

直播水稻における一株の生育量と耐ころび型倒伏性との関係

寺島一男^{*1)}・酒井究²⁾・柁木信幸³⁾

(¹⁾東北農業研究センター・²⁾福井県農業試験場・³⁾国際農林水産業研究センター)

要旨: 水稻における一株の生育量の違いが耐ころび型倒伏性に及ぼす影響の要因を明らかにする目的で、耐ころび型倒伏性の異なる水稻2品種を同一、あるいは異なる密度条件で栽培し、出穂期に各株の地上部、地下部の生育量と押し倒し抵抗を測定して相互に比較を行った。耐ころび型倒伏性に関する倒伏指数〔(草丈×地上部重)/(測定高×押し倒し抵抗)〕は、高密度条件下で生育した株や同一密度条件においても穂数の少ない株で高い値となり、生育量の小さな株で耐倒伏性が低下する傾向が認められた。この傾向は、耐倒伏性の異なる品種を比較した場合や、不織布を埋設して心土層への根系の発達を制限した圃場で比較した場合においても同様であった。地上部重に対する根重の比率は穂数の異なる株間で大きな差異を示さなかったことから、穂数の少ない株での倒伏指数の低下を根重の変動のみから説明することは困難であった。一方、単位根重当たりの押し倒し抵抗は穂数の少ない株や高密度条件で生育した株で低く、単位根重の株支持力に対する効率が生育量の小さな株で低下する傾向が認められた。この点について、株基部に作用する根の支持力が地上部モーメントと同様にトルクとして働くと仮定して解析を加えた。その結果、生育量の小さな株で耐倒伏性が弱まるのは、根重が少ないだけでなく、根の支持力の作用点と倒伏時の回転の中心との距離も短くなり、両者の積で推定される株支持力のモーメントがより顕著に低下するためと推察された。

キーワード: 株密度、ころび型倒伏、水稻、直播、根。

水稻の直播栽培では播種密度、あるいは苗立ち密度が一定でなく、群落を構成する各株の生育量が栽培条件によって大きく変動する。一般に、高密度条件で栽培され、各株の生育量が小さい場合にころび型倒伏が生じやすくなることが知られている(中村ら 1964, 原城・寺中 1973, 寺中・黒澤 1971, 坂井・伊藤 1975, 新田 1966, 長島ら 1990, 田守・竹島 1970)。こうした株生育量に伴う耐ころび型倒伏性の変動とその要因を把握することは、適密度条件を把握し、安定した栽培技術を確立する上で重要と考える。

生育量と株支持力との関係を定量的に検討した研究例は限られているが、その中で黒沢・阿部(1971)は、散播水稻の株支持力が各株の穂数、根数との間に正の相関関係を示すことを明らかにした。上村ら(1985)は同一播種密度で点播栽培された稲株間の株支持力の違いを押し倒し抵抗の測定により推定比較し、穂数の多い株で一穂当たりで算出した押し倒し抵抗が高い値となることを指摘している。吉永ら(2001a)は点播と散播の比較から、ほぼ同様の傾向を認め、とくに一株穂数が10本以下の株において生育量の大小と耐ころび型倒伏性に関する倒伏指数(寺島ら 1992)との関係が密接であるとした。すなわち、一般的には生育量の大きい株ほど株支持力が強い傾向にあると考えられている。しかし、これらの報告例ではこうした生育量に伴う株支持力の変動がいかなる要因に基づいているかについて十分な検討が加えられていない。株支持力には根の重量や分布様式、とくに心土層への発達が強く関与することが明らかとなっている(寺島ら 1994, 1995)。高密度条件で栽培された水稻では心土層まで発達する根の量が少ないことが指摘されており(上村・森谷 1969, 田中・有馬

1996)、こうした根の量や分布様式が密度に伴う耐倒伏性の変動に関与している可能性が考えられる。しかし、株密度や生育量に伴う根の量的変動と株支持力との関係について相互に比較検討した例はほとんど見あたらない。

本研究では株密度に伴う耐ころび型倒伏性の変動の機構解明と診断予測に必要な基礎知見を得る目的で、地上部および地下部生育量と押し倒し抵抗との量的関係を、同一株密度条件、異なる株密度条件でそれぞれ調査した。とくに根の下層土への発達の影響の有無を把握するため、作土層下に不織布を埋設し、根の伸長発達を抑制した区を設けて同様の調査を行った。さらに、稲株の耐倒伏性が、各節根の発達量によって定まる支持力とその株基部着生位置から倒伏時の回転中心までの距離の積で示されるモーメントとして働くと考え、これと押し倒し抵抗とのつりあいに基づいて、株生育量に伴う耐ころび型倒伏性の変動の要因を考察した。

材料と方法

試験は1990年および1993年に農業研究センター(現作物研究所)谷和原圃場で行った。両年とも耐ころび型倒伏性の弱い日本の水稻品種(以下日本品種)から日本晴、耐ころび型倒伏性の強いアメリカ合衆国の水稻品種(以下アメリカ品種)からLemontを選んで供試品種とした。なお、本研究では根量調査の精度を確保する目的で、いずれの年次についても浅植え移植条件で栽培を行い、調査に供した。

試験Ⅰ. 同一株密度条件下での株生育量と押し倒し抵抗との量的関係

本試験では既報 (寺島ら 1995) における試験 2 と同一材料を用いたが、その試験方法を要約して以下に示す。

根の作土層と心土層への分布量の株間変動が押し倒し抵抗に及ぼす影響を除く目的で、あらかじめ圃場の作土層下 (地表面より約 15 cm の深さ) にテトロン性の不織布 (商品名ティジンユニセル) を埋設した処理区を設けた。各供試品種の種子を 4 月 15 日に株播きポットに 1 穴 2 粒ずつ播種し、表層が隠れる程度の薄い覆土を施してビニールハウス内の畑苗代で育苗した。栽植密度は直播条件に近い高密度となるよう 30×7.5 cm とし、5 月 15 日に不織布を埋設した圃場 (不織布埋設区) と無処理圃場 (対照区) へ移植した。なお移植の際は株播きポットの表面が地表面上となるよう浅植えにし、表層の上側表面がほぼ地表面に接する深度に植え付けた。品種、不織布埋設処理のいずれについても 3 反復とし、品種を一次因子とする分割区法にて試験区を配置した。各試験区の大きさは約 $2 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$ であった。施肥は対照区の場合、N, P_2O_5 , K_2O を基肥として 10 a 当りにそれぞれ 6 kg 施用し、分けつ期、幼穂形成期、穂ばらみ期に同様に各 3 kg ずつ追肥を施した。なお不織布埋設区では分けつ盛期に養分吸収量の不足からやや生育が劣る傾向がみられたため、さらに各成分で 10 a 当り 2 kg の追肥を行った。水管理については 6 月 21 日から 4 日間落水した以外は常時湛水条件で栽培した。

押し倒し抵抗の調査は倒伏試験器 (大起理化社製) を用い、出穂期ごろに各区 5 株ずつを対象として行った。測定は、田面上 10 cm の高さで倒伏試験器を株に押しつけ、株が 45 度に傾いた段階での最大抵抗を記録した。測定終了後、不織布埋設区については、根系採取器 (稲田 1960) ($30 \times 15 \times 15$ cm) を不織布の深さまで差込んで調査株を土塊ごと採取した。土壌を洗い落として地上部とこれより発根する根を回収し、草丈、穂数、地上部及び根の乾物重を測定した。対照区については地上部のみ採取し、草丈、穂数、地上部乾物重を測定して解析に供した。

試験 II. 異なる株密度条件下で栽培された場合における株生育量と押し倒し抵抗との量的関係

試験 I と同様の手法で、不織布を埋設した圃場 (不織布埋設区) と無処理圃場 (対照区) に約一ヶ月間育苗した日本晴、Lemont の苗を 5 月 17 日に移植した。株密度について、 22.2 株/m^2 (15×30 cm : 以下低密度区)、 44.4 株/m^2 (7.5×30 cm : 以下中密度区)、 88.8 株/m^2 (7.5×15 cm : 以下高密度区) の 3 処理区を設けた。品種、不織布埋設処理、密度処理のいずれについても 3 反復とし、試験区は品種を一次、不織布埋設処理を二次因子とする分割区法にて配置した。施肥は、N, P_2O_5 , K_2O をそれぞれ 10 a 当りに基肥として 6 kg、分けつ期に 2 kg、幼穂形成期、穂ばらみ期に 3 kg ずつ施用した。出穂期ごろに不織布埋設区、対照区の各品種、各密度区について 15 株を対象に試験 I と同様の方法で押し倒し抵抗を測定した。調査

株はいずれも押し倒し抵抗測定後に採取し、発根最上位部での株直径、乾物重の測定に供した。根の採取は不織布埋設区を対象に各区 4 株ごとに行った。隣接株の地上部を排除した後、厚さ 3 mm のモノリス用鉄板もしくは根系採取器 (稲田 1960) を採取対象株を中心として十分な間隔 (低密度区 : 約 30×30 cm, 中密度区 : 約 30×15 cm, 高密度区 : 約 15×15 cm) をあけて不織布の埋設深まで土壌に差込み、根とともに株を土塊ごと掘上げた。土壌を洗い落とし、地上部とこれより発根する根を回収した。草丈、株基部直径を測定した後、各部位に切り分けて乾物重の測定に供した。得られた 4 株の根重と地上部重の比率を、採取した全 15 株の地上部重の平均値に掛け合わせ、各区の平均根重を求めた。なお、株基部直径については、稈基部の発根最上部の位置にノギスをあててほぼ直角となる 2 方向の株直径を測定した。以上の根を含む測定株の採取調査には各品種それぞれ約 3 日間を要した。成熟期には対照区の倒伏程度を 0~4 の五段階で評価した。

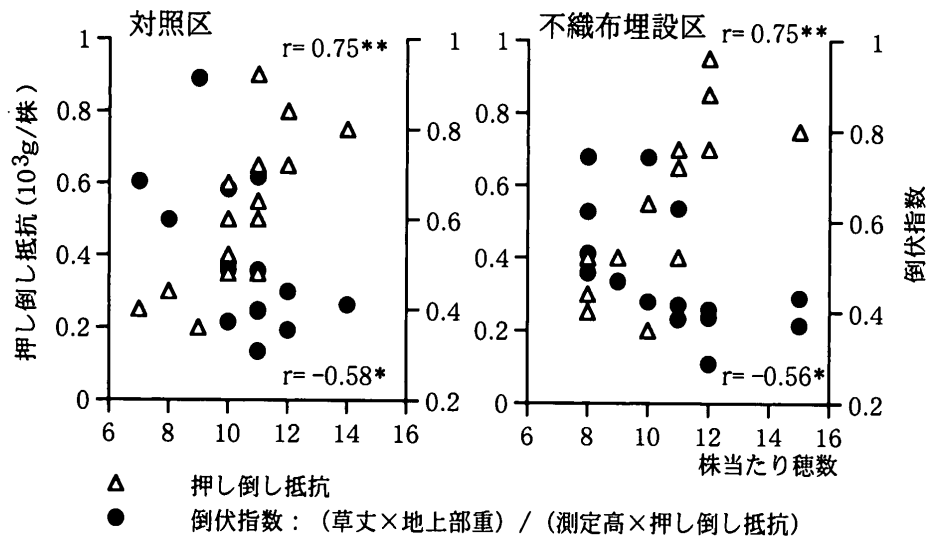
結 果

1. 生育量の異なる株間における押し倒し抵抗の比較 (試験 I)

同一株密度で栽培された 1990 年の試験について、各株の穂数と押し倒し抵抗 (R)、および押し倒し抵抗 (R) とその測定高 (h) の積値に対する草丈 (H) と地上部乾物重 (U) の積値の比率 $[(H \times U)/(h \times R)]$ 、すなわち耐ころび型倒伏性に関する倒伏指数 (寺島ら 1992) との関係を示したのが第 1 図および第 2 図である。供試した日本晴、Lemont のいずれにおいても、穂数と R との間には密接な関連がみられ、穂数が少なく生育量が小さい株において、R も低下する傾向が認められた。地上部モーメントと株支持力のバランスを示す倒伏指数 $[(H \times U)/(h \times R)]$ は、穂数の少ない株で高くなり、耐ころび型倒伏性は生育量が小さい株となるにつれて低下すると判断された。こうした傾向は耐倒伏性の異なる品種間で比較した場合も、不織布を作土層下に埋設し、根の心土層への発達を抑制した区においてもほぼ同様であった (第 1, 2 図)。不織布埋設区での各株の穂数と地上部重に対する根重の比率 (W/U)、および単位根重当たり押し倒し抵抗 (R/W) との関係についてみると、 W/U は穂数の多少との間に関連がみられなかったが、 R/W は穂数の少ない株で有意に低下する傾向が認められた (第 3 図)。すなわち、根の単位量の株支持力に対する効率は生育量の小さな株で低下する結果となった。このような傾向は、耐倒伏性の異なる日本晴、Lemont のいずれについてもほぼ同様であった (第 3 図)。

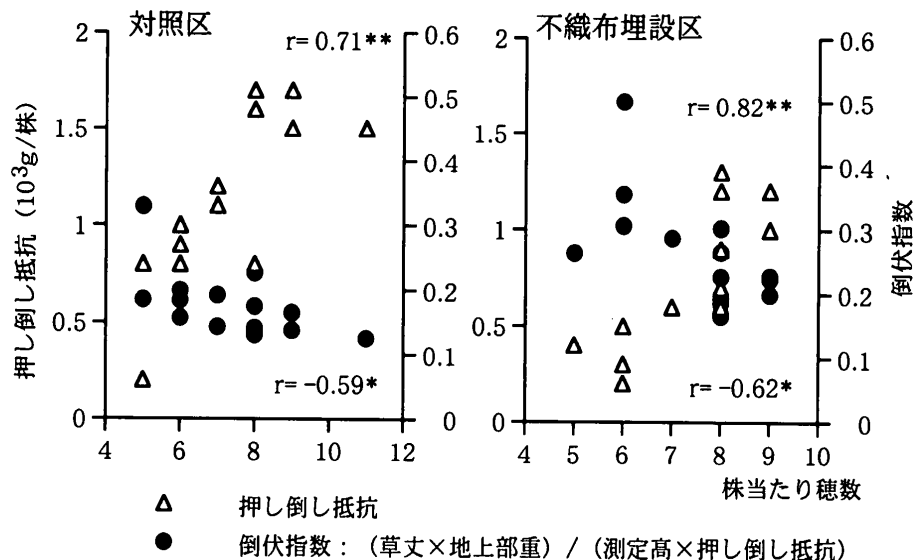
2. 株密度が押し倒し抵抗におよぼす影響 (試験 II)

各密度区ごとの穂揃期における地上部重 (U) と押し倒し抵抗 (R) の平均値を対照区と不織布埋設区で比較した



第1図 穂数の異なる株間における押し倒し抵抗と倒伏指数の比較
(試験I: 日本晴)。

*, ** はそれぞれ5%, 1%の水準での有意性を示す (n=15)。



第2図 穂数の異なる株間における押し倒し抵抗と倒伏指数の比較
(試験I: Lemont)。

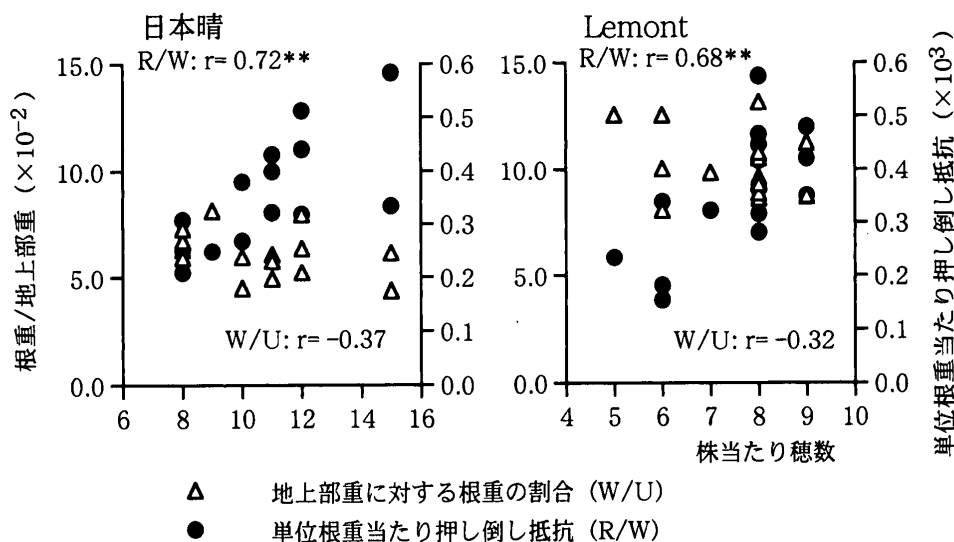
*, ** はそれぞれ5%, 1%の水準での有意性を示す (n=15)。

のが第1表および第2表である。いずれの区においても、株密度が高まるに伴い、一株の地上部重、押し倒し抵抗は低下する傾向を示した。耐ころび型倒伏性に関する倒伏指数 $[(H \times U) / (h \times R)]$ は、不織布埋設処理の有無に関わらず、同一株密度条件で比較した試験Iの場合と同様に、高密度条件で栽培された生育量の小さい株で高かった。こうした傾向は日本晴、Lemontとも同様であったが、Lemontに比べて日本晴の方でより顕著に倒伏指数 $[(H \times U) / (h \times R)]$ が高くなった。不織布埋設区における根重 (W) は、高密度条件下で小さくなったが、品種間で比較するとLemontが日本晴にまさる傾向が認められた。単位根重当りの押し倒し抵抗 (R/W) の密度に伴う変動についても、同一株密度で比較した場合と同様に、高密度条件下で栽培された生育量の小さな株で低い値となった

(第3表)。Lemontは各密度条件で日本晴よりやや高いR/Wを示したが、密度条件に伴う変動については両品種とも概ね同様であった(第3表)。なお、対照区における成熟期の倒伏程度については、日本晴においてのみ倒伏が認められ、0~4の5段階評価で高密度区が 2.8 ± 0.8 (平均値±標準偏差)、中密度区が 1.3 ± 1.2 、低密度区が 0.2 ± 0.3 であった。

考 察

本研究では調査の精度を高める目的で、浅植え移植の条件で株生育量と押し倒し抵抗との量的関係を検討した。尾形・松江(1996)は通常の移植条件と直播条件との間で押し倒し抵抗を比較し、両者の間に有意な相関関係を認め、耐ころび型倒伏性の解析は移植条件でも可能であることを



第3図 穂数の異なる株間における根重の対地上部重比率と単位根重当たり押し倒し抵抗の比較 (試験 I: 不織布埋設区)。

*, ** はそれぞれ 5%, 1% の水準での有意性を示す ($n=15$)。

第1表 株密度の違いが押し倒し抵抗と倒伏指数に及ぼす影響 (試験 II: 日本晴)。

密度 ¹⁾	地上部重 g/株	押し倒し抵抗 10 ³ g/株	倒伏指数 ²⁾
対照区			
低	44.6±3.0	1.20±0.07	0.412±0.018
中	24.7±0.7	0.56±0.08	0.491±0.027
高	13.7±0.4	0.18±0.03	0.857±0.138
不織布埋設区			
低	42.6±2.9	1.17±0.04	0.380±0.017
中	22.7±0.9	0.52±0.03	0.461±0.032
高	12.3±1.2	0.15±0.03	0.902±0.200
F			
密度(i)	422.83**	428.05**	34.90**
埋設(j)	12.45	4.18	0.01
i×j	0.05	0.03	0.26

表中の数値は平均値±標準偏差 ($n=3$)。

F:F 値. ** は 1% 水準での有意性を示す。

1) 密度

低: 22.2 株/m², 中: 44.4 株/m², 高: 88.8 株/m²。

2) 倒伏指数:

(草丈×地上部重)/(測定高×押し倒し抵抗)。

指摘している。本研究では株播きポットで育苗した根付きのポット苗を浅植え (籾の上側表面がほぼ地表面に接する位置となるよう移植) し, より直播に近い条件で栽培を行った。成熟期の倒伏程度は, アメリカ品種に比べ日本品種, 低密度区に比べ高密度区で大きくなり, 直播条件で認められている傾向とほぼ一致し, 本研究における解析結果は概ね直播条件にもあてはめることが可能であると推察された。

直播栽培では, 播種量が多く個体密度が高い場合に耐倒伏性が低下することが多数の研究者によって報告されている (中村ら 1964, 原城・寺中 1973, 寺中・黒澤 1971, 坂

第2表 株密度の違いが押し倒し抵抗と倒伏指数に及ぼす影響 (試験 II: Lemont)。

密度 ¹⁾	地上部重 g/株	押し倒し抵抗 10 ³ g/株	倒伏指数 ²⁾
対照区			
低	40.3±3.7	2.41±0.28	0.138±0.008
中	21.3±3.0	1.23±0.06	0.142±0.007
高	12.1±0.5	0.56±0.05	0.168±0.009
不織布埋設区			
低	36.7±0.8	1.97±0.07	0.148±0.003
中	19.9±1.0	0.93±0.03	0.164±0.011
高	11.3±1.4	0.44±0.04	0.189±0.009
F			
密度(i)	365.77**	436.04**	48.56**
埋設(j)	8.65	12.57	6.83**
i×j	1.06	3.82	1.87

表中の数値は平均値±標準偏差 ($n=3$)。

F:F 値. ** は 1% 水準での有意性を示す。

1) 密度, 2) 倒伏指数: 第1表参照。

井・伊藤 1975, 新田 1966, 長島ら 1990, 田守・竹島 1970)。本研究では同一株密度条件下で栽培された水稻群落中の生育量の異なる株間で比較した場合, あるいは株密度を変えて栽培した結果得られる生育量の異なる株間で比較した場合のいずれにおいても, 押し倒し抵抗は穂数が少なく生育量の小さな株でより顕著に弱くなった。この結果, 耐ころび型倒伏性に関する倒伏指数 $[(H \times U)/(h \times R)]$ は, 穂数の少ない株で高くなった。したがって, 高密度条件下で栽培された場合を含め, 一般的に穂数が少なく生育量に劣る株は, 押し倒し抵抗で示される株支持力の低下により, 同じ草丈の場合にはころび型倒伏を起こしやすい傾向にあると判断された。

本研究では, こうした生育量に伴う株支持力の変動が根の発達量のちがいによるものかどうかについて検討を加え

第3表 株密度が根重と根重当たり押し倒し抵抗に及ぼす影響(試験II:不織布埋設区)。

品種	密度 ¹⁾	根重 g/株	根重当たり 押し倒し抵抗
日本晴	低	3.25±0.31	363±27
	中	1.92±0.29	276±58
	高	1.24±0.07	118±23
Lemont	低	4.41±0.24	448±24
	中	2.34±0.02	399±14
	高	1.54±0.11	284±10
F	密度(i)	304.2**	60.2**
	品種(j)	50.1*	147.5**
	i×j	10.6**	2.3

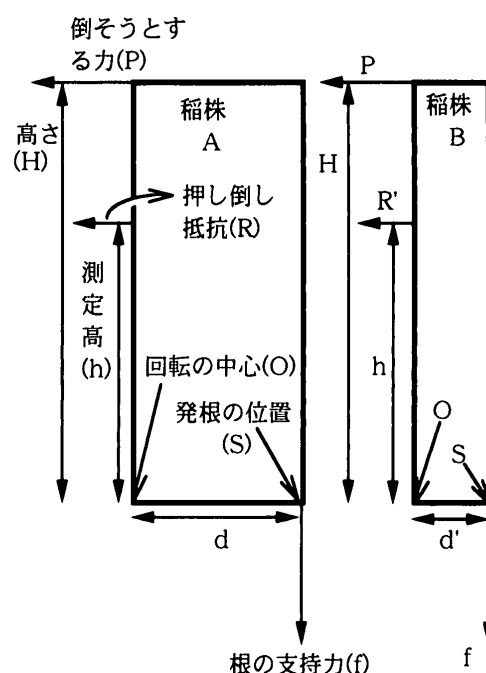
表中の数値は平均値±標準偏差 (n=3)。

F:F値。*, ** はそれぞれ5%, 1%水準での有意性を示す。

1)密度:第1表参照。

た。まず、耐倒伏性に強く関与する心土層への根の発達を抑制する目的で不織布埋設区を設け、押し倒し抵抗や耐ころび型倒伏性に関する倒伏指数の株間や密度条件間の変動を比較したが、これらの傾向に無処理区と大きな違いはみられなかった。すなわち、穂数の少ない株において押し倒し抵抗が顕著に低下して倒伏指数が高くなる傾向は、心土層への根の分布様式が株の大小や密度条件に伴って変動することによるものではないと推察された。さらに根重(W)との関係については、穂数が少ない株では、穂数の多い株より根重が軽くなるが、地上部重に対する比率(W/U)は大きな変動を示さなかった。したがって、第1図及び第2図で示した穂数の少ない株での倒伏指数の低下を根重の変動のみから説明することは困難であった。一方、単位根重当たりの押し倒し抵抗(R/W)は穂数の少ない株で著しく低下し、単位根重の株支持力に働く効率が劣ることが明らかとなった。従来より密度条件が高まるにつれて根の分布様式が変動し、深い層への根の伸長が抑制されたり(上村・森谷 1969, 田中・有馬 1996)、地上部に対する根重の比率が低下する傾向が指摘されている(田中・有馬 1996)。本研究の結果は、そうした根の量的変動や分布様式以外の要因が働き、単位根重の支持力に対する効率の変動を通じ、高密度条件下における耐倒伏性の低下がもたらされていることを示唆している。

この要因について本研究では、株基部に働く各作用力がそれぞれモーメントとして働くと仮定し、それらのバランスを考慮した以下のようなモデルに基づいて考察してみた。第4図は、ころび型倒伏について、稲株の基部における各作用力の働き方を模式的に示したものである。倒伏が生じる際には、稲の地上部に、風や雨に伴って図中のPに相応する力がかかる。この時、稲株が倒伏する場合には、Oを支点として回転しながら倒れるとみられ、倒伏さ



第4図 ころび型倒伏に関して稲株にはたらく力のつりあい。
d, d': 回転の中心(O)から根による支持力の作用点(節根の発根位置S)までの距離。

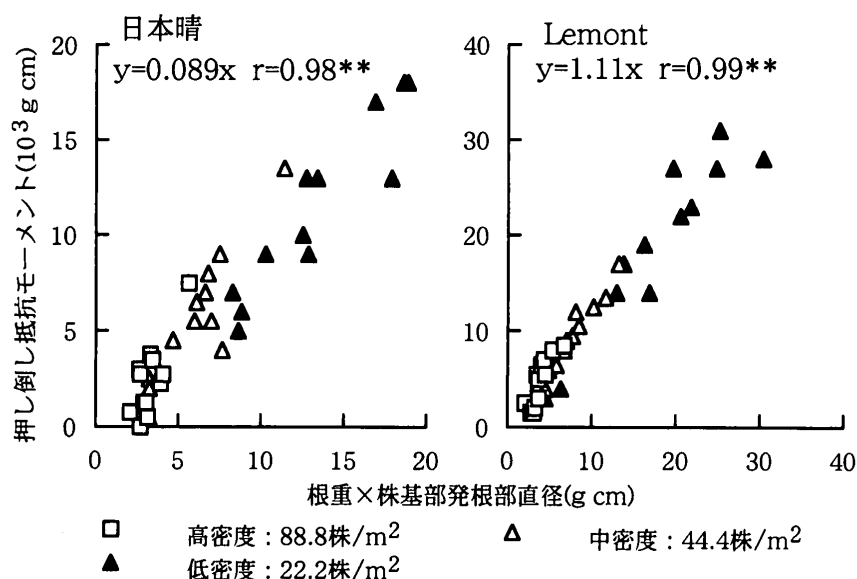
せようとする力はPとその作用点の高さHをかけたモーメント($P \times H$)で表すことができる。押し倒し抵抗の測定の場合も同様に抵抗値Rと測定高hの積値 $R \times h$ がこれに相当することとなる。一方、株を支える根の支持力は株基部の根が発根する位置を作用点として働くとみられる。今ある節根1本の支持力をFとし、その節根の発根位置をSとすると、倒伏に伴う株の回転をとめようとする力学的モーメントMは、OS間の距離Dとこれに直角の方向に働く根の支持力成分Fの積で表されるモーメント($D \times F$)と考えることができ、(1)式で表される。

$$M = D \times F \quad (1)$$

節根は1株から複数発根しており、DおよびFの値はそれぞれの節根によって異なるとみられるが、ここではそれらの平均した値(d, f)を有する節根1本の支持力モーメント(m)により全体を代表しえたと仮定する。一方、押し倒し抵抗Rは各節根の支持力モーメントMの株全体でみた合計値を測定していることになるから、節根数をnとすると両者のバランスに基づいて(2)式が得られる。

$$Rh = \Sigma M = n \times m = n \times (d \times f) \quad (2)$$

第4図では生育量が異なる稲株Aと稲株Bの比較を示しているが、それぞれが仮に同じ支持力(f)を有する節根によって支えられていたとしても、生育量の大小に伴って回転の中心Oからの距離(d, d')が異なると支持力のモーメントが異なる結果になることが推測される。すなわち、稲株Aより生育量の小さい稲株BではSがOに近く、d'がdより短いため、支持力モーメントが低い値となるであろう。以上のモデルの妥当性を確かめる目的で、試験IIにおける不織布埋設区と対照区について以下のような比較検討を行った。



第5図 株基部発根部直径と根重の積値に対する押し倒し抵抗モーメントの関係 (試験II: 不織布埋設区)。

** は1%水準での有意性を示す (n=36)。

不織布を埋設した圃場で作土層のみに根が分布する場合は、 f 値は根重に概ね比例すると考えられる (寺島ら 1995) ことから、その回帰係数を a とすると (3) 式が得られる。

$$Rh = d \times (n \times f) = d \times (n \times a \times w) = a \times d \times W \quad (3)$$

ここで w は平均的な節根1本の根重であり、 W は一株当たりの根重である。 d は実測が困難であるが、株基部の発根部における株直径が長ければこれに概ね比例して長くなると推定されることから、ここでは d は株基部の発根部の直径を代用することと仮定する。(3) 式が成立するのであるならば、根重 W と発根部の直径との積値に対する Rh の関係は原点を直線関係で表されるものと推定される。そこで、試験IIにおける不織布埋設圃場における各密度処理区を対象に、調査した各株ごとの株基部直径と根重の積値を算出し、押し倒し抵抗との関係を比較した。その結果、いずれの品種についても両者の間には高い相関関係が認められるとともに、原点を通る直線回帰式をあてはめることが可能と判断された (第5図)。

一方、対照区については根が心土層まで伸長しているため、根重だけではその支持力を推定できない。そこで、既報 (寺島ら 1995) で示した作土および心土各層に分布する根の比率と各層中における単位根重当たり支持力を用い、試験IIの対照区における各株の値を代入して3式における f を推定し、実測した押し倒し抵抗との関係をみた。すなわち、平均的な節根1本について作土層中の根重を wt 、その単位根重当たり支持力を kt 、心土層中の根重を ws 、その単位根重当たり支持力を ks とすると f は

$$f = a' \times (kt \times wt + ks \times ws) \quad (4)$$

ここで a' は定数である。これを3式の f に代入すると、

$$Rh = d \times (n \times f) = a' \times d \times (kt \times n \times wt + ks \times n \times ws) \quad (5)$$

第4表 根の支持力の推定に用いたパラメータ。

品種	m	α	kt	ks
日本晴	0.057	0.915	0.27	1.89
Lemont	0.097	0.817	0.29	1.71

m , α , kt , ks は各品種ごとに定まる本文中 (8) 式のパラメータに相応し、以下の内容を示す。いずれの値も既報 (寺島ら 1995) におけるデータに基づいて算出されたもの。

m : 出穂期地上部重に対する根重の比率。

α : 全根重に対する作土層内の根重の比率。

kt : 作土層内の単位根重当たり支持力。

ks : 心土層内の単位根重当たり支持力。

$n \times wt$ は一株の作土層中の根重 (Wt) となり、同様に $n \times ws$ は心土層中の根重 (Ws) となることから、以下の式が成立するであろう。

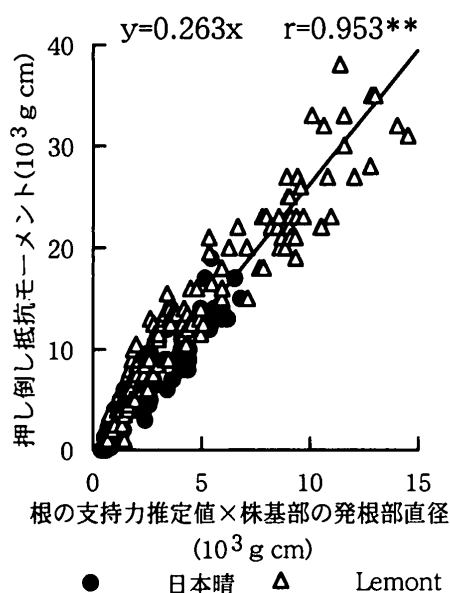
$$Rh = a' \times d \times (kt \times Wt + ks \times Ws) \quad (6)$$

試験IIでは対照区について、各層の株当たり根重を測定していないが、既報 (寺島ら 1995) で得られた地上部重に対する根重の比率 (m) と全根重に対する作土層内の根重の比率 (α) を代入することにより推定を行った。すなわち、地上部乾物重を U とすると、

$$Wt = U \times m \times \alpha \quad (7)$$

$$Ws = U \times m \times (1 - \alpha) \quad (8)$$

これらと第4表で与えられる各パラメータを (6) 式にあてはめて $d \times (kt \times Wt + ks \times Ws)$ を求め、実測した押し倒し抵抗と測定高 10 cm をかけあわせた押し倒し抵抗モーメントを比較したのが第6図である。両者の関係は Lemont, 日本晴のいずれについても、ほぼ同一の直線回帰式で近似されるとみられ、原点を通る一次回帰式でも



第6図 株基部発根部直径と根の支持力推定値(本文参照)の積値に対する押し倒し抵抗モーメントの関係(試験Ⅱ: 対照区)。

** は1%水準での有意性を示す (n=270)。

0.953の高い相関係数が得られた(第6図)。

以上より、株密度の違いや同一密度で栽培された場合の穂数や生育量の異なる株間における押し倒し抵抗の変動は、第4図や(3)式で示したような力学的な関係に基づく可能性が高いと判断された。すなわち、押し倒し抵抗が生育量の小さな株でより顕著に低下するのは、根の量が減少するだけでなく、株基部の回転の中心点から株を支持する根の発根部位までの距離も短くなり、これらの積となる支持力のモーメントがより顕著な低減を示すことが一要因として関与すると推察された。挫折型倒伏抵抗性の解析においては、稈の最大曲げモーメントは稈の質的要因によって定まる曲げ強さと、稈の太さ等形態的要因で定まる断面係数とに支配されると考えられている(森田・田谷 1957)。これと類似した関係が耐ころび型倒伏性にもあてはまり、根の支持力と、株基部の直径等形態的要因が全体の抵抗力を支配していると推察された。

以上の結果より直播栽培では、一株の穂数や生育量が小さくなる高密度条件は直接的に耐倒伏性の低下につながるとみられ、適正な播種量による一株生育量の確保が倒伏防止に対してきわめて重要であることが確認された。一方、従来より点播栽培が同じ播種量で比較してみても散播栽培や条播栽培に比較して耐倒伏性に優れることが報告されているが(下坪・富樫 1996, 寺島ら 1996, 吉永ら 2001a, b), これについても以上に指摘した、株支持力の株生育量に伴う変動特性に基づいている可能性が高いと考えられる。すなわち、散播栽培では苗立ち個体数がそのまま株数になり、一株の生育量は一般的な播種量では小さくなるのに対して、点播栽培では一株につき数粒ずつ播種されるため、播種粒数に比較して株数が少なく、同じ苗立ち密度でも一株の生育量は散播より大きくなる。この結果、点播栽

培では株基部の直径が大きく株支持力のモーメントが高くなり、相対的に強い耐倒伏性が得られていると推察された。

引用文献

- 原城隆・寺中吉造 1973. 寒冷地における湛水散播水稻の生育相に関する研究. 東北農試研報 44: 1—48.
- 稻田勝美 1960. 水稻根の採取法. 農及園 35: 877—878.
- 黒沢健・阿部真三 1971. 湛水散播水稻の倒伏に関する研究. 第2報 散播水稻の倒伏と稲体支持力・稲体モーメント比との関係. 日作東北支報 13: 62—63.
- 森田昇・田谷鴨久 1957. 水稻の倒伏における茎稈の力学的考察. 第1報 厩肥と窒素の施肥量を異にした場合の水稻茎稈の材料力学的性質並びにそれが倒伏との関係. 弘大農学術報 3: 52—59.
- 長島正・渡部富男・長野淳子・深山政治 1990. 水稻の早期栽培地帯における湛水土中直播栽培法に関する研究. 4. 品種別の多収生育相の解明. 千葉農試特報 17: 33—49.
- 中村公則・黒沢健・酒井英・原城隆 1964. 湛水散播栽培における2,3の栽培条件と水稻の生育反応. 東北農試研究速報 4: 25—30.
- 新田英雄 1966. 水稻散播栽培における倒伏の要因に関する一考察. 中国農業研究 34: 11—12.
- 尾形武文・松江勇次 1996. 北部九州における水稻湛水直播栽培に関する研究. 第1報 耐倒伏性の評価方法. 日作紀 65: 87—92.
- 坂井定義・伊東延久 1975. 水稻湛水散播栽培に関する研究. 日作九州支報 42: 89—91.
- 下坪訓次・富樫辰志 1996. 水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究 2. 点播水稻と条播水稻の押し倒し抵抗の比較. 日作紀 65(別1): 14—15.
- 田守健夫・竹島修二 1970. 湛水散播直播水稻の倒伏に関する研究. 富山農試研報 4: 1—6.
- 田中典幸・有馬進 1996. 水稻の生育に及ぼす栽植密度の影響. 日作紀 65: 71—76.
- 寺中吉造・黒沢健 1971. 湛水散播水稻の倒伏に関する研究. 第1報 大区画水田における散播水稻の生育と倒伏. 日作東北支報 13: 60—61.
- 寺島一男・秋田重誠・酒井長雄 1992. 直播水稻の耐倒伏性に関与する生理生態的形質. 第1報 押し倒し抵抗測定による耐ころび型倒伏性の品種間比較. 日作紀 61: 380—387.
- 寺島一男・尾形武文・秋田重誠 1994. 直播水稻の耐倒伏性に関与する生理生態的形質. 第2報 耐ころび型倒伏性品種の根の生育特性. 日作紀 63: 34—41.
- 寺島一男・秋田重誠・酒井長雄 1995. 直播水稻の耐倒伏性に関与する生理生態的形質. 第3報 根の土層別分布と耐ころび型倒伏性との関係. 日作紀 64: 243—250.
- 寺島一男・矢治幸夫・木村勝一・石倉教光 1996. 複粒種子コーティングを用いた水稻湛水散播栽培の生育と収量. 日作紀 65(別2): 19—20.
- 上村幸正・森谷睦夫 1969. 水稻直播栽培における播種密度と地下部の生育反応との関係—とくに高密度条件の影響について—. 日作紀 38: 377—383.
- 上村幸正・松尾喜義・小松良行 1985. 湛水直播水稻の倒伏抵抗性について. 日作四国支報 22: 25—31.
- 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次 2001a.

打ち込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稻の耐倒伏性向上—播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響—. 日作紀 70: 186—193.

吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次 2001b.

打ち込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稻の耐倒伏性向上—耐倒伏性向上および安定化のための点播条件—. 日作紀 70: 194—201.

Relationship Between Biomass of an Individual Hill and Root Lodging Tolerance in Direct Seeded Rice: Kazuo TERASHIMA^{*1)}, Kiwamu SAKAI²⁾ and Nobuyuki KABAKI³⁾ (¹⁾*Natl. Agr. Res. Cent. for Tohoku Region, Omagari 014-0102, Japan;* ²⁾*Fukui Pref. Agr. Exp. Stn.;* ³⁾*Japan Internatl. Res. Cent. for Agr. Sci.*)

Abstract: The relationship between biomass of an individual hill and pushing resistance was investigated using lodging tolerant US. rice cultivar 'Lemont' and susceptible Japanese rice cultivar 'Nipponbare'. The plants were grown in the field at the same density (44.4 hills per m²) in 1990 and at different densities (22.2, 44.4, 88.8 hills per m²) in 1993 with or without laying a porous membrane between the top-soil and sub-soil layer. At the heading stage, panicle number (E), plant height (H), pushing resistance (R) at 10cm height (h), root and shoot dry weight (W,U), and diameter of culm base originating nodal roots (D) were measured for each individual hill. Lodging index $[I = (H \times U) / (h \times R)]$, indicating a level of tolerance to root lodging, was higher in the hills with less E. This tendency was not significantly affected by porous membrane laying treatment which prevented roots from elongating to sub-soil layer. The ratio of R to W was lower in the plant with less E or the plant grown under highly dense condition. Above results indicate that factors other than root mass and penetration to sub-soil layer are relating to the decrease of lodging tolerance in rice plant with less E. The possible influence of D on root lodging tolerance was discussed based on the balance of physical moments working on the culm base.

Key words: Direct seeding, Plant density, Rice, Root, Root lodging.