

農業機械学会東北支部報

No. 56 DEC. 2009

平成21年12月

目 次

研究報告

- ・水田管理作業に適したマーカーの開発 ······ 朽木靖之・高橋 誠・松葉隆幸 ··· 1
- ・水稻湛水直播機のフロートに装着する作溝装置の開発 ······ 伊藤勝浩・及川一也・日影勝幸・鶴田正明 ··· 5
- ・消雪後の固結土壤条件下における水稻不耕起V溝直播（第3報）··· 野沢智裕 ··· 9
- ・寒冷地北部における水稻不耕起V溝直播の現地実証 ······ 野沢智裕・横山裕正 ··· 13
- ・ハイパースペクトル画像解析による採草地空間情報マッピングシステム
··· 鈴木由美子・岡本博史・田中勝千・皆川秀夫・片岡 崇・柴田洋一 ··· 17
- ・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）
··· 中坪あゆみ・田中勝千・杉浦俊弘・皆川秀夫・嶋 栄吉・嶋 田浩 ··· 21
- ・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2報）
··· 中坪あゆみ・田中勝千・杉浦俊弘・皆川秀夫・嶋 栄吉・嶋田 浩 ··· 25
- ・牧草の水分と分光反射特性との関係（第1報）
··· 田中勝千・高石義之・皆川秀夫・杉浦俊弘・嶋 栄吉・中坪あゆみ・嶋田 浩 ··· 29
- ・牧草の水分と分光反射特性との関係（第2報）
··· 高石義之・田中勝千・皆川秀夫・杉浦俊弘・嶋田 浩・嶋 栄吉・中坪あゆみ ··· 33
- ・微弱発光分光による農産物の品質測定の可能性 ······ 松野 航・夏賀元康・石井 浩 ··· 37
- ・水稻湛水直播栽培におけるいもち病防除剤の播種同時側条施用技術
··· 進藤勇人・藤井直哉・若松一幸・深谷富夫・片平光彦 ··· 41
- ・バイオディーゼル燃料がトラクタの機関と燃料消費に与える影響
··· 片平光彦・進藤勇人・関口一樹・佐々木景司・藤村辰夫・田口淳一 ··· 45
- ・ロータリ耕とチゼル耕を組み合わせた構造化耕耘同時播種作業技術の開発
··· 天羽弘一・大谷隆二・瀧谷幸憲・中山壯一 ··· 49

トピックス

- [シンポジウム・現地見学会報告] ······ 53
- [地域の話題]
・福島県における遊休農地解消の取り組み ······ 57
- ・地域の特産物生産と農商工連携 ······ 59
- [若手の会活動の報告] ······ 60

支部会記事

- 庶務報告及び会計報告 ······ 62
- 平成21年度研究発表会発表課題 ······ 68
- 東北支部役員及び役員体制 ······ 70
- 農業機械学会東北支部規約・表彰規定と内規・役員選挙規定・投稿規定 ······ 71
- 東北地域農業機械関係の研究担当者名簿** ······ 75
- 団体賛助会員名簿・個人会員名簿** ······ 80

水田管理作業に適したマーカーの開発

—円滑な旋回操作のための支援技術—

朽木靖之*・高橋誠*・松葉隆幸*

Development of the Mark Setting Equipment Suitable for Management of Paddy Field

—Assistive Technology for Smooth Turning Operation—

Yasuyuki KUCHIKI*, Makoto TAKAHASHI*, Takayuki MATSUBA*

Abstract

The mark setting equipment (MSE) attached to a riding type crop management vehicle which supports turning operation in paddy field was developed.

The efficiency of weeding using the MSE was lower, but the accuracy of weeding was higher than the usual weeding, because the center of next stroke could be found easily by setting of mark.

The MSE will be also useful for the operations under bad conditions such as rainy weather, early morning and evening.

[Keywords] paddy field, management, turning, mark

1. はじめに

水稻の有機栽培、特別栽培では農薬の使用が制限されているため、雑草防除では、人力での除草や水田除草機を用いた機械除草といった物理的除草法、代かき回数や深水管理といった耕種的除草法が行われている。

機械除草による除草作用は、土壤表面の攪拌により、発生初期の雑草を除去すること、及び混濁水の遮光効果により抑草することである。

一方、混濁水は作業範囲以上に拡散するため、オペレータから見た除草処理前後の境界が不明瞭となる。これに条合わせのための条数カウントの煩雑さが加って旋回作業の遅延を招くとともに、未処理行程の発生につながり、除草効果低減の原因となる。

これらの問題の解決策の一つとして、旋回操作の目標となる目印をつける（マーキング）手法が考えられる。水稻栽培では田植え時のマーキングが一般的な技術として定着している。田植え用のラインマーカーはハンドル付近にあるレバー操作で移植作業と同時に、次行程中心位置にマーキングできるもので、棒状の線引きマーカーや、車輪の回転により車輪ラグが少量の表土を掘り返してほ場にラグ跡を残す車輪型マーカーがある（図1）。後者の方程式は表面に水が残る状態でも使用可能であり、落水のできないほ場で有効であるものの、混濁した状態で

の境界識別が困難となる。

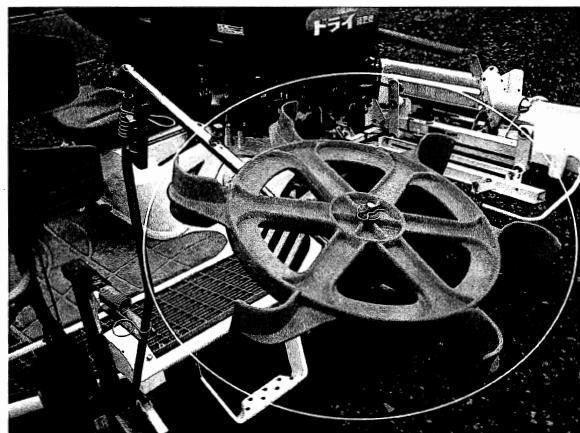


図1 車輪式ラインマーカー

また、マーカーを使用しない手法として、地磁気方位センサ等で作業機位置精度を高めて直進性を確保する自動直進田植機が実用化に向けて研究されており（松尾ら, 2002），走行中の苗補給や旋回作業時の負担を軽減することができるものの、未だ実用化には至らず、現場への導入は進んでいない。

そこで、筆者らは水田ほ場内に水稻草丈より高く、運転席からも識別できる目印を設置することにより、旋回作業を円滑に行う方式を検討してきた。

ここでは、オペレータが円滑に旋回操作しやすいマークの開発について報告する。

2. 材料及び方法

(1) マーカー機構の開発

前述の問題点を踏まえ、開発目標を以下のとおりとし、農業総合センター内にて試作した。研究期間は平成18年から20年までの3年間であった。

- ① 立毛中の繁茂した稻や灌水条件下でも運転席から識別できる目印を作成する機構とする。
- ② 現行の乗用型管理機に容易に装着でき、従来の作業に支障ない機構とする。
- ③ 誰でも容易に操作できるものとする。
- ④ 製造原価を低廉なものとし、農業者でも自作可能なものをとする。

なお、供試車両は水田除草に使用されている多目的田植機（クボタ SPU650-K）とその除草部（クボタ SJ-6K）とした。供試車両の諸元を表1に示す。

表1 供試車両諸元

車両型式	SPU650-K
全長 (mm)	2,370 (3,025)
全幅 (mm)	2,215 (2,215)
全高 (mm)	1,695 (1,695)
機体質量 (kg)	465 (590)
排気量 (L)	ガソリン 0.404
出力 (kW)	7.7
車輪径 (mm)	前: 650, 後: 900
輪距 (mm)	前: 1,160, 後: 1,200
除草部型式	SJ-6K
条数 (条)	6
除草方法	ロータでの攪拌・ツースでの搖動

※括弧内は除草部装着時の値

(2) 性能試験

上述の管理機にて水田の除草作業を行い、その作業性能を調査した。

性能試験は平成20年7月10日、7月17日に、農業総合センター内水田ほ場（面積：7a、品種：まいひめ、移植日：5月2日、条間：30cm、株間：19cm）にて実施した。

測定項目及び方法は、除草作業をビデオカメラにて撮影し、後日タイムスタディにて作業能率を求めた。また、同時に作業速度、除草中に設置した目印の土中貫入深、傾斜角と位置について測定し、作業精度を求めた。この時の水深、1m下げる貫入深等の作業環境、草丈、茎数など作物性状も併せて測定した。

また、オペレータ（男性55才、農業従事歴30年）に

は、操作を円滑に行えるよう、試験前に習熟操作練習を行った。

(3) 製造原価の算出

試作機の寸法、材質、加工方法及び購入品価格を基に、県内鉄工業社にて、試作機の製作費用を積算した。

3. 試験結果及び考察

(1) マーカーの構造

ほ場内に識別性の高い目印を設置できる機構を有したマーカーを作製した。マーカー装着時の除草作業風景を図2に、マーカー仕様を表2に示す。

マーカーの構成は、機体前方と機体側方に回動できるアームとアームを支えるフレーム、おもりの付いた目印、目印を巻き取る電動リールである。

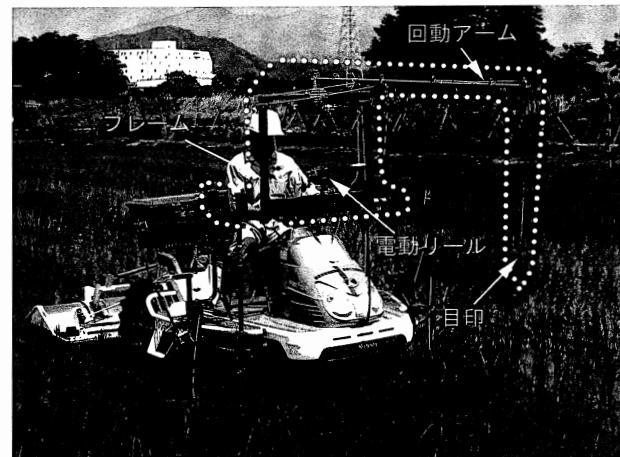


図2 除草作業風景（破線内はマーカー）

表2 マーカー仕様

フレーム全長 (mm)	350
フレーム全幅 (mm)	1,190
フレーム全高 (mm)	580
アーム全長 (mm)	1,840
アーム回動角 (rad[°])	3.14 [180]
最大巻き取りトルク (N·m)	0.37
ライン長さ (m)	200
目印全長 (mm)	800
目印質量 (g)	222
目印尖端角 (rad[°])	0.37 [21]
全質量 (kg)	22.82

フレーム取り付け位置は、多目的田植機のハンドル側方にある予備苗載せ台の一部を取り外し、残りの支柱部分にボルトで固定した。標準搭載の苗載せ台に替えて固定するため、前方の視界も確保され、安全に作業できた。

アームはフレーム上方中心部に接続し、作業幅と同等の長さのものを使用した。また、アームに繋がれたグリ

ップ付きロープをハンドル側方に配置し、この操作で回動するようにした。また、フレームとの接続部にアーム回り止めがあり、この解除操作を左足下のペダルで行うことができる。

目印は、鉄鋼製の紡錘状錐にFPR製フレキシブルポールを接着し、ポリプロピレン製道糸（以下、ライン）をつなぐための金具を付けたものである。フレキシブルポール先端に外力を加えると容易に変形し、土壤中に貫入した錐の姿勢に影響を与えていため、耐倒伏性の高い形状であった。

電動リールは構造、操作部位ともに最もシンプルなものを使用しており、釣り具販売店で購入できる。また、防水仕様のため扱いやすく、ラインが濡れても問題ない。この電源はDC12Vで、管理機のバッテリより取り出した。

目印と電動リールはラインで繋がっており、リール側にあるスプールを回転させることによって、目印を降下、回収することができる。

（2）操作方法

マーキング手順を図3に示す。試作したマーカーの作動方法は以下のとおりである。

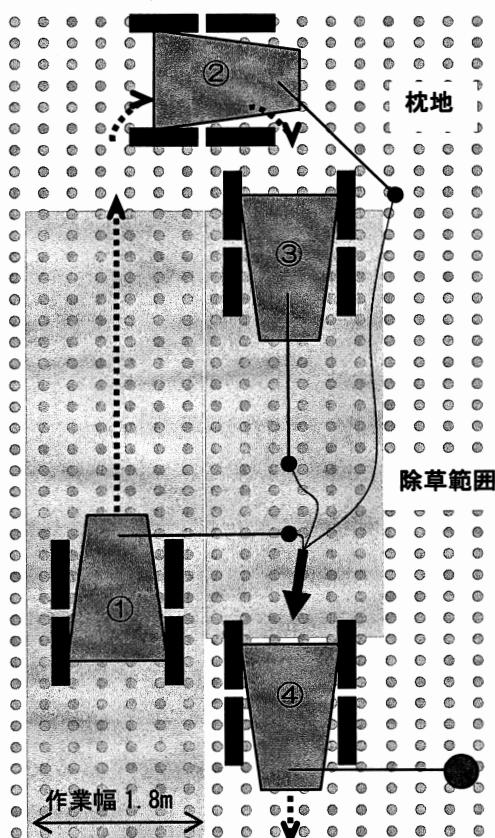


図3 マーキング手順

- ①目印降下、②アーム回動、③目印回収、
- ④アーム回動 ※斜め太矢印は目印の降下位置

①旋回開始位置までに、次行程の中心となる条間に目印を設置する。
(ハンドル前方にある電動リールのクラッチレバーを操作し、目印を降下する)

②旋回作業中にアームを回動する。
(ハンドル左下方にあるペダルを操作し、アーム先端を機体中央に移動する)

③目印を回収する。
(ハンドル前方にある電動リールのパワーレバーを操作し、目印を巻き取る)

④アームを次行程の中心となる条間に合わせるために、回動する。
(ハンドル側方にありますグリップ付きロープを操作し、アーム先端を次行程方向へ移動する)

以後、①から④までの工程を旋回時に繰り返し行う。
なお、目印降下位置は旋回時に識別しやすい位置（畦畔より5m程度が目安）が望ましい。

（3）マーカー利用時の作業性能

水田内の目印降下位置を図4に、除草時のほ場条件を表3に、除草作業性能を表4に示す。

ほ場内に設置された目印は、混濁した水面上でも明瞭に識別できた。また、50cm程度まで生育した稲株間でも目印先端が突出しているため、容易に識別できた。このため、条数を数えることもなく、旋回時に目印を見落とすことなく、目印のある条間に機体中心を合わせることができた。

目印の降下位置は、降下前に比べ、横方向に7~8cm振っていたものの、いずれも目標とする条間に降下していたため、利用上問題はなかった。



図4 水田内の目印降下位置

表3 除草時のほ場条件

項目	試験日	
	'08/7/10	'08/7/17
天候	曇	晴
風	弱	弱
移植後日数(日)	43	50
草丈(cm)	41	49
茎数(本/m ²)	322	325
水深(cm)	6	5
1m 下げ振り貫入深(cm)	5	5
車輪沈下量(cm)	23	20

表4 除草作業性能

項目	試験日	
	'08/7/10	'08/7/17
作業速度(m/s)	0.46	0.49
目印降下高(cm)	96	99
引抜抵抗(N)	5.9	7.8
目印貫入深(cm)	16	13
目印傾斜角(rad[°])	1.45[83]	1.15[66]
降下位置変位量(cm)	8	7
ほ場作業量(a/h)	18.2(18.6)	21.6(31.2)

※丸括弧内はマーカーなしの従来作業時の値

マーカーでの除草作業能率は、従来作業時（マーカー未装着時）に比べ、同程度以下の能率を示した。これは、従来と比べ、目印設置及び回収作業に要する手動操作時間が増大したこと、および旋回前後に操作が集中したことによる遅延のためと推察された。しかし、オペレータの機械操作方法への順応やセンシング・自動化技術の導入により、上記作業時間が短縮され、作業能率が向上する可能性があると推察された。

(4) マーカー製作費用

マーカー製造原価を表5に、マーカーの構成部品を図5に示す。試作機の製作費用は材料費、加工費を含めて約137千円と算出された。安価であるため、管理機のオプションとしても十分導入可能と考える。

表5 マーカー製造原価

項目	金額(円)	備考
材料費	51,681	鋼材、電動リール等
加工費	78,750	金属加工、溶接等
諸経費	6,300	
計	136,731	



図5 マーカーの構成部品

また、このマーカーは構造がシンプルなため、溶接等の加工技術をもつ農業者であれば自作可能である。この時は材料費のみの約52千円となる。

4.まとめ

水田ほ場内に目印を設置するマーカーを開発した。これを使用した場合の作業能率は、従来作業に比べ低下するものの、目印設置精度は高く、視認性も良好なため、実用的であった。

本マーカーは今回実施した水田の除草作業のほかに、追肥作業、防除作業への適用も可能と考えられ、導入による散布むらの低減が期待できる。

さらに、このマーカーを利用すれば、薄暗い早朝、夕方、雨天時、水面が眩しい晴天時のような悪条件下でも作業しやすくなるため、作業可能面積の拡大に繋がる。また、オペレータ自らが作業内容に応じて目印の色、形状等を変更することにより、より識別しやすいものとなり、自身への作業負担を軽減できると考える。

参考文献

松尾陽介、濱田安之、津賀幸之助、山本聰史、行本修、後藤克典：農用車両用自動直進装置（第2報），第61回農業機械学会年次大会講演要旨，309-310，2002

水稻湛水直播機のフロートに装着する作溝装置の開発

伊藤勝浩*・及川一也*・日影勝幸*・鶴田正明**

Equipment for Drain of Direct Sowing in Rice Cultivation

Katsuhiro ITOH,Kazuya OIKAWA,Katsuyuki HIKAGE,Masaaki TSURUTA

【キーワード】落水出芽、湛水条播、導水溝

1. はじめに

水稻湛水直播栽培では、播種直後から落水して田面を乾かし、酸素を与える事で出芽を促す「落水出芽法」が行われている。しかし水田ほ場の周辺や凹部では田面が十分に乾かず、出芽ムラや欠株が発生するため、収量が安定しないことが課題となっている。このため、導水溝を設置する作溝器が市販されているが、従来の作溝器は溝が浅く、溝の縁に土盛ができ、また溝の本数も少ないとなどにより、十分な排水が行えなかった。また、取り付け位置が播種機の後方に張り出していることから畦際の旋回時の作業性に支障をきたすことであった。

そこで、播種と同時に十分な幅と深さの導水溝を形成し、均一な排水及び入水ができる、作業性も良い新たな作溝装置を開発したので報告する。

2. 試験方法

試験 1 開発した装置の作用の検討

(1) 試験場所 岩手県農業研究センター内水田ほ場
(土性：淡色多湿黒ボク土)

(2) 代かき日 平成20年9月1日

(3) 試験日 平成20年9月25日

(4) 供試機 本機：K社多目的田植機 SPU-650K
作業機：直播播種機 DS-8UK (6条)
DS-8UK (8条)

(5) 試験内容 直播ユニットのフロート底部に表1に示した作溝部品を装着して走行試験を実施し作溝状態の比較を行った。なお市販の作溝器MVP60を対照とした。

表1 試験1における試験区の構成

区No.	区名（装置の装着状況）	泥よけ装置	溝切り装置	成型ウイング
1	泥よけ	○	×	×
2	溝切り	×	○	×
3	泥よけ+溝切り	○	○	×
4	泥よけ+溝切り+成型ウイング	○	○	○
5	(対照区) 従来機MVP60*	×	○	×

○：有り
×：無し

*特開2008-109901に準じた市販装置 MVP60 (図3)
溝切り装置の長さ40cm、幅10cm、高さ20cm

3. 試験結果及び考察

(1) 作溝装置の構成及び特徴

多目的田植機の直播用フロートの底部に、簡便に装着できる、泥よけ装置、溝切り装置、成型ウイング、種子誘導装置の部品からなる作溝装置を開発した(図1、2)。装置の材質は、泥よけ装置、溝切り装置、種子誘導装置はPP(ポリプロピレン樹脂)製で、成型ウイングはステンレス製である。本機を装着し作業することにより、播種と同時に播種列の近傍7~10cmの位置に、幅10~15cm、深さ4~8cm程度のV字状の導水溝を、播種列2本に対し溝1本の割合で形成することができる。(図3、4)

(2) 開発した装置の作用の検討

試験1においてフロートアームに取り付けるタイプの従来機MVP60(図5)により形成された溝は幅6.4cm、深さ3.9cmであり、溝の縁に3.0cmの土盛りが形成された(図6)。また、走行時に田面の泥水の流れが影響し、装置が上下するため溝の大きさが揃わなかった(表2)。

これに対し今回開発した作溝装置は、作られた溝の幅、深さとも広く深かった。また、土盛も形成されにくかった。泥よけ装置+溝切り装置+成型ウイングにより形成された溝の断面積は41cm²であり、対照器に比較し164%であった。また、播種条に対する溝の本数が2~3倍となることから排水性能が増すことが期待できる。(表2)

導水溝の形成過程は、フロートの田面への押しつけ

作用を生かし、まず始めに泥よけ装置が土盛を生ぜずに矩形の溝を切り、その後ろに作用する溝切り装置が矩形の溝をV字状に押し広げ、成形ウイングが溝の法面を整え、泥の戻りを防ぐ作用の組み合わせになり、従来機に比較し幅が広く深い溝が形成される(図3、表2)。

(3) 作溝同時直播機の作業性及び水稻の生育状況について

試験2において、作溝同時直播機の作業速度は0.4~0.58m/s程度で、実作業時間は10a当たり12~18分で、対照区と同等であった(表3)。ただし1.0m/s程度の速度においても播種可能であるかどうか播種精度や覆土状態を考慮しながら、更に検討する必要がある。播種深さは平均で0.77~0.95cmの範囲で、対照機に比較して同程度か、やや深くなった。また、開発機は種子誘導装置の形状等に起因し、出芽深のバラツキが従来機に比較して大きくなる傾向があることから、種子誘導装置の形状について更に改良が必要であると思われた。

作溝による、ほ場への入水については、慣行に比較し、短い時間で行うことが可能であった。排水についても、枕地や凹地の滞水の発生を解消することが可能で、結果的に坪状の苗立ち不良箇所の発生がほとんど見られなかった。(図7)

苗立率は岩手農研センター内ほ場において、開発区が従来区を上回ったが、収量はほぼ同等であった。

(図8、9)

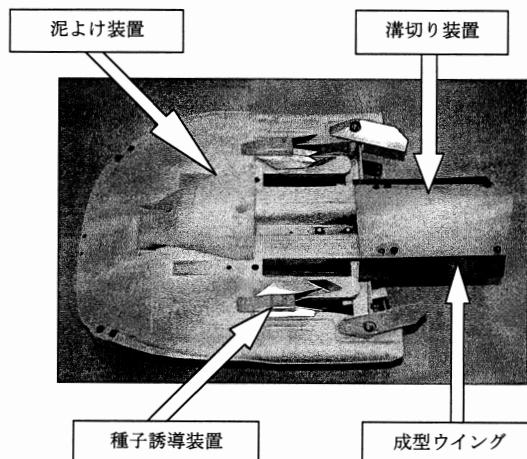


図1 開発した作溝装置のフロート底部への取り付け状況

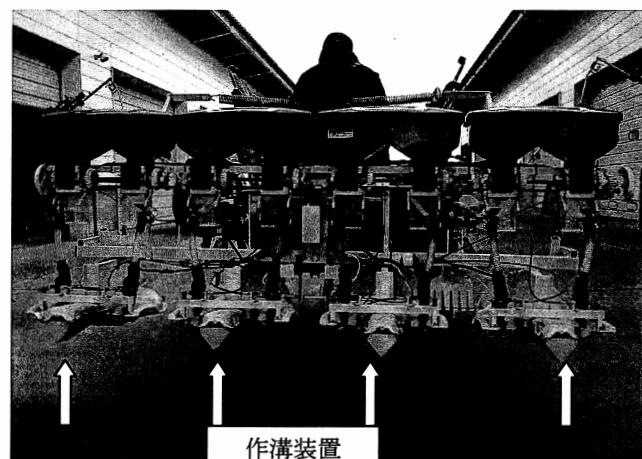


図2 開発した作溝装置を湛水土中直播機に取り付けた状態

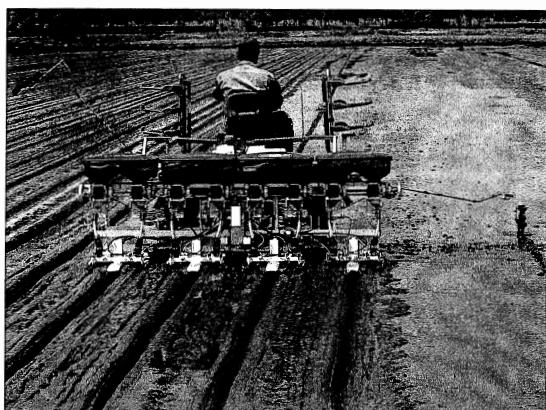


図3 作溝同時直播作業における作溝状態
(8条播種機) H20.5.1

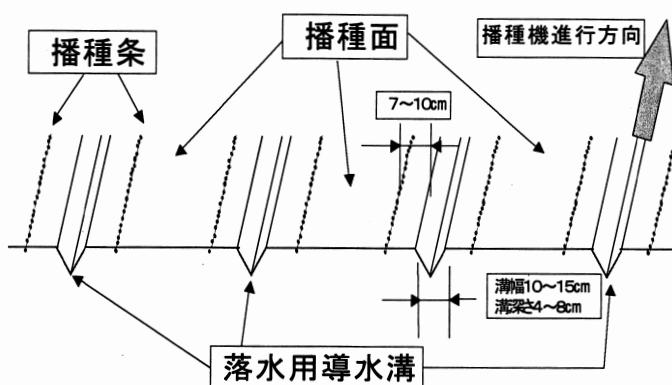


図4 播種時の播種条と落水用導水溝の位置関係



図5 従来機（溝切器MPV60）の取り付け状況



図6 従来機（溝切器MPV60）による作溝作業の状態
(播種6条に2台の溝切器を装着)

表2 各試験区の作溝状態（試験1）

区No.	区名	作溝状態 (cm 平均値)			播種 条数	溝 本数	導排水溝の 断面積 (cm ²)
		最大幅	深さ	土盛高さ			
1	泥よけ	8.1	2.6	0.2	8	4	41.0 (164%)※
2	溝切り	8.4	4.4	2.2			
3	泥よけ+溝切り	9.3	4.8	0.6			
4	泥よけ+溝切り+成型ウイング	12.8 (200%)※	6.4 (164%)※	0.8			
5	(対照区)従来機(MPV60)	6.4	3.9	3.0	6	2	25.0

※は対照区対比値

表3 播種時の圃場条件及び実作業時間（試験2）

試験場所 (区画)	区名	供試品種	播種 月日	圃場条件		実作業 時間 (分/10a)
				代かき後 日数	土壤 硬度 (cm)	
①岩手農研 (10a)	- 開発区 溝なし	ひとめぼれ	5/12	5日	0.7	-
②岩手農研 (1ha)	- 開発区 対照区	どんぴしゃり	5/1	3日	-0.2	17.9 -
③岩手農研 (3ha)	開発区	どんぴしゃり	5/13	5日	-	12.1
④金ヶ崎 (30a)	- 開発区 対照区	あきたこまち	5/12	3日	0.3	-
⑤北上 (25a)	開発区	どんぴしゃり	5/7	2日	0.2	15.0

開発区:開発した新作溝装置を装着、対照区:市販作溝器を装着
土壤硬度はゴルフボールを1mの高さから落下させた時の貫入深の平均値

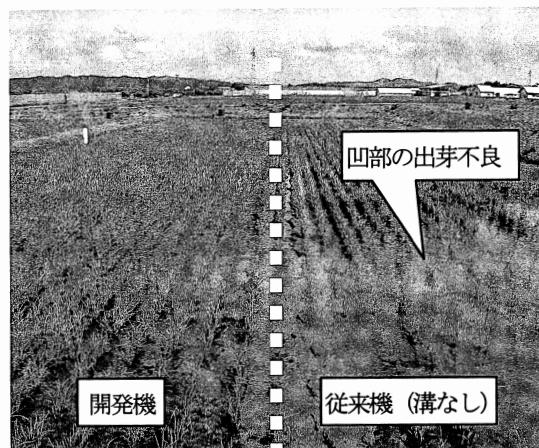


図7 凹部の苗立ち状況の比較
H20.6.30岩手農研内10a区画No.85号ほ場

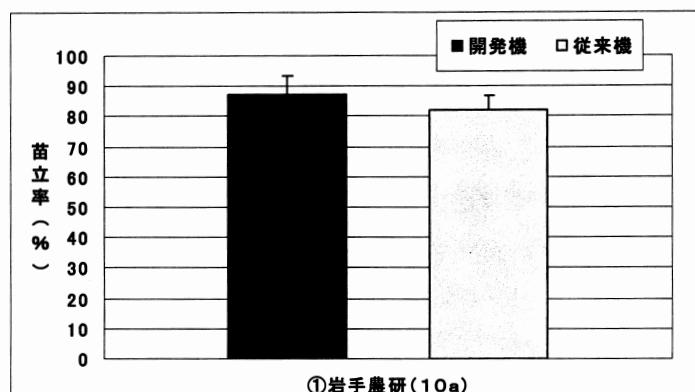


図8 実規模試験における苗立率の比較

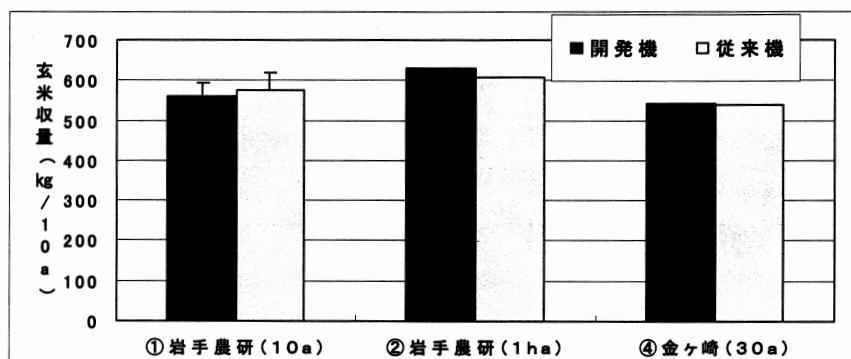


図9 実規模試験における収量の比較

4. まとめ

水稻湛水直播機のフロートに装着する作溝装置（特願2008-304112：水田作業機の排水溝形成装置）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となる。導水溝1本当たりの断面積は市販の作溝器に比較し1.6倍で、播種条に対する溝の本数も2～3倍となることから、排水性能が増すことが期待される。この作溝装置により、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

定した。しかし、播種深のバラツキがやや大きくなることから種子誘導装置には、微調整を加える必要がある。

参考文献等

伊藤勝浩、及川一也、日影勝幸、鶴田正明、2008、水稻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

消雪後の固結土壤条件下における水稻不耕起V溝直播（第3報）

—連作水田での播種精度と収量性—

野沢智裕

Development of the V-furrow Direct Seeding on the Solid Soil Condition being after Thaw Period

Part 3: Accuracy of Seeding and Yielding ability in the Continuous Cropping Rice Field

Tomohiro NOZAWA

[キーワード] 水稻、乾田直播、不耕起V溝直播、連作水田、播種精度、収量

1 はじめに

水稻不耕起V溝直播には、従来の直播栽培の問題点を克服しつつより低コストな稻作を実現できる可能性がある。但し、基本的には冬季代かき後に乾燥固結した土壤条件での播種を前提にしているため、冬季に積雪のある青森県では利水条件や気象的な制約により播種前の代かきが困難な場合が多い。

第1報、第2報では、大豆跡地の土壤が消雪後に乾燥して固結する性質を利用した水稻不耕起V溝直播について報告した。本報では、大豆跡復元田に比べると固結程度が劣るもの、連作水田土壤でも秋耕後の冬期間に土塊崩壊を伴って収縮し、消雪後に乾燥して固結する性質があるので、これを用いた水稻不耕起V溝直播の播種精度と収量性を検討したので報告する。

2 方法

(1) 供試機械及び調整

不耕起V溝直播機（S社製AD-100、条間20cm、10条）を供試機とし、40.5kW（55馬力）ホイルトラクタ（Y社製AF655）に装着して播種を行った。

本来、不耕起V溝直播機は分銅付きの覆土チェーンにより、播種溝の上縁を崩して軽微な覆土を行う構造になっているが、本試験では作用させずに播種した。これは、作溝輪により蹴り上げられた土壤が、種糲を露出させない程度の覆土となっていたためである。

(2) 試験場所

青森県農林総合研究センター内（黒石市田中）の試験圃場（中粗粒灰色低地土）で行った。

(3) 試験条件

①播種精度試験

前年、水稻収穫後に1回のロータリ耕で整地（稻わらすき込みの秋耕）を行った連作水田を供試し、消雪後は不耕起状態のまま2008年4月21日に播種を行った。

試験区は播種作業速度の異なる3区を設置した。播種作業速度は、概ね3km/h、4km/h、5km/hとした。出芽数及び出芽率の調査は、播種条10条のうち進行方向に向かって右から1条目を「端条」、3条目を「中間条」、5条目を「中央条」として条毎に行った（図1）。

水稻は中生品種「つがるロマン」を用い、浸種した種糲に種子消毒剤キヒゲンR-2フロアブルを塗沫処理して播種した。播種量は乾糲相当で1kg/aとした。施肥は窒素のみ被覆尿素を用いて播種同時施用し、施肥窒素量は成分0.8kg/aとした。除草剤は湛水管管理前にクリンチ

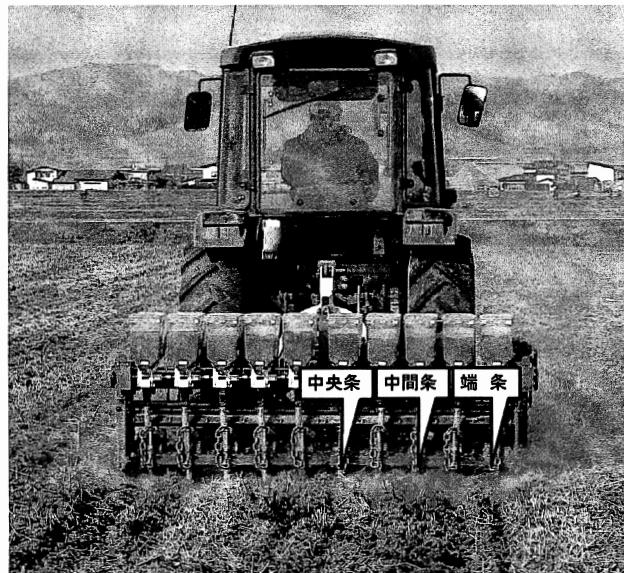


図1 播種状況と播種精度の調査条

ヤーバスME液剤、湛水後にトップガンフロアブルを散布した。湛水管理は水稻2葉期頃からとした。

収量調査は成熟期に刈り取り、乾燥後脱穀・精擗りして1.90mmのふるい目で選別し、精玄米重を測定した。水分は15%に換算した。

②収量及び収量構成要素の移植栽培との比較

2007年と2008年に「連作水田秋耕後不耕起区」（播種精度試験供試圃場と同様な栽培方法）を設置し、収量及び収量構成要素を調査した。参考区として、2007年は「大豆跡不耕起区（第2報で報告した栽培方法で、前年大豆収穫後にロータリ耕で整地を行い、消雪後は不耕起状態で播種）」、2008年は「連作水田春季代かき区（代かきを早春の融雪水で行って乾燥固結した土壤条件で播種）」を設置した。

播種作業速度は4km/h程度とした。

比較に用いた移植栽培データは青森県農林総合研究センターの同年同品種の水稻作柄解析試験結果を用いた。

供試品種は2007年「連作水田秋耕後不耕起区」が中生品種「まっしぐら」で、他は中生品種「つがるロマン」である。いずれも収量調査のふるい目は1.90mmを使用し、水分は15%に換算した。

3 結果・考察

(1) 播種精度試験

①播種溝の形成

播種時の土壤は乾燥しており、土壤硬度は図2のとおりであった。大きな土塊は崩壊した状態であった。

試験区の実際の播種作業速度は、2.6km/h、4.3m/h、5.3m/hであった。いずれの速度でも、前報までの大豆跡復元田に比較して作溝輪による土壤の蹴り上げ量が多く、V字状の播種溝は全く形成されなかった。

種粒の露出はほとんど無く、多くは深さ1～2cmの浅い位置に観察された。このことから、種粒は図4の様に播種されたと予想される。

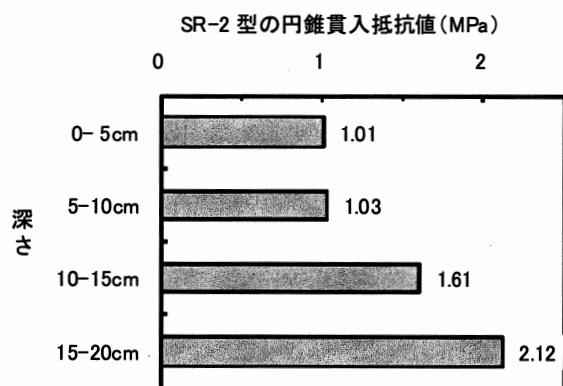


図2 播種時の土壤硬度 (2008年春)



図3 播種時の田面の様子 (2008年春)

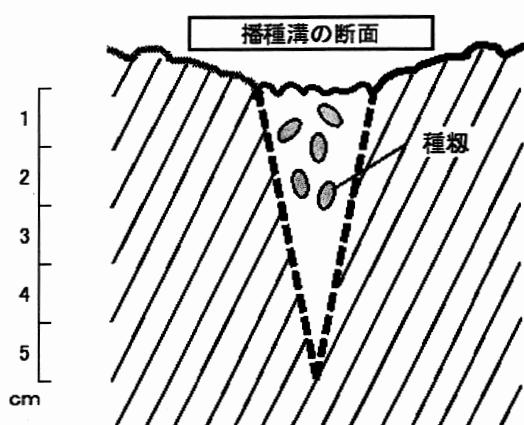
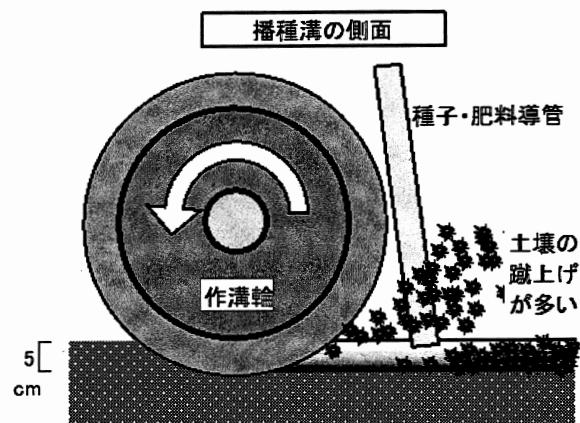


図4 播種状況の予想図

②出芽率と出芽数

播種作業速度による一定の傾向はみられず、出芽率は47～80%、出芽数は40～54本/mであった。播種溝の形状は乱れたが播種深さが適切な位置になったため、概ね実用的な結果が得られたと考えられる。

播種条別には端条の出芽数が少ない傾向であった。こ

れは、条間が20cmと狭いため隣接行程播種時に機体が端条近傍の土壤に干渉してしまい、播種深さが変化するためと考えられる。中間条はトラクタ車輪の轍と重なるため何らかの影響ができると予想したが、中央条とほぼ同等の結果であった。

なお、4.3km/hの中央条の出芽率が低い値であったが、出芽数にこの傾向がみられないことからサンプルエラーの可能性が高いと考えられる。

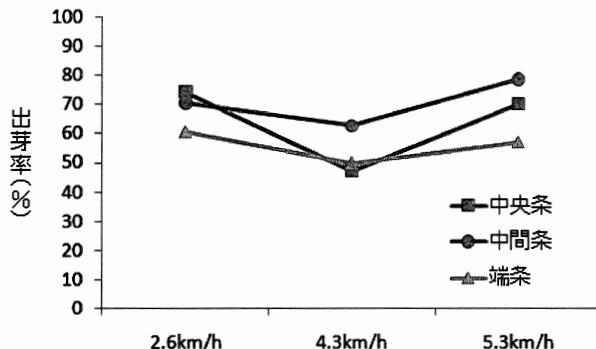


図5 各播種条の出芽率（2008年春）

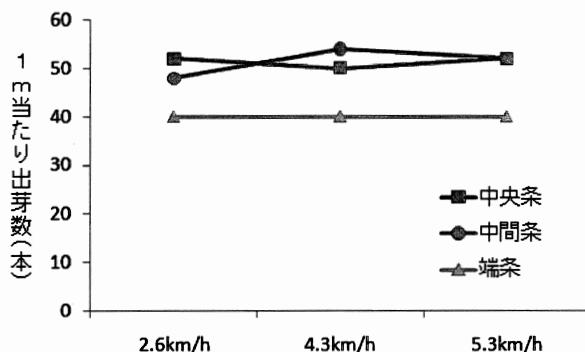


図6 各播種条の出芽数（2008年春）

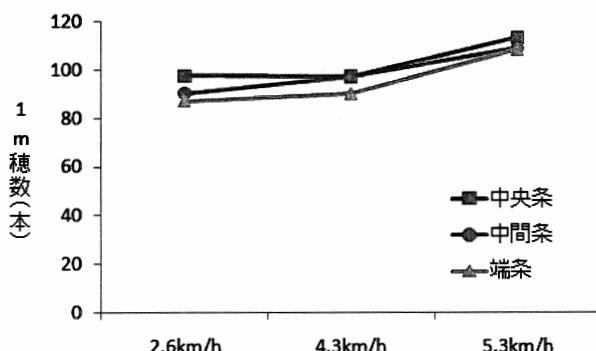


図7 各播種条の穂数（2008年秋）

③ 穂数と収量

穂数は、出芽数が低下した端条でも、87~108本/m²を確保し、栽培上の大きな問題は無かった。

m²当たり穂数は概ね460~550本、収量は54~63kg/aの

範囲であり、いずれの速度でも実用的な生育・収量が得られた。

なお、図7~9では、速度が高いほど穂数が増加するが、収量は低下する傾向がみられた。出芽数が速度と無関係に一定であったことから、地力差などの播種後の要因が影響しているものと思われる。

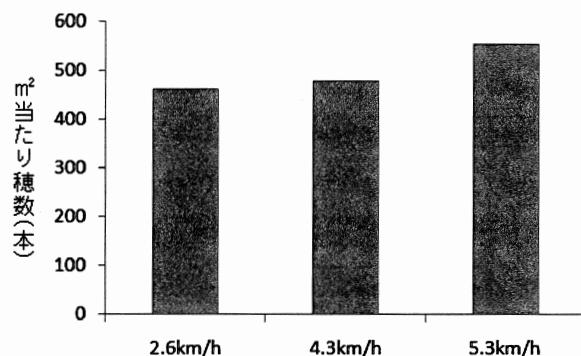


図8 穂数 (2008年秋)

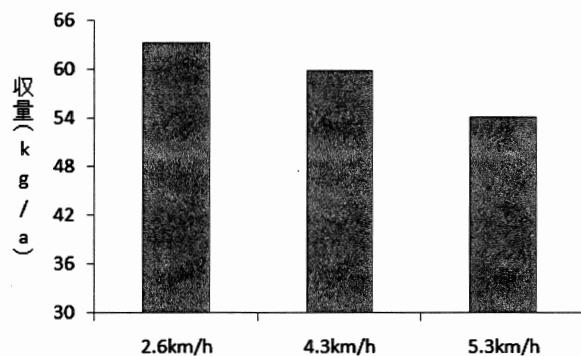


図9 収量 (2008年秋)

(2) 収量及び収量構成要素の移植栽培との比較

① 収量

連作水田秋耕後不耕起区の収量は、移植栽培に対して97~100%であった。参考区（2007年大豆跡不耕起、2008年連作水田春季代かき）は101~105%であった。この結果は、不耕起V溝直播機による直播栽培では、青森県においても移植栽培並の収量が期待できることを示唆している。

② 収量構成要素

m²当たり穂数は、生育量を包括的に表す収量構成要素であり、m²当たり穂数と1穂当たり粒数の積である。連作水田秋耕後不耕起区は、移植栽培に比べて1穂当たり粒数は少ないが、穂数が多いため、移植栽培比90~102%のm²当たり粒数が確保されていた。参考区に比べると1穂粒数がやや劣る傾向であった。

千粒当たり収量は、登熟量を包括的に示す収量構成要素である。連作水田秋耕後不耕起区の千粒当たり収量

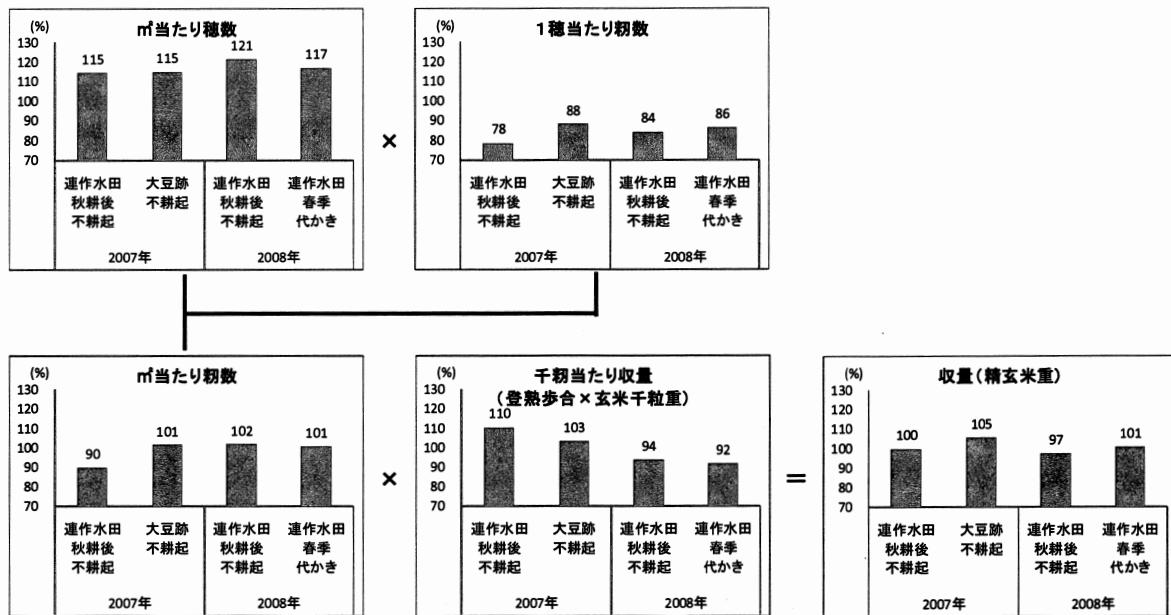


図10 収量及び収量構成要素の移植栽培対比

は94~110%と年次によって変動した。参考区にも同様の傾向がみられた。この変動は粒数に対する反応と考えられ、結果的に収量を移植栽培と同水準にしていた。

(3) まとめ

不耕起V溝直播機を用いて、秋耕後不耕起状態の連作水田で播種精度と収量性の検討を行った。

播種作業速度3~5km/hの範囲ではV溝は形成されなかつたが、実用的な播種精度と生育・収量が得られた。

収量性は、移植栽培に対する収量比が97~100%であり、移植栽培並の収量が期待できることが示唆された。収量構成要素は、移植栽培に比べて1穂粒数が少ないが、穂数が多くなることでm²当たり粒数を移植栽培比で90~102%確保していた。千穀当たり収量は粒数によって変動し、結果的に収量を移植栽培と同水準にしていた。

以上のことから、積雪により冬季代かきが困難な青森県の連作水田でも不耕起V溝直播を利用した直播栽培は可能であり、移植栽培と同等の収量性を確保しつつ、より省力・低コストな稻作が実現できる可能性が高まった。

参考文献

愛知県農業総合試験場作物研究部, 不耕起V溝直播栽培の手引き(改訂第4版), 2007

野沢智裕, 消雪後の固結土壤条件下における水稻不耕起V溝直播(第1報) - 大豆跡復元田での播種精度と生育状況-, 農業機械学会東北支部報 No.54, 9-12, 2007

野沢智裕, 消雪後の固結土壤条件下における水稻不耕起V溝直播(第2報) - 大豆跡復元田での播種精度と生育状況-, 農業機械学会東北支部報 No.54, 13-18, 2007

青森県農林総合研究センター, 平成19年度試験成績概要集, 101, 2008

青森県農林総合研究センター, 平成20年度試験成績概要集, 101, 2009

寒冷地北部における水稻不耕起V溝直播の現地実証

野沢智裕*・横山裕正*

Field Demonstration Test for the V-furrow No-Till Direct Seeding in Northern Cold District

Tomohiro NOZAWA, Hiromasa YOKOYAMA

[キーワード] 水稻、乾田直播、不耕起V溝直播、現地実証

1 はじめに

水稻不耕起V溝直播は、温暖地（愛知県）で開発された水稻栽培技術であるが、従来の直播栽培の問題点を克服し安定的に低コスト稻作ができるため、温暖地以外の地域にも普及することが期待されている。そこで、積雪のある寒冷地北部の青森県でも導入可能であることを実証するために2008年に現地試験を実施したので、その結果を報告する。

なお、本研究は農林水産省委託プロジェクト「担い手プロ（実証試験連絡会）」不耕起V溝直播実証試験により実施されたものである。

2 方法

(1) 現地実証圃場

青森県青森市浪岡（津軽平野中央部の東寄り）の分散した4筆の圃場で実施した。便宜上区名をI～IVとした。I区は水稻不耕起V溝直播連作2年目、II区とIII区は前年が水稻移植栽培、IV区は耕作休止田である。全ての圃場には担当農家が独自の地下かんがい工を施工している。土壤は灰色低地土である。

(2) 耕種概要

詳細を表1に示した。

融雪水を利用して早春に代かきを行い、排水して田面を乾燥固結させてから、5月初旬に不耕起V溝直播機で播種を行った。

水稻品種は「まっしぐら」（偏穗重型、中生熟期、良質・良食味）を用いた。

播種量は7kg/10a（乾枠相当）で、種子予措は催芽後に鳥害用忌避剤「キヒゲンR-2フロアブル」を塗沫処理した。

施肥は、代かき前の施肥（基肥①）として発酵鶏糞を全面施用、播種時の施肥（基肥②）として被覆尿素を播

種溝施用、つなぎ肥（追肥①）として尿素を水稻の穗首分化期頃に全面施用、穂肥（追肥②）としてNK化成を減数分裂期頃に施用した。全施肥窒素量は10kg/10a前後とし、担当農家が圃場の地力を勘案して調整した。

表1 耕種概要

試験区名	I	II	III	IV			
	備考	V溝直播連作田 面積 1.1ha	移植跡普通田 面積 0.5ha	移植跡砂質田 面積 0.2ha	耕作休止田 面積 0.65ha		
作業名							
耕起・整地		前年10月15日 ロータリ			前年9月 ロータリ		
代かき	3月23日 代かき機	3月24日 代かき機	3月25日 代かき機	3月27日 代かき機			
播種	5月1日 催芽初 播種量 7kg/10a 施肥同時播種 不耕起V溝直播機 条間20cm	5月4日 催芽初 播種量 7kg/10a 施肥同時播種 不耕起V溝直播機 条間20cm	5月4日 催芽初 播種量 7kg/10a 施肥同時播種 不耕起V溝直播機 条間20cm	5月4日 催芽初 播種量 7kg/10a 施肥同時播種 不耕起V溝直播機 条間20cm	3月22日 発酵鶏糞 施用量 495kg/10a 全面散布 ブロードキャスター	3月22日 発酵鶏糞 施用量 300kg/10a 全面散布 ブロードキャスター	3月26日 発酵鶏糞 施用量 405kg/10a 全面散布 ブロードキャスター
施肥	基肥①	3月22日 発酵鶏糞 施用量 495kg/10a 全面散布 ブロードキャスター	5月1日 L Pコート (40日、70日混合) 施用量 5kg/10a 播種同時溝内施用 条間20cm	5月4日 L Pコート (40日、70日混合) 施用量 10kg/10a 播種同時溝内施用 条間20cm	5月4日 L Pコート (40日、70日混合) 施用量 5kg/10a 播種同時溝内施用 条間20cm	3月22日 発酵鶏糞 施用量 495kg/10a 全面散布 ブロードキャスター	3月26日 発酵鶏糞 施用量 405kg/10a 全面散布 ブロードキャスター
	基肥②						
	追肥①	7月12日 尿素 施用量 4.3kg/10a 全面散布 背負式動力散布機				7月12日 尿素 施用量 4.3kg/10a 全面散布 背負式動力散布機	
	追肥②	7月24日 NK化成 施用量 10kg/10a 全面散布 背負式動力散布機	7月24日 NK化成 施用量 15kg/10a 全面散布 背負式動力散布機	7月24日 NK化成 施用量 10kg/10a 全面散布 背負式動力散布機	7月24日 NK化成 施用量 15kg/10a 全面散布 背負式動力散布機	7月24日 尿素 施用量 4.3kg/10a 全面散布 背負式動力散布機	7月24日 NK化成 施用量 10kg/10a 全面散布 背負式動力散布機
防除	入水前	5月30日 クリンチャーE W 施用量 100ml/10a 全面散布 可搬式動力噴霧機				5月22日 クリンチャーE W 施用量 100ml/10a 全面散布 可搬式動力噴霧機	
	入水後	6月12日 ダブルスター1キロ粒剤 施用量 1kg/10a 全面散布 背負式動力散布機				6月12日 ダブルスター1キロ粒剤 施用量 1kg/10a 全面散布 背負式動力散布機	
	手取り	7月から随時				7月から随時	
	病害・鳥食害(忌避)	4月28日 キヒゲンR-2フロアブル 使用量140ml/10a 種子塗沫処理				4月28日 キヒゲンR-2フロアブル 使用量140ml/10a 種子塗沫処理	
水管理	入水時期	6月4日				6月4日	
	中干し	7月5日～15日 (用水路の止水による)				7月5日～15日 (用水路の止水による)	
	収穫前落水時期	8月30日 (用水路の止水による)				8月30日 (用水路の止水による)	
	その他	5月7日地下水位上昇 5月20日地下水位0cm	5月11日地下水位上昇 5月20日地下水位0cm 取水制限で時々止水	5月7日地下水位上昇 5月20日地下水位0cm	5月7日地下水位上昇 5月20日地下水位0cm	5月11日地下水位上昇 5月20日地下水位0cm 取水制限で時々止水	5月7日地下水位上昇 5月20日地下水位0cm

参考：発酵鶏糞はN-P-Kは2-6-4、LPコートは42-0-0、尿素は46-0-0、NK化成は16-0-16。

水管理は水稻2葉期(6月4日)から湛水管理とした。除草は、入水前に茎葉処理除草剤「クリンチャーEW」、入水後に初中期一発剤「ダブルスター1キロ粒剤」を散布し、残草は手取り除草で対処した。

病害防除は種子消毒のみ、害虫防除は実施しなかった。

3 結果

(1) 作業体系

①発酵鶏糞の散布

発酵鶏糞の運搬にトラックを使用するため、農道の走行が可能になる消雪時期まで待つ必要があった。散布作業は代かき前に行う必要があることから、短期に集中して行った。

②代かき

消雪時期から時間が経つと雪解け水の水量が減少して代かきが困難になるため、短期に集中する作業となった。圃場内の雪解け水が不十分な圃場は、用水路を流れる雪解け水を入れて代かきに必要な水量を確保した。通常仕上がりは良好であった。

③播種

播種時の田面は、いずれの圃場も足跡が付かない程度まで乾燥固結していた。V溝の形成状況は良好で、支障なく作業できた。播種機は借用機であったため、播種は短期間で実施した。

④除草剤散布

入水前の茎葉処理除草剤は、タンク、広幅ノズル及び可搬式動力散布機を軽トラックに搭載して散布した。田

面に起伏は無く、地耐力も十分にあったため散布は可能であった。但し、軽トラックは散布に適した低速の変速段が無いためやや苦労した。

⑤手取り除草

残草はホタルイ、ノビエが主体で、水口付近に偏在する傾向であった。また、畦畔際にはイボクサがみられた。いずれも少量であったため、1~2人の手取除草で対応可能であった。

⑥収穫

移植栽培の収穫作業が10月上旬で終わり、その後実証圃場の刈取適期となつたため、収穫時期の作業が分散された。

⑦労働時間

延べ労働時間は10a当たり9.4時間であった。担当農家の移植栽培は一般的な農家よりかなり省力化されていて10a当たり12.7時間であったが、これに比べても74%に低減した。

(2) 栽培結果

①出芽

出芽期は5月25~29日であった。出芽数はm²当たり120~162本、出芽率は48.0~64.7%であった。

III区は、取水制限による用水不足で地下かんがいが十分に機能せず、土壤が乾燥した。そのため、用水が十分にあった他区より出芽が遅れ、出芽率、出芽数も劣った。なお、I区、II区では隣接田や水路からの浸水があり、その部分の出芽状況の悪化が観察されたが、全体の面積に対する割合は極小さなもので問題にはならなかった。

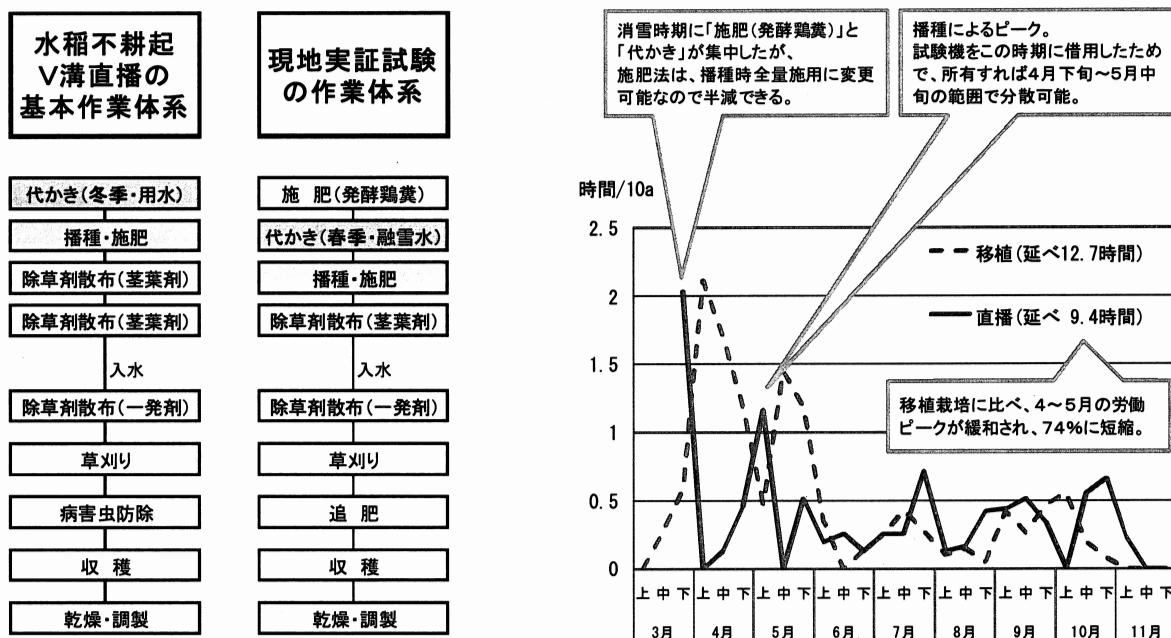


図1 作業体系と時期別投下労働時間

②生育

出芽後の生育は齊一で、7月19~21日が幼穂形成期となった。幼穂形成期頃の草丈は61.1~66.3cm、m²当たり茎数は495~635本、葉色値は30.4~34.0 (SPAD502値) であった。各区とも初期生育は良好と判断された。

出穂期は8月13~20日であった。近隣の移植栽培に対する遅れは、I区は4日、IV区は5日、II区とIII区は7日であった。

成熟期は10月1~7日であった。

稈長は70.0~73.6cm、m²当たり穂数は447~522本で、倒伏はいずれの試験区でも発生しなかった。

③収量及び品質

収量は坪刈りで10a当たり647~747kg、全刈りで10a当たり600~693kgであった。IV区は近隣の移植栽培よりも多収であった。

外観品質は、整粒割合が83.3~84.8%であった。検査等級は1等であった（担当農家調べ）。

④その他

病虫害及び鳥害は確認されなかった。

表2 各生育ステージの期日

圃場区名	I	II	III	IV
播種日	5月1日	5月1日	5月4日	5月4日
出芽期	5月25日	5月25日	5月29日	5月25日
幼穂形成期	7月19日	7月20日	7月21日	7月19日
出穂期	8月12日	8月15日	8月15日	8月13日
成熟期	10月1日	10月1日	10月1日	10月1日
収穫日	10月15日	10月16日	10月18日	10月14日

注) 近隣の移植栽培の出穂期は8月8日

表3 生育・収量等

圃場区名		I	II	III	IV
		出芽数 (本/m ²)	152	162	120
出芽状況	出芽率 (%)	60.7	64.7	48.0	58.7
	草丈 (cm)	66.3	65.8	61.1	63.3
	茎数 (本/m ²)	495	585	635	573
幼穂形成期頃の生育	葉色値 (SPAD502値)	34.0	33.8	30.4	33.5
	稈長 (cm)	73.6	72.4	72.3	70.0
	穂長 (cm)	19.5	18.9	18.1	18.7
成熟期の生育	穂数 (本/m ²)	470	522	505	447
	倒伏程度 (0:無~4:甚)	0	0	0	0
	収量 坪刈り (kg/10a)	653	658	647	747
収量	全刈り (kg/10a)	602	600	645	693
	品質評価 整粒割合 (%)	83.3	84.8	83.6	83.3

注) 収量は粒厚1.90mm以上、水分15%、整粒割合はサタケ穀粒判別器RGQ120による。

4 考察

(1) 作業

①春季代かき

水稻不耕起V溝直播は、当初、愛知県でも冬季に用水が利用できる地域で開発された栽培方法である。そのた

め、播種床造成には基本的に冬季代かきを推奨している。

今回実証試験を実施した地域では、用水が利用できる時期が5月初めからで、それから代かきしても当地域の播種適期の晩限である5月15日までに良好な播種床条件で播種できる可能性は低いと予想される。そのため、本実証試験では消雪時期に用水路を流れる融雪水を利用して代かきを行った。これにより播種時までに理想的な播種床条件が整った。

②発酵鶏糞の基肥

発酵鶏糞の散布と代かきが消雪時期に集中した。発酵鶏糞を使用したのは、担当農家が化学肥料の削減を希望したためである。この時期は他の農作業との競合も少ない時期なので、それほど問題視する必要はないと思われる。今後、労働競合が問題になった場合には、被覆尿素を利用した全量基肥栽培への切替えが解決策として考えられる。

③播種

地下かんがいによって圃場の排水が早まり、4月下旬には播種床条件が整っていた。そのため、播種機を所有していれば播種期間を4月下旬から播種晩限の5月15日までの範囲で分散することができ、播種時期の労働ピークも緩和可能と考えられる。

但し試験実施年は、消雪日が平年より半月程度早い3月16日前後であり、融雪水を利用した代かきの実施日からの日数を十分確保できたこと、またその期間の降水量が少なかったことなど、地下かんがいの効果に加えて気象条件的にも播種床造成が成立しやすい条件であった。

④除草剤散布（茎葉処理）

軽トラックを水田に乗り入れて除草剤散布を行うという担当農家の発想は、地下かんがいの効果に対する高い自信による。収穫時期には普通トラックを水田に乗り入れてコンバイン収穫した粉の運搬を行うことも可能である。しかし、軽トラックは低速作業が困難であったため、今後は中古田植機を台車にする計画である。

⑤雑草管理

手取り除草は無くしたい作業である。除草剤を見直し、より効果的な除草体系に切り替える必要がある。特にホタルイはSU抵抗性雑草だった可能性が高いため、対策成分を含む除草剤に切り替えることで防除可能である。

⑥全体

移植栽培では4月全般と5月中下旬の2つ労働ピークがあり、寒冷地ではこの時期に他の農作業との労働競合が問題となることが多い。実証した水稻不耕起V溝直播はこの時期の作業が少なく、3月下旬と5月上旬の労働ピークはあるものの、施肥法の変更や播種機の導入によって容易に緩和可能なものである。延べ労働時間は移植栽培の74% (10a当たり9.4時間) であり、今後、手取り除草が無くなればさらなる省力化が期待できる。

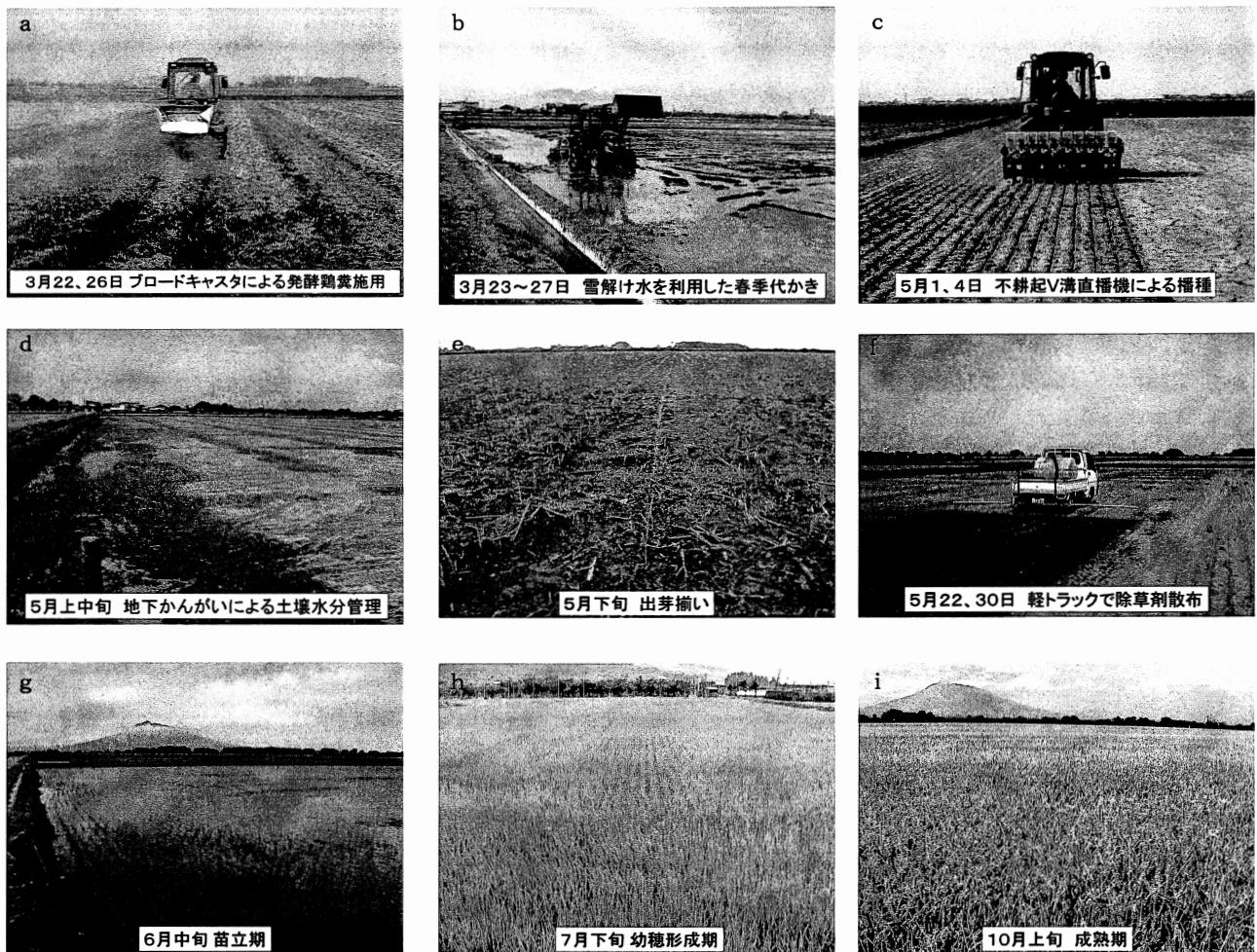


写真 実証試験圃場の様子（アルファベット順に経過）

(2) 栽培

出芽期は5月第6半旬で青森県における直播栽培ではやや遅い方であったが、幼穂形成期までに十分な生育量を確保していた。出穂期も移植栽培に対して7日以内の遅れに収まり、登熟にも問題は無かった。収量は全刈りで10a当たり約600～700kgの好成績で、雑草、病虫害及び鳥害も低水準に管理できた。

以上の結果は、温暖地で開発された水稻不耕起V溝直播栽培が、寒冷地北部でも地域にあった播種床造成（本報では春季代かき）方法、品種や肥培管理等と組合せることで導入可能であることを示唆している。

今後は、気象条件の違いによる年次変動や土質の違い、肥培管理の検討などを進め、より安定的な栽培方法に発展することが期待される。

また、担当農家の圃場は地下かんがいを施工してあるため、一般的な水田より排水が容易で、短期間で土壤を乾燥固結させることができた。また、地下水位を変えて土壤水分を管理することにより、出芽状況を良くすることも確認された。このことから、春季代かきを前提とした水稻不耕起V溝直播は、地下かんがいとともに普及さ

れることが望られる。

(3) まとめ

青森県において、水稻不耕起V溝直播の現地実証試験を行った。愛知県で推奨される冬季代かきの代わりに融雪水を利用した春季代かきを実施することで、良好な播種床条件が整い、V溝形成が良好な播種ができた。労働ピークは消雪時期と播種時期にみられたが、いずれも緩和策があり、作業体系全体でも大きな問題はなかった。また、水稻の生育状況も地域の気象条件で無理のない生育経過となることが確認され、移植栽培と比較しても遜色のない収量が得られた。

参考文献

愛知県農業総合試験場作物研究部, 不耕起V溝直播栽培の手引き（改訂第4版）, 2007

青森県農産園芸課, 青森型水稻直播栽培技術マニュアル, 2008

ハイパースペクトル画像解析による採草地空間情報マッピングシステム

鈴木由美子*・岡本博史**・田中勝千***・皆川秀夫***・片岡 崇**・柴田洋一**

Spatial Distribution Mapping System in Meadow Field Using Hyperspectral Imaging

Yumiko SUZUKI, Hiroshi OKAMOTO, Katsuyuki TANAKA, Hideo MINAGAWA, Takashi KATAOKA, Youichi SHIBATA

Abstract

Spatial distribution maps of herbage mass and TDN (total digestible nutrient) concentration in meadow were created from hyperspectral imaging. Field scale hyperspectral images were acquired by driving an agricultural vehicle with hyperspectral camera. The estimation models for herbage mass and TDN were developed using partial least squares regression analysis by observed values and by grid spectra that were sampled from the hyperspectral images. The estimated values of herbage mass and TDN were calculated by applying the estimation models to grid spectra, and field maps were generated by performing spatial analysis on the estimated values. The results show that the model for herbage mass can be used for rough estimating, and the model for TDN concentration has satisfied accuracy. The estimation maps would correspond with actual field spatial distributions of herbage mass and TDN. Consequently, it was demonstrated that the hyperspectral imaging system developed in this study is a useful technique for monitoring the meadow field.

[Keywords] remote sensing, herbage mass, chemical component, partial least squares regression analysis

1.はじめに

飼料自給率の向上および自給飼料を基盤とした畜産経営に転換するためには、飼料作物の単位面積当たりの収量の向上と高品質化を図る必要がある。しかし、飼料畠に代表される採草地での牧草生産性は、草地更新後2~4年がピークとなり、その後低下する(松中2004)。この経年化に伴う生産性の低下要因の一つに、草地土壤の酸性化が挙げられる。長年耕起されない草地では、表面に施用された養分は土壤の下層まで到達せず、表層に蓄積する。そのため、施肥や堆肥類由来のアンモニウム態窒素は表層で硝酸に変化し、酸性となり、土壤pHは次第に低下する。よって、施肥に起因する表層pHの経年的な低下は避けられない(松中2004)。また、有機物分解活性や窒素地力の低下も要因の一つに挙げられる。草地土壤は、経年的な作土のち密化や養分集積により、牧草根(ルートマット)の草地表層への集中が進むとともに、微生物活性が低下する(大崎ら1975、東田1993)。これに伴い、牧草残渣の分解が進まず、表層へ蓄積する。このように、土壤の酸性化、土壤物理性の悪化、微生物活性の低下が加わり、経的な牧草生産性の低下を引き起こす(松中2004)。そのため、持続的に安定した牧草を得るために、草地の空間的な変異を把握した上で、肥培管理を実行する必要がある。

近年、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、とく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は、高空間分解能で可視光および近赤外領域の詳細なスペクトル情報を

観測できるため、農業空間の情報取得に有効である(Okamotoら2007、鈴木ら2008、Suzukiら2008a、2008b、2008c、OkamotoおよびLee2008)。そこで本研究では、グランドベースのハイパースペクトル画像解析を用いて、採草地の牧草収量および可消化養分総量(TDN: Total Digestible Nutrients)の空間情報マップの生成を目指した。本研究で生成した空間情報マップは、収量や成分の面的変動を把握することができるため、精密な肥培管理および更新時期の決定などにおいて重要な情報となる。

2.材料および方法

(1) 調査対象区

本研究は、北里大学獣医学部フィールドサイエンスセンター内の採草地(0.025ha)で、2006年から2009年の1番草を対象に実施した。対象草地は、イタリアンライグラス(*Lolium multiglorum* Lam.)とオーチャードクラス(*Dactylis glomerata* L.)との混播草地で、2002年に草地更新をした更新8年目の草地である。

本研究で対象とした収量および成分は以下の手順で測定した。収量測定では、フロントドラムモア(刈幅: 1.5m)によって刈取られた牧草の刈倒し列を、2mごとに分け、小区画(1.5m×2m)内の生草重を測定した。そして、刈倒し列ごとに一定量の牧草を採取し、110°Cで24時間以上通風乾燥させ、乾物率を求めた。その後、単位面積当たりの収量を乾物重で示した。TDN測定では、初めに、牧草草高を基準に設定したサンプリングポイントから牧草約200g(生草重)を採取し、TDN分析用サンプ

*北海道大学大学院農学院、**北海道大学大学院農学研究院、***北里大学獣医学部

ルとした。その後、TDN 分析を外注（十勝農業協同組合連合会農産化学研究所）で行なった。分析用サンプルは、2006 年 20 点、2007 年 24 点、2008 年 20 点、2009 年 41 点の、合計 105 点である。

(2) 画像撮影システム

① ハイパースペクトルカメラ

表 2.1 に本研究で供試ハイパースペクトルカメラの主要諸元を示す。供試ハイパースペクトルカメラは、可視光から近赤外光領域の波長バンド情報を 6nm の波長分解能で取得することができる。

表 1 供試ハイパースペクトルカメラの主要諸元

カメラの型式	ImSpector V10
観測波長域	400–1000 nm (59 バンド)
波長分解能	6 nm
スリット幅	80 μm

図 1 にハイパースペクトルカメラの構造を示す。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 センサから成り立つ。供試カメラは、測定対象の光を対物レンズで集光する。そして、光はレンズの合焦位置にある横型スリットを通して、線上となる。その後、光は分光器へ到達してスリットの垂直方向に分光され、2 次元の分光情報を得る。この 2 次元の分光情報は、CCD センサに照射され、画像データとして出力される。

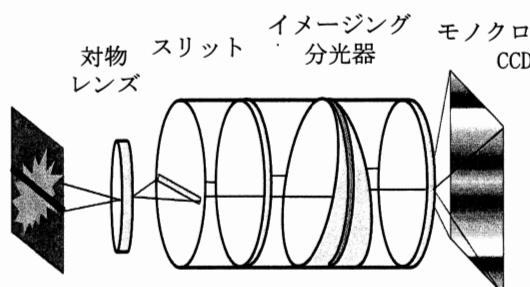


図 1 ハイパースペクトルカメラの構造

② 車両ベースの画像撮影システム

ハイパースペクトル画像から空間情報マップを生成するためには、調査区全面の画像を取得しなければならない。そこで、車両が走行することによりカメラの撮影光軸を移動させ、広域圃場の画像を取得した。図 2 に本研究で供試した車載型撮影システムを示す。このシステムは、地上より高さ 2.1m、俯角 45° になるように、傾斜地用トラクタ (TT-33, AEBI) の上部にカメラを取り付けた。供試トラクタには、フロントドラムモアが前装しているため、モアで刈取られた牧草の刈倒し列を上部から撮影した。撮

影位置は、トラクタにカメラを取り付けた位置から 2.10m 後方で、撮影ラインの長さはレンズの視野角 (53.4°) により 3.38m となる。

ハイパースペクトルカメラ



図 2 車載型撮影システム

(3) 採草地空間情報の推定

図 3 に空間情報推定モデルの生成フローを示す。収量および TDN の推定モデルは、刈倒し牧草の分光スペクトルを説明変数、収量および TDN の実測値を目的変数とし、PLS (Partial Least Squares Regression) 回帰分析により開発した。開発したモデルは、クロスバリデーション (leave-one-out 法) により検証し、検証時の決定係数 (R^2) および標準誤差 (SECV) により評価した。なお、TDN 推定モデルは水野ら (1988) によって開発された EI (Evaluation Index) 法を基に評価した。

本研究では、説明変数となる刈倒し牧草の分光スペクトルは、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開発したソフトウェアにより、小区画 (1.5m × 2m) ごとに収集した。収集した分光スペクトルは、画像撮影時の光環境 (照度、レンズの絞り値など) の違いで、同一個体の同一部であっても輝度レベルが異なる。そこで、輝度レベルを揃えるために、正規化処理を行なった (岡本ら 2006b)。その後、収量および TDN の実測値と正規化した分光スペクトルとを組み合わせて、解析用データセットとした。

(4) 採草地空間情報マップの生成

初めに、ハイパースペクトル画像から抽出した小区画ごとの分光スペクトルを開発した推定モデルに適用し、各小区画の収量および成分の推定値を算出した。その後、推定値を位置情報に対応させて推定値配列を生成した。最後に、推定値配列に空間処理を施し、マップの小区画サイズを最適化することで、収量および TDN の空間情報マップを生成した。本研究での空間処理にはジオスタティスクスの中のセミバリアンス解析を用いた。セミバリアンス解析

を実行することで、区画間の空間依存性を考慮した最適区画サイズを求めることが可能となる。

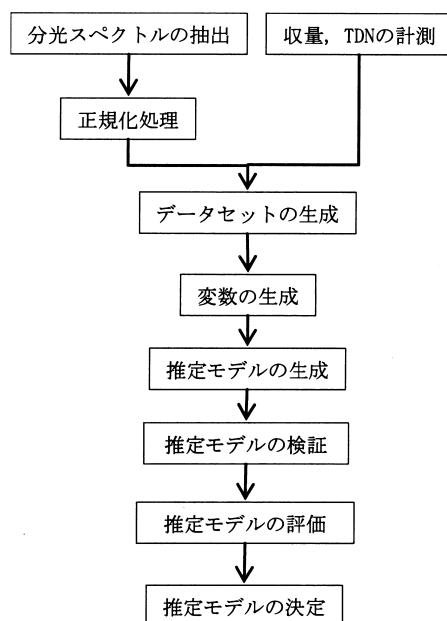


図 3 推定モデル開発フロー

3. 結果および考察

(1) 草量およびTDN推定モデル検証結果

図4に収量推定モデルの検証結果を示す。推定モデルの検証時決定係数(R^2)は0.42で、標準誤差(SECV)は0.08であった。この図より、実測値と推定値の間にはややバラツキがあり、高収量領域では過小評価、低収量領域では過大評価の傾向が確認できた。しかし、プロット点は概ね1:1の参考線に沿って分布していた。図5にTDN推定モデルの検証結果を示す。推定モデルの検証時 R^2 は0.67、SECVは2.19であった。また、EIによる評価はCランクで、実用可能な精度であった。TDNの実測値と推定値のプロット点は概ね1:1の参考線に沿って分布していた。以上の結果から、開発したモデルにより収量およびTDNの推定が概ね可能と考えられた。

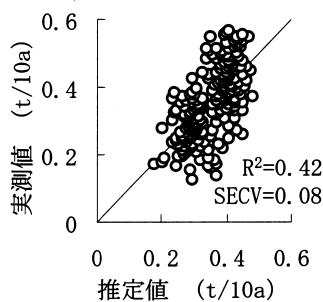


図4 収量推定モデルの検証結果

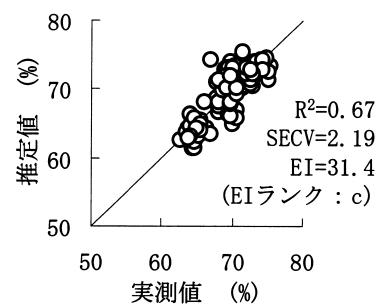
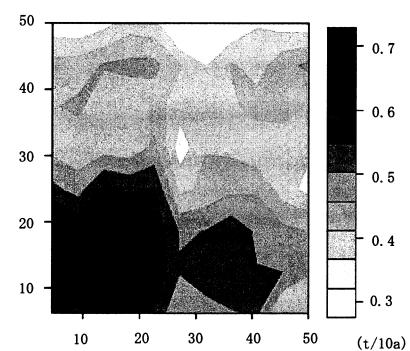


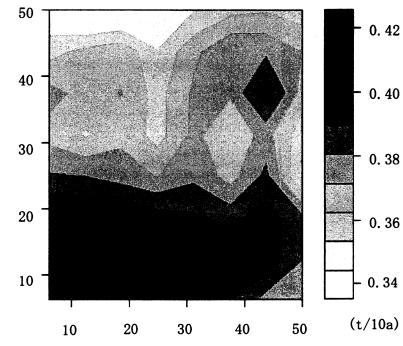
図5 TDN推定モデルの検証結果

(2) 推定草量および推定TDNマップ

図6に実測収量マップと推定収量マップ、図7に推定TDNマップを示す。これらのマップは、セミバリアンス解析により区画サイズを6m×6mとした。実測収量と推定収量を比較すると、推定収量マップは全体的に過小評価傾向であった。しかし、実際の草地内の収量の変動は、推定収量マップから大まかに読み取ることが可能と考えられた。そのため、推定収量マップから収量空間分布の概要把握が可能と判断できた。TDNマップからは、圃場内の牧草栄養の分布が把握できる。しかし、このマップを圃場管理や栄養評価へ応用するためには、マップレベルでの検証が必要不可欠となる。



(a) 実測収量



(b) 推定収量

図6 実測収量マップおよび推定収量マップ

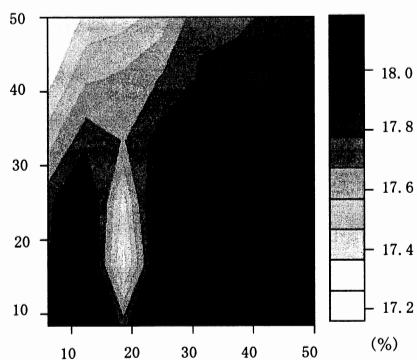


図7 推定TDNマップ

4. 摘要

本研究では、農業空間情報取得に有効なグランドベースのハイパースペクトル画像解析を用いて、採草地の牧草収量およびTDNの空間分布を推定した。初めに、車両ベースの画像撮影システムを用いて、調査区全面のハイパースペクトル画像を撮影した。その後、撮影画像から小区ごとの分光スペクトルを収集した。収集した分光スペクトルと収量およびTDNの実測値を用いて、PLS回帰分析により収量およびTDN推定モデルを開発した。最後に、開発したモデルに各小区の分光スペクトルを適用して推定配列を生成し、空間処理を施すことで、草量およびTDNの推定マップを生成した。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 収量およびTDN推定モデルを検証した結果、両者とも推定値と実測値の間にはバラツキが見られたが、ほとんどのプロット点が1:1の参考線に沿って分布していたため、概ね推定が可能と判断できた。

(2) 開発したモデルから生成した推定草量マップは、実測草量マップと比較して、やや過小評価の傾向であった。しかし、草地内の草量のばらつきは実際の草量分布と類似していた。そのため、推定収量マップから収量空間分布の概要把握が可能と判断できた。

(3) 開発したモデルから生成した推定TDNマップから、圃場内の栄養成分の変動が把握できた。しかし、このマップを圃場管理や栄養評価へ応用するためには、マップレベルでの検証が必要と考えられた。

(4) 以上の結果より、ハイパースペクトル画像解析によるカ採草地空間情報マップ生成の可能性が示された。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（No.17208022 およびNo.14560213）の補助を受けた。また、本研究の遂行に当たって、北里大学獣医学部フィールドサイエンスセンターの教職員の皆様および生物環境情報学研

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

- 東田修二（1993）天北地方における重粘土草地の土壤微生物活性と牧草生産. 北海道立農業試験場報告 80 : 1-123.
- 松中照夫（2004）牧草・トウモロコシの生産量から乳生産を考える-単位面積当たりの土地からどれくらいの乳生産が可能か-. デリーマン社. 49-61.
- 大崎亥佐雄・奥村純一・関口久雄（1975）根圏土壤の理化学性が牧草生育におよぼす影響（第2報）鉱質土壤における牧草根の発達分布. 北海道立農業試験場集報 32 : 35-44.
- 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.
- 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.
- Okamoto, H., Murata, T., Kataoka, T., and Hata, S. (2007) Plant classification for weed detection using hyperspectral imaging with wavelet analysis Weed Biology and Management 7: 31-37.
- Okamoto, H., and Lee, W. S. (2008) Green citrus detection using hyperspectral imaging Computers and Electronics in Agriculture 66: 201-208.
- Suzuki, Y., Okamoto, H., Tanaka, K., Kato, W., and Kataoka, K. (2008a) Estimation of chemical composition of grass in meadows using hyperspectral imaging Environment Control in Biology 46: 129-138.
- Suzuki, Y., Okamoto, H., and Kataoka, T. (2008b) Image segmentation between crop and weed using hyperspectral imaging for weed detection in soybean field Environment Control in Biology 46: 168-174.
- Suzuki, Y., Tanaka, K., Kato, W., Okamoto, H., Kataoka, T., Shimada, H., Sugiura, T., and Shima, E. (2008c) Field mapping of chemical composition of forage using hyperspectral imaging in a grass meadow Grassland Science 54: 179-188.
- 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.

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 mays* L.) 畑のセンシング(第1報)

— 異なるプラットホームによるスペクトルデータの比較 —

中坪 あゆみ*・田中 勝千**・杉浦 俊弘**・皆川 秀夫**・鳴 栄吉**・鳴田 浩***

Sensing of a Maize (*Zea mays* L.) Field Using a Hyperspectral Imaging Sensor (Part 1)

— Comparison of spectral data from different platforms —

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

Abstract

The aim of this study is to establish a monitoring system to support production management of maize fields. We examined methods of assessing yields and feed quality of maize, and determined the optimal timing and platform for assessment using remote sensing. In this report, in order to clarify the characteristics of the spectral data obtained using two kinds of platforms, we compared spectral data from an unmanned helicopter with that from a tractor. First principal component analysis showed significant differences in the two spectral data in the ranges 500–600 nm and 700–800 nm during the blooming to yellow ripe stages. A significant correlation ($p < 0.01$) in NDVI and the first principal component score measured by the unmanned helicopter and tractor shows that the data obtained by the two platforms reflect similar field information.

[Keywords] remote sensing, hyper spectral sensor, unmanned helicopter, NDVI, principal component analysis

1. はじめに

飼料用トウモロコシは飼料作物の中でも栄養価が高く、土地生産性が高い作物であるが、その作付面積は昭和 62 年の 12.7 万 ha をピークに平成 18 年には 8.4 万 ha まで減少した (農林水産省 2009)。一方、近年では、省力化栽培・収穫技術として不耕起播種機や細断型ロールベーラなどの農業機械が開発され (魚住 2009, 志藤・山名 2000), 現在では普及の段階に達している。加えて、昨今の輸入飼料の高騰などの影響を受け、平成 20 年の作付面積は 9.1 万 ha と増加傾向に転じている (農林水産省 2009)。このような中で、トウモロコシの収量や品質などの情報を圃場内の空間的ばらつきとして把握することができれば、栽培管理の上で施用量や収穫適期の決定、また品質評価の点において重要な情報となりうる。

近年では、詳細なスペクトル情報を観測できるハイパースペクトルイメージングセンサが注目されており、植物の生理・生態・収量・品質にかかわる量的・機能的特性や生成特性を推定する上で特に有望であると考えられている (井上ら 2008)。またプラットホームについては、人工衛星・航空機のように広域性に優れるものの空間分解能に劣るものや、トラクタや地上計測のように広域性に劣るものの空間分解能に優れるものがあり、作物や作付面積などそれぞれの目的に合わせた検討が必要となる。

筆者らは、飼料用トウモロコシ畠を対象に生産管理を

支援するためのモニタリングシステムを構築することを最終目的とし、リモートセンシング技術を用いてトウモロコシ収量・栄養成分などの推定法、それらのセンシング適期、およびプラットホームの適否について検討している。本報では、異なるプラットホームによるスペクトルデータの特徴を明らかにするための手始めとして、産業用無人ヘリコプタとトラクタで取得したスペクトルデータを用いて検討したので報告する。

2. 材料と方法

(1) 試験地と試験区の概要

試験圃場は、青森県十和田市の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のトウモロコシ畠 (約 1.8 ha : 210 m × 85 m) である。2008 年 5 月 23 日に畦間 0.75 m, 株間 0.20 m の設定で南北方向に早生種のトウモロコシ (スノーデント 115) を 1 粒点播した (播種量 : 2 kg/10 a)。トウモロコシ畠全体の畦は 95 列で、西側の畦 26 列 (約 0.42 ha) に試験区を設けた。

試験区として、慣行栽培を想定して手作業にて除草処理した除草区と、有機栽培を想定して除草処理していない無除草区の 2 種類を設けた (10 反復の乱塊法, 10 m × 10 m/区, n=10)。除草区ではトウモロコシ播種後 53 日 (2008 年 6 月 26 日) と播種後 61 日 (2008 年 7 月 23 日) の計 2 回、手作業で除草処理した。

*北里大学大学院, **北里大学獣医学部, ***秋田県立大学

(2) センシングシステムの概要

航空機ベースのプラットホームとして産業用無人ヘリコプタ（ヤンマー農機 AYH-3, 以下無人ヘリ）を、グラントベースのプラットホームとしてトラクタ（AEBI TT33）を用いた。図1に無人ヘリを用いたセンシングシステムの概要を示す。供試センサとして、高い波長分解能で多数の波長バンド情報を観測することができるハイパススペクトルイメージングセンサ（Specim, ImSpectorV10）を用いた。このセンサは、観測波長域 400–1000nm, 波長分解能 10nm である。また、供試センサはラインセンサであるため、試験区全体をセンシングするために、センサの光軸を移動させなければならない。そのため供試センサを無人ヘリおよびトラクタに固定し、一定方向に連続して飛行または走行することで試験区全体のスペクトルデータを取得した。供試センサから出力された画像は、アナログ出力の映像信号としてポータブルデジタルビデオレコーダ（Victor, GR-D650-S）でデジタルビデオテープに動画として連続的に記録させた。その後、この画像は、動画ファイル（Microsoft DV 形式 AVI ファイル）で、パーソナルコンピュータ（PC）に取り込んだ。

(3) スペクトルデータの取得と処理

上述のセンシングシステムを用いて、トウモロコシ開花期（2008年8月12日、播種後81日）、黄熟期（2008年9月2日、播種後102日）、および収穫期（2008年10月4日、播種後134日）の計3回、試験区全体のスペクトルデータを取得した。その後、岡本ら（2006a, 2006b）・鈴木ら（2007）によって開発された専用の解析ソフトを用いて各測定日のスペクトルデータを50（点/区）抽出し、輝度レベルを統一するために正規化処理（村田ら 2004, Okamoto *et al.* 2004）を施した。なお、このソフトウェアは、取得したスペクトル画像を取り込むと、任意の波長帯の画像を作成し、指定位置座標のスペクトルデータを抽出することができる。図3にソフトウェアを用いて作成した近赤外域（750nm）画像を、図4にデジタルカメラで撮影した可視画像を示す。

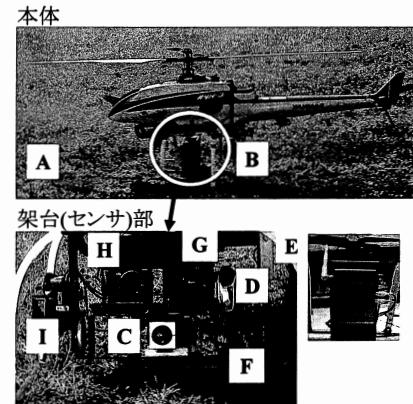
(5) データ解析

異なるプラットホームおよび生育ステージにおける各試験のスペクトルの特徴を抽出するために、全波長域を対象とした主成分分析を適用した。また、植物の活性度を示す指標として最も利用されている正規化植生指数（Normalized Difference Vegetation Index ; NDVI）を算出した。

3. 結果および考察

図5にトウモロコシ開花期、黄熟期、および収穫期における無人ヘリとトラクタで取得した正規化処理後の受光強度（スペクトルデータ）を示す。受光強度を比較すると、無人ヘリの受光強度はトラクタと比べて可視領域（400–700nm）では

a) 移動局



b) 基地局

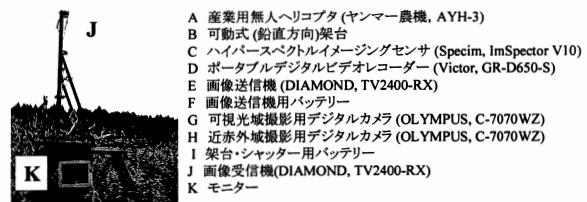


図1 無人ヘリを用いたセンシングシステムの概要

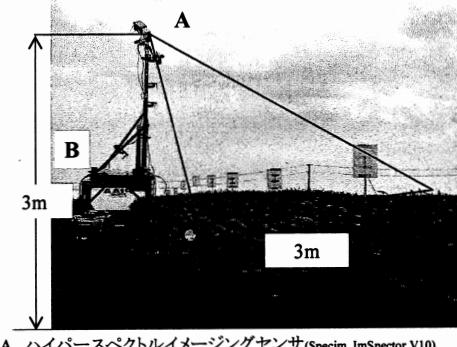


図2 トラクタを用いたセンシングシステムの概要

光の吸収、近赤外域（700–1000nm）では光の反射がそれぞれ大きかった。この特徴は、開花期と黄熟期で顕著に見られたが、収穫期ではその差が小さくなった。

図6にスペクトルデータを集約するために全波長域を対象とした主成分分析の結果を示す。開花期と黄熟期では、両試験区ともに無人ヘリで取得した第1主成分がトラクタの場合よりも大きかったが、収穫期ではこの特徴は見られなかった。第2主成分についてみると、第1主成分同様に無人ヘリとトラクタの違いが示された。また、第1主成分と比較して開花期と黄熟期では、除草区と無除草区の特徴もみられた。一方、収穫期の第2主成分には試験区の特徴が見られなかった。図7に無人ヘリとトラクタで取得した第1主成分について、図8にNDVIについてそれぞれ試験区毎に比較した結果を示す。無人ヘリで取得した第1主成分とNDVIは、トラクタのそれらと比較して大きかった。無人ヘリとトラクタの受光強度

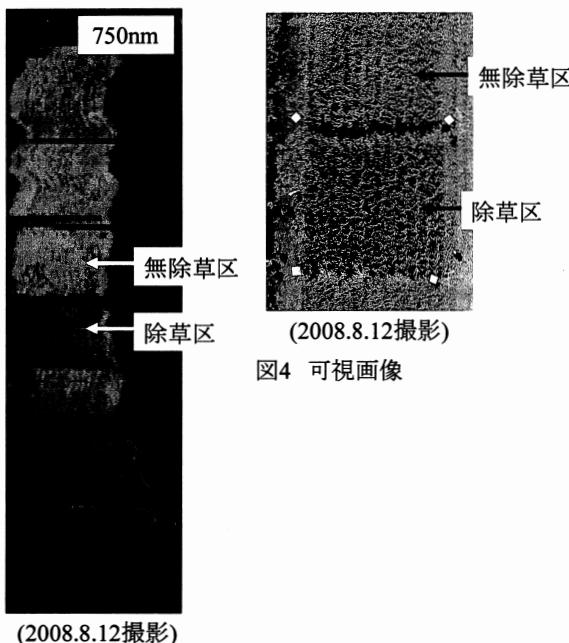


図4 可視画像

図3 近赤外域画像

の違いは、センサと対象物との距離やセンサの角度など撮影条件によるものと考えられる。

以上から、無人ヘリとトラクタそれぞれで取得したスペクトルデータは、開花期と黄熟期で受光強度の違いが観察された。主成分分析を適用した結果でも、無人ヘリとトラクタそれぞれで取得したスペクトルデータの違いが第1主成分に検出された。一方、第2主成分には試験区の違いが検出され、無人ヘリおよびトラクタで取得した第1主成分とNDVI それぞれが有意な相関 ($p<0.01$) を持つことが示された。

4.まとめ

本報では、異なるプラットホームによるスペクトルデータの特徴を明らかにするために、産業用無人ヘリコプタとトラクタで取得したスペクトルデータについて比較した。その結果、無人ヘリとトラクタのスペクトルデータの違いは、トウモロコシの活性が高い時期（開花期・黄熟期）の緑色域と近赤外域のスペクトルデータおよび第1主成分に顕著に示された。一方で、第2主成分ではプラットホームと栽培条件による違いが検出された。また、無人ヘリとトラクタで取得した第1主成分とNDVI それぞれに有意な相関 ($p<0.01$) が示されたため、無人ヘリとトラクタで取得したスペクトルデータは圃場情報を反映した同じ性質を持っていると推察する。今後は、異なるプラットホームにおけるスペクトルデータと圃場情報（水分、収量、栄養成分）との関係について検討する。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金

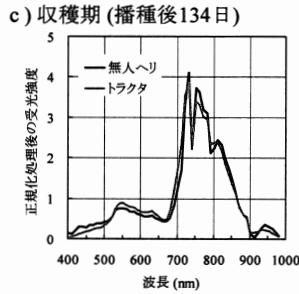
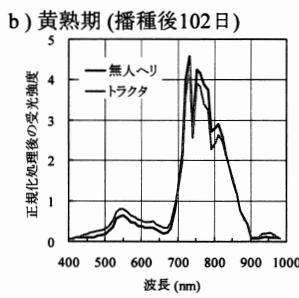
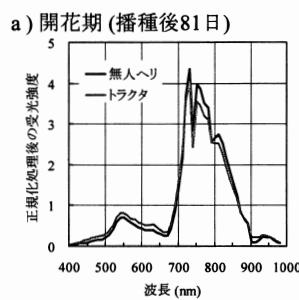


図5 生育段階ごとのスペクトルデータ(除草区)の比較

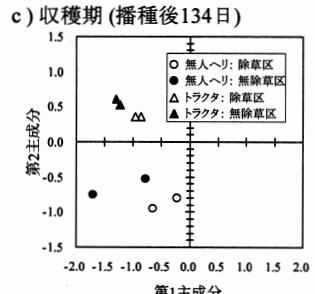
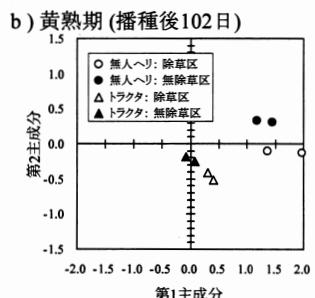
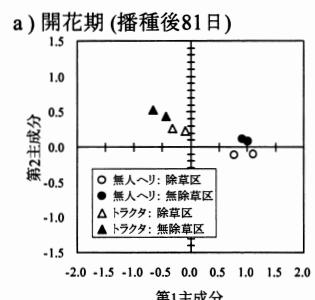


図6 主成分分析の結果

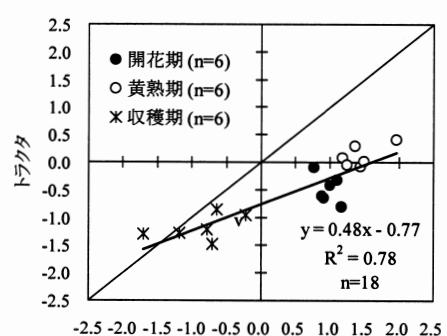


図7 第1主成分の比較

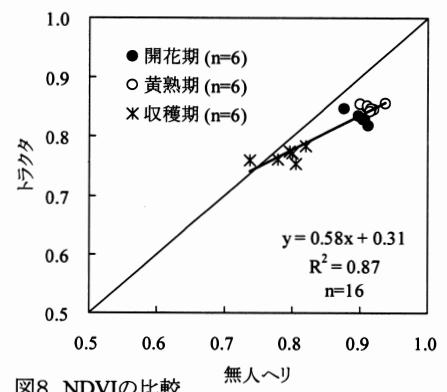


図8 NDVIの比較

(NO.19580303), 私立大学経常費およびH19・20年度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。本研究の遂行に当たって、J A十和田おいらせの杉山憲雄氏、杉山友也氏には無人ヘリの操縦に多大なるご協力を頂いた。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環境情報学研究室の専攻生にはご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

- 農林水産省(編)(2009)飼料自給率向上に向けた平成21年度行動計画 http://www.maff.go.jp/j/chikusan/souti/in/l_siryo/siryo_zikyu/h210327/pdf/data03.pdf [2009年10月30日参照]
- 志藤博克・山名伸樹(2000)トウモロコシ収穫用カッティングロールベーラの開発。農業機械学会誌62(3):157-159
- 魚住順(2009)不耕起栽培トウモロコシの収量性省力・省資の有望技術。機械化農業(3092)1月号:17-20
- 井上吉雄・ギャッシュディアン・ミア・境谷栄治・中野憲司・川村健介(2008)ハイパースペクトル計測に基づく正規化分光反射指數NDSIマップおよび波長選択型PLSによる植物・生態系変量の評価-米粒タンパク含有率・クロロフィル濃度・バイオマス評価を事例として-。日本リモートセンシング学会誌28(4):317-330
- 村田哲郎・岡本博史・片岡崇・端俊一(2004)ハイパースペクトルイメージを用いた圃場センシングー撮影装置及びデータ解析手法の開発ー。農業機械学会北海道支部報44:45-49
- 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
- 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
- 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ー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ー。農業機械学会誌69(5):43-51
- Okamoto,H., Murata,T., Kataoka,T., Hata,S., 2007, Plant classification for weed detection using hyperspectral imaging with wavelet analysis. Weed Biology and Management, 7, 31

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 mays* L.) 畑のセンシング(第2報)

—スペクトルデータと水分および栄養成分との関係—

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

Sensing of a Maize (*Zea mays* L.) Field Using a Hyperspectral Imaging Sensor (Part 2)

—Relationship between spectral data, moisture, and feed composition—

Ayumi NAKATSUBO, Katsusyuki TANAKA, Toshihiro SUGIURA, Hideo MINAGAWA,

Eikichi SHIMA, Hiroshi SHIMADA

Abstract

It is important to acquire field information, including yield and quality, when managing maize fields. This information is very important in the regulation of the amount of fertilizer, determination of harvest time, and evaluation of quality. The aim of this study is to establish a monitoring system to support production management for maize fields. We examined methods of assessing maize yield and feed quality, and determined the optimal time and platform to acquire field information using remote sensing. We examined maize moisture and feed composition using spectral data acquired by a commercial unmanned helicopter and a tractor. The correlation coefficient of spectral data and maize moisture or feed composition was platform dependent. The influence of background noise should be minimized when collecting and analyzing data.

[Keywords] remote sensing, hyper spectral sensor, unmanned helicopter, maize, forage crop, feed component

1. はじめに

前報（中坪ら 2009）でも述べたように、飼料用トウモロコシの収量や品質などの情報を圃場内の空間的ばらつきとして把握することができれば、栽培管理の上で施用量の調節、収穫適期の決定および品質評価などの点において重要な情報となりうる。近年では、植物の生理・生態・収量・品質にかかる量的・機能的特性や生成特性を推定する上で特に有望であるハイパースペクトルイメージングセンサが注目されている（井上ら 2008）。このセンサを利用し、グランドベースでの牧草成分の推定（Kawamura *et al.* 2008・Suzuki *et al.* 2008）や航空機ベースでの米粒や小麦のクロロフィルおよびタンパク含有率（井上ら 2008・田中ら 2008）などの推定について多くの報告がある。また、主な利用方法が水田における防除であった産業用無人ヘリコプタ（以下、無人ヘリ）をPF（precision farming）・PF（precision agriculture）に導入したセンシング手法が報告されている（野口 2003・杉浦ら 2003・横堀ら 2008）。無人ヘリの利点としては、野口（2003）が述べているように、① 圃場状態や作物を選ばないこと、② 人工衛星・航空機リモートセンシングと比較して気象条件によらずにセンシングが可能であること、③ 作業効率が高いことがあげられ、特に草丈が

高く、栽培規模が大きいトウモロコシ畠には最適なプラットホームになりうる。一方で、現段階での無人ヘリの操縦は特別な技能が必要であることや購入費・維持費が高額であるため、一般農家が簡単に取り組めるものではないという問題点も抱えている。

本研究では、飼料用トウモロコシ畠を対象に生産管理を支援するためのモニタリングシステムを構築することを最終目的とし、リモートセンシングを用いてトウモロコシ収量・栄養成分などの推定法、それらのセンシング適期、およびプラットホームの適否について検討している。前報では、異なるプラットホームによるスペクトルデータの特徴について報告した。本報では、前報で述べた無人ヘリとトラクタでセンシングしたスペクトルデータを用いてトウモロコシ水分と栄養成分（TDN・CP）との関係について検討したので報告する。

2. 材料と方法

データ解析に用いたスペクトルデータは、前報で示したプラットホームによって取得されたものである。試験区と試験区の概要、供試センサとセンシングシステム、およびスペクトルデータの取得と処理については、前報を参考されたい。

*北里大学大学院，**北里大学獣医学部，***秋田県立大学

(1) トウモロコシの栄養成分の取得

スペクトルデータを取得した黄熟期と収穫期にそれぞれ30サンプル、各試験区のトウモロコシを採取し飼料分析に供試した。本報では、水分(%)、可消化養分総量(Total Digestible Nutrients; TDN, DM%)、および粗タンパク質(crude protein; CP, DM%)を検討対象とした。

(2) データ解析

水分、TDN、およびCPとスペクトルとの関係を明らかにするために、各波長のスペクトルデータを説明変数(X、変数の数:60)、各栄養成分の値を目的変数(Y)とした単相関分析と偏相間分析を適用し(n=60)、異なるプラットホームによるスペクトルデータを比較した。

3. 結果および考察

図1に、トウモロコシ黄熟期と収穫期のスペクトルデータ(500点の平均値)を示す。無人ヘリ、トラクタの場合ともに黄熟期から収穫期にかけてのスペクトルデータは、可視域では光の吸収が、近赤外域では光の反射が小さくなつた。NDVIを算出したところ、無人ヘリの場合、黄熟期で0.86(±0.01)、収穫期で0.75(±0.01)、トラクタの場合、黄熟期で0.80(±0.03)、収穫期で0.69(±0.02)となり、無人ヘリとトラクタの場合ともに黄熟期から収穫期にかけて同様なNDVIの低下が見られた。一方、無人ヘリとトラクタのNDVIには、有意な差が認められ、プラットホームによる違いが示された(p<0.05, n=6)。

図2に、トウモロコシ黄熟期と収穫期それぞれの水分、TDNおよびCPの度数分布を示す。黄熟期から収穫期にか

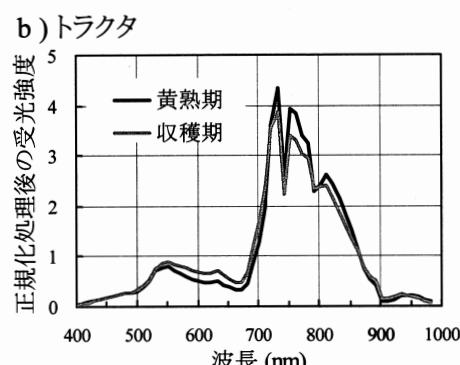
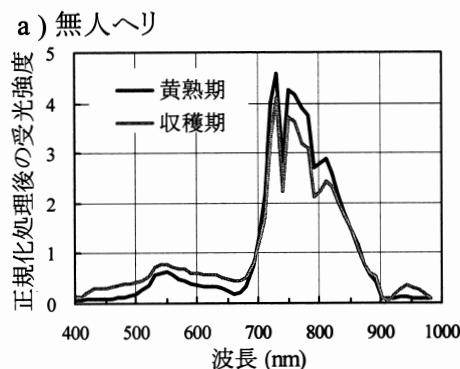
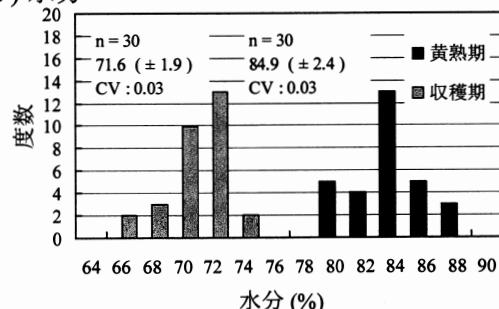


図1 スペクトルデータ(除草区)の比較

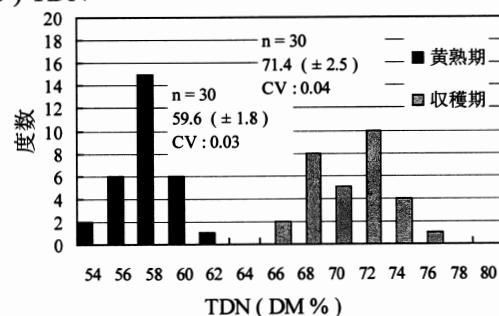
けて水分とCPについては低下が、TDNについては増加が見られた。なお、水分、TDN、およびCPのそれぞれについての黄熟期と収穫期の変動係数を比較したところ、同程度であった。

図3に、無人ヘリとトラクタそれぞれで取得した波長ごとのスペクトルデータと水分、TDNおよびCPとの単相関係数の変化を示す。3成分とも580–880 nmにおける単相関係数の変化は同様の傾向を示した。レッドエッジを有する680–720 nmではその変化に20–40 nm程度のずれが生じていたが、580–680 nmおよび720–780 nmでは単相関係数の大きさが同程度だった。このことから、無人ヘリとトラクタで580–680 nmおよび720–780 nm領域のスペクトルデータは同様の性質を有するが、それが生じたレッドエッジ付近の領域では撮影条件による影響を受けやすい可能性があると推察する。図4に、単相関分析と同様に算出した偏相関係数の変化を示す。偏相関係数によって有意な差(p<0.05)があると判断された波長について無人ヘリとトラクタの場合を比較すると、水分については共通する波長は検出されなかった。一方、TDNでは共通して緑色域と近赤外域が、CPでは近赤外域が共通して検出された。以上から、無人ヘリとトラクタそれぞれの

a) 水分



b) TDN



c) CP

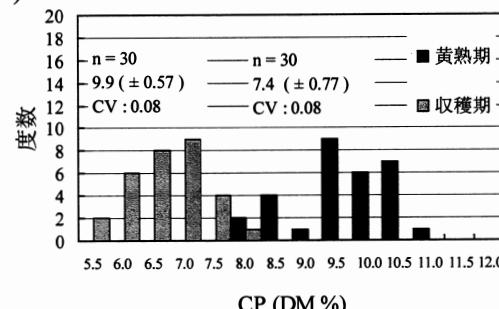


図2 水分、TDN、およびCPの度数分布

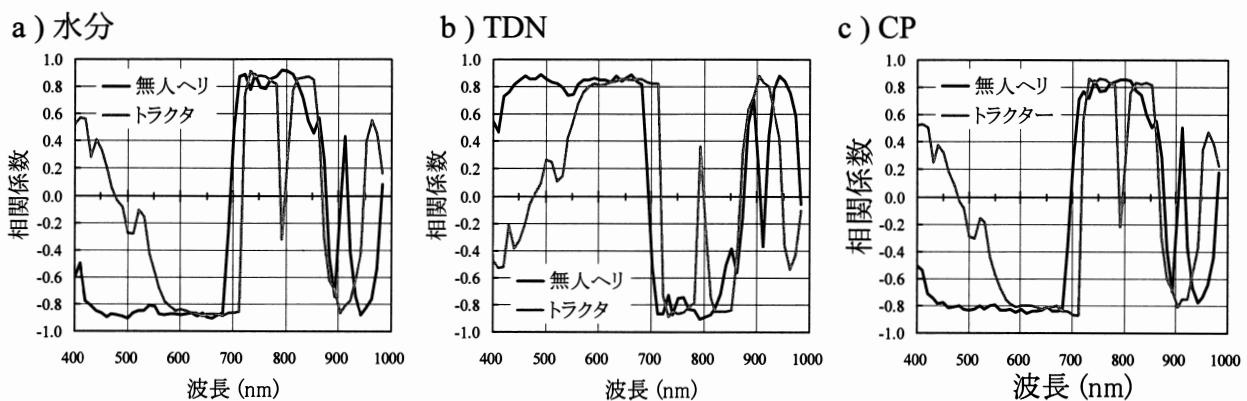


図3 水分, TDN, およびCPの単相関係数の変化 (n=60)

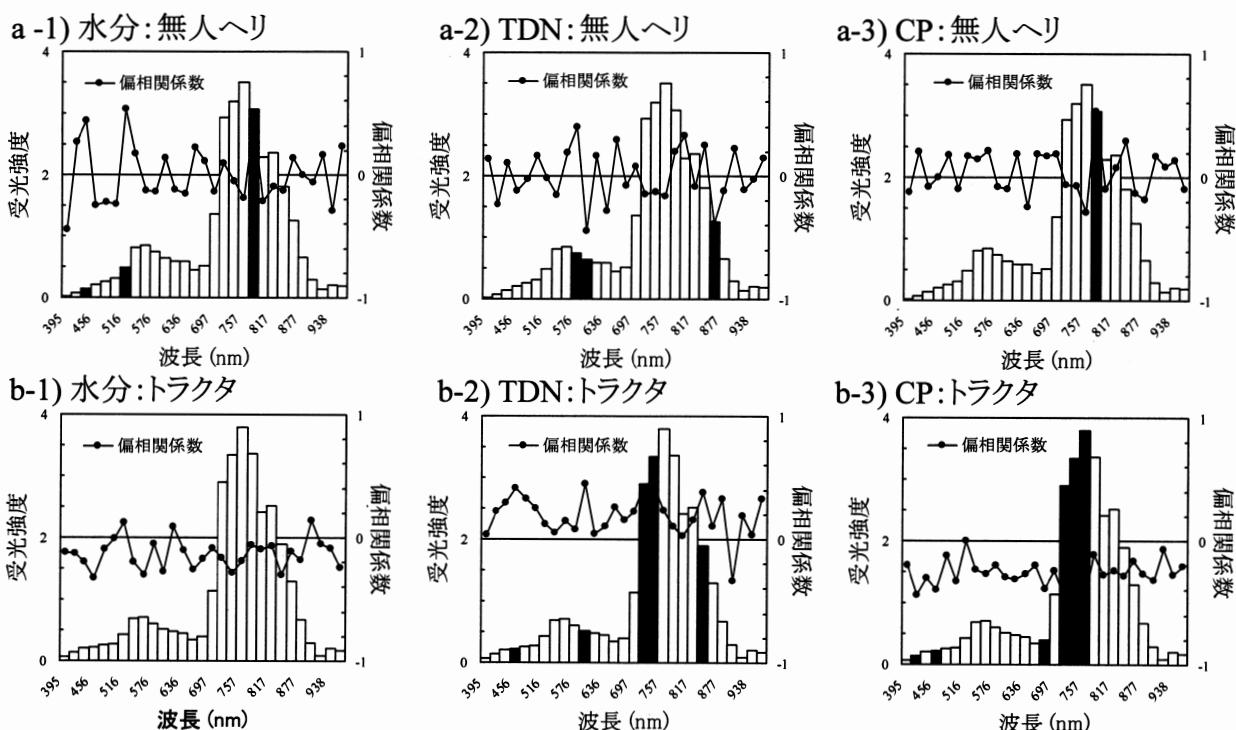


図4 水分, TDN, およびCPの偏相関係数の変化 (n=60, ■=p<0.05)

単相関係数は水分, TDN, および CP すべてで同様の傾向を示すが、波長同士の相関について考慮した偏相関係数では TDN と CP についてのみ無人ヘリとトラクタに同様の傾向が示された。

4. まとめ

本報では、無人ヘリとトラクタで取得したスペクトルデータとトウモロコシ水分, TDN, および CP との関係について比較検討した。その結果、スペクトルデータと水分, TDN および CP との相関係数はプラットホームの違いによって多少異なるため、撮影条件による影響が少ない波長域の利用やノイズを除去することで、双方で取得したスペクトルデータ同じ手法を用いて評価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H19・20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の操縦に多大なるご協力を頂いた。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

中坪あゆみ・田中勝千・杉浦俊弘・皆川秀夫・嶋栄吉・嶋田浩 (2009) ハイパースペクトルイメージングセンサを用いた

試料用トウモロコシ(*Zea mayz* L.)畑のセンシングー異なる
プラットホームによるスペクトルデータの比較—農機東北
支部報(印刷中)

井上吉雄・ギャッシャディアン ミア・境谷栄治・中野憲司・川
村健介 (2008) ハイパースペクトル計測に基づく正規化
分光反射指數 NDSI マップおよび波長選択型 PLS による
植物・生態系変量の評価-米粒タンパク含有率・クロロフィ
ル濃度・バイオマス評価を事例として-. 日本リモートセンシ
ング学会誌 28 (4): 317-330

Kawamura, K. Watanabe, N., Sakanoue, S., Inoue, Y., (2008)
Estimating forage biomass and quality in a mixed sown
pasture based on partial least squares regression with
waveband selection. JSGS 54:131-145

Suzuki, Y., Tanaka, K., Kato, W., tOkamoto, H., Kataoka, T.,
Shimada, H., Sugiura, T., Shima, E., (2008) Field mapping
of chemical composition of forage using hyperspectral
imaging in a grass meadow. JSGS 54:179-188

田中真哉・後藤誠二朗・牧雅康・秋山侃・村元靖典・吉
田一昭 (2008) 出穂から開花期における地上及び航空
機ハイパースペクトルデータを用いた小麦の葉身クロ
ロフィル濃度の推定とその評価. 写真測量とリモート
センシング, 47 (2) : 39-49

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

杉浦 綾・野口伸・石川一暢・寺尾日出男 (2003) 産業用無
人ヘリコプタを用いた農地情報のリモートセンシングシス
テム(第 1 報)－ほ場空間データの GIS マッピング－. 農
業機械学会誌 65 (1):53-61

横堀潤・丹羽勝久・野口伸 (2008) 産業用無人ヘリコプタ搭
載カメラによる斜め観測画像を用いた圃場マップ. 農業機
械学会誌 7 (5):92-100

牧草の水分と分光反射特性との関係 (第1報)

—実験装置の概要と測定結果について—

田中勝千*・高石義之**・皆川秀夫*・杉浦俊弘*・嶋 栄吉*

中坪あゆみ**・嶋田 浩***

Relationships Between Moisture Content and Characteristics of Spectral Reflectance for Grass

(Part 1)

— Overview of the experimental apparatus and experimental results —

Katsuyuki TANAKA, Yoshiyuki TAKAISHI, Hideo MINAGAWA, Toshihiro SUGIURA,

Eikichi SHIMA, Ayumi NAKATSUBO, Hiroshi SHIMADA

Abstract

The aim of this study is development of the monitoring support system for production management at the meadow field. Moisture content of grass is the most important information for making good condition of hay and silage. With sensor accuracy considerations, it was obtained that suitable wave length band was 400 to 900 nm. The results show that spectral reflectance of grass over 500 to 900 nm range increased with decreasing in moisture content of grass.

[Keywords] spectral reflectance, moisture content, grass, traceability, meadow field

1.はじめに

飼料作物の栄養成分評価に関して、青刈り牧草(鈴木ら 2007・Kawamura *et al.* 2008・Suzuki *et al.* 2008)や飼料として調整後の乾草(甘利 2000・徐ら 2007)あるいはサイレージ(出口 1998・徐ら 2006)を対象とした研究成果が報告されている。前者は作物管理の評価と次年度の栽培計画に、後者は給餌計画に活用できる。筆者らは両者の中間段階に焦点を当て、刈り取られた作物が(乾燥)

生産履歴を保証することで生産管理を支援するシステムを構築することを最終目標と位置づけている(図1参照)。乾草に限らずサイレージ(ダイレクトカットを除く)作業においても乾燥調整作業(反転、集草作業)が必要となる。その際の基本情報が水分との認識から、本研究では水分に焦点を当てた。本報では分光放射計をセンサとした室内実験装置の概要について述べると共に、得られた実験結果を用いて牧草水分と分光反射特性との関わりについて検討したので報告する。

2. 実験装置と実験方法

(1) 実験装置

図2に実験装置の概略図を示す。ベニヤ板で製作した箱(500×300×700)の天井に白熱電球(60W)を吊り下げて標準光源とした。箱の内面には黒ペンキを塗布した。試料からの反射光は、箱の側壁に高さ300mm、俯角45°に設置された光ファイバー(内径200μm)によって検出される。受光底部における検出範囲(スポット)は約330cm²で底面積の約2割を占める。なお、リファレンス測定には機器に添付されてきた標準白色板を用いた。

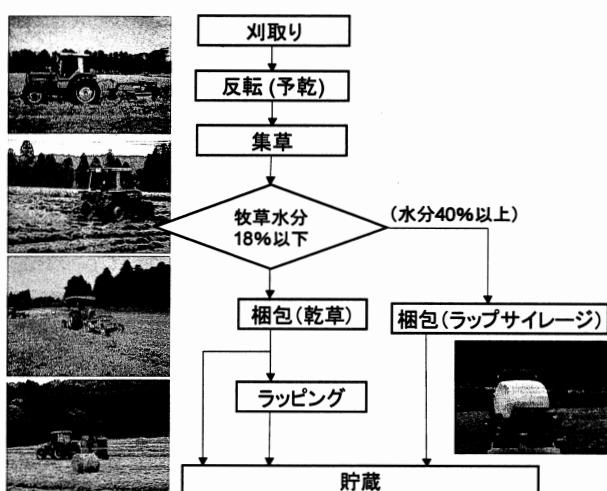


図1 牧草収穫作業作業体系

調整された後、圃場から搬出されるまでの状態を評価し

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

(2) 実験方法

本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二つの採草地(第1圃場, 第2圃場)から牧草を採取し, 供試材料とした。第1圃場は, チモシーが, 第2圃場はイタリアンライグラスが主体の採草地である。2008年の1番草(5月下旬)と2番草(7月下旬)を対象に, 刈取り直後の青刈り牧草, あるいは, 刈取り後数日間天日乾燥させた牧草を採取し, 実験室に持ち帰った。生草重を測定後, 直ちに分光放射計(マキ製作所 HSR-8100, 測定波長域: 300–1100nm, 波長分解能: 8nm)を用いて波長毎のスペクトルを分光反射強度として測定し, これをスペクトルデータとした。その後, 40–80°Cに設定した通風乾燥機で徐々に牧草水分を落としながらスペクトルデータを求め, 最終的に絶乾して初期水分を求めた。図3に計測装置を, 図4に実験装置

の概略図を示す。また, 図5に実験のフローチャートを示す。

室内実験結果と比較するために, 野外において立毛状態の牧草の分光反射スペクトルを求めた。光ファイバーの取り付け角度は室内実験装置と同様に俯角 45°としたが, 高さは牧草の生長に合わせて変化させた。また, 光源が日光(太陽光)であることから, 測定光量を抑えるために内径 50 μm の光ファイバーを用いた。

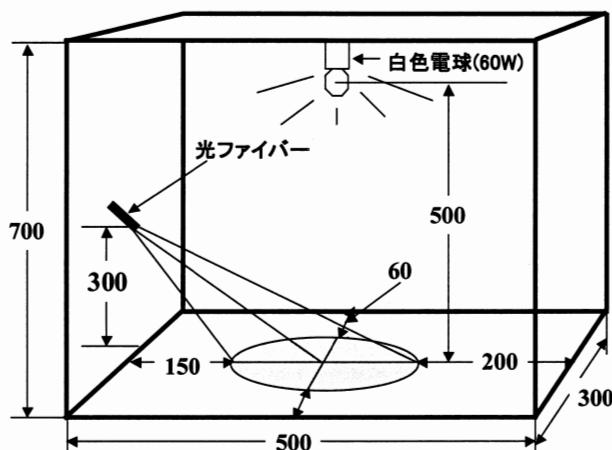
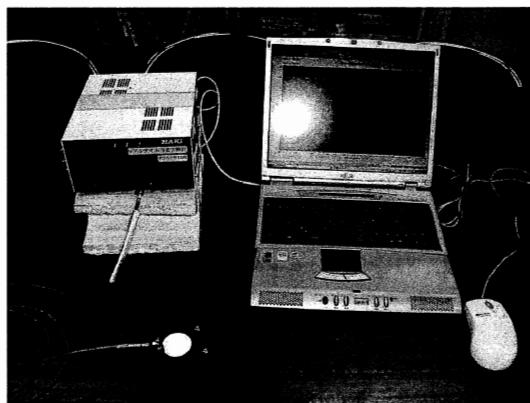


図2 実験装置の概略図



- A : 分光放射計 (HSR-8100, マキ製作所)
- B : 光ファイバー
- C : 拡散版
- D : パーソナルコンピューター

図3 計測装置

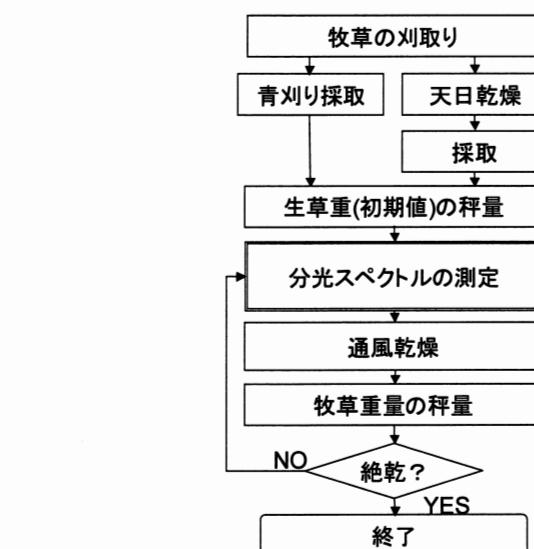
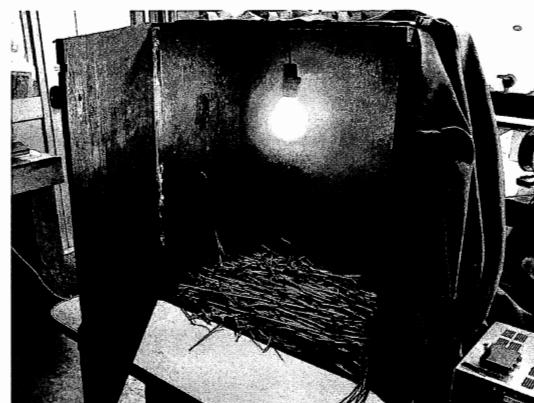


図5 実験のフローチャート



- A : 白色電球 (60W)
- B : 光ファイバー
- C : 遮光カーテン
- D : 供試サンプル

図4 実験装置

3. 結果と考察

(1) 牧草の分光反射特性

図6に、野外で測定されたスペクトルデータの波長と反射強度の関係を示す。実験時の日光の反射強度(リファレンス)は400–700nmの可視域に高い分布を示し、ピークの波長は500nm付近と推察された。全体として日光の放射強度の典型的なパターンが観測されているが、とくに、紫外域から可視域(300–450nm)の部分では滑らか右上がりのグラフとはなっておらず、感度が劣る可能性がある。

他の植物と同様に、牧草の反射強度は赤色域を境に二峰性を有し、緑色域に比べて青色と赤色域の反射が小さく、いずれも光合成に関わる波長帯といわれている。一方、700nm以上の近赤外域(短波長赤外域)の反射強度が大きいのは、光合成色素(クロロフィル)を護るためにあるといわれている。

図7は、日光の放射強度を基準とした場合の植物の反射強度を反射率として示したものである。赤色域から近赤外域への急激な立ち上がり(レッドエッジ)がみられ、近赤外域の反射が大きいことが分かる。健康な植物は近赤外域の反射率が高く、活力が低下した植物では低下するといわれている。

対象とした牧草は立毛状態であることから可視域に比べて近赤外域の反射率が大きく、その特徴を示している。

図6、図7のグラフより、450nm以下と950nm以上の波長域ではセンサの特性のためノイズが見られ、データ解析の段階で留意すべきであると思われた。

図8に、実験装置によって測定されたスペクトルデータの波長と反射強度の関係を示す。日光に比べて白熱電球のリファレンスの反射強度は300–500nmの割合が低く、近赤外域の700nm以降の割合が高かった。また、500–600nmにピーク値をもつていて日光のピーク位置とは異なるが、全体の分布形状は同傾向にあった。図9は、白熱電球の放射強度を基準とした場合の植物の反射強度を反射率として示したものである。グラフの傾向は野外で得られたものと同様の傾向を示していた。分光計測とは対象物に当たって反射した光を観測し、その波長毎の計測値(スペクトル)を用いて物体の同定及び物体の特徴計測を行う技術であり、近赤外スペクトルの形状の相違を利用して計測した物質名を決定することであるとされている。従って、測定条件が一定ならば製作した実験装置においても牧草成分に関わる要因を解析できるものと考える。

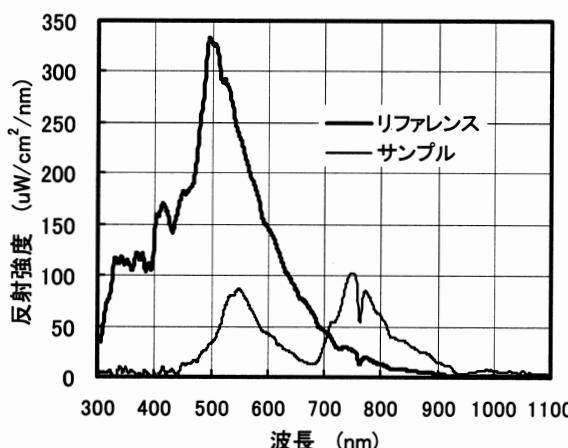


図6 野外における日光と牧草の反射強度 (2008.05.01)

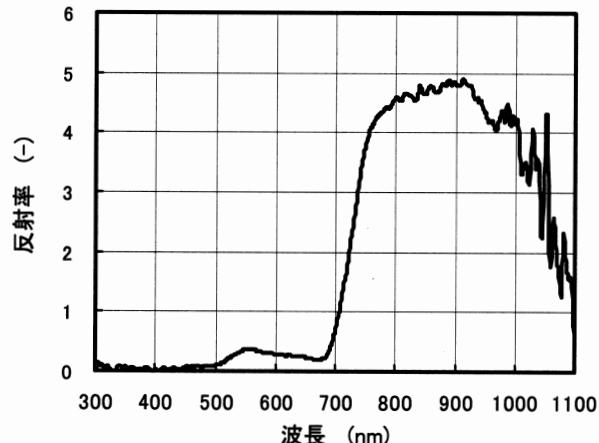


図7 野外における牧草の反射率 (2008.05.01)

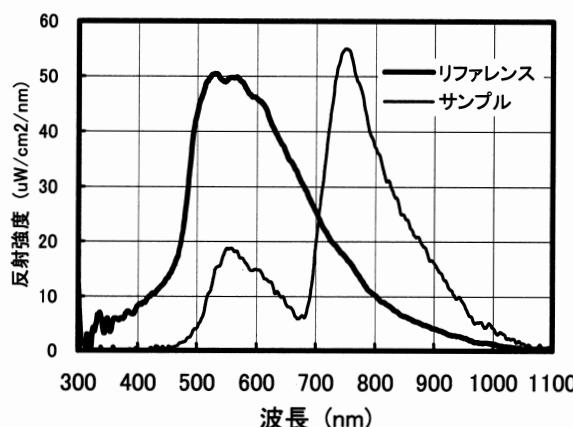


図8 実験装置を用いた白熱電球と牧草の反射強度

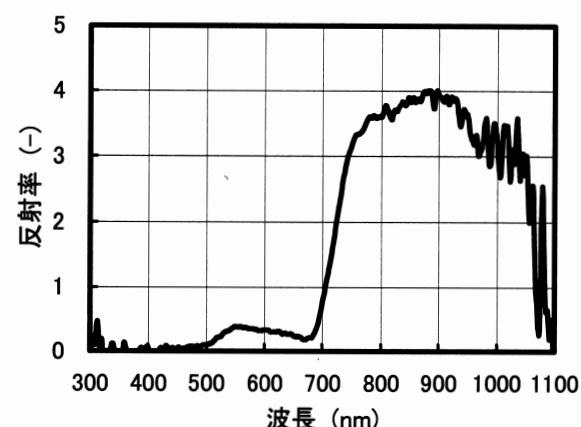


図9 実験装置を用いた牧草の反射率

衛星リモートセンシングによる植物の反射率では、800—1300nmまでは緩やかな減少傾向を示すことが知られている。これに比べて、野外においても測定した場合(図7)も、また、実験装置を用いて測定した場合(図9)でも、牧草の反射率は950nm以降の反射率の減少が著しく、供試したセンサの感度特性によるものと思われた。以上のことから考慮すると、実験データの解析に用いる波長帯は400—900nmが妥当であると考えられた。

(2) 牧草水分と反射率との関係

供試した牧草の水分は、刈取り直後の青刈り牧草の場合80%前後、天日乾燥後の牧草の場合60~40%であった。図10に、牧草水分と反射率との関係の一例を示す。図の横軸は波長で、縦軸は反射率である。圃場から採取した牧草の水分を65%から絶乾状態まで12段階に変化させた。青を代表とする寒色系のグラフは高水分の条件を、赤を代表とする暖色系のグラフは低水分の条件を示している。従って、波長と反射率との関係から、水分の減少(ストレス)に伴ってレッドエッジが短波長側に移行するブルーシフトが観察された。また、可視領域と近赤外域のいずれも反射率が増加する傾向にあり、既往の報告と同様の結果となった。

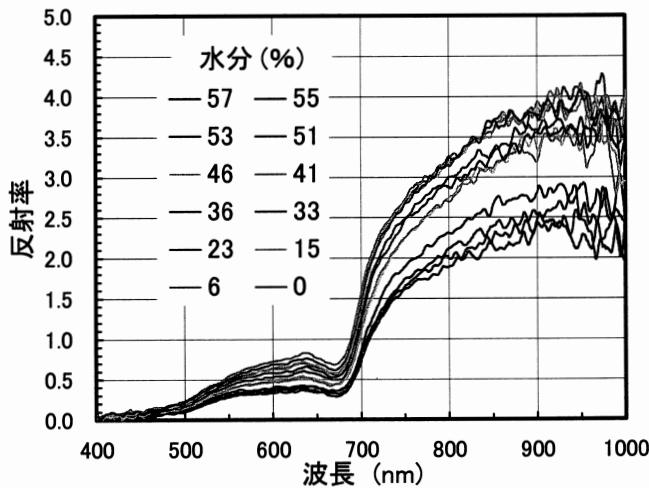


図10 水分変化に伴う反射率の推移

4.まとめ

実験装置で得られた波長と牧草の反射率のグラフからセンサの感度等を考慮すると、解析に用いることできる波長帯は400—900nmが妥当であると考えられた。また、既往の報告と同様、牧草の水分が減少すると牧草の反射率の形状は植物の分光反射特性を維持しつつ、反射率は大きくなる傾向にあった。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金

(NO.19580303)、私立大学経常費およびH19・20年度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。本研究の遂行に当たって、山形大学農学部夏賀元康博士には分光計測の基礎を教授いただいた。北海道大学農学部岡本博史博士には計測機器とその特徴について技術的侧面からご支援いただいた。実験に際し、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の職員の皆様および環境情報学研究室の専攻生にご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

- 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
- Kawamura, K., Watanabe, N., Sakanoue, S., Inoue, Y., (2008) Estimating forage biomass and quality in a mixed sown pasture based on partial least squares regression with waveband selection. JSGS 54:131-145
- Suzuki, Y., Tanaka, K., Kato, W., tOkamoto, H., Kataoka, T., Shimada, H., Sugiura, T., Shima, E., (2008) Field mapping of chemical composition of forage using hyperspectral imaging in a grass meadow. JSGS 54:179-188
- 徐春城・蔡善民・守谷直子・甘利雅拡・村井勝・小川増弘(2007) 近赤外分光法による無粉碎飼料イネ飼料成分の推定. 日草誌 53(1):6-10
- 徐春城・蔡善民・守谷直子・甘利雅拡・吉田宣夫・小川増弘(2006) 近赤外分光法によるイネホールクロップサイレージの飼料成分の推定. 日草誌 51(4):374-378
- 甘利雅拡 (2000) 近赤外分光法による無粉碎乾燥草の成分分析. 畜産技術(536):34-36
- 出口健三郎 (1998) 近赤外分析におけるPLS法を用いた牧草サイレージ中成分含有量の推定. 日草誌 44(別):290-291

牧草の水分と分光反射特性との関係（第2報）

- 乾燥調整時の正規化植生指数の変化 -

高石義之*・田中勝千**・皆川秀夫**・杉浦俊弘**・

嶋田 浩***・嶋 栄吉**・中坪あゆみ*

Relationship Moisture Content and Characteristics of Spectral Reflectance For Grass (Part 2)

- Change of Normalized Difference Vegetation Index in hay making -

Yoshiyuki TAKAISHI, Katusyuki TANAKA, Hideo MINAGAWA, Toshihiro SUGIURA,

Hiroshi SHIMADA, Eikichi SHIMA, Ayumi NAKATUBO

[キーワード] 牧草, 分光反射放射計, 水分, リモートセンシング, NDVI

1. はじめに

寒地型牧草の一番草は、それ以降の番草と比較すると旺盛な生育を示し、家畜の嗜好性にすぐれ栄養価も高い。晴天が続かず多湿な気候風土の日本において安定した乾燥調整は難しいが重要な作業過程である（村井 岩野ら）。しかし、水分状態の把握に関して現場では作業者の経験に頼っていることが多い。そこで、本研究では飼料の生産履歴を保証することで生産管理を支援するシステムを構築することを最終目的と位置付け、基本的な情報となる水分および栄養価に注目した。本報では、高波長分解能を有し植物体の詳細なスペクトル情報を取得できる分光放射計を用いて水分を推定する方法について検討した。

2. 測定方法

本学附属フィールドサイエンスセンター十和田農場採草地（第2圃場）内に 50m×50m の試験区を 2 区画設置し、それぞれ 1 区と 2 区とした。両区ともイタリアンライグラスを主体とした採草地で、1 区は 2009 年 5 月 21 日、2 区は 5 月 27 日に牧草を刈取った。

両区の刈取りを 1 週間ずらしたが、いずれも出穂前の状態であった。圃場から採取したサンプルは、1 サンプルの採取量を 200~400 g として乾物重量が約 100 g となるようにした。表 1 に各区ごとのサンプル数を示した。各サンプルの分光反射特性を調べるために、分光放射計 HSR-8100（マキ製作所、測定波長 300~1100nm、波長分解能 8nm）を用いた。図 2 にセンシングシステムの概略図を示す。黒く塗ったベニヤ板で作成した箱（500×300×700）の天井に白熱電球（60W）を吊り下げ、側面に高さ 30cm、俯角 45° に光ファイバー（φ 200 μ m）を設置した。

表1 区ごとのサンプル数

	1区	2区
青刈り牧草	20(青刈り時)	20(青刈り時)
天日乾燥1回目	5(刈取り8日後)	5(刈取り5日後)
天日乾燥2回目	5(刈取り9日後)	5(刈取り8日後)
天日乾燥3回目	20(刈取り12日後)	20(刈取り9日後)

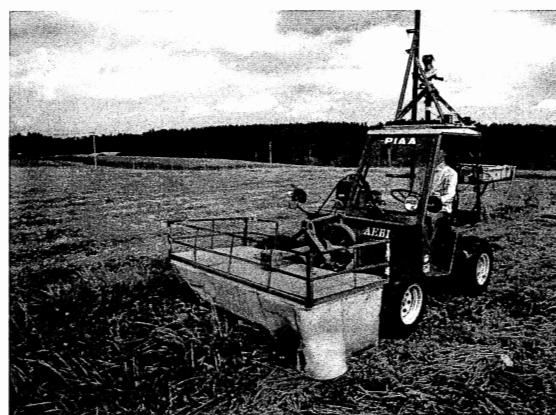


図1 圃場での刈取り

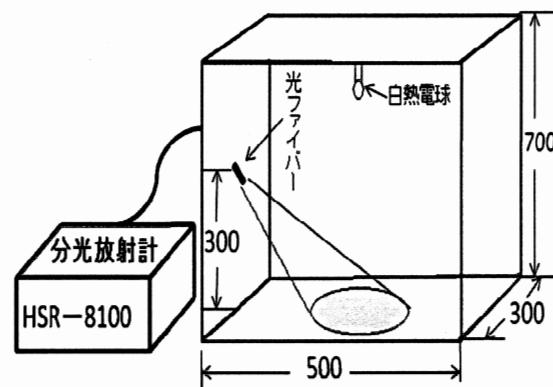


図2 センシングシステム

測定時には、始めに標準白色板（拡散板）を光ファイバーに取り付け、リファレンスを取得した。次に、牧草の茎の方向を揃えて黒色の画用紙で作製したケースに入れ、生草重を求めた後、反射強度を求めた。70°C（生草の栄養素が変化しない温度）に設定された通風乾燥機（TABAI PS-222）で10分間乾燥させ、再度測定に供した。最後に105°Cで2時間絶乾することで初期水分を求めた。牧草水分が変化したときその特徴を調べるために反射率、正規化植生指数 NDVI（Normalized Difference Vegetation Index）を求めた。

$$\text{反射率} = (S\delta - D\delta) / (R\delta - D\delta)$$

$S\delta$ = ある波長の反射強度

$D\delta$ = ある波長のダーク測定の反射強度

$R\delta$ = ある波長におけるリファレンスの反射強度

$$\text{NDVI} = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

NIR : 720~950nm

RED : 620~690nm

3. 結果と考察

(1) 水分変化に伴う牧草の分光反射特性

図3に波長と反射率の関係を示す。図から水分の大きさに関わらずグラフは一般的な植物の分光反射特性を示した。反射率は可視域（550~650nm）と近赤外域（720~950nm）で高くなる二峰性を示した。近赤外域で反射率が高くなるのは近赤外線の影響で活性を失うクロロフィル色素を保護するためだと言われている（Colwell, J.E ら）。また、690nm付近でレッドエッジが見られ、水分が減少するにつれて長波長側に移動するレッドシフトが見てとれる。

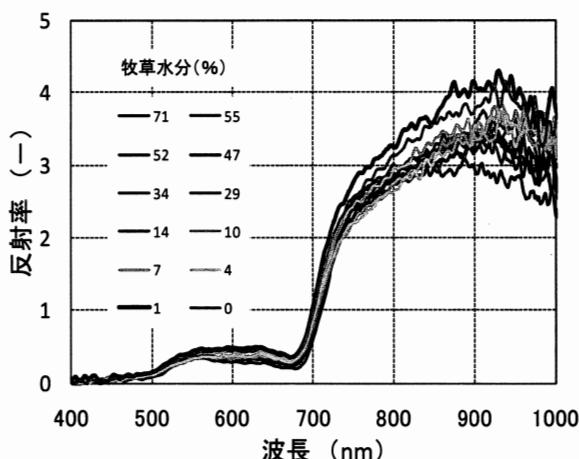


図3 牧草の分光反射特性(青刈り牧草)

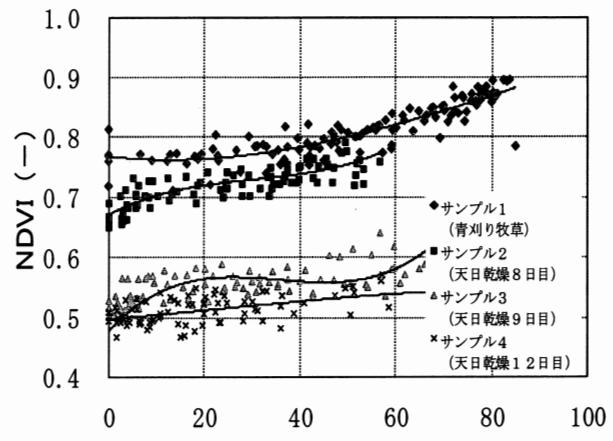


図4 水分とNDVIの関係(1区)

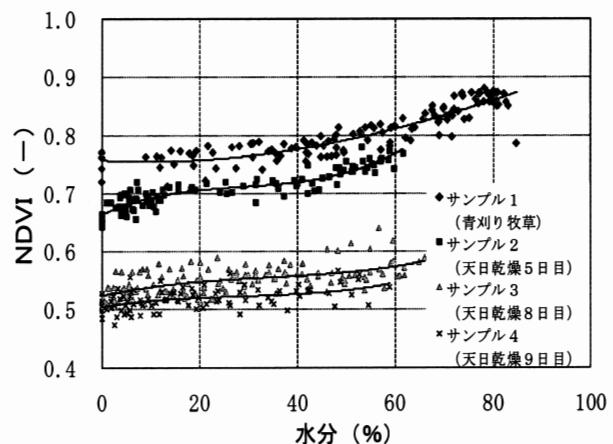


図5 水分とNDVIの関係(2区)

図4, 5に青刈り時から天日乾燥後までの水分とNDVIの関係を示す。図では横軸に水分、縦軸にNDVIをとっている。1区、2区共に同じような傾向のグラフとなった。青刈り牧草においても天日乾燥させた牧草においても、初期水分に関わらず水分が減少していくほどNDVIも減少する傾向にあった。両区とも青刈り牧草であるサンプル1では、初期水分から40%までNDVIが減少するが、それ以降は変化量が小さかった。また、天日乾燥のサンプル(2, 3, 4)はいずれも水分60%程度までは乾燥が進んでいなかった。サンプル2では水分60%から40%までNDVIが減少するが、40%から20%までは変化が小さく、20%からまた減少する傾向にあった。サンプル3, 4についてもNDVIの減少割合が小さいが、同様の傾向にあると思われる。各サンプルの初期水分から終期水分までの平均したNDVIを比較すると、天日乾燥させた日数が長いものほどNDVIが小さくなり、乾燥させていくと植物の活性が失われていくことがわかる。今回の実験から図4, 5に示すようにNDVIと水分の関係には定性的な傾向が見られた。

図6, 7に1区のサンプル1とサンプル2の水分とNDVIの関係を示す。図6は20サンプル中の5サンプル、図7は20サンプル中の7サンプルを用いて作成した。図6で示した5サンプル以外は定性的ではあるがグラフが上下にシフトしていた。これは、牧草の個体差による活性度の違いが示されたものと推察する。高水分サイレージ(水分70%以上)、予乾サイレージ(60~70%)、低水分サイレージ(40~60%)、乾草(18%以下)などの飼料を調整する段階で、水分を推定できる可能性があるのはばらつきの少ないサンプル1, 2である。しかし、今回の実験結果からするとNDVIを用いて水分を推定するのは難しいと思われた。

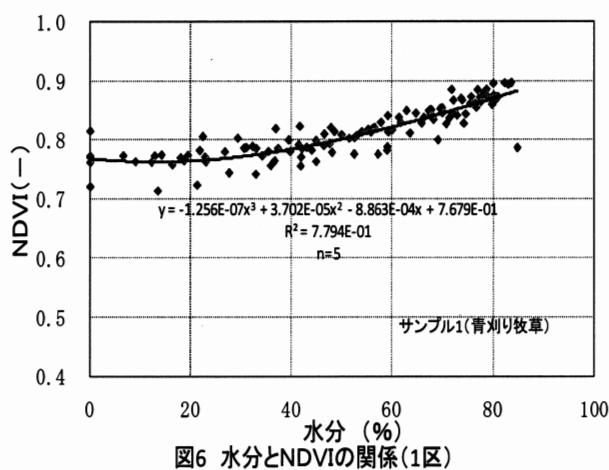


図6 水分とNDVIの関係(1区)

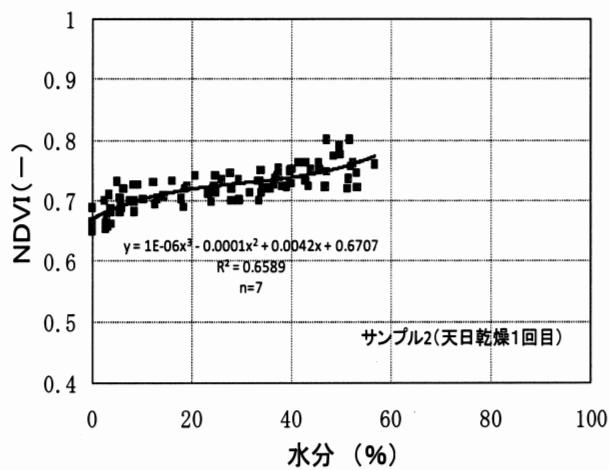


図7 水分とNDVIの関係(1区)

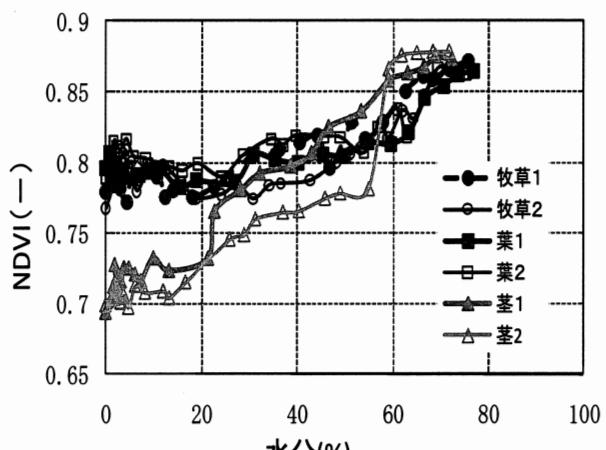


図8 水分とNDVIの関係

(2) 部位別乾燥によるNDVIの変化

前述したように、青刈り牧草と天日乾燥後のグラフの形状は異なった。青刈り牧草のNDVIは水分が下がると減少し、水分40%でNDVIの変化量は小さくなる。天日乾燥させた牧草も水分が減少するとNDVIが減少し、水分40%からNDVIは変化しなくなり20%でまた減少する。そこで著者らは青刈り牧草と天日乾燥した牧草のNDVIと水分の関係を示すグラフの形状がどの部位に由来するものか、なぜ図3, 4のような傾向を示すのか検討した。先ず、青刈りした牧草を3kgほど採取し、そのうち1kgを2サンプルに分けた。残りの2kgの牧草は葉と茎に分割し、それぞれ二分割した。サンプルは全部で6サンプルとなる。そして、乾燥操作と反射強度の測定を繰り返し、水分とNDVIとの関係を求めた。その結果を図8に示す。葉のみのサンプルと牧草(葉+茎)のサンプルのグラフは同様の傾向を示した。一方、茎のグラフは葉や牧草(葉+茎)と比較すると傾向が異なる。図8の茎のグラフを見ると、図4, 5のサンプル2, 3, 4と似た傾向を示している。一方、図8の葉や牧草のグラフの傾向と図4, 5のサンプル1の傾向は類似している。

以上のことから、刈取り時に採取したものは葉の反射特性が強調され、図8の牧草のように水分20%まではNDVIの滑らかな変化があり20%より低くなると茎の反射特性が顕著になると考えられる。一方で、ある程度天日乾燥させたサンプル(2, 3, 4)は葉の持つ水分がほとんどなくなっている状態で、水分の落ちにくい茎のみが反射率に影響を与えた結果、茎の反射特性が色濃く出たと思われる。

4.まとめ

- (1) 水分変化に伴う牧草の分光反射強度の変化を測定したところ、水分の大きさに関わらず一般的な植物特有の可視域（550~650nm）と近赤外域（720~950nm）を多く反射する二峰性を持つ分光反射特性を示した。
- (2) 水分と NDVI の関係では刈取り直後の場合、葉の分光反射特性の影響が強く表れた。一方、天日乾燥させた牧草では葉の分光反射特性が低下し、茎の分光反射特性の影響が強くでることがわかった。
- (3) 青刈り牧草と比較して天日乾燥では天日での乾燥の期間が延びるにつれて牧草の平均的な NDVI が低下した。
- (4) 水分と NDVI の関係より NDVI はばらつきが大きいため、NDVI から水分を推定するのは難しいと思われた。

今後の課題

水分を推定するために統計モデルの作成を試みる。また、水分だけでなく栄養価（TDN, NDF, ADL, OCW）などを含め推定できるかを検討する。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金(NO.19580303), 私立大学経常費およびH19・20年度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。本研究の遂行に当たって、山形大学農学部夏賀元康教授には分光計測の基礎を教授いただいた。北海道大学農学部岡本博史先生には計測機器とその特徴について技術的側面からご支援いただいた。さらに、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の職員の皆様および環境情報学研究室の専攻生にはご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Ishiguro E.,et al.,2005,Study of the Plant Growing Conditions with Spectral Reflectance.J.Agricultural Meteorology,Vol60,No.5,pp929-932.
- 2) Colwell,J.E.,1974, : Vegetation canopy reflectance. J Remote Sensing of Environment,3,175p
- 3) 村井 勝・嶋野英子・近藤垣夫・田中 治：刈取り当日の採草地圃場における牧草水分含量の変化, 日本草地学会誌(別号)

微弱発光分光による農産物の品質測定の可能性

—玄米の発光の由来について—

松野 航*・夏賀元康*・石井 浩**

Applicability of Chemiluminescence Spectroscopy on the Observation of Quality Change in the Agricultural Products

—On the Origin of Chemiluminescence of Brown Rice—

Wataru MATSUNO*・Motoyasu NATSUGA*・Hiroshi ISHII**

Abstract

When molecules consisting organic matter transform their shape in the course of chemical change, energy difference between two stages of chemical bondage sometimes cause light emission. These light emitting phenomena are called as chemiluminescence. These phenomena has been utilized for the determination of oil/fat degradation, however their intensity are so low as only to be able to be observed as accumulated photon counts. A chemiluminescence spectrometer MS-8310, recently developed by Japan Applied Technology Inc. which employed very sophisticated optical system, enabled the observation as spectrum in a VIS/NIR region of 350-900nm. We have been investigated the applicability of this chemiluminescence spectroscopy on the observation of quality change in the agricultural product since 2005. In this study, we carried out the investigation on the relationship between the chemiluminescence spectra and brown rice quality, in particular on the origin of the chemiluminescence and on how it relates to brown rice quality.

[Keywords] chemiluminescence, brown rice, immature kernel, oxygen, sodium azide

1. はじめに

有機物を構成している分子が化学変化を起こして分子の形を変えていくときに、変化前後の結合総エネルギー差分の一部が光として外部に放出されることがある。これがケミルミネッセンスと呼ばれる極微弱な光である。この微弱発光現象は食用油脂の劣化度の判定などに応用されているが、ほとんどが測定波長範囲の光量を積分値として測定している。最近、高感度の分光系を採用した微弱発光分光装置が開発され、350～900nm の VIS/NIR 領域での分光測定が可能になった。当研究室では、この装置を使用した農産物の品質測定の可能性について 2005 年より研究を行っており、本研究では玄米の品質と発光の関係、発光のメカニズムの解明について調査した。

2. 装置の概要

装置はこれまでと同じ微弱発光分光装置（日本アプライドテクノロジ社、ナノルミネッセンス・スペクトロメータ MS-8310）を用いた。光学系を図 1 に示した。試料からの光はサバール板を用いた光学系により CCD 上で図 2 に示したインターフェログラムとして観測される。これをフーリエ変換することにより図 3 のようなスペクトルが得られる。

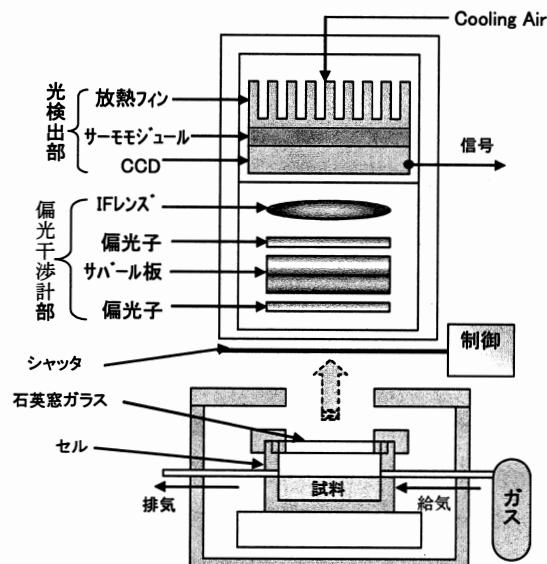


図 1. 装置の光学系

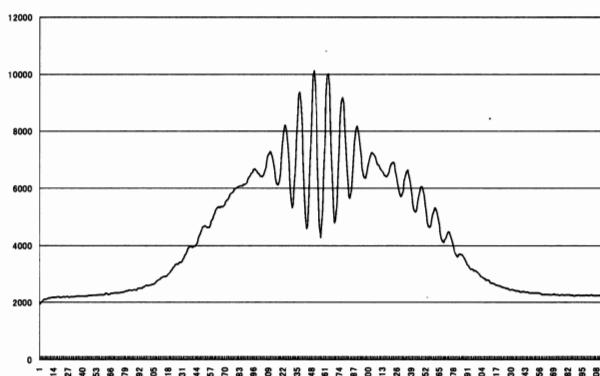


図 2. インターフェログラム

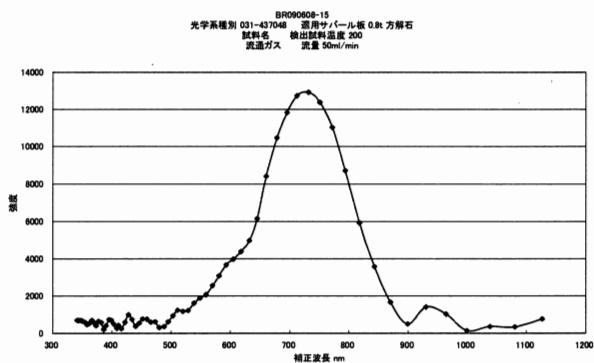


図 3. スペクトルデータ

3. 実験方法および供試試料

これまでの実験において、糠の発光強度が精米のそれよりも大きいことから、玄米の発光は糠部分で起こっていること、また、青米（未熟粒）の DLE 由来の発光が強いため、同一試料を反復測定しても視野内の青米数が異なるために発光スペクトルの再現性が悪くなること、などを明らかにした。そこで、本実験ではまず青米の影響をさらに明確にするため、玄米を整粒・生青米・死青米に選別し発光強度を測定した。次いで、糠の発光が酸素に関連していることを確認するため、測定環境ガスを空気から窒素に置換して測定を行った。測定条件は、玄米全粒 5g、露光時間 10min、試料温度 100°C で行った。更に、糠の発光が酸素由来のものであることを裏付けるため、一重項酸素の消光剤として知られているアジ化ナトリウムを玄米に添加し、発光スペクトルの強度の変化を測定した。試料には 2008 年山形大学高坂農場産はえぬき全粒 5g を供試し、液体であるアジ化ナトリウムを添加するため、露光時間 30min、試料温度 80°C で対照区を蒸留水として測定を行った。また、玄米の微弱発光分光測定を品質との関係に応用できないか検討するため、産地・年度・品種の異なる玄米 16 点を低温貯蔵から常温に戻し、計時変化による微弱発光分光の変化を測定し

た。測定条件は、玄米全粒 5g、露光時間 10min、試料温度 100°C で行った。

4. 結果と考察

図 4 に、整粒・生青米・死青米それぞれのスペクトルを示した。発光強度は整粒よりも、生青米で約 6 倍、死青米で約 12 倍大きかった。青米の発光はクロロフィルに由来する DLE と考えられるが、詳細は不明で、今後検討が必要である。

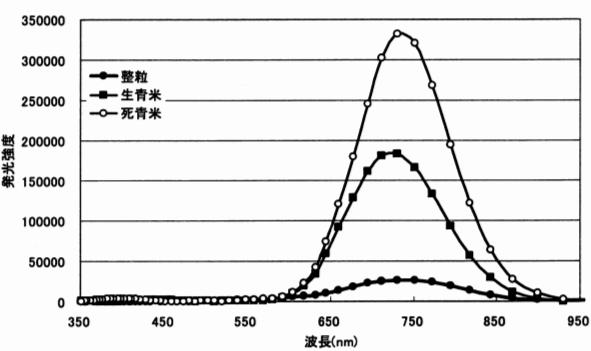


図 4. 整粒・生青米・死青米のスペクトル

図 5 は測定環境ガスを空気と窒素で測定したものである。供試試料には 2008 年北海道産ななつぼしをはじめ、2008 年兵庫県産キヌヒカリ、2008 年千葉県産ふさおとめで行ったが、いずれも測定環境ガスを窒素に置換すると発光強度が小さくなり、玄米の発光は空気中の酸素に関係していることがさらに確認された。

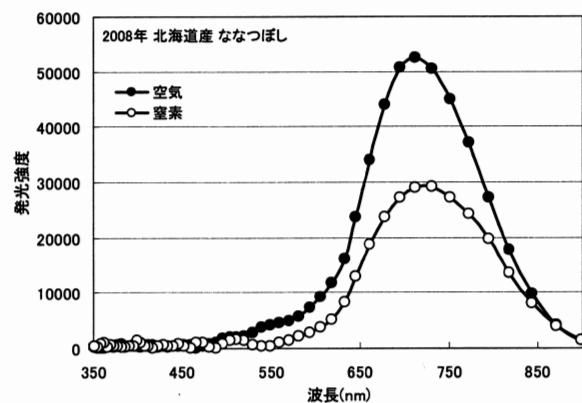


図 5. 窒素置換による整粒スペクトルの変化

玄米の発光が窒素置換することで、その発光強度が変化することから、生青米・死青米でも同様の効果が確認されると予想し、整粒・生青米・死青米でも窒素置換を行い、結果を図6に示した。整粒・生青米では測定環境ガスが空気の状態よりも窒素置換を行ったほうが発光強度は低かったが、死青米では同様の効果が確認されず、窒素置換を行っても発光強度に変化は見られなかった。図中では、死青米のスペクトルが測定環境ガスが酸素のスペクトルと窒素のスペクトルが重なっているため、1つのスペクトルのようになって見えている。

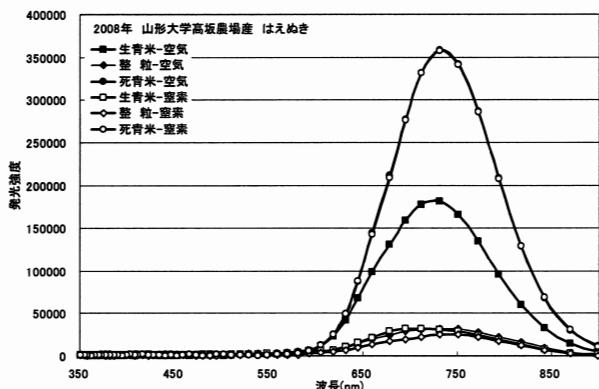


図6. 整粒・生青米・死青米による窒素置換の効果

測定環境ガスの窒素置換を行っても、死青米のスペクトルには変化が見られなかった。死青米の発光は酸素由来のものだけでなく、何か他の現象も同時に捉えているのではないかと考え、玄米の主な発光である730nmの発光強度と測定経過時間の関係を図7に示した。測定環境ガスが酸素の場合は、測定経過時間が進むに連れて発光強度も減少していることがわかる。しかし、窒素置換を行うと発光強度が、測定開始3分後まで上昇し、その後減少している。このことから、生青米・死青米共に、その発光はクロロフィルに由来するDLEと考えられるが、死青米の発光は酸素由来の発光のみならず、何か他の現象も同時に捉えていることが考えられる。

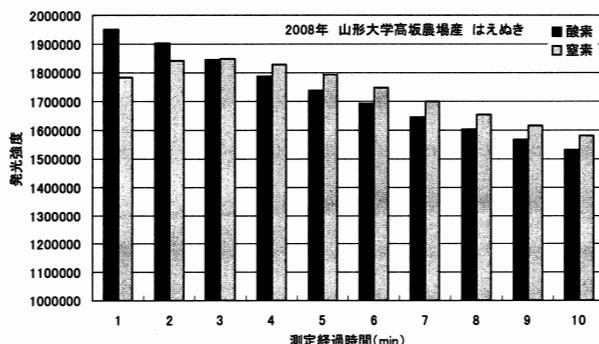


図7. 測定環境ガスによる発光強度の変化

図8は玄米にアジ化ナトリウムと蒸留水をそれぞれ添加して測定した発光スペクトルである。これまでの実験で、玄米の発光は酸素由来のものであることが明確となったため、アジ化ナトリウムを添加し測定を行った。アジ化ナトリウムは一重項酸素の消光剤であることから、蒸留水と比較して発光強度は減少するものと予想したが、アジ化ナトリウムのほうが発光強度が高くなるという結果だった。液体にアジ化ナトリウムを添加し消光を確認したという結果はすでに報告されており、玄米・糠のような固体で反応を観測するには測定条件の検討が必要だと考えられる。

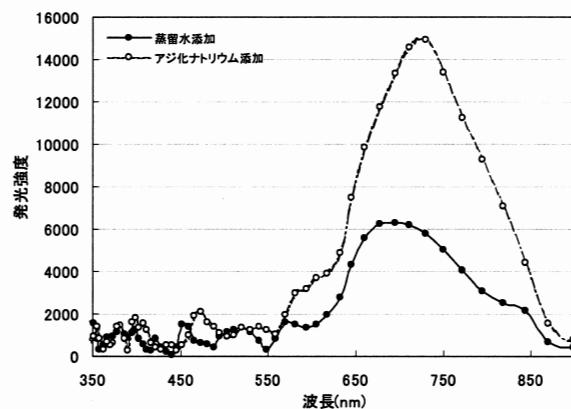


図8. アジ化ナトリウム添加による消光反応

図9-1から図9-3は、低温貯蔵していた玄米を2008年8月に常温に戻し、10月、12月、2009年6月に測定した玄米16点のサンプルの中から、産地・品種を統一し、年度のみが異った3点を示した。玄米を常温放置することで、表面の糠の酸化の影響で発光強度が計時変化により増加すると予想していたが、結果は予想とは異なるものだった。2005年サンプルにおいては、8月測定の強度は高かったものの、10月、12月測定は強度にあまり差がなく、2009年6月測定が一番低かった。一方、2006年サンプルでは計時変化により発光強度は減少した。2007年サンプルでは10月測定の発光ピークが8月の695nmから731nmにシフトし、12月測定が1番低い結果だった。このように、産地・品種は同一のものでも、その年度により結果は異なり、測定時期による傾向も様々であった。以上のことから、2008年に行った結果のみで玄米の品質と微弱発光分光の関係は明らかにはできず、今後同じような結果が得られるか測定を続ける予定である。

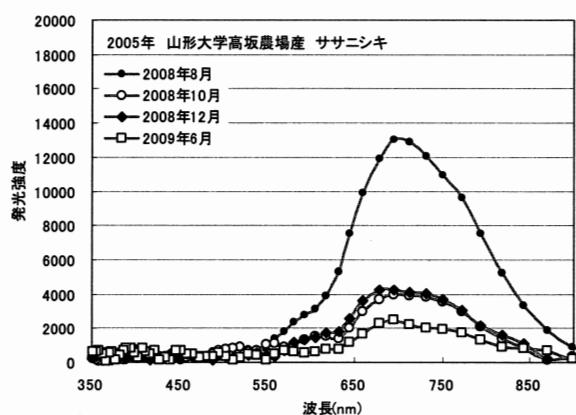


図 9-1. 2005 年山形大学高坂農場産ササニシキ

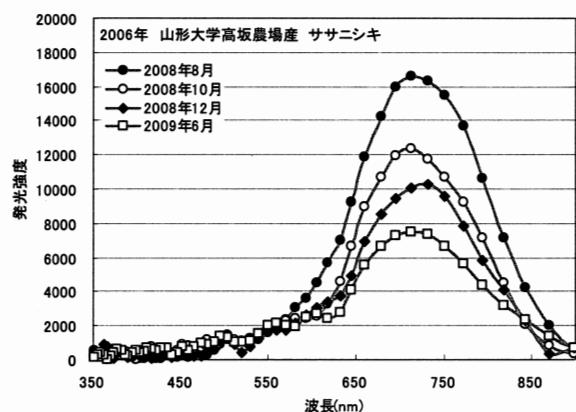


図 9-2. 2006 年山形大学高坂農場産ササニシキ

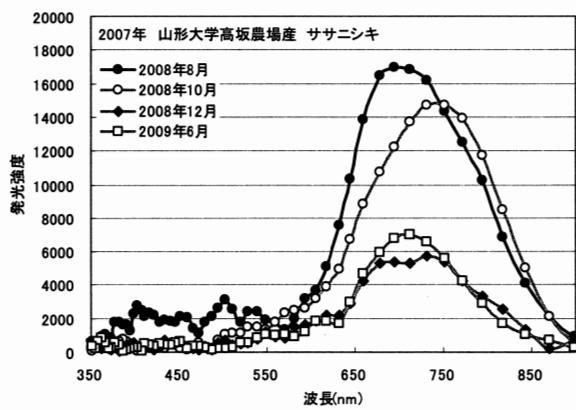


図 9-3. 2007 年山形大学高坂農場産ササニシキ

5. まとめ

青米の発光強度が整粒のそれの数倍大きいこと、さらに、生青米と死青米では後者が約2倍の発光を示すこと、また、測定環境ガスを空気から窒素に置換すると発光強度は小さくなることから、玄米の発光は空気中の酸素に関係していること、玄米のような固体でアジ化ナトリウム添加の消光効果を確認するには測定条件の検討がさらに必要であること、などが今回明らかになった。また、玄米の品質と微弱発光分光の関係については、実験結果がさまざまであったことから、今後さらにデータを積み重ねて、どのように応用できるか検討を加えていく予定である。

6. 謝辞

(株)日本アプライドテクノロジには、微弱発光分光装置をご提供いただき、玄米の測定に全面的にご協力いただいた。また、(株)山本製作所には玄米の品質測定にご協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

7. 参考文献

- 月野和雄・熊谷淳：微弱発光分光測定装置の開発-ケミルミネッセンス測定への応用-, マテリアルライフ学会誌, 18(3), 115-122, 2006
- 夏賀元康・松野航：微弱発光分光による農産物の品質測定の可能性(3), FOOMA JAPAN 2009 アカデミックプラザ研究発表要旨集, 16, 122-125, 2009
- Kazuo Tsukino, Toshihiro Satoh, Hiroshi Ishii, Munetaka Nakata: Development of a multichannel Fourier-transform spectrometer to measure weak chemiluminescence: Application to the emission of singlet-oxygen dimol in the decomposition of hydrogen peroxide with gallic acid and K₃[Fe(CN)₆], Chemical Physics Letters 457 (2008) 444-447
- 大澤善次郎：ケミルミネッセンス 化学発光の基礎・応用事例, 丸善株式会社, 2003

水稻湛水直播栽培におけるいもち病防除剤の播種同時側条施用技術

進藤勇人^{*}・藤井直哉^{**}・若松一幸^{***}・深谷富夫^{**}・片平光彦^{****}

Technique on Simultaneously Side Dressing of Probenazole for Control of Rice Blast on Direct Seeding Rice in Paddy Field

Hayato SHINDO^{*}, Naoya FUJII, Kazuyuki WAKAMATSU, Tomio FUKAYA and Mitsuhiro KATAHIRA^{*}

[キーワード] 水稻湛水直播, 側条施用, いもち病, プロベナゾール剤, 粒状肥料, ペースト肥料

1. 緒言

秋田県における2008年の水稻直播栽培面積は722haで、導入している経営体が462と、いずれも毎年30%程度の伸びを示している。導入されている播種機の播種様式は、湛水土中条播が80%以上を占め、近年の傾向としては側条施肥装置付8条多目的機の増加があげられる(いずれも秋田県水田総合利用課調べ)。

湛水土中条播方式は育苗作業がなくなることで労働時間が減少し、高精度播種機を利用することで高速田植機並みの作業速度で播種作業できることから、春作業が省力化できるとともに、労働ピークを分散できる技術と考えられる¹⁾。そのため、転作作物を含めた水田作の大規模化や野菜等の複合部門の強化を目指す経営体にとっては、水稻作の労働時間を短縮できる省力技術として期待が大きい。しかし、直播栽培では、病害虫防除や雑草防除といった圃場管理作業が移植栽培により立ち後れている部分が多く、省力化する上で問題になっている。

いもち病は水稻作において甚大な被害をもたらす、主要な病害である。移植栽培では、育苗期防除²⁾、育苗箱施用剤³⁾、側条施用剤⁴⁾といった技術が実用化され、これらの減量施用や技術の組み合わせにより、広域的な省力、低コスト防除体系^{5), 6)}が確立されつつある。しかし直播栽培では、育苗をしないことやこれら防除法の農薬登録がないため、生育にあわせた地上防除を余儀なくされてる。また、直播水稻は移植水稻より生育が遅れることや葉いもち病の発生が長引く傾向があることから、移植栽培と葉いもち病散布時期が異なる問題もある¹⁾。

一方、側条施肥装置付田植機は、基肥散布を省略しつつ、肥料利用効率が向上する施肥技術⁷⁾として、県内で50%程度まで普及が進んでいる。また湛水直播栽培でも初期生育を促進できる省力技術として、主流な施肥法になっている^{8), 9)}。

そこで、湛水直播栽培において播種、施肥同時作業によるいもち病防除の省力化を目的に、湛水直播栽培で

普及が進んでいる側条施肥を用いて、プロベナゾール剤入り粒状肥料の側条施用とプロベナゾール顆粒水和剤のペースト肥料混合側条施用が水稻生育に及ぼす影響と葉いもち病防除効果について検討したので報告する。

2. 試験方法

(1) 試験場所・土壤条件

試験は秋田農技セ農試水田ほ場(秋田県秋田市雄和)で、2005、2006年に粒状肥料試験を、2006、2007年にペースト肥料混合施用試験を行った。土壤条件は細粒グライ土である。

(2) 試験区の構成

試験には、プロベナゾール剤入り粒状肥料(商品名:コープガードD12、有効成分0.6%)とプロベナゾール顆粒水和剤(商品名:側条オリゼメート顆粒水和剤、有効成分48%)を用いた。粒状肥料は肥料現物40g/m²(プロベナゾール0.24g/m²)を、顆粒水和剤は現物0.5g/m²(プロベナゾール0.24g/m²)をペースト肥料に混合し、側条施肥装置付播種機で側条施用した。なお、ペースト肥料は深さ3cmに施用した。

いずれの試験にも対照区および無処理区を設置し、対照区はいもち病防除剤としてプロベナゾール粒剤(商品名:オリゼメート粒剤、有効成分8%)を、散布適期に3g/m²水面施用した。無処理区は、いもち病防除剤を散布しなかった。また、対照区および無処理区の施肥は、プロベナゾール剤を含まない肥料を側条施肥した。

(3) 耕種概要

品種は「あきたこまち」を用い、塩水選、種子消毒(オキソリニック酸・ペフラゾエート水和剤)を行った。浸種、催芽後、酸素供給剤(商品名:カルパー16粉粒剤)を乾粉重量比で、1倍もしくは2倍粉衣した種子を播種した。

播種は、湛水直播機(使用機:Y社製 粒状側条施肥装置付湛水直播機RR6PWUTRR6型、M社製 ペースト

* , ** : 秋田県農林水産技術センター企画経営室、農業試験場 秋田県秋田市雄和相川字源八沢 34-1

*** : 元秋田県農林水産技術センター農業試験場

**** : 秋田県農林水産技術センター企画経営室 秋田県秋田市雄和相川字源八沢 34-1(現 山形大学農学部)

側条装置付直播機 OHM - 61M 型) を用い、4 ~ 4.5g/m² (乾糞換算) の播種量で、湛水土中条播した。播種日は 2005 年 5 月 12 日、2006、2007 年はともに 5 月 11 日である。

施肥は、側条施肥、全層施肥(リニア溶出型被覆尿素 70 日タイプ)、追肥を組み合わせて行った。施肥窒素量は、2005 年が側条 N4.8g/m² + 全層 N4.1g/m² + 追肥 N1.7g/m²、2006 年が側条 N4.8g/m² + 全層 N3.2g/m²、2007 年が側条 N3.2g/m² + 全層 N4.8g/m² + 追肥 N2.0g/m² である。

播種後は出芽 10% 程度まで落水状態で管理し (7 ~ 11 日間)、その後湛水管理した。

(4) 調査項目

1) 苗立ち率および苗立ち期の生育：播種 19 ~ 27 日後に苗立ち本数、苗立ち率の調査をした。また、調査当日 ~ 7 日後に平均的な苗立ち本数の調査区 1m から稻体を採取して、草丈、葉齢(不完全葉を除く)を調査した。

2) 水稲生育・収量および薬害：出芽から収穫まで、生育および収量調査を行った。あわせて、達観で薬害の調査を実施した。

3) いもち病発生調査：葉いもちは 8 月上旬に、止葉いもちは 8 月下旬に各区 100 株について、病斑数を数えた。

3. 結果と考察

(1) プロベナゾール剤入り粒状肥料の側条施用が苗立ち・生育・収量に及ぼす影響

プロベナゾール剤入り粒状肥料の側条施用が苗立ち、生育、収量に及ぼす影響を表 1 に示した。

2005 年は播種後の低温(播種後 10 日間の平均気温 13.0 °C)により苗立ち率が 50% 程度に低下したもの、2005 年、2006 年ともに試験区の苗立ち率は、対照区と同等であった。また、葉齢、草丈ともに同等であることから、プロベナゾール剤入り粒状肥料の側条施用は、出芽、苗立ちに影響が少ないと考えられた。

苗立ち期以降の生育においても、薬害症状は認められず、試験区の最高茎数、穗数、糞数、収量ともに対照区とほぼ同等であった。

(2) プロベナゾール剤入り粒状肥料の側条施用の葉いもち病防除効果

プロベナゾール剤入り粒状肥料側条施用の葉いもち病防除効果を表 2 に示した。

2005 年、2006 年とも葉いもちは少発生条件であった。試験区の葉いもちおよび止葉病斑は、無処理区より少なく、対照区とほぼ同等で、対照区並みの高い防除効果が認められた。

(3) プロベナゾール顆粒水和剤ペースト肥料混合側条施用が苗立ち・生育・収量に及ぼす影響

プロベナゾール顆粒水和剤側条施用が苗立ち、生育、収量に及ぼす影響を表 3 に示した。

2006 年の試験区の苗立ち率は 65% で、対照区に比べやや低かったが、播種深度がやや深くなつたことが影響したものと考えられた。葉齢、草丈ともに対照区と同等以上であることから、薬害症状ではないと推察された。一方 2007 年は、播種後の低温(播種後 10 日間の平均気温 12.8 °C)により、苗立ち率が 50% 程度に低下したもの、試験区の苗立ち率は、対照区と同等であった。また、葉齢、草丈ともに同等であることから、顆粒水和剤ペースト肥料混合側条施用は、出芽、苗立ちに影響が少ないと考えられた。

2006 年の試験区の最高茎数、穗数、糞数、収量ともに対照区とほぼ同等であった。一方、2007 年の試験区の最高茎数、穗数は対照区に比べ、やや少なかった。これは、分げつ始期が低温で推移したことやペースト肥料の施肥窒素量がやや少ないとなどが要因として考えられる。プロベナゾール顆粒水和剤を用いる場合はやや注意が必要である。しかし、収量がほぼ同等であることと 2 カ年の結果を考慮すると、実用上問題ないと考えられた。

表 1 プロベナゾール粒剤入り粒状肥料の側条施用が苗立ち、生育、収量に及ぼす影響 (2005、2006)

年次	試験区	苗立ち期					最高茎数 本/m ²	薬害	穗数 本/m ²	糞数 千粒/m ²	玄米 収量 kg/a	薬害
		苗立ち本数 本/m ²	苗立ち率 %	葉齢	草丈 cm	薬害						
2005	試験区	74.2	51.2	3.4	17.5	(-)	552	(-)	418	22.2	48.9	(-)
	対照区	65.8	45.4	3.4	16.4		581		408	25.7	48.8	
2006	試験区	95.0	71.7	3.8	19.4	(-)	663	(-)	517	31.4	60.6	(-)
	対照区	95.0	72.5	3.6	18.1		653		487	32.2	61.8	

注) 苗立ち期調査は、2005 年は播種 27 日後、2006 年は播種 22 日後に行った

表2 プロベナゾール剤入り粒状肥料側条施用の葉いもち病防除効果(2005、2006)

年次	試験区	葉いもち調査		止葉病斑調査	
		発病株率		発病株率	
		%	株あたり病斑数 個/株	%	株あたり病斑数 個/株
2005	試験区	2	0	0	0
	対照区	1	0.0	0	0
	無処理区	21	0.3	1.0	0.0
2006	試験区	0	0	0	0
	対照区	1	0.0	0	0
	無処理区	35	0.6	3.5	0.0

注1)対照区のプロベナゾール粒剤は、2005年7月1日、2006年6月26日に散布した

注2)葉いもち調査は、2005、2006年ともに8月9日に行った

注3)止め葉病斑調査は、2005、2006年ともに8月23日に行った

注4)葉いもちは、2カ年とも少発生であった

表3 プロベナゾール顆粒水和剤の側条施用が苗立ち、生育、収量に及ぼす影響(2006、2007)

年次	試験区	苗立ち期					最高茎数 本/m ²	薬害	穗数 本/m ²	粒数 千粒/m ²	玄米 収量 kg/a	薬害
		苗立ち本数 本/m ²	苗立ち率 %	葉齢	草丈 cm	薬害						
2006	試験区	98.3	65.3	3.8	16.6	(-)	770	(-)	534	30.1	60.0	(-)
	対照区	106.7	70.5	3.7	15.8		799		537	31.7	59.9	
2007	試験区	89.0	51.4	3.0	18.1	(-)	532	(±)	475	27.8	52.2	(-)
	対照区	91.3	52.8	2.8	17.6		620		555	30.6	53.8	

注)苗立ち期調査は、2006年播種22日後、2007年播種19日後に行った

表4 プロベナゾール顆粒水和剤側条施用の葉いもち病防除効果(2006、2007)

年次	試験区	葉いもち調査		止葉病斑調査	
		発病株率		発病株率	
		%	株あたり病斑数 個/株	%	株あたり病斑数 個/株
2006	試験区	1	0	1	0
	対照区	1	0.0	0	0
	無処理区	71	3.4	4.0	0.0
2007	試験区	2	0	26	0
	対照区	1	0.0	22	0
	無処理区	44	0.5	84.0	2.4

注1)対照区のプロベナゾール粒剤は、2006年6月26日、2007年6月25日に散布した

注2)葉いもち調査は、2006年8月9日、2007年8月11日に行った

注3)止め葉病斑調査は2006、2007年ともに8月23日に行った

注4)葉いもちは、2カ年とも中程度の発生条件であった

(4) プロベナゾール顆粒水和剤ペースト肥料混合側条施用の葉いもち病防除効果

プロベナゾール顆粒水和剤側条施用の葉いもち病防除効果を表4に示した。

2006年、2007年とも葉いもちは、中程度の発生条件であった。試験区の葉いもちおよび止葉病斑は、無処理区より少なく、対照区とほぼ同等で、対照区並みの高い防除効果が認められた。秋田県の移植栽培では本方式と同様の防除法により、極端な漏水田を除きプロベナゾール顆粒水和剤を半量(0.25g/m²)に減量しても十分な効果が得られることが、明らかにされている⁴⁾。今後、直播栽培でも効果を検討することで、より低コストになる

ことが期待される。

4. 摘要

1) プロベナゾール剤入り粒状肥料の側条施用は、出芽、苗立ち、生育、収量に対する薬害が認められず、葉いもちに対してプロベナゾール粒剤水面施用並みの高い防除効果が認められた。

2) プロベナゾール顆粒水和剤ペースト肥料混合側条施用は、出芽、苗立ち、生育、収量に対する薬害が少なく、葉いもちに対してプロベナゾール粒剤水面施用並みの高い防除効果が認められた。

以上のことから、供試した2資材の側条施用は、湛水

直播の葉いもち防除において、播種および施肥と同時に行える省力技術として実用化できると考えられた。データは示さないが、穂いもちの防除効果は十分ではないので、葉いもち発生状況などの状況に応じた対応が必要である。

湛水直播における側条施肥は、施肥作業と播種作業の合計時間を25%削減できる一方で、播種時の肥料の補給が伴うため、播種作業時間が29%増加し、播種機の負担面積が23%減少することが指摘されている⁸⁾。しかし本報で報告したように、側条施肥により葉いもち病防除も同時に行えば、いもち病防除の作業時間が短縮され、これまで以上の省力、軽労化が実現できるであろう。

本試験で供試した2資材は、すでに農薬登録が直播水稻にも拡大され、プロベナゾール剤入り粒状肥料は2008年度から、プロベナゾール顆粒水和剤は2009年度から使用可能になっている。

本技術が、水稻栽培における省力化、軽労化の一助になることを期待する。

謝辞

試験に協力して頂いた、東日本三菱農機販売株式会社、同社営農担当部長 佐藤守様に謹んで感謝申し上げます。

参考文献

- 1)秋田県農林水産部：稻作指導指針指針 平成20年度版, 2008.
- 2)深谷富夫：伝染源排除によるイネいもち病の減農薬防除, 植物防疫, 61(4), 197-200, 2007.
- 3)小笠原孝一・頼富寿秀・岩谷雅美・森本輝一・吉野嶺一・井上敏：新規長期残効性箱施用剤;チアメトキサム・ピロキロン粒剤によるイネいもち病防除, 北日本病虫研報, 55, 49-53, 2004.
- 4)深谷富夫・保坂学・佐山玲・藤井直哉：プロベナゾール顆粒水和剤の減量側条施用による葉いもち防除, 北日本病虫研報, 53, 33-36, 2002.
- 5)深谷富夫：プロベナゾール粒剤の減量施用による葉いもち防除効果, 北日本病虫研報, 41, 17-22, 1990.
- 6)藤井直哉・佐藤玄・加藤雅也・深谷富夫：伝染源排除による広域的ないもち病の減農薬防除体系, 北日本病虫研報, 59, 9-13, 2008.
- 7)金田吉弘：肥効調節型肥料による施肥技術の新展開2 不耕起移植栽培の育苗箱全量施肥技術, 土肥誌, 66, 176-181, 1995.
- 8)若松一幸・片平光彦：水稻湛水直播栽培における酸素発生剤の削減と側条施肥による省力効果, 農機東北支報, 53, 23-26, 2006.
- 9)若松一幸・片平光彦・三浦恒子・山形茂：肥効調節型肥料の側条施用が水稻湛水土中条播の生育収量に及ぼす影響, 東北農業研究, 58, 23-24, 2005.

バイオディーゼル燃料がトラクタの機関と燃料消費に与える影響

片平光彦* 進藤勇人** 関口一樹** 佐々木景司** 藤村辰夫** 田口淳一***

Effect of Biodiesel Fuel on a Tractor Diesel Engine and Fuel Consumption

Mitsuhiko KATAHIRA*, Hayato SHINDO**, Kazuki SEKIGUCHI**, Keiji SASAKI**, Tatsuo FUJIMURA**, Junichi TAGUCHI***

Abstract

This study examined effects of biodiesel fuel on a tractor diesel engine and fuel consumption. Field tests were done using a semi-crawler type tractor and a wheel type tractor fuelled with biodiesel 100% type fuel. Field tests investigated plowing, tillage, puddling, fertilizer distribution, and other tasks.

The consumption of biodiesel fuel during plowing and broadcasting of soil amendments at low loads was less than that of regular gas oil. However, fuel consumption of biodiesel fuel for tillage, puddling, mowing, soil opening, and mole draining tasks, which require high loads, was greater than that of regular gas oil. The fuel filter of a semi-crawler type tractor, after using biodiesel fuel for 32.2 hr, exhibited attached foreign matter. However, the tractor's fuel hose and fuel injection pump showed no attached foreign matter. The engine head, piston head, and fuel filter of a wheel type tractor showed attached foreign matter after using biodiesel fuel for 66.4 hr.

[Key Words] biodiesel fuel, gas oil, fuel consumption, tractor diesel engin, field test

1. 緒言

バイオディーゼル燃料は、燃料費の高騰に伴い軽油の代替燃料として注目されている。現在、バイオディーゼル燃料は、2005年度にEUで361.8万kL、アメリカ合衆国で28.4万kL、日本で0.4~0.5kLの生産量がある¹⁾。バイオディーゼル燃料の生産は、EUが菜種油やひまわり油、アメリカ合衆国が大豆油や綿花油を原料とするが、日本では主に廃食用油を原料に、KOHやNaOHを触媒として脂肪酸メチルエステル(FAME)に変換している²⁾。このような状況を受け、農林水産省では2007年から全国8カ所で国産バイオ燃料の実証事業に取り組んでいる。バイオディーゼル燃料については、その中の5カ所で原料調達から利用までの一貫的なシステムの実証を行っている³⁾。

バイオディーゼル燃料の利活用は、上記した事業の他に、環境にやさしい地域作りの一環として各地で事業化されている。秋田県横手市と大館市の例では、廃食用油の回収とバイオディーゼル燃料の精製プラントを設置し、それを市の公用車や市の主催する各種イベントに利用する取り組みを実施している。なお、横手市のプロジェクトでは、平成18年から廃食用油の回収について検討を始め、平成19年までに横手・十文字地域を中心とした約600世帯の回収モデル地区を組織している。横手市の年精製量目標は7000~8000Lとなっており、精製した燃料を農業機械や冬期間の除雪作業機に利用することを検討している。

その中で、バイオディーゼル燃料の農業機械への利用は、現在各研究機関で調査が行われており、エンジンの負荷特性や燃料系統に与える影響、燃料消費量が軽油よりも多いといった諸特性が明らかにされている³⁾。しかし、それらの試験では、実際の農作業現場で長期間使用したことによる燃料消費、トラクタに与える影響についての検討が不十分である。そこで、本報では、バイオディーゼル100%の燃料を用いた市販のトラクタを年間を通して使用し、プラウ耕等の各作業での燃料消費量を調査するとともに、トラクタの内燃機関や燃料系統の分解調査を実施して、バイオディーゼル燃料が農業機械に与える影響を検討した。

2. 試験方法

(1) 試験場所

試験は、ほ場での燃料消費調査とトラクタの内燃機関と燃料系統の調査を以下の場所で行った。

1) 燃料消費量調査：燃料消費量は、2007年と2008年に秋田県農林水産技術センター内のほ場で調査した。

2) トラクタ分解調査：使用したトラクタは、2007年にJA新あきた農機センター、2008年に秋田県農林水産技術センター整備室で各種点検と分解調査を行った。

(2) 試験機と作業条件

1) 燃料消費量調査：燃料消費量は、燃料消費量計を2007年に新車で納入されたセミクローラ式トラクタ(K社、KL345型)、2008年にエンジンのオーバーホールを

* : 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

*** : 秋田県庁 秋田市山王 4-1-1

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。なお、各作業で使用した機械は以下のとおりである。

- a. 土改剤散布：ライムソーワ（Sa社、ML-2420S型）
- b. 溝掘り：ロータリディッチャ（Ni社、OM-400C型）
- c. 耕起：2連ボトムプラウ（S社、OS-1325型）
- d. 耕うん：ロータリ（Ni社、SX-1808-S型）
- e. 代掻き：ドライブハロー（Ni社、HR3108B-S型）
- f. 草刈り：フレールモア（Ni社、FN-400型）
- g. 弾丸暗渠：バイブロドレーナ（Ni社、S-226型）

2) トラクタ分解調査：バイオディーゼル燃料を用いたトラクタの分解調査は、2007年と2008年にかけて以下の条件で実施した。

2007年度は、セミクローラ式トラクタを1年間で40.3時間使用した後で調査した。使用した燃料は、使用開始から8.1時間経過時までを軽油、それ以降の32.2時間をバイオディーゼル100%燃料であった。

2008年度は、バイオディーゼル100%の燃料を66.4時間、軽油を82.4時間使用した2台のホイール式トラクタを調査した。

なお、各試験で使用したバイオディーゼル燃料は、秋田県の株式会社鳥海リースで製造されたもので、全質量に対する脂肪酸エステル比率が96.6%、全グリセリンの比率が0.35%であった³⁾。

(3) 試験区の構成

燃料消費量とトラクタの分解調査は、それぞれ軽油区とバイオディーゼル燃料100%区（B100区と呼称）を設定して行った。

(4) 調査項目

1) 燃料消費量：各試験区では、以下の時期に作業を行い、それぞれ作業前と終了時にオペレータが作業内容と作業時間、燃料消費量を記録した。

- a. 土改材散布（2008年度：4月初旬）
- b. 溝掘り（2007年度：10月下旬、2008年度：4月初旬、B100区のみ実施）
- c. 耕起（2008年度：4月初旬、10月初旬）
- d. 耕うん（2008年度：5～7月）
- e. 代かき（2008年度：5月）
- f. 草刈り（2008年度：7～9月）
- g. 弾丸暗渠（2007年度：10月下旬）

2) トラクタ分解調査：2007年度は、整備工場で行われている一般的な点検整備項目に従い、トラクタの燃料噴射ポンプや燃料フィルター、燃料タンク等を調査した。2008年度は、トラクタのエンジンを分解してガスケットと燃料フィルタの交換を行い、同時にピストンヘッド、エンジンヘッド、燃料ホースなどの汚損状況を目視で調査した。

3. 試験結果

(1) 各作業での燃料消費量

軽油とバイオディーゼル燃料を用いた各作業での燃料消費量の平均値を図1、図2にそれぞれ示す。

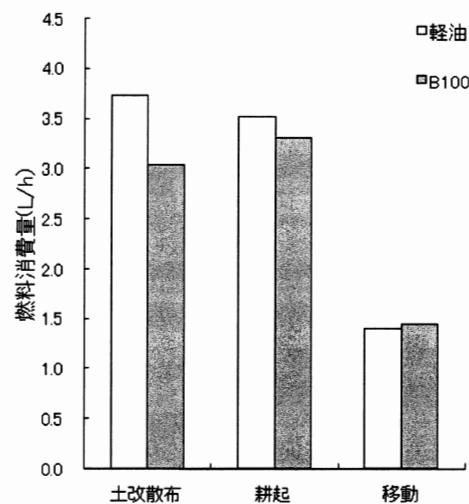


図1 各試験区での燃料消費量の違い
(部分負荷時)

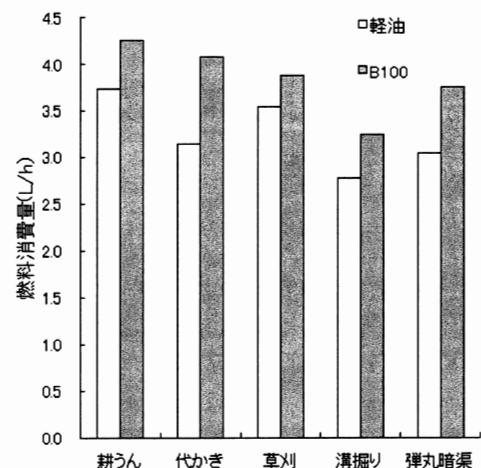


図2 各試験区での燃料消費量の違い
(高負荷時)

軽油区の作業は、土改散布に2.6時間、耕起に6.8時間、作業間の移動に0.3時間、耕うんに4.3時間、代掻きに50.7時間、草刈りに15.2時間、溝掘りに1.6時間（2007年）、弾丸暗渠に2.4時間（2007年）であった。同様にB100区では、土改散布に1.1時間、耕起に2.1時間、移動に0.2時間、耕うんに5.0時間、代掻きに39.7時間、草刈りに7.3時間、溝掘りに1.3時間（2007年）、弾丸暗渠に2.1時間（2007年）であった。なお、2008年に行ったB100区での溝掘りは、10.4時間の作業時間で平均3.2L/hの燃料消費量となり、2007年度の結果と同等であった。

使用燃料の違いによる燃料消費量は、部分負荷領域に該当する耕起、土改剤散布などで軽油との差が小さく、高負荷時の耕うん、代かき、草刈り、溝切り、弾丸暗渠施工で軽油区を上回った（図1、図2）。

バイオディーゼル燃料は、低位発熱量が約38MJ/kgで、軽油の約43MJ/kgよりも低い特徴がある⁴⁾。また、本試験の前に同じ製造元のバイオディーゼル燃料を用いて弘前大学でPTO性能試験を実施した結果、B100区の燃料は軽油と比較して最大出力時の軸出力、軸トルクに差が少ない一方で、過負荷領域で燃料消費率が高まる傾向を示した。すなわち、低負荷の部分負荷領域での作業では、高いトルクを得る必要がないため、低位発熱量の小さいバイオディーゼル燃料でも同量の軽油と同等の仕事が可能と考えられた。しかし、高負荷領域での作業では、低位発熱量の小さいバイオディーゼル燃料で高トルクを維持するため同出力の維持に燃料供給量を増加することが必要となり、燃料消費量が増加することに繋がった。

以上から、実際に行った各種の作業では、バイオディーゼル燃料と軽油で部分負荷の作業と高負荷の作業で燃料消費に差が生じており、従来の調査結果と同様の傾向を示した。

(2) トラクタ動作と分解調査

1) 2007年度調査結果

セミクローラ式トラクタを40.3時間使用した後に民間の整備会社で行った点検部位と内容を表1に、その際に撮影した燃料フィルター、燃料タンク、燃料ホースと燃料噴射系統を図3～5に示す。

2007年の試験は、10月～12月に耕うん、溝掘り、弾丸暗渠、心土破碎などの作業を行い、2008年1月に点検を実施した。

燃料フィルターとフィルターカップ下部には、燃料に含まれるグリセリン由来の異物が付着しており、従来の調査報告⁵⁾と同様であった。使用したバイオディーゼル燃料は、比較的純度が高いものであったが、含まれる全グリセリン含量が(社)自動車技術会JASO規格の0.25%を上回っており、それが燃料フィルターに対する汚損の要因になったと考えられる。燃料フィルターの汚損は、トラクタの起動にも影響を与えており、稼動27.8時間の時点で燃料フィルターに目詰まり生じてエンジンの起動ができない症状を発生した。その際には、トラクタの燃料フィルターとフィルターカップの清掃を行うことで再起動できた。

燃料タンクでは、バイオディーゼル燃料の主成分である脂肪酸メチルエステルの高い浸透性がタンク内部や燃料キャップに付着していた汚れを除去するため、点検時に汚れや異物を検出した考えられる。

燃料ホース、燃料噴射ポンプ、燃料噴射ノズルなどの燃料系統では、特に異常が見られなかった。バイオディーゼル燃料は、前記した脂肪酸メチルエステルの浸透性の影響でゴム類を劣化させるとの報告⁶⁾が多く、乗用車などでテフロン系素材への変更も検討されている。しかし、バイオディーゼル燃料の使用時間が32.2時間の段階では、燃料ホースを劣化させるまで至らなかった。

2) 2008年度調査結果

表1 エンジン系統点検調査結果

点検番号	点検部位	内容	回
1	燃料フィルター	不純物あり、カップ内にも不純物あり	3
2	燃料タンク	フィルター下部に不純物あり、コンプレッサー吹きつけ清掃時に異物あり	4
3	燃料ホース	腐食なし	5
4	噴射ポンプ	異常なし	5
5	噴射ポンプ取り外し	異常なし	5
6	燃料漏れ	異常なし	5
7	塗装関係	影響なし(ボネット部)	5
8	燃料	タンク内残燃料に微量の水分あり	5
9	マフラー系統	異常なし	5

注1: 調査機種(K社、KL345型)

注2: 全使用時間: 40.3時間(内訳: 軽油8.1時間 BDF100%32.2時間)

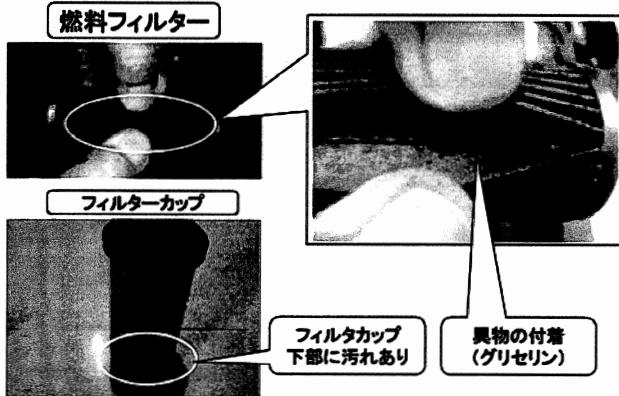


図3 燃料フィルター系統の調査結果



図4 燃料タンク周囲調査結果



図5 燃料ホース・燃料噴射系統の調査結果

2008年に4月～11月まで使用した各試験区でのトラクタのエンジン分解調査の結果を図6、7にそれぞれ示す。

バイオディーゼル燃料を使用したトラクタのエンジンには、グリセリン由来と考えられる赤色の異物がシリンドヘッドとピストンヘッドに付着していた。また、分解

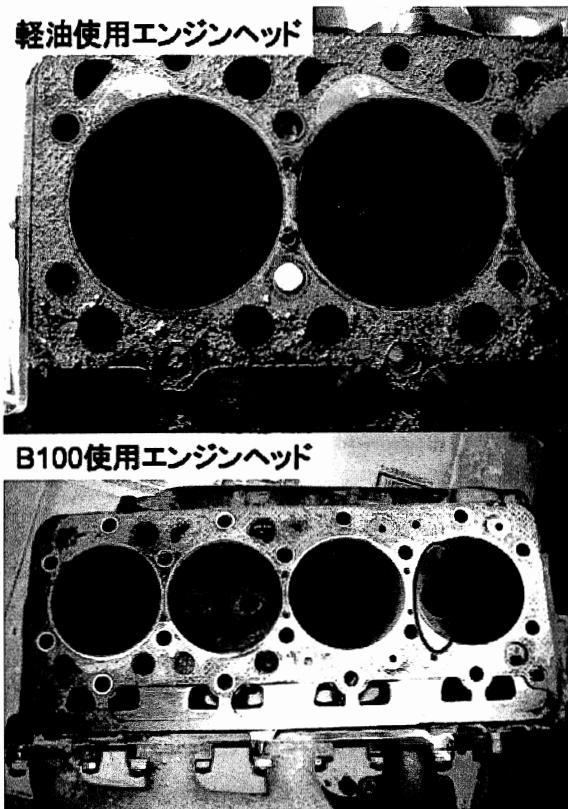


図6 各試験区でのエンジンヘッドの状況
注：丸印部分に汚れあり

時の燃料フィルタは、同様の色に変色したグリセリンが付着し、燃料の劣化が伺えた。なお、B100区のトラクタは、稼動50.6時間の時点で2007年と同様に燃料フィルターに目詰まりが発生して起動できなくなったが、フィルタ清掃後に起動した。

2008年の試験では、作業者に対して一般の業務と同様の条件でトラクタを使用するように指示した。そのため、使用したトラクタは、代掻きなどの春作業時に利用頻度が高まる一方で、夏季での使用頻度が下がり、燃料を入れた状態で保管することが多くなった。バイオディーゼル燃料は、酸化による品質の劣化が生じるため、燃料を入れた状態で長期間保管した場合、燃料が劣化して燃料フィルターにグリセリンを付着させるとともにエンジンを汚損させることになった。

以上から、バイオディーゼル燃料を農家に普及するためには、燃料の定期的な更新と燃料フィルタ等の点検頻度を高めることに加え、トラクタを長期間使用しない場合に燃料を全て抜き取り、軽油をタンクに注入して調整運転を行うように指導することが必要である。

4. 摘要

1) 燃料消費量は、部分負荷領域に該当する耕起、土改剤散布などで軽油との差が小さく、高負荷時の耕うん、代かき、草刈り、溝切り、弾丸暗渠施工の各作業で軽油を上回った。



図7 各試験区でのピストンヘッドの状況
注：丸印部分に汚れあり

2) バイオ燃料を32.2時間使用したトラクタでは、燃料フィルターに異物が付着したが、燃料ホース・燃料噴射ポンプに与える影響は少なかった。

3) バイオ燃料を66.4時間使用したトラクタでは、エンジンヘッドやピストンヘッド、燃料フィルターにグリセリン由来の汚損が生じた。

謝辞

本報は平成19年～20年に秋田県のBDF利活用事業の補助で得られた成果である。試験を担当した秋田県農林水産技術センターの技能職員の皆様、エンジン性能試験を担当した弘前大学の高橋教授、張准教授に謹んで謝意を表する。

参考文献

- 1) 農林水産省：http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h19_h/trend/1/t1_1_2_04.html
- 2) 谷脇 憲：ナタネなどの生産とバイオディーゼル燃料の製造、農機誌68巻3号、9-12、2006。
- 3) 国立大学法人秋田大学附属環境資源学研究センター：BDF品質管理フォローアップ研究報告書、2007。
- 4) 清水一史、千葉大基、高橋弘行、原野道生：バイオディーゼル燃料適用時のトラクタ性能、平成20年度生研センター研究報告会資料、67-76、2008。
- 5) (社)全国清掃会議：一般廃棄物に係わる新基準策定調査報告書、平成17年環境省請負業務報告書、1-88、2006。

ロータリ耕とチゼル耕を組み合わせた構造化耕耘同時播種作業技術 の開発

—大豆用有芯部分耕耘播種機の高速化と所要動力—

天羽弘一*・大谷隆二*・渕谷幸憲*・中山壯一*

Development of a One Pass Structured Tillage Seeder Combining a Rotary Tiller and Chisels

- Improvement in operating speed of IST soybean seeder and measurement of its power requirement -

Koichi AMAHA, Ryuji OTANI, Yukinori SHIBUYA, Soichi NAKAYAMA

Abstract

Inverse-strip-tillage (IST) seeding reduces both wet injuries and drought damages of soybeans, but has a drawback that its operating speed is slow and thus its work capacity is low. To improve the operating speed of IST seeding, the authors propose a novel one-pass tillage and seeding machine, which consists of a rotary tiller, chisels and seeding units. When the depth of tillage for the tiller was set to shallow (5cm) and for chisels moderate (15cm), the machine can create a similar structure in soil as IST; untilled firm soil lies beneath the seedbed and tilled and cracked soil fills inter-row areas. The authors refer such tillage style as structured tillage. A prototype of the structured tillage seeder, of which work width was 2.4m, for soybeans was made and tested. It was capable to perform seeding work equipped on a 63kW tractor at the velocity of 0.7 to 1.2m/s with soil crushing rate higher than 70% on the fields of which soil penetration resistance were 0.5 to 1.7MPa. Its operating speed was faster by 30% compared with the IST seeder. The changing pattern of local soil moisture over time was similar to that of IST, hence it was suggested that the new seeding method may also have the effect of reducing wet injuries and drought damages.

[Keywords] structured tillage, inverse-strip-tillage, seeding, power requirement, soybean, operating speed

I はじめに

東北地方における大豆の作付面積は約 43,000ha (平成 20 年) であり、全国の作付面積の 3 割弱を占める。しかし、東北地方の直近 5 年間 (平成 16~20 年) の平均収量は 136kg/10a と、全国の平均単収の 87% であり、低位安定傾向にある。東北地方では水田転換畠における大豆作が多く、全作付面積の 90% 近い (平成 20 年)。この水田転換畠での大豆栽培における湿害・乾燥害が、平均収量低下要因のひとつとして挙げられており、これらの害を低減することが重要な課題となっている。近年、大豆 300A 技術と称される湿害回避のための播種作業方式がいくつか提示され (細川ら、2003、高橋ら、2008) 技術の普及が図られている。それらのひとつである有芯部分耕耘播種は、湿害と共に乾燥害の回避低減機能が示されている (吉永、2006) が、作業速度の低さが普及上の問題点として指摘されている。また、播種条部分のロータリ耕耘爪を外していることに起因して PTO トルクに変動があり (天羽ら、2006)、まだ故障事例はないものの機

械的には不安要素となっている。さらに有芯部分耕耘播種では、不耕起となる播種条部分の碎土率が上がりにくくこと、雑草が播種条近傍に残りやすい、などの問題点もある。本研究では、これらの有芯部分耕耘播種における作業的な問題点を解消するため、全面浅耕とチゼルによる深耕を組み合わせた新たな播種作業方式を「構造化耕耘同時播種」として提案し、作業機の開発を行うことを目的とする。本報では、均平板前方にチゼルを内蔵した正転ロータリを元に播種機を試作して動作・栽培試験を行い、作業速度・所要動力・碎土率等を通常有芯部分耕耘および慣行の全面耕と比較した結果について報告する。

II 構造化耕耘同時播種の大豆用試作機

(1) 基本構成

耕耘ロータリに深耕チゼルを組み合わせた作業機において、ロータリの作業幅全体は土壤表層 5cm 程度の浅耕とし、チゼルの走行部分は 15cm 程度の耕深で耕起することによって、ロータリ耕耘爪を一部取り外して行う通

* (独) 農研機構 東北農業研究センター、〒020-0198 岩手県盛岡市下厨川字赤平 4

常型の有芯部分耕と同様の土壤構造を作り出すことができる。この耕耘方式をチゼル型有芯部分耕と呼ぶこととする。チゼル型と通常型の有芯部分耕方式の概念図を図1に示す。チゼル型有芯部分耕では、通常型有芯部分耕の問題点であるPTOトルク変動や、不耕起部の残草を解消できるものと予想される。これらの有芯部分耕播種方式は、土壤内に土壤の硬軟、土塊の大小、耕深の深浅、といった構造を意図的に作出することに特徴がある。このような耕耘法に対し、全体を均質に耕耘する通常の方法と区別して、本研究では構造化耕耘という語を用いる。

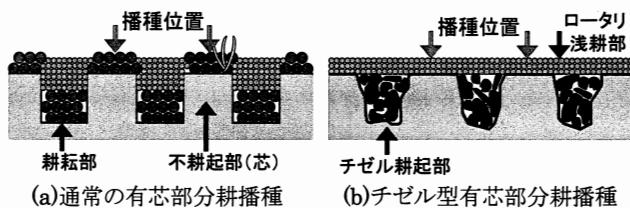


図1 2種類の有芯部分耕方式の比較概念図

(2) 試作機と作業時の設定

正転ロータリ（小橋 KRL242、作業幅 2.4m）のロータリ爪とカバーの間にチゼル（小橋 K ソイラー、チゼル数は6本に増設）を装着し、その後ろに播種装置（矢崎 TDR、3条、条間 75cm）を連結した大豆播種機を試作した（以下、試作機）。碎土率を高めるため、ロータリのPTO入力軸の減速比を小さく設定し、トラクタ PTO の回転数を約 1000rpm（第3速）と高くすることにより、爪軸回転数を約 550rpm に設定した。また、耕深を安定させるため、ゲージホイールを広幅のものに換装した。

III 試験方法

(1) 播種作業試験

東北農研センター内の圃場（多湿黒ボク土、土性 SiL）において大豆播種作業試験を行い、作業速度・所要動力・碎土率などを測定した。所要動力については、作業時のトラクタ（イセキ TJ85、63kW）のPTO軸トルクと回転数をトルク・回転数センサ（ミネベア TM120-S）および

ストレインアンプ・データレコーダ（共和 EDS-400A）を用いて計測した。計測レートは 500Hz で、20 秒間の連続計測により PTO 所要動力を求めた。碎土率は、播種条件位置の表層 5cm の土壤のうち、メッシュピッチ 2cm（開口距離 19mm）の篩を通ったものの質量割合とした。作業試験時の土壤硬度は SR-2 型土壤貫入抵抗計（大起理化、DIK-5500）により、土壤水分は絶乾法（105°C 24h）により測定した。

(a) 作業速度と所要動力・碎土率：前年に移植水稻を栽培後不耕起の圃場において、試作機の作業速度を変えた場合のトラクタ PTO 所要動力と碎土率を計測した。1つの速度設定に対し、1～6 回反復して計測した。

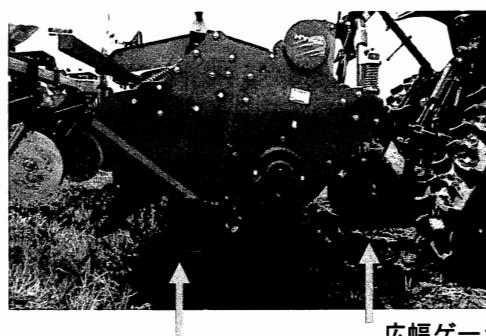
(b) 土壤硬度と所要動力・碎土率：播種時の土壤硬度が異なる圃場 3 筆（土壤貫入抵抗 0.5～1.7MPa）において、試作機の所要動力と碎土率を計測して比較した。2 筆は前年水稻栽培後不耕起、1 筆は前年移植水稻後に秋耕起、であった。所要動力は各圃場で 3～6 回反復測定した。

(c) 所要牽引動力：試作機を装着して耕耘動作を行いつつ走行ギヤはニュートラルとしたトラクタ（MF3060、58kW）を別のトラクタ（イセキ TJ85、63kW）で牽引する際の張力をロードセル（東京測器 TLP-50KNB）で測定し、別途計測した作業速度と併せて作業中の所要牽引動力を求めた。さらに、耕耘作業を行わない状態の空牽引動力を計測して差し引き、作業機単体の所要牽引動力をとした。

(d) 耕耘法による作業性の比較：試作機により播種作業を実施した区（以下、チゼル有芯）、慣行の全面耕耘（全面耕）および、通常の有芯部分耕（通常有芯）の3区を設け、作業性を比較した。全面耕区と通常有芯区では逆転ロータリ（松山 BUR-2408、作業幅 2.4m）を用い、通常有芯区では耕耘爪を全 52 枚中 12 枚（播種位置にあたるフランジ 3 カ所分）を取り外した。播種装置は 3 区で同じものを用いた。

(2) 強制湿害条件下における栽培試験

播種後に間歇的に湛水して湿害条件を模擬的に作出し



広幅ゲージホイール
チゼル（耕耘爪より約 10cm 深耕）

図2 試作したチゼル型有芯部分耕播種機（左：作業のようす、右：耕耘部の配置）

た圃場において、チゼル有芯、全面耕および通常有芯の3播種方式の土壤水分変化、地下水位および生育を調査して比較した。耕種概要は、品種：スズカリ、播種日：2008年6月2日、元肥：N-P2O5-K2O=2.2-9.2-6.6kg/10a、播種同時施肥、である。土壤水分は土壤水分センサ(DECAGON、EC-5)により6月10日～9月22日まで2時間ごとに、また地下水位は水位計(ウイジン、UIZ-GY100)により6月10日～9月22日まで1時間ごとに計測した。湛水は圃場面が覆われる程度(地下水位-2～1cm)で約1日間とし、6月26日～7月11日の間に、数日おきに4回実施した。

IV 結果および考察

(1) 作業性と所要動力

試作機および播種作業のようすを図2に、耕耘プロファイルを図3に示す。播種位置は2本のチゼルによる深耕溝に挟まれる形であり、深耕溝の幅は狭いものの、十分に種子の近傍に位置した。全体の耕深は所期より少し深く、約60mmであった。

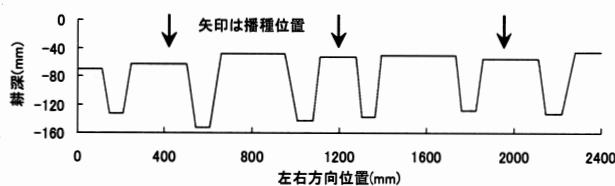


図3 試作機の耕耘プロファイル

(a) 作業速度と所要動力・碎土率：作業速度を高めるとPTO所要動力は増加し、碎土率は落ちる傾向があったが明瞭ではなかった(図4)。この圃場(土壤含水比0.76、土壤貫入抵抗(0～15cmの平均値)1.1MPa)においては、作業速度1.15m/sでも70%以上の碎土率が得られ、PTO所要動力は40kW以下であり、供試トラクタで作業可能であった。

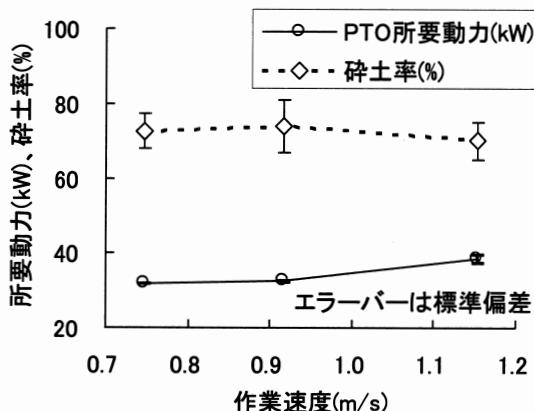


図4 作業速度とPTO所要動力・碎土率の関係
(土壤含水比0.76、土壤貫入抵抗1.1MPa)

(b) 土壤硬度と所要動力・碎土率：土壤条件の異なる圃場においてはPTO所要動力が異なり、トラクタ出力の制限により可能な作業速度も変化した。3筆の圃場での最大作業速度は0.72～1.15m/sであった。ただし、可能作業速度はエンジン回転数の変動により判断し、走行ギヤを決定した。3筆の作業中、ほぼ同程度の作業速度(0.75～0.88m/s)におけるPTO所要動力および碎土率と土壤貫入抵抗との関係を図5に示す。所要動力は土壤貫入抵抗にほぼ比例して大きくなかった。碎土率については、最も柔らかい圃場で碎土率が高かったのは秋耕起の影響が大きいと考えられ、明瞭な傾向は認められなかった。

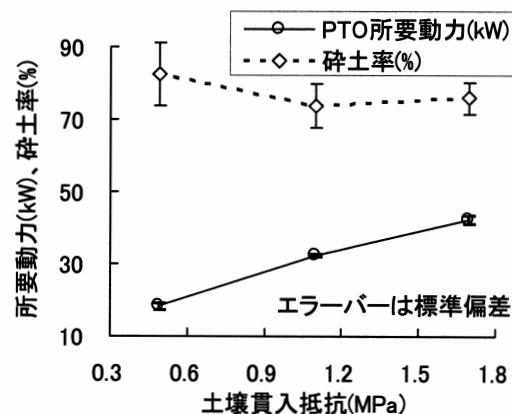


図5 土壤硬度とPTO所要動力・碎土率の関係
(土壤含水比0.53～0.76、作業速度0.75～0.88m/s)

(c) 所要牽引動力：作業機およびトラクタの所要牽引力は、作業速度(0.63～0.98m/s)にかかわらずほぼ一定(約5.5kN)で、所要牽引動力は作業速度にほぼ比例して增加了。作業機のみの所要牽引動力はPTO所要動力の3～9%と小さかった(図6)。正転ロータリによる推進力が寄与したと考えられた。

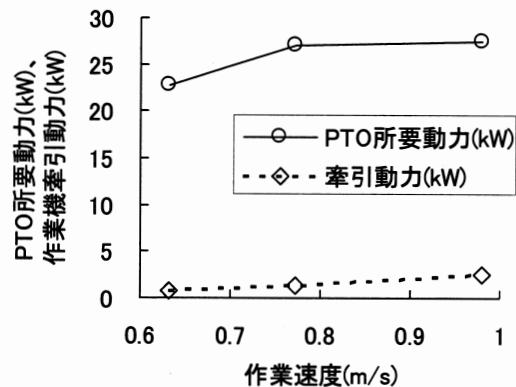


図6 試作機の所要牽引動力
(土壤含水比0.85、土壤貫入抵抗1.1MPa)

(d) 耕耘法による作業性の比較：全面耕に比較すると、チゼル有芯では浅耕であるためにPTO所要動力が小さいので、作業速度を上げることが可能となった。しかし、

チゼル有芯の耕深が若干深く、耕起断面積が設定より大きくなり、加えて供試圃場（湛水直播水稻後不耕起、土壤貫入抵抗 1.7MPa）では土壤が硬かったため、チゼル有芯の PTO 所要動力が大きくなつた。その結果、作業速度は全面耕の 90%増、通常有芯の 30%増程度であり、(a) 項のような速い作業速度は得られなかつた（表 1）。

(2) 強制湿害条件下における栽培試験

湛水時の土壤水分は、チゼル有芯では通常有芯と同様の変化を示した（図 7）。すなわち、播種条の位置ではチゼル深耕部や耕耘部に比して、湛水前後の乾燥時と湛水湿润時との水分変化が少ない、というパターンである。一方全面耕では、播種位置の水分変化は他の 2 区の耕耘部分における水分変化と類似である。従って、チゼル有芯でも通常有芯と同様の乾・湿害軽減効果を発揮する可能性が示唆された。しかし、大豆の生育には播種作業法の違いによる明確な差はみられなかつた。少なくとも通常有芯については多数の現地試験などで生育促進効果が得られている（吉永、2006）ことから、地表面からの湛水処理では湿害発生条件をシミュレートできていない可能性を考えられ、湿害状況を作出する手法には検討の余地がある。

V まとめ

有芯部分耕播種作業の高速化を目標として、深耕チゼ

ルを内蔵した耕耘ロータリ（作業幅 2.4m）の耕深を浅く設定することにより、有芯部分耕と同様の土壤構造を作出する構造化耕耘同時播種作業機（チゼル型有芯部分耕播種機）を試作した。作業速度、所要動力、碎土率などを測定して、慣行の全面耕や通常の有芯部分耕と比較した。試作機を 63kW のトラクタに装着した場合、0.5～1.7MPa の土壤貫入抵抗の圃場において、碎土率 70%を保ちつつ 0.7～1.2m/s の作業速度で播種作業が可能であった。作業速度は通常の有芯部分耕と比較して 30%、慣行の全面耕と比較して 90%速かつた。試作機で播種した圃場の土壤水分は、通常の有芯部分耕と同様に乾燥時と湿润時の差が少ない変化パターンを示し、通常有芯と同様の乾・湿害軽減作用を持つ可能性が示唆された。

References

- 天羽ら、2006. 大豆有芯部分耕播種作業機の改良、農機学会東北支部報、53,7-10.
- 吉永悟志、2006. 大豆の有芯部分耕栽培、農業および園芸 81(5), 606-611.
- 細川ら、2003. 大豆用耕うん同時畝立て播種作業技術、平成 14 年度関東東海北陸農業研究成果情報.
- 高橋ら、2008. 湿害回避により水田大豆の增收をかる小畦立て栽培、平成 19 年度東北農業研究成果情報.

表 1 耕耘方式ごとの PTO 所要動力・回転数、作業速度、碎土率

圃場	作業方式	PTO 所用動力 (SD) (kW)	PTO 回転数 (rpm)	爪軸回転数 (SD) (rpm)	作業速度 (m/s)	碎土率 (SD) (%)
畑転換	チゼル有芯-正転	42.2 (1.3)	1012	557 (26.8)	0.72	75.8 (4.2)
初年目	通常有芯-逆転	28.9 (2.3)	558	327 (1.6)	0.55	77.6 (8.2)
水田	全面耕-逆転	40.6 (1.0)	542	318 (2.6)	0.38	93.1 (2.2)

- ・土壤：多湿黒ボク土、土性：SiL
- ・作業幅 2.4m、使用トラクタ出力 63kW
- ・所要動力および回転数は 500Hz で 20s 計測
- ・土壤貫入抵抗 (0-15cm 平均) : 1.69MPa、含水比 : 0.53
- ・碎土率は播種床表層 5cm をメッシュピッチ 2cm で測定、n=6
- ・5 反復 (チゼル有芯・通常有芯) または 7 反復 (全面耕) の平均

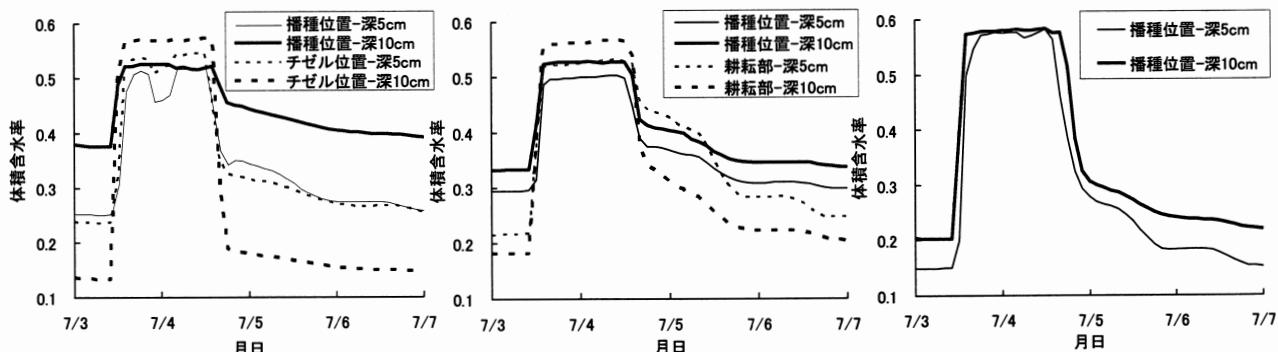


図 7 湛水時の土壤水分変化（左：チゼル有芯、中：通常有芯、右：全面耕）

TOHOKU BRANCH REPORT
OF
THE JAPANESE SOCIETY OF AGRICULTURAL MACHINERY

CONTENTS

RESEARCH PAPERS

KUCHIKI, Y., TAKAHASHI, M., MATSUBA, T. :

Development of the Mark Setting Equipment Suitable for Management of Paddy Field 1

ITOH, K., OIKAWA, K., HIKAGE, K., TSURUTA, M. :

Equipment for Drain of Direct Sowing in Rice Cultivation 5

NOZAWA, T. :

Development of the V-furrow No-Till Direct Seeding on the Solid Soil Condition being after Thaw Period 9

NOZAWA, T., YOKOYAMA, H. :

Field Demonstration Test for the V-furrow No-Till Direct Seeding in Northern Cold District 13

SUZUKI, Y., OKAMOTO, H., TANAKA, K., MINAGAWA, H., KATAOKA, T., SHIBATA, Y. :

Spatial Distribution Mapping System in Meadow Field Using Hyperspectral Imaging 17

NAKATSUBO, A., TANAKA, K., SUGIURA, T., MINAGAWA, H., SHIMA, E., SHIMADA, H. :

Sensing of a Maize (*Zea mays L.*) Field Using a Hyperspectral Imaging Sensor (Part 1) 21

NAKATSUBO, A., TANAKA, K., SUGIURA, T., MINAGAWA, H., SHIMA, E., SHIMADA, H. :

Sensing of a Maize (*Zea mays L.*) Field Using a Hyperspectral Imaging Sensor (Part 2) 25

TANAKA, K., TAKAISHI, Y., MINAGAWA, H., SUGIURA, T., SHIMA, E., NAKATSUBO, A., SHIMADA, H. :

Relationships Between Moisture Content and Characteristics of Spectral Reflectance for Grass (Part 1) 29

TAKAISHI, Y., TANAKA, K., MINAGAWA, H., SUGIURA, T., SHIMADA, H., SHIMA, E., NAKATSUBO, A. :

Relationship Moisture Content and Characteristics of Spectral Reflectance For Grass (Part 2) 33

MATSUNO, W., NATSUGA, M., ISHII, H. :

Applicability of Chemiluminescence Spectroscopy on the Observation of Quality Change in the Agricultural Products 37

SHINDO, H., FUJII, N., WAKAMATSU, K., FUKAYA, T., KATAHIRA, M. :

Technique on Simultaneously Side Dressing of Probenazole for Control of Rice Blast on Direct Seeding Rice in Paddy Field 41

KATAHIRA, M., SHINDO, H., SEKIGUCHI, K., SASAKI, K., FUJIMURA, T., TAGUCHI, J. :

Effect of Biodiesel Fuel on a Tractor Diesel Engine and Fuel Consumption 45

AMAHA, K., OTANI, R., SHIBUYA, Y., NAKAYAMA, S. :

Development of a One Pass Structured Tillage Seeder Combining a Rotary Tiller and Chisels 49

TOPICS 53

NOTES 62

ORGANIZATION DIRECTORY 75