

生産力検定試験成績を利用した水稻の収量形成要因の解析

福嶋陽・太田久稔・梶亮太・津田直人

(農研機構 東北農業研究センター)

要旨：農研機構東北農業研究センターで実施された14年間の生産力検定試験成績を用いて、水稻の収量形成要因を解析した。良食味品種の「あきたこまち」と「ひとめぼれ」、多収品種の「ふくひびき」、および直播適性良食味品種の「萌えみのり」による標肥移植栽培および標肥直播栽培の試験結果、「ふくひびき」と大粒多収品種の「べこあおば」による多肥移植栽培および多肥直播栽培の試験結果を用いた。「萌えみのり」は「ひとめぼれ」と比較して、標肥移植栽培の精玄米重に有意な差異は認められなかったが、標肥直播栽培の精玄米重は有意に高かった。この原因は、「萌えみのり」は直播栽培における倒伏が少ないためと推察された。多肥移植栽培において「べこあおば」は「ふくひびき」と比較して、有意な差異は認められなかったが、12年間の平均値で3.4%の多収であった。収量と関連の深い形質を調査したところ、収量は、穂数、および藁も含めた風乾全重と高い正の相関関係が認められた。精玄米重と6月、7月、8月の平均気温、日照時間の関係を調査したところ、標肥移植栽培においては、6月の日照時間と精玄米重の間に4品種の中の3品種で有意な正の相関関係が認められた。これらのことから、栄養生長期の日照時間が長いと、穂数および風乾全重が増加することによって多収となることが示唆された。今後は、本研究で得られた結果の普遍性と特異性を、日本各地の収量試験のデータを用いて調査する必要がある。

キーワード：収量、水稻、生産力検定試験、直播栽培、日照時間。

水稻における多収品種の育成、多収栽培技術の開発、あるいは収量予測のためには、収量形成に重要な遺伝的要因および環境要因を明らかにする必要がある。我が国における水稻の育種においては、毎年、育成系統の収量性を対照品種と比較して評価する生産力検定試験が実施される。育成系統の品種登録出願が決まれば、生産力検定試験の結果は、参考成績書として農林水産省に提出される。その内容は、要約・整理し学術論文として育成機関の研究報告等に公表される。新品種の生産力検定試験は、品種登録出願後も継続される。そのため、新品種および対照品種の生産力検定試験の結果は、10年間以上も蓄積されることが多い。その結果には、様々な気象条件の年次が含まれており、気象要因と収量の関係を解析するために有用である。また、新品種においては、品種登録出願後のデータも併せて解析することによって、その特性が明確になると考えられる。そこで、本研究では、農研機構東北農業研究センター（以下、東北農研）において実施された水稻の生産力検定試験成績の結果を用いて、収量構成要素の点から、精玄米重 = 穂数 × 1穂粒数 × 1粒重と分解して、また、乾物生産の点から、籾重 = 風乾全重 - 藁重、籾藁比 = 籾重 ÷ 藁重と分解して、収量形成要因の解析を行った。

材料および方法

2000年から2013年までの間、東北農研の大仙拠点（秋田県大仙市）で実施された生産力検定試験の結果を用いた。東北地域の基幹品種である良食味品種の「あきたこまち」（1984年育成）、「ひとめぼれ」（1991年育成）、食味は劣る

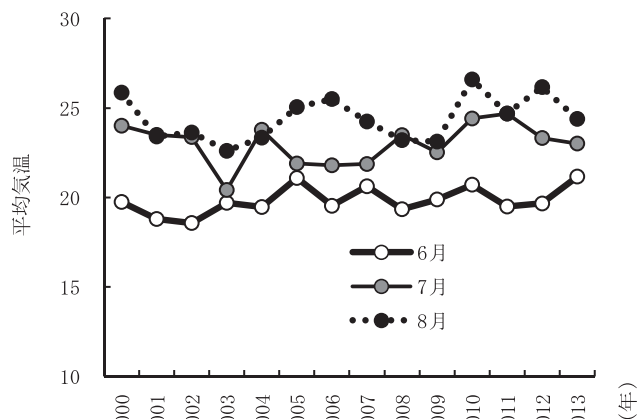
が多収品種の「ふくひびき」（1993年育成）、および直播適性に優れ良食味の新しい品種「萌えみのり」（東北農研2006年育成、片岡ら2007）を用いて、標肥移植栽培、および標肥直播栽培を行った。さらに、多収品種の「ふくひびき」および大粒で多収の新しい品種「べこあおば」（東北農研2005年育成、中込ら2006）を用いて、多肥移植栽培および多肥直播栽培を行った。

移植栽培においては、栽植様式は条間30 cm、株間15 cm、1株3本の手植えとした。移植時期は5月18～23日の間であった。直播栽培においては、焼石膏で粉衣した催芽種子を、条間30 cm、200粒/m²の密度で表面条播した。播種時期は5月7～15日の間であり、播種後は湛水管理とした。施肥量を第1表に示した。試験区は、移植栽培は4条 × 4 m (4.8 m²) の2反復、直播栽培は5条 × 2.4 m (3.6 m²) の2反復とした。出穂期は、全穂の50%以上に出穂が認められた日とした。倒伏程度は、無(0)～甚(5)の6段階で成熟期に評価した。成熟期には移植栽培は1試験区当たり中央の2条 × 20株 (1.8 m²)、直播栽培は1試験区当たり中央の3条 × 2 m (1.8 m²) を地際から刈り取った。そして、自然乾燥した後に風乾全重を測定し、脱穀後に籾重を測定した。風乾全重から籾重を引いた値を藁重、籾重 ÷ 藁重を籾藁比とした。籾は、籾摺り後に1.8 mmの篩選を行い、残った玄米の重量を計測し、水分15%に換算して精玄米重および千粒重を求めた。移植栽培の場合、坪刈り場所と隣接する10株について、最長の稈長と穂長、および穂数を測定した。直播栽培の場合、隣接した条の10箇所について、最長の稈長と穂長を測定し、また坪刈

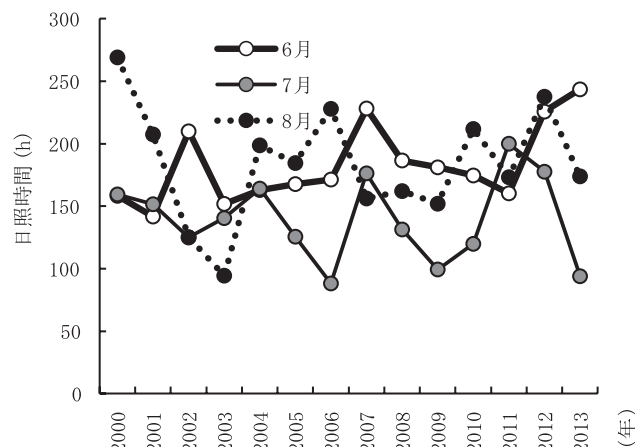
第1表 水稻の生産力検定試験における施肥量の概要.

栽培方法	年次	基肥施肥量			追肥施肥量	
		N (kg/10a)	P ₂ O ₅ (kg/10a)	K ₂ O (kg/10a)	N (kg/10a)	K ₂ O (kg/10a)
標肥移植栽培	2010年まで	7.0	7.0	7.0	2.0	2.0
および標肥直播栽培	2011年以降	5.0	5.0	5.0	2.0	2.0
多肥移植栽培	2010年まで	9.0	9.0	9.0	6.0	2.0
および多肥直播栽培	2011年以降	7.0	7.0	7.0	5.0	3.0

追肥の時期と回数は、標肥栽培は7月中旬の1回、多肥栽培は7月中旬と7月下旬の2回.



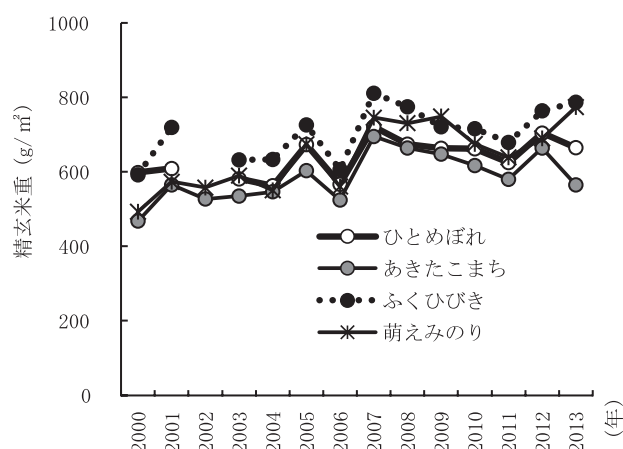
第1図 秋田県大仙市における平均気温の年次変動.



第2図 秋田県大仙市における日照時間の年次変動.

りした株のおよそ3分の1について穂数を測定して、風乾全重の比率から穂数を換算した。1穂粒数は精玄米重÷穂数÷1粒重として算出した。平均気温および日照時間は気象庁が公表している秋田県大仙市のデータを用いた。日照時間に関しては、2006年11月から測定機器が太陽電池式日照計から回転式日照計に変更になったので、それ以前の日照時間は気象庁の換算式により回転式日照計の値に換算した。

なお、生産力検定試験における調査方法は、栽培分野における調査方法と以下の点で異なるので留意する必要がある。東北農研においては、坪刈り面積は、栽培分野では40株、3反復、生産力検定試験においては40株、2反復である。穂数に関しては、栽培分野では株間変動が大きいため40株を測定する(楠田1990)のに対して、生産力検定試験においては10株を測定する。栽培分野では、収量 = 穂数 × 1穂粒数 × 千粒重 × 登熟歩合と収量構成要素に分解して収量形成要因の解析を行う(松島1957, 楠田1995)。これに対して、生産力検定試験においては、1穂粒数および登熟歩合を算出しない。本研究においては、1穂粒数を精玄米重÷穂数÷1粒重として算出したが、この場合、1穂粒数は穂数などの測定誤差の影響を大きく受けることとなる。また、栽培分野では70℃以上の高温で乾燥した後の乾物重を測定するが、生産力検定試験においては自然乾燥した風乾全重、粒重、および葉重を用いる。このため、



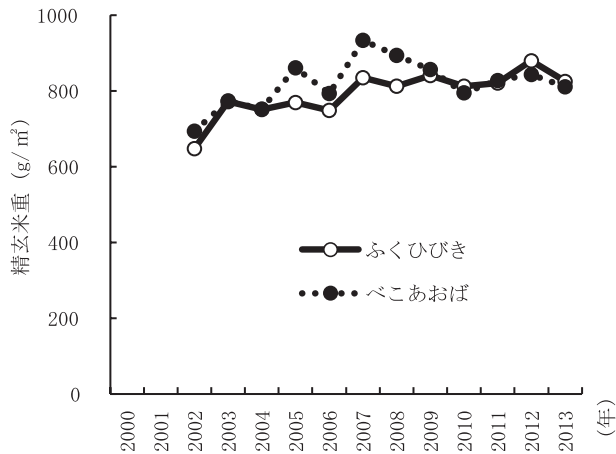
第3図 水稻の生産力検定試験・標肥移植栽培における精玄米重の年次変動.

乾燥程度の影響を受ける。

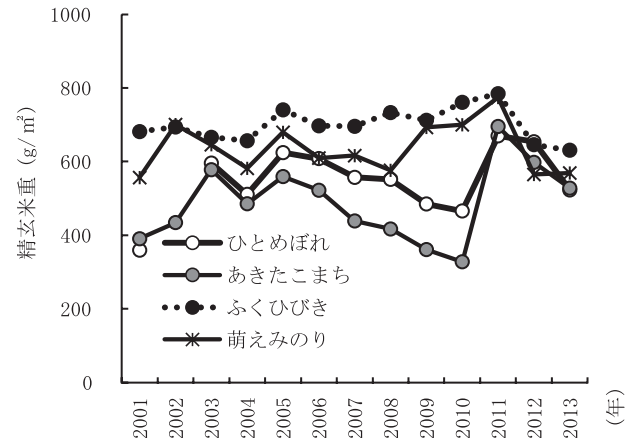
結 果

1. 気象および収量の年次変動

2000年～2013年の平均気温および日照時間を第1図、第2図に示した。移植栽培における精玄米重の年次変動を第3図、第4図に示した。2011年以降は、施肥量をやや減らしているが(第1表)、それに伴い収量が低下する傾



第4図 水稻の生産力検定試験・多肥移植栽培における精玄米重の年次変動。

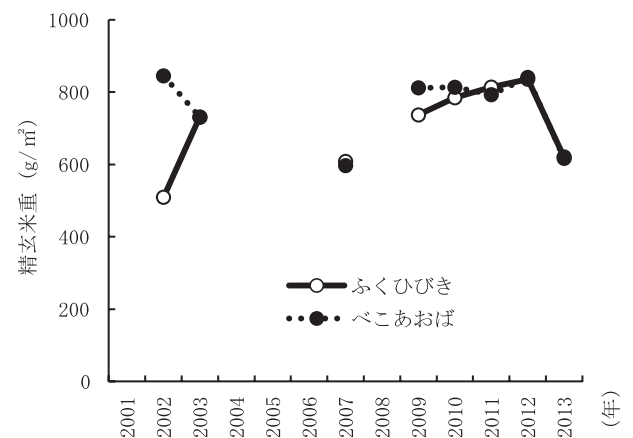


第5図 水稻の生産力検定試験・標肥直播栽培における精玄米重の年次変動。

向は認められなかった。直播栽培における精玄米重の年次変動を第5図、第6図に示した。2001年、2009年、2010年の「ひとめぼれ」と「あきたこまち」は精玄米重が特に小さく、この場合の倒伏程度はいずれも3以上であった。気象災害等により大きく減収したとみられる年次はなかった。

2. 収量および収量関連形質

標肥移植栽培における精玄米重は、「ひとめぼれ」と比較して、「あきたこまち」は有意に小さく、「ふくひびき」は有意に大きく、「萌えみのり」と有意差は認められなかった(第2表)。一方、標肥直播栽培における精玄米重は、「ひとめぼれ」と比較して、「あきたこまち」は有意に小さく、「ふくひびき」と「萌えみのり」は有意に大きかった。多



第6図 水稻の生産力検定試験・多肥直播栽培における精玄米重の年次変動。

第2表 水稻の生産力検定試験における収量および収量関連形質。

栽培方法	品種名	精玄米重 (g/m²)	出穂期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (/m²)	1穂粒数	千粒重 (g)	倒伏程度 (0-5)	風乾全重 (g/m²)	籾重 (g/m²)	藁重 (g/m²)	籾藁比 (%)
標肥移植栽培	ひとめぼれ	639	8/6	85	19.2	474	59	22.9	2.4	1678	802	876	92
	あきたこまち	593**	8/2**	84 ^{NS}	18.3**	413**	65**	22.1**	1.2**	1545**	753**	793**	95*
	ふくひびき	705**	8/3**	72**	19.4 ^{NS}	347**	83**	24.6**	0.2**	1634 ^{NS}	862**	772**	113**
	萌えみのり	650 ^{NS}	8/5**	69**	19.2 ^{NS}	434**	63*	23.7**	0.1**	1622*	812 ^{NS}	810**	100**
標肥直播栽培	ひとめぼれ	551	8/14	84	18.1	547	45	22.3	2.6	1679	729	951	78
	あきたこまち	492**	8/7**	82 ^{NS}	17.3**	499*	45 ^{NS}	21.7**	3.4 ^{NS}	1522**	658**	864**	77 ^{NS}
	ふくひびき	700**	8/9**	72**	18.4 ^{NS}	435**	68**	24.4**	0.9**	1713 ^{NS}	859**	855**	101**
	萌えみのり	631*	8/11**	67**	18.1 ^{NS}	586 ^{NS}	47 ^{NS}	23.3**	0.6**	1713 ^{NS}	800*	912*	88**
多肥移植栽培	ふくひびき	793	8/3	80	19.9	383	88	23.9	0.6	1870	976	894	111
	べこあおば	820 ^{NS}	8/6**	76**	19.4 ^{NS}	367 ^{NS}	72**	31.6**	0.3*	2028**	1013*	1015**	102*
多肥直播栽培	ふくひびき	705	8/9	78	18.3	470	70	24.0	2.7	1839	879	960	92
	べこあおば	746 ^{NS}	8/12**	75*	18.0 ^{NS}	450 ^{NS}	63 ^{NS}	30.3**	2.6 ^{NS}	1928 ^{NS}	948 ^{NS}	980 ^{NS}	97 ^{NS}

標肥移植栽培は13年間、標肥直播栽培、多肥移植栽培は12年間、多肥直播栽培は8年間の平均値。*, **, ^{NS}は同一年次内の対象品種(標肥栽培は「ひとめぼれ」、多肥栽培は「ふくひびき」と)の対比較による一標本t検定において、1%水準で有意、5%水準で有意、有意差なしを示す。

第3表 水稻の生産力検定試験における収量および収量関連形質の直播移植比.

栽培方法	品種名	精玄米重	稈長	穂長	穂数	1穂粒数	千粒重	倒伏程度	風乾全重	籾重	藁重	籾藁比
標肥栽培	ひとめぼれ	86**	99 ^{NS}	95**	115*	76**	98 ^{NS}	0.2 ^{NS}	100 ^{NS}	90*	108*	84**
	あきたこまち	82*	99 ^{NS}	95**	122*	68**	98 ^{NS}	2.3**	98 ^{NS}	86*	109*	79**
	ふくひびき	98 ^{NS}	101 ^{NS}	95 ^{NS}	125**	81 ^{NS}	99 ^{NS}	0.9**	103 ^{NS}	99 ^{NS}	107*	92 ^{NS}
	萌えみのり	97 ^{NS}	97 ^{NS}	95**	135**	75**	98*	0.7*	106 ^{NS}	98 ^{NS}	115**	85**
多肥栽培	ふくひびき	88*	97 ^{NS}	92**	123 ^{NS}	79*	100 ^{NS}	2.1*	97 ^{NS}	89*	105 ^{NS}	83**
	べこあおば	90 ^{NS}	99*	95**	107 ^{NS}	100 ^{NS}	95 ^{NS}	1.9**	91 ^{NS}	92 ^{NS}	89 ^{NS}	103 ^{NS}

直播移植比は直播の値 / 移植の値 (%). ただし, 倒伏程度は, 直播の値 - 移植の値を示す. 標肥栽培は12年間の比較, 多肥栽培は8年間の比較. **, *, ^{NS} は同一年次内の移植栽培と直播栽培の対比較による一標本t検定において, 1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしを示す.

第4表 水稻の生産力検定試験における収量関連形質と精玄米重との相関関係.

栽培方法	品種名	データ数	稈長	穂長	穂数	1穂粒数	千粒重	倒伏程度	風乾全重	籾重	藁重	籾藁比
標肥移植栽培	ひとめぼれ	13	0.472 ^{NS}	-0.098 ^{NS}	0.808**	-0.274 ^{NS}	-0.095 ^{NS}	0.328 ^{NS}	0.840**	0.966**	0.632*	0.182 ^{NS}
	あきたこまち	14	0.408 ^{NS}	-0.288 ^{NS}	0.835**	-0.393 ^{NS}	-0.261 ^{NS}	0.272 ^{NS}	0.866**	0.956**	0.720**	0.074 ^{NS}
	ふくひびき	13	0.649*	-0.050 ^{NS}	0.900**	0.148 ^{NS}	-0.069 ^{NS}	-0.225 ^{NS}	0.919**	0.997**	0.733**	0.034 ^{NS}
	萌えみのり	14	0.574*	-0.071 ^{NS}	0.881**	-0.102 ^{NS}	0.143 ^{NS}	0.226 ^{NS}	0.927**	0.988**	0.742**	0.385 ^{NS}
標肥直播栽培	ひとめぼれ	12	-0.367 ^{NS}	-0.298 ^{NS}	0.517 ^{NS}	0.597*	0.380 ^{NS}	-0.363 ^{NS}	0.359 ^{NS}	0.945**	-0.349 ^{NS}	0.838**
	あきたこまち	13	-0.682*	-0.672*	0.434 ^{NS}	0.686**	0.637*	-0.412 ^{NS}	0.807**	0.960**	0.088 ^{NS}	0.824**
	ふくひびき	13	0.468 ^{NS}	0.257 ^{NS}	0.354 ^{NS}	0.062 ^{NS}	-0.284 ^{NS}	-0.054 ^{NS}	0.760**	0.932**	0.451 ^{NS}	0.101 ^{NS}
	萌えみのり	13	0.391 ^{NS}	-0.002 ^{NS}	0.154 ^{NS}	0.528 ^{NS}	-0.267 ^{NS}	0.093 ^{NS}	0.724**	0.936**	0.391 ^{NS}	0.371 ^{NS}
多肥移植栽培	ふくひびき	12	0.549 ^{NS}	0.327 ^{NS}	0.680*	-0.174 ^{NS}	-0.012 ^{NS}	0.416 ^{NS}	0.871**	0.954**	0.741**	-0.387 ^{NS}
	べこあおば	12	0.512 ^{NS}	-0.563 ^{NS}	0.912**	-0.599*	0.005 ^{NS}	0.001 ^{NS}	0.769**	0.945**	0.583*	-0.338 ^{NS}
多肥直播栽培	ふくひびき	8	-0.214 ^{NS}	0.627 ^{NS}	0.083 ^{NS}	0.365 ^{NS}	0.640 ^{NS}	-0.227 ^{NS}	0.865**	0.979**	0.597 ^{NS}	0.711*
	べこあおば	8	0.249 ^{NS}	0.873**	0.070 ^{NS}	0.150 ^{NS}	-0.771*	0.349 ^{NS}	0.891**	0.985**	0.590 ^{NS}	0.587 ^{NS}

数値は年次を標本とした収量関連形質と精玄米重との相関係数を示す. **, *, ^{NS} は1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしを示す.

肥移植栽培および多肥直播栽培における精玄米重は, 「べこあおば」は「ふくひびき」と比較して有意差は認められなかったが, 移植栽培では12年間平均で3.4%, 直播栽培では8年間平均で5.7%大きかった.

新しい品種の「萌えみのり」および「べこあおば」の移植栽培について, 精玄米重 = 穂数 × 1穂粒数 × 1粒重, あるいは籾重 = 風乾全重 - 藁重, 籾重 ÷ 藁重 = 籾藁比と考えて解析を進めた. 「萌えみのり」は「ひとめぼれ」と比較して, 穂数は少ないが1穂粒数が多く千粒重は大きく, 藁重は小さいが籾藁比は高かった. その結果, 精玄米重は同等となった. 「べこあおば」は「ふくひびき」と比較して, 穂数は同等で1穂粒数が少なく千粒重は大きく, 藁重は大きいが籾藁比は低かった. その結果, 精玄米重は同等となった.

移植栽培と直播栽培を比較すると(第3表), 標肥栽培の「ひとめぼれ」と「あきたこまち」, 多肥栽培の「ふくひびき」は, 直播栽培において有意な減収が認められた. また, 直播栽培においては, 千粒重は変化しないが, 穂数が増加し, 1穂粒数が減少する傾向が認められた. 特に, 「萌えみのり」は直播栽培における穂数の増加が顕著であった.

さらに, 直播栽培においては, 稈長は変化しなかったが, 標肥の「ひとめぼれ」を除いて倒伏程度は有意に増加した. 多肥の「べこあおば」を除いて藁重が増加し, 籾藁比が減少する傾向にあった.

3. 収量関連形質と収量の関係

精玄米重と収量関連形質の年次を標本とする相関係数を求めた(第4表). 標肥移植栽培, 多肥移植栽培についてみると, 精玄米重は, いずれの品種も穂数との間に有意な正の相関関係が認められたが, 1穂粒数, 千粒重との間には有意の相関関係はほとんど認められなかった. また, 精玄米重は, 籾重との間だけでなく藁重との間にも有意な正の相関関係が認められたが, 籾藁比との間に有意な相関関係は認められなかった. 精玄米重と稈長の相関係数は, 倒伏程度が1以下の小さい場合は, 高い正の値となることが多かったが, 精玄米重と穂長はほぼ無相関であった. 標肥直播栽培, 多肥直播栽培においては, 精玄米重は, 風乾全重および籾重と有意な正の相関関係が認められたが, 他の形質との有意な相関関係が認められることは少なかった. 倒伏程度が2以上と大きかった標肥直播栽培の「あきたこま

第5表 水稻の生産力検定試験における気象要因と精玄米重の関係.

		標肥移植栽培				多肥移植栽培	
		ひとめぼれ	あきたこまち	ふくひびき	萌えみのり	ふくひびき	べこあおば
平均気温	6月	0.515 ^{NS}	0.328 ^{NS}	0.412 ^{NS}	0.589*	0.472 ^{NS}	0.472 ^{NS}
	7月	0.033 ^{NS}	-0.015 ^{NS}	0.017 ^{NS}	-0.116 ^{NS}	0.108 ^{NS}	-0.138 ^{NS}
	8月	0.214 ^{NS}	0.041 ^{NS}	-0.061 ^{NS}	-0.046 ^{NS}	0.289 ^{NS}	0.095 ^{NS}
日照時間	6月	0.715**	0.447 ^{NS}	0.725**	0.623*	0.256 ^{NS}	0.228 ^{NS}
	7月	0.086 ^{NS}	0.179 ^{NS}	0.010 ^{NS}	-0.188 ^{NS}	0.263 ^{NS}	0.206 ^{NS}
	8月	-0.112 ^{NS}	-0.108 ^{NS}	-0.268 ^{NS}	-0.292 ^{NS}	0.339 ^{NS}	0.136 ^{NS}

数値は年次を標本とした気象要因と精玄米重との相関係数を示す. **, *, ^{NS} は1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意差なしを示す. データ数は第4表と同じ.

第6表 水稻の生産力検定試験における気象要因と収量関連形質の関係.

		精玄米重	稈長	穂長	穂数	1穂粒数	倒伏程度	千粒重	風乾全重	風乾初重	藁重	初藁比
平均気温	6月	0.465 ¹	0.134 ^{NS}	0.136 ¹	0.301 ^{NS}	0.035 ^{NS}	0.197 ¹	-0.021 ^{NS}	0.375 ^{NS}	0.375 ¹	0.293 ^{NS}	-0.021 ^{NS}
	7月	-0.018 ^{NS}	0.449 ¹	0.381 ^{NS}	0.043 ^{NS}	-0.310 ^{NS}	0.279 ^{NS}	0.453 ¹	0.157 ^{NS}	0.157 ^{NS}	0.249 ^{NS}	-0.394 ¹
	8月	0.089 ^{NS}	0.046 ^{NS}	0.215 ¹	0.009 ^{NS}	-0.070 ^{NS}	0.051 ^{NS}	0.220 ¹	0.031 ^{NS}	0.031 ^{NS}	0.038 ^{NS}	-0.124 ^{NS}
日照時間	6月	0.499 ³	0.120 ^{NS}	0.103 ^{NS}	0.417 ^{NS}	-0.153 ^{NS}	0.059 ^{NS}	0.215 ^{NS}	0.339 ²	0.339 ³	0.198 ^{NS}	0.211 ¹
	7月	0.093 ^{NS}	-0.168 ^{NS}	-0.046 ^{NS}	0.104 ^{NS}	-0.014 ^{NS}	-0.090 ^{NS}	-0.168 ^{NS}	0.036 ^{NS}	0.036 ^{NS}	-0.021 ^{NS}	0.072 ^{NS}
	8月	-0.051 ^{NS}	0.093 ^{NS}	0.224 ¹	-0.015 ^{NS}	-0.184 ^{NS}	0.087 ^{NS}	0.133 ^{NS}	0.041 ^{NS}	0.041 ^{NS}	0.135 ^{NS}	-0.404 ²

左側数値は年次を標本とした気象要因と収量関連形質の相関係数(品種・施肥法の6組合せの平均値), 右上数値は, 6組合せの中で1%水準あるいは5%水準で有意であった回数, ^{NS} は6組合せすべてにおいて有意でなかったことを示す. データ数は第4表と同じ.

ち」「ひとめぼれ」および多肥直播栽培の「ふくひびき」においては, 精玄米重と倒伏程度の相関係数が負の値となった.

4. 収量と気象要因の関係

精玄米重および収量関連形質と月別の日照時間および平均気温との相関係数を第5表, 第6表に示した. 直播栽培に関しては, 気象要因と明確な相関が認められる形質が存在しなかったため省略した. 標肥移植栽培において, 精玄米重は, 「あきたこまち」を除く3品種で, 6月の日照時間との間に有意な正の相関関係が認められた. 一方, 多肥移植栽培において, 精玄米重は, 6月の日照時間との間に有意な相関関係は認められなかった. 精玄米重と6月の平均気温の相関係数は有意でないものの高い正の値を示す場合が多かった. 気象要因と収量関連形質の関係をみると, 有意な相関を示すものは少なかったが, 6月の日照時間と穂数は正($r=0.417$), 7月の平均気温と稈長は正($r=0.449$), 7月の平均気温と千粒重は正($r=0.453$), 8月の日照時間と初藁比は負($r=-0.404$)という相関係数となった.

考 察

本研究は, 14年間の生産力検定試験の結果を解析することによって, 水稻の収量形成要因を明らかにしようとした. 以下, 収量形成に重要な品種特性, 直播特性, 収量関連形質, および気象要因について考察する.

1. 「萌えみのり」および「べこあおば」の特性

「萌えみのり」は, 直播栽培に適した良食味品種として育成された(片岡ら2007). 「萌えみのり」は同熟期の「ひとめぼれ」と比較して, 移植栽培の精玄米重に有意な差異は認められなかったが, 直播栽培の精玄米重が明らかに大きかった(第2表, 第3表). これは, 「ひとめぼれ」は倒伏によって減収したのに対して, 「萌えみのり」は稈が短いために倒伏による減収が少なかったためと推察される. これらの結果は, 「萌えみのり」の育成時の移植栽培3年間, 直播栽培2年間の結果(片岡ら2007)とほぼ同じであり, 継続試験により「萌えみのり」の直播適性が再確認できた. さらに, 「萌えみのり」は, 直播栽培における穂数の増加程度が大きいという特性が明らかとなった. 著者の観察によると, 「萌えみのり」は, 第1葉(不完全葉)および第2葉の腋から分けつが出現しやすい特性を持つ. このことは, 直播栽培において「萌えみのり」は下位の分けつが出現しやすいために穂数が多くなることを示唆している. しかし, 直播栽培における最多収品種は穂数の少ない「ふくひびき」であったことから, 穂数の増加率が高いことが直播栽培に適した特性であるかを判断することは難しい.

「べこあおば」は, 育成当時は稲発酵粗飼料を主な用途と想定していたため, 稲発酵粗飼料としての特性は多く調査されている(中込ら2006). 現在は, 飼料用米向けの多収品種として利用されていることが多く, 玄米収量に関する知見が必要とされている. 本研究において, 「べこあおば」は「ふくひびき」と比較して, 有意な差異は認められなかつ

たが、多肥移植栽培の12年間平均値では3.4%の多収であった(第2表)。同じ東北農研大仙拠点における極多肥移植栽培試験(窒素成分量16~18 kg/10 a)において、「べこあおば」は、「ふくひびき」より多収であり、7年間平均で粗玄米収量920 kg/10 aの記録が得られている(福島ら2008)。「べこあおば」と「ふくひびき」では、千粒重などの収量形成要因が大きく異なること(Fukushimaら2011)から、今後は、「べこあおば」の極多肥条件における超多収要因を明らかにする必要がある。

2. 直播特性

直播栽培は移植栽培と比較して、標肥栽培の「ひとめぼれ」と「あきたこまち」、多肥栽培の「ふくひびき」で大きく減収した(第2表、第3表)。「あきたこまち」と「ふくひびき」は、直播栽培で倒伏程度が大きくなっていることから、倒伏により減収したと判断される。「ひとめぼれ」に関しては、移植栽培と直播栽培の倒伏程度の差異は小さかったが、精玄米重と倒伏程度の相関係数が移植栽培で正の値、直播栽培で負の値となっていることから(第4表)、移植栽培では倒伏は登熟後期に生じたので収量への影響は少なく、直播栽培では倒伏が登熟初期に生じたので減収となったのではないかと推察される。また、「あきたこまち」の直播栽培において、精玄米重と1穂粒数や千粒重の間の有意な正の相関関係が認められるが、これは倒伏により精玄米重とともに1穂粒数や千粒重が減少した結果と判断される。すなわち、本研究の直播栽培においては、倒伏により減収したことが、精玄米重と収量関連形質や気象要因との関係に影響を及ぼしたと推察される。倒伏の原因としては、直播栽培は移植栽培と比べて稈長は変化しないが穂数は増加したことから、個々の茎が細くなったことが挙げられる。また、本試験の直播栽培の方法は、表面播種であること、株を形成しない条播であることも、倒伏を助長していると考えられる。吉永ら(2008)は、東北各地の直播栽培試験を取りまとめ、直播栽培は移植栽培と比較して、穂数の差異は小さいが、1穂粒数が少なくなるため、収量は平均で10%減少すると報告している。これに対して、本研究では、直播栽培は移植栽培と比較して、穂数が多く、倒伏が少ない場合の収量は同程度であった。結果の相違の原因としては、吉永らの試験は土中播種であるのに対して、本研究は表面播種であることが挙げられる。このため本研究では、穂数は増加したが、倒伏の影響を強く受けたと推察される。

3. 収量関連形質

収量の形成過程をみると、穂数、1穂粒数、1粒重の順に決まり、また、藁重がほぼ決まった後に籾重が決まると大まかに見ることができる(松島1957)。移植栽培における精玄米重は穂数および藁重と関連が深かったことは(第4表)、本研究における収量の年次変動は、収量形成の初期

過程の影響を強く受けることを示唆している。ただし、精玄米重と1穂粒数の関連が不明確であった点については、1穂粒数の推定方法や収量構成要素間の相互作用の問題を考慮する必要がある。

稈長と精玄米重の相関係数は、倒伏程度が1以下と小さい場合は高い正の値となることが多かった。このことから、倒伏が生じない範囲においては、稈が長いほど精玄米重は増加する傾向にあると判断される。一方、穂長と精玄米重の相関関係はほとんど認められなかったことから、収量形成要因を解析するための形質として穂長を利用することは難しいと判断される。

4. 気象要因

水稻収量の日本各地の差異に気象要因が及ぼす影響について、村田(1964)は、8~9月の日射量が多いほど多収となること、8~9月の平均気温が21.5℃で収量は最大となることを示している。一方、西山(1985)は、水稻の収量は登熟期間の積算光合成有効放射量と密接な関係があることを示している。これらの報告は、水稻の収量の地域間差異は、登熟期間の温度と日照に強く影響されることを示唆している。これに対して、本研究は、ある試験地における収量の年次変動は、栄養生長期にあたる6月の日照時間と関連していることを示唆した(第5表)。水稻の葉齢当たりの分けつ発生は、低温、高日照で促進されと考えられている(花田1974)。本研究において、6月の日照時間が長い年次は、分けつの発生が促進されることにより穂数が増加し、また初穂比ではなく、藁重を含めた全風乾重が増加することによって増収したと推察される。「あきたこまち」において、精玄米重と6月の日照時間の間に有意な相関関係が認められなかった原因について検討したところ、「あきたこまち」は6月の平均気温、日照時間と倒伏程度の相関係数がそれぞれ、0.671、0.475と有意でないものの高い正の値であった。このことから、6月の平均気温が高く日照時間が長い年次は倒伏のため減収したことが考えられる。また、多肥移植栽培において、精玄米重と6月の日照時間の間に有意な相関関係が認められなかった原因については、収量水準が高くなると、幼穂形成以降の気象要因が収量形成に強く影響することが考えられる。

なお、稈長および千粒重と7月の平均気温との相関係数が正の値を示したことは注目に値する。すなわち、出穂前が高気温の年次は、稈が長くなること、籾のサイズが大きくなって千粒重が増加することが示唆される。

本研究は、収量と気象要因の大まかな関連を把握するために、月別の平均気温と日照時間を用いたが、出穂前2週間というように稲の発育に合わせて期間を限定する、あるいは最高気温、最低気温、日射量を用いることにより収量形成要因がより明確となる可能性がある。

5. 今後の課題

これまでの水稻の収量特性は、数年間の試験結果により論じられることが多かったが、本研究は10年間以上の試験結果を解析することにより、「萌えみのり」や「べこあおば」の品種特性や移植栽培と直播栽培の収量性の差異を明確にすることができた。また、水稻の収量形成に関する研究は、幼穂形成期以降に着目されることが多かったが、本研究は栄養生長期にあたる6月の日照時間の重要性を示した。今後は、本研究で得られた結果の普遍性と特異性を、日本各地の生産力検定試験、奨励品種決定調査などのデータを用いて調査する必要がある。その結果、日本各地における収量形成に重要な品種特性や気象要因が明確となることが期待される。

引用文献

- 福馬陽・長田健二・白土宏之・山口弘道・福田あかり・吉永悟志・寺島一男・持田秀之 2008. 極大粒の水稻品種「べこあおば」は7年間平均で 920 kg/10a の超多収を記録. 東北農業研究センター 2008年の成果情報. <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2008/tohoku08-19.html> (2015/2/3 閲覧).
- Fukushima, A., Shiratsuchi, H., Yamaguchi, H. and Fukuda, A. 2011. Varietal differences in morphological traits, dry matter production and yield of high yielding rice in the Tohoku region of Japan. *Plant Prod. Sci.* 14: 47-55.
- 花田毅一 1974. 作物の分枝性に関する研究 第8報 異なる照度および温度条件下における水稻品種の分げつ性の差異について. *日作紀* 43: 88-98.
- 片岡知守・山口誠之・遠藤貴司・中込弘二・滝田正・横上晴郁・加藤浩 2007. 直播適性が高い良食味水稻品種「萌えみのり」の育成. *東北農研研報* 107: 15-28.
- 楠田幸 1990. 水稻圃場試験調査法の改善のための基礎研究 第1報 量的諸形質の変動係数と標本数の目安. *日作紀* 59: 80-89.
- 楠田幸 1995. 水稻の収量及び収量構成要素の調査方法について. *植調* 29: 138-143.
- 松島省三 1957. 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. *農技研報* A5: 1-271.
- 村田吉男 1964. わが国の水稻収量の地域性に及ぼす日射と温度の影響について. *日作紀* 33: 56-63.
- 中込弘二・山口誠之・片岡知守・遠藤貴司・滝田正・東正昭・横上晴郁・加藤浩・田村泰章 2006. 直播栽培に適する稲発酵粗飼料専用品種「べこあおば」の育成. *東北農研研報* 106: 1-14.
- 西山岩男 1985. イネの収量と登熟期間の光合成有効放射量との比例関係について. *日作紀* 54: 8-14.
- 吉永悟志・白土宏之・長田健二・福田あかり・中林光文・横山裕正・木村利行・日影勝幸・小田中温美・浅野真澄・三上雄史・島津裕雄・木川裕美・三浦恒子・若松一幸・山川淳・井上由紀・浅野目謙之・中山芳明・島宗知行・鈴木幸夫・木田義信・佐々木園子 2008. 東北地域における直播水稻の登熟特性と収量・品質関連形質. *東北農研研報* 109: 41-82.

Analysis of Rice Yield Formation Using the Data of the Performance Test for Breeding : Akira FUKUSHIMA, Hisatoshi OHTA, Ryota KAJI and Naoto TSUDA (*NARO Tohoku Agricultural Research Center, Daisen, Akita 014-0102, Japan*)

Abstract : Genetic and environmental factors in rice yield formation were analyzed using the data of the performance test for breeding conducted at the NARO Tohoku Agricultural Research Center obtained during a 14-year period. Transplanting and direct seeding with standard fertilization conditions were conducted with the good tasting varieties “Akitakomachi” and “Hitomebore”, high yielding variety “Fukuhibiki” and good tasting variety suitable for direct seeding “Moeminori”. Transplanting and direct seeding with high fertilization conditions were conducted with “Fukuhibiki” and the large grain high yielding variety “Bekoaoba”. Although the yield of “Moeminori” was not significantly different from that of “Hitomebore” in transplanting, that of “Moeminori” was significantly larger than that of “Hitomebore” in direct seeding because of less lodging. Although the yield of “Bekoaoba” was not significantly different from that of “Fukuhibiki”, the average yield for 12 years was 3.4% higher in “Bekoaoba” than in “Fukuhibiki” in transplanting with high fertilization. The yield was closely correlated with the number of panicles and total dry weight. The correlation of yield with climate factors; average temperature and sunshine hours in June, July and August were investigated. In three of four varieties in transplanting with standard fertilization, a significant relation was observed between the yield and sunshine hours in Jun. The yield was not clearly correlated with other climate factors. These results suggested that the longer sunshine hours during vegetative growth increased the number of panicles and total dry weight, resulting in a high yield. The generality and specificity of these results need to be examined using the data of a yield test obtained at various places in Japan.

Key words : Direct seeding, Performance test, Rice, Sunshine hours, Yield.