



# HOKKAIDO UNIVERSITY

|                  |                                                                                   |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Title            | ハイパースペクトル画像解析によるカバークロップ圃場の構成草種および草量の空間分布推定                                        |
| Author(s)        | 鈴木, 由美子; 岡本, 博史; 平田, 聡之 他                                                         |
| Citation         | 農作業研究, 45(2), 99-109                                                              |
| Issue Date       | 2010-06-15                                                                        |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/50352">https://hdl.handle.net/2115/50352</a> |
| Type             | journal article                                                                   |
| File Information | NK45-2_99-109.pdf                                                                 |



研究論文

## ハイパースペクトル画像解析によるカバークロップ圃場の 構成草種および草量の空間分布推定

鈴木由美子\*・岡本博史\*\*・平田聡之\*\*\*・片岡 崇\*\*・柴田洋一\*\*

\* 北海道大学大学院農学院

\*\* 北海道大学大学院農学研究院

\*\*\* 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

Estimating Spatial Distribution of Herb Species and Herbage Mass in  
Cover Crop Field Using Hyperspectral Imaging

Yumiko SUZUKI\*, Hiroshi OKAMOTO\*\*, Toshiyuki HIRATA\*\*\*,  
Takashi KATAOKA\*\* and Youichi SHIBATA\*\*

\* Graduated School of Agriculture, Hokkaido University

\*\* Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University

\*\*\* Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University

### 1. 緒言

平成 19 年に改正された「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」では、農業の持続的な発展を目指すため、環境と調和のとれた農業への総合的な支援措置が図られている（農林水産省 2007）。この法律で掲げる「持続性の高い農業生産方式」とは、土壌の性質に由来する農地生産力の維持・増進、および良好な営農環境を確保するために資すると認められた合理的な手法である。そのため、土づくりへの化学資材投入の低減や有機質資材の導入が推奨されている。このような中で、農業生産へのカバークロップの活用が注目され、国内の畑作、水田作および果樹作などでの導入が検討され始めている（小松崎 2004, 上野 2004, 荒木 2005, 柴田 2005）。カバークロップには化学肥料、農薬および殺虫剤などの化学資材投入量の削減、土壌環境の改善に伴う主作物の増

収、土壌浸食の防止および土壌水分の保持など、多様な利点がある（Clark 2007）。また、国内におけるカバークロップに関する研究からも、施肥量の削減（Komatsuzaki 2002）、主作物の増収および品質向上（小松崎および村中 2005；小林および小柳 2005）、雑草抑制（辻ら 2005, 小林および小柳 2005）、土壌風食の抑制（小松崎および鈴木 2008）などの多様な効果が明らかとなった。

上述した研究により、カバークロップ導入の有用性が示された。しかし、カバークロップの持つ機能は草種により異なるため、効果的な作物生産体系を確立するためには、カバークロップの機能性を熟慮した上で最適な肥培管理手法を検討する必要がある。例えば、カバークロップの窒素および炭素から C/N 比を把握することで、緑肥効果（即効性・遅効性）が評価でき、緑肥の不足分のみ化学肥料を利用することができる。また、カバークロップと雑草の分布から、雑草抑制効果が把握でき、抑草能力を基準とした農薬散布が実行できる。そのため、機能性を把握することにより、カバークロップの能力を十分に発揮することができる。さらに、農地への投入エネルギーの削減および最適化、省力的な作業体系の実現が可能となり、環境保全型栽培管理へ大きく寄与できる。

平成 21 年 11 月 5 日受付

平成 22 年 5 月 14 日受理

Corresponding author

岡本博史 Hiroshi OKAMOTO

〒060-8589 北海道札幌市北区北 9 条西 9 丁目

Kita-9, Nishi-9, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-8589, Japan

E-mail : hiro@bpe.agr.hokudai.ac.jp

本研究では、カバークロップを導入した持続的な作物生産体系構築のため、カバークロップの緑肥効果、抑草効果、土壌保全効果などの機能性の推定および評価を目的とした。カバークロップ機能性の推定には、広域圃場の農業空間情報取得に有用なグランドベースのハイパースペクトル画像解析を採用した (Okamoto and Lee 2008, Okamoto *et al.* 2007, Suzuki *et al.* 2008a, 2008b and 2008c, 鈴木ら 2007)。本報では、機能性の評価基準となりえる構成草種判別および草種別草量の空間分布を推定した。

## 2. 材料と方法

### 1) 調査対象区

本研究は、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター生物生産研究農場内のカバークロップ試験圃場で、2007年および2008年の5月から8月に実施した。イネ科カバークロップにはエンバク近縁種 (*Avena strigosa*, 以下 BO), マメ科カバークロップにはヘアリーベッチ (*Vicia villosa* Roth, 以下 HV) を供試した。試験圃場は、耕起区と不耕起区に分け、播種量 8 水準の 3 反復で、合計 48 区の試験区画を設けた (図 1)。各試験区画の面積は、2.5 m × 3.5 m である。播種は、2007 年 5 月 31 日および 2008 年 5 月 31 日、刈取りは 2007 年 8 月 8 日から 10 日および 2008 年 8 月 5 日から

7 日に実施した。刈取り時の乾物草量の測定では、初めに、各区画内に設置した刈取り区 (150 cm × 20 cm) 内の植物を地際で刈取った。その後、草種ごと (BO, HV および雑草) の生草重と乾物率を求め、単位面積当たりの乾物草量を求めた。

### 2) ハイパースペクトル画像の取得

ハイパースペクトルカメラは、高い波長分解能で多波長帯の情報が取得できる。供試ハイパースペクトルカメラ (ImSpector V10, Specim) の観測波長域は 360 nm から 1010 nm および波長分解能は 10 nm で、取得データは 52 次元の波長バンド情報となる。表 1 に各バンドの中心波長を示す。

ハイパースペクトル画像の取得には、岡本ら (2006b) によって開発された画像撮影システムを応用した。構成草種および草種別草量の空間情報マップを生成するためには、調査対象区全面のハ

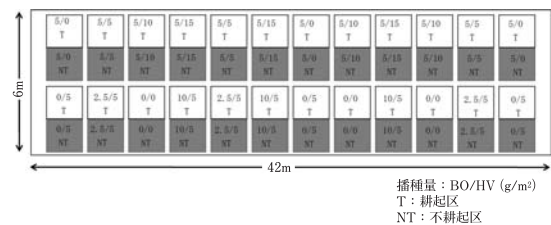


図 1 調査対象区概要

表 1 供試ハイパースペクトルカメラの波長バンドと中心波

| 波長<br>バンド No. | 中心波長<br>(nm) | 波長<br>バンド No. | 中心波長<br>(nm) | 波長<br>バンド No. | 中心波長<br>(nm) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 1             | 371          | 18            | 580          | 35            | 791          |
| 2             | 384          | 19            | 592          | 36            | 803          |
| 3             | 396          | 20            | 605          | 37            | 816          |
| 4             | 408          | 21            | 617          | 38            | 828          |
| 5             | 420          | 22            | 629          | 39            | 841          |
| 6             | 433          | 23            | 642          | 40            | 853          |
| 7             | 445          | 24            | 654          | 41            | 866          |
| 8             | 457          | 25            | 666          | 42            | 878          |
| 9             | 469          | 26            | 679          | 43            | 891          |
| 10            | 482          | 27            | 691          | 44            | 903          |
| 11            | 494          | 28            | 704          | 45            | 916          |
| 12            | 506          | 29            | 716          | 46            | 928          |
| 13            | 518          | 30            | 728          | 47            | 941          |
| 14            | 531          | 31            | 741          | 48            | 953          |
| 15            | 543          | 32            | 753          | 49            | 966          |
| 16            | 555          | 33            | 766          | 50            | 978          |
| 17            | 568          | 34            | 778          | 51            | 991          |
|               |              |               |              | 52            | 1004         |

イパースペクトル画像を取得する必要がある。そこで、車両走行により効率的に広域画像が取得可能な車載型撮影システム（図2-a）を利用して、マップ生成用の画像を取得した（図3）。このシステムは、乗用管理機（JK14HP, Iseki & CO., LTD., Ehime, Japan）の前方に俯角 90 度、高さ 2.25 m の位置でカメラを取り付けた。カメラの対物レンズ視野角（71.6°）、カメラの取り付け高さ（2.25 m）、撮影幅（0.74 m）、車両走行速度（約 0.13 m/s）から、取得した画像の1画素は約 4.51 mm×4.34 mm に相当する。

なお、構成草種判別のための分光スペクトル解析モデルの開発では、説明変数となる草種別分光スペクトルと同時に目的変数となる実際の草種を把握する必要がある。そこで、各画素の草種が目視によって判別できる高空間分解能画像が取得可能な携帯型撮影システム（図2-b）を利用して、モデル開発用の画像を取得した。このシステムは、電動雲台（KD, Mizar Ltd., Tokyo, Japan）にカメラを取り付けており、軽量で携行性に優れている。カメラの対物レンズ視野角（40.9°）、カメラの取り付け高さ（1 m）、撮影幅（3.23 m）、撮影速度（約 0.02 m/s）から、取得した画像の1画素は約 1.04 mm×1.16 mm に相当する。これらの2つの撮影システムにより取得した画像は、デジタルビデオレコーダ（GR-D650; Victor Co., Tokyo, Japan）でデジタルビデオテープ（720×480 画素）に記録した。記録した画像のフレームレート

は、デジタルビデオテープの規格により 29.97 fps である。

本研究では上述した2つの撮影システムにより画像を撮影し、それらを解析に用いた。これらのシステムのカメラの設置角度は異なるため、画像中の見かけ上の反射強度に違いが生じる。しかし、グラウンドベースの画像の場合、上空観測の画像よりも近距離からの観測であるため、取得データの補正の必要性が少ない（井上 1998）。そこで、本研究ではカメラの設置角度による取得データの影響が少ないと考え、撮影画像から取得した生データを分析・検証に用いた。加えて、画像の1画素の相当領域から、画像は高い空間分解能で取得できており、葉面位置からのデータの取得および目視によるデータの判別が可能と考えられた。そのため、取得画像は草種判別および草種別草量推定に妥当な画像と判断した。

### 3) 構成草種判別および草種別草量の推定

図4に構成草種判別および草種別草量推定のフローを示す。ここでは、初めに、取得した画像の各画素を植物と土壌に判別し、植物領域のみを抽出した。その後、植物領域の画素を構成草種である BO, HV, 雑草に判別した。最後に、草種別に各区画の単位面積当たりの草量を推定した。これらの解析は、Microsoft Visual C# により開発したソフトウェアにより実行した。このソフトウェアは、岡本ら（2006a, 2006b）がハイパースペクトル画像解析のために設計・構築したオブジェクト指向フレームワークを基に開発した。草種判別および草量推定のための分光スペクトル解析モデルは、統計解析ソフトウェアの R（version 2.5.1）（R Development Core Team, 2007）により開発した。なお、本研究で画像から収集した分光スペクトルは、表1に示した52次元の波長バンドの受光強度である（図5）。

#### (1) 植物領域抽出

植物領域を抽出するために、取得したハイパースペクトル画像の全ての画素に植物・土壌画素判別モデルを適用し、植物と土壌に判別した。植物（BO, HV および雑草）と土壌の分光スペクトルは、赤色光域および近赤外光域で大きく異なる（図5）。そのため、この領域の波長バンド値（687 nm, 760 nm）から算出したNDVI (normalized difference vegetation index: 正規化差分植生指数)

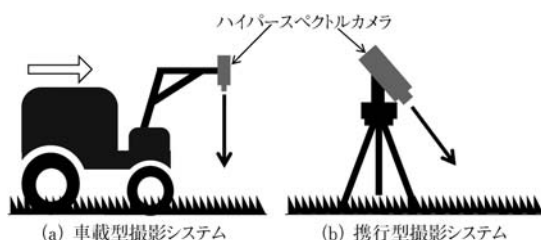


図2 ハイパースペクトル画像撮影システム

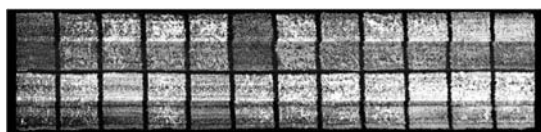


図3 車載型撮影システムで取得した調査対象区全面の画像（撮影日：2008年7月3日）

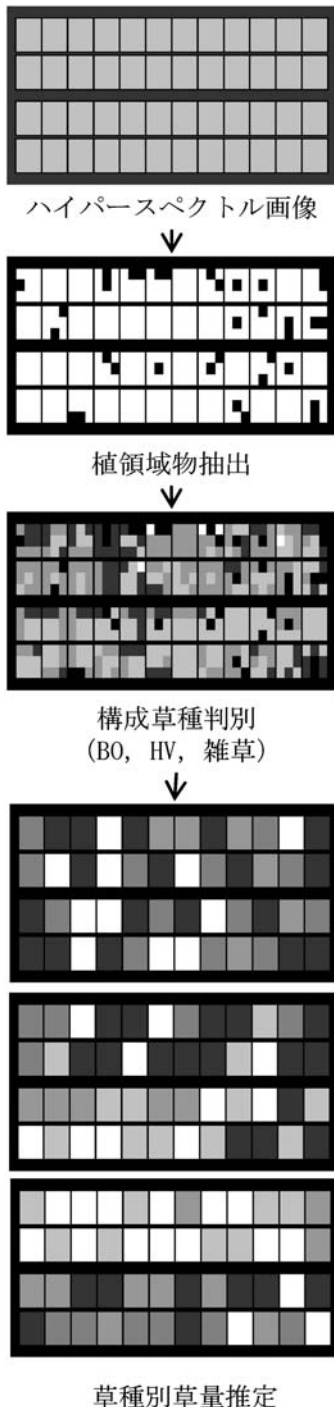


図4 構成草種判別および草種別草量推定フロー

を植物・土壌画素判別モデルに応用した (Suzuki *et al.*, 2008b).

植物・土壌画素判別モデルの開発および検証で

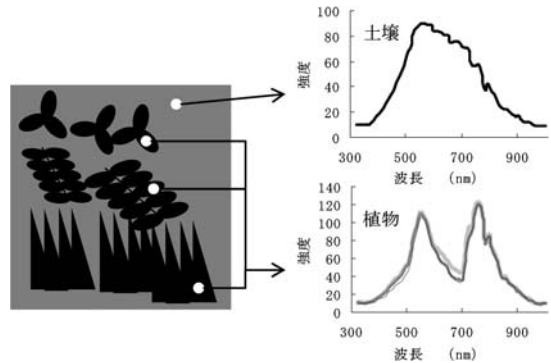


図5 Oat, HV, 雑草および土壌の分光スペクトルの例

は、説明変数となる2つの波長バンド値 (687 nm, 760 nm) から算出した NDVI と同時に目的変数となる実際のカテゴリ (植物, 土壌) を把握する必要がある. そこで, NDVI 算出のための植物と土壌の分光スペクトルを, 2007 年および 2008 年の2年間に携帯型撮影システムにより取得した画像から各々1000点収集した (2007 年: 500 点, 2008 年: 500 点). その後, 収集した分光スペクトルを分析データと検証データとに二分した. 最後に, 分析データにより開発したモデルを検証データで評価した.

## (2) 正規化処理

分光スペクトルは, 同一個体の同一部分であっても, 撮影時の光環境やレンズの絞り値の違いで輝度レベルが大きく異なる. そのため, 草種判別および草量推定を実行する前に, 平均値=1, 最小値=0 になるように分光スペクトルに正規化処理を施した (岡本ら 2006b).

## (3) 構成草種判別

取得した画像の植物領域に草種判別モデルを適用することで, 各画素を BO, HV および雑草に分類した. ただし, 本研究で対象とする2種のカバー作物と5種類の雑草の分光スペクトルは, 図5に示したように 550 nm 付近, 750 nm 付近に強い反射, 700 nm 付近に強い吸収を持ち, 類似したスペクトル形状である. そこで, より分離性の高い草種判別モデルを設計するために, 初めに分光スペクトルの草種間の類似性を調査した.

分光スペクトルの草種間の類似性調査には, 自己組織化マップ (SOM: self-organizing maps) を採用した. SOM は, ニューラルネットワーク



の一種で、特徴およびデータ間の相互関係を維持したまま、入力データである多次元データを2次元マップに写像する。そのため、多次元データの傾向把握、分類および可視化に有効な技術である。本研究では、52次元の草種別分光スペクトルを入力データとした。SOMは、Rソフトウェアの“som”パッケージ(version 0.3-4)の“som”関数を使用して実行した(Kohonen *et al.* 1996)。

SOMにより求めた分光スペクトルの類似性を考慮して、草種判別モデルを設計した。このモデルは、52次元の草種別分光スペクトルを説明変数、実際の草種を目的変数として、線形判別分析(LDA: linear discriminant analysis)により開発した(式1)。

$$z = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p + b \quad (1)$$

ここで、 $z$ : 判別得点

$a_i$ : 偏回帰係数 ( $i=1\sim p$ )

$b$ : 切片

$p$ : 説明変数の数

LDAは、入力データを多群のカテゴリに判別するための統計学的手法である。草種判別モデルに使用する波長バンドの選択には、ウィルクス $\Lambda$ を用いたステップワイズ変数選択を採用した。群間の変動を示すウィルクス $\Lambda$ 統計量は、0から1の範囲で、0に近いほど群間の差が大きく、1に近いほど群間の差が小さいことを示す。そのため、ウィルクス $\Lambda$ 統計量が最小になるように波長バンドを組み合わせることで、判別に有効なバンドを選択した。LDAはRソフトウェアの“MASS”パッケージ(version 7.2-38)の“lda”関数を使用して実行した(Ripley 1996; Venables and Ripley 2002)。ステップワイズ変数選択は、Rソフトウェアの“klaR”パッケージ(version 0.5-5)の“greedy.wilks”関数を使用して実行した(Martens and Næs, 1989)。開発したモデルは、クロスバリデーションにより検証した。

草種判別モデルの開発・検証では、説明変数となる草種別分光スペクトルと同時に目的変数となる実際の草種(BO, HVおよび雑草)を把握する必要がある。そこで、草種別分光スペクトルを2007年および2008年に携帯型撮影システムにより取得した画像から収集した。BOおよびHVでは30枚(2007年: 15枚, 2008年: 15枚)、アオゲイトウ、イヌビエおよびシロザでは15枚(2007

年: 7枚, 2008年: 8枚)、ソバカズラでは8枚(2007年: 5枚, 2008年: 3枚)、スベリヒユでは7枚(2008年: 15枚)の画像をそれぞれ供試した。各画像から30画素分を収集した。その後、収集した分光スペクトルを分析データと検証データに分けた。検証データは、全画像( $N$ )から抽出した1画像で、その他の画像( $N-1$ )は分析データとした。そして、草種判別モデルを分析データにより開発した後、検証データにより評価した。この処理は、分析・検証データの組み合わせを代え、 $N$ 回繰り返した。最後に、検証データによる評価結果を集計して、検証時判別率を算出した。判別率は、全試行サンプル数に対する判別正答数を基に算出された。

#### (4) 草量推定

草種別草量推定モデルを各画素に適用することで、各区画の単位面積当たりの草量を推定した。なお、本研究では高精度な草量推定を目指したため、3つの草量推定モデルを開発した。モデル1では、刈取り時の草種別草量と生育初期の草種個体数との間に高い相関(相関係数: 0.81-0.89)が認められたため、個体数と関連がある草種植被率(空間情報)を説明変数とした単回帰分析を応用した。このモデルで供試した草種植被率は、草種判別マップから求めた各区画の全画素数に対する草種別の画素数である。モデル2では分光スペクトルから高精度で草量を推定した研究例(Schut *et al.* 2005, 2006)を参考に、刈取り時の52次元の草種別区画内分光スペクトル(波長情報)を説明変数としたPLS(partial least squares)回帰分析を応用した(式2)。

$$y = a_1T_1 + a_2T_2 + \dots + a_pT_p + b \quad (2)$$

ここで、 $y$ : 目的変数の予測値

$a_i$ : 回帰係数 ( $i=1\sim p$ )

$T_i$ : 因子 ( $i=1\sim p$ )

$b$ : 切片

$p$ : 因子の数

PLS回帰分析は、全ての入力データから算出される直交の潜在変数を説明変数とするため、データ間に多重共線性が存在する場合に有効な解析手法である。PLS回帰分析は、Rソフトウェアの“pls”パッケージ(version 2.0-1)の“pls”関数を使用して実行した(Martens and Næs, 1989)。このモデルで供試した草種別区画内分光スペクトルは各

区画から抽出した100画素分の草種別の分光スペクトルの平均である。モデル3は、モデル1およびモデル2で供試した草種植被率（空間情報）と52次元の草種別区画内分光スペクトル（波長情報）を説明変数としてPLS回帰分析により開発した。開発したこれらのモデルは、クロスバリデーション（leave-one-out法）により検証した。なお、モデルの開発・検証に用いた草種植被率と分光スペクトルは、BOでは計72区画（2007年：36区画，2008年：36区画），HVでは計73区画（2007年：38区画，2008年：35区画），雑草では計93区画（2007年：47区画，2008年：46区画）のデータを収集した。

### 3. 結果と考察

#### 1) 植物領域抽出

分析データのNDVIの範囲は、植物が0.421から0.952、土壌が-0.220から0.161であった（図6）。これらのNDVIの分布から、植物と土壌の判別のためのNDVIしきい値を0.225に決定した。NDVIしきい値による植物領域抽出の検証時判別率は100.0%で、植物と土壌が正確に判別できた。そのため、NDVIにより植物領域のみの抽出が可能と判断できた。

#### 2) 草種識別

図7に分光スペクトルの草種間類似性を示した自己組織化マップを示す。ここで用いたデータは2007年および2008年のデータとなる。マップの草種ごとのデータ分布を見ると、ややバラツキがあるものの、草種ごとに概ね分離して分布している。そのため、草種ごとの年度間の大きな差が無

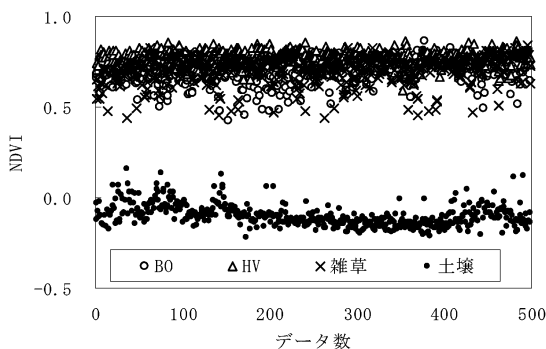


図6 植物・土壌判別のための分析データセットのNDVI

いと判断できる。このマップから、BOはアオゲイトウおよびイヌビエ，HVはシロザ，スベリヒユおよびソバカズラと類似していることが明らかとなった。そのため、対象草種はBO類似種（BO，アオゲイトウ，イヌビエ）およびHV類似種（HV，シロザ，スベリヒユ，ソバカズラ）に大別できた。図8に草種類似性を基に設計した草種判別モデルを示す。このモデルでは、初めに植物の分光スペクトルをBO類似種およびHV類似種に分類した。その後、BO類似種をBOおよび雑草，HV類似種をHVおよび雑草に判別した。

表2に開発した草種判別モデルに用いた波長バンド、回帰係数および検証時判別率を示す。各モデルで選択された波長バンドの多くは、近赤外領域に属していた。植物における近赤外領域の反射は植物の葉の細胞構造、レッドエッジと呼ばれる700から800nm領域はクロロフィル濃度と強く関連している（日本リモートセンシング研究会2001）。よって、草種間の葉の細胞構造やクロロフィル濃度の違いが草種判別に影響していると考えられた。これらのモデルの検証判別率は79.7から89.5%であった。判別率から、HV類似種間での判別精度がやや低く、HVの特定が難しかった。

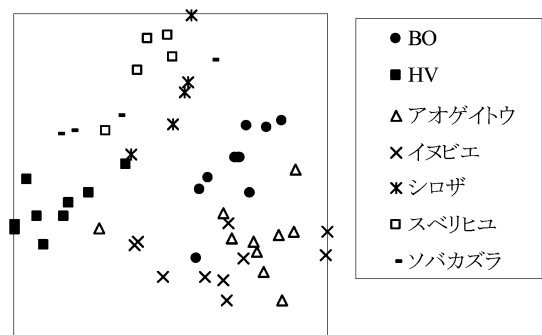


図7 分光スペクトルの草種間類似性を示した自己組織化マップ

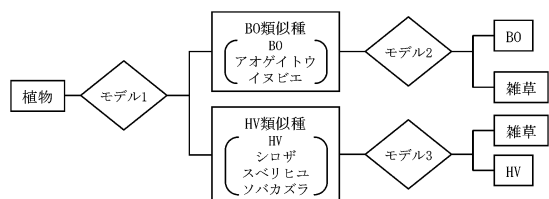


図8 類似度を考慮した草種判別アルゴリズム

表 2 草種判別モデルに使用した波長バンド、回帰係数および検証時判別率

|            | モデル 1   |          | モデル 2   |         | モデル 3   |          |
|------------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|
|            | 波長 (nm) | 係数       | 波長 (nm) | 係数      | 波長 (nm) | 係数       |
| 第 1 変数     | 741     | 751      | 433     | -714    | 691     | 466      |
| 第 2 変数     | 568     | -292     | 568     | 200     | 753     | 104      |
| 第 3 変数     | 853     | -504     | 728     | -619    | 396     | 643      |
| 第 4 変数     | 778     | 466      | 457     | -822    | 853     | -405     |
| 第 5 変数     | 716     | 402      | 816     | -483    | 716     | -650     |
| 第 6 変数     | 518     | 287      | 716     | -592    | 666     | 599      |
| 第 7 変数     | 704     | 641      | 518     | -396    | 766     | 313      |
| 第 8 変数     | 531     | 397      | 778     | -252    | 741     | 476      |
| 第 9 変数     | 371     | 494      | 753     | 157     | 841     | -435     |
| 第10変数      | 903     | 387      |         |         | 903     | 538      |
| 第11変数      | 953     | 347      |         |         |         | 444      |
| 定数項        |         | -4410174 |         | 3957831 |         | -2342014 |
| 検証時判別率 (%) | 86.2    |          | 89.5    |         | 79.7    |          |
| 総合判別率 (%)  |         |          | 78.7    |         |         |          |

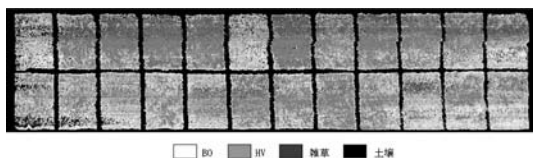


図 9 草種判別画像（撮影日：2008 年 7 月 3 日）

HV は匍匐性植物で、多くの場合、他草種の植物体と絡み合い生育していた。そのため、HV と他草種との重なる領域ではこれらのスペクトルが混合し、草種判別精度がやや劣ったと考える。しかし、総合検証判別率は 78.7% で、いくつか誤判別があったものの、概ね正しく判別された。図 9 に生成した草種判別マップを示す。このマップより各区画の構成草種分布の概略を把握することができる。取得した画像は高解像度画像であったが、複数の草種が混在する圃場では、異草種の葉が重なり、複数の草種の分光スペクトルが混合する場合が考えられる。本研究では、取得した生データを解析用として応用しているが、今後、スペクトルミクスチャー解析 (Nielsen, 2001) によるスペクトルの分解や非線形分析によるモデル開発を実行することで、さらに判別精度の向上が期待できる。

### 3) 草量推定

表 3 に草種別草量推定の検証結果を示す。草種植被率のみを説明変数としたモデル 1 の  $R^2$  は 0.00 から 0.38 で、全ての草種で推定が難しいと考

えられた。草種別分光スペクトルのみを説明変数としたモデル 2 の  $R^2$  は 0.72 から 0.91 で、概ね推定が可能と考えられた。草種植被率および草種別分光スペクトルを説明変数としたモデル 3 の  $R^2$  は 0.72 から 0.93 で、最も高い  $R^2$  および低い  $SECV$  を示した。よって、草量は空間情報である草種植被率および波長情報である草種別分光スペクトルの双方を組み合わせて検討することにより、高い精度での推定が可能となった。図 10 に草種別分光スペクトルと草種植被率を説明変数としたモデル 3 の検証結果を示す。3 草種ともに 45 度の参照線に沿ってプロット点は分布していたが、BO および雑草の低草量領域で過大評価、高草量領域で過小評価の傾向が確認された。そのため、より高性能な推定モデルを開発するために、サンプル数の蓄積によりデータ範囲を広くし、モデルの再校正を必要がある。図 11 に推定モデルの標準化回帰係数を示す。BO は 790 nm, 903 nm および 953 nm, HV は 432 nm, 716 nm および 790 nm, 雑草 531 nm, 728 nm および 966 nm で大きな回帰係数を示した。回帰係数の変動は草種間で大きく異なるが、BO では近赤外領域が特に反映され、HV および雑草では可視・近赤外領域が全体的に反映されていた。

図 12 に 2008 年草種別草量マップを示す。マップレベルでの実測草量および推定草量の相関係数は、BO が 0.53, HV が 0.96, 雑草が 0.80 であった。HV および雑草では高い相関関係が示された



表 3 草量推定モデル検証結果

|    | モデル 1*         |        | モデル 2**        |        | モデル 3***       |        |
|----|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
|    | R <sup>2</sup> | SECV   | R <sup>2</sup> | SECV   | R <sup>2</sup> | SECV   |
| BO | 0.38           | 376.07 | 0.78           | 299.43 | 0.87           | 237.57 |
| HV | 0.12           | 110.60 | 0.91           | 48.63  | 0.93           | 43.90  |
| 雑草 | 0.00           | 270.76 | 0.72           | 186.45 | 0.72           | 184.64 |

\*説明変数：草种植被率，モデル開発手法：単回帰分析

\*\*説明変数：草種別分光スペクトル，モデル開発手法：PLS 回帰分析

\*\*\*説明変数：草种植被率および草種別分光スペクトル，モデル開発手法：PLS 回帰分析

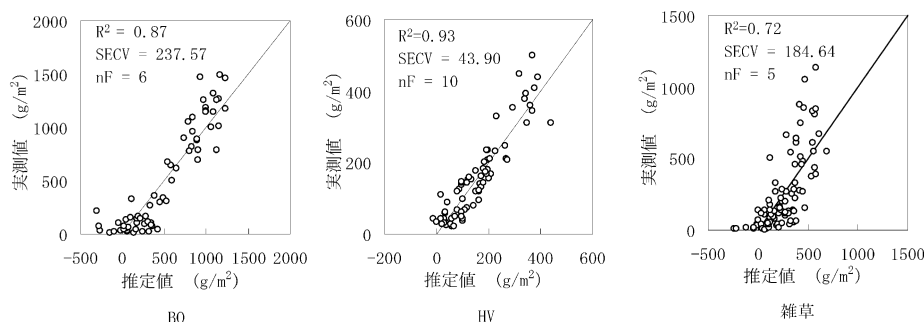


図 10 草量推定結果  
(モデル説明変数：草種別分光スペクトル，草种植被率)

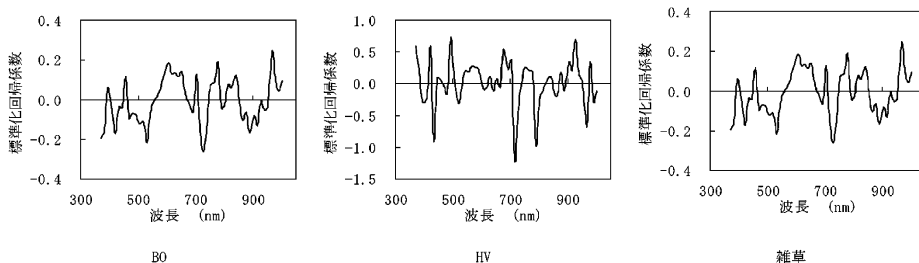


図 11 草量推定モデルの標準化回帰係数

ため，推定草量マップは実際の圃場の状態を概ね反映していると考えられた。一方，BO の推定マップは，低草量区画で過大評価の傾向があった。そのため，この問題を解消するために，さらに草量推定モデルの精度改善が必要である。

#### 4. 摘要

本報では，カバークロップの機能性の評価基準となりえる構成草種および刈取り時草量の空間分布をハイパースペクトル画像解析により推定した。ここでは，取得した画像の各画素を NDVI により植物と土壌に判別し，植物領域を抽出した。

次に，植物領域の各画素に草種判別モデルを適用して BO，HV および雑草に判別した。その後，草量推定モデルにより，各区画の草種別草量を推定した。その結果，以下のことが明らかとなった。

1) ステップワイズ変数選択を用いた線形判別分析により開発した草種判別モデルは，検証時総合判別率が 78.3% であった。分光スペクトル類似性の高い草種間での誤判別がいくつかみられたが，概ね正確に判別できた。

2) PLS 回帰分析により開発した草量推定モデルは，BO および雑草の低草量領域でやや過大評価，高草量領域でやや過小評価の傾向があったも

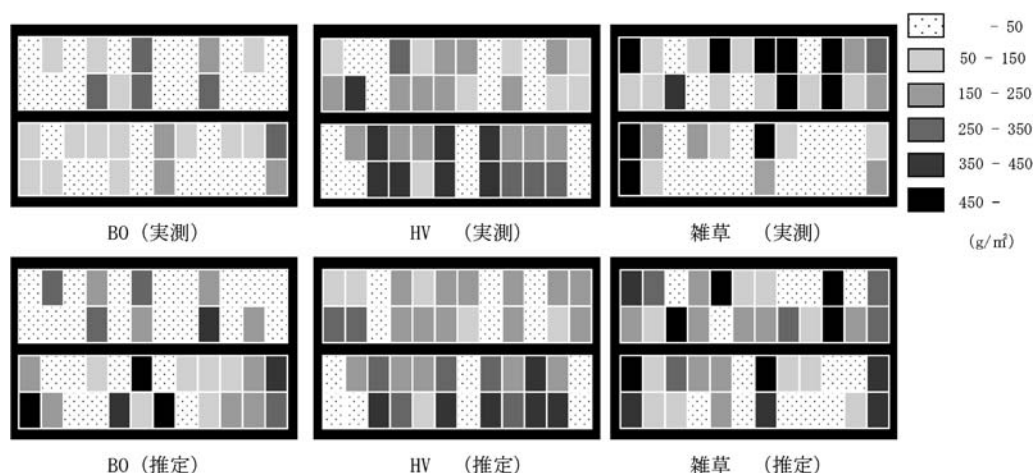


図 12 草種別草量推定マップ

の、概ね推定が可能と判断できた。また、説明変数に波長情報（分光スペクトル）と空間情報（草種植被率）の双方を利用することで、より高い精度で推定できた。

3) 生成した草量推定マップでは、HV および雑草は概ね実圃場の状態を反映していたが、BO は低草量領域で過大評価の傾向が見られた。しかし、これらは草量推定モデルの推定精度の向上を図ることで、改善されると考えられた。

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バークロップ圃場の構成草種判別および草種別草量分布推定の可能性が示された。

## 謝辞

本研究の一部は文部科学省研究補助金 (No. 17208022) により実施した。また、本研究の遂行に当たって、北海道大学北方圏フィールド科学センターの技術職員の皆様に多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

## キーワード

リモートセンシング、画像解析、分光スペクトル解析、線形判別分析、PLS 回帰分析

## 引用文献

- 荒木肇 (2005) : カバークロップと野菜生産, 農作業研究 40 ; 27-34.  
Clark, A. (2007) : Managing cover crops profitably, 3rd ed. Sustainable Agriculture Net-

work, Beltsville, MD ; 116-124.

井上吉雄 (1998) : 情報化精密農業生産管理へのリモートセンシングの応用 (3), 農業機械学会誌 60 (3) ; 141-150.

小林浩幸・小柳敦史 (2005) : 冬作オオムギをカバークロップとして用いた不耕起ダイズ栽培において狭畦化と除草処理が雑草量とダイズの収量に及ぼす影響, 雑草研究 50 ; 284-291.

Kohonen, T., Hynninen, J., Kangas, J. and Laaksonen, J. (1996) : SOM PAK : The self-organizing map program package. Laboratory of Computer and Information Science, Helsinki University of Technology, Technical Report A31 ; 1-25.

Komatzaki, M. (2002) : New cropping strategy to reduce chemical fertilizer application to silage corn production using subterreanean clover reseeded, Japanese journal of farm work research 37 ; 1-11.

小松崎将一 (2004) : 畑作でのカバークロップ利用, 農作業研究 39 ; 157-163.

小松崎将一・村中健一 (2005) : 夏作カバークロップを利用した有機栽培ブロッコリの生産性, 農作業研究 40 ; 17-26.

小松崎将一・鈴木光太郎 (2008) : ハクサイ栽培でのカバークロップ利用による土壌風食の抑制, 農作業研究 43 ; 187-197.

Martens, H., and Næs, T. (1989) : Multivariate calibration, Wiley, New Jersey ; 1-438.

- 農林水産省 (2007) : 持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律, Vienna Available from URL : <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H11/H11HO110.html> (Cited 1 October 2009).
- Nielsen, A.A. (2001) : Spectral mixture analysis : linear and semi-parametric full and iterated partial unmixing in multi- and hyperspectral image data, *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 15 ; 17-37.
- 日本リモートセンシング研究会 (2001) : 改訂版 図解リモートセンシング, (社)日本測量協会 ; 2-25.
- 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. and Lee, W.S. (2008) : Green citrus detection using hyperspectral imaging, *Computers and Electronics in Agriculture* 66 : 201-208.
- 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.
- R Development Core Team. (2007) : R : A language and environment for statistical computing R Foundation for Statistical Computing, Vienna Available from URL : <http://www.R-project.org/> (Cited 28 July 2007).
- Ripley, B.D. (1996) : Pattern recognition and neural networks. Cambridge University Press, Cambridge ; 1-416.
- Schut, A.G.T., Lokhorst, C., Hendriks, M.M.W.B., Kornet, J.G. and Kasper, G. (2005) Potential of imaging spectroscopy as tool for pasture management, *Grass Forage Sci* 60 ; 34-45.
- Schut, A.G.T., van, der, Heijden, G.W.A.M., Hoving, I., Stienezen, M.W.J., van, Evert, F.K., and Meuleman, J. (2006) Imaging spectroscopy for on-farm measurement of grassland yield and quality, *Agron. J.* 98 ; 1318-1325.
- 柴田健一郎 (2005) : 果樹栽培におけるカバークロップの利用, *農作業研究* 40 ; 43-48.
- 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. (2008 b) : 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.
- 辻博之・大下泰生・渡辺治郎・奥野林太郎 (2005) : コムギによるリビングマルチがダイズ生産と雑草抑制に及ぼす影響, *農作業研究* 40 ; 79-88.
- 上野秀人 (2004) : 水田におけるカバークロップ利用, *農作業研究* 39 ; 165-170.
- Venables, W.N., Ripley, B.D. (2002) : Modern applied statistics with S, Fourth edition, Springer, New York, pp. 331-352.

## Summary

Cover crops have many benefits such as reducing chemical materials, improving soil condition, preventing soil erosion and conservation of soil water. The long-term objective of this study is to assess and estimate cover crop effectiveness such as green manure, weed de-

pression and soil conservation. In this paper, spatial distribution of herb species and herbage mass was estimated.

A ground based hyperspectral imaging, which is useful for acquiring field information, was employed to monitor the cover crop field (bristle oat and hairy vetch). In order to generate the maps of herbage mass, first, plant portions were extracted from hyperspectral images by NDVI (normalized difference vegetation index) threshold. Next, they were classified into plant species using linear discriminant models. Finally, the herbage mass of each plant species was estimated individually using partial least squares regression model, and mapped with gradient colors depending on the estimated value.

The results show that the success rate of plant area extraction was 100% and the suc-

cess rate of the plant species classification was 78.7%. With regards to the result of the herbage mass estimation, the model that used both plant pixel spectra and plant cover rate as explanatory variables had the highest and most stable accuracy than the other models. The maps of plant species and herbage mass reflected the actual spatial distribution on the field. It was demonstrated that the hyperspectral imaging system developed in this study is a useful technique for monitoring the cover crop.

### Key Words

remote sensing, image processing, spectral analysis, linear discriminant analysis, partial least squares regression analysis