



航空機搭載合成開口レーダ(Pi-SAR)の 多周波 / 多偏波データを利用した地物判読

野中 崇志¹ 笹川 正¹ 浦塚 清峰² 梅原 俊彦² 佐竹 誠² 灘井 章嗣² 松岡 建志² 中村 和樹² 森山 敏文³

1. はじめに

近年商用目的の高解像度SAR衛星の開発が進み、今後いくつかの国でその打ち上げ及びその運用が計画されている。これらの衛星の中には、1 m程度の高解像度かつ多偏波のデータの取得が可能であるものも含まれており、幅広い分野での利用が期待されている。1つの活用例として、都市域における土地被覆分類や地物判読も検討されている。

本研究では、このような高解像度SAR衛星による情報抽出の可能性を評価するために、航空機搭載型合成開口レーダPi-SARを用いて、都市域においていくつかの地物の判読性を評価する。研究対象地域をつくば市として、代表的な土地被覆の後方散乱係数を評価するとともに、Pi-SARの多周波 / 多偏波機能を利用し、各周波数の単偏波、多偏波画像より得られる情報の違いについても議論する。

2. 使用データ、及び解析地域

Pi-SAR (Polarimetric and Interferometric Synthetic Aperture Radar) は、独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) 及び宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が開発した航空機搭載合成開口レーダであり、2周波 (Xバンド: 9.55GHz、Lバンド: 1.27GHz)、多偏波 (HH、HV、VV、VH) の同時観測が可能である¹⁾。水平分解能はXバンドが1.5m、Lバンドが3mである。またXバンドは、2つのアンテナ

からの受信信号より地表面高度を求めるインターフェロメトリック機能を有する。図1にPi-SARの概観図を示す。

研究対象地域は、茨城県つくば市 (約 2 km × 1.5 km) である (図3)。北北西から南南東方向に2本の大通りが (東大通り、西大通り) 延びており、それらに垂直にいくつかの通りが交わっている。近年の都市開発により中心部では高層ビルやマンションが増えているほか、森林も多く残されている。また東大通りの東側には畑地も広がっている。

表1に使用したPi-SARデータの概要を示す。各バンド (X、L)、各偏波 (HH、HV、VV) の mga (multi-look grantrange amplitude)



図1 Pi-SARの概観図

表1 使用データの概要

日付	2005年8月10日
撮影地域	つくば市 (2 × 1.5 km)
撮影条件	北側がニアレンジ側
入射角	34° から 43°
分解能	1.5m (Xバンド)、3m (Lバンド)

¹ (株)パスコ

² (独)情報通信研究機構

³ (独)宇宙航空研究開発機構

データであり、グラントレンジ変換した振幅値である。Pi-SARは東側から西側のフライトで、画像の北側がニアレンジ側である。

3. 方法

本研究の方法を図2にまとめる。まずPi-SARのXバンド、及びLバンドのHH、HV、VVの各偏波データのインポート、及び対象地域の切り出しを行なう。次に対象地域の土地被覆より地物カテゴリと地物ターゲットを選定する。そして、報告されている校正係数を用いて、各バンド、各偏波において、後方散乱係数(σ⁰)を計算する²⁾。その結果を基に、各カテゴリのσ⁰の傾向を定量的に評価する。

次に各バンドの単偏波画像を組み合わせる多偏波合成画像を2種類作成する。1つは単純にHH、HV、VVを割り当て、もう1つはPauli行列に基づき、HH-VV、HV、HH+VVをR、G、Bに割り当てる³⁾。これらをそれぞれ偏波合成画像1、偏波合成画像2という。なお偏波合成画像2は散乱メカニズムの違いに基づく表記法であり、R、G、Bの各成分は、2回反射成分、交差偏波成分、表面散乱に対応している。そしてこれらの単偏波画像と多偏波合成画像を比較しながら、画像の特徴を把握する。最後に各バンドの単偏波、多偏波

画像それぞれについて、地物ターゲットの判読性を評価する。

4. 各地物の散乱係数特性

4.1 地物カテゴリ、及びターゲットの設定

つくば市の土地被覆より、A：建物、B：道路、C：森林、D：農地、E：裸地、F：水域の6つの地物カテゴリを設定する。そして、同一カテゴリ内の地物における散乱係数の変動を把握するために、各カテゴリに属する地物ターゲットを複数個選択する。

また同一カテゴリにおいても、ターゲット

表2 地物ターゲットの概要

No	名称	カテゴリ	大きさ(東西方向×南北方向)
1	マンションI	A	56×12m
2	マンションII	A	38×8m
3	マンションIII	A	10×5m
4	マンションIV	A	20×9m
5	ドーム	A	33m直径
6	公園施設	A	27×27m
7	校舎	A	52×16m
8	戸建て住宅I	A	7×5m
9	戸建て住宅II	A	15×9m
10	戸建て住宅III	A	18×10m
11	戸建て住宅IV	A	12×18m
12	戸建て住宅V	A	18×6m
13	建物	A	18×23m
14	戸建て住宅VI	A	19×10m
15	戸建て住宅VII	A	19×9m
16	大通りI	B	幅23m
17	大通りII	B	幅20m
18	小道	B	幅8m
19	大学構内の森林	C	
20	建物間の緑	C	
21	駐車場脇の緑	C	幅16m
22	芝地	D	
23	畑地	D	
24	草地	D	
25	学校の校庭	E	
26	テニスコート	E	
27	コンクリートの駐車場	E	
28	砂利の駐車場	E	
29	公園の池	F	
30	水路	F	幅3m

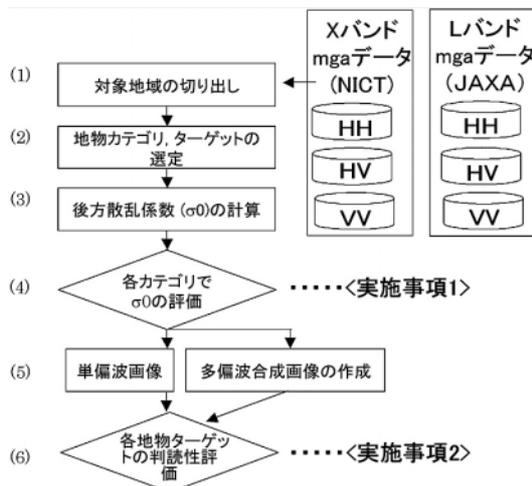


図2 解析手法

の大きさや散乱面とビームのなす角などによって散乱特性が異なると報告されている⁴⁾ことから、特に建物については15個と多くのターゲットを取得する。それ以外のカテゴリは、3つ程度のターゲットを選択する。

表2に抽出ターゲットの概要を、図3にその位置を示す。建物以外は対象地域全域から取得する。建物は、吾妻2丁目のマンション群、及び妻木付近の戸建て住宅群より選択する。またその大きさを光学写真よりおおまかに見積もる。

4.2 後方散乱係数の評価

本節ではカテゴリごとに後方散乱係数を定

量的に評価し、その特性の把握を試みる。解析の際はSAR特有のスペckルノイズの影響を軽減するために、Xバンド（解像度1.5m）は3×3ピクセルの、Lバンド（解像度3m）は2×2ピクセルの平均値を使用する。各カテゴリの散乱係数を図4に、各ターゲットの散乱係数を図5に示す。参考までにエラーバーでその標準偏差を示すが、本研究ではサンプル数が少ないことに注意する。なおLバンドは、ポラリメトリ校正を行っていないデータを使用したため、多少の誤差が含まれている可能性がある。

Xバンド、Lバンドともに、建物の散乱係数は非常に大きい。Xバンドでは次に森林、農

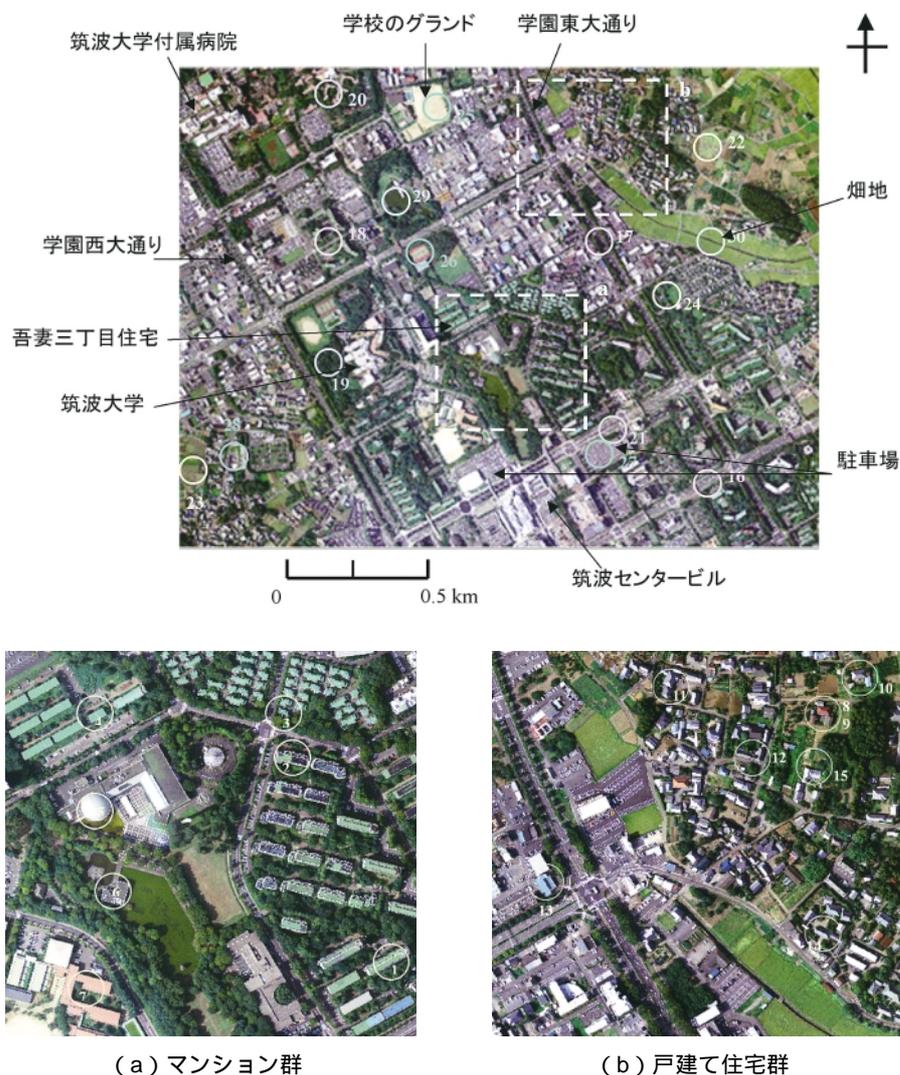


図3 抽出ターゲットの位置

地と続き、道路、裸地、水域は散乱が非常に弱い。一方で、Lバンドでは農地の散乱が非常に弱い。これは波長の長いLバンドでは農地は滑らかな面となり、鏡面反射成分が強くなることを意味している。

偏波特性は、どのカテゴリもHHとVVに比較して、HVが相対的に弱い。このように偏波特性が各カテゴリで似ていることは、多偏

波合成画像を利用してもその色の違いから各カテゴリに分類することは難しいことを意味している。

次に同一カテゴリ内で各ターゲットの散乱係数を比較すると、建物以外はカテゴリ内の各ターゲットの散乱係数特性が近い。また同一カテゴリでXバンドとLバンドの散乱係数を比較すると、道路、森林、裸地はよく一致している。

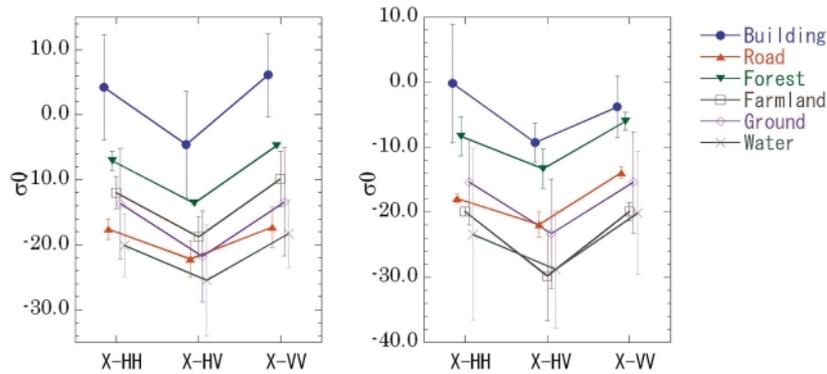


図4 各カテゴリの後方散乱係数

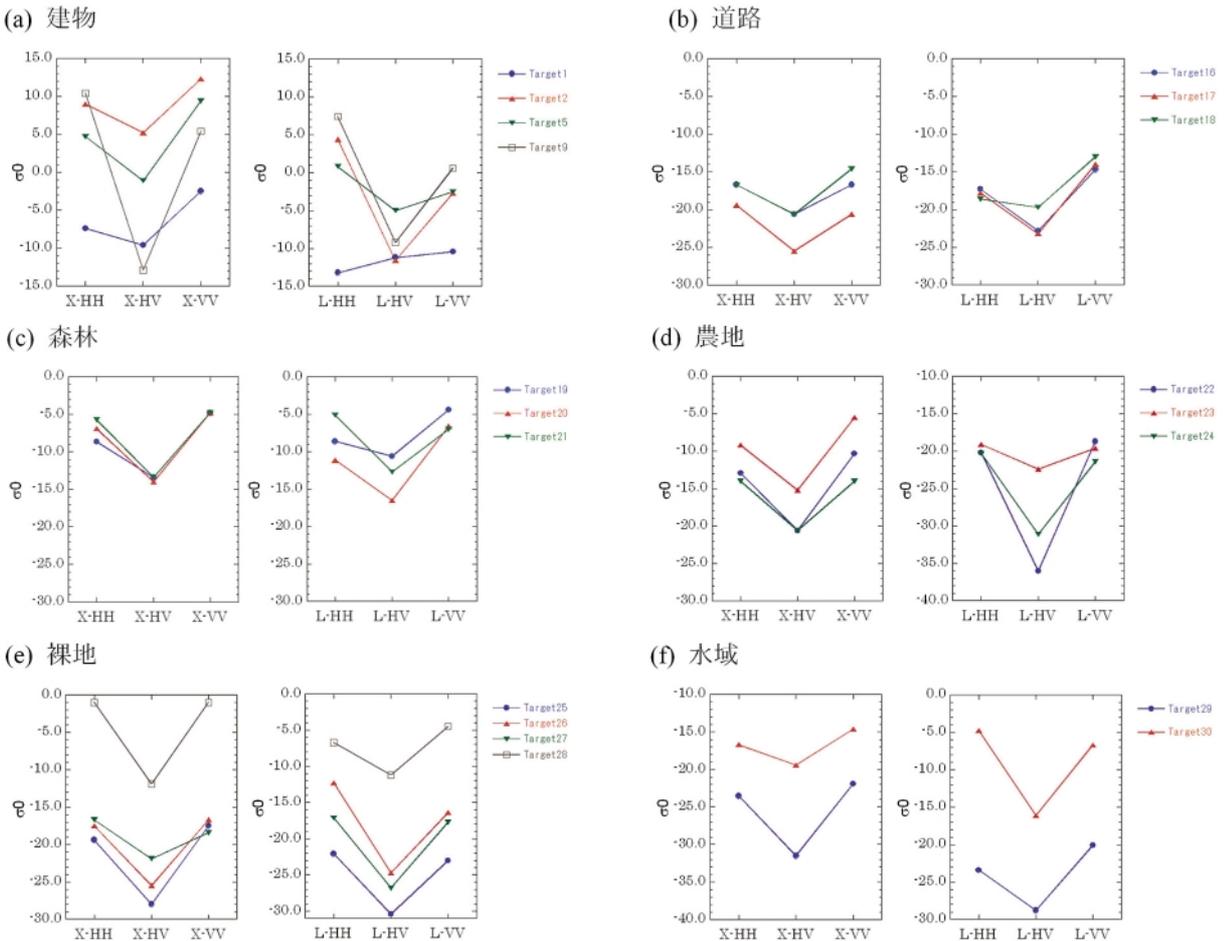


図5 各ターゲットの後方散乱係数

5. SAR画像による地物判読

5.1 単偏波画像、及び偏波合成画像の比較

図6に観測地域の単偏波画像、図7に偏波合成画像を示す。ピクセルサイズは、Xバンドが1.5m、Lバンドは3mである。Xバンド、

Lバンドともに住宅地は後方散乱係数が大きく、画像が明るい。一方で裸地や水域は暗くなっている。XバンドとLバンドの違いは農地で見られ、Xバンドの方がやや明るい。

各バンドにおいて単偏波画像同士を比較す



Xバンド、HH偏波



Lバンド、HH偏波



Xバンド、HV偏波



Lバンド、HV偏波



Xバンド、VV偏波



Lバンド、VV偏波

図6 対象地域の単偏波画像



Xバンド、HH：赤、HV：緑、VV：青



Lバンド、HH：赤、HV：緑、VV：青



Xバンド、HH-VV：赤、HV：緑、HH+VV：青



Lバンド、HH-VV：赤、HV：緑、HH+VV：青

図7 対象地域の偏波合成画像

ると、各偏波ともに明るさ、すなわち散乱係数の空間分布が非常に近い。しかし建物においては、HV偏波でHH偏波やVV偏波より明るい、あるいは暗い箇所が所々で見られる。このことは偏波合成画像1からもよく分かる。散乱係数が大きい建物の中でも緑色のもの（HV偏波が卓越）とピンク色のもの（HHが卓越）がある。特にHHが卓越しているものは、ビームの照射方向（画像の上から下）に対して、建物の角度が垂直なものが多い。これは建物の偏波特性は、建物の形状やビームの照射方向との関係で異なることを意味している。

5.2 多周波 / 多偏波SAR画像による地物判読

本節では各地物ターゲットが、単偏波、及

び偏波合成画像より判読できるかどうかを評価する。表3に判読結果を示す。後方散乱係数が大きい建物については、形状まで把握できるかどうかによって、とで区別する。一方で建物以外の地物は、形状は把握しやすいものを選んでいる。そこで、その地物が何かまで特定できるものは、周辺の土地の情報など併せて推定できるものはとする。なお表中の単偏波のHH、HV、VVなどは、表記の偏波でのみ判読が可能であることを意味する。

以下、カテゴリごとにまとめる。

建物

図8にエリアaとbのHH偏波と偏波合成画像1の拡大図を示す。Xバンド、Lバンドともに建物は明るく見える。しかし空間分解能の

違い(Xバンド:1.5m、Lバンド:3m)から、Lバンドの画像が粗く、妻木の建物の密集した地域では建物以外の領域でも明るくなっている箇所がある。単偏波画像の中ではHV偏波の画像の散乱係数は小さい場合もあり、HHやVVで判読できることもある。また単偏波画像と偏波合成画像を比較すると、全体的に偏波合成画像が、建物間の区切りや形状など把握しやすい。

次に個々の建物ターゲットの判読性をまとめる。HH偏波とVV偏波の画像は、濃淡など定性的に似ているが、1や4のようにHV偏波で明るい、あるいは反対に10や14のようにHV偏波のみ暗い場合がある。マンションでも3、4のように小さいものは、特にLバンドで境界が分かりにくい。また3は単偏波画像ではノイズと区別しにくい、偏波合成画像1では緑色になっており建物と推定することができる。5のドーム状の屋根はどの画像も非常に明るくなっており形状まではっきり分かるが、何であるかをSAR画像のみから特定することは難しい。6の施設も同様である。7の学校の校舎はXバンドでは森林と同じ程度の輝度で分かりにくい、Lバンドでは判読できる。

妻木の戸建て住宅地域では比較的大きいターゲットを中心に選んでいるが、形状まで把握できないものが多い。建物が密集した地域では複数の建物が一つの明るい点で表示されることがあり、判読には解像度の高い画像が有効であると言える。以降では判読しにくいものと判読できないものを具体的に挙げる。判読しにくいものとして、8、9のように建物が並んでいるものや、10のように建物のサイズより小さい高輝度点として画像上に表示されるものがある。一方で判読できないものには、建物が周囲の被覆と比較して顕著に明るく現れていないものが多い。具体例

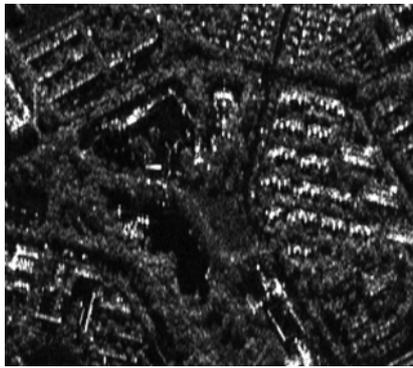
には11のようにマイクロ波の照射方向に長い建物や12のように周囲に森林があるものがある。また13のように駐車場が隣にある建物は、駐車場の車も明るいために駐車場の車も含めて実際より長い建物と見誤る可能性がある。同じ建物でも、Xバンド、あるいはLバンドのどちらかのみが明るいこともある。建物14はXバンドのみ、また15はLバンドのみが高輝度点として現れている。この場合は、多偏波データの取得により建物と推定することができる。このようにバンドの違いにより明るさが異なる要因の分析については、今後の課題とする。

道路

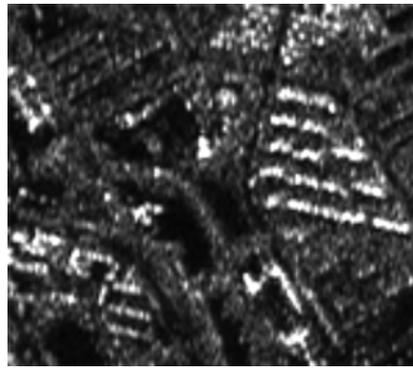
道路はXバンド、Lバンド、また偏波に関係なく後方散乱係数が小さい(ただし道路上の車は明るく見える)。ターゲット16、17のような大通りは、方位に関係なく識別できるが、18のような小道は解像度が高いXバンドでも少しぼやけて判読することが難しい。道路については、解像度と道路の幅の関係が重要で、偏波情報は判読の手助けとはならない。

森林

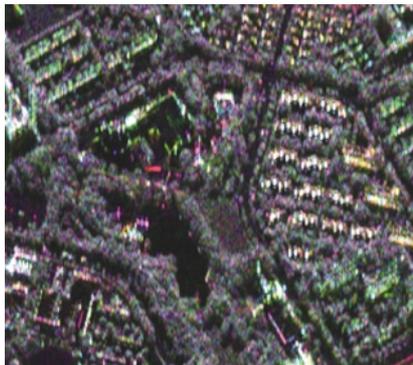
森林の散乱係数は建物よりは小さく、道路よりは大きい。そこで単偏波画像上では灰色となる。樹種にもよるが、対象地域のつくば市の場合は画像上でぼやけたノイズのように現れるため、ある程度の大きさがあれば、判読できる可能性がある。HH、HV、VVの各単偏波画像では同じように現れることから、多偏波合成画像を用いることのメリットはそれほど大きくない。またターゲットによっては建物や農地と区別できないが、周辺の建物や道路の情報を併せることにより区別することも可能である。ターゲット19のような広域の森林は判読できるが、20のように住宅地の中にある森林は建物と混じりあい判読が難しい。21のように道路脇にある森林も草地と推



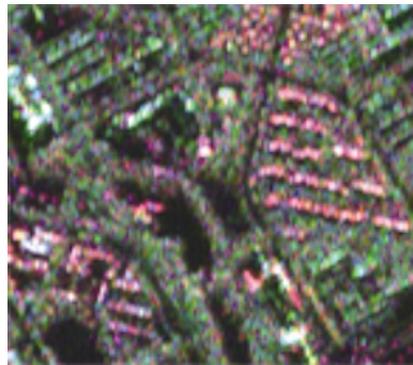
Xバンド、HH偏波



Lバンド、HH偏波



Xバンド、HH：赤、HV：緑、VV：青

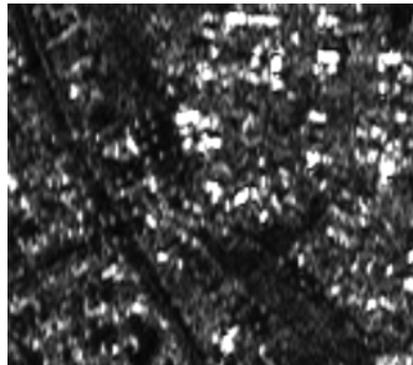


Lバンド、HH：赤、HV：緑、VV：青

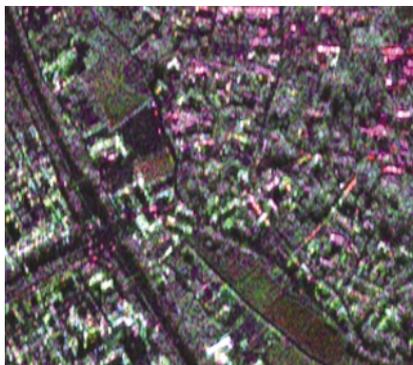
(a) マンション群



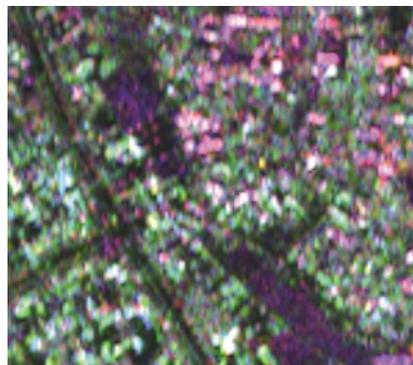
Xバンド、HH偏波



Lバンド、HH偏波



Xバンド、HH：赤、HV：緑、VV：青



Lバンド、HH：赤、HV：緑、VV：青

(b) 戸建て住宅群

図8 エリアa、bにおける各バンドのHH単偏波、及び偏波合成画像1

定することもできる。Xバンドでは建物よりも暗く、Lバンドでは農地よりも明るいので、これらを併用することにより、森林と推定することができる可能性もある。

農地

Xバンドでは、農地は森林と同じ程度の散乱係数であるが、Lバンドは散乱係数が小さい(しかしブラッグ散乱により、一部は大きい散乱係数を示す)。このためXバンドが判読に適している。農地は森林と比較してノイズ

が小さいが、区別するには周辺の土地被覆の情報や形状がかぎとなる。22の芝地や23の畑地は、整然と区画化されており、森林ではなく農地と推定することができる。一方で24のような森林の中にある小さな草地は周囲と散乱特性が異なるが、草地と推定することは難しい。偏波合成画像は、様々な色が斑点状に細かく混じったように現れている。このため多偏波画像が単偏波よりも判読に適していると言える。

表3 各地物ターゲットの判読結果

No	名称	カテゴリ	判読結果					
			X単偏波	X多1	X多2	L単偏波	L多1	L多2
1	マンションI	A	HV			HV		x
2	マンションII	A				HH/VV		
3	マンションIII	A				HH		
4	マンションIV	A	HV			HV		
5	ドーム	A						
6	公園施設	A				HH		
7	校舎	A	x	x		HH/VV		
8	戸建て住宅I	A						
9	戸建て住宅II	A						
10	戸建て住宅III	A	HH/VV			x	x	x
11	戸建て住宅IV	A	x	x	x	x	x	x
12	戸建て住宅V	A	x	x	x	x	x	x
13	建物	A				HV		
14	戸建て住宅VI	A	HH/VV			x	x	x
15	戸建て住宅VII	A	x	x		HH/VV		
16	大通りI	B						
17	大通りII	B						
18	小道	B	x	x	x	x	x	x
19	大学構内の森林	C						
20	建物間の緑	C	x	x	x	x	x	x
21	駐車場脇の緑	C	x	x	x	x	x	x
22	芝地	D	x			x	x	x
23	畑地	D	x			x	x	x
24	草地	D	x	x	x	x	x	x
25	学校の校庭	E						
26	テニスコート	E						
27	コンクリート駐車場	E						
28	砂利駐車場	E	x	x	x	x	x	x
29	公園の池	F	x	x	x	x	x	x
30	水路	F	x	x	x	x	x	x

：判読可能、：形状の判読は難しい(建物)、周辺の状況などから判読可能(建物以外) x：判読不可能を意味する。単偏波のHH、HV、VVなどは、表記の偏波でのみ判読が可能であることを意味する。

裸地

公園、学校の校庭などの裸地は、Xバンド、Lバンドともに散乱係数が極めて小さい。偏波合成画像を作成しても、黒っぽい色となるので、比較的簡単に推定することができる。25のような広大な学校のグラウンド、26のようなテニスコートともに、これらのカテゴリであると分かる。ただし26では、テニスコートとまで特定することは難しい。一方で27のような駐車場は、画像上に極めて大きい散乱係数点がいくつかあり、駐車場とまで特定することができる。しかし28の砂利の駐車場は散乱係数が大きく、農地や森林と区別することができない。

水域

水域は極めて散乱係数が小さく、画像のみでは裸地と識別することが難しい。29のような池では、公園と判断することもできる。30のような農地の中にある水路も農道とも考えられる。大きな河川などは容易に判読することができると考えられるが、都市の中にある水域の判読は難しいと言える。

6. まとめ

航空機搭載型Pi-SARの多周波/多偏波データを用いて、6つの代表的な地物カテゴリの後方散乱係数を評価するとともに、30個の地物ターゲットの判読性を評価した。その結果、得られた知見を下記に示す。

- 1) 各地物カテゴリの後方散乱係数の評価により、建物の後方散乱係数が大きく、道路や裸地は小さい。
- 2) 後方散乱係数の偏波特性は、建物は方位、形状などにより異なるが、その他のカテゴリでは、HVが相対的に小さく、偏波合成画像は土地被覆の把握にそれほど有効ではない。

- 3) 建物の後方散乱係数は大きいですが、その方位などにより、HH、HV、VVの単偏波画像のどれかが弱い場合があります、多偏波画像により判読できる場合もある。
- 4) 建物が密集した地域では、個々の建物がノイズの影響で区別できないことが多く、高解像度の画像を取得する必要性が高い。
- 5) 建物以外の建物では、幅の広い道路、裸地の判読は可能である。一方で、森林や農地などでは、周囲の土地被覆などを併せて考えることによって、判読できることもある。

なお今回はつくば市の画像を用いたケーススタディであり、その他の地域での検討も必要である。また本研究は、多周波/多偏波というセンサのスペックにのみ着目した研究である。今後の課題として、入射角、撮影方向、撮影時期などの撮影条件の判読性に与える影響の評価やフィルタリングによるSAR画像のノイズ除去の効果などを評価することがあげられる。

(発表日2006年7月7日)

参考文献

- 1) T. Kobayashi et al. : Airborne dual-frequency polarimetric and interferometric SAR、IEICE Trans. Commun., E83-B、9、pp. 1945-1954、2000.
- 2) <http://www2.nict.go.jp/dk/c215/index.html>
http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/Pi-SAR/cal_valt.html
- 3) S. Cloude and E. Pottier : A review of target decomposition theorems in radar polarimetry、IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 34、2、pp. 498-518、1996.

- 4) Z. Xia and F. Henderson : Understanding the relationships between radar response patterns and the bio- and geophysical parameters of urban areas、IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.、 35、 1、 93-100、 1997.

発表者紹介

野中 崇志 (のなか たかし)

所属：株式会社パスコ

E-mail: takashi_nonaka@pasco.co.jp