JERS-1 SAR (L バンド) を用いた湛水域抽出手法と精度評価

The technique of inundation area extraction
and accuracy assessment using JERS-1 SAR (L-band)

伊藤 健*・春山 成子*・桶谷政一郎*

Takeshi ITO, Shigeko HARUYAMA and Seiichiro OKETANI

Abstract: In this research, the technique of determining threshold value in the threshold value method was presented by using JERS-1 SAR (L-band) data, and the accuracy of extracted inundation area based on the threshold was assessed the GrandTruth result and optical sensor OPS (VNIR). The mis-distinguished area was clarified.

As a result, it was clarified that the technique of determining threshold value presented by this research is effective, and the overall accuracy and κ statistics of inundation area for extracted by using JERS-1 SAR was 88.0% or more and 0.61 or more, respectively. Moreover, the inundation area extracted by JERS-1 SAR are underestimated on the swampy area or the former channel, and overestimated on the natural levee where vegetation is growing.

Keywords: JERS-1 SAR, inundation area, threshold value, accuracy assessment

1. はじめに

洪水湛水域を把握するのに衛星リモートセンシングが非常に有効な手段として挙げられ、多くの研究がなされている。越智ら (1991) はバングラディッシュにおいて NOAA-AVHRR より算出された植生指標 NDVI 画像より、洪水危険度の評価マップを作成した。瀬戸島・赤松 (1990) は Landsat TM の band2 を用いてレベルスライス処理により小貝川流域の洪水湛水域を抽出し、氾濫域の特性を土地条件から捉えた。Smith (1997) は MSS の近赤外 band7 (0.8-1.1 μ m) では、水は強く吸収するため湛水域を抽出するのに適するとした。しかし、光学センサを用いた湛水域把握は洪水頻発地域であるモンスーンアジアのように晴天率が低い熱帯、亜熱帯地域では適さない。

一方、合成開口レーダ (SAR: Synthetic Aperture Radar) はマイクロ波を使用しており、大気透過率が

高く、雲の影響もほとんどないため確実に地表面情報を取得することができる。Giacomelli *etal.* (1995), Townsend and Walsh (1998), Brivio *etal.* (2002) は最も一般的な手法として湛水後の SAR データに対し、SAR の基本物理量である後方散乱係数 (NRCS: Normalized Radar Cross Section) を基に閾値法 (NRCS のある一定の値を境に湛水・非湛水と分類する方法) を用いて湛水域を抽出した。さらに Giacomelli *etal.* (1995), Brivio *etal.* (2002) は山岳地域における湛水域抽出は DEM を用いることで向上するとした。春山・志田 (2005) は、ベトナム領内メコンデルタにおいて湛水前後の JERS-1 SAR の差画像を用いて閾値法より湛水域を抽出した。Nico *etal.* (2000) は、南フランスのペジエ付近で湛水前後の ERS-1 SAR 画像に正規化を施して SPOT との比較により湛水域を抽出し、インターフェロメトリックコヒーレンス γ を用いることで湛水域の誤判別を減少させることに成功した。

しかしながら、SAR より抽出した湛水域は定性的によく一致しているとの報告があるが、定量的に評価するまでには至っていない、SAR より抽出した湛水域の精度について言及されていない。特に熱帯地域における洪水頻発地域の定量的評価はなされていないのが現

*東京大学大学院新領域創成科学研究科
Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo
〒277-8561 千葉県柏市柏の葉5-1-5
「写真測量とリモートセンシング」VOL. 46, NO. 1, 2007

状である。さらに、多くの既往の研究では湛水域抽出に閾値法が使用されているが、この閾値の決定には根拠がなくあいまいなものが多い。また、春山・志田(2005)、Nico *etal.* (2000) のように閾値決定の際、光学センサと比較して閾値を決定している研究事例もあるが、モンスーンアジアのように雨季の光学センサ取得が困難な地域では SAR のみで閾値を決定する手法が必要不可欠である。

そこで、本研究では熱帯地域で洪水が頻発する地域を対象に SAR のみで閾値法における閾値を決定する手法を提示すること、SAR より抽出した湛水域を定量的に評価することを目的とした。対象地域はカンボジア領内メコンデルタを選定した。同地域は、熱帯地域で洪水氾濫が頻発し、氾濫が長期間にわたるため衛星の観測周期が長くても洪水現象を捉えることが可能である。使用した衛星データは JERS-1 に搭載された SAR (L バンド) である。JERS-1 は運用期間が 1992 年から 1998 年までの約 6 年間で、すでに運用を終了している。しかし、これらのデータは洪水頻発地域において定常的な洪水氾濫を解析するには貴重なデータとなっている。また、後続機で同じく L バンドを搭載している ALOS/PALSAR における解析でも活かすことができる。

本研究では、JERS-1 SAR データを用いて閾値法における閾値決定手法を提示し、その閾値を基に抽出した湛水域の精度を現地調査であるグランドトールス結果と JERS-1 に同様に搭載された光学センサ OPS (VNIR) と比較して精度評価を行った。そして、精度評価の結果をふまえ、誤判別されている地域が地形や植生とどのように対応しているかを地形分類図と OPS (VNIR) より作成した NDVI 画像より考察した。

2. データ

2.1 研究対象地域の概要

本研究では、対象地域としてカンボジア領内メコンデルタを設定した(図 1)。対象地域は、おおそ標高 10m 以下の氾濫原が広がっており、起伏に乏しい地形である。メコン川流域では、近年、産業構造の変化や土地被覆変化が著しく、下流域のデルタ地域で洪水の影響が変化してきている。

雨季にメコン川上流域での降雨やデルタ内での降雨によりメコン川の水位が 5 月～9 月にかけて上昇し、

洪水氾濫が 7・8 月～12・1 月までの長期間にわたって広範囲に起きている。このため、氾濫水は稲作など農業基盤としての水資源とされている。しかし、1996 年、2000 年、2001 年に代表されるような大規模な洪水が発生しており、それにより農業被害、都市被害、さらに幼年者の洪水時の死亡などが増加している地域でもある。

本研究で扱う洪水の規模はメコンデルタの平均的な洪水流量を対象としている。大洪水では平均的な洪水と異なるファクターが効いてくるためである。

また、図 1 は SAR 擬似カラー画像(R:1995 年 9 月 G:1995 年 12 月 B:1995 年 6 月)で、黒い部分は 3 時期とも水面で恒常的に湛水している地域、青い部分は 6 月以外は湛水している地域、白い部分は 3 時期とも非湛水の地域である。

2.2 データ

本研究で用いたデータについて示す。また、使用した衛星リモートセンシングデータの一覧を表 1 に示す。

2.2.1 JERS-1 SAR データ

JERS-1 SAR の主な特徴を以下に示す。

周波数:1.275GHz (L バンド)、波長:23.5cm、
偏波:HH、入射角:38.7°、観測幅:75km、空間
分解能(2.1 処理済成果物):12.5m、観測周期:44
日

2.2.2 JERS-1 OPS (VNIR) データ

JERS-1 OPS (VNIR) の主な特徴を以下に示す。

計 4 バンド (Band1:0.52~0.60 μ m, Band2:
0.63~0.69 μ m, Band3:0.76~0.86 μ m, Band4:
0.76~0.86 μ m)、観測幅:75km、空間分解能:18
m×18m、観測周期:44 日

2.2.3 グランドトールスデータ

カンボジア領内メコンデルタへの現地調査は 2 回、使用した JERS-1 SAR の時期に合わせて 2005 年 9 月、12 月に行った。抽出した湛水域の精度を検証するため、洪水氾濫が起きている地点付近で現地住民から湛水期間、湛水深に関するヒアリングと湛水域の現状確認を全 86 地点(図 2)で行った。これらのデータはすべて GPS で位置情報を取得して、後に GIS 上で表現できるようにした。

図1 研究対象地

図2 グランドトルースポイント

表1 使用した衛星リモートセンシングデータ

path-row	117-281	117-282	118-280	118-281
1995/6/20	1995/6/20	1995/6/21	1995/6/21	
1995/9/16	1995/9/16	1995/9/17	1995/9/17	
1995/12/13	1995/12/13	1995/12/14	1995/12/14	

OPS (VNIR)

path-row	117-281	117-282	118-280	118-281
1995/12/20	1995/12/20	1995/12/21	1995/12/21	

また、本研究では衛星データは洪水規模が平均的な1995年のものを使用しているが、2005年の洪水も同様平均的な洪水であるとカンボジア水資源気象省・農林水産省よりヒアリング結果を得ている。そのため、2005年のグランドトルース結果を1995年の洪水氾濫に適用できると判断した。

なお、データ解析にはMicroimage社のTNT/mips、およびESRI社のArc/Infoを使用した。また、現地で使用したGPSはMAGELLAN社のGPS315である。

3. 解析手法

解析のフローを図3に示す。

図3 解析のフロー

3.1 衛星画像の前処理

3.1.1 JERS-1 SAR データ

JERS-1 SAR データ (Logical Format: CEOS-BSQ, Processing Level: 2.1) を GIS にインポートし、SAR 特有のスペックルノイズを除去するため Lee フィルタを用いてフィルタ処理を施した。施したフィルタサイズは 5×5 である。次にカンボジア10万分の1地形図を用いて GCP を15点以上取得し、幾何学的誤差が JERS-1 SAR 空間分解能の12.5m 以下になるようにアフィン変換 (Nearest Neighbor 法) を用いて幾何補正を施した。その後、JERS-1 SAR データのピクセル値を Shimada and Isoguchi (2002) で使用されている(1)式を用いて NRCS に変換させた。また、本研究で使用する JERS-1 SAR データは2000年4月以降に処理されたので Calibration Factor は-85.34を使用した。

$$NRCS = 20 \log_{10} I + CF [dB] \quad (1)$$

I : SAR 標準処理成果物 (レベル2.1: Amplitude 表現) に含まれるピクセルの DN (Digital Number)

CF : Calibration Factor (-85.34)

次に、Lee フィルタで除去し切れなかったノイズや孤立した樹木の強い散乱を除去するため、P-Median フィルタを 5×5 で施した。さらに時期が異なって撮影された同地域のセル同士が1対1に対応するように Nearest Neighbor 法を用いてリサンプリングを施し、画像を結合させるためモザイク処理を施した。最後に OPS (VNIR) データの空間分解能18m に合わせるため Cubic Convolution 法を用いてリサンプリングを施した。

3.1.2 JERS-1 OPS (VNIR) データ

OPS (VNIR) データを JERS-1 SAR 同様 GIS にインポートし、10万分の1地形図を用いて幾何補正を施した。さらに前処理済みの JERS-1 SAR 画像とピクセルが1対1に対応するように Nearest Neighbor 法を用いてリサンプリングを施し、最後にモザイク処理を施した。

3.2 湛水域抽出

JERS-1 SAR による湛水域抽出には既往研究などを参考にし、同様な熱帯地域の湛水域抽出を行っている

春山・志田 (2005) のマイクロ波の水面における鏡面反射の原理を基に NRCS の変化を捉える手法を用いて湛水域を抽出した。また、対象とする洪水の段階は氾濫がピークを迎える9月と減水時期であり氾濫域での稲作が開始される12月である。

検証用の OPS (VNIR) での湛水域の抽出には、教師つき分類を用いて湛水域抽出した。

3.2.1 SAR による湛水域抽出

マイクロ波は水面では鏡面反射をし、センサに戻ってくる成分が少なくなるため、センサに戻ってくる NRCS の値は小さくなる。一方、地表面が水面以外の場合には、マイクロ波は乱反射を起こし、センサに戻ってくる NRCS の値は大きくなる。したがって、湛水域の NRCS の時系列変化は河川などの水面は洪水による変化は少なく、土地被覆物が洪水で覆われることで大きく変化する。そこで、[湛水後-湛水前] という NRCS 変化量を計算し、変化量が閾値を越えた場合を湛水と判別した。この手法では理論的には閾値は0となるが、季節変化などの違いから理論値からずれが生じる。

本研究では、複数のテストエリアを設け、そのヒストグラムを作成し、読み取ることで閾値の範囲を限定していき、閾値を決定するという手法を試みた。

テストエリアは湛水域変化が明瞭な地域として a:

図4 テストエリア

トレンサップ川, b:メコン川上流, c:メコン川下流の3地域(図4)を設定した。まず, 湛水域の季節変化が明瞭な6月, 9月のJERS-1 SAR画像を用いて, “9月のSAR画像-6月のSAR画像”というNRCSの差画像を作成した。その後, 設定した3つのテストエリアにおける差画像のヒストグラムを作成すると, $-3.6\text{dB} \sim -2.8\text{dB}$ 付近を境に二つの分布が確認できた(図5)。このことをNRCS特性から考えるとNRCSの値が小さいものは[非湛水→湛水], NRCSの値が大きいものは[湛水→湛水], または[非湛水→非湛水]と解釈できる。つまり, [非湛水→湛水]のエリアと[湛水→湛水]または[非湛水→非湛水]のエリアの境界が差画像の $-3.6\text{dB} \sim -2.8\text{dB}$ の範囲に存在すると考えられる。また, [湛水→非湛水]のエリアは, 本来NRCSの値が小さい分布に含まれるが, 本研究の対象地域での洪水氾濫が7・8月から開始し, 12・1月までと長期にわたることを考慮すると, [湛水→非湛水]のエリアは皆無に等しいと判断した。

差画像における閾値が $-3.6\text{dB} \sim -2.8\text{dB}$ の範囲に存在すると解釈したが, 差画像における閾値が $-3.6\text{dB} \sim -2.8\text{dB}$ の範囲に存在することの妥当性を検証する必要がある。そこで, 2005年の9月の現地調査を基に“9月のSAR画像-6月のSAR画像”の差画像から完全に湛水しているエリア(湛水エリア)と完全に非湛水のエリア(非湛水エリア)を各々数箇所選択し, それぞれのヒストグラム作成した(図6)。作成したヒストグラムの形状から, 湛水エリア・非湛水エリア共に正規分布と仮定し, 各々平均 μ , 標準偏差 σ 値を計算した。

湛水エリアでは, 平均 $\mu = -8.57$, 標準偏差 $\sigma = 1.77$, 非湛水エリアでは平均 $\mu = 0.50$, 標準偏差 $\sigma = 1.47$ 。各々の $\mu \pm 2\sigma$ の値は, 湛水エリアでは $\mu + 2\sigma = -5.03$, $\mu - 2\sigma = -12.11$, 非湛水エリアでは $\mu + 2\sigma = 3.45$, $\mu - 2\sigma = -2.44$ となった。一般に, 正規分布において $\mu - \sigma$ と $\mu + \sigma$ の間には正規曲線下の面積は全面積の68%, $\mu - 2\sigma$ と $\mu + 2\sigma$ の間には全面積の95%, $\mu - 3\sigma$ と $\mu + 3\sigma$ の間には全面積の99.7%が含まれることが知られている。つまり, 湛水エリアの $\mu + 2\sigma = -5.03$ と非湛水エリアの $\mu - 2\sigma = -2.44$ の間に湛水エリアと非湛水エリアの境界が存在する。また, 各々の $\mu \pm 3\sigma$ の値は, 湛水エリアでは $\mu + 3\sigma = -3.26$, $\mu - 3\sigma = -13.89$, 非湛水エリアでは $\mu + 3\sigma = 4.92$, $\mu - 3\sigma = -3.91$ となり, $-3.91\text{dB} \sim -3.26\text{dB}$ の間で

湛水エリアと非湛水エリアの分布が重なっていることから, $-3.91\text{dB} \sim -3.26\text{dB}$ 付近に湛水エリアと非湛水エリアの境界が存在することが確認できる。

以上の解釈をふまえると, 差画像における閾値が $-3.6\text{dB} \sim -2.8\text{dB}$ の範囲に存在する仮説は妥当である。しかしながら, $-3.6\text{dB} \sim -2.8\text{dB}$ の範囲から閾値を唯一つに決定するのは困難である。そこで, 差画像において $-3.6, -3.4, -3.2, -3.0, -2.8\text{dB}$ の5段階の値を閾値として設定し, 5つの閾値より抽出された湛水域結果の精度を評価し, 5つの閾値において精度がどの程度変化するかを検討した。そして, その中で最も精度が高いものを本研究の閾値として湛水域を抽出した。

また, 精度評価の比較対象として, 本研究の対象地域と同様に熱帯域を対象としており, JERS-1 SARを用いて光学センサとの比較から閾値を決定した春山・志田(2005)の閾値 -1.8dB で湛水域を抽出した。

3.2.2 OPS (VNIR) の湛水域抽出

ナチュラルカラー(R: band2, G: band3, B: band1)画像を基にトレーニングエリアを選出し分類を行った。ナチュラルカラー画像では地表の活力のある植生によって被覆されている場合は緑, 無機質及び濁水による場合は紫, 清水による場合は黒で表現される。ナチュラルカラー画像より水面, その他をトレーニングエリアとして選出し, その後band1~3を用いて最尤法分類を行い, 湛水域を抽出した。

OPS (VNIR) データより抽出した湛水域の精度について言及する。Laba. *etal.* (1997)では, 光学センサを用いた教師付き分類より, 土地被覆分類を行っている。その中において, 水域の分類精度は95%以上と高い精度を示している。したがって, 本研究で検証用として使用するJERS-1 OPS (VNIR) から教師付き分類を用いて抽出された湛水域の精度も同等の精度であるとする。

3.3 精度評価手法

JERS-1 SARより抽出した湛水域をグランドトゥルースデータとOPS (VNIR)より抽出した湛水域を用いることで評価した。

OPS (VNIR)を用いた場合の精度評価には以下を用いて, エラーマトリックスを作成し, 算出した。

・総合分類精度

図5 差画像のテストエリアにおけるヒストグラム

図6 差画像における湛水エリアと非湛水エリアのヒストグラム

・ χ 統計量：分類した値と真の値との一致度を示す統計量であり(2)式で表され、値が1に近いほど精度が高いことを示す。

$$\chi = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad (2)$$

r ：エラーマトリックスの行列の列数 x_{ii} ：行 i 列 i

の数 x_{i+} : 行 i の総和 x_{+i} : 列 i の総和 N : ピクセル数

4. 結 果

4.1 5 段階の閾値設定による湛水域抽出の精度検討と閾値の決定

差画像において $-3.6, -3.4, -3.2, -3.0, -2.8$ dB を閾値として適応した場合のグランドトゥルスに基づく精度評価、総合分類精度、及び κ 統計量を示し、5 つの閾値において精度の変化程度を検討した。 κ 統計量は無作為な割り当てをどれだけ回避しているかを示すもので総合分類精度よりも包括的な表現を実現している。

グランドトゥルスに基づく精度評価では、2005 年 9 月、12 月に行ったグランドトゥルス結果と抽出した湛水域の一致度を評価した。対象ポイントは全 86 地点で、一致しているかを判定する対象範囲はグランドトゥルス情報を取得したポイントを含む 1 ピクセルとした。すなわち、グランドトゥルスポイントで取得した 1 ピクセルを非湛水と設定し、抽出した湛水域においてそのポイントが非湛水であるならば一致、湛水域ならば不一致とした。

その結果を表 2 に示す。設定した 5 つの閾値において、閾値 -3.6 dB の場合は 86 点中 82 地点でグランドトゥルス結果と一致し、その精度は 95.3% と最も高い精度を示した。その他の閾値でも、閾値 -2.8 dB を除き 90% に近い精度を示している。

総合分類精度、及び κ 統計量では OPS (VNIR) を用いた。OPS (VNIR) は光学センサであるため雲の影響で使用可能地域は限定される。そこで、乾季にあたる 1995 年 12 月の OPS (VNIR) により得られた湛水域と 1995 年 12 月 SAR データより抽出した湛水域抽出結果の比較を試みた。OPS (VNIR) より抽出した湛水域にグランドトゥルス結果を照合すると全てのポイントで一致している。精度評価の対象には 3 テストエリアのデータを用いた。また、本研究では分類カテゴリが湛水・非湛水の 2 つであるため、テストエリア地域の全ピクセルに対して評価を行った。

その結果を表 3 に示す。総合分類精度は閾値 -3.2 dB で 89.2% と最も高い精度を示したが、その他の閾値でも 88.0% 以上の精度を維持しており、設定した 5 つ閾値で総合分類精度には大きな変化は見られない。

表 2 5 つの閾値を用いた場合のグランドトゥルス結果に基づく精度評価

	閾値 -2.8dB	閾値 -3.0dB	閾値 -3.2dB	閾値 -3.4dB	閾値 -3.6dB
一致	71	77	78	80	82
不一致	15	9	8	6	4
	82.6%	89.5%	90.7%	93.0%	95.3%

表 3 5 つの閾値を用いた場合の総合分類精度と κ 統計量

	閾値 -2.8dB	閾値 -3.0dB	閾値 -3.2dB	閾値 -3.4dB	閾値 -3.6dB
総合分類精度	88.0%	88.9%	89.1%	88.8%	88.6%
κ 統計量	0.63	0.64	0.64	0.62	0.61

一方、 κ 統計量でも閾値 -3.2 dB と閾値 -3.0 dB において 0.64 と最も高い精度を示したが、その他の閾値においても κ 統計量は 0.61 以上の精度を維持している。したがって、本研究で限定した -3.6 dB $\sim$ -2.8 dB の範囲では、任意の値を閾値として決定しても同等な精度で湛水域を抽出することが可能であることが明らかになった。

湛水域を抽出するためには閾値を唯一つに決定しなければならない。本研究では、総合分類精度と κ 統計量、共に -3.2 dB で総合分類精度 89.2%、 κ 統計量 0.64 と最も高い値を示したため、 -3.2 dB を閾値と決定した。また、以下の議論において閾値 -3.2 dB の湛水域は、閾値 -3.6 dB $\sim$ -2.8 dB の代表値として取り扱う。

4.2 湛水域の抽出結果

本研究で決定した閾値 -3.2 dB と、比較対象として春山・志田 (2005) で決定された閾値 -1.8 dB を用いて抽出した湛水域を図 7 に示す。また、以下で使用する「流水」・「静水」を、「流水: 恒常的に水が存在し、河川のように大きな流れのある水」、「静水: 恒常的に水が存在し、湖沼のように静止した水塊」と定義する。

春山・志田 (2005) の閾値 -1.8 dB を適応した場合、9 月の湛水域にメコン川本流など本来恒常的な水面である場所においても湛水と誤判別している場所が見受けられた。また、9 月、12 月の湛水域において段丘など微高地でも微小領域のノイズのようなものが多く見受けられる。

一方、本研究で決定した閾値 -3.2 dB を適応した場

図7 SARの差画像から抽出した湛水域

図8 洪水域誤判別の減少

図9 静水・流水における NRCS の季節変化

合では、閾値 -1.8dB と比較して地形要素としての山地や河川が洪水域判別の際の誤判別が減少していることが確認できた。河川においては、湖などでは閾値 -1.8dB において誤判別されていないことを考慮する

と、閾値 -3.2dB では流水部分での誤判別を除去できていることと解釈できる(図8)。そこで、流水のNRCSの季節変化(図9)を見ると、増水期である8月、9月においてNRCSの値が低くなっている。また、静水のNRCSの季節変化はほとんど変化はなく一定の値をとっている。このことから流水における特別な変化があったと考えられる。特に増水に関して、8月、9月の水位は6月、12月と比較し $4\sim 5\text{m}$ と高くなっている。このことから、増水により水位が上昇することでNRCSの変化を生じさせることが考えられる。この事例に関してはより深い検討が必要である。

4.3 精度評価結果の比較・検討

本研究で決定した閾値 -3.2dB と、比較対象として春山・志田(2005)で決定された閾値 -1.8dB を用いて抽出した洪水域の精度評価結果を表4、表5に示す。

グランドトゥルスに基づく評価では、閾値 -1.8dB の場合、86点中56地点においてグランドトゥルス結果と一致し、その精度は 65.1% であった。一方、閾値 -3.2dB の場合、86点中78地点においてグランドトゥルス結果と一致し、その精度は 90.6% であった。

OPS(VNIR)による精度評価では、総合分類精度は閾値 -3.2dB においては 89.2% 、閾値 -1.8dB においては 83.9% であった。また、 χ^2 統計量においては閾値 -3.2dB では 0.64 、閾値 -1.8dB では 0.55 となった。閾値 -3.2dB において、総合分類精度は 89.2% と約9割に近い値を示したが、 χ^2 統計量は 0.64 であり、光学センサとの比較で抽出した洪水域よりも精度は高いものの、十分に高いとは言えない。

しかしながら、本研究で提示した閾値決定の手法が従来の光学センサとの比較から決定する手法と比較して有効であること、LバンドSARを用いて抽出した洪水域は総合分類精度で 88.0% 以上、 χ^2 統計量で 0.61 以上の精度であることが明らかになった。

以上の結果から、本研究で提示した閾値決定手法の有効性、LバンドSARを用いての洪水域抽出の精度が明らかになった。

4.4 誤判別地域の把握

閾値を決定し、洪水域抽出の定量的評価を行ったが、 χ^2 統計量 0.64 と依然としてその精度は十分であるとは言えない。そこで、閾値 -3.2dB を適応した洪水域においてどのような地域で誤判別しているかを桶谷・春

表 4 閾値-3.2dB, -1.8dB を用いた場合のグランドト
ルースに基づく精度評価

	閾値-3.2dB	閾値-1.8dB
一致	78	56
不一致	8	30
	90.7%	65.1%

表 5 閾値-3.2dB, -1.8dB を用いた場合の総合分類精
度と κ 統計量

閾値-3.2dB					
		SAR 解析結果			製作者 分類精度
		湛水	非湛水	総計	
OPS 検証 データ	湛水	317	158	475	66.7%
	非湛水	100	1809	1909	94.8%
	総計	417	1967	2384	
使用者 分類精度		76.0%	92.0%		
総合 分類精度		89.2%		κ 統計量	0.64
閾値-1.8dB					
		SAR 解析結果			製作者 分類精度
		湛水	非湛水	総計	
OPS 検証 データ	湛水	369	106	475	77.7%
	非湛水	278	1631	1909	85.4%
	総計	647	1737	2384	
使用者 分類精度		57.0%	93.9%		
総合 分類精度		83.9%		κ 統計量	0.55

山 (2006) のカンボジアプノンペン周辺の地形分類図と OPS (VNIR) により作成した NDVI 画像より考察した。

JERS-1 SAR において非湛水と判別, OPS (VNIR) において湛水と判別された地域は沼沢地や旧河道に多く, NDVI 値も 0.1 未満で非植生域であった。一方, JERS-1 SAR において湛水と判別, OPS (VNIR) において非湛水と判別された地域は同様に沼沢地も多いが, 高地・低地の自然堤防帯に非常に多く, NDVI 値も 0.1 以上と前者にみられない傾向が確認できる。特にメコン川とバサック川に挟まれた中州域でその傾向が顕著である。

以上のことから, JERS-1 SAR による湛水域抽出に

は沼沢地や旧河道で過小評価を, 植生が生育している自然堤防では過大評価をする傾向が示唆された。

5. ま と め

本研究では, JERS-1 SAR データを用いて閾値法における閾値決定手法を提示し, その閾値を基に抽出した湛水域の精度を現地調査であるグランドトルース結果と JERS-1 に同様に搭載された光学センサ OPS (VNIR) と比較して精度評価を行った。そして, 精度評価の結果をふまえ, 誤判別されている地域が地形や植生とどのように対応しているかを地形分類図と OPS (VNIR) より作成した NDVI 画像より考察した。

その結果, 本研究で提示した閾値決定の手法が従来の光学センサとの比較から決定する手法と比較して有効であること, L バンド SAR を用いて抽出した湛水域は総合分類精度で 88.0% 以上, κ 統計量で 0.61 以上の精度であることが明らかになった。

また, 地形分類図と NDVI 画像とで照合すると, L バンド SAR を用いて抽出した湛水域では沼沢地や旧河道で過小評価を, 植生が生育している自然堤防では過大評価をする傾向が示唆された。

しかしながら, 本研究での κ 統計量は 0.64 であるため, 更なる精度向上が必要となる。特に本研究では湛水域抽出の際, ピクセルベースにおいての手法であったため, ゴマ状の微小領域のノイズを完全に除去するのは困難であった。今後の課題としてこのノイズを低減するため, パッチ状に分類できるオブジェクトベースの手法により精度を向上させていくことが挙げられる。

謝 辞

本研究は科学研究費補助金課題番号 16251001 「巨大河川の環境変動が社会に及ぼす影響評価」(基盤研究(A)(1)) (研究代表者: 春山成子) の成果の一部である。また, SAR データの解析にあたっては防災科学技術研究所の大倉博博士には有益なご助言を頂き, ここに厚くお礼申し上げます。

(受付日 2006.7.28, 受理日 2007.1.10)

参考文献

桶谷政一郎, 春山成子, 2006. メコンデルタ・カンボ

- ジア領内の氾濫原地形，巨大河川の環境変動が社会環境へ及ぼす影響評価－メコン川流域の場合－科学研究費補助金平成17年度研究成果報告書，pp.30-39.
- 越智士郎，Rahman, Nizam M., 垣内博昭，1991. バングラディッシュにおける洪水危険度の分析，写真測量とリモートセンシング，30(6)，pp.34-38.
- 瀬戸島政博，赤松幸生，1990. 画像解析により抽出した防災情報の高度利用に向けての試み，写真測量とリモートセンシング，29(4)，pp. 4 -15.
- 春山成子，志田 健，2005. 防災利用のための衛星リモートセンシング JERS-1 SAR を用いたメコンデルタの洪水地形分類図作成について，電子情報通信学会技術研究報告，105(158)，pp.51-54.
- Brivio, P.A., Colombo, R., Maggi, M., Tomasoni, R., 2002. Integration of remote sensing data and GIS for accurate mapping of flooded areas. *International Journal of Remote Sensing*, 23(3), pp.429-441.
- Giacomelli, A., Mancini, M., Rosso, R., 1995. Assessment of Flooded Area from ERS-1 PRI Data: An Application to the 1994 Flood in Northern Italy. *Phys. Chem. Earth*, 20(5-6), pp.469-474.
- Laba, M., Smith, S.D., Degloria, S.D., 1997. Landsat-based land cover mapping in the lower Yuna River watershed in the Dominican Republic. *International Journal of Remote Sensing*, 18(14), pp. 3011-3025.
- Nico, G., Pappalepore, M., Pasquariello, G., Refice, A., Samarell, S., 2000. Comparison of SAR amplitude vs. coherence flood detection methods—a GIS application. *International Journal of Remote Sensing*, 21(8), pp.1619-1631.
- Shimada M., Isoguchi O., 2002. JERS-1 SAR Mosaics of Southeast Asia Using Calibrated Path Images. *International Journal of Remote Sensing*, 23(7), pp.1507-1526.
- Smith, L.C., 1997. Satellite remote sensing of river inundation area, stage and discharge: A review. *Hydrological Processes*, 11, pp.1427-1439.
- Townsend, P.A., Walsh, S.J., 1998. Modeling flood plain inundation using integrated GIS with radar and optical remote sensing. *Geomorphology*, 21(98), pp.295-312.