

流域地表面における衛星搭載合成開口レーダデータの特性について

Characteristics of Synthetic Aperture Radar Data for Various Land Cover in a Watershed

立川康人*・栖原聖二**・椎葉充晴***・高埴琢馬****・宝 馨*****

By Yasuto TACHIKAWA, Seiji SUHARA, Michiharu SHIIBA, Takuma TAKASAO, and Kaoru TAKARA

This paper reports characteristics of synthetic aperture radar (SAR) imageries obtained by two new satellites: the European Remote Sensing Satellite (ERS-1) and the Japanese Earth Resources Satellite (JERS-1). The authors compare the SAR imageries in terms of distributions of the CCT values and the backscattering coefficients for several kinds of land cover in a watershed near Nagoya, Japan. The results of comparison show: (1) In a water area, the mean backscattering coefficient is about -15(dB) with the use of the ERS-1 SAR data and JERS-1 also. The value is smaller than the backscattering coefficients in areas except the water area; (2) The backscattering coefficients in areas except the water area by the ERS-1 SAR data are larger than the ones by the JERS-1 SAR data; (3) To delineate a water area, it is better to use the ERS-1 SAR data than the JERS-1 SAR data; and (4) To identify boundaries clearly between various land covers except a water area is difficult by the use of ERS-1 SAR data and JERS-1 also.

Key Words: Remote sensing, SAR, JERS-1, ERS-1, Backscattering coefficient.

1. はじめに

合成開口レーダ (SAR) を搭載した新たな地球観測衛星 ERS-1(European Remote Sensing Satellite) が1991年7月に欧州宇宙機構 (ESA) から打ち上げられ、次いで JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite) が1992年2月に宇宙開発事業団 (NASDA) から打ち上げられた。合成開口レーダとはマイクロ波を地球上に照射し、地表面で散乱してレーダの方向に戻ってくる電波を受信することにより、地表面の特性を観測する能動型センサであり、後方散乱係数 σ^0 (レーダの電波が地表面で入射方向に散乱する度合を表す量) の空間的分布情報を高分解能でかつ天候・昼夜に左右されずに得ることができる。

SAR 画像は、1) 画像の濃淡から地表面の情報を得る、2) σ^0 の値から物理量を定量的に推定するという2通りの利用のしかたがある。2) の利用法として、淵上ら^{1),2)}、福本ら³⁾はマイクロ波センサによって土壤水分量を定量的に評価するための研究を進めており、また小池ら⁴⁾、近藤ら⁵⁾は積雪量に着目した研究を行なっている。この種の研究は水の存在・量によって σ^0 の値が異なることに着目した研究であり、物理量を測定するという点で非常に重要であるとともに、SAR 画像の解釈にも有用な知見を与えてくれるものと期待できる。

一方、SAR 画像の濃淡すなわち地表面ごとの散乱特性から地表面の情報を得ることができれば、可視・近赤外センサではデータを得られない状況 (曇天時や夜間) においても、地被・地形・河道網など流出モデルを構築していくために必要な情報を得ることができ、また、洪水等の災害の発生を監視する上でもその情報を有効に利用することができる。

そこで、本研究では、1) の利用法において、SAR 画像の濃淡からどのような地表面情報を得ることができるかを明らかにするために、地表面の被覆ごとに ERS-1 および JERS-1 の SAR データがどのような特性を持っているのかを調査した。

* 正会員	工修	京都大学助手	工学部土木工学教室	(〒606 京都市左京区吉田本町)
** 学生会員		京都大学大学院学生	工学研究科修士課程	(同上)
*** 正会員	工博	京都大学助教授	工学部土木工学教室	(同上)
**** 正会員	工博	京都大学教授	工学部土木工学教室	(同上)
***** 正会員	工博	岐阜大学助教授	工学部土木工学科	(〒501-11 岐阜市柳戸1-1)

表-1 本研究で使した SAR データ

衛星	パス/ロウ	データ取得日
JERS-1(SAR)	68/241	1992.10.19
ERS-1(AMI)	69/242	1992.12.03
ERS-1(AMI)	69/242	1993.03.18

表-2 衛星搭載 SAR の特性

特性	ERS-1(AMI)	JERS-1(SAR)
Off-nadia 角	23°	35°
波長	5.7cm (C-band)	23.5cm (L-band)
地上分解能	30m (3 Look)	18m (3 Look)

表-3 後方散乱係数への変換係数 ^{7),8)}

衛星	CF (dB)	データ取得日	データ処理日
ERS-1(AMI)	-65.3	指定なし	指定なし
JERS-1(SAR)	-68.5	1992 年 4 月 30 日以前, 1992 年 9 月 1 日, 1992 年 9 月 18 日以降	1993 年 2 月 15 日以降
同上	-70.0	1992 年 4 月 30 日以前, 1992 年 9 月 1 日, 1992 年 9 月 18 日以降	1993 年 2 月 14 日以前
同上	-66.42	1992 年 9 月 1 日を除く 1992 年 5 月 1 日から 1992 年 9 月 17 日	1993 年 2 月 15 日以降

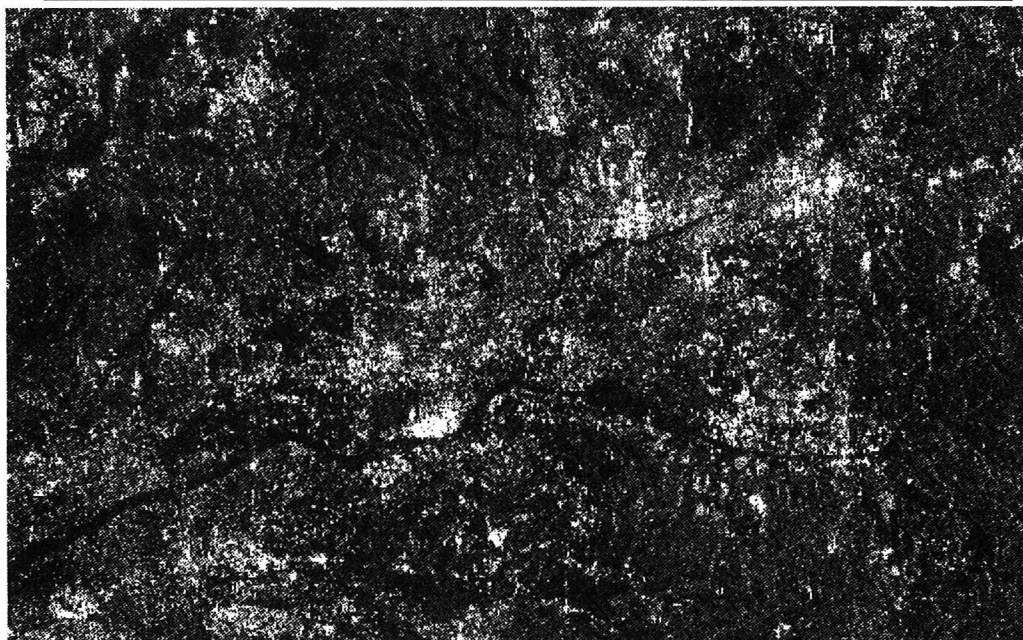


図-1 JERS-1 SAR 画像 (愛知県瀬戸市周辺)

2. 使したデータと調査手法

本研究で使した SAR データはいずれも名古屋市周辺を取得したデータである。そのシーン情報および SAR の特性を表-1, 表-2 に示す。図-1 は JERS-1 による SAR 画像である。画像を見ると、河川や池、ゴルフ場、道路などは後方散乱が少ないので周りよりも暗く写っており、比較的よく識別できる。しかし、水田、裸地、果樹園、市街地などは、土地被覆ごとにある程度特徴を持っているものの、その境界を明瞭に判断することは難しい。

そこで SPOT 衛星のパンクロ画像 (1991 年 3 月 19 日撮影, 地上分解能 10m) およびスキャナで読み取った 2 万 5 千分の 1 の地形図の画像を SAR 画像に重ね合わせて位置を知る目安とし、1992 年 10 月に撮影したカラー空中写真⁹⁾をグランドトゥールースとして、土地被覆ごとに、まとまった面積を持つ領域を抜き出して、そこでの CCT 値と後方散乱係数 σ^0 の分布を調べた。抜き出した領域は、各画像とも水田 19 ケ所、池 5 ケ所、果樹園 1 ケ所、裸地 3 ケ所、森林域 5 ケ所、都市域 9 ケ所であり、3 つの SAR 画像の同じ位置から抜き出した。なお、CCT 値から後方散乱係数への変換は、NASDA から報告されている以下の式 ^{7),8)}

$$\sigma^0 [\text{dB}] = 20 \log_{10} I + CF$$

を用いた。ここで、 I は CCT 値であり、 CF は表-3 に示す変換係数である。

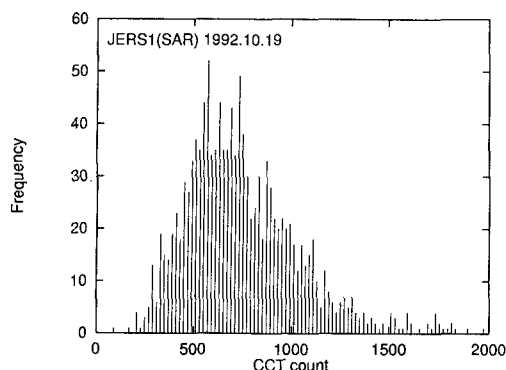


図-2 裸地における CCT 値のヒストグラム

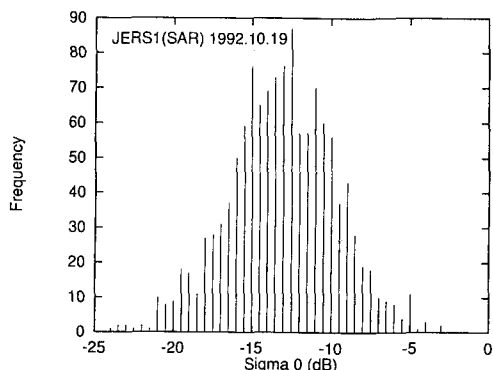


図-3 裸地における後方散乱係数のヒストグラム

3. 流域地表面における SAR データの特性

図-2、図-3 はそれぞれ JERS-1 SAR データの裸地域での CCT 値と σ^0 のヒストグラムである。CCT 値は右に尾を引くような分布をしており、 σ^0 はほぼ対称に分布する。他のすべての領域においても同様の分布を示した。以下では、土地被覆ごとの全体的な特性を把握するために、各領域での CCT 値と σ^0 の平均値および標準偏差を比較した結果を述べる。

3.1 土地被覆別の SAR データの特性

図-4、図-5、図-6 に各 SAR データの平均値と標準偏差をプロットした結果を示す。これらの図から以下のことがわかる。

1. CCT 値について

JERS-1 平均値・標準偏差ともに、池・水田・草地・森林・市街地の順に大きくなり、河川の水面でのそれらの値は池と水田の間に分布する。裸地・水田・河道水面の区別はつかない。

ERS-1 平均値・標準偏差ともに、河川水面・池・森林・草地・水田・市街地の順に大きくなる。水域(河川水面・池)の平均値はそれ以外の被覆の平均値よりも小さく、他の被覆との区別がつく。河川水面の平均値は、12月と3月のデータに変化が見られる。

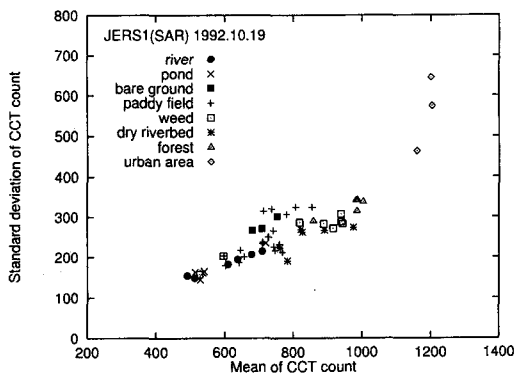
2. σ^0 について

JERS-1 市街地を除いた領域の平均値・標準偏差は、ERS-1 よりも狭い範囲内に分布する。

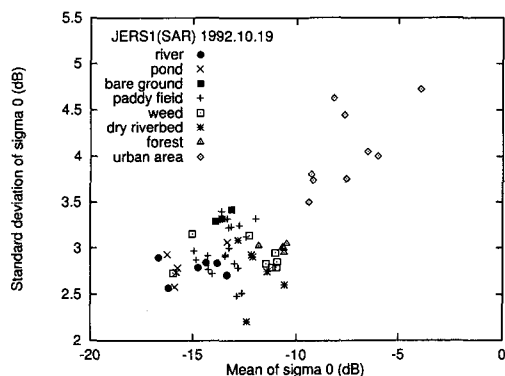
ERS-1 水域(河川水面・池)の平均値はそれ以外の被覆の平均値よりも小さく、他の被覆との区別がつく。水域での標準偏差は他の被覆と同程度である。

JERS-1 と ERS-1 では、地上に照射する電波の波長・入射角が異なるために(表-2 参照)、全く同じ領域を捕らえていても後方散乱係数の分布の様子は異なることがわかる。

水域では、L-band SAR (JERS-1)、C-band SAR (ERS-1) とも、水面が滑らかであるために水面での電波の散乱は鏡面反射が卓越し、他の領域での散乱よりも小さな値をとり、両方とも -15(dB) 前後となっている。ところが、水域以外の領域では、ERS-1 の後方散乱は、JERS-1 の後方散乱よりも大きく、表面の粗さなどに ERS-1 の方が敏感に反応していることがわかる。その結果、水面など滑らかな領域を抽出するためには ERS-1 の方が JERS-1 よりも優れていると言える。また、森林域は、JERS-1 では市街地に次いでに大きな後方散乱を示すが、ERS-1 での後方散乱は水域と水田の間に分布する。L-band SAR (JERS-1) は森林をある程度透過するために、その下からの散乱も後方散乱係数に影響するが、C-band SAR (ERS-1) は L-band ほど樹木を透過しないと言われている。したがって、同じ被覆の領域を見ても全く異なったメカニズムの散乱の結果を観測していることになり、その結果がここでも現れていると考えられる。

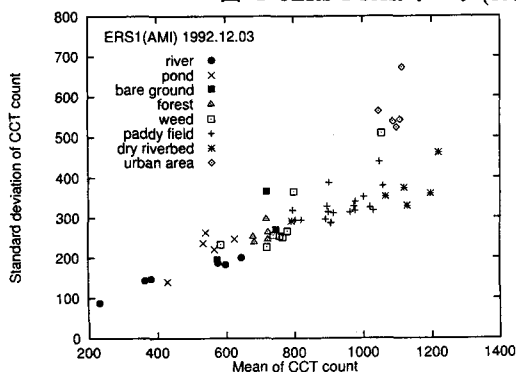


(a) CCT count

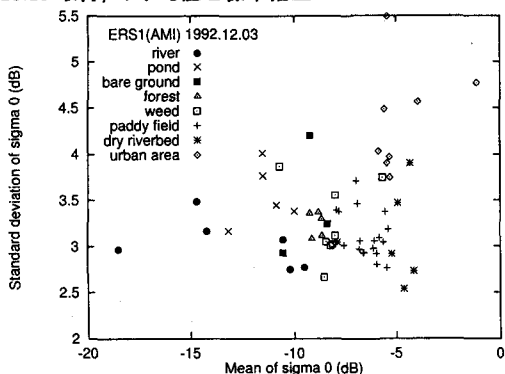


(b) σ^0

図-4 JERS-1 SAR データ (1992.10.19 取得) の平均値と標準偏差

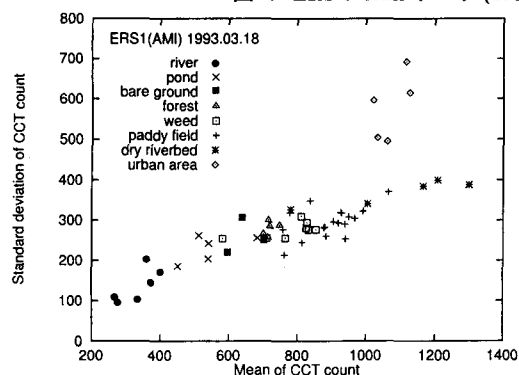


(a) CCT count

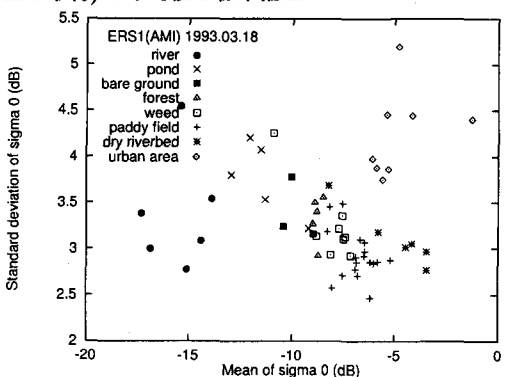


(b) σ^0

図-5 ERS-1 SAR データ (1992.12.3 取得) の平均値と標準偏差



(a) CCT count

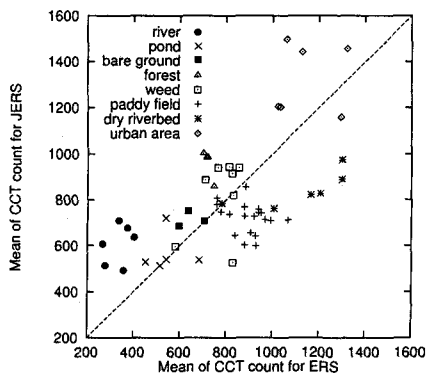


(b) σ^0

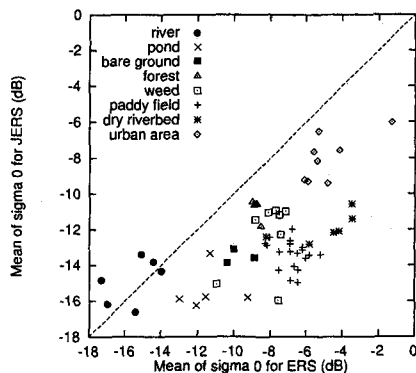
図-6 ERS-1 SAR データ (1993.3.18 取得) の平均値と標準偏差

3.2 ERS-1 と JERS-1 SAR データの特性の比較

図-7、図-8 は CCT 値と σ^0 について、JERS-1 と ERS-1 の SAR データの平均値と標準偏差を図示したものであり、各図とも JERS-1 の値を縦軸に、ERS-1 の値を横軸にとっている。 σ^0 について見ると、同じ土地被覆であっても、その平均値は ERS-1 の方が JERS-1 よりもばらつき、一領域内部での標準偏差も ERS-1 の方が大きいことがわかる。ERS-1 は、同じ土地被覆であっても地表面の粗さなど何らかの影響を感知しやすいと言える。

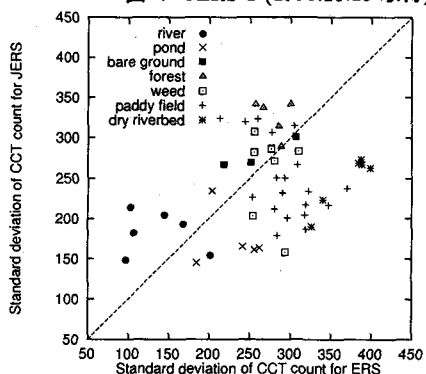


(a) CCT count

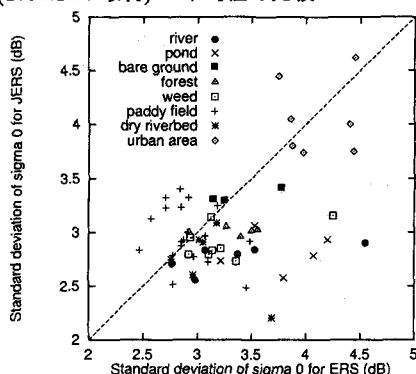


(b) σ^0

図-7 JERS-1 (1992.10.19 取得) と ERS-1 (1992.12.3 取得) の平均値の比較

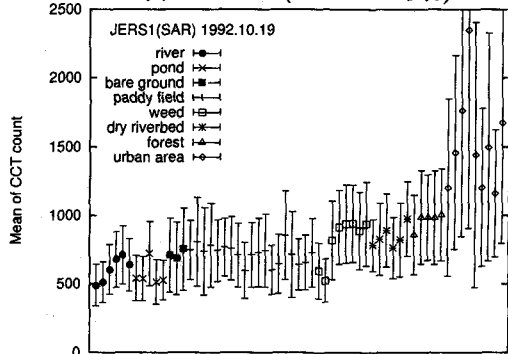


(a) CCT count

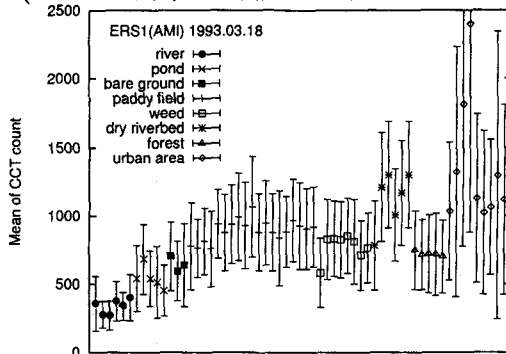


(b) σ^0

図-8 JERS-1 (1992.10.19 取得) と ERS-1 (1992.12.3 取得) の標準偏差の比較



(a) JERS-1 (SAR)



(b) ERS-1 (AMI)

図-9 地表面被覆別の SAR データ CCT 値の平均値と標準偏差

また、図-7 (b) に示すように σ^0 の平均値は河川水面を除いて ERS-1 の方が JERS-1 よりも大きい。Ulaby ら⁹⁾は、植生面において、地上でマイクロ波散乱計を用いて入射角・波長と後方散乱断面積の関係を詳細に調査しており、それによると、入射角が小さいほど、また入射角 10° 以上において波長が短いほど後方散乱断面積が大きくなるという結果を得ている。ERS-1(AMI) は JERS-1(SAR) よりも入射角が小さくかつ波長も短く、Ulaby らが得たのと同じ結果がここでも見られる。

3.3 ERS-1 および JERS-1 SAR 画像の判読性

図-9 は、各領域の CCT 値の平均値とその上下にそれぞれ 1 標準偏差分の幅を示したものである。ERS-1 では、河道水面(図-9 中の river)の後方散乱係数は他の領域よりも小さな値をとり、かつその周りにある水面以外の河道部分(図-9 中の dry riverbed)は他の領域よりも大きな後方散乱を示すため、河道の流水部分を識別しやすい。JERS-1 では ERS-1 ほど河道水面と水面以外の河道部分の後方散乱係数が離れていないので、ERS-1 のほうが JERS-1 よりも河道の流水部分を判別し得る。水域以外の被覆を明瞭に区別することは、ERS-1、JERS-1 とともに難しい。

4. まとめ

本研究では、SAR 画像から地表面の情報(地被・地形・河道網など)をどの程度、得ることができるかを明らかにするために、土地被覆別に JERS-1 と ERS-1 の SAR データの特徴を調査した。得られた知見を以下に列挙する。

- JERS-1 の CCT 値は、平均値・標準偏差ともに、池・水田・草地・森林・市街地の順に大きくなり、河川の水面は池と水田の間に分布する。裸地・水田・河道水面の区別はつかない。
- ERS-1 の CCT 値は、平均値・標準偏差ともに、河川水面・池・森林・草地・水田・市街地の順に大きくなる。河川水面・池の平均値はそれ以外の被覆の平均値よりも小さく、他の被覆との区別がつく。
- 水域(河道水面・池)での散乱は、JERS-1・ERS-1 とともに鏡面反射が卓越するため他の領域での散乱よりも小さな値をとり、両方とも -15(dB) 前後となっているが、水域以外では、ERS-1 の後方散乱は、JERS-1 よりも大きく、水面など滑らかな領域を抽出するためには ERS-1 の方が JERS-1 よりも優れている。
- 水域以外の被覆を明瞭に区別することは ERS-1、JERS-1 とともに難しい。
- 森林域では、JERS-1 は市街地に次いでに大きな後方散乱を示すが、ERS-1 の後方散乱は水域と水田の間に分布する。
- 同じ土地被覆であっても、その平均値・標準偏差の値はともに ERS-1 の方が JERS-1 よりもばらついており、ERS-1 は土地被覆以外の何らかの影響を感知しやすい。

なお、本研究は JERS-1、ERS-1 システム検証計画(J-68・E-41: 主任研究者・岐阜大学・宝 馨)に参加して得られた成果の一部であり、宇宙開発事業団から衛星データを提供して頂くとともに空中写真をお借りした。また河上記念財団の補助を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 淵上吾郎・仲江川敏之・沖 大幹・虫明功臣: 土壌水分サンプリングデータの空間代表性, 水工学論文集, 第 37 巻, pp. 849-852, 1993.
- 2) 淵上吾郎・小池雅洋・沖 大幹・虫明功臣: マイクロ波センサ搭載衛星同期観測による土壌水分情報抽出, 水文・水資源学会 1993 年研究発表会要旨集, pp. 36-37, 1993.
- 3) 福本昌人・小川茂男・斉藤元也: 表層土壌水分量を対象とした SAR データの検証, 水文・水資源学会 1993 年研究発表会要旨集, pp. 30-31, 1993.
- 4) 小池俊雄・後藤 巖・長谷川泉・佐藤繁雄: 積雪と土壌におけるマイクロ波誘電特性の比較, 水文・水資源学会 1993 年研究発表会要旨集, pp. 186-187, 1993.
- 5) 近藤昭彦・上林徳久・岡田敏美・石森繁樹・藤井昭二: ERS1 合成開口レーダーによる積雪状況の把握, 日本リモートセンシング学会第 13 回学術講演会論文集, pp. 21-24, 1992.
- 6) 宝 馨・立川康人他: 矢田川航空機実験及び同期地上観測実験について, 水文・水資源学会誌, Vol. 6, No. 1, pp. 71-75, 1993.
- 7) NASDA EOC: User's Guide to NASDA's SAR products, HE-930014, 1993.
- 8) Shimada, M.: Image Quality of the SAR and OPS, JERS-1 Information Exchange Meeting Presentation Materials, pp. 90-132, 1993.
- 9) Ulaby, F. T., G. A. Bradley, and M. C. Dobson: Microwave Backscatter Dependence on Surface Roughness, Soil Moisture, and Soil Texture: Part II-Vegetation-Covered Soil, IEEE Trans. on Geosci. Electron., Vol. GE-17(2), pp. 33-40, 1979.