

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—

渡邊大治¹⁾

キーワード：フェーン，日射量不足，地力過多，中山間地水田，水稻

Basic Study on Factor Elucidation Relate to “Suitou Hagoreshou” as a Case of Rice Field
at Northern Mountainous Area in Nagasaki Prefecture

Taiji WATANABE

目次

第1章 緒論

- 1) 研究の背景
- 2) 研究の目的
- 3) 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

- 1) はじめに
- 2) 硫黄関係調査・実験
 - (1) 土壌鉍物
 - (2) 未熟堆肥
- 3) 排水性改善
- 4) 防風対策
- 5) まとめ

第3章 水稻葉枯症の発生実態の分布図の作成

- 1) はじめに
- 2) 調査年度の「水稻葉枯症」発生状況と気象概況
 - (1) 2007年
 - (2) 2008年
- 3) 調査地点，調査方法および発症程度判断基準
 - (1) 調査地点，調査方法
 - (2) 「草ノ尾」
 - (3) 「中尾」
 - (4) 発症程度判断基準

- 4) 結果および考察
 - (1) 発症程度と周辺環境の関係
- 5) 結論
- 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

- 1) はじめに
- 2) 調査方法
 - (1) 発症地帯の土壌
 - (2) 発症地帯の水稻生育
 - ア) 発症地点における調査
 - イ) 長崎県農林技術開発センターにおける調査
 - (3) 遮光による品種別生育量差 (2010年)
- 3) 結果および考察
 - (1) 発症地帯の土壌
 - (2) 発症地帯の水稻生育
 - ア) 発症地帯における調査
 - イ) 長崎県農林技術開発センターにおける調査
 - (3) 遮光による品種別生育量差 (2010年)
- 4) 結論
 - (1) 発症地帯の土壌
 - (2) 発症地帯の水稻生育
 - (3) 遮光による品種別生育量差 (2010年)
- 5) まとめ
 - (1) 発症地帯の土壌
 - (2) 発症地帯の水稻生育
 - (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

- 1) はじめに
- 2) 観測方法
 - (1) 水稻葉枯症発症地点における日射量の測定法
 - (2) 中山間地での高温・乾燥風の観測方法
- 3) 実験結果
 - (1) 水稻葉枯症発症地点における日射量の特徴
 - (2) 中山間地での高温・乾燥風の実態
 - ウ) 風向 (日最多風向)について
 - (3) フェーンが発生する天気図と気象変化の関係
 - ア) 水稻葉枯症発症前の天気図と近隣アメダスデータ (2008年)
 - イ) 水稻葉枯症発症前後の天気図と近隣アメダスデータ (2009年)
- 4) 結論
 - (1) 水稻葉枯症発症地点における日射量の特徴
 - ア) 日射量
 - イ) 雲の高さ
 - (2) 中山間地での高温・乾燥風の実態
 - ア) 高温・乾燥風について
 - イ) 水稻葉枯症との関連
 - ウ) 風向について

(3) フェーンが発生する天気図と気象変化の関係

5) まとめ

(1) 水稻葉枯症発症地点における日射量の特徴

ア) 雲高関連

イ) 日射量関連

(2) 中山間地での高温・乾燥風の実態

ア) フェーン関連

イ) 風向(日最多風向)について

(3) フェーンが発生する天気図と気象変化の関係

(4) 水稻葉枯症と天気図

第6章 現地における水稻葉枯症の再現実証試験

1) はじめに

2) 実験方法

(1) 農林技術開発センターにおける蒸散に関する試験

(2) 現地における水稻葉枯症の再現実証試験

ア) 農林技術開発センター内水田での再現試験

イ) 発症隣接地(高標高未発症地:潜木)での再現

3) 結果および考察

(1) 農林技術開発センターにおける蒸散に関する試験

ア) ヒノヒカリ

イ) にこまる

(2) 現地における水稻葉枯症の再現実証試験

ア) 農林技術開発センター内水田での再現試験

イ) 発症隣接地(高標高未発症地:潜木)での再現

4) 結論

(1) 農林技術開発センターにおける蒸散に関する試験

(2) 現地における水稻葉枯症の再現実証試験

5) まとめ

(1) 再現試験に関して

ア) 蒸散量について

イ) 発症再現について

(2) 第2章から第5章までの成果を踏まえた総合考察

第7章 総括

第8章 引用文献

Summary

¹⁾ 現公益財団法人長崎県農業振興公社

第1章 緒言

1) 研究の背景

長崎県北部高標高中山間地域水田（標高 200m～450m）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ミリ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な水稻の不作の年などに、長崎県北部地域において「水稻葉枯症」が大発生し、県内で大きな問題となり、同年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。その6年間の取り組みの経過を表1-1と以下に示す。

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・糸状菌は検出されなかった。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 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。

水田土壌の一般的な物理性、化学性の調査では、発症の有無による大きな差異を認めることができなかった（表1-2）。ただし、pH (H_2O_2) の値が3程度を示したが原因については解明に至らなかった。

栽培関係では、ブドウ糖投与により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できなかった。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できなかった。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が確認できた。また、発症地点4カ所で各水田が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。そのため、独自の基準に基づいた発症程度別に各水田を区分した。

植物栄養関係では、発症葉中の硫黄濃度が130

～170mg/100gと、千葉県が公表している水稻に対する硫黄の大気汚染基準⁵⁷⁾の最低値(120mg/100g)に近い数値が検出されたことから、大気汚染(酸性霧)と土壌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³⁷⁾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⁴⁹⁾。出穂前後から根の機能の衰弱と硫化水素など還元物質の体内侵入も多くなり水分や養分の吸収障害を引き起こす³⁾とされるが、水田面からの硫化水素ガスの採取・分析の結果、濃度は低く被害を与えるとは考えられなかった。また、硫黄以外の発症地点内および発症地点と近い地点での葉の成分について、次の4点で確認が必要と考えられた(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ことであった。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年、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 $\delta^{15}N$ の存在比率で検討した結果、水田に投入される厩肥に由来することがわかった。

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ことであった。高濃度の鉄溶液中にSulfide(硫化物)が添加された場合、鉄が過剰吸収される^{1) 55)}。このことから、未熟有機物投入による土壌中硫黄の増加と関連するものであると推察された。

3 点目であるSiOx(珪酸)については株全体の分析では発症地点で14%～17%含有量が少なかった。低水温により吸収抑制されるのは一般的であり⁴³⁾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 点目の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、セロトニン健全葉中の含有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⁴²⁾ことが明らかとなった。

水稻葉枯症の要因解明に関する基礎的研究

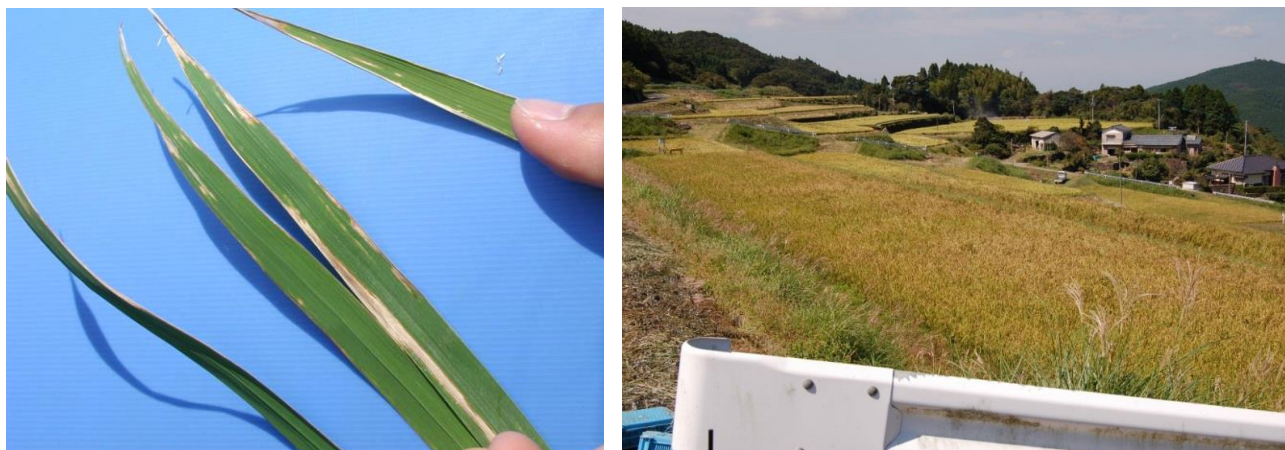


図 1 - 1 特徴的な水稻葉枯症状

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※① ・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※② ・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)※③	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)	(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	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)
2008~ 2011	平成20年 ~平成23年	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)	・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	長崎県農林技術開発センター 長崎総合科学大学(協力) 長崎県農業研究センター(協力)	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

【出典他】 ※①平成5年水稻葉枯症大発生に伴う農林部プロジェクトチーム活動記録(主催:農業技術課専門技術員)
※②専門技術員の調査研究:専門技術員活動高度化事業報告書
※③水稻葉枯症の発生要因の究明と軽減対策技術の開発:公害防止等試験研究費(地域密着型)長崎県特別研究

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¹¹⁾. このことから, 水稻葉中の ACC およ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⁴⁷⁾.

植物生理・気象関係では, 発症の時期は梅雨明け前後であり, 契機は強風が吹いたことであると

考えられた. 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, 当時の(独)九州沖縄農業研究センターおよび(独)近畿中国四国農業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を確認した³¹⁾

48) 61) . 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県の農業関係地方機関に聞き取りを行った。6県では類似症状の該当無しとの回答であったが、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見られないが、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とのことであった。また、富山県の元専門技術員によると、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確認したとの回答であった。

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、田中俊彦教授、新技術創成研究所石黒悦爾客員教授には懇切にいなご指導を頂きました。

九州大学大学院生物環境利用推進センター吉田敏教授、筑紫二郎名誉教授には、九州大学修士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。また、吉田敏教授には本論文のご校閲を頂き、有益なご教示をいただきました。ここに感謝の意を表します。

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、長崎県全体的水稻栽培面積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が大きいことから玄米の充実性に優れ、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の水稲にはほぼごと年「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ごと年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は、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が維持されることに繋がるものである。

「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、日照時間、降水量、気温、風向・風速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湿度は観測項目でないポイントが多い。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と発症の関連解明に取り組んだ(第5章)。

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、発症地帯およ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m²程度の坪状である要因を検討するため水田1枚を分割して可給態窒素量を約20点調査し、その変動係数(ばらつき)を明らかにした。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週間ずらし発症地帯と平坦地で比較した。また、地上部・地下部の生育量差を調査した(第4章)。

土壌面ではpH(H₂O₂)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黄鉄鉱(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述べた(第4章)。

試験研究的には症状を軽減する対策として過去簡易な防風対策しか実施されてないことから、稲作期間中に水田の南北両面を高さ4mのネットで覆う防風対策に取り組んだ(第2章)。

栽培面では過去実施していなかった各発症地点の水田ごとの発症程度とおもに地形との関連を明確にするため、発症実態の分布図の作成を行った(第3章)。最後に、発症地帯に近隣でこれまで発症していない高標高地と平坦地で、遮光など発症地点の環境を再現する対策をとり葉縁枯症状の再現を行った(第6章)。

3) 調査対象地点

長崎県内の発症地帯を含む玄武岩台地は大きくは佐世保地域と、大村市の北に隣接する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」），標高が中位の佐世保市吉井町草ノ尾（同280m，以下「草ノ尾」），最も標高の低い佐世保市菰田町（同200 m，以下「菰田」）までの，面積約90km²の内側で，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．この地域は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違い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」）を調査地点として選定した．また，2009年は佐世保地域と東

彼杵地域の標高差およ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研究部門があり平坦地の大村市鬼橋町（標高70m，以下「大村」）の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」および「草ノ尾」と直線距離3.9kmの松浦市志佐町（標高20m，以下「松浦」）の2ヵ所を調査地点として選定した．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」を調査した．第4章発症地帯の土壤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	気象観測実施年		葉枯症発症 有無
			2008	2009	
▼	松浦	20	—	○	—
△	草ノ尾	280	—	○	有
◎	菰田	200	—	—	有
▽	里美	450	○	—	有
▲	心野	90	○	—	有
★	中尾	380	○	○	有
■	大村	70	○	○	有
☆	諫早	1.4	—	—	—

図1-2 発症地点および観測・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

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 ₂ O	KCl	H ₂ O ₂		CaO (mg)	MgO (mg)	K ₂ O (mg)	60%	30%	
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。

注2) 資料提供 農林技術開発センター土壌肥料研究室

表1-3 発症株と未発症株および過去に発症歴の無い圃場の稲株中無機成分

発症歴	採取時 の症状	項目	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	Na ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	SiO ₂ %	水溶性S 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)
毎年発症	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

注2) 資料提供 農林技術開発センター土壌肥料研究室

表1-4 梅雨末期発症前の霧成分 (2007)

採取月日	pH 最高・最低	CL (ppm)	NO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	
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

注3) 資料提供 国立環境研究所

表 1-5 稲第2葉の成分含有率

採取時の症状	項目	N (%)	CaO (%)	MgO (%)	k (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	SiO ₂ (%)
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葉を株当たり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

注3) 資料提供 農林技術開発センター土壌肥料研究室

第2章 本研究までに筆者が取り組んだ関連成果

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年間およ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。それらの成果概要ならびに九州およ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) 硫黄関係調査・実験

(1) 土壌鉍物

2006年の調査からpH (H₂O₂) 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」の2地点の水田作土層の土壌および礫や水田近くの露頭で採取した試料で黄鉄鉍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言われる。そのような土壌は酸性硫酸塩土壌とされる^{6) 20) 46)}。そこで黄鉄鉍の分析を長崎県窯業試験場で蛍光X線分析(硫黄成分の確認)および粉末X線回折(鉍物パイライトの確認)により実施した。2006、2007年の2か年とも、原因物質の黄鉄鉍を確認できなかった。このことから、「水稻葉枯症」は産炭地特有の酸性硫酸塩土壌が原因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など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。いわゆる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³⁹⁾。

(2) 未熟堆肥

水田土壌分析pH (H₂O₂) でpH3前後の値がなぜ検出されるのかを明らかにするために、発症地帯近隣で産出される堆肥成分の調査を2008年に行なった。発症地点である「里美」の肥育牛舎と繁殖牛舎から糞尿は稲藁などの敷料と混合され厩肥原料として排出される。一般的に中山間地での飼育では堆肥化施設が狭く攪拌するスペースおよ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 (H₂O), pH (H₂O₂) およびその他項目を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 (H₂O) はアルカリ性、pH (H₂O₂) は僅かに酸性を示した。しかし、同じ試料を加熱処理して堆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 (H₂O₂) が強酸性となった。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。

以上から未熟堆肥投入が水田を強酸性にしている一因と考えられた。NH₄-N、NO₃-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、堆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た。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それぞれ2.51%、1.00%、0.57%、0.72%と高く、このことが和牛堆肥で硫黄分が

高いことに繋がっていると思われた³⁸⁾。

発症している水田でpH3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堆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、水田に散布される際に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たと考えられた。

3) 排水性改善

寒冷地で有機物含有量が多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されている⁵²⁾。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による「水稻葉枯症」発症抑制の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およ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溜池を掘り水稻に水を供給している。漏水を防止するため地下30cm程度に大小の礫を投入し粘土を加え固めた鋤床と言われる不透水層を作っている。透水性、排水性などの改善により発症程度を低下させ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(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。

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あることが経験上知られている。2008年12月～2009年3月にか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)の南側および北側の畦畔に風速低減率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だけではなく、丘など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。

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鉱物の黄鉄鉱の確認、未熟堆肥の分析、本暗渠施工による排水対策の実施および発症を軽減させる防風対策を行った。

黄鉄鉱は確認できず、未熟堆肥分析でもすべての試料が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大きいと思われた。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が、その点について第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」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」で発症現地と環境条件を揃えることで平坦地および発症現地と隣接する高標高地で「水稻葉枯症」を再現させ、発症に至るメカニズムを明らかにした。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した。

表 2-1 堆肥の成分分析結果 (2006 年)

製造堆肥名			pH		pH	EC	T-C	T-N	C/N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Zn	Cu	塩素
堆肥名	地区	農家肥育繁殖別	H ₂ O	H ₂ O ₂ (室温)	H ₂ O ₂ (加熱)	ms/cm	%	%		mg/100g	mg/100g	%	%	%	%	mg/Kg	mg/Kg	%
牛ふん堆肥1	里美	A 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	A 肥育2	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	B 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	C 繁殖	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	D 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

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。この玄武岩台地は九州では規模は小さいが長崎県内では多良岳、福江島、壱岐島、平戸島の一部および中国地方には山口県萩、島根県、鳥取県に点在している。規模が大きい「水稻葉枯症」が発症する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⁴⁵⁾。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などがあるなど、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。1 水田内の水稻株葉の枯れ具合程度によって分類した発症程度別基準を独自に考案した分布地図の作成を2007、2008年の2カ年について試みた。

2) 調査年度の「水稻葉枯症」発生状況と気象概況

(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、その間の降水量は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日にかけて最大風速が6m/sec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45日間に比べて39日間と6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風速7m/sec最大瞬間風速で14m/sec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「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日頃にかけて「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) 調査地点、調査方法およ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ヵ年間県内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「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地点とも同じ傾向が見られたため、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に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水田。Bゾーン：地図上では北西側に位置し、北側および東西両面を小高い丘で遮られた場所に立地する水田。Cゾーン：地図上では南東に位置し、北および南側を小高い丘で遮られた場所に立地する水田。このゾーンは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と考えられた。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およ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ゾ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枚ごとに発症傾向を把握した。続いて畦畔を歩きながら水稻株ごと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以下の基準で0（無）～5（甚）の6段階に分類した。発症程度の基準および6色分類の詳細は次のとおりである。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）。

4) 結果および考察

(1) 発症程度と周辺環境の関係

7) 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号通過から7日後の8月9日に「草ノ尾」を、8月15日に「中尾」の現地調査を行った。発症程度別地図を示す（図3-2、図3-3）。

「草ノ尾」（図3-2）は地域の北側および東西側の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、この地区の東およ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た。

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、北側およ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わかった。

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できる。周囲を小高い丘に囲まれ風当たりが弱くなる場所に存在する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 ゾーンの水田では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、比較的軽いが軽い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」では発症程度が軽い傾向であった。また、1 枚の水田内でも丘などによって風の勢いが遮られる場所では発症程度が軽い傾向であった。

「中尾」地区の発症程度の分布を図 3-3 に示す。この地区は約 20ha で水稻栽培が行われ、品種はほぼすべて「ヒノヒカリ」であった。南北方向に流れる河川の周辺に位置する A ゾーン約 13ha の水田では発症程度が比較的軽く、70%の株に発症が認められる橙色の面積が約 5 割の 7ha、50%の株に発症が認められる黄色の面積が 4 割の 5ha と目立った。一方、北、南および東の 3 方向を小高い丘で塞がれた B ゾーン約 7ha の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 7 割 5 分を占め、発症程度が軽いことがわかった。風は南北方向を優先して吹くことが多いと考えられた。また、B ゾーンは南北と東を高く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ないものと考えられた。A ゾーンでの発症程度はすべて 2~4 指標で占められた。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 7 割 5 分を占めた。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症状が重くなる傾向であった。なお、各ゾーンの水稲栽培管理はほぼ同じであった。

1) 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、「ヒノヒカリ」栽培水田で当年度初の発症を確認した。発症程度は最も重篤な 5 と、その水田の南北に隣接する発症程度中庸 3 の 2 枚の水田の合計 3 枚の水田で確認した (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)。その他発症地点の

「里美」でも発症が報告されたが「菰田」「中尾」では発症の確認ができなかった。

その後、8 月上旬から 8 月 25 日頃にかけて全地点で順次発症した。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) の水田と、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 年およ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。赤色および黄色の水田の西側を小さな河川が流れ、さら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って吹くことが多いと考えられた。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およ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」であることなどが関係していると思われた。

図 3-5 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。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)、また道路を挟んでさら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) 水田が点在することがわかった。

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ることにより発症していないと考えられた。

図 3-6 は A ゾーンと B ゾーンからおのおの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と考えられた (図 3-6)。

総合的に 2008 年の発症程度は軽いものの 2007 年と同じような傾向を示した。つまり河川が通る、地域の中心部に近い水田で発症程度が重く、小高い丘の背後

や丘に挟まれた場所に立地する水田では発症程度が軽い傾向であった。

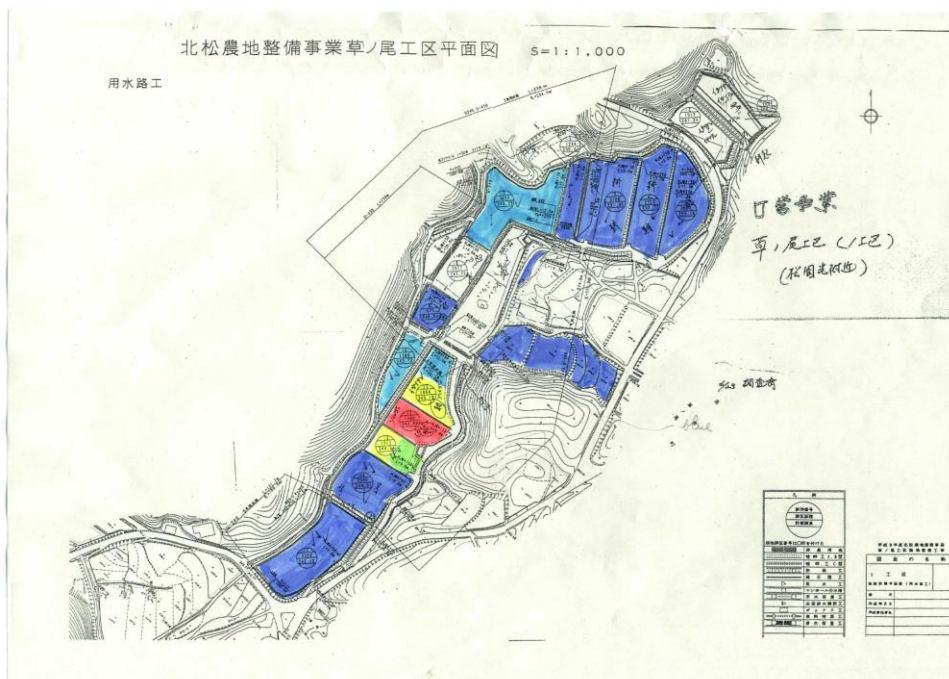


図3-4 草ノ尾発症地図 2008年(2007年のAゾーン1部)

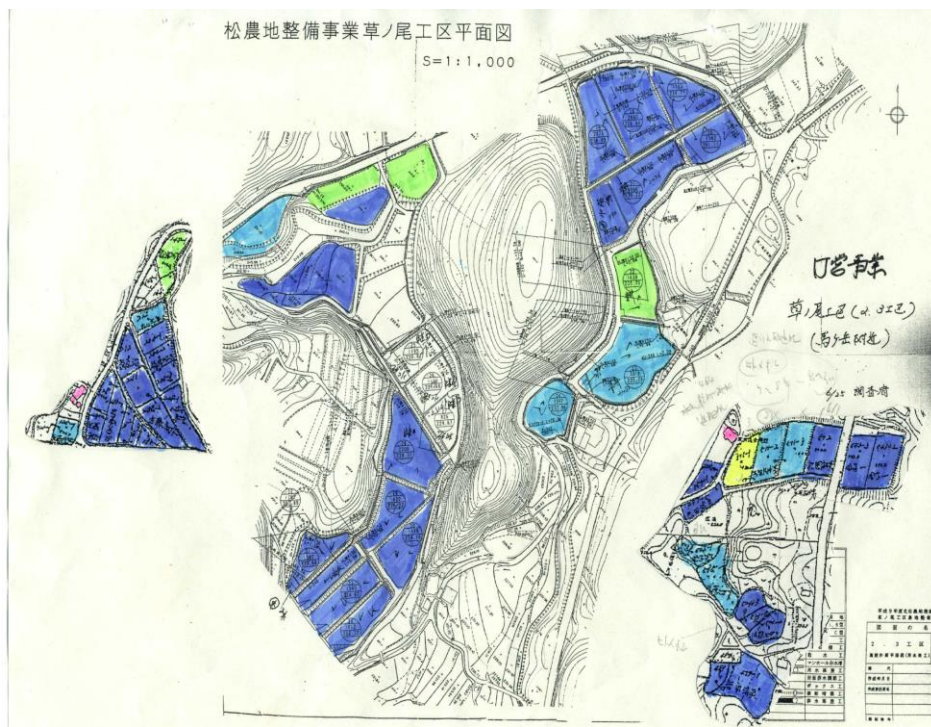


図3-5 草ノ尾発症地図 2008年(2007年のA・Bゾーン)

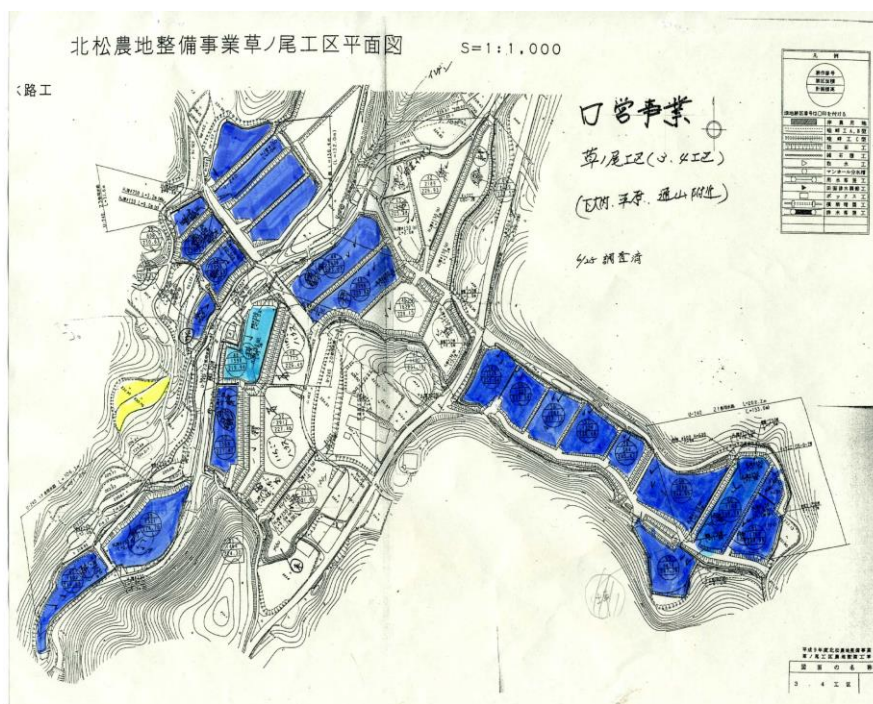


図3-6 草ノ尾発症地図 2008年(2007年のC・Dゾーン)

5) 結論

2007年、2008年の2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た。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ことを示唆された。次に、狭い範囲の複雑な地形(小高い丘などが風を遮蔽する)が風当たりの強弱を作り出していると考えられた。

「草ノ尾」において2カ年の調査でわかったことは、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年も相対的に重篤であった。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、梅雨期間における気象環境が次のように違っていたためと考えられた。2007年の梅雨期間は41日間、対して2008年の梅雨期間は39日間と2007年が2日程度長かった。日照時間は2007年が74.3時間で平年の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%が確保されたことである。つまり、梅雨期間の長さの問題ではなく、日照時間の差が発症程度に与える影響が大きいと思われた。

6) まとめ

水稻葉枯症の発生実態の分布図の作成でわかったのは、年度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きくなりやすい水田の位置関係は2カ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。逆に周囲を丘などに囲まれた水田は発症程度が軽い傾向である。

山岳地域の中で高度差がなく、土地の起伏も大きくない、いわゆる丘陵地帯や、あるいは山間のやや平坦な場所および山地から平野部に移り変わるころは、地形の影響による気象要因差がしやすい地域である。谷が山地から平野にでた付近では所によってはなほだしい強風が吹く。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⁶⁴⁾。

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た。

発生実態の分布図の作成の過程での、農家からの聞き取りでは発症程度が軽くなる事例としては次のような場合であった。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日前後に移植された場合。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のは次のような場合であった。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。などである。

第4章 発症地帯の土壤地力の変動に伴う水稻の生育特性

1) はじめに

発症地帯の土壤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」要因解明の一環としてこれまで測定されることはなかった。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の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。そのため水田土壤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、降雨などによって土壤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壤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ものの、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ない¹⁸⁾。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、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を4週間の過熱培養により確認していた⁵⁾。そのため、第2章の5) 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できず、土壤中可給態窒素量のばらつき(変動係数)が大きくなってい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(昭和35)年代以降であるとされる^{56) 60)}。富山県農試の事例では表土扱いでな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であった事例でばらつき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、1㎡当初数、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正の相関があった⁶⁰⁾。表層土に比べて下

層土に各土壤養分の変動が大きく、特にTN(全窒素)で顕著に見られた⁸⁾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、厩肥が投入されない水田の可給態窒素絶対量と1枚の水田内での可給態窒素量ばらつきおよび平坦地水田の可給態窒素絶対量と1枚の水田内での可給態窒素量ばらつきを調査した。これにより「水稻葉枯症」がなぜ中山間地水田に発症するのか、さらに発症当初は坪状に症状が現れることと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、発症地帯が高標高地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と地下部の生育量のバランスを悪くし、特に地下部の生育が劣ると推定された。文献として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²⁵⁾。

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、地下部の根の張りが浅く狭いため収穫と同時に、根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」と平坦地の「諫早」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・地下部の生育量を調査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出されている福井県の調査要領²⁵⁾に倣った。土壤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で行った。

2) 調査方法

(1) 発症地帯の土壤

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」および「里美」の3地点と、これらの地点と比較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地点を選定した。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2地点,合計9地点を対象として,12筆の水田を調査した。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中山間地を除いた県北地域を中心に6地点と13筆の水田を調査した。

土壌サンプリング方法は,約10a当たりの1筆の水田から20ヶ所程度をなど間隔で,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から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,2mm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。

(2) 発症地帯の水稻生育

7) 発症地点における調査

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筆1500m²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窒素1.8kg/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30cmの円筒形鉄輪を水田に打ち込み,各移植時期別に8株を掘り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。

1) 長崎県農林技術開発センターにおける調査

移植時期変さらによる地上部・地下部の変化について調査を行なった(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

比などを下記の要領で調査した。1筆200m²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4kg/10aを移植する2日前に施用した。穂肥は窒素1.8kg/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どおりとした。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株の平均値とした。

(3) 遮光による品種別生育量差(2010年)

長崎県農林技術開発センターの水田で,長崎県の奨励品種である「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ごとの地上部・地下部の生育量差を調査した。第3章5)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現象の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日に窒素3kg/10a,穂肥は7月28日に窒素3kg/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,根の伸長範囲の深さまで掘り取った。根については付着している土および前年度の稲藁などを水で洗浄した後,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,茎とともに乾燥機で乾燥させ乾物重量を計測した。

3) 結果および考察

(1) 発症地帯の土壌

水稻移植前2009年2月の結果を表4-1に示した。「草ノ尾」,「菰田」,「里美」の発症地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,その中で最大の値は草ノ尾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であった。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であった。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以下の平坦地である「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」に近い値であった。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に示した。「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であった。変動係数はその他の発症地や無発症地とほぼかわらなかった。

厩肥施用が無い「菰田A」と施用がある「菰田B」の水田の可給態窒素量を比較すると、「菰田B」は、「菰田A」に比べて平均値で約2倍の15.9 kg/10aで、また最高値は136%、最低値も227%と高い数値であった。

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かったが、変動係数は高くなかった。また未発症地の「心野」、「潜木」でも平均は14.0kg/10a程度と発症地に比べると多少低いが、変動係数は発症地と同程度か多少高い程度であった。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倍と高かった。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できない分が数値として現れているものと推察された。可給態窒素量は発症地域の平均値が高い傾向があった(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変動係数に25%程度の増減が見られる程度であった。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かった。その理由は今回の調査だけでは明らかでなかったが、発症地域や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ことを確認した。

表4-1 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

注1) 採取は厩肥投入前2009年2月

表4-2 厩肥投入後の可給態窒素量

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。

注2)採取2009年10月(水稻収穫後)

(2) 発症地帯の水稻生育

7) 発生地点における調査

「草ノ尾」の6月10日移植と5月28日移植は次のような特徴がある。6月10日移植は発症程度2であり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、同一条件の1筆水田の中で、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。茎葉乾物重は農林技術開発センター5月28日移植に比べて6月10日移植が37%、5月28日移植が63%となり、6月10日移植が5月28日移植に対して26ポイント茎葉重が有意に軽くなった。また、根乾物重も農林技術開発センター5月28日移植に比べて6月10日移植が25%、5月28日移植が35%となり6月10日移植が5月28日移植に対して10ポイント根重が有意に軽くなった。T/R比は農林技術開発センター5月28日移植に比べて6月10日移植が150%、5月28日移植が184%となり、6月10日移植が5月28日移植に対して有意ではないが34ポイント小さくなった。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でT/R比が小さくなることを確認した。止葉を含む上位3葉面積は統計的に

有意ではないが6月10日移植が5月28日移植に対して16%狭くなった。上位3葉長は農林技術開発センター5月28日移植に比べて6月10日移植が86%、5月28日移植が91%となり6月10日移植が5月28日移植に対して5ポイント有意に短くなった。(表4-3)。

1) 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。6月10日移植は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比が大きくなった。つまり、平坦地「諫早」では移植時期を遅らせることで地上部生育量の減少率が発症地より大きい。また、移植時期を遅らせることで地下部生育量の減少率が地上部生育量の減少率よりさらに大きいため、T/R比が大きくなり発症地の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、T/R比は「草ノ尾」で低下し、「諫早」で上昇した(表4-3)。

表4-3 移植時期の変さらによる水稻乾物重, 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 乾物重 (g/株)	根 乾物重 (g/株)	茎葉/根 重量比 (T/R比)	上位 3葉面積 (cm ² /株)	上位 3葉長 (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	農林技術 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:メイワフォンスL-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葉面積以外は農林技術開発センターの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)

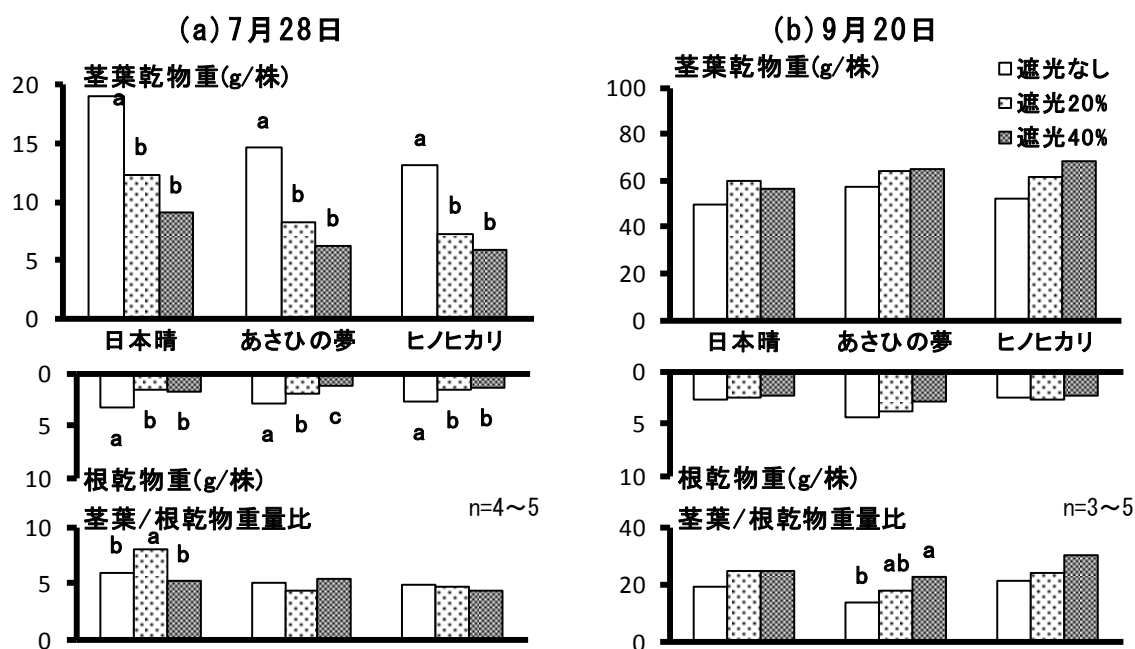


図4-1 7月28日(a)と9月20日(b)の品種別遮光による地上部、地下部の変化 (2010年)

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。

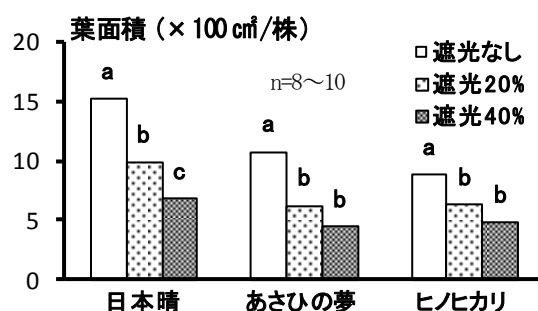


図4-2 品種別遮光による葉面積の変化 (2010年)

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)。
 注2) 試料採取日：7月28日。

(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した。「T/R比」は「日本晴」の20%遮光区と、無処理および40%処理区で有意差が認められた。遮光処理以後の地上部の生育は9月20日の調査から解るように3品種とも処理の有無に拘わらず回復した。出穂時期頃が最大となり収穫時期に向けて減少するとされる地下部生育量は調査していないが、出穂時期から約30日後の調査では品種ごとの処理間には有意差がみられない。「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かった。品種間では、「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った(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した。また、遮光率が高まるとさらに減少する傾向があった。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」の順であった。

日射量不足という不良環境に対して「日本晴」、「あさひの夢」、「ヒノヒカリ」は3品種とも稲体乾物重の減少に比例して葉面積を縮小する傾向がある。その中で「ヒノヒカリ」は葉面積の縮小率が小さく、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た(図4-2)。

4) 結論

(1) 発症地帯の土壤

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という事例の報告がある⁸⁾。

基盤整備後の地力のばらつき(土壤肥沃度の不均一性)が、倒伏し易い「コシヒカリ」などを作付けた場合に地力が高い場所では倒伏、あるいは玄米たんばく質含有量の増加など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⁸⁾。また、水稻生育および収量構成要素との単相関では、幼穂形成期および成熟期の草丈、窒素吸収量、精玄米重などは作土よりも下層土との相関が高かった⁶⁾とされる。

土壤中への有機物の集積量は新鮮有機物およ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る。湿田が乾田よりも、また、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、むしろ土壤中の地温の高い低いの違いが有機物の分解率に関係しているものと考えられる⁴⁾。また、大規模(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た。つまり、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⁶²⁾。とされた。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、前述のように「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た。

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」発症地帯だけの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水準であった。

(2) 発症地帯の水稻生

長崎県中山間地「水稻葉枯症」発症地点での日射量不足期間は、「ヒノヒカリ」移植直後の6月上旬から平年の梅雨明けの7月20日前後までの約50日間である。その期間の日射量も平坦地の「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られた。一般的に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地上部の生育がそれほど大きくないため平均3程度と小さいが、有効分げつ決定期以降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¹⁹⁾。今回の事例は根の相対生長量が小さいとされる有効分げつ決定期頃の日射量不足状態での調査であるが、その後の水稻生育では梅雨明けから根重が最大を迎出穂期(8月20日頃)まで、おおよそ30日の期間しかないため根重の回復は難しいと考えられた。

移植時期を6月10日および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87となり、5月28日移植の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程度増加した。

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日移植が有意に長かった。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られた。

水稻の遮光処理に関する知見で以下のようなものがある。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節位からの発根が認められず一時停滞し、間隔が長くかかり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%であった。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、地下部の生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節上位まで作用することが認められた²⁹⁾。別の文献では、根1本あた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²⁸⁾。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。北部九州平年の梅雨明けである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において根からの水分吸収が劣ることが考えられた。

「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育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%少ないことが根の生育を抑制し、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、日射量が確保でき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た。

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下で生育すると茎葉は徒長ぎみとなり根の発達は悪くなる⁹⁾ 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²²⁾。また、

有機物の多投入は有機酸などの発生などが伴うため、根の吸水能力を低下させる⁵³⁾ ことや根系の形態を根量と分布の2つの側面から把握することが必要である³²⁾³³⁾ など根域を制限する要因と吸水能力に関する文献は多い。

表4-4 移植時期別収量調査結果 (2009年)

区名	全重 kg	藁重A kg	籾重B kg	籾藁比 B/A	粗玄米重 kg	精玄米重 kg	屑米重 kg	精玄米重10a kg
6月10日移植	1.37	0.73	0.63	87	0.49	0.38	0.11	367.8
5月28日移植	1.09	0.62	0.47	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/m²。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)

(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 比が大きい傾向であった。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週間ほど早いいため, 地上部および地下部の生長が早く進んだと思われた。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かった。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った。葉面積は, 供試した3品種とも遮光に伴い明らかに減少した。また遮光率が高まると, さらに減少する傾向があった。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」, 「ヒノヒカリ」とも稲体乾物重の減少に比例して葉面積を縮小する傾向がある。つまり水稻の体にあわせて葉の面積を狭くするが, 「ヒノヒカリ」は葉面積を縮小する程度が小さいため光合成量を維持する傾向が強く, 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た。

「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量が少ない。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, 無機肥料およ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, いず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 比はそれぞれ 11.52 と 13.76 となりいず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 程度に抑えられた⁵⁴⁾。

その他文献では次のように記述された。根重当たり

地上部総重, 根重当たり葉面積のいずれも1筆の水田では一番外側で光が良く当たる周辺部に生育する水稻では値が小さい。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よく, よく発達した吸水器官によって支えられている¹⁷⁾。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 9.9, 周辺部側は 6.2 であり, また出穂期は水田内部側 13.7, 周辺部側 9.4 であった。経験上からも判断できるように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に繋がると考えられた。

5) まとめ

(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られる。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 N-8kg/10a 程度に低下すると発症株率は 10%程度であるから, 変動係数よりも地力の低下を図ることが必要と考える。

(2) 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られた。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。また, 発症程度が重篤となる事例である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た。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て水稻に吸収されやすくなり特に地上部の生育を促進するため結果的に T/R 比が増加しているものと推察された。

(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られる。「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われた。「あさひの夢」は遮光した場合の T/R 比が大きくなる傾向が少なかった。また、葉面積についても遮光によって縮小する傾向をも

つため、発症地帯での風当たりを低下させることが可能と考えられた。

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

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・強風試験をおこなった結果、湿度を低下させる機械・器具が十分でなく、また強風負荷には市販の扇風機だけであったことから不十分であったが、「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できた。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発生が関与している可能性が示唆された³¹⁾。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およ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、長崎県内アメダス地点の気象データ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に関連性が高いことが示唆された⁴⁸⁾。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の平坦地である「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および「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」の発症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

高さおよ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た。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。

2) 観測方法

(1) 水稻葉枯症発症地点における日射量の測定法

7) 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し直線距離2kmと極近い「心野」に日射計を設置した。「心野」は標高90m（「里美」との標高差360m）、傾斜度約18%の棚田地帯で周辺全体未発症地である。日射計は水田近くの空き地で日当たりが良い場所に地上高1m程度に設置した。「里美」では水田から10m程度標高が高い平坦空き地に地上高1m程度に設置した。これらにより、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。計測器は「里美」と「心野」は(M/SEC-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地の「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」の日射計はおのこの建屋の屋上の裸地に地上高1mに設置されていた。

4) 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(M/SEC-8型、英弘精機)を設置した(写真5-1)。設置場所は水田に隣接する耕作道路の脇で地上高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

部地域の発症地点および県南部地域の未発症地点の日射量の相違を検討した。

(2) 中山間地での高温・乾燥風の観測方法

7) 2008 年

「里美」と「心野」に気象観測装置のデータロガー (CR23X, CAMELL) を設置し、風向・風速 (CYG-530, クリマテック), 最高気温・最低気温 (C-1C 熱電対), 湿度 (HMP45 型, パイサラ) および日射量 (M/SEC-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。ただし「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。

1) 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」から発症地点「草ノ尾」までの傾斜度は 8 度 30 分と急激に標高があがる一方、「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 9 日までの 121 日間で 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。データロガーは (CR23X, CAMELL) を用い、風向・風速 (CYG-530, クリマテック), 最高気温・最低気温 (C-1C 熱電対), 湿度 (HMP45 型, パイサラ), 日射量 (M/SEC-8 型, 英弘精機) である。



写真 5-1 気象観測状況 (2009 年草ノ尾)

3) 実験結果

(1) 水稻葉枯症発症地点における日射量の特徴

7) 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 時間で平年比 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 12 日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 12 日から 8 月までの夏季期間合計では 8% 少ない値であった。

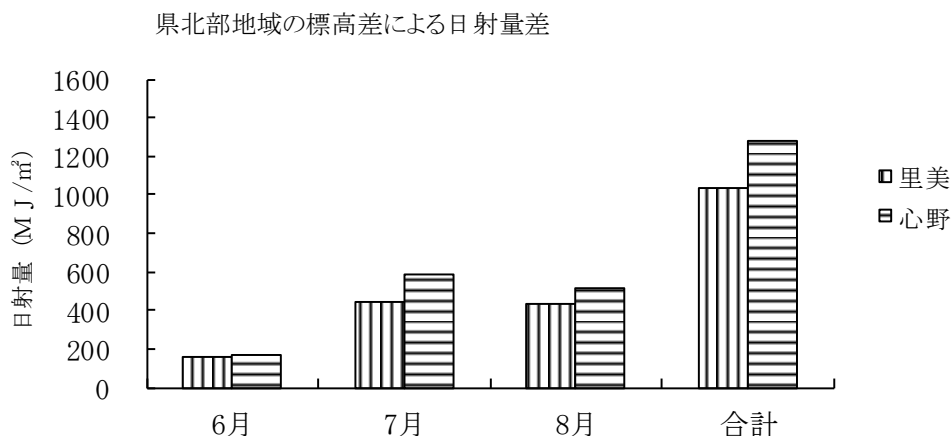
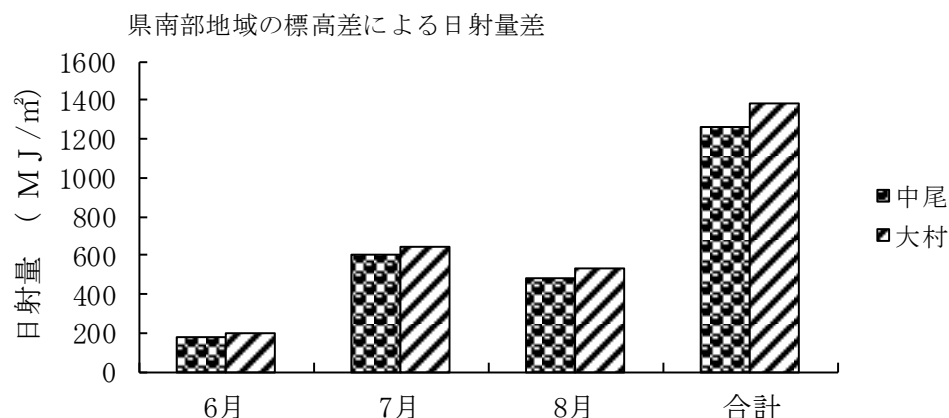


図5-2 水稻葉枯症発症期間における長崎県北部地域及び南部地域の標高が異なる地点間の日射量の差異(2008)

注1) 6月合計は6月12日以降の合計。

注2) 標高: 中尾380m、大村70m、里美450m、心野90m。

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12日から8月末の約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比較するため同じ期間の「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の県南部地域「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、県北部地

域標高450mの「里美」は74.7、県南部地域標高380mの「中尾」は92と、「里美」が「中尾」に比べて25%も少ないなど、県北部地域の発症地は相対的に日射量が少ないことを明らかにした。

1) 2009年の日射量

2009年の九州北部は平年より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18日間長い63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時間で平年比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、前年調査した県南部地域「中尾」、「大村」と新たに県北部地域の発症地点「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、県北部地域の発症地点「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%少ない値であった。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」が例年現れ始める梅雨明けの7月にかけて県南部地域の発症地点「中尾」と県北部地域の発症地点の「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。

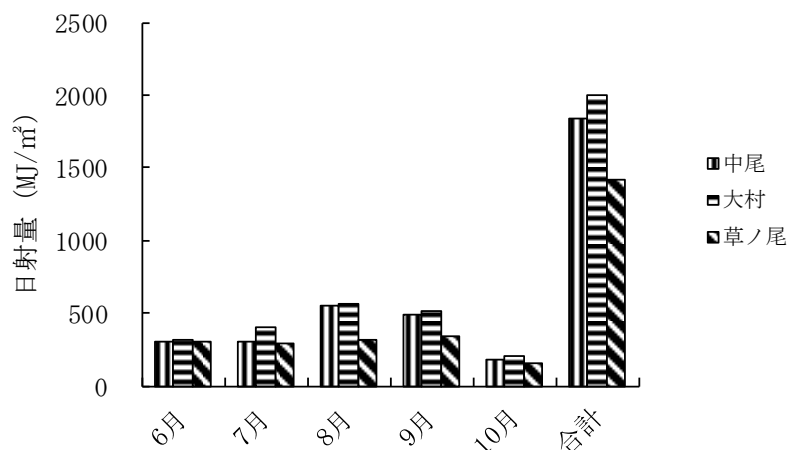


図5-3 長崎県北部地域と県南部地域の標高が異なる地点間の日射量の相違 (2009)

注1) 6月は11日以降の合計

注2) 10月は16日までの合計

(2) 中山間地での高温・乾燥風の実態

7) 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。「心野」と比較して「里美」で気温が高く、湿度が低い期間と特徴は以下である。

気温差では7月8日18時~7月9日8時までの14時間において「里美」が最大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18時間において「里美」が「心野」に比較して最大、平均の湿度差は、最大が8日午前7時の12.5ポイント、平均4.6ポイントであった。また、7月8日18時~7月9日23時の29時間では、「里美」と「心野」の湿度差は最大33.9ポイント、平均12.9ポイントであった。特に、7月8日の午前6時から7時にかけての1時間が最大の湿度差であった(データ略)。

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であった。7月8日18時~7月9日18時までの23時間

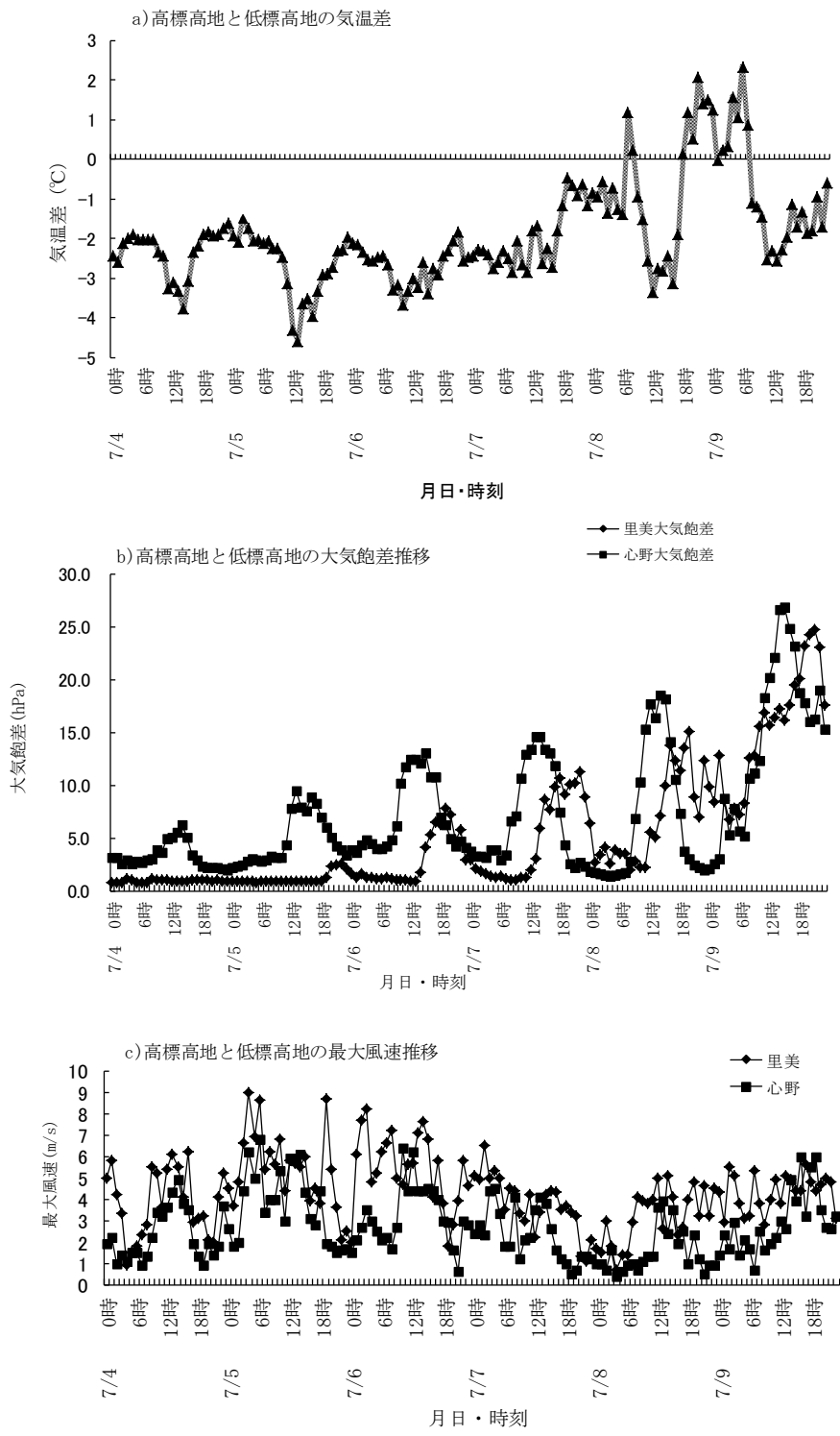


図5-4 発症時期前後の発症地点及び隣接する未発症地点の気象経過 (2008)

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。

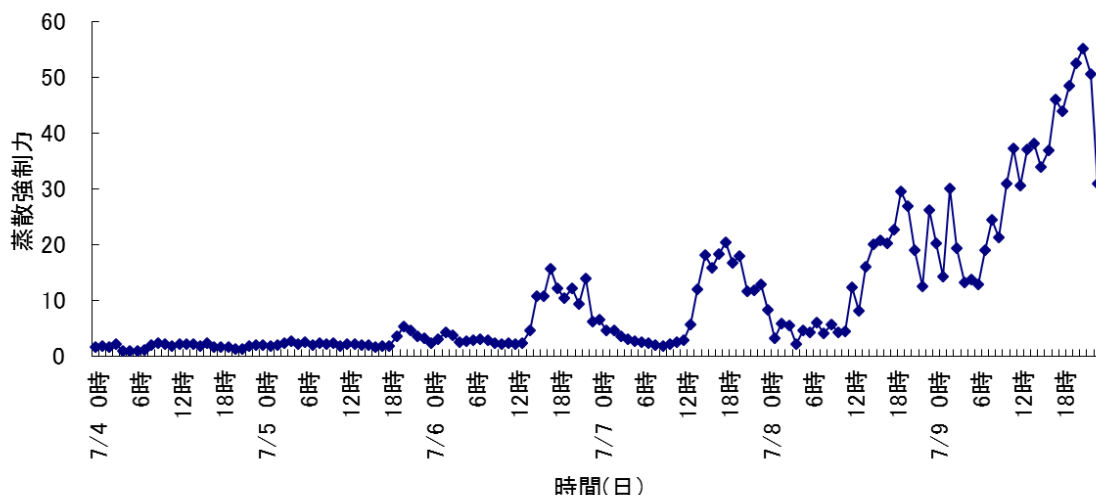


図5-5 里美蒸散強制力の推移 2008年

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/sec、7月8日14時の5.1m/sec、7月9日17時の5.6m/secであり、その間の平均風速は3.6m/secであった。

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

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

蒸散強制力(式5-2)の経過について示す(図5-5)。7月4日から7月6日の7時までは3～5で推移した。7月6日～8日では12時位から上昇し、午後に最大を迎えその後深夜に向けて低下する傾向は継続した。6日では17時に15.67と最大値を記録し、7月7日は15時から18時までの3時間は高く最大は18時の20.5であった。7月8日は12時頃から上昇し始めて12を超え、翌9日の23時位まで低下と上昇を繰り返しながらも12を超えた状態が35時間継続した。その間内の最大値は7月9日21時の55.19、平均は27.65であった。7月6日からの上昇傾向の中7月8日に「草ノ尾」で「水稻葉枯症」の初発を確認した。また、「里美」でも一部水田で発症したとの情報を得た。

蒸散強制力 = $FTP = Da$ ……(式5-2)

$Da = es - e$

ここで Da は大気飽差 (hPa)、 U は風速 (m/sec) である。 es : 飽和水蒸気圧 (hPa)、 e : 水蒸気圧 (hPa)

4) 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をみると、7月9日8時から14時までの6時間で4°Cを越え最高で6.7°Cであり、10日と11日においても日中で2～5°C「草ノ尾」の方の気温が高かった。7月12日から7月15日まで4°C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時前後まで気温差が大きい傾向が続いた。「草ノ尾」と「松浦」の日ごとの気温差の最高値は7月13日9.2°C、14日8.3°C、15日13.2°C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ともに12日以降の湿度は「草ノ尾」で低下し、12日の6.6ポイント、13日14.2ポイント、14日8.7ポイント、15日13.6ポイント「草ノ尾」が「松浦」に対して低くなった。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13hPaを示した。この期間における「草ノ尾」の最大風速は9日には8.4m/sec(17時)、12日7.0m/sec(11時)、13日6.1m/sec(3時)、14日7.2m/sec

水稻葉枯症の要因解明に関する基礎的研究

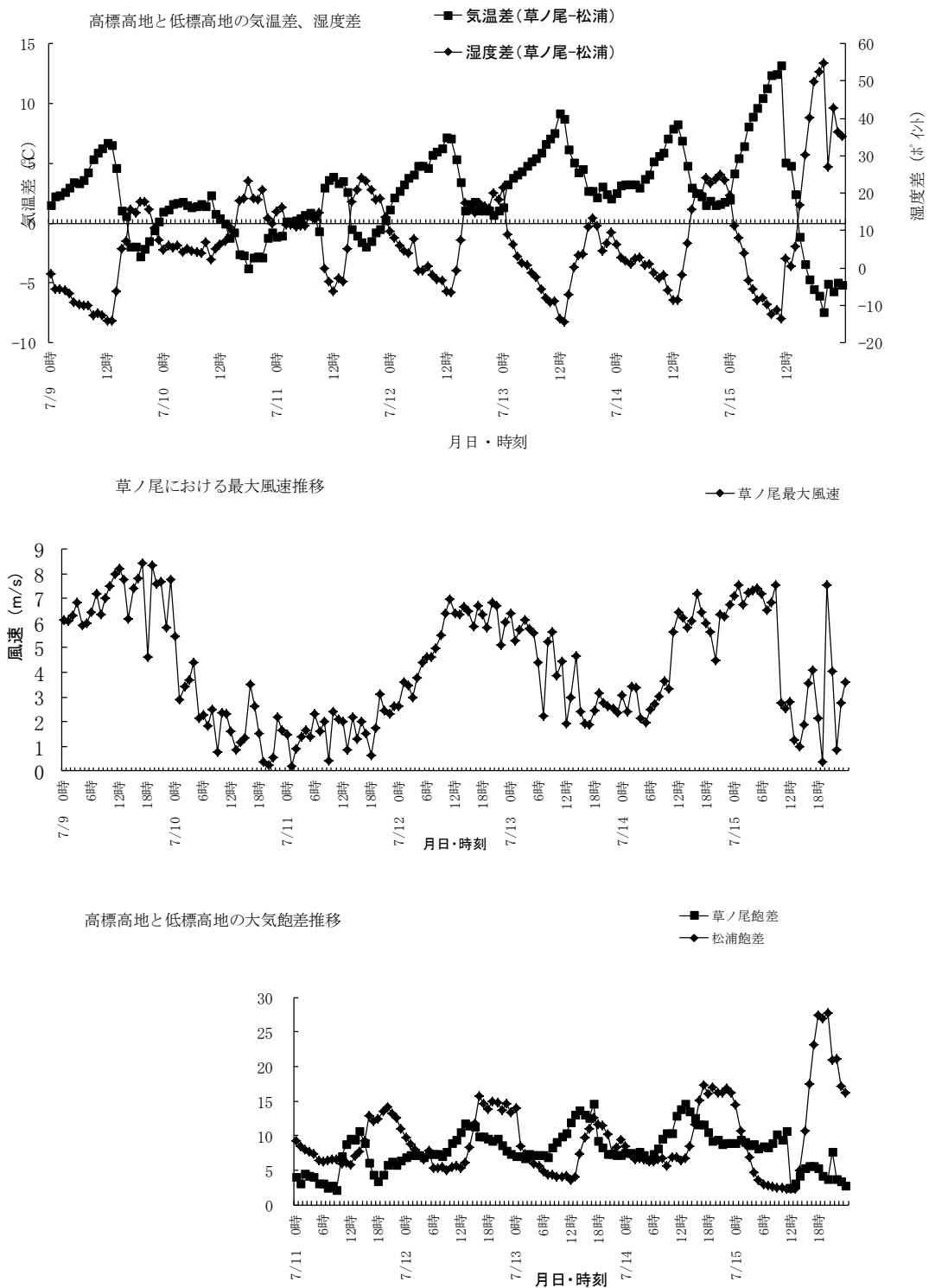


図5-6 発症時期前後の「草ノ尾」および隣接する「松浦」の気象経過 (2009)

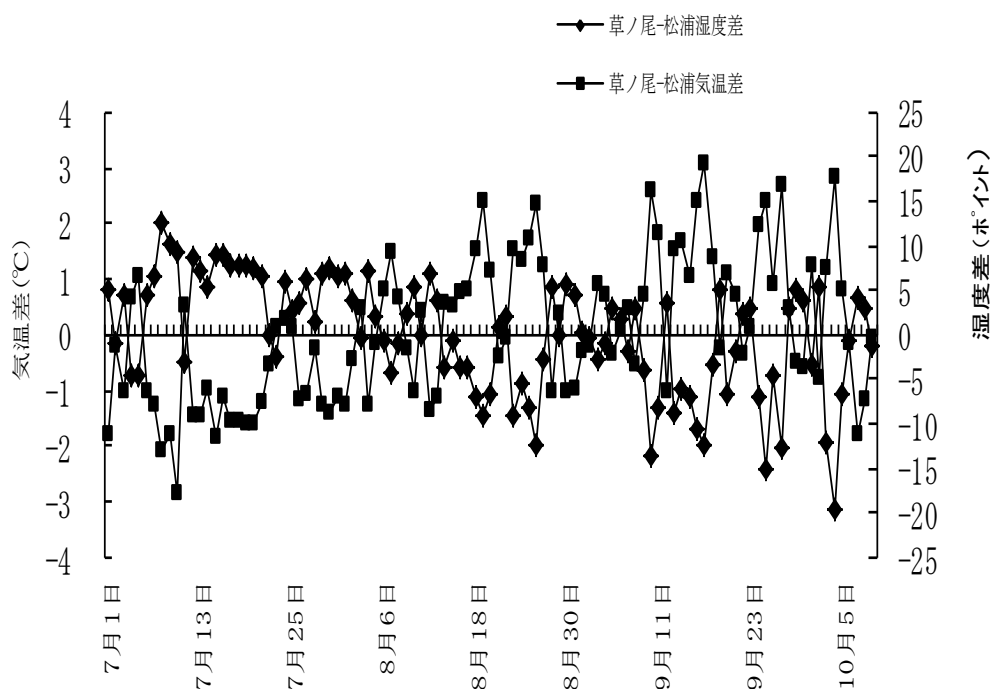


図5-7 水稻葉枯症発症前後から収穫期までの「松浦」,「草ノ尾」の気温差・湿度差

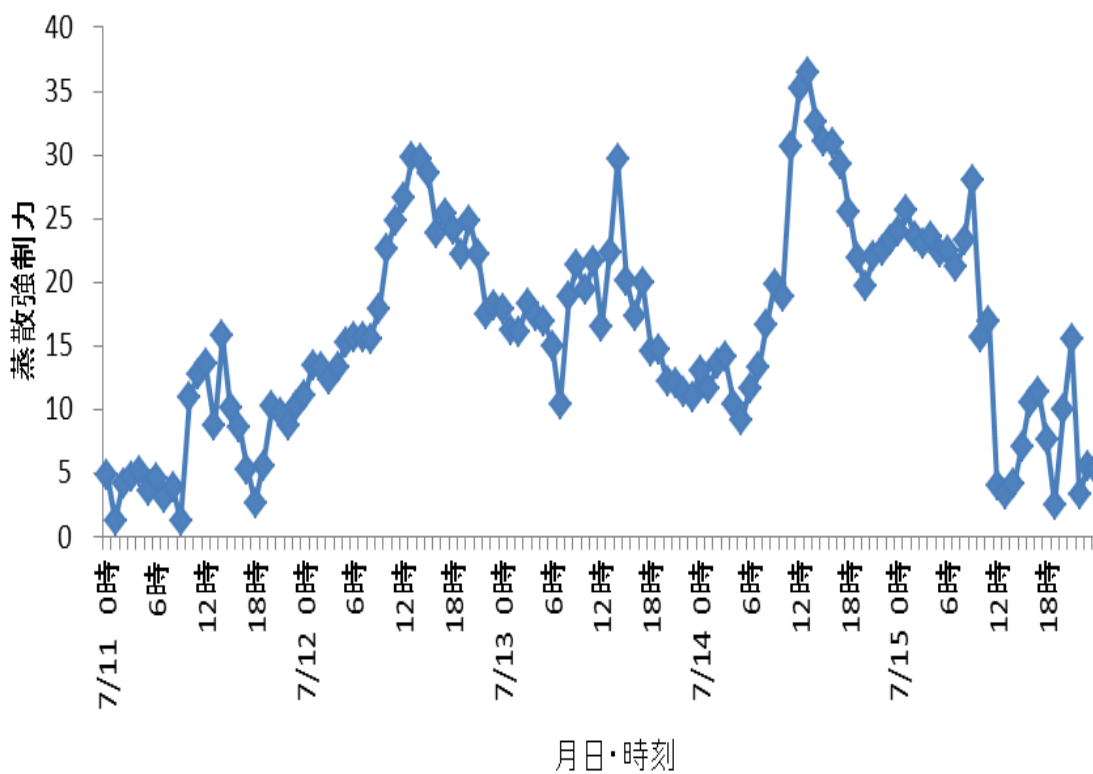


図5-8 「草ノ尾」における蒸散強制力の推移 (2009)

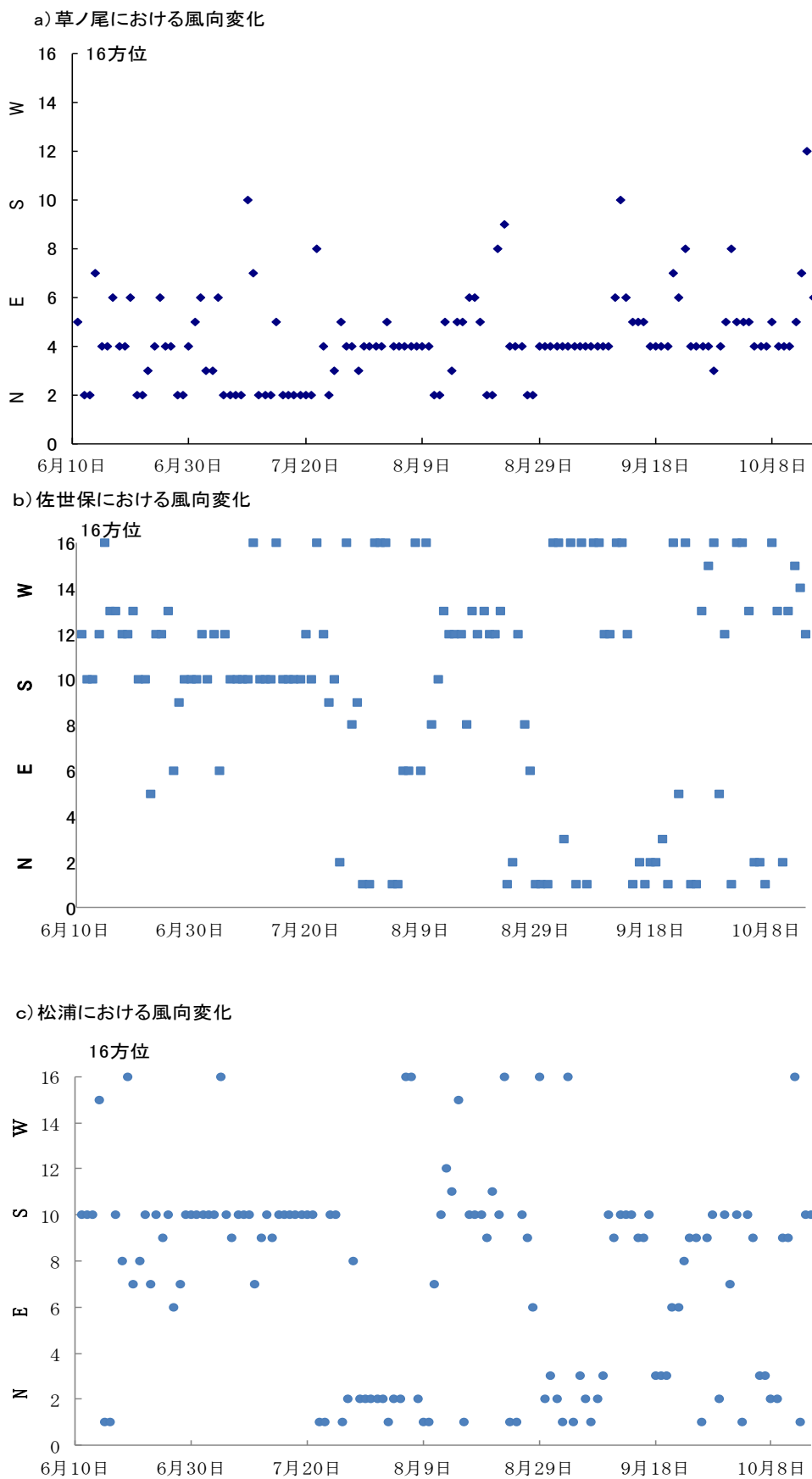


図5-9 稲作期間中における「草ノ尾」及び「松浦」・佐世保アメダスの風向変化(2009)

(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°C以上高い日が22日間、湿度が3ポイント以上低い日数は38日間、5ポイント以上低い日数が25日間であった。平均風速が2m/secを超える日数は74日間、3m/sec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°C、湿度差15ポイント内外に拡大し9月上旬以降「水稻葉枯症」被害は順次拡大した。

蒸散強制力について、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時間の蒸散強制力は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)

㊦風向(日最多風向)について

2009年6月11日~10月16日まで128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、観測期間でそれぞれ32%、23%が北から東の風であり、「草ノ尾」に比べて極端に少なかった。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)。

(3) フェーンが発生する天気図と気象変化の関係

7)「水稻葉枯症」発症前の天気図と近隣アメダスデータ(2008年)

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)図5-12を示した。

7月6日、9時、前線を伴う低気圧の中心は中国ハルピン市(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たと推察された。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日は千島列島東から延びた高気圧の縁にあたる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、気温は10時から17時まで29°C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/secであった。

7月7日は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西から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°Cを超え、湿度は60%台中盤を記録した。風速は3~7.5m/sec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たと思われる。佐世保アメダスでは気温は12時から30°C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/secを記録した。最大瞬間風速は10.1m/secで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°C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°C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、サハリンあ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).

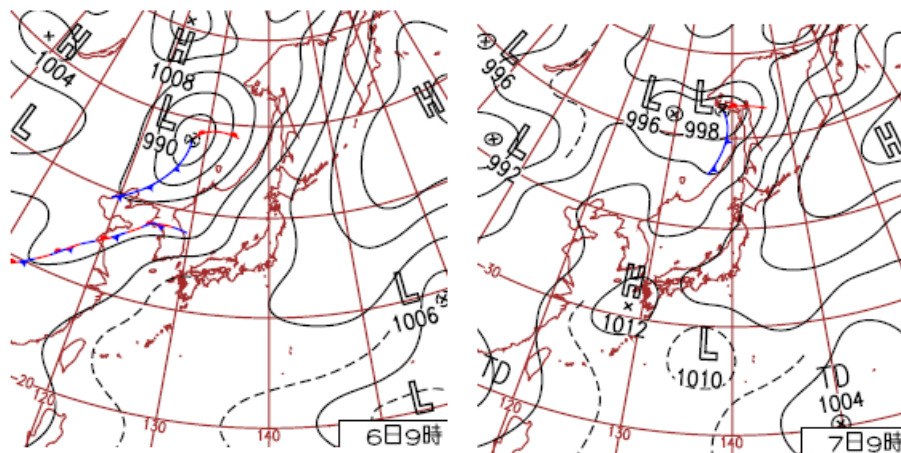


図5-10 2008年7月6日と7日の天気図

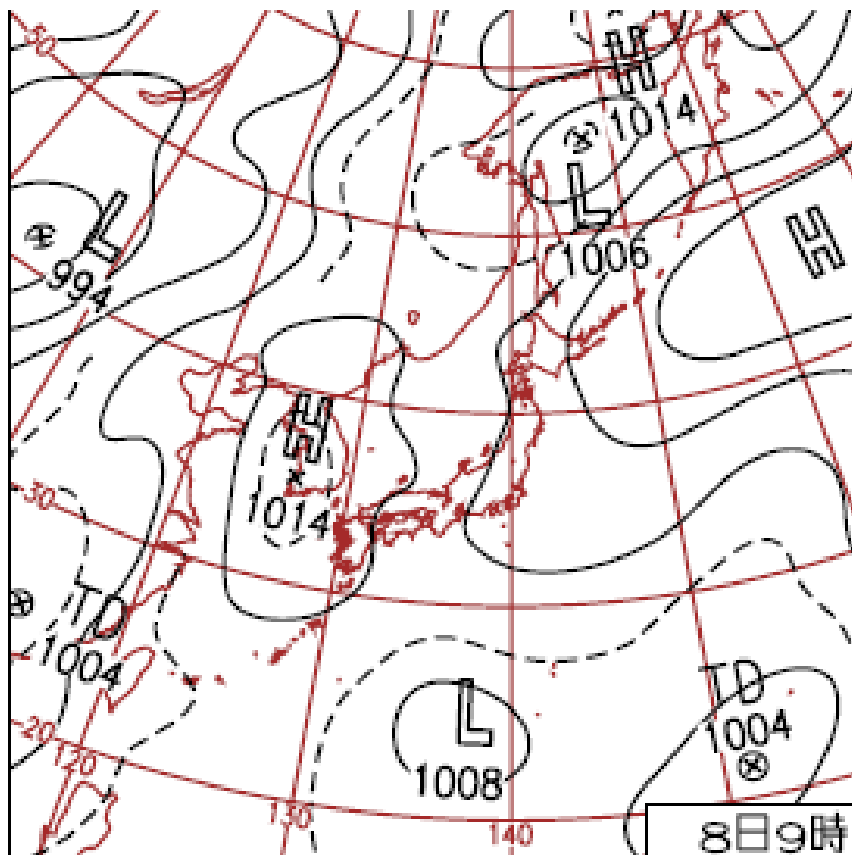


図5-11 2008年7月8日の天気図

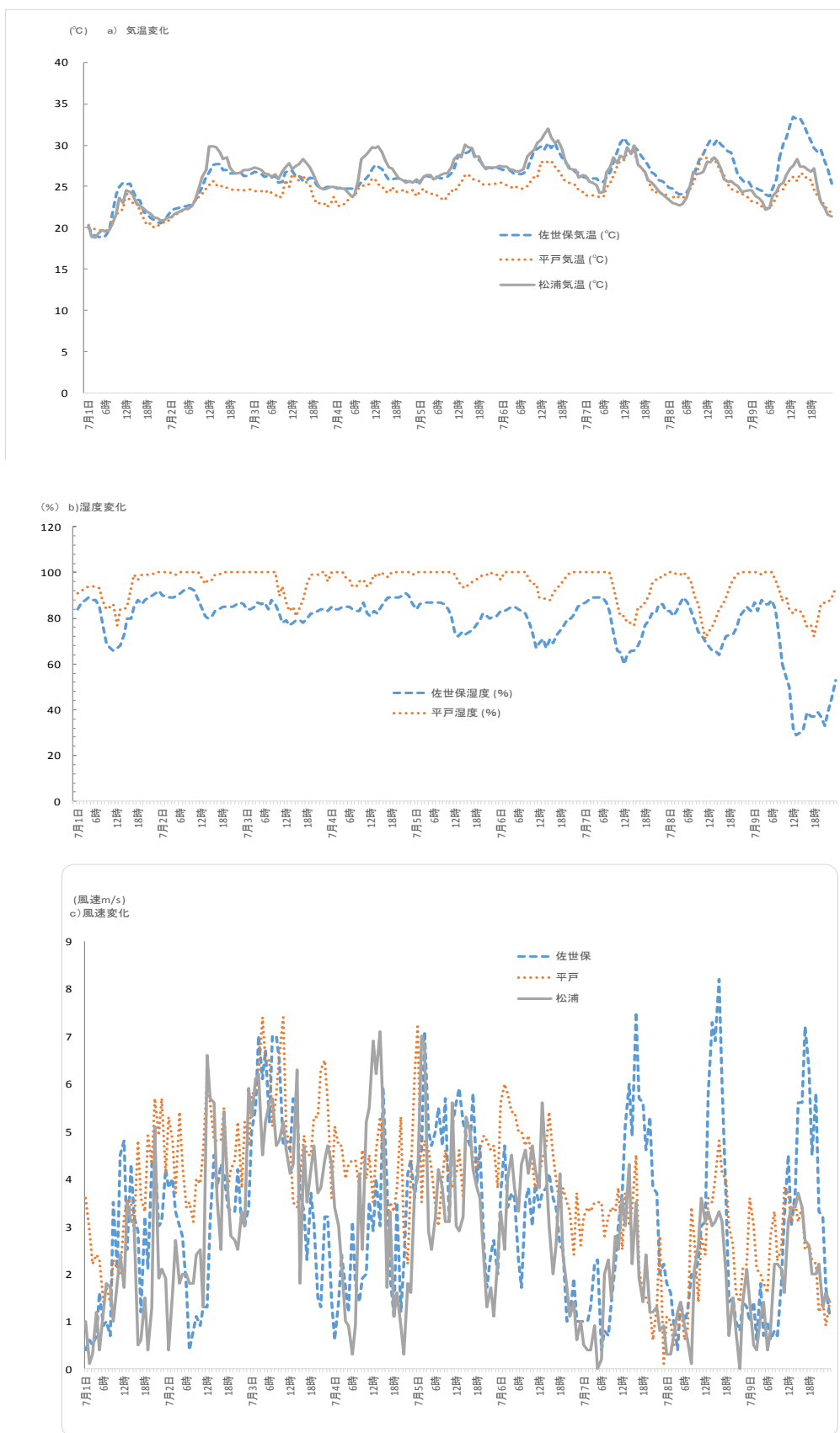


図5-12 2008年7月上旬のアメダス観測地点における最高気温・最小湿度および最大瞬間風速の日別変化

1) 「水稻葉枯症」発症前後の天気図と近隣アメダスデータ (2009年)

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9日から7月15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9時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。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たと思われる。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%後半であった。前線に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/sec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/sec、最大風速6.7m/sec、最大瞬間風速は10.3m/sec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/sec、最大風速9.2m/sec、最大瞬間風速13.4m/sec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日には佐世保および松浦で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/sec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/secが最大瞬間風速も7m/sec以下とアメダス地点よりも風は弱かった。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た結果であると推察された。

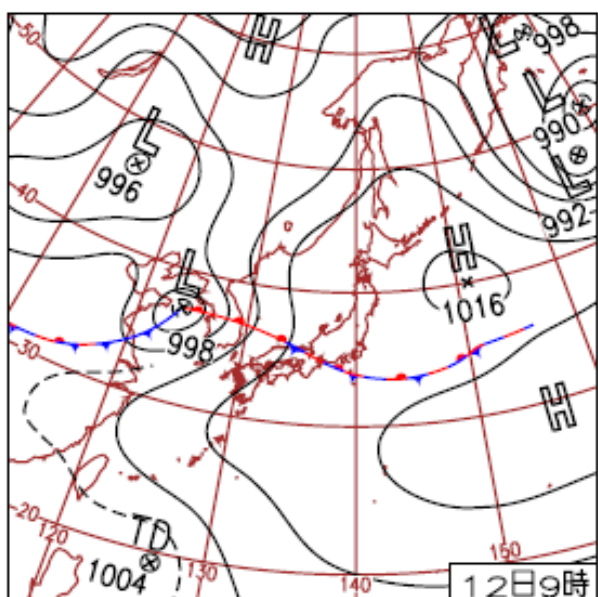


図5-13 2009年7月12日の天気図

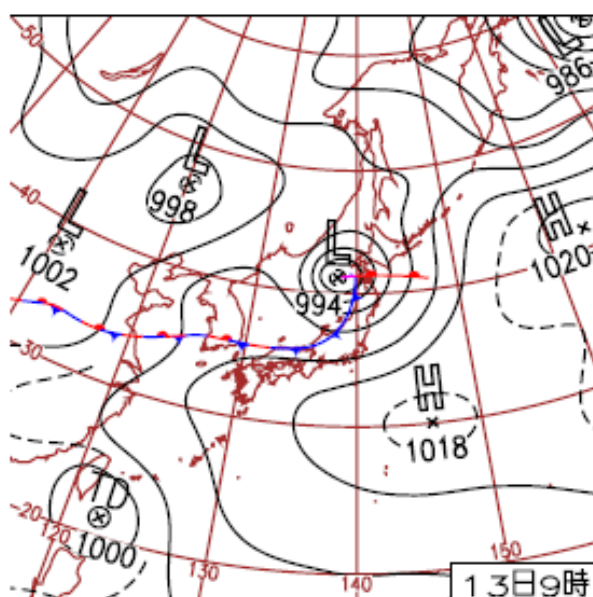


図5-14 2009年7月13日の天気図

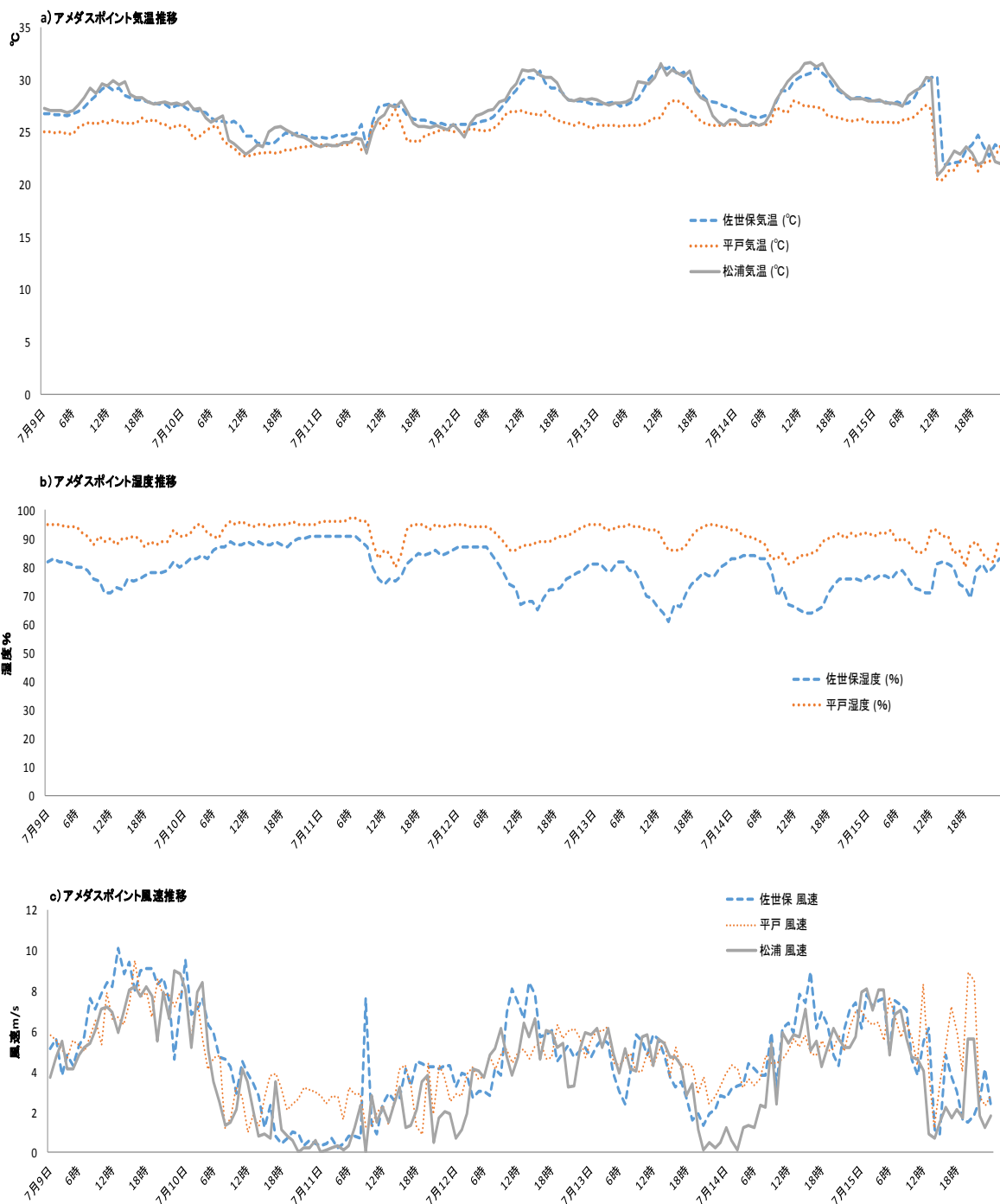


図5-15 2009年の長崎県北部地域のアメダス観測点の7月9日から15日までの推移

4) 結論

(1) 水稻葉枯症発症地点における日射量の特徴

7) 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それぞれ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それぞれ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ヵ年の日射量観測から、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月末までに15%以上、8月末まで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できないが県北部地域、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⁴¹⁾ 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頻度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が発症地点の標高200m前後にか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」に対し高標高の発症地点である「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%少なかったものと考えられた。

1) 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。この前線を雲は偏西風の影響で西から東に移動するため海上およ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の観測データを示す(表5-1)。それによると、梅雨期間が長くなると、雲高が400m以下および200m以下日数は増加する傾向にあり、観測時刻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適であったものと推察される。

表5-1 佐世保における梅雨期間の雲高

年度	梅雨期間	9時			15時	
		同左 日数	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

(2) 中山間地での高温・乾燥風の実態

7) 高温・乾燥風について

2008年に梅雨明けした7月6日の翌日である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、蒸散強制力が上昇した。次の日である7月8日には観測地点の「里美」および「草ノ尾」でも発症を確認した。

2009年の梅雨明けは8月4日と遅かった。発症を確認したのは7月14日。7月9日以降観測地点の「草ノ尾」が平坦地観測地「松浦」に比べて気温が上昇傾向を示し、この傾向は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。蒸散強制力も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時から蒸散強制力が30を超えた7月14日に発症を確認した。

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」は発症している。それに伴い中山間地の発症地点では平坦地に比べ気温の上昇と湿度の低下および強風に遭遇し飽差・蒸散強制力も拡大するなど、水稻からの蒸散が激しくなる環境が形成されたと考えられた。

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^{44) 45)}。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。

まず、東北・北陸地方の研究について記述する。

山形県清川ダシは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8月および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5m/sec)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⁵⁰⁾。

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うことにより発生する³⁵⁾など局地強風に関する報告は多い。山形およ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。フェーンと水稻被害の関連について具体的に研究された事例は以下のとおりである。

水稻被害の様相としては穂の脱水による白穂およ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⁵⁸⁾。村松³⁴⁾は北陸地域に発生したフェーン害の解析結果から、夜間の蒸散強制力が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. いず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⁵⁸⁾。また、大橋・川村は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⁴⁾としている。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。

九州での研究事例は2007年の報告が唯一である。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²⁴⁾。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。各地点の夜間の蒸散強制力(定義:下記)に着目すると、宮崎と油津では15日未明の蒸散強制力が最低の時間帯でも25を超えた。さらに両地点では蒸散強制力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²⁴⁾。夜間の蒸散強制力が20~25を越えると白穂が発生し易い³⁴⁾²⁶⁾。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²⁶⁾。蒸散強制力FTPは式で表されるとした²⁷⁾。

過去長崎県と類似の症状が見られた佐賀県唐津市上場地域や、筆者が類似症状を確認した熊本県阿蘇外輪山内の赤水周辺(標高400m)、人吉市東大塚町(標高250m内外)の普通期水稻品種「にこまる」の事例においても今回の研究と同じ要因であるかは気象観測などの調査を待たなければならない。

1) 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とおりである。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⁹⁾。水稻葉縁に存在する水孔からの水分蒸散に関する知見では、イネ葉の排水組織は大型導管節・細胞間隙および水孔から構成されており³⁰⁾、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²¹⁾。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³⁶⁾。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¹²⁾。など知見の数は少ない。

水稻のフェーン害と干害はいずれも稲体の水分ストレスが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、干害の場合は土壤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³⁶⁾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形の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。蒸散強制力 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²⁶⁾。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。

長崎県の事例の場合、2008年の観測では蒸散強制力が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1時間(18時)、7月8日では合計8時間(15時~20時、23時~24時)、7月9日では16時間連続(8時~23時)であった。

2009年の観測では蒸散強制力が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6時間(9時、11時、13~15時、17時)、7月14日から15日9時までの21時間(11時~19時、21時~翌15日の9時まで)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蒸散強制力が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蒸散強制力が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蒸散強制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。

2) 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」では北側、風下にある 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に囲まれた「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 (318m) がある。この標高は「草ノ尾」の北側、風下にある 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。

「草ノ尾」で 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、東西およ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られる (図 5-17)。

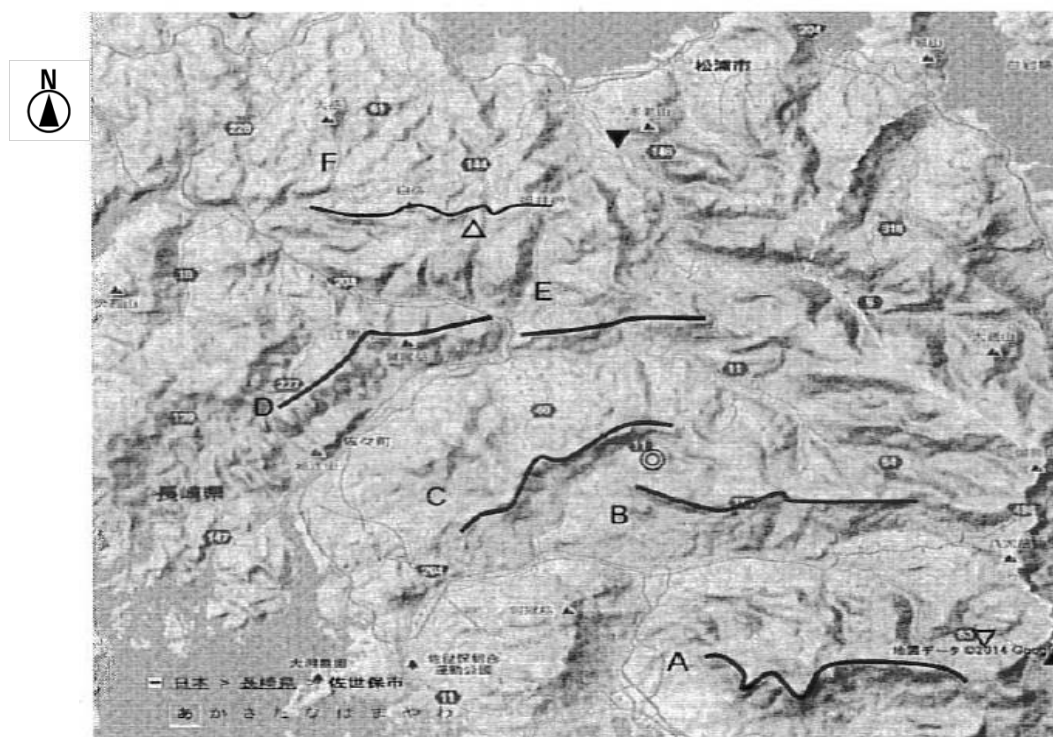


図 5-16 発症地点周辺の地形図

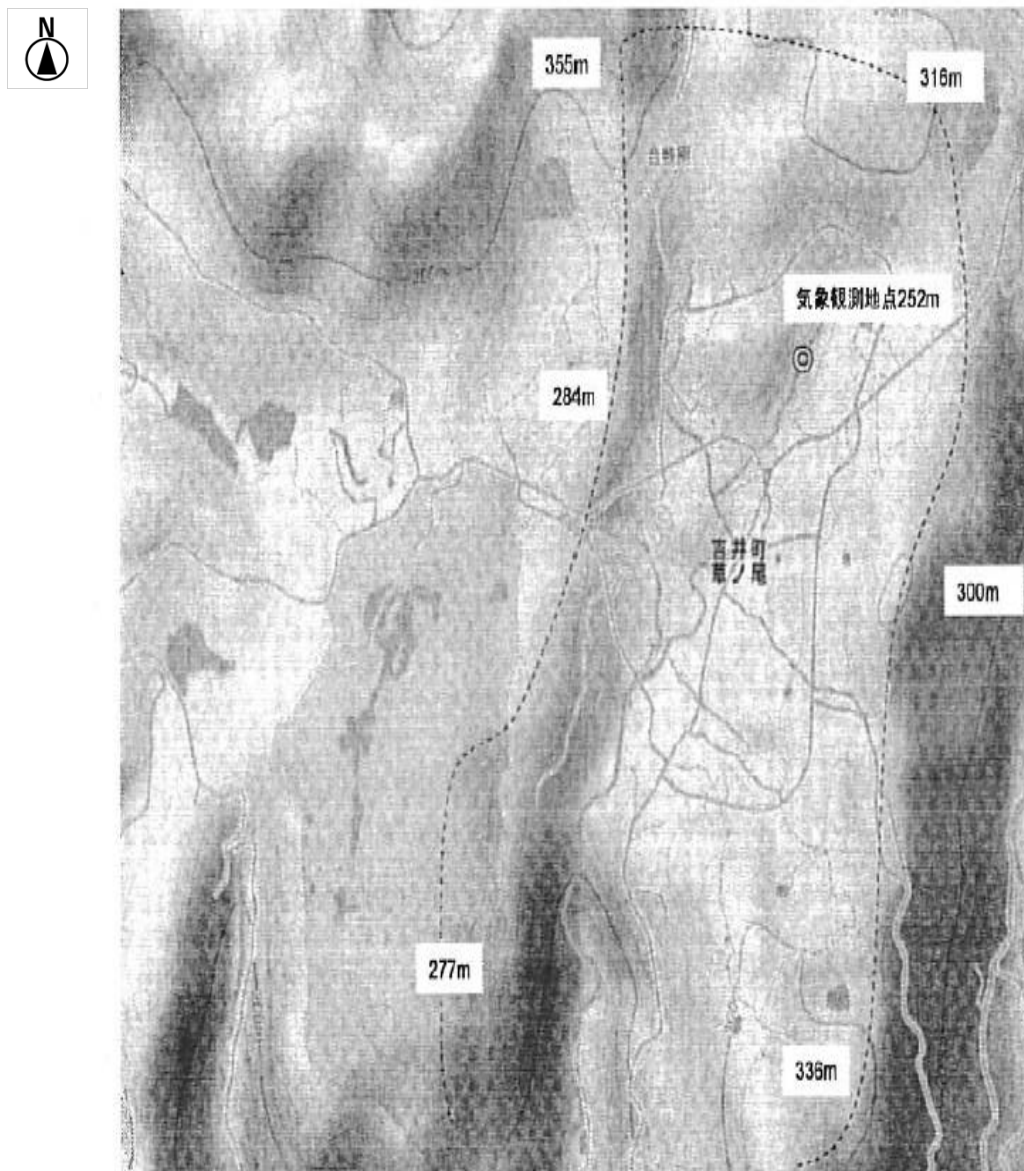


図5-17 「草ノ尾」の東西および北側を取り巻く稜線

(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°C/100m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こるとされる。

今回の事例の場合、発症確認前後に中山間地の発症地をまたぐアメダス地点である佐世保およ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われた。一般的に温暖前線通過など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。つまりフェーンは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⁵⁹⁾

局地風はその風上の地形によって山陰の強風（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⁵⁹⁾。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²⁾。

北陸地方・北関東地方で発生するフェーンの出現確率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²³⁾。

ちなみに宮崎県に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) まとめ

(1) 水稻葉枯症発症地点における日射量の特徴 7) 雲高関連

県北部中山間地には標高200m以上から450mまでにおおよそ200haの水田があり、その多くが西向き谷部に開けている。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」が霧に覆われた状況を図5-18に示す。続いて「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」地域の状況を図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がる構造である。また、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「草ノ尾」方面を望む濃霧の発生状況 ※撮影場所「潜木」

1) 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ヵ月間で「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%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られる。

(2) 中山間地での高温・乾燥風の実態

7) フェーン関連

松浦と佐世保でのフェーン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、松浦では最高気温と最低気温の気温差が大きく、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、南側の風での最高気温と最低気温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⁴⁸⁾。一方、佐世保では、2008年に北側の風の時の最高気温と最低気温の気温差が大きく5°C以上の気温差が6回発生していたことから、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、長崎県北部地域では、南～東の風が吹いているときに最高気温と最低気温の気温差が大きかったことがわかった。この原因は標高700m~800mの山地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⁴⁸⁾。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。⁵¹⁾

福岡管区气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、

いずれも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など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蒸散強制力も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²⁴⁾。

農研機構中央農業研究所ではフェーンなどの強制蒸散環境下では水稻葉が強いストレスを受けると特異的に形成される成分があることを証明した⁷⁾。気孔の開閉や水孔の役割など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。

1) 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、観測期間でおおの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(7/10～7/21)でも同じように83%が北から東の風であった。

「草ノ尾」では風向が北側の高地(Fライン)に遮られ佐世保アメダスとは逆方向になるが、最多風向は南からの風の範囲でフェーンが発生していると思われる。長崎県北部地域では、南～東の風が吹いていることにより最高気温と最低気温の気温差が大きいことがわかった。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られた。

この調査結果は日最多風向だけからの考察である。吉

野によると局地風には傾度風、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⁶⁵⁾、と言われている。

(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られる。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われた。

2007年南九州でフェーンが発生した7年7月14日から15日にかけて天気図を図5-20に示す。長崎県で「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/sec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。

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とおりである。

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多く見られる。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。

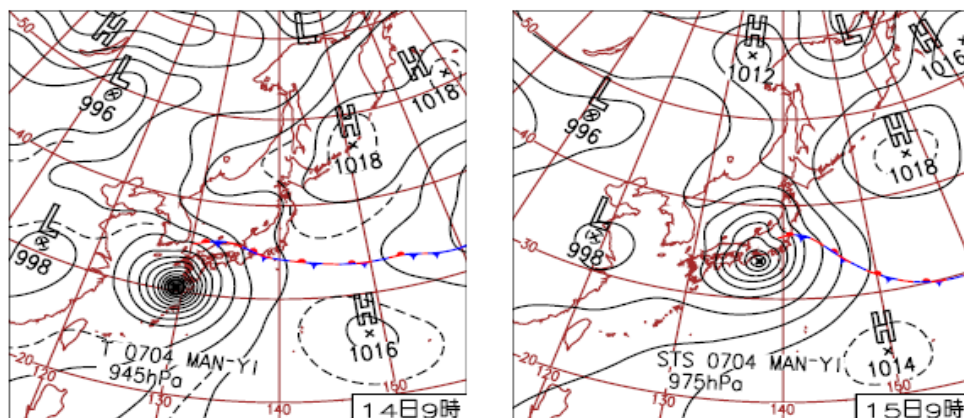
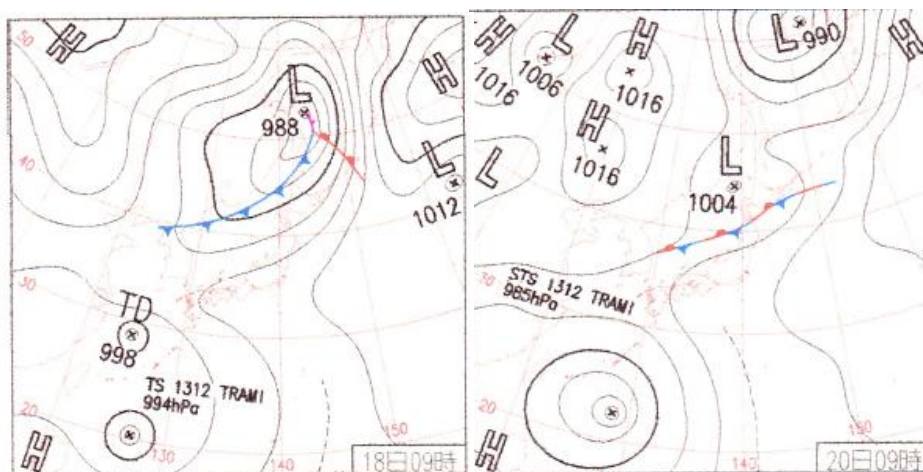


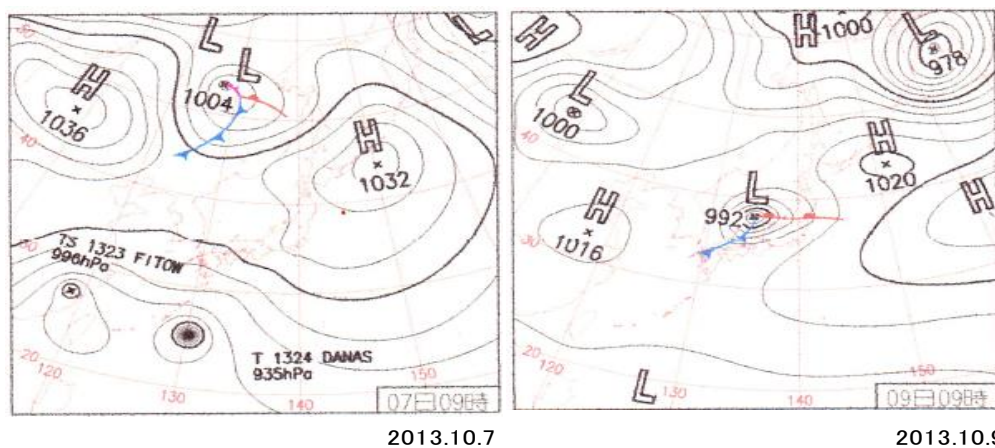
図5-20 2007年7月14~15日天気図



2013.8.18

2013.8.20

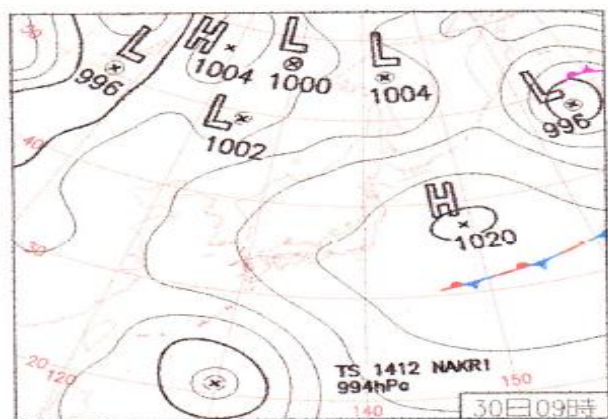
図 5-21 2013年8月18日, 20日天気図



2013.10.7

2013.10.9

図5-22 2013年10月7日, 9日天気図



2014.7.30

図5-23 2014年7月30日天気図



2014.8.30

図5-24 2014年8月30日天気図

(4) 「水稲葉枯症」と天気図

長崎県の「水稲葉枯症」の葉縁枯症状が水稲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た。乾燥風に遭遇した水稲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、防止技術を確認するためには水稲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・地下部の水稲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よるのかについてのデータが不足しているが、フェーン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³⁵⁾。水田一筆の一部分だけの地力を高め、その後水稲を移植し地力を高めた部分の発症程度が、その部分以外と比較して高くなることを確認することが必要であると考え。

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、長崎県北部地域では、南～東の風が吹いていることが最高気温と最低気温の気温差が大きいことがわかった。これらのことは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 水稲の葉枯症の再現実証試験

1) はじめに

これまで、第3～第5章において「水稲葉枯症」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。

水稲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、水稲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与えた場合、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「諫早」にある農林技術開発センター水田およ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「潜木」の水田で再現を行った。

2) 実験方法

(1) 農林技術開発センターにおける蒸散に関する試験

葉縁にある水孔からの過蒸散が縁枯れを起こす要因と想定したため、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。品種は「ヒノヒカリ」、 「にこまる」の2品種を用いた。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「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1L)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再現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26日間とした。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、その他の分けつおよ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、葉縁閉鎖処理として瞬間接着剤を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ごとに遮光処理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・

湿度を調整できる部屋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。部屋内の環境は開始時(8時10分)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/sec～3m/sec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1.0.0.1』を使用して8月2日に実施した。

(2) 現地における水稻葉枯症の再現実証試験

7) 農林技術開発センター内水田での再現試験

農林技術開発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2.3L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および生育ステージは次のとおりである。草丈は71.5cm、分けつは15.7本/株であり、水稻の生育ステージは出穂前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時間程度与えた。

4) 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、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および生育ステージは次のとおりである。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時間程度与えた。

表6-1 農林技術開発センターでの再現試験概要 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生育条件	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 蒸散強制力: 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試験概要 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生育条件	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 蒸散強制力: 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)

3) 結果および考察

(1) 農林技術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。

ア) 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。

イ) 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。乾物重および

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)。

農研機構中央農業研究センター北陸研究拠点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³⁶⁾と報告されており、今回実施した最高分げ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およ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 ²		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/sec~3m/sec
 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Tukey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、葉裏を指し葉縁は含まない。
 注2) 縁とは主に水孔からの蒸散。
 注3) n=4

(2) 現地における水稻葉枯症の再現試験

7) 農林技術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/sec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23.4hPaであり蒸散強制力は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日から蒸散強制力が上昇傾向となり、2日前の7月12日13時に蒸散強

制力が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日間の蒸散強制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。

1) 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/sec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19.4~20.3hPaとなり、蒸散強制力は47.5~49.7であった。



図6-1 高温乾燥風曝露(農林技術開発センター)

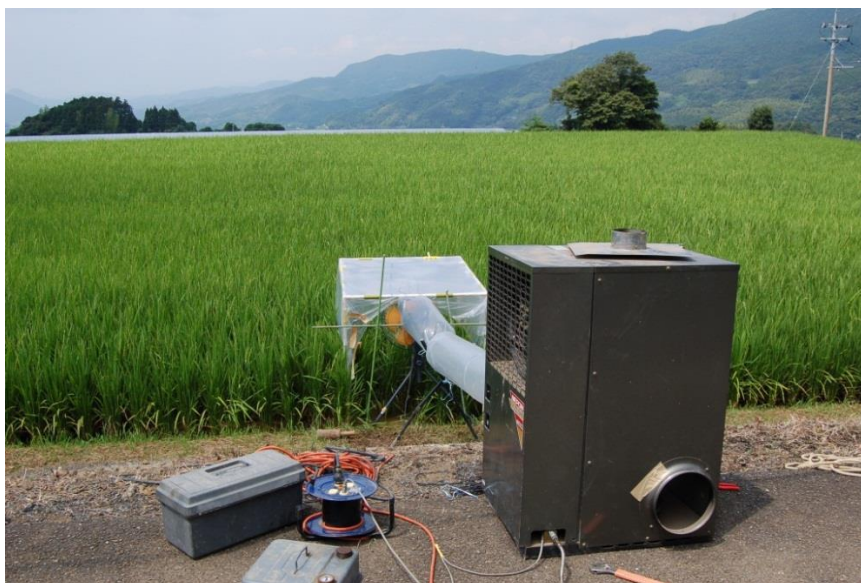


図6-2 高温乾燥風曝露（「潜木」）

4) 結論

(1) 農林技術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」では遮光に対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。

中央農業研究センター北陸研究拠点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³⁶⁾からすると、今回実施した最高分げ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。

(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与えると、平坦地およ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。

農林技術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蒸散強制力の曝露（高温・乾燥・強風）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蒸散強制力は「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か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（図6-4）。

5) まとめ

(1) 再現試験に関して

ア) 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ごとの蒸散量の増減の反応が異なることがわかった。「第4章4) 結論 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、さらに発症地で栽培されて



図6-3 葉縁に現れた葉枯症状（農林技術開発センター）



図6-4 葉縁に現れた葉枯症状と脱水による白穂発生（「潜木」）

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枚以上の葉がついていることから生育量が大きい。本研究の再現試験は遮光処理を行なった2品種でおこない、気温26~27°C、湿度65%、風速3m/sec~8m/sec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。同じく村松の実験では、温度条件が6~7°C今回の実験より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。

1) 発症再現について

再現試験に関して、「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と高い所に位置し、「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、地形的構造およ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たことから受精が阻害され、白穂になったと推察された。

(2) 第2章から第5章までの成果を踏まえた総合考察

長崎県北部地域内の一部高標高地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、中山間地の複雑な地形からおもに南側からの風がフェーンとなりやすい局地的な気象条件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、大気飽差などが大きく、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。平沢によれば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¹⁰⁾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¹³⁾。

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章の再現試験で類似症状を確認したことから、今回の「水稻葉枯症」は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なっているものと考えられる。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。

村松によれば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³⁶⁾。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³⁶⁾。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、常時開放している水孔中心の蒸散となり葉縁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。

石原らは水稻で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^{13) 14) 15)}。

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引き起こされている可能性がある¹⁶。

「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 比が大きいために発症することは第 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わ

かるように風当たりの弱い、つまり蒸散が激しい条件に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

にでき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さら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る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、解明に約 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が接近しやすくなり山超えフェーンが 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た。

第 7 章 総括

本研究は、長崎県内でもおもに佐世保市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もと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、水稻生育の各要因およ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 1) 研究の背景、では 1973 年頃から問題となった「水稻葉枯症」の特徴的症狀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害虫、一般的な土壌、栽培、植物栄養にかかる現地調査・試験からは症状改善に結びつかなかった。ただし、植物栄養関連では発症後の葉で窒素と鉄およ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および富山県の事例を通じ

て「水稻葉枯症」とフェーンに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。

2) 研究目的、では 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解明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 (H₂O₂) が 3 程度となる要因を検討した土壌鉍物の黄鉄鉍 (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鉍は確認できなかったが、未熟厩肥分析では pH (H₂O₂) 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。高さ 4m の防風ネットを設置したところ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ごと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。発症地点ごとの地理的・地形的特徴およびその地帯の水田の分布状況について考察を行った。

分布図は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ヵ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など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により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など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わかった。そのため、「里美」では2008年において「里美」と近接する「心野」に比べ6月から8月までの3か月で日射量が20%少なかった。これは「心野」の標高が90mであり、「里美」と標高差360mであることによる。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ヵ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年発症前の数日蒸散強制力が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蒸散強制力が20を超えることが継続し、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」では北寄りの風となって吹いていることを確認した。

天気図とフェーン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。

その他九州およ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年南九州フェーン被害と東北・北陸地方のフェーン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ヵ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与え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を与えた実験から、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、草丈が低く偏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られる。

第8章 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 起：水稻の夏落および秋落とその対策，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，46(7)，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（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(6)，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連関，土肥要旨集（島根大生資），48 (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. Y. Liu and S. F. Yang：Changes in 1-(malonylamino) cyclopropane- 1- carboxylic acid content in wilted wheat leaves in relation to their ethylene production rates and 1- aminocyclopropane- 1- carboxylic acid content, Planta, 157(6)，518-523 (1983)
- 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壤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俵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および技術的方策」に関する緊急報告書，p11-23 (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: 水稻の出葉およ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現象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 (2005)
- 38) 日本標準飼料成分表 農業・食品産業技術総合研究機構編 (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と活用, 農業技術体系土壌施肥, 3, 追録9号IV, 16の26-16の34, 農山漁村文化協会 (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, 5, 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, 54(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, 日本土壌肥科学雑誌, 83(3), 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, 38, 743-747 (1969)
- 44) 斉藤和雄: 山越え気流について (おろし風を中心として), 日本気象学会誌 (天気), 41, 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, 20, 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, 日本土壌肥科学雑誌, 82(5), 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, p1477 (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 濟: 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・渡邊大治: 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 (「創見創新」所報), 6, 85-90 (2011)
- 52) 瀧嶋康夫: 水田特に泥炭質湿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（中央農総研），48（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稲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，3，179-184（1956）
- 60) 鳥山和伸：フィールドから展開される土壤肥科学 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稲生育，日本土壤肥科学雑誌，72(3)，453-458（2001）
- 61) 渡邊大治：水稲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) 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，日本土壤肥科学雑誌，79(1)，61-67（2008）
- 63) 吉野正敏：尾根・谷斜面・谷底における風（2），地理学評論，29(11)，705-718（1956）
- 64) 吉野正敏：小気候，地人書館（1961）

Summary

We revealed the cause and mechanism of the paddy rice leaf edge withering in northern mountainous area of Nagasaki Prefecture. The paddy rice grown at high altitude and in rainy season has a long opportunity to encounter deep fog. Fog provide insufficient 20% less amount of solar radiation compared to flat land. As a result, it is said that rice root elongation is inhibited about 20%.

As a result, the growth of the roots are inferior to the growth of the part above-ground at high altitude.

In the period just before the rainy season end, strong wind with high temperature blow in hilly and mountainous areas. That wind crossed over a mountain has very low humidity when the typhoon is approaching mainly from the south.

It is said that basically, paddy rice close the pores (stoma) at night. Further, when transpiration becomes excessive, it may close even during the day

Typically, the rate of transpiration occurring in the leaves is 50% from the surface, 30% from the back of the leaf, 20% from the leaf edge. When the phenomenon occurs at night, transpiration is considered to occur at the water hole that does not have a guard cell. Technology to prevent completely the symptoms are not yet established. However, it is possible to reduce symptoms by taking the three measures described below. The purpose of these measures is to improve the dryweight balance between the above-ground part and the underground part of paddy rice.

The first, delaying the transplantation timing to the extent that it does not interfere with the improvement of panicles. The second, adopting a variety of early-ripening with a shorter period from transplantation to heading. The third, restricting the application of manure, to promote the extension of the root. Reducing over a period of several years reduce the nitrogen content in the soil.

This study led to the following conclusions

1. Pyrite, immature manure, drainage was examined in relation to soil as a cause of "Suitou Hagareshou".
2. It was found that the difference in wind hit had a big influence on the degree of symptom.
3. Paddy fields at affected sites generally showed that the amount of available nitrogen appeared was large and the variance was large it varied widely.
4. Paddy rice growing in paddy fields at the symptom is poor in insolation volume and available nitrogen volume, so that the growth of the underground part is poor against the growth of the above-ground part.
5. Foehn is likely to occur at the onset point of time. Especially when the typhoon approaches from the south in the rainy season,

high-temperature · low-humidity strong wind blows. It leads to the onset of the leaf edge withering.