

PALSAR データを用いた土地被覆の判読—東日本の事例—

栗屋善雄・高橋興明・清野嘉之 (森林総合研究所)・齋藤英樹 (森林総合研究所九州支所)・
島田政信(JAXA)・I Nengah Surati Jaya・M Buce Saleh (ボゴール農大)

要旨：ALOS 衛星に搭載されている PALSAR のデータを用いて、土地被覆判読の可能性を検証した。東日本を対象として Landsat/ETM+のデータと比較したところ、HH 偏波より HV 偏波で被覆物がやや明瞭だった。カラー合成画像では水田と農地は黒く、森林は深緑色で現れて識別は容易だった。都市は白色、赤紫色と緑色の部分に分かれ、緑色の部分と森林でデジタルナンバー(DN)が似ていて数値分類は困難と判断された。DN は針葉樹の樹種間では差が小さく判読は困難だが、ブナと針葉樹の差はやや大きかった。バイオマスの小さい水域、水田と農地では DN の差が小さく、判読はやや困難だった。斜面の影響については電磁波に正対する斜面では斜度に対して DN がやや大きく広がったが、裏側斜面では DN は斜度に比例した。

キーワード：PALSAR, 合成開口レーダ, 森林, 都市, 農地

I はじめに

1972 年にランドサット 1 号が打ち上げられて地表面の情報を光学センサによって観測できるようになった。当初は森林を含む陸域資源の情報を把握することが可能になると期待されたが、大気の状態によってデータが歪んだり植生の季節変化に影響されて解析結果が安定しないなどの理由で森林資源の状況も容易には明らかにならなかった。

このような問題を解決できる技術として、合成開口レーダ (SAR) が登場した。SAR は FM 放送で使われるような長い波長の電磁波を利用し、この波長帯の電磁波は雲を透過するため、あらゆる天候 (全天候) での観測が可能になった。1990 年には C バンドの ERS SAR, 1991 年には L バンドの JERS-1 SAR が打ち上げられ(3)、森林資源の把握が進展すると期待された。

しかしながら、SAR は電磁波を斜めに発して地面で反射・散乱されてセンサに戻ってくる電磁波を観測することから、地形による歪みが大きいこと、JERS-1 の場合、観測できる偏波の組み合わせが水平偏波発信・水平偏波受信 (HH) に限られたことなどの理由で、効果的な森林解析の例は少ない。

一方、ALOS 衛星に搭載されているフェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ (PALSAR) は、JERS-1 に搭載された SAR に比べると多偏波観測が可能になって情報量が格段に多く(5)、土地被覆の判読が容易になって

いる。また、標高データの整備が進んだことや GPS により衛星の姿勢情報が正確に得られるようになったことから、正射投影が容易に行えるようになって、利用しやすくなった。京都議定書においては森林面積の変化 (ARD)、ポスト京都議定書では発展途上国における森林減少をモニタリングすることが必須となっており、PALSAR は有用な情報を提供できると期待される。

本研究では東日本を中心にランドサット ETM+データや標高データを参照データとして PALSAR データによって判読可能な土地被覆と立地条件について検討した結果を報告する。

II 対象地とデータ

北海道から関東、長野までの地域のうち、筆頭研究者がこれまでに研究を実施して現地を訪れたことがあるエリアとした。

本研究では宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が ALOS 京都・炭素観測計画(4)で 50m メッシュにモザイクした日本列島の PALSAR データを用いた。このデータは 2007 年 7 月頃に観測されたデータを中心に作成されており、標高データを用いたオルソ補正が施されているが、デジタルナンバー(DN)は未補正のままである。HH 偏波と HV 偏波と二つの偏波の差画像が公開されている。

PALSAR データで判読できる土地被覆を検証するために、ランドサット TM および ETM+のデータ (以下、ETM+

Yoshio AWAYA, Tomoaki TAKAHASHI, Yoshiyuki KIYONO (Forestry and Forest Products Research Institute, Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687), Hideki SAITO (Kyushu Research Center, FFPRI), Masanobu SHIMADA (JAXA), I NENGAH Surati Jaya, M BUCE Saleh (Bogor Agricultural University) Landcover interpretation using PALSAR images - A case study in the eastern Japan -

データと呼ぶ)を用いた(表-1)。これらのデータは1999年から2004年の間に観測されていて、PALSARデータの観測年次と時間差があるため、土地利用には差違があるが、大きく変化している箇所は僅かと考えて、参照データとして利用した。

III 解析方法

判読の項目として森林3タイプ(常緑針葉樹, カラマツ, 落葉広葉樹), 水田, 農地, 草地, 市街地, 水域などを設定した。これらの土地被覆の広がりをも ETM+データ上で確認し, PALSAR データ上で判読可能か否かを目視で確認した。次いで各土地被覆についてトレーニングエリアを選定し, HH と HV での DN の分布について検討した。方法としては, 平均値の分布状況を散布図で確認するとともに, 分離度(ジェフェリー松下の距離)を算出して, 各土地被覆の分布の差違を検討した。

50m メッシュの標高データ(国土地理院)から斜度を計算して, 秋田県森吉山中腹の落葉広葉樹林を対象にして斜度と DN の関係を検討した。

IV 結果と考察

今回利用した PALSAR データは HH と HV の2つの偏波のデータである。PALSAR は他に VV と VH の偏波を観測できるが, 画像判読において VV は HH と, VH は HV と似ているとされる。図-1 は釧路湿原の西部から釧路市の北部付近の PALSAR 画像である。被覆の境界は HV 偏波のほうでやや鮮明で, 森林が明るく表示される。HH では市街地に明るい部分が現れるが, この部分は HV では他の市街地よりもやや暗い。それぞれの偏波ではこのような特徴があるが, 各偏波に次のように色を割り当てて表示し, 被覆物を判読した。

赤: HH, 緑: HV, 青: HH-HV

この色合成では森林は緑色に現れ, バイオマスが少ない森林は深緑に, バイオマスの多い森林は淡い緑に現れる。DN の大きさが斜面の傾斜と方位に影響されるため, 判読ではほぼ平坦地の被覆物を対象として, 各土地被覆について ETM+データと比較して PALSAR データの特徴を以下のように要約した。

1. 森林タイプによって DN の大きさは HH, HV, HH-HV のいずれでも以下のような傾向が見られた。

落葉広葉樹 < カラマツ < 常緑針葉樹

Lバンドの場合, 約 50 から 100 トンで飽和すると言われていたが(1, 2), 後方散乱係数はバイオマスに比例することが知られており, 上の関係がバイオマスによるものかタイプごとの樹形や葉の形状の違いによるものかは,

今後の検討課題である。また, HH ではバイオマスが大きいと思われるブナ林よりもバイオマスが小さいと思われるリンゴ園のほうが DN が大きい。PALSAR データのカラー合成ではブナ林は薄い緑色に現れるが, リンゴ園は灰色となり, 樹冠の粗密が DN に影響していると推察される。

2. 農地のようにバイオマスの少ない土地被覆の場合, 画像では黒色で現れ, 被覆を判断することが困難である。このような判読困難な被覆は, 水面, 農地, 水田, 草地, 植林後間もない造林地などがある。これらの土地被覆の DN の大きさは HH, HV, HH-HV のいずれでもおおむね以下のような傾向である。

水面 < 水田・農地 < 造林地

3. 森林と農地の中間の明るさをもつのは自然草地で, ササ地や渡瀬遊水池, 湿原などがある。釧路湿原では湿地の状態を保っているエリアと乾燥が進んで樹木が成長してきたエリアを容易に識別でき, この点は ETM+データより優れる。

4. 市街地および住宅地はカラー合成画像ではおおむね白色(市街地 A), 黄緑色(市街地 B), と赤紫色(市街地 C)で現れる。グーグルアースの写真を参照して東京都心について発色が違う原因について検討したが, 原因を特定できなかった。ただし, 赤紫のエリアは構造物が密集して主要な道路が南北方向に並んでいる傾向があるように思われた。また, 白いエリアは大型の人工構造物が密集している傾向があるが, 都心のビル群でも黄緑色に発色するエリアも多い。黄緑のエリアはグラウンドや植え込みなど, 人工構造物以外の被覆物が混ざっているように思われた。DN の大きさは概ね次のような傾向がある。

HH, HH-HV 黄緑 < 白 < 赤紫

HV 赤紫 < 黄緑 < 白

このような都市内での違いは ETM+データでは不明瞭であるので, PALSAR がユニークな情報を提供できていることは明らかだが, 都市内での DN の差違の原因については, 今後, 十分な検討が必要である。

土地被覆別の DN の関係について散布図を描いて検討した(図-2)。図では HH と HV の DN は比例し, ほとんどの土地被覆が一本の回帰直線の上に集まっていることが分かる。しかし, 市街地では他の土地被覆と傾向が異なる地域が現れた。回帰直線から逸脱しているのは市街地 C である。市街地を除く土地被覆では概ねバイオマスの小さい方から大きい方に向けて DN が大きくなっている。森林と農地では DN の差が大きく, 両者を容易に識別できることが分かる。造林地では植林後にバイオマ

データと呼ぶ)を用いた(表-1)。これらのデータは1999年から2004年の間に観測されていて、PALSARデータの観測年次と時間差があるため、土地利用には差違があるが、大きく変化している箇所は僅かと考えて、参照データとして利用した。

III 解析方法

判読の項目として森林3タイプ(常緑針葉樹, カラマツ, 落葉広葉樹), 水田, 農地, 草地, 市街地, 水域などを設定した。これらの土地被覆の広がりをも ETM+データ上で確認し, PALSAR データ上で判読可能か否かを目視で確認した。次いで各土地被覆についてトレーニングエリアを選定し, HH と HV での DN の分布について検討した。方法としては, 平均値の分布状況を散布図で確認するとともに, 分離度(ジェフェリー松下の距離)を算出して, 各土地被覆の分布の差違を検討した。

50m メッシュの標高データ(国土地理院)から斜度を計算して, 秋田県森吉山中腹の落葉広葉樹林を対象にして斜度と DN の関係を検討した。

IV 結果と考察

今回利用した PALSAR データは HH と HV の2つの偏波のデータである。PALSAR は他に VV と VH の偏波を観測できるが, 画像判読において VV は HH と, VH は HV と似ているとされる。図-1は釧路湿原の西部から釧路市の北部付近の PALSAR 画像である。被覆の境界は HV 偏波のほうでやや鮮明で, 森林が明るく表示される。HH では市街地に明るい部分が現れるが, この部分は HV では他の市街地よりもやや暗い。それぞれの偏波ではこのような特徴があるが, 各偏波に次のように色を割り当てて表示し, 被覆物を判読した。

赤: HH, 緑: HV, 青: HH-HV

この色合成では森林は緑色に現れ, バイオマスが少ない森林は深緑に, バイオマスの多い森林は淡い緑に現れる。DN の大きさが斜面の傾斜と方位に影響されるため, 判読ではほぼ平坦地の被覆物を対象として, 各土地被覆について ETM+データと比較して PALSAR データの特徴を以下のように要約した。

1. 森林タイプによって DN の大きさは HH, HV, HH-HV のいずれでも以下のような傾向が見られた。

落葉広葉樹 < カラマツ < 常緑針葉樹

Lバンドの場合, 約 50 から 100 トンで飽和すると言われているが(1, 2), 後方散乱係数はバイオマスに比例することが知られており, 上の関係がバイオマスによるものかタイプごとの樹形や葉の形状の違いによるものかは,

今後の検討課題である。また, HH ではバイオマスが大きいと思われるブナ林よりもバイオマスが小さいと思われるリンゴ園のほうが DN が大きい。PALSAR データのカラー合成ではブナ林は薄い緑色に現れるが, リンゴ園は灰色となり, 樹冠の粗密が DN に影響していると推察される。

2. 農地のようにバイオマスの少ない土地被覆の場合, 画像では黒色で現れ, 被覆を判断することが困難である。このような判読困難な被覆は, 水面, 農地, 水田, 草地, 植林後間もない造林地などがある。これらの土地被覆の DN の大きさは HH, HV, HH-HV のいずれでもおおむね以下のような傾向である。

水面 < 水田・農地 < 造林地

3. 森林と農地の中間の明るさをもつのは自然草地で, ササ地や渡瀬遊水池, 湿原などがある。釧路湿原では湿地の状態を保っているエリアと乾燥が進んで樹木が成長してきたエリアを容易に識別でき, この点は ETM+データより優れる。

4. 市街地および住宅地はカラー合成画像ではおおむね白色(市街地 A), 黄緑色(市街地 B), と赤紫色(市街地 C)で現れる。グーグルアースの写真を参照して東京都心について発色が違う原因について検討したが, 原因を特定できなかった。ただし, 赤紫のエリアは構造物が密集して主要な道路が南北方向に並んでいる傾向があるように思われた。また, 白いエリアは大型の人工構造物が密集している傾向があるが, 都心のビル群でも黄緑色に発色するエリアも多い。黄緑のエリアはグラウンドや植え込みなど, 人工構造物以外の被覆物が混ざっているように思われた。DN の大きさは概ね次のような傾向がある。

HH, HH-HV 黄緑 < 白 < 赤紫
HV 赤紫 < 黄緑 < 白

このような都市内での違いは ETM+データでは不明瞭であるので, PALSAR がユニークな情報を提供できていることは明らかだが, 都市内での DN の差違の原因については, 今後, 十分な検討が必要である。

土地被覆別の DN の関係について散布図を描いて検討した(図-2)。図では HH と HV の DN は比例し, ほとんどの土地被覆が一本の回帰直線の上に集まっていることが分かる。しかし, 市街地では他の土地被覆と傾向が異なる地域が現れた。回帰直線から逸脱しているのは市街地 C である。市街地を除く土地被覆では概ねバイオマスの小さい方から大きい方に向けて DN が大きくなっている。森林と農地では DN の差が大きく, 両者を容易に識別できることが分かる。造林地では植林後にバイオマ

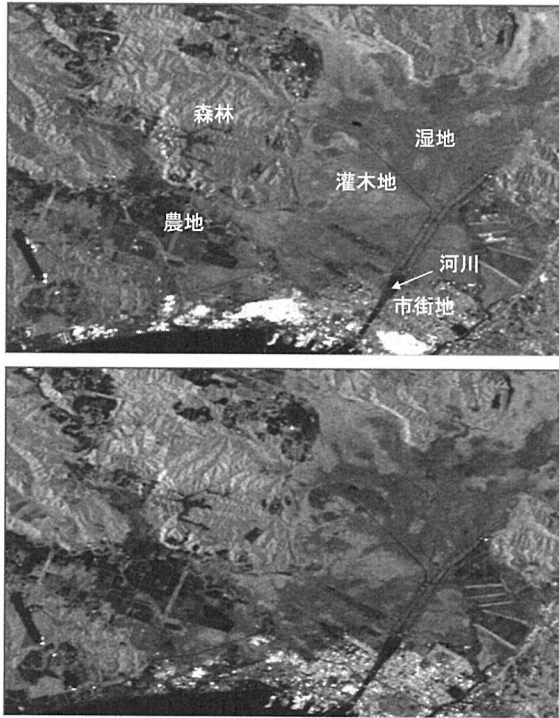


図-1. PALSAR 画像の例 2007年7月

HV 偏波では HH 偏波よりも被覆の違いがやや鮮明で、中央やや左上に位置する森林が明るく現れている。湿原中で灌木が進入してきたエリアが明瞭に分かる。(上: HH 偏波, 下: HV 偏波)

表-1. 土地被覆の判定に用いたTMデータ

地域名	パス	ロー	センサ	日付
十勝・釧路	106	30	ETM+	1999/9/28
大雪・日高・札幌	107	30	ETM+	2002/5/22
青森東部・岩手北部	107	32	ETM+	2002/4/20
青森東部・岩手北部	107	32	ETM+	2002/10/13
岩手南部・宮城	107	33	ETM+	2000/9/21
関東	107	35	ETM+	2001/3/15
関東	107	35	ETM+	2001/9/24
青森西部・秋田北部	108	32	ETM+	2002/6/30
新潟・福島西部	108	34	ETM+	1999/8/9
新潟・福島西部	108	34	TM	2004/5/26
長野・山梨	108	35	ETM+	1999/10/12

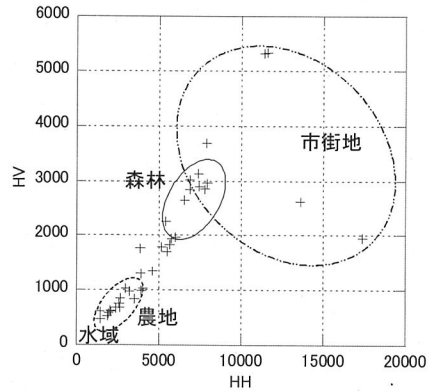


図-2. 土地被覆別の DN の散布図

HH と HV 偏波の大きさは概ね比例するが、市街地では傾向が異なるエリアが存在する。

表-2. カテゴリー間の分離度 (ジェフェリー松下の距離*)

カテゴリー	伐採跡地	ササ	ブナ	カラマツ	エゾトド	マツ	スギ	リンゴ	水田	農地	水域	市街地C	市街地B
ササ	923												
ブナ	1414	1404											
カラマツ	1414	1412	1249										
エゾトド**	1414	1414	1411	1071									
マツ	1414	1414	1412	903	538								
スギ	1414	1414	1392	657	1060	746							
リンゴ畑	1391	1412	1393	1409	1414	1414	1410						
水田	1413	1414	1414	1414	1414	1414	1414	1414					
農地	1414	1414	1414	1414	1414	1414	1414	1414	677				
水田	1414	1414	1414	1414	1414	1414	1414	1414	1193	1376			
市街地C	1410	1414	1414	1413	1412	1413	1413	1411	1414	1414	1414		
市街地B	1414	1414	1368	984	945	832	808	1355	1414	1414	1414	1408	
市街地A	1413	1409	1399	1360	1318	1339	1348	1399	1414	1414	1414	1385	1229

*: 数値が大きいほどデータの分布が離れている。最大値は1414である。**: エゾマツとトドマツの混交林

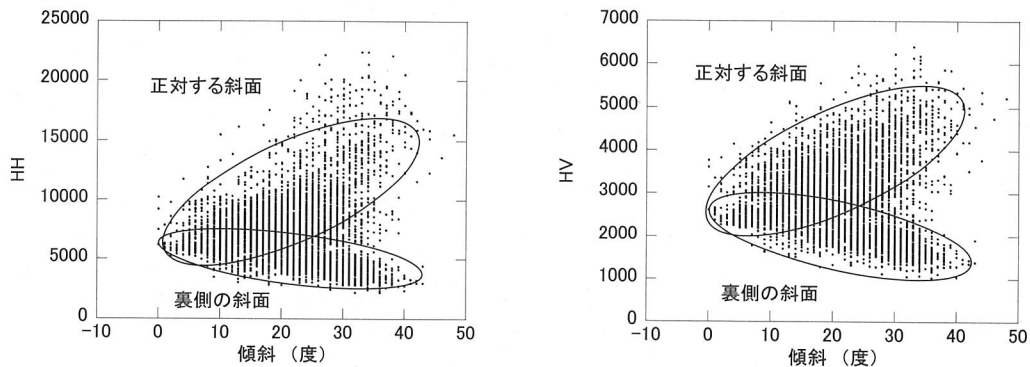


図-3. 傾斜と DN の関係 (左: HH, 右: HV)

PALSAR に正対する斜面と裏側の斜面に大きく 2 分でき、傾斜に応じて散乱係数が変化する様子が分かる。