

# 시계열 RADARSAT 자료를 이용한 농경지의 홍수피해 유형 분석

이규성, 이선일  
인하대학교 지리정보공학과  
ksung@inha.ac.kr

## 요약

침수 피해지에 대한 신속하고 정확한 지도의 제작은 홍수재해 관리와 예방을 위한 중요한 자료로 사용된다. 타 위성영상에 비하여 기상조건에 관계없이 영상자료의 획득이 용이한 레이더영상을 이용하여 홍수피해 분석을 위한 활용 가능성을 파악하고자 하였다. 1999년 여름 경기도 북부 지역에 발생한 홍수 사상을 사례지로 하여 C-band RADARSAT 위성영상을 촬영되었는데, 침수 시점인 8월4일 영상과 그 전후 영상을 포함하여 네 시기의 영상을 이용하였다. 영상의 기하학적 보정, 잡음의 최소화, 방사보정 등의 처리 과정을 거친 후 네 시기의 영상에서 나타나는 논외의 시기별 레이더반사신호의 변화를 분석하였다. 수면, 논, 밭, 산림 등의 다양한 지표물의 시기별 반사신호를 분석한 결과, 침수되었던 논에서 뚜렷한 반사신호의 차이를 관찰할 수 있었다. 또한 홍수 이후의 영상인 8월14일 영상을 함께 분석함으로써 침수되었던 논외의 복구 상태에 따른 차이를 구분할 수 있었다.

## 1. 서론

지난 30년 동안 인공위성 원격탐사 기술은 지구 표면과 관련된 다양한 정보의 수집에 활용되어 왔으며, 매년 새로운 형태의 영상센서를 탑재한 위성이 개발되고 있다. 위성영상을 이용한 홍수사상의 공간적 분포와 피해 규모를 분석한 연구는 세계 각국에서 활발히 진행되어 왔으나(Barret 등, 1990), 1990년대 이전까지 대부분 위성영상은 항공사진과 마찬가지로 태양을 광원으로 하는 광학영상(optical image)이므로 구름으로 덮여 있거나 야간에는 지표 상태를 촬영할 수 없기 때문에 실무에 직접 적용되는 사례는 드물었다. 일정한 궤도 주기로 정해진 시간에 홍수와 같이 비교적 단기간에 발생하는 현상을 촬영하는 것은 어려운 일이며, 홍수 시점과 위성궤도가 일치한다 할지라도 구름 때문에 양질의 영상자료를 획득하는데 많은 어려움이 있다. 기상 상태가 양호하지 않은 하절기에 집중하여 비교적 짧은 기간에 발생하는 한반도 지역의 홍수 특성을 감안한다면, 우리 나라에서 광학위성영상을 이용하여 직접적인 침수피해를 조사 분석한 사례는 거의 없다. 홍수 직후의 Landsat TM 영상자료를 이용하여 유실된 농지 및 침수흔적을 분석한 연구가 있었다 (박병욱 외, 1997). 1990년대까지 소수의 지구관측위성에 의존하였지만 지금은 우리 나라를 비롯하여 세계 각국에서 발사하였거나 계획중인 관측위성의 종류가 다양해졌기 때문에, 필요한 시점의 영상을 촬영할 수 있는 기회는 증가하고 있다.

영상레이더(imaging radar)는 능동적 센서시스템으로, 구름, 안개, 비, 연무 등의 기상조건에 영향을 받지 않을뿐더러 야간에도 영상을 촬영할 수 있기 때문에 광학 위성영상이 가지고 있던 자료획득에 있어서의 단점을 극복하여 원하는 시점의 영상자료를 촬영할 수 있기 때문에 홍수와 관련된 재해 모니터링에 있어서 활용 가능성이 높아지고 있다. 특히 1991년 이후 영상레이더 센서를 탑재한 인공위성들이 발사된 이후 레이더 영상을 이용한 홍수분

석 연구는 활발히 진행되고 있다 (Leconte와 Pultz, 1991; Brakenridge, 1998; Takeuchi 등, 1999). 레이더 영상자료를 이용하여 단순히 침수된 지역을 구분하는 단계에서 더 나아가 계절적인 홍수 주기를 관측하거나 (Pope 등, 1997), 침수지의 식생 상태까지 분석한 사례가 있다 (Hess 등, 1995)

본 연구의 목적은 우리 나라에서도 자료획득이 가능한 인공위성 레이더 영상자료를 이용하여 홍수 시점의 정확한 침수지역을 구획하고 더 나아가 홍수 이후 침수되었던 농경지의 피해유형별 레이더 반사신호의 특성을 분석하고자 하였다. 특히 지난 1999년 여름 경기 북부 지역의 홍수 기간동안 침수 시점 전후의 영상을 함께 분석하여 수해 지역에 대한 피해 흔적조사 및 피해 특성을 밝히고자 하였다.

## 2. 연구지역 및 레이더영상자료

경기도 파주 연천 지역의 경우 7월 31일 저녁부터 시작된 호우가 8월 4일까지 계속되었는데, 8월 2일을 기점으로 강우량이 감소하였다. 당시의 강우자료에서 파주지역에 있어서 최대 침수시점은 8월 1일 또는 2일로 판단되나, 이 시기에 가장 근접한 영상은 8월 4일 오후 6시 22분에 촬영된 것이다. 72시간 동안 총강우량이 900mm에 육박하는 워낙 대규모의 홍수였기 때문에, 위성영상의 촬영시점인 8월 4일까지도 상당 부분의 농경지가 여전히 침수된 상태로 있는 상태였다. 침수 전후의 토지피복 상태를 비교함으로써 정확한 침수피해지를 구분하기 위하여 홍수 이전인 7월 7일 및 7월 25일 영상과 홍수 이후 배수가 완전히 이루어진 8월 14일 영상을 함께 이용하였다. 즉 하천 및 저수지와 같은 상시 수면과 호우로 발생한 침수지의 구분을 위하여 침수 시점 전후의 영상이 사용되었다. 또한 홍수 이후에 촬영된 8월 14일의 영상은 침수되었던 지점의 배수 후 상태를 보여주기 때문에 농경지에 있어서 피해 복구 및 작물의 회복 상황을 분석할 수 있는 자료로 사용되었다.

연구에 사용된 영상자료는 5.6cm 파장의 RADARSAT위성에서 촬영된 C-밴드 SAR영상들이다 (표 1). 연구에 사용된 레이더영상은 모두 표준(standard) 모드에서 촬영된 영상으로 약 20m의 공간해상도를 가지고 있으며, 한번에 촬영할 수 있는 지역은 약 110 x 120 km<sup>2</sup>에 해당된다. 따라서 연구에 사용된 영상은 서울, 인천 등 수도권 일부 지역과 휴전선 이북의 북한지역까지 포함하고 있다.

표 1. 1999년 여름 경기도 북부 홍수피해분석을 위하여 사용된 시계열 SAR 영상의 특징.

촬영일시	beam mode (beam position)	incidence angle	촬영면적	pixel 간격
1999년 7월 7일 18:39	standard (S6)	44.1°	약 110x110 km <sup>2</sup>	12.5m
1999년 7월 25일 06:28	standard (S6)	44.1°		
1999년 8월 4일 18:22	standard (S1)	23.0°		
1999년 8월 14일 18:30	standard (S4)	36.5°		

## 3. 레이더영상처리

먼저 침수 시점인 8월 4일 영상의 판독 결과와 수집된 침수피해자료를 이용하여 홍수분석을 위한 사례지역으로 문산 및 주변 지역에 해당하는 약 18 x 20km<sup>2</sup>의 면적을 추출하였다. 침수 시점 및 전후의 네 시기 영상을 동일한 지도좌표에 등록함으로써 침수지 구분은 물론 침수 전후의 레이더 반사신호를 직접적으로 비교 분석하기 위하여 먼저 기하보정을 실

시하였다. 연구지역의 레이더영상은 수신소에서 기본적인 기하보정을 마친 다음 지도좌표에 등록된 형태로 제공되었으나, 그러한 기하보정이 촬영시점의 위성궤도자료만을 이용한 아주 초보적인 처리이므로 세 시기의 영상을 중첩하였을 경우 정확하게 일치되지 않았다. 네 시기의 영상이 정확하게 동일한 위치에 일치되게 하기 위하여 하나의 영상을 기준으로 하여 다른 두 영상을 기준영상에 맞게 등록하였다. 각각의 영상에서 공통적으로 확인할 수 있는 기준점(ground control points)을 선정한 후, 이를 통하여 좌표변환식을 산출하였고 기준영상의 좌표에 맞도록 다른 두 영상을 재배열하였다.

레이더영상에서 흔히 나타나는 스펙클 잡음(speckle noise) 현상을 저감시켜, 영상판독을 보다 용이하게 하고 더 나아가 침수피해지에 대한 레이더 반사신호의 변화를 보다 정확하게 분석하기 위하여 필터링을 실시하였다 (이규성, 1996). 본 연구에서는 Frost (1982)에 의하여 발표된 자기상관(autocorrelation) 필터를 채택하였다. Frost 필터는 목표물에서 반사된 순수한 신호값은 주변의 화소들과 독립적 관계가 아닌 공간적으로 연속성의 관계를 가지고 있다는 자기상관(autocorrelation) 개념이 이용된다. 따라서, 영상에서 하나의 단위공간(window) 중심에 위치한 화소는 주변 화소값(pixel's digital number value)들의 가중평균치에 의하여 대체되는데, 주변의 화소에 대한 가중평균치는 단위공간 내의 화소값의 변이에 따라 좌우될 뿐만 아니라 가운데 화소로부터의 거리에 따라 결정된다. 3x3크기의 단위공간(window)을 이용한 Frost 필터링을 통하여 스펙클 잡음을 최소화하여, 수면 및 논 등 비교적 동질의 지표물에서 화소값의 변이가 최소화 되도록 하였다.

연구지역에서 나타나는 여러 지표물의 레이더반사신호를 비교하기에 앞서, 전체 영상의 통계치를 비교하였다. 각각의 영상에서 계산된 화소값(DN value)의 기본 통계치를 비교한 결과, 비록 동일 지역에서 촬영되었지만 통계치가 매우 다르게 나타나고 있었다. 네 개의 시기별 영상을 직접 비교하기 위하여 각 영상의 화소값을 절대적 레이더반사신호값으로 변환하는 방사보정(radiometric calibration)을 실시하였다. 영상의 화소값 DN은 다음의 관계식으로 표현될 수 있는 데,

$$DN_i = \alpha_i * \sigma^o + \beta_i \quad (1)$$

지표물의 절대적 레이더반사신호값  $\sigma^o$ 를 구하기 위해서는 영상자료와 함께 주어지는 변환계수  $\alpha_i$ 와  $\beta_i$ 를 적용하면 된다.  $\alpha_i$ 와  $\beta_i$ 는 안테나 변수, 입사각, 위성에서 지표물까지 거리 등 여러 가지 시스템변수에 의하여 결정되는 데, 촬영시점의 조건에 따라 시스템변수가 결정된다. RADARSAT SAR 영상은 이러한 방사보정을 위하여 한정된 변환계수를 공급하고 있으나, 본 연구에 사용된 영상들의 포맷이 동일하지 않기 때문에 가강효과를 나타내는 변환계수의 적용이 곤란한 자료가 있었다. 일차적으로 변환된 각 영상에서 나타난  $\sigma^o$ 의 절대적 차이를 보정하기 위하여 네 촬영시점에서 지표 상태의 변화가 없으리라 판단되는 기준물체를 선정하여 네 영상간의 관계를 분석하여 세 영상을 다른 하나의 기준 영상에 맞게 정규화(normalization)하였다. 기준 지표물로는 운동장, 주차장, 도로 등과 같이 넓고 지형적 굴곡이 없는 나지를 이용하였다. 정규화 처리를 한 후, 연구지역에 분포하는 다양한 종류의 지표물(수면, 나지, 논, 밭, 산림)을 선정하여 시기별 레이더반사신호를 비교하였다.

침수시점과 그 전후의 세 시기의 영상을 중첩하여 RGB 칼라합성영상으로 출력하였을 경우, 각 시기의 상대적 화소값의 차이에 따라 독특한 색을 띄게 된다. 칼라합성 영상에서 서로 다른 색으로 나타나는 지점들에 대한 상대적 레이더반사신호의 시기적 차이를 분석하기 위하여 앞에서 분석한 여러 지표물의 반사특성을 고려하였다. 침수피해가 가장 많이 발생한 논외의 경우 침수여부와 함께 홍수 이후의 논외의 복구 상태에 따라 레이더반사신호의 시

기별 차이가 뚜렷하게 구별됨으로서 칼라합성영상에서 다른 색으로 나타나게 된다. 영상이 촬영된 시점의 지표상태에 따라 시기별 레이더 반사신호의 유형이 합성된 영상에서 구별되는 데, 이를 모니터상에서 직접 판독하여 구획하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

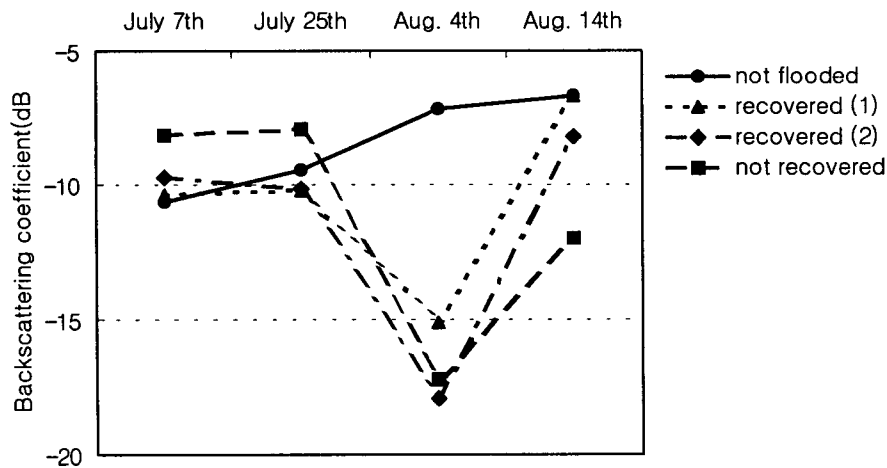
레이더영상에서 나타나는 반사신호의 강약은 명암에 의하여 구별되며, 그러한 반사신호의 차이는 표면의 거칠기에 의하여 크게 좌우된다. 레이더 반사신호가 표면의 상태에 따라 크게 좌우되는 특성에 따라, 침수된 지점의 레이더반사는 침수 정도에 따라 수면과 같거나 유사하게 나타나게 된다. 따라서 침수 당시의 영상과 침수 이전과 이후의 영상에서 나타나는 지표물의 레이더반사신호를 시기별로 관찰해보면, 침수 여부를 쉽게 판단할 수 있게 된다. 침수가 되지 않은 지점의 반사신호는 네 시기의 영상에서 크게 다르지 않다. 물론 논이나 산림은 시기별로 식물의 생육 정도에 따른 반사신호에 다소의 차이가 있을 수 있지만, 그 차이가 미약하게 나타나게 된다. 따라서 본 연구에 사용된 네 영상의 촬영 시점에 따른 레이더 반사신호를 관찰한 결과 침수가 발생한 논에서 뚜렷한 차이가 있음을 관찰할 수 있었다.

그림 1은 7월 7일부터 8월 14일까지 이 지역의 논의 시기별 레이더반사신호를 보여주고 있다. 침수되었던 지점과 비교할 목적으로 침수가 되지 않았던 정상적 상태의 논을 함께 추출하여 시기별 변화를 관찰하였다. 먼저 8월 4일 영상에서 침수가 되지 않았던 논은 7월 7일부터 8월 14일까지 정상적인 생육에 따라 레이더반사신호가 점차 증가하고 있음을 볼 수 있다. 7월초부터 8월 중순까지 벼의 생육이 가장 왕성한 시기이기 때문에, 벼의 생육과 함께 후방산란계수가 완만히 증가하는 전형적인 특성을 잘 보여주고 있다.

비교적 높은 지역에 위치하여 침수가 되지 않았던 논의 경우 8월 4일 촬영된 영상에서도 정상적인 벼의 반사치를 보여주고 있으나, 문산읍 주변을 비롯하여 저지대의 위치하여 침수되었던 논의 경우 보통 수면과 유사한 매우 낮은 값을 나타내고 있다. 최대 수위시점인 8월 2일에서 이들이 경과하였으나, 워낙 강우량이 많았던 대규모 홍수이었던 때문에 촬영시점에도 여전히 배수가 되지 않은 채로 남아있음을 볼 수 있다. 8월 14일 영상은 침수되었던 논에서 물이 빠진 홍수 이후의 영상이므로 침수되었던 논의 상태를 관찰할 수 있었다. 8월 14일 영상의 촬영시점에 근접하여 연구지역을 답사한 결과 침수되었던 대부분의 논은 물이 빠진 후 정상적으로 자라고 있었으나, 부분적으로는 복구되지 못하고 고사된 채로 방치된 논도 있었다. 문산읍에 근접한 농경지의 경우 8월 4일에는 완전히 침수되었으나, 물이 빠진 8월 14일에는 정상적으로 작물이 자라고 있었다. 반면에 파평면과 임진각 주변의 일부 논은 비교적 장기간의 침수로 인하여 벼가 이미 죽었거나 복구를 포기하여 벼가 누운 채로 방치되어 있었다. 물론 침수 후 복구가 되어 벼가 자라고 있는 논의 경우도, 3-4일 이상 물에 잠겨있을 경우 나락이 맞지 않고 죽정이가 나오기 때문에 수확량이 감소되는 피해를 입었으나, 레이더 반사신호는 침수 전과 크게 다르지 않았다. 홍수 후 복구가 되지 않은 논의 경우 너무 오랜 기간 벼가 물에 잠겨있었거나 복구할 시간이 부족하여 그냥 방치되었기 때문에 현재 벼가 고사하여 누워있는 상태이었고, 따라서 8월14일 영상에서 복구된 논에 비하여 매우 낮은 값을 보여주고 있다.

침수되었던 논의 회복 상태에 따라 시기별 레이더반사신호가 다르게 나타났듯이, 시기별 칼라합성영상에서도 관찰될 수 있었다. 침수 전후와 침수시점의 세 시기의 영상에서 커다란 차이가 없이 유사한 값을 갖게 되면 흰색, 회색, 검은색 등 명암만을 나타나게 된다. 일반적으로 강, 저수지, 도로와 같이 세 시기의 영상에서 모두 낮은 값을 가지고 있는 지표물은 칼라합성영상에서도 검게 보이고 도심지의 경우 세 영상에서 모두 높은 값을 가지게 되

므로 칼라영상에서도 하얗게 보이고 있다. 본 연구의 관심지역인 침수되었던 논외의 경우 8월 4일의 영상에서 낮은 값을 갖고, 홍수 전후의 시점에서는 비교적 높은 값을 갖게 되므로 칼라합성영상에서도 쉽게 구분될 수 있었다. 이와 같이 침수 시점과 그 전과 후의 세 시기 영상을 사용함으로써 침수되었던 논을 구분하였을 뿐 아니라, 홍수 후 논외의 복구 상태를 파악할 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 최근 위성 레이더 영상자료의 공급과 더불어 벼의 생장에 따라 레이더반사신호가 증가하는 특성을 분석한 연구결과가 발표되고 있는데, 벼의 생장에 따른 레이더반사신호의 시기적 변화를 좀 더 세분화한다면 침수 후 복구된 논외의 수확량 감소를 추정할 수 있는 가능성이 있다고 판단된다 (Lee와 Hong, 1999).



## 5. 결론

1999년 여름 경기도 파주 지역의 홍수 사례를 선정하여 침수피해가 발생한 시점과 그 전후의 RADARSAT영상을 이용하여 위성레이더 영상의 특성과 활용 가능성을 분석한 결과, 각 시점의 지표 상태에 따라 침수지와 침수되지 않은 지역의 시기별 레이더 반사신호에 뚜렷한 차이가 나타났다. 비교적 토지피복상태가 단순하고 넓은 면적으로 분포하는 농경지의 침수상태는 침수 전후의 시계열 레이더영상자료를 칼라합성한 영상에서 쉽게 판독된다. 그러나 소규모의 면적으로 발생하는 도심지의 침수상태나 구조물 붕괴 등과 같은 홍수 피해는 레이더 영상의 공간해상도 때문에 직접적인 판독이 어려우리라 판단된다.

비교적 긴 파장대의 L-band 레이더영상자료보다 벼의 생육에 민감한 RADARSAT의 C-band 영상자료가 홍수피해 분석에 있어서 보다 효과적인 것으로 판단된다. 특히 홍수 후 농경지의 복구상태와 작물의 생육상태를 파악하기 위한 목적으로는 작물의 생육에 따라 반사신호가 민감하게 작용하는 C-band 레이더가 적합하리라 판단된다. 연구 결과에서 나타났듯이 침수되었던 논에서 물이 완전히 빠진 8월 14일에 촬영된 영상을 사용함으로써 8월 4일에 침수되었던 농경지를 구획하였을 뿐만 아니라, 홍수 후 복구되어 정상적으로 생육하고 있는 논과 침수된 채 그대로 방치되어 벼가 죽은 상태로 있는 미복구 농경지의 두 가지 피해 유형을 구분할 수 있었다.

단기간 벼의 생육에 따른 레이더반사신호의 민감도를 분석한 연구가 진행되고 있으나, 시기별 영상의 절대적인 비교를 위해서는 레이더 영상의 방사보정에 보다 많은 주의가 요구된

다. 본 연구에서도 방사보정을 실시하였으나, 공급되는 영상자료의 형태에 따라 보정에 필요한 계수의 특성이 다르게 나타남을 관찰할 수 있었다. 나름대로 시기별로 변화가 없으리라 판단되는 기준목표물을 선정하여 시기별 영상을 정규화처리를 통하여 레이더반사신호의 변화를 관찰하였으나, 절대적 방사 보정을 위한 추가적인 분석이 필요하다.

홍수 피해분석을 위한 시계열 영상자료를 이용에 있어서 레이더 영상의 시기적 적합성은 피해분석의 성공여부를 결정하는 매우 중요 문제다. 본 연구에 적용된 홍수 사상은 우리나라에서 발생하였던 홍수 중 비교적 대규모인 1999년 경기 북부지역의 대홍수 지역을 대상으로 하여 호우가 끝날 무렵인 8월 4일 영상에서도 배수가 되지 않은 침수지가 있었기 때문에 피해분석이 가능하였으나, 하루 이내에 물이 빠지는 대부분의 소규모 홍수재해의 경우 영상자료의 획득이 보다 적시에 이루어져야 할 것이다. 아울러 홍수 이후의 영상을 함께 이용한다면, 홍수 후의 피해복구와 관련된 정보를 획득하는데 유용하게 활용될 수 있다.

## 6. 참고문헌

- 박병욱, 김철, 조효섭, 김계호. (1997). "Landsat TM 자료를 이용한 홍수흔적 분석". 한국 GIS학회 추계학술대회논문집, 7pp.
- 이규성. (1996). "레이더 영상자료의 Speckle 필터링 효과", 대한원격탐사학회지, 제12권 2호, pp. 155-168.
- Barrett, E.C., M.J. Beaumont, and R.W. Herschy. (1990). "Satellite Remote Sensing for Operational Hydrology: Present Needs and Future Opportunities", Remote Sensing Reviews, Vol. 4, No. 2, pp. 451-466.
- Brakenridge, G.R, Tracy, B.T., and Knox, J.C., (1998). "Orbital SAR remote sensing of a river flood wave", Int. Jour. Remote Sens., Vol. 19, No. 7, pp. 1439-1445.
- Frost, V.S., Stiles, J.A., Shamugan, K.S., Holtzman, J.C. (1982). "A Model for Radar Images and its Application to Adaptive Digital Filtering of Multiplicative Noise", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 4, No. 2, pp. 157-166.
- Hess, L.L., Melack, J.M., Filoso, S. and Wang, Y. (1995). "Delineation of Inundated Area and Vegetation Along the Amazon Floodplain with the SIR-C Synthetic Aperture Radar", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 33, No. 4, pp. 896-903.
- Leconte R. and Pultz, T.J. (1991). "Evaluation of the Potential of Radarsat for Flood Mapping Using Simulated Satellite SAR Imagery". Canadian Jour. Remote Sensing, Vol. 17, No. 3, 241-249.
- Lee, K.S and Hong, C.H. (1999). "L-band SAR monitoring of Rice Crop Growth". Proceedings of Int. Symp. on Remote Sensing - EMSEA '99, pp. 479-484.
- Pope, K.O., Rejmankova, E., Paris, J.F., Woodruff, R. (1997). "Detecting Seasonal Flooding Cycles in Marshes of the Yucatan Peninsula with SIR-C Polarimetric Radar Imagery", Remote Sensing of Environment, Vol. 59, pp. 157-166.
- Takeuchi, S., Konishi, T. Suga, Y. and Kishi, S. (1999). "Comparative Study for Flood Detection Using JERS-1 SAR and Landsat TM Data". Proc. of 1999 IGARSS, Vol. 2, pp. 873-875.