

稲の被覆率による NDVI の影響の評価

Correction of NDVI value by using coverage of paddy-rice

○三浦裕幸*, 丹波澄雄*

○ Hiroyuki Miura*, Sumio Tanba*

*弘前大学

*Hirosaki University

キーワード：正規化植生指標 (NDVI : Normalized Difference Vegetation Index)

米タンパク質 (Rice Protein) 土壌補正 (Soil Revision)

反射率 (Reflectivity)、混合画素 (Mixel)

連絡先：〒036-8561 青森県弘前市文京町 3 番地 弘前大学大学院 理工学研究科 丹波研究室

E-MAIL : h08gs411@stu.hirosaki-u.ac.jp

1. はじめに

米の品質を左右する主な要因の一つに米タンパク質がある。一般に、この米タンパク質の含有量が低いものが食味が良く、高品質な米とされている。つまり、米づくりの過程で玄米に含まれるタンパク量を調査し、状況に応じた対策を行うことで、高品質な米を作ることが出来る。

この米タンパク質の含有量を調べる方法の一つとして、人工衛星や航空機によるリモートセンシングデータから求めた NDVI(正規化植生指標)を用いる方法がある。しかしながら、この NDVI は様々な要因による誤差を含んでいる。誤差の要因としては、大気効果の影響、混合画素 (ミクセル)、量子化誤差、ノイズなどが考えられる。今回は地上分解能のサイズの観点からミクセルによる誤差の影響を調べるために、対象

物である稲と背景になる土壌のミクセル度に着目する。ミクセル度が変わることで各バンドの反射率は変化するため反射率値から算出される NDVI の値も変化する可能性がある。

そこで本研究では、米タンパク質の含有量の推定精度を向上させることを目的として、土壌に対する稲の被覆率が NDVI に及ぼす影響の特徴をシミュレーションによって調べた結果について報告する。

2. 使用データ

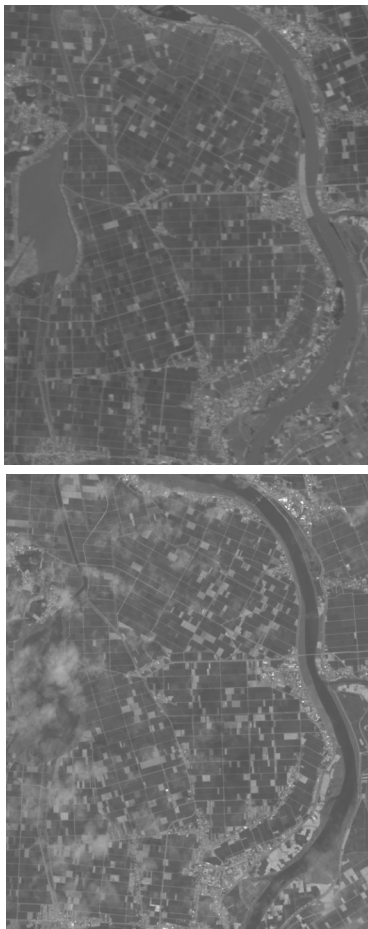
今回は、JAXA が 2006 年に打ち上げた陸域観測技術衛星『だいち (ALOS)』の AVNIR-2 センサの band3、band4 のデータを使用した。詳細を以下に示す。

表 1 AVNIR-2 の詳細データ

AVNIR-2 詳細	
バンド数	4
観測波長帯(μm)	band1:0.42~0.50 band2:0.51~0.60 band3:0.61~0.69 band4:0.76~0.89
地上分解能	10m(直下)
観測幅	70km(直下)
信号対雑音比	>200
空間周波数伝達特性	band1~3:>0.25 band4:>0.20
ディテクタ数	700/band
ポインティング角	±44°
量子化ビット数	8ビット

表 2 使用したデータ

画像	A	B
日付	2006.5.21	2006.8.17
ポインティング角	-41.5	0



上:画像 A (5/21) 下:画像 B (8/17)

図 1 使用した画像の例 (一部)

画像 A : 5 月 21 日の画像である。水田には水が張られ代掻きは終わり、早いところでは田植えも終わっている。しかしながら植えられた稲は未だ成長していないので殆ど水面と見なしうる状況である。画像 B : 8 月 17 日の画像である。稲もある程度成長しているので、水田の部分は緑色に見える。しかし、緑の濃さは水田によってばらつきがあることが分かる。また、雲がかかっている部分もある。

3. NDVI・土壌補正について

NDVI(正規化植生指標)とは、植物の活性度を表す指標であり、植物の緑葉の青領域と赤領域の波長を吸収し、近赤外線領域の波長を強く反射する特性に基づいている。NDVI は(1)式で表される。

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R)} \quad (1)$$

IR : 近赤外波長(band4) R : 赤波長(band3)

NDVI の値の範囲は-1~1の間であり、正の値が植生域では正の値を取る。

一画素の瞬時視野内に異なる対象物が存在する場合をミクセルと呼ぶ。対象物体の反射率を X、背景の反射率を A とすると、ミクセル画素の反射率 B は(2)式で表現される。

$$B = A \cdot (1 - r) + X \cdot r \quad (2)$$

対象物体本来の反射 X は(3)式で表現される。

$$X = \frac{B - A \cdot (1 - r)}{r} \quad (3)$$

X : 補正後の反射率 r : 稲の被覆率

A : 5 月の反射率 B : 8 月の反射率

5 月の画像 (画像 A) の水田は全面が背景である冠水している土壌と考えられるので画像 A の水田画素の反射率を A とする。ま

た、8月の画像（画像 B）では水田画素は稲と背景である土壌のミクセルとなっていると考えられるので、画像 B の水田画素（ミクセル画素）の反射率を B とする。稲の被覆率 r は稲の生長の程度や観測の角度によって変化する。 r が求めれば(3)式によって稲の反射率 X を求めることが出来る。

4. 処理手順

以下の手順で処理をおこなった。

- ① 水田マスクの作成・水田データの抽出
- ② 輝度データの反射率への変換
- ③ 稲の被覆率の値の範囲の推定
- ④ 土壌補正済み NDVI の算出
- ⑤ 結果の比較

それぞれの詳細を以下に示す。

4.1 水田マスクの作成・水田データの抽出

図 2 の様に、5月の band4 のデータから、水の入っている水田のみのデータを取り出す為のマスクを、スペクトルデータの閾値処理によって作成する。

閾値処理とは、画像を2値化処理する時に基準とする値（閾値）を用いて、基準を超える値を黒に、それ以外を白にした画像を作る処理のことである。

次に、このマスクを用いて、それぞれの画像から水田の領域を抽出する。

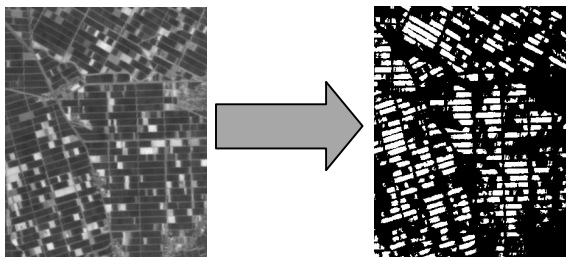


図 2 水田マスクの作成

4.2 輝度データの反射率への変換

衛星データのカウント値を O として、(4)式、(5)式と表 3 のパラメータを用いて、

カウント値 O を反射率 ρ に変換する。

$$L_{\lambda} = \frac{O}{a} \quad (4)$$

$$\rho = \frac{(\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2)}{ESUN_A \cdot \cos \theta_s} \quad (5)$$

L_{λ} : 輝度 $ESUN_A$: 大気外日射量

a : 補正係数 θ_s : 太陽天頂角

d : Julian day で決まる地球-太陽間の距離

表 3 反射率算出に用いたパラメータ

date	Julian day	d	θ_s	band	a	ESUNA
5.21.08	141	1.012	61.46	band3	0.502	1562.3
				band4	0.557	1076.5
8.17.08	229	1.013	59.06	band3	0.502	1562.3
				band4	0.835	1076.5

4.3 稲の被覆率の値の範囲の推定

8月の稲は垂れ始める前で真っ直ぐな状態に近く、一列にしきつまっているので、図 3 の様に稲の壁になっていると考える。このように単純化した水田のモデルのパラメータを以下の様に定める。

- 水田の幅 : 30m×100m
- 稲の高さ : 0.77m
- 稲の幅 : 0.15m

このモデルから、衛星の衛星天頂角（センサの方角）、アジマス角（水田の方角）の2つの角度により変化すると考えられる被覆率の範囲を求める。

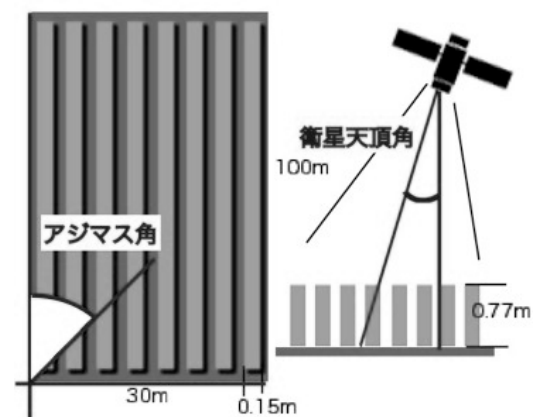


図 3 水田モデルの概念図

4.4 土壌補正済みの NDVI の算出

土壌補正では、稲の被覆率 r を 5 % 刻みで変化させ、ミクセルと見なしている band 3 と band 4 の反射率を補正した。補正したそれぞれの band の値を用いて NDVI 値を求める。

4.5 結果の比較

未補正值 $NDVI_{100}$ (被覆率 100%)とそれぞれの被覆率で求めた値 $NDVI_r$ (被覆率 $r\%$) の統計量の変化、未補正值との差 ($\Delta NDVI = NDVI_r - NDVI_{100}$) を比較する。また、水田モデルの値の範囲より、土壌補正の有効と考えられる範囲を求める。

5. 結果

5.1 水田データの抽出

水田データの抽出の全体の流れは、

- ① 5月の band 4 データから水田マスクを作成
- ② 4つのデータに対して、水田マスクを用いて抽出
- ③ 抽出後のデータから極端に異なる値の除去
- ④ NDVI の輝度変換・NDVI 算出後、ミクセル値の閾値処理による除去

と、なっている。

5月の band 4 のデータより、海と溜池以外の数値の低い部分(画像の暗い部分)が水入れ後の水田と考えられるので、ヒストグラムよりカウント値 30~85 の値を抽出する閾値処理をおこなった。しかし、8月の画像では水田領域の上に雲と雲の影が写っているため、使用する band 4 データでは補正が必要になる。今回のシミュレーションでは雲域及び雲影域の画素はミクセルのシミュレーションを行う上では誤差の要因となる可

能性があるので閾値処理で除去した。この閾値処理では、なるべく純粋な水田のみのデータを抽出するため、水田と他の土地(畦道など)の画素が混在していると考えられる値(ミクセル値)の部分などを取り除くために後述の NDVI 値の標準偏差とヒストグラムに基づいて求めた閾値(今回は 20%)を用いた。(図 4 参照)

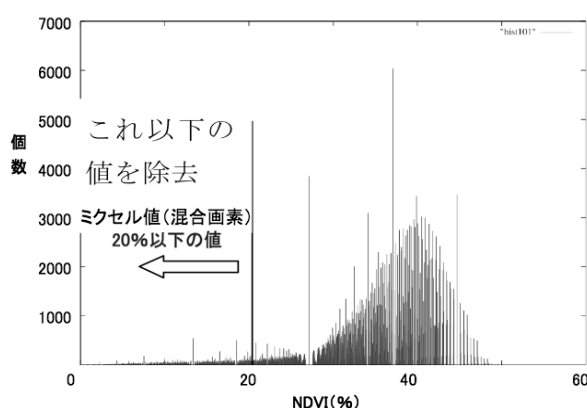


図 4 NDVI 値のヒストグラム

5.2 被覆率の有効範囲

水田モデルにおいて、衛星の衛星天頂角が 5° としてアジマス角を $0 \sim 90^\circ$ まで変化させたときの被覆率をグラフにしたものが、図 8 である。この図よりアジマス角が大きくなれば、それに比例して被覆率は微量ではあるが増加していることが判る。アジマス角が大きくなれば稲の列がセンサの走査方向に対して垂直になり土壌の部分が稲に隠れる様になることから、妥当な結果であると言える。

図 9 は、アジマス角が 90° 、衛星天頂角を $0 \sim 15^\circ$ まで変化させたときのグラフである。グラフから被覆率は、 10° 付近までは比例的に増加しているが、 10° を過ぎると、ほぼ一定の値になっている。これは、 10° を過ぎる辺りで稲と稲の間の土壌が稲の高さによって衛星からみた場合に隠れてしまうと考えられる。

以上の事より、被覆率は、衛星の衛星天頂角が大きく、アジマス角が小さい場合には大きくなるといえる。また、今回のモデルにおいては、被覆率の値の変動は 100%～50%の範囲で収まると考えられる。

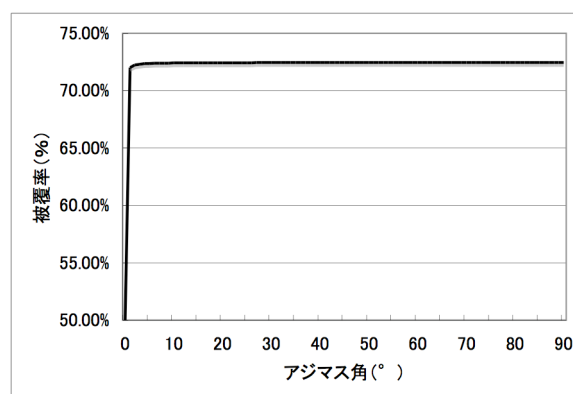


図 8 衛星天頂角 5° のときの
アジマス角による被覆率変化

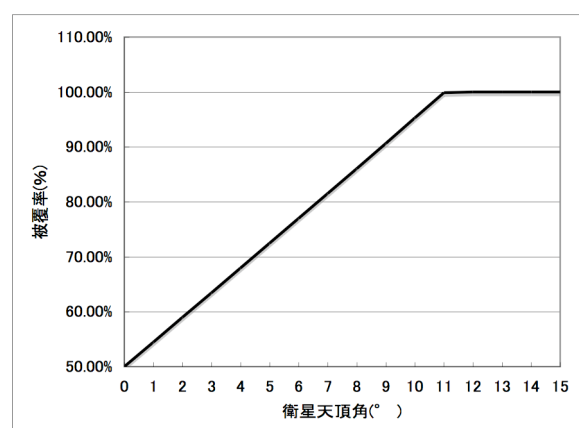


図 9 アジマス角 90° のときの
衛星天頂角による被覆率変化

5.3 土壌補正

水田データのみを抽出後、カウント値
O を反射率 ρ に変換する。その後、画像 B

(06/08/17) の band3,band4 の被覆率ごとの反射率データの統計量を求めた。

図 5 は被覆率に対する band3 の統計量の変化のグラフである。band3 の統計量は被覆率が小さくなるにつれてピーク値・平均が減少する。

図 6 は被覆率に対する band4 の統計量の変化のグラフである。band4 の統計量は被覆率が小さくなるにつれてピーク値・平均共に増加傾向にある。

表 4 は NDVI の統計量の関係を示している。図 7 は表 4 の値を基に作成した統計量の変化を示すグラフである。NDVI 値の統計量の変化はピーク値・平均共に被覆率が減少するにつれて増加していく傾向があることが分かる。ピーク値・平均については、(1)式より band 3 が減少、band 4 が増加すると NDVI の値は増加するので、これらのグラフの推移は、妥当な結果と考えられる。

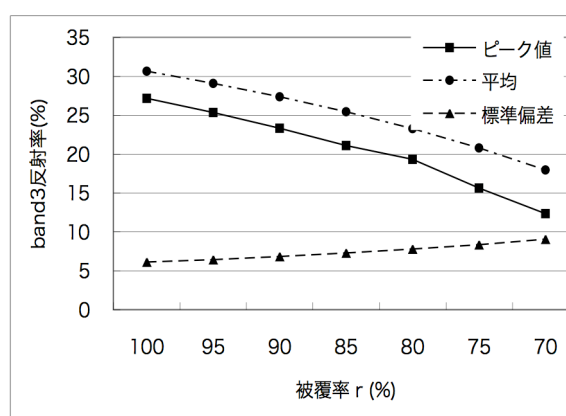


図 5 被覆率 (100～70%) による band3 反射率の統計量の変化

表 4 被覆率による NDVI 値の統計量の変化

被覆率(%)	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
ピーク値	37.13	43.62	45.78	50.42	53.89	56.28	65.60	72.92	99.77	99.27	99.91
平均	35.94	38.51	41.49	44.95	49.03	53.88	59.75	66.89	74.21	78.07	77.60
標準偏差	5.78	6.40	7.12	7.97	9.02	10.34	12.08	14.30	16.37	17.82	19.61

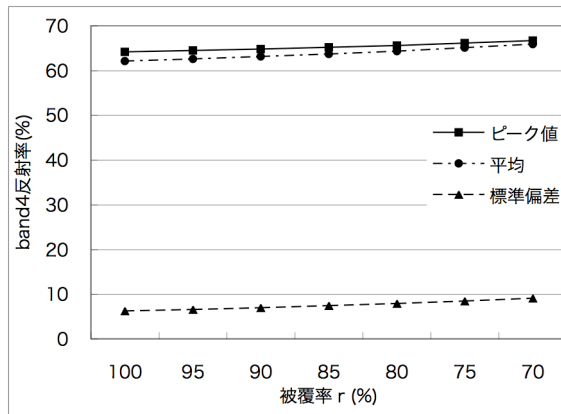


図 6 被覆率 (100～70%) による band4 反射率の統計量の変化

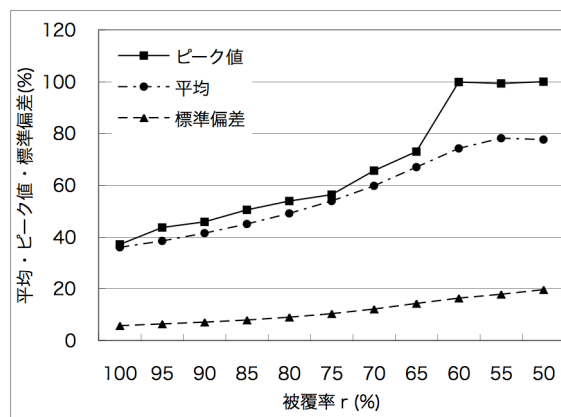


図 7 被覆率 (100～50%) による NDVI 値の統計量の変化

5.4 被覆率ごとの補正量 Δ NDVI

図 10 は、縦軸を Δ NDVI、横軸を NDVI₁₀₀ としたときの散布図である。 Δ NDVI の値の範囲にはある程度の広がりはあるものの、分布は右肩上がりであり、NDVI 値が増加すると Δ NDVI も増加する傾向にあることが判る。また、この傾向はどの被覆率でも同様である。

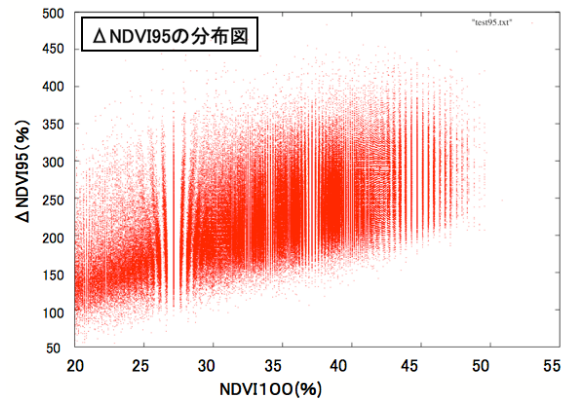


図 10 Δ NDVI_r の分布図の例 (r=95)

5.5 NDVI 値と Δ NDVI の関係

図 11 は NDVI₁₀₀ を横軸に、また Δ NDVI の平均値を縦軸に取ったグラフである。NDVI₁₀₀ は 20～45% の範囲を 5% 刻みで集計した。グラフより、平均値は被覆率 r によらず NDVI 値の増加と共に増加する傾向にある。この増加傾向は r が小さくなる程大きくなっている。また、 Δ NDVI は NDVI 値に関わらず r が小さくなると大きくなっている。

図 12 は図 11 と同様であるが、縦軸に Δ NDVI の標準偏差を取ってある点異なる。グラフより、 Δ NDVI の標準偏差は、 r が大きい場合、ほぼ一定の値であるが、 r が小さい場合、NDVI 値が小さい範囲で値が大きく、大きい範囲では値が小さくなる傾向がある。

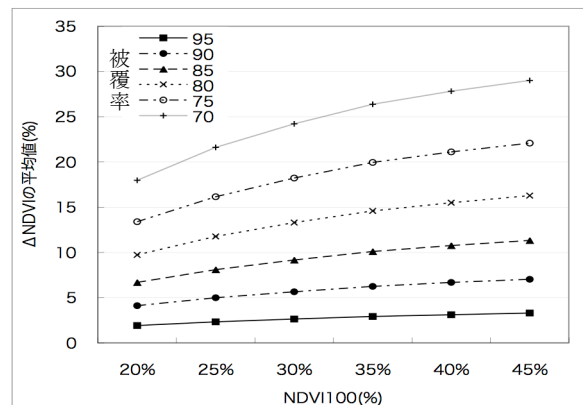


図 11 NDVI₁₀₀ に対する被覆率ごとの Δ NDVI の平均値

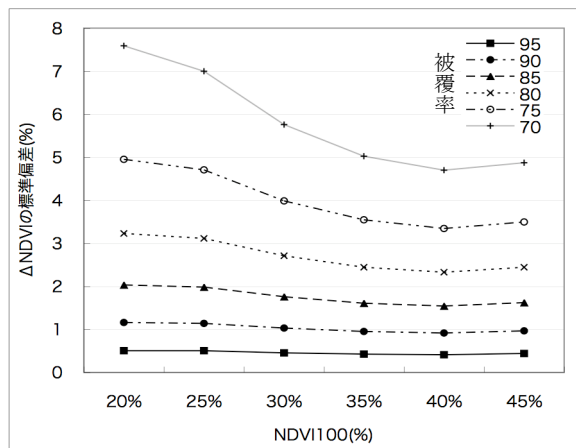


図 12 NDVI100 に対する被覆率ごとの
ΔNDVI の標準偏差

6. まとめ

今回は青森県津軽平野における ALOS / AVINIL-2 の可視・近赤外データに基づいて水稻と背景土壌のミクセルシミュレーションを行った。結果より、水稻の被覆率 r が 95% のときでも、NDVI の誤差は 2~3% になることが判った。 r が更に小さくなると誤差は更に増大する。正確な誤差を知ることによって NDVI 値を補正することが可能である。

また、簡易的な水田モデルより、稲が垂れる前の状態では、被覆率の範囲は、衛星の衛星天頂角とアジマス角に関係があり、衛星天頂角、アジマス角が大きいと被覆率が大きくなる傾向にあることが判った。

今後は、GIS データを用いた水田抽出方法の検討、及びより現実的な水田モデルの構築を行う予定である。

7. 参考文献

- (1) JAXA : <http://www.jaxa.jp/>
- (2) ALOS : http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/index_j.htm
- (3) 改訂版 図解リモートセンシング
(日本リモートセンシング研究会 編)