ISSN 0287−9115

農業機械学会東北支部報

No. 57 DEC. 2010 平成22年12月

目　次

農業機械学会東北支部

巻頭言

東北支部の未来を考える

次期支部長　夏賀元康（山形大学農学部）

1.　はじめに

次期支部長を拝命しました。2 年間、よろしくお願いします。巡り合わせで巻頭言と編集後記を両方書くことになりました。

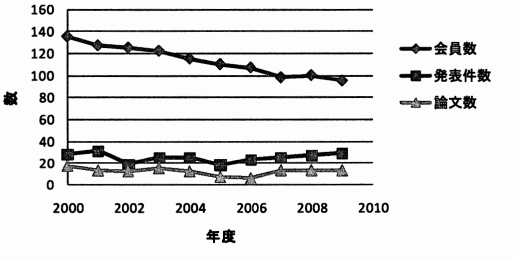
政府はTPP（環太平洋パートナーシップ協定）への参加を検討すると公式声明を出しました。これはすべての品目で例外を認めない協定であるため、工業製品の輸出のために農業を犠牲にするものだと農業分野からは大反対の声が上がっていますが、これを千載一遇のチャンスととらえて積極的に規模拡大や品質向上に取り組むという声も聞こえてきます。安全保障上の問題として食糧をすべて外国に頼る事ができないのはいうまでもありませが、保護をするだけで果たして生き残れるのか。1993 年から2000年まで、ウルグアイラウンドによる米の関税化に伴い、6 兆円が農業分野に投入されましたが、米作を中心とする農業の体質はかえって弱体化し、国際的競争力は無きに等しい状態です。ウルグアイラウンドの二の舞になるのか、新たな方策が見いだせるのか、難しい局面になっています。

2.　東北支部の現況

図 1 に示したように、東北支部の会員数は学生会員を併せて 100 名前後で、着実に減少しています。少子化・全入時代にすでに入っていて、大学入学者が増えることは考えにくく、したがって学生数も減って行きます。また、公務員削減の勢いは止まらないように見られます。県によっては農業機械担当がすでに不在のところもあると聞いています。これはすべての分野で生じている事で、農業機械分野も当然例外ではありません。研究者の数は減りこそすれ増えることはないのです。したがって、会員数の減少は止むを得ないと感じています。

一方、図 1 に示したように、支部大会での発表件数と支部会報に掲載された研究論文の数は、年度変動はあるものの安定しています。東北支部は小粒でもきらりと光るものを持っている、そういう組織になっていかなければなりません。そのためには発表件数と研究論文の数は維持あるいは増加させる事はいうまでもありませが、今後は地域貢献と国際貢献を進めて、東北支部の存在意義を高めていく必要があると思います。

図1 東北支部の活動



3.　地域・国際貢献

(1) 地域貢献

東北支部では東北農研センターを中心として各県の農業研究センターが地域貢献に取り組んできました。これは本務ですが、農林水産省のプロジェクトでは県をまたぐものを提案しないと採用されないようになっています。県独自の問題と東北共通の問題を議論して共通の利益のために進まなければなりません。このような問題提起と議論の場として、私の2年の任期中に各県がそれぞれ最低1回は研究会やシンポジウムを開催するようにしたいと思います。

(2) 国際貢献

地域貢献は今まで通りさらに進めていくと同時に、今後は東北の地域性を生かした国際貢献を行う必要があります。これには国際シンポジウムの開催、国際共同研究などがあり、費用も含めて支部単位では難しい点もありますが、是非トライしていただきたい。例えば山形県や青森県の果実はすでにタイや中国に輸出しています。冒頭に書きましたが、日本が貿易立国していくためには遅かれ速かれ農産物の自由化は避けて通れない道です。では、自由化されたとき、どのように農業が生き延びていくか。海外の研究者などを招聘して議論を深め、生き残る道を模索しなければなりません。

4.　東北支部の未来

(1) 世代交代

定年退職した後の補充がスムースにいかないため、世代交代がなかなか進みませんが、30代後半から40代始めの若手世代が次第に増えてきました。東北支部の未来はこの若手の世代にかかっています。世代交代を積極的に進めて支部運営を若返らせていく必要があります。

(2) 会員数の増加

すでに論じたように会員数の減少傾向に歯止めをかけるのは難しいのですが、せめて現状維持をしたいと思います。そのためには支部活動が魅力的なものにならなければなりません。産学官のプロジェクトが増えていますので、こういう機会を捉えて民間の技術者の支部会への加入を呼びかけていただきたいと思います。

(3) ネットワーク時代の支部会のあり方

東北は広いのでなかなか顔を合わせる機会がないのですが、過去にHPで議論をしようという呼びかけは残念ながらうまくいきませんでした。前HP担当のご尽力で、東北支部のHPがリニューアルされましたので、今後はこのHPを積極的に活用して行こうではありませんか。ただ、まだ我々はこのような状況に対応できるだけのスキルを身につけているとはいいがたいので、必要に応じて電話で連絡するような応変の対応が求められます。

5.　おわりに

農業全体が厳しい状況に置かれている中、農業機械を取り巻く環境も厳しさを増す一方です。しかし、希望はあります。会員の皆さんのご協力をいただいて東北支部の活性化と体質改善に取り組んでいきたいと思います。最後に、2011年度は9月に弘前大学で本部学会が開催されます。東北支部を挙げての行事になりますので、皆さんのご協力をよろしくお願いします。

異なる調製方法と包装資材による貯蔵米の品質評価

八谷　満*・大谷隆二**・井尻　勉***・斉藤　亘****

Quality Evaluation of Stored Rice Using Different Package and Milling Method

Mitsuru HACHIYA*, Ryuji OTANI**, Tsutomu IJIRI***, Wataru SAITO****

Abstract

Quality evaluation tests were conducted on samples stored with different processing/storage methods (conventional paper bag/multi layer plastic film, brown rice/milled rice/refined rice=milled rice by friction mill with lower pressure, low temp./room temp.) through physicochemical analysis: ratio of skin abraded kernel, free fat acidity, pH, gelatinization properties, fluorescence intensity, and sensory test. In the case of milled rice stored, especially milled rice by friction mill with lower pressure and packed into the plastic bag, even after one year, their moisture almost unchanged and rice degrades more slowly in comparison with conventional packaging and storage form of brown rice. The comprehensive palatability test showed that milled rice stored in the plastic bag were in higher position, indicating refined rice with bran well removed, has a higher storability.

[Keywords] rice, storability, plastic film, refined rice, degradation, palatability

1．はじめに

わが国における米の貯蔵形態としては，玄米の低温貯蔵が最も一般的である。貯蔵温度 13～15℃以下の低温倉庫が全国各地に建設され，'92 年時点で夏期 15℃以下の低温倉庫 326.7 万 t，夏期 20℃以下の準低温倉庫 93.2 万 t の合計 419.9 万 t の収容能力となっており，米の品質を保持する貯蔵施設として役立っている（大坪，1995）。

玄米の低温貯蔵に関する研究報告は枚挙に暇がないが，一方で精白米は呼吸量が少ないことや脂質含量が少ないことなど，玄米に比較して鮮度保持上有利な点も有している。例えば，精白米は呼吸量が少なく嫌気状態になり難いため，包装資材にガス透過性が低いフィルムを用いた包装技術が，米の鮮度保持に有効との報告もある。また，搗精時に糠層の脂質残存を少なくした低圧力精米による貯蔵性に優れた精白米なども提案されている（高見，2002）。

米の備蓄制度は，不作による米不足に備えることを狙いとして'95 年に施行された食糧法の中で整備された。政府が農家から米を買い入れ，上記の政府指定倉庫などに保管する。当初の備蓄制度では適正水準を 100～200 万 t と決めていたが，'02 年からは米の消費量減退を勘案して 100 万 t に改めている。しかし，本制度の運営に際して，一定品質を維持するためには倉庫料などの管理経費，すなわち政府の財政負担は少なくなく，併せて庫内温度維持に投入されるエネルギ負荷も無視できない。

そこで，本報告においては，低温エネルギによらずに，可能な限り本来の品質を損ねずに，安価で美味しい米を消費者に提供可能な技術を模索するために，米の質的変化の観点から，搗精方法と貯蔵形態のパターンを組み合わせた米の調製・貯蔵法の適応性について検証した。

2．材料および方法

東北農研内の圃場で栽培された'07 年産"あきたこまち"を供試した。調製貯蔵条件を以下により設定し、貯蔵期間を'08 年 4 月 20 日からの２年間とした。

1）調製：４条件　①玄米（普通水分），②玄米（低水分），③精白米（普通精米），④精白米（低圧精米）

2）貯蔵：４条件　①紙袋（常温），②紙袋（15℃），③フィルム真空（常温），④フィルム密封（常温）

供試した紙袋は一般的な 30kg 用（クラフト紙，２層）とした。一方，真空または密封包装に供したフィルム（De Smet 社，ベルギー）はポリエチレンとナイロンの５層構造で，そのバリヤー性は酸素ガス透過度 1 cc/m^2·24h·atm，透湿度 1 g/m^2·24h である。本フィルムの真空包装による真空度は-98kPa であった。低圧精米試料は，井尻らが開発した搗精方法及びその試作機によって調製された。普通精米の約 1/3 の低い搗精圧力で搗精されるため，砕米発生が少なく，精米表面の仕上りが良好とされる。併せて，同じ白度に調製した場合，精白率は約１～２％向上し，貯蔵性も高まる（井尻，1995）。

*：農研機構 生物系特定産業技術研究支援センター，**：農研機構 東北農業研究センター，
：農研機構 中央農業総合研究センター，* サイコン研究所

図１　各包装資材による米貯蔵

（左：紙袋包装，中央：積層フィルムによる真空包装，右：積層フィルムによる密封包装）

上記各条件を組み合わせた計16試料について，貯蔵期間中６ヶ月毎に出庫して下記項目について分析した。

（１）水分：　農業機械学会法（10g 粒-135℃-24h）で測定し，標準測定法（旧食糧庁，5g 粉砕-105℃-5h，換算係数：玄米= 1.0122，精白米= 1.0133）に換算した。なお，後述の糊化特性分析に際しては標準測定法（旧食糧庁，3g 粉-135℃-1hr（常圧））によった。

（２）pH：　ケット社製鮮度判定器 RN-820（pH 指示薬：日本穀物検定協会指定）を用いた。玄米貯蔵試料については，前処理として同社製小型精米器にて5g 粒を50秒間搗精した精白米を供試した。評価ソフトにより，一粒毎の pH を穀検の５段階ランク評価基準に倣って鮮度判定を行った。試料数は200粒，反復無しとした。

（３）玄米の肌ずれ：　玄米100粒／区をシャーレに入れ，I・IK 溶液（I：5g，IK：10g/水 1L）15mL を加え，30分間浸漬染色後に４段階の基準で分級し，程度別発生率とした。反復回数は２回とした。

（４）脂肪酸度：　全16試料について日本穀物検定協会に依頼した。AACC（American Association of Cereal Chemicals）の迅速法に準じた滴定法による。脂肪酸度の単位（mg-KOH/100gD.M.）は，以下 mg と略記する。

（５）糊化特性：　ラピッド・ビスコ・アナライザ（Newport Scientific 社、RVA-4）による粘度曲線として求めた。供試量は精米粉末3.5g（水分14%換算）で，純水25ml を添加して試験した。試験の前処理として，①竪型精米機（山本製作所、ライスパル VP-31T）で搗精歩留りを90.0±0.5%に調製，②粉砕機（Perton 社、ラボラトリミル3100型）によりスクリーン0.5mm で調製した。反復回数は３回として，その平均値を用いた。

（６）蛍光強度：　生研センター試作の米鮮度評価装置（紫外線励起蛍光画像法）（八谷ら，2010）を用いて，各試料の蛍光強度を測定した。冷却 CCD カメラ露光時間及び冷却温度は，各々30秒間及び0℃と設定した。反復回数は３回として，その平均値を採用した。

（７）精白米の色調：　２年間の貯蔵を経た精白米試料について，コニカミノルタセンシング社製分光測色計 CM-700d を用いた。測定した Lab 系色度座標をもとにハンター白度を算出し，評価した。反復回数は５回として，その平均値を採用した。

（８）食味官能：　日本穀物検定協会に依頼した。基準米は，玄米・紙袋・低温貯蔵・普通水分区の試料とした。

３．結果および考察

以下，分析した項目毎に分けて試験結果を述べる。なお，’08年10月の出庫・分析以降の半年間，低温区の貯蔵環境であるインキュベータの動作不良により，低温区全ての試料水分が大きく低下したことから，本報告では常温区試料の結果のみに限定する。ただし，食味官能試験においては，玄米の紙袋・低温貯蔵区を基準米としたため，あくまでも一部参考値として記載したが，留意されたい。

常温貯蔵環境の温度及び湿度は，それぞれ’08年４月～10月期：21.3±6.1℃（平均値±標準偏差，以下同様）及び57.0±9.7%，’08年10月～’09年４月期：3.7±4.2℃及び66.1±10.1%，’09年４月～’09年10月期：20.8±5.7℃及び59.8±9.1%であった（図２）。

貯蔵期間中，供試したフィルム内試料にはカビ（糸状菌）

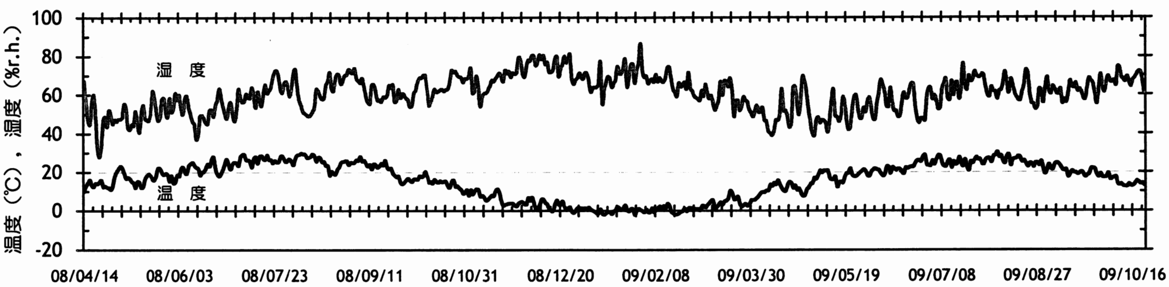


図２　貯蔵試験中の温度と湿度（常温区）

※’09年10月以降半年間のデータを取得できず

の発生や好気性菌による腐敗等は観察されなかった。

1）水分

図３に水分と pH の推移を示す。なお，図中記載の“F”はフィルム包装の略記とした（後出の図も同様）。

玄米貯蔵の場合，紙袋包装区は，初期水分にかかわらず，貯蔵半年間で水分 11%台にまで大きく低下した。特に，普通水分区における水分低下は顕著であったが，半年経過以降は吸湿して 13%台となって安定した。フィルム包装（真空・密封）区においては貯蔵期間を通じてほぼ安定しており，フィルムのバリヤー性を確認できる。精白米貯蔵においても，玄米貯蔵と同様であり，フィルム包装区の水分変動幅は明らかに小さい。なお，搗精方法（普通精米・低圧精米）による吸湿・放湿の差異は認められなかった。

2）浸漬液の pH

pH の変化は，貯蔵中の品質劣化の指標として用いられる。玄米貯蔵においては，普通水分の特にフィルム貯蔵試料が他に比して pH の低下が早かった。低水分のフィルム包装（真空・密封）試料は紙袋よりも緩慢に低下する傾向であった（図３）。

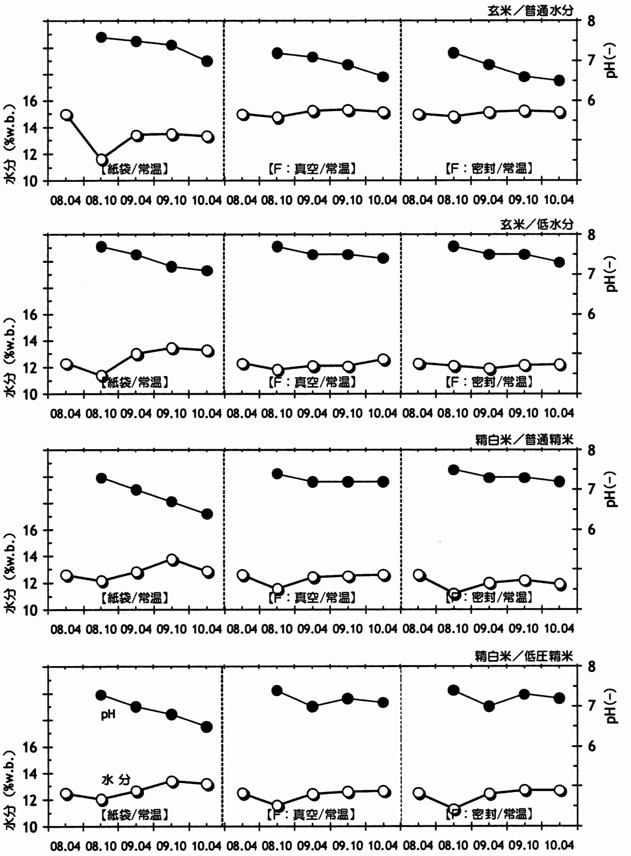


図３　貯蔵方法を異にする米水分と pH の推移

この低水分のフィルム包装試料は，日本穀物検定協会の鮮度判定指標（S>A>B>C>D）に照らし合わせれば，最も鮮度が高い S ランクの粒数割合は 90〜92%と高かった。精白米貯蔵においても，搗精方法（普通精米・低圧精米）にかかわらず，上記と同様の傾向であった。しかし，S ランクの粒数割合は 31〜59%とフィルム包装の玄米貯蔵試料よりも低かった。これは，玄米貯蔵試料については測定直前に搗精したことによると思われる。

3）玄米の肌ずれ率

図４に貯蔵半年後の玄米の肌ずれ率を示す。一般に rank C と D は，検査規格上，肌ずれ米の対象となり 70%以上の混入で１等級格下げされる。肌ずれ程度が「多い」，または「甚だしい」とされる rank C と D の発生率（粒数割合）からみると，紙袋貯蔵では 45.5±6.0%であるのに対して，フィルム包装貯蔵では 63.0±11.1%と高く，肌ずれの程度がより顕著であった。フィルム包装時に何らかの擦れが生じていることが推察される。しかし，フィルム包装区間でみると真空，密封いずれも普通水分よりも低水分の方が発生率は 15%程度低く抑制されている。また，肌ずれ発生率の高低が後述する脂肪酸度の傾向にも顕著に反映されている。

玄米貯蔵を前提とした場合，フィルム包装よりも紙袋の方が良好な貯蔵性を示すものと思われた。

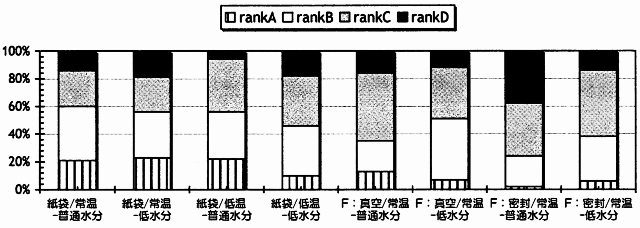


図４　貯蔵方法を異にする玄米の肌ずれ率

4）脂肪酸度と糊化特性

遊離脂肪酸含量（脂肪酸度）は，貯蔵による米の品質劣化に関係の深い指標であるとみなされる。貯蔵中の脂肪酸度と糊化特性（ブレークダウン）の推移を各々図５と図６に示す。両指標ともに，貯蔵経過に伴って増加傾向を示したが，総じて玄米の普通水分区が包装形態に関わらず高い増加率を示し，品質劣化の進行が早かった。一方，低圧精米した精白米においては，紙袋・フィルムの包装形態にかかわらず，脂肪酸度は他の試験区とほぼ同等の増加率ではあるものの，貯蔵期間を通して明らかに低いレベル（貯蔵開始時：1.7mg→貯蔵終了時：7.0〜10.6mg）で推移した。なお，低圧精米試料の貯蔵開始時の脂肪酸度は一般的な無洗米とほぼ同様であった。よって，低圧精米処理により米粒表層の付着糠が少なく，低圧精米試料の貯蔵性は普通精米よりも良い可能性がある。

また，精白米貯蔵においては，慣行的な紙袋貯蔵に比べてフィルム貯蔵の方がブレークダウンの増加が抑制される傾向が示された。貯蔵中の糊化特性は，貯蔵に伴うアミラーゼ活性の高低を示す指標となる。貯蔵による品質劣化が大きく，アミラーゼ活性が低下すると，糊化特性測定中

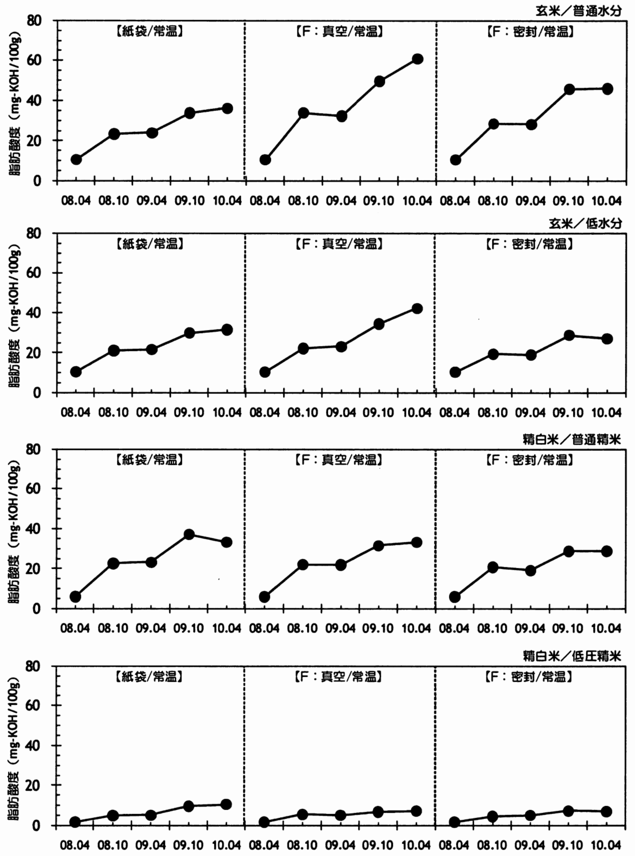


図５　貯蔵方法を異にする脂肪酸度の推移

の澱粉の加水分解が進まず，その結果，最高粘度やブレークダウンが高い値を示す（横江ら，2008)。すなわち，本試験結果からは，慣行的な紙袋貯蔵の方がフィルム貯蔵よりも貯蔵中のアミラーゼ活性が大きく低下したことを示すと考えられる。なお，貯蔵中にブレークダウンの増加が進むことは，食味低下を示していると考えるべきとの指摘がある（豊島ら，1998)。精白米の貯蔵と品質に関する報告にあるように，貯蔵中は米粒内の各種酵素の働きによって様々な変化が起こるが，特に遊離脂肪酸の増加は著しい。貯蔵中にスフェロゾームの崩壊が起こるため，脂質がリパーゼと接触し，分解を受け，遊離脂肪酸が生成する（高野，1989)。生成した遊離脂肪酸は，澱粉と複合体を形成し，水の吸収及び澱粉の糊化膨潤を阻害して米飯の歯ごたえに影響を及ぼすという古米化スキームが出されている（大坪，1995)。ただし，澱粉への影響については疑問であるという報告もある（渋谷ら，1977)。

5）蛍光強度

米からの発光蛍光強度においても，前項の理化学指標と同様に貯蔵経過にともなって増加した（図７)。玄米貯蔵の場合，貯蔵６ヶ月後では 45～47（貯蔵開始時の蛍光強度は不明）であったのに対して，貯蔵終了時には 50～53 であった。一方，精白米貯蔵においては，貯蔵６ヶ月後では 33～36，貯蔵終了時には 35～37 と玄米貯蔵時に比して

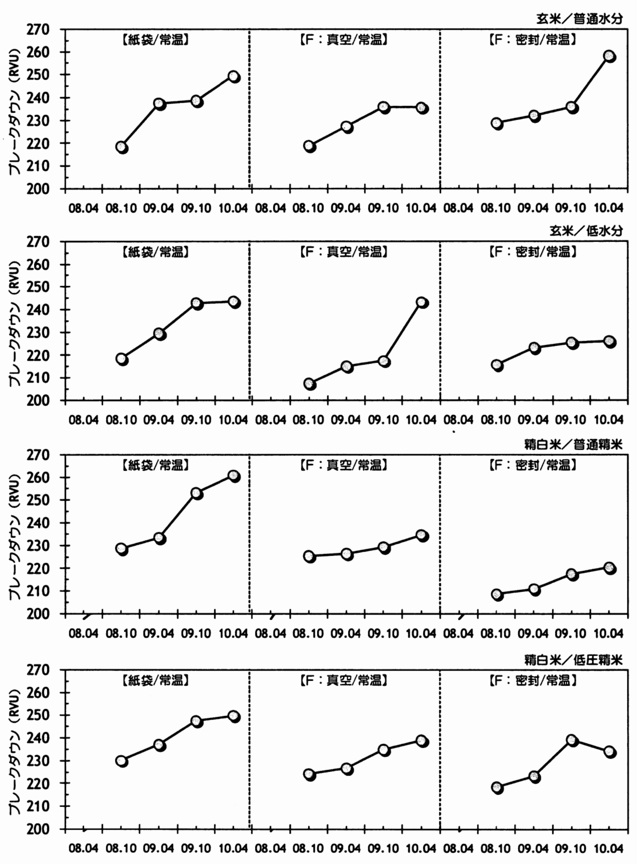


図６　貯蔵方法を異にする糊化特性の推移

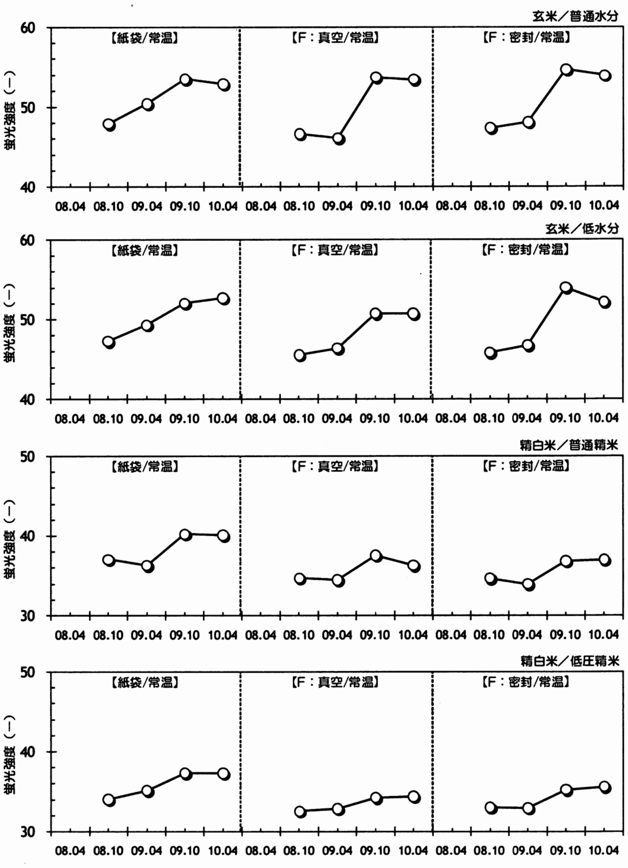


図７　貯蔵方法を異にする蛍光強度の推移

その増加は明らかに小さく，品質劣化が遅延することを示している（図７）。玄米貯蔵の場合，ブレークダウンと同様に，水分の高低や包装資材の相違と蛍光強度との間に特徴的な傾向は認められないものの，普通水分よりも低水分の方が蛍光強度のレベルは総じて低い。

精白米貯蔵においては，フィルム貯蔵の方が紙袋貯蔵よりも蛍光強度の増加率が小さかった。普通精米よりも低圧精米の方が蛍光強度は低く抑制されていることから，品質変化の程度がより少ない可能性を示唆する。さらに，前項で述べたように，低圧精米処理によって米粒表層に付着している微粉糠が普通精米よりも少ないことも由来すると思われる。なお，鮮度劣化に伴う蛍光強度変化には中性脂質の過酸化による蛍光発光が関与し，鮮度劣化によって食味官能値が低下した米は，蛍光強度が高い傾向にある（浅野目ら，2008）。

６）精白米の色調

色差計による色の数値的表現を通じて，精白米貯蔵による米の色を検討した。図８は精白米貯蔵により２年間の貯蔵期間を経た精白米の明度と白度を示す。明度は，紙袋では 72.2±2.1 に対してフィルム貯蔵では 74.1±1.4 であり，また，白度においても紙袋 69.4±1.8 に対してフィルム貯蔵では 70.8±1.3 と，いずれの指標ともにフィルム貯蔵試料の方がより明るい色調で白度が高かった。さらに，フィルム区間においては低圧精米処理した真空包装試料が明度，白度ともに最も高い結果が得られた。目視観察でも，紙袋による低温貯蔵試料は搗精方法にかかわらず，精白米としての色調が明らかに低下していると判断された。

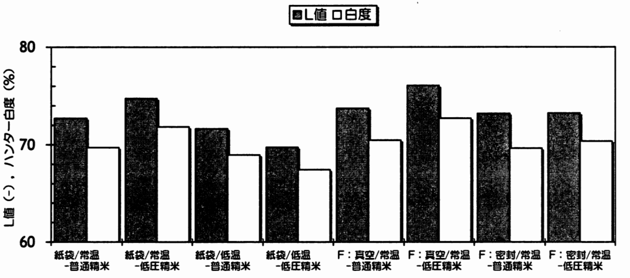


図８　貯蔵方法を異にする精白米の明度と白度

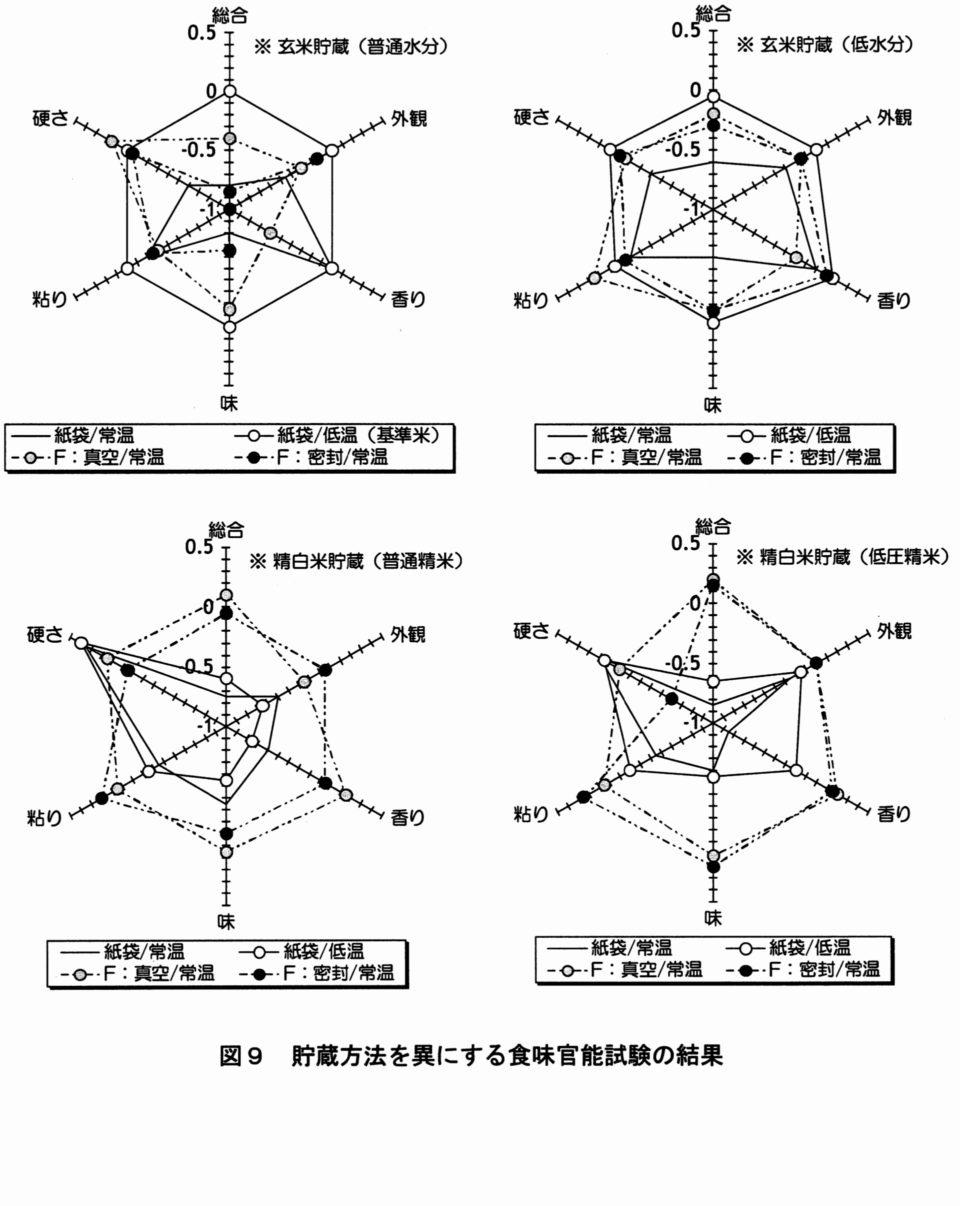


図９　貯蔵方法を異にする食味官能試験の結果

7）食味官能値

米の食味評価法には官能評価法と前述の理化学測定法があるが，前者は食味を総合的に評価する最も基本的な方法である（大坪，1995）。貯蔵１年半後に実施した食味官能試験の結果を図９に示す。

・炊飯米外観：　炊飯米外観は，貯蔵における品質の劣化が現れ易く，総合評価との相関も強く，貯蔵における食味の劣化を測定するのに有効とされる。本試験結果では，総じて普通精米による紙袋貯蔵試料の評価が低かった。

・香り：　玄米貯蔵の普通水分では，紙袋包装試料に比べてフィルム包装（真空・密封）の方が大きく劣化した。しかし，精白米貯蔵においては，玄米貯蔵区とは逆に，紙袋包装の方がフィルム包装試料よりも香りの劣化が大きい傾向であった。

・味：　味の官能評価においても，精白米貯蔵では香りと同様に，紙袋包装がフィルム包装試料よりも味が劣る傾向であった。

・粘り：　玄米貯蔵では，粘りがやや低下する傾向であった。一方，精白米貯蔵では搗精方法にかかわらず，フィルム貯蔵の方が粘りを維持し，紙袋貯蔵が低下する傾向であった。

・硬さ：　他の試料に比較して，普通精米による精白米貯蔵が硬い傾向を示した。貯蔵した精白米は，貯蔵中に生成した遊離脂肪酸が炊飯時の澱粉の膨潤を妨げるため，その米飯は硬くて粘りが少なくなる（渋谷ら，1977）。ただし，低圧精米試料においては，その傾向は認められなかった。

・総合評価：　玄米貯蔵においては，普通水分区においては味や香り等各項目間でバランスの悪い評価結果となった。精白米貯蔵においては，搗精方法にかかわらず紙袋よりもフィルム貯蔵の方が各項目間のバランスが良好であり，古米になっても食味が比較的良い傾向を示した。ただし，フィルム貯蔵の真空と密封による食味の差は明らかでなかった。

4．摘　要

低温貯蔵に拠らずに，米の品質を確保することを目的として，搗精方法と包装資材を組み合わせた貯蔵方法の可能性について２年間の貯蔵試験を実施した結果，以下を得た。

1）米の水分は，慣行的な紙袋貯蔵よりもフィルム貯蔵の方が環境による影響を受け難く，また搗精方法の違いによる水分変動の差異は認められなかった。

2）貯蔵中の脂肪酸度と糊化特性は，いずれも貯蔵経過に伴って増加傾向を示したが，総じて玄米の普通水分区が包装形態に関わらず高く推移し，品質劣化が早かった。一方，低圧精米処理した精白米の脂肪酸度と糊化特性においては他に比して低いレベルで推移し，鮮度維持効果を認めた。pH の変化においても，本結果を裏付ける傾向が認められた。

3）米からの発光蛍光強度においては，特に精白米貯蔵を前提とした場合に糊化特性と同様に，フィルム包装が紙袋よりも貯蔵性が高い傾向を確認した。また，色調（明度・白度）においては，フィルム包装の低圧精米試料が最も良好であった。

4）食味官能評価においては，フィルムの真空と密封による食味の差異は明らかではないものの，精白米貯蔵を前提とした場合には，慣行的な紙袋貯蔵よりもフィルム貯蔵の方が良好である傾向が示された。

以上，食味官能を含む品質測定結果においては，慣行的な米貯蔵方法に比較して，特に低圧精米処理し，積層フィルム包装にて貯蔵された精白米において，水分の変動が抑制され，品質がより保持される効果を認めた。

5．謝　辞

本試験の遂行に際しては，東北農業研究センター 清水恒氏，及び中央農業総合研究センター 竹倉憲弘氏に多くのご助言をいただいた。また，エム・エス・ケー農業機械株式会社には供試積層プラスチックフィルムの提供，及び関連の情報提供等の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

6．参考文献

1）浅野目謙之・八谷満・後藤恒義，2008，非破壊型検査手法を用いた米の鮮度評価技術開発，日本作物学会紀事別号（講演会要旨・資料集），Vol.226，56-57.

2）井尻努，1995，米の新貯蔵調質技術の開発，http://nfri.naro.affrc.go.jp/research/seika/seikah6/h63.html.Accessed Oct. 4, 2010.

3）竹生新治郎・渡辺正造・杉本貞三・酒井藤敏・谷口嘉廣，1983，米の食味と理化学的性質の関連，澱粉科学，30（4），333-341.

4）八谷満・浅野目謙之・後藤恒義・中村透・野田崇啓，2010，紫外線励起蛍光画像法を用いた米の鮮度評価技術（第１報），農機誌，75（4），349-358.

5）大坪研一，1995，3.3 貯蔵・流通条件と品質，「米の科学」，竹生新治郎監修，（朝倉書店），103-116.

6）渋谷直人・岩崎哲也・竹生新治郎，1977，古米化に伴う米飯，糊の物性変化における遊離脂肪酸の役割について，澱粉科学，24（2），67-68.

7）高野克己，1989，米糠脂質の分解機構に関する研究，日食工誌，36，519-524.

8）高見幸司，2002，5.6 米，「食品鮮度・食べ頃事典」，太田英明ら編集委員，ｻｲｴﾝｽﾌｫｰﾗﾑ，526-531.

9）豊島英親・木村俊範・吉崎繁・藤井幸代・岡留博司・塚根保夫・盛田正樹・田島義三・大坪研一，1998，良質米の貯蔵中の変化，食科工，45（11），683-691.

10）横江未央・川村周三，2008，精米の賞味期限の設定（第２報），農機誌，70（6），69-75.

ハイパースペクトル画像解析による採草地収穫適期の予測

—ポット栽培試験によるイネ科牧草の生育量推定—

鈴木由美子*・田中勝千*・加藤　亘**・岡本博史***

Prediction of Suitable Time to Harvest in Meadow Using Hyperspectral Imaging

—Estimation of grass growth under pot experiment conditions—

Yumiko SUZUKI*・Katsuyuki TANAKA*・Wataru KATO**・Hiroshi OKAMOTO***

Abstract

Grass growth in growing season is one of important information for grassland management because it is useful for estimating yield and predicting harvest time. In this study, the grass growth (grass height and SPAD values) under different nitrogen fertilizer rate was estimated by remote sensing using hyperspectral imaging. The hyperspectral images of grasses were acquired by rotary motion (vertical direction) of the electrically driven pan head. The estimation models for grass growth were developed using partial least squares regression analysis by observed values and by pixel spectra which were extracted from the images. The results show that the models for grass growth can be used for rough estimating, and the models have satisfied accuracy (R^2 = 0.833 and 0.744). Consequently, it was suggested that the hyperspectral imaging developed in this study is a useful technique for estimating and predicting the grass growth.

[Keywords] remote sensing, image processing, spectral analysis, SPAD, plant height

1. はじめに

生育ステージの進行に伴い，牧草茎葉重量は増加するが，その一方で，タンパク質やカロリーなどの栄養価含有率が徐々に低下する。このような特徴から，家畜飼料としての牧草は，収量と栄養価の両面から考えて家畜の栄養要求量を満足させる時期に収穫する必要がある（湯藤2002）。そのため，収穫適期の予測や収穫量の推定において重要な情報となる生育ステージごとの牧草生育量や栄養価を把握することが求められる。しかし，飼料畑に代表される牧草地の面積は，数～数十haと広大であるため，牧草地全体の生育・栄養価情報を把握することが難しい。

広域圃場の空間分布情報取得に有効な手法として，非接触で対象物の形状や特性を認識できるリモートセンシング，特に画像情報が注目されている。その中でも，グランドベースのハイパースペクトル画像解析は，高い空間分解能で可視光および近赤外光領域の詳細なスペクトル情報を観測できるため，農業空間の情報の取得に有効である。近年では，可消化養分総量，粗タンパク質，繊維などの牧草栄養価推定への有用性が示されている（Suzukiら2008a，2008b）。

本研究では，ハイパースペクトル画像解析による採草地の収穫適期の予測を目指している。本報では，収穫適期の決定に重要な情報となる牧草生育量の推定の基礎実験として，異なる窒素施肥条件のポット栽培試験によるイネ科牧草生育量（草高およびSPAD値）の推定を試みた。

2. 材料と方法

(1)　試験概要およびポット栽培の設定条件

本研究は，2006年6から9月に北里大学獣医畜産学部附属フィールドサイエンスセンター十和田農場内第1圃場試験区において実施した。

供試牧草にオーチャードグラス（アキミドリII）を選定し，播種量を0.5 g/potとした。供試土壌は，調査試験区内から採取した黒ぼく土である。採取した土壌は，粒径を篩で2 mmに揃え，土壌内の植物根や土壌動物などの夾雑物を取り除き，3,300 g/pot投入した。

表1に，ポットの設定施肥条件の一覧を示す。本研究では，多様な牧草生育量の推定を目指したため，窒素施肥量を段階的に変化させた。そこで，窒素施肥基準量を1倍（標準）として，施肥条件を0倍，1倍，2倍，5倍および10倍の5段階に設定した。その他の成分であるリン酸，カリウムおよび微量要素（ホ

表1　ポットの設定施肥条件

施肥レベル	施肥量		
	N	P	K
0	0	0.54	0.54
1	0.26	0.54	0.54
2	0.52	0.54	0.54
5	1.30	0.54	0.54
10	2.60	0.54	0.54

*北里大学獣医学部　**元北里大学獣医畜産学部（現宮城県加美農業高等学校）　***北海道大学大学院農学研究院

ウ素，亜鉛，モリブデン，マンガン，銅）は施肥基準量とした。各設定条件ともに5連とし，合計25ポットの培地を用意した。供試ポットのサイズは，外径205 mm，高さ175 mm，容量約4.5 Lである。

(2) 牧草生育量の計測

本研究では，生育量を牧草草高およびSPAD値とした。草高は自然草高とし，直尺により計測した。SPAD値は，葉緑素計（コニカミノルタ，SPAD-502）により計測した。草高およびSPAD値は，各ポット当たり5点計測し，その平均値を代表値とした。

(3)ハイパースペクトル画像解析による牧草生育量の推定

本研究では，岡本ら（2006a，2006b）によって設計・構築されたハイパースペクトル画像解析のためのソフトウェアフレームワークを基に牧草生育量の推定（画像の撮影およびモデル開発）を行った。

① 画像の撮影

供試ハイパースペクトルカメラ（ImSpector V10，Specim）の主要諸元を表2，構造を図2に示す。このカメラは，集光部の対物レンズ，分光部のイメージング分光器および受光部の2次元のモノクロCCDセンサから構成されている。測定対象物からの光は対物レンズで集光され，レンズの合焦位置にある横型スリットを通過し，線上となる。そして，光は分光器へ到達して垂直方向に分光される。その後，この分光情報はCCDセンサに照射され，画像データとして出力される。このカメラはプッシュブルームセンサとして機能する。よって，測定対象物全体の画像を取得するためには，撮影光軸または対象物を移動させる必要がある。本研究では，三脚に固定した電動雲台の回転により，カメラの撮影光軸を移動させることで，測定影対象物全体の画像を取得した（図3）。なお，画像は2006年6月23日から9月26日の間に適宜取得した。

表2 ハイパースペクトルカメラの主要諸元

型式	ImSpector V10
標準波長域	400－1,000 (nm)
波長分解能	6 (nm)
スリット幅	80 (μm)

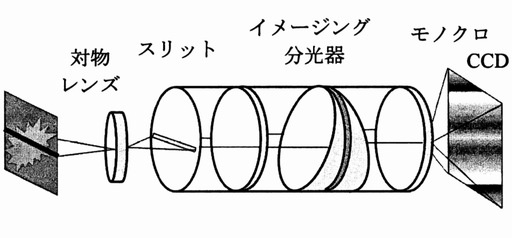


図2 ハイパースペクトルカメラの構造

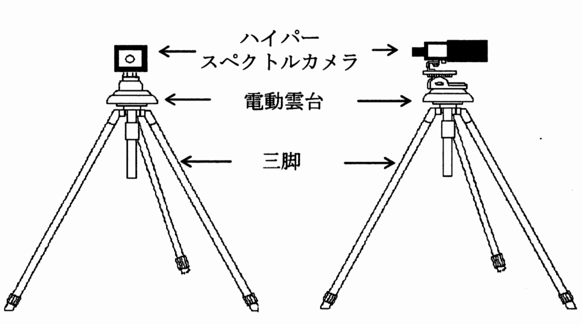


図3 画像撮影システムの概要

② 牧草生育量推定モデルの開発

牧草生育量推定モデルは，多変量解析の中のPLS回帰分析により開発した。本研究では，データ解析ソフトウェア環境R version 2.5.1（R development Core Team, 2007）によってモデルを構築した。PLS回帰分析には，Rの"pls"パッケージ(version 2.0-1)の"plsr"関数を使用した（Martens and Nas, 1989）。モデル構築では，実測した草高およびSPAD値が目的変数，ハイパースペクトル画像から収集した画素スペクトルが説明変数となる。まず，撮影したハイパースペクトル画像から牧草の画素スペクトルを収集した。そして，画像撮影時のレンズの絞り値や照度の違いを揃えるため，画素スペクトルに正規化処理を施した。その後，正規化した画素スペクトルと実測した草高およびSPAD値から推定モデルを開発した。最後に，開発したモデルはクロスバリデーションにより推定精度を検証し，その有用性を評価した。

3. 結果と考察

(1) 生育量の変動範囲

図4および図5に施肥レベルごとの草高およびSPADの経日変化を示す。牧草の草高は，データ範囲が8.80～32.4 cmで，平均および標準偏差は19.1 cm, 5.60であった。播種後約50日以降，草高はほぼ一定となり，大きな変化は見られなかった。SPAD値は，データ範囲が9.60～37.6で，平均および標準偏差は22.0, 6.40であった。播種後約60日でSPAD値が最大となり，その後，低下傾向になった。施肥レベルが5倍の牧草が，草高およびSPAD値ともに最も高い値を示した。なお，生育初期（40日前）のSPAD値は，葉面積が小さいため計測が困難であった。

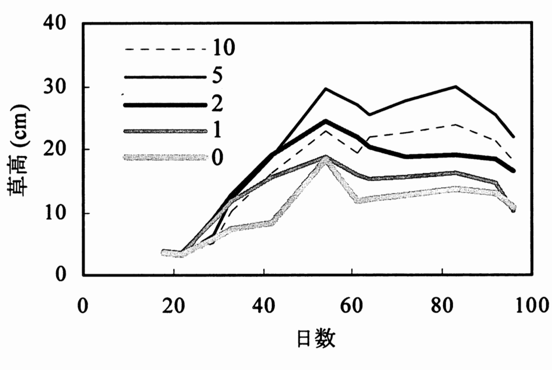


図4 施肥レベルごとの草高の経日変化

図6に，施肥レベルが5倍（N施肥量=1.30 g）のときの播種後72〜96日おける画素スペクトルの変化を示す。画素スペクトルは，生育に伴い，550〜700 nm（緑色〜赤色光領域）で徐々に低くなり，700〜900 nm（近赤外光領域）で徐々に高くなった。一般に，植物は可視光域の500 nm辺りまでは光合成色素（クロロフィルやカロテノイド）による吸収がみられる。680 nm付近のレッドエッジと呼ばれる領域は，単位面積当たりのクロロフィル量（光合成能力）や水分ストレスと関連する。また，レッドエッジ以降の近赤外光領域は葉内の細胞の配列，間隙，水和状態などに関連している（中路 2009）。そのため，生育に伴う光合成色素の増加，および葉内細胞の組成の変化等が起因し，図6のように画素スペクトルが変化したと推察できる。

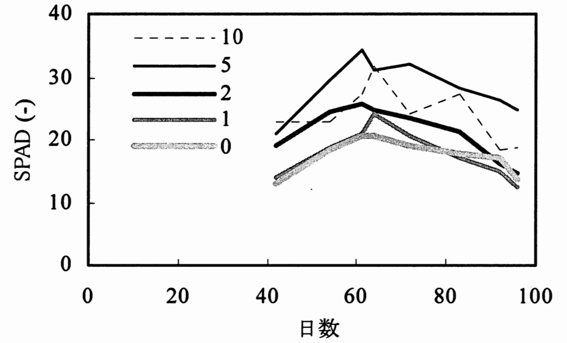


図5　施肥レベルごとのSPAD値の経日変化

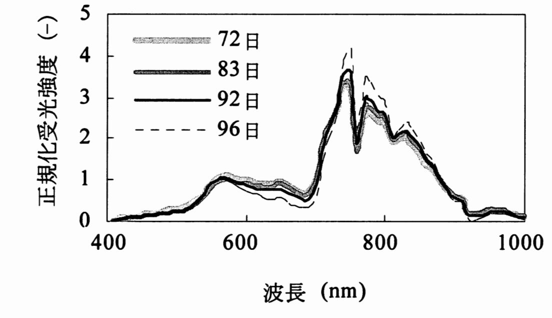


図6　施肥レベルが5のときの画素スペクトルの変化

(2) 草高およびSPAD値の推定

図7および図8にPLS回帰分析により開発した草高およびSPAD値の推定モデルの検証結果を示す。モデルの検証時決定係数（R^2）は0.833（草高）および0.744（SPAD値）であった。実測値と推定値の関係から，草高はデータにややばらつきがあるものの，ほとんどのプロット点が1:1の参照線に沿って分布していた。SPAD値は，実測値の低い領域では過大，高い領域では過小に見積もられている傾向があった。しかし，多くのプロット点が参照線に沿って分布していたため，開発したモデルにより牧草生育量の推定が概ね可能と判断できた。

図9および図10に開発した推定モデルに使用した標準化回帰係数を示す。標準化回帰係数は，草高およびSPAD値で異なる傾向を示したが，両者ともに700 nm付近（レッドエッジ）で最も大きな変動を示した。3(1)に述べたように，この領域は単位面積当たりのクロロフィル量や葉の水分状態に影響する。そのため，クロロフィル量や葉内の水分状態の変化に伴うスペクトルの変動が，生育量推定に強く反映されていると考えられた。

4. まとめ

本研究では，異なる窒素施肥条件のポット栽培試験において，

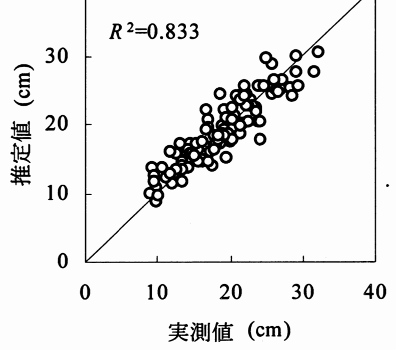


図7　草高推定モデルの検証結果

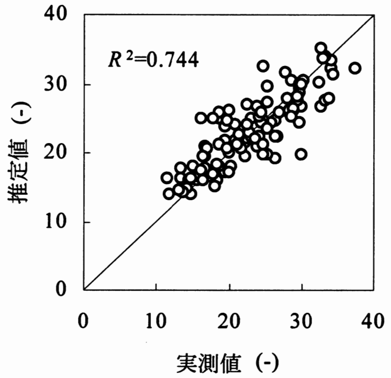


図8　SPAD値推定モデルの検証結果

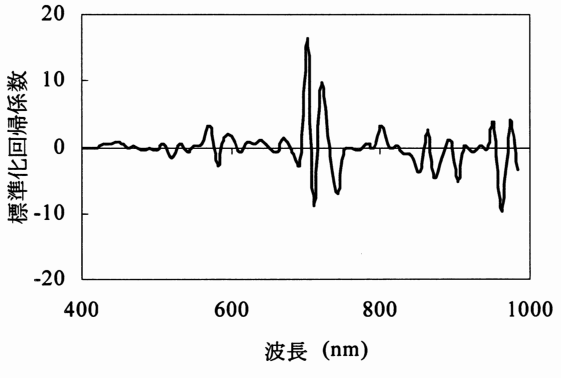


図9　草高推定モデルに使用した標準化回帰係数

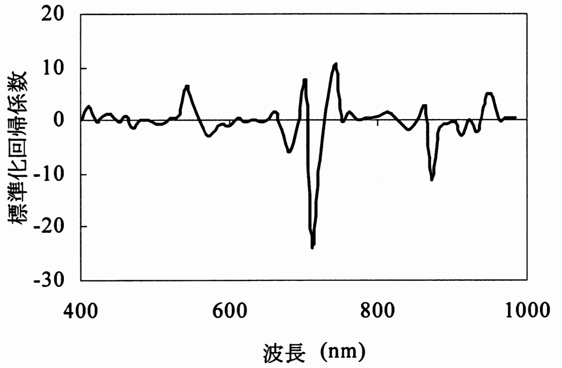


図10　SPAD値推定モデルに使用した標準化回帰係数

ハイパースペクトル画像解析を利用したイネ科牧草生育量（草高および SPAD）の推定を試みた。開発した推定モデルは，検証時決定係数が 0.833 および 0.744 で，概ね推定が可能と考えられた。今後は，圃場試験へ応用して収穫適期の予測および収穫量推定の可能性について検討する。

5. 謝辞

本研究は 2005～2006 年にかけて，北里大学獣医畜産学部にて行われた研究である。研究を遂行するに当たり，獣医畜産学部附属フィールドサイエンスセンターの職員，ならびに獣医畜産学部生物生産環境学科生物環境情報学研究室専攻生の和出崇君，藤波真君，阿部透君，吉田俊輔君には多大なるご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

6. 参考文献

1) Martens, H., Nas, T.：Multivariate Calibration. Chichester, Wiley, New Jersey, 1989
2) 中路達郎：葉群の分光反射と分光植生指数, 低温科学, 67, 497-506, 2009
3) 岡本博史・酒井憲司・村田哲郎・片岡 崇・端 俊一：ハイパースペクトル画像による多目的解析に対応したオブジェクト指向ソフトウェアフレームワークの構築, 農業情報研究, 15 (2), 103-112, 2006a
4) 岡本博史・酒井憲司・村田哲郎・片岡 崇・端 俊一：ハイパースペクトル画像解析フレームワークを利用したリモートセンシングソフトウェアの開発, 農業情報研究, 15 (3), 219-230, 2006b
5) R Development Core Team：R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, http://www.R-project.org/. 2007
6) Suzuki, Y., Okamoto, H., Tanaka, K., Kato, W., Kataoka, T.：Estimation of chemical composition of grass in meadows using hyperspectral imaging. Environment Control in Biology, 46(2), 129-138, 2008a
7) Suzuki, Y., Tanaka, K., Kato, W., Okamoto, H., Kataoka, T., Shimada, H., Sugiura, T., Shima, E.：Field mapping of chemical composition of forage using hyperspectral imaging in a grass meadow. Grassland Science, 53(4), 179-188, 2008b
8) 湯藤健治：自給飼料シリーズ No.3 目で見る牧草と草地（山下太郎編），酪農総合研究所, 50-51, 2002

籾すり機を利用したイネソフトグレインサイレージ用籾の加工法

朽木靖之*・松澤保**・高橋誠***・松葉隆幸***

Processing Method of Rough Rice for Soft Grain Silage Using Impeller Type Huller

Yasuyuki KUCHIKI*, Tamotsu MATSUZAWA**,Makoto TAKAHASHI***, Takayuki MATSUBA***

[Keywords] rice, soft grain silage, huller

1．はじめに

我が国の飼料自給率の向上による，畜産経営の安定を目指し，米の生産調整と併せてイネホールクロップサイレージ（イネ WCS）の生産・利用が普及してきた。

このイネ WCS は茎葉から穂までの全てを収穫後にサイレージに調製するもので，消化性，嗜好性，貯蔵性の点で優れている。この原料となる稲の収穫には，従来の牧草収穫機械体系を利用するか，新開発の WCS 専用収穫機及び汎用飼料収穫機を利用する。ただし，従来の牧草収穫機械では，湿田での作業性は悪く，水田の乾田化が不十分なほ場での作業は困難である。また，主に飼料生産用の作業機が必要となるため，耕種農家の既存の機械装備のみでは難しい。一方，専用収穫機等は走行部に履帯を有しているため，作業性は良好であるものの，専用機のため高価で，導入するためには導入面積の確保やほ場の団地化を図り，利用効率を高める必要がある。上記 WCS の問題点に加え，近年の配合飼料原料の高騰，飼料自給率の向上促進の点から，濃厚飼料代替として利用できる飼料用米が注目されている。

飼料用米は食用米と同様の機械装備で生産できるが，畜種によっては籾及び玄米のままの性状では消化性が低いという問題がある。消化性向上には破砕作業が必要で，押し麦製造用機械を利用した圧ぺんや，重田ら[1)]開発の破砕専用機を利用した粉砕などの技術がある。

同じく消化性を向上させた飼料用米の一形態として，イネ WCS のような作物体全体のサイレージ化ではなく，籾のみを収穫後，サイレージ化する，イネソフトグレインサイレージ（以下，イネ SGS）がある。図 1 にサイレージ別の収穫調製作業体系を示す。この技術の利点は，①籾のみをサイレージに調製するため，濃厚飼料代替となる点，②自脱型コンバインで収穫できるため耕種農家所有の機械を利用できる点，③乾燥作業が不要なため，コスト低減につながる点と，④難消化性の籾をサイレージにして消化性を高める点にある。しかし，成熟期の籾より柔らかい黄熟期の籾でも，籾殻に覆われていると消化性は低い。このため，サイレージ化の前に籾を破砕する加工処理が必須とされている。

その処理法の 1 つに，矢内[2)]のガーデンシュレッダを用いる方法がある。安価で手に入りやすい機材を利用できるが，作業能率が低く，また全穀粒に占める破砕粒の割合が低く，作業精度上も改善が必要とされている。

また，飼料用米の破砕専用機が農機メーカーから販売されているが，ガーデンシュレッダに比べ高価なため，容易には導入しにくい。

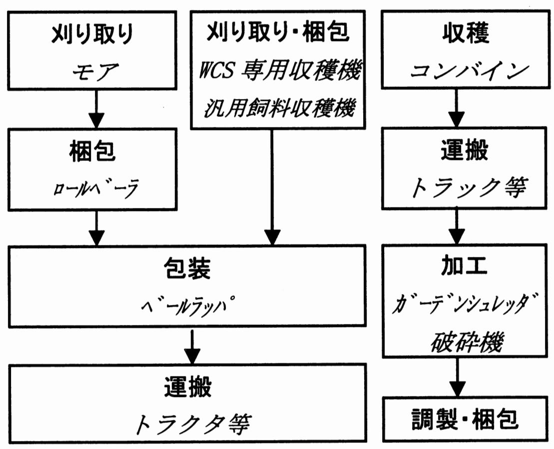


図1　サイレージ別収穫調製作業体系
（斜字は使用機械）

*福島県農業総合センター（現浜地域研究所），**福島県農業総合センター畜産研究所，***福島県農業総合センター

そこで，筆者らは耕種農家が所有し使用している既存の籾すり機を利用して，容易に籾を加工する技術を開発したので，ここに報告する。

2. 材料及び方法

（1）籾の加工試験

試験月日は2008年9月10日,2009年9月10〜11日，試験場所は農業総合センター内の生産工学実験棟である。供試品種として会津坂下町産のふくひびきを用いた。なお，サンプルの収穫は，黄熟期に，食用米の水稲収穫と同様に自脱型コンバインにより実施した。

収穫日は2008年9月9日（出穂期後39日，籾水分29.2%w.b.，籾収量70kg/a），2009年9月8日（出穂期後33日，籾水分34.1%w.b.，籾千粒重29.5g，籾収量103kg/a）で，収穫後の籾は収穫袋に充填した後，冷蔵庫で保管し，試験直前に常温に戻して供試した。

加工作業には耕種農家で一般に使用されているインペラ式籾すり機を使用した。図2に籾すり機の外観を，表1に籾すり機の主要諸元，図3にインペラと標準ライニングを示す。

この機械は，高速回転するインペラ（回転羽根）の中心から籾を放出すると，インペラの遠心力により加速された籾が，周囲に固定された円環状のライニングに衝突することにより，玄米と籾殻に分離し，選別部へ圧送される機構となっている。

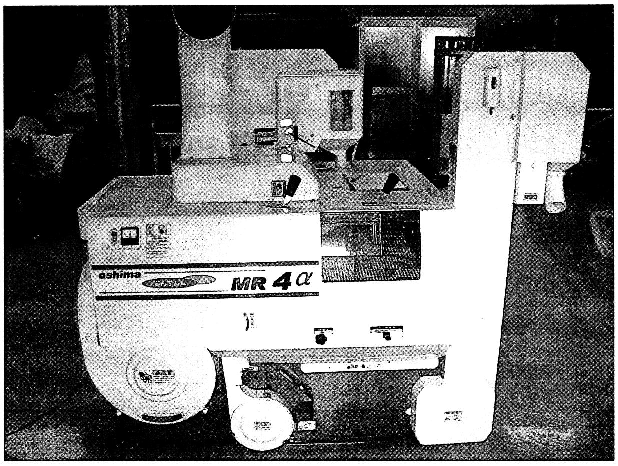


図2　籾すり機の外観

表1　インペラ式籾すり機の諸元

型式	MR4α	インペラ直径(mm)	400
全長(mm)	1,658	インペラ幅(mm)	100
全幅(mm)	1,090	インペラ回転数(rpm)	
全高(mm)	1,865		1,399〜1,632
機体質量(kg)	350	ライニング長(mm)	1,495
所要動力(kW)	2.79	ライニング幅(mm)	125

今回の試験では，通常の籾すり作業方法に加え，籾の接触時に大きな衝撃を与えて，破砕粒や籾殻剥離粒をさらに増加させるため，標準装備のウレタン製ライニング以外に，硬度が高く，表面形状の異なる鋼板ライニングを作製し，試験に用いた。

図4に作製ライニング表面を示す。鋼板は，円環内側を加工しない平滑な平鋼板（板厚 1.6mm），溝深さ約0.5mm で溝間隔 1mm の凹みを有する小溝鋼板（板厚1.6mm），同じく溝深さ 2mm で溝間隔 5mm のV字溝を有する大溝鋼板(板厚3.2mm)の3種である。

上記に示した4種のライニングでの処理量と，籾破砕・籾殻剥離粒割合を調査した。なお，籾破砕・籾殻剥離粒割合は，外観上の籾損傷を目視確認したもので，玄米が損傷している破砕粒と，玄米が露出している籾殻剥離粒の全穀粒に対する質量割合とした。

試験時の籾すり機の設定はインペラ回転数変速レバーを最大値の5，吸引調節レバーを標準とした。この時のインペラ回転数は1,632rpm であった。

また，処理後の籾は，付属の揺動選別板を介することなく排出するよう，籾すり直後の昇降機出口に籾を流下するためのスロープを設けた。

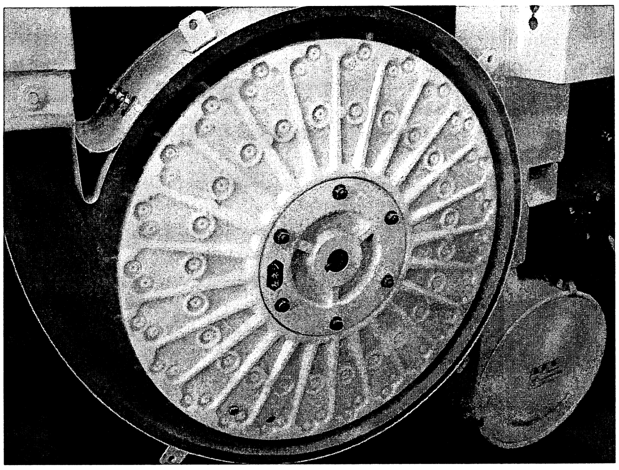


図3　インペラと標準ライニング

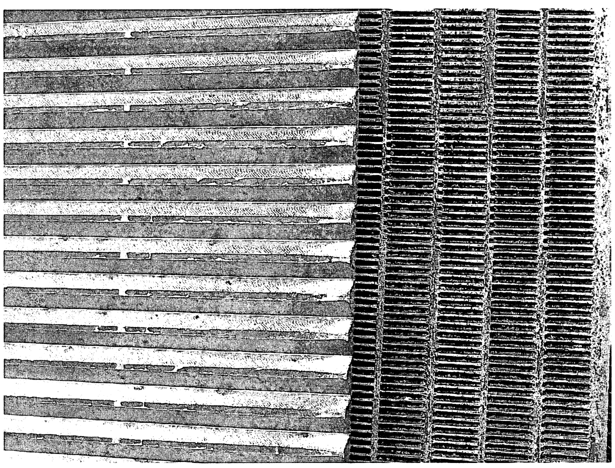


図4　作製ライニング表面（左:大溝鋼板，右:小溝鋼板）

（2）調製後のサイレージ品質と消化性

前述した加工後の籾を，ガスバリア性の高い食品包装用フィルムで成形した袋を用いるパウチ法によりサイレージに調製し，その後の品質を調査した。

調製方法は，加工処理を施した籾 1kg に対し，乳酸菌「畜草１号」5mg，糖蜜 10g，水 63g を加えて混合し，ポリエチレン製袋に充填後，脱気，密封した。その後，直射日光を避け，常温で 99 日保存した後に，pH, VBN/TN（全窒素に占める揮発性塩基態窒素の割合），乳酸含有量，揮発性脂肪酸含量を測定し，V スコアを算出した。

また，サイレージの消化性を評価するため，乾物消失率を測定した。乾物消失率は試験管内で牛第１胃内微生物を 48 時間培養する *in vitro* 法により測定した。

３．試験結果及び考察

（1）籾の加工試験

図５に加工後の籾の性状を示す。インペラ式籾すり機での加工作業は，籾水分の高い黄熟期の籾を使用した場合でも，通常の乾燥籾での籾すりと同様に作業可能であった。

表２に各種加工機械における作業性能を示す。改良を施さない標準ライニングでは，67.3～80.6%の破砕・籾殻剥離粒割合を示し，従来のガーデンシュレッダ処理と同程度であった。この時間あたり処理量は 1.34～1.76Mg/h で，ガーデンシュレッダ処理に比べ，大幅な能率向上となり，籾すり機の処理能力の高さが明らかとなった。また，2008 年と 2009 年との間では処理量が多いと，破砕・籾殻剥離粒割合が低い傾向にあった。籾すり機の構造上，籾の衝突するライニング面積が限られることから，今後，処理量を増大させるためにはよりスムーズな排出方法を検討する必要がある。

鋼板製ライニングでの作業精度は，小溝鋼板，大溝鋼板の２種において，ガーデンシュレッダ処理に比べ，破砕・籾殻剥離粒割合が向上する傾向がみられた。特に大溝鋼板では，破砕粒割合が高く，今回供試した機種の中では最高値の 94.3%を示した。

一方，平鋼板では籾の破砕や籾殻剥離粒の割合は低かった。これはインペラから放出される籾の姿勢がライニングに対して斜めであったため，凹凸が無く摩擦の小さい平鋼板では表面を滑落する形となり，加工が不十分になったものと考えられた。

鋼板製ライニングによる作業能率では，平鋼板と小溝鋼板は，標準と同程度の処理量となった。大溝鋼板においては，破砕粒等の堆積による排出不良がみられ，処理量が著しく低下した。大溝鋼板を利用する条件として，排出経路内の低摩擦化，圧送風量の増大が必要と考えられた。

以上より，作業能率，作業精度を考慮すると，イネ SGS 用籾の加工に適するライニングは標準のウレタンもしくは小溝鋼板と考えられた。

なお，今回の籾すり機による加工作業では，排出時の詰まりを防止するため，供給口開度を抑制しているが，湿材対策としてインペラ回転数をさらに高める等により排出能力を向上させることができれば，処理量増大が期待できる。

図5　加工後の籾の性状(標準ライニング使用)

表2　各種加工機械における作業性能

加工機械		年次	籾水分 (%w.b.)	破砕・籾殻剥離粒割合[3](%) 破砕	籾殻剥離	計	処理量 (Mg/h)
籾すり機	標準	2008	29.2	2.1	65.2	67.3	1.76
		2009	34.1	6.2	74.4	80.6	1.34
	平鋼板	2009	34.1	2.0	52.3	54.3	1.39
	小溝鋼板	2008	29.2	3.7	75.0	78.7	1.75
		2009	34.1	5.3	80.5	85.8	1.24
	大溝鋼板	2009	34.1	52.4	41.9	94.3	0.17
ガーデンシュレッダ[1]			－	－	－	65～72	0.79
飼料米破砕機[2]		2009	34.1	63.9	26.6	90.5	(2.0)
無処理		2009	34.1	2.3	2.6	4.9	－

1）矢内,2005,イネソフトグレインサイレージの収穫調製技術，福島県畜産試験場研究報告第 13 号

2) DHC-2000（処理量はカタログ値）

3)破砕粒は玄米が損傷している籾，籾殻剥離粒は玄米が露出している籾

（2）調製後のサイレージ品質と消化性

表３にイネ SGS の品質と消化性を示す。籾すり機で加工したイネ SGS の発酵品質では，pH はいずれも４以下と低く，乳酸含有量も 1.4%以上の値を示した。

これらの結果から V スコアも最良品とされる特級の 95 以上を示したため，サイレージ品質は高いと判断された。このことは対照としているガーデンシュレッダのものと同等であり，品質に問題がないことが明らかとなった。

また，籾消化性の指標の一つである，乾物消失率は無処理区の 11.1%を除き，いずれも 43%以上の高い値を示した。特に，大溝鋼板での乾物消失率は高く，消化性向上には効果の高い設定であった。

さらに，籾すり機の乾物消失率は，飼料米破砕機で調製した SGS と同等であった。このことは，外観では破砕粒等の玄米破損が少なくても，消化に十分な性状まで加工されていたためと推察される。このことから，籾すり機を利用する方法は消化性の面で同等の品質を確保できる技術といえる。

以上のことから，標準，小溝鋼板及び大溝鋼板ライニングを装着した籾すり機での加工は，その後のサイレージ品質及び消化性を良好にする有効な手段であることが明らかとなった。

表3　イネSGSの品質と消化性(2009 年)

加工機械	pH	乳酸 3) (%)	VBN /TN (%)	V スコア	乾物 消失率 4) (%)
籾すり機 標準	3.9	1.41	2.91	96.2	45.4a
小溝鋼板	3.9	1.43	3.36	98.7	43.4a
大溝鋼板	3.9	1.43	3.63	100	57.1a
ガーデン シュレッダ 1)	4	1.07	-	100	-
飼料米 破砕機 2)	3.8	1.39	2.73	100	42.5a
無処理	4	0.97	2.14	99.4	11.1b

1) 矢内,2005,イネソフトグレインサイレージの収穫調製技術，福島県畜産試験場研究報告第 13 号

2) DHC-2000

3)新鮮物中の割合

4)異なるアルファベット間に有意差有り($p<0.05$)

４．まとめ

食用米の調製作業で使用するインペラ式籾すり機を利用することで，従来のガーデンシュレッダ利用に比べ，イネＳＧＳ用籾の破砕・籾殻剥離粒割合が向上した。

さらにサイレージの発酵品質及び消化性の面でも良質であった。

また，インペラ内部のライニングの材質としては，ライニングの製作費用等を考慮すると，標準装備のライニングで十分な作業能率，作業精度，その後の SGS 品質及び消化性を得ることができるため，標準装備を基に利用するのが望ましいと考えられた。

既に同型のインペラ式籾すり機を利用している耕種農家であれば，加工機分の新たな購入費用が不要となるため，導入しやすい技術であると考えられた。

５．参考文献

1) 重田・喜田・松尾：飼料イネ籾の消化性を向上させる効率的調製技術（第２報），農業機械学会誌第70巻第2号，136-142，2008

2) 矢内:イネソフトグレインサイレージの収穫調製技術，福島県畜産試験場研究報告第13号，27-31，2005

リモートセンシングを用いた飼料用トウモロコシの水分の把握と収穫適期の判定

中坪 あゆみ*・田中 勝千**・杉浦 俊弘**・皆川 秀夫**・嶋 栄吉**・嶋田 浩***

Estimation of Maize Moisture and Suitable Harvesting Time in the Maize Field Using Remote Sensing

Ayumi NAKATSUBO*, Katsuyuki TANAKA**, Toshihiro SUGIURA**, Hideo MINAGAWA**, Eikichi SHIMA**, Hiroshi SHIMADA***

ABSTRACT

The quality of maize silage is affected by maize moisture at harvest time, and so farmers require field information about maize moisture as well as a system for acquiring the information efficiently. The aim of this study was to estimate maize moisture and suitable harvesting time in maize fields using remote sensing. In this paper, we focus on the relation of maize moisture and the hyperspectral data acquired using a hyperspectral sensor carried in an agricultural vehicle. It was found that maize moisture decreases as maize ripens. Similarly, NDVI calculated from the hyperspectral data of the maize canopy decreases. As the maize moisture decreased, the intensity of spectral data changed from 550 nm to 680 nm and 730 nm to 790 nm. Especially, a negative correlation ($r = -0.6$, $p < 0.01$) was found as shown by the red region (600–700 nm), and a positive correlation ($r = 0.6$ or more, $p < 0.01$) was found as shown by the near-infrared region (730–770 nm). Whether maize was ready for harvesting was judged using linear discriminant analysis of hyperspectral data. As a result, when the boundary moisture was 75%, harvesting time was predicted with high accuracy. The same trend was shown in the case of NDVI. In conclusion, the distribution of maize moisture and the grade of ripening can be estimated by using NDVI.

[Keywords] harvest time, maize, moisture, hyperspectral imaging sensor, NDVI

1. はじめに

平成22年に閣議決定された新たな「食料・農業・農村基本計画」では，平成32年までに食料自給率をカロリーベースで現状の41%から50%に向上させることを目標としている（農林水産省 2010）．この目標を達成するためには，自給粗飼料を基盤とした畜産物の生産や国産粗飼料の流通を視野に入れた生産体系の確立が必要である．一方で，近年，新たな飼料生産の担い手としてコントラクター（飼料生産受託組織）の利用が注目されている．コントラクターによる飼料生産では，作業内容の約50%を収穫作業が占めている．収穫作業は，地域で時期が重なるため，刈取り順の決定が収穫物の品質に与える影響が大きい．そのため，コントラクターでは，作業計画を立案する上で意思決定を支援してくれる圃場情報を必要としている．特に，飼料用トウモロコシや牧草，稲わらなどを原料としたサイレージ調製においては，収穫時または梱包時の水分がその後の品質に大きく影響する（小塩ら 1968，名久井ら 1981，蔡 2009）．そのため，収穫時または梱包時の水分を圃場レベルで広域的に把握することができれば，効率的に収穫適期内で刈取りまたは梱包作業を進めるための作業計画を立案することが可能となり，サイレージの品質の向上にもつながる．本研究では，リモートセンシングを用いて飼料用トウモロコシ畑の水分分布と収穫適期を把握することを目的としている．本報では，航空機(セスナ機や無人ヘリ)をプラットホームとしたセンシングに応用するための基礎的な知見を得るために，トラクターで取得したトウモロコシの開花期から収穫期のスペクトルデータと水分との関係に着目した．

* 北里大学大学院獣医畜産学研究科　** 北里大学獣医学部　*** 秋田県立大学生物資源科学部

2. トウモロコシの収穫適期

一般的に，トウモロコシをホールクロップサイレージとして調製する場合，トウモロコシ全体の水分が 65 - 75%となる，黄熟期後期が収穫適期とされている（戸澤 2005）．この時期にサイレージ調製した場合，排汁の発生が少ないため，ミネラルの損失が最小限に抑制される（名久井ら 1981， 戸澤 1985， 大下ら 2004）．また，この時期には雌穂全体に子実頂部がくぼむ現象が見られ，収穫適期を判定する簡易的な方法としてミルクライン法が広く利用されている．ミルクラインとは，雌穂の着粒部位の中央で 2 分したときに子実に見られる黄色と白色の境目を指し，黄色部分が全体の 1/2 から 2/3 を占めている場合，収穫適期に達していると判断することができる（村木 1996）．このように，従来から利用されてきた収穫適期の把握には，実際の圃場調査が必要とされてきた．

3. 材料および方法

(1) 試験区の設置

青森県十和田市に位置する北里大学獣医学部附属フィールドサイエンスセンター十和田農場内のトウモロコシ畑を試験地とした．2008 年と 2009 年の二ヵ年にわたり，試験地内の南北方向にトラクター走行用の 2.0m 通路を挟み込むように 20a（200m×10m）の試験区を二区画（A 区と B 区）を設けた．両区とも小区（10m×10m， n=10）として除草区と無除草区を交互に配置した．いずれの区も有機栽培を想定しているので農薬は散布していない．なお，除草区ではおおよそ播種後 60 日までに手作業にて除草処理を 2 回程度施したが，無除草区では一切除草処理をしなかった．

(2) データの取得

センシングシステムとして，トラクターベース（中坪ら 2009）を採用した（図 1）．センサとして，ハイパースペクトルイメージングセンサ （Specim， ImSpectorV10，観測波長域 400－1,000nm，波長分解能 10nm） を用いた．センシング期間は開花期から収穫期（黄熟期後期）までとした．また，この期間内に週に 1 ないしは 2 回のペースでトウモロコシ群落の斜め上方からセンシングした．センシング後，センシングデータをパソコンに取り込み，ハイパースペクトル画像を作成し，ハイパースペクトルデータを抽出した．なお，ハイパースペクトル画像の作成およびハイパースペクトルデータの抽出については岡本ら（2006a，2006b）の手法を用いた．その後，光環境を補正するために式 1 を用いて正規化処理（岡本ら 2006b）をし，処理後のハイパースペクトルデータを正規化差分植生指数 (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI) の算出（式 2）や統計解析に用いた．トウモロコシの水分については，センシング後に試験区内のトウモロコシの一部を刈取り，常法（通風乾燥 80℃ 48 時間以上）にて求めた．なお，解析に用いたデータは 2 ヵ年で 214 サンプルである．

2009.07.20. 撮影
北里大学獣医学部附属FSC十和田農場 トウモロコシ畑

図1．トラクターを用いたセンシングシステム

$$N_i = \frac{S_i - S_{\min}}{S_{mean} - S_{\min}} \cdots (式1)$$

N_i ：i の正規化処理後の受光強度（i:1-60）
S_i ：i の受光強度（i:1-60）
S_{min} ：受光強度の最小値
S_{mean} ：受光強度の平均値

$$NDVI = \frac{(N_{732nm} - N_{672nm})}{(N_{732nm} + N_{672nm})} \cdots (式2)$$

N_{672nm} ：672nm の正規化処理後の受光強度
N_{732nm} ：732nm の正規化処理後の受光強度

4. 結果と考察

(1) 水分と NDVI の関係

図 2 に，トウモロコシ全体と雌穂の水分の推移を，図 3 に，トウモロコシ群落のハイパースペクトルデータから算出した NDVI の推移を示す．2008 年は 8 月 8 日(播種後 77 日)に，2009 年は 8 月 10 日(播種後 81 日)に雄穂の出穂および絹糸の抽出を確認した．トウモロコシ全体の水分は出穂後から出穂後 30 日までは緩やかに低下した．その後，出穂後 30 日から 50 日では以降は急激に低下したが，出穂後 50 日以降は大きな変化は見られなかった．雌穂および NDVI の場合も，出穂後から収穫期にかけて徐々に低下する傾向が見られ，出穂後 50 日以降は大きな変化は見られなかった．図 4 に，NDVI と水分との関係を示す．NDVI と水分には，大きなばらつきなみられるものの，正の相関が見られた($R^2 = 0.44$， $p < 0.01$)．また，データ分布のばらつきが 2 分する傾向も見られた。

(2) 水分変化に伴うハイパースペクトルデータの変化

図 5 に，水分ごとのハイパースペクトルデータの推移を，図 6 に，各波長のハイパースペクトルデータと水分との相関係数の推移を示す．水分の低下にともないハイパースペクトルデータは，550 から 680nm と 730 から 790nm の受光強度に違いが見られた．また，ハイパースペクトルデータと水分とは可視光域では負の相関が，近赤外域では正の相関が見られた．

特に，水分変化にともない受光強度に違いが見られた 600 から 700nm の赤色域の相関係数は−0.6 程度で，730 から 770nm の近赤外域の相関係数は 0.6 以上と高かった．

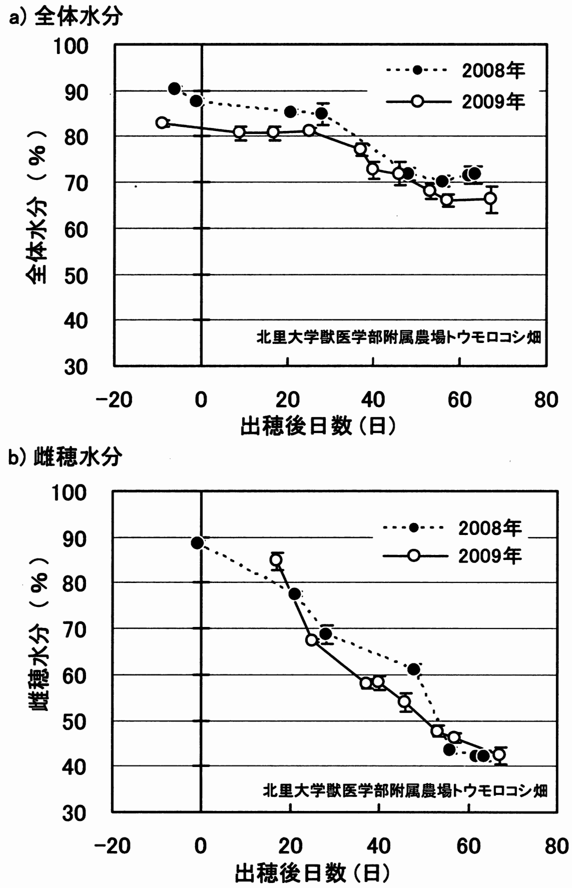


図２．トウモロコシ全体および雌穂水分の推移

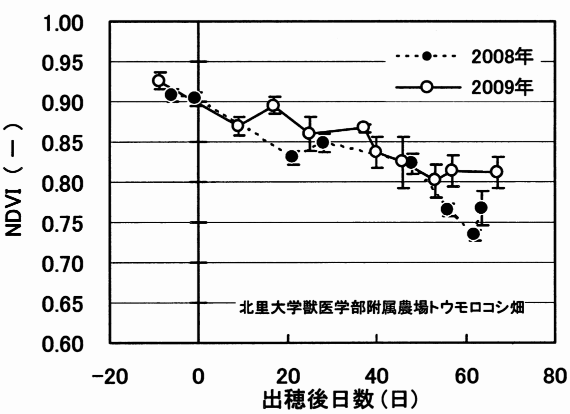


図３．トウモロコシ群落のNDVI の推移

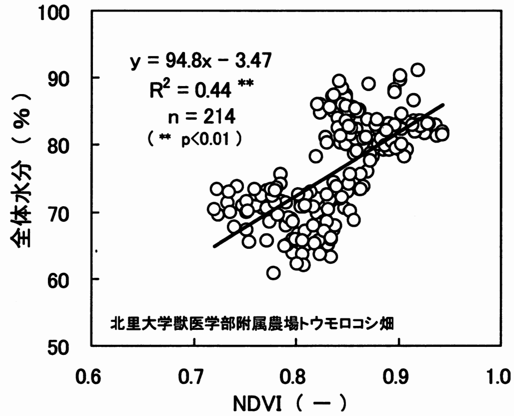


図４．NDVI と水分との関係

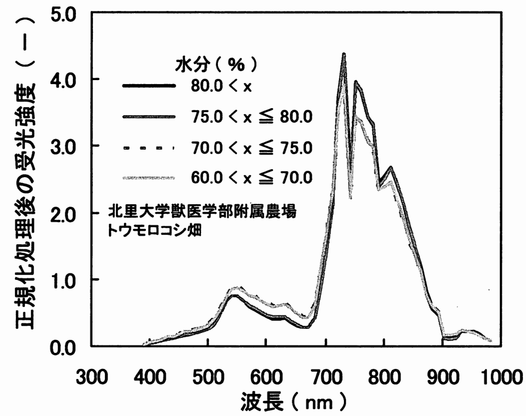


図５．トウモロコシ群落のハイパースペクトルデータの推移

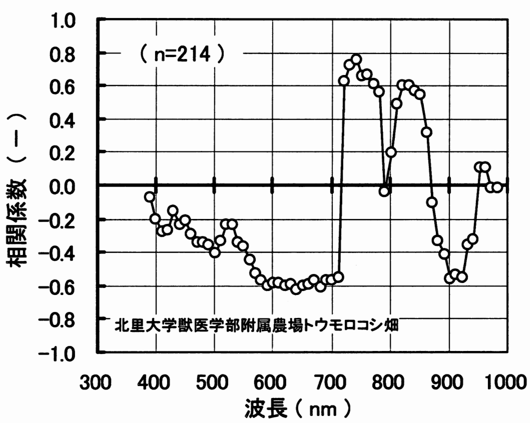


図６．各波長のハイパースペクトルデータとトウモロコシ群落の水分の相関係数の推移

(3)判別分析を用いた収穫適期の判定

線形判別関数による判別分析を用いてハイパースペクトルデータを 2 つのグループに分けた．このとき，NDVI の算出に用いた 672nm と 732nm の正規化処理後の受光強度を説明変数として用いた．また，水分の結果を元に 2 つのグループの境界を設置し，境界とした水分より高水分の場合を収穫適期前，

低水分の場合を収穫適期とした．なお，取得した水分の範囲は 60－80%であり，この範囲を 1%ごとに変化させて，それぞれの場合ごとに判別式を作成した．図 7 に，境界水分を変化させたときの正判別率の推移を示す．正判別率は，水分 75%を境界水分とした場合が最も高かった(正判別率 89%)．一方，一般的に収穫される水分 70%の時の正判別率は 75%で，正判別率は水分 75%を境界水分とした場合よりも 15%低下した．また，NDVI と水分との関係を示した結果(図 4)からも，概算して水分 75%以上のグループと未満のグループの分かれる傾向がみられた．なお，水分 75%のときの NDVI は 0.84 であった．以上から，NDVI の算出に用いる 672nm と 732nm の正規化処理後の受光強度を用いた場合，最も精度良く水分 75%以上か否かを判別することができた．また，これら 2 つの波長の受光強度から算出することができる NDVI を用いても登熟の程度の判断となる水分のばらつきや収穫適期に達しているか否かを判定できる可能性が示された．

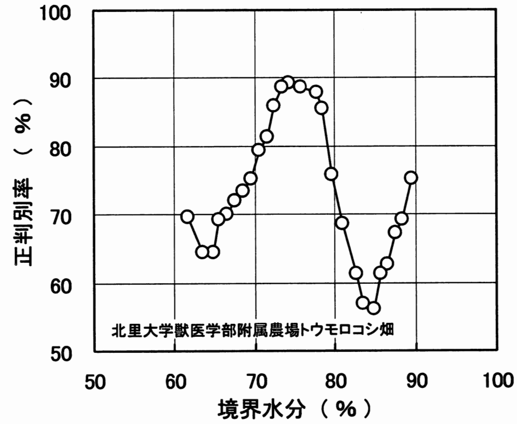


図7．境界水分と正判別率との関係

4. まとめ

本研究では，リモートセンシングを用いて飼料用トウモロコシ畑の水分分布と収穫適期を把握することを目的とし，基礎的な知見を得るために，トラクターで取得したトウモロコシの開花期から収穫期のハイパースペクトルデータと水分との関係に着目した．その結果，二ヵ年の調査では，トウモロコシ全体の水分，雌穂の水分，およびトウモロコシ群落の NDVI は，出穂後から収穫時にかけて徐々に低下する傾向がみられた．また，水分変化にともなってハイパースペクトルデータは，550 から 680nm と 730 から 790nm の受光強度に違いが見られ， 600 から 700nm の赤色域では負の相関（$r = -0.6$, $p < 0.01$）が，730 から 770nm の近赤外域では正の相関（$r = 0.6$ 以上, $p < 0.01$）が見られた．最後に，線形判別関数による判別分析を用いてハイパースペクトルデータから収穫適期を判定した結果，水分 75%を境界水分としたときに最も精度良く判別することができた．また， NDVI を用いた場合でも同様の傾向が見られたため，NDVI を用いて登熟の程度の判断となる水分のばらつきおよび収穫適期に達しているか否かを判定できる可能性が示された．

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（No. 19580303），私立大学経常費および H20・21 北里大学獣医学部特別研究費補助金（重点研究）の補助を受けた．また，北里大学獣医学部フィールドサイエンスセンターの職員の皆様および生物環境科学科環境情報学研究室の専攻生には多大なご協力を頂いた．ここに記して感謝の意を表す．

引用文献

1) 農林水産省（編）：食料・農業・農村基本計画．http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/pdf/kihon_keikaku_22.pdf, 2010.［2010 年 10 月 29 日参照］
2) 小塩 栄・大森 昭治・裏 悦次：牧草サイレージ貯蔵要因の考察（第 1 報）－水分と調製要因の相関について－． 日草誌 14 (3), 215, 1968.
3) 名久井 忠・岩崎 薫・早川 政市：ホールクロップサイレージ用トウモロコシの収穫適期の検討． 日草誌 26 (4), 412－417, 1981.
4) 蔡 義民：肥育牛用飼料としての稲ワラサイレージの調製と利用． 日本畜産学会報 80 (3), 386－389, 2009.
5) 戸澤 英男：トウモロコシ 歴史・文化・特性・栽培・加工・利用．農文協，2005.
6) 大下 友子・野中 和久・三木 一嘉・久米 新一・小酒井 貴晴：茎葉高消化性トウモロコシの収穫適期の検討． 日草誌 50 (4), 168－169, 2004.
7) 村木正則：ミルクラインによる飼料用トウモロコシの熟度の判定．日草誌 42 (別), 62－63, 1996.
8) 中坪 あゆみ・田中 勝千・杉浦 俊弘・皆川 秀夫・嶋 栄吉・嶋田 浩：ハイパースペクトルイメージングセンサを用いた飼料用トウモロコシ（*Zea mayz* L.）畑のセンシング（第 1 報）． 農機東北支部報 56, 21－25, 2009.
9) 岡本 博史・酒井 憲司・村田 哲郎・片岡 崇・端 俊一：ハイパースペクトル画像による多目的解析に対応したオブジェクト指向ソフトウェアフレームワークの構築． 農業情報研究 15 (2), 103－112, 2006a.
10) 岡本 博史・酒井 憲司・村田 哲郎・片岡 崇・端 俊一：ハイパースペクトル画像解析フレームワークを利用したリモートセンシングソフトウェアの開発． 農業情報研究 15 (3), 219－229, 2006b.

近接リモートセンシングを用いた牧草の乾燥調製時における栄養評価

高石義之*・田中勝千**・皆川秀夫**・杉浦俊弘**・中坪あゆみ*・嶋田　浩***

Evaluation of Nutritive Value during Hay Making Using Proximal Remote Sensing

Yoshiyuki TAKAISHI, Katsuyuki TANAKA, Hideo MINAGAWA, Toshihiro SUGIURA,
Ayumi NAKATSUBO ,Hiroshi SHIMADA

Abstract

Grass moisture for hay making in the meadow is important. But grasping moisture content of grass depend on experience of farmer. If we obtain accurate grass moisture , we produce high quality hay efficiently. The aim of this research is to construct of production supporting system providing value-added forage information. This report examined to estimate moisture and nutritive values of hay　during hay making .

[キーワード] 分光放射計 ,牧草,乾燥調製,栄養, 粗飼料自給率

1.　はじめに

国内の畜産経営は、バイオエタノールの需要増加や、天候要因による麦の価格上昇など、世界的に穀物価格が上昇していることから飼料価格の高騰により厳しい状態となっている。そのため輸入に過度に依存した畜産から転換し、国産飼料に立脚した畜産の確立が急務となっている。(及川　2009)

農林水産省の食料・農業・農村基本白書において 2015 年までに飼料全体では TDN ベースで 26% (平成 20 年度) から 35%、粗飼料自給率では TDN ベースで 79% (平成 20 年度) から 100%を目指して国産飼料を増産させることを政策目標に掲げている (農林水産省 2008)。事業内容の一つに「自給飼料多給を基本とする効率的な畜産物生産技術の確立」を置いた。しかし、飼料作物の中でもとくに牧草の収穫では天候や作業スケジュールの都合に左右されることが多くまた、適切な水分状態で収穫されているとは言い難い。乾燥調製時の牧草の状態 (水分、栄養価) を評価できれば良質な飼料を調整するうえで目安になり、情報付きのサイレージ・乾草の提供にも繋がる。本報では、天日乾燥による水分の低下に伴う栄養成分 (TDN、CP) の推移に着目し、牧草の分光反射特性を用いて水分と栄養成分を推定できるか検討したので報告する。

2. 材料および方法

(1) 試験区の概要

本学附属フィールドサイエンスセンター採草地内に 0.25ha (50m×50m) の試験区を設けた。2002 年に更新後、9 年目の草地である。基幹草種はイタリアンライグラスで、2010 年 6 月 3 日に 1 番草を刈取り、天日で乾燥後 6 月 11 日に梱包した。

(2) センシングシステム

供試センサとして分光放射計 (マキ製作所、HSR−8100、測定波長域 400−1,000nm、波長分解能 8nm) を用いた。供試センサ本体をトラクタ後部 (図 1 の赤丸) に設置した。受光部である光ファイバーは刈取り時にはトラクタ後部中央に、乾燥調製時及び収穫時のウインドローの測定時にはトラクタ右手にいずれも俯角 45° で取り付け、牧草からの反射光を測定した (図 1)。

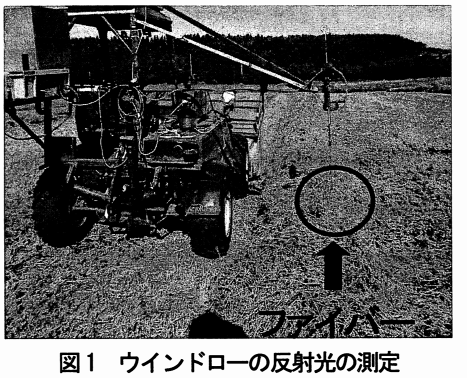


図 1　ウインドローの反射光の測定

*北里大学大学院獣医畜産学研究科, **北里大学　獣医学部, ***秋田県立大学

(3)実験方法

図2に試験区の概略図を示す。試験区北側からモーアを前装したトラクタで試験区内を刈取った。刈倒し列は合計36列となった。牧草の反射光の測定では、刈倒し列ごとに光ファイバーに拡散板を取付けリファレンスを取得後、刈倒した牧草からの反射光を反射強度として取得した。設定した5つのサンプル地点（図2の①-⑤）からデータ取得後に栄養成分分析用として300g採取した。その際、センシング面の牧草を採取するよう注意した。4軸式テッダとレーキによる作業幅を考慮し、牧草が混ざらないよう試験区の周り・北側および南側から5、6、11、12、17、18列目の刈倒し列（図2の白い列）の牧草は除去し、ウインドロー（図2の緑）が6列できるようにした。翌日から天日乾燥作業に入り、図3の手順に従って乾燥調製時の牧草の反射強度の変化を捉えた。

午前中に牧草を反転・拡散した後、センシング面の水分ムラを少なくするために一時間以上天日にさらした。拡散・反転後、土壌の影響をなくすため牧草の多い部分を調べ、PPロープで走行ラインを設けることで、その上をセンサが通るようにトラクタで走行した。その後14時までにはレーキにより集草し、ウインドローをつくった。再度1時間程度天日乾燥させ、ウインドロー上部表面の反射光を取得した後、栄養成分分析用として設定したサンプル地点から300g採取した。この一連の作業（拡散・反転→データ取得→集草→データ取得→サンプリング）を牧草の水分が20%以下になるように天候条件をみながら繰り返した。なお、雨天の日（6月10日）は拡散・反転作業は行わず、ウインドローを側方に移動させた。採取したサンプルの栄養成分は外部機関に分析を依頼した。

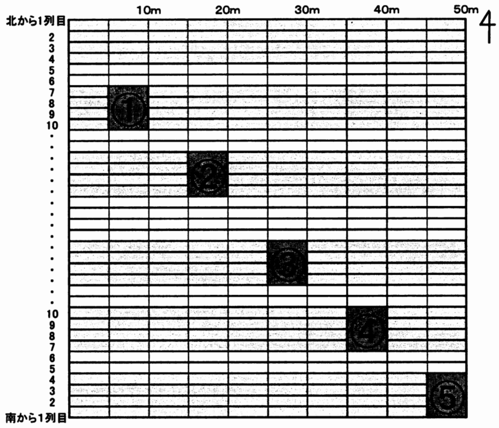


図2　試験区の刈取り列と採取地点

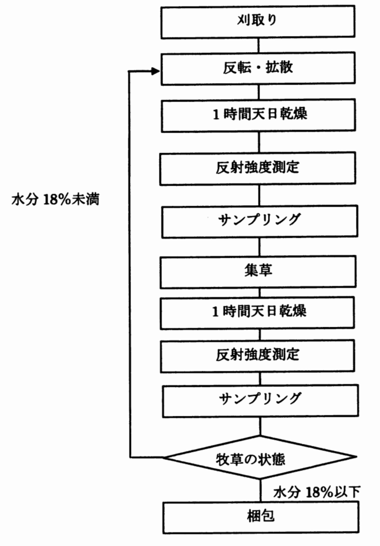


図3　乾燥調製作業の流れ

(4)データの整理・解析

牧草の反射情報として反射強度と反射率を用いた。また、反射強度のデータに輝度を補正するため正規化処理を施した岡本（2006)。水分・栄養成分の推定には水分・栄養成分を目的変数、説明変数を反射強度とした重回帰分析のステップワイズ法を用いた。そして、生データの反射強度と一次微分処理を施した反射強度とで精度を比較した。

3．結果および考察

(1)天日乾燥に伴う分光反射特性の推移

図4に反射強度の推移を示した。青刈り時に可視域と近赤外域の反射強度のピークは同程度であったが、天日乾燥が進むに伴って青波長域（422 - 521nm)、赤波長域（557 - 706nm)

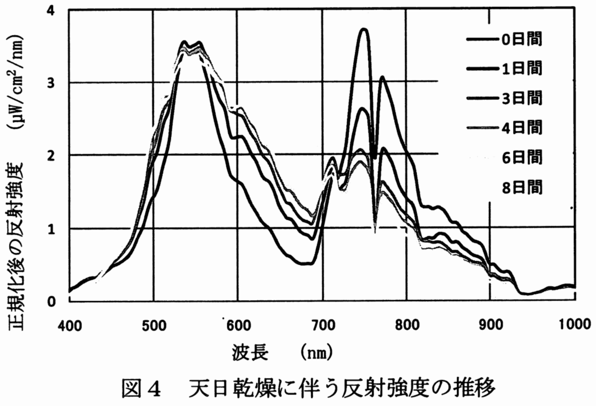


図4　天日乾燥に伴う反射強度の推移

図5に天日乾燥に伴う反射率の推移を示した。反射率は赤

では増加する傾向を示し、緑波長域（525 - 555nm）と近赤外域（720 - 1000nm）では減少する傾向を示した。

波長域では水分の減少に伴い増加する傾向を示し、近赤外域では除々に減少する傾向を示した。このような反射率の推移は水分が減少することによる水ストレスが原因で生じることがいわれており、水分の減少に伴う白化（クロロテック）の進行も上記に示したことが同様とされている（Gausman et al., 1977）。

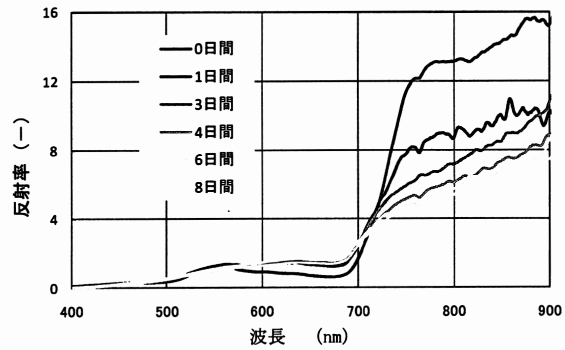


図５　天日乾燥に伴う反射率の推移

(2)天日乾燥に伴う栄養成分及び相対飼料価の推移

図６に乾燥日数に伴う栄養成分及び相対飼料価の推移を示す。水分は天日乾燥とともに徐々に減少した。水分が減少するにつれ TDN、CP ともに緩やかに減少する傾向を示した。また、相対飼料価（Relative Feed Value : RFV）も緩やかに減少しアメリカ合衆国農務省（United State Department of Agriculture : USDA）の乾草品質基準では Fair のランクとなった。USDA では 100 以上を品質の良い牧草とし、100 以下を品質が劣るとしている。本来、RFV はアルファルファの品質評価に用いられるが、イネ科牧草のイタリアンライグラスに

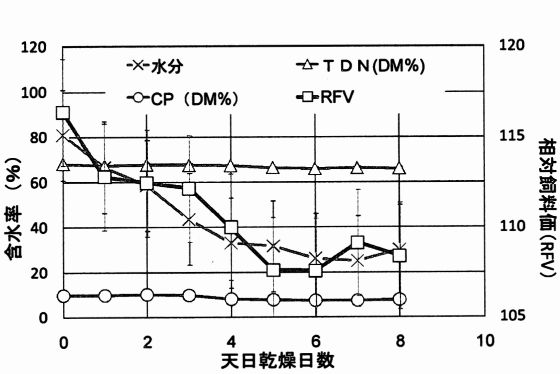


図６　天日乾燥に伴う水分、栄養価及びRFVの推移

表１　USDA乾草品質基準

品質基準	RFV	CP	TDN
Supreme	180以上	22以上	55.9
Premium	150-180	20-22	54.5-55.9
Good	125-150	18-20	52.5-54.5
Fair	100-125	15-18	50.5-52.5
Low	100未満	15未満	50.5未満

RFV＝（DDM × DMI）/1.29

DDM=88.9-(0.779 × ADF%)、DM=120/NDF%

は上記のような乾草の品質評価基準がないため参照として用いた。その結果、天日乾燥日数の増加に伴って、RFV は刈取り５日目まで急激に低下したが、それ以降はほとんど変わらなかった。表１にアメリカ合衆国農務省（United States Department of Agriculture : USDA）の乾草品質評価基準を示す。

4. 水分・栄養成分及び相対飼料価の推定

(1)栄養成分と反射強度との単相関関係

図７に青刈り牧草の水分・栄養成分及び RFV と反射強度との相関関係を示した。TDN を除いて、青刈り時は単相関係数が高い波長が見られた。しかし、天日乾燥が進むにつれて、いずれの場合も単相関係数は小さくなった。そこで、反射強度に一次微分処理を施したところ、牧草の乾燥に伴う単相関係数の低下は見られなかった。

図８より水分・栄養成分及び RFV で単相関係数が高い波長が抽出されているのが見て取れる。これらのことから反射強度

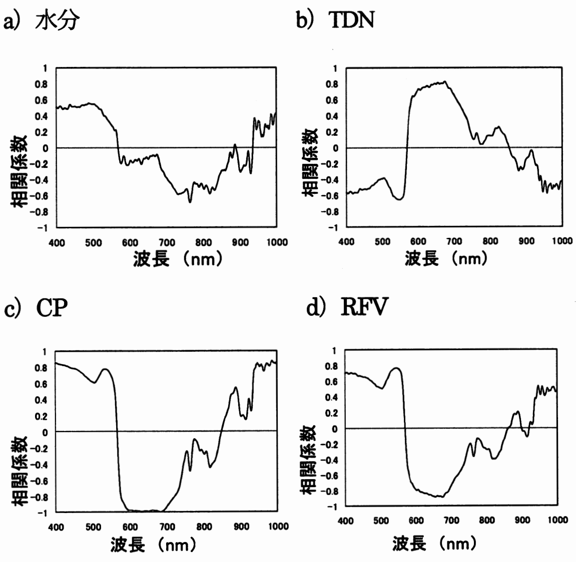


図７　反射強度と水分、栄養成分及び RFV の単相関関係（青刈り）

に一次微分処理を施すことで水分の減少による影響を抑えられると考えられた。

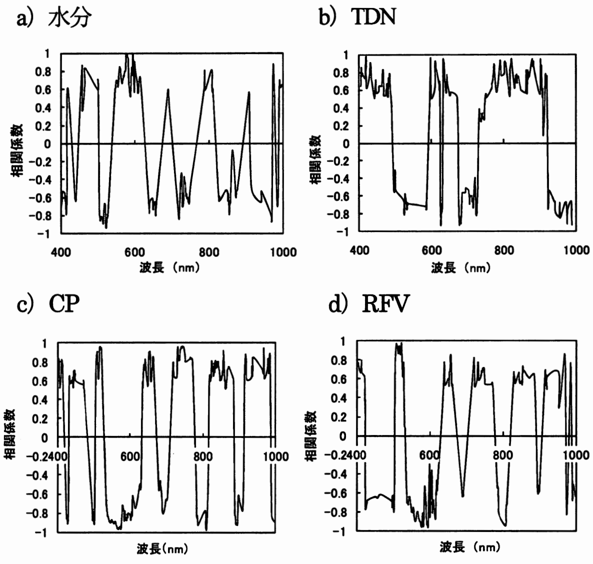
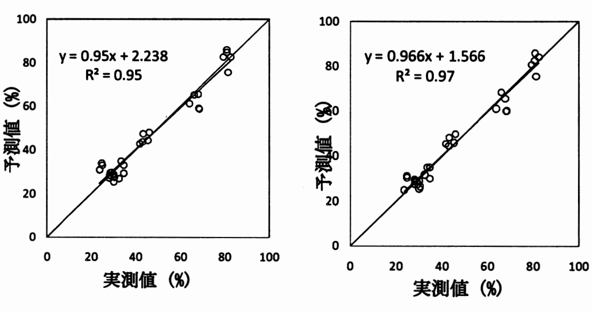


図8 一次微分処理した反射強度と各成分との単相関関係

(2)水分、栄養成分の推定モデル検証結果

反射強度と一次微分処理を施した反射強度を用いた場合の水分推定結果を図9に示す。図よりいずれの場合にも実測値と予測値の値は参照線に沿って分布していた。反射強度を用いて水分を推定した結果、決定係数は0.97と高い値となった。一方、一次微分処理を施した場合では0.95となり、微分処理の効果はほとんどみられなかった。TDNとCPの決定係数は反射強度を用いた場合は0.59と0.73、反射強度の一次微分値を用いた場合は0.67と0.71となった。TDNでは一次微分処理を施すことで決定係数の向上がみられたが、CPではこの効果がみられなかった。これらのことが反射強度に一次微分処理を施すことが必ずしも決定係数の向上につながるわけではないと思われる。



a) 反射強度を用いた場合　b) 一次微分処理を施した場合

図9 一次微分処理の有無による精度の違い(水分)

5. まとめ

牧草の乾燥調製に伴う反射強度を測定した結果、可視域はあまり変化がみられなかったが近赤外域では徐々に減少する傾向がみられた。また、反射率の推移は乾燥調製に伴い赤波長域では反射率が増加し、近赤外域では減少する既往の報告どおりとなった。乾燥調整作業で乾燥が進むつれ、反射強度と水分の単相関関係が低下することから、反射強度に一次微分処理を施し重回帰分析に供することで予測精度の改善を試みた。その結果、TDNを除いて水分とCPを予測した場合の精度の向上はみられなかった。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金(No. 19580303)、私立大学及びH21・22年度北里大学獣医学部特別研究費補助金の補助を受けた。また、北里大学獣医学部附属フィールドサイエンスセンター職員の皆様および生物環境科学科環境情報学研究室の専攻生には多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

1) 及川 忠(2009):食料問題の基本とカラクリがよ～くわかる本,日本の食料自給、農業、漁業は大丈夫なの?pp90-100
2) 農林水産省(編)(2008):平成20年版 食料・農業・農村白書,－地域経済を担う、魅力ある産業を目指して－,pp188-190
3) 岡本博史・酒井憲司・村田哲郎・片岡 崇・端 俊一(2006):ハイパースペクトル画像解析フレームワークを利用したリモートセンシングソフトウェアの開発,農業情報研究, 15(3), 219-230
4) Gausman,h.w(1977):Reflectance of leaf components. Remote Sensing of Environment, 6(1), 1-9
5) 石川太郎(2004):茶の葉内成分非破壊推定法の開発-分光画像を用いた葉内成分の経時変化解析－,九州の農業気象第II輯, No13, 69-72

種芋移植機を用いたツクネイモの施肥同時定植技術（第１報）

片平光彦*　進藤勇人**　上田賢悦**　鈴木基**　小林由喜也**

Fertilizing and Transplanting Technology for Chinese Yams Using a Seed Tuber Transplanter（Part1）

Mitsuhiko KATAHIRA*1, Hayato SHINDO*2, Ken-etsu UEDA*3, Motoi SUZUKI*3, Yukiya KOBAYASHI*4

Abstract

We investigated transplanting and fertilizing technology using a commercial seed tuber transplanter to cultivate Chinese yams at low cost. Field tests were performed in a farmer's fields to introduce the seed tuber transplanter. We investigated the rate of work, fertilizing accuracy and distribution, and yields.

Regarding ridging accuracy, use of the commercial seed tuber transplanter gave equivalent results to those obtained using the seed tuber transplanter prototype. However, the commercial transplanter' s transplanting accuracy was lower by 11%. Regarding fertilizing accuracy, transplanting and fertilizing technology were 92- 94% for test block A and 71-105% for test block B. The fertilizer samples were distributed 58% at the center area of the ridge, 61% at the top area of the ridge. Chinese yam cultivation using transplanting and fertilizing technology increased total yields by 0.96-1.19 times for test block A and 1.06-1.11 times for test block B. Using a standard range, the results were 0.97-1.24 times for test block A and 1.05-1.11 times for test block B. The necessary labor was only 9-10% of that necessary for conventional work.

[Key Words] fertilizing and transplanting technology, Chinese yam, seed tuber transplanter, fertilizing accuracy and distribution, rate of work

１．緒言

ツクネイモ（*Dioscorea polystachya Turcz.*）は，塊形種のヤマイモの一種でナガイモよりも粘りが強く，生食以外に高級和菓子の原料として兵庫県篠山市や秋田県大館市などで栽培されている地域特産農産物である。

秋田県のツクネイモ栽培は，同県大館市の JA あきた北管内が中心となっており，1978 年から 1988 年までに栽培面積 53ha，栽培者数 358 名を数える規模に成長した。しかし，大館市では，近年生産者の高齢化から栽培者数が最盛期の33%まで減少しており、栽培面積の維持が問題になっている。その中で、定植作業はマルチ被覆された畝に人手で一個ずつ植え付けているため、労働負担が高く効率化が望まれている。

そこで，筆者らはツクネイモの栽培様式に対応して定植可能なツクネイモ用種芋移植機を試作し，秋田県大館市の生産者ほ場で実証試験を行い，その性能を明らかにした[1)2)]。試作したツクネイモ用種芋移植機は，2008 年 3 月に市販化され，2010 年までに大館市の生産者と生産団体に 13 台が導入された。その結果，2009年に機械定植を行った生産者は、全体の 25%，栽培面積の 40%を占めた。

大館市のツクネイモ生産地では，市販された種芋移植機の導入が進む一方で，昨今の肥料価格高騰による生産コストの低減や種芋移植機を基幹とした省力的な作業体系の確立が課題になっている。現状の作業は，化成肥料をライムソーワでほ場全面に散布し，耕うん後に種芋移植機でマルチ同時畝たて定植，支柱立て，防除，追肥，収穫の体系で行われている。この作業体系は，肥料の全面散布と生育後半での追肥のため，肥料の多投入による生産コストと作業工程の増加が問題であった。施肥作業の省力化は，これまでキャベツの畝内部分施用技術[3)]や長ネギの溝切り同時施肥技術[4)]などほ場の一部に部分施肥する技術等が研究されており，普及も進んでいる。しかし，地域特産野菜であるツクネイモ栽培では，栽培規模が主要な露地野菜と比較して小さく，それら技術の導入試験が行われていない。また，市販化した種芋移植機は，畝内施肥を行うにあたり施肥装置を新たに搭載する必要があり，その場合での施肥精度や作成畝内の肥料分布，畝内施肥が生育と収量に与える影響を検討する必要がある。

そこで，本報は，地域特産野菜であるツクネイモの省力・低コスト栽培を目的に，種芋移植機を基幹とした施肥同時定植技術の導入実証試験を行い，作業体系の効率化を目標とした。ツクネイモ用種芋移植機を基幹とした

*　：山形大学農学部　鶴岡市若葉町 1-23
**　：秋田県農林水産技術センター　秋田市雄和相川字源八沢 34-1
***：北秋田地域振興局　北秋田市鷹巣字東中岱76－1
****：秋田県立大学　南秋田郡大潟村字南2-2

施肥同時定植作業は，市販機を導入した大館市の生産者ほ場で行い，作業能率と畝内同時施肥による施肥精度と肥料の分布，施肥方法の違いがツクネイモの収量に与える影響について調査した。

2．試験方法

(1) 試験場所

ツクネイモの省力作業体系化試験は，2008年と2009年に秋田県大館市のT氏ほ場（土壌：灰色低地土）で行った。ツクネイモの栽培は，畝間145cm，畝幅90cm，床幅70cm，畝高さ20cmの設定で作成した平高畝をスリット入り黒マルチで被覆し，質量40g程度に調製した扇形の種芋を株間35cm，1畝に条間35cmの2条千鳥定植（栽植密度：3997株/10a）で行った。行ったホイール式トラクタ（N社，2205型，出力32.8kW）を取り付けて調査した。

(2) 試験機の構成

施肥同時定植試験は，トラクタ（2008年：クボタ，KT280型，2009年：クボタ，L2600型）に以下の作業機を取り付けて行った。定植は，市販化されたツクネイモ用種芋移植機（クボタ，TFP-200M型，2条植え）で行った。施肥は，粒状肥料が散布可能な肥料散布機（タイショー，PX1700型，最大散布幅：170cm）をトラクタの前部に取り付けて行った。使用した種芋移植機を図1，肥料散布機と施肥同時定植作業の状況を図2にそれぞれ示す。

図1　ツクネイモ用種芋移植機（TFP-200M型）

図2　肥料散布機と施肥同時定植作業

(3) 試験区の構成

試験区は，実証ほ場の栽培農家が行っている全面施肥と機械定植の「慣行区」を対照に，前記した各作業機を用いて慣行区と同じ肥料を畝内施肥した「改良A区」，肥効調節型肥料を畝内施肥した「改良B区」を設定した。なお，慣行区と改良A区は，生育途中に化成肥料を窒素成分で3kg/10a追肥し,改良B区では追肥を省略した。各区の施肥設計を表1に示す。

表1　試験区の構成と施肥条件

試験区 ＼ 項目		基肥窒素量 (kg/10a-N)	追肥窒素量 (kg/10a-N)	全窒素量 (kg/10a-N)	減肥率 (%)
2008年	慣行区	18	5	23	-
	改良A区	12	5	17	26
	改良B区	10	-	10	54
2009年	慣行区	18	2	20	-
	改良A区	12	2	13	31
	改良B区	14	-	14	30

注1：慣行区と改良A区の基肥はCDUたまご化成555。成分量は、N：15%、P：15%、K：15%
注2：改良B区の基肥はLPコート50。成分量は、N：42%、P・K：0%
注3：追肥はNK23。成分量は、N：23%、P：0%、K：23%
注4：減肥率(%)=(1-(改良区/慣行区))×100

(4) 調査項目

1）定植精度

定植試験では，作成された畝の畝幅(cm)，床幅(cm)，畝高さ（cm）を調査した。定植状態は，連続する種芋を4個掘り出し，株間(cm)と定植深さ(cm)を測定した。定植時の姿勢は，種芋の表皮が下を向いた状態を正常，それ以外を不良とし，調査した全体の種芋に対する正常に定植された種芋の割合を定植精度(%)として評価した。

2）施肥精度

施肥精度は，肥料散布機の肥料落下量，成形された畝内の肥料分布を調査した。

肥料落下量は，作業前後の肥料を計量してほ場への落下量を求め，設定値との比率を算出した。畝内の肥料分布は，容積1cm^3（1×1×1cm：プラスチック製）のサンプル材120個を肥料散布幅90cmの範囲に均等配置して種芋移植機で作畝を行い，作成された畝を幅30cm×高さ9cm×奥行き30cmの6区に分割回収し，回収された全サンプル数と各区との割合を算出した。

3）作業能率と省力化率

施肥・畝立て・定植作業については，作業開始から終了までの時間を測定し，それをほ場の面積で除して作業能率（h/10a）を算出した。慣行の施肥，耕うん，支柱立て，防除，追肥，収穫の各作業は，栽培農家の作業を北秋田地域振興局普及指導課の協力で実測し，作業能率を求めた。作業体系全体の評価は，これらの測定結果を基に省力化率(%)を算出[5]して行った。

(4)収量調査

収量は，各試験区の畝1条（100m）を全て掘り取っ

*　：山形大学農学部　鶴岡市若葉町1-23
**　：秋田県農林水産技術センター　秋田市雄和相川字源八沢34-1
***：北秋田地域振興局　北秋田市鷹巣字東中岱76－1
****：秋田県立大学　南秋田郡大潟村字南2-2

て調査した。掘り取ったツクネイモは，出荷規格にあわせて質量別と形状別に分類し，総収量（kg/10a）と成品収量（kg/10a：質量別規格“S”以上，形状規格“良”以上），成品化率（%：成品収量/総収量）を求めた。

３．試験結果

（１）市販機の定植精度

市販機を用いて行った 2008 年度と 2009 年度の作畝状況と定植作業精度を表２に示す。

表２　各試験区での定植精度

試験年次＼項目	床幅(cm)	畝幅(cm)	高さ(cm)	株間(cm)	植え付け精度(%)	植え付け深さ(cm)
2007年：試作機	71（0）	90（1）	19（1）	40（1）	92（0）	7（1）
2008年：市販機	71（0）	87（1）	19（2）	37（2）	81（0）	3（2）
2009年：市販機	76（1）	91（1）	20（0）	―	―	7（1）

注1：土壌水分(%, db)は、2007年度56.8%、2008年度40.1%、2009年度55.5%
注2：砕土率は、2007年度86%、2008年度92%、2009年度90%
注3：( )内数値は、標準偏差
注4：2008年度、2009年度使用の市販機は同一機

作成された畝は，試作機と比較して床幅が 0 ～ 5cm，畝幅が-3 ～ 1cm，高さが 0 ～ 1cm の差であった。定植精度は，試作機と比較して種芋の株間が3cm 短く，深さが 0 ～ 4cm 浅くなり，植え付け精度が 11%低下した。

市販機は試作機と比較して作畝精度が同等であったが，植え付け精度が低下した。市販機は，種芋形状の多様性に対応するため，開閉式ホルダの開閉幅の調整範囲を試作機よりも広くした。その結果，開閉式ホルダは、大型の種芋に対応するために幅を広く調整した場合，小型の種芋に対する開閉式ホルダの把持力が低下し，畝内での土壌抵抗を受けて植え付け姿勢が乱れたと考えられる。

（２）施肥精度と肥料の分布

改良 A，B 区の施肥精度を図 3,施肥機の施肥調整機構図 4、市販機で作畝した際のサンプル材の分布を図5に

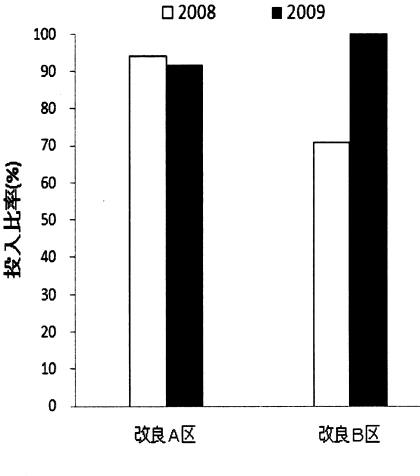


図３　肥料散布機の施肥精度

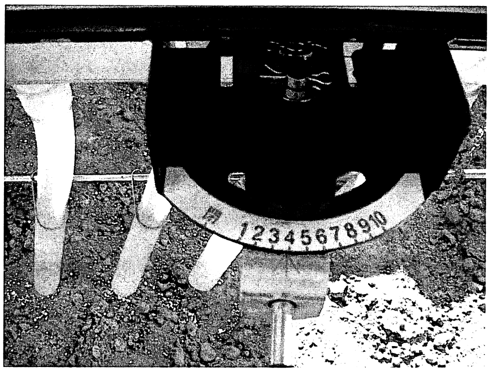


図５　供試した肥料散布機の施肥調整機構

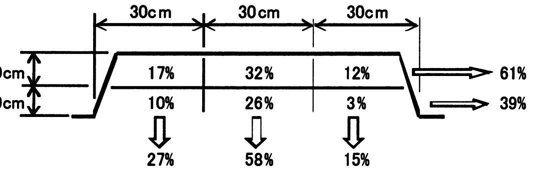


図４　肥料サンプルの畝内分布率

示す。

肥料散布機は，作業速度を基に施肥量を計算し,本体に付属する調整レバーで施肥部全体の開度を調整するため，施肥量の調整幅が横溝ロール式よりも広く，精密な調整が困難であった。そのため，窒素の成分濃度が 42%と高い改良 B は，改良 A 区と同等の落下誤差でも投入窒素量に大きな差をつけた。

肥料サンプル材の分布は，全体の 58%が畝の中央部に集中するなど，中央上部付近に多く分布する傾向であった。種芋移植機は,片平らの報告[1]にあるとおり平床畝の作成と定植溝を埋め戻すため，作畝ロータリの耕うん爪を土壌が畝の中央部に多く確保できるように配置している。その結果，サンプル材は，外側のサンプルが中央部に移動する量が多くなり，中央部のサンプル量が増加した。

（３）収量と品質評価

2008 年と 2009 年に行った実証試験での収量と成品率を表 3 に示す。

改良 A 区は，2008 年度と 2009 年度で慣行区と比較して総収量が 0.96 ～ 1.19 倍，成品収量が 0.97 ～ 1.24 倍，成品率が 1.01 ～ 1.04 倍であった。同様に，改良 B 区は，慣行区と比較して総収量が 1.06 ～ 1.11 倍，成品収量が 1.05 ～ 1.17 倍，成品率が 0.99 ～ 1.05 倍であった。

改良 A 区は，減肥率が 2008 年度で 28%，2009 年度で 21%であった。改良 B 区は，減肥率が 2008 年度で 50%，2009 年度で 43%であった。改良 A 区と B 区は，いずれも設定した減肥率よりも多く減肥されたが，2008 年と 2009 年とも成品収量，成品率に慣行区と同等から勝る傾向にあった。改良区は，ほ場全面に施肥される慣行区に対して全量が畝内に施肥されるため，肥料が高密度で畝内に分布しており，減肥を実施してもツクネイモの生育に必要な量の窒素が供給され，生育が慣行と同等にで

*　：山形大学農学部　鶴岡市若葉町 1-23
**：秋田県農林水産技術センター　秋田市雄和相川字源八沢 34-1
***：北秋田地域振興局　北秋田市鷹巣字東中岱76－1
****：秋田県立大学　南秋田郡大潟村字南2-2

表３　各試験区での年次別収量と成品率

試験区＼項目	個体質量(g/個体) 2008	個体質量(g/個体) 2009	総収量(kg/10a) 2008	総収量(kg/10a) 2009	成品収量(kg/10a) 2008	成品収量(kg/10a) 2009	成品率(%) 2008	成品率(%) 2009
慣行区	365	329	1230	1012	1103	914	90	90
改良A区	424	328	1465	974	1370	887	94	91
改良B区	400	316	1360	1071	1285	958	95	89

表４　各試験区での作業能率と省力化率

作業内容＼作業体系	A:慣行区作業体系	作業能率(h/10a)	B:改良A区作業体系	作業能率(h/10a)	C:改良B区作業体系	作業能率(h/10a)	省力化率(%) A:B	A:C	B:C
耕うん	ロータリ	0.5	ロータリ	0.5	ロータリ	0.5	0	0	0
施肥	ライムソーワ	1.5							
畝立て・マルチ 定植	種芋移植機	2.4	種芋移植機	2.4	種芋移植機	2.4	38	38	0
支柱立て	手作業	1.8	手作業	1.8	手作業	1.8	0	0	0
防除	防除機	3.9	防除機	3.9	防除機	3.9	0	0	0
追肥	動散	0.3	動散	0.3	-	0.0	0	100	100
収穫	堀取機	7.0	堀取機	7.0	堀取機	7.0	0	0	0
合計		17.4		15.9		15.6	9	10	2

注1：省力化率(%, A:B)=(1-(B/A))×100で算出
注2：省力化率(%, A:C)=(1-(C/A))×100で算出
注3：省力化率(%, B:C)=(1-(C/B))×100で算出

きた。また、改良 B 区は、ツクネイモの生育に併せた溶出を示す肥効調節型の被覆尿素肥料（25 ℃水中 50 日間で 80%溶出）を用いて行ったため、減肥率を 50%程度まで高めても慣行と同等の収量にできた。

（４）施肥同時定植作業の省力化率

各試験区で行った各作業の作業能率，それを基に算出した省力化率を表４に示す。耕うんから収穫までの作業の合計値は，慣行区と改良 A 区で 1.5 h/10a，改良 B 区で 1.8 h/10a 減少した。省力化率は，慣行区と比較して改良 A 区で 9%，改良 B 区で 10%，改良 A 区と比較して改良 B 区で 2%改善された。

種芋移植機導入以前のツクネイモ栽培では，定植作業に5.6h/10a を要しており，作業体系全体の27%を占めていた。しかし，定植作業では、種芋移植機を導入することで表4に示すとおり2.4h/10aに改善され、省力化率が57%まで改善された。その種芋移植機を用いた施肥同時定植作業では、改良 A 区で施肥から定植まで個別に行われていた各作業が統合されたため，同作業工程の省力化率が慣行区と比較して 38%に拡大した。また、改良 B 区は，窒素含有量の多い肥効調節型肥料を用いた全量基肥技術が導入されたため，追肥工程が省略されて省力化率が 100%となり，作業全体の省力化率が改良Ａ区より改善した。

4．摘要

1）市販機を用いた施肥同時定植作業は，試作機と比較して作畝精度が同等であったが，植え付け精度が11%低下した。

2）肥料散布機の肥料投入精度は，設定値に対し改良A区で92～94%，改良B区で71～105%であった。

3）肥料サンプル材は、作成された畝の中央部に58%，上部に61%が分布した。

4）改良A区は，慣行区と比較して総収量が0.96～1.19倍，成品収量が0.97～1.24倍であった。改良B区は，慣行区と比較して総収量が1.06～1.11倍，成品収量が1.05～1.17倍であった。

5）施肥同時定植作業を行った改良区AとB区は，作業工程の統合と省略で慣行区と比較して9～10%の省力化率であった。

謝辞

本報は，JA あきた北が主催するヤマノイモ産学官連携プロジェクトチームの協力によって得られた成果である。試験を担当した JA あきた北と同 JA ヤマノイモ部会の皆様，北秋田地域振興局普及指導課の皆様に謝意を表す。

参考文献

1）片平光彦，上田賢悦，進藤勇人，阿部浩，小林由喜也：種芋移植機を用いたツクネイモ定植作業の省力化技術(第1報)，農機誌72巻2号，169-176, 2010.

2)片平光彦：二条植えヤマノイモ移植機，農機誌71巻3号，26-27, 2009.

3)屋代幹雄：うね内部分施用による露地野菜の精密施肥技術，農機誌70巻1号，16－19，2008.

4)片平光彦，村上章，進藤勇人，林浩之，武田悟，加賀屋博行，田村保男：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），農機誌68巻2号, 94-99, 2006.

5)片平光彦，太田健，新山徳光，舛谷雅弘，小笠原伸也，久米川孝治，渋谷功，鎌田易尾：重粘土水田転換圃場での野菜の機械化作業技術（第2報），農機誌66巻5号，97-106，2004.

*　：山形大学農学部　鶴岡市若葉町 1-23
**：秋田県農林水産技術センター　秋田市雄和相川字源八沢 34-1
***：北秋田地域振興局　北秋田市鷹巣字東中岱76－1
****：秋田県立大学　南秋田郡大潟村字南2-2

種芋移植機を用いたツクネイモの施肥同時定植技術（第２報）

進藤勇人*・片平光彦**・上田賢悦***・鈴木基***

Fertilizing and Transplanting Technology for Chinese Yams Using a Seed Tuber Transplanter (Part2)

Hayato SHINDO*, Mitsuhiko KATAHIRA**, Ken-etsu UEDA*** and Motoi SUZUKI***

［キーワード］ツクネイモ、種芋移植機、畝内施肥、養分吸収量、減肥、収量

１．緒言

ツクネイモは、秋田県大館市を中心に地域特産野菜として 40.9ha（2009 年）で作付けされ、主に転作作物として水田転換畑で栽培されている。生産者の高齢化により栽培面積が減少傾向であることから、マルチ被覆された平畝に定植する大館地区の栽培様式に対応して定植可能なツクネイモ用種芋移植機が開発、市販化され[1]、2009 年では栽培面積の 40%のほ場で利用されるに至っている。しかし、種芋移植機の導入により定植作業が省力化、軽労化される一方で、昨今の肥料価格高騰により生産コストの低減や種芋移植機を基幹としたさらなる省力的な作業体系の確立が課題になっている。

さて、ツクネイモ栽培技術については主産地である兵庫県篠山地域で多く検討され、基本的な生理生態が明らかにされている[2]。また、生産性向上技術として栽植密度や種イモ重量について検討されている[3]。しかし、篠山地域の栽培法は、無支柱の地這、わらマルチ栽培が主流で、大館地区のような約 2m の支柱に茎葉を繁茂させる黒ポリマルチ栽培における生育や養分吸収特性についての報告は少ない。また、ツクネイモと同じツクネイモ科で全国的に栽培面積の多いナガイモでは、窒素施肥法改善により減肥を可能にし、品質を良好にできること[4]や重窒素標識を用いて窒素吸収特性が明らかにされているが[5]、ツクネイモについては報告が少なく、ツクネイモ栽培は依然として多施肥傾向で、施肥窒素量が 50kg/10a を超えることも珍しくない。

そこで本報では、ツクネイモにおける定植同時作業と追肥作業省略による省力化と畝内施肥による減肥、低コスト栽培を目的に、ツクネイモ用種芋移植機を基幹とした施肥同時定植作業技術を現地生産者ほ場で導入実証試験を行った。第１報では、本方式による作業能率や施肥精度、肥料の分布等を検討し、作業工程の統合と省略で慣行区と比較して省力化率が 9 ～ 10%であることを明らかにした。

第２報では、ツクネイモの養分吸収特性を調査し、畝内施肥や肥効調節型肥料を用いた減肥栽培について、検討したので、報告する。

２．試験方法

（１）試験場所・土壌条件

試験は、2008 年と 2009 年に秋田県大館市のＴ氏ほ場で行った。土壌は細粒質灰色低地土で、水田転換畑である。2008 年、2009 年の供試ほ場はともに、前年緑肥としてソルガム（スダックス）を栽培した転換２年目ほ場である。

（２）施肥同時定植作業の方法

施肥同時定植作業の方法や使用した農機の主要諸元ついては、第１報に詳細を記載した。すなわち、ツクネイモ用種芋移植機（クボタ、TFP-200M 型、２条植え）を取り付けたトラクタの前部に肥料散布機（タイショー、PX1700 型）を取り付け、肥料散布ホースを畝成形部のみ（畝幅 90cm）に均等に配列し、粒状肥料を散布しながら、耕うん、定植、畝成形、マルチを同時に行う方式である。

（３）試験区の構成

試験区は、実証ほ場の栽培農家が従来行っている全面全層施肥と機械定植の「慣行区」を対照に、前記した方式により慣行区と同じ CDU 入り化成肥料を畝内施肥した「改良 A 区」と肥効調節型肥料（普通溶出型被覆尿素 50 日タイプ）を畝内施肥した「改良 B 区」を設定した。なお、慣行区と改良 A 区は、生育途中に化成肥料を窒素成分で 2008 年は 4.6gN/m²（７月７日）、2009 年は 1.5gN/m²（７月 24 日）追肥し、改良 B 区では追肥を省略した。各区の施肥設計を表１に示す。

（４）耕種概要

１）栽植方式：平高畝（畝間 145cm、畝幅 90cm、床幅 70cm、畝高さ 20cm）をスリット入り黒マルチ被覆し、株間 35cm、１畝に条間 35cm の２条千鳥定植で行った。

*：秋田県農林水産技術センター農業試験場　秋田県秋田市雄和相川字源八沢 34-1
**：山形大学農学部　山形県鶴岡市若葉町 1-23
***：秋田県北秋田地域振興局　秋田県北秋田市鷹巣字東中岱 76-1

移植後の栽植密度は、2008年が3.44株/m²、2009年が3.59株/m²であった。移植後高さ2mの支柱およびネットを設置し、つるをネットに誘引する方式で栽培した。

2）定植日・収穫時期：2008年、2009年ともに5月12日（40g程度に調製した扇形の種芋を定植）・10月中旬

（5）調査項目

1）土壌硝酸態窒素量：土壌は直径1インチの半円形オーガを用いて、畝の中央と条部（通路）からそれぞれ、5～6カ所、採取した。畝の床面を起点として20cm間隔で、畝部は深さ60cmまで、通路は深さ80cmまで採土した。湿潤土を用いて20%KClにより硝酸態窒素を抽出し、ろ過後硝酸態窒素量を測定した。

2）乾物重および養分吸収量：定植後約30日間隔で0.75m²から3個体分の作物体を採取し、茎葉、新いも、種いもに分別して乾燥し、乾物重を測定した。乾燥サンプルを粉砕し、ガンニング変法により硫酸分解したのち、窒素、リン酸（オートアナライザー、ブランルーベ社）、カリ、カルシウム、マグネシウム（原子吸光法）含有率を測定し、それぞれを乾物重に乗じて養分吸収量とした。

3）収量調査：収量は、各試験区の畝1条（約90m）を全て掘り取って調査した。掘り取ったツクネイモは、出荷規格にあわせて質量別と形状別に分類し、総収量（kg/10a）と成品収量（kg/10a：質量別規格“S”以上、形状規格“良”以上）、商品率（%：成品収量/総収量）を求めた。

3．結果と考察

（1）定植30日後の土壌硝酸態窒素の分布

2008年の定植30日後における土壌硝酸態窒素の垂直分布を表2に示した。3区の硝酸態窒素は畝部の0～20cmで最も多く、12.3～14.1mgN/100g乾土で、ほぼ同等であった。慣行区畝部、条部40～60cmでは他の2区に比べ、硝酸態窒素がやや多く存在していた。これは、降雨による溶脱によるもののと推察された。

一方、改良A区条部20～40cmは1.1mgN/100g乾土で、慣行区条部20～40cmの6.3mgN/100g乾土より少なく、40～60、60～80cmでも少ない傾向であった。これは畝内施肥である改良A区は条部に肥料を散布していないためと考えられた。ツクネイモは比較的根域が浅く、水平方向への広がりも少ない作物であることと定植から60日程度は茎葉の生育量が少ないことをあわせて考える（図1）と、改良A区、改良B区の硝酸態窒素の分布はツクネイモ栽培に適していると考えられ、畝内施肥は肥料の利用効率を高めるために有効な方式であることが示唆された。

（2）ツクネイモの乾物重の推移

慣行区の種イモ、茎葉、新イモの乾物重の推移を図1に示した。ツクネイモの乾物重は定植から60日程度はごくわずかで、それ以降、急激に増加する推移を示した。乾物重の推移を部位別にみると、種イモは定植後90日間で緩やかに減少した。茎葉部は、7月中旬頃から急激に増加し、9月中旬に最大となった。9月中旬以降の減少は落葉によるものであった。

表1　試験区の構成

試験年次	試験区	施肥量(窒素-リン酸-カリ g/m²) 基肥	追肥	合計	N減肥率
2008年	慣行区	18-18-18	4.6-0-4.6	22.6-18-22.6	(0)
	改良A区	12.2-12.2-12.2	4.6-0-4.6	16.6-12.2-16.6	27%
	改良B区	10.4-0-0	-	10.4-0-0	54%
2009年	慣行区	18-18-18	1.5-0-1.5	19.5-18-19.5	(0)
	改良A区	11.9-11.9-11.9	1.5-0-1.5	13.4-11.9-13.4	31%
	改良B区	13.6-0-0	-	13.6-0-0	30%

注1）慣行区及び改良A区の基肥はCDUタマゴ化成555(15-15-15)を、改良B区はLP50(42-0-0)を使用
注2）追肥日：2008年7月7日、2009年7月24日

表2　定植30日後の土壌硝酸態窒素の垂直分布（2008年）

調査位置 cm	慣行区 畝部	慣行区 条部	改良A区 畝部	改良A区 条部	改良B区 畝部
0～20	14.1	-	12.3	-	12.5
20～40	6.1	6.3	3.6	1.1	3.7
40～60	4.6	2.5	1.4	0.7	1.8
60～80	-	1.4	-	0.8	-

注1）数値は、乾土100gあたりの硝酸態窒素量(mg)を示す
注2）調査は定植から30日後の2008年6月11日（期間降水量99mm）に行った

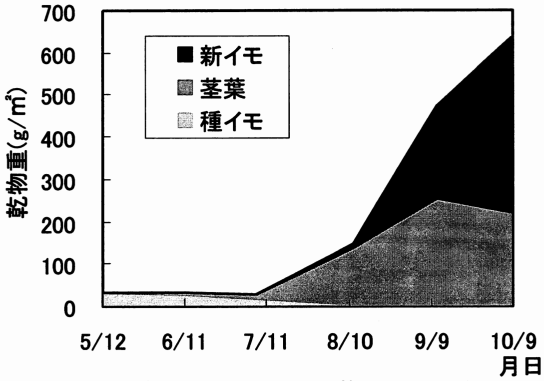


図1　乾物重（慣行区）の推移（2008年）

新イモは、７月中旬頃から形成され、８月中旬以降からイモの肥大とともに急激に増加した。改良Ａ区、改良Ｂ区とも慣行区と同様のパターンを示した。

（３）畝内施肥が窒素、リン酸、カリの吸収に及ぼす影響

８月中旬および９月中旬における各区の窒素吸収量をそれぞれ、図２、図３に示した。８月中旬は新イモの肥大が始まる時期であり、９月中旬は茎葉が最も繁茂する時期である。

８月中旬の窒素吸収量は 4gN/㎡程度で、約 90%が茎葉部であった。改良 B 区、改良 A 区、慣行区の順に多く、特に茎葉部で改良 B 区、改良 A 区が慣行区より、上回っていた。９月中旬の窒素吸収量は８～ 10gN/㎡程度で、約 50%が茎葉部で、約 50%が新イモ部であった。茎葉部、新イモ部ともに改良 A 区、改良 B 区が慣行区より多く、改良 B 区と改良 A 区はほぼ同等であった。

さらに、収穫間近な時期である 10 月上旬では、窒素およびカリ吸収量は、改良 A 区、改良 B 区ともに慣行区と比べ同等以上得られ、リン酸は３区とも同等であった（図４）。改良 A 区のリン酸およびカリは窒素と同様に減肥されておりまた、改良 B 区は窒素のみの施用であるため、リン酸およびカリは土壌からの供給と考えられた。このことから作付け前の土壌の養分状態を考慮する必要があると考えられた。2009 年は７月 19 日に降雨（166mm）によりほ場全面が冠水したため、窒素吸収量が 2008 年より少ないが、同様の傾向であった（データ省略）。

これらのことから、畝内施肥や肥効調節型肥料の利用により、27 ～ 54%減肥しても全生育期間を通じて、慣行と同等以上の十分な生育量、養分吸収量を確保できることが明らかとなった。

（４）畝内施肥がツクネイモの収量および品質に及ぼす影響

畝内施肥がツクネイモの収量および品質に及ぼす影響を表３に示した。2008 年は改良 A 区、改良 B 区とも収穫イモ１個重、面積あたり収量が慣行区を上回った。また、商品率、秀＋優品率も慣行区より高いことで、成品収量も向上した。2009 年は前記のとおりほ場冠水の影響もあり 2008 年より低収であるが、改良 A 区、改良 B ともに慣行とほぼ同等の収穫イモ１個重、商品率が得られた。

これらのことから、畝内施肥や肥効調節型肥料の利用により、27 ～ 54%減肥しても慣行と同等以上の収量、品質が得られることが明らかとなった。

（５）ツクネイモの養分吸収比率

ツクネイモ栽培において畝内施肥や肥効調節型肥料を用いることで、27 ～ 54%減肥しても慣行の栽培法と同等以上の生育量が確保され、それにより慣行と同等から勝る収量、品質が得られることを明らかにした。

さらなる肥料の低コスト化を目指して、収穫時期における窒素、リン酸、カリ、カルシウム、マグネシウムの吸収比率について、検討した。

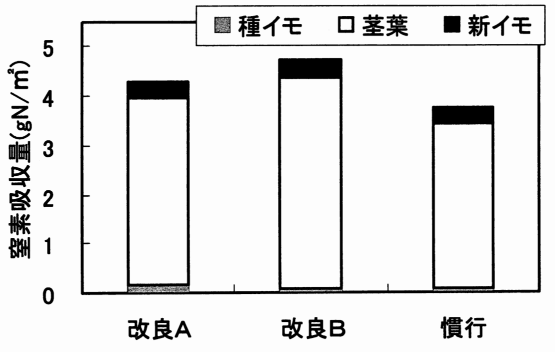


図２　８月中旬における窒素吸収量（2008年）

注　調査は、2008 年 8 月 12 日に行った。

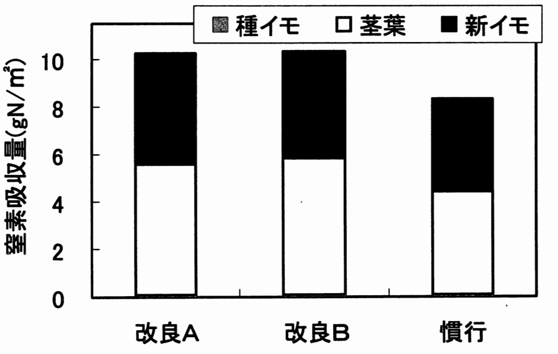


図３　９月中旬における窒素吸収量（2008年）

注　調査は、2008 年 9 月 11 日に行った。

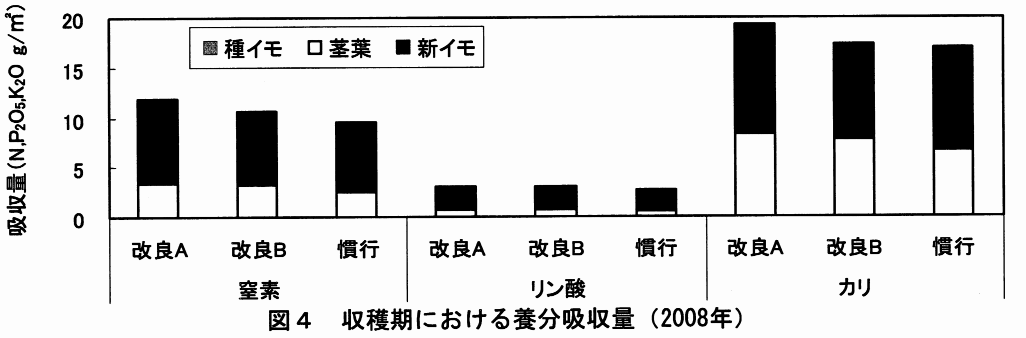


図４　収穫期における養分吸収量（2008年）

注　調査は、2008 年 10 月 8 日に行った。

表３　畝内施肥がツクネイモの収量および品質に及ぼす影響

試験年次	区名	収穫個数 (個/畝)	収穫イモ1個重 (g/個体)	総収量 (kg/a)	収穫イモ収量 (kg/a)	成品収量 (kg/a)	商品率 (%)	秀+優品率 (%)
2008年	改良A区	494	423.5	152	146	137	93.5	72.5
	改良B区	486	399.6	144	136	128	94.5	69.5
	慣行区	482	364.6	131	123	110	89.6	60.8
2009年	改良A区	425	327.5	113	97	89	90.9	87.2
	改良B区	484	316.2	109	107	96	89.4	83.9
	慣行区	440	328.5	113	101	91	90.3	85.5

注1）各区とも1畦(2008年は92m、2009年は90m)からの収穫物をすべて、1個重および形状規格を調査した。
注2）総収量=収穫いも1個重*移植後栽植密度
注3）収穫いも収量=収穫いも(kg/畦)*7本　10aに畦7本と想定
注4）成品収量は形状規格の規格外品および重量200g以下を除いた収量

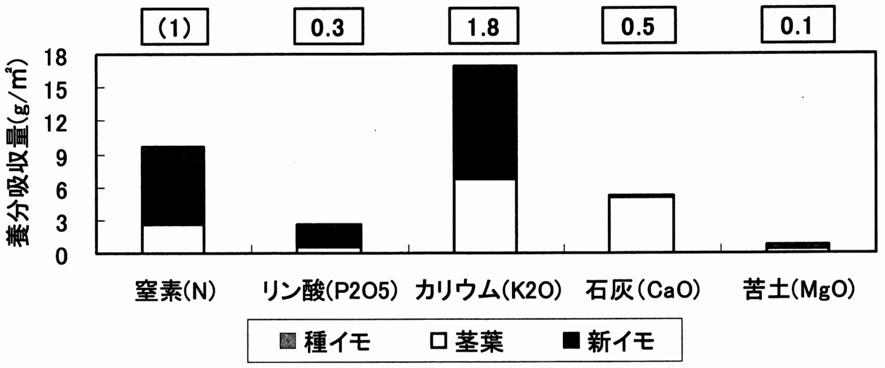


図５　収穫期に吸収された養分（慣行区）の吸収比率（2008年）

注　図中上段の囲みの数値は、窒素吸収量を１とした場合の各成分の比率を示す。

その結果、窒素：リン酸：カリ：カルシウム：マグネシウム＝(1)：0.3：1.8：0.5：0.1であり、改良Ａ区、改良Ｂ区もほぼ同様の傾向で区間差はなかった（図５）。また、データは示さないが2009年は窒素：リン酸：カリ：カルシウム：マグネシウム＝(1)：0.4：2.0：0.6：0.2で年次変動も少なかった。本方式は全量基肥、マルチ内施肥であることから、特にリン酸およびカリは窒素に比して、リン酸が少なく、カリは同程度以上の成分を含有する谷型配合の肥料を用いることで、さらなる肥料費の低減につながると考えられた。

４．摘要

１）定植30日後における改良Ａ区、改良Ｂ区の土壌硝酸態窒素は畝部の0～20cmで最も多く、慣行と同等であった。畝内施肥であるため、条部の硝酸態窒素は慣行区より少なく、下層への溶脱も少なかった。

２）ツクネイモの乾物重は、茎葉部は７月中旬頃から急激に増加し、９月中旬に最大となった。また、新イモは、７月中旬頃から形成され、８月中旬以降からイモの肥大とともに急激に増加する推移を示した。

３）改良Ａ区、改良Ｂ区の窒素吸収量は慣行区と比べ、27～54%減肥しても、全生育期間を通じて同等から上回り、収穫期における窒素、リン酸、カリ吸収量も慣行と同等以上であった。

４）改良Ａ区、改良Ｂ区の収量は27～54%減肥しても、慣行区と比べ、同等から勝り、商品率も同等以上であった。

５）収穫時期における窒素、リン酸、カリ、カルシウム、マグネシウムの吸収比率は、窒素吸収量を１とした場合、窒素：リン酸：カリ：カルシウム：マグネシウム＝(1)：0.3～0.4：1.8～2.0：0.5～0.6：0.1～0.2であった。

謝辞

本報は、JAあきた北山の芋部会、株式会社クボタ、北秋田地域振興局普及指導課、農林企画課の各位から多大な協力をいただいた。関係各位に謹んで謝意を表す。

参考文献

1)片平光彦・上田賢悦・進藤勇人・阿部浩・小林由喜也：種芋移植機を用いたツクネイモ定植作業の省力化技術（第１報），農機誌72巻2号，169-176,2010.

2)池内康雄：つくねいも栽培　Ⅱ栽培技術の要点，農業技術体系野菜編10マメ類、イモ類、レンコン，農文協，（基）118-142，1990.

3)岡本毅・梅崎輝尚・長屋祐一・谷山鉄郎：種イモ重と栽植密度が丹波ヤマノイモ多収品種の収量形質に及ぼす影響，日作紀69巻2号，153-158,2000.

4)中本洋・下野勝昭・谷口健雄：北海道のナガイモ栽培における窒素施肥法の改善，土肥誌，65巻2号，194-198，1994.

5)細田洋一：重窒素を利用したナガイモの養分吸収の把握，東北農業研究，58，169-170，2005.

近赤外分光法による
エダマメ茎葉残渣サイレージの発酵品質の測定

齋藤明日香*・松田朗海**・片平光彦*・堀口健一*・夏賀元康*

Determination of Fermentation Quality of Green Soybeans Stover Silage by Near Infrared Spectroscopy

Asuka SAITO*・Oumi MATSUDA**・Mitsuhiko KATAHIRA*
Ken-ichi HORIGUCHI*・Motoyasu NATSUGA*

Abstract

Near-infrared spectroscopy (NIRS) was used to predict fermentation quality of green soybeans stover silage samples (n=196). Fermentation qualities were determined by pH, concentration of lactose, volatile basic nitrogen (VBN), volatile fatty acid (VFA) and total nitrogen (T-N) in silage. Samples were scanned in transmission mode (850-1048nm) using commercial NIRS instrument (Infratec1241). As results, NIRS demonstrated moderate performances of R^2 =0.48~0.65 for every fermentation qualities.

[Keywords] near infrared spectroscopy, silage, soybean

1.　緒言

山形県鶴岡市在来のエダマメであるダダチャ豆は、生産量の増加に伴い茎葉部残渣の処理が問題になっている。そこで、山形大学農学部ではダダチャ豆茎葉を家畜用飼料として利用するべく、良質なサイレージを調製するための技術の開発を進めている。

サイレージの飼料価値は発酵品質によって判定される。発酵品質はサイレージ発酵過程で生成される乳酸や揮発性脂肪酸（VFA）、揮発性塩基態窒素（VBN）含量などにより決定されるが、化学分析には多大な時間と労力を要する。そこで、より迅速な品質測定技術として知られる近赤外分光法によりこれらの品質が推定できないか、検討した。2008年までに行った研究では、サイレージ抽出液と乾燥サンプルの両方を用いて調査したが、抽出液では予測の精度が悪かったため、本実験では乾燥サンプルのみを使用してキャリブレーションの改良を行った。

2.　実験方法及び供試試料

2.1.　供試試料と化学分析

2006～2009年に山形大学付属農場で栽培されたエダマメ（品種：白山ダダチャ）の茎葉部を収穫後直ちにサイレージに調製したものを用いた。調製方法、添加物および調製後の開封時期を変えることにより196サンプルを得た。サイレージは開封直後に抽出液の調整を行い、残りを60℃で3～4日間乾燥させ、0.5mmメッシュを取り付けた粉砕機（FOSS TECATOR、アフタック（輸入代理店）、東京）で粉砕し、乾燥サンプルとした。

化学分析は以下の方法で行った。水分は常法（堀井ら1971）に従って測定した。pHの測定にはガラス電極pHメーター（D-21、HORIBA、京都）を使用

*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

した。乳酸含量はバーカー・サマーソン法(Barkaer BS and Summerson WH 1941)により求めた。揮発性塩基態窒素(VBN)はコンウェイ(Conway)の微量拡散法により定法(大山 1971)に従って定量した。総窒素(T-N)はケルダール法により測定した。揮発性脂肪酸(VFA)の定量は柾木ら(1971)の方法に従い行った。

2.2. スペクトル測定

透過型の分析計 Infratec1241 (Foss A/S, Sweden)を用いて乾燥サンプルのスペクトル測定を行った。波長範囲は 850-1048nm である。

試料をサンプルセルに充填し、光路長を 18mm にして測定した。セルにはスペーサーとして厚さ 1mm のアクリル板を 2 枚いれた(図 2)。サンプルセルの充填量は約 0.5g であった。測定は各試料に対し 3 反復行った。

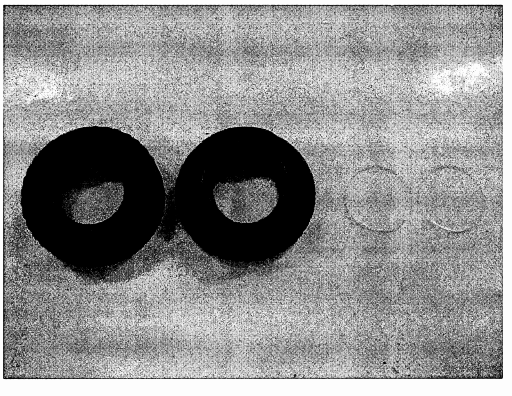


図 1. (左から) サンプルセル (上蓋と下蓋) と厚さ 1mm のスペーサー2 枚

2.3. キャリブレーションの開発

The Unscrambler v9.8(CAMO, Norway)を用い、フルクロスバリデーションによる PLS 回帰分析により各成分のキャリブレーションを作成した。キャリブレーションの精度は、決定係数 R^2 とクロスバリデーションの標準誤差 SECV で判断した。SECV は、化学分析の繰り返し測定誤差 SDD (Standard Deviation of the Difference) と比較し、SECV が SDD の 3~5 倍程度におさまっていればキャリブレーションの精度が良好であると判断した。但し、pH は化学分析の際に反復を行っていないため、SDD を算出していない。予測値と化学分析値の散布図を作成後、明らかなアウトライヤーは除外した。

3. 結果と考察

スペクトルを図 2 に示した。850-1048nm の波長範囲には、目立つ吸収ピークは観測されなかった。

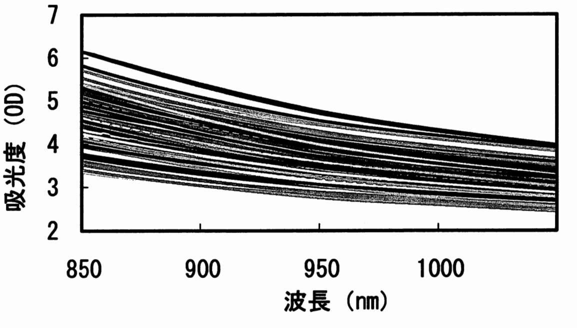


図 2. エダマメ茎葉残渣サイレージのスペクトル

キャリブレーション結果を散布図にまとめて図 3 に示した。pH、乳酸、VBN、VFA、総窒素は R^2 が 0.48~0.63 と、あまり高くないものの、散布図が 45° の線に乗っていること、SECV も SDD の 3 倍程度におさまっていることから、実用可能性が示唆された。

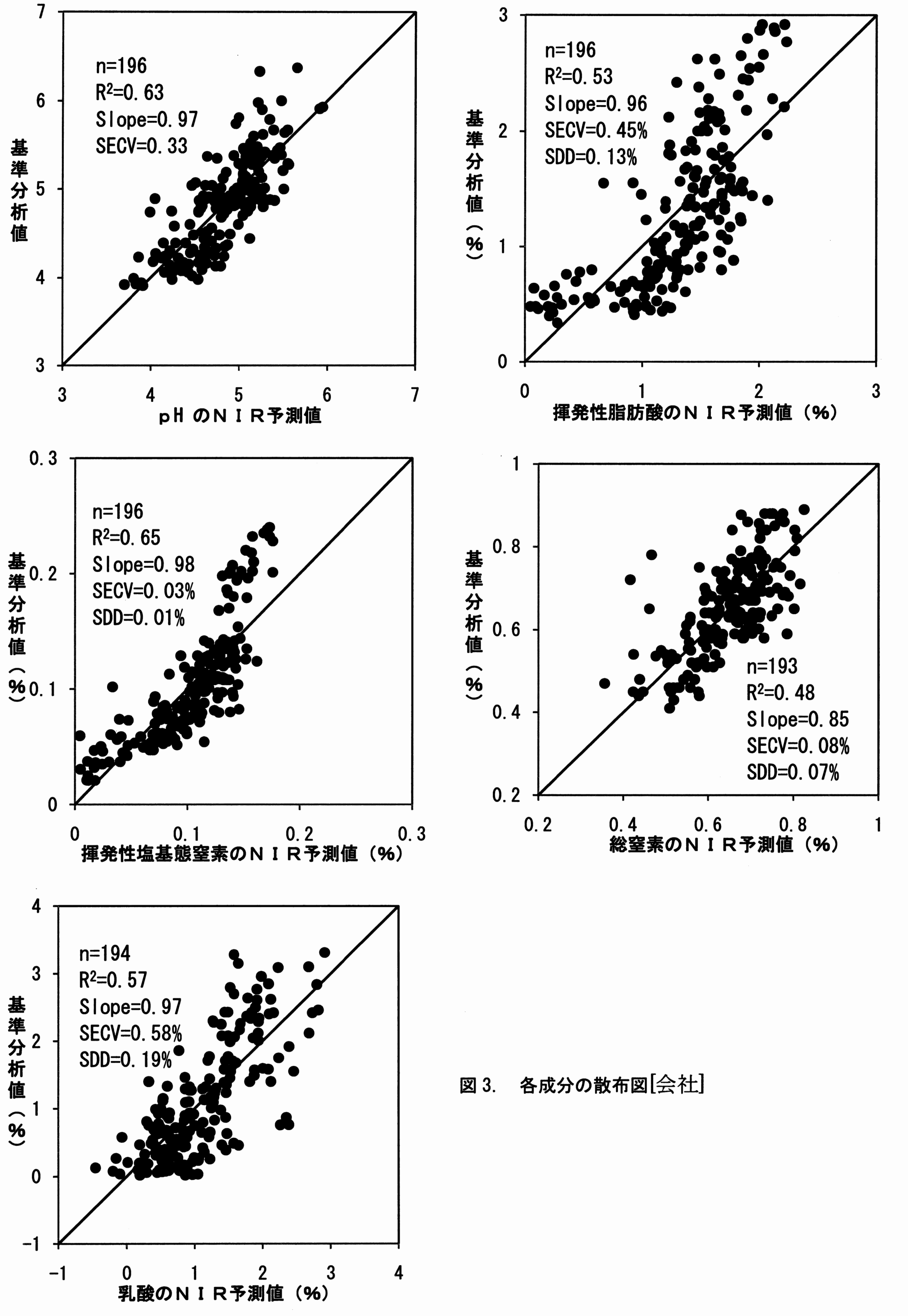


図 3.　各成分の散布図[会社]

4. まとめ

エダマメは現在日本全国で栽培されており、また転作畑を有効に活用できる作物であるため、今後さらなる生産の拡大が予想される。それとともに茎葉残渣の排出量も相当量になると考えられる。エダマメ茎葉残渣の飼料化は、廃棄問題の解決のみならず、国内飼料自給率（2007 年時点で 26%）の向上に貢献する重要技術であるが、良質なサイレージ調製技術の開発、また実際の家畜への給与においても、発酵品質の簡易かつ迅速な推定法が求められる。本研究では近赤外分光法により推定できるか、研究した。その結果、pH、乳酸、VBN、VFA、総窒素の予測は、実用的な分析法として利用できる可能性が示唆された。しかしながら、推定の精度はまだ低いため、NIR スペクトルの吸収特性などからその原因を検討するとともに、サンプル数を蓄積し、精度の向上を目指していく必要である。

5. 謝辞

本研究は、山形大学農学部動物生産学研究室の松田朗海氏、多賀部咲氏にサイレージサンプルと化学分析データを提供して頂き、遂行出来たものである。また、同研究室の堀口健一先生、ならびに学生・院生の皆様には終始にわたりご指導、ご協力頂いた。ここに記して謝意を表する。

6. 参考文献

1．甘利雅拡；近赤外分光法による粗飼料の飼料成分分析と栄養価評価法の確立（日本草地学会誌第 54 巻別号、2008)

2．松田朗海；枝豆茎葉残渣サイレージへの添加物の利用が品質保持、消化性および嗜好性に及ぼす影響（山形大学農学部生物生産学科卒業論文、2008)

3．松田朗海；枝豆茎葉残渣サイレージの調製方法の開発とその飼料特性の解明（山形大学大学院農学研究科生物生産学専攻修士論文、2009)

4．安藤文桜、越智茂登一；新版サイレージのすべて（酪農事情社、1976)

5．福岡県農業総合試験場・畜産研究所・飼料部・家畜栄養研究室；近赤外分光法によるイタリアンライグラスサイレージ発酵品質の迅速評価法（1998)

6．梅田剛利、藤吉弘子、棟加登きみ子；近赤外分光法によるイタリアンライグラスサイレージの有機酸含量の測定（福岡県農業総合試験場研究報告 18、1999)

7．前橋真記；近赤外分光法によるエダマメ単莢の品質測定（山形大学農学部生物生産学科卒業論文、2008)

8．岩本睦夫、河野澄夫、魚住純；近赤外分光法入門（幸書房、1994)

水稲湛水直播機のフロートに装着する作溝装置の開発（第２報）
ー　装置の改良と現地適応性の検討　ー

伊藤勝浩*・日影勝幸*・及川一也**・鶴田正明***

Equipment for Drain of Direct Sowing in Rice Cultivation(Part 2)
Improve of Equipment for Drain and Result of Field DemonstrationTest

Katsuhiro ITOH,Katsuyuki HIKAGE,Kazuya OIKAWA,Masaaki TSURUTA

【キーワード】水稲、湛水条播、導水溝、種子誘導装置、播種精度、現地適応性

１．はじめに

第１報では、水稲湛水直播栽培において課題となっている枕地や凹部の出芽ムラや欠株を解消するため、播種機のフロートに装着する作溝装置を開発し、この装置を使用することにより播種と同時に導水溝を形成することが可能で、落水出芽における排水及び入水を均一かつ速やかに実施でき、出芽苗立ちが安定することを報告した。

しかし、第１報におけるH20型開発機は、現地ほ場等において、播種深が従来機に比較してやや深くなり、播種深のバラツキが大きくなり、苗立ちが不良となる事例が見られたので、H21型開発機ではこの点の改良を図るとともに、岩手県内各地の水田地帯における現地適応性を検討したので報告する。

２．試験方法

試験１　作溝装置の改良による播種精度の向上効果のの判定試験

（１）試験場所　岩手県農業研究センター内水田ほ場（土性：非アロフェン質黒ボク土）

（２）耕種概要

1）代かき日　平成２２年５月７日

2）播種月日　平成２２年５月１２日

3）供試品種　ひとめぼれ

（３）供試機　本機：K社多目的田植機 SPU-650K
作業機：直播播種機 DS-6UK（6条）
＋作溝装置（開発機）

（４）試験内容

作溝同時直播装置の種子誘導装置の形状

H20型（幅２０mm、高さ２０mm：くさび形）

H21型（幅３０mm、高さ１０mm：船底形）

について比較試験を行った。（図２）

試験２　現地適応性試験

（１）試験場所

現地適応性試験実施場所を図１に、それぞれの耕種概要について表１に示す。

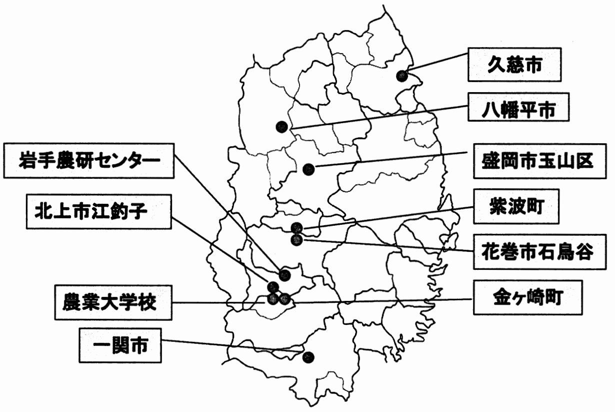


図１　現地適応性試験の実施場所（H21）
（秋田県農林水産技術センターを除く岩手県分）

表１　現地適応性試験実施場所の耕種概要（H21）

	試験場所	試験規模	品種名	土壌統群	播種月日
1	紫波町	30a	ヒメノモチ	多湿黒ボク土	5月8日
2	金ヶ崎町	28a	あきたこまち	多湿黒ボク土	5月7日
3	一関市	52a	どんぴしゃり	グライ低地土	5月18日
4	花巻市（石鳥谷町）	40a	ひとめぼれ	褐色低地土	5月14日
5	北上市（江釣子）	40a	ひとめぼれ	灰色低地土	5月7日
6	八幡平市	15a	いわてっこ	多湿黒ボク土	5月13日
7	盛岡市（玉山区）	30a	あきたこまち	多湿黒ボク土	5月13日
8	久慈市	61a	いわてっこ	多湿黒ボク土	5月27日
9	農業大学校（金ヶ崎町）	30a	あきたこまち	多湿黒ボク土	5月15日
10	秋田県農林水産技術センター	0.4a	あきたこまち	細粒グライ土	5月22日
11	岩手県農業研究センター	44a	どんぴしゃり	非アロフェン質黒ボク土	4月30日

*岩手県農業研究センター　**八幡平農業改良普及センター　***元岩手県農業研究センター

（２）供試機械

ア　開発機

本機：Ｋ社多目的田植機（SPU-650K）

作業機：直播播種機（DS-6UK）

＋作溝装置（H21型開発機）

イ　比較区

本機：Ｋ社多目的田植機（SPU-650K）

作業機：直播播種機（DS-6UK）

＋作溝機(DS2N)

ただし、紫波町、金ヶ崎町、北上市、盛岡市では農家所有の直播機を比較区として使用

３．試験結果及び考察

（１）装置の改良による播種精度

H20型開発機（くさび形）は、平均播種深が13mm（変動係数41.7%）、H21型開発機（船底形）では、平均播種深が7mm（変動係数38.8%）であった（図２、表２）。水稲湛水直播栽培において、安定した出芽、鳥害防止、倒伏防止のいずれに対しても効果を期待する場合、目標とする播種深は5～10mmであるという既知見（参考文献：平成11年度岩手県農業研究センター水田作研究室成績書）があるが、船底形では目標とした深さに播種することができ、播種深のバラツキもくさび形に比較し少ない傾向が認められた。また、出芽調査時の平均葉齢は、くさび形では2.6葉（変動係数16.2%）に対し、船底形では2.8葉（変動係数12.6%）であり。葉齢の進展が0.2葉程度早く、葉齢のバラツキが少ない傾向が見られたが、これは平均播種深が浅くなったことによる装置改良の効果と思われる。

（２）現地適応性試験結果

H21型開発機を用いて、岩手県内各地の様々な土壌タイプの水田における現地適応性を検討した（図３）。現地ほ場における土性は埴土～埴壌土、一関市は粘土質の強いグライ土壌で小麦後復元田初年目ほ場、花巻市は大豆後跡復元田初年目ほ場であった。久慈市では作土深が10cm程度と浅く、石礫が出るほ場であった。

開発機による作溝状況は、いずれのほ場においても、幅、深さとも比較区を上回る大きな溝を切ることが可能であった（表３）。また、開発機で造られた溝は、作溝縁部分の土盛が形成されにくく、播種条に対する溝の本数も1.5～2倍となり、溝の断面積も大きくなるため、ほ場での排水性能が増すことと、ほ場への入水も溝により水回りが早まるため、慣行に比較し、短時間で行うことが可能となった。

播種精度については、いずれのほ場においても播種深0～10mm以内に大半の種子を播種することが可能であった（表４）。また、出芽調査時の葉齢は開発機と比較区での差はほとんど認められなかった。

開発機における覆土の状況は、作土深が浅い場合や石礫がある場合のほか、ほ場の落水ムラ等により田面の一部が硬くなり過ぎる場所があった場合には、覆土が不十分で種籾が露出することがあったが、土壌硬度が落下貫入深-1.0～3.0cmの条件では、覆土に問題はなく、種籾の露出は発生しなかった（データ省略）。

苗立率は、開発機が上回った事例が６事例、比較区が上回った事例が３事例であった（比較区無し１事例、調査未実施１事例）（表４）。

収量調査結果は、比較区を大幅に上回る多収事例２事例を含む多収事例が４事例、同等１事例、下回る事例が４事例であった（比較区無し１事例、調査未実施１事例）（表４）。

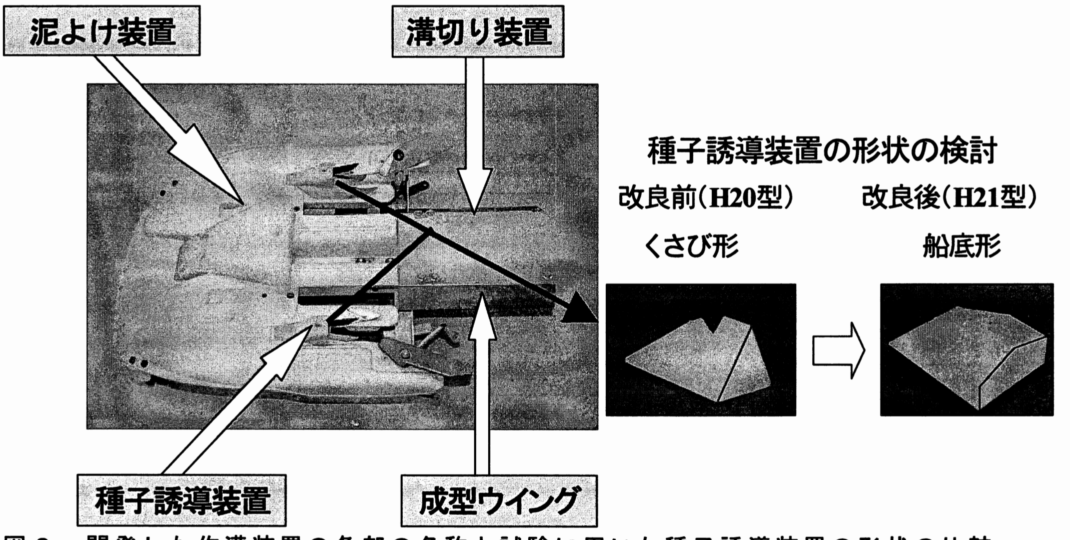
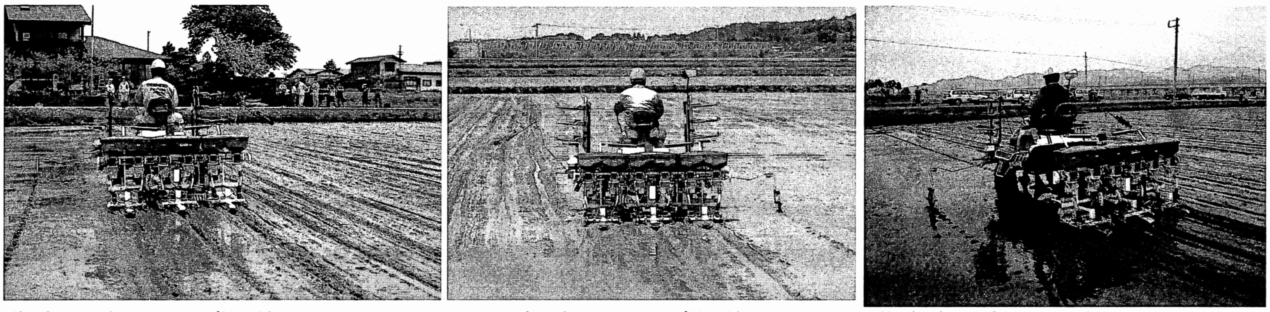


図２　開発した作溝装置の各部の名称と試験に用いた種子誘導装置の形状の比較



紫波町（H21.5.8撮影）　一関市（H21.5.18撮影）　花巻市石鳥谷町（H21.5.8）

図３　現地試験における播種状況

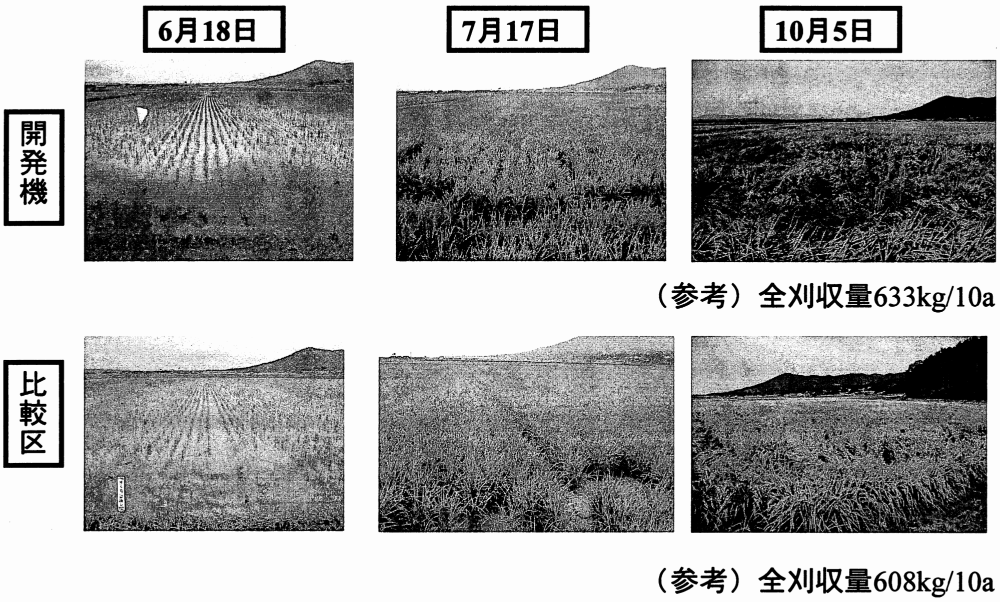


図４　一関市における生育経過（H21）

表２　H20型開発機とH21型開発機の播種精度の比較

区名（区画面積）	試験年次	播種月日	播種量 kg/10a	圃場条件 代かき後日数	圃場条件 土壌硬度 平均（最大～最小）cm	作溝状況 幅 平均 cm	作溝状況 深さ 平均 cm	播種精度（播種深） 0～10mmに播種された種籾の割合％	播種精度（播種深） 平均mm（変動係数）	出芽調査時の平均葉齢（変動係数）	苗立率（%）
H20型開発機	H22	5/12	4.1	5日	−1.0(0.5～−2.0)	14.8	5.2	29%	13.0(41.7%)	2.6(16.2%)	60%
H21型開発機								90%	7.0(38.8%)	2.8(12.6%)	63%

注1）開発機：開発した作溝同時直播装置を用いた区
注2）土壌硬度：ｺﾞﾙﾌﾎﾞｰﾙを1mの高さから垂直に落とした場合の貫入深
注3）播種精度（播種深）は稲体の白化長を計測したもの
注4）苗立率は50cm間の掘り取り調査による

表３　H21型開発機の現地適応性（作溝状況）

試験場所	区名	圃場条件		作溝状況	
		代かき後日数	土壌硬度 平均cm(最大～最小)	幅 平均(cm)	深さ 平均(cm)
紫波町	開発機	3日	-0.2(0.5～-1.0)	13.9	4.8
	(比較区)		―	8.7	3.2
金ヶ崎町	開発機	4日	1.1(1.5～0.5)	15.4	5.1
	(比較区)		―	9.9	4.5
一関市	開発機	3日	-2.3 (-1.0～-3.0)	17.5	6.3
	(比較区)			―	―
花巻市（石鳥谷町）	開発機	―	-0.5(±0～-1.5)	14.6	4.7
	(比較区)			―	―
北上市（江釣子）	開発機	―	0.3(1.5～-1.0)	16.2	4.6
	(比較区)		―	11.0	3.6
八幡平市	開発機	3日	1.2(2.5～±0.0)	16.0	5.2
	(比較区)			―	―
盛岡市（玉山区）	開発機	6日	0.5(1.5～-2.0)	15.7	5.1
	(比較区)	2日	―	―	―
久慈市	開発機	1日	-1.1(-2.0～±0)	未調査	
農業大学校	開発機	―	未調査	未調査	
秋田県農林水産技術センター	開発機	4日	未調査	未調査	
	(比較区)		未調査	未調査	
岩手農研センター	開発機	5日	-0.8(±0～-2.0)	18.1	6.8
	(比較区)			11.4	4.3

注1）土壌硬度:ｺﾞﾙﾌﾎﾞｰﾙを1mの高さから垂直に落とした場合の貫入深

表４　H21型開発機の播種精度（播種精度、苗立率、収量）

試験場所	区名	播種量 kg/10a	播種精度(播種深) 0～10mmに播種された	播種精度(播種深) 平均mm(変動係数)	出芽調査時の平均葉齢(変動係数)	苗立率(%)	精玄米収量 kg/10a	供試品種
紫波町	開発機	4.0	93%	7.2(41.5%)	3.3(9.8%)	76%	608	ヒメノモチ
	(比較区)	3.9	77%	7.8(48.1%)	3.1(15.5%)	73%	630	
金ヶ崎町	開発機	4.8	76%	6.3(92.5%)	2.3(25.1%)	81%	571	あきたこまち
	(比較区)	5.4	92%	4.2(82.7%)	2.3(19.2%)	82%	546	
一関市	開発機	4.4	90%	5.8(58.6%)	2.3(21.1%)	85%	689	どんぴしゃり
	(比較区)	5.0	96%	5.0(50.3%)	2.3(23.1%)	82%	633	
花巻市（石鳥谷町）	開発機	4.1	75%	8.7(40.1%)	2.1(19.2%)	98%	642	ひとめぼれ
	(比較区)	3.2	68%	9.2(45.6%)	2.1(20.5%)	92%	664	
北上市（江釣子）	開発機	4.9	89%	6.8(38.1%)	2.3(19.8%)	80%	671	ひとめぼれ
	(比較区)	5.3	84%	7.3(48.1%)	2.2(12.3%)	83%	586	
八幡平市	開発機	5.4	85%	6.8(46.5%)	1.7(20.2%)	49%	598	いわてっこ
	(比較区)	5.4	81%	7.1(62.5%)	1.7(22.5%)	53%	584	
盛岡市（玉山区）	開発機	5.2	73%	8.4(40.5%)	1.5(28.1%)	73%	601	あきたこまち
	(比較区)	(5.0)	80%	7.4(57.1%)	1.7(29.3%)	61%	602	
農業大学校	開発機	5.0	―	―	―	47%	438	あきたこまち
秋田県農林水産技術センター	開発機	4.2	―	8.1(43.0%)	3.8(10.3%)	58%	490	あきたこまち
	(比較区)	4.5	―	9.4(41.9%)	3.6(10.8%)	55%	534	
岩手農研センター	開発機	5.9	92%	6.5(44.7%)	2.9(12.1%)	77%	556	どんぴしゃり
	(比較区)	5.8	96%	5.8(45.8%)	2.8(14.2%)	75%	598	

注1）開発機：開発した作溝同時直播装置(H21年改良型)を用いた区
注2）比較区：従来播種機＋市販作溝機：DS2N(2本1組)を用いた区
注3）播種精度(播種深)は稲体の白化長を計測したもの
注4）苗立率は50cm間の掘り取り調査による
注5）久慈市現地ほ場は鳥害のため試験中止とした

4．まとめ

種子誘導装置を改良したことにより、一定の深さに均一に播種されることが確認できた。また、葉齢のバラツキが小さい傾向が見られたことから、H21型開発機は出芽が揃う効果が得られるものと思われた。

H21型開発機は岩手県内各地の様々な土壌タイプの水田において、市販作溝機（DS2N）を装着した従来播種機と比較すると、同等の播種精度を維持したまま、幅が広く深い排水溝を形成することができた。

参考文献

1）伊藤勝浩、及川一也、日影勝幸、鶴田正明,2008,水稲湛水直播機のフロートに装着できる作溝装置,平成20年度東北農業研究成果情報
2）伊藤勝浩、及川一也、日影勝幸、鶴田正明,2009水稲湛水直播機のフロートに装着する作溝装置の開発,農業機械学会東北支部報,No.56,5-8,2009
3）平成11年度試験成績書、岩手県農業研究センター農産部水田作研究室

産業用無人ヘリコプタを利用した飼料用トウモロコシ畑のセンシング(第１報)

田中 勝千*・中坪 あゆみ**・濱田 哲**・皆川 秀夫*・杉浦 俊弘*・嶋田　浩***

Remote Sensing for Maize (*Zea mays* L.) Field Using an Unmanned Helicopter (Part1)

Katusyuki TANAKA, Ayumi NAKATSUBO, Satoshi HAMADA, Hideo MINAGAWA,
Toshihiro SUGIURA, Hiroshi SHIMADA,

ABSTRACT

The goal of this study was to establish a monitoring system to support the production management of maize fields. The study examined a method of forecasting maize yield, feed quality, time required to acquire information on the field, and the platform used for remote sensing. Hyperspectral data of a maize field was acquired by flying an unmanned helicopter mounted with the hyperspectral imaging sensor; the helicopter also carried a digital camera (visible light region, near-infrared region), GPS, and a digital video camera. The digital camera and electronic camera platform could be operated remotely even while the unmanned helicopter was flying. However, the illuminance level and digital video camera of the hyperspectral sensor could not be operated remotely during a flight and so were operated when the helicopter landed. A supervisor instructs a main operator and a sub operator about the direction and distance to move the helicopter while checking the photo images. In addition, a photography supervisor and two operators can make telephone calls simultaneously. When using this sensing system, care is required for the intensity of illumination of the hyperspectral sensor, the power source of sensors, and the influence of wind on low-altitude flight. The developed sensing system satisfies these requirements and can gather sufficient information on cornfields.

[Keywords] remote sensing, unmanned helicopter, maize

1. はじめに

産業用無人ヘリコプタ(以下，無人ヘリ)によるセンシングは人工衛星やセスナ機に比べて天気の影響を受けにくく，また，トラクタベースと比較してセンシングに要する作業効率が高いことから栽培規模の大きい圃場を対象とした場合にメリットがある(野口 2003)。本研究では，飼料用トウモロコシ畑を対象に生産管理を支援するためのセンシングシステムを構築することを目的とし，リモートセンシングを用いた飼料作物の収量・飼料成分などの推定法，それらのセンシング適期，および，プラットホームについて検討している。本報では，ハイパースペクトルイメージングセンサ（以下ハイパースペクトルセンサ）とデジタルカメラを搭載した無人ヘリによるセンシングシステムの概要，センシング方法，および，一部取得したデータと圃場情報との関係について報告する。

2. 材料および方法

(1) 試験区の設置

青森県十和田市に位置する北里大学獣医学部附属フィールドサイエンスセンター十和田農場内のトウモロコシ畑を試験地とした。2008 年と 2009 年の二ヵ年にわたり，試験地内の南北方向にトラクタ走行用の 2.0m通路を挟み込むように 20a (200m×10m) の試験区を二区画 (A 区と B 区) を設けた。両

*北里大学獣医学部　，**北里大学大学院，***秋田県立大学

区とも小区(10m×10m, n=10)として除草区と無除草区を交互に配置した。いずれの区も有機栽培を想定しているので農薬は散布していないが，施肥条件は慣行法と同様とした。

(2) センシングシステム

図1に，センシングシステムの概要とセンシングに用いた機材を示す。センシングシステムは無人ヘリ (AYH−3) を移動局，無人ヘリからの画像を受信し，撮影位置を確認する基地局から構成されている。無人ヘリの機体の下腹部にはセンサ類を搭載する雲台を設けた。この雲台は，固定台と回転台から構成されており，回転台には，ハイパースペクトルセンサ (Specim, ImSpectorV10, 観測波長域 400−1,000nm, 波長分解能 10nm)，可視光域撮影用デジタルカメラ，近赤外光域を撮影できるように改造したデジタルカメラ(OLYMPUS, C-7070WZ)，および，撮影記録用デジタルビデオカメラ(Victor, GR-D650-S)が固定されている。一方，固定台には無線通信系の送受信アンテナや回転台駆動系の機器，飛行軌跡を記録するための GPS (MobileMapper CX)，さらにはハイパースペクトルセンサや無線通信系のバッテリーを取り付けられている。回転台はサーボモータを駆動することで，水平状態から鉛直下方に，ピッチ回りに 90° 回転できる。雲台操作と2台のデジタルカメラのシャッター操作には，プロポ(JR PROPO, NET-J40P)を利用しているが，ハイパースペクトルセンサの露光調整や記録保存用のビデオカメラは飛行中に遠隔操作できないため，機体の離着陸に合せて地上で直接操作した。基地局において，撮影統括者は無人ヘリから送られてきた撮影画像を確認しながらメインオペレータ（機体操縦者）とサブオペレータに無人ヘリの移動方向や距離を伝える。メインオペレータとサブオペレータは，互いに機体の動きを確認し合いながら無人ヘリを誘導している。なお，撮影統括者と二人のオペレータは同時通話ができる無線を利用している。

(3) 撮影準備と対空標識

図2に，デジタルカメラで撮影した圃場の様子を示す。試験地に設置した小区(10m×10m)を撮影した画像で判別するために，2 種類のランドマークを設置した。また，小区境を明確にするため小区間に約 1m 程度の裸地(通路)を設けた。画像から，ランドマークも小区の境界も確認できる。B区の右手には慣行法栽培のトウモロコシ畑が隣接している。

(4) 画像解析

ハイパースペクトルセンサで取得したデータの場合，撮影時の露光量の違いによる受光強度を補正するために正規化処理を施し，NDVI（正規化差分植生指数）画像を作成した（岡本ら 2006a, 2006b，鈴木ら 2007）。また，デジタルカメラで取得したデータについてはレンズの湾曲に伴う取得画像の変形を補正するために樽形補正を施した(嶋田ら 2006)。

3. 結果および考察

(1) 飛行軌跡と撮影高度

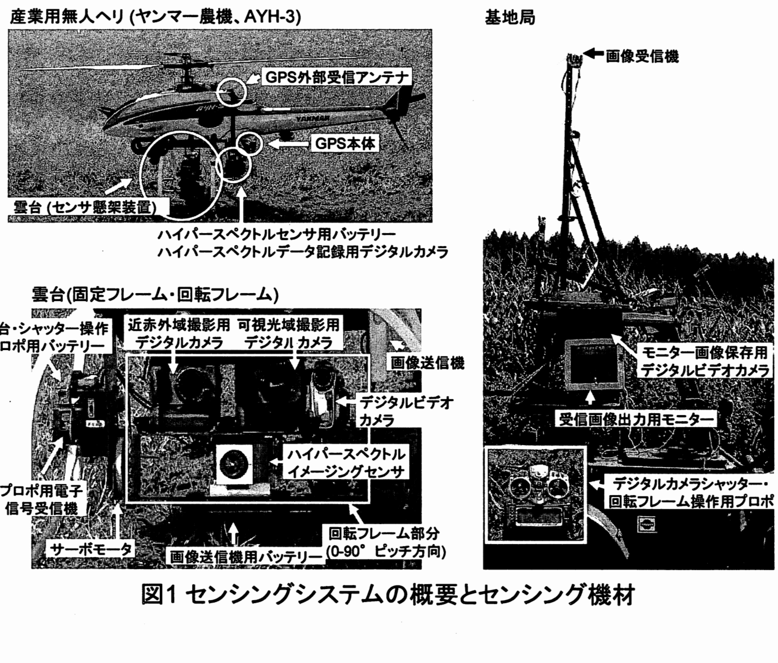


図1 センシングシステムの概要とセンシング機材

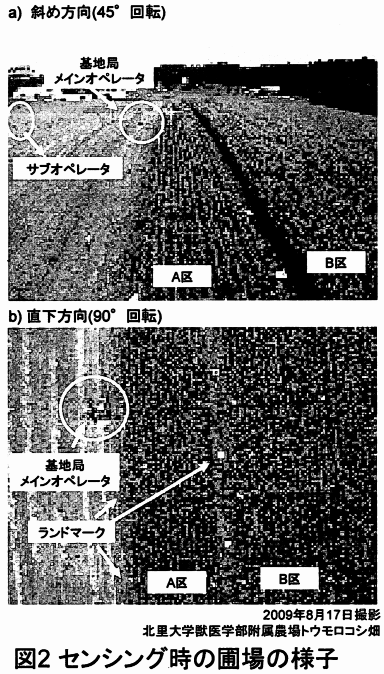


図2 センシング時の圃場の様子

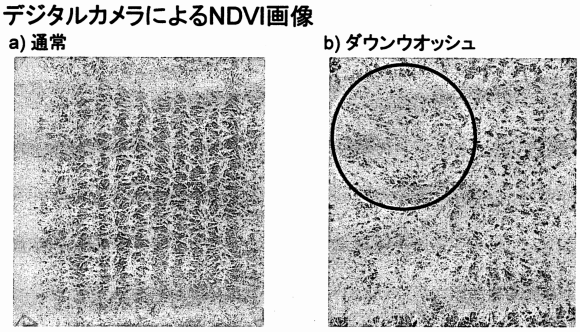


図6 デジタルカメラ撮影時の失敗例

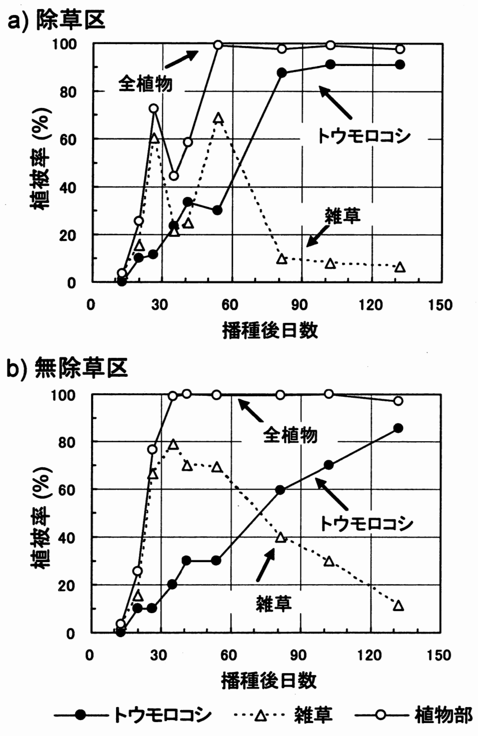


図7 草種ごとの植被率の推移

草の勢力が衰え，逆にトウモロコシの勢いが増すので，結果として収穫時期までほぼ100%の植被率を維持することになる。播種後81日を過ぎると，トウモロコシの植被率が高まり雑草と土壌の植被率に与える影響を最小限に抑えられるため，この時期以降のセンシングが有用であると考えられる。

4. まとめ

本研究で試作したセンシングシステムは，人工衛星やセスナ機ベースのものと比較して簡易的であるが，ランドマークの工夫，ハイパースペクトルイセンサの露光調整，及び飛行速度・高度の維持に配慮することでトウモロコシ畑を含め圃場情報の取得に利用できると考えられる。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（No. 19580303），私立大学経常費及びH20・21北里大学獣医学部特別研究費補助金（重点研究）の補助を受けた。また，本研究の遂行に当たって，ＪＡ十和田おいらせの杉山憲雄氏，杉山友也氏には無人ヘリによる空撮実験に多大なるご協力を頂いた。また，試験区の設定や収穫作業において獣医学部附属フィールドサイエンスセンター十和田農場職員のご支援を賜った。さらに，生物環境科学科環境情報学研究室の専攻生には実験期間をとおして惜しみない協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

1) 野口 伸 (2003):未来型軽労化農業技術確立のための基盤技術(3) －産業用無人ヘリコプタによる生育情報のセンシング技術－, 農業および園芸, 78 (12), 82-86

2) 岡本博史・酒井憲司・村田哲郎・片岡 崇・端 俊一 (2006a) :ハイパースペクトル画像による多目的解析に対応したオブジェクト指向ソフトウェアフレームワークの構築, 農業情報研究, 15 (2), 103-112

3) 岡本博史・酒井憲司・村田哲郎・片岡 崇・端 俊一 (2006b):ハイパースペクトル画像解析フレームワークを利用したリモートセンシングソフトウェアの開発, 農業情報研究, 15 (3), 219-230

4) 鈴木由美子・田中勝千・加藤 亘・岡本博史・片岡 崇・端 俊一・嶋田 浩・杉浦俊弘・嶋 栄吉 (2007) :牧草成分の推定システムの開発－ハイパースペクトルイメージングセンサを利用した牧草成分の推定－, 農業機械学会誌, 69 (5), 43-51

5) 嶋田 浩・嶋 栄吉・田中勝千・永吉武志・吉野邦彦・服部俊宏・加藤 亘・渡辺一哉 (2006)： デジカメとラジコンヘリによる圃場地理情報のモニタリング, 農土誌, 74 (11), 969-972

図３に飛行軌跡の例を，図４に飛行高度と撮影した画像の例を示す。水田での防除作業と異なり，草高の大きいトウモロコシ畑では操縦者の見通しが利かない。しかし，無線を利用した三者間の連携により，無人ヘリはA区，B 区とも試験区内を飛んでいることがわかる。一方，飛行高度を見ると，試験区の始点と終点では７mの高低差がみられる。デジタルカメラの可視画像及びハイパースペクトルセンサによるNDVI 画像から，７mの高度差があると東西方向の空間距離の精度が半分近くに劣ることから，測定精度を高めるためには飛行高度の維持にも注意が必要である。無人ヘリの飛行時間は安全を見込んで 15 分を目安としている。ハイパースペクトルセンサによる測定の場合，A 区とB区の撮影に要した飛行経過時間は４分半であった。したがって，圃場面積が大きくても効率よく計測できる。

(2) センシングの失敗事例

図５にハイパースペクトル画像取得時の失敗事例（近赤外画像）を示す。図５のａ）の近赤外画像では，小区間よって撮影幅と撮影長さに大差が見られず，交互に配置した除草区と無除草区も明瞭に観察できる。しかし，ｂ）の近赤外画像では試験区の四隅に配置したランドマークをもってしても，このままでは小区を識別することは難しい。ｃ）の近赤外画像では，露光量が多いために受光強度が飽和している。現在のところ離着陸時に露光量を調整している。そのため，晴天時でも雲量が多く上空の風速が大きいと，頻繁に太陽が見え隠れするので露光調整が難しい。むしろ，曇天の方が露光調整は容易である。

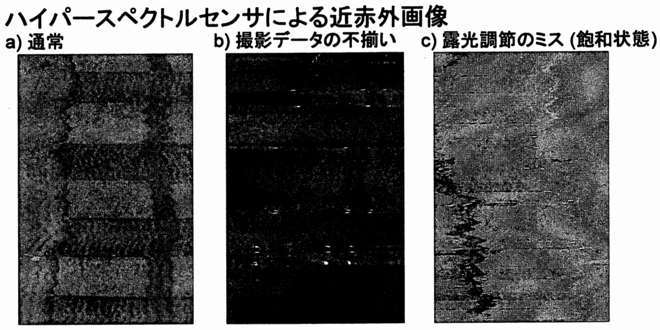


図5　ハイパースペクトル画像取得時の失敗例

図６にデジタルカメラでの撮影時の失敗事例を示す。ヘリコプタのローターは飛ぶために下方へ風を作り出しており，この風のことをダウンウオッシュ（Down wash）と呼んでいる。小区が画面一杯に収まるような低空飛行やホバリング時には，このダウンウオッシュによってトウモロコシの揺らぎが観察された。そのため，NDVI 値を比較すると本来の状態を示す画像 a）と，ダウンウオッシュの影響がある画像 b）とでは異なる結果となる。高高度の撮影の場合，撮影時の上空の風速にもよるがダウンウオッシュが生じることは少ない。

(3) 圃場情報とセンシング時期について

図７に，植被率と草種構成の推移を示す。除草区，無除草区ともに播種後 30 日以前までは植被率の推移に大差はみられない。除草区の全植物の植被率が播種後 35 日に低下したのは，除草処理によって裸地の面積が増えたことによる。一方，無除草区は同時期にほぼ 100%の植被率となっている。その後，播種後 55 日を過ぎると，両区とも雑

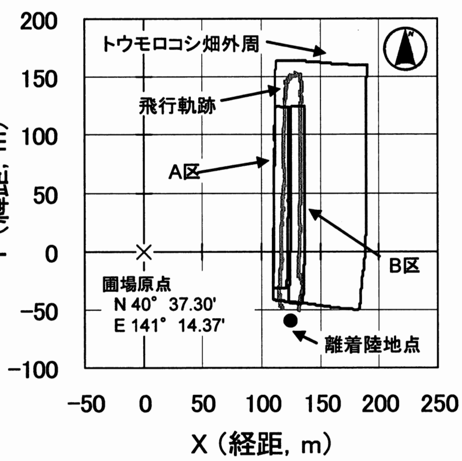


図3 飛行軌跡の例

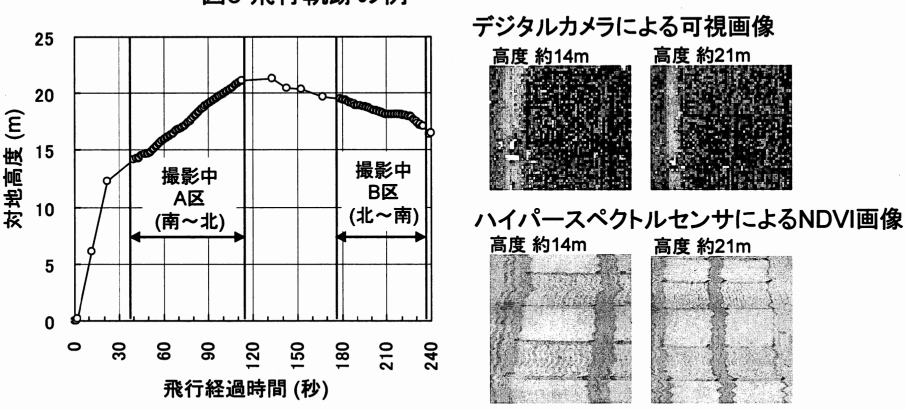


図4 飛行高度と撮影画像の例

December, 2010

TOHOKU BRANCH REPORT
OF
THE JAPANESE SOCIETY OF AGRICULTURAL MACHINERY

CONTENTS

TOHOKU BRANCH OF THE JAPANESE SOCIETY OF AGRICULTURAL MACHINERY
c/o Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University
3 Bunkyo-cho, Hirosaki, Aomori 036-8561, JAPAN