

## 卷頭語

### 今後の支部会活動

次期支部長 富樫千之（宮城大学）

#### 1.はじめに

平成 27 年 4 月から 2 年間支部長を仰せつかりました。支部役員や幹事及び会員の皆さんのお力を借りて、次の支部長に引き継ぐまで支部長の任を果たしたいと存じます。

#### 2.歴代の支部長の就任にあたってのあいさつ

改めて、支部報に掲載された歴代の支部長の「支部長就任」にあたってのあいさつ文を読みました。

平成 14 年 (No.48)、西山先生は農業及び農業機械の取り巻く情勢を詳細に分析されて、省エネルギー化や環境維持向上への適応性など今後のグローバルな進むべき研究方向を示唆され、8 つの具体的な支部改革案を提示されております。具体的には、①支部報の閲覧制度の廃止、②HP、マーリングリスト等の情報化の推進、③役員の若返り化、④若手の会への助成、⑤会員（特に本部会員）数を増やすこと、⑥支部長選挙規定の改定（本部会員である普通会員とする）、⑦支部表彰規程等の改定等になります。先生は積極的に改革を実行されましたが、③、⑤については、国の研究機関、公設試、民間会社や大学等の動向がありますので、叶えられませんでした。

平成 15 年 (No.49.)、鳥巣先生は農業食料工学会（農業機械学会）、東北支部の将来を考える場合の基礎を太平洋戦争後からの歴史をひもとかけて、研究の方向を実用化研究にシフトすることの必要性を述べておられます。支部改善・改革は西山先生の改革の方向性を引き継がれるとともに、さらに①科学研究費、各省庁の競争的資金への応募を軸とした産官学の連携、②支部学会活動の一環としての農業高校への出前講義を提唱されました。①に関しては時を経た現在は重要な研究資金源となっており、②に関しては高大連携が常態化し、私たち農業食料工学会分野の若者への貴重な PR の場になっており、先生の先見性が分かります。

平成 17 年 (No.51)、赤瀬先生は支部の歴史について体験を交えて述べられ、次代の方向性を示唆されておられます。支部運営に関しては、歴代支部長の方針を基本に、個々には新たな改善・変更を履行されています。その中心的な考え方は「全員参加型の支部活動」を目指しておりました。具体的には、①「全会員、掲示板に結集！」として広報・ホームページを開設、会員の皆さんには意見を掲載して頂くこと、②写真活用等の支部報の充実、③メーカーとの連携強化、④研究の活性化として、水稻、野菜・花卉、果樹、BDF・バイオマスの 4 部会の設立と大学、高

専等の工学系、さらには地域メーカー、地方自治体との共同研究の推進、⑤活動の活性化として、実態把握のためのアンケート実施、東北若手の会への期待、会員の拡大を提倡しておられます。そして、清水先生の論説「一人ひとりの守備する専門領域は狭小であっても、支部としてまとまれば大きな効果を発揮することができる。これが支部の役割である。」を引用されて、支部会員それぞれの立場でいい仕事をされるよう望まれていました。

平成 18 年 (No.53)、小林先生は歴代の支部長が活性化に取り組んだこと、赤瀬先生の新たな展開を 6 つ集約して企画提案が緒に就いたことを受け、改善・改革の継続を述べられています。その中で、会員アンケートを詳細に分析して、支部報が役立っていることは会員の 88% 認めているものの、支部報の内容については、「現場の技術的なものの掲載」の要求が減っていること、シンポジウム内容については「農業機械化や先端技術」の希望が減少していることをあげ、その原因の一部の可能性を、支部報が論文誌+情報誌的な性格を強めたことや先端的な部分については本部学会に期待していることとしております。また、東北管内の農業機械関係機関や大学の縮小傾向にあることから、支部会員の増加は望みが薄いが、「シンパ」の可能性を指摘しております。さらに、特に指摘しているのは「地域には研究の題材が沢山あること」、「農家は大きな情報源」として同じく研究の題材や他研究者と農家のマッチングの事例と更なる可能性を述べられておられます。

平成 20 年 (No.55)、高橋先生は農業を取り巻く情勢を「食品の安全・安心の確保、信頼性のある食料供給体制の確立と自給率の向上が重要な課題」と述べ、東北地方を主要な食料基地と位置づけ、その重要な地域であることを強調しております。その一方で、全国的な傾向である、農業従事者の高齢化や後継者不足、石油燃料価格の狂乱、輸入産物の高騰などにより農家経営の弱体化や離農の増加を懸念しております。支部の課題は、10 年間の支部大会、支部報を分析して、支部報への論文投稿数の減少、研究部会の設置が外部資金獲得に結び付いていないこと、若手の会の活性化、ホームページの充実（当時）、支部会員の増加、予算等についての課題を指摘しております。これらの課題に対応して、①支部報の充実、②研究部会・若手の会の活性化、③役員体制の強化を訴え、会員の日常活動が支部の活性化に繋がることを期待しております。

平成 22 年 (No.57)、夏賀先生は政府の TPP への参加表明をチャンスと捉え、農業分野において積極的な規模拡大や品質向上に取り組み、保護の農業だけではなく、国際

競争力を獲得する農業に期待しております。くれぐれも、TPP 対策が 1993 年から 2000 年までに 6 兆円を費やしたウルグアイラウンドの二の舞にならないよう警鐘を鳴らしております。支部の現況としては農業機械分野における公設試の研究者数が減少していることからも、支部会員の減少もある程度は止むを得ないと判断しております。一方、支部大会の研究発表件数、支部掲載論文数の推移から、年度変動はあるものの安定しているため、支部は「小粒でもきらりと光る」ものを持っていていることを自負する組織になることを提案しております。そして、そのための一部として地域貢献と国際貢献を高めて、支部の存在感を高めていくことの必要を述べております。東北支部の未来としては、①30 代後半から 40 代前半の若手研究者が次第に増え、若手の台頭に未来を託せること、②産官学のプロジェクトを契機に民間技術者の加入を呼びかけること、③HP の積極的な活用を述べております。

その後、平成 23 年 3 月 11 日（金）14 時 46 分、東日本大震災（M9.0）が発災しました。

平成 24 年（No.59）、支部長二期目になる夏賀先生は学会の変化として、研究対象が農業機械分野に加えて、農産加工、バイオマス分野など多くの分野を対象に広げてきましたことにより、研究対象分野と名称の乖離を解消するために、2013 年 4 月から「農業食料工学会」と改称したことを報告しています。また、東日本大震災の対応として、岩手、宮城、福島 3 県の研究機関が主となって農地の復興、支部財政の健全化に取り組んでいることを述べています。2 年間の活動の方針は、大震災により影響を受けたため、前期と同様に、地域貢献、国際貢献、会員数の増加、支部運営の世代交代の推進を掲げております。

### 3.これから 2 年間の支部活動

#### 1) 大学を取り巻く状況

国立大学法人は第 3 期中期目標・計画時期となり、項目に社会貢献、国際化、法令遵守、さらに各法人の強み、特色を踏まえた機能の一層の明確化、教育の質的転換、グローバル化、入学者選抜の改善、機能強化に向けた教育組織の見直し、ガバナンス機能強化、人事給与システム改革、等を盛り込むことを要求されています。このため、特に運営を携わる教員はその計画や改革対策に追われるとともに、大学運営交付金の毎年 1% 減が相まって退職教員の補充も不十分なことから、過重労働になっております。加えて、学生の質的保障、共通教育の充実や人間力アップ等が求められ、専門教育の卒業認定単位数の減少が懸念されています。また、岩手、宮城、福島 3 県の研究機関は「食料生産地域再生事業」で TPP を見据えた農地の復興に尽力し、多忙となっています。

#### 2) これまでの課題の整理とこれからの課題とお願い

歴代支部長が提言した課題を整理して、今後すべき課題とお願いを述べてみます。

**①科学研究費、各省庁、財団等の競争的資金への応募：**それぞれの研究機関での独自の研究費は削減の一途をた

どっているため、競争的資金獲得の努力は必須で課題というよりも普通のことと言えます。

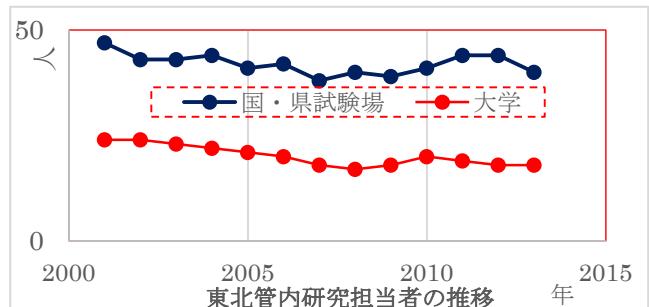
**②産官学、产学の連携：**競争的資金獲得の条件には学、研究機関の必須参加が多く、応募・獲得などを契機に推進すべきと考えています。個人的な体験ですが、県の公設試に在職していたとき、研究に結び付く企業（メーカー等）からの相談が多くありました。研究室の敷居を低くするとともに、いつでも相談に乗れる企業のホームドクターになることも推進の方法と考えています。

**③HP、マーリングリスト等の情報化の推進：**HP での意見交換はかなり難しいものがありますが、片平先生のお蔭で HP のリニューアル、スムーズな情報発信が実施され、課題はクリアされたと理解しております。

**④役員の若返り化：**夏賀先生が述べられているように 30 代後半から 40 代前半の若手研究者が次第に増え、順次若返り化が図られていくと考えています。

**⑤若手の会への助成：**課題というより、充実した助成を継続していくことが肝要と考えています。

**⑥会員数の増加：**大学、研究機関の研究者の漸減傾向（下図）に比例して低下、ここ数年は約 100 名前後と安定しておりますので、維持に努めたいと考えております。産官学連携、共同研究・発表等を通じて勧誘して頂くようお願い致します。



**⑦地域貢献、国際貢献：**地域貢献として共同開催等を活用して研究会、シンポジウムを開催して頂くようお願い致します。また、東北農産物の輸出等の協力、ABE イニシアティブ第 2 バッチの開始における修士学生の受け入れ等に関連して国際貢献も推進していきたいと考えます。

**⑧支部会計の安定化：**会員数の減少もあって経年的に繰越金が減少する会計の危機がありました。ここ数年常任幹事の協力、努力（各自の研究費等で常任幹事会旅費を支出、手当の削減、編集幹事の努力による支部報印刷費の削減）によって、安定した繰越金ができるようになりました。

### 4.おわりに

農業食料工学会の中でも最も規模の小さな支部ですが、会員の顔の見える支部の良さがあります。その良さを生きしつつ、皆さんの意見に傾聴し、改善を推進していきます。また来年の 2015 年には岩手大学で合同学会が予定されており、支部全体で取組んでいきますのでご協力を宜しくお願い致します。

# 有機的管理実践牧場における植生と牛の採食行動の関係

鈴木由美子\*・小笠原英毅\*・梅村和弘\*\*・田中勝千\*・寶示戸雅之\*

## Relationship between grazing behavior of cattle and vegetation in organically managed pasture

Yumiko SUZUKI\*, Hideki OGASAWARA\*, Kazuhiro UMEMURA\*\*, Katsuyuki TANAKA\*, Masayuki HOJITO\*

[Keywords] grazing, grazing behavior, bite counter, grassland vegetation

### 1. 研究背景

北里大学獣医学部附属フィールドサイエンスセンター八雲牧場（以下、八雲牧場）では、約350 ha の広大な敷地で夏は放牧、冬は貯蔵粗飼料を給与し、自給飼料100%による牛肉を生産している。化学肥料の施用を中止し、放牧利用と家畜排泄物（完熟堆肥）を草地に還元して生産された牧草（乾草、サイレージ）を牛に給与する資源循環型畜産を実践したことが評価され、2009年に有機畜産物JAS認証を取得した。八雲牧場では、化学肥料や農薬などに頼らず牧場産の完熟堆肥のみを施用した草地管理（以下、有機的草地管理）に移行したことで、イネ科牧草とマメ科牧草の混生草地がマメ科牧草主体の草地へ変化したもの、粗飼料の生産量は安定していた。しかし、草地の経年化に伴う牧養力の低下からエゾノギシギシなどの強害雑草の繁茂による減収や栄養価の低下が懸念されている。そのため、牧区内の牧草を均一に牛に採食させて牧草利用率を高め、栄養価および牧草密度を維持させる短草利用を図ることが求められる。一方で、牛の採食行動は牧草の草種、草量、密度および草高などの草地の特徴と密接に関連していることから、放牧による家畜生産を考える上で、草種や草量の分布を把握することは適切な放牧管理を実行するための指標となる。以上の事から、適切な家畜管理と草地管理を実行するためには、迅速かつ正確に草地および牛の採食行動の特徴を把握することが重要となる。そこで、本研究では八雲牧場においてパッチ上に分布する放牧地内の植生状態と牛の採食行動のモニタリング手法を構築し、植生の不均一性が牛の採食に与える影響を解明することを目的とする。本論文では、牧区内の代表的な植生と牛の採食を中心とした行動との関係について報告する。

### 2. 方法

#### (1) 調査対象

調査は、八雲牧場（北海道二海郡八雲町）内の第7牧区-B(4.1 ha)で、2012年6月6-9日に実施した。調査牧区は傾斜角約8°のイネ科牧草主体の草地で、肉用牛による輪換放牧に利用されている。調査対象牛群は、体重が550-600 kgの日本短角種（以下、JS種）19頭および交雑種（日本短角種×サレル種：以

下、F1）3頭から成る21頭で構成されており、調査対象牧区に3日間放牧した。

#### (2) 実験方法

植生調査として、入牧前、放牧中および退牧後に、植物種の出現数、草高、現存量を調査した。調査牧区は緩傾斜放牧地で植生に違いが見られたことから、地形および植物種が異なる50 mのラインセクトを4本設置した。すなわち、ライン1は牧区入口に近い北部の平坦地で牧草の現存量が多く、マメ科牧草と雑草の割合が比較的高い所、ライン2はライン1より50 m南側で傾斜角3.5°のイネ科牧草が優占する所、ライン3は牧区中腹の平坦地で牧草草高が高く現存量が多い所、ライン4は牧区南部で傾斜角5.0°のイネ科牧草が優占している所である。各ラインセクトにおいて、0.5 m間隔でイネ科牧草、マメ科牧草および雑草の出現数と被度を記録し、草高を測定した。同時に、1.0 m間隔で地上部現存量（以下、現存量）をライジングプレートメータ（Jenquip, Filip's Manual Folding Plate Meter）により推定した。

ライジングプレートメータによる現存量の推定では、牧区内に50 cm × 50 cmのコドラーートを81カ所（6月46カ所、8月35カ所）設置し、コドラーート内のライジングプレートメータ値（以下、RPM値）を求めた。その後、コドラーート内の植物は地際で刈取り、通風乾燥機により80°Cで2日間乾燥した後、乾物現存量を測定した。最後に、RPM値と乾物現存量から推定モデルを作成し、精度を検証した。

放牧牛の行動調査として、放牧中に牛の位置および採食回数を測定した。まず、牛群から平均的な体格のJS種3頭およびF1種3頭、計6頭を選定し、調査対象牛とした。その後、対象牛6頭すべてにGPS（GlobalSat, DG-100）、JS種3頭に首式バイトカウンター（Umemura et al., 2009）を取り付け放牧した（図1）。GPSの公称測定精度は10 m 2DRMSで、30 minごとの牛の位置情報（緯度および経度）および移動速度を測定した。GPSのバッテリー駆動時間は24 hとなっているため、各放牧日の13-14時にGPSバッテリーを交換した。供試牛の歩行距離は、位置情報をヒュベニの公式に適用して算出した。Swainら（2007）は、GPSを用いて放牧牛の歩行速度を調査した結果、最高歩行

\*北里大学獣医学部：青森県十和田市

\*\*北海道農業研究センター：北海道札幌市

速度は36 m/minと報告している。本調査ではこの結果を基に、歩行速度が36 m/min以上のデータを異常値として分析から除外した。加えて、曇天時や牛が牛舎内にいるときは正確な測位ができず外れ値が出現したため、それらの値も異常値として扱った。バイトカウンターでは、10 minにおける牛の顎運動回数が測定される。測定したカウンタ値を較正式 ( $R^2=0.91$ , Umemura et al., 2009) に当てはめて採食時の顎運動回数(以下、採食回数)を算出した。採食が確認された時間と牛の位置情報を照らし合わせ、採食場所と非採食場所を特定した。加えて、牛の分布密度をカーネル密度推定法により求めた。カーネル密度推定法は、確率密度関数を推定する手法の一つで、生物の行動圏の推定法として主に利用されている手法である。観測点の密度を求めることができるために、分布が集中するエリアの可視化が可能となる。本研究では、放牧期間中の牛の位置情報から求めた95%カーネル行動圏を牛の行動圏、牛の採食場所の50%カーネル行動圏を採食の中核となるエリア(以下、コアエリア)とした。本研究では、データ解析ソフトウェア環境 R version 3.0.2 (R development Core Team, 2007) によって位置情報のデータ処理を実行した。カーネル密度推定法はソフトウェア R の“adehabitat”パッケージ (Calenge 2014) の“kernelUD”関数および“getverticeshr”関数 (Silverman 1986; Worton 1989; Worton, 1995; Seaman and Powell 1998) を使用して実装した。

### 3. 結果および考察

#### (1) ライジングプレートメータによる現存量の推定

対象とする放牧地は、優占種や牧草密度などに違いが見られたため、様々な植生(イネ科牧草優占区52カ所、マメ科牧草優占区29カ所)および現存量( $59.9 \pm 22.9 \text{ g}/0.25\text{m}^2$ )の地点からサンプルを収集した。最小二乗法により作成したモデルは、 $y=2.6x+16.9$  (ここで、y: 推定乾物現存量、x: RPM値)となり、モデル検証時の決定係数( $R^2$ )は0.69、標準誤差(SE)は9.94であった。推定値と実測値との間にデータのばらつきが見られたが、両者は高い相関関係(相関係数 $r=0.83$ )であった。以上の事から、ライジングプレートメータにより現存量が推定可能と考えられた。

#### (2) 放牧による植生(現存量)の変化

全てのラインで草高および現存量は入牧前より減少し、ライン間の標準偏差が草高では9.3から7.8 cm、現存量では23.5から14.0 g/0.25m<sup>2</sup>となり、放牧により草地の不均一性が軽減したと推察できる。他方、放牧日数の経過に伴う各ラインの現存量の推移には違いが見られた(図2)。現存量の減少率の推移から、ライン1およびライン3は放牧開始直後から減少していたのに対し、ライン2およびライン4は放牧2日目から減少した。本調査は、越冬後に放牧を開始したため、牧区内に豊富な草があった。このことから、牛は嗜好性の高い場所の草を選択的に採食したと考えられる。つまり、現存量が多くあるライン1およびライン3付近で頻繁に採食し、現存量が少なく牧草密度が低いライン2およびライン4でほとんど採食が見られなかつたと推察した。また、ライン1およびライン3は牧区内で雑草が

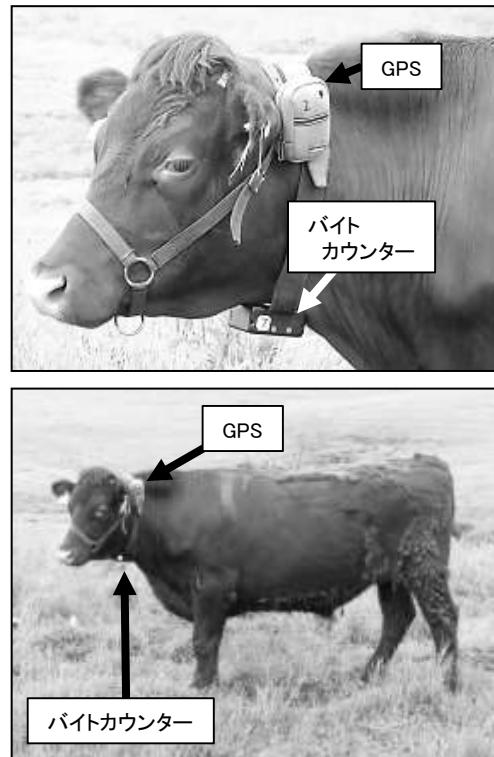


図1 GPSと首式バイトカウンターの取り付け方法

比較的多かったが、採食に大きな影響を与えたなかった。放牧2日目における各ラインの現存量の標準偏差は13.3 g/0.25m<sup>2</sup>となり、放牧期間中で最も小さな値となったため、2日目までは現存量が、2日目以降は草高が採食に影響したと推察する。牛は、舌で横方向から絡め取るように草を巻き込んで食べるため、短すぎる草を採食することが難しい。一般に草高10 cm程度の牧草は採食に適した範囲内であるが、退牧時の草高が13.9 cmのライン1は他のライン(16.2–19.2 cm)より2.4–5.4 cm低いことから、2日目以降は採食場所として利用されなかつたと考えられる。

草高および現存量の不均一性は放牧により軽減した。また、放牧開始時は現存量が採食場所の選択に影響し、放牧日数の経過に伴い、草高も影響を与えるようになったと推察できる。今回の調査では雑草の有無は採食場所の選択に大きく影響しなかつた。但し、雑草の群生の有無や雑草種が採食に影響するかについては、今後検討する必要がある。

#### (3) 牛の採食行動

調査期間中の気温の範囲は12.0–18.3°C(平均13.7°C)で、肥育牛の適温域(10–20°C)(皆川2002)の範囲内であった。バイトカウンターにより測定された採食回数から、牛の採食は4つのレベル(14時から日没、日没後の夕刻から夜、日の出頃、午前10時以降)取り、日内で周期的に変化した。早朝、日中、夜間(深夜)、早朝と様々な時間で採食が確認されたため昼夜分散型の採食と判断できる(図3)。既往の研究により、採食行動は一日で3–4回のピークを有すると言われており(近藤ら1977)，本研究での採食回数の結果も同様な傾向であった。

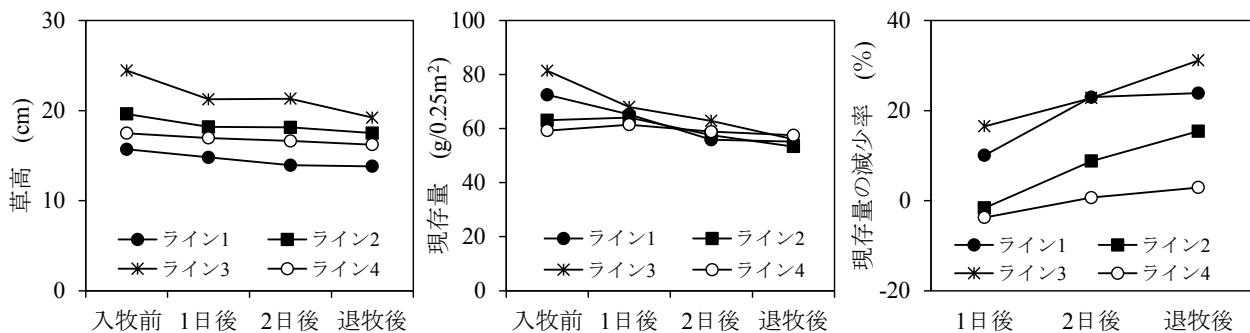


図2 放牧日数の経過に伴う草高、現存量および現存量減少率の推移

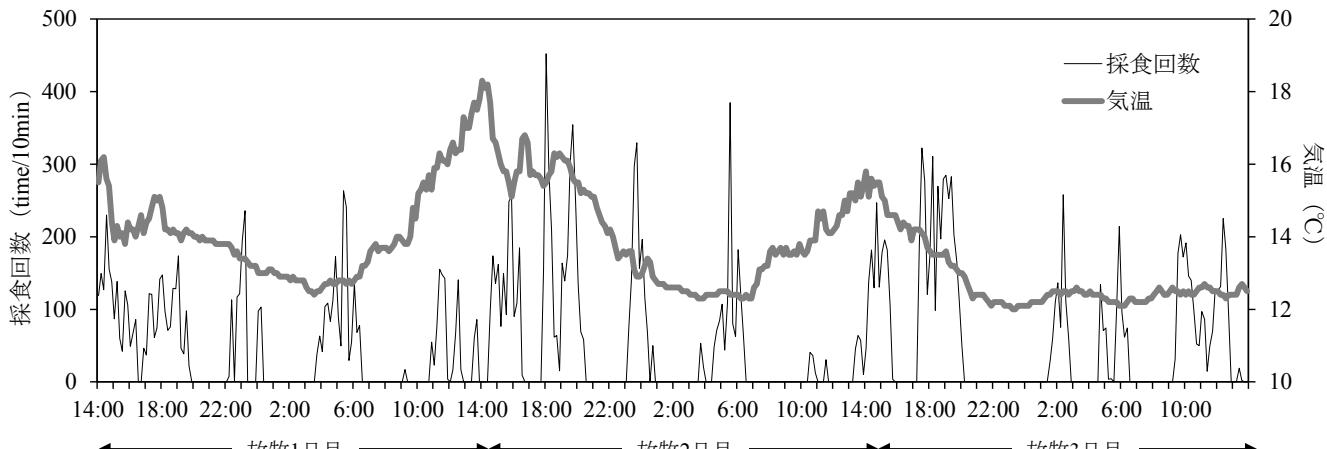


図3 バイトカウンターにより求めた採食回数および気温

各放牧日の採食時間には違いがあるものの、その差は1.9時間で、概ね一定といえる（表1）。採食回数は、放牧日数の経過に伴い増加した。これは、放牧による現存量の低下から一口に入る草量が減少したため、口を頻繁に動かして多くの草を採食したことが要因と考えられる。牛の移動距離は、放牧日数の経過に伴い減少した。放牧開始の現存量が豊富な時は探査行動を頻繁にしながら採食場所を選択していたのに対し、放牧日数の経過による現存量の低下に伴い特定の場所を集中して採食していたと推察できる。

牛の採食場所は牧区全体に分布しており、95%カーネル行動圏では概ね牧区全体を覆っていた（図4-6）。よって、全体が採食に利用されていたと推察できる。牛の採食行動を細かくみると、放牧1日目はまず牧区入口に近い北部の平坦地で集中的に採食していた。その後、日の出前に斜面を登り、牧区南部移動して北部へ戻るような円形の回遊が確認された。牛が新しい環境のために円形に回遊して、探査行動をとっていることが分かる。2日目は、始まりは1日目同様に北部での採食であったが、日没後には南部での採食も確認され、日の出前には中腹部での採食も確認された。3日目は、これまで頻繁に採食が確認された北部での採食が減少し、牧区中央での採食が頻繁に行われていた。3日間の牛の採食場所から、牧区北部の平坦地（植生調査ライン1）が最も早く採食されていた。50%カーネル行動圏であるコアエリアは、北部から中腹および南西部に確認さ

表1 採食時間、採食回数および移動距離の一覧。

	採食時間 (h/d)	採食回数 (time/d)	移動距離 (km)
1日目	11.7	6898	9.21
2日目	9.8	7660	7.54
3日目	10.8	9256	6.29

れた。加えて、牛の分布密度から、牛は牧区全体を利用していたものの、均一に利用しているわけではなく利用頻度が異なる地域が存在することが明らかとなった（図5）。植生の不均一性が牛の採食行動パターンに与える影響については今後検証すべき課題である。

#### 4. 結論

本研究では、有機的管理実践牧場の草地植生と牛の採食行動を調査し、植生と牛の採食行動との関係について検討した。その結果、牧区内の草高および現存量の不均一性は放牧により軽減した。草高と現存量の減少傾向から、入牧直後は現存量が、放牧2日目以降は草高が採食場所の選択に影響を与えると推察した。また、採食行動調査より、調査期間中の牛の採食は昼夜分散型で、放牧開始の草量が豊富な時は探査行動を頻繁にしながら採食場所を選択していた。しかし、放牧日数の経過による草量の低下に伴い特定の場所を集中して採食していたと推察

した。牛は牧区全体を利用していたものの、均一に利用しているわけではなく利用頻度が異なる地域が存在することが明らかとなった。

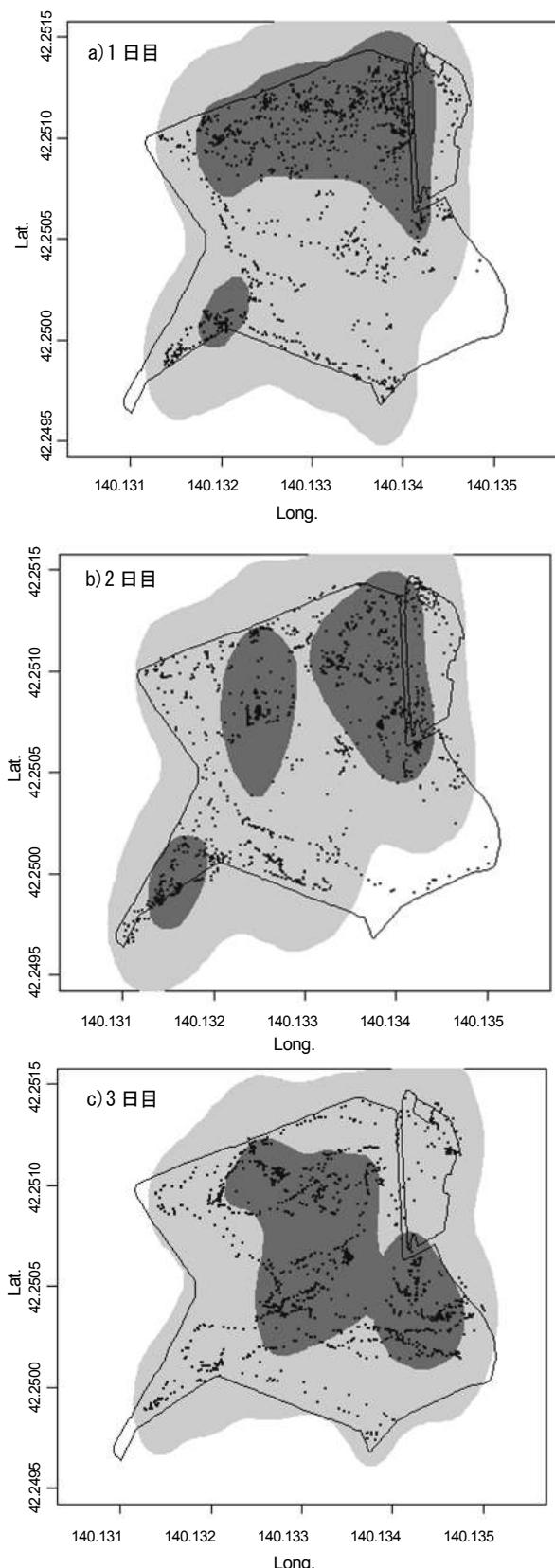


図4 放牧期間中の牛の空間分布

●牛の位置, ●95%カーネル行動圏, ●50%カーネル行動圏

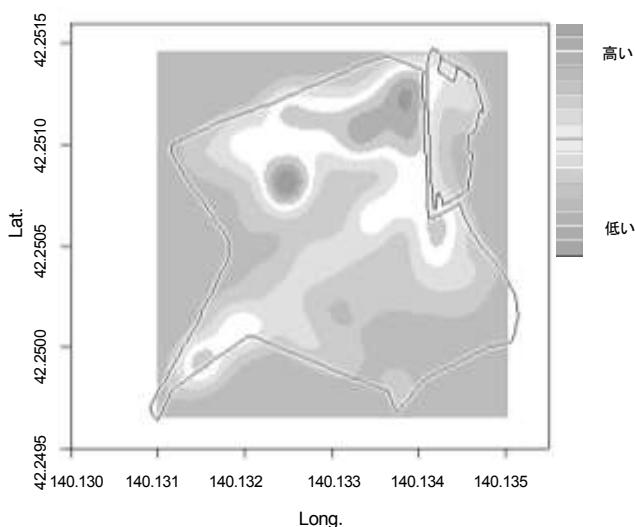


図5 放牧3日間の牛の空間分布密度

### 謝辞

北里大学獣医学部附属フィールドサイエンスセンター八雲牧場の教職員の皆様、並びに北里大学獣医学部生物環境科学科生態管理学研究室の大竹由紀さんと尾花愛美さんには、多大なる御協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) Calenge C., 2014, Analysis of habitat selection by animals, URL: <https://www.faunalia.it/animove/trac/>.
- 2) 近藤誠司, 野名辰二, 伊藤徹三, 朝日田康司, 広瀬可恒. 1977. 放牧牛群の占有面積の日内変化. 北海道大学農学部附属牧場研究報告. 8 : 93-109.
- 3) 皆川秀夫(分担). 2002. 6.4 貯蔵庫・畜舎の環境, 農業気象・環境学, 朝倉書店, 175-176.
- 4) Seaman, D.E., Powell, R.A. (1998) Kernel home range estimation program (kernelhr). Documentation of the program. URL: <ftp://ftp.im.nbs.gov/pub/software/CSE/wsb2695/KERNELHR.ZIP>.
- 5) Silverman B.W. 1986. Density estimation for statistics and data analysis. London: Chapman & Hall.
- 6) Swain D.L., Hutchings M.R., Marion G., 2007. Using a spatially explicit model to understand the impact of search rate and search distance on spatial heterogeneity within an herbivore grazing system. Ecological Modelling. 203, 319-326.
- 7) Umemura K., Wanaka T., Ueno T., 2009. Estimation of feed intake while grazing using a wireless system requiring no halter. J Dairy Sci. 92(3):996-1000. DOI: 10.3168/jds.2008-1073.
- 8) Worton, B.J. 1989. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. Ecology, 70: 164-168.
- 9) Worton, B.J. 1995. Using Monte Carlo simulation to evaluate kernel-based home range estimators. Journal of Wildlife Management, 59:794-800.

# 家畜ふん尿を利用したユーグレナの利活用に関する基礎研究（第1報）

—家畜堆肥の抽出液を利用したユーグレナの培養—

戸松央理\*・田中勝千\*\*・皆川秀夫\*\*・渡邊翔太\*

## Basic Research on Utilization of *Euglena* using Livestock manure (Part1)

—Culture of *Euglena* using extracts of livestock compost—

Ori TOMATSU · Katsuyuki TANAKA · Hideo MINAGAWA · Shota WATANABE

### Abstract

The aim of this study is to develop a method for the recovery and reusing of nutrient from the compost using *Euglena*, which can absorb nutrient. This paper describes the culture conditions of *Euglena* in compost extract. We adjusted the medium to optimal pH=3.5 for the growth of *Euglena*. Then, we added the *Euglena* by three different conditions (100, 200, and 300 $\mu$ L) to the medium. As the result, the quantity of addition of the *Euglena* was different, however the increase in cell count was at the same level. Because nitrogen in the medium which necessary for the growth of *Euglena* was one-fifth of the standard nitrogen (Cramer-Myers medium), cell count was increased only 5 times based on the initial amount. On the other hand, *Euglena* was increased to 74 times by adjusting the pH level 3.5 in the medium using nitrogen source (ammonium nitrate). Consequently, nitrogen in the medium was in short supply for the growth of *Euglena*. Therefore, it is necessary to increase the nitrogen concentration of the medium.

[Keywords] livestock manure, compost, phosphorus resources, *Euglena*

### 1. はじめに

我が国の畜産農家一戸当たりの家畜飼養頭羽数は1990年に比べ、2011年では増加しており、すべての畜種において増加率が100%を超えており（表1）。そのため、畜産農家一戸当たりの家畜排せつ物発生量は増加し、その量は年間約8,500万tと推計されている（農林水産統計 2012）。家畜排せつ物には、リン約10万t、窒素約65万t含まれている（横内ら 2005）。豊富な栄養源を含んでいる家畜排せつ物は昔から堆肥として利用されてきたが、農地の減少や化学肥料の使用増加によって堆肥の利用量が減少していった。その結果、大量の堆肥が未利用のまま貯留されるか、農地への過剰な施用によって土壤窒素・リン酸肥沃度による作物被害や水環境の富栄養化のリスクを高めることとなった（三島ら 2010）。

堆肥中に多く含まれているリンは、肥料の三大要素の一つであり、作物の生育において欠かせない養分である。しかし、近年リン資源の枯渇が懸念されている（黒田ら 2005年、図1）。我が国ではリン資源を100%輸入に依存している。そのため、リン資源枯渇が懸念される現在において、我が国でのリン資源の確保は契緊の課題である。家畜排せつ物にはリンが豊富に含まれているため、家畜排せつ物から未利用資源を回収することができれば、余剰となっている堆肥を有効利用できるだけでなく、リン資源枯渢の問題にも貢献出来ると考える。

本研究ではリンや窒素を吸収する能力をもつユーグレナを利用して、家畜排せつ物からのリンや窒素などの未利用資源を回収する技術の開発を目指すこととした。本報では、堆肥中の未利用資源回

収技術の開発の基礎実験として、堆肥の抽出液を培地とした際のユーグレナの培養条件を明らかにすること目的とした。

表1 一戸当たりの家畜飼養頭羽数の変化

畜種	1990年	2011年	増加率 (%)
乳用牛（頭）	33	70	112
肉用牛（頭）	12	40	233
豚（頭）	272	1,625	497
鶏（羽）	13,792	46,900	240

※農林水産省「畜産統計」より抜粋

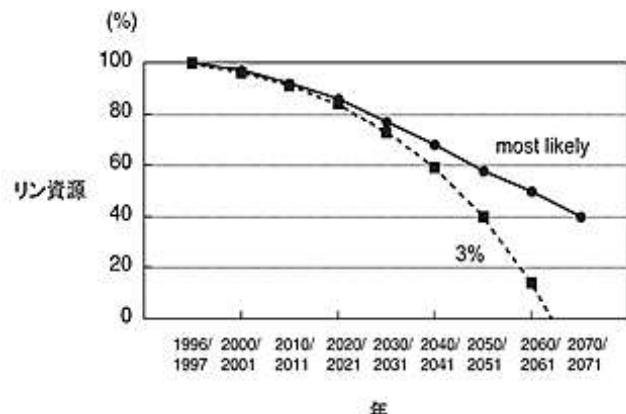


図1 リン資源枯渢の予想（黒田ら 2005）

\* : 北里大学大学院獣医学系研究科 〒034-8628 青森県十和田市東二十三番町35-1

\*\* : 北里大学獣医学部 〒034-8628 青森県十和田市東二十三番町35-1

## 2. 材料および方法

### (1) 供試藻体および保管方法

(独) 国立環境研究所生物系微生物系保存施設より分譲された *Euglena gracilis* Klebs 株 (NIES-49) を藻種とした。ユーグレナの培養に適する培地として、TYG 培地、Hutner 培地、Koren-Hutner 培地、Cramer-Myers 培地等が挙げられる。本研究では、Cramer-Myers 培地 (Cramer and Myers. 1952, 以下 CM 培地) にユーグレナの増殖を速めるためにグルコース (10 g/L) を添加したもの (CM 培地、改変) を用いて無菌的に培養したユーグレナを供試藻体とした (図 2)。CM 培地の成分を表 2 に示す。

供試藻体および実験サンプルは、温度 26 °C, 明期 12 h, 暗期 12 h, 照度  $5.0 \times 10^4$  Lux に設定したインキュベーター (東京理科器械株式会社 FLI-2000H 型) 内で保管した。

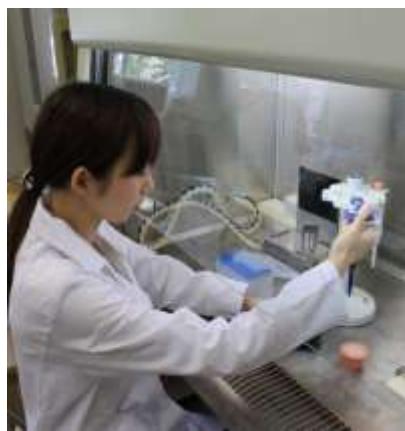


図 2 無菌操作によるユーグレナの植え継ぎ

表 2 CM 培地の成分

試薬名	添加量 (mg)	重量成分割合 (%)
リン酸水素ニアソニウム	1000	44
リン酸二水素カリウム	1000	44
硫酸マグネシウム七水和物	200	9.0
塩化カルシウム	20	0.90
硫酸鉄(III)	3.0	0.10
塩化マンガン(II)四水和物	1.8	$0.80 \times 10^{-1}$
硫酸コバルト(II)七水和物	1.5	$0.60 \times 10^{-1}$
硫酸亜鉛七水和物	0.40	$0.10 \times 10^{-1}$
モリブデン酸ナトリウム二水和物	0.20	$0.80 \times 10^{-2}$
硫酸銅(II)	0.020	$0.80 \times 10^{-3}$
チアミン塩酸塩	0.10	$0.40 \times 10^{-2}$
シアノコバラミン	0.0005	$0.5 \times 10^{-4}$

### (2) ユーグレナ

ユーグレナ (和名: ミドリムシ) は植物と動物の中間に位置する微細藻類である。そのため、光合成によって栄養分を体内に蓄えるだけでなく、動物のように細胞を変形させて移動することができる。リンや窒素を資化する (微生物が栄養源として利用すること) 能力を持ち、1 日に 1 回分裂という高い増殖能力を持っている。また、大気中の約 1000 倍の二酸化炭素濃度の中や、高濃度の栄養塩類を

含む汚水中でも生存できるという、高い生存能力を有する (高井ら 2008)。

### (3) 培地の作製

本学附属フィールドサイエンスセンター十和田農場において牛糞主体の家畜堆肥をサンプリングし、2.00 mm の篩を用いて夾雑物を取り除いた。含水率を 50% w.b. に調整した堆肥 10 g に対して、蒸留水を 400 mL 加え搅拌した。搅拌後に自然ろ過および吸引ろ過を行った。本実験では、得られたろ液を抽出液とし、塩酸を用いてユーグレナの増殖に適している pH3.5 に調整したものを培地とした。また、簡易水質計 (共立理化学研究所 L-8021) を用いて抽出液中の養分 (リン酸態リン  $\text{PO}_4\text{-P}$ ・硝酸態窒素  $\text{NO}_3\text{-N}$ ・アンモニウム態窒素濃度  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) を測定した。

### (4) 培養実験

300 mL 容三角フラスコに培地 150 mL を入れ、ユーグレナ株をそれぞれの三角フラスコに 100  $\mu\text{L}$  (約 140 万匹), 200  $\mu\text{L}$  (約 280 万匹), 300  $\mu\text{L}$  (約 420 万匹) の 3 条件で添加し、それぞれ 3 サンプル作製した。その後、供試藻体の保管環境と同様に設定したインキュベーター内で保管し、約 2 か月間細胞数の推移を追った。細胞数の測定は、光学顕微鏡を用いて明視野観察法 (日本顕微鏡工業会 2008) で行った。明視野観察法とは、照明された試料を直接対物レンズで拡大し観察する最も一般的な方法である。

### (5) 乾燥重量の測定

ユーグレナの大きさは長さ約 40~65  $\mu\text{m}$ , 幅約 7~13  $\mu\text{m}$ , 径約 10  $\mu\text{m}$  である (小島ら 1995)。そのため、培養終了後に 0.2  $\mu\text{m}$  メンブレンフィルターを用いてユーグレナを採取し、乾燥重量を測定した。

## 3. 結果および考察

### (1) 抽出液の養分濃度

抽出液の養分濃度は、リン酸態リンは 55 mg/L 程度、硝酸態窒素とアンモニウム態窒素はいずれも 10 mg/L 以下であった (図 3)。このことから、堆肥の抽出液には窒素成分に比べて相対的にリン酸態リンが多く含まれていることがわかった。

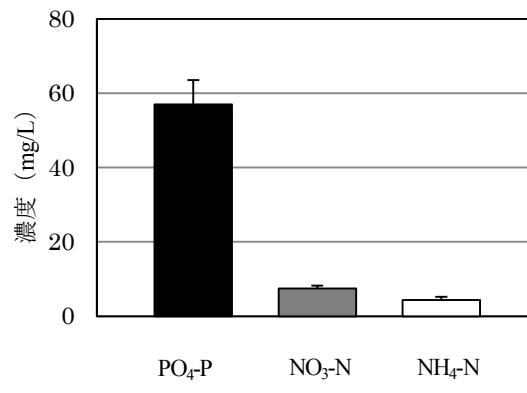


図 3 堆肥の抽出液中のリン酸態リン、硝酸態窒素、アンモニウム態窒素の濃度

## (2) ユーグレナの細胞数の推移(図4参照)

培養実験では添加量による細胞数の増加に有意な差が見られなかつたため、細胞数として3条件の平均値を用いた。細胞数の推移を22日間観察したところ、培養開始から7日目まではわずかに増加したが、その後22日目まで細胞数は増加せず平衡状態となつた。細胞数の増加を妨げる要因としてpHの低下が考えられるため、22日目に培地のpHを測定したがpHには変化はなかった。培養環境は供試藻体の培養条件と同じであることから、抽出液の養分濃度に原因があるのではないかと考えた。そこで、同時並行に進めていた別実験で供試藻体の培養が確認された豚尿ろ液と堆肥の抽出液の養分濃度を比較したところ、リン酸態リン・硝酸態窒素濃度では大きな差は見られなかつたが、アンモニウム態窒素濃度に関しては豚尿ろ液では堆肥の抽出液の約79倍の値を示した(図5)。ユーグレナは増殖にアンモニウム態窒素を利用することから、本研究においてユーグレナの細胞数の大きな増加が見られなかつたのは、培地中に細胞数の増加に必要な窒素源が少ないと要因であると推察した。そこで、ユーグレナが窒素源として利用できる硝酸アンモニウム( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )を培養22日目に添加した。硝酸アンモニウム添加後は、今まで平衡状態にあったユーグレナの細胞数が増加した。

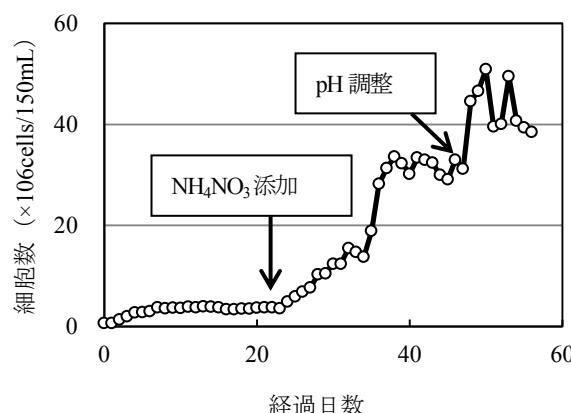


図4 経過日数ごとのユーグレナの細胞数の変化

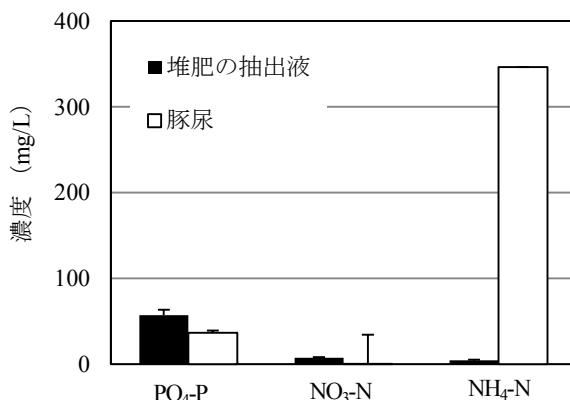


図5 堆肥の抽出液と豚尿ろ液の養分濃度

この細胞数の増加は培養38日目まで続き、その後細胞数が平衡状態となつた。そのため、再度培地のpHを確認したところpH3.0まで低下していたので、培養開始46日に培地のpHを3.5に調整したところ再び細胞数の増加が見られた。培地に硝酸アンモニウムを添加し、pH調整後に得られた細胞数の最大値(培養開始50日目)と硝酸アンモニウムを添加する前(培養開始21日目)の細胞数を比較すると、細胞数は約12倍に増加していた。

以上のことから、堆肥の抽出液を培地としてユーグレナを培養し、細胞数を増加させるには、ユーグレナの生育に必要な窒素源の添加と適切なpH調整が必要だと考える。

## (3) 乾燥重量の測定結果

培養前後の培地の変化を図6に示す。培養前は透明であった培地が培養後は緑色に濁っていることから、目視でも明らかにユーグレナの細胞数が増加していることがわかる。

ユーグレナの乾物重量は培養前では0.002 g/150mLとわずかであったが、培養後では0.032 g/150mLにまで増加した。培養前と比べると約16倍の乾物重量を得ることができた(表3)。

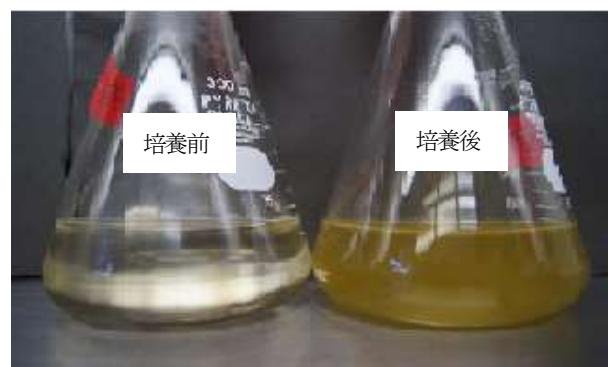


図6 培養前後の培地の変化

表3 ユーグレナの乾物重量

乾物重量(g)	
培養前	培養後
$2.0 \times 10^{-3} \pm 0.1 \times 10^{-3}$	$32 \times 10^{-3} \pm 8.0 \times 10^{-3}$

## 4. まとめ

今回の実験によって、堆肥の抽出液を用いてユーグレナを培養できることがわかった。しかし、堆肥の抽出液にはユーグレナの生育に必要な養分が少ないので大きな増殖を得ることはできなかつた。そのため、堆肥の抽出液を用いた際にユーグレナの細胞数を増加させるためには、窒素源の添加や定期的なpH調整が必要である。または抽出液の栄養成分濃度を高めることでも増殖率を上げることが可能であると考える。

### 謝辞

本研究の遂行に当たって、堆肥を提供頂いた北里大学獣医学部附属フィールドサイエンスセンター(FSC)十和田農場教職員の皆様、無菌操作に関して有益なご助言を賜りました本学獣医学部生物環境科学科野生動物学研究室の進藤順治教授に心よりお礼申し上げます。また、本学獣医学部生物環境科学科環境情報学研究室の皆様には多大なる御協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 阿部佳之, 2006. 家畜排せつ物の堆肥化工程の課題と展望. 日草誌, 52(1), 50–58.
- 2) 磐田朋子, 2007. 住民合意を考慮した家畜排せつ物処理・利用施策の提案手法に関する研究. 1–18.
- 3) 北岡生三郎, 1989. ユーグレナー生理と生化学
- 4) 黒田章夫, 2005. リン資源枯渇の危機予測とそれに対応したリン有効利用技術開発. 環境バイオテクノロジー学会誌, Vol.4, No.2, 87–94.
- 5) 小島貞男, 須藤隆一, 千原光雄, 1995. 環境微生物図鑑. 433–434.
- 6) 松本隆仁, 2008. ユーグレナを用いた食糧生産システム構築に関する基礎的研究. 5–18.
- 7) Matsumoto Takahito, Inui Hiroshi, Miyatake Kazutaka, Nakano Yoshihisa, Murakami Katsusuke, 2009. Comparison of Nutrients in *Euglena* with those in Other Representative Food Sources Eco-Engineering, 21(2), 81–86.
- 8) 松中照夫・寶戸雅之, 2010. 循環型酪農へのアプローチ. 酪農学園大学エクステンションセンター, 154–184
- 9) 三島信一郎・神山和則, 2010. 近年の日本・都道府県における窒素・リン酸態リンフローと余剰窒素・リン酸態リンの傾向に関する算出方法とデータベースおよび運用例. 農環研報 27, 117–139.
- 10) 斎藤実, 1989. ユーグレナ(ミドリムシ)の観察法. 理科教育実習施設研究報告(5), 1–14.
- 11) 高井雄一郎, 濑山智博, 安松谷恵子, 2008. ユーグレナを用いたメタン発酵消化液中窒素の除去と家きん飼料としての安全性評価. 近畿中国四国農業研究(12). 3–8.
- 12) 横内國生・市戸万丈・代永道裕・鈴木一好, 2006. 家畜排せつ物利用の背景と技術開発の現状. 日草誌, 52(1), 43–49.
- 13) 吉田隆, 2004. 家畜排せつ物の処理・リサイクルヒューレルギー利用—最新浄化・処理技術からバイオマス利用、法対策、有効利用事例まで. エヌ・ティー・エス, 1–180.
- 14) 農林水産省, 家畜排せつ物の発生と管理の状況.  
[http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t\\_mondai/02\\_kanri/index.html](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_mondai/02_kanri/index.html), 2012.6.2
- 15) 農林水産省, 畜産統計. 家畜飼養頭羽数及び戸数の推移.  
<http://www.yptech.co.jp/nonomura/data/data07.pdf?search='1960+%E9%8B%8F+%E9%A3%BC%E8%82%B2%E7%BE%BD%E6%95%B0+%E6%8E%A8%E7%A7%BB'>, 2012.8.5
- 16) 農林水産省, 加藤直人, 2007. 家畜ふん堆肥の特徴と施用技術について.  
[http://www.maff.go.jp/tokai/seisan/tikusan/manure/pdf/manure191019\\_4.pdf?search=%E5%8A%A0%E8%97%A4%E7%9B%84%E4%BA%BA+%E5%AE%B6%E7%95%9C%E3%81%B5%E3%82%93%E5%A0%86%E8%82%A5%E3%81%AE%E7%89%89%89%85%BE%B4](http://www.maff.go.jp/tokai/seisan/tikusan/manure/pdf/manure191019_4.pdf?search=%E5%8A%A0%E8%97%A4%E7%9B%84%E4%BA%BA+%E5%AE%B6%E7%95%9C%E3%81%B5%E3%82%93%E5%A0%86%E8%82%A5%E3%81%AE%E7%89%89%89%85%BE%B4), 2012.10.25

# 大区画水田における田面の高低が湛水直播水稻の生育に及ぼす影響

進藤勇人・齋藤雅憲・佐々木景司

## Effect of Unevenness in a Paddy Field on the Plant Growth in Direct Seeding Cultivation of Rice

Hayato SHINDO・Masanori SAITO・Keiji SASAKI

[キーワード] 田面の高低、大区画水田、湛水直播、レーザレベラ、水稻生育

### 1. 緒言

水田作の労働生産性の向上や省力低コスト化の方策として水田ほ場の大区画化が進められている。秋田県における 1ha 以上の大区画ほ場整備面積は平成 24 年現在 19,758ha で、要整備面積の約 19%、水田面積の約 15% となっている（秋田県農地整備課、平成 24 年度農林水産業及び農山漁村に関する年次報告）。ほ場が大区画化することで農業機械の作業能率が向上し、作業の省力化が図られるが、均平精度を高めることが難しくなる。また、近年では水田の田畠輪換利用時の排水改良による不等沈下や大豆作での培土や野菜作での畝立て等も均平悪化の原因となっており、ほ場均平作業の重要性は増している。

水田の均平化技術としては従来耕うんと代かきで行われてきたが、これら技術は 30a 以上の区画の均平化では多大な労力を要することが指摘されている<sup>1)</sup>。そのため近年ではトラクタに装着するレーザレベラ<sup>2)</sup>の導入が進んでおり、秋田県でも基本区画が 1.25ha の大潟村をはじめ、他地域でもトラクタの高出力化、クローラ化を背景に導入が進んでいる。

一方、経営規模拡大に伴い水稻の直播栽培は省力技術としての期待は大きくなっている。秋田県の直播面積は 1,245ha（平成 24 年）で水稻面積 1% 強となっており、その約 90% が湛水（潤土）直播である（秋田県水田総合利用課調べ）。田面の高低は水稻の生育に大きく影響するが、直播栽培では苗立ちの不安定化や除草剤の効果の低下を招くことから、均平精度として湛水直播では高低差士 25mm、標準偏差 15mm 以内（±25mm 以内が 90%）が目標とされている<sup>3)</sup>。

田面の均平度が湛水直播水稻の苗立ちや生育、収量に及ぼす影響については、均平度と苗立ち率の相関が得られないこと<sup>4)、5)</sup> や田面標高の低い地点では低節位分げつの出現が少ないこと<sup>4)</sup>、また収量への影響<sup>5)、6)、7)</sup> が報告されているが、秋田県で主流の酸素供給剤粉衣料を用いた落水出芽を伴う潤土方式での報告は少ない。また、県内の農家ほ場では滞水部や凹部の苗立ち不良は多くみ

うけられ、直播栽培導入の障害になっている場合もある。

そこで本報では、1ha 大区画水田におけるほ場均平度が湛水（潤土）直播水稻の苗立ち、生育、収量に及ぼす影響を検討したので、報告する。

### 2. 試験方法

#### (1) 試験年次・試験場所・ほ場条件

試験は 2012 および 2013 年に秋田県秋田市の秋田県農業試験場内水田ほ場で行った。ほ場区画は長辺 200m、短辺 50m の 1ha で、土壤は細粒質強グライ土である。1999 年に造成され、2000 年から水稻の作付けを開始したほ場である。両側の短辺に給水口（パイプラインかん水）と排水口が 3 カ所ずつ設置された農道ターン方式の基盤である。転換来歴はなく、2003 年の水稻作付け前にレーザプラウ、レーザレベラにより均平作業を実施し、それ以降は湛水直播栽培を実施し、代かき時に意図的な均平作業は行っていない。

#### (2) ほ場均平作業

2013 年 4 月 16 日にレーザプラウ（12inch、8 連、Su 社 LCPQY128H 型）により耕深 12cm で耕起し、4 月 24 日に直装式レーザレベラ（作業幅 4m、Su 社 LL4000 型）により、高低差士 2.5cm を目標に均平作業を行った。いずれの作業もセミクローラトラクタ（Y 社 EG-105C 型、HMT、77.2 kW）を用いて行い、レベラの作業時間は 5.5 h/ha であった。均平作業中、降雨があったための作業状態は良好ではなかった。

#### (3) 試験区の構成

大区画ほ場における水稻は特に生育後半で地力ムラの影響を受けることが尾崎ら<sup>7)</sup>により指摘されていることから、均平前年の 2012 年を均平前区、均平作業当年の 2013 年を均平後区とした。供試ほ場を長辺方向に 8 分割、短辺方向に 5 分割し、25×10m の 250 m<sup>2</sup>を 1 メッシュとして、40 区の田面高さや土壤含水比、水稻生育、収量の調査を行った。均平前区と均平後区は試験年次が異なるため、苗立ち率や水稻生育については、40 区の平均を 100

とした指標で解析を行った。

#### (4) 調査項目

1) ほ場均平度：田面高さの調査は、均平前区は2012年4月18日に、均平後区は2013年4月25日にレーザ測量器（Laserplane 社製 LaserEye）を用い、1mm 単位で 1 メッシュあたり 5 地点、すなわち ha あたり 200 地点について計測した。均平前区は耕うん前、均平後区はレーザ均平作業後に調査した。得られた計測値の平均値を田面高さ 0 とし、比高として田面高さを示した。メッシュの均平度はメッシュ内の 5 地点の平均値を算出し、その平均値をメッシュの田面高さとして、40 区の平均値を田面高さ 0 とし、比高を田面高さとした。

2) 土壤含水比：播種後、出芽を促進するため落水管理を行い、再湛水前日に深さ 0~2cm から 1 メッシュあたり 4~5 カ所から採土し、混合した土壤を乾熱法（105°C、24 時間）で土壤含水比を算出した。

3) 水稻の苗立ち率、生育、収量：6 月上旬（播種 33 日後）に 1m（50cm×2 条）の苗立ち本数を 1 メッシュあたり 4 カ所調査し、面積あたり播種量と 1 粒あたり種子重量から苗立ち率を算出した。その平均値に近い苗立ち調査区を以降の生育調査区として、草丈、茎数（穂数）、葉色素計値（コニカミノルタセンシング社製 SPAD502 型）を生育ステージごとに調査した。また、成熟期に生育調査の平均穂数と同数の稻体を採取し、着粒数、登熟歩合を測定した。また、生育調査区の近傍から 1.2m(4 条) × 2.4m 刈り取りを行い、1.9mm 篩で調整し、玄米水分を 15% に換算して収量を算出した。さらに、得られた玄米を用いて千粒重を測定した。

#### (3) 耕種概要

両年ともロータリ耕と代かきを行い（均平後区はレバラ作業後に耕うん）、6 条多目的湛水直播機（K 社製、NSU67-DS6NKF 型、条間 30cm）により、湛水（潤土）土中条播方式で、2012 年 5 月 9 日および 2013 年 5 月 8

日に播種した。水稻品種は「あきたこまち」を用い、浸種、催芽後、酸素供給剤（商品名：カルバー粉粒剤 16）を乾糲比等倍でコーティングし、供試した。播種量（乾糲換算）均平前区が 4.3 g/m<sup>2</sup>、均平後区が 4.2 g/m<sup>2</sup> であった。施肥は播種と同時に側条施肥で 70 日タイプ被覆尿素入り化成肥料（窒素-リン酸-カリ = 12%–16%–14%、窒素のうち 50% が被覆尿素）を用いて行い、施肥窒素量は均平前区が 7.9 gN/m<sup>2</sup>、均平後区が 7.7 gN/m<sup>2</sup> であった。追肥は行わなかった。播種後は落水管理し、出芽 10% で再湛水した。落水期間は均平前区が 9 日、均平後区が 8 日であった。均平前区、均平後区の出穗期はそれぞれ、8 月 10 日、8 月 9 日であり、成熟期はそれぞれ、9 月 20 日、9 月 22 日であった。

### 3. 結果および考察

#### (1) 均平作業が田面高さに及ぼす影響

均平前区の全地点調査の田面高さは、最大 30.4mm、最小 -46.6mm で、高低差 77.0mm、標準偏差  $\sigma$  が 14.9、±25mm 地点割合が 93.5% であった。均平後区では最大 24.5mm、最小 -44.5mm で、高低差 69.0mm、標準偏差  $\sigma$  が 13.2、±25mm 地点割合が 96.5% であった。レーザ均平作業により、最大値が低下し、高低差で 8.0mm、標準偏差  $\sigma$  で 1.7、±25mm 地点割合で 3 ポイント均平度が高まった（表 1）。山路<sup>8)</sup>は均平の評価を標準偏差 20mm とすることを提案しており、また、矢治ら<sup>3)</sup>は湛水直播栽培では高低差 ±25mm、標準偏差 15mm (±25mm 以内に 90% 相当) を均平の目標にすることを提案している。本試験ほ場の均平度は均平前においても標準偏差 20mm より小さく、良好と考えられるが、均平前区は湛水直播栽培の目標と同程度の均平度で、均平後区は湛水直播栽培に適する均平度になったと判断された。40 区に分割したメッシュの田面高さは、均平前区では最大 20.8mm、最小 -30.2mm であり、均平後区では最大 15.5mm、最小 -22.3mm であった（表 1）。均平前区では D、E、F3～

表 1 レーザ均平作業が田面高さに及ぼす影響

試験区	調査 地点	全地点					メッシュ							
		最大	最小	中央	$\sigma$	高低差	地点割合%			調査 地点	最大	最小	中央	$\sigma$
		mm	mm	mm	mm	mm	> 25mm	<- 25mm	-25~ 25mm	mm	mm	mm	mm	
均平前	200	30.4	-46.6	0.4	14.9	77.0	2.0	4.5	93.5	40	20.8	-30.2	-0.4	11.4
均平後	200	24.5	-44.5	1.0	13.2	69.0	0.0	3.5	96.5	40	15.5	-22.3	0.1	7.7

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	-12.0	-30.2	-14.8	-1.2	6.0	1.2	-1.6	-14.2
2	-5.2	-12.4	-0.2	4.0	5.6	4.0	0.6	-0.4
3	-15.4	-9.2	-0.4	10.0	17.0	10.0	-10.8	-6.6
4	-11.8	-0.8	9.4	14.6	19.2	20.8	-7.8	-5.0
5	-10.2	-5.8	9.0	10.2	17.2	17.4	5.0	-4.6

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	-17.7	-22.3	-4.1	-4.5	4.5	6.9	5.3	-2.7
2	-0.3	-15.1	-2.9	9.7	1.5	3.1	-4.9	-3.1
3	-7.5	-4.7	-2.9	-0.3	12.1	-4.1	-3.3	1.1
4	-1.9	4.9	6.5	4.7	8.5	-6.7	10.3	0.5
5	-5.7	3.5	15.5	1.5	6.1	7.9	1.3	-0.7

図 1 均平前後の田面高さの状況（左 均平作業前 2012 年 4 月、右 均平作業後 2013 年 4 月、ほ場図の数字は各年次のメッシュの平均を 0 とした田面高さ (mm)）

5 (25a 程度に相当) のメッシュで 10mm 以上面的に高い地点が存在したが、均平後区ではおむね解消されていた。一方、均平前区は B1 を中心に面的に低く、均平後区においても B1 は -22.3mm と低かった (図 1、表 1)。これは、直装式レベルは高い地点から低い地点へと運土を繰り返し行うが、ほ場全体の均平度を目安にして作業を終了するため、本試験では局所的な不等沈下を解消するまでの作業を行わなかったためと考えられた。

(2) 田面高さが再湛水前の土壤含水比および水稻の苗立ち率に及ぼす影響

均平前区の再湛水前の土壤含水比は平均 1.16 で変動係数 (CV) は 14.7% であった。均平後区は平均 1.04 で変動係数が 12.5% と均平前区に比べ、バラツキが小さかった (図 2)。特に田面高さが低いほ場 B1 地点 (図 1) は含水比が 1.67 と高く、観察でも滞水期間が長かった。

均平前区、均平後区の苗立ち率の平均はそれぞれ、56.1%、46.0% であり、両区 (両年) とも目標の苗立ち率 70% を確保できなかった。苗立ち率の指数は均平前区、均平後区それぞれ 128~65、122~80 であり、均平後区のバラツキが小さかった。また、両区とも田面高さと正の相関が認められた (均平前区  $r=0.358$ 、均平前区  $r=0.427$ ) (図 3)。均平後区は均平度が高まったことで、落水時の土壤水分の低下が均一で滞水部が少なく、田面高さが低い地点でも落水出芽の効果を十分に発揮できたためと考えられた。佐々木ら<sup>4)</sup>は新潟県の細粒質グライ土において催芽糞を用いた無粉衣潤土散播栽培では、苗立ち密度と田面高さで相関関係が認められなかったことを報告している。竹内ら<sup>5)</sup>は北

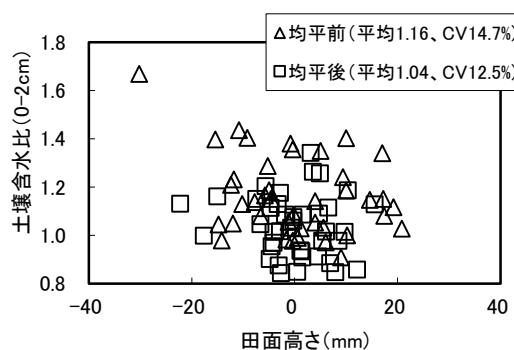


図 2 田面高さと再湛水前の土壤含水比の関係

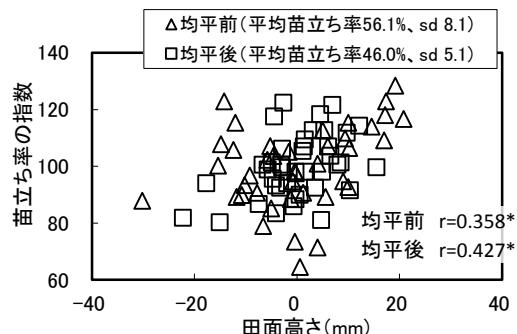


図 3 田面高さと苗立ち率の関係

注) 図注の \* は 5% 水準で相関があることを示す (N=40)

海道のグライ土、泥炭土における湛水条播栽培 (落水出芽)において比高さ 30mm の範囲では苗立ち数の低下が認められなかつたが、播種量 10kg/10a 以上と多く、200 本/m<sup>2</sup>以上の苗立ち本数になったことがその要因であることを指摘している。秋田県の直播栽培は落水出芽を伴う潤土直播が主流であるが、本試験結果と同様には場の凹部や滞水部では苗立ち率が低下するため、速やかな表面排水を確保するために溝きり等の対策が講じられている場合が多い。田面高さと苗立ち率の関係については、今後播種様式や土壤、気象条件などの観点から検討が必要と考えられた。

(3) 田面高さが水稻の草丈、茎数、葉緑素計値に及ぼす影響

均平前区、均平後区の播種 33 日後における草丈の平均はそれぞれ、22.0、18.1cm であった。草丈の指数は均平前区、均平後区それぞれ 113~89、111~91 であり、均平後区のバラツキが小さかった。また、均平前区は田面高さと強い正の相関が認められた (均平前区  $r=0.706$ ) (図 4)。田面の低い地点では再湛水後の水深が深くなるため、深水により草丈が長くなつたと考えられ、この結果は佐々木ら<sup>4)</sup>、尾崎ら<sup>7)</sup>の報告と一致していた。大区画ほ場では鳥害を避けるために田面の高い地点を目安に湛水するため、特に均平前区で田面の低い地点がより深水になりやすいことも影響していると考えられた。

有効茎定期頃における均平前区、均平後区の茎数の平均はそれぞれ、527 本/m<sup>2</sup>、536 本/m<sup>2</sup> であった。茎数の指数は均平前区、均平後区それぞれ 149~68、131~70 であり、均平後区のバラツキが小さかった。また、両区とも田

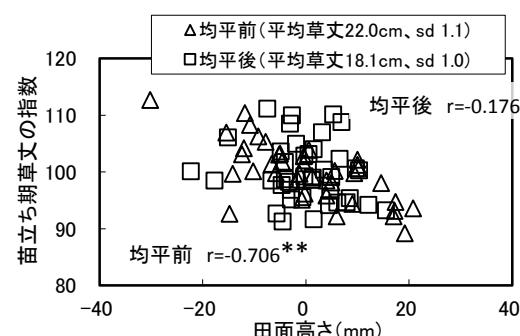


図 4 田面高さと苗立ち期草丈の関係

注) 図注の \*\* は 1% 水準で相関があることを示す (N=40)

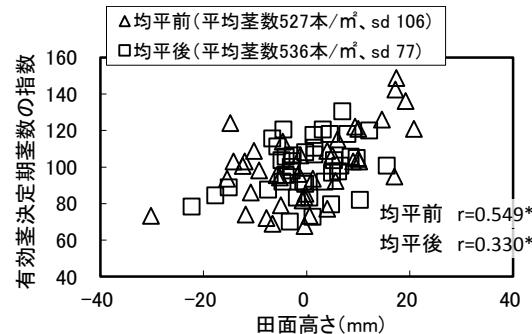


図 5 田面高さと有効茎定期 (6月下旬) 茎数の関係

注) 図注の \* は 5% 水準で相関があることを示す (N=40)

面高さと正の相関が認められた（均平前区  $r=0.549$ 、均平後区  $r=0.330$ ）（図5）。また、有効茎決定以降は徐々にこの関係が低下した（データ省略）。散播栽培では田面の標高と第1～4節分けつ出現率と負の相関があることが報告されている<sup>4)</sup>。本試験では田面高さと苗立ち率に正の相関があるため、田面高さが高い地点ほど苗立ち本数が多いことが影響していると考えられるが、田面高さの低い地点では深水により低節位分けつの発生が抑制されたことも一因と考えられた。

幼穂形成期頃における均平前区、均平後区の葉緑素計値の平均はそれぞれ42.3、44.2であった。葉緑素計値の指數は均平前区、均平後区それぞれ107～90、106～96であり、均平後区のバラツキが小さかった。また、両区とも田面高さと負の相関が認められた（均平前区  $r=-0.401$ 、均平後区  $r=-0.499$ ）（図6）。これは、本試験は被覆尿素入り化成肥料を用いて無追肥で栽培しているため、中干しによる基肥由来の窒素肥料と土壤窒素の消失により、生育量の多い田面の高い地点での葉緑素計値の低下が大きくなつたものと推察された。大区画ほ場を背景にした大規模経営体では作業の省力化を優先的に考える傾向が強く、ムラ直しの追肥や細やかな水管理を敬遠される。ほ場の均平度を高めることは直播水稻の生育のバラツキを小さくできることから、中間管理作業の効率化につながると考えられた。

#### (4) 田面高さが収量および収量構成要素に及ぼす影響

均平前区および均平後区の収量の平均はそれぞれ60.0kg/a、56.0kg/aであった（表2）。均平前区、均平後区ともに田面高さと穗数、総粒数、登熟歩合、千粒重の間に相関は認められなかった。尾崎ら<sup>7)</sup>は、大区画ほ場における収量に対する茎数（穗数）の影響は地力ムラより小さいことを指摘している。本試験結果についても同様に地力ムラや下層の土壤窒素発現量が影響したものと考えられることから、今後田面高さが収量や収量構成要素、玄米品質に及ぼす影響は検討する必要があると考えられた。

#### 4. 摘要

本報では1haほ場における均平度が湛水（潤土）直播水稻の苗立ちや生育、収量に及ぼす影響を検討した。その結果、レーザレベラを用いてほ場の均平度を標準偏差  $\sigma=13.2\text{mm}$  ( $N=200$ )、 $\sigma=7.7$  (40メッシュ)に高めることで、均平前に比べ、苗立ち率、苗立ち期の草丈、有効茎決定期頃の茎数、幼穂形成期頃の葉緑素計値のバラツキを小さくできることを明らかにした。また、田面高さと各項目の相関関係を明らかにした。一方で田面高さと収量および収量構成要素との関係は判然としなかつた。

これらのことから大区画ほ場の均平化は水稻生育を齊一化し、中間管理作業の効率化につながる技術として、貢献できると考えられた。

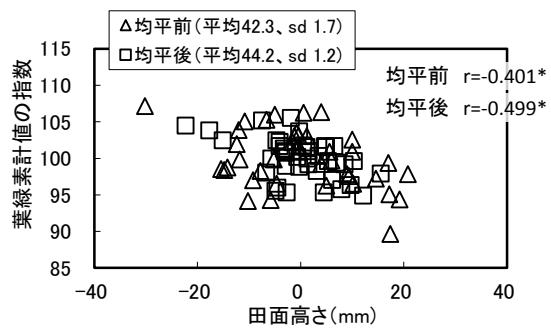


図6 田面高さと幼穂形成期頃（7月下旬）葉色の関係

注）図注の＊は5%水準で相関があることを示す（N=40）

表2 収量および収量構成要素と田面高さとの相関係数

	均平前		均平後	
	平均( $\pm sd$ )	$r$	平均( $\pm sd$ )	$r$
穗数(本/m <sup>2</sup> )	506( $\pm 50$ )	0.204	482( $\pm 45$ )	-0.177
総粒数(千粒/m <sup>2</sup> )	29.0( $\pm 3.5$ )	0.073	31.3( $\pm 3.6$ )	-0.215
登熟歩合(%)	90.5( $\pm 1.6$ )	-0.001	89.1( $\pm 4.4$ )	0.159
千粒重	22.9( $\pm 0.2$ )	-0.050	22.4( $\pm 0.2$ )	-0.173
収量(kg/a)	60.0( $\pm 4.1$ )	-0.168	56.5( $\pm 3.7$ )	-0.155

#### 謝辞

本研究の一部は、新稻作研究会の支援を受けて実施した試験結果である。関係各位に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 長利洋：水田の均平状態の評価法に関する研究－高品質水田整備のために－、農工報、42、1-62、2003
- 木村勝一・今園志和・矢治幸夫：東北平坦水田における直播栽培による低コスト作業技術の開発 第2報 レーザー光を利用した高精度均平化技術の開発、農作業研究、34(2)、113-121、1999
- 矢治幸夫・木村勝一・元林浩太：ほ場均平作業の新技術、農機誌、59(3)、129-132、2001
- 佐々木良治・柴田洋一・鳥山和信：大区画水田における田面の高低が直播水稻の初期生育と分けつに及ぼす影響、日作紀、71(3)、308-316、2002
- 竹内晴信・閑口建二・北川巖・竹中秀行：水稻湛水直播栽培におけるレーザ均平機を用いた圃場均平化の必要性、北海道立農試集報、83、55-58、2002
- 木村勝一・山内敏雄・元林浩太・新田政司・鶴田正明・高橋修・大里達郎・高橋昭喜：全自动レーザー圃場均平機の作業性能と均平状態が水稻の生育に与える影響、東北農業研究、47、63-64、1994
- 尾崎厚一・狩谷寿志・中野尚夫・川中弘二：大区画水田における圃場の均平度が田植の精度並びに水稻の生育・収量に及ぼす影響、日作紀中国支部集録、33、28-29、1992
- 山路永司：大区画水田の均平、農土誌、57(3)、17-22、1989

# 表層細土畝立てマルチ播種機を利用したエダマメ栽培

齋藤雅憲\*・進藤勇人\*・本庄求\*

## Utilization of Surface Fine Earth Ridging Simultaneous Mulching Seeder for Cultivation of Green Soybean

Masanori SAITO\*・Hayato SHINDO\*・Motomu HONJO

[Keywords] cultivation of green soybean, work-saving, labor-saving, simultaneous mulching seeder, surface fine earth rotary tiller

### 1. はじめに

秋田県のエダマメ栽培は、主に水田転換畑を中心に行われ、栽培面積は、2011, 2012年度で、それぞれ537.0ha<sup>1)</sup>, 566.7ha<sup>2)</sup>となっている。このように、エダマメは転換畑での有望な園芸品目であり、栽培面積は増加傾向である。

秋田県のエダマメ栽培では、極早生～晩成品種が用いられ、主に直播栽培で行われる。播種期間と出荷期間は、それぞれ4月下旬～6月下旬、7月下旬～9月下旬である。このうち、中生以降（播種：6月上旬以後、出荷：8月中旬以後）については機械化体系がほぼ確立され、播種作業には、大豆用の機械が使用される。この作型の栽培面積は全体の約8割を占める。一方、極早生・早生（播種：4月下旬～5月下旬、出荷：7月下旬～8月上旬）では、低温時の播種であることから、出芽安定化、初期生育確保のため、有孔マルチが用いられ、マルチ展張は歩行型管理機で行われることが多い。また、播種は手作業で行われ、作業能率が低く、中腰での作業が続き作業負担が大きい。このため、高齢化と作業者確保が困難で面積拡大の障害となっている。極早生・早生エダマメ栽培の栽培面積は全体の約2割であるが、単価が比較的高い時期での出荷が望める。このため、これまで、極早生・早生エダマメの栽培が取り組まれていなかった県北地域を中心に、機械化による栽培面積拡大の要望があがっている。

ところで、水田転換畑での野菜栽培では、出芽や活着の安定化を目的に、碎土率向上が期待できる作業機が用いられる。また、グライ土壤の多い秋田県では湿害回避のため、畝立て栽培の必要性が高い。これらの既往研究としては、表層細土ロータリを用いた野菜栽培の試験<sup>3)</sup>やアップカットロータリを用いたマルチ同時播種の試験<sup>4)</sup>が挙げられる。

そこで、本試験では畝立てと同時に畝表層の碎土率向上が期待できる表層細土ロータリとマルチ展張・播種が同時に見えるマルチ播種機を組み合わせた同時播種作業技術を開発し、高能率で高精度な播種作業による省力化を試みた。また、開発した作業技術を極早生・早生エダマメ栽培に適用して、その作業能率、畝形状、碎土性、播種精度、エダマメの生育、収量等を調査した。同時に、

畝立てによる湿害対策効果、マルチによる生育・収量の安定効果について検討した。

### 2. 試験方法

#### (1) 供試機械

ダウンカットロータリと畝上層の碎土率を高めるダウンカットロータリの2つを有する表層細土ロータリ（Y社 RWA140SK型、全幅1.7m）と、畝表層に作溝を行い、展張した有孔マルチのマルチ穴を検出して播種する機構を有するマルチ播種機試作機（A社試作機、播種目皿：B-2（φ10.5×8個×2列）、フロント施肥機（T社、DS65-F）をホイール型トラクタ（Y社 EG227型、19.9kW）に取付けて播種作業を行った。

対照は、通常ロータリ（Y社 RB16SM型、全幅1.7m、ダウンカットロータリ）と整形器（S社 PHA14H型）にマルチ播種機試作機を取付けて試験を行った。

#### (2) 試験場所・年次

2011～2012年に秋田農試ほ場（黒ボク土）において試験を行った。

#### (3) 耕種概要・栽植様式

エダマメ品種は、2011～12年は「グリーン75」（原育種園）、2012年は「湯あがり娘」（カネコ種苗）を用い、播種前に「クルーザーFS30」を塗沫処理して供試した。また、有孔マルチフィルムは幅150cm、長さ200m、厚さ0.03mm、1畠2条用（条間45cm、株間15cm、孔径6cm）を使用した。播種粒数は、2粒播き設定とし、播種深さは3cm設定である。栽植密度は、現地慣行の栽植密度17.8粒/m<sup>2</sup>（1畠2条）を、参考にして両年とも15.7粒/m<sup>2</sup>（1畠2条）である。施肥は、「豆2号（N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:5-15-15）」を用い、「グリーン75」、「湯あがり娘」でそれぞれ、N:7.2kg/10a、N:4.0kg/10aである。播種日は、2011年、2012年でそれぞれ、5/19、5/21、6/7である。

#### (4) 試験区の構成

試験前に、ディーゼルプラウで粗耕起を行い、以下の3区を設定した。

- ①表層マ区：表層細土ロータリ+マルチ播種機、マルチ有り、
- ②表層区：表層細土ロータリ+マルチ播種機、マ

ルチ無し, ③通常区: 通常ロータリ(ダウンカットロータリ) + 整形器

また、いずれの区も、エンジン回転は定格回転(2500rpm)とし、作業は表層細土マルチ播種機が作業可能な最高速に設定し、PTO速度段は2011年:I速、2012:II速設定とした。畠数はいずれの年次も4畠(旋回回数:3回)で、作業面積は、2011年、2012年でそれぞれ180m<sup>2</sup>、136m<sup>2</sup>である。

#### (5) 調査項目

1) 作業速度: ストップウォッチを用いて、5m区間の作業時間を測定し算出した。

2) 作業能率: ストップウォッチを用いて、作業開始から終了までの時間を測定し、それを試験区の面積で除して算出した。

4) 施肥精度: 施肥機の作業前後の肥料落下量を計測して、設定値との比率を算出した

3) 畠形状: 畠の上面幅、下面幅、畠間、畠高さを測定した。

4) 碎土率: 上層(畠上面から10cm)、下層(畠下面から10cm)の土塊をそれぞれ10mm、20mmの網目の篩を用いて、分別し重量を計測し、10mm碎土率: 土塊径10mm以下重量分布割合、20mm碎土率: 20mm以下の量分布割合を算出した。

5) 土壌含水比: 105°C 24時間法で計測した。

6) 出芽率: 播種重量当たりの出芽数を計測し算出した。

7) 播種精度: 出芽時に、マルチ穴中心からのずれを計測し、マルチ穴から外れた種子の割合を算出した。

8) 生育・収量: 各区3カ所において1mの範囲の生育と収量を調査した。調査項目は、草丈(cm)、主茎節数、分枝数、茎径(mm)、収量(g)とした。また、良品は、未熟莢、1粒莢、奇形莢、変色莢等の不良品を除いたものを良品とした。

### 3. 結果及び考察

#### (1) 作業能率と畠形状

図1にそれぞれの作業機のマッチングを行った試作機を示した。開発した同時作業技術は、表層細土ロータリとマルチ播種機を組み合わせたトラクタアタッチ型作業機で、畠立て・マルチ展張・播種(1畠2条)同時作業が適切に実施できた。また、トラクタ前方にフロント施肥機を装着することで、施肥作業が同時に実行うことができた(図1)。

表層マ区、表層区、通常区の作業速度は、2011年と2012年でそれぞれ、0.19m/s、0.08m/sであり、各区で作業可能な速度に違いは無かった。表層マ区、表層区、通常区の作業能率は、それぞれ2.1~4.1h/10a、1.7~3.5h/10a、1.7~3.2h/10aであった。表層マ区は表層区と比較して、旋回時にマルチ処理に時間を要したために低下した。また、施肥精度は、82.5~118.1%でバラツキはあったが、生育に影響は無い範囲と考えられた(表1)。

表層区の上幅、下幅、畠高は、それぞれ82~92cm、118~121cm、18~24cmであり、通常区は、84~89cm、121~124cm、19~23cmであった。両区の畠形状は同等であり、それぞれ想定した畠を形成可能であった(表2)。

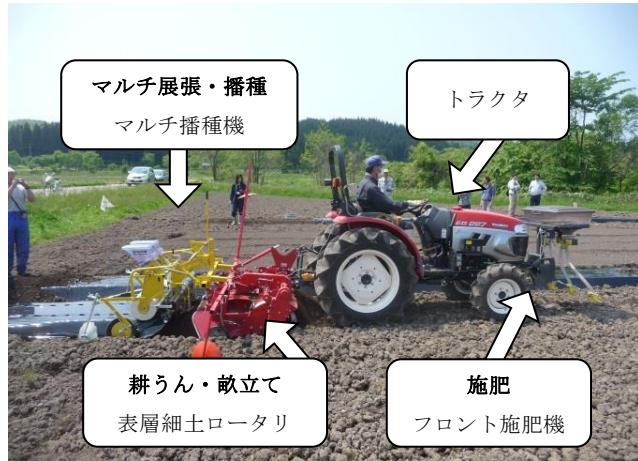


図1 播種作業時の作業状況(2012年、秋田農試ほ場)

表1 作業速度、作業能率と播種精度

年次	試験区	PTO速度段	作業速度 m/s	作業能率 h/10a	設定施肥量 kgN/10a	施肥量 kgN/10a	設定値比
2011	表層マ区		0.19	2.1	7.2	7.3	101.4
	表層区	I	0.19	1.7	7.2	7.3	101.4
	通常区		0.19	1.7	7.2	7.1	98.6
2012	表層マ区		0.08	4.1	7.2	8.5	118.1
	表層区	II	0.08	3.5	7.2	7.93	110.1
	通常区		0.08	3.2	7.2	7.7	106.9
	表層マ区		-	-	4	3.9	97.5
	表層区	II	-	-	4	3.4	85.0
	通常区		-	-	4	3.3	82.5

表2 表層区と通常区の畠形状

年次	試験区	上幅 cm	下幅 cm	畠高 cm
2011	表層区	92	121	18
	通常区	89	121	19
2012	表層区	85	118	24
	通常区	84	123	23
	表層区	82	119	22
	通常区	84	124	23

#### (2) 碎土率

表層区上層の10mm碎土率、20mm碎土率の平均はそれぞれ、80.0%、92.0%、同じく下層の10mm碎土率、20mm碎土率の平均は80.6%、92.2%であり、いずれも通常区に比べ高かった。このとき、土壌含水比は0.35~0.41の範囲であった(表3)。これは、表層細土ロータリの二軸目の碎土向上効果であると考えられた。また、星<sup>5)</sup>はアップカットロータリにおいて、上層の碎土率が高いと種子と土壤の密着度が高くなり、下層の碎土率が低いと通水しやすくなるため、安定的な出芽が確保できると報告している。本試験では、表層区上層と表層区下層の20mm碎土率の差は、0.2ポイントと小さかった。一方、通常区上層の20mm碎土率は、下層より6.7ポイント低く、播種作業時に覆土不良が

みられた（図2）。このように、表層細土ロータリは通常ロータリに比べ碎土率が高く、播種作業の溝切、覆土に適した畝上層の状態を形成可能であった。

表3 表層区と通常区の碎土率

年次 試験区	碎土率								土壤 含水比	
	上層		下層							
	≤10 mm %	比	≤10 mm %	比	≤10 mm %	比	≤10 mm %	比		
2011 表層区	68.7	138	83.4	153	66.0	111	81.6	115	0.35	
	44.9	(100)	60.5	(100)	57.4	(100)	73.3	(100)	0.39	
2012 通常区	85.8	121	96.5	137	89.3	114	97.8	127	0.35	
	62.6	(100)	79.4	(100)	70.4	(100)	85.9	(100)	0.37	
平均	表層区	80.0	125	92.0	142	80.6	115	92.2	127	
	通常区	56.3	(100)	73.3	(100)	63.7	(100)	80.0	(100)	

注1 碎土率上層は畝上面から10 cm, 下層は畝下面から10 cmである。

注2 碎土率は、土塊径10 mm, 20 mm以下の重量分布割合である。

### （3）播種精度

表層マ区の1穴あたりの2粒、1粒、欠粒の比率は、それぞれ11.6～22.5%, 70.0～77.5%, 4.7～7.5%であった。エダマメの株数の減少は収量低下に直結するため、播種目皿、播種粒数変更が必要であると考えられた。播種された種子のマルチ穴中心からの位置のずれ(長さ)は平均11.6～18.1 mmであり、マルチ穴から外れた種子の割合は、14.7～16.7%であった(表4)。細川ら<sup>4)</sup>は作業速度が増加すると播種粒数の変動とズレが大きくなる傾向があることを報告しているが、本試験では作業速度の違いによる一定の傾向は認められなかった。本試験で供試した播種機構は、播種ホッパから種子が供給され、播種部のセンサがマルチ穴を検出し、シャッターが開き播種されるので、作業速度をより速く設定場合には、種子ホッパからの落下時間、センサの検出時間目皿の列数を考慮する必要があると

表4 表層マ区の播種粒数割合と播種精度

年次 播種日	播種粒数割合			穴中心からのマルチ穴からずれ(長さ)の外れた種子の割合		%
	2粒	1粒	0粒	平均	割合	
	%	%	%	mm	%	
2011 5/19	22.5	70.0	7.5	12.6	15.7	
2012 5/21	15.0	77.5	7.5	18.1	16.7	
6/7	11.6	76.7	4.7	11.6	14.7	

注1 播種粒数割合は、2011年：46粒、46粒、43粒について調査し、マルチ穴からはずれた種子の割合は、40穴について調査した。



図2 畝表層の状態と生育の様子（左：表層区、右：通常区）（播種後23日後、2012年5月21日播種）

考えられた。

### （4）出芽率

表層マ区、表層区、通常区の出芽率はそれぞれ73.0～97.8%，62.5～66.6%，53.0～68.1%で、表層マ区が他の2区に比べ高かった。また、表層マ区の出芽までの日数は、各年次とも表層区と通常区に比べ1日早かった(表5)。表層マ区の播種後10日間の日平均地温は19.0°Cで、表層区に比べ平均1.8°C高かった(2011, データ省略)。また、表層マ区と表層区の土壤含水比(播種後11日後、負荷さ1～6 cm)はそれぞれ0.39, 0.31であり、表層マ区が高かった(データ省略, 2012)。細野ら<sup>6)</sup>は、マルチ被覆による播種後10日間の平均的な地温上昇は、0～2°C前後であると報告されており、本報告の結果と一致していた。また、片山ら<sup>7)</sup>は、マルチ被覆すると、表層土壤が出芽に好適な水分に保たれると報告されており、本報告においてもこの影響が示唆された。以上から、本報告における表層マ区の出芽率が他区に比べ高かった要因は、マルチにより地温が高く、土壤含水比が高かったことが影響していたと推察された。また、畝立てによる湿害対策効果については、試験を実施した両年とも、出芽・生育期間中が干ばつ傾向であり、明らかにならなかった。したがって、秋田県の極早生・早生エダマメ栽培には、出芽率向上と初期生育確保のためマルチフィルム資材が有効であると考えられた。

表5 出芽率と出芽までの日数

年次	試験区	マルチ	品種	播種日	出芽率	出芽までの 日数
					%	
2011	表層マ区	有			73.0	9
	表層区	無	グリーン75	5/19	62.5	10
	通常区				53.0	10
2012	表層マ区	有			86.7	12
	表層区	無	グリーン75	5/21	66.3	13
	通常区				60.4	13
	表層マ区	有			97.8	8
	表層区	無	湯あがり娘	6/7	66.6	9
	通常区				68.1	9

### （5）生育及び収量

開花期の各試験区の草高は、表層マ区がマルチ無区に比べ高かった(データ省略)。また、収量調査時の草丈(グリーン75)は表層マ区、表層区、通常区で、それぞれ611～636 mm, 416～494 mm, 363～432 mmであり、表層マ区、表層



表6 表層細土畝立てマルチ播種機が極早生・早生エダマメの生育・収量・品質に及ぼす影響

年次	試験区	マルチ	品種	播種日	草丈	主茎長	茎径	節数	分枝数	収穫本数 本/m <sup>2</sup>	着莢数 個/m <sup>2</sup>	良品莢割合 数%	3粒莢割合 数%	良品収量 kg/10a
					mm	mm	mm							
2011	表層マ区	有	グリーン	5/19	636	320	9.8	8.6	3.8	8.2	319	70	42	587
	表層区	無	75		416	215	7.3	8.6	3.0	7.0	185	80	36	351
	通常区				363	208	6.4	8.8	3.2	6.6	163	57	40	184
2012	表層マ区	有	グリーン	5/21	611	338	8.8	8.2	4.7	6.9	288	68	39	513
	表層区	無	75		494	277	7.9	8.1	3.6	5.3	195	59	44	227
	通常区				432	254	6.2	8.3	3.5	4.9	150	54	40	152
	表層マ区	有	湯あがり	6/7	755	445	9.9	9.7	5.0	7.6	404	54	21	506
	表層区	無	娘		646	410	10.8	9.7	3.7	4.9	147	77	27	331
	通常区				643	402	9.3	9.6	3.4	4.9	129	45	23	249

注1 調査は、2011年:8/1, 2012年:8/2, 8/21に行った。

区、通常区の順に大きかった。また、表層マ区の分枝数と着莢数は、他の2区に比べ、それぞれ0.8~1.2本/m<sup>2</sup>, 93~275個/m<sup>2</sup>多かった。表層マ区の収穫本数は、他に比べ1.2~2.0本/m<sup>2</sup>多かった。良品収量は、表層マ区、表層区、通常区でそれぞれ506~587kg/10a, 227~351kg/10a, 152~249kg/10aであった。表層マ区の良品収量は、他区に比べ、各年次で早生品種マルチ栽培の目標収量(450kg/10a)<sup>8)</sup>を上回った(表6)。これは、マルチにより出芽が安定したことが、収穫本数の増加に影響していると考えられた。さらに、初期生育も良好であったため、分枝数と着莢数が増加し、良品が増加したと考えられた。

表層区と通常区の良品莢割合は、それぞれ59~80%, 45~57%で、表層区が高かった(表6)。これは、表層区の碎土率が高かったことが、生育に影響を及ぼし、良品莢が増加した可能性があると推察された。

#### 4. 摘要

本研究では、重労働で手間のかかる早生エダマメ栽培の高能率で高精度な播種作業による省力化を目指し、表層細土ロータリとマルチ播種機を組み合わせた同時播種作業技術の開発を行い、播種作業を行った。

その結果、設定した作業速度で施肥・畝立て・マルチ展張・播種同時作業が可能で、表層マ区の作業能率は、2.1~4.1h/10aであった。

碎土率は、表層細土ロータリの二軸目の碎土向上効果により表層区が通常区に比べ高く、播種作業(溝切、覆土)に適した畝形成が可能であった。また、畝上層の碎土率は、マルチ播種機の播種精度に大きく影響するため、表層細土ロータリの有効性が明らかになった。

表層マ区の出芽率は、73.0~97.8%で他区に比べ高くなつた。これは、マルチにより地温が高かったことと、含水比が高く保たれたことが要因であると考えられた。

表層マ区の収量は、506~587kg/10aであり、早生品種マルチ栽培の目標収量(450kg/10a)<sup>7)</sup>を上回った。これはマルチにより出芽が安定したことが、収穫本数の増加につながり、さらに、初期生育が確保されたことが、分枝数と着莢数の増加につながったためと考察された。ま

た、表層区の草丈、良品収量割合は、通常区に比べ高く、碎土率の違いが、生育と収量に影響している可能性があると推察された。

以上から、作業能率が低く作業負担が大きい極早生・早生エダマメ栽培の播種作業を、同時作業技術により省力化できる本方式は、有効であると考えられた。

最後に、本試験で開発した技術が極早生・早生エダマメ栽培の作付面積向上に寄与することを期待する。

#### 謝辞

本研究の一部は、新稻作研究会の支援を受けて実施されたものである。ここに記して、関係各位に謝意を表す。

#### 参考文献

- えだまめ販売戦略会議, エダマメ販売戦略会議資料, 2011, 3-4.
- えだまめ販売戦略会議, エダマメ販売戦略会議資料, 2012.3-4.
- 新稻作研究会, 平成23年度委託試験・現地実証展示圃成績集, 2012, 43-54.
- 細川寿, 2012. 畝立て同時作業の技術追加による高機能・省力作業技術の開発, ファーミングシステム研究, 11, 20-28.
- 星 信幸, 2010. 機械の汎用利用などによる麦・大豆・水稻の省力低コスト2年3作作業体系, グリーンレポート, 490, 9-11.
- 細野達夫・片山勝之・細川 寿, 2010. 北陸重粘土転換畠での早期エダマメ直播栽培における地温と出芽に及ぼすマルチ・ベたがけの効果, 中央農業研究センター研究報告, 14, 17-31.
- 片山勝之・細野達夫・細川 寿, 2011. エダマメの早期直播栽培技術の確立, 中央農業総合研究センター研究報告, 16, 1-15.
- 秋田県農林水産部, 2009. 作目別技術・経営指標, 201-206.

## フキ用皮むき機の開発

佐藤慈仁\*・高橋史夫\*\*・片平光彦\*・夏賀元康\*

### Butterbur Peeling Machine Development

Shigehito SATO\*・Fumio TAKAHASHI\*\*・Mitsuhiko KATAHIRA\*, Motoyasu NATSUGA\*

#### Abstract

Peeling is one aspect of processing work for butterbur. Butterbur peeling usually done by manual labor requires much work, time, and workers' trained skill. For that reason, we developed a prototype butterbur peeling machine to increase shipments by efficient processing work. We investigated basic characteristics of butterbur shape and peeling accuracy. A prototype butterbur peeling machine comprised an air compressor, an air nozzle, flexible rotary axis, and a positioning slide. Butterbur can be peeled with force of 3.14N because of the hardness difference between outside and inner fibers. They can be broken at 12.91N in a vertical direction. Butterbur processing must be reduced by 12.7-17.9% in total weight by peeling. The prototype peeling machine achieved best results when setting the air nozzle at 30°, the positioning slide at 5 cm, the amount of air flow at 152.62 L/min, and using an ALVA2 air nozzle.

[Keywords] butterbur, peeling, preparation

#### 1. 諸言

フキの栽培は収益性が高く、過疎化の進む中山間地域の農業振興に有望な作目である。しかし、平成25年のフキ生産は作付面積616ha、収穫量12,400t、出荷量10,400tであり、作付面積の対前年比が92%と全国で減少傾向にある<sup>1)</sup>。この原因は収穫や調製作業などの重労働に加え、高齢化による労働者不足や農山間地の若年労働力の減少に起因すると考えられ、省力的な栽培技術の導入や調製作業の効率化が課題になっている。

フキ調製作業の一部に該当する皮むき工程は一般的に手作業で行われており、多くの労力と時間、作業従事者の熟練を必要とする。フキは軟質纖維質とそれを取り巻く硬質纖維（外皮）で構成されており、纖維の硬度差を利用して軟質纖維質皮の部分のみを切断して皮をむいている<sup>2)</sup>。筆者らが行った山形県新庄市の農産物加工所（株ゼンシンデリカ）での調査では、1時間当たりに1人の作業者がむくことのできるフキの量が約13kgであり、効率化の必要性が示唆された。

フキの皮むきに関する研究例は少なく、平尾ら<sup>2)</sup>はフキの端部に回転平刃を侵入させて果肉部を切断する端面処理機構を開発したが、皮むきに必要な株もとの始点を作るものであり、フキ全体の皮をむく機能を有していない。そこで、本研究ではフキの加工作業を効率化することでフキの出荷量を増加させ、農商工が連携した6次産業化による地域の活性化を目的に、機械の開発に必要なフキの基本特性調査と調製用機械の試作、その性能評価を行った。

#### 2. 材料と実験方法

#### (1) 供試材料

本実験では山形県新庄市の農産物加工所（株ゼンシンデリカ）から塩蔵したフキを入手し、それを5%濃度の塩水で12°Cの冷蔵庫に保存して山形大学農学部で実験を行った。

#### (2) 実験機の概要

本実験で試作したフキの皮むき機は、フキの株もとを把持したロータ部をモーターで回転させ、むき始めの始点に圧縮空気を吹き付けることで皮をむく機構とした（図1）。圧縮空気はエアコンプレッサ（日立製作所、PO-0.4PSA）からエアチューブを介してノズルから噴射される。

エアを使った皮むき機として実用化されているものはネギの外葉を取り除くための調製用機械がある<sup>3)</sup>。これは圧縮空気を左右に固定されたエアノズルから直線状に噴出するため、ネギの株元に圧力が集中してかかり、作業者はネギの表面に均一な圧力を生じさせるため、ネギを前後左右に動かす必要がある。

試作したフキの皮むき機は、それを基にモーターでロータを回転してフキの表面全体に圧縮空気が作用できる機構とした。エアノズルはフキ株もとの始点の斜め上方一点から圧縮空気を噴きつけるように取り付け、噴射角度をネジで調整できるようにした。ロータの汎用チャックで端面を固定したフキは、それと対面する位置で任意の距離に設定できる保持スライドで水平に保たれる。すなわち、フキの皮はエアノズルスライドと保持スライドが端から他端へ移動する行程でむかれる。なお、エアノズルはラバルエアノズル2種（ミスミ、ALVA1、ALVA2）、

\* : 山形大学農学部 (〒997-8555 山形県鶴岡市若葉町1-23)

\*\* : 株式会社ガオチャオエンジニアリング (〒997-0033 山形県鶴岡市泉町8-27)

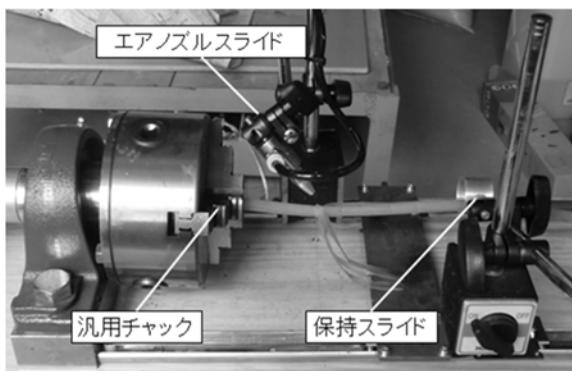


図1 フキ用試作皮むき機



図2 使用したエアノズル

表1 エアノズル主要諸元

	全長(mm)	穴数	ノズル口径(mm)	噴射角(°)
ALVA1	29.5	1	8	16
ALVA2	34	1	11	16
NZAL11	40	1	11.6(広) 3.1(狭)	25
ARDP-1.4-8	25	8	1.4	-

エコノミーエアノズル（ミスミ，NZAL11），ラウンドエアノズル（ミスミ，ARDP-1.4-8）を使用した（図2，表1）。

### （3）実験方法

#### 1) 基本特性調査

a) 形状特性：皮むき機の開発に必要となるフキの特性を把握するため以下の形態調査を行った。調査項目は草丈（cm），質量（g），株元・中央部・先端部の太さ（mm）である。調査に使用したフキは加工用に塩蔵されたものから無作為に135本を抽出した。なお、フキの葉柄は断面が完全な円形ではなく橢円になっているため、直径の大きい部分と小さい部分の2か所を計測した。

b) 基準皮むき率：ナイフでフキ94本の皮をむき、その前後の質量からフキ全体に対する皮の質量の割合を（1式<sup>4)</sup>）で求め、それを基準皮むき率（% :  $y_1$ ）とした。

$$y_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

$m_1$ ， $m_2$ はそれぞれ皮むき前後の質量（g）を示す。なお、算出した $y_1$ は試作機の性能評価に対する基準値として使用した。

c) 外皮の剥離力：外皮の剥離力（N）はナイフで皮に切れ目を入れ、皮をむく際に要した力の最大値を求めた。計測はストレインゲージ（共和電業，KFG-5-120-C1-11L1M2R）を貼り付けた鋼板（幅：50mm，長さ：160mm，厚さ：4.3mm）とフキを連結し、発生したひずみをデータロガ（キーエンス，NR-500，電源ユニット：NR-HA08）で記録して力（N）に変換した。また、剥離力の測定時にむいた皮の幅と厚みを計測し、それらとの間の相関を調査した。

#### 2) 試作機の性能評価

開発されたフキの皮むき機の性能を測るためにエアノズル角度（°），エアノズルスライドと保持スライドとの距離（mm），エア流量（L/min）と圧力（MPa），ノズルの種類（ミスミ，ALVA1，ALVA2，ARDP-1.4-8，NZAL11）を調査した。なお、エア圧力は（キーエンス，AD-43），流量は（キーエンス，FD-V40A）を用いて計測し、データロガ（キーエンス，TR-V1050）に記録した。

評価は全体に対する皮むき率（%， $y_2$ ）と皮がむけた部分までの皮むき率（%， $y_3$ ），最も皮がむけた部分の皮の長さ（mm），最も皮がむけなかつた部分の長さ（mm）とした。全体の皮むき率と皮がむけた部分までの皮むき率は（2）と（3）式を用いて算出した。

$$y_2 = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (2)$$

$$y_3 = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100 \quad (3)$$

$M_1$ ：皮むき前のフキの質量（g）， $M_2$ ：最も皮が長くむけたところで切断したフキの質量（g）， $M_3$ ： $M_2$ からむけた皮を取り除いたあとのフキの質量（g）

$y_2$ は全体に対して剥けた皮の割合を示し， $y_3$ は皮の剥離の均一性を示す。ただし， $y_3$ はその性質上，ほとんど皮がむけなかつた場合高い値になってしまうため，他の3つの結果を優先する。

### 3. 結果と考察

#### （1）基本特性の調査

##### 1) 形状

フキの形状を計測した結果は表2のとおりであった。フキの草丈や質量，株元の太さは標準偏差が2.06以上と個体間の差が大きく，平均から大きく外れている個体も見受けられた。

このことから，開発する皮むき機はさまざまな大きさや太さのフキに対応するため、端面の把持とスライド部に変位に対する柔軟性を持たせる必要性がある。

##### 2) 基準皮むき率

フキの基準皮むき率 $y_1$ は，平均15.3%，標準偏差2.57であり，平均±標準偏差の範囲である12.7~17.9%に全体の約2/3が分布している（図3）。よってフキは前項で指

表 2 フキの形状

	平均	最大/最小
草丈(cm)	47.8 (7.80)	70.7/34.4
質量(g)	31.7 (13.70)	88.6/14.2
株元(mm)	太 細	11.7 (2.30) 9.9 (2.06) 18.7/7.5 16.9/6.0
中央部(mm)	太 細	8.3 (1.42) 7.3 (1.35) 11.7/5.1 11.3/2.8
先端部(mm)	太 細	5.4 (0.94) 4.6 (0.84) 8.0/3.5 6.7/2.6

注：括弧内は標準偏差を示す

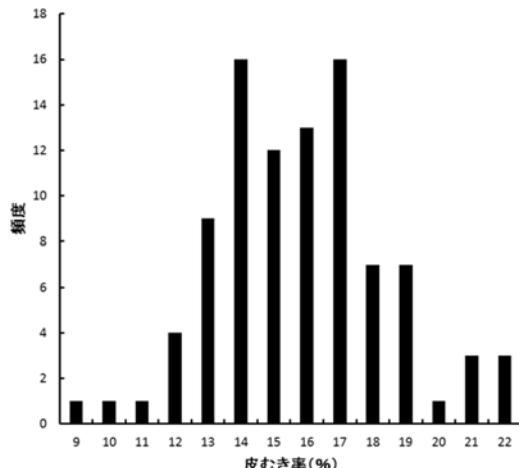


図 3 基準皮むき率の発生頻度

摘したとおり個体差が大きいが、皮むき前の質量に対して 12.7~17.9% の範囲で皮を除去することで製品として出荷に耐えうることが可能となる。

### 3) 皮の剥離力

フキの剥離力は平均 1.9N、標準偏差 0.65 であった。また最大値が 3.1N であったため、フキの皮をむくには 3.1N 以上の剥離力を必要とする。なお、フキの茎部は垂直方向に 12.9N 以上の方を与えると破断する。

皮の幅と剥離力の相関係数 R 値は約 -0.22、皮の厚みと剥離力の相関係数 R 値は約 -0.29 であり、弱い負の相関が見られた。しかし、その差は小さく影響を無視できる（図 4）。よってフキの皮を効率的にむくにはフキの茎部に対して破断力を超えない範囲で力を加える必要がある。

### (2) 試作機の性能評価

#### 1) エアノズル角度

エアノズル角度の検討は、予備試験で良好な結果を示した  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$  を選択した。 $y_2$  は全体で 4.9~5.2%,  $y_3$  で 9.1~9.6%，剥けた皮の長さの最長が 18.1~24.6cm，最短が 15.3~17.8cm であった。

皮むき率は  $y_2$  と  $y_3$  ともにエアノズルの角度間に 5% 水準で有意差が見られなかった。皮の長さは最短部分で有意差が生じなかったが、最長部分では  $30^\circ$  が  $20^\circ$  よりも 1.5cm 長くなる結果を示した（図 5）。以上から、本実験

で開発したフキの皮むき機に適したエアノズル角度は  $20\sim30^\circ$  の間にあるといえる。

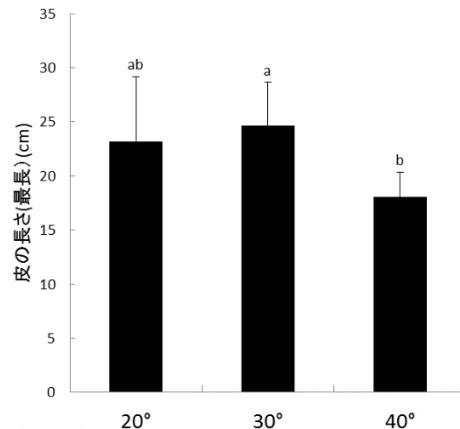


図 5 ノズル角度が最長部の皮の長さに与える影響

注：異なるアルファベット間に 5% 水準の有意差あり

#### 2) エアノズルスライドと保持スライド間の距離

エアノズルスライドと保持スライド間の距離は、両者の距離を 5cm, 7cm, 9cm に設定した。 $y_2$  は全体で 4.6~5.6%， $y_3$  で 9.1~12.3%，剥けた皮の長さの最長が 17.5~20.0cm，最短が 12.2~13.7cm であった。

エアノズルスライドと保持スライド間の距離は、フキがたわまざにエアの圧力を最適な条件で受けて皮を良好に剥くことができる条件を明らかにするために行った。その結果、 $y_2$  は各距離の間に有意差がなかった。しかし、 $y_3$  は 5cm の間隔で図 6 に示すとおり最も良い結果となつた。なお、皮の長さは最長部分、最短部分ともにスライド間距離の違いによる差が見られなかつた。以上から、スライド間の距離はフキの皮むきに対して明確な差を示さないが、 $y_3$  の結果から両者の距離が短いほど良い性能を示す傾向にある。

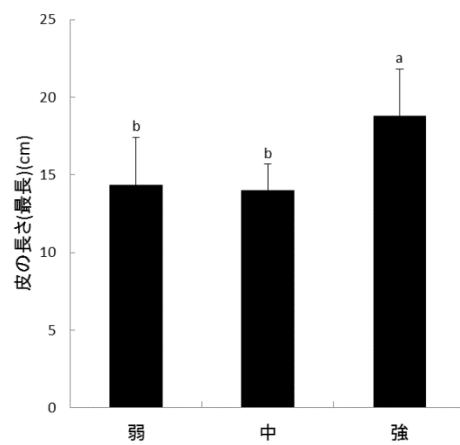


図 6 流量と圧力による最長部の皮の長さの変化

注：異なるアルファベット間に 5% 水準の有意差あり

### 3) エア流量と圧力

エアの流量と圧力はノズル元にある調整バルブを用いて3段階（弱： $1.36 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ , 0.15MPa, 中： $1.54 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ , 0.19MPa 強： $2.54 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ , 0.34MPa）に調整した。 $y_2$ は4.2~4.5%,  $y_3$ は8.2~11.6%, 剥けた皮の長さの最長が14.0~18.8cm, 最短が12.3~12.9cmであった。

$y_2$ はエアの流量間に有意差がなかった。しかし、 $y_3$ は強と比較して弱と中で数値が3.1~3.4ポイント増加して有意な差を示した。これはエアの流量が弱と中の場合、起点の作成箇所から皮がほとんどむけなかつたことでむけた部分とむけなかつた部分の長短の差がつかず、見かけ上数値が高くなつたためである。皮の長さは最短部分で有意差を生じなかつたが、図7に示すとおり最長部分では強が他区よりも4.5~4.8cm有意に長くなつた。

以上から、開発したフキの皮むき機では強（平均152.62L/min）付近で最も効果的となること示された。ただし、強では $y_3$ に難があるため、エアがフキに均一にあたるように改善する必要がある。

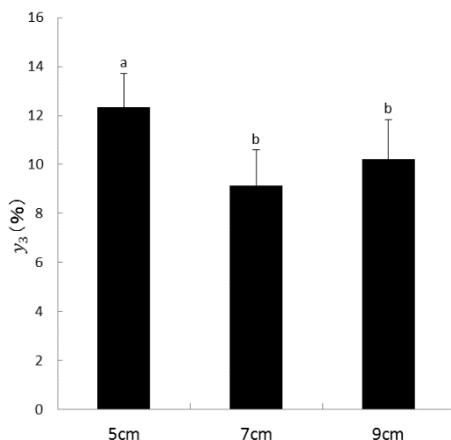


図6 スライド間距離が $y_3$ に与える影響

注：異なるアルファベット間に5%水準の有意差あり

$y_3$ ：むけた部分までの皮むき率

### 4) エアノズルの種類

$y_2$ は3.9~5.8%,  $y_3$ は8.2~11.2%, 剥けた皮の長さの最長が13.4~20.6cm, 最短が12.3~17.1cmであった。 $y_2$ はALVA2が5.8%と他の3種に比べ有意な差を示した（図8）。 $y_3$ はARDP-1.4-8とNZAL11がALVA2との間に0.8~1.6ポイントの差があり有意な差を示した。ARDP-1.4-8とNZAL11の数値が良好であった理由は、噴射角が広いことや穴数が多いことでエアが分散したため、皮がむけた部分の長さが短く最長部分と最短部分との間に大きな差がなかつたことが要因であると考えられる。そのため、ALVA2は他のノズルと比較して均一性に劣るわけではない。以上から、開発したフキの皮むき機ではALVA2が最も適しているといえる。

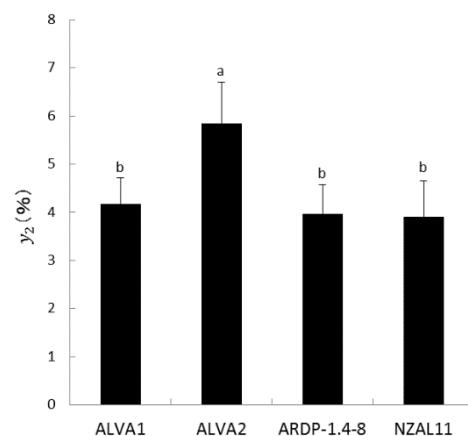


図8 エアノズルの違いが $y_2$ に与える影響

注：異なるアルファベット間に5%水準の有意差あり

$y_2$ ：全体に対する皮むき率

## 4. 摘要

- 加工用のフキは草丈や質量、太さに個体差が大きいため、それに対してフレキシブルに対応できる機構が必要である
- フキの皮をむくには3.14N以上の力を与える必要があり、垂直方向に12.91N以上与えると破断する
- フキは個体差が大きいためばらつくが、皮むき前の質量に対し12.7~17.9%の範囲で皮を除去することで製品として出荷に耐えうることが可能となる。
- 開発したフキの皮むき機ではエアノズル角度30°、スライド間距離5cm、エア流量152.62L/min（圧力0.34MPa）、エアノズルALVA2の利用が最も効果的であった。

## 参考文献

- 農林水産省, 2014. [http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou\\_yasai/pdf/syukaku\\_syutou13.pdf](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/pdf/syukaku_syutou13.pdf) Accessed Oct. 8, 2014.
- 平尾友二, 森本巖, 野上輝夫, 中西謙二, 1994. フキの皮むき機の研究, 徳島県立工業技術センター研究報告, 3, 103-105.
- 紺屋朋子, 大森定夫, 清水秀夫, 中根幸一, 2006. 長ネギの貯留供給装置の開発, 農業機械誌, 68(4), 72-80.
- Bagher Emadi, Vladis Kosse, P.K.D.V Yarlagadda, 2007. Abrasive peeling of pumpkin, Journal of Food Engineering, 79, 647-656.

# 近赤外分光法によるコンクリート構造物の劣化の診断（第5報）

—小型分光装置による劣化の診断の検討—

川代 知寛\*・設楽 徹\*\*・片平 光彦\*\*\*・夏賀 元康\*\*\*

## Diagnosis of concrete deterioration in infrastructures using near infrared spectroscopy

### (Part5)

- Applicability of compact near infrared spectrometer -

\*Tomohiro KAWADAI · \*\*Toru SHITARA · Mitsuhiro KATAHIRA \*\*\* · Motoyasu NATSUGA \*\*\*

#### Abstract

Although we concluded in part 1 that the concrete deterioration factors could be determined with sufficient accuracy using NIRS, high cost of NIRS instrument may prevent its dissemination. So we investigated the applicability of newly developed compact, low price spectrometers called MicroNIR1700/2200. The result showed excellent accuracy of  $R^2=0.98$ , SECV=0.17, RPD=7.45 with MicroNIR1700 for chloride ion and  $R^2=0.99$ , SECV=0.33, RPD=8.83 with MicroNIR2200 for calcium hydroxide. We concluded that these two compact spectrometers are applicable in the field.

[Keyword] near infrared spectroscopy, concrete, deterioration, carbonation, salt damage

#### 1. はじめに

コンクリート構造物は廉価で入手しやすく、現在では社会基盤として私たちの生活に欠かすことのできない存在である。農業分野においてもダムや農業用水路などの農業水利施設のほとんどがコンクリート建造物である。これらの膨大なコンクリートストックを適切に点検・補修を行うには従来の技術では限界があり、様々な簡便な非破壊検査手法が開発されている。しかし、その手法のほとんどがコンクリートの物理的劣化の情報しか得られず、化学的情報はコア抜きによるサンプリング、その後の化学分析による定量化という手法が用いられている。しかし、この手法は診断箇所が点であり、コア抜きした個所の補修が必要であるなど課題が多い。

そこで、筆者らでは非破壊測定法である近赤外分光法を用いてコンクリート中の化学的劣化因子の定量化の研究を進めてきた。第1報では近赤外分光分析装置 NIR6500 (Foss-NIR Systems, USA) を用いてコンクリートの劣化因子を精度良く推定できることを明らかにしたが、この分光装置は非常に高価であり現場への普及は難しい。そこで本研究では、最近開発された近赤外長波長領域 908–2150nm が測定可能である小型・安価・軽量という特徴を持つ分光装置 MicroNIR1700/2200 (JDSU, USA) のコンクリート劣化因子の推定可能性を検討した。

#### 2. 材料と方法

##### (1) 供試体

普通ポルトランドセメント (太平洋セメント JIS R 5210) と、蒸留水を水セメント比 W/C=50% で練り混ぜたセメントペーストにより、既報と同様の寸法・手順で供試体を作成した。供試体は塩害測定用、中性化測定用とともに 32 個作成した。作成した供試体は表 1 に示した方法により劣化因子の導入を行った。

表 1 劣化因子の導入方法

劣化現象	劣化因子	劣化因子の導入方法
中性化	炭酸イオン	大気中への曝露
塩害	塩化物イオン	塩化ナトリウム水溶液*

\*蒸留水に塩化ナトリウム (Cica 特級) を混入

##### (2) スペクトル測定

###### 1) NIR6500

推定精度の比較のため、第1報で使用した NIR6500 により測定波長範囲 400–2498nm で、反射レイアウトでスペクトル測定を行った。

###### 2) MicroNIR1700/2200 (JDSU, USA)

###### a) 装置の概要

供試した近赤外分光分析装置は、LVF (Linear variable filter) を用いた小型の分光計とデータ解析用のパソコンから構成される(図 1)。検出器には非冷却 InGaAs アレイ検出器が用いられている(図 2)。光源は真空タングステンランプであり、波長範囲は MicroNIR1700 では 908.1–1676.0nm、MicroNIR2200 では 1150–2150nm である。また、本分光器はこの波長範囲を 128 ピクセルに分光するため波長間隔は MicroNIR1700 で 6.2nm、MicroNIR2200 で 8.1nm となっている。本研究では反射レイアウトで測定した。

###### b) スペクトル測定

スペクトル測定は専用ソフトウェア "IRSE XP" を用いて行った。またリファレンスにはセラミックを用いた。MicroNIR は任意に積分時間と繰り返し回数を設定できる。リファレンスの積分時間が信号飽和値の 9 割程度になるよう設定し、繰り返し回数は 100 回と 300 回で精度の良い結果を使用した。なお、機器の形状より遮光しての Dark の測定が難しいため、Dark の測定は光源を OFF にして

\*山形大学大学院農学研究科 \*\*岩手大学大学院連合農学研究科 \*\*\*山形大学農学部

測定した。



図1 MicroNIRの外観

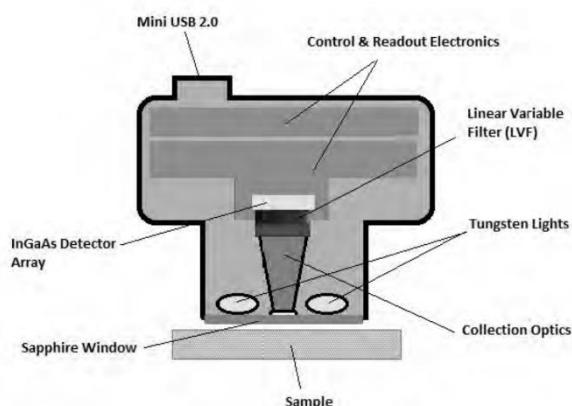


図2 MicroNIRの光学系

### (3) 基準分析

既報と同様に、塩害の劣化因子である塩化物イオンをチオシアニ酸水銀(II)吸光光度法によって、中性化の劣化指標である水酸化カルシウムを熱分析（示差熱・熱重量同時測定）で分析・定量した。

### (4) キャリブレーションの作成と検証

既報と同様に、統計処理ソフトウェア The Unscrambler v9.8(CAMO,Norway)を使用し、Full-cross validation 法による PLS 回帰分析 (Partial Least Squares Regression) でキャリブレーションの作成と検証を行った。

## 3. 結果と考察

### (1) 塩害

#### 1)スペクトル

各分光装置で測定したスペクトルを図3～図5に示した。MicroNIR1700では908-1094nm、MicroNIR2200では1150-1345nmにノイズがみられたので、この波長範囲を除外してキャリブレーションの作成と検証を行った。また、図4に示したようにMicroNIR1700ではスペクトルは滑らかであったが、図5に示したようにMicroNIR2200ではピクセル毎に周期性の凹凸が観測された。また、MicroNIR1700では1460nm、MicroNIR2200では1940nmにNIRS6500との共通吸光バンドが見られ、これは水の吸光バンドとして知られている。

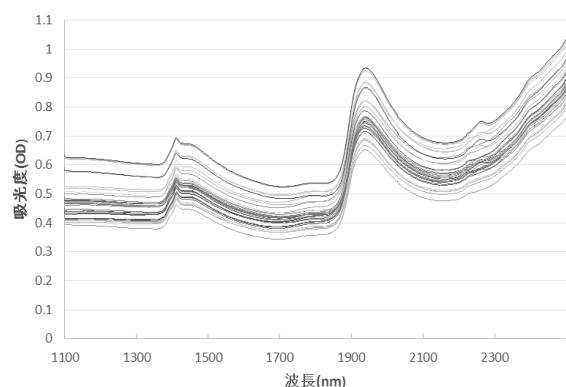


図3 NIRS6500による塩害供試体のスペクトル(1100-2498nm)

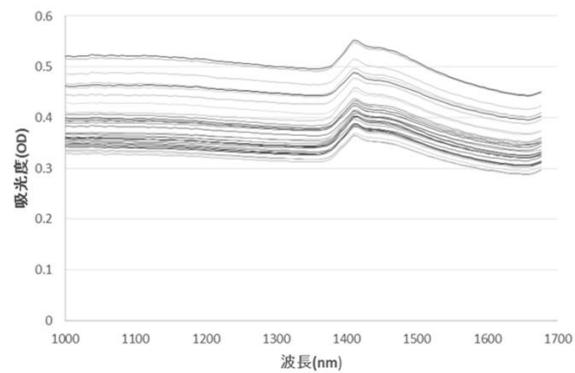


図4 MicroNIR1700による塩害供試体のスペクトル(1100-1676nm)

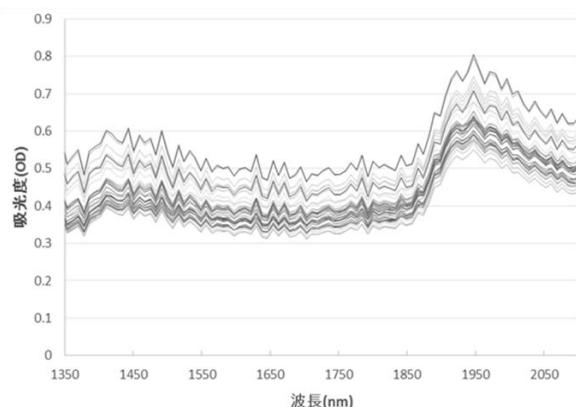


図5 MicroNIR2200による塩害供試体のスペクトル(1353-2150nm)

#### 2)キャリブレーション

塩化物イオン推定のキャリブレーション結果を表2に示した。MicroNIR1700で $R^2=0.98$ , SECV=0.17, RPD=7.45であり, MicroNIR2200で $R^2=0.97$ , SECV=0.22, RPD=5.66, NIRS6500で $R^2=0.97$ , SECV=0.24, RPD=5.22であり, NIRS6500と同等以上の精度を得られた。また、RPDが大きく2.4を上回っていることから実用化を期待できる推定精度であると判断された。

MicroNIR2200のスペクトルで見られた凹凸は精度に影響を与えたことから、この凹凸はMicroNIR2200の分光特性であると

考えられる。図6に塩化物イオン推定の散布図を示した。

表2 塩化物イオンのキャリブレーション結果

Detector	nF	$R^2$	SECV	RPD
MicroNIR1700	5	0.98	0.17	7.45
MicroNIR2200	5	0.97	0.22	5.66
NIRS6500	6	0.97	0.24	5.22

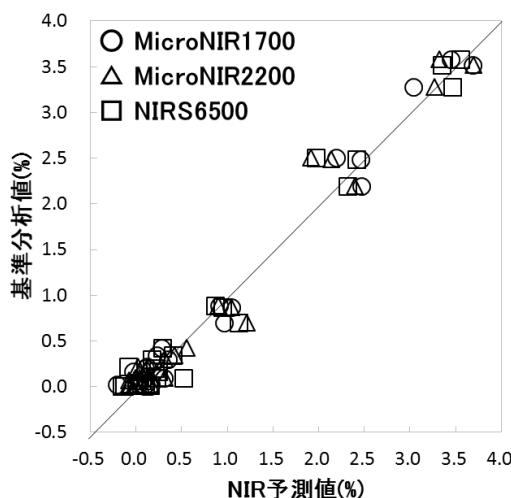


図6 塩化物イオンのキャリブレーション散布図

## (2) 中性化

### 1)スペクトル

各分光装置で測定したスペクトルを図7～図9に示した。中性化供試体のスペクトルでも塩害供試体と同様のノイズが見られたため、それらを除いた波長範囲でキャリブレーションの作成と検証を行った。

中性化供試体のスペクトルでは、いずれの測定装置でも、吸光度が高く1460nm及び1940nm付近のピークが大きいスペクトル群と、それらの特徴を持たないスペクトル群が観測された。前者が全く大気曝露をしていない供試体のスペクトルであり、後者が大気曝露を行った供試体のスペクトルであることから、これは中性化の進行具合を顕著に示しているものと考えられる。

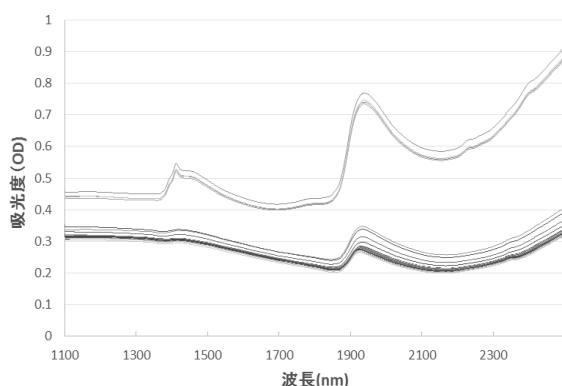


図7 NIRS6500による中性化供試体のスペクトル(1100-2498nm)

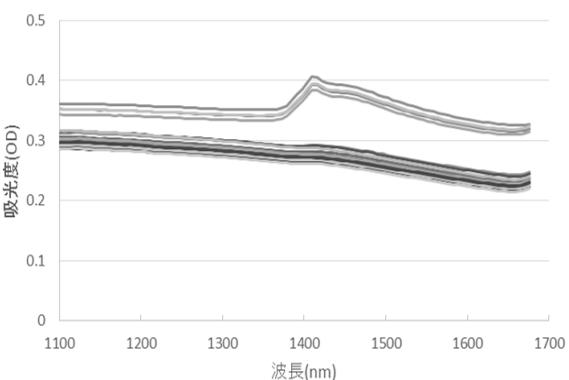


図8 MicroNIR1700による中性化供試体のスペクトル(1100-1676nm)



図9 MicroNIR2200による中性化供試体のスペクトル(1353-2150nm)

### 2)キャリブレーション

水酸化カルシウムのキャリブレーションを表3に示した。中性化的指標となる水酸化カルシウムではMicroNIR2200による推定が最も良好で $R^2=0.99$ , SECV=0.33, RPD=8.83であった。しかし、図10に示したように中性化供試体の水酸化カルシウムの成分分布が両極端に集中したため、中間領域でのキャリブレーションの直線性が保証されていない。今後、大気曝露時間を再検討して供試体が均一に分布するようにしていく必要がある。

表3 水酸化カルシウムのキャリブレーション結果

Detector	nF	$R^2$	SECV	RPD
MicroNIR1700	3	0.99	0.34	8.56
MicroNIR2200	3	0.99	0.33	8.83
NIRS6500	1	0.97	0.48	5.94

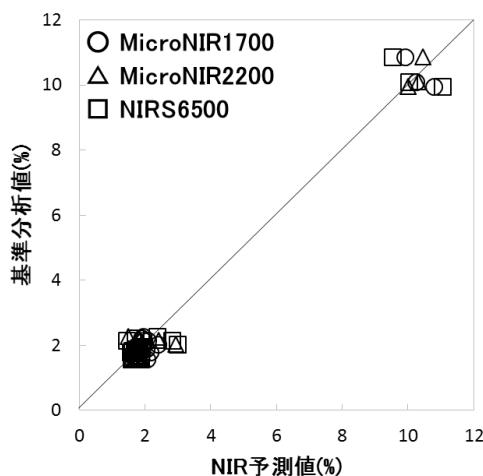


図10 水酸化カルシウムのキャリブレーション散布図

### (3) MicroNIR1700/2200 の特性と今後の展望

塩化、中性化のどちらの劣化因子の推定において MicroNIR1700/2200 は NIR6500 より推定精度が高かった。また、小型・安価・軽量という本器の特徴からも現場への普及に大いに有望である。一方で、MicroNIR1700/2200 の検出器は InGaAs ダイオードアレイで、温度特性が大きいことが知られており、また、近赤外分光法は水分の多少により推定精度が変動することが知られている。温度や湿度が大きく変動する現場での本器の使用にあたっては、これらの環境条件がキャリブレーションに与える影響について解明しておく必要がある。また、本手法ではコンクリート表面のみを測定するため、表面の劣化から内部の劣化を推定する手法の開発が必要である。さらに、コンクリート構造物には砂や砂利が骨材として配合されているため、骨材を配合した供試体でのキャリブレーション精度の検討も必要である。これらは現場への普及のための今後の課題である。

#### 4. まとめ

小型で安価な近赤外分光装置 MicroNIR1700/2200 を用いたコンクリート劣化因子の推定の可能性について検討した結果、MicroNIR1700/2200 によるセメントベースト中の塩化物イオン、水酸化カルシウムの推定は NIRS6500 と同等以上の精度が得られた。しかし、MicroNIR1700/2200 による劣化の推定精度は温度や水分などの環境条件やサンプル状態によって変動することが予想されるため、現場への普及にあたりこれらの影響を解明する必要がある。

## 5. 謝辭

秋田県立大学の陳介余先生、鶴岡工業高等専門学校の清野恵一先生、山形大学農学部地盤工学研究室の奥山武彦先生、ジェイディーエスユニフェーズ株式会社様には分析機器を御提供頂きました。心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 石川 幸宏・金田 尚志・魚本 健人・矢島 哲司：近赤外分光イメージングによるコンクリート中の塩分の定量化に関する提案 コンクリート工学年次論文集 Vol.28 NO.1(2006)
  - 2) 岩元 瞳夫・河野 澄夫・魚住 純 近赤外分光法入門 幸書房(1994)
  - 3) 魚本 健人：コンクリート構造物の非破壊検査技術 旺文社(2007)
  - 4) 金田 尚志：マルチスペクトル法によるコンクリート劣化物質検出手法の開発 東京大学学位論文(2004)
  - 5) 金田 尚志・石川 幸宏・魚本 健人：近赤外分光法のコンクリート調査への応用 コンクリート工学 Vol.43 NO.3(2005)
  - 6) 倉田 孝男・戸田 勝哉：ケモメトリックス手法を用いた近赤外線小型分光器によるコンクリート診断装置開発 IIC REVIEW(2008)
  - 7) 郡 政人・古川 智紀・上田 隆雄・水口 裕之：近赤外分光法を用いたコンクリート中の塩化物イオン濃度の推定手法に関する検討 コンクリート工学年次論文集 Vol.30(2008)
  - 8) 小林 一輔：コンクリート構造物の総合診断法 旺文社(2008)
  - 9) 十河 茂幸・森野 奎二・坂井 悅郎・生コンと材料の品質検査法 旺文社(2006)
  - 10) Tormod Naes・Tomas Isaksson・Tom Fearn・Tony Davies : Multivariate Calibration and lassification NIR Publications(2002)
  - 11) 戸田 勝哉・西土 隆幸・高岡 啓吾・福岡 千枝・倉田 孝男：マルチスペクトル法による中性化および塩害の診断手法に
  - 12) Phil Williams・Karl Norris : Near-Infrared Technology American Association of Cereal Chemists.Inc(1987)
  - 13) コンクリート診断技術'08[基礎編] (社)日本コンクリート工学協会(2008)
  - 14) コンクリート診断技術'08[応用編] (社)日本コンクリート工学協会(2008)
  - 15) コンクリート標準示方書 平成11年度版 土木学会(2000)
  - 16) JISハンドブック 2009 ⑩生コンクリート 日本規格協会(2009)

# 近赤外分光法によるコンクリート構造物の劣化の診断（第6報）

—近赤外分光法による中性化深さの診断—

設楽 徹\*・川代 知寛\*\*・片平 光彦\*\*\*・夏賀 元康\*\*\*

## Diagnosis of concrete deterioration in infrastructures using near infrared spectroscopy

### (Part6)

- Diagnosis of concrete carbonation depth using near infrared spectroscopy -

Toru SHITARA\*・Tomohiro KAWADAI\*\*・Mitsuhiko KATAHIRA\*\*\*・Motoyasu NATSUGA\*\*\*

#### Abstract

We concluded in the part 1 that the concrete deterioration factors could be estimated with sufficient accuracy using near-infrared spectroscopy. However, as near-infrared ray is too weak to penetrate into concrete, inside information of concrete can't be acquired. So, we investigated the possibility of estimating inner part of concrete carbonation, defined by phenolphthalein method used widely on the site, from the surface spectra. The result,  $R^2=0.89$ ,  $SECV=0.69$ ,  $RPD=2.97$ , was encouraging for the field use.

[Keyword] near infrared spectroscopy, concrete, carbonation, phenolphthalein method

#### 1.はじめに

コンクリート構造物に代表される老朽化した社会資本の診断に非破壊検査の重要性が指摘され、それにともない多くの非破壊検査手法が開発されてきている。コンクリート構造物の情報を非破壊検査により現場で簡便・迅速・低コストに得ることができれば、社会資本の維持管理に極めて有効である。近年では、非破壊検査法の一種である近赤外分光法を用いたコンクリートの劣化診断も試みられており、現場に応用が可能な簡便・迅速・低コストの診断技術として今後の展開が期待されている。<sup>1,2)</sup>

我々は前報までに近赤外分光法はコンクリートの劣化因子を精度よく推定できることが明らかにした。しかし、近赤外光はエネルギーが弱く、また測定対象となるコンクリートは緻密な固体であることからコンクリート表面の情報しか得ることができず、目的とするコンクリート内部の劣化因子濃度や劣化深度を直接推定することができない。深部の情報を直接測定するためにはコンクリートを穿孔しファイバを挿入して測定するなどの方法が考えられるが、本手法の簡便・迅速・低コストというメリットを大きく損なうことになる。<sup>3)</sup>そのため、本手法で効率よくコンクリート構造物の診断を実施していくためには、深部性状を推定する方法について検討する必要がある。

そこで、本研究では現場で中性化深さの測定に一般的に使用されるフェノールフタレン法の測定値を、近赤外分光法によるコンクリート表面のスペクトルによって推定することが可能かについて検討を行った。

#### 2. 中性化

##### (1) フェノールフタレン法

フェノールフタレン法(JIS A 1152)は、現場での中性化の診断方法として一般的に使用されている。その測定原理は、コンクリート構造物から採取したコアなどのコンクリート供試体に1%フェノールフタレン溶液を噴霧し、中性化の進行によりアルカリ性が低下しフェノールフタレン溶液で呈色しなかった無色部を中性化深さとしてノギス等で測定するものである。診断方法が簡便かつ即時に結果が得られることから現場で広く利用されているが、破壊試験であるため供用中のコンクリート構造物に適用する場合には注意が必要であり、また、点的測定であることから大規模なコンクリート構造物を対象にする場合には多大な費用・労力・時間を要するという欠点がある。<sup>4,5)</sup>

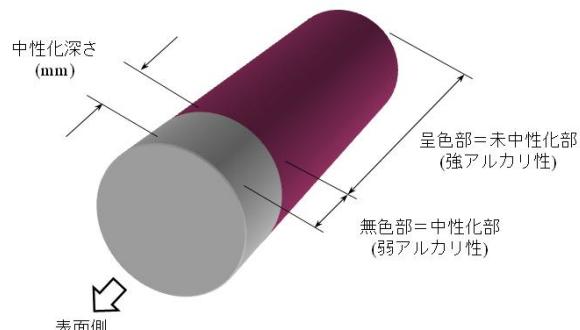


図1 フェノールフタレン法の測定原理

\*岩手大学大学院連合農学研究科 \*\*山形大学大学院農学研究科 \*\*\*山形大学農学部

## (2) 中性化の進行予測

中性化の進行は拡散方程式に基づき、下記の方程式によることが経験的に知られている。<sup>4,5)</sup>

$$C = A\sqrt{t}$$

(C: 中性化深さ A: 中性化速度係数 t: 時間)

本研究ではこの関係に着目し、表面の近赤外スペクトルからフェノールフタレン法による中性化深さを推定することが可能か検討を行った。

## 3. 材料と方法

### (1) 供試体

普通ポルトランドセメント(太平洋セメント、JIS R 5210)と、蒸留水を水セメント比W/C=50%で練り混ぜたセメントベーストにより、□50×100の角柱形供試体を作成した。中性化の劣化因子の導入は大気中に曝露することで行い、劣化の程度は曝露期間を1, 3, 7, 14, 28, 56, 112日の7区分に分けることで調整し、7区分×3回復=21個の供試体を作成した。

### (2) スペクトル測定

本研究では、第5報で良好な推定精度を示したMicroNIR1700及びMicroNIR2200(JDSU, USA)を使用した。MicroNIRの仕様を表1に示した。スペクトル測定の繰り返し回数は30回と100回とし、推定精度の比較を行った。

スペクトル測定は角柱形供試体の各4面を、4面×21供試体=84回行った。図2に示したように、スペクトル測定位置と後述する基準分析の位置が一致するように供試体にあらかじめマーキングを行った。

表1 分光分析装置の仕様

	MicroNIR1700	MicroNIR2200
レイアウト	反射測定方式	
リファレンス	硫酸バリウム	
ディテクタ	InGaAs	
分光方式	後分光方式	
波長範囲	908-1676nm	1150-2150nm
波長間隔	6.2nm	8.1nm



図2 スペクトルの測定状況

### (3) 基準分析

図3に示したように、供試体をマーキング位置で乾式バンドソーにより切断し、その断面に1%フェノールフタレン溶液を噴霧し、ノギスにより角柱供試体各4面の中性化深さを測定した。



図3 フェノールフタレン法による中性化深さの測定

### (4) キャリブレーションの作成と検証

統計処理ソフトウェア The Unscrambler v9.2(CAMO, Norway)を使用し、Full cross-validation 法による PLS 回帰分析(Partial Least Squares Regression)でキャリブレーションの作成と検証を行った。

## 4. 結果と考察

### (1) スペクトル

図4にMicroNIR1700により測定したスペクトルを、図5にMicroNIR2200により測定したスペクトルを示した。

観測されたスペクトルには970nm, 1460nm及び1940nm付近に明確なピークが確認されたが、このピークは過去の知見から水の吸収によるものと考えられる。<sup>6)</sup> また、これ以外では特に目立ったピークは確認できなかった。

なお、MicroNIR2200で測定されたスペクトルには、第5報と同様に周期的な凹凸が見られた。

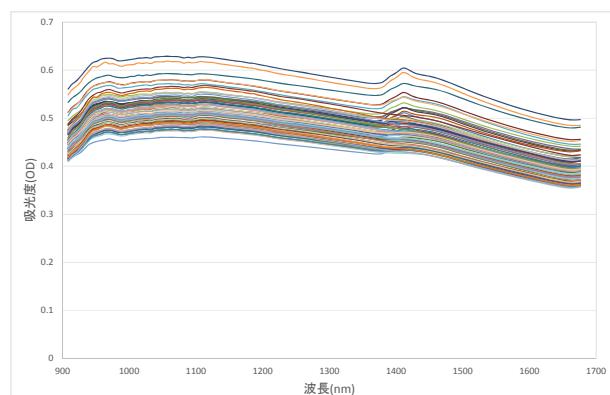


図4 MicroNIR1700で測定したスペクトル

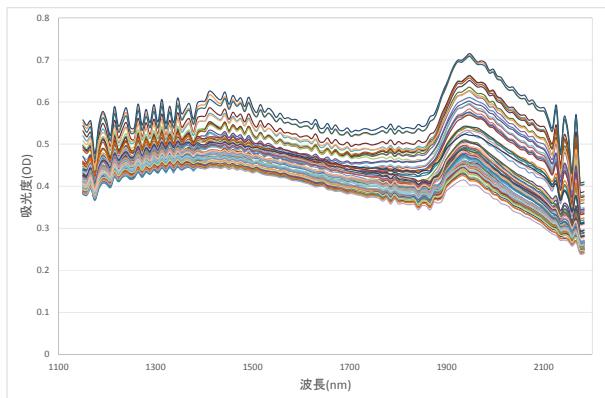


図5 MicroNIR2200で測定したスペクトル

## (2) 基準分析

曝露日数が1, 3, 7, 14日の供試体については、中性化深さが1mmに満たないものが多く、呈色部と無色部の境界が判断しにくく正確な測定を行うことが困難であった。また、曝露日数が短かつたため、中性化深さ0-1mmの間に分析値が集中する結果となった。このため、供試体への劣化因子の導入方法について再検討が必要と考えられた。

## (3) キャリブレーション

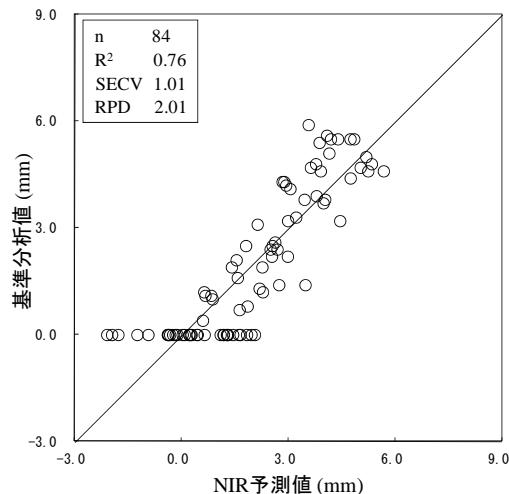
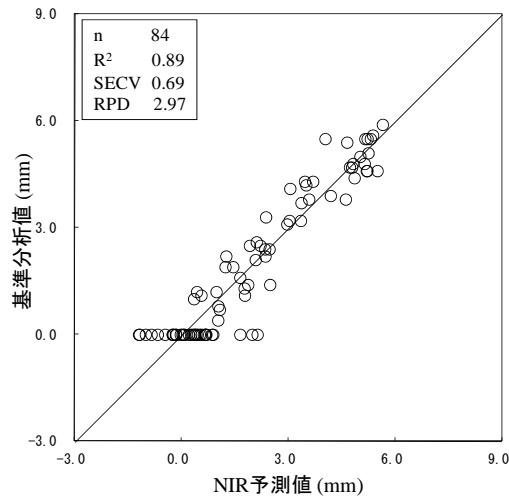
全供試体によるキャリブレーションの結果を表2に示した。なお、スペクトル測定範囲の両端ではノイズが大きかったためそれらを除外し、MicroNIR1700では1000-1600nm、MicroNIR2200では1200-2100nmでキャリブレーションの作成と検証を行った。

表2 中性化深さのキャリブレーション結果(n=84)

	Average	nF	R <sup>2</sup>	SECV	RPD
MicroNIR1700	30	7	0.73	1.07	1.91
	100	6	0.76	1.01	2.02
MicroNIR2200	30	7	0.89	0.69	2.94
	100	7	0.89	0.69	2.97

全供試体によるキャリブレーションではMicroNIR2200が最も良好な推定精度を示し、R<sup>2</sup>=0.89、SECV=0.69、RPD=2.97であった。RPDが2.4を上回っていることから、現場への応用の可能性が示唆された<sup>7,8)</sup>。

MicroNIR1700とMicroNIR2200とではMicroNIR2200の方が、推定精度が高かった。繰り返し回数30回と100回とでは精度に差は見られなかった。図6と7に、推定精度の良好だった繰り返し回数100回のMicroNIR1700とMicroNIR2200によるキャリブレーションの散布図を示した。散布図に示されたとおり、曝露日数の短い供試体についてはプロットに偏りが見られたため、劣化因子の導入方法について再検討が必要と考えられた。

図6 MicroNIR1700のキャリブレーション散布図  
(N=84, Average=100)図7 MicroNIR2200のキャリブレーション散布図  
(N=84, Average=100)

## (4) 考察

MicroNIR2200でR<sup>2</sup>=0.89、SECV=0.69、RPD=2.97と良好な推定精度が得られ、RPDが2.4を上回ったことから、現場への応用が期待できるものと考えられる。本研究で得られた推定精度は定量分析には不足であるが、中性化部分の大まかな仕分けなどの定性分析には充分に使用できるものと考えられる。なお、機器や繰り返し回数による推定精度の差はあまり見られなかつたが、推定精度向上のため、今後も検討を行っていく必要があると考えられる。

ただし、本研究で作成した供試体は、実際の現場でのコンクリートに比べて中性化深さが浅かったため、現場への応用にあたっては、供試体への劣化因子の導入方法などについて再検討し、より現場実態に沿った供試体でも同様の結果が得られるか検討する必要があると考えられる。

本実験では深部測定として、フェノールフタレイン法による中性

化深さについて検討を行ったが、塩害など他の劣化現象についてもこの手法により推定が可能であれば、1回の走査で複数の劣化因子を測定可能という近赤外分光法のメリットを大いに活かすことが可能であり、コンクリート構造物の診断効率が飛躍的に向上するものと考えられるため、引き続き検討を行っていくことが必要であると考えられる。

また、今回は室内実験であったため、供試体の温度や湿度はほぼ一定であったが、実際の現場での使用では必ずしもそうした環境条件下での測定ができるとは限らないため、環境条件が推定精度に与える影響についても検討していく必要がある。

## 5.まとめ

本研究では、近赤外分光法によりコンクリート深部の劣化を推定するために、コンクリート表面の近赤外スペクトルにより、フェノールフタレンイン法による中性化深さを推定することが可能か検討を行った。その結果、

- (1) MicroNIR2200 で  $R^2=0.89$ , SECV=0.69, RPD=2.97 と良好な推定精度が得られ、コンクリート表面の近赤外スペクトルから、中性化深さを推定することが可能であることが示唆された。
- (2) 本研究で作成したコンクリート供試体の中性化深さは、実際の現場での中性化深さより浅いため、現場への応用にあたっては、現場実態に沿った中性化深さを深くした供試体についても同様の結果が得られるか検討が必要であると考えられた。
- (3) 現場への応用にあたって、塩害など他の劣化現象についてもこの方法により推定が可能か検討していく必要があると考えられた。また、現場で想定される様々な環境条件下での測定において、推定精度が保証されるかについても検討していく必要があると考えられた。

## 5. 謝辞

本研究の遂行にあたって、ジェイディーエスユニフェーズ株式会社様には分析機器のご提供及びご助言をいただきました。また、生産機械システム工学研究室の学生諸君にはスペクトル測定並びに基準分析に多大なご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 金田 尚志・石川 幸宏・魚本 健人：近赤外分光法のコンクリート調査への応用 コンクリート工学 Vol.43 NO.3(2005)
  - 2) 石川 幸宏・金田 尚志・魚本 健人・矢島 哲司：近赤外分光イメージングによるコンクリート中の塩分の定量化に関する提案 コンクリート工学年次論文集 Vol.28 NO.1(2006)
  - 3) 倉田 孝男・戸田 勝哉：ケモメトリックス手法を用いた近赤外線小型分光器によるコンクリート診断装置開発 IIC REVIEW(2008)
- 4) コンクリート診断技術'08[基礎編] (社)日本コンクリート工学協会(2008)
  - 5) コンクリート診断技術'08[応用編] (社)日本コンクリート工学協会(2008)
  - 6) 岩元 瞳夫・河野 澄夫・魚住 純 近赤外分光法入門 幸書房(1994)
  - 7) Tormod Naes・Tomas Isaksson・Tom Fearn・Tony Davies : Multivariate Calibration and Classification NIR Publications(2002)
  - 8) Phil Williams・Karl Norris : Near-Infrared Technology American Association of Cereal Chemists.Inc(1987)

# 施肥同時溝切り機を用いた長ネギ栽培の効率的作業技術に関する研究

—チェーンポット連結の効率化—

大竹智美\*・進藤勇人\*\*・片平光彦\*・夏賀元康\*

## Efficient Cultivation techniques of Welsh onion Cultivation Using Fertilizer-applicator Ditcher

—optimizing of chain-pot connection—

Tomomi OTAKE\*・Hayato SHINDO\*\*・Katahira MITSUHIKO\*・Motoyasu NATSUGA\*

### Abstract

Welsh onion cultivation has benefited from high-efficiency work systems by the introduction of many farm machines from open ditch to transplanting. Transplanting ditches of Welsh onion, made by fertilizer applicator ditcher and a walking type tractor, were transplanted by walking type transplanter to use chain pot seedlings. Connecting work of chain pots is usually done with a stapler. However, using a stapler causes difficulties such as decreased work rates, mud stuck at the top of stapler, and difficulty of needle exchange. Therefore, this paper presents discussion of the use of a needle-less stapler to connect chain pots to improve working costs with chain pot seedlings, which decreased materials costs and work rates. We investigated various properties that affect connection of chain pots to clarify a needle-less stapler shape: the pull force (N) at pulling out of a chain pot from a nursery bed, breaking force (N) differences among nursery periods, and connecting shapes. Pull forces generated to pull out a chain pot from nursery bed were 0.5~3.5 N within 8 to 9 s at measuring time and got 3.0 N at chain pots for pulling about 1 m. Breaking force of chain pots that were put in nursery beds at two months after seeding were 28.1 N at the pod center, and 28.9 N between pots. The respective breaking forces connecting chain pots by the staplers were 21.0 N at HD-10DF, normal stapler, 5.9 N at SLN-MSH205, 5.2 N at SLN-MSH110, 4.7 N at ST001BK-500, 2.9 N at 4761-405, and a needle-less stapler. Using a needle-less stapler to connect chain pots yielded results superior to those of SLN-MSH205, SLN-MSH110, and ST001BK-500, achieving greater than 3.1 N breaking forces.

[Keywords] Welsh onion, chain pot, labor saving

### 1. 緒言

長ネギは日本人にとってなじみ深く食卓に欠かせない野菜である。平成 25 年度産長ネギ作付面積は全国では 22,900ha であり、そのうち千葉が 2400ha、埼玉が 2420ha、茨城が 1910ha となつておる、関東・東北地域で全体の 42.3%を占めている。また、収穫量は千葉が 66,400t、埼玉が 63,600t、茨城が 48,300t となっており、いずれも対前年比 102~106%と高い収量レベルを示している（農林水産省、2014）。長ネギの栽培面積・収穫量は増加しているが、生産現地では農業従事者の高齢化が進んでおり、生産性及び品質に優れる品種の育成や作業コストの低減、植え溝切りや定植作業などの各作業内容の見直し、肥効調節型肥料を用いた施肥効率の改善などが不可欠な現状になっている。

長ネギの品種は、一般的に生態的特徴と用途別で分類できる。生



図1 チェーンポットを用いた定植作業の状況

\* : 山形大学農学部 鶴岡市若葉町 1-23

\*\* : 秋田県農業試験場 秋田市雄和相川字源八沢 34-1

態的特徴としては、冬季に休眠する夏ネギ型と休眠しない冬ネギ型に大別できる。用途別では、歩行管理機を用いて土寄せすることによって葉鞘部を伸長、軟白させる根深ネギ用品種、土寄せをほとんど行わざる主に葉鞘部を食用とする葉ネギ用品種に分類される。それらの品種は、夏ネギ型の加賀群、冬ネギ型で主に葉ネギ用の九条ネギ群、冬ネギ型が中心で主に根深ネギ用の千住群の3群に大別できる。なお、加賀群はさらに根深ネギ用の加賀系および下仁田系、葉ネギ用の岩槻系に分類され、東北、北陸、関東を中心に栽培されている。葉ネギ用の九条ネギは主に西日本で栽培される九条太系と九条細、愛知県を中心に栽培され葉深部と軟白葉鞘部の両方を利用する越津系に分類される。また、千住群には耐暑性に優れ、葉色は濃く分けつが発生しない黒柄系、黒柄系に比べ低温伸長性に優れ、2~3本に分けつする合柄系、低温伸長性に優れ葉鞘部が細長く、数本に分けつする赤柄系がある<sup>1) 2)</sup>。

長ネギの作業体系では、植え溝切りから定植までの作業工程が多いため、作業を効率化するにあたり各工程の作業統合が必要である。施肥と植え溝切り作業は、両工程を同時に作業する施肥溝切り機が開発され、マメトラ農機株式会社から市販されている。施肥溝切り機は、作業を統合する最小限耕うん法と肥効調節型肥料を用いた全量基肥施肥技術の適用によって慣行作業体系と比較して90%の省力化率を実現している<sup>3)</sup>。これらの作業機で作成された植え溝には、セル苗用の半自動移植機や、地床育苗用の乗用半自動移植機、チェーンポット苗を用いた簡易移植器を用いて定植されている(図1)。その中で、チェーンポット苗を用いた定植は、育苗と作業の容易さから多くの生産地で導入が進んでいる。チェーンポットは紙筒が数珠状に繋がったものが蛇腹状に折りたたまれた構造をしており、育苗箱(58cm×28cm)一枚当たりの定植距離が約14mである。なお、一条の長さが15mを超えるほ場では苗を補給するため、チェーンポット同士を連結して必要な長さを確保することになる。チェーンポット苗を用いた定植作業は、作業能率が1.2~2.3h/10a<sup>4)</sup>、その中で苗の補給及び連結を含めた全体の作業時間が0.49h/10a(ほ場区画:10m×30m)と報告されており<sup>5)</sup>、作業全体で連結や運搬に要する割合が高い。連結作業はホチキスの利用が一般的であるが、ホチキスの先端に泥が詰まることや、作業中に針の交換がしにくいなどの問題があり、作業能率低下の要因になっている。

そこで、本報ではチェーンポット苗を用いた定植作業の効率化と

資材費の低減による労働生産性の改善を目的に、苗の連結作業に針なしホチキスを用いることを検討した。実験はチェーンポット連結作業に適した針なしホチキスの形状を明らかにして作業性を改善することを目標とし、育苗箱からチェーンポットを引き出す際に作用する力(N)、育苗期間の違いがチェーンポットの強度に与える影響、連結に適した綴じ部の形状を調査した。

## 2. 実験方法

(1) 実験場所: 実験は山形県鶴岡市にある山形大学農学部で行った。(2) 供試材料: 実験に使用したチェーンポットは日本甜菜製糖株式会社のCP303(口径3.0cm、高さ2.8cm(実測値)、264穴、植え付け長さ約14.0m、株間約5.0cm)を用いた。育苗期間の違いに関する実験では無加温雨よけハウスでの育苗を想定し、園芸用培土(菊池産業株式会社:花と野菜育苗培土)をチェーンポットに充填して育苗箱に配置し、それに対して2か月間定期的に灌水を行った。チェーンポット連結実験では、市販のホチキス(MAX:HD-10DF)と針なしホチキス(KOKUYO:SLN-MSH205, SLN-MSH110 KUTSUWA:ST001BK-500, サンスター文具:4761-405)を用いた。使用したホチキスの品番と綴じ部形状を表1に示す<sup>8)</sup>。

### (3) 実験方法

#### 1) 定植時の荷重測定

定植時の引き出し荷重は、チェーンポットを実際の定植時と同様に育苗箱から約0.2m/sの速度で引き出し、その際の荷重(N)をチェーンポットと連結したデジタルフォースゲージ(IMADA:ZTA-500)でサンプリングレート100回/sの条件で測定した。

#### 2) 紙筒供試体の引張実験

引張試験は紙の引張試験に用いるJIS規格<sup>6)</sup>を参考として幅15mm、長さ135mmに調製し<sup>7)</sup>、供試する紙筒から土をブラシなどで払い落とし、前記したデジタルフォースゲージと紙筒を連結するチャックの間隔を100mmに設定し(固定長17.5mm)、サンプリングレート100回/sの条件で供試体が破断するまでの荷重(N)を測定した。測定は自作した台上(縦72cm×横12.5cm×高さ12cm、木製)にデジタルフォースゲージとチャックの把持部で固定されたチェーンポットが並行になるように配置し、一定の速度で引っ張った(図2)。

表1 使用したホチキスの主要諸元

メーカー	KOKUYO	KOKUYO	KUTSUWA	サンスター文具	MAX
品番	SLN-MSH205	SLN-MSH110	ST001BK-500	4761-405	HD-10DF
外観					
綴じ部の形状	 				※針の形状 

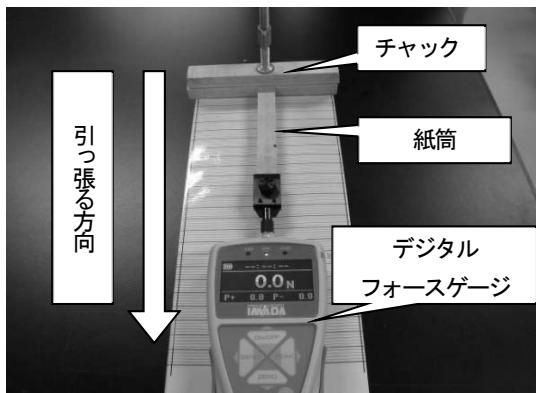


図2 引張試験の様子

なお、紙筒供試体は育苗前、育苗期間1ヶ月後、育苗期間2ヶ月後の個体でポット部分が供試体の中心に位置する個体と、ポット間の部分が供試体の中心に位置する個体をそれぞれ用いた。

### 3) 紙筒の連結実験

紙筒の連結試験は引張実験と同様に紙筒供試体から土を払い落としてから、それを幅28mm、長さ55mmに調製した。調製した供試体は、端から15mmの幅で2枚を重ね合わせて表1に示すホチキスでそれぞれ連結した。連結は針なしホチキスの場合が供試体の幅側の中心部を一か所、ホチキスの場合が供試体の幅側1/3の部分を2か所綴じた。連結した供試体はデジタルフォースゲージとチャックの間隔を75mmに設定し、サンプリングレート100回/sの条件で破断までの荷重(N)を測定した。紙筒供試体は引張試験と同様に育苗前、育苗期間1ヶ月後、育苗期間2ヶ月後の個体を供試した。

### (4) 検討項目

#### 1) 定植時荷重

育苗箱からチェーンポットを引き出す際にチェーンポットに加わる荷重(N)の変化を測定し、得られたデータを実測値と移動平均(連続した10回の記録の平均)で表した。

#### 2) 紙筒供試体の引張実験

供試体の引張試験では使用する紙筒の基本特性値である破断強度(N)、含水比、測定時の秤量(g/m<sup>2</sup>)をそれぞれ測定した。秤量は実験に用いた供試体を75°Cのオーブンで48時間乾燥させて乾物重を量り、それを供試体の面積で除して算出した。比引張強さ(F<sub>p</sub>:Nm/g)は、以下の(1)式で示す試験片幅あたりの引張強

さ(N)を秤量(g/m<sup>2</sup>)で除して算出した。

$$F_p = \frac{\text{試験片幅あたりの引張強さ (N/m)}}{\text{秤量 (g/m}^2\text{)}} \quad (1)$$

### 3) 紙筒連結実験

紙筒連結試験では初めにデジタルノギスを用いて連結部の形状(mm)を測定し、次いで前記した条件で連結部が破断するまでの強度(N)を実測した。

## 3. 結果及び考察

### (1) 定植時の荷重測定

チェーンポットを引き出す際に発生する荷重は、8~9秒の測定時間内で0.5~3.5Nの範囲で変動した。約1m引っ張った時点では約3.0N程度の荷重が加わり、2m引き出した時点では最大で約4Nの荷重がチェーンポットに加わった(図3)。なお、3秒と6秒付近で荷重が1N程度低下したのは、育苗箱内で折り返された部分が展開する際に最も荷重が加わり、その後低下したことが要因である。

実際の定植では、チェーンポットが育苗箱から1m程度引き出されると連結部がほ場内に埋没するため、連結部に加えられる荷重が0Nになる。チェーンポット苗の定植では、紙筒の1個あたりの質量が平均で5.8g(含水比約1.1)、苗の平均一本重が2.6g(2014年度夏どりネギ)であるため、2粒まきした場合の紙筒一つあたりの重量が約11.1gと推定できる。簡易移植器上の苗送り台の長さは育苗箱の長辺を加えると80cm~130cmの間で変動し、育苗培土を充填したチェーンポット1個の長さが4.5cmである。そのため、簡易移植器上で展開されるポットの個数は最大で28.9個、そこに1ポットあたりの重量をかけると196.6gとなり、これを引き出すには、摩擦を無視した場合で約3.1Nの力が必要と推定される。実測値との差は、培土を充填しただけのチェーンポットを引き出しているためである。すなわち、実際の定植では苗の質量、灌水量、ほ場や簡易移植器での摩擦が加わって大きくなるため、ポットの連結部はそれらを合算した力以上に耐えることが必要である。

### (2) 紙筒供試体の引張試験

紙筒の引張強度は、育苗前の供試体のポット中心とポット間中心で破断強度が48.9N、43.3N、含水比が0.04、0.05、測定時の秤量が112.4g/m<sup>2</sup>、114.2g/m<sup>2</sup>、比引張強度が29.1Nm/g、25.2Nm/gであった。1ヶ月間育苗した供試体ではポット中心とポット間中心の各供試体で破断強度が37.6N、36.1N、含水比が0.17、0.20、

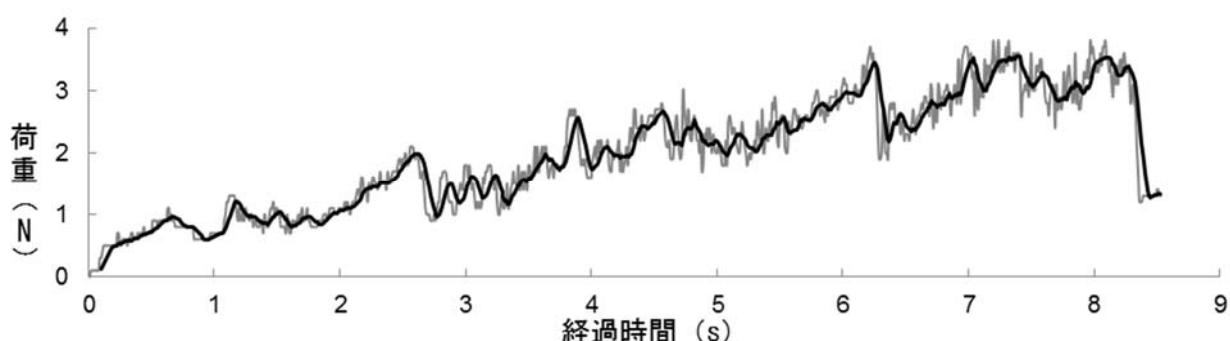


図3 チェーンポットを定植した際の荷重変化

測定時の秤量が  $116.8\text{g}/\text{m}^2$ ,  $115.0\text{g}/\text{m}^2$ , 比引張強度が  $21.4\text{Nm/g}$ ,  $20.9\text{Nm/g}$  であった。2ヶ月間育苗した供試体ではポット中心とポット間中心の各供試体で破断強度が  $28.1\text{N}$ ,  $28.9\text{N}$ , 含水比が  $0.16$ ,  $0.14$ , 測定時の秤量が  $115.4\text{g}/\text{m}^2$ ,  $113.4\text{g}/\text{m}^2$ , 比引張強度が  $16.2\text{Nm/g}$ ,  $17.0\text{Nm/g}$  であった。

用いた供試体は引っ張る方向と垂直に破線状の切れ目が入っており、全ての試験片がこの切れ目の部分から破断した。供試体は育苗期間が長くなるほどもろくなる傾向にあったが、連結には影響がない程度であった(図4)。

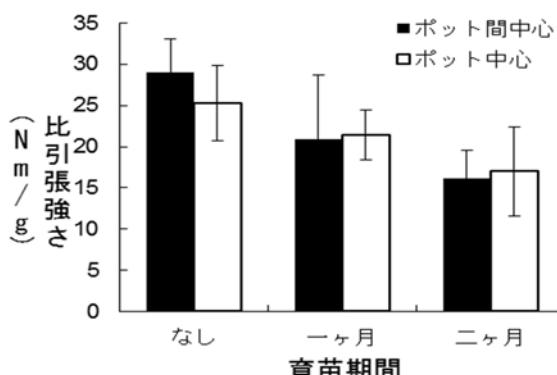


図4 紙筒の引張強度

### (3) 紙筒の連結実験

2ヶ月間育苗したチェーンポット紙筒供試体を連結した際の破断強度は HD-10DF を用いた場合  $21.0\text{N}$ , SLN-MSH205 を用いた場合  $5.9\text{N}$ , SLN-MSH110 を用いた場合  $5.2\text{N}$ , ST001BK-500 を用いた場合  $4.7\text{N}$ , 4761-405 を用いた場合  $2.9\text{N}$  であった。紙筒供試体の含水比は HD-10DF が  $0.09$ , SLN-MSH205 が  $0.08$ , SLN-MSH110 が  $0.08$ , ST001BK-500 が  $0.08$ , 4761-405 が  $0.08$  であった(図5)。

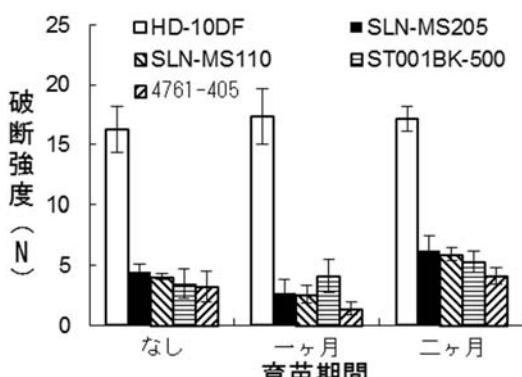


図5 育苗期間の違いが紙筒の連結強度に与える影響

針なしホチキスでの綴じ方は表1に示すとおり、SLN-MSH205, SLN-MSH110, SLN-MSH110, ST001BK-500 は切りぬいた紙片を折り返して、切り込みに差し込むことで紙を固定する方法である。これらの針なしホチキスを用いた連結では折り返した部分に負荷が加わり、そこからちぎれるようにして破断した。ただし、4761-405 は切りぬいた紙を押し曲げることで紙を固定する方法で

ある。この針なしホチキスを用いた連結では、試験片は切れずに重なった部分が抜ける結果となった。

破断強度は針なしホチキスの SLN-MSH205, SLN-MSH110, ST001BK-500, 4761-405 の順で大きい傾向にあるが、針なしホチキス間では有意な差が見られなかった。チェーンポット苗の定植では、前記したとおり紙筒に  $3\text{N}$  以上の引張荷重が加えられる。すなわち、ポットの連結に針なしホチキスを用いるには破断強度  $3\text{N}$  以上を確保できる SLN-MSH205, SLN-MSH110, ST001BK-500 の利用が連結に適しているといえる。なお、破断強度は、育苗前と育苗期間1ヶ月後の供試体と比較して育苗期間2ヶ月後の供試体で大きくなつた。紙筒の破断は育苗期間よりも紙筒の含水比の影響を大きく受けることが要因と考えられる。ほ場での定植では定植前に灌水する影響で紙筒の含水比が本実験よりも大きくなるため、それを考慮した連結力を有する構造を考える必要がある。

### 4. 摘要

- 1) チェーンポット苗を苗箱から引き出すには紙筒に  $3\text{N}$  以上の力が加わる。
- 2) 紙筒供試体は育苗期間が長くなるほど比引張強さが  $29.1\sim16.2\text{Nm/g}$  と小さくなる傾向にある。
- 3) 供試した針なしホチキス SLN-MSH205, SLN-MSH110, ST001BK-500 は、連結時の破断強度が  $4.7\sim5.9\text{N}$  であり、チェーンポットの連結に利用できる可能性が示唆された。

### 参考文献

- 1) 位田晴久, 山崎篤, 2008. ネギの生理生態と栽培技術, 農耕と園芸編集部編, ネギの生理生態と生産事例, 誠文堂新光社, 東京, 7-14.
- 2) 安藤利夫, 2008. 品種と作型の動向, 農耕と園芸編集部編, ネギの生理生態と生産事例, 誠文堂新光社, 東京, 15-24.
- 3) 片平光彦, 村上章, 進藤勇人, 林浩之, 武田悟, 加賀谷博行, 田村保男, 2006. 培土と施肥を中心とした長ネギの省力・高品質化技術(第2報), 農業機械学会誌, 68 (2), 94-99.
- 4) 鵜沼秀樹, 本庄求, 進藤勇人, 屋代幹雄, 片平光彦, 2011. 寒冷地におけるセル大苗7月どりネギ栽培の経営評価. 東北農業研究, 64, 165-166.
- 5) 瀬野幸一, 斎藤洋助, 芳賀泰典, 田中進, 向田良一, 1994. 高能率ネギ移植機の開発, 東北農業研究, 47, 297-298.
- 6) JIS P 8113 : 2006. 紙及び板紙-引張特性の試験方法-第2部: 定速伸張法.
- 7) 江前敏晴, 講座「紙の科学」紙の物性・構造の基礎と印刷適性」, <http://www.enomae.com/Paper%20Science%20seminar2/>, accessed Aug.3, 2014.
- 8) KOKUYO, <http://www.kokuyo-st.co.jp/stationery/sl-stapler/handy10.html>, accessed Aug.3, 2014.
- 9) KOKUYO, <http://www.kokuyo-st.co.jp/stationery/sl-stapler/handy5.html>, accessed Aug.3, 2014.

# コマツナの遠赤外線乾燥過程における乾燥ムラおよび品質変化の評価

折笠貴寛\*・畠中咲子\*\*・富樫千之\*\*\*・岡本慎太郎\*\*\*\*・齊藤順一郎\*\*\*\*\*・齊藤義郎\*\*\*\*\*

渡邊高志\*\*\*\*\*・小出章二\*

## Evaluation of Drying Uniformity and Quality Changes of Komatsuna during Far-Infrared Drying

Takahiro ORIKASA\*, Sakiko HATANAKA\*\*, Chiyuki TOGASHI\*\*\*, Shintaro OKAMOTO\*\*\*\*, Jun-ichiro SAITO\*\*\*\*\*

Yoshiro SAITO\*\*\*\*, Takashi WATANABE\*\*\*\*\* , Shoji KOIDE\*

### Abstract

We evaluated the drying uniformity for Komatsuna (Japanese mustard spinach) samples in a far-infrared drying chamber, and the effect of drying temperature on sample quality (aerobic plate count, L-ascorbic acid content, and surface color) during far-infrared drying. In addition, we determined the viable bacteria count and L-ascorbic acid content of Komatsuna samples subjected to microwave blanching. The results showed that in far-infrared drying, the installation position of the drying tray affected the drying characteristics, such as drying rate. However, the samples underwent uniform drying even when the tray position was changed. Under the drying conditions employed, there was no significant effect of the drying temperature (35, 40, and 45°C) on the sample quality. Microwave blanching, on the other hand, decreased not only the aerobic plate count in the sample but also the L-ascorbic acid content. Further studies must be carried out to identify the optimal conditions for microwave blanching and far-infrared drying of Komatsuna.

[keywords] Komatsuna, Far-infrared drying, drying uniformity, microwave blanching, aerobic plate count, L-ascorbic acid

### 1. 緒言

現在、青果物は流通段階で、規格外品などの食品廃棄物として国内生産量の約18%が廃棄されており<sup>1)</sup>、その対策が重要な課題となっている。この問題を解決するために、青果物を適正に処理・加工し有効利用することが効果的であると考えられる。加工操作の一つである乾燥は、貯蔵安定性の向上、輸送性の向上、栄養成分の濃縮等の高付加価値化および調理工程の簡便化等を図るために処理が施されている。中でも、遠赤外線乾燥は、中間の媒体を必要とせず直接材料に熱を伝えることができ、伝熱方式が熱伝導や対流ではなく輻射を利用した内部加熱方式であることから、他の乾燥法と比べエネルギーの消費効率が良いとされている<sup>2)</sup>。遠赤外線乾燥を青果物に適用した事例として、例えば岡本らは、コマツナの遠赤外線乾燥における乾燥特性<sup>3)</sup>および品質変化<sup>4)</sup>について報告している。しかし、遠赤外線乾燥の実用利用で問題となる乾燥ムラの有無や乾燥温度の違いによる試料品質の変化の詳細は未だ明らかではない。これらの情報は、遠赤外線乾燥機の製造・利用および最適乾燥条件の検討

に必要な乾燥特性シミュレーションの一助になると考えられる。

一方、従来から食品の乾燥に用いられてきた、凍結乾燥法や自然乾燥法は乾燥後的一般生菌数が比較的多いという指摘がなされている<sup>5)</sup>。殺菌処理を施していない一般生菌数の多い乾燥野菜を原料として使用した場合、加工食品の腐敗の可能性が高まるため<sup>6)</sup>、乾燥野菜の一般生菌数の低減は食品衛生上、非常に重要な課題となっている。並木ら<sup>5)</sup>は遠赤外線乾燥において温度条件を20°Cと40°Cに設定し、乾燥後のニンジンの一般生菌数を測定したところ、40°Cの乾燥試料における一般生菌数は20°Cのそれと比べて約10倍程度多くなると報告している。これを防止する手段として、乾燥前試料に一般生菌数を減少させる前処理を施す必要があると考えられる。一般に、青果物乾燥品の品質劣化を避けるために行なわれるブランチングは、内在性諸酵素の失活のみならず、殺菌を目的に施される場合もある。しかし、コマツナをブランチングした際の一般生菌数や品質について調査した例は少ない。

そこで、本研究では、コマツナの遠赤外線乾燥過程における乾燥

\* : 岩手大学農学部 岩手県盛岡市

\*\* : 宮城県産業技術総合センター 仙台市泉区

\*\*\* : 宮城大学食産業学部 仙台市太白区

\*\*\*\* : 宮城大学大学院食産業学研究科 仙台市太白区

\*\*\*\*\* : 東洋興産株式会社 仙台市青葉区

\*\*\*\*\* : 岩手大学大学院農学研究科 岩手県盛岡市

ムラの定量的な評価を目的として、遠赤外線乾燥機庫内の棚位置および乾燥トレー内試料位置の違いが乾燥特性に及ぼす影響を検討するとともに、乾燥温度と品質（一般生菌数、L-アスコルビン酸含有量、色彩）の関係を測定することにより、遠赤外線乾燥機の利用拡大に向けた基礎データを得ることを目的とした。さらに、プランチング処理がコマツナの一般生菌数およびL-アスコルビン酸含有量に及ぼす影響についても検討したので、併せて報告する。

## 2. 材料および方法

### (1) 供試材料

供試材料は、有限会社おっとちグリーンステーション（宮城県登米市）の圃場で生産されたコマツナ (*Brassica rapa* var. *perviridis*) を用いた。コマツナは入手後直ちにポリエチレン袋に非密封の状態で入れ、約5°Cの冷蔵庫内に保存し、入手後2日以内に実験に供試した。実験に供試する直前に、容器に水を貯めて、束の状態で水を流しながら約30秒間洗浄した。株元から約10mmのところで切断し、さらに2分の1に切断した上部を葉部、下部を茎部とした。乾燥実験に供試する際は、葉部を約5mm幅に切断した（以下、試料）。試料の初期含水率は、105°C-24時間法により求めた。

### (2) 遠赤外線乾燥

遠赤外線乾燥機（A10-S、東洋興産株式会社）を用いた。乾燥室は縦1140×横560×奥行830mmであり、450×1100mmの遠赤外線放射パネル（電気式遠赤外線面状ヒータ、東洋興産株式会社）が手前・奥に、700×1100mmの遠赤外線放射パネルが左・右にそれぞれ装着しており、それらが熱源となる。ポリプロピレン製のトレー（460×700mm）に試料をそれぞれ均等な間隔に、且つそれぞれの試料が重ならないよう静置した。トレーは最大10段まで設置可能であるが、本研究では目的に応じてトレーを設置する棚位置を決定した。なお、庫内温度は40°C、機内圧力は94.7～96.6kPa（大気圧は98.0～99.9kPa）、機内の風速は0.2～0.5m/sであった。

### (3) 乾燥特性

#### 1) 棚位置の違いが乾燥特性に及ぼす影響

試料の初期質量は、乾燥用トレーあたり100gとし、遠赤外線乾燥機庫内の上から1段目、4段目、7段目および10段目に設置し、乾燥を開始した（図1）。乾燥開始から1時間ごとに乾燥を一時停



図1 遠赤外線乾燥の様子（棚位置の違いが乾燥特性に及ぼす影響）

止し、赤外線サーモグラフィ（Avio Advanced Thermo TSV-500、日本アビオニクス株式会社）を用いて試料表面温度を計測した。測定データは、サーモグラフィ装置用多機能レポート作成プログラム（PE 3.12 Professional Coraetec、日本アビオニクス株式会社）により画像解析処理を行い、試料の平均表面温度に換算した。試料質量を電子天秤（GF-3000、株式会社エー・アンド・ディ）で計測した。乾燥開始から6時間後まで同様の作業を行い、反復は3回行った。

#### 2) トレー内試料設置位置の違いが乾燥特性に及ぼす影響

試料の初期質量は、1つの乾燥トレーあたり100gとした。トレー内試料の設置位置の様子を図2に示す。トレー内を9箇所に区切り、試料を一方所に11.1gずつ置き、遠赤外線乾燥機内の棚の上から4段目に設置して乾燥を開始した。試料表面温度および試料質量を前述と同様の用法により計測した。測定は、乾燥開始から1時間間隔で4時間後まで行い、反復は3回行った。

### (4) 乾燥試料の品質変化

#### 1) 乾燥条件

試料約150gを、35°C、40°Cおよび45°Cに設定した遠赤外線乾燥機で約15h乾燥した。各温度条件で3つのトレーに試料を広げて乾燥させ、その際のトレー位置は上から3段目、5段目および7段目とした。

#### 2) 一般生菌数

一般生菌数の測定は標準寒天培地を用いた混釀法を行った。試料から10gをストマッカーパックに取り、滅菌希釀水を90ml加えて、ストマッカーパック（EXNIZER400、オルガノ株式会社）にかけ（230rpm, 120s）10倍希釀液を調製した。クリーンベンチ内で10倍希釀液を滅菌希釀水に加えてボルテックス（Vortex-Genie2、Scientific Industries, Inc.）で攪拌し、10<sup>2</sup>倍希釀液を調製した。同様の方法で10<sup>3</sup>, 10<sup>4</sup>, 10<sup>5</sup>倍の希釀液を調製した。また、滅菌希釀水と標準寒天培地が確実に滅菌されてあることを確認するため、滅菌希釀水のうち1本は試料液を入れずに培養した。各希釀液につき2枚のプラスチックパックにピペットで0.5mlずつ分注し、これに加温溶解して恒温振とう水槽（NTS-4000B、東京理化器械株式会社）で50°Cに保温しておいた標準寒天培地を約10ml流し入れて混和させた。恒温ユニット（MCU-1162FE、三洋電機株式会社）で培養し（30°C, 48h）菌数を計数した。検出されたコロニーのうち30～300個のコロニーを数え2枚の平均値を算出し、希釀倍率を乗じて試料1g-DW当たりの菌数を算出した。

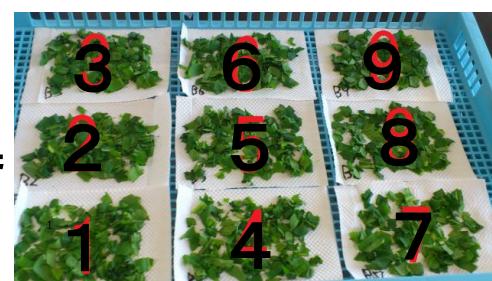


図2 トレー内試料の設置位置の様子

### 3) L-アスコルビン酸含有量

L-アスコルビン酸含有量はOrikasa et al.<sup>7)</sup> の方法により測定した。試料（乾燥前約2g、乾燥後約0.5g）を5%（W/W）メタリん酸水溶液（60ml）とともにホモジナイザ（PH91、株式会社エスエムティー）で摩碎（約8000rpm、10min、0~4°C）し、ろ過した試料溶液のL-アスコルビン酸含有量（mg/100ml）を、反射式光度計（RQ-flex10、メルク株式会社）を用いて測定した。得られた値に希釈倍率を乗じて試料100g当たりのL-アスコルビン酸含有量（mg/100g-FW）に換算した。また、乾燥処理後の乾物100g当たりのL-アスコルビン酸含有量（mg/100g-DW）を乾燥処理前の乾物100g当たりのL-アスコルビン酸含有量（mg/100g-DW）で除すことにより、L-アスコルビン酸残存率に換算した。乾燥処理前および乾燥処理後における反復は3~9回とし、それぞれの平均値を実験値とした。

### 4) 色彩

試料の色彩は、色彩色差計（CR-13、コニカミノルタセンシング株式会社）を用いて、 $L^*a^*b^*$ 表色系により測定した。乾燥前は生鮮試料をそのまま、乾燥後は試料をミルミキサー（FM-50、サン株式会社）で粉碎しビニール袋に入れたものを測定した。1試料につき試料表面の3点を測定し、その平均値を実験値とした。乾燥前後における $L^*$ 値、 $a^*$ 値および $b^*$ 値の差（ $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ および $\Delta b^*$ ）から以下の式（1）により色差 $\Delta E$ を算出した。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

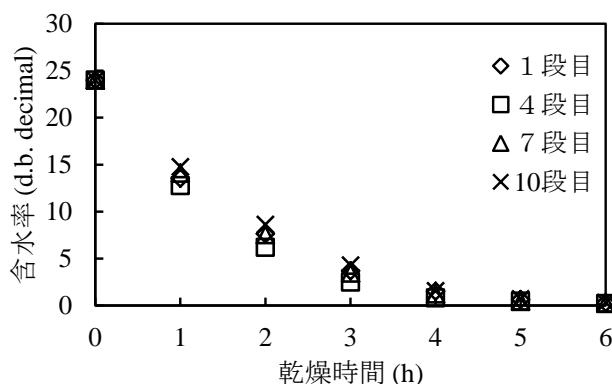


図3 乾燥過程における含水率変化（棚位置変動）

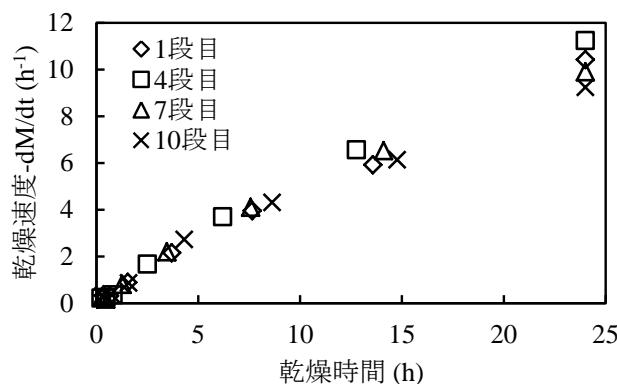


図4 各乾燥過程における乾燥特性曲線（棚位置変動）

### 5) ブランチングによる品質変化

ブランチング処理がコマツナの一般生菌数およびL-アスコルビン酸含有量に及ぼす影響を調査した。ブランチング方法は、電子レンジによるマイクロ波ブランチングとした。ビニール袋に試料を50g入れ、電子レンジ（ER-C7、株式会社東芝）を用いて出力600Wで60秒および120秒間加熱し、ブランチング前およびブランチング後試料の一般生菌数およびL-アスコルビン酸含有量を前述の方法により測定した。

### 3. 結果および考察

#### (1) 棚位置の違いが乾燥特性に及ぼす影響

各乾燥機庫内棚位置それぞれの乾燥過程における含水率変化を図3に示す。図3より、含水率は時間の経過に伴い緩かに減少する傾向がみられる。また、図4に乾燥過程における乾燥特性曲線を示す。図4から、乾燥速度は乾燥開始から直線的に低下し、含水率と乾燥速度との間に直線の関係が示された。これより試料の乾燥過程は、減率乾燥第一段であると考えられる。減率乾燥第一段における含水率変化は以下の式（2）で表される。

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-kt) \quad (2)$$

ここで、 $M_e$ は平衡含水率（d.b. decimal）、 $M_0$ は初期含水率（d.b. decimal）、 $k$ は乾燥速度定数（h<sup>-1</sup>）である。乾燥経過における含水率変化の測定データを式（2）に当てはめ、非線形最小二乗法により定数 $k$ および $M_e$ を算出した。測定値と式（2）による計算値との適合性を表す平均平方誤差（RMSE）の値は0.252~0.438（d.b. decimal）であったことから、実験値と式（2）との適合性が高いことが示された。算出した定数 $k$ および $M_e$ を表1に示す。乾燥速度定数 $k$ は、棚1段目、4段目、7段目および10段目で、それぞれ0.55 h<sup>-1</sup>、0.64 h<sup>-1</sup>、0.53 h<sup>-1</sup>および0.47 h<sup>-1</sup>であった。4段目の乾燥速度定数 $k$ は10段目のそれと比べて有意（p<0.01）に大となり、遠

表1 計算により得られた定数 $k$ および $M_e$ （棚位置変動）

	$k$ (h <sup>-1</sup> )	$M_e$ (d.b. decimal)	RMSE (d.b. decimal)
1段目	0.55	-0.92	0.252
4段目	0.64*	-0.70	0.374
7段目	0.53	-1.31	0.432
10段目	0.47*	-1.77	0.438

\*有意差（p<0.01）あり

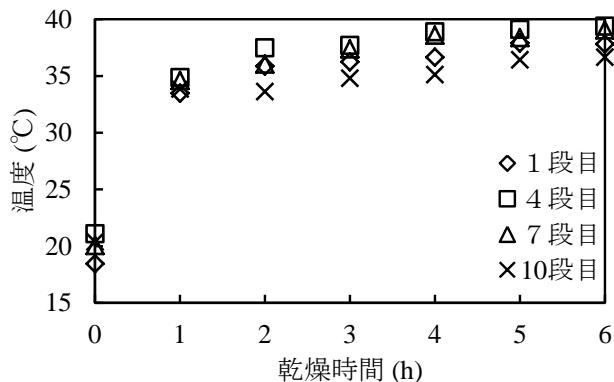


図5 棚位置の違いによる試料表面温度の平均値の経時変化

赤外線乾燥機庫内の棚位置において乾燥特性に差があることが示された。試料表面温度の平均値の経時変化を図5に示す。試料表面温度は乾燥開始から1時間後までに大きく上昇し、1時間後からは緩やかに温度上昇していた。これから、試料の乾燥開始から1時間経過後に、乾燥期間が減率乾燥第一段に到達したと考えられた。また、棚4段目の庫内中心部では、棚10段目に比べ試料表面温度が高い値で推移する傾向が見られ、これが乾燥速度定数kに差が生じた原因であると推察された。一方、 $M_e$ の計算値が全ての棚位置において負の値となったのは、本研究では含水率約0.3(d.b. decimal)までしか乾燥しておらず、平衡に達する前までの実験データを用いて解析したためであり、実際には0~0.3(d.b. decimal)の間に減率乾燥第二段が存在することに起因すると考えられた。

以上の結果から、試料表面温度は、時間経過とともに上昇し、ま

表2 計算により得られた定数kおよび $M_e$ (トレー内位置変動)

	k (h <sup>-1</sup> )	$M_e$ (d.b. decimal)	RMSE (d.b. decimal)
1	1.31*	0.01	0.012
2	1.02*	-0.04	0.004
3	1.31	0.14	0.014
4	1.11	0.11	0.019
5	1.07	-0.02	0.048
6	1.27	0.37	0.003
7	1.05	0.24	0.029
8	1.19	0.29	0.020
9	1.18	0.13	0.002

\*有意差(p<0.05)あり

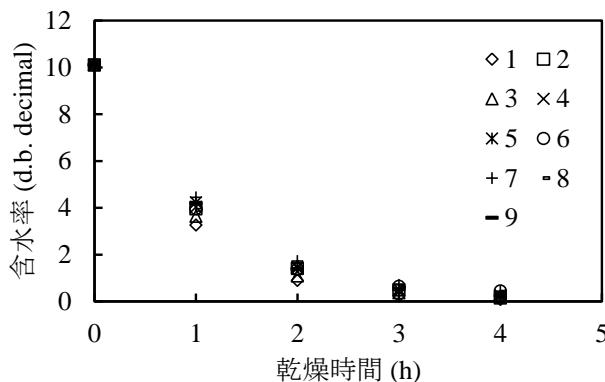


図6 乾燥過程における含水率変化(トレー内位置変動)

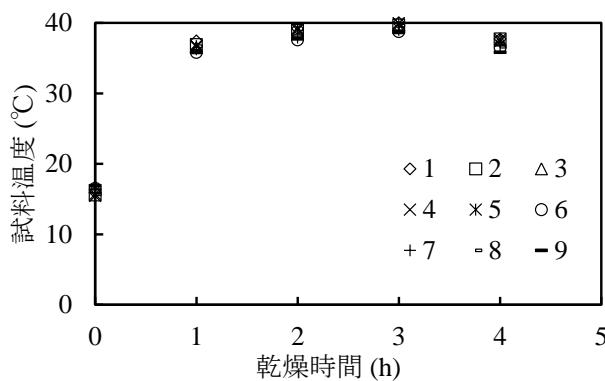


図7 トレー内設置位置の違いによる試料表面温度の平均値の経時変化

た庫内棚位置によって差があることが分かった。庫内棚位置によって乾燥に差が見られるのは、遠赤外線パネルの設置位置が乾燥機の四面であることと、庫内の送風口が左上にあり、排風口が右上にあることから庫内送風の流れが一定であり、庫内の下段はトレーにより送風が遮られる為、乾燥が庫内上段よりも遅いことが考えられた。

## (2) トレー内設置位置の違いが乾燥特性に及ぼす影響

乾燥過程における含水率変化を図6に示す。図6より、含水率は時間の経過に伴い緩かに減少する傾向がみられる。前述と同様の方法により、乾燥経過における含水率変化の測定データを式(2)に当てはめ、非線形最小二乗法により定数kおよび $M_e$ を算出した。得られた定数kおよび $M_e$ を表2に示す。乾燥速度定数kの有意差検定を行った結果、庫内奥の左側および中央(試料1および2)で有意( $p < 0.05$ )な差が生じたものの、各条件ともほぼ同じ値となった。試料表面温度の経時変化を図7に示す。図より、各試料ともほぼ同じ傾向で試料温度が変動していることから、トレー内設置位置の違いは試料表面温度に影響を及ぼさないことがわかる。これより、本研究で設定した乾燥条件においては、トレー内設置位置の違いによる乾燥ムラは少ないと考えられた。

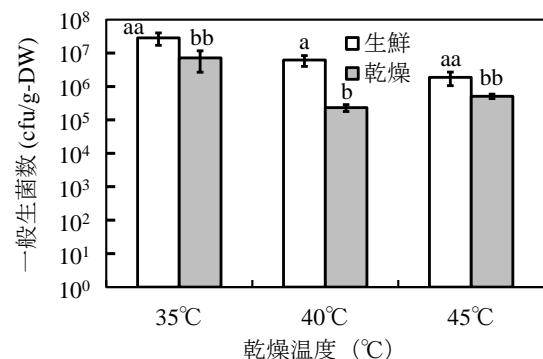


図8 遠赤外線乾燥過程における乾燥温度と一般生菌数の関係  
異なる英小文字(aとb)間で有意差( $p < 0.01$ )あり  
異なる英小文字(aaとbb)間で有意差( $p < 0.05$ )あり  
図中のバーは標準誤差を表す(n=3)

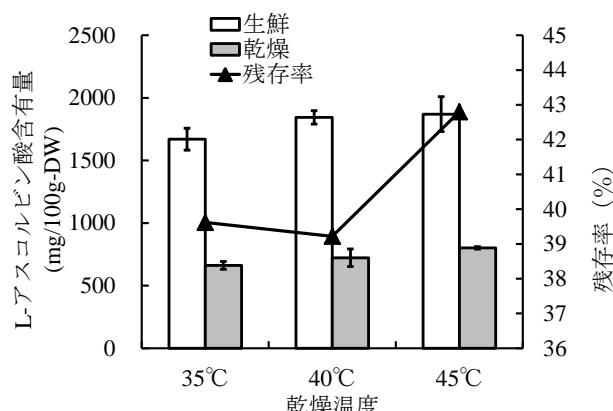


図9 遠赤外線乾燥過程における乾燥温度とL-アスコルビン酸の関係  
図中のバーは標準誤差を表す(n=3)

### (3) 乾燥後の品質変化

図8に乾燥温度と一般生菌数の関係を示す。いずれの乾燥温度においても、一般生菌数 (cfu/g-DW) は乾燥後に1対数程度有意に減少していた。しかし、乾燥温度と菌数との関係は見出すことができなかつた。また、乾燥後の一般生菌数は  $10^5 \sim 10^6$  cfu/g-DW であり、食品衛生法で定められている加工食品の一般生菌数の基準値 ( $10^5$  cfu/g-DW)<sup>8)</sup>を上回る結果となつた。これは、コマツナを乾燥させる際に、加熱処理や次亜塩素酸ナトリウム処理など、一般生菌数を下げるための方策を講じる必要があることを示している。前処理後試料の一般生菌数については、次章 ((4) ブランチングによる品質変化) で述べる。

図9に乾燥温度とL-アスコルビン酸の関係を示す。乾燥後のL-アスコルビン酸残存率は39~43%となり、6割程度のL-アスコルビン酸が乾燥過程で分解される結果となつた。L-アスコルビン酸は非常に酸化されやすく<sup>9)</sup>、且つ熱を加えると分解速度が大きくなる性質<sup>9)</sup>がある。本結果では乾燥温度による影響は見られなかつたことから、非酵素的ではなく、アスコルビン酸オキシダーゼによる酵素的分解<sup>10)</sup>が大きく影響した可能性がある。今後は、乾燥過程におけるアスコルビン酸オキシダーゼ活性を測定し、遠赤外線乾燥過程におけるL-アスコルビン酸分解のメカニズムについて詳細に検討する必要がある。

図10に乾燥温度と色差の関係を示す。生鮮品との色差はいずれの乾燥温度においても約10程度で、これは色差の感覚的表現<sup>11)</sup>では「大いに異なる」レベルとなる。これは、乾燥に伴うクロロフィルの分解により試料表面が黄化したことが原因と推察される。クロロフィルは、クロロフィラーゼ<sup>12)</sup>またはクロロフィルオキシダーゼ<sup>13)</sup>により酵素的に分解されるため、乾燥前にブランチングを施すことにより、色彩の変化を抑制できる可能性が考えられる。また、乾燥後の色差を温度間で比較すると、その差は最大で0.22であった。この色差は識別色差(0.2~0.3)、すなわち十分に調整された測色器の再現精度の範囲<sup>14)</sup>にあり、今回設定した条件において、乾燥温度が色彩に及ぼす影響はわずかであることを示している。

### (4) ブランチングによる品質変化

ブランチング時間と一般生菌数の関係を表3に示す。ブランチングを行わなかつた場合、一般生菌数は  $1.9 \times 10^7$  cfu/g-DW であったが、マイクロ波による加熱処理を行つた場合の一般生菌数は60秒、120秒ともに  $3.0 \times 10^3$  cfu/g-DW 以下まで減少した。食品衛生法で定めら

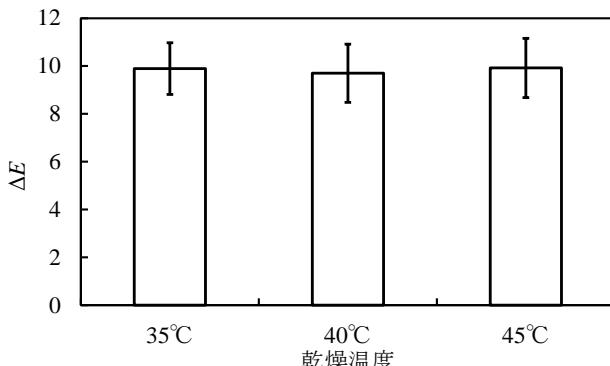


図 10 遠赤外線乾燥過程における乾燥温度と色差の関係

図中のバーは標準誤差を表す (n=3)

れている加工食品の一般生菌数の基準値は  $10^5$  cfu/g-FW 以下<sup>8)</sup> (乾燥コマツナ乾物換算では  $1.1 \times 10^5$  cfu/g-DW) であるため、乾燥コマツナにブランチング処理を行うことにより、その基準を達成できる可能性がある。しかし、乾燥過程で一般生菌が増殖する可能性もあるため、今後、乾燥過程における一般生菌数の変動状況も含めて検討する必要がある。ブランチング時間とL-アスコルビン酸含有量の関係を図11に示す。L-アスコルビン酸含有量は、ブランチング時間が長くなるほど減少していることが分かる。これは上記にも述べたように、L-アスコルビン酸は熱に弱く、加熱時間が長くなることによって試料温度が上昇し、L-アスコルビン酸の分解が促進されたことを示している。コマツナをマイクロ波ブランチングすることにより、一般生菌数を基準値以下に下げることが可能であるものの、L-アスコルビン酸も同時に減少させることを示した。今後、高品質な乾燥コマツナを製造するためには、ブランチングの最適条件を検討することのみならず、ブランチングと乾燥を組み合わせて品質の評価を実施する必要がある。

## 4. 摘要

本研究では、遠赤外線乾燥機の利用拡大に向けて、試料設置位置と乾燥特性の関係について基礎データを得ることを目的とし、遠赤外線乾燥機庫内の棚位置、乾燥トレー内試料設置位置と乾燥特性の関係について評価すると共に、遠赤外線乾燥における乾燥条件と品質(一般生菌数、L-アスコルビン酸含有量および色彩)について測定した。さらに、マイクロ波ブランチング処理がコマツナの一般生菌数およびL-アスコルビン酸含有量に及ぼす影響について調査した。その結果、以下の知見が得られた。

1. 遠赤外線乾燥機庫内の中央部と下部とでは乾燥速度に有意( $p < 0.01$ )な差があり、庫内の棚位置によって乾燥特性に差があることが示された。これは、試料表面温度の違いが原因の一つであると推察した。

表3 ブランチング時間と一般生菌数の関係

ブランチング時間 (s)	一般生菌数 (cfu/g-DW)
0	$1.9 \times 10^7$
60	$3.0 \times 10^3$
120	$3.0 \times 10^3$

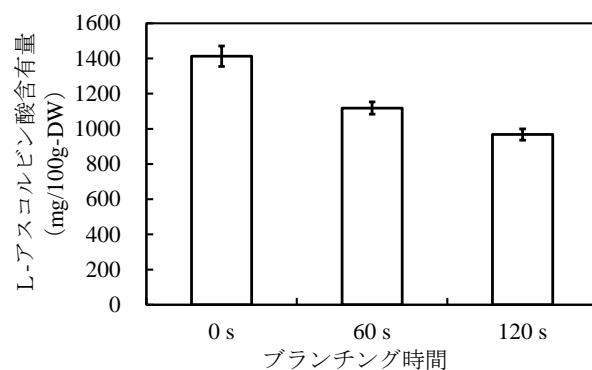


図 11 ブランチング時間とL-アスコルビン酸含有量の関係

図中のバーは標準誤差を表す (n=3)

2. 乾燥トレー内の試料設置位置の違いにより乾燥速度に有意差( $p < 0.05$ )がある場所があったものの、その差はわずかであり、各条件ともほぼ同程度の値となった。これより、トレー内設置位置による乾燥ムラは少ないと考えられた。

3. 乾燥後試料の一般生菌数は $10^3 \sim 10^6$  cfu/g-DW, L-アスコルビン酸残存率は39~43%, 色差は10度となり、今回設定した温度条件においては、乾燥温度の違いがコマツナの品質に及ぼす影響はわずかであった。

4. マイクロ波ブランチングにより、一般生菌数は $10^3$  cfu/g-DW以下まで減少した。しかし、L-アスコルビン酸も同時に減少させることから、マイクロ波ブランチングを行う際には品質の低下も併せて考慮する必要性を示した。

今後はブランチングと乾燥の一貫試験を行い、一般生菌数、L-アスコルビン酸含有量および色彩など、品質を考慮した最適ブランチング・乾燥条件の検討が必要である。

#### 謝辞

宮城大学食産業学部安住春香氏、千葉早織氏には、実験データの取得の際にご協力いただいた。本研究の一部は科学研究費補助金(若手研究B, 26850156)の助成により実施された。ここに記して謝意を示す。

#### 参考文献

- 1) 吉川直樹, 天野耕二, 島田幸司, 2007. 日本の青果物消費に伴う環境負荷とその削減ポテンシャルに関する評価, 環境システム研究論文集, 35, 499-509.
- 2) 松谷俊弘, 2008. 遠赤外線乾燥機の開発, 日本機械学術誌, 70(3), 18-21.
- 3) 岡本慎太郎, 折笠貴寛, 桑嶋学人, 茂田俊一, 齊藤順一郎, 矢野歳和, 村松良樹, 小出章二, 椎名武夫, 田川彰男, 2012. コマツナの乾燥への遠赤外線の利用, 日本食品科学工学会誌, 59(9), 465-472.
- 4) 岡本慎太郎, 折笠貴寛, 畠中咲子, 茂田俊一, 齊藤順一郎, 富樫千之, 村松良樹, 小出章二, 椎名武夫, 田川彰男, 2013. 積算温度を指標としたコマツナの遠赤外線乾燥における品質変化の評価, 日本食品保藏科学会誌, 39(6), 311-318.
- 5) 並木秀男, 新沼和彦, 竹村万里子, 藤礼子, 柳沢マサル, 平林達生, 清川晋, 1996. にんじんのカロテノイド含量, 組織構造, 付着細菌数に対する遠赤外線乾燥法と凍結乾燥法の比較, 食品衛生学雑誌, 37(6), 395-400.
- 6) 林徹, 2007. 食品の放射線照射の現状と課題, 日本農芸化学会中部支部第149回例会講演要旨集, S-3.
- 7) Orikiwa, T., Koide, S., Okamoto, S., Imaizumi, T., Muramatsu, Y., Takeda, J., Shiina, T., and Tagawa, A., 2014. Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices, Journal of Food Engineering, 125, 51-58.
- 8) 厚生労働省, 2014. 食品別の規格基準について.  
[http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou\\_iryou/shokuhin/jigousya/shokuhin\\_kikaku/index.html](http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryou/shokuhin/jigousya/shokuhin_kikaku/index.html). 平成26年9月16日アクセス.
- 9) 島田和子, 2011. ビタミン. 久保田紀久枝, 森光康次郎編, スタンダード栄養・食物シリーズ5食品学—食品成分と機能性(第2版補訂). 東京化学同人, 東京, 61-69.
- 10) Maccarrone, M., D'Andrea, G., Salucci, M.L., Avigliano, L., and Finazzi-Agrò, A., 1993. Temperature, pH and UV irradiation effects on ascorbateoxidase, The International Journal of Plant Biochemistry, 32, 795-798.
- 11) 須賀長市, 1988. 耐候光と色彩(改訂版). スガ試験機株式会社, 東京, 197-290.
- 12) Yamauchi, N., Yoshimura, M., Shono, Y., and Kozukue, N., 1995. Chlorophyll Degradation in Mitsuba Leaves during Storage, Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology, 42, 709-714.
- 13) 秋山裕, 高橋千夏, 山内直樹, 2000. 大根子葉の黄化時におけるクロロフィル分解系, 日本食品科学工学会誌, 47, 296-301.
- 14) 小松原仁, 1998. 色の許容差. 日本色彩学会編, 新編色彩科学ハンドブック(第2版). 東京大学出版会, 東京, 288.

# 傾斜畑でのアワ移植栽培におけるポット苗田植え機の適用と改良

中西商量\*

## An application and improvement of the pot seedling transplanting machine in the foxtail millet transplant cultivation in the sloping field

Akikazu NAKANISHI\*

### Abstract

The foxtail millet cultivation has much direct planting. However, in late years transplant cultivation is required by a problem weed harm and blight. Practical transplant work was possible by improving the transplant nail of the pot seedling transplanting machine, and using a seedling of height of foxtail millet plant 12cm.

[Keywords] transplant cultivation, pot seedling transplanting machine, improvement of the transplant nail

### 1. はじめに

岩手県は全国一の雑穀産地である。作付面積が増加し、連作ほ場や地域での雑穀栽培の比率が高まるにつれ、雑草害や病虫害による収量、品質への影響が顕著になり、耕種的防除の重要性が増してきている。それは、雑穀に使用できる農薬が極めて限られており、生産拠点である岩手県北部では無農薬栽培を原則としていることもあり、2006年以降、県北農業研究所では虫害軽減を考慮した雑穀の播種量や機械による雑草防除などの試験研究が実施してきた。

現在、雑穀の畑地栽培は直播栽培が主である。移植栽培は直播栽培と比べ、播種、育苗、移植にかかる労働時間や資材費が多いが、移植栽培導入のメリットは大きいと考えている。

メリットの1つめは、雑草の発生前に苗を移植するため、雑草発生前に雑穀の株際まで土寄せできることから、1回目の機械除草を効果的に行うことができ、雑草発生量を低減させることである。2つめに、直播栽培に比較してヒサゴトビハムシによる被害が低減することである。低減される要因は不明であるが、植物体が大きいため産卵が少なくなること、幼虫が食入できなくなること、食入しても発育できないことなどが考えられる。3つめには、移植により作期幅が拡大することである。雑穀のアワ、キビは岩手県では5月下旬～6月上旬までが適正播種期であるが、移植栽培では6月中旬の移植でも降霜までに成熟期に達する。この場合の成熟期は、キビで9月上旬、アワでは10月中旬である。これにより、圃場作業を分散できる。

また、岩手県北部では水稻成苗移植にポット苗田植え機が普及しており、多くの雑穀生産者が所有している。

そこで本研究では、移植栽培のメリットを活かし、作業能率の高い技術とするために、ポット苗田植え機を活用した移植技術について検討した。

### 2. 試験方法

試験は岩手県農業センター県北農業研究所の圃場およ

び育苗ハウスで行った。アワ品種「ゆいこがね」を用いて、ポット苗田植え機（M社製、X-4）の適用性や新たな育苗方法の検討と移植爪の改良を行い、その評価を行った。

#### (1) ポット苗田植え機の改良（その1）

移植爪（既製品）は湛水状態の使用では、植付け後に泥が付着することや移植した苗の跳ね上げがなく、植付けできる。しかし、畑地では水田の泥のように土の流動性が高い状態ではないため、移植爪に土が付着し、苗を跳ね上げたり、植え戻り（一旦移植されたものが移植爪に付着したまま移植爪と一緒に回転する状態）が発生するため、移植精度が不安定であった。（図1）



図1 ポット苗田植え機の出荷時設定での畑圃場への移植により移植爪に泥が付着した状態

#### 1) 改良爪1の試作

既製の移植爪（以下、既製爪と記載）は移植時にポットの根鉢に正対する面積が大きくなるように移植爪の先端部分が平らであった（図2）。

そこで、平らであることが泥を付着しやすくしていると考え、既製爪の先端部分を削り、角度をつけることにより泥が付着しづらく改良した。既製爪の全長は140mmで、その先端部分35mmを斜めに削り、約37°の角度とした。既製爪は断面積が三角柱で、削った場合の先端部は三角

錐となり先が尖る形状となる。さらに、先端部分にラッカ塗装することで、泥を付着しづらく処理した（図3）。



図2 既製爪



図3 改良爪1  
(既製品を加工した移植爪)

## 2) 改良爪2の試作

改良爪1の移植精度が低く、先端部分の断面積が小さいことが一因と考えられたことから、新たな移植爪を作成した。

移植爪の先端部分に約37°のスロープ（改良爪1と同じ角度）をつけて泥を付着しづらくして、先端断面を三角形ではなく長方形になるように、ポット苗の根鉢に接する面積が大きくなるように設計した。加工は岩手大学に委託し、ワイヤー放電加工により作成した。（図4）

また、移植爪表面にラッカ塗装し、シリコンスプレー塗布することで、泥付着防止効果の増大を目指した。



図4 改良爪2

（県北研設計、岩手大学にてワイヤー放電加工、素材は鉄の鋼材（SS400）、表面の塗装処理をしていない状態）

調査は以下の項目で行った。

### ① 正常移植株率

植付け姿勢を達観調査し、「直立（地面に対して直交する角度のおおむね±5°以内）」、「斜め（地面からの角度がおおむね45°以上）」のものを正常移植株とした。調査した移植株に対する正常移植株の比率として算出した。

### ② 異常移植株率

植付け姿勢を達観調査し、「転び（地面からの角度がおおむね45°未満）」、「欠株」、「重ね植え（2つ以上のポット苗が1ヶ所に移植されている）」のものを異常移植株とした。調査した移植株に対する異常移植株の比率により示した。

### （2）ポット苗田植え機の改良（その2）

移植爪の改良により移植作業自体は改良されるが、水田のように自然な泥の戻りがないために苗の植付け姿勢が戻されることがないため、植付け姿勢がそのままの状態で残される。直立姿勢のものはその後の成長もよい可能性が高いが、斜めなものは直立に近づけることが求められ、植付け姿勢を向上させるための改良が必要である。

そこで、植付けした際に根鉢が露出したり、埋没したりする「ころび」苗の発生を防ぎ、「斜め」以上の正常移植となるように覆土輪を取り付けた。（図5）

調査項目は、正常移植株率および異常移植株率とした。



図5 改良爪2、覆土輪などを装着した  
ポット苗田植え機の植付け部の状態

## （3）ポット苗田植え機に適した育苗方法の検討

ポット苗の育苗方法は、通常、地床育苗が行われるが、十分な強度の根鉢が形成されるまで育苗した場合は、苗の草丈が伸びすぎるという欠点がある。草丈が伸びすぎないような育苗方法として、ポットを浮かせた状態（棚置き）で育苗する方法を検討した。



図6. 棚置き育苗  
(空の育苗箱の上に静置して、地面に密着していない)

調査は、苗の草丈と達観による苗の根鉢形成程度とし、それぞれの育苗方法を比較検討した。

## （4）傾斜地での移植精度の検討

圃場斜度0°の平地、圃場斜度が約6°の緩斜面、圃場斜度が約8~10°の急斜面の当研究所内畑圃場において、畑地移植に適した改良爪2、覆土輪などを装着したポット苗田植え機（図5の状態）を用いて、棚置き育苗したアワを移植し、移植精度を評価した。なお機械操作では、水平制御機能を稼動させずに行った。

評価は、以下の項目で行った。

### 1) 上り、下りによる株間の変動

移植株の株間を計測し、圃場斜度の異なる圃場の「上り」、「下り」による株間の変動について、株間変動率として算出した。

$$\text{株間変動率 (\%)} = (\text{計測した株間} - \text{機械設定の株間}) / \text{機械設定の株間}$$

### 2) 移植時の土壤水分

土壤を採取して、105°C、24 h乾燥して算出した。

$$\text{土壤水分 (w. b. \%)} = (\text{生土重量} - \text{乾燥土重量}) / \text{生土重量}$$

### 3) 移植時の碎土率

土壤を採取し、10mm以下の土塊率を算出した。

## 3. 結果および考察

### （1）ポット苗田植え機の改良（その1）

#### 1) 改良爪1の効果

改良爪1および泥取りブラシを装着し、地床育苗したアワ（品種：大穂10）の苗を移植した結果が表1である。

移植時の苗は、草丈20.7cm、葉齢4.2葉であった。剪葉した苗の草丈は、ポット苗田植え機に適した長さである12cmとした。

表1 改良爪1による移植精度の違い（2010、岩手県北）

移植爪の種類	剪葉の有無	正常移植株率 (%) <sup>3)</sup>			異常移植株率 (%)				
		直立 <sup>1)</sup>	斜め <sup>2)</sup>	合計	ころび(倒伏)	根鉢露出	根鉢埋没	欠株	重ね植え
既製爪	なし	39.3	14.5	53.8	18.8	5.1	21.4	0.9	
改良爪1	なし	41.0	22.1	63.1	11.5	13.1	12.3	0.0	
改良爪1	あり	69.0	10.0	79.0	6.0	9.0	6.0	0.0	

改良爪1および泥取りブラシを装着した場合は、既製爪の場合に比べ、正常移植株率が53.8%から63.1%に向上了し、重ね植えは改良前0.9%であったが、改良後はまったく見られなかった。欠株は、既製爪の場合の21.4%から12.3%に減少した。さらに、剪葉苗では、正常移植株率は63.1%から79.0%に向上了し、欠株は12.3%から6.0%に減少した。(表1)

既製爪で移植した場合よりも、改良爪1を装着した場合の方が正常移植株率は向上し、剪葉苗の使用で更に移植精度は向上したが、正常移植株率が79.0%では実用性は低いと思われた。さらなる向上のために改良爪1とは異なる移植爪の形状の改良が必要と考えられた。

## 2) 改良爪の効果

改良爪2に泥取りブラシおよび覆土輪を装着し、棚置き育苗したアワの苗を移植した結果が表2である。使用苗の草丈は11.4cm、葉齢は4.9葉であった。

改良爪1に比べて、ころび苗、欠株が減少し、正常移植率が79.0%から95.8%と大幅に向上した。

これは、移植爪への泥付着が極めて少なくなり、苗の根鉢に正対する移植爪の断面積が大きくなつた効果と考えられた。

表2 改良爪2の移植精度 (2014 岩手県北)

表2 改良爪2の移植精度(2014、岩手県北)							
移植爪の種類	正常移植率(%) <sup>3)</sup>			異常移植率(%)			
	直立 <sup>1)</sup>	斜め <sup>2)</sup>	合計	ころび(倒伏) 根鉢露出	(倒伏) 根鉢埋没	欠株	重ね植え
改良爪2	95.8	0.0	95.8	1.4	0.0	2.8	0.0

注) 改良爪2に泥取りブラシおよび覆土輪を装着した。

## (2) ポット苗田植え機の改良 (その2)

覆土輪を装着しない場合、正常移植株率が79.0%のときに斜め移植が10.0%であった(表1)が、それに対し、覆土輪を装着した場合には斜め移植はまったく見られなかつた(表2)。さらに、ころび苗のうち根鉢露出しているものは6.0%から1.4%に減少した。

改良爪2では、苗の根鉢が植付け穴に対して垂直に入っていないものもあると考えられるが、覆土輪によって両側から土が寄せられることで、直立に近い姿勢で植付けが可能となるものと思われた。根鉢露出についても覆土輪によって土が株元に寄せられたことにより低減したものと考えられる。

### (3) ポット苗田植え機に適した育苗方法の検討

地床育苗と棚置き育苗を比べると、葉齢や苗の第2葉鞘高はほとんど変わらないが、草丈が大きく違っており、地床育苗では23.0cmであるのに対し、棚置きでは12.6cmと半分程度の長さであった(表3)。

根鉢内の根の分布を観察すると、棚置きの方が根鉢の下部に密集しており、地床に比べ、根がポット内に留まり、根鉢が強くなっていると観察された（図7）。

表3 育苗法の違いによる苗の生育 (2012, 岩手県北)

	草丈(cm)	葉齡(葉)	第2葉鞘高(cm)
地床育苗	23.0	4.4	2.8
棚置き育苗	12.6	4.1	2.2

注) 播種日: 6月20日、移植日: 7月19日、育苗期間: 29日間



図7. 地床育苗と棚置き育苗した苗の根鉢形成状態  
(左: 棚置き苗, 右: 地床苗)

棚置き育苗は、野菜の育苗では一般的であり、根鉢形成を早め、根鉢強度を強くすることが知られている。ポット苗田植え機用の448穴ポットの地床育苗は置床まで根を伸長させて大きな苗を育てる育苗方法を探っている。この2つの育苗方法を比べた場合、同じ育苗期間で十分な強度の根鉢が形成され、12cm程度の苗の草丈に留まることから、ポット苗田植え機を活用してアワを移植するために適した育苗方法としては、棚置き育苗が有効であると思われた。

#### (4) 傾斜地での移植精度

雑穀産地である岩手県北地域では畑地での栽培が前提となることから、 $6^\circ$ ～ $10^\circ$ の傾斜地での適応性を比較した。今回の試験では、土壤水分が16.4～24.0 w. b. %の範囲で移植可能であった。また、アップカットロータリをあわせて使用することにより、土壤の碎土率は89.7～98.4%まで高めることができた。(表4)

圃場斜度0°の平地では移植株の株間はおおむね機械設定の14cmであった。圃場斜度6°の緩斜面では、上りは機械設定の株間より約1cm広くなったものの圃場斜度8°および10°の急斜面では機械設定の株間とほぼ同じであった。株間変動率を見ると傾斜地ではマイナス2.1%～6.4%であり、平地のマイナス2.1%とほぼ同じであることから、圃場斜度10°までの圃場において、「上り」は平地とほぼ同様の移植が可能であった。

一方、下り方向の移植では、圃場斜度6°では機械設定の株間よりも1.5cm、圃場斜度10°では2.9cm広くなつた。株間変動率を見ると傾斜地では10.7%～20.7%であり、平地と比べて大きく、ポット苗田植え機の自重によりやや滑落しているような結果であった。しかし、「下り」でも植付け姿勢は良好であった。

また、20m間の作業時間を計測して推定した作業能率



## 平成26年度農業食料工学会東北支部大会 及び 東北農業試験研究推進会議

### 農業生産基盤推進部会 作業技術研究会（夏期）シンポジウム報告

#### 講演①「水田フル活用に向けて～水田転換畑の排水対策」

株式会社クボタ 技術顧問 有原 丈二 氏

大豆は発芽時の湿害に弱く、子実水分の低い大豆種子は、湿润圃場に播種すると急激な吸水で種子が崩壊してしまう。発芽時には多くの酸素が必要で、排水不良の圃場では土壤中の酸素が少ないため発芽率が低下し、発芽した大豆も生育不良になる。転換畑大豆における生育不振等の最大の原因是、営農排水対策が不十分であることがある。排水不良の圃場は、水分過剰で通気不良となる。大豆は発芽不良、根系発達不良、根粒活性低下等の影響を受けることで、生育量が低下し多収は望めない。一方、雑草が繁茂しやすく、除草、病害虫防除、収穫等の作業にも支障をきたすことで大豆の生育にも多くの障害を引き起こす。

圃場の排水性を改善するためには、明渠、サブソイラによる耕盤の破碎、弾丸暗渠の施工などを行う。ロータリーでの耕うんは圃場の地表排水性を損なう場合がある。特に、過度の耕うんは土壤の団粒構造を壊し、孔隙をふさいで透水性や通気性を低下させるので、播種前の耕うんは1回だけにする。排水対策をきちんと行つていれば、豪雨などで圃場が冠水しても水が抜けやすいので、生育への影響は少ない。九州での豪雨の際には、前耕起なしの逆転耕耘畦立同時播種の圃場のほうが、前耕起ありの逆転耕耘畦立同時播種の圃場よりも水が早く抜けた事例がある。排水不良の水田転換畑では雑草発生量が多くなる。排水対策を行わないと、湿润圃場を好む雑草が多くなり、防除対策も難しい。大豆の葉は地表面を被覆して雑草を抑えるので、雑草対策の観点から考えると狭畦栽培が有効である。北海道安平町では密植栽培により雑草が抑えられたうえに、10a当たり300kgの多収を実現している。中耕除草は、根を傷めないようにできるだけ軽く浅く行う。ディスクカルチの中耕除草は、浅く中耕できるため、大豆の根を傷めず、同時に除草剤散布もできるので作業効率がよい。



写真1 有原氏の講演



写真2 有原氏による講演での質疑応答

## 講演②「大豆の安定多収生産技術について」

農研機構中央農業総合研究センター 生産体系領域長 島田 信二 氏

米国では大豆生産の継続的な増収に成功している。イリノイ州コーンベルト地帯では広大な農地で不耕起栽培による省力的な大豆生産が行われている。アーカンソー州では大豆と水稻の輪作が行われている。ミシシッピデルタ地帯の水田転換畑圃場では、灌漑、畝立て栽培、複2条植えにより多収を達成している。

レーザーレベラーにより 1000 分の 1~2 の勾配をつけるなどして、圃場排水の容易化対策を行っている。また、多くの農家が州立大学や民間に土壤分析を委託し、施肥量を調整しており、土壤の pH 調整 (pH6~7) については最優先で実施する。また、ほとんどの州では大豆への窒素施肥を行わないように指示している。窒素施肥は、数百に及ぶ試験成績の結果から経済的な効果が認められていない。また、土壤分析の結果、大豆栽培面積の 7 割以上は施肥を行っていない。

米国の栽培管理は、経済性の観点から局所管理が基本である。米国の増収要因は、品種と栽培技術が半々である。早播化や狭畦化などの栽培技術には、それに適した品種を選ぶことが重要である。画一的な栽培管理ではなく、圃場ごとに土壤肥沃度、病害虫の発生等の把握を行い、的確で必要最低限の局所的な栽培管理を行う。

日本国内の大豆の低収要因には湿害、黒根腐病、土壤窒素の不足、整粒比率の低下、収穫ロスなどがあり、排水対策の不徹底、高い大豆作付頻度、堆肥等の有機物補給の省略、虫害防除の不徹底などの栽培条件により生じていると考えられる。また、全般に雑草が増加傾向にあり、大規模経営体で播種時除草剤や中耕を適期にできない圃場は注意が必要である。

減収要因は圃場ごとに異なるので、最も減収を引き起こしている原因を特定し、問題を解決することが必要である。

講演後には、東北農業研究センターの湯川智行領域長の司会で総合討論が実施され行われ、活発な意見交換が交わされた。



写真3 島田氏の講演



写真4 総合討論

## <平成 26 年度若手の会 活動報告>

平成 26 年度若手の会は、8月 20 日(水)に山形県山形市の山形大学小白川キャンパスで開催された。参加者は、試験場関係者や大学の学生を含めて 28 名の参加となった。今年度は、農研機構生物系特定産業技術研究支援センターの松尾守展主任研究員を招いて、基礎講座として、飼料生産についてご講演して頂いた。また、会員の研究紹介として、農研機構東北農業研究センターの篠遠善哉研究員と松尾健太郎主任研究員から取り組んでいる研究の紹介をして頂いた。また、本年度は、近年行っていなかった発表練習の時間を設け、4名の学生から発表をして頂いた。

### 第 24 回農業食料工学会東北支部会若手の会

- (1) 日時：平成 26 年 8 月 20 日 (水) 13:30～17:00
- (2) 場所：山形大学小白川キャンパス基盤教育 1 号館 124 講義室  
山形市小白川町一丁目 4-12
- (3) 講演内容
  - 1) 基礎講座  
農研機構生物系特定産業技術研究支援センター 松尾守展氏  
「ロールベールラップサイロのハンドリング技術」
  - 2) 研究紹介
    - ① 農研機構東北農業研究センター 篠遠善哉氏  
「プラウ耕鎮圧体系による乾田直播を核とした水田輪作」
    - ② 農研機構東北農業研究センター 松尾健太郎氏  
「震災からの復興に関わる東北農業研究センターの取り組み－園芸研究について－」
  - 3) 発表練習
    - ① 山形大学農学部 大竹智美氏  
「施肥同時溝切り機を用いた長ネギ栽培の効率的作業技術に関する研究－チェーンポット連結の効率化－」
    - ② 山形大学農学部 佐藤慈仁氏  
「フキ用皮むき機の開発」
    - ③ 北里大学大学院獣医学系研究科 戸松央理氏  
「農業分野におけるユーグレナの利活用に関する基礎研究－堆肥の抽出液を利用したユーグレナの培養－」
    - ④ 山形大学農学部 川代知寛氏  
「近赤外分光法によるコンクリート構造物の劣化の診断（第 5 報）－小型分光装置による劣化の診断の検討－」

#### (4) 基礎講座・研究紹介の概要

##### 1) 基礎講座 「ロールペーパラップサイロのハンドリング技術」

松尾守展氏からは、学生にも理解しやすいように飼料生産全般から説明して頂いた。さらに、研究していたロールペーパを圃場から効率良く持ち出すために開発した装置について説明して頂いた。

##### 2) 研究紹介

###### ① 農研機構東北農業研究センター 篠遠善哉氏

篠遠善哉氏からは、昨年までタイなどで行っていた子実トウモロコシの研究についてご紹介して頂き、現在行っているプラウ耕鎮圧体系による乾田直播を核とした水田輪作に関する研究について説明して頂いた。

###### ② 農研機構東北農業研究センター 松尾健太郎氏

松尾健太郎氏からは、東北農業研究センターで取り組んでいる震災復興のための研究について説明して頂いた。



(1) 基礎講座：松尾守展氏



(2) 研究紹介：篠遠善哉氏



(3) 研究紹介：松尾健太郎氏



(4) 発表練習の様子

文責：東北農業研究センター 松尾健太郎

## 農業食料工学会東北支部学術賞を受賞して

山形大学農学部 夏賀元康

### 1.はじめに

近赤外分析計の日本への導入は1970年代後半で、それ以来35年以上が経つ。米の品質測定への応用は、導入当初は成分測定のみであったが、1980年代後半に食味分析計として発売されると生産現場への導入が始まり、ウルグアイラウンドによるミニマムアクセス米輸入の補償措置として6兆円が農業に投入されると一気に導入が進んで1990年代後半までに推計4,000~5,000台が普及したと言われている。しかし、食味分析計としては測定値の精度と再現性に問題があったため、補助金が切れるごとに普及が鈍化した。しかしその後は本来の使い方であるタンパク質の成分分析計として一定の評価を得て、多くの道府県で米のタンパク質含量に基づく選別が行われている。また、近赤外分析計は米の成分育種選抜にも応用され、多くの道県で特A米の輩出に大きく寄与してきた<sup>1)</sup>。

日本国内で現在使用されている近赤外分析計はほとんどが卓上型分析計であり、サンプリングした玄米を分析計に投入しなければならない。また、測定は測定環境と試料温度の影響を受けるため、低温保存されたサンプルを常温に戻して測定する必要があるなど、改良しなければならない点が多く残されている。一方、外観検査である農産物検査は必ず行われるので、検査と同時に玄米の成分測定ができれば検査の迅速化・省力化に大きく寄与できる。そのため、生産現場では外観検査と成分測定を同時に使う携帯型米品質分析計の開発が期待されている。そこで、携帯型米品質分析計の開発の基礎研究として、サンプリング不要なプローブ（測定部）を試作して玄米の水分とタンパク質の測定精度を検討した。また、流通段階で精米の品質を知ることは消費者にとっても重要であるので、試作ったプローブを精米に適用したときの測定精度の検討と問題点の解明も行った。さらに、日本では米を玄米で貯蔵・流通しているが、諸外国では粉で貯蔵・流通しているため、携帯型米品質分析計は粉にも対応できることが求められる。そこで、試作ったプローブを乾燥粉に適用したときどの程度の精度が得られるか、併せて検討した。

### 2.研究の概要

プローブ（測定部）は、同軸型3種類、平行型3種類を試作して供試した。同軸型プローブはリングライトガイドと受光ファイバーから構成される。本研究では投光部のファイバー径がφ42mm、φ35mm、φ22mmの3種類を用いた。樹脂製のスリーブに受光ファイバーを取り付けたものを供試した。平行型プローブはφ1mm投光ファイバーとφ0.6mm受光ファイバーから構成される。投光と受光ファイバーのなす角度を0度、30度、45度とした3種類の金属板（プレート）を用いたプローブを試作して供試した。測定波長範囲は650~1100nmである。図1に同軸型プローブの概略を示した。

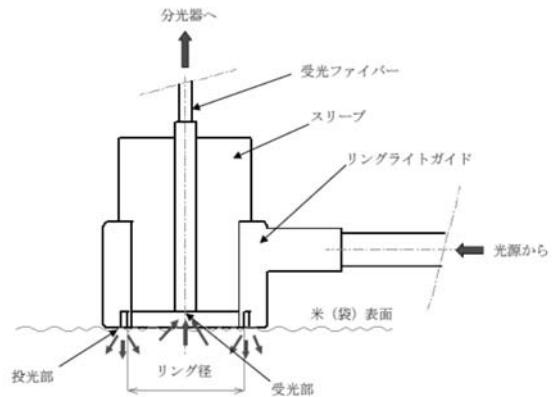


図1 同軸型プローブの概略

測定には68点の玄米と精米を供試し、米表面に直接プローブを当てるオープンと袋の上からの2形態の測定精度を検討した。袋は生産団体特注の内側ポリコート和紙袋（以下、米袋A）及び角底ひも付きクラフト紙袋（以下、米袋B）の2種類の2kg用米袋を用いた。

まず、外光の影響を検討した。測定深度を表面から0, 10, 20mmの3段階で測定して作成した玄米と精米のタンパク質と水分のキャリブレーションのStandard error of cross-validation (SECV) の変化からは測定深度とSECVには一定の傾向が観察されなかった。これは、同軸型、平行型ともプローブ自身が遮光効果を有すること、また、蛍光灯の光（照度約500lx）はプローブ周囲からほとんど回り込まないと推定されることなどによるものと考えられる。従って、オープン測定の場合、室内であれば外光の影響を考慮する必要はないとの判断した。

平行型の角度の検討では、精度を向上するにはどれだけ多くの拡散透過光を集められるかにかかっており、これには入射光の強度、拡散透過光の強度、分光器のS/N比など、いくつかの要素が複雑に絡み合っている。本研究の範囲内ではこれらを合わせた最適プローブがタンパク質で平行30であった。

オープン測定による測定精度は、玄米タンパク質が同軸35でR<sup>2</sup>=0.90, SECV=0.32%, 玄米水分が平行30でR<sup>2</sup>=0.92, SECV=0.18%, 精米タンパク質が平行30でR<sup>2</sup>=0.90, SECV=0.34%, 精米水分が平行30, 同軸35, 同軸22でR<sup>2</sup>=0.96, SECV=0.15%であった。オープン測定の場合は十分な光量により綺麗なスペクトルが得られればプローブ間に優劣はないと考えられる。図2に同軸35の玄米タンパク質のキャリブレーション散布図を示した。

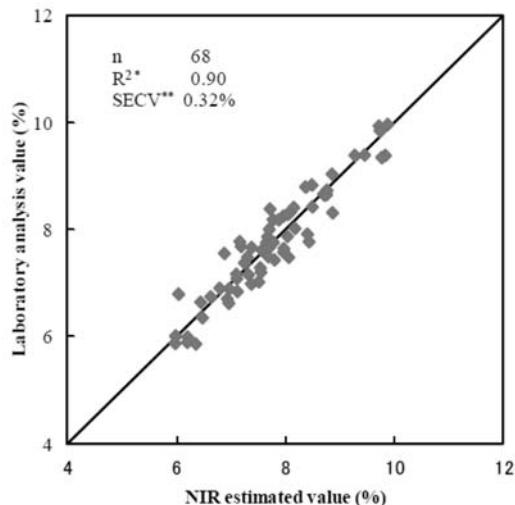


図2 同軸35の玄米タンパク質キャリブレーション

袋測定による測定精度の検討は、平行型プローブでは光量不足が予想されたため、同軸型プローブのみで行った。いずれの袋、玄米／精米、米袋でも同軸42の精度が優れており、米袋Aでの最良の精度は玄米タンパク質で $R^2=0.92$ 、SECV=0.28%、玄米水分で $R^2=0.92$ 、SECV=0.18%、精米タンパク質 $R^2=0.86$ 、SECV=0.39%，精米水分で $R^2=0.97$ 、SECV=0.13%，米袋Bでの最良の精度は玄米タンパク質で $R^2=0.89$ 、SECV=0.34%，玄米水分で $R^2=0.95$ 、SECV=0.14%，精米タンパク質 $R^2=0.93$ 、SECV=0.29%，精米水分で $R^2=0.96$ 、SECV=0.14%であり、米袋の違いによる精度の差はなかったと判断できる。これらの精度は前項のオープン測定での精度と比較してほぼ同じ精度であり、米袋の影響はなかったと判断できる。これらの結果は、米の検査段階のみならず、流通段階で市販されている米袋入りの試料を未開封のままある程度の精度で測定できる可能性が示されたと考えられ、本研究の新たな成分測定方法としての可能性が更に高まったと考えられる。

糀の測定精度オープン測定で同軸35のタンパク質が $R^2=0.03$ 、SECV=0.70%，水分が $R^2=0.24$ 、SECV=0.58%で、同軸22もほぼ同等の精度であり、さらに袋測定でも同等で、玄米と精米の精度よりはるかに劣った。本研究では透過反射型ではあるが糀殻により入射光がほとんど反射されて内部の玄米の情報はほとんど含まれていないと考えられ、糀の測定にはプローブの改良が必須であると考えられる。

以上の結果から、本研究で得られた成果は従来にない発想に基づく米の新たな成分測定方法としての可能性が十分あるものと判断できた。さらに、袋に入れた状態でもオープンと同等の精度が得られ、これによって米の検査段階のみならず、流通段階で市販されている米袋入りの試料を未開封のままある程度の精度で測定できる可能性が示されたといえ、本研究の新たな成分測定方法としての可能性は更に高まったと考えられる。

### 3. おわりに

近赤外分析計は1970年代にUSAで開発され、小麦のタンパク質測定装置として公式認定されて以来、小麦、大豆、コーンなどの穀物の成分測定装置として普及が進んだ。1980年代後半までは粉碎して測定する反射(NIRR)型分析計が主流であったが、全粒で測定する透過(NIRT)型分析計が発売されると粉碎不要で取扱いが簡単なことから普及が進み、現在では穀物の成分測定ではNIRT型が主流になっている。筆者と近赤外分光法とのつきあいは1980年代後半に始まり、食味分析計を経て成分分析計として活用されるに至る25年間にはほぼ重なる。その間、NIRR分析計、NIRT分析計、単粒成分計、そして今回の携帯型分析計と、米の品質と成分測定のほとんどすべてに係わってきたことになる<sup>2~6</sup>。今回機会を得てご推薦いただき支部学術賞をいただくことになったのは、これらのすべてに対する評価であると思っている。ここに深く感謝する次第である。

### 参考文献

- 1) Inatsu, O., 1988. Studies on Improving the Eating Quality of Hokkaido Rice (in Japanese). Journal of Hokkaido Agricultural Experimental Station, 66.
- 2) Kawamura, S., Natsuga, M., Itoh, K., 1999. Determination of undried rough rice constituent content using near-infrared transmission spectroscopy. Transactions of the ASAE, 42(3), 813-818.
- 3) Natsuga, M., Kawamura S., Itoh, K., 1992. Precision and accuracy of near-infrared reflectance spectroscopy in determining constituent content of grain (Part 2) (in Japanese). Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 54(6), 89-93.
- 4) Natsuga, M., Nakamura, A., Itoh, K., 2003. A Study on High-speed Sorting of Single-Kernel Brown Rice Using Near-Infrared Spectroscopy(Part3) -Improvement of the Developed High-Speed Single-Kernel Brown Rice Sorting Machine and the verification of Its Accuracy- (in Japanese). Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 65(3), 107-113.
- 5) Natsuga, M., Kawamura S., 2006. Visible and near-infrared reflectance spectroscopy for determining physicochemical properties of rice. Transactions of the ASABE, 49(4), 1069-1076.
- 6) Natsuga, M., Fukushima, S., Akase, A., 2007. Determination of moisture and protein content of single kernel brown rice using near-near-infrared spectroscopy. Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of 12th International Conference, 65-68.