

## レーダ・リモートセンシングを用いた森林の植生構造把握の試み

立入 郁\*・後藤恵之輔\*\*

Perception Attempt of the Forest Vegetation Structure using  
Radar Remote Sensing

by

Kaoru TACHIIRI\* and Keinosuke GOTOH\*\*

Recently, the radar remote sensing with active microwave sensor is less popular than optical sensors, while it was widely noticed some decades ago. In this study, the possibility of perceiving forest vegetation structure was investigated by using permeability of microwaves. A case study in the Mt. Kompira, Nagasaki City with JERS-1/SAR imagery, revealed that simple analysis finds few useful information of the forest vegetation structure in the study area. The persevering analysis, including the carpet bombing of image processing procedures and choosing the more applicable study area, should be tested in the future for completing the study object.

## はじめに

衛星リモートセンシングによる環境モニタリングは、現在ほとんどの事例が、光学センサによるものである。しかし、過去においてはマイクロ波を能動的に射出し、その散乱波をキャッチするレーダ・リモートセンシング（以下、レーダとする）がその期待を集めたことがあった。

レーダの利点としては、①全天候性、②昼夜観測、③センサパラメータ選択の自在性、④地形の強調効果、⑤砂層・植生への透過性、⑥多重パラメータデータによる総合解析、⑦ポラリメトリーによる高度抽出、⑧干渉解析（インタフェロメトリー）による高さ情報抽出が挙げられる（（財）資源観測解析センター、1992）。これらのうち、②は熱赤外リモートセンシング、⑥は光学センサなどにも共通の特長であり、①、③～⑤、⑦、⑧がレーダに特有の利点と言うことになる。

しかし、こうした多くの利点に関わらず、レーダがあまり普及していない原因として、直感的に理解しづらいことと、データ処理が煩雑なことが挙げられる。

可視あるいは近赤外域のデータは、人間の目に映る風景に非常に近い形でデータを見ることができのに対し、後方散乱を観測するレーダ・リモートセンシングは、人間が普段目にする風景とは異なる種類の画像を処理することになる。このことが、特に応用に重きを置く研究者の間に、レーダがさほど普及していないことの、大きな原因であると考えられる。

ただし、この特徴は、そのままレーダ独自の有用性につながるものでもある。①～⑧に挙げられた特長の中で、環境モニタリングの立場から考えたとき、最も興味深いものは、①と⑤である。

①は光学センサの最大の弱点である、雲による観測能力の低下が、レーダの場合には克服されることを示す。この特徴は、MAGELLANプロジェクトによる、厚い雲に覆われた金星の地表面に関する観測（JPL, 2003）などでも生かされた。

一方⑤に関しては、植生を無視して地表の高度を求めたい場合や、地表すら透過させ、地下を探索する場合がある。前者の代表的な例が、地表に何らかの障害

---

平成15年4月18日受理

\* 社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

\*\*大学院生産科学研究科 (Graduate School of Science and Technology)

物（植生など）がある場合の地形図作成（Hooper *et al.*, 2003, Kervyn, 2001 など）であり、後者の著名な例として、スーダンの砂漠地帯において、砂中の地形を鮮やかに再現した例（Nicholas and Short, 2003）がある。

それでは、高木層の樹冠と地表との間に存在する、森林の低木層や草本層に関する情報を、レーダを用いて把握することは可能であろうか。本研究では、長崎市の金毘羅山を事例対象地として、その可能性を探るものである。

## 1. レーダの原理と透過性

### 1-1. レーダの原理

レーダ (radar) は元来、radio detection and ranging の頭文字から付けられた、電波による目標検出と距離測定をさす言葉であるが、今日、リモートセンシングの世界では、能動的に電磁波を対象に送り、その後方散乱を検知することによって対象の情報を得ようというシステムを指す。このような観測の際に用いるセンサを Active Sensor と呼び、地表面が太陽光に対して反射・放射した結果を受動的に観測する Passive Sensor と区別する。

Active Sensor が観測対象とするのは、通常、マイクロ波と言われる、波長 1mm 程度から 1m 程度の電磁波であり、これらはさらに、表 1 に示されるように細分される。このうち商用衛星でよく用いられているものは、Lバンド、Cバンド、Xバンドである。

また、横波である電波の振動面が、地面に垂直なものを垂直偏波、水平なものを水平偏波、回転するものを円偏波という。画像用レーダ電波には直線偏波（垂直偏波と水平偏波の総称）が多く用いられ、送信と受信の偏波面の向きを H（水平）、V（垂直）の記号を用いて、HH、VV、HV、VH と呼ぶことがある。送信と受信が同じ向きのシステムを平行偏波、直行しているものを垂直偏波という。

表 1 マイクロ波の波長帯

バンド名	周波数	波長
P	230-1,000MHz	1.3m-30cm
L	1,000-2,000MHz	30-15cm
S	2,000-4,000MHz	15-7.5cm
C	4,000-8,000MHz	7.5-3.75cm
X	8,000-12,500MHz	3.75-2.4cm
Ku	12.5-18GHz	2.4-1.67cm
K	18-26.5GHz	1.67-1.13cm
Ka	26.5-40GHz	1.13-0.75cm
ミリ波	>40GHz	<0.75cm

一般に自然の目標に対しては、直交成分は HH, VV に対して一般に 10 ~ 20dB 小さい。送受信の偏波面による検知強度の違いを利用して、HH, HV, VV の観測データから目標の判別を行う新しい Polarimetric SAR と呼ばれる技術も近年よく使われるようになっている（財資源観測解析センター, 1992）。

合成開口レーダ (SAR) は、電磁波を地表面に対して斜めに照射し、地表面で散乱されレーダ自身の方向に戻ってくる電磁波（後方散乱波）を受信する（財資源観測解析センター, 1992）システムの一つであり、小さいレーダが移動する時に得られるデータを位相補正して合成することで、大きなレーダによる観測と同等のデータを得るものである。地表面が粗いと、電磁波は四方八方に散乱され、後方散乱成分が発生するが、面が滑らかであれば、鏡面反射する成分が大勢を占め、センサで検知できる部分が小さくなる。また、植物のように、大きさが波長と同程度の物体の集まりも、後方散乱を生ずる。

### 1-2. 植生に対する透過性

森林の低木層・草本層に関する情報を得ようとする場合、電磁波に高木層の樹冠を透過させる必要がある。先に挙げた、よく使われるバンドの中で、XバンドやCバンドにおける後方散乱は、主に樹冠で起こると言う。これに対して、Lバンドについては（財資源観測解析センター（1992）による、ヤマナラシ、アキニレ、シラカシなどを対象とした観測により、①自然の樹木によるLバンドのマイクロ波の減衰は、片道およそ5~10dBである、②減衰は主に太い枝や幹が強く影響し、小枝や葉はほとんど減衰に寄与しない、③枝の方向性により、垂直偏波と水平偏波との間の減衰幅に差が出ることがある、④樹林当たりの平均減衰量は、立木密度、単位面積当たりの胸高面積の和などと正の相関を持つ、⑤樹種による特徴的な差異は見られない、などの重要な成果が得られている。すなわち、よく茂った自然林では、樹林下の地面からの寄与はほとんどないが、疎林やかん木では、地面の寄与が少なくない。

## 金毘羅山における試み

### 1. 現地の様子

次に、具体的に対象地及びレーダ画像を定め、その比較を行った。それと平行して2003年4月10日に、長崎市内の金毘羅山（図1）の予察を行った。山一帯は山頂付近が草原状になっている（写真1）ほかは、アラカシの萌芽林（写真2）となっており、薪炭林として利用されていたころの林床管理の名残で、林床は

2. レーダ画像

日本が1992年に打ち上げた観測衛星 JERS-1 (ふよう1号) は、高度568km、回帰日数44日の地球観測衛星であり、1998年まで稼動した (RESTEC, 2003)。これに搭載された合成開口レーダ (SAR) は空間解像度18mのLバンドのHHデータである。

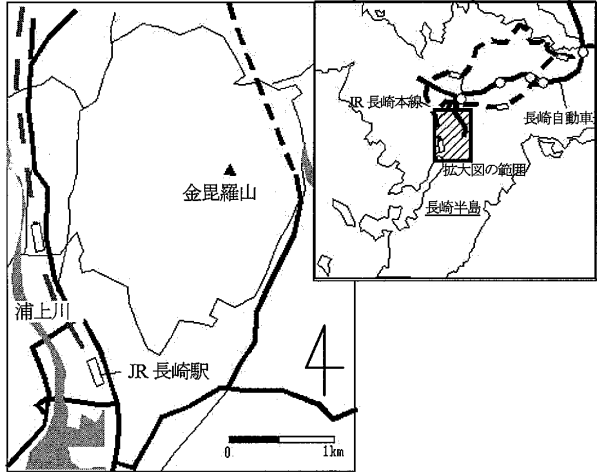


図1 対象地域

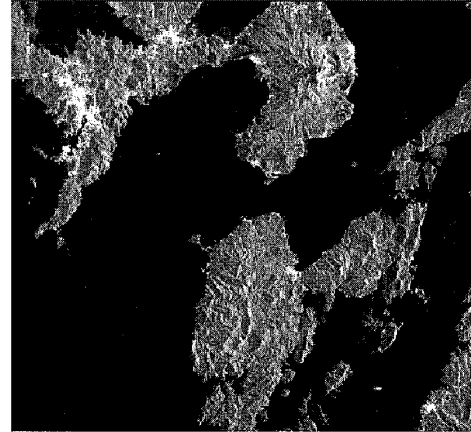


図2 1992年9月17日のJERS/SAR画像

比較的開けている。ただし、適度の人為的攪乱により、種数は少ない。

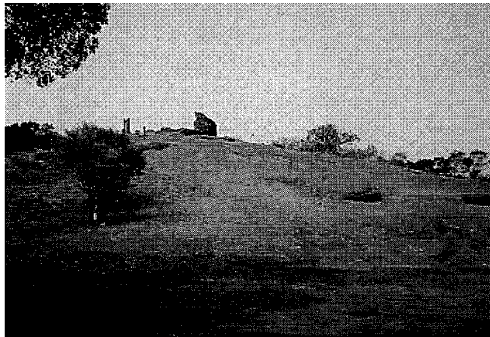


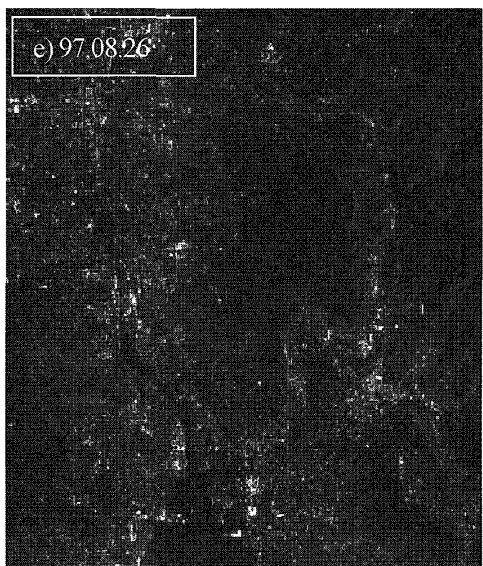
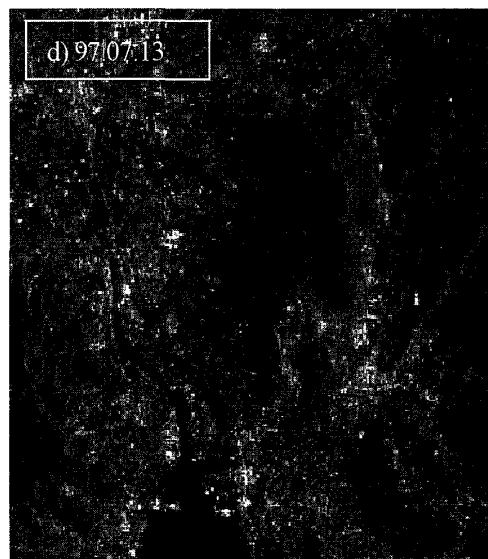
写真1 金毘羅山山頂付近の草原状景観



写真2 金毘羅山における典型的植生景観



図3 対象地付近のJERS/SAR画像 (92.9.17)



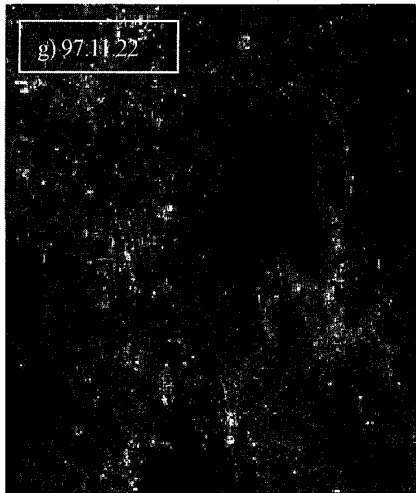


図4 対象地付近の JERS / SAR 画像 (前頁から)

ここでは、この JERS / SAR の画像を、1992年9月7日、1997年1月18日、同3月3日、5月30日、7月13日、8月26日、10月9日、11月22日の観測日について計8枚入手し、解析対象とした。購入価格は一枚あたり2,500円であり、光学センサと比較してかなり安価である。

図2に、長崎市周辺を含む1シーン分を、1992年9月17日のデータについて示す。なお、このデータはレンジ圧縮、アジマス圧縮を行ったデータに、地図投影を考慮したリサンプリングを行ったものである。ここでレンジ圧縮とは1パルス内の送信信号を線形周波数変調させ、距離分解能を上げる手法であり、アジマス圧縮は、センサと目標物の相対距離が変化することに起因するドプラー効果による線形変調を利用し、方位(アジマス方向)分解能を上げる手法である。図2より、海の後方散乱が小さく、市街地の一部で高いことがわかる。

図2と同じ画像を、対象地付近について拡大したものを図3に示す。

また、対象地の1997年の画像7枚を図4a)~g)に示す。図3は、見やすいように色を変換してあるのに対し、図4では相互比較のため、そのような操作を行わず、そのまま出力したものである。各画像とも全体的に黒い部分が卓越しているが、特に金毘羅山周辺の森林帯では色が深く、後方散乱が小さいことがわかる。対象地域が常緑樹林帯であることを考慮しても、季節差が小さく思えるのは、前述のような、森林の後方散乱が主に幹や大きな枝によるとされることが原因だと考えられる。

#### 今後の解析の方向性

図4に見られるように、一枚一枚の SAR 画像をそのまま見ただけでは、植生構造の把握につながる特徴的な情報は見出せなかった。特徴が見出しにくい原因の一つとして、JERS / SAR 画像には、バンドが1つしかなく(Lバンドのみ)、光学センサにおける植生指数のような、バンド間演算による指標の使用ができないことが挙げられる。ただし、Lバンドでは、散乱の主要因は葉ではなく、幹や大きな枝であったため、季節の違いによる光合成量の違いなどは、レーダでは観測することが困難だと考えられる。

一方、空間周波数解析やエッジ強調など、さまざまな空間情報学的方法による試みのほか、光学センサと合わせた解析なども期待が持てる。

また、薪炭林として管理されていた当時の、下草管理の影響か、対象地は低木層・草本層があまり発達していないため、テストサイトの見直しも検討中である。また、低木層・草本層の空間変化が大きいテストサイトを見出し、解析をすることも考慮している。

#### おわりに

本研究では、光学センサに比べて、環境モニタリング分野での応用が少ない、レーダを用いた、立体構造を持つ植生の環境モニタリングの可能性を議論した。その結果、本研究の対象地では、林床の植物は多様であるが、バイオマスとしてはそう大きくないこともあり、そのままでは評価が難しいと考えられた。

今後、さまざまな解析手法を試すとともに、さらに適したテストサイトの選定を考慮し、森林の低木層・草本層のモニタリングの可能性を探りたい。

#### 謝辞

本研究は、(財)日本証券奨学財団による助成研究「レーダを用いた森林の低木層・草本層モニタリングとその環境アセスメントへの適用」による成果の一部である。

#### 参考文献

- Hooper, D. M., Bursik, M. I. and Webb, F. H. (2003) : Application of high-resolution, interferometric DEMs to geomorphic studies of fault scarps, Fish Lake Valley, Nevada-California, USA, Remote Sensing of Environment, 84 (2), 255-267
- JPL (2003) : Magellan Mission to Venus, <http://www.jpl.nasa.gov/magellan/>
- Kervyn, F. (2001) : Modelling topography with SAR interferometry: illustrations of a favourable and less

favourable environment, *Computers & Geosciences*, 27 (9), 1039-1050

Nicholas M. and Short, Sr. (2003) : Radar and microwave remote sensing, [http://www.sbg.ac.at/geo/idrisi/remote\\_sensing\\_tutorial/rst.gsfc.nasa.gov/sect8/sect8\\_7.html](http://www.sbg.ac.at/geo/idrisi/remote_sensing_tutorial/rst.gsfc.nasa.gov/sect8/sect8_7.html)

RESTEC (2003) : 地球観測衛星とセンサの概要—

JERS - 1 地球資源衛星 1 号 (ふよう 1 号) ,

<http://www.restec.or.jp/jpn/data/data-5.html>

(財)資源観測解析センター (1992) : 資源探査のためのリモートセンシング実用シリーズ⑤, 合成開口レーダ (SAR) , 369p.