

# 4 海氷と気候

## Sea Ice and Climate



改井 洋樹  
リモート・センシング技術センター

西尾 文彦  
千葉大学  
環境リモートセンシング研究センター

Hiroki Kai  
Remote Sensing Technology Center  
of Japan

Fumihiko Nishio  
Center for Environmental Remote Sensing,  
Chiba University

写真提供：木村 訓明(北海道大学低温科学研究所)  
Photo by: Noriaki Kimura (Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University)

## 4.1 マイクロ波放射計による海水観測

### Sea Ice Observation by Microwave Radiometer



海水は海の表面の海水が凍ったもので、北極海や南極海のほかオホーツク海など北極域周辺の海でも見られます。地球全体の海のうち結氷する面積は約1割にもなります。

海水は海面に比べアルベドが高く、水・エネルギー循環の動力源である太陽放射の多くを反射します。また海水は大気境界層と海洋表層との接触を遮断し、顕熱・潜熱の輸送を妨げます。さらに、海洋大循環において重要な南極底層水の形成に海水の生成過程が関与していると考えられるなど、海水は地球の気候を規定するファクターの一つとして大切な役割を担っています。

海水はまた、船舶の航行など、人間の生活にも影響を与えます。図4.1.1は2002年以降の毎日の観測データとして公開している、AMSR-EとMODISによるオホーツク海の海水分布です。AMSR-Eは雲の有無に関わらず観測できるので、日々の海水の様子を把握することが可能です。

マイクロ波放射計による海水の観測は1970年代から行われてきましたが、常に欠かさないのが観測データの検証です。AMSR/AMSR-Eについても、NASAや海上保安庁と共同で航空機や船舶を用いた検証観測を行ってきました。図4.1.2はその一例です。

Sea ice, which is simply frozen sea-surface water, is seen in the Arctic Ocean, the Antarctic Ocean and the oceans surrounding the Arctic region such as the Sea of Okhotsk. The area where sea ice forms comprises 10% of the Earth's total sea surface.

Compared with the unfrozen sea surface, the albedo of sea ice is significantly higher and reflects the incoming solar radiation, which is the power source of the water and energy cycles. Sea ice interrupts contact between the atmospheric boundary layer and the sea surface, and blocks transportation of both sensible and latent heat. The process of sea-ice development may also contribute to formation of the Antarctic Bottom Water, which is an important component of ocean general circulation. Thus, sea ice is an essential factor affecting the global climate.

Sea ice also influences human activities, such as the movement of cruise vessels. Fig. 4.1.1 depicts the sea-ice distribution on the Sea of Okhotsk from AMSR-E and MODIS. Those images have been released every day in the winter seasons since 2002. AMSR-E can observe sea-ice conditions from day to day regardless of clouds.

Sea ice has been observed by microwave radiometer since the 1970s. Validation of data is always a basic requirement, and validation observations for AMSR and AMSR-E were performed in collaboration with NASA and the Japan Coast Guard, using both airplanes and ocean vessels. Fig. 4.1.2 illustrates an example of such an observation.

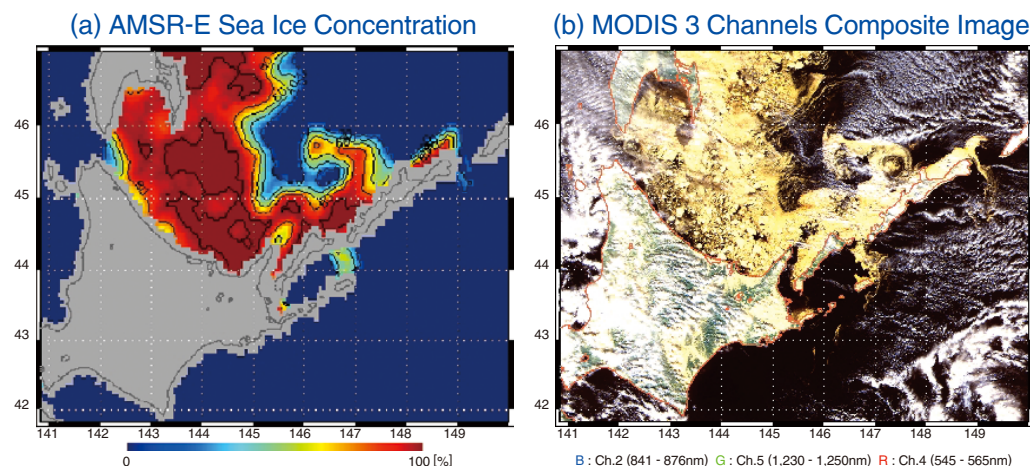


図 4.1.1 オホーツク海の海水 2005年3月2日  
(a) AMSR-E 海水密度 (b) MODIS 3チャンネル合成画像

Fig. 4.1.1 Sea ice in the Sea of Okhotsk, March 2, 2005  
(a) AMSR-E sea ice concentration (b) MODIS 3 channels composite image



図 4.1.2 南極ベルギンズハウゼン海での検証観測  
Fig. 4.1.2 Observation for validation at the Bellingshausen Sea in the Antarctic



## 4.2 北極域の海氷と気候変動

### Arctic Sea Ice and the Climate Change

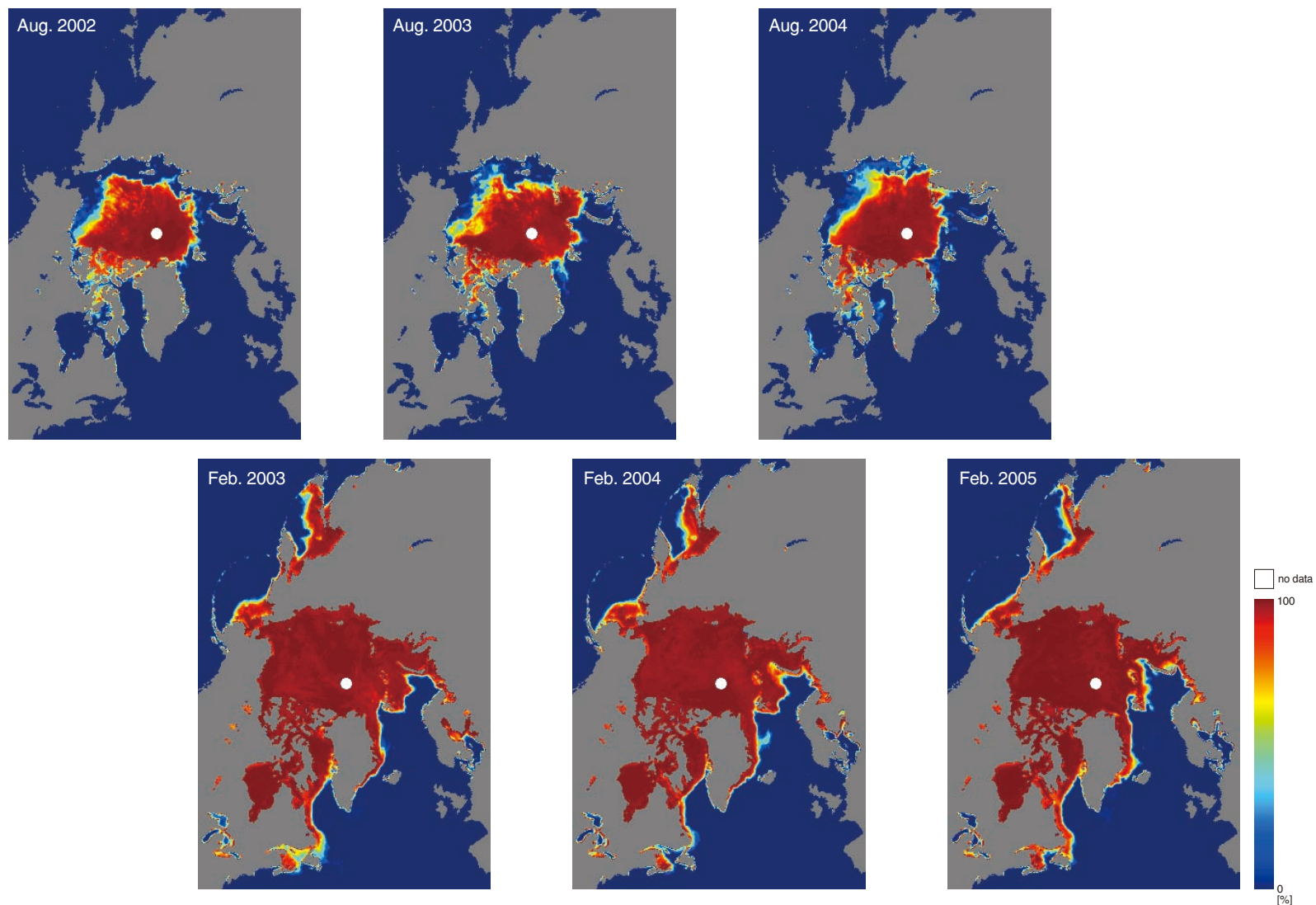


図 4.2.1 北極域の海水密度の季節変化  
Fig. 4.2.1 Seasonal variation of sea ice concentration in the Arctic region

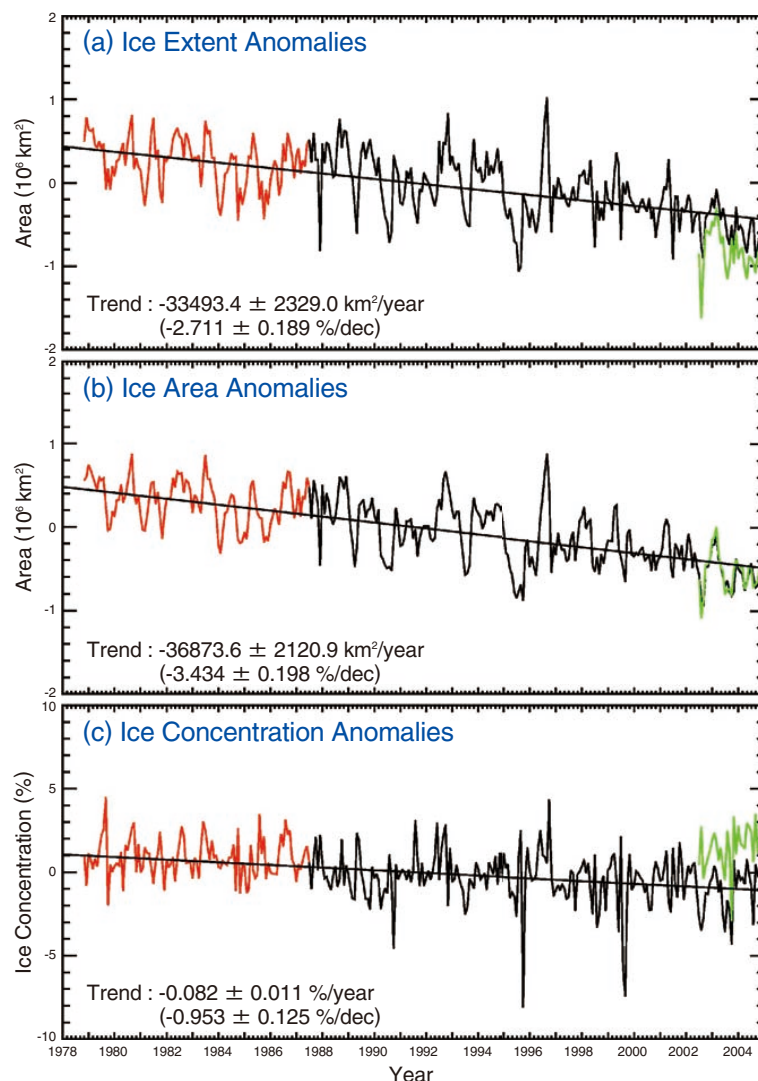


図 4.2.2 北極域の海水の長期トレンド

Fig. 4.2.2 Long-term trends of sea ice in the Arctic region (J. C. Comiso, IGARSS 2005)

図4.2.1はAMSR-Eにより観測された北極域(北極海とその周辺海域)の海水氷接度の季節変化です。北極域では海水は3月に最大、9月に最小となります。その範囲は最大時で約1,450万km<sup>2</sup>、最小時で約780万km<sup>2</sup>です。北極海は周囲を陸に囲まれているため、夏でも融けずに残る多年氷が多く、海水氷範囲の最大時で約半分を占めています。またオホーツク海は、海水の見られる最も緯度の低い海域です。

図4.2.2は北極域の海水の平均値からの偏差とトレンドを示したものです(J. C. Comiso, IGARSS 2005)。(a)は海水氷範囲(氷接度が15%以上の範囲)、(b)は海水面積(氷接度100%に換算した実質的な海水氷の面積)、(c)は海水氷接度を表します。赤の部分はSMMR、黒の部分はSSM/Iのデータです。これら二つのセンサによる値から平均値、偏差及びトレンドを算出し、さらに緑でAMSR-Eのデータを重ねています。この図から明らかなように、北極域では1978年以降現在まで、海水氷は減少する傾向にあります。その割合は、海水氷範囲は10年につき約2.7%、海水面積は10年につき約3.4%です。特に多年氷の減少が顕著で、海水氷が最小となる9月では多年氷の面積が10年につき9.2%の割合で減っている、との報告もあります。北極域の表面温度は過去20年間に約1°C上昇したことが知られており、北極域における海水氷の減少もこれに対応するものと考えられています。

Fig. 4.2.1 presents the seasonal variation of sea-ice concentration in the Arctic region (the Arctic Ocean and its surrounding oceans). In this region, sea ice reaches its maximum in March and its minimum in September. The ice extends from a minimum of 7.8 million km<sup>2</sup> to a maximum of 14.5 million km<sup>2</sup>. The Arctic Ocean is surrounded by land, and the multi-year (perennial) ice remains throughout the summer season, covering about half of the total maximum extent of sea ice. The Sea of Okhotsk is located at the lowest latitude that we can find sea ice.

Fig. 4.2.2 plots the deviation from the average and the trend of sea ice in the Arctic region (J. C. Comiso, IGARSS 2005). In the figure, (a) indicates sea-ice extent (total area of 15% or more of the concentration); (b) indicates sea-ice area (converted into 100% of the concentration); and (c) indicates the concentration of sea ice. The red line represents SMMR data, and black represents SSM/I. These two data were used for deriving the average, deviation and trend. AMSR-E data was added as the green line. Clearly revealed in these figures, sea ice steadily decreased since 1978 at a rate of 3.4% per decade in extent, and 2.7% in area. Reduction of multi-year ice is especially remarkable, with reports that the extent of multi-year ice in September, the minimum time, is decreasing at 9.2% per decade. We know that the surface temperature of the Arctic region rose approximately 1°C over the past 20 years. We think that decreased sea ice in the region is a corresponding phenomenon.

## 4.3 南極域の海水と気候変動

### Antarctic Sea Ice and the Climate Change

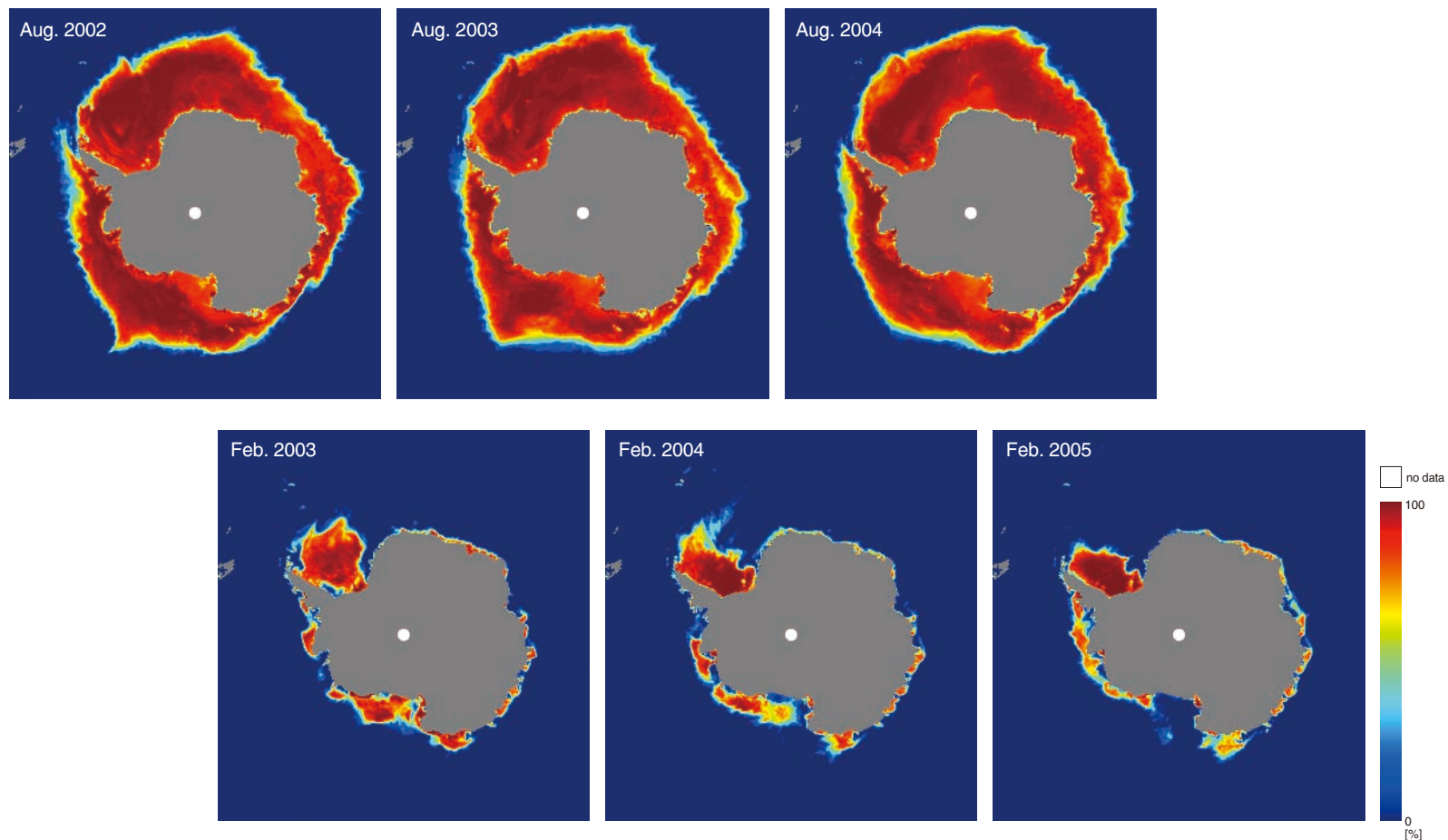


図 4.3.1 南極域の海水氷接度の季節変化  
Fig. 4.3.1 Seasonal variation of sea ice concentration in the Antarctic region

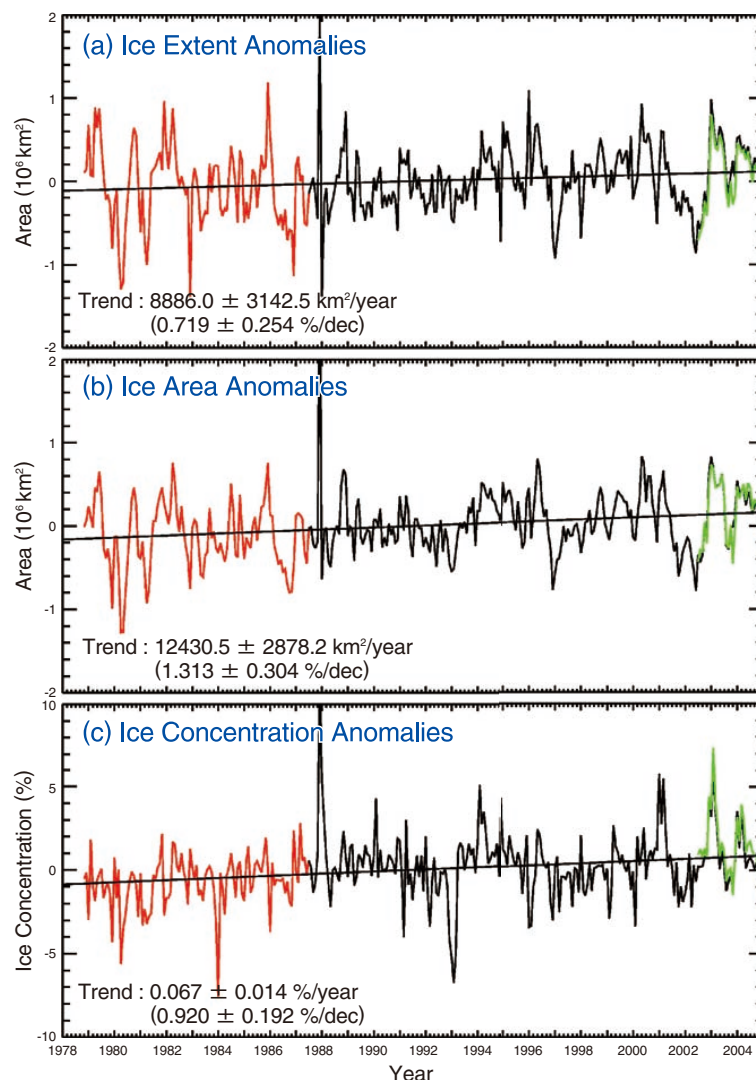


図 4.3.2 南極域の海水の長期トレンド

Fig. 4.3.2 Long-term trends of sea ice in the Antarctic region (J. C. Comiso, IGARSS 2005)

図4.3.1はAMSR-Eにより観測された南極域(南極海)の海水密接度の季節変化です。南極域では海水は9月に最大、2月に最小となります。その範囲は最大時で約2,000万km<sup>2</sup>、最小時で約360万km<sup>2</sup>です。南極海は北極海とは対照的に陸に囲まれていないので、海水は大陸沿岸から外向きに拡大しつつ成長することができます。そのため、南極海では海水の多くが一年氷で、海水範囲の最大時の約8割を占めています。

図4.3.2は南極域の海水の平均値からの偏差とトレンドを示したものです(J. C. Comiso, IGARSS 2005)。図4.2.2と同様に、(a)は海水範囲、(b)は海水面積、(c)は海水密接度を表します。南極域の海水は1978年以降現在までの間に、全体としては若干の増加傾向にあります。その割合は、海水範囲は10年につき約0.7%、海水面積は10年につき約1.3%です。しかし東南極と西南極では傾向が異なり、西南極のベリングスハウゼン海やアムンゼン海だけをみると、海水範囲は10年につき約6.7%、海水面積は10年につき約6.0%の減少傾向を示しているとの結果が出されています。南極域の表面温度の過去20年間のトレンドは、概ね東南極では内陸部を中心に低下、西南極では南極半島からベリングスハウゼン海・アムンゼン海にかけて上昇を示しており、海水のトレンドと符合しています。

このように、マイクロ波放射計による海水の観測は、気候変動のシグナルを捉えられる可能性があります。そのためにも、将来にわたる長期的且つ継続的な観測が非常に重要です。

Fig. 4.3.1 depicts the seasonal variation of sea-ice concentration in the Antarctic region (the Antarctic Ocean). In this region, sea ice reaches its maximum in September and its minimum in February. Its approximate extent is a maximum of 20.0 million km<sup>2</sup> and a minimum of 3.6 million km<sup>2</sup>. The Antarctic Ocean, in contrast to the Arctic, is not surrounded by land, so sea ice can expand outward from the continent. Therefore, most sea ice in this region is first-year ice, and it covers about 80% of the extent at its maximum time.

Fig. 4.3.2 presents the deviation from the average and the trend of sea ice in the Antarctic region (J. C. Comiso, IGARSS 2005). Similar to Figure 4.2.2, it indicates (a) extent, (b) area, and (c) concentration of sea ice. In the Antarctic region, sea ice increased slightly since 1978. The percentage was 0.7% per decade in extent, and 1.3% in area. However, the trend differs between the east and west Antarctic. At the Bellingshausen Sea and the Amundsen Sea in the west Antarctic, reports indicate that sea ice decreased 6.7% per decade in extent and 6.0% in area. The trend of surface temperatures over the past 20 years was a decline in the inland of the east Antarctic, and a rise in the Antarctic Peninsula, the Bellingshausen Sea and the Amundsen Sea of the west Antarctic, consistent with the sea ice trend.

Through sea-ice observation using microwave radiometers, we can detect the signals of climate change. For that future objective, long-term and continuous observations are essential.