

歴史的水稻基幹品種の草型と乾物生産特性から超多収性を探る

岡 三徳*・岡田 聡一郎*・荒木 卓哉**・杉本 秀樹**

Mitsunori OKA, Soichiro OKADA, Takuya ARAKI and Hideki SUGIMOTO:

Investigation of the Super High-Yielding Capacity from Viewpoints of Plant Types and Dry Matter Production of Historical Leading Rice Varieties in Japan

Abstract

Varietal development has played a significant role in the increase of rice yield after Second World War in Japan. The study was conducted to clarify the super high-yielding capacity from viewpoints of plant types and dry matter production by using 4 historical leading rice varieties in warmer part of Japan. IR64, IRRI variety showing a panicle weight type was also included. There are two steps in the process of rice breeding for the purpose of high-yielding capacity. In the first step of the new ear-number type with short culms released from 1960s to 1990s, the lodging resistance was highly strengthened due to low plant height and ear number increased. The grain yield was higher in the new type of Hinohikari than in the old ear-weight type of Norin 18 with long culms, since the new type showed larger leaf area (source size) and large number of spikelets (sink size) at heading time (Table 3).

In the second step of the super high-yielding varieties showing ear-weight type with shorter culms that has been released since 2000s, the type represented by Takanari and IR64 showed two interesting features of more large source and sink size, especially sink size compared with the new ear-number type (Fig. 2). As a result, the newly released varieties with large ear showed higher dry matter and grain productivities (Table 3), and the plant type representing the super high-yielding capacity is similar to the new super rice prototype that was proposed by IRRI (Khush, 1995).

Key words: Rice breeding, Super high-yielding rice variety, Plant type, Dry matter and grain production

1. 緒言

わが国の戦後における水稻の生産向上には、新品種開発、育苗・移植技術の普及、肥培管理及び病害虫・雑草防除技術の開発、機械化による農作業の省力化など多くの技術開発の貢献が大きいといわれる(農水省, 1984)。中でも生産と収量向上に最も大きな役割を果たしたのは、短稈穂数型の多収性新品種の育成である。

戦前から昭和 20 年代にかけて、肥料不足のために

少肥向きの長稈穂重型品種が普及し、昭和 30 年代の肥料生産の回復とともに多肥向きの短稈穂数型で耐病虫性品種が普及するようになった。昭和 40 年代始めには機械化の進展に伴い耐倒伏性の高い強稈短稈型の多肥多収品種が、40 年代後半には消費の動向から良質多収品種が増加し、とくに 50 年代以降には多くの良質良食味新品種が育成され始めた。これらの新しく育成された品種の多くは、従来の品種に比べて短稈で穂を多くつける草型(短稈穂数型)であった。そのため戦後における水稻収量の飛躍的向上には、各年代に育成された新品種、とくに短稈穂数型品種への改良を目的とした草型育種の果たした役割が極めて大きいといえる(岡田ら, 1967)。

しかしながら、近年になってコメの消費量は、1962

2015 年 4 月 1 日受領

2015 年 7 月 30 日受理

*愛媛大学農学部比較農学教育分野

**愛媛大学農学部作物学教育分野

表 1 供試品種とその特性

品種	育成年度	育成地	普及年度	普及地域	特記事項
豊満神社米	—	種子島在来	—	種子島南部	長稈穂重型, 神事米
農林 18 号	1941	熊本県農試	1947~1965	西日本地域	晩生, 長稈穂重型, 少肥多収
ヒノヒカリ	1989	宮崎県総合農試	1990~	西日本地域	中生, 短稈穂数型, 高品質
タカナリ	1990	農業研究センター	1993~	関東以西地域	中生, 短稈極穂重型, 飼料米 日印交雑品種
IR64	1985	国際稲研究所 (IRRI)	1987~	熱帯アジア	短稈穂重型, 多収, 広域適応性 インディカ品種

(昭和 37) 年度の 1 人当たり年間 118kg をピークに減少しており, 2013 年にはその半分以上の 57kg にまで低下した. 今後, 日本では人口減少や少子高齢化によるコメ需要の減少により, さらにコメの消費量が減少すると予測されている. 一方で, 今後の稲作においては主食用のコメだけでなく, 超多収性の飼料米や多用途米の生産を高めて需要を拡大することが重要となっている (農文協, 2015).

国内の飼料自給率は 25% ほどで, 穀物を主体とする濃厚飼料の自給率は 10% に過ぎず, その多くが外国産により賄われている. 最近では国産の飼料米や多用途米への関心が高まり, 超多収性の新品種育成が一つの主要な目標となっている (井辺ら, 2004 ; 農水省, 2009 ; Khush, 1995). 品種開発では多様な新品種が育成され, これまでの短稈穂数型の普及品種とは異なる超多収性品種が示す乾物生産特性と高い収量性を明らかにすることが重要となっている. 本研究では, 時代的に収量向上に貢献してきた基幹品種と超多収品種を供試して, その草型と乾物生産特性からこれまでの普及基幹品種, とくに超多収性品種の乾物生産および収量特性を比較解析した.

2. 材料および栽培

2.1. 供試品種

供試品種は, 長稈穂重型の農林 18 号, 短稈穂数型のヒノヒカリ, 日印交雑の飼料米で超多収性品種のタカナリ (井辺ら, 2004) を供試した (表 1). 豊満神社米 (九州大学遺伝子資源開発研究センター, 2015, 遺伝資源保存番号 Lo1231) は鹿児島県種子島で神事に用いられてきた在来品種で長稈の古いタイプの草型を示す品種として, またフィリピンの国際稲研究所 (IRRI) が育成した IR64 は短稈穂重型の印度型超多収性品種として供試品種に加えた. IR64 は東南アジアにおける広域普及の多収品種として育成されたが, その草型が短稈穂重型の超多収性を示すために, 本研究ではタカナリと同様に超多収性品種として取扱い検討した.

2.2. 材料育成と栽培管理

2014 年 6 月 18 日に種子消毒として, 60℃ に設定した水道水に種子を 10 分間浸した. その後 30℃ に設定したインキュベータ内で催芽した. 2 日後の 6 月 20 日にセルトレイ 1 穴に 3 粒を播種し, 愛媛大学農学部内のガラス室前で育苗した. 播種後約 2 週間の 7 月 7 日に栽植密度 13.3 株/m² (条間 30 cm, 株間 25 cm) で農学部内実験水田に移植した. 処理区は 1 品種の区画を 7.2 m² とし反復は設けなかった. 基肥には化学肥料 (N:P:K=12:12:12) を成分量で 3 g/m² を鋤込み, 穂肥として 8 月 20 日に成分量で 4 g/m²

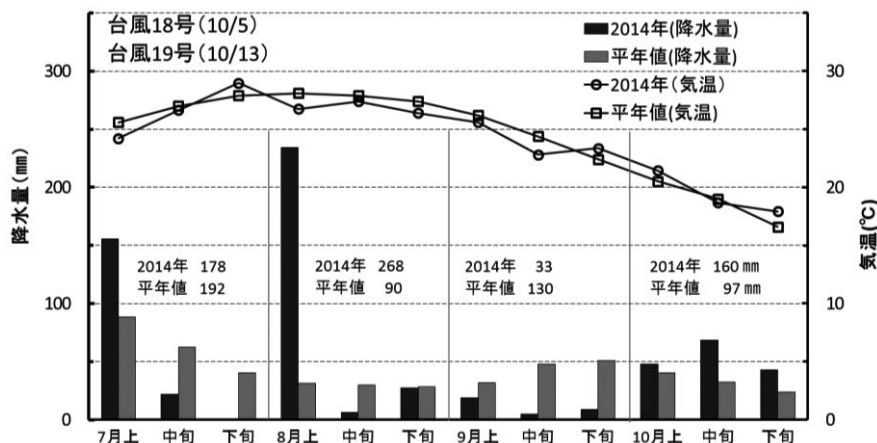


図 1 生育期の旬別平均気温と降水量の推移

表2 穂揃期および穂揃後20日における供試品種の特性

供試品種	穂揃期		穂揃後20日	
	穂前日	草高 (cm)	草丈 (cm)	草高* (cm)
豊満神社米	9月20日	143	146.5	測定不可**
農林18号	9月1日	115	120.5	100
ヒノヒカリ	9月7日	100	100.5	100
タカナリ	9月14日	90	90.5	90
IR64	9月20日	95	96.0	95

*水田立毛状態での群落の高さ, **全面倒伏のため測定不可

を追肥した。

生育中には草高, 草丈, 穂数の調査とともに, 各品種の穂揃期(農林18号は9月1日, ヒノヒカリは9月7日, タカナリは9月14日, 豊満神社米とIR64は9月20日), 穂揃後20日および収穫期に部位別乾物重, 葉面積を測定して, 収穫期には収量調査を実施した。

2.3. 気象環境

8月上旬には降水量が平年雨量(31.6 mm)の7.4倍にも達し, その後の降水量は平年値を下回り, 夏期の気温は平年値と比べてやや低く推移した(図1)。降水量が多くなった8月上旬は極端に積算日照時間が少なく, 穂揃期を迎えた9月中旬までは全般に曇天の日が多くなったが, 8, 9月の2ヶ月間の積算日照時間は254時間と平年値(387時間)を大幅に下回った。また, 台風が10月5日(台風18号)と10月13日(台風19号)に襲来したことにより豊満神社米と農林18号の2品種が倒伏し, 豊満神社米では全面倒伏となった。

2.4. 部位別乾物重

各品種の穂揃期, 穂揃後20日および収穫期に数株を抜き取り, 葉身, 茎+葉鞘, 穂, 枯死に分別した。地下部(根部)は1株の範囲で土ごと約20 cmの深さで掘り取り, 金網上で土を洗い出して根を採取した。分別した各部位は, 80℃で2日間, 通風乾燥し

て乾物重を秤量した。

2.5. 収量およびその関連形質

収穫期に各品種の区画から12株を1単位に坪刈りし, 穂数, 穂重, 1穂粒数, 粒数, 千粒重, 登熟歩合, 収量(精玄米重)を調査した。登熟歩合はすべての品種について比重1.06で塩水選をして, 沈下粒数から算出した。

2.6. 群落構造図

各品種の穂揃期に実験室に搬入した株を垂直に立て, 地上からの高さ20 cmごとの層に切断して, 各層別に葉身, 葉鞘+茎, 穂, 枯死および地表下の基部(茎+葉鞘)に分別し, 乾物重を測定した。縦軸に地表からの高さ, 横軸の左側に各層の m^2 当たり乾物重を, 右側には葉身重から算出した各層の m^2 当たり葉面積を示して群落構造図を作成した(図3, 4)。

3. 結果

表2に穂揃期および穂揃後20日における供試品種の特性を示した。穂揃期の群落の草高と草丈は, 短稈品種のヒノヒカリ, タカナリおよびIR64ではほとんど差がなく, 直立した草姿を示している。しかし, 長稈品種の豊満神社米と農林18号では, 草丈に比べて草高がやや低くなった。また, 穂揃後20日の草高はヒノヒカリとタカナリ, IR64の3品種では穂揃期と同じ値を示し, 倒伏により傾いた農林18号では穂揃期の草丈に比較して草高が15 cmも低下し, 豊満神社米では全面倒伏したために測定不能となった。 m^2 当たり穂数はヒノヒカリとIR64で多く, タカナリでは少なく, 1穂粒数は穂重型のタカナリとIR64で多かった(表3)。両者の積で示される m^2 当たり粒数では, タカナリとIR64で多く, 同化産物の受け入れ器官であるシンクの量(粒数)は超多収性の両品種で大きい値を示した。登熟歩合は豊満神社米で著しく低く, これは10月5日の台風18号に

表3 供試品種の収量と収量構成要素*

供試品種	穂数 (/m ²)	1穂粒数	粒数 (/m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	収量 (g/m ²)	穂乾物重 (g/m ²) **
豊満神社米	206.6	135.7	28044	65.0	19.2	266.6	476
農林18号	238.8	140.0	33436	82.6	15.9	341.8	475
ヒノヒカリ	257.9	95.9	24745	87.8	21.4	483.2	628
タカナリ	223.3	158.6	35412	81.4	17.1	486.8	659
IR64	294.4	140.5	41350	80.6	21.1	375.7	547

*収量(精玄米重)は坪刈り調査から求めた値を示す。穂数, 1穂粒数, 粒数および登熟歩合は坪刈り株からのサンプル調査の値を示すため, 各収量構成要素の積は精玄米重の値とは一致しない。**穂乾物重は収穫期の乾物重

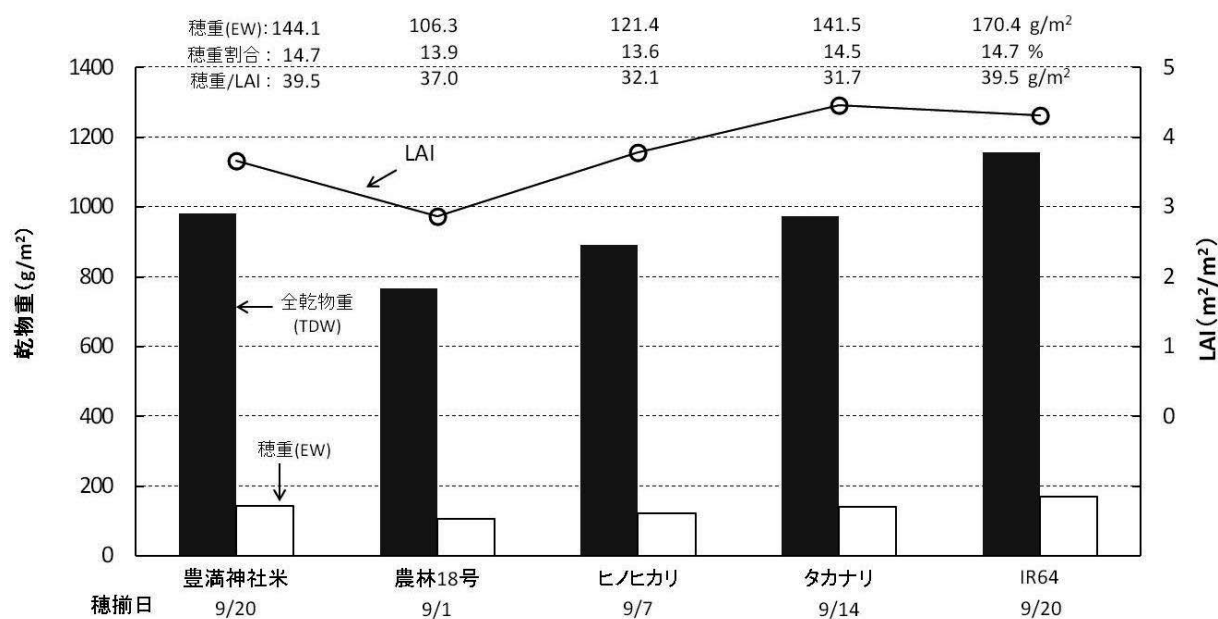


図2 穂前期の全乾物重 (TDW)、穂重と葉面積指数 (LAI)

より全面倒伏したためである。農林18号では穂揃後35日経過した後の倒伏であったために登熟歩合への影響は小さい。千粒重はヒノヒカリとIR64で大きく、農林18号とタカナリで小さかった。収量(精玄米重)はヒノヒカリとタカナリで高く、豊満神社米と農林18号で低い結果となった。また穂揃後に穂に転流した同化産物の総量を示す m^2 当たり穂乾物重は、同様にヒノヒカリとタカナリで高く、豊満神

社米と農林18号で低い値となった。

穂揃期の穂揃期の m^2 当たり全乾物重と穂重、葉面積指数 (LAI) を図2に示した。全乾物重は穂揃日が遅い品種ほど大きくなったが、IR64では穂揃日が同じ豊満神社米と比べて大きい値を示した。超多収品種のタカナリの全乾物重では、穂揃日がタカナリより遅い豊満神社米と同等の大きい値となった。

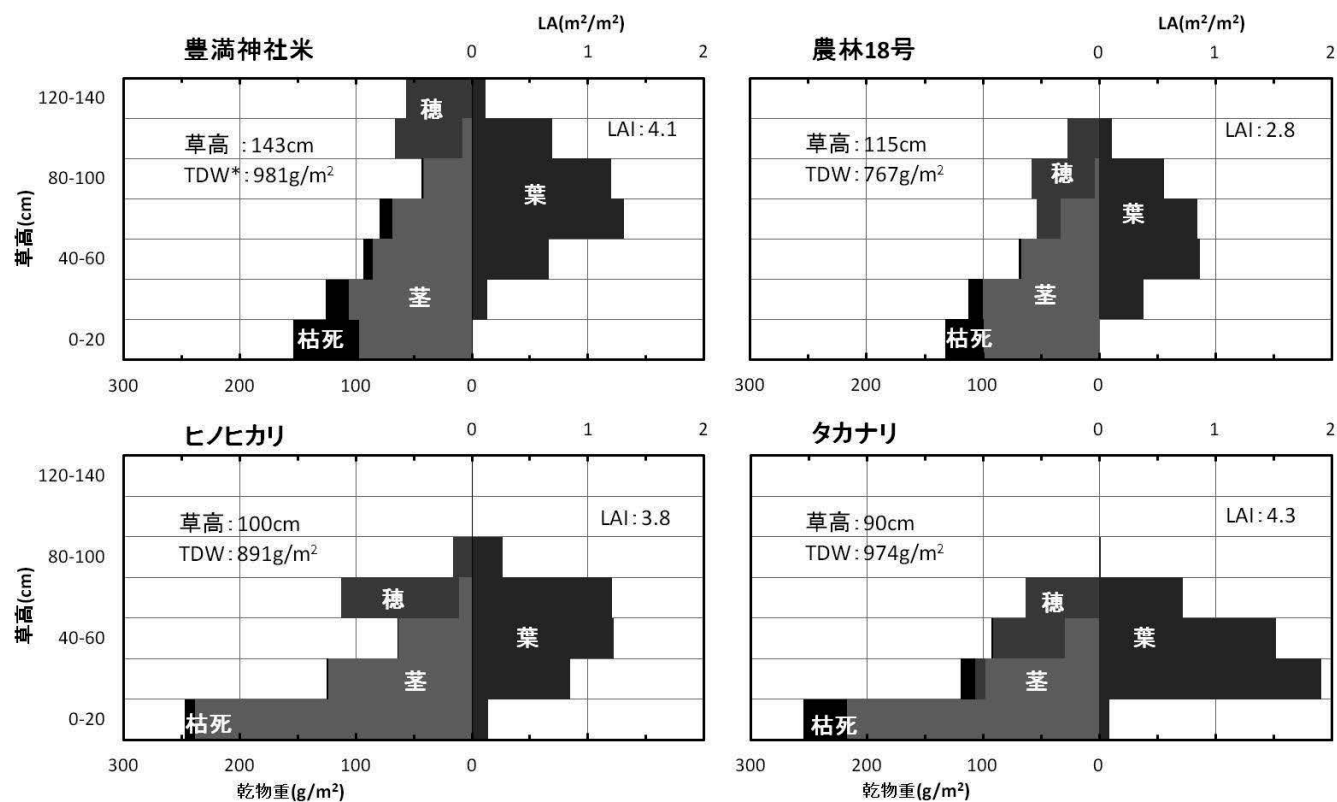


図3 穂揃後における供試品種の群落構造図

*穂揃期の全乾物重(g/m^2)

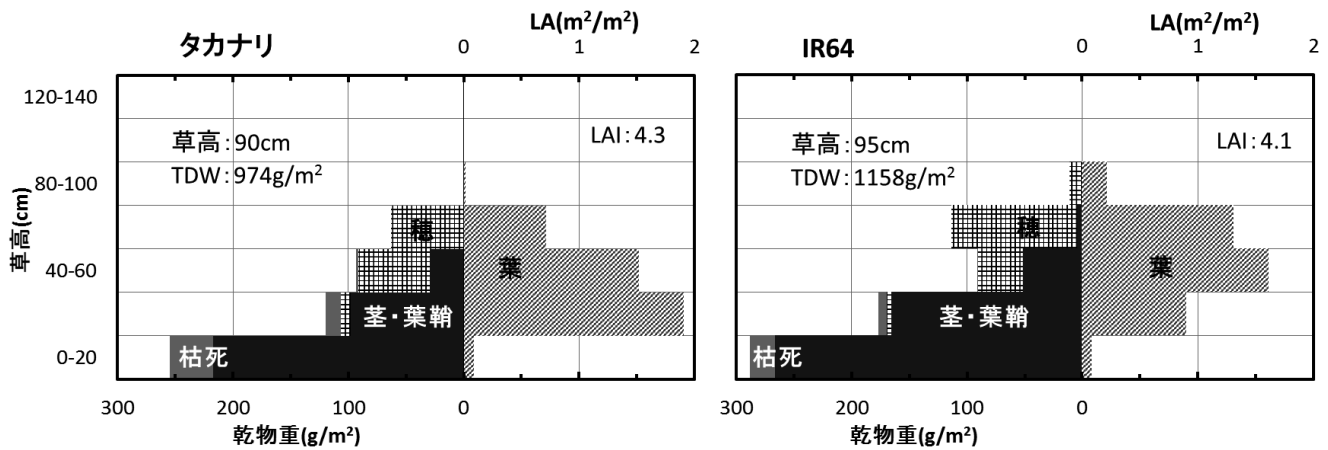


図4 穂揃期における短稈穂重型品種の群落構造図

LAI は穂揃日に関係なくタカナリが最も高く、次いで IR64、ヒノヒカリ、豊満神社米、農林 18 号の順であった。短稈穂数型品種であるヒノヒカリでは、ソースの量を示す LAI が戦前育成の農林 18 号に比べて拡大し、短稈穂重型品種のタカナリと IR64 では、ヒノヒカリに比較して LAI がさらに拡大して乾物生産力が強化されていると考えられる。

一方、同化産物の蓄積の場となるシンクの容量を示す穂揃期の m^2 当たり穂重は、IR64、豊満神社米およびタカナリで高く、ヒノヒカリと農林 18 号では低くなった。豊満神社米で穂重が大きいのは、この品種が多芒・長芒であるためである。各品種の育成年代と草型から穂重を比較すると、戦前に育成された長稈穂重型の農林 18 号に比べて平成初年育成の短稈穂数型品種のヒノヒカリでは穂重が大きく、短稈穂重型の草型を示すタカナリ、そして IR64 ではさらにシンク量が増大している。

図 2 に示した穂重割合は、穂揃期の根重を含む全乾物重に対する穂重の割合である。この値は、穂重が大きい穂重型品種で相対的にシンクの量の割合が

高いことを示している。また、穂揃期のソース量 (LAI) に対するシンク量 (穂重) の比率を示す穂重/LAI は、タカナリを除く豊満神社米、農林 18 号と IR64 で高い値を示した。武田ら (1984b) と岡ら (1987) は、この値を Sink/Source 比と表現しているが、穂重型の草型を示す水稲品種で高いことを報告している。本研究の結果でも、穂重型のタカナリを除くと穂重型品種で穂重/LAI の値が高い傾向にあるが、とくに IR64 が示す短稈穂重型では、乾物生産の低下をまねく過繁茂を回避しながら超多収のために十分に大きいシンク量の確保が可能な態勢を備えていることを示している (Takeda, 1984; 武田ら, 1984b)。

穂揃期の生産態勢を示す群落構造を図 3 および図 4 に示した。自然草高は豊満神社米が高く、次いで農林 18 号、ヒノヒカリ、タカナリの順に低く、最近の品種ほど群落の低い生産態勢を示した (図 3)。超多収性品種のタカナリは草高が低い上に、他の品種に比べて穂の位置が低いことが注目される。これは



タカナリ

IR64

図5 超多収性のタカナリと IR64 の草姿 (穂揃後 17 日)

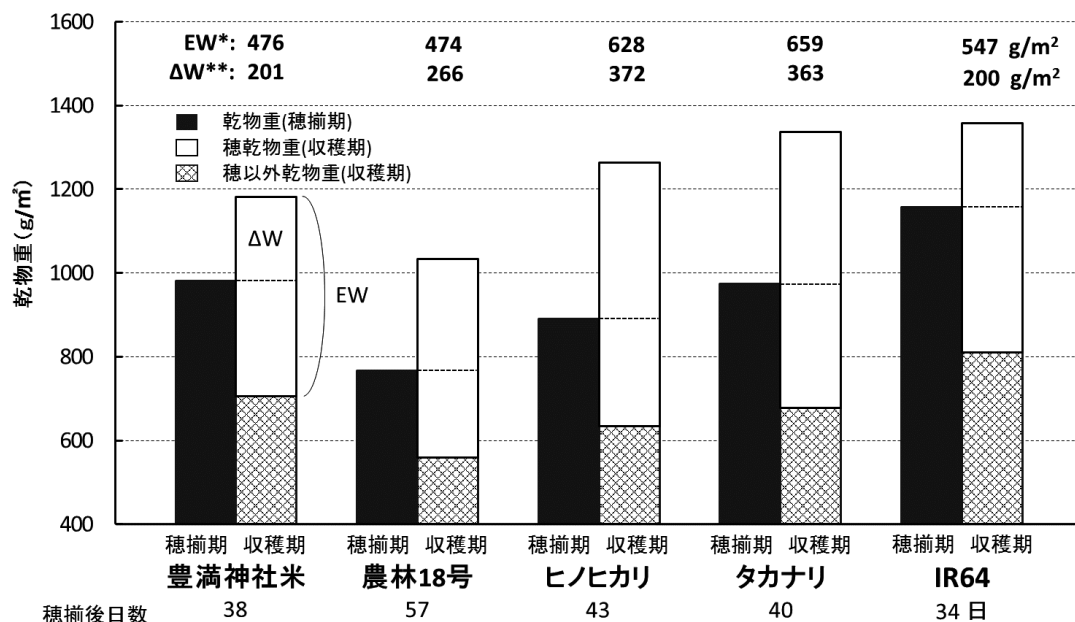


図6 穂揃期と収穫期の乾物重と穂乾物重

*穂重 (g/m²), **穂揃後の乾物増加量 (g/m²)

穂の間から直立した葉身，主に止葉が群落上に伸長していることを示している（図5）．こうして穂が大きく重くなっても倒伏しにくく，葉身が穂の上に伸長しているために群落内部への穂による光遮蔽が軽減され，太陽光を十分に受けた葉身のソース力（乾物生産力）の向上と結びついているものと考えられる．

また，茎の層別の重さではヒノヒカリとタカナリの短稈品種で茎の基部ほど大きくなった．茎の基部を太く強くすることで耐倒伏性が向上していると考えられる．短稈穂重型品種のIR64では，タカナリと同様に穂の位置が低く，これは前述したように穂の間から直立した葉身が群落上に伸長していることを示している（図4，5）．このことから，IR64もタカナリと同様に耐倒伏性が向上し，シンク量の増大とともにソース力（乾物生産力）が大きく向上していると考えられる．

収穫期の全乾物重からみると，超多収性のタカナリとIR64では他の品種に比較して乾物生産力が高く，豊満神社米と農林18号では穂揃後に倒伏したため低くなった（図6）．収穫期の穂乾物重（EW）はヒノヒカリとタカナリで大きく，豊満神社米と農林18号では値が小さかった．ヒノヒカリとタカナリの大きいEWは，穂揃期後の乾物増加量（ΔW）が大きいことによる．また，豊満神社米と農林18号の穂乾物重は，ΔWが低下したため小さくなっている．IR64では乾物生産力が高く収穫期の全乾物重は大きい，穂揃期が遅く登熟後期には低温に遭遇した

ため，穂揃期後の乾物増加量（ΔW）がヒノヒカリやタカナリに比べて著しく小さく，穂乾物重（EW）は小さい値を示した．これは穂揃期後日数が他の品種と比較して短いことにも示されている．

4. 論議と結論

これまでの長い多収性育種の過程には，短稈穂数型へのステップと超多収性品種へのステップとの2つがある．第1の短稈穂数型へのステップでは，草丈の低下により耐倒伏性が強化され，1穂粒数は減少して穂数が増加している．穂揃期ではソースである葉面積が拡大され，シンクである穂重も増大されている．乾物生産力が強化され，とくに登熟期の乾物生産力の強化により穂重（収量）が増大している．

第2の超多収性品種へのステップは，短稈穂重型の草型へのステップである．草丈がさらに低下し，穂の位置が低くなることで耐倒伏性がより強化されている．穂揃期ではソースである葉面積，シンクである穂重ともに第1のステップからさらに増大し，とくに穂重の増大が顕著である．乾物生産力も増強されて高収量を実現している．短稈穂重型の草型を示す超多収性品種の特性では，顕著にシンク量が増大して，ソース力（乾物生産力）も増強されている．この短稈穂重型は，国際稲研究所が提唱する理想型稲が表す草型の態勢に大きく近づいているものと考えられる（図7）．

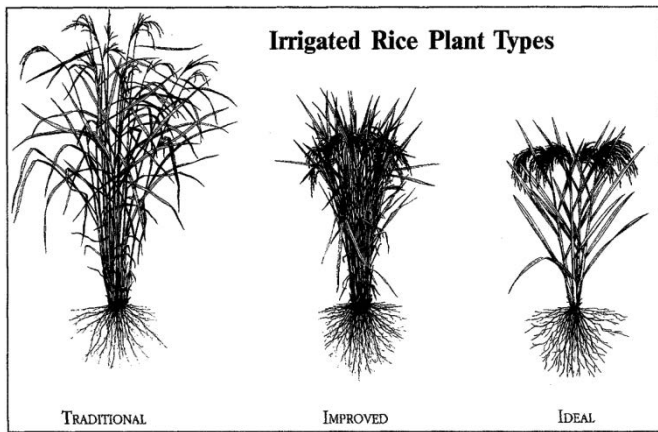


図7 水稲品種の理想草型モデル (Khush, 1995)

人類は長い稲作の過程で、大きい穂を求めて収穫し、その種子を次の作付けに使う時代がアジア各地で数千年にわたって続けられてきた。こうして人の背丈ほどにもなる長稈で長く大きな穂を持った古い時代の水稲の草姿が形作られてきたといわれている。その名残は、今も穂刈り収穫を続ける東南アジアの山岳部や島嶼部の陸稲が表す長稈大穂の姿に見ることができる。

縄文時代中期のわが国に伝来した水稲の草姿も同じであったに違いない(山崎ら, 2004)。九州北部に導入された稲は時代とともに北上し、弥生時代には本州北端の青森にまで達していたという。山野の草木や家畜糞、人糞が水田に積極的に施用されるようになった江戸、明治期になって、草丈はやや低くなったものの、それでも草丈が優に 100 cm を超える品種がまだ普及していた。大正期、昭和初期になって、堆肥や魚粉・魚滓が多用され、普及品種の稈長はさらに短く、草丈が低くなったものの、台風や風雨災害によって倒伏が頻発して低収を招く事態に変わりはなかった。

そして太平洋戦争後になると、1906 年にドイツで開発された空中からアンモニアを合成する「窒素固定法」により、戦後の復興とともに硫酸、尿素が多量に生産されるようになった。その多量施用とともに耐倒伏性を強化した短稈品種が強く求められる時代を迎えた。1961 (昭和 36) 年に、農林省九州農業試験場で育成された「ホウヨク」、「シラヌイ」、「コクマサリ」の姉妹品種は、化学肥料の多用化に対応した短稈穂数型の代表的品種となった(岡田ら, 1967)。穂の数を多くしたのは、短稈化に伴う小穂で 1 穂粒数の少ない態勢を穂数の増加で補い、かつ多収のために単位面積当たり粒数を増加させることが重視されたためである。こうして短稈穂数型の改良品種ではシンク量の増大とともに、葉身が直立した

耐倒伏性の態勢を兼備することで、登熟期のソース力(乾物生産力)も強化した態勢の草型が実現した。戦後の昭和 30 年代から 40 年代初頭にかけて飛躍的な収量向上と米の増産は、短稈穂数型品種の育成と化学肥料の施肥と管理技術によって成し遂げられた。一方で、農林省が先導した「稲作日本一」など米の増産運動を支えてきた短稈穂数型品種の草型では、10 a 当たり 660 kg~720 kg の安定多収には到達できても、これを打破してさらに高い収量を実現することが困難な草型であることが明らかになってきた(Takeda, 1984 ; 武田ら, 1984a)。

その後、国際稲研究所 (IRRI) や韓国で育成された短稈穂重型の草型が注目され、物質生産の面からこの草型が短稈穂数型と比較して、より高収を実現する態勢を備えていることが指摘された (Khush, 1995 ; Takeda, 1984 ; 武田ら, 1984a)。1995 年になって、IRRI は一連の研究成果を踏まえて超多収稲の育成に向けた理想型水稲モデル (New super rice prototype) を提唱した (Khush, 1995)。

本研究では、国内、とくに西日本地域で普及した基幹品種と、超多収性の飼料用や多用途米品種を供試し、IRRI が提唱するこのモデルを基調にしながら、供試品種の草型と乾物生産特性から超多収性を検討することを目的とした。その結果から、前述したように超多収性のタカナリと IR64 が表す短稈穂重型の態勢は、IRRI が提唱する理想型モデルに近い草型を具現していると結論した。

昭和 40 年代になると、水稲の増収と増産により米の余剰が発生して、1970 (昭和 45) 年には米の生産調整が施行され、時代は高収量から良食味・高品質を重視した目標へと大きく転換されるようになった。こうした中にも、超多収を実現するための新品種開発と技術開発は継続され、育種素材の利用範囲をも広げて印度型や日印交雑による飼料米や他用途米を目標にした超多収性品種が育成されている(農水省, 2009)。もちろん、こうした研究技術開発の取り組みと成果は、安定した収量増を期待する世界の熱帯・亜熱帯地域の人々に対する大きな貢献となる。

人類が挑む水稲の収量安定と高収量への道には限りがない。今後も人々はこの挑戦に向けて、IRRI が提唱するモデルからさらに新たなモデルを描き、これを次の時代の新しい草型に具現する歩みを止めることはないであろう。

なお本試験では、移植期の遅れと 8 月の寡照、秋期の台風襲来とにより、供試品種の乾物および子実重の値が全般に低く抑えられたことをここに付記し

ておく。今後、本研究の継続した展開には、さらに供試品種の選択と栽培環境に対する検討が必要となるが、後者では供試品種の普及年代を考慮した栽培法（施肥管理，栽植密度）に基づく処理区の設置が要件となる。

引用文献

- 井辺時雄・赤間芳洋・中根晃・羽田丈夫・伊勢一男他 15 人 (2004) : 多用途向き多収水稻品種「タカナリ」。作物研究所研究報告 5:35-51.
- Khush, G. S. (1995): Breaking the yield frontier of rice. *Geo Journal* 35.3: 329-332.
- 九州大学大学院農学研究院附属遺伝子資源開発研究センター (参照 2015.2.18) : Kyushu University Rice Data Base, <<http://www.shigen.nig.ac.jp/rice/rice-kyushu/htdocs/main.html>>
- 農文協 (2015) : とことんつくる使う飼料米・飼料イネ。現代農業別冊，東京，1-168.
- 農林水産省農蚕園芸局農産課 (1984) : 日本の稲作 : 1-461.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局 (2009) : 新しい多収米品種—加工用米及び飼料用米等，新規需要米の生産に向けて—。東京，1-29.
- 岡三徳・角明夫・武田友四郎 (1987) : 水稻品種群にみられるシンク量とシンク／ソース比との関係。日作紀 56: 265-267.
- 岡田正憲・山川寛・藤井啓史・西山寿・本村弘美・甲斐俊二郎・今井隆典 (1967) : 水稻新品種“ホウヨク・コクマサリ・シラスイ”ならびに両親品種の選定と母本品種“十石”の来歴について。九州農業試験場彙報 12 : 187-224.
- Takeda, T. (1984): Physiological and ecological characteristics of high yielding varieties of lowland rice. In: *Proceedings International Crop Science Symposium, Fukuoka, Japan*, 1-10.
- 武田友四郎・岡三徳・県和一 (1984a) : 暖地における水稻品種の物質生産に関する研究 第 2 報 明治期以降の新旧品種の子実生産特性。日作紀 53: 12-21.
- 武田友四郎・岡三徳・県和一 (1984b) : 暖地における水稻品種の物質生産に関する研究 第 4 報 本邦暖地品種と韓国新品種の子実生産特性の比較。日作紀 53:28-34.
- 山崎耕宇・久保祐雄・西尾敏彦・石原邦 (2004) : 新編農学大辞典。養賢堂，東京，1-1786.