

形 態

イネもみ枯細菌病発生水田における水稻の収量ならびに根系について

片野 學・川浪 正治

(九州東海大学)

要旨: 作物における病害虫発生は作物体の不健全さの結果であり、その不健全さは発生以前の作物体各器官の形態に残されていると考えられる。イネもみ枯細菌病が一筆全面にわたって発生した水田と発生しなかった2水田における水稻の収量、収量構成要素、穂相、節間長、根系形態、冠根数、分枝根形成等を観察した。イネもみ枯細菌病発生水田の収量は 550 g/m^2 であり、対照田の収量: 649 g/m^2 の85%であった。減収要因は m^2 当たり穂数、1穂粒数ではなく、登熟歩合の顕著な低下であった。1株を構成する各茎における発病程度は様々であったが、同一種籾から発生した1個体茎内においても、罹病茎と罹病しなかった健全茎とが混在していた。このことは、本病が種籾に由来するという従来の知見とは異なっていた。また、発生水田における玄米中の全窒素含有率は有意に高くなっていた。さらに、代表株の根群を構成する伸長した冠根数には差が見られなかったが、発生水田のいじけ根数は対照田に比べ顕著に多くなっていた。出根要素別に見たいじけ根率は移植3週間後には差が生じており、イネの不健全さは生育初期に認められた。発生水田では対照田に比べ、2次根の出現密度が高くなっていた。以上のように、イネもみ枯細菌病発生は、出穂期以降、籾部分における病徴の発現として認められるが、いじけ根の多発、作土中を伸長した冠根における高密度の2次根の出根、加えて、わら重の増大など、罹病状態は、移植直後から醸成されていたのではないかと考えられる。

キーワード: いじけ根, イネもみ枯細菌病, 冠根数, 根系, 収量, 収量構成要素, 伸長根, 分枝根。

作物を無農薬で栽培した場合、病害虫被害による収量減少率は作物の種類によって異なり、イネで35%、コムギで20%、サツマイモで23%、ミカンで34%、リンゴで90%、ダイコンで35%、露地栽培キュウリで85%、施設栽培キュウリで94%などとなることが報告されている(片野1990)。稲作の場合、病害虫被害の様相は年次や地域によって異なるのみならず、同一地域の隣接田でも被害の様相が顕著に異なること、さらに、ウンカによる坪枯れ現象など同一水田内でも場所によって異なることが知られている(片野1990)。病害虫とは何かをめぐって、有機農業の先駆者であるハワード(1985)は「不健康な生きものに繁殖する生物」、作物の不健康さは「土地の健康状態の悪化」(1987)によるものとした。また、ヨーロッパ現代有機農業の中核的研究者であるシルギューイ(1997)も病害虫対策の基本は「作物の健康を守ることが、何よりの予防策である」と述べている。ハワード(1987)はまた、土壌、植物、動物、人間に共通する病気の核心は自然界における窒素循環と密接に結びついている「タンパク質合成の異常」とした医学研究者、J.E.R. マクドナフ氏の見解の重要性を指摘した。タンパク質合成が適正に行われると抗病力が増し、作物を保護し、その後、この抗病力は動物や人間に伝えられ、健康維持につながるとした。硫酸アンモニアのような化学肥料によって窒素循環に代替的要素が導入されると問題、すなわち、病気が多発するとし、健康と土壌肥沃度との関係に関する長年にわたる彼自身の経験や観察がこの原理に一致すると述べている。病害虫発生の本質を窒素

循環に求めたこの見解は、第2次大戦後、日本稲作における窒素質肥料の増投と農薬多施用との関係を明らかにした川田の論説(1976)とも一致している。

作物における病害虫被害発生を作物の健康状態から捉えた場合、作物の生育状態を示す経過は作物体を構成する各器官の形態形成過程にも残されていると考えられる。この場合、吸収面積の巨大さから動物の消化器系、とくに小腸に匹敵すると考えられる器官は植物では根系である。しかしながら、根系に着目し、病害虫被害発生との関連性を明らかにした研究はほとんど見当たらない(根の事典編集委員会1998)。水稻体は葉身、葉鞘、茎、分けつ芽、不定根からなる要素の集合体と考えられるので(川田ら1963)、病害虫被害の様相が異なった水田において、収穫期に水稻を採集し、1株を構成する個体の各茎を要素別に分離し(川田・片野1976)、各要素における不定根形成(川田・片野1977)および節間長(瀬古1962)を詳細に観察することにより移植以降の生育経過の一端を明らかにすることが出来る。また、穂相(松島・真中1966)ならびに収量と収量構成要素(松島・角田1966)を診断することによって穂首分化期以降、収穫期に至る生育経過を遡及することも可能である。これらの観察を総合するならば「土地の健康状態の悪化」に起因する「タンパク質合成の異常」によって現れた水稻各器官形成の経過と結果から、どの器官に「悪化」や「異常」が現れ始めていたかを解明できると考えられる。そこで、著者は病害虫被害発生と作物体の形態形成に着目した研究を開始することにした。1984年度、九州有数の畜

産地帯として著名な熊本県菊池郡旭志村在の一水田でイネもみ枯細菌病が全面に発生した水田を収穫期に見出した。本病は1955年に福岡県で発見、1956年に病原菌同定、機械移植の箱育苗が普及した1970年代に全国的に発生が増加した典型的な多窒素施用条件と関連する病気である（十河1981、後藤1990、内藤1999）。本報告は、本病発生の有無が水稻の収量、各器官の形態形成過程とどのような関係になっているかを観察したものである。

材料と方法

観察に供した水田は、熊本県菊池郡旭志村大字伊萩在で、イネもみ枯細菌が水田全面にわたって発生していた水田（以下、発生水田と呼ぶ）および発生水田近在に位置し、病気の発生がまったく見られなかった水田（以下、対照田と呼ぶ）の2水田である。いずれの水田とも、栽培品種はミナミニシキであり、対照田および発生水田における栽培条件は第1表の通りである。発生水田の所有者は肥育肉用牛300頭を飼養しており、大量の堆肥を有し、水田冬作

第1表 対照田および発生水田における栽培条件。

	対照田	発生水田
前作	なし	コムギ
前作施用有機物	なし	牛糞堆肥 (3 t/10a)
栽培品種	ミナミニシキ	ミナミニシキ
播種日	5月21日	5月21日
育苗日数	27日	28日
移植日	6月17日	6月17日
移植方法	機械	機械
除草剤	Kサカーン	クサカリン
施肥*	(N+P205+K20)	(N+P205+K20)
元肥	6/10化成 (4.2+4.8+4.2)	6/10ケイ酸、ヨリソ、麦稈 6/14化成 (4.0+6.4+6.4)
追肥	8/7化成 (2.8+1.0+2.8) 8/13化成 (3.8+1.4+3.8) 8/23化成 (3.8+1.4+3.8) 8/31化成 (0.9+0.3+0.9) 9/17尿素 (2.8+0+0)	8/6化成 (1.1+0.4+1.1) 8/17化成 (3.1+1.1+3.1) 8/28化成 (2.8+1.0+2.8) 9/16尿素 (3.9+0+0) 9/26尿素 (2.9+0+0)
元肥+追肥	(18.2+8.8+15.4)	(17.8+8.9+13.4)
水管理	6/17~7/17 (湛水) 7/17~7/28 (間断灌水) 7/30~8/3 (中干し) 8/4~8/29 (間断灌水) 8/30~9/12 (湛水) 9/15~10/9 (間断灌水) 10/10 (落水)	6/17~常時湛水 7/13~7/21 (中干し) 10/7 (落水)
出穂日	9月6日	9月6日
収穫日	10月23日	10月23日
水田土性	埴壤土	埴壤土
耕作深度**	10cm	12cm
土壌硬度** (山中式土壌硬度計による)		
深さ5cm	12.5	16.6
10cm	18.8	20.4
15cm	18.9	21.4
20cm	21.8	24.6
25cm	23.4	25.6

*施肥量成分量は kg/10 a である。

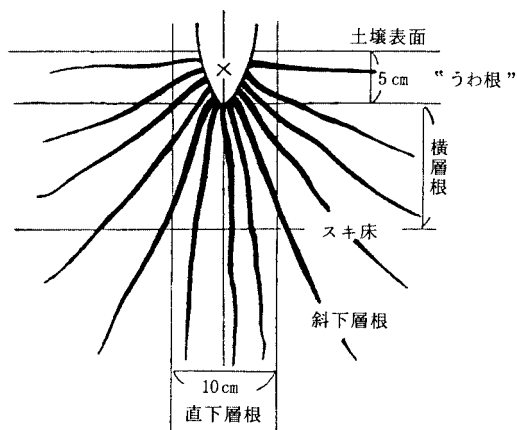
**根群形態観察時 (10月22日) の測定値である。

としてコムギを栽培し、コムギ栽培の基肥として10 a 当たり牛糞堆肥3 tを施用してきた。一方、対照田は水田単作であり、2水田における水稻の播種日、移植日、出穂期、収穫期もまったく同一であった。水田作土と下層土の土性はともに埴壤土で、施肥された窒素成分量は、10 a 当

たり対照田で18.2 kg、発生水田では17.8 kg とほぼ同様であった。耕作深度は発生水田では12 cmで10 cmであった対照田より若干、深耕されていた。収穫期の土壌硬度を測定した結果、発生水田では対照田に比べ若干、高い傾向であった。

収穫期に達した1984年10月22日、収量と収量構成要素などを明らかにするために、水田中央部で平均的作柄を示す部分1ヶ所より連続した3条×10株=30株を収穫し、30株の占有面積を測定後、株を屋内で自然乾燥した。その後、30株の地上部全重を秤量し、30株の穂数を測定した。脱穀後、モミ重、もみすり後、玄米重、粒径1.7 mmにセットした縦目選別器 (万石) を通し、精玄米重を秤量した。得られた精玄米の水分を測定後、精玄米10.00 gの粒数を3反復で測定した (片野1990)。また、得られた精玄米中の全窒素含有率をケルダール法で分析した。

また、発生水田および対照田で生育した水稻の穂相、節間長および冠根数、2次根出現密度を観察するために、収量調査株を採集した部分に隣接する10株の穂数を測定し、平均穂数に近似した代表1株を選び、改良モノリス法 (幅: 40 cm, 厚さ: 6 cm, 深さ: 35 cm) で土壌モノリスを採集した。現地地、スキ床層の位置と土性を触診し、山中式土壌硬度計で土壌硬度を測定した。その後、土壌を丁寧に洗浄し、根群のみを裸出させ、写真撮影した。第1図に示



第1図 土壌中における冠根の伸長方向を示す模式図。

×印は根群の中心を示す。

すように冠根が伸長した土層を7区分し、稈基部で多数の冠根が出根した部分の中心を“根群の中心”とし、“根群の中心”から半径10 cm部位で伸長方向が特定できた冠根数を測定後、名札をつけて結束した (川田ら1982)。各茎の穂首直下で穂を切除し、各茎の番号に対応した封筒に入れ、穂以外の稲体をFAAで固定保存した。その後、各茎の穂相を松島・真中 (1966) の方法で観察し、精糲と秕の区分は籾押しつぶしと脱穎後の玄米観察で行った。伸長方向が特定できた冠根を色調の異なる刺繍糸で結束後、代表株を各個体、主茎および分けつ茎に解体した。さらに、各

第2表 30株と代表1株によって得られた収量と収量構成要素など.

水田名	収量 (g/m ²)	株数 (株/m ²)	1株穂数 (本)	穂数 (本/m ²)	1穂籾数* (/m ²)	籾数* (/m ²)	登熟歩合* (%)	精玄米千粒重 (g)	1穂収量** (g)	わら重 (g/m ²)	もみ わら比
対照田	649	17.8	22.5	401	76.5	30677	88.9	20.9	1.62	763	1.07
発生水田	550	19.9	19.8	395	77.3	30534	51.1	22.3	1.39	1147	0.62
発生/対照	85%	112%	88%	99%	101%	100%	57%	107%	86%	150%	58%

*は代表1株, 他の項目は30株によって得た結果である.

** 1穂収量は収量を穂数で除した1穂当たり精玄米収量を示す.

注) 収量、精玄米千粒重と1穂収量は気温20℃, 水分14.0%換算値である.

茎を要素別に分離し, 節間長と各“要素”別冠根数を川田・片野(1976)の方法に準じて観察した. この場合, 冠根は正常に伸長した冠根(以下, 伸長根と呼ぶ)と出根後, 5cm以内で伸長を停止し形態的には養水分吸収には関与していないと考えられる“いじけ”根(以下, いじけ根と呼ぶ)に分類して観察を進めた. これら2種類の冠根数(以下, 冠根総数と呼ぶ)を合計するに当たっては, 伸長根を出根した要素だけを対象にした. また, 伸長方向が特定できた冠根を茎から分離し, 1%サフラニン水溶液で染色, 水洗後, 冠根長を測定し, 実体顕微鏡下で冠根から出根した2次根の出現数を観察した. この場合, 2次根は, 3次根を出根したものを“太い”2次根(以下, 太い2次根と呼ぶ), 3次根の出根が見られなかったものを“細い”2次根(以下, 細い2次根と呼ぶ)に区分した(川田・片野1977).

結 果

1. 収量と収量構成要素および玄米中の全窒素含有率

(1) 収量と収量構成要素等

30株収穫法と代表1株で得た結果を第2表に示した. まず, 収量(水分14%換算精玄米重)をみると, 発生水田では550 g/m²で, 649 g/m²であった対照田の85%であった. 収量に差異をもたらした要因を明らかにするために収量構成要素に着目すると, 発生水田では対照田に比べ株数は112%と若干密植であったが, 1株穂数は88%となり, その結果, m²当たり穂数は99%とほぼ同様であった. 対照田に対する発生水田の1穂籾数は99%, m²当たり籾数も101%とほとんど同様であった. しかしながら, 登熟歩合に顕著な水田間差が認められ, 対照田の88.9%に対して, 発生水田では51.1%であり, 対照田の57%に過ぎなかった. また, 精玄米千粒重は発生水田では22.3 gと20.9 gであった対照田の107%となり, 低い登熟歩合に対する補償作用が見られた. 発生水田の1穂収量は対照田の86%で, 収量の比率(85%)とほぼ等しかった. 地上部生育量を示す m² 当たりワラ重をみると, 発生水田の場合には1147 gで, 対照田の150%にも達しており, 顕著な草出来, 換言すれば著しい過繁茂状態であったことがわかった. その結果, 収穫指数の指標であるもみわら比は対照田では1.07と1を超えていたが, 発生水田では0.62であっ

第3表 代表1株の1穂当たり第1次枝梗数および第2次枝梗数.

水田名	1株穂数 (本)	第1次枝梗数			第2次枝梗数		
		現存	退化	分化	現存	退化	分化
対照田	26	9.1	0.1	9.2	10.6	4.8	15.4
発生水田	17	9.1	0.2	9.3	11.4	2.1	13.5
発生/対照	65%	100%	200%	101%	108%	44%	88%

た.

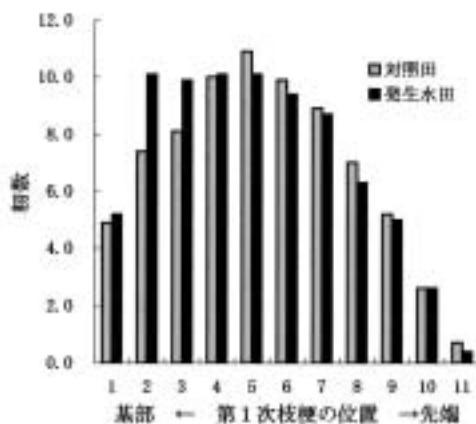
(2) 玄米中の全窒素含有率

精玄米1g中の全窒素含有率を分析した結果, 対照田では1.43%であったが, 発生水田では1.61%であり, 対照田に比べ5%レベルで有意に高かった.

2. 地上部の生育

(1) 穂相

第3表に1穂当たりの現存, 退化, 分化した第1次枝梗数および第2次枝梗数の平均値を示した. いずれの項目ともに平均値間に5%レベル以上の有意差は見られなかった. 第1次枝梗数は2水田ともにほとんど同様であった. また, 第2次枝梗数は発生水田では対照田に比べ, 現存が108%と多く, 退化は44%と少なく, 分化も88%と若干少なかった. つぎに, 第2図には1穂の第1次枝梗位置別着粒数を示したが, この場合も, 平均値間に5%レベル水準



第2図 第1次枝梗の位置別着粒数.

第4表 代表1株の穂長および節間長.

水田名	穂長 (mm)	節間長(mm)						合計
		N0	N1	N2	N3	N4	N5	
対照田	182	334	208	116	70.6	32.2	6.5	767
発生水田	179	342	173	97	69.4	31.6	7.7	721
発生/対照	98%	102%	83%	84%	98%	98%	118%	94%

注) 節間名はN0は穂首節間で通称, 第1節間, N1は止葉要素の節間で通称, 第2節間を示し, 以下, 基部に向かってN2, N3とした.

での有意差はなかった. しかし, 発生水田では基部(穂首)から第4番目までは対照田より多かったが, 第5番目から先端(穂先)11番目では若干少なかった.

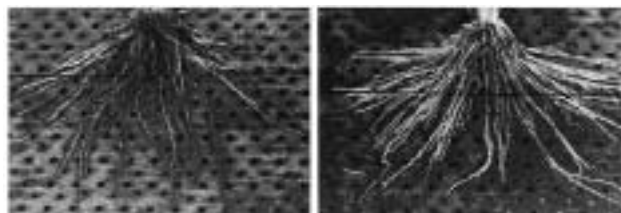
(2) 穂長および節間長

第4表に示したように, 発生水田の穂長は対照田の98%でほぼ同様であったが, N0節間からN5節間までの合計節間長は94%と短くなっており, これは, N1からN4までの節間長が若干短くなっていたためであった. この場合も, 各節間長の平均値間に5%レベル水準での有意差は見られなかった.

以上のように, 両水田で生育した水稻地上部の生育をみると, 穂長決定期, 換言すれば, 出穂期に至る期間まで顕著な差は認められなかった.

3. 地下部の生育

(1) 根群形態



第3図 対照田(左)および発生水田(右)で生育した水稻の根群.

図中の黒線はスキ床を示す.

発生水田における根群の大きさを対照田の場合に比較すると, 若干大型であった. また, 両水田とも冠根は各方向に伸長していた(第3図)が, 根色に着目すると, 発生水田の冠根には, 対照田に比べ, くすんだ白色根が目立った.

(2) 伸長方向特定冠根数

第5表に示したように, 代表株の穂数は発生水田では17本で対照田(26本)の65%であったが, 伸長方向が特定できた冠根数を見ると, 発生水田では103本で, 対照田(76本)の136%と逆に顕著に多かった. そこで, 1穂当たりの冠根数を算出した結果, 対照田に比べ発生水田では“うわ”根で121%, 横層根で350%, 斜下層根で173%, 直下層根で230%, 合計で207%と, すべての伸長方向で多かったが, とくに, 横層根と直下層根で著しく多くなってい

第5表 改良モノリス法で観察し, 根群の中心より半径10cm部位で伸長方向が特定できた冠根数と割合.

水田名	穂数 (本)	伸長方向特定冠根数（本）				合計
		作土層伸長根		下層土伸長根		
		”うわ”根横根層	斜下層根直下層根			
(１) 伸長方向特定冠根数						
A. 1株の場合						
対照田	26	24	18	22	12	76
発生水田	17	19	41	25	18	103
発生/対照	65%	79%	228%	114%	150%	136%
B. 1穂当たりの場合						
対照田		0.92	0.69	0.85	0.46	2.92
発生水田		1.12	2.41	1.47	1.06	6.06
発生/対照		121%	350%	173%	230%	207%
(２) 伸長方向特定冠根数の割合						
A. 1株の場合						
対照田	26	32%	24%	29%	16%	100%
発生水田	17	18%	40%	24%	17%	100%
発生/対照		58%	168%	84%	111%	100%

た. つぎに, “うわ”根, 横層根, 斜下層根および直下層根など伸長方向特定冠根数の割合を見ると, 対照田では, それぞれ, 32%, 24%, 29%および16%, 一方, 発生水田では, それぞれ, 18%, 40%, 24%および17%であった. 2水田ともにスキ床下層部に達した冠根(斜下層根および直下層根)の占める割合は, 対照田で34本(45%), 一方, 発生水田でも43本(42%)でありほぼ同様であった. 2水田における差異は“うわ”根と横層根の占有割合であり, 対照田に対して発生水田では“うわ”根の割合は58%と低かったが, 横層根の割合は168%と多かった. 以上のように, 伸長方向に着目すると, 対照田では発生水田に比べ“うわ”根の占める割合が高かった.

(3) 根群を構成する冠根数

1) 1株の冠根数

1株全体の場合と出根部位が異なる各要素の上位根, 下位根とP要素根別に見た伸長根, いじけ根, 冠根総数およびいじけ根率は第6表に示したとおりである. まず, 1株全体の場合, 発生水田の伸長根数は633本で, 対照田(969本)の65%で, 穂数の比(65%)と一致していた. しかし, 発生水田のいじけ根数は988本で, 対照田(451本)の219%にも達し, その結果, 伸長根といじけ根を合計し

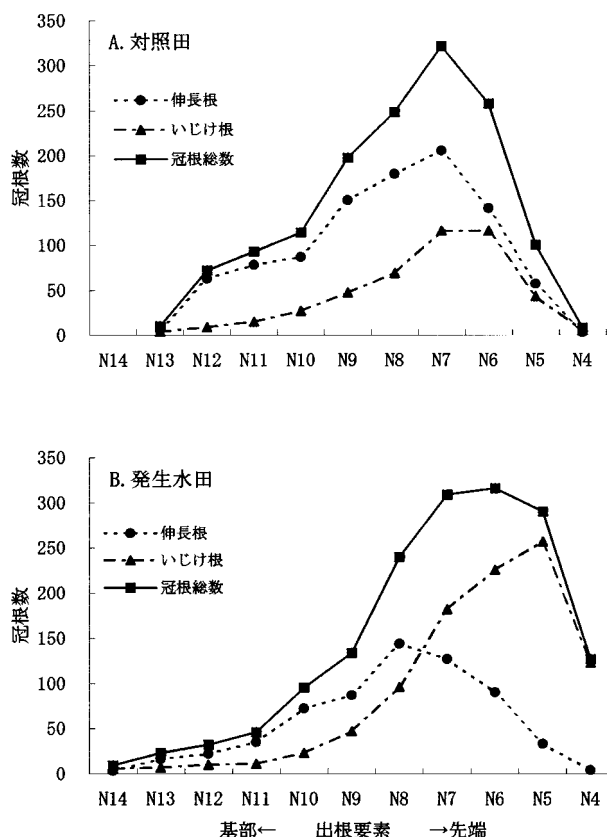
第6表 代表株における冠根数.

水田名	穂数	伸長根	いじけ根	冠根総数	いじけ根率
(1) 上位根, 下位根およびP要素根を合計した場合					
A. 1株の場合					
対照田	26	969	451	1420	32%
発生水田	17	633	988	1621	61%
発生/対照	65%	65%	219%	114%	192%
B. 1穂当たりの場合					
対照田		37.3	17.3	54.6	
発生水田		37.2	58.1	95.4	
発生/対照		100%	335%	175%	
(2) 上位根の場合					
A. 1株の場合					
対照田	26	381	220	601	37%
発生水田	17	274	416	690	60%
発生/対照	65%	72%	189%	115%	165%
B. 1穂当たりの場合					
対照田		14.7	8.5	23.1	
発生水田		16.1	24.5	40.6	
発生/対照		110%	289%	176%	
(3) 下位根の場合					
A. 1株の場合					
対照田	26	490	224	714	31%
発生水田	17	298	554	852	65%
発生/対照	65%	61%	247%	119%	207%
B. 1穂当たりの場合					
対照田		18.8	8.6	27.5	
発生水田		17.5	32.6	50.1	
発生/対照		93%	378%	183%	
(4) P要素根の場合					
A. 1株の場合					
対照田	26	98	7	105	7%
発生水田	17	61	18	79	23%
発生/対照	65%	62%	257%	75%	342%
B. 1穂当たりの場合					
対照田		3.8	0.3	4.0	
発生水田		3.6	1.1	4.6	
発生/対照		95%	393%	115%	

た冠根総数は発生水田 (1621 本) の方が対照田 (1420 本) より 14% 多かった。冠根総数に占めるいじけ根の割合, すなわち, いじけ根率を算出した結果, 対照田では 32% であったが, 発生水田では 61% で対照田の 192% であった。また, 1 穂当たりの場合を算出した結果, 伸長根数は 2 水田ともに 37 本で全く等しかったが, いじけ根数は発生水田では 58 本で対照田 (17 本) の 335% であった。両者を合計した冠根総数は対照田では 55 本, 発生水田では 95 本で対照田より 75% も多かった。

つぎに, 上位根, 下位根および P 要素根別に見ると, 上位根と下位根の場合は, 1 株全体の結果とほぼ同様であった。P 要素根のいじけ根率は対照田では 7%, 発生水田では 23% と, 上位根と下位根に比べると顕著に低かったが, 上位根と下位根の場合と同様に発生水田では対照田に比べ高かった。

以上のように, 2 水田間に顕著な相違が認められたのはいじけ根数であり, 発生水田では 61% もの冠根が出根直後



第4図 対照田と発生水田代表株における出根時期 (要素) 別の伸長根数, いじけ根数および冠根総数.

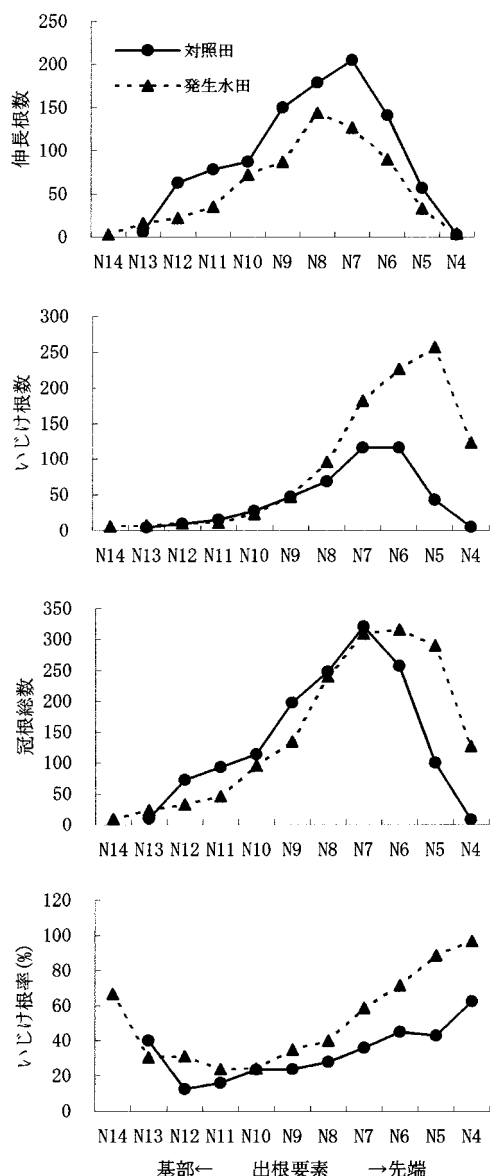
注) 出根要素名は, 止葉を含む要素を N1 とし, 基部方向に向かって, 順次, N2, N3, N4 とした。

に伸長を停止してしまい, いじけ根になっていることがわかった。

2) 出根要素に着目した場合

2 水田における伸長根, いじけ根および冠根総数の出根要素別出現数を第4図に示した。伸長根を出根していた最上位の出根要素は, 止葉を含む要素を N1 とし, 基部に向かって順次, N2, N3 とした場合, 2 水田ともに N4 であった。対照田では伸長根数, いじけ根数および冠根総数が最大に達した要素はいずれも N7 であり, また, N13 要素から N5 要素まで, すべての要素で伸長根数がいじけ根数より多かった。一方, 発生水田では N8 要素で伸長根数が最大になり, N7 要素から N4 要素まで漸減した。しかし, いじけ根数は N8 要素までは伸長根数より少なかったが, 伸長根の場合とは異なり N7 要素から N5 要素までその数は増大し続け, 伸長根数をはるかに上回っていた。

出根要素別にみた 2 水田代表株における伸長根数, いじけ根数, 冠根総数およびいじけ根率は第5図に示したとおりである。対照田の伸長根数はすべての要素で発生水田より多かった。いじけ根数の場合, 対照田では N9 要素まで発生水田より多かったが, N8 要素以降になるとはるかに少なかった。その結果, 冠根総数は N7 要素まで対照田で



第5図 対照田と発生水田代表株における出根時期(要素)別の伸長根数、いじけ根数、冠根総数およびいじけ根率。

注) 出根要素名は、止葉を含む要素をN1とし、基部方向に向かって、順次、N2, N3, N4とした。

多く、N6からN4要素では発生水田で多かった。いじけ根率は冠根総数急増初期にあたるN10要素まで2水田ともに20%前後であった。24%であったN9要素以降、対照田では漸増しN5要素では40%前後になった。一方、発生水田では35%であったN9要素以降のすべての要素で対照田を上回り、N8要素で40%、N7要素で60%、N5要素で80%と急増していた。

以上のように、1株の冠根数の内、発生水田のいじけ根数と冠根総数が対照田より多かった要因は、発生水田では対照田に比べ穂首分化期以降において出根した冠根数が著しく多く、しかも、大半の冠根が正常に伸長せず、いじけ根になっていたためであった。

第7表 伸長方向特定冠根における2次根の出現密度。

伸長方向	対照田	発生水田	発生/対照
(1) 細い2次根			
“うわ”根	80.0 b	98.6 c	123%
横層根	66.8 b	84.2 b	126%
斜下層根	40.1 a	42.9 a	107%
直下層根	28.0 a	33.3 a	119%
(2) 太い2次根			
“うわ”根	8.9 a	18.2 b	204%
横層根	12.9 b	18.7 b	145%
斜下層根	15.6 b	9.3 a	60%
直下層根	5.8 a	6.8 a	117%

注1) 2次根の出現密度は冠根10 cm当たりの本数。

注2) 各水田において伸長方向による出現密度の平均値の差の検定結果を示し、Duncanの多重検定により、同一英小字は5%レベルで有意差がないことを示す。

(4) 伸長方向を異にする冠根における2次根の出現密度

第5表で示した伸長方向が特定できたすべての冠根における2次根の出現密度の平均値を第7表に示した。まず、細い2次根および太い2次根の出現密度は伸長方向によって異なり、両水田とも、スキ床下層部に伸長した斜下層根および直下層根に比べ、作土中を横走した“うわ”根および横層根で出現密度が有意に高くなる傾向が認められた。つぎに、2水田間差は、斜下層根の太い2次根を除き、細い2次根と太い2次根ともに伸長方向にかかわらず発生水田では対照田に比べ多かった。

4. 発生水田代表株を構成する各茎に着目した場合

発生水田における各茎の登熟の様相に顕著な茎間差異が認められたので、個体、主茎、分げつ茎次位などの茎位別にまとめた精玄米重、籾数、精籾数、登熟歩合および千粒重は第8表に一覧したとおりである。最大値と最小値は、精玄米重では1.7 gと0.2 g、登熟歩合は80%と14%、千粒重は21.5 gと31.7 gと大差が認められた。登熟歩合の最大値と最小値を各個体別に見ると個体番号Iでは80%と68%と差は小さかったが、IIでは65%と15%、IIIでは81%と14%、IVでは80%と22%となり同一個体内でも茎によって大差が見られ、この場合、主茎や分げつ茎の茎位との間に一定した関連性は認められなかった。各茎の精玄米重と籾数、精籾数、登熟歩合または千粒重との間に認められる1次相関係数は、それぞれ、0.619**、0.984***、0.876***または-0.541*であり、精玄米重は登熟歩合によって決定されていた。そこで、各茎の登熟歩合を、75%以上、60%~69%の60%台および50%以下の三群に分類して検討を加えた結果(第9表)、三群における1穂籾数には統計学的な有意差を見出すことはできなかったが、精玄米重には三群間に明らかな有意差が見られた。また、千粒重についてみると、登熟歩合60%以上と50%以下の二

第8表 発生水田代表株の各個体および茎位別収量構成要素.

茎位番号	精玄米重 (g)	1穂粒数	精粒数	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
I - 0	1.7	95	76	80	22.9
I - 4	1.3	91	62	68	21.5
I - 5	1.5	91	71	78	21.7
I - 6	1.7	78	69	89	25.3
II - 0	1.4	94	61	65	23.6
II - 4	0.2	43	9	21	22.9
II - 5	0.2	41	6	15	34.1
III - 0	0.4	90	13	14	31.7
III - 3	0.8	54	36	67	22.8
III - 5	1.7	82	66	81	26.5
III - 6	1.3	77	60	78	22.2
III - 7	1.5	84	63	75	24.3
IV - 0	1.3	96	58	60	23.1
IV - 4	1.3	79	55	70	24.3
IV - 5	0.6	92	20	22	30.8
IV - 6	1.0	82	36	44	28.5
IV - 8	0.8	45	36	80	22.7
精玄米重と の相関係数	—	0.619**	0.984***	0.876***	-0.541*

注1) 茎位番号は個体番号 (I, II, ...) - と茎位からなり, 主茎の場合は0, 第1次分げつ茎の場合の数字は主茎要素を示す (川田・片野 1976).

注2) 相関係数の*, **, および*** は, 5%, 1%および0.1%レベルで有意であることを示す.

群間に有意差が認められ, 登熟歩合が50%以下では29.9 gで, 60%台 (24.0 g) および75%以上 (23.7 g) の場合に比べ著しく大となっていた. そこで, 登熟歩合と千粒重との間の相関関係を解析した結果, 両者の間には0.1%レベルで有意な負の相関が見られ, 登熟歩合が低い穂ほど千粒重は逆に重くなっていた (第6図).

さらに, 節間が30 mm内外に伸長し (第4表), いじけ根が多数を占めていた (第4図) N4要素を除き, 各茎が共有していたN7, N6およびN5“要素”における冠根数と登熟歩合を異にする三群との関係を検討した結果を第

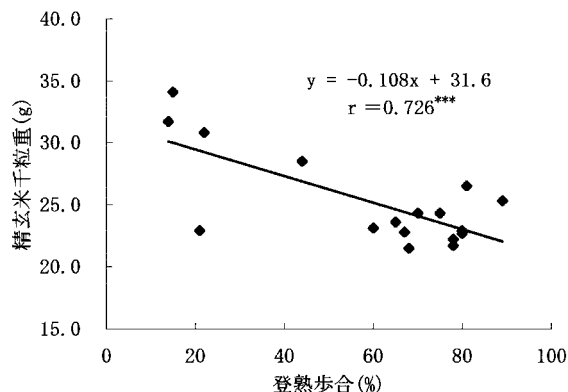
第9表 発生水田代表株において登熟歩合の水準を異にした各茎の収量構成要素.

登熟歩合 の水準	該当 穂数	平均登熟 歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (g)
75%以上	7	80a	23.7a	1.5a
60%台	5	62a	24.0a	1.2b
50%以下	5	18c	29.9b	0.4c

注) Duncanの多重検定により, 同一英小字は5%レベルで有意差がないことを示す.

第10表 発生水田において登熟歩合の水準を異にした各茎のN7, N6およびN5要素より出現した冠根数.

登熟歩合	伸長根数	いじけ根数	冠根総数	いじけ根率
75%以上	12	34	46	74%
60%台	18	46	64	72%
50%以下	14	37	51	73%



第6図 発生水田代表株各茎における登熟歩合と精玄米千粒重との関係.

注) ***は0.1%レベルで有意であることを示す.

10表に示した. 伸長根数, いじけ根数, 冠根総数および“いじけ”根率に三群間の5%水準での有意差を見出すことは出来なかった. しかし, 登熟歩合が75%以上の茎では伸長根, いじけ根数および冠根総数のいずれも登熟歩合が60%以下の茎に比べ少なく, とくに, 冠根総数では対照田と発生水田との場合 (第6表) の関係と類似していた.

以上のように, イネもみ枯細菌病による罹病は, 1穂粒数の多少ではなく, 各穂における登熟歩合の低下として現われ, さらに, 個体, 主茎, 分げつ茎次位別にかかわらず, 罹病の様相が異なっていた.

考 察

作物における病虫害被害発生の真因は作物体の不健康さであり, この不健康は土壌に起因しているという見解がある (ハワード 1985, 1987, シルギューイ 1997). 著者らも同一地域にありながら隣接する2水田間でいもち病の発生やウンカ被害の様相が顕著に異なる事例を多数観察してきた (片野 1990). 病虫害被害は弱体化した作物生育の結果であり, この弱体化にいたる過程は作物体の形態形成過程に残されていると考えられる. 収量と収量構成要素を明らかにするとともに, 作物体を要素別に解体し, 観察する方法はこの過程を解明する上で有効な方法と考えられる. 1984年10月, 熊本県菊池郡旭志村伊萩地区において, イネもみ枯細菌病が一筆全面にわたって発生した水田を発見し, 本病による罹病の有無は水稻の収量, 収量構成要素, 穂相, 節間長, 根群形態や冠根数, 分枝根形成等に残された生育経過とどの様に関係していたかを比較観察した結果は以上のとおりであった. 以下, 二, 三の点について若干の考察を行ってみたい.

まず, イネもみ枯細菌病発生水田についてである. 著者らは1984年度から菊池市と菊池郡七城町に在住する稲作農家20人からなる菊七稲作研究会会員水田および菊池郡旭志村伊萩地区在住稲作農家13人からなる稲作研究会会員水田における移植後の生育ならびに収量調査を実施し,

調査後には成績検討会を開催する共同研究を1993年度まで約10年間行った。しかし、この間、調査を行った水田の中でイネもみ枯細菌病が水田全面にわたって発生し、顕著な被害が発生した事例は本研究で取り上げた1例だけであった。本研究で調査した菊池郡旭志村は九州有数の畜産地帯であり肥育牛と養豚が極めて盛んな地帯で、イネもみ枯細菌病発生水田所有者も肥育牛300頭を飼養する農家であり、稲刈り後、裏作コムギ栽培の基肥として毎年10 a 当たり3 t程度の牛糞堆肥を施用してきた。熊本県菊池農業改良普及所の隈部（1989 旭志村稲作成績検討会での発言）によれば、旭志村では家畜糞尿主体の堆肥が裏作麦に大量に施用され、この時施用された有機質肥料の残効が稲作にも現れ、下位節間伸長による倒伏やいもち病を助長する要因になっていた。イネもみ枯細菌病発生の要因の一つに過剰な堆肥の施用とその残効が考えられる。イネもみ枯細菌病発生水田における精玄米収量は 550 g/m^2 であり、対照田（ 649 g/m^2 ）の85%であった。しかし、発生水田の収量は『作物統計』による1984年産の旭志村の10 a 当たり収量514 kgに比べ決して低い収量ではなかった。収量構成要素から減収要因を見ると、登熟歩合の顕著な低下であり、生育段階から見て早い時期に決定される m^2 当たり粒数ではなかった。また、穂長、節間長ならびに各穂における第1次および第2次枝梗数、第1次枝梗別着粒数をみると、両水田に著しい差を見出すことはできなかった。このことは、出穂期に至る期間まで、水稻地上部生育には堆肥大量施用による窒素の残効をとどめる形態的特徴は現れないことを示している。この場合、窒素の残効は玄米中の全窒素含有量の多少には残されており、発生水田では対照田に比べ有意に高くなっていた。

つぎに、2水田で生育した代表株の根群を改良モノリス法で採集し、根群形態、伸長方向が特定できた冠根数、これら伸長方向特定冠根における2次根の出現密度を観察した結果、代表株の根群を構成する冠根数に顕著な相違が見出された。まず、1株全体の伸長根数をみると、対照田代表株では969本、一方、発生水田の場合は633本であり、この比率は両者の1株穂数の比（24：17）とはほぼ一致しており、1株穂数と伸長根数との間に有意な高い正の相関関係を認めた既往の研究（山崎ら1980）と同様であった。しかしながら、いじけ根数をみると、発生水田では、対照田の219%に相当する988本に達していたのである。従って、これら二種類の冠根を合計した冠根総数をみると、発生水田では、対照田（1,420本）の114%に相当する1,621本の冠根を出根していた（第6表）。片野（2004）は、1/2000aワグナーポットを用い、全茎数（無効茎数+穂数）が3本から85本に変化していた水稻18株における全茎数と冠根総数との間の相関関係を検討した結果、両者の間に有意な正の相関関係を認めた。本研究で観察に供した代表株における穂数と無効茎を合計した全茎数を確認することは困難であったが、冠根総数から推定すると、発生水田では、対

照田に比べ、若干密植であり、1株占有面積が小であったにもかかわらず、全茎数で対照田より大となっていたこと、換言すれば、有効茎歩合が著しく低い稲株ではなかったかと考えられる。

第3に、いじけ根の発生を、冠根の出根時期を示す要素別に検討を加えた結果、対照田ではN13からN5要素まですべての要素で伸長根数がいじけ根数より多く、N7要素以降の要素ではいじけ根数が減少していた。一方、発生水田では、N8要素までは対照田の場合と同様に伸長根数がいじけ根数より多くなっていたが、N7要素以降N5要素までいじけ根数が急増し、対照田とは顕著に異なっていた（第3図）。一般に、根群を構成する冠根のうち、出根後、5 cm内外で伸長を停止するいじけ根の出現は、穂首分化期以後、漸次、増加し、伸長根を出根する最上位出根要素では出現した冠根の大半がいじけ根となることが指摘されている（川田・片野1976）。本研究で観察したミナミニシキの主稈葉数は17であり、松島（1957）の葉齢指数と川田ら（1963）の出根の規則性から、穂首分化期に出根を開始した要素根はN8と推定される。従って、2水田間差は穂首分化期以降における出根した冠根数の多少と冠根が正常に伸長したかあるいはいじけ根になってしまったかに現れていた。また、いじけ根発生の多少にかかわる要因のひとつに、多窒素条件、すなわち、土壤中と植物体内との両側面における窒素濃度の上昇による根端の崩壊、肥大ないし静止を通じて、いじけ根を多数、形成せしめる方向に作用するという指摘がある（川田1979）。しかしながら、両水田において、穂首分化期に相当する8月1日前後の窒素追肥量をみると、発生水田の1.12 kg（8月6日）に対して対照田は2.8 kg（8月7日）であり、対照田の施用量の方が多かった。追肥量とはかかわらず、先述したように前年秋に施用された堆肥の残効による窒素濃度の上昇が発生水田に生じていたのではないかと考えられる。さらに、冠根が正常に伸長したかあるいはいじけ根になるかを示すいじけ根率を出根要素別にみると、発生水田のいじけ根率はN12要素以降のすべての要素で高かった（第4図）。1986年度の生育調査結果によれば、N12要素根は主茎第6要素（6/0）根で、主茎第9葉抽出開始期に出根する冠根に相当し、この要素根は移植2～3週間後、茎数急増期初期に出根すると推定される（片野 未発表）。従って、いじけ根率から判断するとイネもみ枯細菌病罹病の遠因は生育段階から見ると極めて早い時期に現れていた可能性が考えられる。

また、出根要素を無視して、伸長方向特定冠根における2次根の出現密度を観察した結果、発生水田では対照田に比べ、細い2次根および太い2次根ともに、作土中を横走した横層根における出現密度が有意に高くなっていた。2次根の出現密度は、表層施肥回数、量ならびに基肥窒素施用量の多少（川田ら1977、佐々木ら1981）によって変化し、いずれも、多窒素条件下で高くなることが知られてお

り、いじけ根多発と共通し、前作で施用された牛糞堆肥から供給される窒素の残効によるものではないかと考えられる。イネもみ枯細菌病菌の伝染・発病経路を見ると、移植後、根部で生存を続け、イネの生長とともに上方に移行し、穂孕期になると幼穂の表面で急速に増殖し開花時に感染する(後藤 1990)。イネもみ枯細菌病菌による冠根伸長抑制に関する報告は現在のところ皆無であり、今後の研究に待ちたいところである。

最後に、イネもみ枯細菌病に罹病した発生水田代表株各茎における発病程度を検討した結果、本病の発生をみると、個体、主茎あるいは分げつ茎次位との間に何らかの関連を見出すことはできず、同一種籾から発生した茎内においても、罹病茎と罹病しなかった健全茎とが混在していたのである。このことは、本病が種籾に由来し、種籾の選抜、換言すれば、塩水選を徹底すれば防除できるとする福岡農試の結果(宇根 1984)からは十分に説明できないことである。また、罹病と健全茎の混在という現象は、各茎における生理的独立性ともいうべき点をも示すものと思われる。主茎葉身に P^{32} を塗布し、 P^{32} の移行の状態より、水稻分げつの独立性を詳細に観察した中村(1963)の研究によれば、分げつが3葉以上生長した後、幼穂形成期あるいは幼穂伸長期、穂孕期にかけて漸次独立性が高まり、黄熟期に達した稲における P^{32} の移行率は著減すること、すなわち、穂の生長に伴って分げつの独立性が強まることが知られている。従って、罹病茎と健全茎の混在は、各茎の独立性の強化に伴って生じたものではないかと考えられるのである。この場合、罹病程度の小さかった茎では、大きかった茎に比べ伸長根数、いじけ根数および冠根総数がいずれも少なくなる傾向が見られ、出根冠根数の過剰にも着目することが重要であると考えられる。

以上を総括すると、イネもみ枯細菌病発生は、出穂期以降、籾部分における病徴の発現として認められるが、根群を構成する冠根、とくに“いじけ”根の多発、作土中を伸長した冠根における高密度の2次根の出根、加えて、わら重の増大など罹病状態は、移植3週間後から醸成されていたのではないかと考えざるをえないのである。さらに、発病は、作物体ならびに土壤中における高濃度の窒素含有率とかかわっており、高窒素含有率を抑制するための施肥法、水管理など、栽培期間全体にわたって総合的な耕種の対応策をたてることが必要ではないかということを知ったのである。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、菊七稲作研究会を紹介して下さった農山漁村文化協会の山本 勲氏、イネもみ枯細菌病発生水田の所在を教示下さった、菊七会々長・立山隆広氏、また本研究に快く協力下さった、旭志村在稲作

研究会々長・故 安武栄喜氏はじめ会員各位に謝意を述べる次第である。

引用文献

- 後藤正夫 1990. 植物細菌病概論. 養賢堂, 東京. 227—230.
 ハワード, A. 1985. 農業聖典. 山路健記. 日本評論社, 東京. 178—193.
 ハワード, A. 1987. ハワードの有機農業 上巻. 横井利直・江川友治・蜷木翠・松崎敏英訳. 農文協, 東京. 294—298.
 片野学 1990. 自然農法のイネづくり—生育のすがたと栽培の実際. 農文協, 東京. 1—246.
 片野学 2004. 水稻1株の全茎数と冠根数との関係. 日作紀 73: 6—9.
 川田信一郎・山崎耕字・石原邦・芝山秀次郎・頼光隆 1963. 水稻における根群の形態形成について、とくにその生育段階に着目した場合の一例. 日作紀 32: 163—180.
 川田信一郎 1976. 日本作物栽培論. 養賢堂, 東京. 167—176.
 川田信一郎・片野学 1976. 水稻冠根の土壤中における伸長方向について. 日作紀 45: 471—483.
 川田信一郎・片野学 1977. 水稻冠根の伸長方向並びに分枝根形成に及ぼす水管理の影響. 日作紀 46: 543—557.
 川田信一郎・副島増夫・田吹亮一 1977. 水稻における“うわ根”の形成と窒素の施用法、とくに追肥との関係. 日作紀 46: 254—260.
 川田信一郎・S.M. エルアイシー・山崎耕字 1979. 環境条件が水稻における“いじけ”根の形成におよぼす影響について. 日作紀 48: 107—114.
 川田信一郎・片野学・山崎耕字 1982. 草型および来歴を異にする品種の根群を構成する冠根の伸長方向について. 川田信一郎著, 水稻の根—その生態に関する形態形成論的研究. 農文協, 東京. 109—113.
 松島省三 1957. 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. 農技研報 A 5: 1—271.
 松島省三・角田公正 1966. 生育各期の形態による稲作診断. 戸荻義次・天辰克己編, 最新稲作診断法 上巻. 農業技術協会, 東京. 7—9.
 松島省三・真中多喜夫 1966. 穂相の診断. 戸荻義次・天辰克己編, 最新稲作診断法 下巻. 農業技術協会, 東京. 55—71.
 内藤秀樹 1999. イネもみ枯細菌病. 大畑寛一・國安克人・高橋廣治・栃原呂志・長尾記明編, 種子伝染病の生態と防除—健全種子生産をめざして—. 日本植物防疫協会, 東京. 135—138.
 中村公則 1963. 水稻分げつの独立性並びに無効分げつに関する生理的研究. 東北農試研報 28: 53—141.
 根の事典編集委員会編 1998. 根の事典. 朝倉書店, 東京.
 佐々木修・山崎耕字・原田二郎・川田信一郎 1981. 水稻の分枝根形成に及ぼす窒素施用量および茎葉部への遮光・剪葉の影響. 日作紀 50: 457—463.
 瀬古秀生 1962. 水稻の倒伏に関する研究. 九州農試彙報 7(4): 421—434.
 シルギューイ, C. 1997. 有機農業の基本技術—安全な食生活のために—. 中村英司訳. 八坂書房, 東京. 76—110.
 十河和博 1981. イネもみ枯細菌病. 尾崎幸三郎編, 稲の病害虫の生態と防除. 全国農村教育協会, 東京. 205—213.
 宇根豊 1984. 減農薬稲作のすすめ. 擬百姓舎, 福岡. 133—134.
 山崎耕字・片野学・川田信一郎 1980. 水稻1株の根群を構成する伸長した冠根数と穂数との関係. 日作紀 49: 317—322.

Yield and Root Morphology in Rice Plants Infected by Bacterial Grain Rot (*Pseudomonas glumae* Kurita and Tabei) : Manabu KATANO and Masaharu KAWANAMI (Sch. Agr. Kyushu Tokai Univ., Choyo 869-1404, Japan)

Abstract : Pathogens and insects seem to attack unhealthy plants, and the trace of unhealthy growth may remain in the

plant organs after attack. Grain yield of rice plants infected with bacterial grain rot (*Pseudomonas glumae* Kurita and Tabei) was 85% of the control. In the infected rice, the number of panicles per unit land area and that of spikelets per panicle were the same as those in the control and 1000 grain weight was 8% heavier than in the control, but the percentage of ripened grains was only 57% of the control. The percentage of ripened grains on the stem (including both main stem and tillers) in infected rice hill varied with the stem ranging from 14 to 89%, even among those from the same seed. Grains of infected rice contained a large amount of nitrogen than the control. In the infected rice hills, the number of growing crown roots was almost the same as that in the control, but the number of stunted roots was higher than that in the control. The percentage of stunted crown roots in the infected rice hill was higher than that in the control already at three weeks after transplanting. Infection of rice plants with bacterial grain rot is recognized as a depression of grain ripening after heading, but the symptom of this disease seems to appear as the stunted root growth at an early stage before heading.

Key words : Growing roots, Lateral root, Number of roots, *Pseudomonas glumae*, Root system, Stunted root, Yield, Yield components.
