

2011.11.17-18
第3回ALOS2/3ワークショップ
つくば国際会議場

農業分野でのハイパースペクトル イメージデータの利用

東工大・JAXA/EORC
齋藤元也

東工大・東北大・ERSDAC・農環研・NTTデータ・PASCO
等との共同研究

農業分野のハイパースペクトル イメージデータ利用

1. はじめに
2. 作物判別
3. バイオマス推定
4. 水分推定
5. セルロース指数
6. クロロフィル指数
7. ALOS3への期待

農業分野のハイパースペクトルイメージングデータ利用

1. はじめに

1970年代に、圃場で農作物の分光測定を実施し、農作物の収量予測や栄養診断に、この分光測定値が有効であることを示した。しかしながら、限られた波長帯のマルチスペクトルスキャナーセンサ衛星データこの成果を結びつけることが出来なかった。

ハイパースペクトルイメージングセンサを搭載した衛星による観測により、分光反射(スペクトル)特性による作物診断を広範囲に実施したい。

農業分野のハイパースペクトルイメージングデータ利用

2.作物判別

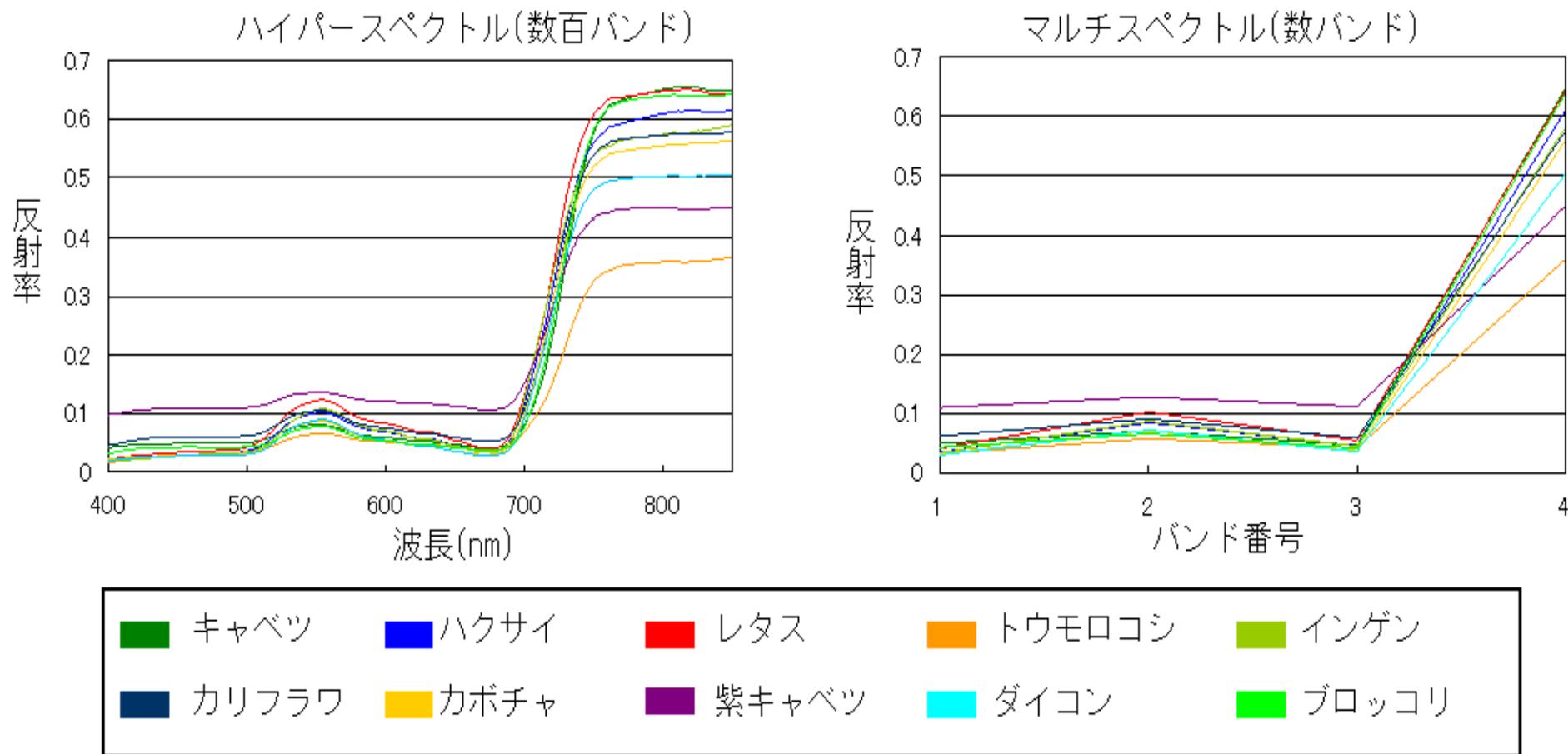
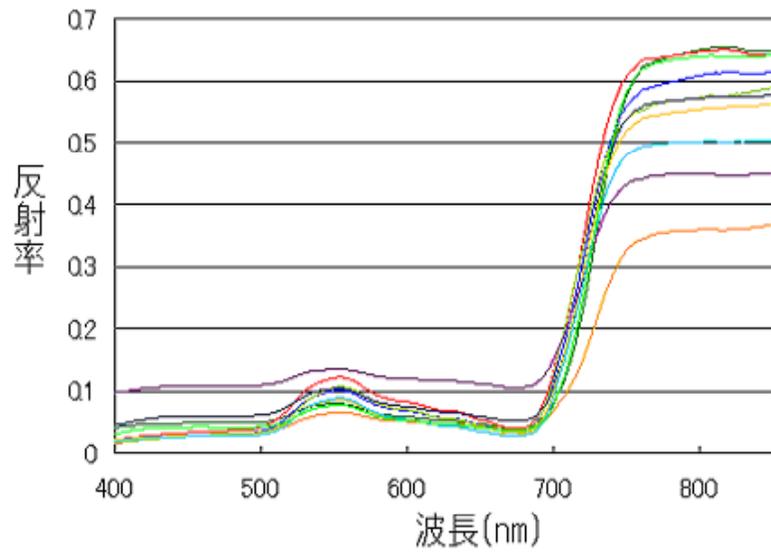
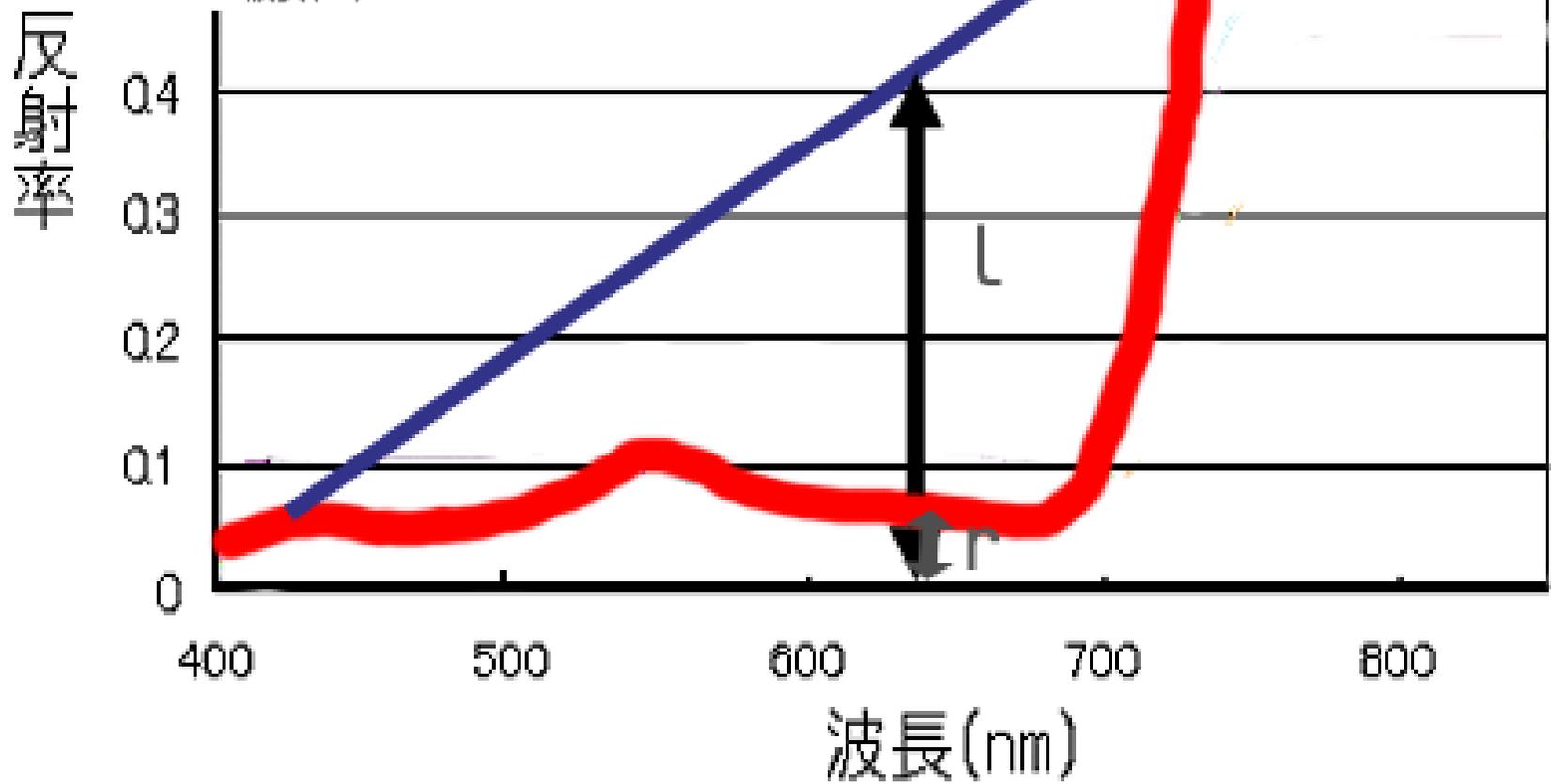
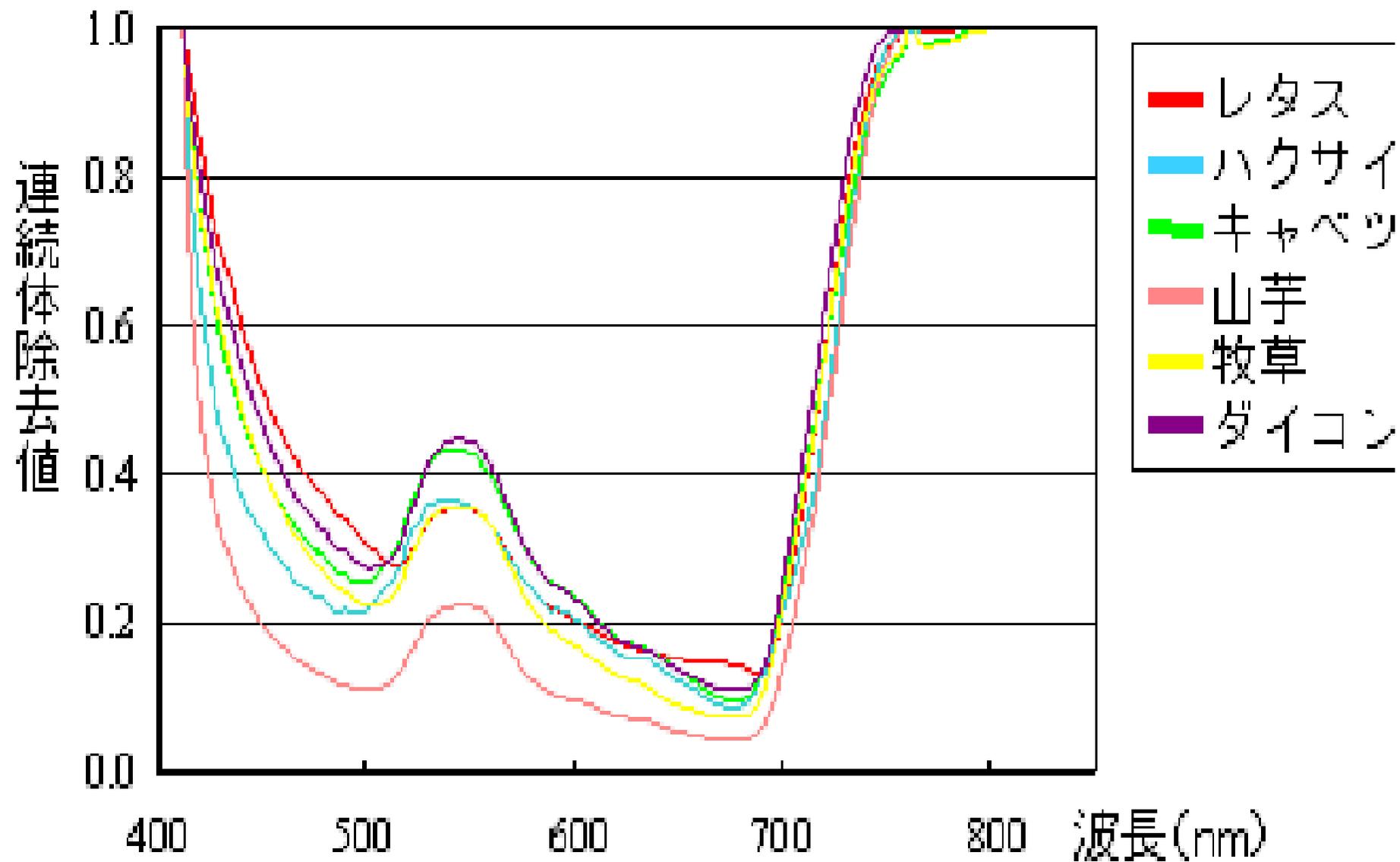


図 1 ハイパースペクトルとマルチスペクトルの違い



連続体除去値 = r/l

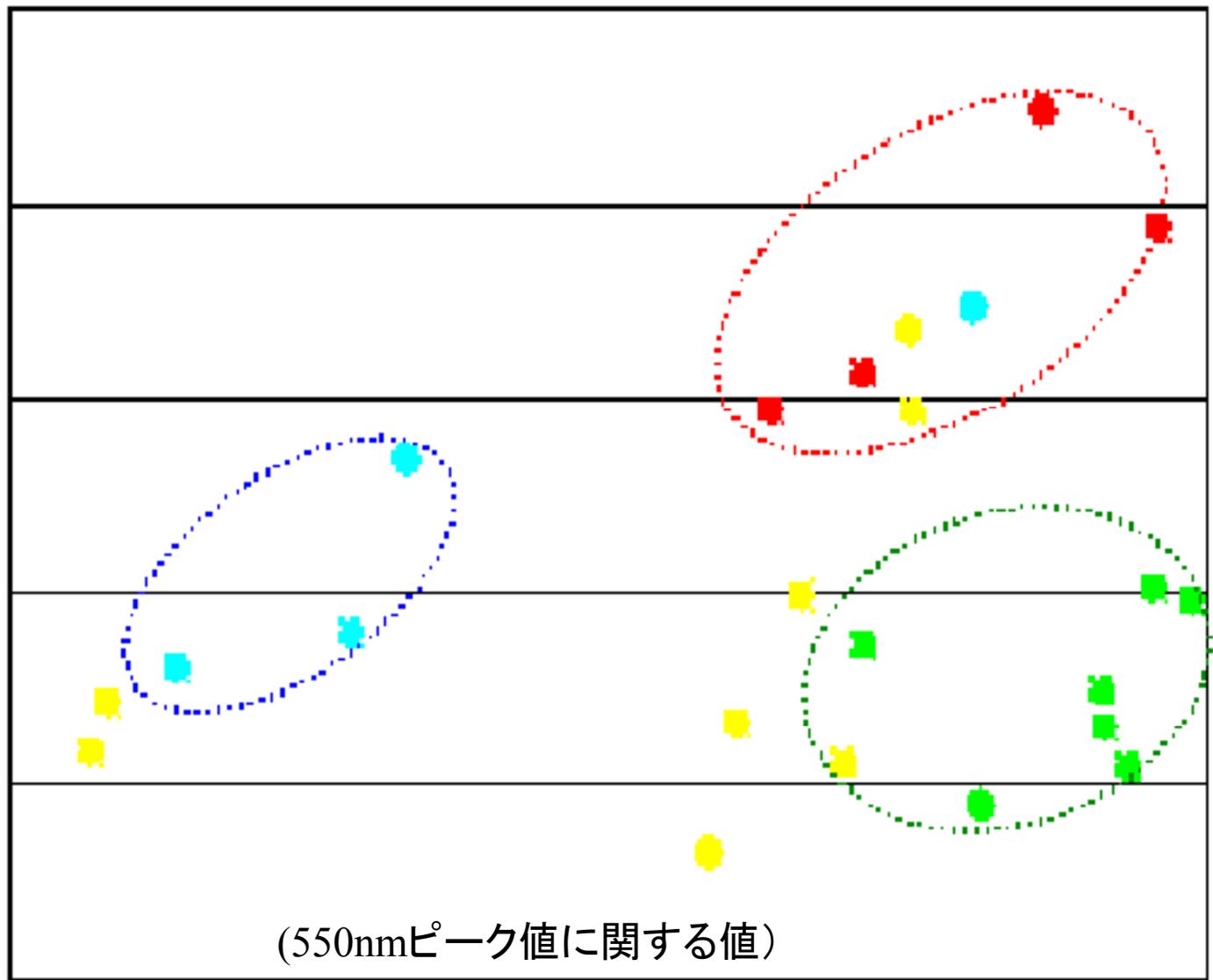




連続体除去値 = r / L

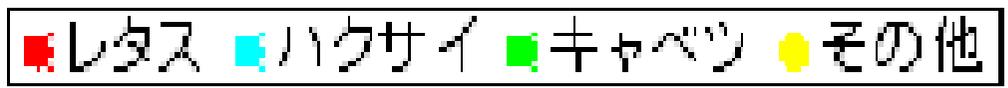
(550nm近傍
極大の傾き
に関する値)

特徴量2



(550nmピーク値に関する値)

特徴量1



ハイパースペクトル画像



ハイパースペクトル画像の分類結果

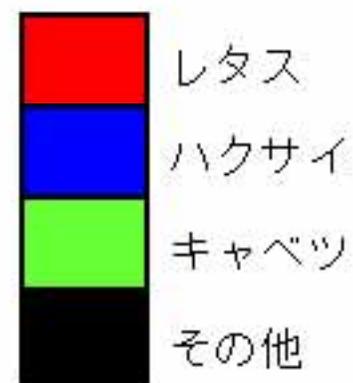
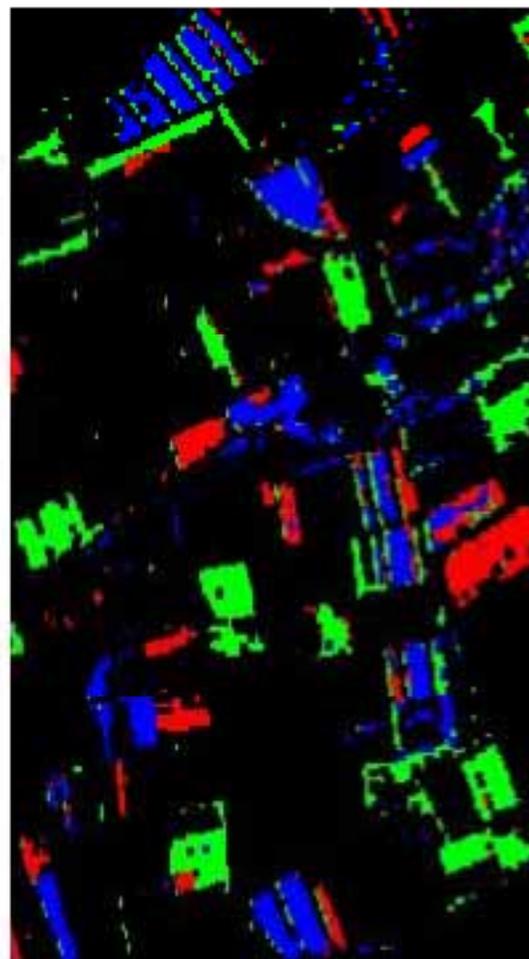
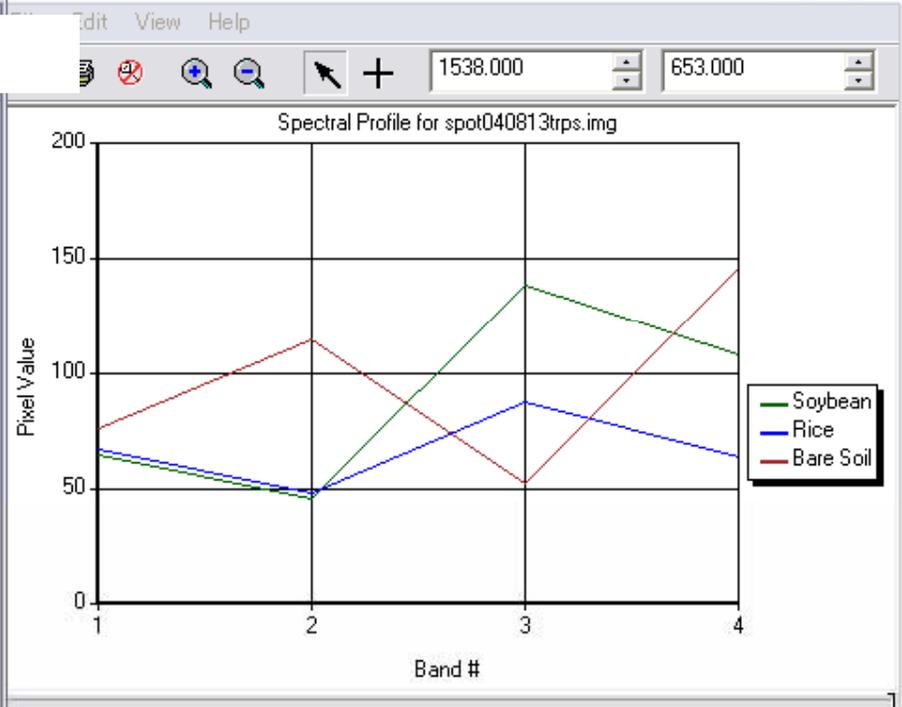
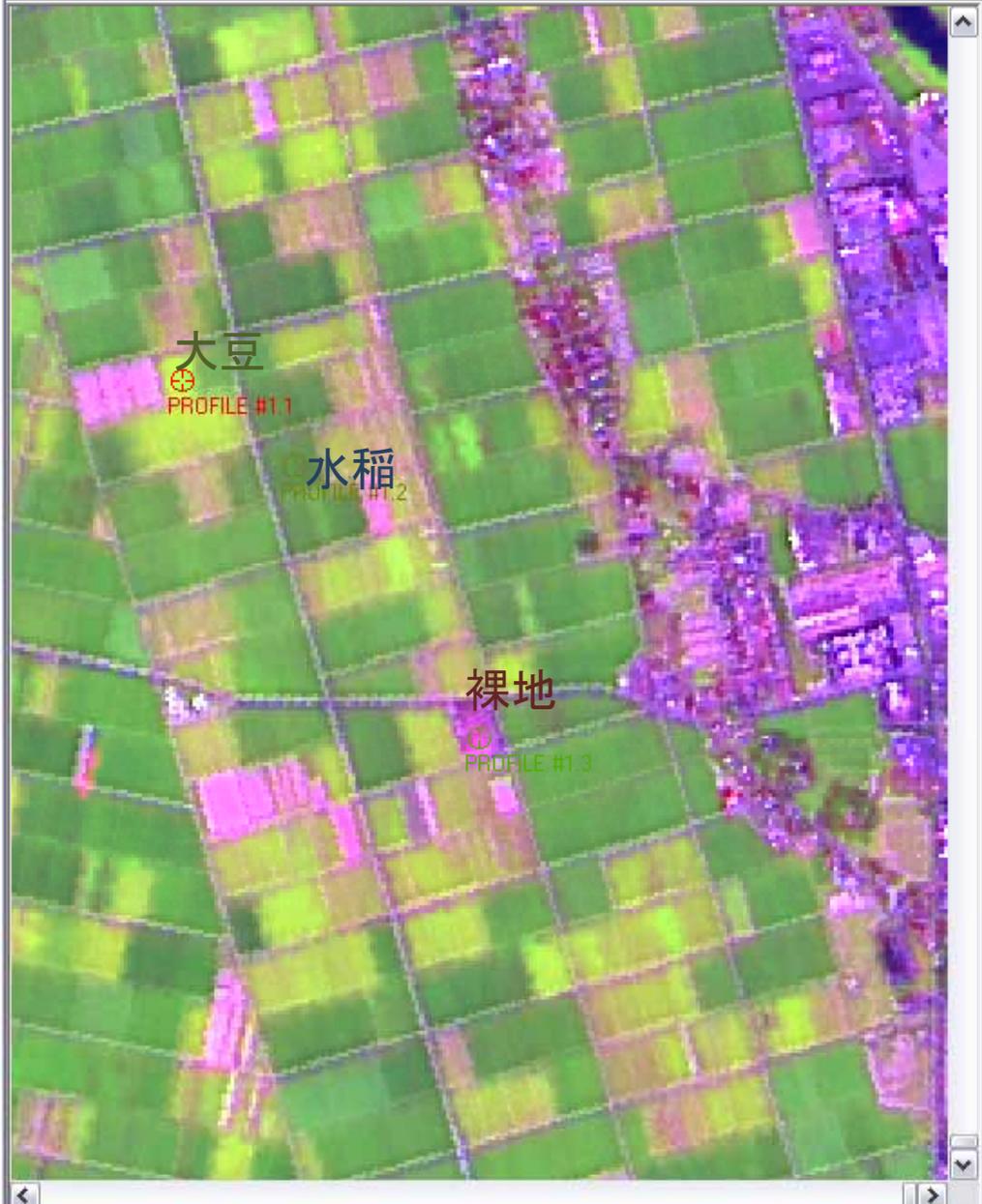


図6 野菜の分類結果

農業分野のハイパースペクトルイメージングデータ利用

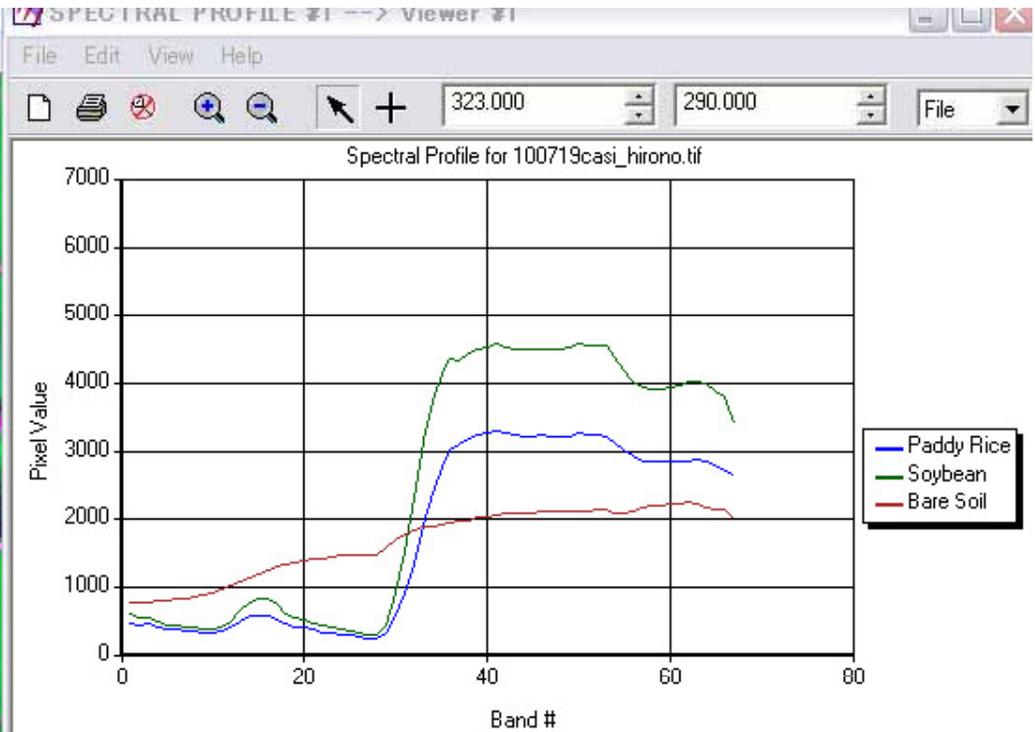
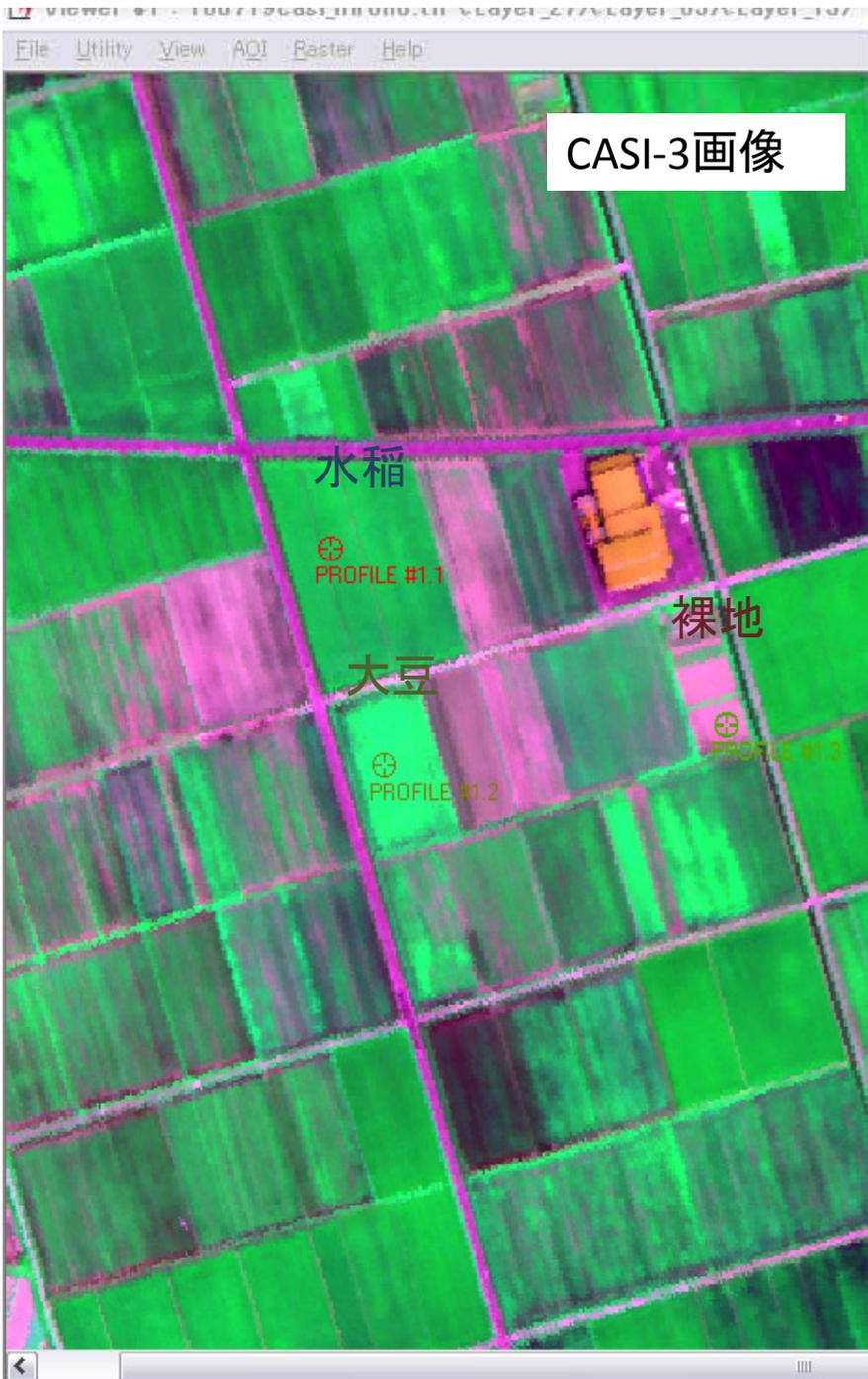
3. バイオマス推定

File スポット画像(いままでのリモートセンシング)



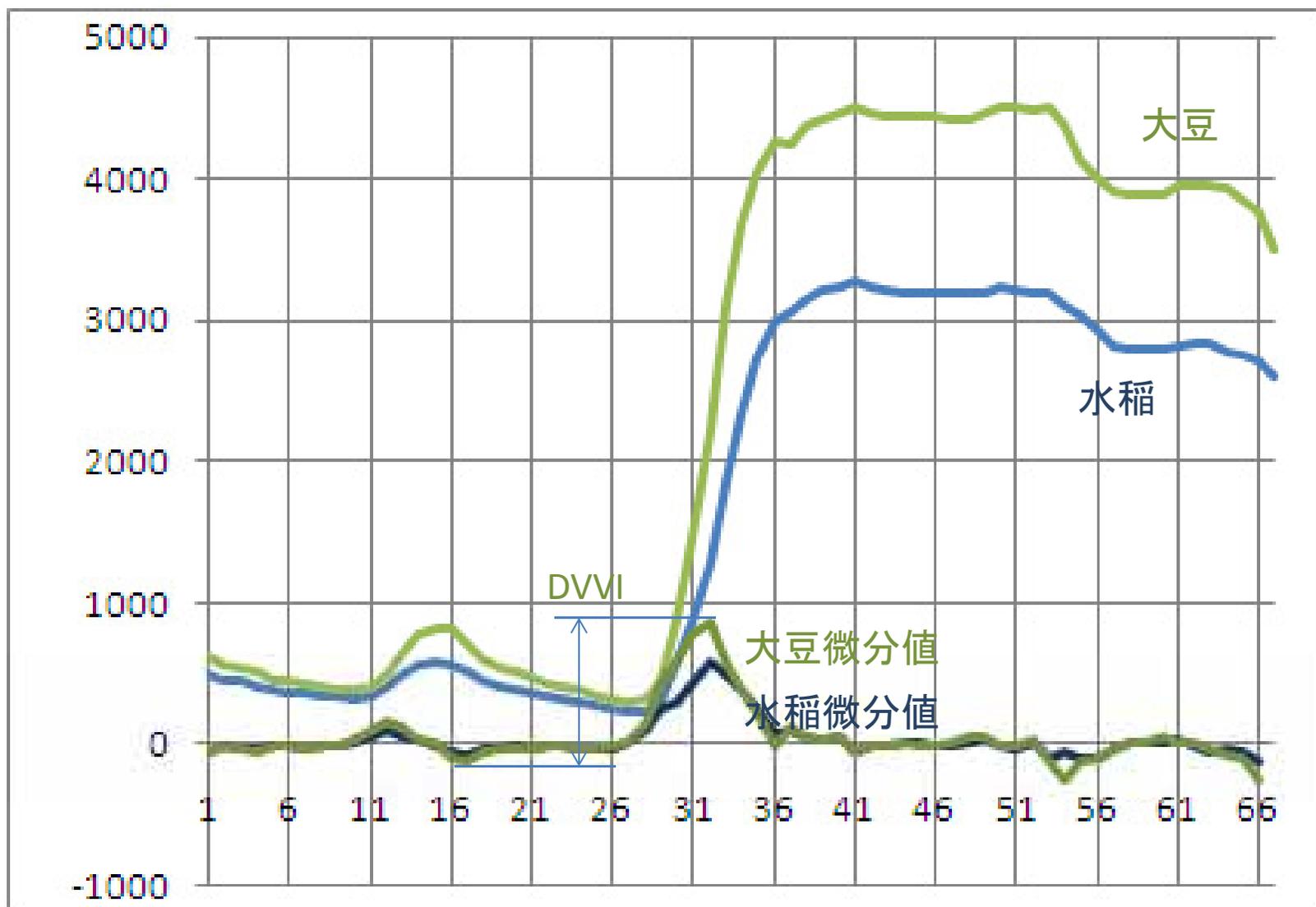
Profile Tabular Data

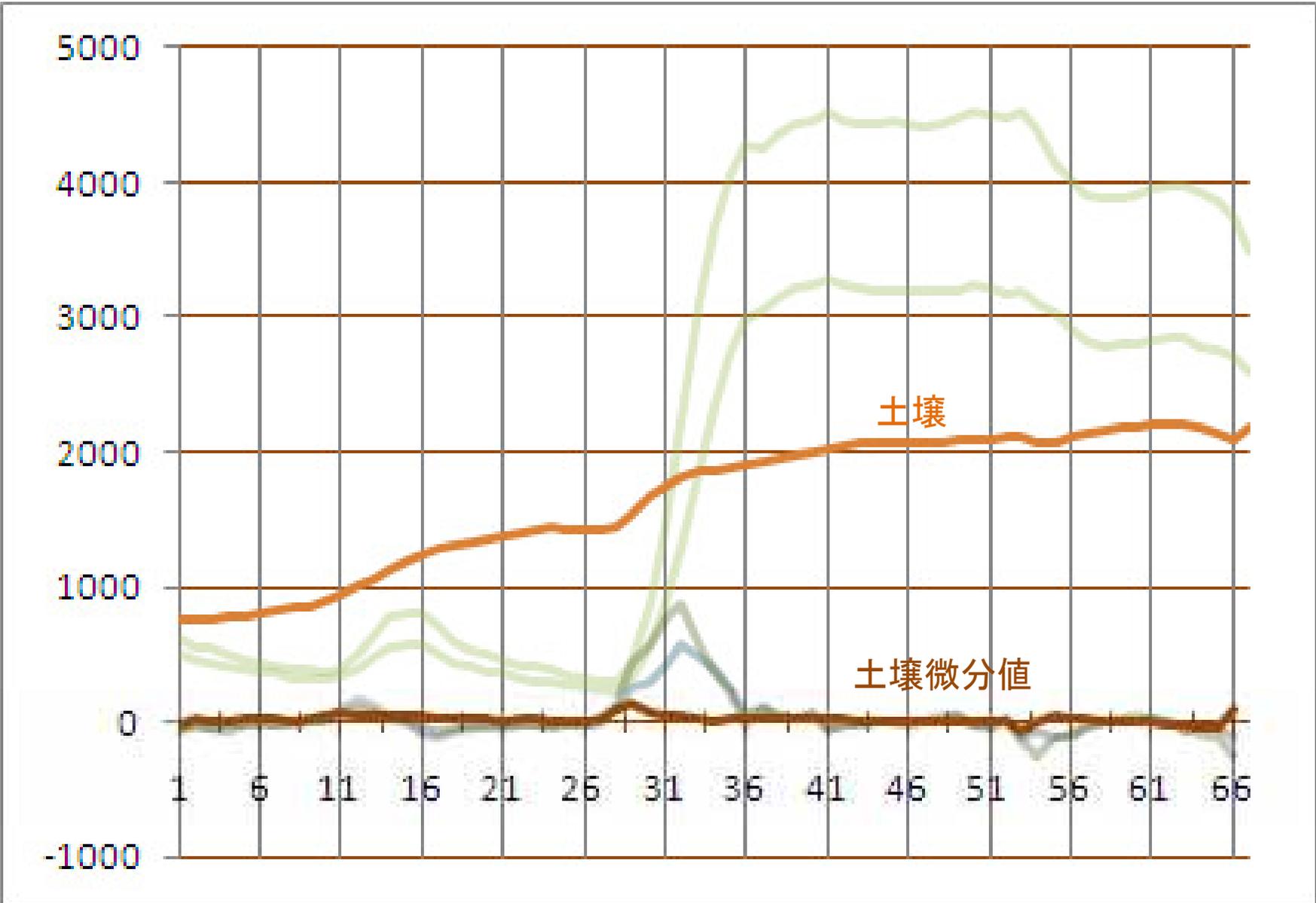
Layer	Profile 1	a	i	r	a	A	Stddev Below 1	f	i	a	i	r	a	A	E	Profile 3	a
1	65.00	7	0	0	4		61.26	0	3	0	0	0	0			76.00	0
2	46.00	4	0	0	6		43.74	0	6	0	0	5	5			115.00	8
3	139.00	4	0	0	4		134.86	0	6	0	0	6	4			52.00	7
4	108.00	3	0	0	0		101.60	0	4	0	0	6	4			146.00	7

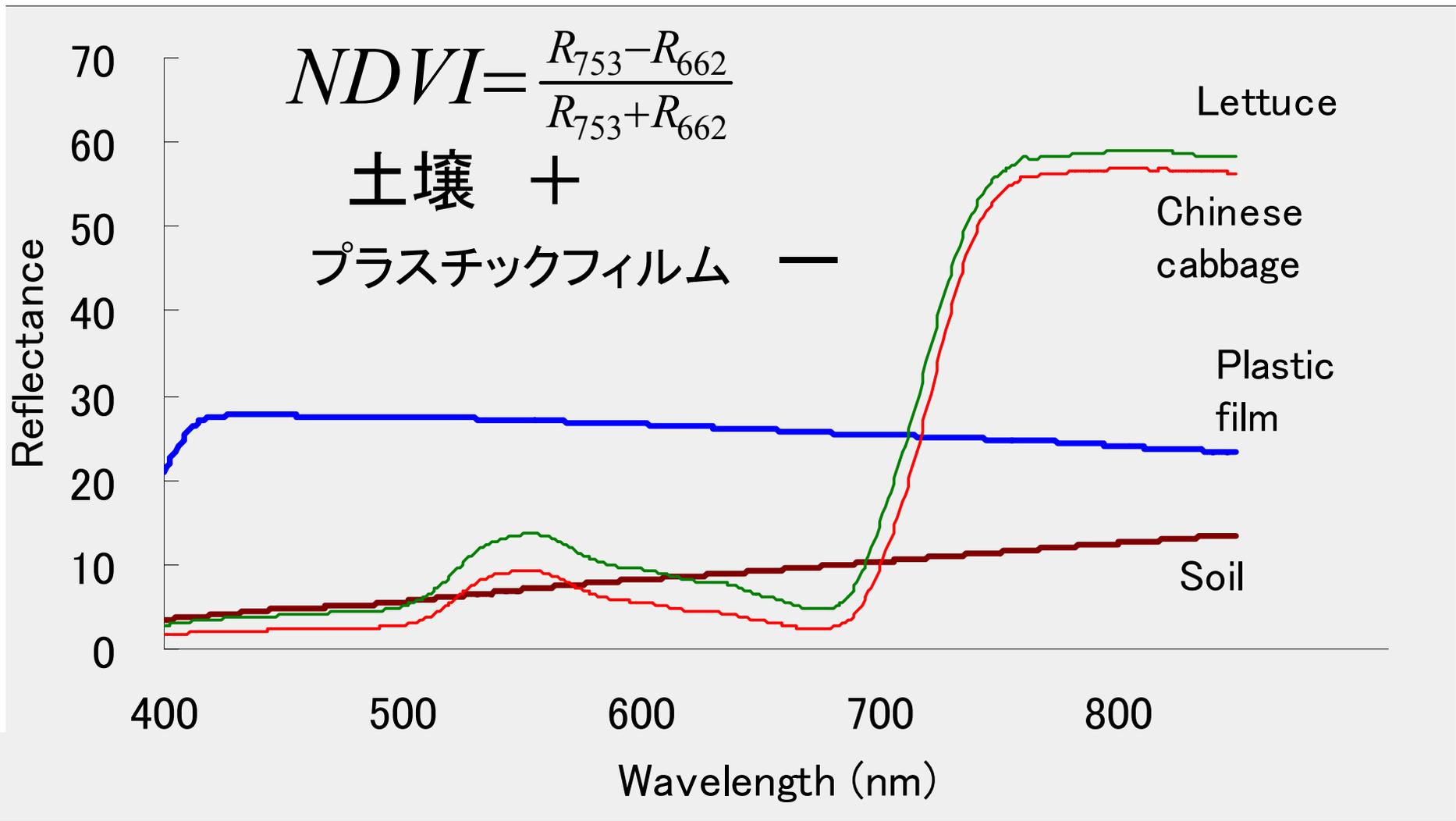


Profile Tabular Data

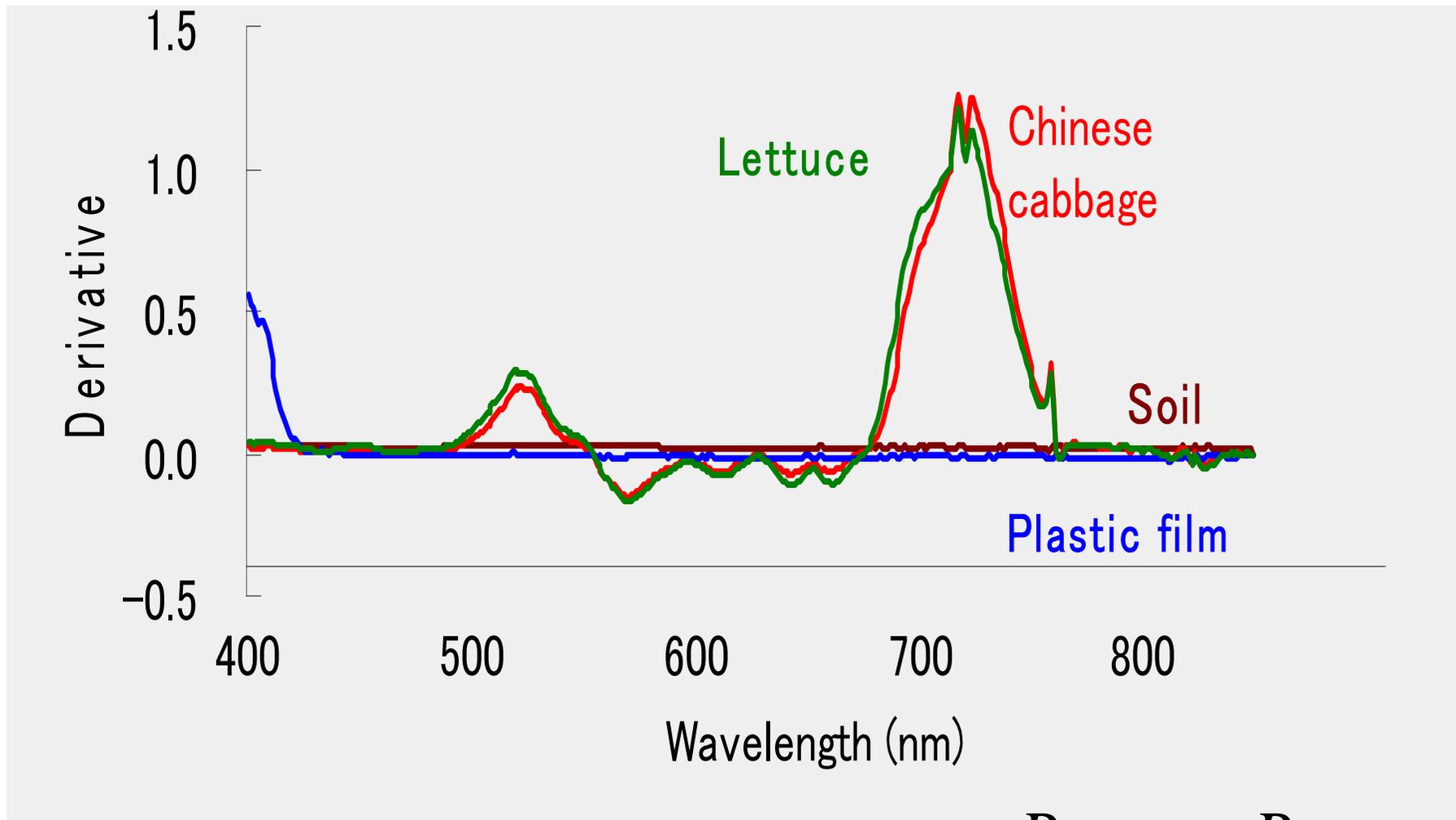
Layer	L s V	Profile 1	a	i	r	Δ	E	Profile 2	a	i	r	Δ	E	Profile 3	a	i	r	Δ	E
1	×.00	467.00	7	0	0	1	9	610.00	9	0	0	2	8	756.00	1	0	0	1	9
2	×.00	442.00	9	0	0	5	5	537.00	3	0	0	1	9	765.00	4	0	0	0	0
3	×.00	449.00	3	0	0	7	3	531.00	3	0	0	9	1	754.00	4	0	0	2	8
4	×.00	397.00	6	0	0	8	2	483.00	2	0	0	6	4	782.00	2	0	0	1	9
5	×.00	378.00	6	0	0	4	6	437.00	3	0	0	3	7	788.00	6	0	0	6	4
6	×.00	368.00	6	0	0	4	6	428.00	4	0	0	2	8	823.00	3	0	0	8	2
7	×.00	347.00	6	0	0	0	0	416.00	9	0	0	2	8	825.00	4	0	0	6	4
8	×.00	337.00	9	0	0	6	4	395.00	4	0	0	8	2	843.00	2	0	0	0	0
9	×.00	322.00	3	0	0	3	7	382.00	3	0	0	0	0	870.00	7	0	0	6	4
10	×.00	318.00	7	0	0	3	7	372.00	9	0	0	0	0	902.00	8	0	0	9	1
11	×.00	337.00	0	0	0	3	7	396.00	1	0	0	3	7	951.00	2	0	0	3	7
12	×.00	404.00	7	0	0	7	3	490.00	2	0	0	2	8	1009.00	0	0	0	9	1
13	×.00	497.00	1	0	0	1	9	654.00	6	0	0	0	0	1071.00	9	0	0	2	8
14	×.00	563.00	7	0	0	2	8	776.00	0	0	0	0	0	1134.00	4	0	0	8	2
15	×.00	580.00	4	0	0	9	1	824.00	1	0	0	5	5	1185.00	1	0	0	6	4
16	×.00	573.00	4	0	0	0	0	819.00	4	0	0	0	0	1239.00	0	0	0	4	6
17	×.00	523.00	9	0	0	2	8	729.00	0	0	0	3	7	1286.00	6	0	0	1	9
18	×.00	453.00	9	0	0	3	7	605.00	2	0	0	4	6	1319.00	1	0	0	6	4
19	×.00	416.00	3	0	0	5	5	554.00	7	0	0	2	8	1346.00	0	0	0	4	6







レタス・白菜・ビニールマルチフィルム・土壌の分光反射率



1次微分值

$$Dr\left(\frac{\lambda_{i+1}+\lambda_i}{2}\right) = \frac{R(\lambda_{i+1})-R(\lambda_i)}{\lambda_{i+1}-\lambda_i}$$

where Dr is the first-order derivative; R is the reflectance (%); λ_{i+1} and λ_i are adjacent wavelengths.

レタス・白菜・ビニールマルチフィルム・土壌の1次微分値

	微分値		$Dr_{718} - Dr_{570}$
	570 nm	718 nm	
Lettuce	-0.171	1.208	1.379
Chinese cabbage	-0.156	1.258	1.414
Soil	0.026	0.025	-0.001
Plastic film	-0.011	-0.012	-0.001

$$DVVI = Dr_{\max} - Dr_{\min}$$

(500nm-800nm)

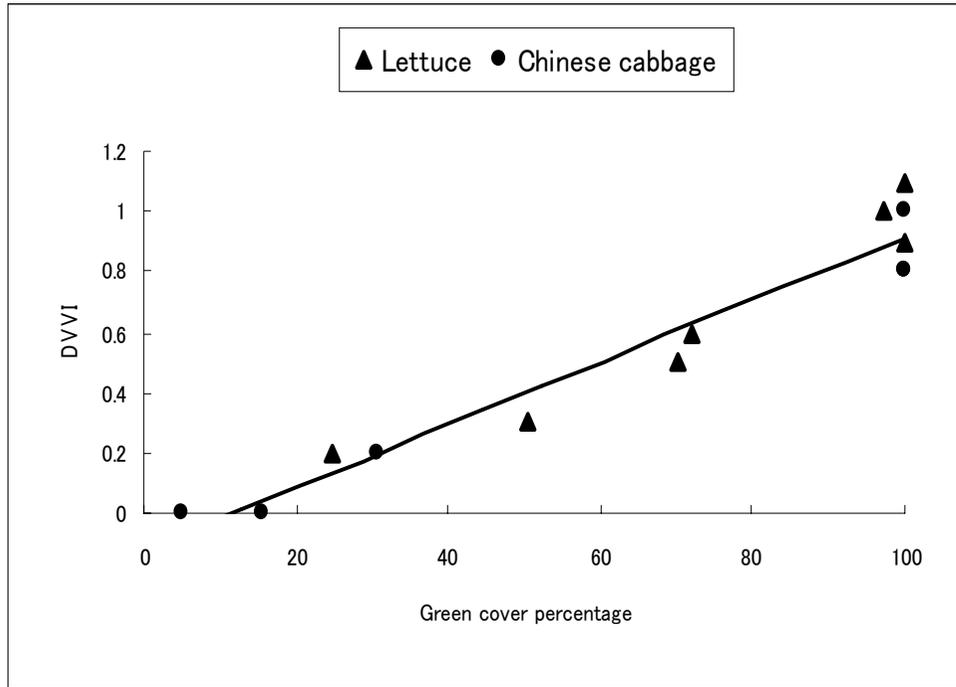
DVVI と NDVI

	$Dr_{718} - Dr_{570}$	NDVI
Lettuce	1.379	0.825
Chinese cabbage	1.414	0.904
Soil	-0.001	0.098
Plastic film	-0.001	-0.021

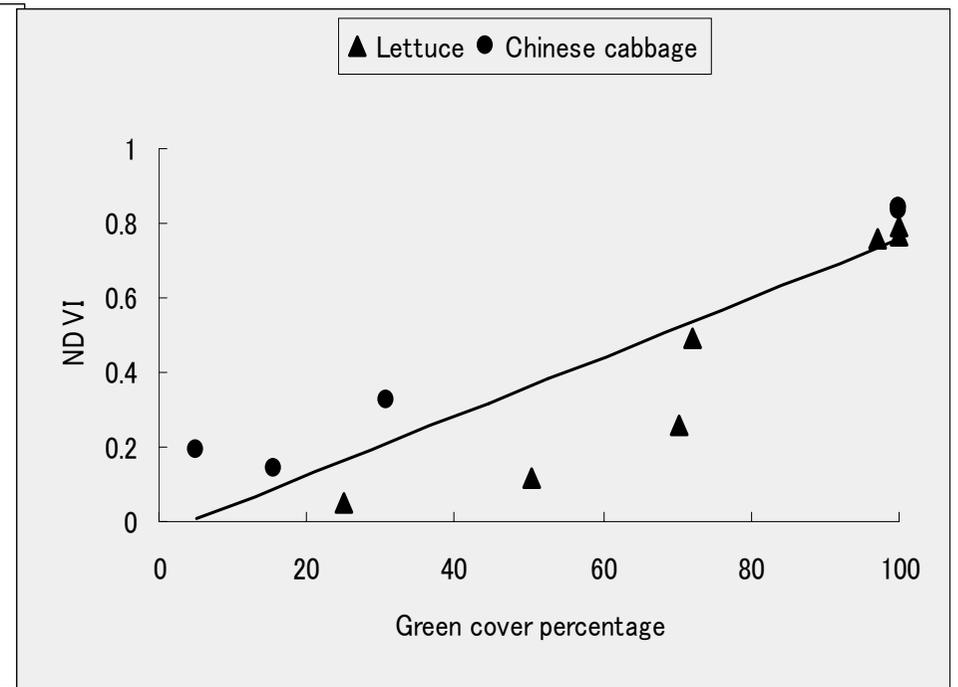
$$DVVI = Dr_{\max} - Dr_{\min}$$

$$NDVI = \frac{R_{753} - R_{662}}{R_{753} + R_{662}}$$

2つの植生指数と植被率



DVVI



NDVI

DVVI画像



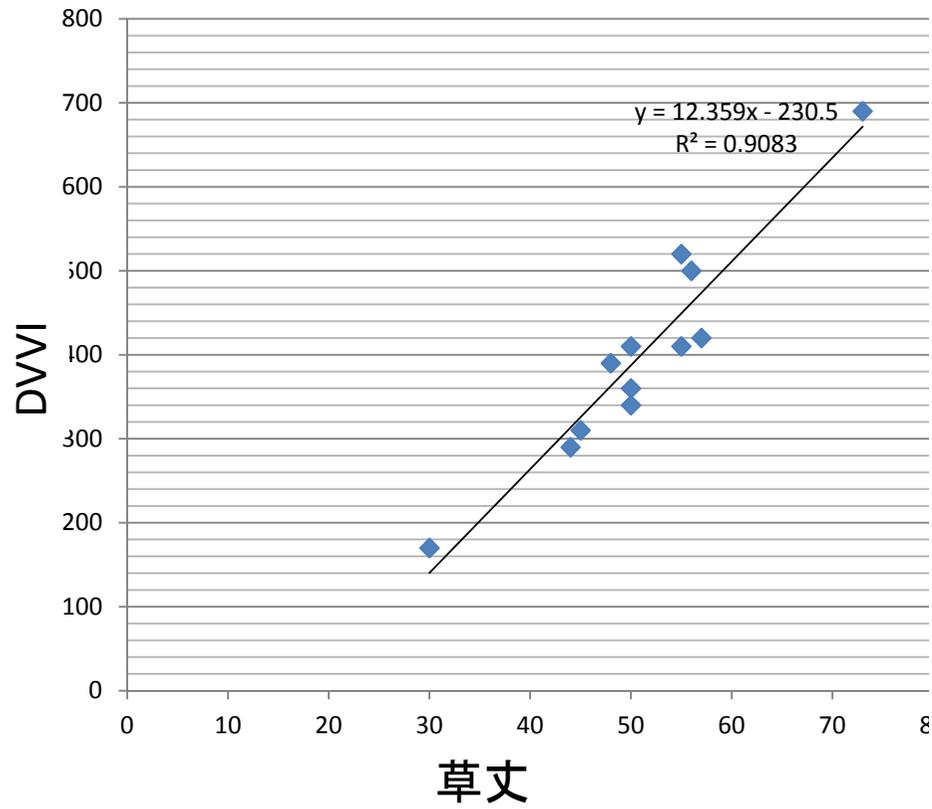
NDVI画像



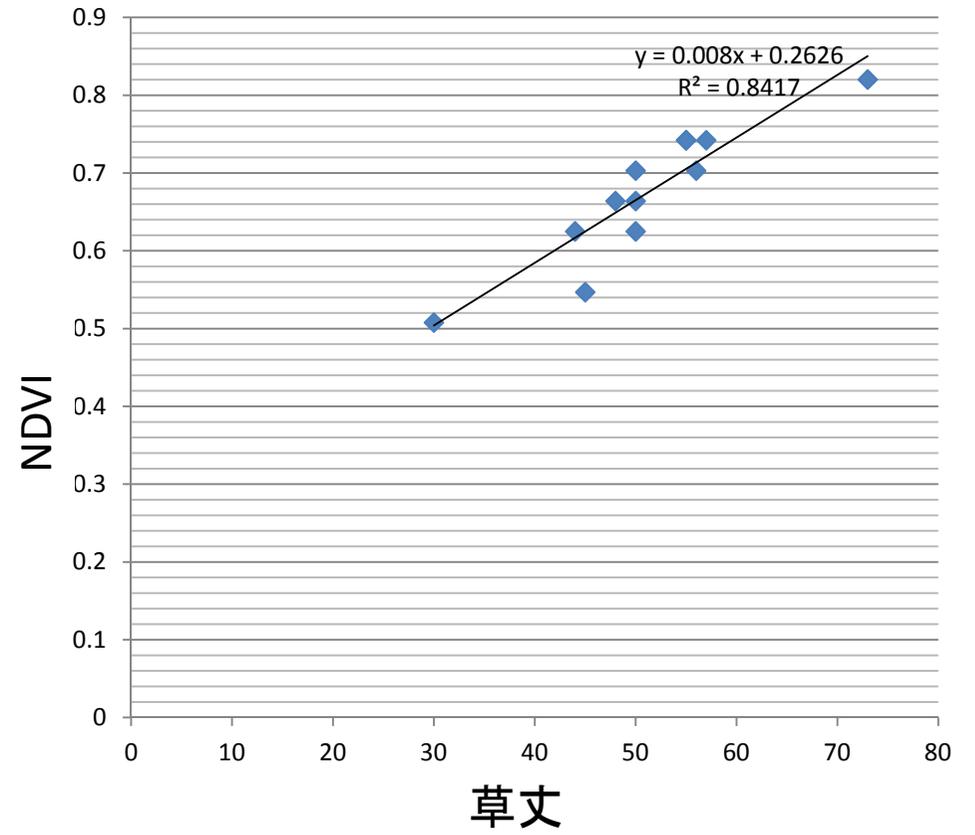
DVVI: 赤 NDVI: 緑と青



大豆の草丈とDVVI



大豆の草丈とNDVI



農業分野のハイパースペクトルイメージングデータ利用

4. 水分推定

修士論文発表会

2007年2月9日

ハイパースペクトル画像を用いた 土壌水分推定に関する研究

東京工業大学大学院総合理工学研究科

メカノマイクロ工学専攻 小杉研究室

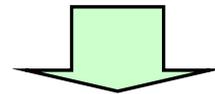
修士二年 福角 雅徳

土壌水分情報

-
- 作物の生育環境の整備
(耕地の灌漑計画, 未開墾地の開発)
 - 気候変動予測, 斜面災害対策など

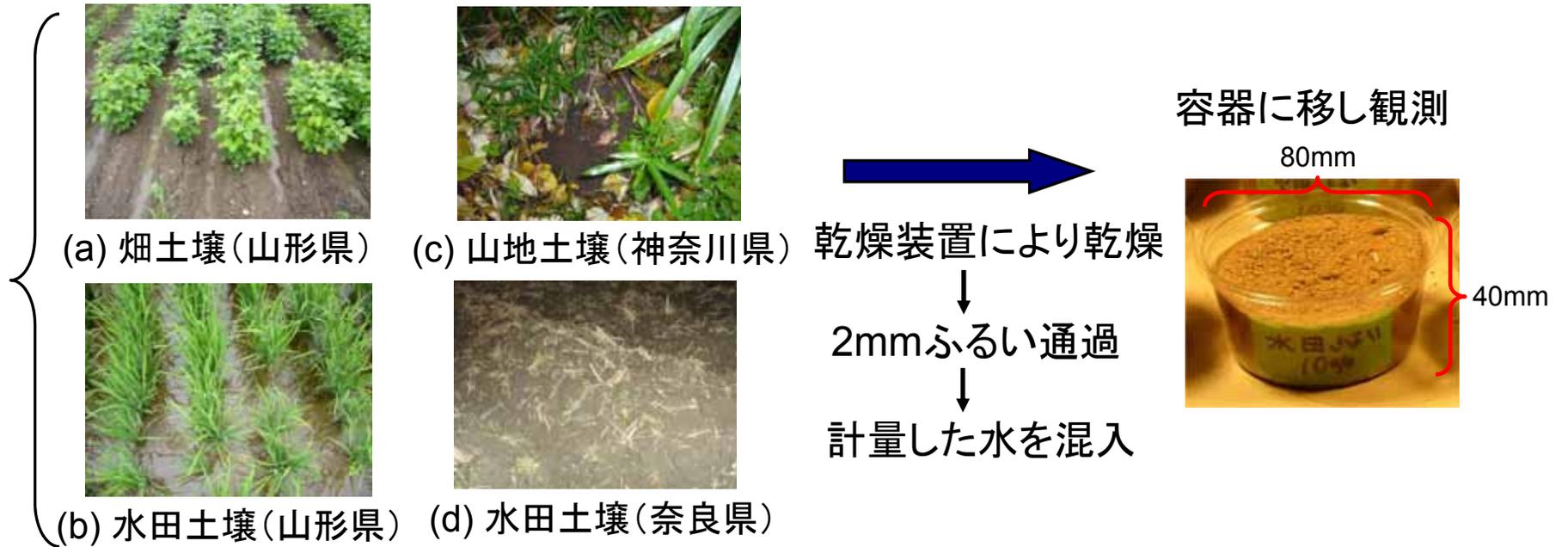
土壌水分観測

- 従来の現地での観測 →
- 空間代表性の問題
 - 広大な範囲に適用する場合多大な
労力とコストを要する

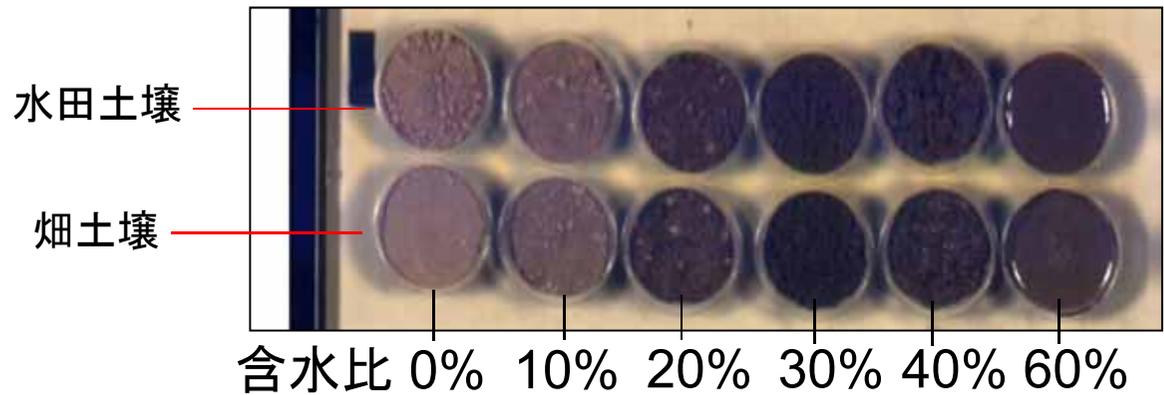


広域的に観測することが可能である
リモートセンシングによる土壌水分の推定が有効

観測対象

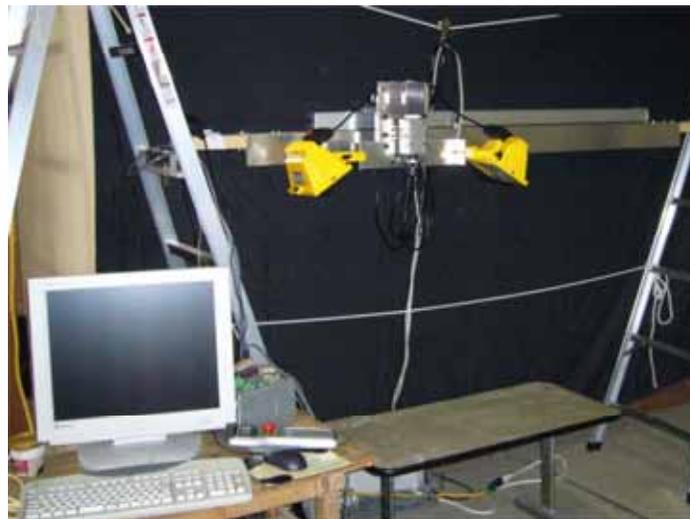
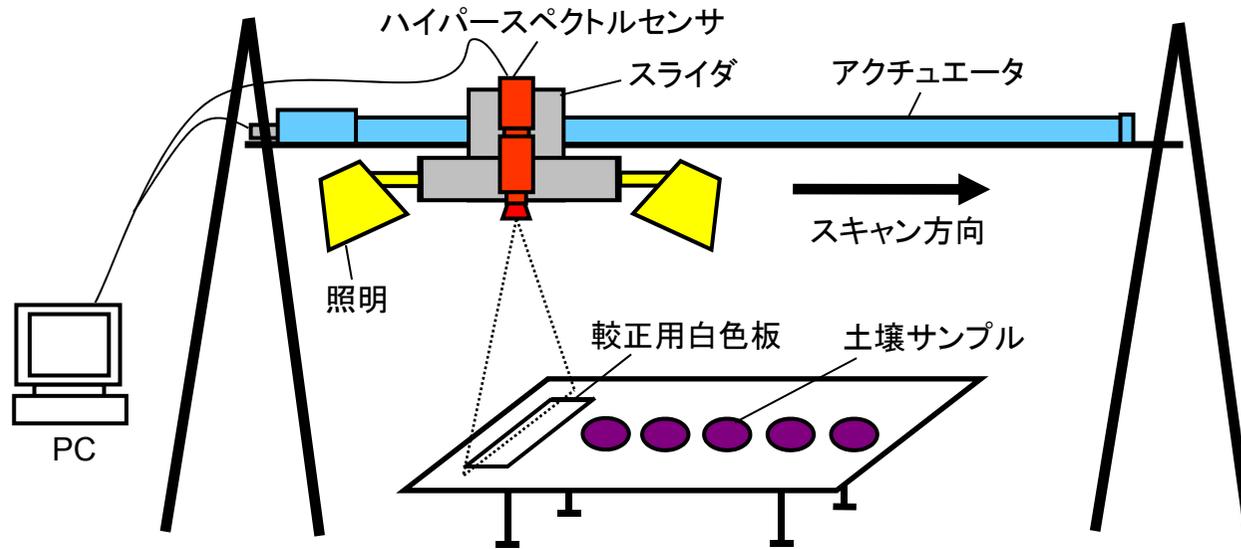


取得画像例

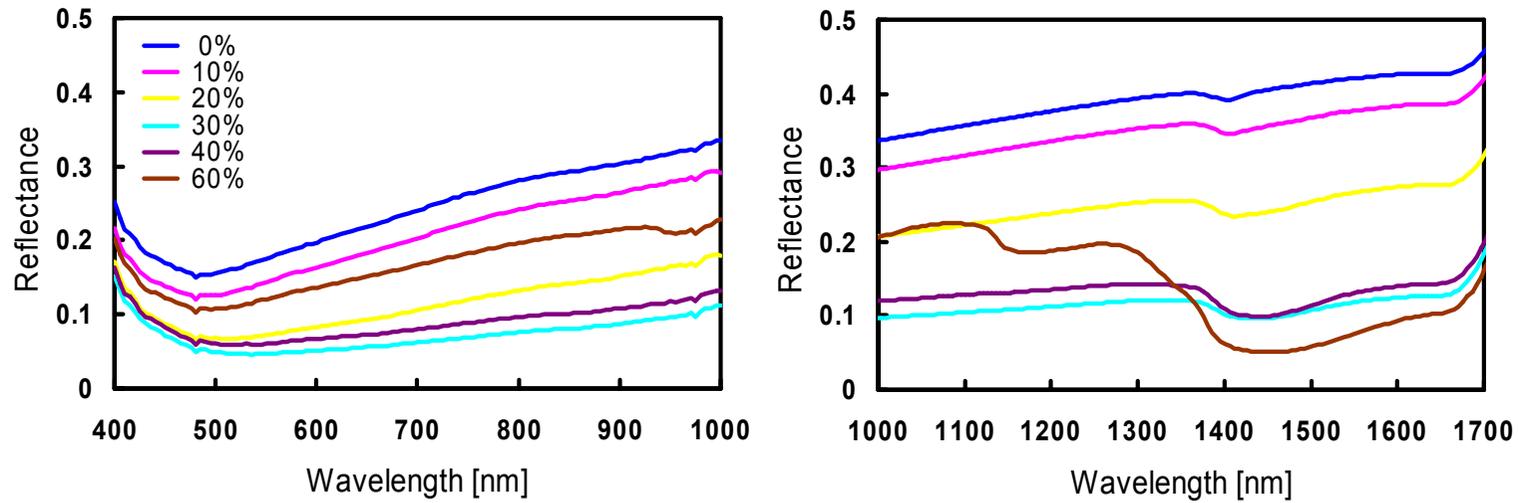


$$\text{土壤含水比 (\%)} = \frac{\text{水分重量}}{\text{乾燥土壤重量}} \times 100$$

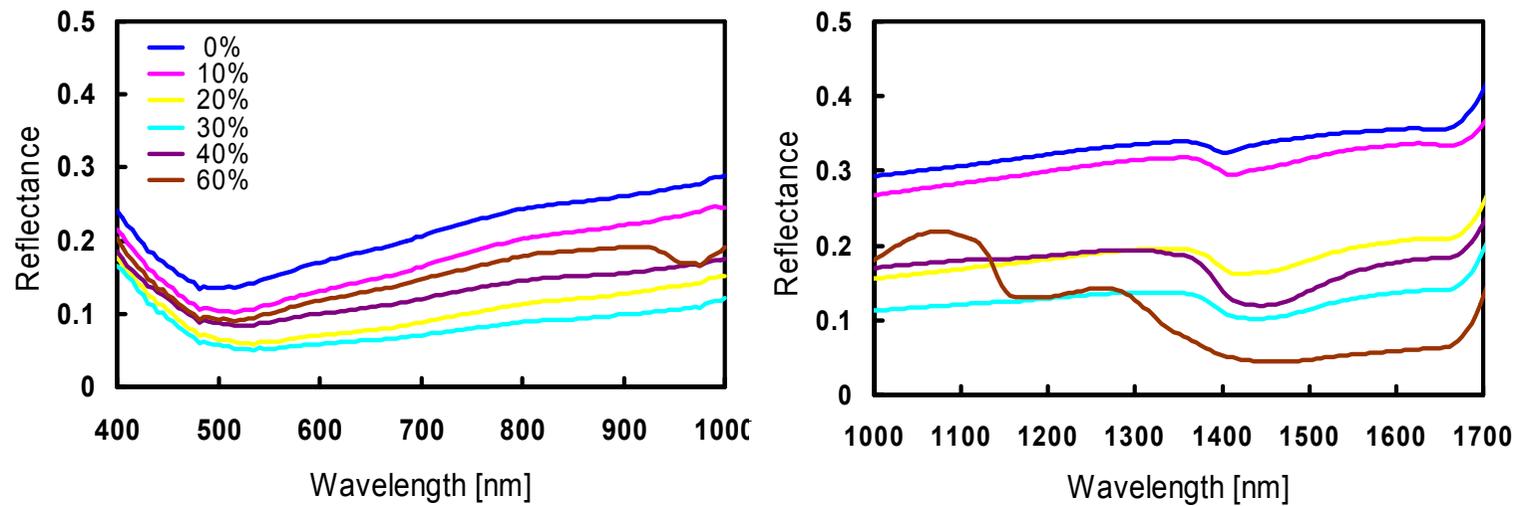
ハイパースペクトル観測系



観測系全体図



(a) 畑土壌 のスペクトル特性



(b) 水田土壌 のスペクトル特性

解析方法 1

含水比推定指標解析

$$\text{NDSMI (Normalized Difference Soil Moisture Index)} = \frac{X_i - X_j}{X_i + X_j}$$

X_i, X_j : 波長*i, j*での反射率値

NDVI(正規化植生指標)

植生の活性度を示す指標

R: 赤の波長での反射率値

NIR: 近赤外の波長での反射率値

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - R}{\text{NIR} + R}$$



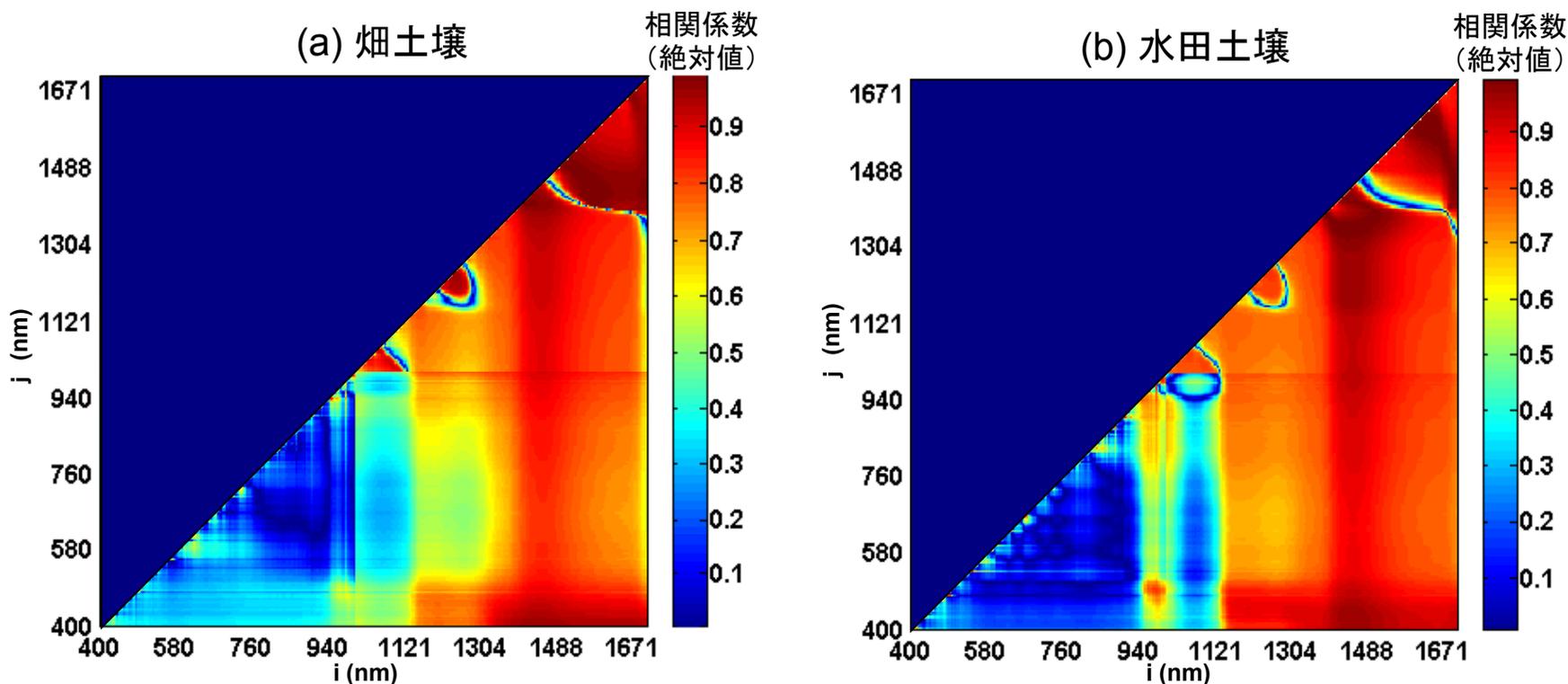
含水比と強い相関のあるNDSMI値を示す波長*i, j*を探る

解析方法1の結果

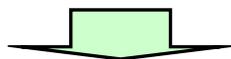
含水比推定指標(NDSMI)解析結果

$$NDSMI = \frac{X_i - X_j}{X_i + X_j}$$

X_i, X_j : 波長*i, j*での反射率値



2バンド間におけるNDSMI値と含水比との相関



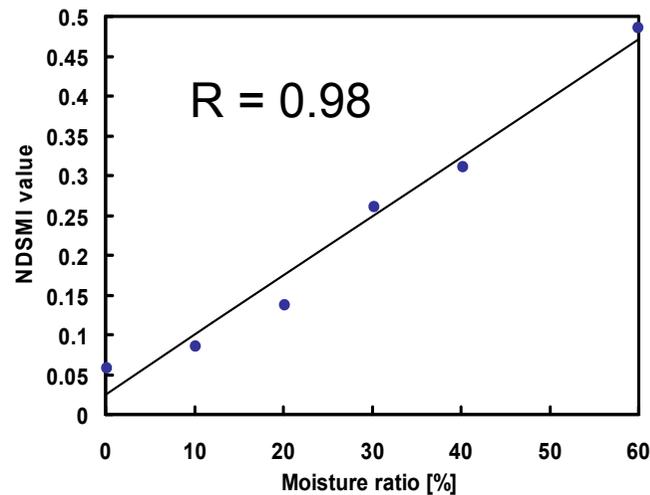
畑・水田土壤共に $\left[\begin{array}{l} i = 1425 \sim 1450\text{nm}, j = 1300 \sim 1400\text{nm} \\ i = 1580 \sim 1700\text{nm}, j = 1500 \sim 1550\text{nm} \end{array} \right]$
の組み合わせのとき0.9以上の強い相関が得られる

解析方法1の結果

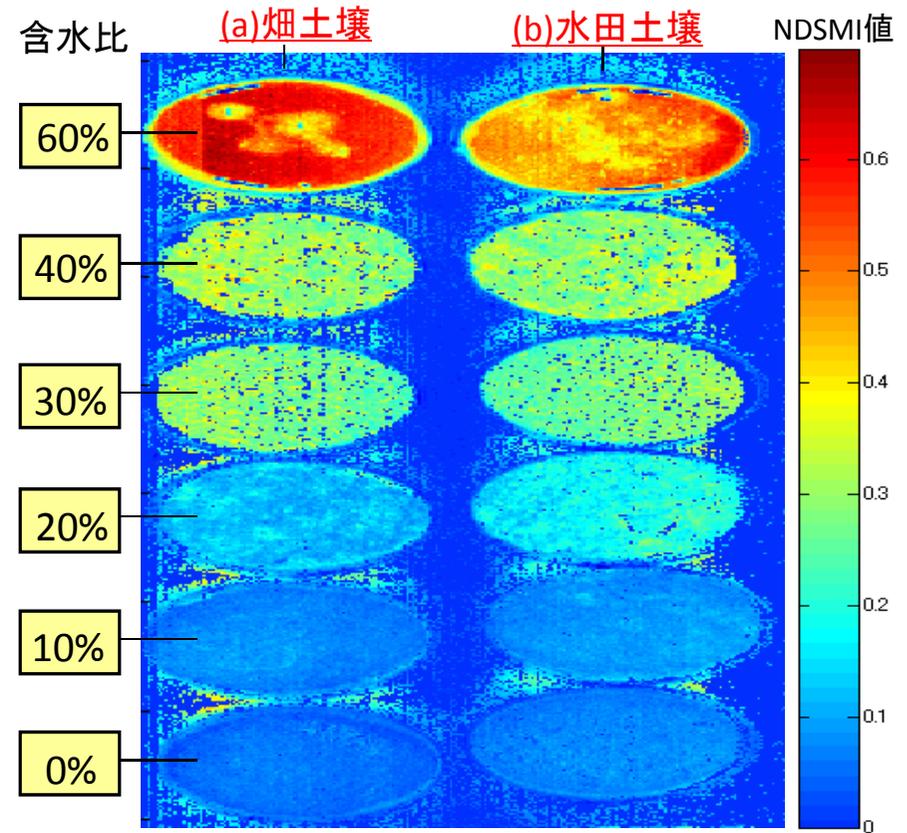
$$\text{NDSMI} = \frac{X_i - X_j}{X_i + X_j}$$

X_i, X_j : 波長*i, j*での反射率値

$i = 1696\text{nm}, j = 1426\text{nm}$
を選択した場合



NDSMI値と含水比の相関関係



NDSMI演算画像

農業分野のハイパースペクトルイメージデータ利用

5. セルロース指数

作物が十分生育している時の畑地は、風および雨水による侵食はほとんどないが、作物が収穫され耕起されると、風食および水食をうけることとなる。

そこで、土壌保全のため、作物収穫後には次の作付けまで収穫残渣を畑地に残しておくことが推奨されている。しかしながら、日本の野菜畑では枯れた葉があると病虫害が起きやすいので、すぐに耕起している。この実態把握のための手法確立が求められている。

CAI (Cellulose Absorption Index)

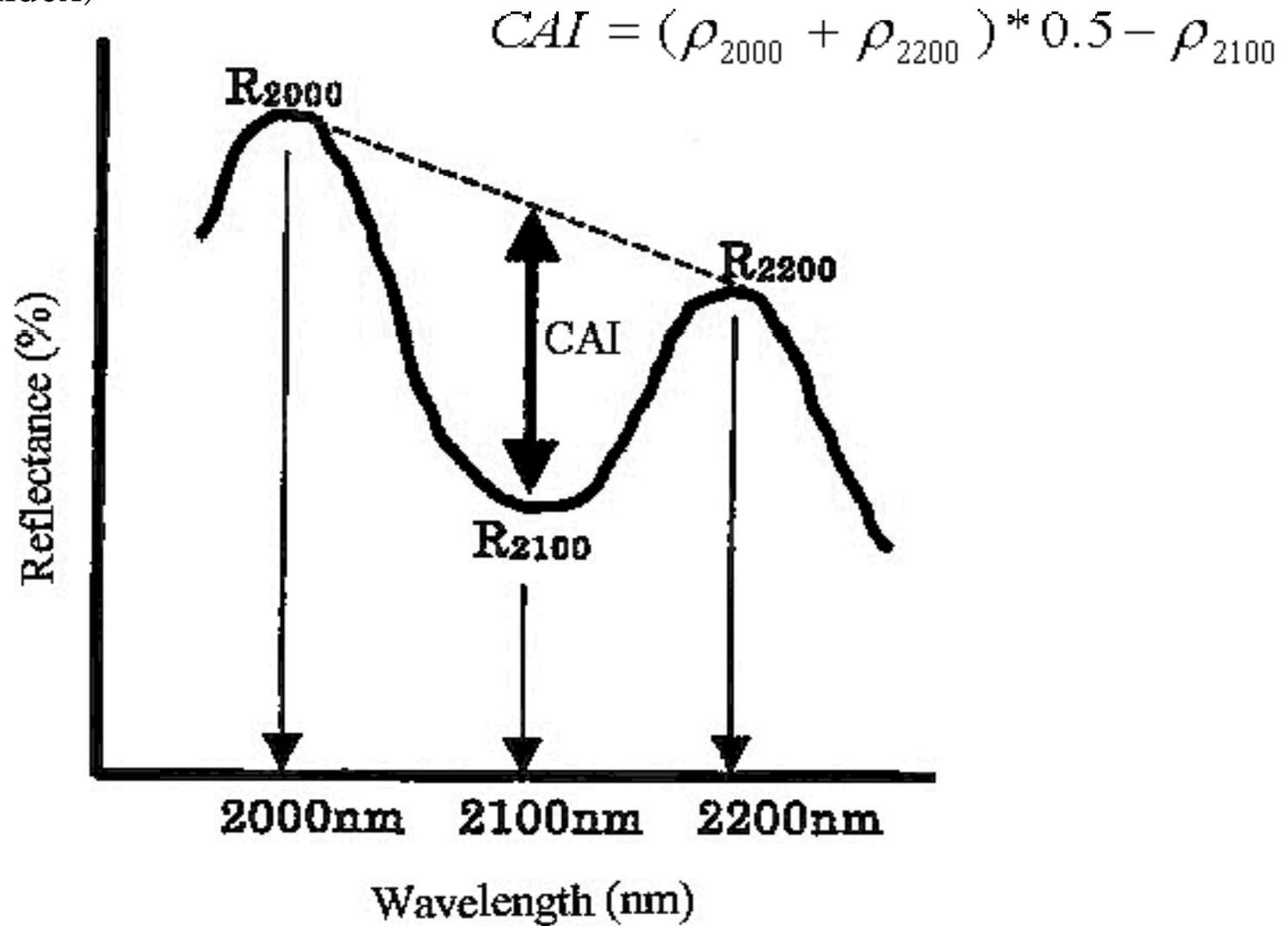
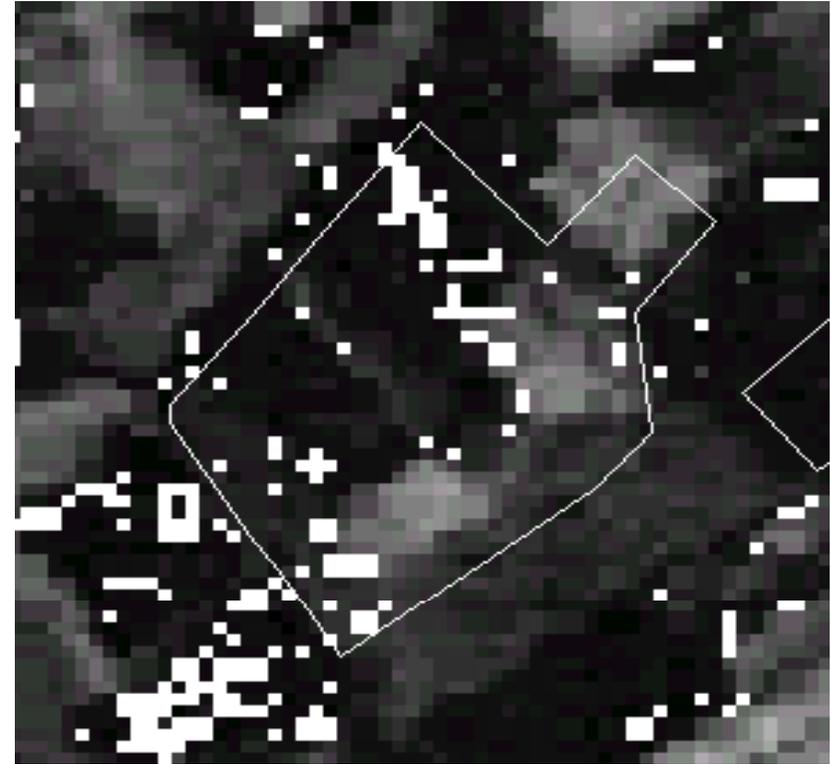


Fig. 6 Cellulose Absorption Index (CAI) 概要



(a)



(b)

Fig. 8 OMISによるDGVI画像(a)と作物残渣同定(b) (2001年8月観測)



Fig. 9 畑地状況画像の結果例

明るいグレー：
植生の存在する個所

白色：
収穫後の残渣の残っ
ている個所

濃いグレー：
収穫後で耕起している
個所

黒：対象外

農業分野のハイパースペクトルイメージングデータ利用

6. クロロフィル指数

ハイパースペクトル観測による 農作物の状態推定技術実用化に向けた 基礎的研究

— 発表内容 —

1. 研究背景・目的
2. 本研究の流れ
3. 水稻生育状態の推定法の提案
4. 地上観測による提案手法の検証
5. 実用化に向けた取り組み①
-産業用無人ヘリ搭載型観測系によるデータ取得-
6. 実用化に向けた取り組み②
-航空機観測データによる広域推定解析-
7. まとめ

修士研究発表
2011年2月 14,15日

大学院 総合理工学研究科
メカノマイクロ工学専攻

小杉研究室 向山 信治

研究目的

－ 既存管理手法(水稻)－

・葉緑素計(SPAD-502)による植生診断

- ◇葉の**透過光量差**を利用してChl量を**非破壊**で測定
- ◇農作物状態の目安値として利用
 - 幼穂形成期(7月中下旬)⇒**施肥量の目安値**
 - 成熟期(8月下旬～9月上旬)⇒**収穫米蛋白量の目安値**
- ◇葉内**Chl測定量・窒素含有量**と優良な関係性有
- ◇問題点:**広域性がなく測定に手間がかかる**



SPAD-502
konika minolta Co.



－ リモートセンシングの利用－

- ・光学センサなどを用いた計測による**遠隔対象物**の観測技術
- ・ハイパースペクトル観測による観測対象の詳細な情報取得

既存手法に**広域性・迅速性**を付加, 農業への圃場管理技術として利用



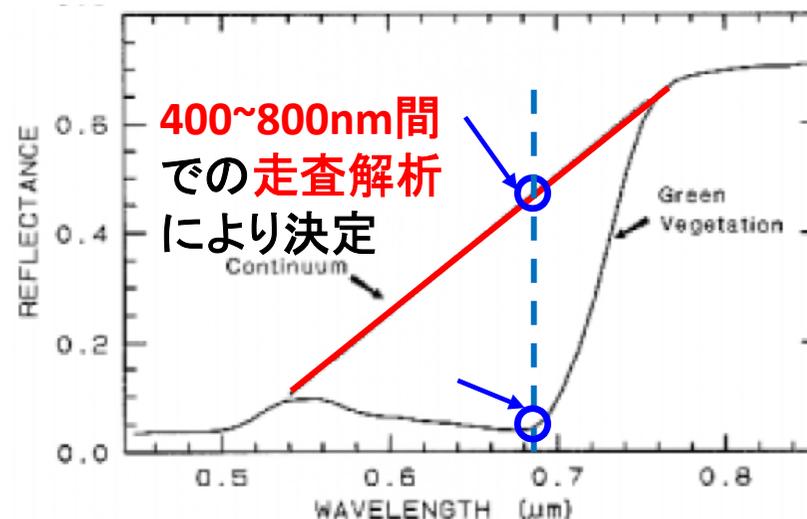
©中日本航空 株式会社

研究目的

リモートセンシングによる農作物栽培(水稻)の管理手法確立に向けた基礎的研究

SPAD値推定指標の提案と有意性検証

— 植生の仮想反射係数 —



— 推定解析法の提案方針 —

- ・ **可視-近赤外域波長** (400-800nm) の利用
 - ◇ 植生活性状態の推定に良く用いられている
Sims et al., 2002など

- ・ 植生反射スペクトル波形上の特徴を利用
 - ◇ **包絡線 (Continuum)** の利用

Chl反射波形の違いによる植生区分に用いられる特徴
Clark et al., 1999

— **緑域, 赤域, 近赤外域**の3波長の反射係数を用いた指標—

LVI (Leaf-color Verified Index)

$$LVI = \frac{(\lambda_x - \lambda_G)R_{NIR} + (\lambda_{NIR} - \lambda_x)R_G - (\lambda_{NIR} - \lambda_G)R_x}{(\lambda_x - \lambda_G)R_{NIR} + (\lambda_{NIR} - \lambda_x)R_G + (\lambda_{NIR} - \lambda_G)R_x}$$

R_{NIR} : 近赤外波長域反射係数, R_G : 緑波長域反射係数, R_x : 任意波長域反射係数

— 提案指標の検証 —

— スペクトロメータによる観測 —

- ・ 水稻の**株**(空間)における観測
- ・ 提案手法の検証 (2008)



— 提案指標の検証 —

— 試作HS画像観測系による観測 —

- ・ 大豆, 水稻の**個葉**における観測
- ・ 提案手法の検証 (2010)



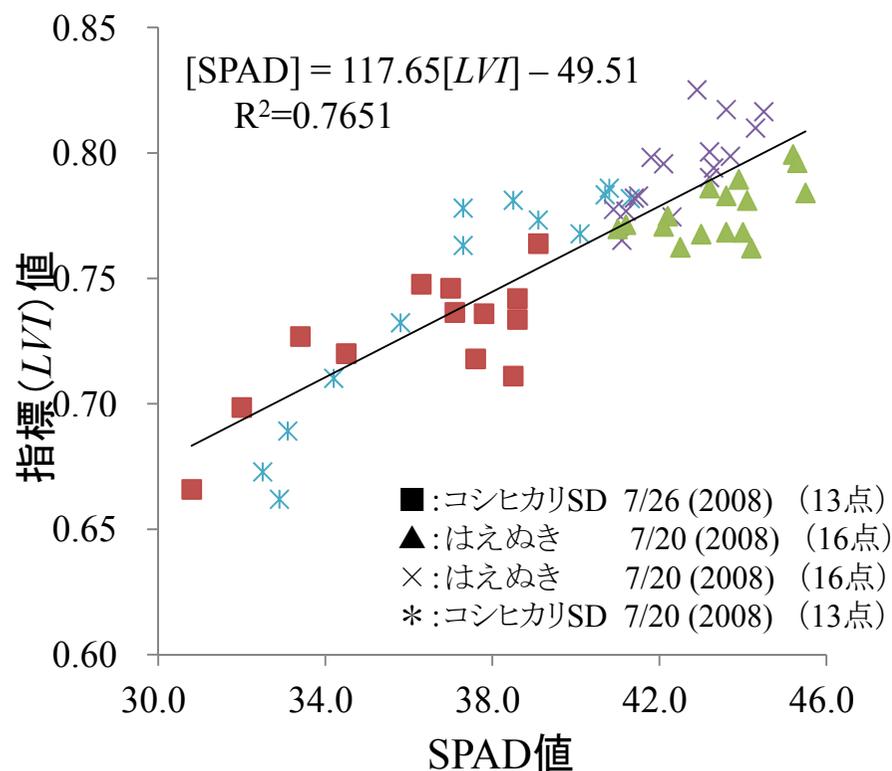
地上空間HS観測によるSPAD値推定結果

スペクトロメータによるデータ取得

- ・観測日: 2008年7月20,26日
- ・観測地: 山形県酒田市広野
- ・1圃場13~16点観測
- ・複数圃場間における観測



— 複数圃場間におけるSPAD値推定結果 —



稲株の代表SPAD値に関する推定指標

植生特性の2波長 + SPAD値を代表する
任意1波長での反射係数による指標

$$LVI_{mixture} = \frac{73R_{763} + 33R_{551} - 106R_{697}}{73R_{763} + 33R_{551} + 106R_{697}}$$

551nm, 697nm, 763nmの反射係数を用いた指標

地上HS画像観測によるSPAD値推定

観測日 : 2010年7月18,20-22日・8月29日

観測圃場: 山形大学農学部 附属高坂農場

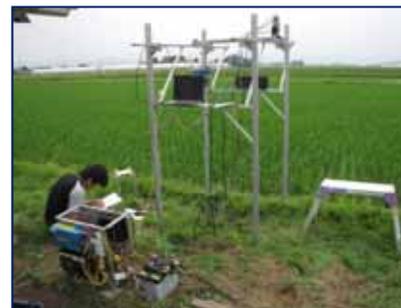
観測対象: 水稻, 大豆(ただちや豆)

— 測定概要 —

- ・植生データの取得
 1. SPAD値の測定
 2. 測定点をカラーシールでマーク
- ・反射スペクトル画像データの取得
 1. 校正用白色板データの取得(静止)
 2. 対象作物におけるデータ取得(走査)

— 解析概要 —

- ・取得データからSPAD測定点の反射スペクトルデータを抽出
- ・取得波長(波長分解能5nm)においてLVIを作成
- ・抽出データとSPAD値を用いた作成指標によるSPAD値の推定
- ・取得画像データに、推定結果をフィードバック

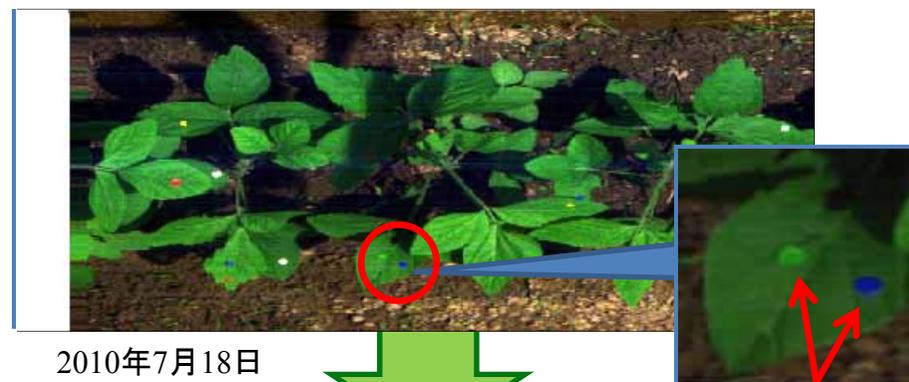


水稻観測



大豆観測

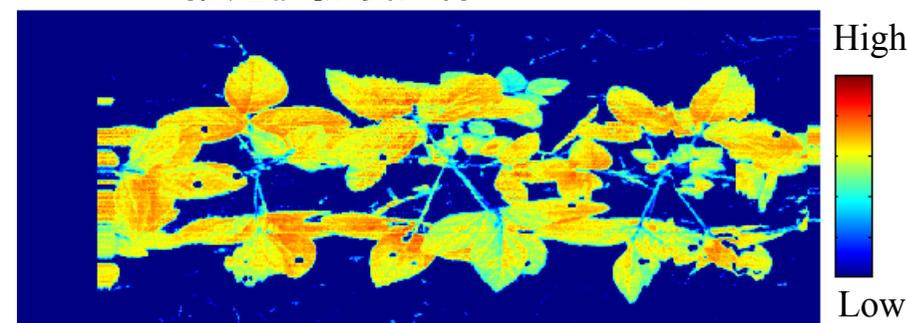
— 疑似カラー画像(R:650nm, G:550nm, B:450nm) —



2010年7月18日

測定マーカー

— SPAD推定値強度画像データ(LVI適用) —



地上観測によるSPAD値推定の提案指標

LVI (Leaf-color Verified Index)

$$LVI = \frac{(\lambda_x - \lambda_G)R_{NIR} + (\lambda_{NIR} - \lambda_x)R_G - (\lambda_{NIR} - \lambda_G)R_x}{(\lambda_x - \lambda_G)R_{NIR} + (\lambda_{NIR} - \lambda_x)R_G + (\lambda_{NIR} - \lambda_G)R_x}$$

緑域, 赤域, 近赤外域の3波長の反射係数を用いた指標

① 稲株の代表SPAD値に関する推定指標

$$LVI_{mixture} = \frac{73R_{763} + 33R_{551} - 106R_{697}}{73R_{763} + 33R_{551} + 106R_{697}}$$

551nm, 697nm, 763nmの反射係数を用いた指標

② 作物の個葉SPAD値に関する推定指標

$$LVI_{pure} = \frac{(3R_{740} + R_{560}) - 4R_{695}}{(3R_{740} + R_{560}) + 4R_{695}}$$

560nm, 695nm, 740nmの反射係数を用いた指標

— スペクトロメータによる観測—

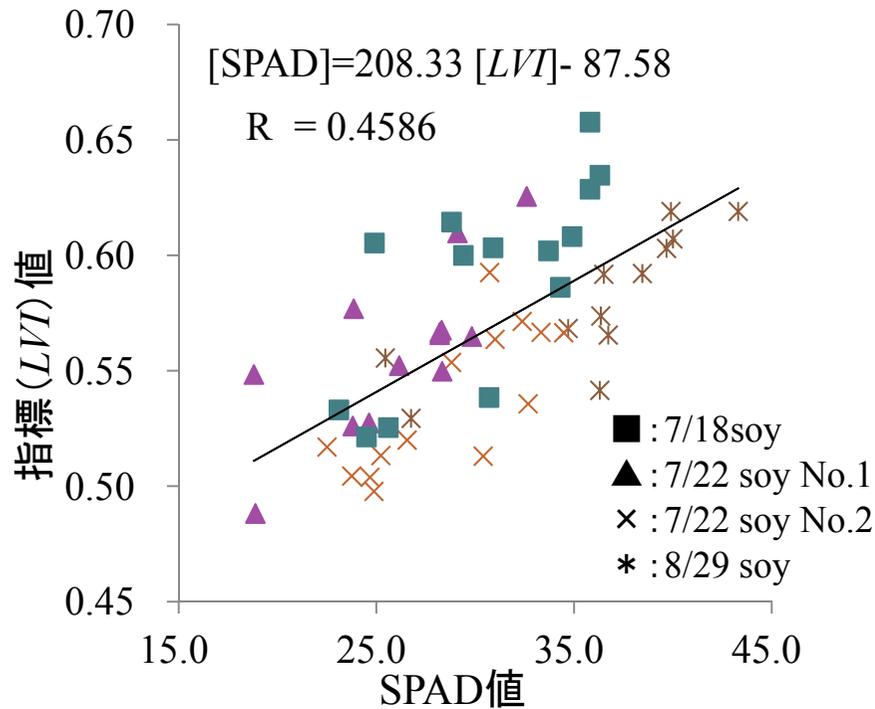


— 試作地上HS観測系による観測—

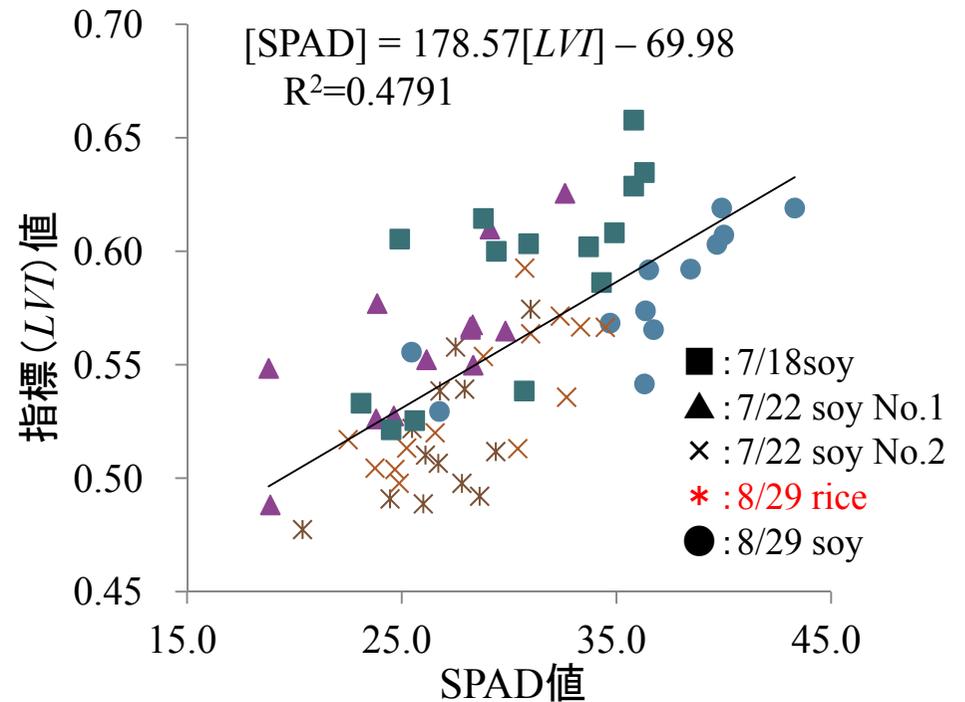


地上HS画像観測によるSPAD値推定結果

— 大豆4測定箇所におけるSPAD値推定結果 —



— 両作物間でのSPAD値推定解析結果 —



作物の個葉SPAD値に関する推定指標

$$LVI_{pure} = \frac{(3R_{740} + R_{560}) - 4R_{695}}{(3R_{740} + R_{560}) + 4R_{695}}$$

560nm, 695nm, 740nmの反射係数を用いた指標

既存の (R,IRの正規化指標)に (R,Gの正規化指標)の効果を加味した新しい指標

無人ヘリ搭載試作HS観測系の概要

—観測系の構成—

除振対策



飛行時の振動による機器の誤作動・破損を防ぐ

高性能CCDカメラ



無線画像受信器による飛行時の航路確認

観測用PC収納BOX

軽量化⇒機器重量**11kg**
省スペース化 (前年比)



無人ヘリバッテリー
(DC12V 5A)



観測機器への電源供給

Inspector-V10 (Specim Co.)



波長範囲	400-1000 nm
波長分解能	5 nm
バンド数	121 bands
ピクセル数	484 pixels
フレーム数	30 fps

無人ヘリHS観測によるSPAD値推定概要

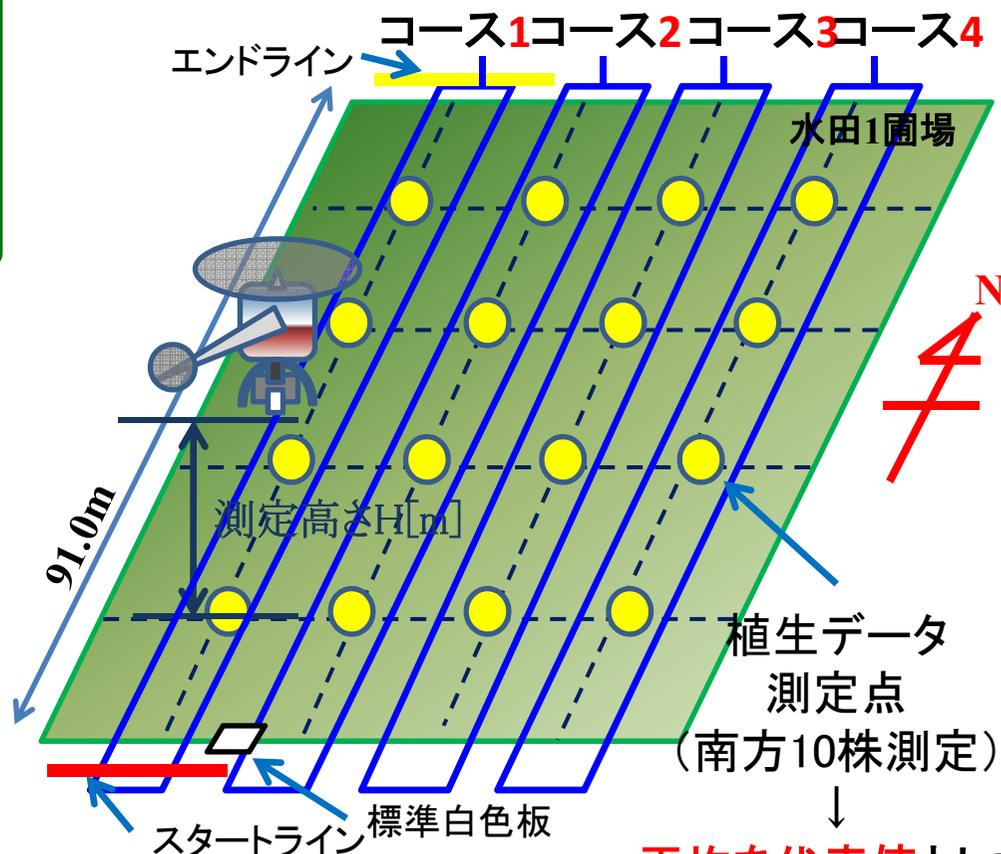
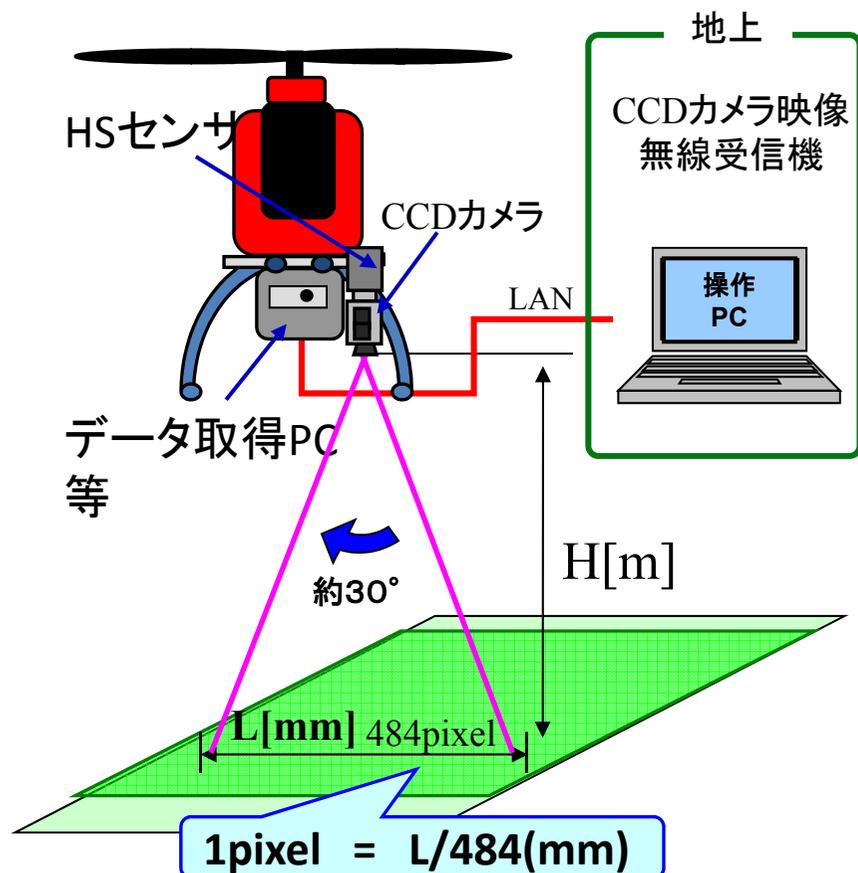
観測日 : 2010年7月15日 (SPAD測定: 2010年7月14日)

観測圃場: 山形県酒田市広野 一般水田(1圃場)

— 飛行条件 —

	飛行速度[km/h]	飛行高度[m]	コース数
①	15	5, 10, 20	4
②	5	10	1

実際の飛行状態は、操縦者の経験に基づく



平均を代表値として

SPAD値推定の**実利用時の**
43 プラットフォームとしての検証

無人ヘリHS観測によるSPAD値推定方法

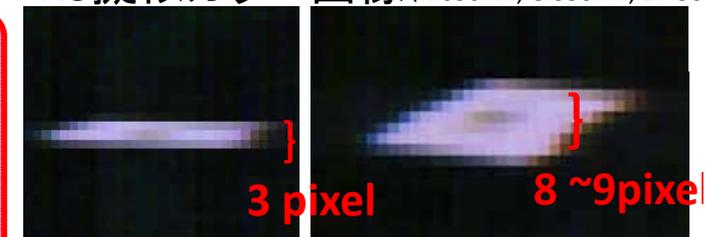
－ 解析方法－

- 各飛行条件におけるSPAD測定点長の算出
 - ◇使用データ: コース2,3 (コース1,4: 圃場以外のデータと混合)
 - ◇算出基準としてSPAD測定点に設置した測定マーカー(白色紙: 272×242mm)を使用
 - ◇各飛行条件(主に速度)において測定長(稲10株分)のpixel数を算出



測定マーカー-
白色紙:
272×242mm

-HS擬似カラー画像 (R:650nm, G:550nm, B:450)



15km/h

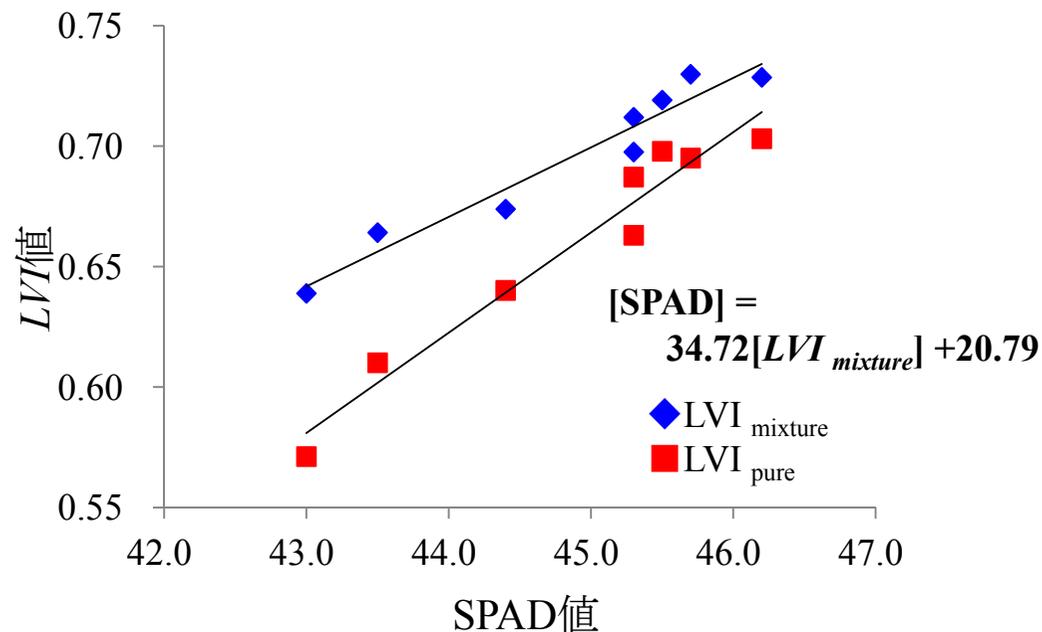
5km/h

- 各飛行条件におけるSPAD値の推定解析
 - ◇算出した測定点長から10点の反射係数データの抽出(無作為)
 - ◇抽出データの平均値をから, LVI算出による推定解析
 - ◇LVI_{mixture}: 線形波長補間法により使用反射係数を算出

－ 測定条件変化の取得データへの影響検証結果－

項目	条件			
飛行高度	5m	10m	20m	10m
飛行速度	15km/h	15km/h	15km/h	5km/h
画像幅(理論値)	2.68m	5.36m	10.72m	5.36m
ピクセル幅	5.5mm/pixel	11.1mm/pixel	22.1mm/pixel	11.1mm/pixel
ピクセル長	80-90mm/pixel	80-90mm/pixel	80-90mm/pixel	30-34mm/pixel
測定地点長	11-15 pixel	11-15 pixel	11-15 pixel	29-44 pixel

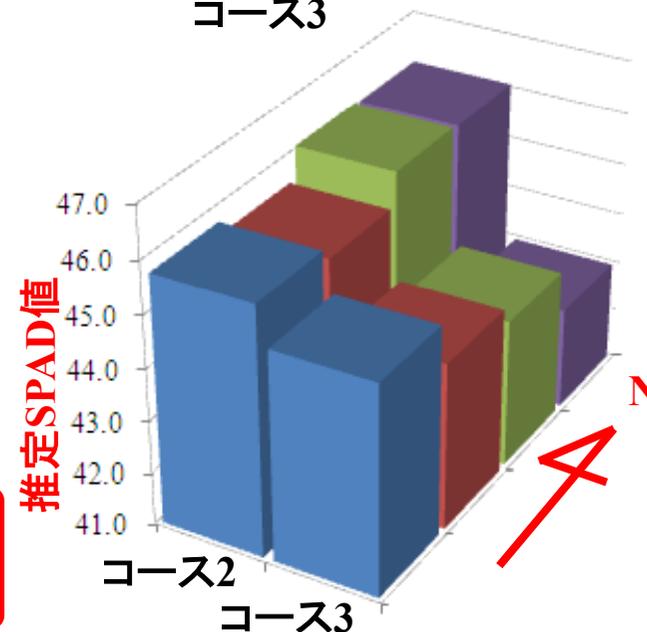
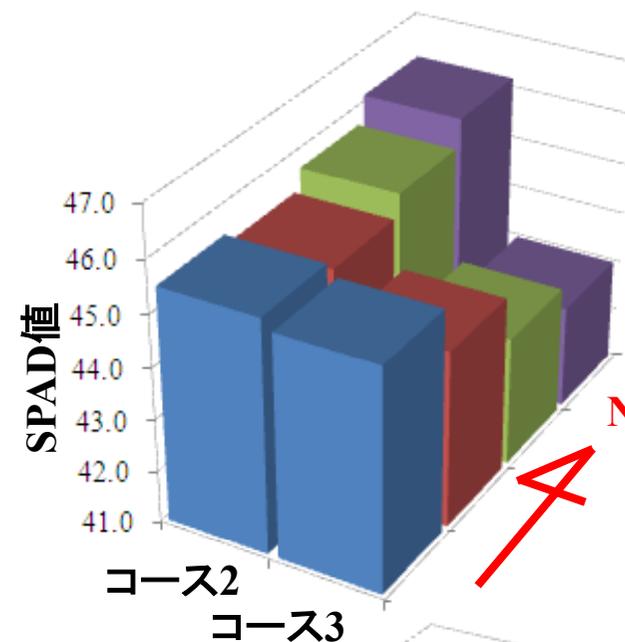
無人ヘリHS観測によるSPAD値推定結果



— 推定解析における決定係数(正準相関解析)—

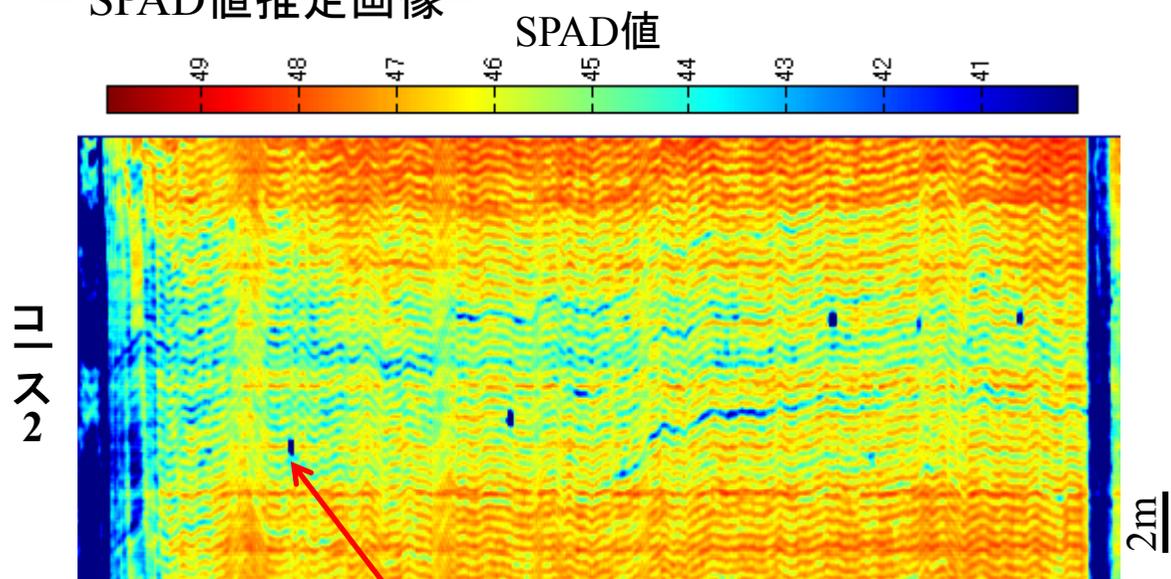
コース2+3		高度20m・速度15km/h		
指標	R ² 値	相関傾向	p値	測定点数
$LVI_{mixture}$	0.927	正	p<0.001	8
LVI_{pure}	0.885			

- ・高度20mの条件で高相関⇒**ダウンウォッシュ効果**の影響が**低減**
- ・推定結果は、飛行速度に依存しない(適切な測定点長の算出)

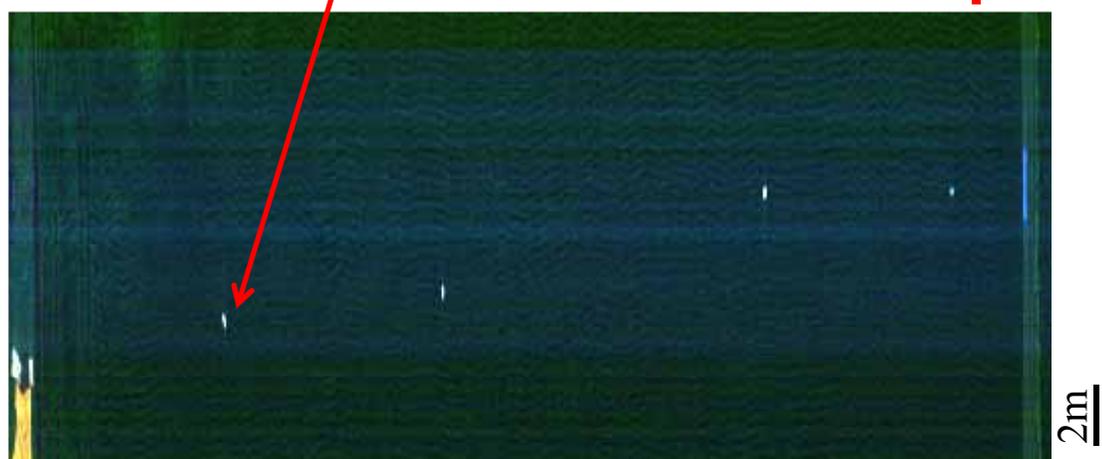


無人ヘリHS観測によるSPAD値推定結果

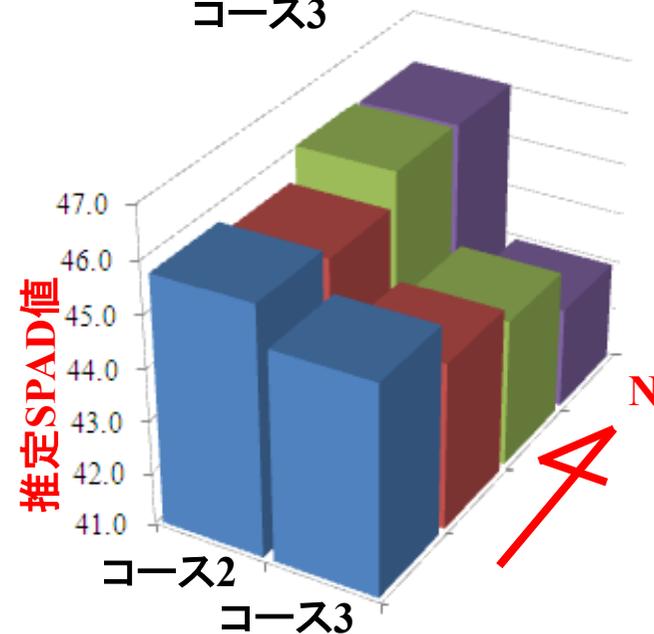
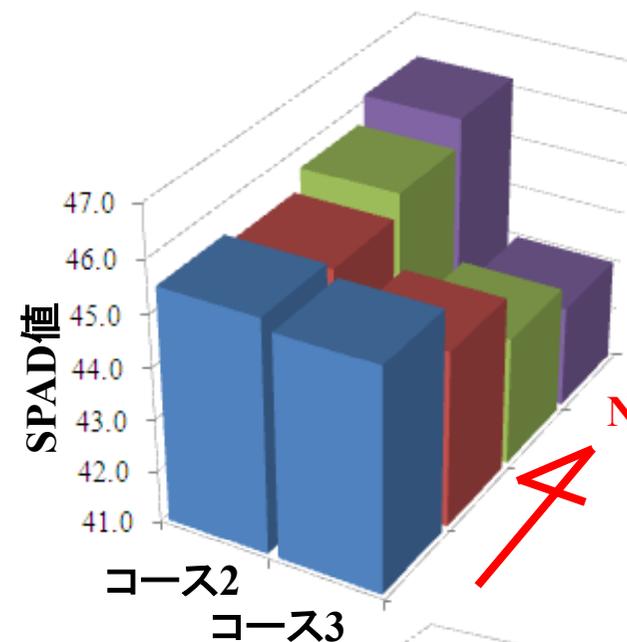
— SPAD値推定画像—



SPAD値測定マーカー

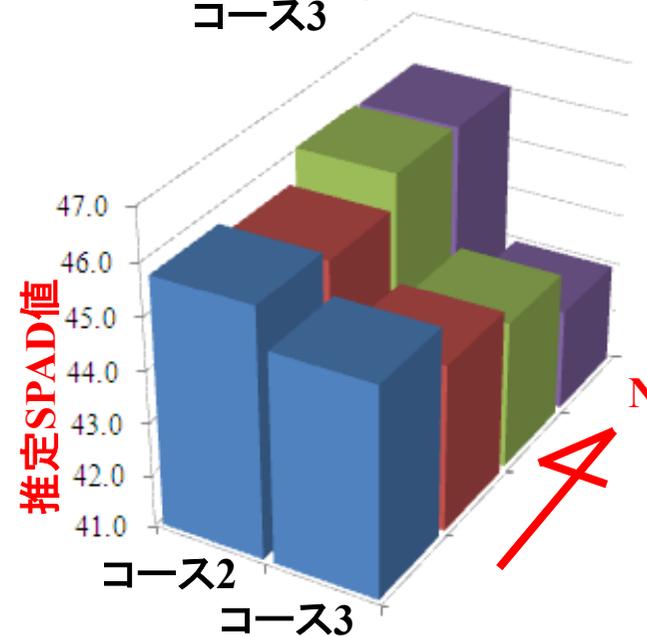
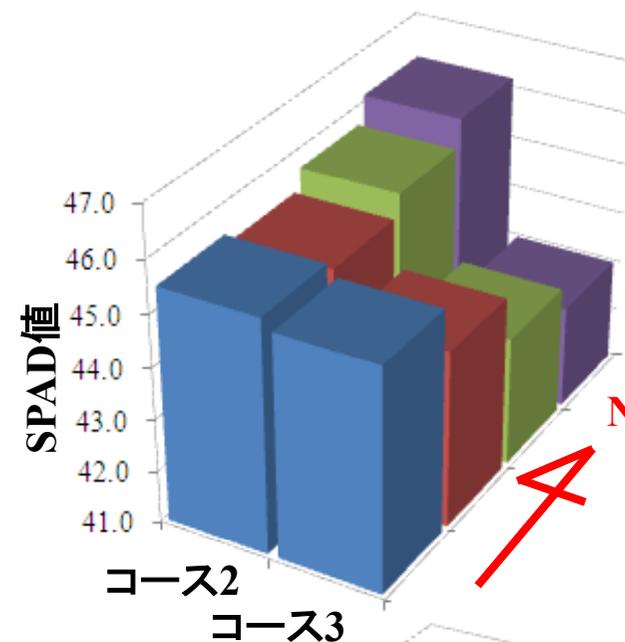
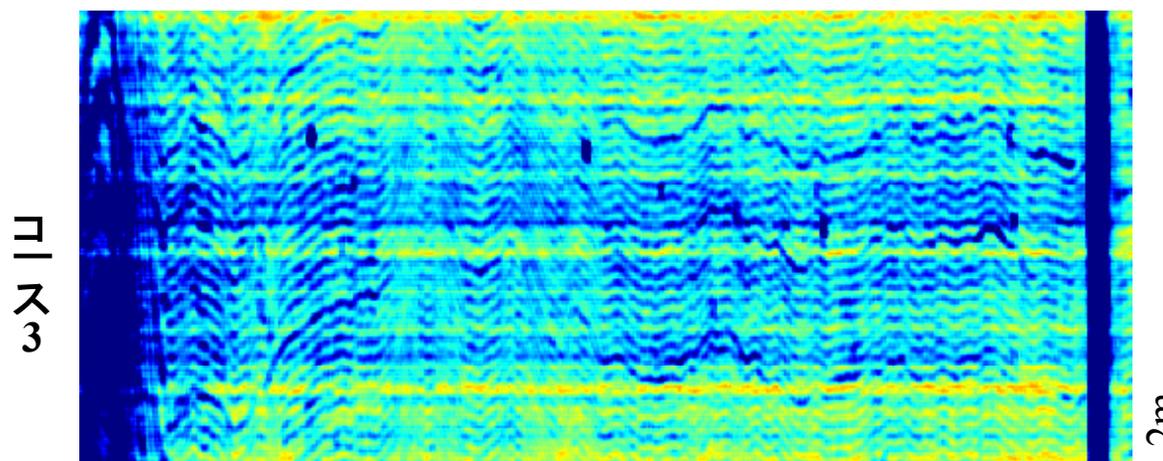
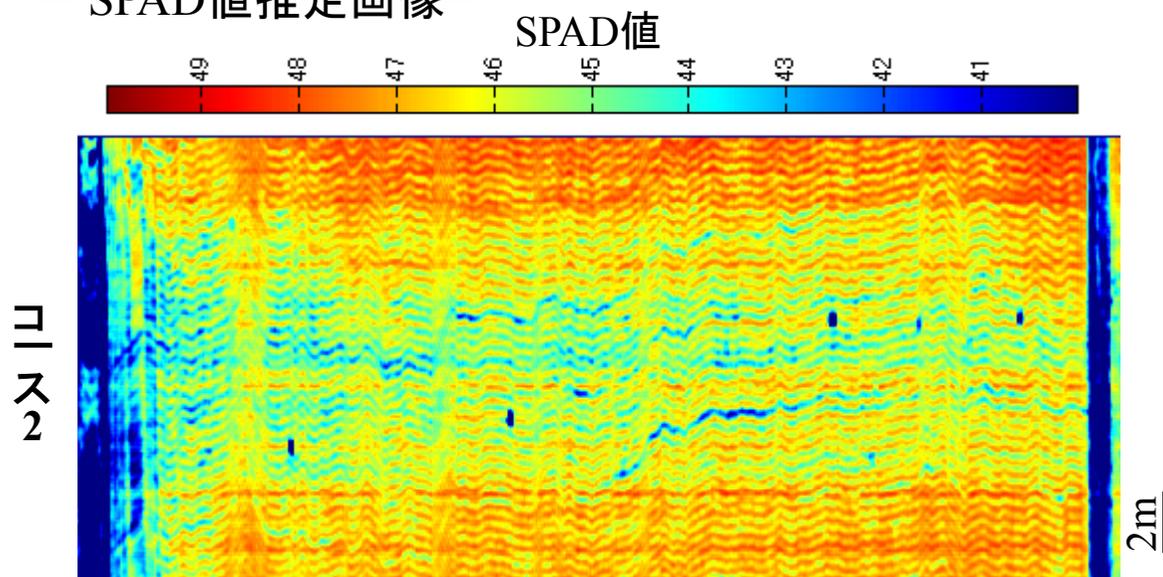


— 疑似カラー画像 (R:650nm, G:550nm, B:450nm)—



無人ヘリHS観測によるSPAD値推定結果

— SPAD値推定画像—



航空機搭載HS観測の概要

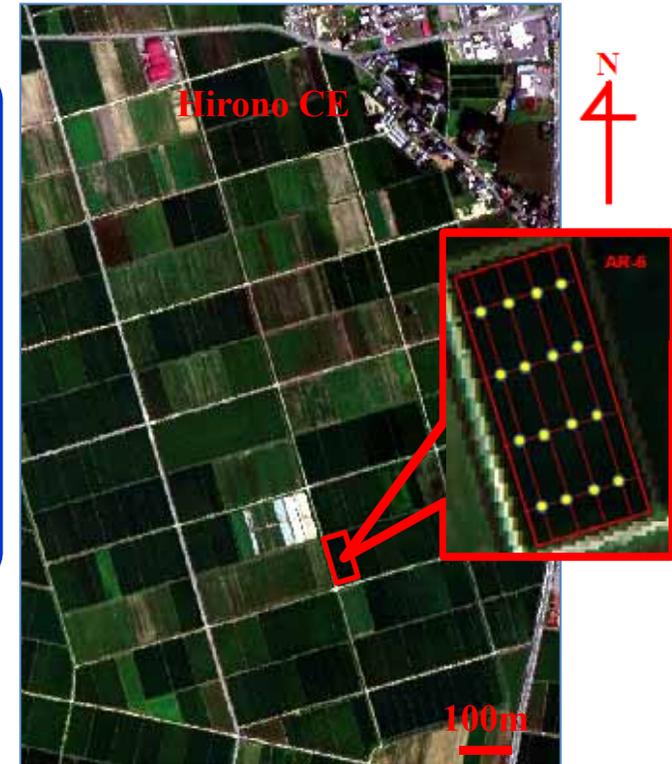
・2010年航空機観測データ
 (CASI: Compact Airborne Spectrographic Imager)

・前処理: 大気補正処理

- ① **FLAASH** (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) **法**
 - ・可視-短波長赤外域(約 $3\mu\text{m}$)の波長較正
 - ・バンドシフト +6nm(広野: 高高度撮影)
- ② **EL**(empirical line) **法**
 - ・放射伝達モデル法に代わる大気補正法
 - ・対象の表面反射率較正の手段
- ③ **幾何補正** (データ取得時の航空機の高度/位置/姿勢情報を基)



大気補正済データを使用し, 提案指標によるSPAD値の推定



©ERSDAC

— 使用データ観測概要 —

CASI-3 観測		SPAD測定	
観測対象地区	酒田市広野	観測対象圃場	酒田市広野 (1圃場)
観測日	2010年7月19日 (天候: 晴) AM10:28~AM10:33	観測日	2010年7月14日 (天候: 曇 / 微雨)
観測高度	海拔3,000m	観測点数	16点 (1圃場)
空間解像度	約1.5m/pixel	* 無人ヘリ観測 を行った圃場	
バンド数	67 band (約10nm間隔)		

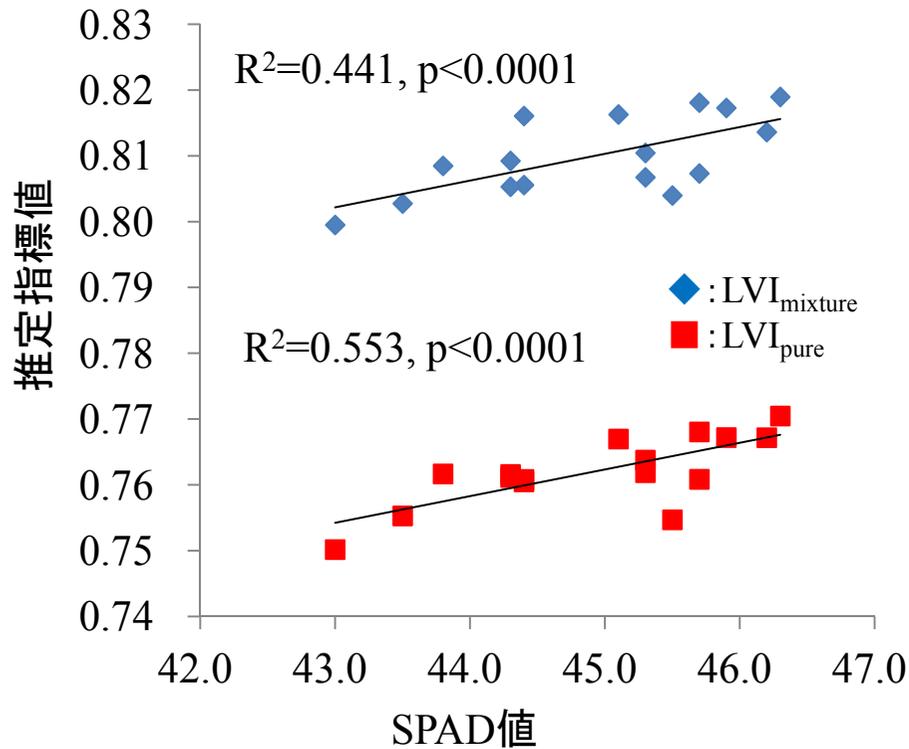
航空機搭載HS観測によるSPAD値の推定・結果

— 解析概要 —

- ・取得データ(大気補正済)からSPAD測定点の反射スペクトルデータを抽出
- ・取得波長 3Bandを用いた**非線形補間法**による使用波長の算出
- ・抽出データとSPAD値を用いた成指標LVIによるSPAD値の推定



— SPAD値推定結果 —



推定解析における決定係数 (正準相関解析)

指標	CASI-3			
	R ² 値	相関傾向	p値	測定点数
$LVI_{mixture}$	0.441	正	P <0.001	16
LVI_{pure}				

航空機搭載HS観測によるSPAD値推定の検証結果

・航空機観測データによるSPAD値推定の検証結果

◇データ抽出法⇒**非線形補間法**

使用波長:3Band(二次関数近似)での波長補間

◇使用推定指標⇒ **LVI_{pure}** により, 高相関

・本解析における問題点

◇SPAD値(推定対象)の測定点の**不足**

◇両値(SPAD値, 航空機データ)の測定日の**不一致**



・今後の課題

◇SPAD値の測定点の不足

⇒複数圃場, 複数品種, 圃場内点数の追加

◇両値(SPAD値, 航空機データ)の同日測定

－ 使用データ観測概要－

CASI-3 観測		SPAD測定	
観測対象地区	酒田市広野	観測対象圃場	酒田市広野(1圃場)
観測日	2010年7月19日 (天候:晴) AM10:28~AM10:33	観測日	2010年7月14日 (天候:曇/微雨)

農業分野のハイパースペクトルイメージデータ利用

7. ALOS3 (ハイパースペクトルイメージセンサ)

への期待

- ・農業管理へのハイパースペクトルデータ利用により、高品質・安定生産をめざす。
日本での技術開発 → 開発途上国への技術供与
- ・世界の農業状況把握による世界食糧動向の理解、日本の食料問題に貢献する。
- ・農地農村を持つ多面的機能(ソフト機能を含む)の定量評価をめざす。

ご静聴ありがとうございました。