

마이크로웨이브 원격탐사를 이용한 남극 웨델해 해빙 관측

황종선¹ · 이방용² · 심재설³ · 홍성민² · 윤호일² · 권태영⁴ · 민경덕¹ · 김정우^{5*}

¹연세대학교 지구시스템과학과, ²한국해양연구원 극지연구소, ³한국해양연구원 연안·항만공학 연구실,
⁴강릉대학교 대기환경과학과, ⁵세종대학교 지구정보공학과

Sea Ice Detection using Microwave Remote Sensing Techniques in the Weddell Sea, Antarctica

Jong-Sun Hwang¹, Bang Yong Lee², Jae-Seol Shim³, Sungmin Hong², Hoil Yoon²,
Tae-Yong Kwon⁴, Kyung Duck Min¹ and Jeong Woo Kim^{5*}

¹Dept. of Earth System Science, Yonsei University.

²Polar Sciences Lab., Korea Ocean Research & Development Institute, Korea.

³Coastal and Harbour Engineering Lab. Korea Ocean Research & Development Institute, Korea.

⁴Dept. of Atm. and Environ. Sci., Kangnung Nat'l Univ.

⁵Dept. of Geoinformation Engineering, Sejong University, Korea.

We investigated the distribution of sea ice using various microwave remote sensing techniques including radar altimeter, radiometer, and scatterometer data in the part of Drake passage, Antarctica, between the area 45°-75°W and 55°-66°S. Topex/Poseidon radar altimeter data were used to analyze the monthly distribution of sea ice surface area between 1992 and 1999 by using Geo_bad_1 flag of MGDR. From satellite radiometer measurements of DMSP's SSM/I, sea ice concentration was extracted during the period from 1993 to 1996. To select a value of ice concentration, normally ranging from 0 to 100%, that can be used as a critical value of judging the existence for ice, sea ice areas estimated from various ice concentrations of radiometer measurements were correlated with the area estimated from the radar altimeter measurements. As a result, 20% of ice concentration was selected, and, then this value was used to integrate radiometer data with radar altimeter and ERS-1/2 scatterometer data. To indirectly verify the result, the last 20 year's sea ice concentration was correlated with surface temperature data near Esperanza Observation Station. The two data showed a high correlation coefficient of 0.86. The amount of sea ice and temperature variation were found to be closely related in the study area, and this indirectly verifies the result of this study. We provided a method to judge the existence of sea ice from ice concentration of satellite radiometer data and suggested a method to monitor more detailed temporal and spatial variation of sea ice distribution by integration of various microwave remote sensing techniques.

Key words : Antarctica, Sea ice, Altimeter, Scatterometer, Radiometer

남극 드레이크해협(45°~75°W, 55°~66°S)의 해빙분포를 연구하기 위해 인공위성 레이더 고도계, 복사계, 및 산란계 자료를 이용하였다. 레이더 고도계 자료는 Topex/Poseidon MGDR을 사용하였고, Geo_bad_1 flag를 이용하여 1992년부터 1999년 동안 연구지역내 해빙면적을 계산하여 월별 분포를 구하였다. DMSP의 SSM/I 인공위성 복사계 자료를 이용하여 1993년부터 1996년 사이 연구지역의 해빙의 면적비(ice concentration)를 추출하였다. 0에서 100%로 나타나는 해빙 면적비를 고도계로부터 관측된 해빙의 면적과 대비함으로써 해빙의 유무를 결정할 수 있는 해빙 면적비를 20%로 결정하였고, 이를 이용하여 복사계로부터 추출된 해빙 분포를 인공위성 고도계 및 ERS-1/2 인공위성 산란계의 자료와 통합하였다. 추출된 해빙 분포를 간접적으로 검증하기 위해 지난 20년 동안의 연구지역내 해빙 면적비를 인접한 Esperanza 관측지점의 월평균 기온 자료와 대비하여 검증하였다. 그 결과 두 자료는 0.86의 높은 상관관계를 보였다. 이로부터 해빙 분포와 온도 변화가 매우 밀접한 관계를 가지며 변화한다는 사실을 알 수 있고, 해빙

*Corresponding author: jwkim@sejong.ac.kr

의 증감과 기온의 밀접한 관계를 감안할 때 본 연구 결과를 간접적으로 입증한다. 본 연구의 결과로부터 인공위성 복사계 자료로부터 해빙의 유무를 직접 판단 할 수 있는 있는 근거를 마련하였고, 인공위성 고도계, 복사계 및 산란계의 자료를 통합함으로써 보다 상세한 해빙의 시간적 공간적 분포변화를 관측할 수 있는 방안을 제시하였다.

주요어 : 남극, 해빙, 레이더 고도계, 산란계, 복사계

1. 서 론

일반적으로 극과 그 주변 해역은 계절에 따라 해수 표면이 결빙하여 형성된 해빙(sea ice)으로 덮이게 되며 이는 주변 및 지구전체 환경에 큰 영향을 미친다(Carsey *et al.*, 1990). 이러한 해빙을 인공위성으로부터 관측하기 위해서는 극초단파, 즉 마이크로파(microwave)를 이용한 원격탐사를 주로 이용한다. 이는 극지 환경의 특성상 일조시간이나 구름 등의 환경 조건에 의존도가 높은 광학(optical) 원격탐사로는 해빙의 관찰이 거의 불가능하기 때문이다.

다양한 마이크로파 원격탐사 기술 중에서 극지 해빙 연구에 주로 사용되는 비영상 원격탐사 기술에는 레이더 고도계(radar altimeter), 마이크로파 복사계(microwave radiometer), 산란계(scatterometer)가 있고 영상을 이용한 빙하 연구에는 영상레이더(imaging radar, SAR)를 사용하기도 한다. 이러한 마이크로파 원격탐사를 이용하면 해빙의 분포, 빙하의 엷도, 대륙빙하의 지형적 특성 및 고도변화 등 다양한 물리적 특성 뿐 아니라 궁극적으로 극지 빙하의 질량균형(mass balance) 연구가 가능하다(Parkinson and Gloersen, 1996; Massom, 1991).

인공위성에서 관측할 수 있는 다양한 해빙의 특성 가운데 하나인 극지 해빙의 분포는 해양 시추자료를 이용한 퇴적물 연구에 중요한 요인이 된다. 일년을 주기로 한 해빙의 변동은 대기와 해양사이의 열과 가스의 교환을 조절하는데 중요한 역할을 하며(Maykut, 1978), 특히 해빙의 가장자리(ice edge)에서 일어나는 일차생산성은 남극해 탄소순환에 중요한 역할을 하고 있음이 밝혀졌다(Gordon, 1978; Killworth, 1983). 따라서, 일년생 해빙의 분포 영역의 주기가 분명히 나타나는 남극해의 대륙붕 코어를 분석하면 해빙 분포에 따른 빙해양 퇴적과정 및 생산력(productivity) 특성을 이해할 수 있다(신유나 등, 2002). 이를 위해서는 극지 해빙의 분포의 연속적 관측이 필요하며, 이는 마이크로파 인공위성 원격탐사를 이용하는 것이 효과적인 유일한 방법이다.

인공위성에 탑재된 복사계는 지표로부터의 복사 세

기(radiance power)를 측정하며, 이로부터 극지 해빙의 분포를 관측할 수 있다. 측정된 복사의 세기는 복사체(radiator)의 온도와 비례하므로 Rayleigh-Jeans 근사식을 이용하여 이를 밝기 온도(brightness temperature)로 변환한 후 이로부터 해빙분포의 면적비(ice concentration)를 계산할 수 있다(Sabins, 1997). 레이더파를 해수면에 발사하여 되돌아오는 파의 도착시간 및 파형을 연구하여 해수면 기복이나 지오티드 등을 주로 관측하는 레이더 고도계의 경우 해빙의 굴곡과 경사가 일반적인 해수면의 굴곡이나 경사보다 크고, 또 표면에서의 반사나 레이더 신호의 침투율이 다르기 때문에 반사되어 되돌아오는 파형(return waveform)을 분석하여 레이더파의 반사면이 해수면인지 해빙인지를 알 수 있고, 이로부터 해빙의 분포 및 표면의 특성 등의 연구가 가능하다 (Cavalieri *et al.*, 1983; Hwang *et al.*, 2002a; 2002b; Kim *et al.*, 2001; Hong *et al.*, 2000). 산란계는 RF Pulse를 사용하여 관측하여 되돌아오는 신호 측정하여 해상도를 연구하는데 주로 사용되지만 후방산란계수(backscattering coefficient)로부터 해빙의 유무를 판단하고 해빙의 타입까지 결정할 수 있다. 그런데 이러한 방법들은 관측대상 및 방법, 시·공간적 해상도 등이 서로 다르기 때문에 이들로부터 관측된 해빙의 분포는 일반적으로 일치하지 않고, 따라서 이들을 통합하는 것이 하나의 과제로 남아있다.

본 연구지역인 남극 드레이크 해협(45°~75°W, 55°~66°S)은 웨클턴 파쇄대와 남쉐틀랜드 해구, 그리고 남스코티아 해령의 변환단층이 삼중점(triple junction)을 이루고 있는 복잡한 지구구조를 보이는 지역으로 이 지역의 해빙분포를 연구하기 위해 DMSP의 SSM/I 인공위성 복사계 자료를 사용하여 1993년부터 1996년 사이의 해빙분포의 면적비를 추출하였다(Fig. 1). 이렇게 계산된 해빙분포의 면적비 중에서 Topex/Poseidon 위성의 레이더 고도계와 ERS-1/2 산란계로부터 관측된 해빙의 분포와 가장 잘 일치하는 면적비(concentration)를 결정하여 연구지역의 해빙 유무를 결정하였다.

결정된 해빙의 유무를 간접적으로 검증하기 위한 한 방법으로 지난 20년(1980년~1999년) 동안의 남극반도

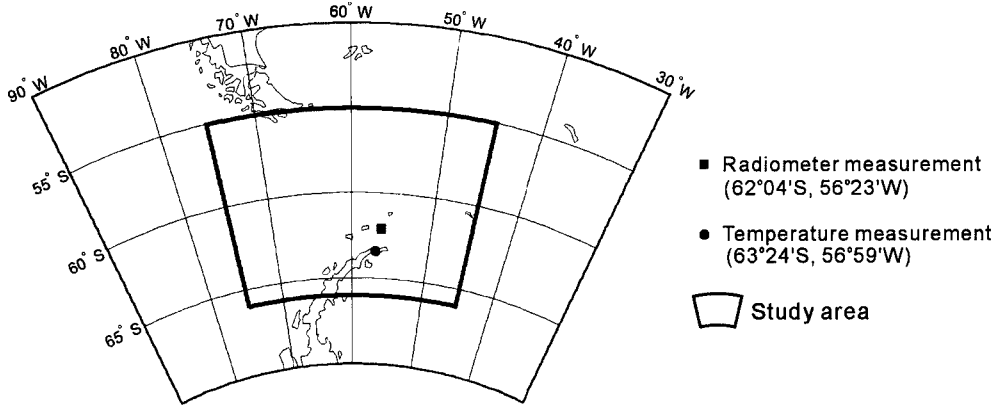


Fig. 1. Study Area in the Drake Passage, Antarctica (45° - 75° W, 55° - 66° S). Blue square and red dot denote measurement points for Radiometer and temperature, respectively.

북단에서 해빙분포 연구지역 (Elephant Island의 남서쪽 지점; $56^{\circ}23'W$, $62^{\circ}04'S$)과 가장 인접한 Esperanza 관측지점 ($56^{\circ}59'W$, $63^{\circ}24'S$)의 월평균 기온 자료와 대비하여 검증하였다(Fig. 1). Esperanza 관측 지점의 월 평균 지상기온 자료는 인터넷 웹사이트에서 제공되는 자료를 이용하였다(British antarctic survey, 2002).

2. 위성자료의 종류 및 특성

2.1. 인공위성 레이더 고도계 자료

인공위성에 탑재된 레이더 고도계를 이용한 원격탐사는 고도계로부터 레이더파를 해수면에 수직하향으로 발사하여 되돌아오는 왕복시간 및 파형을 분석하는 비영상 원격탐사로서 지구물리학, 지질학, 해양학, 기상학 등 다양한 분야에 활용된다. 해빙의 표면에서 레이더 고도계는 해수 표면에서와 달리 작동하는데, 그 이유는 해빙의 굴곡과 경사가 일반적인 해수면의 굴곡이나 경사보다 크고, 또 표면에서의 반사나 레이더 신호의 침투율이 다르기 때문이다. 따라서 되돌아오는 파형으로 레이더파의 반사면이 해수면인지, 해빙인지를 알 수 있고, 이로부터 해빙의 분포 및 표면의 특성 등의 연구가 가능하다.

Fig. 2는 Ridley and Paertington(1988)을 수정한 것으로, 시간에 따라 해수면에 반사되는 레이더파가 지면에서 반사되는 형태의 변화 및 되돌아오는 파형을 도시하였다. 평평하고 경사가 거의 없는 해수면에 레이더파가 반사되는 경우, 이에 따라 되돌아오는 파형은 가파른 leading edge 및 다소 완만한 trailing

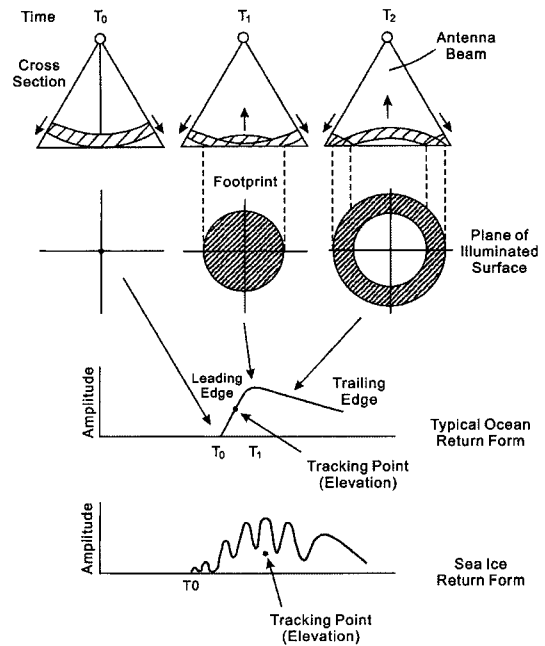


Fig. 2. The development of radar pulse over a planar sea surface [Modified from Ridley and Partington(1988)]. Typical ocean and sea ice return wave forms are also illustrated. The return is from the sea or ice surface only.

edge를 보인다. 반면에 상대적으로 굴곡 및 경사가 심한 해빙이 반사면인 경우에는 그림처럼 불규칙한 파형을 얻게되며, 이 경우 고도 측정을 위한 파형분석은 복잡한 과정을 겪게 된다(Ridley and Paertington, 1988). 이러한 특성에 의해 반사면의 특성을 해양, 육지 및 해빙으로 유추하며, 레이더 고도계의 GDR (Geophysical Data Record)에 이러한 정보가 포함되어 있다.

본 연구에서는 Topex/Poseidon(T/P) 위성의 Merged Geophysical Data Record (MGDR)를 이용하였다. MGDR은 Topex(GDR-T)와 Poseidon(GDR-P)의 양쪽 기록을 모두 보유하고 있다. MGDR은 위성의 사이클 번호, 시작과 종료 시각 등의 대략적인 정보를 지닌 헤더파일을 포함하고 있으며, 고도 측정값과 그에 관계된 모든 보정치, 그리고 위성의 천체력(ephemeris)을 포함한다. T/P가 처음 임무를 시작 할 때인 1992년 9월 22일부터 1996년 4월 23일까지 MGDR-A로 기록되어졌고 그 다음부터 현재까지 MGDR-A에서 보다 개선된 MGDR-B에 기록되었다. MGDR-B는 케도, 조석모델, 고도, 평균해수면의 고도, 지오이드 및 풍속 등이 보완되었다. 모든 측정은 경도, 위도와 시간이 함께 기록되며 파고, 풍속 등의 고도계 측정치들과

Brightness Temperature의 초단파 라디오미터 관측값들이 포함된다. 뿐만 아니라, 센서 및 자료의 상태를 나타내는 Flags도 포함한다. Flag는 세 개의 부분으로 구성되어 있는데 Instrument Flag, Telemetry Flag와 Quality Flag가 있다. Instrument Flag는 어떤 기기와 주파수가 사용되는지 알려주고, Telemetry Flag는 고도계 모드를 기본으로 해서 Telemetry자료의 품질을 조사하며, Quality Flag는 기타 유용한 정보를 포함하고 있다.

본 연구에서는 이 Quality Flag 가운데 Field No. 119 인 Geo_bad_1 flag를 이용하였다. 이는 레이더파의 반사면이 해양, 육지, 또는 해빙인지를 지시한다(Ocean/Land/Ice Indicator)(Table 1). 이로부터 Table 2와 같이 16가지의 Bits 조합을 만들어 Land, Ice, Shallow/Deep Water의 조합을 가정할 수 있고, 본 연구에서는 일단 Ice가 포함되는 경우를 반사표면이 해빙인 상태로 가정하였다.

Table 1. Bits for T/P MGDR Geo_Bad_1 Quality Flag [Modified from Beneda, 1997].

Bits	Definition	Value
0	Deep water flag	0-Deep water
		1-Shallow water
1	Land/water flag for the altimeter	0-Water
		1-Land
2	Land/water flag for the TMR	0-Water
		1-Land
3	Ice surface as detected by the TMR	0-No ice
		1-Ice
4-7	Spares(0)	

Table 2. Combinations of Geo_Bad_1 Flag of T/P MGDR.

Binary No.	Decimal No.	Definition	Surface
0000	0	Deep water	WATER
0001	1	Shallow water	
0010	2	Water/Land/Deep	LAND or WATER
0011	3	Water/Land/Shallow	
0100	4	Land/Water/Deep	
0101	5	Land/Water/Shallow	
0110	6	Land/Land/Deep	LAND
0111	7	Land/Land/Shallow	
1000	8	Ice/Water/Water/Deep	ICE
1001	9	Ice/Water/Water/Shallow	
1010	10	Ice/Water/Land/Deep	
1011	11	Ice/Water/Land/Shallow	
1100	12	Ice/Land/Water/Deep	
1101	13	Ice/Land/Water/Shallow	
1110	14	Ice/Land/Land/Deep	
1111	15	Ice/Land/Land/Shallow	

2.2. 인공위성 복사계 자료 (Satellite Passive Microwave Radiometer Data)

인공위성을 이용한 다채널 Passive Microwave Sensor로부터 복사 세기를 측정하여 극지 해빙을 관측할 수 있다. 측정된 복사 세기는 복사체의 온도와 비례하므로 Rayleigh-Jeans 근사식을 이용하여 밝기 온도로 변환될 수 있고, 이로부터 해빙분포의 면적비를 구할 수 있다.

연구에 사용된 자료는 미국 NASA의 DMSP (Defense Meteorological Satellite Program)의 SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager) Series이다. 이 연구에서는 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)로부터 입수한 월별 25 km×25 km 격자 자료를 사용하였다.

2.3. 인공위성 산란계 자료 (Scatterometer Data)

인공위성 산란계를 이용한 원격탐사는 마이크로파영역의 RF pulse를 사용하여 관측하여 되돌아오는 신호 측정, 경험 모형(empirical model)을 이용하여 해상풍을 연구하는데 주로 쓰이지만 후방산란계수로부터 해빙의 존재를 판단하고 해빙의 형태까지 결정할 수 있다. 이 연구에서는 IFREMER(French Research Institute for Exploitation of the Sea)로부터 입수한 WNF(ERS WiNd Fields) Product를 사용하였고, 이중 Ice Flag를 이용하여 해양, 해빙, 그리고 육지로 구분한 후, 5 km×5 km로 격자화 하였다.

2.4. 기상자료

기온이 상승하면 바다 얼음의 분포는 줄어들고, 바다 얼음의 감소는 반사도(albedo)의 감소를 초래하고 그리고 태양 복사에너지의 흡수 증가로 나타나며, 결과적으로 이것은 기온 상승을 증폭시키게 된다. 즉, 해빙의 증감과 기온은 밀접한 관계로 나타나며(Hofmann et al. 1996), 남극반도의 기온 변화에 주된 영향을 미치는 요소이다. 여기서 기온자료는 Esperanza기지의 월 평균 지상기온 자료를 인터넷 웹사이트로부터 획득한 것을 사용하였다(British antarctic survey, 2002). 이 관측지점은 40년 이상의 기온자료를 보유하고 있으

므로, 해빙의 분포정도와 비교하는데 아주 유용하다.

3. 결 과

인공위성 레이더 고도계 자료를 이용한 연구에서는 Topex/Poseidon MGDR(Benada, 1997)의 Geo_Bad_1 Flag를 이용하여(Table 1), 45°~75°W, 55°~66°S 사이의 해빙분포를 10일 간격으로 조사한 후 이로부터 월별 해빙분포를 추출하였다(Fig. 3). 분석된 T/P 자료는 1992년 10월 2일(싸이클 002)부터 1999년 9월 24일(싸이클 258)까지 약 7년 동안의 자료이며 5 km×5 km로 격자화하여 면적을 구하였다.

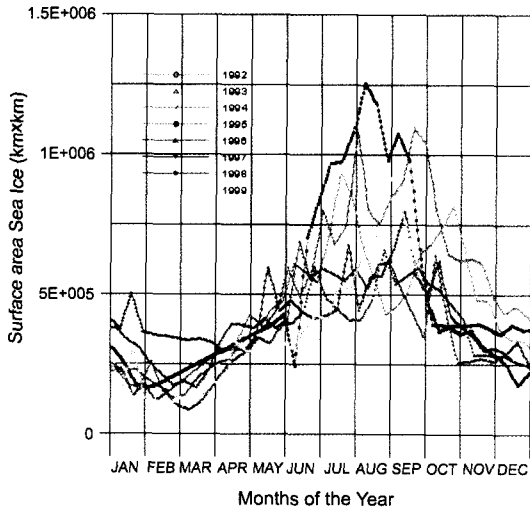


Fig. 3. Annual surface areas of altimetry-implied sea ice in the study area.

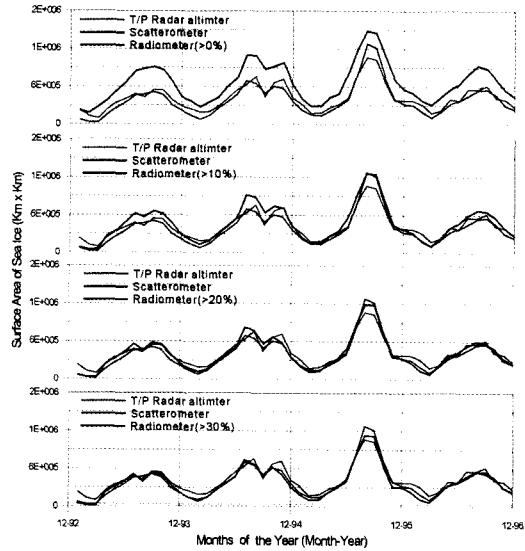


Fig. 5. Comparison of ice surface areas estimated from T/P Altimeter, Radiometer, and Scatterometer.

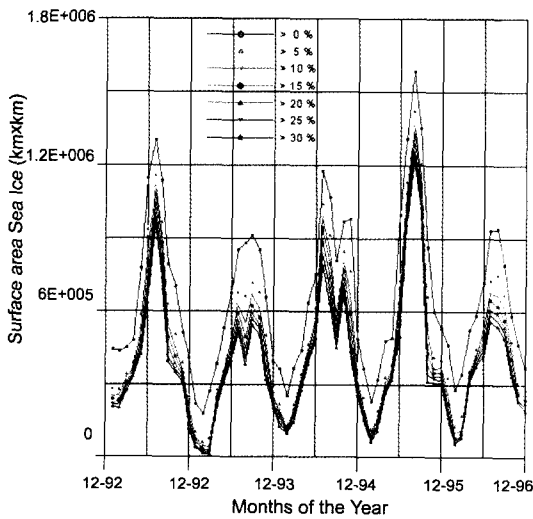


Fig. 4. Ice surface areas estimated on the basis of ice concentration in Radiometer measurements.

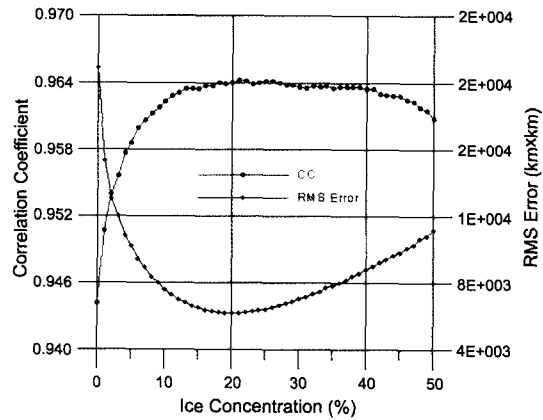


Fig. 6. Correlation coefficients and RMS errors between T/P Altimeter and Radiometer.

인공위성 복사계로부터 추출된 해빙분포는 면적비(ice concentration)로 나타낸다. 일반적으로 해빙분포의 면적비란 어느 일정지역 내 전체 바다면적에 대해 해빙으로 덮인 면적의 비율을 말하며, 0~100 퍼센트(%) 혹은 1/10~10/10 척도로 표현하기도 한다(Carsley *et al.*, 1990). 따라서, 복사계로부터는 연구지역 내의 면적비에 따른 다양한 해빙분포 양상을 추출할 수 있지만, 고도계나 산란계로부터 정의되는 해빙이 어느 면적비와 일치하는지 알 수 없다.

Fig. 4는 1993년에서 1996년 사이 연구지역 내 해빙의 면적비가 0%에서 30%까지 5% 단위로 증가시키며 각 면적비에 대한 연구지역 내 해빙분포를 조사한 후 그 면적을 계산하여 그 변화를 도시한 것이다. 그림에서 계절에 따른 해빙면적의 변화를 뚜렷이 알 수 있는데, 1993년 남극의 여름과 1995년 남극의 겨울에 해빙 면적이 각각 최소와 최대를 나타냈다.

복사계에서 추출된 해빙의 존재는 그 면적비에 따라 변화하므로, 레이더 고도계 및 산란계로부터 추출된 해빙과 일치하는 결과를 보이는 면적비를 결정하기 위해서 1993년에서 1996년 동안의 해빙면적을 계산하여 고도계 및 산란계 결과와 비교하였다. Fig. 5는 그 결과를 도시한 것으로 면적비가 0%에서 증가할수록 다른 결과에 점점 일치함을 알 수 있고, 20%일 때 가장 근접함을 알 수 있다.

Fig. 6은 T/P 고도계로부터 계산된 해빙 면적과 0에서 50% 사이의 면적비에 의해 결정된 해빙면적 사이의 상관관계 및 RMS오차(Root Mean Square Error)를 도시한 것이다. 그림에서 가로축은 해빙의 면적비를, 좌측 및 우측세로축은 각각 상관관계 및 RMS오차를 나타낸다. 둘 사이의 상관관계는 해빙의 면적비 15%가 넘으면서 0.964에 수렴함을 알 수 있다. RMS오차의 경우에는 해빙의 면적비 20% 이상에서 최소값인 6,192 km²을 보이며, 따라서 해빙의 면적비 20% 이상인 경우의 결과를 복사계로부터 관측된 해빙분포로 결정하였다. 참고로 해빙의 면적비가 0%인 경우의 RMS오차는 20,290 km²로 나타났다.

Fig. 7은 1995년 6월의 해빙의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 검은색 부분은 육지이고, 회색부분이 해빙, 그리고 흰색으로 표시된 부분이 해양이며, 조사기간 중 각 센서에 의한 결과가 잘 일치함을 알 수 있다. 고도계로부터 추출된 해빙 경계의 경우(Fig. 7a) 복사계(Fig. 7b) 및 산란계(Fig. 7c)로부터 추출된 해빙 경계보다 불연속이며 이는 고도계 자료의 경우에는 Nearest Point를 이용하여 그리딩하였기 때문이다. Fig.

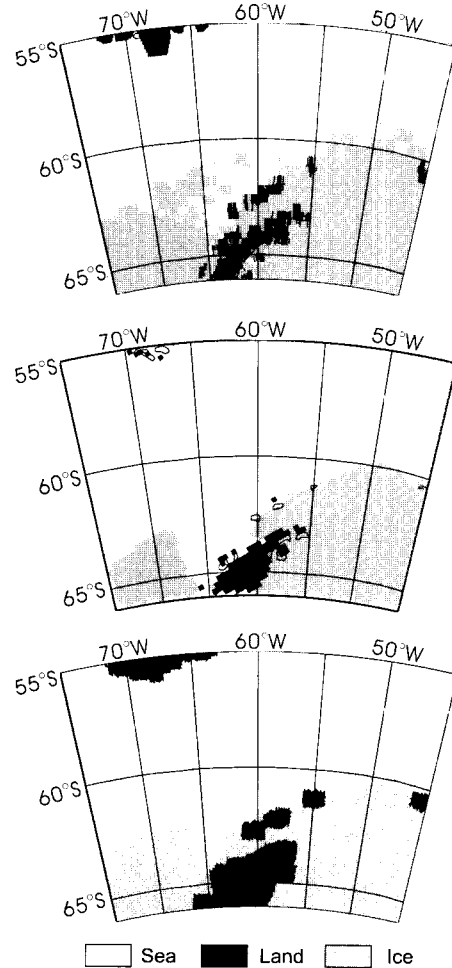


Fig. 7. Distribution of sea ice estimated by (a) T/P Altimeter, (b) Radiometer, and (c) ERS-2 Scatterometer (June, 1995).

7a는 T/P 고도계를 나타낸 것으로 싸이클 102에 해당하며 1995년 6월 10일에서 20일까지의 해빙분포를 나타낸 것이고 Fig. 7b는 SSM/I로서 20% 이상의 해빙의 면적비를 가지는 해빙의 6월의 평균 분포를 나타내었다. 또한 Fig. 7c는 산란계를 이용하여 구한 같은 기간의 해빙 분포로서 결과가 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7의 자료들을 통합하여 하나의 해빙분포도를 만들기 위하여 세 개의 센서로부터 얻은 결과를 같은 공간 해상도로 격자화 한 후, 중 두 개 이상의 센서로부터 동시에 해빙으로 정의된 지역을 선정하여 그 결과를 Fig. 8에 도시하였다. Fig. 8은 1995년 6월의 최종적인 해빙의 분포로서 본 연구에서 사용한 모든 위성

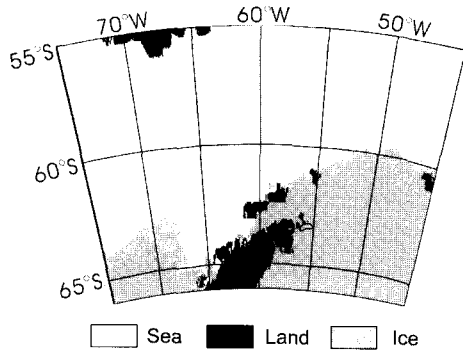


Fig. 8. Integrated sea ice distribution of Altimeter, Radiometer, and Scatterometer measurements.

자료를 통합하여 얻은 결과이다.

끝으로 본 연구에서는 한국해양연구원에서 실시한 시추 위치(56°23'W, 62°04'S)에서 복사계로부터 추출된 해빙의 분포를 인접한 Esperanza 관측지점(56°59'W, 63°24'S)에서 측정된 온도와 대비하였다. Fig. 9는 두 자료를 대비한 결과로 파란 선은 시추지점을 포함하는 복사계 관측에 의한 해빙 면적이며 붉은 선은 Esperanza 온도자료이다. 효율적인 대비를 위하여 새로운 스케일을 조절하였다. 그림에서 두 자료는 잘 일치하고 있으며 이들의 상관계수는 0.86으로 높게 나타났다. 즉, 기온이 상대적으로 높았을 때에는 해빙 면적 분포가 작게 나타났으며 반대로 기온이 낮았을 때에는 해빙 면적 분포가 넓게 나타났다. 특히 해빙 면적비가 20% 이상인 경우(Fig. 9에서 가로 점선으로 표시)에는 해빙 분포와 온도 변화가 매우 잘 일치하고 있다. 이로부터 연구지역에서 해빙 분포와 온도 변화

가 매우 밀접한 관계를 갖고며 변화한다는 사실을 알 수 있고, 해빙의 분포가 온도에 미치는 영향을 감안하면 본 연구의 결과가 간접적으로 검증될 수 있다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 남미대륙과 남극반도 사이의 드레이크협(Drake Passage; 45°~75°W, 55°~66°S)의 해빙분포를 연구하기 위해 Topex/Poseidon 레이더고도계(radar altimeter), Nimbus-7 SMMR과 DMSP의 SSM/I 인공위성 복사계(radiometer), ERS-1/2 산란계(scatterometer) 자료를 이용하였다. 레이더 고도계의 경우 1992년부터 1999년 동안 연구 지역내 해빙면적을 계산하여 월별 분포로 나타내었고, 2월과 8월에 최소 및 최대값을 나타냄을 확인하였으며, 인공위성 복사계 자료를 사용하여 1993년부터 1996년 사이의 해빙분포의 면적비(ice concentration)를 추출하였다. 이렇게 계산된 해빙분포의 면적비 중에서 인공위성의 레이더 고도계와 산란계로부터 관측된 해빙의 분포와 가장 잘 일치하는 해빙면적비를 찾기 위하여 해빙 면적을 계산하였고, 이로부터 최적 해빙 면적비를 20%로 결정하였다. 이를 기준으로 연구지역의 해빙 유무를 결정하여, 고도계, 복사계 및 산란계로부터 추출된 1995년 6월 연구지역의 해빙분포를 도시하였고, 인공위성 고도계, 복사계 및 산란계의 자료를 통합함으로써 보다 상세한 해빙의 시·공간적 분포변화를 관측할 수 있었다.

결정된 해빙의 유무를 간접적으로 검증하기 위해 지난 20년 동안의 해빙분포 연구지역(56°23'W, 62°04'S)

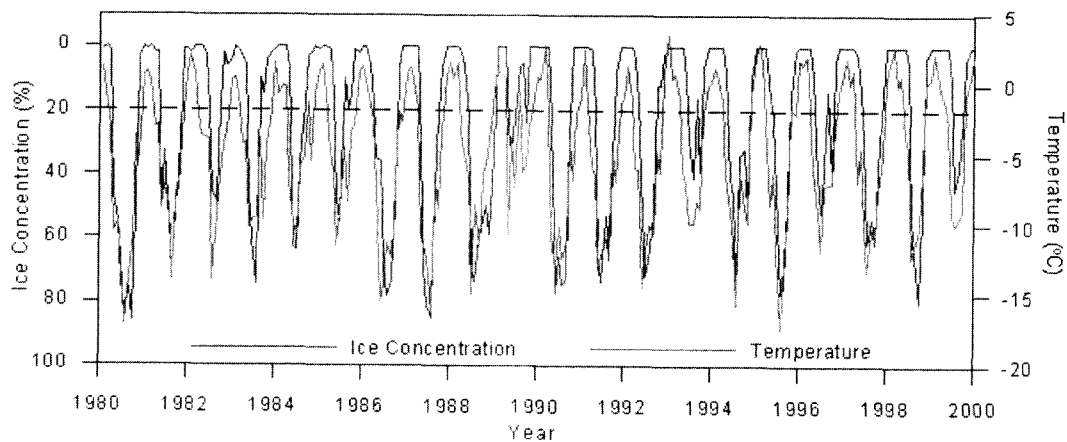


Fig. 9. Relation between monthly mean air temperature in the site of Esperanza station(56°59'W, 63°24'S) and ice concentration around Elephant Island(56°23' W, 62°04'S) during the period from 1980 to 1999.

과 가장 인접한 Esperanza 관측지점(56°59'W, 63°24'S)의 월평균 기온 자료와 대비하여 검증하였다. 그 결과 두 자료는 0.86의 높은 상관관계를 보였고, 특히 본 연구에서 결정된 해빙 면적비인 20% 이상인 경우에는 온도 자료와 거의 일치하는 양상을 보인다.

사 사

본 연구에서 사용된 Topex/Poseidon 자료는 NASA/JPL PODAAC(Physical Oceanography Distributed Active Archive Center)로부터, ERS Scatterometer 자료는 IFremer(French Research Institute for Exploitation of the Sea)에서 제공받았으며 본 연구는 한국해양연구원의 지원으로 이루어 졌음을 밝힙니다.

참고문헌

- 신유나, 윤호일, 김예동, 강천운 (2002) 남극반도 서 대륙붕의 빙해양 퇴적물의 구조군집 약특성과 고해양 변화. 21세기 기후변화협약 대응책 마련을 위한 남극권 고해양 및 고기후 변동연구, 한국해양연구원, p. 43-74.
- British antarctic survey (2002) Monthly mean surface temperature at Esperanza station. URL: <http://www.nerc-bas.ac.uk/icd/gjma/esperanza.temps.html>
- Benada, R. (1997) Merged GDR (Topex/Poseidon) Generation B Users Handbook. Physical Oceanography Distributed Active Archive Center, Jet Propulsion Lab., 124p.
- Carsey, F.D., Barry, R.G. and Weeks, W.F. (1990) Chapter 1. Introduction, in Carsey, F.D. (ed.) Microwave Remote Sensing of Sea Ice, 1992, p. 1-7.
- Carsey, F.D., Barry R.G. and Weeks W.F. (1992) Chapter 1. Introduction, in Fowler, C.M.R., The Solid Earth. Cambridge University Press.
- Cavalieri D., Gloersen P. and Campbell W.J. (1984) Determination of sea-ice parameters with the NIMBUS 7 SMMR. J. Geophys. Res., v. 89, p. 5355-5369.
- French Processing and Archiving Facility (1995) Altimeter & Microwave radiometer ERS Products User Manual, Ref. C2-MUT-A-01-IF 1(2).
- Gordon, A.L. (1978) Deep Antarctic convection west of Maud Rise. J. Phys. Oceanogr., v. 8, p. 600-612.
- Hofmann, E.E., Klinck, J.M., Lascara, C.M. and Smith, D.A. (1996) Water Mass Distraction and Circulation west of the Antarctic Peninsula and Including Bransfield Strait, in: R.M. Ross, E.E. Hofmann, L.B. Quetin, (eds.). Foundations for Ecological Research West of the Antarctic Peninsula. American Geophysical Union, Washington, DC, v. 70, p. 61-80.
- Hong, C.-K., Hong, S., Hwang, J.-S., Lee, D.C. and Kim, J.W. (2000) Distribution of altimetry-implied sea ice in the Weddell Sea, Antarctica: preliminary results. Proceeding of International Symposium on Remote Sensing, p. 122-126.
- Hwang, J.-S., Yoon, H., Min, K.-D., Kim, J.W. and Hong, S.-M. (2002) Antarctic Sea Ice Distribution from Integrated Microwave Sensings, Proceeding of International Symposium on Remote Sensing, p. 633.
- Hwang, J.-S., Min, K.-D., Kim, J.W., Hong, S.-M. and Yoon, H. (2002) Microwave Sensing implied Sea Ice Distribution in the Weddell Sea, Antarctica. IEEE IGARSS 2002 Proceedings, p. 1941-1943.
- Killworth, P.D. (1983) Deep convection in the world ocean. Rev. Geophys. and Space Phys., v. 21, p. 1-26.
- Kim, J.W., Hong, S., Lee, D.-C. and Hong, C.-K. (2001) Satellite Altimetry-Implied Sea Ice Distribution in the Weddell Sea, Antarctica. IEEE IGARSS 2001 Proceedings, CD-Rom, p. 1792-1794.
- Massom, R., (1991) Satellite Remote Sensing of Polar Regions, Lewis Publications, Boca Raton, Florida, 307p.
- Maykut, G.A. (1978) Energy exchange over young sea ice in the central Arctic. J. Geophys. Res., v. 83, p. 3646-3658.
- Paerkinson, C.L. and Gloersen, P. (1996) Sea Ice in the polar region. The Arctic Observatory, CD-Rom.
- Ridley, J.K. and Partington, K.C. (1988) A model of satellite radar altimeter return from ice sheets. Int. J. Remote Sensing, v. 9, p. 601-624.
- Sabins, F.F. (1997) Remote Sensing, Principles and Interpretation (3rd ed.). W.H. Freeman and Company.

2003년 3월 11일 원고접수, 2003년 4월 18일 게재승인.