

第II部門

衛星搭載合成開口レーダによる流域場情報の取得に関する基礎的研究

京都大学工学部 正員 高棹琢馬 京都大学工学部 正員 椎葉充晴
京都大学工学部 正員 堀 智晴 京都大学工学部 正員 立川康人
京都大学大学院 学生員 ○藤田 暁 岐阜大学工学部 正員 宝 馨

1. はじめに 河川流域における広域的な土壌の水分量の分布、挙動を把握することは、降雨の初期損失や、蒸発散、浸透などを解析するにあたって非常に有用である。しかし、土壌水分量を、広域的、継続的に現地測定することは難しく、人工衛星からのリモートセンシングは、その広域性、同時性から、有効な情報取得の手段として考えられる。特に、合成開口レーダ(SAR)は、土壌水分情報取得の可能性を持つセンサとして期待されており、このSARを搭載した人工衛星 JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite-1, ふよう1号)が、1992年2月、日本より打ち上げられた。本研究は、JERS-1のSARによる画像データから、流域場情報(特に土壌水分情報)を取得すること

の可能性について検討するものである。具体的には、土地被覆分類ごとにSAR画像の性質を調査し、水田において土壌水分情報を抽出することの可能性を検討する。以下に概要を示す。

2. SAR画像の性質 本研究で使用した JERS-1 SARの画像データは、愛知県瀬戸市付近を中心とした約75km×75kmの範囲のもので、観測日は1992年10月19日である。1画素の大きさは12.5m×12.5mであり、各画素の輝度は15ビット(32768階調)で表されている。この画像データから、瀬戸市周辺1024ライン×1024ピクセルの範囲を、対象地域として切り出した。この画像を図1に示す。

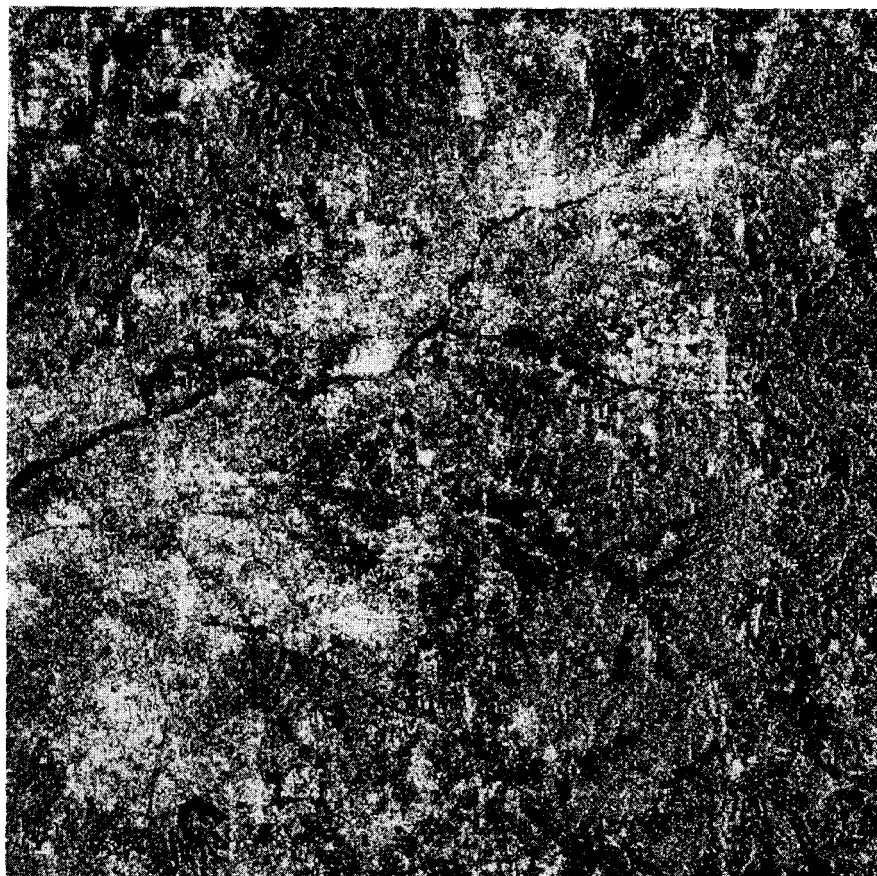
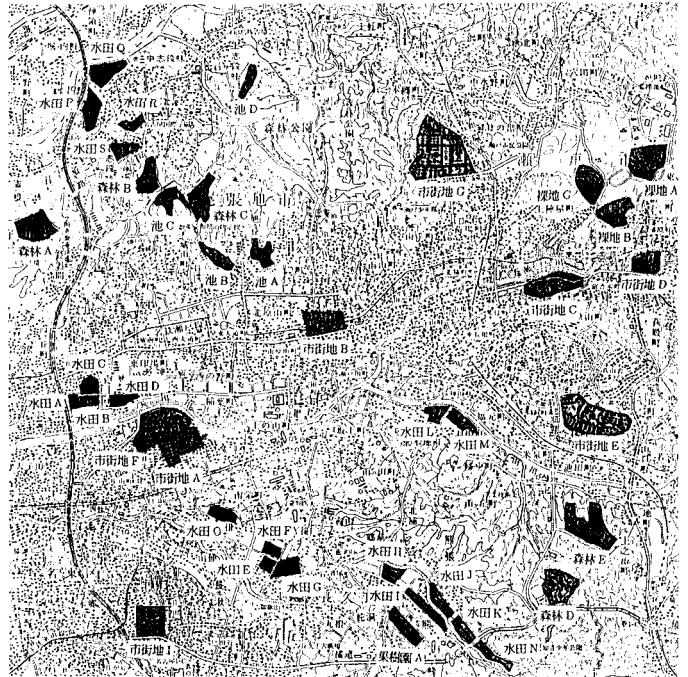


図1:
JERS-1
SAR画像

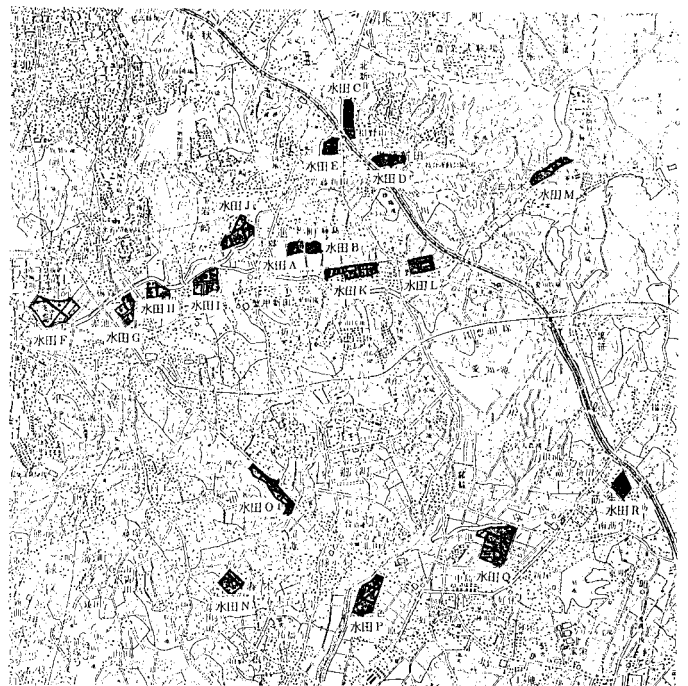
このJERS-1 SAR画像から目視によって次のようなことが分かった。

- 河川は、比較的はっきりと黒く映っており、所々に白い橋が確認できる。また、池、ゴルフ場、高速道路の一部も、黒く映っており、識別することができる。河川と判別できる暗い部分には、水面だけでなく、高水敷の部分や、堤防の部分も含まれている。
- その他については、地形図と見比べてみると、水田、裸地、果樹園は黒っぽい、市街地は白っぽい、また、森林域は、きめが粗い等、土地被覆分類ごとに、ある程度特徴を持っているようであるが、土地被覆の異なる領域の境界を明瞭に判断することは難しい。

このようなことから、JERS-1 SAR画像は地図と見比べて、大まかな位置関係はある程度分かるが、正確に位置の対応をとることのできる地点は、非常に少ない。そこで、JERS-1 SAR画像の画像上の点が、実際の地表上のどこを映しているかを見るため、SPOT HRVの画像、および、2万5千分の1の地形図をスキャナで読み込んで作成した画像を補正し、JERS-1 SARの画像に重ね合わせ、位置を知る目安とした。これらの画像をもとに、土地被覆分類ごとに、まとまった面積を持つ領域を抜き出し、それぞれの輝度値の分布、および、統計量を算定した。ある程度まとまった面積を持つ領域として、水田、森林、池、市街地、裸地、果樹園を抜き出した。水田は、瀬戸市の南の日進町周辺からも領域の抜き出しを行った。抜き出した領域を、図2に示す。また、これらの領域の輝度値の分布を、図3に、その統計量(平均値、標準偏差)を、表1に示す。



(a) 瀬戸



(b) 日進

図2: 抜き出した領域

これらの図，表から次のようなことが分かった。

- 水田では，輝度値は，約400～1000の間に多く分布しており，その平均値は，約650～800である。標準偏差は，200～300の値が多い。
- 森林では，輝度値は，約600～1200の間に多く分布しており，平均値は，約1000程度である。標準偏差は，300～340程度である。
- 池では，輝度値は，約300～700の間に多く分布しており，その平均値は，500～550程度である。標準偏差は160～170程度である。
- 市街地では，輝度値は，広い範囲にわたり分布しており，その平均値は，約1200～1700である。標準偏差は，500～1000前後である。

輝度値の平均値は，池，水田，森林，都市域，の順に大きな値となり，土地利用ごとに，少しずつ違いが見られた。しかし，輝度値の大きいところほど，標準偏差も大きく，値にばらつきがあるため，JERS-1 SARの輝度値だけで，レベルスライスなどによって，森林や都市域といった土地被覆分類をすることは，大変困難であると考えられる。

3. 土壌水分量との関連性 2.で抜き出した水田37ヶ所の輝度値を，後方散乱係数 σ^0 [dB]に変換し，その分布，および統計量（平均値，標準偏差）を調べ，土壌水分量との関連性を検討する。本研究では，実際には地上で土壌水分量を観測していないため，定量的に画像データと土壌水分量を関係付けることはできない。そこで，既往の研究によって得られている土壌水分量とSARによる観測値の関係を，JERS-1 SAR画像データにも当てはめられると仮定して得られる結果について述べる。

JERS-1 SAR画像の輝度値（0～32767）を σ^0 [dB]に変換する式が，RESTEC（リモート・センシング技術センター）により，次のように示されている。

$$\sigma^0 \text{ [dB]} = 20 \log_{10} I + CF \quad (1)$$

ここに，Iは輝度値，CFは-74.77（1992年10月19日現在）である。

また，地上で計測された表層0～2cm，および，0～15cmの土壌水分量（体積含水率）と，SeasatのSARにより観測された地表の σ^0 [dB]との関係について，Blanchardらによる報告¹⁾から抜粋したものを，図4に示す。Seasat SARは，周波数1.275GHz，偏波HHで

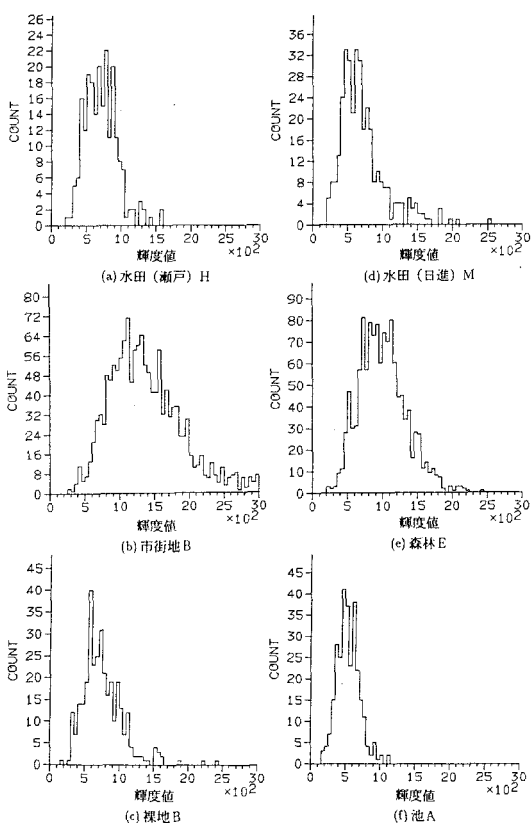


図3：輝度値の分布

表1：輝度値の統計量

(a) 水田 (瀬戸)				(d) 水田 (日連)			
取得場所	画素数	平均値	標準偏差	取得場所	画素数	平均値	標準偏差
A	167	747.9	216.7	A	246	692.1	230.6
B	256	808.0	324.0	B	209	709.5	231.0
C	245	738.3	319.7	C	343	756.8	314.4
D	282	781.2	306.2	D	347	724.0	235.6
E	173	744.5	226.2	E	203	779.7	315.6
F	188	768.9	211.8	F	629	906.0	400.6
G	274	759.7	232.0	G	294	740.0	242.9
H	219	710.9	233.6	H	326	1025.2	510.2
I	246	599.0	203.8	I	525	806.5	344.5
J	282	712.7	237.2	J	418	766.6	258.1
K	324	729.4	250.6	K	495	712.8	225.4
L	217	743.1	266.5	L	338	697.0	231.1
M	259	602.2	179.2	M	343	725.5	377.1
N	260	646.0	216.7	N	239	741.4	227.9
O	299	855.8	323.4	O	368	778.3	276.3
P	708	714.6	314.5	P	583	774.1	310.3
Q	320	642.3	186.3	Q	1014	608.9	220.9
R	307	657.2	200.7	R	344	709.1	280.5
S	285	727.9	250.5				

(b) 市街地				(e) 森林			
取得場所	画素数	平均値	標準偏差	取得場所	画素数	平均値	標準偏差
A	1021	1202.1	648.1	A	1699	859.6	289.6
B	1454	1456.9	705.6	B	430	867.6	341.4
C	1195	1770.2	986.0	C	835	985.8	314.2
D	717	2473.9	1800.9	D	1138	983.4	341.3
E	2629	1448.7	1016.8	E	1241	1004.0	337.3
F	1937	1204.4	574.8				
G	2996	1437.8	830.8				
H	504	1159.4	463.9				
I	1255	1674.2	893.4				

(c) 裸地				(f) 池			
取得場所	画素数	平均値	標準偏差	取得場所	画素数	平均値	標準偏差
A	850	920.7	414.1	A	285	541.5	165.1
B	328	764.1	299.1	B	303	537.6	161.1
C	1021	705.6	266.2	C	267	721.4	234.5
				D	156	513.8	163.4

(g) 果樹園			
取得場所	画素数	平均値	標準偏差
A	322	672.7	204.8

あり、これは、JERS-1 SAR で使用しているものと同じであることから、両者の条件は近いものと考え、Seasat SAR による実験の結果が、JERS-1 SAR の場合に当てはまるとして仮定する。

式(1)を用いて JERS-1 SAR データから得られた水田における σ^0 [dB] の分布を、図 5 に示す。また、その統計量(平均値、標準偏差)を、表 2 に示す。これらによると、 σ^0 [dB] の平均値は、約 -17.5 ~ -18.5 となる。また、標準偏差は約 3.0 程度の値を示す。

図 4 のデータより得られた、 σ^0 [dB] から土壌水分量を推定する回帰式を用いると、水田における σ^0 [dB] の平均値約 -17.5 ~ -18.5 は、体積含水率にして表層 0 ~ 2cm では 32.1% ~ 34.4%、表層 0 ~ 15cm では 32.3% ~ 35.0% の土壌水分量に対応する。

また、 σ^0 [dB] の標準偏差約 3.0 から、グラフのデータ自体のばらつきも考慮して土壌水分量の分散を算定すると、体積含水率(%)にして、表層 0 ~ 2cm では約 65.7、表層 0 ~ 15cm では約 37.0 となる。

この結果から、1 カ所の水田内部でも、後方散乱係数から推定される土壌水分量はかなりばらつき、特に表層付近のほうにばらつきが大きいことが分かった。

4. おわりに 今後の課題として、同一地域での、異時期のデータを取得し、輝度の分布特性、後方散乱係数の分布特性を比較し、土壌の状態が違っている場合に、データに差が見られるのかといったことを調査しなければならない。また、ERS-1 AMI を始めとする、他の衛星のリモートセンシングデータを組み合わせて分析することも必要である。

なお、本研究は科学研究費総合研究(A)「“合成開口レーダによる広域水文学抽出アルゴリズムの開発”代表：小池俊雄(長岡技科大)」の補助を受けた。また、JERS-1 SAR 画像データは NASDA (宇宙開発事業団) より提供していただいた。記して謝意を表します。

参考文献 1) B.J.Blanchard and A.T.C.Chang: Estimation of soil moisture from Seasat SAR data, *Water Res. Bull.*, vol.19, pp803-810, 1983.

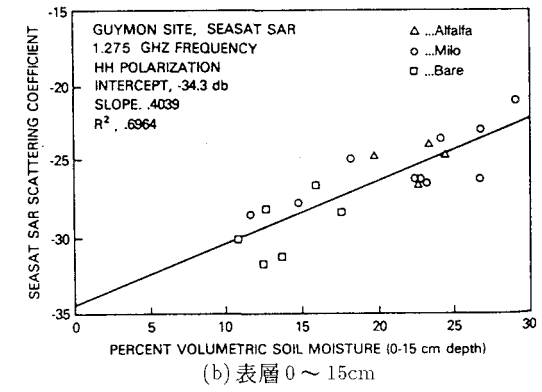
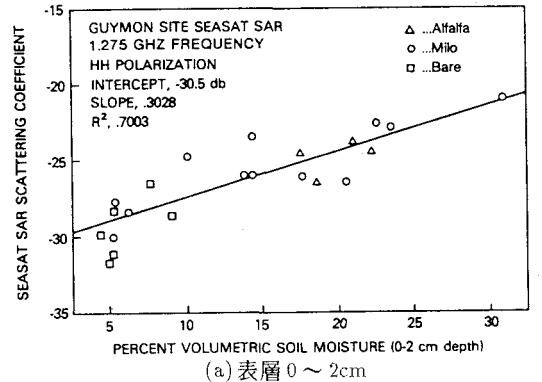


図 4: 土壌水分量と σ^0 [dB] の関係

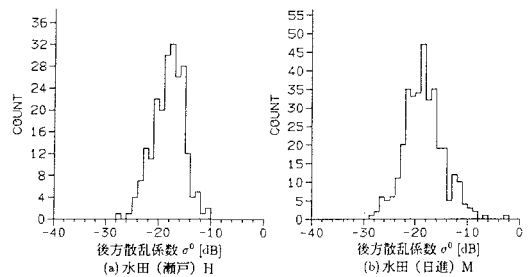


図 5: σ^0 [dB] の分布

表 2: σ^0 [dB] の統計量

(a) 水田 (瀬戸)				(b) 水田 (日進)			
取得場所	画素数	平均値	標準偏差	取得場所	画素数	平均値	標準偏差
A	167	-17.647	2.486	A	248	-18.445	2.923
B	256	-17.208	3.178	B	209	-17.189	2.602
C	245	-18.031	3.227	C	343	-17.861	3.385
D	252	-17.527	3.218	D	347	-18.062	3.005
E	173	-17.766	2.834	E	203	-17.636	3.606
F	188	-17.400	2.816	F	629	-16.406	3.554
G	274	-17.582	2.785	G	294	-17.821	2.770
H	219	-18.206	2.912	H	325	-18.427	3.815
I	246	-19.715	2.969	I	525	-16.650	3.311
J	292	-18.193	2.929	J	418	-17.556	2.915
K	324	-18.015	3.001	K	495	-18.169	2.899
L	217	-17.916	3.232	L	338	-18.402	3.028
M	289	-19.608	2.871	M	343	-18.434	3.779
N	260	-19.043	2.918	N	239	-17.773	2.665
O	269	-16.736	3.323	O	368	-17.470	3.039
P	706	-18.373	3.401	P	563	-17.626	3.319
Q	320	-19.020	2.770	Q	1014	-18.764	3.040
R	307	-18.825	2.722	R	344	-18.290	3.091
S	285	-18.102	3.321				