

湛水直播水稻における出穂後日数の経過が 耐倒伏性と稈基部の物理的性質に及ぼす影響

古畑昌巳¹⁾・有馬進²⁾

(¹⁾ 中央農業総合研究センター北陸研究センター, (²⁾ 佐賀大学農学部)

要旨：出穂後日数の経過が湛水直播水稻の耐倒伏性と稈基部の物理的性質に及ぼす影響を 14 品種・系統で検討した。出穂後 2 週間目に比べて 5 週間目では、大半の供試品種・系統で押し倒し抵抗値は小さく、倒伏指数は大きくなり、一部の品種・系統ではなびき型倒伏が生じた。この要因として、穂重 / 地上部重比が増加したことおよび稈基部の生葉鞘数の減少にともなって断面係数および葉鞘付挫折時モーメントが低下したことが考えられた。多収系統である西海 203 号は葉鞘の老化が遅く、出穂後 5 週間目においても断面係数および葉鞘付挫折時モーメントが大きく維持されていたため、押し倒し抵抗値が大きく、倒伏指数が小さいことから耐倒伏性に優れていることが明らかとなった。

キーワード：イネ、出穂後日数、耐倒伏性、湛水直播、断面係数、品種間差異、葉鞘、葉鞘付挫折時モーメント。

前報 (古畑・有馬 2007) では、湛水直播水稻において伸長方向別冠根数の割合と耐倒伏性の間には有意な相関関係が認められ、45 度以上に分布する冠根数の割合が大きい品種は耐倒伏性が強いことを明らかにした。このことは耐ころび型倒伏に優れる品種では土壌の深層に根を分布させる傾向にあり (寺島ら 1994)、押し倒し抵抗値の大きい品種は 36 度～54 度に分布する冠根が地上部の支持に重要な役割を担っている (坂田ら 2004) という報告と一致した。また、稈基部の断面係数および葉鞘付挫折時モーメントと耐倒伏性の間では、伸長方向別冠根数の割合より高い相関関係が認められ、ころび型倒伏が生じない場合、播種深度にかかわらず稈基部の物理的性質が耐倒伏性により密接に関係していることが示唆された。このことは、湛水直播栽培でなびき型倒伏が生じた場合には稈基部の物理的性質が大きく寄与していること (三王ら 2001)、乾田直播栽培では、倒伏と地上部形質の間に高い相関関係が認められること (宮坂・高屋 1982) と同義であり、直播水稻の耐倒伏性に地上部形質が大きく寄与していることを示唆している。

水稻は生態型からジャポニカ種 (日本型)、インディカ種 (インド型) に大別することができるが、現在日本で普及栽培されている品種のほとんどは日本型かつ良食味品種であり、遺伝的に近縁で形態的、生態的諸形質が似かよっている (大川ら 1991)。尾形・松江 (1998) は、日本の良食味品種において倒伏程度の強弱が異なる 2 群の倒伏関連形質を比較した結果、耐倒伏性強い品種群は、耐倒伏性弱い品種群に比べて稈長が有意に短かったと報告している。また、大川・石原 (1992) は、我が国では耐肥性が強い水稻を育成する中で短稈化による地上部モーメントの低下によって耐倒伏性を獲得してきたとする一方で、地上部モーメントが大きい長稈品種であっても葉鞘付挫折時モーメントが大きい特性を持つことによって倒れにくい品種が存在し、移植栽培条件において葉鞘の老化が遅く葉鞘補強

度が高いことから葉鞘付挫折時モーメントの大きいアケノホシや、稈の断面係数が著しく大きいことによって稈の挫折時モーメントが大きい密陽 23 号のような品種があることを報告している。

湛水直播栽培条件 (古畑・有馬 2007) では、耐倒伏性の強い Lemont および New Bonnet の断面係数および葉鞘付挫折時モーメントが大きいことから、移植栽培と同様に地上部形質が湛水直播栽培における耐倒伏性に大きく寄与していると考えられる。さらに、湛水直播水稻の倒伏は移植水稻と同様に収穫前後に生じることは少なく、登熟後半に顕著となることが多い。このことは出穂後日数の経過に伴う地上部形質の変化が耐倒伏性に影響していることを示唆している。すでに乾田直播水稻では出穂後における地上部諸形質の推移と耐倒伏性との関係について詳細に報告されている (高屋・宮坂 1983) が、湛水直播水稻において出穂後日数の経過が地上部形質や稈基部の物理的性質に及ぼす影響について十分な報告は行われておらず、湛水直播水稻の倒伏が登熟後半に顕著になる要因は明らかにされていない。

そこで本研究では、湛水直播水稻の倒伏が登熟後半に顕著になる要因を明らかにするため、耐倒伏性に関与する地上部形質および稈基部の物理的性質を出穂後 2 週間目と 5 週間目で比較し、耐倒伏性とこれらの形質に出穂後日数の経過が及ぼす影響を検討した。

材料と方法

1. 試験方法

本試験では、移植向けに育成され、現在栽培されている日本稲 6 品種 (日本型)、直播向けに育成され、苗立ち性やころび型倒伏に強いと考えられるアメリカ稲 4 品種、九州農業試験場 (現九州沖縄農業研究センター) で育成され、育成地において直播栽培での耐倒伏性と収量性に優れ、直

第1表 供試品種・系統の来歴, 出穂期および穂数.

品種・系統名	交配組合せ (原産地)	出穂期 (月・日)	穂数 (本 / 株)
ヒノヒカリ	愛知 40 号 / コシヒカリ	8.29	7.4
キヌヒカリ	収 2800 / 北陸 100 号 / 北陸 96 号	8.15	8.2
コシヒカリ	農林 22 号 / 農林 1 号	8.16	8.3
日本晴	東海 7 号 / 幸風	8.21	7.2
レイホウ	西海 62 号 / 綾錦	9.4	7.5
ユメヒカリ	コシヒカリ / / (ニシヒカリ / コシヒカリ) F2	9.4	7.6
Lemont	(アメリカ)	8.27	5.6
M202	(アメリカ)	8.14	6.7
M401	(アメリカ)	8.21	5.5
New Bonnet	(アメリカ)	8.25	4.7
西海 203 号	奥羽 326 号 / (水原 258 号 / 台農 67 号) F6	8.29	6.6
西海 210 号	九系 654 / M401 / 碧風	8.27	8.0
西海 218 号	89H613 / ヒノヒカリ	8.24	7.2
西海 228 号	西海 195 号 / 北陸 148 号	8.21	7.3

播向きであると判断された西海 210 号, 西海 218 号および西海 228 号 (以上 3 系統は日本型) と移植で耐倒伏性に優れ多収系統である西海 203 号 (日印中間型) の 4 系統の計 14 品種・系統を供試した (第 1 表).

1997 年 6 月 4 日に九州農業試験場 (福岡県筑後市) 内の水田圃場に入水して施肥し, 代かきを行った後, 夕方から落水して飽水状態とした. 翌日, 深さ 1 cm に均一に播種できるように加工したアクリル製の播種板とピンセットを用いて過酸化カルシウム剤被覆種子を播種した. 1 試験区の面積は約 4.2 m² (1.3 m × 3.2 m) で 2 反復とし, 播種密度は 51 個体 / m² (14 cm × 14 cm), 1 株 1 本立てとした. 施肥 (N 成分 g / m²) は化成肥料で基肥 6, 中間追肥 3, 穂肥 3 (P, K 成分は N 成分と同量) とし, 中間追肥は 7 月 12 日に全ての品種・系統に施用し, 穂肥は各品種・系統の出穂前 20 日前後にを行った. 水管理は播種後に一時落水としたほかは常時浅水管理とし, 病虫害防除は適宜行った.

2. 地上部形質の調査および稈基部の物理的性質の測定

出穂後 2 週間目および 5 週間目に穂数および倒伏試験器 (大起理化工業製) を用いた地際から 10 cm の高さの押し倒し抵抗値を 40 個体調査し, 個体の地上部重 (生重), 稈長から地上部モーメント (稈長と 1 穂あたりの生体重の積) を求めて, さらにこれらの値から寺島ら (1992) の方法に準じて倒伏指数 $\{(地上部モーメント / (測定高 \times 1 \text{ 穂あたりの押し倒し抵抗値})\}$ を算出した. なお, なびき型あるいは挫折型倒伏のみが生じる移植栽培では倒伏指数と倒伏程度との間に相関関係が認められていること (大川・石原 1992), 湛水直播栽培における倒伏程度と稲体の支持力を表す押し倒し抵抗値とは相関が高く, 押し倒し抵抗値について湛水直播栽培と移植栽培との間に高い相関がある (尾形・松江 1996) ことから, 倒伏指数および押し倒し抵抗値をなびき型倒伏の指標として用いた.

さらに, 地上部重に占める穂重の割合を穂重 / 地上部重比 (%) として求め, 穂が付いた状態の稈について基部側から重心までの距離を重心高 (cm) として求めた. また, 同時期の圃場における倒伏程度は, 倒伏した株の垂直面に対する角度を分度器で測定し, 傾斜角度を大川・石原 (1992) の方法に従って倒伏程度 0~5 で表した. すなわち, 直立している株を倒伏程度 0, 0 度から 18 度を 1, 18 度から 36 度を 2, 36 度から 54 度の中程度の倒伏を 3, 54 度から 72 度を 4, 72 度から 90 度の著しい倒伏を 5 とした. 稈基部の物理的性質の測定については大川・石原 (1992) の方法に準じて行った. すなわち, 上記調査株とは別に採取した株中から葉鞘を付けたままの最長稈 20 本について, 第 IV 節間 (穂首節間を第 I 節間とした) を支点間距離 6 cm の支点上に置き, 茎稈挫折強度試験機 (佐藤製作所製 EO-3 型) を用いて節間の中央部の挫折時最大荷重を測定した. 測定後, 挫折箇所近傍を切断し, 切断面にインクをつけ紙が茎水分でにじまないようスタンプし, 稈横断組織面積を中空楕円とみなして計算した. さらに別の株中から上記と同様に葉鞘を付けたままの最長稈 20 本について, 第 IV 節間の生葉鞘数を調査した後, 葉鞘を除いた稈においても同様の測定を行い, 挫折時モーメントにおける葉鞘補強度を求めた. これらの結果を用いて第 IV 節間の各物理量は, 北条・小田 (1965), 田原ら (1967) の材料力学的方法により, 以下の計算によって求めた.

葉鞘付挫折時モーメント (g cm)

$$: 1/4 \times (\text{葉鞘付挫折時最大荷重}) \times (\text{支点間距離})$$

稈の挫折時モーメント (g cm)

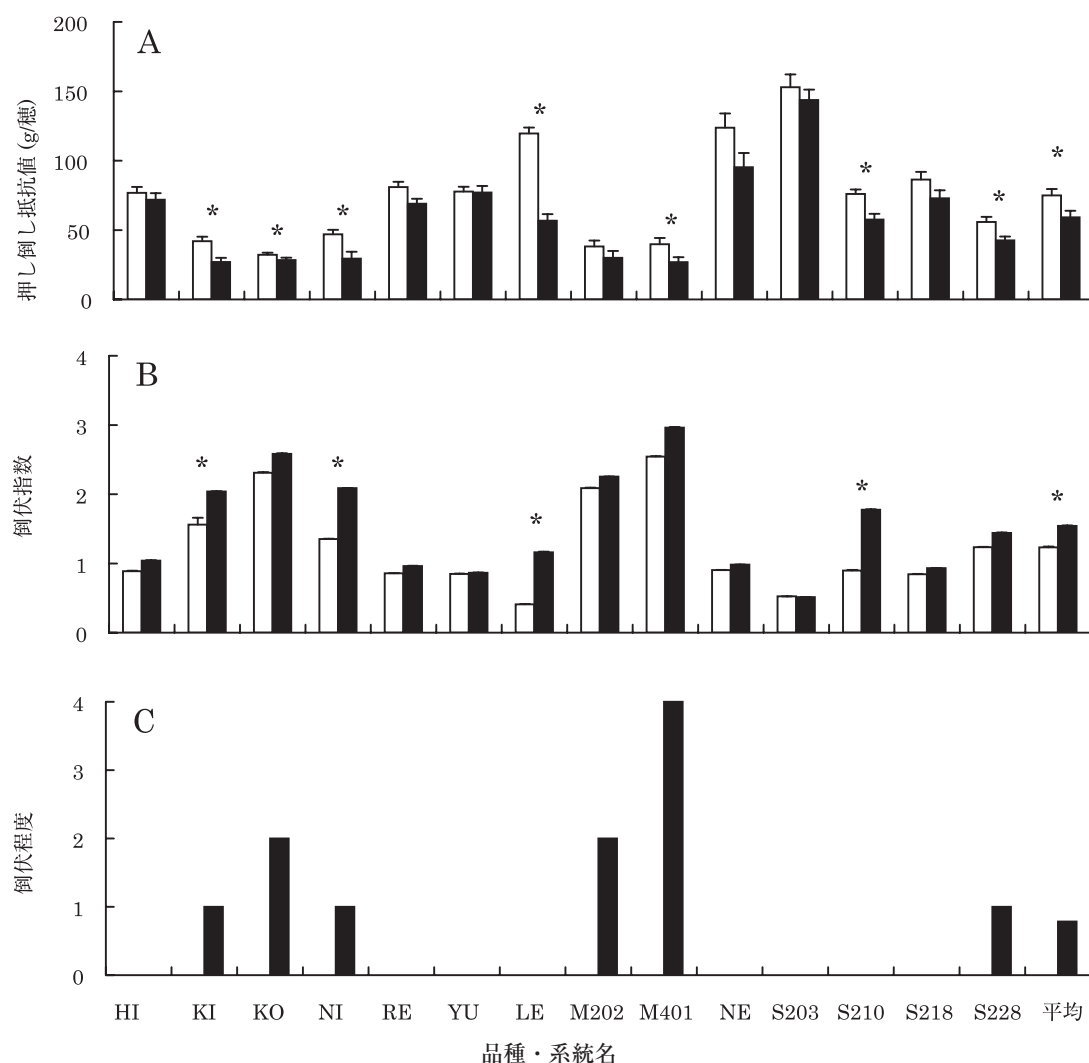
$$: 1/4 \times (\text{稈の挫折時最大荷重}) \times (\text{支点間距離})$$

断面係数 (mm³)

$$: \pi/4 \times (a_1^3 b_1 - a_2^3 b_2) / a_1$$

a_1, b_1 : それぞれ葉鞘付き稈の短半径 (mm), 長半径 (mm),

a_2, b_2 : それぞれ中空楕円の短半径 (mm), 長半径 (mm)



第1図 押し倒し抵抗値、倒伏指数および倒伏程度の比較。

倒伏指数 = 地上部モーメント / (1穂当たりの押し倒し抵抗値 × 測定高)。品種・系統は、HI：ヒノヒカリ、KI：キヌヒカリ、KO：コシヒカリ、NI：日本晴、RE：レイホウ、YU：ユメヒカリ、LE：Lemont、NE：New Bonnet、S203：西海203号、S210：西海210号、S218：西海218号、S228：西海228号、その他は表記通り（第3図、第4図、第8図も同様）。白棒は出穂後2週間目、黒棒は出穂後5週間目のデータを示し、バーは標準誤差を示す。*：対応のない（平均値のみ対応のある）t検定の結果、出穂後2週間目および出穂後5週間目のデータ間において5%水準で有意差があることを示す。

曲げ応力 (gmm^{-2})

：葉鞘付き挫折時モーメント / 断面係数

葉鞘補強度 (%)

：葉鞘付挫折時モーメントと稈の挫折時モーメントの差（葉鞘による補強分）を葉鞘付挫折時モーメントで除した値。

結 果

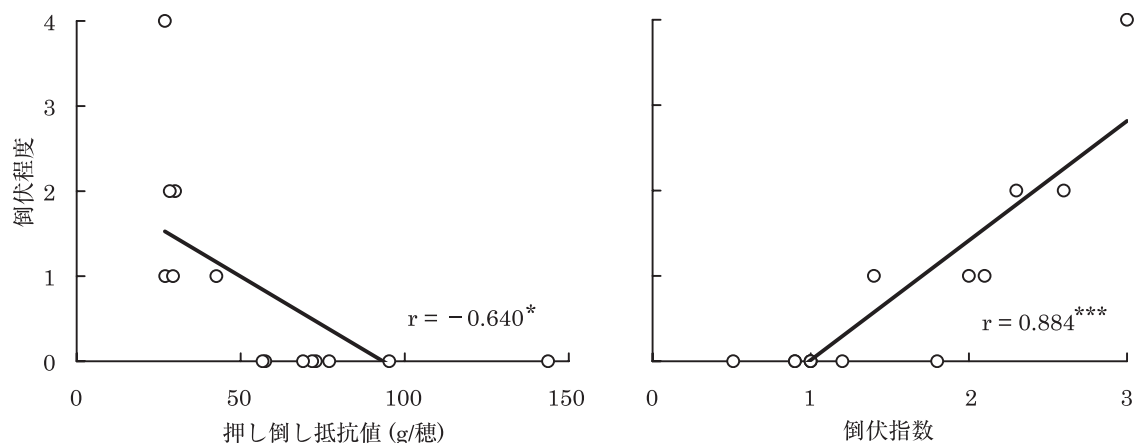
1. 押し倒し抵抗値、倒伏指数および倒伏程度の品種・系統間の比較

押し倒し抵抗値は出穂後2週間目から5週間目にかけて小さくなり（第1図A）、倒伏指数は大きくなる（第1図B）品種・系統が多かった。また、倒伏程度は、出穂後2週間目には全品種・系統で0（無倒伏）であったが、出穂後5

週間目には6品種・系統になびき型倒伏が生じた（第1図C）。特徴的な品種・系統についてみると、押し倒し抵抗値は、出穂後2週間目ではLemont、New Bonnet、西海203号で大きく、出穂後5週間目では西海203号のみが大きかった（第1図A）。また、倒伏指数は、New Bonnet、西海203号、西海218号で出穂後2週間目および5週間目とともに小さく、Lemontは出穂後2週間目では小さかったが、出穂後5週間目で大きかった（第1図B）。さらに、倒伏程度はM401で4と最も大きく、次いでコシヒカリとM202で2と大きかった（第1図C）。

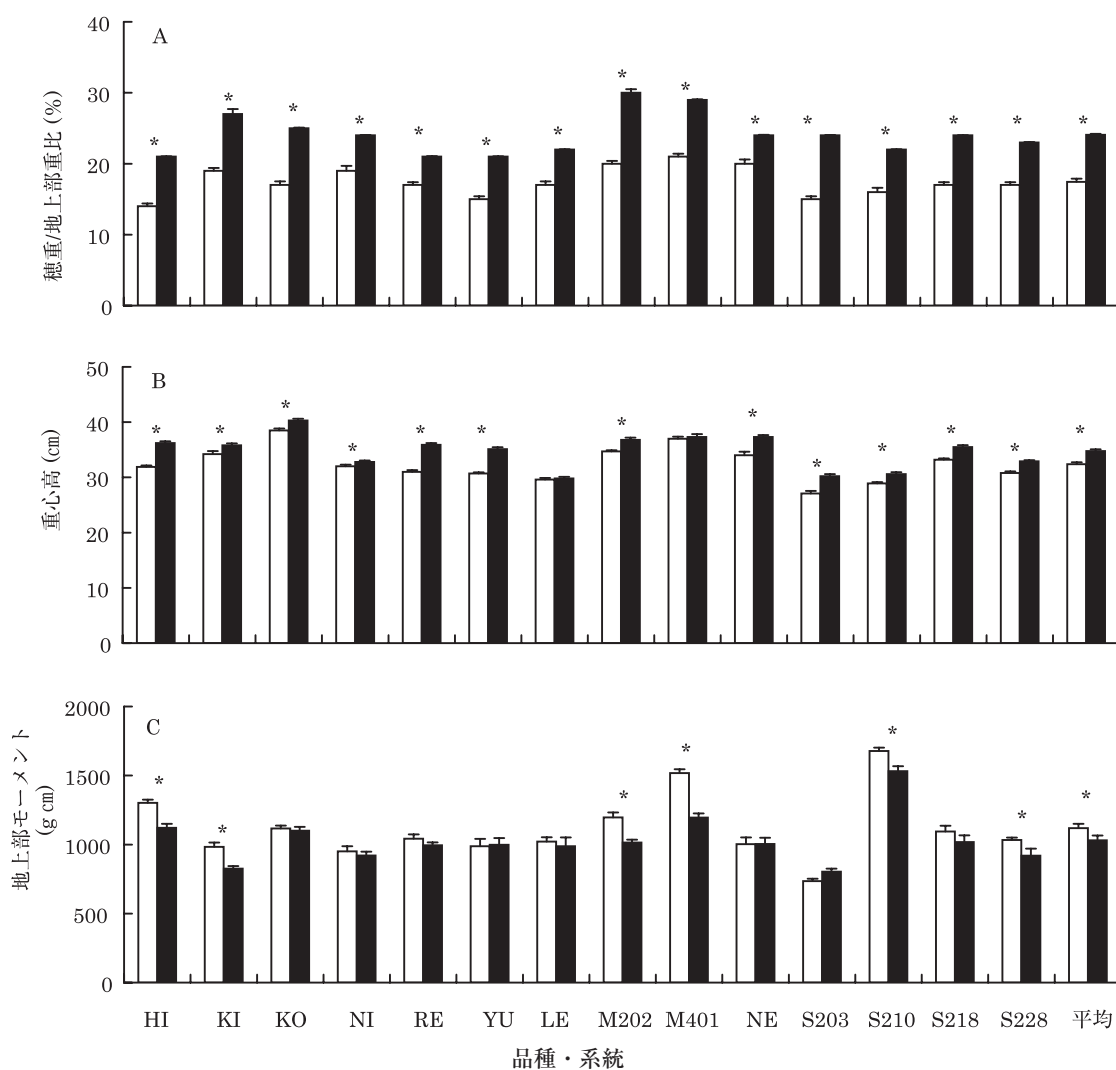
2. 押し倒し抵抗値および倒伏指数と倒伏程度との関係

出穂後2週間目には倒伏が生じなかったため、倒伏が生じた出穂後5週間目について押し倒し抵抗値および倒伏指



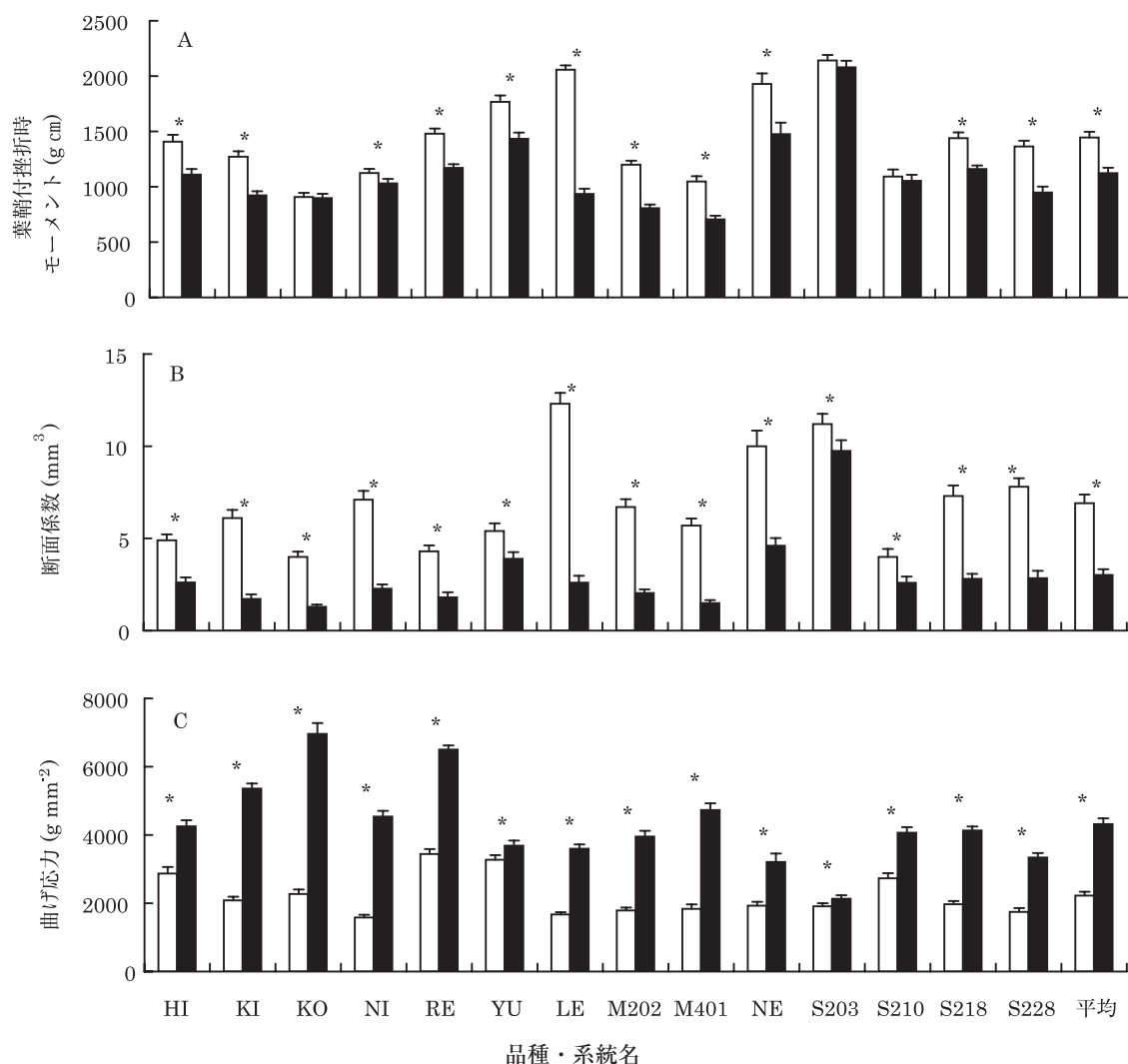
第2図 出穂後5週間目における押し倒し抵抗値および倒伏指数と倒伏程度との関係.

***は0.1%水準, *は5%水準で有意な相関関係があることを示す.



第3図 耐倒伏性に関与する地上部形質の比較.

重心高は重心までの基部側からの距離で示す. 地上部モーメント=稈長×1穂生重. 白棒は出穂後2週間目, 黒棒は出穂後5週間目のデータを示し, バーは標準誤差を示す. *: 対応のない (平均値のみ対応のある) t検定の結果, 出穂後2週間目および出穂後5週間目のデータ間において5%水準で有意差があることを示す.



第4図 稈基部（第Ⅳ節間）の物理的性質の比較.

白棒は出穂後2週間目, 黒棒は出穂後5週間目のデータを示し, パーは標準誤差を示す. *: 対応のない (平均値のみ対応のある) t 検定の結果, 出穂後2週間目および出穂後5週間目のデータ間において5%水準で有意差があることを示す.

数と倒伏程度との関係を第2図に示した. 押し倒し抵抗値が大きい品種・系統では倒伏程度は小さく, また, 倒伏指数が大きい品種・系統では倒伏程度も大きい傾向が認められた. 押し倒し抵抗値と倒伏程度との相関係数は -0.640 (5%水準で有意) と負の相関関係が認められ, 押し倒し抵抗値が1穂当たり50g以上では倒伏程度がいずれも0であった. 倒伏指数と倒伏程度との相関係数は 0.884 (0.1%水準で有意) であった. この結果, 倒伏指数が実際の倒伏程度と非常に高い相関関係を示したため, 以後は倒伏指数を耐倒伏性の指標として用いた.

3. 耐倒伏性に関する地上部形質および稈基部の物理的性質の比較

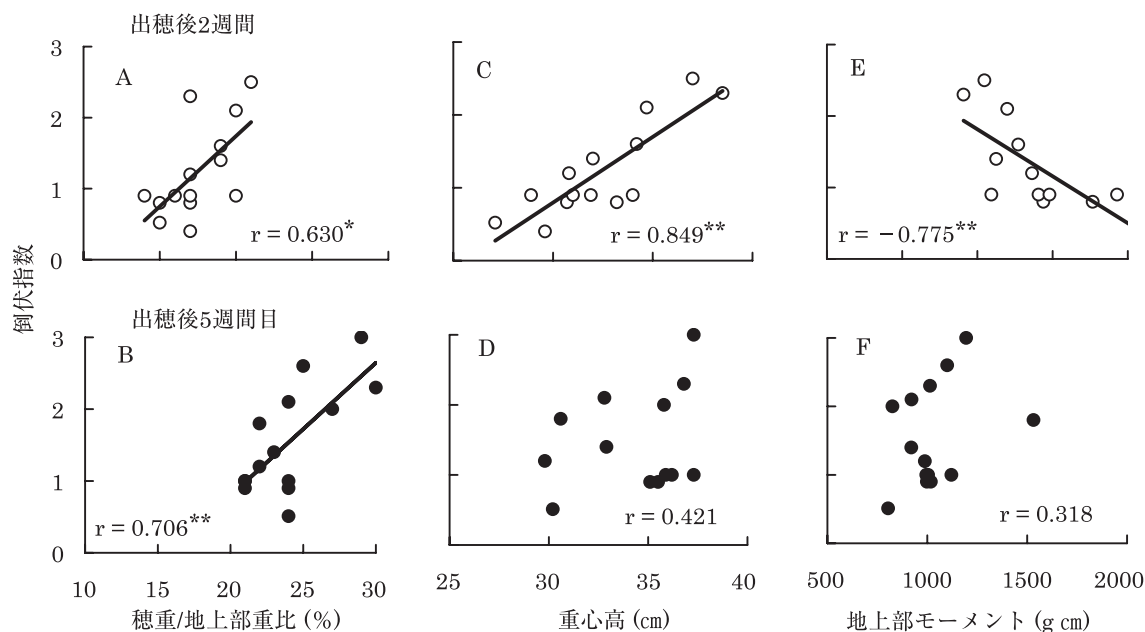
出穂後2週間目から5週間目にかけて穂重 / 地上部重比は大きくなり (第3図A), 重心高が高まる品種・系統が多かった (第3図B). 一方, 地上部モーメントは6品種・

系統で有意に小さくなったが, 8品種・系統では有意な変化はみられなかった (第3図C).

稈基部の物理的性質では, 出穂後2週間目から5週間目にかけて葉鞘付挫折時モーメントは有意に低下する品種・系統が多く (第4図A), 断面係数はすべての品種・系統で有意に小さくなり (第4図B), 曲げ応力は大きくなった (第4図C). 特徴的な品種・系統についてみると, 出穂後2週間目にはLemont, New Bonnet, 西海203号の葉鞘付挫折時モーメント (第4図A) および断面係数 (第4図B) が大きく, 出穂後5週間目には西海203号のみ葉鞘付挫折時モーメント (第4図A) および断面係数 (第4図B) が大きかった.

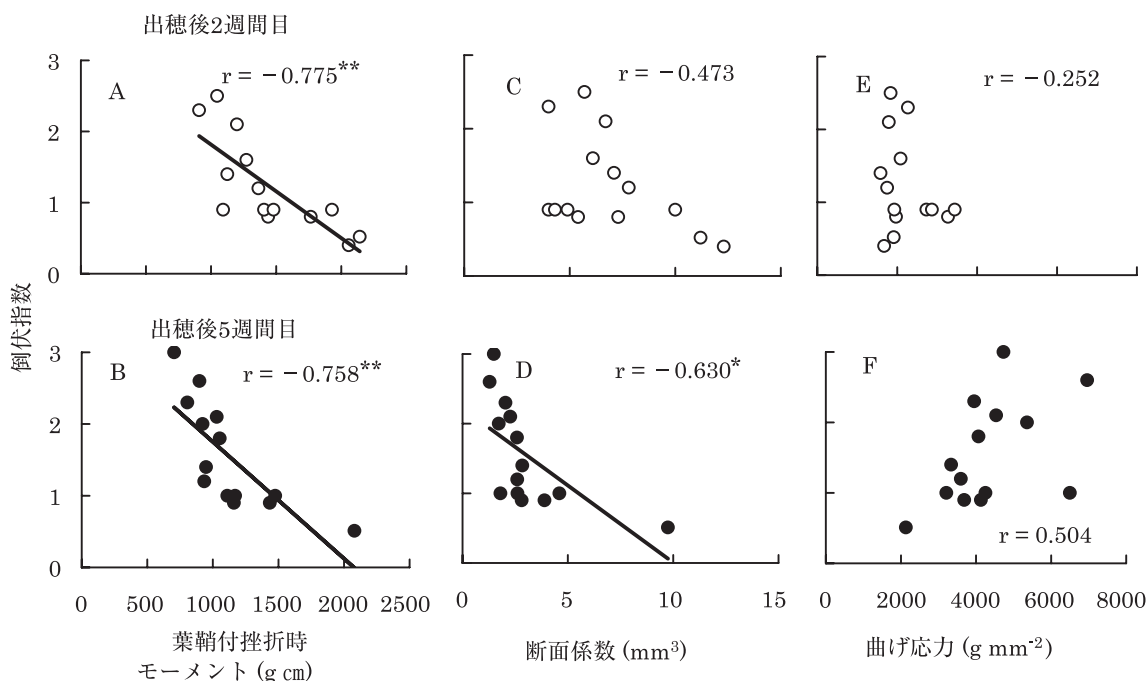
4. 地上部形質と耐倒伏性との関係

出穂後2週間目では穂重 / 地上部重比が大きい品種・系統は倒伏指数も大きい傾向が認められた (第5図A). また,



第5図 地上部形質と耐倒伏性との関係.

** は1%水準, * は5%水準で有意な相関関係があることを示す.



第6図 稈基部(第IV節間)の物理的性質と耐倒伏性との関係.

** は1%水準, * は5%水準で有意な相関関係があることを示す.

出穂後5週間目にも同様の傾向が認められ(第5図B), 穂重/地上部重比と倒伏指数の間に有意な正の相関が認められた.

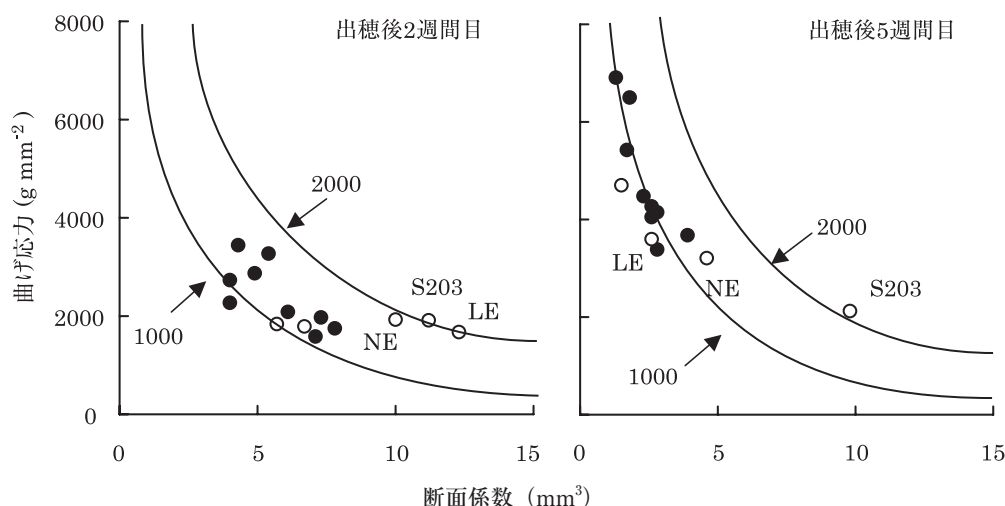
また, 出穂後2週間目では重心高が高い品種・系統は倒伏指数も大きく, 有意な正の相関が認められた(第5図C). 出穂後5週間目にも同様の傾向が認められたが相関係数に有意性はなかった(第5図D).

出穂後2週間目では地上部モーメントが大きい品種・系

統は倒伏指数が小さく, 有意な負の相関関係が認められた(第5図E)が, 出穂後5週間目には両者の間には明らかな関係が認められなかった(第5図F).

5. 稈基部の物理性と耐倒伏性との関係

出穂後2週間目では葉鞘付挫折時モーメントが大きい品種・系統は倒伏指数が小さい傾向が認められた(第6図A). また, 出穂後5週間目にも同様の傾向が認められ(第6図



第7図 稈基部（第IV節間）の断面係数と曲げ応力の関係における品種・系統の比較。

●は日本型の9品種・系統，○は外国（アメリカ）の4品種とわが国の日本型以外（日印中間型）の1系統を示す。LE：Lemont，NE：New Bonnet，S203：西海203号。曲線は葉鞘付挫折時モーメント（1000 g cm，2000 g cm）を示す。

B)，有意な負の相関が認められた。

また，出穂後2週間目では断面係数が大きい品種・系統は倒伏指数が小さく，有意ではないが負の相関が認められた（第6図C）。また，出穂後5週間目でも同様の傾向が認められ（第6図D），断面係数と倒伏指数の間に有意な負の相関が認められた。

曲げ応力については，出穂後2週間目では明らかな傾向が認められなかった（第6図E）が，出穂後5週間目では曲げ応力が大きい品種・系統は倒伏指数も大きい傾向が認められ（第6図F），有意ではないが正の相関関係を示した。

6. 稈基部の葉鞘および稈の物理的性質の比較

葉鞘付挫折時モーメントを構成する断面の持つ折れにくさを数値化した断面係数と単位面積当たりの強さを表す曲げ応力との関係を第7図に示した。出穂後2週間目では，供試した14品種・系統の葉鞘付挫折時モーメントは1000～2000 g cm前後に散在し，2000 g cm前後と大きいLemont，New Bonnet，西海203号の3品種・系統はいずれも曲げ応力は小さく断面係数が大きいことによって茎が折れにくい性質を備えていた。出穂後5週間目では，多くの品種・系統が1000 g cm近くに分布し，断面係数は小さく，また断面係数と曲げ応力との間には負の相関関係が認められた。一方，出穂後2週間目と同様に葉鞘付挫折時モーメントが2000 g cm前後に維持されていたのは西海203号のみで，LemontとNew Bonnetは断面係数が小さくなり，葉鞘付挫折時モーメントも小さくなった。

葉鞘付挫折時モーメントを稈と葉鞘部分に分け，その物理的性質を第8図に示した。出穂後2週間目から5週間目にかけて葉鞘付挫折時モーメントは多くの品種・系統で低下した（第8図A）。稈の挫折時モーメントでは，LemontおよびNew Bonnetで有意に低下し，他の12品種・系統で

は有意に変化しなかった（第8図B）。一方，葉鞘の挫折時モーメントでは，ヒノヒカリ，キヌヒカリ，日本晴，レイホウ，ユメヒカリ，Lemont，M202，M401，西海218号，西海228号の10品種・系統で有意に低下し，他の4品種・系統では有意に変化しなかった（第8図C）。さらに，葉鞘付稈の横断面積は西海203号を除いて有意に低下した（第8図D）。

7. 稈基部の葉鞘補強強度および生葉鞘枚数と耐倒伏性との関係

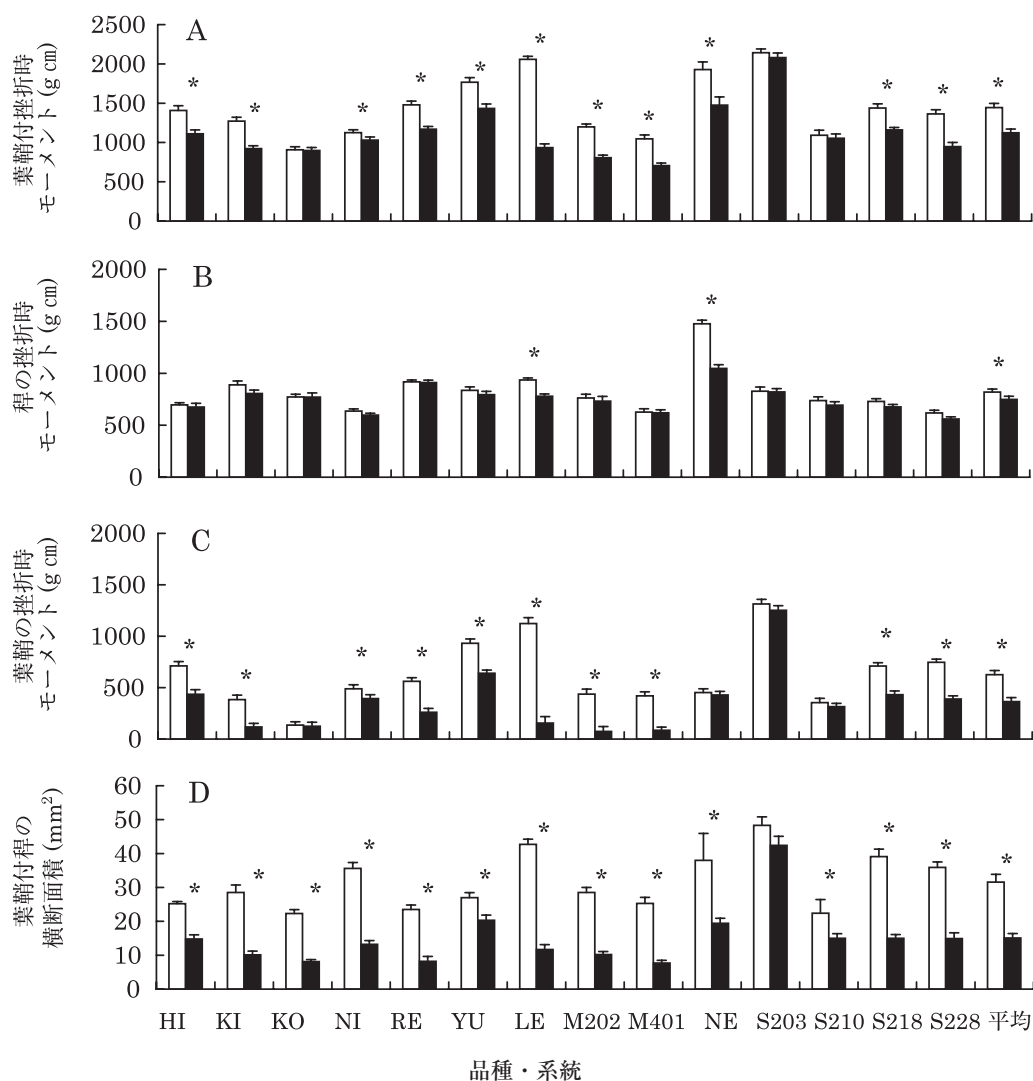
葉鞘付挫折時モーメントにおける葉鞘補強強度を第2表に示した。稈の挫折時モーメントが出穂後2週間目から5週間目にかけて大きく低下したNew Bonnet以外では，コシヒカリ，西海203号，西海210号の数値はほとんど変わらず，残りの供試品種・系統の葉鞘補強強度は低下した。また，その低下程度には品種・系統間差が認められた。

出穂後2週間目では，生葉鞘数が多い品種・系統の葉鞘付挫折時モーメントが大きい傾向が認められた。また，同様の傾向が出穂後5週間目でも認められ，いずれの調査時期についても有意な正の相関が認められた（第9図）。

考 察

1. 出穂後日数の経過が耐倒伏性に関与する地上部形質に及ぼす影響

本実験では，出穂後日数の経過に伴って穂重 / 地上部重比は大きくなり，重心高は高まった（第3図A，B）。これは，出穂後日数の経過に伴って穂にデンプンが蓄積して，穂重の割合が地上部重に対して大きくなった結果，重心の位置が高まったと考えられた。また，穂重 / 地上部重比が大きい品種・系統では倒伏指数も大きく，重心高が高い品種・系統でも倒伏指数が大きい傾向が出穂後2週間目お



第8図 稈基部（第Ⅳ節間）における葉鞘および稈の物理的性質の比較。

白棒は出穂後2週間目、黒棒は出穂後5週間目のデータを示し、バーは標準誤差を示す。*：対応のない（平均値のみ対応のある）t検定の結果、出穂後2週間目および出穂後5週間目のデータ間において5%水準で有意差があることを示す。

および5週間目でともに認められ（第5図A, B, C, D）、出穂後の経過に伴う穂への乾物の蓄積によって倒伏性が高まることが示唆された。これに関して、移植水稻では重心高が耐倒伏性に関わる重要な形質であること（渡辺 1985a, b, 八木 1998）、乾田直播水稻では出穂後日数の経過に伴う重心高の上昇によって耐倒伏性が低下すること（高屋・宮坂 1983）が報告されている。

本試験では、出穂後2週間目と5週間目とでは地上部モーメントと倒伏指数との関係は異なり、出穂後2週間目の耐倒伏性は地上部モーメントの増加に伴って高まったが、出穂後5週間目では両者の関係は明らかではなかった（第5図E, F）。一般に移植水稻では、稈長が伸びれば稈の太さも増し（八木 1983）、地上部モーメント（稈長と1穂あたりの生体重の積）も大きくなると考えられている。前報（古畑・有馬 2007）でも出穂後2週間目の地上部モーメントの増加に伴って稈基部の断面積は大きくなり、耐倒伏性は高

まった。本試験では倒伏指数は地上部モーメント / (測定高 × 1穂当たりの押し倒し抵抗値) として求めたが、出穂後5週間目には押し倒し抵抗値が全体的に低下した（第3図）ものの、地上部モーメントの低下程度は押し倒し抵抗値と異なったため、倒伏指数との関連性は低下した。高屋・宮坂（1983）は、乾田直播水稻において出穂後の地上部形質の変化について重心の位置の変化は顕著であるが、地上部の長さや重さの変化は比較的小さいことを報告しており、本試験で出穂後日数の経過に伴って重心高が明らかに変化した一方で、地上部モーメントの変化に明らかな傾向が認められなかった点で一致している。これは乾田直播、湛水直播ともに、出穂後、登熟が進むにつれて穂重増加によって重心高が上昇する一方で、植物体全体の老化（枯れ）の進行に伴って植物体水分の減少が進み、その進行程度に品種・系統間差があるために、出穂後日数の経過に伴う地上部モーメントの変化にも影響し、明らかな傾向が認めら

れなかったと推察された。

2. 出穂後日数の経過が耐倒伏性に関与する稈基部の物理的性質に及ぼす影響

本試験で供試した品種・系統の多くは出穂後2週間目から5週間目に掛けて葉鞘付挫折時モーメントが低下した(第4図)が、その低下した要因について稈と葉鞘部分に分けて解析した結果、幾つかのタイプに類別することができた(第8図A, B, C)。1つめは稈の挫折時モーメントのみが大きく低下するタイプでNew Bonnetが該当した。2つめは葉鞘の挫折時モーメントのみが大きく低下するタイプでヒノヒカリ、キヌヒカリ、日本晴、レイホウ、ユメヒ

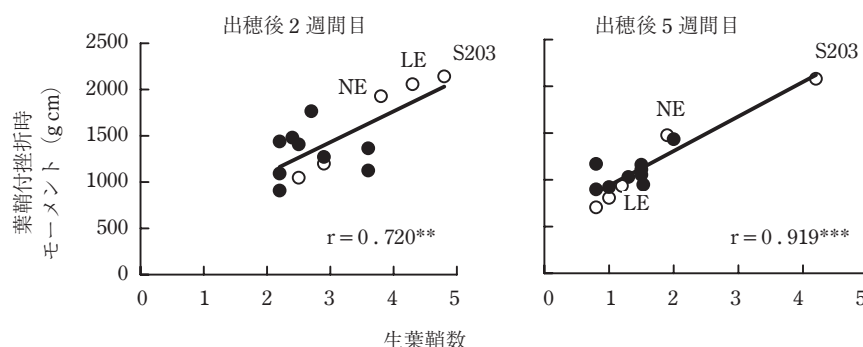
第2表 供試品種・系統の葉鞘付挫折時モーメントにおける葉鞘補強度の比較。

品種・系統名	葉鞘補強度 (%)	
	出穂後 2週間目	出穂後 5週間目
ヒノヒカリ	51	39
キヌヒカリ	30	13
コシヒカリ	15	14
日本晴	43	38
レイホウ	38	22
ユメヒカリ	53	45
Lemont	55	17
M202	36	9
M401	40	12
New Bonnet	23	29
西海 203 号	61	60
西海 210 号	32	30
西海 218 号	49	37
西海 228 号	55	41
平均	42	29

葉鞘補強度は葉鞘付挫折時モーメントと稈の挫折時モーメントの差(葉鞘による補強分)を葉鞘付挫折時モーメントで除した値。

カリ, M202, M401, 西海 218 号, 西海 228 号の9品種・系統が該当した。3つめは稈と葉鞘両方の挫折時モーメントが大きく低下するタイプでLemontが該当した。4つめは稈と葉鞘両方の挫折時モーメントがともに低下しにくいタイプでコシヒカリ, 西海 203 号, 西海 210 号の3品種・系統が該当したが、コシヒカリおよび西海 210 号はともに葉鞘付挫折時モーメントが小さく、葉鞘付挫折時モーメントが高く維持されていたのは西海 203 号のみであった。Lemont および New Bonnet は前報(古畑・有馬 2007)において出穂後2週間目の耐倒伏性が優れていた品種であるが、Lemont は稈と葉鞘、New Bonnet は稈の挫折時モーメントが出穂後日数の経過に伴って低下し、耐倒伏性も低下したため、出穂後5週間目の耐倒伏性は他の供試品種・系統と大きく変わらなかった。さらに、本試験で供試した品種・系統は、稈の挫折時モーメントの低下程度は小さく、葉鞘の挫折時モーメントが低下した品種・系統が多かった。この要因として葉鞘付稈の断面積の減少が考えられた(第8図D)。登熟期間中、葉鞘は稈を包み込んで補強し、稈基部の挫折強度を高めていることが移植栽培および乾田直播栽培で報告されている(宮坂・高屋 1982, 松田ら 1983, 世古 1962, 高屋・宮阪 1983)。本試験では、出穂後5週間目の西海 203 号の葉鞘補強度が大きく(第2表)、第IV節間を包む葉鞘が枯死せずに残っていることによって同節間の葉鞘付挫折時モーメントが高く維持されることが示唆された(第9図)。

西海 203 号は「多収」に加えて「耐倒伏性が優れる」という形質を併せ持った系統である。一般に多収品種では耐倒伏性も優れていることが多いとされているが、多収の形質と耐倒伏性の形質は遺伝的に関連しているわけではなく、「多収」かつ「耐倒伏性に優れる」系統を選抜している結果にすぎないことから、「多収」でありながら「耐倒伏性に優れない」品種も一部存在している。西海 203 号は「多収」という特性に加えて、湛水直播栽培において葉鞘の老化が遅く、他の供試品種・系統と比較して長期にわたり断面係数および葉鞘付挫折時モーメントが大きく維持さ



第9図 生葉鞘数と葉鞘付挫折時モーメントとの関係。

●は日本型の9品種・系統, ○は外国(アメリカ)の4品種とわが国の日本型以外(日印中間型)の1系統を示す。LE: Lemont, NE: New Bonnet, S203: 西海 203 号。***は0.1%水準, **は1%水準で有意な相関関係があることを示す。

れた結果, 出穂後5週間目の押し倒し抵抗値は大きく, 倒伏指数は小さく, 耐倒伏性に優れる(第1図)ことが明らかとなった。このことから, 西海203号の物理的性質および稈の構成成分を詳細に解析し, 過去に報告されたアケノホシ, 台中189号や密陽23号の物理的性質および稈の構成成分(大川・石原1992, 1993)と比較することによって水稻の耐倒伏性強化機構がより明らかになる可能性がある。また, 西海203号との交配を通じて, 従来の品種と比較して葉鞘の老化が遅く長期にわたり断面係数および葉鞘付挫折時モーメントを大きく維持することができ, 湛水直播栽培でも耐倒伏性の優れる品種の育成が期待される。

以上のことから, 出穂後2週間目から5週間目にかけて供試品種・系統の多くは押し倒し抵抗値が小さくなり, 倒伏指数は大きくなったために一部の品種・系統ではなびき型倒伏が生じた。この要因として, 地上部では出穂後日数の経過に伴い穂重/地上部重比が大きくなったことおよび稈基部の生葉鞘数の減少にともなって断面係数および葉鞘付挫折時モーメントが低下したことが考えられた。一方, 西海203号は葉鞘の老化が遅く, 長期にわたり断面係数および葉鞘付挫折時モーメントが大きく維持されていたため, 出穂後5週間目の押し倒し抵抗値は大きく, 倒伏指数は小さく, 耐倒伏性に優れていることが明らかとなった。

謝辞: 本実験を遂行するにあたって, 九州農業試験場(現九州沖縄農業研究センター)栽培生理研究室長であった楠田宰博士(現農研機構本部総合企画調整部研究管理役)には懇切なるご指導を賜りました。また, 西海系統の特性については育成地である九州沖縄農業研究センター稲育種ユニット(筑後水田作研究拠点)の梶亮太主任研究員および同ユニットの主任研究官であった平林秀介氏(現作物研究所稲マーカー育種研究チーム主任研究員)に適切なご助言を頂きました。ここに記して深く感謝いたします。

引用文献

- 古畑昌巳・有馬進 2007. 湛水直播水稻における冠根の伸長角度および稈基部の物理的性質と耐倒伏性との関係. 日作紀 76 : 519-528.
- 北条良夫・小田桂三郎 1965. 大麦の強稈性に関する研究. 第2報 稈における物理的性質の発達. 日作紀 33 : 259-267.
- 松田智明・川原治之助・長南信雄 1983. 水稻下位節間の挫折抵抗力に関する組織形態学的研究. 第4報. 挫折抵抗力に対する葉鞘並びに節間構成組織の役割. 日作紀 52 : 355-361.
- 宮坂昭・高屋武彦 1982. 乾田直播水稻における倒伏防止に関する研究. 第1報 密播条件下での倒伏抵抗性の品種間差異. 日作紀 51 : 360-368.
- 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.
- 尾形武文・松江勇次 1998. 北部九州における水稻湛水直播栽培に関する研究. 一良食味品種の耐倒伏性に関する指標形質の評価一. 日作紀 67 : 159-164.
- 大川泰一郎・黒田栄喜・石原邦 1991. 水稻における主茎と分げつ茎の同伸葉の光合成速度の相違. 日作紀 60 : 413-420.
- 大川泰一郎・石原邦 1992. 水稻の耐倒伏性に関与する稈の物理的性質の品種間差異. 日作紀 61 : 419-425.
- 大川泰一郎・石原邦 1993. 水稻稈基部の曲げ応力に影響する細胞壁構成成分の品種間差異. 日作紀 62 : 378-384.
- 坂田勲・鎌谷俊樹・河合靖司・小柳敦史 2004. 水稻品種の押し倒し抵抗値に及ぼす伸長角度別の冠根の切断処理の影響. 日作紀 73 : 1-5.
- 三王裕見子・大川泰一郎・相沢奈美江・平沢正 2001. 湛水直播栽培した水稻の生育と倒伏およびこれに関係する性質の品種間差異. 日作紀 70 : 515-524.
- 世古秀生 1962. 水稻の倒伏に関する研究. 九州農試彙報 7 : 419-499.
- 高屋武彦・宮坂昭 1983. 乾田直播水稻における倒伏防止に関する研究. 第2報 出穂後における稲体諸形質の推移と倒伏抵抗性との関係. 日作紀 52 : 7-14.
- 田原虎次・藍房和・渡辺直吉・下田博之 1967. イネの材料力学的性質に関する研究. 第1報 乳熟期における茎稈の強さについて. 農機誌 29 : 137-142.
- 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.
- 渡辺利通 1985a. イネの倒伏抵抗性に関する育種学的研究. 第1報 倒伏抵抗性関連形質による品種の群別. 農技研報D 36 : 147-196.
- 渡辺利通 1985b. イネの倒伏抵抗性に関する育種学的研究. 第2報 倒伏抵抗性におよぼす関連形質の寄与. 農技研報D 36 : 197-218.
- 八木忠之 1983. 水稻の強稈性に関する育種学的研究 1. 強稈性および関連形質の品種間差異. 育種 33 : 411-422.
- 八木忠之 1998. 水稻の強稈性に関する育種学的研究. 北陸農試報 41 : 19-78.

Change after Heading in Lodging Resistance and Physical Characteristics of the Basal Culm of Direct Seeded Rice in a Flooded Paddy Field : Masami FURUHATA¹⁾ and Susumu ARIMA²⁾ (¹⁾*Natl. Agr. Res. Cent. Hokuriku Res. Cent., Joetsu 943-0193, Japan;* ²⁾*Fac. Agr., Saga Univ.*)

Abstract : We examined how lodging resistance and physical characteristics of the basal culm change after heading in rice direct-seeded in a flooded paddy field using 14 rice varieties. At 5 weeks after heading, the pushing resistance was lower, and lodging index was larger than at 2 weeks after heading in the majority of varieties, and lodging was observed in some varieties. This is probably because panicle weight / top weight ratio was increased, and the section modulus and breaking strength of the culm with leaf sheaths were decreased with decreasing number of living leaf sheaths at the basal culm. In Saikai 203 that had high yielding ability, the senescence of leaf sheaths was late, and the section modulus and breaking strength of the culm with leaf sheaths were maintained high even at 5 weeks after heading. As a result, pushing resistance was high, and lodging index was small even at 5 weeks after heading, showing excellent lodging resistance.

Key words : Breaking strength of culm with leaf sheaths, Days after heading, Direct seeding in flooded paddy field, Leaf sheath, Lodging resistance, Rice, Section modulus, Varietal difference.
