

産業用無人ヘリコプターを利用した 水稲鉄コーティング湛水直播栽培

国立研究開発法人
農業・食品産業技術総合研究機構
東北農業研究センター

白土 宏之

現状と特徴

水稲の直播栽培は農家の高齢化、大規模化を背景に普及面積が増加してきており、2012年の普及面積は23,750haで、水稲作付面積の1.5%になっている。鉄コーティング直播栽培は2014年の面積が12,000ha（全農推定）と直播面積のおよそ半分を占めるに至っている。その中で産業用無人ヘリコプタ（以下無人ヘリ）による播種面積は全国で700から750ha程度と推定されている（ヤマハ発動機（株）推定）。無人ヘリの2013年の登録台数は2,458機あり、安定した栽培が可能になれば普及面積拡大の余地は大きい。ここではカルパーコーティング種子の無人ヘリ播種との比較を交えながら、無人ヘリを利用した鉄コーティング湛水直播栽培の特徴と注意点、問題点を整理する。

無人ヘリは高価なため、播種は防除用に所有する機械を流用するか、作業委託により行われる。作業委託のメリットについて、委託側と受託側それぞれの面から述べる。

まず、委託側のメリットとして、機械投資をせずに導入できるという点が挙げられる。機械投資をしなければ、万一直播栽培が上手くいかなくても撤退が容易であり、気軽に直播栽培に取り組むことが可能となる。また、直播栽培面積が小さい場合、播種機を購入すると減価償却費を押し上げ、直播の低コスト化効果を低減させてしまう。

委託費用の一事例では、コーティングと播種、初期除草剤散布で10,450円/10a（種子は持ち込み）であり、苗を購入して移植作業を委託する場合の22,350円/10a（苗25枚の場合、秋田県大仙市）よりかなり安い。このような点では、経営規模が小さい場合にはメリットが大きいと言える。また、田植機が老朽化した場合、更新せずに播種を委託するという選択肢もありえる。一方、複合経営や大規模経営で春作業の労力が逼迫しているような場合にも、労働力のピークを削減できるという点で委託のメリットがある。

次に受託側のメリットとして、無人ヘリの稼働率を上げられることがある。播種時期は無人ヘリが空いており、有効利用に繋がる。無人ヘリは運搬が容易で作業能率が高いため、乗用の播種機より広い範囲について受託することが可能である。また、自らの経営水田で播種する場合は、播種機への投資が不要であるというメリットもある。

鉄コーティング種子は長期保存が出来るため、コーティングの作業委託が可能であり、農協や業者が受託している例がある。鉄コーティングはカルパーコーティングほど技術的に難しくはないものの、自然乾燥には乾燥場所や手間が必要で、乾燥が不十分な場合は発熱により発芽力が低下する恐れがある。受託元では鉄コーティング種子大量製造装置により鉄コーティング種子が能率よく製造されている。コーティングを委託できることにより、農家はコーティングマシンや資材の購

入、コーティング技術の取得といった面倒な作業から解放される。このことが、鉄コーティング直播の普及拡大の要因となっていると思われる。

栽培のポイント

品種

鉄コーティング直播はカルパーコーティング直播より倒伏指数が大きく（佐藤・東2013）、転び型倒伏しやすいため耐倒伏性の強い品種が向いている。散播は点播より転び型倒伏しやすいため（吉永ら2001、寺島ら2002）、点播よりも耐倒伏性品種の重要性が大きい（山内2010）。

鉄コーティング直播では、前年と異なる品種を用いると漏生により品種が混じる。特に、前年倒伏した水田では、刈り残した籾が大量に落ちていることがあり、大量に漏生イネが発生する可能性が高い（図-1）。漏生を防ぐには、復元田を用いたり、1年目は移植栽培



図-1 短稈中生品種「えみのあき」中に発生した早生品種「あきたこまち」の漏生イネ
出穂しているのが漏生イネ。秋田県大仙市。2014年8月8日。

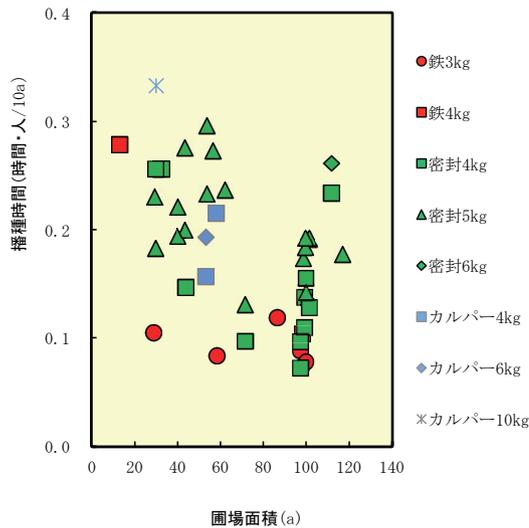


図-2 圃場面積と無人ヘリによる播種時間

凡例はコーティングと10a当たり乾籾換算播種量。コーティング比は鉄と密封式鉄が0.5倍、カルパーが2倍。密封式鉄コーティングとは、コーティング後密封して、酸化・乾燥させずに播種する方式。カルパーのデータは勝部・山本(1998)、八重樫・伊藤(2002)、山田(1998)による。山田(1998)は播種量毎の圃場面積を特定できなかったため、2枚の圃場の平均値を用いた。無人ヘリの機種は20kgの粒剤が積載できるR-MAX, AYH-3, FAZER。

を行い、翌年同じ品種で鉄コーティング栽培を行う。

播種

鉄コーティングには苗立向上効果はないため、土壌の表面に播種する必要がある。そのため、無人ヘリから播種する場合、5cm程度に湛水して播種し、種子の落下速度を減速して土壌への埋没を防ぐ。湛水すればよいので、大区画圃場でも容易に播種に適切な条件を実現できる。

一方、カルパーコーティング種子の無人ヘリによる播種は、一定の普及は見られたものの(酒井ら1998a)、広く普及するには至らなかった。その一因は、安定した苗立ちが得られる播種深度5~10mm(酒井ら1998b)の確保が困難であり(鍋島・岩井2000)、圃場全面を土中播種に適した状態にするのは難しいこと(牧山2002)にあると思われる。

隣接田と異なる品種を用いる場合、隣接田への異品種混入を防ぐため畦際は無人ヘリで播種せず、動力散布機などで隣接田に入らないように播種する。この畦際播種の作業時間は平均0.028時間・人/10aであった。無人ヘリで畦際だけ散布機の回転数を落とすという方法もメーカーより提案され

ている。

無人ヘリの播種能率は高く、最速の事例は0.072時間・人/10aであった。一般的には0.1から0.2時間・人/10a程度の場合が多い(図-2)。播種時間は水田の面積が広ほど短い傾向にあるが、鉄コーティング3kg/10a播種の事例のように熟練したオペレーターであれば面積にかかわらず0.1時間・人/10a程度で播種できる。作業全体に占める補給時間は平均32%であった。また、離着陸時間は1回77秒で播種作業全体の26%を占め、積載量10kgの機種R-50でカルパーコーティング種子を散播した場合(三原ら1992)と同様の結果であった。したがって、最大積載量の増加や播種量の減少により補給回数が減れば播種作業時間を短縮できる(堀尾ら1998)。カルパーコーティング種子の直播では最大積載量の10kgから20kgへの増加により播種作業能率が向上した(勝部・山本1998、八重樫・伊藤2002)。さらなる最大積載量向上による作業能率の向上が期待される。というのも航空機製造事業法における規制対象となる最大離陸重量が2014年に100kgから150kgへ引き上げられ、エンジン出力が向上した新型機FAZERが発売されているからである。

密封式を含む鉄コーティング種子の播種時間は、同じ播種量の2倍重カルパーコーティング種子に比べて短いとは言えなかった(図-2、密封式鉄コーティングはコーティング後密封して酸化・乾燥させずに播種する方式(今川2009))。しかし、補給回数が少なく済むという点では、鉄コーティング種子の方がカルパーコーティング種子より有利である。0.5倍重鉄コーティング種子の重量は乾籾の約1.7倍、密封式鉄コーティングは約1.9倍で2倍重カルパーコーティング種子の約3.3倍より軽い。

無人ヘリ播種は大区画の整形水田に適してはいるが、小区画や不整形であっても連続していれば畦越しに効率的に播種することが可能と考えられる。一方、このような圃場では、乗用型播種機は回転数が増えたり、重複して走行する割合が増えたりして播種能率が低下する。

苗立

宮城県の津波被災地除塩圃場でおこなった試験では、同じ品種による比較ではないが、無人ヘリによる散播の苗立率は $51 \pm 14\%$ (平均 \pm 標準偏差)で、点播機の $52 \pm 8\%$ と平均値の差はなかったが、標準偏差はやや大きかつ

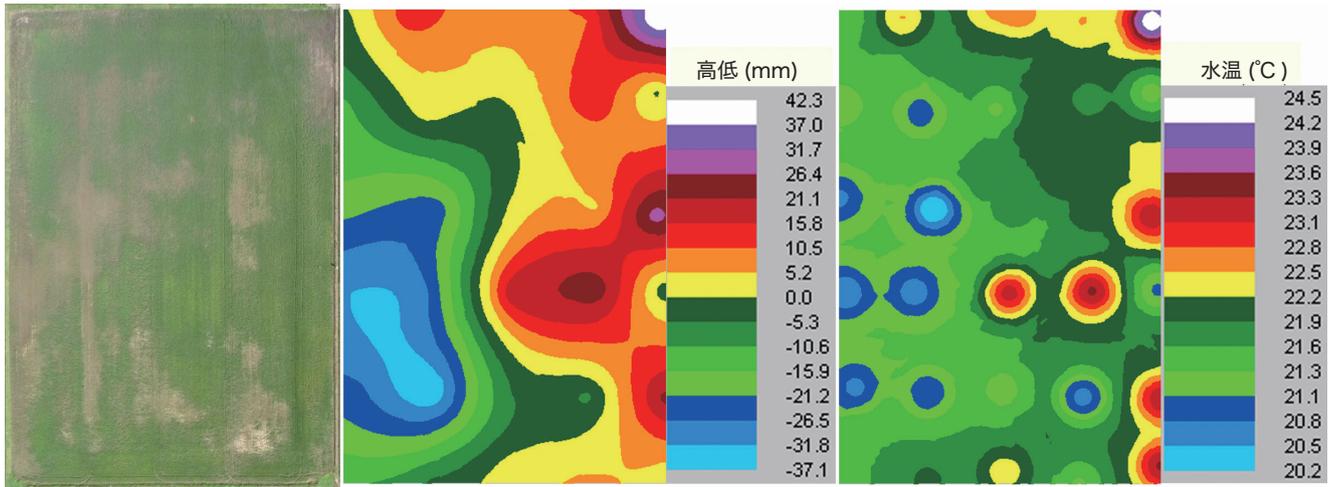


図-3 無人ヘリによる密封式鉄コーティング直播圃場の苗立ち (左, 8月4日), 田面の高低 (中), 水温 (右, 5月19日) (秋田県仙北市, 2011年)

た。無人ヘリ散播の苗立ちは、枕地付近では点播より劣る場合がみられた。

無人ヘリによる散播の場合、田面の低い箇所では苗立ちが悪い場合が見られた(図-3)。その要因は、田面の低い箇所は排水が悪いこと、水深が深く、水温が低いことと考えられた。そのため、レーザーレベラー等で圃場を均平にすることが望ましい。

無人ヘリによる散播は播種後の強風により種子の埋没や吹き寄せが生じ、苗立ち不良箇所が生じる場合がある。

種子の埋没は、強風による波で田面が代かきしたようにとろとろになって種子が埋没し、苗立不良となる現象である(図-4)。種子の埋没は風下側の畦際に20mくらいの幅で生じる場合が多いが、全面で生じ苗立率が2%になった事例もある。種子の埋没は点播圃場ではこれまで確認していない。これは、散播圃場は代かき後湛水して播種時の土壌表面が柔らかいのにに対し、点播圃場は播種時に落水すること、播種機のフロートで田面を押さえるため土壌表面がある程度固くなるためではないかと思われる。

種子の吹き寄せは播種後の強風により田面に水流が生じて種子が流される現象である。種子が流された箇所は苗立不足となり、種子が集まった場所は



図-4 強風による波浪で種子が埋没したと思われる箇所
2014年5月20日, 無人ヘリによる密封式鉄コーティング直播圃場, 秋田県能代市

倒伏しやすくなる(図-5)。播種時の水深が7.3cmの圃場では吹き寄せられなかったが、播種時の水深が10cm以上と深かった隣の圃場で吹き寄せが生じた事例があった。経験上、播種時の水深が10cmを越えると吹き寄せが生じる可能性がある。吹き寄せは点播圃場ではこれまで確認していない。点播圃場では播種時に落水するため、種子が土壌表面に密着するからであると思われる。

鉄コーティング種子はスズメ(山内 2003; 白土ら 2012)に対してある程度の鳥害抑制効果が認められている。スズメ害はカルパーコーティング種子でも落水して適正な播種深度で種子露出を防げば抑制される(酒井ら 1998b)。しかし、無人ヘリでは落水

播種しても5~10%種子が露出してしまい、落水出芽ではスズメ害が生じる(山本ら 2003)。このように、無



図-5 無人ヘリによる鉄コーティング種子散播圃場で生じた種子の吹き寄せ(上, 7月11日)と倒伏(下, 10月5日)
2012年, 宮城県東松島市, ひとめぼれ下の写真で色の淡い部分は倒伏箇所

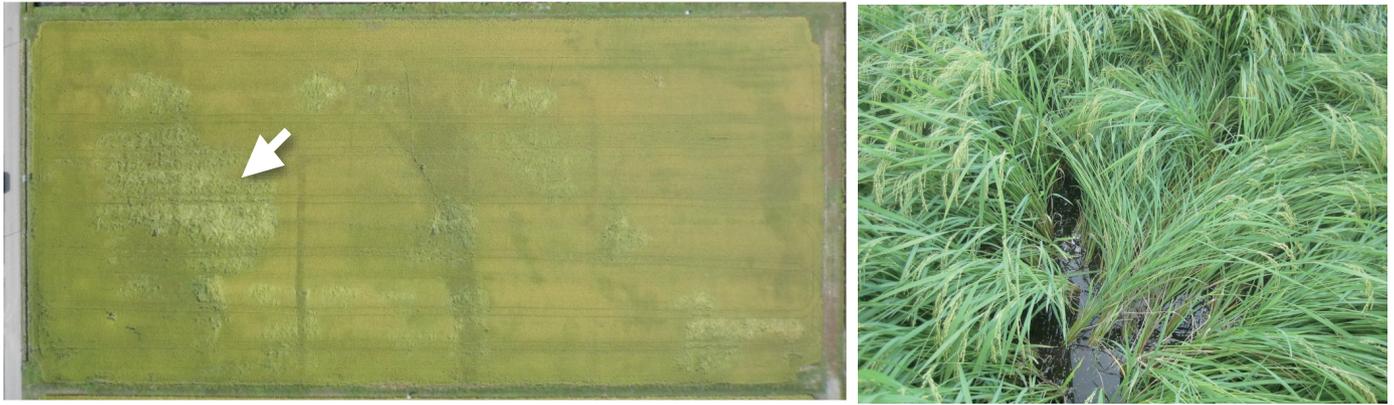


図-6 無人ヘリで「萌えみのり」の密封式鉄コーティング種子を散播した圃場の倒伏状況（秋田県美郷町）
圃場全体（左、2009年9月18日）と矢印の倒伏箇所（右、2009年9月10日）
左図の色の淡い箇所が倒伏箇所

表-1 無人ヘリによる初期除草剤散布時間

剤型	散布時間（時間・人/10a）	
	平均	標準偏差
3キロ粒剤	0.069	0.018
1キロ粒剤	0.059	0.017
フロアブル剤	0.072	0.026
分散分析	ns	

3名または4名の組作業
無人ヘリの機種は20kgの粒剤が積載できる
R-MAX, AYH-3, FAZER。

人ヘリ播種の場合は鳥害防止の点で鉄コーティングの方が優れている。

除草

無人ヘリによる鉄コーティング直播では播種直後に初期除草剤を施用し、稲1葉期を待って初中期除草剤を散布するのが一般的である。無人ヘリで播種する場合、初期除草剤の散布も無人ヘリで行われる場合が多い。無人ヘリに登録のある初期除草剤は4種類ある。粒剤は部品を交換することなく散布できるので、作業性がよい。無人ヘリによる初期除草剤の散布時間は、1キロ粒剤がやや短く、3キロ粒剤とフロアブル剤が同程度であった（表-1）。フロアブル剤の場合は散布器の交換に平均0.33時間・人かかった。

鉄コーティング直播栽培では初期除草剤の施用により除草は比較的安定しているものの、中後期剤が必要となる

場合もある。しかし、液体の中後期剤は、特に大区画水田では、乗用管理機がなければ均一な散布は難しく、散布手段がない場合も多い。現在は中後期剤で無人ヘリによる散布が可能な除草剤は粒剤の一部に限られているが、今後無人ヘリで散布できる中後期剤が増えると直播栽培の雑草防除は容易になる。特に高葉齢のノビエにも効果があるシハロホップブチル乳剤等の無人ヘリ散布の登録拡大が望まれる。

施肥

散播は点播より倒伏しやすいので、特に倒伏に弱い品種の場合は、施肥量を移植栽培の8から9割とする（山内2010）。追肥は背負い式動力散布器を使って行われることが多く、重労働であるが、無人ヘリを使えば、作業能率も高く、軽作業化が可能となる。無人ヘリで追肥をする場合、散布重量が大きいので最大積載重量が問題となるが、窒素成分含有率の高い無人ヘリ追肥用の肥料等により、ある程度この問題を回避できる。

農林水産省と復興庁の委託プロジェクト「食料生産地域再生のための先端技術展開事業」の中で、無人ヘリを使って生育指標である正規化植生指数（NDVI）の分布を取得する研究が進められている。このような研究が進めば、

水稻の生育に応じて追肥量を変動させる「可変施肥」が無人ヘリで可能になるであろう。

倒伏

散播の方が点播より転び型倒伏しやすい（吉永ら2001b, 寺島ら2002）。点播は転び型倒伏しにくくなる1株の穂数10本以上を実現しやすいが、散播では苗立数を減らさないと実現できない（吉永ら2001a）。小さな株で転び倒伏しやすい理由は、根の支持力の作用点と倒伏時の回転中心点距離が短くなり、株支持力モーメントが低下するからであると考えられている（寺島ら2002）。鉄コーティング直播でも同様だと思われる。

短稈品種「萌えみのり」でも登熟期間に滞水している箇所転び型倒伏が見られた（図-6）。そのような場所は土壌が柔らかく、押倒抵抗値が小さいために転び型倒伏すると考えられた（図-7）。このような倒伏を避けるためには、レーザーレベラーによる均平化や、明渠や暗渠による排水促進による土壌硬化が必要である。

土壌の堅さは出穂期に足が沈まないことが一つの目安となる。足が沈む水田では台風で株が傾いたが、隣接する足が沈まない水田では傾かなかった。いったん株が傾いてしまうと、株を倒

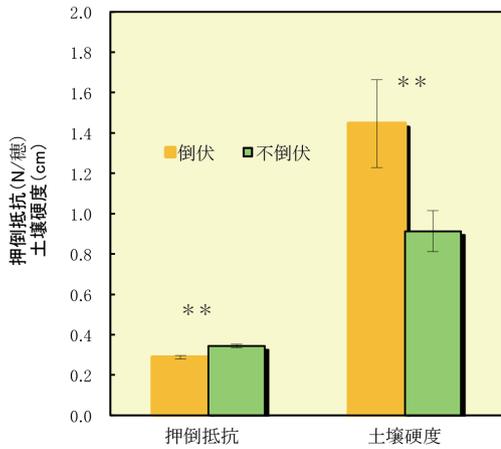


図-7 同一圃場における倒伏箇所と不倒伏箇所の押倒抵抗と土壌硬度
2009年と2010年に秋田県仙北市と美郷町で調査。
押倒抵抗は高さ15cmの株元を45度まで倒したときの力を測定。
土壌硬度は土壌表面硬度計DIK-5581で測定。
「倒伏」は倒伏箇所近傍の不倒伏箇所を調査。
**は1%水準で有意差があることを示す。

伏させる方向に力が働くようになり、倒伏を助長すると考えられている。

収量

宮城県を中心に無人ヘリ播種を受託している業者によると、2013年の平均収量は463kg/10aで、宮城県の収量の84%であった。その原因は、苗立不足箇所、雑草害の他に、倒伏害自体と

倒伏回避のための減肥があると考えられる。この中で、倒伏は品種による軽減が可能である。秋田県で耐倒伏性品種「萌えみのり」を用いた現地実証試験では、穂いもちが発生しなかった年は移植栽培の「あきたこまち」より高い収量が得られた(表-2)。このように耐倒伏性品種を使用することにより十分な施肥が可能となり、収量を向上

させることができると考えられる。

費用

防除作業の受託用に農業生産法人が所有している無人ヘリで密封式鉄コーティング種子を散播した場合の米生産費用を試算した(白土ら2012)。10aあたり労働時間は約6時間で2009年統計値の約40%、玄米60kgあたりの費用合計は約7,000円で統計値の約80%であった(表-3)。このように無人ヘリによる鉄コーティング直播栽培は省力・低コスト栽培技術であるといえる。

謝辞

使用したデータの一部は新稲作研究会委託試験と農林水産省・復興庁委託プロジェクト「食料生産地域再生のための先端技術展開事業」、農林水産省委託プロジェクト「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業」によった。小泉商事(株)佐々木哲氏とヤマハ発動機(株)山上一郎氏には原稿をチェックして頂いた。農研機構東北農業研究センター磯島昭代氏には無人ヘリ播種の離着陸時間調査のためのビデオを提供して頂いた。宮城県古川農業試験場の菅野博英氏には現地実証試験の実施と調査に協力して頂いた。ここに感謝申し上げる。

表-2 無人ヘリ播種した鉄コーティング直播栽培の全刈収量

年	品種	栽培法	倒伏程度 0無~5甚	全刈収量 kg/10a	検査等級	備考
2012	萌えみのり	密封式鉄	0.4	633	2	
	あきたこまち	移植	-	588	1	
2013	萌えみのり	密封式鉄	0.3	488	1	穂いもち多発生
	あきたこまち	移植	-	552	1	
2014	萌えみのり	密封式鉄	0.0	608	1	穂いもち少発生
	統計値	移植	-	607	1等 91.2%	品種は主にあきたこまち、収量は大仙市、等級は秋田県2014年11月末日現在

表-3 無人ヘリを用いた「萌えみのり」散播栽培による米生産費用

項目	単位	実証試験(統計比%)	
		2009年	2010年
10aあたり費用合計	円	71,470 (96)	66,081 (89)
資材費	円	44,652 (117)	47,491 (125)
償却費	円	18,525 (114)	10,631 (65)
労働費	円	8,293 (42)	7,959 (40)
10aあたり労働時間	時間	6.0 (43)	5.7 (41)
10aあたり収量	kg	622 (124)	538 (107)
60kgあたり費用合計	円	6,894 (73)	7,370 (83)

統計比は農林水産省「農業経営統計調査平成21年産米生産費」の全国15ha以上に対する比

引用文献

今川彰教 2009. 密封式鉄コーティングによる水稲湛水直播. 農及園 84, 888-894.
勝部淳史・山本朗 1998. 産業用無人ヘリコプターによる水稲‘祭り晴’の湛水直播栽培. 日作中国支部報 39, 24-25.
堀尾尚志ら 1998. ラジコンヘリによる湛水直播における作業の分析と収量評価法. 農作業研究 33, 11-18.
牧山正男 2002. 水稲湛水土壤中散播における種子の埋没に代かき後の田面起伏が及ぼす影響. 農土論集 218, 73-80.
三原実ら 1992. 水稲散播直播における無人ヘリコプターの作業性能. 九州農業研究 54, 11.
鍋島学・岩井昭衛 2000. 水稲湛水直播栽培における苗立ち向上のための水管理方法 I. 湛水散播栽培での検討. 富山県農技セ研報 19, 1-11.

酒井長雄ら 1998a. 産業用無人ヘリコプターを利用した水稲湛水直播栽培技術. 北陸作物学会報 33, 53-55.
酒井長雄ら 1998b. 水稲湛水直播栽培技術の確立 -産業用無人ヘリコプターを用いた方式を中心として-. 長野県農事試報 47, 62-100.
佐藤徹・東聡志. 2013. 北陸地域における水稲鉄コーティング湛水直播栽培の播種様式および播種後の水管理が収量に及ぼす影響. 日作紀 82, 34-41.
白土宏之ら 2012. 東北地域における直播適性品種を用いた鉄コーティング直播栽培. 機械化農業 1月号, 22-26.
寺島一男ら 2002. 直播水稲における一株の生育量と耐こび型倒伏性との関係. 日作紀 71, 161-168.
八重樫耕一・伊藤勝浩 2002. 水稲湛水直播におけるラジコンヘリの作業性能. 東北農業研究 55, 25-26.

山本好文ら 2003. 水稲湛水直播栽培技術体系の組立に関する研究. 岐阜県中山間農技研報 2, 1-7.
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 2010. 鉄コーティング湛水直播マニュアル 2010, 1-28. http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/014535.html
2015年1月11日閲覧
吉永悟志ら 2001a. 打込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稲の耐倒伏性向上—播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響—. 日作紀 70, 186-193.
吉永悟志ら 2001b. 打込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稲の耐倒伏性向上—耐倒伏性向上および安定化のための点播条件—. 日作紀 70, 194-201.



杉菜・土筆 (スギナ・つくし)

兵庫試験地 須藤 健一

トクサ科トクサ属の夏緑性多年生シダ植物。低地から山地の日当たりのいい湿地・原野・裸地などに生える。トクサやスギナの名は知らなくても、「土筆(つくし)」といえば、見たことはなくてもほとんどの人が知る植物である。

「つくし だれの子 スギナの子」

土筆の記憶は、小学生の頃、近所の空き地で母と一緒に摘んだというものである。両手で持ちきれないほど摘み、持ち帰って袴を取ると、母が佃煮風に炊き上げてくれた。当時の、早春の食卓の一品であった。

土筆が大きくなってスギナになるわけでは、もちろん、ない。土筆とスギナは土の下の同じ地下茎から芽を出してくる。春、先に土の上に現れてくる方が土筆である。冬枯れのチガヤの間から、冬草のスズメノカタビラやカラスノエンドウの間から、キャンディーズが歌ったように「つくしの子がはずかしげに顔を出し」てくるのである。

早春に出てきたばかりの胞子茎は、まだ胞子囊穂が袴に包まれていて、さながらに「筆」を思わせる。筆を思わせる土筆を歌ったのが藤原為家。

佐保姫の 筆かとぞみる つくづくし 雪かきわくる 春のけしきは (夫木和歌抄)

「つくづくし」が土筆である。佐保姫とは、白く柔らかな春霞の衣をまとう若々しい女神であるとか。その女神が春の訪れをしたためるのに使う筆が顔を出したばかりの「土筆」である。

源氏物語には土筆などが入った籠が早春の山菜として届けられるくだりがある。

蕨、つくづくし、をかしき籠に入れて、これは、童への供養じてはべる初穂なりとて、たてまつれり。(源氏物語：早蕨)

歴史を遡れるのはここまでである。日本在来であり、胞子茎、栄養茎と姿が変わり、早春の山菜でもあるのに、万葉人はこの土筆やスギナに思いを寄せなかったようである。万葉集の一番最初に歌われている「菜(な)摘(つ)ます兒(こ)」は、(筆者のように)土筆を摘まなかったのだろうか。

(写真は雑草大鑑より, ©浅井元朗)