

BSPE 00483-783-7

남극 세종기지 주변 내만의 저층환경과
저서생물분포 :
여름철 저층수의 특성과 용존산소의 수직분포

Stagnation of Bottom Water :
Oxygen Depletion and Low Benthic Biomass
in the center of the Maxwell Bay, King George Island

1995. 3.

한국해양연구소

제출문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 <남극 세종기지 주변 내만의 저층환경과 저서생물분포:
여름철 저층수의 특성과 용존산소의 수직분포> 사업의 최종보고서로
제출합니다.

1995년 3월

한국해양연구소

연구책임자: 강 영 철

연구 원: 김 해 철

요약

남극 킹조지섬 맥스웰만의 중앙부에서, 남극해의 일반적인 양상과는 다른 용존산소의 수직분포양상이 관측되었다. 일반적으로 남극해의 저층수는 용존산소의 함량이 높다. 왜냐하면 남극 저층수의 기원은, 겨울철에 표층에서 냉각되어 침강하는, 용존산소로 과포화되어 있는 표층수이기 때문이다. 따라서 남극 저층수의 많은 특성이 표층수와 유사한 양상을 보이며, 용존산소는 저층에서 다시 증가하는 경향을 보인다. 그러나 맥스웰만의 중앙부에서는 용존산소가 저층에서 다시 증가하는 경향을 보이지 않으며, 오히려 저층에서 급격히 감소한다. 염분과 수온의 수직분포, T/S diagram은 맥스웰만 중앙부 저층에 주변 해수와는 다른 해수의 존재를 보여준다. 여름철 내만 표층수의 강한 성층은 표층수와 저층수의 혼합을 저해하는 주요인이며, 따라서 저층으로의 산소공급을 어렵게 한다 (순전히 확산에 의해서만 산소가 저층으로 공급되어야 한다). 결과적으로 저층수의 산소가 고갈되면서 저층에 무산소환경이 초래되고, 저층의 산소결핍이 맥스웰만 중앙의 현저하게 빈약한 저서생물량과 관련이 있음을 시사한다.

주요어: 저층수의 고립, 산소결핍, 현저하게 낮은 저서생물량, 여름철 해수의 성층

ABSTRACT

Vertical profile of dissolved oxygen (DO) in the center of the Maxwell Bay differs to the general pattern reported in Antarctic waters. In Antarctic seas, DO re-increases in bottom waters, because the bottom waters are originated from oxygen saturated surface waters. However, in the center of the Maxwell Bay, DO does not re-increase in the water on the bottom. The CTD profiles and T/S diagram show, the water on the bottom is different with overlying waters of the bay. Strong stratification of the bay waters during austral summer, keeps the waters from mixing, and makes difficult oxygen supply to the bottom (oxygen should be supplied to the bottom only by diffusion). Low oxygen supply to the bottom could result an oxygen-depleted (or anaerobic) environment at the bottom, and near-bottom depletion of oxygen might be responsible for low benthic biomass of the Maxwell Bay.

Key words: stagnation of bottom water, oxygen depletion, low benthic biomass, austral stratification of surface waters.

차례

| | |
|--------------------------------------|------|
| 요약 | iii |
| 그림 목록 | xi |
| 표 목록 | xiii |
| I. 서론 | 1 |
| II. 연구지역 | 3 |
| III. 연구방법 | 4 |
| 1. 저서생물채집 | 4 |
| 2. 저층퇴적물의 입도와 유기물함량 | 5 |
| 3. 용존산소의 수직분포 | 6 |
| IV. 결과와 고찰 | 7 |
| 1. 맥스웰만의 저층퇴적물과 생물량분포 | 7 |
| 2. 용존산소의 수직분포와 맥스웰만의 생물량분포 | 8 |
| 3. 여름철 해수의 성층과 저층수의 stagnation | 8 |
| V. 결론 | 10 |
| 참고문헌 | 12 |

CONTENTS

| | |
|---|------|
| Abstract | v |
| List of Figures | xi |
| List of Tables | xiii |
| I. Introduction | 1 |
| II. Study Area | 3 |
| III. Materials and Methods | 4 |
| 1. Benthic Organisms | 4 |
| 2. Organic and Mud Contents of Bottom Sediments | 5 |
| 3. Dissolved Oxygen | 6 |
| IV. Results and Discussion | 7 |
| 1. Distribution of Benthic Species | 7 |
| 2. Oxygen Depletion and Low Benthic Biomass | 8 |
| 3. Stagnation of Bottom Water | 8 |
| V. Conclusions | 10 |
| References | 12 |

List of Figures

- Fig. 1. The Maxwell Bay is located between the King George and the Nelson Islands, the South Shetlands, Antarctica
- Fig. 2. A map showing the sampling points in the Maxwell Bay: marine benthos was collected from 12 sediment sampling stations and water samples were taken from the standard depths in the center of the Maxwell Bay.
- Fig. 3. The composition of benthic organisms collected from the sampling stations in the Maxwell Bay: polychaete worms occupies more than 70% in both number and biomass.
- Fig. 4. The biomass of major benthic components in the Maxwell Bay: Polychaete worms *Maldane sarsi antarctica* & *Potamilla antarctica* are the most dominant benthic species.
- Fig. 5. The biomass distribution of dominant benthic species along the stations in the study area.
- Fig. 6. The relationship between the benthic biomass and the mud content of the bottom sediment shows no relation between the two parameters.
- Fig. 7. The relationship between the benthic biomass and the bottom depth: a little biomass was found in the central basin of the Maxwell Bay.
- Fig. 8. T/S diagram shows the water on the bottom of the Maxwell Bay (lower right) different with other water masses.

Fig. 9. Vertical profiles of temperature & salinity of the Maxwell Bay, the Bransfield and Gerlache Straits. Strong stratification of the surface and bottom waters were observed in the center of the Maxwell Bay.

Fig. 10. The vertical profile of dissolved oxygen(DO) in the center of the Maxwell Bay. DO decreases sharply in the surface and the bottom layers.

List of Tables

- Table 1. The number and biomass of benthic organisms collected in the Maxwell Bay area.
- Table 2. Cumulative distribution of the biomass of major benthic species sampled in the Maxwell Bay area.
- Table 3. The composition of bottom sediment collected in the Maxwell Bay area.
- Table 4. Comparison of dominant groups and biomass of benthic organisms reported in the Antarctic seas.
- Table 5. Comparison of primary productivities reported in the Antarctic seas.
- Table 6. The types & organic contents of bottom sediments collected in the Maxwell Bay(B1, B2, B3) and the Bransfield Strait & adjacent embayments. Numeral-marked stations are in open coastal area and the stations with G's are in other bay areas.

List of Appendices

- Appendix 1. Winkler-Azide titration method for dissolved oxygen measurement.

1. 서론

남극권 저층의 생물경계는 표층의 생물경계와 다르다. 남빙양의 표층해수는 남극수렴선 (Antarctic Convergence)을 경계로 다른 대양의 표층해수와 뚜렷하게 구별된다 (Pittock et al., 1978; Phillipot, 1985). 그러나, 남극의 심해를 다른 대양의 심해와 구별하는 물리적 경계는 분명하지 않다 (Picken, 1985). 남극해 심층수의 수온, 염분, 용존산소 등 대부분의 수괴특성은 남극해 표층수와 닮아 있으며, 다른 대양의 심층수와 유사한 연관성을 보인다. 왜냐하면, 겨울에 냉각된 남극대륙 주변의 표층해수가 대륙 주변의 경사면을 따라 침강하여 남극저층수 (Antarctic Bottom Water)를 형성하고, 남극저층수는 해저를 따라 다른 대양의 심층으로 유입되기 때문이다 (Foxton, 1959; El-Sayed, 1985). 그러나, 빙하에 의한 퇴적물 운반과 연안 저층의 교란, 분급이 안된 저층퇴적물은, 남극심해 저층의 생물환경을 다른 해역의 심해 환경과 차별하는 중요한 요인들이다.

남극권의 천해와 심해의 저층환경이 다른 대양의 심해 저층환경과 연관되어 있다는 사실은 매우 중요한 다음 가능성을 시사한다: 비록 빙하와 빙하퇴적물, anchor ice의 형성 등으로 남극해의 저층환경이 다른 대양의 저층환경과 부분적으로는 차별되지만, 동일한 수괴(남극저층수)의 영향을 받는, 남극 연안 저층의 생물환경과 주변 대양의 심해생물환경이 서로 긴밀하게 연결되어 있으며, 따라서 남극해 내만 저층에서의 현장실험과 생물환경에 대한 연구를 통해 다른 대양의 심해 저층환경과 생물환경을 재현할 수 있다는 점이다.

그러나, 엄밀하게 비교하면, 남극 내만의 저층환경과 생물환경은 일반적으로 알려진 남극해 저층의 양상과 다르다. 왜냐하면, 해수의 유동이 미약한 내만은, 외해에 비해 해수의 교환이 상대적으로 미약하고, 저층수는 남극권 대륙붕의 특성(inner shelf depression) 때문에 지형상 외역의 해수와 부분적으로 단절되어 있기 때문이다. 수피의 고립은, 외역의 환경에 종속되어 있지 않다는 뜻이며, 주변 해수의 특성과는 다른 가능성, 외해의 저층환경과는 양상이 다른 독립된 생물상과 생물환경을 시사한다.

생물과 환경과의 관계를 말할 때, 환경이라함은 대상생물의 서식지 환경을 의미한다. 저서생물의 경우 해수와 저층퇴적물이 만나는 저층경계면 (benthic boundary layer)이 그들의 주요 서식지이다. 해수와 저층퇴적물이 만나는 저층경계면에서 일어나는 모든 생지화학현상은 저서생물의 활동과 긴밀하게 연결되어 있으며, 저서생물의 활동은 저층경계면에서 일어나는 대부분의 생지화학현상을 촉진한다(Wilde, 1974, references there in).

저서생물은 섭식과 배설을 통해 해수중의 유기물을 자신의 서식지 주변에 능동적으로 축적하며(Kristensen, 1988), 저서생물의 활동으로 비롯되는 퇴적물교란은 결과적으로 유기물의 무기영양염류로의 환원(recycling)을 촉진한다(Aller, 1988). 다시 말하면, 저서생물이 저층경계면에서의 물질순환에 능동적으로 개입하여 해수와 퇴적물간의 물질순환을 보다 빠르게 진행시킨다는 것이다. 그러나 다른 대양의 연안에 비해 자연환경이 사뭇 다른 남극 연안에서는, 출현종의 분류, 분포에 대한 연구가 주종을 이루며, 아직 저서환경과 저층경계면의 특성에 대한 연구가 부진하다.

II. 연구지역

맥스웰만은, 서남극 남극반도 끝 부분에 위치한 남셰틀란드 군도의, 킹조지섬과 벨슨섬 사이에 자리잡은 남극 내만의 전형적인 fjord이다 (Fig. 1). 만의 길이는 약 12 km, 폭 7 km이며 수심은 중앙부 깊은 곳이 약 500 m이다. 만의 형태는, 남극권 대부분의 다른 내만처럼, 가운데가 움푹 가라앉은 sunken shelf이며, 입구에는 턱(bay sill)이 발달되어 있지만 높지 않다(수심 약 430 m) (Fig. 2). 남동방향으로는 브랜스필드해협과 완전히 통하며, 서쪽으로는 얇고 좁게 발달한 수로(Fildes Strait)가 있어 Drake Passage와 약하게 연결되어 있다(Chile-an chart no. 1400 & 1407, Instituto Hidrografico de la Armada de Chile). 저질은 빙하퇴적물의 전형을 보여주는, 왕자같이 섞인 니질사 이거나 사질니이다 (muddy sand or sandy mud) (Table 3).

맥스웰만을 벗어나면 수심이 급격히 깊어지며, 해류의 흐름도 매우 빨라진다. 브랜스필드해협을 따라 남서에서 북동으로 흐르는 해류의 주흐름은 남셰틀란드군도의 남동해안을 따라 흐르며, 해류의 궤적은 브랜스필드해협을 따라 길게 발달한 deep basin의 방향과 일치한다 (Niiler et al., 1991). 브랜스필드해협을 따라 빠른 해류가 흐름에도 불구하고 맥스웰만의 해수는 상대적으로 유동이 미약하며 (Chang et al., 1990), 여름철의 일사량 증가에 따른 표층수의 가열과 용설수의 유입으로 맥스웰만 표층에는 고온저염의 가벼운 해수층이 형성된다. 미약한 해수유동과 내만 해수의 성층은 맥스웰만 내만 저층으로의 용존산소 공급이 원활하지 않음을 반영한다.

III. 연구방법

남극 세종기지 주변 내만의 저층환경과 저서생물 분포를 조사하기 위해, 맥스웰만의 11개 정점에서 (Fig. 2), 저층퇴적물과 저서생물을 채집하였다. 저층퇴적물은 Grab sampler (Okean50, 0.25 m²)와 Box Corer(0.25 m²)를 사용하여 채집하였다. 체니기를 사용하여 퍼올린 저층퇴적물시료는, 표층퇴적물의 유기물함량과 입도분석을 위해 표층퇴적물을 일부 부표본 채취하고, 모든 시료를 망목 1 mm 체로 걸러 생물시료를 분리하였다. 생물시료는 채질하고 남은 잔여물과 함께 10% formalin으로 현장에서 일단 고정하였다.

모든 퇴적물시료로부터 유기물함량과 입도분석을 위해 표층퇴적물 일부를 부표본 채취하였고, Box Core 시료에서는 퇴적물내 지화학요인의 수직분포를 분석하기 위해 주상시료(10 cm*10 cm*50 cm)를 따로 부표본 채취하였다.

1. 저서생물채집

맥스웰만의 11개 정점에서 Grab sampler와 Box Corer를 사용하여 퍼올린 저층퇴적물로부터 저서생물을 분리한 과정은 다음과 같다: 1) 맨눈으로 확인되는 대형저서동물을 우선 골라내었다. 2) 대형동물을 골라내고 남은 모든 퇴적물 시료를 망목 1 mm 체로 걸렀다. 3) 체로 걸르고 남은 잔여물중에서 맨손으로 집어낼 수 있는 왕자갈과 암석 파편을 제거하고 남은 시료를 현장에서 10% formalin으로 우선 고정하였다. 4) 현장에서 잔모래와 함께 고정한 생물시료를 실험실에서

분류군별로 sorting하고, 개체수와 생물량을 측정하였다.

연구에 사용된 모든 생물시료는 망목 1 mm 체에 걸린 개체이며, 따라서 1 mm 이하 크기의 미소저서동물 (meiofauna)은 제외되었다. 생물량은 formalin wet weight를 사용하였으며, 다모환충류의 경우는 tube의 무게를, 이매패의 경우에는 패각의 무게를 습중량에 합산하여 생물량으로 간주하였다. 채집정점별 출현종의 개체수와 생물량분포를 Table 1에 정리하였다.

2. 저층퇴적물의 입도와 유기물함량

퇴적물시료에서 따로 부표본 채취한 표층퇴적물을 이용하여 표층퇴적물의 유기물함량과 입도를 분석하였다. 분석과정은 다음과 같다:

1) 입도분석: 퇴적물시료를 증류수로 수회 세척하여 소금기를 제거하고, 유기물은 과산화수소(H_2O_2)를 가하여, 탄산염은 염산(HCl)으로 녹였다. 염분과 유기물, 탄산염이 제거된 퇴적물시료를 체를 사용해 2 ϕ 이상의 입자를 골라내고(dry sieving) 남은 시료를 입자의 침강 속도 차이를 이용하여 분리하였다. 분석장비는 Sedigraph 5000D size analyzer를 사용하였다.

2) 유기물함량: 증류수로 세척하여 소금기를 제거한 퇴적물시료를 dry oven에서 60°C로 3일간 말린다. 마른 퇴적물시료를 곱게 부쇄 200um mesh로 걸른 뒤, 일정량을 도가니에 넣어 500°C로 약 3시간 가량 태운다. 태운 뒤에 감소된 무게(Ignition Loss)를 태우기 전의 건조퇴적물 무게로 나눈 값의 백분율을 유기물함량으로 이용하였다 (Holme & McIntyre, 1984). 내만 퇴적물의 유기물함량을 맥스웰만 주변 해역 퇴적물의 유기물함량과 비교하기 위해, 브랜스필드해협의 퇴적물시료 일부를 함께 분석하였다.

3. 용존산소의 수직분포

맥스웰만에 서식하는 저서생물군집의 구성과 생물량분포가 저층의 용존산소량 분포와 어떤 관계가 있는지 알기 위해, 맥스웰만 중앙부(수심 500 m)에서 해수에 녹아있는 용존산소의 수직분포 pattern을 분석하였다. 수층별 채수는 CTD-Rosette sampler를 사용하여 11개 수층에서 채수하고, 해저면 인접층의 해수는 Niskin Bottle을 개조한 Bottom Water Sampler(Kang, 1993)를 이용해 채수하였다. 선상으로 올라온 해수시료는 선상에서 100 ml DO bottles에 siphon을 이용해 기포가 생기지 않도록 옮겨 담은 뒤 Winkler-Azide 적정법으로 용존산소량을 적정하여 측정하였다. 자료의 신뢰도를 높이기 위해, 같은 정점에서 Rosette sampler와 Bottom Water sampler를 두번 casting하여 층별로 독립된 2벌의 해수를 채수하고 채수된 각각의 시료에 대해 용존산소량을 2회 반복 측정하였다.

IV. 결과와 고찰

1. 맥스웰만의 저층퇴적물과 생물량 분포

맥스웰만에서 채집한 저서생물의 단위면적당 생물량과 개체수는 Table 1과 같다. 맥스웰만의 저서생물군집은 다모환충류가 우점한다 (Fig. 3). 다모환충류는 개체수와 생물량면에서 전체 저서군집의 70% 이상을 점유하며, 다모환충류의 일종인 *Maldane sarsi antarctica*가 홀로 맥스웰만 전체 생물량의 33%를 차지한다 (Table 2 & Fig. 4). Table 3은 채집정점의 저층퇴적물을 입도분석한 결과이다. 만 내부의 생물량 분포는 퇴적물의 mud 함량과 아무런 관계도 보이지 않으며, 퇴적물의 유기물함량과도 관련이 없는 듯하다 (Fig. 6). 표층퇴적물의 유기물함량은 퇴적물의 mud 함량과 비례한다. 맥스웰만 퇴적물의 mud 함량은 주변 다른 해역에 비해 낮지 않으며, 유기물함량 또한 브랜스필드 해협 표층퇴적물에 비해 결코 낮지 않다 (Table 6). 만 안 쪽 부터 바깥 쪽으로 수심에 따라 생물량 분포를 배열한 자료는 (Fig. 7), 맥스웰만 중앙부의 현저하게 낮은 생물량이 내만의 구조와 관련이 있음을 보여준다.

맥스웰만의 생물량은 남극해 다른 내만의 생물량에 비해 낮은 것 같다 (Table. 4). 개체수면에서 McMurdo Sound와 Arthur Harbor에 비해 현저하게 적다. 생물량 면에서는 Signy Island와 비슷하지만 본 연구에 사용한 저서생물의 생물량이 다모환충류의 tube와 이매패의 패각무게를 포함하여 측정된 값임을 고려하면, 순수한 유기물부분에 의한 순 생물량값은 더 낮아질 것이다.

2. 용존산소의 수직분포와 맥스웰만의 생물량분포

맥스웰만 중앙부에서 관측한 수온과 염분의 수직분포는 만 중앙의 표층에 고온저염의 해수가 상대적으로 무거운 저온고염의 해수위에 떠있는 층구조를 보여준다(Fig. 9). 수심 50 m 부근에 형성되어 있는 강력한 수온약층과 염분약층은 해수의 수직혼합이 일어나기가 매우 어렵다는 점을 반영한다. 수심 400 m 부근에서 다시 수온이 급격히 감소하는 것이 관측되었는데, 브랜스필드해협과 맥스웰만의 해수를 함께 나타낸 T/S diagram은 맥스웰만의 저층에 주변 해수와는 전혀 다른 해수가 존재함을 시사한다 (Fig. 8).

맥스웰만 중앙부에서 관측한 용존산소의 수직분포는, 표층에서 약 12 mg/liter 가량의 농도를 보이다가 빠르게 감소하여 수심 약 50 m 부근에서는 11 mg/liter 이하로 떨어진다 (Fig. 10). 이후 수심 400 m 까지 큰 변화를 보이지 않으며 서서히 감소하다가 해저면에 이르러 급격히 감소하는 경향을 보인다. 해저 인접수층에서 채수한 저층수의 용존산소농도는 평균 8 mg/liter이다. 이 값은 저서생물이 서식하기에 충분한 농도이지만, 표층수의 성층과 지속적인 저층에서의 소모량, 시료의 채취시기 (1994년 1월)를 고려할 때, 저층수에 함유된 용존산소가 머지않아 고갈될 가능성이 있다.

3. 여름철 해수의 성층과 저층수의 stagnation

남극의 내만 해수는 겨울에는 표층수의 냉각에 의한 밀도역전으로 해수의 수직혼합이 활발하게 이루어지지만, 일조량이 증가하는 여름에는 표층가열과 융설수의 유입으로 표층에 저염고온의 가벼운 해수층이 형성된다. 저염고온의 가벼운 해수가 표층을 덮으면서 강력한 수온약층과 염분약층, 밀도약층이 형성되며, 결과적으로 표층과 저층

해수의 혼합이 어렵게 된다. 한편, 브란스필드해협은 해수가 심하게 유동하며, 서남서방향에서 동북동방향으로 빠르게 흐름에도 불구하고 맥스웰만의 해수는 크게 유동하지 않는다 (Chang et al., 1990). 또한, 맥스웰만 입구의 턱(bay sill)은 높지는 않지만, 내만 해수의 성층과 미약한 유동과 더불어 내만 저층의 해수를 만 중앙의 움푹한 지점에 고립시키는 또 다른 요인이다. 남극권 내만의 지형특성인, 움푹 패인 중앙부(inner shelf depression)와 여름철 내만 해수의 성층은 내만의 해수를 외해의 다른 해수와 부분적으로 고립시키며, 만 중앙의 움푹 패인 곳에서는 저층수가 다른 해수와 완전히 고립될 수 있다.

내만 해수의 미약한 유동은, 내만 해수의 수직혼합이 외해에 비해 상대적으로 미약함을 반영하는 것이며, 내만의 저층수가 내만의 특성(inner shelf depression) 때문에 지형상 외역의 해수와 부분적으로 단절되어 있다는 것은 내만 저층수가 외해의 해수로부터 고립되어 있다는 것이다. 수괴의 고립은, 외역의 환경에 종속되어 있지 않다는 뜻이며, 주변 해수의 특성과는 다른 가능성, 외해의 저층환경과 다른 독립된 생물환경과 생물상을 보여줄 가능성을 내포한다.

V. 결론

남극 세종기지 주변 내만의 저층환경과 저서생물분포, 맥스웰만 중앙에서 관측한 용존산소의 수직분포 pattern을 간추리면 다음과 같다: 1) 다모환충류가 개체수와 습중량면에서 맥스웰만에서 출현하는 저서생물 생물량의 대부분을 차지한다 (ca. 70%). 2) 단일종으로는 다모환충류의 일종인 *Maldane sarsi antarctica*가 전체 생물량의 33%를 차지한다. 3) 맥스웰만의 생물량의 분포는 저층퇴적물의 mud 함량과 아무런 상관을 보이지 않으며, 유기물함량과도 관계가 없는 듯하다 (맥스웰만 저층퇴적물의 유기물함량은 브랜스필드해협 표층퇴적물의 유기물함량에 비해 결코 적지 않다). 4) 내만 저서생물의 생물량은 채집수심과 관계가 있는 것 같으며, 내만 중앙부에서 관측된 현저히 낮은 생물량은 내만 저층의 지형과 관련이 있는 것 같다. 5) 여름철에 관측한 맥스웰만 표층의 수온과 염분자료는 내만의 해수가 강력하게 성층되어 있음을 반영하며, 수심 50 m 부근에서 강력한 수온약층과 염분약층이 발견된다. 6) 맥스웰만의 T/S profile과 브랜스필드해협 주변해수의 T/S diagram은 맥스웰만의 저층에 주변 해수와는 다른 해수가 존재함을 시사한다. 7) 맥스웰만 중앙에서 관측한 용존산소의 수직분포 pattern은, 상층수에서 보다 저층에서 용존산소가 급격히 감소하는 것을 보여준다. 8) 저층으로의 산소공급은, 약한 해수유동과 내만 해수의 강력한 성층 때문에, 거의 이루어지지 않을 것 같다. 9) 결과적으로 저층에서의 산소부족이 초래되고, 여름철 남극권 내만의 성층과 지형특성으로 야기되는 저층의 산소결핍이 맥스웰만의 저서

생물량을 현저하게 낮추는 가장 큰 원인일 가능성이 크다.

맥스웰만 표층수에서의 일차생산력이 다른 해역의 일차생산력에 비해 낮아(Table. 5), 저서생물의 먹이로 이용되는 유기물입자의 낮은 공급이 맥스웰만의 저서생물량을 제한하는 요인으로 볼 수도 있지만, 만 중앙을 제외한 연안의 높은 생물량을 설명할 수 없다. 한편, 내만 연안의 수심 15 m - 30 m 부근에 집중 분포하는 엄청난 량의 저서 규조류(in field observation using SCUBA)와 규조류의 일차생산력(unpublished data)을 고려하면, 맥스웰만 저서생물군집으로 유입되는 유기물량은 적지 않을 것으로 예상된다. 맥스웰만 저층의 저서환경과 저서생물 분포에 대한 완전한 이해를 위해, 저층경계면으로 유입되는 유기물의 flux, 저층퇴적물의 산소소모율(sediment respiration rate), 저층경계면에서의 생지화학과정(biogeochemical process)을 포함하는 물질순환에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- Aller, R. C. 1988. Benthic Fauna and Biogeochemical Processes in Marine Sediments: The Role of Burrow Structures. In: Nitrogen Cycling in Coastal Marine Environments. Blackburn, T. H. and J. Sørensen eds. John Wiley & Sons, New York. pp. 301-338.
- Chang, K. I., H. K. Jun, G. T. Park, and Y. S. Eo. 1990. Oceanographic Conditions of Maxwell Bay, King George Island, Antarctica (Austral Summer 1989). Korean J. Polar Res. 1(1):27-56.
- El-Sayed, S. Z. 1985. Plankton of the Antarctic Seas. In: Key Environments-Antarctica. Bonner, W. N. and D. W. H. Walton eds. Pergamon Press, Oxford. pp. 135-153.
- El-Sayed, S. Z., D. C. Biggs, and O. Holm-Hansen. 1983. Phytoplankton standing crop, primary productivity, and near-surface nitrogenous nutrient fields in the Ross Sea, Antarctica, Deep Sea Res. 30(8A):871-886.
- Foxton, P. 1956. The distribution of the standing crop zooplankton in the Southern Ocean. Discovery Rep. 28: 193-235.
- Holme, N. A. and A. D. McIntyre (eds.). 1984. Methods for the study of marine benthos. 2nd ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 387 pp.
- Kang, Y.-C. 1993. Vertical Distribution of Suspended Particulate Matter in Bransfield and Adjacent Embayments, Feb. 1993: Modified Niskin Bottles for Near-Bottom Water Samples. Korean J.

Polar Res. 4(2):127-131.

- Kristensen, E. 1988. Benthic Fauna and Biogeochemical Processes in Marine Sediments: Microbial Activities and Fluxes. In: Nitrogen Cycling in Coastal Marine Environments. Blackburn, T. H. and J. Sørensen eds. John Wiley & Sons, New York. pp. 275-299.
- Niiler, P. P., A. Amos, and J.-H. Hu. 1991. Water masses and 200 m relative geostrophic circulation in the western Bransfield Strait region. In: Research on Antarctic Coastal Ecosystem Rates(RACER), special issue of Deep-Sea Res. 38(8/9A):943-959
- Phillpot, H. R. 1985. Physical Geography - Climate. In: Key Environments-Antarctica. Bonner, W. N. and D. W. H. Walton eds. Pergamon Press, Oxford. pp. 23-38.
- Picken, G. B. 1985. Marine Habitats - Benthos. In: Key Environments-Antarctica. Bonner, W. N. and D. W. H. Walton eds. Pergamon Press, Oxford. pp. 154-172.
- Pittock, A. B., L. A. Frakes, D. Jenssen, J. A. Peterson and J. W. Zillman (eds). 1978. Climate Change and Variability: a Southern Perspective. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wilde, P. A. W. J. de. 1974. The Benthic Boundary Layer from the Point of View of a Biologist. In: The Benthic Boundary Layer. McCave ed. Plenum Press, New York. pp. 81-94.
- Yang, J. S. 1990. Nutrients, Chlorophyll-a and Primary Productivity in Maxwell Bay, King George Island, Antarctica. Korean J. Polar Res. 1(1):11-18.

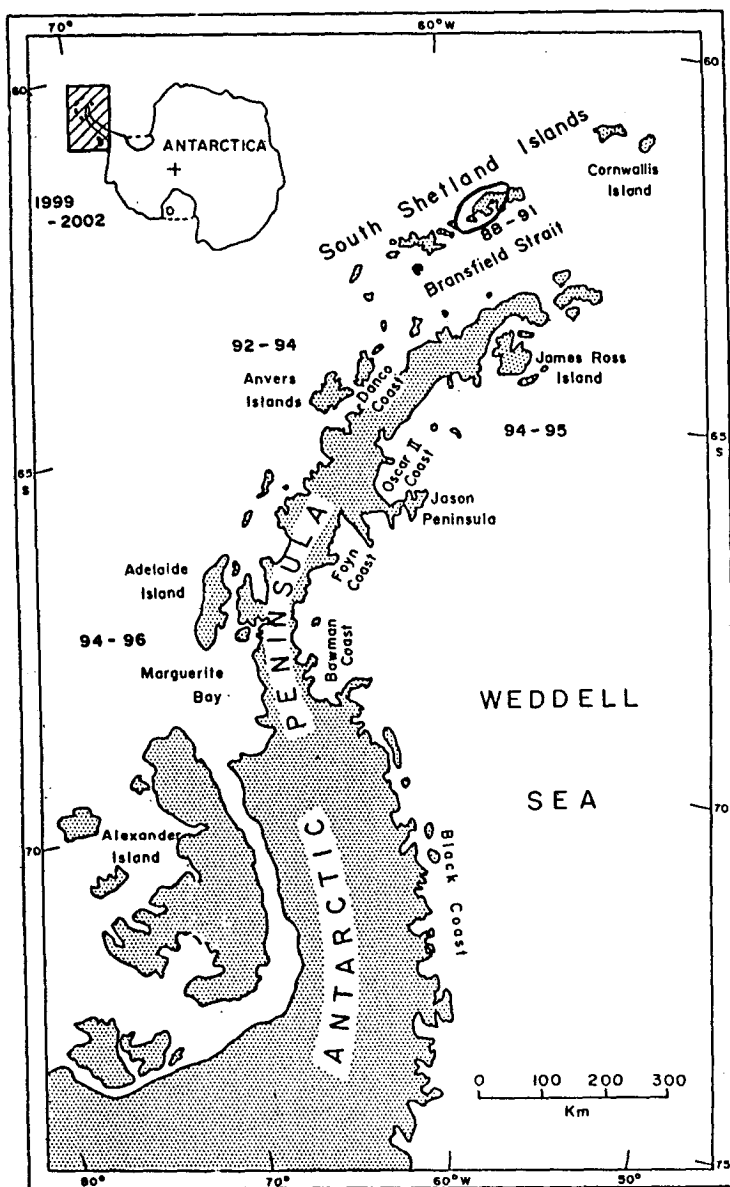


Fig. 1. The Maxwell Bay is located between the King George and the Nelson Islands, the South Shetlands, Antarctica

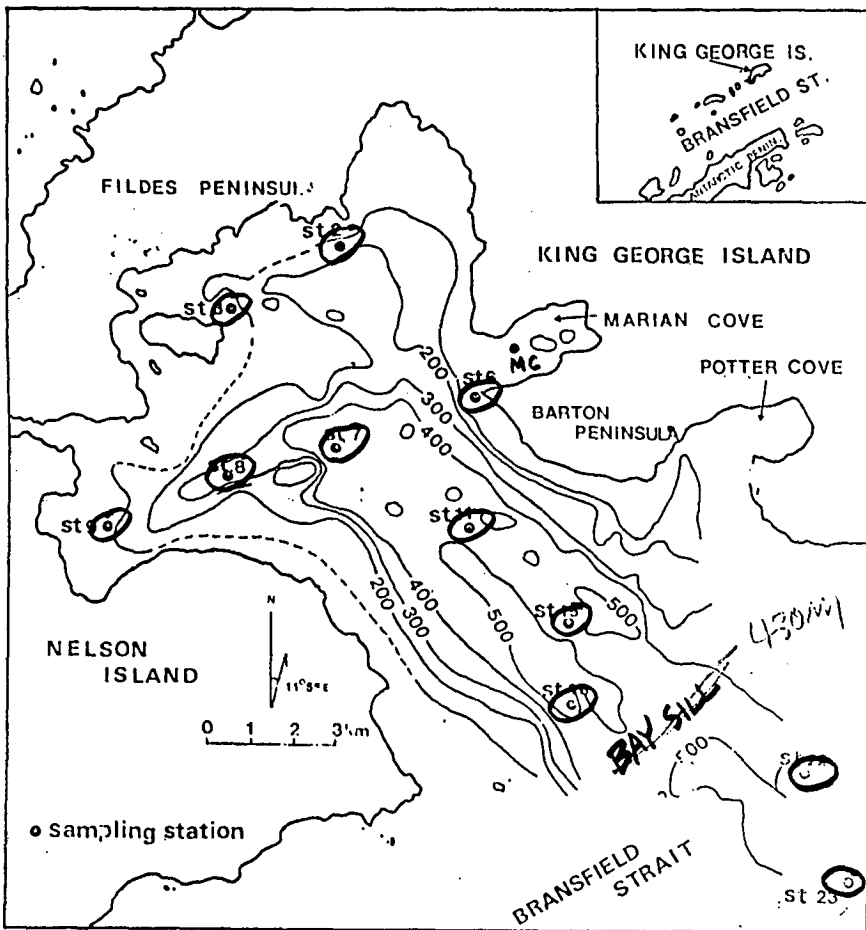


Fig. 2. A map showing the sampling points in the Maxwell Bay: marine benthos was collected from 12 sediment sampling stations and water samples were taken from the standard depths in the center of the Maxwell Bay.

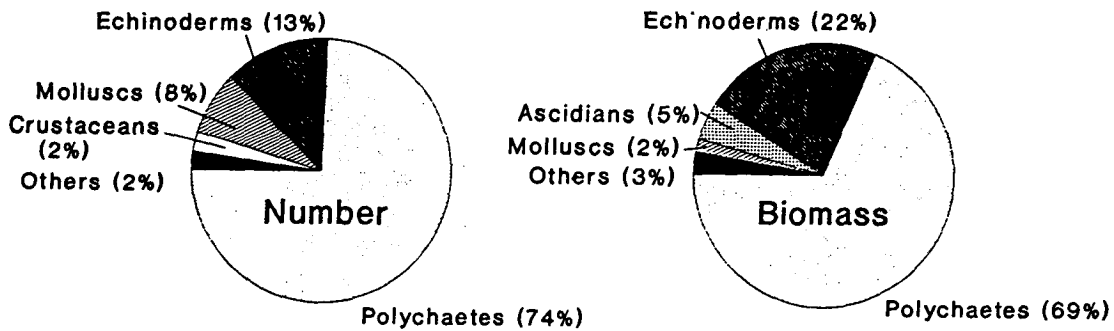


Fig. 3. The composition of benthic organisms collected from the sampling stations in the Maxwelll Bay: polychaete worms occupies more than 70% in both number and biomass.

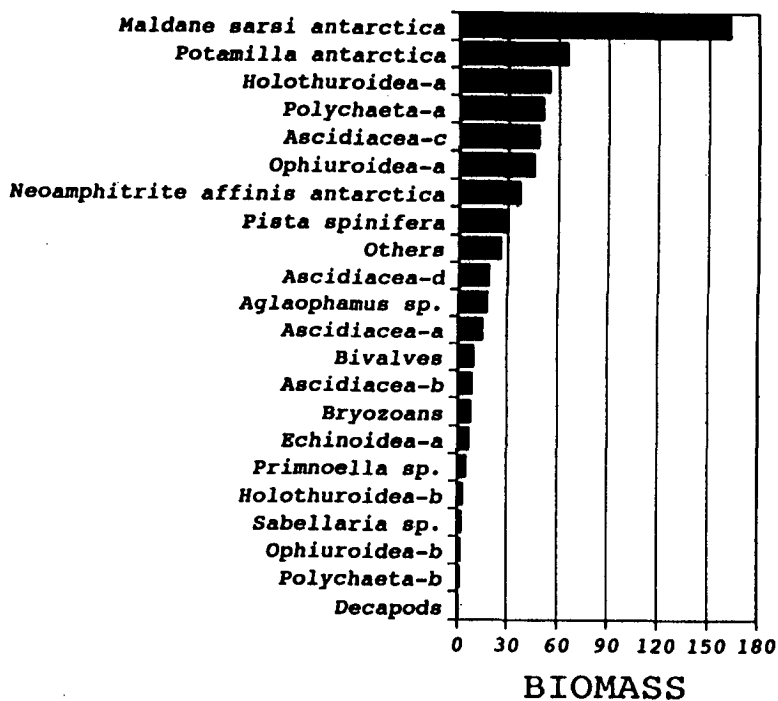


Fig. 4. The biomass of major benthic components in the Maxwell Bay: Polychaete worms *Maldane sarsi antarctica* & *Potamilla antarctica* are the most dominant benthic species.

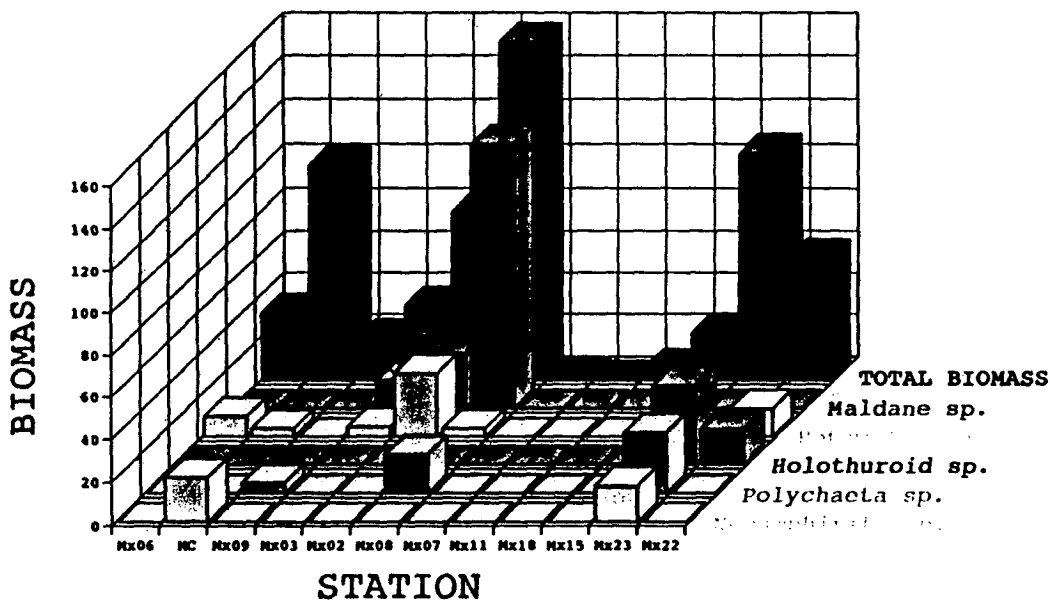


Fig. 5. The biomass distribution of dominant benthic species along the stations in the study area.

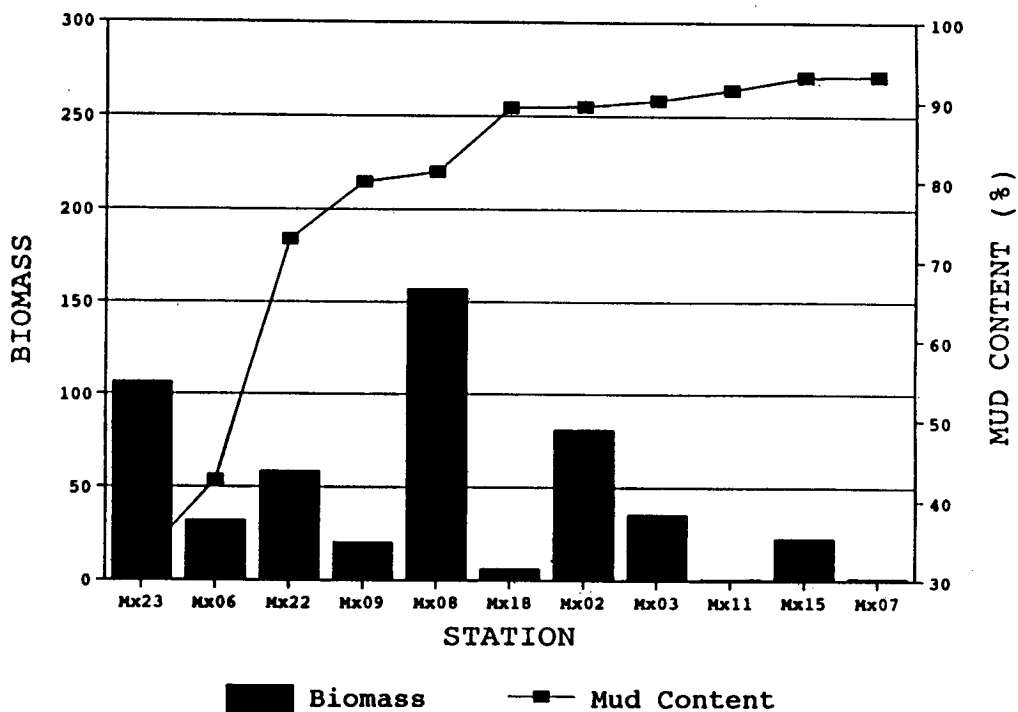


Fig. 6. The relationship between the benthic biomass and the mud content of the bottom sediment shows no relation between the two parameters.

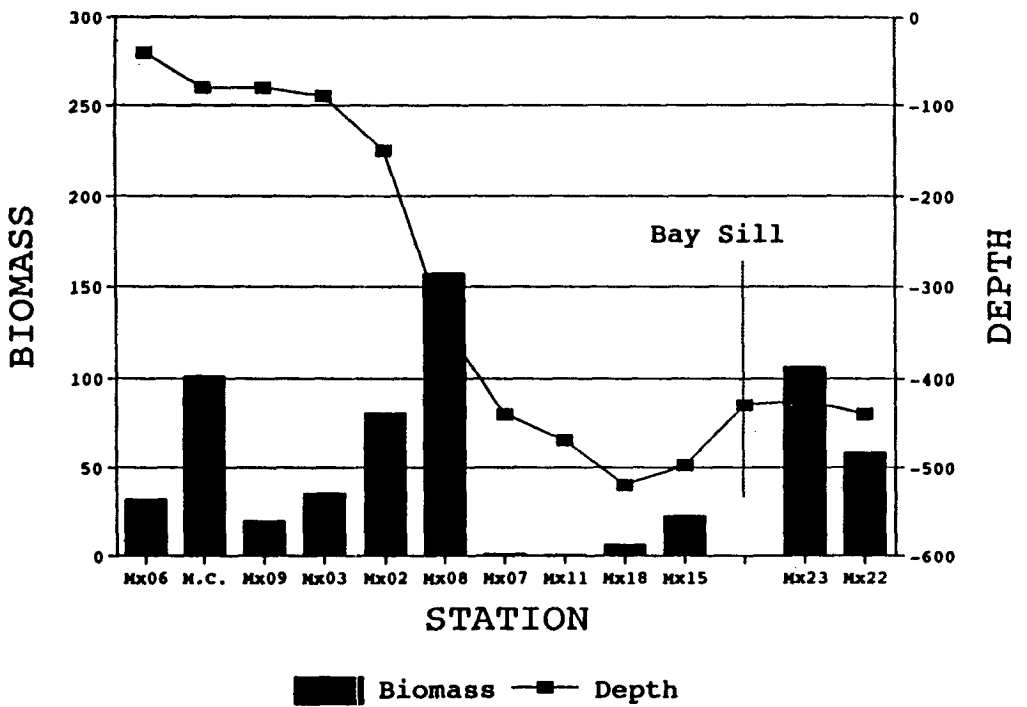


Fig. 7. The relationship between the benthic biomass and the bottom depth: a little biomass was found in the central basin of the Maxwell Bay.

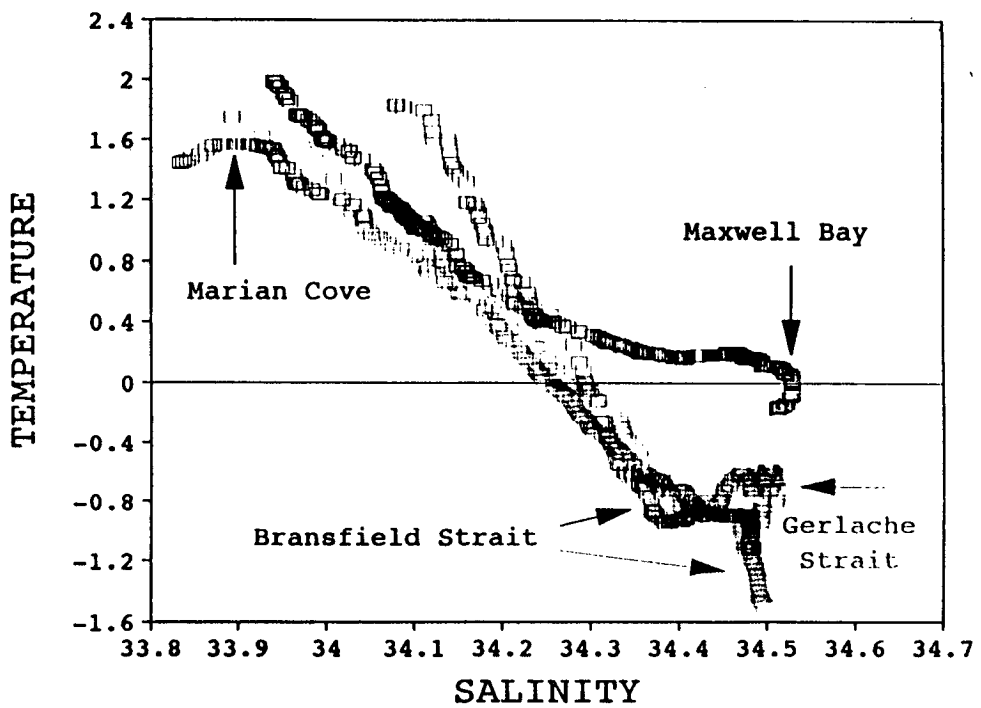


Fig. 8. T/S diagram shows the water on the bottom of the Maxwell Bay (lower right) different with other water masses.

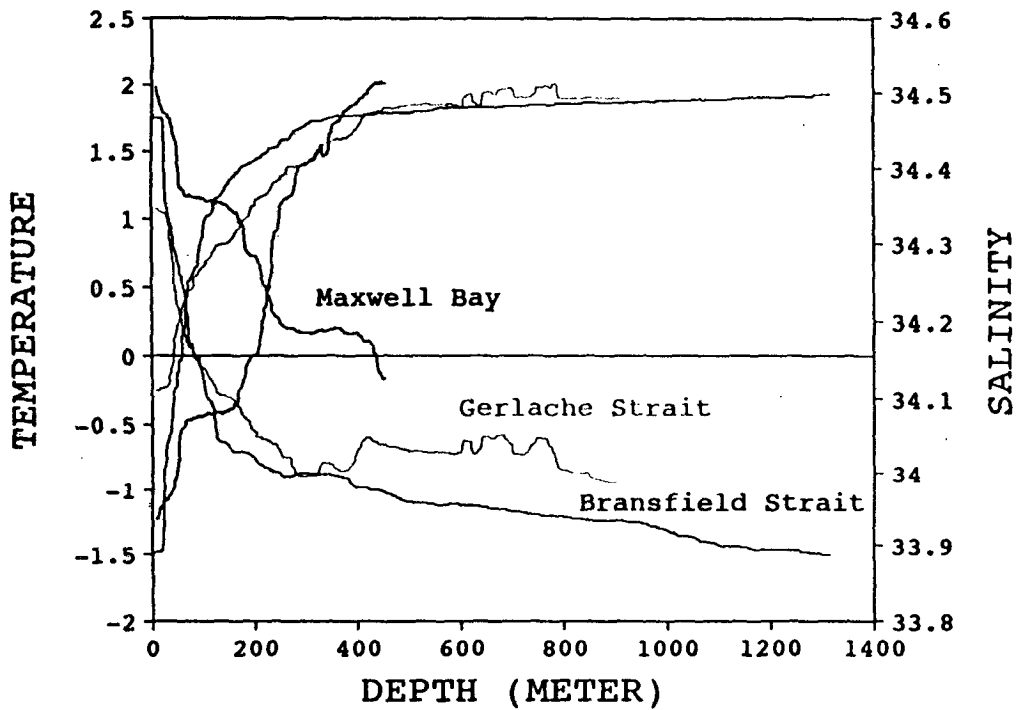


Fig. 9. Vertical profiles of temperature & salinity of the Maxwell Bay, the Bransfield and Gerlache Straits. Strong stratification of the surface and bottom waters were observed in the center of the Maxwell Bay.

Vertical Profile of Dissolved Oxygen
in the Center of Maxwell Bay, Jan. 1994

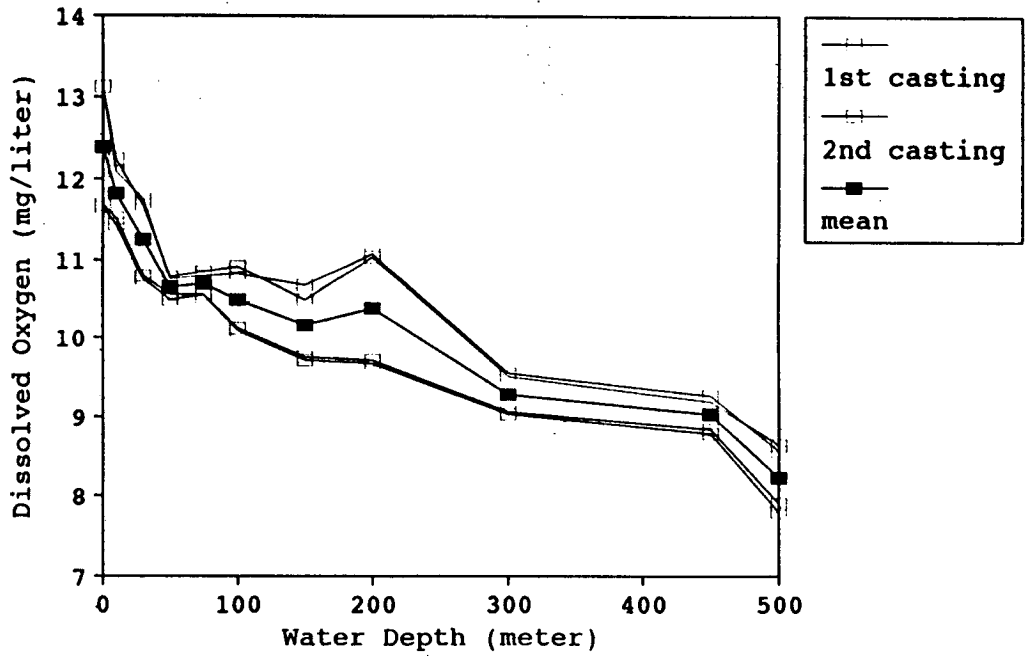


Fig. 10. The vertical profile of dissolved oxygen(DO) in the center of the Maxwell Bay. DO decreases sharply in the surface and the bottom layers.

Table 1. The number and biomass of benthic organisms collected in the Maxwell Bay area.

| Species | Stations | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|--------------|------------|--------|----------------|---------|-----|---------|--------|--------------|----------|---------|--|
| | 2 | 3 | 6 | 7 | 8 | 9 | 11 | 15 | 18 | 22 | 23 | | |
| POLYCHAETES | | | | | | | | | | | | | |
| Maldane | 25.6 (57) | 13.2 (34) | | | 124.1 (400) | | | | | | | | |
| sarsi antarctica | 29.7 (22) | 4.8 (8) | 9.7 (5) | | 3.8 (2) | | | | | 13.1 (37) | | | |
| Potamilla antarctica | | | | | | | | | | 15.9(2) | 13.8(5) | 16.4(2) | |
| Pista spinulosa | | | | | | | | | | | | | |
| Neoamphitrite | | | | | | | | | | | | | |
| affinis antarctica | | | | | | | | | | | | | |
| Others | 4.5(1) | 2.5(5) | | 0.8(1) | 20.5(4) | 6.7(22) | | 0.5(5) | 5.3(1) | 0.5(16) | 27.8(15) | | |
| ECHINODERMS | | | | | | | | | | | | | |
| Echinoidea | | 0.5(5) | | | | | | 5.8(51) | | | | | |
| Ophiuroidea(A) | 1.6(2) | 11.2(3) | 10.4(4) | | | 0.9(1) | | 13.5(3) | | 7.3(4) | 0.4(2) | 0.4(7) | |
| Ophiuroidea(B) | | 0.4(7) | 0.2(8) | | 0.6(6) | | | | | 16.6(1) | 37.3(1) | | |
| Holothuroidea(A) | | | | | | | | | | 3.6(7) | | | |
| Holothuroidea(B) | | | | | | | | | | + (1) | | | |
| Crinoidea | | | | | | | | | | | | | |
| MOLLUSKS | | | | | | | | | | | | | |
| Bivalves | 1(2) | 1(1) | | 0.2(2) | | | | | | | + (2) | 0.4(5) | |
| Gastropods | | | | | | | | | | | + (1) | 0.3(2) | |
| Scaphopods | | | | | | | | | | | + (1) | 0.3(2) | |
| CRUSTACEANS | | | | | | | | | | | | | |
| Decapods | | | | | | | | | | | | 1.2(2) | |
| Amphipods | | | | | | | | | | | + (1) | + (7) | |
| Isopods | | | | | | | | | | | + (4) | + (2) | |
| Cirripedes | | | | | | | | | | | | + (2) | |
| Peygononids | | | | | | | | | | | 0.1(3) | + (2) | |
| ASCIDIANS | | | | | | | | | | | | | |
| BRYOZOANS | 14.8(1) | | | | | | | | | | | 0.7(3) | |
| COLEENTERATES | 2.1(3) | 1.2(3) | | | | | | | | | | | |
| Primoella sp. | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 5.4(2) | | | | | | | | |
| Total wet weight | 79.3 | 34.8 | 29 | 1 | 154.4 | 13.1 | 0.3 | 21.8 | 5.5 | 57.5 | 98.6 | | |
| Total No. of ind. | 88 | 66 | 19 | 3 | 422 | 29 | 4 | 89 | 6 | 78 | 61 | | |

Table 2. Cumulative distribution of the biomass of major benthic species sampled in the Maxwell Bay area.

| Species | Biomass | | cumulative % |
|---|------------------------|------|-----------------|
| | g x 0.1m ⁻² | % | |
| <u>Maldane sarsi antarctica</u> (P) | 162.9(491) | 32.9 | 32.9 |
| <u>Potamilla antarctica</u> (P) | 61.1(74) | 12.3 | 45.2 |
| Holothuroidea-A(E) | 53.9(2) | 10.9 | 56.1 |
| Polychaete-A | 50.4(22) | 10.2 | 66.3 |
| Ophiuroidea-A(E) | 44.9(17) | 9.1 | 75.4 |
| <u>Pista spinifera</u> (P) | 29.7(7) | 6.0 | 81.4 |
| <u>Neoamphitrite affinis antarctica</u> (P) | 16.4(2) | 3.3 | 84.7 |
| Asciadiacea-A(A) | 14.8(1) | 3.0 | 87.7 |
| <u>Aqloophamus sp.</u> (P) | 13.0(5) | 2.6 | 90.3 |
| Asciadiacea-B(A) | 8.7(2) | 1.8 | 92.1 |
| Bryozoans | 7.2(15) | 1.5 | 93.6 |
| Bivalves(M) | 7.0(46) | 1.4 | 95.0 |
| Echinoidea(E) | 6.3(56) | 1.3 | 96.3 |
| <u>Primnoella sp.</u> (Co) | 5.4(2) | 1.1 | 97.4 |
| Holothuroidea-B(E) | 3.6(7) | 0.7 | 98.1 |
| <u>Sabellaria sp.</u> (P) | 3.0(6) | 0.6 | 98.7 |
| Ophiuroidea-B(E) | 2.0(30) | 0.4 | 99.1 |
| Polychaete-B | 1.4(16) | 0.3 | 99.4 |
| Decapods(C) | 1.2(2) | 0.2 | 99.6 |
| <u>Nicomache lumbricalis</u> (P) | 0.8(1) | 0.2 | 99.8 |
| Polychaete-C | 0.6(15) | 0.1 | 99.9 |
| Scaphopods(M) | 0.4(18) | 0.1 | 100.0 |
| Gastropods(M) | 0.3(3) | + | |
| Polychaete-D | 0.2(5) | + | |
| Pcynogonids(C) | 0.1(5) | + | |
| Amphipods(C) | +(8) | + | |
| Isopods(C) | +(4) | + | |
| Cirripedes(C) | +(2) | + | |
| Crinoidea(E) | +(1) | + | |

Table 3. The composition of bottom sediment collected in the Max
-well Bay area.

| St. | Depth(m) | Gravel(%) | Sand(%) | Mud(%) |
|-----|----------|-----------|---------|--------|
| 23 | 425 | 2.56 | 64.94 | 32.5 |
| 6 | 40 | 10.29 | 47.07 | 42.64 |
| 22 | 440 | 0.19 | 26.95 | 72.86 |
| 9 | 80 | 0.08 | 19.85 | 80.07 |
| 8 | 342 | 1.29 | 17.4 | 81.31 |
| 18 | 520 | 0 | 10.66 | 89.34 |
| 2 | 150 | 3.33 | 7.14 | 89.53 |
| 3 | 90 | 0.9 | 8.8 | 90.3 |
| 15 | 498 | 0.32 | 6.5 | 93.18 |
| 11 | 470 | 0 | 7.39 | 92.61 |
| 7 | 440 | 0.24 | 6.41 | 93.35 |

Table 4. Comparison of dominant groups and biomass of benthic organisms reported in the Antarctic seas.

| Site | Dominant Gr. | Biomass per sq. m. | Reference |
|---------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Maxwell Bay | Polychaetes(P) | 450g(790inds.) | This study |
| McMurdo Sound | Arthropods(A) Polychaetes | 2184-145782 ind. | Dayton and Oliver (1977) |
| Arthur Harbor | P, A, Bivalves(B) | 6285-7629 inds. | Lowry (1975) |
| Signy Is. | P, B | 300-800 g | Hardy (1972) |

Table 5. Comparison of primary productivities reported in the Ant
-arctic seas.

| Site | Primary productivity (g C/m ³ /d) | Reference |
|---------------|---|--------------------------------|
| Maxwell Bay | 0.30 | Yang (1990) |
| Gerlache St. | 3.20 | Reviewed by El-Sayed (1984) |
| Deception Is. | 3.62 | |
| Signy Is. | 2.80 | |
| Ross Sea | 1.00 | El-Sayed et al. (1983) |

Table 6. The types & organic contents of bottom sediments collected in the Maxwell Bay(B1, B2, B3) and the Bransfield Strait & adjacent embayments. Numeral-marked stations are in open coastal area and the stations with G's are in other bay areas.

| st. | composition(%) | | | sediment type by Folk | org. (%) |
|-----|----------------|-------|-------------|--------------------------|-------------|
| | gra. | sand | silt clay | | |
| 01 | | 28.90 | 45.97 25.14 | sM | 0.43 |
| 11 | | 16.18 | 51.41 32.41 | sM | 0.42 |
| 12 | | 0.61 | 72.39 26.99 | M | 1.73 |
| 13 | | 1.07 | 70.44 28.49 | M | 1.53 |
| 16 | | 8.39 | 56.75 34.85 | M | 0.73 |
| 17 | 0.06 | 31.03 | 40.22 28.69 | (g)sM | 0.42 |
| 18 | | 3.17 | 61.14 35.69 | M | 0.63 |
| 22 | | 0.95 | 58.12 40.93 | M | 1.37 |
| 23 | | 0.44 | 68.44 31.12 | M | 2.82 |
| 28 | | 2.35 | 59.15 38.51 | M | 0.73 |
| B1 | | 4.15 | 56.06 39.79 | M | 0.75 |
| B2 | 1.66 | 1.42 | 58.14 38.77 | (g) M | 0.81 |
| B3 | | 3.27 | 59.24 37.48 | M | 0.79 |
| G1 | | 1.48 | 61.25 37.28 | M | 0.69 |
| G2 | 0.27 | 14.11 | 53.38 32.24 | (g)sM | 0.47 |
| G3 | 0.21 | 10.75 | 65.17 23.87 | (g)sM | 0.37 |
| G4 | | 4.92 | 55.10 39.97 | M | 0.83 |
| G6 | 0.17 | 2.41 | 59.58 37.85 | (g) M | 0.66 |

Appendix 1. Winkler-Azide titration method for dissolved oxygen measurement.

- 측정원리: 시료에 <황산망간>과 <수산화나트륨>을 가하면 수산화제 1망간침전(백색)이 형성되며, 이 침전이 용존산소에 대응하는 양만큼 산화된다(갈색침전).
침전을 I- 존재하에 산을 가하여 용해하면 용존산소량에 대응하는 I₂가 유리된다. 유리된 I₂를 Na₂S₂O₃ 용액으로 적정한다.
- 시약: MnSO₄·4H₂O 480 g + 물 ---> 1 liter
KOH 700 g + KI 150 g + NaN₃ 10 g ---> 1 liter (Azide)
전분용액 (전분 1 g + 물 100 ml --->약 1분간 가열)
0.025 N Na₂S₂O₃ 표준용액 (0.05 N KIO₃로 표정)
0.05 N KIO₃ 표준용액
50% KI 용액
(1+2) 황산용액
- 방법: 1) 0.05 N KIO₃를 0.025 N Na₂S₂O₃로 표정
2) 시료 100 ml 당 MnSO₄액 0.5 ml과 Azide액 0.5 ml 주입
3) 강하게 흔들어 용존산소를 고정하고, 갈색침전물이 가라앉은 뒤 황산 1 ml 첨가하여 침전을 녹인다 (I₂ 유리).
4) Na₂S₂O₃ 표준용액으로 적정

적정에 쓰인 Na₂S₂O₃의 N 수 * 0.2 * 1000

- 계산: O₂ (mg/liter) =
$$\frac{\text{적정에 쓰인 Na}_2\text{S}_2\text{O}_3\text{의 N 수} * 0.2 * 1000}{\text{산소병의 내용적(ml)} - 1(\text{ml})}$$