

水稻乾田直播栽培において苗立ちを疎にするとより穂重型の生育になる

藤本寛

(農研機構西日本農業研究センター)

要旨：乾田直播栽培における苗立ち数の違いが生育および収量構成要素に与える影響を調べるために、慣行播種量で条播し、苗立ち後、間引きにより疎播区(約 17 本 /m²)、中播区(約 33 本 /m²) および間引きなしの密播区(43～169 本 /m²) を設定した。多収品種「みなちから」と「北陸 193 号」を供試し、2016～2018 年の 3 か年、試験を実施した。苗立ち数の違いは生育および収量構成要素に顕著に反映した。疎播区と中播区では密播区に比べて、面積あたり茎数は少なく、止葉葉齢は多く、出穂期は遅くなった。平均一茎重は、栄養成長期では差がなかったが、出穂期以後は疎播区と中播区が密播区より有意に重かった。収量構成要素では、疎播区の穂数 /m² は密播区よりも 15～37% 有意に少なく、一穂粒数は 8～39% 有意に多かった。以上、疎播区は密播区よりも相対的に穂重型の生育となることが示されたが、その程度を数量的に評価するために草型指数を用いて検討したところ、同じ品種であっても苗立ち数の違いにより異なる草型に分類され、明らかな草型の変化といえた。一方、収量は疎播区が密播区より減少する傾向であったが、2018 年の「北陸 193 号」では、疎播区は密播区の 1/10 の苗立ち数でありながら粗玄米収量は同等の 900 g/m² 以上を得た。苗立ちを疎にすることで生じる草型の変化を収量向上につなげるためには施肥法等をより穂重型となる生育特性に適合させる検討がさらに必要である。乾田直播栽培の生育制御において、苗立ち数、播種量は重要な要因であると考えられた。

キーワード：乾田直播、草型、疎播、多収品種、苗立ち数、穂重型。

近年、水田作経営において担い手への農地の集積と経営の大規模化が進行しており、これに伴って水稻作の省力化が強く求められている。乾田直播栽培は育苗と田植え作業がなく、主要な作業を乾田状態で行うため各作業が高速で、また、補助作業者を必須としない省力的な栽培方法である。したがってその普及が長く期待されている。しかしながら、乾田直播栽培の普及面積は 2017 年において 10358 ha (農林水産省 2018) であり、増加傾向にあるものの水稻作の 1% に満たず、円滑に普及が進んでいるとは言えない。ニーズの割に緩慢な普及状況となっている原因の一つとして収量性が考えられる。乾田直播栽培の収量は全国平均では移植比 9 割程度 (農林水産省 2008) とみられており、もしこれが移植栽培と同等であれば、速やかな普及が期待できる。ところで、1 割程度減収するというこの収量性は、全国的に概観した場合には、「乾田直播栽培の収量が低いことが多いと推察される」(農林水産技術会議事務局 1973)、「全国的にみるとおよそ 10% 減収」(姫田 1998)、「移植水稻に比べ約 50 kg 少ない水準」(土田ら 1999) と報告されており、長年にわたり変わっていない。しかし、乾田直播栽培を支える基盤技術の改善は、近年ではレーザー均平機の普及 (中野ら 2015) や鎮圧等播種前圃場整地作業の確立 (冠ら 2017)、緩効性肥料の普及、圃場の大区画化等、大きく進んでいる。苗立ちや除草の失敗に起因する低収事例が多かった頃と比べれば、全国の平均単収は漸増するはずである。この状況からは、不慣れに起因する減収要因以外に、乾田直播

栽培における水稻生育自体にも移植栽培と比較し減収要因を抱えている可能性が疑われる。

梅本 (1999) は、「直播栽培の技術開発は、最初に播種機ありきで進められ、機械を用いた「作業」の体系化の側面が強く、栽培管理のあり方や栽培理論等が必ずしも十分検討されていない」と指摘した。この指摘は、現在においても当てはまると考える。そこでまず、乾田直播栽培と移植栽培あるいは湛水直播栽培との違いに着目すると、播種量すなわち個体数密度の違いが指摘できる。乾田直播の播種量は、V 溝直播では 6 kg/10 a が基準で 5～8 kg/10 a (愛知県農業総合試験場 2007)、プラウ耕・グレーンドリル乾田直播では 5～7 kg/10 a (大谷ら 2013) 等、概ね 5 kg/10 a 以上となっている。この播種量は従来から変わっていない。一方、湛水直播栽培では、表面播きとなることから耐倒伏性を確保するために薄播きが推奨され、さらに、落水出芽法が確立し苗立ちが安定したこともあって概ね 3 kg/10 a 以下の播種量である (姫田ら 1999)。移植栽培で使用する種子量は、暖地では従来 4 kg/10 a 程度であったが、近年では減少している。このように、水稻の栽培法間で比較すると、乾田直播栽培だけ播種量が高止まりしている。これは苗立ちの不安解消のためや、少ない苗立ち数で減収事例が相対的に多いこと (濱田ら 2007)、他方、表層播種となる湛水直播栽培と比較すると、苗立ち数が多くとも倒伏しにくいことによると考えられる。つまり、普及場面での安全策から多めの播種量が選択されているのであって、水稻生育にとって

理想的な播種量として現状の播種量が導かれた訳ではない。本田（1981）は、「栽植密度は生育型を規定する主要な条件」と述べている。移植栽培においては疎植栽培（橋川 1985）等、栽植密度と生育、収量の検討は数多い。しかし、乾田直播栽培においては、普及面積が最大であった 1970 年代には多くの報告（農林水産技術会議事務局 1973、姫田 1995）があるが、先述したように乾田直播栽培を支える基盤技術が進化した近年以後、現在の状況下における報告は少ない。乾田直播栽培の収量を移植栽培と同等まで高めていくためには、栽培分野として、まずは現在の基盤技術の状況下において、乾田直播栽培の生育制御の知見を蓄積することが必要と考える。

本報では、少ない播種量、苗立ち数の場合にどのような生育相となるのかについて、苗立ち後、間引きにより人為的に苗立ち数を大幅に少なく調整した区を設定し、慣行の密播条件と対比して、苗立ち数の違いが生育、収量構成要素、草型に与える影響について検討した。



第 1 図 供試品種の成熟期前の草姿。
左側「北陸 193 号」、右側「みなちから」。撮影日：2016 年 9 月 27 日。

材料および方法

1. 栽培管理

試験は、2016～2018 年の 3 年間、農研機構西日本農業研究センターの試験圃場（広島県福山市、5 a×2 筆、北緯 34°30′、東経 133°23′、標高 2 m、細粒質普通灰色低地土）で実施した。水稻品種「みなちから」と「北陸 193 号」を供試した。両品種はともに飼料用米用途等に用いられる多収品種であるが、草姿は異なり、「みなちから」は株が直立するのに対し、「北陸 193 号」は株がよく開張する（第 1 図）。草型は、「みなちから」が穂重型（中込ら 2017）、「北陸 193 号」（農研機構 2017）は極穂重型に分類されている。乾田直播は、2016 年は 4 月 20 日、2017 年は 3 月 3 日、2018 年は 4 月 2 日に行った（第 1 表）。当地での出芽の早限は 4 月下旬頃なので、この播種時期は概ね出芽の早限以前の播種にあたる。播種に先立って、1 月にプラウ耕を行い、播種前日または当日にレーザー均平を行った。種籾は、浸種は行わず、殺菌剤チウラムを播種当日に湿粉衣し、乾籾状態で用いた。播種機は、2016 年と 2017 年は部分耕播種機（条間 30 cm×6 条、三菱 MJSE18-6）を、2018 年はロータリー耕播種機（条間 30 cm×6 条、コバシ 2WAY ローター+アグリテクノ矢崎 RX 播種ユニット）を用いた。播種量は第 1 表に示した。施肥は、溶出特性の異なる数種の被覆尿素肥料（ジェイカムアグリ製）を混合して用いた。各年次の配合と 10 a あたり施用窒素成分量は、2016 年は LP-100、LPS-120 の 1:1 混合を 11.5 kg、2017 年は LP-140、LPSS-100 の 1:1 混合を 16.7 kg、2018 年は LP-140、LPSS-100、LPS-120 の 1:1:1 混合を 16.2 kg である（第 1 表）。肥料は全量を播種同時側条施用した。雑草防除は、イネ出芽直前にグリホサートカリウム塩液剤を、出芽後、乾田期間中にシハロホップブチル乳剤、ビスピリバクナトリウム塩液剤を、入水後に一発剤をそれぞれ適期に散布した。病虫害防除は当研究センターの慣行に従い適宜行った。入水は、2016 年は 6 月 6 日、2017 年は 5 月 26 日、2018 年は 6 月 4 日から行い、それ

第 1 表 播種、施肥および出芽。

年次	品種	播種量 (kg/10 a)	施用肥料種類	施用窒素量 (kg/10 a)	播種日	出芽期	苗立ち率 (%)	入水日
2016 年	みなちから	3.2	LP-100, LPS-120	11.5	4 月 20 日	5 月 7 日	66	6 月 6 日
	北陸 193 号	3.7	同上	11.5	4 月 20 日	5 月 11 日	32	6 月 6 日
2017 年	みなちから	4.6	LP-140, LPSS-100	16.7	3 月 3 日	4 月 24 日	45	5 月 26 日
	北陸 193 号	5.4	同上	16.7	3 月 3 日	5 月 12 日	14	5 月 26 日
2018 年	みなちから	5.9	LP-140, LPSS-100, LPS-120	16.2	4 月 2 日	4 月 27 日	78	6 月 4 日
	北陸 193 号	8.0	同上	16.2	4 月 2 日	4 月 29 日	57	6 月 4 日

播種は各処理区同様に実施し、疎播区と中播区は乾田期間中に間引きし設定したため表中の各項目は各処理区共通。

施用肥料は各緩効性肥料を 1:1 ないし 1:1:1 の比率で混合し、播種同時側条施用した。出芽期は、出芽数が急増し苗立ちする個体の概ね半数程度が出芽した日を遠観で判断した。苗立ち率は、圃場内に設けた全ての調査区の苗立ち数の平均を播種量と千粒重から算出した播種粒数で除して百分率で示した。

第2表 苗立ち数が異なる各処理区における生育関連形質.

年次	品種	処理区	苗立ち数 (本/m ²)	最高分 げつ期	最高 茎数 (本/m ²)	止葉 葉齢	出穂期	有効茎 歩合 (%)	地上部 乾物重 (g/m ²)	籾ワ ラ比 (%)	倒伏程 度 (0-5)	草丈 (cm)	稈長 (cm)
2016 年	みなちから	疎播区	17 ^b	7 月 14 日 ^a	219 ^b	18.3 ^a	8 月 11 日 ^a	79	1481	114	0	103	70
		密播区	70 ^a	7 月 7 日 ^b	277 ^a	16.9 ^b	8 月 8 日 ^b	76	1603	112	0	101	70
	北陸 193 号	疎播区	16 ^b	7 月 13 日	336	18.7 ^a	8 月 16 日	55 ^b	1698	120	0	115	82 ^b
		密播区	43 ^a	7 月 9 日	281	18.1 ^b	8 月 15 日	68 ^a	1686	120	0	118	85 ^a
	分散分析	品種	**	ns	**	**	**	**	ns	ns	-	**	**
		処理	**	**	ns	**	**	ns	ns	ns	-	ns	ns
		品種×処理	**	ns	**	*	**	*	ns	ns	-	**	*
2017 年	みなちから	疎播区	19 ^b	7 月 14 日 ^a	252	18.9 ^a	8 月 9 日	86	1773	99	0	114	73
		中播区	33 ^b	7 月 6 日 ^b	323	17.6 ^b	8 月 6 日	82	1877	99	0	116	73
		密播区	76 ^a	7 月 2 日 ^b	353	17.0 ^b	8 月 4 日	83	1861	99	0	115	72
	分散分析	処理	**	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns
	北陸 193 号	(参考)	27	7 月 4 日	322	18.7	8 月 12 日	68	-	-	0	133	92
2018 年	みなちから	疎播区	17 ^c	7 月 20 日	218 ^b	18.5 ^a	8 月 13 日 ^a	88	1703 ^b	100	0	120	72
		中播区	33 ^b	7 月 20 日	263 ^b	17.9 ^{ab}	8 月 10 日 ^b	82	1866 ^a	114	0	123	74
		密播区	152 ^a	7 月 11 日	343 ^a	16.9 ^b	8 月 9 日 ^b	83	1929 ^a	105	0	122	76
	北陸 193 号	疎播区	17 ^c	7 月 22 日	259 ^b	19.3 ^a	8 月 16 日 ^a	78	1904 ^b	128	0	125 ^b	85
		中播区	32 ^b	7 月 15 日	318 ^b	18.0 ^b	8 月 14 日 ^{ab}	72	1969 ^{ab}	139	0	126 ^a	86
		密播区	169 ^a	7 月 12 日	453 ^a	16.9 ^b	8 月 12 日 ^b	66	2025 ^a	131	0.5	125 ^b	85
	分散分析	品種	ns	ns	**	ns	**	**	**	**	-	**	**
		処理	**	ns	**	**	**	*	**	*	-	ns	ns
		品種×処理	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns

2017 年北陸 193 号は出芽不良により処理区を設定できなかった。各処理区 4 (2017, 2018 年) ないし 6 反復 (2016 年) の平均値。ただし、2017 年北陸 193 号 (参考) は処理区設定なしの 3 地点の平均値。

疎播区と中播区の苗立ち数は密播区と同様に播種し間引いて調整後の苗立ち数。有効茎歩合は生育調査区の茎数データより、地上部乾物重と籾ワラ比は成熟期採取乾物重調査データより算出。倒伏程度は 0 (無)~5 (甚)。

分散分析は年次ごとに行った。**, *, ns は、それぞれ 1% 水準, 5% 水準で有意差あり, 有意差なしを示す。

年次品種ごとに t 検定 (2016 年) または分散分析 (2017, 2018 年) により処理区間に有意差が認められる場合、各値右側に英文字を付した。異なる英文字間には 5% 水準で有意差があることを示す (2016 年: t 検定, 2017, 2018 年: Tukey-HSD 法)。

以後の水管理は、湛水、中干、間断灌水を適宜行った。処理区は、出芽揃い後、乾田期間に間引きにより処理区内の苗立ち数を疎播区約 17 本/m²、中播区約 33 本/m²に調整し、密播区は間引きをせずそのままの苗立ち数とした (第2表)。各処理区の面積は 25.2 m² (3.6 m×7 m) とし、各品種、2016 年は 2 水準 (疎播区、密播区) を 6 反復乱塊法で、2017 年と 2018 年は 3 水準 (疎播区、中播区、密播区) を 4 反復乱塊法で設置した。なお、2017 年の「北陸 193 号」は苗立ち不良により処理区の設置ができなかった。したがって、本文中では除外したが、表中には処理区なしの 3 地点の平均値を参考として記載した。

2. 調査

間引きによる処理区設置後、各処理区に採取調査枠を 6 カ所 (各 0.6 m²)、生育調査枠を 1 カ所 (0.3 m²)、坪刈り収量調査枠を 1 カ所 (1.5 m²)、それぞれ設け、すべての調査枠内の苗立ち数を調査した。生育調査は、生育調査枠の茎数、葉色、草丈と生育調査枠近傍の 2 個体の葉齢を

経時的に調査した。採取生育調査は、分けつ期から成熟期まで 6 回行った。各時期、各処理区それぞれ調査枠 1 カ所の個体を抜き取り、根を切除して、茎数または穂数を調査し、70℃で 72 時間以上乾燥し乾物重を測定した。また、乾燥前に一部を取りわけ、葉ないし出穂期以後は葉と穂を茎と切り分け、部位別乾物重を求めた。籾ワラ比はこの部位別乾物重をもとに算出した。個体あたり乾物重は採取生育調査で測定した乾物重をその調査区の苗立ち調査時の苗立ち数で除して求め、茎あたり乾物重 (以下、平均一茎重) は採取生育調査で測定した乾物重を採取後調査した茎数で除して求めた。

収量および収量構成要素は、成熟期に各処理区 1.5 m² を地際刈りし、収量および収量構成要素を楠田 (1995) の方法に準じて調査した。登熟歩合は 1.8 mm 目のふるいで選別し求めた。精玄米千粒重、精玄米収量、粗玄米収量は水分を 15% に換算し示した。草丈と稈長は各区坪刈り近傍の 5 個体を調査しその平均値とした。

草型指数 (α) は土屋・岡本 (1990) が示した式をもとに、

直播栽培に適用するために一部改変して用いた。土屋・岡本(1990)は一株穂数を変数として用いているが、直播栽培では株として等間隔に苗立ちしていないため本報では一株穂数の代わりに m^2 あたり穂数を用いることとし、さらに、 m^2 あたり穂数を土屋・岡本(1990)の試験条件の m^2 あたり株数である16で除して、土屋・岡本(1990)が作成した草型判定基準と比較可能となるよう調整した。すなわち、本報では草型指数(α)を次式で算出した。

草型指数(α) = $\text{Arctan}(\text{m}^2 \text{あたり穂数} / 16 / 25 / \text{一穂粒数} \times 150) \times 180 / \pi$

また、草型の分類は、土屋・岡本(1990)では草型指数(α)を 8° 間隔で穂数型から穂重型まで5段階の分類としているが、本報では穂重型の先にさらに 8° 間隔で極穂重型を設けた。すなわち、偏穂重型($41^\circ \geq \alpha > 33^\circ$)、穂重型($33^\circ \geq \alpha > 25^\circ$)、極穂重型($25^\circ \geq \alpha$)として分類した。 α が大きいほど穂数型、 α が小さいほど穂重型として分類される。

統計解析はJMP ver.10.0.0(SAS Institute Inc.)を用いて行った。

結 果

1. 苗立ち

苗立ち率は各年次、各品種で変動し、14%~78%であった(第1表)。 m^2 あたりの苗立ち数は、2016年「みなちから」70本、「北陸193号」43本、2017年「みなちから」76本、「北陸193号」27本、2018年「みなちから」152本、「北陸193号」169本であった(第2表)。疎播区と中播区は以上の苗立ち数から間引きすることで疎播区約17本、中播区約33本に苗立ち数を調整した(第2表)。2017年は、播種が早かったため鳥害回避のため深播きとしたが、出芽時期の多雨により苗立ち率が低く、2018年は、一般的な目標苗立ち数である m^2 あたり100本以上の苗立ち数を確保するために播種量を増やしたことにより苗立ち数が多かった。

2. 生育

3年間の試験を通して各処理区の生育はそれぞれほぼ同様の傾向を示し、中でも密播区の苗立ち数が多い2018年が各処理区の生育の特徴が明瞭に現れた。このため、以下では2018年の結果を中心に述べる。年次の断りがない場合は2018年の結果である。

m^2 あたり茎数は苗立ち数の差が反映し、作付け期間を通して処理区間で有意差があり、密播区>中播区>疎播区であったが、苗立ち数では密播区が疎播区に対して約8倍あった差が、最高茎数では「みなちから」で1.6倍、「北陸193号」で1.7倍となり、穂数では両品種とも1.5倍まで縮小した(第2図a)。個体あたり茎数(平均値)では、疎播区の最高茎数は「みなちから」で13.1本、「北陸193号」で17.3本となった。これに対し密播区の最高茎数は、「み

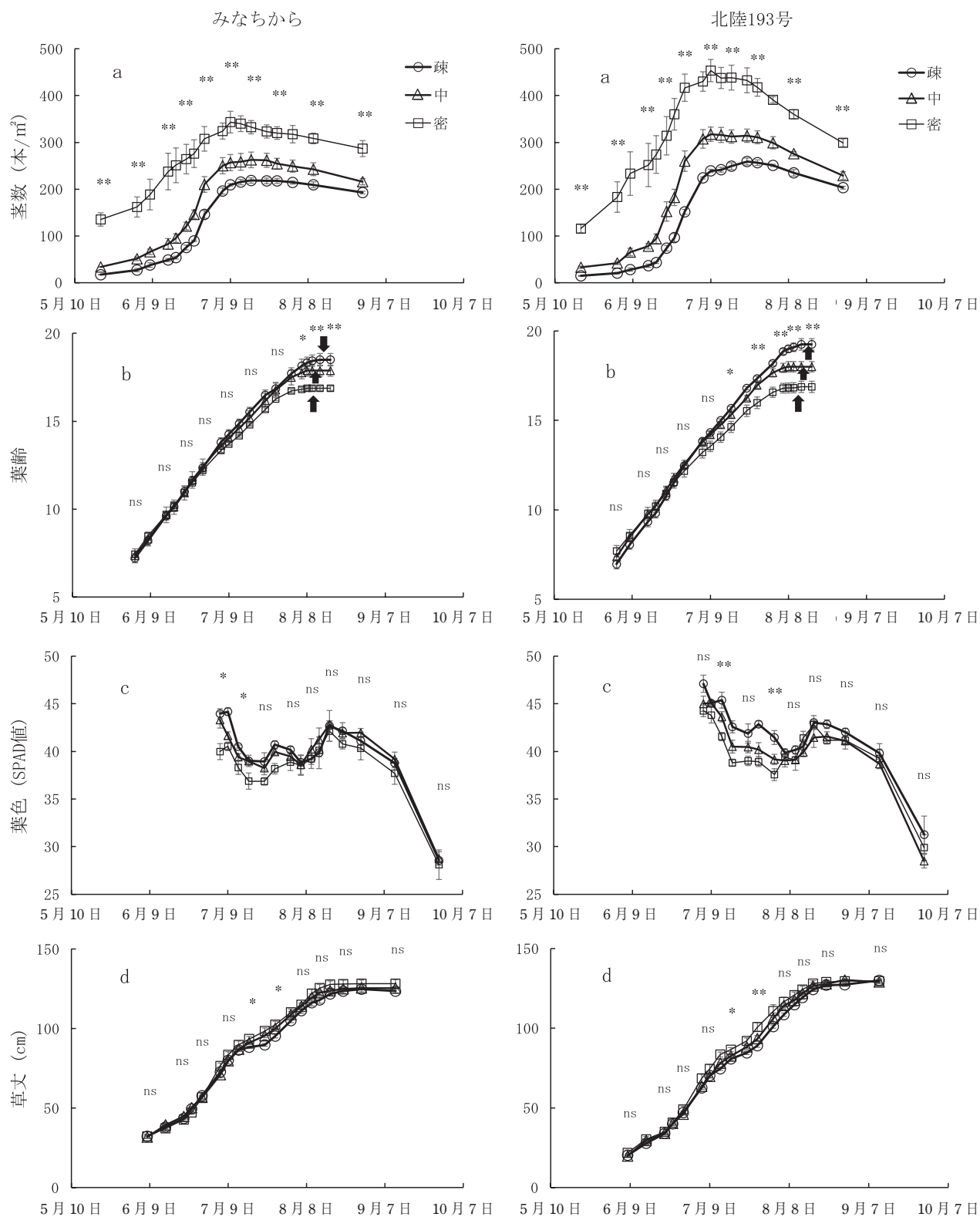
なちから」で2.5本、「北陸193号」で3.9本であった(第2表の苗立ち数と最高茎数より算出)。最高分げつ期頃における草姿は品種間差よりも処理区間差が明瞭で、相対的に疎播区で開張し、密播区で直立した(第3図)。最高分げつ期は苗立ち数が多いほど早い傾向があり、「みなちから」では密播区で7月11日、疎播区で7月20日、「北陸193号」では密播区で7月12日、疎播区で7月22日であった(第2図a、第2表)。有効茎歩合は、「みなちから」では疎播区88%、中播区82%、密播区83%、「北陸193号」では疎播区78%、中播区72%、密播区66%であり、疎播区が密播区よりも高い傾向であった(2018年、第2表)。しかし、2017年と2016年の「みなちから」の有効茎歩合は処理区間ではほぼ同様であり、2016年の「北陸193号」では密播区の有効茎歩合が疎播区よりも有意に高かった(第2表)ので、必ずしも苗立ち数が少ないほど有効茎歩合が高いとはいえなかった。

葉齢は、6月中旬頃まですべての処理区で同様に進展したが、その後は密播区が疎播区と中播区より葉齢進展速度が遅く(第2図b)、出穂期も密播区が疎播区と中播区より早かったことから主稈の止葉葉齢(不完全葉を含む)は「みなちから」では疎播区18.5、中播区17.9、密播区16.9、「北陸193号」では疎播区19.3、中播区18.0、密播区16.9と有意な差がみられた(第2表)。出穂期は、「みなちから」では疎播区8月13日、中播区8月10日、密播区8月9日、「北陸193号」では疎播区8月16日、中播区8月14日、密播区8月12日であり(第2表)、疎播区の出穂は両品種とも密播区より4日遅かった。葉色は、7月末頃までは密播区が疎播区より有意に低いあるいは低い傾向があったが、出穂期以後では処理区間に有意な差はなかった(第2図c)。草丈は、7月中下旬では密播区が疎播区より有意に高かったが、8月以後では有意な差はなく(第2図d)、成熟期の草丈および稈長にも処理区間で差はなかった(第2表)。倒伏は2018年「北陸193号」の密播区の一部反復で軽微ななびきが観察されたのみでほぼ発生しなかった(第2表)。

生育関連形質の分散分析(第2表)について、特に2要因分散分析を行った2016年、2018年の2か年で同様の傾向を示した形質について整理すると、品種の効果は最高茎数、出穂期、有効茎歩合、草丈、稈長で認められ、最高茎数は「北陸193号」が「みなちから」より多く、有効茎歩合は「北陸193号」が「みなちから」より低かった。処理の効果は、上述したように止葉葉齢、出穂期で認められた。交互作用は、密播区の苗立ち数が少なかった2016年では認められたが、密播区の苗立ち数が多く、処理区間差が大きかった2018年では認められなかった。

3. 生育期間中の乾物量の推移

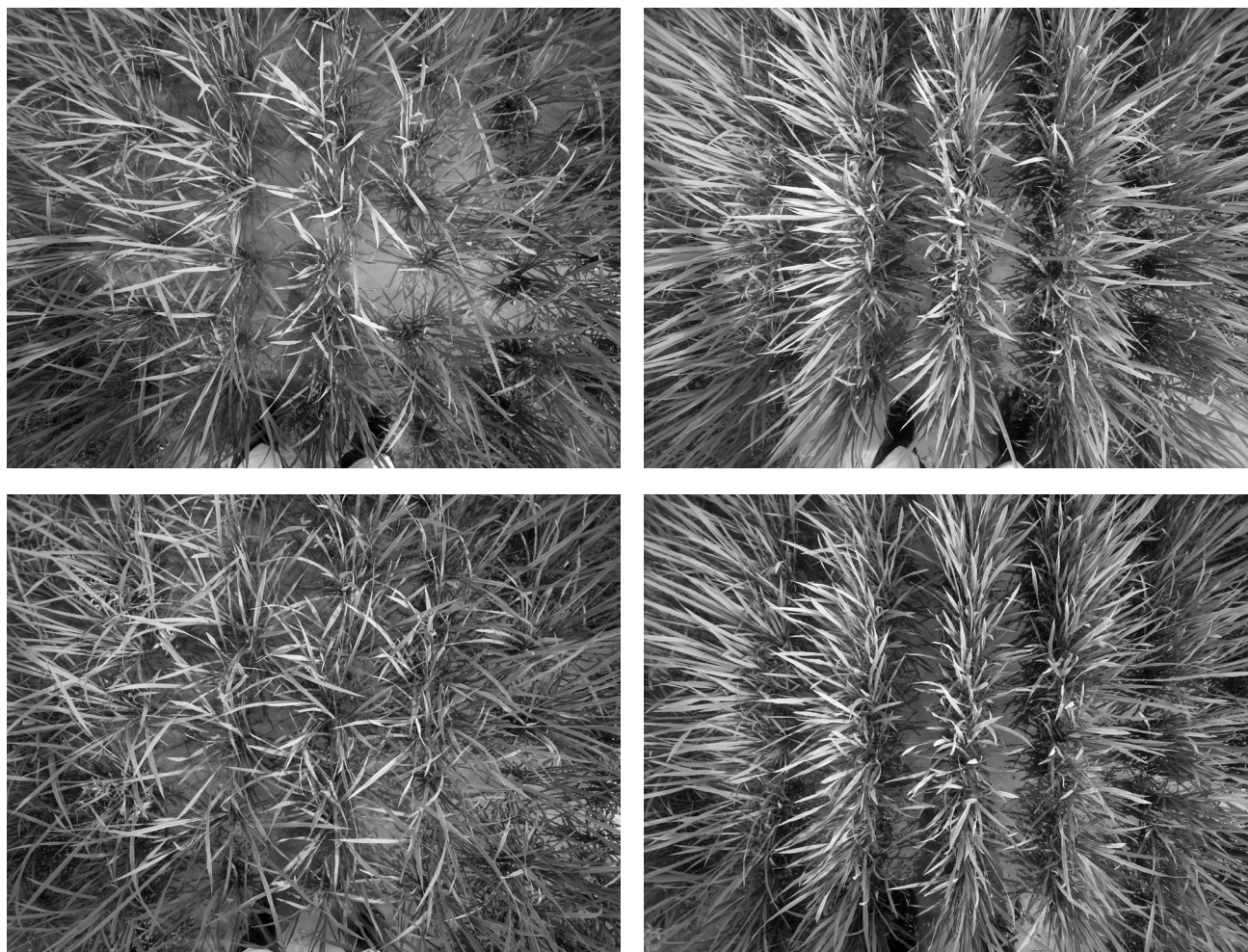
m^2 あたりの乾物量は、分げつ期では苗立ち数の違いが反映し、密播区が疎播区と中播区を大きく上回っていたが、



第2図 茎数 (a), 葉齢 (b), 葉色 (c), 草丈 (d) の推移。

各形質, 左側が「みなちから」, 右側が「北陸193号」. 2018年の結果. 葉齢は不完全葉を含む.

図中の縦棒は標準誤差 (n=4) を示す. **, *, ns はそれぞれ各調査日において処理区間に1%水準, 5%水準で有意差あり, 有意差なしを示す (分散分析). 図が煩雑となるため約10日間隔でシンボルを付した. b図中の矢印は各処理区の出穂期を示す.



第3図 最高分げつ期頃の疎播区(左)と密播区(右)の草姿。

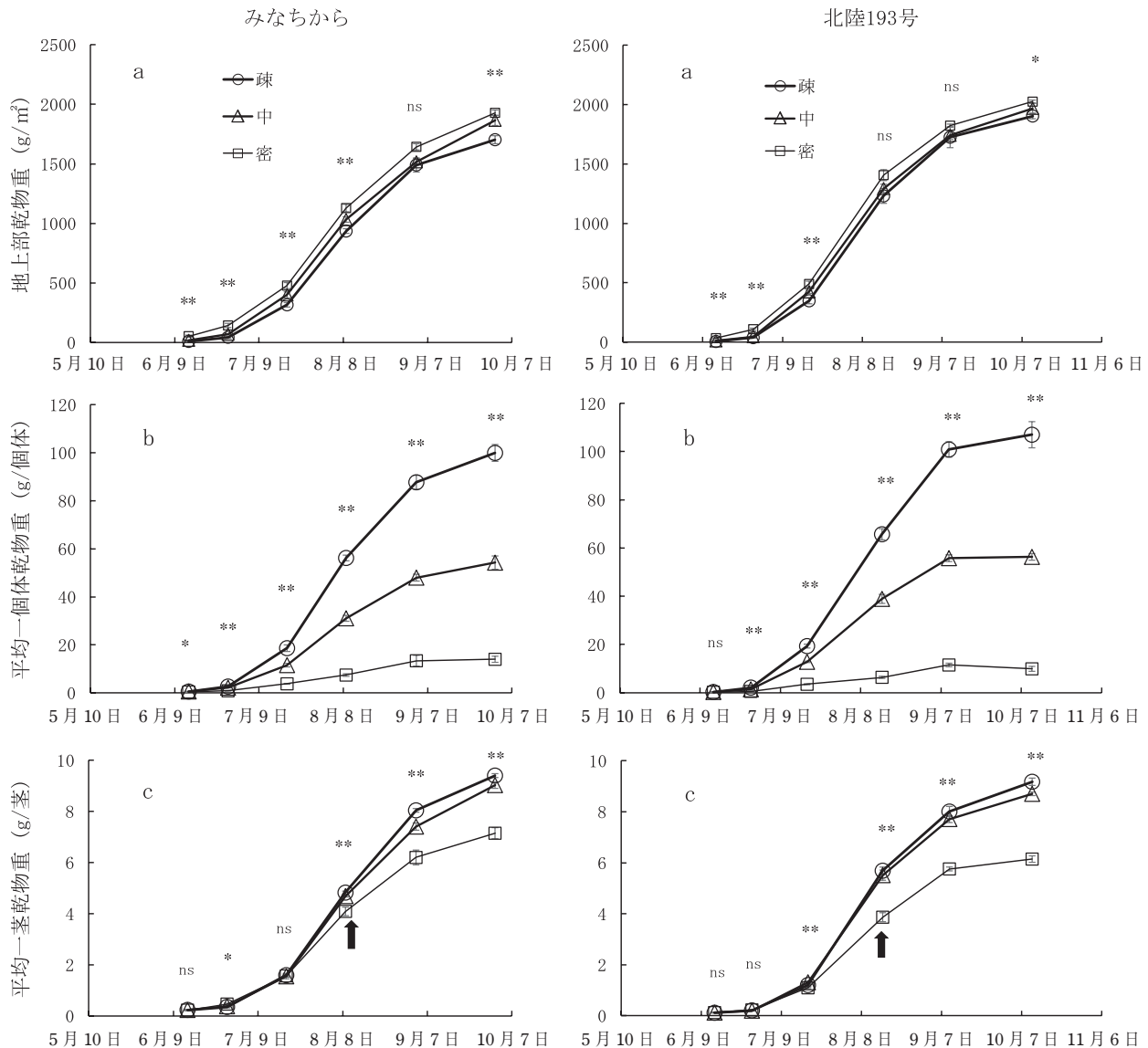
品種：上段「みなちから」、下段「北陸193号」。約1.5mの高さから下に向けて撮影。撮影日：2018年7月13日。

その差は生育ステージが進むにつれて縮小し、登熟中期以後、疎播区は密播区に対して「みなちから」では約90%、「北陸193号」では約95%となった(第4図a、第2表)。乾物重を苗立ち数で除した個体あたり乾物重は、生育初期である入水時期では処理区間の差は小さかったが、その後は疎播区と中播区の増加速度が密播区より上回り、生育が進むほどその差は拡大した(第4図b)。乾物重を茎数で除した平均一茎重は、栄養成長期では処理区間に差はなかったが、生殖成長期では密播区の増加速度が疎播区と中播区より遅い傾向が3年間、両品種とも認められた。特に密播区の苗立ち数が多い2018年は顕著で、穂揃い期調査時点ですでに有意差が認められ(第4図c)、成熟期に「みなちから」では疎播区9.4g、中播区9.0g、密播区7.1g、「北陸193号」では疎播区9.2g、中播区8.7g、密播区6.1gと大きく差がついた。籾ワラ比は、両品種ともいずれの年次でも疎播区と密播区との間に有意差はなかった(第2表)。

4. 収量および収量構成要素

収量および収量構成要素を第3表に示した。収量構成要

素で顕著な違いが認められたのは穂数と一穂粒数であった。疎播区の穂数は密播区に対して「みなちから」では63%に、「北陸193号」では68%に、それぞれ1%水準で有意に減少した。一方、一穂粒数は疎播区が密播区に対して「みなちから」では139%に、「北陸193号」では138%に、それぞれ1%水準で有意に増加した。2017年と2016年の結果も同様であった。穂数と一穂粒数の積である粒数は、疎播区が密播区に対して「みなちから」では87%に、「北陸193号」では93%(2要因分散分析の処理の効果は5%水準で有意差あり)に減少した。2017年と2016年の結果も同様に疎播区が密播区よりも有意に減少あるいは減少する傾向であった。登熟歩合と精玄米千粒重は、2018年の「北陸193号」の登熟歩合で疎播区が密播区より有意に高かったが、3年間を概観すると処理区による明瞭な傾向は認められずほぼ同等であった。精玄米収量は、2018年の「北陸193号」では有意ではないものの疎播区(860g/m²)が密播区(849g/m²)を若干上回ったが、それ以外は疎播区が密播区より有意に減少あるいは減少する傾向であった。粗玄米収量は、2018年の「北陸193号」では、疎播区、中



第4図 m^2 あたり地上部乾物重 (a), 個体あたり乾物重 (b), 平均一茎重 (c) の推移。

左側が「みなちから」、右側が「北陸193号」。2018年の結果。

図中の縦棒は標準誤差 ($n=4$) を示す。**, *, ns はそれぞれ各調査日において処理区間に1%水準, 5%水準で有意差あり, 有意差なしを示す (分散分析)。c 図中の矢印は品種平均の出穂期を示す。

播区, 密播区とも同等に 900 g/m^2 以上が得られたが, それ以外は疎播区が密播区より有意に減少あるいは減少する傾向であった。

収量および収量構成要素に関する分散分析の結果 (第3表) について, 3か年の概要は, 品種の効果は収量および収量構成要素のいずれの形質にも認められた。一方, 処理の効果は穂数, 一穂粒数およびそれらから算出される粒数, 草型指数で認められたが, 登熟に関連する登熟歩合と精玄米千粒重では, 2016年の精玄米千粒重以外では認められなかった。交互作用は2016年の登熟歩合と2018年の精玄米収量が5%水準で有意となった以外は認められなかった。

5. 草型指数と草型の分類

草型指数 (α) は苗立ち数により大きく異なり, 分散分析による処理の効果は両品種とも全ての試験年次において1%水準で有意となった (第3表)。疎播区の草型指数 (α) は, 2017年を除いて両品種とも 20° 以下で, また中播区も極穂重型の閾値である 25° 以下でいずれも極穂重型に分類された。2017年「みなちから」の疎播区と中播区は穂重型に分類された。密播区は, 苗立ち数に $43 \sim 169 \text{ 本/m}^2$ と大きな幅があり, これに伴って草型指数 (α) も $23.3 \sim 38.0^\circ$ とばらつき, 分類も年次と品種で, 偏穂重型 (2017年「みなちから」, 2018年「みなちから」, 「北陸193号」), 穂重型 (2016年「みなちから」), 極穂重型 (2016年「北陸193号」) と様々であった。2018年は密播区の苗立ち数

第3表 苗立ち数が異なる各処理区における収量、収量構成要素および草型。

年次	品種	処理区	穂数 (本 /m ²)	一穂粒数 (粒)	初数 (粒 /m ²)	登熟歩合 (%)	精玄米千粒重 (g)	精玄米収量 (g/m ²)	粗玄米収量 (g/m ²)	草型指数 α (度)	草型分類
2016 年	みなちから	疎播区	175 ^b	187 ^a	32812	82.8	25.4 ^b	690	723	19.4 ^b	極穂重型
		密播区	211 ^a	162 ^b	34274	81.6	25.8 ^a	722	754	26.0 ^a	穂重型
	北陸 193 号	疎播区	186 ^b	205 ^a	38031 ^b	87.9 ^b	22.2	742 ^b	789 ^b	18.7 ^b	極穂重型
		密播区	219 ^a	191 ^b	41685 ^a	89.4 ^a	22.3	833 ^a	877 ^a	23.3 ^a	極穂重型
	分散分析	品種	ns	**	**	**	**	**	**	*	
		処理	**	**	*	ns	*	*	*	**	
		品種×処理	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	
2017 年	みなちから	疎播区	225 ^b	160 ^a	35972	80.9	25.4	742	789	27.9 ^b	穂重型
		中播区	242 ^b	155 ^a	37580	80.8	25.4	771	820	30.3 ^b	穂重型
		密播区	289 ^a	139 ^b	39975	78.8	25.3	798	854	38.0 ^a	偏穂重型
	分散分析	処理	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	**	
	北陸 193 号	(参考)	245	180	44129	88.1	22.3	867	902	27.0	穂重型
2018 年	みなちから	疎播区	184 ^c	214 ^a	39494	66.6	25.4	667 ^b	726 ^b	17.9 ^c	極穂重型
		中播区	209 ^b	191 ^a	39854	73.4	25.6	743 ^{ab}	803 ^{ab}	22.3 ^b	極穂重型
		密播区	293 ^a	154 ^b	45228	68.3	25.4	784 ^a	855 ^a	35.4 ^a	偏穂重型
	北陸 193 号	疎播区	210 ^b	224 ^a	47065	84.5 ^a	21.6	860	909	19.3 ^b	極穂重型
		中播区	230 ^b	217 ^a	49834	83.7 ^a	21.5	897	955	21.6 ^b	極穂重型
		密播区	311 ^a	163 ^b	50491	78.7 ^b	21.4	849	928	35.6 ^a	偏穂重型
	分散分析	品種	**	**	**	**	**	**	**	ns	
		処理	**	**	*	ns	ns	*	*	**	
品種×処理		ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns		

2017年北陸193号は出芽不良により処理区を設定できなかった。各処理区4(2017, 2018年)ないし6反復(2016年)の坪刈りによる平均値。ただし、2017年北陸193号(参考)は処理区設定なしの3地点の平均値。

登熟歩合は1.8mmの篩による粒厚選。各収量および千粒重は水分15%換算値。草型指数 α は土屋・岡本(1990)の式を準用し、 $\text{Arctan}(\text{穂数}/(25 \times 16)/\text{一穂粒数} \times 150) \times 180/\pi$ で算出(式中の穂数は穂数/m²)。草型分類は土屋・岡本(1990)の分類を準用し、草型指数 α を8°間隔で分類した。

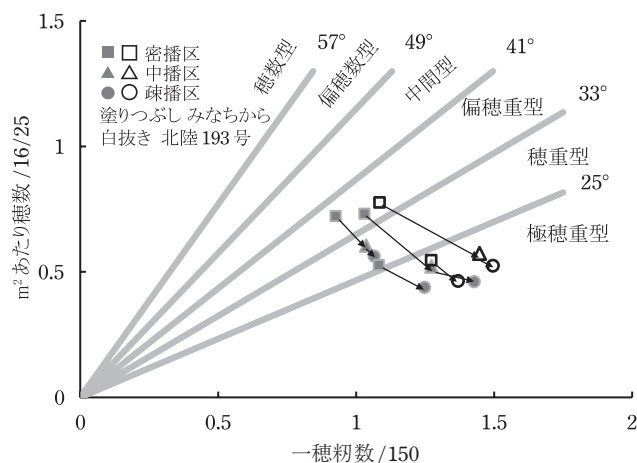
分散分析は年次ごとに行った。**, *, nsは、それぞれ1%水準、5%水準で有意差あり、有意差なしを示す。

年次品種ごとにt検定(2016年)または分散分析(2017, 2018年)により処理区間に有意差が認められる場合、各値右側に英文字を付した。異なる英文字間には5%水準で有意差があることを示す(2016年:t検定、2017, 2018年:Tukey-HSD法)。

が多く、草型指数(α)の処理区間差も大きかった。すなわち、「みなちから」では疎播区(α :17.9°極穂重型)と密播区(α :35.4°偏穂重型)の差は17.5°、「北陸193号」では疎播区(α :19.3°極穂重型)と密播区(α :35.6°偏穂重型)の差は16.3°であった(第3表、第5図)。2018年の草型の分類は両品種とも処理区間で2区分異なった。

考 察

乾田直播栽培において苗立ち数の違いは水稲の生育と収量構成要素に大きく影響した。苗立ち数を少なくした疎播区と中播区の生育は慣行である密播区と比べて、単位面積あたり茎数は少なく、葉齢進展は早く、止葉葉齢は多く、出穂期は遅くなった(第2図、第2表)。これらの特徴は移植栽培における疎植栽培の生育の特徴と類似した。一方で、疎植栽培では向上すると報告されている有効茎歩合、籾ワラ比(橋川1985)には処理区間で明瞭な差はなかった(第2表)。生育期間中の乾物重の推移は、単位面積あたり



第5図 苗立ち数の違い(密播区→中播区→疎播区)による草型の変化。

土屋・岡本(1990)に基づく分類に極穂重型を加えた。

では生育前半は苗立ち数の違いが反映して疎播区で顕著に少ないが、登熟期以降は密播区の9割程度に近づいた(第4図a)。単位面積あたり乾物重を茎数で除した平均一茎重では、栄養成長期では処理区間に差はなかったが、出穂期以後は疎播区と中播区が密播区より有意に重かった(第4図c)。収量構成要素に及ぼす影響を見ると、疎播区の面積あたり穂数は密播区よりも15~37%有意に少なく、一穂粒数は逆に8~39%有意に多かった(第3表)。この両形質、穂数と一穂粒数の相対的な関係は草型として表現される。収量構成要素からは、疎播区および中播区の草型は密播区に対して相対的により穂重型であるといえる。出穂期頃にはすでに平均一茎重の有意な差が認められることから(第4図c)、それ以前の栄養成長期から苗立ち数の違いが水稻生育、すなわち草型に影響を与えていると考えられる。第3図は最高分けつ期頃の草姿を上から撮影した写真であるが、材料および方法で述べた両品種の草姿の違いは判然とせず、一方で処理区間の違いは顕著であった。密播区の個体あたり最高茎数は3~4本、個体あたり穂数は両品種とも2本以下(第2表苗立ち数、最高茎数、第3表穂数から算出、2018年)であり、主稈を主とした茎数の構成となっている。分けつが主である疎播区とは栄養成長期の草姿において、品種特性よりも苗立ち数の影響が大きいことが見て取れる。そしてこの草姿の違いが個体間競合、受光態勢等の違いを経て平均一茎重の違いに現れ、生殖成長期を通じてその差が拡大し(第4図c)、最終的に草型の大きな違いを生み出したと考えられる。

次に、苗立ち数の違いにより草型が相対的に変化する程度を量的に検討する。草型は、一般的には品種特性を表現する際に用いられることが多いが、土屋・岡本(1990)は、移植栽培において草型が栽植密度によって大きく変化することを草型指数を用いて量的に示し、草型を数量的基準をもって取り扱うことの重要性について指摘している。そこで、本研究においても生育および収量構成要素から明らかとなった苗立ち数の違いによる草型の相対的な変化を数量的に評価するため、土屋・岡本(1990)の草型指数および草型の分類を一部改変して検討に用いた。その結果、疎播区ないし中播区と密播区との草型指数には大きな差があり、同品種であっても両者は異なる草型に分類され、特に2018年には2区分異なる極穂重型と偏穂重型として分類された(第5図、第3表)。この違いは土屋・岡本(1990)で用いられている品種の一例としては「雄町」と「日本晴」の違い(両品種の草型指数(α)の差は17.6°、同報中の分類ではそれぞれ偏穂重型と偏穂数型)に相当する。品種において草型が異なると、その肥培管理も異なることを考えれば、乾田直播栽培において播種量、苗立ち数を大幅に変えることは、栽培管理上、別の品種として捉えなければならないほどの大きな生育の変化となることが示された。ここで、この草型の変化について別の視点から考察する。材料および方法で述べたように供試品種の育成時における

草型の分類は、「みなちから」は穂重型、「北陸193号」は極穂重型である。この分類の判断は移植栽培での調査に基づいている。移植栽培における栽植密度は20株/m²程度であることから考えれば、本研究の処理区の条件では慣行を想定して設定した密播区よりもむしろ疎播区に近い。そして育成時の草型の分類も本研究における疎播区の分類に近い。したがって、本研究で明らかとなった慣行の密播条件に対して疎播にするとより穂重型になるという草型の変化は、換言すれば、慣行である密播条件の乾田直播栽培における草型は、移植栽培と比べてより穂数型となっている、といえる。移植栽培が97%を占める現状において、穂重型あるいは極穂重型として認識している品種が、慣行の乾田直播栽培ではこの認識と異なり偏穂重型の生育となっているという結果は、乾田直播栽培における生育制御、栽培法の改善を考える上で留意すべき事項だと考える。

次に収量性について考察する。本研究では、2018年の「北陸193号」を除き、疎播区の収量は密播区に対して減少した。苗立ちを疎にすることで草型はより穂重型となり、生育は大きく変化することが示されたが、この変化が収量向上に直結はしなかった。しかし、本研究の結果をもって疎播の収量性が密播よりも劣るとは結論できないと考える。なぜなら、本研究での肥培管理は処理区によらず同じ管理を行ったが、疎植栽培と同様、生育が大きく異なればそれに合った肥培管理を行うべきであるが、本研究ではその検討は行っていない。岡ら(2015)は、安定多収を求める流れの中で、短稈穂数型へのステップに続く第2のステップとして超多収性品種、短稈穂重型の草型へのステップを主張し、新しい草型の具現のためにはその品種に合う栽培法(施肥管理、栽植密度)の検討が必要となる、と述べている。この指摘は、乾田直播栽培において苗立ち数により草型を変化させた場合にも当てはまると考える。2018年の「北陸193号」の疎播区において密播区の1/10の苗立ち数で同等に粗玄米収量900 g/m²以上が得られたことは疎播イネの収量性の可能性を示した。しかしながら、長田ら(2018)は本研究と同時期(2016年、2017年)、同場所(同じ試験場内の別圃場)での「北陸193号」の移植栽培において、分施により両年とも1000 g/m²を超える多収を得ている。このように供試した多収品種のポテンシャルは高く、それを乾田直播栽培、さらに疎播で引き出すための生育に適する肥培管理については、分施により理想的な肥効について明らかにすること等今後の検討課題である。本研究では、出穂期後、登熟期の葉色は詳細に調査していないが、達観で葉色が落ちる時期が多収を得るためには早すぎると感じたため、肥効がより後期重点となるよう緩効性肥料の配合を年次により見直した(第1表)。それに伴い収量は改善傾向を示している(第3表)が、今後は苗立ち数と施肥の両要因を合わせて試験することが必要と考えている。その中では、本研究では向上しなかった有効茎歩合と粒ワラ比(第2表)および登熟歩合(第3表)を向上させることを

着眼点としたい。また、「北陸 193 号」の疎播区では 2018 年に密播区と同等の収量をえた一方、「みなちから」では 3 年間とも疎播区の収量は密播区よりも劣った（第 3 表）。この原因として、「北陸 193 号」は株がよく開張するのに対して「みなちから」は株が直立する草姿の違い（第 1 図）や分散分析で品種の効果が全ての形質で認められた収量構成要素の違い（第 3 表）が影響した可能性が考えられる。今後、苗立ち数の検討を食用品種も含め幅広い品種を対象に行う上では品種の草姿等も考慮し、疎播に適した品種の特性を明らかにする必要がある。

最後に、本研究での苗立ち数は、間引きにより疎播区約 17 本、中播区約 33 本に調整したが、これは一般的に目標とされる 100 本/m²程度と比べて極端に少ない。本研究の苗立ち数を現実の播種により実現することは現状では困難である。しかし、圃場整地技術や播種技術が進化する中、それに先行して生育型を規定する主要な条件である栽植密度（本田 1981）については幅広く検討しておくべきで、特に、少ない苗立ち数は苗立ち不良による減収を考えほとんど検討されていないことからあえてこの設定とした。ここで、生産現場で疎播した場合の利点、欠点について指摘する。利点として、まず種苗費の削減が考えられるが、他にもいくつか挙げることができる。乾田直播の播種作業において、途中で種子がなくなっているとどこまで播いたかわからないため、種子の補給は作業者が最も気を使う作業である。もし、播種量が慣行よりも大幅に少なくて良いなら種子の補給作業を減らすことが可能で、播種機によっては圃場内での補給をしなくても済む。また、種子消毒作業が大幅に削減できることは大規模に乾田直播栽培を実施している生産者にとってはメリットであろう。他にも、疎植栽培で報告されているように病虫害や倒伏等に対する抵抗性が増す（橋川 1985）可能性も考えられる。一方、疎播の不利な点としては、一般的には苗立ちの不安が増すということが大きく、加えて本研究の結果で述べた出穂期が遅れることも品種や場所によって収量確保に不利に働く可能性がある。また、雑草防除や漏生イネが多い場合にも不利であろう。このように播種量は単純に減らす方が良いわけではないが、理想的な水稲生育を得るためには、乾田直播栽培においても移植栽培のように播種量、苗立ち数の検討は必要と考える。いずれにせよ、少ない播種量、苗立ち数を生産現場に適用するためには、播種精度の向上や雑草防除等多くの関連分野との共同により技術体系として確立する取組が必要であり、今後並行して検討を進めていきたい。

謝辞：本研究の遂行にあたり、西日本農業研究センター業務第 1 科門田克史氏、伊達勇太氏、佐藤達也氏をはじめ技術専門職員および契約職員に播種、間引き他の管理作業、収量調査等を行っていただいた。栽培管理グループ契約職員村井恵氏には生育調査補助を行っていただいた。これらのご尽力に心より感謝の意を表します。

引用文献

- 愛知県農業総合試験場 2007. 不耕起V溝直播栽培の手引き（改訂第 4 版）. <https://www.pref.aichi.jp/soshiki/nososi/singijiyutu.html>（2019 年 10 月 25 日閲覧）.
- 濱田千裕・中嶋泰則・林元樹・釋一郎 2007. 水稲における不耕起V溝直播栽培の開発－「冬季代かき」による栽培の安定化－. 日作紀 76: 508-518.
- 橋川潮 1985. 稲作の基本技術. 農山漁村文化協会, 東京. 1-238.
- 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. 農林水産技術情報協会, 東京. 1-292.
- 姫田正美 1998. 日本の農業－あすへの歩み－205 水稲直播栽培の新展開. 農政調査委員会, 東京. 89-103.
- 姫田正美・今井秀昭・井村光夫 1999. コシヒカリの直播栽培. 農山漁村文化協会, 東京. 1-220.
- 本田強 1981. 栽植密度と分けつ経過. 農文協編, 稲作全書 イネⅡ 栽培技術の基本. 農山漁村文化協会, 東京. 240-243.
- 冠秀昭・関谷博幸・大谷隆二 2017. 水田の土壌状態に基づいたブラウ耕鎮圧体系乾田直播栽培の適用性. 農作業研究 52: 63-75.
- 楠田宰 1995. 水稲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.
- 長田健二・近藤始彦・岡村昌樹・細井淳 2018. 水稲多収品種「北陸 193 号」とその後代系統の温暖地における収量性. 日本作物学会第 245 回講演要旨集: 15.
- 中込弘二・出田収・重宗明子・松下景・春原嘉弘・石井卓朗・前田英郎・飯田修一 2017. 飼料用米生産に適した多収水稲品種「みなちから」の育成. 農研機構報告 西日本農研 17: 31-41.
- 中野恵子・藤本寛・関矢博幸・冠秀昭・平岩確・淵山律子・望月秀俊 2015. 乾田直播研究のシテン. 土肥誌 86: 240-245.
- 農研機構 2017. 1 飼料に用いる多収品種の選定. 飼料用米の生産・給与技術マニュアル 2016 年度版: 1-15. https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/074988.html（2019 年 11 月 26 日閲覧）.
- 農林水産技術会議事務局 1973. 農林水産研究文献解題：水稲直播編. 農林統計協会, 東京. 1-333.
- 農林水産省 2008. 水稲直播栽培の現状について. http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/index.html（2019 年 11 月 26 日閲覧）.
- 農林水産省 2018. 最新の直播の状況（29 年産）. http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/index.html（2019 年 10 月 25 日閲覧）.
- 岡三徳・岡田聡一郎・荒木卓哉・杉本秀樹 2015. 歴史的な水稲基幹品種の草型と乾物生産特性から超多収性を探る. 愛媛大学農学部紀要 60: 7-14.
- 大谷隆二・関矢博幸・冠秀昭・中山壮一・齋藤秀文 2013. 大区画圃場におけるブラウ耕乾田直播栽培を核とした 2 年 3 作水田輪作体系. 農業機械学会誌 75: 220-224.
- 土田志郎・長野間宏・小柳敦史 1999. 営農現場における水稲直播栽培の実態と普及・定着条件－アンケート調査結果の分析－. 農業研究センター研究資料 38.
- 土屋幹夫・岡本正範 1990. イネ草型の指数化について. 日作中支集録 31: 27-29.
- 梅本雅 1999. 第 10 章 直播栽培の普及・定着条件と今後の技術開発方向 水稲直播の経営的效果と定着条件. 小室重雄編. 農林水産省農業研究センター, 茨城. 231-246.

Lower Seedling Density Induces Plant Growth with a Higher Panicle-weight Type in Direct-seeded Rice on Well-drained Paddy**Field :** Hiroshi FUJIMOTO (*Western Region Agricultural Research Center, NARO, Fukuyama, 721-8514, Japan*)

Abstract : To elucidate the effect of seedling density on the growth and yield components of direct-seeded rice on well-drained paddy fields, we conducted a three-year field experiment using high-yielding rice cultivars “Minachikara” and “Hokuriku 193”. Plots sparsely seeded (17 seedlings m^{-2}) and moderately seeded (33 seedlings m^{-2}) were set by thinning seedlings artificially, to compare plant growth with densely seeded plots (43–169 seedlings m^{-2}) which was the original seedling establishment by the conventional method. The sparsely seeded plot had fewer tillers per unit area, and heading date was later than in the densely seeded plot. At the vegetative stage, the average single tiller weight did not differ with the seedling density, but after heading, it was significantly heavier in the sparsely seeded plot than in the densely seeded plot. The number of panicles per unit area decreased with decreasing density, while the number of spikelets per panicle increased with decreasing density. The grain yield per unit area in the sparsely seeded plot slightly decreased or was the same as that in the densely seeded plot. However, we obtained over 900 gm^{-2} grain yield in the sparsely seeded plot with “Hokuriku 193” in 2018. The yield was the same in the densely seeded plot even though the number of seedlings was only one-tenth of that in the densely seeded plot. In conclusion, lower density of seedlings induced plant growth to give a higher panicle-weight type. Therefore, the seedling density was considered an important factor in the growth control of direct-seeded rice.

Key words : Density of seedling establishment, Direct-seeding on well-drained paddy field, High-yielding cultivar, Panicle-weight type, Plant type, Sparsely seeded.
