BSPE 00123-211-5

남극지질 및 지체구조에 관한 연구

A STUDY ON ANTARCTIC GEOLOGY AND TECTONICS

1989. 3.

韓國科學技術院
海洋研究所

제 출 문

과학기술처 장관 귀하

본 보고서를 "남극지질 및 지체구조에 관한 연구"의 보고서로 제출합니다.

1989년 3월

한국과학기술원 해양연구소

연구책임자 : 박 병 권

연 구 원 : 김 예 동

김 정 우

최 문 영

요 약 문

Ⅰ. 제 목

남극 지질 및 지체구조에 관한 연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

우리나라는 1988년 남극반도 킹죠지섬에 '세종기지'를 설치하여 자연환경보존 및 부존자원조사를 목표로 하여 과학연구를 활발하게 수행하고 있다. 특히 지질 및 지구물리학 분야에서는 이미 중기계획을 수립하여 미래의 자원개발을 위해, 나아가서는 우리나라가 본격적인 남극연구국가로서 인정받을 수 있도록 노력하고 있다. 이에 따라서 남극지질 및 지체구조에 관한 보다 체계적인 연구자료를 제시하여 남극 석유 및 광물자원을 탐사하고, 향후 남극 지질연구 전문가들에게 연구방향을 제시하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

가. 기발간 문헌을 중심으로 종합적인 지체구조 파악

- 남극대륙과 곤드와나랜드
- 동남극 및 서남극의 지질 및 지체구조
- 동남극과 서남극의 경계

나. 최신 지구물리학적 연구가 수행되는 스코티아해 일대의 지체구조 연구

Ⅳ. 연구개발 결과

남극 대륙은 2억 2천만년 전에 존재하였던 초대륙 Pagaea가 둘로 분리되어 생성된 곤드와나랜드의 중앙부에 위치하였다. 이후 계속된 대륙의 분열로 남미와 아프리카가 분리되었고, 인도 및 호주가 최후로 분리되었다. 약 2,500만년 전에 남극 반도와 남미가 분리된 후 남극은 열적으로 지구상에서 고립되었다. 남극 순환 해류가 형성되었고, 대륙 빙하가 형성되어 현재에 이르렀다. 남극 대륙은 지질 및 지구조에 따라 동남극, 남극횡단산맥, 서남극 및 스코티아 해로 나뉘어진다.

동남극은 전형적인 대륙 순상지로 주로 시생대의 육괴와 원생대 변성암으로 구성된다. 가장 오래된 암석은 Enderby Land의 Napier Complex로 약 30억년 전에 생성된 변형 편마암으로 구성된다. 동남극은 25억년 전에 심한 변성 및 지구조 활동을 받은 이후 큰 변동 없이 현재까지 유지되었다.

남극횡단산맥은 선캠브리아 후기 및 하부 고생대 퇴적암으로 구성되며, 하부의 기반암과 상부의 곤드와나층으로 구분된다. 기반암은 변형 및 변성된 원생대 및 고생대의 퇴적암과 화산암으로 구성되며, 곤드와나층은 데본기-트라이아스기의 Beacon 거층군과 주라기의 Ferrar 관입암 층으로 구성된다. 횡단 산맥은 제3기 초에 융기되어 현재의 모습을 이루었다.

서남극은 신생대의 심한 지각 운동 및 화산 활동으로 그 지사가 분명히 규명되지 못하였으나, 현생 이언 동안에 형성된 것으로 생각된다. 최고기의 암석은 고생대의 화성 관입암과 변성암 복합체이며, 서남극의 기반암을 이룬다. 고생대 및 중생대의 퇴적암과 화산암이 비교적 넓게 분포하며, 습곡 및 변성된 것이 특징이다. 중생대와 신생대 초에 서남극 전역에 걸쳐 화산암이 관입하였다. 남극 반도와 그 서부의 신생대 후기의 화산암과 퇴적암은 큰 변형을 받지 않고 현재에 이르렀다.

서남극의 해안 지역에서는 제3기 중기에 시작된 화산 활동이 현재까지 계속된다.

스코티아 해는 고생대 말부터 트라이아스기까지 그리고 주라기 중기부터 신생대 중기까지 태평양에 면한 곤드와나 거대륙의 활동성 연변부에 위치하였다. 따라서 이 지역에는 태평양판의 침강 작용과 연관된 중생대, 신생대 초에 분출한 칼크 알칼리성 화산암이 광범위하게 분포한다. 또한 침강 작용과 연관된 배호상 분지가 남미 대륙 남단 및 웨델해 지역에 발달되어 있다. 신생대 중기 이후에는 태평양판의 침강이 끝남과 동시에 활발한 지각 확장 작용이 일어나 드레이크 해협, 브란스필드 해협 등이 열리고, 이에 수반된 알칼리성 화산암이 다량 분출하였다. 특히 드레이크 해협의 열림은 남극 빙하의 생성과 직접적으로 관계된다. 남 세트란드 군도는 브란스필드 해협의 열림 작용으로 인하여 남극 반도로 부터 분리되어 북서쪽으로 이동하였다. 이 시기에는 남북 스코티아 능선을 따라 대규모적인 수평 단층 운동이 일어났으며, 스코티아해 동부에는 남 샌드위치 해구가 생성되었다. 스코티아해 일대의 신생대 말기 화산암은 중생대 변환단층대를 따라 분출한 것으로 추정되는 남미 대륙에서 뉴질랜드까지 발달한 알칼리 화산대의 일부를 구성하고 있다.

SUMMARY

I. Title

A Study on Antarctic Geology and Tectonics

II. Significance and Goal of the Study

Since a permanent research station 'King Sejong' has been established in King George Island, Antarctica has been scientifically intensively studied. Primary Goals of these studies are to preserve natural environments and investigate potential resources of Antarctica. Especially a long-term research plan on geology and geophysics was made for future study. Hence, we must have an appropriate research direction for the exploration of hydrocarbon and mineral resources and other basic science fields.

III. Contents and Scope of the Study

A. Geology and Tectonics of Antarctica

- Antarctica and Gondwanaland
- East Antarctica
- Transantarctic Mountains
- West Antarctica

B. Geology and Tectonics of Scotia Sea

Ⅳ. Results of Study

About 220 million years ago, Antarctic continent comprised a central part of the Gondwanaland, southern part of the super-continent 'Pangaea'. Southern America and Africa was first separated, and finally India and Australia was separated from the Gondwanaland. About 25 m.y. ago, the separation of Antarctic Peninsula from the Southern America resulted in the themal isolation of Antarctica. Antarctic cicum-polar currents and glaciers was formed. Antarctic continent can be divided into four parts of East Antarctica, Transantarctic Mountains, West Antarctica and Scotia Sea based on its geologic and tectonic structures.

East Antarctica is a typical continental shield and consists of Arkaeozoic craton and Proterozoic metamorphic rocks. Napier Complex in Enderby Land is the oldest rocks in Antarctica (3 b.y. ago) and consists of deformed gneiss. About 2.5 b.y. ago major tectonic and metamorphic activities influenced on East Antarctica. Since that East Antarctica has not been deformed and metamorphosed until present.

Transantarctic Mountains consist of late Precambrian and early Paleozoic sedimentary rocks. The former comprises the basement and consists of deformed and metamorphosed Proterozoic to Paleozoic sedimentary and volcanic rocks. The latter consists of Devonian-Triassic Beacon Supergroup and Jurassic Ferrar Intrusives. The mountains was mainly uplifted during the Tertiary.

West Antarctica has been active tectonically and volcanically during the Tertiary and hense its geologic history is hard to be recognized. The basement consists of Paleozoic igneous intrusives and metamorphic complex. Overlying Paleozoic to Mesozoic sedimentary and volcanic rocks comprise the major part of the West Antarctica. During the Mesozoic and early Cenozoic times, West Antarctica was intruded by volcanic rocks. Costal area has been active volcanically since mid-Tertiary.

During the periods from the late Paleozoic to Triassic and from mid-Jurassic to mid-Cretaceous, the Scotia Sea was a part of the active Pacific margin of Gondwanaland. Widespresad calc-alkaline volcanism prevailed related with the subduction of the Pacific plate. Back-arc basins were also formed in the southern South America and the western Weddell Sea. Following the cessation of subduction, there were alkaline volcanisms associated with the episode of crustal extension in the mid-Cenozoic time. During the extensional tectonics, the Drake Passage and the Bransfield Strait were opened and the South Sandwich Trench was formed. At the same time, there were strike-slip motions along the North and South Scotia Ridge. Especially The opening of the Drake Passage is closely realted to the formation of the Antarctic ice cap. The South Shetland Islands were separated from the Antarctic Peninsula by the opening of the Bransfield strait. The late-Cenozoic alkaline volcanic belt that extends from the South America to New Zealand through the Antarctic Peninsula may represent eruptions along the weak zone of extensive Mesozoic transform faults.

목 차

List of Figures ····· 3

List of Tables ····· 5

제 I 장 서 론 ····· 7

제 II 장 본 론 ····· 11

1. 남극대륙과 곤드와나랜드 ····· 13

2. 동남극의 지질 및 지체구조 ····· 16

가. Queen Maud Land ····· 20

나. Enderby Land ····· 24

다. Prince Charles 산맥 ····· 27

라. 기타지역 ····· 34

3. 동남극과 서남극의 경계 ····· 38

가. 남극횡단산맥 ····· 38

나. Victoria Land ····· 45

4. 서남극의 지질 및 지체구조 ····· 54

가. Marie Byrd Land ····· 54

나. Ellsworth Land ····· 55

다. Ellsworth 산맥습곡대 ····· 56

5. 남극반도와 스코티아해역 ····· 57

가. 지질개요 ····· 59

나. 지체구조 ····· 62

제Ⅲ장 결 론 ····· 69

참 고 문 헌 ····· 73

List of Figures

Fig. 1. Schematic tectonic map of Gondwanaland in early Mesozoic before fragmentation 14

Fig. 2. Geologic Map of East Antarctica 17

Fig. 3. Map showing the distribution of and relationship among the four Precambrian metamorphic complexes in eastern Queen Maud Land and Enderby Land 20

Fig. 4. Plate tectonic model of late Proterozoic metamorphic complexes in eastern Queen Maud Land 21

Fig. 5. Mobile belts and cratonic nuclei in the Gondwanian regions around Lutzow-Holm Bay 22

Fig. 6. Outcrop map of western Queen Maud Land 23

Fig. 7. Metamorphic map of Enderby Land 24

Fig. 8. Distribution of metamorphic facies in Enderby Land and adjacent terrances 28

Fig. 9. Schematic geologic map of Prince Charles Mountains 30

Fig. 10. Rb-Sr geochronologic data from Prince Charles Mountatins region 32

Fig. 11. Geological map of Vestfold Block 35

Fig. 12. Geology of western Herring Island 37

Fig. 13. Distribution of lower Paleozoic rocks throughout the Transantarctic Mountains 39

Fig. 14. Geologic map, with structural trends, of junction region between East Antarctica and West Antarctica ····· 40

Fig. 15. Distribution of metamorphic facies in northern Transantarctic Mountains ····· 41

Fig. 16. Simplified geology of Bowers Mountains−Evans Neve region and northern Victoria Land····· 47

Fig. 17. Geologic map of central Transantarctic Mountains ····· 50

Fig. 18. Geologic map of Miller Range ····· 51

Fig. 19. Geologic map of Orville Coast and eastern Ellsworth Land··· 55

Fig. 20. Geologic structures of Scotia Sea ····· 58

Fig. 21. Geomorphic map under Glaciers in West Antarctica ····· 63

Fig. 22. Paleo−reconstruction model of Antarctic Peninsula····· 63

Fig. 23. Gondwanaland during middle Jurassic ····· 64

Fig. 24. DSDP Leg 35 drill sites, magnetic anomalis, and principal features in the Southeast Pacific Basin····· 66

zb1−⑩

List of Tables

Table 1. Subdivision of the lower Precambrian in Antarctica 18

Table 2. Geologic Ages and Sr isotope ratios 25

Table 3. Comparison of some petrological features of Napier and Rayner Complexes 26

Table 4. P−Ar age determinations on Wilson and Robertson Bay Groups and Bowers Supergroup, northern Victoria Land ... 49

Table 5. P−Ar age determinations on Hope Granite and related intrusive rocks, southern Victoria Land 52

Table 6. P−Ar age determinations on Beardmore and Byrd Groups southern Victoria Land 52

Table 7. P−Ar age determinations on Nimrod Group, southern Victoria Land 53

제 I 장

서 론

Ⅰ. 서 론

우리나라는 1988년 2월 남극 남셰틀랜드군도(South Shetland Island) 킹죠지섬(King George Island)에 상설기지인 '세종기지'를 설치함으로써 본격적인 남극연구를 시작하였다. 우리의 과학연구는 남극의 자연환경을 보존하고 부존자원을 조사하는데 목표를 두고 있으며, 특히 부존 비생물자원 조사를 위해서는 남극 본 대륙을 포함한 대륙붕 지역에 대한 지질 및 지체구조 연구가 체계적이고도 세부적으로 이루어져야 한다.

구미 선진국의 남극 연구는 1950년대 말 '국제 지구물리의 해(IGY)' 이래 지질 및 지구물리학 분야에 괄목할 만한 성과를 보이고 있다. 본 대륙에 대한 연구 외에도 주변 해역, 특히 대서양과 접한 스코티아해(Scotia Sea) 일대의 야외 지질, 탄성파, 중력, 지자기, 지열 측정 및 시추 등에 의한 지질 연구가 근래 매우 활발하게 진행되고 있다. 그 이유는 이 지역에 거대한 퇴적분지가 발달되어 있으며, 이를 연구함으로써 남극대륙의 지사, 퇴적환경 파악 및 부존 석유 개발의 기초자료로 활용할 수 있기 때문이다.

우리나라도 남극 지질 및 지구물리 연구를 위한 중기 계획을 이미 수립 하였으며, 이에 따라 향후 본격적으로 남극연구에 참여함으로써 대한민국이 남극 연구국가로서 인정받을 수 있도록 추진 중에 있다. 이 계획에 의하면 매년 4-5명의 지질 전문가를 현장조사를 위하여 남극에 파견할 예정이며 국내 연구인력까지 합하면 향후 5년간 약 50명 이상의 지질 분야 전문가가 직접 혹은 간접적으로 남극연구에 참여하게 될 것이다.

그러나 국내의 경우 남극 지질에 관한 문헌이 전무할 뿐 아니라 외국의 경우를 보아도 종합적인 남극지질 연구 보고서가 희귀한 관계로 초보 연구자료를 구하

기가 극히 힘든 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 이미 발간된 문헌을 중심으로 종합적인 남극의 지질 및 지체구조를 파악하고, 최신 지구물리학 연구가 수행되고 있는 스코티아해 일대의 지체구조를 보다 상세히 연구함으로써 남극 지질에 관한 일반적이고도 체계적인 연구자료 및 문제점 등을 제시하여야 한다.

따라서 본 연구의 목적은 남극 석유 및 광물 자원 탐사에 대비하여 전반적이고도 세부적인 지질 및 지체구조 연구를 수행함과 동시에, 향후 남극연구 전문가들에게 남극 지질 연구의 방향을 제시하는데 있다.

제 Ⅱ 장

본 론

II. 본 론

남극은 지질학적으로 크게 두개의 구역으로 대분된다. 대서양 및 인도양에 접해있는 동남극(East 혹은 Greater Antarctica)은 전형적인 순상지이며, 화성암과 변성암 기반 위에 퇴적암과 화산암층이 놓여 있다. 태평양에 접해있는 서남극(West 혹은 Lesser Antarctica)은 대부분 광역적 변형 및 변성작용을 받은 중생대 이후의 암석들로 이루어져 있으며, 기반암에 대해서는 아직까지 잘 알려져 있지 않다. 또한 관입 및 분출암이 많고, 화산활동은 오늘날까지 계속된다. 동남극과 서남극은 남극횡단산맥(Transantarctic Mountains)을 경계로 하고 있으며, 이는 남극대륙의 지질 및 지체구조 연구에 매우 중요하다.

스코티아해 일대는 최근에 지구물리 탐사 및 시추등에 의한 연구가 매우 활발하다. 이는 남극대륙의 신생대 지각운동 및 퇴적학 연구에 결정적인 역할을 할 수 있을 뿐만 아니라, 이 지역 퇴적분지에 석유부존 가능성이 높기 때문이다.

남극의 지사를 연구함에 있어서 중생대 이전에 존재하였던 곤드와나랜드(Gondwanaland)라고 불리우는 거대륙을 연관시켜야만 한다. 남극대륙은 지리적으로 곤드와나랜드의 중심에 위치하였기 때문에 곤드와나랜드의 복원에 중요한 단서를 제공한다.

따라서 본 연구에서는 크게 남극대륙과 곤드와나랜드, 동남극, 남극횡단산맥, 서남극 및 남극반도와 스코티아 해역으로 분류한 후 다시 지역별로 세분하여 설명하였다.

1. 남극대륙과 곤드와나랜드

약 2억 2천만년 전에 팡게아(Pangaea)라고 불리던, 지구육지의 대부분을 차지

하고 있던 초대륙(supercontinent)이 두 조각으로 분리되기 시작하였다. 그 중 남반구에 위치한 곤드와나랜드(Gondwanaland)는 약 1억 8천만년에서 2억년 전 사이에 분리되기 시작하여, 현재의 남미, 아프리카, 인도, 호주 및 남극 대륙을 형성하였다. 남극 대륙은 곤드와나랜드의 중앙부에 위치하고 있었다(Fig. 1). 이러한 거대륙이 존재했었다는 증거로는 다음과 같은 사실을 들 수 있다. 1) 동남극 해안의 기반암이 이와 연결되는 다른 곤드와나랜드 대륙의 해안 기반암과 유사하다. 2) 남극의 Beacon 거층군의 암석은 남반구 다른 대륙의 고생대와 중생대 곤드와나랜드 퇴적암과 유사하다. 3) 곤드와나랜드의 다른 대륙에서 알려진 고

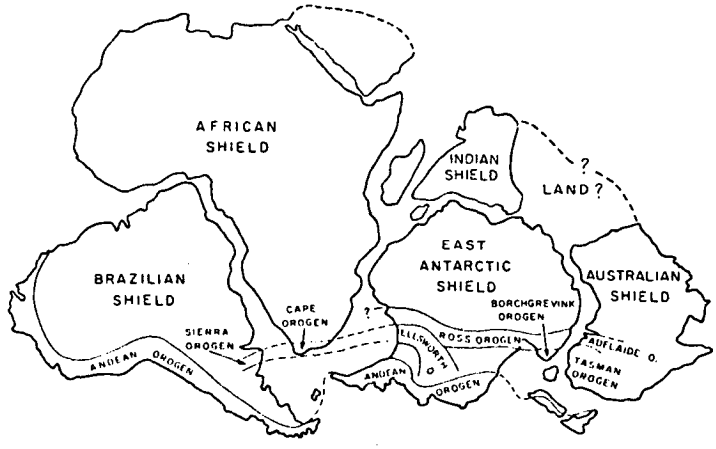

Fig. 1. Schematic tectonic map of Gondwanaland in the early Mesozoic before fragmentation, with the addition of the younger late Mesozoic-early Cenozoic Andean orogen. The shapes and structures of the Gondwanaland fragments as they exist today have been used in this reconstruction. Areas in the western Pacific which today lie north of Australia—New Zealand and which may have been part of Gondwanaland are not included. The possible landmass between peninsular India and Australia is that postulated by Veevers and others (Craddock, 1977).

생대 후기 빙하작용의 증거가 남극대륙에서도 확인된다. 4) 남극의 고생대와 중생대의 화석이 다른 남반구 대륙에서 발견된 화석과 유사하다. 5) 남극횡단산맥의 Beacon 거층군 하부의 변성암이 호주 남동부의 암석과 대비된다. 6) Ellsworth산맥 조산운동이 남아프리카의 Cape 조산운동과 연결된다. 7) 주로 현무암질인 주라기 화성암이 남극대륙에서 광역적으로 분포하며, 이는 브라질, 아프리카의 남부 및 Tasmania와 대비된다. 8) 남반구 대양의 해저 지형에 의하면 과거 곤드와나랜드를 이루던 대륙들의 경계가 더욱 잘 일치한다(Cradock, 1982).

곤드와나랜드의 역사는 현재 흩어져있는 대륙들의 지질이나 지구조, 고지자기극의 이동 곡선 (palecomagentic pole wandering curve), 자기 이상치 (magnetic anomaly)와 심해 시추 자료로 부터 얻은 대양저의 연령 등으로 추측할 수 있다. 곤드와나랜드의 분리는 다음의 11단계로 나누어 생각해 볼 수 있다. 1) 서 곤드와나랜드(남미와 아프리카 대륙)와 동 곤드와나랜드(남극, 인도 및 호주)의 분리. 2) 호주 북서부가 주라기 초에 융기 및 단층 작용을 받고, 쥬라기 후기에 해저확장 시작. 3) 아프리카와 남미의 분리. 4) 남미에서 인도 분리. 5) 태평양 남동부에 확장해령이 형성되어 인도는 서쪽으로 움직여 인도양으로 이동하였고, 북서쪽으로 움직여 Aden 만에 도달함. 6) 남극에서 뉴질랜드대지(plateau)의 분리. 7) 뉴질랜드와 호주 분리. 8) 동남극에 대해 서남극이 이동. 9) 호주와 동남극 사이에 새로운 대양저가 형성되어 호주가 분리됨. 10) 인도가 북으로 이동하여 아시아 대륙과 충돌. 11) 남미와 남극대륙이 분리. 남미와 남극반도가 떨어져 나간 것이 남극대륙이 고립된 마지막 단계이고, 현재의 빙하(glaciation)는 지난 2,500만년 동안, 즉 대륙이 완전히 고립되어 대양의 순환이 현재의 모습을 갖춘 후에 이루어 졌다고 생각된다.

2. 동남극의 지질 및 지체구조

전형적인 대륙 순상지인 동남극은 Queen Maud Land, Enderby Land, Prince Charles 산맥 및 해안 지방에 노두가 분포한다(Fig. 2). 최근 지구연대학 연구로 동남극의 변성 순상지는 주로 원생대 변성암과 시생대의 육괴핵 (cratonic core)으로 구성됨이 밝혀졌다(James and Tingey, 1983). 동남극에서 30억년 이상된 암석은 Enderby Land의 Napier Complex에서 유일하게 확인되며, 이는 약 30억년 전의 열 구조 작용에 의해 변형 및 횡와된 편마암으로 구성된다. 그 이후 25억년 전에 심한 변성 작용과 이와 연관된 구조 활동이 Napier 복합체와 Vest fold Hills에 영향을 미쳤다. 이후 시생대 육괴는 큰 변형은 받지않고, 단지 약한 변형만을 받았다. 20-15억년 전 사이의 지각운동으로 남부 Prince Charles 산맥 등이 형성되었고, 13억년에서 9억년 전 사이의 변성 및 구조활동으로 조산대가 대륙의 가장자리를 따라 발달하여, 후에 대륙이 분리되는 연약대를 형성하였다. 조산대는 Prince Charles에서는 폭이 약 600㎞ 이며, Enderby Land를 거쳐 Queen Maud Land까지 계속된다. 이 시대에 생성된 변성암들은 재변성작용을 심하게 받은 편마암으로, 그래뉼라이트상의 암석이 다소 포함되어 있다. 5억년 전에 일어났던 열변혁으로 인하여 동남극 순상지 암석의 광물 동위 원소 체계가 바뀌었고, 이후 현생이언 중에는 지질 활동이 거의 없었으나, 국부적으로 알칼리 암석이 관입하였고, 페름기 퇴적암층이 쌓였다(James and Tingey, 1983).

Ravich(1982)는 시생대 하부로부터 원생대 중부에 이르는 선캠브리아기의 층을 7개로 세분하여 각 층의 구성암석 및 층후 등을 기재하고(Table 1), 선캠브리아기 하부의 변성암을 그래뉼라이크상, 각섬암상(amphibolite facies) 및 녹색편암상(greenschist facies)의 세 형태로 분류하였다.

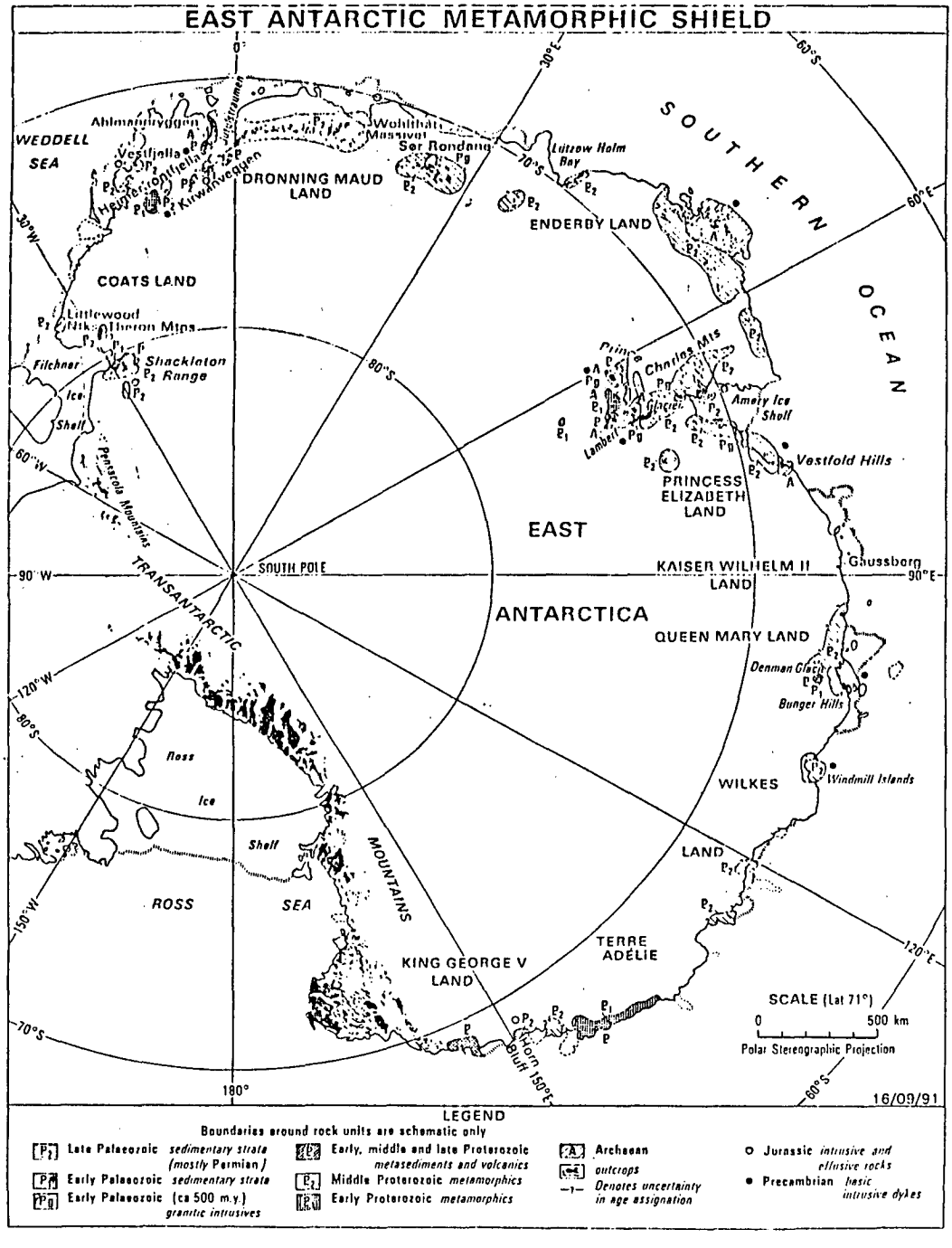

Fig. 2. Geologic Map of East Antarctica (James and Tingey, 1982).

Table 1. Subdivision of the lower Precambrian in Antarctica (Ravich, 1982).

Age	Complex	Series*	Composition	Estimated thickness (km)	Type locality
Lower and middle Proterozoic	Ruker	Menzies / Ruker	Quartzites, micaceous and garnet-micaceous schists; subordinate units to two-mica staurolite-kyanite-fibrolite schists / Quartz-carbonate, quartz-sericite, quartz-chlorite schists and phyllites; quartzites and jaspilites	3-4	Prince Charles Mountains
Upper Archean-lower Proterozoic	–	Nimrod, Wilson, Fosdick, etc.	Biotite-amphibole and biotite-garnet plagiogneisses and migmatites; garnet-sillimanite-cordierite schists, amphibolites, and marbles	?	Nimrod Glacier in the Transantarctic Mountains, northern Victoria Land, Fosdick Mountains in Marie Byrd Land, etc.
Archean, undifferentiated	–	–	Garnet-biotite plagiogneisses, two-pyroxene schists, migmatites, and shadow charnockites and granites; subordinate units of granite-sillimanite-cordierite schists, pyroxene calciphyres, and quartzites	?	East Antarctic coast
Upper Archean II	Insel	Insel / Lambert	Biotite, biotite-garnet, biotite-amphibole, biotite-sillimanite plagiogneisses and schists, migmatites and shadow granites; amphibolites, amphibole and humite calciphyres, and marbles / Biotite, garnet, and amphibole plagiogneisses, shadow granites and migmatites; subordinate units of quartzites, tremolite and diopside calciphyres, and sillimanite-cordierite schists	5-6	Queen Maud Land / Southern Prince Charles Mountains
Upper Archean I	Humboldt	Reinbolt and Larsemann / Humboldt	Biotitized and amphibolized shadow charnockites and enderbites, biotite-garnet and sillimanite plagiogneisses, migmatites and shadow granites, biotite-garnet and sillimanite-cordierite-garnet schists; subordinate units of two-pyroxene schists, phlogopite-periclase forsterite calciphyres and quartzites / Amphibolized and garnetiferous shadow charnockites and enderbites, amphibole-pyroxene and biotite-garnet-sillimanite-cordierite schists, migmatites and shadow granites, subordinate units of scapolite-diopside and wollastonite-pyroxenite calciphyres and granulites	8-9	MacRobertson Land, Princess Elizabeth Land / Humboldt Mountains in Queen Maud Land
Lower Archean II	Rayner	Nye / Condon	Pyroxene-plagioclase schists, shadow enderbites and charnockites, biotite-garnet and garnet-pyroxene shadow granites and migmatites intercalated with biotite-garnet schists, quartzites and diopside, forsterite and spinel calciphyres / Biotite-garnet shadow granites and migmatites with subordinate units of enderbites and charnockites, intercalated with pyroxene-plagioclase and garnet-sillimanite cordierite schists and garnet quartzites	8-10	Nye Mountains and Condon Hills in southern Enderby Land
Lower Archean I	Napier	Tula / Raggatt	Garnet mesoperthitic shadow granites with subordinate units of hercynite-hypersthene, hypersthene-cordierite and sillimanite quartzites, mesoperthitic charnockites and enderbites, two-pyroxene schists / Shadow enderbites and mesoperthitic charnockites, pyroxene-plagioclase schists with rare bands of garnetiferous charnockites and enderbites	>8	Tula and Raggatt Mountains in Enderby Land

* Following Russian usage, "series" here means a litho-stratigraphic unit formed during a period or longer.

Klimov et al. (1963)에 따르면 남극 순상지는 세계에서 가장 오래된 지향사층의 퇴적으로 시작되며, 이는 단층을 따른 침강에 기인한 것으로 생각된다. 최초에 현무암질 용암, 화산쇄설물 및 쇄설성 퇴적물이 쌓였으며, 점차 해양 탄산염 퇴적물이 우세하게 되었다. 퇴적이 진행되며 용암은 줄어들었지만 현무암질 마그마의 관입이 점차 늘었다. 약 20㎞두께의 지향사 퇴적-화산암층이 집적되었고, 이로 인해 지각균형이 깨어져 지향사의 침강이 시작되고, 동시에 습곡이 발생하였다. 심부에서 일어난 심한 습곡은 퇴적-화산암으로 구성된 지역에서 발생한 광역변성작용 및 초변성작용과 관계된다. 초변성작용은 광역적으로 일어났으며, 미그마타이트(migmatite), 화강암화된 편암(granitized shist)과 차오노카이트 층(igneous charnockite series)이 형성되었고, 최종단계에서는 후퇴 변성 과정(regressive process)이 우세했다. 결정질암으로 구성된 순상지는 선캠브리아기의 습곡과 이에 의한 변성 및 초변성 작용에 의해 형성되었다. 이후 순상지의 경계부를 따라서 준지향사(parageosyncline)형태의 침강 작용(depression)이 일어나 천해 쇄설성 퇴적물과 석회암이 집적되었다. 칼레도니안 조산 운동 초기에 이러한 퇴적물들은 습곡 및 변성되었고, 결정질암 기반의 다른 지역에서는 쇄설성 퇴적물이 퇴적되었고, 현무암질 용암이 간헐적으로 분출되었다. 이 퇴적암은 남극 순상지의 고생대 퇴적층의 하부를 이루며, 국부적으로 변성을 받았다. 고생대 중엽에서 중생대 중엽까지 순상지는 점차 비해양성 퇴적층으로 덮혔으며, 조립 현무암과, 마그마가 관입하였다. 중생대에서 신생대에는 안정된 순상지에 다시 단층작용이 있었고, 소량의 알칼리 현무암질 마그마가 단층을 따라 관입하였다.

남극 순상지 지질은 브라질, 호주, 남아프리카, 인도의 지질과 유사하다. 고생대 중엽에서 중생대 중엽에 걸쳐 이 곳에서는 서로 비슷한 육성층이 퇴적되었고, 마그마 활동도 거의 같다. 이러한 모든 지역은 곤드와나랜드로 알려진 고대륙의 일

부분이었음을 알 수 있다. 즉, 아프리카, 호주, 인도의 순상지와 남극 순상지의 결정질 기반은 같다고 생각된다.

가. Queen Maud Land

1) 동부 Queen Maud Land

이 지역은 원생대에 형성된 Yamto-Belgica 및 Lutzow-Holm 변성 복합체로 구성된다. Yamato-Belgica 복합체는 광범위한 화성 활동이 특징이며 주로 각섬암상의 암석으로 구성된다. 저압 형태의 그래뉼라이트상의 암석도 나타나며, 섬장암질 관입체도 포함된다. Lutzow-Holm 복합체는 남서쪽으로 가면서 각섬암상에서 그래뉼라이트상으로 점차 변하는 변성 퇴적물의 광역 변성이 특징이다. 이 두 복합체는 고온 저압형과 저온 고압형의 변성암이 인접하여 나타나는 쌍(pair- ed) 변성 복합체를 형성한다(Fig. 3).

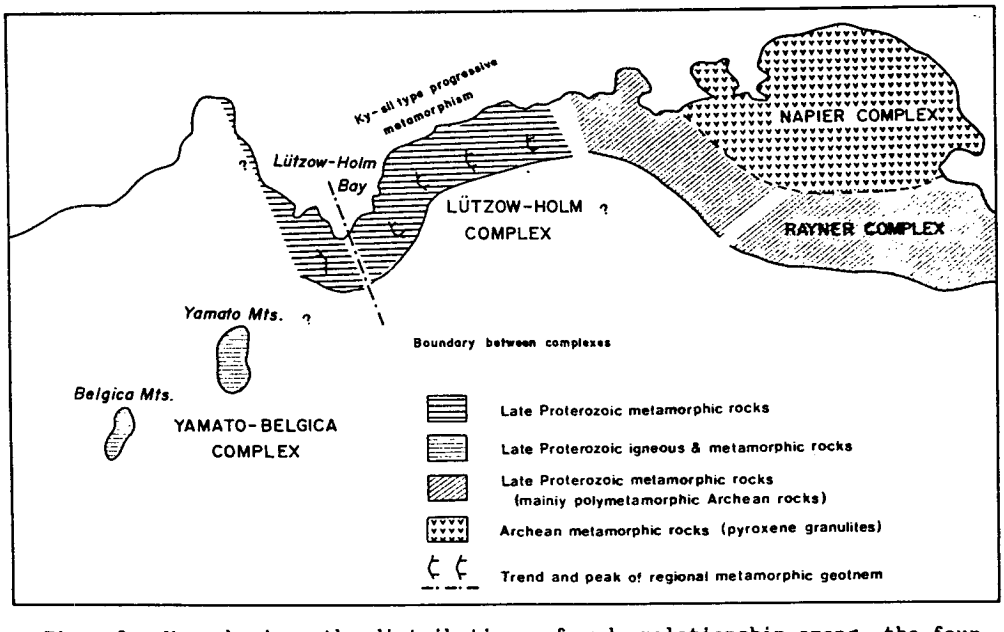

Fig. 3. Map showing the distribution of and relationship among the four Precambrian metamorphic complexes in eastern Queen Maud Land and Enderby Land.

Shiraishi et al. (1987)에 의하면 동남극 순상지는 대륙과 대륙의 충돌로 설명될 수 있다. Lutzow-Holm 복합체의 모암은 Enderby Land육괴의 가장자리에, Yamato-Belgica 복합체의 모암은 바다 건너편 육괴에 위치하였다(Fig 4).

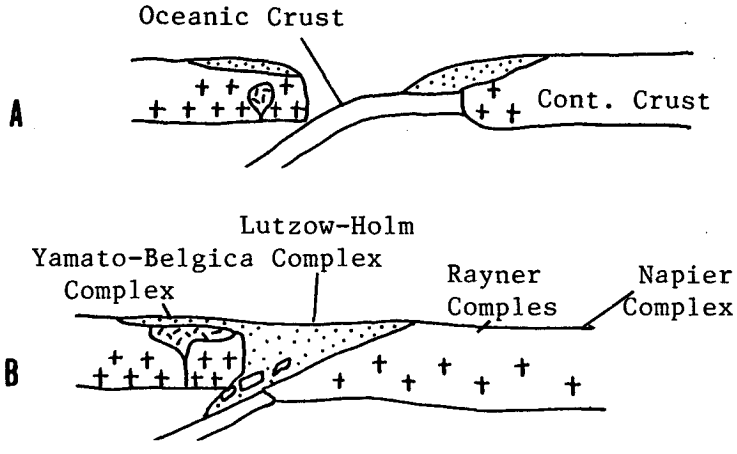

Fig. 4. Plate tectonic model of late Proterozoic metamorphic complexes in in eastern Queen Maud Land.

남서쪽으로 해양지각이 subduction되어 Lutzow-Holm복합체의 서쪽에 초염기성암이 생성되었고, 광역변성작용이 최고에 달하기 이전에 복합체 서쪽의 암석이 하부로 침강하였다. Yamato-Belgica 복합체에서는 subduction 중에 섬장암 관입을 수반한 화성 활동이 발생하였다.

Yoshida et al. (1983)은 Lutzow-Holm Bay를 포함하는 구조-변성대가 남부 아프리카의 북부 Irumide Belt와 유사함을 밝혔고, Enderby Land의 Napier 지역과 Indian 그래뉼라이트 - 차아노카이트대도 시생대의 약대를 구성하고 있었던 것으로 해석하였으며, Dharwar 편마암과 남부 Prince Charles 산맥의 화강암질암은 시생대 육괴의 핵으로 해석하였다(Fig. 5).

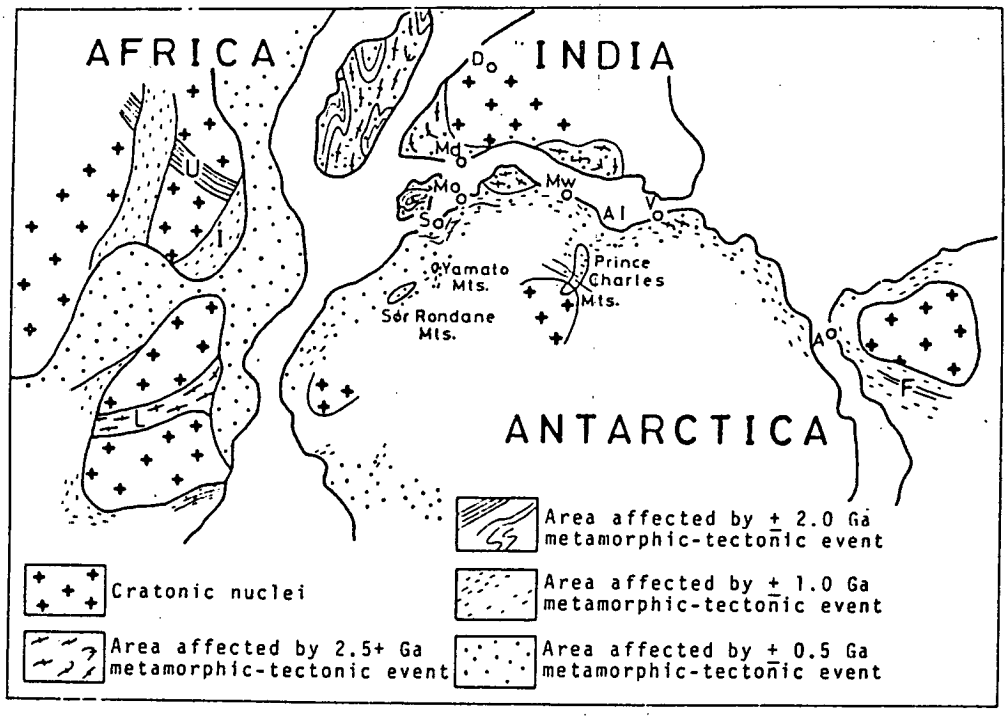

Fig. 5. Mobile belts and cratonic nuclei in the Gondwanian regions around Lutzow-Holm Bay. U: Ubendian Belt; I: Irumide Belt; L: Limpopo Belt; F: Fraser Belt; D: Dharwar; Md: Madras; Mo: Molodezhuaya Station; Mw: Mawson Station; S: Syowa Station; AI: Amery Ice Shelf; V: Vestfold Hills; A: Albany (Yoshida et al., 1983).

2) 서부 Queen Maud Land

Barton et al. (1983)은 본 역에 대한 지질 연구를 위하여 1) Ahlmann Ridge, 2) Borg massif, 3) Annandagestoppane, 4) Sverdrup and Gjelsvic Mountains, 5) Kirwan Escarpment 등의 5 구역으로 나누어 조사하였다. 이들은 북동 방향으로 분포하며, 현재는 Jutulstraumen Glacier가 흐르고 있는 주향 이동 단층기원의 지각 균열대에 의해 떨어져있다(Fig. 6). 1)과 2)는 주로 변형받지 않은 Ritscherflya 거층군의 하성퇴적암과 화산암으로, 3)은 화강암이나 반

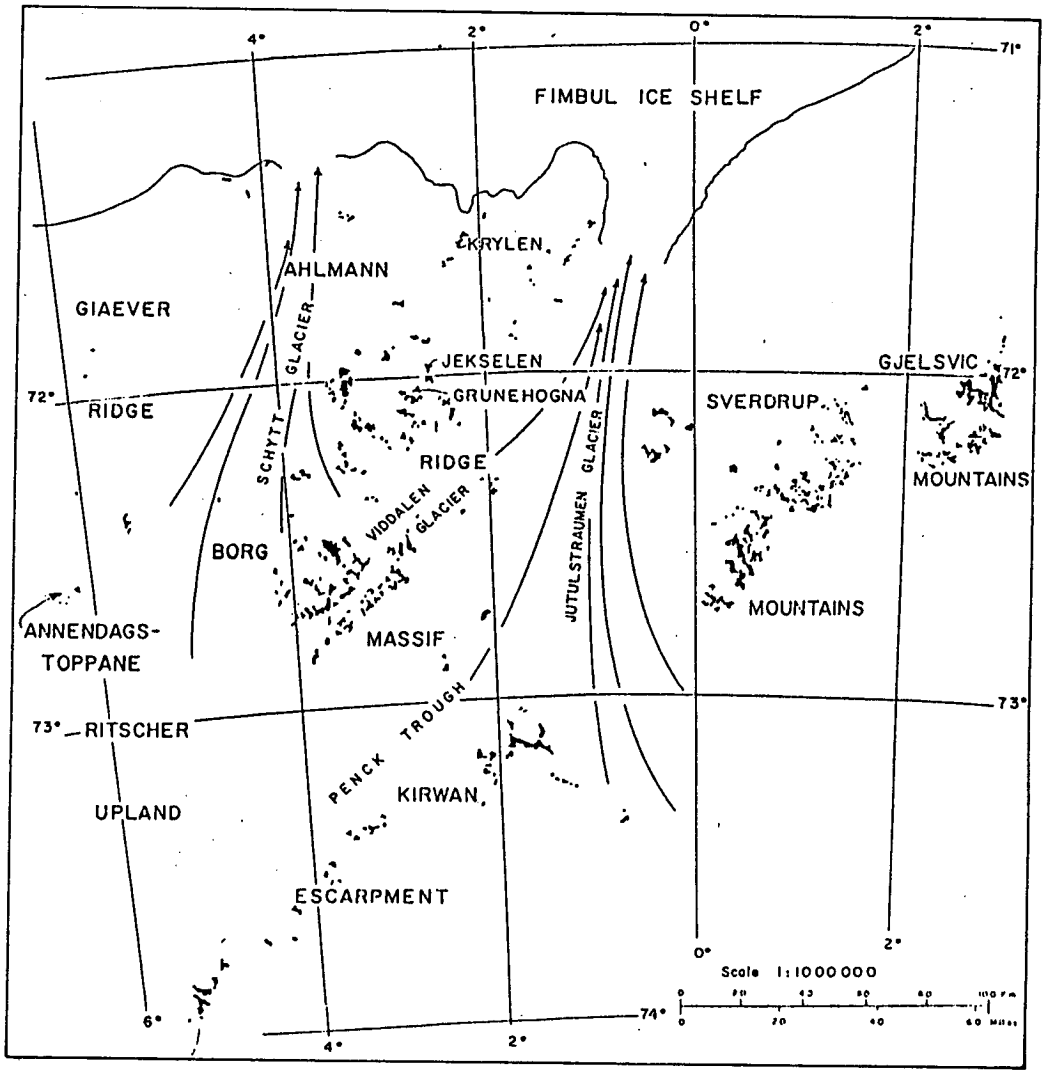

Fig. 6. Outcrop map of western Queen Maud Land, Antarctica, showing the five geographic divisions (Barton et al., 1983).

려암으로 구성되며, 모두 변형받지 않은 휘록암 암맥(diabase dyke)을 포함한다. 4)와 5)는 변형된 미그마타이트와 화강암과 변형되지 않은 염기성 암맥과 암상으로 구성된다. Annandagstoppane의 반려암과 Ahlmann Ridge의 (화강)섬록암은 광역적인 열수 변질 작용이 발생하였던 것을 지시한다.

본 역의 암석에 대한 Rb-Sr 동위원소 연구에 의하면 서부 Queen Maud Land에서 일어난 염기성 화성 활동은 약 18억년, 14억 3천만년, 10억년, 7억 7천만년 전에 발생하였다.

나. Enderby Land

Enderby Land는 비교적 많은 연구가 이루어진 지역으로, 시생대의 Napier 복합체와 원생대의 Rayner 복합체로 구성된다. Napier 복합체의 노두는 50,000 ㎢ 이상에 걸쳐서 나타내며, Napier, Tula, Scott, Raggatt 산맥을 형성한다. Rayner 복합체는 Rayner Glacier, Nye 산맥과 Kemp Land의 대부분을 이루며, Sandercock과 Doggers Nunataks와 Kentucky Peaks를 포함한다(Fig. 7).

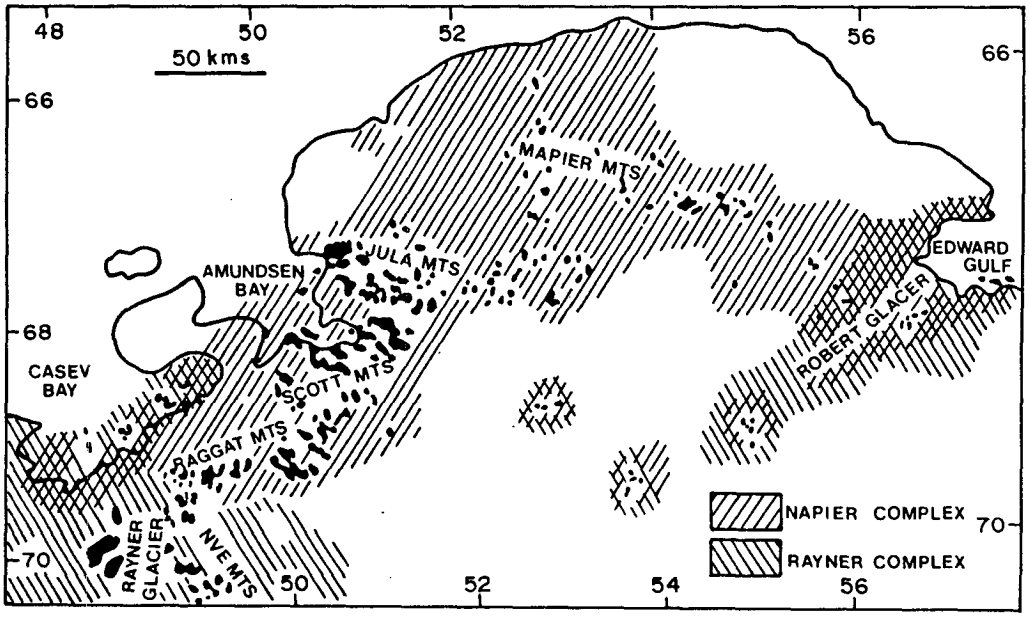

Fig. 7. Metamorphic map of Enderby Land. 1. Condon Hills, 2. Mt Currie, 3. Demidov Island, 4. Doggers Nunataks, 5. Forefinger Point, 6. Hydrographer Island, 7. Knuckey Peaks, 8. Mt Lira, 9. Mt Robinson, 10. Mt Sibiryakov, 11. Turbulence Bluffs, 12. Mt Yuzhnaya (Ellis, 1983).

Table 2. Geologic Ages and Sr isotope ratios.

Unit	Age[2]	Initial $^{87}Sr/^{86}Sr$[2]	S[3]	F[4]
Annandagstoppane Gabbro				
Suite 1	1802 ± 100	0.7034 ± 0.0009	2.8	2.6
Suite 2	2518 ± 406	0.6990 ± 0.0033	0.1	3.5
Krylen Diorite				
Suite 1	767 ± 49	0.7128 ± 0.0006	0.8	2.9
Suite 2	806 ± 122	0.7122 ± 0.0016	6.2	2.7
Suite 3	1241 ± 61	0.7077 ± 0.0008	0.05	4.4
Jekselen Diorite				
Suite 1	1079 ± 87	0.7091 ± 0.0012	2.4	3.5
Suite 2	984 ± 120	0.7122 ± 0.0015	4.7	2.9
Grunehögna Diorite	1426 ± 87	0.7051 ± 0.0013	2.3	2.4
Grunehögna Granodiorite	1006 ± 11	0.7097 ± 0.0003	2.5	2.5

[1] Where S > F, data regressed using the technique of York (1966). Otherwise, the data regressed using the technique of York (1969). $\lambda\ ^{87}Rb = 1.42 \times 10^{-11}\ a^{-1}$.
[2] Uncertainties = 2σ.
[3] SUMS/(n-2) from technique of York (1969).
[4] Appropriate F-variate.

동위원소에 의한 연대 측정에 의하면 Napier 복합체는 최소한 30억년 이상으로 추정된다(Black and James, 1979). U/Pb와 Rb/Sr 연대는 Napier 복합체에서 발생한 초기의 수평적인 구조 작용(horizontal tectonism)과, 돔 및 분지를 형성시킨 변혁 작용이 각각 30억년과 26억년전에 발생하였음을 지시한다 (James and Black, 1981). 2350±48 Ma를 보이는 변성 토레이아이트와 high-Mg 토레이아이트는 Napier 복합체에 일어났던 마지막 변성작용이 거의 끝나가던 단계에서 생성되었다. Rayner 복합체와 인접한 지역에서는 조산운동이 일어나기 직전인 1190 ±200 Ma에 생성된 토레이아이트 (Amundsen dyke)가 Napier 복합체의 거의 모든 노두에서 발견된다. 소련의 Molodezhnaya 기지 주변의 Rayner 복합체의 차아노카이트질 편마암은 연대가 987±60 Ma이며 (Grew, 1978), 산성편마암에 대한 동위 원소, 주원소 및 희귀 원소에 대한 지화학적 연구에 의하면 Rayner 복합체의 편마암이 화성 기원이었던 Napier 복합체의 편마암이 재 변성 받은 것임을 지시한다. Table 3은 두 복합체의 변성도의 차이를 보여준다 (Ellis, 1983).

Table 3. Comparison of some petrological features of the Napier and Rayner Complexes (Sheraton et al., 1980).

	Napier Complex	Rayner Complex
Mafic rocks	Opx-Cpx-Pl-(Qtz-Gt) Gt often secondary	Opx-Cpx-Pl-Hbld-(Qtz-Gt) Gt may be replaced by secondary Pl-Opx intergrowth
Pelitic rocks	Primary Assemblages	
	Os-(Gt) (and in other assemblages) Sa-Qtz, Sp-Qtz, Hy-Sill-Qtz Gt Sill-Qtz-Kf/Meso Rutile common Gt typically inclusion free	Gt-Cd-Hy-Qtz-(Bi-Pl-Kf) Gt-Cd-Sill-Qtz-(Bi-Pl-Kf) Gt-Bi-Sill-Qtz-Kf-Pl Rare Ky Ilmenite, Bi are Ti-bearing phases Gt may have inclusions of Bi-Sill, or Opx with oxides, feldspar, quartz
	Secondary Assemblages	
	Gt-Cd-Sill-Qtz Gt-Cd-Hy-Qtz Secondary and zoned rims to primary Opx have less Al_2O_3 than primary Opx Fe-Mg K_D increases from core to rim of mineral pairs	Secondary Opx often has higher Al_2O_3 than primary Opx Fe-Mg K_D does not markedly increase towards rims
Mafic Intrusives	Fresh dolerite dykes abundant	No unmetamorphosed dolerite dykes
Acid intrusives	Bi granite; Opx granite, granodiorite and tonalite Minor pegmatite	Bi granite; Opx-Hbld granite Abundant pegmatite

Mineral abbreviations—Bi, biotite; Cpx, clinopyroxene; Cd, cordierite; Gt, garnet; Hbld, hornblende; Hy, hypersthene; Kf, K-Feldspar; Ky, kyanite; Meso, mesoperthite; Opx, orthopyroxene; Os, osumilite; Pl, plagioclase; Sa, sapphirine; Sill, sillimanite; Sp, spinel.

Kamenev(1982)는 Enderby Land와 그 인접지역에 대한 변성암의 분포를 자세하게 규명하였고 (Fig. 7), Sobotovich et al. (1974, 1976)은 납동위 원소 연구를 통해 Enderby Land의 Fyfe Hills(Fig. 7)의 enderbite와 사장석-휘석 편암이 약 4000±200 Ma 전에 형성된, 남극에서 가장 오래된 암석임을 밝혔다. 이 암석내의 납 동위 원소의 비율이 운석과 유사함을 보였고, Napier 복합체의 변성암이 초기 지각의 잔유물이며, 후에 two-pyroxene(그래뉼라이트)상으로 변성받았음을 밝혔다.

Black and James(1983)는 전체 암석에 대한 Rb-Sr, 저어콘에 대한 U-Pb과 Sm-Nd 방법을 이용하여 Napier 복합체의 지사를 밝혔다. 복합체는 후기 시생대에 열 구조 변혁을 받은 것이 특징이며, 이 변혁은 형태와 크기 등에 의해서 'D1-M1', 'D2-M2' 및 'D3-M3'로 분류된다. 최초에 Napier 복합체는 오래된 지각

의 잔여 부분이었고 ('pre-D1'), 37-38 억년전 초기의 산성화성지각 변형에 이어서 규장질 및 염기성 화성암과 변질 퇴적물이 쌓였다. 강한 광역응력(regional strain, 'D1-M1') 때문에 그래눌라이트상의 변성작용과 granitoid가 생성되었고, 약 30억 7천만년의 연대를 보이는 횡와된 편마암이 형성되었다. 약 29억년 전 경에 일어난 연성 변형('D2-M2')은 비대칭 습곡작용이 특징이다. 세번째 연성 변형('D3-M3', 2450-2500Ma)으로 약한 편리가 형성되었고, 그 이후에 발생한 육괴화 작용은 저변성된 여러 형태의 습곡을 야기하였다. 'D3' 이후 연약대에서는 2350±48 Ma와 1190±200 Ma에 토레이아이트가, 520 Ma에 페그마타이트가, 그리고 484 Ma에 Napier 복합체에서 가장 젊은 알칼리 암맥이 형성되었다.

다. Prince Charles 산맥

Prince Charles 산맥은 동남극 순상지의 단면을 가장 잘 보여주는 곳으로서, 주로 시생대에서 원생대 상부에 이르는 변성암 복합체로 이루어져 있다. Trail and McLeod(1969)와 Craddock (1972a)는 이 산맥이 북부의 그래눌라이트상 암석으로부터 남쪽으로 가면서 녹색편암상으로 변하는 선캠브리아의 변성암으로 이루어져 있음을 밝혔다(Figs. 2 and 8). 이러한 변성암들은 선캠브리아기의 차아노카이트 및 흑운모화강암의 관입을 받았으며, 페름기의 퇴적암에 의해 부정합적으로 덮힌다.

Ravich와 Grikurov (1976)는 본 지역의 변성암복합체의 연대를 규명하였다. 북부의 그래눌라라이트상의 암석을 시생대로, 남부의 저변성암의 대부분을 원생대로 즉, 변성도가 낮으면 연대도 젊은 것으로 해석하였다. Tingey (1982)는 변형도나 변성도가 암석이 생성된 순서를 지시해주지 못한다고 보았다. 본 산맥에서 가장 심하게 변성을 받은 암석은 원생대 후기의 변상작용 때문인 반면, 남부에서 나타나는 저변성암은 시생대의 것임을 밝혔다.

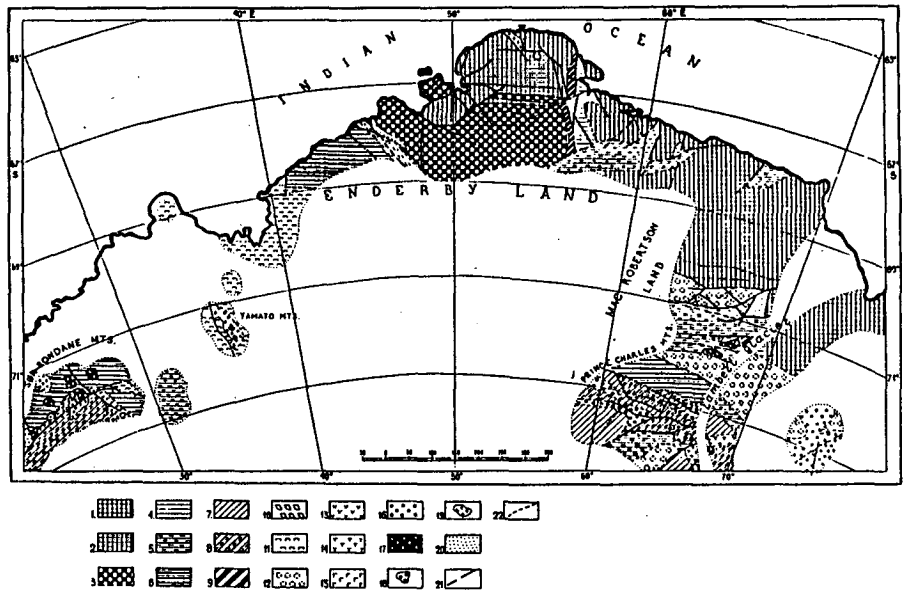

Fig. 8. Distribution of metamorphic facies in Enderby Land and adjacent terranes. Scale in km. Two-pyroxene facies group: 1. Undifferentiated by pressure; 2. Low pressure; 3. Intermediate pressure; 4. High pressure. Amphibolite (+ epidote amphibolite) facies group; 5. Undifferentiated by pressure; 6. Intermediate pressure; 7. High pressure. Greenschist facies group; 8. Undifferentiated by pressure. Polymetamorphic complexes; 9. Two-pyroxene facies of intermediate and high pressure; 10. Intermediate-pressure two-pyroxene facies and intermediate-pressure amphibolite facies; 11. Undifferentiated two-pyroxene facies and intermediate-pressure amphibolite facies; 12. Undifferentiated tow-pyroxene and amphibolite facies; 13. Intermediate- and high-pressure amphibolite facies; 14. Undifferentiate and high-pressure amphibolite facies; 15. Intermediate-pressure amphibolite facies; 16. Undifferentiated greenschist facies and high-pressure amphibolite facies. Intrusives: 17. Gabbroids; 18. Archean and lower Proterozoic granitoids; 19. Upper Proterozoic and Paleozoic granitoids. Miscellaneous: 20. Unmetamorphosed sedimentary doposits; 21. Faults; 22. Boundaries between facies and complexes (Kamenev, 1982).

시생대 암석은 남부에 분포하며, 화강암질 기반암과 변질퇴적암(metasedimentary rock)으로 이루어진다. 화강암질 기반암은 대부분 괴상이며 엽리가 발달되지 않았고, 각섬암상의 광물조합을 갖으며, 변성된 흑운모화강암, 흑운모 아다멜나이트(adamellite), 흑운모 화강섬록암, 안구상 편마암 (augen gneiss) 및 엽리가 잘 발달된 흑운모 편마암 등으로 구성된다. 변질퇴적암이 드물게 기반암에 포획되어 나타나는데, 이들은 오래된 암석의 포획암이거나, 보다 젊은 암석으로 이루어진 단층의 깨진조각(fault sliver)으로 보인다. 이 지역은 노두가 부족하고, 단층, 습곡 및 관입 작용 등으로 인해 화강암질 기반과 젊은 여러 층들 사이의 관계를 명확하게 밝히기 어렵다.

Rb-Sr 동위원소를 통한 연대 측정 결과 기반암은 시생대(2750-2900 Ma)에 속한다. 초기 Sr 동위원소 비율은 더욱 오래된 Sialic 지각암석이 있음을 지시하지만, 주로 2900-2750 Ma 사이에 지각이 형성되었음을 알 수 있다 (Figs. 9 and 10). Queen Maud Land 서부(Halpern, 1970)와 Enderby Land (Sobotovich et al., 1974 ; Kamenev, 1977)에서도 시생대 암석이 발견되었지만 더 많은 연구를 필요로 한다. 본 역 남부의 시생대 각섬암상 화강암질 기반은 현재 아프리카의 여러 곳에서 발견되고 있는 화강암질 핵(nucleii)과 유사한 시생대 육괴의 일부인 것으로 사료 된다 (Clifford, 1974 ; Kamenev, 1977).

시생대 화강암질 기반을 덮은 변성 퇴적암은 층후가 200m 이상이며, 백색 및 녹색 규암층이 특징으로, 주로 규암, 화강암 쇄설물, 이암 또는 사암, 함철층과 역암으로 구성된다. 대부분의 지역에서 저변성 각섬암상의 광물조합을 보이나, 초기의 고변성조합을 보이기도 한다. 하부의 화강암질 기반과의 경계는 대개 단층이거나 거의 나타나지 않지만, 규암이 부정합으로 놓인 곳도 한 군데 나타난다. 화강암질 기반과 그 상부층 사이에 뚜렷한 암상의 차이가 있지만, 후에 습곡을 받아

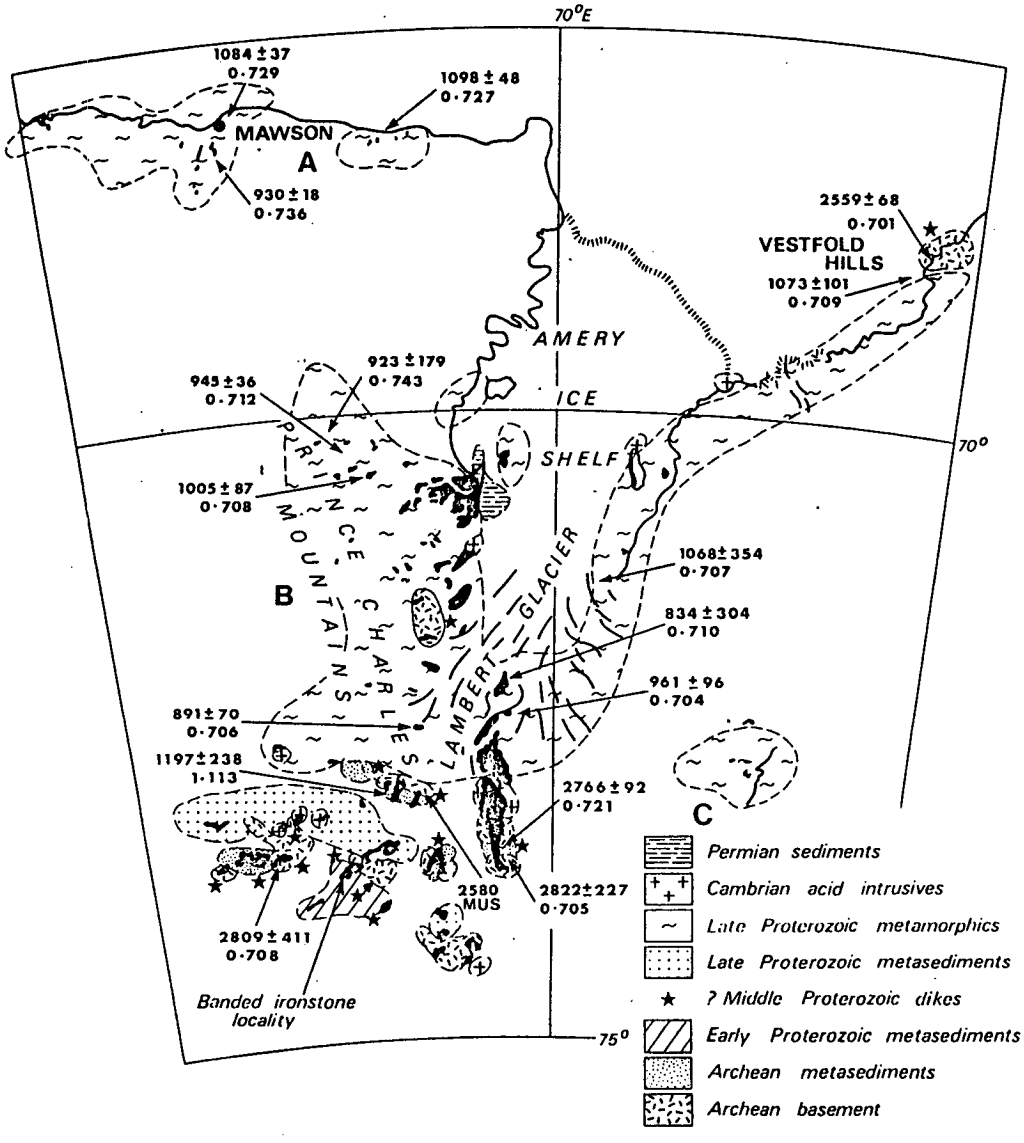

Fig. 9. Schematic geologic map of the Prince Charles Mountains (Tingey, 1982).

서 두 층에 같은 엽리 구조를 만들었고, 따라서 구조적인 불연속면을 찾기 힘들다. 시생대층은 침식된 화강암질 기반위에 퇴적되었을 것이고, 역암이 지역적으로 나타나는 것은 규암 내의 사층리가 보존되어 있는 것과 함께, 에너지가 높은 환경에서 퇴적되었음을 나타낸다. 하부의 기반암과 마찬가지로 각섬암화된 토레이아이트에 의해 관입되었으며, 백운모 및 흑운모 화강암이나 페그마타이트에 의해서도 관입되었다. 후자의 대부분은 초기 고생대에 속하며, 변성받지 않은 것이지만, 변성받은 페그마타이트에서는 Rb-Sr에 의한 백운모 연대가 2580 Ma를 나타낸다.

원생대 변성암 또한 Prince Charles 산맥에 나타난다. 원생대 하부의 암석에는 중기 원생대의 것으로 보이는 각섬화된 토레이아이트질 암맥이 곳곳에 나타나기도 하지만, 원생대 상부 암석에서는 이같은 암맥이 보이지 않는다. 본 역 북부에는 후기 원생대의 심한 변성작용으로 인하여 이전의 구조는 없어졌지만, 후기 원생대에 변성 작용이 있었음을 알려주는 각섬화된 토레이아이트질 관입암이 시생대 화강암질 기반암 내에 보존되어 있다. 관입 이후에 퇴적된 상부 원생대 퇴적암도 이때 변성받았다. 원생대 최초의 화성활동(1700-2000 Ma)은 페그마타이트를 관입한 화강암으로 생각된다. (Fig. 10).

본 역의 현생이언 지질자료는 캠브리아기의 화강암질 관입암, 페름기 퇴적암과 알칼리염기성 관입암 및 분출암에 국한된다. 열 변성 작용과 화성 관입 활동은 6억년과 4억년전 사이에 일어났으며 약 5억년 전 경에 최대를 나타냈다 (Fig. 10). 이때 흑운모 및 백운모를 함유한 화강암과 페그마타이트가 형성되었으며, 본 역 남부에 국부적인 후퇴변성작용(retrograde metamorphism)이 발생하여, 흑운모 내의 Rb-Sr 동위원소 체계가 바뀌었다. 열변성작용과 관입활동은 고생대 초기 곤드와나랜드에서 광범위하게 발생했으며, 이는 아프리카의 'Pan African' (Clifford, 1974)이나 남극대륙의 Ross 조산운동(Gunn and Warren, 1962)과 동일한

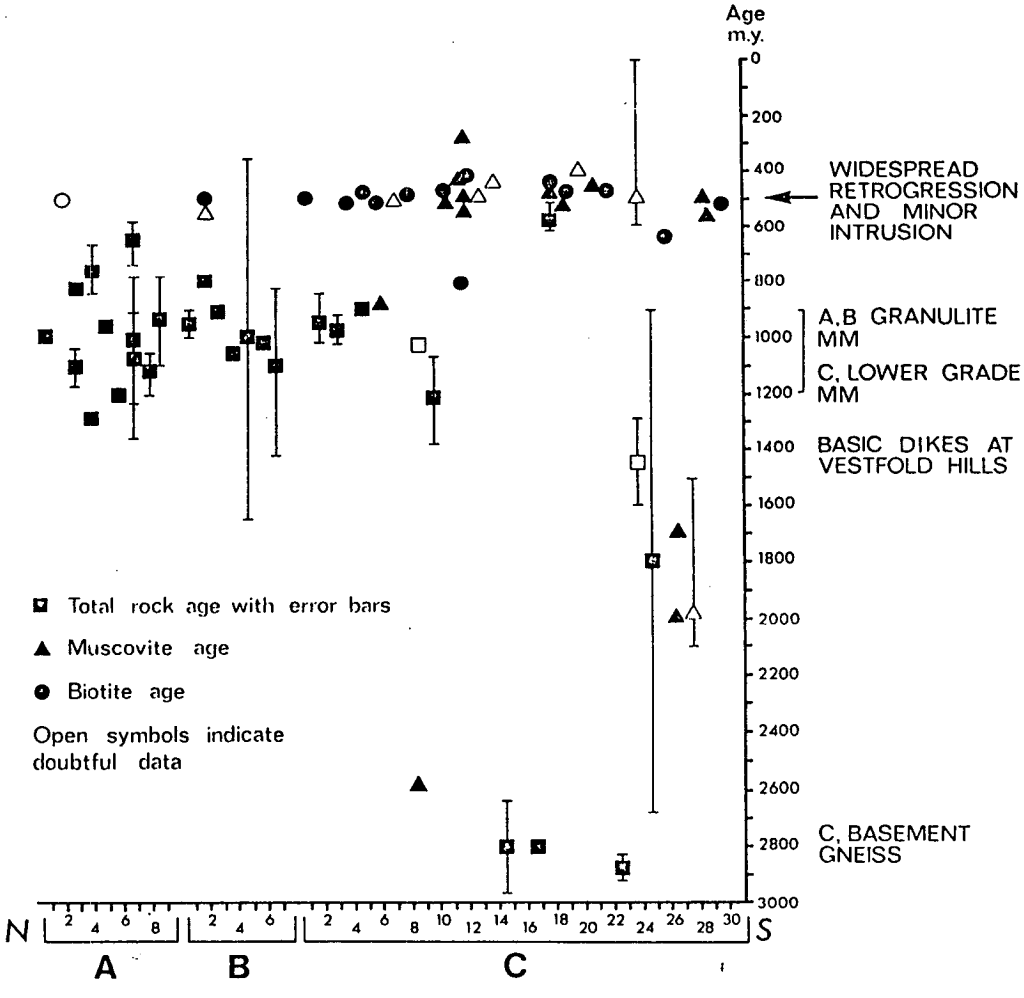

Fig. 10. Rb-Sr geochronologic data from the Prince Charles Mountains region. A, B, and C refer to areas on Fig. 9 (Tingey, 1982).

것이다. 이러한 광역적인 활동에 대해서는 잘 알려지고 있지 않지만, '대륙표이'의 구조를 예상해 볼 때 지각의 균열과 연관되는 것으로 보인다 (Kroner, 1977). Ravich(1982)는 원생대 Ruker Series의 표식지로서 Prince Charles 산맥을 들었다 (Table 1). Ruker Series는 원생대 전기에서 중기, 상부의 Sodruzestvo 통은

원생대 후기의 것으로 추정하였다. 이 두통은 두께가 약 3500m정도이며, 평행부정합의 관계를 갖는다.

Sodruzestvo 통의 기저 역암을 구성하는 재스필라이트 역은 Sodruzestvo퇴적암층이 쌓이기 전 상당 기간 동안 습곡과 변성 작용이 있었음을 지시한다. 절대연령 측정에 의하면 Ruker 통에서의 변형 및 변성은 1040－980 Ma 전에, Sodruzestvo 통에서는 600－500 Ma 전 사이에 일어난 것으로 밝혀 졌다 (Hofmann, 1982).

이상에 볼 때 Prince Charles 산맥은 Clifford(1974)나 Kroner(1977)가 밝힌 것처럼 아프리카의 중생대 이전의 변성사와 비슷한, 복잡하고도 긴 지사를 갖고 있는 것을 알 수 있다.

1971년 1974년 사이에 Soviet Antarctic Expedition은 총 300,000㎢에 걸쳐서 Prince Charles 산맥에 대한 지질 및 지구 물리탐사를 수행하였으며 그 결과 1：2,000,000 지질구조도를 완성 하였다. 이에 따르면 조사지역의 약 15%가 시생대에서 페름기의 기반암이었고, 남극 순상지에는 결정질 기반암이 다른 암석보다 우세하며, 두께가 20㎞ 이상되는 변성암들도 분포한다. 초염기성의 엔더바이트(enderbite)와 차아노카이트는 알루미늄이 함유된 편마암과 각섬암을 따라 넓게 나타난다. 결정질 기반에 형성된 오라코젠(aulocogen)은 처음에 원생대 육성층이 퇴적된 후에 고압 각섬암상으로 재결정되었다. 원생대층의 기저에서 발견되는 재스필라이트 층은 녹니석－운모 편암, 규암과 메타바사이트 암맥으로 구성된다. 페름기 이후에는 현재의 Lambert Glacier를 따라 대륙 열곡이 발달하였고, 두께가 1,300㎞에 달하는 곤드와니안(Gondwanian) 형태의 페름기 석탄층이 퇴적되었다. 이 페름기층은 남극횡단산맥의 Beacon 층군과 동시대의 층으로 백악기의 알칼리－초염기성 lamprophyre의 암맥이 나타난다 (Fedorov, 1982).

Grew(1982)는 Prince Charles 산맥의 지사를 다음과 같이 요약하였다. 시생대

에 기반암이 고화되고, 원생대에 호상 함철층을 포함한 퇴적암이 쌓였다. 후기 선캠브리아에 북부지역에서 변성, 화성(plutonism) 및 변형 작용이 일어났으며, 단층작용, 화산활동과 접촉변성작용을 수반한 Menzies층이 쌓였다. 고생대 초기에 달하자 광역변성작용, 습곡 및 화성작용이 일어났으며, 경사가 급한 단층과 트러스트 단층이 형성되었다.

라. 기타지역

1) Vestfold Block

Collerson et al. (1983)에 의한 Vestfold Block(Fig. 11)에 대한 암석학 및 Sr-Md 동위원소 연구에 따르면 본 역의 편마암은 그래눌라이트상의 변성을 받았으며, 복잡한 다상 변성을 받았다. Oliver 등(1982)은 본 역의 암상을 층상 회색편마암, granitiferous paragneiss와 연대가 젊은 정편마암으로 나누었다. 이러한 암석은 동-서 방향의 주향과 북쪽으로의 완만한 경사를 갖는다.

시대순으로 본 역의 암석을 살펴보면 다음과 같다.

Tryne 변질 화산암(metavolcanics)-본 역에서 가장 오래된 암석으로 초염기성, 염기성, 중성 및 산성의 변질 화산암류로 대개 이토질(pelitic), 반이토질(semi-pelitic) 편마암과 편암에 관련이 있다.

Mossel 편마암은 형태와 성분이 매우 다양하며, 석영-장석질 정편마암(quartzo-feldspathic orhtogneiss), 염기성 그래눌라이트 등으로 구성된다.

Chelnok 조합-경사가 크고, 선구조를 보이는 다양한 두께의 엽리가 발달한다. 변질퇴적암 성분이 우세하며, 소량의 변질화산암질암(염기성 그래눌라라이트)도 포함된다. 석류석이 풍부한 이토질 및 반이토질 편마암이 가장 흔하다.

Crooked Lake 편마암-'D2' 변혁 중, 반려암질, 섬록암질 및 토날라이트질

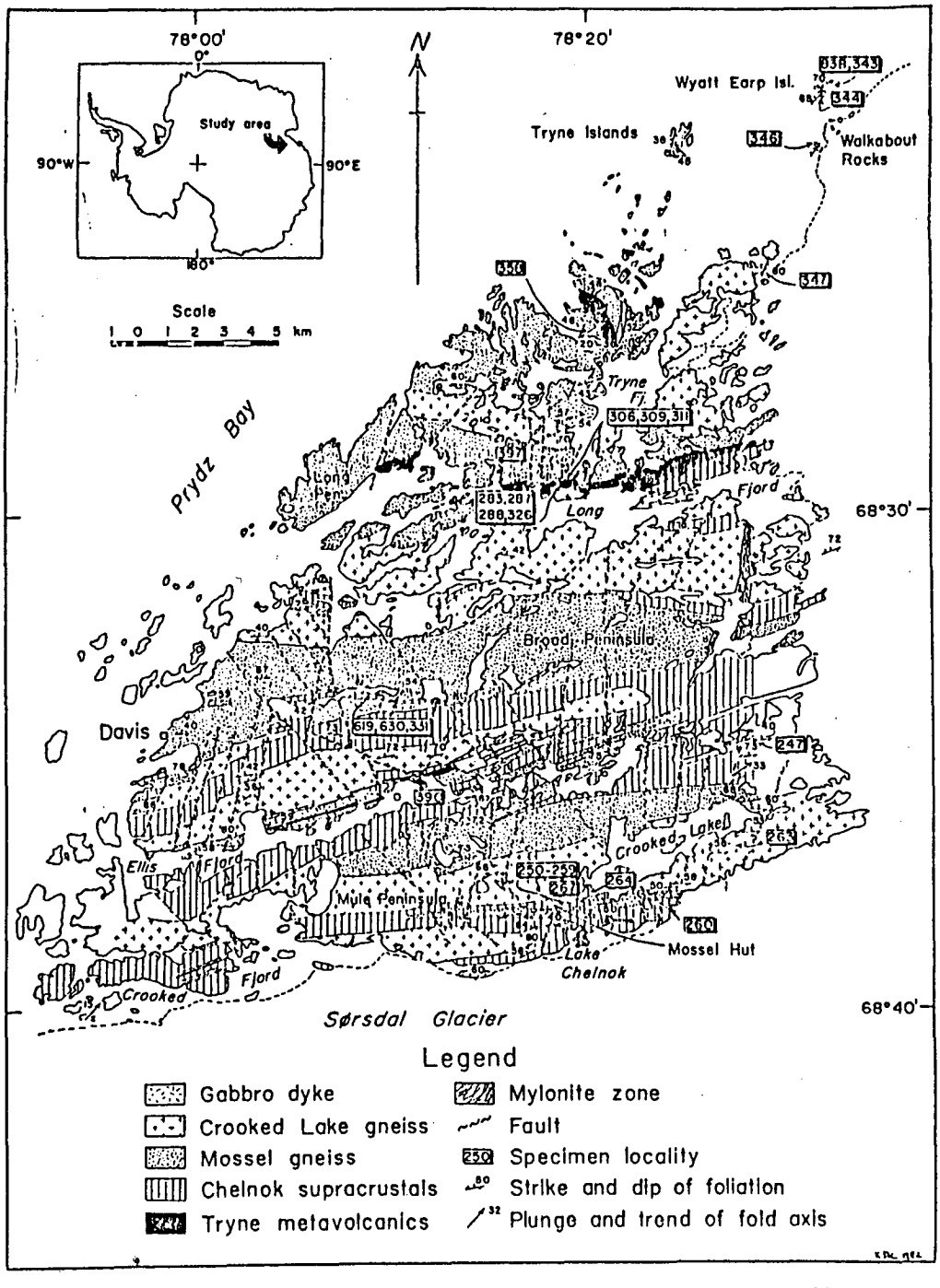

Fig. 11. Geological map of the Vestfold Block based on mapping by Oliver et al.(1982) and the authors (Collerson, 1983).

(tonalitic) 정편마암과 화강섬록암질과 화강암질에 이르는 다양한 범위를 갖는 암석의 관입을 받았는데, 이를 Crooked Lake 편마암이라 한다.

돌레라이트 암맥과 원생대의 재작용(reworking)-Crooked Lake 편마암이 형성될 때 돌레라이트 암맥과 편마암 복합체는 Enderby Land의 암맥과 대비되는 원생대 돌레라이트 암맥에 의해 잘렸으며, 이러한 암맥 중 한 곳은 습곡을 받았다.

Sr과 Nd 동위원소 자료를 통해 Vestfold Block의 편마암이 최소한 2번의 그래뉼라이트상의 열구조 변혁을 시생대(약 28-30억년과 24-25억년전)중에 받았음이 밝혀졌다.

2) Herring Island and Commonwealth Bay

Herring Island가 속해 있는 Windmill 군도는 북쪽의 각섬암상에서 남쪽의 그래뉼라이트상으로 변하는 편암 및 석영-장석질 편마암으로 구성된다. 가장 오래된 암석은 섬록암질, 토날라이트질, 화강암질 층상편마암으로, Herring Island에서는 나타나지 않는다. 이러한 정편마암 사이에 paragneiss, 관압암 및 leucogneiss가 분포한다. 사장석과 함께 나타나는 알루미늄질의 하이퍼틴(hyperthene)이 우세한 것은 중압 형태의 그래뉼라이트상 환경에서 결정화되었음을 보여준다. 약 14억년 된 변질 퇴적암과 변질 화산암은 3차례의 변형을 받았으며, 약 12억 7천 5백만 년 전에 850-900℃, 6-7Kb의 변성을 받았다.

Commonwealth Bay에서는 석류석, 코디에라이트(cordierite) 및 하이퍼틴 편마암이 산성마그마에 의해 관입을 받았고, 후기에는 염기성 암맥이 관입하였다. 이러한 관입체들은 결국 편마암화되었다. 이러한 편마암은 남부 호주의 Eyre 반도에 분포하는 시생대 후기 편마암과 대비된다 (Oliver et al., 1983).

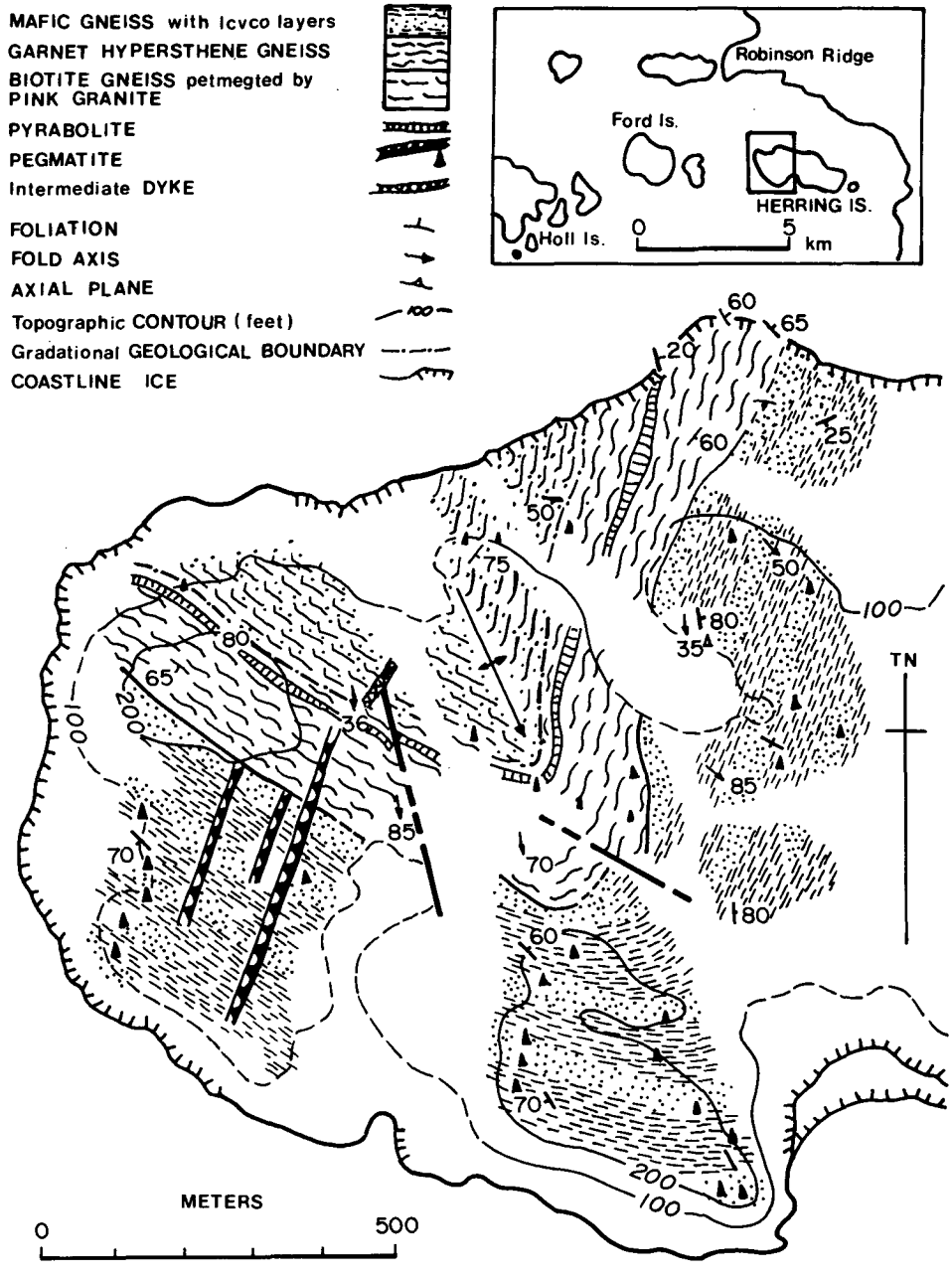

Fig. 12. Geology of western Herring Island (Oliver et al., 1983).

3. 동남극과 서남극의 경계

동남극과 서남극은 현생이언의 지사가 전혀 상이하다. 동남극에는 캠브로-오르도비스기의 Ross 조산 운동을 끝으로 큰 변동없이 약간의 수직 운동을 수반한 순상지로 발달한 반면, 서남극은 관입이나 분출같은 화성 및 변성 작용이나 습곡 및 단층 같은 구조 운동이 계속되어 왔다. 따라서 남극의 지질 및 지체구조를 연구함에 있어, 서로 다른 지사를 갖는 두 지체의 경계인 남극횡단산맥이 중요하게 대두되었다. 특히 Ellsworth 산맥, Horlick 산맥 및 Pensacola 산맥을 연결하는 삼각지대와 Victoria Land 가 중요하다.

가. 남극횡단산맥

본 산맥은 선캠브리아 후기 및 하부 고생대의 퇴적암층이 신생대 선형지루(horst)에 의해 나타난 것으로 볼 수 있다(Figs. 13 and 14). 고생대 초의 Ross 조산 운동에 의해 변형된 후 상층부가 잘려나간 Ross 거층군으로 보았으나, 계속된 연구를 통해 하부의 기반암과 상부의 곤드와나층군으로 구성됨이 밝혀졌다. 기반암은 변형 및 변성된 원생대와 고생대의 퇴적암 및 화산암으로 구성되며, 원생대 및 캠브로-오르도비스기의 저반에 의해 관입되었다. 곤드와나층군은 데본기-트라이아스기의 Beacon 거층군 및 쥬라기의 Ferrar 관입암층으로 구성된다. 본 산맥은 주로 제 3기에 융기된 것으로 생각된다(Larid and Bradshow, 1983). 지역에 따라 본 역의 지질을 살펴보면 다음과 같다.

1) Coats Land

Shackleton Range 서쪽(Fig. 15)에는 선캠브리아의 Shackleton Range 변성암 복합체로 이루어진 기반암과 그 위를 부정합으로 덮는 두께가 6000m 에 달하는 쇄설성 퇴적암층인 Blaiklock Glacier 층군이 분포한다(Clarkson, 1972).

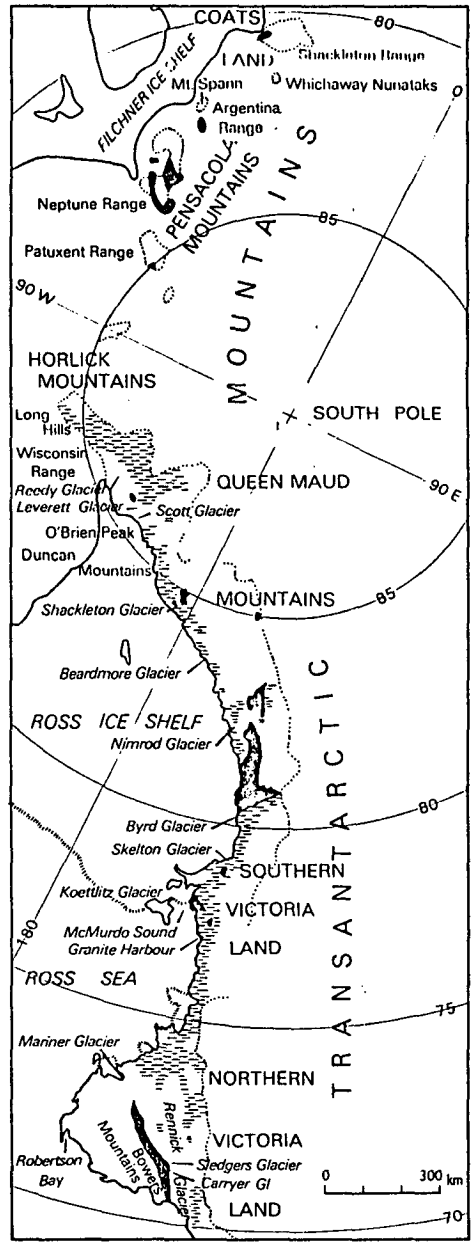

Fig. 13. Distribution of lower Paleozoic rocks throughout the Transantarctic Mountains. Outcrops of sedimentary rocks are shown in black; igneous intrusive rocks are shown by horizontal hatching. Approximate margins of rock outcrop areas are shown dotted (Laird et al., 1982).

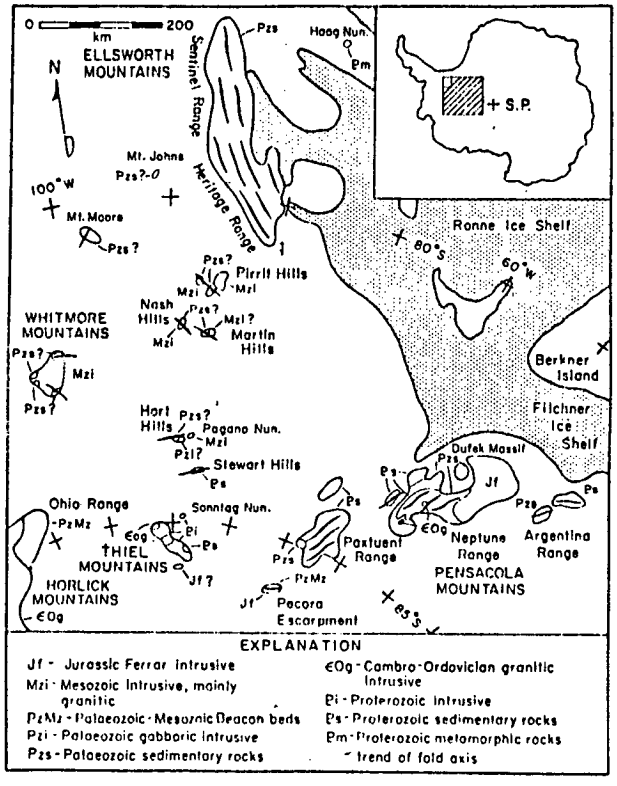

Fig. 14. Geologic map, with structural trends, of junction region between East Antarctica (below) and West Antarctica (above). The index map has been rotated a quarter turn so that the Antarctic continent appears in its standard position (Craddock, 1983).

후자의 하부를 구성하는 Mount Provender 층은 주로 세립질인 붉은 혹은 회색의 장석질 사암으로 구성된다. 사암은 부분적으로 사층리(cross-bedding)를 보인다. 상부로 가며 적색에서 회색에 이르는 운모질 셰일과 점판암이 우세하며, 최소 760 *m*의 두께를 갖는다. 상부의 Otter Highlands 층은 두께가 최소 5,330*m* 를 넘으며, 회록색의 장석질 세립 역암과 사암으로 되어있고, 사층리와 층간 습곡(intraformational folding)도 흔히 나타난다. 본 층의 상부는 변성암역을 포함한 역암이나 운모질 셰일 및 사암으로 구성되며, 하부는 석회질 그릿(grit)과 사암으로 구

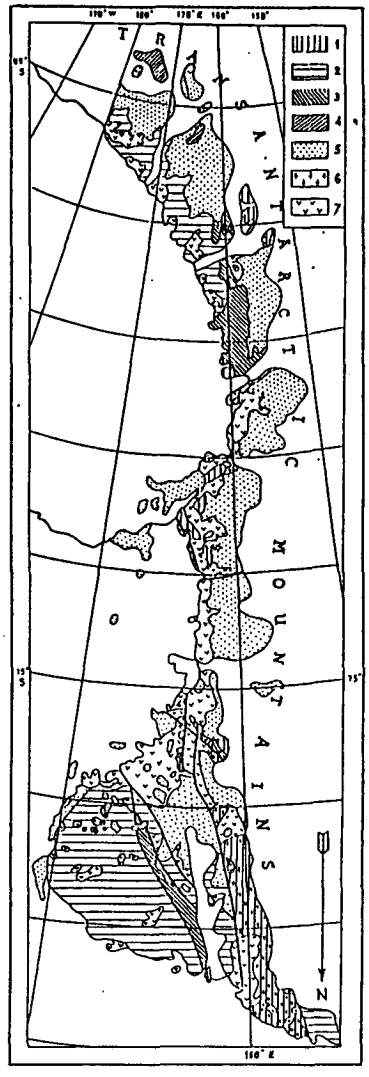

Fig. 15. Distribution of metamorphic facies in the northern Transantarctic Mountains (For scale, 1 ° of latitude equals 108km). 1. Low-pressure amphibolite + epidote amphibolite facies; 2. Undifferentiated greenschist facies; 3. Laumontite + prehnite-pumpellyite facies; 4. Laumontite + prehnite-pumpellyite facies without association with higher grade rocks; 5. Unmetamorphosed rocks; 6. Ultrametamorphic granites; 7. Upper Proterozoic and Paleozoic intrusive granitoids (Kamenev, 1982).

성된다. Blaiklock Glacier 층군은 돌러라이트 맥암의 K-Ar 연대측정에 의하면 최소한 하부 석탄기(297±12 Ma)에 해당한다(Rex, 1972). 완족류(brachiopod)로 보이는 obolids는 하부 캠브리아에서 상부 오르도비스기임을 지시한다(Thompson, 1972). 캠브리아기 중부의 것으로 보이는 삼엽충 화석이 발견되기도 했다. 따라서 Blaiklock Glacier 층군의 연대는 캠브로-오르도비스기인 것으로 사료된다.

본 Coats Land에는 고생대 하부 암석의 노두가 나타나지 않지만, Shackleton Range의 남쪽으로 100㎞ 떨어진 Whichaway Nunataks의 빙퇴석은 수많은 석회암을 함유하고 있는데, 이중 일부는 캠브리아기의 것으로 보이는 archaeocyatha를 산출한다. 이 지역에 석회암 노두는 관찰되지 않지만 캠브리아기의 석회암이 빙하 하부의 가까운 곳에 묻혀있을 것으로 추정된다.

2) Pensacola 산맥

남부 Argentina Range에서는 archaeocyatha가 포함된 석회암이 나타나지만 다른 동물화석에 대해서는 아직까지 보고된 것이 없고, 북동쪽의 Mount Spann에서 빙퇴석질 석회암의 역에 상부에서 중부 캠브리아기에 속하는 archaeocyatha, 삼엽충과 연체동물이 나타난다.

Neptune Range와 Patuxent Range는 퇴적암과 화산암으로 구성되며, 가장 오래된 Patuxent 층은 습곡된 사암, 점판암 및 선캠브리아 후기 현무암 및 유문암으로 이루어져 있다. 이 위를 캠브리아기의 Nelson 석회암, Gambacorta 층 및 Wiens 층이 경사 부정합으로 덮는다.

Nelson 석회암은 Patuxent Range 남부와 Neptune Range에 분포하며, 5개의 층으로 구성된다. 하부의 2개 층은 각각 6m 두께의 기저역암과 상부의 18m 두께의 쇄설암으로 구성된다. 상부의 3층은 어란상(oolitic) 및 두석상(pisolitic)을 일부 포함하는 석회암으로 구성되며, 180m에서 550m의 층후를 갖는다. 해침시

퇴적된 천해성 퇴적물도 포함되며, 캠브리아 중기 혹은 후기임을 알려주는 삼엽충군이 발견되기도 하였다(Palmer and Gatehouse, 1972).

Gambacorta 층은 Nelson 석회암을 덮으며, 노두는 Neptune Range 에서만 나타난다. 최하부는 심하게 변질된 사암과 화산질 역암으로 구성되며, 상부층은 흑갈색, 적갈색 및 연록색의 유문암질암, 화산질 각력암(breccia), 화산쇄설성 퇴적암, 사암 및 화산 쇄설 역암으로 구성된다. 최대 층후는 330m 에 달하며, 유문암에 대한 동위원소 연대측정 결과 563±35 Ma 로 나타났다(Eastin and others, 1969).

Wiens 층은 Neptune Range에서는 Gambacorta 층 위에 놓이며, 최대두께가 330 m 에 달한다. 여러 지역에서 Wiens 층의 하부가 Gambacorta 층 상부의 화산기원 퇴적암과 교호한다. 이는 녹색 또는 적갈색의 세일, 실트암과 회색의 어란상 석회암 및 세립질 사암으로 구성된다.

캠브리아기 후기의 융기 및 습곡으로 심한 경사부정합이 형성되어 Wiens 층과 상부의 Neptune 층군이 분리되었다. Neptune 층군은 습곡되었고, 쇄설암으로 구성되며, 식물화석에 의하면 최소한 데본기에 속함이 밝혀졌다(Schmidt and Ford, 1969)

3) Horlick 산맥과 Eastern Queen Maud 산맥

Leverett Glacier 북부의 Leverett 층은 석회암, 세일, 사암 및 유문암으로 구성된다. 층후는 2m가 넘고, 7개의 암상으로 나뉘어진다. 주로 천해성 환경에서 퇴적되었으며, 심하게 변형되었다. 변성도가 낮은 삼엽층 화석은 중부 캠브리아를 지시한다. 삼엽층을 산출하는 층보다 위에 놓이는 유문암은 Rb-Sr 연구에 의해 489±45 Ma 의 절대연령을 갖음이 밝혀졌다(Faure et al., 1968).

4) 남극횡단산맥 중앙부

Queen Maud Land 동부에서 Byrd Glacier 까지를 포함하며, 남극에

서 층후가 가장 두꺼운 캠브리아기 퇴적암층이 분포한다. Beardmore Glacier-Byrd Glacier 지역에서는 캠브리아기의 퇴적암으로 구성된 Byrd 층군이 분포하며(Larid, 1963), 4층으로 구성된다. 최하부 Shackleton 석회암은 하부의 선캠브리아 Beardmore 층군을 부정합으로 덮으며, 층후는 최대 8300m에 달한다. 대부분 순수한 석회암으로 구성되나, 쇄설성 퇴적암이 간혹 협재되며, 150m 두께의 역암이 특징이다. Nimrod Glacier 남쪽에서는 규암이 기저층이며, 총 두께는 500m에 달한다. Nimrod Glacier 북쪽에는 약 1200m 층후의 선캠브리아 각력암층과 상부를 덮는 석회암이 분포한다. 석회암에는 Archaeocyatha 가 풍부하게 포함된다. 석회암의 동부에는 Starshot and Dick 층 및 Douglas 역암으로 알려진 최소한 3000m의 역암, 석회질 사암 및 이암 등으로 구성된 퇴적암이 좁은 띠 모양으로 분포한다. 화석은 산출되지 않으며, Shackleton 석회암과의 관계도 불분명하다.

Shackleton Glacier에는 Taylor 층으로 알려진 두꺼운 규암, 대리석 및 규장질 화산암이 분포한다. 하부 캠브리아기의 것으로 보이는 화석도 발견되어, Byrd 층군과 대비될 수 있다. Taylor 층과 층서상 동일한 것으로 간주되는 Fairweather 층과 Henson 대리석이 서부 Queen Maud 산맥의 남쪽에 나타난다. 전자는 하부 캠브리아의 것으로, 층후 1500-3000m 사이의 균질한 재결정 규암으로, 하부는 500m 두께의 조립 결정질 석회암으로 구성된다.

5) 구 조 사

남극횡단산맥은 그 지질 구조에 따라 Ellsworth 산맥, Horlick 산맥과 Pensacola 산맥의 세 지역으로 나뉘어진다(Craddock, 1983). 남극횡단산맥은 주로 신생대에 상승했을 것으로 사료된다. 지역에 따라 원생대에 최소한 2회에 걸쳐 습곡되었다. 캠브로-오르도비스기의 Ross 조산대는 태평양쪽에 위치하며, 현

재의 산맥과 평행하다. 기반암은 상부의 Beacon-Ferrar 지층군(데본-쥬라기)과 부정합 관계를 갖는다.

남극횡단산맥의 구조 발달사는 다음의 8단계로 요약될 수 있다.

1) Ross 조산운동 시기에 원생대 및 하부 고생대 층이 변형되었고, 화강암이 관입되었다. 이 습곡대는 남극횡단산맥을 따라 동쪽으로 연장되며, Hart 및 Stewart Hills를 지나 Pensacola 산맥까지 연장된다.

2) 천해 및 육상 기원의 Post-Ross 퇴적암(데본기-트라이아스기)이 퇴적되었고, 두꺼운 데본기-페름기의 암석이 마지막으로 퇴적되었다.

3) 트라이아스기에 일어난 Ellsworth 조산 운동으로 Ellsworth 산맥 습곡대를 구성하는 페름기 이후의 층이 변형되었다.

4) Ross 조산 운동 이후로 생각되는 고생대 초기 화강암이 Ellsworth 산맥 습곡대에 형성되었다.

5) 쥬라기에 염기성암이 현재의 남극횡단산맥을 따라 관입 및 분출되었다.

6) 백악기 후기에 뉴질랜드와 서남극이 분리되기 시작하였다. 이후 뉴질랜드는 타스만 해가 열리면서 다소 이동하였고, 서남극은 부수적으로 동쪽으로 이동하였다. 남극 반도의 남쪽과 Ellsworth 산맥이 현재의 모양과 위치를 갖게 되었다.

7) 제 3기초에 남극과 호주가 분리되기 시작하였고, 동남극과 서남극의 상대적 운동이 정지되었다.

나. Victoria Land

1) 북부 Victoria Land

본 역에서 가장 오래된 암석은 Freyberg 산맥과 서남부를 구성하는 편암, 편마암, 미그마타이트 및 화강암이며, 이는 남극횡단산맥의 선캠브리아 후기 및 고생대 초기의 층에 대비된다. 이들의 동쪽에는 중부 고생대 쇄설 퇴적암이

분포한다. 하부의 심성암을 부정합으로 덮으며, 기저의 polymict 역암과 흑색 점판암은 북서방향으로 폭 10㎞의 대를 이루며 분포한다. 보다 북쪽에는 층서상으로 상위인 규암이 약 8-15㎞의 폭을 갖으며 분포하며, 변질된 미사암과 graywacke로 이루어진 Robertson Bay 층은 폭이 Millen Range에서 Robertson Bay 까지 약 150㎞이다. 각섬석-흑운모(hornblende-biotite) 화강섬록암과 소규모의 저반이 Robertson Bay 층을 관입하여 변성작용을 일으켰다. 쥬라기의 휘록암에 의해 관입받은 육성 Beacon 사암이 본역 남서부에서 나타나며, 현무암과 호층을 이룬다. Ross 해 연안을 따라 일어난 대규모의 신생대 후기 알칼리성 화산 활동으로 북쪽 방향의 주향을 갖는 Adare, Hallett 및 Daniell 반도와 Coulman Island가 형성되었다. 화산암은 각력암, pillow lava 및 이들을 관입한 관입암복합체 등으로 구성된다. 제 3기 이전의 암석은 Ross 해에 연한 단층을 따라 상승하였을 것으로 추정되며, 해안 주위의 고도 약 4000m에 달하는 봉우리는 후기 신생대에 수직운동이 있었음을 암시한다(Crowder and Hamilton, 1967).

Bowers 산맥(Fig. 16)은 서로 다른 지사를 갖는 서부의 Wilson 층군, 중앙의 Bowers 거층군 및 동부의 Robertson 층군으로 구성된다(Bradshaw and others, 1982). Wilson 층군의 편암과 paragneiss에는 다상 변형 및 변성에 의해 북서방향의 변성 조직이 생성되었다. Bowers 거층군의 서쪽 향사 구조는 거의 수직이거나 경사가 급하며, 축은 완만하게 남쪽으로 기울어있다. Robertson 층군의 주향은 북서 방향이고, 경사는 급하다.

북부 Victoria Land의 구조사를 요약하면 다음과 같다.

1) Vendian 조산운동이 있기 전에 Wilson 층군이 변형 및 변성되었다.

2) Vendian Robertson 층군이 최초로 습곡되었고, 3) 'Granite Harbour' 형태의 화강암이 관입하였다. 4) 중부 및 상부 캠브리아에 속하는 Mariner 층군

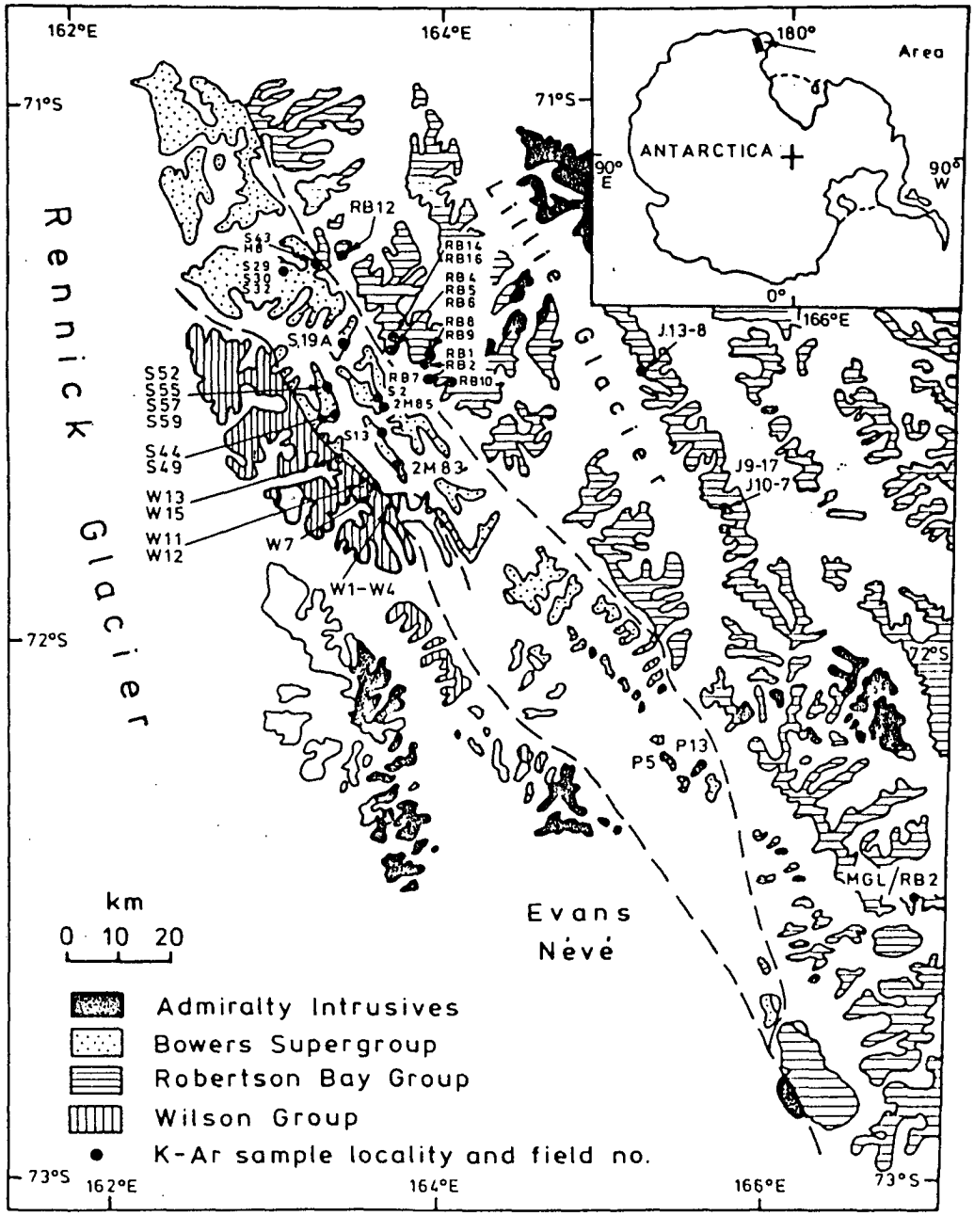

Fig. 16. Simplified geology of the Bowers Mountains-Evans Neve region, northern Victoria Land (Adams et al., 1982).

의 퇴적시 광역적인 융기가 일어나고, Leap Year 층군의 근원지가 활성화되었다(447-499 Ma). 5) Bowers 거층군이 습곡되었고, Robertson Bay 층군이 재습곡되었다. 6) 두 층군은 Admiralty 관입체(300-385 Ma, 데본기-하부 석탄기)가 자리잡기 이전인 386-417 Ma(실루리아기-하부 데본기)에 냉각 및 융기되었다. 7) Beacon 거층군과 Ferrar 층군이 쥬라기 이후에 습곡과 단층작용을 받았다.

Adams 등(1982)에 따르면 Wilson 층군, Robertson Bay 층군 및 Bowers 거층군의 연대는 355-502 Ma 이며, 약한 광역 변성 작용을 두차례 받았던 것으로 생각된다(Fig. 15 and Table 4). 첫번째는 실루라아기에서 데본기 사이에 Borchgrevink 조산운동과 연관되어 Bowers 거층군에서 발생하였고, 두번째는 Ross 조산운동과 연관되어 Wilson, Robertson Bay 및 Sledgers 층군에서 캠브리아기에 발생하였다.

2) 남부 Victoria Land

Adams 등(1982)은 남부 Victoria Land(Figs. 17 and 18)에서 K-Ar 연대 측정을 실시하였다(Tables 5, 6 and 7). 남부 Victoria Land 의 구조 운동사는 시대순으로 다음과 같이 5단계로 구분된다.

1) 시생대 : Nimrod 층군(28억년)의 퇴적.

2) 후기 선캠브리아 : 5억 8천년-6억 5천년전 사이의 Beardmore 조산 운동으로 Nimrod 층군이 변형되었고, 오버드러스트 및 변성되었다.

3) 후기 캠브리아 : 5억년-5억 7천년전 사이의 Ross 조산 운동으로 Beardmore (상부 선캠브리아)와 Byrd(하부-중부 캠브리아기)층군이 변성 및 변형되었다.

4) 오르도비스기 : 4억 5천년-5억년전에 Granite Harbour Intrusives 가 관입하였고, Hope 화강암과 이와 관련되어 심성암체가 관입하였다.

5) 실루리아기-데본기 초에 Ross 조산대가 융기하였다.

Table 4. Potassium-argon age determinations on the Wilson and Robertson Bay Groups and Bowers Supergroup, northern Victoria Land, Antarctica (Adams et al., 1982).

I.N.S. "R" number	Field number	Rock description	Location	Lat. S	Long. E	K (wt. %)	^{40}Ar (radiogenic) nl/g	^{40}Ar (radiogenic) % total	(m.y.)
Wilson Group (Precambrian ?)									
3898bl 3898mu	W1	Quartzo-feldspathic garnet-biotite-muscovite granodiorite gneiss	Upper Zenith Glacier Lanterman Range	71° 47'	163° 41'	7.361 7.926	161.4 173.7	94.8 88.3	483 ± 3 483 ± 3
3899bl	W2	Quartzo-feldspathic biotite-muscovite chlorite granodiorite gneiss	Upper Zenith Glacier Lanterman Range	71° 47'	163° 42'	6.858	144.3	97.6	466 ± 3
3900hb	W3	Hornblende (blue-green) albite-epidote amphibolitic gneiss	Upper Zenith Glacier Lanterman Range	71° 47'	163° 42'	0.142	2.91 2.87	81.3 83.4	455 ± 3 450 ± 3 } 453*
3901mu	W4a	Quartzo-feldspathic biotite-muscovite-chlorite granodiorite gneiss	Upper Zenith Glacier Lanterman Range	71° 47'	163° 42'	7.745	167.1	82.3	476 ± 3
3902bl	W7	Quartzo-feldspathic biotite-muscovite-garnet granodiorite gneiss	S side, Husky Pass head of Sledgers Glacier	71° 44'	163° 40'	7.108	152.5	96.8	474 ± 3
3903hb	W11	Hornblende (blue-green) amphibolitic gneiss	S side, Husky Pass head of Sledgers Glacier	71° 43'	163° 38'	0.653	10.15 10.16	88.4 84.0	355 ± 3 355 ± 3 } 355*
3904hb	W13	Hornblende (brown-green) biotite-garnet-oligoclase amphibolitic gneiss	Husky Pass, head of Sledgers Glacier	71° 40'	163° 27'	0.542	11.00	86.3	451 ± 3
3905bl 152-422μ	W15	Quartzo-feldspathic biotite-muscovite-hornblende (blue-green) gneiss	Husky Pass, head of Sledgers Glacier	71° 39'	163° 29'	6.511	141.5	96.8	479 ± 3
3962mu 152-853μ	W12	Quartzo-feldspathic biotite-muscovite granodiorite gneiss	S side, Husky Pass head of Sledgers Glacier.	71° 43'	163° 38'	6.616	130.3	96.3	467 ± 3
Robertson Bay Group (Vendian)									
3208TR	MGU/RB2	Argillite, from sandstone/siltstone sequence	4 km NW of Mt McCarthy, Evans Névé	72° 35'	166° 08'	2.420	52.17	98.3	476 ± 3
3861TR	P13	Red siltstone from sandstone/siltstone sequence	4 km NNW of Pyramid Peak, Evans Névé	72° 14'	165° 32'	3.809	86.68	93.6	499 ± 3
3885TR	RB1	Slate, pumpellyite-actinolite facies, textural zone 2	Leap Year Glacier, at head of Champness	71° 30'	163° 49'	5.823	133.3	99.1	502 ± 4
3887TR	RB4	Slate, pumpellyite-actinolite facies, textural zone 2	N side of Leap Year Glacier, 4 km S of Mt Verhage	71° 28'	163° 40'	3.067	61.09 62.08	98.4 77.7	444 ± 3 450 ± 3 } 447*
3888TR	RB5	Slate, pumpellyite-actinolite facies, textural zone 2	N side of Leap Year Glacier, 4 km S of Mt Verhage	71° 27'	163° 42'	2.989	67.40	97.5	495 ± 4
3889TR	RB6	Slate, pumpellyite-actinolite facies, textural zone 2	N side of Leap Year Glacier, 4 km S of Mt Verhage	71° 27'	163° 43'	2.229	47.14	97.0	468 ± 3
3890TR	RB7	Phyllite, greenschist facies, textural zone 4	N side, Ian Peak Champness Glacier	71° 31'	163° 57'	2.847	57.40	82.9	448 ± 3
3891TR	RB8	Slate, pumpellyite-actinolite greenschist facies, textural zone 3	N side, Head of Champness Glacier	71° 28'	163° 52'	2.809	62.56	97.7	490 ± 4
3892TR	RB9	Slate, pumpellyite-actinolite greenschist facies, textural zone 3	N side, at head of Champness Glacier	71° 28'	163° 51'	2.733	61.94	97.5	491 ± 4
3893TR	RB10	Slate, pumpellyite-actinolite greenschist facies, textural zone 3	2 km SE of Ian Peak Leap Year Glacier	71° 32'	164° 02'	2.608	56.25	84.2	476 ± 3
3895TR	RB13	Slate, pumpellyite-actinolite/greenschist facies, textural zone 3	Head of Leap Year and Graveson Glaciers	71° 17'	163° 25'	3.208	68.91	86.7	474 ± 3
3896TR	RB14	Slate, pumpellyite-actinolite/greenschist facies, textural zone 3	N side, Leap Year Glacier, 4 km S of Mt Verhage	71° 26'	163° 42'	4.008	87.58	90.3	482 ± 3
3897TR	RB15	Slate, pumpellyite-actinolite/greenschist facies, textural zone 3	N side, Leap Year Glacier, 4 km S of Mt Verhage	71° 27'	163° 42'	3.369	75.33	97.7	491 ± 4
6203TR	J9-17	Gray-green slate, greenschist facies	S of Austin Peak Mirabito Range	71° 45'	165° 30'	2.184	48.47	94.2	492 ± 4
6204TR	J10-7	Gray-green slate, greenschist facies	S of Austin Peak Mirabito Range	71° 45'	165° 30'	2.473	55.24	84.0	491 ± 4
6206TR	J13-8	Gray slate, slightly recrystallized to hornfels	NW end, Mirabito Range	71° 30'	163° 37'	3.202	88.70	93.1	381 ± 3
Sledgers Group (Vendian–Lower Cambrian), Bowers Supergroup									
3868TR	S13	Slate, prehnite-pumpellyite facies, Vendian microfossil location	Molar Massif at Husky Pass	71° 38'	163° 37'	3.202	67.57 67.50	96.4 98.4	467 ± 3 467 ± 3 } 467*
3870TR	S19A	Slate, prehnite-pumpellyite facies (Sledgers Group?)	N side, Sledgers Glacier, W of icefall	71° 28'	163° 26'	2.798	49.85	96.7	401 ± 3
3871TR	S29	Slate, prehnite-pumpellyite facies	Mt Jamroga, head of Carryer Glacier	71° 20'	163° 05'	2.805	51.74	97.7	414 ± 3
3872TR	S30	Slate, prehnite-pumpellyite facies	Mt Jamroga, head of Carryer Glacier	71° 20'	163° 05'	2.784	51.13	97.9	413 ± 3
3873TR	S32	Slate, prehnite-pumpellyite facies	Mt. Jamroga, head of Carryer Glacier	71° 20'	163° 05'	2.924	54.24	96.0	416 ± 3
6187TR	2M83	Slate, prehnite-pumpellyite facies, Vendian microfossil location	SW ridge, Molar Massif at Husky Pass	71° 40'	163° 44'	2.116	42.80	98.1	450 ± 3
6207TR	2M85	Slate, prehnite-pumpellyite facies, Vendian microfossil location	Central section, Molar Massif	72° 35'	163° 39'	0.928	18.93	77.6	453 ± 3
6293TR	S2	Siltstone, prehnite-pumpellyite facies, Vendian microfossils and Cambrian fossils	Molar Massif, northern section	71° 35'	163° 36'	1.874	37.06	93.4	441 ± 3
Mariner Group (Middle–Upper Cambrian), Bowers Supergroup									
3875TR	S44	Slate, prehnite-pumpellyite facies (Mariner Group correlative)	S end, Reilly Ridge, Sledgers Glacier	71° 34'	163° 22'	3.636	66.61	55.2	413 ± 3
3877TR	S49	Slate, prehnite-pumpellyite facies (Mariner Group correlative)	S end, Reilly Ridge, Sledgers Glacier	71° 34'	163° 22'	3.392	60.52	90.7	402 ± 3
3878TR	S52	Slate, prehnite-pumpellyite facies (Mariner Group correlative)	Central section, Reilly Ridge, Sledgers Glacier	71° 32'	163° 17'	3.719	69.09	81.7	417 ± 3
3880TR	S55	Slate, prehnite-pumpellyite facies (Mariner Group correlative)	Central section, Reilly Ridge, Sledgers Glacier	71° 32'	163° 17'	2.058	35.31 34.49	90.5 97.9	388 ± 3 380 ± 3 } 384*
3882TR	S57	Slate, prehnite-pumpellyite facies (Mariner Group correlative)	Central section, Reilly Ridge, Sledgers Glacier	71° 32'	163° 17'	2.974	49.55	74.7	380 ± 3
3884TR	S59	Slate, prehnite-pumpellyite facies (Mariner Group correlative)	Central section, Reilly Ridge, Sledgers Glacier	71° 32'	163° 17'	2.946	52.24	98.2	400 ± 3
6294TR	H8	Siltstone, prehnite-pumpellyite facies (Mariner Group?)	Helix Pass, head of Leap Year Glacier	71° 20'	163° 15'	2.957	54.37	96.1	413 ± 3
6296TR	S43	Siltstone, prehnite-pumpellyite facies	4 km WSW of Helix Pass	71° 20'	163° 15'	1.369	23.87	93.9	394 ± 3
Leap Year Group (Upper Cambrian–), Bowers Supergroup									
6292TR	P5	Red siltstone, Camp Ridge Quartzite	6 km WNW Pyramid Rock Evans Névé	72° 16'	165° 22'	1.037	19.49	91.6	421 ± 3

TR: total (whole) rock. bl: biotite. mu: muscovite. hb: hornblende.
Decay constants. ^{40}K: $\lambda_\beta = 0.472 \times 10^{-9}$/yr; $\lambda_e = 0.584 \times 10^{-10}$/yr. $^{40}K/K = 0.0119$ atomic %.
Errors are one standard deviation.
All 221-422μ fraction unless stated otherwise.
* Mean ages.

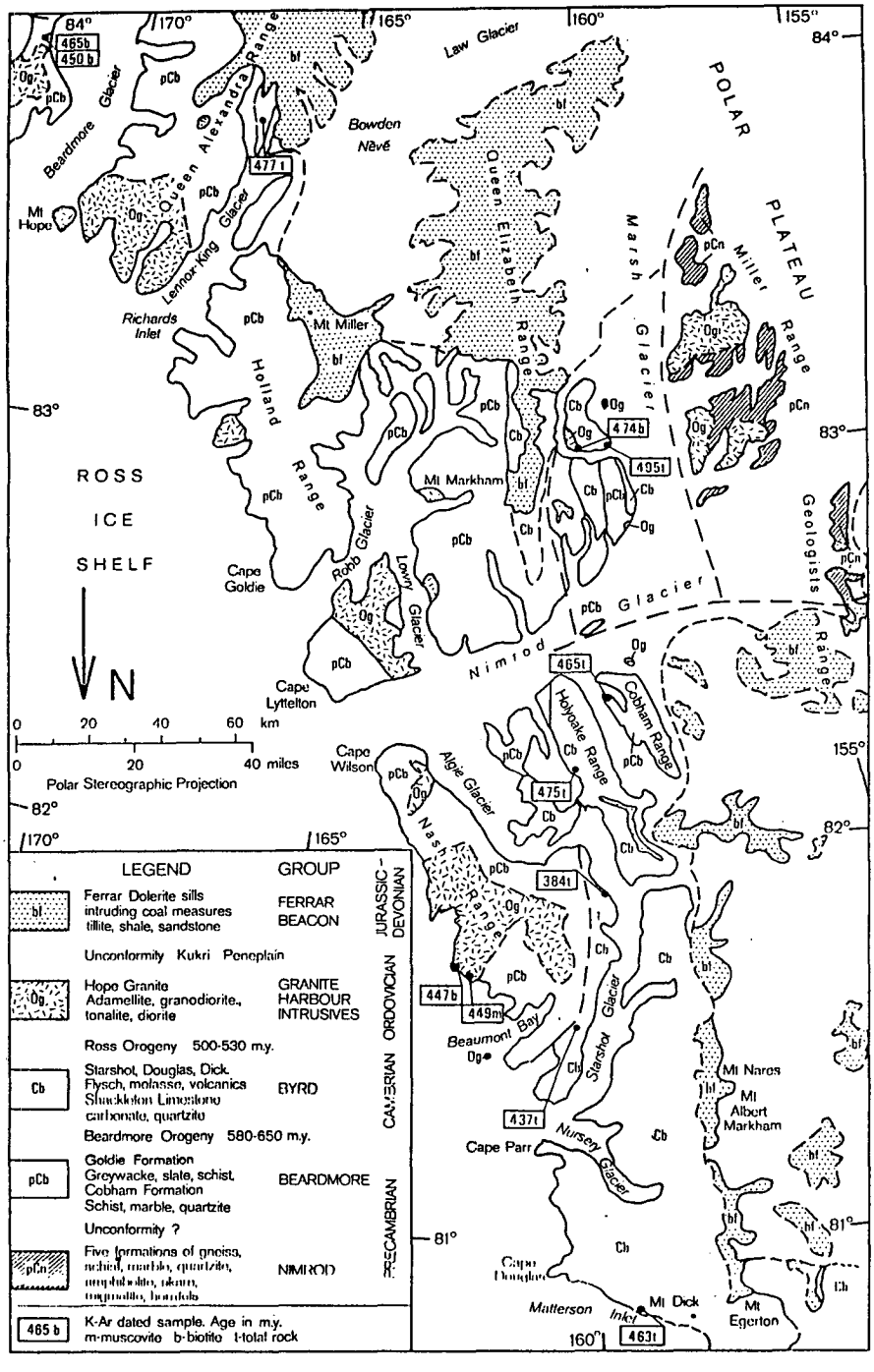

Fig. 17. Geologic map of central Transantarctic Mountains (after Grindley and Laird, 1969).

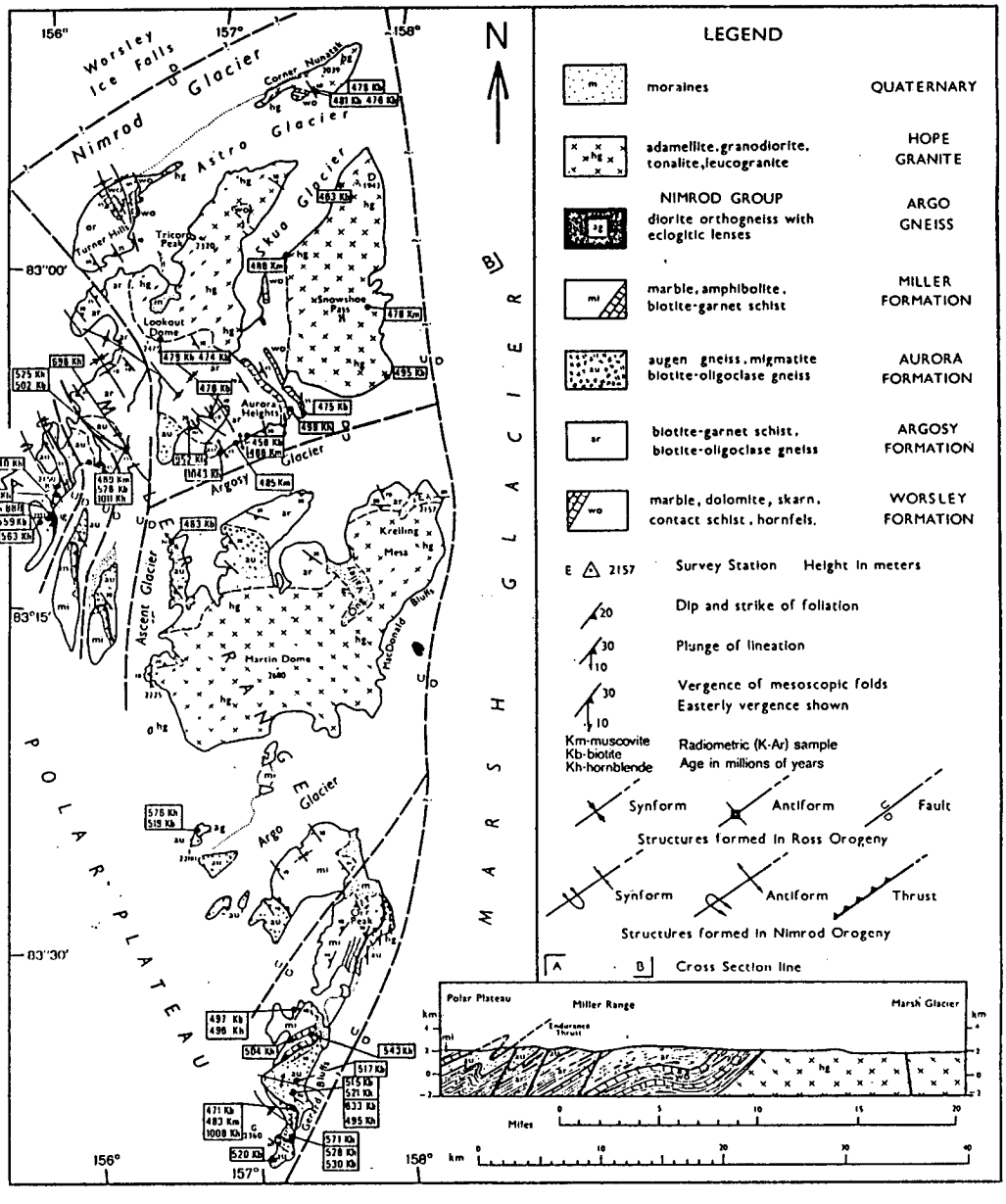

Fig. 18. Geologic map of Miller Range (Grindley, 1972).

Table 5. Potassium-argon age determinations on the Hope Granite and related intrusive rocks, southern Victoria Land, Antarctica (Adams et al., 1982).

I.N.S. "R" number	N.Z.G.S. "P" number	Rock type	Lat. S	Long. E	K (wt %)	^{40}Ar (radiogenic) ml/g	^{40}Ar (radiogenic) % total	Age (m.y.)	
Hope Granite (hornfels and contact schist included)									
3674bi	26769	Biotite-quartz-diorite; xenolith in Hope Granite, Martins Dome pluton	83° 18′	156°28′	7.418	164.9	96.4	489 ± 4	
3675bi	26771	Biotite-oligoclase granite, Martins Dome pluton	83° 18′	156° 28′	6.502	143.1	96.6	485 ± 4	
3665bi	26842A	Biotite-muscovite-oligoclase granite; northern pluton close to contact	83° 05′	157° 53′	6.298	141.2	92.8	494 ± 4	495*
						142.1	98.2	495 ± 4	
3664mu	26831D	Quartz-muscovite-biotite-almandine-staurolite schist close to granite	83° 01′	157° 15′	5.973	131.7	93.4	486 ± 4	
3669hb	26807A	Quartz-oligoclase-biotite-hornblende hornfels, contact with northern granite pluton	83° 03′	156° 27′	1.247	27.1	91.7	479 ± 4	
3669bi					5.642	121.1	95.5	474 ± 3	
3671hb	26827A	Quartz-diorite; at granite contact with skarn marbles	82° 53′	157° 24′	1.278	27.9	95.6	481 ± 3	
3671bi					6.498	140.3	93.5	476 ± 3	
3663bi	26826	Biotite-hornblende granodiorite; sill at contact of northern pluton with marbles	82° 53′	157° 24′	6.223	132.4	92.7	470 ± 3	474*
						134.5	93.4	477 ± 4	
Related Intrusives									
6295bi	31554	Biotite-hornblende tonalite intruding Shackleton Limestone (Byrd Group)	83° 01′	160° 00′	6.198	133.0	97.9	474 ± 3	
6297mu	27065	Tourmaline-muscovite pegmatite intruding Goldie Formation (Beardmore Group)	81° 37′	161° 40′	7.109	143.5	97.8	449 ± 3	
6301bi	27037	Biotite-hornblende adamellite intruding Goldie Formation (Beardmore Group)	81° 42′	162° 24′	5.399	108.5	97.5	447 ± 3	
6298bi	26854A	Biotite-muscovite adamellite, granitic apophyse intruding Aurora gneiss	83° 35′	157° 13′	6.751	160.0	98.6	517 ± 4	

hb: hornblende. bi: biotite. mu: muscovite.
Errors are one standard deviation.
Decay constants ^{40}K: $\lambda_\beta = 0.472 \times 10^{-10}$/yr; $\lambda_\epsilon = 0.584 \times 10^{-10}$/yr; and ^{40}K/K = 0.0119 atomic %.
* Mean ages.

Table 6. Potassium-argon age determinations on the Beardmore and Byrd Groups, southern Victoria Land (Adams et al., 1982).

I.N.S. "R" number	N.Z.G.S. "P" number	Rock type	Lat. S	Long. E	K (wt %)	^{40}Ar (radiogenic) ml/g	^{40}Ar (radiogenic) % total	Age (m.y.)
Goldie Formation (Beardmore Group)								
3996TR	26865	Green-gray slate, greenschist facies	83° 50′	167° 00′	2.683	58.04	90.3	477 ± 3
6208TR	31600 (E'4)	Green-gray slate, greenschist facies	82° 23′	159° 43′	4.194	88.11	96.8	465 ± 3
Shackleton Limestone (Byrd Group)								
6186TR	N4	Green-gray slate, greenschist facies interbedded with limestone and quartzite	83° 02′	159° 30′	3.660	82.54	94.6	495 ± 4
6304TR	27121	Siliceous siltstone interbedded with Cambrian limestone	82° 13′	160° 24′	1.288	27.70	97.9	475 ± 3
Starshot Formation (Byrd Group)								
6209TR	J4	Blue-gray slate, micaceous sandstone	81° 53′	159° 40′	4.016	68.03	96.6	384 ± 3
6303TR	27099	Black lineated argillite interbedded with sandstone and conglomerate	81° 30′	162° 32′	3.134	61.40	96.4	437 ± 3
6291TR	27536	Green-gray siliceous siltstone (Dick Formation)	80° 51′	159° 32′	1.118	23.35	98.0	463 ± 3

TR: total (whole) rock.
Errors are one standard deviation.
Decay constants ^{40}K: $\lambda_\beta = 0.472 \times 10^{-10}$/yr; $\lambda_\epsilon = 0.584 \times 10^{-10}$/yr; and ^{40}K/K = 0.0119 atomic %.

Tabel 7. Potassium-argon age determinations on the Nimrod Group, southern Victoria Land, Antarctica (Adams et al., 1982).

I.N.S. "R" number	N.Z.G.S. "P" number	Rock type	Lat. S	Long. E	K (wt %)	^{40}Ar (radiogenic) nl/g	^{40}Ar (radiogenic) % total	Age (m.y.)	
Miller Formation (Nimrod Group)									
3660hb	21763	Biotite-hornblende schist; metavolcanic band in pelitic schists and marbles	83° 38'	157° 09'	0.352	8.55	79.9	526 ± 4	
3660bi					5.431	132.4	93.6	530 ± 4	530*
						132.1	98.3	529 ± 4	
3679hb	26850	Hornblende schist; metavolcanic band in pelitic schists and marbles	83° 38'	157° 09'	0.710	18.81	93.1	570 ± 4	571*
						18.84	94.4	571 ± 4	
3678hb	26797	Diopside-hornblende lineated schist, metadolomite or marble in pelitic schist	83° 12'	155° 52'	0.582	15.27	93.3	563 ± 4	
3677hb	26794	Diopside-scapolite skarn pegmatite with coarse minor hornblende; intruding marble	83° 12'	155° 52'	0.619	28.38	94.1	899 ± 6	888*
						27.52	93.1	877 ± 6	
6308hb	26795	Garnet-biotite-muscovite-hornblende schist 30 m above Endurance Thrust	83° 12'	155° 52'	1.839	46.86	98.1	551 ± 4	
6308bi					6.149	159.4	97.8	559 ± 4	
6311hb	26859	Diopside-hornblende-biotite schist in marble sequence	83° 34'	157° 17'	0.971	24.32	92.7	543 ± 4	
6312hb	26861	Quartzo-feldspathic biotite-hornblende-garnet schist 200 m above Endurance Thrust	83° 33'	157° 18'	1.470	33.2	96.5	496 ± 4	
6312bi					6.902	156.2	97.4	497 ± 4	
Aurora Formation (Nimrod Group)									
3673hb	26856	Biotite-hornblende pegmatitic augen-gneiss	83° 36'	157° 15'	1.402	33.49	96.0	521 ± 4	
3673bi					6.737	159.5	98.5	517 ± 4	515*
						158.2	97.3	513 ± 4	
3672hb	26844	Biotite-hornblende coarse quartz-diorite gneiss; pretectonic intrusive rock (Argo Gneiss)	83° 25'	156° 40'	0.424	11.38	92.0	576 ± 4	
3672bi					6.897	164.6	98.5	520 ± 4	519
						163.9	94.2	518 ± 4	
3661bi	26774	Quartz-oligoclase-biotite-muscovite gneiss	83° 14'	158° 32'	7.759	170.1	94.1	483 ± 4	
3666hb	26788	Amphibolite facies biotite-hornblende schist; metavolcanic horizon in migmatites	83° 10'	155° 54'	0.494	20.83	92.9	840 ± 6	
3666hb'					0.695	25.84	92.2	758 ± 5	755*
						25.54	94.1	751 ± 5	
3676hb	26790	Diopside-hornblende skarn pegmatite; reaction zone at marble in migmatites	83° 11'	155° 52'	0.068	4.30	74.1	1152 ± 8	1153*
						4.31	72.3	1154 ± 8	
3662hb	26801B	Biotite-hornblende granitic gneiss, pegmatitic veins in paragneiss sequence	83° 08'	156° 00'	1.341	32.32	93.7	525 ± 4	
3662bi					7.540	173.3	95.4	503 ± 4	
						173.5	98.5	504 ± 4	502*
						171.1	98.0	498 ± 4	
6299hb	26855	Quartz-oligoclase-biotite-garnet-hornblende schist	83° 36'	157° 12'	1.646	37.13	98.0	465 ± 3	
Argosy Formation (Nimrod Group)									
3668hb	26800	Biotite-hornblende schist band (1 m) overlying fuchsite-quartzite	83° 08'	156° 00'	0.712	23.86	93.7	696 ± 5	698*
						24.03	97.6	700 ± 5	
3667hb	26776A	Quartz-muscovite-biotite-hornblende-garnet schist in pelitic sequence	83° 07'	156° 45'	0.365	18.01	89.8	952 ± 7	
6309mu	26809	Quartz-muscovite-garnet-epidote schist; pelitic schist with quartzite beds	83° 09'	156° 56'	6.734	148.3	98.0	485 ± 3	
Worsley Formation (Nimrod Group)									
3670hb	26813A	Quartz-muscovite-biotite-hornblende schist in pelite and marble sequence	83° 07'	157° 15'	0.279	6.35	84.7	499 ± 4	
6310bi	26817	Quartz-oligoclase-biotite-clinozoisite schist	83° 07'	157° 20'	7.294	157.0	98.4	475 ± 3	

hb: hornblende. hb': amphibole. bi: biotite. mu: muscovite.
Errors are one standard deviation.
Decay constants ^{40}K: λ_β = 0.472 × 10^{-9}/yr; λ_ϵ = 0.584 × 10^{-10}/yr; and ^{40}K/K = 0.0119 atomic %.
* Mean ages.

4. 서남극

서남극의 지사는 신생대의 지각운동 및 화산활동 등으로 매우 복잡하여, 확실히 밝혀지지 않았다. 암석은 모두 현생 이언에 생성된 것으로 생각되며, 선캠브리아기의 암석은 아직 알려지지 않았다. 서남극에서 가장 오래된 암석은 고생대의 암석으로 생각되는 기반암 즉, 화성암질 관입암과 변성암 복합체이다. 고생대 및 중생대로 생각되는 퇴적암과 화산암이 비교적 넓게 분포하며, 습곡 및 변성되었다. 중생대와 신생대 초기에 화산암체가 서남극 거의 전역에 걸쳐 관입하였으나, 남극반도와 그 서부의 신생대 후기 화산암 및 퇴적암층은 변형을 받지 않았다. 제3기 중엽에 시작된 화산 활동은 서남극의 해안 지역에서 지금까지 계속된다.

노두는 Marie Byrd Land와 Ellsworth Land에 주로 발달하며, Ellsworth 산맥 습곡대에서 주로 연구가 이루어졌다.

가. Marie Byrd Land

본 역에는 Ford Range에 노두가 가장 잘 나타나며, 변질퇴적암(Swanson층), 변질퇴적암 및 화성암(Fosdick 복합체)와 고생대 후기 (345±11Ma) 및 중생대 후기(143±4Ma, 100±10Ma)의 그라니토이드(granitoid)의 세가지 암석으로 구성되며, 드물게 신생대 화산암들이 나타난다. Bradshaw 등 (1983)에 따르면 Swanson층은 해저선상지에 퇴적된 것으로 보이는 석영질 플리쉬성(flysch-like) 암석으로 Robertson Bay층군과 유사하고, 연대는 서로 중복된다. 그러나 세부적인 면에서는 두층이 동일한 암층이 서로 분리 되어있는 것이라고 보기는 힘들며, 북부 Victoria Land와 Marie Byrd Land를 대비시킬 만한 증거도 없다. 특히 Fosdick Range의 변성암 및 Robertson Bay 층군과 가장 유사한 Lanterman 및

Salamander Ranges의 Wilson 층군 사이에 유사한 점을 찾을 수 없으며, Wilson 층군의 특징인 480-500Ma 이전의 심성-변성작용도 없다. Marie Byrd Land에 캠브로-오르도비스기의 Bowers 거층군이 없는 것으로 보아 Swanson층과 Robertson층군은 다른 층으로 생각된다.

나. Ellsworth Land

Ellsworth Land와 Orville Coast는 중부 내지 상부 쥬라기에 해당하는 화산쇄설성 세일, 실트암 및 사암(Latady 층)과 칼크-알칼리성 산성 또는 중성의 ash-flow 응회암, 화산성 각력암과 air-fall 응회암(Mount poster 층)으로 구성된다(Fig. 19). 이 층은 습곡작용을 받았고, 지역에 따라서 스러스트 습곡 작용을 받았다. 백악기 초기에 Lassiter Coast Intrusive Suite의 칼크-알칼리성 심성암체가 관입하였다.

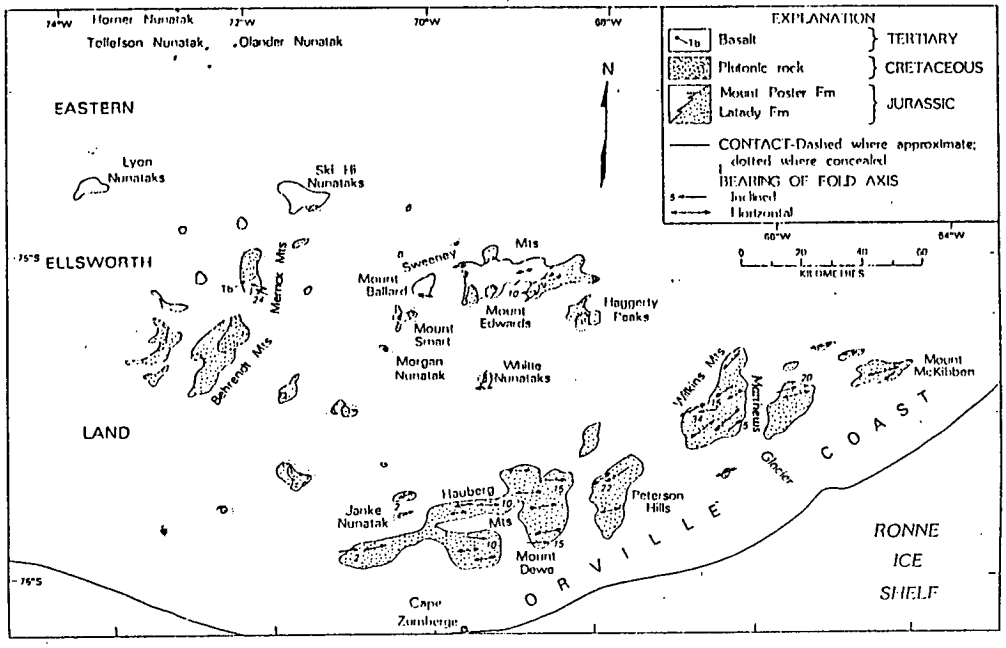

Fig. 19. Geologic map of Orville Coast and eastern Ellsworth Land (Rowley et al., 1983).

남극반도의 남부와 Ellsworth Land 동부에 있는 암석은 반도 하부에서 형성되었고, 호상열도와 배호상 분지에는 쥬라기층이 퇴적되었다. Mount Poster층은 현재의 남극반도 남부의 crest를 따라 나타나는 호상열도 축을 따라서 퇴적되었다. 퇴적환경은 남동쪽으로 가면서 삼각주나 해안 환경으로 부터 천해성 환경으로 변한다. 해양성 암석에는 무척추동물 화석이 많이 포함되어 있다. 쥬라기와 백악기의 화성암이 잘 발달되어 있으며, 이는 호상열도가 곤드와나거대륙의 가장자리에서 대륙암권 위에 형성된 것을 시사한다(Rowley 등, 1983).

다. Ellsworth 산맥습곡대

Fig. 19에서 보듯이 Ellworth 산맥은 북쪽에 Coastal belt와 남쪽으로 남극횡단산맥과 직각으로 만난다. 이로부터 Ellsworth 산맥습곡대의 고지리에 대한 의문이 야기되었다. 실제로 이동이 있었다면 Ellsworth 산맥습곡대는 oroclinal bending, rotation, translation 등의 과정을 겪었을 것이다. 북서 경계는 단층에 의해 잘려나간 경우인 것이 거의 확실하지만, 이러한 단층으로 주향이동이 있었느냐 하는 것은 불확실하다. Ellsworth 산맥을 구성하는 암석들의 층서나 고생물로 미루어 볼 때 Ellsworth 산맥은 현재 남극횡단산맥의 해안쪽(북쪽) 방향에 놓여 있었을 것으로 보이며, 전체적인 층서나 구조로 보면 Pensacola 산맥의 층과 유사하다.

Ellsworth산맥 습곡대에 대해서는 두가지 모델을 세울 수 있다. 첫째, 반시계방향으로 회전하여 서쪽으로 이동하였다는 모델이다. Schopf(1969)는 본 산맥이 Pensacola 산맥의 북쪽에서 부터 이동해 왔다고 제안하였고, Dalziel과 Elliot(1982)도 고지자기 연구와 Ellsworth 산맥 남서부의 화강암 및 Haag Nunatak의 암석연구를 통하여 유사한 주장을 했다. 이 모델에서는 Ellsworth 산맥습곡대가 Cape 습곡대에 더욱 가까이 위치하게 된다. Table Mountain 사암과 Crashsite 규암,

Dwyka 빙하퇴적물(tillite)과 Whiteout 역암의 성분과 구조는 이러한 모델을 지지하지만, 여러 문제점을 포함한다. 첫째, Ellsworth 산맥습곡대는 두꺼운 캠브리아 층을 포함하지만, Cape 습곡대에서의 캠브리아기 암석은 화강암질 관입체가 대표적인 암석이다. 둘째, 기저의 Table Mountain 사암은 상부 오르도비스기의 것이며, 국부적으로는 선캠브리아기의 변질퇴적암과 부정합 관계를 보여주지만, 기저 Crash-site 규암은 상부 선캠브리아기의 것이고, 캠브리아기의 층과는 정합 관계를 갖는다. 셋째, Ellsworth 조산운동은 트라이아스기에 일어났지만, Cape 조산 운동은 현재로서는 페름기로 생각된다.

두번째 모델은 시계방향으로 회전하며 동쪽으로 이동했다는 것이다. 백악기에서 신생대에 이르는 동안 Ellsworth 산맥습곡대는 남극횡단산맥의 서쪽에 평행한 상태로 있었다고 볼 수 있다. 백악기에 서남극의 서부가 동쪽으로 이동하여 신생대 후기에 북쪽으로까지 뻗어나갔다. 이러한 증거로는 Marie Byrd Land와 북부 Victoria Land의 지질이 유사한 점, 남극반도의 남부가 휘어진 점, 뉴질랜드와 호주 동부에 이러한 조산운동이 연결된다는 점, Ellsworth 산맥습곡대와 Horlick 산맥 서부의 고생대 후기의 화산암이 유사한 점, 남극횡단산맥과 Ross 빙붕 사이에 단층이 있다는 사실 등을 들 수 있다. 그러나 Ellsworth 산맥 습곡대의 현재 남아있는 폭 만큼을 받아들일 수 있는 공간이 있었느냐는 점, 이동이 너무 크다는 점, 또한 Haag Nunataks의 원생대 변성암을 어떻게 설명할 것인가하는 점들이 문제로 대두되고 있다.

5. 남극반도와 스코티아해역

남미대륙과 남극반도 사이에 위치한 스코티아해(Scotia Sea) (Fig. 20)는 고생대 말부터 신생대에 걸친 플레이트의 이동과 연관된 지각운동과 화산작용의 결

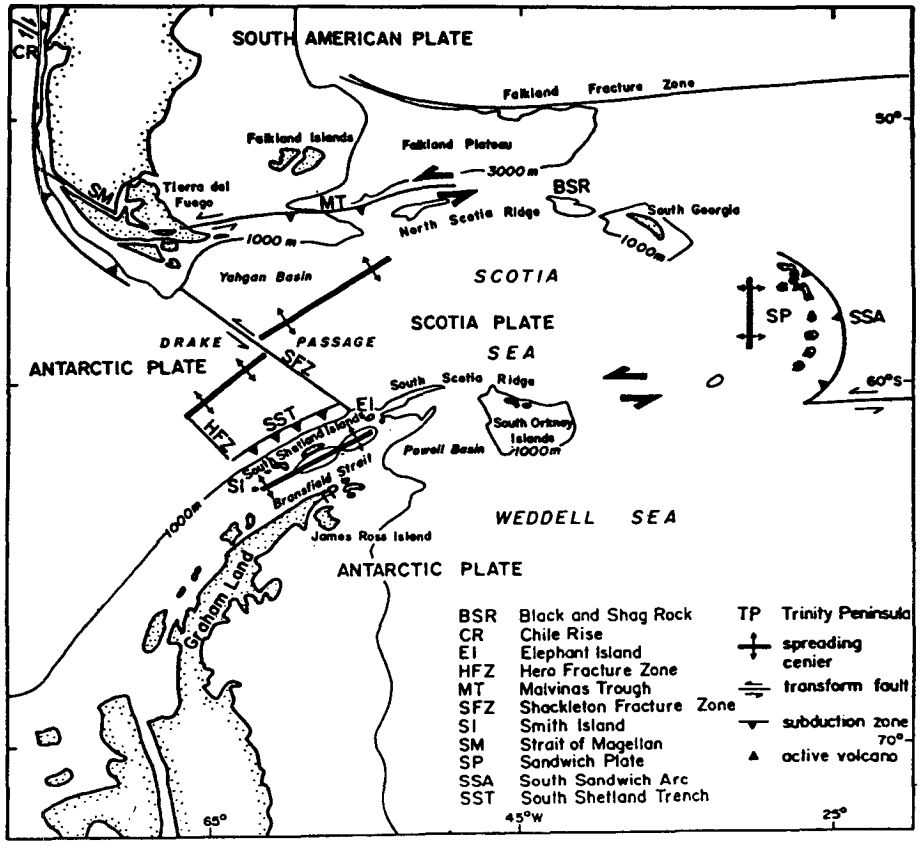

Fig. 20. Geologic structures of Scotia Sea including southern part of South America and northern Antarctic Peninsula (Dalziel, 1983).

과로 형성되었다. 신생대에는 남미대륙과 남 셰틀랜드군도(South Shetland Islands) 사이에 드레이크 해협(Drake Passage)이 열리고, 남 샌드위치 호상열도(South Sandwich Island Arc)가 형성되고, 남북 스코티아 능선(Scotia Ridge)을 따라 수평 단층이 형성되었다(Herron and Tucholke, 1976 ; Dalziel, 1983). 또한 남미대륙의 남부, 남 셰틀랜드군도, 트리니티 반도(Trinity Peninsula), 남 오크니 군도(South Orkney Islands), 남 조지아섬(South Georgia Island)에 화산활동이 활발하였다(e. g. Watt et al., 1984 ; Smellie, 1981, 1987 ; Baker et al., 1975 ;

Thomson et al., 1983).

안데스 산맥의 남부에서 산출되는 암석들은 스코티아해에 위치한 섬들과 남극반도에 노출된 암석과 매우 유사하므로 안데스 산맥 남부는 원래 남극반도와 연결되어 있었을 것으로 생각되며, 동시에 이 지역은 고생대 말기부터 신생대에 걸쳐 오랜동안 태평양에 면한 대륙 연변부를 구성하고 있었던 것으로 해석된다(Dalziel, 1982). 특히 고생대 말기부터 트라이아스기 동안은 곤드와나랜드의 활동성 연변부를 구성하고 있었으며, 쥬라기 중기 이후 신생대 중기 까지, 즉 곤드와나랜드가 분리되는 기간 중에는 다시 태평양판이 섭입(subduction)하는 활동성 연변부에 위치하여 칼크 알칼리 화성암이 이 지역에 분포한다(Elliot, 1983). 이와같은 두번의 지각운동에 수반된 암석들은 남극반도 북부와 알렉산더 섬(Alexander Island)에서 부정합으로 양분되나 기타 지역에서는 연속적인 활동으로 그 경계가 불분명하다. Elliot(1983)는 그 이유를 두번에 걸친 판의 침강작용이 거의 연속적으로 일어나 침강작용과 관련된 화성암체 사이에 명확한 경계 구분이 불가능하다고 하였다. 따라서 쥬라기 이전에 생성된 암층이 이 지역의 기저를 이루고 있으며, 그 상부에서는 안데스 조산운동(Andean Orogeny)과 연관된 화산암류가 놓여있으며, 그 사이에는 트라이아스기 말부터 쥬라기초에 이르는 곤드와나 조산운동(Gondwanian Orageny)이 있었다.

가. 지질 개요

1) 쥬라기 전기의 기반암

스코티아해 일대의 기저는 선캠브리아기 부터 고생대 초기에 생성된 것으로 간주되는 변성퇴적암 및 화성암류의 편암과 편마암이 주이고, 석탄기 -트라이아스기에 생성된 그레이와케- 세일층도 산출된다(Thomson, 1975). 남 오크니군도에서 산출된 편암의 Rb-Sr 절대연령 측정치가 286 Ma(Rex, 1976)인 것으로

보아 적어도 고생대 말에 변성작용이 이루어진 것으로 해석된다. 그 외에 남 셰틀랜드군도와 남오크니군도의 기반암에서 고온 저압형의 각섬암상과 저온 고압형의 청색편암상(blueschist facies)이 관찰되는 것으로 보아 이 지역은 쥬라기 이전에 섬입 작용이 있었다고 생각된다. 스코티아해 일대의 쥬라기 전기의 기반암과 대비될 수 있는 층은 남위 50° 근처 칠레 연변부에 위치한 Madre de Dios 분지 폐름기 퇴적암이며, 이는 남극반도 북부에서 산출되는 트리니티 반도 층군의 그레이와케-셰일층과 대비된다. 이 층군은 남극반도의 골격을 형성하며, 여기에 대비될 수 있는 암석들이 남 셰틀랜드군도와 남 오크니군도에서도 발견된다. 이러한 퇴적암류는 남아프리카의 Cape 습곡대, 아르헨티나의 Sierra de la Ventana, 남극대륙의 Ellsworth와 Pensacola 산맥 등으로 연결되는 중생대 초기의 곤드와나 습곡대(Gondwanide foldbelt)의 일부를 구성하고 있다. 이 퇴적암층에는 석영질 쇄설물이 다량 포함되어 있으며, 빙하기원으로 추정되는 자갈을 함유한 이암이 포함되어 있고, 특히 화산쇄설물이 없는 것이 특징이다. 곤드와나 습곡대의 고생대 말기 퇴적암은 곤드와나랜드의 태평양 연변부에서 퇴적되었으며, 그 후 심한 변형작용을 받은 것으로 생각된다(Dalziel, 1976)

2) 쥬라기 이후의 화성암류

스코티아해 일대는 주라기 중기 이후 신생대 중기까지 활동성 연변부에 위치하여 태평양 판의 섬입으로 많은 양의 칼크 알칼리성 화산암과 관입암이 형성되었다. 쥬라기 이후의 암석은 쥬라기 이전의 기반암 위에 부정합적으로 놓여있으며, 이 부정합면은 곤드와나 조산운동을 지시한다. 곤드와나 조산운동의 정확한 지질 연대는 불확실하나 절대연령 측정(Miller, 1960)에 의하면 트라이아스 말기 또는 쥬라기 초기일 것으로 추정된다. 부정합면의 바로 상부에는 산성 화산암이 남미대륙의 동부, 남아프리카, 남극반도 일대에서 산출되며, 이는 곤드와나 대륙의

분리와 연관된 지각 확장작용의 결과로 해석된다. 이러한 지각 확작작용은 태평양에 연한 남미와 남극반도 지역에서의 태평양판의 섭입과 수반된 대륙 연변분지의 확장작용 등으로 매우 복잡한 양상을 보여준다. 그 후 쥬라기 말부터 백악기 초까지 계속된 태평양판의 섭입으로 칼크 알칼리류의 화강섬록암이 남미대륙 남부 남극반도, 남 세틀랜드군도 등지에 생성되었다. 백악기 중기부터 말기까지는 심한 변형과 지각 상승 작용을 수반한 안데스 변혁기이나, 스코티아해 남쪽에서는 변형이 심하지 않았다(Thomson et al., 1983). 스코티아해 일대에는 중생대에 태평양판의 섭입으로 안데스 관입암류로 불리는 화강섬록암이 형성되었으며, 남 세틀랜드군도에 광범위하게 산출되는 신생대 칼크 알칼리성 화산암은 섭입이 신생대에도 계속되었거나 혹은 재개되었음을 의미한다. 남극 반도에서의 중생대 화산 활동은 남쪽 지역에서 일찍 중단되었고, 남 세틀랜드 군도 일대에는 신생대 초 이후의 화산활동만이 있었다. 신생대 말기에는 남 세틀랜드군도가 남극반도로 부터 분리되면서 브란스필드 해협이 형성되었고, 알칼리 화산암이 주로 형성되었다(Parra, 1983). 드레이크해협은 중생대 중기에 북동방향을 갖는 해저 확장 중심으로 부터 생성되었고, 신생대 제3기 동안에도 확장작용이 활발하여 남 세틀랜드군도 북부의 해구 부근에 칼크 알칼리 화산암이 다량 분출되었다.

따라서 신생대 화산활동은 크게 두 시기로 나뉘어진다. 이오세에서 마이오세까지는 침강작용과 연관된 칼크 알칼리 성분의 화산활동이 남세틀랜드군도, 남극 반도 서부와 브란스필드 해협의 남서부, 파머군도에서 활발하였다. 그 후 플라이오세 이후에는 Deception, Penguin, Bridgeman 섬들로 연결되는 지각 확장 축에 따라 알칼리성 화산활동이 있었다(Ferran, 1982). 플라이오세 이후의 화산활동은 지각 확장작용의 결과이며, 이는 섭입의 중단과 연관이 있는 것으로 추정된다. 특히 Deception 섬에서는 1967, 1970년 화산 폭발작용이 관찰되었으며, 현무암에서

유문암류에 이르는 장기 분화 작용이 관찰되었다(Baker et al., 1975). Schultz (1976)에 의하면, Deception 섬의 화산암은 알칼리 계열보다는 상부 맨틀 기원의 마그마에 의한 토레이아이트 계열의 암석이며, Penguin 섬은 주로 아알칼리(sub-alkali)계열인 감람석 현무암으로 구성된다.

나. 지체구조

스코티아해는 드레이크 해협, 브란스필드 해협과 동쪽의 남 샌드위치 호상열도(South Sandwich Island Arc), 남 죠오지아 섬, 남 오크니군도, 남북 스코티아 능선과 함께 스코티아 판을 구성한다. 스코티아 판의 동부는 서쪽으로 경사진 남 샌드위치 해구에 면해있고, 서부에는 수개의 변환단층과 남 셰틀랜드 군도 북서부에 작은 해구가 존재한다. 현재 남 샌드위치 해구에서는 신생대 3기까지 섬입이 발생하였다(Herron and Tucholke, 1976).

지진파 분석에 의한 서남극의 지각두께는 약 25-30㎞이고(Elliot, 1975), 남극반도는 15-25㎞의 지각두께를 갖는다(Barker and Griffiths, 1977). 빙하 하부의 지형은 심한 기복을 보여주며, 서남극은 몇개의 작은 판으로 구성된다고 추정된다 (Fig. 21). 중생대와 신생대에 걸친 곤드와나랜드의 분리와 관련된 지각 확장작용 및 작은 판들의 상호이동으로 인하여, 이 지역의 정확한 고지형을 추정하기는 매우 어렵다(Dalziel and Dlliot, 1982). Norton and Sclator(1979)은 현 대륙의 형태를 기초로 곤드와나랜드를 복원하였다(Fig. 22). 이 모델에서 아프리카 대륙과 동남극 대륙의 위치는 매우 신빙성이 있으나, 남미대륙 중 포클랜드 대지(Falkland Platean)와 남극반도가 중복된다. 남극반도는 전술한 바와 같이 고생대 말기부터 곤드와나 거대륙의 태평양 연변부에 위치하고 있었으므로 복원시 반드시 포함되어야 하며, 중복현상을 설명하기 위해서는 남극반도 판이 이동되어야 한다. 이 남극반도 판의 이동을 기초로 두가지의 곤드와나 복원 모델을 생각할 수 있다(Fig 23).

Fig. 21. Geomorphic map under the Glaciers in West Antarctica (Dalziel and Elliot, 1982).

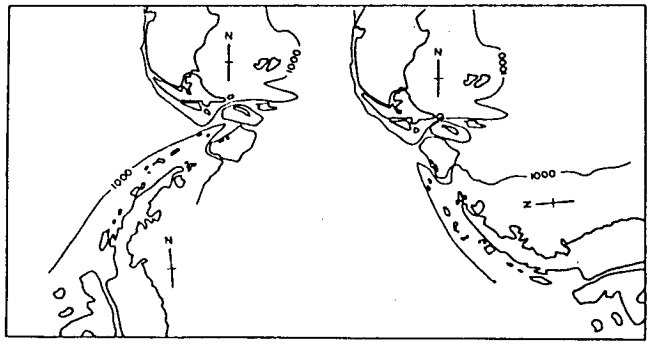

Fig. 22. Left: "Cuspate" model of South America - Antarctic Peninsula relation: Right: "Overlapping" model of South America - Antarctic Peninsula relations (Dalziel, 1983).

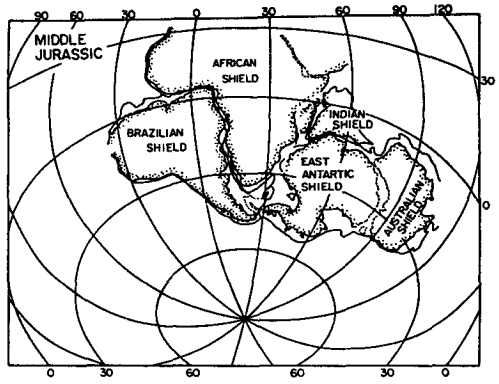

Fig. 23. Gondwanaland during middle jurassic (Norton and Sclator, 1979).

첫째는 '아아치형' 모델로서 이는 현 알류시안 열도(Aleution Arcs)에서 볼 수 있는 구조로서, 드레이크 해협의 해양지각을 제거한 경우이다. 둘째는 남미-남극반도 연결 모델로서 남극반도가 시계 반대방향으로 90° 회전한 경우이며, 이는 남 죠지아, 남오크니군도 등이 직접 대륙 연변부에 위치할 수 있으므로 지질학적으로 해석이 용이하다(Dalziel, 1983). 이러한 소규모 판의 이동은 Ellsworth Land의 예를 보더라도 충분히 가능하다. Ellsworth Land는 원래 남극횡단산맥의 일부이나 중생대 기간 중 회전운동을 수반한 지각운동의 영향을 받아 현재의 위치로 이동하였다고 생각된다(Fig. 22).

남미대륙 남단부터 스코티아해를 거쳐 남극반도에 이르는 지역은, 고생대말에서 신생대에 걸쳐 태평양에 면한 활동성 연변부를 구성하고 있었기 때문에, 판의 섭입과 연관돼 나타나는 독특한 구조를 보여준다. 남미대륙 남단의 대륙연변부를 따라 분포하는 칼크 알칼리성 화산암대의 배후에는 배호상 분지가 발달하며, 해저확장과 관련된 염기성 화성암이 분포한다. 남극반도 연변부에는 이러한 분지의 존재가 확인되지 않으나, 최근 웨델해의 북서부 대륙연변부에 5-6㎞의 퇴적층후를 갖는 라센(Larsen)분지가 확인되었으며, 이는 배호상 분지로 해석된다(McDonald

et al., 1988). 웨델해의 해저 자기 이상 자료에 의하면 해저층이 165Ma의 절대 연령치를 보여주며(LaBrecque and Barker, 1981), 이는 웨델해가 배호상 분지라기 보다는 곤드와나 거대륙의 분리와 연관된 해저 확장작용의 결과일 가능성을 지시한다.

남극반도 및 셰틀랜드 군도에 산출되는 안데스 관입암체인 화강섬록암은 스코티아해에서 중생대에 섬입 작용이 있었음을 지시하며, 신생대까지 계속되었음을 의미한다. 신생대에는 주로 수평 단층운동이 일어나 비글 해협(Beagle Channel) 및 마젤란 해협(Magellan Straits)이 형성되었으며, 이러한 단층은 변환단층일 가능성이 크다. 남미 남단의 수평 단층 운동은 불과 수 ㎞에 한정되나, 남조지아 대지는 약 1,500㎞ 가량 동쪽으로 수평 이동되었다. 이 단층운동은 현재 비활동적이다. 스코티아해 동쪽에는 현재 활동적인 남 샌드위치 해구가 존재하며, 그 동쪽에는 호상열도와 남북 방향의 확장중심이 존재한다. 남 샌드위치 해령에서는 지진 활동이 거의 관측되지 않아 현재 활발한 확장작용은 없을 것으로 추정되나, 최근 8Ma 동안 활동한 바 있다(Barkar, 1972). 남 샌드위치 군도에서 가장 오래된 암석의 절대연령은 4Ma이며, 배호상 분지에서는 타 분지에서 볼 수 없는 명확한 해저자기 이상을 보여준다.

스코티아해 서부에 위치한 드레이크 해협은 마이오세에 시작된 해저 확장으로 남미대륙과 남극반도가 분리되며 생성되었다(Fig. 24). 신생대의 빠른 확장 작용은 남 셰틀랜드 군도 북부에 위치한 해구에서의 섬입과 연관된다(Thomson et al., 1983). 남 셰틀랜드 해구에서의 침강작용은 현재 중단되었으나, 드레이크 해협의 해저 확장작용은 느린 속도로 계속되고 있다. 남 셰틀랜드 해구와 연관된 화산활동은 킹죠지섬의 필데스반도(Fildes Peninsula)에 산출되는 화산 쇄설물에서 보는 바와 같이 이오세, 올리고세에 중단되었다. 드레이크 해협의 열림은 남빙양 해류

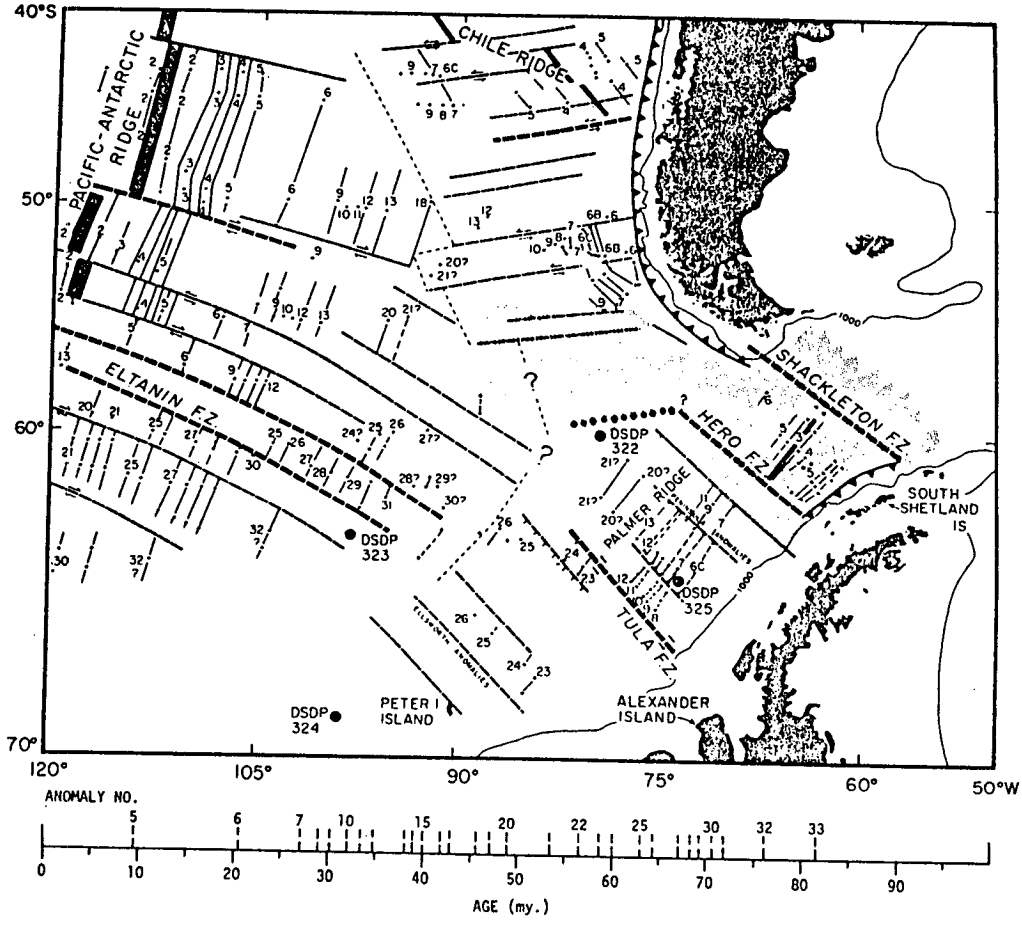

Fig. 24. DSDP Leg 35 drill sites, magnetic anomalies, and principal features in the Southeast Pacific Basin (Herron and Tucholke, 1976).

의 이동과 기상에 큰 영향을 미쳤으며, 남극 빙하의 생성과도 밀접한 관계가 있다 (Kennett, 1977). 남극대륙은 중생대 중기 이후부터 약 1억년동안 현재의 위도에 위치하였으나, 남극빙하는 훨씬 뒤인 신생대 중기부터 생성되었다. 신생대 이오세 기간에 호주대륙이 남극대륙으로 부터 분리되어 태평양과 인도양을 연결하는 해류가 형성되면서 남극대륙 부근에는 해빙이 형성되기 시작하였다. 그후 광범위한 빙하형성은 마이오세에 이루어졌다. 이는 드레이크 해협이 열리면서, 남극환류

(Circum－Antarctic Current)가 형성되어 저위도로 부터 내려오는 난류를 효과적으로 차단하여 해수에 의한 열전달이 이루어지지 않았기 때문이다. 이러한 초기의 대륙빙하 생성은 태양열의 반사율(Albedo)를 증가시켰고, 해빙의 생성은 해양과 대기의 열교류를 차단하여 남극빙하는 급격히 팽창하였다.

스코티아해의 지각 확장작용은 신생대 중기 이후에 시작되었으며, 특히 남 세틀랜드 해구에서의 섬입이 끝난 후 더욱 활발해져 브란스필드 해협이 생성되었다. 브란스필드 해협의 생성으로 남 세틀랜드 군도는 남극반도로 부터 분리되어 북서쪽으로 약 65㎞이동 되었으며, 남 오크니군도는 북동쪽으로 이동하여 포웰 분지(Powell Basin)가 생성되었다(Fig. 20).

이상과 같은 지각운동은 마이오세 말기에 시작되어 플아이오세에 가장 활발했을 것으로 추정된다. 이 지역의 항공자력 측정자료(Parra et al., 1984)에 의하면 남동－북서방향으로 발달한 몇개의 약대가 존재하며, 신생대 중기 이후의 알칼리성 화산활동은 이 약대에 위치한 제임스 로스섬(James Ross Island)과 그 밖의 지각 확장지역의 섬들에 집중되어 있다. 마이오세 이후 현재까지의 알칼리성 화산활동은 남미대륙 남단, 스코티아해, 남극반도, Marie Byrd Land, Northern Victoria Land, Balleny Islands와 뉴질랜드로 이어지는 알칼리 화산대의 일부를 이루고 있다. 이 화산대는 백악기 중부 곤드와나 거대륙 분리 초기에 존재했던 거대한 변환단층대(Elliot, 1972)를 따라 신생대 말기 지각 확장작용과 연관된 화산암이 분출한 것으로 추정된다.

제 Ⅲ 장

결 론

Ⅲ. 결 론

남극대륙은 종합적인 과학 연구의 대상으로서 각 기초 과학 분야간의 이해를 넓히고 새로운 과학 발전을 위한 돌파구로서 활용될 수 있다. 우리나라의 남극 진출은 1988년 2월 King George섬에 세종 과학 기지를 세움으로서 본격화되었다. 향후 5년 간의 연구 사업 계획이 수립되어, 우선 기지 주변의 자연 환경에 대한 기초 조사가 수행되었다. 특히 남극 지질 및 지구 물리 탐사를 위해서는 과거 40년 이상의 연구 역사를 지닌 기존 남극 연구 국가의 기존 자료를 충분히 조사하여야 한다. 이러한 목적으로 본 연구가 수행되었다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

남극 대륙은 2억 2천만년 전에 존재하였던 초대륙 Pagaea가 둘로 분리되어 생성된 곤드와나랜드의 중앙부에 위치하였다. 이후 계속된, 대륙의 분열로 남미와 아프리카가 분리되었고, 인도 호주가 최후로 분리되었다. 약 2,500만년 전에 남극반도와 남미가 분리된 후 남극은 열적으로 지구 상에서 고립되었다. 남극 순환해류가 형성되었고, 대륙 빙하가 형성되어 현재에 이르렀다. 남극 대륙은 지질 및 지구조에 따라 동남극, 남극횡단산맥, 서남극 및 스코티아 해로 나뉘어진다.

동남극은 전형적인 대륙 순상지로 주로 시생대의 육괴와 원생대 변성암으로 구성된다. 가장 오래된 암석은 Enderby Land의 Napier Complex로 약 30억년 전에 생성된 편마암으로 구성된다. 동남극은 25억년 전에 심한 변성 및 지구조 활동을 받은 이후 큰 변동 없이 현재까지 유지되었다.

남극횡단산맥은 선캠브리아 후기 및 하부 고생대 퇴적암으로 구성되며, 하부의 기반암과 상부의 곤드와나층으로 구분된다. 기반암은 변형 및 변성된 원생대 및 고생대의 퇴적암과 화산암으로 구성되며, 곤드와나층은 데본기-트라이아스기의 Beacon거층군과 주라기의 Ferrar 관입암 층으로 구성된다. 횡단 산맥은 제3기

초에 융기되어 현재의 모습을 이루었다.

서남극은 신생대의 심한 지각 운동 및 화산 활동으로 그 지사가 분명히 규명되지 못하였으나, 현생 이언 동안에 형성된 것으로 생각된다. 최고기의 암석은 고생대의 화성 관입암과 변성암 복합체이며, 서남극의 기반암을 이룬다. 고생대 및 중생대의 퇴적암과 화산암이 비교적 넓게 분포하며, 습곡 및 변성된 것이 특징이다. 중생대와 신생대 초에 서남극 전역에 걸쳐 화산암이 관입되었다. 남극 반도와 그 서부의 신생대 후기의 화산암과 퇴적암은 큰 변형을 받지 않고 현재에 이르렀다. 서남극의 해안 지역에서는 제3기 중기에 시작된 화산 활동이 현재까지 계속된다.

스코티아해는 고생대 말 부터 트라이아스기까지 그리고 주라기 중기부터 신생대 중기까지 태평양에 면한 곤드와나 거대륙의 활동성 연변부에 위치하였다. 따라서 이 지역에는 태평양판의 침강 작용과 연관된 중생대, 신생대 초에 분출한 칼크 알칼리성 화산암이 광범위하게 분포한다. 또한 침강 작용과 연관된 배호상 분지가 남미 대륙 남단 및 웨델해 지역에 발달되어 있다. 신생대 중기 이후에는 태평양판의 침강이 끝남과 동시에 활발한 지각 확장 작용이 일어나 드레이크 해협, 브란스필드 해협 등이 열리고, 이에 수반된 알칼리성 화산암이 다량 분출하였다. 특히 드레이크 해협의 열림은 남극 빙하의 생성과 직접적으로 관계된다. 남 세트란드 군도는 브란스필드 해협의 열림 작용으로 인하여 남극 반도로 부터 분리되어 북서쪽으로 이동하였다. 이 시기에는 남북 스코티아 능선을 따라 대규모적인 수평 단층 운동이 일어났으며, 스코티아해 동부에는 남샌드위치 해구가 생성되었다. 스코티아해 일대의 신생대 말기 화산암은 중생대 변환 단층대를 따라 분출한 것으로 추정되는 남미 대륙에서 뉴질랜드까지 발달한 알칼리 화산대의 일부를 구성하고 있다.

참 고 문 헌

References

Adams, C. J. D., Gabites, J. E., Wodzicki, A., Laird, M. G., and Bradshaw, J. D., 1982, Potassium−Argon Geochronology of the Precambrian−Cambrian Wilson and Robertson Bay Groups and Bowers Supergroup, Northern Victoria Land, Antarctica, Antarctic Geoscience, edited by Campbell Craddock, The University of Wisconsin Press, p. 543−548.

Adams, C. J. D., Gabites, J. E., and Grindley, G. W., 1982, Orogenic History of the Central Transantarctic Mountains : New K−Ar Age Data on the Precambrian−Lower Paleozoic Basement, Antarctic Geoscience, edited by C. Craddock, The University of Wisconsin Press, p. 817−826.

Baker, P. E., McReath, I., Harvey, M. R., Roobol, M. J., and Davies, T. G., 1975, The geology of the South Shetland Island : V. Volcanic evolution of Deception Island, British Antarctic Survey Science Reports, vol. 78, Natural Environmental Council, 81p.

Barker, P. F., 1972, A Spreading center in the East Scotia Sea, Earth and planetary Sci. Letters, 15, 123−132.

Barker, P. F., and Griffiths, D. H., 1977, Towards a more certain reconstruction of Gondwanaland, Phill. Trans. R. Soc. Lond., B279, 143−159.

Barton Jr., Y. M. and Copperthwaite, Y. E., 1983, Sr−Isotopic Studies of some intrusive rocks in the Ahlmann Ridge and Annandagstoppane, Western Queen Maud land, Antarctica, Antarctic Earth Science, edited by R. L. Oliver, P. R. James, and J. B. Jago, Australian Academy of Science, Canberra, p. 59−62.

Black, L. P. and James, P. R., 1979, Preliminary isotopic ages from Enderby Land, Antarctica, Geol. Soc. Aust. J., 26, 266−267.

Black, L. P. and James, P. R., 1983, Geological History of the Archaean Napier Complex of Enderby Land, Antarctic Earth Science, p. 11−15.

Black, L. P. and McCulloch, M. T., 1987, Evidence for isotopic equilibration of Sm−Nd whole−rock systems in early Archaean crust of Enderby Land, Antarctica, Earth and Planetary Science Letter, 82, 15−24.

Bradshaw, J. D., Andrews, P. B., and Field, B. D., 1983, Swanson Formation and related rocks of Marie Byrd Land and a comparision with the Robertson Bay Group of Northern Victoria Land, Antarctic Earth Sciecne, edited by R. L. Oliver, P. R. James, and J. B. Jago, Australian Academy of Science, Canberra, p. 274−279.

Bradshaw, J. D., Laird, M. G., and Wodzicki, A., 1982, Structural Style and Tectonic History in Northern Victoria Land, Antarctic Geoscience, Edited by Campbell Craddock, The University of Wisconsin Press, p. 809−816.

Charkson, P. D., 1972, Geology of the Shackleton Range : a preliminary report, Bull. Br. Antarc. Surv., No. 31.

Clifford, T. N., 1974, Review of African granulites and related rocks, Spec. Pap. geol. Soc. Am., 156, 49pp.

Collerson, K. D., Reid, E., Millar, D., and McCulloch, M. T., 1983, Lithological and Sr−Nd Isotopic Relationships in the Vestfold Block : Implications for Archaean and Proterozoic Crustal Evolution in the East Antarctica, Antarctic Earth Science. p. 77−84.

Craddock, C., 1972a, Geologic Map of Antarctica 1 : 5,000,000, New York, American Geophysical Society.

Craddock, C., 1972b, Antarctic Tectonics, Antarctic Geology and Geophysics, edited by Adie, R. J., Oslo, Universitetsforlaget. p. 449－455.

Craddock, C., 1982, Antarctica and Gondwanaland, Antarctic Geoscience, edited by Campbell Craddock, The University of Wisconsin Press. p. 3－13.

Craddock, C., 1983, The East Antarctica－West Antarctica boundary between the ice shelves : A Review, Antarctic Earth Science, edited R. L. Oliver, P. R. James, and J. B. Jago, Australian Academy of Science, Canberra. p. 94－97.

Crowder, D. F., and Hamilton, W., 1967, Geology of Northeastern Victoria Land, Antarctica－Abstract, Japanese Antarctic Research expedition Science Reports Special Issue No. 1, Proceedings of the symposium of Pacific－Antarctic Sciences, edited by Takesi Nugata, the National Science Museum, Ueno Park, Tokyo, Japan.

Dalziel, I. W. D., 1976, Evolution of the margins of the Scotia Sea. In : Burke, C. A. and Drake, C. L. (Ed.) The Geology of the Continental Margins, Springer－Verlag, New York, 567－580.

Dalziel, I. W. D., 1983, The evolution of the Scotia Arc : a review. In : R. L., James, P. R., and Jago. J. B. (Ed.) Antarctic Earth Science, Australian Academy of Science, Canberra, 283－288.

Dalziel, I. W. D. and Elliot, D. H., 1982, West Antarctica : problem child of Gondwanaland, Tectonics, 1.1, 3－19.

Eastin, R., Faure, G., Shultz, C. H., and Schmidt, D. L., 1969, Rb−Sr ages of the Littlewood Volcanics and of the acid volcanic rocks of the Neptune Range, Pensacola Mountains, Antarctica, Abstr., geol. Soc. Am., Pt. 6, 13.

Elliot, D. H., 1975, Tectonics of Antarctica : a review, Am. J. Science, 275−A, 45−106.

Elliot, D. H., 1972, Aspects of Antarctic geology and drift reconstruction. In : Adie. (Ed.) Antarctic Geology and Geophysics, Universitetsforlaget, Oslo, Norway, 849−858.

Elliot, D. H. 1983, The mid−Mesozoic to mid−Cenozoic active plate margin of the Antarctic Peninsula. In : Oliver, R. L., James. P. R., and Jago, J. B. (Ed.) Antarctic Earth Science, Australian Academy of Science, Canberra, 347−351.

Ellis, D. J., Offe, L. O., Tingey, R. J. and Ellis, D. J., 1980, Enderby Land, Antarctic−An unusual precambrian high grade metamorphic terrain, Geol. Soc. Aust. J.

Faure, G., Murtaugh, J. G., and Montigny, R. J. E., 1986, The geology and geochronology of the basement complex of the central Transantarctic Mountains, Can. J. Earth Scis. 5, No. 3, p. 2.

Fedorov, L. V., 1982, Geologic Structure of the Prince Charles Mountains, East Antarctica, Antarctic Geoscience, edited by Campbell Craddock, The University of Wisconsin Press. p. 521.

Ferran, G. O., 1982, The Antarctic Cenozoic volcanic provinces and their implications in plate tectonic processes. In : Craddock, C. (Ed.) Antarctic

Geosciences, The Univ. of Wisconsin Press, Madison, 687－694.

Grew, E. S., 1978, Precambrian basement at Molodezhnyna Station, East Antarctica, Geol. Soc. Am. Bull., 89, 801－813.

Grew, E. S., 1982, Geology of the Southern Prince Charles Mountains, East Antarctica, Antarctic Geoscience, edited by Campbell Craddock, The University of Wisconsin Press. p. 473－478.

Gunn, B. M. and Warrem, G., 1962, Geology of Victoria Land Between the Mawson and Mulock Glaciers, Antarctica, Bull. Geol. Surv. N. Z., No. 71.

Halpein, M., 1970, Rubidium－strontium date of possibly 3 billion years for a granitic rock from Antarctica, Science, 164, No. 3949.

Herron, E. M., and Tucholke, B. E., 1976, Sea－floor magnetic patterns and basement structure in the Southeastern Pacific, in Initial Report of the Deep Sea Drilling Project, vol. 35, 263－278, Washington.

Hofmann, J., 1982, Main Tectonic Features and Development of the Southern Prince Charles Mountains, East Antarctica, Antarctic Geoscience, edited by Campbell Craddock, The University of Wisconsin Press. p. 479－487.

James, P. R. and Black, L. P., 1981, A review of the structural evolution and geochronology of the Archaean Napier Camplex of Enderby Land, Australian Antarctic Territory, Geol. Soc. Aust. Spe. Pub., 7, 71－83.

James, P. R. and R. J. Tingey, 1983, The Precambrian geological evolution of the East Antarctic metamorphic shield－A review, Antarctic Earth Science, edited by R. L. Oliver, P. R. James, and J. B. Jago, Australian Academy of Science, Canberra. p. 5－10.

Kamenev, E. N., 1977, Some regularities of facies distribution of regional metamorphism in Antarctica, Antarktika, Doklady Komissii, 16, 100－120.

Kamenev, E. N., 1982, Antarctica's Oldest Metamorphic Rocks in the Fyfe Hills, Enderby Land, Antarctic Geoscience, edited by Campbell Craddock, The University of Wisconsin Press. p. 505－510.

Kamenev, E. V., 1982, Regional Metamorphism in Antarctica, Antarctic Geoscience, edited by Campbell Craddock, The University of Wisconsin Press. p. 429－433.

Kennett, J. P., 1977, Cenozoic evolution of Antarctic glaciation, the circum－Antarctic Ocean, and their impact on global paleoceanography, J. Geophys. Res., 82, 3843－3860.

Klimov, L. V., Ravich, M. G. and Soloviev, D. S., 1963, Geology of the Antarctic Platform, edited by Raymond J. Adie, North－Holland Publishing Company－Amsterdam.

Kossygin, A. Jr., Basarin, A. K., Berzin, N. A., and Barchatov, B. P., 1974, Tectonic Map of Continents 1 : 15,000,000, Moscow, Izdatel'stvo Nauka.

Kroner, A., 1977, The Precambrian geotectonic evolution of Africa : plate accretion versus plate destruction. Precamba. Res., 4, No. 2.

LaBrecque, J. L., and Barker, P., 1981, The age of the Weddell Basin, Nature, 290.9, 489－492.

Laird, M. G., 1963, Geomorphology and Stratigraphy of Nimrod Glacier－Beaumont Bay regin, southern Victoria Land, Antarctica, N. Z. J. Geol. Geophysics, 6, No. 3, 465－484.

Laird, M. G. and Bradshaw, J. D., 1982, Uppermost Proterozoic and Lower Paleozoic Geology of the Transantarctic Mountains－Review Paper, Antarctic Geoscience, edited by Campbell Craddock, The University of Wisconsin Press. p. 525－533.

McDonald, D. I., Barker, P. F., Garrett, S. W., Ineson, J. R., Pirrie, D., Storey, B. C., Whitham, A. G., Kinghorn, R. R. F., and Marshall, J. E. A., 1988, A preliminary assessment of the hydrocarbon potential of the Larsen Basin, Antarctica, Marine and Petroleum Geol., 5, 34－53.

Miller, J. A., 1960, Potassium－argon ages of some rocks from the South Atlantic, Nature, 187, 1019－1020.

Norton, I. O., and Sclator, J. G., 1979, A model for the evolution of the Indian Ocean and the breakup of Gondwanaland, J. Geophys. Res., 84, 6803－6830.

Oliver, R. L., Cooper, J. A., and Truelove, A. J., 1983, Petrology and Zircon Geochromology of Herrig Island and Commonwealth Bay and Evidence for Gondwana Reconstruction, Antarctic Earth Science. 64－68.

Oliver, R. L., James, P. R., Collerson, K. D. and Ryan, A. B., 1982, Procambrian geologic relationships in the Vestfold Hills, Antarctica, Antarctic Geoscience. 435－444.

Palmer, A. R. and Gutehouse, C. G., 1972, Early and Middle Cambrian trilovites from Antarctica. Prof. Pap., U.S. geol. Surv., 456－D.

Parra, J. C., Ferran, G. O. and Bannister, J. P., 1984, Aeromagnetic survey over the South Shetland Islands, Bransfield strait, and part of the Antarc-

tic Peninsula, Revista Geologica de Chile, 23, 3−20.

Ravich, M. G., 1960, Precambrian of East Antarctica, Sborn. Strat. Korrel. Dokembriya (Problema IX), Moscow, Academy of Science.

Ravich, R. G., 1972, Regional Metamorphism of the Antarctic platform crystalline basement, Antarctic Geology and Geophysics, edited by Adie, R. J., Oslo, Universitetsforlaget. 505−515.

Ravich, M. G., 1982, The Lower Precambrian of Antarctica−Review Paper, Antarctic Geoscience, edited by Campbell Craddock, The University of Wisconsin Press. 421−427.

Ravich, M. G. and Grikurov, G. E., 1976, Geological Map of Antarctica 1 : 5,000,000, Leningrad, Kartfabrika ob'edineniia Aereogeologiia.

Rex, D. C., 1972, K−Ar age determinations on volcanic and associated rocks from the Antarctic Peninsula and Dronning Maud Land, Antarctic Geology and Geophysics edited by Adie, R. J., Oslo, Universitetsforlaget.

Rex, D. C., 1976, Geochronology in relation to stratigraphy of the Antarctic Peninsula, Bull. Br. Antarc. Surv., 43, 49−58.

Rowley, P. D., Vennum, W. R., Kellogg, K. S., Laudon, T. S., Carrara, P. E., Boyles, J. M., and Thompson, M. R. A., 1983, Geology and Plate Tectonic Setting of the Orville Coast and eastern Ellsworth Land, Antarctica, Antarctic Earth Science, edited by R. L. Oliver, P. r. James, and J. B. Jago, Australian Academy of Science, Canberra. 245−250.

Schmidt, D. L. and Ford, A. B., 1969, Geology of the Pensacola and Thiel Mountains (Sheet 4), Geologic Maps of Antarctica edited by Bushnell, V.

C., and Craddock, C., Antarct. Map Folio Ser., Folio 12, Pl. V.

Schopf, J. M., 1969, Ellsworth Mountains : position in the West Antarctica due to sea floor spreading, Science, 164.

Schultz, C. H., 1976, Petrology and petrochemistry of Deception Island, Antarctica. In : Ferran, G. O. (Ed.) Andean and Antarctic Volcanology Problems, International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior, Rome, 498－517.

Smellie, J. L., 1981, A complete arc－trench system recognized in Gondwana sequences of the Antarctic Peninsula region, Geol. Mag., 118., 139－159.

Smellie, J. L., 1987, Geochemistry and tectonic setting of alkaline volcanic rocks in the Antractic Peninsula : a review, J. Volcanol. and Geotherm. Res. 32, 269－285.

Sobotovich, E. V., Kamenev, E. N., Komaristy, A. A., and Rudnik, V. A., 1974, The oldest rocks of Antarctica (Enderby Land), Izv. Akad. Nauls SSSR, Ser. Geol., No. 11. (English translation : Int. Geol. Rev., 18. No. 4.

Thompson, M. R. A., 1972, Inarticulate Brachiopoda from the Shackleton Range and their stratigraphical significance, Bull. Br. Antarc. Surv., No. 31.

Thompson, M. R. A., 1975, New paleontological and lithological observations on the Legoupil Formation, north－west Antarctic Peninsula, Bull. Br. Antarc. Surv, 41/42, 169－85.

Thompson, M. R. A., Pankhurst, R. J., and Clarkson, P. D., 1983, The Antarctic Peninsula－a late Mesozoic－Cenozoic are (review). In : Oliver, R. L., James. P. R., and Jago, J. B. (Ed.) Antarctic Earth Science, Australian

Academy of Science, Canberra, 289－294.

Tingey, R. J., 1982, The Geologic Evolution of the Prime Charles Mountains－An Antarctic Archean Cratonic Block, Antarctic Geoscience, edited by Campbell Craddock, The University of Wisconsin Press. 455－464.

Trail, D. S. and McLeod, I. R., 1969, Geology of Lambert Glacier Region. Sheet 12 Lambert Glacier Region, Geologic Maps of Antarctica, edited by Bushnell, V. C. and Craddock, C., Antractic Map Folio Ser., Folio 12, Pl. XI

Watt, D. R., Watt, G. C., and Bramall, A. M., 1984, Cretaceous and early Tertiary paleomagnetic results from the Antarctic peninsula, Tectonics, 3.3, 333－346.

Yoshida, M., 1983, Structural and Metamorphic History of the Ellsworth Mountains, West Antarctica, Antarctic Earth Science, edited by R. L. Oliver, P. r. James, and J. B. Jago, Australian Academy of Science, Canberra. 266－269.

Yoshida, M. and Kizaki, K., 1983, Tectonic situation of Lutzow－Holm Bay in East Antarctica and its significance in Gondwanaland, Antarctic Earth Science, edited by R. L. Oliver, P. R. James, and J. B. Jago, Australian Academy of Science, Canberra. 36－39.