

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

—苗立ち密度に着目して—

三王裕見子・大川泰一郎・相沢奈美江・平沢正*

(東京農工大学)

要旨: 日本晴, 中国 153 号, タカナリを播種密度を 3 段階にかえて散播湛水直播栽培した。苗立ち密度は日本晴, 中国 153 号は約 60~240 本 m^{-2} , タカナリは約 40~130 本 m^{-2} の範囲にあった。湛水直播水稻は, 慣行移植栽培した水稻に比較して, すべての苗立ち密度で茎数の増加が大きく, 穂数が多く, 単位面積当たり穎花数は多くなる傾向があった。日本晴は登熟期に著しく倒伏し, 苗立ち密度の高い水稻で倒伏程度が大きく, 収量の減少程度も大きかった。一方, 中国 153 号, タカナリでは登熟中期に軽微な倒伏が認められただけで, 収量は慣行移植水稻に比較して低くなることはなく, むしろ高い場合もあった。倒伏はすべてなびき型であった。以上の結果から, 散播湛水直播栽培した水稻は倒伏しなければ, 高い生育補償能力と密植適応性を示し, 苗立ち密度の適正域の幅が広いことがわかった。なびき型倒伏に関係する下位節間の茎 (葉鞘付き) の曲げ剛性は, 中国 153 号は葉鞘の寄与率が大きいことによって, タカナリは稈の曲げ剛性が大きいことによって, それぞれ大きく, 日本晴は稈の曲げ剛性が小さいことによって小さかった。日本晴では断面二次モーメントが小さいことによって稈の曲げ剛性が小さかったが, 倒伏程度の小さかった苗立ち密度の低い水稻は, ヤング率が大きいことによって稈の曲げ剛性が大きくなっていることも併せて認められた。このことはなびき型倒伏に関係する稈の曲げ剛性を高めるためには断面二次モーメントとヤング率の両方を高めることが重要であることを示している。

キーワード: 収量, 水稻, 湛水直播, 断面二次モーメント, 倒伏, 苗立ち密度, 曲げ剛性, ヤング率。

水稻の直播栽培は, 栽培における省力化と生産コストの削減に対する有効な栽培技術の 1 つとして確立が目指されている。しかし, 安定多収に関連する生理生態的性質には不明な点が多く, とくに, 苗立ちの不安定性や倒伏は収量の不安定性の要因となることから多くの研究が行われてきた (姫田 1995)。

直播栽培では, 苗立ち密度が低ければ, 必要穂数の確保が問題となり, また苗立ち密度が高ければ倒伏など過繁茂による問題が起こる。苗立ちの不安定性はとくに湛水直播栽培で問題となり, 種々の方法が検討, 考案されている (姫田 1995, 三石 1975)。湛水直播栽培において苗立ちの安定化をはかることが安定多収をあげるために重要であることは言うまでもないが, 同時に, 苗立ちの劣る時のその後の生育補償能力, 苗立ちの多い時の耐倒伏性およびこれらに関わる要因を明らかにしておくことも, 省力化を前提とした直播適性品種育成において重要と考える。

著者らはこれまで, 高い苗立ち密度条件で湛水直播栽培, 乾田直播栽培した水稻の耐倒伏性には明らかな品種間差のあることを認めてきた (平沢ら 1999 a, 平沢ら 1999 b)。そこで本研究は日本晴とこれに比較して明らかに耐倒伏性の高い中国 153 号 (平沢ら 1999 a, 平沢ら 1999 b), さらに著しく多収で耐倒伏性も高いといわれているタカナリを用いて (安東 1990, 徐ら 1997), 苗立ち密度を慣行に比較して低い条件から著しく高い条件まで大きく変えて生育させ, 生育補償能力と耐倒伏性に着目しつつ, 生育, 収量の品種間比較を行った。さらに倒伏に著しい品

種間差が認められたので, 倒伏に相違の生じた要因を解析した。これらの検討に際しては, 湛水直播水稻の特徴をより明らかにするため, 慣行移植栽培した水稻も併せて比較に用いた。

材料と方法

1. 栽培方法

湛水直播栽培においては催芽後過酸化カルシウムでコーティングした水稻種子を, 1999 年 4 月 28 日に本学農学部附属農場の水田 (多摩川沖積土壌) に代かき約 3 時間後に湛水状態のまま可能な限り均一になるよう散播した。苗立ち密度を m^2 当たり約 60 本, 120 本, 250 本の 3 段階に変える目的で, 播種量は乾籾でそれぞれ m^2 当たり 1.9 g, 3.9 g, 8.0 g とした (以下それぞれ低密度区, 中密度区, 高密度区とする)。移植水稻は催芽種子を 4 月 28 日に田植機育苗箱に乾籾で箱当たり 50 g の密度で播種し, ビニールハウス内で育苗した苗を 5 月 26 日に 22.2 株 m^{-2} (30 cm×15 cm), 1 株 3 本の栽植密度で移植した。肥料は湛水直播栽培, 移植栽培ともに基肥として堆肥約 1 kg m^{-2} , 化成肥料を N, P_2O_5 , K_2O の成分で各 5 g m^{-2} , 追肥として 8 月 1 日に化成肥料を N, K_2O の成分で各 3 g m^{-2} 施用した。雑草および病虫害防除は適宜行った。出穂期は湛水直播水稻, 移植水稻のいずれにも大きな相違は認められず, 日本晴は 8 月 16 日頃, 中国 153 号は 8 月 20 日頃, タカナリは 8 月 13 日頃であった。収穫は中国 153 号の成熟期にあわせて全ての品種とも 10 月 12 日に行った

が、出穂期の早かったタカナリでも穎花の脱落、玄米の胴割れは認められなかった。湛水直播栽培は各品種、各密度とも1区約19 m²で3反復、移植栽培では各品種とも1区約20 m²で2反復とし、以下の測定も同じ反復数で行った。

2. 生育調査と乾物重、収量の測定

茎数の測定は湛水直播水稲では、平均的な苗立ち密度を示した場所を出芽時に各反復とも2ヶ所選び、高さ5 cmの塩化ビニル製の調査枠(50 cm×50 cm)を設置し、調査枠内の水稲について行った。移植水稲では、各反復とも2ヶ所、1ヶ所5株について行った。

地上部乾物重は以下のようにして測定した。すなわち湛水直播水稲では、各反復とも上述の調査枠に生育する水稲(0.25 m²)を、移植栽培では、各反復とも35株の穂数を連続して数え、その中から平均穂数を示す株8株を選びそれぞれ移植ゴテを用いて掘り上げ、土を丁寧に洗い流した。根を切除した後、90℃で通風乾燥して乾物重を求めた。

湛水直播水稲の部分刈り収量の測定には、各反復とも平均的な生育を示す場所から2.25 m²を採取し、収量構成要素の測定には上述の調査枠内の水稲を用いた。移植水稲では各反復とも部分刈り収量は平均的な生育を示す場所から2.5 m²採取して求め、収量構成要素は上述の乾物重測定と同様にして平均的な生育を示す株を6株採取して求めた。

3. 倒伏程度の測定

倒伏の程度は茎の鉛直方向となす角度を分度器で測定し、以下のように倒伏程度を0から5まで6段階で表した。すなわち倒伏による茎の傾きが全く認められない水稲を倒伏程度0とし、倒伏による茎の傾斜角度が0°~18°、18°~36°、36°~54°、54°~72°、72°~90°の水稲をそれぞれ倒伏程度1, 2, 3, 4, 5とした。倒伏程度が同一反復内で

異なる場合はそれぞれの倒伏程度を示している面積を考慮して平均を求めた。

4. 茎の物理性の測定

生育中庸な株から主茎を採取し、穂長、稈長、生体重を測定し、直ちに万能材料試験機(RTM-25, オリエンテック社製)を用いて支点間距離を4 cmとして、挫折重、曲げ剛性の測定に供した。茎の各物理量は、北條・小田(1965 a), 田原ら(1967)の方法にしたがって、地上部モーメント(M, g cm), 曲げ剛性(FR, kg cm²), 断面2次モーメント(I, mm⁴), ヤング率(E, kg mm⁻²)を次式から求めた。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。

$$M = CL \times FW \quad (1)$$

(CL, FWはそれぞれ第VI節(穂首節を第I節とする)直下から穂先までの長さ(cm)とその部分の生体重(g))

$$FR = (1/48) \times (WE \cdot L^3 / \delta) \quad (2)$$

(WE:弾性限界における荷重(kg), δ :弾性限界におけるたわみ量(cm), L:支点間距離(cm))

ここでは稈に葉鞘が付いている時の曲げ剛性を単に茎の曲げ剛性といい、葉鞘を取り除いた稈のみの曲げ剛性を稈の曲げ剛性という。

$$SCT (\%) = (SEI - CEI) / SEI \times 100 \quad (3)$$

(SCT:茎の曲げ剛性に対する葉鞘の寄与率, SEI:茎の曲げ剛性, CEI:稈の曲げ剛性)

$$I = (\pi/4) \times (a_1^3 b_1 - a_2^3 b_2) \quad (4)$$

(a_1, b_1 :それぞれ稈の短半径(mm), 長半径(mm), a_2, b_2 :それぞれ稈横断面の中空楕円の短半径(mm), 長半径(mm))

$$E = FR / I \quad (5)$$

結 果

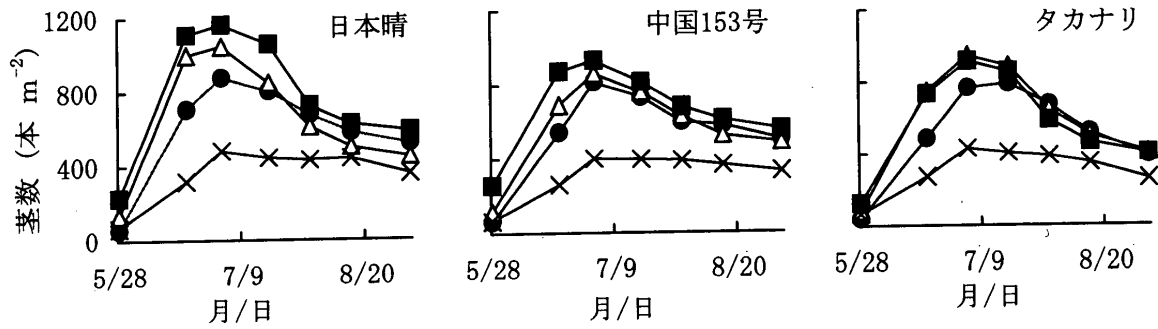
1. 生育過程

苗立ち密度は日本晴, 中国153号の低密度区では約60

第1表 湛水直播栽培した水稲と移植栽培した水稲の苗立ち密度と出穂期における穂数の比較*。

品種 系統	栽培 方法	密度	苗立ち密度 (本 m ⁻²) (A)	穂数 (本 m ⁻²) (B)	B/A
日本晴	移植 直播	—	(66.6)**	357.4 ± 20.0	5.4 ± 0.3
		低	57.3 ± 5.0	523.3 ± 39.3	9.1 ± 0.3
		中	135.3 ± 3.0	448.0 ± 69.4	3.3 ± 0.4
		高	232.0 ± 10.0	589.3 ± 40.4	2.5 ± 0.1
中国153号	移植 直播	—	(66.6)	330.8 ± 39.3	5.0 ± 0.3
		低	63.7 ± 6.4	505.3 ± 34.4	8.1 ± 0.3
		中	117.7 ± 13.3	489.3 ± 52.6	4.2 ± 0.1
		高	258.7 ± 17.9	559.3 ± 67.7	2.2 ± 0.2
タカナリ	移植 直播	—	(66.6)	262.0 ± 8.9	3.9 ± 0.1
		低	42.0 ± 10.6	392.7 ± 109.0	9.3 ± 0.3
		中	82.0 ± 30.0	408.7 ± 60.0	5.3 ± 1.3
		高	129.3 ± 33.3	404.0 ± 11.1	3.3 ± 0.9

* 平均値±標準偏差 (n=3 (直播), n=2 (移植)) (第2~4表も同様)。密度の低, 中, 高はそれぞれ低密度区, 中密度区, 高密度区を示す (第2~4表も同様)。** 植付け個体密度。



第1図 湛水直播栽培した水稻と移植栽培した水稻の茎数の推移。

●, △, ■は湛水直播水稻で、それぞれ低, 中, 高密度区を示す。×は移植水稻を示す。

第2表 湛水直播栽培した水稻と移植栽培した水稻の地上部乾物重, 部分刈り収量 (精玄米) 及び収量構成要素の比較*。

品種系統	栽培方法	区	地上部乾物重 (kg m ⁻²)	部分刈り収量 (g m ⁻²)	収量構成要素				
					穂数 (m ⁻²)	一穂穎花数	穎花数 (×10 ³ m ⁻²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
日本晴	移植 直播	—	1.69±0.14	604±14	396±58	83±4	32.5±3.1	87.5±0.8	22.3±0.3
		低	2.01±0.31	550±21	513±72	79±7	41.0±9.2	84.1±3.2	21.9±1.7
		中	1.43±0.17	387±2	429±41	67±6	28.9±2.9	71.7±5.6	18.7±1.3
		高	1.66±0.41	407±29	520±74	60±1	30.9±4.4	78.2±9.5	19.6±1.5
中国153号	移植 直播	—	1.64±0.09	713±36	348±31	145±17	50.2±1.4	71.7±1.2	20.5±0.6
		低	2.06±0.03	773±17	567±50	107±6	60.7±3.7	77.8±13.5	19.6±2.4
		中	1.75±0.16	726±39	516±28	100±16	51.9±10.1	72.8±10.6	20.4±0.2
		高	1.80±0.17	712±16	575±82	93±7	52.9±4.7	79.3±10.5	19.6±2.3
タカナリ	移植 直播	—	1.76±0.06	836±24	248±16	189±1	46.6±2.9	91.0±2.1	21.0±0.1
		低	2.58±0.53	961±50	357±52	212±11	74.9±8.3	84.8±5.0	19.5±0.4
		中	2.28±0.18	923±67	387±33	163±12	63.0±3.7	85.3±9.9	20.8±0.2
		高	1.95±0.07	879±7	348±24	162±30	56.2±10.7	87.8±2.7	21.0±2.1

*地上部乾物重は収穫日の値。粒厚1.8mm以上の玄米を精玄米とした。千粒重と収量は水分率14.5%での値。登熟歩合は精玄米数を穎花数で割って求めた。

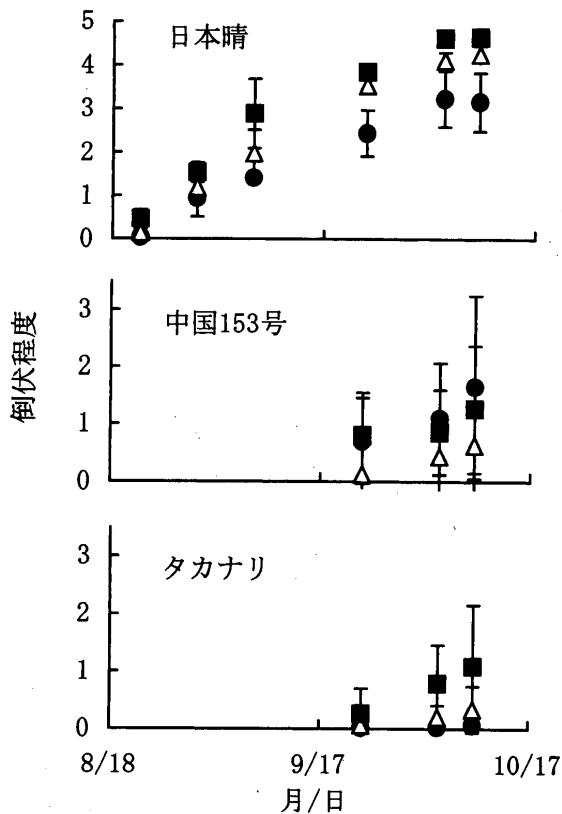
本 m⁻², 中密度区では 120~140 本 m⁻², 高密度区では 230~260 本 m⁻² であった (第1表)。一方, タカナリは出芽が劣り, 低, 中, 高密度区でそれぞれ 42, 82, 129 本 m⁻² であった。湛水直播水稻は移植水稻に比較して全品種において分けつ期の茎数増加が著しく, その結果, 低, 中, 高密度区の最高茎数は日本晴はそれぞれ 880, 1046, 1164 本 m⁻², 中国 153 号はそれぞれ 813, 860, 930 本 m⁻², タカナリはそれぞれ 790, 945, 915 本 m⁻² と移植水稻に比較して著しく多く, またいずれの品種も低密度区で少なく, 高密度区で多い傾向があった (第1図)。出穂期における穂数も湛水直播水稻は移植水稻に比較して明らかに多かった (第1表)。しかし, 穂数の区間による相違は明らかでなく, 日本晴, 中国 153 号は約 450~590 本 m⁻², タカナリは約 400 本 m⁻² で, いずれも 1 個体当たりの着生穂数は低密度区で多く, 高密度区で少なかった。

2. 地上部乾物重, 精玄米収量および収量構成要素

湛水直播水稻の収穫日の地上部乾物重は生育の不均一によるためと考えられるが, 移植水稻に比較して標準偏差が大きかった。しかし, いずれの品種も低密度区は中, 高密度区に比較して大きい傾向があった (第2表)。さらに湛水直播水稻では移植水稻に比較して, 日本晴を除く他の品

種で地上部乾物重が大きい傾向が認められ, とくに低密度区で顕著であった。

湛水直播水稻の部分刈り精玄米収量はいずれの品種も低密度区は中, 高密度区に比較して大きい傾向が認められた (第2表)。さらに湛水直播栽培した中国 153 号, タカナリの低密度区の収量は移植水稻に比較して大きかった。しかし, 日本晴では湛水直播水稻の収量は移植水稻に比較して低く, とくに中, 高密度区で顕著であった。湛水直播水稻において低密度区が, 中, 高密度区に比較して収量が高くなった要因は収量構成要素でみると, 低密度区の水稲は一穂穎花数が多く, m² 当たりの穎花数が多いにもかかわらず, 登熟歩合, 千粒重の大きな低下がなかったことがあげられた (第2表)。湛水直播した低密度区中国 153 号とタカナリの収量が移植水稻に比較して, 高くなったのも同様な要因によっていた。一方, 日本晴は湛水直播水稻では登熟歩合と千粒重が低下したことによって移植水稻に比較して収量は低く, その程度は中, 高密度区が顕著であった。なお, 湛水直播水稻は移植水稻に比較して個体密度が均一でなく, その結果とくに穂数の標準偏差が大きかった (第1, 2表)。このことが関係してと考えられるが, 収量構成要素から求めた収量と部分刈り収量との相違も大きかった。穂数と穎花数の絶対量については今後さらに検討す



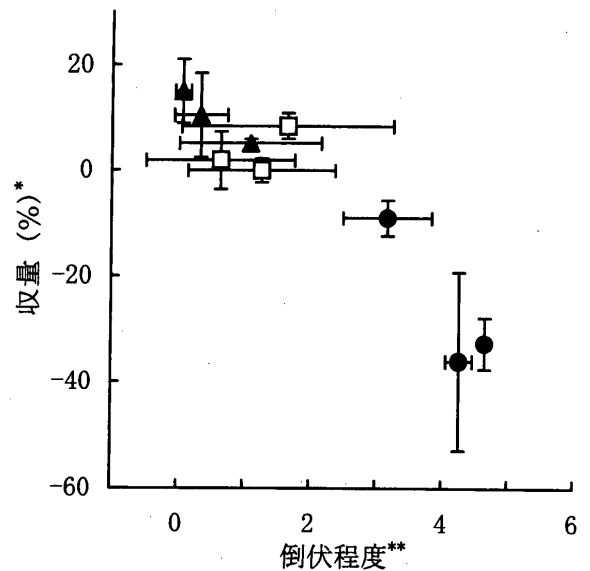
第2図 湛水直播栽培した水稻の倒伏程度*。

●, △, ■はそれぞれ低, 中, 高密度区を示し, 記号に付した棒線は標準偏差 (n=3) を示す。*倒伏程度は茎の鉛直方向となす角度を18°ごとに5段階にわけ, 角度の小さい方から倒伏程度を1, 2, 3, 4, 5とし, 傾いていない茎を倒伏程度0とした。

る必要があるが, これらを考慮しても上述の生育量の品種間, 播種密度間の関係が大きく変わることはなかった。

3. 倒伏程度

移植水稻では全ての品種において倒伏は認められなかった。湛水直播水稻では, 日本晴は出穂直後の8月下旬の降雨によってすでに倒伏がはじまり, 倒伏程度は登熟が進むに伴って大きくなった (第2図)。播種密度の間で比較すると, 倒伏は高密度区で最も早くおこった。そして, 倒伏程度の増加は高密度区で最も大きく, 低密度区で最も小さく, 10月9日の倒伏程度は低, 中, 高密度区でそれぞれ3.2, 4.3, 4.7であった。一方, 他の品種は9月中旬までは倒伏は全く認められず, 倒伏はそれ以後に始まった。中国153号の低密度区では9月23日に一部の区に部分的に著しい倒伏が発生し, その結果低密度区の平均倒伏程度が大きくなり, 10月9日には倒伏程度が1.7となった。しかし, 中密度区の倒伏程度は小さく, 高密度区の倒伏程度は中密度区に比較して大きかった。タカナリは低密度区には倒伏が認められなかったが, 中, 高密度区にはわずかな倒伏が認められ, その程度は高密度区で大きく, 10月9日には倒伏程度が1.1となった。このように倒伏程度には明らかに品種間差が認められ, さらに, 同じ品種でも播種密度によって倒伏程度が異なり, 中国153号を除けば, 倒



第3図 湛水直播栽培した水稻の精玄米収量と倒伏程度の関係。

*各品種とも移植栽培した水稻に対する割合を示す。**倒伏程度は10月9日の値。●, □, ▲はそれぞれ日本晴, 中国153号, タカナリを示し, 記号に付した棒線は標準偏差 (n=3) を示す (第6図も同様)。

伏程度は播種密度が高いほど大きい傾向があった。タカナリは倒伏程度が最も小さかったが, 苗立ち密度は高密度区でも120本 m^{-2} で小さいので, 他の品種の高密度区と同程度に苗立ち密度が高くなれば, タカナリでも倒伏程度がさらに大きくなる可能性が考えられた。なお, 倒伏のほとんどは第IV節間 (穂首を第I節間とする) が湾曲することからはじまるなびき型倒伏であった。日本晴では節間が湾曲した後, 節部の屈曲によって茎の傾斜角度が一層大きくなった。

4. 倒伏程度と精玄米収量の関係

収量は出穂後の乾物生産量によって大きく影響を受けるので, 登熟期の倒伏は収量に大きな影響を及ぼすことになる。そこで全く倒伏しなかった移植水稻の精玄米収量に対する湛水直播水稻の精玄米収量の割合と倒伏程度との関係をみた (第3図)。収量の割合は, 倒伏しなかった水稻で最も高く, 倒伏程度が大きくなるほど減少する傾向が認められた。すなわち, 倒伏程度の大きかった日本晴では収量の減少割合が大きく, その程度は倒伏程度の大きかった中, 高密度区で大きかった。一方, 倒伏程度の小さかった他の品種には収量の明らかな低下は認められなかった。倒伏程度が小さかったタカナリでは, 移植水稻に比較して収量がむしろ高くなる区があった。

5. 倒伏に関わる地上部の性質

なびき型倒伏には自重によって茎を曲げる力を示す地上部モーメントと茎のたわみにくさに関係する曲げ剛性が関与すると考えられる。そこで以下それぞれについて検討した。

第3表 湛水直播栽培した水稻と移植栽培した水稻の出穂期における地上部長，地上部生体重，地上部モーメントの比較*。

品種系統	栽培方法	密度	地上部長 (cm)	地上部生体重 (g)	地上部モーメント ($\times 10^2$ g cm)
日本晴	移植 直播	—	99.4 \pm 5.4	12.7 \pm 1.8	12.6 \pm 1.0
		低	104.1 \pm 3.3	11.9 \pm 0.9	12.4 \pm 1.3
		中	106.1 \pm 0.6	12.7 \pm 1.1	13.5 \pm 1.3
		高	103.3 \pm 0.6	12.0 \pm 0.9	12.3 \pm 1.0
中国153号	移植 直播	—	91.5 \pm 2.2	16.0 \pm 0.9	14.7 \pm 1.2
		低	94.7 \pm 2.8	15.8 \pm 0.5	14.9 \pm 0.9
		中	92.0 \pm 0.8	15.8 \pm 0.4	14.5 \pm 0.5
		高	88.4 \pm 2.7	14.1 \pm 0.7	12.5 \pm 0.9
タカナリ	移植 直播	—	92.5 \pm 8.8	24.0 \pm 1.5	21.7 \pm 0.7
		低	100.7 \pm 2.3	24.9 \pm 2.5	25.1 \pm 2.8
		中	104.0 \pm 4.2	21.8 \pm 2.5	22.7 \pm 3.2
		高	102.7 \pm 6.7	22.2 \pm 5.3	23.0 \pm 6.6

*地上部長は第VI節(穂首節を第I節とする)直下から穂先までの長さを示す。地上部生体重は第VI節直下より上の部分の生体重を示す。

(1) 地上部モーメント

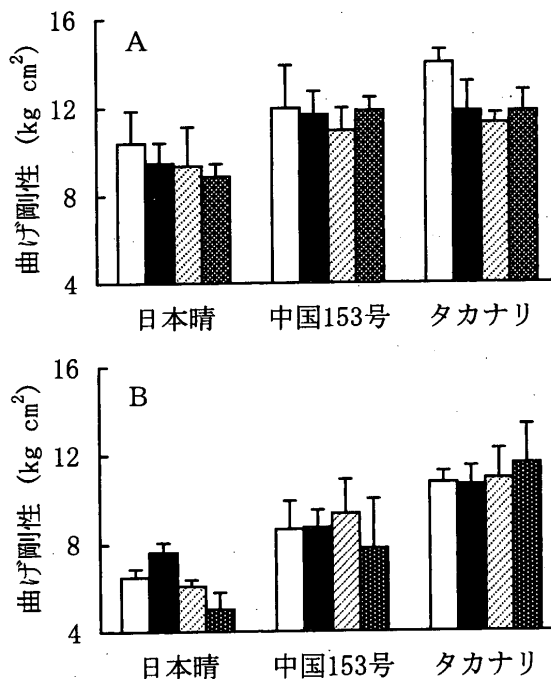
湛水直播水稻では，地上部長（第VI節直下から穂先までの長さ）は，中国153号の高密度区を除くと，いずれの品種も播種密度間に明らかな相違は認められなかった（第3表）。一方，生体重も中国153号の高密度区を除くと，いずれの品種も播種密度間に明らかな差は認められなかった。その結果，両者の積で表される地上部モーメントは日本晴，タカナリはいずれの品種も密度間差は認められなかったが，中国153号は高密度区は低・中密度区に比較して小さい傾向があった。品種間で比較すると地上部モーメントは，日本晴が小さく，タカナリが最も大きかった。登熟中期における地上部モーメントの播種密度間および品種間の関係は出穂期とほぼ同様であった（データ略）。また，湛水直播水稻の地上部モーメントはタカナリの低密度区を除く各品種とも移植水稻とほぼ等しかった。

(2) 茎の曲げ剛性

そこでつぎに，倒伏時に屈曲の認められた第IV節間における茎の曲げ剛性について検討した（第4図A）。湛水直播水稻では出穂期の茎の曲げ剛性は，日本晴では高密度区で小さい傾向が認められたが，他の品種では播種密度による相違は明らかでなかった。品種間で比較すると，茎の曲げ剛性は日本晴，中国153号，タカナリはそれぞれ8.9~9.5 kg cm²，11.0~11.8 kg cm²，11.3~11.8 kg cm²で，日本晴が他の品種に比較して小さい傾向があった。

稈の曲げ剛性は，湛水直播水稻では日本晴では播種密度が高いほど小さい傾向が認められたが，中国153号，タカナリの曲げ剛性には播種密度間の相違は明らかでなかった（第4図B）。品種間で比較すると稈の曲げ剛性は日本晴が最も小さく，タカナリが最も大きかった。

湛水直播水稻の茎の曲げ剛性に対する葉鞘の寄与率（以下，単に葉鞘の寄与率という）は（第5図），日本晴では高密度区で大きく，低密度区で小さく，中国153号も高密



第4図 出穂期における湛水直播栽培した水稻と移植栽培した水稻の第IV節間*の茎の曲げ剛性 (A) と稈の曲げ剛性 (B) (8月17日)。

茎の曲げ剛性は葉鞘付き（稈+葉鞘）曲げ剛性を示す（以下同様）。各品種とも左から移植水稻，湛水直播水稻の低，中，高密度区を示し，棒線は標準偏差 (n=3) を示す（第5, 7, 8図も同様）。*穂首を第I節間とする（第5~7図も同様）。

度区が大きかった。一方，タカナリの中，高密度区では，葉鞘寄与率が小さいことと，茎や稈の曲げ剛性の個体間差によって葉鞘寄与率が計算できなかった。品種間で比較すると，葉鞘寄与率は日本晴と中国153号は大きく，それぞれ20~40%，15~35%であったのに対して，タカナリは最も小さく，10%以下であった。

以上の結果をまとめると，湛水直播水稻では中国153号は稈の曲げ剛性と葉鞘の寄与率が大きいことによって茎の

曲げ剛性が大きくなり、日本晴は葉鞘の寄与率が大きいにもかかわらず、稈の曲げ剛性が小さかったため、茎の曲げ剛性が中国153号やタカナリに比較して小さくなった。そして葉鞘の寄与率の小さいタカナリは稈の曲げ剛性が大きいことによって茎の曲げ剛性が大きかった。同様な品種の特徴は移植水稻にもいえた。

登熟中期の茎の曲げ剛性は、日本晴はすでに倒伏していたので測定できなかったが、湛水直播したタカナリと中国153号の品種間差は出穂期とほぼ同様であった(データ略)。また稈の曲げ剛性は低密度区に比較して高密度区で小さい傾向があった(データ略)。

湛水直播水稻では登熟期の倒伏程度と出穂期の茎の曲げ剛性および稈の曲げ剛性との間に密接な関係が認められた(第6図)。

以上の結果から、日本晴が他の品種に比較して倒伏程度が大きかったのは、茎の曲げ剛性、とくに稈の曲げ剛性が小さいことによること、タカナリは地上部重が大きく、し

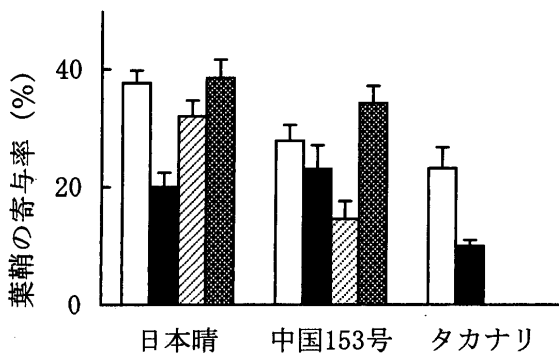
たがって地上部モーメントが大きいにもかかわらず倒伏程度が小さかったのは(第2, 3表)、稈の曲げ剛性が大きいことによることが明らかとなった。登熟が進むと葉鞘の老化、枯死により葉鞘の寄与率が小さくなるので、稈の曲げ剛性が茎の曲げ剛性の大きな部分を占めることになる。出穂期の茎の曲げ剛性に播種密度間で大きな相違のなかった日本晴において、登熟期の倒伏程度が高密度区が低密度区より大きくなったのは稈の曲げ剛性の相違によっていたと考えられる。そこで以下、稈の曲げ剛性に関わる性質を検討した。

(3) 断面二次モーメントとヤング率

稈の曲げ剛性は稈の横断面の組織の外側への拡がりの大きさを表す断面二次モーメントと稈の弾性を表すヤング率の積で表すことができる(河野 1990)。そこで両者を出穂期に播種密度間、品種間で比較し、稈の曲げ剛性の異なる要因を解析した(第7図)。湛水直播水稻の断面二次モーメントの播種密度間の相違は明らかでなかった(第7図A)。品種間で比較すると、日本晴が4.6~5.6 mm⁴で最も小さく、ついで中国153号が11.2~11.4 mm⁴、タカナリは最も大きく34.8~39.2 mm⁴であった。

一方、湛水直播水稻のヤング率は日本晴では播種密度間の相違が顕著で、低密度区に比較して高密度区のヤング率が小さかった(第7図B)。しかし、他の品種のヤング率には播種密度間に相違が認められなかった。品種間で比較すると、ヤング率は日本晴が最も大きく、タカナリが最も小さかった。登熟中期に測定した中国153号とタカナリの断面二次モーメントとヤング率にも出穂期と同様の傾向が認められた(データ略)。

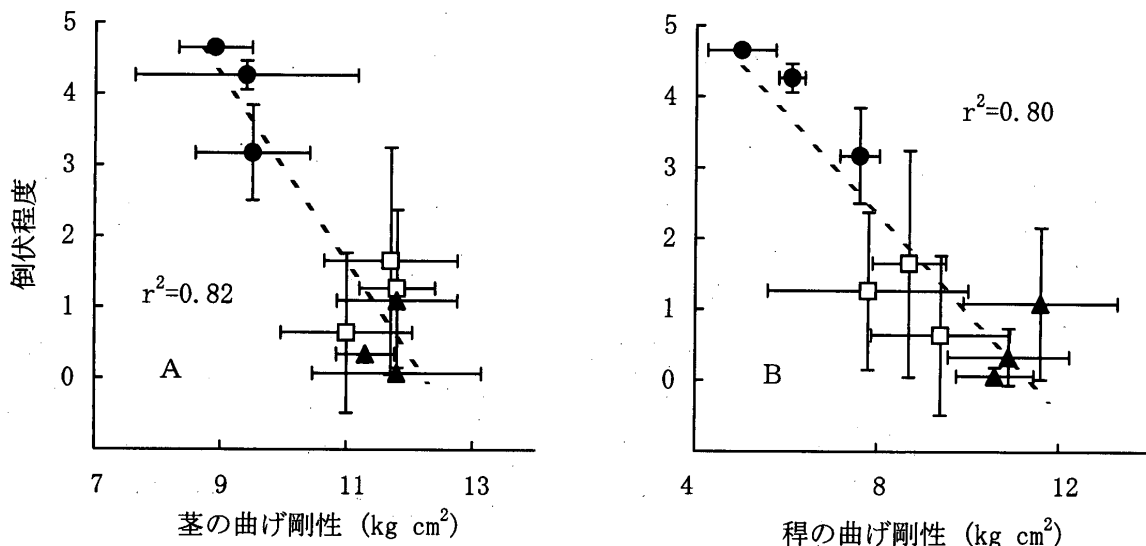
以上の結果から、日本晴の稈の曲げ剛性がタカナリに比較して小さかったのは断面二次モーメントが著しく小さかったことによること、さらに、日本晴において稈の曲げ剛性が低密度区に比較して高密度区で小さくなったのは稈の



第5図 出穂期における湛水直播栽培した水稻と移植栽培した水稻の第IV節間における茎の曲げ剛性に対する葉鞘の寄与率* (8月17日)。

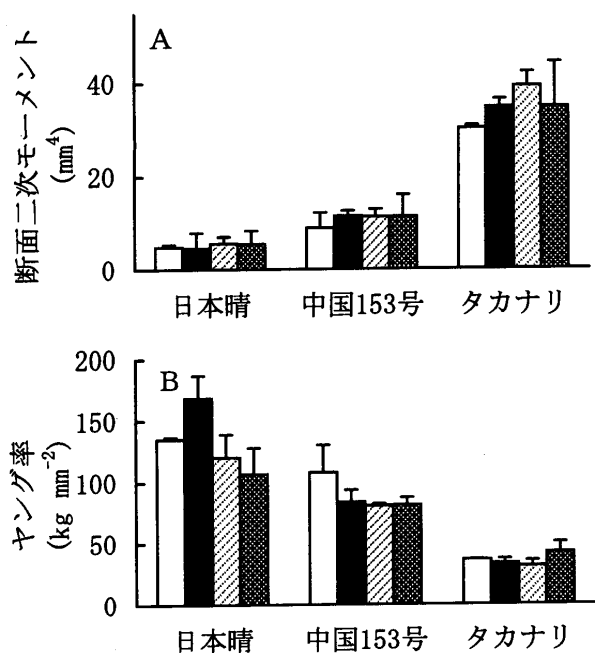
* $SCT (\%) = (SEI - CEI) / SEI \times 100$

(SCT: 葉鞘の寄与率, SEI: 茎の曲げ剛性, CEI: 稈の曲げ剛性)



第6図 湛水直播栽培した水稻の第IV節間における茎の曲げ剛性 (A), 稈の曲げ剛性 (B) と倒伏程度との関係。

茎および稈の曲げ剛性は8月17日、倒伏程度は10月9日の測定値。



第7図 出穂期における湛水直播栽培と移植栽培した水稻の第IV節間における稈の断面二次モーメント (A) とヤング率 (B) (8月17日)。

ヤング率が低いことによることがわかった。

考 察

水稻の直播栽培では一般に移植栽培に比較して倒伏が多く発生するので、耐倒伏性は直播水稻の重要な性質である (姫田 1995)。さらに、直播栽培は育苗過程がなく、温度条件や土壌の物理性、化学性が播種直後の水稻の生育にとって不十分な条件であることが多く、苗立ちの安定性も直播水稻の重要な性質となる (姫田 1995)。したがって直播栽培において安定して高い収量を達成するためには苗立ちの安定性と高い耐倒伏性を水稻が備えることが重要となる。直播に伴ってさらに他の多くの条件も移植栽培と異なってくるので、これらに加えて直播栽培条件における水稻の生育特性を明らかにし、安定して高い乾物生産や収量をあげうる直播水稻の性質を明らかにしていく必要がある。苗立ちの不安定性が乾物生産や収量に影響する程度は苗立ち後の生育補償力も関係するので、本研究はこの点にも着目して中国 153 号、タカナリ、日本晴を用いて、播種量を3段階に変えて散播湛水直播栽培し、生育と倒伏に関係する性質の品種間差を検討した。

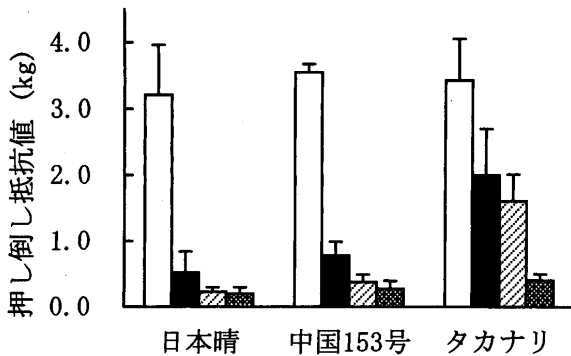
その結果、苗立ち密度は、慣行の湛水直播栽培の 80~100 本 m^{-2} に比較して、日本晴と中国 153 号は 0.6~0.7 から 2~3 倍、出芽率の劣ったタカナリでも 0.5 から約 1.5 倍の幅広い条件を設定できた。このような条件で中国 153 号とタカナリでは倒伏が認められないか、倒伏したとしてもその程度は軽微であったのに対して、日本晴はすべての密度で著しく倒伏した。そして倒伏程度の大きかった日本晴は収量の減少程度が大きく、倒伏は収量に大きな影響を及ぼすことが確かめられた (第3図)。一方、倒伏が認められないか、倒伏程度の軽微な中国 153 号、タ

カナリでは、苗立ち密度が約 40~60 本 m^{-2} からその 3~4 倍まで増加しても、収量は慣行の移植水稻に比較してほぼ等しいか、むしろ高くなった (第3図)。

そこでまず湛水直播栽培した中国 153 号とタカナリが、苗立ち密度が大きく異なっても収量が移植水稻に比較して低下しなかった要因を茎数の増加と収量構成要素に着目して考察したい。湛水直播水稻は、移植時の種子根や冠根の切断がなく、また株基部の深さが浅いため第1, 2節のような低位節からも分けつが発生し、分けつ数が著しく多くなる (椛木・金 1991, 寺田 1984)。その結果、移植水稻に比較すれば有効茎歩合は低いが (江原ら 1998, 椛木ら 1991)、これまでに報告されているように穂数は多くなった。さらに苗立ち密度の高い水稻では有効茎歩合が低くなった結果、苗立ち密度が著しく異なっても穂数の相違はほとんど認められなくなった (第1表)。倒伏程度が著しく大きく、収量が著しく減少した湛水直播栽培した日本晴でも、茎数の増加と穂数については他の品種と同じ傾向が認められた (第1図, 第1表)。湛水直播栽培した中国 153 号の一穂穎花数は苗立ち密度が高いと少なく、その結果単位面積当たりの穎花数は苗立ち密度が高いほど少ない傾向が認められた (第2表)。苗立ちの劣ったタカナリにおいても同様の結果が認められた (第2表)。

湛水直播栽培しても倒伏程度の小さかった中国 153 号、タカナリは単位面積当たりの穎花数が多いにもかかわらず、登熟歩合、千粒重のいずれも移植水稻に比較して大きく低下することはなく、このことが移植水稻と比較して収量が等しいか、むしろ高くなった要因であった。一方、倒伏程度の大きかった湛水直播栽培した日本晴では単位面積当たりの穎花数は移植水稻に比較して低密度区は多く、中、高密度区はほぼ等しかったが、いずれの区も、倒伏が著しかったことにより登熟歩合や千粒重が低くなり、収量は著しく低くなった (第2表)。また播種密度間で比較すると日本晴は中、高密度区は低密度区に比較して単位面積当たりの穎花数が少ないにもかかわらず、登熟歩合、千粒重が低く、その結果収量も低密度区より低かった (第2表)。

このように、湛水直播水稻はいずれの密度も初期生育が旺盛なことによって単位面積当たりの穎花数、いいかえるとシンク容量は移植水稻に比較すると大きくなって小さくなることはないことがわかった。これまでも適正苗立ち密度に関して多くの研究が行われており、その下限は 30~50 本 m^{-2} といわれている (姫田 1995)。湛水直播栽培では近年苗立ちの安定性の向上に伴って多くの地域で必要苗立ち密度が低くなり、最近では平均苗立ち密度が m^2 当たり 60 本台となっている県もある (山本 2001)。このことは湛水直播水稻はシンク容量の確保が比較的容易であることを示している。したがって、湛水直播水稻の収量の低下と関係するのは登熟歩合と千粒重で、これらは日本晴にみられるような著しい倒伏によって大きな影響を受ける



第8図 株あたり押し倒し抵抗値 (8月21日)。

倒伏試験器 (DIC-7400, 大起理化製) を地表面より 10 cm 上の位置に押しあて、株を 45°傾けるのに要した荷重を測定した。各密度・品種とも株あたり押し倒し抵抗値は平均茎数を示した株を用いた。

といえる。いいかえると、耐倒伏性の高い湛水直播水稲は、収量に対して高い生育補償能力と密植適応性を併せもつことを示している。さらに湛水直播水稲は移植栽培に比較して倒伏しなければ、高い乾物生産や収量をあげうる可能性があることも併せて示された。

水稲の倒伏には、茎が折れて倒れる挫折型、茎が湾曲して倒れるなびき型、株の基部が根ごと地面の上に浮き上がって倒れる転び型の3種類がある (河野 1990, 八木 1983)。移植栽培では、挫折型、なびき型の倒伏が起こり、乾田直播栽培や湛水直播栽培では挫折型、なびき型、転び型の倒伏が認められ、特に土壌表面に浅く散播した場合には転び型倒伏が起こりやすい (八木 1983)。本実験においては代かき直後に播種したことによって、種子が地表面下に入ったためと考えられるが、ほとんどが第IV節間付近が湾曲することから倒伏が始まるなびき型倒伏であった。

倒伏は強い降雨や強風時に多く発生するため (氷高 1968)、風や雨の受け方の相違なども倒伏の難易に関係する。風や雨などの外力の影響を除けば、地上部を倒伏させるように作用する力は、主に植物体の重心の位置 (あるいは全長) と生体重との積、つまり地上部モーメントである。地上部モーメントを小さくするために稈長を小さくする方向で育種が行われてきたが (渡辺 1985)、タカナリのように茎葉部重や穂重の大きい品種は稈長が短くても地上部モーメントは大きくなる。地上部モーメントが大きくても、稲体自体の倒伏に対する強度を大きくすることによって耐倒伏性を付加し、倒伏を回避できる (大川・石原 1992, 大川・石原 1997)。茎のたわみにくさに関する材料力学的性質である茎の曲げ剛性 (北條・小田 1965 b) を検討したところ、タカナリや中国 153 号は日本晴に比較して、茎の曲げ剛性が大きく、このことが地上部モーメントが大きいにもかかわらず、倒伏程度が小さかったことに関係していることがわかった (第4, 6図)。さらに茎の曲げ剛性が大きくなる要因として、中国 153 号のように葉鞘の寄与率が大きいことによる系統 (品種)、またタカナリのように稈の曲げ剛性が大きいことによる品種とがあること

第4表 湛水直播栽培した水稲と移植栽培した水稲の株の深さの比較。

品種系統	栽培方法	密度	株の深さ* (cm)
日本晴	移植	—	4.3±0.0
	直播	低	1.4±0.0
		中高	1.4±0.0
中国153号	移植	—	4.1±0.0
	直播	低	1.4±0.0
		中高	1.3±0.1
タカナリ	移植	—	4.2±0.0
	直播	低	1.7±0.1
		中高	1.7±0.1
		高	1.6±0.1

* 地表面から茎の最下端までの深さ (10月26日測定)。

もあわせて明らかとなった (第5図)。葉鞘は稈を包み込んで稈を補強し、稈基部の強度を大きくして倒伏を防ぐ機能をもっている。したがって、生きた葉鞘は茎の断面二次モーメントを大きくすることに貢献していることになり、葉の老化が遅いことは、茎の挫折時モーメントを高める (大川・石原 1992) とともに茎の曲げ剛性を高めることにおいても重要な性質であることがわかった。このことは耐倒伏性を強めるためには、葉が老化しにくく茎の曲げ剛性に対する高い葉鞘の寄与率をもち、あわせて高い稈の曲げ剛性をもつことが重要であることを示している。

なびき型倒伏には根による株の支持力も関係する可能性も指摘されているが (氷高 1968)、その実態はまだ十分明らかにされていない。今後さらに検討すべき問題と考える。株の支持力と関係して茎の曲げ剛性が湛水直播水稲とほぼ等しいにも関わらず、移植水稲が倒伏しなかった要因は土壌による株の支持力の増加が考えられた (氷高 1968)。茎の基部を押し倒した際におこる稲体の応力を示す押し倒し抵抗値は (寺島ら 1992)、移植水稲は湛水直播水稲に比較して、著しく大きかった (第8図)。株の深さが土壌による株の支持力を増すといわれており (氷高 1968)、湛水直播水稲の耐倒伏性を高めるためにこれまでに種々の播種法がとられてきた。例えば土中播種は表土散播よりも株の深さが確保されるため、倒伏抑制効果が大きく (姫田 1995)、また無代かき作溝直播において、培土し覆土深を増すことで他の栽培方法よりも水稲の耐倒伏性が増すことが知られている (松村ら 1993)。移植水稲は茎基部の深さが約 4.2 cm で、湛水直播水稲の約 1.5 cm に比較して深い位置にあったことから (第4表)、湛水直播水稲に比較して移植水稲が倒伏しなかったのは株の深さが深かったことによるものと推察された。

最後に茎の曲げ剛性と密接に関係する稈の曲げ剛性に関わる性質について検討したい。タカナリは断面二次モーメントが大きいことによって稈の曲げ剛性が大きく、その結果、茎の曲げ剛性が大きくなって倒伏程度が小さかった。

(第4, 6, 7図)。品種や栽培条件の違いによって断面二次モーメントに相違が認められ(森田・田谷 1957), また稈の断面二次モーメントが大きい水稻は, たわみ型倒伏の発生が少ないことが知られており(氷高 1968), 耐倒伏性を強めるためには, 稈の太さや稈壁の厚さに関係する断面二次モーメントをより大きくすることが有効とされている(氷高 1968, 小田ら 1966)。一方, 稈の断面積が等しくても倒伏程度が異なる場合には稈の細胞, 組織の性質や成分が異なりヤング率に差が生じていた(氷高 1968, 大川・石原 1993 a, 大川ら 1993 b)。品種が同じでも異なる栽培条件において, ヤング率が変化し(橋本 1960 a, 氷高 1968), ヤング率の小さい水稻はたわみ型倒伏が多かった(橋本 1960 b, 氷高 1968)。日本晴では断面二次モーメントに相違がなくても高密度区のヤング率が低密度区に比較して小さいことによって, 高密度区の稈の曲げ剛性が小さくなり(第4図), 高密度区で倒伏程度が大きくなった。以上のことから断面二次モーメントとヤング率のいずれも品種および栽培条件によって変化して稈の曲げ剛性に影響することがあり, 耐倒伏性を高めることに重要であると考えられた。

謝辞: 供試水稻中国 153 号の種子は農林水産省中国農業試験場(現在農業技術研究機構 近畿中国四国農業研究センター)より配布を受けた。本研究遂行に当たって本学名誉教授石原邦先生(現在東京農業大学)には有益なご助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 安東郁男 1990. 水稻「タカナリ」の育成. 日作関東支部会報 5: 63-64.
- 江原宏・森田脩・金子忠相・藤山堯然 1998. 異なる苗立ち密度条件下における散播水稻個体の生育と収量の補償作用. 日作紀 67: 11-19.
- 橋本武 1960a. 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 31: 577-581.
- 橋本武 1960b. 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6報) ヤング率と倒伏型との関係. 土肥誌 31: 165-169.
- 氷高信雄 1968. 水稻の倒伏と被害の発生機構に関する実験的研究. 農技研報 A 15: 1-175.
- 姫田正美 1995. 直播稲作への挑戦. 第1巻 直播稲作研究四半世紀のあゆみ. 榊淵欽也監修. 農林水産技術情報協会, 東京. 1-279.
- 平沢正・稲葉泰典・大川泰一郎 1999a. 湛水直播栽培した水稻の生育, 耐倒伏性と倒伏に関わる地上部の性質の品種間差. 日作紀 68 (別1): 212-213.
- 平沢正・相沢奈美江・大川泰一郎 1999b. 乾田直播栽培した水稻の生育, 耐倒伏性と倒伏に関わる地上部の性質の品種間差. 日作紀 68 (別1): 214-215.
- 北條良夫・小田桂三郎 1965a. 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: 235-267.
- 北條良夫・小田桂三郎 1965b. 大麦の強稈性に関する研究. 第10報 稈の曲げ剛性について. 日作紀 34: 164-170.
- 柘木信幸・金忠男 1991. 水稻の高密度散播直播栽培における生育制御. 北陸農試報 33: 55-81.
- 河野通佳 1990. 倒伏の生理. 松尾考嶺・清水正治・角田重三郎・村田吉男・熊澤喜久雄・逢沢雄三・星川清親・石原邦・平田照・石井龍一編, 稲学大成 第2巻 生理編. 農文協, 東京. 757-766.
- 松村修・澤村篤・笹倉修司・亀川健一 1993. 無代かき作溝直播栽培での培土が水稻倒伏に及ぼす影響. 日作紀 (別1) 62: 4-5.
- 三石昭三 1975. 水稻の湛水直播における土壤中埋没種子に関する作物学的研究. 石川農短大特報 4: 1-59.
- 森田昇・田谷暢久 1957. 水稻の倒伏における茎稈の力学的考察. 第1報 腐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. 弘大農報 3: 52-59.
- 小田桂三郎・鈴木守・宇田川武俊 1966. 麦類品種の倒伏に関与する形質ならびに倒伏指数に関する研究. 農技研報 D15: 55-85.
- 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 1993a. 水稻稈基部の曲げ剛性に影響する細胞壁構成成分の品種間差異. 日作紀 62: 378-384.
- 大川泰一郎・富所康広・石原邦 1993b. 水稻における耐倒伏性に関係する性質の地上部環境条件による変化とその品種間差異. 日作紀 62: 525-533.
- 大川泰一郎・石原邦 1997. 水稻における稈基部の挫折強度形質の遺伝的特徴 - コシヒカリと中国 117 号との交配 $F_1 \sim F_3$ を用いて -. 日作紀 66: 603-609.
- 田原虎次・藍房和・渡部直吉・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.
- 寺田優 1984. 湛水土中直播栽培水稻の特徴. 農及園 59: 535-539.
- 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の品種比較. 日作紀 61: 380-387.
- 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.
- 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.
- 山本良孝 2001. 富山県における水稻直播栽培の推進経過と今後の課題. 農業技術 56: 171-177.
- 徐銀発・大川泰一郎・石原邦 1997. 水稻多収性品種タカナリの収量と乾物生産過程の解析 - 1991年から1994年の4年間 -. 日作紀 66: 42-50.

Varietal Differences in Growth, Lodging and Related Characters of Rice Plants Broadcasted in Submerged Paddy Field at Different Densities: Yumiko SAN-OH, Taiichiro OOKAWA, Namie AIZAWA and Tadashi HIRASAWA* (*Fac. of Agr., Tokyo Univ. of Agr. and Tech., Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan*)

Abstract: Seeds of rice cultivars, Nipponbare, Takanari and Chugoku 153 were broadcasted in the submerged paddy field at different densities. The density of seedlings after establishment was in the range of about 60 to 240 plants m^{-2} for Nipponbare

and Chugoku 153, and about 40 to 130 plants m^{-2} for Takanari. Serious lodging occurred in Nipponbare at the ripening stage due to bending at the base of the stem, and the degree of lodging tended to be larger in the stand with a higher density. The lodging was slight in Chugoku 153 and Takanari. A close correlation was observed between the degree of lodging and the reduction in grain yield. In the direct-sown plants without serious lodging, the grain yield was comparable to or even larger than the conventionally transplanted plants. The flexural rigidity of the stem at basal internode, which affects the lodging due to the stem bending, was larger in Chugoku 153 and Takanari. The larger flexural rigidity was caused by both of culm and leaf sheath in Chugoku 153 and mainly by culm in Takanari. In Nipponbare, the flexural rigidity of the stem was the smallest due to the smaller flexural rigidity of the culm with smaller moment of inertia of area. The larger culm flexural rigidity resulted from the larger Young's modulus in the stand with lower density and smaller degree of lodging in Nipponbare. These results indicate that a larger moment of inertia of area and Young's modulus are important characters for increasing the flexural rigidity of the culm.

Key words: Direct sowing in submerged paddy field, Flexural rigidity, Grain yield, Lodging, Moment of inertia of area, Planting density, Rice, Young's modulus.

書 評

「イネとスギ 現代日本生物誌7」稲村達也・中川重年 著. 岩波書店, 東京, 2001年, 170頁, 1900円.

第1部では, 日本人の祖先が営々として水田を築き上げ, 面積も単収も高めてきた歴史を人口と並べて比較したデータ (p. 36), あるいは面積当たりでは日本の水田の方が扶養力が高いのに労働集約的なために農業就業人口1人当たりの扶養人数ではヨーロッパの畑地の方がむしろ高いことを示したデータ (p. 32), など該博な知識と選び抜かれたデータから日本のイネの過去・現在・未来を簡潔にまとめている。一般向けの書であり, 内容自体は作物研究者になじみのある話題がほとんどである。しかし, わずか75頁に日本の自然と文化, 人にとってイネとは何か, を的確に解説しているので, 学生に読ませたい一冊である。

水稻ばかり研究しているのに, 水稻については未だ何一つ知らないわたしのような人間は前半の「イネ」で, みずからの不勉強ぶりを再確認させられるのだが, やはり第2部の「スギ」の方に新鮮な読後感を得た。スギの木は切ったら, 再生させることはなく, かならず新しく植え直した。江戸の町は何度も大火災に襲われたが, この復興の陰にはスギの旺盛な生産力があつたことを読者は知る (森の過去)。また, 1960年以前の自然林・人工林・雑木林から近未来の奥山・中山間地・里山をデザインしてみせてくれる (近過去と近未来も含めた現在)。これらによって日本の森林が稲作環境と同じように急速に変貌した様子がわかる (p. 142)。一方, スイスやドイツでのバイオマスとしての森林利用やイタリアではいまだに薪でピザを作ることによって森の恵みの活用を途絶えさせないのは, 日本の森の未来を示しているようだ。

学校給食や官庁の大食堂で米を薪で炊けばどうなのだろうか, これはただのおもいつきでしかない。巻末の対談では稲村氏の笠集落での実践, 中川氏の里山, 造成林での実践などただのおもいつきでない着実な成果が述べられている。いま大事なのはおもいつきとか発想, アイデアなどではなく, 実践であり, 実践とは何かを考える上でも, この本は示唆するところが多い。

対談で稲村氏が笠集落での実践例を述べながら, 本編の「イネ」では21世紀の水田農業として高度情報機械化を軸にした, 夫婦と補助労働力1人が50~100haの農地を田畑輪換するモデルを示している。数単位の集落を集めて, 50~100haとして管理するという構想だ。内外の米価の差などの経済的な要因からすれば妥当な, しかもスケールの大きな計画ではあるけれど, もっとこぢんまりとした小農の生き方はないのかとも思う。対談ではソバを活用した事例があげられているが, 行動力のある稲村氏のことだから, きっと水田農業についても隠し球があるに違いない。この著書に書ききれなかったことについては今後の著作に期待したい。

(島根大学 小林和広)