

# 多偏波干渉SARデータによるため池管理情報の抽出 (PI01004)

PI 伊藤 陽介(鳴門教育大学)

CI 泓田 昌信(日商エレクトロニクス), 香西 克俊(神戸大学)

## I 研究成果概要

### 1. 研究の背景と目的

ため池に始まるわが国の利水の歴史は奈良時代より古いといわれ、瀬戸内海沿岸を中心として68,000箇所以上存在する。とくに、年間降雨量が900~1,400mmと少ない香川県には14,000余りものため池があり、現在でも農業用水の50%をため池に依存し、その存在意義は高い<sup>1)</sup>。一方、降雨や台風などで堤体が決壊されると大きな被害をもたらす危険性もある。ため池に起因する災害を未然に防止するため定期的な維持管理をする必要があり、堤体の植生管理、ため池内の植生・異物の除去、堆砂土の浚渫、漏水検査、貯水位の管理などの情報収集が不可欠となっている<sup>2)</sup>。

本研究は気象条件に影響されにくく散乱体の表面のみならず内部での散乱情報も含む高解像度かつ多偏波干渉SARであるPi-SARによる観測データを利用して、基本的なため池管理情報の特徴を抽出することを目的としている。

### 2. ため池の維持管理

ため池は、図1に示すように斜面を利用し堤体で水を堰き止める谷池型と平野に築いた環状堤体に水をためる皿池型がある。堤体は盛り土の池側表面(前法)に透水性の低い刃金土で覆い、外側(後法)に適正な植生をもつ構造である(図2)。また、貯水量を超えないように洪水吐が設けられ、灌漑用水は取水口より樋管を通じて外部に流す。

土地改良区などのため池の管理者は、維持管理のために堤体の植生管理と漏水発見、ゴミ等異物の不法投棄、藻類や水草等の異常発生と水質の悪化などについて点検管理することが求められている。ため池を適切に維持管理することにより、堤体の法面崩壊や陥没、亀裂を防ぎ、ため池に起因する災害を未然に防止できる。さらに、漏水や樋管詰まり、水質悪化を防ぎ、灌漑用水を有効利用できる。

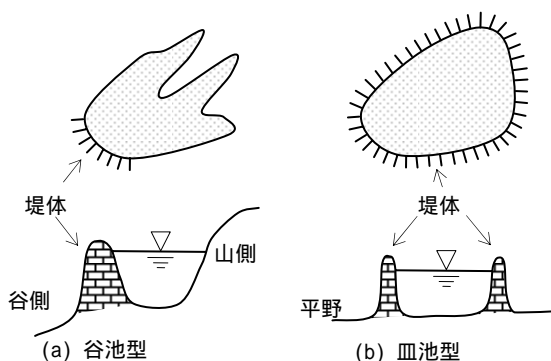


図1 ため池の構造上の分類

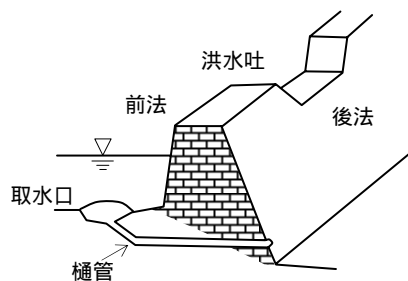


図2 堤体の構造

本研究では、(1)堤体の植生変化、(2)満水時に対する水面領域、(3)水面上の植生・異物に関するため池管理情報を多偏波SARデータを用いて抽出する方法を提案し、Pi-SARによって観測されたデータを解析実験した結果に基づいて提案方法の有用性について考察する。

### 3. 観測実験概要

研究調査対象とする地域は、ため池の密度が7.8個/km<sup>2</sup>と全国で最も高い香川県とし、堤高10mかつ堤体の法面がSARの軌道方向とほぼ平行になる条件を満たした10箇所とする(表1)。Pi-SARによる観測実験は、調査対象とするため池を観測するように飛行コース並びに観測条件を図3に示すように設定し実施した。この観測実験によって取得されたPi-SARデータを表2に示す[1]。

さらに、P7804とP7806の観測と同期して、ため池の貯水量、水面上の異物(水草、不法廃棄物、漁業・ゴルフ練習場用フェンスなど)、堤体の植生(平均植生高、単位面積当たりの本数)を地上

調査した(表1)。

また、3面コーナリフレクタ(1面80×80cm<sup>2</sup>)を4箇所据え付け、観測時のラジオメトリック特性の評価に用いた[2]。

#### 4. データ解析方法

Pi-SARデータを解析するために、2波長多偏波で複数回観測されたSAR画像をレイヤに読み込み画像処理する機能を持ち、点在するため池の堤体や水面の特徴量を会話のかつリアルタイムに算出処理できるソフトウェアを新たに開発した[3, 4]。

本ソフトウェアは、解析対象地域について、

- (1)各偏波の後方散乱係数の平均と標準偏差、
- (2)偏波間の位相差の分布、平均と標準偏差、
- (3)偏波シグネチャ図、(4)平均coherency行列と  $H$ 、 $\bar{\alpha}$  などの特徴量を表示し、基礎的調査に利

用できる。

#### 5. ため池管理情報の抽出結果

##### 5.1 堤体の植生変化

###### (1) 植生変化の判別方法

SARデータを用いて小領域の植生密度を定量的に計測することは一般に困難であるため、ここでは、2時期のSARデータから得られるパラメトリック・エントロピー( $H$ )と平均角度( $\bar{\alpha}$ )<sup>3)</sup>を用いて、堤体の植生変化を判別することを考える。

図4にレーダ入射角と堤体の位置関係を示す。

前法の実効入射角は、 $\theta_{bi1} = \theta_i - \theta_{b1}$ である。維持管理作業が終了した時点における堤体を適正な植生と仮定し、その状態を観測したSARデータ(SAR<sub>1</sub>)と、調査対象となる時期のSARデータ(SAR<sub>2</sub>)の  $H$  と  $\bar{\alpha}$  の変化に基づいて、植生に関する

表1 調査対象とするため池の諸元<sup>1)</sup>と現地調査結果

No.	名称	位置 (香川県)	堤高 [m]	堤長 [m]	貯水量 [10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ]	満水面積 [ha]	型 図1	貯水率 [%]	水面積 [ha]	植生密度 [本/m <sup>2</sup> ]	植生の 平均高 [cm]	主な植生(堤体)	調査日 2004年
1	三郎池	高松市	14.2	392.0	176.0	176.0	(a)	98	41.5	200~220	11	アキノエノコログサ	8月2日
2	平池	"	11.4	700.0	134.9	35.0	(a)	98	32.4	60~80	150	セイタカアワダチソウ, クズ	"
3	小田池	"	10.5	1721.0	412.0	33.4	(b)	91	33.4	100~432	95	セイタカアワダチソウ, ヒゲナガスズメノチャヒキ	"
4	御厩池	"	10.5	580.0	48.2	10.4	(a)	82	8.5	220~260	80	セイタカアワダチソウ, ヨモギ, ヒゲナガスズメ ノチャヒキ	"
5	奈良須池	"	13.2	520.0	144.7	27.7	(a)	100	27.7	120~240	120	セイタカアワダチソウ, クズ, ススキ	"
6	長池	"	4.4	780.0	8.0	4.8	(b)	100	4.8	---	---	ヒシ(水面)	"
7	橋池	国分寺町	9.7	287.0	55.6	13.1	(a)	---	---	240~480	20	ミチャナギ	8月3日
8	打越下池	丸亀市	13.1	302.0	24.9	3.7	(a)	100	3.7	140~252	26	セイタカアワダチソウ, クズ, ヨモギ	"
9	仁池	"	16.0	328.0	150.2	28.0	(a)	---	---	104~112	120	セイタカアワダチソウ, クズ, クマイザサ	"
10	大窪池	"	13.7	1092.0	84.2	15.4	(b)	100	15.4	496~520	50	ヒゲナガスズメノチャヒキ	"

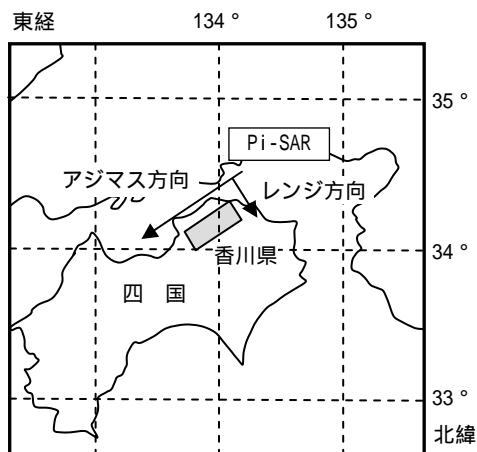


図3 Pi-SARによる観測地域

表2 Pi-SARデータ

シーン ID No.	観測日時	観測バンド			
		X (λ=3.14cm)		L (λ=23.6cm)	
		モード	入射角°	モード	入射角°
P7804	2004年 8月2日 (12:08)	HH, HV	28.6	HH, HV	28.6
P7806	2004年 8月2日 (12:36)	VH, VV		VH, VV	
P8301	2004年 11月5日 (11:41)	VM, VS			

VM: Main-antenna of VV, VS: Sub-antenna of VV

る維持管理状態を判別する方法を提案する。まず、調査対象領域の $SAR_1$ から求めた $H$ と $\bar{\alpha}$ の平均ベクトル $\mu_c$ と共分散行列 $\Sigma_c$ を求める。

つぎに、対応する領域の $SAR_2$ の判別対象点 $x_i(H_i, \bar{\alpha}_i)$ と $(\mu_c, \Sigma_c)$ 間のマハラノビス距離を求め、あらかじめ設定した閾値以下であれば、適正な植生領域( $\omega_1$ )と判別する。一般に植生量が増加すると、散乱のランダム性が高くなるとともに、偏波依存性はワイヤとコーナーリフレクタが含まれるようになる。 $\omega_1$ と判別できない場合、図5に示すように $\omega_2 \sim \omega_5$ に判別され、 $\omega_2$ ：植生量過多、 $\omega_3$ ：植生量過多と樹木や人工構造物の存在、 $\omega_4$ ：植生量過少、 $\omega_5$ ：その他、と推定できる[5, 6]。

## (2) Pi-SARデータによる変化判別結果

解析対象とするため池は、レーダ入射角と堤体の位置関係が、 $\theta_i = 39.3^\circ$ 、 $\theta_{b1} = 23.5^\circ$ 、 $\phi_i = 23.6^\circ$ である平池(No.2)とする。両観測日に合わせて堤体の後法の植生状態を現地踏査した写真を図6に示す。この踏査結果から、草刈などの維持管理作業終了後のP8301を $SAR_1$ 、植生過多と判断されるP7804を $SAR_2$ とし、提案方法を用いて判別する。

Pi-SARはXとLバンドを用いて同時観測可能であるが、波長が長く植生内部での散乱を期待できるLバンド・データ(NEC-SAR, 校正済グランドレンジ画像MGP形式)を用いる。図6と対応する領域の一部から得られた $H$ と $\bar{\alpha}$ の分布を図7に示す。この結果より、P8301と比較して植生量の多いP7804において、 $H$ が増加するとともに $\bar{\alpha}$ も微増している。

さらに、平池の堤体を観測したSAR画像を10箇所区切り、それぞれの領域について提案方法を用いてP7804のデータを判別し集計した結果、適正な植生状態の領域( $\omega_1$ )は、16.0%含まれているが、植生量過多と判別された領域( $\omega_2$ )は69.9%となり、ほぼ現地調査した結果に従っていた。

## 5.2 満水時に対する水面領域の抽出

### (1) 貯水量の計測方法

従来からため池の管理者は、図8(a)に示す取水口付近に設置されている水深計測用ゲージの

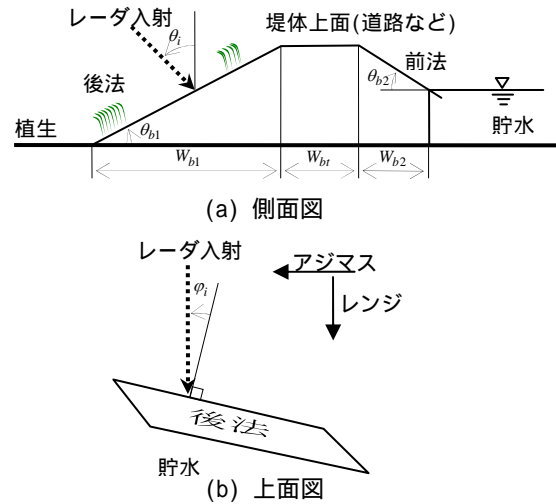


図4 レーダ入射角と堤体の位置関係

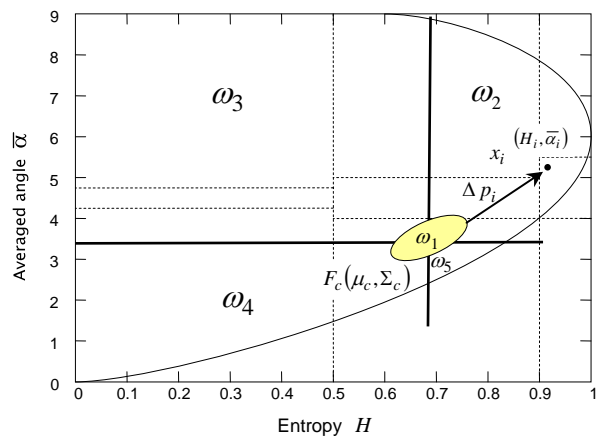


図5 ポラリメトリック・エントロピー( $H$ )と平均角度( $\bar{\alpha}$ )の変化に基づく植生変化に関するカテゴリの定義



(a) P7804 (2004年8月2日) (b) P8301 (2004年11月5日)

図6 平池(No.2)の堤体植生状態の現地踏査

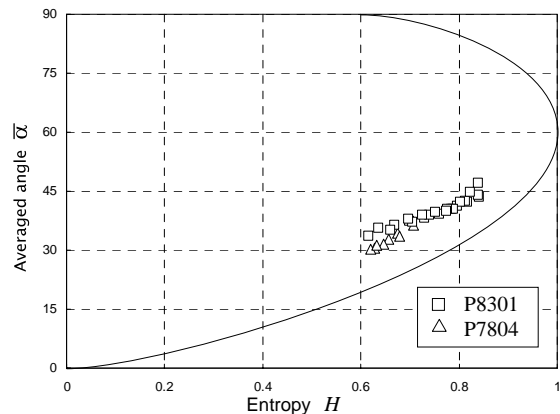


図7 図6に示す後法領域の $H$ と $\bar{\alpha}$ の分布の変化

目盛を読み取り，貯水量早見表(以下，早見表)を用いて貯水量を推定している。早見表には，水深，水面積，区間容積，累積貯水量，貯水量などが記載され互いに参照できる。早見表が整備されていない小規模なため池の貯水量は，管理者の判断で推測されていることが多い。

一方，海域と比較してため池の水域は狭い閉領域であり，かつ，内陸部にあるため風の影響が少なく高い波が立ちにくいことから，レーダ波は鏡面反射に近くなり，池の水面からの後方散乱は小さくなる。この性質に基づいて本研究では，高解像度なSARを用いて水域を推定する。満水時のSARデータ(SAR<sub>1</sub>)を用いて，ため池の水面領域をGISなどを用いて特定し，後方散乱係数の平均 $\bar{\sigma}_1$ と標準偏差 $m_1$ を求める。つぎに，調査対象とする時期に観測されたSARデータ(SAR<sub>2</sub>)のうち，SAR<sub>1</sub>で水面領域とされたところから得られる後方散乱係数 $\sigma_2$ が， $\sigma_2 < \bar{\sigma}_1 + k \cdot m_1$ の場合，水域と判別する。ここで， $k$ は予備的な実験結果に基づいて決定する。なお，SAR<sub>1</sub>とSAR<sub>2</sub>のアジマス及びレンジ方向の入射角などの観測条件は同じとする。計測された水面領域から面積に換算し，早見表を用いて貯水量を推定することが可能となる。

## (2) Pi-SARデータによる水面領域の抽出結果

表1に示したため池のうち三郎池(No.1)と小田池(No.3)を調査対象とする。2時期の貯水率は，それぞれ，三郎池99% 48%，小田池91% 14%となり，貯水量が大きく変化している。三郎池を含むPi-SARのXバンドSAR画像(図9)からも貯水量の変化が判読できる。P7804の観測時における貯水量は100%に近いため満水時と近似しSAR<sub>1</sub>とする。また，P8301を解析対象としSAR<sub>2</sub>にする。図10に水面領域のP7804のXバンドHH偏波における後方散乱係数[dB]の分布を示す。ここで， $\bar{\sigma}_1$ と $m_1$ と分布状態を考慮して $k=0.7$ とする。

両池の早見表に貯水率と水面領域の関係を示す項目がないため，SAR<sub>1</sub>とSAR<sub>2</sub>の水面領域を目視により識別した領域画像データを作成する。さらに，提案方法を適用して水面領域を判別し分類スコア行列を求めた結果を表3に示す。三郎池の場合，SAR<sub>2</sub>を水面または水面以外に正しく識別した割合は，それぞれ，99.1%，67.6%となり，

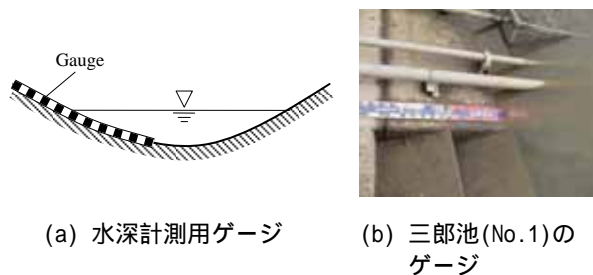


図8 貯水量の計測機器

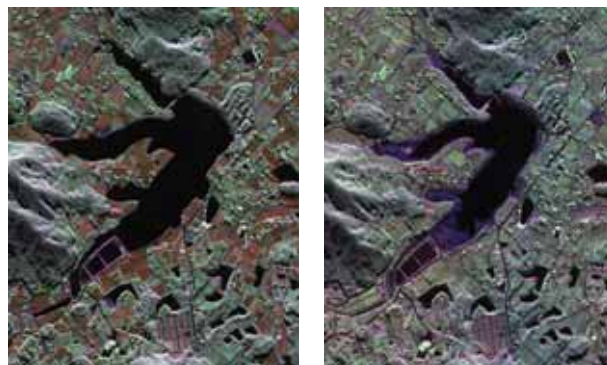
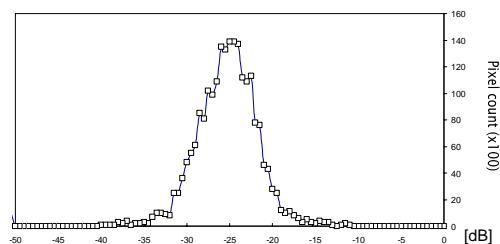
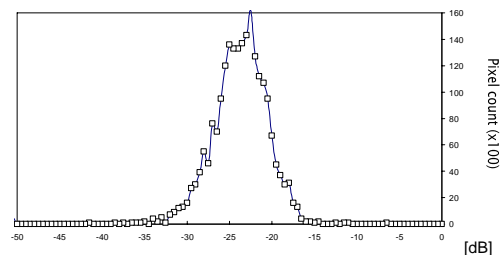


図9 三郎池(No.1)の水面領域の変化



(a) 三郎池 ( $\bar{\sigma}_1 = -26.7$ ,  $m_1 = 13.7$ ).



(b) 小田池 ( $\bar{\sigma}_1 = -24.3$ ,  $m_1 = 7.9$ ).

図10 P7804(Xバンド, HH偏波)の水面領域の後方散乱係数の分布

両者を平均した平均分類精度は，83.4%である。水面領域を分類した結果を分類スコア行列と対応する識別色で構成した画像を図11に示す。図11(a)の分類画像は，図9から判読される結果に従っている。表3(b)と図11(b)に示す小田池の水面領域の分類結果も同様な精度が得られた。



### 5.3 水面上の植生・異物

#### (1) 水面上の植生

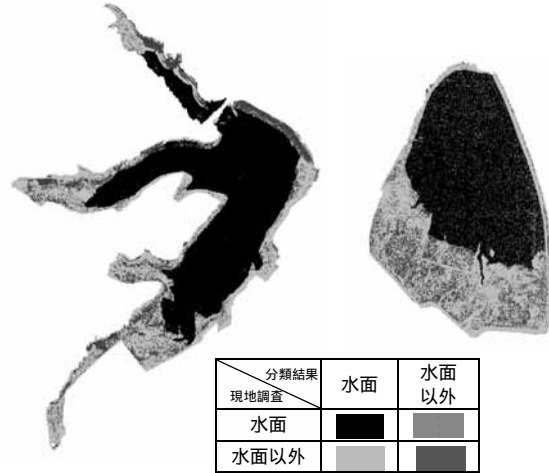
周辺地域の宅地化に伴い生活排水などの流入により水質が悪化し、富栄養化しているため池も多い。とくに、皿池型のため池は、水深が浅いため気温によって水温が変化しやすく、水温の高い夏季においては図12に示すような大量の水草(ヒシ：葉の直径は約3cm程度)が水面上を覆う現象が見られる。水草は取水口を塞ぐこともあり、定常的なため池の運用に障害を与える恐れもある。また、水温が下がるとともに水草は枯れ、水底に沈みさらなる富栄養化を招く。

図13は、長池(No.6)の水面領域と水面上の植生領域をP7804のXバンド・データを用いて解析した結果を示している。P7804のLバンド・データと比較して、Xバンドでは波長が短いため、葉の表面からの後方散乱が支配的となり、植生部分の後方散乱係数が大きくなる。図13のSAR画像から水面上の植生領域は容易に識別でき、図12に示す水面上の植生調査結果と一致した。一方、Lバンドでは、葉を透過し、水面からの後方散乱が支配的となっていたため明確に識別できなかった。

また、水面領域と植生領域の偏波特性を比較すると、図13(a)と(b)に示すように、HHとVVの位相差 $\phi_{HH-VV}$ の分布において明らかな相違が見られた。植生領域では、 $-30^\circ \sim +30^\circ$ に分布しているが、水面領域の分布は、ノイズレベルに近いデータが多く含まれたため大きく広がっている。ポラリメトリック・エントロピーも同様な傾向が見られ、植生領域では参考文献3)に

表3 水面領域の分類スコア行列(%)

(a) 三郎池			(b) 小田池		
分類結果 \ 現地調査	水面	水面以外	分類結果 \ 現地調査	水面	水面以外
水面	99.1	0.9	水面	89.0	11.0
水面以外	32.4	67.6	水面以外	27.6	72.4

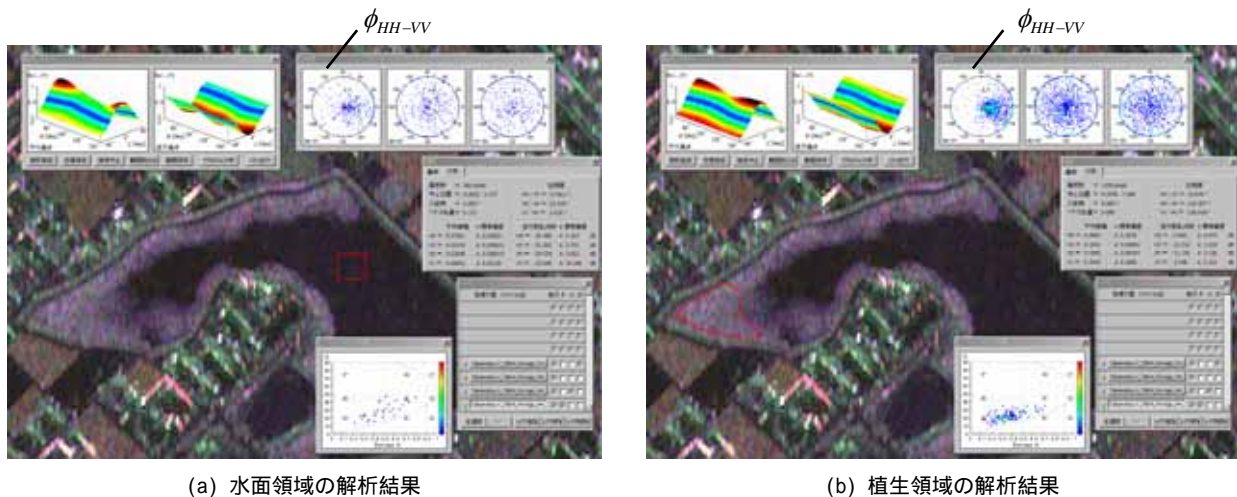


(a) 三郎池 (b) 小田池

図11 水面領域の分類画像



図12 長池(No.6)の水面上の植生調査 (撮影日：2004年8月2日)



(a) 水面領域の解析結果

(b) 植生領域の解析結果

図13 P7804-Xバンド・データによる長池(No.6)の特徴量

示されているZ9領域に分布が集中している。

## (2) 水面上の異物

ため池の一部は、灌漑用水を貯水する目的以外に淡水魚の養殖やゴルフ練習場などにも利用されている。さらに、不法投棄された物品が浮遊していることもある。ここでは、水面領域に存在するものを異物として取り扱い、Pi-SARデータを用いて識別を試みた。その結果、養殖用生簀やブイ、ゴルフ練習場用フェンスを検出可能であることが、SAR画像の目視により確認できた。

## 6. まとめ

本研究では、堤体の植生、水面領域、異物に関するため池管理情報をSARデータを用いて抽出する方法を提案し、Pi-SARによる観測実験によって取得されたデータを解析処理するとともに、抽出項目毎に地上調査した結果と比較した。その結果、高解像度な画像データを取得でき、2周波(X, L)かつ多偏波観測であるPi-SARの特性を用いて、ため池の維持管理情報の抽出に有効利用できることを明らかとした。

今後、解析対象としたため池以外についても提案した方法を適用し、その有用性を示すとともに、偏波干渉処理を追加し、ため池を構成する樹木を含む植生などに関する維持管理情報の抽出を検討する必要がある。また、広範囲に分布するため池などの灌漑用貯水池を定期的に維持管理する場合、本研究で得られた成果を人工衛星搭載型SARに応用することも期待される。

## 参 考 文 献

- 1) 讃岐のため池誌編さん委員会：讃岐のため池誌，香川県農林水産部土地改良課，2000。
- 2) さぬきのため池，香川県農林水産部土地改良課
- 3) S. R. Cloude and E. Pottier: An entropy based classification scheme for land application of polarimetric SAR, IEEE TGRS, Vol.35, No.1, pp.68-78, 1997.

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、ご協力いただいた情報通信研究機構と宇宙航空研究開発機構関係各位、高松大学真鍋俊彦教授、情報統計研究

所金関正弘氏、稲毛章氏、溝淵寛和氏、香川県庁並びに小田奈良須両池、三郎池土地改良区職員に感謝いたします。

## 研究成果物

- [1] 伊藤 陽介，山本 学，泓田 昌信，溝淵 寛和：Pi-SARデータを用いたため池管理情報に関する基礎的調査，日本リモートセンシング学会第37回学術講演会論文集，pp.273-274，2004年12月
- [2] 山本 学，伊藤 陽介，泓田 昌信，溝淵 寛和：合成開口レーダ校正用反射板の設計製作と観測実験，日本産業技術教育学会第20回四国支部大会講演要旨集，p.A5，2004年12月
- [3] 溝淵 寛和，山本 学，伊藤 陽介：会話的処理可能な多偏波SARデータ解析ソフトウェアの開発とその応用，SAR Workshop 2005，p.6，2005年1月
- [4] 伊藤 陽介，溝淵 寛和：教育用合成開口レーダ画像再生・解析ソフトウェアの開発，日本リモートセンシング学会第38回学術講演会論文集，pp.219-220，2005年5月
- [5] Y. Ito, M. Yamamoto, M. Fukeda and H. Mizobuchi: Extraction of maintenance information on irrigation ponds using polarimetric SAR data, 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, Vol.I, pp.5663-5666, July 2005
- [6] 伊藤 陽介，泓田 昌信：SARデータを用いた堤体植生の変化判別方法，日本リモートセンシング学会第39回学術講演会論文集，pp.19-20，2005年11月
- [7] 多田 文子，伊藤 陽介，泓田 昌信：Pi-SARを用いたため池の水面領域モニタリング，日本リモートセンシング学会第39回学術講演会論文集，pp.237-238，2005年11月

## (新聞・テレビ報道)

- [8] 香川のため池レーダー観測実験，岡山放送，OHKスーパーニュース，2004年7月17日
- [9] ため池効率的管理へ 航空機の映像レーダ利用 堤防，水面状況を解析，四国新聞，p.24，2004年7月18日