

## 多用途向け水稲の多収穫栽培研究について

農研機構・中央農業総合研究センター北陸研究センター 吉永悟志

### 1. 水稲多収穫栽培の背景

2011年に70億に達した世界人口は2040年頃には90億人に達することが予想されているが、食料生産の伸びは耕作地の拡大および単収の増加とともに大きな伸びは期待できない状況になっている。また、近年の温暖化傾向の中で、干ばつや猛暑による大豆や小麦の不作が頻発して国際価格が高騰するなど、世界的な食料生産の不安定化も懸念されている。現在の世界の飢餓人口は9億人を超えているなか、我が国の食料自給率はカロリーベースで約40%と、非常に低い水準で推移しているために、食料の国際価格変動の影響を受けやすく、また、長期的な食料

安全保障を考えたとき非常に不安定な状況にあるといえる。国内産米については、主食用米は消費の減退やこれにともなう在庫増などにより価格が低迷するなか、飼料用や米粉用の米生産が政策的なバックアップなどもあり急速に増加してきている(図-1)。このような非主食用の多用途米の生産は、「主食用米生産の調整」や国産飼料供給、小麦需要の一部代替を通して「食料自給率の向上」への貢献が期待されている。多用途米品種として、低コスト安定生産が可能な多様な多収品種が育成されてきているが、このような品種を用いた多収穫栽培の確立が急がれるとともに、上述のような状況に対応した世界的

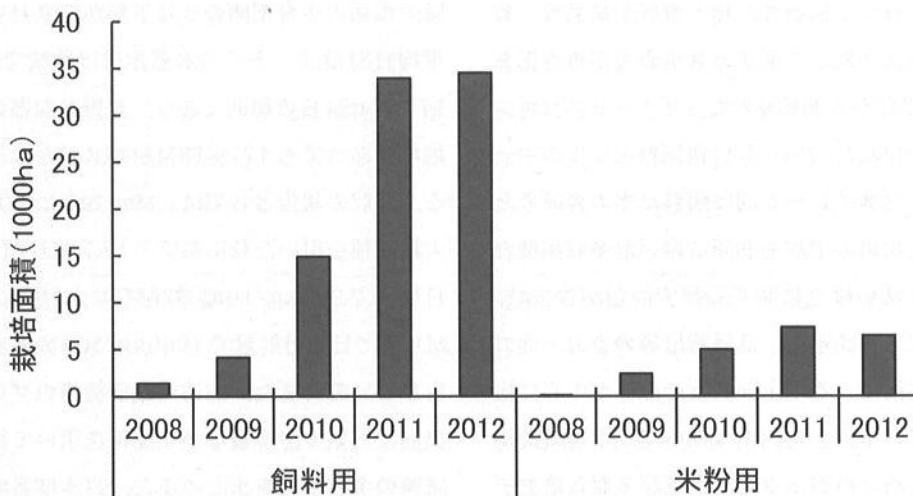


図-1 新規需要米の作付面積の推移(農林水産省データより)

な食料生産の安定化への貢献も含め、水稻の多収研究は重要な研究課題となっている。ここでは、多用途向け水稻の多収穫栽培研究の方向性について整理する。

## 2. これまでの多収栽培研究

農林水産省のプロジェクトにおける多収研究では、1981年の平年単収を基準として15年間に50%の増収を目標として、1982年から「超多収作物の開発と栽培技術の確立」プロジェクトが開始されている。このなかで、品種育成に関しては、インド型品種の遺伝形質を導入した半矮性穂重型多収品種の育成が進められ、多様な多収品種素材が開発されている。一方、栽培研究に関しては、各地域に適応する多収品種・系統の選定や、それらの収量性および安定多収のための作期、施肥法、水管理等の栽培法の検討が行われている。プロジェクト期間の後半では全試験地平均で700kg後半から800kg/10aの多収が実証され、当初の目標を達成している。その後、1995年以降のプロジェクトにおいては、良食味品種や直播適性品種の育成や高品質、省力・低コスト栽培に関する栽培研究が重点化され、2003年から開始された「ブランドニッポン(略称)」プロジェクトでは、粗飼料としてのホーククロップサイレージ向け飼料イネの育成のために全乾物重の増加も念頭に置いた多収品種育成や栽培法の確立に関する研究課題が含まれ、栽培研究での課題は、直播栽培等の省力・低コスト化技術による地上部全重の確保が中心に検討されている。近年では、2008年から農研機構で実施したプロジェクト「水稻超多収栽培モデルの構築と実証」において、各地で育成された

多収品種を中心に供試して、平年収量の80%増の粗玄米収量(900~1000kg/10a)を目標とした試験を実施し、各地で目標収量を達成するための栽培法が提示されている。

## 3. 世界各地の多収事例と気象条件

水稻の多収に関する過去の報告についてみると、海外では、中国の雲南(天野1996)において、F1ハイブリッド品種を用いて約1300kg/10aの収量が得られている。また、エジプトのナイルデルタでも(難波2003)1200kg/10aに達したことが報告されている。これらの報告における気象条件に関して生育期間中の日射量の平均値は、雲南で18~20MJ/m<sup>2</sup>/日、ナイルデルタの報告では26MJ/m<sup>2</sup>/日であり、植物の乾物生産に恵まれた環境条件となっている。さらに、日本の品種を海外の多収条件で栽培した結果では、オーストラリアのYancoにおいて、日本の品種であるコシヒカリを栽培し、24MJ/m<sup>2</sup>/日という高い日射量条件で1000kg/10aの収量が得られている(Horie et al. 1997)。我が国では、水稻の生育期間の5月下旬から9月中旬の平均日射量は、多くの水稻作付け地域で15~17MJ/m<sup>2</sup>/日の範囲であり、長野県などの多収地域であっても17~18MJ/m<sup>2</sup>/日となっている。多収の報告としては、Mae et al. (2006)は大粒品種を用いた秋田県での17.7 MJ/m<sup>2</sup>/日の日射量で980kg/10a、神保らは山形県で16.8 MJ/m<sup>2</sup>/日の日射量で1060kg/10aの多収を報告している。また、前述の農研機構のプロジェクトにおいて、多様な多収品種を用いて行った試験の多収事例をまとめると、日本型多収品種の16.4~17.7MJ/m<sup>2</sup>/日の条件で971~1081kg/

表-1 水稲の多収に関する報告事例

場所 (地域)	玄米収量 kg/10a	日射量 MJ/m <sup>2</sup> /day	品種	出典
エジプト (ナイルデルタ)	1200	26	Giza 172	難波 2003
オーストラリア (Yanco)	1000	24	コシヒカリ	Horie et al. 1997
中国 (雲南)	1300	19	Yu-za 29 (F1品種)	天野ら 1996
日本 (秋田)	983	17.7	秋田63号	Mae et al. 2006
日本 (山形)	1064	16.8	山形22号	神保ら 1987
日本 (北海道, 秋田, 福岡)	971-1081	16.4-17.6	日本型多収 品種	農研機構プロジェクト (2008-10)
日本 (茨城, 広島)	1017-1173	15.4-18.3	インド型多収 品種	農研機構プロジェクト (2008-10)

玄米収量は粗玄米換算値(一部データは籾重からの推定値). 日射量は生育期間(移植~成熟期)の平均値.

10a, インド型多収品種の15.4~18.3の条件で1017~1173kg/10aとなっている。このように、限られた日照条件であるが最多収記録は少しずつ切りあがっている。この要因としては、近年育成された多収品種の収量ポテンシャルの向上やこれに適合した栽培技術の適用が考えられる。今後の研究の進展により、十分な品種特性の解明に基づいた栽培技術の確立にともなってさらなる多収の達成も期待される。

#### 4. 多用途向け品種の概要

多用途向け水稲の主な利用法については、①ホールクロップサイレージ(WCS)用、②バイオエタノール用、③米粉等食品加工用、④飼料米用、に分けられる。①、②は主にわらを含めた地上部の利用、③、④は子実の利用となるため、

それぞれに求められる品種特性は異なる。例えばホールクロップサイレージ用品種では、地上部全体の収量が高いこと及び籾の消化率が低いために籾の割合が小さい品種特性が重要となる。③、④の子実利用では、外観品質や食味形質が重視される主食用米と異なり、多収性が最重要形質になるとともに識別性のために大粒や白濁などの玄米形質も重視される。各地域に対応した多用途向け品種については、関東以西を中心に多様な品種が揃った状況になっている(作物研究所2010)。ここでは、子実向け多収品種の特性について整理する。

#### 5. 現在の収量ポテンシャル

収量ポテンシャルを示す指標の一つに、玄米の入れ物の大きさを示す「シンク容量」(シンク

容量 = 籾数 × 玄米一粒重、登熟が100%であれば、シンク容量 = 収量となる)がある。同一条件で栽培した一般品種(日本晴)と多収品種(日本型多収品種:べこあおば, モミロマン, インド型多収品種:タカナリ, 北陸193号)の特性の差を比較すると、一般品種である日本晴では、多肥条件でのシンク容量が900kg/10aに満たないのに対し、同条件での多収品種のシンク容量は1100~1200kg/10a前後と30%程度高くなっており(図-2)、多収品種はシンク容量を確保しやすい特性を有することが分かる。

また、日本型およびインド型を分けてシンク容量と窒素吸収量との関係を示した(図-3)。日本型、インド型ともに両形質は密接な関係を示し、日本晴では穂揃い期の窒素吸収が約15kg/10aのときにシンク容量が最大に、多収品種では20kg/10a程度の時に最大となる。また、図において窒素吸収の増加にともないシンク容量や収量の増加が鈍化する。例えば図中インド型多収品種の回帰線をもとに10、15kg/10aからそれぞれ5kg/10aの窒素吸収を増加させた場合の玄米収量の増加を試算すると10から15kg/

10aの場合の増加分は205kg、15から20kg/10aの場合は61kg/10aとなり、窒素吸収の高い条件で増収効果が鈍化する。すなわち、多肥条件で収量増加が達成できるものの吸収窒素あたりの生産効率が低下することになる。

シンク生産に対応した登熟の形質については図-4に示した。日本型品種とインド型品種ではシンク容量とシンク充填率(シンク充填率 =  $100 \times \text{粗玄米重} / \text{シンク容量}$ )との関係に明確な差を生じ、インド型品種ではシンク容量が大きい条件でも充填率が比較的高く維持され、シンク容量の増加に伴って収量が増加している。一方、日本型品種ではシンク容量の増加に伴ってシンク充填率が低下する傾向を示し、一定以上の収量を得るには登熟が制限要因となっていることが示されている。

## 6. 収量ポテンシャルの向上

現状の収量ポテンシャルの向上方策を大別すると、シンク容量の増加あるいはソース能力の向上による登熟向上のどちらかあるいは両方が必要となる。さらに分けると、シンク容量につ

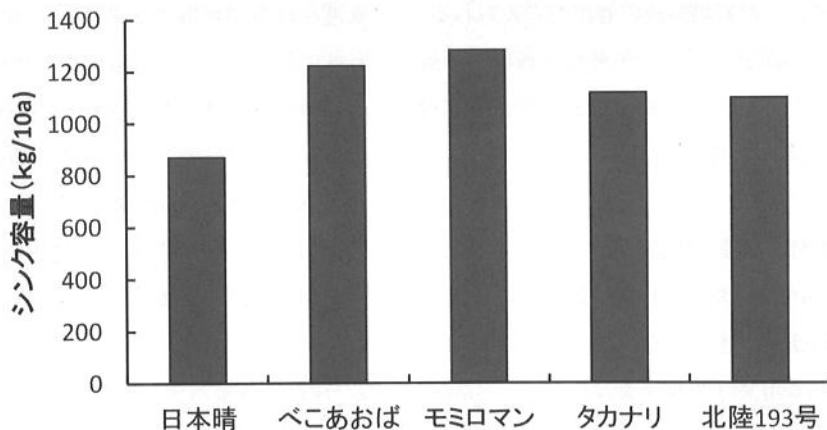


図-2 シンク容量の品種間差

シンク容量 = 籾数 × 玄米一粒重. 多肥条件(18kgN/10a)での調査事例(茨城県つくばみらい市).

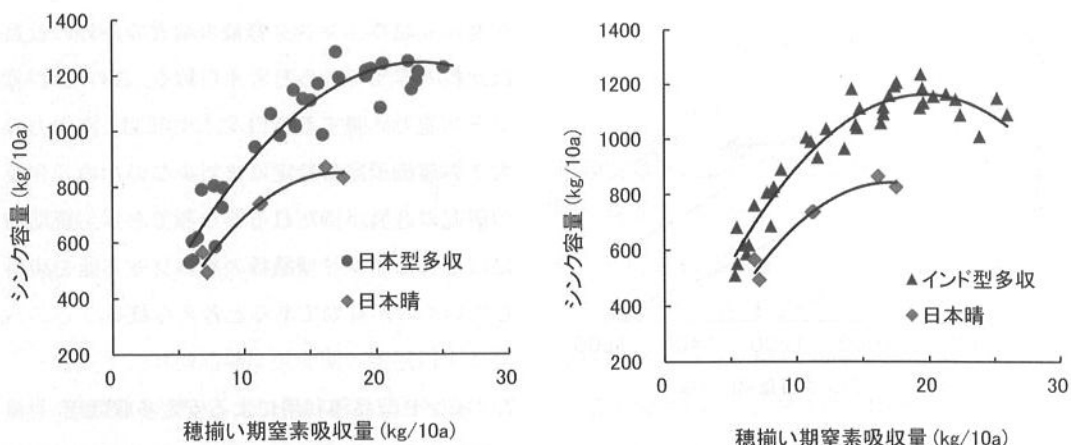


図-3 穂揃い期窒素吸収とシンク容量との関係, 農研機構作物研究所データ。

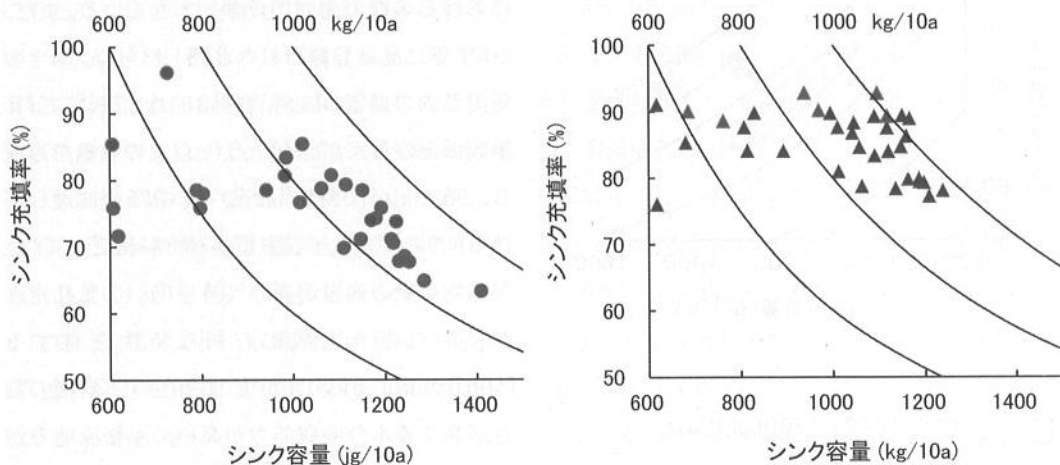


図-4 窒素吸収とシンク生産との関係, 農研機構作物研究所データ。

いては、「籾数の増加」と「粒重(籾殻の大きさ)の増加」, ソース能力については、「個葉の光合成能」と「転流の促進」となる。向上方策の決定のためには、品種の特性を整理する必要があるが、この点についてシンク容量とシンク充填率(収量/シンク容量で算出、登熟の良否を示す値)の関係で品種を以下のように大まかに分類できる。①インド型品種は、通常気象条件ではシンク容量に対する登熟が安定でありシンク容量の増加による収量増の可能性(図-

5A)。②日本型多収品種は、品種間差があるもののシンク容量の増加にともない登熟が低下するため、収量増のためにはソース能力の向上が優先される(図-5B, 図-5C)。なお、日本型多収品種のB型、C型の差は主に非構造炭水化物の登熟期の転流の多寡による差であり、B型の場合には「転流を促進する形質」を導入することも重要な課題となる。近年、収量性に関わるQTL解析が行われるなかで、籾数増加や籾の大型化に有効な遺伝子の特定やマーカーの開発

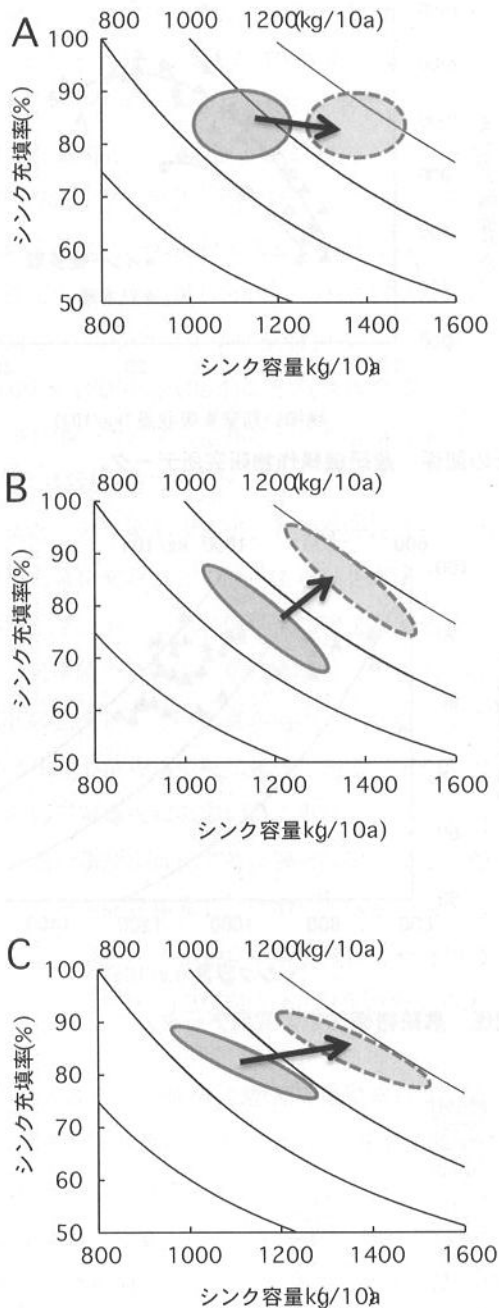


図-5 シンク容量と登熟との関係の品種間差の模式図

実線楕円は現状、破線楕円は1200kg/10aを想定したもの。図中の曲線は等収量曲線。

が進んでおり、シンク容量の増大のための改良は比較的容易であると考えられる。これに対し、ソース能力に関するQTLについては、作用力の大きい遺伝子座の特定はまだ少ないため、今後の研究の進展が待たれるところであり、短期的には現有のインド型品種の高いソース能を活用していくのが有効であると考えられる。

#### 7. インド型品種利用による安定多収栽培

インド型多収品種としては、タカナリ（品種登録1991年）が有名であり、関東以西の温暖地における多収の達成に貢献してきている。また、2008年に品種登録された北陸193号は、同年の新潟県内の農家344戸、合計301haで栽培され、半数以上の農家が800kg/10a以上の収量を達成し、1000kg/10a超の農家戸数も15戸に達している。このようなインド型品種の特徴としては、①乾物生産の適温が高い（図-6）、②気孔密度が高いなど光合成に有利な特性を有する（Maruyama and Tajima 1990）、③下層根の割合が高く養水分吸収能力が高い、④転流能力が

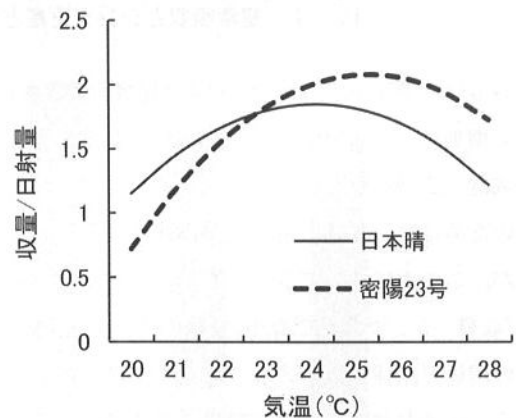


図-6 インド型品種（密陽23号）の乾物生産特性

農林水産技術会議事務局資料（1991）より。

高い（出穂までの非構造化炭水化物蓄積を登熟期に穂へ移行）（塚口ら 1996）などがあげられる。インド型品種の多収の潜在能力が高いことが明らかになりつつあり、温暖化傾向が続くなか、温暖地や暖地を中心としてインド型品種の利用による多収栽培への貢献が期待されているところである。

一方、インド型品種は生育期の気温による収量性の変動が大きく、図-6のように低温時に収量性が大きく低下する可能性があることから、安定栽培のためには生育期間の気象条件の評価にもとづく作付け地域や作付け時期の設定が重要となる。また、根系の分布なども異なるため、多収に有効となる栽培管理法も異なることが予想される。さらに、①一般にインド型品種は種子の休眠性が高い、②湛水直播条件での苗立ちが不安定化しやすい、③脱粒しやすい傾向がある、などの特性を有する場合があるため、浸種や播種時の種子予措、収穫適期の判定、漏生粉（収穫時落下粉からの次年度出芽）への対応など留意が必要になる。

## 8. まとめ

多収栽培に適した多様な品種が育成されており、品種の特性を発揮させるための栽培技術も多様化することになる。このようななか、栽培地の気象条件や用途に応じた品種の選定と栽培技術の組合せをいかに行うかがポイントになる。一方、多収栽培のための窒素吸収増加のためには一般に肥料等の資材コストの増加をとまうことになる。特に主食用以外の多用途米生産では省力性と低コスト化が重要になるため、このような省力・低コスト化と安定・多収性を両立

するための栽培技術の体系化の検討が現在進められている。

## 引用文献

- 1)天野高久, 師常俊, 泰徳林, 津田誠, 松本保博 1996. 中国雲南省における水稻多収穫の実証的研究. 日作紀 65 : 16-21.
- 2)Horie, T., M. Ohnishi, J. F. Angus, L. G. Lewin, T. Tsukaguchi, T. Matano, 1997. Physiological characteristics of high-yielding rice inferred from cross-location experiments. Field Crops Res. 52, 55-67.
- 3)神保恵志郎, 山崎栄蔵, 三浦浩 1987. 反たり玄米収量 1 tの稲の生育相とその栽培法. 山形農試研報. 22, 55-64.
- 4)Mae, T., A. Inaba, Y. Kaneta, S. Masaki, M. Sakai, M. Aizawa, A. Okawa, S. Hasegawa and A. Makino, 2006. A large-grain rice cultivar, Akita 63, exhibits high yields with high physiological N-use efficiency. Field Crops Res. 97, 227-237.
- 5)Maruyama, S. and K. Tajima 1990. Leaf conductance in Japonica and Indica rice varieties. Jpn. J. Crop Sci. 59 : 801-808.
- 6)難波輝久 2003. ナイルデルタにおける栽植密度および窒素施与量がイネの収量・収量構成要素・乾物生産におよぼす影響. 日作紀72 : 133-141.
- 7)作物研究所 2010. 米とワラの多収を目指して. ISBN978-4-904633-02-1
- 8)塚口直史, 堀江武, 大西政夫 1996. 水稻の登熟に及ぼす登熟初期の非構造化炭水化物の影響. 日作紀 65 : 445-452.