

コムギの耐倒伏性の品種間差とその要因

松山宏美・島崎由美・大下泰生・渡邊好昭

(中央農業総合研究センター)

要旨：北海道から九州までのコムギ在来種と育成品種、計 94 品種を二年栽培し、湾曲型倒伏への耐性と稈長、一穂重、稈基部の形質の関係を検討した。稈長は、両年とも直立のまま成熟した 8 品種、一年のみ倒伏した 29 品種、両年とも倒伏した 57 品種の平均値の順に有意に小さかった。加えて、両年とも倒伏した 57 品種の稈長と出穂から倒伏までの日数の間には有意な負の相関関係があり、稈長が大きいほど早期に倒伏することが示された。両年とも倒伏した 57 品種のうち、稈長 93.4 cm 以上のグループでは稈長と出穂から倒伏までの日数の間に有意な負の相関関係があり、稈長 93.4 cm 未満のグループでは稈基部の断面二次モーメントと出穂から倒伏までの日数の間に正の相関関係があった。従って、稈長の大小によって耐倒伏性と関係する形質が異なり、稈長 93.4 cm 以上の中稈及び長稈グループでは稈長が大きいほど、稈長 93.4 cm 以下の短稈グループでは稈基部が脆弱なほど早期に倒伏しやすいと考えられた。また、稈基部の曲げモーメントと断面二次モーメント、曲げモーメントとリグニン含有率の間には有意な正の相関関係があることが示され、リグニン含有率は稈基部の材質を強化し曲げモーメントに影響を及ぼすことが示唆された。

キーワード：稈長、コムギ、断面二次モーメント、倒伏、曲げモーメント、リグニン。

コムギの倒伏は収量と品質の低下を招く。これらの被害は、受光態勢の悪化や葉身の光合成速度の減少、維管束組織面積の縮小に由来する通導抵抗の増加による養水分や光合成産物の転流阻害、群落内の日射不足や通風不良による多湿などの微気象の悪化によると説明される (Hitaka and Kobayashi 1962)。開花期以前の倒伏では粒数の減少が、開花期以後の倒伏では粒重の減少が主な減収の要因となり 7–35% 減収するとの報告や (Fischer and Stapper 1987)、50% 程度減収するという報告がある (Stapper and Fischer 1990)。一方で、コムギは収量が増加すると倒伏程度が大きくなる傾向にあることが明らかになっており (小柳ら 1988)、現在の収量水準以上の多収を実現するためには耐倒伏性の向上が不可欠である。倒伏は稈が直立の状態から永久的に逸脱する不可逆な現象である (Pinthus 1973)。我が国のコムギ作では、稈が軟弱な穂揃い期と稈の炭水化物含量が減少し穂重が増す登熟中後期に発生しやすい (江口 2011)。登熟期間中の倒伏面積や達観で調査される倒伏程度は、通常日を追うごとに大きくなっていくため (小柳ら 1988, Berry ら 2003)、出穂後早期に倒伏して重心の偏ったコムギは収穫期に甚大な倒伏になりやすく、耐倒伏性が小さいと考えられる。また、開花後 20 日までの倒伏が収量に特に大きな影響をもたらす (Fisher and Stapper 1987)、倒伏した時期が早いほど減収程度は大きいとされているため (Laude and Pauli 1956, Weibel and Pendleton 1964)、早期の倒伏ほど回避すべきである。

コムギの倒伏は、稈基部が折れたり曲がったりする stem lodging と真っ直ぐな稈が傾き根系に障害が起こる root lodging の二つに分類されるが (Pinthus 1973)、我が国では、stem lodging を稈が折れる挫折型倒伏と稈が曲がる湾曲型

倒伏 (たわみ型倒伏) に分けて捉え、root lodging にあたる転び型倒伏を加えた三つに分類するのが一般的である (江口 2001)。我が国のコムギ作では、登熟期に穂が風雨にあたることにより重みを増し、稈が曲がって戻らなくなる湾曲型倒伏が多くみられる (江口 2001)。稈長が長いほど、穂が重いほど倒伏しやすいと考えられるが、我が国のコムギ作で発生する湾曲型倒伏には稈基部の形質も関与すると推測される。コムギの稈基部の形質のうち、Atkins (1938) は挫折時の荷重と圃場における倒伏の間に 0.3 から 0.6 の相関があることを認めている。また、小田ら (1966) は我が国に加えてアメリカ、ヨーロッパなどの広い範囲のオオムギ及びコムギ品種を対象とした試験を行い、稈長と地上部モーメントを乗じた値を稈乾物重と稈基部の挫折時曲げモーメントを乗じた値で除した倒伏指数を開発し、コムギ品種の耐倒伏性の判断に用いることができると報告している。従って、稈基部の形質は倒伏に関与すると考えられるが、これらの報告はいずれも 30 年以上前のものであり、我が国の近年のコムギ品種も含めた品種群を対象とした試験は行われていない。また、稈基部の形質と関係する成分に関しては、イネでは品種間における稈の曲げ応力の差異は主にリグニン密度に影響されると指摘されており (大川・石原 1993)、コムギでも稈の堅さは細胞壁構成成分の一つであるリグニンの合成酵素遺伝子 (*COMT* 遺伝子) の発現量に影響されると報告されている (Ma ら 2002)。

本研究では、コムギの湾曲型倒伏への耐性の品種間差とそれに関連する形質を明らかにすることを目的に、北海道から九州までの広範なコムギ品種群の耐倒伏性、稈長、一穂重及び稈基部の形質を測定し、それらの関係を検討した。稈基部の形質は、主茎の伸長節間のうち下から 2 番目の節

第1表 試験に供試した94のコムギ品種.

赤皮赤	細稈	宝満	鴻巣25号	農林61号	ホクシン
白肌	白達磨	赤竹1号	関東107号	農林67号	チホクコムギ
ドーソン1号	赤達磨	江島神力	伊賀筑後オレゴン	農林75号	ハルユタカ
札幌春小麦	早生小麦	伊賀筑後	極早生4-15	北栄	ナンプコムギ
相州2号	赤小麦	白小麦	農林1号	ムカコムギ	キタカミコムギ
資選1号	渋不知	筑前	農林3号	ホロシリコムギ	シラネコムギ
在来フルツ	古志郡在来種	1号早小麦	農林9号	タクネコムギ	バンドウワセ
西村	白チャボ	白ブンブ	農林10号	ハルヒカリ	シログネコムギ
白莢	サコボレ	阿蘇在来	農林16号	アオバコムギ	チクゴイズミ
富国	新中長	外海	農林26号	ヒツミコムギ	農林20号
赤稈茨城1号	畠田小麦	貞坊主	農林27号	フルツマサリ	フジミコムギ
白三尺	優勝旗347	延岡坊主小麦	農林39号	ユキチャボ	シラサギコムギ
赤ボロ1号	広島シブレー	魁1号	農林42号	ヒカリコムギ	ジュンレイコムギ
新田早生	無芒珍子	赤銹不知1号	農林50号	フクホコムギ	ハチマンコムギ
スネキリ15号	ヒラキ小麦	本系275号	農林53号	フクワセコムギ	
赤坊主	中相州	北海240号	農林55号	アブクマワセ	

間の曲げモーメントと断面二次モーメントを調査した。さらに、稈基部の形質とリグニンの関係について検討するため、稈基部節間のリグニンの含有率の測定も行った。

材料と方法

独立行政法人農業生物資源研究所が保存する日本のコムギコアコレクションに含まれる44の在来品種と50の育成品種・系統(第1表)を、茨城県つくば市観音台にある中央農業総合研究センター畑試験圃場(淡色黒ボク土)で、2009年11月6日と2010年11月5日に条間80cm、株間5cmで1粒ずつ、34粒播種した。2009年播種栽培と2010年播種栽培では供試品種の配置を変えて栽培し、反復は設けなかった。施肥は、基肥としてN、P₂O₅、K₂Oを含む化成肥料をそれぞれ成分で2kg/10a施用し、追肥は行わなかったが、供試圃場は地力が高いため、比較的少肥の条件でも倒伏した。両年とも、全ての品種について出穂日と倒伏日を調査した。倒伏日の調査は、2日に1回圃場における観察により行い、地際と穂を結ぶ線が垂直から30度以上傾いた日を倒伏日とした。倒伏を確認した品種については、湾曲した稈を起こして直立させ収穫期まで紐で固定した。出穂から2週間後に生育中庸な個体を10個体ずつサンプリングして各個体の最長稈の稈長(地際から穂首節までの長さ)を測定し、主茎の下から2番目の節間を切り出して、テクスチャーアナライザー(Stable Micro System社)を用いた試験に供試した。支点間距離4cmの支点上に切り出した節間を置き中央部に8.3mm秒⁻¹の速度で荷重を加え、得られた応力-ひずみ曲線より応力の最大値(g)を読み取り、小田ら(1966)と大川・石原(1992)の報告を参考にして以下の式により曲げモーメント(g cm)を算出した。また、節間の横断面を中空楕円とみなして、稈の短半径(a₁)と長半径(b₂)、横断面の中空楕円の短半径(a₂)

と長半径(b₂)を測定し、以下の式により横断面の形状に由来する曲げにくさを表す断面二次モーメント(mm⁴)を求めた。

$$\text{曲げモーメント (g cm)} = \frac{1}{4} \times (\text{応力の最大値}) \times (\text{支点間距離})$$

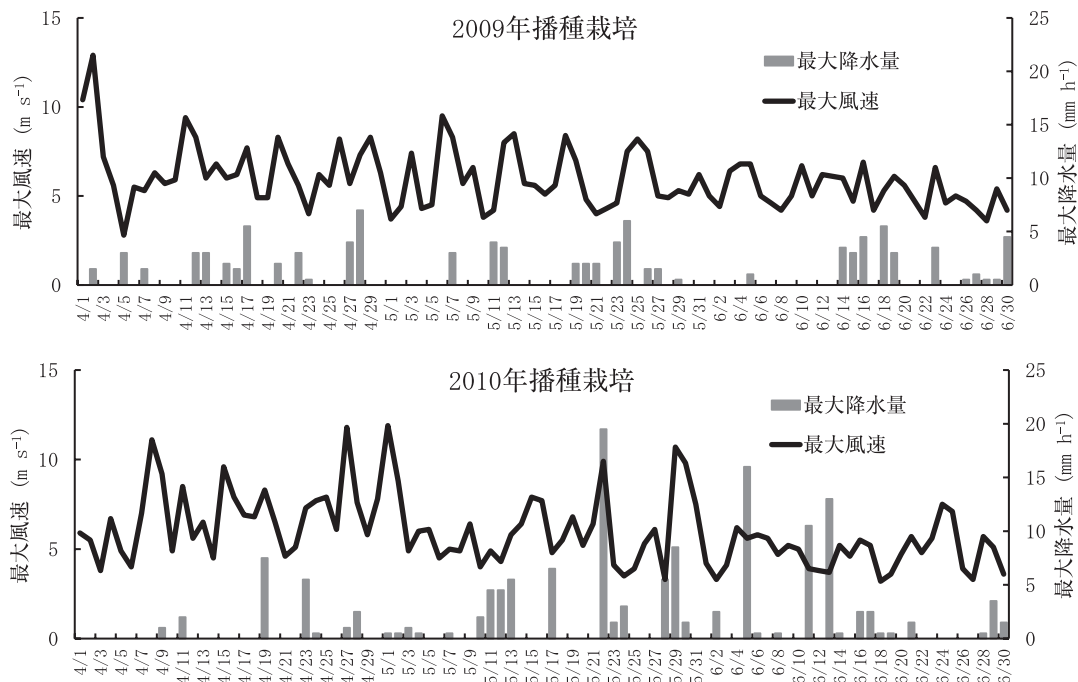
$$\text{断面二次モーメント (mm}^4\text{)} = \frac{\pi}{4} \times (a_1^3 b_1 - a_2^3 b_2)$$

さらに、収穫期に一穂重を測定した。2009年播種栽培においては、テクスチャーアナライザーを用いた試験に供試した節間を粉碎し、Suzukiら(2009)の方法に従ってリグニン含有率の測定を行った。

結 果

1. 気象、生育及び倒伏の概況

二年とも試験の障害となるような病害虫による被害は見られなかったが、8品種(赤皮赤、赤銹不知1号、札幌春小麦、白肌、ドーソン1号、農林3号、北栄、ムカコムギ)は出穂期が二年の平均で5月15日以降となり、収穫までに雨害に遭い正常に成熟しなかった。なお、出穂期から収穫までの間に台風などの気象災害に見舞われることは無く、2011年5月22日、6月5日、6月11日に最大降水量10mm h⁻¹を超えるやや強い降雨があり、2010年4月1日及び2日、2011年4月8日及び27日、5月1日及び29日に最大風速10m s⁻¹を超えるやや強い風が吹いたものの概ね穏やかで、大きな被害は見られなかった(第1図)。出穂期は、アブクマワセが最も早く二年の平均で4月7日、白肌と赤皮赤が最も遅く平均で5月20日であった。2009年播種栽培では94品種中63品種が、2010年播種栽培では82品種が湾曲型倒伏し、両年とも倒伏したのは57品種であった。



第1図 2009年播種栽培と2010年播種栽培と4月から6月までの日別最大風速と最大降水量。
データは農業環境技術研究所総合気象観測データより引用した。

第2表 二年の倒伏状況別の稈長、一穂重、稈基部の形質。

	稈長 (cm)	一穂重 (g)	曲げモーメント (g cm)	断面二次モーメント (mm ⁴)
両年直立	79.0 c	2.1 a	1382 a	19.2 ab
一年倒伏	95.1 b	2.2 a	1268 ab	19.8 a
両年倒伏	105.8 a	2.1 a	1145 b	15.4 b
全品種	100.2	2.1	1203	17.1

稈長、曲げモーメント及び断面二次モーメントの値は、試験を行った二年とも直立のまま成熟した8品種の平均値を「両年直立」に、一年のみ倒伏した29品種の平均値を「一年倒伏」に、二年とも倒伏した57品種の平均値を「両年倒伏」に示す。

「両年直立」の一穂重の値は8品種の平均値を示し、「一年倒伏」及び「両年倒伏」の一穂重の値はそれらの品種のうち正常に成熟した26品種及び52品種の平均値を示す。

異なるアルファベットを付した数値間には5%水準で有意差があることを示す(Tukey法)。

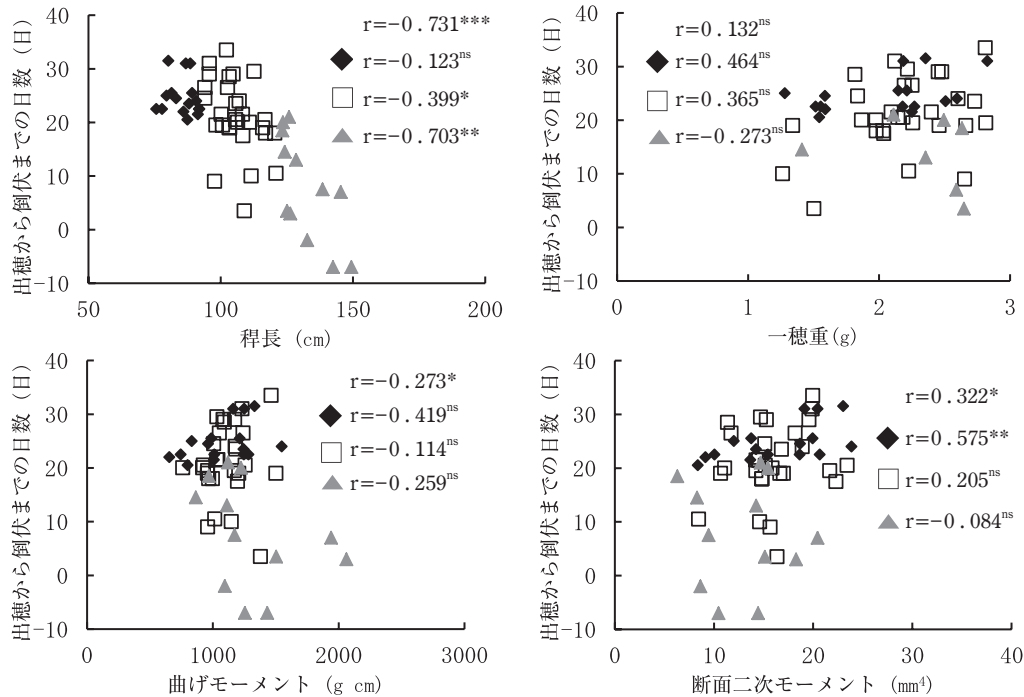
2. 試験に供試した品種の二年の倒伏状況と各形質の関係

試験に供試した全94品種を、両年とも直立のまま成熟した8品種、一年のみ倒伏した29品種、両年とも倒伏した57品種の三つに分け、それぞれの稈長、一穂重及び稈基部の形質を解析した。一穂重に関しては、一年のみ倒伏した29品種のうち白肌、北栄及びムカコムギの3品種が、両年とも倒伏した57品種のうち赤川赤、赤錆不知1号、札幌春小麦、ドーソン3号及び農林3号の5品種が正常に成熟しなかったため、これらの値を除いて解析した。その結果、稈長はそれぞれの間で有意に異なり、両年とも直立のまま成熟した品種、一年のみ倒伏した品種、両年とも倒伏した品種の順に平均値が小さかった(第2表)。一穂重は、全ての間で有意な差は無かった(第2表)。稈基部の曲げモーメントは、両年とも直立のまま成熟した品種と一年の

み倒伏した品種の間、一年のみ倒伏した品種と両年とも倒伏した品種の間に有意差は無かったが、両年とも直立のまま成熟した品種の値が両年とも倒伏した品種の値より有意に大きかった(第2表)。稈基部の断面二次モーメントは、両年とも直立のまま成熟した品種と一年のみ倒伏した品種の間、両年とも直立のまま成熟した品種と両年とも倒伏した品種の間に有意差は無かったが、一年のみ倒伏した品種の値が両年とも倒伏した品種より有意に大きかった(第2表)。

3. 両年とも倒伏した57品種の倒伏時期と各形質の関係

倒伏時期と稈長、一穂重及び稈基部の形質の関係について、両年とも倒伏した57品種の値を用いて検討し、さらに57品種を稈長の大小によって分けた三つのグループごと



第2図 稈長、稈基部の曲げモーメント及び断面二次モーメントと出穂から倒伏までの日数の関係。

稈長、稈基部の曲げモーメント及び断面二次モーメントとの関係では両年とも倒伏した57品種の二年の平均値を示し、一穂重との関係では57品種のうち正常の成熟した52品種の二年の平均値を示す。

◆は稈長93.4 cm未満の短稈グループ、□は稈長93.4 cm以上121.5 cm未満の中稈グループ、▲は稈長121.5 cm以上の長稈グループの値を示す。

図中の r は57品種の値から算出した相関係数を表し、◆ r は短稈グループ、□ r は中稈グループの、▲ r は長稈グループの値から算出した相関係数を表す。

図中の***は0.1%水準で、**は1%水準で、*は5%水準で有意であることを示し、^{ns}は有意でないことを示す。

でも検討した。グループの分け方は、全94品種の稈長の値のうち最小値(農林10号の65.4 cm)と最大値(札幌春小麦の149.5 cm)の間を等しい長さの3つの区間に区切り、稈長93.4 cm未満の品種を短稈グループ、稈長93.4 cm以上121.5 cm未満の品種を中稈グループ、稈長121.5 cm以上の品種を長稈グループとした。両年とも倒伏した57品種のうち16品種が短稈グループに、29品種が中稈グループに、12品種が長稈グループに含まれた。稈長と出穂から倒伏までの日数の間には、57品種の値を用いた解析で有意な負の相関関係があり、稈長93.4 cm以上の中稈及び長稈グループでも有意な負の相関関係があったが、稈長93.4 cm未満の短稈グループでは有意な関係はなかった(第2図)。一穂重と出穂から倒伏までの日数の関係は、57品種のうち出穂期が遅く正常に成熟しなかった赤川赤、赤錆不知1号、札幌春小麦、ドーソン3号、農林3号の5品種を除いた52品種の値を用いて解析した。これらは全て長稈グループに含まれた。52品種の値を用いた解析と全てのグループでの解析で、一穂重と出穂から倒伏までの日数の間には有意な関係はなかった(第2図)。稈基部の曲げモーメントと出穂から倒伏までの日数の間には、57品種の値を用いた解析で有意な負の相関関係があっ

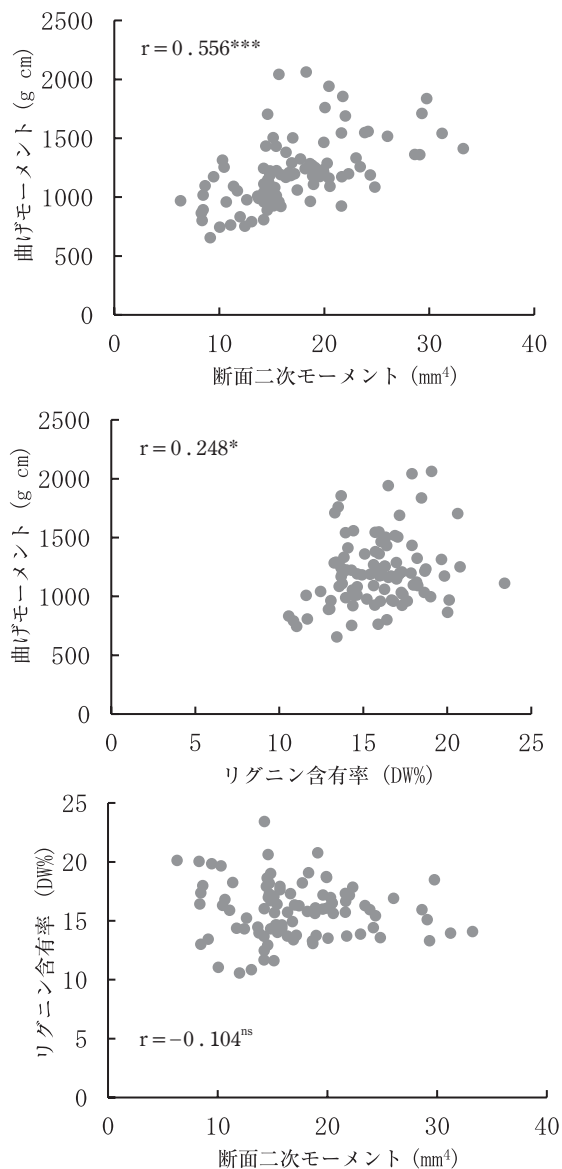
たが、短稈、中稈及び長稈グループでは有意な関係はなかった(第3図)。また、稈基部の断面二次モーメントと出穂から倒伏までの日数の間には、57品種の値を用いた解析で有意な正の相関関係があり、短稈グループでも有意な正の相関関係があったが、中稈及び長稈グループでは有意な関係はなかった(第2図)。

4. 全94品種の稈基部の形質同士の関係検討と品種間比較

全94品種の稈基部の断面二次モーメントと曲げモーメント、リグニン含有率と曲げモーメントの間にはそれぞれ有意な正の相関関係があり、断面二次モーメントとリグニン含有率の間には有意な関係はなかった(第3図)。

考 察

試験に供試した94品種のうち、両年とも直立のまま成熟した8品種、一年のみ倒伏した29品種、両年とも倒伏した57品種の稈長は有意に異なり、両年とも直立のまま成熟した品種、一年のみ倒伏した品種、両年とも倒伏した品種の順に平均値が小さかった(第2表)。加えて、両年とも倒伏した57品種の稈長と出穂から倒伏までの日数の間には有意な負の相関関係があり、稈長が大きいほど早期



第3図 稈基部の曲げモーメントと断面二次モーメント及びリグニン含有率の関係。

曲げモーメント及び断面二次モーメントは全94品種の二年の平均値を、リグニン含有率は全94品種の2009年播種栽培の値を示す。

図中の***は0.1%水準で、*は5%水準で有意であることを、^{ns}は有意でないことを示す。

に倒伏することが示された(第2図)。稈基部の形質のうち断面二次モーメントは、両年とも直立のまま成熟した8品種と一年のみ倒伏した29品種で異ならなかったが、一年のみ倒伏した29品種と両年とも倒伏した57品種で有意に異なり、一年のみ倒伏した29品種の平均値の方が大きかった(第2表)。さらに、両年とも倒伏した57品種の断面二次モーメントと出穂から倒伏までの日数の間には有意な正の相関関係があり(第2図)、断面二次モーメントが小さい品種ほど早期に倒伏することが示唆された。稈基部の曲げモーメントは、両年とも直立のまま成熟した8品種、

第3表 耐倒伏性が特に大きい品種と特に小さい品種の各形質。

	品種名	稈長 (cm)	曲げモーメント (g cm)	断面二次モーメント (mm ⁴)
耐倒伏性大	農林10号	65.4	791	13.1
	タクネコムギ	69.6	1759	20.1
	アブクマワセ	73.1	891	8.5
	ホクシン	79.9	1361	28.6
	ハチマンコムギ	81.9	1836	29.8
	チホクコムギ	82.6	1268	18.9
	ホロシリコムギ	84.4	1107	19.0
	ハルユタカ	95.3	2041	15.7
耐倒伏性小	伊賀筑後オレゴン	97.8	959	15.7
	赤稈茨城1号	109.0	1379	16.4
	富国	111.6	1147	14.6
	細稈	125.1	1504	15.1
	農林3号	126.4	2061	18.3
	ドーソン1号	132.8	1095	8.6
	赤銹不知1号	138.5	1173	9.5
	古志郡在来種	145.4	1940	20.4
	赤皮赤	142.5	1254	10.5
	札幌春小麦	149.5	1433	14.4

各品種の値は二年の平均値を示す。

試験を行った二年とも直立のまま成熟した品種を「耐倒伏性大」に、二年とも倒伏し且つ出穂から倒伏までの日数が二年の平均値で10日以内となった品種を「耐倒伏性小」とした。

一年のみ倒伏した29品種、両年とも倒伏した57品種の平均値の順に大きく、両年とも直立のまま成熟した8品種と両年とも倒伏した57品種の間には有意な差があった(第2表)。一方で、両年とも倒伏した57品種の曲げモーメントと出穂から倒伏までの日数の間には有意な負の相関関係があった(第2図)。短稈化により倒れにくい品種を育成することはこれまでのコムギ育種の大きな目標の一つであり(田谷1993)、稈長が大きいコムギほど倒伏しやすいことは明らかである。本試験の結果からも、コムギの耐倒伏性には稈長が関係することが確認された。またこれらの結果からは、稈長に加えて稈基部の曲げモーメント及び断面二次モーメントも耐倒伏性と関係する可能性が示唆されたが、その関係は稈長ほど明確では無かった。そこで、両年とも倒伏した57品種を稈長の大小によって三つのグループに分け、各形質と出穂から倒伏までの日数の関係を解析したところ、稈基部の曲げモーメントと出穂から倒伏までの日数の関係に関しては、全てのグループで有意な関係は無かった(第2図)。一方で、稈長93.4cm以上の中稈グループ及び長稈グループでは稈長と出穂から倒伏までの日数の間に有意な負の相関関係があったが、稈長93.4cm未満の短稈グループでは、稈長と出穂から倒伏までの日数の間に有意な関係はなく(第2図)、稈基部の断面二次モーメントと出穂から倒伏までの日数の間に有意な正の相関関係が認められた(第2図)。これらのことから、稈長の大小によっ

第4表 稈基部の曲げモーメントが全94品種の平均値より30%以上大きかった品種の稈基部の形質.

品種数	曲げモーメント (g cm)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	リグニン含有率 (DW%)
農林3号	2061	18.3	19.1
ハルユタカ	2041	15.7	17.9
古志郡在来種	1940	20.4	16.5
白肌	1854	21.8	13.7
ハチマンコムギ	1836	29.8	18.5
タクネコムギ	1759	20.1	13.5
北海240号	1710	29.3	13.3
北栄	1703	14.6	20.6
ヒカリコムギ	1659	23.9	15.9

曲げモーメント及び断面二次モーメントは二年の平均値を、リグニン含有率は2009年播種栽培の値を示す。

て耐倒伏性と関係する形質が異なり、稈長93.4 cm以上の中稈及び長稈グループでは稈長が大きいほど、稈長93.4 cm以下の短稈グループでは稈基部が脆弱なほど早期に倒伏しやすいと考えられた。また、収穫部位である穂が作物体上部にあるコムギでは一穂重も倒伏に影響を及ぼすと予想される。しかしながら本試験では、一穂重と耐倒伏性の関係は認められなかった(第2表、第2図)。

全94品種のうち、両年とも倒伏せず直立のまま成熟し耐倒伏性が特に大きいと考えられた8品種と、両年とも倒伏し且つ出穂から倒伏までの日数が二年の平均値で10日以内となり耐倒伏性が特に小さいと考えられた10品種の形質を第3表に示した。耐倒伏性が特に大きいと考えられた8品種の中でも、稈長の最小値から最大値の間には29.9 cmの幅があった(第3表)。8品種のうち稈長が最大の95.3 cmであったハルユタカは、稈基部の曲げモーメントが全94品種の平均値より70%大きかった(第2表、第3表)。また稈長が最小の65.4 cmであった農林10号は、稈基部の曲げモーメントが全94品種の平均値より34%、断面二次モーメントが23%小さかった(第2表、第3表)。ハルユタカは稈長がやや大きいが稈基部が強く、耐倒伏性が大きかったと考えられた一方で、農林10号は稈長が小さいために耐倒伏性が大きかったが、稈基部の強度は小さいと考えられた。このように、両年とも直立のまま成熟し耐倒伏性が特に大きいと考えられた8品種の中には稈基部の強度が小さい品種も含まれており、第2表にて、両年とも直立のまま成熟した品種と一年のみ倒伏した品種の間及び直立のまま成熟した品種と両年とも倒伏した品種の間に有意差が見られなかったと推測された。加えて、早期に倒伏し耐倒伏性が特に小さいと考えられた10品種のうち、農林3号の稈基部の曲げモーメントは全94品種の平均値より71%大きく、古志郡在来種の稈基部の曲げモーメントは61%、断面二次モーメントは19%大きかった(第2表、第3表)。これらの品種は、稈長が大きいために耐倒伏性

は小さかったが、稈基部の強度は大きいと考えられた。これらのことから、圃場で発生した倒伏の状況から耐倒伏性が大きいと考えられた品種の中にも稈基部の強度が小さい品種は存在し、逆に耐倒伏性が小さいと判断された品種の中にも稈基部の強度が大きい品種は存在することが明らかになった。従って、稈基部を強化し耐倒伏性を向上させたコムギ品種の育成に資する知見を得るためには、圃場における倒伏の状況だけでなく作物体の稈長や稈基部の形質を測定する必要があると示唆された。

稈基部の形質のうち、断面二次モーメントは稈基部の横断面の形状から求められる値であり、曲げモーメントは稈基部の横断面の形状と材質の両方が影響する値である。本試験においては、稈基部の曲げモーメントと断面二次モーメントの間に有意な正の相関関係が確認された(第3図)。加えて、稈基部の曲げモーメントとリグニン含有率の間にも有意な正の相関関係があることが示され(第3図)、リグニン含有率は稈基部の材質を強化し曲げモーメントに影響を及ぼすことが明らかになった。しかしながらオオムギの場合は、セルロース含量が稈の材質に影響することが指摘されており(Kokuboら1989)、イネではリグニンに加えてセルロースとヘミセルロースが影響するとの報告がある(Liら2003)。リグニン以外の細胞壁多糖類や、細胞壁強度を調整する機能をもつフェルラ酸等の有機成分、細胞壁の構造と関連のあるカルシウムやケイ素等の無機成分が、コムギ稈の材質に及ぼす影響についても検討する必要があると考えられる。

全94品種のうち、稈基部の曲げモーメントが全94品種の平均値より30%以上大きかった9品種の稈基部の形質を第4表に示した。これらのうち北海240号は、断面二次モーメントが全94品種の平均値より71%大きく、リグニン含有率は全94品種の平均値である15.8 DW%より16%小さかった(第2表、第4表)。また、北栄はリグニン含有率が全94品種の平均値より30%大きく、断面二次モーメントは全94品種の平均値より15%小さかった(第2表、第4表)。従って、北海240号は稈基部の断面二次モーメントが大きいために曲げモーメントが大きかったと推測され、北栄はリグニン含有率が大きいために曲げモーメントが大きかったと推測された。またハチマンコムギは、断面二次モーメントが全94品種の平均値より74%、リグニン含有率が17%大きく(第2表、第4表)、断面二次モーメントとリグニン含有率の両方が大きかったことが示された。これらのことから、曲げモーメントの大きい品種の中でも稈基部の形質には特徴があることが推測された。一方では、断面二次モーメントが全94品種中最大の33.2 mm⁴であり平均値より94%大きかったシラネコムギは、曲げモーメントが1411 g cmと全94品種の平均値より17%大きい値にとどまった。また、リグニン含有率が全94品種中最大の23.4 DW%であり平均値より48%大きかった阿蘇在来は、曲げモーメントが1111 g cmと平均値より7.6%

小さい値であった。以上のことから、稈基部の曲げモーメントは稈基部横断面の形状と関係する断面二次モーメント、及び稈基部の材質と関係するリグニン含有率と正の相関関係にあったが、断面二次モーメントが特に大きい品種やリグニン含有率が特に大きい品種の曲げモーメントは必ずしも大きくないことが示唆された。稈基部の強化のための材料選抜に当たっては、稈基部の曲げモーメントだけではなく、稈基部の断面二次モーメントや材質についても評価する必要があると考えられた。またオオムギの場合、稈の曲げモーメントは出穂後2週間目で最大となりその後低下するが、その程度は品種によって異なるとされている(北條・小田 1965)。今後は、登熟期間中の稈強度の推移と倒伏時期の関係について、さらなる検討が必要であると考えられる。

謝辞：リグニン含有率の測定にあたってご協力いただいた作物研究所の荒井(三王)裕見子博士、統計解析手法に関してご助言いただいた中央農業総合研究センターの光永貴之博士に、厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Atkins, I.M. 1938. A simplified method for testing the lodging resistance of varieties and strains of wheat. *Agron. J.* 30: 309-313.
- Berry, P.M., Sterling, M., Baker, C.J., Spink, J., and Sparkes, D.L. 2003. A calibrated model of wheat lodging compared with field measurements. *Agr. Forest Meteorol.* 119: 167-180.
- 江口久夫 2001. 倒伏の原因と対策. 転作全書 第一巻 ムギ. 農文協, 東京. 295-299.
- Fischer, R.A. and Stapper, M. 1987. Lodging effects on high-yielding crops of irrigated semidwarf wheat. *Field Crops Res.* 17: 245-258.
- Hitaka, N. and Kobayashi, H. 1962. Studies on the lodging of rice plant I) Preliminary studies on the impeded translocation in lodging stems. *Jpn. J. Crop Sci.* 30: 116-119.
- 北條良夫・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: 259-262.
- Kokubo, A., Kuraishi, S. and Sakurai, N. 1989. Culm strength of barley. *Plant Physiol.* 91: 876-882.
- Laude, H.H. and Pauli, A.W. 1956. Influence of lodging on yield and other characters in winter wheat. *Agron. J.* 48: 452-455.
- Li, Y., Qian, Q., Zhou, Y., Yan, M., Sun, L., Zhang, M., Fu, Z., Wang, Y., Han, B., Pang, X., Chen, M., and Li, J. 2003. BRITTLE CULM1, which encodes a COBRA-like protein, affects the mechanical properties of rice plants. *Plant Cell* 15: 2020-2031.
- Ma, Q.H., Xu, Y., Lin, Z.B. and He, P. 2002. Cloning of cDNA encoding COMT from wheat which is differentially expressed in lodging-sensitive and -resistant cultivars. *J. Exp. Bot.* 53: 2281-2282.
- 小田桂三郎・鈴木守・宇田川武俊 1966. 麦類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 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.
- 小柳敦史・佐藤暁子・江口久夫 1988. 関東以西におけるコムギ品種の収量水準からみた耐倒伏性. NARC 研究速報 5: 13-17.
- Pinthus, M.J. 1973. Lodging in wheat, barley, and oats: The phenomenon, its causes, and preventive measures. *Adv. Agron.* 25: 209-263.
- Stapper, M. and Fischer, R.A. 1990. Genotype, sowing date and plant spacing influence on high-yielding irrigated wheat in southern New South Wales. II. Growth, yield and nitrogen use. *Aust. J. Agric. Res.* 41: 1021-1041.
- Suzuki, S., Suzuki, Y., Yamamoto, N., Hattori, T., Sakamoto, M. and Umezawa, T. 2009. High-throughput determination of thioglycolic acid lignin from rice. *Plant Biotech.* 26: 337-340.
- 田谷省三 1993. 暖地における早生コムギ品種の収量性に関する育種学的研究. 九州農試報 27: 333-393.
- Weibel, R.O. and Pendleton, J.W. 1964. Effect of artificial lodging on winter wheat grain yield and quality. *Agron. J.* 56: 487-488.

Varietal Difference in Lodging Resistance and Culm Characteristics of Wheat : Hiromi MATSUYAMA, Yumi SHIMAZAKI, Yasuo OHSHITA and Yoshiaki WATANABE (*National Agricultural Research Center, 3-1-1, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, Japan*)

Abstract : We investigated stem lodging resistance and culm characteristics of 94 native and bred wheat cultivars in Japan for two years. The culm of 8 cultivars which did not lodge in either year was statistically longer than that of 29 cultivars which lodged in 1 year, and the culm of 29 cultivars was statistically longer than that of 57 cultivars which lodged in both years. Among the 57 cultivars in the group with 93.4 cm or longer culm, a negative correlation was observed between culm length and the days from heading to lodging, and in the group with a culm length shorter than 93.4 cm, a positive correlation was observed between the second moment of area of basal internode and the days from heading to lodging. Thus, it was suggested that in the cultivars with a culm length of 93.4 cm or longer, the taller cultivars lodged earlier, and in the cultivars with a culm length shorter than 93.4 cm, the cultivars with weaker basal internodes lodged earlier. Among 94 cultivars, there was a positive correlation between bending moment and second moment of area, and also between bending moment and lignin content of basal internode.

Key words : Bending moment, Culm length, Lignin, Lodging, Second moment of area, Wheat.