

総説

## 湛水直播水稻の出芽・苗立ち向上に向けて

古畑昌巳

(中央農業総合研究センター北陸研究センター)

**要旨**：現在、我が国の水稻移植栽培では、育苗および田植え作業が労働時間の1/4を占めているため、直播栽培の導入によって稲作の省力・低コスト化が進むことを期待されている。しかしながら、現在、直播栽培の普及面積は水稻栽培全体の約1%であり、一般的な技術として普及していない。この原因として、水田に直接播種することによって出芽・苗立ちが不安定になりやすいことが大きな要因になっていると考えられる。本稿では、播種後落水の効果、播種後落水を効率よく行うための圃場条件、過酸化カルシウム剤・鉄コーティングおよび種子予措の効果、播種後の気象条件、良出芽となる品種が持つべき特性および育種への利用、出芽・苗立ちに関与する種子の糖代謝についての知見を整理して、今後の研究方向を論じる。

**キーワード**：種子の糖代謝，出芽速度，鞘葉長，水稻，湛水直播，苗立ち，品種，落水。

### 1. はじめに

現在、我が国の水稻栽培では苗箱に水稻種子を播種し、数週間後に苗を水田に移植する移植栽培がほとんどであり、移植栽培における稲作全労働時間は10a当たり30時間を切っている(農林水産省2008a)。移植栽培では育苗および田植え作業が1/4を占めているため、直播栽培導入による育苗の省略が稲作の省力・低コスト化につながるものと期待されている。しかし、直播栽培は一部の先導的農家により行われているのみで一般的な技術として普及しておらず、直播栽培の普及面積は水稻栽培全体の約1%である。その原因として、水田に直接播種するために出芽・苗立ちが不安定であること、移植に比較して登熟期に倒伏しやすいために収量が不安定であることなどがあげられる。全国的水稻の直播栽培面積の推移をみると(農林水産省2008b)、乾田直播栽培では1997年の約4500haが2007年には約5600ha、湛水直播栽培では1997年の約3100haが2007年には約11800haとなり、この10年間の湛水直播栽培の面積増加が著しい。また、寒冷地である東北・北陸地域の湛水直播栽培は全国の湛水直播栽培面積の約77%を占めている。湛水直播はその栽培様式によって散播(種子のばら播きを行う様式)、条播(条間を一定にして播種を行う様式)、点播(条間・株間を一定として一箇所に数粒をまとめて播種する様式)に分けることができる。土壤中に播種した条播および点播は耐倒伏性を増加させることから、この播種法による直播の栽培面積が近年増加し、湛水直播の栽培面積増加に大きく寄与している。

一般的に湛水直播において表面播種した場合には出芽しやすいが、浮き苗や転び苗が生じやすく、その後も倒伏しやすい。これに関して、周ら(2003)は、表面播種条件で

苗の転び苗の程度が大きいほど草丈、乾物重、根数、分けつ数が劣り、収量が減少することを報告している。一方、土壤中に播種した場合、耐倒伏性を確保しやすいが、表面播種に比べて種子が土壤中に埋没するために出芽率が低下しやすいという問題がある。本稿では、(1)湛水直播栽培で広く普及している播種後落水の効果とその利用、(2)種子コーティングおよび種子予措の効果、(3)播種後の気象条件、(4)良出芽となる品種が持つべき特性および育種への利用、(5)出芽・苗立ちに関与する種子の糖代謝についての知見を整理して今後の研究方向の提示を試みた。

### 2. 播種後落水の効果とその利用

#### (1) 播種後落水の効果および問題点

土中播種は表面播種に比べて出芽率が低下しやすいが、播種直後から7~10日間程度の落水管理によって出芽・苗立ちの確保が図られることから(吉永ら1997)、播種後落水は湛水直播栽培の出芽・苗立ちを確保する基本技術として全国に普及しつつある(大場1997, 丸山2001, 2002)。その効果やメカニズムについて、播種後落水期間が長い区では下位葉節からの分けつ発生が多くなり増収すること(高橋ら1998)、播種後の落水管理は湿潤管理および湛水管理に比べて出芽・苗立ちが優れること(Sato and Maruyama 2002)、表層土壌での通気性の向上に伴って出芽から第2葉抽出が早くなり(古畑ら2005a)、出芽以降の初期生育を旺盛にすること(Tsuchiyaら2004)、光合成が早い時期から行われることによって乾物生産が有利になること(Sato and Maruyama 2005)が報告されている。また、水稻を播種した湛水土壌中では基肥として入れた化成肥料の溶出(Hara and Toriyama 1998)、2価鉄濃度が高い土壌(山内2001)、麦稈施用(大塚ら1988)、硫化物、酢酸、2価鉄な

どの還元生成物添加 (Hagiwara and Imura 1993), れんげ・稲わらなどの施用 (石崎・松田 1969) が出芽前の幼植物の生育を抑えることが報告されている。また, 土壌中の2価鉄の生成速度は土壌有機物含量, 温度によって変化し (浅見 1970a), 2価鉄の増加に伴って土壌中のpHは高まり, Ehが低下してアンモニア態窒素が増加する (浅見 1970b)。そしてアンモニア態窒素濃度の上昇 (Hara and Toriyama 1998, 菅野ら 1999, 古畑ら 2006a), Ehの低下 (井澤ら 1985) は出芽率を低下させることが報告されている。そして播種後落水によって土壌通気性を高めると麦稈施用やアンモニア態窒素濃度上昇による出芽・苗立ちの抑制が緩和される (古畑ら 2005b, 2006a)。このような播種後落水管理は土壌中での鞘葉の伸長抑制物質の影響を受けにくくする効果があると考えられる。

出芽は鞘葉が地上部に出現する現象である。この時の湛水土壤では地表数mmを除いて還元(低酸素)状態であり, 地表面(好気的環境)上まで伸長した鞘葉はシュノーケルのような役割を果たし, これによって生長点に送られた酸素を利用して第1葉を抽出する(山内 1997)と考えられている。さらに, 古畑ら(2005a)は, 湛水区では表層水の存在によって出芽直後に第1葉抽出に必要な酸素の供給が十分でなくなり, 鞘葉をさらに伸長させること, 播種後湛水土壤では微細なひび割れが生じると(久保寺・山田 1997), この孔隙を通じて地表から入った空気によって種子近傍の土壌通気性は向上し, 速やかに出芽から第2葉抽出へと移行することを示した。

一方, 播種後落水の効果の限界や落水導入に伴う問題も指摘されている。たとえば, 出芽揃い期以降の落水による生育促進効果は播種後湛水管理と比べて同等か, むしろ低下する場合もあること(土屋・丸山 2002), シラス土壤では土壌表面が硬化しやすく, 落水期間中に入水を行わない場合には出芽率が低下すること(竹牟禮ら 2000)が報告されている。また, 長期の落水により入水後の減水深が大きくなり, その状態で除草剤散布を行った場合には, 除草効果が低く, 残草量が多くなる可能性も考えられる。特に湛水直播栽培で現在も全国的に問題となっているノビエは, 九州などの暖地では播種後10日, 東北・北陸などの地域では播種後15日を過ぎると葉令が2.0を越えることが報告されている(森田 1995)。さらに, 北陸や東北のような播種時期が低温となる地域では出芽・苗立ち確保のための播種後落水管理の導入により, この時期の初期除草剤散布が制限されるために除草剤投入のタイミングを逸する場合があることが報告されている(酒井・佐藤 1998, 山本・菊池 2006)。

## (2) 落水管理における圃場条件と出芽・苗立ち

播種後落水管理を導入することを前提とした場合, 播種前の代かきの程度や落水のタイミング, 圃場の排水程度によってその効果は異なる。過度の代かきを行うと土壌表層

の土壌通気性向上は抑えられ, 出芽・苗立ちが低下すること(古畑ら 2005b), 播種後数日間の飽水状態(湛水深2mm~表土湿潤状態)後に落水した場合, 飽水期間だけではなく, 落水後も播種直後から落水した区に比べて土壌通気性が低く推移する可能性があること(古畑ら 2005c), 播種後落水を行った後でも圃場内で滞水した箇所では苗立ち数が少なく, 出芽した個体の生育も悪いこと(古畑ら 2005d)が報告されている。さらに, 代かきした水田土壤では地下へ浸透する水の割合は小さく, 播種後の落水は主に地表から圃場排水溝への排水で行う必要があるが, 地表から排水溝への排水の善し悪しは田面の凹凸によって決まること(田淵 1969), 圃場の均平性が不十分な場合には, 圃場内での局所的な水の停滞が起り, この部分の苗立ち数が減少すること(牧山・山路 1997), 水深が深い場所ではその後の草丈や低位節での分けつ発生が抑制されること(佐々木ら 2002)が報告されている。

圃場の大区画化は, 湛水直播水稻栽培を行う場合でも機械作業の効率向上をもたらす, 一層の省力化, 低コスト化が期待される(川崎 1989)一方, 圃場の大型化によって地表および地下方向への排水性は水田内の位置により大きく異なってくる(多田 1989, 山路 1989)。地表の排水性を高めるためには, 圃場に傾斜をつける, または均平精度を向上させる, 地表に排水溝を設けることが有効である(丸山 1975, 山路ら 1981)。また, 均平精度を高めることは圃場の残留水量, ピークとなる湛水深を浅くすることを可能とする(山路 1987)。現在はレーザー光測量・整地技術の開発(山路 1987)等によって旧来の整地, 代かき方式に比べて圃場の高低差をかなり小さくすることが技術的に可能となっている。

## 3. 種子コーティングおよび種子予措の効果

### (1) 過酸化カルシウムコーティングの特徴とその利用

山田(1951)は, 湛水土壤中に播種された水稻種子に対して過酸化カルシウムを酸素補給剤として利用できることを見いだした。その後, コーティングの固化剤としてシリカゲル(太田・中山 1970), ポリビニールアルコール(三石・藤田 1973)から, 焼石膏の利用(中村 1976)が考えられ, 現在の湛水直播栽培の多くが過酸化カルシウム剤(現在市販品の成分比は過酸化カルシウム16%, 焼石膏等の鉱物質84%)コーティング種子を利用している。湛水直播栽培で過酸化カルシウムコーティング種子を利用した場合, 播種期の低温や播種深(佐藤ら 1974, 三石・中村 1977), 播種深と過酸化カルシウム剤コーティング量の組み合わせ(田中ら 1986)によって出芽・苗立ちが影響を受けることが報告され, 過酸化カルシウム剤の土壌酸化効果は種子近傍にとどまり, 生育初期にその効果を失うことも明らかにされている(萩原ら 1990)。また, 当初, 過酸化カルシウム剤のコーティング量は北海道で乾初重の等倍量, 北海道を除いた地域で乾初重の2倍量で農業登録され

ていたが、播種時期の気温に留意すれば等倍量でも2倍量と同等の出芽・苗立ちが確保できることが報告され(吉永ら2007)、現在では北海道を除いた地域で等倍~2倍量のコーティング量で農薬登録されている。

過酸化カルシウム剤に薬剤あるいは別の資材を添加混合したコーティングが出芽・苗立ちに及ぼす影響についての検討も行われている。浸種時のジベレリン処理後の過酸化カルシウム剤コーティングの効果(太田・中山1970)、過酸化カルシウム剤への殺菌剤添加の効果(小川・太田1973)、過酸化カルシウム剤への殺虫剤の添加方法(松島ら2002)などについて報告があり、現在では過酸化カルシウム剤のコーティング時に殺菌剤および殺虫剤の添加・混入が行われている。また、過酸化カルシウム剤に粘土を添加混合したコーティング(中嶋ら1996)、過酸化カルシウム剤に珪酸塩白土を添加混合したコーティング(渡部ら1990)による出芽・苗立ち向上効果が報告されている。

## (2) 鉄コーティングの効果および問題点

近年、鉄資材をコーティングした種子を利用した湛水直播栽培が低コスト、鳥害回避の点から注目されている(山内2004, 2005a, b)。山内は、かつての稲作では土壤表面に催芽種子が播種されて初期生育が良好であったこと、過酸化カルシウム剤を利用した土壤中への播種では一定の播種深が求められることから、鉄コーティングによって浮き苗を抑制しながら、土壤表面播種によって初期生育量を確保するねらいでこの技術を開発した(注:山内稔2007, 鉄コーティング湛水直播技術と飼料用稲栽培への適用)。また、後に鳥害を回避する効果もあることが見いだされた(山内2003)。この鳥害回避効果はコーティングの皮膜が堅いため食べられない物理的効果であると説明されている(山内2004, 2005a, b)。これに関して、鉄コーティング種子と過酸化カルシウム剤コーティング種子を同じ圃場に播種した場合、過酸化カルシウム剤コーティング種子のみ畦畔から多くの種子の位置を確認することができ、その食害程度は鉄コーティング種子に比べて大きかった(古畑ら2007c)。また、焼石膏を加えて鉄コーティングした場合、還元鉄粉に対する焼石膏の混入比率を高めると種子表面の明度(白度)も高まること(古畑ら2008c)、還元鉄粉と過酸化カルシウム剤(焼石膏等の鉍物質84%含有)の混合比率を変えてコーティングした場合、過酸化カルシウム剤の比率の低下に伴って食害程度も低下するが、スズメに就いたものの摂食されなかった種子の割合も高まる(松村・古畑2007)。これらの報告は、種子表面の色調によるカモフラージュ効果、スズメが摂食時に鉄粉を忌避する効果も鉄コーティング種子の鳥害回避効果に含まれることを示唆している。

鉄コーティングした種子は、低温あるいは播種深が深い条件では過酸化カルシウム剤コーティングした種子に比べて出芽・苗立ちは明らかに遅れ、最終的な出芽・苗立ち率

は低下して初期生育量は小さくなる(古畑ら2007c)。また、鉄コーティング種子では、気温15~20℃で消毒液に24時間、さらに水道水に1~2日浸種した後に乾燥させた種子(以下活性化種子)を利用するのが一般的である(山内2004, 2005a, b)が、鉄コーティング種子に催芽種子を利用した場合、従来の活性化種子に比べて低温条件で出芽・苗立ちが早まって出芽・苗立ちが向上する(古畑ら2008d)。一方、催芽種子(あるいは浸種のみ行った種子)では籾水分が高いため、鉄コーティング種子を集積した場合、一定以上の厚さで短時間に発熱し(今川2006, 関矢ら2006, 吉住ら2006)、発熱によって発芽率の著しい低下が生じる可能性がある。この発熱を回避する方法として、発熱前に播種する(今川2006, 今川ら2008)、あるいは酸化鉄をコーティング資材のベースとして利用することで発熱を抑制する(関矢ら2006, 古畑ら2007d)方法が提案されており、これらの技術を導入・確立できれば、寒冷地での鉄コーティング直播栽培において出芽・苗立ちを早めることと発熱によるリスク低減を同時に達成でき、従来法に比べて寒冷地に導入するメリットが高まると考えられる。

## (3) 種子予措が出芽・苗立ちに及ぼす影響

種子予措が出芽・苗立ちに及ぼす影響については、塩水選、催芽、コーティング後加温処理などによる効果が報告されている。

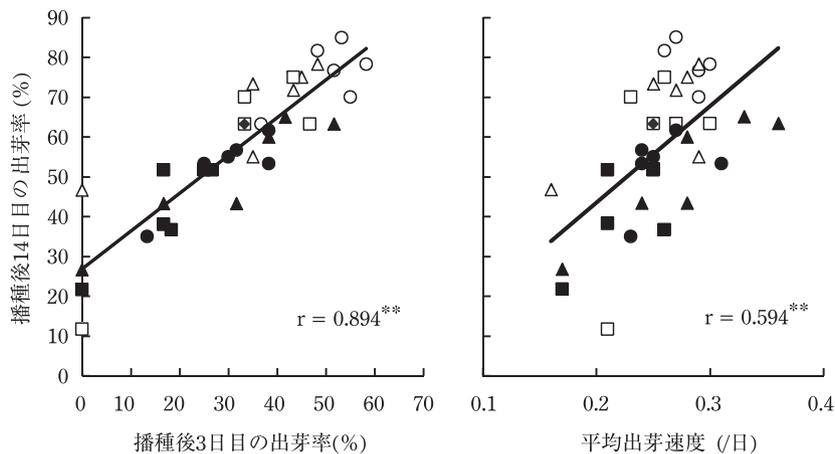
種子の塩水選については比重1.06未満の種子では発芽が明らかに遅れ、比重1.06以上の種子では発芽の遅れが見られないこと(栃本ら1996)、出芽率と塩水選による歩留まりから比重1.13前後が適当であること(渡部ら1990)が報告されている。また、催芽程度についてコーティングを前提とした場合、催芽せずに浸種のみとした種子は催芽種子に比べて苗立ちが低下しやすいこと(嶽石・福田1988)、種子が芽切る直前(藤井ら1989)、鳩胸程度まで(渡部ら1990)が最も出芽率が高く、鞘葉長が長い場合には出芽率が低下することが報告されている。これらの報告に対して、現在、種子の塩水選は比重1.13前後で行い、催芽程度は鳩胸状態とすることが湛水土中直播栽培における種子予措の基本技術となっている。また、コーティング後加温処理については、過酸化カルシウム剤コーティング後に3日間20~25℃の条件で貯蔵すると土中出芽性が向上すること(吉永ら2000)が報告され、寒冷地を中心にその効果が確認されている(東北農政局2004)。

## 4. 播種後の気象条件が出芽・苗立ちに及ぼす影響

一般的に九州のような暖地に比べて東北・北陸のような寒冷地で湛水直播栽培を行った場合、出芽・苗立ちは遅れて、必要な出芽・苗立ち率を確保しにくいと言われている。これに関して、松村(2007)は、育苗箱に催芽種子を播種後に低温条件におくと、日平均気温が同じでも日変化が小さい条件では、大きい条件に比べて初期生育は遅れ、生育

の個体差が拡大することによって苗立ち揃いが悪くなることを指摘している。また、代かき土壌中に催芽種子を播種した場合、気温日較差が小さい(昼夜温の差が小さい)場合は気温日較差が大きい場合に比べて出芽・苗立ちが遅れる傾向が認められるが、この傾向は日平均気温が低い条件で顕著となること、また異なる気温日較差に対する出芽の推移を温度に依存した反応式で説明できること(古畑ら2008a)が報告されている。さらに、この反応は催芽種子、鉄コーティング種子、過酸化カルシウムコーティング種子のいずれにおいても確認された(古畑ら2008b)。これらの報告は、北陸や東北のような寒冷地において日平均気温が

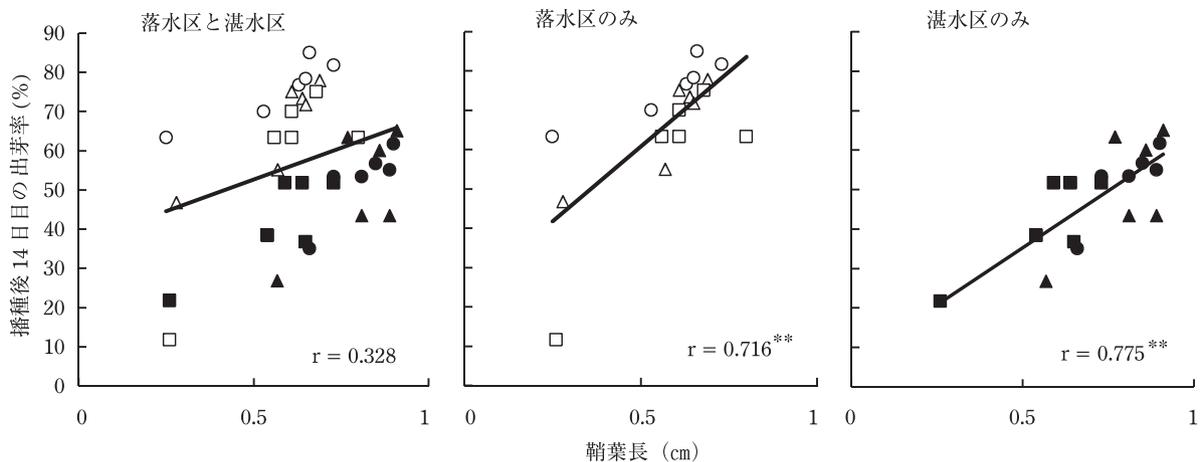
同じ気象条件であっても海風が吹いて日中の気温が上がりにくい沿岸部では、気温が上がりやすい内陸部に比べて出芽・苗立ちが遅れる可能性があることを示唆している。また、播種適期の目安となる気温について北陸地域では15℃前後で播種されており、東北地域では播種後20日間の平均気温が13.5℃以上(本馬ら2000)、15℃(東北農政局2004)必要であるとされている。しかしながら、従来のように播種後の日平均気温からのみの解析ではなく気温日較差を加味することによって、特に寒冷地においてよりきめ細かい播種適期の地域策定が可能となるかもしれない。



第1図 播種後3日目の出芽率および平均出芽速度と播種後14日目の出芽率との関係。

○：基肥標準量(N7.5g m<sup>-2</sup>施用)・播種後落水区, ●：基肥標準量・播種後湛水区, △：基肥2倍量・播種後落水区, ▲：基肥2倍量・播種後湛水区, □：基肥3倍量・播種後落水区, ■：基肥3倍量・播種後湛水区。\*\*は1%水準で有意な相関関係が有ることを示す。

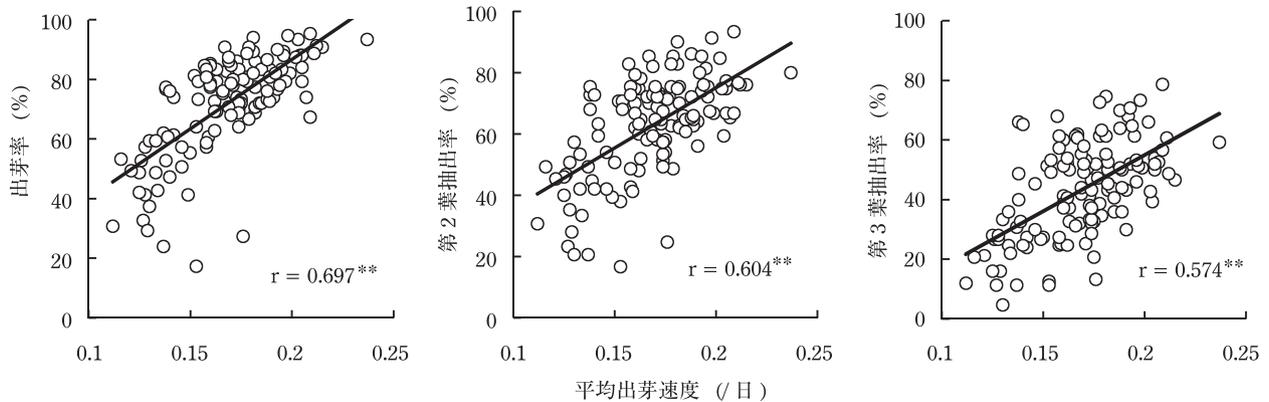
古畑ら(2006b)を改変。



第2図 播種後3日目の鞘葉長と播種後14日目の出芽率との関係。

○：基肥標準量(N7.5g m<sup>-2</sup>施用)・播種後落水区, ●：基肥標準量・播種後湛水区, △：基肥2倍量・播種後落水区, ▲：基肥2倍量・播種後湛水区, □：基肥3倍量・播種後落水区, ■：基肥3倍量・播種後湛水区。\*\*は1%水準で有意な相関関係が有ることを示す。

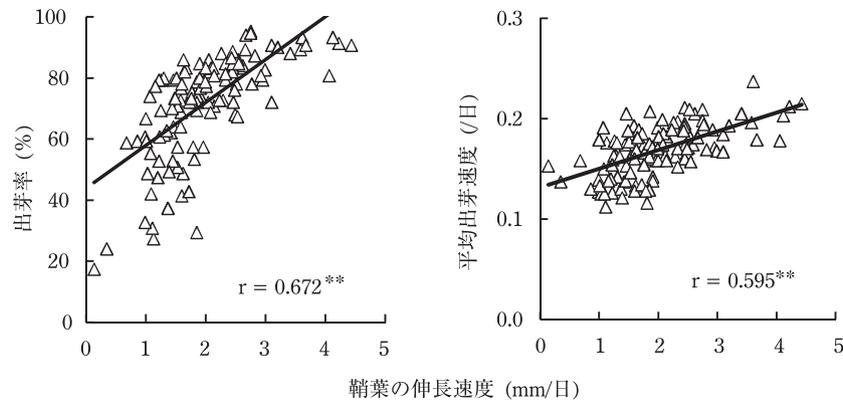
古畑ら(2006b)を改変。



第3図 コンクリート水田における播種後14日目までの平均出芽速度と出芽率、第2葉抽出率および第3葉抽出率との関係。

平均出芽速度は、 $n$ を播種後日数別の出芽数、 $t$ を播種後日数とし、 $\sum n / \sum (t \cdot n)$ として求めた。\*\*は1%水準で有意であることを示す。

古畑ら(2007a)を改変。



第4図 フラン瓶を利用した嫌気発芽条件下における鞘葉の伸長速度とコンクリート水田における出芽率および平均出芽速度との関係。

\*\*は1%水準で有意であることを示す。

## 5. 良出芽となる品種が持つべき特性および育種への利用

### (1) 良出芽品種が具備すべき特性

出芽・苗立ちに関連する形質として種子や胚の重さが検討されている。種子重(千粒重)と苗立ち率との関係について有意な相関関係が認められなかった事例(趙・高橋1999)、有意な相関が認められた事例(斉藤ら1995)がそれぞれ報告されている。また、日本型品種で胚重と出芽係数(25%の種子が出芽するまでに要した日数の逆数と最終出芽率を乗じた値)との間に相関が認められなかったこと(秋田ら1998)、玄米のフェノール反応や玄米(初)粒形から判別した結果、日本型品種はインド型品種に比べて土中出芽性が優れるものが多いこと(太田ら2003a)が報告されているが、これら種子特性の違いによって出芽・苗立ち性が異なるメカニズムについては明らかにされていない。

Ogiwara and Terashima (2001)は、発芽から苗立ち(第2葉抽出)までの過程について寒天培地を用いて観察を行った結果、発芽率50%~出芽率50%までの期間の長さが苗立ち率と最も高い相関があったことを報告している。また、

古畑ら(2006b)は、単一品種を供試して異なる施肥量、施肥位置、播種後水管理条件で土中播種した結果、出芽の遅速と最終的な出芽率との間には有意な相関関係が認められたこと(第1図)、播種後水管理の違いによって土中に播種された水稻種子の鞘葉長は異なること(古畑ら2005a)から、試験結果を湛水区と落水区に分けた場合、出芽開始直後の鞘葉長と最終的な出芽率との間に有意な相関関係が認められたこと(第2図)を見いだしており、出芽の遅速および出芽開始直後の鞘葉長の長短が最終的な出芽率に大きく影響している可能性を示唆した。さらに、古畑ら(2007a)は、国内外の複数の品種を供試してフラン瓶を利用した嫌気発芽試験およびコンクリート水田を利用した土中播種試験を行った結果、出芽の遅速と最終的な出芽率、第2葉および第3葉抽出率と有意な相関関係があること(第3図)、さらに嫌気発芽条件での鞘葉の伸長の良否が出芽の遅速および最終的な出芽・苗立ち率を決定づける要因であること(第4図)を報告している。また、出芽の遅れた個体は出芽後に枯死しやすいこと(古畑・楠田1998)、苗立ち率と第2葉の葉色との間には有意な正の相

関関係があること(趙・高橋 1999), イネでは実質的に第2葉抽出後に光合成が開始されること(三宅・前田 1973)が報告されている。これらの結果から, 品種あるいは栽培条件によって出芽が早まる場合は, 第2葉の抽出も早まって種子の養分に頼る従属栄養状態から光合成に頼る独立栄養状態へ早期に移行するため, 生育も安定して苗立ち率や初期生育量を確保しやすいこと, 反対に出芽が遅れる場合は, 出芽・苗立ち率が低下しやすく初期生育量を確保しにくいことが推察され, 良出芽品種が具備すべき特性の一つとして, 嫌気発芽条件(土中播種条件)で鞘葉の伸長性が優れることが必要であると考えられた。

## (2) 直播適応性が高い品種育成への取り組み

近年, 耐倒伏性に優れるなどの直播適応性の高い品種が育成されている(農林水産省 2008b)。これらの品種には, ふくひびき(平成5年 東北農試), どんとこい(平成6年 北陸農試), 味こだま(平成9年 新潟農試), いただき(平成12年 北陸農試), ミレニシキ(平成12年 農業研究センター), ふくいずみ(平成14年 九州沖縄農業研究センター), 萌えみのり(平成18年 東北農業研究センター)などが含まれているが, 必ずしも出芽・苗立ち性の選抜から育成された品種ではないため, 土中播種条件での出芽・苗立ち特性は大幅には改善されていない。

良出芽品種育成のため, 多くの出芽・苗立ち検定が行われ, 低温条件での出芽・苗立ち検定(佐々木 1974, 笹原・五十嵐 1989, 小高・阿部 1988)や育苗箱(Ogiwara and Terashima 2001, 萩原ら 2003b, 太田ら 2003a), シーダーテープ(太田ら 2003b)を利用した土中出芽検定が報告されている。さらに土壌を使わない検定法として, 寒天培地を利用した検定法(Ogiwara and Terashima 2001), 溶存酸素量が少ない湛水中では鞘葉のみが伸長する特性を持つこと(藤田ら 1972, Takahashi 1978)から, 試験管(Miuraら 2002), またはフラン瓶(八百板ら 1997, 古畑ら 2007a, b)を利用した検定法が報告されている。これらの出芽・苗立ち検定の結果, Italice Livorno, ASD1, Arroz da Terra, Ta Hung Kuなどが低温出芽・苗立ち性あるいは土中出芽・苗立ち性に優れる品種として選定され(萩原 1993, Biswas and Yamauchi 1997, Ogiwara and Terashima 2001, 太田ら 2003b), 良出芽品種育成のための交配母本として利用されている。

Miuraら(2002)は, Arroz da Terraを交配親として試験管を用いた鞘葉の低温伸長性の選抜と戻し交配により, この形質に関する準同質遺伝子系統である北海 PL8を育成し, この選抜方法が寒地における湛水直播栽培での苗立ち向上に有効であるとしている。また, 太田らは中国品種である Ta Hung Kuの土中出芽・苗立ち性が優れていることを明らかにし(2003b), Ta Hung Kuを交配親として土中出芽性に優れた北陸 PL3, 和系 375(関東 PL13)を育成した(太田ら 2004)。北海 PL8では Arroz da Terraの収量の低さが改善されているが, 玄米の外観品質は若干劣る。また,

北陸 PL3 および関東 PL13 では Ta Hung Kuの脱粒性, 耐倒伏性等が改善されているが, 収量性・玄米品質には問題がある。このため, これら系統を中間母本とした良出芽品種の育成が期待される。

## 6. 良出芽品種の種子代謝に関する研究

イネの発芽過程における種子の物質代謝の研究は以前より行われ(高橋 1962), 水稻種子の低温発芽性の生理については西山(1977a, b, c, d)が詳細にまとめている。さらに種子の糖代謝についても, 低温条件下での出芽・苗立ちと種子の $\alpha$ および $\beta$ -アミラーゼ活性との関係(尹ら 1996, 萩原・寺島 1996)や, 種子の糖代謝と出芽との関係(萩原ら 2003a, 古畑 2007a, b, Fukudaら 2008)について報告がある。種子の糖代謝については, 発芽時のイネ種子では胚盤部分でスクロースの合成が行なわれて, 地上部および地下部に送られること(Nomuraら 1969), 嫌気条件ではスクロースをUDP-グルコースとフルクトースに分解するスクロースシンターゼの活性が高まることが報告されている(Guglielminettiら 1995)。また, 鞘葉伸長期の胚乳内の $\alpha$ -アミラーゼ活性と低温での鞘葉伸長の遅速や苗立ち率との間には相関が認められず, 胚乳のデンプン分解以降の糖代謝が寄与している可能性が報告され(萩原・寺島 1996, 萩原ら 2003a), 鞘葉長と種子のグルコース含量との間に有意な正の相関関係が認められたこと(古畑ら 2007a, b), 異なる年次に採種された種子を供試した結果, いずれの年次に採種した種子もスクロースシンターゼ活性と鞘葉長との間に有意な正の相関関係が認められ, スクロース含量はスクロースシンターゼ活性および鞘葉長と高い相関関係を示す一方,  $\alpha$ -アミラーゼ活性との相関関係はみられなかったこと(Fukudaら 2008)が報告されている。鞘葉長と最も高い相関が認められる糖類が古畑ら(2007a, b)とFukudaら(2008)では異なったが, いずれの報告も鞘葉長と $\alpha$ -アミラーゼ活性との相関関係は認められないことから, 胚乳のデンプン分解以降の糖代謝が鞘葉の伸長に関与している可能性が高いと考えられる。これについては, 分子生理学的, 分子遺伝学的手法(QTL解析, マイクロアレイを用いた糖代謝関連遺伝子の発現解析, 糖代謝関連遺伝子のミュータントおよび遺伝子組み換えイネの解析など)の利用によって嫌気条件における糖代謝経路の解明および遺伝子発現について詳細な検討が必要であろう。

## 7. おわりに

本稿では, 湛水直播水稻の出芽・苗立ちについてのこれまでの知見を整理し, 今後の研究方向について論じた。現在, 湛水直播栽培のほとんどで土壌中への播種を前提とした過酸化カルシウム剤のコーティングと播種後落水管理の併用によって出芽・苗立ちの向上・安定化を図っている。一方, 鳥(スズメ, カモ, カラス等)の食害による出芽・苗立ちの低下, 除草体系の確立も生育初期での大きな問題

になっており、これらの問題解決を含めたさらなる技術開発が必要とされている。鉄コーティング直播栽培では鳥害回避の効果が複数確認されていることから、鳥による食害が多発している地域において過酸化カルシウム剤コーティング直播栽培に替わる技術として導入される可能性がある。しかしながら、鉄コーティング種子の出芽・苗立ちの特性が十分明らかにされていないことから、今後、過酸化カルシウム剤との比較を含め導入条件を詳細に検証していく必要がある。さらに、土壌中に播種した条件では、品種や栽培条件により出芽を早めることが出芽・苗立ち率を高めて初期生育の確保につながるが、出芽の早さには嫌気発芽条件での鞘葉の伸長速度が大きく寄与しており、これには胚乳のデンプン分解以降の糖代謝が寄与している可能性が高いことから、種子における胚乳のデンプン分解以降の糖代謝と鞘葉の伸長特性との関係を詳細に調査することによって、出芽・苗立ちが播種時の環境に左右されにくい品種の作出が可能になるかもしれない。一方、湛水直播水稻の出芽・苗立ちに関して種子代謝分野からの研究および分子生物学的方法を利用した研究は非常に重要であるが、種子代謝分野については筆者の力不足で十分な整理や論議ができておらず、分子生物学的方法を利用した研究については本稿に盛り込めなかった。今後はこれらの基礎的知見についても論議されることを期待したい。

謝辞：本稿の取りまとめにあたり、北陸研究センター三浦清之低コスト稲育種研究北陸サブチーム長、稲収量性研究北陸サブチームの山川博幹研究員には貴重なご助言をいただきました。心より感謝いたします。

## 引用文献

- 秋田重誠・尹炳星・柘木信幸 1998. 低温・湛水条件下でのイネの出芽速度と胚重の関係. 日作紀 67 : 318-322.
- 浅見輝男 1970a. 水田土壌中における遊離鉄の行動に関する研究 (第1報). -水田土壌中における遊離鉄の還元と土壌有機物-. 土肥誌 41 : 1-6.
- 浅見輝男 1970b. 水田土壌中における遊離鉄の行動に関する研究 (第2報). -水田土壌中における遊離鉄の還元とEh, pHの変化およびアンモニアの生成について-. 土肥誌 41 : 1-6.
- Biswas, J.K. and M. Yamauchi 1997. Mechanism of seedling establishment of direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.) under lowland conditions. Bot. Bull. Acad. Sin. 38 : 29-32.
- 嶽石進・福田兼四郎 1988. 湛水土壌中直播栽培の苗立ち安定化. 東北農業研究 41 : 43-44.
- 藤井潔・朱宮昭男・伊藤俊雄・工藤悟・久保田重正・小松勝夫 1989. 水稻湛水土壌中直播の出芽・苗立ちにみられる品種間差異と最適催芽程度. 育種 39 : 274-275.
- 藤田時雄・三石昭三・田淵志良 1972. 水稻の湛初直播に関する研究. 第1報 水中発芽と溶存酸素との関係. 日作紀 41(別1) : 37-38.
- Fukuda, A., S. Yoshinaga, K. Nagata and H. Shiratsuchi 2008. Rice cultivars with higher sucrose synthase activity develop longer coleoptiles under submerged conditions. Plant Prod. Sci. 11 : 67-75.
- 古畑昌巳・楠田宰 1998. 湛水直播における酸素発生剤被覆種子の出芽特性と出芽率の関係. 九州農業研究 60 : 14.
- 古畑昌巳・楠田宰・福島陽 2005a. 落水処理による土壌三相構造の変化が湛水直播水稻の出芽と苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 74 : 1-8.
- 古畑昌巳・楠田宰・福島陽 2005b. 代かき程度が湛水直播した水稻の落水条件下における出芽と苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 74 : 9-16.
- 古畑昌巳・楠田宰・福島陽 2005c. 湛水直播・落水栽培における落水時期が水稻の出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 74 : 134-140.
- 古畑昌巳・楠田宰・福島陽 2005d. 圃場における播種前の代かきおよび播種後の落水程度が打込み点播機を利用した湛水直播水稻の出芽と苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 74 : 212-217.
- 古畑昌巳・岩城雄飛・野間貴文・有馬進 2006a. 湛水土中点播水稻の初期生育に及ぼす打込み同時施肥と播種後落水の影響. 日作紀 75 : 7-12.
- 古畑昌巳・岩城雄飛・有馬進 2006b. 湛水土中直播水稻の出芽・苗立ちと出芽速度および種子の代謝産物との関係. 日作紀 75 : 182-1907.
- 古畑昌巳・岩城雄飛・有馬進 2007a. 出芽速度および嫌気条件下における鞘葉の伸長速度が湛水直播水稻の出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 76 : 10-17.
- 古畑昌巳・岩城雄飛・有馬進 2007b. 湛水土中直播水稻の出芽・苗立ちと鞘葉の伸長特性および種子の糖含量との関係. 日作紀 76 : 100-107.
- 古畑昌巳・帖佐直・松村修・湯川智行 2007c. 鉄資材の被覆が湛水直播水稻の出芽・苗立ちに及ぼす影響. -酸素発生資材との比較-. 日作紀 76(別2) : 2-3.
- 古畑昌巳・帖佐直・松村修・湯川智行 2007d. 鉄資材の被覆が湛水直播水稻の出芽・苗立ちに及ぼす影響. -異なる酸化程度とした鉄コーティング種子での比較-. 日作紀 76(別2) : 4-5.
- 古畑昌巳・原義隆・松村修 2008a. 風等の気象条件が湛水直播の出芽・苗立ちに及ぼす影響. -異なる気温と気温日較差での解析-. 日作紀 77(別1) : 10-11.
- 古畑昌巳・原義隆・松村修 2008b. 風等の気象条件が湛水直播の出芽・苗立ちに及ぼす影響. -低温条件下における異なるコーティング種子と気温日較差での解析-. 日作紀 77(別1) : 12-13.
- 古畑昌巳・帖佐直・松村修・湯川智行 2008c. 酸化鉄コーティング種子における異なるのり成分が湛水直播水稻の出芽・苗立ちに及ぼす影響. 北陸作物学会報 43 : 15-18.
- 古畑昌巳・帖佐直・松村修 2008d. 鉄資材の被覆が湛水直播水稻の出芽・苗立ちに及ぼす影響. -種子予措の効果-. 日作紀 77(別2) : 6-7.
- Guglielminetti, L., P. Perata and A. Alpi 1995. Effect of anoxia on carbohydrate metabolism in rice seedlings. Plant Physiol. 108 : 735-741.
- 萩原素之・井村光夫・三石昭三 1990. 酸素発生剤を被覆した水稻種初の新傍で起こる局所的土壌還元と発芽・出芽との関係. 日作紀 59 : 56-62.
- 萩原素之 1993. 水稻の湛水土壌中直播における出芽・苗立ちに関する研究. 石川農短大特報 20 : 1-103.
- Hagiwara, M. and M. Imura 1993. Seedling emergence and establishment of direct-sown paddy rice in soils incorporated with substances produced in reductive paddy soil. Jpn. J. Crop Sci. 62 : 609-613.
- Hara, Y. and K. Toriyama 1998. Ammonium nitrogen in soil solution and seed nitrogen affect the percentage of establishment of rice plants in

- submerged soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 44: 415-422.
- 本馬昌直・菊地栄一・三浦恒子・酒井博幸・小野寺郁夫・一守貴志・木野田憲久・小菅孝一・寺島一男・渡邊寛明 2000. 東北地域の水稲湛水直播における直播後落水管理の効果と適用条件. *東北農業研究成果情報* 14: 51-52.
- 今川彰教 2006. 東北地方における鉄コーティング直播栽培技術の導入. -コーティング法の改良-. *日作紀* 75(別2): 284-285.
- 今川彰教・松田裕之・柴田康志 2008. 東北地方における鉄コーティング直播栽培技術の導入. -播種時の高温が発芽に与える影響-. *日作紀* 77(別2): 4-5.
- 石崎博一・松田兼三 1969. 土壤条件が湛水直播水稲の発芽におよぼす影響. *三重農試研報* 4: 1-11.
- 井澤敏彦・平岡博幸・西山岩男 1985. 湛水直播水稲の苗立ちにおよぼす土壤還元の影響. 第1報 小麦わらおよび炭水化物添加土壌における酸化還元電位と湛水直播水稲の苗立ちとの関係. *日作紀* 54(別1): 24-25.
- 菅野千秋・佐藤健司・酒井博幸 1999. 土壌中のアンモニア態窒素濃度が直播水稲の出芽に及ぼす影響. *日作東北支報* 42: 5-7.
- 川崎健 1989. 水田区画と機械化作業. *農誌* 57: 29-34.
- 小高真一・阿部信行 1988. 低温条件下におけるイネの高出芽性品種の検索. *農業技術* 43: 165-168.
- 久保寺秀夫・山田一郎 1997. 極表層土壌の物理性が直播水稲種子の発芽に及ぼす影響. *土肥誌講演要旨集* 43: 3.
- 牧山正男・山路永司 1997. 直播稲作の現状と農業土木技術から見た湛水直播の問題解決の可能性. *農及園* 72: 1097-1102.
- 丸山幸夫 2001. 直播水稲の栽培技術-水管理-. 「農業技術体系作物編2 イネ. 基礎技術編」追録23号: 技402の1の8.
- 丸山幸夫 2002. 水稲栽培技術の現状と展望. *食糧月報* 7: 38-46.
- 丸山利輔 1975. 水田の水収支-とくに, 水田内における地表残留水量について-. *土壌の物理性* 32: 11-15.
- 松村修 2007. 飼料イネ品種の初期生育に及ぼす低温, 温度日変化等の影響. *北陸作物学会報* 42: 23-25.
- 松村修・古畑昌巳 2007. 鉄・過酸化石灰混合粉衣が直播水稲の害害と生育に及ぼす影響. *日作紀* 76(別2): 8-9.
- 松島憲一・田坂幸平・吉永悟志・脇本賢三 2002. 酸素発生剤とイミダクロプリド剤を混和被覆した水稲種子の湛水土中出芽性. *日作紀* 71: 389-393.
- 三石昭三・藤田時雄 1973. 水稲の直播栽培に関する研究. 第2報 湛水土壌中発芽の幼植物各器官の伸長について. *日作紀* 42(別1): 145-146.
- 三石昭三・中村喜彰 1977. 水稲の湛水土壌中直播栽培に関する研究. 第1報 過酸化石灰の粉衣方法と粉衣量. *日作紀* 46(別1): 35-36.
- Miura K., M. Kuroki, H. Shimizu and I. Ando 2002. Introduction of the long coleoptile trait to improve the establishment of direct-seeded rice in submerged fields in cool climates. *Plant Prod. Sci.* 5: 219-223.
- 三宅博・前田英三 1973. イネ葉身における維管束鞘内葉緑体の発達について. *日作紀* 42(別2): 107-108.
- 森田弘彦 1995. 水稲直播栽培における雑草防除の現状と問題点. *植物防疫* 49: 9-15.
- 中嶋泰則・関稔・高橋成徳 1996. 酸素発生剤と粘土の混合種子被覆による湛水直播水稲の出芽促進. *日作紀* 65: 430-436.
- 中村喜彰 1976. 湛水直播用コーティング種子の基礎的研究. *農機誌* 38: 75-78.
- 西山岩雄 1977a. イネの直播栽培における冷温障害とその生理 (1). -とくに発芽および初期生育について-. *農及園* 52: 1353-1357.
- 西山岩雄 1977b. イネの直播栽培における冷温障害とその生理 (2). -とくに発芽および初期生育について-. *農及園* 52: 1480-1482.
- 西山岩雄 1977c. イネの直播栽培における冷温障害とその生理 (3). -とくに発芽および初期生育について-. *農及園* 53: 30-34.
- 西山岩雄 1977d. イネの直播栽培における冷温障害とその生理 (4). -とくに発芽および初期生育について-. *農及園* 53: 263-267.
- Nomura, T., Y. Kato and T. Akazawa 1969. Enzymic mechanism of starch breakdown in germinating rice seeds. II. Scutellum as the site of sucrose synthesis. *Plant Physiol.* 44: 765-769.
- 農林水産省 2008a. 農業経営統計調査 平成19年産米生産費 <http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/seisanhi-kome2007/seisanhi-kome2007.pdf> (2008/10/3閲覧).
- 農林水産省 2008b. 直播の現状と課題. <http://www.maff.go.jp/j/seisan/nousan/zikamaki/genzyo/pdf/all.pdf> (2008/10/3閲覧).
- 小川正巳・太田保夫 1973. 水稲の直播栽培におけるカルバーとタチガレンの混用処理効果. *農及園* 48: 1297-1300.
- 荻原均・寺島一男 1996. 出芽時におけるイネ種子の $\alpha$ -アマラーゼ活性および糖類蓄積の品種間差異. *日作紀* 65(別2): 249-250.
- Ogiwara, H. and K. Terashima 2001. A varietal difference in coleoptile growth is correlated with seedling establishment of direct seeded rice in submerged field under low-temperature conditions. *Plant Prod. Sci.* 4: 166-172.
- 荻原均・寺島一男・趙志超・福田あかり・吉永悟志 2003a. イネの低温苗立ち性と成熟種子胚中の $\gamma$ -シヨ糖含量との関係. *東北農業研究成果情報* 17: 33-34.
- 荻原均・川村陽一・扇良昭・谷口岳志・趙志超・吉永悟志・寺島一男 2003b. 育苗箱を利用したイネ品種の低温苗立ち性の検定方法と苗立ち性の異なる品種を基準品種として用いた評価法. *日作紀* 72: 301-308.
- 大場茂明 1997. 落水出芽法の由来. *農業技術* 52: 33-34.
- 太田久稔・井辺時雄・吉田智彦 2003a. 水稲の湛水土中栽培における出芽性の検定方法と遺伝的変異. *日作紀* 72: 50-55.
- 太田久稔・上原泰樹・井辺時雄・吉田智彦 2003b. 水稲の湛水土中直播栽培における土中出芽性の新たな検定方法と土中出芽性の新たな遺伝資源. *日作紀* 72: 295-300.
- 太田久稔・笹原英樹・小牧有三・上原泰樹・安東郁男・井辺時雄・吉田智彦 2004. 水稲の湛水土中直播栽培における優れた系統の選抜・育成. *日作紀* 73: 450-456.
- 太田保夫・中山正義 1970. 湛水条件における水稲種子の発芽におよぼす過酸化石灰粉衣処理の影響. *日作紀* 39: 535-536.
- 大塚一雄・田村真美・鈴木計司 1988. 稲麦二毛作北限地帯における小麦跡湛直栽培に関する研究. 第2報 麦跡湛直の出芽苗立確保. *日作紀* 57(別1): 283-284.
- 斉藤邦行・佐藤貴之・黒田俊郎 1995. 深水下における水稲種子の出芽・苗立ち性の品種間差異. *日作紀* 64: (別2) 37-38.
- 酒井究・佐藤勉 1998. 水稲湛水直播栽培における除草剤使用適期の推定法. *植調* 32: 106-109.
- 笹原健夫・五十嵐弘 1989. 播種時期を異にした場合の水稲品種の出芽・苗立ち率の変動. -湛水土壌における出芽・苗立ち率の検定に関する考察-. *農及園* 64: 915-920.
- 佐々木良治・柴田洋一・鳥山和伸 2002. 大区画水田における田面の高低が直播水稲の初期生育と分けつに及ぼす影響. *日作紀* 71: 308

- 316.
- 佐々木多喜雄 1974. 稲品種の低温発芽性に関する育種学的研究. 北海道立農試報 24 : 1-90.
- Sato, T. and S. Maruyama 2002. Seedling emergence and establishment under drained conditions in rice direct-sown into puddled and leveled soil-Effect of calcium peroxide seed coating and sowing depth-. Plant Prod. Sci. 5 : 71-76.
- Sato, T. and S. Maruyama 2005. Seedling growth and dry-matter production under drained conditions in rice direct-sown into puddled and leveled soil. Plant Prod. Sci. 8 : 209-215.
- 佐藤勉・島山武・中谷治夫 1974. 水稻の埋没直播栽培に関する研究. 第 1 報  $\text{CaO}_2$  粉衣種子の出芽および気温と埋没深度の影響. 日作紀 43(別 2) : 165-166.
- 関矢博幸・西田瑞彦・加藤直人 2006. 有機物多量施用条件下における飼料用稲鉄コーティング種子の苗立ち. 東北農業研究 59 : 45-46.
- 田淵俊夫 1969. 土壤物理. 第 6 章 水田土層と水移動. 第 4 節 粘土質の水田土層の排水. 養賢堂, 東京. 261-267.
- 多田敦 1989. 大区画水田と水田構造—排水を中心として—. 農土誌 57 : 185-190.
- 高橋久光・増岡彩子・太田保夫 1998. 湛水土壤中直播栽培における落水処理がイネの初期生育および収量に及ぼす影響. 日作紀 67(別 1) : 252-253.
- 高橋成人 1962. 稲種子の発芽に関する生理遺伝学的研究. 東北大農研彙報 14 : 1-87.
- Takahashi, N. 1978. Adaptive importance of mesocotyl and coleoptile growth in rice under different moisture regimes. Aust. J. Plant Physiol 5 : 511-517.
- 竹牟禮稜・吉永悟志・脇本賢三・吉田典夫 2000. シラス土壤における水稻湛水直播栽培の落水出芽法が土壤条件および出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 69 : 30-31.
- 田中英彦・山崎信弘・天野高久 1986. 直播水稻の苗立率に及ぼす播種深度と過酸化石灰被覆量の影響. 日作紀 55(別 2) : 29-30.
- 栃本義博・野口雅弘・樋口正・田坂幸平・屋代幹雄・梶木信幸 1996. 水稻湛水直播における出芽性向上技術. 日作紀 65 : 221-222.
- 東北農政局 2004. 水稻直播栽培技術のポイント東北版. <http://www.maff.go.jp/tohoku/seisan/gizyutu/index.html> (2008/10/3 閲覧).
- 土屋学・丸山幸夫 2002. 出芽苗立期の落水管理による湛水直播水稻の生長促進. —落水期間の影響—. 日作紀 71(別 1) : 154-155.
- Tsuchiya, M., T. Sato and S. Maruyama 2004. Growth enhancement by drainage during seedling establishment in rice direct-sown into puddled and leveled soil. Plant Prod. Sci. 7 : 324-328.
- 渡部富男・和田潔志・小山豊・西川康之・恵畑康利 1990. 水稻の早期栽培地帯における湛水土中直播栽培法に関する研究. (2) 出芽・苗立ちの安定化. 千葉農試特報 17 : 3-21.
- 山田登 1951. 過酸化石灰による酸素の供給 (予報). 日作紀 21(別 1) : 65-66.
- 山路永司・富田正彦・竹中肇・岩淵吉博 1981. 3 次元囲い込みモデルによる地表水残留状況の検討—大区画汎用圃場に関する研究 (I)—. 農土論集 94 : 16-22.
- 山路永司 1987. レーザー光測量の大区画圃場整備への応用. 農及園 62 : 943-948.
- 山路永司 1989. 大区画水田の均平. 農土誌 57 : 191-196.
- 山本倫子・菊池晴志 2006. 水稻湛水直播における播種後落水期間中に使用できる初期除草剤の効果. 東北農業研究 59 : 41-42.
- 山内稔 1997. 湛水土壌中における直播水稻の苗立ち. 土肥誌 68 : 467-476.
- 山内稔 2001. 鉄毒性の回避に基づいた水稻の無コーティング湛水直播. 日作紀 70(別 1) : 10-11.
- 山内稔 2003. 鉄コーティング湛水直播栽培の概要. 日作紀 72(別 1) : 4-5.
- 山内稔 2004. 水稻の鉄コーティング湛水直播. 農及園 80 : 947-953.
- 山内稔 2005a. 「動散で播く鉄コーティング種子 雑草と鳥害をクリア！」現代農業 84 : 114-117.
- 山内稔 2005b. 浮き苗と鳥害を防ぎ, いつでもまける鉄コーティング種子. 「農業技術体系作物編 2 イネ. 基礎技術編」追録 27 号 : 技 402 の 1 の 7 の 2-8.
- 八百板正則・長谷川浩・山口弘道 1997. 嫌気条件におけるイネ種子の出芽・苗立ち性の検定法. 日作紀 66(別 2) : 1-2.
- 吉永悟志・富樫辰志・脇本賢三・下坪訓次 1997. 水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究. 4. 播種後の水管理が出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 66(別 2) : 3-4.
- 吉永悟志・脇本賢三・富樫辰志・田坂幸平 2000. 土中出芽性向上のための酸素供給剤被覆水稻種子の乾燥および貯蔵条件. 日作紀 69 : 146-152.
- 吉永悟志・境谷栄二・吉田宏・山本晶子・若松一幸・菊地栄一・本馬昌直 2007. 東北地域的水稻湛水直播栽培における酸素発生剤被覆量と苗立ちとの関係. 日作紀 76 : 445-449.
- 吉住佳与・渡邊寛明・山口弘道・木村勝一・河本英憲 2006. 飼料イネ品種「べこあおば」における鉄コーティング種子の放熱経過と発芽に及ぼす活性化処理, 種子内水分及び置床前加温の影響. 東北農業研究 59 : 49-50.
- 尹炳星・山口淳二・秋田重誠 1996. 出芽性とデンプン分解酵素活性の関連性にみられる水稻品種間差. 日作紀 65(別 2) : 55-56.
- 趙志超・高橋清 1999. 栽培イネ (*Oryza sativa* L.) の出芽・苗立ちに関与する 2, 3 の要因. 日作紀 68 : 379-384.
- 周紅・森田脩・江原宏 2003. 湛水土壌中散播イネにおける苗立ち型別の生育と収量の特徴. 日作紀 72 : 177-184.

**Improvement of Seedling Emergence and Establishment of Rice Direct Seeded in Flooded Paddy Fields** : Masami FURUHATA (*Natl. Agr. Res. Cent., Hokuriku Res. Cent., Joetsu 943-0193, Japan*)

**Abstract** : In our country, the work of raising seedlings and transplantation occupies one-quarter of the working hours for growing rice. Introduction of direct seeding culture is expected to reduce the cost and labor for rice farming. However, direct seeding culture is not widespread and is used for only about 1% of the land for rice cultivation. The main reason is thought to be the unstable seedling emergence after direct seeding. In this paper, studies on the factors related to seedling emergence and establishment including the effect of drainage after seeding, the field conditions required for efficient drainage after seeding, the effects of calcium-peroxide and iron-coating of seeds and seed pretreatment, the meteorological conditions after seeding, the characteristics necessary for excellent seedling emergence and its use for breeding, and the sugar metabolism in the seed related to seedling emergence are reviewed. The direction of future research is also discussed.

**Key words** : Coleoptile length, Direct seeding in flooded paddy field, Draining of flooded water, Rice, Seedling emergence rate, Seedling establishment, Sugar metabolism of seed, Variety.

---