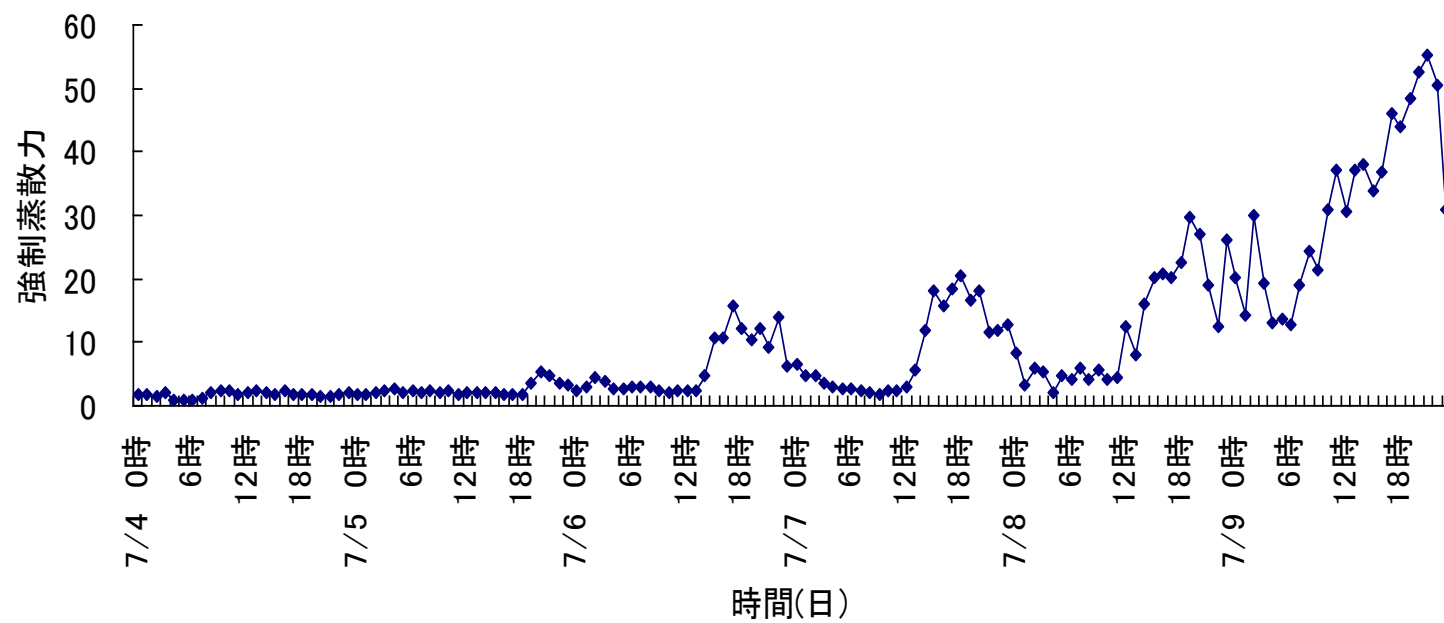


図 5-5 里美強制蒸散力の推移 2008 年

## (2) 2009 年

「水稻葉枯症」初発が確認された 2009 年 7 月 14 日前後の高標高地「草ノ尾」と平坦地「松浦」の気象要素を示す。図の上段の気温の経過では、「草ノ尾」の値から「松浦」の値を引いた気温差による気温上昇傾向をみると、7 月 9 日 8 時から 14 時までの 7 時間で 4℃を越え最高で 6.7℃であり、10 日と 11 日においても日中で 3~5℃高かった。7 月 12 日から 7 月 15 日まで気温差は 4℃以上高い傾向は、日によって継続時間の差があるが変わらず、15 日 12 時前後まで最高気温が高い傾向が続いた。日ごとの気温差の最高値は 7 月 13 日 9.2℃、14 日 8.3℃、15 日 13.2℃であった（図 5-6）。

湿度については上記で述べた気温上昇と共に 12 日以降の湿度は「草ノ尾」で低下し、12 日の 6.6%、13 日 14.2%、14 日 8.7%、15 日 13.6%低くなった。したがって、大気飽差は「草ノ尾」が「松浦」に比べて日中の 12 時前後に大きくなり、最高では 13 日 13 時では約 3 倍の 13 hPa を示した。その時点における最大風速は 9 日には 8.4m/s（17 時）、12 日 7.0m/s（11 時）、13 日 6.1m/s（3 時）、14 日 7.2m/s（16 時）が各日の最高であり、「草ノ尾」において気温が高く、湿度が低下した時間帯とほぼ同時時間帯に強くなる傾向が見られた。

稲作期間のほぼ全体で気象経過を見るため「草ノ尾」－「松浦」の気温差と湿度差を（図 5-7）に示す。「草ノ尾」が「松浦」より平均気温が高いかまたは、平均湿度が低い日数は 128 日間の約半数である 60 日程度を示しその内、気温が高く湿度も低い重複発生が 90 %以上の 55 日間であった。また気温が 1.5℃以上高い日が 22 日間、湿度が 3 %以上低い日数は 38 日間 5 %以上低い日数が 25 日間であった。平均風速が 2m/s を超える日数は 74 日間 3m/s 以上は 32 日間であった。その後、平年より遅く 8 月 4 日に梅雨明けとなったが 8 月 15 日頃から収穫までに「草ノ尾」と「松浦」の温度差 2℃、湿度差 15 %内外に拡大し 9 月上旬以降「水稻葉枯症」被害は順次拡大した。

強制蒸散力について、7 月 12 日 10 時～21 時の 12 時間は 20 を超え、特に 12 時～17 時までの 6 時間は 25 を超えた。翌 7 月 13 日の 9 時から 17 時の 9 時間の強制蒸散力は 20 を超え、14 時は 25 を超えた。7 月 14 日の 11 時から 7 月 15 日 9 時までの 22 時間は 20 を超えた。その内 14 日 11 時から 20 時までの 10 時間は 25 を超え、また 11 時から 16 時は 30 を超えた。（図 5-8）

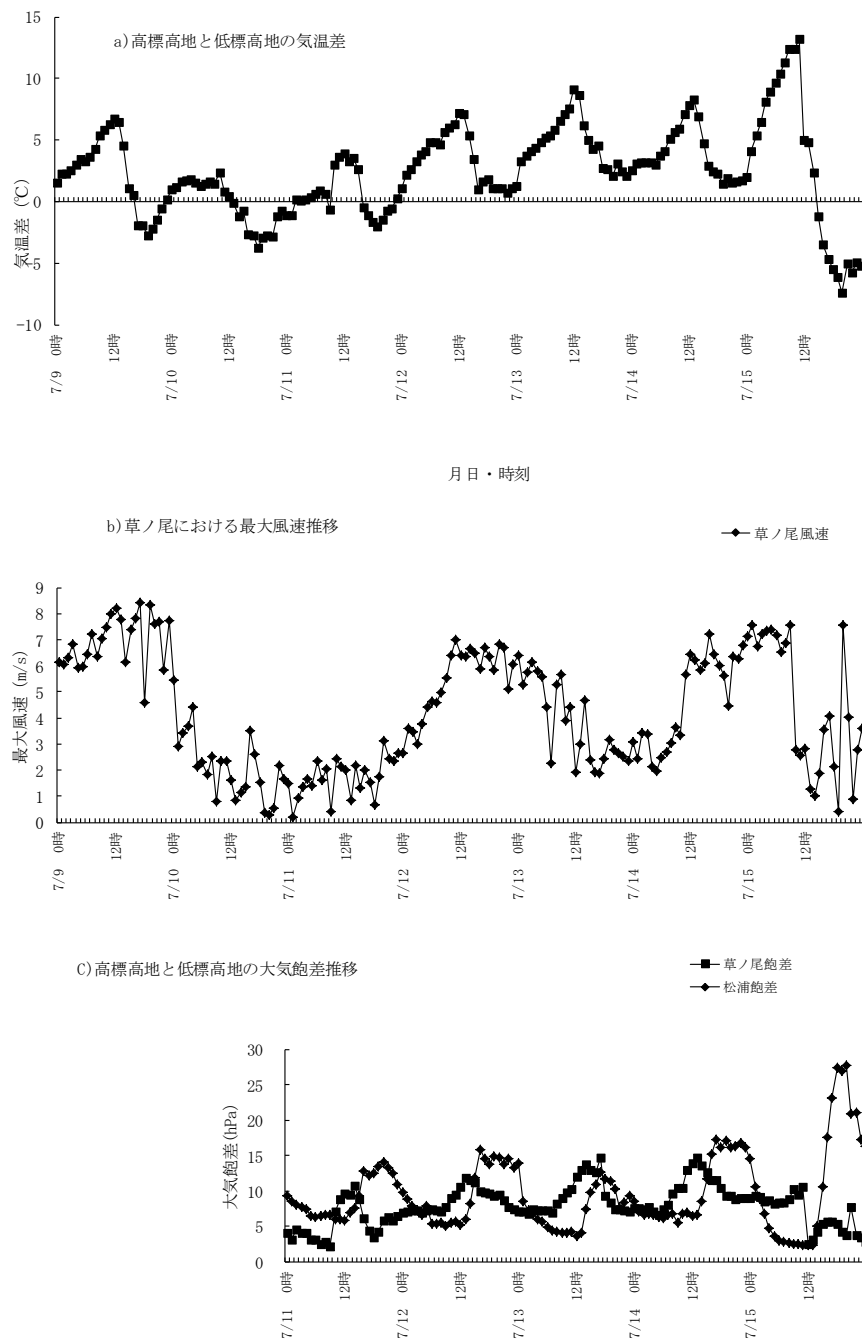


図5-6 発症時期前後の発症地点及び隣接する未発症地点の気象経過(2009)

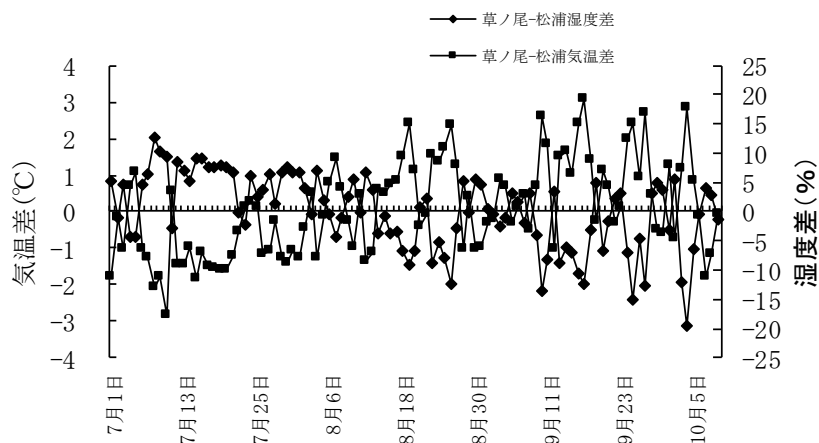


図5-7 水稻葉枯症発症前後から収穫時期迄の平坦地・高標高地の気温差，湿度（2009）

注1) 気温差、湿度差とは草ノ尾（標高280m）から松浦（標高20m）の観測値を差し引いた値。

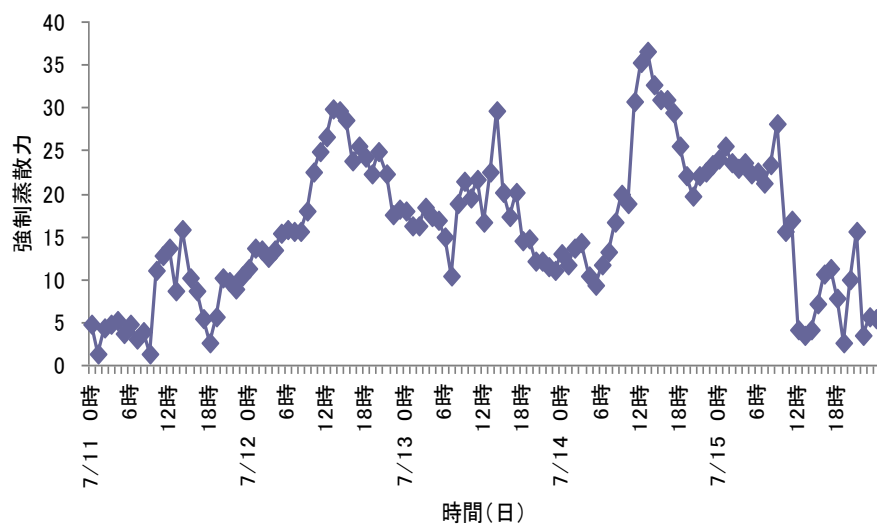


図 5-8 草ノ尾強制蒸散力の推移（2009）

#### 1)風向（日最多風向）について

2009年6月11日～10月9日まで121日間の観測期間において「草ノ尾」では、北から東の風が104日で86%を占めた。6月11日から「水稻葉枯症」を確認した7月14日までの34日間でもこの傾向は変わらず76.4%が北風および北東の風であった。また、7月14日の発症前後の12日間でも（7/10～7/21）同じように83%が北から東の風であった。

一方、「松浦」や佐世保アメダスの風向は、観測期間で各々32%、23%が北から東の風であり、「草ノ尾」に比べて極端に少ない。また、発症前後の7月10日～21日までの期間では両地点とも北から東の風は0%であり、ほぼ南～西寄りの風が優先している（図5-9）。

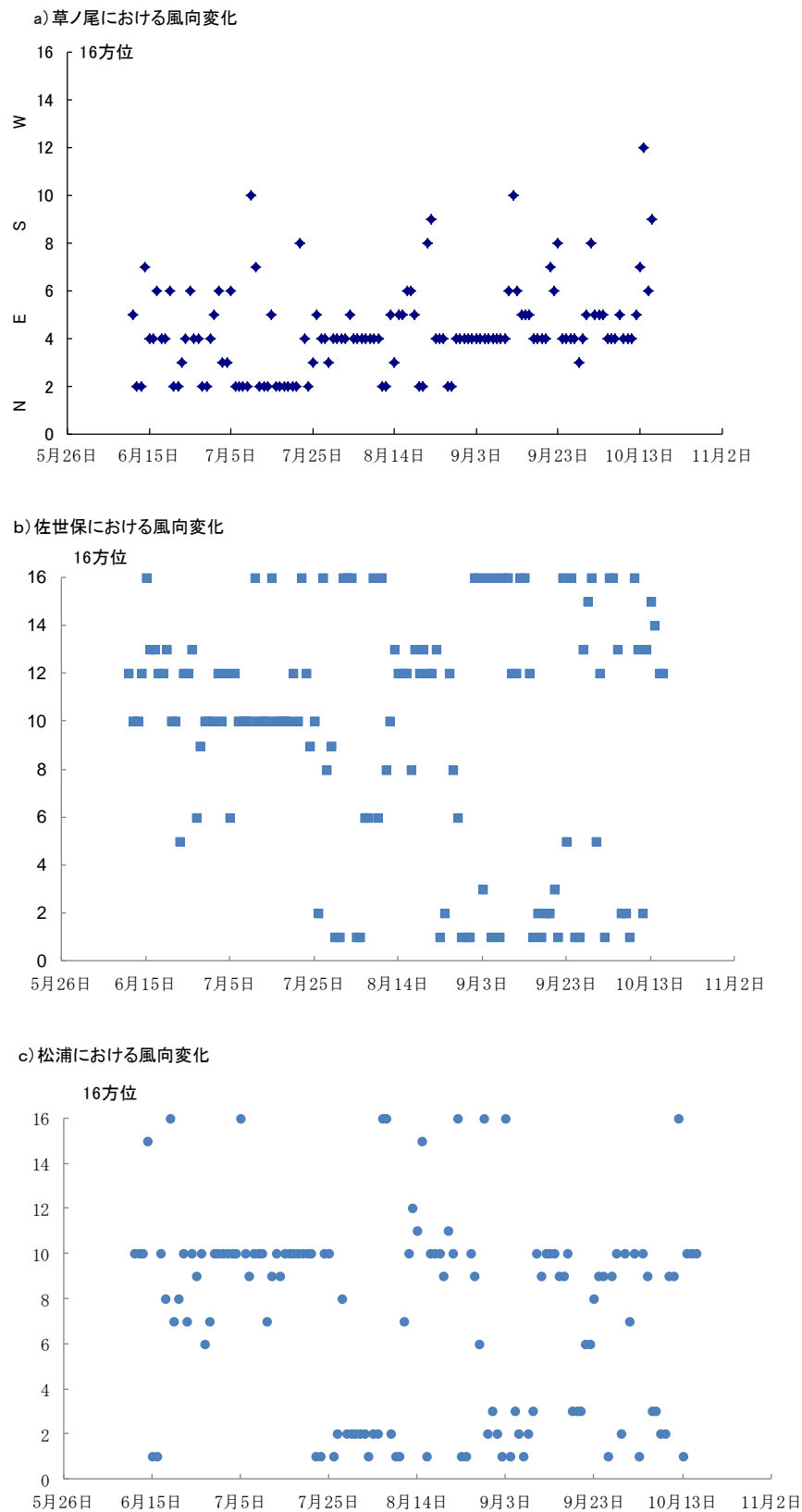


図5-9 稲作期間中における草ノ尾及び佐世保・松浦アメダスの風向変化(2009年)

### 5.3.3 フェーンが発生する天気図と気象変化の関係

#### (1) 「水稻葉枯症」発症前の天気図と近隣アメダスデータ (2008)

フェーンと「水稻葉枯症」の関連性をみるため、発症を初めて確認したのは7月8日以前の2日間(7月6日, 7月7日)の天気図(図5-10), (図5-11)と近隣にある佐世保, 平戸および松浦アメダスデータの気象要素(気温・湿度・風速)を(図5-12)に示した。

7月6日, 9時, 前線を伴う低気圧の中心は中国ハルビン市(北緯46度, 東経126度)辺りにあり, 別の停滞前線が朝鮮半島の中部に掛かっている。そのため7月6日は全国的に風向きが南寄りとなり, 太平洋側から低気圧の中心に湿った風が吹き, 発症地帯の長崎県北部中山間地はフェーンとなっていると推察される。7月6日に九州地域が梅雨明けとなり, 太平洋側から低気圧の中心に湿った風が吹く傾向は7月8日まで3日間継続したと思われる。実際にアメダスポイントの佐世保でも南寄りの風が(図5-10)のように優先していた。7月8日は高気圧の中心が朝鮮半島南端近辺にあり, サハリン付近にある低気圧に向けた西南西の風が優先していた(図5-11)。

7月6日は高気圧に覆われた九州北部地域は停滞前線の位置から判断して南南西から南西の風が終日吹いた。佐世保アメダスでは快晴から晴れで, に示すように気温は10時から17時まで29℃を超え, 湿度は60%台後半から70%台前半を記録した。また, 風速は3~4m/sであった。

7月7日は遥か東海上から張り出す優勢な高気圧から派生した高気圧の中心は鹿児島西方100km程度にある。優勢な低気圧がアムール川流域に存在するため, 鹿児島西の高気圧から吹き出す風は南寄りの風となって長崎県発症地帯を包む状況となっている。実際, 佐世保アメダスの記録は西南西から西寄りの風が優先していた。天気は晴れ, 気温は10時から16時まで29℃を超え, 湿度は60%台中盤を記録した。風速は3~7.5m/sであった。

7月8日は天気図から高気圧から吹き出す風は西から南寄りの風に変化していると思われる。佐世保アメダスでは気温は12時から30℃を超え, 16時まで継続した。湿度は気温と同じく12時から60%台後半になり, 60%台が16時まで継続した。その間風速は16時に8.2m/sを記録した。最大瞬間風速は10.1m/s西南西の風であった。

梅雨前線の影響が残っている 7 月 6 日までは気温も 30℃以下であったが、遙か東海上から張り出す優勢な高気圧から派生した高気圧が 6 日頃から前線を押し上げた。その結果気温が 30℃を超えそれに伴い佐世保では湿度も 70%以下になっている。風の強さは梅雨明け前よりは低下したが、サハリン当たりの低気圧に向けた風が優先したため、南寄りの風が発症地帯に吹いたと考えられる(図 5-12)。

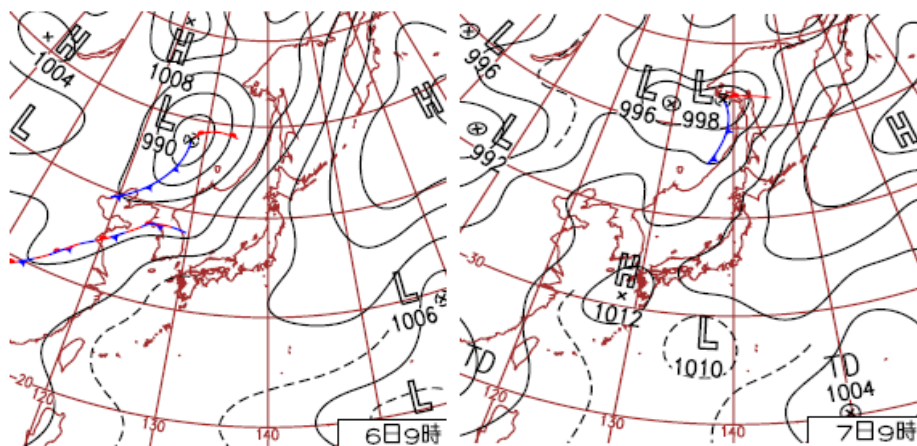


図 5-10 2008 年 7 月 6 日と 7 日の天気図

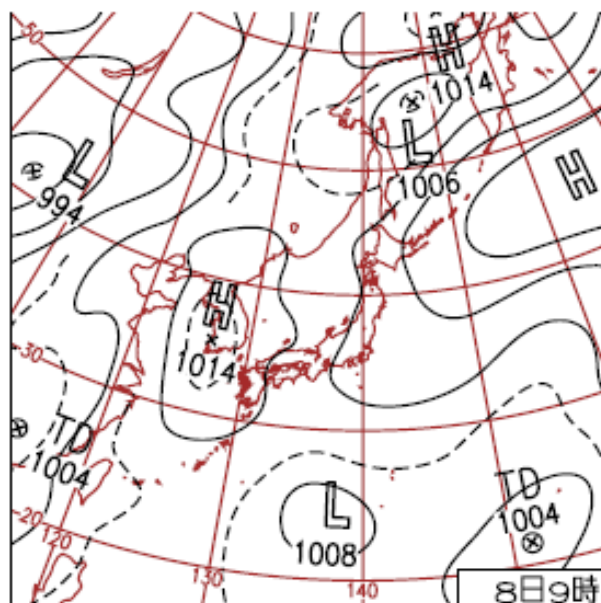


図 5-11 2008 年 7 月 8 日天気図



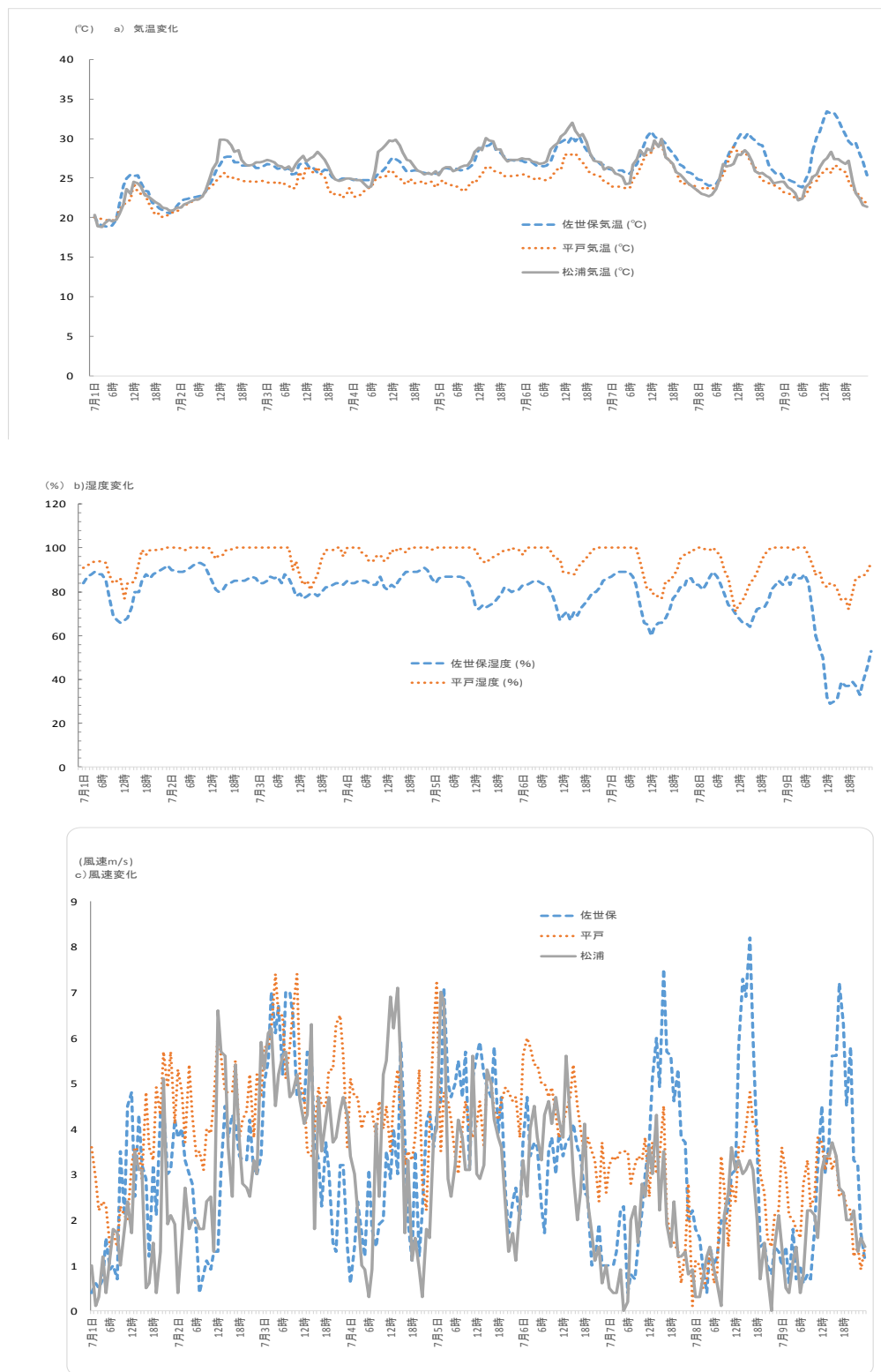


図 5-12 2008 年上旬のアメダス観測地点における最高気温・最小湿度及び最大瞬間風速の日別変化

## (2) 「水稻葉枯症」発症前後の天気図と近隣アメダスデータ (2009)

北部九州は6月3日に梅雨入りし、梅雨明けは平年より遅く8月4日であった。「水稻葉枯症」の発症を「草ノ尾」で確認したのは7月14日で、7月28日以降順次発生面積と被害が拡大した。発症直前から発症までの気象要素変化を検討するため、7月12日から7月14日までの佐世保、平戸、松浦アメダスデータの気象要素（気温・湿度・風速）と7月12日、13日両日午前9時の天気図を（図5-13）、（図5-14）、（図5-15）に示す。

7月12日9時には、梅雨前線を伴う低気圧の中心が朝鮮半島中部西方黄海上にあり、翌13日にはその中心が津軽海峡西方まで移動した。南西から南寄りの湿った風が発症地帯に吹きやすい環境であったと思われる。7月13日9時では低気圧の中心が津軽海峡西方まで移動した。長崎県北部発症地帯には、前日に比べ多少西寄りであるが南西～南南西の風が吹いていると思われる。2009年7月前半の発症地帯周辺アメダスデータの中から最高気温、最小湿度、最大瞬間風速を佐世保アメダスの数値を中心に概説する（図5-15）。

7月12日は、佐世保アメダスでは天気は終日曇りで薄日が射す程度であった。気温が30℃を超えたのは13時から15時までの3時間で、湿度は60%台後半であった。前線を伴う低気圧が黄海から朝鮮半島に進んだことから、風向は東南東から南南西に変化した。最大瞬間風速は13.3m/sを記録した。

7月13日は佐世保アメダスでは7時まで曇りであったがその後晴れた。気温は10時から16時まで30℃を超えた。湿度が60%台になったのは11時から16時まで、風向は南南西から南西で風速は平均3.7m/s、最大6.7m/s、最大瞬間風速は10.3m/sであった。

7月14日は佐世保アメダスでは天気は午前中曇りで12時から晴れ。気温は12時から17時まで30℃を超えた。その間湿度は60%台中盤を記録した。風向きは南南西から南西で平均風速は6.1～8.9m/s、最大風速9.2m/s、最大瞬間13.4m/sと風が強かった。7月11日から気温の上昇傾向が見られ、13日には佐世保及び松浦で30℃を超えた。また同時期最小湿度も低下傾向を示し13日には60%前後に低下し、最大瞬間風速も10m/s前後となった。

「草ノ尾」では7月12日から14日にかけての風向はすべて北北東。最大風速は12日の4mが最高、瞬間風速も7m以下とアメダス地点よりも風は弱かつ

た。風向が逆であるのは、第 5 章「5.3.2 中山間地での高温・乾燥風の実態」で述べているように局地的な地形の影響を受けている結果であると推察される。

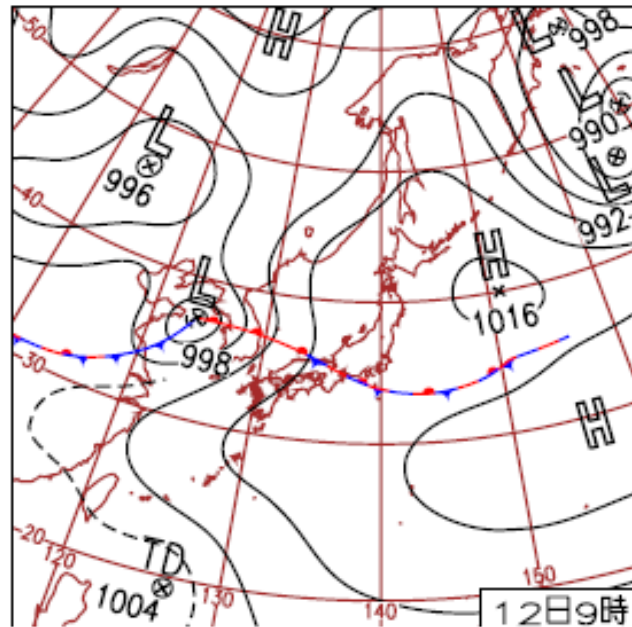


図 5-13 (7 月 12 日)

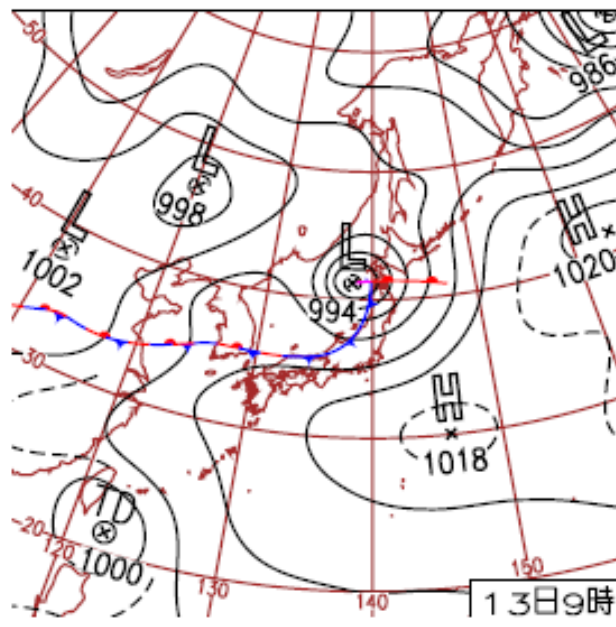


図 5-14 (7 月 13 日)

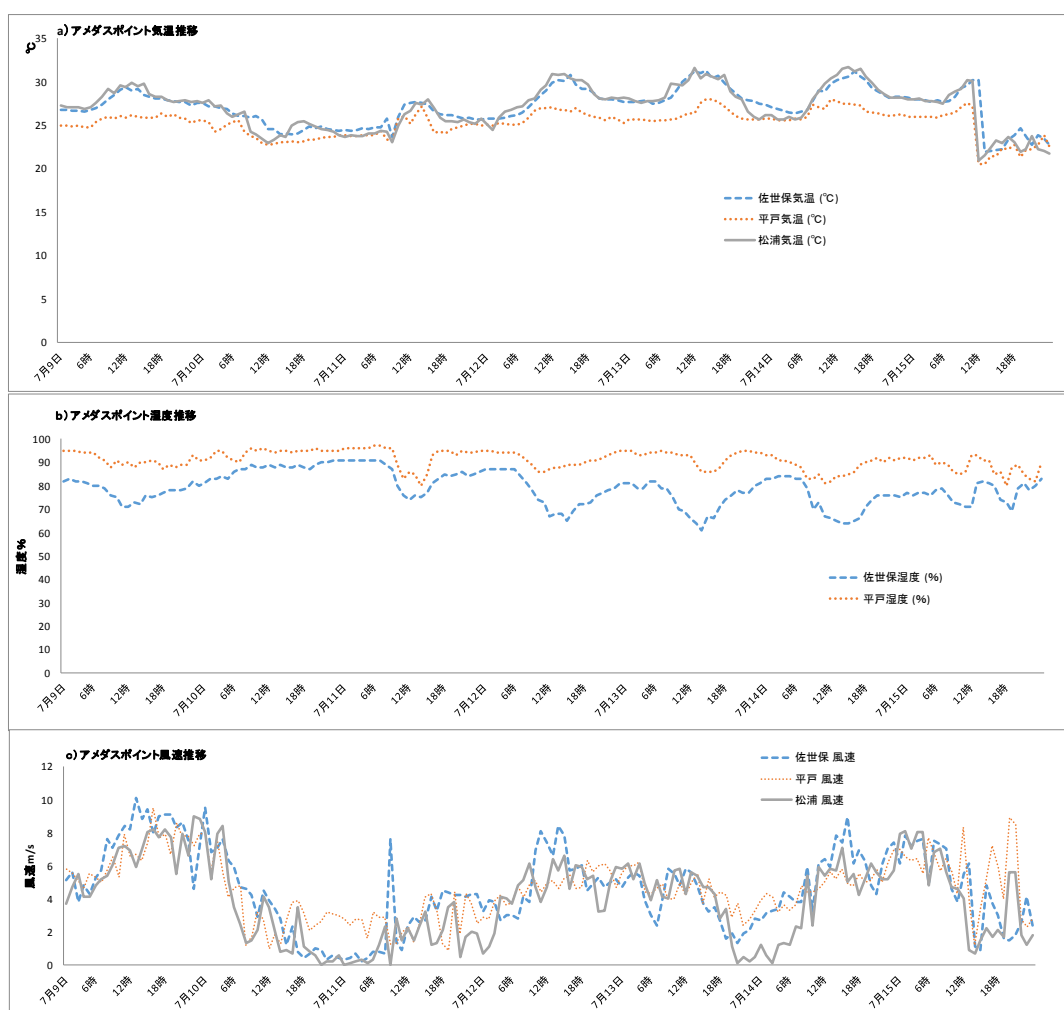


図 5-15 2009 年の長崎県北部地域のアメダス観測点の 7 月 1 日からの推移

## 5.4 結論

### 5.4.1 水稻葉枯症発症地点における日射量の特徴

#### (1) 日射量

2008, 2009 年の佐世保アメダスにおける稲作期間（6 月～10 月）の日照時間についてみると、2008 年が平年比 94%の 834 時間、2009 年は 98%の 873 時間であった。2008 年と 2009 年の稲作期間（6 月～10 月）の日照時間について県南地域の長崎アメダスを比較すると、長崎では 2008 年 818 時間、2009 年 886 時間と佐世保アメダスに対して各々98%と 101%で、県北地域の日照時間はほぼ変わらないと言える。しかし、西側に普賢岳が存在し、県内でも多日照地域と思われる島原アメダスでは 2008 年 931 時間、2009 年 940 時間で佐世保アメダスに対して各々112%、108%と 1 割程度日照時間が長い。県南地域と県北地域を比較する際、どの地点のアメダスと比較するかで大きく異なる。

県南地域の日射量数値の基準をどこにするかで、県北部を評価するのは大きく数値が異なるが、「大村」を県南部の代表値とすると 2 ヶ年の日射量観測から、凡そ県北部発症地点「里美」、「草ノ尾」の日射量は地点間には標高差 200m 程度あるが、「大村」に対して 6 月から 7 月末迄に 15%以上、8 月末迄にはそれ以上少ないと判断される。

アメダス地点の平年データによると年間日照時間は、県南部地域の長崎を 100 とすると佐世保 101%、平戸 95%である。また、およその梅雨期間である 6 月当初～7 月末までの 2 ヶ月間では佐世保が 98%平戸が 91%と少ない。今回調査した日射量を日照時間と単純に比較することは出来ないが県北部地特に西側が海に面した平戸での日射量は県南部地域より少ない傾向であることが示唆され、その原因は濃霧の発生頻度が大きく関わっている。大場らの研究で<sup>4 1)</sup> 県北地域の西側が海に面した地点では、対馬暖流の影響を受け 5 月から 7 月までの期間で濃霧の発生が極めて高いことが報告されている。これは、この地域特有の要因、すなわち海洋における対馬暖流が日本海北部に上昇する所に、寒気団による冷氣に伴う海霧の発生頻度が高まることである。そのため、7 月末までは梅雨前線に伴う雲海の発生が発症地点の標高 200m 前後に掛かる機会が多くなることで、日射量の減少に繋がっていると考ええる。また 8 月以降も陸地が暖められることによる上昇気流に伴う断熱膨張により発症地点では海霧が発生する機会

が多いためと考えられる。これらの要因により、準平坦地の「大村」に対し高標高の発生地点である「里美」と「草ノ尾」の稲作期間（6月上旬～10月上旬）日射量は最大で30%少なかったと考える。

## （2）雲の高さ

九州北部の平年入梅は6月5日、梅雨明けは7月18日である。梅雨前線は大陸高気圧と太平洋高気圧の強弱によって気圧団の境目に停滞する。太平洋高気圧から吹き出す南風の高温で湿った風は大陸高気圧の冷たい乾燥した気団に触れると雲を作りやすい。この前線上を雲は偏西風の影響で西から東に移動するため海上及び陸上は長期間低い雲に閉ざされ易く日射量不足になりやすい。中山間地では雲の高さによっては地域全体が雲に包まれ、現地では濃霧となって視程が極端に短くなり、水稻は極端な日射量不足で軟弱に生育することになる。佐世保測候所による1994年から2000年までの梅雨期間における雲高さ観測データを示す（表5-1）。それによると、梅雨期間が長くなると、雲高が400m以下及び200m以下日数は増加する傾向にあり、観測時間9時と15時の比較では15時よりも9時の雲高が低いことが解る。これは、午後では気温の上昇と共に飽和水蒸気圧が上がるため、霧が解消されるためと思われる。1994～2000年までの7ヵ年合計では梅雨期間は294日間で、9時では約50%の141日間で400m以下であった。その内、半数つまり全体の約25%が200m以下の雲高である。また、15時ではその割合が低下し約28%が400m以下で、約14%が200m以下の雲高である。この雲高は標高の高い場所200m～450mに位置する発症地帯水田では濃霧状態であると推察され、5月下旬から移植される水稻は梅雨期間中の大半において、生育ステージの生育中期である幼穂分化を開始する時期を日射量不足の中で生育していることになる。1994年は発症が極端に少なかった年であり、この原因を日射量の視点から考察すると観測期間7ヵ年梅雨期間の平均42日に対して、約57%の24日間で極端に短く、雲高が低い日数が少なかったことが水稻の生育環境に好影響であったものと推察される。

表 5-1 佐世保梅雨期間の雲高

年度	梅雨期間	同左 日数	9時		15時	
			雲高400m 以下日数	雲高200m 以下日数	雲高400m 以下日数	雲高200m 以下日数
1994	6/ 7～ 7/ 1	24	10	4	7	2
1995	6/ 8～ 7/ 8	30	11	3	8	2
1996	6/ 7～ 7/13	36	23	12	13	9
1997	6/ 8～ 7/19	41	25	13	12	7
1998	6/ 1～ 8/ 3	62	28	12	15	8
1999	6/ 2～ 7/22	50	23	17	10	6
2000	5/26～7/17	51	21	9	16	5
合計		294	141	70	81	39

注1) 1999年は欠測期間あり(6/21～6/30)

注2) 2000年の5/26～5/31の観測データ無し

#### 5.4.2 中山間地での高温・乾燥風の実態

##### (1) 高温・乾燥風について

2008 年梅雨明け 7 月 6 日後の 7 月 7 日 12 時以降、高標高の「里美」における気温上昇、湿度低下、大気飽差の上昇、強制蒸散力が上昇した後の 7 月 8 日観測地点の「里美」及び「草ノ尾」でも発症を確認した。

2009 年梅雨明け 8 月 4 日と遅かった。発症を確認したのは 7 月 14 日。観測地点の「草ノ尾」が平坦地観測値「松浦」に比べて気温が上昇傾向を示した 7 月 9 日以降 15 日まで継続した。湿度は 12 日以降低下傾向を示し、大気飽差は 13 日 13 時に「松浦」に比べて 3 倍の 13hPa を記録した。強制蒸散力も 7 月 12 日 10 時頃から 20 を超え始め、その傾向は数日継続し、最大では 14 日 11 時から 30 を超えた 7 月 14 日発症を確認した。

2008 年と 2009 年ともに朝鮮半島に前線が掛かり低気圧の接近と前後して「水稻葉枯症」は発生している。それに伴い中山間地の発生地点では平坦地に比べ気温の上昇と湿度の低下及び強風に遭遇し飽差・強制蒸散力も拡大するなど、水稻からの蒸散が激しくなる環境が形成されたと考える。

日本において局地の強風はその多くが山越え気流に関連しているとされる。おろし風は安定成層を形成した大気が山脈地形を越える時に風下側で増速する現象で時として被害を伴う強風をもたらす<sup>44)45)</sup>。日本におけるフェーンの研究では次のように述べられている。

##### 1) 東北・北陸

局地風の主なもので、フェーン現象を伴い水稻に被害を出す山形県清川ダシは 8 月及び 9 月に出現率が高く気温が高い条件下で乾燥した強風（日平均で 5 m/s）が吹くと上位葉の一部枯死や出穂後の白穂を生じる場合がある<sup>50)</sup>。

北陸地方においては水稻のフェーン現象被害の最も顕著なものは白穂の発生であり高温乾燥した強風によって稲体の水分が強制的に収奪され体内水分の均衡が著しく失することにより発生する<sup>35)</sup>など局地強風に関する報告は多い。山形及び北陸の事例は東北や北陸の梅雨明け前後による低気圧が日本海に進む 8 月下旬の出穂期以降のフェーン現象による白穂被害であるが山形の事例では長崎の事例と同様に葉の一部枯死も報告されている。

水稻被害の様相としては穂の脱水による白穂及び籾白化による登熟不良や玄



米品質低下となって現れる<sup>58)</sup>。村松<sup>34)</sup>は北陸地域に発生したフェーン害の解析結果から、夜間の強制蒸散力が20～25を越えると白穂が発生することを報告している。

研究機関としてはフェーン耐性品種の選定などを進めているが、その成果では次のように述べられている。1.フェーン害にはかなり明瞭な品種間の差が認められ、品種特性や栽培法も影響が少なくない。2.何れの品種も増肥とともにフェーン被害が増加する。3.フェーン耐性が強いと判定された品種には、近年育成された強短稈品種が多い<sup>58)</sup>。7月上旬から9月上旬までの23日間の事例では、日本の東海上に太平洋高気圧が存在し、低気圧や台風などの擾乱が九州近辺から日本海の領域に存在していた<sup>41)</sup>。つまり、フェーンの発生には特徴的な気圧配置が存在することを明らかにしている。

## 2)九州

2007年南九州宮崎で起こった水稻の乾燥風害はフェーン害として九州沖縄農業研究センターから報告書がまとめられている<sup>24)</sup>。要約すると、台風4号の中心が7月14日日向灘へ達し、15日以降は反対に台風に向かう西からの風によって乾燥した空気が九州山地の東側に吹き降ろし、九州南部の太平洋岸にフェーンをもたらした。気温はそれほど高くなく最高でも32℃であった。各地点の夜間の強制蒸散力（定義：下記）に着目すると、宮崎と油津では15日未明の強制蒸散力が最低の時間帯でも25を超えた。さらに両地点では強制蒸散力25以上の状態が14日午後から15日深夜にかけて連続24時間以上に達しておりこれが白未熟粒などの原因と推察された<sup>24)</sup>。夜間の強制蒸散力が20～25を越えると白穂が発生し易い<sup>34)26)</sup>。また、フェーン害リスク評価指標として、木邨（1950）の提案した蒸散力を用いている<sup>26)</sup>。強制蒸散力 $F_{TP}$ は以下の式で表されるとした<sup>27)</sup>。

$$F_{TP} = D_a \times \sqrt{U} \quad D_a = e_s - e$$

$D_a$ ：大気の飽差（hPa）、 $U$ ：風速（m/s）、 $e_s$ ：飽和水蒸気圧（hPa）、 $e$ ：水蒸気圧（hPa）

過去長崎県と類似の症状が見られたとされた佐賀県北部唐津市上場地域や筆者が似たような症状を熊本県の阿蘇外輪山の内側盆地（標高400m）の赤水周辺、

人吉市東大塚町（標高 250m 内外）の普通期水稻品種「にこまる」でも 2011 年 9 月に確認したが、今回の研究と同じ要因であるかは不明である。

## (2) 水稻葉枯症との関連

フェーンに遭遇した場合の水分生理と葉の構造に関して水分ストレスに関する知見は次の通りである。

茎葉の通導抵抗はフェーン現象など蒸散が著しく大きくなる特別な条件におかれると急激に大きくなり葉や穂の水分が大きく減少することがある<sup>9)</sup>。

水稻葉縁に存在する水孔からの水分蒸散に関する知見はではイネ葉の排水組織は大型導管節・細胞間隙及び水孔から構成されており<sup>30)</sup>，水孔は気孔に似た形態であるが気孔に比較して開閉機能が欠けている<sup>21)</sup>。葉身周辺部からの蒸散量が全葉身蒸散量の 30 %～40 %に相当する量であり高温低湿度条件下の水稻においてもこの傾向は変わらなかった<sup>36)</sup>。また水孔の超薄切片を観察した結果孔辺細胞には葉緑体が認められない<sup>12)</sup>。

水稻のフェーン害と干害は何れも稲体の水ストレス増加することによって発生する被害である。フェーン害の場合は短時間に多くの体内水分が集中的に収奪されるため、根からの吸水量や体内の水の通導量が蒸散量に追従できず、収奪量の多い穂や止葉など稲体の上位にストレスが増大する。これに対し、干害の場合は土壌中の水分量欠損により徐々に水ストレスが進行するため、吸水量が減少し停止すると、組織内の水分を移動させて穂や止葉を保護するという種属保存のための生理的な機能の作用した被害とみられる<sup>36)</sup>。などの報告がある

以上から「水稻葉枯症」は急激な蒸散が発生するため、株全体から水分が失われると萎れなどの現象ではなく、蒸散量の 30%を担う上位葉水孔から脱水が起こり水孔周辺の細胞を中心とした枯死に繋がっていることが推察される。強制蒸散力  $F_{TP}$  は、フェーン時の過蒸散による植物体からの水の「失われやすさ」を表すとされる。この値が高いほど被害が発生しやすい気象条件と言える。

長崎県事例の場合、2008 年の観測では強制蒸散力が 20 を超えたのは発症日を 7 月 8 日～7 月 9 日とすると、発症前日から前々日であり、その時間帯は各日以下のようなものであった。つまり、7 月 7 日では 3 時間（15 時～17 時）、7 月 8 日では合計 9 時間（11 時～15 時、18 時～21 時）7 月 9 日では 21 時間連

続（3 時～23 時）であった。

2009 年の観測では強制蒸散力が 20 を超えたのは発症日を 7 月 14 日～7 月 15 日とすると、7 月 12 日が 12 時間（10 時～21 時）、7 月 13 日が 9 時間（9 時～17 時）7 月 14 日の 11 時～翌 15 日の 9 時まで連続 22 時間であった。

北陸地方のフェーンによる白穂被害では夜間の強制蒸散力が 20～25 を超える時に被害があるとされる。今回の調査では夜間の強制蒸散力が 20 を超えたのは 2008 年では発症直前の 7 月 8 日、9 日の 2 日間、2009 年では、2008 年と同様に発症直前の 7 月 12 日と 14 日、15 日の 3 日間であった。北陸地方の白穂を起こす強制蒸散力が長崎県では生育中期の上位葉に障害を起こすと考えてもおかしくない。

7 月中旬頃の梅雨明けを中心に高標高地水田に生育する水稻が、乾燥風に遭遇する長崎県の事例は、生育ステージが出穂期以前であることから白穂などの発生による大きな減収は報告されていないが、活動の中心である上位葉からの蒸散が強制的に促進されていることが示唆される。

### （3） 風向について

図 5-9 に示したように、「草ノ尾」地区の風向が北から東よりの風向を示す理由は周辺の地形状況（図 5-16）から以下のように考える。

佐世保アメダスは海岸に存在するが、その北方向背後には東西方向に走り標高約 200m を越える 6 つの大きな山塊が存在する。ここでは 6 つの山塊を南から北に向かって順に A～F ラインと表現する。A ライン：標高 541m 烏帽子岳を中心とした稜線距離約 5.9km。B ライン：標高 600m 小塚岳を中心とした稜線距離約 6.5km。C ライン：標高 446m 五蔵岳を中心とした稜線距離約 5.9km、D ライン：標高 318m 鷲尾岳を中心とした稜線距離約 5.9km。E ライン：標高 285m 牧の岳を中心とした稜線距離約 4.5km。F ライン：標高 350m 白岳を中心とした稜線距離約 5.3km。以上である。これらの各ラインを南からの風が越える場合 F ラインの南にある「草ノ尾」では背後にある F ラインで跳ね返り、反対方向の北向きの風となり「草ノ尾」に吹き下ろしていると考ええる。特に、気象観測機器を設置した場所は標高 252m であり、周囲を標高 270m から 355m の小高い丘に囲まれている。北側は 300m を越える稜線が塞いでいることから南

側からの風はその稜線で反転して観測地点に吹き込んでいることが推察される。同じように、BラインとCラインに挟まれた「菰田」、AラインとBラインと南北に伸びる隠居岳と八天岳の囲まれた「里美」などについても、複雑な地形から単純ではないが同じような現象が起きている可能性が高いと考える。

「草ノ尾」から南西 3.8km 地点には D ライン上で一番標高の高い鷲尾岳 (318 m) がある。この標高は「草ノ尾」の背後にある F ラインにほぼ相当する。この地点では風力発電設置のための風況観測調査が 2005 年 12 月から 2006 年 11 月の一年間実施された。その結果によると「水稻葉枯症」が出現する 7 月～8 月の地上高 50m 観測で、風向頻度においては 7 月では南が 37.5%，次いで南南西が 28.8%と合わせて 66.3%が南方向である。また、南東～南西までの南向きの風が 79.3%である。8 月における風向頻度は南が 16.1%，次いで南南西が 13.7%と合わせて 30%，また南東～南西までの南向きの風が 37.3%である。

7 月はほぼ南向きの風であるのは佐世保、松浦のアメダス地点と変わらない。8 月になると 46.7%が南西～北東の風となり、その後冬季 2 月までは北向きの風が主流となる傾向である。つまり、「水稻葉枯症」に関連すると考えられる風は南向きの湿った風が吹くことにより誘発され、「草ノ尾」における風向は、東西及び北側を丘に囲まれたすり鉢上であることから、南からの風が反転し北寄りになって観測地点に吹き降ろしていると考え（図 5-17）。

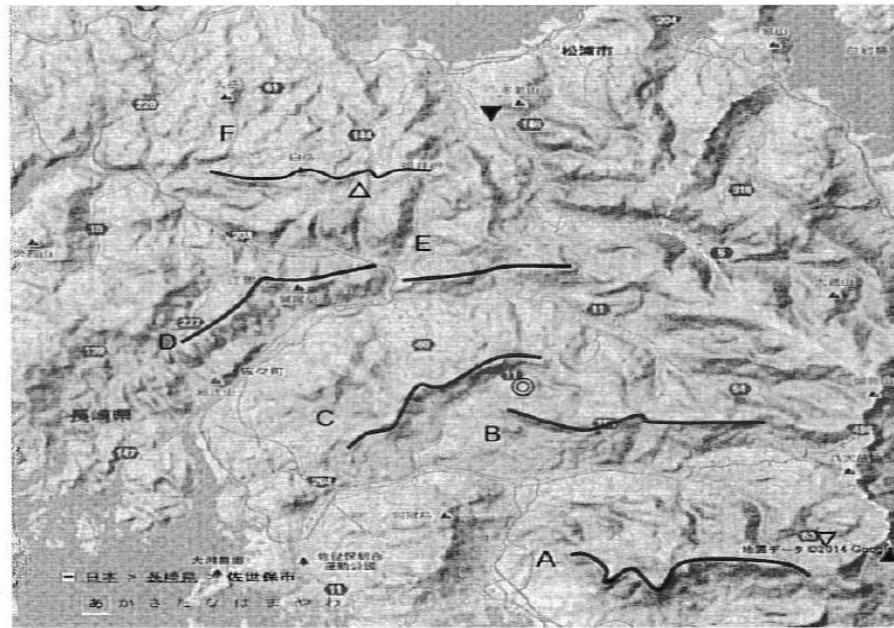


図 5-16 発症地点周辺の地形図

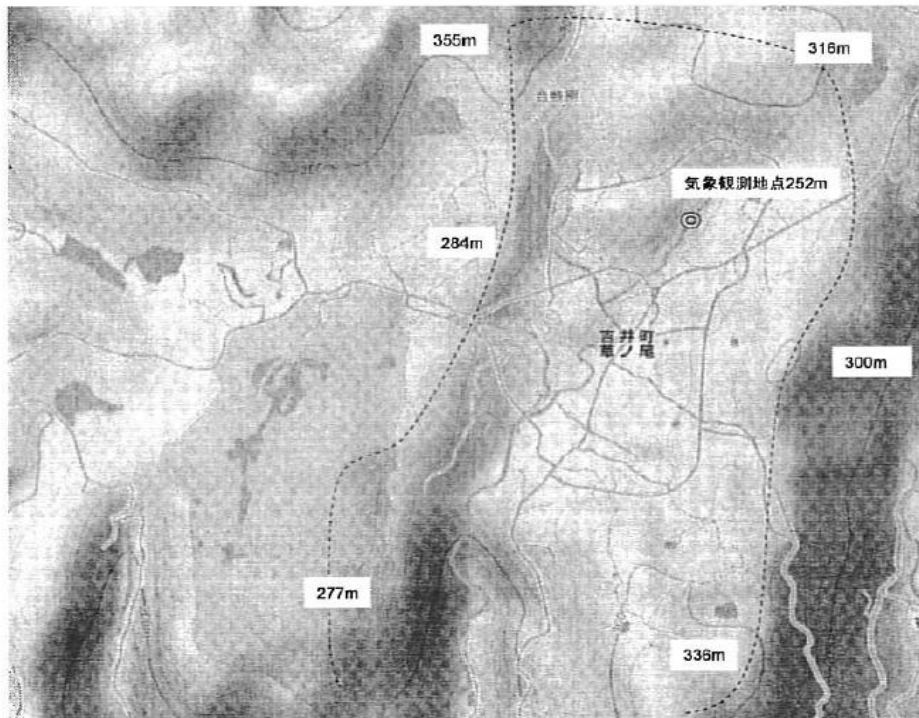


図 5-17 「草ノ尾」の東西及び北側を取り巻く稜線

#### 5.4.3 フェーンが発生する天気図と気象変化の関係

フェーンには 2 種類あることが知られている。熱力学的な断熱変化によって起こり降雨を伴うもの（湿ったフェーン）と、力学的に起こる降雨を伴わないフェーン（乾いたフェーン）である。乾いたフェーンの場合、必ずしも風上からの上昇気流は必要としない。風が弱いときは山頂付近の風はそのままの高度を保ち流れる。しかし、風が強くなると山頂付近を流れている乾燥した空気が、流体力学的に強制降下を起こす。乾燥した空気であるため、 $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  の乾燥断熱変化で気温が上昇する。台風時の強い風が吹くと、北からの乾いた風でもフェーンが起くとされる。

今回の事例の場合、発症確認前後に中山間地の発症地を跨ぐアメダス地点である佐世保及び松浦に降雨が見られないことから、乾いたフェーンである可能性が高いと思う。温暖前線通過等により温暖な空気塊が寒冷な空気塊を覆う形のように上空に逆転層が存在する中で発生することが多いと言われる。つまり上空の温位の高い気塊が、その下の相対的に温位の低い気塊を押しつけて、力学的に風下側の斜面にまで降下することにより生じ、これは本質的に非線形領域の山超え気流に伴うものとされる<sup>59)</sup>

局地風はその風上の地形によって山蔭の強風（おろし風）と谷間の出口の強風とに大別される。おろし風のばあいには山の高さは付近に温度の逆転層が必要であることは、以前から鈴木・矢吹が主張していることである。北海道の局地風の場合にも山頂より高いところに強い逆転層があった<sup>2)</sup>。

北陸地方・北関東地方で発生するフェーンの出現確立が高い気圧配置型についての知見がある。北関東の熊谷・前橋では鯨の尾型・南高北低型、新潟・富山では日本海低気圧型であった。後者の 2 地点新潟・富山では、これに加え日本付近に台風や熱帯低気圧が接近している事例が多い。台風などによりもたらされる強い南風が北陸地方のフェーンを引き起こす要因の 1 つであることが推察される<sup>23)</sup>。

因みに宮崎県に 2007 年 7 月に被害を起こしたのは 7 月 15 日～17 日にかけて台風 4 号接近による西風が山を越えて発生したフェーンであると報告された。その 2007 年長崎での「水稻葉枯症」については、7 月 18 日現地で発症を確認した。特に「草ノ尾」での発症が激しかった。「里美」、「菰田」でも発症を確認

した。

## 5.5 まとめ

### 5.5.1 水稻葉枯症発症地点における日射量の特徴

#### (1)雲高さ関連

県北部中山間地には標高 200m 以上から 450m までに凡そ 200ha の水田があり、その多くが西向きの谷部に開けている。それは、河川が西側の九十九島方面に流れ、玄武岩台地を侵食したためである。中国大陸から梅雨前線に伴って西から移動してくる雲は、東側背後にある佐賀県境の稜線に遮られるため水田地帯には、雲が滞留しやすいと考える。発症地点の「里美」が霧に覆われる機会が多い状況を（図 5-18）に示す。「里美」と直線距離 3km と近く、標高も 347m と高い隣接地点の潜木地域を（図 5-19）に示す。広い谷の上部に台地上に開けた水田地帯で、谷西側の出口、つまり佐世保湾の方が谷の幅が狭く東の山側に行くに従い谷が広くなる構造である。そこでは、濃い霧に覆われる時間が短いことは現地では経験的に知られている。そのためか、潜木地域では「水稻葉枯症」は発症しない。つまり、雲の位置（高さ）と水田が立地する地形は「水稻葉枯症」の発症に大きく関係していることが示唆される。



図 5-18 発症地点里美の（濃霧）発生状況



図 5-19 発症地帯を望む濃霧の発生状況



## (2)日射量関連

「水稻葉枯症」発症地帯が中山間地水田であるため、観測機器により具体的に計測された例はこれまで無かった。2008 年では 6 月から 8 月末までの 3 ヶ月で平坦地の「大村」の日射量を 100 とすると、「中尾」で 92, 「里美」で 75 と 8% から 25% も少ない。また 2009 年では 6 月から 7 月末までの 2 ヶ月間で「中尾」と「草ノ尾」とともに「大村」に対し 84 と 16% 少なく、10 月までの稲作期間全体では「中尾」90 「草ノ尾」70 と、10% から 30% も少ない日射量であった。

このことから「水稻葉枯症」は日射量不足と大いに関係があると考ええる。

### 5.5.2 中山間地での高温・乾燥風の実態

#### (1)フェーン関連

松浦と佐世保でのフェーン現象の出現頻度に触れた知見があり、その中で次のように述べられている。2008 年、松浦では温度差が大きく、最多風向は南側の風の範囲でフェーン現象が発生していると思われる。2009 年も同様に、南側の風の気温差がプラス側で 6 回出現した。フェーン現象は南側の風が主体に発生していると述べた。一方、佐世保では、2008 年に北側の風の温度差が大きく 5℃以上の温度差が 6 回発生していたことから、温度差が比較的大きい北～北東の風でフェーン現象が発生していると考えられた。このことから、長崎北部地域では、風が南側から東側の方角に向かって風が吹いていることが温度差の上昇が高いことがわかった。この原因は標高 700m~800m の山地の県境が連なることに起因しており、平戸に比べてフェーンが発生しやすい地域であることがわかった<sup>48)</sup>。実際、丸山らの研究で北松浦半島では、フェーン現象が発生していると報告されている。<sup>51)</sup>

福岡管区気象台が発表する近年のフェーンに関する報道は、筆者が確認した 2006 年以降でも 5 件を数え、何れも 7 月から 9 月に集中している。台風接近に伴い南寄りの風が九州山地等を越える場合に発生しているとしている報道が多い。九州各地点の 7 月の推移をみる、と 2000 年以降の最大飽差は概ね 30hPa 以上、年によっては 40hPa 以上となっており最大強制蒸散力も 45~65 と比較的大きい数値を示している。気象条件から考えた水稻のフェーン害の発生し易さは、近年高まっていると推察される<sup>24)</sup>。

日中は通常は葉に存在する気孔が開いていることが多いが、フェーンなどの強制蒸散環境では水稻葉が強いストレスを受けていることを特異的に形成される成分で証明した<sup>7)</sup>。気孔の開閉や水孔の役割等今後調べられなければならないと考える。また、熊本県阿蘇や人吉でみられる長崎県と類似する症状の要因や、2007年に発生した宮崎県でのフェーン被害への対応など、九州全体として取り組まなければならないと考える。

## (2)風向（日最多風向）について

佐世保も松浦も海岸近辺にアメダスポイントが設置されている。そのためフェーンを想定すると北側に海が広がる松浦では南からの風によってフェーンになり易く、南側に海が広がる佐世保では北からの風によってフェーンになり易いと考える。「松浦」や佐世保アメダスの風向は、観測期間で各々32%、23%が北から東の風であり、発症前後の7月10日～21日までの期間では両地点とも北から東の風は0%であり、(図5-9)に示すようにほぼ南～西寄りの風が優先している。

しかし、発症地点の「草ノ尾」での観測では、2009年6月11日～10月9日まで121日間の観測期間において、北から東の風が104日で86%を占め、6月11日から「水稻葉枯症」を確認した7月14日までの34日間でもこの傾向は変わらず76.4%が北風および北東の風であった。また、7月14日の発症前後の12日間でも(7/10～7/21)同じように83%が北から東の風であった。

風向が背後の高地(Fライン)に遮られ佐世保アメダスとは逆方向になるが最多風向は南側の風の範囲でフェーンが発生していると思われ、長崎北部地域では、風が南側から東側の方角に向かって風が吹いていることが温度差の上昇が高いことがわかった。その他発症地点の「菰田」はB・Cライン、「里美」はA・Bラインに遮られ、「草ノ尾」と同じように背後の各ラインから吹き降ろして「水稻葉枯症」に繋がっていると考ええる。

この調査結果は日最多風向だけからの考察である。局地風には傾度風、山谷風や海陸風などがあり複雑な地形であるほど、1日内での風の動きが異なってくる。現実の地形は方向によって異なるから、その影響は風向によって異なり、結果として地表風の構造は平均風速によって、かなり違った状態になる<sup>63)</sup>。

と言われている。

### 5.5.3 フェーンが発生する天気図と気象変化の関係

全国的にはフェーンが起りやすい気圧配置型が 4 種類あるとされ、それぞれ「鯨の尾型」、「南高北低型」、「日本海低気圧型」、「台風・低気圧接近型」と称される。今回の研究では発症時期が 7 月中旬頃からであるため、「日本海低気圧型」、「台風・低気圧接近型」が発症に繋がっていると考え。梅雨前線が朝鮮半島中頃に停滞し、その低気圧を伴う前線に南からの強風が吹きこむ場合が多いと思う。

2007 年南九州でフェーンが発生した 7 年 7 月 14 日から 15 日にかけての天気図を（図 5-20）に示す。長崎県「水稻葉枯症」が発生する際の天気図と類似している。大型で非常に強い台風 4 号が大隅半島を東進し、その後 17 日まで 3 日間西寄りの風が卓越し、宮崎と油津では台風通過後も平均 8m/s の強い西寄りの風が吹いた。九州山地あるいは鰐塚山地からの吹き降ろしによって乾燥風（フェーン）が発生し、宮崎と油津では夜間の湿度が低く推移したとされる。台風 4 号は規模が大きく早期水稻出穂後の水稻に被害をもたらしたが、梅雨明け前後にはよく見られるものである。

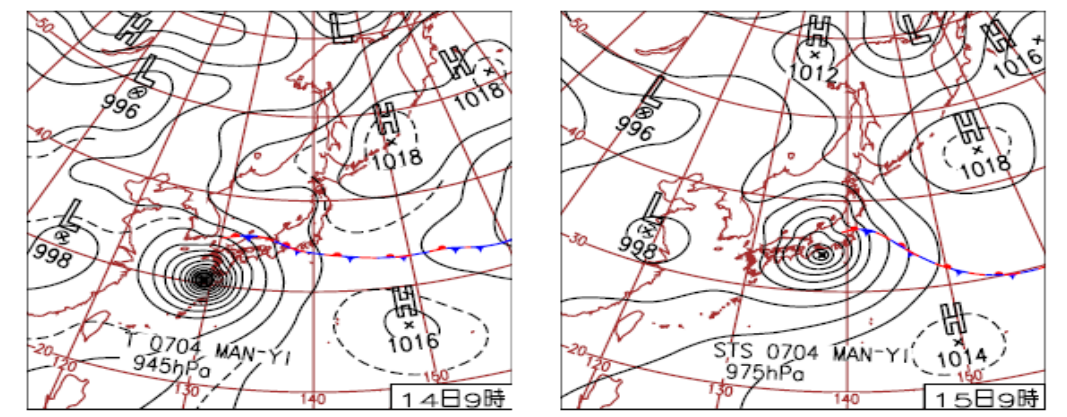


図 5-20 2007 年 7 月 14～15 日の天気図

その他、近年 1 年間の新聞報道（2013 年 8 月～2014 年 8 月）のフェーン風について触れられた記事と天気図を 4 事例まとめると次の通りである。

2013 年 8 月 18 日～20 日は乾燥した南からの高温の風が九州山地から吹き降ろす「フェーン」が日田方面に達した。低気圧は日本海方面に存在し、太平洋高気圧から吹き込む湿度の高い高温の南風が影響した。この時南方から台風の接近が伴うと、台風に吹き込む南風と相まってフェーンの影響が強力になる典型的な天気図である。（図 5-21）

同じような天気図が 2013 年 10 月の事例、2014 年の 7 月の事例、2014 年 8 月の事例も南風が福岡方面に流れ込みフェーンが発生したと報道された（図 5-22）、（図 5-23）、（図 5-24）。

以上から九州でも気圧配置によってはフェーンによる農作物被害の可能性は常に存在することが示唆される。

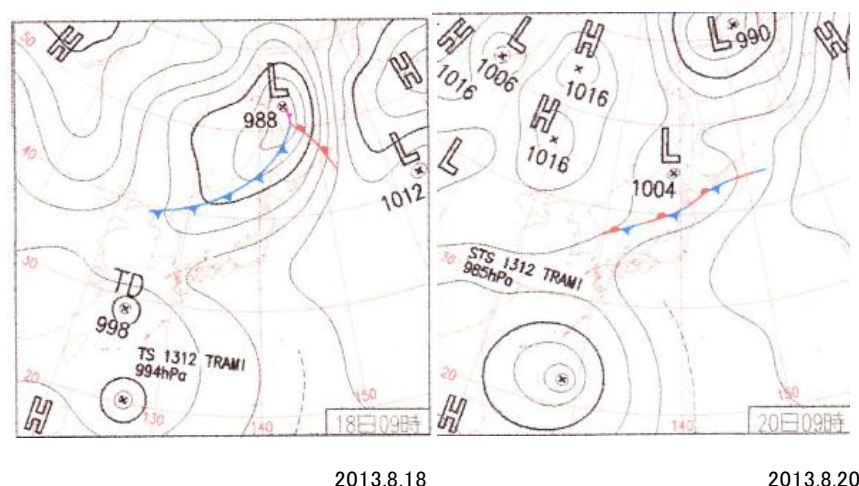


図 5-21 天気図（2013 年 8 月 18 日～20 日）

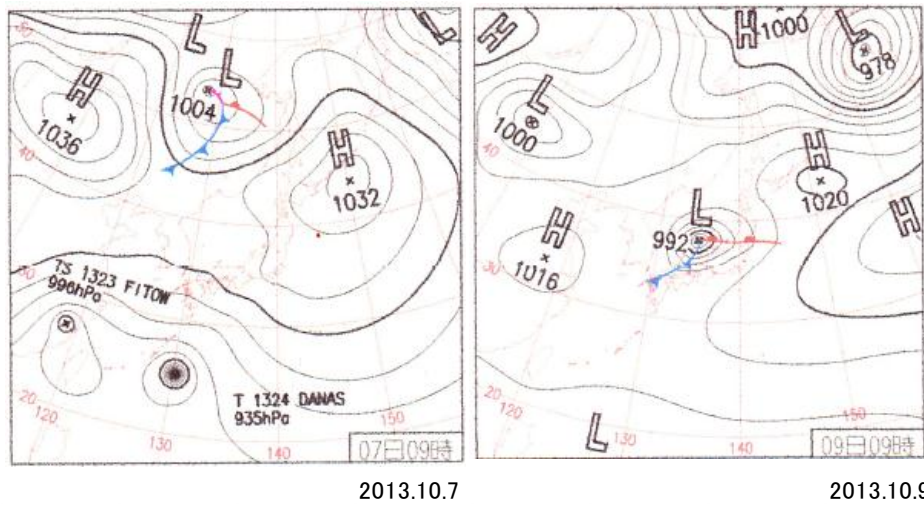


図 5-22 天気図 (2013 年 10 月 7 日～9 日)

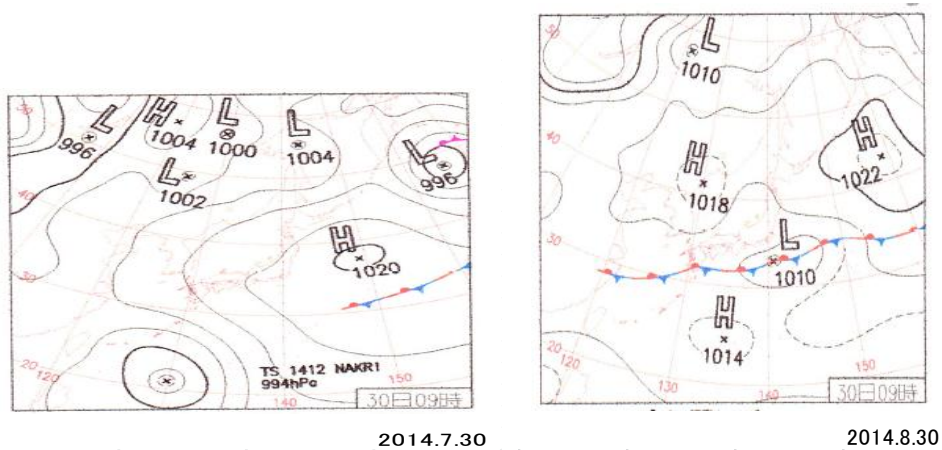


図 5-23 天気図(2014 年 7 月 30 日) 図 5-24 天気図 (2014 年 8 月 30 日)

#### 5.5.4 水稻葉枯症の関連

長崎県の「水稻葉枯症」が水稻白葉枯病に酷似することからも葉縁の自然開口部の水孔近辺の障害であろうと推察される。乾燥風に遭遇した水稻は水孔を中心に蒸散が促進され、日射量不足と養分過多環境で貧弱に生育した根系が蒸散量を賄うだけの水量を吸水できないため葉縁を中心に枯れ始めたことが示唆される。

本障害の発生メカニズムをより明らかにし、防止技術を確立するためには水稻葉枯症の出現前後の体内水分代謝の変動をより詳細に解析する必要がある。具体的には、乾燥風の内容（気温・湿度・風速など）と地上部・地下部の水稻生育量との関連が症状の現れ方にどのように関係するか、環境制御施設での検証が必要である。また本症状の発症初期が坪状であることが何に依るのかについてのデータが不足しているが、フェーン現象による被害は施肥量の多い水田に多く、堆肥を積んだ跡地に見られることが報告されている<sup>35)</sup>。水田一枚の一部分の地力を高め、その後移植を行い地力を高めた地点の発症程度が高くなることを確認することが必要であると考ええる。

佐世保も松浦も海岸近辺にアメダスポイントが設置されている。そのため北側に海が広がる松浦では南からの風によってフェーン風になり易く、南側に海が広がる佐世保では北からの風によってフェーン風になり易いことは想像できる。しかし、最多風向は南側の風の範囲でフェーン現象が発生していると思われる。長崎北部地域では、風が南側から東側の方角に向かって風が吹いていることが温度差の上昇が高いことがわかった。など、アメダスポイントでは南寄りの風が優先した場合にフェーンが発生するとしている今回の調査結果を裏付けている。

## 第6章 水稻の葉枯症の再現実証試験

### 6.1 はじめに

これまで、各3～5章において「水稻葉枯症」の発症に至る要因と思われる事柄を検討してきた。その一要因として第5章で明らかにしたように中山間地での局所的なフェーンが関わっていることが示唆された。水稻のフェーン被害に関する知見の多くは収量に大きな影響を及ぼす出穂時期から収穫時期までのもので、直接穂が脱水され受精を阻害されるなどによりの被害を受け白穂になる事例が多い。今回の研究では、水稻生育ステージの初期から中期段階で葉縁に枯症状が集中するフェーン害のため、水稻葉からの蒸散に視点を当て再現実証試験を行った。また、栽培される品種によって葉縁枯症状の現れ方に差が出る要因を室内実験で検討した。

発症地帯以外で発症地帯と同じような環境条件を水稻株に負荷した場合、再現が可能であるかの実証が必要である。そのため、平坦地の代表として開発センター水田及びこれまで発症報告が無い発症地帯近隣の佐世保市内高標高地水田で再現を行った。

### 6.2 実験方法

#### 6.2.1 開発センターにおける蒸散に関する試験

葉縁を閉鎖した区と自然状態の慣行区における茎葉乾物当たりの蒸散量を測定し、茎葉表面と葉縁からの蒸散量を分けて計測する試験区と併せ遮光処理した場合の蒸散量変化を検討する区を設定した使用した品種は「ヒノヒカリ」、 「にこまる」の2品種である。処理区は「遮光・無処理区」，「遮光・葉縁閉鎖区」，「慣行・無処理区」，「慣行・葉縁閉鎖区」の4区を設定した。

2013年6月14日に品種「ヒノヒカリ」と「にこまる」の20日苗を縦12cm×横16cm×高さ7cmの透明プラスチック容器に合成培土7割（約1リットル）充填したものに株3本植え（葉令2.5L）で「ヒノヒカリ」16ポット，「にこまる」16ポット合計32ポットに移植した。移植後、自然環境下で21日間生育させた後、発症現地と同様に日射量不足を付加するために白色寒冷紗（遮光率22%）により1品種8ポット，2品種合計16ポット遮光処理を行

った。遮光期間は平年の梅雨期間を想定して、7月5日～30日までの25日間である。遮光処理最終日の7月30日、全32ポットについて最長稈だけを3葉/株に調整し、その他の分けつ及び分けつの展開葉は切除処理した。その時点の葉令は7L～8L、草丈は25cm程度であった。

葉全体からの蒸散量の内、葉縁水孔からの蒸散量を把握するため、葉縁閉鎖処理は瞬間接着剤を7月30日に塗付した。これにより、葉面表裏からの蒸散と葉縁からの蒸散割合を明らかにすることを目的とした。葉縁閉鎖処理は品種毎に遮光処理4ポット、遮光無4ポット合計8ポットで実施した。7月31日気温・湿度を調整できる室でフェーンを再現するため工場扇風機による風処理を実施した。室内の環境は開始時：8時10分で、気温27℃、湿度65%、終了時：16時20分、気温26℃、湿度49%であった。プラスチック枠表面からの蒸発を防止するためラップフィルムで被覆し、水稻株からの蒸散量を重量法で求めた。扇風機の風速は8m/s～3m/sの処理で実施した。フェーン再現当日7月31日の処理後16時20分以降、直ちに各32ポットの重量を計測して水分蒸散量を求めた。葉面積測定はパソコンソフトである『植被率測定アプリケーションソフト』を使用して8月2日に実施した。

## 6.2.2 現地における水稻葉枯症の再現実証試験

### (1)開発センター内水田での再現試験

センター内水田の再現実験の概要を(表6-1)に示す。水田内に幅2m、長さ4mの木枠を設け、その中に発症地点「草ノ尾」水田から運んだ水田土を深さ12cmで敷き詰めた。品種は「ヒノヒカリ」の20日苗を葉令2.3程度で2009年6月24日に3本/株で移植した。移植後28日後の7月22日から8月18日まで4週間、遮光率35%の寒冷紗で覆い生長させた。8月19日寒冷紗を除去後、独自に製作した機具を使い地表下7cmで水平方向に20株で根を切断した。その後、ほぼ同じ範囲にビニールで被覆した枠(縦155cm、横124cm、高さ126cm)を設置した。その時点の水稻生育量及び生育ステージは次の通りである。草丈は71.5cm、分けつは15.7本/株であり、稲の生育時期は出穂前10日程度であった。処理は8月19日から翌20日にかけて、暖房機と工場扇風機を使い高温・乾燥・強風を夜間以外、昼間2日間で13時間程度負荷した。



## (2)発症隣接地（高標高未発症地：潜木）での再現

発症隣接地の再現実験の概要を（表 6-2）に示す。品種はヒノヒカリで、地区慣行栽培の 2009 年 5 月 28 日に移植が行われた。2009 年 8 月 27 日において、独自に製作した機具を使い地表下 7cm で水平方向に 20 株で根を切断した。その後、ほぼ同じ範囲にビニールで被覆した枠（縦 155cm，横 124cm，高さ 126cm）を設置した。その時点の水稻生育量及び生育ステージは次の通りである。草丈が 107cm，茎数が 30.5 本/株であり，1 株当たり約 50%の出穂が認められる出穂期であった。処理は 8 月 27 日の 11 時から翌 28 日の 6 時にかけて連続で，暖房機と工場扇風機を使い高温・乾燥・強風を 2 日間の 19 時間程度負荷を与えた。

表 6-1 農林技術開発センターでの再現 2009 年

項 目	内 容
①場 所	開発センター内土壌肥料研究室水田
②品 種	ヒノヒカリ（移植：2009年6月24日）
③ヒノヒカリステージ・生育量	草丈71.5cm、茎数15.7本/株、出穂前10日
④土壌条件	2m×4mの木枠内に吉井町草の尾水田土壌移設
⑤遮光条件	遮光処理：7月22日～8月18日（4週間）、遮光率35%
⑥断根条件	断根機具により地表下7cmで水平に切断
⑦送風内容	温度37℃、湿度20%、風速6m/s 強制蒸散力：57.3（8月19日）、55.6（8月20日）
⑧送風処理期間	8月19日（10:00～16:30）～20日（10:00～16:30）
⑨発症促進必要機具	暖房機（ネホン）、工場扇風機、ビニール被覆枠（縦155cm×横124cm×高さ126cm）

表 6-2 佐世保市潜木での再現 2009 年

項 目	内 容
①場 所	佐世保市柚木町潜木水田（標高350m）
②品 種	ヒノヒカリ（移植：2009年5月28日；慣行）
③ヒノヒカリステージ・生育量	草丈107cm、茎数30.5本/株、出穂期
④土壌条件	（無処理）
⑤遮光条件	（無処理）
⑥断根条件	断根機具により地表下7cmで水平に切断
⑦送風内容	温度33℃、湿度30%、風速6m/s 強制蒸散力：47.5（8月27日）、49.7（8月28日）
⑧送風処理期間	8月27日11:00～28日6:00「夜間連続実施」
⑨発症促進必要機具	暖房機（ネホン）、工場扇風機、ビニール被覆枠（縦155cm×横124cm×高さ126cm）

## 6.3 結果及び考察

### 6.3.1 開発センターにおける蒸散に関する試験

2品種「ヒノヒカリ」、「にこまる」の遮光栽培と慣行栽培において葉縁を瞬間接着剤で閉鎖したものと開放のままの蒸散量の数値を（表 6-3）に示す。（表 6-3）から葉縁と葉面の蒸散量を算出したものが（表 6-4）である。

#### (1) ヒノヒカリ

（表 6-3）から、乾物当たり蒸散量は「遮光閉鎖区」は、「慣行区閉鎖区」に比べてが 40%、「遮光開放区」は「慣行開放区」に比べて 18%程度減少した。

遮光すると乾物重は増加傾向にあるが、蒸散量が多くないためと考える。また、遮光により葉面積は増加傾向である。

また、（表 6-4）から「遮光区」では葉面からの蒸散量割合が「慣行区」に比べて 25%低下し、それに代わり葉縁からの蒸散量割合が 25%増加した。

#### (2) にこまる

（表 6-3）から、乾物当たり蒸散量は「遮光閉鎖区」は、「慣行区閉鎖区」に比べてが 48%、「遮光開放区」は「慣行開放区」に比べて 20%程度増加した。乾物重及び葉面積は遮光することでわずかに増加傾向である。

また、（表 6-4）から「遮光区」では葉面からの蒸散量割合が、「慣行区」に比べ 16.2%増加し、葉縁で 16.2%減少した。

以上のように、「ヒノヒカリ」と「にこまる」では遮光を行った場合、蒸散に関して異なる反応をみせた。特に、葉面と葉縁の蒸散量比率が「ヒノヒカリ」の「遮光区」で葉縁からの比率が増加し、「にこまる」の「遮光区」では葉縁からの比率が減少するなど異なる反応であることが特徴的である。（表 6-3）（表 6-4）

北陸農試が出穂後成熟期前に実施したフェーン風曝露試験結果によると葉縁からの蒸散量が 30%前後<sup>36)</sup>と報告されており、今回実施した最高分けつ期の試験では遮光区の「ヒノヒカリ」、慣行区の「にこまる」と近い数値となった。

表 6-3 遮光処理を行った場合の葉面及び葉縁からの蒸散量

品種・区分		にこまる				ヒノヒカリ			
		遮光閉鎖	遮光開放	慣行閉鎖	慣行開放	遮光閉鎖	遮光開放	慣行閉鎖	慣行開放
蒸散量 g	A	7.47	6.50	4.22	5.35	6.17	6.77	7.94	7.32
乾物重 g	B	1.42	1.06	1.19	1.05	1.45	1.07	1.12	0.95
葉面積 cm <sup>2</sup>		41.80	37.20	32.98	36.91	40.25	39.99	35.81	35.89
蒸散量/乾物 g/g	C=A/B	5.26	6.13	3.55	5.10	4.26	6.33	7.09	7.71
(有意差検定)		a	abc	b	bc	ab	a	b	ab

注1) 6/14ポット移植: 各品種2.5Lの3本植え。縦12cm×横16cm×高さ7cmの透明プラスチック枠に合成倍度7割(約1リットル)充填した。

注2) 遮光処理: 7/5～7/30、遮光率22%。処理後最長かんだけを3葉/株に調整し、その他は切除処理。処理時葉令7～8。草丈25cm程度。

注3) 葉縁の閉鎖は瞬間接着剤で7/30に実施

注4) 7/31気温・湿度調整室で扇風機による風処理。(開始時8:10気温27℃ 湿度65%、終了時16:20気温26℃ 湿度49%)

プラスチック枠表面からの蒸散を防止するため、ラップで被覆した。扇風機風速8m/s～3m/s

注5) 葉面積は植被率測定アプリケーション1.0.0.1で8/2計測

注6) 有意差検定: 品種毎にチューキーで実施。異文字間には5%の有意差あり。

表6-4 葉部位からの蒸散量/乾物 g/g

品種	にこまる						ヒノヒカリ					
	遮光区			慣行区			遮光区			慣行区		
処理区分	葉面	縁	合計	葉面	縁	合計	葉面	縁	合計	葉面	縁	合計
蒸散量	5.26	0.87	6.13	3.55	1.55	5.1	4.26	2.07	6.33	7.09	0.62	7.71
割合%	85.8	14.2	(100)	69.6	30.4	(100)	67.3	32.7	(100)	92.0	8.0	(100)

注1) 葉面とは葉表、葉裏をさす

注2) 縁とは主に水孔をさす

注3) n=4

### 6.3.2 現地における水稻葉枯症の再現試験

#### (1) 開発センター内水田での再現試験

試験を始めた時点の状況を（図 6-1）に示す。環境条件の設定は温度 37℃，湿度 20%，風速 6m/s と試験両日の平均気温から（式 5-2）を用いて計算すると，大気飽差は両日とも 23.4 hPa であり強制蒸散力は 19 日 57.3，20 日 55.6 であった。発症地帯以上に蒸散を促進する環境にあったものと推察される。

2009 年の「草ノ尾」での発症経過をみると，7 月 14 日に初発を確認した。3 日前の 7 月 11 日から強制蒸散力が上昇傾向となり，2 日前の 7 月 12 日 13 時に強制蒸散力が 29.8，13 日 14 時には 29.7，14 日 13 時には 36.5 と最高値を記録した。3 日間の強制蒸散力が高く維持されたことが発症に繋がっていると思われる。

#### (2) 発症隣接地（高標高未発症地：潜木）での再現

実験を始めた時点の状況を示す（図 6-2）。環境の設定条件は，温度 33℃，湿度 30%，風速 6m/s であり，再現日両日の大気飽差を佐世保アメダス日平均気温から標高による気温低下を 0.6℃/100m として計算すると 19.4～20.3 hPa となり，強制蒸散力は 47.5～49.7 であった。



図 6-1 高温乾燥風曝露（開発センター）

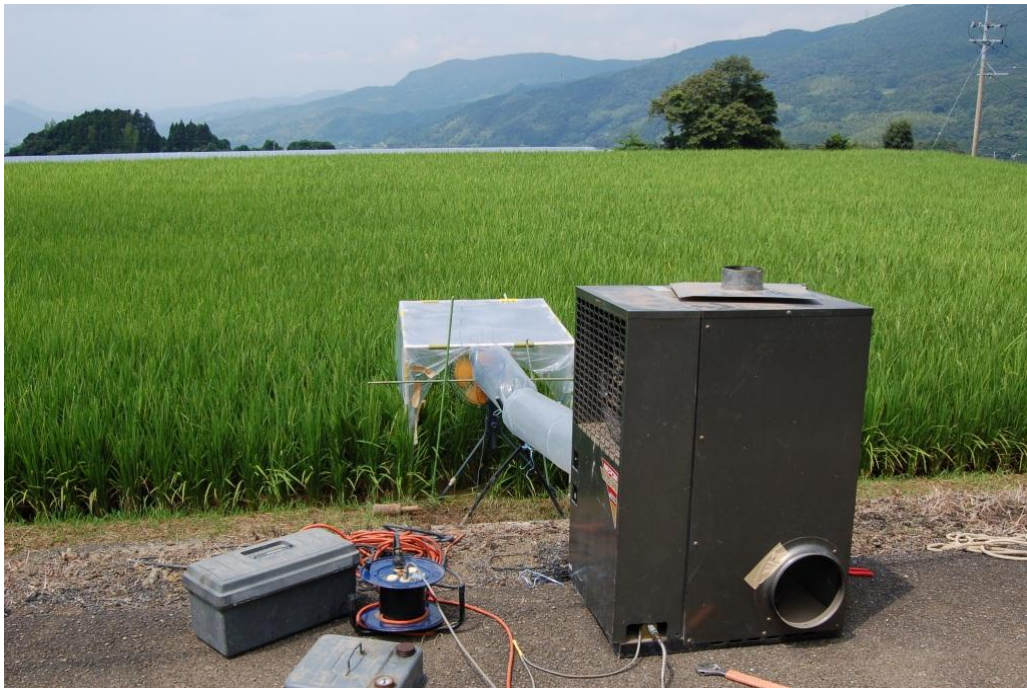


図 6-2 高温乾燥風曝露（潜木）

## 6.4 結論

### 6.4.1 開発センターにおける蒸散に関する試験

「ヒノヒカリ」と「にこまる」では遮光によって異なる反応をみせた。特に葉面と葉縁の蒸散量比率が異なる反応であることが特徴的である。つまり、「ヒノヒカリ」では遮光すると葉の表面からの蒸散量が慣行区に比べて 25%低下し、それに代わり葉縁からの蒸散量が 25%増加したのに対し「にこまる」では遮光すると、葉面で 14%増加し、葉縁で 16%減少した。

以上のように品種によって遮光処理して蒸散促進の環境を与えると、葉の部位からの蒸散量は異なる反応を示した。

北陸農試が出穂後成熟期前に実施したフェーン風曝露試験結果による葉縁からの蒸散量 30%前後<sup>36)</sup>からすると、今回実施した最高分けつ期の試験では遮光区の「ヒノヒカリ」、慣行区の「にこまる」に近い数値であった。

### 6.4.2 現地における水稻葉枯症の再現試験

長崎県北部中山間地の発症地点と同様に、標高などに関係なく人工的な遮光など日射量不足の環境で育つ水稻は、高温・乾燥・強風のフェーン風に遭遇する環境を負荷すると、平坦地及びこれまで発症の事例が無かった発症地近隣の高標高地でも葉縁枯の特異な症状を再現することが可能であることを確認した<sup>63)</sup>。

開発センター内水田での再現試験では昼間 2 日間合計 13 時間だけの曝露であったためか、症状としては発症地帯より軽い再現状態であった（図 6-3）。このことから、症状が甚大になるためには夜間を含め数日間継続した高い強制蒸散力の曝露が必要であると思われる。また、今回実施した開発センター内水田での再現試験の生育ステージが出穂前であった。それに対して「草ノ尾」では生育中期であったことにも関連していると思われる。このことは今後の研究課題である。潜木水田での再現試験では強制蒸散力は「草ノ尾」の最高値 36.5 より高く、約 19 時間の曝露であった。葉における症状は「水稻葉枯症」発症地帯と同程度の特徴的なものであった。一般的に穂孕み期から出穂期に掛けては稲体からの蒸散量が多くなるため、水田は湛水状態にすることが求められる。その生育ステージであったため、症状が激しくなったものと推察される<sup>66)</sup>。（図 6-4）





図 6-3 葉縁に現れた葉枯症状



図 6-4 葉縁に現れた葉枯症状

## 6.5 まとめ

### (1)再現試験に関して

#### 1)蒸散量について



今回の遮光処理による蒸散促進試験結果からは、品種により遮光の処理によって蒸散する部位からの蒸散量の増減の反応が異なることが解った。「第4章 4.2.2 発症地帯の水稻生育」で述べたように、発症地帯で「ヒノヒカリ」の葉縁枯症状が、その他早生品種に比べて甚大になることに関係があると考えられる。今後、更に発症現地で栽培されている品種を使った試験が必要である。今回の実験は株の主茎に新しく展開した葉齢8程度で、3枚の上位葉に乾燥強風を曝露した結果である。一般的には出穂期であれば1茎当たり12枚以上の葉が着いていることから生育量が大きい。本研究の再現環境は遮光処理を行なった2品種でおこない、気温26~27℃、湿度65%、3m/s~8m/sである。(村松 1982)の実験では遮光の設定が無く1品種のみでのものである。または温度条件が6~7℃低い以外は類似の条件での実施であった。遮光による葉部位の表面・縁からの蒸散量については、品種によって差があることが認められた。

## 2) 発症再現について

再現実験に関して、潜木は発症地点の「里美」から直線距離で2kmと近く標高も350mと高い所に存在し、「水稻葉枯症」は過去から一度も発症したことが無い。その要因は、周辺に畜産農家が存在せず未熟厩肥の投入が行われないこと、一帯が東側背後にある山の崩落により形成された水田土壌のため礫含有量が多く、排水性が発症地点に比較すると良いことが考えられる。また、地形的に谷の幅が東の山側ほど約4kmと広く、谷の西側海側出口は1.5km程度と狭い。

そのため、西から流れてくる雲の滞留が少ないことは、地形的構造及び経験上からも想像できる。そのような、日射量が発症地帯より比較的多い地点でも、フェーン風遭遇と同じような環境を与えると発症地帯と同様の葉縁枯症状を出すことができることが証明できた。また、再現時期が水稻の出穂期であったため、葉だけでなく穂も脱水作用を受けとことから受精が阻害され、白穂になったと推察される<sup>62) 64)</sup>。

## (2) 第2章から第5章までの成果を踏まえた総合考察

長崎県内で風土病のように言われ続け、約40年間未解明であった水稻葉枯症は、発症地帯が中山間地の複雑な地形におけるフェーンが起こり易い局地的な気象が最大の要因である。そこに生育する水稻は日射量不足と大量の厩肥投入

によって地上部・地下部の生育がアンバランスであるため、蒸散量に見合う吸水量の確保が難しい。初期の坪状発症は地力のばらつきに根本原因があるものであり、厩肥施用を制限するなどの対策により地力の低下が進むと発症が減少していくことが予想される。実際に厩肥の施用が制限されてきた「菰田」では発症面積が減少している。

最後に従来から知られる急性萎凋症と水稻葉枯症との相異について触れる。急性萎凋症は日射量、飽差などが大きく、蒸散が著しく大きくなる条件で発生し、急激に水分欠乏を生じ枯死する現象であるとされる。この現象は土壌水分、根の生理活性の低下による吸水の抑制と葉の水ポテンシャルが低下しても何らかの要因によって気孔が閉じないということが相伴って起こるときに生じると考えられる。発生する要因については根の吸水低下と葉の水ポテンシャルに対する気孔の反応との両面から検討する必要がある<sup>10)</sup>とされる。

夏期晴天で日射量が多く、湿度が低いなど蒸発散の著しい気象条件のもとでは、湛水状態の水田に生育する水稻の葉身が巻きぎみになっている。今後葉身部位の違いによって、気孔の数、大きさなどが異なるかどうかも含めて検討しなければならない<sup>13)</sup>

第1章で述べたように、発症部位は乾燥ストレスを受けていることや、第6章の再現実証試験で類似症状を確認したことから、今回の「水稻葉枯症」が水稻葉身の両端に存在する水孔からの蒸散が主な原因と考える。フェーンなどの発生により乾燥が促進する状態におかれた水稻葉において、常時開放状態の水孔から周辺細胞組織が枯死する程度の蒸散が行われるメカニズムを今後明らかにする必要がある。

フェーン被害は夜間に遭遇した場合に被害が大きくなるとされる<sup>36)</sup>夜間であれば通常気孔は閉じているのが一般的であるが、村松によれば開放している場合もあることが明らかにされている。今回の症状出現に際し、もし夜間に気孔が閉じているのが通常であれば、水孔中心の蒸散となりその部位が枯れることを説明し易い。今後この点を明らかにしていかなければならない。

水稻は湛水状態で地下部に水が十分あっても、蒸散の盛んな晴天の日の午後には、体内水分収支の不均衡によって葉身の気孔を閉じることを明らかにした。この現象は根の発育・老化と関係があるのではないかと考察を行った<sup>13) 14) 15)</sup>。

上位葉と下位葉の気孔開度の差は根群の一部を切除することによって大きくなり、しかもその差は晴天日の午後一層著しくなる。蒸発散が著しくない条件で水稻の体内水分が不足していない場合には、根切除処理によって葉身の気孔開度はほとんど影響されない。気孔の閉じ始める時刻が早く、閉じる程度が著しいという現象は、主として根の吸水機能に関係する要因によってひきおこされている可能性がある<sup>16)</sup>。

「水稻葉枯症は」日射量不足下で生育した稲が根の生長を制限され **T/R** 比が大きいことは第 4 章で確認した。フェーンによる急激な蒸散環境に遭遇すると葉身の気孔は閉じられ、その代わりに水孔からの蒸散が主体になると考える。

水稻葉枯症発症現地では発症地図からも解るように風当たりの弱い、つまり蒸散環境が激しくない水田では発症しないか、あるいは発症しても程度が軽い。水稻株からの蒸散が激しくなる環境下では、常時開放状態である水孔が中心の蒸散が行われていることが推定される。

現状では症状を軽減する対策として、水稻登熟期間中の低温の影響などに留意し第 4 章で述べたように **T/R** 比の改善のため移植時期を可能な限り遅くし早生の良食味品種を選定する、厩肥投入制限を数年間継続して高すぎる地力の低下を図るなど低コストに出来る解決策が一部想定できる。今回の研究では解決に向けての方向性を示したもので、根本的な解決のためには更に現地試験を実施しなければならない。

今回の「水稻葉枯症」は気象、土壌、地形など環境条件が重ならないと発症に至らないことから、各環境条件についての単独の要因解析では結論に結びつき難いことや、特に各年の気象条件が大きく発症を左右していたことから、対応に約 40 年必要であった。

今後、地球温暖化が進行し、梅雨明け前後の規模の大きい低気圧接近し山超えフェーンが 2007 年宮崎県の水稲被害をもたらしたように強くなることも考えられる。熊本県阿蘇赤水や人吉地方の中山間地水稻採種圃場で筆者が確認した水稻葉枯症と類似の症状が長崎県の事例と同じ要因であるとする、被害面積の拡大やその他類似の環境を持つ他県においても被害の発生に繋がるのが考えられる。

## 第7章 総 括

本研究は、長崎県内でも主に佐世保を中心とする県北部中山間地に限り、昭和40年代後半または農家聞き取りによるとそれ以前から発症している「水稻葉枯症」の要因について、発症の実態とこれまでの知見を基に可能な限り明らかにし発症に至るメカニズムを推定するために実施した。そのために、発症地帯を取り巻く気象、地形、土壌肥料、水稻生育の各要因及び発症地帯の水稻作を支える畜産業との連携である営農面から考察したものである。

第1章緒論では「1.1 研究の背景」で1973年頃から問題となった「水稻葉枯症」の特徴的症状や解決のための各関係機関の取り組みと結果の概要について述べた。その中で、想定した発症要因の中で病虫害、一般的な土壌、栽培、植物栄養に係る現地調査・試験からは症状改善に結びつかなかった。但し、植物栄養関連では発症後の葉で窒素と鉄及び乾燥によって合成されるストレス成分の含有率が高いことが明らかとなった。これまで機材不足のため未実施であった現地気象観測及び富山県の事例を通じて「水稻葉枯症」とフェーンの関連性が示唆された。そのため、植物栄養で述べた鉄とストレス成分の含有率が高い点を含め本研究で取り組むことにした。

「1.2 研究目的」では、「1.1 研究の背景」で述べた本研究に繋がった点を各章でどのように展開させるかを述べ「水稻葉枯症」が発症に至るメカニズムを提案する方向性を示した。

第2章では本研究に取り組むまでに筆者が取り組んだ、土壌における pH (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) が3程度となる要因を検討した土壌鉱物の黄鉄鉱（パイライト）の検定、未熟厩肥の分析、排水性の改善について述べた。また、防風ネットを設置して発症を軽減させる取り組みについても述べた。

専門機関の分析で黄鉄鉱は確認出来なかったが、未熟厩肥分析では pH (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) が3程度となる事実を確認した。また、排水性の改善のため発症地帯には施工されていない本暗渠を設置したが症状の改善は見られなかった。さらに高さ 4m の防風ネットの設置では発症初期の極短期間は症状の改善がみられ

たが、その後発症盛期には効果が認められなかった。

第 3 章では、まず今回の発症実態分布図作成年である 2007、2008 年の水稻葉枯症発症の実態を気象の経過から明らかにした。従来から風の当たり方によって水田毎の発症程度が異なることが指摘されており、発症程度別に筆者独自の 6 段階の基準を設定して発症程度を評価し分布図を作成した。発症地点毎の地理的・地形的特徴及びその地帯の水田の分布状況について考察を行った。

具体的調査は 2007 年「草ノ尾」と「中尾」の 2 地点、2008 年「草ノ尾」1 地点で作成した。その結果、風当たりの強くなると予想される場所に立地する水田では、2 ヶ年とも発症程度がより大きくなることが明らかとなった。隣接する水田において発症程度に差が出るのは、移植時期の早晚や品種の違い、厩肥投入を含めた地力差等の要因が考えられた。

第 4 章では、発症地点の水田土壌の地力実態と水稻の生育特性を平坦地との対比から明らかにした。発症地点は、周辺で盛んな畜産業から排出される厩肥の投入から全体的に可給態窒素量が多く肥沃な土壌であった。1 枚の水田における可給態窒素量（地力）の数値にばらつき（変動係数）が大きいことが全国的にも問題となっており、標準的な数値である 10%を超える事例が多い。長崎県内においても各地の水田でばらつきは大きく、発症地帯水田に限ったものではなかった。

次に、水稻の生育特性は、日射量不足下で生育する高標高地で地上部・地下部の生育バランスが悪く、平坦地で生育する水稻に比較して根乾物重が地上部乾物重に対して少ない実態であることが明らかとなった。つまり、T/R 比が大きい傾向であった。購入肥料の窒素成分に加え、梅雨明け後地温上昇により厩肥等未熟有機物が分解され、水稻に吸収されることが要因の一つと考えられた。

第 5 章では発症地帯の気象実態を明らかにするため、水稻栽培期間中の発症地点と対照である平坦地の気象観測を実施した。日射量については、梅雨前線の影響から高標高地である発症地点に掛かる雲の高さが低く、発症する水田は霧に覆われる機会が多いことが解った。そのため、2008 年では県北地域標高 450m

の「里美」と近接し標高差 360m の標高 90m の「心野」で、6 月から 8 月までの 3 か月で 20% 少なかった。また「心野」と県南地域で標高 380m の「中尾」は標高差が 290m あるにも関わらず同程度の日射量であった。

2009 年県北地域標高 280m の「草ノ尾」は「中尾」に対して稲作期間全体で 20% 少ない日射量、また 7 月の発症までは標高差 100m あるが同程度であった。つまり、2 か年とも県北中山間発症地域は、日射量が少ないことを確認した。

高温乾燥風（フェーン）については、2008 年発症前の数日強制蒸散力が 20 を超える時間が長く続き、この傾向は夜間でも数時間継続した。2009 年も 2008 年と同様に発症前の数日夜間を含め強制蒸散力が 20 を超える時間が夜間を含めて継続し、その後発症に至った。

発症前の風向については佐世保アメダスでは南寄りの風が中心であるが、発症地点を取り巻く東西に延びる山塊の影響からか、「草ノ尾」では北寄りの風になって吹いていることを確認した。

天気図とフェーン風発生についての関連性については、2008 年、2009 年ともに佐世保アメダスで南寄りの風が吹くと、これを機に発症地点の「草ノ尾」で「水稻葉枯症」が発症に至ることが示唆された。

その他九州及び全国における類似症状による水稻被害の発生について 2007 年南九州フェーン風被害と東北・北陸地方のフェーン風被害の実態と取り組みについて触れた。

第 6 章では第 3~5 章で明らかになった「水稻葉枯症」に至る要因を総合して、平坦地である「諫早」と発症地点近隣の中山間地 2 ヲ所で再現試験を実施し、「水稻葉枯症」に類似する症状を確認した。つまり、発症地帯と類似の条件を負荷することにより葉縁枯症状を再現できることを明らかにした。

葉の部位（葉表面・葉縁水孔）に分けた蒸散量の確認では、発症地帯と同じ日射量不足下で生育させた水稻品種「ヒノヒカリ」、「にこまる」にフェーンを想定した高温乾燥強風実験から、葉縁水孔部位からの蒸散量はヒノヒカリの方が多くなることを確認した。発症地帯で見られる発症程度の品種間差について、草丈が低く穂数型品種で発症程度が軽い事実は草型だけの問題ではなく、遮光を受けた場合葉の各部位からの蒸散割合が変化することに関係が深いことが示唆さ

れた。第 6 章で実施した試験で水稻品種にこまるとヒノヒカリで有意差を確認できなかったが、遮光処理によって品種水孔からの蒸散量が異なることを考えれば今後発症地帯では葉縁水孔からの蒸散割合が低い品種を栽培することで発症を軽減できる可能性があると考ええる。

## 謝 辞

本論文をまとめるにあたり，長崎総合科学大学大学院工学研究科大場和彦教授、長崎総合科学大学大学院工学研究科田中俊彦教授ならびに当大学大学院新技術創成研究所石黒悦爾客員教授と九州大学大学院生物環境利用推進センター吉田 敏教授には懇切ていねいなご指導を頂きました。ここに感謝申し上げます。また、九州大学大学院生物環境利用推進センター吉田敏教授と筑紫二郎名誉教授には，九州大学大学院修士課程の時期から今回の取り組みに対し解決への助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

1973 年に水稻葉枯症が報告されてから約 40 年を経過し，筆者が直接この研究に関わった 1999 年から専門技術員の立場で拘ってから 15 年の時間を要して今回の報告が行えることに対して関係各位に衷心から感謝申し上げます。

長崎総合科学大学総合情報学科生命環境工学コース大場和彦教授には，前職である九州沖縄農業研究センター気象特性研究室長時代から，現地を訪問頂くと共に現地気象観測の指導並びに今回の論文全般に対して熱心な御指導を頂きました。（独）農業 食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター藤原伸介博士には乾燥風によって水稻が生産するストレス物質の測定，（独）国立環境研究所地域環境研究センター清水英幸博士，同生物・生態系環境研究センター佐治光博士，同地球環境研究グループ村野健太郎博士には大陸由来の酸性霧による水稻の反応について御指導頂きました。土壌の調査分析に対し，（独）九州沖縄農業研究センター環境部長の山田一郎博士，同土壌研究室の増田欣也様には特に硫黄分析に対し助言と調査協力を頂きました。

フェーン現象に係る気象関係の現地調査では，（独）九州沖縄農業研究センター気象特性研究室丸山篤志博士，（独）中国・四国農業研究センター気象特性研究室（現：九州沖縄農業研究センター）の柴田昇平氏，現地気象観測に掛かる機材の設置や観測記録の回収・分析等について，長崎総合科学大学大学院，下高敏彰氏に大変お世話になりました。

長崎県内の県研究機関である環境保健研究センター森淳子博士には大陸由来の酸性霧の観測，窯業技術センター山口典男博士にはパイライトの分析など，多数の国及び県研究機関に調査協力頂きました。



長崎県農林部長崎県農林技術開発センターにおいては、現地試験、調査・再現試験を行うに当たり開発センター江頭正治所長には予算確保、現地試験を実施するために作物研究室、土壌肥料研究室、病害虫研究室、馬鈴薯研究室、農業大学校野菜課にお世話になりました。また中山間地の気象データ提供では茶業研究室、果樹研究部門からデータを提供頂きました。発症現地での試験に際し快く水田使用を許可頂いた佐世保市草ノ尾集落、里美集落、菰田集落、心野集落。現地試験の実施に際し、長崎県内地方機関では県北振興局の作物担当者。佐世保市農協、全農長崎県本部肥料農薬部、(株)宮崎温泉堂には資材提供などの協力を得ました。この場を借りて御礼申し上げます。

## 引用文献

- 1 青森県農業試験場化学部「鉄異常吸収による水稻葉身褐変症状の被害軽減対策」1987.
- 2 荒川正一：局地風 天気 18, 103－115, 1971.
- 3 馬場赳：水稻の夏落及び秋落とその対策, 農業および園芸 29, 182－186, 1954
- 4 出井嘉光：水田における有機物の集積と分解, 日本土壤肥科学雑誌第 46 巻第 7 号, 251－254, 1975.
- 5 土壤養分分析法：農林水産技術会議事務局監修.
- 6 土壤調査研究会 土壤調査研究会（九州農業試験場）編：あるいて見る九州の土壤, 58－148, 1992.
- 7 藤原伸介・澤田寛子・田中福代・大脇良成・藤山正史・渡邊大治：長崎県水稻葉枯症－水稻への窒素負荷と葉枯障害との関係－, 土壤肥科学雑誌 83 第 6 号, 637 - 645, 2012.
- 8 久富陽子・大西政夫・板倉哲男・山根研一・中野尚夫・小林和広・若月利之：大区画水田における水稻生産性と土壤特性の圃場変動の関連、土肥要旨集第 48 集（島根大生資）2002.
- 9 平沢 正：植物の根に関する諸問題(19)－根の吸水と吸収能力の検定－, 農業および園芸 70, 87－93, 1995.
- 10 平沢 正・荒木俊光・石原 邦：水稻の吸水速度と蒸散速度の相互の関係について, 日本作物学会紀事 56 (1), 38－43, 1987.
- 11 Hoffman N.E. Liu Y. and Yang S.F. 1983 . Changes in 1 - (malonylamino)cyclopropane - 1 - carboxy acid content in wilted wheat leaves in relation to their ethylene production rates and 1 - aminocyclopropane - 1 - carboxy acid content. Planta 157, 518－523.
- 12 堀野 修：イネ白葉枯病菌に進入抵抗性を示すアシカキ水孔と感受性を示すイネ水孔の電顕観察, 日本植物病理学会報 50, 72－76, 1984.
- 13 石原 邦・西原武彦・小倉忠治：水稻葉における気孔の開閉と環境条件との関係 第 1 報 気孔開度の測定法について, 日本作物学会紀事 40. 491－496, 1971a.

- 14 石原 邦・石田康幸・小倉忠治：水稻葉における気孔の開閉と環境条件との関係 第2報 気孔開度の日変化について，日本作物学会紀事 40 ,497－504 1971b.
- 15 石原 邦・石田康幸・小倉忠治：水稻葉における気孔の開閉と環境条件との関係 第3報 異なった葉位の葉身における気孔開度およびその日変化の相違について，日本作物学会紀事 40, 505－512 ,1971c.
- 16 石原 邦・佐合隆一・小倉忠治：水稻葉における気孔の開閉と環境条件との関係 第5報 根群の一部を切除した場合の気孔開度の日変化，日本作物学会紀事 47, 499－505, 1978a.
- 17 石原 邦・佐合隆一・小倉忠治：水稻葉における気孔の開閉と環境条件との関係 第6報 水田の最周辺と内部に生育した水稻の気孔開度の日変化，日本作物学会紀事 47 ,518－528, 1978b.
- 18 井上勝弘・永尾嘉孝・難波信行・神田茂生・永田浩久：長崎県における農耕地土壌の理化学性の実態と経年変化，長崎県総合農林試験場研究報告（農業部門） 25 , 69－80 ,1999.
- 19 井上健一：根の生長量の推移と収量・品質(コシヒカリ). 農業技術体系・作物編 2006 年版(追録第 28)基礎編 246 の 141 の 2－7 ,2006.
- 20 川崎 弘：わが国の酸性硫酸塩土壌の分布と対策，農業技術 44, 25－30 ,1989.
- 21 川田信一郎・山崎耕宇：水稻の葉身先端部に見出される仮状の巨大な導管節について，日本作物学会紀事 31, 332－336, 1963.
- 22 川田信一郎・丸山幸夫・副島増：水稻における根群の形態形成について 特に窒素施用量を変更した場合の一例，日本作物学会紀事 46, 193－198, 1997.
- 23 柿沼亜衣・日下博幸：.北陸地方・北関東地方で発生する高温に対するフェーンの気候学，日本気象学 2013 年度春季大会予稿集 2013.
- 24 九州沖縄農業研究センター：「南九州における平成 19 年産早期水稻の被害実態と要因解析及び技術的方策」に関する緊急報告書,九州沖縄農業研究センター刊，11－23, 2007.
- 25 門脇正博・森田茂樹・菅徹也・岩田忠寿・山崎耕宇：幼穂形成期から出穂期にかけての遮光処理が水稻の根系の形成および収量に及ぼす影響，日本作物

- 学会紀事 59 (1) ,89-94, 1990.
- 26 木邨 勇：水稻の乾風害（白穂）について，農業気象 51 ,33-136 ,1950.
- 27 木邨 勇：水稻の乾風害（白穂）について（続報），農業気象 61 ,11-113 ,1951.
- 28 小松良行：水稻の出葉及び節間伸長と根の発育との関係，日本作物学会紀事 28 (20) ,20-21, 1959.
- 29 小松良行：遮光および下層施肥による水稻の地上部の生育と根の発育との関係，日本作物学会紀事 29 (2) ,199-201 ,1961.
- 30 Maeda E. and K. Maeda Ultrastructural studies of leaf hydathodes : II. Rice (*Oryza sativa*) leaf tips. Jpn. J. Crop Sci. 57 ,733-742, 1988.
- 31 丸山篤志・渡邊大治・草刈伸一郎・大場和彦・黒瀬義孝：北松浦半島の水稲葉枯症発生地域における強風の実態，九州農業研究 66 ,13 ,2004.
- 32 森田茂紀：植物の根に関する諸問題(13)－水稻の根系形成を考える場の視点(1)－農業および園芸 69 ,77-82, 1994a.
- 33 森田茂紀：植物の根に関する諸問題－水稻の根系形成を考える場合の視点(2)－農業および園芸 69 ,83-87,1994b.
- 34 村松謙生：北陸地方におけるフェーンの発生とその水稻被害，北陸農試報 19, 25-43, 1976.
- 35 村松謙生・鴨田福也：水稻のフェーン害に関する研究，北陸農試報 23, 19-56 ,1981.
- 36 村松謙生：フェーン条件下における水稻の体内水分に関する研究，北陸農試報 24 ,1-28 ,1982.
- 37 長崎県環境部環境政策課：「大気環境調査結果」に関する報告書，長崎県環境部環境政策課刊，2005 .
- 38 農業・食品産業技術総合研究機構編：日本標準飼料成分表 2009.
- 39 神田健一：農耕地からの含硫ガスの発生とメカニズム土壌と活用，農山漁村文化協会農業技術体系土壌施肥第 3 巻追録 9 号IV16 の 26-16 の 34, 1998.
- 40 大場和彦・山本由有貴・下高敏彰・隈上裕一郎：長崎県におけるオリーブの栽培適地性の農業気象学的解析，長崎総合科学大学紀要第 50 巻,47-

- 55, 2010.
- 41 大橋喜隆・川村隆一：.夏季の北陸地方のフェーン発現時における地上風系と GPS 可降水量の日変化特性, 日本気象学会 vol54 (6) ,541－554 ,2007.
  - 42 岡崎圭毅・岡紀邦・澤田寛子・藤山正史・渡邊大治・信濃卓郎・藤原伸介：長崎県水稻葉枯症－発症に伴う体内代謝変化のメタボロミクスによる解析, 日本土壌肥料学雑誌 83 第 3 号,256－265 ,2012.
  - 43 岡本嘉:水稻におけるケイ酸の生理学的研究, 日本作物学会紀事第 38 卷,743－747 ,1969.
  - 44 斉藤和雄：山超え気流について（おろし風を中心として）, 本気象学会誌（天気） 41 卷,731－750 ,1994.
  - 45 斉藤和雄：山越え気流と局地強風, 日本風工学会誌 75, 79－84, 1998.
  - 46 佐々木信夫：新第三系強酸性硫酸塩土壌に関する研究, 岩手県立農業試験場研究報告第 20 号,23－54, 1977.
  - 47 澤田寛子・徐相規・藤山正史・渡邊大治・藤原伸介：長崎県水稻葉枯症－現地水稻葉のストレス応答成分の分析とストレス発症期間の推定, 日本土壌肥料学雑誌 82 第 5 号,389－397 ,2011.
  - 48 柴田昇平・渡邊大治： 長崎県佐世保市における水稻の生育障害発生に関する局地気象条件, 農業環境工学関連学会合同大会講演要旨集 1477, 2006.
  - 49 清水英幸・伊藤祥子・佐治光・森淳子・渡邊大治・藤山正史・村野健太郎：.長崎県北部高地における水稻葉枯症の発症要因の解明, 大気環境学会年会講演要旨集 49 ,437, 2008.
  - 50 下田英雄・大沼済： 山形県庄内地方における偏東風“清川ダシ”の実態と水稻に及ぼす影響並びに被害軽減対策、山形県農業試験場研究報告 17 ,27－43 ,1982.
  - 51 下高敏彰・大場和彦・渡辺大治：長崎県北部地域における水稻収量と気象要因の関係について、長崎総合科学大学大学院新技術創成研究所所報「創見創新」) No.6 ,85－90 ,2011.
  - 52 瀧嶋康夫：水田特に泥炭質湿田土壌中における生育阻害物質の行動に関する研究, 農林省農業技術研究所報告 B13 ,118－252 ,1961.
  - 53 田中福代：水田への麦わら施用に伴う芳香族カルボン酸の生成と水稻の生

- 育抑制に関する研究、筑波大学学位論文(国立国会図書館博士論文目録,2001-M-331)2001.
- 54 玉置雅彦・猪谷富雄・山本由徳：異なる光条件下における有機質肥料と無機質肥料が水稻の生育に及ぼす影響，日本作物学会紀事 68 (1) ,16-20,1999.
- 55 但野利秋：水稻の鉄過剰障害対策に関する作物栄養学的研究，北海道大学農学部邦文紀要 10(1),22-68, 1976.
- 56 鳥山和伸・柴田洋一・佐々木良治：.大区画水田の地力ムラに対応した局所施肥管理に関する研究，土肥要旨集第 48 集（中央農総研）,2002
- 57 千葉県農業試験場：「大気環境汚染と農業」に関する報告 1-21 2001
- 58 上原泰樹：北陸地方における水稻の新規形質品種の育成に関する研究 中央農業総合研究センター研究報告,111-189, 2008.
- 59 鈴木清太郎・矢吹万寿：模型による山超気流に関する研究 天気 3 巻,179-184, 1956.
- 60 鳥山和伸：フィールドから展開される土壌肥料学 新たな視点でデータを採る・見る： 大区画水田における地力窒素ムラと水稻生育，日本土壌肥料学雑誌第 72 巻第 3 号,453-458 ,2001.
- 61 渡邊大治：水稻葉枯症の発症要因究明への取り組み，九州大学大学院生物資源環境科学府 修士論文,2008.
- 62 渡邊大治・市原泰博・大場和彦・丸山篤志：長崎県北部における水稻葉枯症の発生要因解明のための基礎的研究，日本農業気象学会九州支部会誌「九州の農業気象」Ⅱ輯 No.21,1-8,2012.
- 63 渡邊大治・下高敏彰・大場和彦：長崎県北部中山間水田における水稻葉枯症の実態調査とその要因解明，長崎総合科学大学大学院新技術創成研究所所報「創見創新」 No.8,19-26, 2013.
- 64 渡邊大治：長崎県北部中山間水田における水稻葉枯症の実態調査とその要因，日本作物学会紀事，Vol.83,139-147, 2014.
- 65 渡邊大治・市原泰博・丸山篤志・大場和彦：長崎県北部における水稻葉枯症の発生要因解明のための基礎的研究 (2)遮光処理による水稻地上部・地下部生育の品種間差，日本農業気象学会九州支部会誌「九州の農業気象」Ⅱ輯 No.23,1-6,2014.

- 66 渡邊大治・市原泰博・大場和彦：長崎県北部における水稻葉枯症の発生要因  
解明のための基礎的研究（3）水稻葉枯症の再現実証試験について、長崎総  
合科学大学大学院新技術創成研究所所報「創見創新」No.10,45-51, 2015.
- 67 矢内純太・松原倫子・李忠根・森塚直樹・真常仁志・小崎 隆：水田診断の  
ための水田土壌の合理的サンプリング法の検討，日本土壌肥科学雑誌，第 79  
巻第 1 号,61－67,2008.
- 68 吉野正敏：尾根・谷斜面・谷底における風（2），地理学評論、第 29 巻第  
11 号,705－718,1956.
- 69 吉野正敏：小気候，地人書館，p274, 1961.