

南极海冰的长期变化趋势

解思梅 邹 斌 王 毅

(国家海洋环境预报中心, 北京,)

摘 要

本文使用了 WDC-A 提供的按 WMO 标准格式化的 SGRID 海冰资料(1973~1989)和 NSIDC 提供的 SMMR 和 SMM/I 的亮温微波资料(1978~1994), 将这些资料同化处理使海温序列延长为 1973~1994 年。

利用上述资料研究海冰的长期变化趋势, 发现 70 年代前期海冰迅速增多到中期达最大值, 后期到 80 年代前期迅速减少到最少, 80 年代海冰持续偏少或在平均值附近振动, 90 年代前期海冰又开始缓慢增多。但总值仍比 70 年代前、中期少的多。

另外, 海冰的区域性变化差异很大, 特别是威德尔海区的海冰其变化转折期都先于其它海区的变化, 具有领先和正反馈于其它冰区的海冰。

关键词: 南极海冰, 长期变化, 变化趋势。

一、引 言

南极海冰作为引起全球气候变化的冷源的重要组成部分, 已引起世界气象组织的极大关注。极冰特别是海冰的变化对气候的影响是当今世界气候研究计划的前沿课题。研究海冰的长期变化趋势是研究对气候影响的基础, 也是南极海冰长期预报的依据。

自 1972 年以来, 美国 NOAA 系列卫星 Nimbus 系列卫星上装载了甚高分辨率辐射仪(AVHRR)和微波辐射仪(MSU), 可测定海冰密集度, 特别是有了微波辐射仪, 解决了区分云和海冰的难题, 同时也解决了极夜期海冰的连续探测问题。

1981 年美国国家气候中心将 NOAA 冰中心(JIC)的每周冰图数字化后转化成由 WMO 所规定的数码格式。1981 年 Thompson 提出了 SIGRID 格式, 并作为 WMO 新的标准格式。该资料以磁带形式推出后为极冰的研究提供了宝贵的数字化格点资料。使用此资料解思梅等(1991)^[1]出版了《南极海冰图集及资料》, 为我国有关专家了解和研究南极海冰图集提供了宝贵的基础资料, 以此资料为依据, 曾对南极变化特征以及极冰对 ENSO 和对中国降水、南北两极海冰涛动关系等方面进行了研究^[2-5]。但是 SIGRID 资料只有 1973~1989 的。由美国冰雪中心(NSIDC)提供的 SMMR 和 SMM/I 的微波辐射、亮温和海冰资料(1978~1994), 使海冰资料进一步延续, 为研究海冰的长期变化趋势提供了必备的条件。

* 本文得到国家自然科学基金和国家南极“8·5”攻关 905 项目共同资助。

** 本文于 1996 年 6 月收到。

一、资料的同化和处理

1. SIGRID 格点海冰资料

SIGRID 资料是以周为单元提供的南极海冰资料,经过统计处理分别求出月平均和多年月平均值,计算出海冰净冰面积指数,即去掉冰区中的水域部分的面积。具体计算方法用了球面积计算公式进行计算(详见文献[1])。由净冰面积求出距平值。

2. 卫星微波资料的提取和应用

微波资料是由美国冰雪中心获取的 SMMR(Scanning Multichannel Microwave Radiometer)的亮温资料(1978·12~1987·8),该资料来自雨云-7 号卫星的多通道扫描微波辐射仪。另一部分是 SMM/I(Special Sensor Microwave—Image)的亮温资料,是美国国防计划的特殊遥感微波图象(1987·7~1994·8)的逐日资料。将亮温资料进行处理提取出海冰资料,进行格点化统计处理,分别求出月平均的净冰面积指数和距平值。

3. SIGRID 资料和微波资料(SMMR、SMM/I)的同化处理

(1)SIGRID 资料是以周为单元提供的资料,在处理的过程中发现有异常时无依据进行订正,例如 1979 年 6 月和 1983 年 4 月 2 个月的资料在海冰分布图上显示明显有异常。在微波的逐日资料里发现是卫星故障问题,提供的是错误信息,故而根据前后海冰的连续性进行了订正。

(2)两种资料的连续问题

研究海冰的长期变化资料序列越长越好。SIGRID 资料从 1973 年开始,但到 1989 年就终止了。后续资料的延续是研究长期变化趋势非常重要的一环,但由于 SIGRID 资料的中断,带来研究上的困难。

微波资料开始的比较晚,1978 年 12 月~1994 年 11 月,并将继续后延。因此弥补了上述的问题。但两者序列都比较短,为延长序列将两者合二而一。从 1978~1989 年有 11 年的重叠。由重叠期能够明显看到 SIGRID 资料的值偏小。由此求出一个订正参数将两个序列订正到一起,成为一个连续的时间序列。

图 1a~e 为订正后两者连接在一起的海冰净冰面积指数距平均值,1978 年 12 月至 1994 年是微波资料,1973 年至 1978 年 11 月是订正后的 SIGRID 资料。

二、南极海冰的长期变化趋势

1. 年际变化趋势

研究时间序列长期演变的趋势是研究气候变化或变迁研究的重要内容。

图 1 表示出南极各冰区的海冰逐月净面积指数的变化曲线。

由图 a、b 可看出 I 区和 II 区的海冰总变化趋势大体相似,除年变化明显的季节变化外,

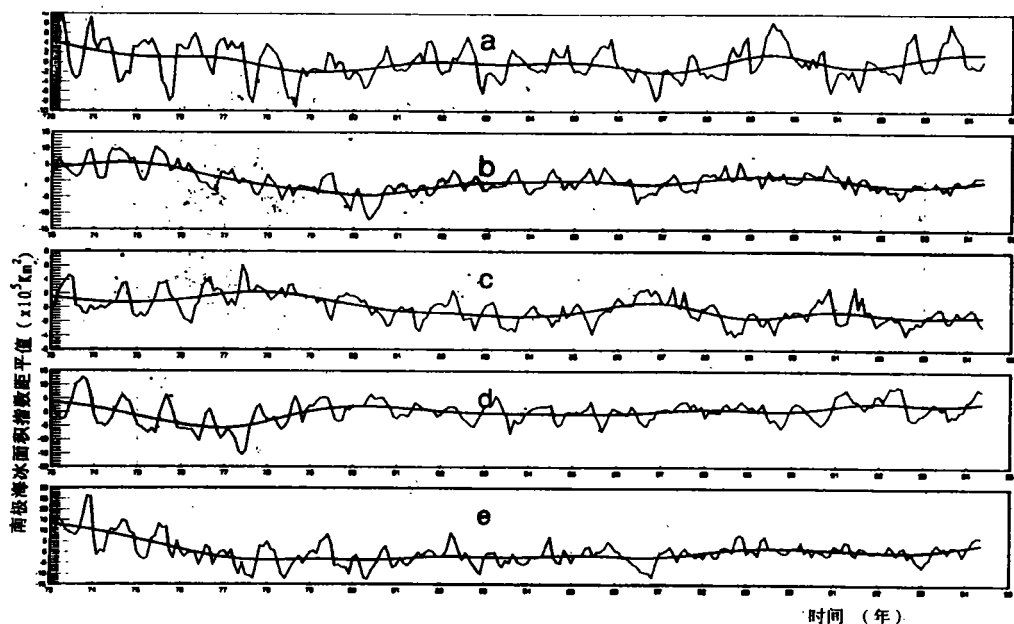


图1 南极5个区的海冰净冰面积指数距平值

(a: I区($0^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$)东南极海冰区,北接印度洋;b: II区($120^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{W}$)以罗斯海为主体的西南太平洋海冰区;
c: III区($120^{\circ}\text{W}\sim 60^{\circ}\text{W}$)以阿蒙森海和别林斯高晋海为主体的东南太平洋冰区;d: IV区($60^{\circ}\text{W}\sim 0^{\circ}$)以威德
尔海为主体的南大西洋海冰区;e: V区为全南极海冰区,图中的平滑曲线为11点二项系数滤波值。)

年际变化也非常显著。70年代中期为多冰期,70年代末到80年代初为少冰期,自此以后在平均值附近振动,变化幅度70年代中期的。为更清楚变化趋势。采用了二项系数11点低通滤波的方法,滤掉季节变化。过滤后为使序列样本长度保持不变,其端点前后插补5个点,插补方法用趋势端点值和平均值之间的插补^[6]

图中的中间平滑曲线即为滤波后的长期变化趋势。由此曲线更清楚地看到I区和II区的长周期的变化趋势特征。

III区的变化特征显著不同,其位相变化几乎恰好相反,在II区为最高峰的1974~75年,III区恰是一较高的底谷期(在平均值以上);在II区海冰从最多期1974~75年以后迅速减少,至80年达到最少期,而III区在1977~78年却是达到历史上的最多期,最少期出现在1983~1984年,比II区滞后2~3年,1987年又明显的出现次峰期在平均值以上,自此以后又减少到89年出现低谷,后有小波动但都在平均值以下,直到1994年。而II区自80年以后缓慢上升,在平均值附近振动。说明南太平洋东西两部份的海冰变化趋势是相反的。但总的大趋势都是70年代中后期海冰多,80年代初都偏少或接近平均值。

IV区即威德尔海区的海冰变化和其它4区都不同。1973年海冰最多,之后迅速减少,至1977年达最少后缓慢上升,但比较平稳的在平均值附近振动,直到90年代初又出现了较明显的上升趋势。

全南极海冰的变化趋势是 4 个区的综合。1973 年最多, 然后开始减少, 至 1977~1980 年降为低值期, 之后缓慢上升, 直到 1988 之前均在平均值以下, 1988 年之后上升到平均值以上, 90 年代初有上升趋势。

以上的趋势表达了年际的变化特征, 但对于年代际差异更长的趋势反映不清楚。

2. 年代际的长期变化趋势

图 2 为海冰净冰面积指数距平值的累积距平曲线。累积距平曲线是对一距平值序列 $X_i (i=1, 2, \dots, n)$, 在样本中某一时刻 t 的累积距平值表示为:

$$I(t) = \sum_{i=1}^n X(i)$$

把 $I(t)$ 随时间变化绘成曲线为累积距平曲线。上式近似表示为:

$$I(t) = \int_0^t X(s) ds$$

则

$$X(t) = dI(t)/dt$$

这表明在累积距平曲线上的斜率为要素距平值。在累积距平曲线变化中上升表示要素距平值增加, 下降则减少。曲线上的微小变化所反映的是要素短期距平值的变化, 而长期的曲线演变则可反映要素长期演变趋势。因此它可以分析要素长期变化趋势, 持续期和突发期等等^[6]。

图 2a 东南极海域 ($0^\circ \sim 120^\circ \text{E}$) 即南印度洋海域的海冰多年月平均距平累积曲线。从 1973 年 1 月至 1977 年 5 月海冰迅速增加, 这期间有明显的三个小峰 (73、74 和 75)。1977 年 5 月达到了顶峰, 至 1978 年 4 月基本维持了海冰最多期, 然后迅速下降至 1980 年 4 月, 1980~81 年 10 月保持在平均值以上的较低期, 之后出现上下波动即两峰两谷, 两峰 (82 年 10 月, 85 年 12 月)、两谷 (81 年 3 月, 83~85 年每年 3 月都达到最低), 1986 年 1 月至 1988 年 4 月迅速下降, 达到最低点, 即 1988 年 4 月是自有卫星资料记录以来海冰减少到最低值之后又迅速上升至 90 年达到一较明显的峰值, 之后下降又上升, 谷值在 92 年 6 月, 峰值在 93 年 10 月。该区的变化特征是在达到历史最高峰的 77 年和在下降到最低期 88 年时, 在下降过程中途有一段稳定的双峰波动期之后再次下降达最低点, 达到最低点后再回升时是较大波动的上升趋势。

图 2b 为西南太平洋以罗斯海海冰为主体的海冰累积距平变化。该区的变化曲线与图 2a 的大趋势相似, 但趋势变化中间没有小的峰值, 比较平稳, 即从 1973~1975 年上升, 海冰是增加阶段, 1976~77 年达到最大值持续有 2 年的时间, 之后 1978~81 年迅速下降, 然后缓缓的下降几乎是平稳不变的, 至 1986 年后又开始迅速下降至 1987 年 10 月达到最低值, 然后较快地上升至 91 年达一小峰值, 然后又迅速下降至 94 年又达到最低值。

图 2c 为东南太平洋 ($120^\circ \text{W} \sim 60^\circ \text{W}$), 以阿蒙森海和别林斯高晋海冰为主体的海冰变化曲线。该区的海冰长期变化趋势特点明显不同于前两个海区。大趋势是单峰值, 即从 1973 年开始上升, 海冰增加, 至 80 年达最高值维持高值期到 1982 年, 1983 年开始迅速下降, 中

途出现了两个小峰值(87、91年)直到1994年下降到最低点。此特点说明在长达22年的时间里该区的长期变化周期仅仅完成了一半,但中途也有较明显的短周期变化。

图2d为南大西洋(60°W~0°),以威德尔海海冰为主体的月平均累积距平值,该区的特点是1973年开始上升,1974年就达到了最高峰,1975年开始迅速下降至1978年5月,达最低点后又开始增加至1981年,开始持续少变保持在 -1.0×10^7 ,累积距平线附近上下摆动。直到1991年又开始迅速上升到94年5月。70年代中期和90年代前期海冰维持多冰期,中间低平变化,呈平底锅状。

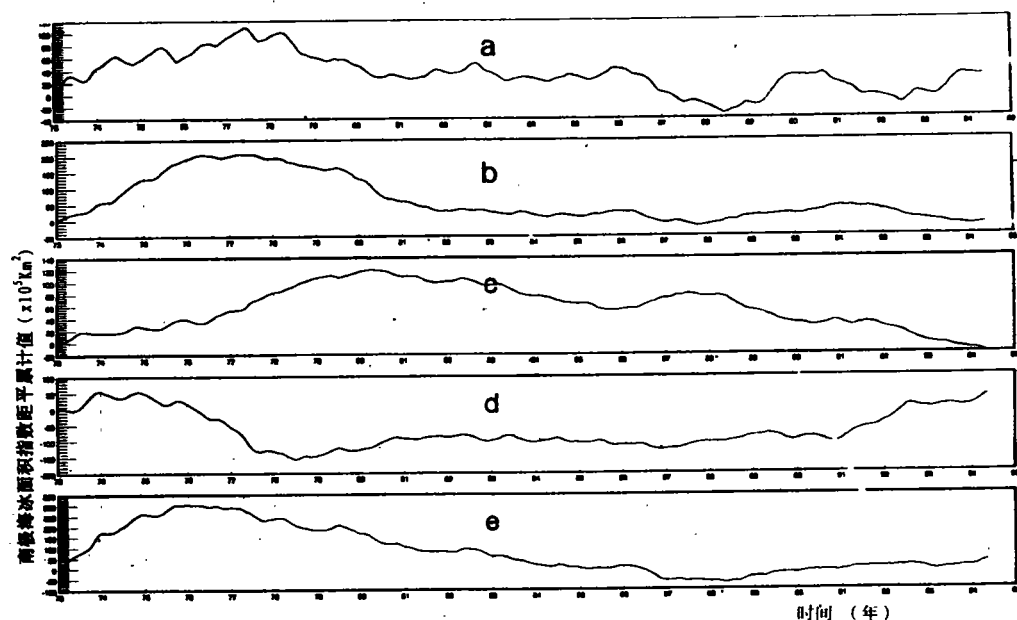


图2 海冰净冰面积指数历年月平均距平累积变化趋势

(a: I区(0°~120°E)东南极海域,北接南印度洋。b: II区(120°E~120°W)以罗斯海海冰为主体的西南太平洋海域。
c: III区(120°W~60°W)以阿蒙森海和别林斯高晋海海冰为主体的东南太平洋海域;d: IV区(60°W~0°)以威德尔海海冰为主体的南大西洋海域,e: V区为全南极海域的海冰。)

图2e为全南极海冰多年月平均距平累积变化趋势。非常明显1973~1975年10月为上升趋势,即海冰在这三年期间是增加的。从1975年10月到1977年2月期间虽然后期略有下降,但基本上维持在最大期。这说明此阶段是近20多年来海冰最多的时期。1977年2月之后迅速下降直到1987年1月达到了最低值,中间虽然有四个小峰(78、79、82、86年),这仅仅是说明短周期的小波动,大的下降趋势是非常明显的。1987~88年维持在最低期,1989年至1994年8月开始缓缓增加,但比起1977~87年的下降趋势来要缓慢得多,并且根据这一趋势分析很可能90年代海冰将是增加的趋势。

综合5个冰区净冰面积指数距平累积变化曲线的特点,由表1列出。

(1)5个区的共同特点是70年代前期为海冰迅速增加的时期,在70年代中期(除III区

外)达到近 20 多年的最高峰。

(2) I 区、II 区和 V 区均在 80 年代中期达到最低值。

(3) III 区海冰变化特殊从 1973~1994 年 5 月期间是一个大的单峰期,达到最高峰期在 1980 年 3 月,比其他区滞后 4~5 年,最低谷值在 94 年 5 月,比其它三个区滞后 6~7 年。

(4) IV 区的海冰变化特点是在 1973~1994 年期间,两端高峰,中间低谷,高峰期时间短,而低谷期持续长达 13 年之久(1978~1990 年),恰好与 III 区的变化特点相反。III 区是两端低中间高,高值期持续时间也很长,只是高值期保持平顶的时间没有 IV 区低谷平底的时间长。另外它的最高峰值出现先於其它区 4~5 年。

(5) V 区是全年极海冰,即前 4 个冰区的总和的海冰变化总趋势。其特点是 70 年代中后期是多冰期,80 年代中后期是少冰期。

表 1 南极海冰净冰面积指数距平累积变化曲线的特点

海冰区	变化趋势		最高峰		变化趋势				最低谷	变化趋势					最高峰
	趋势变化特点	持续时间	高峰时间	持续时间	趋势变化特点	持续时间	次峰 1	次峰 2	时间	趋势变化特点	持续时间	次峰 1	次谷	次峰 2	
I 区	迅速上升中途多小峰	73-77	77.4	77.1-78.3	阶梯式下降中途有双峰	78.3-88.4	82.10	85.12	88.4	迅速上升和下降有双峰单谷	88.4-94.5	90.1-90.9	92.5	93.11	
II 区	平滑迅速上升	73-76	76.4	76.4-77.8	平滑快速阶梯式下降	77.8-87.10			87.10	平缓上升有一峰一谷	88.1-94.5	91.1	94.2		
III 区	迅速上升	73-80	80.3	79-81	平滑下降途中有双峰	80.3-94.5	87.7	90.11	94.5						
IV 区	迅速上升	73	73.12	73.12-74	快速下降	75.1-78			78.5	上升后平缓长时间阶段后快速上升	78.5-94.5	80.10	86.11	89.4	94.5
V 区	迅速上升	73-75	75.10	75-76	迅速下降	77.2	88		88.4	平缓上升	88.4-94.5	94.5			

注:表中数字表示时间,例 77.4 表示 1977 年 4 月。

三、讨 论

研究海冰的长期变化趋势一个很重要的意义就是找出海冰的长期变化规律,研究海冰对气候的影响,或者说气候温暖化对海冰的影响,以及两者之间相互制约的关系等等。

根据海冰净冰面积指数距平值累积变化趋势可以清楚地发现 70 年代海冰是增加时期和高峰期,而 80 年代是减少时期和低谷期。表 2 给出了 5 个海冰区 1973~1982 年和 1983~1992 年近 20 年期间的海冰面积差。

表 2 前后 10 年海冰净冰面积总量差

海冰区	$S_1(\text{km}^2)$	$S_2(\text{km}^2)$	S_2-S_1
I 区	310903397.0	302933257.0	-7970140.0
II 区	353743287.1	348092964.0	-5650323.1
III 区	127101720.5	108254007.2	-18847713.3
IV 区	321652582.8	341995409.2	20342826.4
V 区	1113226827.9	1100942294.2	-12284533.7

注: S_1 为 1973~1982 年 10 年海冰总量, S_2 为 1983~1992 年 10 年海冰总量

由表 2 S_2-S_1 栏内可以看到除 IV 区威德尔海域内的海冰其差值为正值外,其余的全是负值,这说明后 10 年的海冰少,全南极区的海冰少大约为 1228 万 km^2 ,若以冰厚为 1m 计算则冰的总累积量偏少为 $1.228 \times 10^9 \text{m}^3$ 。海冰总量减少显然是与气候温暖化有关。

从另一角度分析,由于 80 年代海冰的明显偏少对气候的影响也是不可忽视的,例如,与海冰明显减少在海洋中反映出来的异常就是 80 年代和 90 年代初 El Niño 现象的频繁出现以及连锁反映所带来的气候变化异常。解思梅(1995)^[7]指出南极海冰与赤道太平洋海温有着超前和滞后各两年长达 4 年时间的强涛动关系。所以海冰的长期变化与全球气候有着直接和间接的密切关系。

四、结 论

(1) 南极海冰整体变化趋势是 70 年代前期海冰迅速增加,到中期达到最近 20 多年来的最大值,70 年代末到 80 年代前期为海冰迅速减少的时期,80 年代是少冰期,90 年代初海冰又缓缓增加。

(2) 南极海冰的变化区域性差别很大。I 区东南极海域($0^\circ \sim 120^\circ \text{E}$)和 II 区西南太平洋海域($120^\circ \text{E} \sim 120^\circ \text{W}$)占全南极海域 2/3 的范围,海冰的变化趋势基本相似,其特点和全南极海冰的大体相似,也就是说这两大海域的海冰变化趋势基本上反映了南极整体海冰的变化特点。

(3) III 区东南太平洋($120^\circ \text{W} \sim 60^\circ \text{W}$)即阿蒙森和别林斯高晋海区的海冰变化趋势是独特的。最多冰期比 I、II 区的滞后 3~4 年出现在 70 年代末和 80 年代初。最少冰期出在 90 年代初,其整体年变化趋势与 I、II 区几乎完全相反。年代际变化趋势从 1973~1994 年 5 月长达 22 年多的时间呈单峰型,70 年代中后期海冰迅速增多到 70 年代末和 80 年代初达到最大累积距平值,之后直到 1994 年都是海冰逐渐减少的时期,中途 1987~88 年期间有一明显的增多过程。

(4) IV 区威德尔($60^\circ \text{W} \sim 0^\circ$)海冰的变化特点与 III 区相反,它的最大值比 I、II 区早 1~2 年,出现在 73 年,最低谷出现在 78 年,比 I、II 区超前了 10 年左右,但它的低谷后期的低值持续时间长达 11 年,一直在平均值附近摆动。90 年代前期又达到了第二个高峰期,这是所

有其他冰区都没有的特点。另外,因为Ⅳ区和Ⅲ区的变化位相恰好相反,所以在全南极海冰的变化特征中,这两个海区的冰区相互抵消,在总体中反映出来的南极冰变化趋势是以Ⅰ、Ⅱ区的特征为主。

(5)Ⅳ区的海冰变化从峰值和谷值中都可以看到它领先於其他海区,说明它在南极海冰变化中是敏感区,具有领先的作用。

参 考 文 献

- [1] 郭琨、解思梅、包澄澜、郝春江等,南极海冰图集及资料,科学技术出版社,1~805,1991。
- [2] Xie, S. M., Hao, Ch. J., Qian, P., et al.: The Variation features of the Antarctic Sea ice(Ⅱ), *acta Oceanologica sinica*, Vol. 13, No. 1, 73~84, 1994。
- [3] Hao, Ch. j., Zhang, L., Xue, Zh. H. and Xie, S. M.,: Antarctic Sea ice and ENSO event, *Acta Oceanologica Sinica*, Vol. 12, No. 4, 549~561, 1993。
- [4] 解思梅、郝春江、许淙等:东南极海冰异常与中国夏季洪涝,海洋湖沼通报, No. 2, 48~60, 1994。
- [5] 解思梅、包澄澜、郝春江,南北两极海冰的相互作用,中国科学通报, Vol. 2, No. 7, 632~635, 1994。
- [6] 黄嘉佑,统计动力分析与预报,气象出版社, 143~151, 1993。
- [7] 解思梅、包澄澜、郝春江等,南方海洋涛动,中国科学通报, No. 18, 1995。

LONG-RANGE VARIATION TREND OF THE ANTARCTIC SEA ICE

Xie Simei Zou Bing Wang Yi

(*National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing*)

Abstract

In this paper, the antarctic sea ice SIGRID data in 1973 ~ 1989 standardised by WMO format provided by WDC-A and the SMMR and SMM/I brightness microwave data in 1978 ~ 1994 provided by NSIDC are used. Thses data are simulated-processed to enlong year number of the sea ice data as in 1973 ~ 1994.

Using these data to study the long-range variation trend of sea ice, it is found that, the Antarctic sea ice increased from early 1970s' and attained the maximum value in middle 1970s'. Since later 1970s', sea ice rapidly decreased to the minimum in early 1980s'. It was suatainedly less or varied about the mean value in whole the 1980s'. In early 1990s', sea ice began to increase again slowly, but the total value was still less than in early-middle 1970s'.

In addition, the regional difference of sea ice variation is very large. It is especially true for sea ice of the Weddell Sea region with its variation transition time prior to all other sea regions. Sea ice variation of the Weddell Sea plays a leading role on and give a positive-negative feedback to other sea ice regions.

Key words: Antarctic sea ice, Long-range variation, Variation trend.