

## 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

大川 泰 一 郎・石 原 邦

(東京農工大学農学部)

1992年1月31日受理

**要 旨** : 国内外 22 品種の水稻を用いて、圃場条件下における耐倒伏性の品種間差異を検討した。わが国の長稈品種は倒伏しやすく、国外の品種に比べていずれも稈基部の挫折強度を表す葉鞘付挫折時モーメントが著しく小さかった。収穫期まで倒伏しなかった長稈品種および短稈品種は、登熟期間を通じて倒伏指数の増加程度が小さかった。このことには、地上部モーメントは大きいのに葉鞘付挫折時モーメントが高く維持されていることが関係しており、葉鞘付挫折時モーメントは耐倒伏性と密接に関与する性質で、品種によって大きく異なることがわかった。

葉鞘付挫折時モーメントが異なる要因を検討した結果、葉鞘付挫折時モーメントの小さいわが国の品種はいずれも葉鞘補強度が小さく、稈の挫折時モーメントも小さかった。一方、葉鞘付挫折時モーメントの大きい台中 189 号、台農 67 号のような長稈品種は、葉鞘補強度が大きく、断面係数および曲げ応力がともに大きいことによって稈の挫折時モーメントが大きかった。また、葉鞘付挫折時モーメントの大きい短稈品種には葉鞘の老化が遅く葉鞘補強度が 49% と高いアケノホシ、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った。

本研究の結果、葉鞘補強度、断面係数および曲げ応力を大きくし稈の挫折時モーメントを大きくすることによって、長稈穂重型品種に強稈性を付与することが可能であることがわかった。

**キーワード** : 耐倒伏性、断面係数、品種間差異、曲げ応力、葉鞘付挫折時モーメント、葉鞘補強度。

**Varietal Difference of Physical Characteristics of the Culm Related to Lodging Resistance in Paddy Rice** : Taiichiro OOKAWA and Kuni ISHIHARA (*Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183, Japan*)

**Abstract** : Varietal difference of lodging resistance in paddy rice was studied using nine Japanese cultivars and thirteen foreign cultivars (cv. Kamenoo : KA, Aikoku : AK, Koshihikari : KO, Dobashi 1 : DO, Fujiminori : FU, Reimei : RE, Nipponbare : NI, Musashikogane : MU, Akenohoshi : AK, Chugoku 117 : C117, Taichung 189 : T189, Tainung 67 : T67, Bahia : BAH, Ballila : BAL, M-302 : M302, Lemont : LE, Blue Bonnet : BB, Zenith : ZE, Jaguary : JA, Arborio : AR, Milyang 23 : M23, Nanjing 11 : N11).

Japanese long culm cultivars were more susceptible to lodging compared with foreign cultivars, because the breaking strength which indicated the minimum force required to break the basal (the 5th from the top) internode of the main culm with leaf sheaths was much smaller, ranging from 1000 to 1200 g. On the contrary, some long and short culm cultivars did not lodge until the harvest, because these cultivars maintained the large breaking strength of the basal internode with leaf sheaths during grain filling period, ranging from 2100 to 2600 g.

The reasons why the breaking strength of the culm with leaf sheaths was different among the cultivars were as follows. In Japanese cultivars, as leaf sheath died down earlier, the degree to which the culm was reinforced by leaf sheath covering was smaller, and the breaking strength of the basal internode was also smaller compared with those of foreign cultivars. Taichung 189, Tainung 67, Chugoku 117, Akenohoshi and Milyang 23 showed the high breaking strength of the basal internode which was mainly based on reinforcement due to leaf sheath covering, the large area of the basal internode cross section and the large bending stress in the basal internode. Approximately, the increase of the breaking strength of the basal internode was doubled due to leaf sheath covering in Akenohoshi, and was tripled due to the larger area of the basal internode cross section in Milyang 23, as compared with that of Koshihikari, respectively.

**Key words** : Breaking strength, Culm, Leaf sheath, Lodging resistance, Paddy rice, Varietal difference.

わが国における水稻の品種改良は、多肥条件下で耐倒伏性が大きく受光態勢のよい品種を育成することを主な目的とした結果、短稈化の方向に進み、現在では長稈穂重型品種は少なく短稈穂数型品種が大

部分となった。しかしながら、長稈穂重型品種は乾物生産からみて、短稈品種にないすぐれた特徴を持っていることも指摘されており<sup>16)</sup>、この点に注目し長稈品種を再評価することが重要であると考えた。

著者らは、台湾で育成された長稈穂重型品種の台農 67 号とわが国の短稈穂数型品種の日本晴とを比較し、台農 67 号は日本晴に比べて草高が高く葉面積

\* 大要は、第190回講演会(1990年10月)、第191回講演会(1991年4月)において発表、本研究の一部は文部省科学研究費によった。

密度が小さいので、個体群内の CO<sub>2</sub> 拡散効率がよいこと<sup>8)</sup>、日本晴では主茎の葉身に比べて分けつ茎の同伸葉の葉身の老化が早く光合成速度が小さいのに対して、台農 67 号では分けつ茎の葉身の光合成速度は主茎と同様に高く維持されていること<sup>12)</sup>などを明らかにした。台農 67 号が備えているこのような物質生産上の有利な性質を、将来の多収性品種に生かすためには、重い穂および地上部を支えるのに十分な耐倒伏性を備えていることが必要である。従来、国外の品種を含め遺伝的に大きく異なる水稻の品種間で、とくに稈基部の強度に着目して耐倒伏性を比較した研究は少ない。本研究では水稻の耐倒伏性が品種間でどの程度違うか、さらに耐倒伏性の大きい品種の稈はどのような物理的性質を備えているかを明らかにする目的で、1989 年と 1990 年に国内外の 22 品種を用いて耐倒伏性の比較を行なった。

### 材料と方法

本実験に用いた国内外の品種は、Zenith(ZE)\*\*、Jaguary(JA)\*\*、亀の尾(KA)\*\*、Blue Bonnet(BB)\*\*、愛国(AI)、フジミノリ(FU)、コシヒカリ(KO)、台中 189 号(T 189)、台農 67 号(T 67)、中国 117 号(C 117)\*\*、日本晴(NI)、アケノホシ(AK)、レイメイ(RE)、M 302(M 302)\*\*、密陽 23 号(M 23)、南京 11 号(N 11)、Lemont(LE)\*\*、Arborio(AR)\*、土橋 1 号(D 1)\*、Bahia(BAH)\*、Ballila(BAL)\*、むさしこがね(MU)\* (\*は 1989 年、\*\*は 1990 年のみ供試)であった。これらの品種を東京農工大学農学部附属農場水田(多摩川沖積土壌)に栽培した。栽培方法は 1989 年、1990 年ともほぼ同様であったので、1990 年の方法について述べる。4 月 27 日に育苗箱に播種し、第 5 葉抽出期の苗を 5 月 24 日に 22.2 株/m<sup>2</sup> (30 cm×15 cm)、1 株 3 本の栽植密度で移植した。肥料は基肥として堆肥 3,000 kg/10 a、化成肥料(14-14-14) 35.7 kg/10 a、追肥として穂肥と実肥の 2 回、それぞれ化成肥料(16-0-16) 18.8 kg/10 a 施用した。

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、傾斜程度で表した。直立している株を倒伏程度 0、0°-18°を 1、18°-36°を 2、36°-54°の中程度の倒伏を 3、54°-72°を 4、72°-90°の著しい倒伏を 5 とした。出穂期、出穂後 20 日目および出穂後 35 日目に生育中庸な株中から葉鞘を付けたままの主稈 8 本と葉鞘を除き稈のみとした主稈 8 本を採取した。採取後、直ちに以下の測

定に供試した。倒伏と関係の深い第 V 節間(穂首節間を第 I 節間とした)を支点間距離 4 cm の支点上に支え、節間の中央部に荷重して、第 V 節間が挫折した時の荷重、弾性限界内の荷重および最大たわみ量を万能材料引張試験機で測定し、その結果を電磁オシログラフに自記させて読み取った。なお、稈横断組織面積は稈の横断面を中空楕円とみなして計算した。第 V 節間の各物理量は、北条ら<sup>2)</sup>、田原ら<sup>17)</sup>の材料力学的方法により、以下の計算より求めた。

① 地上部モーメント (g・cm): 第 V 節間挫折部(支点の中央)から穂先までの長さ×生体重の積

② 葉鞘付挫折時モーメント (g・cm)

$$: \frac{1}{4} \times (\text{葉鞘付挫折時荷重}) \times (\text{支点間距離})$$

③ 稈の挫折時モーメント (g・cm)

$$: \frac{1}{4} \times (\text{稈のみ挫折時荷重}) \times (\text{支点間距離})$$

④ 倒伏指数: 地上部モーメントを葉鞘付挫折時モーメントで除した値。

$$\text{⑤ 断面係数 (mm}^3) = \frac{\pi}{4} \times \frac{a_1^3 b_1 - a_2^3 b_2}{a_1}$$

a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>: それぞれ稈の短半径 (mm), 長半径 (mm), a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>: それぞれ稈横断面の中空楕円の短半径 (mm), 長半径 (mm)

⑥ 曲げ応力 (g/mm<sup>2</sup>): 稈の挫折時モーメントを断面係数で除した値。

$$\text{⑦ 曲げ剛性 (kg} \cdot \text{cm}^2) = \frac{1}{48} \times \frac{W_E \cdot l^3}{\delta}$$

W<sub>E</sub>: 弾性限界における荷重 (kg)

δ: 弾性限界におけるたわみ量 (mm)

l: 支点間距離 (cm)

⑧ 断面 2 次モーメント (I, mm<sup>4</sup>)

$$I = \frac{\pi}{4} \times (a_1^3 b_1 - a_2^3 b_2)$$

⑨ ヤング率 (kg/mm<sup>2</sup>): 曲げ剛性を断面 2 次モーメントで除した値 (弾性を表す)。

⑩ 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

登熟期における倒伏程度を稈長の長い順に第 1 表に示した。9 月 16 日にはそれ以前からの長雨によって稈長 90 cm 以上の多くの長稈品種の倒伏程度は 3 から 5 であった。大型の台風 19 号が直撃した翌日の

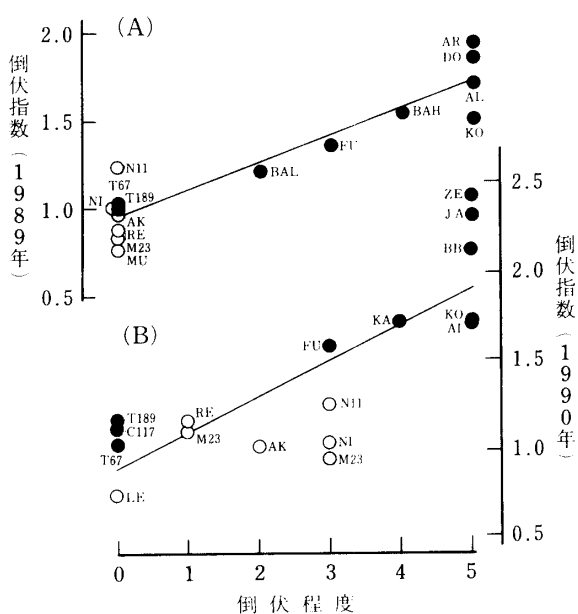
9月20日には、コシヒカリなど日本の長稈品種と Zenith などアメリカの長稈品種の倒伏程度は4から5で、挫折型の倒伏が認められた。また、最も稈長の短い Lemont を除いて、稈長が90 cm 未満の短

稈品種の倒伏程度は1から3であった。しかしながら、コシヒカリと稈長が違わず、出穂期、成熟期もほぼ同じ台中189号、中国117号では倒伏程度0で、収穫期まで全く倒伏が認められなかった。このように、長稈品種の中にも倒伏しにくい品種があり、倒伏程度に品種間で著しい違いがあった。

第1表 登熟期における17品種の稈長、倒伏程度、および成熟期(1990年)。

品種	稈長 (cm)	倒伏程度		成熟期
		9月16日	9月20日	
Zenith	118.6	4(33) <sup>1)</sup>	5(37)	9 L <sup>2)</sup>
Jaguary	112.8	2(34)	5(38)	9 L
亀の尾	106.0	4(29)	4(33)	9 L
Blue Bonnet	104.8	0(26)	5(30)	9 L
愛国	102.1	5(34)	5(38)	9 L
フジミノリ	98.9	3(44)	3(48)	9 M
コシヒカリ	98.5	5(36)	5(40)	9 L
台中189号	98.3	0(27)	0(31)	9 L
台農67号	98.0	0(22)	0(26)	10 E
中国117号	90.1	0(32)	0(36)	9 L
日本晴	89.6	2(28)	3(32)	9 L
アケノホシ	85.6	0(27)	2(31)	10 E
レイメイ	83.6	0(44)	1(48)	9 M
M-302	79.5	0(39)	1(43)	9 M
密陽23号	78.5	0(28)	3(32)	10 E
南京11号	73.1	0(39)	3(43)	9 M
Lemont	59.4	0(29)	0(33)	9 L

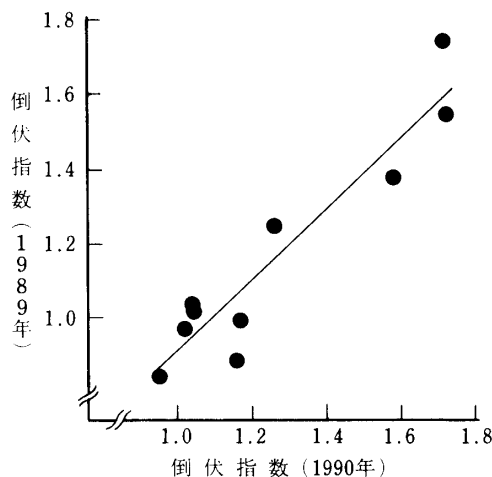
- 1) ( )は出穂後日数を示す。
- 2) 9 M:9月中旬, 9 L:9月下旬, 10 E:10月上旬。



第1図 1989年(A)と1990年(B)における倒伏程度と倒伏指数の関係。

- 1) 黒丸印は長稈品種, 白丸印は短稈品種を示す。
- 2) 図中の記号は, 本文「材料と方法」で述べた品種の略号を表す(第3, 4, 5図も同様)。

1989年および1990年とも、倒伏程度と倒伏指数との間に密接な関係があった(第1図)。また、両年に共通に用いた品種の1989年と1990年の倒伏指数の間に密接な相関関係があり(第2図)、倒伏指数は品種間の耐倒伏性の違いをよく表した。そこで、まず出穂後20日目の倒伏指数をその構成要素である地上部モーメントと葉鞘付挫折時モーメントに分けて検討した(第2表, 第3表)。第2表の長稈品種についてみると、倒伏指数1.6-1.7のフジミノリ、亀の尾、愛国、コシヒカリでは地上部モーメントが1800 g・cm前後と小さく、葉鞘付挫折時モーメントも1000から1200 g・cmと著しく小さかった。倒伏指数が2以上と大きい Zenith, Blue Bonnet, Jaguary では地上部モーメントが3000から4000 g・cmと著しく大きい葉鞘付挫折時モーメントは1400~1700 g・cmとわずかしが大きくなっていなかった。これに対して倒伏がみられず倒伏指数が1前後と小さい中国117号、台中189号、台農67号は、地上部モーメントは Zenith などと比べて小さいのに、葉鞘付挫折時モーメントが2000 g・cm以上と著しく大きかった。第3表の短稈品種では倒伏指数はいずれも1前後と小さかった。このうち日本型の日本晴、レイメイ、M-302では地上部モーメントは小さく葉鞘付挫折時モーメントも日本の長稈品種と同



第2図 10品種の倒伏指数の1989年と1990年との関係。

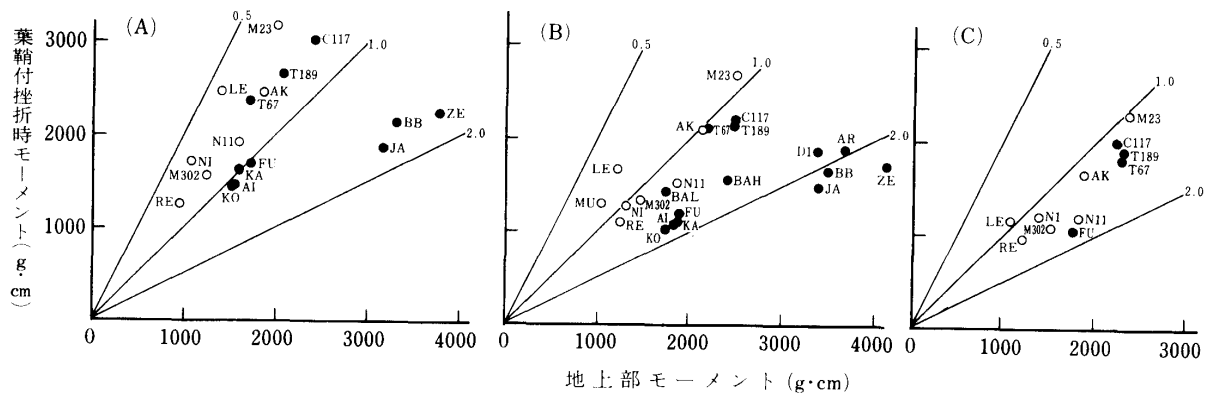
第2表 出穂後20日目における長稈品種の倒伏指数, 耐倒伏性に関する物理的性質(1990年).

品種	倒伏指数	地上部モーメント (g・cm)	葉鞘付挫折時モーメント (g・cm)	稈の挫折時モーメント (g・cm)	断面係数 (mm <sup>3</sup> )	曲げ応力 (g/mm <sup>2</sup> )	葉鞘補強度 (%)	生葉鞘数
中国117号	1.12 c	2481.7 c	2203.1 a	1450.0 ab	17.8 b	822.7 d	34.2	6.0 a
台中189号	1.17 c	2474.3 c	2177.5 a	1655.0 a	12.3 c	1342.1 b	24.0	5.1 b
台農67号	1.04 c	2204.5 c	2121.9 a	1572.5 a	10.8 c	1469.2 a	25.9	5.1 b
Zenith	2.43 a	4120.0 a	1712.5 b	1537.5 a	24.0 a	639.6 e	10.2	2.7 f
Blue Bonnet	2.13 a	3498.5 b	1647.5 bc	1565.0 a	24.1 a	654.8 e	5.0	3.3 de
Jaguary	2.32 a	3397.6 b	1478.1 c	1368.8 b	23.5 a	586.0 e	7.4	3.0 ef
フジミノリ	1.58 b	1876.1 d	1190.0 d	972.5 c	11.0 c	894.0 d	8.3	4.9 bc
龍の尾	1.72 b	1849.3 d	1167.5 d	897.5 cd	5.8 e	1565.4 a	23.1	4.6 c
愛国	1.71 b	1815.3 d	1072.5 d	912.5 cd	8.0 d	1159.2 c	14.9	3.6 d
コシヒカリ	1.72 b	1736.5 d	1017.5 d	815.0 d	7.6 d	1081.3 c	19.9	3.8 d

- 1) 同一項でアルファベットが異なる品種の間には, 5%レベルで有意差があることを示す (Duncanの多範囲検定).
- 2) 生葉鞘数とは, 主稈に着生する緑色の認められるすべての葉鞘の数をさす. この数が5以上は葉鞘が第V節間を包んでいることを示す. (1), 2)は第3表も同様

第3表 出穂後20日目における短稈品種の倒伏指数, 耐倒伏性に関する物理的性質(1990年).

品種	倒伏指数	地上部モーメント (g・cm)	葉鞘付挫折時モーメント (g・cm)	稈の挫折時モーメント (g・cm)	断面係数 (mm <sup>3</sup> )	曲げ応力 (g/mm <sup>2</sup> )	葉鞘補強度 (%)	生葉鞘数
密陽23号	0.95 b	2495.4 a	2633.3 a	2118.8 a	21.8 a	976.0 c	19.5	4.9 b
アケノホシ	1.02 b	2133.6 b	2100.0 b	1070.0 c	8.3 c	1307.5 b	49.0	5.6 a
Lemont	0.74 c	1221.0 d	1654.2 c	1245.0 b	12.9 b	969.2 c	24.7	4.5 b
南京11号	1.26 a	1867.1 c	1520.0 cd	1240.0 b	12.9 b	968.7 c	18.4	4.5 b
M-302	1.10 b	1462.0 d	1335.0 de	952.5 cd	12.2 b	777.5 d	28.7	4.1 b
日本晴	1.04 b	1316.3 d	1268.3 ef	842.5 d	5.5 d	1547.1 a	33.6	4.6 b
レイメイ	1.16 ab	1262.5 d	1092.5 f	847.5 d	8.1 c	1055.6 c	22.4	4.8 b



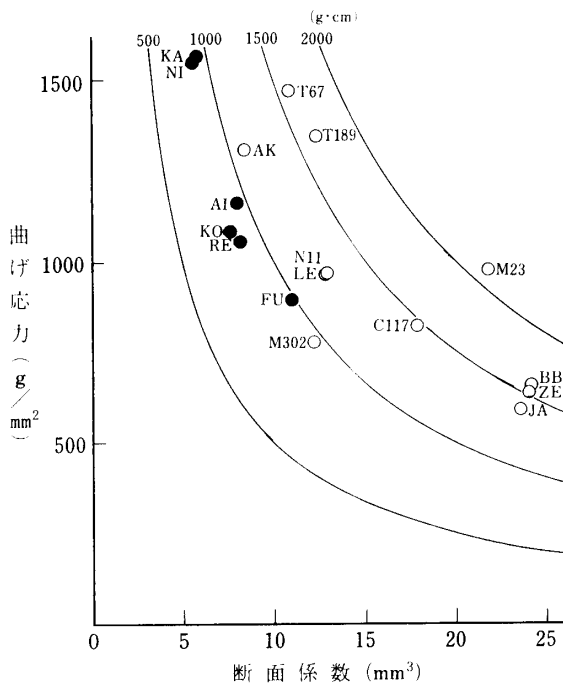
第3図 出穂期 (A), 出穂後20日目 (B), 出穂後35日目 (C)における葉鞘付挫折時モーメントと地上部モーメントの関係の品種による相違 (1990年).

- 1) 直線は倒伏指数を示す. 黒丸印は長稈品種, 白丸印は短稈品種を示す.
- 2) 出穂後35日目 (C) は, 倒伏した品種を除いた.

様に小さかった. これに対して, 短稈穂重型品種の密陽23号, アケノホシは地上部モーメントが2000 g・cm以上と大きい葉鞘付挫折時モーメントも2000 g・cm以上と著しく大きかった.

出穂後日数の経過とともに倒伏指数は大きく変化

するので, 出穂期, 出穂後20日目および出穂後35日目における地上部モーメントと葉鞘付挫折時モーメントとの関係を検討した(第3図). 倒伏程度の大きいコシヒカリなどの日本の長稈品種は, 出穂期には倒伏指数が1の直線上にあるが, 出穂後20日目にな

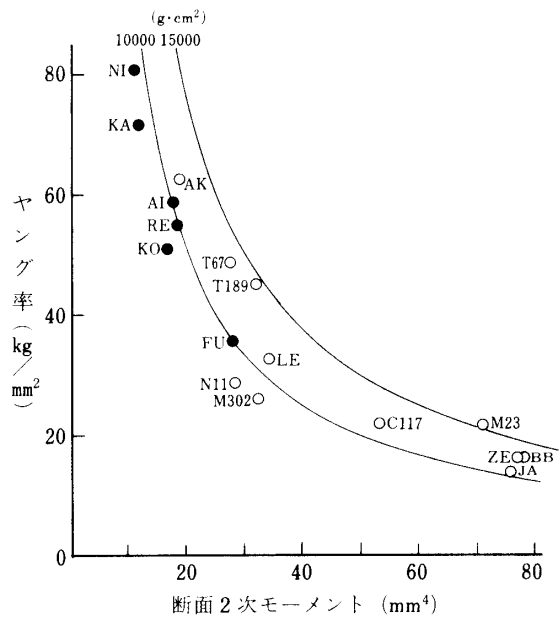


第4図 出穂後20日目における断面係数と曲げ応力の関係の品種による相違 (1990年).

- 1) 黒丸印はわが国の日本型品種, 白丸印は外国の品種とわが国の日本型以外の品種(第5図も同様).
- 2) 曲線は, 稈の挫折時モーメントを示す.

ると葉鞘付挫折時モーメントが 1000 g・cm 前後まで著しく減少し, 倒伏指数は 2 の直線近くまで大きくなった。また, 同じく倒伏程度の大きい Zenith などアメリカの長稈品種では, 出穂後 20 日目には葉鞘付挫折時モーメントが小さくなったので出穂期に 2 の直線近くにあった倒伏指数はさらに大きくなり, 2 の直線より下になった。一方, 倒伏しなかった中国 117 号, 台中 189 号, 台農 67 号などの長稈品種は, 出穂期には葉鞘付挫折時モーメントが著しく大きく, 倒伏しなかった他の短稈品種と同様に倒伏指数は 0.5 から 1 の直線間にあった。出穂後 20 日目および 35 日目になると, これらの品種は地上部モーメントは大きくなったが, 葉鞘付挫折時モーメントは 2000 g・cm 以上と大きく, 登熟期間を通じて倒伏指数は 1 の直線近くにあった。

このように, 倒伏しなかった長稈品種および短稈品種はいずれも登熟期間を通じて倒伏指数の増加程度が小さかった。このことには長稈品種では地上部モーメントは大きいのに葉鞘付挫折時モーメントが高く維持されていること, 一方, 短稈品種では葉鞘付挫折時モーメントが小さい品種では地上部モーメントも小さく, アケノホシ, 密陽 23 号のように地上



第5図 出穂後20日目における断面2次モーメントとヤング率の関係の品種による相違 (1990年).  
1) 曲線は, 曲げ剛性を示す.

部モーメントの大きい品種は葉鞘付挫折時モーメントが著しく高く維持されていることが関係していた。

つぎに葉鞘付挫折時モーメントに違いをもたらす要因の1つである稈の挫折時モーメントは日本の長稈および短稈品種でいずれも 800 から 1000 g・cm と小さいが, 中国 117 号, 台中 189 号, 台農 67 号は 1500 g・cm 前後と大きく, また短稈品種の密陽 23 号は 2118.8 g・cm と日本の品種の 2 倍以上大きかった (第 2, 3 表)。

さらに, 稈の挫折時モーメントを構成する稈横断面の組織の大きさを表す断面係数と稈の材質を表す曲げ応力との関係の品種による違いを第 4 図に示した。稈の挫折時モーメントが 1000 g・cm 近くの日本の品種は, 断面係数が小さく, また断面係数と曲げ応力との間に負の相関関係があった。稈の挫折時モーメントが 1500 あるいは 2000 g・cm を示す品種の中には, 台中 189 号, 台農 67 号のように日本の品種に比べて断面係数が同じかやや大きく, 曲げ応力が著しく大きい品種と, 曲げ応力は日本の品種とほぼ等しいか小さいが密陽 23 号に代表されるように断面係数が著しく大きい品種とがあった。また, 曲げに対する強度を表す曲げ剛性を構成する稈横断面の組織外側への拡がりの大きさを表す断面 2 次モーメントと稈の弾性を表すヤング率との関係の違いは (第 5 図), 第 4 図でみた断面係数と曲げ応力の関係とほぼ同様の傾向がみられた。例えば台中 189 号,

台農 67 号は断面 2 次モーメントが大きい割合にヤング率も大きかった。

最後に、品種によって葉鞘付挫折時モーメントが異なるもうひとつの要因である葉鞘補強度を比較した(第 2 表)。長稈品種の葉鞘補強度は、葉鞘付挫折時モーメントの小さいアメリカ、日本の品種では小さいが、葉鞘付挫折時モーメントの大きい中国 117 号、台中 189 号、台農 67 号では大きかった。短稈品種では、葉鞘付挫折時モーメントの大きいアケノホシの葉鞘補強度は 49.0% と最も大きかった(第 3 表)。葉鞘補強度には第 V 節間を包む葉鞘が関係するので、緑色の認められる葉鞘数を比較した。その結果、葉鞘補強度の大きい品種は止葉から数えて 5 から 6 葉、時に 7 葉の葉鞘が枯死せず残っており、第 V 節間を 1~3 重に包んでいた(第 2, 3 表)。

### 考 察

地上部モーメントが大きい長稈品種の中で、登熟前期に挫折型の倒伏がみられた日本およびアメリカの長稈品種は稈基部の葉鞘付挫折時モーメントが著しく小さいので倒伏しやすかった(第 1, 2 表)。広く育種素材として使われた長稈品種亀の尾、愛国、フジミノリ、コシヒカリ、近年育成された短稈品種の葉鞘付挫折時モーメントは、ほぼ同程度に小さかった(第 2, 3 表)。わが国では多肥条件下で倒伏しにくい耐肥性の水稻を育成してきた<sup>18)</sup>が、本研究の結果、これらの品種は稈基部の挫折強度はほとんど改良されず、短稈化によって地上部モーメントを低下させることによってのみ耐倒伏性を獲得したと考えられる。稈長以外は同質遺伝子系統と考えられるフジミノリとレイメイの葉鞘付挫折時モーメントは変わらないので、レイメイの耐倒伏性は地上部モーメントが小さくなることによって大きくなったことは明らかである(第 1, 2, 3 表)。倒伏しなかった中国 117 号、台中 189 号、台農 67 号は、葉鞘付挫折時モーメントが著しく大きく、登熟期後半までその性質を高く維持していることが長稈品種であるにもかかわらず耐倒伏性の大きい要因であった(第 1, 2 表、第 3 図)。また、短稈品種の中では、短稈極極重型品種である密陽 23 号とアケノホシの葉鞘付挫折時モーメントは、わが国の短稈品種の約 2 倍と大きいことが倒伏しにくい要因であった(第 3 表)。このことから、稈基部の葉鞘付挫折時モーメントは品種によって異なり、この性質は耐倒伏性に密接に関与していることがわかった。以下、葉鞘付挫折時モーメン

トを構成する各要素について考察する。

まず、稈の挫折時モーメントは品種間で大きく異なり、その要因は品種によって異なっていた。日本型品種の多くは断面係数が小さく、断面係数がやや大きい品種は曲げ応力がかなり小さいので、稈の挫折時モーメントの品種間差異はほとんどなかった(第 4 図)。このことには、わが国の品種は遺伝的に近縁で形態的、生理生態的諸形質が似かよっていること<sup>12)</sup>が関係しているものと考えられる。一方、国外の品種をみると、アメリカの長稈品種や密陽 23 号、中国 117 号の断面係数は著しく大きく、また、台中 189 号、台農 67 号はわが国の品種に比べて断面係数が同じかやや大きいにすぎないが曲げ応力はかなり大きく、その結果、稈の挫折時モーメントは著しく大きかった(第 5 図)。また、曲げにくさとともに稈の物理的性質を表す曲げ剛性にも大きな品種間差異があり、曲げ剛性を構成する断面 2 次モーメントとヤング率との関係にも断面係数と曲げ応力との関係と同様の品種による相違があった。曲げ応力およびヤング率は材料力学的には材質の強度を表す数値であり、北条ら<sup>3)</sup>は、稈の細胞壁を構成するセルロース、リグニンなどの化学的組成や稈の維管束系、皮層繊維組織などの形態的性質と関係があることを示している。また、K, Si などの無機成分の含有率が曲げ応力やヤング率<sup>1,5)</sup>に、膨圧がヤング率<sup>6)</sup>に、稈および葉鞘基部の貯蔵澱粉の消長が稈の挫折強度に関係している<sup>10,13,14,15)</sup>という報告がある。本研究でも出穂期以降、稈の挫折時モーメントおよび曲げ応力の低下が認められたが、この過程で柔組織中に蓄積する澱粉粒が稈の物理的性質に及ぼす影響は明らかでなく研究例<sup>10,15)</sup>も少ない。したがって、出穂期以降の稈のセルロースなどの細胞壁の化学的組成、形態的性質、稈内の澱粉蓄積量などについて品種間で比較すると同時に、栽培条件によってこれらの性質や蓄積量がどのように変化するか、今後検討していかなければならない。

登熟期間中、葉鞘は稈を包み込んで補強し倒伏を防ぎ、稈基部の挫折強度を大きくする機能をもっていると報告されている<sup>9,10,14,15)</sup>。本研究ではこの葉鞘の補強度に大きな品種間差異が認められた。中国 117 号、台中 189 号、台農 67 号およびアケノホシは、出穂後 20 日目の葉鞘補強度が他の品種に比べて大きく、そのことには第 V 節間を包む葉鞘が枯死せず残っていることが関係していた(第 2, 3 表)。すなわち、これらの品種の出穂期以降の葉鞘付挫折時モ

ーメントの低下が小さい要因のひとつとして葉鞘の老化が遅いことがあった。とくに葉鞘補強度が50%近くと著しく大きいアケノホシは、葉身の老化が遅く個葉の光合成速度を高く維持し、そのことが乾物生産および収量の大きい主な要因であった<sup>4)</sup>。今後さらに、葉鞘および葉身の老化と出穂期以降の葉鞘の物理的性質の変化との関係について検討する必要がある。

耐倒伏性を高めるための品種改良が短稈化の方向に進んできた結果、乾物生産力が低下し収量の増加が停滞しつつあることが指摘されている<sup>16)</sup>。台農67号のような長稈穂重型品種は、個体群内のCO<sub>2</sub>拡散効率がよいことが関係して乾物生産量および収量が高く、今後の多収性品種の育成方向として長稈穂重型品種に着目することの重要性についてはすでに指摘した<sup>8,12)</sup>。本研究の結果、諸外国の品種の中には稈基部の挫折時モーメントが大きい品種があり、この要因が品種によって大きく異なっていることが明らかとなった。このことは、これらの品種とわが国の品種との交配を通じて、従来の品種に比較して断面係数および曲げ応力がともに大きく、葉鞘補強度の大きい、著しく強稈性の多収性長稈穂重型品種を育成することが可能であることを示している。このためには育種目標を達成する基礎として、今後、稈の断面係数および曲げ応力を大きくし、葉鞘補強度を大きくするために備えなければならない諸性質とそれらの遺伝的支配について明らかにする必要があると考える。

**謝辞:** 本実験を実施するにあたり、物理的性質の測定についてご指導頂いた本学生産環境制御学研究室の渡辺兼五助教授、東城清秀助手に厚くお礼申し上げます。アメリカの水稻品種、中国117号、土橋1号の種子を分譲頂いた農林水産省農業研究センター栽培生理研究室、同中国農業試験場稲育種研究室、東京大学栽培研究室に感謝申し上げます。

### 引用文献

1. 橋本 武 1958. カリウム、カルシウムおよびマグネシウムの施用による作物体ヤング率の変化. 第4報 カルシウムおよびけい酸の施用によるヤング率の変化. 土肥誌 30: 577-581.
2. 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.
3. ———— 1965. ————. 第4報 稈の物理的組成について. 日作紀33: 268-271.
4. 蔣 才忠・平沢 正・石原 邦 1988. 水稻多収性品種の生理生態的特徴について—アケノホシと日本晴の比較—第1報 収量および乾物生産. 日作紀57: 132-138.
5. 河野通佳・高橋治助 1961. 稈の強さと化学成分との関係について. 土肥誌 32: 149-152.
6. ———— 1961. 稈の強さと浸透圧との関係について. 土肥誌 32: 380-385.
7. ———— 1961. 稈の強さとホロセルロースとの関係について. 土肥誌 32: 461-465.
8. 黒田栄喜・大川泰一郎・石原 邦 1989. 草高の異なる水稻品種の乾物生産の相違とその要因の解析、とくに個体群内におけるガス拡散に着目して. 日作紀 58: 374-382.
9. 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.
10. 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.
11. 野口弥吉 1968. 育成品種の系譜表示に関する提案. 農及園 43: 3-10.
12. 大川泰一郎・黒田栄喜・石原 邦 1991. 水稻における主茎と分けつ茎の同伸葉の光合成速度の相違. 日作紀 60: 413-420.
13. 佐藤 庚 1957. イネの組織内澱粉に関する研究. 第4報 倒伏抵抗性に関与する一要素としての澱粉含量. 日作紀26: 19.
14. 瀬古秀生 1962. 水稻の倒伏に関する研究. 九州農試彙報 7: 419-495.
15. 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 出穂期における稲体諸性質の推移と倒伏抵抗性との関係. 日作紀 52: 7-14.
16. 武田友四郎・岡 三徳・縣 和一 1983. 暖地における水稻品種の乾物生産に関する研究. 第1報 明治期以降の新旧品種の乾物生産特性. 日作紀 52: 299-306.
17. 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.
18. 角田重三郎 1987. 光合成からみたイネの進化 4. 多肥多収向きへの光合成態勢の調整・草型育種. 農及園 62: 247-253.
19. 渡辺利通 1985. 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 D36: 147-196.
20. ———— 1985. ————. 第2報 倒伏抵抗性におよぼす関連形質の寄与. 農技研報 D36: 197-218.